

( 1 ) 実施機関名：

産業技術総合研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

活断層データベースの整備

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

イ. 首都直下地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

首都直下地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

平成 30 年度までには、「活断層データベースの整備」(研究課題番号 5002)を実施してきた。産業技術総合研究所では、全国に分布する活断層のうち、大地震の震源となる可能性が高い長さ 10 km 以上の活断層について、これまでの調査情報・研究成果のデータ化とそれぞれの活断層のパラメータに関

する情報を整備している。平成 25～30 年度の間には、論文等から断層パラメータの抽出・データ化の作業を 30 件実施したほか、活断層を表示させる画面の背景地図の多様化と活断層線および調査地点情報の検索方法の修正等を行った。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

活断層の長期評価に資するデータベースであるだけでなく、強震動評価や断層変位による被害の軽減に資する活断層情報を発信する。一方で、活断層研究者のみならず、地震防災に関わるあらゆる人が理解可能なデータ提供を試みる。また、古地震研究に関する他のデータベースとの統合を検討する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

活断層データベースのさらなる活用を目指し、下記の業務を行う。

2019 年度には、断層活動イベントのページの改修、調査地の位置精度を向上させる作業、データ入力インターフェースの作成等の作業を実施する。

2020-2021 年度には、活動セグメント内の「セクション(断層線)」および「地点」に関する情報を追加し、各調査地がセクションごとに表示される改修作業を実施する。

2022-2023 年度には、表示インターフェースを改修し、起震断層・活動セグメント・調査地の情報を充実させる。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

令和元年度には、産総研の調査についてのページの改修、調査地の位置精度を向上させる作業、データ入力インターフェースの作成およびシステム改修の各作業を実施した。産総研の調査についてページに関しては、2016 年熊本地震の地表地震断層に関する情報の追加、津波堆積物データベースへのリンクの設定を行なった。これらの作業については、年度計画にはなかった項目である。調査地の位置精度を向上させる作業については、全国で 2 万点以上の調査地の情報を精査し、位置精度に関する情報を更新した。データ入力インターフェースの作成については、活断層調査結果に関する新規データを入力するための表の検討を行い、表形式で入力した更新情報をデータベース用のデータセットに変換するプログラムを作成した。また、作成したデータをデータベース用サーバに取り込むためのプログラムを更新した。システム改修については、地図画面における凡例ボックスの改善、アクセス集中時のサーバ負荷軽減のためのキャッシュ機能追加、文献検索システムにおけるスペース認識の改善を実施した。そのほか、国際会議 1 件(国際第四紀学連合:アイルランド)と国際シンポジウム 1 件(北淡活断層シンポジウム:日本)において、活断層データベースの現状と今後の改修計画に関するポスター発表を行った。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

令和 2 年度には、活動セグメント内の「セグメント」および「地点」に関する情報を追加し、各調査地の表示順を改修する作業を実施する。また、追加された情報に基づいてセグメント評価の見直しを行い、全国主要活断層活動確率地図の更新作業を行う。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

吾妻 崇・宮下由香里・粟田泰夫・宮本富士香(産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門)  
他機関との共同研究の有無:無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名:活断層・火山研究部門

電話：029-861-3691

e-mail：

URL：[https://gbank.gsj.jp/activefault/index\\_gmap.html](https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html)

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名：吾妻崇

所属：活断層・火山研究部門

( 1 ) 実施機関名：

産業技術総合研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

主要活断層帯から生じる連動型地震の古地震学的研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

平成 25～30 年度までの計画「地震時変位量に基づく連動型古地震像復元手法の研究」では、主に糸魚川 - 静岡構造線活断層系を主な対象として、地震時変位量等を指標として過去の連動 / 非連動の履歴を明らかにする調査研究を実施してきた。特に、2014 年長野県北部の地震に伴う緊急調査では、2014 年に先行する古地震イベントが西暦 1714 年正徳小谷地震である可能性が高く、さらに先行するイベントは西暦 762 年 / 841 年の少なくとも神城断層全体が活動した連動型地震であった可能性等を明らかにした。これらの結果、地震時変位量と断層長のスケーリング則を指標として、古地震イベントの連動範囲と地震規模を推定可能であること、固有地震と非固有地震が繰り返す不規則な地震発生が時間予測モデルで説明可能であることを示した。これらの成果等に基づきポアソン過程による連動型地震の発生確率を試算した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

主要活断層帯において地質学的・古地震学な調査を実施し、過去の地震に伴う複数セグメントの連動履歴を解明し、その発生頻度や地震規模を明らかにする。連動履歴解明のため、セグメント境界周辺において複数回の地震時変位量を復元するための野外調査を 5 力年で実施する。特に、過去の連動型イベントの判別には地震時変位量と地震断層長のスケーリング則を指標とするため、これまでに主に対象としてきた横ずれ断層だけでなく、逆断層等の断層長と断層幅の比率が異なる事例についても知



見を集積する。その結果を基に、連動型古地震像復元手法についての普遍性を検討することを目標とする。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要：

2019年度：セグメント境界周辺において、地震時変位量を復元するための調査を実施する。

2020年度：セグメント境界周辺において、地震時変位量を復元するための調査を実施する。地震時変位量等から連動履歴を明らかにして連動/非連動を判別し、セグメント境界の連動性評価をおこなう。

2021年度：セグメント境界周辺において、地震時変位量を復元するための調査を実施する。

2022年度：セグメント境界周辺において、地震時変位量を復元するための調査を実施する。地震時変位量等から連動履歴を明らかにして連動/非連動を判別し、セグメント境界の連動性評価をおこなう。

2023年度：セグメント境界周辺において地震時変位量を復元するための調査を実施する。セグメント境界毎の連動性評価を総合し、断層帯の連動履歴をもとに古地震シナリオを作成する。古地震シナリオを反映した規模予測および長期予測の高度化について検討する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

糸魚川-静岡構造線断層帯の中北部区間・中南部区間を主な対象として、過去の地震時変位量等を指標として連動/非連動の履歴を明らかにする調査研究を実施した。

中北部区間を構成する松本盆地東縁南部・豊科高家地点において、最新活動時期と横ずれ量を推定するための三次元的なトレンチ掘削調査、極浅部の断層形状を確認するための群列ボーリング調査、S波反射法地震探査を実施した。その結果、扇状地礫層と鮮新更新等の大峰帯を高角に切断する活断層を確認した。最新活動時期は西暦7世紀以降に特定される。断層を横断して分布するチャンネル堆積物をもとに、最新活動に伴って $7.1 \pm 3.6\text{m}$ の左横ずれ変位が生じたことを明らかにした。この地震時変位量は、従来指摘されてきた松本盆地東縁断層南部の左横ずれ量約7m(近藤ほか, 2006)、および牛伏寺断層における $7.5 \pm 1.5\text{m}$ (奥村ほか, 1994)と矛盾しない。よって、最新活動に伴い少なくとも松本盆地東縁断層南部と牛伏寺断層が連動したと判断出来る。さらに、北部区間の地震時変位量、最新活動時期を考慮すれば、最新イベントの年代は西暦762年もしくは西暦841年の歴史地震に対比可能であり、このイベントに伴い北部区間と中北部区間に至る区間が連動したと推定される。

中南部区間の南端を構成する下蔦木断層において三次元的なトレンチ調査、ドローンLiDARを用いた詳細な変位地形調査を実施した。その結果、約9000年前以降に3回のイベントが識別された。暫定的な年代測定の結果では、最新活動時期は西暦220年~540年に特定される。また、ドローンLiDARによる0.1mDEM(数値標高モデル)や断層に斜交して流下したチャンネル堆積物をもとに、最近2回のイベントに伴う左横ずれ量を推定した。今後、詳細なイベント発生年代と地震時変位量を明らかにし、周辺断層との連動履歴や連動型イベントの発生頻度等について検討する。

なお、本研究の一部は、文部科学省科学技術基礎調査等委託事業「活断層の評価に関する調査研究：活断層帯から生じる連動型地震の発生予測に向けた活断層調査研究」により実施した。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

近藤久雄・黒澤英樹・平倉瑤子・高田圭太・阿部恒平・伊藤美和子・五十嵐厚夫・池田哲哉・三輪敦志, 糸魚川-静岡構造線断層帯・神城断層の未破壊区間における古地震調査, SSS15-10, 日本地球惑星科学連合2019年大会。

木村治夫・近藤久雄・秋永康彦・岡本茂・末廣匡基, 糸魚川-静岡構造線活断層系中北部区間におけるP波反射法地震探査, SSS15-11, 日本地球惑星科学連合2019年大会。

近藤久雄・木村治夫・杉戸信彦・下釜耕太・佐伯健太郎・川島裕貴・亀高正男・高岡宏之, 糸魚川-静岡構造線断層帯・松本盆地東縁断層南部における最新活動時期と横ずれ変位量, O-7, 日本活断層学会2019年度秋季学術大会。

Kondo, H., Paleoseismic evidence for past multi-segment earthquakes on the northern ISTL active fault system, Hokudan 2020 International Symposium on Active Faulting.

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

引き続き, 糸魚川-静岡構造線断層帯を主な対象として, 過去の地震に伴う地震時変位量を復元し, 複数セグメントの連動履歴を明らかにする.

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

国立研究開発法人産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門 活断層評価研究グループ  
他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 :

電話 :

e-mail :

URL :

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 近藤久雄

所属 : 産業技術総合研究所活断層・火山研究部門

( 1 ) 実施機関名：

産業技術総合研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地質調査に基づく火山活動履歴の解明と年代測定手法の高度化

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

将来噴火の可能性の高い日本列島の活火山において、地質調査に基づき、火山形成史や噴火履歴を明示した地質図を、2015年に九重山と蔵王山、2017年に富士山、2018年に八丈島火山で整備した。これら地質調査に基づく科学的知見を背景に、日本列島の火山の活動履歴、規模及び噴火様式などの地質情報を「日本の火山データベース」に最新の知見を含めて順次データとして整備し、あわせて富士山、八丈島、蔵王山、九重山、鳥海山、沼沢、新島、神津島、開聞岳、池田、国後島等の活火山に関する詳細データをWEB公開した。

( 7 ) 本課題の5か年の到達目標：

火山活動の評価と予測の基礎となるデータとして、日本列島の活動的火山の噴火履歴調査を実施し、形成史や噴火履歴を明らかにした火山地質図の整備を推進する。火山に関する基礎データの収集と整理を行い、日本の火山データベースとして維持更新する。また活動的火山で高分解能な噴火履歴を得るために、効率的かつ高精度で若い火山噴出物の年代が測定できる手法を開発する。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要：

将来噴火の可能性の高い活火山の中長期評価と予測のため、火山防災のために監視・観測体制の充実が必要な活火山(50火山)で重点的に火山の形成史・噴火履歴を明らかにした地質図の整備を行う。このうち恵山、御嶽山、日光白根山、雌阿寒岳、秋田焼山、伊豆大島などでは、噴火履歴調査に基づいて数万～数十万年に達する火山体の形成史を明らかにし、あわせて定量的な噴出物量、化学分析、年代測定等の基礎データを取得し、歴史記録を含めた火山全体の活動履歴を明示した火山地質図として整備する。

活動的火山で高分解能な噴火履歴を得るために、10万年前より若い火山噴出物を効率的かつ高精度で測定できる年代測定手法の開発を行う。

日本列島の火山の基礎情報を最新の知見に基づいて収集・整理し、これらを日本の火山データベースとして引き続き整備し公開する。このうち20万分の1スケールでの全国火山図を作成し、火山の形成区分毎に噴出物範囲、噴火年代、噴出量、マグマ化学組成等の科学データを取り入れる。これらの整備により、国土の基礎情報として関係諸機関の利用に供すると共に、火山活動の噴火推移予測に貢献する。

(9) 令和元年度の成果の概要：

監視・観測体制の充実が必要な活火山の地質図整備では、恵山火山の地質図原稿をとりまとめた。火山地質図作成のため、雌阿寒岳火山、日光白根火山及び秋田焼山火山では山頂域を含めたトレンチ掘削による噴火履歴調査を実施し、御嶽火山では引き続き地表踏査に基づく噴火履歴調査を行った。

活動的火山で高分解能な噴火履歴を得るために、九重火山と蔵王火山で10万年前より若い火山噴出物のK-ArとAr/Ar年代データの比較研究を行った。

日本の火山データベースでは、20万分の1スケールの日本火山図公開のためビューア開発とデータ作成を行い、約440の第四紀以降に活動した火山に関するデータ公開を進めた。また第四紀火山のページに北海道と東北の火山に関する文献一覧の掲載を進めた。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Miura, D., Furukawa, R, and Arai, K. (2019) Late Pleistocene?Holocene Volcaniclastic Ejecta Along the Southern Apron of the Esan Volcanic Complex, Japan. J. Disaster Res., 14, 755-765.

Minami, Y., Ohba, T., Hayashi, S., Saito-Kokubu, Y. and Kataoka, K.(2019) Lahar record during the last 2500 years, Chokai Volcano, northeast Japan: Flow behavior, sourced volcanic activity, and hazard implications. J. Volcanol. Geotherm. Res., 387, 106661.

伊藤順一(2019)岩手火山、一本木原岩屑なだれ堆積物の<sup>14</sup>Cウィグルマッチング年代と崩壊堆積物の特徴：活火山における小規模な表層崩壊堆積物. 火山, 64, 153-167.

草野有紀・石塚吉浩(2020)トレンチ調査に基づく日光白根火山1400年間の噴火履歴. 地質調査研究報告, 71, 1-18.

日本の火山データベース <<https://gbank.gsj.jp/volcano/>>

(11) 令和2年度実施計画の概要：

活火山の形成史・噴火履歴を明示した地質図整備では、恵山火山の地質図を整備する。新たに伊豆大島火山で沿岸域を重点化し海陸両面での調査を実施する。雌阿寒岳、秋田焼山、御嶽山、日光白根山の各火山で引き続き調査研究を実施する。

活動的火山で高分解能な噴火履歴を得るために、ガラス質火山噴出物についてのAr/Ar年代測定手法の開発を行い、白山火山及び御嶽火山試料を対象としたK-ArとAr/Ar年代データの比較研究を実施する。

日本の火山データベースでは、完新世の噴火イベントに関するデータ更新を進め、東北及び関東の第四紀火山の文献一覧の掲載を行う。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

産業技術総合研究所地質調査総合センター

他機関との共同研究の有無 : 有

北海道大学、北海道教育大学、秋田大学、信州大学、大阪府立大学など

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 活断層・火山研究部門 火山活動研究グループ

電話 :

e-mail :

URL : <https://unit.aist.go.jp/ievg/actvolcano-rg1/>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 石塚吉浩

所属 : 活断層・火山研究部門 火山活動研究グループ

## 令和元年度年次報告

課題番号：AIST04

- ( 1 ) 実施機関名：  
産業技術総合研究所
- ( 2 ) 研究課題（または観測項目）名：  
津波浸水履歴情報の整備
- ( 3 ) 関連の深い建議の項目：  
1 地震・火山現象の解明のための研究  
(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析  
ウ. 地質データ等の収集・集成と分析
- ( 4 ) その他関連する建議の項目：
- ( 5 ) 総合的研究との関連：
- ( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果（または観測実績）の概要：  
平成 30 年度までの課題 5001「津波浸水履歴情報の整備」の継続課題である。  
これまでに整備できた地域は、地質柱状図および 869 年貞観地震の推定津波浸水域が宮城県（石巻平野，仙台平野）と福島県（南相馬小高）地質柱状図が青森県（東通，六ヶ所，三沢）福島県（相馬，富岡，いわき）茨城県（日立十王）静岡県（沼津，掛川，湖西）三重県（志摩，南伊勢，紀北，熊野）和歌山（新宮，日高）高知県（四万十興津）である。
- ( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：  
産業技術総合研究所が実施した津波堆積物調査の地点および論文公表した地質柱状図のデータについて、最新の情報を迅速に公開できるよう整備する。また地質情報に基づいた津波浸水計算結果について、表示できる地域を増やしていく。
- ( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：  
地質情報については、おもに調査が進められている南海トラフ沿いを中心に、論文公表したデータから随時公開していく。また津波浸水計算結果については、おもに千島-日本海溝沿いの沿岸低地について整備を進める。
- ( 9 ) 令和元年度の成果の概要：  
福島県沿岸の相馬，南相馬，富岡，いわきのそれぞれ一部地域において，869 年貞観地震における推定津波浸水域の情報を整備し，公開した．また茨城県の地域の情報と一部地域の津波堆積物の情報を整備し，公開した．
- ( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので，令和元年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
- ( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要：  
津波堆積物データベースのプラットフォームを刷新し，ユーザーによりわかりやすくなるよう改良する．

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ

他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ

電話 : 029-861-3691

e-mail :

URL : <https://unit.aist.go.jp/ievg/group/subducteq/index.html>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 穴倉正展

所属 : 活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ 電話

- ( 1 ) 実施機関名：  
産業技術総合研究所
- ( 2 ) 研究課題（または観測項目）名：  
地質調査と実験に基づく、断層の力学挙動についての三次元モデルの構築
- ( 3 ) 関連の深い建議の項目：  
1 地震・火山現象の解明のための研究  
(3) 地震発生過程の解明とモデル化  
イ. 地震断層滑りのモデル化
- ( 4 ) その他関連する建議の項目：
- ( 5 ) 総合的研究との関連：
- ( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果（または観測実績）の概要：  
新規研究
- ( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：  
内陸断層の深部，脆性-塑性遷移付近における，応力・歪といった変形の不均質を削剥断層（三重県中央構造線）の地質調査により，断層内部構造形成・発展・力学挙動の物理過程を岩石変形実験により明らかにする．両者の成果を統合し数値計算により，断層深部の変形不均質が断層挙動に及ぼす影響を明らかにする．またこれらの成果に基づき，断層深部に関わる各種観測情報が断層挙動に対し持つ意味を検討する．
- ( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：  
2019-2021 年度：(1) 断層の走向方向の，変形条件・変形機構，運動像の三次元分布の解明．三次元地質モデル構築．(2) 岩石変形実験による構造形成と発展（転位蓄積・動的再結晶・微小空洞形成）と粘弾性を考慮した力学挙動の解析．  
2022-2023 年度：地質調査結果，岩石変形実験の知見の統合と，それらに基づく数値計算の枠組み構築．
- ( 9 ) 令和元年度の成果の概要：  
本課題は内陸断層の深部，脆性-塑性遷移付近における変形の不均質を削剥断層の地質調査から明らかにする．令和元年度は手法確立の意味もあり 1 km<sup>2</sup> の範囲で断層内部構造の三次元分布の構築を試みた．調査範囲内の岩石は変形温度 450 付近から 250 付近までと脆性-塑性遷移をまたぐ条件での断層運動を被ったことが明らかになった．これら異なる条件における変形を記録した岩石の分布は地殻深部の岩石が，断層の主すべり面の上盤側で断層変位により隆起した結果である．岩石が被った差応力は脆性-塑性遷移付近で 200 MPa 程度であるが，この値は脆性-塑性遷移より深い 450 付近においても大きく変化していないことが示唆された．
- ( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので，令和元年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
特になし．



( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

令和元年度に 1 km<sup>2</sup> の範囲の脆性?塑性遷移付近におけるより断層内部構造三次元モデルが構築できたことから , より広範囲でのモデル構築を試みる . また , 断層内部構造形成・発展・力学挙動の物理過程を岩石変形実験の準備段階として , 斜長石の粒成長実験を行う .

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

活断層・火山研究部門 地震テクトニクス研究グループ

地質情報研究部門 地球物理研究グループ

活断層・火山研究部門 大規模噴火研究グループ

他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 部署等名 活断層・火山研究部門

電話 :

e-mail :

URL :

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 重松紀生

所属 : 活断層・火山研究部門

( 1 ) 実施機関名：

産業技術総合研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

火山性流体観測に基づく噴火発生過程および火山活動推移の解明

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

マグマ噴火を主体とし活発な噴煙活動を継続している火山において、Multi-GAS による火山ガス組成の連続観測および繰り返し観測を実施し、浅間山、阿蘇、三宅島、口永良部島における噴火・火山ガス供給過程の解析を進めた。有人・無人航空機を用いた火山噴煙観測を手法の改良を進め、桜島や口永良部島などの観測に応用した。また、桜島における  $\text{SO}_2$  放出率の短時間変動の測定に基づき、火山ガス放出と地殻変動の関連を定量化した。熱水系が卓越すると考えられる火山においては、阿蘇の湯だまりのモデル化や霧島硫黄山における噴火直前の火山ガス組成の変化検知を実現した。

伊豆大島における自然電位の連続観測結果は顕著な年周変動を示し、この現象は、数値計算による定量的な解析から、厚く堆積している不飽和な地層への雨水の浸透に起因することがわかった。また、数値シミュレーションを行うことによって火山活動に伴う変動を予測し、このような特性を持つ自然電位は地下からの火山性流体の上昇に対して敏感な物理量であることが示された。雌阿寒岳、口永良部島、伊豆大島の各火山における自然電位分布と電磁探査法によって得られた比抵抗分布の比較を行い、各火山に特徴的な自然電位の高度勾配は、熱水系に伴う変質帯の分布形態に影響されることが分かった。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

マグマ噴火を繰り返す火山において、噴火発生や活動推移に伴う火山ガス放出量・組成の特徴と時間変化を把握することにより、火山ガス供給過程の変化の視点からの噴火発生や活動推移のモデル化を行う。地殻へのマグマの貫入や火山ガスの供給による火山体浅部の熱水系の応答について、熱水系シミュレーションにより定量化する手法を、伊豆大島など活動的な火山に適用する。熱水系の卓越する火山において、熱水系の構造及び火山ガス供給系を明らかにし、水蒸気爆発発生に関与する熱水系の実体をモデル化する。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

桜島, 阿蘇, 諏訪之瀬島などマグマ噴火を繰り返す火山において, Multi-GAS による火山ガス組成の連続観測および繰り返し観測を実施し, 火山活動推移に伴う火山ガス組成の変化を把握し, 火山ガス供給過程のモデル化を行う. 伊豆大島において, 火山性流体の上昇過程を的確に捉えるため, 地中温度の連続観測を開始し, 自然電位の連続観測網を拡充する. 透水性が悪いため熱水系の流動を規制する変質帯に着目し, その分布を明確にするため, 阿蘇, 霧島, 伊豆大島等の火山において自然電位と電磁探査法を用いた比抵抗調査を行い熱水系のモデル化を進める. 雌阿寒岳, 十勝岳, 樽前山, 吾妻山, 箱根, 弥陀ヶ原, 霧島硫黄山などにおいて火山ガスの繰り返し観測を実施し, 火山ガス組成変化を把握し, 噴気活動変化の評価を行うとともに, その要因となる熱水系のモデル化を進める.

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

桜島, 阿蘇, 諏訪之瀬島および霧島硫黄山において Multi-GAS の連続観測を実施し, 火山ガス組成変化を測定した. 霧島硫黄山においては 2018 年 4 月噴火直前に観測されたと同様の  $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比の急増が検知されたが活動に大きな変化はなく, 短期間で比の再度減少が観測された. 雌阿寒岳, 十勝岳, 樽前山, 吾妻山, 箱根, 弥陀ヶ原, 霧島硫黄山などにおいて火山ガスの繰り返し観測を実施し組成変化の把握を行なった. 箱根大涌谷においては,  $\text{H}_2\text{S}-\text{SO}_2$  の硫黄同位体比の分別定量に基づき硫黄同位体比温度計を用いて推定された温度が, 従来推定されていた値と一致することが確かめられ, 硫黄同位体比に基づく熱水系温度の推定が可能であることが確認された.

霧島硫黄山において AMT 探査を実施し, 浅部の比抵抗構造の解析を進めている. また, 既存データの再解析を行うことにより, 霧島山南西部の比抵抗構造の再評価を実施した. 伊豆大島の自然電位の観測網は, 山頂火口脇の三原山から剣が峰を通過して東方の裏砂漠へ続く約 2km の測線であるが, 火山活動に起因していると考えられて地殻変動源や火山性地震の震源からはやや離れている. そこでその付近を通るように観測網を拡張するため, ケーブルの敷設や電極の埋設等の整備を行った.

火山活動推移に伴う火山ガス放出率および火山ガス組成の観測事例に関する既存文献の調査を行い, 火山ガス観測結果のから推定される火山活動推移変化の要因や噴火発生過程についての評価を行なった. 陸上火山からの  $\text{CO}_2$  放出率を推定する国際共同プロジェクト ( Deep Carbon, DECADE ) に参加し, 主に日本の火山に関する火山ガス放出率・組成の時間空間変化の評価を行った.

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので, 令和元年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

篠原宏志 ( 2019 ) 火山ガス観測から推定される火山活動推移過程. 火山, 64, 121-139.

Werner C, Fischer T P, Aiuppa A, Edmonds M, Cardellini C, Carn S, Chiodini G, Cottrell E, Burton M, Shinohara H, Allard P (2020) Carbon Dioxide Emissions from Subaerial Volcanic Regions: Two decades in review. In " Deep Carbon; BN Orcutt, I Daniel and R Dasgupta eds. ", pp. 188-236, DOI 10.1017/9781108677950, Cambridge University Press, Cambridge.

Fischer T P, Arellano S, Carn S, Aiuppa A, Galle B, Allard P, Lopez T, Shinohara H, Kelly P, Werner C, Cardellini C, and Chiodini G (2019) The emissions of  $\text{CO}_2$  and other volatiles from the world 's subaerial volcanoes. Sci. Rep., 9:18716 |<https://doi.org/10.1038/s41598-019-54682-1>

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

桜島, 阿蘇, 諏訪之瀬島などマグマ噴火を繰り返す火山において, Multi-GAS による火山ガス組成の連続観測および繰り返し観測を実施し, 火山活動推移に伴う火山ガス組成の変化を把握し, 火山ガス供給過程のモデル化を行う. 伊豆大島において, 火山性流体の上昇過程を的確に捉えるため, 地中温度の連続観測を開始し, 自然電位の連続観測網を拡充する. 透水性が悪いため熱水系の流動を規制する変質帯に着目し, その分布を明確にするため, 阿蘇, 霧島, 伊豆大島等の火山において自然電位と電磁探査法を用いた比抵抗調査を行い熱水系のモデル化を進める. 雌阿寒岳, 十勝岳, 樽前山, 吾妻山, 箱根, 弥陀ヶ原, 霧島硫黄山などにおいて火山ガスの繰り返し観測を実施し, 火山ガス組成変化を把

握し，噴気活動変化の評価を行うとともに，その要因となる熱水系のモデル化を進める．また，各火山において  $\text{SO}_2\text{-H}_2\text{S}$  の硫黄同位体比の分別定量を行い，前年度に箱根で有効性が確認された硫黄同位体比温度計の適用可能条件の検討を進める．

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

他機関との共同研究の有無：有

東京大学地震研究所（大湊隆雄，他数名），

京都大学防災研究所（井口正人，他数名），

京都大学理学部（大倉敬宏，他数名）

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：活断層・火山研究部門マグマ活動研究グループ

電話：

e-mail：

URL：<https://unit.aist.go.jp/ievg/group/magma/index.html>

( 14 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：篠原宏志

所属：活断層・火山研究部門マグマ活動研究グループ

( 1 ) 実施機関名：

産業技術総合研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

高分解能地殻応力場の解明と造構造場の研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

オ. 構造共通モデルの構築

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

平成 30 年度までの課題 5008「高分解能地殻応力場の解明と造構造場の研究」の継続課題である。  
関東地域の 10km メッシュの応力マップを整備し、不均一応力場の実態を明らかにした。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

将来発生する地震の最大規模や発生様式の評価を行うため、可能な限り小さな地震まで解析し、高い空間分解能を有する日本列島の地殻応力マップを整備する。様々なデータから地殻応力の不均一の成因を明らかにするとともに、応力場の地域性を考慮し、数値シミュレーションも併用した最大規模評価や活動性評価手法を提案する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 31 年度～平成 32 年度：Hi-net の整備以後蓄積されている定常観測網のデータ解析により、陸域においてはマグニチュード(M) 1 クラスまで、海域においては M2 クラスまでの地震の発震機構解を推定し、高分解能地殻応力マップを作成する。

平成 33 年度～平成 35 年度：断層への応力載荷、歪み場、3 次元地殻構造、地質構造、絶対応力や断層強度の指標になり得る b 値や応力降下量等を総合的に考察した上で、地殻応力の不均一の成因を明らかにする。その考察をもとに地震発生場の地域性とそのテクトニックな意味を明らかにし、数値シミュレーションを併用した最大規模評価や活動性評価手法を提案する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

前計画で進めてきた関東地域の 10km メッシュの応力マップに関する成果が、地質調査研究報告に掲載された(今西ほか, 2019)。結果は産総研の地殻応力場データベース(<https://gbank.gsj.jp/crstress/>)でも公開した。

応力マップの新たな対象地域として、1943 年鳥取地震(M7.2)や 2000 年鳥取県西部地震(M7.3)が発生した中国地域を選定した。国内の定常地震観測網で記録された微小地震データ(2004 年 4 月~2016 年 12 月までに発生したマグニチュード 1.5 以上、深さ 25km 以浅)の分析を進め、3000 超の地震のメカニズム解を決定した。このメカニズム解を使い、今西ほか(2019)の手順に従い、10km メッシュの応力マップを試作した。概ね西日本で典型的な東西圧縮の横ずれ場を示すが、局所的に逆断層や正断層が卓越する領域も散見される。また、山陰地域および日本海沿岸域では北西-南東方向の圧縮場に変化する様子も確認できる。これらの特徴は先行研究でも指摘されていたが、10km メッシュの応力マップを作成したことにより、より明瞭に確認できるようになった。

震源域の応力状態とそこで発生する地震の発生様式を調査するため、2013 年淡路島の地震(M6.3)の起震応力場を推定した。本震前後の地震のメカニズム解の分析から、震源域は周囲と有意に異なる応力場になっており、淡路島の地震を引き起こしやすい応力場になっていたことが明らかになった。この局所的な応力不均一が生じた要因として、震源域の両側に位置する 2 つの撓曲の活動に加えて断層深部延長部の深部すべりによる効果が重なったためと予想した。その他、数値シミュレーションを併用した活動性評価手法の研究として、2018 年北海道胆振東部地震(M6.7)を扱った。現実的な 3 次元粘弾性構造に基づく CFF の時間変化を計算し、今後数十年間にわたる影響を定量的に評価した(Ohtani and Imanishi, 2019)。

- (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
今西和俊・内出崇彦・大谷真紀子・松下レイケン・中井未里(2019), 関東地域の地殻応力マップの作成, 地質調査研究報告, 70, 3, 273-298.  
Ohtani, M. and K. Imanishi (2019), Seismic potential around the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake assessed considering the viscoelastic relaxation, Earth Planets Space, 71:57. <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1036-4>
- (11) 令和 2 年度実施計画の概要：  
中国地域の応力マップ作成について微小地震データの解析をさらに進め、応力マップを公表する。
- (12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
今西和俊、内出崇彦、大谷真紀子(産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門)  
他機関との共同研究の有無：有  
安藤亮輔(東京大学)
- (13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門  
電話：  
e-mail：  
URL：
- (14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者  
氏名：今西和俊  
所属：産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

( 1 ) 実施機関名：

産業技術総合研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

海溝型巨大地震の履歴とメカニズム解明

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

平成 30 年度までの課題 5004「海溝型巨大地震の履歴とメカニズム解明」の継続課題である。

これまでの成果は以下の通り。

千島・日本海溝 沿いでは津波堆積物の証拠から 869 貞観地震と 2011 年東北地方太平洋沖地震の間にも同様の巨大津波を伴う地震(1454 年享徳地震の可能性が高い)があったこと, 2011 年東北の地震の破壊域より北の沿岸地域(青森県)で 17 世紀に巨大津波があったことが明らかになった。相模トラフ沿いでは房総半島九十九里浜において過去約 1000 年間に少なくとも 2 回の津波痕跡を検出した。また房総半島南部千倉低地の海岸段丘については、ポーリングコア試料の解析から離水年代の再検討を行い、段丘の区分と年代が更新され、再来間隔が非常にばらつくことが明らかになった。南海トラフ沿いでは東端の駿河湾沿岸から西は南西諸島北部の喜界島まで、各地で津波堆積物調査および隆起痕跡調査を実施し、地震・津波履歴に関する情報を収集することができた。しかし地域間のイベントの対比ができておらず、破壊域の評価には至っておらず、今後の課題となっている。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

本課題では日本列島の沿岸地域において地形、地質の調査を行い、史料の情報などと併せ、過去に海域で発生した地震の年代とそれに伴う地殻変動や津波浸水域を明らかにする。得られたデータに基づいて震源・波源のメカニズムを解明する。各地域での目標は以下の通り。

・千島-日本海溝：2011年東北地方太平洋沖地震の破壊領域よりも北および南のプレート境界で発生する巨大地震および津波に関して、履歴を復元し、断層モデルを提案する。

・相模トラフ：房総半島や相模湾沿岸における地震・津波履歴と隆起パターンなどを復元し、関東地震の多様性を評価する。

・南海トラフ：南海トラフから南西諸島にかけての沿岸の各地域において過去に発生した地震の時期とそれに伴う地殻変動や津波浸水域を解明し、地域間の対比から破壊領域を評価する。

・日本海沿岸：歴史地震・津波の記録のある沿岸域を中心に過去に海域で発生した地震の時期とそれに伴う地殻変動や津波浸水域を解明する。

(8) 本課題の5か年計画の概要：

・千島-日本海溝

北海道東部から東北地方にかけての太平洋沿岸において地質調査を実施し、地域ごとに津波浸水域と地殻変動の履歴を復元する。これらのデータに基づいて、17世紀千島のイベントをはじめとした過去の超巨大地震について断層モデルを検討する。

・相模トラフ

房総半島南部沿岸を中心に地形・地質調査を行い、海岸段丘の年代と分布を再評価することで過去の地震に伴う多様な隆起パターンを復元する。そのデータに基づいて断層モデルを推定し、相模トラフ沿いの地震発生メカニズムを解明する。また史資料の調査から過去の関東地震とその特徴を解明し、履歴を再検討する。

・南海トラフ

南海トラフ沿いの東縁にあたる駿河湾沿岸から東海、紀伊半島、四国、さらに九州・南西諸島にかけての各沿岸において、津波堆積物調査、隆起・沈降痕跡調査、史資料調査を実施する。過去の地震の破壊域を評価するため、各地の調査で得られた試料を詳細に分析し、地域間の対比を試みる。

・日本海沿岸

おもに歴史地震で津波被害や地変の記録のある地域について、地形・地質学的な調査および史資料調査を実施し、過去の地震による津波浸水域や地殻変動の特徴を明らかにして震源・波源の検討を行う。

(9) 令和元年度の成果の概要：

・千島-日本海溝

北海道東部において、17世紀千島の超巨大地震の再検討のため、津波浸水計算の基礎となる古地形の復元を行った。

・相模トラフ

房総半島南部沿岸の海岸段丘について掘削調査を行い、得られた試料の年代測定値の統計処理を行うことで、離水年代の検討を行った。

・南海トラフ

紀伊半島東部(南伊勢)、紀伊半島南部(那智勝浦・串本)、宮崎平野で津波堆積物調査、喜界島で隆起サンゴ調査をそれぞれ実施した。

・日本海沿岸

青森県西部沿岸で津波堆積物調査、島根県西部で1872年浜田地震に関する史料および地形・地質調査をそれぞれ実施した。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：



Shimada, Y., S. Fujino, Y. Sawai, K. Tanigawa, D. Matsumoto, A. Momohara, M. Saito-Kato, M. Yamada, E. Hirayama, T. Suzuki and C. Chagu , 2019, Geological record of prehistoric tsunamis in Mugi Town, facing the Nankai Trough, western Japan, Prog. Earth Planet Sci., 6, 33 (2019). <https://doi.org/10.1186/s40645-019-0279-9>

宍倉正展, 2019, 房総半島南西岸の関東地震における隆起生物遺骸群集の露頭データ, 歴史地震, 34, 91-102.

Ioki, K., Y. Tanioka, G. Kawakami, Y. Kase, K. Nishina, W. Hirose, K. Hayashi and R. Takahashi, 2019, Fault model of the 12th century southwestern Hokkaido earthquake estimated from tsunami deposit distributions. Earth Planets Space, 71, 54 (2019). <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1034-6>

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

・千島-日本海溝

北海道東部において、17 世紀千島の超巨大地震に関する断層モデルの再検討を行い、必要に応じて現地調査を実施する。

・相模トラフ

房総半島南部沿岸を中心に地形・地質調査を行い、海岸段丘の年代と分布を再評価する。

・南海トラフ

紀伊半島、四国、さらに九州・南西諸島にかけての各沿岸において、津波堆積物調査、隆起・沈降痕跡調査、史資料調査を実施する。

・日本海沿岸

おもに歴史地震で津波被害や地変の記録のある地域について、地形・地質学的な調査および史資料調査を実施する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ

他機関との共同研究の有無 : 有

北海道大学, 秋田大学, 筑波大学, 東京大学, 法政大学, 地域地盤環境研究所

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ

電話 : 029-861-3691

e-mail :

URL : <https://unit.aist.go.jp/ievg/group/subducteq/index.html>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 宍倉正展

所属 : 活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ

( 1 ) 実施機関名：

産業技術総合研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地下水・地殻変動観測による地震予測精度の向上

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

イ. 観測・解析技術の開発

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

産総研・防災科研・気象庁との共同研究によりデータを共有し、南海トラフの短期的 SSE の高精度モニタリングを実施し、2013 年 11 月以降の 5 年間で 162 個の SSE イベントの断層モデルを決定した。北勢観測点の観測井戸を密閉し、短期的 SSE を観測できるように整備した。

短期的 SSE の解析手法の高度化等の解析技術の開発を行った。

昭和南海地震前後の地下水変化・潮位変動の解析および昭和東南海地震・南海地震前後の紀伊半島の上下変動時系列を求めた。

四国地方のプレート間の固着速度および深部低周波微動との相関について解析を行なった。

南海トラフや内陸地震発生域等の水理特性の推定を行った。

地下水・地殻変動観測等による地震の予知・予測研究に関する国立成功大学との共同研究を実施し、共同でワークショップを毎年開催した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

紀伊半島～四国周辺に 4 点の新規地下水・地殻変動観測施設の整備。南海トラフ沿いの巨大地震想定震源域の深部周辺で発生する短期的ゆっくりすべりの詳細なマッピングの継続。安価かつ高精度な歪観測技術の開発と適用。深部すべりの客観的な検出手法の開発の継続。南海トラフ沿いの巨大地震想定震源域の固着の時間変化の推定。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

地下水・地殻変動観測施設 ( 4 点 ) を新規に整備し、整備済みの 16 観測点と併せ合計 20 観測点とする。

産総研・防災科研・気象庁との共同研究により構築した観測システムにより、南海トラフの短期的ゆっくりすべりの高精度モニタリングを継続する。短期的ゆっくりすべりの客観的な検出システムの高度化を行う。

既存未利用井戸を活用した安価かつ高精度な歪観測を実現するために、小型・低廉な歪計の開発及び既存井戸への設置・実証観測を行なう。

水準測量データ・潮位データ等を用いて南海トラフ沿いの巨大地震の想定震源域周辺のプレート間固着の時間変化を推定する。

地下水・地殻変動観測による地震の予知・予測研究の日本における成果を台湾での震災軽減に生かすため、国立成功大学との共同研究を継続する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

産総研と防災科研および気象庁との共同研究に基づき、3 機関のひずみ・地下水・傾斜データをリアルタイムで共有して南海トラフ周辺地域の短期的ゆっくりすべり (SSE) を解析するシステムの運用を継続した。2018 年 11 月～2019 年 10 月の間に 33 の短期的 SSE の断層モデルを決定した。

安価で短い工期でのボアホールひずみ観測の実現を目的として、小口径の多成分ひずみ計および既存井戸への設置手法を共同で開発し、同ひずみ計を香川県三豊市の既存井戸に設置した。

南海トラフでの海洋科学掘削で得られたロギングデータを解析し、付加体の空隙率と温度構造を従来より正確に推定する手法を開発した。空隙率は様々な物性値と相関することが知られている。船上の実験室で得られたデータをもとに空隙率と電気伝導度・熱伝導率の変換式を構築し、それらを同時に満たす空隙率・温度構造を推定した。

硬岩中に高い透水性を示す亀裂が存在する条件を明らかにするために、愛知県西尾市の観測井で物理検層と VSP により検出した透水性亀裂の向きと水圧破砕法から得た応力場の関係について解析した。透水性亀裂は、北北東-南南西を示す応力方位と 40 度程度以上の角度をなす走向が多いが、せん断型と引張り型の 2 つの亀裂モデルによる詳細な検討の結果、この向きを現在の応力場と直接関係付けて説明するのは難しいことがわかった。

台湾・国立成功大学との共同研究の一環として、水文学的・地球化学的手法による地震予知研究についての日台国際ワークショップを主催し、プロシーディングスを公開した。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

- 木口努・今西和俊・松本則夫, 2019, 岐阜県東部の活断層周辺における地殻活動観測結果 (2018年11月～2019年4月), 地震予知連絡会報, 102, 212-213
- 木口努・今西和俊・松本則夫, 2019, 岐阜県東部の活断層周辺における地殻活動観測結果 (2019年5月～2019年10月), 地震予知連絡会報, 103, 印刷中.
- 木口努・桑原保人, 2019, 孔井内測定で検出した透水性亀裂の方向と応力場の関係: 産総研西尾善明観測点の結果, 活断層・古地震研究報告, 19, 33-59.
- 木口努・松本則夫・北川有一・板場智史・落唯史・佐藤努, 2019, 東海・関東・伊豆地域における地下水等観測結果 (2018年11月～2019年4月)(59), 地震予知連絡会会報, 102, 201-208.
- 木口努・松本則夫・北川有一・板場智史・落唯史・矢部優・佐藤努, 2020, 東海・関東・伊豆地域における地下水等観測結果 (2019年5月～2019年10月)(60), 地震予知連絡会会報, 103, 印刷中.
- 北川有一・板場智史・松本則夫・落唯史・木口努, 2017, 紀伊半島～四国の歪・傾斜・地下水観測結果 (2018年11月～2019年4月), 地震予知連絡会会報, 102, 284-294.
- 北川有一・板場智史・武田直人・松本則夫・落唯史・木口努・矢部優, 2018, 紀伊半島～四国の歪・傾斜・地下水観測結果 (2019年5月～2019年10月), 地震予知連絡会会報, 103, 印刷中.
- 北川有一・松本則夫・佐藤努・板場智史・落唯史・木口努, 2019, 近畿地域の地下水位・歪観測結果 (2018年11月～2019年4月) 地震予知連絡会会報, 102, 295-298.
- 北川有一・松本則夫・佐藤努・板場智史・落唯史・木口努・矢部優, 2020, 近畿地域の地下水位・歪観測結果 (2018年11月～2019年4月) 地震予知連絡会会報, 103, 印刷中.
- Matsumoto, N. and Shieh, C.-L.eds., 2019, Proceedings of the 18th Taiwan-Japan International Workshop on Hydrological and Geochemical Research for Earthquake Prediction, <https://unit.aist.go.jp/iev/g/tectonohydro/topics/workshop/2019/18thProceeding.pdf>
- 落唯史・板場智史・松本則夫・北川有一・武田直人・木口努・木村尚紀・木村武志・松澤孝紀・汐見勝彦, 2019, 東海・紀伊半島・四国における短期的スロースリップイベント (2018年11月～2019年4月), 地震予知連絡会会報, 102, 184-200.
- 矢部優・落唯史・板場智史・松本則夫・北川有一・木口努・木村尚紀・木村武志・松澤孝紀・汐見勝彦, 2020, 東海・紀伊半島・四国における短期的スロースリップイベント (2019年5月～2019年10月), 地震予知連絡会会報, 103, 印刷中.
- Yabe, S., Fukuchi, R., Hamada, R. and Kimura G., 2019, Simultaneous estimation of in situ porosity and thermal structure from core sample measurements and resistivity log data at Nankai accretionary prism, Earth Planets Space, 71, doi:10.1186/s40623-019-1097-4

(11) 令和2年度実施計画の概要:

南海トラフ巨大地震の予測精度向上のために、既存の施設での高品質な地下水・地殻変動等の観測を継続するとともに、産総研・防災科研・気象庁との共同研究に基づく同地震周辺域での微動・短期的ゆっくりすべりの解析を継続する。歪データ等からの地殻変動シグナルの定量的検出手法を開発する。測地測量・GNSSデータ等による現在および過去のプレート間カップリング評価を継続する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門  
他機関との共同研究の有無: 有  
国立研究開発法人 防災科学技術研究所  
気象庁 地震火山部

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 活断層・火山研究部門 地震地下水研究グループ  
電話: 029-861-3656

e-mail : tectono-h@aist.go.jp

URL : <https://gbank.gsj.jp/wellweb/GSJ/index.shtml>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 松本則夫

所属 : 活断層・火山研究部門 地震地下水研究グループ

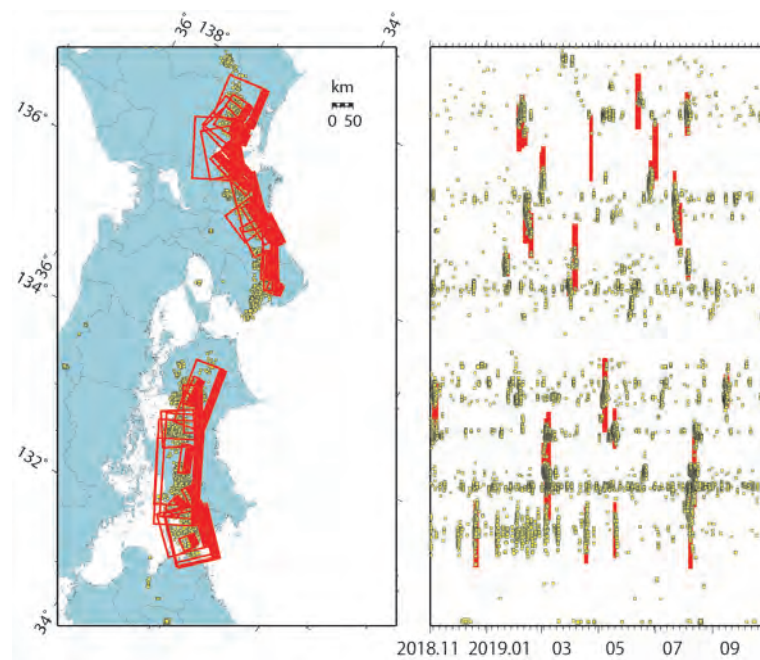


図 1

2018年11月～2019年10月に産総研・防災科研・気象庁の歪・地下水・傾斜データにより決定した短期的ゆっくりすべりの断層モデルの位置および時空間分布 (33個: 赤四角・赤線; 落・他, 2019; 矢部・他, 2020)。黄色の四角は同期間の気象庁カタログによる深部低周波地震 (微動) の震源位置と時空間分布。

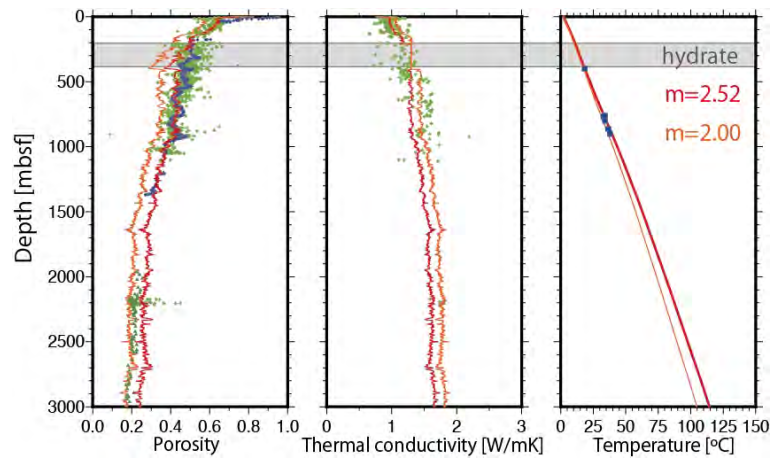


図 2

推定された空隙率・温度構造と測定値の比較．赤線と橙線は推定値．ただし，空隙率と電気伝導との変換式に現れるパラメーター  $m$  の値が異なる．緑の点は船上の実験室での測定値．青線は密度検層による測定値．青点は孔内に設置された温度計による測定値と BSR による推定値．灰色の領域はハイドレートの存在が確認されており，本手法による推定が不適切な領域．(Yabe et al., 2019)

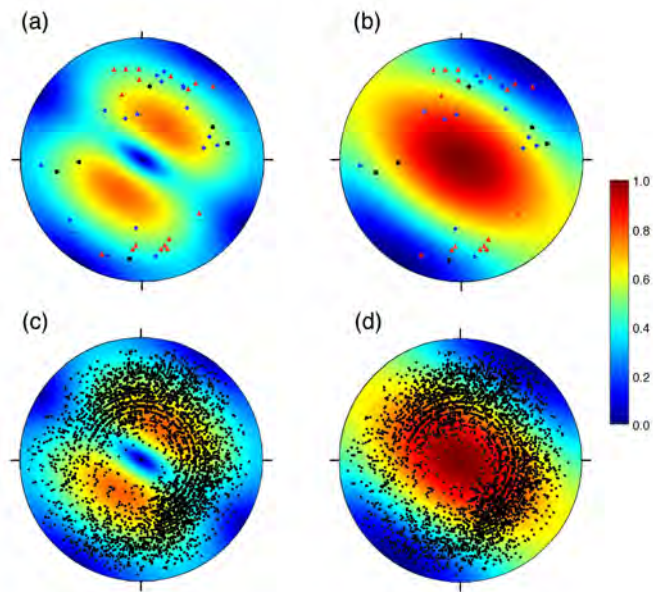


図 3

愛知県西尾市の観測井の応力場から計算した slip tendency 及び dilation tendency と亀裂の向きを重ね合わせた下半球等積投影図。(a) slip tendency と透水性亀裂 . (b) dilation tendency と透水性亀裂 . (c) slip tendency と全ての亀裂 . (d) dilation tendency と全ての亀裂 . 2 つの tendency において、tendency が高い領域と対応する向きの亀裂もあるが、それらの亀裂は必ずしも透水性亀裂ではなく、むしろそれらよりも低い値となる向きの亀裂が高い透水性を示す傾向である。(木口・桑原, 2019)

( 1 ) 実施機関名：

産業技術総合研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

噴出物の物質科学的解析に基づくマグマ供給系-火道システム発達と噴火推移過程のモデル化

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

(4) 火山現象の解明とモデル化

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

歴史時代及び地質時代に発生した大規模噴火の噴出物の層序及び分布の解析を実施し、後期更新世以降のおおよそ VEI>6 噴火の噴出物の分布及び噴火推移等のデータを取りまとめ公開した。阿蘇・始良カルデラ等の大規模火砕流噴火の噴出物の分布を再検討し、噴火規模の基礎データとなる噴出量の再計算を実施した。阿蘇等の大規模火砕流噴火を駆動したマグマ溜まりにおけるマグマの温度圧力組成変化等の条件およびその時間変化を岩石学的手法により解析し、大規模火砕流噴火のマグマ蓄積の準備過程について明らかにした。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

大規模火砕流噴火の推移予測のため、歴史時代及び地質時代に発生した大規模噴火の噴火推移をコンパイルした火山噴火推移データベースを整備する。大規模噴火の推移のパターン抽出とそのメカニズムを明らかにするため、大規模火砕流噴火の噴出物の岩石学的及び地質学的解析を実施し、マグマ溜まりの物理化学的進化過程、マグマの上昇と火道の形成過程、および噴煙・火砕流等地表における噴出物の挙動に対する解析を実施する。



( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

歴史時代及び地質時代に発生した大規模噴火の推移について、噴火推移をコンパイルした火山噴火推移データベースを整備する。時間分解能の高い歴史記録の残る主に19世紀以降の世界各地の噴火事例を収集したデータベースの作成を実施するとともに、噴出物の地質学的解析から得られる噴火推移情報を収集したデータベースを作成する。また噴出物の保存が良好な桜島・浅間山などで、噴火記録と噴出物の対比・噴出物の岩石学的解析による噴火推移の復元を進める。マグマ溜まりにおけるマグマの蓄積と噴火準備過程の解析のため、噴出物の岩石学的解析によるマグマ溜まり内の温度圧力化学組成等の条件の時間変化の解析を行う。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

歴史時代及び地質時代に発生した大規模噴火の推移について、噴火推移をコンパイルした火山噴火推移データベースの整備を進めた。時間分解能の高い歴史記録の残る主に19世紀以降の世界各地の噴火事例を収集したデータベースの作成を進めた。特に、21世紀に入ってから噴煙観測データが豊富な噴火の噴火推移に関する情報をコンパイルし、高時間分解能でのマグマ噴出率の時間変化などの特徴を比較した。

火山灰粒子の特徴から噴火状況を推測する情報を得るため、噴火状況が明らかな噴火の噴出物(火山灰粒子)の光学顕微鏡画像のデータ集を作成し、いくつかの噴火(新燃岳・三宅島)について公表した。また、火山灰粒子の産状・光学顕微鏡画像・電子顕微鏡画像・化学組成などを収録できるデータベースの構築を行い、試験運用を開始した。

マグマ溜まりにおけるマグマの蓄積と噴火準備過程の解析のため、噴出物の岩石学的解析によるマグマ溜まり内の温度圧力化学組成等の条件を推定した。始良カルデラの約3万年前のカルデラ形成噴火とそれに先行するいくつかのより小規模な噴火における噴出物の全岩・鉱物化学組成、ガラス包有物組成などから噴火前のマグマの化学組成、温度・圧力条件、含水量を推測した。その結果、カルデラ形成噴火以前の流紋岩マグマの貯留条件は、約100~150MPa, 750 程度, 含水量4~5%程度であったことが明らかになった。さらに、このマグマ溜まりの条件は大規模噴火に先立つ約3万年前以前から継続していた可能性が高いと考えられる。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

歴史時代及び地質時代に発生した大規模噴火の推移について、噴火推移をコンパイルした火山噴火推移データベースを整備する。時間分解能の高い歴史記録の残る主に19世紀以降の世界各地の噴火事例を収集したデータベースの作成を実施するとともに、噴出物の地質学的解析から得られる噴火推移情報を収集したデータベースを作成する。噴出物粒子の光学画像の特徴を掲載した噴出物カタログを主要な噴火について作成を進めるとともに、火山灰粒子の特徴や化学組成等を含む火山灰粒子のデータベースの作成を進める。噴出物のマグマ溜まりにおけるマグマの蓄積と噴火準備過程の解析のため、噴出物の岩石学的解析によるマグマ溜まり内の温度圧力化学組成等の条件の時間変化の解析を行う。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

活断層・火山研究部門

他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 活断層・火山研究部門

電話 :

e-mail :

URL :

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 下司信夫

所属 : 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

( 1 ) 実施機関名：

産業技術総合研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

アジア太平洋地域地震・火山ハザード情報整備

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

イ. 観測・解析技術の開発

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

5 研究を推進するための体制の整備

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

産総研地質調査総合センターの G-EVER 推進チームでは、平成 26 年度に、仙台市で開催された第 3 回国連防災世界会議のフォーラムの 1 つとして、「2015 アジア太平洋地域地震火山ハザード・リスク情報国際ワークショップ」を開催し、ユネスコ、CCOP、GEM、インドネシア、中国、ニュージーランド、ベトナム、台湾、シンガポール、イタリア、日本からの参加者と共に、アジア太平洋地域における地震火山のハザード・リスクに関する議論を行った (<http://g-ever.org/en/workshop/>)。平成 26 年～平成 28 年に、アジア太平洋地域地震火山災害情報図プロジェクトにおいて、アジア各国の地質調査機関 (PHIVOLCS、CVGHM、CEA、VAST、Academia Sinica) のメンバーと共に東アジア地域地震火山災害情報図を作成し、平成 28 年に出版を行った。ユネスコ傘下の世界地質図委員会の災害情報図の 1 つとして、世界の地質調査機関に広く配布された。この東アジア地域地震火山災害情報図は、M6 以上の地震の震源分

布、大規模地震の震源域、主要活断層の分布、大規模津波の分布、津波の最大到達高度、地震の犠牲者数とその要因、完新世火山の分布、大規模火山噴火 (VEI6 以上) の噴火による降下テフラ分布域、主要カルデラの位置、大規模火砕流の分布、大規模火山噴火による犠牲者数とその要因を地質図上に示している。地震及び火山の犠牲者数とその要因についてはアイコンを用いて分かりやすく表示している。平成 29 年度はこれらのデータの数値化 (GIS 化) を進め、アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システム上で閲覧検索ができるように整備を行った。データの大部分は GIS データとしてダウンロードが可能であり、QGIS や ArcGIS 等の各種 GIS ソフトウェア上で、他の関連データと組み合わせて利用することが可能である。活断層情報の閲覧システムとしては、フィリピン火山地震研究所 (PHIVOLCS) と共同で、フィリピン国内の活断層データをモバイルデバイス上で閲覧可能な "PHIVOLCS FaultFinder" を開発し平成 29 年度に一般公開をおこなった (<http://faultfinder.phivolcs.dost.gov.ph/>)。FaultFinder には、現在の地点から活断層までの距離を表示する機能や、地名検索を行い任意の地点から活断層までの距離を表示する機能などがある。世界中で約 80 万件のアクセスがあり、広く利用されている。また、G-EVER では、火山災害予測支援システムの構築を進めており、火山活動史、火山データベース、シミュレーションにより、火山のハザード予測支援のための仕組みを構築している。本システムでは、オンラインで全世界の火山について、エナジーコーン、Titan2D、Tephra2 を用いた、火山重力流や降下火山灰のハザード予測支援ができる (<http://volcano.g-ever1.org/>)。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

アジア太平洋地域の地震火山ハザード情報整備、国際標準化、データ共有・相互利用、国際的な連携の推進を目的として、アジア太平洋地域の研究機関と連携し、地震火山活動に関連する地質ハザード情報を取りまとめる。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

2019-23 年度は、インドネシア、フィリピン、パプアニューギニア、タイ、中国、韓国、シンガポール等の CCOP(東・東南アジア地球科学計画調整委員会) を始めとする、アジア太平洋地域の研究機関と連携し、地震火山総合データベースとして、地震・活断層・津波・火山関連のデータの整備・更新を行う。また、CCOP で進めている地質情報総合共有プロジェクトとの連携を図り、各国の地震火山の地質情報の国際的な共有化を進める。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

産総研地質調査総合センターでは、G-EVER 推進チームが中核となり、CCOP を始めとするアジア太平洋地域の研究機関と協力し、災害の軽減を目指し、各種災害情報の整備、データ交換・共有・分析のための国際標準化等を進めている。本年度は、東アジア地域地震火山災害情報図 (Takarada et al., 2016) に掲載できなかった内容を追加し、新たに東・東南アジア地域の津波分布域、震源域、活断層、地震犠牲者数、震源、大規模火砕流、カルデラ、降下テフラについてデータ整備を行い、一部を産総研地質調査総合センター研究資料集として公開した (石川, 2019; 松本, 2019; 宝田, 2019a, 2019b, 2019c)。これらのデータは、WebGIS の国際標準形式により、アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システム (<http://ccop-geoinfo.org/G-EVER/>) 上に掲載され、自在に閲覧検索ができる。ほとんどのデータは GIS 形式のファイルをダウンロード可能となっている。アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムのモバイル版 (<https://ccop-geoinfo.org/gever-mo/>) を完成させ、モバイルデバイス上で、東・東南アジア地域のハザード情報を閲覧検索できるようにした (Bandibas and Takarada, 2019a)。また、最寄りの断層までの距離が表示される機能を追加した。さらに、1995 年以降の近年の地震及び火山イベントのハザード関連情報 (イベントの概要、犠牲者の要因など) を取りまとめ、アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムで公開した。東・東南アジア地域の CCOP 各国と協力し、地震火山関連データを CCOP 地質情報総合共有システム (<https://ccop-gsi.org/main/>; Bandibas and Takarada, 2019b) に掲載した。さらに、アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムの内容を国際誌に掲載した。

今年度公開した大規模火砕流堆積物、降下テフラ、カルデラのデータの詳細は下記の通りである。

大規模火砕流堆積物: 東アジア地域地震火山災害情報図では、VEI 6 以上の主要な 12 の大規模火砕流堆積物分布の概略を示した。宝田 (2019a) では、東・東南アジア地域において、スミソニアン Volcanoes of the world 第 3 版 (Siebert et al., 2010) に示されている完新世及び更新世の巨大・大規模火山噴火の内、123 ka 以降の VEI 7 以上の噴火、及び 15.5 ka 以降の VEI 6 の噴火で発生した 24 の火砕流堆積物を取り上げた。ここでは、トバ 7.4 万年前噴火、白頭山 946 年噴火、タンボラ 1815 年噴火、リンジャニ・サマラス 1257 年噴火、阿蘇 4 噴火、阿蘇 3 噴火、始良-入戸噴火、鬼界-幸屋噴火、鬼界-長瀬噴火、阿多噴火、洞爺噴火、支笏 4.6 万年前噴火、屈斜路 I 噴火、屈斜路 IV 噴火、クラカタウ 1883 年噴火、バツール 2 万年噴火、バツール 2.9 万年前噴火、ラバウル 7 世紀噴火、ウイトリ-キンベ 2 噴火、ピナツボ 1991 年噴火 ( 図 1 )、ウルルン-隠岐噴火、摩周 7.5 ka 噴火、濁川 14.6 ka 噴火、十和田-八戸噴火による火砕流堆積物について、文献調査を行い、分布域を GIS データとして公開している。

大規模降下テフラ: 東アジア地域地震火山災害情報図では、VEI 6 以上の 14 の代表的な降下テフラの分布域を示した。宝田 (2019b) では、東・東南アジア地域において、スミソニアンの Volcanoes of the world 第 3 版に示されている完新世及び更新世の巨大・大規模火山噴火の内、国内を除く、74 ka 以降の VEI 7 以上の噴火、及び 10.2 ka 以降の VEI 6 の噴火で発生した 10 の降下テフラを取り上げた ( 図 2 )、トバ 7.4 万年前噴火、白頭山 946 年噴火、タンボラ 1815 年噴火、リンジャニ 1257 年噴火、クラカタウ 1883 年噴火、ラバウル 7 世紀噴火、ピナツボ 1991 年噴火、ロングアイランド 1660 年噴火、ウイトリ-キンベ 2 噴火、ウルルン-隠岐噴火の降下テフラについて分布域を作成し、GIS データとして公開している。

カルデラ: 東アジア地域地震火山災害情報図では、VEI 6 以上の 16 のカルデラの位置を示した。そこでは 1000 万分の 1 の小縮尺であることから、トバ以外のカルデラの形状は円で示していた。宝田 (2019c) では、東・東南アジア地域において、スミソニアンの Volcanoes of the world 第 3 版に示されている完新世及び更新世の巨大・大規模火山噴火の内、120 ka 以降の VEI 7 以上の噴火、及び 15.5 ka 以降の VEI 6 の噴火で形成された 26 のカルデラを取り上げた。ここでは、トバ ( VEI = 8 )、白頭山、タンボラ、リンジャニ・サマラス、タール、阿蘇、始良、鬼界、阿多、洞爺、支笏、阿寒、屈斜路 ( VEI = 7 )、クラカタウ、バツール、ピナツボ、ラバウル、ロングアイランド、ダカタウア、ウイトリ、ピリーミッチェル、ウルルン、十和田、濁川、摩周、萌消 ( VEI = 6 ) のカルデラを対象に、地形的なカルデラ縁の形状をトレースし、GIS データとして公開している ( 図 3 )。

これらのデータは、アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システム上で、閲覧・検索、ダウンロードができる。大規模火山の噴火イベントの影響評価等多方面に利用が可能である。

- ( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :
- Bandibas, J.C. and S. Takarada, 2019a, Mobile Application and a Web-Based Geographic Information System for Sharing Geological Hazards Information in East and Southeast Asia, *Journal of Geographic Information System*, **11**, 309-320 .
  - Bandibas, J.C. and S. Takarada, 2019b, Geoinformation Sharing System for East and Southeast Asia using SDI, OGC Web Services and FOSS, *International Journal of Geosciences*, **10**, 209-224 .
  - 石川有三, 2019, 世界の震源域の分布 -G-EVER アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムデータ 1/7 -, 産総研地質調査総合センター研究資料集. no. 667, 産総研地質調査総合センター, 1-10.
  - 松本 弾, 2019, 津波分布域 -G-EVER アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムデータ 2/7 -, 産総研地質調査総合センター研究資料集. no. 679, 産総研地質調査総合センター, 1-9.
  - 宝田晋治, 2019a, 東・東南アジア地域の大規模火砕流堆積物の分布 -G-EVER アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムデータ 3/7 -, 産総研地質調査総合センター研究資料集, no. 683, 産総研地質調査総合センター, 1-30.
  - 宝田晋治, 2019b, 東・東南アジア地域の大規模降下テフラの分布 -G-EVER アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムデータ 4/7 -, 産総研地質調査総合センター研究資料集. no. 684, 産総研地質





図 2 . 東南アジア地域の降下テフラの分布 ( フィリピン、インドネシア、パプアニューギニア周辺地域 ) 。  
 赤色のラインは給源のカルデラ、青色のラインは降下テフラの分布限界、紫色のラインは等層厚線を示す。



図 3 . 十和田カルデラ縁の形状。

( 1 ) 実施機関名：

東京大学大気海洋研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

巨大津波を引き起こす震源断層の実態解明と流体変動モニタリング

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

・紀伊半島沖 1944 年東南海地震の震源域で MCS 調査を行い、プレート境界断層から上方へ発達し、上盤プレートの付加体を完全に切断する巨大分岐断層のイメージングに世界で初めて成功した ( Park et al., Science, 2002 )。巨大分岐断層の構造的特徴や IODP 南海掘削の結果、この巨大分岐断層が津波発生に深く関わっていたことが考えられている。

・2011 年の東北沖地震津波災害以降、南海トラフにおいてもデコルマの地震性滑りによる大津波の発生が懸念されている。MCS データの反射極性 ( 負・正 ) 解析結果に ODP/IODP 深海掘削データを加えた詳しい分析で、東西 500 km 以上の南海トラフ浅部沈み込み帯は高間隙水圧デコルマ域と低間隙



水圧デコルマ域に分けられ、デコルマの津波地震挙動を示す新たな仮説を提唱した ( Park et al., GRL, 2014 )

・海水中のヘリウム同位体比 (  $3\text{He}/4\text{He}$  ) 分析で、2011 年の東北沖地震時に深部流体がプレート境界断層に沿ってマントルから海溝付近まで迅速に移動した可能性を示した ( Sano et al., Nat. Commun., 2014 )

・MCS データを用いる減衰構造解析を行い、南海トラフで沈み込む海洋プレート内部に発達する正断層群の詳細構造をイメージングするとともに、断層の活動性を評価した ( Tsuru et al., EPS, 2018 )

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

南海トラフや日本海溝において既存・新規のマルチチャンネル反射法地震探査 ( Multi-channel Seismic : MCS ) データおよび深海掘削 ( DSDP/ODP/IODP ) データを用い、巨大津波を引き起こす震源断層 ( (1) 巨大分岐断層、(2) デコルマ、(3) 大規模アウターライズ地震断層 ) の構造、流体分布、摩擦特性、減衰特性、間隙水圧などを高精度で明らかにする。特に、沈み込みインプットは巨大分岐断層とデコルマの発達過程や間隙水圧変動に最も大きく影響するため、沈み込む直前の深海堆積物と海洋性地殻の 3 次元形状を明らかにする。巨大分岐断層やデコルマに沿った地震性滑りの将来挙動を予測する上で、断層の物性変動の長期モニタリングは極めて重要である。断層の間隙水圧異常が巨大分岐断層やデコルマに沿った地震発生・破壊エネルギーの伝播に重要な役割を果たすと考えられるため、断層面付近の音響インピーダンスのコントラストを示す反射係数に着目し、反射係数から間隙水圧を推定する手法を新たに開発する。さらに、Time-lapse MCS 調査 ( 繰り返し観測により時間変化を捉える調査 ) により、反射係数 ( 間隙水圧 ) 変動のモニタリング手法を開発する。また、巨大分岐断層や大規模アウターライズ地震断層の海底付近堆積物と海水からヘリウム同位体比 (  $3\text{He}/4\text{He}$  ) を定期的に測定し、断層に沿った流体変動をモニタリングする。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

【平成 31 年度】

(1) 断層面付近の音響インピーダンスのコントラストを示す反射係数に着目し、反射係数から間隙水圧を推定する手法の開発に着手する。これは新しいチャレンジである。

(2) 過去に日本海溝や南海トラフで実施された MCS 調査の仕様を検討し、Time-lapse MCS 調査に最適な仕様を決定するため、事前調査モデリング ( Pre-survey Modeling ) を行う。

(3) 宮城沖日本海溝のアウターライズで高分解能 MCS データを取得する。MCS データの反射極性 ( 正・負 ) 分布をマッピングし、正断層に沿った流体分布を推定するとともに、正断層の反射係数 ( Warner, Tectonophysics, 1990 ) を求める。正断層の活動性や断層強度を評価するため、正断層付近の減衰特性 ( Tsuru et al., EPS, 2018 ) を推定する。また、大規模アウターライズ地震断層の付近でマルチプルコアラーによる表層採泥および CTD 採水を行い、海底堆積物試料と海水試料を採取する。希ガス専用質量分析計を用いて海底堆積物・海水試料に含まれる He ( ヘリウム ) を抽出し、He 濃度および同位体比 (  $3\text{He}/4\text{He}$  ) を測定する。

【平成 32 年度】

(1) デコルマの強い固着 ( Yokota et al., Nature, 2016 ) を示す四国の足摺岬沖南海トラフに直交する測線上で、デコルマを対象とする新規 MCS データを取得する。また、南海トラフ隣接の四国海盆で沈み込みインプットを対象に、トラフに平行する測線上で新規 MCS データを取得する。

(2) 既存の四国海盆 MCS データを用いた堆積層の岩相層序解析を行い、デコルマ相当層準をマッピングする。また、四国海盆の海洋性地殻最上部の 3 次元形状を求め、デコルマの発達過程において沈み込む海洋性地殻の影響を解明する。

(3) 既存の四国海盆 MCS データと深海掘削データとの統合解析を行い、堆積層の間隙率と間隙水圧を求め、デコルマ相当層準の剪断強度を明らかにする。

(4) 海底地形データと既存 MCS 断面図を用い、南海トラフ付加体の傾斜角度とデコルマの傾斜角度を

求めることで、Coulomb Wedge Theory に基づくデコルマの摩擦係数を推定する。

(5) 巨大分岐断層の海底面付近で海底堆積物試料と海水試料を採取し、He 濃度および同位体比 ( $3\text{He}/4\text{He}$ ) を測定する。

【平成 33 年度】

(1) 宮城沖日本海溝のアウトサイズで高分解能 Time-lapse MCS 調査を行い、大規模アウトサイズ地震断層の反射係数を求めることで、間隙水圧の時間変動を推定する。

(2) 大規模アウトサイズ地震断層の付近でマルチプルコアラーによる表層採泥および CTD 採水を行い、海底堆積物試料と海水試料を採取する。希ガス専用質量分析計を用いて海底堆積物・海水試料に含まれる He (ヘリウム) を抽出し、He 濃度および同位体比 ( $3\text{He}/4\text{He}$ ) を測定するとともに、平成 31 年度の測定値との比較を行う。大規模アウトサイズ地震断層に沿ったマントル起源流体のフラックスを推定し、大規模アウトサイズ地震断層の挙動について流体循環の影響を評価する。

【平成 34 年度】

(1) デコルマの強い固着 (Yokota et al., Nature, 2016) を示す四国の足摺岬沖南海トラフで高分解能 Time-lapse MCS 調査を行い、デコルマの反射係数を求める。平成 32 年度の MCS データから求めた反射係数 (間隙水圧) と比較し、デコルマに沿った間隙水圧の時間変動を推定する。

(2) 巨大分岐断層の海底面付近で海底堆積物試料と海水試料を採取し、He 濃度および同位体比 ( $3\text{He}/4\text{He}$ ) を測定する。平成 32 年度に測定した He 濃度および同位体比 ( $3\text{He}/4\text{He}$ ) と比較し、巨大分岐断層に沿った流体移動の時間変化を推定する。

【平成 35 年度】

(1) 宮城沖日本海溝のアウトサイズで高分解能 Time-lapse MCS 調査を行い、大規模アウトサイズ地震断層の反射係数を求める。平成 31 年度や 33 年度の MCS データから求めた反射係数 (間隙水圧) と比較し、大規模アウトサイズ地震断層に沿った間隙水圧の時間変動をモニタリングする。

(2) 大規模アウトサイズ地震断層の海底面付近で海底堆積物試料と海水試料を採取し、He 濃度および同位体比 ( $3\text{He}/4\text{He}$ ) を測定する。平成 31 年度や 33 年度に測定した He 濃度および同位体比 ( $3\text{He}/4\text{He}$ ) と比較し、大規模アウトサイズ地震断層に沿った流体移動の時間変化をモニタリングする。

(9) 令和元年度の成果の概要：

海溝の海側には、アウトサイズ (海溝外縁隆起帯) と呼ばれる、海洋プレートの屈曲によって生じる地形的高まりが一般的に認められる。アウトサイズではプレートの沈み込みに伴う屈曲により海洋プレート浅部に伸張応力場が生じ、海洋性地殻を断ち切る正断層群が発達することによりホルスト・グラベン (地壘・地溝) 構造が形成され、正断層型の地震 (アウトサイズ地震) が海洋プレート内部で発生する。巨大津波を引き起こす大規模なアウトサイズ地震は海溝型巨大地震の発生後に連動して発生することが知られている。日本海溝では、1896 年明治三陸地震 (海溝型巨大地震、M 8.5) の 37 年後に 1933 年昭和三陸地震 (大規模アウトサイズ地震、M 8.1) が発生し、津波災害による約 3000 名の死者が報告されている。一方、2011 年東北地方太平洋沖地震 (M 9.0) 後には大規模アウトサイズ地震が未だに起こっておらず、その切迫度が増している状況にあると考えられる。

2019 年 4 月、宮城沖や三陸沖日本海溝海側のアウトサイズでマルチチャンネル反射法地震探査 (「新青丸」KS-19-5 次航海) を実施した。合計 2 測線で (全長 150 km の測線 1 と全長 100 km の測線 5) マルチチャンネル反射法地震探査 (Multi-channel Seismic : MCS) データを取得した。MCS データを用いた重合前深度マイグレーション (Pre-stack Depth Migration) 処理の結果、ホルスト・グラベン構造を形成する多数の海底活断層 (アウトサイズ断層) の高解像度構造をイメージングした (図 1)。2019 年 8 月、「新青丸」KS-19-5 次航海で取得した MCS 測線上で採泥・採水調査 (「新青丸」KS-19-14 次航海) を実施した。同海底活断層周辺で採取した表層堆積物の間隙水中にマントル起源のヘリウム同位体 ( $3\text{He}/4\text{He}$ ) 異常を発見した。これは、アウトサイズ断層に沿ったマントル流体の上昇 (例：湧水) を示唆する。

なお、令和元年度の成果は本課題の 5 か年計画と一致する。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Jih-Hsin Chang, Jin-Oh Park, Tzu-Ting Chen, Asuka Yamaguchi, Tetsuro Tsuru, Yuji Sano, Ho-Han Hsu, Kotaro Shirai, Takanori Kagoshima, Kentaro Tanaka, and Chiori Tamura, *Geo-Marine Letters*, <https://doi.org/10.1007/020-00636-w>, 2020.

Hyunwoo Lee, Heejun Kim, Takanori Kagoshima, Jin-Oh Park, Naoto Takahata, and Yuji Sano, *Mantle degassing along strike-slip faults in the Southeastern Korean Peninsula*, *Scientific Reports*, 9, 15334, doi:10.1038/s41598-019-51719-3, 2019.

Tetsuro Tsuru, Kazuo Amakasu, Jin-Oh Park, Junichi Sakakibara, and Mamoru Takanashi, *A new seismic survey technology using underwater speaker detected a low-velocity zone near the seafloor: an implication of methane gas accumulation in Tokyo Bay*, *Earth, Planets and Space*, 71:31, <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1011-0>, 2019.

Ma Teresa Escobar, Naoto Takahata, Takanori Kagoshima, Kotaro Shirai, Kentaro Tanaka, Jin-Oh Park, Hajime Obata, and Yuji Sano, *Assessment of Helium Isotopes near the Japan Trench 5 Years after the 2011 Tohoku-Oki Earthquake*, *ACS Earth and Space Chemistry*, 3 (4), 581-587, DOI: 10.1021/acsearthspacechem.8b00190, 2019.

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

令和2年度には宮城沖や三陸沖日本海溝海側のアウトサイズでマルチチャンネル反射法地震探査を実施し、追加の高分解能反射法地震探査データを取得する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

朴進午、芦寿一郎、山口飛鳥、佐野有司、高畑直人、鹿児島涉悟  
他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学大気海洋研究所 国際・研究推進チーム

電話 : 04-7136-6009

e-mail : [iarp@aori.u-tokyo.ac.jp](mailto:iarp@aori.u-tokyo.ac.jp)

URL : <http://www.aori.u-tokyo.ac.jp/>

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 朴進午

所属 : 東京大学大気海洋研究所

## Kirchhoff Prestack Depth Migration (Line 1)

17

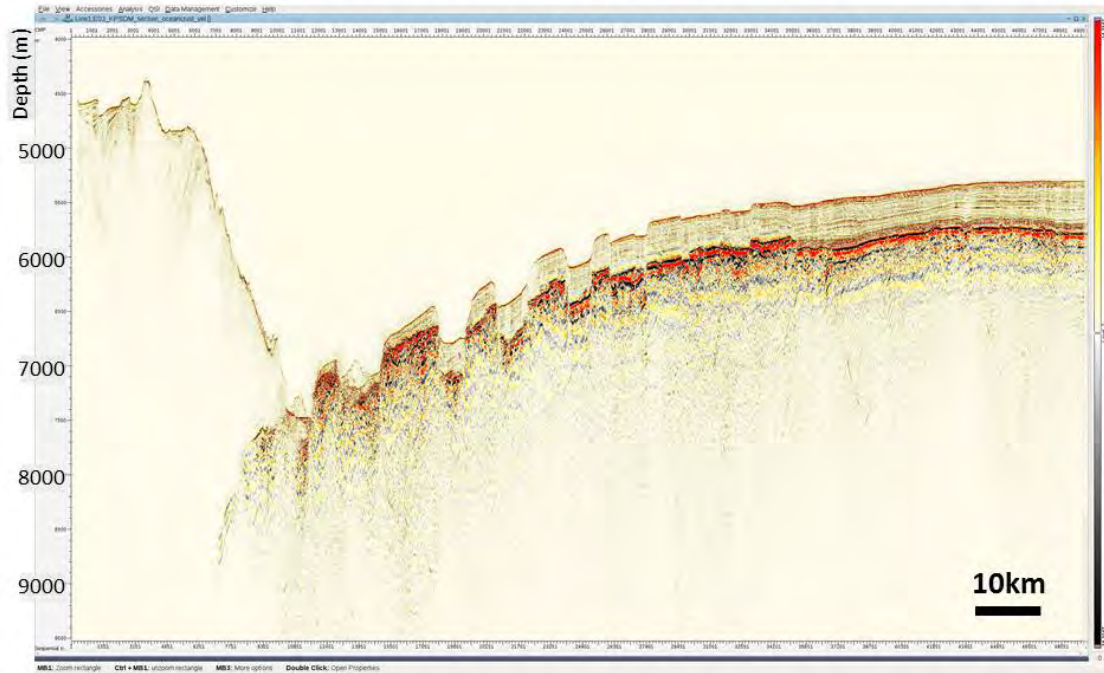


図1。三陸沖日本海溝海側のアウターライズ断層構造を示す重合前深度マイグレーション( Pre-stack Depth Migration ) 処理結果。

( 1 ) 実施機関名：

東京大学大気海洋研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地球物理・化学的探査による海底火山および海底熱水活動の調査

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(7) 次世代を担う研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

海水中に含まれる微量元素濃度や希ガス・軽元素の安定同位体を用いて、日本近海や外洋において海底火山や熱水活動の調査を数多く行なってきた。調査海域は日本近海では九州から南西諸島にかけての海域やマリアナ海底火山、外洋では東太平洋海膨、ファンデフカ海嶺、インド洋中央海嶺など大規模海底火山の観測実績がある。始良カルデラでは桜島の温泉水調査と合わせて、鹿児島湾北部に存在する若尊カルデラで観測を行なった。また鬼界カルデラに位置する薩摩硫黄島では島内および周辺の海域において温泉水や熱水プルームの調査を行なった。さらに、沖縄トラフの熱水活動域においても同様の調査を行なった。これらの観測結果は火山の平常時の情報を提供し、今後の継続的な調査において比較するための重要なデータとなる。さらに陸上では木曾御嶽山や箱根山、草津白根山の調査も継続的に行なった。

前計画の大きな成果としては、音響測深器による熱水プルームの調査を試み、新しい熱水活動域を発見した。具体的には、マルチビーム音響測深機を用いて、海底熱水活動のプロキシであるガスプルームを探査し、微地形解析と合わせて噴出点を推定した。そして CTD 観測を併用することで、海底火山の熱水活動を洋上から把握することに成功した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

海底火山の活動や噴火の可能性を把握する事は、都市の近くに存在する場合や船舶航行における防災に必要不可欠である。とりわけ鹿児島湾から南西諸島海域においては海底火山と関連づけられる熱水活動が水深の浅い海域に多く見られ、過去には噴火による津波被害も報告されている。しかし陸上に比べ海底の火山はほとんど観測されていないのが現状である。

本課題の目的は、陸上の火山・熱水系に比べると観測例が少ない海底熱水活動を評価する新たな手法を開発し火山の活動度を評価することであり、火山性ガスの強力な指標となるヘリウム - 3 を観測することで、火山噴火予知の研究に海洋地球化学の面からアプローチする。この手法は陸上火山の観測で成果をあげており、海底の火山に応用することが可能である。観測対象として日本近海の鹿児島湾から南西諸島海域および沖縄トラフとその延長にある島弧 背弧海盆系地域において、海底および陸上の火山・熱水活動を調査し、火山活動度の変化や新たな熱水活動域を明らかにすることを目標とする。比較のためにその他の火山海域や非火山性海域、陸上火山でも観測を行なう。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

火山性ガスの強力な指標となるヘリウム - 3 を中心とした、マグマ・熱水由来の成分の海底火山近傍の海水中の分布とその時系列変化を明らかにし、その分布を詳細な海底地形と比較する事で、海底火山の場所や活動度を把握する事を目的として調査を進める。合わせて近傍の火山島の温泉水に含まれるヘリウム - 3 などのマグマ由来成分の組成や放出量から火山の特性を把握する。海水や温泉水中での保存性が異なる元素を比較する事で活動的な放出源を特定し、成分増減の経時変化から活動度の変化を検出する事で噴火兆候の長期の変動把握に役立てる。本課題では特に鹿児島湾から南西諸島にかけての海域と近傍島嶼の陸上温泉において、温泉・熱水活動を調査するとともに、中央海嶺など他の海域の海底火山も対象とし、その性質の違いを調べることにより、日本の海底火山のより深い理解を目指す。

平成 31 年度については、継続的に調査している海域である南西諸島および鹿児島湾でこれまでに採取した海水試料の分析を進める。この調査を実施するために新青丸共同利用に応募済みである。平成 32 年度以降については、継続的に調査している海域において、火山性成分の経時変化が見られるかを検証する。公募による海洋調査船のシフトタイムが得られない場合には、陸上の調査を重点的に行う。最終的には平成 35 年度までに、ヘリウム - 3 を中心とする各種データを得て、火山活動が活発な海域の把握や活動度の経時変化把握に役立てるための一次情報を得る。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

今年度も新青丸の研究航海を申請していたが、残念ながら採択されず南西諸島海域の海底火山の調査は行えなかった。代わりに別海域の調査に参加した。調査対象は東北沖北太平洋アウターライズ海域で、深層海水および海底堆積物を採取した。調査した海域にはプチスポットと呼ばれる海底火山が存在し、その成因や活動についてはよくわかっていない。さらにアウターライズ地震が起こるとされる海底巨大断層にも着目し、海底火山と同じく深部流体の存在を調査した。その結果、堆積物中の間隙水からはマントル由来と考えられるヘリウムが検出され、これまでの常識を覆す結果が得られた。従来は日本海溝より海側の堆積物からはマントルヘリウムは見つかっていなかったが、プチスポットの存在と合わせてアウターライズ海域にはマントルからの物質の供給があることを示している。この航海では堆積物の採取に新たな手法を試しており、その試料採取や分析の手法は今後の海底火山の調査にいかせる。またヘリウムを用いて巨大断層における深部流体の動きを推定することができれば、本計画の他班と連携の可能性が見えてくる。

一方で、陸上火山の調査としては、木曾御岳周辺において温泉水の調査を行い、木曾御嶽山の火山活動について検討した。また、箱根火山において調査してきたヘリウムの観測結果をまとめ、火山性微動や噴火と化学成分変動との関係を学会誌に発表した。このことからヘリウムが長期的な火山活動評価に役立つことを示した。

- ( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Kagoshima, T., Y. Sano, N. Takahata, H. Lee, T. Lan and T. Ohba, 2019, Secular variations of helium and nitrogen isotopes related to the 2015 volcanic unrest of Mt. Hakone, central Japan. *Geochem. Geophys. Geosys.*, 20, doi:10.1029/2019GC008544  
Escobar, M., N. Takahata, T. Kagoshima, K. Shirai, K. Tanaka, J. Park, H. Obata and Y. Sano, 2019, Assessment of Helium Isotopes near the Japan Trench 5 Years after the 2011 Tohoku-Oki Earthquake. *ACS Earth Space Chem.*, 3, 581 - 587, doi: 10.1021/acsearthspacechem.8b00190  
Lee, H., H. Kim, T. Kagoshima, J. Park, N. Takahata and Y. Sano, 2019, Mantle degassing along strike-slip faults in the Southeastern Korean Peninsula. *Sci. Rep.*, 9:15334, doi:10.1038/s41598-019-51719-3  
Chen, A., C. Shen, T.B. Byrne, Y. Sano, N. Takahata, T.F. Yang and Y. Wang, 2019, Mantle fluids associated with crustal-scale faulting in a continental subduction setting, Taiwan. *Sci. Rep.*, 9:10805, doi: 10.1038/s41598-019-47070-2

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要：

継続的に調査している海底火山海域において、海水中のヘリウムやメタン、二酸化炭素を調査し、火山性成分の経時変化が見られるかを検証する。また無人島を含む陸上火山の噴気や熱水の分析を行い、それらの火山の活動度を評価する。並行して、これまでの観測で得られた海水および海底堆積物試料のヘリウムの分析を進め、海底火山活動の様子を探る。またアウターライズなどの海底巨大断層も調査対象に広げ、深部流体の動きを探る。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東京大学大気海洋研究所

他機関との共同研究の有無：無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学大気海洋研究所国際・研究推進チーム

電話：04-7136-6009

e-mail：iarp@aori.u-tokyo.ac.jp

URL：http://www.aori.u-tokyo.ac.jp/

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：佐野有司

所属：東京大学大気海洋研究所

( 1 ) 実施機関名：

千葉大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

電磁気学的な地震先行現象の総合的研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) 関連研究分野との連携強化

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

本課題は平成 30 年度まで実施された東海大学の課題 2501 を継続・発展させるものである。平成 26 年度には高知県に新規地震電磁気観測点を 2ヶ所設置し観測を開始した。また VLF 帯パルス電磁波観測装置を再興し、平成 30 年度では 5ヶ所で定常観測を実施している。また過去データの検証として VHF 帯電波伝播異常観測について北海道・襟裳観測点をモデルとして統計的な評価手法を提案した。

平成 27 年度には各種電磁気観測点を維持しながら、特に宏観異常と地震前の電離層全電子数(GNSS-TEC)変化に関する評価を実施した。また統計評価に関する"予測マップ"を用いた評価方法を提案し、実際に北海道・襟裳観測点の 10 年以上の観測データについて予測マップを作成し評価を行ったところ、先行時間を 4 日とした場合に最も高い確率利得が得られる事が判明した。また東北地方太平洋沖地震の直前 1 時間以内に観測された GNSS-TEC 変化に関するケーススタディを実施し、GNSS データが存在する 8 例のマグニチュード 8 以上の地震すべてで同様の現象が発生している事を確認した。



平成 28 年度には熊本地震が発生し、この地震に対して複数の手法による地震学的な解析を実施し、地震発生密度解析や静穏化解析で明瞭な準備過程が存在していた事を示す事に成功した。VHF 帯の電波伝播異常観測では、従来は見通し外伝搬を主な観測対象としてきたが、見通し内伝搬も有望である可能性のある事が判明した。また巨大地震直前の GNSS-TEC 研究においては、特に 2015 年にチリで発生した Illapel 地震で電離層の 3 次元トモグラフィを実施し、磁場に沿って低高度に正の異常が、高高度に負の異常が並んで生じる構造を見出した。

平成 29 年度においては、気象庁柿岡地磁気観測所の地磁気 3 成分データの統計解析が進み、Molchan Error Diagram (MED) 解析の結果として、確率利得が最大となったのは先行時間が 8 日で警告期間を 1 日とした場合に  $PG=2.3$  となる事が判明した。統計評価の研究では、 $M>6$  もしくは 7 に対して統計的に有意であることが示された。

平成 30 年度は特に本研究課題と関わりが深い、統計的に有意と判断される先行現象に特化した国際シンポジウムを初めて予知協議会主催という形で 5 月に実施した。VHF 帯電波伝播異常の統計的検出方法について、リアルタイムでの即時検出に応用できるようにその時点での異常検出基準を、その時点から過去 30 日のデータを使って算出し、異常判定を実施した。具体的にはその時点から過去  $x$  時間を振り返り、データ中  $y$  % 以上異常が検出されている場合に  $L$  日間継続して警報を出すことにした。その結果、過去  $x$  時間中 50 % 以上の異常で警報を ON にした場合には、その時点から過去 24 時間のデータを参照し、警報継続期間  $L$  を 3 日にしたときにもっとも良い結果が求まった。VLF 帯パルス電磁波観測は、現在中部地方の 5 点で連続観測を行っている。今年度は観測期間中かつ観測ネットワーク内で発生した最大の内地震であった 2017 年 6 月 25 日の長野県西部の地震 ( $M5.6$ ) の 2 日前に観測された電磁パルスについて詳細な解析を実施した。解析の結果、観測された 7 個信号のうちの 2 個は極めて波源が良く求まり、さらに観測波形も極めて類似していた。巨大地震直前の GNSS-TEC 異常について東北地方太平洋沖地震の前に観測された GNSS-TEC の異常は、今期の本研究課題の最大のトピックの一つであった。これまで北海道大学のグループは精力的に事例解析を実施してきたが、H30 年度はこの現象がはたしてより小さな地震を用いて統計的にも確認できるかどうか GEONET のデータを用いて検証した。1997 年以降、東北地方太平洋沖地震までに陸域近傍で発生した  $M5$  以上の地震 (279 個) を対象として解析した結果、地震直前の 4 時間前に弱いながら正のピークがある事が確認された。予察的な解析としては、 $M5$  から  $M7$  クラスの地震でも、地震直前に TEC の正の異常が存在していた可能性を示唆する結果である。

(7) 本課題の 5 か年の到達目標 :

地震に先行する様々な電磁気現象が報告され、そのうちのいくつかの観測パラメータについては統計的な有意性が示唆される論文が出版されるようになってきた。しかし、1 つの観測パラメータの解析では、現実的な予測の観点から、予測成功率が十分であるとはいえない。そこで、統計的な有意性を示す複数の観測パラメータを組み合わせることにより、短期・直前予測の実現に資する研究を実施し、前兆現象の発生や伝搬機構の理解を進める。

また、現在確認されている地震前兆現象として統計的な有意性を示す観測パラメータについて、他の観測点のデータ解析で検証するとともに、地震の規模や深さ、タイプ、時空間的な関係を調査する。前兆現象の物理機構を解明することに資する室内実験や観測研究を実施し、電磁気学的な先行現象発現メカニズムを定性的・定量的に検証する。また自前の観測データ以外に、既存の GNSS-TEC 等の他機関データの活用や、中国、台湾、米国、イタリア、ロシア等の研究者とも協力し、国際的に短期地震予測研究を実施する。

(8) 本課題の 5 か年計画の概要 :

本計画では、統計的な有意性を示す複数の観測パラメータを組み合わせることにより、短期・直前予測の実現に資する研究を実施する。そのために、前期の課題 2501 を継続しつつ、次の事項を実施する。(i) 地震に伴う電磁気現象を正確に捕捉する観測パラメータの調査と観測・データ蓄積、(ii) データ

解析法（予測精度の高度化（信号弁別や時系列データ処理などの信号処理法や統計的評価法）の開発、電磁気学的、力学的、地震学的データとの関連性評価、(iii) 室内実験やモデルによる地震電磁気信号発生 の物理機構解明、に資する研究を遂行する。(i) (ii) では研究期間全体を通して、衛星・地上マルチセンサネットワークによるリアルタイム監視システムの構築に資する調査研究を実施する。観測パラメータの検討とその統合（SensorWEB、ビッグデータ収集）、予測精度の高度化のための観測や解析技術などを調査・研究する。地上や衛星に搭載されたセンサによって、巨大地震の準備段階で発生する前兆的な異常変動を検知し、海溝部や内陸で発生する M7 クラス以上の地震に対して、確度の高い予測情報を出力するシステムの開発を国際共同研究として検討する。地震前兆的な現象を記録している観測パラメータ（ULF 電磁場、VLF/VHF 電磁場、電離層電子数 (GNSS/TEC)、衛星温度異常、GPS 地表変位、地震活動度、ラドン濃度等）の地震活動との統計的有意性および前兆性が示されるかどうかを調査検討し、その統合を目指す。また、その物理機構解明に資する調査研究も行う。観測項目は固定せず、研究開発の進展に応じて、追加や削除が可能な open なシステムとする。いずれの観測項目でも、観測網を良好に維持し、ケーススタディを積み重ねる。また、必要に応じて観測点周辺の比抵抗構造を測定し、また室内実験等を行い、先行現象の発現・伝搬メカニズムの理解を進める。前期の課題 2501 で作成を開始した第三者が評価可能な電磁気学的な先行現象データへアクセスをさらに充実させる。これらのため、先行現象研究が行われている ロシア、キルギス、フランス、中国、台湾、ギリシャ、米国、インド、イタリア等の研究者と連携し、各種既存のデータの発掘・再解析を実施する。

#### (1) 観測

- ・ ULF 帯、VLF 帯、VHF 帯電磁場観測を維持、短期予測に資するデータ収集（期間全体）
- ・ 地圏 大気圏 電離圏結合の観測学的研究のための観測装置の開発

地震に先行する TEC 異常の発生原因の 1 つと考えられている電場異常について観測学的に検証可能な装置を開発する。地中および地表付近の Rn 濃度や大気電場等を測定する。着手（初年度）テスト観測（2-3 年度）定常観測（3-5 年度）の予定。

#### (2) 解析

- ・ VHF 帯観測データについては、予測マップを作成し、統計的な評価を実施する。またリアルタイム解析システムを開発（1-3 年度を予定）
- ・ VLF 帯観測データについては、波源を自動解析するシステムを構築する（1-2 年度を予定）
- ・ GNSS-TEC 解析では、Heki が指摘している直前変動の統計解析に着手（初年度）し、成果をまとめる（2-3 年度）。また GNSS-TEC 解析の数日前の日変化パターンについては、地磁気擾乱日を考慮した前兆性の評価に着手（初年度）し、Molchan Error Diagram 等で評価する（2-3 年度）。準リアルタイム解析システムを開発（3-4 年度）
- ・ イオノゾンデデータの解析による電離圏電子密度変動と地震との相関の調査（1-3 年度）
- ・ 電離圏トモグラフィによる電離圏電子密度変動の可視化と変動予測（1-5 年度）
- ・ 新規観測パラメータの統計的有意性や前兆性評価の検証（随時）
- ・ 電磁気学的、力学的、地震学的データとの関連性評価（随時）
- ・ 各種パラメータの組み合わせによる予測成功確率の変動の調査（2-5 年度）
- ・ 海外で報告されている衛星観測データ地震前兆現象の検証に着手する（衛星熱赤外データ（TIR：ひまわりや LEO データなど）、In-situ プラズマ計測データ/電磁場データ SWARM 衛星、中国張衡 1 号など：初年度）統計的有意性や前兆性評価の検証（2 年度～）
- ・ slowslip に関する電磁気データの検討開始（3-5 年度）

#### (3) 室内実験および計算機実験

- ・ 地殻電磁場発生モデルの構築と電離層電子密度変化のシミュレーションを実施し、地震前の TEC 異常現象の物理の解明。コード開発（1-4 年度）Heki-TEC 異常モデル構築検討（5 年度）
- ・ 地殻温度条件下における応力誘起岩石分極実験の実施（1-3 年度）。その結果を用いて、モデルの定量的検証（3-4 年度）Heki-TEC 異常モデル構築検討（5 年度）

#### (4) 国際ワークショップの開催。

5 年度の前半に本研究開発の成果と国際動向を調査するため日本で国際ワークショップを開催する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

本課題は平成 30 年度まで実施された東海大学の課題 2501 を継続・発展させるものである。本年は、初年度のため課題 2501 の継続観測以外に新規に取り組んだ事項の概要を報告する。

(1) 観測

・地圏 大気圏 電離圏結合の観測学的研究のための観測装置の開発

地震に先行する TEC 異常の発生原因の 1 つと考えられている電場異常について観測学的に調査するラドン観測装置のプロトタイプを房総・旭観測点で運用中であったが、実機が運用可能となり、地中および地表付近の Rn 濃度や大気電場観測点を茨城・美浦に新たに 1 か所整備 (図 1 参照) した。旭観測点から利根川沿いに北西約 50km の地点である。令和元年 9-10 月の房総半島台風および東日本台風の影響で、予定より半年遅れの設置となり、令和 2 年度から旭観測点と同様に ULF 電磁場、大気および地中ラドン濃度、大気電場等の複合パラメータのテスト観測および定常観測を開始予定である。

(2) 解析

A. イオノゾンデデータの解析による電離圏電子密度変動と地震との相関の調査 ( 1-3 年度を予定 )

近年、地震に先行する電離圏電子数異常の報告が多くされている。例えば、Kon et al., 2011 では、日本上空における電離圏総電子数 (TEC) は浅い  $M > 6$  の地震 1-5 日前に正の有意相関があることを示した。しかし、GNSS データは 1990 年代以降しか存在しない。そこで、1958 年以降の長期にわたるデータの存在する地上の電離圏観測機器であるイオノゾンデに注目し、電離圏の最大電子密度 (NmF2) とその高度 (hmF2) について地震との相関解析を行った。NmF2 と hmF2 について前 15 日間の中央値と四分位範囲 (IQR) を用いて、観測値が中央値+1.5IQR、または中央値-1.5IQR を超える場合、異常と定義した。また、電離圏擾乱は地磁気擾乱によっても発生する。したがって、地磁気擾乱に起因する電離圏異常の特徴を調査し、そのデータを取り除いた。イオノゾンデから半径 1000 km および半径 350 km 以内で発生した  $M \geq 6$ 、深さ  $\leq 40$  km の地震を解析対象とした。統計解析の手法は Superposed Epoch Analysis (SEA) である。SEA の結果から、NmF2 は半径 1000 km 以内では地震前 6-10 日間、半径 350 km 以内では地震前 1-10 日間の正の有意な異常を示した (図 2 参照)。hmF2 については有意な異常はなかった。さらに、Molchan 's Error Diagram (MED) 解析を適用し、NmF2 の前兆性の評価を行った。MED 解析を最も有意な異常を示した 5 日カウントで 6-10 日前、1 日カウントでの 7 日前に適用した。その結果、どちらとも前兆性を示す結果を得た。

次年度以降は地震のパラメータ変更や NmF2 の異常のパラメータを変更して、統計的な傾向を詳細に調査する予定である。

B. 電離圏トモグラフィーによる電離圏電子密度変動の可視化と変動予測 ( 1-5 年度を予定 )

地震に先行する電離圏電子数の発生物理メカニズムは未解明である。物理機構を推定するために、電離圏電子分布の 3 次元構造を理解することは重要である。Hirooka et al., 2012 では、擾乱電離圏に適用可能な、ニューラルネットを用いた非線形電離圏トモグラフィーを開発し、GEONET データに適用してきた。しかし、この手法は夜間に TEC データの SN 比が低下すると電子密度分布の推定が不安定となる欠点があった。地震先行電離圏異常は昼夜問わず継続的に発生している。したがって、電離圏電子分布の継続的な再構成が可能な電離圏トモグラフィーの開発に着手した。本研究では、Phillips-Tikhonov 正則化法とカルマンフィルタを適用した 2 種類の異なる手法で行う。前者は初期モデルフリー、校舎は IRI モデルを初期モデルとする。現在はアルゴリズム有効性の検証中である。

C. 地中ラドン濃度データの解析 ( 1-5 年度を予定 )

千葉県旭市で観測している地中ラドン濃度と、地殻変動との関係を調査した。浅い地中ラドン濃度は気象要素の影響を受けるため、地殻変動との関係を調査するためには気象の影響を除去する必要がある。本論文では、マルチチャンネル特異スペクトル解析を地中ラドン濃度、気温、気圧の 3 チャンネルに適用し、気象要素の影響を除去し、地中ラドンフラックスを推定している。推定したラドンフラックス変動と観測点近傍の地震活動との関係について、累積地震モーメントと Es 指数を用いて調査

した結果、旭観測点直下で地震が発生した数日前に地中ラドンフラックスの 3 を超える異常を示した(図 3 参照)。これらの地震は太平洋プレート上盤付近にて逆断層で発生しているという特徴があった。これらのことから、地震準備過程における応力集中によって地表付近の上向きへの地下ガスの流量が増加すると考えられる。地中ラドンフラックスの変動モデルと観測点の応力変化との関係について調査を行った。本研究では、国土地理院の F3 解を用いて面積ひずみを求め、地中ラドンフラックスの変動との関連について調査した。その結果、地中ラドンフラックスは、弾性圧縮に対して増加し、弾性膨張に対して減少する傾向がみられた。地中ラドンフラックスの変動は、地殻の応力変化に感度をもつことが示唆され、前兆すべりの大きな巨大地震やスロースリップ地震に対して有効な指標となる可能性があることがわかった。今後は、地殻変動との関連をさらに詳細に調査するとともに、ラドン観測点を 2 か所増強し、同様な傾向がみられるかどうかを検証する。

#### D. 日本における b 値の時空間変化の統計的検定と地震予測 (1-5 年度を予定)

大地震発生の前に b 値が減少することが数多く報告されている。しかし、 $M_c$  の決め方や b 値の推定誤差など、b 値変動について定量的に評価することは困難であった。本論文では、これらの点を改善するために、(1)GR 則に従う最小の M である  $M_c$  の時間変化を考慮した b 値解析、(2)地震活動の参照期間と対象期間の b 値の差異を赤池情報量基準を用いて客観的に評価するパラメータ P 値を導入した b 値解析、を併用する手法を開発した。ここで P 値について簡単に説明する。モデルの差の有意性は  $AIC = AIC_1 - AIC_2$  を用いて評価でき、 $AIC > 2$  となれば、モデル 1 とモデル 2 は有意に違っているとされる。本研究では、地震参考期の地震をブートストラップ法でリサンプルし、地震参照期の代表 b 値を 1000 個求める。対象期間の b 値、参照期間の代表 b 値との  $AIC$  値をそれぞれに算出し、 $AIC$  が 2 以上になる個数をカウントし、その割合を P 値 ( $P = AIC > 2$ ) と定義しり。つまり、P が大きいほど、参照期間と対象期間の b 値の違いが大きい判断する。

開発した手法を 2003 年十勝沖地震  $M8.0$  と 2011 年東北沖地震  $M9.0$  の海溝型巨大地震と 2008 年中国四川地震  $M8.0$  と 2016 年熊本地震  $M7.3$  の内陸巨大地震に適用し、事例解析を行った。その結果、海溝型地震について、両者とも地震の数か月～数年前から b 値の継続的な低下が見られ、本震の 1~3 か月前に P 値が著しく上昇することがわかった。図 4、5 に 2011 年東北地震の結果例を示す。内陸型地震については、四川地震では、b 値の長期的な低下がみられ、震源域における P 値が地震の 3 か月前から大きな上昇し、熊本地震では、b 値減少は解析期間中に数回あり、P 値の上昇と b 値減少が同時に発生した回数は 2 回で、そのうち 1 つは本震の 3 か月前から、もう 1 つは阿蘇山の火山活動による火山性地震による擾乱であることがわかった。すなわち、参照期間との差異を表す P 値の増加が地震活動の変化の客観的な変化を示し、海溝型地震、内陸地震とも数か月前から b 値の減少と P 値の増加を示すことがわかった。今後日本をグリッド化し、b 値および P 値の時空間変動のリアルタイム監視のスキームを構築する。

#### E. 海外の研究者との共同研究

- (a) 中国地震電磁気衛星 (CSES1) データを用いた 2018 年インドネシア・ロンボク島付近の地震に関連する 500km 高度の電離層電子数の試験解析 (中国国家地震局)
- (b) ひまわりデータを用いた熱赤外温度変動と地震との相関解析 (イタリア・バシリカータ大学)
- (c) 衛星を用いた電離圏電子異数変動と津波に関する研究に着手 (台湾国立中央大学)
- (d) 中国 Lushan 地震について震央近傍の歪データからの大気圧、水位、潮汐等の変動の除去し、地殻変動 (地殻応力の変化) に起因する歪変動を推定する手法の開発に着手 (中国吉林大学)
- (e) 地電位差データの長期統計解析に着手 (台湾国立中央大学)

#### (3) 室内実験および計算機実験

ULF 電磁波変動の物理機構解明のための水槽実験と自然電位トモグラフィーの開発

#### (4) 国際ワークショップ等の企画・開催。

本費用は使用していないが、情報収集および最終年度の WS 開催にむけて、既存学会等でセッションを企画・実施した。

- a. JPGUにおける国際セッション Interdisciplinary studies on pre-earthquake processes (幕張メッセ、2019年5月30日。講演数：口頭12件、ポスター8件)
- b. 6<sup>th</sup> Int'l Workshop on Earthquake Preparation Process (2019年5月31日-6月1日、千葉大学、口頭31、ポスター16件、参加者約70名(海外からの参加30名))

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

- Tramutoli, T., F. Marchese, A. Falconieri, C. Filizzola, N. Genzano, K. Hattori, M. Lisi, J.-Y. Liu, D. Ouzounov, M. Parrot, and S. Pulinet, 2019, Tropospheric and ionospheric anomalies induced by volcanic and Saharan dust events as part of geosphere interaction phenomena, *Geosciences*, **9**(4), 177, doi:10.3390/geosciences9040177.
- 大村潤平・大山佳織・韓 鵬・吉野千恵・小島春奈・服部克巳・下 道國・小西敏春・古屋隆一・山口弘輝, 房総半島における大気電気パラメータの観測, 2019, *Journal of Atmospheric Electricity*, **38**, 37-52.
- Liu, J.-Y., C.-Y. Lin, Y.-L. Tsai, T.-C. Liu, K. Hattori, Y.-Y. Sun, and T.-R. Wu, 2019, Ionospheric GNSS total electron content for tsunami warning, *Journal of Earthquake and Tsunami*, **13**, 05n06, 1941007, doi:10.1142/S1793431119410070.
- Kono, A., T. Sato, M. Shinohara, K. Mochizuki, T. Yamada, K. Uehira, T. Shinbo, Y. Machida, R. Hino, and R. Azuma, 2020, 2D spatial distribution of reflection intensity on the upper surface of the Philippine Sea plate off the Boso Peninsula, Japan, *Tectonophysics*, **774**(5), 228206, doi:10.1016/j.tecto.2019.228206.
- Iwasaki, T., N. Tsumura, T. Ito, K. Arita, M. Makoto, H. Sato, E. Kurashimo, N. Hirata, S. Abe, K. Noda, A. Fujiwara, S. Kikuchi, and K. Suzuki, 2019, Structural heterogeneity in and around the fold-and-thrust belt of the Hidaka Collision zone, Hokkaido, Japan and its relationship to the aftershock activity of the 2018 Hokkaido Eastern Iwate Earthquake, *Earth Planets Space*, **71**, 103, doi:10.1186/s40623-019-1081-z.
- Kakinaka, S. and K. Umeno, 2020, Characterizing Cryptocurrency Market with Levy's Stable Distributions, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **89**, 024802, doi:10.7566/jpsj.89.024802.
- Goto, S., R. Uchida, K. Igarashi, C. H. Chen, M.-H. Kao, and K. Umeno, 2019, Pre seismic ionospheric anomalies detected before the 2016 Taiwan earthquake, *J. Geophys. Res.: Space Physics*, **124**(11), 9239-9252, doi:10.1029/2019JA026640.
- Nanjo, K.Z., J. Izutsu, Y. Orihara, M. Kamogawa, and T. Nagao, 2019, Changes in Seismicity Pattern Due to the 2016 Kumamoto Earthquakes Identify a Highly Stressed Area on the Hinagu Fault Zone, *Geophys. Res. Lett.*, **46**(16), 9489-9496, doi:10.1029/2019GL083463.
- Orihara, Y., M. Kamogawa, Y. Noda, and T. Nagao, 2019, Is Japanese folklore concerning deep-sea fish appearance a real precursor of earthquakes?, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **109**(4), 1556-1562, doi:10.1785/0120190014.
- Kamogawa, M., K.Z. Nanjo, J. Izutsu, Y. Orihara, T. Nagao, and S. Uyeda, 2019, Nucleation and Cascade Features of Earthquake Mainshock Statistically Explored from Foreshock Seismicity, *Entropy*, **21**(4), 421, doi:10.3390/e21040421.
- Osawa, Y., Y. Ogura, and K. Motojima, 2019, Statistical relation between earthquakes and radiation dose increments at the radiation monitoring post, *Journal of Atmospheric Electricity*, **38**(1).

(11) 令和2年度実施計画の概要：

(1) 観測

- ・ ULF帯、VLF帯、VHF帯電磁場観測を維持、短期予測に資するデータ収集。
- ・ 地圏 大気圏 電離圏結合の観測学的研究のためのデータ蓄積  
地震に先行する TEC 異常の発生原因の1つと考えられている電場異常について観測学的に検証可能

な装置を開発する。地中および地表付近の Rn 濃度や大気電場等を測定する。新規観測点（つくばを予定）設置、テスト観測の開始、定常観測。

## (2) 解析

・ VHF 帯観測データについては、予測マップを作成し、統計的な評価を実施する。またリアルタイム解析システムを開発。

・ VLF 帯観測データについては、波源を自動解析するシステムを構築する。

・ GNSS-TEC 解析では、Heki が指摘している直前変動の統計解析を実施し、成果をまとめる。また GNSS-TEC 解析の数日前の日変化パターンについては、地磁気擾乱日を考慮した前兆性の評価の調査を継続し、Molchan Error Diagram 等で評価する。

・ イオノゾンデデータの解析による電離圏電子密度変動と地震との相関の調査の継続。

・ 電離圏トモグラフィーによる電離圏電子密度変動の可視化と変動予測の継続。

・ 日本における b 値の時空間変化の統計的検定と地震予測の調査の継続。

・ 新規観測パラメータの統計的有意性や前兆性評価の検証の継続。

・ 電磁気学的、力学的、地震学的データとの関連性評価の継続。

・ 各種パラメータの組み合わせによる予測成功確率の変動の調査。

・ 特異スペクトル解析による時間領域の雑音除去手法の開発

・ 海外で報告されている衛星観測データ地震前兆現象の検証の継続（衛星熱赤外データ（TIR：ひまわりや LEO データなど、In-situ プラズマ計測データ/電磁場データ SWARM 衛星、中国張衡 1 号など）、統計的有意性や前兆性評価の検証

## (3) 室内実験および計算機実験

・ 地殻電磁場発生モデルの構築と電離層電子密度変化のシミュレーションを実施し、地震前の TEC 異常現象の物理の解明。コード開発の継続。

・ 地殻温度条件下における応力誘起岩石分極実験の実施。

・ ULF 電磁波変動の物理機構解明のための水槽実験と自然電位トモグラフィーの開発の継続

## (4) 国際ワークショップの開催。

情報収集および最終年度の WS 開催にむけて、既存学会等でセッションを企画・実施する。

a. JPGU における国際セッション Interdisciplinary studies on pre-earthquake processes（幕張メッセ、2020 年 5 月 28 日予定）

b. 7<sup>th</sup> Int'l Workshop on Earthquake Preparation Process（千葉大学、2020 年 5 月 29 日-30 日予定）

## (12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

千葉大学：大学院理学研究院 服部克巳、佐藤利典、津村紀子

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学：橋本武志、日置幸介

東京大学地震研究所：中谷正生、上島誠、小河勉

京都大学防災研究所：吉村令慧

京都大学大学院情報学研究科：梅野健

九州大学：松島健、相澤広記

大阪大学：山中千博

東海大学：長尾年恭、織原義明

静岡県立大学：鴨川仁

群馬大学：本島邦行

中部大学：井筒潤

高知工科大学：山本真行

## (13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：千葉大学大学院理学研究院

電話：043-290-2801

e-mail：

URL：

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：服部克巳

所属：千葉大学大学院理学研究院

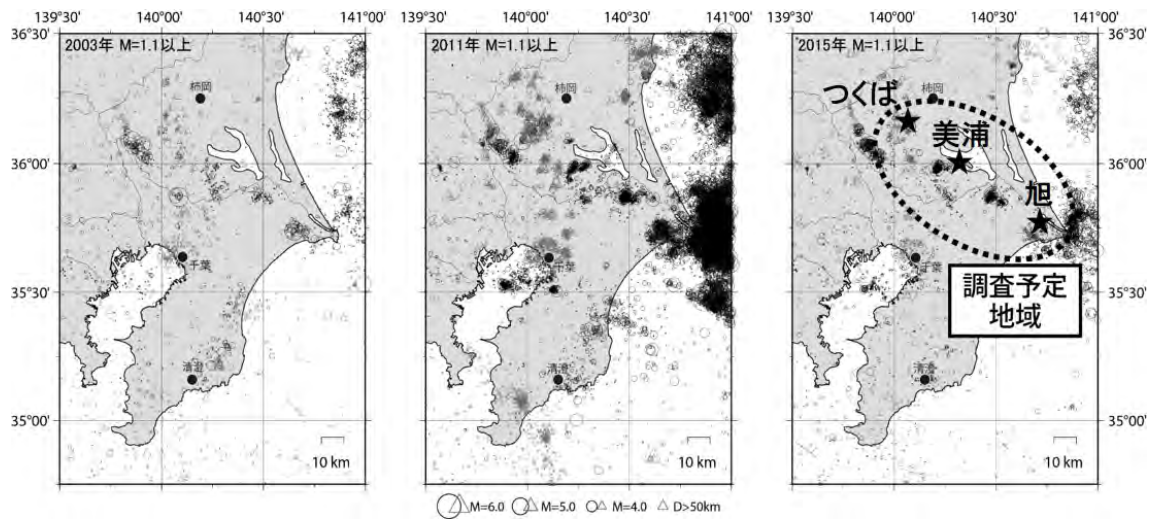


図1 地中ラドン濃度ネットワーク観測と地震活動度の変化

(左：2003年(2011年東北地震前) 中：2011年 右：2015年(2011年東北地震後))、旭(既存観測点)、美浦(R1年度に設置した観測点)、つくば(R2年度設置候補地)。



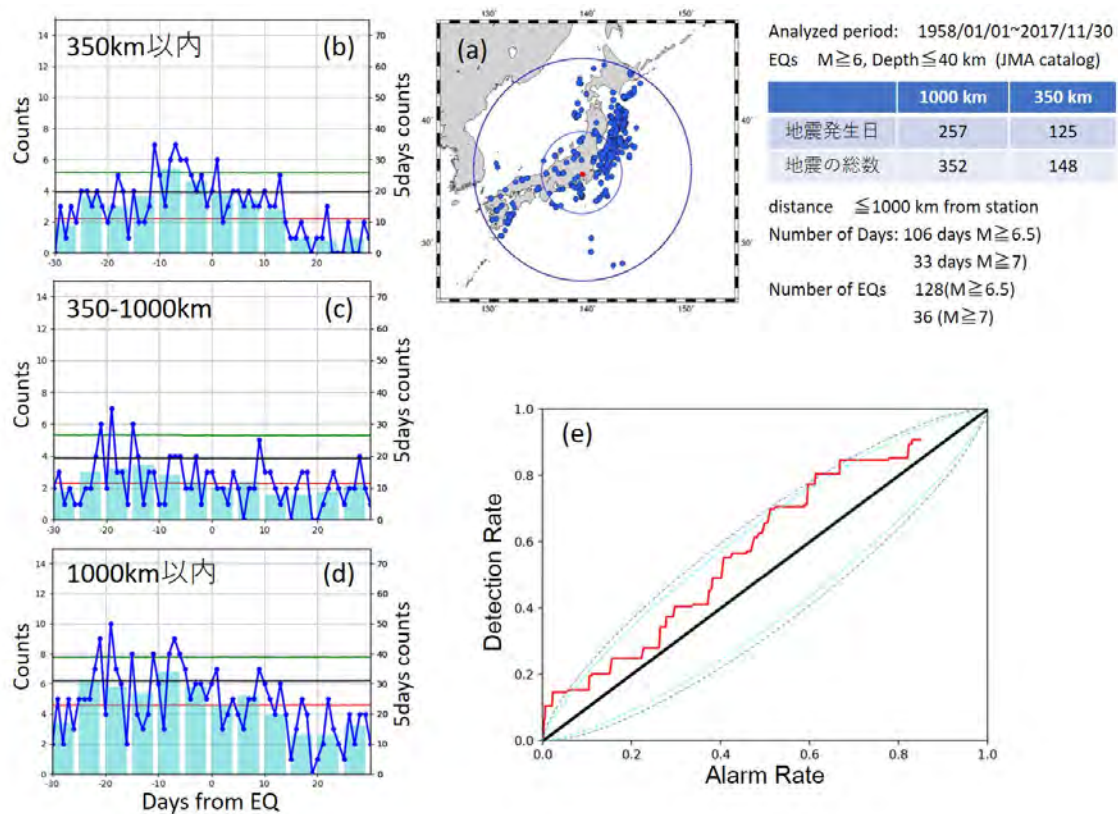


図2 国分寺イオノゾンの統計解析結果 (1958/01/01 2017/11/30)

(a) 統計解析対象地震 イオノゾンデから 350km 以内、1000km 以内

(b) SEA 解析による統計的有意性の調査結果 (350km 以内)。緑線：5 日間カウントの有意レベル、黒線：1 日カウントの有意レベル、赤線：5 日カウントのランダム平均。5 日間カウントでは半径 350 km 以内では地震前 1-10 日間の正の有意な異常を示した

(c) SEA 解析による統計的有意性の調査結果 (350-1000km 以内)。有意性なし。

(d) SEA 解析による統計的有意性の調査結果 (1000km 以内)。5 日間カウントにおいて半径 1000 km 以内では地震前 6-10 日間において正の有意な異常を示す。

(e)  $\alpha=5$ ,  $L=5$ (先行時間 5 日、警告期間 5 日) に対する Molchan 's Error Diagram 解析の結果。水色と青色の点線は 90%および 95%信頼区間。



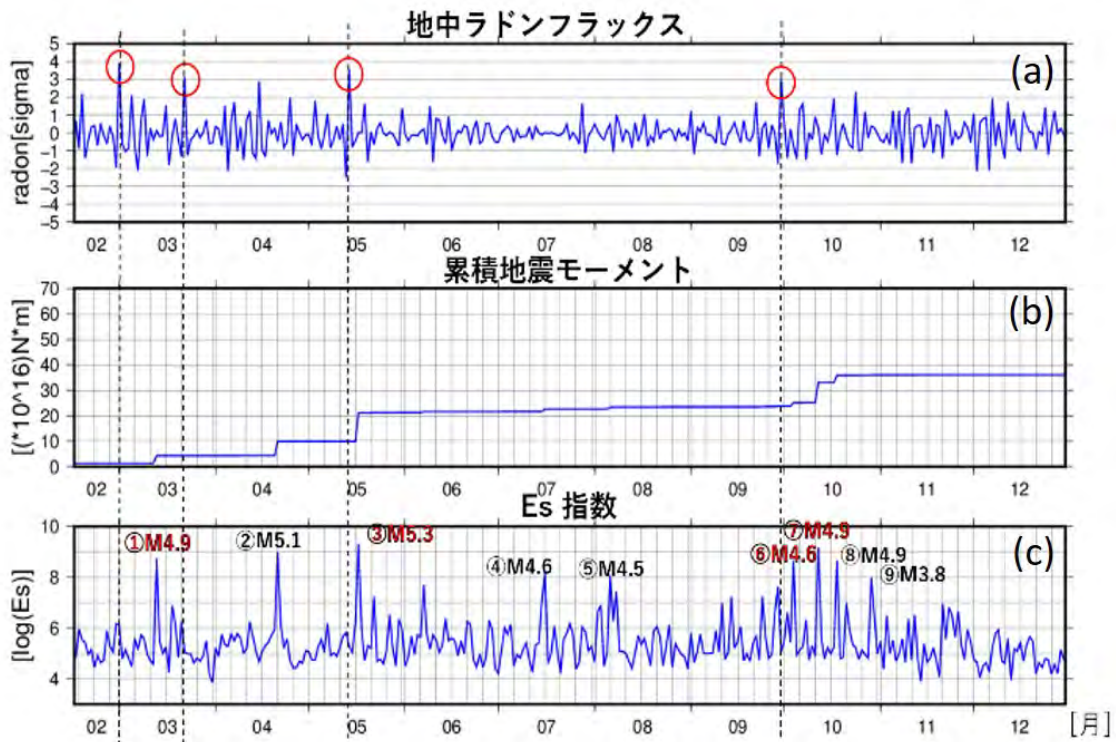


図3 旭観測点における地中ラドンフラックスの変動と旭観測点から半径 50km で発生した地震活動の関係 (2018 年 2 月 13 日 ~ 2018 年 12 月 31 日)

(a) 規格化された 1 日積算値の Rn フラックス、(b) 累積地震モーメント、(c) Es 指数 (1 日あたりに観測点を感じる地震エネルギー)

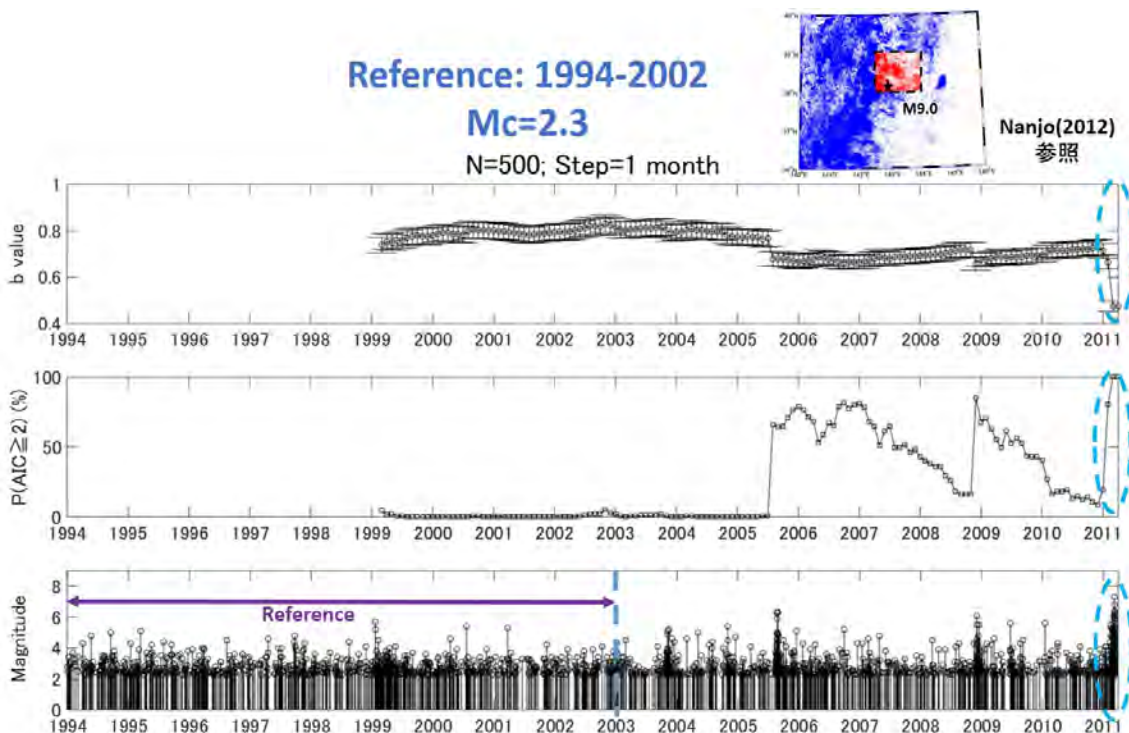


図4 2011 年東北地震の b 値、P 値変化 (1998-2011 年地震直前まで)

# 結果一東北地震

Reference: 1994-2002

N=500; Step=1 day

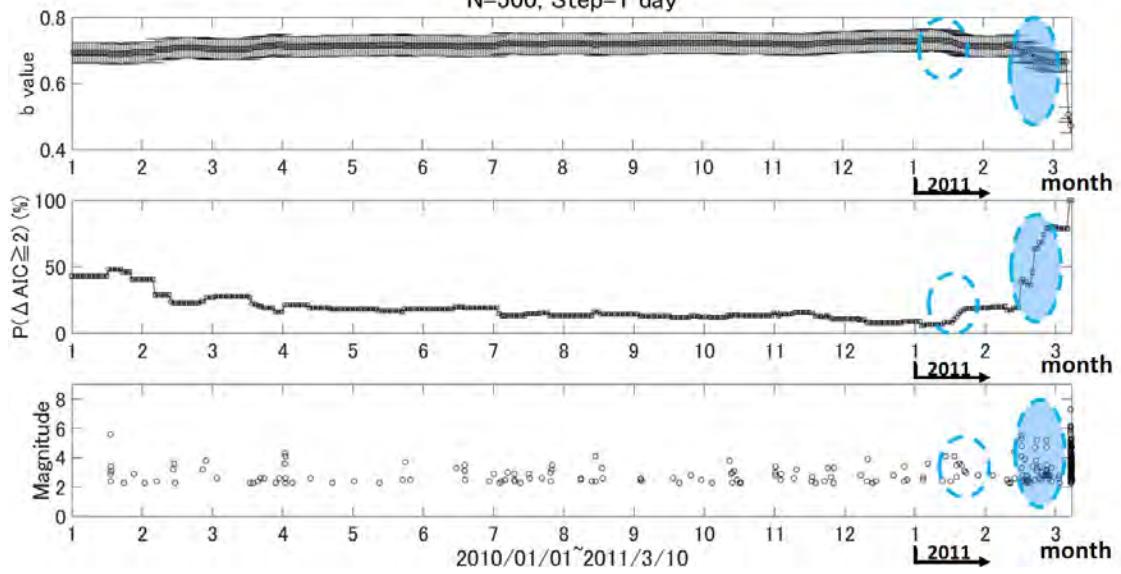


図5 2011年東北地震のb値、P値変化(2010年1月1日から2011年3月10日まで)

( 1 ) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

巨大地震のリスク評価の不確実性に関するパラダイム構築の推進

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

イ. 津波の事前評価手法

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

イ. 津波の即時予測手法

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(4) 関連研究分野との連携強化

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

【提案の背景】標準的な地震リスク評価手法では、震源・波動伝搬・地盤増幅・建物応答・直接的被害・社会的影響に関する研究分野からの知見を統合して、リスクが評価されるが、各研究分野に対応するそれぞれのモジュールに存在する複数モデルの組み合わせることでリスクカーブ群が得られることになる。すなわち、地震リスク評価には、モデルそのもののばらつきのみならず、モデルの相違によるばらつきが伴っている可能性がある。平成 30 年度までにはこの点について検討するために、各研究分野に存在する多くのモデルをプラットフォームに組み込み、系統的に地震リスクを評価した。その結果、現在一般的に行われている地震リスク評価には非常に大きなばらつきを内包していることを示した。

【現状の問題点】モジュールごとのモデルの数やばらつきがモデル依存であることから、複数モデルを考慮したときのばらつきの違いを公平に評価する統一的な手法が確立されていない。また、より詳細な計算手法をプラットフォームに組み込むためには、用いるモデルが詳細化するため、モデルごとのばらつきの比較が困難となることが予想される。

【本研究での課題】モデルを変えたときのばらつきの公平な比較について検討する。ばらつきの評価は、リスク評価に関する不確実性を示すには不可欠であり、リスク評価プラットフォームの高度化はそれに資する情報を提供することに貢献できることになる。

( 7 ) 令和元年度の成果の概要：

【震源過程・強震動予測】巨大地震による強震動予測を目的とした、強震動生成域に対する距離減衰を求めするために、諸問題を整理し、強震動生成域の分かっている地震に対する波形処理を行った。

【深部地盤・伝播経路】南海トラフ周辺の海域下で発生する地震について、DONET の観測記録を用いることによって、海底下地震波速度構造を詳細に決定し、さらには震源の決定精度を上げるが可能となり、巨大地震発生震源域の検討や地震波伝播特性についても詳しい議論が可能となる。一方で、熊野灘より海溝軸近辺のスロー地震が比較的頻繁に発生す場所では、DONET1 と 2 の間に若干の観測網でカバーできていない領域も存在するため、海底地震計を用いた機動的観測を行うことによって、速

度構造や震源決定の精度を向上させることができる。そこで、海洋研究機構の観測船「新青丸」を利用し、そのKS-19-18次航海で15台の海底地震計を7観測点に設置した。そのうちの5観測点では、それぞれ1台ずつの海底地震計を設置し、それ以外の2観測点は海溝軸近傍の微動や超低周波地震の発生域にあたり、5台の海底地震計を用いた半径およそ2kmの十字アレイを構築した(図1)。さらに今年度は、気象庁一元化震源カタログからマグニチュード2以上の地震を抽出し、これまでに得られた南海トラフ周辺で得られた速度構造を参照して震源再決定を行うための準備を行なった。また、DONET観測波形を用いた海域から陸域まで通した地震波伝播特性を理解するため、精度を向上した震源情報に基づいた解析を行うための準備を行なった。

【浅部地盤構造】液状化の可能性のある2次元水平地盤を対象に、有効応力法に基づく逐次非線形地盤応答解析を実施した。解析では、地盤物性が解析領域において均質であると仮定したケースに加え、地盤物性の空間的なばらつきを考慮した不均質地盤に対する検討も行った。その結果、不均質性を考慮することで地表面加速度の増幅が均質地盤と比べ抑えられる傾向にあるものの、地盤の剛性・強度によりその傾向が変化することがわかった。

【構造物被害予測】建物被害のデータベースの構築とその応用を目的として、下記の3点を検討した。

1. 衛星やドローンを用いた広域被害の即時把握の可能性、2. 我が国の部材実験等の膨大な論文から作製したデータベースの活用と、論文中に示された荷重変形関係のデジタル化による、非線形挙動特徴点の推定方法の開発、3. 過去の膨大な地震被害調査写真を用いた、AI技術による被害程度判断技術開発の可能性

【リスク評価】経験的距離減衰式を用いた確率論的地震ハザード解析を実施する際の震源モデルについて、南海トラフ地震以外の震源域(プレート境界、活断層、それ以外)についてモデルパラメータを更新した。また、2016年熊本地震により阿蘇カルデラ内で多くの斜面崩壊・地すべりが発生したため、京都大学火山研究センターの周辺で発生した斜面崩壊・地すべりの発生メカニズムの初期段階に注目し、強振動の方向と移動土塊の方向との関係、崩壊が発生した地形に共通する特徴について検討を行った。詳細数値地形図(LiDAR-DEM、1m)を用い、地形を視覚的に理解しやすく可視化する方法を用い、発生場の地形的特徴を明確にし、地震によって発生した斜面崩壊・地すべりの前後比較を行った。また、地形の変化部の周辺の明瞭化を行い、変化のおよび範囲の特徴と移動土塊の移動痕跡を追跡した。その結果、地震を引き起こした断層運動によって生じた地表の振動方向と斜面崩壊・地すべりの発生箇所の斜面方向には、非常に良い一致が認められた。また、崩壊・地すべりの初動方向は、この方向と一致すること、崩壊箇所は移動する土塊の斜面下方にその土塊を支持する物質がない共通する特徴が認められることが明らかになった。

【プラットフォーム構築】地震時の総合的な影響評価にむけて、地震リスク評価の応用として病院建物の被害の程度と周辺のライフライン(水道管)のリスク評価を考慮した、病院建物での医療行為に対する影響評価について評価した。

【コンピュータサイエンス】大規模三次元地盤増幅解析手法の高度化を目指し、液状化構成則の導入とそれに適した数値解析手法の構築を行った。これにより従来よりも広域をより高い分解能で高速に液状化解析できるようになった。今後も、地盤構造の曖昧さへの対処など大規模三次元地盤増幅解析手法の高度化を図る。

【災害リスク情報】災害リスク評価結果は想定シナリオ・手法により変化する。したがって、防災計画を策定する場合には、災害リスク評価にばらつきが存在することを踏まえる必要がある。昨年度は災害リスク評価のばらつきを防災計画に反映するためのハザードデータの構築手法についての基礎的検討をおこなった。今年度は、昨年度の基礎的検討結果にもとづき大阪府、高知県において様々な手法の組み合わせによる地震ハザードの計算の実施を行った。具体的には工学的基盤の地震動、表層地盤における地震動について様々な手法による組み合わせ計算を実施し、その結果を表示するシステムの開発を行った(図2)。

(8) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Ryota Kusakabe, Kohei Fujita, Tsuyoshi Ichimura, Muneo Hori, Lalith Wijerathne, A Fast 3D Finite-Element Solver for Large-Scale Seismic Soil Liquefaction Analysis, In: Rodrigues J. et al. (eds) Computational Science ? ICCS 2019. ICCS 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol 11537. Springer, Cham, 2019. 増田竣介・Pierre Gehl・松島信一：高知県南国市における南海トラフ地震による水道管網被害の病院機能への影響評価、京都大学防災研究所令和元年度研究発表講演会、P17、2020.2、謝辞  
有齊藤隆志：2016年熊本地震の崩壊発生の初期過程と振動方向の関係、京都大学防災研究所令和元年度研究発表講演会、A28、2020.2、謝辞有

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学地震研究所 市村強、飯高隆、望月公廣、楠浩一、瀧澤一起、藤田航平、古村孝志、悪原岳  
京都大学防災研究所 松島信一、宮澤理稔、上田恭平、西嶋一欽、牧紀男、畑山満則、森信人、西  
野智研、倉田真宏、西村卓也、田中宣多、齊藤隆志、西上欽也、澁谷拓郎、浅野公之

他機関との共同研究の有無 : 有

東北大学大学院工学研究科 前田匡樹

東京工業大学大学院環境・社会理工学院 松岡昌志

千葉大学大学院工学研究科 中村友紀子

北海道大学大学院工学研究院 中嶋唯貴

東京大学大学院工学研究科 糸井達哉

名古屋工業大学社会工学専攻 北野利一

神戸学院大学 佐伯琢磨

関西大学 一井康二、飛田哲男

白浜索泉 中屋志津男

富山県立大学 古谷 元

消防大学校消防研究センター 新井場公德

九州大学大学院人間環境学研究院 神野達夫

海洋研究発機構 仲西理子、山本揚二郎、高橋努

東京大学生産技術研究所 加藤孝明

東京大学大学院情報学環 関谷直也

徳島大学大学院社会産業理工学研究部 馬場俊孝

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 京都大学防災研究所

電話 : 0774-38-4080

e-mail : matsushima@sds.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL :

( 11 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 松島 信一

所属 : 京都大学 防災研究所



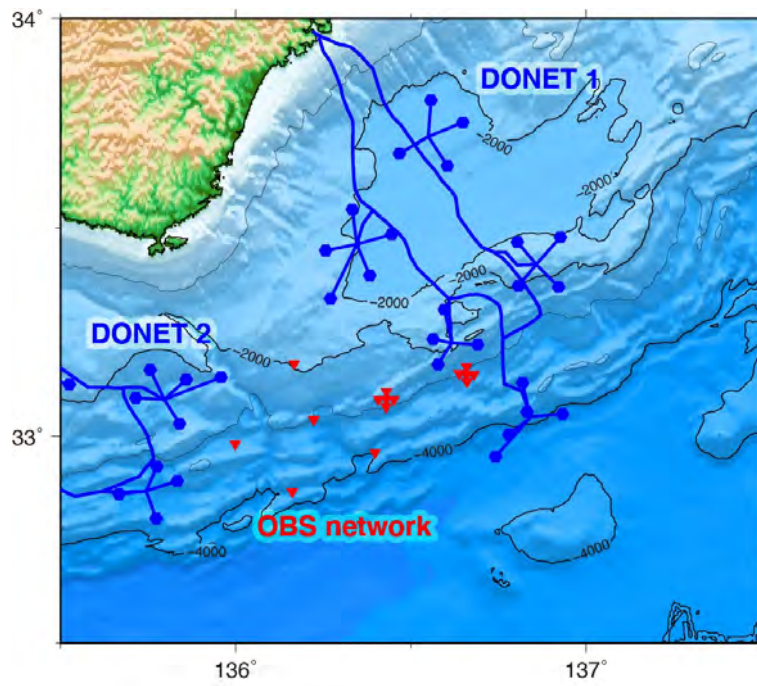


図1 海底地震計観測網の配置図

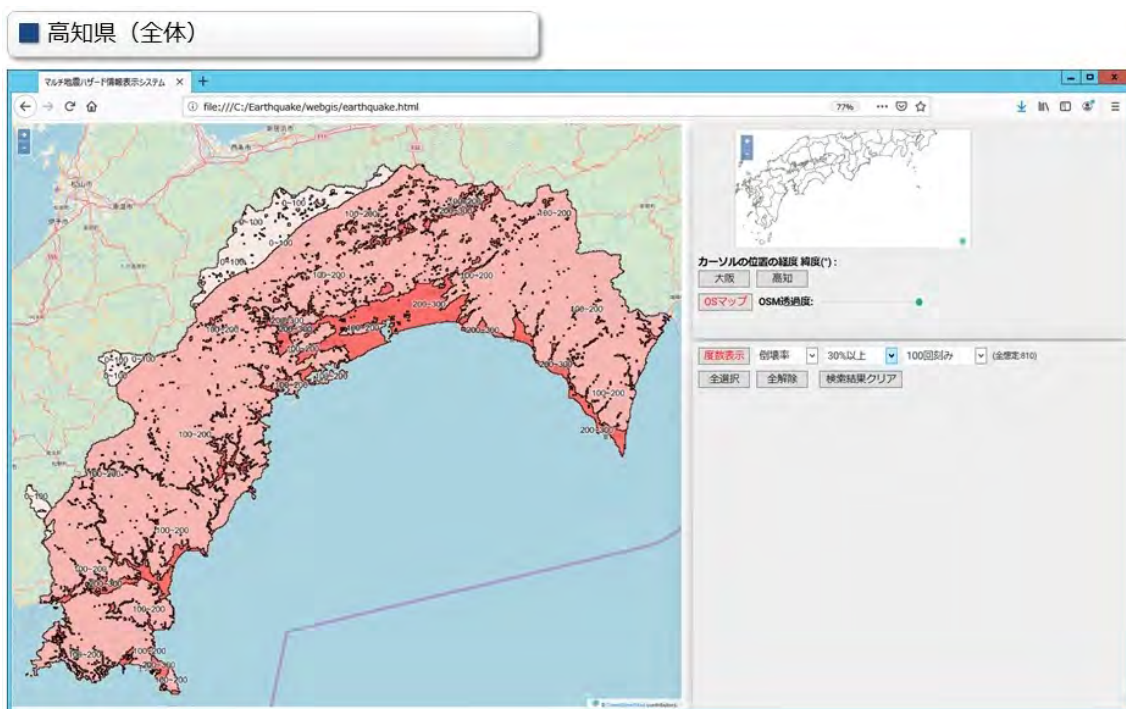


図2 マルチ地震ハザード情報表示システムの表示例  
建物倒壊率が30%を超える回数の度数分布

( 1 ) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

ばらつきのある被害リスク評価をふまえた防災計画の検討

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

イ. 津波の事前評価手法

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

イ. 津波の即時予測手法

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

( 4 ) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震



( 6 ) 令和元年度の計画の概要 :

災害リスク評価結果は想定シナリオ・手法により変化する。したがって、防災計画を策定する場合には、災害リスク評価にばらつきが存在することを踏まえる必要がある。そのためには、災害リスク評価のばらつきを理解することが重要であり、計画の目的に応じて適切な災害リスク評価結果を選択することが重要となる。本研究では、シナリオ・手法の組み合わせにより変化する災害シナリオ評価結果を適切に理解することが可能なシステムの構築を行うことを目的とした研究を行う。

( 7 ) 令和元年度の成果の概要 :

災害リスク評価結果は想定シナリオ・手法により変化する。したがって、防災計画を策定する場合には、災害リスク評価にばらつきが存在することを踏まえる必要がある。昨年度は災害リスク評価のばらつきを防災計画に反映するためのハザードデータの構築手法についての基礎的検討をおこなった。今年度は、昨年度の基礎的検討結果にもとづき大阪府、高知県において様々な手法の組み合わせによる地震ハザードの計算の実施を行った。具体的には工学的基盤の地震動、表層地盤における地震動について様々な手法による組み合わせ計算を実施した。

( 8 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :  
なし

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

牧紀男、松島信一、西嶋一欽、倉田真宏、西野智研(京都大学防災研究所)

他機関との共同研究の有無 : 有

加藤孝明、関谷直也(東京大学) 馬場俊孝(徳島大学) 佐伯琢磨(神戸学院大学)

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 防災研究所

電話 :

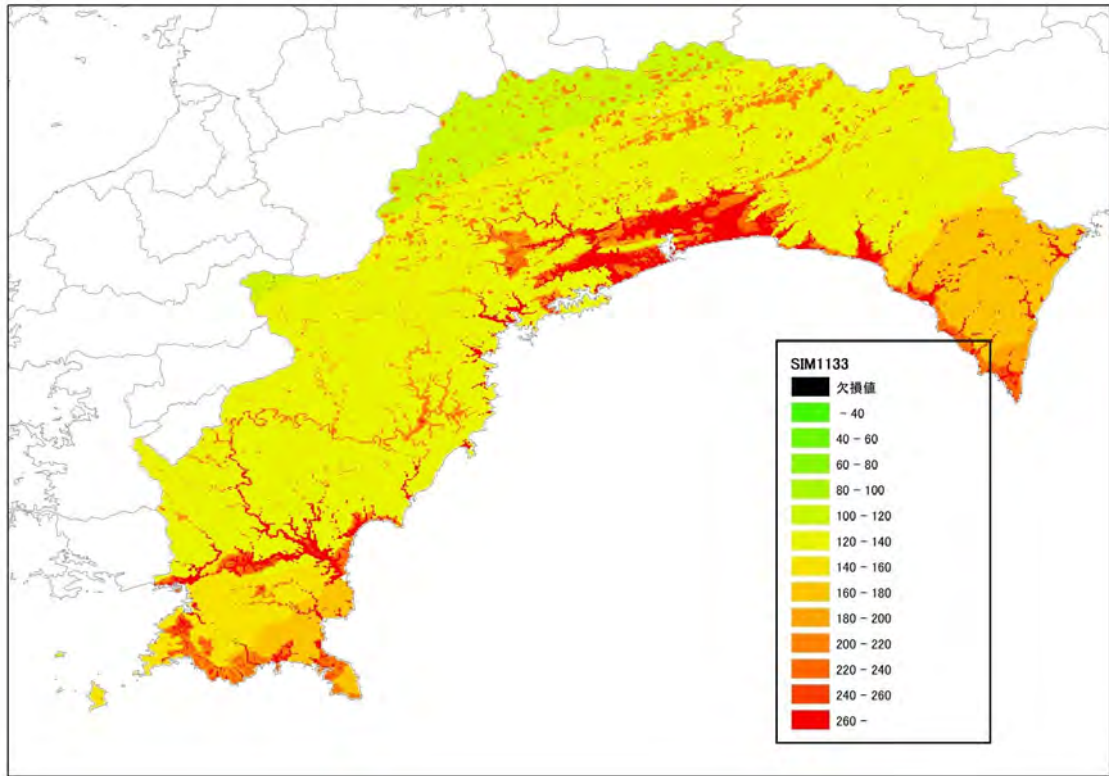
e-mail :

URL :

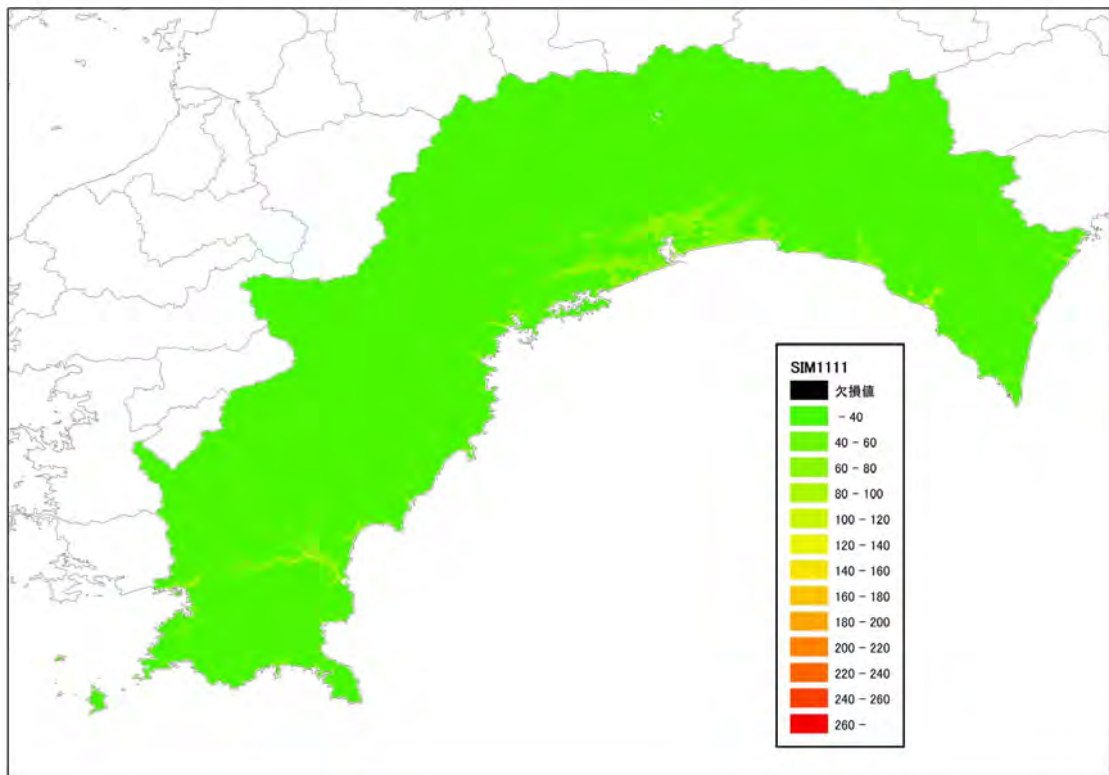
( 11 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 牧紀男

所属 : 京都大学防災研究所



高知県地震動シミュレーション結果(速度)(表層増幅ばらつき大)



高知県地震動シミュレーション結果(速度 cm/s)(表層増幅ばらつき小)

( 1 ) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

定常的地震活動の震源および地震波速度構造の精度向上による地震波動場推定の高度化

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

イ. 津波の事前評価手法

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

イ. 津波の即時予測手法

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

本研究では、南海トラフ沿いの海域に設置されている海底ケーブル地震観測網のデータを利用し、詳細な沈み込み構造および精度の高い震源を決定するとともに、震源・伝播経路・サイトの特性を求めることによって、将来発生が予測されている巨大地震の震源域モデル、またそれによる陸域における地震動予測の高度化を詳細に検討することを目的としている。

本年度は、まずその海域地震観測網でこれまでに観測されている地震について、その震源データを把握するため情報収集の現状を調査し、南海トラフ沿いで発生した対象となる地震の震源データおよび波形記録について利用可能状況を確認する。

利用可能なデータについては、その一部をダウンロードし、震源の空間やマグニチュードの分布について確認し、解析手法の検討を始める。

( 7 ) 令和元年度の成果の概要：

南海トラフ沿いでは、2010年以降、ケーブル式の地震・津波観測監視システム（DONET1および2）が整備され、海域における地震活動をリアルタイムで詳細に把握することが可能となった。その結果、紀伊半島南東沖の熊野灘海底下のプレート境界ではスロースリップや微動、超低周波地震などのスロー地震が南海トラフ軸近傍まで発生していることが確認されている。この南海トラフ周辺の海域下で発生する地震について、DONETの観測記録を用いることによって、海底下地震波速度構造を詳細に決定し、さらには震源の決定精度を上げるが可能となり、巨大地震発生震源域の検討や地震波伝播特性についても、詳しい議論が可能となる。一方で、熊野灘より海溝軸近辺のスロー地震が比較的頻繁に発生する場所では、DONET1と2の間に若干の観測網でカバーできていない領域も存在するため、海底地震計を用いた機動的観測を行うことによって、速度構造や震源決定の精度を向上させることができる。今年度は、気象庁一元化震源カタログからマグニチュード2以上の地震を抽出し、これまでに得られた南海トラフ周辺で得られた速度構造を参照して震源再決定を行うための準備を行なった。また、DONET観測波形を用いた海域から陸域まで通した地震波伝播特性を理解するため、精度を向上した震源情報に基づいた解析を行うための準備を行なった。

一方、DONET1および2の観測網でカバーされない領域においては、海洋研究機構の観測船「新青丸」を利用し、そのKS-19-18次航海で15台の海底地震計を7観測点（SHM1～SHM7）に設置した。それぞれの海底地震計は固有周期1Hzの3成分速度計を装備している。SHM1からSHM5の5観測点では、それぞれ1台ずつの海底地震計を設置し、SHM6およびSHM7の2観測点では、5台の海底地震計を用い、中心に1台、残りの4台をおよそ2km離して設置して十字アレイを構築した。海底地震計は舷側から海底まで自由落下で設置し、正確な設置位置は船舶からの音響測距で測定した。

- (8) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
南海トラフ沿いでは、2010年以降、ケーブル式の地震・津波観測監視システム（DONET1および2）が整備され、海域における地震活動をリアルタイムで詳細に把握することが可能となった。その結果、紀伊半島南東沖の熊野灘海底下のプレート境界ではスロースリップや微動、超低周波地震などのスロー地震が南海トラフ軸近傍まで発生していることが確認されている。この南海トラフ周辺の海域下で発生する地震について、DONETの観測記録を用いることによって、海底下地震波速度構造を詳細に決定し、さらには震源の決定精度を上げるが可能となり、巨大地震発生震源域の検討や地震波伝播特性についても、詳しい議論が可能となる。一方で、熊野灘より海溝軸近辺のスロー地震が比較的頻繁に発生する場所では、DONET1と2の間に若干の観測網でカバーできていない領域も存在するため、海底地震計を用いた機動的観測を行うことによって、速度構造や震源決定の精度を向上させることができる。今年度は、気象庁一元化震源カタログからマグニチュード2以上の地震を抽出し、これまでに得られた南海トラフ周辺で得られた速度構造を参照して震源再決定を行うための準備を行なった。また、DONET観測波形を用いた海域から陸域まで通した地震波伝播特性を理解するため、精度を向上した震源情報に基づいた解析を行うための準備を行なった。一方、DONET1および2の観測網でカバーされない領域においては、海洋研究機構の観測船「新青丸」を利用し、そのKS-19-18次航海で15台の海底地震計を7観測点（SHM1～SHM7）に設置した。それぞれの海底地震計は固有周期1Hzの3成分速度計を装備している。SHM1からSHM5の5観測点では、それぞれ1台ずつの海底地震計を設置し、SHM6およびSHM7の2観測点では、5台の海底地震計を用い、中心に1台、残りの4台をおよそ2km離して設置して十字アレイを構築した。海底地震計は舷側から海底まで自由落下で設置し、正確な設置位置は船舶からの音響測距で測定した。

- (9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
望月公廣・悪原岳（東京大学地震研究所）  
川瀬博・長嶋史明（京都大学防災研究所）  
仲西 理子・山本 揚二郎・高橋努（海洋研究開発機構）

他機関との共同研究の有無：無

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：

電話：

e-mail：

URL：

( 11 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：望月 公廣

所属：東京大学地震研究所

( 1 ) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

不均質な断層すべり分布を考慮した津波の確率論的予測と不確実性の評価

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

イ. 津波の事前評価手法

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

5 研究を推進するための体制の整備

(7) 次世代を担う研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

千島海溝沿いの巨大地震

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

東大地震研の佐竹グループと京大防災研の森グループが定期的(年3回程度)にワークショップを開催し，確定論的な津波解析結果と確率論的な予測手法に関する情報を交換し，確率論的な手法の高度化に向けた共同研究を行う。

世界中の M9 クラスの地震について，断層面上のすべり量分布・初期水位分布がほぼ明らかになっているので，これらの結果をまとめ，すべり量分布の統計的な性質を明らかにする。さらに，それを反映した津波高の確率論的な推定方法を考案する。

日本海東縁部については，「日本海における大規模地震に関する調査検討会」と「日本海地震・津波プロジェクト」で提案されている断層パラメータについて，断層パラメータの不確実性(仮定された傾斜角，すべり角，断層深さやスケーリング則)を考慮して，確率論的な津波高の推定を行い，津波高推定の不確実性について定量的な評価を行う。これにより，沈み込み帯と衝突境界における地震津波の相似性および特異性についての理学的・工学的評価を行う。

( 7 ) 令和元年度の成果の概要：

令和元年度は9月19日に京大防災研において、両グループの合同セミナーを行った。東大地震研から大学院生2名・研究員2名が、京大防災研から大学院生2名、特任助教1名がそれぞれの研究内容を発表し、情報交換を行った。発表者と内容は以下の通り。

- (1) Tung-Cheng Ho (Post-doc) ERI The 2018 Palu earthquake and tsunami.
- (2) Iyan Mulia (Post-doc) ERI Anak Krakatau tsunami and probabilistic tsunami hazard assessment for Sea of Japan.
- (3) Takuya Miyashita (PhD student) DPRI Probabilistic tsunami hazard assessment (PTHA) for subduction earthquake tsunami
- (4) Osamu Sandanbata (PhD student) ERI The volcanic tsunami earthquakes
- (5) Yuchen Wang (PhD student) ERI Tsunami data assimilation
- (6) Nobuki Fukui (PhD student) DPRI Tsunami inundation modeling over urban city
- (7) Che-Wei Chang (Project Assistant Professor) DPRI Modeling of mangrove for coastal disaster reduction

また、佐竹グループの大学院生だった何東政氏が9月からJSPS研究員として森グループに加わり、2018年インドネシア(スラウェシ)地震について、地震波・地殻変動(In SAR)・津波データから、そのメカニズムや断層面上のすべりの不均質性を調べ、そのモデルに基づくパル湾における津波の浸水について計算した。その結果を、森教授らの現地調査結果と比較したところ、パル湾南部のパル市周辺では、実測された浸水深や浸水距離を説明できず、断層すべり以外にも二次的な津波波源が必要であることが示された(この結果については、AGUで報告し、投稿済)。

今年度は、引き続き、3月6日に東大地震研で2回目の合同セミナーを行い、その後の研究成果について発表・議論する予定である。

(8) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東京大学地震研究所・京都大学防災研究所  
他機関との共同研究の有無：無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所  
電話：03-5841-6666  
e-mail：satake@eri.u-tokyo.ac.jp  
URL：

(11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：佐竹 健治  
所属：東京大学 地震研究所

( 1 ) 実施機関名 :

拠点間連携共同研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名 :

強震観測点におけるサイト特性評価手法の開発に関する多国間共同研究 Multi-national joint-research on the development of the evaluation scheme for site characteristics at strong motion observation sites

( 3 ) 関連の深い建議の項目 :

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

5 研究を推進するための体制の整備

(5) 国際共同研究・国際協力

( 4 ) その他関連する建議の項目 :

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

( 5 ) 総合的研究との関連 :

( 6 ) 令和元年度の計画の概要 :

本研究計画では、米国・イタリア・フランスとの多国間共同研究により、我が国で開発されてきた強震観測点におけるサイト特性評価手法と彼らの国で標準的に用いられている評価手法との相互比較を行い、我が国で開発されてきた手法の優位性を実証することにより、その国際展開を図ることを目的としている。今年度は、以下のような共同研究を推進する。米国については既に地下構造調査を実施済みのカリフォルニア州の強震観測点を対象に USGS の Alan Yong 博士・UCSB の Jaime Steidl 教授と共同で我が国で開発してきた拡散波動場理論に基づくサイト増幅特性評価手法を適用し、得られた地下構造を彼らの調査済み情報と比較することでその妥当性を検証する。そのため 12 月から約 1 カ月間 USGS の Alan Yong 博士を防災研究所に招聘する。イタリアに関しては国立地震・火山研究所 INGV の Giovanna Cultrera 教授の指導のもと Daniela Famiani 研究員を 1 カ月日本に招聘し、当方の解析プログラムを提供して先方保有のイタリア中部の強震観測データ・微動データの解析を実施する。同



様に得られた地下構造やサイト増幅特性を彼らが求めた地下構造やサイト増幅特性と比較しその妥当性を検証する。フランスに関しては防災研究所の伊藤恵理特定研究員が既に Grenoble 盆地およびアルプス周辺での強震観測データおよび微動観測データを入手しており、解析に着手している。その結果 MHVR から直接サイト増幅特性を推定するにはフランス特有の補正が必要なことを示唆する予備の結果を得ている。本共同研究ではグルノーブル・アルプ大の Cecile Cornou 教授・Emmanuel Chaljub 教授と共同でその深化を図る計画である。

( 7 ) 令和元年度の成果の概要 :

米国については Alan Yong 氏が防災研究所に 12 月半ばから 1 か月間滞在し、今後の研究方針について議論するとともに、検討対象とその優先順位を決定した。そして彼の協力のもとでカリフォルニア州の強震観測点における強震観測データを公開サイトからダウンロードするとともに、微動データも入手し、それをターゲットに我々の開発した地下構造同定手法を適用してその実施可能性を確認した。Imperial Valley 内の観測点において地震動 EHVR を求めて地下構造を同定し、Alan Yong らの浅部調査構造から求めた理論解と比較したところ、2Hz 10Hz の高振動数域では両者は比較的良好に対応しているが、浅部のみの彼らの構造では周期 8 秒の最大ピークを再現することはできないことがわかった。今後 2020 年 3 月に Imperial Valley と Pinon Flat Observatory においてアレー微動観測を実施したのでその結果を活かして EMR 法の妥当性を検証する。なお予備的検討では、以下に示す Grenoble 盆地と異なり、Imperial Valley では日本の EMR がほぼそのまま適用可能な結果が得られている。

イタリアに関しては INGV の Daniela Famiani 研究員が 2019 年 9 月から約 1 か月間日本に滞在して、当方の解析プログラムに習熟し、Amatrice 地震の観測データの解析の実施に着手した。解析の結果わかったことは、彼らが地震直後(2 週間以内)に計測した MHVR は同地点の EHVR とほとんど同じである一方で、本研究代表者と Cecile Cornou 教授が INGV と共同で地震から約 1 年後に観測した MHVR は日本の EMR の約半分ほどの EMR が生じていたことである。今後これらのデータに対して EHVR 同定法および MHVR+EMR 同定法を適用し、得られた地下構造をアレー微動で求めた地下構造と比較しその妥当性を検証する。

フランスに関しては防災研究所の伊藤恵理特定研究員が 2018 年度に Grenoble に赴き Grenoble 盆地およびアルプス周辺での強震観測データおよび微動観測データを入手しその解析に着手していた。今年度はまず盆地内の強震観測点 5 地点での EHVR と MHVR の比から Grenoble 盆地特有の EMR (EMR\_G) を求め、それが微動データから擬似 EHVR を計算するのに適切なものであることを示すとともに、EHVR から得られた地震基盤までの地下構造を別途求められていた重力による基盤深さ対応づけて、微動の基本ピーク振動数から深部の速度構造を推定する回帰式を求めた。この EHVR から得られた構造の重要な点は、地質境界は  $V_s=1.3\text{km/s}$  の層境界に対応しており、 $V_s=3\text{km/s}$  以上の地震基盤そのものではないこと、地質境界の前後で速度構造は漸増する傾向を示しており、それによって基本ピークにおける振幅が決定されている、ということである。さらに回帰式で MHVR の基本ピーク振動数から初期モデルを構築し、MHVR と EMR\_G から計算した擬似 EHVR を用いて微動観測データしかない盆地を横断する観測線上の速度構造を求めた。上述の EHVR から求めた速度構造と同じく、 $V_s=1.3\text{km/s}$  の層境界が重力異常から求められている地質境界とよく対応していることがわかる。

( 8 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Ito, E., Cornou, C., Kawase, H. & Nagashima, F., Estimation of EMR correction factor in the Grenoble Basin; an attempt to establish a simple method to get earthquake HVR from microtremors, 2019 Seismological Society of America Annual Meeting, 22-26 April 2019.

Kawase, H., Nagashima, F., Ito, E. & Cornou, C., S-wave velocity inversion based on microtremor HVR: Effectiveness of the EMR correction for the Grenoble basin, 7th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, 17-20 June 2019.

Nagashima, F. & Kawase, H., Subsurface structure identification based on H/V ratio and surface to borehole

ratio, 7th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, 17-20 June 2019.

Ito, E., Kawase, H., Nakano, K., Empirical Horizontal Site Amplification Factor (HSAF) from Observed Earthquake Horizontal-to-Vertical Ratio (EHVR) and Vertical Amplification Correction Function (VACF), 2020 Seismological Society of America Annual Meeting, 27-30 April 2020 (abstract 投稿済、発表はキャンセル).

Nagashima, F., Mori, Y., Ito, E., and Kawase, H., Velocity structure inversion based on diffuse field concept for earthquake, together with the earthquake-to-microtremor ratio (EMR) method for microtremors, 2020 Seismological Society of America Annual Meeting, 27-30 April 2020 (abstract 投稿済、発表はキャンセル).

Yong, A., Nagashima, F., Ito, E., Kawase, H., Fletcher, J., Hayashi, K., Martin, A., Grant, A., Yu, E. and Chen, S-L, Comparison of VS30 and f0 values by the single station earthquake-to-microtremor ratio (EMR) method to those by traditional multi-station array-based site characterization methods, 2020 Seismological Society of America Annual Meeting, 27-30 April 2020 (abstract 投稿済、発表はキャンセル).

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

川瀬博・長嶋史明・伊藤恵理 ( 京都大学防災研究所 )

市村強 ( 東京大学地震研究所 )

他機関との共同研究の有無 : 有

Alan Yong ( 米国地質調査所パサデナ事務所 )

Jaime Steidl ( UC サンタバーバラ校 )

Giovanna Cultrera・Daniela Famiani ( 国立地震・火山研究所 )

Cecile Cornou・Emmanuel Chaljub ( グルノーブル・アルプ大・地球科学研究所 )

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 防災研究所

電話 : 0774384052

e-mail : kawase@sere.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL :

( 11 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : Hiroshi Kawase

所属 : 京都大学 防災研究所

( 1 ) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

テフラの成層構造の発達と風化に伴う物性変化を考慮した斜面崩壊発生場の予測

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

工. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

本研究では、山地の斜面に成層構造をもって堆積した未固結の降下火砕物(以下、テフラという)が、強震動を誘因として高速で長距離を流動的に滑動する現象に着眼し、その発生場を予測する手法を開発することを目的とする。テフラの崩壊は、地震・火山・斜面の複合災害であり、その発生場予測には誘因(地震動)が作用する場の条件として、地盤のもつ素因の評価が必要不可欠といえる。本研究では、地盤の成立過程を後述のアプローチによって深く理解し、モデル化することで汎用性をもたせて、複合的要因による土砂災害に対して地域のレジリエンスを高める上で基礎となる情報を提供できるツールを開発する。

ここでは、まず、テフラの給源火山の噴火史に基づき、山地の斜面におけるテフラの供給と再堆積のシミュレーションを行う。対象領域におけるテフラの降下供給量の空間分布は、火山学的に復元されたアイソパックマップにより推定できる。一方、テフラの再移動による二次堆積量は、粒径や斜面の勾配あるいは曲率といった地形条件の関数として扱い、モデルに組み込む。テフラの移動パラメータは、熊本地震や胆振東部地震での発災地を対象に、地形条件の異なる多数地点で掘削した鉛直試孔の断面記載により決定する。モデル出力の不確かさは、踏査で確認された堆積層厚との比較により評価する。これら九州と北海道に位置する日本の南北端の環境を対象とすることで、気候条件の差異や過去の気候変動がテフラの再移動に与えた影響も考察できるものと考えている。

本研究では、テフラ堆積以降の風化作用による透水性の減少や保水性の増大、あるいはせん断強度の低下といった水理・力学的な物性変化にも焦点を当てる。一般にテフラは、多孔質で非晶質物質に富み、その定置後に数千年の時間スケールで、元素の溶脱やガラス基質の水和あるいは粘土鉱物の沈殿

といった顕著な鉱物・化学組成の変化を起こす。テフラ累層中での長期間にわたる間隙水の不均質な透過とそれに伴う鉱物変質は、降水浸透とともに供給される大気由来の宇宙線生成核種  $^{10}\text{Be}$  の加速器質量分析、および X 線蛍光分析と X 線回折分析によって定量化する。降水浸透の不均一性については、別途実施する間隙水圧計と土壌水分計を用いた稠密水文観測によって、定性的にその確からしさを確認する。これにより、アルミノケイ酸塩を母材として生成するアロフェンやハロイサイト、カオリナイトといった粘土鉱物が、テフラ累層中に偏在することで水理・力学的な不連続面を生じさせる機構を実証する。テフラの粒子中での粘土鉱物の生成・蓄積と、バルクでの透水係数や水分特性曲線あるいは動的なせん断強度特性との関係については、不攪乱試料の土質試験によって経験的にモデル化する。

テフラの空間的な累積を再現するモデルと、累層中での不均質な風化過程および物性変化を定量化するモデルをカップリングさせ、地形効果による震動増幅を考慮しつつ、テフラのせん断破壊が生じうる場所を予測する。具体的には任意地点におけるテフラの厚みとせん断強度にもとづき、10 m メッシュの数値地図上で崩壊に要する下限の水平加速度あるいは累積変位量を、地理情報システム上で表示した次世代の斜面崩壊感度地図 (Landslide susceptibility map) を提示する。この出力は、熊本地震や胆振東部地震における実際の斜面崩壊分布図 (Landslide inventory map) と対照し、予測の精度と確度を検証する。また、崩土によって年代が既知の広域火山灰層や黒ボク土あるいは遺跡などが埋没している状況を利用し、過去の地震によって斜面崩壊が発生した履歴を復元することで、こうした手法による予測の時空間的な妥当性を総合的に検討する。

(7) 令和元年度の成果の概要：

本年の研究により、テフラの給源火山の噴火史に基づき、山地の斜面におけるテフラの供給と再堆積のシミュレーションを行うプログラムを開発することができた。このモデルでは、火山学的に復元されたアイソパックマップに基づくテフラの降下供給量の空間分布を入力とし、地形に依存したテフラの二次移動を計算する。このモデルを検証するため、熊本地震や胆振東部地震での発災地を対象に、地形条件の異なる多数地点で鉛直試孔の断面記載により実際のテフラ堆積量を測定したが、火山活動の静穏期に供給される風成物のローカルな集積が実際のテフラ累層の積分厚みに大きな影響を及ぼすことが分かった。そのため、単純な対比によるモデルの精度・確度の検証には至らなかった。

テフラのもつ水理・力学的な物性についても、降下堆積以降の風化作用による透水性の減少や保水性の増大、あるいはせん断強度の低下といった斜面災害に関連する特性を定量化することができた。一方、定置後数千年程度の長い時間スケールでの、元素の溶脱やガラス基質の水和と粘土鉱物の沈殿といった化学・鉱物組成の変化が、どのような機構によって進行するのかについては、十分に明らかにできなかった。粘土鉱物の定量法や生成機構にかかわる議論については分析手法の開発を含め前進があったものの、環境中での実際の水岩石反応や地中水文過程との関連については、不明な点が多く残った。テフラ累層中での長期間にわたる間隙水の不均質な透過とそれに伴う風化変質の追跡が課題である。特にアルミノケイ酸塩を母材として生成するアロフェンやハロイサイトといった粘土鉱物の生成がテフラの強度低下をもたらす過程を解明する必要がある。また、これらが、テフラ累層中に偏在することで、将来的にすべり面となりうる水理・力学的な不連続面を生じさせる過程をモデル化することが必要である。

(8) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等)：

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

松四 雄騎 (京都大学防災研究所)

他機関との共同研究の有無：有

加納靖之 (東京大学地震研究所)

王功輝 (京都大学防災研究所)

土井一生（京都大学防災研究所）

鈴木毅彦（首都大学東京都市環境学部 地理環境学科 火山災害研究センター）

後藤聡（山梨大学大学院総合研究部工学域土木環境工学系）

松崎浩之（東京大学総合研究博物館）

早川裕弐（北海道大学 地球環境科学研究所 環境地理学分野）

（10）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学防災研究所 地盤災害研究部門 山地災害環境研究分野

電話：0774-38-4101

e-mail：matsushi@slope.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL：

（11）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：松四 雄騎

所属：京都大学 防災研究所

( 1 ) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

強震動のブラインド予測のための共用地盤モデルの構築に関する研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

(5) 国際共同研究・国際協力

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

本研究では、2021年3月第6回ESG国際シンポの強震動のブラインド予測で用いる熊本市のテストサイトに対する浅部深部統合地盤の共用1次元モデルを構築することを目的としている。2019年度には、すでに取得済みの微動探査・表面波探査のデータおよび新たな現地調査による観測データを様々な解析方法に基づいて分析することによって、テストサイトでの1次元浅部深部統合地盤モデルを試作する。また、テストサイト周辺での微動単点観測による水平上下スペクトル比の空間変動によって、地盤構造の水平的な広がりについて検討し、この地点での地盤モデルの1次元性の仮定の妥当性を検討する。

以上の研究結果について研究会で議論し、研究参加者の間で地盤モデルの妥当性に対する研究分担者内での合意を形成し、共用地盤モデルを構築することを目指す。

( 7 ) 令和元年度の成果の概要：

本研究では、第6回ESG国際シンポジウムで実施される2016年熊本地震の強震動のブラインド予測でのテストサイトでの浅部および深部地盤の暫定的な1次元速度構造モデルを作成した。テストサイトは、図1のLL1で示す熊本市蓮台寺付近に位置し、その周辺で微動のアレイ観測と表面波探査を実施した。微動観測では、浅部地盤および深部地盤のS波速度構造モデルを推定するために、1mから約

1km までのサイズの二重三角形アレイを展開した。最も大きなアレイの観測点配置図を図 1 に示し、測定された上下成分の微動の例を図 2 上に示す。これらのデータから SPAC 係数を求め、レイリー波の位相速度を推定した。また、強震計の近傍である LL1 地点では、浅部地盤を探查するために、表面波探查を約 30 m の測線で実施した。測線の両端の地表での上下加振により得られた上下成分の速度波形の例を図 2 下に示す。それらのデータからも周波数 波数スペクトル法によってレイリー波の位相速度を得た。テストサイトでは、浅部地盤のボーリング調査が別途実施されており、ボーリング調査の際に、テストサイトおよびその周辺地域の地形を視察し、現地での研究会において研究の進め方および共用地盤モデル作成方針について議論を行った。研究会で検討したモデル化の方針に沿って、既存の地下構造モデル情報を参考にして、これらの 2 つの位相速度から、浅部地盤と深部地盤の 1 次元 S 波速度構造モデルを作成した。このモデルをブラインド予測での共用地盤モデルの暫定版とし、上記のボーリングの結果などを考慮して、浅部地盤の修正が必要になる可能性がある。さらに、共用地盤モデルの 1 次元仮定の妥当性について検討するために、テストサイト周辺において中小地震を対象にした臨時観測の準備を実施した。現在のところ、2020 年 3 月に観測機器を設置し、臨時観測を開始する予定で観測場所の交渉を行っている。

なお、本研究で作成した共用地盤モデルは、強震動のブラインド予測で使用されることになる。そのために、ブラインド予測参加者に共用地盤モデルが提供されるまで、同モデルを一般には公開しないことを研究会で決定した。

( 8 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

山中浩明(東京工業大学)  
三宅弘恵(東京大学)  
高井伸雄(北海道大学)  
神野達夫(九州大学)  
山田伸之(高知大学)  
地元孝輔(東京工業大学)  
佐藤浩章(電力中央研究所)  
松島信一(京都大学防災研究所)  
岩田知孝(京都大学防災研究所)  
浅野公之(京都大学防災研究所)  
川瀬 博(京都大学防災研究所)  
瀧澤 一起(東京大学地震研究所)  
他機関との共同研究の有無: 無

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 東京工業大学 環境・社会理工学院

電話: 045-924-5513

e-mail: yamanaka.h.aa@m.titech.ac.jp

URL:

( 11 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 山中 浩明

所属: 東京工業大学 環境・社会理工学院

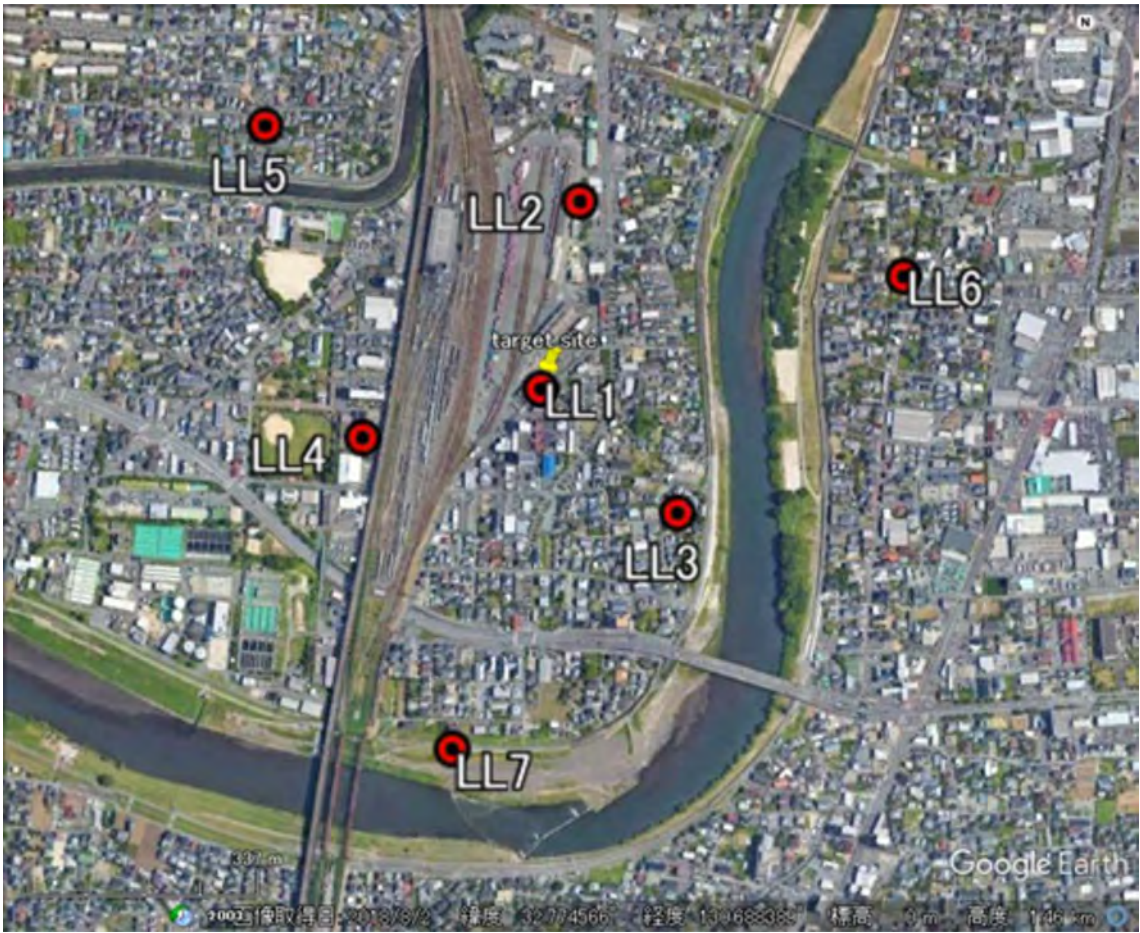


図1：テストサイト（LL1）と微動観測アレイの位置



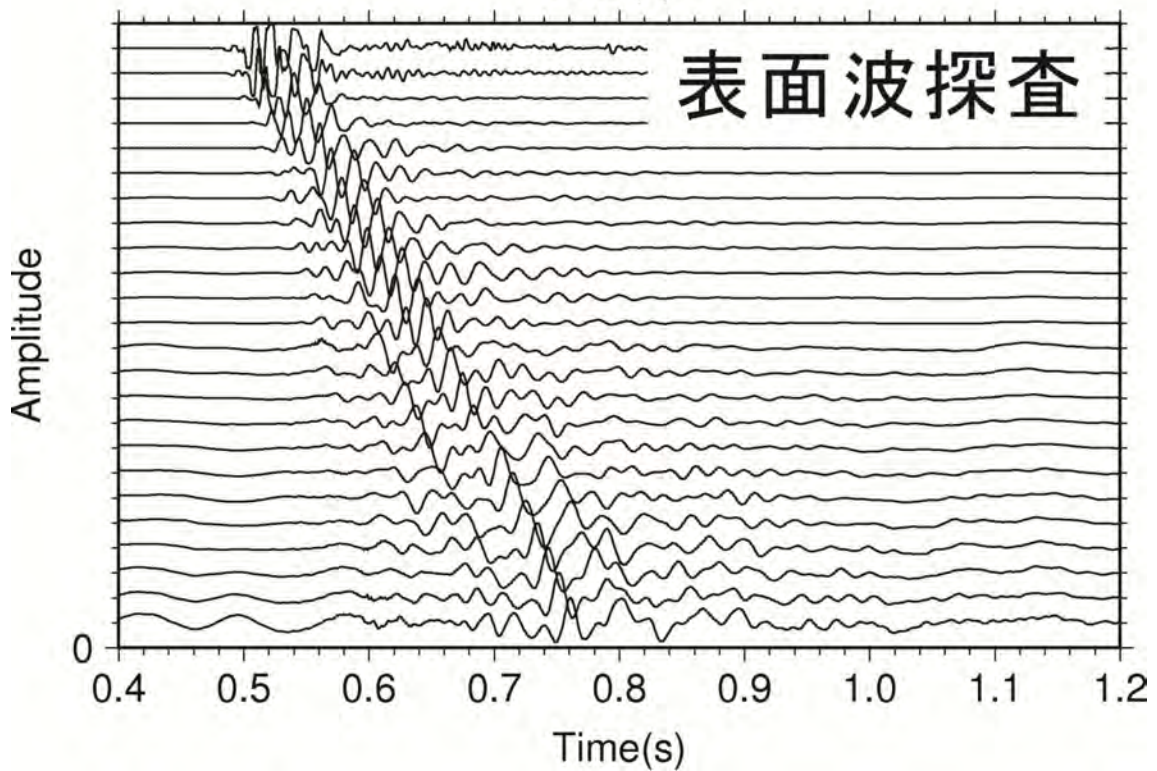
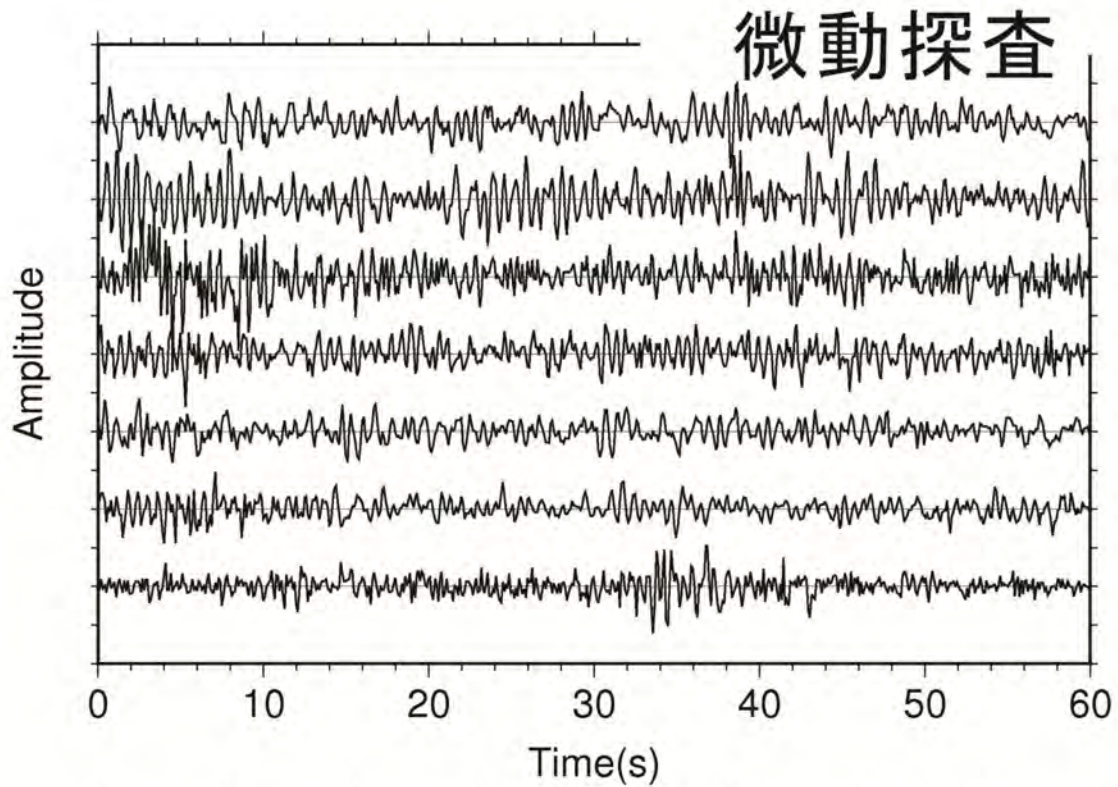


図2：微動探査（上）と表面波探査（下）での上下成分の観測記録の例

( 1 ) 実施機関名 :

拠点間連携共同研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名 :

火山砕屑物からなる斜面の崩壊に対する地震とその前後の降雨の影響評価

( 3 ) 関連の深い建議の項目 :

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

工. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

( 4 ) その他関連する建議の項目 :

( 5 ) 総合的研究との関連 :

( 6 ) 令和元年度の計画の概要 :

京都大学防災研究所の遠心力載荷装置を用いた模型実験を行う。火山性砕屑物からなる模型斜面を作成し事前降雨を与える。その後、加振を行い、斜面にクラックなどの変状が生じた状態で降雨を与えて、斜面の安定性を評価する。模型材料として火山性砕屑物を使用する。遠心場での降雨を再現するため降雨発生装置を使用する。実験は、事前降雨量、加振力、加振後の降雨量などをパラメータとして複数回実施し、地震とその前後の降雨が斜面の安定性に与える影響を定量的に評価する。

( 7 ) 令和元年度の成果の概要 :

京都大学防災研究所の遠心力載荷装置を用い、年度当初の計画通り模型実験を行った。予備実験として、新たに作成した遠心場の降雨発生装置の調整を行った。本実験ではマサ土を用いた斜面模型を作成し、加振の有無がその後の降雨時の斜面挙動に与える影響を検討した。計画では火山性砕屑物を使用する予定であったが、今年度は火山性砕屑物との比較のため、入手が容易であったマサ土を利用した。結果として、今年度実施した実験条件では降雨前の加振による斜面の変状が小さかったため、その後の降雨による斜面挙動に対して加振の明確な影響はみられなかった。引き続き、事前降雨量、加振力、加振後の降雨量などをパラメータとして実験を実施し、地震とその前後の降雨が斜面の安定性に与える影響を定量的に評価する。

( 8 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Xu, J., R. Uzuoka, and K. Ueda, 2020, Centrifuge model tests on the dynamic response of slopes subjected to water storage at the toe area, 8th Japan-China Geotechnical Symposium, Kyoto.

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

渦岡良介(京都大学防災研究所・教授)

Xu Jiawei(京都大学大学院工学研究科博士後期課程)

他機関との共同研究の有無: 有

市村強(東京大学地震研究所・教授)

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：地盤防災解析研究分野

電話：

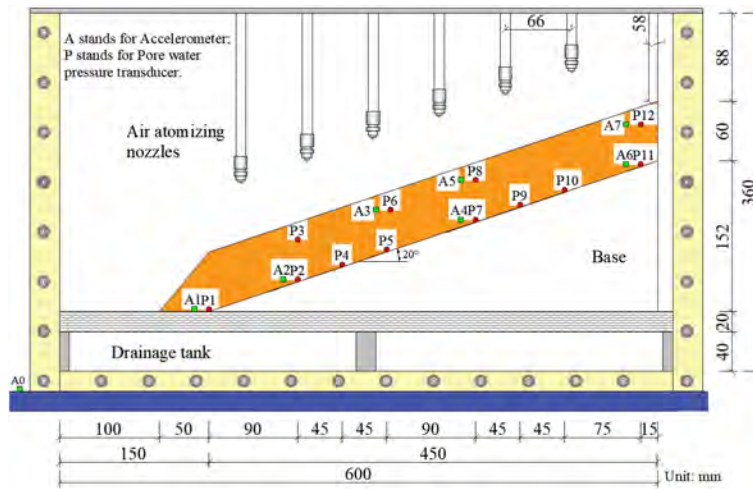
e-mail：uzuoka.ryosuke.6z@kyoto-u.ac.jp

URL：

( 11 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：渦岡良介

所属：京都大学 防災研究所



実験模型の側面図

遠心力载荷装置で用いる斜面模型。遠心場で振動台による加振を加えたのち、土槽内上部のノズルから降雨を与え、斜面の変状を測定する。

( 1 ) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

活断層における地殻変動に伴う盆地形成過程から推定される盆地端部での基盤構造を考慮した地震動増幅特性に関する研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

5 研究を推進するための体制の整備

(4) 関連研究分野との連携強化

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 国際共同研究・国際協力

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(7) 次世代を担う研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

本研究ではまず、既往の調査観測などから対象とすべき盆地を選定し、既往文献や微動観測などと活断層における地殻変動に伴う盆地形成過程を考慮し、盆地端部での基盤構造の形状や深さなどについて把握する。選定した盆地における基盤構造の形状や深さに基づいて、簡易的に増幅的干渉が起きる

可能性のある地域を推定する。次に、詳細な基盤構造モデルに基づいて、波動伝播解析を行い、簡易的手法による推定との対応を確認し、盆地端部における地震動増幅特性の推定方法について検討する。2019年度には、地震調査研究推進本部や地方自治体による重点調査観測などの地下構造調査の結果や既往の研究による地下構造の推定結果などを文献調査などに基づいて、いくつか対象とすべき盆地を選定し、基盤構造の概要について把握する。対象とする盆地では、盆地境界における基盤構造が詳細に調査されている場合はその形状と深さを活用できるが、詳細な調査がされていない場合は、活断層での地震活動による地殻変動などによって盆地境界がどのように形成されたかを推定し、その形状と深さを推定する。推定した基盤構造の形状や深さについて、微動観測による現地調査を行い、その確からしさを確認する。推定された盆地境界における基盤構造から、既往の研究に基づき簡易的に増幅的干渉が起きる可能性のある地域を推定する。

(7) 令和元年度の成果の概要：

邑知潟平野は石川県中部に分布する邑知潟断層帯に接する平野である。地震調査研究推進本部(2005)によると、邑知潟断層帯は今後30年の地震発生確率が日本の主な活断層の中ではやや高いグループに属しており、その規模は気象庁マグニチュード7.6程度と推定されている。このような場所では地盤の増幅特性を把握することが地震被害予測と対策のために非常に重要である。そして地盤増幅率を把握するためには地盤構造を推定することが必要である。

本研究では邑知潟平野で常時微動観測を行い、その観測記録に基づき地盤構造を推定した。邑知潟平野の北西-南東方向に4測線、北東-南西方向に2測線、合計72地点で単点観測を行った。また、盆地中央の測線間にアレイを2つ配置し同時観測を実施した(図1)。単点においては、独立して30分ずつ観測した。

アレイ観測によって得られたデータについて微動解析プログラムBIDO(Tada et al, 2010)を用いて解析し、得られたレーリー波の位相分散曲線と微動の水平上下スペクトル比(MHVR)から速度構造モデルを推定した。ただし、1100m以深の構造は地震調査研究推進本部の全国一次深部地盤データ(JIVSM)を利用した。単点観測地点については、MHVRのピーク振動数とピーク振幅を読み取り、アレイによる速度構造モデルを基準として地盤構造を推定した。図2にO3-9地点におけるMHVRを観測と理論を比較して示す。図3にO3測線(図1中赤色)で推定された地盤構造を示す。さらに、MHVRの方位依存係数を解析することで盆地端部の位置を推定した。

(8) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
中山智貴・松島信一：邑知潟平野における微動観測記録に基づく推定地盤構造、京都大学防災研究所  
令和元年度研究発表講演会、B22、2020.2、謝辞有

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

京都大学防災研究所 松島信一  
東京大学地震研究所 市村強  
他機関との共同研究の有無：有  
産業技術総合研究所 吾妻崇  
鹿島建設 野澤貴

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学防災研究所  
電話：0774-38-4080  
e-mail：matsushima@sds.dpri.kyoto-u.ac.jp  
URL：



(11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 松島 信一

所属: 京都大学 防災研究所



微動観測点配置 (Google Map に加筆)

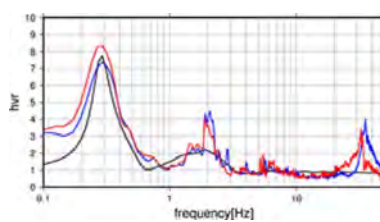


Fig.2 地点 O3-9 における観測と理論の MHVR  
観測 NS/UD が青、観測 EW/UD が赤、理論が黒

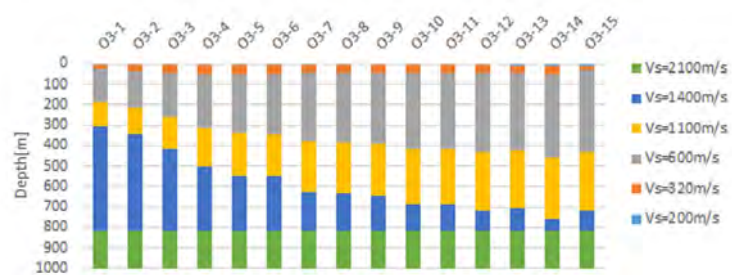


Fig.3 推定された測線 O3 の地盤速度構造

( 1 ) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

建物の応答を考慮した高精度地震情報配信手法の開発

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

イ. 首都直下地震

(4) 関連研究分野との連携強化

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

本課題は、震源特性と伝播経路特性、立地地盤の特性、建物の諸元、さらには建物内の上層階と下層階での被害差などを考慮した高精度地震情報配信手法の開発を命題に、建物の応答予測としてより確度の高い情報を提供するために、A) 建物と地盤の動的相互作用のモード特性変動としての評価、B) 揺れ継続時間の推定式の提案、に取り組む。

2019年度は、揺れ継続時間に影響を与えるパラメータの分析及び理論的検討(課題A)、およびARXモデルを用いた建物のモード同定(課題B))を実施する。

( 7 ) 令和元年度の成果の概要：

2019年度は、揺れ継続時間に影響を与えるパラメータの分析及び理論的検討(課題A)、およびARXモデルを用いた建物のモード同定(課題B))を実施した。得られた知見は下記の通りである。

課題A：

建築研究所が収集した建物内の強震記録を利用して、揺れ継続時間の推定を試みた。揺れ継続時間の定義は、能島(2012)に従って、全パワーで正規化された累積パワー曲線において5~95%の占有時間(s)とする。能島(2012)では、K-NETの地表記録を用いて、モーメントマグニチュードと震源距離、揺れ継続時間の経験式を作成している。本研究では、この経験式を建物内の基礎部で記録された強震動記録に適用して、妥当性を検証した(図1)。その結果、建物によって経験式の整合性が良いものと悪いものがあり、その差は建物階数と相関があることが分かった。つまり、建物階数が高く固有周期が長い建物ほど、基礎部での揺れ継続時間が長くなる傾向にある。そのため、経験式に建物階数の項を追加し、新たな経験式を回帰分析で求めた。新しい経験式は、能島(2012)よりも誤差が小さく、建物基礎部での揺れ継続時間を良く表現できる。

**課題 B :**

建築研究所が長年に亘って地震観測記録を蓄積している建物から，建物内とその周辺地盤の地表面に記録がある 6 棟を選び，建物と地盤の動的相互作用の影響を調べた．いずれの建物もコンクリート系の 6～8 層の耐震構造で，最上階，基礎部および地表面の 3カ所で加速度が記録されている．今年度は，解析モデルを事前にもたずに，振動記録だけで建物と地盤の動的相互作用がどこまで評価できるかを検討した．建物が剛構造で，観測点数は少ないことから，1 次モードの等価線形特性を同定した．特に 2011 年東北地方太平洋沖地震の前震，本震，余震の記録を詳細に分析した．図 2a に示す結果では，動的相互作用により建物の見かけの固有振動数は低下し，本震では低下率が-20%に達している建物が多かった．一方，図 2b に示すモード減衰比は建物自体に比較して 2～6 %上昇していた．この変化には振幅依存性があり，それは大きい振動ほど顕著であった．建物の重量に関する情報があれば，得られたモード特性から，簡易モデルによって水平地盤ばねを評価する方法も提案した．現時点では，建物図面，地盤構造および地表観測点の情報が不足しており，その情報を入手して，分析を深めることが必要である．

( 8 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので，令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

京都大学防災研究所 倉田真宏、池田芳樹、山田真澄

東京大学地震研究所 楠浩一、鶴岡弘

他機関との共同研究の有無：有

建築研究所 鹿嶋俊英

国土技術政策総合研究所 柏尚稔

気象研究所 溜淵功史

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学防災研究所耐震機構研究分野

電話：0774-38-7084

e-mail：kurata.masahiro.5c@kyoto-u.ac.jp

URL：http://www.steel.dpri.kyoto-u.ac.jp/wpsmpl/

( 11 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：Masahiro Kurata

所属：京都大学 防災研究所



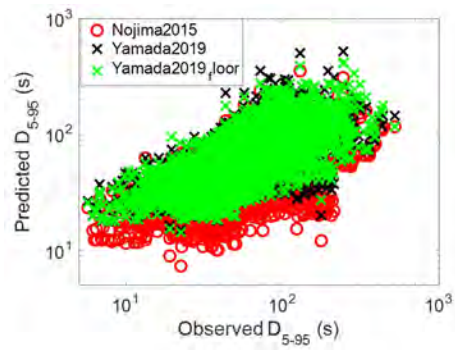


図1 揺れ継続時間：観測結果と経験式による予測

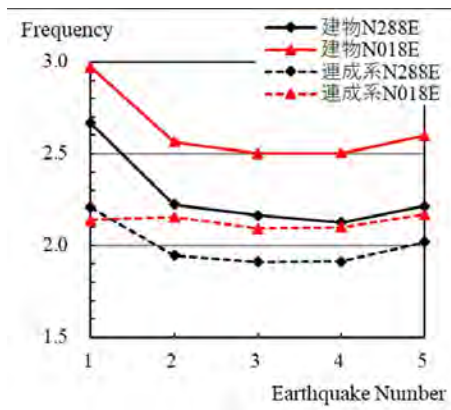


図2a 6層建物の1次モード特性の地震による変化：固有振動数

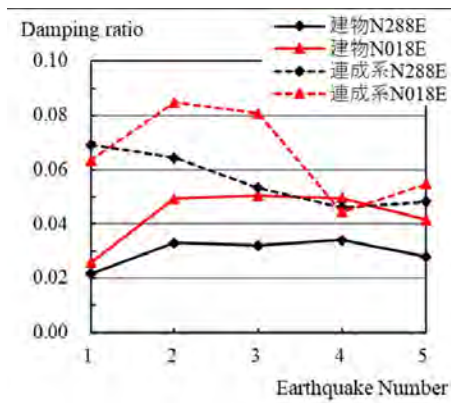


図2b 6層建物の1次モード特性の地震による変化：減衰定数

( 1 ) 実施機関名 :

拠点間連携共同研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名 :

地震発生の切迫性を伝える災害情報モデル構築～北海道胆振東部地震の主要被災3町(厚真・むかわ・安平)における人的被害に関する全世帯調査を通して～

( 3 ) 関連の深い建議の項目 :

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

( 4 ) その他関連する建議の項目 :

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

( 5 ) 総合的研究との関連 :

( 6 ) 令和元年度の計画の概要 :

人的被害の発生メカニズムは複雑であり、地震動の大きさ、建物被害、室内散乱、避難様態、復旧状況など様々な要因が関わってくる。世帯に発生した一つ一つの事例を丹念に追跡し、シナリオ解析して行く必要がある。これまでの当研究室で開発してきた調査法(アンケート震度調査、建物外観調査、アンケート個別被害調査、室内ヒアリング、精神的ストレス調査、等々)を、適所に応用し関連資料収集・分析を通し、上記問題に取り組む。

( 1 ) 調査対象 :

北海道胆振東部地震の主要被災地である厚真町(2000世帯)、むかわ町(4000世帯)、安平町(4000世帯)の全世帯を対象に、アンケート調査を実施。

( 2 ) 調査内容(以下の項目について、全世帯アンケート調査を実施):

町内震度分布マイクロゾーンネーションのための震度調査、建物被害調査、室内散乱状況、人的被害状況、避難状況、復旧状況、事前準備状況等々

( 3 ) 調査方法 :

アンケート票の世帯配布は当該自治体の協力を得られることとなっている。回収は後納郵便を想定している。

(4) ヒアリング :

全世帯アンケート調査を基に、当時の状況を世帯ヒアリングで再調査。

(5) その他の情報収集 :

地震動入力情報は、本地震により公開されている計測震度の他、当研究室で実施するアンケート震度や微動観測結果を参照する。建物被害は地震直後に当研究室が実施した外観目視による悉皆調査の他、自治体による応急危険度判定結果やアンケートによる住民回答を活用する。

以上を総合し、各世帯別のシナリオ化を行い、共通因子の抽出並びに個別因子の特定を行い、それぞれの条件で災害シナリオが表現できる関数群を構築する。

(7) 令和元年度の成果の概要 :

本研究は、発生が予想される地震の人的被害情報からその切迫性を伝える方法を提案することを目的に、2018年9月に発生した北海道胆振東部地震による人的被害を調査し、地域ごと・世帯ごとに異なる被害シナリオを明らかにすべく、以下の調査を実施した。調査対象は、北海道胆振東部地震の主要被災地である厚真町、むかわ町、安平町である。

(1) 被災エリアの建物被害外観調査

むかわ町と安平町について、特に建物被害が多く発生していた道道10号線沿いの商店街を中心に、713棟を外観目視により破壊パターン・構造種別・建築年・構造要素別被害状況等を実態調査した。岡田・高井(1999)による木造建物破壊パターン(図1)と被害棟数との関係を図2に示す。全壊のほとんどが層崩壊に至らないD4レベルに留まっていた。建物被害の多くは専用住宅ではなく、耐震性に乏しい1階の壁が少ない店舗あるいは店舗併用住宅に集中している。

(2) 3町の全世帯被害アンケート調査

計測震度7を観測した割に建物被害は小規模である。その理由並びに人的被害との関係を探るべく、厚真町(2000世帯)、むかわ町(4000世帯)、安平町(4000世帯)の全世帯を対象に以下の項目についてアンケート調査を実施した。回収率は全体で22.7%であった。

1) 地域の揺れを算定するための震度調査: 太田によるアンケート震度調査項目を踏襲した設問から各町の平均震度を求め、全壊率との関係を図3に示す。他の地震と比較してあるが、北海道は全国に比較し同震度での被害率は小さく「(1)建物被害外観調査」の結果を支持している。

2) 被災前の建物耐震診断: 旧建設省住宅局監修・(財)日本建築防災協会編集『わが家の耐震診断と補強方法』にならひ簡易的に耐震診断値を計算できるように、質問が設定されている。世帯ごとに求められた耐震診断値に、各町単位で対数正規確率分布を当てはめ図4に示す。全国平均よりも3町とも住家の耐震性は高く、住家被害率の小ささを説明している。

3) 建物被害: アンケート回答者に自宅の被害状況を岡田・高井の破壊パターンから選択してもらった。「2)耐震診断値」との関係は図5のとおりである。耐震診断値が小さい建物ほど被害程度(D-Level)は大きいとの関係が見てとれ両者の関係は明快である。

4) 人的被害状況: 負傷状態は災害医療分野で標準化されている外傷重症度指標(Injury Severity Score: ISS)で議論するため、居住者各人ごとに負傷部位とその程度を選択する方式を採用している。入院が必要なISS=9以上と判断された住人は20名で、全員が入院治療を受けていた。しかし負傷のほとんどはISSが小さく、未明午前3時に発生した地震にもかかわらず軽症に留まったケースが多いようである。

5) 居住者の被害回避行動状況: 地震発生直前にいた室内環境及び居住者の状態、地震発生直前・最中・地震直後の行動について選択式質問群を設定している。未明にもかかわらず、回答者の20%近くが起床していた。その中で地震発生であり、意識的行動がとれなかった割合は40%であった。昼間に発生した他の地震では、危険回避できなかった住人の割合は25%程度であるので、夜間、しかも全道がブラックアウトのため暗闇での回避行動という状況にあった。

6) 室内散乱状況: そのような悪条件下にあっても、負傷率・負傷程度は小さい。その理由を、以下の負傷世帯発生率から推測する。一般に負傷世帯発生率( $I_{injury}$ )は、居室人数 $n$ に対して負傷者 $x$ が0

より多く発生する確率として求められ、家具転倒領域率 (R) と負傷回避行動率 (B) との間に以下の関係が成立する。

$$I_{njury} = P_x(x>0) = \{1 - P_x(x=0)\} = \{1 - C_0 R^n\} (1-B) = \{1 - (1-R)^n\} (1-B)$$

ここに、(1-B) は上記の非回避行動率である。個々の変数をアンケートから求めると表1となる。一般に負傷者が発生する転倒領域率は50%以上であるので、当該地域の小ささが際立っている。アンケートより家具固定率を推計すると、38%となり、全国平均(37%)とほぼ同じで、特段に家具固定対策を率先しているわけではない。常時からの寝室における家具配置密度が低かったことが深夜においても負傷を軽度留めた大きな理由と考えられる。

### (3) 3町の建物復旧状況調査

上記調査より、北海道で初めて計測震度7を観測した地震の割には、住居及び人的被害など個人世帯に与えた被害は軽度留まった。しかし、復旧は大幅に遅れており思うようには地域復興は進んではいない。特に、被害が顕著であった商店は後継者がいないこともあり、ヒアリングによりこの地震を機会に閉店・廃業を決定した世帯が多いことが分かった。仮に家屋被害がD3程度の軽微被害であっても、解体撤去や他地域(主に札幌圏)への転出を選択するなど、地震後10ヶ月を経過しても未補修の世帯が安平町(75%)、むかわ町(73%)もあり、商店街の消滅、そして地方消滅への端緒となりがねない。

### (4) みつかった新たな課題総括

当該地域は北海道危機対策課により想定地震  $M_w$  7.16 (気象庁マグニチュード M7.7 程度以上) による被害想定がなされていた。実際に発生した胆振東部地震は M6.7 であるが、それとの比較検証の結果(想定|実数) 揺れによる建物全壊棟数(1,661棟|462棟)、それによる死者数(36人|0人)、急傾斜地崩壊による建物全壊数(2棟|?)、それによる死者数(0.2人|36人)、札幌市の液状化による建物全壊数(7棟|40棟以上)であり、土木系の想定被害はかなりの過小評価であった。これは、当該地震が地震動に加え前月から続いた多量の降雨を主な原因とする斜面崩壊の誘因複合化が重なったためである。地球温暖化が進む中、自然環境変化による異常気象と地震等の他の災害誘因との同時発生あるいは後続発生による複合災害が常態化しつつあること、それにより災害シナリオがインフレーション化する懸念があり、それを踏まえた災害対策が今後重要となっていくであろう。本編では触れてはいないが、かつては北海道には生息していなかったシロアリによる蟻害も発見された。自然環境変化は、災害の様相をも変えつつある。そしてそれへの対策の早期順応が求められていることに気づくべきであろう。

そして、少子高齢化現象という社会環境変化が加わり、特に地方において複合災害による脆弱さが際立つことが、当該地震により示唆された。すなわちこの変化は地域生業の後継者育成を阻害し、店舗のメンテナンス軽視を助長し災害発生を契機に復旧断念・廃業そして地方消滅の道を加速させる。

- (8) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
- 岡田成幸・中嶋唯貴：2018年北海道胆振東部地震の被害調査 その1 北海道全域のアンケート震度マクロ調査と被害概要，日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)，21182，2019.9.
  - 岩崎祥太郎・中嶋唯貴・岡田成幸・植松武是・松島信一・佐伯琢磨：2018年北海道胆振東部地震の被害調査 その2 被災中心地域の住家被害悉皆調査，日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)，21183，2019.9.
  - 中嶋唯貴・岡田成幸：2018年北海道胆振東部地震の被害調査 その3 安平町全世帯アンケート調査の基礎解析，日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)，21184，2019.9.
  - 西嘉山純一郎・中嶋唯貴・岡田成幸・寺西祐平：2018年北海道胆振東部地震の被害調査 一厚真町全世帯アンケート調査の基礎解析 - ，地域安全学会梗概集，41，2019.
  - 岡田成幸：北海道胆振東部地震にみる積雪寒冷地住宅の強靱さと新たな問題，特集 北海道胆振東部地震(平成30年)，消防防災の科学，138，22-29，2019.
  - 岡田成幸：地震動による人的被害と室内被害軽減のための自助マネジメント，平成30年北海道胆振

東部地震を振り返り、今後の減災・復興を考えるシンポジウム，厚真町総合福祉センター，2019年10月27日。

岡田成幸：家庭でできる地震防災対策 - 北海道胆振東部地震からの教訓 - ，北海道大学公開講座「北海道の地震と防災」，2019年6月22日（札幌）。

岡田成幸・中嶋唯貴・松島信一・瀧澤一起：地震による被災から回復までの個人世帯生活被災度時間関数の構築，令和元年度京都大学防災研究所研究発表講演会（2020.2.10）。

（9）実施機関の参加者氏名または部署等名：

北海道大学広域複合災害研究センター、岡田成幸

北海道大学大学院工学研究院、中嶋唯貴

京都大学防災研究所、松島信一

東京大学地震研究所、瀧澤一起

他機関との共同研究の有無：無

（10）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：北海道大学広域複合災害研究センター

電話：(011)706-3882

e-mail：okd@eng.hokudai.ac.jp

URL：

（11）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：岡田 成幸

所属：北海道大学 広域複合災害研究センター

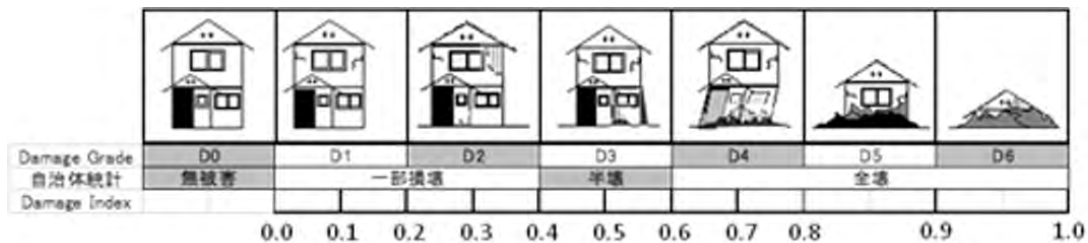
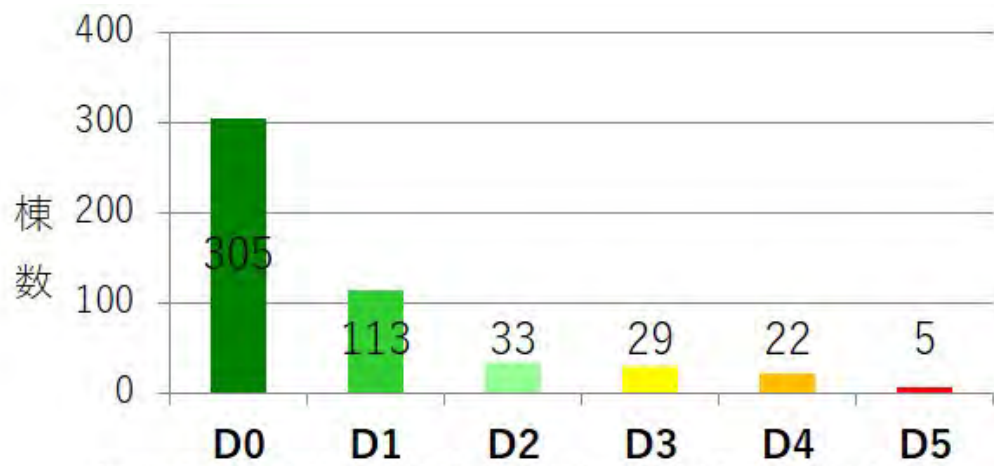
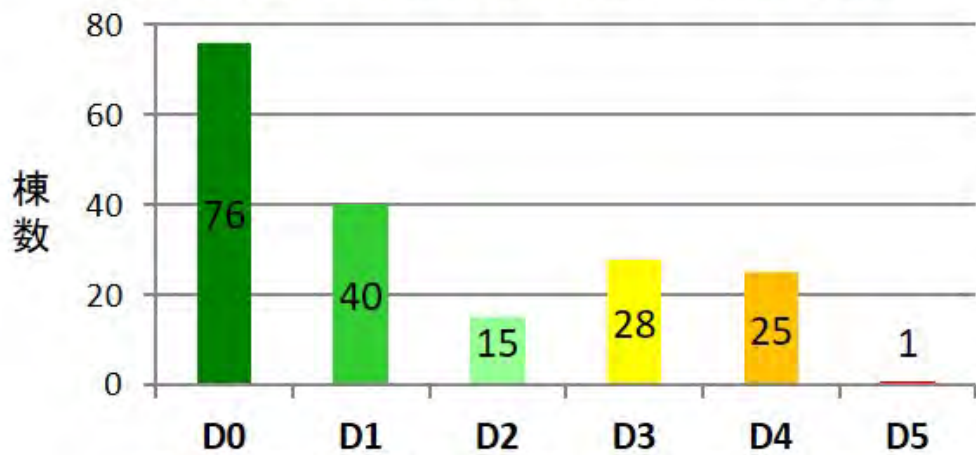


図1 木造建物の破壊パターン



むかわ町鷲川の建物被災度集計結果（棟）



安平町早来の建物被災度集計結果（棟）

図2 悉皆調査による木造住家被災度の集計結果

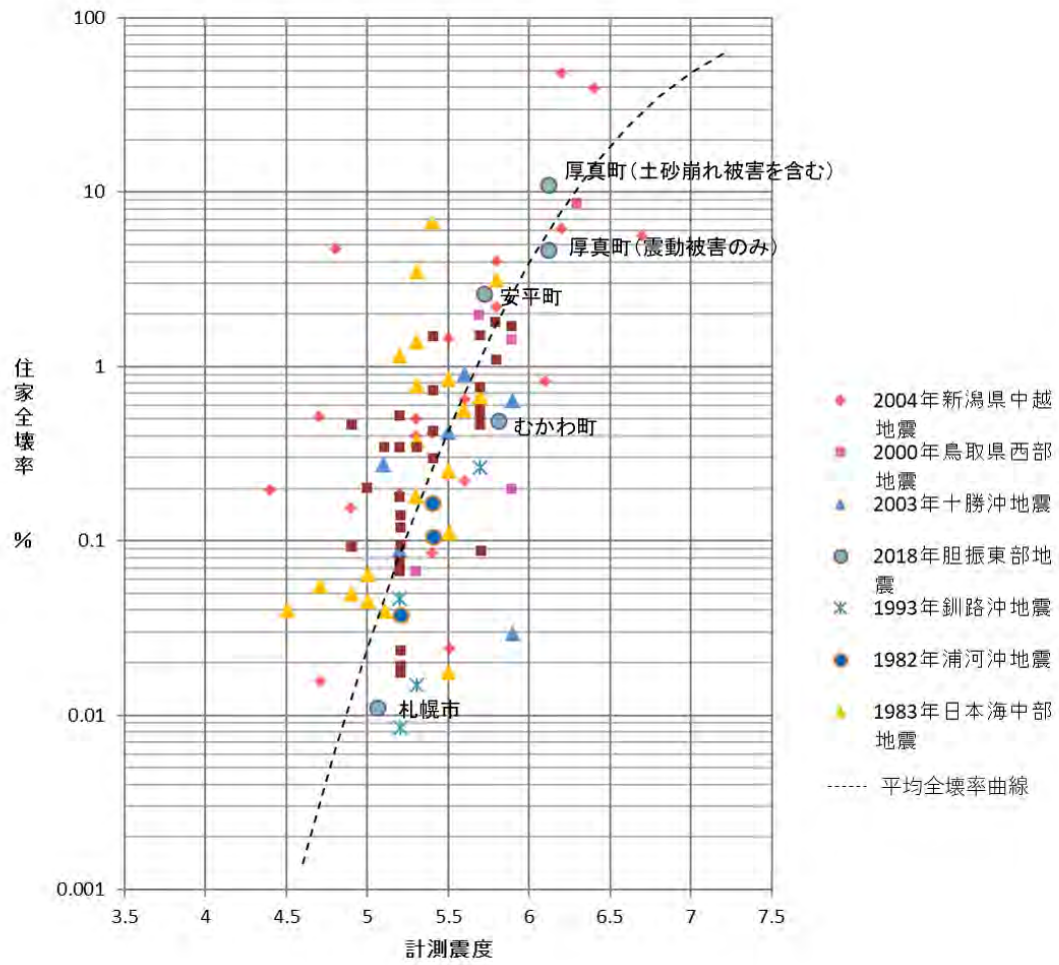


図3 市町村単位でみた震度と住家全壊率の関係



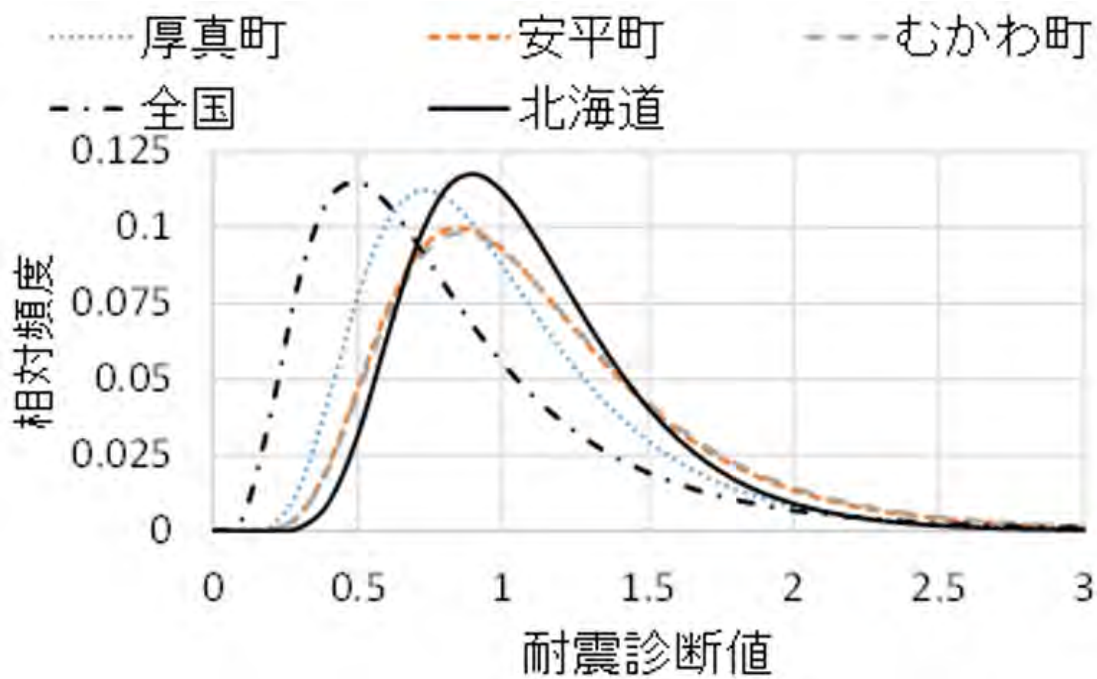


図4 アンケートによる住家耐震診断値の集計結果（対数正規分布で近似）

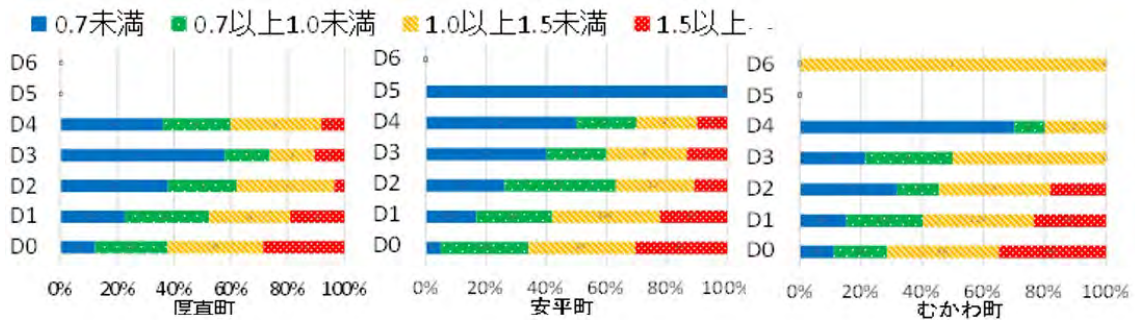


図5 耐震診断値と建物被災度との関係

	$Injury$ [%]	$n$ [人/フロア]	$1-B$ [%]	$R$ [%]
厚真町	18.8	1.661	46.1	27.1
安平町	12.4	1.775	36.6	20.9
厚真町	23.3	1.876	40.6	36.6

表1 家具転倒領域率の推定結果



( 1 ) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

訪日外国人旅行者に対する地震・火山に関する情報提供と風評被害対策に関する事例分析 - 2018年胆振東部地震、2018年大阪府北部地震、2018年草津白根噴火、2015年箱根山噴火を対象として -

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

本研究では訪日外国人旅行者を対象として、地震や火山噴火において、時間軸の中でこういった災害情報の提供時の課題を明らかにする。地震が発生した応急対応、火山については前兆時・噴火時には、大規模な宿泊施設を対象として、外国人旅行者に対してどのような情報が提供され、こういった課題が発生したのか、アンケート調査により明らかにする。また、復旧復興期(または終息時)の風評被害の影響を軽減し、いち早く平常時に戻すための情報戦略について、また平常時の観測情報やハザードマップ等の情報提供について、県観光部と観光協会へのヒアリング調査により明らかにする。

( 7 ) 令和元年度の成果の概要：

主な成果は下記の3点である。

1. 文献調査

主に東日本大震災以降の訪日外国人旅行者に対する災害情報提供に関するマニュアルやガイドライン、主な地震や火山噴火時の対応事例について資料や文献の収集を行った。時間軸の取り扱いや訪日外国人旅行者向けで留意すべき事項について整理を行った。

2. ヒアリング調査

訪日外国人旅行者に対する災害情報提供について、2018年胆振東部地震、2018年大阪北部地震、2015年箱根山噴火、2014年御嶽山噴火を対象として、北海道、札幌市、大阪府、神奈川県、箱根町、長野県にヒアリング調査を実施した。対応における課題と教訓について整理を行った。

3. 宿泊施設へのアンケート調査

訪日外国人旅行者を受け入れ旅行者への災害情報の提供を担う宿泊施設に対して、アンケート調査を実施した。2018年胆振東部地震と2018年大阪北部地震を対象とし、札幌市と大阪市内のホテルを対象に質問紙の郵送による調査を実施し、訪日外国人旅行者への情報提供の実態と課題を明らかにした。以上の調査結果を踏まえて、今後の風評被害対策に関する知見をとりまとめた。

- ( 8 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
南沢修・秦康範：自治体の火山担当者の育成及び火山災害経験者の活用，日本災害情報学会，第21回  
研究発表大会予稿集，2019
- ( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
秦康範、関谷直也、三宅弘恵、牧紀男  
他機関との共同研究の有無：無
- ( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：山梨大学 大学院総合研究部工学域  
電話：055-220-8533  
e-mail：yhada@yamanashi.ac.jp  
URL：
- ( 11 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者  
氏名：秦 康範  
所属：山梨大学 大学院総合研究部工学域

( 1 ) 実施機関名：

拠点間連携共同研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

災害に備えた文化財等データベースの作成と防災マップの構築

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

本研究では、国や自治体が指定する文化財やこれに類する歴史資料、歴史的建造物の所在情報をデータベース化し、災害時のレスキューや保全活動を想定した所在マップを作成する。加えて文化財等所在マップの情報を、地震調査研究推進本部の公開する全国地震動予測地図、産業技術総合研究所の公開する活断層データベースのほか、各自治体が作成・公開しているハザードマップなどの各種災害危険度情報を重ね合わせることで、文化財・史料に対して危惧される災害被害を予測する、災害危険度マップを作成し、将来の災害における文化財・史料に対する具体的な防災対策を計画・立案することに資することを目指す。

対象としては、国宝・国指定重要文化財に指定されている 14,285 件、都道府県指定文化財に指定されている 21,891 件、市町村指定文化財に指定されている 90,742 件の指定文化財および、災害時に拠点となる各地の博物館・資料館などである。これらの位置情報を収集・整理し、Google map のマイマップ機能を活用して文化財マップを作成する。災害被害予測マップについては、先の文化財等所在マップを kmz ファイル化し、Google Earth などのソフトを用いて、災害発生時に面的推定震度分布や建物被害推定

マップなどをレイヤー化して重ね合わせ、文化財被害の推定に活用する。また、発生前の災害被害予測として、文化財等所在マップに全国地震動予測地図や活断層マップなどを重ね合わせ、該当する文化財に迫る災害の危険性の把握や防災対策の立案に資することにする。

なお、これらの文化財所在マップや災害被害予測マップの共有・公開は、多分に個人情報が含まれることや、災害時における被災地の混乱や盗難へと悪用される可能性をふまえて、登録制の web サイトを制作し、閲覧者を登録制としての公開体制を整備する。

( 7 ) 令和元年度の成果の概要 :

本年度は、全国の指定文化財のうち、?国宝・国指定の文化財、?各都道府県の指定文化財の合計約 35,000 件の所在情報のうち、約 20,000 件についてデータ化を完了した。また、東北 6 県の市町村指定文化財の入力を完了した。これらのデータを文化財について、国宝・国指定、都道府県、市町村に加え種別(美術・工芸、建造物、歴史・考古資料、史跡、天然記念物)に分類し、Google マップ上の文化財マップを構築した。また、これらの文化財マップの活用・運用について、2 回の研究会を開催した。

この文化財マップを活用し、2019 年 6 月 18 日に発生した山形沖地震において震度 6 を観測した山形・新潟地域において、クライシスレスポンスサイトで公表された震度推定分布を Google Earth 上で重ね合わせた文化財被害予測マップを作成し、新潟資料ネットの事務局が置かれている新潟大学へと提供した。また、2019 年 10 月の台風 19 号被害においては、宮城県をはじめ、福島県・茨城県・長野県において水害の懸念される地域について、国土地理院が公開した浸水段彩図などを重ねあわせ、各地の文化財関係者や歴史資料ネットの関係者に提供した。さらに、宮城県においてはこの文化財危険度推定マップを活用して被災地の文化財被災状況の巡回調査を行うとともに、被災地の災害ゴミ集積所において、廃棄されている襖の下張り文書などを救出することができた。

また、Google をプラットフォームとした場合の限界性から、e コミマップをプラットフォームとした文化財マップの構築に着手、現在東北 6 県分のデータベースの構築まで完了した。

( 8 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

他機関との共同研究の有無 : 無

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 :

電話 :

e-mail :

URL :

( 11 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 蝦名 裕一

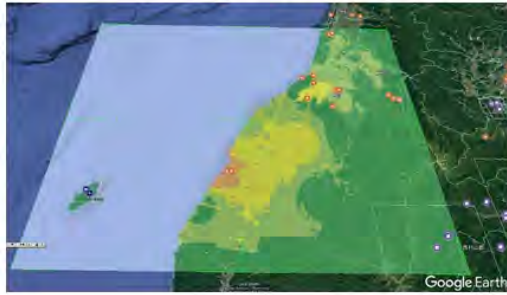
所属 : 東北大学 災害科学国際研究所

# 文化財被害予測マップの作成



文化財マップの構成

## 2019.6.18 新潟山形地震の文化財マップ



所見：震度の大きい場所の文化財  
震度6地域... (新潟) 板垣工務店母屋・倉庫  
震度5地域... (山形) 安良町公民館、水上八幡社本殿  
→被害の生じている可能性あり。地元文化財関係者による確認を。

6/25に新潟史料ネット(原直史新潟大教授)が実際の調査に活用  
→被災地内(新潟)と被災地外(宮城)の連携



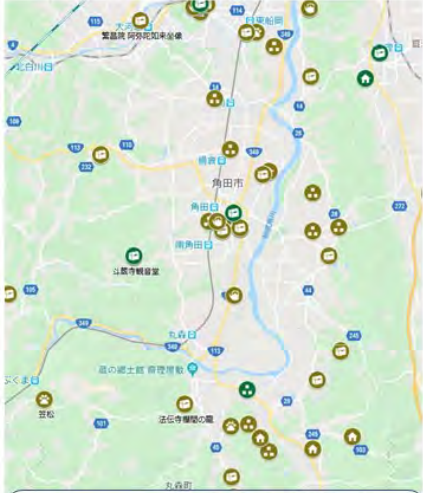
## 台風19号対応における文化財マップ

10月11日深夜～12日未明 台風19号が列島通過

10月13日 文化財の位置の入力・集約

→国土地理院が発表した河川氾濫の浸水想定段彩図と重ね合わせ。

=被害が予想される文化財の位置を表示。



Google Map版  
丸森町の文化財情報



Google Earth版  
丸森町の河川氾濫と文化財の位置情報

2019年10月台風19号への対応

( 1 ) 実施機関名：

京都大学防災研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

津波生成過程の理解に向けた浅部スロー地震の活動様式・発生場の解明とモデル化

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

2013年から2018年までに、日本海溝、日向灘、メキシコおよびニュージーランドの沈み込み帯およびにおいて、海底地震計や海底圧力計を用いた観測を実施した。これらの観測からスロー地震活動の詳細な時空間的特徴を明らかにした。特に、日本海溝では、海底地震・圧力観測記録を精査することで東北地方太平洋沖地震の前に発生していた浅部スロースリップおよび低周波微動活動の時空間的特徴を明らかし、東北地方太平洋沖地震時の大すべり領域とスロー地震の詳細な活動履歴を示す重要な成果を得た。また、日向灘では、2013年の観測でプレート境界浅部領域で発生する低周波微動についての活動特性を明らかにし、浅部低周波微動が震源移動(マイグレーション)を伴うこと、浅部超低周波地震と時空間的に同期した活動が見られること、強い潮汐応答が見られることなど、陸上の観測のみでは検知できない様々な浅部低周波微動の特徴を海底観測から明らかにした。メキシコでは、2015年度よりJST/JICAのSATREPSによる事業において国際共同研究を開始している。



室内せん断摩擦実験については、これまでプレーメン大学の2軸せん断試験機を用いて実施している。特に、日本海溝で採取されたプレート境界の断層物質を含む実験では、プレート収束速度からスロースリップの速度にすべり速度を増加させた場合、すべり弱化となること、スロースリップのすべり速度(0.1  $\mu$  m/s)からすべり速度を増加させた場合はすべり強化となるのに対して、それよりもやや早いすべり速度(3.7 - 10  $\mu$  m/s)から増加させた場合はすべり弱化となることを明らかにした。

(7) 本課題の5か年の到達目標:

近年、浅部スロー地震と津波波源域が一致するという観測事実がいくつかの地域で得られており、津波生成過程の理解のためには浅部スロー地震の理解が重要である。特に、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震では、50mを超える地震時すべり域が沈み込み帯浅部の海溝軸付近に分布し、またほぼ同じ領域で2011年1月末から本発生前までスロー地震が発生していた(図1)。この観測事実は、スロー地震の「ゆっくりとした小さな変位領域」と、通常の地震時の「高速の大きな変位領域」がプレート境界面上で共存する可能性を強く示唆する(図2)。しかし、共存するメカニズムについては未だ不明である。特に浅部の大きな地震時すべりは、津波の発生に直接起因するものであり、もし浅部の地震時すべりのポテンシャルを事前に評価できれば津波災害軽減に向けて極めて重要な情報となりうる。

ここでは、浅部における地震時すべりとスロー地震の関係に特に着目し、繰り返し発生する浅部スロー地震の時空間的な特徴、(1)特にプレート境界での微動の詳細な深さ分布、(2)プレート境界でのすべり速度と微動活動を海底地震・測地観測から明らかにし、(4)これらの観測に則した室内せん断摩擦実験を実施することで、スロー地震によって誘発される巨大地震のメカニズム解明を目指す。調査観測の対象地域としては、西南日本で特に低周波微動活動が活発であることが知られている日向灘、および日向灘とは異なる沈み込みテクトニクスでスロー地震活動が確認されているメキシコゲレロ沖を対象とする。日向灘は、南海トラフ沿いの巨大地震想定域の西端に位置しており、この領域におけるプレート境界の挙動が南海トラフ巨大地震の発生にも関与している可能性が指摘されている。また、約350年前に発生した大地震とそれに伴う大津波発生が、東北地方太平洋沖地震のように浅部スロー地震と関連している可能性が指摘されている。メキシコ沿岸は、過去に発生した巨大地震が海溝沿いに分布しており、南海トラフ同様に巨大地震と大津波の被害を受けてきた地域である。その中で、ゲレロ沖においては、「ゲレロ・ギャップ」と呼ばれる巨大地震空白域が存在しており、将来の巨大地震および大津波の発生が危惧されている領域である。南海トラフ同様に、スロー地震の発生も確認されており、スロー地震に関する多くの研究が進められている。

両領域とも過去数年にわたり長期連続海底地震観測が実施されており、本計画における観測期間を加えた約10年程度に渡る長期的な活動履歴から、浅部スロー地震の時空間的な活動特性を明らかにする。また、海陸の観測記録から、浅部スロー地震活動域である海溝・トラフ軸近傍の応力場や地下構造を調べる。さらに、先述の海底観測で得られる結果に基づき、海底掘削等から取得される物質を用いた室内摩擦実験によりプレート境界近傍の摩擦特性、特にすべりと速度に依存性する摩擦特性を明らかにする。

これらの結果に基づき、浅部スロー地震の詳細な活動様式を明らかにし、浅部スロー地震の発生を支配する場の解明とモデル化を目指すことで、沈み込み帯浅部で発生する津波生成地震および津波地震の発生ポテンシャルの評価に資する。

(8) 本課題の5か年計画の概要:

本計画では日向灘で1年半~2年ごと、メキシコ・ゲレロ沖で1年ごとの海底地震・圧力観測を実施する。それぞれの領域で関係する科研費におけるプロジェクトと連携しながら観測を継続する。2019年度においては、日向灘ですでに科研費で実施している海底観測を継続する。ゲレロ沖の短期型海底圧力計1台、海底地震計6台の設置・回収作業を実施する。ゲレロ沖の長期型海底圧力計4台および海底トランスポンダー4台の回収作業を実施する。メキシコゲレロ沖およびニュージーランド北

島東方沖で取得される地震発生帯の構成物質を用いた室内せん断摩擦実験を実施する。

2020年度においては、日向灘の海底地震計8台の設置作業を実施する。ゲレロ沖の海底圧力計1台、海底地震計6台の設置・回収作業を実施する。ゲレロ沖の長期型海底圧力計4台および海底トランスポンダー4台の設置作業を実施する。回収された記録を用いて、浅部スロー地震の活動様式およびその発生場(地下構造、応力場など)の解析に着手する。前年度に引き続き、メキシコゲレロ沖およびニュージーランド北島東方沖で取得される地震発生帯の構成物質を用いた室内せん断摩擦実験を実施する。

2021年度においては、日向灘の海底地震計8台の回収・再設置作業を実施する。ゲレロ沖の海底圧力計1台、海底地震計6台の設置・回収作業を実施する。ゲレロ沖の長期型海底圧力計4台および海底トランスポンダー4台の設置作業を実施する。前年度に引き続き、回収された記録を用いた浅部スロー地震の活動様式およびその発生場(地下構造、応力場など)の調査と、室内せん断摩擦実験を実施する。得られた結果に基づき、浅部スロー地震発生場のモデル化を開始する。

2022年度においては、日向灘の海底地震観測を継続する。ゲレロ沖の海底圧力計1台、海底地震計6台の設置・回収作業を実施する。ゲレロ沖の長期型海底圧力計4台および海底トランスポンダー4台の設置作業を実施する。前年度に引き続き、回収された記録を用いた浅部スロー地震の活動様式およびその発生場(地下構造、応力場など)の調査と、室内せん断摩擦実験を実施する。得られた結果に基づき、浅部スロー地震発生場のモデル化をすすめる。

2023年度においては、設置した海底観測機器の回収作業を両地域で実施する。前年度に引き続き、回収された記録を用いた浅部スロー地震の活動様式およびその発生場(地下構造、応力場など)の調査と、室内せん断摩擦実験を実施する。得られた結果に基づき、浅部スロー地震発生場のモデルを構築する。

#### (9) 令和元年度の成果の概要：

メキシコ・ゲレロ州沖合で2017年11月から実施している海底地震・測地観測網のデータの回収作業、機器の回収・再設置作業を継続して実施した。加えて、GNSS音響結合方式による海底地殻変動観測(GNS/A観測)による測地観測点3点の観測も継続して実施した。特に2019年度は、長期型海底圧力計1台の機器回収、長期型海底圧力計3台のデータ回収作業、海底地震計8台を設置・回収作業およびウェーブグライダーを用いたGNSS/A観測を実施した。2017年以降に調査海域で取得されたマルチビームソナーの記録の再解析を実施した。2019年までに回収した海底地震・測地観測記録のデータサーバを構築した。ここでは、データサーバとしてUSGSで開発されたWinstonを使用した。

2018年度に回収された9台の地震計記録を解析し、微小地震活動および非火山性微動の分布を求めた。約800個の微小地震について目視でP波およびS波の検測を行い、それらの震源を決定した。微小地震の震源は主として、ゲレロ空白域北西端に設置された観測網の周囲に分布し、特にゲレロ空白域の主要部では周囲に比べて微小地震活動が低調であった。微小地震の一部に小繰り返し地震が含まれることを陸上の観測網記録との比較から確認した。継続時間が10-100秒の非火山性微動を検出し、エンベロープ相関法によりそれらの震源を求めた。解析の結果得られた130個の震源は、海溝軸付近に複数のクラスター状に分布した。各クラスターの活動周期は、おおよそ2-3ヶ月間隔であった。

海底圧力計記録を用いた上下地殻変動の高精度検出に向けて、海底圧両記録の解析手法の開発を進めた。一般に、2つ観測点間の圧力記録の差をとることで共通成分として含まれる海洋起源の圧力変動を除去する手法が知られている。ここでは新たに、2観測点の水深差に依存して相互の観測記録の相関が低下することを見出した。従来は2観測点間の距離の増加に伴い観測記録の相関が低下するものと考え、隣接する2点間で差をとることで相対地殻変動の検出を行ってきた。隣接する場合であっても2点間の水深差が大きい場合、結果として海洋起源の圧力変動を共通成分として効率よく除去することができず、推定される地殻変動を過大評価していた可能性を示した。

スロースリップに伴う地殻変動の検出に対して、海底圧力記録に含まれる周期10日以上の中長期潮汐の影響を評価し、中長期潮汐の除去の有用性を示した。また、観測記録と数値海洋モデル(ECCO)

の比較を行い、観測記録中に卓越する2週間周期(Mf)のシグナルの要因の検討も進めた。

ニュージーランド北島東方沖で取得された地震発生帯の構成物質を用いた室内せん断摩擦実験の実施に向けて、二軸摩擦試験機を用いた実験環境の整備および予備実験を行なった。本年度は特に広島大学所有の二軸摩擦試験機を用いた透過弾性波の実験環境の整備・構築を行った。本年度構築したシステムでは、粘土鉱物からなるせん断試料面に縦波と横波を透過弾性波として入射することで、せん断面の透過波および反射波の収録が可能である。特に、せん断面で生じるPS変換波の検出をレシーバ関数解析とほぼ同様の手法で解析する手法の開発を進めた。結果としてガウジ層に起因する変換波の相の検出に成功した。また偏光顕微鏡を用いた実験試料の薄片観察に向けた準備も進めた。

日向灘では、科研費等により2017年から2018年にかけて実施された日向灘の観測記録の解析を進めた。その結果、2013年の震源域の一部と活動域がほぼ重なる微動活動が2017年12月から2018年に1月にかけて観測された。観測された微動のマイグレーションは、2013年に観測された微動分布の折れ曲がりの部分で停止した。2013年の活動で見られた2回のマイグレーションのうち1回目は今回観測された微動のマイグレーションと同じ場所で停止していた。停止した領域は、九州パラオ海嶺が沈み込む領域に対応し、沈み込む海嶺が微動活動域の広がりを規定する構造的要因であることが示唆される。

- (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Garcia, E. S. M., Y. Ito, S. C. Webb, and T. Inoue, 2019, Time Scales of Variations in Seafloor Pressure Signals at Subduction Zone Margins from Simulations and In Situ Data, American Geophysical Union Fall Meeting 2019, S33D-0608.
  - Inoue, T., T. Muramoto, D. Inazu, Y. Ito, R. Hino, K. Ohta, and S. Suzuki, 2019, Improvement in detection of seafloor crustal deformation due to shallow SSE using ocean bottom pressure by removing broad-band tide components, AGU 2019 Fall meeting, S33D-0610.
  - Plata-Martinez, R., Y. Ito, S. Ide, N. Mizuno, M. Shinohara, T. Yamada, A. Husker, J. Real, V. M. Cruz-Atienza, Y. Yamashita, and A. Toh, 2019, First insight in OBS data and shallow tremor detection at the Guerrero. International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2019, P5-11.
  - Plata-Martinez, R., Y. Ito, S. Ide, N. Mizuno, M. Shinohara, T. Yamada, A. Husker, J. Real, V. M. Cruz-Atienza, Y. Yamashita, and A. Toh, 2019, OBS detection of shallow tremors at the Guerrero Gap, Mexico, Reunion Anual Geofisica Mexicana 2019, SE12-3 0487.
  - Plata-Martinez, R., Y. Ito, S. Ide, N. Mizuno, M. Shinohara, T. Yamada, A. Husker, J. Real, V. M. Cruz-Atienza, Y. Yamashita, and A. Toh, First insight in OBS data and shallow tremor detection at the Guerrero Gap, Mexico, AGU 2019 Fall meeting, S13F-0499.
  - Sawaki, Y., M. Uemura, I. Katayama, and Y. Ito, 2019, Seismological Structural Changes during Bi-axial Experiments Inferred from Receiver Functions, International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2019, P3-15.
  - 佐脇泰典・植村美優・片山郁夫・伊藤喜宏, 2019, レシーバ関数が示す二軸摩擦実験中の構造変化, 日本地質学会第126年学術大会, R13-P-1.
  - 植村美優・伊藤喜宏・片山郁夫, 2019, 二軸摩擦試験機による Slide-Hold-Slide 実験中の反射波と透過波の時間変化, JpGU 2019 meeting, SSS14-P06.
  - 山下 裕亮・渡邊 早姫・山田 知朗・篠原 雅尚・松島 健, 2019, Spatiotemporal variation of released seismic energy from shallow low-frequency tremor in Hyuga-nada, revealed by ocean bottom seismological observation, JpGU2019, SCG48-P43

- (11) 令和2年度実施計画の概要 :

メキシコ・ゲレロ州沖合に長期型海底圧力計1台、海底地震計7台の回収作業および海底地震計6台の設置作業を実施する。ゲレロ沖の海底圧力計1台の設置作業を実施する。2019年度に回収された

海底地震記録の解析を行う。特に、浅部スロー地震の活動様式およびその発生場（地下構造、応力場など）の解析に着手する。非火山性微動、小繰り返し地震、微小地震の活動域とマルチビームソナー記録から得られた海底地形図を比較し、浅部スロー地震発生の際の空間的特徴の抽出を目指す。

ニュージーランド北島東方沖で取得されたコア試料を用いた室内せん断摩擦実験を実施する。特に二軸摩擦試験機と透過弾性波を組み合わせた試験を実施し、すべりに伴うガウジ層の時間変化の検出を目指す。

日向灘に海底地震計 8 台を設置し、特にプレート境界での微動の詳細な深さ分布について調べる。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

伊藤喜宏、山下裕亮

他機関との共同研究の有無 : 有

篠原雅尚 ( 東京大学地震研究所 )、日野亮太 ( 東北大学 )、八木原寛 ( 鹿児島大学 )、清水洋 ( 九州大学 )、Matt J. Ikari ( プレーメン大学 )、Victor M. Cruz-Atienza ( メキシコ国立自治大学 )

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 京都大学防災研究所

電話 : 0774-38-4240

e-mail : ito.yoshihiro.4w@kyoto-u.ac.jp

URL :

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 伊藤喜宏

所属 : 京都大学防災研究所

( 1 ) 実施機関名：

京都大学防災研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

南海トラフ巨大地震の予測高度化を目指したフィリピン海スラブ周辺域での総合的観測研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

○紀伊半島、四国、南九州の3地域をターゲットとして、レシーバ関数解析と地震波走時トモグラフィ解析により、フィリピン海スラブの形状と3次元地震波速度構造を推定した。その結果に基づき、プレート境界面の状態、およびスラブ起源流体の挙動と地震・火山活動との関係について考察した。

○GNSS観測データを用いて客観的な基準により網羅的に短期的SSEを検出する手法を開発し、今までSSEの全体像がつかめなかった琉球海溝沿いのSSEの時空間分布を明らかにした。また、GNSSデータだけでなく地殻変動連続観測等のデータにも対応するSSEの断層モデル推定手法の開発を行った。

○平成28年度から古い地殻変動観測データの解析を開始した。京都大学防災研究所紀州観測点(三重県熊野市)における横坑傾斜計のプロマイド記録をデジタル画像化し、簡単なアルゴリズムで数値化した。その上で、現在の観測データも参照しながら、記録されている傾斜変化について検討を行った。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

○四国の新規 2 測線においてリニアアレイ観測を行う。四国と南九州における既存データも含めたレーザー関数解析と地震波走時トモグラフィ解析により、フィリピン海スラブの形状モデルと 3 次元地震波速度構造モデルを更新する。紀伊半島から南九州に至る地域のプレート境界面の状態、およびスラブ起源流体の挙動と地震・火山活動との関係について明らかにする。

○陸上 GNSS、地殻変動連続観測(歪計・傾斜計)、海底圧力計、GNSS 音響測距結合方式海底地殻変動観測 (GNSS-A) などの測地観測データを統合して、幅広い帯域でのプレート境界すべり現象をモニタリングする手法を高度化し、すべり量の小さい短期的 SSE からすべり速度の小さい長期的 SSE まで SSE の時空間分布を明らかにする。

○紀伊半島と南九州の地殻変動観測点において、これまで蓄積されている地殻変動連続観測のプロマイド記録をデジタル化し、再解析を行う。プロマイド記録のデジタル画像から数値化した上で、現在の観測結果をテンプレートとし、短期的 SSE の検出を試みる。前回の南海地震後の短期的 SSE の活動度を明らかにできる可能性がある。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

○地震観測による南海トラフ巨大地震の震源域周辺の詳細な不均質構造の推定

四国において、稠密リニアアレイ観測の新規の測線を 2 本追加し、前期の 2 測線と合わせて、レーザー関数解析とトモグラフィ解析を行い、フィリピン海スラブの形状とその周辺の不均質構造を詳細に推定する。南九州においては、前期に取得したデータの再解析によりフィリピン海スラブの形状とその周辺の不均質構造を詳細に推定する。紀伊半島における同様の観測研究から得られた成果と合わせて検討することにより、紀伊半島から南九州までのスラブ形状やその周辺の速度構造を詳細に推定する。その結果から、プレート境界面付近の物性や状態を議論するとともに、強震動予測に寄与できるような速度構造モデルを構築する。

1 年次：四国と南九州における既存データの解析。四国における新規測線の観測点の選点調査。

2 年次：南九州における既存データの解析。四国における新規 1 本目の測線での観測開始、および既存データと新規取得データの解析。

3 年次：四国における新規 2 本目の測線での観測開始、既存データと新規取得データの解析、および 1 本目の測線での観測終了。

4 年次：四国における新規取得データの解析、および 2 本目の測線での観測終了。

5 年次：紀伊半島から南九州までのスラブ形状やその周辺の速度構造の総合的な検討。

○測地観測による南海トラフ沿いの SSE モニタリング手法の高度化

GNSS データや傾斜・歪の連続観測データや海底観測網(水圧計、GNSS-A)のデータを用いて、多様な測地データを解析して SSE を検出する手法の開発を行う。さらに、地域性や継続時間などを考慮して SSE と他のスロー地震(微動・低周波地震、超低周波地震)との関係を明らかにし、スロー地震を用いたモニタリング手法の高度化を行う。また、紀伊水道周辺域や東海地方などの南海トラフ沿岸域における京大防災研独自 GNSS 観測網の観測を継続する。

1 年次：海底観測データを用いた SSE 検出手法の開発。GNSS 観測の継続及び新規観測点の調査。

2 年次：多様な測地データを用いた SSE 検出手法の改良。GNSS 観測の継続及び新規観測点の設置。

3 年次：改良した SSE 検出手法の各地域データへの適用。GNSS 観測の継続。

4 年次：SSE 検出手法の適用及びスロー地震間の相互作用に関する考察。GNSS 観測の継続。

5 年次：SSE 検出手法の適用及びスロー地震間の相互作用に関する考察。GNSS 観測の継続。

○過去の地殻変動観測記録の再解析

1 ~ 5 年次：プロマイド記録の撮影をすすめる(紀州観測点および他の観測点の 1940 年代からのプロマイド記録)

1 ~ 2 年次：これまでに撮影したプロマイド記録(紀州観測点、1960 年~1974 年)のデジタル化と短期的 SSE の検出を試みる。またその手法の高度化をはかる。

3～5年次：プロマイド記録（1940年代～1974年）全体の分析と短期的SSEの検出を実施する。

（9）令和元年度の成果の概要：

○地震観測による南海トラフ巨大地震の震源域周辺の詳細な不均質構造の推定

南九州の未解析データの追加解析を行い、レシーバ関数イメージを更新した。トモグラフィ解析の結果も加えて、論文にまとめた（澁谷・他, 2019）。

四国の徳島 - 西予測線の27観測点（臨時15 + 定常12）の2015年12月から2018年5月までのデータを解析し、レシーバ関数イメージを作成した（図1）。OMとラベルした赤線の背景にある赤いイメージの連なりは高速度層の上面と考えられるので、フィリピン海スラブ内の海洋モホ面と解釈できる。その上方にあるSTとラベルした青線は、低速度である海洋地殻の上面、すなわちフィリピン海スラブの上面と考えられる。ここでは海洋地殻の厚さはほぼ一定（7～8 km程度）と考え、明瞭な海洋モホ面（OM）の上方の青いイメージの連なりに解釈線（ST）を置いた。 $-80 < x < 50$  kmではスラブ上面（ST）の上方に濃い青のイメージが見られ、低速度層の存在が示唆される。スラブ起源流体に起因すると考えられる。フィリピン海プレートは西南西に傾きながら紙面の手前から奥の方へ沈み込んでいることになる。

四国南西部の土佐清水市から四万十市西土佐奥屋内まで南南東 - 北北西に伸びる測線上に7臨時観測点の選点を行った。

○測地観測による南海トラフ沿いのSSEモニタリング手法の高度化

南海トラフ沿いの東海地方から紀伊水道におけるGNSS観測を継続して行い、この地域における経年的なプレート沈み込みに伴う地殻変動の観測と陸上GNSSデータを用いた短期的SSEの検出を行った。四国地方においてはGNSSデータのスタッキングによる累積地殻変動（Fujita et al., 2019）、東海地方においては、改良型時間発展インバージョンによるプレート境界すべりの推定によって短期的SSEの発生域を推定した（Sakaue et al., 2019）。海底観測データについては、陸上GNSSデータによる短期的SSEの推定結果と海上保安庁による海底でのGNSS-A観測時系列の比較を行った。海底での地殻変動速度が変化している時期に対応して沖合で短期的SSEと考えられるイベントが見出され、沖合のプレート境界浅部で発生するSSEに伴う地殻変動が海底と陸上の両方で捉えられているが可能性がある。南海トラフ沿いのGNSS観測点における水平地殻変動速度を図2に示す。

○過去の地殻変動観測記録の再解析

紀州観測点のプロマイド記録（図3）からスロースリップイベントである可能性があるトランジェントな傾斜変化を検出し、近年観測されたスロースリップイベントを参照してあり得る断層面位置や規模を検討した（Kano and Kano, 2019）。由良観測点のプロマイド記録の撮影を実施した。記録画像からの数値化手法について検討した。記録画像を公開するためのデジタルアーカイブを試作した。

（10）令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

澁谷拓郎・寺石眞弘・小松信太郎・山?健一・山下裕亮・大倉敬宏・吉川 慎・井口正人・為栗 健・園田忠臣, 地震学的手法による南九州下のフィリピン海スラブの構造の推定, 京都大学防災研究所年報, 62B, 279?287, 2019

Fujita, M., T. Nishimura, and S. Miyazaki, Detection of small crustal deformation caused by slow slip events in southwest Japan using GNSS and tremor data, *Earth Planets Space*, 71:96, doi:10.1186/s40623-019-1075-x, 2019.

Sakaue, H., T. Nishimura, J. Fukuda, and T. Kato, Spatiotemporal evolution of long- and short-term slow slip events in the Tokai region, central Japan estimated from a very dense GNSS network during 2013-2016, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 124, doi:10.1029/2019JB018650, 2019.

Kano, M., and Y. Kano, Possible slow slip event beneath the Kii Peninsula, southwest Japan, inferred from historical tilt records in 1973, *Earth Planets Space*, 71, 95, doi:10.1186/s40623-019-1076-9, 2019.

(11) 令和2年度実施計画の概要：

○地震観測による南海トラフ巨大地震の震源域周辺の詳細な不均質構造の推定

四国南西部の北北西 - 南南東の測線上の7点において地震観測を開始する。南九州と四国の既存データの解析を行う。

○測地観測による南海トラフ沿いのSSEモニタリング手法の高度化

引き続き南海トラフ沿いのGNSS観測を継続し、GNSSや海底データ、陸上のひずみ・傾斜データも用いた短期的SSEの観測解析手法の高度化を行う。

○過去の地殻変動観測記録の再解析

阿武山観測所に所蔵されている過去の地殻変動記録を撮影する。これまで撮影した記録画像を用いたデジタル数値化と短期的SSEの検出を試みる。デジタルアーカイブとして公開する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

澁谷拓郎・西村卓也

他機関との共同研究の有無：有

加納靖之（東京大学地震研究）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学防災研究所

電話：0774-38-4192

e-mail：shibutani.takuo.4r@kyoto-u.ac.jp

URL：http://www.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：澁谷拓郎

所属：京都大学防災研究所

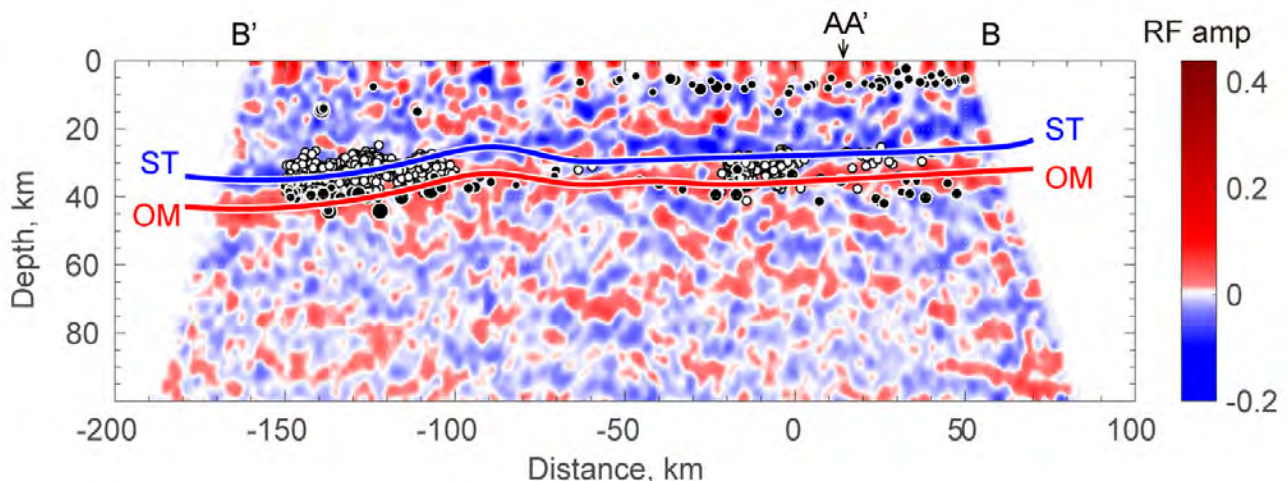


図1 徳島(B) - 西予(B') 測線におけるレイシーバ関数イメージ

四国を東西に横断する測線でのレイシーバ関数イメージ。解釈線STとOMはそれぞれフィリピン海スラブ上面とスラブ内の海洋モホ面を示す。白丸は深部低周波地震を、黒丸は通常の地震を示す。AA'は四国を南北に縦断する海陽 - 綾川測線の位置を示す。



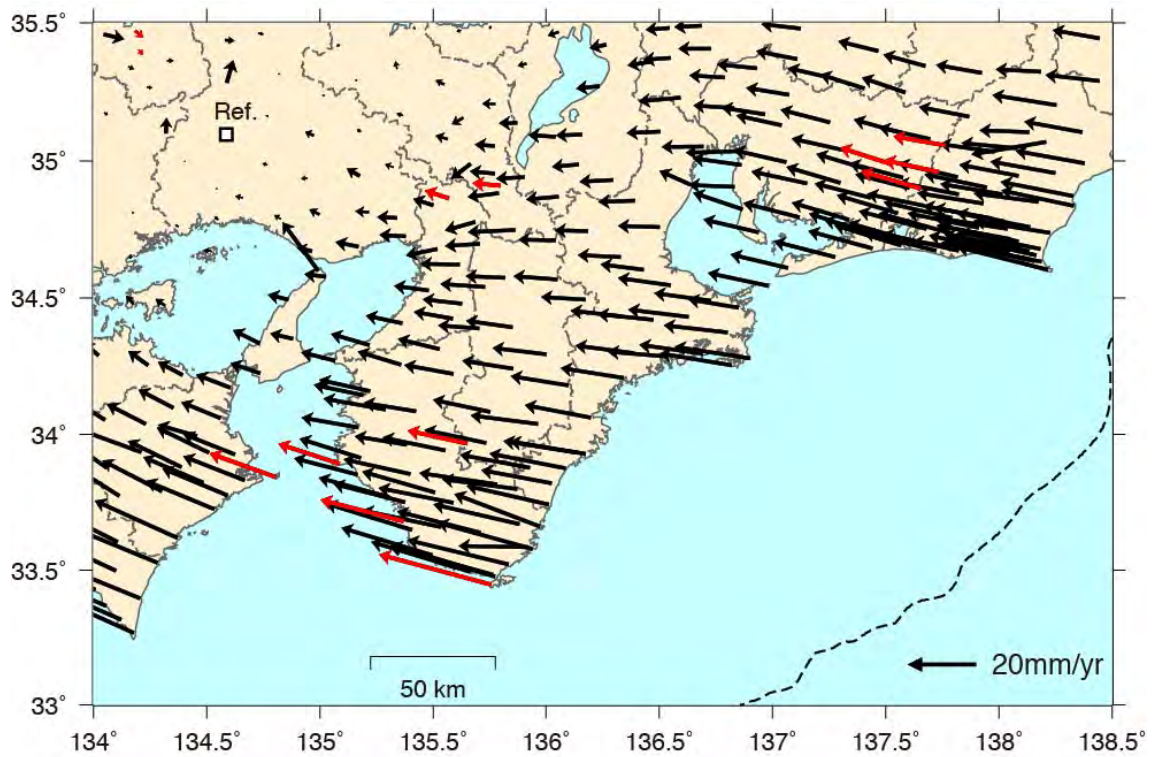


図2 南海トラフ沿いのGNSS観測点における水平地殻変動速度

観測期間は2018年1月1日より2019年12月31日。赤矢印は京都大学防災研究所による観測点における速度を表し、黒矢印は国土地理院などの観測点における速度を表す。固定局は兵庫一宮(図中のRef.)

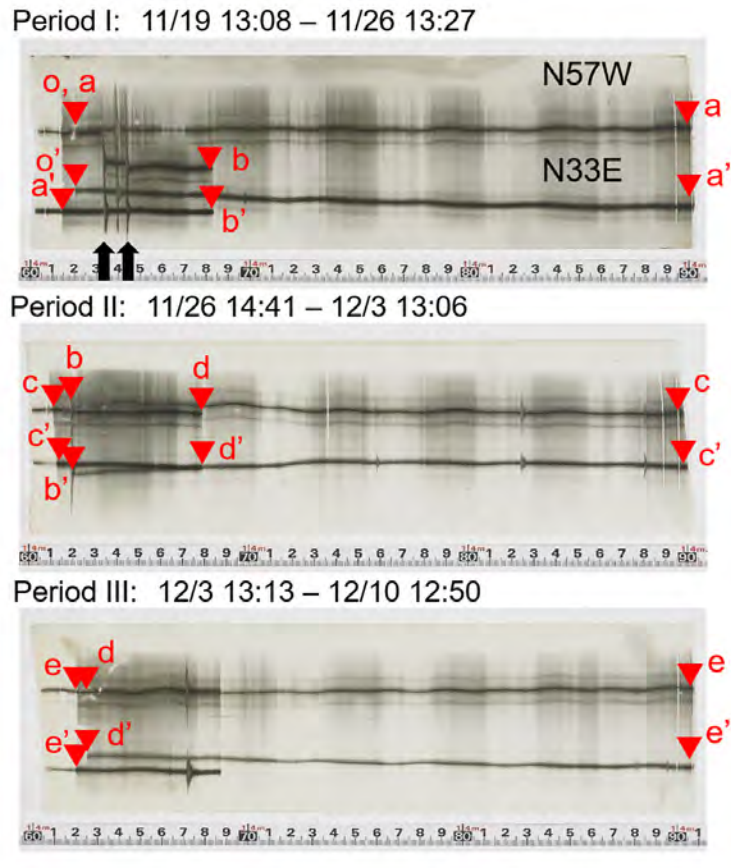


図3 紀州観測点における傾斜計の記録

印画紙に記録された N57W 方向 (上) と N33E 方向 (下) の傾斜変動。横軸は 4.8 cm が約 1 日に対応する。

( 1 ) 実施機関名：

京都大学防災研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

内陸地震の発生機構と発生場の解明とモデル化

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

オ. 構造共通モデルの構築

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

- ・ 跡津川断層系において、InSAR と GNSS を組み合わせることにより、歪集中帯内部の歪が不均質であることを明らかにした (Takada et al., 2018)。
- ・ 山陰地方の島根県東部から鳥取県にかけて顕著な歪集中帯を発見した (Nishimura and Takada, 2017)。
- ・ 四国地方で広帯域 MT 観測を約 30 点で実施し、中東部と中西部の比抵抗の不連続領域が深部低周波微動の発生域に対応することを再確認した。中西部では MTL 付近に比抵抗構造の境界があり、南側の低比抵抗領域が北側の高比抵抗領域の下に北傾斜の形状で存在すること、周期 1 秒～数 10 秒の見かけ比抵抗の面的分布の特徴から MTL が比抵抗構造境界であることが示唆された。
- ・ 鳥取県中部の地震 ( M6.6 ) 震源域周辺の比抵抗データから、2015 年と 2016 年の地震発生域に連続する低比抵抗領域が帯状に存在することが示唆された。

・山陰地方の地震帯直下の深さ 25km において、幅約 50km 程度の低速度異常域を見出した。さらに、島根県東部から鳥取県西部にかけて、地震帯直下の Weak zone の変形によると解釈できる応力場の回転を捉えた (Iio et al., 2017)。

・山陰地方の地震帯周辺において、近年発生した大地震の断層端に低速度異常域を系統的に見出した。

・島根県東部の定常的な地震活動域において、非常に小さな断層強度を推定した (Iio et al., 2017)。

・鳥取県中部地震の断層の両端で地震前に応力緩和していたことを示唆するメカニズム解が得られた。

・近畿地方中北部において、レシーバー関数解析と S 波の反射法解析により、モホ面や S 波の反射面の詳細な形状が明らかになった (Aoki et al., 2016, Katou et al., 2018)。S 波の反射面が花折断層や西山断層直下の下部地殻において断層沿いに分布していること、モホ面の形状に関して、微小地震の集中している北摂丹波地域では非常にフラットであるがその南側および東側に向かって浅くなっていることが見出された。

・長野県西部地域において、数十 m 以内と近接して発生する地震のペアの P 軸が大きく異なっていることから、微小地震の断層の強度が非常に小さい可能性が指摘された (Iio et al., 2017)。

・御嶽山周辺域のテクトニック応力場の推定を行い (Terakawa et al., 2016)、これを基に地震メカニズムトモグラフィー法を用いて、間隙流体圧分布の推定を実施した (Terakawa et al. 2013b; Terakawa 2017)。その結果、東麓の群発地震発生域の間隙流体圧レベルは 10-30 MPa 程度であることを示した。また、地震メカニズムトモグラフィー法を用いて、注水実験による誘発地震のメカニズム解から間隙流体圧場の時間発展を推定した (Terakawa 2014)。

・御嶽山直下で発生する火山性地震のメカニズム解のタイプから、  
応力場の時間変化に基づいて御嶽山の火山活動をモニターする手法について  
提案した (Terakawa et al., 2016)。

・間隙流体圧をパラメータとした絶対応力場のモデル化・推定法 (Terakawa and Hauksson, 2018) を用いて、1992 年ランダース地震震源域の絶対応力場を推定した。

・西南日本における地殻変動観測データを用いて、ブロック断層モデルによる内陸ブロック境界での相対運動速度と南海トラフ・相模トラフにおけるプレート間カップリングの同時推定を行った (Nishimura et al., submitted)。その結果、アムールプレート安定部とフィリピン海プレート安定部の相対運動速度 (約 7cm/yr) のうち、1/3 から 1/4 は中央構造線や山陰ひずみ集中帯などの西南日本内陸部での変形によって賄われており、残る 2/3 から 3/4 が南海トラフから沈み込むプレート境界域での変形によって賄われていることが明らかになった。この陸側プレート内の変形が集中している領域は、新潟-神戸ひずみ集中帯から淡路島を通り、中央構造線から大分、阿蘇、布田川・日奈久断層帯へと至る領域であり、これらの領域では概ね 1cm/yr 程度の相対運動を賄っていると推定される。また、南海トラフ沿いのプレート境界域での固着分布は一樣ではなく、最もカップリング率の大きな深さ 10-25km の領域において、東経 132 度、136 度、137 度付近に固着の弱い場所があり、過去の巨大地震のセグメント境界に対応することがわかった。

・鳥取県中部地震 (Mj6.6) は、詳細な地殻変動解析より余効すべりが地震時すべりの小さかった浅部領域で主に発生していることが明らかになった。

・気象庁一元化震源データや阿武山微小地震観測網のデータに非定常 ETAS モデルおよび時空間 ETAS モデルを当てはめ、地震活動の時間変化を定量的に捉えた。1989 年頃からの静穏化とその加速、約半年前の活発化と兵庫県南部地震直前の急激な静穏化が示された。

・近年発生した内陸大地震に関連した地震活動変化と GNSS 観測データの関連について詳しい調査を行い、GNSS 観測データの小さな変化については注意深い検討が必要であることが分かった。

・深部延長に延性剪断帯を持つ大規模な内陸活断層の数値モデルを使用し、外部からの擾乱に対し内陸活断層がどの様に反応するかを調べ、活動期の長さや海溝型地震サイクルの長さのスケールリングについて予察的な結果が得られつつある。

(7) 本課題の 5 か年の到達目標 :

地震の発生機構や発生場の解明のためには、断層近傍の応力場および断層の強度の解明が重要である。本研究の主な目的は、西南日本のひずみ集中帯などにおける内陸地震の断層への载荷過程および断層の強度低下過程の解明である。

断層への载荷過程においては、様々な手法を駆使して、内陸地震の断層周辺の不均質構造や変形場を捉えて、応力場の形成過程を解明する。より具体的には、歪集中帯の内部構造や詳細な変形様式の解明、地殻・マントル上部の比抵抗構造の不均質性の解明、内陸地震の断層周辺の3次元の不均質構造、低周波地震活動や応力場の解明等による非弾性変形と断層への応力集中過程の解明、西南日本のブロック断層モデルの高度化と数値シミュレーションによる内陸地震の発生過程の解明、地震活動変化の解明を主な目的とする。また、内陸活断層の数値モデルに応力擾乱を加える数値実験を行い、海溝型巨大地震サイクルに伴う準周期的な応力変動と内陸地震の関係（活動期）について理解する。現計画の期間には、満点方式の高密度地震観測網内において、2018年島根県西部と大阪北部の地震が発生した。鳥取県西部と中部の地震が地震発生域をほとんど断ち切るようなM7クラスの大地震だったのに対して、これらは一回り小さいM6クラスで、余震域は深さ5km以深に限定されているため、両端に加えて浅い側での大地震発生の可能性の評価も必要である。特に、大阪北部の地震は、都市域で発生し、しかも周辺に、上町断層帯や有馬高槻断層帯、宇治川断層など、大都市直下の大きな活断層が複数分布しており、それらへの影響が懸念されているため、山陰地方のひずみ集中帯で得られた知見等も活用して、地震の発生過程と今後の推移の予測を試みる。

断層の強度低下過程の解明においては、間隙流体圧等の上昇に伴う断層強度の低下を解明する。従来は、断層面での剪断応力の蓄積が重要視されてきたが、2011年東北地方太平洋沖地震後に東日本内陸域の広い範囲で誘発地震が発生したことは、本震の引き起こした応力変化よりも、間隙流体圧等の急激な上昇に伴う断層強度の低下が地震の発生に重要な役割を果たしたことを強く示した（e.g., Terakawa et al. 2013a）。プレート境界から数100km離れた内陸域では、プレート運動による広域応力蓄積レートに比べて、間隙流体圧場の時間変化のスケールは有意に速いと考えられる。このことは、一般的な内陸地震の発生においても、断層強度の低下が重要な役割を果たす可能性があることを意味する。本研究においては、地震メカニズムトモグラフィ法（FMT法）による三次元間隙流体圧場の時間発展解析（Terakawa et al., 2013b; Terakawa, 2014）を軸とし、と間隙流体圧をパラメータとした絶対応力場のモデリング手法（Terakawa and Hauksson, 2018）内陸地震の発生における間隙流体圧及び応力の役割を定量的に分析することを目的とする。

#### （8）本課題の5か年計画の概要：

##### ・断層帯周辺の稠密地殻変動とモデリング

山陰地方、大阪府北部、跡津川断層系周辺の3つの横ずれ断層が支配的な地域を対象にGNSSとInSARによる稠密地殻変動観測を行い、断層周辺域における歪速度の詳細分布や時間変化の有無を明らかにして、断層帯深部の定常すべりの検出や変形様式の考察を行う。

H31:GNSS観測網の再構築と大阪府北部地域における新規観測点の設置、跡津川断層周辺のInSAR解析

H32:既存GNSSデータに基づくひずみ速度分布の解明、跡津川断層周辺のInSAR解析

H33:新規GNSS観測点のデータも含めた詳細ひずみ速度分布の解明と地殻変動の時間変化の検討、跡津川断層周辺のInSAR解析

H34:新規GNSS観測点のデータも含めた詳細ひずみ速度分布及び時間変化の解明、跡津川断層周辺のInSAR解析、地殻変動モデリング

H35:GNSSデータとInSARデータを統合し、観測された地殻変動に基づくモデリングと考察を行う。

##### ・比抵抗観測とモデル化

中国・四国地方の基盤的比抵抗構造では緯度・経度方向に5分×7.5分の測点密度観測網を展開する。(a)鹿野・吉岡・岩坪断層を含む線状配列をなす地震活動帯、(b)中国地方東部域（地震活動帯から那岐山断層帯を越え吉備高原中北部の鳥取・岡山県境周辺域）ならびに中国地方中北部域（島根県東部地震空白域から鳥取県境付近）において広帯域MT観測を実施する。(c)四国地方では未測定エリア

において 10 分 × 10 分基盤的測点データを取得すべく広帯域 MT 観測を展開する。以上、測点密度を向上させた 3 地域における広域的・基盤的比抵抗構造調査をもとに、主に、流体分布の観点から、地殻・マントル上部の空間的構造不均質性を明らかにし、地震・火山現象を支配する場の解明とモデル化に寄与する。

各年度の主な計画は次の通り。H31:中国中北部・東部及び四国地方の MT 予備調査と選点完了地域における本観測ならびに既存データを用いた四国地方の基盤的比抵抗構造解析を実施。H32:同じく中国・四国地方の MT 予備調査と選点完了地域における本観測を実施。H33:四国地方の MT 観測ならびに中国地方の基盤的比抵抗構造解析を実施。H34:四国地方及び中国地方の基盤的比抵抗観測網の未測定エリアにおいて補観測を実施。H35:中国・四国地方の基盤的比抵抗観測の未測定エリアにおいて補観測を実施。中国地方中北部・東部域～四国地方の基盤的比抵抗構造統合モデルを構築し、地震・火山現象を支配する場の解明とモデル化に寄与する。

#### ・高密度地震観測による内陸地震の発生機構と発生場の解明

山陰地方の地震帯、近畿地方中北部や長野県西部地域など西南日本の横ずれ断層の活動域において高密度地震観測を行い、内陸地震の断層周辺の 3 次元の不均質構造、低周波地震活動や応力場の解明等を行う。特に、大阪北部の余震域とその周辺において高感度地震観測を強化して、有馬高槻断層帯などの断層周辺の 3 次元の不均質構造、応力場や断層の強度などを推定する。また、震源に極近い観測点の連続波形記録等から前震から本震に至る過程を調査する。また、余震観測等を含む高密度な地震観測網記録に地震波干渉法を適用することによって、都市部での断層構造や浅部地下構造推定の可能性を調べる。

H31: 高密度地震観測網の再構築、大阪北部の地震の詳細な余震分布および余震域とその周辺の応力場の推定、大阪北部の地震の本震前の連続波形記録や測地学的記録の精査、

H32: 大阪北部の地震の余震域とその周辺の 3 次元不均質構造の推定、大阪北部の地震の本震に至るモデル化

H33: 大阪北部の地震の余震域周辺における低周波地震活動の解明、観測点ペアにおける地震波干渉法の適用

H34: 大阪北部の地震の発生過程と今後の地震活動の推移の予測、全波動場計算の結果と地震波干渉法により得られた疑似地震波形との比較による構造推定と解釈

H35: 統合モデル化、地震波干渉法の都市部地下構造探査への応用可能性の検討、高密度地震観測網の撤収。

#### ・地震の発生における応力と流体の役割の解明

本研究では、プレート運動による応力蓄積率の遅い内陸地域を対象に、地震のメカニズム解から地殻内の絶対応力場、及び地震の発生における応力と流体の役割を定量的に評価することを目指す。このため、内陸域にありながら活発な地震活動が観測される御嶽山周辺域などを対象とする。研究の軸となる FMT 法 (Terakawa et al., 2010; Terakawa, 2014) と間隙流体圧をパラメータとした絶対応力場モデリング手法 (Terakawa and Hauksson, 2018) では、地震のメカニズム解をデータとして用いる。このため、研究期間全体を通じて、名古屋大学をはじめとする諸機関の定常地震観測によって得られた良質な地震データから、気象庁カタログには掲載されない微小地震も含めて震源とメカニズム解を推定し、データベースを構築する。

H31-32: FMT 法は、応力場と地震メカニズム解の関係から、地殻内の間隙流体圧場を三次元的に推定する手法である。この手法では、応力場のパターンの推定誤差がインバージョン解析のモデル誤差となり、結果に偏りを生じる可能性があることがわかっている (Terakawa, 2017)。このため、応力場の推定誤差を取り入れた定式化を行うことを検討する。

また、これまでの成果により、御嶽山東麓の群発地震発生域に、静水圧を  $15 \pm 5$  MPa 程度上回る安定な高圧間隙流体圧場が形成されている可能性があることがわかった (Terakawa, 2017)。本研究では、改良した FMT 法と微小地震から求めた局所応力場とその推定誤差 (Terakawa et al., 2016) を用いて、この領域の間隙流体圧分布の時間発展解析を行い、活発な群発地震活動と間隙流体の関係を定量的に

明らかにする。

H33-34: 間隙流体圧をパラメータとした絶対応力場モデリング手法では、文字通り、( 応力場の最適面に働く ) 間隙流体圧をパラメータに絶対応力場をモデル化し、大地震の引き起こす応力変化や弾性歪エネルギーの変化に基づいて適切な間隙流体圧レベルを推定し、これを通じて絶対応力場を求める ( Terakawa and Hauksson, 2018 )。この絶対応力場の推定解析を、本研究で推定した大量の地震のメカニズム解に適用し、2017年6月25日の長野県南部の地震 ( M 5.6 ) の発生直前の絶対応力場を推定することを試みる。一方、地震の発生した断層運動のタイプと応力場のパターンの関係を統計的に調べて、観測データから絶対応力場レベルを測る手法について検討することを試みる。地震は既存弱面を利用した応力解放過程であるため、一様な応力場の下においても、ばらついたメカニズム解が観測されることがある。このメカニズム解のばらつきは、経験的に、地震の規模が大きくなるにつれ観測されなくなる傾向があり、ばらつきが観測されなくなる最小マグニチュード ( ここでは  $M_c$  と定義する ) は地域毎に異なる ( Terakawa et al., 2012, 2013b; Terakawa, 2014 )。本研究では、大量のメカニズム解のデータから、 $M_c$  の分布を場の情報として求めて、絶対応力レベルとの関係を調べる。また、御嶽山周辺域以外の内陸地域 ( 2016年熊本地震、2009年ラクイラ地震、1992年ランダース地震の震源域など ) について、同様な解析により絶対応力場や  $M_c$  の分布を推定し、テクトニクスによる絶対応力場の特徴の違いなどを分析することも視野に入れる。

H35: H33-34年度に推定した絶対応力場と間隙流体圧レベルを基に、まず、長野県南部の地震の引き起こす応力変化が原因で余震が活発化すると考えられる地域を調べて、実際の余震活動と比較する。次に、本震による応力変化で説明できない余震活動を特定し、FMT法の考え方をを用いて、応力場とメカニズム解の関係から間隙流体圧の影響を定量的に調べることを試みる。

#### ・西南日本の地殻変動と内陸地震の活動期のモデリング

西南日本において内陸域のひずみ集中帯を含む広域地殻変動場をブロック断層モデルを用いてモデル化し、南海トラフの巨大地震サイクルに伴う内陸地震の活動期・静穏期を CFF ( Coulomb 's Failure Function ) とブロック形状に基づくシミュレーションと個別の断層に着目した摩擦構成則を用いたシミュレーションによって再現して、そのメカニズムを明らかにする。

H31:GNSS データ及びブロック構造に関連する知見の整理、個別の断層に与える長期的滑り速度や地震発生層の厚さ等の境界条件の整理、シミュレーションプログラムのコーディング

H32: 粘弾性変形を考慮したブロック断層モデルの高度化と CFF 及び摩擦構成則を用いた個別断層のシミュレーションの構築、シミュレーションプログラムのコーディング

H33:シミュレーションと実際の地震活動及び地殻変動との比較によるシミュレーションのパラメータのチューニング

H34: シミュレーションと実際の地震活動及び地殻変動との比較によるシミュレーションのパラメータのチューニング、 CFF と摩擦構成則を用いたシミュレーションの統合に関する検討

H35:内陸地震の活動期のシミュレーションの統合化とまとめ

#### ・地震活動変化

内陸大地震の発生前の地震活動変化はゆっくりすべりによる応力変化 ( CFS ) に起因するという説を、GNSS 観測データの解析や地下構造や応力場のデータも含めて検証するとともに、地震活動の異常性を業務的に捉えられるようなモデルとそのソフトウェアを開発し、確率予測が可能になるような統計モデルの提案を目指す。

H31-32:地震データの整理と予備的な解析。H33:地震活動変化解析。H34-35:統計モデル作成。

### ( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

#### ・断層帯周辺の稠密地殻変動とモデリング

山陰地域においては、2014-2018年のGNSS稠密観測データの解析から、鳥取県東部・中部・西部における下部地殻の非弾性せん断帯の位置と幅の推定を行った ( Meneses-Gutierrez and Nishimura, 2020 )。せん断帯の幅は、GNSSデータのみから精度良く推定することは出来ないが、鳥取県東部・中部・西



部の順に狭くなるという結果が得られた。それぞれの領域で発生した M6-7 級地震の震源断層は、ほぼ断帯の中央に位置するが、鳥取県西部だけは、2000 年鳥取県西部地震の震源域の北側に位置することがわかった。

大阪府北部においては、京都大学防災研究所共同利用拠点研究の経費により、2019 年秋に有馬-高槻断層帯を横断する 10 か所に GNSS 連続観測点を新設し、観測を継続している。また、京都市埋蔵文化財研究所と地域地盤環境研究所の協力により、近畿地方 4 か所の GNSS 連続観測点のデータの提供を受け、日座標値の計算を開始した。有意な地殻変動を議論するためには、観測の継続が必要であるが、良質なデータが蓄積中である。

跡津川断層近傍において GNSS 連続観測を行い、順調にデータを蓄積した。InSAR を用いてこの地域の地震間地殻変動を検出する上で、電離層擾乱の影響を効果的に除去する必要がある。近年開発された Split Spectrum 法 (Gomba et al., 2015) を電離層擾乱が特に激しい台湾南西部に適用し、InSAR 画像から電離層擾乱の影響を除去することに成功した。

#### ・比抵抗観測とモデル化

中国中北部・東部および四国地方の MT 予備調査と選点が完了した中国地方東部地域における本観測を実施し、四国地方では既存データを用いた基盤の比抵抗構造解析を進めた。2 次元構造が推定された中国地方東部の調査概要は以下のとおりである。

2019 年 10 月下旬から 12 月下旬にかけて、中国地方東部において測定空白域を中心に自然界に存在する微弱な電磁場変動を信号とする広帯域 MT 法観測を実施した (図 2)。これにより、山陰地方東部鳥取周辺域では、1943 年鳥取地震の地震断層域が緯度・経度 5 分 × 7.5 分の測点密度観測網で覆われた。特に、本年の主な研究対象域は、鹿野・吉岡断層の東方延長域 (現在地震活動が比較的低調) であり、かつ蔵見サイトや滝サイト近傍で雨滝・釜戸断層や山崎断層帯を横切る場所でもある。観測には、フェニックス社製測定器 MTU-5 及び MTU-5 A を使用し、原則として、地磁気 3 成分と電場 2 成分を合計 11 地点で測定した。観測により得られた見かけ比抵抗探査曲線ならびに位相差曲線を図 3 に示す。今回の観測では、地磁気擾乱現象に恵まれた測定期間もあったが、やはり、鳥取・岡山県境付近から南側地域では、電気鉄道からの漏洩電流や電柵などによるノイズの強い影響を受ける地点もある。現時点のデータ処理段階では、1 秒付近から長周期帯側で良質の探査曲線を推定できていない地点もあるが、見かけ比抵抗などの探査曲線図から読み取れる特徴としては、今回の観測地域を大局的にみれば、曲線の形状は似ており、いずれの曲線も深部に高比抵抗領域 (少なくとも  $k \text{ m}$  オーダー) の存在を示唆する。また、位相差の YX 成分値が数百秒あたりから高くなる傾向も共通して見られた。

試みとして東西走向に 2 次元構造が存在すると仮定して、Ogawa and Uchida(1996) のコードを用いて構造解析を行った。その予察的な結果として得られた構造断面を図 4 に示す。全般的に地殻は高比抵抗領域として推定された。これまで山陰地方で指摘された 10 m 以下の深部低比抵抗領域は浅部以外にはみられない。南側観測地域のデータの質や主要断層の走向が、モデルの 2 次元走向と斜行すること等を考慮すると断定はできないが、やはり、周囲の比抵抗値と比べるとより高い比抵抗領域において地震が発生しているように見える。

比抵抗観測では、京都大学防災研究所 (共同利用) ならびに東京工業大学が保有する観測機材を使用させて頂いた。また、日鉄鉱コンサルタント (株) より参照点磁場記録の提供を受けた。

#### ・高密度地震観測による内陸地震の発生機構と発生場の解明

大阪府北部の地震の詳細な余震分布および余震域とその周辺の応力場の推定を行った。図 5 に、京大防災研・九大・東大地震研・関大合同観測班、満点計画および周辺の高感度定常観測点 (NIED, Kyoto Univ., JMA, AIST) のデータにより、メカニズム解が精度よく決定された余震の震源分布と観測点の分布を示す。余震域の北部には満点計画の観測点が約 5km おきに、南部には余震観測点が 1km かそれ以下の間隔で設置されており、精度のよいメカニズム解を決定することができた。図 6 に一例として、深さ 11km における P 軸の方位と T 軸の傾斜角の分布を示す。○の塗りつぶしの色が赤系統の余震は、T 軸が鉛直に近い逆断層型であり、北側に多い。一方、青系統の余震は横ずれ型であり、南側に多い。図中には、本震の断層モデルから計算された dCFF の空間分布も示されている。京都大学防災研究所



地震災害研究分野(浅野公之)により、南側の高角の断層面と北側の東傾斜の断層面を仮定し、波形インバージョン解析によって推定された、本震の断層モデルを近似したすべり分布により計算された。dCFFの0.1MPaのコンターは、左が逆断層型、右が横ずれ型の断層面に対するもので、それぞれの型の余震の分布とよく対応している。多くの余震は本震すべりにより引き起こされたと考えられる。ただし、余震は、北方の定期的に微小地震活動のある領域など、推定断層面からかなり離れたところまで分布しており、そこでは、断層の強度とせん断応力が近い状態にあることが示唆される。

図6に示されているように、P軸の方位と傾斜およびT軸の傾斜角とも色々な値をとっており、近年の内陸大地震について報告されているように、個々の余震の断層の大部分は、本震の推定断層面と平行ではなく、様々な向きを向いていることが分かる。このことから、余震域における応力場は、北側では逆断層型、南側では横ずれ型であると予想されるが、応力逆解析により、図7に示されているように、Y-2~4付近においては逆断層的な応力場が、それ以外では横ずれ型の応力場が推定された。これは地震後の応力場であるが、浅野による断層モデルのすべり方向と調和的であり、余震域とその周辺においては、本震前から応力場の空間的な不均質があったことが示唆される。

都市部での断層構造や浅部地下構造推定のために、大都市大震災軽減化特別プロジェクト(大大特プロジェクト)などの既存の地殻構造探査結果の再解釈が行われ、大阪府北部の地震の震源域周辺において、以前から特定されている活断層の延長部に、伏在する活断層が発見された。図8に示すように、有馬-高槻断層帯を構成する真上断層の東の延長は山丘丘陵の南側の地質境界へ延びること、枚方とう曲の北方延長は淀川低地帯の南西縁を限って、上記の真上断層の東方延長部まで延びることが分かった(堤・飯尾, 2019)。

山陰地方の地震帯において、地震波トモグラフィー等により不均質構造が推定された。鳥取県から山口県にかけて下部地殻において低速度異常が推定されているが、図9に示すように東部においては、それは、一元化震源のD90が浅い領域とよい対応を示すことが分かった(Tsuda et al., 2019)。しかしながら、西部においてはその対応は東部ほどはっきりしていない。このことから、山陰地方の地震帯の直下の下部地殻に存在すると考えられるWeak zoneの形成においては、東部においては温度が効いていると推定されるが、西部ではその効果ははっきりしない。また、満点計画の観測データ等を用いた地震波干渉法により、浅部の速度構造が詳細に推定され、低速度異常域と地震活動が良い対応を示すことが分かった(Suemoto et al., 2020)。

#### ・地震の発生における応力と流体の役割の解明

##### 御嶽山周辺域の地震活動モニタリング

御嶽山周辺域の地震活動を理解するために、名古屋大学を含む諸機関の定常地震観測で得られた連続地震波形データ(2019年1月~2019年12月)に対し、WINシステムのイベント自動検出機能を利用した手動波形読み取り処理を行い、5766個の地震の震源を決定した(図10)。この中には、2014年の御嶽山噴火以降に継続して発生している火山性地震の震源151個が含まれている(図11)。火山性地震は、2014年9月の噴火以降減少傾向にあるが、未だに噴火前の平常時には戻っていない様子が捉えられた。

##### 2016年熊本地震の余震発生における間隙流体圧の影響

余震の発生は、従来、本震による応力変化(CFF)に基づいて理解されてきたが、最近、間隙流体圧の上昇による断層強度の低下が重要な役割を果たすことが多く報告されている。本研究では、2016年熊本地震を対象とし、地震メカニズムトモグラフィー法(FMT法、Terakawa et al., 2010)による間隙流体圧場の推定と地震時応力変化によるCFFの計算を通じて、これら2つの物理量が本震前後の地震活動度の変化に与える影響を定量的に評価した(Nakagomi et al., in prep.)。まず、気象庁の一元化震源カタログを用いて、九州中央部(経度: 130.2 °E-131.6 °E、緯度: 32.0 °N-33.4 °N、深さ: 0-20km)における本震前3年間(2013年4月13日~2016年4月13日)と本震後3年間(2016年4月16日~2019年4月16日)の地震活動度の変化の空間分布を求めた。具体的には、対象地域の深さ5、10、15 kmの面内に5km毎の評価点を設定し、本震前後の両期間で各評価点から5km以内の地震数を調べ、その比を求めた。この結果、震源域で地震活動が活発したことに加え、震源域の東側及び西側で

地震活動度が増加し、北側及び南側で地震活動度が減少した様子が捉えられた（図 12A）。

次に、熊本地震発生前の約 20 年間に発生した地震のメカニズム解 3542 個（Matsumoto et al., 2018; F-net モーメントテンソルデータ）から九州地方の（本震前の）広域応力場を推定した（Terakawa et al., in prep.）。この応力場とメカニズム解のデータから、FMT 法により本震前の間隙流体圧場を推定した（図 12B）。一方、Asano and Iwata (2016) のすべりモデルを参考に、震源域を北部セグメント（走向 235 °、傾斜角 65 °）及び南部セグメント（走向 205 °、傾斜角 72 °）でモデル化し、北側及び南側セグメントにそれぞれ 3m 及び 2m の一様なすべり量を与え、変位の食い違い理論によるすべり応答関数（Okada, 1992）を用いて地震時応力変化を計算した。この応力変化から、広域応力場の最大剪断面をレシーバー断層として  $CFF$  を計算した（図 12C）。

こうして、各評価点において、本震前の間隙流体圧係数  $C$ （間隙流体圧の静水圧からのずれを静岩圧と静水圧の差で規格化した値）と  $CFF$  の値と地震活動度の変化の関係を調べた（図 13）。まず、大きな特徴として、 $CFF > 0$  の領域では地震活動度が増加し、 $CFF < 0$  の領域では地震活動度が減少する傾向が捉えられた。このことは、観測された地震活動度の変化は概ね地震時応力変化で説明できることを意味する。また、本図からは、本震前の  $C$  値が高い地域ほど、本震後に地震活動度が増加する傾向があることもわかる。これは、 $CFF$  だけでなく、本震前の間隙流体圧場も地震活動度の変化に影響を与えていることを示す。更に、興味深い結果として、 $CFF < 0$  にもかかわらず地震活動度が増加した地域があり、これらの地域で発生した余震は全体の約 13 % を占めた。このような  $CFF$  からの予想に反して地震活動度が増加する傾向は、 $CFF$  の負の影響が小さいほど、 $C$  値が高いほど顕著になる。これらの地域のうち、本震前後で十分なメカニズム解のある 5 つの評価点において、本震後の間隙流体圧の上昇量を簡易的に見積もったところ、全評価点において平均間隙流体圧が上昇したことがわかった。とくに、南部セグメントの南東側の深さ 5km 程度の浅い領域で顕著な変化があり、ここで発生した余震は 5 ~ 12 MPa 程度の間隙流体圧の上昇により駆動された可能性があることがわかった。同様の解析を  $CFF$  からの予想通りに地震活動度が増加した 32 個の評価点においても実施したところ、本震前後の間隙流体圧変化が見られなかった地域が多かった中で、一部の浅い領域では間隙流体圧が上昇したこともわかった。これらの結果は、応力変化で説明できる余震活動の中に、間隙流体圧の上昇による断層強度の影響を受けて発生したものもあることを示唆する。

#### 弾性歪エネルギーに基づく地震破壊規準の提案

絶対応力場を考慮して余震の発生を理解するために、弾性歪エネルギーに基づく新しい地震破壊規準（Energetics-based Failure Stress,  $EFS$ ）を提案した（Terakawa et al., 2020）。弾性歪エネルギー  $E$  は剪断歪エネルギー  $E_s$  と体積ひずみエネルギー  $E_v$  という独立な 2 つの成分にされ、 $EFS$  はこれらを用いて以下のように定式化される。

$$EFS = (2GE_s)^{(1/2)} - \mu((2 - E_v)^{(1/2)} - P_f) \quad (1)$$

ここで  $G$ ,  $\mu$ ,  $P_f$  は剛性率、体積膨張率、岩石の摩擦係数、間隙流体圧を表す。本式の第一項は偏差応力の 2 次不変量  $J_2$  の平方根と一致し、剪断応力のスカラー計量である。第二項の  $(2 - E_v)^{(1/2)}$  は応力の 1 次不変量  $I_1$  の 1/3（平均垂直応力）であり、第二項全体は断層強度に相当する。つまり、本震による  $E_s$  及び  $E_v$  の増減は、それぞれ剪断応力及び断層強度の増減を意味する。従って、式 (1) で定義される  $EFS$  の本震前後の変化（ $\Delta EFS$ ）が正ならば余震を促し、負ならば余震を抑制すると考えることは合理的である。 $EFS$  の特長は、剪断応力と断層強度を不変量であるエネルギーを用いて記述した点にある。このため、従来の  $CFS$  のように特定の面を対象とすることなく、3 次元応力空間内の任意の点で地震破壊を評価することが可能となる。

本研究では、1992 年ランダース地震震源域の絶対応力場を例にとり、まず、 $E_s$ ,  $E_v$ ,  $EFS^*$ （\* は間隙流体圧の影響を考慮しない  $EFS$ ）の絶対応力レベル依存性を示した（図 14）。次に、 $EFS$  の余震発生推定能力を調べるために、ランダース地震に続く 1 年間の余震データ 12175 個に対して、震源周辺域の現実的な絶対応力場（Terakawa & Hauksson, 2018）の下で  $EFS$  を計算し、ROC（Receiver Operating Characteristic）解析を実施した。まず、理論から予想される通り、 $E_s$  及び  $E_v$  は余震の発生に正及び負の相関があること、双方の影響を取り入れた  $EFS^*$  は  $E_s$  の推定能力を上回ることが

確認された。更に、本震前後の間隙流体圧場の変化を評価し ( Terakawa et al., 2010 )、*EFS*の計算に取り入れてROC解析を実施すると、AUC値と真陽性率(正しく余震発生を推定した割合)は上昇し、偽陽性率(余震発生と推定したが実際にはない割合)は低下した。これらの結果は、本震断層近傍の応力変化では説明できない多数の余震の発生には、間隙流体圧の上昇が重要な役割を果たした可能性があることを示している(図15)。

また、地震前の偏差応力レベルを現実的な値よりも低くすると、AUC値と真陽性率が上昇するが、同時に偽陽性率も上昇することがわかった。これは、地震前の偏差応力が低いと、地震後に $E_s$ の増加する領域が本震断層近傍で顕著に増え、その結果*EFS*を過大評価してしまうことに原因がある。最近の機械学習による余震の評価では、古典的な*CFS*よりも $t_{max}$ の方が余震発生の推定能力が高いという結論が得られたが( DeVries et al., 2018 ),  $t_{max}$ は地震前の絶対応力場を等方的(偏差応力ゼロ)、地震による応力変化を純粹剪断であるとした場合の*EFS*\*の特殊ケースである。つまり、機械学習による余震分布の推定では、暗に、地震前の偏差応力の絶対レベルを非現実的に低く(ゼロ)仮定していたことになり、これが見かけの推定的中率を上げるものの、同時に余震の発生を過大評価する結果を招いたことがわかった。

#### ・西南日本の地殻変動と内陸地震の活動期のモデリング

西南日本を模した単純な2次元の斜め沈み込み帯において、海溝型震源断層での固着と100年周期の大地震による内陸域でのクーロン応力変化(*CFS*)を粘弾性媒質を考慮して計算し、内陸地震の活動期を再現するモデルの検討を行った。*CFS*が過去最大値を更新する期間のみに内陸地震が発生するとしてこの期間を活動期と定義すると、海溝型地震時に*CFS*が増える断層では地震後、*CFS*が減る断層では地震前が活動期となる。西南日本の歴史地震からは海溝型地震前50年、地震後10年が内陸地震の活動期だと言われている(宇津, 1974)が、活断層における*CFS*から活動期を計算すると、断層の見かけ摩擦係数が( $\mu' = 0.1$ 以下)で個々の活断層の経年的応力載荷速度も小さい(1kPa以下)モデルを用いることにより、歴史地震の活動期を再現出来ることがわかった。

内陸断層およびその深部延長に脆性・塑性遷移を考慮した摩擦則を仮定した2次元の数値断層モデルに、海溝型地震サイクルを模した準周期的な応力擾乱(海溝型地震時に応力が抜けるケース)を加え、地震サイクルシミュレーションを行った。その結果、モデル内で発生する地震のタイミングは、定常的な載荷と海溝型地震サイクルを考慮した*CFS*モデルで良く説明できることがわかった。速度・状態依存摩擦則を部分的に用いているにもかかわらず、Dieterich (1994)による速度・状態依存摩擦構成則に基づいたモデルで説明するためには、摩擦パラメータ $a$ を一桁程度過小評価する必要がある。

#### ・地震活動変化

階層ベイズ型時空間ETASモデル(1926-1995:  $M \geq 4$ )による日本内陸部の常時地震活動度を用いた予測において、2000-2016年の内陸大地震( $M \geq 6.0$ )および時間を遡った歴史被害地震( $M \geq 6.8$ , 宇津, 2002)との良好な対応がみられた(図16)。さらに、日本の活断層分布と常時地震活動度が良く対応する部分とそうでない部分があることが分かった(図17)。また、内陸部の常時地震活動度と内陸部地殻(上盤側プレート)内の「繰り返し地震」(五十嵐 2019 地震学会)大きめの地震直後のもの(バースト型)を除いた非バースト型の震央分布と階層ベイズ時空間ETASモデルによる内陸部の常時地震活動度(1926-1995:  $M \geq 4$ )との良好な対応を見出した。

#### (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Hara, S., Y. Fukahata, Y. Iio, P-wave first-motion polarity determination of waveform data in western Japan using deep learning, Earth, Planets and Space (2019) 71:127 <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1111-x>.

Kumazawa, T., Ogata, Y. and Tsuruoka, H. (2019). Characteristics of seismic activity before and after the 2018 M6.7 Hokkaido Eastern Ibari earthquake, Earth, Planets and Space, Vol.71, ArticleNo.130, <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1102-y>, November 2019. (Open Access)

- Matsu 'moto S., T. Okada, T. Terakawa, M. Uyeshima, and Y. Iio, The advancement of research on inland earthquake generation 2014?2018, Journal of Disaster Research, 2020.
- 松浦充宏・寺川寿子・野田朱美, 剪断破壊のエネルギー論的考察に基づく余震発生の評価規準量, 日本地震学会 2019年秋季大会, 京都, 2019.9.18.
- Meneses-Gutierrez, A. and T. Nishimura, Inelastic deformation zone in the lower crust for the San-in Shear Zone, Southwest Japan, as observed by a dense GNSS network, Earth Planets Space, 72:10, doi: 10.1186/s40623-020-1138-z, 2020.
- 中込広大・寺川寿子・松本聡・大倉敬宏・今西和俊・吉見雅行・内出崇彦・2016年熊本地震合同地震観測グループ, 2016年熊本地震の余震発生における間隙流体圧の役割, 日本地震学会 2019年秋季大会, 京都, 2019.9.16.
- 西嶋就平・寺川寿子・堀川信一郎, 波形相関処理を用いた 2007 年御嶽山噴火日推定の試み, 日本地球惑星連合大会, 千葉, 2019.5.
- Ogata, Y., Katsura, K., Tsuruoka, H. and Hirata, N. (2019). High-resolution 3D earthquake forecasting beneath the greater Tokyo area, Earth, Planets and Space, Vol.71, ArticleNo.113, <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1086-7>, November 2019. (Open Access)
- 尾形良彦 (2019). Delaunay 三角形網による高分解能地震活動モデル, 日本地震学会 2019 年度秋季大会, 京都大学吉田キャンパス, 京都市, 2019 年 9 月 18 日, 一般講演.
- Ogata, Y. (2019). High resolution seismicity models using interpolation with Delaunay triangulation, 11th International Workshop on Statistical Seismology(StatSei11)(第 11 回統計地震学国際ワークショップ), ザ・プリンス箱根芦ノ湖, 神奈川県箱根町, 2019 年 8 月 20 日, 一般講演.
- Suemoto, Y., Ikeda, T., Tsuji, T. et al. Identification of a nascent tectonic boundary in the San-in area, southwest Japan, using a 3D S-wave velocity structure obtained by ambient noise surface wave tomography. Earth Planets Space 72, 15 (2020). <https://doi.org/10.1186/s40623-020-1139-y>
- Terakawa, T., M. Matsu'ura, and A. Noda, Elastic strain energy and pore-fluid pressure control of aftershocks, Earth and Planetary Science Letters, 535, doi:10.1016/j.epsl.2020.116103, 2020.
- Terakawa, T.\*, M. Matsu 'ura, and A. Noda, The change in the elastic strain energy due to the 1992 Landers earthquake and triggering mechanisms of aftershock activity, 11th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei11), 19 Aug. 2019, Hakone, Japan
- Terakawa, T., 3D pore fluid pressures in the source region of the 2017 Pohang earthquake inferred from earthquake focal mechanisms, International Symposium on Pohang Earthquake, 15 Nov. 2019.
- Terakawa, T., M. Matsu'ura, and A. Noda, Elastic strain energy and pore-fluid pressure controlling aftershocks, AGU 2019 Fall Meeting, S22B-04, 2019, San Francisco., USA.
- 寺川寿子・松浦充宏・野田朱美, 1992 年ランダース地震による弾性歪エネルギーの変化と余震の評価, 日本地球惑星連合大会, 千葉, 2019.5.
- 寺川寿子・松浦充宏・野田朱美, 弾性歪エネルギーに基づく地震破壊規準による余震の評価, 日本地震学会 2019年秋季大会, 京都, 2019.9.18.
- Tsuda, H., Iio, Y. & Shibusani, T. Origin of the seismic belt in the San-in district, southwest Japan, inferred from the seismic velocity structure of the lower crust. Earth Planets Space 71, 109 (2019) doi: 10.1186/s40623-019-1091-x.
- 堤 浩之・飯尾能久, 2019. 地形・地質・物理探査データに基づく 2018 年大阪府北部の地震の震源域周辺の活構造の再検討, 地震 2, 72, 57-67.

(11) 令和 2 年度実施計画の概要:

・断層帯周辺の稠密地殻変動とモデリング

大阪府北部については、GNSS 観測を継続しひずみ速度分布の推定を行う。山陰地方においては、別予算で設置した新規 GNSS 観測点のデータも利用してひずみ集中帯西端付近での詳細地殻変動の解

明とそのモデル化に着手する。また、跡津川断層周辺では SSM 法を用いて ALOS-2 の InSAR 画像から電離層擾乱の影響を除去した上で、さらに GNSS 観測点のデータを用いて長波長ノイズを除去し、InSAR 時系列解析を適用して詳細な地震間地殻変動マップを得る。

・比抵抗観測とモデル化

当初の実施計画に基づき、引き続き、中国・四国地方の MT 予備調査と選点完了地域における本観測を実施するとともに、四国地方の基盤的比抵抗構造解析を遂行する

・高密度地震観測による内陸地震の発生機構と発生場の解明

山陰地方の地震帯、近畿地方中北部や長野県西部地域など西南日本の横ずれ断層の活動域において高密度地震観測を行い、内陸地震の断層周辺の 3 次元の不均質構造や応力場の解明等を行う。大阪北部の余震域とその周辺において高感度地震観測を強化して、余震域とその周辺の 3 次元不均質構造の推定や、本震に至るモデル化を行う。

・地震の発生における応力と流体の役割の解明

内陸域にありながら活発な地震活動が観測される御嶽山周辺域や熊本地震震源域などを主な研究対象地域とし、これまで本研究で開発してきた FMT 法 (Terakawa et al., 2010; Terakawa, 2014)、間隙流体圧をパラメータとした絶対応力場モデリング手法 (Terakawa and Hauksson, 2018)、弾性歪エネルギーに基づく地震破壊規準 (Terakawa et al., 2020) を研究の軸とし、地殻内の絶対応力場、及び地震の発生における応力と流体の役割を定量的に評価することを目指す。このため、研究期間全体を通じて、名古屋大学をはじめとする諸機関の定常地震観測によって得られた良質な地震データから、気象庁カタログには掲載されない微小地震も含めて震源とメカニズム解を推定し、データベースを構築する。

・西南日本の地殻変動と内陸地震の活動期のモデリング

西南日本を模した内陸地震の活動期のモデルを 3 次元的なプレート境界形状や GNSS データから推定されたすべり欠損速度を考慮したモデルに改良し、内陸地震の相互作用も考慮したモデルを構築する。個別断層のシミュレーションとして、与える応力擾乱の振幅や時間関数を吟味し、その影響を調べる。

・地震活動変化

西南日本を中心に内陸地震について、地震発生予測の詳細と以上活動の検出をめざして、マグニチュードの下限を低め、検出率の変化を考慮して推定精度を高めることを試みる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

京都大学防災研究所

他機関との共同研究の有無：有

名古屋大学大学院環境学研究科、鳥取大学大学院工学研究科、北海道大学大学院理学研究院、九州大学大学院理学研究院、東京大学地震研究所、林能成 (関西大学社会安全学部)、尾形良彦 (統計数理研究所名誉教授)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学防災研究所

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名：飯尾能久

所属：京都大学防災研究所

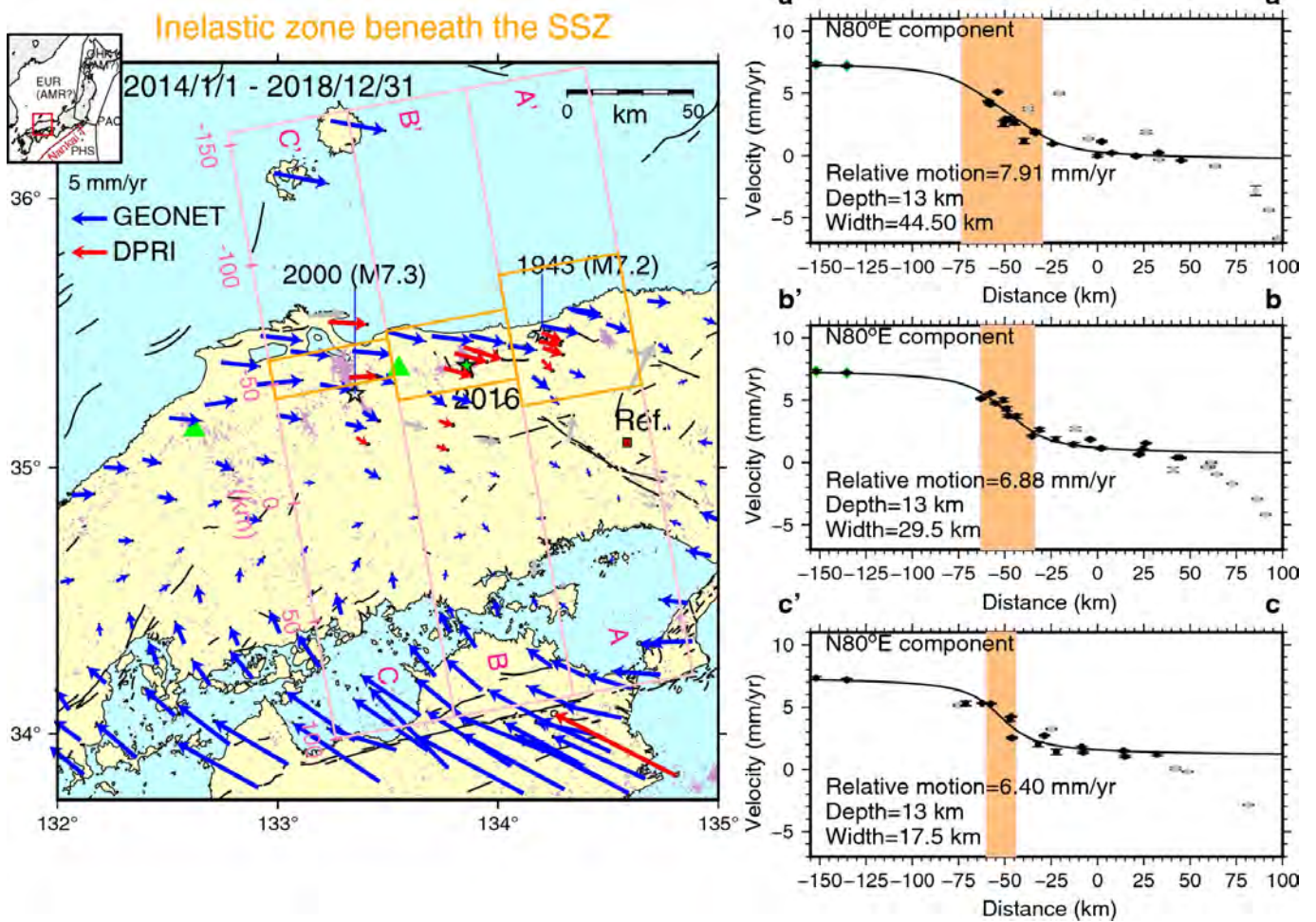


図1 山陰ひずみ集中帯における GNSS 観測結果と下部地殻せん断帯の幅の推定結果 (Meneses-Gutierrez and Nishimura, 2020)

左が 2014 年から 2018 年の水平速度ベクトルを表し、右図が、ひずみ集中帯を横断する 3 測線(左図参照)での測線直交成分の速度(誤差付き黒丸)と推定された下部地殻せん断帯の位置(オレンジの網掛け領域)。実線はせん断帯のモデルから計算される速度。



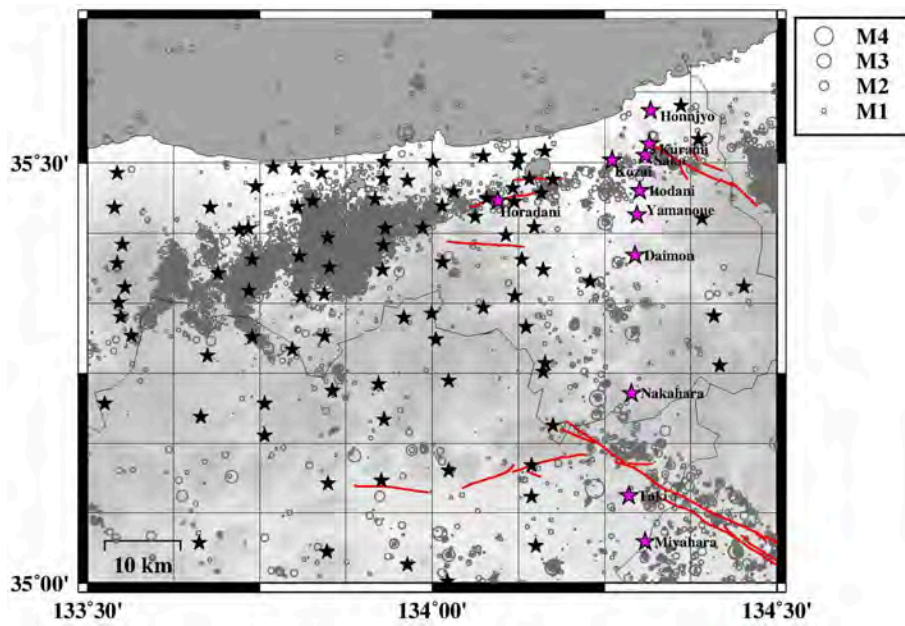


図 2.2019 年度の広帯域 MT 法観測地点分布図

広帯域 MT 観測地点を赤色の印で示す。活構造は活断層データベースによる。青色破線は図 3 で示される 2 次元構造断面図の測線位置を示す。図には気象庁ホームページ「地震月報」より 1997 年 1 月 1 日～2018 年 3 月 31 日の期間に深度 20km より浅で発生した地震の震央データを描画した。図版作成には GMT (Generic Mapping Tool) を使用した。

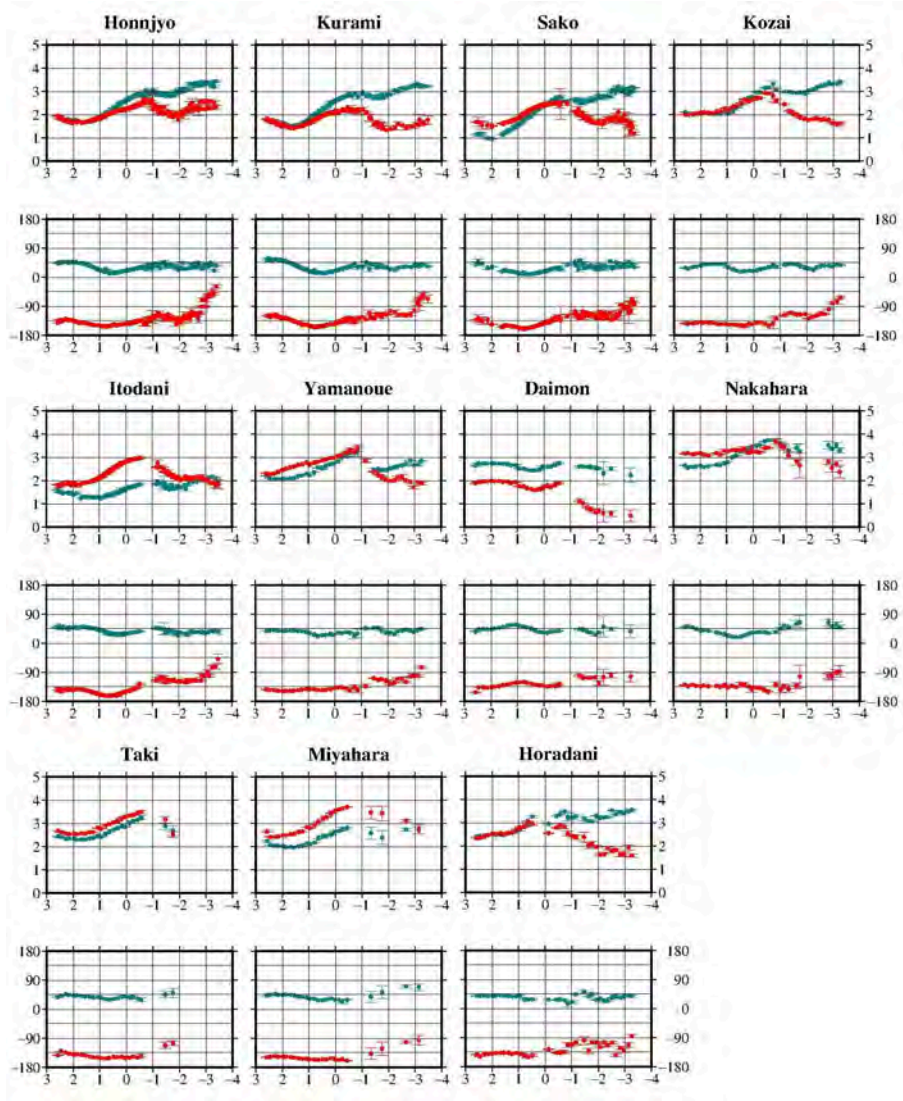


図3 得られた見かけ比抵抗(上)ならびに位相差探索曲線(下)

南北方向電場と東西方向磁場変動から推定された見かけ比抵抗を緑丸、東西方向電場と南北方向磁場変動の組み合わせで推定されたそれを赤丸で示す。縦軸は見かけ比抵抗( m )、横軸は周波数( Hz )を対数目盛りで表現する。位相差曲線について縦軸は位相差( 度 )を表す。観測点は北からの順で左から右へ配置した。



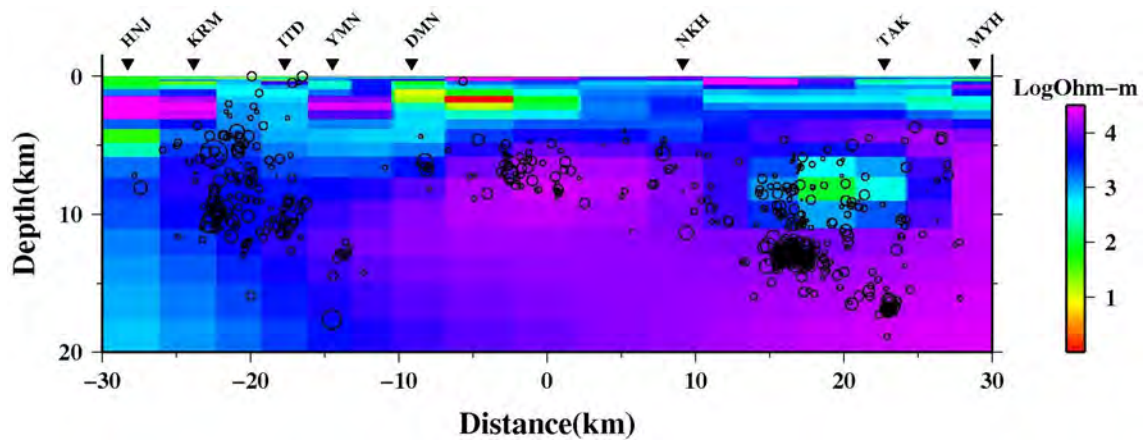


図4 中国地方東部地域における南北2次元比抵抗構造断面図

南北測線を中心として幅±5kmの範囲に含まれる震源データ(1997年1月1日~2018年3月31日)を気象庁ホームページ「地震月報」よりダウンロードして描画した。

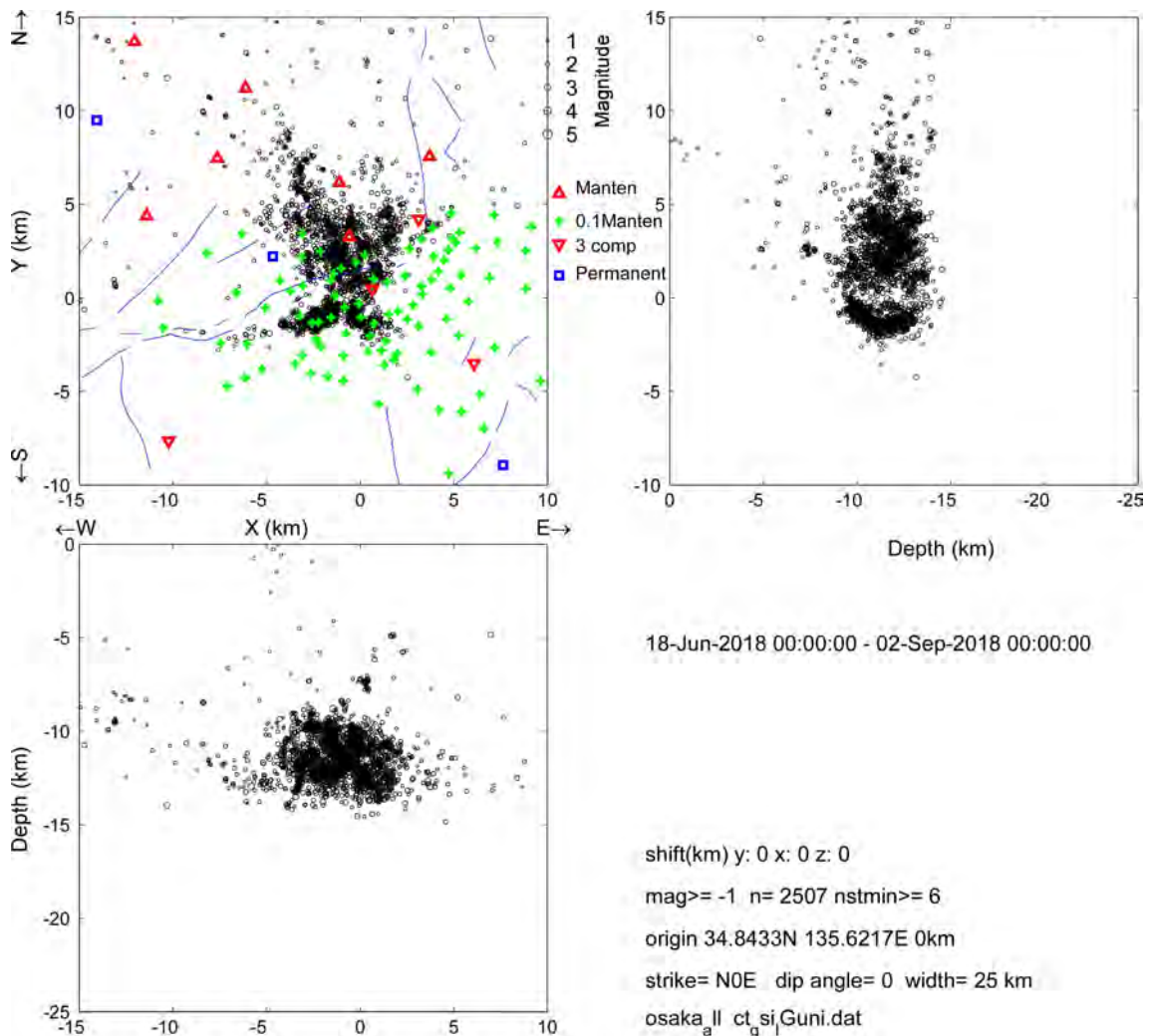


図5 大阪府北部の地震の余震分布と地震観測点の分布

京大防災研・九大・東大地震研・関大合同観測班、満点計画および周辺の高感度定常観測点(NIED, Kyoto Univ., JMA, AIST)のデータにより、メカニズム解が精度よく推定された2507個の余震分布(2018年6月18日~9月2日)。□:定常観測点、△:満点計画の観測点、+:余震観測点(0.1満点観測)、○:余震観測点(オンライン)。

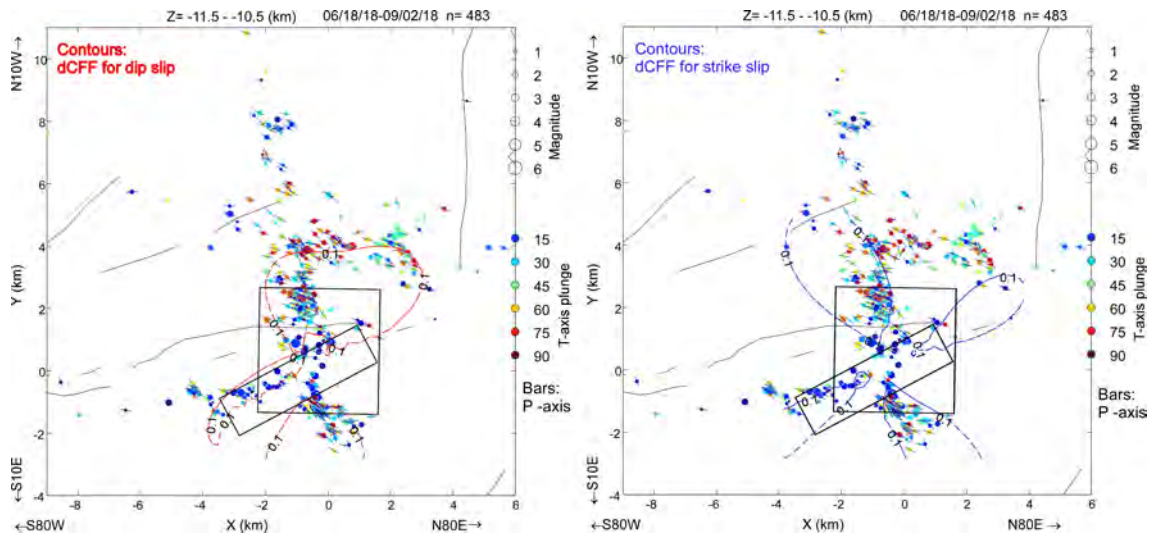


図6 大阪府北部の地震の余震のP軸の方位とT軸の傾斜角の分布

深さ 11km(± 0.5km)の水平面へ投影したP軸の方位とT軸の傾斜角の分布。○の塗りつぶしの色が赤系統の余震はT軸が鉛直に近い逆断層型。京都大学防災研究所地震災害研究分野(浅野公之)による南側の高角の断層面(N52°E, 77°南傾斜)と北側の東傾斜の断層面(N351°E, 50°東傾斜)も水平面に投影。浅野により波形インバージョン解析によって推定された本震の断層モデルを近似したすべり分布によるdCFFの0.1MPaのコンターを表示。左: 上記の東傾斜の断層面と同じ向きの逆断層に対するdCFF、右: 上記の高角の断層面と同じ向きの横ずれ断層に対するdCFF。

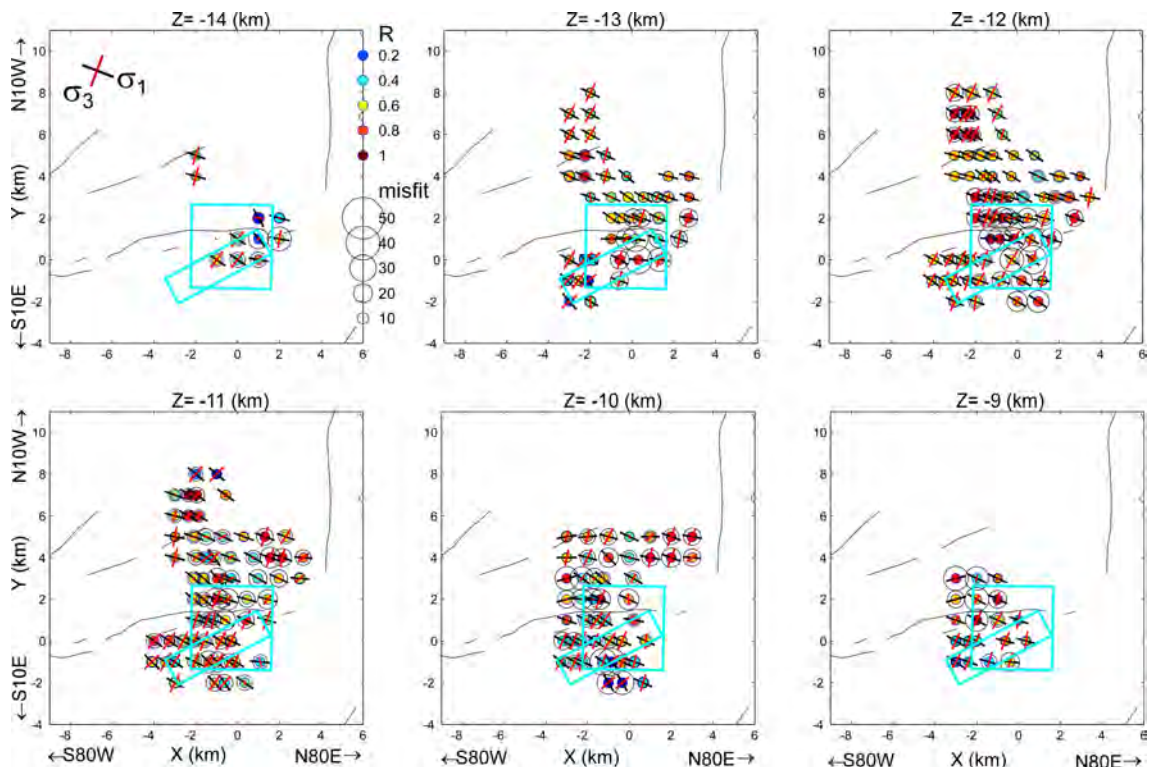


図7 大阪府北部の地震の余震域の応力場

深さ 1kmごとの水平面に投影した  $\sigma_1$  と  $\sigma_3$  の方位、応力比 R、および misfit 角の rms を表示。水色は図6と同じ断層面。



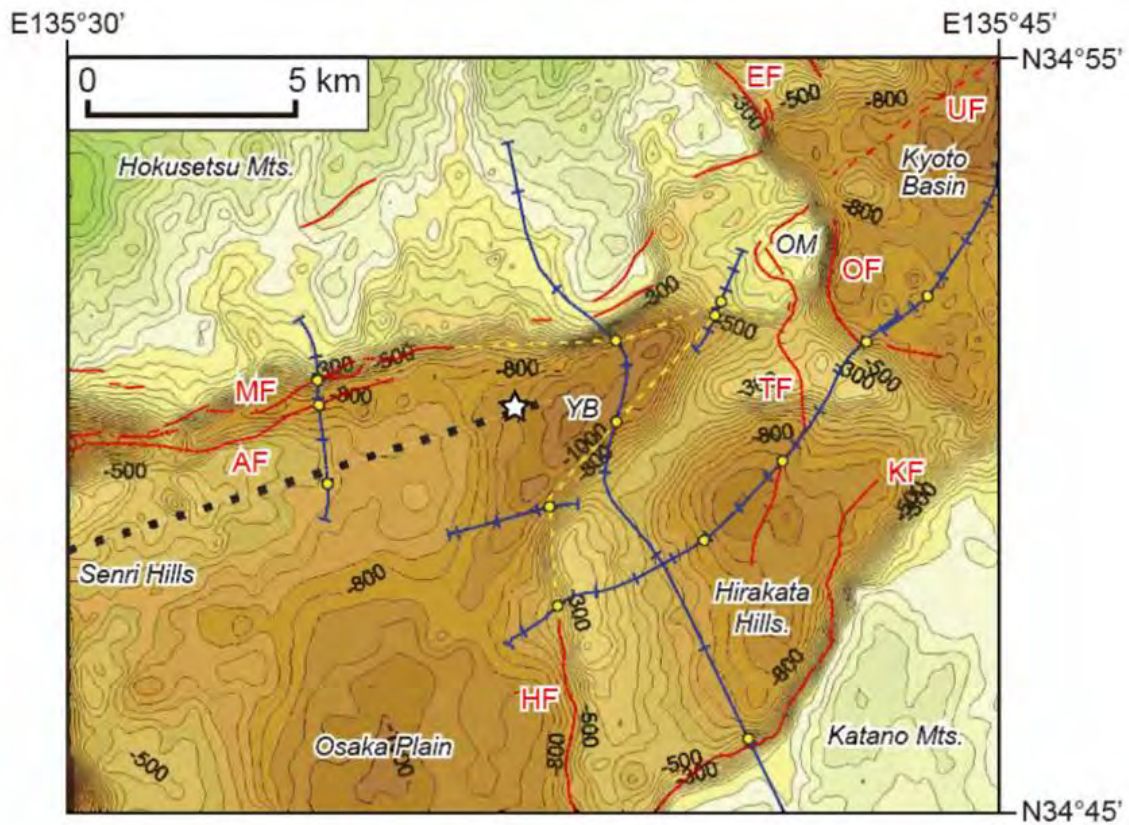


図8 地下構造探査結果の再解釈から新たに発見された伏在活断層(黄色の破線)(堤・飯尾, 2019)  
 赤線は以前から特定されている活断層、MF:真上断層、AF:安威断層、EF:円明寺断層、UF:宇治川断層、OF:男山断層、TF:田口断層、KF:交野断層、HF:枚方とう曲。背景は重力基盤地図(赤松・他,2007)。青線:反射法探査測線、測線上の黄色の円は、反射法で特定された断層の位置。青点線は微小地震活動の線上配列(リニアメント)。星印は、大阪府北部の地震の震央。OM:男山丘陵、YB:淀川地溝。

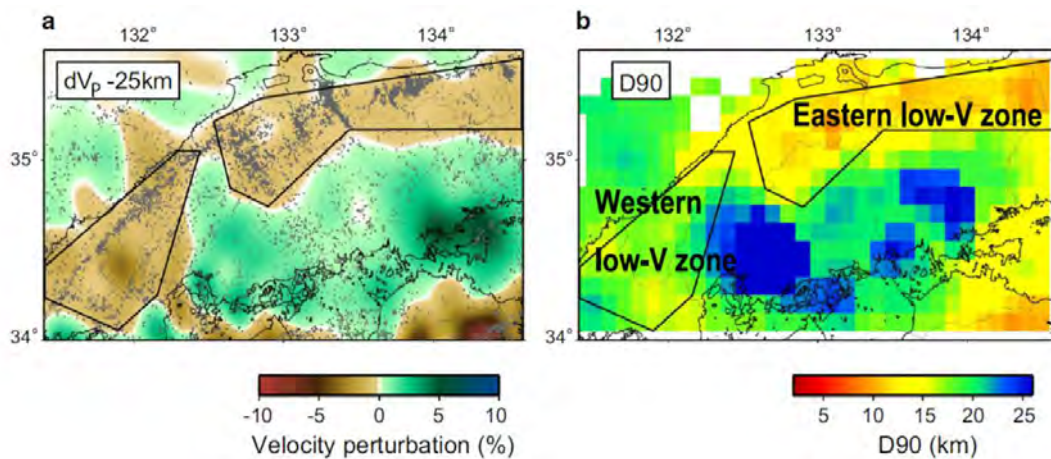


図9 山陰地方の地震帯直下の下部地殻の速度構造と D90 の分布 (Tsuda et al., 2019)  
 左) 地震波トモグラフィーにより一元化のデータから推定された深さ 25km における dVP、右) 一元化震源による D90 の空間分布。

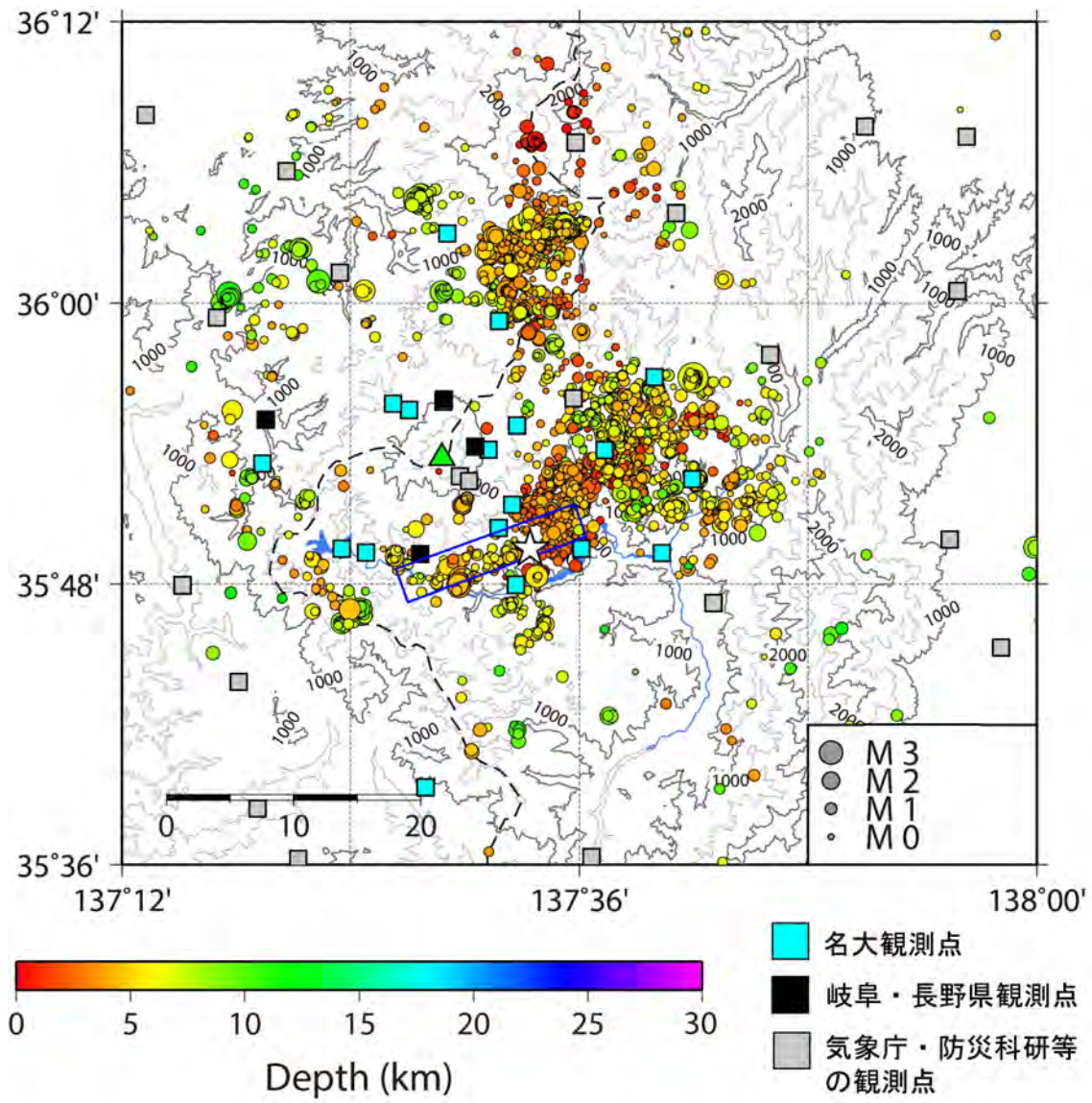


図 10 御嶽山周辺域の地震活動(2019.1-2019.12)と観測点分布  
 は御嶽山、 と青線の矩形は 1984 年長野県西部地震の震源と震源断層。



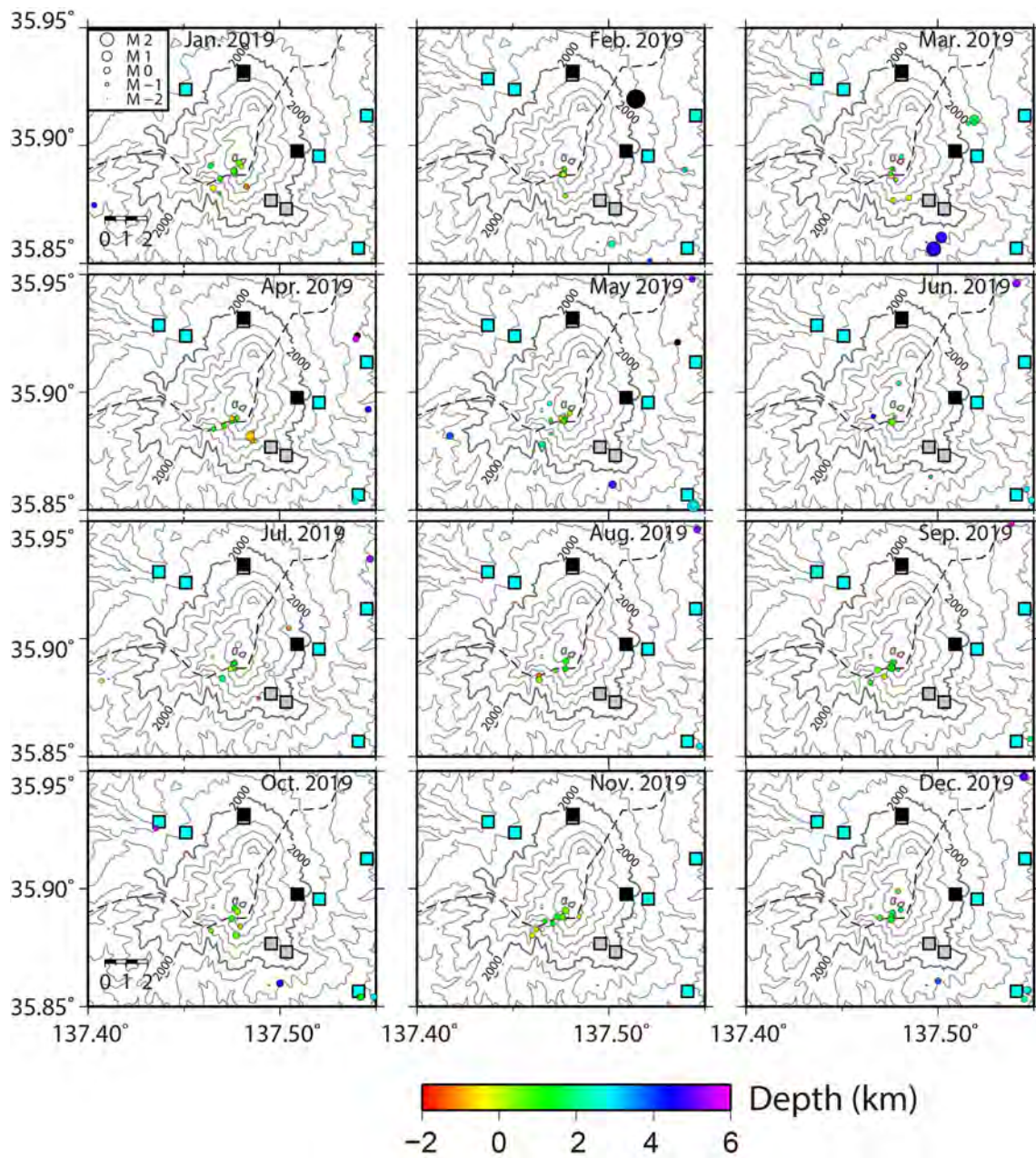


図 11 御嶽山直下で発生した火山性地震の震源分布（2019 年 1 月～12 月）  
観測点の記号は図 10 と同様。

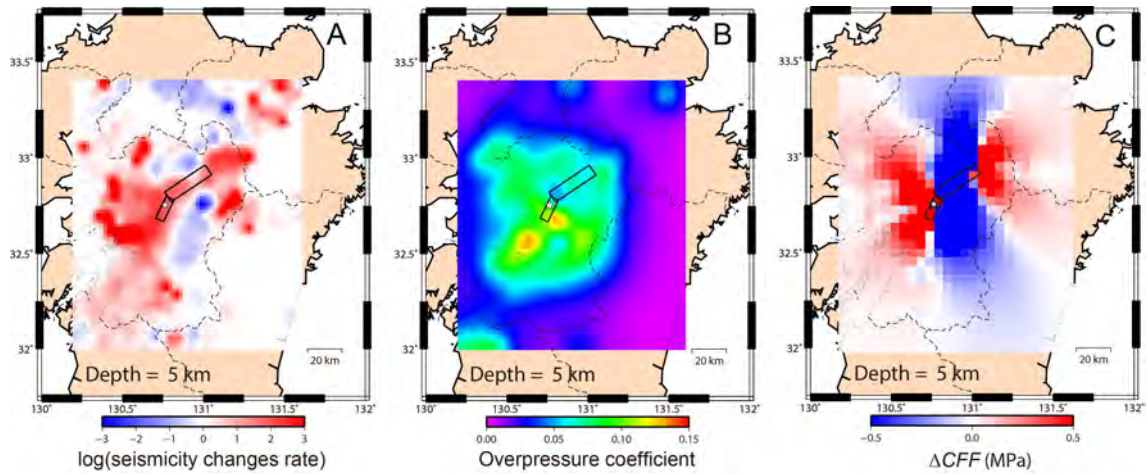


図 12

2016 年熊本地震震源域付近の間隙流体圧場、 $CFF$ 、地震活動度の変化（深さ 5km）

A. 本震前後 3 年間の地震活動度の変化。B. 本震前の間隙流体圧係数 C。C.  $CFF$ 。間隙流体圧係数 C は、 $C = (P_f - P_H) / (P_L - P_H)$  で定義される無次元数。は 2016 年熊本地震の震源、矩形は熊本地震震源断層の北部及び南部セグメント。点線は県境を表す。

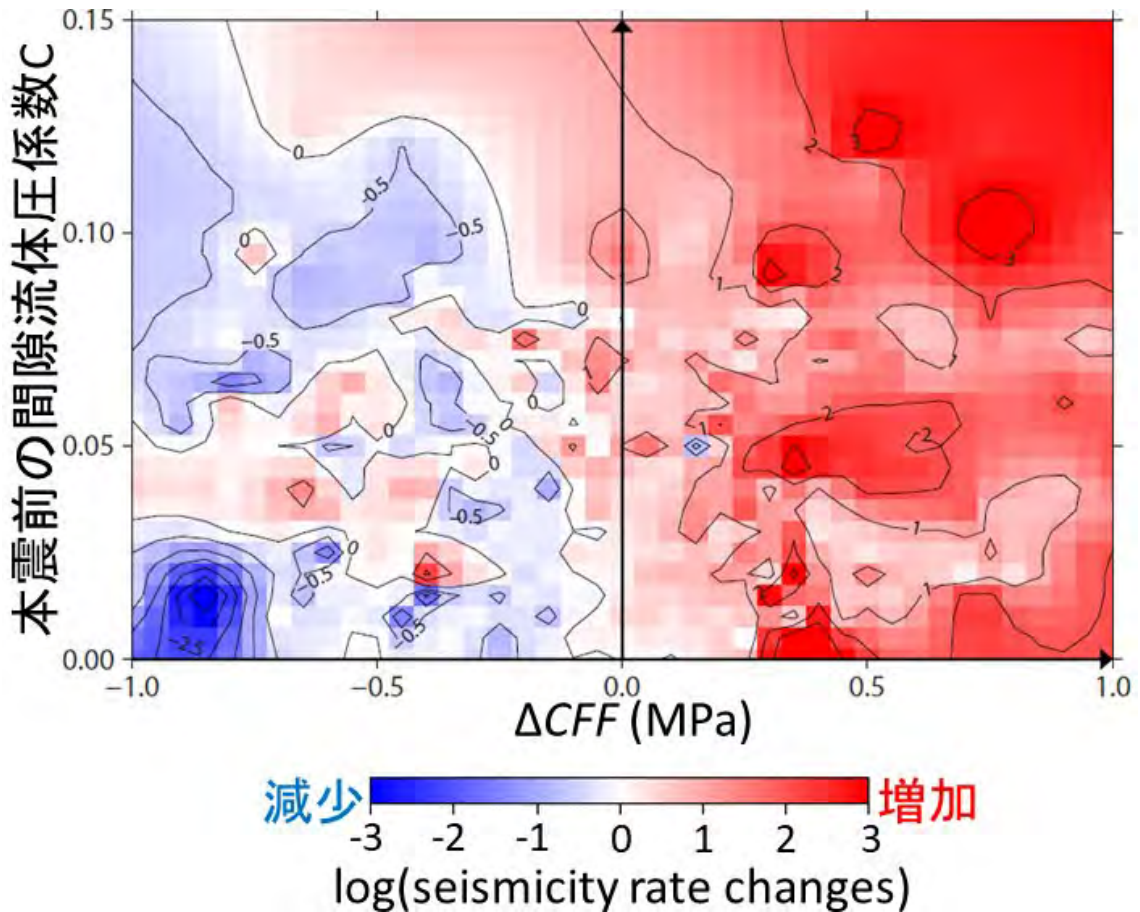


図 13

$CFF$ と間隙流体圧係数 C が地震活動度の変化へ及ぼす影響

各評価点での  $CFF$ を横軸の座標値、間隙流体圧係数 C を縦軸の座標値とし、その位置に本震後の地震活動度の変化をプロットした図をコンターにしたもの。地震活動度が増加した範囲では、白いコンター線を間隔 1 で、地震活動度が減少した範囲では黒いコンター線を間隔 0.5 で引いている。



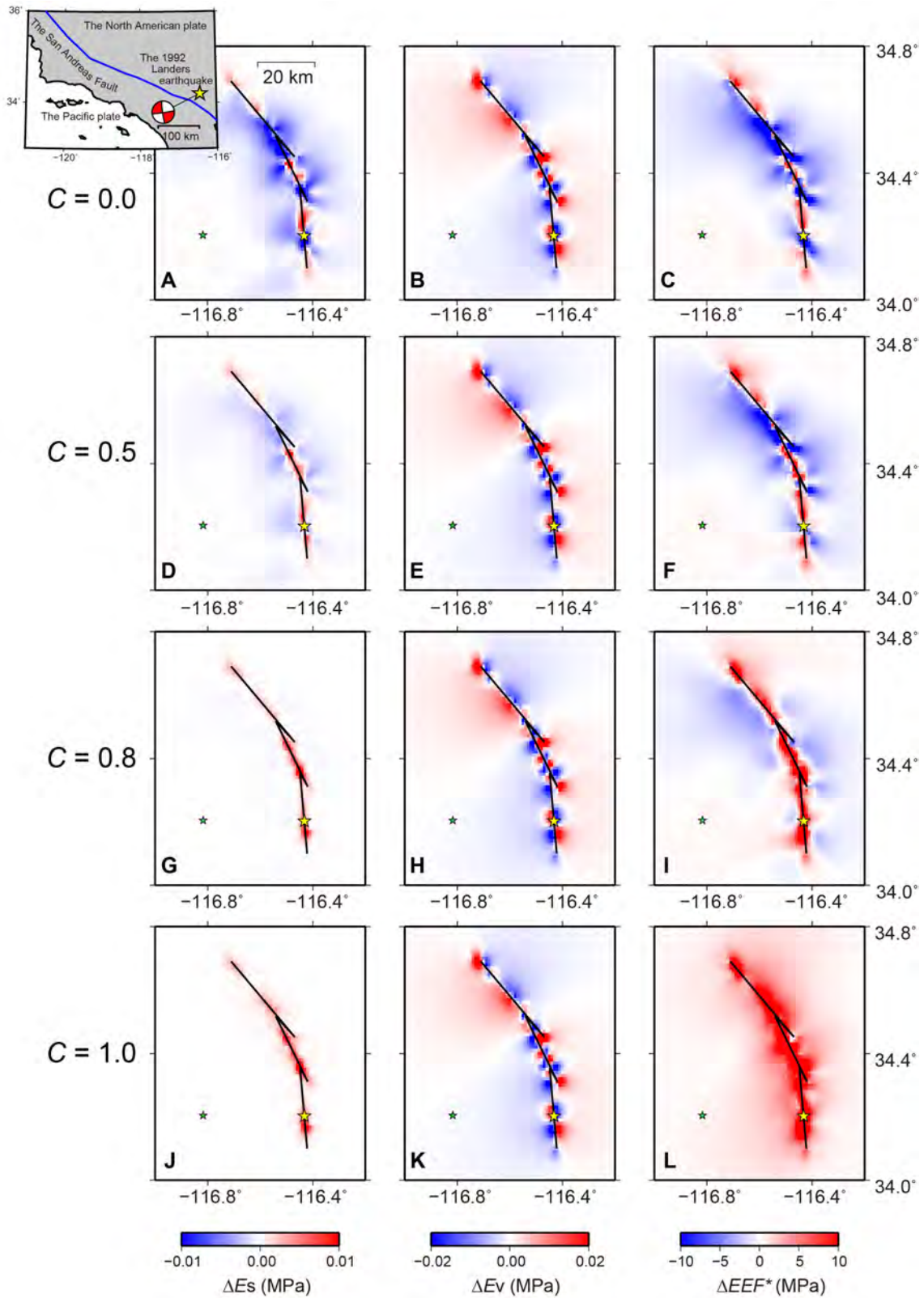


図 14

$E_s$ ,  $E_v$ ,  $EFS^*$ の絶対応力レベル依存性

最上段 (A-C) 2 段目 (D-F) 3 段目 (G-I) 4 段目 (J-L) は、それぞれ、間隙流体圧パラメータ  $C = 0.0, 0.5, 0.8, 1.0$  で特徴づけられるランダース地震震源域の絶対応力場での  $E_s$ ,  $E_v$ ,  $EFS$  の値。絶対 (偏差) 応力レベルは、 $C$  の値が小さいほど大きく、 $C = 1.0$  は偏差応力がゼロの等方応力場である。

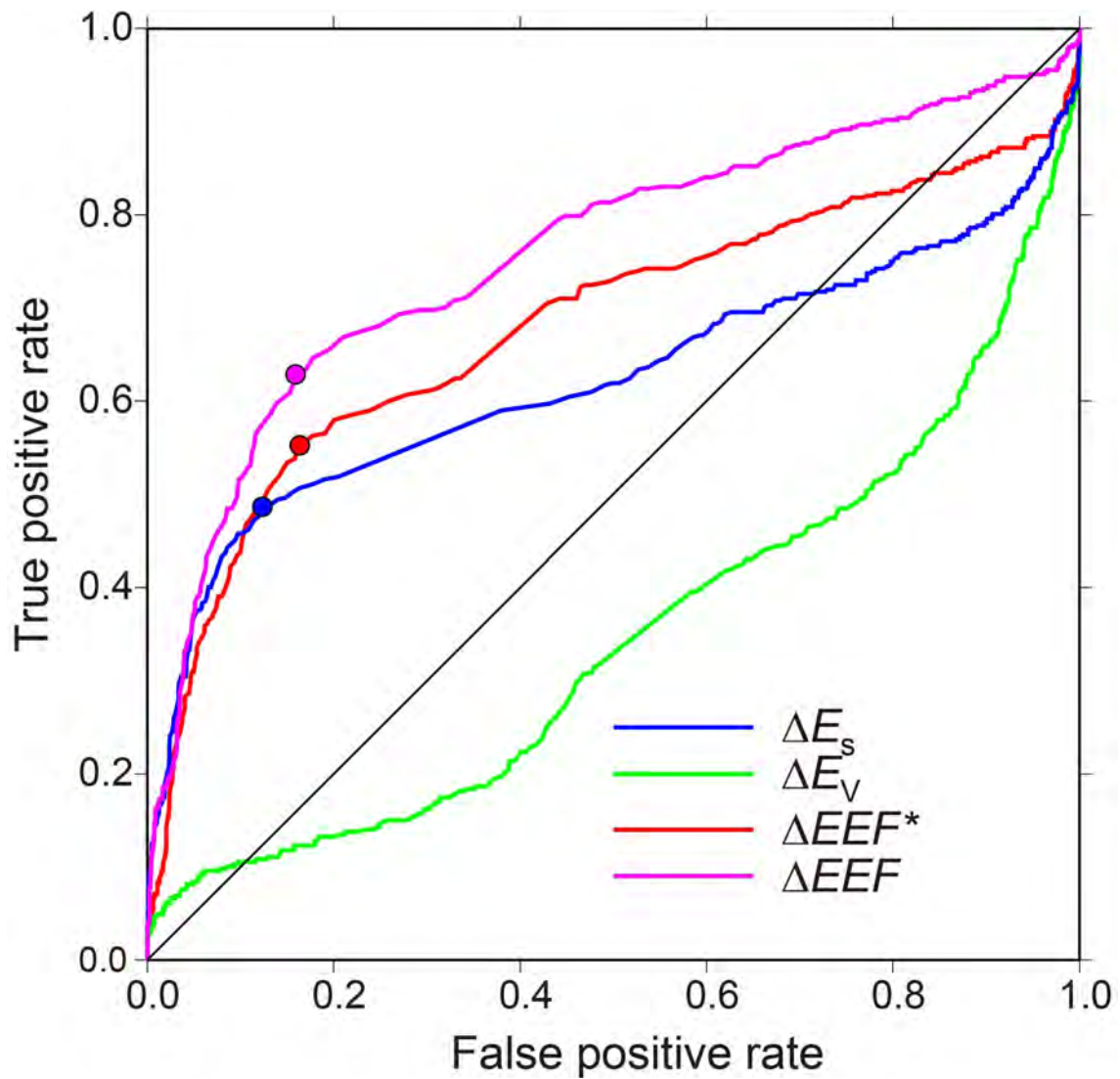


図 15

ランダース地震震源域の現実的な絶対応力場 ( $C = 0.0$ ) における  $E_s$ ,  $E_v$ ,  $EFS^*$ ,  $EFS$  の ROC 曲線  
 ○は Youden 's index (真陽性率 - 偽陽性率) が最大となるときの真陽性率と偽陽性率を示す。対角線はランダム推定を意味する。



HIST-ETAS 常時地震活動度 推定期間データ

Precursory period 1885~1925, target period 1926~1995;  $M \geq 4.0$

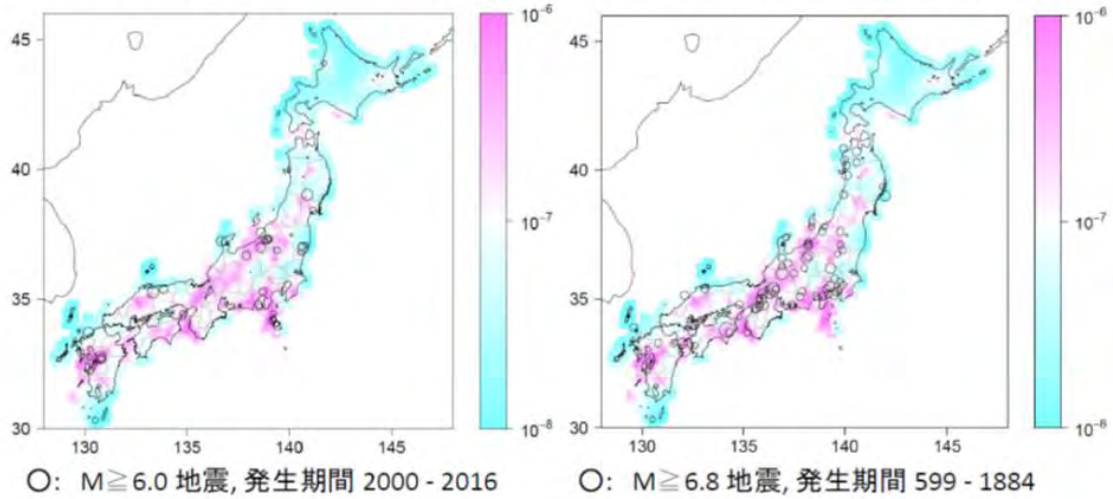


図 16 階層ベイズ型時空間 ETAS モデルによる日本内陸部の常時地震活動度と内陸大地震活動との関係  
左) 2000 2016 年の内陸大地震 ( $M \geq 6.0$ ) との関係、右) および時間を遡った歴史被害地震 ( $M \geq 6.8$ , 宇津, 2002) との関係。

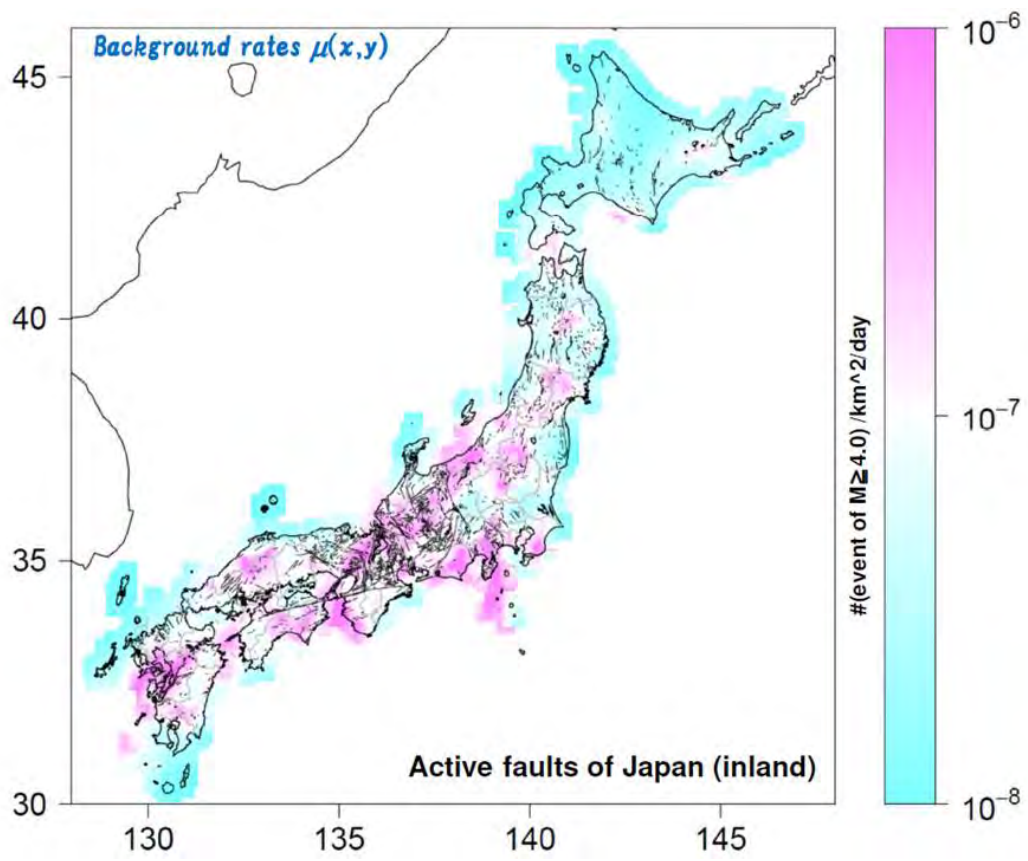


図 17 階層ベイズ型時空間 ETAS モデルによる日本内陸部の常時地震活動度と活断層との関係

( 1 ) 実施機関名：

京都大学防災研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

日本列島の地震 - 火山噴火の基本場解明：地殻とマントルにおける応力、流体-マグマ、温度・流動 - 変形場

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化  
オ. 構造共通モデルの構築

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化  
ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震  
イ. 内陸地震  
ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

- ア. 南海トラフ沿いの巨大地震  
イ. 首都直下地震  
ウ. 千島海溝沿いの巨大地震  
エ. 桜島大規模火山噴火  
オ. 高リスク小規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

桜島大規模火山噴火

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果 ( または観測実績 ) の概要 :

課題番号 1905 「日本列島変動の基本場解明: 地殻とマントルにおける物性、温度、応力、流動 - 変形」において、応力場、物性場、温度場、変形場を、観測的・理論的・実験的に解明する研究を推進中である。いずれの категория においても、研究期間中に手法を確立し、応用を進めた。その結果として、日本列島スケールでの流体・マグマ生成場の把握 ( Nakamura et al., 2019, Gondwana Res. ) や応力場推定 ( Yukutake et al., 2015, EPSL )、開いた粒界をもつ岩石試料の地震波速度・電気伝導度の同時測定 ( Watabane and Higuchi, 2015, PEPS )、中部 - 東北日本遷移帯でのスラブと流体分布 ( Nakamura et al., 2018, Tectonophysics )、東北日本の沈み込み・マントル対流・温度分布・流体?マグマ分布の標準モデル構築 ( Horiuchi and Iwamori, 2016, JGR )、島弧 - 海溝 - 外縁隆起帯という沈み込み帯の大地形生成の本質的物性メカニズムの解明 ( Fukahata and Matsu'ura, 2016, GJI )、熊本地震に伴う変形場の解析 ( Fukahata and Hashimoto, 2016, EPS ) など、重要な成果があがった。これらの実績に基づき、本研究では諸場の理解を深化させると同時に、以下の新たな手法を開発・応用して、格段の進展を図る: Misfit 角に注目した応力場解析、異なるスケールのクラックを含む岩石-流体物性実験、沈み込むプレートの不均質 ( 特に海山 ) に注目したテクトニクスと流体-火成活動調査・分析、流動-変形場の 3 次元モデル化などである。さらに、上記研究でえられる結果を総合し、日本列島の変動現象の統合的理解に貢献することを旨とする。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

日本列島は、地球最大のプレートである太平洋プレートと、それに接するフィリピン海、オホーツク、および巨大な大陸プレートであるユーラシアの合計 4 つのプレートがせめぎ合う世界最大の変動帯である。日本列島における地震・火山噴火として現れる変動現象を正確に把握して予測につなげるには、これらのプレート間の物質・力学相互作用を含めて、日本列島全体を俯瞰する広域的な場の理解が必要である。このために、地質学・地球物理学・地球化学の手法を統合し、地殻・マントルにおける

\*応力場

\*岩相 水 マグマの分布と物性

\*温度・流動 - 変形場

を列島規模の大構造および重要地域での詳細研究により、定量化することを大きな目的とする。

基本場とその性質の理解に基づいてこそ、初めて異常が定義・検出でき、またなぜ異常が発生するのか ( 例えば破壊、流体やマグマの発生 上昇 噴火といった時空間での局所的突発現象が発生するのか ) その機構に定量的制約が課せられる。「場の不均質」が現れやすい島弧 - 島弧会合部・遷移部は注目対象領域の一つである。またマグマの生成・移動を取り入れたシミュレーションにより、島弧スケールの基本場と個々の火山がどのように結びつくか ( 例えば、なぜカルデラ火山のような熱や物質の集中が起こるか ) などの研究に道を拓こうとするものである。

上記の多様な場は、従来異なる手法によって研究が進められてきたが、島弧変動現象を物理化学過程としてみた場合、一連の必須要素である。このために、機関の枠を越えた多様な分野から最適なメンバーでそれぞれの場の理解を深化させる: 地震メカニズム解と応力場解析 ( 行竹、飯尾 )、異なるスケールの空隙・クラックが存在する岩石-流体の  $V_p$ - $V_s$ -電気伝導度測定 ( 渡辺 )、岩石・流体試料の組成分析・多変量解析に基づく地殻内流体・マグマの分布と循環把握 ( 中村、岩森 )、粘弾性体あるいは固液 2 相流体の理論・数値シミュレーションによる温度場と流動-変形場推定 ( 深畑、岩森 ) を行う。同時に、それらを比較・統合することで、地震発生場と流体 マグマ発生・噴火場を統一的に理解することを目的とする。これらの基本場の理解に立脚して、温度場、流体?マグマ分布、流動変形を介した地震発生と火山活動の相互作用の理解を目指す。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

下記 3 項目の研究を実施することにより、日本列島変動の基本場 ( 地殻とマントルにおける物性、温度、応力、流動 - 変形 ) の解明を目指す。

#### \* 応力場：地殻応力場不均質性の定量的評価及び地震活動の理解

近年応力逆解析法を用いて地震メカニズム解データから地殻応力場の推定が行われ、震源断層近傍の詳細な応力場の空間変化や（例えば、Yukutake et al., 2006; Yoshida et al., 2014）、列島規模での広域応力場の分布（例えば、Terakawa and Matsuura, 2010; Yukutake et al., 2015）が得られてきた。一方、応力場の推定においては、通常、（１）地震は断層面上の最大せん断応力方向に滑る、（２）解析領域内では応力場は均質であるという２つの仮定を置く必要がある。しかし、（２）の仮定について実際の地殻内は断層強度と応力場の双方が不均質であるという結果が報告されている（Rivera and Kanamori, 2002）ほか、応力場が非常に不均質であった場合応力逆解析法の結果にバイアスがかかる可能性も指摘されている（Smith and Dieterich, 2010）。この課題では、仮定した応力場に対する各メカニズム解の Misfit 角に着目し、実際に観測された地震メカニズム解データが均質な応力場でどの程度説明可能かどうか Misfit 角を基に定量的に評価し、応力場の不均質性についての制約を試みる。メカニズム解の決定誤差が重要になってくるため、2000年鳥取県西部地震震源域で行われた多点稠密地震観測のデータを用いて高精度にメカニズム解を推定し、その結果に基づいて解析を行う予定である。本研究で地震後の震源断層周辺の応力場の不均質性が明らかになれば、応力の絶対値への議論も可能であり、また応力逆解析法の妥当性の評価にもつながる。さらに地震発生及び火山現象と地殻内流体との関係の理解を目指し、火山地熱域及びその周辺で発生する群発地震活動や深部低周波地震について高精度な震源分布や発生域の応力場を明らかにし、その時間空間特性及び周辺地殻構造やテクトニクスとの関係を明らかにする。

#### \* 岩相 水 マグマの分布と物性

地殻やマントルに存在する流体（水を主成分とする）は、地震活動・火山活動において重要な役割を果たしている。その根は、沈み込むプレート（スラブ）にある。従来、沈み込むスラブと、それに由来する流体、流体の移動とマントル・地殻岩石との反応によって生じるマグマの分布は、スラブが均質であることを仮定して解析が進められてきた。しかし近年、沈み込むスラブ物質の不均質（たとえば、海山、断裂帯など）の存在が、沈み込まれる側の地震や火山活動に大きな影響を及ぼしうることが分かってきた（e.g., Nishizawa et al., 2017）。沈み込むスラブの不均質と沈み込まれる側（島弧側）での流体、マグマ活動の関係性を解明するため、火山岩および深部由来流体の採取・分析と、得られたデータのインバージョン解析（機械学習の手法の導入）により、溶融度、スラブ由来流体量、スラブ由来流体の起源物質組成を定量的に求め、日本列島に供給される流体やマグマ生成の基本場解明を目指す。特に、沈み込むスラブ不均質の指標となりうる元素や同位体、および隣り合う火山の違い（例えば、箱根カルデラ火山と富士成層火山）、構造線・火山周辺の地下水、および島弧 - 島弧遷移帯（例えば、中部日本弧 - 東北日本弧; Nakamura et al., 2017）に注目しつつ、研究対象地域を1か所選定し、流体-マグマ研究を進める。並行して、物性実験と地球物理学的観測から流体やマグマの分布・性質特定を目指す。地震波速度、電気伝導度をもとに、地殻やマントルにおける流体の分布を推定するのが、本研究項目の目的である。流体を含む岩石の弾性波速度や電気伝導度に関するモデルは、これまでも多数提案されてきている。しかし、高圧下で実際にどのような空隙が存在しているのかについての理解が不足していた。本研究では、岩石試料として、花崗岩、花崗閃緑岩、閃緑岩、ハンレイ岩、カンラン岩等を使用し、弾性波速度・電気伝導度測定から、圧力増加に伴う空隙の閉鎖、連結度の変化を調べる。また、X線CT観察により、どのような空隙がどのような割合で存在しているか、空隙の全体像を調べるとともに、イオンミリングで表面研磨した岩石試料のSEM観察により、高圧でも閉じないアスペクト比の大きな空隙の実体、および異なるスケールの空隙・クラックの物性に及ぼす効果を明らかにする。高圧実験と空隙構造観察を組み合わせることにより、高圧下での空隙構造を理解し、流体を含む岩石の弾性波速度・電気伝導度に関する統一的なモデルを構築する。このモデルを観測データに応用することにより、地殻・マントルの流体分布を推定する。

#### \* 温度・流動 - 変形場

島弧スケールの温度場は、マグマ生成を含む化学反応や、岩石物性（特に密度と粘性率）を規定する最重要要素といえる。温度場は、プレート沈み込みとそれに伴うマントルウエッジ対流、およびマグマ

や流体の移動の相互作用によって生み出される。本研究項目では、対流 - 流体発生と移動の数値モデル ( e.g., Horiuchi and Iwamori, 2016; Nakao et al., 2016 ) を発展させ、マグマ生成・移動も再現するより現実的なモデル構築とそれに基づく観測の解釈、および予測を目指す。このモデル化が進めば、将来的には、沈み込むプレートから火山噴火に至るまでの一連のプロセスとその連動の様子を定量的に把握することにつながり、個々の火山と沈み込み帯場の関係性の理解が、飛躍的に進むと期待される。これらの温度場・流動場の理解に根差し、島弧の変形場の理解を目指す。島弧変形場の最も基本的な力学源は、海洋プレートの沈み込みに伴う海陸プレート間の力学的相互作用 ( プレート境界面に変位の食い違いを与えることによって表現できる ) である。最近になって、なぜ島弧 海溝 外縁隆起帯という地形的な凹凸が世界中の沈み込み帯で普遍的に形成されるのか、このモデルに基づきその根本的な物理メカニズムが明らかとなった ( Fukahata & Matsu'ura, 2016)。しかし、沈み込むスラブの形状が島弧の走向方向に変化していることから明らかなように、現実の現象をより正確に理解するためには、島弧の縦断方向だけでなくその走向方向の変化も無視できない。さらには、津軽海峡や豊後水道などいわゆる島弧 島弧会合部では、顕著な負の重力異常が島弧側に大きく入り込むといった現象が世界中で一般的に見られる。そこで、本研究では、島弧の走向方向の変化や島弧 - 島弧会合部に焦点を当てて、2 次元的モデルから 3 次元的モデルへと物理的な理解を深化させることを目指す。加えて、日本列島のテクトニクスを理解するためには、他の島弧と比較することが重要である。そこで、いわゆる比較沈み込み学についても、地形や重力異常分布、応力状態、火山分布などとの比較を基に研究を進める。

#### 年次計画

平成 3 1 年度：2000 年鳥取県西部域において実施された多点稠密地震観測データのとりまとめ、メカニズム解の決定を実施。センチメートルスケールのクラック ( 以降 cm-crack ) を含む岩石試料 ( 花崗岩, 直径 26mm, 長さ 30mm ) および含まない岩石試料 ( 花崗岩, 花崗閃緑岩, カンラン岩 ) について、含水状態での弾性波速度および電気伝導度を封圧下で測定し、空隙の閉鎖にともなう物性の変化を調べる。また、X 線 CT および SEM により空隙構造の観察を行い、空隙の連結の様子および高圧下でも閉鎖しない空隙を調べる。深部流体の分布が期待される大きな構造線沿い、特に ISTL - MTL 沿いの湧水組成既存データを精査し、分布の概要を調べる。沈み込んだ海山の影響が明らかなカムチャッカ火山の試料を用い、特徴的成分やその検出方法を探る。島弧粘弾性変形場の 3 次元モデル構築のため、まず 2 次元モデルにおいて歪みの振る舞いについて理解を深める。マントル対流モデルに溶融・メルト組成再現を行うための定式化を行う。

平成 3 2 年度：引き続き鳥取県西部域におけるメカニズム解の整備を進めるとともに、Misfit 角を用いた断層周辺の応力場不均質に関する解析を進める。前年度に引き続き、cm-crack を含む岩石試料 ( 花崗岩 ) および含まない岩石試料 ( 花崗岩, 花崗閃緑岩, カンラン岩 ) について、含水状態での弾性波速度および電気伝導度を封圧下で測定し、空隙の閉鎖にともなう物性の変化を調べる。また、X 線 CT および SEM により空隙構造の観察を行い、空隙の連結の様子および高圧下でも閉鎖しない空隙を調べる。前年の解析に基づき、ISTL - MTL 沿い深部流体のサンプリングを行う。沈み込んだ海山が島弧火山岩に及ぼす影響を、特徴的成分に注目しながら化学インバージョンする方法を構築する。同時に、日本の火山で特徴的成分がみられるか、既存データから抽出を試みる。プレート境界形状が海溝の走向方向に変化する場合について計算を実行し、理解を深める。斜め沈み込みの場合に振る舞いどう変化するかも調べる。他の沈み込み帯についても研究を進める。マントル対流モデルに溶融・メルト組成再現の定式化を組み込む。水に加え、CO<sub>2</sub> を組み込むための定式化を進める。

平成 3 3 年度：鳥取県西部域において断層周辺の応力場不均質を定量的に推定するとともに、本震前の応力場の情報、特にその絶対値についての制約を試みる。cm-crack をやや多く含む岩石試料 ( 花崗岩 ) について、含水状態での弾性波速度および電気伝導度を封圧下で測定し、空隙の閉鎖にともなう物性の変化を調べる。また、X 線 CT および SEM により空隙構造の観察を行い、空隙の連結の様子および高圧下でも閉鎖しない空隙を調べる。ISTL - MTL 沿い深部流体のサンプリングを継続するとともに、主要・微量・同位体分析を開始する。海山の影響が推定される日本の火山岩のサンプリングを

進める。島弧?島弧会合部のように、プレート境界の走向が変化する場合に、海洋プレートの沈み込みによる島弧の変形場がどのようになるのか理解を深める。斜め沈み込みの場合に振る舞いがどう変化するかも調べる。比較沈み込み学についても引き続き研究を進める。水、CO<sub>2</sub>を含み、マグマ組成を再現するモデルを構築・実行する。

平成34年度：鳥取県西部域で実施した解析をほかの内陸域の地震活動に適用し、応力場不均質性に関する普遍性を調べる。cm-crackを多く含む岩石試料(花崗岩)について、封圧下での物性測定および空隙構造の観察を行うとともに、粒界クラックおよびcmスケールのクラックを含む岩石の電気伝導度に関するモデルを検討する。深部流体の調査・組成分析を進め、予察的な統計解析により、深部流体のソース・過程の抽出を試みる。海山の影響を抽出するため、火山岩組成の分析(主要・微量・同位体)を進める。並行して組成インバージョンを開始する。地形や重力異常分布、応力状態、火山分布の普遍的特徴と特殊性を、観測データを基に明らかにし、その結果をまとめる。水、CO<sub>2</sub>を含み、マグマ組成を再現するモデルを構築・実行する。

平成35年度：これまでの結果に基づいて地殻応力場の不均質性と強度及び絶対応力値に関する議論を進める。前年度に引き続き、cm-crackを多く含む岩石試料(花崗岩)について、封圧下での物性測定および空隙構造の観察を行うとともに、粒界クラックおよびcmスケールのクラックを含む岩石の電気伝導度に関するモデルを構築する。深部流体の調査・組成分析を進め、深部流体、海山からの影響を定量的に結び、流体・マグマ循環を統合する。日本列島を含むいくつかの島弧について、3次元の変形理論モデルを適用し、地形および重力異常などの原因を考察する。水、CO<sub>2</sub>を含み、マグマ組成を再現するモデルの結果をまとめ、沈み込み帯の流体・物質循環を統合する。5年間の応力、物性、流体・マグマ生成、数値モデルの結果・知見を総合し、日本列島の基本場を明らかにする。

#### (9) 令和元年度の成果の概要：

本課題は、下記3項目の研究を実施することにより、日本列島変動の基本場(地殻とマントルにおける物性、温度、応力、流動-変形)の解明を目指すものである。

\* 応力場：地殻応力場不均質性の定量的評価及び地震活動の理解

\* 岩相 水 マグマの分布と物性把握

\* 温度・流動-変形場の再現と検証

各サブ課題について、令和元年度には下記を実施した。

\* 応力場：地殻応力場不均質性の定量的評価及び地震活動の理解

鳥取県西部地震余震のメカニズム解に関する整備を行った。本年度は余震観測データをもとにメカニズム解の決定を進めるとともに、ベイズ統計における棄却サンプリング法を用いて定量的な誤差推定を行った。このデータをもとに、広域応力場に対する各余震のMisfit角を推定し、本震前の応力場が均質であるという仮定のもとで差応力レベルに対する制約を行った。また火山現象と地殻内流体との関係を明らかにするため、箱根火山における深部低周波地震活動の詳細な時系列をマッチドフィルター法により推定し、浅部火山現象と時間的に連動していることを明らかにした(図1)。

応力場の推定をする上では、観測されたP波の初動極性(押し引き)を決定することが必要である。従来は、人間の専門家が読み取り手動で決定してきたが、近年観測データ量の増加は著しく、精度の良い自動処理アルゴリズムの開発の重要性が高まってきている。これまでも、波形の特徴に注目した自動処理アルゴリズムが提案され利用されてきたが、専門家の能力には及ばず、最終的に人間のチェックを必要としていた。この問題に、近年流行の深層学習の一種のCNN(畳み込みニューラルネットワーク)を利用することで、専門家と同等以上の能力を発揮する自動処理モデルの作成に成功した(Hara et al. 2019; 図2)。このCNNモデルの作成により、今後読み取りの手間が劇的に減ることが予想され、地震学的研究の推進に弾みが付くと考えられる。

\* 岩相 水 マグマの分布と物性把握

深部由来流体の分布と地球化学的性質を把握するため、有馬型塩水(Arima-type brine)の模式地である有馬温泉周辺および組成が類似する湧水の分布する紀伊半島(主に中央構造線沿い)の泉源に関する

る既存データをコンパイルし、主要溶存元素に加え、酸素 - 水素 - ヘリウム同位体組成、および希土類元素組成 ( REEs 組成 ) のデータセットを構築した。このデータを、独立成分分析 ( ICA ) および白色化に基づくクラスタ解析 ( whitened data-based KCA, Iwamori et al., 2017 ) に基づき統計解析した結果、4 つの支配的独立成分が見出され ( 図 3 ) 天水との混合、REEs ( ただし Eu を除く ) を含む金属元素の沈殿、基盤岩からの Eu の混入、酸化生成された CeO<sub>2</sub> のフィルタリングが重要と推定された ( Iwamori et al., 2020 )。また、有馬と紀伊では統計的に異なる性質を示し、沈み込んだフィリピン海スラブの深度と相関があること ( スラブ流体生成の温度圧力の違いを反映し、有馬下の方がより高温高圧脱水のため、高濃度の流体が生成されていること ) が分かった ( Iwamori et al., 2020 )。高塩濃度の流体は日本列島のみならず、その背弧 ~ 大陸域にかけても分布する可能性がある。日本列島との対比のため、ロシア沿海州に分布する高塩濃度塩水を、ロシア科学アカデミーとの共同研究として調査・分析をおこなった。その結果、顕著なマントルヘリウム成分を有する塩水を発見し ( 図 4 ) 深部由来流体の分布と成因にさらなる広がりが見込まれる。

物性については、これまでの研究により、開いた粒界が主な空隙である岩石 ( 庵治花崗岩 ) を用いて、封圧下で含水状態の弾性波速度・電気伝導度測定を行い、粒界の大きな開口部が連結して存在し、高圧下での伝導経路を維持することを明らかにしてきた ( Watanabe et al., 2019 )。しかし、地殻の岩石には、様々なスケールのクラックが存在している。このようなクラックが高圧下でどのような伝導経路として機能するかを明らかにするため、cm スケールのクラックをもつ岩石試料 ( 庵治花崗岩、直径 26 mm、長さ 30 mm、図 5 ) を作製し、含水状態の弾性波速度、電気伝導度測定を封圧下で行った ( 図 6 )。弾性波速度はクラックとほぼ垂直な方向に測定した。一方、電気伝導度は円柱試料の軸方向で測定した。クラックは円柱の両端面と交差している。クラックを含む試料の P 波速度は、含まない試料に比べて、常圧で若干低かったものの、封圧 10 MPa 以上ではほとんど差が見られなかった。クラックを含む試料の電気伝導度は、含まない試料と同様、5 MPa で大きな低下を見せたが、より高圧では緩やかに低下した。電気伝導度の値は、クラックを含まない試料に比べて約 1 桁高い。これは、cm スケールのクラックも封圧により閉鎖するが、連結した閉じ残り部分があること、その閉じ残り部分のサイズが、粒界の開口部よりもずっと大きいことを示唆している。今後は、X 線 CT でクラック内の空隙構造を調べる予定である。粒界の大きな開口部の実体を理解するために、FIB-SEM を用いた観察を行った ( 図 7 )。これは、庵治花崗岩の石英 - 石英粒界である。面の滑らかさなどから、流体が平衡共存した粒界と考えている。

#### \* 温度・流動 - 変形場の再現と検証

流動 - 変形場について、海洋プレートの沈み込みによる島弧・海溝系の大地形の形成に関して、3 次元モデルのプロトタイプを作成し、2 次元の場合との比較を通して計算精度のチェックを行った。予期せぬ ( 計画と一致しない ) 成果としては、観測された測地データから、弾性歪みと非弾性歪みの分離に留まらず、さらに非弾性歪みを塑性歪みと粘性歪みに分離することに成功した ( Fukahata et al. 2020; 図 8 )。新潟神戸歪み集中帯において、東北地方太平洋沖地震の前と後の GNSS データを解析することによって得た成果で、この歪み成分の分離の成功はおそらく世界初である。

また東北地方太平洋沖地震前のおよそ 100 年間に、東北地方沿岸部にみられる沈降 ( 特に加速する沈降 ) の原因、および地震後、現在もなお続く大きな隆起の原因が、いずれもマントルにまでおよぶ ( 深さにして 200? 程度にまでおよぶ ) 温度 - 流体分布とその結果としての粘性構造に由来するものであることが数値シミュレーションの結果から明らかにされた ( 図 9、Sasajima et al., 2019; Muto et al., 2019 )。

#### ( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Yukutake, Y., Abe, Y., & Doke, R. (2019). Deep Low Frequency Earthquakes beneath the Hakone volcano, Central Japan, and their Relation to Volcanic Activity. *Geophysical Research Letters*, 46. <https://doi.org/10.1029/2019GL084357>

岩森光、行竹洋平、飯尾能久、中村仁美、2019、地殻流体の起源・分布と変動現象、地学雑誌、128、761-783



- Iwamori, H., Nakamura, H., Chang, Q., Morikawa, N., Haraguchi, S. (2020) Multivariate statistical analyses of rare earth element compositions of spring waters from the Arima and Kii areas, Southwest Japan. *Geochem. J.*, in press.
- Iwamori, H., Nakamura, H., Yoshida, M., Nakagawa, T., Ueki, K., Nakao, A., Nishizawa, T., Haraguchi, S., Trace-element characteristics of east-west mantle geochemical hemispheres, *Comp. Ren. Geosci.*, 351, 209-220.
- Kaneko, T., Nakakuki, T., Iwamori, H. (2019) Mechanical coupling of the motion of the surface plate and the lower mantle slab: Effects of viscosity hill, yield strength, and depth-dependent thermal expansivity, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 294, <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2019.106274>.
- Kharitonova, N., Chelnokov, G., Bragin, I., Nakamura, H., Iwamori, H., Morikawa, N., Korzun, A. (2019) The geochemistry of water and gas phases from high pCO<sub>2</sub> sparkling springs within the northern Sikhote-Alin ridge region (Russian Far East). *E3S Web of Conferences* 98, 01025. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199801025>
- Muto, J, J. D. P. Moore, S. Barbot, T. Iinuma, Y. Ohta, H. Iwamori, Coupled afterslip and transient mantle flow after the 2011 Tohoku earthquake, *Science Advances*, 10.1126/sciadv.aaw1164, 2019.
- Nakagawa, T., Iwamori, H., On the implications of the coupled evolution of the deep planetary interior and the presence of surface ocean water in hydrous mantle convection, *Comp. Ren. Geosci.*, 351, 197-208, 2019.
- Nakamura, H., Iwamori, H., Nakagawa, M., Shibata, T., Kimura, J.-I., Miyazaki, T., Chang, Q., Vaglarov, B. S., Takahashi, T., and Hirahara, Y., Geochemical mapping of slab-derived fluid and source mantle along Japan arcs, *Gondwana Res.*, 70, 36-49, 2019.
- Sasajima, R., Shibazaki, B., Iwamori, H., Nishimura, T., Nakai, Y. (2019). Mechanism of subsidence of the Northeast Japan forearc during the late period of a gigantic earthquake cycle. *Scientific Reports*, 9:5726.
- Ueki, K., Kuwatani, T., Okamoto, A., Akaho, S., Iwamori, H. (2020) Thermodynamic modeling of hydrous-melt-olivine equilibrium using exhaustive variable selection. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, in press.
- 岩田貴樹, 吉田圭佑, 深畑幸俊, 2019. 地震学的データを用いた応力インバージョン, *地学雑誌*, 128, 797-811. 査読あり
- Takahashi, A., Hashimoto, M. & Hu, J.-C., Takeuchi, K., Tsai, M.-C. & Fukahata, Y. 2019. Hierarchical cluster analysis of GPS data and examination of the nature of the clusters associated with regional tectonics in Taiwan, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 124, <https://doi.org/10.1029/2018JB016995> 査読あり
- Hara, S., Fukahata, Y. & Iio, Y. 2019. P wave first motion polarity determination of waveform data in western Japan using deep learning, *Earth Planets Space*, 71:127, <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1111-x> 査読あり
- Shimizu, K., Yagi, Y., Okuwaki, R. & Fukahata, Y. 2020. Development of an inversion method to extract information on fault geometry from teleseismic data, *Geophys. J. Int.*, in press 査読有り
- Fukahata, Y., Meneses-Gutierrez, A. & Sagiya, T. 2020. Detection of Plastic Strain Using GNSS Data of Pre- and Post-seismic Deformation of the 2011 Tohoku-oki Earthquake, *Earth Planets Space*, in press 査読有り
- Fukahata, Y., Oohashi, K., Takada, Y. & Tanaka, A., 2019. Overview of the special issue "Crustal dynamics (Part I): From a macroscopic view", *J. Geography (Chigaku Zasshi)*, 128, 681-683. 査読なし
- 深畑幸俊, 大橋聖和, 高田陽一郎, 田中明子, 2019. 特集号「地殻ダイナミクス (Part I) ?主としてマクロな視点から?」巻頭言, *地学雑誌*, 128, 685-687. 査読なし
- Watanabe, T., Makimura, M., Kaiwa, Y., Desbois, G., Yoshida, K., Michibayashi, K. (2019) Elastic wave velocity and electrical conductivity in a brine-saturated rock and microstructure of pores, *Earth, Planets*

(11) 令和2年度実施計画の概要:

\* 応力場: 地殻応力場不均質性の定量的評価及び地震活動の理解

鳥取県西部地震域におけるメカニズム解データの整備を進めるとともに、応力場不均質に関する評価を行う。深部低周波地震と地殻流体との関係を明らかにするため同現象の発震機構解の推定及び周辺地殻構造との対応を検証する。

\* 岩相 水 マグマの分布と物性把握

前年度に引き続き、スラブ由来流体を含む深部流体の分布と性質の把握を進める。また沈み込んだ海山の影響を受けた可能性のある火山岩のサンプリングを実施する。物性については、cmスケールのクラックを含む岩石試料(庵治花崗岩)について、含水状態での弾性波速度および電気伝導度を封圧下で測定し、クラックの閉鎖にともなう物性の変化を調べる。また、X線CTおよびSEMによりクラックの観察を行い、空隙の連結の様子および高圧下でも閉鎖しない空隙を調べる。

\* 温度・流動・変形場の再現と検証

単純な3次元形状(2本の直線状の海溝が適当な角度で連結しているものを想定)を持つプレート境界において、海洋プレートの沈み込みに伴う地殻変動を計算し、どのような物理的メカニズムによって島弧海溝系が形成されるのか理解を深める。マントル対流により形成される水・メルト分布、温度構造を、最新の物性を考慮しながら地震波速度構造と対比し、検証を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

深畑幸俊(京都大学)、飯尾能久(京都大学)、行竹洋平(神奈川県温泉地学研究所)、渡辺了(富山大学)、岩森光(東京大学、東京工業大学)、中村仁美(産業技術総合研究所、東京工業大学)  
他機関との共同研究の有無: 無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 京都大学防災研究所  
電話: 0774-38-4226  
e-mail: [fukahata@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp](mailto:fukahata@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp)  
URL: <http://www1.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/fukahata/>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 深畑幸俊  
所属: 京都大学防災研究所

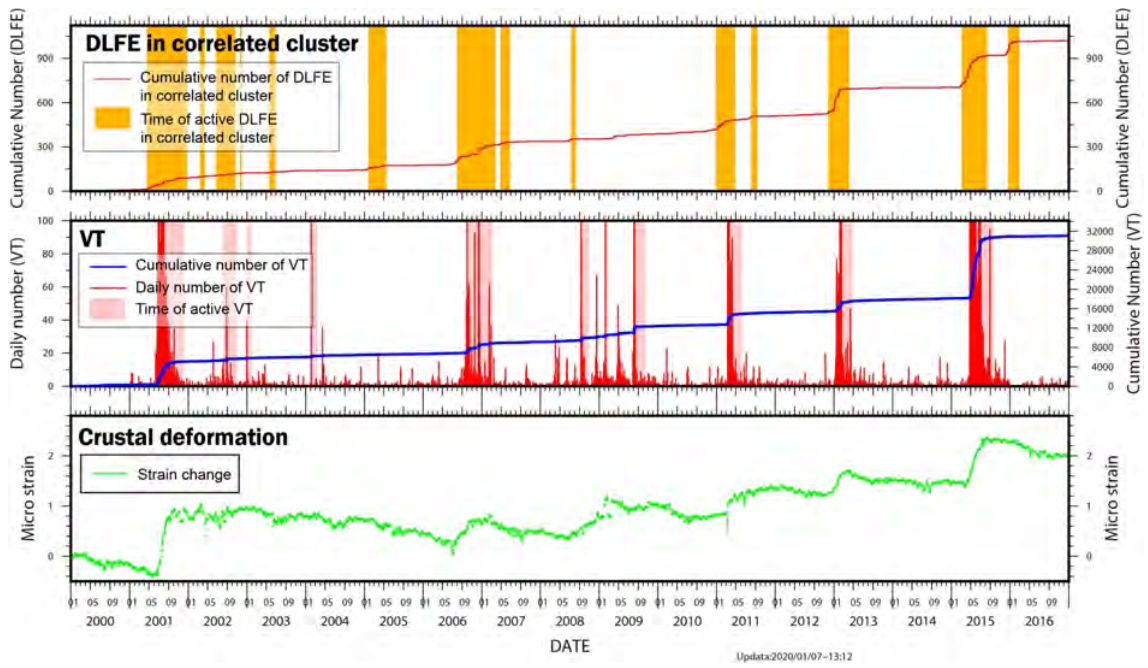


図 1

箱根深部低周波地震活動 (DLFE) と浅部群発地震 (VT) 及び火山性歪み変化時系列との関係 (Yukutake et al., 2019 を一部改変)

(a)

Training set	San-in	N. Kinki	90% data of both regions		
	N. Kinki	San-in	10% N. Kinki	10% San-in	10% both
250 Hz	98.8%	96.2%	98.9%	97.7%	97.9%
100 Hz	95.4%	92.3%	97.0%	94.8%	95.4%

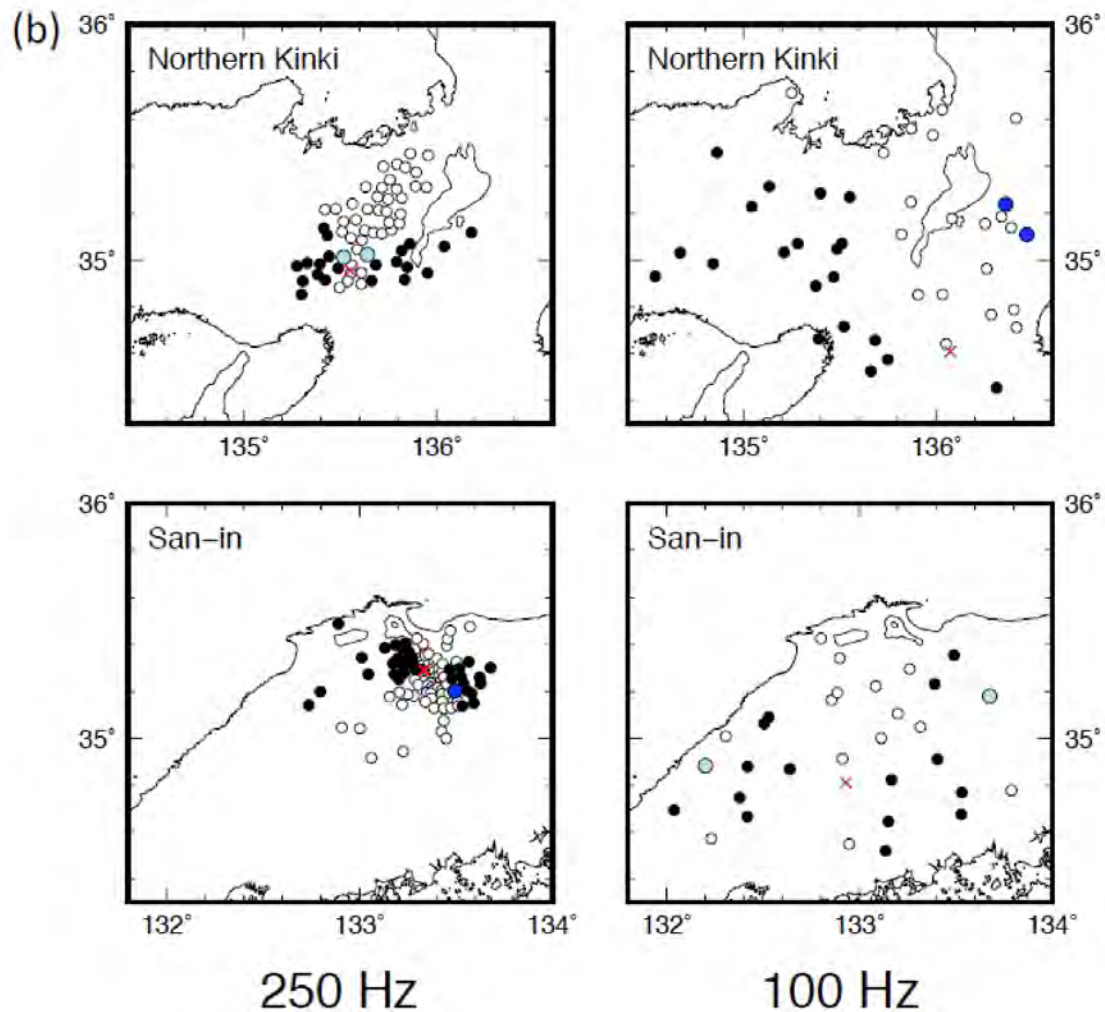


図 2  
 (a) CNN モデルによる初動極性読み取りの結果と地域依存性。専門家による読み取り結果と比較してその精度を示している。CNN モデルの訓練に全地域のデータを用いた場合 (右側 3 コラム) でも、ある地域のデータで訓練し別の地域に適用した場合 (左側 2 コラム) でも、ほぼ 95 % 以上の精度が得られた。制度がやや低い 1 ケース (92.3 %) は、訓練データ数が 1 万個未満と他に比べて少なかった。(b) 読み取った初動極性の一例。白丸 (黒丸) は専門家と CNN モデルがともに引き (押し) と読み取った観測点を示す。水色 (青色) は、専門家が引き (押し) と読み取った一方、CNN モデルは逆に判定した観測点を示す。例えば、右上の結果については、CNN モデルが正しく専門家が誤っていると考えられる (Hara et al., 2019)。

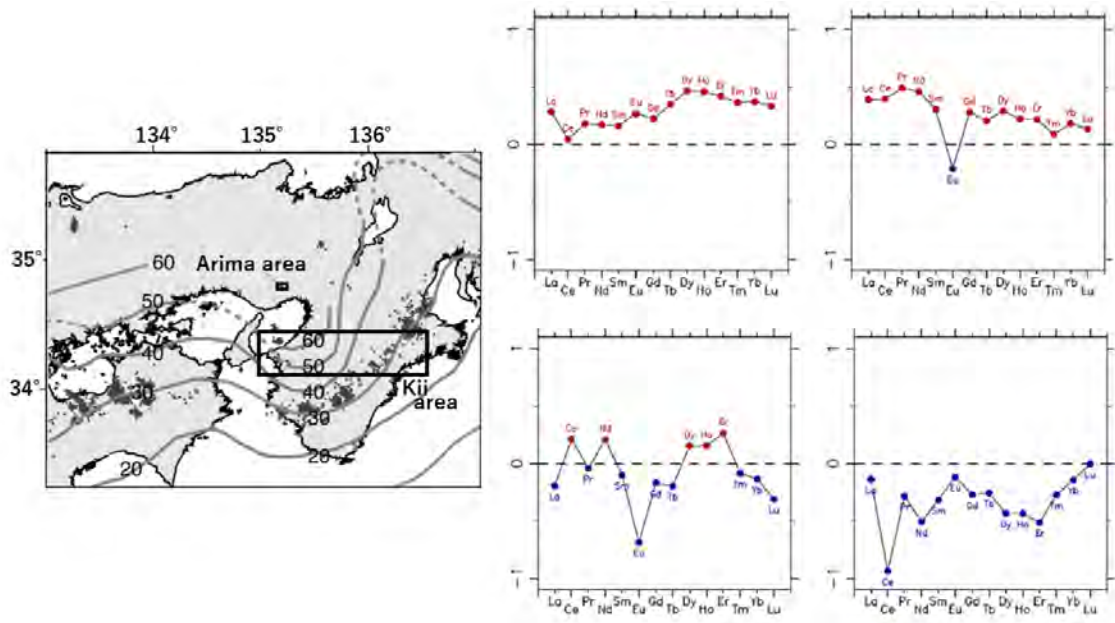


図3 有馬 紀伊に分布する湧水の希土類元素組成に見いだされる4つの独立成分 (Iwamori et al., in press)

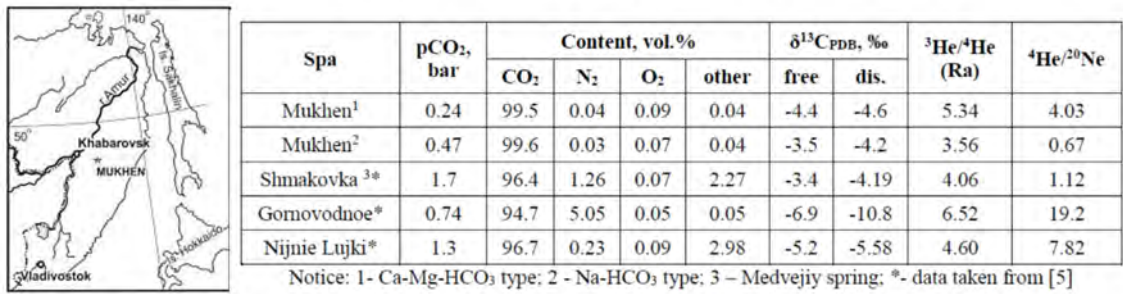


図4 ロシア沿海州のマントルヘリウム成分を有する塩水の組成 (Kharitonova et al., 2019)

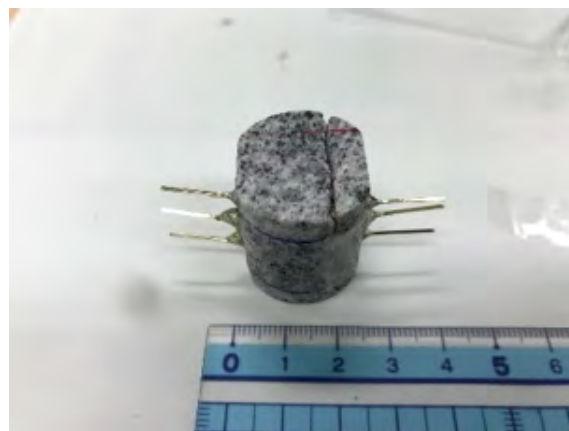


図5 クラックをもつ岩石試料

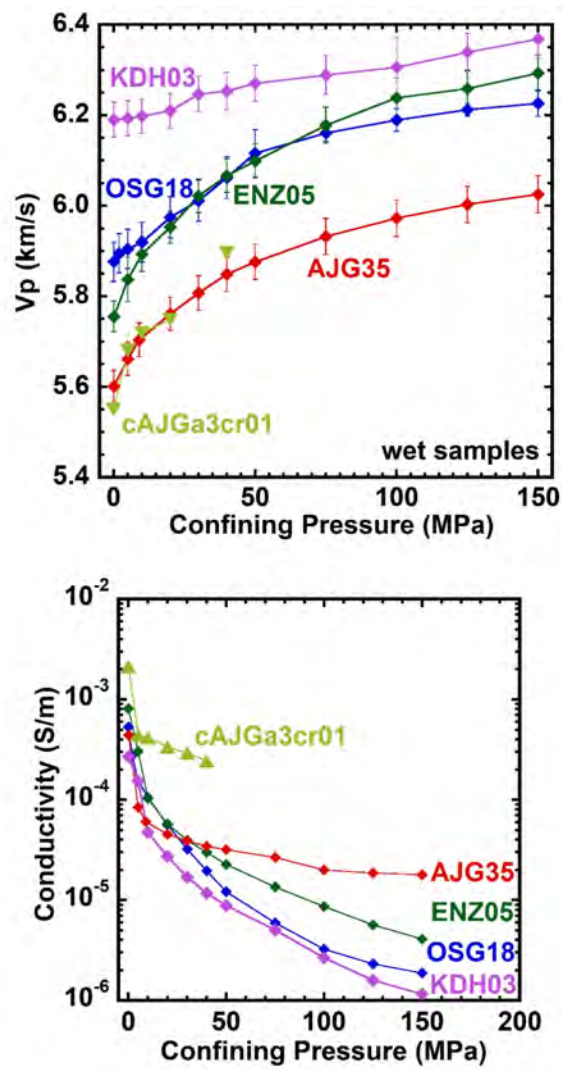


図 6

クラックをもつ試料 ( cAJGa3cr01 ) およびクラックがない試料の P 波速度 ( 上 ) , 電気伝導度 ( 下 )



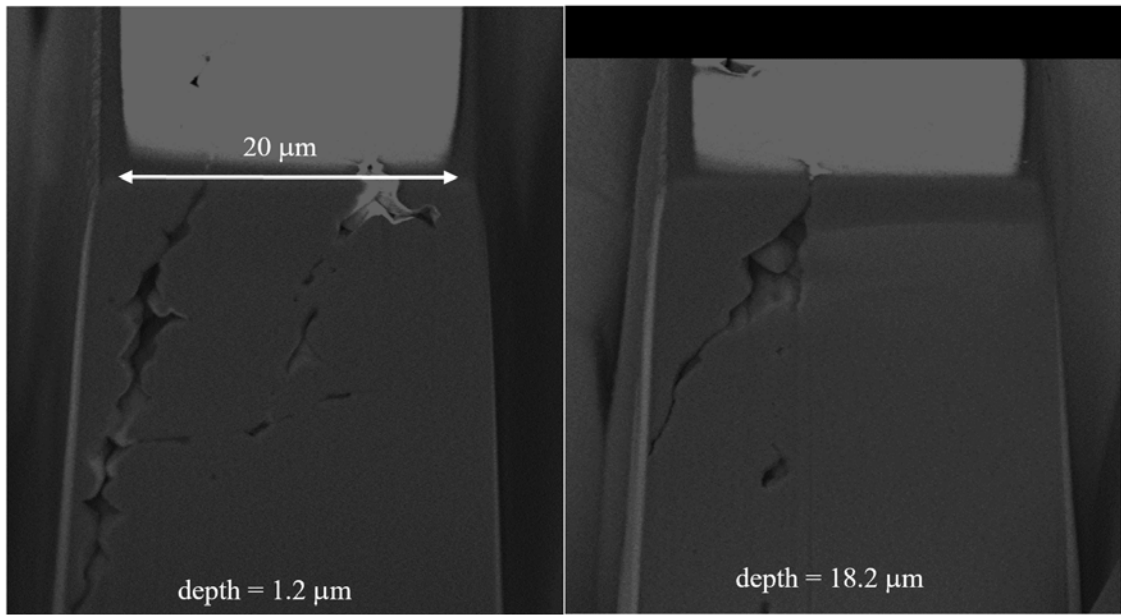


図 7  
FIB-SEM で観察した石英 石英粒界

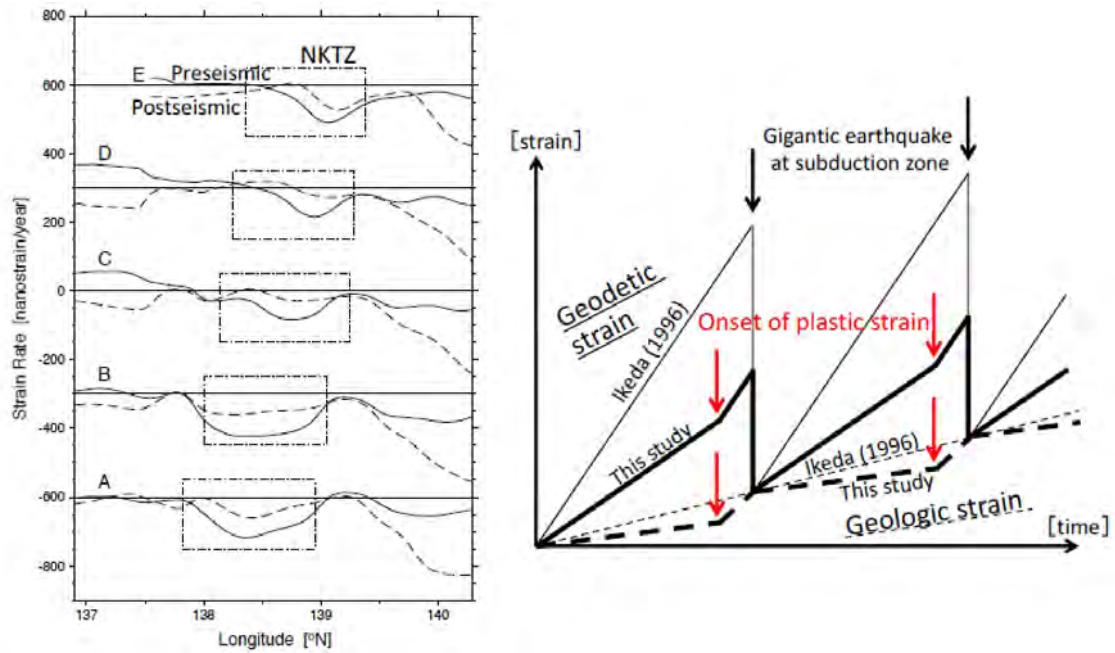


図 8  
(左)GNSS データの解析に基づき、新潟付近の新潟神戸歪集中帯において、東北地方太平洋沖地震前の方が、地震後よりも非弾性歪速度(地質学的歪速度に対応)にほぼ相当する短波長の歪速度が速いことを見出した。地震前には塑性歪が生じていた一方、地震後には塑性歪が停止したためと考えられる。(右)塑性歪の効果を取り入れることによる歪速度パラドックス(池田, 1996)のダイアグラムの改訂。プレート境界巨大地震発生前のあるタイミングで塑性歪が発動することにより、巨大地震発生時まで歪速度が顕著に速くなると考えられる(Fukahata et al., 2020)

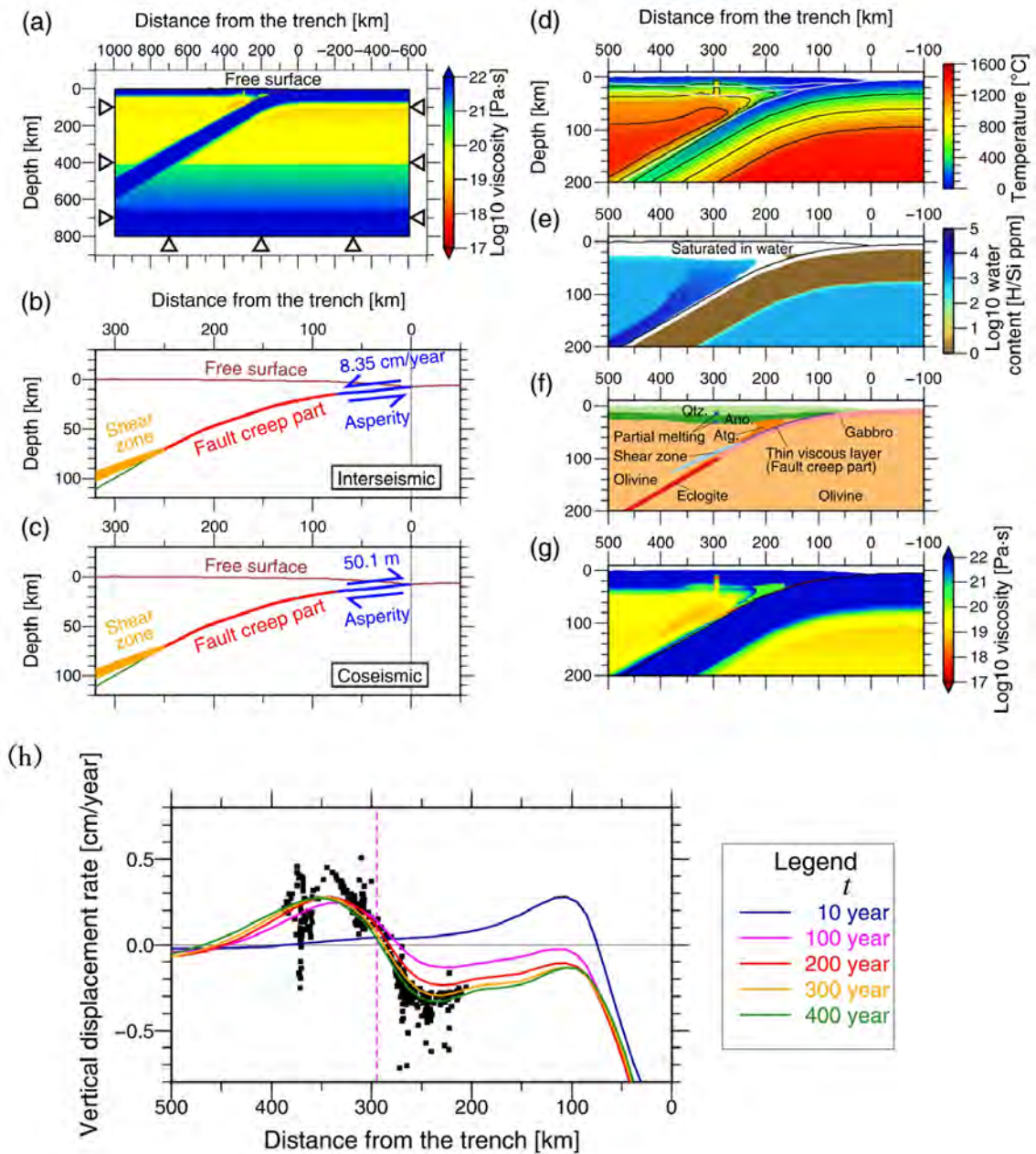


図 9

東北地方太平洋沖地震前の沈降（および地震後の隆起）を再現する数値モデル（Sasajima et al., 2019）。(a) モデル領域、(b) 巨大地震前後のすべりに関する境界条件、(c) 巨大地震時のすべりに関する境界条件、(d) 温度場、(e) 水分分布、(f) 主要・重要鉱物の分布、(g) 粘性率。(h) これらの条件をもとに計算された垂直変位とその時間変化（色付きの実線）、および観測値（黒四角の点）。



- ( 1 ) 実施機関名：  
京都大学防災研究所
- ( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：  
測地観測データに基づく内陸地震長期評価手法の開発
- ( 3 ) 関連の深い建議の項目：  
2 地震・火山噴火の予測のための研究  
(1) 地震発生の新たな長期予測  
イ. 内陸地震の長期予測
- ( 4 ) その他関連する建議の項目：  
1 地震・火山現象の解明のための研究  
(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化  
イ. 内陸地震  
2 地震・火山噴火の予測のための研究  
(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測  
イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験  
5 研究を推進するための体制の整備  
(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育  
(7) 次世代を担う研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成
- ( 5 ) 総合的研究との関連：
- ( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：  
・近年の GNSS データに基づくひずみ速度と過去の地震活動を比較し、両者に関連性があることを確認した。  
・九州地方を対象に観測されたひずみ速度と地震活動から、地震発生確率を推定する手法の予察的な検討を行った。  
・西南日本のブロック運動モデルを構築し、海溝沿いのプレート間カップリングの分布、内陸ブロックの運動およびブロック内の歪み速度を推定した。  
・跡津川断層系において、長波長ノイズを GNSS 速度場を用いて除去した複数の干渉画像を用いて InSAR 時系列解析を行い、変位勾配の局所的な高まりを検出した。
- ( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：  
・GNSS 等の測地学的観測データに基づく内陸地震の長期予測手法の開発を行い、日本列島を対象とした地震発生確率の試算を行う。

- ・地震活動データに基づき、内陸部の任意の場所について内陸大地震発生の定常確率（永年確率）を求めるとともに、近傍活断層系に基づく時間依存の大地震の長期確率を求める。短期・中期の異常地震活動が認められた場合に、これらを合わせた多重確率予測が準リアルタイムで計算可能になるようにデータベースを作成・準備する。確率予測のばらつきが見えるように複数の予測を目指す。
- ・断層への载荷応力変化に応じた地震発生確率変化を定量的に評価するための手法を提案する。
- ・InSAR や GNSS 繰り返し観測等から得られるデータを用いて測地的ひずみ速度推定手法の高度化と観測点密度がひずみ速度推定に与える影響を検討する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

本課題においては、内陸地震の長期予測手法の開発に関して、以下の 3 つのサブテーマを設け、サブテーマ毎の研究概要を示す。最終的には各サブテーマから得られた成果を総合して、長期予測手法の高度化を目指す。

1 . GNSS データを用いた地震活動の長期予測

・応力蓄積速度が一定と考えられるようなバックグラウンドの変形場を、日本列島の過去の GNSS データから推定し、変位速度場からひずみ速度場を計算する手法の比較検討、標準的解析手法の提案を行う。得られたひずみ速度データに基づき、既往の長期予測手法・モデルを参考にして、予測手法の比較検討を行い、内陸大地震発生の定常確率の計算を行う。日本列島の過去の地震活動を用いて、地震発生予測モデルの検証とパラメータの最適以下を行う。

・測地データに基づいて、これまでに提案されているひずみ速度や地震カタログを用いた内陸地震発生確率推定手法の調査を行う。観測されたひずみ速度や、歴史地震を含む地震カタログを用いて、地震発生確率推定を試行し、地震本部の長期評価や実際の地震活動との比較等を行う。

・ブロック断層モデルを用いて、背景地震及びブロック境界沿いの固有地震の長期評価を行う手法を開発する。まず、西南日本の GNSS データを精査し、ブロック運動モデルの再考を実施する。次に、ブロック内の歪み速度を GNSS データから推定し、西南日本をテストケースとしてブロック内の歪み速度と地震活動に基づく地震の長期評価の手法の構築・検証を行った後、日本列島規模でのブロック運動モデルを構築し、日本列島規模でのブロック内の歪み速度と地震活動について長期評価の手法を構築・検証を行う。

2 . 地震活動を用いた長期予測手法の高度化

・検出率を踏まえた「常時地震活動度」を位置に依存するパラメータを持つ時空間 ETAS モデルの高度化によって求め、Gutenberg-Richter 式の b 値モデルを併用することによって、各所の大地震の永年発生確率を求める。

・大地震の長期評価において繰り返し間隔のばらつきを表すのに用いられる BPT 分布の変動係数 値などを地域別あるいは断層の空間的特性に基づいて求め、ベイズモデルを用いたロバストな長期確率評価を試作する。

・1995 年兵庫県南部地震以降に発生した M 6.8 の地殻内地震に対して、各地震後に実施された活断層調査データ・地殻変動データをとりまとめて、断層の活動間隔、地殻歪速度、周辺応力変化への応答などから、破壊直前の活断層の状態と地震活動の特徴を抽出する。特に、破壊開始点（震源）と活断層・震源断層の位置関係などに注目する。同様の検討を国外の地殻内大地震に対しても実施する。

3 . 多様な測地データを用いた詳細ひずみ速度分布推定手法の検討

・衛星 SAR の干渉解析手法に基づき、主に、跡津川断層、有馬高槻断層帯、中央構造線の周辺において、地震間詳細地殻変動分布を推定する。まず、ALOS-2 等のアーカイブ画像を用いた InSAR 解析を試行し、GNSS データとの比較を行い、時系列解析手法やノイズ軽減手法について検討する。次に、有限要素法を用いたすべり速度推定を行って、測地データに基づくすべり速度推定結果と活断層評価（長期評価）におけるすべり速度比較をするとともに、過去の測地測量データとの整合性等との検証を行う。

・顕著なひずみ集中や地震火山の相互作用から複雑な地殻変動が観測されている新潟県南部や三宅島

などを対象として大学院生を主とする全国の関係機関が参加する稠密 GNSS 繰り返し観測を行い、観測誤差を考慮した詳細な変形場の解明と既存 GNSS 連続観測点のデータとの比較を行って、長期予測への利用可能性を検討する。また、観測を通じた次世代研究者・技術者の養成を行う。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

1 . GNSS データを用いた地震活動の長期予測

測地データから内陸地震の発生ポテンシャルを評価するために、2つのアプローチに基づいた検討を行った。第1のアプローチは、ひずみ速度を用いて、地域もしくはグリッド毎の任意の期間の地震発生確率を推定するものである。この手法では測地データに基づく地殻ひずみ速度から変換したモーメント速度(以下、測地モーメント速度)からグーテンベルグ・リヒター則(GR則)のa値を、地震カタログからGR則のb値を推定する。今年度は、b値の推定について、気象庁の震源カタログに加え、歴史地震記録を併用する手法の検討を行った。九州地方の歴史地震をサンプルデータとして試算を行ったところ、パラメータ推定が可能であることが示された。

次に、西日本における0.2度グリッド毎の地震発生確率の試算を行った。GNSSデータとして西村(2017)で計算した南海トラフ沿いのカップリングによる弾性変形を除去した西日本の水平変位速度場を用い、Savage and Simpson(1997)の手法を用いて測地モーメント速度を計算し、ポアソン過程を仮定して30年間にM6.0以上の内陸地震が発生する確率を図1に示す。なお、測地データによって観測されるひずみ速度は弾性ひずみと非弾性ひずみの両方を含むため、将来の地震発生によって解消される弾性ひずみが測地観測に基づくひずみのどの程度の割合を占めるかは、測地データを用いて地震発生ポテンシャルを評価する上で重要である。そこで測地モーメント速度と歴史地震によって解放されたモーメント速度(以下、地震モーメント速度)を比較し、弾性ひずみの割合を推定した。最近1420年間と433年間の歴史地震カタログ(1919年以降は気象庁一元化カタログ)を用いると、西日本全域では、それぞれ5%と14%なのに対し、中部・近畿・中国地方を中心とする領域では、それぞれ11%と24%であった。これらの結果は、測地学的ひずみ速度が地震学的ひずみ速度よりも1桁大きいという先行研究の結果を支持するものであるが、領域・期間によって割合が異なることは、弾性ひずみの割合の地域性や歴史カタログの不完全性を表すものと考えられる。433年間の地震モーメント速度は、1919年以降の地震モーメント速度とほぼ等しく、この期間ではほぼもれなく大地震が記録されていると考えられる。

第2のアプローチとして、ブロック運動モデルに基づく手法を検討した。この手法では、観測された地殻変動データをブロック運動モデルにより、地殻ブロックの剛体運動、ブロック内の一様歪、およびブロック境界におけるすべり遅れに起因する地殻変動成分に分離する。ブロック内の一様歪はバックグラウンドの地震活動との対応について検討し、ブロック境界のすべり遅れについては、繰り返し発生する地震活動(プレート境界地震や内陸の固有地震)に対応について検討した。今年度は、コスタリカのGNSS観測データを解析し、速度場を推定した上でブロック運動モデルを適用し、コスタリカ中央ブロック内の測地モーメント速度と2010年から2018年の間に発生した地震によって解放された地震モーメント速度の割合について検討した。その結果、測地モーメント速度は地震モーメント速度の半分程度であることがわかった。一方、同様な解析を日本の伊豆半島のブロックに適用し評価を行った結果、測地モーメント速度は地震モーメント速度よりも10倍程度大きいことがわかった。これらより、測地モーメント速度と地震発生による地震モーメント速度の比には地域差があり、注意が必要であることがわかった。

2 . 地震活動を用いた長期予測手法の高度化

階層ベイズ型時空間ETASモデル(1926-1995: M 4.0)による日本内陸部の常時地震活動度での予測を計算し、将来の内陸部大地震(M 6.0)と時間を遡った歴史被害地震(M 6.8, 宇津, 2002)との良好な対応を示した。また、GNSSデータから海洋プレートのカップリング影響の影響を除去したひずみ速度分布(西村, 2017)や非パースト型「繰り返し地震」の震央分布(五十嵐, 2019)とも良好な対応を示した。一方、「日本の活断層」分布に対しては、良く対応する部分とそうでない部分がはっ

きりしており、今後詳細な議論を進める必要がある。

地震調査研究推進本部の長期評価において適用されている BPT 分布更新過程について、活動時期が不確実性を持っている場合に、ばらつきパラメータの最尤推定値にどの程度の偏りが現れるかを数値実験により検証した。さらに、多数の活断層においてばらつきパラメータを共通と仮定した場合のベイズ推論手法を定式化し、ベイズ予測分布を用いた将来予測がプラグイン予測分布よりも平均的に優れていることを数値実験により示した。長期評価における日本の内陸主要活断層のカタログにベイズ予測手法を適用し、長期評価に与える影響を分析した。

### 3. 多様な測地データを用いた詳細ひずみ速度分布推定手法の検討

衛星 SAR の干渉解析に基づく手法においては、予め定めていた解析地域での予察的解析およびノイズ軽減手法の試行を行った。その結果、解析対象地域では比較的条件が悪い期間が長い画像ペアにおいても良好な干渉性が得られ、2015 年以降の変動は今後 ALOS-2 データの解析によって追跡可能であることを確認した。また、電離層ノイズの補正方法および GNSS 変位を利用した補正方法を試行し、ノイズ軽減効果を確認した。

稠密 GNSS 繰り返し観測については、2019 年 9 月 2 日から 6 日にかけて日本全国から教職員 26 名、学生 30 名を集めて三宅島で実施した。ほぼ当初の予定通り 31 か所での繰り返しを行い、三宅島における詳細地殻変動が明らかになった。また、GNSS 観測及びドローンを用いた写真測量やキネマティック GNSS 測量の実習を行い、若手に対する技術の普及・継承を行った。

## (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Luis Alejandro Carvajal Soto, Takeo Ito, Marino Protti, Hiroshi Kimura, Earthquake potential in Costa Rica using three scenarios for the Central Costa Rica Deformed Belt as western boundary of the Panama Microplate, *Journal of South American Earth Sciences*, doi:10.1016/j.jsames.2019.102375, 2020.

Ogata, Y., Katsura, K., Tsuruoka, H. and Hirata, N. High-resolution 3D earthquake forecasting beneath the greater Tokyo area, *Earth, Planets Space*, 71:113, doi:10.1186/s40623-019-1086-7, 2019.

Nomura, S. and Ogata, Y. (2020). Bayesian Inference and Forecast for Aperiodicity Parameters of Recurrent Earthquakes under Uncertain Occurrence Times, *Hokudan 2020 International Symposium on Active Faulting* (北淡国際活断層シンポジウム 2020), 北淡震災記念公園セミナーハウス, 兵庫県淡路市, 2020 年 1 月 16 日, 招待講演.

## (11) 令和 2 年度実施計画の概要 :

### 1. GNSS データを用いた地震活動の長期予測

歴史地震カタログを併用するパラメータ推定手法について、入力データに依存する誤差の評価手法を検討する。地殻ひずみ速度に含まれる、プレート境界での固着による弾性ひずみや、非弾性成分を評価するスキームを検討するとともに、測地ひずみ速度の推定方法や弾性層の厚さなどの各種パラメータの推定方法について検討を行う。ブロックモデル運動モデルに基づく解析事例を増やすため、日本の他のブロックでの評価とインドネシアでの解析を行うとともに、測地モーメントと地震モーメントの地域差の原因についての検討を行う。

### 2. 地震活動を用いた長期予測手法の高度化

内陸地震についてマグニチュードの下限を低め、検出率の変化を考慮して推定精度を高めることを試みたい。また、地域単位あるいは活断層単位で異なるばらつきパラメータの値を推定するベイズモデルを構築し、地域や活断層の間でばらつきパラメータの推定値に統計的に有意な差が存在するかどうかを検証する。

### 3. 多様な測地データを用いた詳細ひずみ速度分布推定手法の検討

衛星 SAR については、予め定めていたテスト地域およびその他の入手可能な地域のデータを用い、広域的な時系列解析を行う。その際、一年目で実施した電離層ノイズ補正方法と GNSS を用いた補正

方法について検証し、時系列解析のなかで試行する。Cバンド（Sentinel 衛星）データの日本における利用可能性についても、干渉性の調査や ALOS-2 データを用いた結果との比較等で検討する。

GNSS 繰り返し観測については、別経費で実施予定の長野県西部・御嶽山周辺での観測についての支援を行う。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

京都大学防災研究所 西村卓也  
他機関との共同研究の有無 : 有  
北海道大学大学院理学研究院 高橋浩晃、高田陽一郎  
東北大学災害科学国際研究所 遠田晋次、福島 洋  
東北大学大学院理学研究科 三浦 哲  
東京大学地震研究所 青木陽介  
名古屋大学大学院環境学研究科 伊藤武男  
京都大学大学院理学研究科 宮崎真一  
九州大学大学院理学研究院 松島 健  
統計数理研究所 尾形良彦、野村俊一  
国土地理院 矢来博司

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 京都大学防災研究所地震予知研究センター  
電話 :  
e-mail :  
URL : <http://www.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 西村卓也  
所属 : 京都大学防災研究所地震予知研究センター

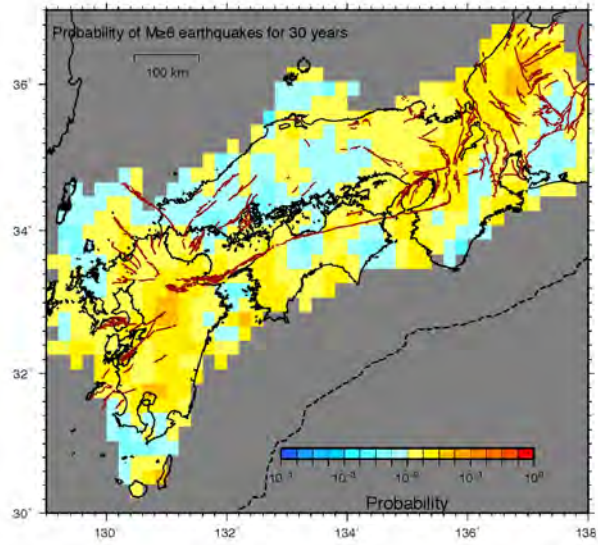


図1 2005年4月-2009年12月のGNSSデータに基づく30年間にM6以上の内陸地震が発生する確率の試算例  
 地震の発生時間はポアソン過程に基づくものと仮定した。地震発生層の厚さ、剛性率、GR則のb値、ひずみ速度を求め  
 る際のShen et al.(1996)の距離減衰定数、測地観測によるひずみ速度に対する弾性ひずみ速度の割合は、それぞ  
 れ、12km、30GPa、0.9、25km、0.14とした。

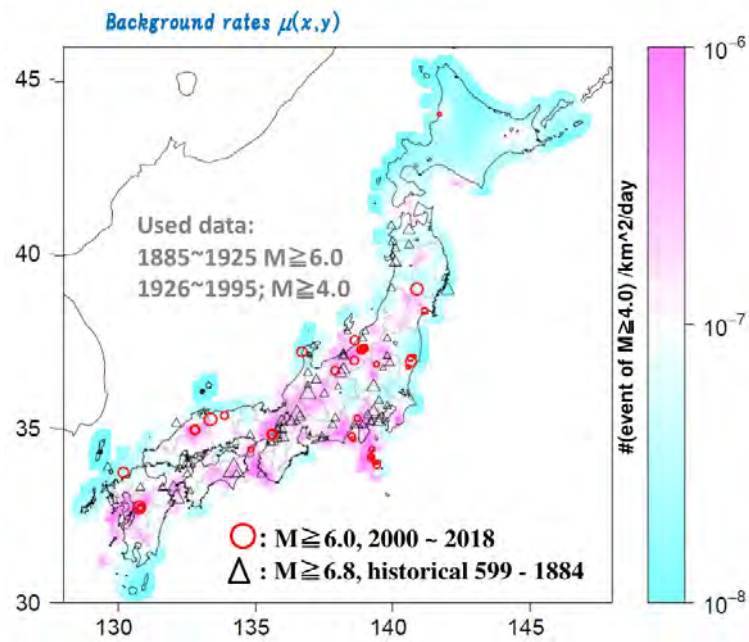


図2 1885年～1995年の地震カタログに対して階層ベイズ型時空間 ETAS モデルを用いた内陸地震の常時地震活動度  
 カラースケールは1日間の1km<sup>2</sup>あたりのM4以上の発生個数を表す。赤丸及び黒三角は、2000年以降及び1884年以前の内陸地震の震央。



- ( 1 ) 実施機関名：  
京都大学防災研究所
- ( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：  
インドネシアの活動的火山における火山活動推移モデルの構築
- ( 3 ) 関連の深い建議の項目：  
2 地震・火山噴火の予測のための研究  
(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測
- ( 4 ) その他関連する建議の項目：  
1 地震・火山現象の解明のための研究  
(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明  
火山  
(4) 火山現象の解明とモデル化  
ア. 火山現象の定量化と解明  
イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化  
(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化  
ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明  
エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解  
2 地震・火山噴火の予測のための研究  
(4) 中長期的な火山活動の評価  
ア. 火山噴火の長期活動の評価  
イ. モニタリングによる火山活動の評価  
5 研究を推進するための体制の整備  
(2) 総合的研究  
エ. 桜島大規模火山噴火
- ( 5 ) 総合的研究との関連：  
桜島大規模火山噴火
- ( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：  
新規研究
- ( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

北スマトラのシナブン火山、ジャワ島のグントール、ガルングン、メラピ、ケルート、スメル火山、バリ島のアグン火山、スンバワ島付近のサンゲアン・アピ火山を研究対象とし、それぞれの火山における火山活動推移をまとめたうえで、共通項と抽出した火山活動推移の標準モデルを構築する。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

京都大学防災研究所とインドネシア地質庁との学術交流協定に基づく過去25年の研究交流実績と、2009年～2011年度と2014年～2018年度に実施の地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム( SATREPS )にて培われた研究実績とインドネシア側の人材と供と観測機材を活用して研究を遂行する。

当面、北スマトラのシナブン火山、ジャワ島のグントール、メラピ、ケルート、スメル火山、バリ島のアグン火山、スンバワ島付近のサンゲアン・アピ火山を研究対象とするが、それ以外の火山において顕著な噴火が発生した場合、機動的な観測を実施するものとする。

年次計画は以下の通りである。

平成31年度

噴火活動中のシナブン火山、スメル火山、アグン火山について、火山活動推移モデルを作成する。

平成32年度

シナブン火山とメラピ火山を対象に水蒸気噴火からマグマ性噴火に至るまでの活動推移をまとめる。

平成33年度

火山性地震の発生頻度が高いが噴火に至らない火山としてグントール火山、サンゲアン・アピ火山の2013年噴火以前の地震活動を中心に火山活動推移をまとめる。

平成34年度

VEI4の規模に達した2014年ケルート火山噴火と2010年メラピ火山噴火に至る地震活動、地盤変動、火山ガス等のデータを再検討し、火山活動推移モデルを構築する。

平成35年度

それぞれの火山における火山活動推移をまとめたうえで、共通項を抽出した火山活動推移の標準モデルを構築する

火山活動推移モデルを定量的に表現するために以下のパラメータを評価する。

- (1) 噴火直前の火口近傍における傾斜変化量、火山性地震のエネルギー
- (2) 定常地震およびGNSS観測から得られる、数ヶ月から数年の時間スケールにおけるマグマ蓄積量・率
- (3) 降灰の現地調査、レーダー観測、噴火地震・微動のエネルギー、傾斜変化量等から推定される噴出物量(噴火の規模評価)
- (4) 火山ガス放出量
- (5) 非噴火時の噴煙高度(白煙)から推定される熱エネルギー放出率

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

インドネシアのシナブン火山、スメル火山、アグン火山について、火山活動推移モデルを検討するために、過去のデータを整理した。

シナブン火山では、2010年8月から9月にかけて7回の水蒸気噴火が有史以降はじめて発生した。その後、しばらく噴火は発生しなかったが、2013年9月15日に再び、水蒸気噴火が発生した。その後も、噴火が頻繁に繰り返され、11月には火山灰の中に新鮮なマグマ物質が認められるようになった。12月には山頂に溶岩ドームが出現した。2014年1月からは溶岩ドームの崩落に伴う火砕流と溶岩の流出が始まった。溶岩流はその後停止したが、溶岩ドームの崩落に伴う火砕流は2018年1月まで続いた。また、2015年後半からは火砕流を伴わない噴煙放出のみの噴火も多発するようになり、2016年以降は火砕流を伴う噴火の回数を超えている。火山性地震、地盤変動などのデータ(図1)を合わせて考えると次のような火山活動の推移の標準化が可能である。(1)水蒸気噴火からマグマ性噴火への推移。水蒸気噴火の活動は2010年と2013年繰り返されているが、その間も数百メートルに達する白煙放出が続いていたことは地下にあるマグマからの熱供給は続いていたことを意味する。(2)火山構造性地

震に前駆する地盤の膨張。2013年9月の水蒸気噴火に前駆して7月6日から火山構造性地震が急増したが、それに前駆して6月からGNSS観測による基線長の伸長が見られた。また、噴火に直結していないが、2011年12月から始まる火山構造性地震の増加に前駆しても2011年11月ごろから基線長の伸長が見られた。マグマ貫入に伴う応力は地盤を変形させるが、岩石の破壊強度を超えた段階で、火山構造性地震が多発し始める解釈できる。(3) 噴火に前駆する火山構造性地震の浅部への移動。2013年7月6日から火山構造性地震が急増したが、9月中旬ごろから浅部に震源をもつ火山構造性地震が発生するようになり、徐々に発生回数が増加した。(4) マグマの噴出による火山構造性地震活動の著しい低下。GNSS観測による基線長は収縮を示しており、応力は低下した。

スメル火山では、小規模なブルカノ式噴火が1時間以内の時間間隔で2009年4月まで頻繁に繰り返された。8月までは静穏であったが、9月には山頂の火口に溶岩が出現して、溶岩ドームを形成し続けている。小規模なブルカノ式噴火、パuffingと呼ばれるガス放出、溶岩ドームからの崩落が最近の噴火活動の特徴としてあげられるが、概ね、定常的な活動が続いている。1990年代以降の活動で特筆すべきものは、1994年2月3日と2002年12月29日に発生した火砕流であり、それぞれ、11.5kmと9km流下している。1994年の火砕流の場合は、1993年10月1日から7日にかけて火山構造性地震が30回発生し、12月と1994年1月には浅い火山構造性地震が多発している。12月26日から火山性微動が連続的に発生するようになり、2月3日の火砕流噴火に至った。2002年の火砕流噴火の前にもハーモニック微動が頻発している。

アゲン火山では、54年ぶりとなる噴火が2017年11月21日から始まり、12月には山頂火口内に溶岩が流出していることが確認された。その後も、ブルカノ式噴火が繰り返された。2017年11月の噴火に先行して、同年9月14日から火山構造性地震が発生し始めた。9月20日には563回の火山構造性地震が群発した。この火山性地震の群発現象は、10月19日ごろまで続いた。噴火は火山性地震の減少期に発生したことになる。火山性地震活動における最大マグニチュードは4.0であり、地震エネルギーから火砕物の体積の上限を与える経験式(Iguchi et al., 2019)から算出される火砕物の体積はおよそ1億 $m^3$ (マグマ換算で4000万 $m^3$ )となる。火口内に流出した溶岩流の体積はおよそ1600万 $m^3$ で、火山灰の総量は見積もられていないが、噴煙高度は2000m~3000mであることから、噴火活動期が1年以上に及ぶことを考慮してもマグマ換算で1000万 $m^3$ を超えないと考えられ、地震エネルギーから火砕物の体積の上限を与える経験式に整合的である。

これらの知見を我が国の火山と比較してみる。シナブン火山の噴火活動は、雲仙普賢岳の1990年~1995年の噴火活動に対比できるものである。何れの噴火でも水蒸気噴火から始まり、マグマ性噴火へ推移した。雲仙普賢岳噴火での噴火活動開始の前に火山体の隆起があったことは指摘されているが、地震活動に前駆して膨張が発生していたかどうかまではわからないが、最近発生した口永良部島噴火、御嶽山噴火、箱根山噴火でも噴火に前駆する地震活動に先行した山体の膨張が検出されているし、メラピ火山の2010年噴火(VEI4)の前駆過程では、17か月に及ぶ非地震性山体膨張期とそれに続く約1か月の火山性地震群発期が知られている。さらに、桜島の1914年噴火では、約半年の山体隆起と直前30時間の火山性地震の群発が推定されており、「マグマ貫入に伴う火山体の弾性変形と応力集中応力が岩石の破壊強度を超えることによって発生する火山構造性地震 噴火の発生」というプロセスは火山噴火の前駆過程の標準モデルとして有望である。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
井口正人，2019，桜島大規模噴火の発生予測 - 非地震性地盤変動から地震活動を伴う地盤変動への推移，日本自然災害学会誌，38，306 - 317。

(11) 令和2年度実施計画の概要：

メラピ火山を対象に水蒸気噴火からマグマ性噴火に至るまでの活動推移をまとめる。また、3年次に計画していたグントール火山の火山性地震の活動度から考えられる推移モデルの構築を前倒して進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
京都大学防災研究所火山活動研究センター  
他機関との共同研究の有無：有  
東京大学地震研究所

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：火山活動研究センター  
電話：099-293-2058  
e-mail：iguchi.masato.8m@kyoto-u.ac.jp  
URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者  
氏名：井口正人  
所属：京都大学防災研究所

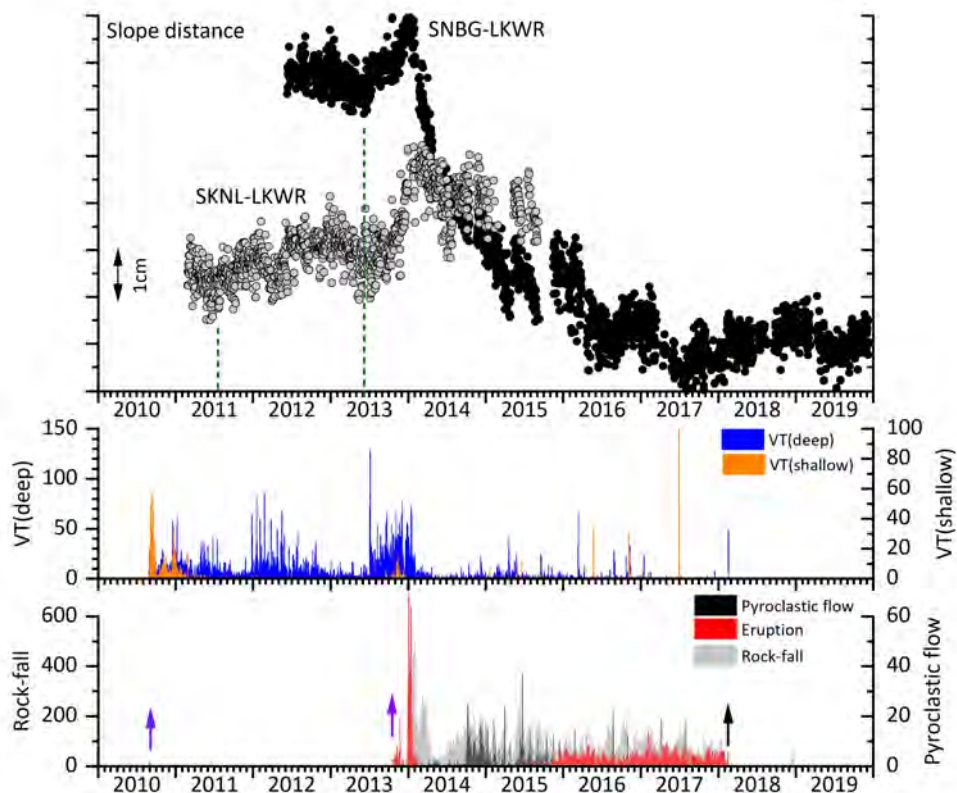


図1 シナブン火山における地盤変動および地震活動と噴火活動との関係

上段:GNSSにより観測された斜距離の変化。

中段:地震活動

下段:噴火活動。紫の矢印は水蒸気噴火を示す。黒の矢印は2018年2月19日に発生した最大規模の噴火を示す。

( 1 ) 実施機関名：

京都大学防災研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

桜島火山における火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測のための総合的観測研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

密接に関連する研究課題の「桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究」の成果について以下に述べる。

昭和火口の噴火の9割について前駆した山体膨張と噴火に伴った収縮が観測された。前駆地盤変動量と継続時間、噴火に伴った地盤変動量の統計解析を行い、前駆継続時間と膨張量・収縮量比の頻度

が対数正規分布することが明らかになった。前駆の山体膨張は噴火直前に一定時間停止して噴火する場合が多く、山体膨張停止時に噴火に前駆する地震が発生する場合がある。前駆地震エネルギーが加速的に増加する性質があり、噴火発生時刻の予測が可能な場合があることが分かった。噴火に伴った収縮は、指数関数的に時間経過とともに減速し、停止する。時間関数から噴火は圧縮性流体の放出過程で解釈された。

2006年の噴火にて始まり、2009年に発生頻度が上昇し、2017年まで継続した昭和火口噴火活動に先行した地震活動の活発化と始良カルデラおよび桜島の地盤変動を検出した。この期間に3回の顕著な地盤変動が観測され、始良カルデラ直下の深さ10kmの増圧源、桜島北岳直下の深さ4kmの増圧源により説明出来た。顕著な地盤変動の観測時期(マグマ貫入期)に火山灰放出量の増加していた。昭和火口噴火活動では始良カルデラ直下の深さ10kmの圧力源の増圧が継続したことから、昭和火口噴火活動ではマグマ放出量は始良カルデラ直下のマグマ蓄積量より小さいことが分かった。

2009年から桜島北東部において反射法探査を繰り返し行い、始良カルデラから桜島へのマグマ供給路の変化に対応した地下構造の時間変化の検出を検出した。桜島北東部直下の深さ5kmにおいての2009年から2010年の地震波反射強度の増加および2010年以降の反射強度減少をシル状マグマ溜まりにおける速度低下および上昇にて説明できた。また、地震波干渉法にて地下構造の変化の検出を試みたところ、山頂に近い観測点のペアで2012年に波形相関が低下したことが分かった。波形相関の低下が見られた時期は地盤変動観測からマグマ貫入速度が増加した時期と対応していることが分かった。さらに、繰り返し海底地震観測から、始良カルデラ内の地震の震源決定精度が向上し、より高精度の速度構造が得られた。

前述の顕著な地盤変動が観測された時期に前後して物質化学的变化が検出された。2009年のマグマ貫入期に先行して観測井内のガス中の二酸化炭素と水素の濃度上昇が検出された。2009年から2010年と2015年のマグマ貫入期には、火山灰の組成の二酸化ケイ素成分の低下が見られ、玄武岩質マグマの貫入増加が示唆された。2011年のマグマ貫入期以降に二酸化硫黄放出率の増加が見られた。火山灰付着の水溶性ガス成分の時間変化を2006年以降について調べたところ、2006年~2007年と2010年以降に塩化/硫酸のイオン比が高い値を示し、昭和火口噴火活動期において熱水系卓越からマグマ卓越へ変化したことが分かった。

桜島火山についてマグマ貫入速度を分岐条件とする噴火事象分岐論理を構築した。噴火様式に対応してマグマ貫入速度が変化しており、南岳噴火活動では、ブルカノ式噴火>連続火山灰噴火>ストロンボリ式噴火の順にマグマ貫入速度が対応しており、昭和火口のブルカノ式噴火はさらにマグマ貫入速度が小さい。また、溶岩流出を伴った昭和噴火および大正噴火のマグマ貫入速度を推定した。

(7) 本課題の5か年の到達目標:

火山性流体の貫入・噴出の量やその時間変化率などに着目し、噴火先行現象、噴火発生、噴火規模・様式の変化など、先行現象から噴火終息までの一連の活動推移をモデル化する。現在のデータや試料だけでなく、過去のデータや資料・試料を解析・分析することで、大正噴火クラスの大規模噴火の事象分岐条件も含めた火山活動推移モデルの構築を進め、火山噴火予測手法の高度化をする。

(8) 本課題の5か年計画の概要:

桜島の火山活動推移モデルを構築し、事象分岐条件に各観測および調査から得られるパラメータを付与し、そして予測につなげるために、前計画研究課題「桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究」実施の観測の継続をする。5か年通じて以下の連続観測および調査を実施する。

- ・桜島および南九州における稠密連続地震観測
- ・桜島および南九州における稠密連続GNSS観測
- ・桜島における地殻変動連続観測
- ・MT連続観測
- ・絶対重力計もしくは超伝導重力計による重力連続観測

- ・光学式ディストロメータを用いた火山灰連続観測
- ・温泉ガス連続観測
- ・土壌二酸化炭素放出率観測
- ・火山灰の現地サンプリング調査と岩石組成および付着ガス成分分析
- ・二酸化硫黄放出率観測

また、5 か年通じて以下の繰り返し観測を実施する。

- ・重力測定（毎年 10 月実施）
- ・水準測量（毎年 11 月実施）
- ・稠密 GNSS 観測（毎年 11 月実施）

そのほか、年度毎に以下の観測を実施する。

・令和元年（2019 年）度においては、人工地震探査を 12 月第一週に実施する。桜島北部において 2014 年と 2016 年実施と同じ測線（爆破 6 カ所）にて、南側において 2013 年実施と同じ測線（爆破 4 カ所）にて探査を実施する。

・令和 2 年（2020 年）度においては、鹿児島湾においてキャンペーン海底地震観測を実施する。

・令和 3 年（2021 年）度においては、これまで継続してきた絶対重力連続観測から超伝導重力連続観測へ移行する。また、鹿児島湾においてキャンペーン海底地震観測を実施する。

・令和 4 年（2022 年）度においては、2019 年度実施の人工地震探査と同じ測線と爆破点に人工地震探査を行い、時間変化の検出を試みる。新しく開発する小型拡散放出二酸化炭素率測定装置の設置を行う。

・令和 5 年（2023 年）度においては、鹿児島湾においてキャンペーン海底地震観測を実施する。拡散放出二酸化炭素率観測を実施する。

上記は観測実施項目であるが、1980 年代からの過去データおよび、大正噴火および昭和噴火の当時の資料・試料を活用して、桜島の火山活動推移モデルを構築と事象分岐条件へのパラメータを付与に役立てる。

#### （9）令和元年度の成果の概要：

桜島において地震・地殻変動・火山ガス・火山灰の連続観測を実施した。また、重力測定と水準測量と GNSS キャンペーン観測を実施した。桜島の地下構造の時間変化検出を目的として人工地震探査を 2019 年 12 月に実施した（図 1）。185 観測点のうち、観測成功率は 96%であった。前回までの人工地震探査と比較した発破点の水平位置の違いは 0.4~12 mであった。

地震波干渉法解析から得られた走時の時間変化について、状態空間モデルを用いてトレンド成分+季節成分（年周成分）+残差（短周期成分）に分離することを試みた。そして、桜島北部の基線について 2015 年の年初から顕著な走時の増加（地震波速度低下）を検出した（図 2）。トレンド成分（長周期成分）と短周期成分（残差成分）をそれぞれ検討することで、火山活動との関連を議論できる可能性を見いだせた。

桜島北東海域にて繰り返し海底地震観測を実施した。2014 年 8 月から同様の観測を実施してきており、若尊カルデラ域のバースト的地震活動が半年に 3~4 回以上発生していることを明らかにした（図 3）。しかし、若尊カルデラ域では 2019 年 7 月以降は、バースト的地震活動は見られない。始良カルデラの北方では 2018 年 8 月~2019 年 8 月に、また桜島の南岸、南西沖、鹿児島市街地付近下で 2019 年 9 月以降に地震活動が認められ、地震活動が広域化していることが分かった（図 3）。

Permana et al. (2019) は地震波干渉法を応用した震源決定法を噴火頻発時の火山性微動に適用した。その結果、南岳直下の深さ数 km 以浅にほぼ震源が求められることが分かった。Hasib et al. (2019) はスペクトル比法にて、一般的に構造的な地震の地震波の主要部とコーダ波のスペクトル比は一致するのに対し、桜島の爆発地震のスペクトル比は主要部とコーダ波で一致しないことを明らかにした。このことから、爆発発生時の圧力解放により地震波が励起されるだけでなく、引き続き火山灰放出時にも火道内で顕著な圧力変動が起きていることが明らかとなった。



堀田・井口(2019)は南岳の噴火に伴う傾斜ひずみ変化のモデル化により、南岳下の変動源に加えて、i)北岳下の変動源の膨張、ii)桜島を南北に横切るダイクの閉口、iii)高免における圧縮を伴うブロック運動のいずれかを考慮すると、噴火に伴う傾斜ひずみ変化を説明できることを明らかにした。赤池情報量基準に基づくと、南岳下の変動源に桜島を南北に横切るダイクの閉口を加えたモデルが最適であり、南岳下の浅部と深部にあるとされる変動源の間にダイクが存在することが示唆された(図4)。

2019年11月に水準測量を実施し、2018年11月~2019年11月の地盤上下変動は2mm以下であることがわかった(図5)。南岳直下のマグマ溜まりにおける増減圧は、この期間かなり小さいことが示唆される。また、桜島北岸において顕著な地盤変動が生じていないことから、2019年11月までの1年間に於いて始良カルデラ地下のマグマ溜まりにおける増減圧がかなり小さいことが示唆される。

約2カ月おきに5回の重力測定を実施した。今年度の重力測定結果を1990年代以降の測定データと比較すると、桜島中央部における相対重力値は最大4.7 microGal/yrで経年的に増加していることが分かった(図6)。この重力増加は球状圧力源の膨張・収縮に伴う地殻変動だけでは説明できず、桜島中央部の直下で質量蓄積が起きていることを示唆している。この質量蓄積は北岳直下の海拔下約3kmに位置しており、質量蓄積速度は1970年代~1990年代の3分の1程度に低下していると推定される。

2019年1月から8月までFG5型絶対重力計による連続重力測定を実施した。一日で400ミリの降水量であった7月3日の豪雨の際には、降雨開始から5マイクロgal重力が減少し、その後数日で上昇し明瞭な降雨擾乱のシグナルがとらえられた(図7)。

桜島南東部の二酸化硫黄観測網により2019年度秋以降、上空二酸化硫黄量の15分から1時間周期での変動が時折みられることが明らかになった(図8)。また、ロガーを搭載型の省電力の小型自律型二酸化炭素拡散放出率測定装置の試作を行い、動作確認の試験を行った。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Araya, N., M. Nakamura, A. Yasuda, S. Okumura, T. Sato, M. Iguchi, D. Miki and N. Geshi, 2019, Shallow magma pre-charge during repeated Plinian eruptions at Sakurajima volcano, *Scientific Reports* 9, doi:10.1038/s41598-019-38494-x.

Hasib, M., T. Nishimura, H. Nakahara, 2019, Spectral ratio analyses of explosion earthquakes at Sakurajima Volcano, Japan, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 381, 302-311, doi:10.1016/j.jvolgeores.2019.05.000

堀田耕平・井口正人, 2019, 2017年の南岳爆発に前後する傾斜ひずみ変化, 日本地球惑星科学連合2019年大会, SVC38-16

堀田耕平・井口正人, 2019, 2017年11月13日南岳爆発に伴う傾斜ひずみ変化, 日本火山学会2019年度秋季大会, B1-08.

井口正人, 2019, 地盤変動に続く地震活動に関する考察, 日本火山学会2019年度秋季大会, B1-05.

井口正人・為栗健・平林順一・中道治久, 2019, マグマ貫入速度による桜島火山における噴火事象分岐論理, *火山*, 64, 2, 33-51, doi:10.18940/kazan.64.2\_33.

Iguchi, M., H. Nakamichi, H. Tanaka, Y. Ohta, A. Shimizu, and D. Miki, 2019, Integrated Monitoring of Volcanic Ash and Forecasting at Sakurajima Volcano, Japan, *Journal of Disaster Research*, 14, 5, 798-809, doi:10.20965/jdr.2019.p0798.

井口正人・為栗健・平林順一・中道治久, 2019, マグマ貫入速度による桜島火山における噴火事象分岐論理, 日本地球惑星科学連合2019年大会, SVC38-15.

Iguchi, M., T. Tameguri, J. Hirabayashi, and H. Nakamichi, 2019, Forecasting Volcanic Eruption of Sakurajima Volcano Based on Magma Intrusion Rate in Rete in Recent 100 Years, 27th IUGG General Assembly, V20p-431.

風間卓仁, 2019, 日本の火山地域における重力観測の現状と陸水擾乱問題. *火山*, 64, 3, 189-212, doi:10.18940/kazan.64.3\_189.

- 風間卓仁・山本圭吾・大島弘光・岡田和見・大柳諒・園田忠臣・井口正人, 2019, 桜島火山における繰り返し相対重力測定 (2018年5月~2019年2月), 京都大学防災研究所年報, **62B**, 318-324.
- 三輪学央・下司信夫・伊藤順一・棚田俊收・井口正人, 2019, VOLCATによる降灰その場自動観察, 日本火山学会 2019年度秋季大会, A1-11.
- 宮町宏樹・高橋浩晃・青山裕・大園真子・椎名高裕・?田真秀・一柳昌義・山口照寛・薄田悠樹・齊藤一真・伊藤ちひろ・村井芳夫・中垣達也・筒井智樹・竹井瑠一・多田悠也・山本希・平原聡・中山貴史・東龍介・鈴木秀市・佐藤利典・蔵下英司・安藤美和子・田中伸一・池澤賢志・山田知朗・中東和夫・前田裕太・堀川信一郎・松廣健二郎・奥田隆・辻修平・十川直樹・片尾浩・澁谷拓郎・三浦勉・中川潤・米田格・為栗健・瀧下恒星・仲井一穂・山下裕亮・松島健・内田和也・宮町凜太郎・八木原寛・平野舟一郎・久保武史・坂尾健有, 2019, Seismic refraction and wide-angle reflection experiment in southern Kyushu, Japan: (3) the 2018 exploration report, 日本地球惑星科学連合 2019年大会, SVC38-P40.
- 宮町宏樹・小林励司・八木原寛・平野舟一郎・久保武史・海野直弘・松島健・内田和也・宮町凜太郎・片尾浩・澁谷拓郎・三浦勉・中川潤・米田格・為栗健・瀧下恒星・仲井一穂・山下裕亮・前田裕太・堀川信一郎・松廣健二郎・奥田隆・辻修平・十川直樹・中東和夫・蔵下英司・山田知朗・安藤美和子・田中伸一・池澤賢志・佐藤利典・山本希・平原聡・中山貴史・東龍介・鈴木秀市・筒井智樹・竹井瑠一・多田悠也・高橋浩晃・青山裕・大園真子・椎名高裕・?田真秀・一柳昌義・山口照寛・伊藤ちひろ・薄田悠樹・村井芳夫・中垣達也, 2019, 人工地震探査による南九州横断測線下の速度構造(4), 日本地震学会 2019年度秋季大会, S06-21.
- 宮町宏樹・小林励司・八木原寛・平野舟一郎・久保武史・早田正和・坂尾健有・海野直弘・松島健・内田和也・宮町凜太郎・磯田謙心・Agnis Triahadini・手操佳子・神谷義之介・清水洋・片尾浩・澁谷拓郎・三浦勉・中川潤・米田格・加藤慎也・為栗健・瀧下恒星・仲井一穂・山下裕亮・前田裕太・渡辺俊樹・堀川信一郎・松廣健二郎・奥田隆・辻修平・十川直樹・長谷川大真・中東和夫・蔵下英司・岩崎貴哉・篠原雅尚・山田知朗・阿部英二・安藤美和子・田中伸一・池澤賢志・佐藤利典・山本希・平原聡・中山貴史・東龍介・日野亮太・大友周平・鈴木秀市・筒井智樹・井上雄介・竹井瑠一・多田悠也・高橋浩晃・青山裕・大園真子・椎名高裕・高田真秀・一柳昌義・山口照寛・小野夏生・齊藤一真・伊藤ちひろ・薄田悠樹・村井芳夫・中垣達也・田中康久, 2019, 人工地震探査による始良カルデラ下の速度構造(4), 日本火山学会 2019年度秋季大会, A3-12.
- 森俊哉, 2019, 上空二酸化硫黄測定装置観測網による桜島の二酸化硫黄放出率観測, 日本火山学会 2019年度秋季大会, P095.
- 仲井一穂・井口正人・大倉敬宏, 2019, GNSSデータによる始良カルデラ周辺の広域上下変動, 日本地球惑星科学連合 2019年大会, SVC38-P36.
- 中道治久, 2019, 深部低周波地震の発生と火山深部のマグマ供給との関係について, 日本地球惑星科学連合 2019年大会, SSS17-06.
- 中道治久・清水厚・下村誠・Syarifuddin Magfira・井口正人, 2019, 桜島におけるXバンドMPレーダーとライダー同時噴火観測と口永良部島噴火のレーダー観測, 日本地球惑星科学連合 2019年大会, MIS16-02.
- 大久保修平・山本圭吾・井口正人・田中愛幸・今西祐一・西山竜一・安藤美和子・渡邊篤志 (2019) 絶対重力の長期変動から読み解く桜島の火山活動(2009年~2018年), 日本地球惑星科学連合 2019年大会, SGD01-07.
- Okubo, S., K. Yamamoto, M. Iguchi, and H. Tanaka, 2019, Diagnosis of Conduit State of Sakurajima Volcano Using Continuous Records on Gravity and Crustal Movements and Muon Radiography, 27th IUGG General Assembly, V20p-433.
- 大柳諒・風間卓仁・山本圭吾・大島弘光・岡田和見・園田忠臣・井口正人, 2019, 繰り返し相対重力観測で明らかになった桜島火山における1990年代以降の重力時空間変化, 日本地球惑星科学連合 2019年大会, SVC38-P38.

- 大柳諒・風間卓仁・山本圭吾・井口正人, 2019, 繰り返し相対重力観測で明らかになった桜島火山における 1990 年代以降の重力時空間変化, 日本測地学会第 132 回講演会, 20.
- Permana T., T. Nishimura, H. Nakahara, 2019, Source location of volcanic earthquakes and tremors at Sakurajima volcano based on seismic correlation, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, SSS11-04.
- 坂内野乃・中村美千彦・安田敦・奥村 聡・新谷直己・井口正人・味喜大介・下司信夫, 2019, 桜島火山ブルカノ式噴火前のマグマプロセス: 岩石学・地球物理学の連携研究, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, SVC37-05.
- 澁谷拓郎・寺石眞弘・小松信太郎・山?健一・山下裕亮・大倉敬宏・吉川慎・井口正人・為栗健・園田忠臣, 2019, 地震学的手法による南九州下のフィリピン海スラブとその周辺域の構造の推定, 京都大学防災研究所年報, **62B**, 279- 287.
- 嶋野岳人・日野英逸・安田敦・井口正人・上木賢太・桑谷立, 2019, 火山灰測色値と地球物理データとの時系列相関解析 - 桜島昭和火口 2009-2015 年活動について -, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, A1-03.
- 嶋野岳人・安田敦・井口正人, 2019, 火山灰採取装置 SATSUMA による噴出物モニタリングの進展, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, P082.
- 瀧下恒星・井口正人・園田忠臣, 2019, 落下速度観測から推定された桜島ブルカノ式噴火の噴煙からの火山灰粒子分離高度と粒径分布, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, MIS16-P04.
- Tameguri, T. and M. Iguchi, 2019, Characteristics of micro-earthquake swarms preceding eruptions at Showa crater of Sakurajima volcano, Japan, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 372, 15, 24-33, doi:10.1016/j.jvolgeores.2019.01.016.
- 内田雅喜・大倉敬宏・澁谷拓郎・安部祐希・小松信太郎・山崎健一・山下裕亮・吉川慎・井口正人・為栗健・園田忠臣, 2019, レシーバ関数解析を用いた九州南部下のフィリピン海スラブの構造の推定, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, SSS12-P12.
- 海野直弘・八木原寛・仲谷幸浩・平野舟一郎, 2019, 阿多カルデラ周辺の地殻の 3 次元地震波速度構造及び加久藤カルデラ下の速度構造との比較, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, A3-11.
- Yamaoka, K., S. Tsuji, T. Watanabe, T. Kunitomo, H. Miyamachi, H. Yakiwara, M. Iguchi, and T. Tameguri, 2019, Temporal variation of seismic propagation property of Sakurajima Volcano, Japan, 27th IUGG General Assembly, S04p-114.
- 山崎雅・Freysteinn Sigmundsson・井口正人, 2019, 上部地殻でのマグマ流入出に対する粘弾性地殻の応答: 1914 年桜島噴火前後の始良カルデラの隆起について, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, SSS16-10.
- 山崎雅・Freysteinn Sigmundsson・井口正人, 2019, 始良カルデラにおける粘弾性地殻変動, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, A3-13.
- Yamasaki, T., F. Sigmundsson, and M. Iguchi, 2019, Viscoelastic crustal response to magma supply and discharge in the upper crust: Implications for the uplift of the Aira caldera before and after the 1914 eruption of the Sakurajima volcano, *Earth and Planetary Science Letters*, 531, 1, 115981, doi:10.1016/j.epsl.2019.115981.
- 山本圭吾・松島 健・吉川慎・井上寛之・園田忠臣・瀧下恒星・仲井一穂・内田雅喜・大柳 諒・神谷義之介・大倉敬宏, 2019, 水準測量によって測定された桜島火山の地盤上下変動 ( 2017 年 11 月 ~ 2018 年 11 月 ), 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, SVC38-P37.

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

引き続き各項目の連続観測を継続するとともに以下の観測および解析を実施する。

複数回実施してきた人工地震探査のデータから , 地下構造の時間変化の検出を行う。

繰り返し海底地震観測を継続する。海底地震観測点のデータを含めた桜島周辺の走時トモグラフィを行うために不可欠な、海底地震観測点特有の顕著な走時遅れについて、プレート境界域地震や稍深発地震を用いて、方位依存性や入射角依存性等について定量的な考察を行う。

桜島直下における質量変動の長期的傾向を捉えるため、2020年秋に複数の相対重力計を用いて桜島内外における相対重力の集中観測を実施する。集中観測前から後にかけて絶対重力の連続測定を実施する。また、より短い時間スケールの質量変動を把握するため、約3ヶ月に1回の頻度で桜島島内で相対重力測定を実施する。以上の観測によって得られた重力データを解析し、重力の経年変化速度や桜島直下の質量変動を計算する。

桜島の上下地盤変動の長期的傾向を捉えるため、2020年11月に桜島ハルタ山登山路線および桜島北岳路線にて水準測量を行い、桜島一周道路路線、鹿児島湾西岸路線などの水準測量結果と合わせて圧力源解析を行う。

観測網データを用いて、短い周期の二酸化硫黄放出率変動を算出できるようにデータ解析手法の高度化を行い、地球物理学的データとの比較を行っていく。観測網のデータ解析の高度化にあたっては、現地での火山ガス観測と比較しながら行う予定である。また、土壌二酸化炭素拡散放出率の連続測定に着手する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

中道治久、井口正人、為栗健、山本圭吾、大見士朗

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学大学院理学研究院（青山裕、中川光弘）

東北大学大学院理学研究科（西村太志、山本希、太田雄策）

東京大学大学院理学系研究科（森俊哉）

東京大学地震研究所（今西祐一、大湊隆雄）

東京工業大学理学院（野上健治、神田径）

富山大学都市デザイン学部（堀田耕平）

名古屋大学大学院環境学研究科（前田裕太）

京都大学大学院理学研究科（大倉敬宏、横尾亮彦、風間卓仁）

九州大学大学院理学研究院（松島健、相澤広記）

鹿児島大学大学院理工学研究科（中尾茂、八木原寛）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：火山活動研究センター

電話：099-293-2058

e-mail：nakamiti@svo.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL：http://www.svo.dpri.kyoto-u.ac.jp/svo/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中道治久

所属：京都大学防災研究所火山活動研究センター

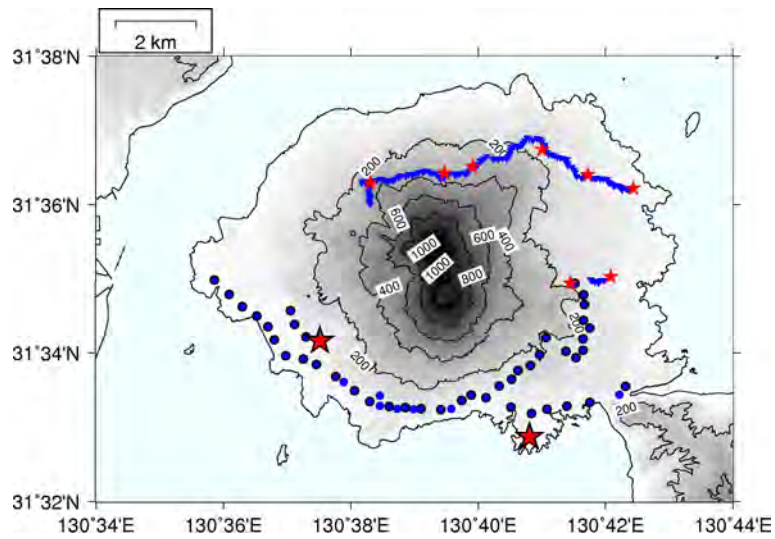


図1  
2019年探査の発破点(星印:大は薬量100kg、小は薬量20kg)と観測点(丸印:大は2Hz、小は4.5Hz地震計)の分布。

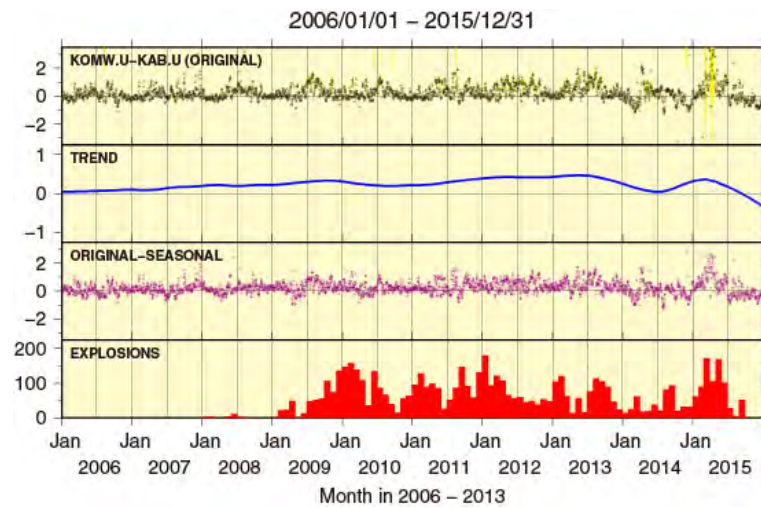


図2  
観測点 KOM KAB 間の走時変動。図の最下段は月別の噴火回数である。最上段が走時変化の原データ、2段目がトレンド成分である。3段目に原データから年周成分のみを除去したものを示している。図の最下段は月別の噴火回数である。

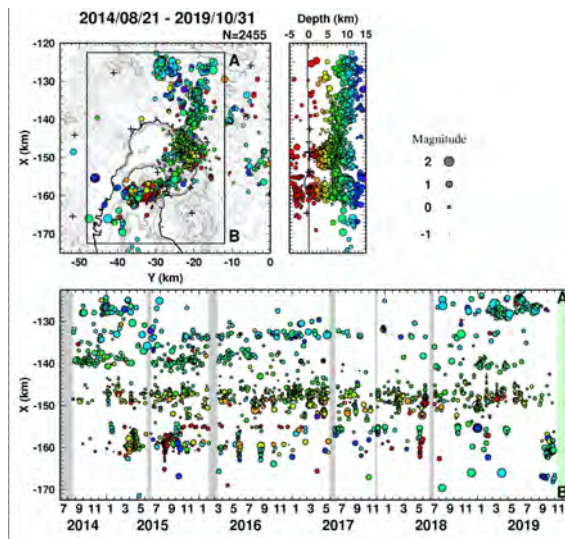


図 3  
観測データとの併合解析にて得られた 2014 年 8 月から 2019 年 10 月の始良カルデラ周辺の地震の震源分布と時空間変化。灰色は欠測期間を示す。

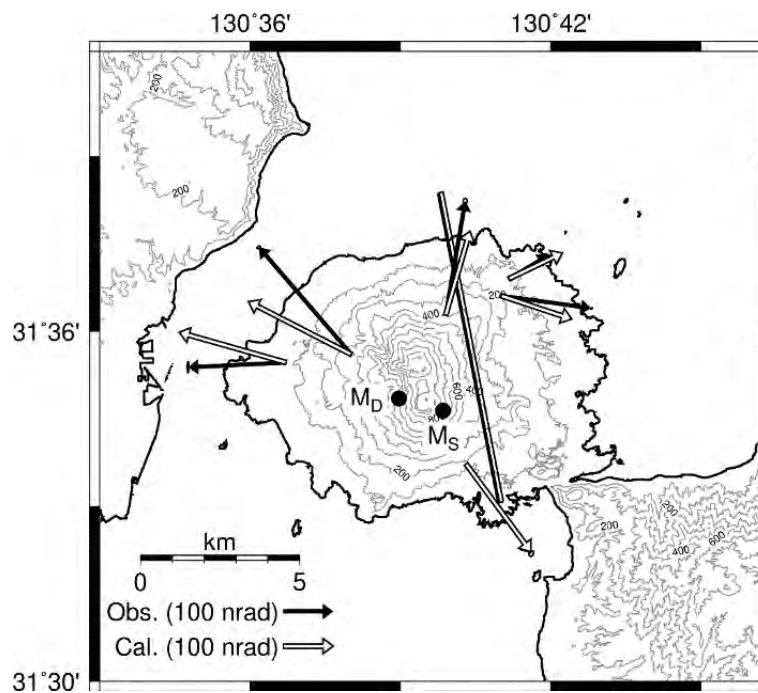


図 4  
2017 年 11 月 13 日南岳爆発に伴う傾斜ひずみ変化に対して得られた南岳下の変動源 (黒丸  $M_S$  と  $M_D$ ) と桜島を南北に横切るダイク (長方形)。ベクトルは黒が傾斜 (隆起方向) の観測値、白が計算値を示す。



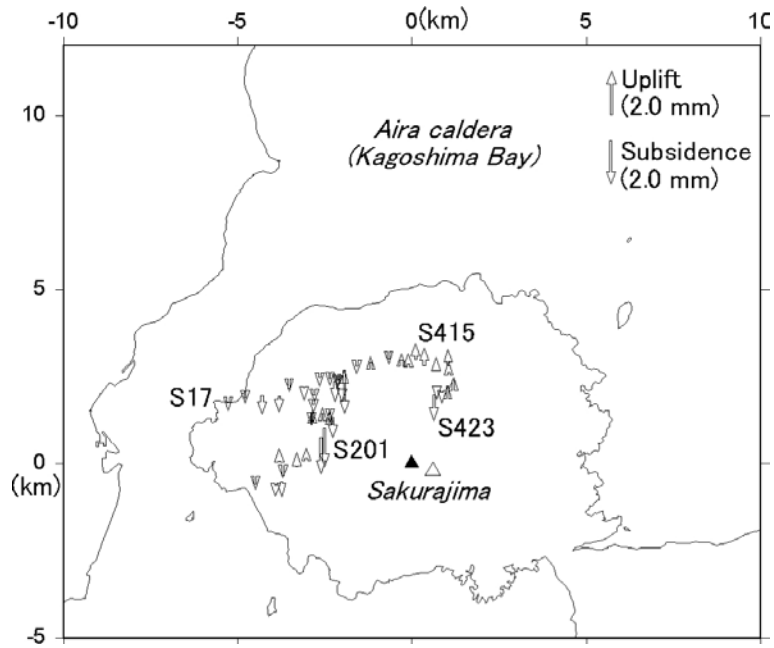


図 5

2018年11月から2019年11月の地盤上下変動量。基準点はS17。 と はそれぞれ南岳、昭和火口の位置を示す。

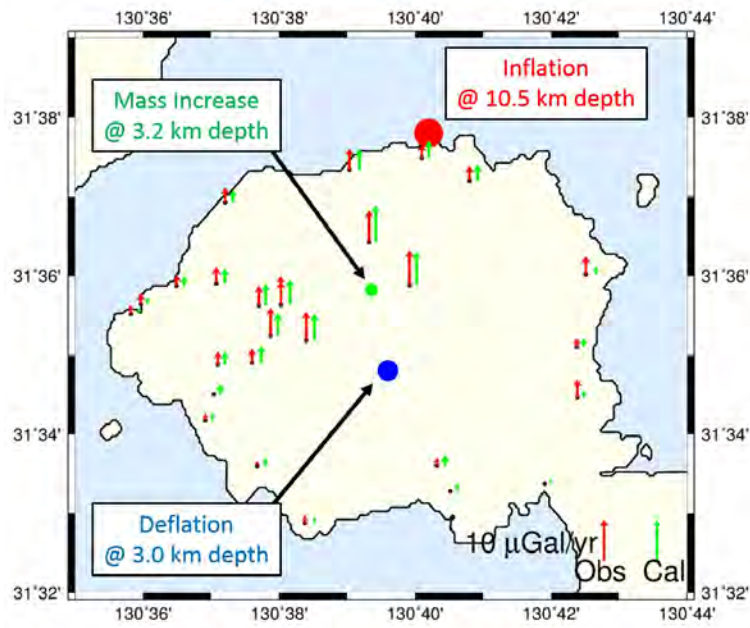


図 6

丸印は桜島直下における膨張・収縮・質量変動ソースの位置、赤色矢印は相対重力繰り返し測定で得られた重力経年変化速度、緑色矢印は変動ソースから計算される重力経年変化速度を示している。



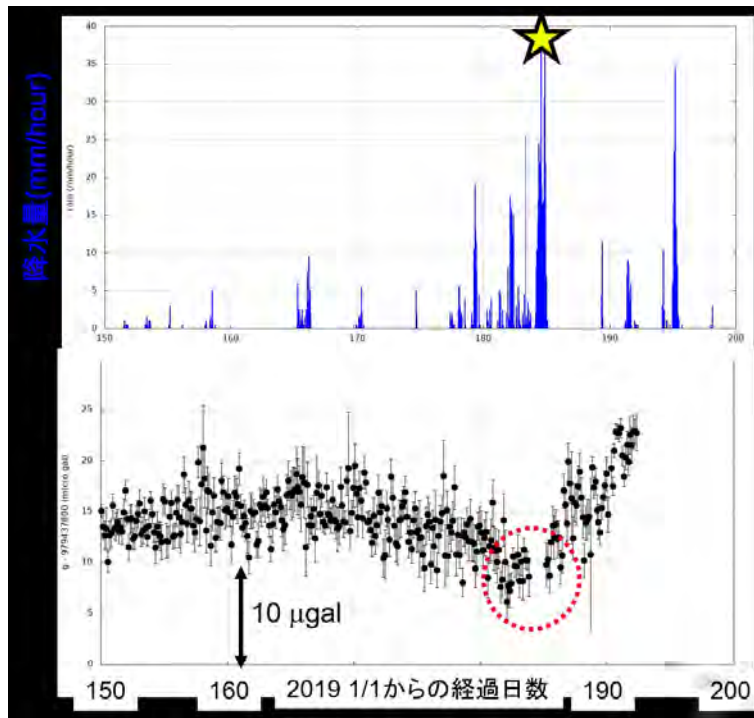


図 7

令和元年 7 月 3 日豪雨前後の重力変動。(上)降水量の時系列変化(単位は mm 毎時)星印が豪雨の時期を表す。  
 (下)絶対重力値の時系列変化。単位はマイクロ gal。

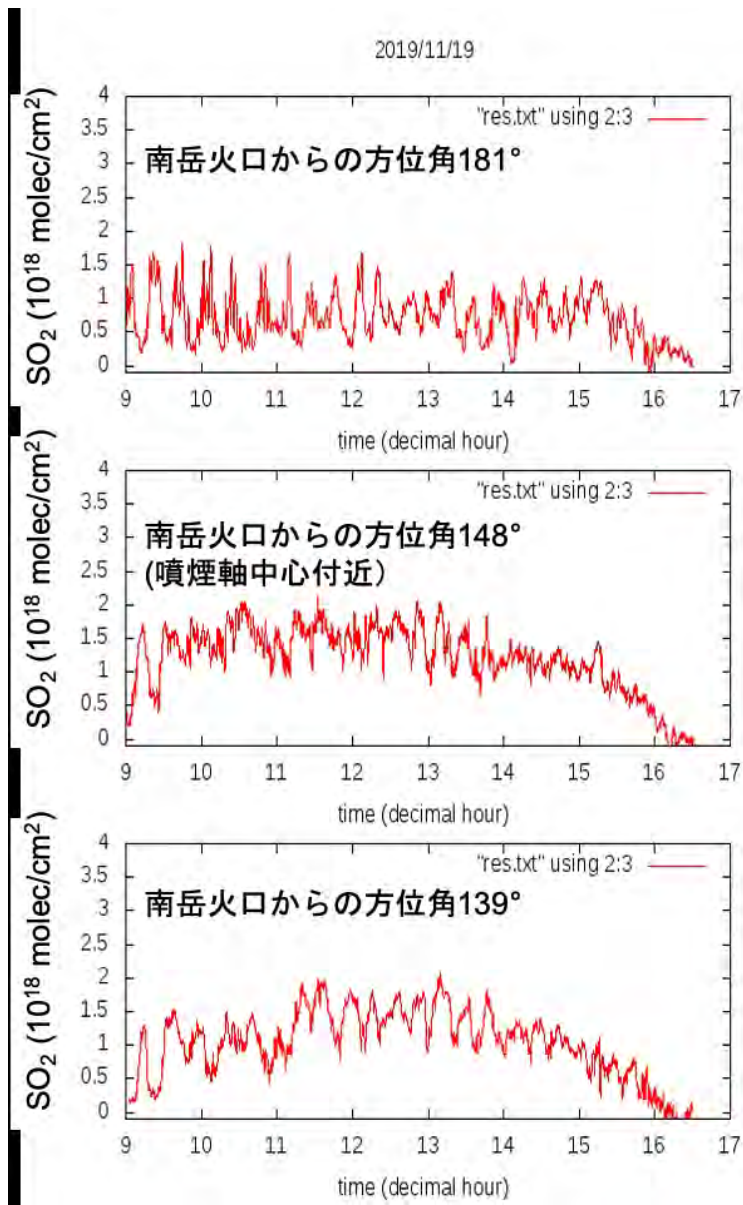


図 8

2019年11月19日に見られた、3観測点での上空二酸化硫黄量変動の様子。噴煙軸中心付近の観測点も含め、顕著な15-20分の周期的変動がみられた。

( 1 ) 実施機関名：

京都大学防災研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

広帯域強震動予測の高度化に関する研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

信頼性の高い強震動予測を行うためには、震源モデルと地下構造(地盤構造)モデルを高度化していく必要がある。前計画では、1911「プレート境界巨大地震の広帯域強震動予測に関する研究」を担当し、プレート境界地震の広帯域の強震動予測の高精度化のため、震源断層モデルの広帯域化と、強震動の増幅に影響を及ぼす地下構造、特に堆積盆地等の地盤モデルに関して、既往地下地震波速度構造モデル検証と改良に関する研究を行った。前者については、プレート境界地震の強震動生成域モデルやすべり分布モデル(課題 1903「プレート境界巨大地震の広帯域震源過程に関する研究」)を分析して得られた不均質震源像、また、動力学的震源モデルを分析して得られた震源モデルパラメータ間の相関に基づいて広帯域震源モデルのプロトタイプを構築し、そのモデルパフォーマンスの確認を行った。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究においては、前計画において開始し進めてきた広帯域強震動予測手法の高精度化を継続する。震源モデルの高度化としては、広帯域地震波放射特性の再現を目標に、前計画で提案したプレート境界広帯域震源のプロトタイプモデルを実地震記録に適用してモデルの検証と改良を進める。また、同様の震源モデル化手法を内陸地殻内地震にも適用して、モデルの検証と改良を行う。地下構造モデルについては、周波数 1Hz の地震動の再現を目標に、既往モデルに対して、中～大規模地震の実地震記

録を対象とした地震動シミュレーションによる構造モデルの検証と改良を継続する。特に波形記録を用いたモデルの改良方法の確立を目指す。これらの実施により、より信頼度の高い強震動予測を実現することができる。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

平成 31 年度 : プレート境界地震の広帯域震源モデル・プロトタイプの実地震記録評価への適用と問題点の整理。大阪盆地、奈良盆地等での地盤モデルの地震動応答特性評価。強震観測 ( 中川低地、京都市内 ) の継続。

平成 32 年度 : 広帯域震源モデル・プロトタイプの改良、大阪盆地、奈良盆地等での地盤モデルの地震動応答特性評価継続。地震動再現性のよくない地域における微動・地震観測等の実施。強震観測 ( 中川低地、京都市内 ) の継続。

平成 33 年度 : プレート境界地震と内陸地殻内地震の震源スケールリング則や不均質性等の違いを考慮した、プレート境界地震の広帯域震源モデルを基礎とした内陸地殻内地震の広帯域震源モデルの開発。大阪盆地、奈良盆地等での地盤モデルの地震動応答特性評価継続。地震動再現性のよくない地域における微動・地震観測等の継続。強震観測 ( 中川低地、京都市内 ) の継続。

平成 34 年度 : 内陸地殻内地震の広帯域震源モデル・プロトタイプの構築と実地震記録への適用による問題点の整理 ( 新規提案課題「断層破壊過程と極大強震動生成に関する研究」で得られた震源モデルに関する知見があればそれも考慮する )。大阪盆地、奈良盆地等での地震動再現性のよくない地域における微動・地震観測等の実施を踏まえた地盤構造モデル改良。強震観測 ( 中川低地、京都市内 ) の継続。

平成 35 年度 : プレート境界地震及び内陸地殻内地震の広帯域震源モデルの提案。大阪盆地、奈良盆地等の改良モデルの提案。強震観測 ( 中川低地、京都市内 ) の継続。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

大阪、京都、奈良堆積盆地を中心とした地域で、2018 年大阪府北部の地震の観測波形データの再現シミュレーションを通じて、既往地下構造モデル ( Sekiguchi et al., 2016 ) の検証と盆地堆積層での地震動形成メカニズムの分析を行った。この研究は前年度 ( 前期計画 ) に引き続き行っているもので、本年度は特に、堆積層 Q 値の検討、および大阪盆地地下構造モデルの改良を行った。差分法計算で Q 値を変えてシミュレーションを行い、観測波形と計算波形を狭帯域で比較することにより、0.1 ~ 2.0Hz の間の Q 値の周波数依存性をモデル化した ( 関口・他、2019 )。既往地下構造モデル ( Sekiguchi et al., 2016 ) の大阪平野 ~ 大阪湾地域に関し、新たな探査データや表層地質情報を追加し、データの内外挿方法などモデル構築作業の改善を行い、改良モデルを構築した。

地震動予測の高度化に寄与する、地震基盤面以浅の地下構造モデルの検証を進めるため、静岡県地域の強震波形データを用いて、スペクトル・インバージョン法による、震源、地震波伝播、サイト各特性の分離を行った。観測点は K-NET、KiK-net、JMA 観測点に SK-net の静岡県自治体震度計観測点等を加え、本地域の既往研究の約 3 倍となる 166 点を使用した。自治体震度計は、比較的人口が多い地域に多数設置されているため、地震ハザードを考える際に重要なデータである。静岡県東西ブロックにおける各伝播経路特性として、分離によって得られた Q 値を、1.0 - 10Hz の周波数帯域においてモデル化した結果、西部では  $Q=245.4f^{0.38}$ 、東部では  $Q=74.1f^{0.96}$  と、異なる特徴を持つ Q 値を求めることができた。得られたサイト増幅特性を、東海地域の最新の浅部・深部統合地盤モデル ( Wakai et al., 2019 ) の観測点直下の S 波速度構造モデルを取り出して求められる 1 次元理論 S 波増幅率と比較した結果、卓越周波数や増幅レベルといった点でよい対応を示していることがわかった。Wakai et al.(2019) のモデルは浅部・深部地盤構造モデルであり、全周波数帯でのサイト増幅特性を評価することができるが、この比較検討を通して、浅部の低速度層を含む詳細なモデルが定量的な強震動予測に有効であることが確認された。また、2009 年駿河湾の地震と 2011 年静岡県東部の地震で  $PGA200cm/s/s$  以上の強震動を観測した点の強震時のサイト増幅特性を、強震時サイト増幅特性 = 観測 / 震源特性 / 伝播特性として求め、弱震のサイト増幅特性と比較したところ、地盤の非線形応答の特徴と考えられ

るサイト増幅特性の卓越周波数の低周波側への移動が14観測点で見られた。この非線形挙動を示す観測点はAVS30の小さい軟弱な地盤上に多く見られた。

京都および埼玉における強震動観測を継続した。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
島津颯斗・岩田知孝・浅野公之・染井一寛、2020、静岡県の強震観測網を用いた震源特性、伝播経路特性、サイト増幅特性評価、令和元年度京都大学防災研究所研究発表講演会、B17。

関口春子・浅野公之・岩田知孝、2019、2018年大阪府北部の地震の大阪平野における強震動シミュレーション、地震学会予稿集、S16P-14。

(11) 令和2年度実施計画の概要：

広帯域震源モデル・プロトタイプの改良、大阪盆地、奈良盆地等での地盤モデルの地震動応答特性評価継続。地震動再現性のよくない地域、地盤情報の少ない地域における微動・地震観測等の実施。強震観測(中川低地、京都市内)の継続。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

関口春子、岩田知孝、浅野公之  
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学防災研究所

電話：

e-mail：sekiguchi.haruko.6u@kyoto-u.ac.jp

URL：

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：関口春子

所属：京都大学防災研究所

( 1 ) 実施機関名：

京都大学防災研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

断層破壊過程と極大強震動生成に関する研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

「1903 プレート境界巨大地震の広帯域震源過程に関する研究」において、プレート境界で起きる大 - 巨大地震の詳細な破壊過程を分析・比較し、巨大地震の発生様式を解明し、南海トラフ巨大地震の破壊様式の詳細を拘束することを目的とする。加えて、期間内に起きた大地震等の強震記録を用いた断層破壊過程モデルを構築し、強震動予測のための震源モデル構築に資する。

強震記録の周期帯別波形インバージョンによる、2011 年東北地方太平洋沖地震の周波数別地震波生成の空間的な棲み分けに関する研究。強震記録を用いた 2010 年ニュージーランド・ダーフィールド地震の複雑な震源断層破壊伝播に関する研究。強震記録を用いた 2017 年 11 月長野県北部の地震、2016 年熊本地震最大前震、本震、2018 年大阪府北部の地震の震源過程の推定。2016 年ナパ地震、2016 年 4 月熊野灘の地震、10 月鳥取県西部の地震の強震動震源モデルの構築を実施した。加えて熊本地震の地表地震断層を伴った震源近傍強震動特性を、国外の地表地震をともなった地震の記録と比較し、特徴を抽出した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

地表地震断層を伴う地震とそうでない地震の震源近傍強震動の特性が異なることが明確になっていることから、地表地震断層の有無による違いを踏まえ、国内外の大～巨大地震の震源域強震動特性と震源過程におけるその生成原因の関係を整理分析を継続し、将来発生する地震時の強震動予測のための震源モデル高度化に寄与する知見を得ることを目的とする。期間内に生じた大～巨大地震の強震記録を用いた震源インバージョンによる震源モデル推定や広帯域強震動シミュレーションによる強震動生成域モデルを構築し、既往震源スケーリング等と比較して、将来予測の震源断層モデルの高度化に資する。

(場合によっては) 期間内に生じた地震による極大地震動特性解明のためのサイト特性推定を実施。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

2019年度: 既往震源近傍強震記録と震源断層モデルの収集。観測点情報の収集。強震記録等を用いた地震の震源過程解析

2020年度: 既往震源近傍強震記録の震源項の分離。観測点情報の収集継続。強震記録等を用いた地震の震源過程解析

2021年度: 既往震源近傍強震記録の震源項の分離継続。地表地震断層を生じた地震と生じていない地震の震源近傍強震動記録の特性比較。運動学モデルシミュレーション。強震記録等を用いた地震の震源過程解析

2022年度: 震源断層モデルに基づく運動学モデリングの検証。強震記録等を用いた地震の震源過程解析

2023年度: 震源近傍強震動特性モデルの既往データによるモデルの検証と改良。強震記録等を用いた地震の震源過程解析

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

極大地震動生成メカニズム解明のため、強震動記録を用いた震源過程解析を実施した。

( 1 ) 2018年北海道胆振東部地震の震源過程と強震動生成に関する研究

2018年9月6日3時8分頃に、MJMA 6.7の2018年北海道胆振東部地震が発生した。気象庁による震源の深さは約37kmで、日本国内での通常の内陸地殻内地震より深いところで発生した。この断層破壊過程を、強震記録を用いた波形インバージョン(周波数0.04-0.5Hz)および経験的グリーン関数法による強震動シミュレーションによるSMGAモデリング(周波数0.3-10Hz)により求めた。

波形インバージョンにおいては、対象地域の複雑な地盤・地殻構造の影響を考慮して、全国一次地下構造モデル(Koketsu et al., 2012)による3次元地盤・地殻構造モデル(最小S波速度0.6km/s)を用いて理論グリーン関数を計算し、利用した。この際、構造モデルの妥当性を、小地震(余震)記録のシミュレーションを行って確認し、適切な観測点を選択した。仮定した震源断層面は、気象庁による初期の余震分布から、概ね南北走向を持つが、それぞれ走向の異なる3枚の断層面を仮定した。主破壊は、深さ約22~32kmの、震源(破壊開始点)より浅い、震源上方からやや南方に広がっていることがわかった。最大すべり量は約1.7mだった。この主破壊領域はこの地域の下部地殻に限定され、破壊は上部地殻までは達していないと考えられる。また、主破壊領域では余震活動が活発でないこともわかった。この震源断層モデルを3次元速度構造モデルに組み入れ、波動シミュレーションを行って、長周期地震動の伝播特性を調べた。震源域直上から西方向に広がる厚い堆積層を持つ勇払平野方向へ、大きな速度パルス波が伝播していく様子が見られた(Asano and Iwata, 2019)。

地震被害や極大地震動の検討には、より広帯域の解析が必要である。この地震の震源近傍の広帯域速度、あるいは加速度記録には、2ないし3個の孤立的で明瞭な波群が見られる。これらの波群が震源起因と考え、経験的グリーン関数法(Irikura, 1986; 入倉・他, 1997)による広帯域強震動シミュレーションを行い、この地震の震源モデル(SMGA震源モデル)を推定した。顕著な波群2つの初動を読み取り、震源(破壊開始点)との相対位置と遅れ時間が最適になる位置をAsano and Iwata (2019)で仮定した震源断層面上で探した。経験的グリーン関数として記録を使用する小地震には、2018年11月14日19時7分に発生したMJMA 4.7の地震を選んだ。波形の合成に必要な大地震と小地震のスケーリングパラメータNと応力降下量の比Cは、震源モデルの推定に用いる基盤強震観測網KiK-net5観測点における観測震源スペクトル比の対数平均値から、三宅・他(1999)のSource spectral ratio fitting methodを用いて求めた。推定した震源モデルは、2つのSMGAモデルで成り立っており、SMGA1が震源時の7.2秒後に破壊開始、破壊開始点は震源より約5.7km南西、震源より約10km浅く、SMGA1の大きさは7.2km×7.2km、地震モーメントは $5.1 \times 10^{18}$  Nm、応力降下量33MPaと求められた。SMGA2は震源時の12.9秒後に破壊開始、破壊開始点は震源より約5.6km南西、震源より約13km浅く、SMGA2の大きさは5.4km×5.4km、地震モーメントは $1.2 \times 10^{18}$  Nm、応力降下量18MPaと求められた。SMGA1において破壊は深部から浅部の方向に進展し、SMGA2においては南から北に進展した。これらのSMGAはAsano and Iwata (2019)のすべりの大きい領域の一部に対応する。またこの



震源モデルを用いて、震度7を記録した地点のフォワードシミュレーションを行ったところ、観測に比して、卓越周波数の低周波数化や最大加速度値の過大評価が確認され、これらの大震動時には、地盤の非線形応答があった可能性を示した。

(2) 静岡県の強震観測網記録を用いたスペクトルインバージョンによる、震源特性の分析

静岡県下の強震波形データを用いて、スペクトルインバージョン法による、震源、地震波伝播、サイト各特性の分離を行った。観測点はK-NET, KiK-net, JMA 観測点にSK-netの静岡県自治体震度計観測点等を加え、本地域の既往研究の約3倍となる166点を使用した。0.2-10Hzを解析対象範囲として、M3.5-6.0程度の震源スペクトルを求め、<sup>2</sup>乗モデルを当てはめて応力降下量を求めた。このマグニチュード範囲では、応力降下量の地震規模依存性は明らかではなかったが、地殻内地震から沈みこむプレート内地震を含む、深さ1?から12?に分布する今回解析したイベントの応力降下量には深さ依存性が見えた。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Asano, K. and T. Iwata (2019), Source rupture process of the 2018 Hokkaido Eastern Iwate earthquake deduced from strong-motion data considering seismic wave propagation in three-dimensional velocity structure, Earth Planets Space, 71:101, doi:10.1186/s40623-019-1080-0.

浅野公之 (2019), 気仙沼沖 M6 級繰り返しプレート境界地震の震源特性のばらつき評価, 日本地震工学会論文集, 19(5), 34-45.

Nagai, K., K. Asano, and T. Iwata, 2019, - A SMGA Source Model of the 2018 Hokkaido Eastern Iwate, Japan, Earthquake, AGU Fall Meeting, S31C-0529.

Asano, K. and T. Iwata, 2019, Source Rupture Process and 3D Long-period Ground Motion Simulation of the 2018 Hokkaido Eastern Iwate Earthquake, Japan, AGU Fall Meeting, S33A-06.

島津颯斗・岩田知孝・浅野公之・染井一寛, 2020, 静岡県の強震観測網を用いた震源特性, 伝播経路特性, サイト増幅特性評価, 令和元年度京都大学防災研究所研究発表講演会, B17.

(11) 令和2年度実施計画の概要：

令和元年度に引き続き、極大地震動を生成する要因の検討を観測記録に基づいて継続する。そのため、観測点等において、地盤情報の収集等も行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

岩田知孝・浅野公之・関口春子  
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学防災研究所地震災害研究部門強震動研究分野

電話：

e-mail：

URL：<http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：岩田知孝

所属：京都大学防災研究所

( 1 ) 実施機関名：

京都大学防災研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

火山地域を含む地震地すべり発生場の評価と斜面における強震動及び不安定化の事前予測手法の展開

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

前課題においては、「3(3)地震・火山噴火災害誘因の事前評価手法の高度化」の中の研究課題「強震動によって発生する地すべり現象の発生ポテンシャル評価と事前予測手法の高度化」として実施し、1) 従来の地震による地すべりは、地質と地形の特徴によって分類が可能であり、特に地震動に対して脆弱なタイプを特定し得る、2) 降下火砕物以外の場合には、その物質の分布から発生危険場所を

発見できるとみられる、3) 降下火砕物ですべり面となりうる地層の特定方法の見通しを得た、4) 都市地盤においては、造成に伴う地形改変を正確に把握することが重要である、5) 都市の表層地盤が地震時にすべるか否かは、特に盛り土の(時に異常な)揺れの特性と地下水の応答が重要である、6) 山地の重力変形した斜面、海岸地すべり、盛り土斜面にかかわらず、地すべりを駆動する地震波の特徴的な周波数帯が存在するとみられることなどがわかった。「地質・地形 構造 地震時応答 安定性評価」を一連のものとしてとらえ、観測・実験・理論に裏付けされた地震時の地すべりのハザードマップ作成手法として結実できる見通しが得られた。

次期計画は現行課題で得られた知見をベースに調査や観測を発展的に継続させるものであり、具体的な調査フィールドや観測対象地についての情報や研究ターゲット・調査手法をすでに持ち合わせている。そのため、次期計画の遂行へとスムーズに移行ができるものと考えられる。

#### (7) 本課題の5か年の到達目標:

地震動に伴って発生する地すべり現象の発生ポテンシャル評価と事前予測手法のさらなる高度化を進めるため、次の5か年においては、以下の事柄を明らかにする。本研究では、地域的多様性を考慮した災害素因に関する研究(サブテーマ1)、観測による災害誘因メカニズムの検討(サブテーマ2)、阿蘇地域に特化した研究(サブテーマ3)の3つのサブテーマをセットとして推進する。

1) 重力変形斜面において、地震によって崩壊しうる斜面に特徴的な地形と地質構造を現地踏査によって明らかにする。また、既往災害を例とした複数のモデル化を行い、それらを標本として「危険な斜面」をあらためて再定義し、危険箇所の抽出を行う。特に南海トラフ巨大地震時の事例を対象とする。

2) すべり面となりうる降下火砕物の特徴をもとに、地震時に崩壊する危険性の高い降下火砕物の空間分布を、噴火史や給源の位置から推定する。

3) すべり面と想定される層準や移動土塊から試料を採取し、物理特性や動的なせん断挙動を計測する。さらに、崩土の移動特性を把握するため、流動特性をリングせん断試験機によって調べる。

4) 斜面における地震観測について、多点稠密な地震観測・微動観測へと拡張し、地下水圧や傾斜・ひずみ等の斜面の変形に関する観測も新たに実施することで、斜面内での地震動の特徴、ばらつきを評価するとともに、揺れの特徴や大きさと、地下水の変動量、斜面の永久変形量の関係を明らかにする。

5) 過去の多数の災害事例についてまとめた啓蒙書を出版する。災害が発生していない(未災の)段階で、住民に読んでもらい、将来被りうる災害について身近に考える具体的な材料とすることで、大都市域の盛り土斜面をフィールドとして、社会学的な見地から住民が自らのリスクを認識する手法を開発する。

6) 特に、阿蘇地域において、熊本地震時の未崩壊斜面においてボーリング調査、ボーリング試料の土質試験、ボーリング坑内での物理観測を実施して、強震動による地すべり現象発生のポテンシャルを評価する。

#### (8) 本課題の5か年計画の概要:

平成31年度(令和1年度)においては、南海トラフ巨大地震をターゲットとし、主に四国山地および沿岸部の急峻斜面において、過去に発生した地震時の重力変形斜面での崩壊事例を収集し、周辺の非崩壊斜面と対比しつつ、崩壊した斜面の地質構造の特徴を抽出する。大規模崩壊の痕跡、重力変形斜面、堰止め湖などの痕跡をGIS上で抽出し、地質・地形調査を行うとともに重点調査箇所の決定を行う。

降下火砕物が厚く覆う東北地方や関東地方を広く調査対象地域として、下記の検討を進める。現地踏査や既存のボーリングデータの解析により、すべり面となる層準を探る。

重力変形斜面や海岸地すべり、盛り土斜面などいくつかのタイプの斜面における地震観測網を拡充し、多点稠密な地震観測を展開する(令和5年度まで)。

火山研究センター斜面(高野尾羽溶岩ドーム)のボアホールにおいて傾斜計を設置し観測を開始する。また、GPS観測を継続する。また、高野台地すべりにおけるすべり面近傍のテフラや風化軽石層をサンプリングし、リングせん断実験をおこなうことにより、地震時のせん断挙動を明らかにする。

令和2年度においては、前年までに抽出した斜面について地質構造データを取得すると共にこれらの崩壊について前兆となる地形が存在していたかどうかを議論する。さらに崩壊が繰り返し発生している地域の岩盤劣化プロセスを、必要に応じて実施する地質調査、微地形調査、物理探査、掘削調査などから得られる試料の分析からモデル化し、予想される劣化プロセスとその周辺地形から崩壊危険場および危険範囲の分析を行う(令和4年度まで)。また、降下火砕物の空間分布を推定する方法を模索する。

適宜、地質調査結果に基づいて土質試験を実施し、すべり面の物理特性や動的なせん断挙動、流動特性を調べる(令和4年度まで)。

引き続き多点稠密な地震観測を展開する。また、地下水圧や傾斜・ひずみ等の斜面の変形に関する観測も新たに実施する。さらに、観測記録を解析し、斜面内での地震動の特徴、ばらつきを評価する(令和4年度まで)。

住民との協働イベントの準備を開始する。

火山研究センター斜面では、傾斜観測、および、GPS観測を継続する。また、京都大学火山研究センター斜面、烏帽子岳や長野地区周辺における、2016年熊本地震時に崩壊しなかった斜面でボーリング候補地を選定する。

令和3年度においては、重力変形斜面で地質調査を継続する。また、降下火砕物の層準の空間分布を推定する方法を模索し、噴火史や給源の位置からその分布が推定可能か議論する。適宜、土質試験を実施する。

引き続き地震等の観測と解析をおこない、斜面内での地震動の特徴、ばらつきを評価する。

住民との協働イベントを実施する。

火山研究センター斜面では、傾斜観測、および、GPS観測を継続する。ボーリング掘削を実施し、地質層序を明らかにするとともに、ボーリング坑内での地震動や水圧などの連続観測を実施する。ここで採取されるコアに対しても土質試験を行う。

令和4年度においては、重力変形斜面で地質調査、降下火砕物の分布推定、土質試験を継続する。

地震等の観測を継続する。地下水の変動や斜面の永久変形を引き起こしたイベントについて、その時の地震動記録とともに整理する。

必要に応じて、住民との協働イベントを再度実施する。

火山研究センター斜面では、ボーリング坑内での地震動や水圧、傾斜の観測、および、GPS観測を継続する。また、コアに対して土質試験を行う。

令和5年度においては、四国地域の調査においては、これまでに得られたデータの統合を行い、より有用なハザードマップの作成を行う。火山地域においては、降下火砕物の層準の空間分布から地震動によって崩壊しうる斜面のマッピングが可能か議論する。その際、土質試験の結果を解釈にフィードバックする。

変形と地震動を比較することで、斜面変状にどのような地震動が影響を与えるかの評価をおこない、どのような地盤/斜面がどのような揺れでどの程度塑性化するか、斜面が不安定化した際にどの程度の永久的な変形が残るかを、観測から明らかにした斜面内の地震動のばらつきを参照しながら検討する。

協働イベントの結果を検討する。

火山研究センター斜面では、土質試験結果や、ボアホール坑内観測結果に基づき、すべり面の地震動応答特性(間隙水圧変化や斜面の変形)を明らかにする。そして、南海トラフ巨大地震により誘発される地すべりのポテンシャルを評価する。

#### (9) 令和元年度の成果の概要:

計画通り順調に推移している。各サブグループの詳細は下記のとおり。

##### サブテーマ1

既往地震地すべりの調査から、地震時地すべりのすべり面となる可能性が特に高い降下火砕物は、9000年よりも古い軽石およびそれに伴う火山灰土であることがわかった。9000年から12万年前まで

の軽石が 10cm 以上の厚さで分布している範囲を新編火山灰アトラスから抽出し、関東から北海道にかけて分布図を作成した(図 1)。少なくともこの範囲は今後の地震時地すべりの要注意域と考えられる。2018 年北海道胆振東部地震により、厚真町のテフラ斜面において発生した地すべりを調査した結果、すべり面には薄板状ハロイサイトが含まれていることがわかった(図 2)。また、現地土壌水分観測を実施した結果、すべり面付近の土層が常に高い含水量を有することが分かった。過去の南海トラフを震源とする地震において、トッピングや座屈を生じている斜面や、高角度節理などによって直立板状になった岩盤頂部、火山岩地域の尖塔などが大きな水平動を受けて崩壊する事例があることが判明した。

#### サブテーマ 2

地すべり内での地震動のばらつき、伝播特性を把握するために、紀伊山地における深層崩壊のすべり残りブロック上に多点の稠密地震観測アレイを設置し観測を開始した。谷埋め盛土斜面における間隙水圧変動について同時に記録された地震動との関係から議論した。観測された PGA が 120 gal までのイベントに対し、間隙水圧の上昇量は PGA や Aries Intensity と強い相関があること、間隙水圧の立ち上がり時刻は、そのタイミングにおける瞬間的な揺れの強さで決まること、間隙水圧の上昇時間は比較的強い揺れが続く継続時間に由来することが示された(図 3)。北海道南東部の再活動型地すべりにおいては、素因として、海岸浸食や間隙水圧の上昇に伴ってどの程度地すべりの安定性が低下しているのかを連続観測データから示した。また、北海道胆振東部地震によって変状が現れた谷埋め盛土斜面で表面波探査を実施し旧地形に対応する地下構造を推定することによって、谷埋め盛土と地山のテフラ層が一体となって地震時に地すべり性の変状を示したことが明らかになった。

#### サブテーマ 3

熊本地震により、南阿蘇村高野台地域のテフラ斜面において発生した流動性の高い地すべりについて現地調査を行い、すべり面となるテフラ層における粘土鉱物を分析した。その結果、テフラにはチューブ状のハロイサイトが含まれていることが分かった。また、ハロイサイトが地すべりの発生・運動に及ぼす影響を解明するため、現地踏査および現地せん断実験、そして、テフラとハロイサイトの混合物に対する室内飽和非排水せん断実験および保水力実験を行った。その結果、ハロイサイトの含有によって、混合物の非排水ピークせん断強度が低下することと保水力が強くなることを明らかにした(図 4)。

- (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Masahiro Chigira, Jun Tajika, Satoshi Ishimaru, and Takehiko Suzuki, 2019. Geological features of landslides of pyroclastic fall deposits induced by the 2018 Eastern Iburi Earthquake and other previous earthquakes. Japan Geosciences Union meeting, HDS14-P10.  
千木良雅弘・田近淳・石丸聡. 2019. 2019 年胆振東部地震による降下火砕物の崩壊：特に火砕物の風化状況について. 京都大学防災研究所年報, 62B, 348-356.  
Ling, S. & Chigira, M. 2020. Characteristics and triggers of earthquake-induced landslides of pyroclastic fall deposits: An example from Hachinohe during the 1968 M7.9 tokachi-Oki earthquake, Japan. Engineering Geology, 264, doi: 10.1016/j.enggeo.2019.105301.  
釜井俊孝(2019): 宅地崩壊 - なぜ都市で土砂災害が起こるのか, NHK 出版新書(4/10 刊行)。  
Doi, I. and T. Kamai (2020): Relationship between earthquake-induced excess pore water pressure and strong ground motion observed in a monitored fill slope, Engineering Geology, 266, 105391.  
土井一生・大澤光・松浦純生(2019)、Seismological and geotechnical surveys on the landslides induced by the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake、日本地球惑星科学連合 2019 年大会、HDS09-09。  
土井一生・東良慶・釜井俊孝(2019): 平成 30(2018) 年北海道胆振東部地震による厚真町における谷埋め盛土の崩壊、日本地すべり学会研究発表会熊本大会、P37。  
王功輝・古谷元・渡部直喜・土井一生・馬寧(2019): 平成 30 年北海道胆振東部地震による土砂災害の特徴。京都大学防災研究所年報 第 62 号 A: 48-56。

Baichuan LIU, Gonghui Wang (2020): Role of halloysite on the initiation and movement of coseismic landslides occurring on tephra slopes. 令和元年度京都大学防災研究所研究発表講演会, D08.

(11) 令和2年度実施計画の概要:

R2年度には、特に災害復旧に重要な役割をすると予想される四国にある国道196号線および32号線に沿って、地震時不安定地形・地質構造を抽出し、抽出された箇所の追加調査により危険性判定を行うとともにこれらを総合した危険斜面分布図の作成を行う。また、引き続き四国の大規模地すべり斜面に対する稠密地震動観測を行い、斜面对策工事の進行に伴う地すべり土層の震動特性変化を調べ、対策工事による斜面の安定化過程の評価手法を開発する。そして、紀伊山地の大規模地すべりにより形成された天然ダムの堤体において、高密度電気探査および微動観測を行い、ダム堤体の内部構造を解明すると共に、その内部構造と地すべりの地質、地形および崩土運動特徴との関係を解明する。さらに、北海道胆振東部地震によりテフラ斜面において発生した地すべりに対する現地調査を行い、テフラの堆積層順、風化特性と斜面の保水力を調べて、地震時すべり面となる層準を探る。

地震観測を継続し、地震動だけではなく変位、変形量や間隙水圧等のデータの収集に引き続き努める。強震動を受けた斜面の変位や変形量、間隙水圧について揺れとの関係について解析を継続する。また地すべり内で実施しているアレイ観測のデータを用いて、センブランス解析など地すべり内での地震動の伝播特性について特徴を抽出する。

R2年度には、熊本県南阿蘇村高野台地域の崩壊していない斜面に対して、降雨前後において、電気探査を行い、降雨による雨水の浸透過程を解明する。また、斜面の異なる土層から土試料を採取し、これらの土試料に対して、異なる含水量で土質せん断実験を実施する。これによって、降雨や地震による斜面崩壊の発生危険度を評価する。そして、強風化したテフラのハロイサイト含有量を測定し、阿蘇地域におけるテフラの風化特性と地震や降雨による地すべりの発生危険度を評価する。さらに、高野台の斜面において、地震計と傾斜計を設置し、地震時における斜面の変動特徴を解明する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

釜井俊孝 : 総括、サブテーマ2  
千木良雅弘 : サブテーマ1 (主査)  
松浦純生 : サブテーマ2  
王功輝 : サブテーマ1、サブテーマ3、サブテーマ2  
山崎新太郎 : サブテーマ1  
松四雄騎 : サブテーマ1  
土井一生 : サブテーマ2 (主査)、サブテーマ3

他機関との共同研究の有無: 有

大倉敬宏 (京都大学理学研究科): サブテーマ3 (主査)

西山賢一 (徳島大学): サブテーマ1

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 京都大学防災研究所

電話: 0774-38-4110

e-mail: kamai.toshitaka.3z@kyoto-u.ac.jp

URL:

(14) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名: 釜井俊孝

所属: 京都大学防災研究所



図1：地震時地すべりの発生する可能性の高いテフラ分布（関東以北）。  
 新編火山灰アトラスから、9000年から12万年前の時代で厚さ10?以上の軽石層の分布を抽出した。ただし、2011年東北地方太平洋沖地震と1949年今市地震の時には、ここに示されていない軽石あるいは火山礫に起因する地震地すべりが発生したので、未だ、この図ですべての危険地域が網羅されているわけではない。



図2：厚真町吉野地域の地すべり斜面から採取した試料に含まれているハロイサイト粒子のTEM写真



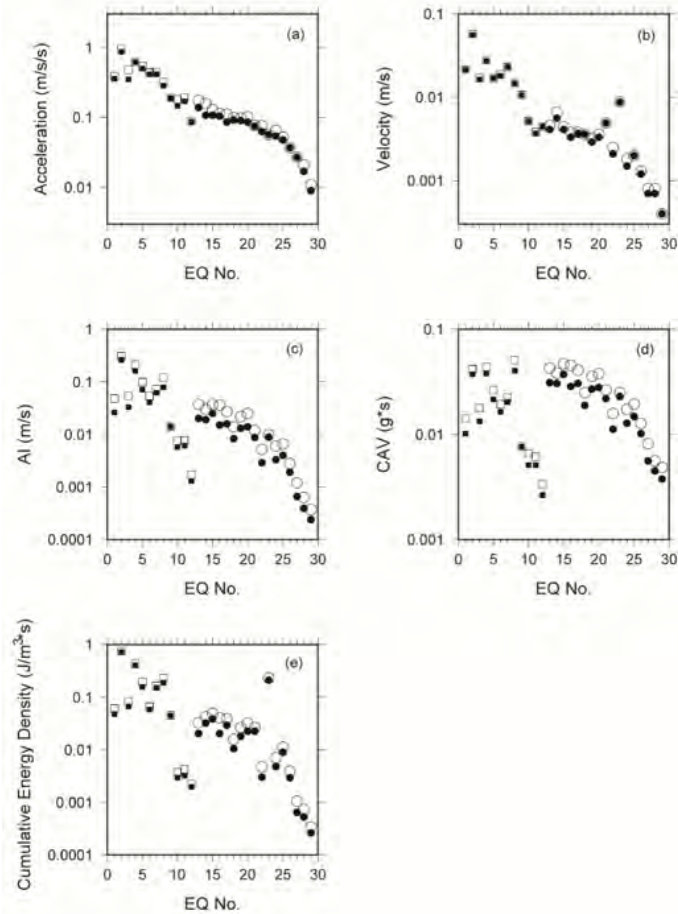


図3：間隙水圧の立ち上がりのタイミングにおける地震動に関する各パラメータの値。

黒色は水平2成分ベクトル、白色は3成分ベクトルを用いた時の値。四角は間隙水圧の上昇が見られたイベント、丸は間隙水圧の上昇が見られなかったイベントを示す。間隙水圧の上昇が見られなかったイベントの計算時間はS波到達から10秒間。(a)加速度、(b)速度においては、ある閾値を設定することでおおむね間隙水圧上昇の有無を説明することが可能となるが、(c)Aries Intensity、(d)CAV、(e)エネルギーにおいては、そのような閾値を設定することが難しい。

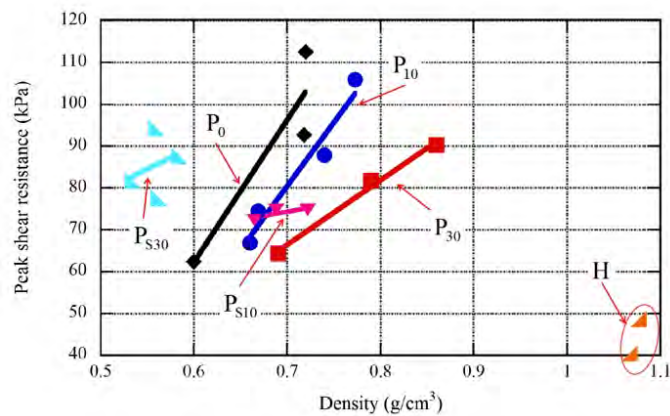


図4：テフラとハロイサイトの混合物に対する飽和非排水せん断強度。

P0、P10、P30: テフラの混合物にハロイサイトの含有量がそれぞれ0%、10%、30%の試料。PS10、PS30: テフラの混合物にシリカナノ材料の含有量がそれぞれ10%と30%の試料。H: ハロイサイト100%の試料。

( 1 ) 実施機関名：

京都大学防災研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

火砕流の発生と流下予測

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

桜島においては、高感度の水管傾斜計及び伸縮計により噴火発生前にマグマの貫入量が評価されている。また、噴火発生に伴う地盤の収縮量と爆発地震・火山性微動と噴出物量と結び付ける経験式はすでに開発されている。

これまでの噴火の解析から、火砕流が発生する場合は、先行地盤変動期間が長く、変動量が大きいこと、また、小規模な火山性地震が頻発することが知られている。長期的には、火砕流は一連の噴火の活動期の後半に発生することが多い。

上昇する火山灰量の把握のため、GNSS 信号やレーダー・ライダーなど複数の電磁波帯域を用いて火山灰を検知する遠隔観測技術は開発されている。2012 年 7 月 24 日の南岳噴火の噴煙高度は 8km に達したが、この時の GNSS 観測にて特徴的な信号が検知され、南岳上空の高度 4km において噴煙中を伝播した信号であることが分かった。X バンド 偏波レーダーやライダー観測にて、偏波特性を利用して火山灰と雨滴を判別する手法の開発や、レーダー反射強度から地上降灰量を推定する経験式の導出がなされた。また、上昇した後、降下する火山灰の観測のためのディストロメータの設置し観測を解している。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

噴火に先行する地盤変動，地震活動，火山ガス放出量などのうち，火砕流発生の予測を可能とするパラメータを抽出する．また，過去の火砕流を伴った噴火の再解析を行い，流下距離からシミュレーションにより火砕流の体積を逆算し，噴火に伴う地盤収縮量から求められる噴出物量と比較することにより火砕流配分比を決定する．最終的には，配分比に基づき火砕流が流下する流域ごとに，先行地盤膨張量と火砕流堆積量，流下距離の関係を示した火砕流ハザードマップを作成し，地盤変動のリアルタイム処理結果と結合することにより，オンラインハザードマップのプロトタイプを試作する．

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要：

2019年度においては，過去の火砕流を伴った噴火に前駆する地震，地盤変動，火山ガス放出量などについて再解析を行い，火砕流が発生するときの条件を抽出する．過去の火砕流について流下距離からシミュレーション・フォワードモデリングにより火砕流の量を推定する．降下火山灰の量の把握を含め，火砕流の堆積量を把握するための観測体制を強化する．

2020年度においては，前年度の計画を引き続き実施し，過去の噴火と新たに観測された多くの事例について噴火に伴う地盤収縮量から求められる噴出物量と比較することにより総噴出物量に占める火砕流への配分比を決定する．降下火山灰量を非火砕流により上方へ噴出した噴出物量とし，降下火山灰量を差し引くことにより，火砕流配分比を決定することも試みる．

2021年度においては，火砕流配分比に基づき，桜島の流域ごとに，先行地盤膨張量と火砕流堆積量，流下距離の関係を示した火砕流ハザードマップを作成する．火砕流ハザードマップのセミナーを実施する．

2022年度においては，実際に発生した火砕流の流下範囲と火砕流ハザードマップを比較することにより，シミュレーション結果を検討し，必要に応じてシミュレーションパラメータのチューニングを行う．火砕流ハザードマップのセミナーを実施する．

2023年度においては，先行する地盤膨張量はオンラインで出力されるデータであり，このデータを入力条件としたオンラインハザードマップを試作する．

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

火砕流の発生メカニズムを解明する上で重要な情報は爆発時の火道内の物理状況である．爆発前に発生する前駆地震や微動，山体膨張，爆発的噴火に伴う爆発地震，火口底のガス溜まりにおける圧力蓄積などに火道内の物理状況を知る情報が含まれていると考えられる．地盤変動，火山性地震，空気振動，火山ガス，映像等の観測によって爆発的噴火および火砕流のデータを収集し，火砕流発生に関わる物理パラメータを明らかにする研究を行ってきた．

爆発前には山体膨張を示す地盤変動が観測される．膨張は噴火の30分～3時間ほど前から開始するものがほとんどであるが，火砕流を伴う噴火の膨張はその中でも比較的長い時間をかけているものが多い．また，爆発前に前駆地震を伴う事象が観測されることがある．前駆地震は時間とともに発生頻度が上がり，振幅が大きくなる傾向がある．火砕流を伴う噴火の前に発生する前駆地震は，発生頻度は多いものの，振幅はさほど大きくならず噴火に至る傾向がある．

爆発地震には初動の後に火道の収縮によって生じていると考えられる振幅の大きな引き波(D相)が見られる(Tameguri et al., 2002)．火砕流を伴う爆発的噴火の爆発地震ではD相のパルス幅が通常の爆発と比較して0.1～0.2秒長いものが75%を占めていることが分かった．

火砕流の流下パターンや堆積量を知るために桜島島内の黒神観測点において小型船舶レーダーを用いた観測を開始した．レーダー設置後に火砕流を伴う噴火が発生していないため，来年度も引き続きレーダー観測を行う予定である．

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので，令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要：

昨年度に引き続き、過去の火砕流を伴う噴火の地震・地盤変動・空気振動など地球物理学的観測データを基に火砕流の物理学的特徴を明らかにする。噴火に伴う地盤収縮量から求められる噴出物量と降灰量観測とを比較することにより総噴出物量に占める火砕流への配分比を決定する。降下火山灰量を非火砕流により上方へ噴出した噴出物量とし、降下火山灰量を差し引くことにより、噴出物の火砕流配分比を決定することを試みる。

レーダー観測を継続し、火砕流を検知できるか実証を行う。また、火山灰の上方への移動量と火砕流となって山腹を下降する量を検出可能か調べる。

- ( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
為栗健、井口正人、中道治久、山本圭吾  
他機関との共同研究の有無：有  
東北大学大学院理学研究科（太田雄策）  
鹿児島大学地震火山地域防災センター（眞木雅之）
- ( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：火山活動研究センター  
電話：099-293-2058  
e-mail：tameguri.takeshi.2u@kyoto-u.ac.jp  
URL：http://www.svo.dpri.kyoto-u.ac.jp/svo/
- ( 14 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者  
氏名：為栗健  
所属：京都大学防災研究所火山活動研究センター

( 1 ) 実施機関名：

京都大学防災研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

噴火後の土石流および泥流の発生に関する観測と予測手法の開発

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

火山

5 研究を推進するための体制の整

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

火山防災上重要な 2 つの現象、すなわち火山灰堆積後の降雨による土石流・泥流の発生および噴火時の融雪型火山泥流の発生に関して、その危険度や規模を予測する手法の確立を目的として、桜島火山、焼岳火山、メラピ火山、シナブン火山等の火山を対象に観測と予測モデル開発を行う。噴火後の土石流・泥流の発生の危険度や規模の予測については、火山灰堆積分布および堆積物の物性の時間変化による発生ポテンシャルの変化を解明することが重要である。また、融雪型火山泥流については、火砕流の規模、温度、積雪の量と物性、地盤条件が重要な要因であり、これらを考慮した泥流のシミュレーションモデルの開発が必要である。本研究では以上の点の解明に重点を置き、対象火山について、時間的に変化する泥流・土石流の発生危険度や発生規模を予測する手法を検討するとともに、焼岳については、融雪型火山泥流の発生に関する従来の研究をさらに進展させる。さらに、これらのモデル

を使って、噴火後の土石流・泥流の発生基準雨量や融雪型火山泥流に関する火山防災情報が提供できるようにすることを目標とする。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

2019年度においては、対象火山である桜島火山、焼岳火山、メラピ火山、シナブン火山の最近の火山噴火活動と火山灰の堆積、噴火後の土石流や泥流、洪水の発生状況について調査し、そのデータを整理する。また、噴火後の土石流や泥流の予測モデルの構築に向けて、土石流や泥流の発生ポテンシャルと関係する流域の諸量を明らかにし、そのデータの取得を行う。

2020年度においても2019年度のデータの収集を継続して行うとともに、入手ができないデータについてはその推定方法について検討する。また、流域の火山灰の堆積分布を与条件として土石流や泥流の発生や規模を計算する手法、火砕流の規模や降雪量分布を与条件として融雪型火山泥流を計算する手法について既存の手法を整理し、それらの計算精度の向上も図る。

2021年度においては、これまでの調査結果やデータを使って、噴火後の土石流や泥流の発生ポテンシャルの時間変化のモデルを進める。このポテンシャルは土石流や泥流の発生に伴い軽減すると考えられるので、このモデルには土石流や泥流の発生モデルも組み込む必要がある。融雪型火山泥流については、焼岳火山を対象にしたモデルの構築を進める。

2022年度においては、2021年度に検討を開始した土石流や泥流の発生ポテンシャルのモデルの完成を目指し、土石流や泥流のモデルへの接続を図る。融雪型火山泥流については、焼岳流域に適用し、モデルの問題点を検討する。

2023年度においては、噴火後の火山灰の量とその後の降雨量を入力条件として、土石流や泥流の発生や規模を予測するモデルの完成を目指し、桜島火山等を対象にして、噴火後の土石流や泥流の発生基準雨量について検討する。融雪型火山泥流についても、火砕流の規模や方向、積雪量分布などを入力条件にした泥流の予測モデルの完成を目指し、焼岳火山に適用する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

噴火後の土石流の発生予測に関して、次のような成果を得た。まず、焼岳における昭和37年噴火後の土石流の発生に関して、従来の研究から発生ポテンシャルの変化に関する知見を得た。また、ポテンシャルが低下する中、昨年18年ぶりに発生した土石流は、10分間雨量とその雨域がその発生要因であることを明らかにした。以上より、噴火後の土石流発生ポテンシャルの変化と発生条件に関するモデルのフレームワークを明確にした。シナブン火山の噴火後のラハールについては、観測を継続中である。焼岳の融雪型火山泥流については、融雪実験結果を整理し、泥流モデルへの導入を図っている。桜島の土石流については、濃度特性の観測や斜面侵食過程に関する検討のために、基礎調査や計測機器の開発を行った。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

堤大三、孝子 綸図、山野井一輝、藤田正治 : ストリームチューブによる地形分割を基にした表層崩壊解析手法、砂防学会誌、72(2)、pp. 3-13、2019

Hurlimann, M., Coviello, V., Bel, C., Guo, X., Berti, M., Graf, C., Hubl, J., Miyata S, Smith, J.B., Yin, H-Yuan, Debris-flow monitoring and warning: review and examples, Earth-Science Reviews, 199, Article 102981, 2019.

平川泰之、岡野和行、植野利康、里深好文、堤大三、宮田秀介 : 近年の雲仙普賢岳における土石流発生の地形・地質的条件、砂防学会誌、72(1)、21-31、2019

山口翔大、宮田秀介、堤大三、村重慧輝、藤田正治 : 数値解析による積雪条件の異なる融雪型火山泥流予測、砂防学会誌、71(6)、3-13、2019

Y. GONDA, S. MIYATA, M. FUJITA, D. LEGONO and D. TSUTSUMI, Temporal Changes in Runoff Characteristics of Lahars After the 1984 Eruption of Mt. Merapi, Indonesia., Journal of Disaster Research

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

2020 年度においても 2019 年度のデータの収集を継続して行う。2019 年度は焼岳を対象にして、昭和 37 年の噴火後の土石流の発生ポテンシャルの変化を考慮した土石流発生予測モデルのフレームワークを構築した。このフレームワークでは、流域の火山灰の堆積による降雨浸透能の変化モデルの構築が必要である。桜島における現地調査、室内実験により、これについて検討する。融雪型火山泥流については、新たな融雪実験の成果を融雪型火山泥流モデルに実装する。また、TDR による土石流濃度の基礎実験の進捗が遅れ、桜島での現地実装にまで至らなかったため、桜島において TDR を用いた土石流濃度観測を 2020 年度実施する。とくに土石流の間隙水の濃度の観測を行う。シナブン火山やメラピ火山のラハールの調査については、現地の状況を見ながら進める。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

竹林洋史 ( 京都大学防災研究所 ) , 宮田秀介 ( 京都大学防災研究所 )  
他機関との共同研究の有無 : 有  
鹿児島大学・地頭菌隆, 三重大学・堤大三, 新潟大学・権田豊

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 京都大学防災研究所  
電話 : 075-611-5263  
e-mail : fujita.masaharu.5x@kyoto-u.ac.jp  
URL :

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 藤田正治  
所属 : 京都大学防災研究所



( 1 ) 実施機関名：

京都大学防災研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

桜島火山における地域との連携による火山災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

( 4 ) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

火山

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

工. 桜島大規模火山噴火

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

( 5 ) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

密接に関連する研究課題の「桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究 地域との連携」の成果について以下に述べる。

桜島における火山研究成果および現在の避難計画を含めた災害対策についての一般向けセミナーを開催してきた。聴講者の関心事は噴火発生時期に関する者が多いことから、火山学的に噴火発生時期を事前に特定することが困難であることが社会の共通理解となっていないことが浮き彫りとなった。一方、噴火規模に関する認識は薄く、地震のマグニチュードや震度に相当するような情報伝達に使える定量的な指標の必要性が認識出来た。

1914年桜島大正噴火クラスの噴火を想定して桜島島外の広域における避難について検討した。まず、広域避難の対象人口および避難に要する時間の算出を行った。そして、該当地域の住民を対象に避難意向アンケートを実施し、避難シミュレーションにより住民の脱出避難に要する時間が推定出来た。また、長期間の気象条件を考慮したシミュレーションにより避難対象区域と人口は気象条件に強く依存することが分かった。

桜島との比較のためにインドネシアの最近の大規模噴火について避難計画と対策について調査した。メラピ火山およびケルト火山については、静穏期における普及啓発活動や災害対策のための体制の

整備が進められてきたため、噴火に前駆した噴火警戒レベルの段階的上昇に応じて、避難場所と手順の確認、家畜の移動などの対応が順次実施されたことが分かった。桜島は噴火警戒レベル3となっていることから、レベル上昇は即住民避難を意味し、事前の普及啓発活動と災害対策体制の整備の重要性がますます高まっていることは自明である。

噴火発災後の交通路の早期復旧計画について検討した。2011年霧島新燃岳噴火の際の火山灰量と道路における通行規制の有無の関係から、火山灰量に対する通行規制の確率分布を求めた。そして、最適な交通ネットワークの復旧分析を行った。

桜島の大規模噴火を想定した降灰リスク分析を、噴火シナリオと気象シナリオに応じた降灰分布の推定と降灰量に応じた影響度分析にて行った。その結果、桜島上空の偏西風の影響の変化や台風といった強風速条件を考慮した降灰分布確率の算定により、大規模噴火時の降灰分布の季節による優位な傾向を見出した。そして、道路・航空・建物の降灰リスク分析から、降灰を懸念すべき空港と噴火発生季節を明らかにし、建物倒壊からの回避に要する季節における避難人口を求め、夏場の平均要避難人口が10万人をこえることを明らかにした。

(7) 本課題の5か年の到達目標：

桜島火山では、現在噴火警戒レベルを事実上3以上で運用しており、火山活動が高まれば住民の避難を伴うレベル4と5と選択肢が狭いのが現状である。噴火警戒レベルが存在する法的・行政的制約のもとに、大規模噴火危機時の対応や事前準備における課題を明らかにする。地域の行政機関やステークホルダーと連携して火山研究の知見を整理し、社会に適切に発信する手法を見出す。懸念されている桜島大規模噴火について、住民や行政に対して防災リテラシーの実態とニーズを明らかにする。住民、報道従事者、行政等の防災担当者などを対象とした公開講座やセミナーなどを通じて火山研究の現状や火山現象の基礎的な理解を進める。大規模噴火に対応するために、地域防災計画の更新や災害対応や復旧・復興の実施において火山研究成果の反映をさせる。そのために、想定噴火による被災予測および復旧・復興への影響予測を高精度化する。

(8) 本課題の5か年計画の概要：

セミナーと講習会を実施し、火山研究成果や火山データを地域防災対策等に反映させることについて検討する。検討項目は以下の通りである。

(1) 避難計画における火山研究成果の活用

(2) 様々な噴火シナリオに基づく避難計画の多様化の研究。具体的には、火山活動推移モデル(事象系統図)にリストアップされる噴火規模・様式について、前駆活動及び噴火推移の事象の発現に沿った避難計画策定の可能性について検討する。

(3) 現状の避難計画の問題点と火山研究による解決の可否の検討による火山研究ニーズの探索。火山研究から想定される今後の噴火活動に対する現状の防災対策の問題点と火山研究によってその問題が解決可能であるかどうかを検討する。さらに、どのような事前情報が必要であるかを明らかにしていき、研究課題としての解決策を探る。

(4) 火山観測データの見方について講習するとともに、受講者のニーズをつかみ属性に応じたデータ表示の最適化とデータの見方の理解を進め、火山観測データ解析結果の住民や観光客への伝え方の研究をする。そして、研修プログラム構築に反映させる。

令和元年(2019年)度においては、火山研究成果をレビューするセミナーを開催し、その成果の現状の避難計画を含めた防災対策にどのように活用できるかを検討する。火山観測データの見方についての講習をする。

令和2年(2020年)度においては、火山活動推移モデルにある噴火の規模と様式について、前駆活動及び火山噴火推移の事象の発現に沿った避難計画策定の可能性について検討する。引き続き、火山観測データの見方についての講習をする。

令和3年(2021年)度においては、想定される噴火活動に対する現状の防災対策の問題点と火山研

究によってその問題が解決可能であるかどうかを検討する。そして、どのような火山情報が必要であるかを調べ、火山研究の課題としての解決策を探る。また、観測データの解析結果の一般への伝え方を検討する。

令和4年(2022年)度においては、観測データの解析結果の一般への伝え方の検討結果を反映したデータ表示システムの作成をする。

令和5年(2023年)度においては、データ表示システムのビジターセンターへの導入と実証実験を行う。以上の検討を踏まえ、火山研究からみた地域防災計画や支援策などへの提言を取りまとめる。

(9) 令和元年度の成果の概要：

京都大学は日本各地に教育研究施設を有しており、2011年から毎秋の期間にて京大ウィークスと称して各地の教育研究施設の一般公開行事を行っており、桜島火山観測所(防災研究所火山活動研究センター)も参画してきた。この一般公開行事に合わせて、一般参加者に対して火山防災リテラシーの実態調査を行い約100名から回答を得た。火山防災リテラシーの実態調査において噴火警戒レベルについて桜島の現在の噴火警戒レベルの認知度を居住地別に分析した。噴火警戒レベルそのものについて鹿児島市内の方は9割認知しており、鹿児島市を除く鹿児島県内の方の8割が認知している。一方、サンプル数が3例と少ないが鹿児島県外の方の7割があまり知らないと回答した。桜島の現在の噴火警戒レベルについては鹿児島市の方の7割、鹿児島県内の方の5割が正答したが、鹿児島県外の方は3割の正答であった。したがって、居住地によって噴火警戒レベルの認知度に有意な差があることと、桜島に近接する鹿児島市の居住者の噴火警戒レベルの認知度の高さが明らかになった。また、噴火の予兆が見られる時の情報提供のニーズについて選択式にて調査した。その結果、回答者のうち、噴火に至るかどうかが不明であっても観測データに異常が見られる場合の情報を必要とする方が8割で、噴火に至るとわかる情報だけ必要とする方は2割であった。火山活動や噴火についての情報の取得手段について調査から、大半の方はテレビやインターネットから情報を得ているが、テレビやインターネットからの情報の信頼性は高くないことも認知しており、多岐選択肢の調査から情報の信頼性の高い公的機関や専門機関からの情報発信のニーズが高いことが分かった。

大規模噴火の発生が予想される桜島のこれまでの火山学的知見のまとめ、現在進行中の大規模に対する避難などの対策、大規模噴火が及ぼす交通インフラへの影響、大規模噴火についての社会の共通理解醸成の方策について、日本自然災害学会の学会誌に特集「桜島の大規模噴火を考える」を組んで掲載をした。そして、自然災害学特集号の抜き刷りを桜島火山防災連絡会メンバーである自治体および国の地方機関に配布した。また、桜島大規模噴火にて想定される広範囲の航空インフラへの影響について対談形式で現状と課題をまとめた記事を航空会社研究所の季刊誌に掲載した。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

井口正人・中道治久, 2019, 桜島の大規模噴火を考える, 自然災害科学, 38, 3, 279-345.

井口正人・轟朝幸・村岡猛・平田輝満・佃健次・小田切義憲, 2019, 今そこにある桜島噴火, ていくおふ, 157, 4-15.

井口正人・轟朝幸・村岡猛・平田輝満・佃健次・小田切義憲, 2020, 今そこにある桜島噴火(2), ていくおふ, 158, 4-17.

Ishimizu, E. and M. Sakamoto, 2019, Issues of Japan's volcanic disaster prevention system as viewed from overseas alert systems, Japan Geoscience Union Meeting 2019, MZZ50-P03.

石水英梨花・阪本真由美, 2019, 火山災害軽減に効果的な地域の関係性に関する考察 口永良部島におけるヒアリング調査から, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, P111.

Nakamichi, H., 2019, Mitigation of volcanic hazard in Sakurajima, Japan, through the coordinating committee and through communication with the public, Japan Geoscience Union Meeting 2019, MZZ50-03.

Sakamoto, M., 2019, Governance for Trans-boundary Volcanic Disaster -a case of 2010Eyjafjallaj kull Eruption-, Japan Geoscience Union Meeting 2019, MZZ50-P01.

阪本真由美・中道治久・荒島千鶴・高橋若菜・荒木田勝, 2019, 越境火山災害をめぐる国際リスクコミュニケーション - 2010年アイスランド火山噴火対応の事例より -, 日本火山学会 2019年度秋季大会, B2-18.

(11) 令和2年度実施計画の概要:

防災リテラシーの実態調査の一環として、桜島周辺の学校児童・生徒に対して火山情報に関する意識調査を行い、噴火警戒レベルについての理解度や火山観測情報の取得について明らかにする。火山研究成果を概観する一般向けセミナーを開催し、その成果の現状の避難計画を含めた防災対策にどのように活用できるかを検討する。自治体の防災担当者等向けに火山観測データの見方についての講習とアンケート調査にて、噴火災害を軽減する対策を考えるために必要な知識体系を構築するための要素抽出を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

中道治久、井口正人、多々納裕一  
他機関との共同研究の有無: 有  
鹿児島大学、兵庫県立大学

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 火山活動研究センター  
電話: 099-293-2058  
e-mail: nakamiti@svo.dpri.kyoto-u.ac.jp  
URL: <http://www.svo.dpri.kyoto-u.ac.jp/svo/>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 中道治久  
所属: 京都大学防災研究所火山活動研究センター

( 1 ) 実施機関名：

京都大学防災研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

災害リテラシーの育成のためのオープンサイエンス手法の検討

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

「オープンサイエンス」の手法による地震、火山、津波災害データベースの構築・共有を通じた災害リテラシーの育成に向けて研究を実施する。防災リテラシーの向上という課題について、単なる知識提供ではなく、一般市民と地震、火山研究者とが共同して観測研究や災害軽減の取り組みをすすめる「オープンサイエンス」や「オープンデータ」の思想に基づく新しい次世代型地震研究の可能性について検証することを到達目標とする。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

以下の 3 つの研究を行う。(1) 地震・津波避難訓練への「オープンサイエンス」導入による防災リテラシー向上、(2) 「オープンサイエンス」による自然災害史料の解読と活用、(3) 市民参加による内陸地震観測の「オープンサイエンス」化。以上の(1)-(3)の研究の相互の情報交換により、「オープンサイエンス」の観点から、災害リテラシーを育成するための新しい手法を探る。年度ごとの計画は以下の通り。

平成 31 年度：オープンサイエンス型サイエンスミュージアムの企画、運営。運営、地震・津波避難訓練時の個人行動記録の分析、「みんなで翻刻」の改良、「満点計画」、「0.1 満点計画」の検証を実施する。

平成 32 年度：オープンサイエンスの手法による災害リテラシー育成方法を、サイエンスミュージアム、「満点計画」、改良版「みんなで翻刻」などを通して実施する。

平成 33 年度：サイエンスミュージアムの運営、「満点計画」、「0.1 満点計画」の検証を継続する。地震・津波避難訓練時の個人行動記録のオープンサイエンス的な活用を実施し、「みんなで翻刻」によって得られたテキストの災害リテラシー向上への効果の検証、「満点計画」、「0.1 満点計画」の検証を実施する。

平成 34 年度：サイエンスミュージアムの運営、「満点計画」、「0.1 満点計画」の検証、「みんなで翻刻」によって得られたテキストの災害リテラシー向上への効果の検証を継続する。地震・津波避難訓練時の個人行動記録のオープンサイエンス的な活用と検証を実施する。

平成 35 年度：オープンサイエンス型手法による災害リテラシーの向上方策について総括的な検討を行う。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

令和元年度は、当初の計画に従って、(1) 地震・津波避難訓練への「オープンサイエンス」の導入による防災リテラシー向上、(2) 「オープンサイエンス」による自然災害史料の解読と活用、(3) 市民参加による内陸地震観測の「オープンサイエンス」化、以上の 3 つの研究を推進した。具体的には、(1) については、津波避難訓練支援ソフト「逃げトレ」の活用により、避難訓練に参加した一般市民の行動データを避難行動科学の基礎データとして収集・集積するシステムのパイロット版を制作した。同時に、USGS の DYFI プロジェクトとの共同により、地震の体感データを広く市民から収集し、地震の被害状況の即時把握等につなげるシステムをオープンサイエンスとリンクさせるための研究も実施した。(2) については、「みんなで翻刻」プロジェクトをさらに推進し、令和元年 7 月に組織体制、ホームページなどをリニューアルした。(3) については、阿武山地震観測所において「満点計画」から得られた地震データの解析業務に一般市民( ボランティアスタッフ ) が参画するプロジェクトを実施した。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 )：

Goltz, J., Nakano, G., Park, H. and Yamori, K., in press, Earthquake ground motion and human behavior: Using DYFI data to assess behavioral response to earthquakes. Earthquake Spectra.

杉山高志・矢守克也, 2019, 津波避難訓練支援アプリ「逃げトレ」の開発と社会実装 - コミットメントとコンティンジェンシーの相乗作用 - 実験社会心理学研究, 58, 135-146.

Noda, T., Yamori, K. & Harada, K., 2019, Development of disaster response applications and improvements in regional disaster prevention capacity. Based on collaborative information use. Journal of Disaster Research, 14, 375-386.

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要：

本研究は、「オープンサイエンス」の手法による地震、火山、津波災害データベースの構築・共有を通じた災害リテラシーの育成を目標に掲げ、それを単なる知識提供ではなく、一般市民と地震、火山研究者とが共同して観測研究や災害軽減の取り組みをすすめる「オープンサイエンス」や「オープンデータ」の思想に基づく新しい次世代型地震研究の可能性について検証している。令和 2 年度の実施内容は、令和元年度の実施した 3 つの研究をさらに継続・発展させることを基本とする。ただし、サイエンスミュージアムとしても再編中の阿武山観測所におけるプロジェクトについては、地震データの解析に対する市民参画だけでなく、サイエンスミュージアムのマネジメント( 展示品、展示手法、案内業務へのさらなる関与 ) への市民参画についても進める計画である。また、「逃げトレ」、「みんなで翻刻」を活用したオープンサイエンスプロジェクトはそのまま継続して推進し、その成果と課題をオー

プンサイエンスの観点から考察する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

矢守 克也 ( 京都大学防災研究所 ) 飯尾能久 ( 京都大学防災研究所

他機関との共同研究の有無 : 有

大倉 敬宏 ( 京都大学大学院理学研究科 )

松浦 律子 ( 地震予知総合研究振興会 )

加納 靖之 ( 東京大学地震研究所 )

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 防災研究所

電話 : 0774-38-4024

e-mail : yamori@drs.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL : <http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 矢守 克也

所属 : 防災研究所



( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

歴史地震史料を活用した地震学的解析

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

火山

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

イ. 地震断層滑りのモデル化

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(7) 次世代を担う研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

前観測研究計画の課題番号 1901「史料の収集・翻刻・解析による過去の大地震および自然災害の調査」，歴史学の専門家の協力を得て、古地震に関する合宿形式の研究会(翻刻を主とした史料解析の実践)を実施した(平成 29 年 9 月、平成 30 年 3 月)。この研究会の内容は、翻刻を主とした史料解析の実践および歴史学に関する話題の講演である。翻刻にあたっては歴史学の専門家の指導および史料

の背景の説明を受け、講演では、古文書解読の背景となる知識を得た。この研究会は、地震学のバックグラウンドをもちながら史料の解読もできる人材の育成だけでなく、歴史学、人文情報学、地理学、地質学、気象学、地震学といった幅広い分野の研究者および学生、大学職員、一般市民の交流の場となることを目指したものである。研究会で翻刻や史料の扱いを学んだ研究者・学生が、多様な研究成果を発表するようになり、人材育成の効果があらわれはじめているといえる。幅広い異分野交流をとおして、新たな視点での歴史地震研究の姿を検討した。市民参加型の地震史料翻刻プロジェクト「みんなで翻刻」(<https://honkoku.org/>)は、この研究会での情報交換によって生みだされたものである。

(7) 本課題の5か年の到達目標：

歴史地震史料からは、これまでも過去の地震に関する多くの情報が抽出されてきた。たとえば、いつどこでどの程度の大きさの地震が発生したか(地震の年表)、震源の広がりほどの程度だったか(たとえば南海トラフの巨大地震)、強震動や津波による被害はどの程度であったか、などである。

歴史地震史料には、当時の人々が体験した現象を見たまに記録したと想定できる記述が多数ある。震動の強さや継続時間、地殻変動(地盤や海岸の昇降)、地下水の以上(井戸や温泉)、液状化被害などである。これらの一部は既に活用され、地震学的な解析がなされているが、まだまだ解析されないまま放置されている記述も多い。歴史地震史料の精度(限界)を考慮しつつ、現在の標準的な地震学の手法を用いて解析することにより、過去に発生した地震についてより深く分析をおこなうことを目的とする。上記の諸現象に関する調査のほか、大地震発生後に続発する余震に関する系統的な分析や、本震と大きな余震の分離などもこれまで十分に行なわれておらず重要な課題である。そのためには、地震の専門家でなくとも容易に使うことができる解析ツールの開発や史料の記述を分析できる地震研究者の育成も必要である。

(8) 本課題の5か年計画の概要：

(a) 解析(計算)ツールの整備：歴史地震史料にあらわれるのは、体感あるいは目視で確認できるような現象である。震動の強さや継続時間、液状化の発生などであれば断層や地盤構造を仮定した全波形の再現、地殻変動や地下水の異常であれば、地殻変動の計算などをより簡単におこない、その結果と史料の記述を対照できるようなツールの整備をおこなう。地震学と歴史学等の双方の専門家が対話しながらツールの整備をすすめるために「古地震研究検討会(仮)」を年1回程度(10月頃)開催し、議論と実装をおこなう。具体的な史料の記述に解析ツールを適用するため、これまでの史料調査を補う調査を実施する。

(b) 史料を解読できる研究者の育成：前観測研究計画では、年2回(おおむね9月と3月、各2泊3日)の合宿形式の勉強会を本課題でも継続する。

5年間を通じて、実際の史料にもとづいて具体的にツールの開発や史料の解読をすすめる。上記の検討会や勉強会を定期的で開催し、ツールの開発と研究者の育成に努める。解析ツールについては、平成33年度を目処に、開発したツールを公開し、試用を受けて改良する。

(9) 令和元年度の成果の概要：

「古地震研究検討会」(地震学会秋季大会の会期中)と合宿形式の古文書解読のための勉強会(9月と3月の2回、各3日間)および定期的な勉強会を開催した。また、東京でも勉強会を開催した(10月に2日間)。参加者の解読技術の向上をはかるとともに、これまで歴史地震研究に関わっていなかった研究者や学生、あるいは市民の方々に研究を普及する機会となった。

「法蓮寺堂再建記木札」の実物や翻刻資料を再調査し、これまでの解釈が誤りであった可能性を示した[加納・他(2019)]。歴史地震のほか洪水などの自然災害についてまとめた一般向けの書籍を刊行した[大邑・加納(2019)]。歴史地震研究におけるデジタルアーカイブの活用や人文情報学的手法の導入について検討した。震度予測式(距離減衰式)を利用した地震史料の分析手法を検討し、また震源位置、マグニチュード、観測点を入力すると震度予測式に従って震度を出力するWebアプリケーション

ンを試作した。「みんなで翻刻」は、IIIF 準拠により国内外のデジタルアーカイブの活用できるようになり、AI による翻刻支援機能や日本語資料の入力に最適なエディタなどを追加した新バージョンをリリースした。

おおよそ計画どおりの進捗であった。

- (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
加納靖之・大邑潤三・山村紀香・濱野未来，2019「法蓮寺堂再建記木札」と応永一四年の地震，地震 2，72，53-56，doi:10.4294/zisin.2018-18 .  
大邑潤三・加納靖之・(監修)橋本学，2019，京都の災害をめぐる，小さ子社，128 pp.  
加納靖之，2019，総合図書館所蔵石本コレクションと「みんなで翻刻」，第3回東京大学学術資産アーカイブ化推進室主催セミナー，<http://hdl.handle.net/2261/00078928> .  
加納靖之，2020，デジタル歴史地震史料の活用，研究報告人文科学とコンピュータ，2020-CH-122，<http://id.nii.ac.jp/1001/00202854/> .  
加納靖之・大邑潤三，2020，震度予測式を利用した地震史料の検討，東濃地震科学研究所報告，44 .

- (11) 令和2年度実施計画の概要：

「古地震研究検討会」と合宿形式の古文書解読のための勉強会、および定期的な勉強会を開催する。実際の史料にもとづいて具体的にツールの開発や史料の解読をすすめる。特に震度予測式を活用したツールの改良とデジタルアーカイブを活用するためのツールの開発を行う。

- (12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東京大学地震研究所 加納靖之  
他機関との共同研究の有無：有  
京都大学大学院理学研究科 中西一郎  
気象研究所 小林昭夫・弘瀬冬樹・田中昌之  
産業技術総合研究所 堀川晴央  
国立歴史民俗博物館 橋本雄太

- (13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部  
電話：03-5841-5787  
e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp  
URL：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

- (14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：加納靖之  
所属：東京大学地震研究所

以下のフォームに地震の諸元と震度を推定したい地点の座標を入力して「計算」ボタンを押すと、その下に推定震度が表示されます。

⊙ 地震

緯度	<input type="text" value="35.066667"/>	経度	<input type="text" value="135.666667"/>	深さ	<input type="text" value="5"/>
M (気象庁)	<input type="text" value="6.4"/>				

📍 観測点 (被害地点)

緯度	<input type="text" value="34.9094"/>	経度	<input type="text" value="135.7984"/>
----	--------------------------------------	----	---------------------------------------

計算結果

推定震度 (震度階)	<input type="text" value="5-"/>	推定震度 (計測震度)	<input type="text" value="4.9"/>
------------	---------------------------------	-------------	----------------------------------

震度予測式を用いた Web アプリケーションの画面例。

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

マグマ溜まりの時間発展と噴火様式との関連性

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

マグマの爆発性を支配する主要因であるマグマ中の水の量を定量するための手法として、火山ガラス中の揮発性成分量を簡便に測定する方法を開発するとともに、実際の火山噴出物に応用して斑晶鉱物やガラスの組成分析を組み合わせることによって、国内の幾つかの活動的火山での噴火前のマグマの状態(温度、圧力、含水量)の推定を行った。珪長質の巨大カルデラ噴火(始良カルデラ噴火)の場合には大規模噴火に結びつくようなマグマの状態が噴出物分析から確認されたものの、玄武岩質～安山岩質の噴火についてはマグマの状態と噴火の規模との明確な関係は見いだせなかった。その一方で、マグマの状態と噴火様式については若干の関連性を見いだすことができた。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

マグマの状態と噴火様式について見られた関連性についてより詳しく調べるために、爆発的噴火と非爆発的噴火(溶岩流噴火)を数多く起こしている富士火山に焦点を絞って、噴出物の解析を進める。富士火山では、爆発的噴火が卓越する時期と溶岩流噴火が卓越する時期があるが、両者が混在する時期もある。そこで、様々な時期、様々な様式の噴火による噴出物を網羅的に解析することにより、マグマの状態と噴火様式との関係の定式化を目指す。加えて「中長期の火山活動の評価」と「火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測」をつないで、将来の噴火の様式・規模を検討するためには、マ

グマの状態の時間発展に関するデータが必須であることから、時間発展が追えるようなある程度連続した期間についての噴出物解析も実施する。

火山噴出物の分析を通じて集めるデータは、マグマの温度、圧力、含水量、組成についてであり、加えて、それらの噴出物をもたらした噴火の様式や規模についての情報を文献から収集する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

5 カ年の研究期間で、富士火山(新富士火山)の活動期のうち次の 4 つの時期について試料の分析を行う( 1 ) 溶岩流が卓越する富士宮期( 2 ) 溶岩流が卓越するが爆発的噴火もある須走 b 期( 3 ) 山頂及び山腹での爆発的噴火が卓越する須走 c 期( Cal BC 1500 年頃~ Cal BC 300 年頃)( 4 ) 山腹での割れ目噴火が卓越し溶岩流噴火と小規模な爆発的噴火が頻発している須走 d 期( Cal BC 300 年頃以降)。

2019 年度と 2020 年度には、富士宮期、須走 b 期、須走 c 期から幾つかの噴火を取り上げ、噴火様式とマグマの状態についての関係を明確化するための検討を行う。富士火山においては、深部と浅部の 2 つのマグマ溜まりの存在が示唆されているが、斑晶組成から判断してできるだけ浅部のマグマの影響を受けずに噴火した試料の分析を優先し、深部マグマの状態が噴火様式にどの程度影響するかを評価する。

2021 年度と 2022 年度には、主に須走 d 期の試料分析を行う。この時期は最も新しい活動期であるため噴出物の保存状態が良く、ある程度連続した噴火の噴出物採取が可能である。そのような適切な試料を用いることで、噴出物からマグマの状態の時間発展を捉えることが可能か否かの検討を行う。この須走 d 期は全体としては小規模な噴火が多いが、貞観噴火(溶岩主体)と宝永噴火(爆発的)という新富士火山の活動としては最大規模の様式が異なる噴火を含んでいる。そこで、上述の研究に加えて、貞観噴火と宝永噴火に先立つ数回の噴火の噴出物を分析して、大規模噴火に向けてマグマの状態が変化しているかどうかについても調べる。

2023 年は、それまで 4 年間の研究をとりまとめて、マグマの状態と噴火様式との関係の定式化を行う。集められたマグマの温度、圧力、含水量、組成についてのデータは、浅部マグマ溜まりの影響を評価するために噴火口位置についての情報も加えて、時間空間的に整理する。また、連続する噴火の噴出物について、マグマの状態の時間発展が確認された場合には、それが次の噴火の様式や規模の予想につながるかどうかの検討を行う。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

マグマの状態と噴火様式の関連性を調べるために、富士火山の噴出物の分析を行った。前期の計画研究では、溶岩流噴火と爆発的噴火とでは、噴火前のマグマ温度と含水量とに差があることが示唆された。しかしながら、温度や含水量計算に用いた液組成については不確定性が大きく、確固たる結論を導けなかった。これは富士火山においては多くの噴火でマグマ混合が起きており、混合前の液組成の推定に誤差が大きいためである。そこで、今年度の研究では、分析する試料のスクリーニングをまず実施して、信頼性が高い液組成推定が可能な試料を集めることにした。具体的には、(1) 斑晶量が少なく、(2) 斑晶の組成頻度分布がユニモーダルなものを、選別することによって、浅部マグマの混合の影響が小さな噴火の試料のみを集める作業を行なった。

溶岩流噴火については、地震研究所で保有する「津屋試料」および「富士山総合プロジェクト試料」から、斑晶量 2%以下、および 5%以下のものを選別した。時代や噴出場所については特段の偏りは見られない。斑晶量 2%以下のものについては、旧期溶岩(津屋による時代区分、以下、中期、新期も同様)が 3 試料、中期溶岩が 4 試料、新期山頂溶岩が 7 試料、新期山腹割れ目噴火溶岩が 4 試料、新期側火山噴火溶岩が 3 試料得られた。斑晶量が 2-5%のものについては、旧期溶岩が 1 試料、中期溶岩が 10 試料、新期山頂溶岩が 13 試料、新期山腹割れ目噴火溶岩が 6 試料、新期側火山噴火溶岩が 5 試料得られた。爆発的噴火の試料については、太郎坊で採取された 18 試料の中で、斑晶量が少ない(<5%未満)の試料は、S-13 砂沢噴火、S-11 Yu-1 噴火、S-25 (Ho-IV) の 3 試料のみであった。そのうち、S-13

と S-25 は噴火の初期には顕著なマグマ混合の痕跡が見られるものの、噴火の後期には斑晶量が減少するとともに、ユニモダルな斑晶組成に移行して、かつ、比較的 SiO<sub>2</sub> が低い全岩組成となるため、深部マグマの特徴が十分に反映されているとみなした。これらの全岩化学組成について、図 1 に示す。

これらの試料について、斑晶化学組成の分析を順次進めている。これまでのところ 7 試料についてしか、斑晶化学組成分析が完了していないが、それらから決定されたマグマの含水量と温度との関係を図 2 に示す。まだ分析点数は少ないが、高温かつ低含水量のマグマが溶岩流噴火をし、低温かつ高含水量マグマが爆発的な噴火をするという傾向は成立しているように見える。

上記の研究と並行して、マグマの上昇速度の評価のために、爆発的噴火の試料について噴出物の石基組織の解析を進めている。石基の微結晶の数密度はマグマの冷却速度と関連が深いとされ、特に斜長石の微結晶についてはマグマの減圧に伴う含水量変化によって実効的なリキダスが上昇し結晶化が進行するため、マグマの上昇速度と微結晶の数密度に有意な相関関係があることが知られている。そこで、富士火山の東側の籠坂峠で採取された S-8 以降の爆発的噴火の試料 33 層について、石基組織の解析を行った。試料内部の不均質の影響を低減するため、各試料で 0.5 mm 四方の領域 3 箇所を分析を行い、斜長石微結晶およびかんらん微結晶のサイズ分布と数密度、および石基ガラス量を求めた。図 3、図 4 に結果の一部を示す。興味深いことに、斜長石微結晶の数密度や石基ガラス量のシステムティック変化が、S-8 噴火（約年前）以後に 2 回ほど観察できる。これはマグマ供給系の時代変化の可能性があるが、全岩組成や鉱物組み合わせの変化とは顕著な対応関係は見られない。このため、次年度以降は、斑晶化学組成を決定した上で、これらのマグマの温度と含水量の検討を行う予定である。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
安田敦・外西奈津美, 次世代火山研究推進プロジェクト, 分析・解析プラットフォームの石基組織解析機能について, 火山学会 2019 秋季大会予稿集, 2019

安田敦・馬場章・藤井敏嗣・外西奈津美, 富士火山焼野溶岩に捕獲された斑れい岩について：その起源とマグマ供給系についての考察, 火山, 64, 2, 83-101, 2019

(11) 令和 2 年度実施計画の概要：

R1 年度に引き続き、無斑晶質の試料について斑晶化学組成の分析をすすめ、マグマの温度と含水量の関係の把握に努める。加えて、石基組織に時代変化が観察された爆発的噴火の試料については、変化の前後でのマグマの温度と含水量の変化の有無を、斑晶とメルト包有物の化学組成から検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東京大学地震研究所 安田 敦  
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部  
電話：03-5841-5787  
e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp  
URL：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：安田敦  
所属：東京大学地震研究所



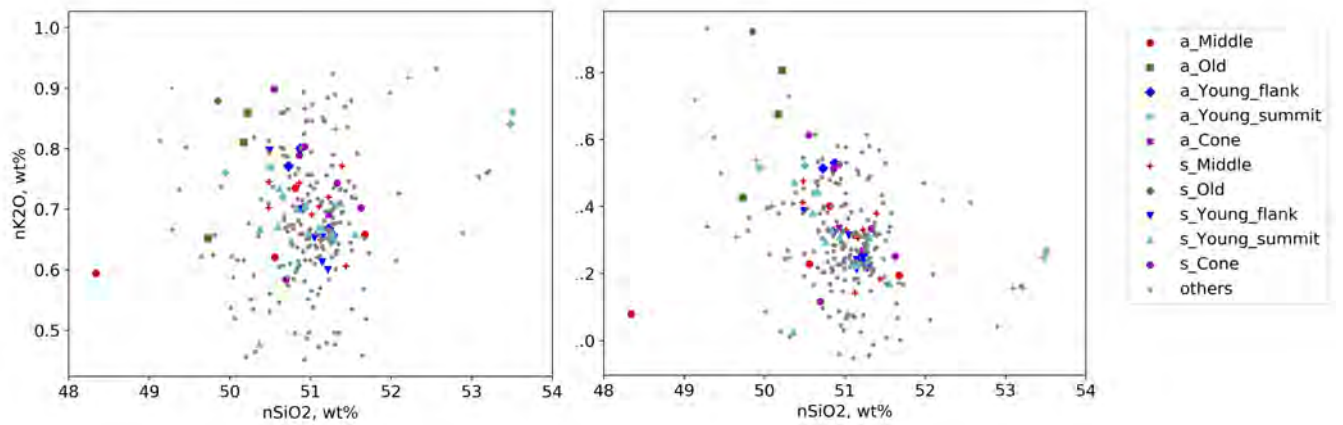


図1 . 斑晶量が少ない噴出物についての全岩組成図

(左) SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O, (右) SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>, いずれも 100%に規格化 . 凡例の語頭の a.は aphyric (斑晶量 < 2% ), s.は sparsely phytic (斑晶量 < 5% )を示す .

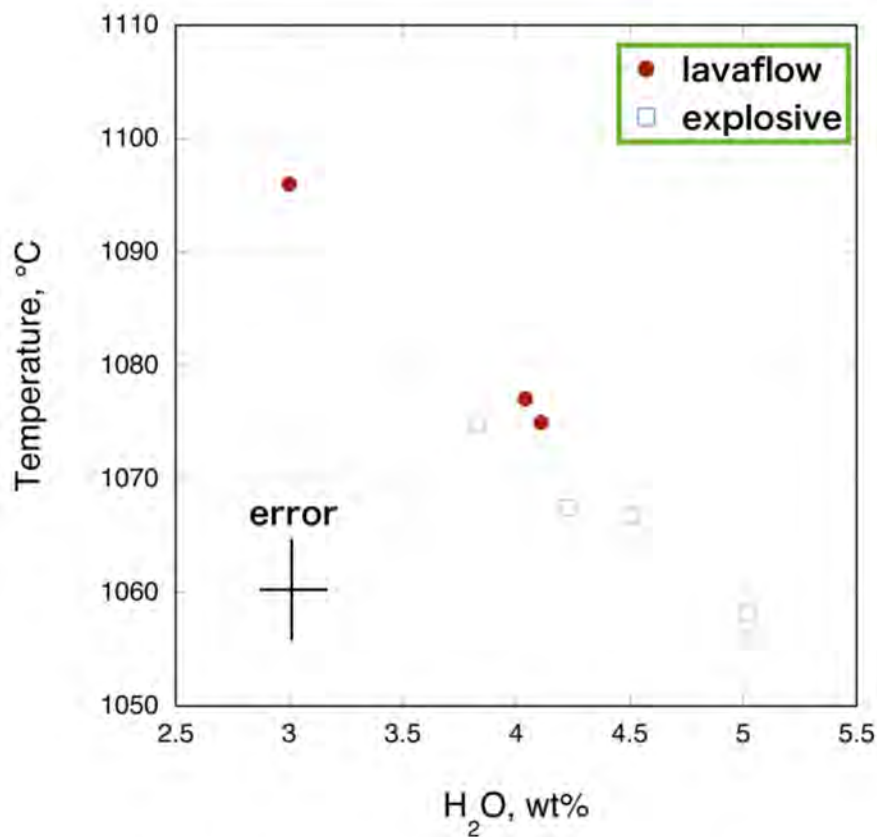


図2 . 含水量とマグマ温度との関係 .

error bar は斑晶組成の計測誤差に起因する温度と含水量評価誤差を示す .

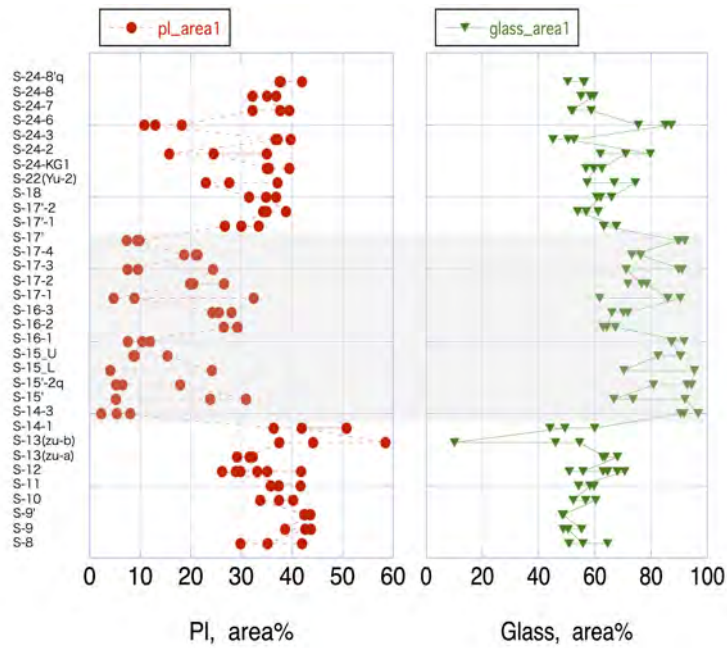


図3．爆発的噴火による噴出物の石基組織の時代変化．  
 (左) 斜長石微結晶量，(右) 石基ガラス量． 時代変化が観察される部分で背景に影をつけている．

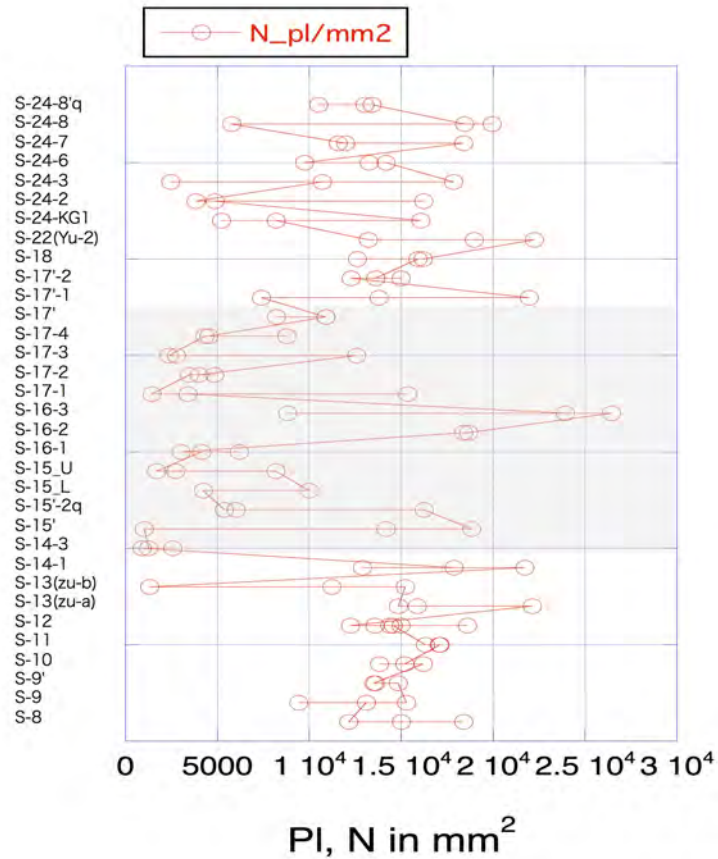


図4．爆発的噴火による噴出物の石基斜長石微結晶の数密度とその時代変化．  
 時代変化が観察される部分で背景に影をつけている．

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

大規模噴火に伴う諸現象とそれを駆動するマグマ溜り 火道システムの解明

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

前建議で進められた VEI6-7 級の低頻度大規模噴火の研究においては、九州や北海道のカルデラ火山について、基礎的な地質・物質データが得られ、噴火履歴・前駆的現象を含めた推移とその時間スケール・マグマ供給系の理解が進んだ。VEI4-5 級の大規模噴火は、これまで対象とされていないが基本的には小～中規模噴火の延長上にある火山現象と捉えることができ、前建議までに進められてきた噴火過程に関する研究と密接に関係する。例えば 2011 年霧島新燃岳のサブプリニー式噴火の際には、地質・物質科学的解析と地球物理学的観測データとの照合を基にした噴火プロセス解明研究が進めら

れた。VEI4 級以上の大規模噴火の詳細な観測事例は国内にはないものの、これまでの堆積物や噴出物をもとにした噴火推移およびマグマ上昇の物理化学プロセスの定量的解明を目指した研究が本課題の基礎となる。

(7) 本課題の5か年の到達目標：

本課題で扱う大規模噴火は、プリニー式・サブプリニー式噴火である。プリニー式噴火に代表される大規模かつ爆発的な火山噴火は、噴出物を広範囲に飛散させるため、多様かつ深刻な災害を広域で引き起こす可能性がある。しかし近代的火山観測網による VEI4 クラス以上の大規模噴火の観測事例は国内にはなく、現象や物理パラメータの時間発展の解明や、想定される災害の種類や規模の評価は不十分である。噴火に伴う諸現象（前駆的現象を含む）の解明とそれらの時空間解像度の向上、災害現象の把握には、噴出物の詳細な解析に加えて、史料データの活用や海外の事例をもとにした比較研究も同時に進める必要がある。本課題ではとくに下記 (a)、(b) の問題点や背景を踏まえ、大規模噴火の実績がある火山を対象に地質調査や物質科学的解析、史料データ等をもとにした噴火推移の再構築、噴出量や噴出率の推定、マグマ溜り 火道系の物理化学状態の推定、またこれらの中長期における変遷を解明することを目的とする。さらに地球物理観測データとの照合を念頭に置き、マグマの蓄積・移動・上昇に関する時間的情報の抽出も試みる。大規模噴火における事象分岐の要因について考察し、事象系統樹へ反映させることも目指す。

(a) プリニー式噴火は爆発的かつ定期的なマグマ噴出による噴煙柱形成で特徴付けられるが、同時に一連の活動で火砕流や溶岩流・ドームを伴うなど噴火推移は単純でないことが多い。また珪長質マグマに限らず、安山岩質から玄武岩質までの幅広いマグマ組成で起こり得る。前駆的現象を含めた噴火推移、付随現象の時期や継続時間など噴火推移のパターン、時間スケールの理解が重要である。近代以降については観測記録、歴史時代については古記録も併用した現象及び推移の解明が必要である。

(b) 噴火物理パラメータ（噴出量・噴出率）推定手法は次第に進歩しており、既存手法とともに新たな手法にもとづく再解析により噴出量や噴出率の推定値が大きく変わる可能性がある。これらのデータに基づく噴火規模や強度と物質科学的特徴の変化は、火山の中長期的活動とそれを駆動するマグマ溜り 火道系の進化を理解する上で重要である。また VEI 4 以上の噴火は国内での発生頻度は低いが海外では数年に 1 回程度発生しており、様々な大規模噴火の共通点や相違点を明らかにする上で重要な情報源になると考えられる。

(8) 本課題の5か年計画の概要：

2019 年度においては、伊豆大島で安永噴火をはじめとする大規模噴火を対象に地表踏査や試料採取を行い、地質・物質科学的解析に着手する。噴出物の年代学的解析、古記録の収集・検討を開始する。堆積物・噴出物解析に基づく噴火推移や物理化学パラメータの推定方法を検討する。国内の他の火山（浅間山、霧島山など）についても調査を進めるとともに、従来の研究をもとに大規模噴火の推移やマグマ供給系の特徴について情報を収集する。近現代に海外で発生した大規模噴火を選定し、地質データや観測記録等の収集をはじめめる。

2020 年度においては、伊豆大島では地質・物質科学的解析を継続する。代表的な大規模噴火について噴火推移を推定するとともに、テフラデータと物理モデルを用いた解析を行い、噴出量・噴出率およびそれらの変化を明らかにする。岩石微細組織や鉱物化学組成データを基にしたマグマ溜り 火道系の温度、圧力、化学組成、物性値等の推定を行い、マグマ溜り 火道系とその変遷の解明を目指す。浅間火山、霧島火山においても地質調査を進める。国内の他の火山、海外の大規模噴火については必要であれば現地調査を行い、試料採取、地質・物質科学的解析を行う。また海外の新しい事例については地球物理学的観測データとの比較も進める。

2021 年度においては、伊豆大島、浅間山、霧島火山の調査を継続し、地質・物質科学的解析を進める。噴出物の年代学的解析、古記録の調査を継続して進める。国内の他の火山、海外の大規模噴火に関する研究も継続し、噴火推移や物理化学パラメータの解明を目指す。

2022年度においては、霧島火山における大規模噴火の地質・物質科学的解析を継続する。地質データに基づく噴火推移の推定、噴出量、噴出率等の解析を行う。岩石組織や鉱物化学組成データを基にしたマグマの温度、圧力、化学組成、物性値等の推定を行い、マグマ溜り 火道系とその変遷の解明を目指す。また、伊豆大島、浅間山、霧島火山では、地球物理観測データとの照合を念頭に置き、マグマの蓄積・移動・上昇の時間スケール、火砕流等の付随現象の時期、噴火の継続時間についても考察する。国内の他の火山、海外の大規模噴火に関する研究も継続する。また大規模噴火の事象分岐の要因について考察する。

2023年度においては、これまでの研究を総括し、前駆的現象を含めた大規模噴火の物理化学パラメータとその推移、付随現象の時期や継続時間など噴火推移のパターン、それを駆動するマグマ溜り 火道システムの状態と(中長期的)時間変化をまとめる。また大規模噴火の事象分岐の要因について考察を進め、事象系統樹へ反映させることを目指す。

(9) 令和元年度の成果の概要：

伊豆大島における典型的な大規模噴火である安永噴火(Y1)および15世紀噴火(Y4)について地質調査を行い、テフラおよび溶岩流の層序を火口近傍から遠方の広範囲で再構築し、層序毎の噴出物の化学分析を進めた。Y1については、爆発的噴火に由来するテフラは少なくとも3つのユニットに区分でき、それぞれ分布範囲に違いがあること、噴出物は次第に斜長石斑晶に富むようになるが、その変化は連続的ではなくステップ状であること、噴出率、噴煙高度がユニット毎に異なり石基組織もそれに対応して変化することなど、噴出マグマの特徴や噴火推移がこれまでよりも詳細にわかってきた。とくに、上位の主要な降下スコリアについては、古文書から流出時期が制約されている溶岩流との層序関係から、1778年11月中旬に噴出したことが明らかとなり、従来の考えよりも半年ほど遅く、しかも短期間でクライマックスに至った可能性がある。このような噴火推移の特徴は、噴火発生後の噴出物モニタリングが噴火推移・規模の予測において重要であることを示唆している。Y4についても、Y1と同様に初期に低斑晶量マグマが噴出し、次第に斜長石斑晶に富むという推移の特徴が噴出物に記録されていることがわかり、さらに解析を進めている。

浅間山については18世紀天明噴火の推移に注目した地質調査と噴出物の解析を開始した。降下軽石および火砕流(吾妻火砕流)のユニット区分を行い、層序毎の軽石の粒子物性データ(粒径分布、密度)を取得した。またFE-EPMAにより取得した組成マッピングの画像解析に基づき、発泡・結晶化組織の定量化を進めた。その結果、降下軽石フェーズから火砕流フェーズにかけて、粒子物性に大きな変化はないものの、気泡のサイズ分布や形状など、マグマ上昇過程と密接に関係するパラメータが系統的に変化していることがわかった。

霧島山については18世紀享保噴火を含む歴史時代の個々の噴火の推移や中長期履歴をレビューするとともに、代表的噴火の堆積物の露頭調査を行い分布や層区分について検討した。また、享保噴火の噴出物の解析を進め、降下軽石における茶・灰色および白色の2タイプの軽石の全岩化学組成が2011年噴火と同様のトレンドを有し、温度・組成差のある2端成分マグマが関与したことなど、基礎的な岩石学的情報を収集している。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

前野 深, 2019, 火山噴出物の解析にもとづく噴火物理パラメータの推定 - 噴火ダイナミクスの理解進展に向けて -, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 幕張, 千葉, U04-06.

Ikenaga, Y., F. Maeno, and A. Yasuda, 2019, Time-series variation in the textures of ejecta of the An'ei eruption, Izu-Oshima, Japan Geoscience Union Meeting 2019, SVC34-P07, Makuhari, Chiba.

Maeno, F., S. Nakada, M. Yoshimoto, T. Shimano, N. Hokanishi, A. Zaennudin, and M. Iguchi, 2019, Eruption Pattern and a Long-Term Magma Discharge Rate over the Past 100 Years at Kelud Volcano, Indonesia, J. Disaster Res., 14, 27-39.

Ohashi, M., M. Ichihara, F. Maeno, B. Kennedy, and D. Gravelly, D, 2019, The textural analysis of pumice

from the Plinian eruption of Taupo volcano: implications for tube pumice, Japan Geoscience Union Meeting 2019, SVC34-P07, Makuhari, Chiba.

Nakada, S., F. Maeno, M. Yoshimoto, N. Hokanishi, T. Shimano, A. Zaennudin, and M. Iguchi, 2019, Eruption Scenarios of Active Volcanoes in Indonesia, J. Disaster Res., 14, 40-50.

Kaneko, T., F. Maeno, and A. Yasuda, 2019, Observation of the eruption sequence and formation process of a temporary lava lake during the June-August 2015 Mt. Raung eruption, Indonesia, using high-resolution and high-frequency satellite image datasets, J. Volcanol. Geotherm. Res., 377, 17-32.

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

2020 年度においては、伊豆大島では Y シリーズの噴出物を中心に地質・物質科学的解析を継続する。代表的な露頭を選定し、噴出物の解析をもとに噴火推移を推定する。またテフラデータと物理モデルを用いた解析を行い、噴出量等の物理量およびそれらの変化を推定する。岩石の微細組織や鉱物化学組成データをもとにしたマグマ溜まりの温度等、物性値を推定し、マグマ溜り 火道系の状態の解明を目指す。浅間火山、霧島火山においても地質調査を進める。とくに浅間山の天明噴火については、粒子物性や空隙構造等の組織情報、岩石鉱物化学組成の情報をもとに、マグマ上昇物理パラメータの解析を進める。国内の他の火山、海外の大規模噴火については必要であれば現地調査を行い、試料採取、地質・物質科学的解析を行う。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

前野深, 安田敦 ( 東大地震研 )  
他機関との共同研究の有無 : 有  
鈴木由希 ( 早稲田大学 ), 安井真也 ( 日大 )

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部  
電話 : 03-5841-5787  
e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp  
URL : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 前野深  
所属 : 東京大学地震研究所火山噴火予知研究センター

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

非線形動力学・計算材料科学との学際連携に基づく地震現象の多様性の統一的理解

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規課題

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

本課題では非線形動力学・計算材料科学的アプローチに基づいた地震研究を行う。具体的には、以下 3 項目について研究を展開し、従来の実験的摩擦研究や地球物理学的モデルとは異なる観点からの理解を提出し、自然現象としての地震に関する理解を深める。

A. 摩擦の速度依存性の微視的モデル 地震は断層・プレート境界の力学的不安定性の結果であり、その本質を理解するためには摩擦法則の理解が必須である。いくつかの仮定を置くと、摩擦の力学的不安定性には定常状態摩擦力が負の滑り速度依存性を持たねばならないことがわかる。ゆえに、定常状態摩擦力が負の速度依存性を示すための微視的物理条件を定量的に詰めることが本質的に重要である。負の速度依存性の本質は、真接触面積の時間依存性(エイジング)にあるとこれまで思われてきた。しかし近年の分子論的スケールの実験によれば、真接触面積ではなく応力そのものがエイジングを示し、真接触部位の局所的な強さも時間とともに増大しうることを意味する。この物理的原因は分子論的な構造緩和と予想される。実際に、結晶構造が乱れたアモルファス系ではこのようなエイジングによる強度回復が知られている。本課題では、分子論的構造緩和を時間依存過程として取り入れた連続体モデルを構築し、摩擦の速度依存性の正負を決める微視的パラメタを同定する。

B. 断層相互作用系フルモデルの効率的シミュレータ開発 断層どうしの相互作用は地震活動の複雑性を決める重要な要因であり、例えば余震の性質(大森則の  $p$  値、 $c$  値)や GR 則の  $b$  値にも影響を与



えると考えられている。他方、断層多体系の作る地質学的構造（ひずみ集中帯など）とその形成過程は重要な学際的課題だが、そのような長時間スケールの挙動には断層間相互作用のみならず断層強度回復の時間依存性も大きく効くため、計算負荷が非常に高くなる。そのため、定量的なシミュレータ開発がこれまで困難であった。この問題を解決すべく、本課題では点震源多体系を対象を絞ることで効率的なシミュレータ開発を行う。より具体的には、時間発展に kinetic Monte Carlo 法を採用し、波数空間で応力再分配を計算することで、計算負荷を大幅に低減する。イベントに伴う弱化と回復過程は考える状況によって変わりうるので、その設定は自由に換えられるよう、汎用性を高めたシミュレータを開発する。開発したコードを用いて、GR 則の成立を確認し、 $b$  値の時空変動特性について応力の絶対値や空間不均一性への依存性をノイズ（擾乱）の影響などを定量的に確立する。最終的には媒質の不均一性（特に弾性率の不均一性）を取り扱えるようなアルゴリズムも実装し、空間的な不均一性、特にひずみ集中帯形成過程とそのメカニズムを調べる。

C. 摩擦不安定性におけるノイズや応力摂動の効果に関する力学系理論的研究 現状、摩擦不安定性の理解は速度状態依存摩擦則に基づき分岐現象（Hopf 分岐）として理解されているが、実際にはその描像とは矛盾する観測事実が知られるようになってきた。分岐理論においては、不均一性やノイズが分岐の性質を定性的に変えることが知られているが、沈み込み帯においても潮汐やプレート沈み込み速度の変動など、ノイズや摂動としてみなせる要因が多く存在する。ゆえに、このような擾乱を考慮した摩擦不安定性の理論を作り、観測事実を解釈し直す必要がある。本課題では、沈み込み速度の振動や変化が摩擦不安定性に与える影響について、シミュレーションと数理的な解析を行い、観測データと比較する。可能であれば安定性の変化を分岐理論的に理解する。とくに、スロー地震は潮汐などの応力摂動に鋭敏であることが知られているため、分岐点におけるノイズの影響を定式化しその現象論を確立することで、スロー地震への理解を深める。

#### （ 8 ）本課題の 5 か年計画の概要：

A. 摩擦の速度依存性の微視的モデル 2019～2020 年度においては、アモルファス系の微視的な変形イベントを熟活性化過程としてモデル化した上で、空間自由度を考えない平均場モデルに基づき、摩擦力の速度依存性を計算する理論的な枠組みを構築する。平均第一到達時間を計算することで巨視的な摩擦ダイナミクスの特徴的時間スケールを評価することで摩擦力を計算する。構造緩和に関わる微視的パラメタが摩擦の速度依存性に及ぼす影響を定量化し、負の速度依存性が実現されるための一般的条件を確立する。2021 年度からは空間自由度を考慮した計算を行い、2022～2023 年度にかけて負の速度依存性が実現されるためのより一般的な条件を確立する。

B. 断層相互作用系フルモデルの効率的シミュレータ開発 2019 年度においては、プロトタイプとして固体アモルファス材料の粗視化モデルに対する kMC シミュレータを構築する。2020 年度においてはシミュレーションを実行して、アモルファス固体における塑性現象の臨界的な挙動を調べ、時間的な挙動（特に余震統計と待ち時間分布）および空間的な特性（stress shadow 的な塑性イベントの発生など）、ノイズ（擾乱）の影響などを調べる。2021～2022 年度にかけては、前年度までに開発したシミュレータを拡張し、断層多体系や亀裂多体系を取り扱えるよう、イベント頻度と時間依存回復過程をマクロスケールで非熱的にモデル化し、kMC シミュレータへ実装する。2023 年度においては、弾性率の不均一性を取り扱えるように kMC シミュレーションを拡張し、亀裂進展ダイナミクスが本シミュレータで取り扱えるようにする。開発したシミュレータを用いて、空間的な不均一性、特にひずみ集中帯形成過程とそのメカニズムを調べる。

C. 摩擦不安定性におけるノイズや応力摂動の効果に関する力学系理論的研究 2019 年度においては、偏微分方程式を系統的に簡略化する非線形動力学分野の手法（縮約理論）を用いて、不均一なプレート境界を速度状態変数摩擦法則でモデル化した偏微分方程式系を、分岐点近傍に注目してより簡素な方程式系へ帰着する。2020 年度においては、初年度で導出した偏微分方程式系について、その分岐構造を明らかにする。2021～2023 年度においては、分岐点近傍にある系について、ノイズが滑りの安定性に及ぼす効果に関して、シミュレーションと数理的な解析を行い、観測データを比較する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

A. 摩擦の速度依存性の微視的モデル

岩石や鉱物の摩擦特性をその根本となる物理過程から理解するためには、摩擦界面の原子論的詳細の理解が不可欠である。一つの有力なモデルは、二つの固体結晶が摩擦面で重なりあって粒界を構成しているという考え方である。いくつかの特別な場合を除き、粒界では格子構造が著しく乱されアモルファス系によく似た構造をとると考えられている。それに加えて、アスペリティでの応力集中による塑性変形も摩擦面の格子構造を大きく乱す要因として挙げられる。従って、微小なアモルファス系の機械的特性(特にレオロジー)が摩擦の原子論的過程の一側面をなすと考えてよい。

そのような背景と動機から、アモルファス系のレオロジーの微視的素過程に関する研究を行っている。アモルファス系の剪断変形においては特有の遅い構造緩和過程が存在し、その遅い緩和がレオロジーを決めているが、この過程はある特定の音波モードによって実現していることが先行研究で知られていた。2019年度においてはこの音波モードに注目し、一種の分子動力学法シミュレーションを用いて以下のことを発見した: i) 音波の周波数とマクロな緩和時間の間に簡単な関係が成り立つ、ii) 分子配置の詳細には依存しない、iii) 音波モードは本質的に圧縮・膨張の自由度である。この結果により、マクロなレオロジーを支配する遅い自由度を同定しその頑健性を確かめたことになる。

B. 断層相互作用系フルモデルの効率的シミュレータ開発

地震活動を統計的に記述する研究には長い歴史があるが、一方でその統計性を破壊の物理モデルに関係づけて理解しようとする試みはそれほど多くない。そのような試みの中で代表的なものとしては Dieterich の核形成理論に基づく地震活動理論が挙げられる。この理論は地震発生場の応力履歴と地震の発生率を関係づけるようになっているが、例えばマグニチュード履歴などはあらわには考慮されておらず、全て応力履歴に換算しなくてはならない。そしてマグニチュード履歴と応力履歴の関係は、点震源に話を限定してもそれ自体が全く非自明な問題である。

ここでは断層破壊の物理過程から出発して、必要最小限な仮定のみを設定して、複雑な地震活動が創発的に現れる仕組みについてのミニマルモデルを与える。(例えば速度状態依存摩擦法則なども仮定しない)。構築したミニマルモデルを通じて、実際の地震活動の複雑さに対する理学的な理解を深めることを目指す。

具体的には、空間的に広がった系を考え、地震は点震源として扱い、発生したモーメントテンソルによる応力場の変化を直接計算することで、断層多体系の長時間ダイナミクスを追うことができる。2019年度においては、モデルの物理的な検討、効率的なアルゴリズムの考案、および数値計算コードの構築を行った。設定したモデルの概略は以下のようである。i) 任意の点においてクーロン応力が閾値を超えると地震発生する。(ただしこの基準は暫定的なものであり今後いくつか異なった基準を試す予定である)。ii) 地震による応力降下は一定(あるいは一定値の周りに揺らぐ)とし、その応力降下を実現するモーメントテンソルを弾性論に従って求める。iii) これによって周囲の応力場が変化するが、クーロン応力が閾値を越えたサイトでは再びイベントがおこる。これは余震と見なされる。iv) 応力場を計算し直し、応力閾値に達するサイトがなくなるまで i から iii の手続きを続ける。v) イベントが発生しなくなったら系に載荷する。

開発したコードによるシミュレーションを行い、物理的に妥当な挙動を示すことを確認した。

C. 摩擦不安定性における応力摂動効果

地震発生予測やリスク評価において、地殻応力レベルの推定は本質的に重要である。しかし地震発生場における応力の絶対値は観測不可能なので、何らかの間接的手法の開発が必要とされている。その一つの可能性として、ここでは応力摂動に対する(スロー地震まで含めた)地震発生率の変化に注目する。時間的に変動する応力に対して地震発生率が変動する現象はいくつかの地域で知られている。特に潮汐については応力変動幅がかなりの程度定量的に評価できるので、潮汐応答性の良い微動の場合は応力変化量と微動発生率が定量的に結び付けられている。そこでの結果は Dieterich 理論を支持しているようにも見えるが、その一方で実効法線応力がたかだか数 kPa であると解釈しなくては理論と整合しないという深刻な問題をはらんでいる。このような状況は、滑り核形成過程に代表される地震

の準備過程を今一度根底から疑ってみる必要があることを示唆していると思われる。

そこで、今年度においては、地震発生における応力摂動の効果をより物理的に解明すべく、高精度の制御と計測が可能な岩石破壊実験において、応力変動効果と微小破壊の関係を定量的に確立することを試みた。パリ・高等師範学校(ENS)との共同研究として行われたこの実験では、流体圧を変動させることによって封圧を変動させ、差応力の変化と微小破壊発生率の関係を調べた。その結果、差応力に対して0.1%程度の微弱な流体圧変動が微小破壊発生率と有意に相関することが確かめられた。この実験では非定常性が強いので、応力絶対値と微小破壊発生率との定量的関係式の確立には至らなかったが、興味深いことに流体圧変動と微小破壊発生率との相関は試料の最終的破壊が近づくにつれて急激に高まった。この結果は、巨大地震の前には潮汐相関が高まるという観測研究と整合的であり、この現象の有意性と物理機構の解明が今後の重要課題として浮かび上がった。

- (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Chanard, K., Nicolas, A., Hatano, T., Petrelis, F., Latour, S., Vinciguerra, S., & Schubnel, A. (2019) Sensitivity of acoustic emission triggering to small pore pressure cycling perturbations during brittle creep. *Geophysical Research Letters*, 46. doi.org/10.1029/2019GL082093  
Ikeda, A., T. Kawasaki, L. Berthier, K. Saitoh, & T. Hatano, (2020) Universal Relaxation Dynamics of Sphere Packings below Jamming. *Phys. Rev. Lett.* 124, 058001 (2019) DOI: 10.1103/PhysRevLett.124.058001

- (11) 令和2年度実施計画の概要：

A. 摩擦の速度依存性の微視的モデル

摩擦の原子論的過程の一つである、微小なアモルファス系のレオロジーについて、一種の粗視化モデルを構築する。特に、速度弱化型摩擦の微視的機構については、従来は直接接触面積のエイジング(時間発展に伴うゆっくりとした増大)が知られていたが、実際の断層(特にプレート境界深部など)でもそのような過程が支配的であるかどうか保証はない。実際に、AFMを用いた原子論的摩擦実験では直接接触面積増大とは異なる物理機構でのエイジングが知られている。ここでは、アモルファス系における原子論的な構造緩和に注目し、その構造緩和の時間依存性から速度弱化型摩擦が説明できるかどうか、粗視化したモデルを構築することで検討する。

B. 断層相互作用系フルモデルの効率的シミュレータ開発

2020年度においては、前年までで構築したシミュレータを用いて、地震活動の様子を大まかに調べる。モデルでは明示的には仮定されていないゲーテンベルク・リヒター則が創発的に出現するか確かめることを第一の目的とする。第二の目的として、余震の空間分布をクーロン応力変化の観点から調べる。

C. 摩擦不安定性における応力摂動効果

前年度に行った岩石破壊実験の結果を踏まえて、2020年度においては核形成過程に応力摂動を加えた際の挙動を調べる。具体的には、無限媒質中の平面断層上に速度状態依存摩擦法則を仮定し、核形成過程を追うことで地震発生時刻(滑りが高速化する時刻)と、応力摂動の関係を定量化する。Dieterich理論の予言する指数関数依存性を検証し、特徴的な応力定数の値を同定する。

- (12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東京大学地震研究所 数理系研究部門  
東京大学大学院理学系研究科  
他機関との共同研究の有無：有  
大阪大学理学研究科 波多野恭弘  
金沢大学自然科学研究科 新山友暁

- (13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：大阪大学理学研究科宇宙地球科学専攻理論物質学講座

電話：

e-mail：

URL：<http://thmat8.ess.sci.osaka-u.ac.jp>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名：亀伸樹

所属：東京大学地震研究所

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

千島海溝・日本海溝における複合海底地震測地観測によるプレート境界の挙動解明とそのモデル化

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

( 5 ) 総合的研究との関連：

千島海溝沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果 ( または観測実績 ) の概要 :

日本海溝・相模トラフを対象として、プレート境界で起こる多様なすべり現象を海域観測で捉えるとともに、そのプレート境界でのすべり現象を模した室内実験および数値モデリング研究を行ってきた。以下にこれまでの主な実績をあげる :

- ・日本海溝中～北部陸側斜面での長期地震観測により、2011 年東北地方太平洋沖地震の破壊域外の北側においては、同地震の発生から時間が経過するにつれてプレート境界での低角逆断層型の地震が増加していることが明らかになった。

東北沖地震の地震時変動を震源域直上の海底で GPS/A および海底圧力観測で捉え、本震時のすべりが日本海溝中部に集中することと、巨大なすべりが海溝軸にまで到達したことを示した。

- ・東北沖地震後の海底地殻変動場を広く日本海溝沿いに明らかにし、地震時すべりが大きかった中部では粘弾性緩和による変動が卓越する一方で、南部では海溝軸にちかいプレート境界浅部で余効すべりが発生していることを示した。

- ・GPS/A 観測に基づいて地震後の日本海溝全域における海底地殻変動場の空間分布を明らかにした。

- ・日本海溝沿いのプレート境界においても、周期的スロースリップや VLFE、低周波微動といった多様な「ゆっくり地震」現象が発生しており、東北沖地震の発生前にはその破壊開始点の周辺で顕著な活動があったことを示した。

- ・房総沖相模トラフ陸側斜面での海底圧力観測から、2014 年 1 月頃に発生した房総沖スロースリップによる海底上下変動を検知し、これによりすべりの範囲を精度よく推定した。

東北沖地震の地震時すべり域の北限付近において、同地震の発生前後で人工地震探査を実施し、プレート境界からの地震波反射強度が東北沖地震を境に変化していることが示された。

- ・日本海溝プレート境界断層浅部の性質を理解するため、そこでの温度・圧力条件下での摩擦実験を行い、摩擦特性が粘土鉱物含有量によって系統的に変化し、同一温度でも断層帯を構成する堆積物・岩石の違いにより多様なすべりが起こることが明らかとなった。

- ・粘土鉱物であるスメクタイトの摩擦実験から、デコルマ帯の摩擦特性が深度によって顕著に変化することや、デコルマにおけるすべり特性の温度依存性が、断層帯に存在する流体の組成によって変化する可能性を示した。

- ・日本海溝掘削で得られた断層構成物質が示す低～中速摩擦特性を考慮した東北沖地震の準動的な地震発生サイクルシミュレーションを行い、スーパーサイクル挙動、海溝まで達する巨大地震の頻度、深部のみの大規模地震の頻度、巨大地震時のすべり量と発熱量、長期的摩擦発熱量の全てにおいて観測結果とよく一致するケースが得られた。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

日本海溝、房総半島沖相模トラフの沈み込み型プレート境界における多様なすべり現象の時空間分布を長期海底観測により明らかにする。余効すべりがほとんど起こっていない東北沖地震の本震時すべりが大きかった領域において、プレート内地震活動に着目して、そこでの応力状態を推定することを通して、間接的にプレート境界の力学状態の時空間分布の推定を試みる。また、本震破壊域内においてプレート境界型地震の活動が回復する過程を追跡することで、そこでの巨大地震発生後のプレート境界の固着・すべり状態を把握する。また、東北沖地震後に余効すべりが卓越している領域では、それを背景として発生している多様な低周波微動・(超)低周波地震・周期的スロースリップなどに注目して、プレート間すべり速度の時空間発展や、それらすべり現象の相互作用を明らかにする。

日本海溝と対比的に、近い将来に巨大地震が発生する可能性がある千島海溝根室沖では GPS/A 観測点や海底間音響測距からなる海底測地観測によりプレート間固着の実態、特に固着域の上端の位置を明らかにする。これに加えて、海底圧力観測の高度化によって鉛直変動場の把握を図り、プレート境界浅部での固着・すべり状態の連続的な変化の理解を試みる。海底測地観測網と陸域 GNSS 観測網を併合利用することで海域から陸域にかけた長大測地測線を構築し、千島弧のレオロジー構造を考慮することで、より正確なプレート間固着の下端の位置の推定精度を向上させ、来るべき巨大地震の震源域

の幅を制約する。

実験・モデル研究では、深海掘削により得られた試料などを用いてプレート境界の状態を再現した摩擦実験により、摩擦構成則パラメータの温度・変位速度・間隙水圧・物質（粘土鉱物含有量など）依存性を明らかにし、それらを反映した数値モデリングによって浅部から深部までのプレート境界のすべり挙動を再現する。さらに、観測により得られた知見と併せて、日本海溝や相模トラフにおけるプレート境界断層の多様なすべりの空間分布、相互作用や時間発展を明らかにするモデルの高度化を行う。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

2019 年度：

- ・千島海溝根室沖において、GNSS/A 装置及び海底間音響測距装置による海底地殻変動観測を開始する。また根室沖におけるプレート間固着の定量把握のために当該地域のレオロジー構造の検討を開始する。
- ・日本海溝北部東北沖地震震源域外側領域における日本海溝北部における GNSS/A 観測を実施する。また宮城沖において、長期観測型自己浮上式海底地震計による海底地震観測を実施する。
- ・これまでに得られた海底データを用いて、スロー地震現象の探索やプレート内応力状態の時空間変化推定を行う。
- ・深海掘削により得られた試料などを用いてプレート境界状況を再現した摩擦実験を継続する。

2020 年度：

- ・千島海溝根室沖における海底地殻変動観測を継続するとともに、ドリフト自己校正機能付海底圧力観測を実施する。広域地殻変動モデリングのためのレオロジー構造のプロトタイプモデルを構築する。
- ・日本海溝における GNSS/A 観測を継続・実施する。また、宮城沖における海底地震観測を継続する。
- ・これまでに得られた海底データを用いて、スロー地震現象の探索やプレート内応力状態の時空間変化推定を継続する。
- ・房総半島沖相模トラフ陸側斜面における自己浮上式海底圧力計の回収再設置をおこない、長期にわたる海底上下地殻変動観測を実施する。
- ・初年度に引き続き、深海掘削により得られた試料などを用いてプレート境界状況を再現した摩擦実験を継続する。

2021 年度

- ・千島海溝根室沖における海底地殻変動観測を継続し、初期的な水平変位場の検出を試みる。得られた地殻変動場を説明するプレート間固着の予察的モデルを得る。2020 年度に設置したドリフト自己校正機能付海底圧力計を回収し、その精度検証を実施する。
- ・日本海溝における GNSS/A 観測を継続する。また、宮城沖における海底地震観測を継続する。
- ・スロー地震現象の探索およびプレート内応力状態の時空間変化推定を継続する。

引き続き深海掘削やコアリングにより得られた資料を用いたプレート境界状況再現実験を継続する。

2022 年度：

- ・千島海溝根室沖における海底地殻変動観測を継続する。機能を改良したドリフト自己校正機能付海底圧力計を海底ケーブル式観測点のごく近傍に投入し、その精度検証を行う。
- ・日本海溝における GNSS/A 観測を継続する。また、宮城沖における海底地震観測を継続し、地震活動の回復の時空間分布を把握する。
- ・房総半島沖相模トラフ陸側斜面における自己浮上式海底圧力計の回収再設置をおこない、長期にわたる海底上下地殻変動観測を継続する。
- ・前年度に引き続き、深海掘削により得られた試料などを用いてプレート境界状況を再現した摩擦実験を継続しつつ、観測により得られた知見と併せて、実際のすべり現象を説明する予察的なモデルの構築を行う。

2023 年度：



- ・千島海溝根室沖における海底地殻変動観測を終了して、成果のとりまとめを行う。また地殻変動場を説明するプレート間固着モデルを構築する。前年度投入したドリフト自己校正機能付き海底圧力計を用いた観測との比較から、海底ケーブル式観測点の水圧計の長期ドリフト特性の抽出を行う。
- ・日本海溝における GNSS/A 観測を継続し、変位速度ゆらぎの有無について検証を行う。また、宮城沖における海底地震観測を継続し、東北沖地震以降の地震活動の回復の時空間分布を明らかにする。
- ・房総半島沖相模トラフ陸側斜面における海底上下地殻変動観測の結果をとりまとめ、プレート間滑りを推定する。
- ・過去 4 年間に実施したプレート境界状況を再現した摩擦実験の結果と、観測により得られた観測により得られた知見と併せて、実際のすべり現象を説明するモデルを提示する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

海域観測研究

近い将来に巨大地震が発生する可能性がある千島海溝根室沖において、GNSS/A (GPS/A) 観測を開始した。具体的には海溝軸より海側に 1 点 (G23)、海溝よりも陸側の斜面に 2 点 (陸側より G21, G22)、GNSS/A 観測点を新設した (図 1)。各観測点は 3 局ないし 4 局のミラートランスポンダーから構成されている。これらの設置は新青丸 KS-19-12 次航海で行った。設置後、海底局位置を正確に把握するために、船舶を移動させながらの測距を観測点毎に 4~6 時間実施した。さらに観測点アレイ中心における定点観測を観測点毎に 10~15 時間実施した。これによって海底地殻変動を観測するためのアレイ位置を正確に推定することができた。さらに、海溝軸を跨ぐ形で 3 点の海底間音響測距機器を設置し、観測を開始した。また、ドリフト自己校正機能付海底圧力観測装置のプロトタイプ機試験観測を実施した。具体的には海底水圧計に含まれる長期ドリフトがゼロ点 (圧力の印加がない状態での出力) でのドリフト実測値より把握という特性 (A-0-A 方式) を活用し、耐圧容器内に同機構を実装することでドリフト特性の把握を目指した。本年度は開発した機構の動作確認を、根室沖をフィールドとして実施した。その結果、2700m の水深下でドリフト自己校正のための機構が想定通り動作することを確認することに成功した。さらに、根室沖におけるプレート間固着の定量評価のためのレオロジー構造の検討を開始した。

日本海溝と千島海溝の会合部におけるプレート境界の挙動を把握することは重要であり、そのためには超低周波地震に代表されるスロー地震の観測も必要であるが、通常海底地震観測では検知困難である。そこで、会合部に海底地震計群列 (Array of Array, 以下 AoA) を設置して、地震・微動観測も併せて開始した (図 1)。AoA は 5 台の長期観測型海底地震計から構成され、中心には、Nanometrics 社 Trillium Compact (固有周期 120 秒) 地震計をセンサーとする小型広帯域海底地震計を設置し、周辺に固有周期 1 秒の長期観測型海底地震計を配置した。設置は、2019 年 7 月に行われ、消費電力の関係から、中心の小型広帯域海底地震計は観測期間 1 年、周辺の長期観測型海底地震計は 2 年である。2014 年度から開始した長期観測型海底地震計による宮城県沖におけるモニタリング観測では、2019 年 4 月に回収および再設置を行い、観測を継続した。なお、当該領域に日本海溝海底地震津波観測網 (S-net) が設置されたことを考慮して、観測網を海溝付近に移動させている (図 2)。

宮城県沖で実施してきた OBS 繰り返し観測で得られたデータを用いた震源再決定を行った上で、2011 年東北地方太平洋沖地震の前後におけるプレート内応力状態を推定した。東北沖地震の震源のすぐ西側の 1978 年宮城県沖地震の震源域直上では、2011 年以前から活発であった上盤プレート内地震活動が東北沖地震後も継続している。こうした地震の発震機構解から応力場を推定したところ、地震後の上盤内では  $\sigma_1$  軸がプレート境界面にほぼ直交する一方で、 $\sigma_2$  および  $\sigma_3$  の方位がプレート境界面からの距離に応じて変化している。これを、東北沖地震に伴う地震時応力変化の結果と仮定すると、地震前の水平面内での差応力の大きさは 15 MPa 程度であると推定される。

周期的スロースリップを繰り返す三陸沖北部の海溝近傍において、小繰り返し地震解析からすべり速度の加速が認められる 2015 年に変位速度が短期的に加速していた可能性が GNSS-A 観測の結果の再評価から示され (図 3)、次の加速の検知を目指した観測体制の強化を図った。その一環として、観

測頻度の向上の方策とする無人機による自動観測の実証実験を実施した。また、東北沖地震発生直後の2011年4月から10月までこの海域で実施した海底地震観測の記録から低周波微動を検知した。発生位置は、陸上の広帯域地震観測から検知された超低周波地震の震源のごく近くであると推定される。

日本海溝南部に設置されたGNSS-A観測点では、東北沖地震後の余効すべりがプレート境界浅部で進行していることにより、太平洋プレートに対して約13 cm/年の海溝向きの変位速度が観測されており、その近傍で低周波微動活動が起こっている。一方で、海溝軸近傍で実施した海底間音響測距観測では、海陸プレート間で4 cm/年程度の収束速度が観測されており、余効すべりが海溝軸にまで達している一方で、上盤側のプレート内変形も大きいことが明らかとなった。

#### 実験・モデリング研究

北米フランスカン帯の泥質岩・蛇紋岩試料を用いて、温度20~400 °C、有効垂直応力80~180 MPa、変位速度0.3~100  $\mu$  m/sの条件下で熱水摩擦実験を行い、定常摩擦係数 $\mu_{ss}$ の変位速度依存性(a-b値; 正ならば断層運動は非地震性で、負ならば断層運動は地震性の可能性がある)を求めた。その結果、泥質岩試料のa-b値は温度の増加にしたがって正から負に遷移したのに対し、蛇紋岩試料のa-b値は20 °Cと300 °Cにおいて負の値を示した(図4)。このことは、地震発生帯付近のプレート境界深度において、海洋プレート表層物質は地震の破壊核を形成する可能性を示唆する。

日本海溝に沈み込む海洋プレートの基盤岩・表層堆積物(玄武岩・チャート・遠洋性粘土・半遠洋性粘土)試料について、日本海溝沈み込み帯浅部の温度(25~200 °C)・封圧(100 MPa)・間隙水圧(50 MPa)条件下で軸方向変位速度を0.1~10  $\mu$  m/sの間でステップ状に変化させながら三軸摩擦実験を行い、摩擦特性の温度変化について検討した。実験の結果、定常摩擦係数 $\mu_{ss}$ は粘土鉱物含有量の増加に伴い系統的に低下し、同一試料では温度上昇に伴い増加する傾向が認められた。一方、a-b値は温度上昇に伴い減少し、200 °Cでは全試料で固着すべり(地震性断層運動に相当)が観察された(図5)。a-b値が正から負へと変化し、非地震性断層運動から地震性断層運動への遷移が起こる温度は、チャート試料で25 °Cと100 °Cの間、玄武岩試料で約100 °C、遠洋性粘土試料と半遠洋性粘土試料で100 °Cと200 °Cの間と、岩質により異なる。これは同一深度でも断層帯を構成する堆積物・岩石によって、地震性~非地震性の多様な断層運動が起こることを意味する。

大地震につながるプレート境界型地震はアスペリティの破壊によって起きると指摘されており、そのアスペリティの形成要因の一つとして考えられているのが海山の沈み込みである。そこで、山口県秋吉台で採取した海山由来の緑色岩について、変位速度0.0013~1.3 m/s、垂直応力0.7~4 MPaの条件で回転剪断試験を行い、海山がどのような摩擦特性を持つのか、付加体中物質やプレート境界物質の摩擦特性とどう違うのかについて検討した。実験の結果、変位速度0.013 m/sにおいてわずかな速度強化がみられ、また日本海溝に沈み込む堆積物や南海トラフ付加体堆積物と比較し、大きな強度をもつことがわかった(図6)。海山由来の緑色岩は、その摩擦係数の大きさや速度強化の特性から、固着域になりうる性質をもち、地震時に破壊が伝播するのを防ぐ可能性がある。

#### (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Hirauchi, K., Y. Yamamoto, S. A. M. den Hartog, and A. R. Niemeijer, 2020, The role of metasomatic alteration on frictional properties of subduction thrusts: An example from a serpentinite body in the Franciscan Complex, California, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **531**, 115967, doi:10.1016/j.epsl.2019.115967.

Honsho, C., M. Kido, F. Tomita, and N. Uchida, 2019, Offshore postseismic deformation of the 2011 Tohoku Earthquake revisited: Application of an improved GPS-Acoustic positioning method considering horizontal gradient of sound speed structure, *J. Geophys. Res.*, **124**, 5990-6009, doi:10.1029/2018JB017135.

Kitamura, M., H. Kitajima, H. Sone, Y. Hamada, and T. Hirose, 2019, Strength profile of the inner Nankai accretionary prism at IODP Site C0002, *Geophys. Res. Lett.*, **46**, 10791-10799.

Kono, A., T. Sato, M. Shinohara, K. Mochizuki, T. Yamada, K. Uehira, T. Shinbo, Y. Machid, R. Hino, and R. Azuma, 2019, 2D spatial distribution of reflection intensity on the upper surface of the Philippine Sea plate off the Boso Peninsula, Japan, *Tectonophysics*, **774**, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2019.228206>.

- Ohta, K., Y. Ito, R. Hino, S. Ohyanagi, T. Matsuzawa, H. Shiobara, and M. Shinohara, 2019, Tremor and inferred slow slip associated with afterslip of the 2011 Tohoku Earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, **46**, 4591-4598, doi:10.1029/2019GL082468.
- 太田和晃・伊藤喜宏・日野亮太・大柳修慧・松澤孝紀・篠原雅尚・塩原肇, 2019, Tremor and slow slip associated with afterslip of the 2011 Tohoku earthquake, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, SCG48-14.
- 太田雄策・木戸元之・東龍介・佐藤真樹子・鈴木秀市・山本龍典・高橋秀暢・木村友季保・大塚英人・本莊千枝・日野亮太・大園真子・岡田和見・青田裕樹・高橋浩晃・篠原雅尚・富田史章・金松敏也・Kan-Hsi Hsiung・飯沼卓史, 2019, 千島海溝南西部根室沖における海底測地観測網の構築, 日本地震学会 2019 年度秋季大会, S03-10.
- 太田雄策・日野亮太・佐藤真樹子・鈴木秀市・梶川宏明・小畠時彦, 2019, 非定常地殻変動の把握を目指した A-0-A 方式による深海対応海底水圧計ドリフト補正システムの開発 (第 2 報), 日本測地学会第 132 回講演会, 35.
- 大柳修慧・太田和晃・伊藤喜宏・日野亮太・太田雄策・東龍介・篠原雅尚・望月公廣・佐藤利典・村井芳夫, 2019, High definition imaging of the Japan Trench by OBS Array of Arrays: Does shallow tectonic tremor occur in the plate interface?, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, SCG48-15.
- Ohyanagi, S. K. Ohta, Y. Ito, R. Hino, R. Azuma, M. Shinohara, K. Mochizuki, T. Sato and Y. Murai, 2019, Locating shallow tectonic tremor with high precision: OBS Array of Arrays observation near the Japan Trench, AGU 2019 Fall Meeting, T43G-0407.
- 村田耕一・佐藤利典・長谷川晟也・塩原肇・山田知朗・篠原雅尚, 2019, 海底圧力計を用いた 2018 年房総沖スローリップによる海底の上下変動の検出, 日本地震学会講演予稿集 2019 年度秋季大会, S03P-01.
- 西森智也・日野亮太・篠原雅尚, 2019, 2011 年東北地方太平洋沖地震後の震源域における地震活動と応力場の空間分布, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, SSS10-09.
- Shibazaki, B., Wallace, L. M., Kaneko, Y., Hamling, I., Ito, Y., and Matsuzawa, T. (2019) Three dimensional modeling of spontaneous and triggered slow slip events at the Hikurangi subduction zone, New Zealand, *J. Geophys. Res.*, **124**, 13,250-13,268.
- 高橋秀暢・日野亮太・太田雄策・内田直希・鈴木秀市・篠原雅尚・松澤孝紀, 2019, Possible tectonic tremor activities near the VLFE epicenters in the Snariku-Oki region in 2011, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, SCG48-P38.
- 高橋秀暢・日野亮太・太田雄策・内田直希・鈴木秀市・篠原雅尚, 2019, 短周期 OBS データのクラスタ解析による低周波微動検知の試み, 日本地震学会 2019 年度秋季大会, S22P-04.
- Takahashi, H., R. Hino, Y. Ohta, N. Uchida, S. Suzuki, and M. Shinohara, 2019, Clustering of records of short-period ocean-bottom seismometers, AGU 2019 Fall Meeting, T43G-0386.
- 山本龍典・日野亮太・木戸元之, 2019, IPR ( Indirect Path Ranging ): 中継機を利用した長基線音響測距を可能にする手法, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, SCG56-20.
- 山本龍典・日野亮太・木戸元之・本莊千枝・長田幸仁・小平秀一・中村恭之, 2019, 海底間音響測距観測による 2011 年東北地方太平洋沖地震後の余効すべり不均質の直接検出, 日本地震学会 2019 年度秋季大会, S03-05.

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

海域観測研究

- ・千島海溝根室沖における海底地殻変動観測を継続する。さらに令和元年度に機構が動作することを確認したドリフト自己校正機能付き海底圧力観測システムの開発を進め、より長期間のデータ取得による性能評価を実施する。さらに、広域地殻変動モデリングのために必要となるレオロジー構造について検討を進め、プロトタイプシステムの開発に着手する。
- ・日本海溝と千島海溝の会合部における AoA 観測を継続する。また、宮城県沖におけるモニタリング

観測についても、観測が終了した海底地震計を回収するとともに、スロー地震活動把握のための海底地震計アレイ観測に着手するなど、日本海溝北部での観測を継続する。また、スロースリップイベント観測のために房総半島沖で継続している精密海底水圧計を用いた海底上下地殻変動観測について、精密海底水圧計の回収及び再設置を行う。海底観測で得られたデータ処理を実施して、地殻活動の把握を行う。

#### 実験・モデリング研究

・沈み込み帯プレート境界で起こる流体交代作用は、断層物質を構成する鉱物種を変化させることから、プレート境界の摩擦特性に大きな影響を及ぼすと考えられる。そこで令和2年度では、流体交代作用の痕跡を示すプレート境界断層岩を用いて摩擦実験を行い、断層強度および a - b 値に対する交代作用の影響について明らかにする。

・日本海溝へ沈み込む海洋プレートの基盤岩・表層堆積物試料について沈み込み帯震源域上限付近の温度・圧力条件下で三軸摩擦実験を継続し、摩擦特性に対する間隙水圧の影響を検討する。

・沈み込む海山の地震アスペリティとしての可能性を探るため、海山が存在する領域の温度圧力条件下で三軸摩擦実験を行い、その摩擦特性を検討する。

#### (12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

篠原雅尚・塩原肇・望月公廣・山田知朗・一瀬建日・悪原岳（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

海域観測班：日野亮太・木戸元之・太田雄策・東龍介（東北大学）・高橋浩晃・村井芳夫・大園真子（北海道大学）・佐藤利典（千葉大学）伊藤喜宏・山下裕亮（京都大学防災研究所）・八木原寛・仲谷幸浩（鹿児島大学）・気象庁

実験・モデリング班：金川久一・澤井みち代（千葉大学）・平内健一（静岡大学）・廣瀬文洋・谷川亘（海洋研究開発機構）・芝崎文一郎（建築研究所）・野田博之（京都大学）・安藤亮輔（東京大学）

#### (13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

#### (14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：篠原雅尚

所属：東京大学地震研究所

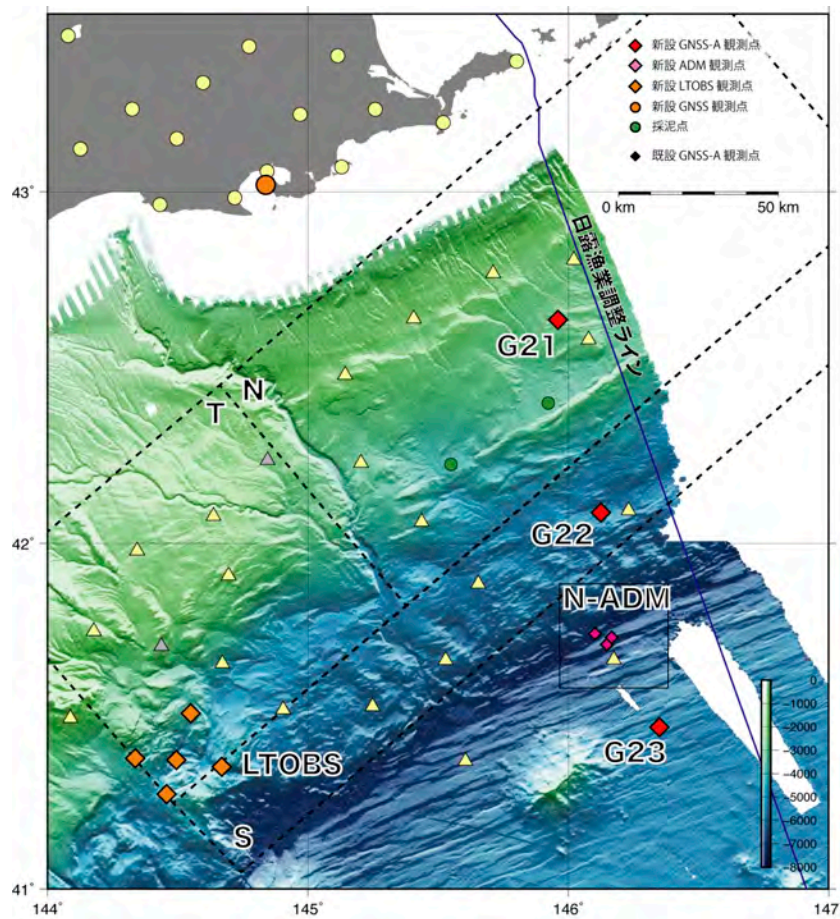


図 1

千島海溝根室沖に新設した海底測地観測網の配置図。

G21, G22, G23 が GNSS/A 観測点、N-ADM が海底間音響測距の観測点をそれぞれ示す。陸上の黄色丸印は GEONET 観測点、オレンジ色の丸印が GNSS/A 観測のために新設した陸上 GNSS 観測点をそれぞれ示す。オレンジ色の四角は、地震・微動を観測する AoA を構成する海底地震計の位置を示す。

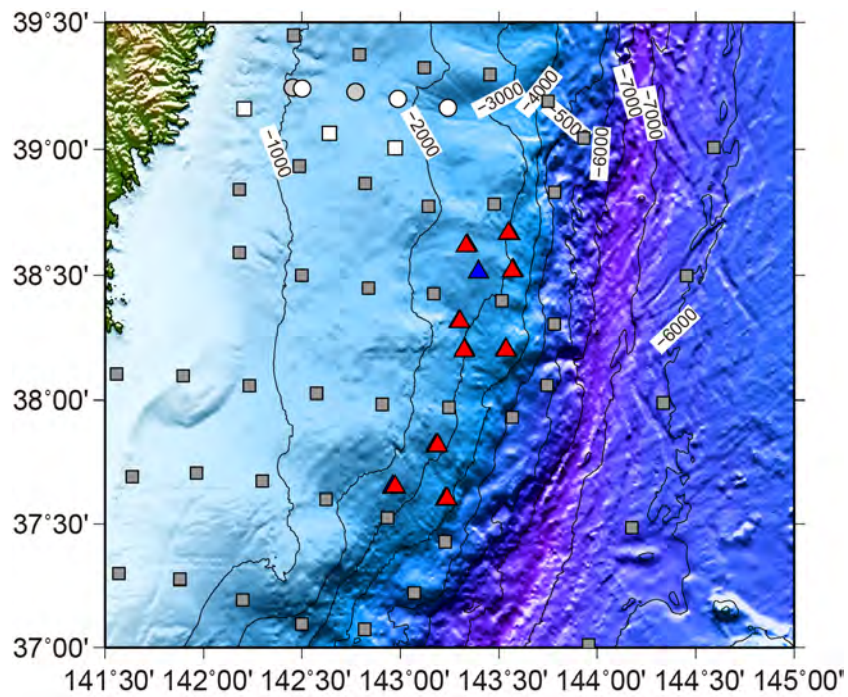


図 2

2019 年度の海底地震観測点の分布。

赤三角は、2019 年 4 月に自己浮上式長期観測型海底地震計の回収および再設置を行った点、青三角は回収のみを行った点を示す。使用した自己浮上式海底地震計はすべて固有周期 1 秒の地震計を搭載している。四角および丸は、海底ケーブル観測システムによる地震・津波観測点。



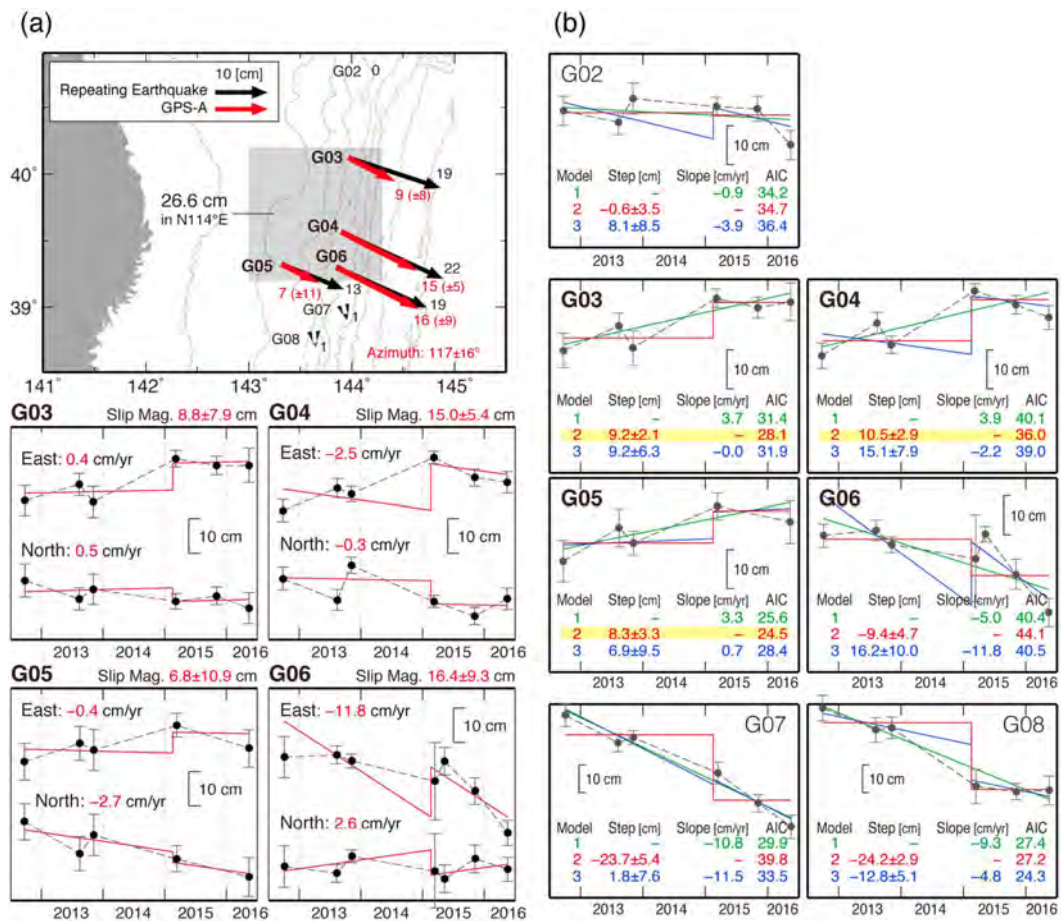


図 3

2015年に発生したスロースリップイベントに伴うGNSS-A観測点の変位。(a)灰色矩形断層でのすべり(26.6cm, N114E)を仮定したときの変位(黒)とGNSS-A観測によるスロースリップ発生時の変位(赤)。下は各観測点での変位時系列とそれらに一定変位レート+2015年のステップを当てはめたもの(赤線)。(b)GNSS-A観測の変位時系列に、一定レート(緑)、ステップのみ(赤)、一定レート+ステップ(青)を当てはめたものの比較(Honsho *et al.*, JGR, 2019)。



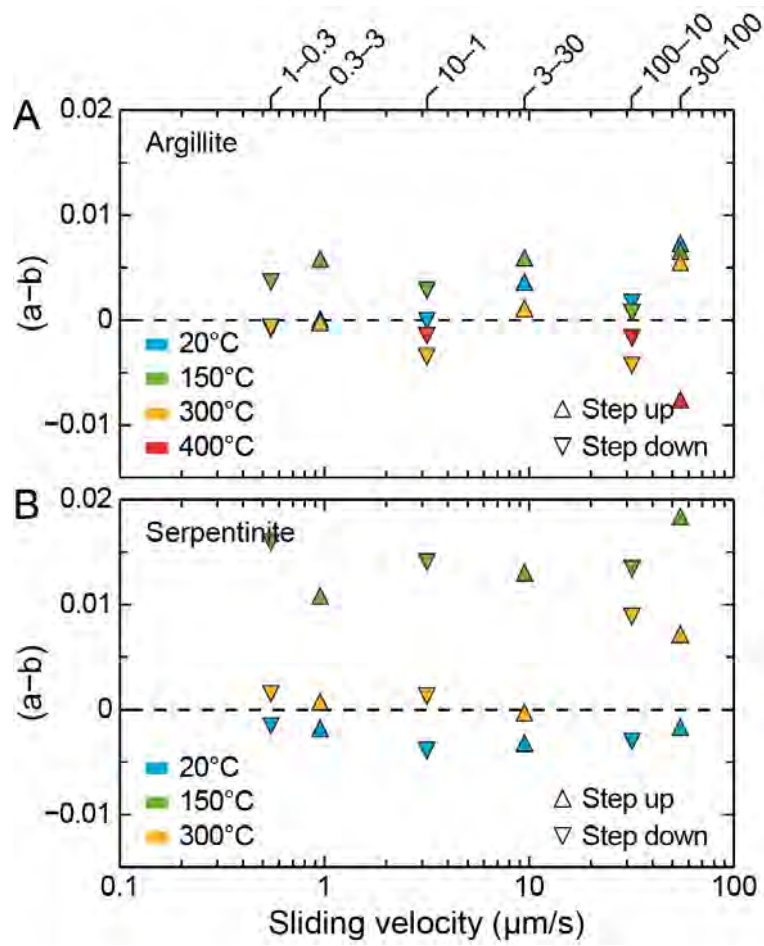


図 4  
 泥質岩・蛇紋岩試料の  $a - b$  値と変位速度の関係 (Hirauchi *et al.* (2020) を一部改変。)

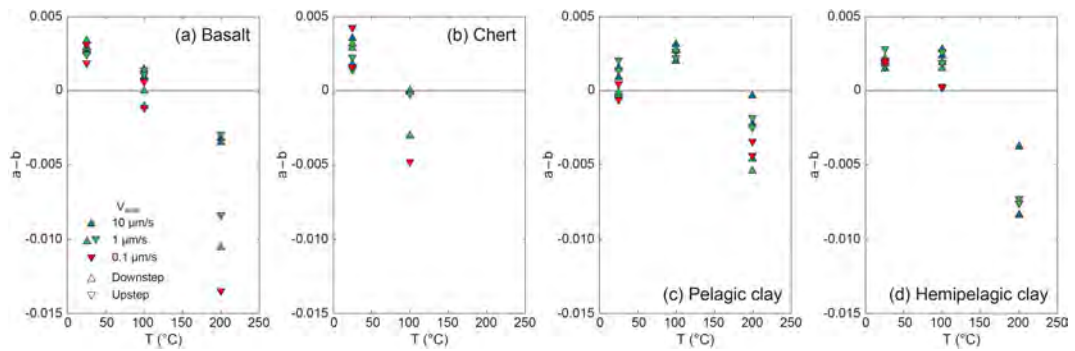


図 5  
 玄武岩試料 (a)、チャート試料 (b)、遠洋性粘土試料 (c) および半遠洋性粘土試料 (d) の  $a - b$  値の温度変化。

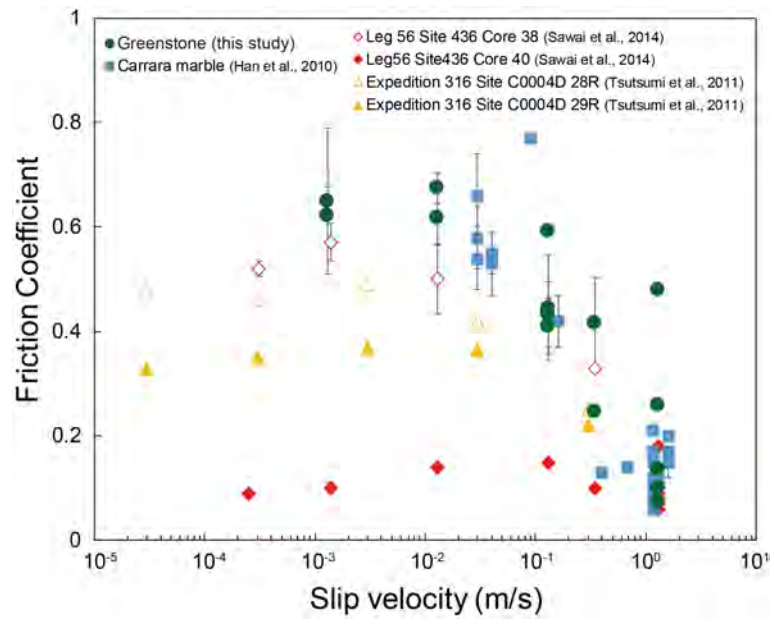


図 6

海山構成物質、日本海溝および南海トラフ掘削試料の摩擦強度の変位速度依存性。

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

より現実的な断層面ダイナミクス

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

千島海溝沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

課題 1507(次世代プレート境界地震発生モデル構築のための実験的・理論的研究)において、実験と理論の改良によって、脆性-延性遷移域の強度プロファイルに関する重要な知見を得た。また、実験と理論から、速度・状態摩擦則の物理的理解を進めた。また、熱水下での長距離摩擦試験によって、プレート境界に広く存在する緑泥石が、広い範囲で低い強度と速度強化を示すことを見出した。また、透明材質を用いた摩擦試験において、局所的、瞬間的におきる高温を正しく測定する技術を開発した。また、摩擦発熱による間隙水の膨張が、すべり挙動に及ぼす効果を俯瞰的にみる理論体系を作った。また、数値シミュレーションによって、摩擦面が非平面であることが滑りを安定化させる効果があることを見出した。また、不均質媒質中の破壊シミュレーションを行うときに必要な応答関数を導出し

た。また、連続体中での摩擦すべりのモードを俯瞰的に理解する数理解析を行った。また、ヒーリングメカニズムのカットオフ現象を仮定することで、巨大な SSE を含む地震のサイクルシミュレーションを行い、確率的な予測につなげる方法を提示した。また、実験で改良された摩擦則を用いて、動的・静的な地震トリガ効果を再評価し、これらを統一的に表現する方法を提案した。また、東北地震後におきたリピーターの発生パターンの顕著な変化が余効滑りによる非正常な載荷に対する、速度・状態依存摩擦の応答として説明できることを示した。

(7) 本課題の5か年の到達目標：

様々な滑りイベントが大地震を誘発する可能性が観測から示唆されているが、大地震を対象に経験の蓄積によって誘発確率を推定するには非常に長い時間がかかる。地域によっては、リアルタイムでゆっくり滑りの発展をモニタできる場合があり、予想される推移とそれが地震発生につながる可能性について緊急に評価を迫られる状況が起きうる状況である。断層ダイナミクスにもとづく演繹的なモデルによって、確率的な推移予測を行うには、低速から高速までの変形に対する現実的な断層物性の巨視的な分布と、観測から伺い知れない小規模の不均質が推移にどれくらい影響するかを知ることが必要である。これまでの計画で高度化してきた室内実験、数値実験、理論的考察によって、以下の点を明らかにする。断層深部においては、岩石のバルク流動の実験データを充実させ、理論モデルを用いて外挿する。摩擦実験においては、SSEの有力なメカニズムである、ヒーリングメカニズムのカットオフ現象を解明する。また、動的破壊時の高速滑りに関して最も一般的なメカニズムと期待されるフラッシュヒーティングによる発熱分布をその場観察によって解明する。様々な非線形な摩擦に支配される断層の滑りモードを俯瞰的に理解する数理論を構築する。一方で、プレート境界にひきずり込まれた堆積物の状態を推察するために、熱水下での粉体の固結の進行に伴う機械・水理物性を実験によって解明するとともに、不均質な材料中での破壊シミュレーションにおいては、計算効率を評価し、その向上を目指す。また、摩擦物性の不均質によって、SSEや余効滑り、粘性緩和、他の地震による応力擾乱などの非正常な載荷への応答にどのようなバリエーションが現われるかを解明する。

(8) 本課題の5か年計画の概要：

室内実験、理論研究、数値シミュレーションは、連携を保ちつつ独立に進める。

A. フラッシュヒーティング、摩擦実験、粉体固結、超低速流動実験を安定して行うため、平成31-32年度に試料アセンブリや温度分布、計測・制御システム等の改良・調整を行い、平成33年度からデータ取得を開始、最終年度には現象論的、もしくは物理ベースの定式化を行う。

B. 数値シミュレーションでは、平成31-32年度に摩擦特性の不均質、非正常な載荷履歴、粘弾性の効果を調査するためのモデルを作成し、平成33年度からシミュレーション結果の解釈を行う。

C. 不均質媒質中の破壊伝播では、徐々にモデルのスケールを徐々に拡大しながら計算コードの実証を行ない、効率的な実装を目指す。また、断層面での破壊モードの解析的研究においては、より一般的な摩擦則の場合および物性に不均質がある場合への拡張を進める。

(9) 令和元年度の成果の概要：

断層帯においては雲母粘土鉱物が摩擦強度の低下をもたらすことが知られてきたが、海溝型地震発生帯や地殻中部に匹敵する高温度・高間隙圧条件での実験データは少なく、塩基性(玄武岩質)岩石において重要な含水鉱物である緑泥石については皆無であった。そこで、ほぼ100%緑泥石のみよりなる人工ガウジの低速・大変位摩擦試験(速度ステップ試験)を室温-600、間隙圧50-220 MPa、法線応力100-400 MPa(有効法線応力50-240 MPa)で系統的に行い、緑泥石が広い温度圧力条件下で0.3程度の低い摩擦係数と速度強化特性を示すことを明らかにした(図1; Okamoto et al., 2019)。この結果は沈み込みプレート境界の地震発生深度でも、玄武岩質の海洋地殻からの緑泥石に富む変成岩が存在する領域では安定滑りが卓越する可能性があること、すなわちプレート境界断層の性質が岩質に強く依存することを示唆している。また、地殻の重要な鉱物である石英についての変形実験を計画してお

り、今年度は高温高圧下の静水圧下での結晶成長素過程について報告した (Fukuda et al., 2019)。

動的破壊時の高速滑りに関して最も一般的なメカニズムと期待されるフラッシュヒーティングによる発熱分布の直接測定に取り組んでいる。本年度は、実験後の試料観察で溶融の痕跡を確認できるように、高速せん断される試料として人工石英単結晶を使用し、高感度カラー高速度カメラと色収差を低減した高性能レンズでその場観察を実施し、局所的に短時間達成されるフラッシュヒーティング温度を二色温度法で推定した (図 2)。法線応力 0.3MPa、すべり速度 1m/s において、接触点温度は融点程度である 1900 程度まで上昇していた。

脆性 塑性遷移の研究は、これまでは、室温において高圧まで岩塩の変形特性を調べたデータが用いられてきたが、温度を上げて岩塩の変形特性の実験ができるよう、シール材等を試行錯誤している。また、老朽化によって不具合がでていた二軸摩擦試験機の制御システムをデジタル化して構築しなおす作業が八割完了した。また、熱水下での粉体固結試験のための断熱スパーサー・ジャケット・透水フィルタ等を試行錯誤している。

昨年度報告した、粘弾性媒質中にある摩擦断層の地震サイクルシミュレーションについては、そこでえられた結果から次のような断層力学上の意義を考察した (Miyake and Noda, 2019)。1) 開発した計算手法は、既存のスペクトル境界積分法への簡単な変更だけで媒質の粘弾性が近似なく実装でき、計算コストもほとんど増えないため、広い応用が期待できる。2) 直感に反して、媒質の粘性緩和は SSE のような非地震性の振動解がおきる条件範囲を狭める方向にはたらく (図 3)。3) 粘性があることで、サイズの大きな断層の固着部 (アスペリティ) ほどプレートの相対運動が岩盤内の粘性変形でまかなわれてしまうので、大きな地震は起こりえないことになる (永久固着解)。4) 粘性がある場合、小さな擾乱から始めれば定常滑りや振動解が安定な条件であっても、大きな擾乱によって、永久固着となってしまう場合がある。

いっぽうで、SSE による载荷が地震をトリガする効果の基礎的な見通しをえるために、1 自由度バネブロックモデルにおいて、SSE を模した小さなステップ的な载荷が定常的なプレート運動からの载荷に周期的に重畳している系のふるまいをサイクルシミュレーションによって調べたところ、総体的にみれば定常载荷に近い、頻繁に繰り返す小さな SSE の場合ですら、地震の発生サイクルが、SSE のサイクルに完全に同期してしまう「引き込み現象」がおきることが見いだされた (Ohtani et al., 2019)。同程度の大きさの摩擦ブロック間での引き込み現象は既に知られている (Sugiura et al. 2014) が、大きな地震のリズムが、それよりずっと小さな SSE のリズムに引き込まれてしまうのは意外な発見である。この引き込み同期は非常に広い条件範囲で普遍的におきるが、その仕方は、SSE 周期の整数倍の一定周期で地震がおきる単純なものから、地震数回をひとつの単位として SSE 周期の整数倍になり、そのあいだ地震発生間隔がきまったパターンで平均から増減する複雑なものまでさまざまである (図 4)。基本的には、1 回の SSE が大きなインパクトをもち頻度が少いほど単純な同期パターンになりやすい傾向があり、SSE はそのインパクトの大きさに応じて、地震発生間隔を SSE の影響がない場合の自然な周期からずらす力をもつように見える (図 4)。ただし、どのような同期パターンでも、地震の発生がとりわけ SSE の発生後短期間に集中する傾向は見られない。なお、SSE が瞬間的なステップではなく、現実の SSE のように有限の期間をもって滑るものであっても、引き込み同期は同じようにおこることも確認された。

一方で、地震による応力擾乱の影響の考察として、2016 年 4 月 1 日に三重県南東沖で発生した地震 (Mjma6.5) による、静的および動的応力擾乱が、プレート境界の摩擦滑りに与える影響を推定した。図 5(a)(b) のように、地震による応力擾乱は、震源の周囲に局在している。動的応力の擾乱は静的応力の擾乱よりずっと大きいだが、過渡的なものであるため、断層への影響は必ずしも大きくない。しかし、低速のクリープが可能な RSF 摩擦則をもちいて、有限時間継続した地震波による動的応力擾乱の積分的な効果を計算し等価な静的応力変化に焼きなおした (Yoshida, 2018) 量进行评估してみると、図 5(c) のように、有効法線応力の低い海溝軸に沿って大きな影響が期待される。この地震後の 4 月 3 日から 4 月 18 日に海溝軸付近で SSE や超低周波地震のまとまった活動がみられたが、その説明になるのかもしれない。なお、RSF 摩擦則には、剪断応力依存性 (Nagata et al., 2012) および法線応力依存性

(Linker and Dieteirch, 1992) をとりこんだものを使い、また、地震による、静的および動的な応力擾乱は、OpenSWPC(Maeda et al., 2017) を Maeda(2019) が応力テンソルも求められるように改良したヴァージョン 5 を用いた。その計算手法では、粘弾性、複雑な地形形状、日本列島全体の不均質速度構造の仮定のもと安定な計算を可能とする最新鋭の数値計算技法が盛り込まれている。

連続体中の断層の破壊モードに関して新たな統一的理解の枠組みをつくるために、これまで、図 6 の A のように速度のみに依存する摩擦則をもつ断層面に載荷した場合に、このような閾値的静摩擦というものをもたない断層でも、載荷力の大きさに応じて、巨視的な高速破壊(地震)もしくは、すぐに減衰してしまう非地震性のクリープすべりイベントがおこり、その条件は、高速側で摩擦がゼロになる速度及び、その直前の速度弱化レートで決まることを、解析的に証明した。本年度は、より一般的な摩擦の場合にどうなるかを調べるため、図 6 の B のように、高速側で摩擦はゆるやかに速度弱化しつつも、高い速度まで有限値でありつづけるような摩擦則を用いて、数値実験を行った。このような摩擦では、無限に走りつづけるような高速すべりイベントはなくなるが、それでも、載荷力の閾値付近での、クリープイベントから、大きく広がる地震的イベントへの遷移(イベント継続時間が載荷力のべきで増加する)は同じようにおこることが確認され、特に、地震型イベントの最低破壊伝播速度に関する表式は図 6 の A の形の摩擦則に対して解析的に導いたものが通用することがわかった(Suzuki and Matsukawa, 2019)。

一方、断層運動を観測する新たな窓として、断層運動と地震波が作り出す震源近傍の密度変化が、光速で伝播する重力変化信号として P 波到達前に重力計や地震計に到達で検出することが考えられる。2011 年東北沖地震(M9)時にこれが実際に観測されたと先行研究(Montagner et al.2016; Vallee et al., 2017)で報告されている。これは、即時警報を大きく向上させる可能性をもつものであるが、先行研究では偶然ノイズである可能性が残る。ここでは因果律をみたすフィルタ処理だけを行った F-net の広帯域地震計 27 点のスタックによって 7 シグマをこえる有意な変化をみだし(図 7)、ノイズである可能性は極めて小さいことを示した(Kimura et al., 2019)。また、この重力変化により引き起こされる弾性変形が、総内力ゼロとなる不思議な変形であることを指摘し、その力学機構を理論的に示した(木村・亀, 2019; Kame and Kimura, 2019)。

おおむね(8)の通りに進捗したが、本年度は急遽即時重力波の問題に取りくんだため、今年度は不均質媒質中の破壊伝播の計算法の開発は行わなかった。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Fukuda, J., H. Raimbourg, I. Shimizu, K. Neufeld, H. Stunitz, 2019, Experimental grain growth of quartz aggregates under wet conditions and its application to deformation in nature, *Solid Earth*, 10:621-636. <https://doi.org/10.5194/se-10-621-2019>.

Kame, N. and M. Kimura, 2019, The fundamental nature of a transient elastic response to prompt gravity perturbations, *Geophys. J. Int.*, 218, [doi.org/10.1093/gji/ggz196](https://doi.org/10.1093/gji/ggz196).

Kimura, M., N. Kame, S. Watada, M. Ohtani, A. Araya, Y. Imanishi, M. Ando, and T. Kunugi, 2019, Earthquake-induced prompt gravity signals identified in dense array data in Japan, *Earth, Planets and Space*, 71, DOI: 10.1186/s40623-019-1006-x.

Kimura, M., N. Kame, S. Watada, M. Ohtani, A. Araya, Y. Imanishi, M. Ando, and T. Kunugi, 2019, Reply to comment by Valee et al. on "Earthquake-induced prompt gravity signals identified in dense array data in Japan", *Earth, Planets and Space*, 71, doi:10.1186/s40623-019-1099-2.

木村将也・亀伸樹, 表現定理とグリーン関数(3) 全無限グリーン関数の 2 階微分を用いた点震源が引き起こす歪み・応力・密度摂動場の表現, 2019, *地震*, 2, 71, 153-160, DOI:10.4294/zisin.2017-20.

Miyake, Y., and H. Noda, 2019, Fully dynamic earthquake sequence simulation of a fault in a viscoelastic medium using a spectral boundary integral equation method: does interseismic stress relaxation promote aseismic transients?, *Earth, Planets, and Space*, 71:137, doi:10.1186/s40623-019-1113-8.

Ohtani, M., N. Kame, and M. Nakatani, 2019, Synchronization of megathrust earthquakes to periodic slow

slip events in a single-degree-of- freedom spring-slider model, Scientific Reports, vol.9, Article No. 8285, <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44684-4>.

Okamoto, A. S., B. A. Verberne, A. R. Niemeijer, M. Takahashi, I. Shimizu, T. Ueda, and C. J. Spiers, 2019, Frictional properties of simulated chlorite gouge at hydrothermal conditions: Implications for subduction megathrusts. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124, 4545-4565. <https://doi.org/10.1029/2018JB017205>.

Suzuki, T., and H. Matsukawa, 2019, Transition between Macroscopic Steady Slippage and Creep Motion in a System with Velocity-Dependent Friction Stress, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 88, 114402, doi:10.7566/JPSJ.88.114402.

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

力学実験においては、装置・試料アセンブリ等の調整を進め予察的なデータの取得をめざす。フラッシュヒーティング実験においては、条件を変えたデータを取得し、実験後試料と比較する。不均質中での破壊計算法の手法開発については、3次元問題の数値解法に必要な応力カーネル関数の導出を行う。また、2次元不均質媒質中での効率的な算法の開発を行う。地震発生シミュレーションへの応用においては、深さ方向にある大規模で系統的な構造不均質から期待される典型的なサイクルパターンが、様々な不規則要因によってどの程度乱されるかを調べるために必要なモデル群を開発する。断層の巨視的破壊モードの統一的理論については、摩擦則にさらなる一般性を用いてこれまでの成果を拡張することをめざす。広帯域地震計を用いて成功した地震即時重力信号の検知については、異なる物理センサーの記録を用いた検討を行う。また、検知された信号の説明を試みる物理モデルが複数提案されており、その妥当性をデータを用いて定量的に検討する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学地震研究所 中谷正生、亀 伸樹、吉田真吾

他機関との共同研究の有無 : 有

京都大学大学院理学系研究科 清水以知子

京都大学防災研究所 野田博之

青山学院大学 鈴木岳人

産業技術総合研究所 大谷真紀子

海洋研究開発機構 桑野 修

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話 : 03-5841-5787

e-mail : [yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp](mailto:yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp)

URL : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 中谷正生

所属 : 東京大学地震研究所



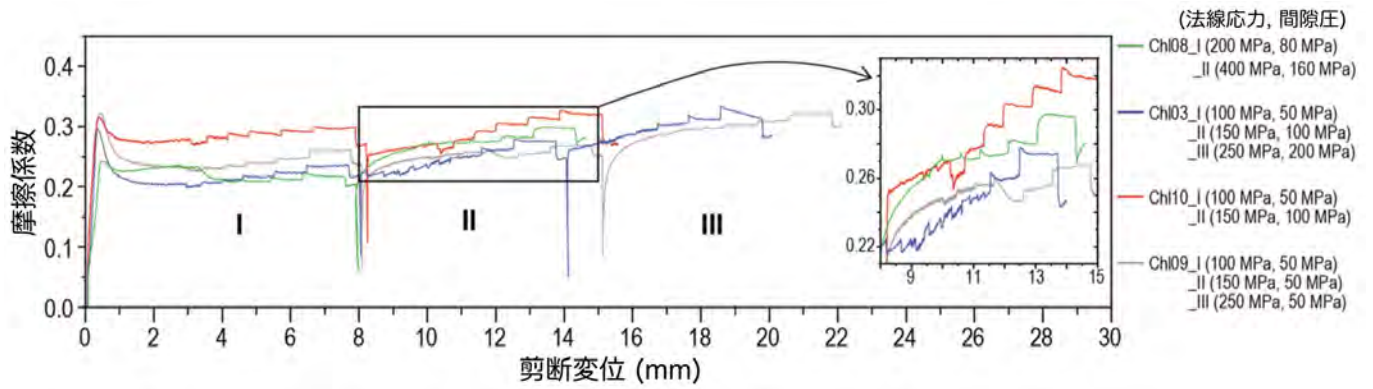


図 1. 緑泥石ガウジの摩擦特性 (Okamoto et al., 2019 より改変)

各ランを法線応力・間隙の違う 3 つのステージ (I-III) にわけ、それぞれのなかで速度ステップ (1-0.3-1-3-10-30-100-1 um/s) を行った。温度は全て 300 。

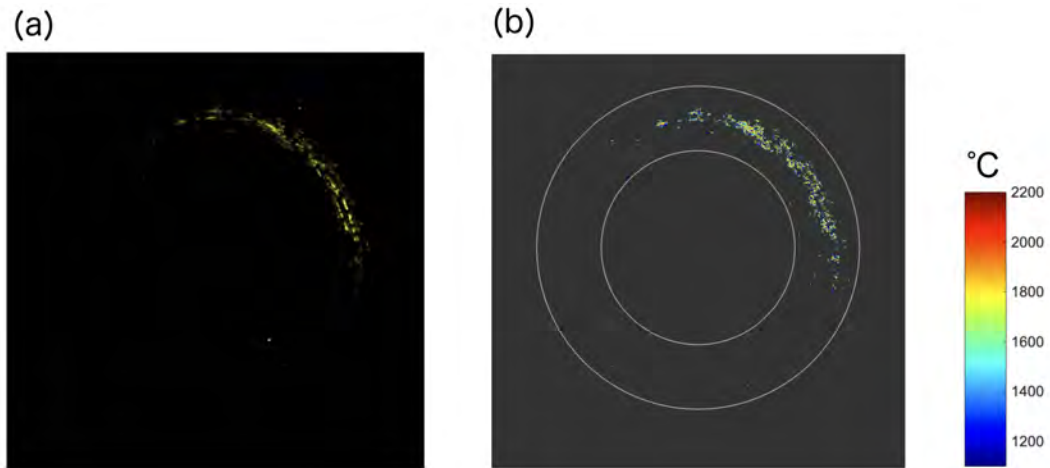


図 2. フラッシュヒーティングのその場観察

試料は外径 10 mm、内径 6 mm の単結晶石英リング。法線応力 0.3 MPa のもと、すべり速度 1 m/s で 4 秒間滑らせる間の動画を撮影した。(a) 動画の各ピクセルの最大輝度。(b) 二色法により推定された、最高到達温度の分布と温度スケール。

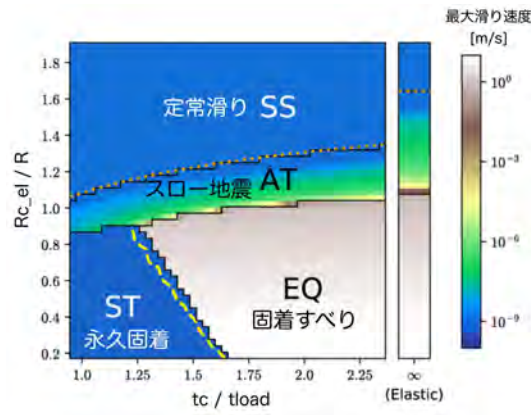


図 3. 岩盤の粘性流動による断層の滑りモードへの影響を整理した相図 (Miyake and Noda, 2019 より改変)  
 横軸 (粘性緩和時間  $t_c$  / 速度弱化パッチへの特徴的载荷時間  $t_{load}$ ): 小さいほど粘性緩和の影響が顕著。縦軸 (弾性体中での臨界核サイズ  $R_{c,el}$  / 速度弱化パッチサイズ  $R$ ): 摩擦モードの安定性の目安となる。それぞれの条件でのサイクルシミュレーションでみられた最大滑り速度をカラープロットした。

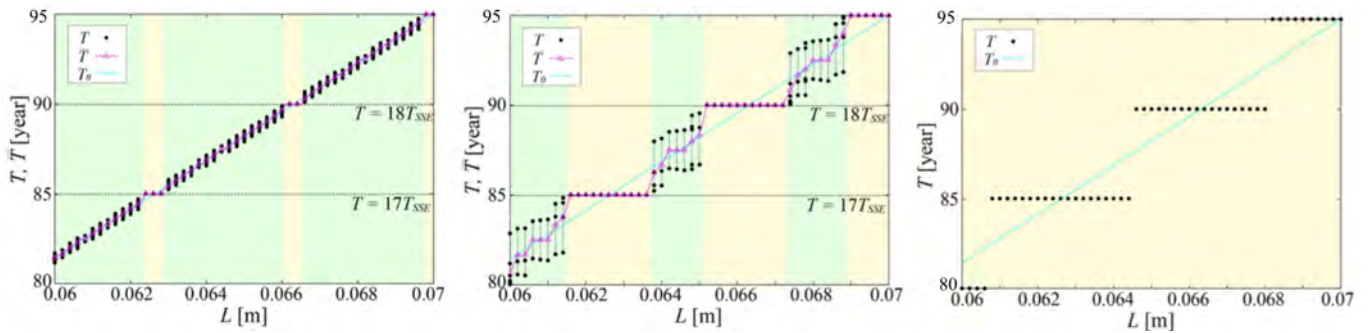


図 4. 5 年周期でおきる SSE の影響を受ける場合の地震の発生間隔 (Ohtani et al., 2019 より改変)  
 横軸: 摩擦則の特徴的滑り距離  $L$ 。縦軸: (黒丸) 地震の発生間隔  $T$ 。(青三角) 複数の  $T$  が現れる場合の  $T(L)$  の平均値。(青実線) 定常的な载荷の場合 (SSE が無い場合) の地震の発生間隔。(a),(b),(c) の順に仮定した SSE が大きい。薄黄にぬったところでは、SSE 周期の整数倍の  $T$  が 1 種類だけ現れる。薄緑にぬったところでは、複数の地震をひとつのまとまりとする周期的ふるまいとなり、その間に複数の  $T$  が現れ、それらの合計が SSE 周期の整数倍になる。

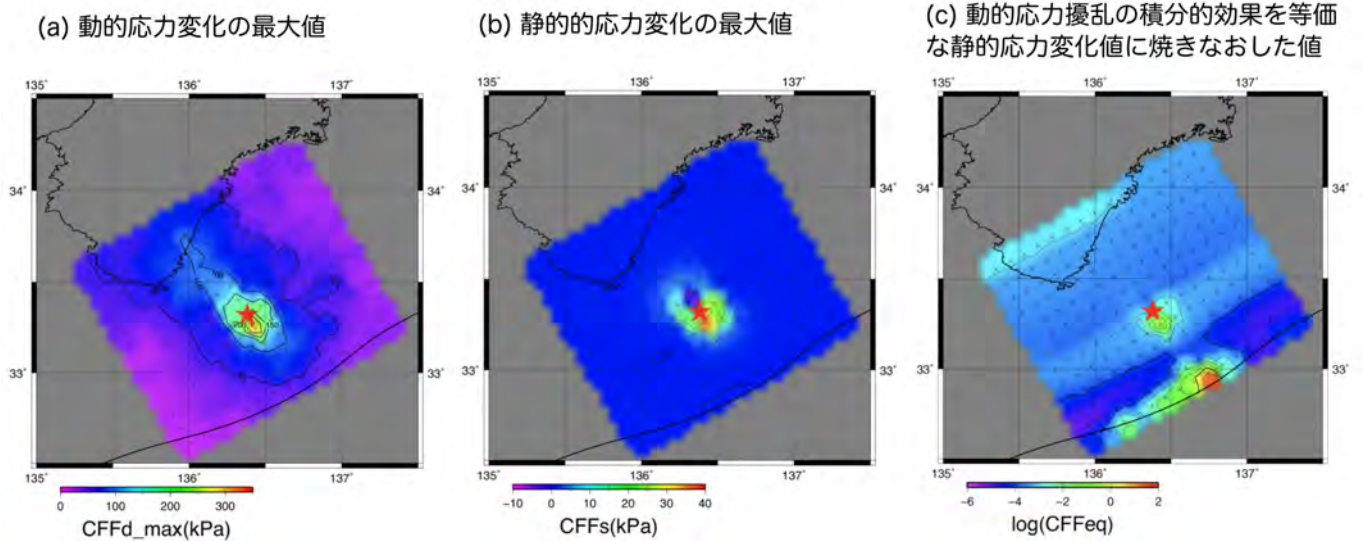


図 5. 2016 年 4 月 1 日に三重県南東沖で発生した地震 (Mjma6.5) によるプレート境界断層への応力的影響の推定

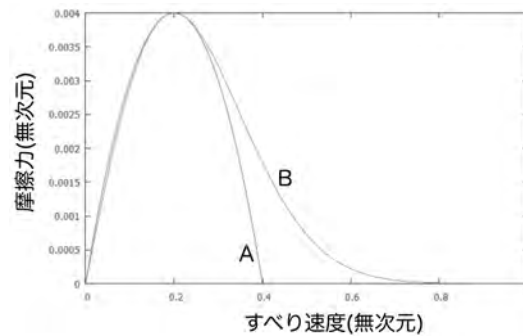


図 6. 断層の巨視的滑りモードの検討に用いられた、断層面のすべり速度依存型摩擦則 (Suzuki and Matsukawa, 2019 より改変)

摩擦則 A は滑り速度 0.4 以上では摩擦がゼロという強い仮定が入っている。摩擦則 B はその仮定を弱めてより一般的にしたもの。いずれも、摩擦則自体は静摩擦をもたないことに注意。

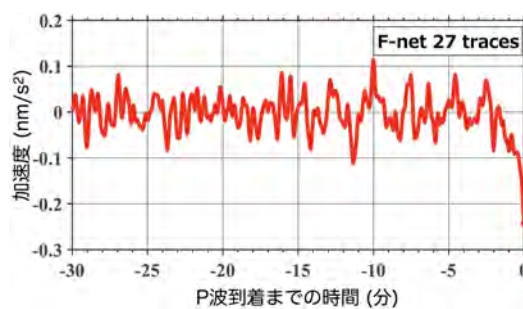


図 7. 2011 年東北地震による即時重力波 (Kimura et al., 2019 より改変)

日本の広帯域地震計網 (F-net) の 27 観測点の P 波到着前の下向き加速度を P 波到着時刻 (=0 分) をそろえて平均した。P 波到着前 30 秒間で重力値が変化している。27 観測点の震源距離は 505-1421 km の範囲にあり、平均距離 987 km において P 波到着直前の重力加速度は平均  $0.25 \text{ nm/s}^2$  の減少を示す。

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

多項目観測データの比較研究に基づく噴火過程の理解とモデル構築

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

工. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

関連する研究課題：「地球物理・地球化学統合多項目観測および比較研究によるマグマ噴火を主体とする火山の定量化とモデル化」

成果： これまでに様々な火山で実施した火口近傍多項目観測により、噴火に至るプロセスや噴火現象そのものに関する多くの知見が得られている。2011 年の新燃岳噴火に関しては、マグマ噴出率と微動のパワーの間の比例関係を見出した [1]。火口直上の空中磁気測量により、火口内を埋めたマグマの冷却過程の理解が進んだ [2]。2015 年の口永良部噴火においては、火口近傍に設置した地震観測網により、噴火直前の地震活動の変化が捉えられた [3]。浅間山の火口近傍でのガス観測により活動状況と

ガス組成の変化に関する理解が進んだ [4]。このように、多項目観測網による観測と比較研究を実施する素地は十分に備わっている。衛星データの活用や観測技術開発に関しても既に多くに実績がある [3],[5]。マグマに関するアナログ実験もこれまでに多くの重要な成果を得ている [6]。

[1] Ichihara et al., JGR, 121, ( 2016 )

[2] Koyama et al., EPS, 65, 657-666, ( 2013 )

[3] Ohminato et al., JNDS, 38, 85-104, (2017)

[4] Shinohara et al., JVGR, 303, 199-208,(2015)

[5] Kaneko et al., EPS, 70, 1-9, (2018)

[6] Kameda et al., Scientific Reports, 7, (2017)

#### ( 7 ) 本課題の5か年の到達目標 :

これまでの観測研究計画を通じて火山周辺の多項目観測網が徐々に充実し、火山活動に関するデータの蓄積が進んできた。近年では、阿蘇山、霧島新燃岳、浅間山、口永良部島などの噴火時に火口近傍の観測点による重要なデータが得られ、噴火現象の理解が大きく進んだ。しかしながら、個々の火山に関する理解はある程度進んだものの、火山現象の根底にある物理メカニズムの理解はまだ十分とは言えず、火山活動の予測は未だに経験に頼る部分が多い。多くの火山で得られたデータを比較して共通点・相違点を詳細に検討するとともに、実験や理論的考察とも比較することにより、物理メカニズムの理解が進むことで初めて、物理的理解と観測に基づく火山活動の予測が可能となる。

観測点が整備されており火山現象の観測データが豊富である浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島および、最近顕著な活動があった諏訪之瀬島・西之島などを主たる観測研究の対象火山とし、全国連携で多項目観測の継続・拡充を図ると共に、得られたデータの解析を進め比較研究を行う。多項目観測データに基づき、マグマ蓄積およびマグマ上昇等の噴火準備過程、噴火中の火道内プロセス、噴火が終息に向かう噴火過程のそれぞれの段階について、物理過程のモデル化を進める。得られたそれぞれの過程に関するモデル間の関係を把握し、それらを有機的に結合することにより、火山活動推移全体を記述する火山活動推移モデルの構築に資する。

#### ( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

本計画は、「火口近傍での多項目観測」、「比較研究」、「衛星データの活用」、「新たな観測手法の開発」、「モデル実験」の5つの柱からなる。その狙いと実施内容は以下の通り。

##### 1 . 火口近傍での多項目観測

数年程度の比較的短い間隔で噴火を繰り返す火山は噴火の全過程にわたるデータが得やすい。また、現在活動中の火山もデータを得る貴重な機会を提供してくれる。これらを踏まえ、本研究では、浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島・諏訪之瀬島・西之島などを主たる対象とする。対象とする火山において、地震・GNSS・傾斜・重力・電磁気・空振・ガス等の多項目の観測を実施する。また、実施期間中に新たな顕著な火山活動があった場合は観測資源を投入し貴重なデータの獲得を目指す。

##### 2 . 比較研究

観測データを蓄積し、国内外の火山における観測・解析事例との比較研究を進めることにより、マグマの蓄積・上昇等の噴火の準備過程から噴火そのものの物理機構、噴火が終息する条件の理解など、噴火準備段階から終息までを含む火山活動全体像の各段階を記述する物理モデルの構築を目指す。例えば、地震・地殻変動・重力・電磁気・火山ガス観測等を統合的に解析することにより、マグマの蓄積位置、蓄積量、マグマ溜まりから地表へのマグマ上昇経路、マグマ流量を把握し、マグマ供給系のモデル化を進める。また、噴火時の地震・地殻変動・空振データの解析に基づき、噴火時の火道プロセスのモデル化を進める。空中磁気データからはマグマの上昇・下降に伴う山体の温度変化の検出や噴火後のマグマの冷却過程の理解を進める。その際、異なる火山のデータ同士の比較や、文献調査による、国内外の火山活動との比較も進める。

##### 3 . 衛星データの活用

解析およびモデル化にあたっては、InSAR や赤外画像などの衛星データの活用が有効である。次世代 SAR 衛星の打ち上げに伴うデータ量の加速度的増大に備え、SAR データ解析を自動的に行うシステムを開発する。また、SAR で面的に得られる地殻変動場は複雑であり、モデルパラメータの自由度の少ない茂木モデルやダイクモデルでは十分に表現できないことから、地形・複雑な地下構造・複雑な力源の形状などを考慮し、有限要素法などの数値的手法を用いたモデルを開発し、適用する。

衛星赤外画像による東アジア活火山リアルタイム観測・情報発信システムの運用と、噴火データの収集・解析を進め、次世代衛星データへの対応などの高度化を進めるとともに、衛星データを用いた噴火推移の多様性の把握および類型化や火山防災に資する情報発信手法の開発を進める。

#### 4．新たな観測手法の開発

火口近傍は SN が高く良質なデータが得られるが、観測の実施は容易ではない。火口近傍観測に適した観測装置の開発や、飛行体の活用など観測に必要な様々な技術開発も進める必要がある。近傍観測手法としてドローンなどの飛行体を用いた火山観測手法の開発を進める。具体的には、マルチコプターやペイロードの大きい無人ヘリコプターを用いた空中磁気測量、赤外画像撮影、火山ガスサンプリング、GNSS や地震計モジュールの火口近傍設置手法等の開発を進める。

また、観測が困難な火山を対象とする観測技術開発も必要である。そのために、機動型観測装置として、地震計・空振計・ハイドロフォン・カメラなどのセンサーを任意に選択でき、衛星通信により定期的なモニタリングやデータダウンロードも可能とする可搬性の高いパッケージを開発する。陸上観測のみならず海上観測も想定し、機器開発を進める。

#### 5．モデル実験

噴火がさらに成長するのか、あるいは減衰して終わるのかは、噴火中のある瞬間に噴出するマグマ（噴出マグマ）とその後に続いて噴出するマグマ（駆動マグマ）それぞれの性質や、2つのマグマの関係等によって決まると考えられる。従って、マグマ模擬物質を用いた室内実験やモデリングを行い、噴火開始前のマグマ状態の空間分布が駆動マグマと噴出マグマの挙動や噴火推移に与える影響を明らかにする。さらに、噴出物からマグマ挙動の履歴を読み解くためのモデル構築を行う。そして、噴火開始前のマグマ状態の空間分布を推定するための効果的な観測方法の検討や、噴出推移事例の背後にある共通プロセスの理解につなげる。

以下に、各年度ごとの実施内容をまとめる。

##### 令和元年（2019年）

- ・浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島・諏訪之瀬島等での火口近傍多項目観測を実施
- ・浅間山についてデータの再解析を進め、他火山との比較研究を実施
- ・SAR データの自動解析システム開発の開始
- ・衛星赤外画像火山観測システムの機能拡張（新衛星への対応）
- ・無人飛行体による空中磁気観測
- ・無人飛行体用観測モジュール開発
- ・難地域観測用観測機器のプロトタイプ作成
- ・マグマのアナログ物質によるモデル実験

##### 令和2年（2020年）

- ・浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島・諏訪之瀬島等での火口近傍多項目観測を実施
- ・霧島についてデータの再解析を進め、他火山との比較研究を実施
- ・SAR データの自動解析システム開発の継続
- ・衛星赤外画像火山観測システムの機能拡張（観測域の拡大）
- ・無人飛行体による空中磁気観測、機器設置実験
- ・難地域観測用観測機器のプロトタイプ作成
- ・マグマのアナログ物質によるモデル実験

##### 令和3年（2021年）

- ・浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島・諏訪之瀬島等での火口近傍多項目観測を実施



- ・阿蘇についてデータの再解析を進め、他火山との比較研究を実施
- ・SAR データ解析のための有限要素モデルの開発
- ・衛星赤外画像火山観測システムの解析結果を用いた噴火推移の解析
- ・高飛行高度・高ペイロード型無人ヘリに向けた観測モジュールの開発と改良
- ・難地域観測用観測機器の現場テスト
- ・駆動マグマの推定モデルの構築と効果的な観測手法の検討

令和4年(2022年)

- ・浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島・諏訪之瀬島等での火口近傍多項目観測を実施
- ・伊豆大島についてデータの再解析を進め、他火山との比較研究を実施
- ・SAR データ解析のための有限要素モデルの開発
- ・衛星赤外画像火山観測システムの解析結果を用いた噴火推移の解析
- ・無人飛行体による空中磁気観測結果の解析
- ・難地域観測用観測機器の改良
- ・駆動マグマの推定モデルの構築と効果的な観測手法の検討

令和5年(2023年)

- ・浅間山・霧島・阿蘇・伊豆大島・諏訪之瀬島等での火口近傍多項目観測を実施
- ・諏訪之瀬島についてデータの再解析を進め、他火山との比較研究を実施
- ・SAR データ解析のための有限要素モデルの開発
- ・衛星赤外画像火山観測システムに Web ベースのシミュレーションシステムを追加
- ・無人飛行体用観測モジュールの設置実験
- ・難地域観測用観測機器の改良と現場テスト
- ・噴火推移事例データの収集調査

(9) 令和元年度の成果の概要：

#### 1. 火口近傍での多項目観測

・浅間山、霧島山、伊豆大島において、火口周辺の多項目観測網を用いる観測を継続している。西之島では、一時的に火山活動が低下した機会をとらえ、2019年9月に上陸し広帯域地震計と空振計からなる観測点を設置した。観測データは衛星回線経由で順調に送られている。

・諏訪之瀬島における地震・空振観測点のメンテナンスを実施し、観測を継続した。故障した傾斜計は撤収した。

・阿蘇火山においては、2019年4月14日に噴火警戒レベルが2に引き上げられ、4月16日にごく小規模な水蒸気噴火が発生した。この噴火は2019年7月26日ころからマグマ噴火に転じ、その後約半年が経過した2020年2月現在も小規模な灰放出が継続している。この阿蘇火山においては、前期計画から引き続き、地殻変動、火口温度、放熱量、地震などの多項目観測を実施している。図1は、2013年9月から2020年1月30日までの各種観測量の時間変化である。2018年12月ころから、マグマだまりをはさむ基線長が伸びに転じていることが捉えられている。そしてその後、長周期地震活動や微動の振幅増大、火口浅部の温度上昇を示す地磁気変化、火口底の露出と温度上昇が観測され、噴火にいたったことがわかる。

#### 2. 比較研究

火山の比較研究に活用することを目的として、地震波干渉法をもとにして、位相の不明瞭な火山性地震や微動の震源決定法を開発した。この手法では、異なる2点間の微動波形の相互相関関数を計算した場合に相互相関関数のピークは2点間の着信時(S波を想定)の差をあらわすことを利用している。複数観測点の着信時差から震源を決定する。震源決定のために仮定する速度構造として3次元的地震波速度構造を取り組むことができる。また、主要動を構成する地震波はS波や表面波の直達波であることを仮定しており、観測波形において直達波が卓越していれば本決定法を適用できる。



震源決定精度の検定と将来の微動発生を念頭に置き、伊豆大島を解析対象とした。震源の既知の火山構造性地震に本推定法を適用した結果、精度+2km程度で震源を決められることが分かった。また、火山構造性地震の波形記録から火山性微動の疑似波形を用意し検定した結果、2分以上の記録を用いることで、概ね1kmほどの震源決定精度が得られることが分かった。更に、仮定した内部減衰パラメータの違いにより深さの絶対値が大きく変化する振幅法に対し、本推定法は深さ精度も良いことがわかった(図2)。

### 3. 衛星データの活用

#### ・ SARデータの時系列解析のシステム開発

有珠山と浅間山のデータに適用して小規模な地殻変動を抽出した。有珠山においては過去の噴火にともない生じた溶岩ドームの熱収縮にともなうと考えられる10 mm/yr以上の沈降が観測された(図3)。浅間山においては、山体北西側と南東側に最大6 mm/yrの変動が観測された。これらは山頂付近の熱水活動によるもの、および山体不安定によるものと考えられる。

#### ・ 衛星画像によるリアルタイム火山観測システムの開発

現在リアルタイム観測システムにおいてはアジア太平洋域の主要167活火山を観測している。JAXAが2017年に打ち上げた新衛星である気候変動観測衛星「しきさい」(GCOM-C: Global Change Observation Mission, Climate)は多波長光学放射計(SGLI: Second-Generation Global Imager)を搭載している。1.6 $\mu$ mと11 $\mu$ mバンドの分解能が250mと同種衛星画像に比べ高い特徴があり詳細な空間分布の把握に利用できる。2018年から「しきさい」観測データの提供が開始されたことを受けて、リアルタイム火山観測システムに「しきさい」による画像の処理組み込みを進めている。今年度は、衛星で観測後13時間程度で結果をWeb上で閲覧することを可能とした。

URL: <http://vrsserv.eri.u-tokyo.ac.jp/realvolc/sgli/index.html>

また、アジア太平洋域の活火山の試行観測として、「しきさい」画像の特徴確認を兼ねた簡単な解析を、シベルチ、桜島、イジェン等を対象に実施した。カムチャッカの活火山であるシベルチにおいては山頂部に溶岩ドームの成長と火砕流の発生が繰り返されている。「しきさい」の画像から2018年12月末と2019年8月末に溶岩ドームが急成長したことを示唆する熱異常が捉えられた。また、2019年1月3日と9月2日の画像から、溶岩ドームの急成長後に火砕流が発生していることが捉えられた(図4)。インドネシアのイジェン火山においては、2019年の5月中旬から9月にかけて山頂火口湖の湖水温度の上昇が捉えられ、この期間に火山活動の活発化が起きていたことが示唆される。桜島においては1.6 $\mu$ mと11 $\mu$ mバンドの画像を比較することにより、小規模な爆発的噴火活動も検出できていることがわかった。

### 4. 新たな観測手法の開発

高飛行高度・高ペイロード型UAVの活用に向けた観測モジュール開発と設置実験に関し、2019年度には以下の内容を実施した。

・2018年に水蒸気噴火をおこした霧島硫黄山において、噴火後の熱活動の時間変化を検出するために2019年5月と12月の2回、ドローンを用いた空中磁気測量を実施した(図5)。解析の結果、両期間では磁化強度に有意な時間変化は見られなかった。このことは、山体下での熱活動が小康状態であることを示唆する。

### 5. モデル実験

マグマ模擬物質による室内実験及びモデリングの準備を進めている。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Permana, T., T. Nishimura, H. Nakahara, E. Fujita and H. Ueda, 2019, Reliability evaluation of volcanic tremor source location determination using cross-correlation functions, *Geophys. J. Int.* (2019) 220, 1300-1315, doi: 10.1093/gji/ggz523

Wang, X., and Y. Aoki, 2019, Post-eruptive thermoelastic deflation of intruded magma in Usu volcano, Japan, 1992?2017., *J. Geophys. Res.*, 124, 335?357. <https://doi.org/10.1029/2018JB016729>

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

1 . 火口近傍での多項目観測

・浅間山、霧島山、伊豆大島において火口近傍の多項目観測点のメンテナンスを行い、観測を続ける。西之島では 2019 年 12 月より活動が再開し、観測点の設置された旧島に溶岩流が迫りつつあるが、データ回収を継続する。

・諏訪之瀬島における地震・空振観測点のメンテナンスを実施し、観測を継続する。

・阿蘇火山においては、噴火活動のモデル化に資するため多項目観測を継続し、本格的なマグマ噴火へいたる過程で生じる現象をとらえる。また、マグマ噴火が終息した場合は、火口浅部熱水系の回復過程をとらえる。

2 . 比較研究

2017-2018 年の霧島山噴火に伴う地震データの解析を進める。2019 年 12 月に始まった西之島の活動に伴う地震・空振データの解析も進める。諏訪之瀬島についても、他火山のデータとの比較研究に向け噴火に伴う地震・空振を解析を進める。

3 . 衛星データの活用

SAR データの時系列解析のシステム開発に関連して、火山に特有の急峻な地形や地下構造の不均質を考慮した地殻変動モデリング手法を有限要素法を用いて開発する。来年度は、観測された地殻変動を説明されるのに必要な地形や地下構造の複雑さを評価し、再来年以降の研究につなげる。

リアルタイム観測システムの開発については、ひまわり 8 号画像を用いたシステムの機能拡張に取り組む。

4 . 新たな観測手法の開発

高飛行高度・高ペイロード型無人ヘリに向けた観測モジュール開発と設置実験に関しては、

・前回の噴火から 20 年を経過する三宅島雄山において、火山活動に伴う熱磁気効果を検出を目的として無人ヘリコプターを用いた空中磁気測量を実施する。

・霧島硫黄山にて、今年度に引き続いてその後の活動推移をみるため、ドローンによる繰り返し空中磁気測量を実施する。

5 . モデル実験

マグマ模擬物質による室内実験及びモデリングの実施に向けた準備を継続する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

大湊隆雄、金子隆之、市原美恵、小山崇夫、青木陽介

他機関との共同研究の有無 : 有

寅丸敦志 ( 九州大学 )、杉岡裕子 ( 神戸大学 )、中道治久 ( 京大防災研 )

大倉敬宏 ( 京大理 )、西村太志 ( 東北大学 )

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話 : 03-5841-5787

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 大湊隆雄

所属 : 東京大学地震研究所

阿蘇火山における観測量の時間変化(2013.9-2020.1)

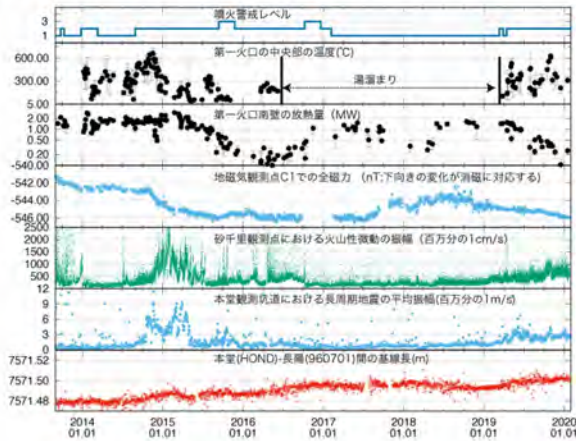


図1 阿蘇火山における観測量の時間変化

阿蘇火山周辺多項目観測による、2013年9月から2020年1月30日までの各種観測量の時間変化。2018年12月ころからマグマだまりをはさむ基線長が伸びに転じている。その後、長周期地震活動や微動の振幅増大、火口浅部の温度上昇を示す地磁気変化、火口底の露出と温度上昇が観測され、噴火に至っている。

伊豆大島の火山構造的な地震による新手法の検証

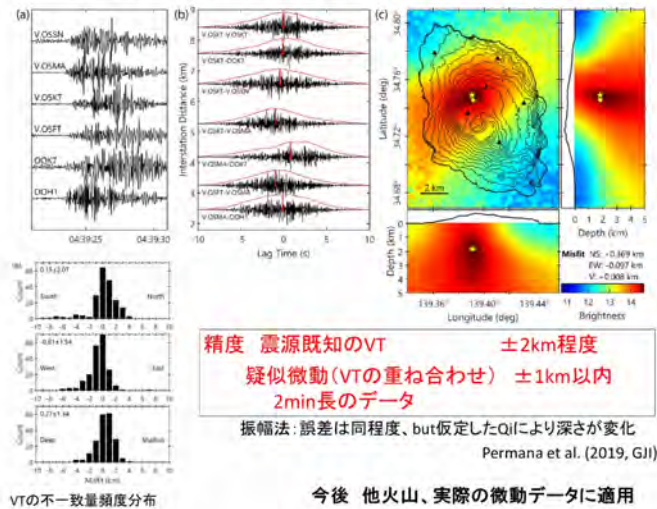


図2 地震波干渉法に基づく新たな震源決定手法の検証

地震波干渉法に基づく位相の不明瞭な火山性地震や微動の震源決定法の開発。異なる2点間の微動波形の相互相関関数のピークから2点間の着信時の差を求め、複数観測点の着信時差から震源を決定する。伊豆大島の構造的な地震での検証では精度+2km程度、火山性微動の疑似波形での検証では、2分以上の記録を用いることで概ね1kmほどの震源決定精度が得られた。

### 有珠山溶岩ドームの収縮

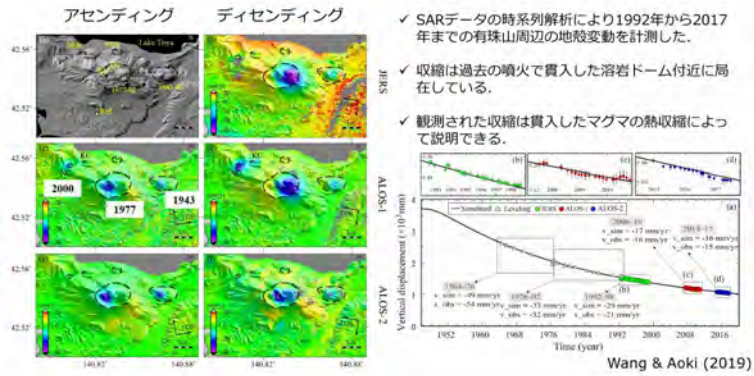


図3 干渉 SAR 解析で検出した有珠山溶岩ドームの収縮

有珠山においては過去の噴火にともない生じた溶岩ドームの熱収縮にともなうと考えられる 10 mm/yr 以上の沈降が観測された。

### シベルチ火山の解析事例 —溶岩ドームの成長と火砕流—

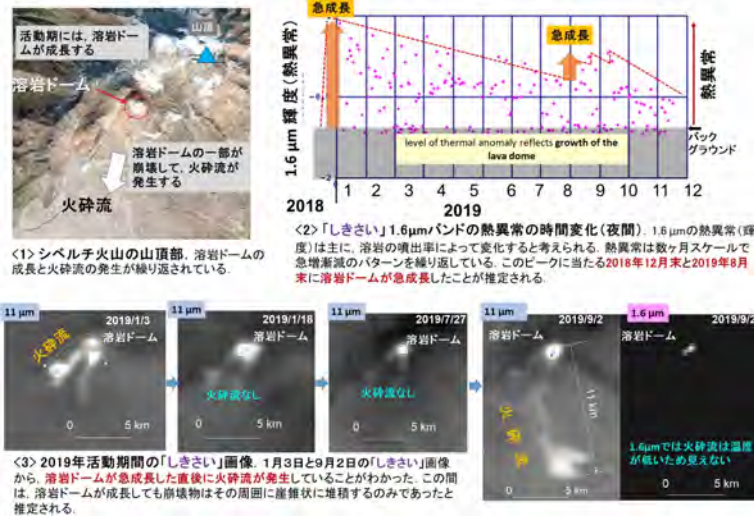


図4 気候変動観測衛星「しきさい」画像によるカムチャッカ シベルチ火山の解析

カムチャッカの活火山であるシベルチにおいては山頂部で溶岩ドームの成長と火砕流の発生が繰り返されている。「しきさい」の画像から 2018 年 12 月末と 2019 年 8 月末に溶岩ドームが急成長したことを示唆する熱異常が捉えられた。また、2019 年 1 月 3 日と 9 月 2 日の画像から、溶岩ドームの急成長後に火砕流が発生していることが捉えられた。

## 霧島硫黄山における繰り返し空中磁気測量



2019年5月22日と12月4日の2度、霧島硫黄山にて空中磁気測量を実施した。

図5 霧島硫黄山におけるドローンを用いた繰り返し空中磁気測量

2018年に水蒸気噴火をおこした霧島硫黄山において、噴火後の熱活動の時間変化を検出するために2019年5月と12月の2回、ドローンを用いた空中磁気測量を実施した。

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

日本・NZ 国際協力によるヒ克蘭ギ沈み込み帯における多様な地震活動と、その発生環境との関係の解明

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

イ. 地震断層滑りのモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 国際共同研究・国際協力

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

ヒ克蘭ギ沈み込み帯では、太平洋プレートがオーストラリア・プレート下へ沈み込むことに伴い、通常の地震活動に加えスロースリップや微動など、多様な断層すべり運動が発生している。太平洋プレートの沈み込みとともに、プレート境界面上の地震発生領域の深さも浅いため、地震波反射法探査などによりプレート境界面の構造的特徴も詳細に把握されており、地震活動と発生環境との関係に関する研究の対象領域としては世界的にも最も優れている場所のひとつである。陸域 GPS 観測から明らかにされているヒ克蘭ギ・トラフ軸に沿ったプレート間固着強度は、北島中部沖合で大きく変化しており、固着強度の決定要因を探る上でも最適である。2016 年 11 月には、南島北東部において Mw7.8



の Kaikoura 地震が発生し、北島南端に位置する首都ウェリントン近傍までの断層がすべったことがわかっていて、さらに、この地震によってヒ克蘭ギ全域でスロースリップが誘発されるなど、一般の人々の地震活動への関心も高まり、現地の研究者からも共同研究の強化が求められている。

2010年には、GNS Science と共同で、NZ 北島南方におけるプレートの沈み込み方向に沿った海域の測線で、東京大学地震研究所の海底地震計を用いた人工震源構造調査を行い、沈み込むプレートの構造を明らかにした。また、沈み込む太平洋プレートに位置するヒ克蘭ギ海台の海洋性地殻の厚さが約 12.5 km と、通常の海洋性地殻よりも厚く、また海洋性マンツルの P 波速度も通常よりも速い ~ 8.3 km/s であることを示した。

2012年から2013年にかけて GNS Science と共同で、ヒ克蘭ギ沈み込み帯では初めてとなる海域地震観測を、東京大学地震研究所の海底地震計を用いて実施した。観測された海域微小地震を含めると、ヒ克蘭ギ沈み込み帯における地震活動は非常に活発であることを示すと同時に、構造調査で把握されている沈み込んだ海山や、その前方に位置する地震波の強反射面といったプレート境界面の特徴と地震活動分布が良い相関を示すことを明らかにした。

2014年から2015年にかけて、日・NZ・米の国際共同による大規模海域地震・地殻変動観測 (HOBITSS) を実施し、2014年9~10月に発生した大規模スロースリップを本観測網直下で捉えることに成功し、その断層すべり量分布の詳細を明らかにした。これにより、スロースリップ時の断層すべりが、沈み込むプレート境界面上の構造である沈み込んだ海山を避けるように進行するとともに、ヒ克蘭ギ・トラフ軸近傍のごく浅いプレート境界面にまで達していることを示した。一方、ヒ克蘭ギ沈み込み帯の海域ではまだ確認されていなかった微動活動について、スロースリップに伴って発生する活動を始めて確認した。その活動様式も特徴的であり、スロースリップが沈み込んだ海山に到達するとともに、海山の側面周辺において微動が誘発され、さらにその微動活動が2~3週間に渡って連続的に発生していることが新たにわかった。このような長期にわたるにどう活動について、構造中の水といった物質の移動などを考慮する必要性について議論した。

2017年10月から2018年2月にかけて、ヒ克蘭ギ沈み込み帯沖合にて、日・NZ・米・英の国際共同による大規模人工震源海域構造調査を実施した。特に、沈み込んだ海山を含む領域においては、3次元構造調査を行った。HOBITSS 観測で得られた地震活動や構造の時間変化などとの比較を通して、多様な地震活動の発生と、それらの相互作用の解明を目指し、現在国際共同でデータ解析を実施している。

(7) 本課題の5か年の到達目標:

本観測研究では北島北東部ギズボーン沖合で日・NZ・米国際共同による海域地震・地殻変動観測を行い、陸域の観測記録とともに2018年に設置された海底掘削孔内ひずみ・温度観測記録とあわせて、多様な断層すべり運動を詳細に把握する。また当海域で2017・2018年に行われた大規模海域構造調査の結果と比較して、その活動とプレート境界の構造的特徴およびその変化との関係について解明する。さらに、2021年頃に発生が予想されている、固着強度遷移域までに及び大規模なスロースリップの直上観測を目的として、遷移域周辺にて国際共同による海域地震・地殻変動観測を実施する。一方陸域においては、スロースリップに伴うプレート境界周辺の構造的特徴の変化を捉えることを目的として、NZでは初めてとなる電話回線を用いたネットワーク MT 法による電磁気連続観測の計画を策定し、実施に向けた準備を行う。可能であれば、本計画期間中に観測を開始する。

(8) 本課題の5か年計画の概要:

2019年度:

2018年3月終わりから4月前半にかけて、ヒ克蘭ギ沈み込み帯北部において比較的大規模な SSE が発生した。本海域では2018年10月に海底地震計および海底圧力計を設置し、観測を継続しているところである。2019年11月に予定している NZ の調査船 Tangaroa を用いた航海にて、これらの海底観測機器を回収し、データ解析を始める。この航海では新たに海底地震計などを設置の予定である。これまでの陸域 GNSS 観測データから把握される海域におけるスロースリップの繰り返し発生現象が



ら、ヒクランギ沈み込み帯中部に位置するプレート間固着強度遷移域周辺において、2021年度前後に大規模なスロースリップが発生すると予想されている。上記海底観測機器観測場所については、沈み込み帯北部、あるいは中部に位置するプレート間固着強度遷移域のいずれかを予定しているが、それまでの陸域GNSS観測データから把握されるスロー地震イベントの発生状況を考慮して、国際共同研究参加グループと協議の上、決定する。

NZでの共同研究機関であるGNS Scienceとともに、ヒクランギ沈み込み帯北部での陸域における電話回線を用いたネットワークMT法による電磁気連続観測の計画の策定を行う。

2020～2023年度：

引き続き海底地震計などを用いた海域観測を継続する。2021年度前後に発生が予想されるプレート間固着強度遷移域周辺で発生する大規模スロースリップを海域で観測した後は、とスロースリップの発生状況を考慮に入れて協議の上、観測網をヒクランギ沈み込み帯北部に戻すことも検討する。

2017年度に実施した海域での大規模人工震源地震波構造調査など、これまでに実施してきた調査・観測の結果、さらには2018年度からヒクランギ沈み込み帯北部で稼働している掘削孔内観測データなどを参照しつつ、通常地震活動からスロースリップまで、多様な断層すべり運動の発生メカニズムについて考察を進める。

ネットワークMT法による電磁気連続観測について、引き続き計画の策定を行う。まずはヒクランギ沈み込み帯北部での3箇所での観測を念頭に準備を進め、可能であれば観測を開始する。

(9) 令和元年度の成果の概要：

2019年11月中旬に予定されていたNZの調査観測船Tangaroaの航海が、観測船運行機関NIWAの都合により変更になったため、当初予定していた観測計画を変更せざるを得なくなった。このため、今年度予定していた海底圧力計5台の設置は予定通りに行ったが、海底地震計5台の設置は断念し、来年度に設置することとした。一方、2015年6月に設置したGNSS-音響測距方式海底地殻変動観測のための海底局3台、2018年10月に設置した海底圧力計5台に加え、海底地震計5台については、搭載した電池の容量による制約から今年度に回収をすることとし、全台回収することに成功した。海底地震計、海底圧力計は順調に動作しており、良好な記録が得られていることを確認した。

本海域では、2019年3月から4月にかけて大規模なスロースリップが発生した。これに伴い、地震活動が活発となっていることが陸上観測網から認められている。海底地震計の観測記録を概観したところ、そのような活発化が見られそうである。

来年度はNZ、アメリカとの協力によって、大規模な海域観測を予定している。NZおよびアメリカからは海底圧力計を、またアメリカは海底地震計を設置予定である。今年度設置できなかった海底地震計5台を含め、本研究で設置する観測機器の配置について検討を行った。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Yarce, J., A.F. Sheehan, J.S. Nakai, S.Y. Schwartz, K. Mochizuki, M.K. Savage, L.M. Wallace, S.A. Henrys, S.C. Webb, Y. Ito, R.E. Abercrombie, B. Fry, H. Shaddock, and E.K. Todd, Seismicity at the northern Hikurangi Margin, New Zealand, and investigation of the potential spatial and temporal relationships with a shallow slow slip event, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2018JB017211, 2019

Warren-Smith, E., B. Fry, L. Wallace, E. Chon, S. Henrys, A. Sheehan, K. Mochizuki, S. Schwartz, S. Webb and S. Lebedev, Episodic stress and fluid pressure cycling in subducting oceanic crust during slow slip, *Nature Geo.*, 12, 475-481, 2019.

Zal, H., K. Jacobs, M. Savage, J. Yarce, S. Mroczek, K. Graham, E.K. Todd, J. Naka, Y. Iwasaki, A. Sheehan, K. Mochizuki, L. Wallace, S. Schwartz, S. Webb and S. Henrys, Temporal and spatial variations in seismic anisotropy and Vp/Vs ratios in a region of slow slip, *Earth Planet. Sci. Lett.*, doi: 10.1016/j.epsl.2019.115970, 2019.

Arai, R., S. Kodaira, R. Kellett, V. Stucker, D. Bassett, S. Henrys, K. Obana, N. Bangs, D. Barker, R. Bell,

- K. Mochizuki, G. Fujie, S. Miura, B. Fry and NZ3D team, Three-dimensional seismic structure of the shallow plate boundary in the northern Hikurangi margin from NZ3D OBS data, JpGU, Makuhari, 2019.
- Ito Y., M. Uemura, S.C. Webb, K. Mochizuki and S. Henrys, Ambient noise field and temporal changes in seismic interferograms at sea bottom inferred from ocean-bottom seismic and pressure arrays, AGU Fall Meeting, San Francisco, 2019.
- E. Warren-Smith, B. Fry, L.M. Wallace, S.C. Bannister, K. Woods and K. Mochizuki, Microseismic Evidence for Episodic Fluid Release from Subducting Oceanic Crust Associated with Slow Slip in the Northern Hikurangi, AGU Fall Meeting, San Francisco, 2019.
- R. Arai, S. Kodaira, S.A. Henrys, N. Bangs, K. Obana, G. Fujie, S. Miura, D.H.N. Barker, D. Bassett, R.E. Bell, J.V. Morgan, M. Warner, K. Mochizuki, R.L. Kellett, V. Stucker, B. Fry, Three-dimensional anisotropic P-wave velocity structure around the shallow plate boundary in the Northern Hikurangi margin, New Zealand, AGU Fall Meeting, San Francisco, 2019.

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

ヒクランギ沈み込み帯では、2020 年 11 月より、日・NZ・米による大規模国際共同海域観測を実施する予定である。本研究では、海底地震計を 10 台（2019 年度に設置ができなかった 5 台を含む）、海底圧力計 5 台をもって、本共同観測への参加を予定している。NZ の研究者と共同で NZ 国内電話会社との調整を進めていき、可能であれば、陸上でのネットワーク MT 観測についても、観測対象領域の陸側での観測をスタートさせたい。

2019 年 10 月に回収された海底地震計・海底圧力計の観測記録について、解析を進める。特に、2019 年 3 月から 4 月にかけて観測網周辺で発生した大規模スロースリップに伴う多様な地震活動について、詳細な解析を始める。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

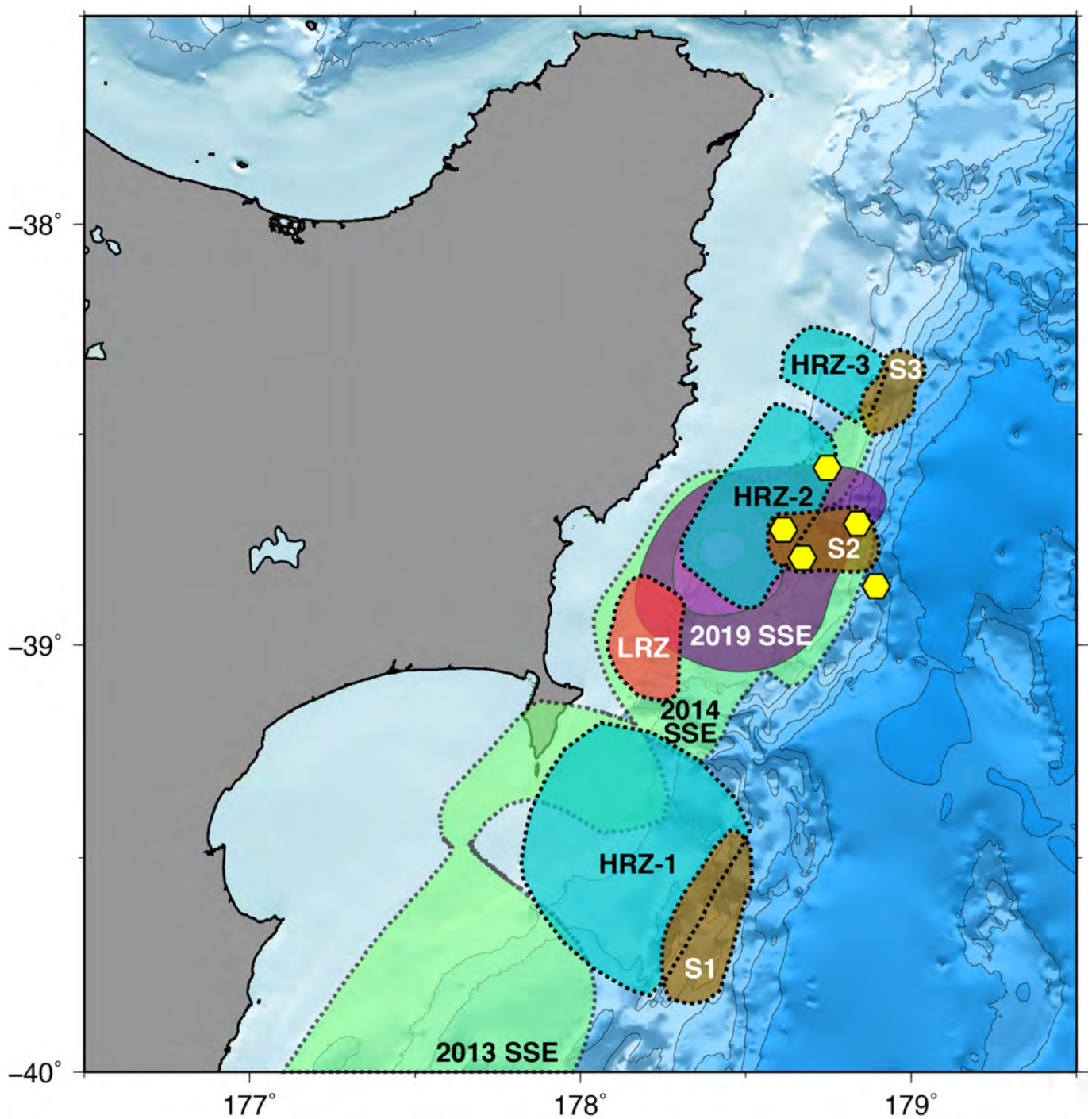
望月公廣・篠原雅尚・上嶋誠・山田知朗・悪原岳（東京大学地震研究所）  
他機関との共同研究の有無：有  
伊藤喜宏・山下裕亮（京都大学防災研究所）  
木戸元之（東北大学災害科学国際研究所）

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部  
電話：03-5841-5787  
e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp  
URL：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

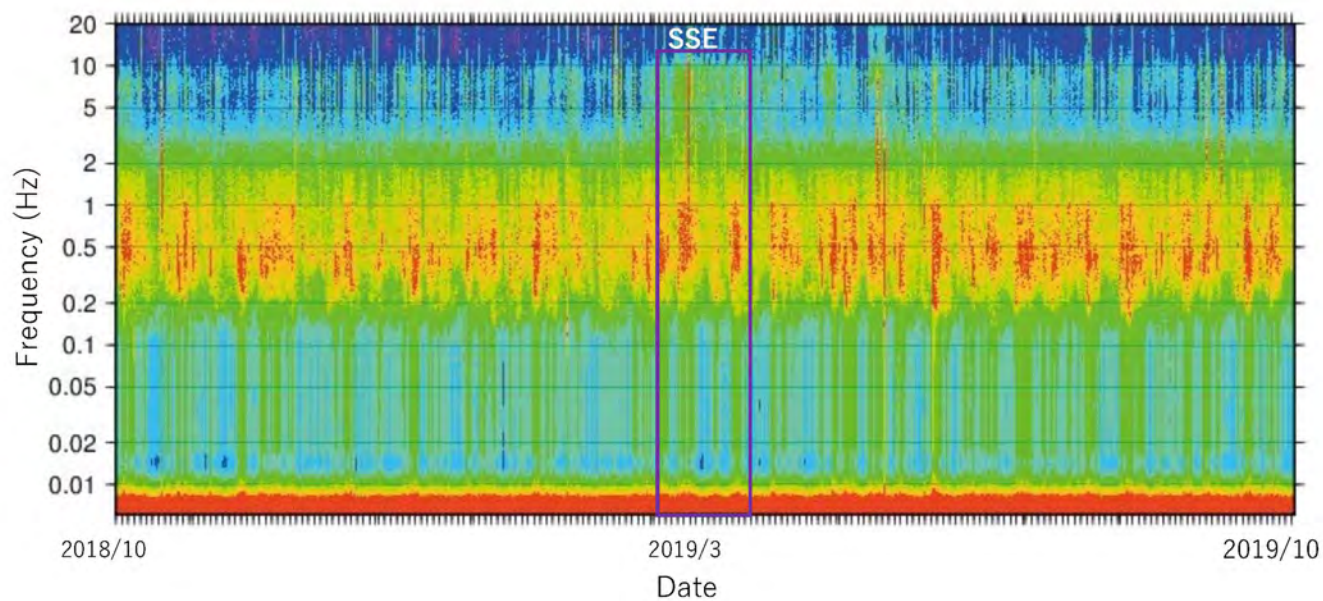
( 14 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：望月公廣  
所属：



2018年10月から2019年10月までの海底地震計観測網と、その周辺で発生したSSE

2018年10月から2019年10月にかけて、海底地震計5台を用いた観測を実施した。2019年10月には全台の回収に成功し、また、良好な観測記録が得られていることを確認した。2019年3月から4月にかけては、観測網周辺にて大規模なSSEが発生している（紫の領域：暫定解）。



#### 海底地震計 1 年観測のスペクトログラム

海底地震計を用いた観測期間中の 2019 年 3 月から 4 月にかけて、観測網周辺にて大規模な SSE が発生した。1 年間のスペクトログラムでは、SSE 発生期間中を通して観測振幅が大きくなり、地震活動が活発化したことが認められる。

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

内陸地震発生ポテンシャルの予測を目指した島弧の地殻応答と断層における地殻内流体の影響の解明

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

工. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

・新潟-神戸歪集中帯における活断層域(跡津川断層域と濃尾地震断層域)において合同観測を実施し、内陸地震断層のモデル化を進めてきた。

・跡津川断層域では地殻から上部マントルにかけての詳細な構造を明らかにし、地震学的構造・電磁気学的構造を組み合わせることにより、地殻下部から断層直下にかけての低比抵抗帯や低速度域から、地殻深部から断層直下につながる地殻流体の存在を示し、“水”の存在が内陸地震発生に大きく関係することを示した。

・濃尾地震震源域では、地殻からマントル上部にかけての構造を明らかにし、沈み込むフィリピン海プレートが大きく湾曲し、大陸地殻と接触していることを示すとともに、そのような特異な構造が国内最大級の内陸地震である 1891 年濃尾地震と大きく関係している可能性について示した。また岐阜-福井県境付近の震源地点の下部地殻に共通して流体の存在を示唆する低速度域や低比抵抗帯が検出され、濃尾地震の発生に関しても地殻流体が関与していた可能性を指摘した。

・北茨城/いわき地方における詳細な震源分布、地震波速度構造、異方性構造、比抵抗構造を推定してきた。相対的に高速度、高比抵抗域に微小地震活動が分布する一方で、2011 年 4 月の福島県浜通り地震直下には共通して低速度、低比抵抗帯が見いだされた。

・北茨城/いわき地方における地震活動の変化した領域において地殻内反射面を検出し，上述の速度構造や比抵抗構造の結果とあわせ，地殻内流体の関与が大きいことを示した。

・ Iidaka, T., T. Igarashi, A. Hashima, A. Kato, T. Iwasaki, The Research Group for the Joint Seismic Observations at the Nobi Area, Receiver function images of the distorted Philippine Sea Slab contact with the continental crust: implications for generation of the 1891 Nobi earthquake (Mj 8.0), *Tectonophys.*, 717, 41?50, 2017.

・ Iidaka, T, Hiramatsu, Y., The Research Group for the Joint Seismic Observations at the Nobi Area, Heterogeneous mantle anisotropy and fluid upwelling: Implication for generation of the 1891 Nobi earthquake, *Earth, Planets and Space*, Earth, Planets and Space, 2016 68: 164, DOI: 10.1186/s40623-016-0540-z, 2016.

・ Uyeshima, M., Ichiki, M., Sakanaka, S., Tamura, M., 2-D analysis of wide-band MT data across southern part of Tohoku, NE Japan, and evaluation of inter-station horizontal component geomagnetic transfer functions, 23rd EM induction workshop, Poster Presentation, 2016.

・ Uyeshima, M., Research Group of Network-MT Survey in Chubu District, Electrical conductivity structure beneath back-arc side of Chubu District, Central Japan, revealed by the Network-MT survey, AOGS, Oral Presentation, 2016.

・ Iidaka, T., E. Kurashimo, T. Iwasaki<sup>1</sup>, R. Arai, A. Kato, H. Katao, F. Yamazaki, The Research Group for the 2007 Atotsugawa Fault Seismic Expedition, Large heterogeneous structure beneath the Atotsugawa Fault, central Japan, revealed by seismic refraction and reflection experiments, *Tectonophysics*, 657, 144?154, doi: 10.1016/j.tecto.2015.06.031, 2015

・ Katsumata, K., M. Kosuga, H. Katao, T. Yamada, A. Kato, the Research Group for the Joint Seismic Observations at the Nobi Area, Focal mechanisms and stress field in the Nobi fault area, central Japan, *Earth, Planets and Space*, 67:99, doi:10.1186/s40623-015-0275-2, 2015.

・ Hiramatsu, Y., T. Iidaka, The Research Group for the Joint Seismic Observations at the Nobi Area, Stress state in the upper crust around the source region of the 1891 Nobi earthquake through shear wave polarization anisotropy, *Earth, Planets and Space*, 67:52 doi:10.1186/s40623-015-0220-4. 2015.

・ Nakajima, J., A. Kato, T. Iwasaki, and The Research Group for the Joint Seismic Observations at the Nobi Area, The weakened lower crust beneath the Nobi fault system, Japan: Implications for stress accumulation process to the seismogenic layer, *Tectonophys.* 655, 147-160, 2015.

・ 上嶋 誠・小川康雄・市來雅啓, いわき誘発地震帯での3次元比抵抗イメージング, 日本地球惑星科学連合 2015 年度連合大会, 口頭発表, 2015.

#### (7) 本課題の5か年の到達目標:

この計画では，東北地方太平洋沖地震発生後，M7の福島県浜通りの内陸地震が発生し飛躍的に地震活動の増加した阿武隈山地より南側の，地震活動の増加が見られなかった北関東から2004年新潟県中越地震の震源域を通る島弧を横断する測線を調査対象とする。この測線において臨時地震観測とMT観測をおこなう。この観測研究により，地殻，マンツルの速度構造，減衰構造，比抵抗構造を明らかにする。また，モホ面やプレート境界面等の形状を明瞭にし，この地域の3次元的な構造を明らかにする。この構造は，基本構造モデルのデータとなるとともに，地殻活動のシミュレーションと連携して研究する際の基本データとなる。この測線上には，東北地方太平洋沖地震が発生する以前に発生した中越地震，また，地震後発生した長野県北部の地震が位置し，内陸地震とプレート境界地震の関係を調べることができる。さらに，長野県北部地震の領域は，火山地域であるため，地殻応答の観点から地震と火山の相互作用という視点からも重要な地域である。また，この測線は地殻内流体の存在によって活発になったと考えられるいわき地域の南側に位置し，地震活動の増加が見られなかった地域であるため，地震活動が活発化した地域と活発化しなかった地域との比較から，地殻内流体の影響について明らかにすることができる。この測線で得られたモデルをもとに，地震前後の東北日本弧の地殻活動の変化の再現を調査する。それにより，構造モデルの精緻化が期待できる。このように，地殻



内流体と地震発生との関係を調査し、地震発生ポテンシャル評価にむけた研究を行う。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

島弧の地殻・上部マントルの高精度な不均質構造 ( 3 次元地震波速度・減衰・散乱構造, 不連続面分布, 断層面形状, 比抵抗構造など ) の推定をおこない島弧横断の地殻・マントルの不均質構造モデルの構築を目指す。その構造をもとに、地殻活動のシミュレーションの研究グループと連携し、地震発生ポテンシャルの解明に向けた研究を行う。各年度に下記の観測研究を実施する。

平成 31 年度には、島弧の地殻・上部マントルの高精度な不均質構造モデル ( 3 次元地震波速度・減衰・散乱構造, 不連続面分布, 断層面形状など ) を構築するためにいわきの地震活動域の南側から中越地域へ抜ける測線において、Hi-net 等既存の観測点をもとに空白域を埋めるよう 5 点程度の地震観測点を展開し、自然地震観測を開始する。

平成 32 年度には、地震観測を継続するとともに、地震観測が行われている測線において 10 点の MT 観測を実施し、地震学的研究だけでなく電磁気学的研究もおこない、総合的な理解を目指す。

平成 33 年度には、地震観測を継続するとともに、Hi-net 等定常観測点と臨時観測点とのデータを合わせて解析を進め、測線上での地震学的研究による構造の解明を行う。

平成 34 年度には、地震観測を継続するとともに、電磁気観測では平成 32 年度に展開した測線での観測を補充する 10 点での MT 観測を実施する。これにより、島弧断面について 2 次元的でなく 3 次元的構造の理解を目指す。

平成 35 年度には、平成 34 年度に実施した測線に対して、地震学的研究と電磁気学的研究をもとにした総合モデルを作成する。さらに、それらの結果をもとに地殻内流体と地震の関係を調べる。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

東北地方太平洋沖地震による島弧の地殻応答を調べた観測研究での、いわき地域から新潟地方への島弧の横断測線では、レシーバ関数解析から明瞭なモホ面、プレート境界面の検出ができた。一方、電磁気学的観測研究からも、脊梁地域や日本海側においても地殻内部に低比抵抗域が見つかるなど、地殻内流体の存在が示唆された。しかしながら、これらの研究結果においては地域的な違いが大きく、全体の構造を理解するためには、さらに広い領域でのデータを用いた 3 次元的解析が必要となった。また、電磁気学的研究からは、脊梁地域や日本海側で検出された低比抵抗域が地震発生域とどうつながるかについて、地震発生ポテンシャルの解明に向けた研究が重要な課題となった。また、いわきの活動域における観測研究では、地震波トモグラフィと比抵抗構造から地殻内における流体の存在が明らかとなった。さらに、稠密アレイの特徴を生かし逆 VSP 法による解析からも地殻内部に明瞭な反射面が検出され、その振幅の解析から地殻内流体の存在を強く示唆することができた。

これらの成果を踏まえ、この計画では、東北地方太平洋沖地震発生後、M7 の福島県浜通りの内陸地震が発生し飛躍的に地震活動の増加した阿武隈山地より南側の、地震活動の増加が見られなかった北関東から 2004 年新潟県中越地震の震源域を通る島弧を横断する測線を調査対象とし観測を開始した ( 図 1 )。令和元年度には、島弧の地殻・上部マントルの高精度な不均質構造モデル ( 3 次元地震波速度・減衰・散乱構造, 不連続面分布, 断層面形状など ) を構築するためにいわきの地震活動域の南側から中越地域へ抜ける測線において 27 点の地震観測点を展開し、自然地震観測を開始した ( 図 2 )。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

飯高 隆、酒井 慎一、五十嵐 俊博、小原 一成、加藤 愛太郎、武田 哲也、中川 茂樹、いわき地域における地殻内反射面と地震活動、S06-11、日本地震学会秋季大会 2019 予稿集、2019

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

この計画では、東北地方太平洋沖地震発生後、M7 の福島県浜通りの内陸地震が発生し飛躍的に地震活動の増加した阿武隈山地より南側の、地震活動の増加が見られなかった北関東から 2004 年新潟県中



越地震の震源域を通る島弧を横断する測線を調査対象とし、この測線において臨時地震観測と MT 観測をおこなうものである。

そのため、令和 2 年度には、地震観測を継続するとともに、地震観測が行われている測線において 10 点の MT 観測を実施し、地震学的研究だけでなく電磁気学的研究もおこない、総合的な理解を目指す。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

飯高 隆, 酒井慎一, 上嶋誠 ( 東大・地震研 )

市來雅啓 ( 東北大学 )・坂中伸也 ( 秋田大学 )・山谷祐介 ( 産総研 )・小川康雄 ( 東工大 )・他。これまでに行ってきた内陸地震研究の合同観測の後継の研究運営方式をとり、全国の大学に呼びかけ参加者を募って実施する。

他機関との共同研究の有無 : 有

津村紀子 ( 千葉大 )

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話 : 03-5841-5787

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 飯高隆

所属 : 東京大学地震研究所 地震火山噴火予知研究推進センター



図 1 測線図



図2 観測点設置例

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

東日本における長期的重力変化の観測とモデリング

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

2011 年東北地方太平洋沖地震 (M9) のあと、東日本を中心とした広い範囲で大きな地殻変動が起きているが、それと同時に大きな重力変化も起きている。この影響は、震源から比較的離れた場所と考えられる松代 (長野県) と神岡 (岐阜県) の超伝導重力計の記録にも表れており、どちらの地点においても、年間約 10 マイクロガル (註：地表の重力加速度は約 980 ガル) という驚くべきレートで重力が小さくなり続けている。地球における重力の源は万有引力 (および自転による遠心力) であり、重力加速度の時間変化を精密に観測するということは、地球を構成する物質の密度分布の変化をとらえるということである。上述の変化は地面の上下変動では説明できず、密度変化をとともなう何らかの現象が日本列島の地下で大規模に進行していることを示している。本研究では、超伝導重力計による重力連続観測を行い、それをベースとした相対重力測定と組み合わせることにより、東日本における重力の時空間変化をかつてない精度で明らかにする。そして、最近新たに開発された、粘弾性地球に対する地震重力変化の理論を観測データに適用することにより、長期的な重力変化を起こしている要因を特定し、地下で進行している物質移動 / 密度変化の物理過程を解明することを目指す。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

本研究では、本州に 4 ヶ所ある観測点 (北から順に、水沢 (岩手県)、蔵王 (宮城県)、松代 (長野県)、神岡 (岐阜県); ただし神岡は現在休止中) における超伝導重力計観測を継続・維持することを基本とする。超伝導重力計は、それ単独では重力加速度の絶対値がわからず、またわずかながら機械

的なドリフトがあるので、それらを検定するために絶対重力計による測定を行う。各年度における絶対重力測定の計画は次のようである。

平成 31 年度 松代、神岡（旧／新）、水沢

平成 32 年度 松代、神岡（新）、蔵王

平成 33 年度 松代、神岡（新）、水沢

平成 34 年度 松代、神岡（新）、蔵王

平成 35 年度 松代、神岡（新）、水沢

このうち神岡では、2016 年まで使用していた重力基準点に加え、重力波望遠鏡 KAGRA のために掘削された坑道内に新たな重力基準点を設定し、初年度に新旧の基準点を接続する。

また、各年度ごとに、絶対重力測定を実施する観測点をベースとし、また超伝導重力計観測点どうしをむすぶような形で、スーパー・ハイブリッド重力測定を実施する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

令和元年度は、超伝導重力計による重力連続観測が実施されている地点を中心に、東日本の各地において絶対重力測定を実施した。実施した地点の数は、当初の計画から大幅に増えて、7ヶ所であった。本研究でもっとも重要な観測地点と位置付けている松代（長野県）においては、令和元年4月と10月の2回にわたって、絶対重力測定を実施した。約半年の間隔を置いて実施された2回の測定結果は、重力加速度の約3マイクロガルの減少を示し、超伝導重力計で観測されている長期的な重力減少の傾向と整合的であった。松代では、地動ノイズレベルが非常に低く、重力測定の誤差が小さいので、さまざまな計測上の実験を行うことが可能である。令和元年10月には、絶対重力計の落下槽の高さを変化させて、重力加速度の鉛直勾配を同時に推定することを試みた。結果には疑問が残るところがあったので、この試みは令和2年度以降にも継続する。神岡（岐阜県）においては、当初、重力波望遠鏡 KAGRA の坑道内に新たな重力基準点を設定する計画であったが、環境やアクセスの点で長期的な使用に適した場所を見つけることができなかった。そこで、旧超伝導重力計室内の重力点において絶対重力測定を実施した。測定結果は、過去の重力値とおおむね整合的であったが、今後の継続的な測定が必要である。以上に加えて、弟子屈（北海道）、水沢（岩手県）、富山（富山県）、浅間山（長野県）、伊豆大島（東京都）において、絶対重力測定を実施した。いずれの地点においても、良好な測定結果が得られた。このうち、弟子屈での測定（図1）により、同地で稼働している超伝導重力計のドリフト検定のための重要な基礎データを得ることができた。また、富山での測定は、富山大学構内における最初の絶対重力測定となり、今後の重力サーベイに資する貴重なデータが取得された（図2）。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
なし

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

令和2年度は、令和元年度にひきつづき、東日本各地における絶対重力測定を実施する。測定点としては、水沢のかわりに蔵王（宮城県）、伊豆大島のかわりに三宅島（東京都）のように、多少の入れ替えを行う。神岡については、令和元年度と同様に行う。松代においては、良好な環境をいかして、測定技術にかかわる実験をいくつか行う。以上に加えて、富士山（山梨県）における新たな測定も計画している。一方、超伝導重力計については、良好な稼働状態を確実に維持するとともに、関係機関の協力により、昨今のヘリウム供給の逼迫への対策を強化する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

今西祐一、西山竜一

他機関との共同研究の有無：有

東北大学（三浦哲）



国立天文台（田村良明）

（13）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

（14）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：今西祐一

所属：東京大学地震研究所

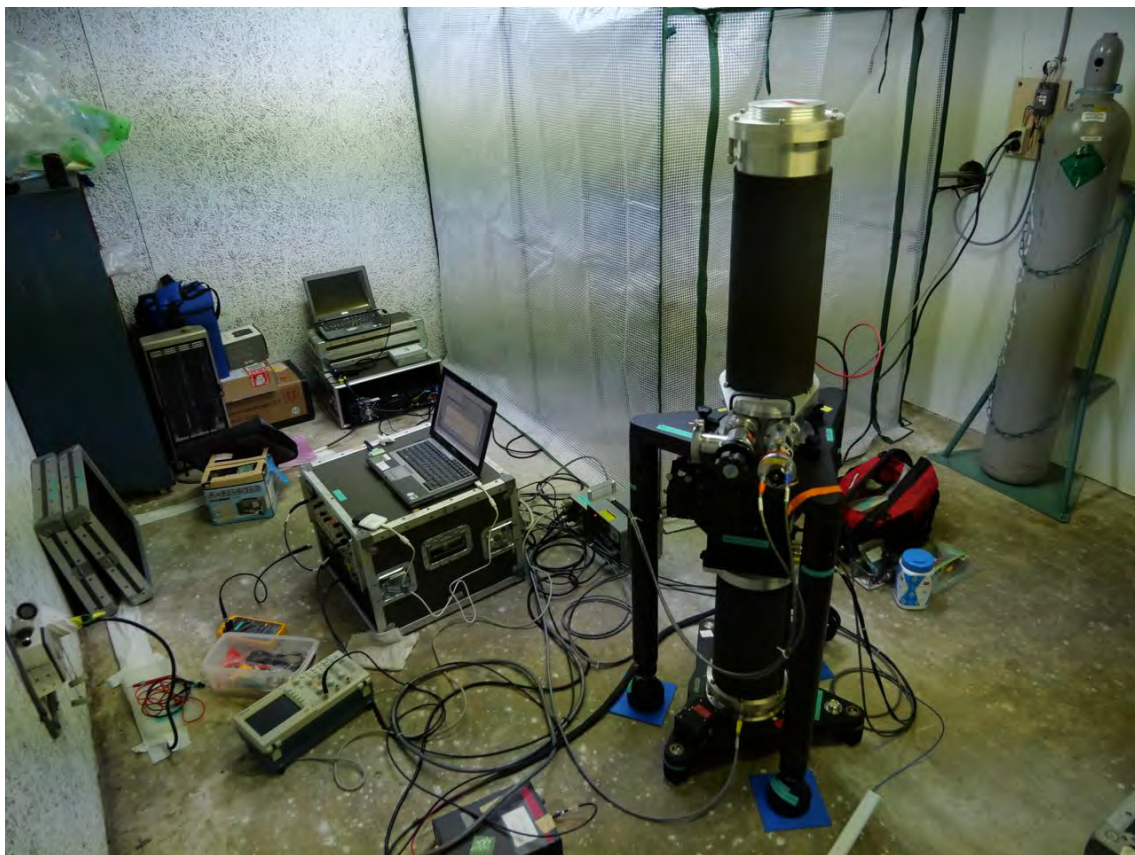


図 1

2019年9月に実施された、弟子屈観測点（北海道大学）における絶対重力測定の様子。クリーンブース内に超伝導重力計 iGrav が設置されている。

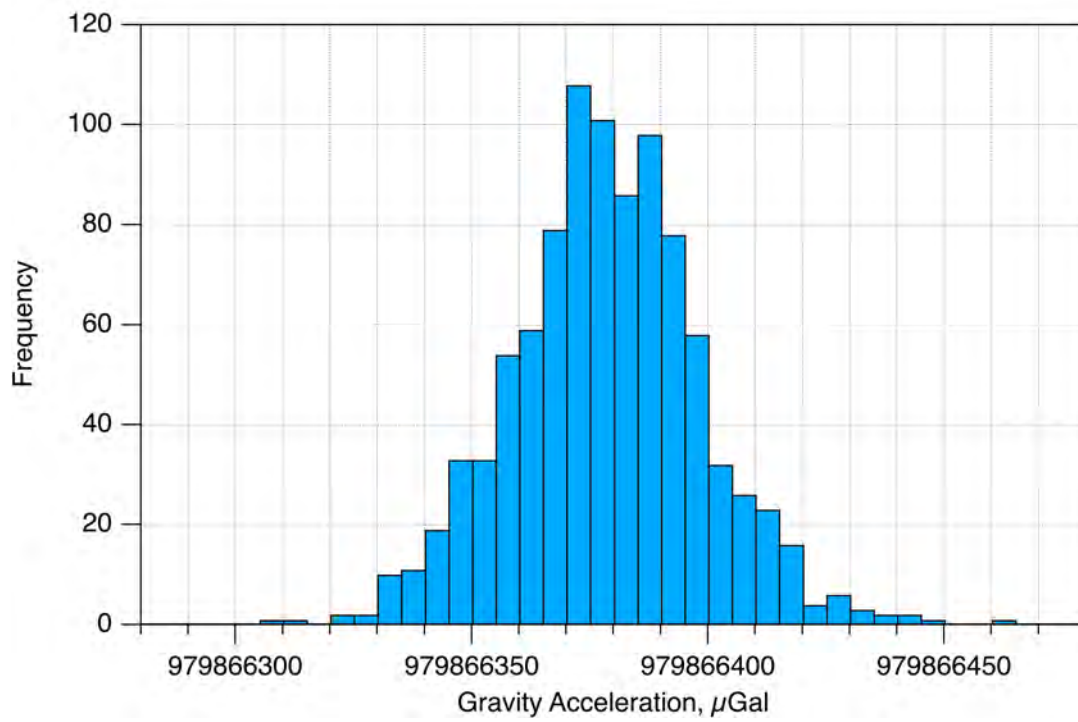


図 2

富山大学（総合研究棟 1 階エントランスホール）における絶対重力測定の結果（ヒストグラム）。有効ドロップ数は 949、標準偏差は 20.2  $\mu\text{Gal}$  であった。

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震発生予測のための島弧-海溝システムの観測-モデリング統合研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

平成 30 年度まで実施された災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画「日本列島基本構造モデルの構築」では、日本列島基本構造モデルを構築し、これらを共有・更新していくことにより、地殻活動予測、巨大地震発生にいたるプロセスの定量的な理解など、火山噴火予測を含む多様な地殻活動についての定量的な理解を深めることを目的とした研究を行ってきた。以下に成果をあげる。

(1) 千島-日本-伊豆小笠原海溝及び相模トラフ、駿河トラフ-南海トラフ-琉球海溝の位置と水深モデル、フィリピン海プレート西縁部の Manila trench 及び Philippine trench model を海底地形データから求めた。

(2) プレート境界モデルの構築については、日本列島周辺における構造探査・tomography 解析等の既往成果をコンパイルし、自然地震に基づく広域モデル (base model) を修正する形でプレート境界モデル (regional model) を構築するとともに、フィリピン海プレート東部の既往探査データ・tomography の結果を再吟味して、太平洋プレート接合部までの形状モデルの試作を行った。



(3) 日本列島及びその周辺の震源断層モデルの構築については、日本列島及びその周辺域の Moho 面形状のモデル化のため、日本列島直下で提出されているモホ面構造と広域的なモホ面構造 (Crust 1.0) を接続したモデルを試作した。更に Hi-net による地震波トモグラフィーの成果を用いて、地殻下部から上部マントルの地震波速度の変化について検討した結果、P 波速度の変化が大きく、かつ制御震源によるモホ面とよく一致する 7.2 km/s の等速度面を Moho 面の proxy とした。また、既存の地下構造データを基に、北陸・関東・九州地域の震源断層モデルを作成・更新した。

(4) 日本海におけるリソスフェア・アセノスフェア境界 (LAB) モデル構築を目的として、2001 年から 2003 年にかけて、日本海大和海盆で実施された広帯域海底地震計による長期地震観測結果を収集した。また、2013 年から、文部科学省委託研究により行われている大和海盆における長期広帯域海底地震観測から、LAB を求めるため、レシーバー解析を実施中であり、従来想定されていた深度よりも、LAB が深い可能性が示唆されている。一方、紀伊半島沖南海トラフ陸側斜面下のプレート境界形状を震源分布、実体波トモグラフィー・レシーバー関数解析で明らかにし、さらにレシーバー関数の振幅情報を用いて、プレート境界の性質を推定した。

(5) 日本列島下の岩石モデル・レオロジーモデルの構築を目的として、西南日本列島下の地殻構成岩石に関する初期モデルを検討するため、九州北部、高島 (300 万年前) と黒瀬 (110 万年前) のアルカリ玄武岩火成活動に伴う苦鉄質・超苦鉄質捕獲岩を実験試料として P 波・S 波速度を測定すると共に、地震波トモグラフィーと比較して、最上部マントルがかんらん岩で、また low-Vp である北九州・宗像・直方では最上部マントルの low-Vp はパイロキシナイトで構成されると推定した。

#### (7) 本課題の 5 か年の到達目標 :

本課題は、観測と日本列島基本構造モデルの構築・更新と地殻活動予測を統合的に実行し、地殻活動予測、巨大地震発生予測、火山噴火予測を含む多様な地殻活動についての定量的な理解を深めることを目的としており、数値計算、海陸地震観測、日本列島基本構造モデル、長期間地殻変動の 4 つの研究を実施する。

数値計算：前計画までの成果を踏まえ、日本列島を含む広範な領域 (千島弧、東北日本弧、西南日本弧、伊豆小笠原弧、琉球弧、および朝鮮半島、ロシア沿海州、中国沿岸部) を対象として三次元有限要素モデルを構築する。稠密な地殻変動データを用いて、各プレート境界領域で進行するすべり状態と地下の粘性構造を推定する。地殻変動データとしては、国土地理院の GNSS データに加えて、アメリカのネバダ大学が公開している全世界の地殻変動データが利用可能である。特に、大陸部のデータは深部の粘性構造を推定する上で重要である。推定した粘性構造とすべり速度欠損分布を用いて内部応力状態を求め、地震活動データと比較検討しながら、観測された地殻変動・応力状態と調和的なモデルを求める。このモデルの中に震源断層を置き、それぞれの断層面上に作用するクーロン応力変化を求め、上盤プレート内の地震発生の長期予測を行う。上記で用いた地下構造モデル、震源断層モデルは観測の進展・データの集積に応じて適宜更新し、長期予測も随時更新していく。

海陸地震観測：日本海から日本列島を横切り日本海溝または南海トラフに抜ける長大な測線を設定する。海域部の測線上に長期観測型海底地震計を設置し、長期海底地震観測を実施する。また、陸上には地震観測点を設置して、海陸にまたがる測線で地震観測を行う。得られた地震データについて、実体波トモグラフィー・レシーバー関数解析・表面波解析を実施して、深部までの構造を求める。この測線上で大容量エアガンアレイ、ハイドロフォンストリーマ、海底地震計による地震波速度構造探査実験を行い、深部構造の解析に必要な測線下の構造の情報を得ることも目標である。

日本列島基本構造モデル：前計画で作成されたプレートモデルを基礎として、本課題の大規模構造探査の観測結果を反映させる。これに加えて、海底ケーブル観測網による海域の震源再決定、Hi-net の震源再決定の結果を用いた広域の地震発生層下限深度を反映させた震源断層モデル・レオロジーモデルの更新など、データの集積に応じたモデルの更新を行う。また、同時に進行するプロジェクトによる反射法探査、活断層・変動地形学的研究などの成果に基づき震源断層モデルの更新を行う。

長期間地殻変動：断層深部形状を考慮し、第四紀後期の西南日本・東北地方の長期間地殻変動を求め

る。また、過去約1万年間の東北・西南日本のM7級の地震・地殻活動について、スリッププレートなどの新規データの取得と既存研究により明らかにする。

(8) 本課題の5か年計画の概要：

平成31(令和1)(2019)年度

・数値計算：日本列島域の三次元有限要素モデルを構築する。千島海溝の固着の進行にともなう北海道地域の震源断層の応力蓄積速度を求める。

・海陸地震観測：他プロジェクトにより、東北日本日本海側を主な対象域とした構造探査実験が計画されており、この構造探査と連携する形で、東北日本太平洋側の地震地殻上部マントル構造をもとめる実験を実施する。

・日本列島基本構造モデル：同時進行のプロジェクトによる反射法探査、活断層・変動地形学的研究などの成果に基づき震源断層モデルの更新を行う。

・長期間地殻変動：反射法地震探査断面に現れた深部断層形状を考慮し、東北日本・日本海側の第四紀後期の長期間地殻変動を求める。また、過去約1万年間の東北・西南日本のM7級の地震・地殻活動について、スリッププレートなどの新規データの取得と既存研究により明らかにする。

令和2年(2020)度

・数値計算：南海トラフ・琉球海溝におけるプレート境界プロセスによる西南日本域の震源断層面上のクーロン応力変化を検討する。

・海陸地震観測：想定する測線上の海域部に長期観測型海底地震計を設置し、長期海底地震観測を実施する。また、陸上には地震観測点を設置して、海陸にまたがる測線で地震観測を行う。

・日本列島基本構造モデル：前計画で作成されたプレートモデルに本課題の大規模構造探査の観測結果を反映させる。また、同時進行のプロジェクトによる反射法探査、活断層・変動地形学的研究などの成果に基づき震源断層モデルの更新を行う。

・長期間地殻変動：深部断層形状を考慮し、東北日本太平洋側の第四紀後期の長期間地殻変動を求める。また、過去約1万年間の東北・西南日本のM7級の地震・地殻活動について、スリッププレートなどの新規データの取得と既存研究により明らかにする。

令和3(2021)年度

・数値計算：東北地方太平洋沖地震後10年間の粘性緩和にともなう上盤プレート内の震源断層の応力変化を評価する。

・海陸地震観測：前年度に設置した長期海底地震計および陸上の地震観測点を回収する。

・日本列島基本構造モデル：プレートモデルに大規模構造探査の観測結果の集積に応じてこれを反映させる。また、海底ケーブル観測網による海域の震源再決定がなされた場合のモデルの更新、Hi-netの震源再決定の結果を用いた地震発生層下限深度を反映させた震源断層モデル・レオロジーモデルの更新を行う。また、同時に進行のプロジェクトによる反射法探査、活断層・変動地形学的研究などの成果に基づき震源断層モデルの更新を行う。

・長期間地殻変動：深部断層形状を考慮し、西南日本の第四紀後期の長期間地殻変動を求める。また、過去約1万年間の東北・西南日本のM7級の地震・地殻活動について、スリッププレートなどの新規データの取得と既存研究により明らかにする。

令和4(2022)年度

・数値計算：関東地方および伊豆小笠原弧の応力状態について、東北沖地震、相模トラフ、伊豆小笠原海溝のプレート境界プロセスの影響を検討する。

・海陸地震観測：前年度までに得られた地震データについて、実体波トモグラフィー・レーザー関数解析・表面波解析などを実施して、深部までの構造を求める。

・日本列島基本構造モデル：プレートモデルに大規模構造探査の観測結果の集積に応じてこれを反映させる。また、海底ケーブル観測網による海域の震源再決定がなされた場合のモデルの更新、Hi-netの震源再決定の結果を用いた地震発生層下限深度を反映させた震源断層モデル・レオロジーモデルの

更新を行う。また、同時進行のプロジェクトによる反射法探査、活断層・変動地形学的研究などの成果に基づき震源断層モデルの更新を行う。

- ・長期間地殻変動：反射法地震探査断面に現れた深部断層形状を考慮し、西南日本の第四紀後期の長期間地殻変動を求める。また、過去約1万年間の東北・西南日本のM7級の地震・地殻活動について、スリップレートなどの新規データの取得と既存研究により明らかにする。

令和5(2023)年度

- ・数値計算：4年目までに検討したプレート境界プロセス間の相互作用を検討し、今後数十年スケールの応力変化についてまとめを行う。

- ・海陸地震観測：数値モデルによる地震発生ポテンシャルの検討に向けて、これまでの解析結果をとりまとめて、日本列島の基本構造の構築・更新を行う。

- ・日本列島基本構造モデル：大規模構造探査の観測結果や海底ケーブル観測網による海域の震源再決定を反映させたプレートモデルと、同時進行のプロジェクトによる反射法探査、活断層・変動地形学的研究、Hi-netの震源再決定結果を用いた地震発生層下限深度を反映させた震源断層・レオロジーモデルの更新についてまとめを行う。

- ・長期間地殻変動：西南日本の第四紀後期の長期間地殻変動と、過去約1万年間の東北・西南日本のM7級の地震・地殻活動について、スリップレートのとりまとめを行う。

(9) 令和元年度の成果の概要：

数値計算：日本列島域の三次元有限要素モデルを構築した。千島海溝の固着の進行にともなう北海道地域の震源断層の応力蓄積速度を求めた(図1)。

海陸地震観測：東北日本弧横断上盤プレート構造探査

日本列島のような上盤プレート内の地震発生・地殻変動を定量的に解明していくためには、観測にもとづいた構造の理解が重要である。令和元年には、文部科学省の日本海地震・津波調査プロジェクトで実施された東北日本中部の新庄から大和碓に至る構造探査とともに、本計画と地震研所内経費を用いて太平洋側から日本海溝までの構造探査を行った(図2)。日本海域の調査は、海洋研究開発機構が庄内平野沖から大和碓にかけて39台の海底地震計、地震研究所が庄内-新庄最上まで1167点、最上から女川まで500点の受振器を設置した。また、三陸沖については、日本海溝海側アウターライズと海溝軸付近に近い日本海溝陸側斜面に計5台の長期観測型海底地震計を設置した。長期観測型海底地震計による海底観測は、トモグラフィ解析、レシーバー関数解析、表面波解析などから海域を含む日本列島島弧の地殻・上部マントル構造を推定することも目的としており、この観点から、これまでの観測データが不足している領域に設置して、自然地震データの収集を行う(図3)。これらの測線に対して、日本海域では海洋研究開発機構が大容量エアガン発震を行い、庄内から出羽丘陵-新庄盆地-最上まではパイロサイズ4台による稠密発震を行い通常の深部反射断面を得た他、陸域の全測線について約10kmおきに集中発震を行い、低重合反射断面を得た。更に陸上3箇所まで200kgの発破を行った。太平洋側の300kmの区間では、地震研究所の6000~3000 cu.inch エアガンで発震を行い、陸上の他、海底ケーブルを含めた海域の受振システムでデータを収集した。

庄内-新庄盆地に至る反射断面では、地下数kmまでの反射断面による地殻構造がイメージングされ、屈折トモグラフィによる地殻上部のP波速度構造が得られた。この結果、出羽丘陵の隆起に主要な役割を果たした青沢断層が正断層の反転で形成されたこと、同様の反転運動を示す活断層が庄内平野下の余目背斜の下に存在し、1894年庄内地震(M7.0)の震源となったことが明らかになりつつある。庄内平野から新庄盆地に分布する活断層・活褶曲と深部の震源断層の関係も具体的に解明することができ、強震動など地震災害予測に重要な震源断層をイメージングの重要性を明らかにすることができた。

陸域測線については、屈折トモグラフィ法により、地下数kmまでのP波速度構造は明らかにすることができた。今後、波線追跡法や自然地震を利用したより深部の構造解析を実施する予定である。本測線は東北日本の火山地域を長測線として横断したもので、火山弧としての速度構造の特性を描き出す上でも基本的なデータを取得することができた。

日本列島基本構造モデル: 東北日本弧(庄内平野・新庄盆地等)、富士川河口断層帯、中央構造線活断層系など、日本海地震・津波調査プロジェクトや富士川河口断層帯の重点的な調査観測などで近年取得された反射法地震探査断面について、地質構造解釈・変動地形との整合性の考察を行い、断層モデルを推定した。また、大大特反射の再解析(図4)や震源分布・メカニズムに基づき、2018年大阪府北部の地震の震源断層モデルを推定した。

長期間地殻変動: 上記の庄内-新庄測線沿いの活褶曲や伏在断層による地殻変動を含む長期間地殻変動を明らかにするために、測線周辺の精密数値標高モデルや既存の層序データ等の基本的なデータを取得した。また、庄内平野の伏在活断層の平均変位速度を推定するとともに、1894年庄内地震や同様の伏在断層の活動に伴う長期間地殻変動を推定した。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

(11) 令和2年度実施計画の概要:

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

篠原雅尚・飯高隆・望月公廣・山田知朗・石山達也・橋間昭徳・悪原岳・佐藤比呂志(東京大学地震研究所)

他機関との共同研究の有無: 有

海域地震観測: 東北大学・北海道大学・千葉大学・京都大学防災研究所・鹿児島大学

震源断層モデルの更新および長期間地殻変動: 防災科学技術研究所・横浜国立大学・東北大学・信州大学・富山大学・岡山大学・広島大学

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話: 03-5841-5787

e-mail: yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL: <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 篠原雅尚

所属: 東京大学地震研究所

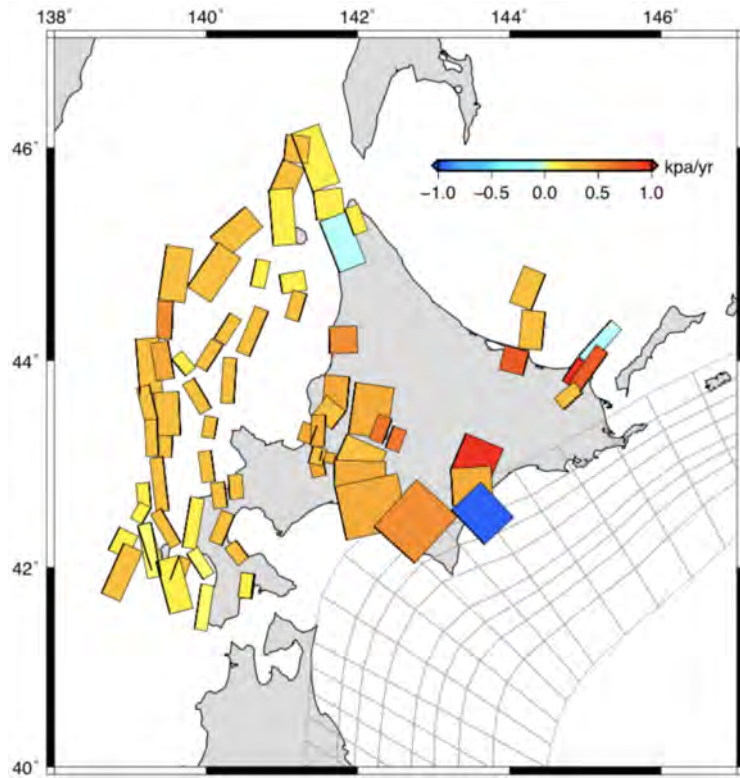


図 1. 北海道周辺の震源断層モデル上でのクーロン応力の蓄積速度。日本列島の基本構造 FEM モデルに対して、1998-2003 年までの GPS の変位速度場を充たすようにプレート境界の条件を求め、断層モデル上のクーロン応力の蓄積速度を求めた。

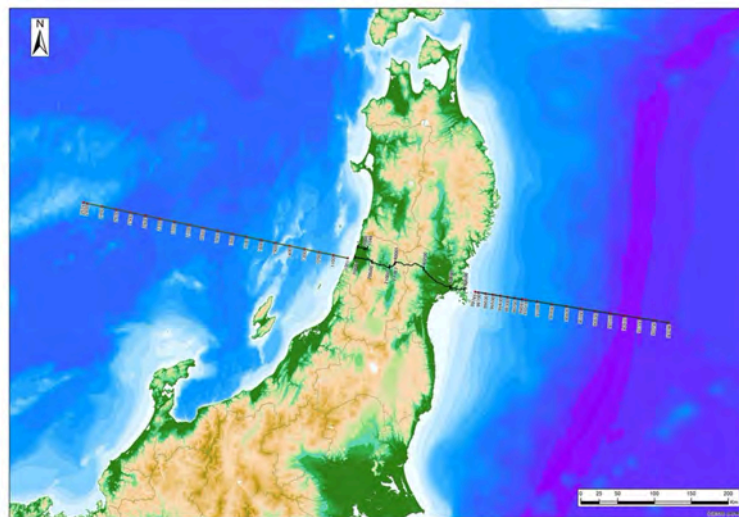


図 2 東北日本弧横断構造探査測線図

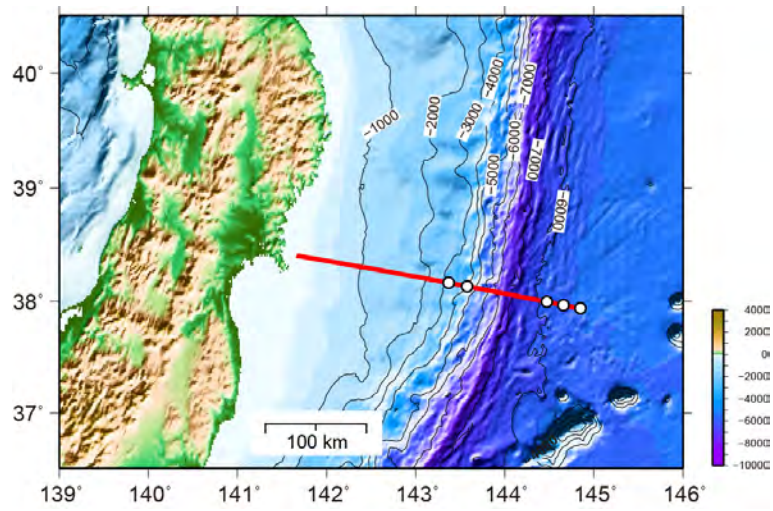


図3 長期海底地震観測。2019年度に設置した長期観測型海底地震計の位置を丸で示す。赤線は、太平洋側のエアガン発震測線。

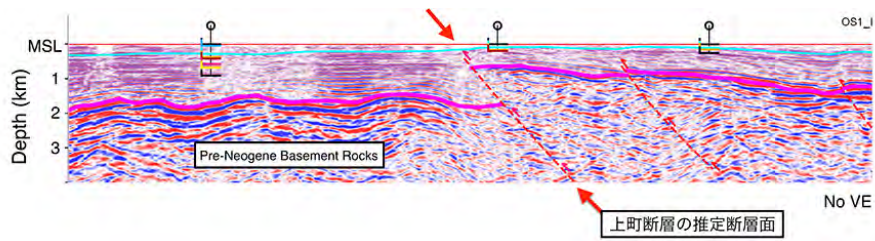


図4 反射法地震探査に基づく上町断層の断層形状

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

スロー地震モニタリングに基づく南海トラフ域の地震発生可能性評価手法に関する研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) 関連研究分野との連携強化

(5) 国際共同研究・国際協力

( 5 ) 総合的研究との関連：



## 南海トラフ沿いの巨大地震

### (6) 平成 30 年度までの関連する研究成果 (または観測実績) の概要 :

本計画は、モニタリングや地下構造調査を主とした観測研究から構成されている。サブテーマ毎に研究成果の概要を記述する。

#### 1. スロー地震データベースの拡充とスロー地震活動特性の解明

西南日本で発生するスロー地震の活動様式などに基づいて、スロー地震が巨大地震に対して果たす役割を 3 つの観点 (類似性、応力状態を反映する指標、周囲への応力载荷) から取りまとめ (Obara and Kato, 2016) 今後のスロー地震モニタリングの方向性を示した。また、微動エネルギーの定量的評価を目的とした新たな微動検出手法を開発し (Annoura et al., 2016)、そのデータに基づいてプレート境界の不均質パッチモデルを提示する (Kano et al., 2018) など、深部低周波微動活動に関する新たな描像を得ることができた。これらのカタログは現在、科研費新学術領域「スロー地震学」で構築中の全世界的なスロー地震データベースに登録され、多くの研究者に活用されている。

#### 2. 陸域広帯域地震観測等を用いた超低周波地震活動様式の解明

広帯域地震計臨時観測点を 6 箇所まで増やし、超低周波地震の検知能力向上を図った。その結果、南海トラフ近傍で発生する浅部超低周波地震と内陸下で発生する深部超低周波地震の累積振幅分布は指数関数的であり特徴的なサイズが存在すること、及びその特徴的なサイズには地域性があり、浅部超低周波地震は深部超低周波地震の約 10 倍の振幅を持つことを明らかにした。また、四国西部において深部超低周波地震の網羅的検出を行い、豊後水道長期的スロースリップイベントの規模や発生位置に応じた相互作用の違いを明らかにした。

#### 3. 深部低周波地震の高速移動現象の解明

南海トラフの深部遷移領域沿いで発生する深部低周波地震の長期的な活動について、連続波形記録を用いて網羅的な調査を実施してきた。新たに構築された深部低周波地震のカタログに基づくと、低周波地震の高速移動現象が明瞭に捉えられるとともに、既往の活動よりも更に高速な移動現象の存在が示唆された。

#### 4. GNSS 観測による豊後水道周辺域での SSE のモニタリング

豊後水道周辺・島嶼部の 22 か所において、科研費等の予算も活用し、機動的 GNSS 連続観測点を設置し、周囲の国土地理院 GEONET 観測点や海上保安庁のデータと合わせて基線解析を行うことで、長期的スロースリップイベント (SSE) による地殻変動を捉えるためのモニタリング体制を構築した。その結果、機動的 GPS 観測点の測位精度は GEONET と遜色なく安定していることが分かった。2015 年 12 月ごろから 2016 年 3 月ごろにかけて、四国南西部を中心として小規模な SSE による地殻変動を観測し、そのすべり領域を推定したところ、この地域で 6-7 年間隔で発生している大規模 SSE の領域に内包され、深部低周波微動の領域までは達していないことが示唆された。また 2018 年後半から、2010 年以來の大規模 SSE によると思われる地殻変動を捉えている。

#### 5. 相模トラフ～南海トラフ～琉球海溝におけるフィリピン海プレート沈み込み境界全域の長期的 SSE の系統的把握とそのモニタリング

長期的 SSE を系統的に検出する手法を開発し、日向灘から四国西部の領域における長期的 SSE 活動を明らかにした。また、長期的 SSE 活動と固着域との空間相関性と長期的 SSE の大規模マイグレーションを発見し、長期的 SSE と巨大地震の関連性の理解を進展させた (Takagi et al., 2019, JGR)。

#### 6. スロー地震と中・大規模地震の関係の解明

東北日本において、周期的な SSE と比較的大きな地震の発生タイミングの関係を明らかにした。

#### 7. 重力・電磁気観測に基づくすべりの時間発展と流体との相互作用の解明

東海地方の約 20 年間の重力観測により、長期的 SSE 中の重力変化を捉えることに世界で初めて成功した (Tanaka et al., 2018) 。この変化は流体移動モデルに基づいて定量的に解釈できることを示した。また、四国西部の豊後水道に面した地域で、長基線地電位差観測を主体としたネットワーク MT 観測

を実施した。その電磁場データから3次元インバージョンによって地域の広域深部比抵抗構造を求め、すべり発生時の構造の変化を検出するためのベースとなる基本構造を得た。

#### 8．スロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常の抽出

紀伊半島の深部低周波微動活動度が異なる地域で稠密自然地震観測、制御震源地殻構造探査を実施した。取得したデータや既存データに対して地震波速度構造解析・地震波減衰構造解析・反射法解析を実施し、深部低周波微動発生域やその近傍に流体の存在が示唆される構造不均質が存在することを明らかにした。

#### 9．南海トラフで浅部スロー地震の滑り特性を規定する地下構造と流体挙動の解明

南海トラフの反射法地震探査データと深海掘削データを調べ、南海トラフの西部から東部にかけてデコルマの反射極性が負と正を繰り返していることを発見し、デコルマの内部に存在する流体の分布が異なることを明らかにした。

#### 10．スロー地震と地震発生との関連性

地震活動を基に2011年東北地方太平洋沖地震の発生直後に房総沖スロースリップの発生可能性を指摘するとともに、東北地方太平洋沖地震や2014年チリ北部地震などの巨大地震発生前の前震活動中にゆっくり滑りが起きていたことを明らかにした。

### (7) 本課題の5か年の到達目標：

南海トラフ域を中心とし、沈み込みプレート境界で発生する多様な滑り現象をモニタリングすることで、それらの時空間変化を高精度に把握し、スロー地震間の相互作用、スロー地震と地震発生との関係、これらの現象の発生環境としての地下構造異常・流体挙動との関係の解明を通じて、プレート境界すべり特性やプレート境界現象間の相互作用の理解を深める。これら新たに得られる知見に基づき、スロー地震が隣接する巨大地震領域に与える影響、すなわち、スロー地震と同じプレート境界で発生する大地震発生可能性の相対的な変化を評価する手法の開発に貢献する。

サブテーマ毎の到達目標を以下に記す。

#### 1．スロー地震データベースの拡充とスロー地震活動特性の解明

科研費から引き継いでスロー地震データベースを更に拡充し、本地震火山観測研究計画内での利用に留まらず、国内外のスロー地震研究基盤としてその存在価値を高め、地震研究分野におけるわが国の国際的リーダーシップの強化に貢献する。また、これらのカタログを活用しスロー地震の活動特性を正確に把握することで、シミュレーションによる現象再現性の精度向上を通じ、長期的及び中短期的な大地震発生可能性の評価に貢献する。

#### 2．陸域広帯域地震観測等を用いた超低周波地震活動様式の解明

これまでの本地震火山観測研究計画や科研費等で展開した四国西部・九州東部の広帯域地震観測データ等を用いて、南海トラフ域に発生する超低周波地震のモニタリングを行ない、その活動様式を解明すると共に、他のスロー地震との相互作用などを明らかにする。得られた超低周波地震カタログはスロー地震データベースに登録し、国際的スロー地震研究の推進に貢献する。

#### 3．深部低周波地震の高速移動現象の解明

スロー地震は、短い長さスケールほど滑りの継続時間が短くなる拡散現象としての性質を有しており、既知のものより高速且つ短い伝播距離で特徴づけられる新たな高速移動現象が存在することが予想される。この新たなモードは、ゆっくり滑りから通常地震による速い滑りへの遷移的な挙動を知る上で重要である。特に、中短期的な時間スケールにおいて、ゆっくり滑りと地震発生との関連性を考える上で根本的な理解の促進に貢献すると期待される。これまでの機動観測によって取得された地震波形データを用いて、深部低周波地震の高速移動現象の新たなモード検出を目指し、既存の活動様式との比較検討を行う。

#### 4．GNSS観測による豊後水道周辺域でのSSEのモニタリング

豊後水道周辺地域において、これまでに構築してきたGNSS連続観測点における地殻変動観測を継続して実施し、国土地理院等の他機関の観測データもあわせて解析することで、長期的SSEをはじめと

する、より長期的なプレート間すべりの動態を把握しスロー地震間の相互作用について理解を深める。同時に、この領域でのすべり特性・プレート間相対運動による歪蓄積と解放の収支を推定し、その発生様式の理解を通じて巨大地震発生様式の解明を目指すことで、地震の長期的予測の高度化に資することを目的とする。

#### 5．相模トラフ～南海トラフ～琉球海溝におけるフィリピン海プレート沈み込み境界全域の長期的 SSE の系統的把握とそのモニタリング

準リアルタイム解析による長期的 SSE モニタリング手法の開発をするとともに、フィリピン海プレート上面における長期的 SSE 活動様式の全容を解明する。

#### 6．スロー地震と中・大規模地震の関係の解明

プレート境界面上の巨大地震震源域周辺に分布するスロー地震域におけるすべり特性の理解をすすめる。

#### 7．重力・電磁気観測に基づくすべりの時間発展と流体との相互作用の解明

南海トラフ等のスロースリップ域において重力・地磁気観測を実施し、間隙流体の時間変動を捉えることを目指す。プレート境界の応力状態を変化させる間隙流体の移動を明らかにすることは、他のスロー地震及び巨大地震発生域とスロースリップ発生域とがどのように相互作用しているのか解明することに貢献し、中短期予測につながる。

#### 8．スロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常の抽出

スロー地震の活動様式に違いがある四国中部から東部にかけての地域で稠密地震観測を実施し、既存稠密地震観測データの再解析結果と合わせて、スロー地震発生域における構造を明らかにする。豊後水道のほぼ中央に位置する水ノ子島に構築した観測点を維持し、取得データの解析から、豊後水道下のプレート形状を明らかにする。これら、明らかになったプレート境界面の形状や境界面近傍の構造不均質と、モニタリングされるスロー地震活動と対応させることで、滑り特性を規定する地下構造異常の特徴を把握する。

#### 9．南海トラフで浅部スロー地震の滑り特性を規定する地下構造と流体挙動の解明

浅部スロー地震の滑り特性を規定する地下構造と流体挙動を解明する。特に、浅部スロー地震の地域性（発生域 vs. 非発生域）を規定する要因を明らかにするとともに、デコルマや Out-of-sequence-thrust(OOST) 断層の構造と流体が浅部スロー地震にどのように影響するかを解明する。また、デコルマや OOST 断層の固着（強・弱）と挙動における沈み込む四国海盆堆積物の岩相層序と流体の役割を明らかにする。

#### 10．スロー地震と地震発生との関連性

スロー地震の時空間発展を詳細に調べることで、その周辺域への応力载荷の状況を把握し、地震の発生可能性の相対的变化を推定することを試みる。例えば、房総沖のスロースリップに伴う有感群発地震に関して、地震活動の詳細な時空間発展を把握し、滑りが引き起こす応力変化と比較することで、地震発生を引き起こす条件を探索する。また、大地震の発生に先行する前震活動の解析を行い、スロースリップとの関連性について検討する。

### (8) 本課題の5か年計画の概要：

#### 1．スロー地震データベースの拡充とスロー地震活動特性の解明

2019年度は、2021年度に科研費から本計画にデータベースを移行するための準備を進め、2020年度は移行作業を実施する。2021から2023年度は、データベースの維持・拡充を継続するとともに、多様なスロー地震カタログを活用してそれぞれの時空間変化や相互作用などを明らかにする。

#### 2．陸域広帯域地震観測等を用いた超低周波地震活動様式の解明

2019から2020年度は、科研費で実施するため、本計画での経費は必要としない。2021から2023年度は、科研費で展開された広帯域地震観測点の維持、データ収集、解析を行ない、既存の広帯域地震観測網のデータも活用して、超低周波地震の活動特性や他のスロー地震との相互作用を明らかにする。

#### 3．深部低周波地震の高速移動現象の解明

2019 から 2020 年度は、科研費で実施するため、本計画での経費は必要としない。2021 年度は、高密度な機動観測によって取得された地震波形記録に対して、アレイ解析手法等を適用することで、深部低周波地震の詳細な時空間発展を明らかにする。2022 から 2023 年度は、深部低周波地震の高速移動現象を抽出するとともに、既存の活動様式との比較検討を行う。

#### 4．GNSS 観測による豊後水道周辺域での SSE のモニタリング

2019 年度においては、前計画・科研費等で構築してきた機動的 GNSS 連続観測点における地殻変動観測を継続して実施し、国土地理院等の他機関の観測データもあわせてモニタリングを行う。このための GNSS 基線解析環境を構築するとともに、過去の長期間のデータも活用し SSE の把握を進める。2020 年度においては、前年度の研究を継続する。2021 年度においては、前年度までの研究を継続すると共に、プレート境界面付近における歪収支について検討を進める。2022 年度においては、前年度までの研究を継続すると共に、SSE 同士の相互作用について検討を進める。2023 年度においては、前年度までの研究を継続すると共に、成果の取りまとめをおこなう。

#### 5．相模トラフ～南海トラフ～琉球海溝におけるフィリピン海プレート沈み込み境界全域の長期的 SSE の系統的把握とそのモニタリング

2019 年度においては、これまで開発した手法を準リアルタイム解析へ拡張することを検討する。また、関東地方などを中心に SSE の系統的検出を行う。2020 年度は、引き続き手法の拡張と SSE の系統的検出を行う。2021 年度は、開発した手法に基づく準リアルタイムモニタリングの実施を目指す。2022 年度は、モニタリングを継続するとともに、相模トラフから琉球海溝までの領域における長期的 SSE のセグメント化や移動などの活動様式を明らかにする。2023 年度は、SSE 活動様式をさらに検討し、地震活動および微動活動との時空間的な関係性を検討する。

#### 6．スロー地震と中・大規模地震の関係の解明

西南日本および南西諸島における繰り返し地震活動をモニタリングし、SSE や比較的大きな地震の活動状況との関係を調べる。またスロースリップの周期性に関する研究も行う。これらによりプレート境界での地震とスロースリップの関わりの仕方が明らかになれば、中短期予測の精度向上に寄与できる可能性がある。

2019 年度は、これまでに得た繰り返し地震のデータにより、西南日本でのスロー地震と中・大規模地震の関係について調べる。2020 年度は、これまでに得た繰り返し地震のデータにより、西南日本での周期的なスロースリップについて解析を行う。2021 年度は、南西諸島における繰り返し地震を抽出および東北日本との比較を行う。2022 年度は、南西諸島におけるスロー地震と中・大規模地震の関係について調べる。2023 年度は、スロー地震と中・大規模地震の関係についてモデル化を行う。

#### 7．重力・電磁気観測に基づくすべりの時間発展と流体との相互作用の解明

重力観測は西南日本のスロースリップ域で 2-3 年間に 1 回を行うことを標準とするが、スロースリップの発生に応じて観測頻度を地域間で調整する。

(2019～2022 年度) 絶対・相対重力観測(東海、四国、宮崎、八重山)、地磁気観測(八重山)、ネットワーク MT 観測(四国)、データ解析、ノイズ補正手法及び既存モデルの改良を行う。(2023 年度) 同上、成果とりまとめ

#### 8．スロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常の抽出

2019 から 2023 年度において、水ノ子島観測点の保守・データ回収作業を実施し、水ノ子島観測点と周辺観測点のデータを用いた解析を実施することで、豊後水道下のプレート構造を把握する。紀伊半島等で取得されている稠密地震観測データの再解析を実施し、スロー地震発生域やその近傍における構造を明らかにする。2021 年度は、2022 年度から四国で実施する地震観測の現地踏査を実施する。2022 から 2023 年度にかけて、稠密地震観測を実施する。取得した稠密地震観測データの解析を実施し、既存稠密地震観測データの再解析結果と合わせて、スロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常を抽出する。

#### 9．南海トラフで浅部スロー地震の滑り特性を規定する地下構造と流体挙動の解明

2019 年度と 2021 年度においては、既存・新規のマルチチャンネル反射法地震探査(Multi-channel Seismic:

MCS) データと深海掘削 (ODP/IODP) データを統合し、デコルマ・Out-of-sequence-thrust(OOST) 断層や沈み込む四国海盆堆積物の構造的特徴、流体分布、摩擦係数を推定すると共に、海底地殻変動観測 (Yokota et al., 2016) から求めたデコルマの固着分布 (強・弱) と比較する。2020 年度と 2022 年度においては、既存 MCS データが十分でない浅部スロー地震の発生域と非発生域で Time-lapse MCS 調査を行い、デコルマや OOST 断層の反射係数を比較することで、間隙水圧の時間変化を推定すると共に、その間の浅部スロー地震発生と比較する。2023 年度は、デコルマや OOST 断層の構造的特徴と間隙水圧の時間変動に着目し、浅部スロー地震の活動様式との関連性を求め、浅部スロー地震発生に対する断層の地殻構造と流体挙動の影響を解明する。

#### 10. スロー地震と地震発生との関連性

2019 から 2021 年度は、房総沖スロースリップに伴う群発地震活動の震源再決定、Matched filter 法による地震活動の再検出を行う。また、小繰り返し地震のモニタリングに関する課題とも連携し、非地震性滑りの時間発展について調べる。2022 から 2023 年度は、房総沖スロースリップと群発地震発生との関連性をスロースリップが引き起こす応力変化に注目して検討する。5 か年の実施期間中に大地震が発生した場合は、先行した前震活動や地殻変動に関する解析を実施し、大地震発生に至る直前過程に関する知見を蓄積する。

#### (9) 令和元年度の成果の概要:

令和元年度は、年次計画に基づいた機動的調査観測を実施したとともに、豊後水道におけるスロー地震をモニタリングし、発生状況の把握を行なった。また、スロー地震データベースを維持・管理するとともに、既存観測データを用いた繰り返し地震やスロー地震の活動様式の特徴やスロー地震発生域の構造・流体挙動の把握を行なった。

##### 1. スロー地震データベースの拡充とスロー地震活動特性の解明

科研費・新学術領域研究「スロー地震学」で構築したスロー地震データベースを安定的に維持・管理するとともに、データベースへのカタログ登録を継続的に呼びかけ、現在まで 47 のカタログが登録された。また、科研費の追加予算配分でデータベース用サーバーを新規購入し、その活用に向けて準備を進めている。さらに、2019 年度の地震学会の特別セッション「オープンデータと地震学」において、スロー地震データベースの現状と課題について報告を行うとともに、継続的に課題に関する検討を進めている。一方、内陸の火山等直下に発生する深部低周波地震の網羅的検出を行い、多くの場合、鉛直方向に複数の離散的グループに分かれること、同一火山下に存在する複数の近接したグループ間でも活動様式は大きく異なること、いくつかの火山では地表火山活動と深部低周波地震活動が関連することなどが明らかになった (Kurihara et al., 2019)。

##### 2. 陸域広帯域地震観測等を用いた超低周波地震活動様式の解明

科研費・新学術領域研究「スロー地震学」において、機動的広帯域地震観測を実施し、四国西部、紀伊半島、東海にそれぞれ 6 点、4 点、4 点を設置した。また、東北地方太平洋沖のプレート境界やプレート運動を仮定して計算された理論波形をテンプレートとして、防災科研 F-net の連続波形データから超低周波地震を検出したところ、超低周波地震活動が 2011 年東北地方太平洋沖地震によって大きく影響を受け、その影響の内容が場所によって大きく異なることが明らかになった。つまり、東北沖地震震源域では、その発生前まで小規模な超低周波地震がエピソードに起き、東北沖地震後は完全に静穏化したのに対して、震源域外側の余効すべり域では東北沖地震後に急激に活発化した。これらの結果は、東北沖地震後のプレート間すべりの空間分布を反映していると考えられる (図 1) (Baba et al., 2019)。

##### 3. 深部低周波地震の高速移動現象の解明

深部低周波地震の高速移動現象の新たなモード検出を目指し、科研費・新学術領域研究「スロー地震学」において、4 つの稠密な地震計アレイを四国西部の低周波地震発生域の直上に設置し、連続波形記録の取得を 2019 年 12 月下旬から開始した。各地震計アレイの口径は約 1~2km で、60~100 点の 3 成分短周期地震計から構成される。

#### 4. GNSS 観測による豊後水道周辺域での SSE のモニタリング

前計画・科研費等で構築してきた、豊後水道周辺地域における GNSS 連続観測および座標値解析を継続して実施した。図 2 に示すように、四国西部、豊後水道周辺、日向灘周辺等の地域に独自観測点を展開している。各観測点の維持作業を随時行い、安定してデータが取得できるように努めた。そのうち、水ノ子島観測点が 2019 年夏ごろに損失した。この復旧に向けた検討を進めた。

GNSS 座標時系列データに含まれる「common mode error」を推定して取り除くためのツールを開発した(廣瀬, 2019)。図 3 に示した適用例のように、オリジナルの座標時系列(ここでは国土地理院 GEONET F3 解)に含まれる日々のばらつきのかなりの部分は common mode 成分にも表れていることがわかる。これをオリジナル座標時系列から差し引くことで、日々のばらつきを低減することができている。スロースリップイベントによる地殻変動を GNSS データから検出する際に、この手法を適用することで、より小さい変位まで検出できると期待される。

#### 5. 相模トラフ～南海トラフ～琉球海溝におけるフィリピン海プレート沈み込み境界全域の長期的 SE の系統的把握とそのモニタリング

当初の計画に基づき、GNSS データによる関東地方に沈み込むフィリピン海プレート上面で発生するスロースリップイベント(SSE)の系統的検出を行った。その結果、1996 年から 2018 年の期間において、Mw6.6-6.8 程度の既知の房総沖 SSE に加え、Mw5.9-6.5 程度の小規模 SSE の可能性があるイベントを 25 個検出した。小規模 SSE の多くは、既知の房総沖 SSE の東に位置する。既知の房総沖 SSE に比べて発生間隔は短く、すべり量は小さいことから、安定すべりから間欠的なすべりへのプレート走向方向のすべり特性変化を示していると考えられる。また、2011 年以降に SSE の発生数が増加しており、2011 年東北沖地震以降のフィリピン海プレートの沈み込み速度上昇を反映している可能性がある(図 4、5、6)。

#### 6. スロー地震と中・大規模地震の関係の解明

西南日本において繰り返し地震と他のスロースリップイベントの間の時空間的特徴の詳細を調べ、スロー地震が空間的に相補的な分布をしていること、異なる種類のスロー地震の活動に相互作用があることを明らかにした。また、九州沖から四国にかけてのプレート境界の深部および浅部で、時間スケールが異なる 2 つのスロー地震の長距離移動を見出した(図 7)。

#### 7. 重力・電磁気観測に基づくすべりの時間発展と流体との相互作用の解明

当初の計画通りスロースリップに伴う流体移動の検出を目的とした重力及び電磁気観測を実施中である。6 月には共同研究を行っている国土地理院が御前崎において絶対重力観測を実施し、重力増加の速度が小さくなっていることが分かった。本報告を記載している時点で絶対・相対重力観測を 2-3 月に宮崎 1 点、東海 2 点(菊川・豊橋)及び豊後水道 1 点(足摺岬)で実施するための準備を進めている。石垣島地方気象台において、気象研究所との共同研究として、相対重力計による連続重力観測を 1 月より開始した。並行して土壌水分計も設置しデータを取得している。

モデリング研究により、スロースリップ域の流体がスロースリップの時間発展や地殻変動にどのような影響を与えるか調査を開始した。

東海地方、石垣島、西表島において地磁気観測を行いデータを蓄積した。地磁気変化の異常場をデータから同定するために、地磁気変化の全国規模の標準場モデルの構築を進めた。また、四国西部域において Network-MT 観測を継続し、そのデータから得られた 3 次元比抵抗構造に基づいて構造変化検知可能性の検討を行った。

#### 8. スロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常の抽出

スロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常の抽出を目的とし、地震研究所一般共同利用で豊後水道の中心部に位置する水ノ子島に構築した臨時地震観測点でのデータ取得を継続するとともに、前計画において紀伊半島で取得した稠密地震観測データの解析を継続した。

水ノ子島では、2016 年から現地収録型のレコーダを使用した臨時地震観測を行っている(図 8)。2019 年度は 6 月にデータ回収作業を実施した。得られた波形データからパワースペクトル密度を計算した(図 9)。得られた水ノ子島観測点のノイズレベルと世界中の陸上観測点の平均的なノイズレベル

( Peterson, 1993 ) を比較すると、上下動成分ではほぼ全帯域で high noise model より低いことが明らかとなり、水ノ子島のような岩礁でも良好な地震波形データを得ることが分かった。11 月には 2 回目のデータ回収を行うために水ノ子島へ上陸したが観測点が消滅していた。これは台風 8 号による高波により観測点が流出したためだと考えられ、観測点の再構築に向け新たな観測点設置方法の検討を行っている。

2015 年度に紀伊半島北東部の深部低周波地震の活動が活発な領域を通る「甲賀 南伊勢測線」で取得した稠密地震観測データでは、深部低周波地震も観測することができた。そこで、本観測で取得した低周波地震の P 波・S 波の検測値を用いて、低周波地震の震源決定を行った。また、観測した通常の自然地震の水平動成分記録では、明瞭な後続波を確認することができた。そこで、調査測線下の構造境界に関する知見を得て、低周波地震発生域との位置関係を把握するために、水平動成分データに対して自然地震反射法解析を実施した。得られた反射法断面図からは、深さ 25~30km 付近に、フィリピン海プレート上面に対応すると考えられる北傾斜の反射層が確認できる。本研究で決定した低周波地震の震源は、プレート境界近傍に位置するものもあるが、その大部分が、プレート境界から 5~10km の深さに位置している。本地域下での沈み込むフィリピン海プレートの地殻の厚さは 7~8km であることが推定されており ( 例えば、Nakanishi et al., 2002 ; Iwasaki et al., 2008 )、その厚さを考慮すると、低周波地震の大部分は、沈み込む海洋性地殻内や海洋性マントル内で発生していると考えられる。トモグラフィ解析で得られた測線下の地震波速度構造 (Kurashimo et al., 2019 ) と比較すると、低周波地震発生域の地震波速度は、P 波速度が低下し、 $V_p/V_s$  値は大きくなる特徴を示していることから、流体の存在が、これら低周波地震の発生に寄与していると考えられる。

#### 9 . 南海トラフで浅部スロー地震の滑り特性を規定する地下構造と流体挙動の解明

南海トラフで浅部スロー地震の滑り特性を規定する地下構造を解明するため、JAMSTEC が過去に南海トラフで取得したマルチチャンネル反射法地震探査 ( MCS ) データの再解釈を行い、深海掘削 ( ODP/IODP ) データとの統合を試みた。結果的に、四国海盆から南海トラフまで分布する 3 種類のタービダイト ( 西部タービダイト、中部タービダイト、東部タービダイト ) が浅部プレート境界断層 ( デコルマ ) の下部へ沈み込んでいることが明らかになった ( 図 10 )。南海トラフの陸側へ既に沈み込んでいると推察される 3 種類のタービダイトの空間分布と、海底地殻変動から推定されたプレート間固着度 ( カップリング ) 分布 ( Yokota et al., 2016 ) を比較した結果、タービダイトの岩相と形状の違いがプレート間固着度に影響することが示唆される。

1 ) シート状の形状を示しながら優れた排水能力を持つと考えられる西部タービダイトは、デコルマ付近で低間隙水圧や高有効応力の状態をもたらし、高い滑り欠損域 ( 滑り欠損  $> 5$  cm/yr ) での高カップリングに影響したと推測される。

2 ) 浸食チャンネル、または海洋性地殻の起伏が作る小規模海盆に堆積した中部タービダイトはデコルマ付近で高間隙水圧の状態をもたらし、中位滑り欠損域 ( 滑り欠損  $> 4$  cm/yr ) での低カップリングに影響したと推測される。

3 ) シート状の形状を示しながら低浸透率の泥質タービダイトを挟んでいる東部タービダイトは、デコルマ付近で高間隙水圧や低有効応力の状態もたらし、中位滑り欠損域 ( 滑り欠損  $> 4$  cm/yr ) での低カップリングに影響したと推測される。

#### 10 . スロー地震と地震発生との関連性

四国西部域の GNSS データを深部低週地震活動を基準にして重合することで、深部短期的スロースリップが発生している最中に固着域の深い側においても、わずかな滑りが起きていたことを見出した ( Kano et al., 2019 )。固着域の中で確認されたスロースリップという点が特徴的である。短期的スロースリップが起きる度に、固着域深部側でわずかに滑りが進行することで、固着域に対して応力が間欠的に載荷されていると考えられる。短期的スロースリップと固着域の関係性を理解する上で重要な成果である。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :



- Baba, S., A. Takeo, K. Obara, T. Matsuzawa, T. Maeda, 2019, Comprehensive detection of very low frequency earthquakes off the Hokkaido and Tohoku Pacific coasts, northeastern Japan, *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 125, <https://doi.org/10.1029/2019JB017988>.
- Escobar, M. T., N. Takahata, T. Kagoshima, K. Shirai, K. Tanaka, J.-O Park, H. Obata, and Y. Sano, 2019, Assessment of Helium Isotopes near the Japan Trench 5 Years after the 2011 Tohoku-Oki Earthquake, *ACS Earth and Space Chemistry*, 3 (4), 581-587, DOI: 10.1021/acsearthspacechem.8b00190.
- 廣瀬仁, 2019, GNSS 座標時系列データに含まれる common-mode error 除去手法の開発, 神戸大学都市安全研究センター研究報告, 23, 18-25.
- Hirose, H., W. Tamura, and T. Kimura, 2019, Cumulative slip distribution of short-term slow slip events in the western Shikoku area, southwest Japan based on tilt change measurements, SCG48-02, JpGU Meeting 2019, Chiba, 26-30 May.
- Hirose, H. and T. Kimura, 2019, Slip distributions of short-term slow slip events in the Shikoku area, southwest Japan from 2001 to 2019 based on tilt change measurements, P2-05, International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2019, Sendai, 21-23 Sep.
- Kano, M., A. Kato and K. Obara, 2019, Episodic tremor and slip silently invades strongly locked megathrust zone at the Nankai Trough subduction, *Scientific Reports*, 9, doi:10.1038/s41598-019-45781-0.
- 蔵下英司・飯高 隆・津村紀子・岩崎貴哉, 2019, 自然地震反射法による紀伊半島東部下における沈み込み帯構造のイメージング, SSS12-P13, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 幕張メッセ, 千葉市, 5 月 26 日 - 30 日 .
- Kurashimo, E, T. Iidaka, N. Tsumura, and Takaya Iwasaki, 2019, Earthquake reflection imaging of subduction structure beneath the eastern part of the Kii Peninsula, southwestern Japan, T51G-0367, AGU Fall Meeting 2019 , San Francisco, Calif., 9-13 Dec.
- Kurihara, R., K. Obara, A. Takeo, Y. Tanaka, 2019, Deep low-frequency Earthquakes associated with the eruptions of Shinmoe dake in Kirishima Volcanoes, *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 124, <https://doi.org/10.1029/2019JB01803>.
- Lee., H, H. Kim, T. Kagoshima, J.O. Park, N. Takahata, and Y. Sano, 2019, Mantle degassing along strike-slip faults in the Southeastern Korean Peninsula, *Scientific Reports*, 9, 15334, doi:10.1038/s41598-019-51719-3.
- Noda, Y., and H. Hirose, 2019, The b-value of the earthquake swarm activities accompanied by the Boso slow slip events, SCG48-P45, JpGU Meeting 2019, Chiba, 26-30 May.
- Sakamoto, R. and Y. Tanaka, 2019, Theoretical consideration on a relationship between tidal periods and permeability on the plate interface with high-pressure fluids, T43H-0423, AGU Fall Meeting 2019 , San Francisco, Calif., 9-13 Dec.
- 高木涼太・内田直希・小原一成, 2019, 関東地方におけるスロースリップイベントの系統的検出の試み, S03P-034, 日本地震学会講演予稿集 2019 年度秋季大会, 京都市, 9 月 16 日-18 日
- Takagi, R., N. Uchida, T. Nakayama, R. Azuma, A. Ishigami, T. Okada, T. Nakamura, and K. Shiomi, 2019, Estimation of the Orientations of the S-net Cabled Ocean-Bottom Sensors, *Seismol. Res. Lett.*, 90, 2175-2187, doi:10.1785/0220190093.
- Teshiba, S., and H. Hirose, 2019, Interplate slip around the Hyuganada-Bungo Channel from 1996 to 1998 based on GNSS data, P2-11., International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2019, Sendai, 21-23 Sep.
- Tsuru, T., K. Amakasu, J.-O Park, J. Sakakibara, and M. Takanashi, 2019, A new seismic survey technology using underwater speaker detected a low-velocity zone near the seafloor: an implication of methane gas accumulation in Tokyo Bay, *Earth, Planets and Space*, 71:31, <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1011-0>.

- Uchida N., R. Takagi, Y. Asano, K. Obara, 2020, Migration of shallow and deep slow earthquakes toward the locked segment of the Nankai megathrust, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 531, 115986, doi:10.1016/j.epsl.2019.115986.
- Umemiya Y., and Y. Tanaka, 2019, Possibility of crustal deformation caused by deep fluid flow during long-term slow slip events in the Tokai area, T43H-0433, AGU Fall Meeting 2019, San Francisco, Calif., 9-13 Dec.

(11) 令和2年度実施計画の概要:

1. スロー地震データベースの拡充とスロー地震活動特性の解明  
引き続きスロー地震データベースの運用維持とカタログ追加登録を継続するとともに、科研費・新学術領域研究「スロー地震学」終了後のデータベース運用のための移行作業を進める。
2. 陸域広帯域地震観測等を用いた超低周波地震活動様式の解明  
科研費・新学術領域研究「スロー地震学」において設置した機動的広帯域地震観測点の維持、データ収集を行い、深部超低周波地震の検出、活動特性や他のスロー地震との相互作用の解明を進める。
3. 深部低周波地震の高速移動現象の解明  
科研費・新学術領域研究「スロー地震学」によるアレイ観測を継続して実施する。
4. GNSS 観測による豊後水道周辺域での SSE のモニタリング  
豊後水道周辺地域においてこれまでに構築してきた機動的 GNSS 連続観測点での地殻変動観測および座標値解析を継続して実施する。水ノ子島での観測再開を目指す。国土地理院等の他機関の観測データもあわせてモニタリングを継続する。過去の長期間のデータも活用しスロースリップイベントの把握を進める。
5. 相模トラフ～南海トラフ～琉球海溝におけるフィリピン海プレート沈み込み境界全域の長期的 SSE の系統的把握とそのモニタリング  
さらに領域を拡張し、西南日本の広域における SSE の系統的な検出を行う。SSE の準リアルタイム検出に向けた手法の改良を行う。
6. スロー地震と中・大規模地震の関係の解明  
西南日本等において周期的なスロースリップの探索などにより、スロースリップの活動の特徴について調べる。
7. 重力・電磁気観測に基づくすべりの時間発展と流体との相互作用の解明 [ 5 か年計画に基づき東海、四国、宮崎、八重山における絶対・相対重力観測を継続するとともに、地下水等のノイズを低減する手法を開発する。  
また、四国西部域における Network-MT 観測を継続するとともに、引き続き比抵抗構造変化検知可能性を探る。  
東海地方、石垣島、西表島における地磁気観測を継続するとともに、地磁気変化の標準場モデルの精度の向上と更新を進める。
8. スロー地震の滑り特性を規定する地下構造異常の抽出  
スロー地震発生域やその近傍における構造を明らかにするために、紀伊半島等で取得された稠密地震観測データの解析を引き続き実施する。また、豊後水道下のプレート形状を明らかにする目的で水ノ子島に構築していた観測点での観測再開を目指す。
9. 南海トラフで浅部スロー地震の滑り特性を規定する地下構造と流体挙動の解明  
令和2年度には既存の MCS データを用い、浅部スロー地震の発生域と非発生域においてデコルマまたは OOST 断層の反射係数を求め間隙水圧を推定し、浅部スロー地震発生に影響する断層物性を評価する。
10. スロー地震と地震発生との関連性  
房総沖スロースリップに伴う群発地震活動の震源再決定、Matched filter 法による地震活動の再検出を行う。また、小繰り返し地震のモニタリングに関する課題とも連携し、非地震性滑りの時間発展について調べる。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

蔵下英司・小原一成・竹尾明子・加藤愛太郎・上嶋誠・小河勉・飯高隆 (東大地震研)

他機関との共同研究の有無 : 有

加納将行・内田直希・高木涼太 (東北大)、井出哲・田中愛幸 (東大理)、朴進午 (東大大気海洋研)、中東和夫 (東京海洋大)、津村紀子 (千葉大)、麻生尚文 (東工大)、廣瀬仁 (神戸大)、松島健 (九州大)、田部井隆雄 (高知大)、西村卓也 (京大防災研)、松澤孝紀 (防災科研)

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話 : 03-5841-5787

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 蔵下英司

所属 : 東京大学地震研究所

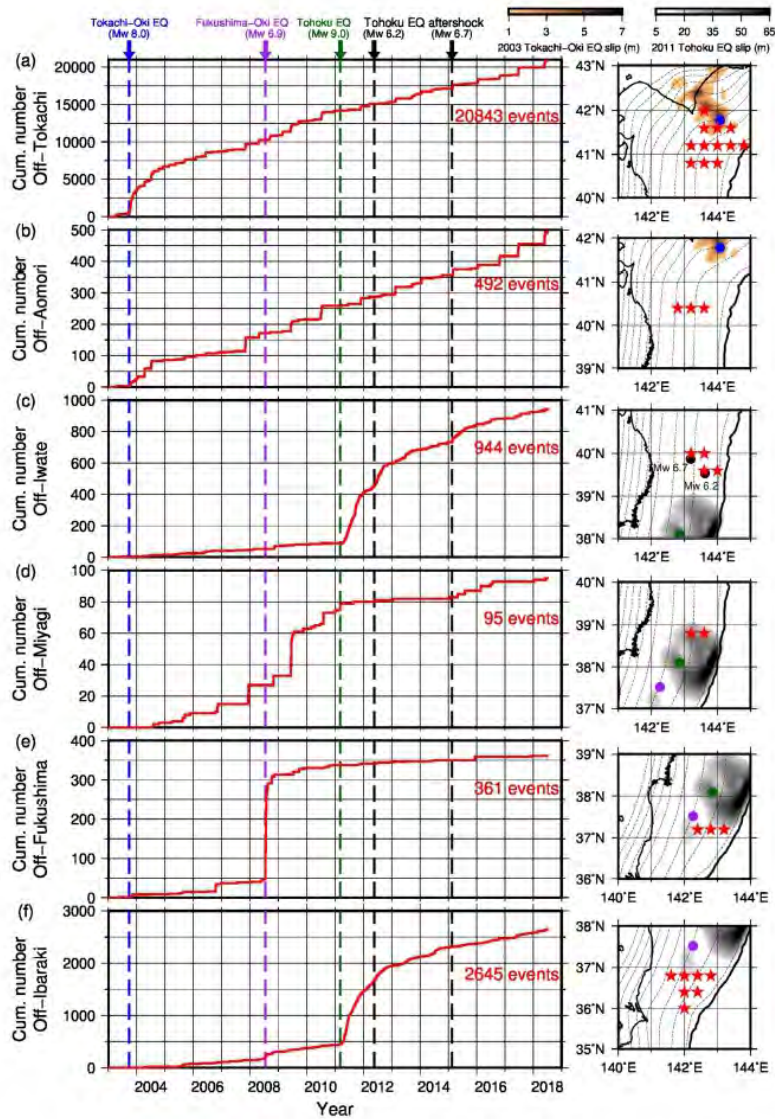


図1：東北地方太平洋沖における2003年1月～2018年7月の浅部超低周波地震活動の時間変化。

(a)～(f)はそれぞれ十勝沖、青森沖、岩手沖、宮城沖、福島沖、茨城沖。右図に示す各地域の赤星のグリッドに配置したプレートにマッチした超低周波地震の積算個数を左図に示す。破線は周辺に発生した顕著な地震活動を示す。

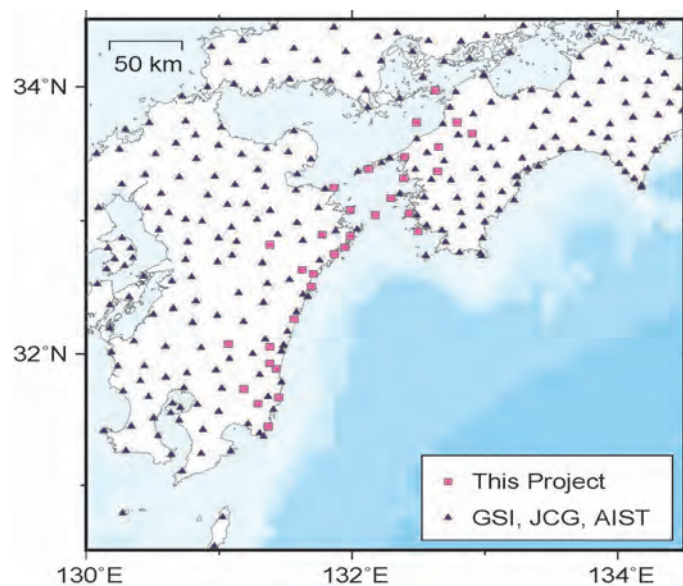


図 2：本計画の研究グループで維持している GNSS 連続観測点の分布図（ピンク四角）。他機関の GNSS 観測点でデータの利用できる地点を青三角で示した。

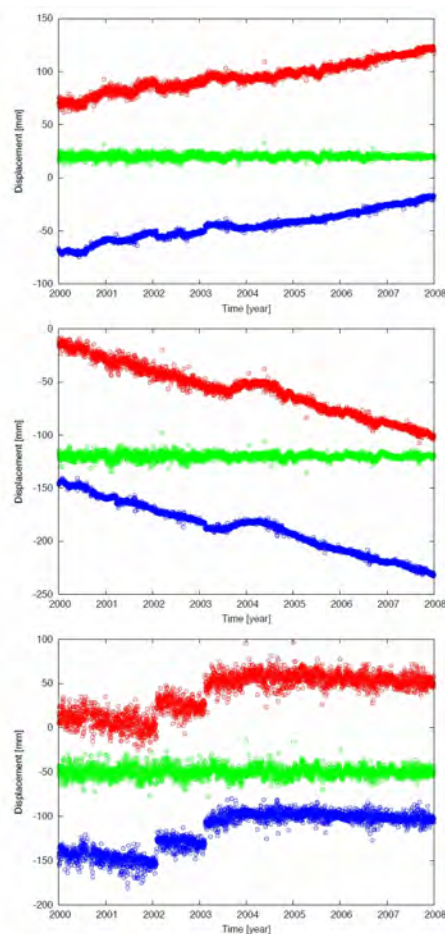


図 3：観測点 940085 (大分佐伯) の座標時系列データ。

(上) NS 成分、(中) EW 成分、(下) UD 成分。赤点は元データである F3 解、緑点は推定された common mode のうち並進成分、青点はこの観測点に対して求められた common mode 計算値を元データから差し引いたもの。それぞれのトレースは縦軸方向に適当にオフセットさせている (廣瀬, 2019)。



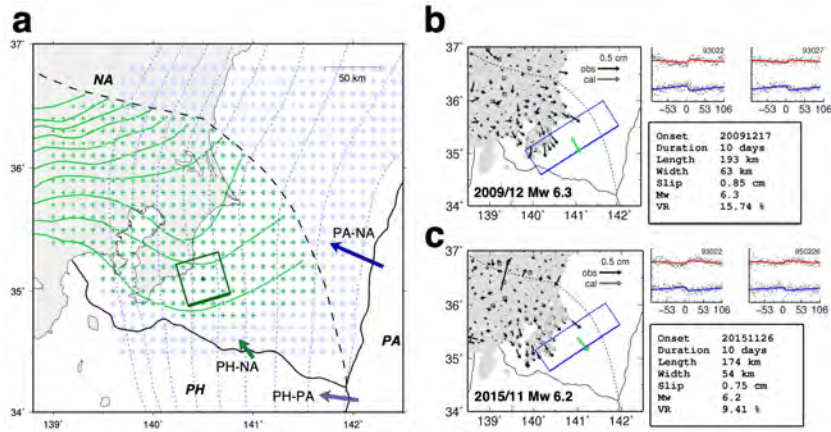


図 4 : (a) SSE の検出に使用したグリッド配置。緑のフィリピン海プレート上面のグリッドのみで検出を行った。(b) 検出された小規模 SSE の例。このイベントは防災科研 (2010) も Hi-net 傾斜計 1 点での非正常変動を報告している。(c) 検出された小規模 SSE の別の例。

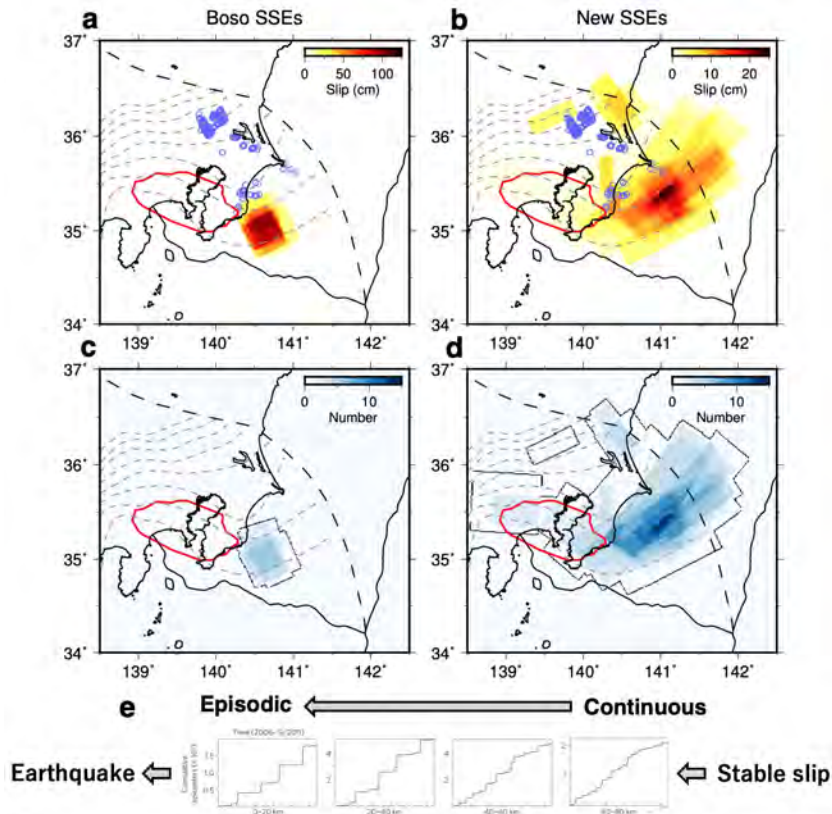


図 5 : (a) 既知の房総沖 SSE の積算すべり量。赤線は関東地震のすべり域、青丸は小繰り返し地震 [Uchida et al. (2016)]、灰色破線はフィリピン海プレート上面深さ 10 km 間隔の等深線 [Nakajima et al. (2019)]、黒色破線はフィリピン海プレート北東端 [Uchida et al. (2010)] を表す。(b) 新たに検出された小規模 SSE の積算すべり量。(c) 既知の房総沖 SSE の発生個数。(d) 新たに検出された小規模 SSE の発生個数。(e) Cascadia における低周波微動発生様式の変化。Wech and Creager (2011) の図に加筆。

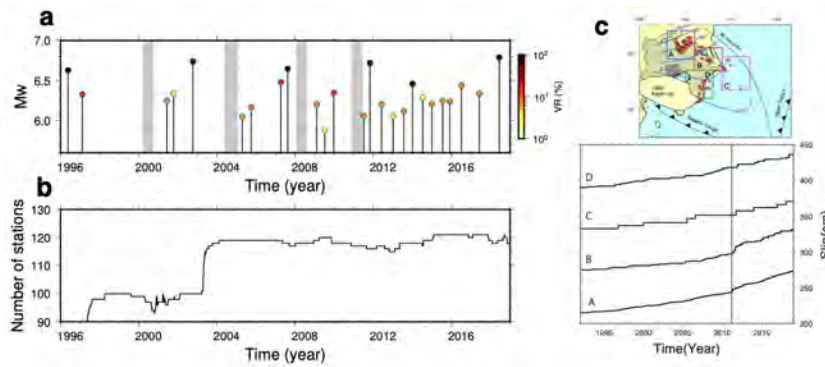


図 6 : (a) 検出された SSE の MT 図。色は観測 GNSS 時系列とモデル時系列の Variance Reduction を表す。灰色の領域は、大地震による地殻変動により SSE 検出ができなかった期間を示す。(b) 使用した GNSS 観測点数。(c) 小繰り返し地震活動から推定される非地震性すべり。Uchida et al. (2016) をアップデート。

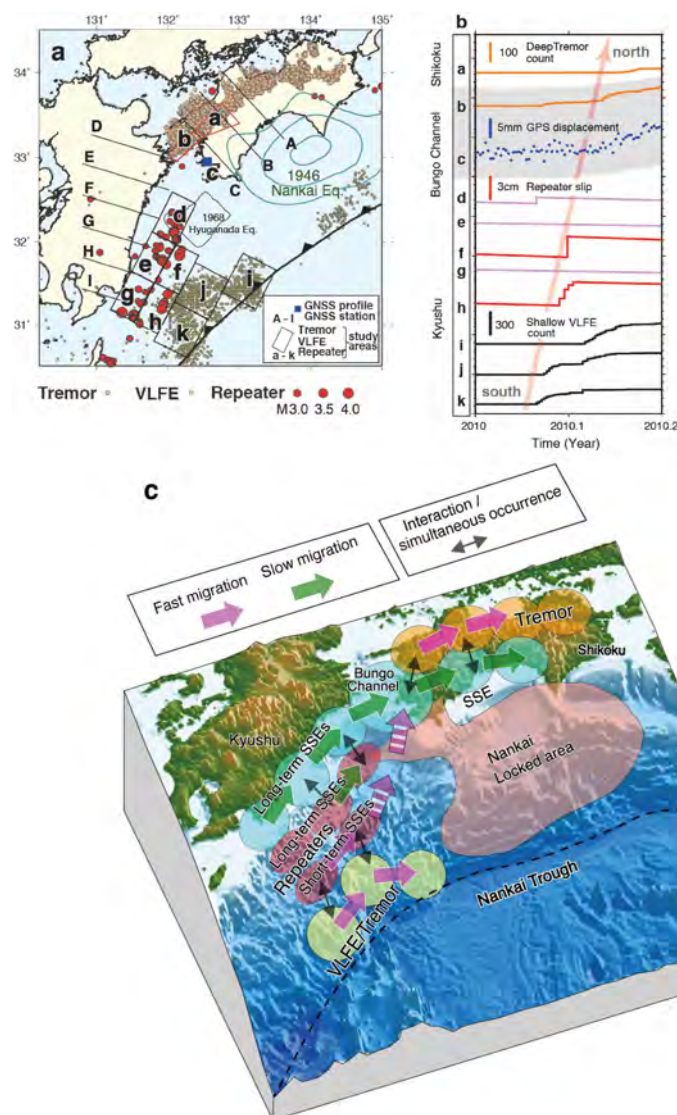


図 7 : (a) 南海トラフでの繰り返し地震 (赤丸) および他のスロー地震 (黄色丸・橙色丸) の分布。(b) 繰り返し地震およびスロー地震から推定される長距離のスロースリップの移動の例。(c) スロースリップ移動のモデル (緑は数年かけた移動、ピンクは 1ヶ月程度での移動)。



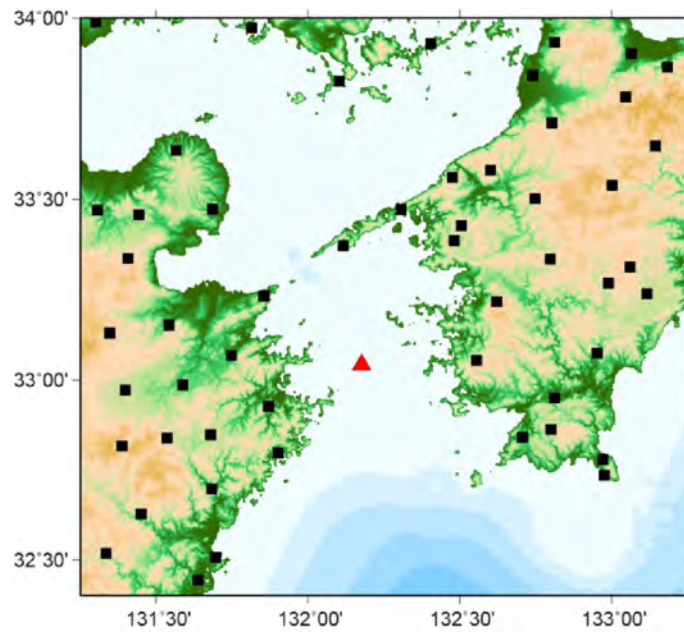


図8：観測点配置図。

赤色三角：水ノ子島観測点、黒色四角：定常地震観測点

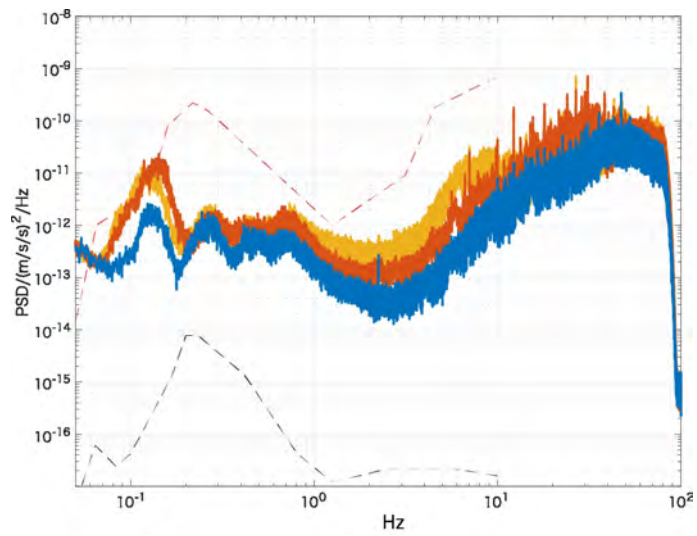


図9：パワースペクトル密度。

青：上下動成分、赤：南北成分、オレンジ：東西成分、赤破線：high noise model、黒破線：low noise model。

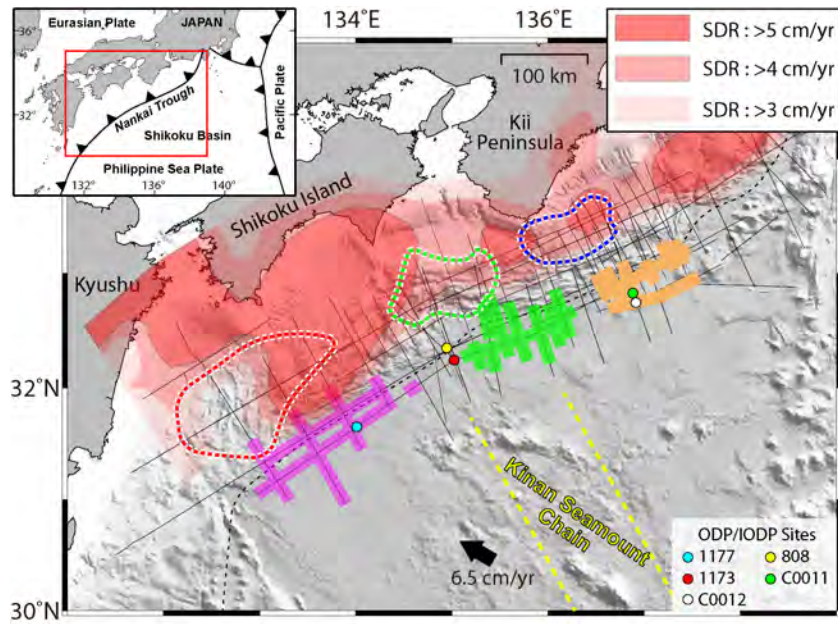


図 10：灰色の細線は JAMSTEC が取得したマルチチャンネル反射法地震探査 (MCS) データの測線を示す。MCS 測線上の太いピンク線、緑線、オレンジ線は、四国海盆で同定された西部タービダイト、中部タービダイト、東部タービダイトを示す。太いピンク点線、緑点線、オレンジ点線のポリゴンは、既に陸側へ沈み込んだ西部タービダイト、中部タービダイト、東部タービダイトを示す。海底地殻変動から推定された滑り欠損 (Slip-deficit Rate, SDR) 分布 (Yokota et al., 2016) は透明な赤色エリアで示されている。

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

経験的アプローチによる大地震の確率予測のパフォーマンス調査

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

課題 1206(地震活動の時空間パターンと断層および地震サイクルとの関係)では、地震活動の新たな解析方法をいくつか開発し、大地震前の特徴的な活動や、活動モデルの高度化を行った。課題 1511(地震活動に基づく地震発生予測検証実験)では、CSEPに参加して、日本の地震活動予測モデルの維持・検証を行った。課題 2501においては、電磁気現象および、地震活動にみられる先行現象の客観的評価を行った。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

真にプロスペクティブな予測実験である CSEP への参加を継続するとともに、既存手法の改良・新規手法の提案を目指して、地震活動に関するものをはじめ様々な先行現象のレトロスペクティブな性能評価を独自に押し進める。同程度の先行期間をもつ現象については、それらの発現が相関していないかを調べる。先行性が有意であることが分かっている前震については、現象と地震発生がどのように

関連しているのかを仮説し検証する。また、将来的な実用化を意識して、時々刻々更新されるデータに対して、確率予測を柔軟に準リアルタイムで取得するシステムを試作する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

A. CSEP に基く地震活動予測検証実験は、毎年度継続的に実施する。また、CSEP に新たなモデルとして提出可能なアルゴリズムをもつ地震活動の予測手法の同定を平成 31 年度に行い、平成 32 年度にモデルコードのプロトタイプを書き、平成 33 年度にレトロスペクティブな成績評価を行って、平成 34-35 年度の CSEP 実験に提出する。

B. 更新データを用いた準リアルタイム予測システムについては、平成 31 年度にシステムの全体設計を行い、平成 32 年度に、最も簡単な予測アルゴリズムによる予測結果のデータベースを準リアルタイムに自動更新するシステムを開発する。平成 33 年度に、データベースから用途に応じて様々なタイプの予報を柔軟に取り出すシステムを作成する。平成 34-35 年においては、作成された予報について実用的観点から検討する。

C. 前震の事前識別法に関しては、平成 31 年度から既存の前震に基く予測手法について、ETAS 的クラスタリングによる寄与がどの程度であるかの評価を開始し、平成 33 年度までにまとめる。また、手法の改良・新たな手法については、5 年間を通じて手法ごとに、アルゴリズムの作成と成績評価を繰り返す。また、ETAS 的クラスタリングについては、5 年間を通じて、統計モデルの改良とともに物理的モデルとの整合性を検討する。

D. 年スケールの先行現象であるといわれている地震活動の変化については、b 値変化・静穏化・イータ値についての有意性の評価を平成 32 年度までに完了し、平成 33 年からは、対象とする地震の M、地域を広げつつ、それらの活動変化指標の相関を評価する。また、M8 法、既存の手法との相関も評価する。また、5 年間を通じて、様々な活動指標を総合的に評価する手法に対して機械学習等での最適化を試みる。また、RTM 等、先行性の検証がなされていないものについて評価を行う。

E. 潮汐・地震波等の過渡入力に対する応答性については、平成 33 年度までに網羅的検出のアルゴリズムを作成し、平成 34-35 年度に、地震発生に対する先行性を評価する。

F. 地震活動以外で統計的に有意な先行性が示されている、週スケールの先行時間を ULF 磁気異常と、GNSS 記録の変動について、平成 31-32 年に両者の相関を調べ、また、5 年間を通じて個々の異常を精査する。さらに、他の課題から提案された先行現象候補については、連携して成績評価を行う。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

CSEP のプロトコルに基づくプロスペクティブな地震発生予測検証実験を、3 領域および 4 テストクラスの合計 12 のカテゴリーで実施した。また CSEP-Japan に関する研究集会を開催し、10 を超える研究発表を通して活発な議論を行った。今年度はさらに、CSEP に提出されている予測モデルのなかでも、過去の一定の期間(以後学習期間)の地震活動の地域性のみに着目して予測を行う、単純で意味のつかみやすい RI モデルに関して、学習期間、学習対象のマグニチュード下限をさまざまに変えて、CSEP のプロスペクティブ予測実験開始以前も含む 2005-2017 年のレトロスペクティブな予測・評価を行った。図 1a では、学習に使う地震の下限を M3.5 と固定し、学習期間の長さを変えたモデルにおいて、3ヶ月先までの関東地域内において M4 以上の地震が発生しやすい場所を予測できているかという観点での成績である。基本的には、長期間のデータを学習した方が予測成績がよい。また、2011 年の東北地震の前と後にわけて成績をみると、東北地震後の方が好成績で、場所による活動度の差が、東北地震後の方がくっきりしているのだと解釈できる。図 1b からは、小さい地震まで学習対象とした方が短期間で学習が完了することがわかる。つまり、RI モデルによる予測においては、学習でみる活動の期間の長さよりも、学習した地震の数が大事であることが示唆される。一方、数十年スケールの長期的な地震危険度の空間分布を求めるために、中国北部における 1980-2016 年の M3 以上の地震の空間分布に対して、実装が簡単な新規提案のものを含めて四種類の手法で空間平滑化を行った (Xiong et al., 2019)。いずれの手法も同様の結果(図 2)を示し、またクロスバリデーションでも安定した結果を

示したので、この空間分布はロバストに推定されていると考えられる。

準リアルタイムで更新する地震発生確率予測システムのための主要コンポーネントの試作を開始した。まず予測アルゴリズムのベースとなる階層的時空間 ETAS を過去の様々な期間のデータにフィットした。求めたパラメタ値はデータベースとして蓄積され、過去の任意の時期、もしくはリアルタイムで加わる新しいデータに基づいて予測を速やかに作製するために使われる。また、パラメタの最尤推定値ではなく、直近の活動からベイズ推定した ETAS パラメタ値の事後分布に基づいて、今後短い期間内に特に大きな地震がおきる確率をロバストに推定する新しい手法も開発した (Shcherbakov et al., 2019)。また、予測値の可視化のために、断層や地震活動など様々な情報と組みあわせてを二次元の地図に表示し、対話的に拡大・縮小や個別情報の詳細へのアクセスができるマッピングツールを試作した。さらに、3次元でのマッピングツールも試作し、毎日更新取得する地震カタログを用いて計算される静穏化指標、 $b$  値、GEONET による観測点変位や面積歪み、地震活動の短期的な空間集中化指標 (Lippiello, 2012) などを表示できるようにした (井筒ら, 2019)。図 3 は、2014 年長野県神城断層地震 (M6.7) 直前の空間集中化指標をマッピングした例で、本震震源の周りの活動に顕著な集中化がみられる。

先行現象としての大きな確率利得が強い有意性で確立している前震識別法の一つ (Maeda, 1996; 以後 M 法) について、その予測能力が余震トリガ効果から派生しているものにすぎないのか (e.g., Nakatani, in press)、あるいは、本震の物理的準備過程の存在を示唆する (e.g., Kamogawa et al., 2019) ものなのかを調べるために、ETAS モデルによって作製した人工的なカタログ (つまり、ランダムな地震の発生と余震的トリガ効果だけで起きる地震活動) に対して M 法を適用してみた (弘瀬ら, 2019; 前田ら, 印刷中)。図 4 は、伊豆地域 (1977-2018, ただし三宅島の活動があった 2000 年 6-9 月は除外) における予察的な結果であり、人工カタログ (1000 通り作成)、実際のカタログに対してそれぞれ最適化した上で、それぞれのカタログ上での予測成績を示している。いずれの成績指標も実際の地震カタログに対する予測の方が明らかにすぐれている。図 5 は、それぞれのカタログで各々の本震時刻を基準に、M 法で前震候補とみなす群発地震の累積回数を示す (余震は除いてある)。どちらのカタログでも本震に向けて前震活動は加速するが、実際のカタログでは本震 5 日前程度の前震数が ETAS 人工カタログよりかなり多い。実カタログに対する最適化では 3 日以内に M3 以上の地震が 3 個あれば前震活動とみなすのに対し、ETAS カタログへの最適化では、5 日以内に 2 個となっており、実際の前震は、ETAS で予測されるより数が多いということを活用して M 法の識別条件が厳しく設定できたことが、偽陽性を減らし、パフォーマンスに貢献したと解釈される。一方で、M 法を ETAS カタログへ適用した場合でも、確率ゲインで 100 程度の予測はできており、M 法は、余震的トリガ効果だけによって生まれる活動であっても前震活動だと識別することも見てとれる。

地震識別による本震発生確率の予測手法として提案された OUK 法 (Ogata et al., 1996) は、現時点での最大地震より M が 0.5 以上大きい地震が 30 日以内におきる確率を予測する手法であり、クロス集計表により有効な予測であることが確認されている (Ogata and Katsura, 2012)。この手法を発展させ、確率の活動への依存性をより一般的なスプライン関数とした手法 (野村・尾形, 2018, 予知連会報; 以後 NO 法) は、OUK 法に似ているが、予測対象が少し異なり「現時点での最大地震より M が少しでも大きい地震が 30 日以内におきる確率」である。本年度は、予測対象の違いをこえて性能を比較するために、簡便な方法で NO 法の予測対象を変更することを試みた (野村・尾形, 印刷中)。予測対象のマグニチュードに関しては、最大前震と本震とのマグニチュード差の分布 (図 6a) に基づいて NO 法の予測対象を OUK96 法の対象と同様にした (予測確率値を 0.48 倍にする) 場合の予測性能を調べ、その場合でも有効な予測となることを確認した。同じ原理で、予測対象のマグニチュード下限を絶対値で指定した予測への変換もでき、M6 以上を対象とした場合についても有効な予測になっていることを確認した。また、同様に前震確率評価時点から本震発生までの日数の分布 (図 6b) に基づいて同様の補正をすることで予測期間を縮めた場合の発生確率に変換した結果も、有効な予測となっていた。

また、群発活動が生じた場合には次の地震のマグニチュード分布がより大地震の割合が大きいものになる (Ogata et al., 2018) という仮説を NO 法に取り入れると、時間不変の GR 則を仮定した場合より予測性能がよくなることも見いだした (図 7)。この仮説を OUK 法に取り入れた場合には、少数の地震

からなる群発活動に絞った時以外では、かえって性能を下げる結果となっていたが、NO法に取り入れた場合では、クラスサイズに制約をかけなくても、このM分布変化を取り入れることで性能が改善された。この傾向は、日本の地震に対しても全世界の地震に対しても同じであった。

この他、前震活動の例として、2015年の小笠原の深発地震(Mw7.9, 深さ700km)に対して、3ヶ月前から逆大森則に従う前震が30個弱おきていたことをみいだした(Gardonio et al., 2019)。深発地震に対して明瞭な前震活動が見つかったのは世界初である。また、大森にしたがう20個ほどの余震もみいだされた。これらのほとんどは、マッチトフィルター法によって見いだされたM1.9-4.8の小さな地震で、気象庁のカタログ(検出保証下限マグニチュード3.7)では、余震が4つ登録されていただけであった。

このように、地震カタログを充実させることは重要であり、また、精密な震源決定は、前震活動が(余震的)トリガリングによる確率論的なカスケードアップ現象なのか、プレスリップなどの前兆的物理解状態を示したもののなのかの議論に重要な役割を果たす(e.g., Ellsworth and Bulut, 2018)。南アフリカ金鉱山(e.g., Manthei et al., 2019)、内陸地震の稠密観測などの、高い検知率と高精度な震源決定が期待できる超高密度ネットワーク観測のデータに対して、高速で自動処理してカタログを充実させるために、深層学習等を取り入れた計算機負荷の少ない検出アルゴリズムの試行的適用をはじめた。また、2018年大阪府北部地震(Mj6.1)は本震において逆断層と横ずれ断層がともに大きく滑った複雑な地震であることが知られている(e.g., Kato and Ueda, 2019)が、今年度さらに、3ヶ月間の余震活動の精密な震源決定と、多数の余震の滑りの向きを調べたところ(Li et al., 2019)、本震の横ずれ断層に斜交した別の2つの横ずれ断層(長さ1kmと4km)に沿って発展したことがわかった。こういった複雑な断層の間の相互作用は、静的な応力の変化・地域の応力場と整合的であった。

前震の問題にかかわらず、余震活動を正確にモデリングすることは、地震活動の解析において非常に重要であり、最近の統計地震学の発展は、ETASモデルの性能に負うところが非常に大きい。かねてから、応力的影響(Dietrich, 1994)を介した余震活動のモデリング(e.g., Iwata, 2016)を行ってきたが、本年度は、地震が周囲に及ぼす応力的影響に異方性を許し、また、空間的減衰の鋭さもパラメータ化して最適化することを許した試みを行ったところ、期待通り、余震の空間分布に関して大きな改善がみられた。厳密な物理解釈は難しいが、トリガリングソースである個々の地震が点ではなく、二次元的なすべり域であるという効果を近似的に取り入れたことになるのかもしれない。一方、純粋に経験的なモデルとしてのETASに関して、大きな地震からのトリガに関してその破壊域形状を考慮した取扱をする(Guo et al., 2015, 2017; 有限断層ETAS)、震源の深さの情報も用いる(Guo et al., 2015; 三次元ETAS)など、一層の改善の努力が進んでいる。本年度は、三次元有限断層ETASモデル(Guo et al., 2019)を開発し、2016年熊本地震周辺域の2010-2018年の地震活動に適用したところ、三次元化も有限断層化もフィッティング性能に大きく貢献するとの結果が得られた。また、本震後30日間にわたって活動の予測を試みたところ、三次元化によって予測性能が改善していた。有限断層化(2つの大きな前震と本震を有限断層として扱った)も本震後1-2日に限っては予測を改善する効果があった。

地震活動に季節性があることは以前より様々な地域で提案されており、これは、地震確率の時間変動の予測に使用できるはずの情報である。なるべく恣意性を除いた手法で余震を取り除いて独立地震に対して季節性があるかどうか客観的に評価するために、山陰地方の1980-2017のM3以上の地震活動に対して時空間ETASを用いた確率的手法での余震除去カタログを10,000通り生成することによって、独立地震の発生数にみられる6ヶ月周期の変動が8シグマで有意であることを示した(Ueda and Kato, 2019a)。春と秋には平均より25%程度地震発生確率が高いという傾向であり、これは、解析期間を2つに分割しても安定してみられる傾向であった。余震除去を階層的時空間ETASで行ってみても結果はほぼ同じであった(図8a-c)。また、数が少ないのでそれ自体の有意性は評価しがたいが、1850-2017および、1923-2017のM6.2以上の地震だけについても、春と秋に多いという傾向はある。さらに、新潟地方の1980年からのM3以上の地震活動に対して同様の解析(図8d-f; Ueda and Kato, 2019b)を行うと1年周期の変動が有意であった(夏に少なく、冬に多い)。これらの季節性の原因として、降水の地下浸透による間隙圧の増加、あるいは、降雪/雪解けによる鉛直応力の変化が考えられる。また、ETASモデリングによって余震を除去することによって、中国の天然ガス地層貯留によって人工的に



誘発された地震活動の存在が示唆された (Zhou et al., 2019)。誘発された活動は、貯留層との流体移動が難しそうな場所にあり、間隙圧の効果ではなく、ガスの注入・回収によって生じる岩盤の変位に起因する弾性応力の変化ではないかと考えられる。

b 値の低いところで地震がおきる例がたびたび指摘されているが、2016 年熊本地震震源域周辺の最近 (2017 年 1 月から 2019 年 3 月まで) の地震活動の b 値の空間分布を調べたところ、本震破壊域の南端、10km 程度の領域でだけ、地震前に比べて顕著に b 値が低下していることを見いだした。さらに、これより北の本震破壊域では大森-宇津則の p 値  $>1$  と余震の減衰が速いのに対して、日奈久断層のこれより南の部分では p 値  $<1$  で余震の減衰が遅い。このことは、地震後の地殻変動観測から指摘 (Pollitz et al., 2017) されている本震の破壊域での余効すべりと岩盤の粘弾性緩和から期待される断層上での不均質な応力変化と整合的 (図 9; Nanjo et al., 2019) であり、熊本地震以降に本震破壊域南端での応力増加が進行している可能性を示唆する。

地殻変動のデータに関しては、気象庁が展開する東海地方の歪み系ネットワークによる短期的 SSE の検知確率の評価を行った (Nanjo, 2019)。M5.5 程度の SSE ならネットワークのあるところから、ネットワークの幅程度離れたところまで 90% を超える検知率があるが、浜名湖付近に観測点を追加すると、検知領域がかなり沖側へ広げられるとがわかった。

進捗は、おおむね (8) と一致した。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Gardonio, B., A. Schubnel, S. Das, H. Lyon-Caen, D. Marsan, M. Bouchon, and A. Kato, 2020, The preseismic and postseismic phases of the 700-km deep Mw7.9 Bonin Islands earthquake, Japan. *Geophysical Research Letters*, 47, e2019GL085589. <https://doi.org/10.1029/2019GL085589>.

Guo, Y., J. Zhuang, and Y. Ogata, 2019, Modelling and forecasting aftershocks can be improved by incorporating rupture geometry in the ETAS model. *Geophysical Research Letters*. 46, 12881-12889. doi: 10.1029/2019GL084775.

弘瀬冬樹・溜瀧功史・前田憲二, 2019, 自然地震カタログと ETAS カタログに内在する前震活動の特徴の違い: 前震予測モデルを用いた検証, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, SSS09-P02.

井筒潤・楠城一嘉・鴨川仁・織原義明・長尾年恭, 2019, 地震災害予測のための地球観測データのデジタルアースによる可視化, 東海大学海洋研究所研究報告, 41, 1-15.

Kamogawa, M., K. Z. Nanjo, J. Izutsu, Y. Orihara, T. Nagao, and S. Uyeda, 2019, Nucleation and cascade features of earthquake mainshock statistically explored from foreshock seismicity, *Entropy*, 21(4), 421, DOI:10.3390/e21040421.

Li, Y., D. Wang, S. Xu, L. Fang, Y. Cheng, G. Luo, B. Yan, B. Enescu, and J. Mori, 2019, Thrust and Conjugate Strike Slip Faults in the 17 June 2018 MJMA 6.1 (?Mw 5.5) Osaka, Japan, *Earthquake Sequence*. *Seismological Research Letters*; 90 (6): 2132-2141, doi:10.1785/0220190122, 2019.

前田憲二・弘瀬冬樹・溜瀧功史, 印刷中, 群発的地震活動を前震活動と仮定して行う本震の発生予測手法 ( 5 ): 最近の活動事例による検証と ETAS モデルとの比較, 地震予知連絡会会報, 第 103 巻.

Manthei, G., K. Plenkens, J. Philipp, M. Naoi, H. Moriya, and M. Nakatani, 2019, In-Situ Acoustic Emission Monitoring in Mines, *ARMA19*?1711.

Nakatani, M., in press, Evaluation of phenomena preceding earthquakes and earthquake predictability, *J. Disaster Res.* vol.15, No.2.

Nanjo, K. Z., 2019, Capability of Tokai strainmeter network to detect and locate a slow slip: First results, *Pure and Applied Geophysics*, DOI:10.1007/s00024-019-02367-1.

Nanjo, K. Z., J. Izutsu, Y. Orihara, M. Kamogawa, and T. Nagao, 2019, Changes in Seismicity Pattern Due to the 2016 Kumamoto Earthquakes Identify a Highly Stressed Area on the Hinagu Fault Zone, *Geophysical Research Letters*, 46(16), 9489-9496, DOI: 10.1029/2019GL083463.



野村俊一・尾形良彦, 印刷中, 多様な予測方式に対する前震識別モデルとその予測性能評価, 地震予知連絡会会報, 第 103 巻.

Shcherbakov, R., J. Zhuang, G. Zoeller, and Y. Ogata, 2019, Forecasting the magnitude of the largest expected earthquake. Nature Communications, 10:4051. doi:10.1038/s41467-019-11958-4.

Ueda, T. and A. Kato, 2019a, Seasonal variations in crustal seismicity in San'in district, southwest Japan. Geophysical Research Letters, 46, 3172-3179. <https://doi.org/10.1029/2018GL081789>.

Ueda, T. and A. Kato, 2019b, Seasonal variations in crustal seismicity in several tectonic regions in Japan, S13D-0471, AGU Fall Meeting 2019, San Francisco.

Xiong, Z., J. Zhuang, and S. Zhou, 2019, Long-term earthquake hazard in North China estimated from a modern catalog. Bulletin of the Seismological Society of America. 109, 2340-2355. doi:10.1785/012019006.

Zhou, P., H. Yang, B. Wang, and J. Zhuang, 2019, Seismological investigations of induced earthquakes near the Hutubi underground gas storage facility. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 124: 8753-8770. doi:10.1029/2019JB017360.

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

CSEP の各モデルによる系統的な予測実験を継続するとともに、個別事例についての回顧分析も適宜行う。準リアルタイム予測システムに実装できる ETAS モデルからの予測作製プログラムを作る。実際の前震活動が余震トリガ効果でどこまで説明されるかの調査を拡充する。前震活動の詳細を調べるため、稠密ネットワークから超高品質の地震カタログを作製する。前震・余震活動のモデルを改良する。b 値低下、静穏化による試行予測の結果をまとめる。地震活動の潮汐敏感性を網羅的に計算する。先行現象としての有意性が示されている短期的な GNSS データ変動の詳細を調査する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学地震研究所 (中谷正生、鶴岡 弘、加藤愛太郎、福田淳一、中川茂樹)

他機関との共同研究の有無 : 有

北海道大学 (勝俣 啓)

京都大学防災研究所 (片尾 浩、直井 誠)

京都大学大学院理学研究科 (Enescu Bogdan)

東海大学 (長尾年恭、織原義明)

静岡県立大学 (楠城一嘉)

常磐大学 (岩田貴樹)

中部大学 (井筒 潤)

気象研究所 (弘瀬冬樹)

統計数理研究所 (Zhuang Jiancang、野村俊一)

地震予知総合研究振興会 (石辺岳男)

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話 : 03-5841-5787

e-mail : [yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp](mailto:yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp)

URL : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 中谷正生

所属 : 東京大学地震研究所

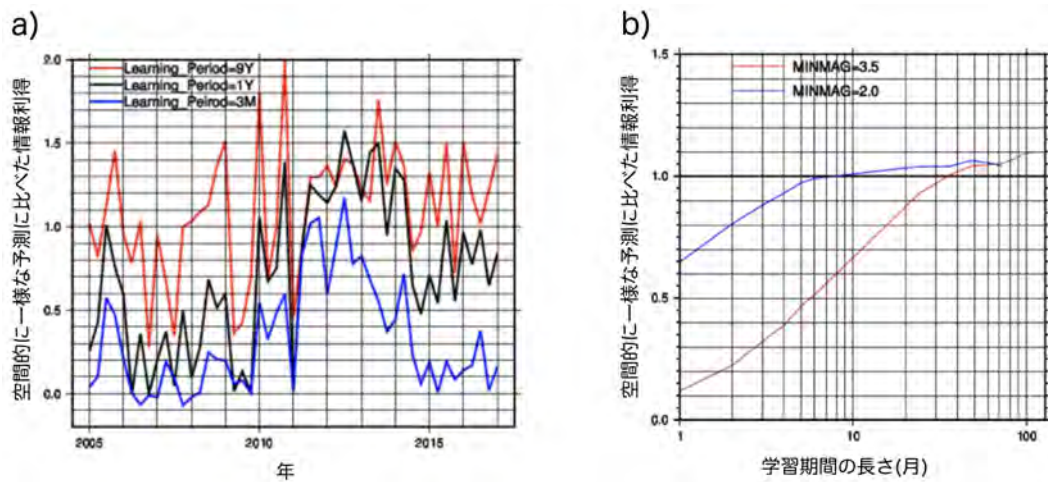


図 1. RI モデルによる関東地域の 3ヶ月先までの地震予測の成績

a) 成績の推移。学習期間を 3ヶ月 (青線)、1年 (黒線)、9年 (赤線) とした場合それぞれについて示した。b) 学習期間の長さに対する成績の変化。学習に用いる地震の下限を M3.5 (赤線) にした場合と M2.0 (青線) にした場合を示した。

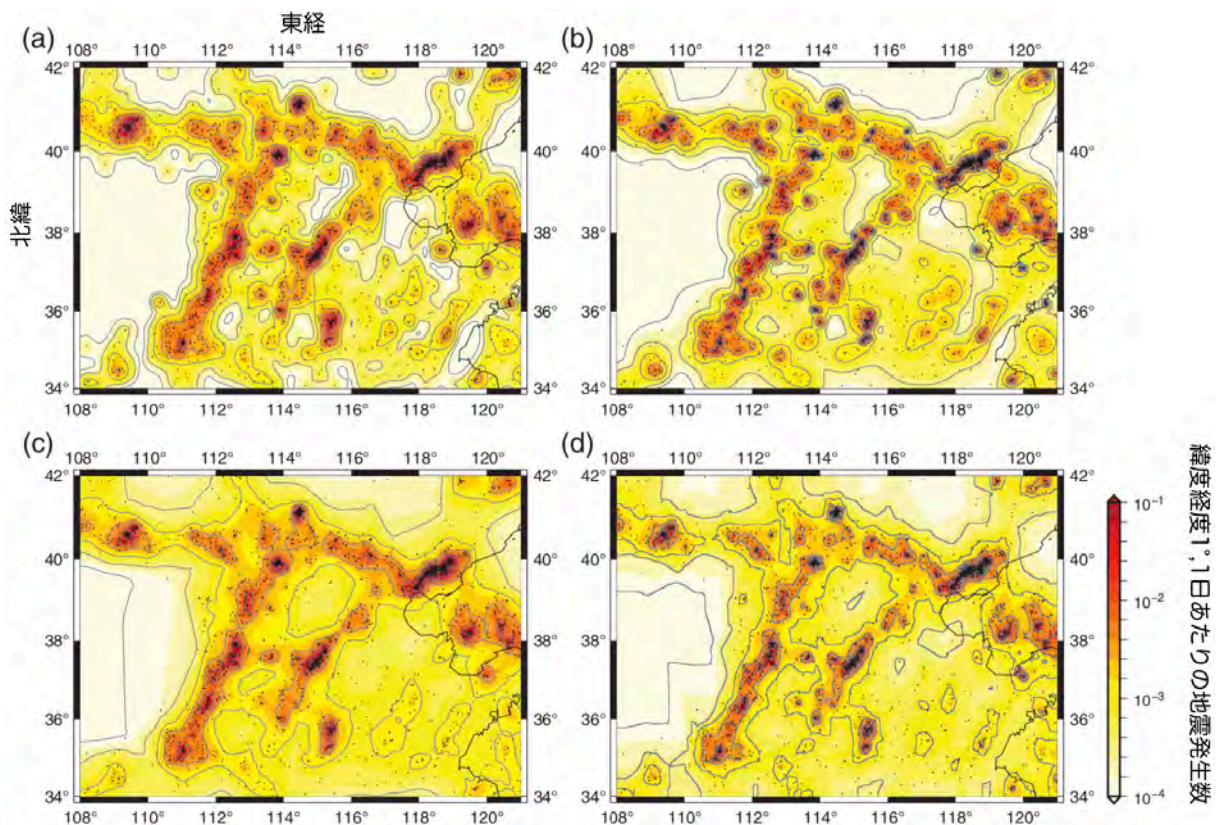


図 2. 様々な空間平滑化法で評価した、中国北部の地震活動度の地域性 (Xiong et al., 2019 より改変)

黒い点であらわされた地震の空間分布を四つの異なる手法で平滑化した結果 (カラスケール)。(a) Stock and Smith (2002) の適応平滑化関数。(b) Zhuang et al. (2002) の適応平滑化関数。(c) ドロネー空間分割を用いた Ogata (2003) の平滑化法。(d) ポロノイ空間分割を用いた新規提案の簡便な平滑化法。

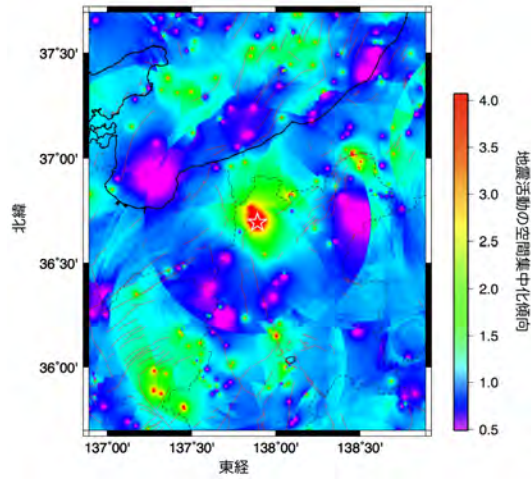


図 3. 2014 年長野県神城断層地震 (M6.7, 11 月 22 日) 直前の地震活動空間集中化指標 (井筒ら, 2019 より改変)  
 本震 (星印) がおきる 5 分前の時点において、直近  $n=50$  個の活動の空間分布を、さらにその 50 個前までの活動の空間分布と比較 (Lippiello et al., 2012) して求めた。この指標値が 1 を超える場合は、近隣の地震活動が空間的に集中してきていることを示す。11 月 18 日に集中して起きた前震からの寄与によって、このカラースケールでは飽和しているが、26 という非常に強い集中化傾向となっている。

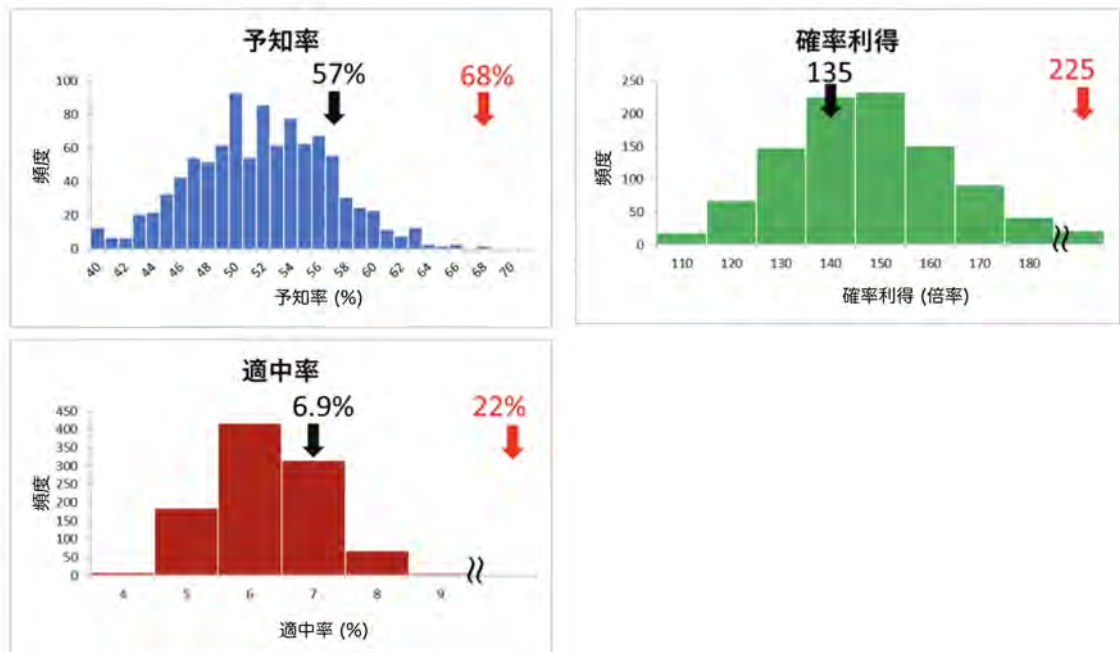


図 4. 伊豆地域の地震活動に対する Maeda(1996) の前震識別法の成績 (前田ら, 印刷中より改変)  
 三宅島の活動があった 2000 年 6-9 月を除いた、1977-2018 の活動を用いた検討。赤矢印は実データに最適化された前震識別パラメータによる、実データに対する成績。ヒストグラムは、実データから求めた時空間 ETAS モデルによって合成した 1000 通りのカタログについて、合成カタログに最適化した前震識別パラメータを用いた場合の成績分布。黒矢印は、合成カタログに最適化されたパラメータによる、最適化に用いた合成カタログに対する予測の成績。

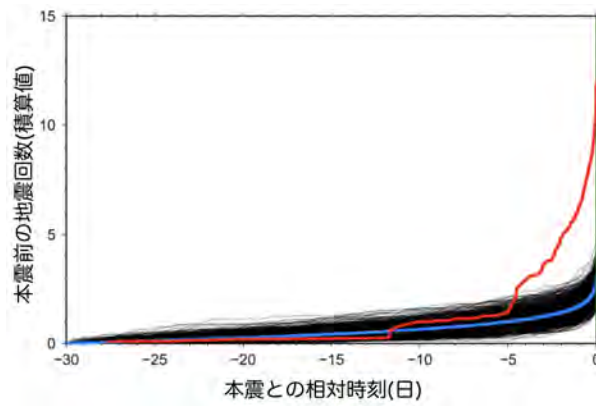


図 5. 伊豆地域の地震活動に対する本震前の地震活動の加速 (前田ら, 印刷中より改変)  
 赤太線は図 4 で前震候補とみなす (余震ではないと判断された) 群発地震活動内の累積数を、本震発生時刻をそろえて (ゼロとして) 示した。多数の黒細線は、図 4 で用いた 1000 個の ETAS 合成カタログを用いた場合で、青太線は黒細線を平均したもの。いずれも、前震の回数は、本震 1 個あたりの数に正規化してある。

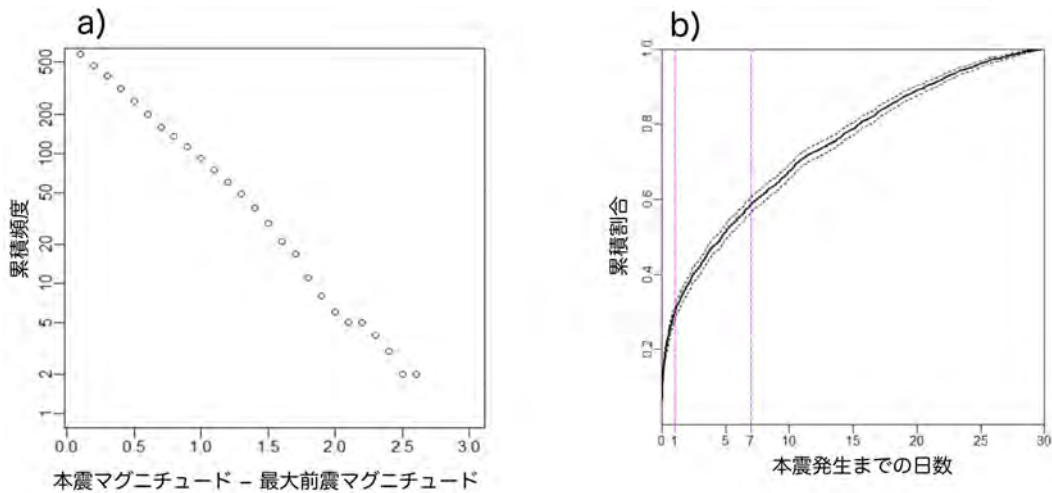


図 6. 前震確率 NO 予測法 (野村・尾形, 2018) の予測対象を簡便に変更するための基礎となる統計分布 (野村・尾形, 印刷中より改変)

a) 本震と最大前震のマグニチュード差の累積分布 b) 前震確率 (30 日確率) 評価時点から本震発生までの期間の累積分布 (黒実線) とその 95% 信頼区間 (黒破線)。1 日と 7 日のところに引いた縦の点線は、1 日予測に変換するには 30 日確率に約 0.3 を、7 日予測に変換するには 30 日確率に約 0.6 を、乗じればよいことを示す。



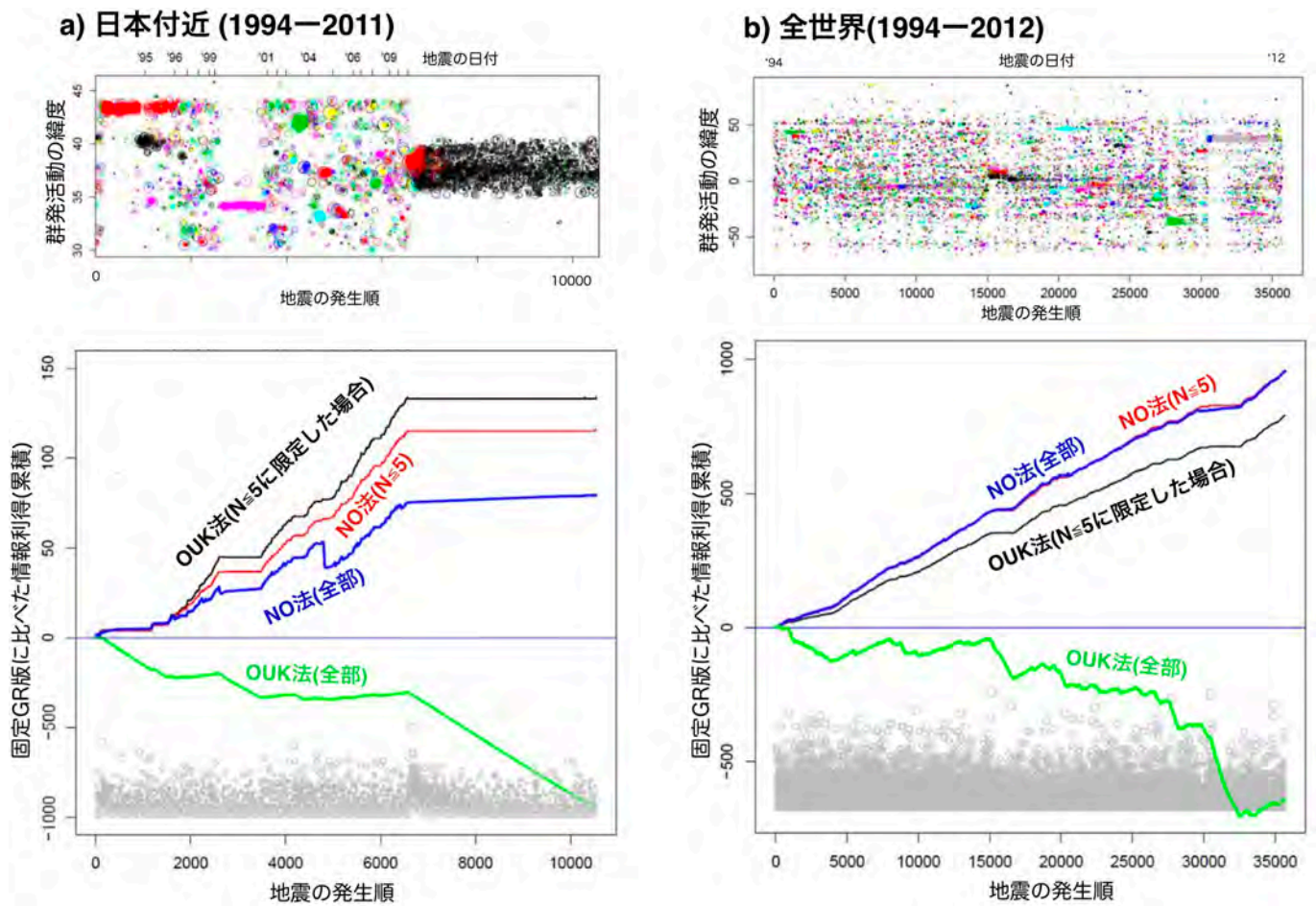


図 7. 履歴依存の地震サイズ分布 (Ogata et al., 2018) を取り入れることによる前震確率予測の成績改善 (野村・尾形, 印刷中より改変)

上段: 「前震らしさ」の評価対象となった群発活動の場所と時期を示し、同じ群発活動に属するものは同じ色で示してある。下段: 成績。このグラフが右上りであるほど、地震サイズ分布が時間的に不変 (GR 則) と仮定した場合より優れた予測ができています。右下りの場合は、かえって予測性能が悪くなったことを示す。a) 1994-2011 の気象庁カタログを用いて日本付近の M4 以上の地震活動を用いた結果。b) 1994-2012 の全世界の M4.7 以上の地震活動を用いた結果。

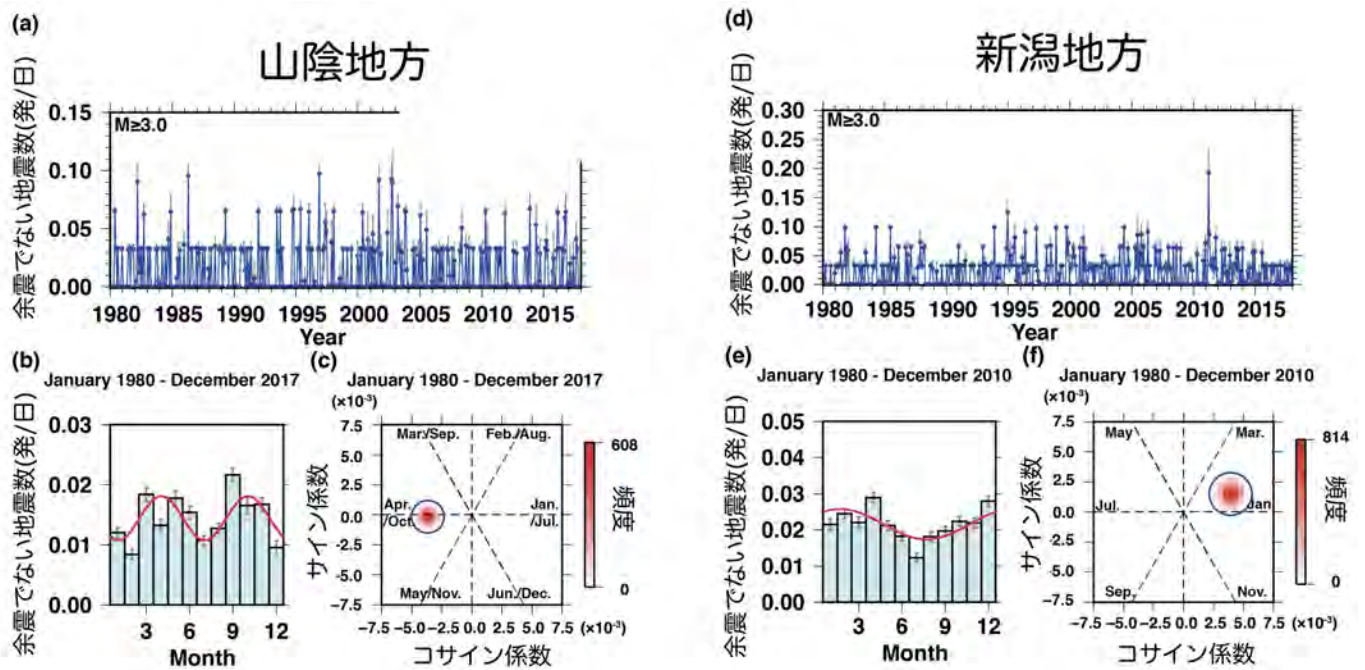


図 8. 階層的時空間 ETAS を用いて余震活動を除いた、地震活動度の季節性の検証 (Ueda and Kato, 2019b より改変)  
 (a)-(c) 山陰地方では春と秋に、(d)-(f) 新潟地方では冬に地震がおりやすい傾向が強い有意性をもって示された。  
 (a)(d) は、それぞれの地域でフィットした ETAS モデルに基く独立地震 (余震でない地震) の発生個数推定の時系列で、エラーバーは 1 シグマ。  
 (b)(e) は、それを月別のヒストグラムにまとめたもの。赤い曲線は 6ヶ月周期 (山陰), 1 年周期 (新潟) のサインカーブによるフィット。  
 (c)(f) は、10,000 通りの余震除去カタログに対するフィット結果の分布。青い円はサイン・コサイン係数の推定値の 99% 信頼区間。

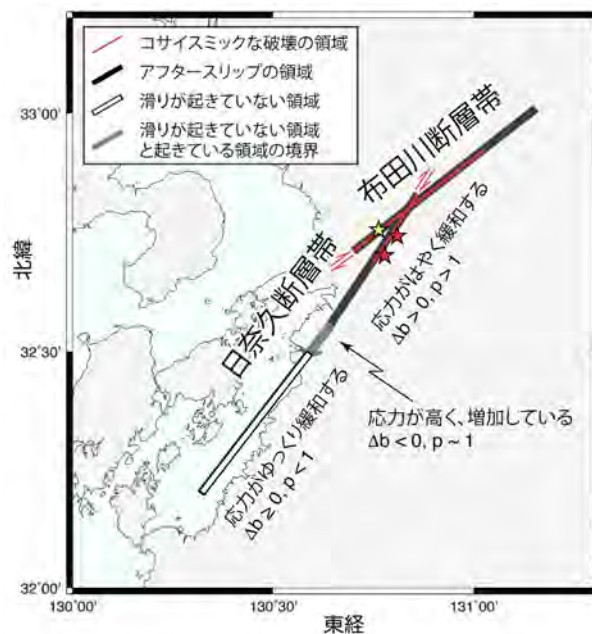


図 9. 2016 年熊本地震震源断層周辺での最近 (2017 年 1 月から 2019 年 3 月まで) の地震活動 (b 値の変化と p 値の空間分布) に対する解釈 (Nanjo et al., 2019 より改変)

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

大規模数値シミュレーションに基づく広帯域強震動災害の事前・即時予測

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

( 5 ) 総合的研究との関連：



南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果 ( または観測実績 ) の概要 :

1 . 長周期地震動の生成メカニズムに関する成果

2011 年東北地方太平洋沖地震における関東平野の長周期地震動の特性と建物応答特性を、強震観測データを用いて評価した。1944 年南海地震の煤書き記録との比較から、日本海溝と南海トラフの巨大地震の長周期地震動の特性を明らかにした。付加体における強い表面波導波効果と、不均質な堆積構造における表面波の Focusing 現象など、長周期地震動生成の特異な物理メカニズムをアレイ信号処理と地震波伝播シミュレーションに基づき定量化した。

2004 年新潟県中越地で観測された、P 波の長周期地震動 ( PL 波 ) や、2015 年小笠原諸島西方沖地震で観測された、S-PL 波による長周期地震動など、被害に結びつく新たな長周期地震動の成因メカニズムを観測データ解析と数値シミュレーションから評価した。P 波直後の早い時刻に到着する大振幅の PL 波を用いて、S 波に後続する表面波 ( 長周期地震動 ) の即時予測の可能性を示した。

日本海溝及び南海トラフの地震において、海水とのカップリングにより周期 6 ~ 10 秒の長周期地震動の長い波群の生成メカニズムを観測データ解析とシミュレーションから評価して、長時間継続地震動が建物被害に与える影響を評価した。

2 . 広帯域地震動シミュレーションに向けた短波長不均質構造の推定に関する成果

強震動および地震随伴現象 ( 地殻変動、津波 ) の事前予測の実現に向け、地殻・マントル ( 陸域、海域 ) 不均質地下構造モデルを構築し、陸域・海底地震観測データ解析と地震波伝播シミュレーションを通じて、不均質地殻・マントル構造における短周期地震動の散乱と長周期地震動の増幅現象など、災害発生要因を明確化した。

プレート内部の不均質構造 ( 低速度の MOW ) の存在を、F-net 記録の解析から明らかにし、地震波伝播シミュレーションに基づいて、深発地震が作り出す大加速度かつ長い継続時間を持つ強震動の生成過程を明らかにした。スラブ内部不均質構造 ( 短波長不均質構造 + MOW ) により選択的に導波される、周期 1 秒前後の強震動の特性と、これが構造物や地盤災害に与える影響を示した。

3 . 地震動の大規模数値シミュレーションコードの開発に関する成果

日本列島の地下構造モデル ( 地震本部 JIVSM, J-SHIS モデル ) と短波長不均質構造を評価した高分解能地下構造モデルを入力とする、3 次元並列差分法シミュレーションコードを整備し、強震動・長周期地震動の生成メカニズムの研究と事前予測に向けた研究を進めるとともに、ポータルサイト ( 東大情報基盤センター、GitHub ) を通じて研究者コミュニティに広く公開した。

4 . 長周期地震動の即時予測に向けた研究

日本列島に展開された強震観測のデータ同化と高速シミュレーションに基づいて、大規模平野での長周期地震動の即時予測を行う準備研究を開始した。2007 年新潟県中越沖地震や 2011 年東北地方太平洋沖地震の K-NET、KiK-net 強震観測データと、東大情報基盤センターのスパコン ( Oakforest-PACS ) を用いた大規模並列計算により、長周期地震動の即時予測の実現可能性を示した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

大地震による強い揺れの事前予測と災害の軽減に向け、高性能計算機を用いた大規模数値シミュレーションに基づく広帯域 ( 短周期 ~ 長周期 ) 強震動の事前評価、及び地震発生時の即時評価の手法開発を進める。2016 年熊本地震や 2013 年パキスタン地震など、近年の強震動研究から明らかにされた、断層ごく近傍長周期地震動 ( 長周期パルス ) や、P 波直後に到来する長周期 P 波 ( PL 波 ) など、強震動被害の原因となる波動現象の最新の知見を取り入れ、首都直下地震等の内陸地震、そして南海トラフ地震等の海溝型地震で想定される、広帯域強震動の事前予測により超高層ビル等の共振被害や、大加

速度かつ長時間の揺れによる斜面崩壊等の災害発生を予測し災害軽減へと繋げる。また、日本列島に展開されている強震観測網と、将来の海域観測の充実を見据え、リアルタイム強震観測データ同化に基づく、長周期地震動の即時予測に向けた基礎研究を進める。

5カ年の重点課題として、(1) 関東平野直下の M7 級プレート境界・内地震による長周期地震動の生成可能性と構造物・地盤災害への影響評価、(2) 近年の高性能パソコンに適合した広帯域強震動シミュレーションコードと高分解能地下構造モデルの開発、(3) 南海・相模トラフ沿い、千島・日本海溝沿いの巨大地震による広帯域強震動の予測とその不確定性の定量化、(4) 海・陸リアルタイム強震観測データ同化に基づく強震動(長周期地震動)の即時予測実験に取り組む。

(8) 本課題の5か年計画の概要：

1. 広帯域地震動評価に向けた強震動成因物理メカニズムの解明【H31～35年】

地表断層により生成する断層ごく近傍長周期パルス(Near-field 項)の生成要件(震源の深さ、規模、断層すべり角)と断層滑り速度と強震動帯域の関係を、1999 台湾集集地震や 1999 年トルコイズミット地震、2016 年熊本地震等の強震観測データを再精査により明確化し、警固断層や上町断層などを対象とした断層ごく近傍強震動の予測を行う。そして、首都圏直下地震として心配される、M7 級のフィリピン海プレート境界・内部の地震の発生に伴う、関東平野での長周期(広帯域)地震動の特性(応答スペクトル強度、震動継続時間等)を評価するために、2013 年パキスタンの地震(M7.7)や 2018 年メキシコオアハカ地震(M7.2)など、関東と地震環境が類似する地震波形データの解析と、1923 年関東地震の余震記録の再解析を進める。そして海溝型 M8 級巨大地震と、大規模平野直下の M7 大地震の強震動の特性と構造物被害への影響を検証する。さらに、南海トラフ地震の長周期地震動の増幅や継続時間の予測の高度化に向け、表面波の増幅と導波に強く影響する、海域の付加体の内部構造( $V_s$  速度勾配、 $Q_s$  値等)を既往の反射・屈折法研究の精査と、微動及び自然地震のインターフェロメトリーに基づく構造研究(新規計画における京大防災研究所の研究課題)の成果を統合してモデル化し、2004 年紀伊半島南東沖地震や 2016 年三重県沖地震の強震動シミュレーションにより検証する。

2. 広帯域強震動シミュレーションコードの整備・公開【H31～35年】

強震動災害誘因の事前評価に資する高度なコード開発を進め、オープンコードとして研究者コミュニティに公開することで、観測・シミュレーション統合研究や、データ駆動型研究の強化に貢献する。現行の公開コード(OpenSWPC;Maeda et al., 2017)の改良を進め、海溝型巨大地震の強震動評価に不可欠な海底地形と海水/固体境界条件の組み込み、広域強震動・地殻変動評価のための球殻座標(または準球殻座標)への拡張、巨大地震の長時間継続地震動の評価に不可欠な、長時間ステップ安定計算のための単精度/倍精度混合演算の実現、短波長不均質構造による強い散乱下で安定に機能する、高性能 PML 吸収境界条件と広帯域の減衰(Q)モデルの導入、等を進める。そして、リアルタイム地震観測データ同化の実現に向けた、高速ネットワーク(SINET)接続リアルタイム高速計算機(東大情報基盤センター BDEC 等)への適合をはかる。

3. 長周期地震動の即時予測に向けた基礎研究【H31～34年】

長周期地震動による災害軽減に向けて、将来の強震観測網のリアルタイムデータ配信と、今後の海域観測網の充実を見据え、観測データ同化にもとづく、大規模平野での長周期地震動の即時予測の実現に向けた基礎開発を進める。K-net, KiK-net 等の陸域強震観測データに加え、DONET, S-net 及び今後展開が期待される海域強震観測データ同化に基づく、海溝型巨大地震(南海トラフ地震、日本海溝の地震)の長周期地震動の即時予測を目指すとともに、海域強震観測の必要性・有効性を検討する。即時予測の防災への活用を図るために、耐震工学及び社会心理学の研究者と協働により、予測が必要な物理量(加速度値、応答スペクトル、強震動継続時間など)のとその予測誤差、不確定性を含む防災情報の発信、構造物の応急対応等について、関連分野の研究者との協働による総合的研究を進める。

(9) 令和元年度の成果の概要：

1. 広帯域地震動評価に向けた強震動成因物理メカニズムの解明

## 長周期 Love 波パルスの伝播と地震の誘発

低速度の表層を伝わる表面波は分散を起こして減衰するが、堆積層の薄い大陸構造を伝わる Love 波には群速度が一定となる周期帯 (10-20 秒、40-500 秒) が存在し、振幅の大きなパルス状の Love 波が遠地まで良く伝播する (Furumura and Kennett, 2020)。こうした Love 波パルスは、2016 年鳥取県中部地震など西南日本の地殻内地震で良く見られ、変位振幅から推定される  $M_j$  の過大化 ( $> M_w$ ) の原因となる (Furumura and Kennett, 2001; 河本, 2018)。これを避けるには、近地 ( $< 100-200$  km 程度) の強震記録のみを用いた  $M_j$  推定が適切であろう。

周期 40-500 秒の長周期 Love 波パルスは G 波と名付けられ、大地震の際には地球を何度も周回 (G1, G2, ...) する。標準地球モデルを用いた理論分散曲線の解析と、3 次元差分法計算による地震波伝播シミュレーションから、薄い海洋構造では広い帯域 (15~200 秒) で Love 波の分散性が弱く、また群速度と位相速度が近い値を持つために、波形位相を保って伝播することが確認できた (図 1)。2011 年東北地方太平洋沖地震の近地強震波形と遠地広帯域波形を調べると、震源からの Love 波の放射が強い西南日本と太平洋の対岸において振幅の大きな G 波の到来が確認された。G 波の到達直後に中部~西南日本で地震活動が活発化し、太平洋沿岸の沈み込み帯で低周波数地震や微動活動が報告されるなど (例えば、Miyazawa, 2011; Chao et al., 2013) 大地震による表面波の影響が全地球に広がったことが確認された。

### 深発地震におけるスラブの導波・反導波効果

太平洋プレートで深発地震が発生すると、太平洋岸の震度が大きくなる異常震域が起きる。しかし、2013 年 5 月 24 日のオホーツク海深発地震 (610 km,  $M_w$  8.3) では、稚内や秋田など日本海側で最大震度 3 が観測され、通常の深発地震とは逆の震度分布となった (図 2)。F-net と Hi-net 記録を解析し、日本海側の強い揺れは太平洋プレートを伝播した高周波数 S 波ではなく、(1) 上部/下部マントル境界付近の深い震源から放射された S 波の caustics、(2) 地表での sP 変換波と後続の sPL 波、そして (3) sS 反射波により作り出されたことが確認できた (Kennett and Furumura, 2019; Furumura and Kennett, 2019)。また、高速度のプレート内を S 波が遠距離を伝播する過程で、周囲の低速度マントルに抜け出す反導波効果が、スペクトル解析と 3 次元地震波伝播シミュレーションから確認できた。

この深発地震では、震央距離 4000~8000 km のカザフスタンやモスクワで有感となり、高層建物からの避難騒ぎが起きた。IRIS 広帯域記録の解析と地震波伝播シミュレーションから、遠地の大きな揺れの原因が、コアや地表で反射した ScS 波と sS, sSS 波によるものであったことがわかった。

### 南西諸島域における地震の応力降下量分布

近年、Oth (2013) は北海道と南西諸島を除く日本列島 (東北から九州) における広域の地震の応力降下量を統一的に推定した。その値は 0.1~100 MPa という 3 桁に及ぶが、応力降下量の変化には、東日本で 0.1~1 MPa が卓越するのに対し、西日本では 1~10 MPa、九州では 10 MPa 以上が卓越するなど、地域性、すなわち横方向に強い空間変化が存在することが示された。今回我々は、Oth (2013) の扱っていない南西諸島域 (全長約 1200km にも及ぶ) について地震の応力降下量の分布を調べ、同様に横方向の強い空間変化が存在することを明らかにした。

対象とする地震は 2002 年 6 月から 2017 年 5 月までの 15 年間に発生したイベントで、防災科研の F-net で地震モーメントが報告されている地震のみを選択した。使用したデータは防災科研、気象庁、鹿児島大、九州大、高知大、京大防災研、東大地震研の観測点における速度波形記録である。この記録に S コーダ波のスペクトル比に基づく方法 (例えば、小松・小田, 2015), Komatsu et al., 2017) によってコーナー周波数を推定し、総数 2189 イベントの応力降下量を算出した。その結果、応力降下量の値は 1~100 MPa の範囲 (メジアンはほぼ 10MPa) に分布し、Oth (2013) が推定した九州同様に比較的高い値が求まった。図 3 に、地殻内 (深さ 25km 以下) で発生した 1231 イベントの推定値に半径 50km のガウシアンで平滑化して求めた地殻内地震の応力降下量の水平分布を示す。琉球海溝から沖縄トラフにかけて応力降下量が低下する傾向にあり、沖縄トラフ内部では台湾周辺や宮古海山を除いた地域で低く、地殻熱流量が高い場所に対応する。琉球海溝沿いでは奄美大島北東沖 (トカラ・ギャップの衝突域) などの応力降下量が特に高い領域が存在することが確認できた。

## 2. 広帯域強震動シミュレーションコードの整備・公開

3次元差分法に基づく地震波伝播シミュレーションのオープンコード (OpenSWPC; Maeda et al., 2017) について、利用者コミュニティからの改善点や機能追加に関するフィードバックを受けて改良と機能拡張を進めた。

今年度は、3次元不均質構造における地震地殻変動の計算機能を追加し、また長時間の計算安定化に向けて PML 吸収境界条件の性能強化を図った。さらに、近年の高性能並列計算機の活用した大規模並列計算に向けて、海洋研究開発機構の地球シミュレータや東京大学地震研究所の EIC 並列計算システム、そして東京大学情報基盤センターの Oakforest-PACS と Oakbridge-CX スパコンへのインストール・実行環境を整備し、またこれらの計算機上での大規模並列演算性能を確認した。

以上の新機能を含めたオンラインドキュメント (日・英) を新規整備し (<https://tktmyd.github.io/OpenSWPC/>)、2019年9月に OpenSWPC Ver5.0.1 を公開した (図4)。

## 3. 長周期地震動の即時予測に向けた基礎研究

大地震による大型平野での長周期地震動の即時予測の実現に向け、観測・計算データ同化に関する研究を昨年度に継続して進めた。これまでデータ同化・予測 (Furumura et al., 2019) には、同化波動場を初期値としてスパコンを用いた3次元差分法計算に基づき、数十秒先の波動場を予測した。今年度は予測のより高速化を目指し、予め計算した同化観測点～予測地点の伝達関数 (グリーン関数) を用いて、評価地点の揺れを瞬時に予測する方法を検討した (Oba et al., 2019)。こうした伝達関数を用いた予測は、Wang et al. (2017) により津波データ同化で成果を挙げている。

本手法を用いて南海トラフ巨大地震の長周期地震動の即時予測の可能性を検討した。まず、内閣府の1944年東南海・1946年南海地震震源モデルと JIVSM 地下構造モデル (Koketsu et al., 2008) を用いて模擬強震記録を合成し、これを観測波形と見なして同化・予測実験を行った (図5)。DONET や N-net (計画中) により震源域直上で地震発生直後にデータ同化を進めることができれば、数十秒以上の猶予時間を持って関東平野等の遠地での長周期地震動の即時予測が可能であることが示された (Oba, 2020)。予測精度と猶予時間にはトレードオフがあり、特に断層破壊時間が長い巨大地震ではその影響が大きいと考えられる。従って、本研究で示した高速予測手法を活用し、断層破壊が進む間は短い時間間隔で予測を繰り返すことが有効である。

- (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
- Furumura, T., and BLN Kennett (2020), Propagation of distinct Love-wave pulses from regional to teleseismic distances in continental and oceanic environments, *Geophys. I. Int.*, <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa028>.
  - Furumura, T., Maeda, T. and Oba, A. (2019), Early forecast of long period ground motions via data assimilation of observed ground motions and wave propagation simulations, *Geophysical Research Letters*, <https://doi.org/10.1029/2018GL081163>.
  - Kennett, BLN, and T. Furumura (2019), Significant P wave conversions from upgoing S waves generated by very deep earthquakes around Japan, *Progress in Earth and Planetary Science*, 6, 49.
  - Oba, A., T. Furumura, and T. Maeda, (2019), Early forecast of long-period ground motions for large earthquakes in the Nankai trough based on data assimilation of observed ground motions and wave propagation simulations, AGU 2019 Fall meeting, S53G-0552.
  - Oba, A., (2020). Data-assimilation-based early forecasting of long-period ground motions for large earthquakes along the Nankai Trough, Master's thesis, Dep. Earth and Planetary Science, Graduate School of Sciences, The University of Tokyo.

## (11) 令和2年度実施計画の概要 :

- (1) 令和元年度に継続し、近地～遠地地震観測により捉えられた広帯域 (短周期～長周期) 強震動の成因を震源特性と不均質地殻・マントル構造における地震波伝播の観点から評価する。そして、これらの効果を適切に評価できる震源・地下構造モデルを用いた地震波伝播シミュレーションを行い、強

震動の事前評価の精度向上に取り組む。

( 2 ) 高密度地震観測データの波動逆伝播シミュレーションに基づいて、震源要素(位置・深さ、震源域の広がり)の即時推定手法を開発する。陸域と海域の高密度強震観測から、M7 地震の正確な位置(プレート境界 or プレート内)と、M8 - 9 巨大地震の震源域の強震動生成域と震源域の広がりの推定可能性を検討する。

( 3 ) 地震波伝播計算と強震動被害の事前評価の高度化に向け、地震波伝播オープンコード(OpenSWPC)への断層型震源の導入ツールの整備や、令和元年度に導入された Oakbridge-CX スパコンでの性能チューニングとコードの改良を進める。

( 4 ) 強震動の事前評価モデルの改善に向けて、南西諸島域の地盤構造モデルを改良する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

古村孝志・三宅弘恵・武村俊介

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学大学院情報学環(田中淳・関谷直也)、岡山大学(竹中博士)、弘前大学(前田拓人)

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話 : 03-5841-5787

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 古村孝志

所属 : 東京大学地震研究所

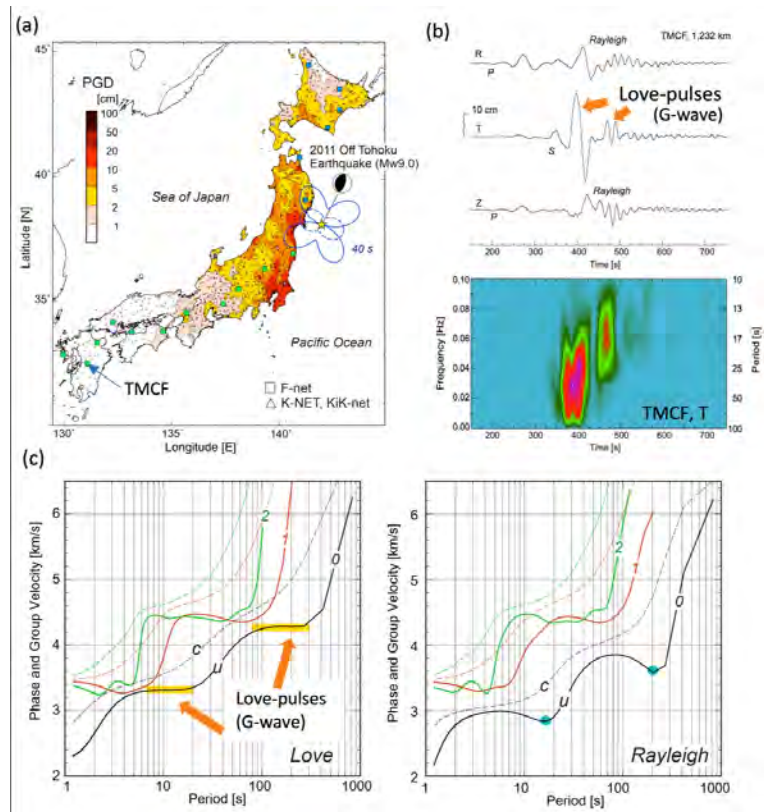


図1 2011年東北地方太平洋沖地震のLove波伝播による近地 遠地強震動

(a) Love波の放射パターン(青実線)と最大地動分布(PGD)、(b)九州TMCF観測点の3成分変位波形T成分に見られる二つのLove波パルスと周波数特性、(c)Love波理論分散曲線(0:基本モード、1,2:高次モード、u:群速度、c:位相速度)に見られる、二つの位相速度一定の領域(黄色ハッチ)(d)Rayleigh波理論分散曲線とAiry phase(青)



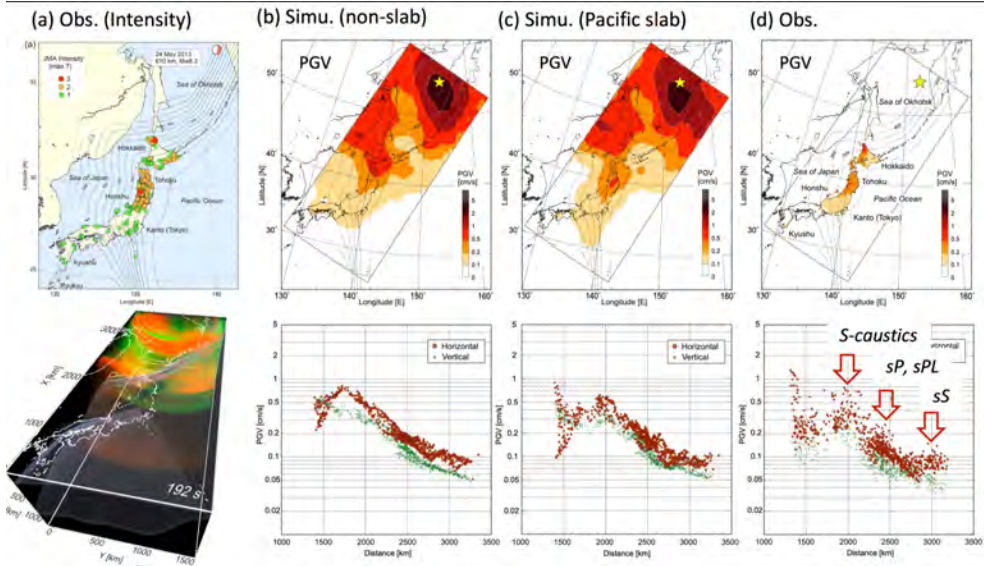


図2 2013年オホーツク海深発地震(610 km, Mw8.3)による特異な震度分布

(a) 2013年3月24日オホーツク海深発地震(610 km, Mw8.3)による震度分布。(b) 3次元差分法計算(太平洋スラブなしモデル)による最大速度分布と最大速度の距離減衰(赤:水平動、緑:上下動)、(c) 太平洋スラブありモデル、(d) 観測記録。震源距離2000 km、2400 km、3000 kmに見られる地動振幅の高まりは、それぞれS波 caustics(上昇s波と下降S波)、sPとsP-L波、sS波による。

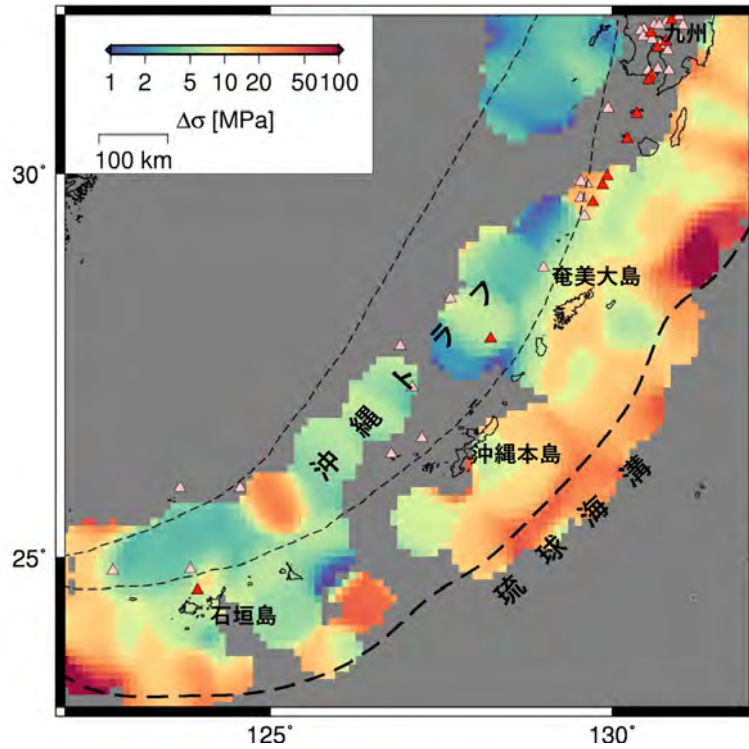


図3 地殻内地震(深さ25km以浅)の応力降下量分布

赤三角と桃三角はそれぞれ活火山と第四紀火山。細い破線はKamata and Kodama (1994)のCrustal extensionの領域(沖繩トラフ)、太い破線は琉球海溝を表す。



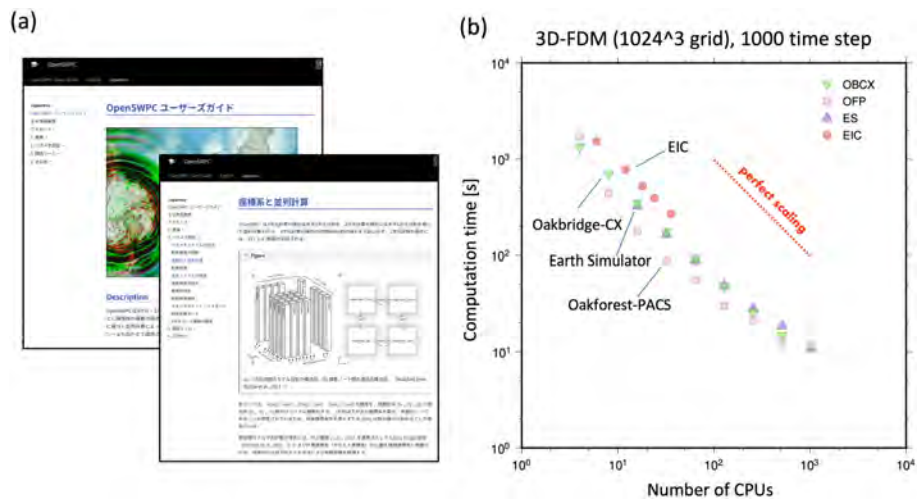


図4 3次元地震波伝播シミュレーションのオープンコード（OpenSWPC）の整備と公開

(a) OpenSWPC (Maeda et al., 2017) のオンラインドキュメント (<https://tktmyd.github.io/OpenSWPC/>)、各種スパコン（EIC、Oakbridge-CX、地球シミュレータ、Oakforest-PACS）での並列計算性能テスト。縦軸は差分法の演算時間（1024<sup>3</sup> 格子数、1000 タイムステップ）、横軸が並列計算に用いた CPU 数を表す。

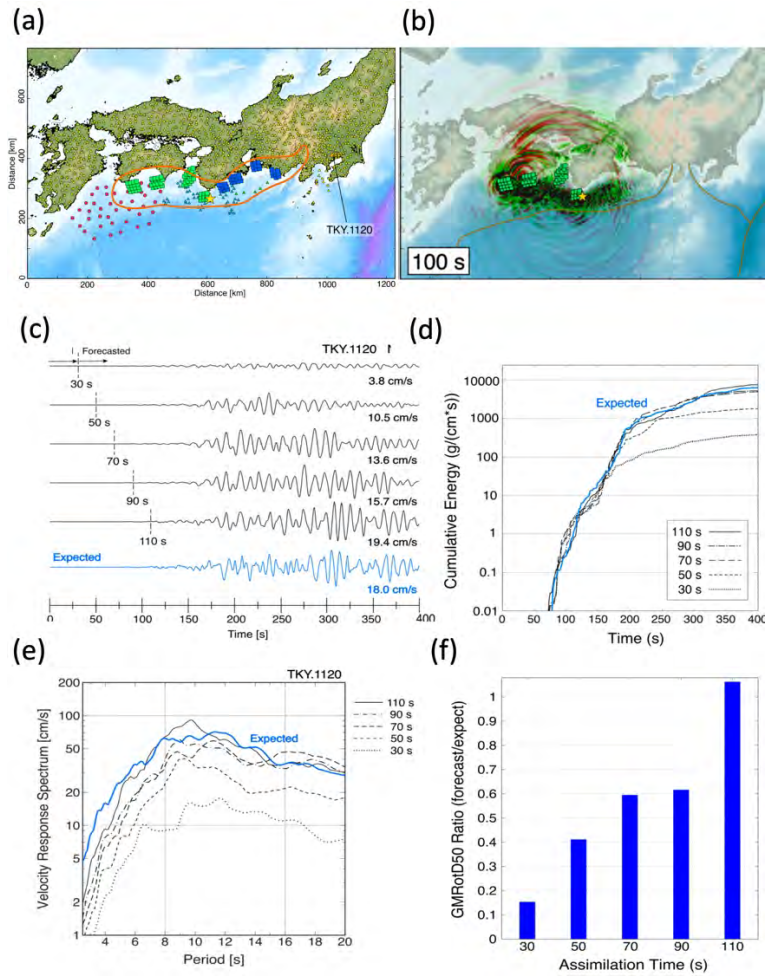


図5 南海トラフ地震による長周期地震動のデータ同化と即時予測実験

(a) 南海トラフ地震震源モデル(内閣府による)と陸域及び海域観測点の配置、(b) 南海地震モデルによる地震波伝播シミュレーション、(c) 都心部の長周期地震動の予測結果(同化時間30秒、50秒、…110秒の場合)と期待される地震動(青線)の比較、(d) それぞれのデータ同化時間による予測波形と期待波形の弾性エネルギーの積算値の比較、(e) 速度応答スペクトルの比較、(f) 固有周期8秒での速度応答スペクトル比(予測/期待)の比較。

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

首都圏の地震被害分布と地震像の解明

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

イ. 首都直下地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

首都直下地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

首都圏地震観測網(MeSO-net)等の稠密な観測データの解析によって、これまでより詳細なプレート形状や減衰構造が明らかになってきた。例えば、首都圏の下に沈みこむフィリピン海プレートには減衰が大きい領域があり、地表での震度分布に偏りがみられることがわかった。過去の震度分布による震源地の推定には、この減衰領域の考慮が不可欠であり、歴史地震から地震サイクルを推定する際には、丁寧な吟味が必要なことが示された。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

大地震による建物の被害は、必ずしも一様ではなく、不均質が見られるが、その原因は、建物の強度の違いだけでなく、揺れの細かな不均質によるところも考えられる。首都圏には稠密に建物があるため、建物被害の軽減を考える際には、揺れの不均質に応じた的確な対策が必要である。そこで、稠密な観測により稠密な揺れの違いを示し、地形や地下構造のどんなこと関係するのかを明らかにする。近年、

首都圏では、被害を伴うような地震が発生していないため、歴史地震の被害分布と対比させ、様々なことが考えられる首都直下地震の地震像に対して、いくつかの候補に絞る。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

令和元年度においては、根津周辺における稠密観測の準備を行う。MeSO-net等の観測記録を用いて首都圏に発生した地震の処理を行う。

令和2年度においては、根津周辺に稠密な観測点を設置し、地形と揺れの関係を明らかにする観測を行う。MeSO-net等の観測記録を用いて首都圏に発生した地震の処理を行う。首都直下地震の地震像を明らかにする研究に関する意見交換会を開く。

令和3年度においては、安政江戸地震時に被害の記載されている根津周辺のお寺等における観測の準備を行う。MeSO-net等の観測記録を用いて首都圏に発生した地震の処理を行う。

令和4年度においては、安政江戸地震時に被害の記載されている根津周辺のお寺等における観測を行う。MeSO-net等の観測記録を用いて首都圏に発生した地震の処理を行う。

令和5年度においては、根津周辺のお寺等における観測データから、現在の揺れの分布と過去の被害との関係を明らかにする。MeSO-net等の観測記録を用いて首都圏に発生した地震の処理を行う。首都直下地震の地震像を明らかにする研究に関する意見交換会を開く。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

今年度は、1855年安政江戸地震を対象として研究を進めた。成田周辺には、成田山新勝寺や佐倉城址等の江戸時代から続く建物や施設があり、過去の地震被害の記述が多く残されている。そこで、それらの記述から被害地点を特定し、地震計を設置することにした。2019年9月から11月までの約2か月間、千葉県成田市、佐倉市、我孫子市、印西市、茨城県取手市、利根町の27か所で臨時観測を行った。固有周期1秒の3成分一体型地震計を地表に設置し、単一乾電池32本で約2か月間稼働する収録装置でオフライン観測を行った。観測された地震波形は、観測点ごとに最大振幅や卓越周期に違いがみられ、振幅が2倍以上大きくなる地点もあった。この観測を行うことで、古文書等に記述のなかった地点での揺れも推定できることを確認し、根津周辺における稠密観測の準備を行った。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

根津周辺に稠密な観測点を設置し、地形と揺れの関係を明らかにする観測を行う。MeSO-net等の観測記録を用いて首都圏に発生した地震の処理を行う。首都直下地震の地震像を明らかにする研究に関する意見交換会を開く。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学地震研究所 酒井慎一  
他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部  
電話 : 03-5841-5787  
e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp  
URL : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 酒井慎一

所属：東京大学地震研究所

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

堆積平野・堆積盆地における地震災害発生機構の解明

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究 備

イ. 首都直下地震

(5) 国際共同研究・国際協力

( 5 ) 総合的研究との関連：

首都直下地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

「堆積平野・堆積盆地における地震災害発生機構の解明」として新規課題を立ち上げ、地震災害誘因の分析と地震災害発生機構の解明に向けた地下構造モデルを構築した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

大地震による災害リスク評価手法に資するべく、地震災害に関する災害発生機構を重点的に解明する。強震動が増幅する堆積平野・堆積盆地は、災害リスク評価における脆弱性と捉えることができ、特に、増幅率という形で災害誘因の定量化が可能である。本研究では、人口密度が高い堆積平野・堆積盆地における観測、強震観測のデータベース化と解析を行い、地震災害の素因と誘因の関係や災害発生機構を多面的に分析し、災害を制御する要件を明らかにする。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

研究期間前半3年間は、強震動による地震災害誘因の分析のため、定常観測に加え臨時観測を含めた堆積平野・堆積盆地における強震記録データベースを増強し、堆積平野・堆積盆地の地震動増幅特性を定量化する。また、トリガー観測と連続観測が混在した場合の、適切な強震記録データベースの提示方法を理工学の観点から研究する。さらに、これまでに構築した地下構造モデル暫定版を、地震災害誘因の事前評価と即時推定に資するべく新たなモデル化手法を開発する。

研究期間後半2年間は、大地震による災害リスク評価に向けて、堆積平野・堆積盆地における地震動増幅特性と、建物被害や人口被害の脆弱性の研究を推進する。また、首都直下地震や南海トラフ巨大地震を対象に、地震災害の素因と誘因の関係や災害発生機構を多面的に分析し、災害を制御する要件を明らかにする。

(9) 令和元年度の成果の概要：

令和元年度は、強震動による地震災害誘因の分析のため、堆積平野・堆積盆地における強震記録データベースの増強に着手した。堆積平野・堆積盆地の地震動増幅特性の定量化に向けて、東京大学地震研究所共同利用の枠組みで可搬型微動・強震観測システムを運用した。また、2018年北海道胆振東部地震や2004年米国パークフィールド地震、トルコ西部の被害地震等を対象として、国内外の強震記録の分析を行い、堆積平野・堆積盆地の地震動増幅特性を定量化すると共に、震源解析や強震動シミュレーションを行った。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Miyake, H., G. Tanircan, H. Yamanaka, and O. Ozel, 2019, Large stress release during normal-faulting earthquakes in western Turkey supported by broadband ground motion simulations, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 21, EGU2019-12094-1.

Miyake, H., S. Babita, K. Koketsu, and S. N. Sapkota, 2019, Broadband source modeling for the Himalayan collision zone, *JpGU Meeting 2019*, SSS13-24.

Tanircan, G., H. Miyake, H. Yamanaka, and O. Ozel, 2019, Large stress release during normal-faulting earthquakes in western Turkey supported by broadband ground motion simulations, *Pure Appl. Geophys.*, <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02357-3>.

HoushmandViki, A., H. Hamzehloo, H. Miyake, and A. Ansari, 2019, Estimation of strong motion generation area for the 2004 Parkfield earthquake using empirical Green's function method, *Pure Appl. Geophys.*, <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02327-9>.

Kobayashi, H., K. Koketsu, and H. Miyake, 2019, Rupture process of the 2018 Hokkaido Eastern Iwate earthquake derived from strong motion and geodetic data, *Earth Planets Space*, 71:63, <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1041-7>.

(11) 令和2年度実施計画の概要：

令和二年度は、堆積平野・堆積盆地における強震記録データベースの増強を完了させると共に、災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(第2次)の推進について(建議)における○大学は、人口密度が高く災害リスク評価において脆弱と捉えられている堆積平野・堆積盆地などを対象に、地震災害の素因と誘因の関係や災害発生機構を多面的に分析し、災害を軽減するための要件を明らかにする。

に資する研究を引き続き推進する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

三宅弘恵・古村孝志・ほか

他機関との共同研究の有無：有



東京大学大学院情報学環・北海道大学・東京工業大学・信州大学・福井大学・広島大学・高知大学・九州大学・国立研究開発法人建築研究所・ほか

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

( 14 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：三宅弘恵

所属：東京大学地震研究所

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

堆積物に基づく噴火物理化学パラメータ推定手法の高度化と事象分岐判断への活用

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

工. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

前建議の 3 ( 4 ) 地震火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化では、主に地球物理観測や数値シミュレーションにもとづく予測研究が行われた。これら手法の妥当性の検証には、堆積物をもとに

推定される噴火パラメータとの比較が不可欠であり、2011年霧島新燃岳以降、複数の火山噴火において試行されてきた。本提案はこれらの既存研究に基づき、手法の改良と高度化を目指すものである。

(7) 本課題の5か年の到達目標：

1回の噴火の噴出量は噴火の規模を決定するために必要な物理量であり、地表面現象や災害の性質にも密接に関係する。噴出率や噴出物組成とそれらの時間変化は、噴火様式や推移の理解において重要であり、進行中の噴火では推移予測のための基礎データとなる。これらの物理化学パラメータは事象分岐の判断においても重要な要素になる。そのため、活動的火山においては過去の噴火におけるこれらのパラメータを解明することに加えて、噴火開始後には迅速にそれらを明らかにし、事象系統樹における分岐判断に取り入れていくことが重要になる。ただし現状の事象系統樹の試作及び活用において、この点は十分に克服できていない。本課題ではとくに下記(a)~(c)の問題点を踏まえ、活動的火山における将来の噴火を念頭に、噴火時の地表面現象を迅速に把握し、堆積物及び噴出物データをもとに噴火の物理化学パラメータ(噴出量・噴出率など)を推定するための既存手法を見直し、より高度かつ実用的なものへと発展させることを目指す。

(a) 噴火発生時には即時的な現象観察と地質調査を行い、堆積物データをもとに物理化学パラメータとその変化を迅速に決定する必要がある。その際に地震学的・測地学的データなど地球物理学観測との照合も行われるべきである。しかし現状、堆積物及び噴出物にもとづくパラメータ推定手法や他の観測データの活用方法は十分に確立されているわけではない。噴出率や噴出量推定にはいくつかの経験則や理論モデルが用いられるが、推定値が定まらない場合が多く、誤差の定量的評価も不十分である。近年の新燃岳噴火などではこの問題が顕在化している。

(b) 事象分岐を判断する上で上記パラメータが重要な役割を担うと考えられるが、具体的に事象系統樹に組み込むためには、分岐の重みについて定量的基準が必要である。

(c) 実際の噴火に際しては、堆積物データをもとに事象分岐の判断を試行し、調査観測研究の成果を迅速に取り入れつつ、噴火事象系統樹を更新していくことも必要である。そのために、噴火発生時には調査観測を全国連携で機動的に実施するとともに、関連機関とも密接に連携する必要がある。

(8) 本課題の5か年計画の概要：

火山噴火直後に得られる堆積物の地質学的情報(層厚・粒径分布等)を用いて、物理モデルや経験則と組み合わせて噴火物理パラメータ(噴出量・噴出率など)を推定するための既存手法をレビューし、その評価及び改良を行う。近年の霧島山、桜島、浅間山等での噴火や、海外の噴火を対象に堆積物データの再解析を行うとともに、地球物理観測データ等から推定される物理量との照合を行い推定手法の最適化を試みる。また推定値の信頼度評価手法についても検討する。一方物理パラメータに加えて、噴火直後の地表面現象や発生場の把握と、化学組成等物質科学的データについても、その即時把握と活用方法について、事象分岐判断への導入を念頭において検討する。上記火山や他の活動的火山での噴火を想定し、堆積物及び噴出物データの迅速な取得のための機動的観測方法や体制の整備、データ共有方法の検討も同時に進める。とくに上述の(a)~(c)に着目して研究を進める。

2019年度においては、(a)については、噴火堆積物をもとに噴火の物理化学パラメータを見積もるための手法や理論及び経験モデルを整理し、それらの精度と適用性について実際の噴火事例をもとに検討する。また地球物理学的観測データの活用方法について検討し、地質・物質科学的情報と地球物理学的観測から得られる物理量との差異やその原因について、実例をもとに考察する。即時的現象把握に関しては、遠隔観測やドローンの活用方法についても検討する。(c)については、将来の噴火を想定し、噴火の物理量を迅速に把握し、事象系統樹の評価改良を速やかに行うための、機動的かつ効率的な火山噴出物調査手法の提案を目指す。そのための議論を、研究集会などの場を設けて行う。これは2023年度まで年1回を目安に実施する。

2020年度においては、前年度からの(a)に関する研究を継続する。また(b)に対応して、既存研究や海外の事例などをもとに、噴火現象の分岐に関係する地質学、物質科学および地球物理観測にもと

づく基準（噴出率変化等）を整理し、事象分岐の重みの論理的、数値的評価方法を探る。

2021年度においては、前年度からの(a)、(b)に対応する研究を継続する。またそれらを踏まえて、霧島山、伊豆大島、浅間山など活動度の高い火山について事象分岐判断基準の評価、改良を進める。

2022年度においては、これまでの研究を総括しつつ、噴火時の地質及び物質科学的データの迅速な収集と現象の即時的把握、噴火物理化学パラメータの解析、事象系統樹や分岐判断への活用方法についてまとめる。また、噴火が想定される火山や噴火中の火山の調査観測を全国連携で機動的に実施する枠組みや、関連機関との連携方法について整理し、噴火の際には実践する。

(9) 令和元年度の成果の概要：

噴火様式とその推移の把握、予測の高度化においては、噴出物の粒子物性や構成物のモニタリング、それらの解析の迅速化が必須である。また、観測データとの相関の解析などを通して、マグマ上昇過程の定量的把握を進めていくことが必要である。今年度は、霧島新燃岳 2018 年噴火における噴火様式の変化と噴出物の岩石組織との対応関係について研究を進め、噴出物をもとにした噴火現象の把握や予測への活用について検討した。2018 年噴火の溶岩流出時に噴出した 2 タイプの軽石、ブルカノ式噴火に伴う弾道放出物、火口から流出した溶岩の試料について、薄片観察、密度測定、石基結晶度や結晶数密度、結晶サイズ分布の解析を行なった。その結果、これらのパラメータはサンプル種ごとに特徴が異なり、マグマの実効的過冷却度の違いを良く反映していることがわかった。軽石の特徴の変化は、マグマ上昇速度が初期と後期で異なり、噴出率に変動があったことを示していると考えられる。人工衛星による溶岩ドームの時系列観測では、ほぼ一定の噴出率で溶岩ドームが成長したと推定されているが、溶岩ドーム成長と同時期に軽石を生じたという観察事実や、その岩石組織の解析結果からは、人工衛星の解像度では捉えられていない小刻みな噴出率変動があったと推定される。このような噴出物の特徴と噴火様式・推移との対応関係の解明は、今後の噴出物解析にもとづく噴火様式の把握や予測にも活用できるものである。新燃岳については 2018 年噴火の推移も踏まえた噴火事象系統樹の作成も開始している。

噴出物分布にもとづく噴出量推定においては、従来の手法を実際の現象で試行し評価しつつ、最適な手法を開発することが急務である。今年度は、2019 年 8 月に浅間山で発生したごく小規模な噴火の降灰調査を行い、噴出量の推定や火山灰構成物の解析に基づく噴火様式の推定を、課題参加機関と協力して行った。噴出量については、a: 指数関数による近似手法により約 80 トン、b: ワイブル関数による近似手法により約 160 トンと推定され、2 倍近く異なる結果を得た。これらの手法による差の原因は、主に手法 a における火口近傍でのデータの有無と、データがない場合の仮定に依存している。手法 b では近傍において層厚が増加する効果を表現できるため、少ないデータであっても曖昧な仮定を設けずに推定が可能であるが、推定値の妥当性の評価は簡単ではなく、今後検討する必要がある。火山灰構成物については、2004 年噴火以降噴火毎のモニタリングを継続しており、これまでと同じ基準で構成粒子の判別を行った結果、2019 年噴出物は変質した溶岩片を主体とし、水蒸気爆発に由来するものと結論づけた。なお、今回の浅間山噴火では、噴火の際に関係機関で連携して降灰調査を行い、迅速に速報値を公表することができた。

課題参加者によるミーティングを実施し、本課題の今後の進め方や関連研究のレビュー、情報交換を行なった。噴出物モニタリングや噴出量・構成物の迅速解析における課題について問題意識を共有し、その手法を高度化させていくこと、そして噴火対応時にいかに実行し、噴火事象の分岐判断に活用していくかについて議論を行った。今後の噴火では関係機関で協力して効率的かつ機動的な噴出物調査を実践すること、データ共有の枠組みを整備し、継続的に活用していくことを確認した。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

前野 深, 2019, 火山噴出物の解析にもとづく噴火物理パラメータの推定 - 噴火ダイナミクスの理解進展に向けて -, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 幕張, U04-06, 幕張, 千葉.

田島靖久・中田節也・長井雅史・前野 深・渡邊篤志, 2019, 霧島火山群, えびの高原硫黄山の 2018 年

4月の小噴火火山, 64, 147-151.

Maeno, F., S. Nakada, M. Yoshimoto, T. Shimano, N. Hokanishi, A. Zaennudin, and M. Iguchi, 2019, Eruption Pattern and a Long-Term Magma Discharge Rate over the Past 100 Years at Kelud Volcano, Indonesia, *J. Disaster Res.*, 14, 27-39.

Nakada, S., F. Maeno, M. Yoshimoto, N. Hokanishi, T. Shimano, A. Zaennudin, and M. Iguchi, 2019, Eruption Scenarios of Active Volcanoes in Indonesia, *J. Disaster Res.*, 14, 40-50.

Ikenaga, Y., F. Maeno, and A. Yasuda, 2019, Time-series variation in the textures of ejecta of the An'ei eruption, Izu-Oshima, Japan Geoscience Union Meeting 2019, SVC34-P07, Makuhari, Chiba.

Kaneko, T., F. Maeno, and A. Yasuda, 2019, Observation of the eruption sequence and formation process of a temporary lava lake during the June-August 2015 Mt. Raung eruption, Indonesia, using high-resolution and high-frequency satellite image datasets, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 377, 17-32.

(11) 令和2年度実施計画の概要:

2020年度においては、噴火堆積物をもとに噴火の物理化学パラメータを見積もるための手法や理論及び経験モデルを整理し、それらの精度と適用性について実際の噴火事例をもとに検討する研究を継続する。また地球物理学的観測データの活用方法について検討し、地質・物質科学的情報と地球物理学的観測から得られる物理量との差異やその原因について、実例をもとに考察する。即時的現象把握に関しては、遠隔観測やドローンの活用方法についても検討する。また、既存研究や海外の事例などをもとに、噴火現象の分岐に関係する地質学、物質科学および地球物理観測にもとづく基準(噴出率変化等)を整理し、事象分岐の評価方法を探る。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

前野深(東大地震研)

他機関との共同研究の有無: 有

宮縁育夫(熊本大), 嶋野岳人(常葉大), 鈴木由希(早稲田大), 吉本充宏(富士山研), 石塚吉浩(産総研), 三輪学央(防災科研), 長井雅史(防災科研)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話: 03-5841-5787

e-mail: yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL: <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 前野深

所属: 東京大学地震研究所火山噴火予知研究センター

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

観測研究データへの永続的識別子付与

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

( 4 ) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(4) 関連研究分野との連携強化

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

これまで「データ流通ワークショップ」(<http://eoc.eri.u-tokyo.ac.jp/ryutsu/>)での意見交換や、京都大学アカデミックデータ・イノベーションユニットでの議論をもとに、観測研究データへの DOI 等の永続的識別子付与について検討してきた。防災科学技術研究所の陸海統合地震津波火山観測網 MOWLAS では、観測網単位での DOI 付与が実施された。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

観測研究データに永続的な識別子を付与し、観測研究計画で得られたデータの効率的な公開と利用の促進をはかる。

近年「オープンデータ」をキーワードに、研究データにも DOI ( Digital Object Identifier : 論文等の永続的識別子としてよく知られる ) などの永続的な識別子をつけるという運動が広まりつつある。データに識別子を付与することにより、データを適切に利用 ( 引用 ) することができ、また、論文の被引用件数と同様に、利用された履歴を機械的に追跡できるようになるためデータ提供者の評価にもつながる。本計画では、観測研究で得られたデータについて、識別子をつけて公開するための課題を検討し、実際に公開をすすめる。現計画だけでなく過去の計画で取得したデータの公開についても検討する。

専門家だけでなく非専門家も含む幅広い人々がデータを使えるようになれば、これまでにない新しい発想での解析等が実施される可能性がある。また、データに立脚して地震学への理解を広めることができるようになる。そのためには、データを公開するという意思と、公開したデータを管理、追跡する手法とが必要である。すでに多くのデータが公開されているが、すべてのデータに誰でも容易にアクセスできるという状況には至っておらず、改善の余地がある。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

本課題の実施にあたっては、課題番号 ERI27「研究成果共有データベースの構築」や、観測実施機関の関連する課題との連携を密にする。

関係者間でデータへの DOI 等永続的識別子付与についての情報交換をおこなう。また、5年間の研究期間中に実際のデータのうち、条件の整ったものを対象に永続的識別子を付与して試行的に公開する。DOI の付与には、自ら登録機関に登録する、データジャーナルを出版し、そこにデータペーパーの投稿を受け付ける、既存のデータジャーナルに投稿する、などの手法が考えられる。それぞれの手法の長所・短所などを検討する。また、データの種類やその生産者(観測, 実験, 数値計算等)によって最適な手法は異なるとも考えられるため、観測研究計画関係者から広く情報提供を求める。

平成 31-32 年度においては、DOI 等の永続的識別子付与と公開について、現状と克服すべき課題を整理する。永続的識別子付与について先行する防災科学技術研究所, 海洋研究開発機構, 極地研究所, 海上保安庁の事例も参考にする。

平成 33-34 年度においては、前年度までの検討にもとづき、識別子として DOI を想定し、公開に必要なシステムの要件を検討し、システム開発を開始する。開発したシステムにより DOI 付与および公開を実施する。観測研究計画の各担当者から得たデータ公開に関する情報を分析する。

平成 35 年度においては、前年度までに実施した DOI 付与と公開について、利用状況等を確認しながらシステムの改善をおこなう。観測研究データの DOI 付与と公開にあたっての課題をまとめる。また、過去の研究計画によって得られたデータに遡って DOI 付与・公開するための課題を検討する。

平成 35 年度においては、前年度までに実施した DOI 付与と公開について、利用状況等を確認しながらシステムの改善をおこなう。観測研究データの DOI 付与と公開にあたっての課題をまとめる。また、過去の研究計画によって得られたデータに遡って DOI 付与・公開するための課題を検討する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

DOI 等の永続的識別子付与と公開について、現状と克服すべき課題を整理するため、さらに広く地震学とオープンデータについて議論することを目的として、地震学会秋季大会において特別セッション「オープンデータと地震学」を企画した。このセッションの開催趣旨は「研究データの公開と流通が学術の発展に不可欠な要素であるという考えが広がりつつある。地震学の周辺では、地震波形データをはじめとして公開・流通など先端的な事例がある一方で、データの生産に関わる研究者・技術者の評価などの課題も多い。研究データ共有の手段である永続的識別子付与やデータ出版などの取り組みについて、他の研究分野や国内外の情勢、各大学・研究機関での具体的な取り組みについて情報交換し、地震学の発展に寄与するデータ共有のあり方について考えたい。」とした。17 件の口頭発表(うち 3 件は招待講演)と 4 件のポスター発表があり、活発な議論と情報交換の場となった[加納・他(2019)]。識別子付与だけでなく、データジャーナルやデータリポジトリの活用の事例や可能性が提示され、また大学・研究機関や様々なプロジェクトにおけるデータの蓄積あるいは公開のためのデータベースの構築・運用の実際や課題など、本研究課題を進めるために重要な情報が得られた。

防災科学技術研究所の MOWLAS の観測網については、2019 年 4 月から DOI が付与されている。

おおよそ計画どおりの進捗であった。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

加納靖之・汐見勝彦・内田直希, 2019, 秋季大会特別セッション「オープンデータと地震学」開催報

告, 地震学会ニュースレター, 72, NL4, NL-4-40, <https://www.zisin.jp/publications/news72.html> .

加納靖之, 2019, オープンデータと地震学, <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/people/ykano/od4s/> .

加納靖之, 2019「みんなで翻刻」にみる歴史地震研究への非専門家の参加, 第 1 回 SPARC Japan セミナー

2019「人文社会系分野におけるオープンサイエンス ~ 実践に向けて ~ 」, <https://www.nii.ac.jp/sparc/event/2019/pd>

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :



前年度に引き続き DOI 等の永続的識別子付与と公開について、現状と克服すべき課題を整理する。  
永続的識別子付与について先行する国内外の事例を収集する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学地震研究所 加納靖之

他機関との共同研究の有無 : 有

防災科学技術研究所 汐見勝彦

北海道大学 高橋浩晃

東北大学 内田直希

京都大学防災研究所 澁谷拓郎

九州大学 松島 健

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話 : 03-5841-5787

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 加納 靖之

所属 : 東京大学地震研究所

- ( 1 ) 実施機関名：  
東京大学地震研究所
- ( 2 ) 研究課題（または観測項目）名：  
データ流通網の高度化
- ( 3 ) 関連の深い建議の項目：  
5 研究を推進するための体制の整備  
(3) 研究基盤の開発・整備  
ア. 観測基盤の整備
- ( 4 ) その他関連する建議の項目：  
5 研究を推進するための体制の整備  
(3) 研究基盤の開発・整備  
ウ. 地震・火山現象のデータ流通
- ( 5 ) 総合的研究との関連：
- ( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果（または観測実績）の概要：  
平成 30 年度までにおいては全国データ流通網 JDXnet を安定的に運用した。データ流通コミュニティでの議論を進めるための研究集会（データ流通ワークショップ）を毎年実施した。
- ( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：  
全国の陸域，海域および火山周辺に設置された地震・地殻変動などの各種観測網から得られるデータを即時的に流通させるシステムを運用・高度化し，全国の観測研究のデータ流通基盤を整備する。
- ( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：  
本課題で取り扱うデータ流通網は，基本的に実施機関および共同研究機関の運営費交付金によって運用・維持されるものである。5 年を通して，高速広域ネットワークを利用したデータ流通網 JDXnet の安定的な運用とその機能の高度化を行う。  
( 1 ) 災害時に強いデータ収集・中継システムの維持とその拡張  
( 2 ) データ蓄積機能を包含するデータ流通システムの開発  
( 3 ) 過去の観測データを含むデータ提供システムの開発  
( 4 ) 接続機関の拡大  
( 5 ) データ流通ワークショップの開催
- ( 9 ) 令和元年度の成果の概要：  
観測データ流通網 JDXnet の安定的な運用を継続し，東大地震研接続ポイントについては SINET 経由により JGN 接続を実現し，ネットワークの冗長化を復活させた。また，柏での接続も開設し東京大学

情報基盤センターの大規模並列計算機をリアルタイムデータ解析に活用させる基盤を構築した。令和2年3月30日にデータ流通ワークショップを開催予定である。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(11) 令和2年度実施計画の概要：

観測データ流通網JDXnetへの接続ポイントの拡大を実施(東京工業大学を予定)するとともに、引き続きJDXnetの安定的な運用を継続する。データ流通ワークショップを開催する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

鶴岡弘(東京大学地震研究所)

他機関との共同研究の有無：有

地震、地殻変動等、火山の各観測データの流通協定に参加する各機関(\*)とそのデータ流通システム担当者が共同研究に参加する。

(\*) 北大・弘前大・東北大・東大・東工大・名大・京大・高知大・九大・鹿児島大・防災科研・気象庁・JAMSTEC・産総研・国土地理院・地震予知総合研究振興会・国立天文台・北海道・青森県・東京都・神奈川県・静岡県

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：鶴岡弘

所属：東京大学地震研究所

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

光技術を用いた地下深部・火山近傍における地震・地殻変動計測技術の確立

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

工. 桜島大規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

レーザー干渉計をベースとした光計測を用いて、高温環境で動作する地震計の実証および可搬小型絶対重力計による火山地域での重力計測等を実施した。

課題 1522「光技術を利用した大深度ボアホール用地震地殻変動観測装置の開発」において、レーザー干渉計の試作を行い、300 度以上の高温で動作することを確認した。また、遮光式光センサを用いた地震計は実験室において 200 度の環境で 1 ヶ月以上観測ができることを実証した。これらを組み合わせれば、大深度で高精度地震観測できるセンサの構築が可能であることを示した。

課題 1506「小型絶対重力計を用いた火山監視技術の開発」では、小型絶対重力計を試作し、従来の市販絶対重力計との性能比較・系統誤差評価および桜島火山・蔵王火山において観測を実施した。所期の精度で観測ができることが示されている。光観測網の構築を見据え、光源の長距離伝送実験も実施し、センサの多重化についても検討を行った。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

断層すべりや応力場など地殻内で起こっている現象を観測結果に基づき定量的に理解するためには、地下深部や断層近傍における観測手法の確立が不可欠である。また、火山観測においては、インフラの乏しい火山体近傍における観測でマグマ移動等に伴う地下深部の質量変動などの監視が必要である。

本研究では、光計測技術を用いた地震計・重力計などのセンサを面的に配置し光ファイバで接続し、従来観測が困難であった地下深部や火山近傍での次世代の光ベースの地震・地殻変動観測網を構築するための手法の確立をめざす。小規模のシステムを構築し、地殻活動や火山活動の観測を行い、手法の有効性を検証する。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

光ベースの小規模の地震・重力の計測システムを構築し、地殻活動や火山活動の観測を行い、手法の有効性を検証する。計画前半では、光通信分野の研究機関やメーカーと連携し、長距離伝送試験や複数のセンサに光源を同時配信する光センサ・ネットワーク実験を行い、高温の地下深部あるいは火山活動時にアクセス困難となる火口近傍での地震・地殻変動の観測手法を確立させる。計画後半に同システムを用いた観測を実施する。

2019年度においては、地震計・小型絶対重力計などのセンサに関して、長距離の光ファイバ伝送試験を実施する。

2020年度は、複数のセンサを同一ファイバに接続しそれらの信号を分離する多重化試験を実施する。

2021~2023年度には、野外における予備的な試験観測の実施後、地熱地帯や火山近傍での試験観測とその結果の総括を行う。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

地殻内で起こっている現象を観測結果に基づき定量的に理解するためには、地下深部における観測手法の確立が不可欠である。また、火山観測においては、インフラの乏しい火山体近傍において、地下深部の質量変動などの監視が必要である。

本研究では、光計測技術を用いた地震計・重力計などのセンサを面的に配置し光ファイバで接続し、従来観測が困難であった地下深部や火山近傍での光ベースの地震・地殻変動観測網を構築するための手法の確立をめざす。

本年度は火山近傍における重力観測として、地震研で開発された小型絶対重力計 TAG-1 を用いて蔵王観測所(東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター、宮城県蔵王町)における観測を2019年10月22~31日に実施した(図1)。同じ観測基台上の超伝導重力計とTAG-1との並行観測を行い、潮汐変動は両者で整合していることが確認された。観測中、台風の接近により地面振動の増大がみられた時期があったが、図2のように組み込み加速度計信号により地面振動の影響が補正され、重力値のばらつきには影響していないことがわかる。TAG-1を用いた蔵王観測所での絶対重力観測は2017年より同様に行っており、過去の測定結果と比較すると、10 $\mu$ Gal程度の差異が認められる(図3)。火山活動あるいは局所的な擾乱の影響等の可能性があり、今後他の観測結果と比較し原因を追究する。

当初計画では、本年度は長距離の光ファイバ伝送試験を実施する予定であったが、台風の影響により機材の調達ができず、次年度に実施することとした。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

新谷昌人、光ファイバネットワークを用いた火山活動監視のための重力計測技術に関する研究、東北大学電気通信研究所研究活動報告, 25, 285-287, 2019.

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

令和2年度は、地震計・小型絶対重力計などのセンサに関して、長距離の光ファイバ伝送試験や複数のセンサを同一ファイバに接続しそれらの信号を分離する多重化試験等を実施する予定である。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

地震研究所 新谷昌人、高森昭光

他機関との共同研究の有無 : 有

東北大学 葛西恵介、他 2 名。京都大学 福田洋一、他 1 名。海洋研究開発機構 荒木英一郎。国立天文台 田村良明。極地研究所 土井浩一郎、他 2 名。

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話 : 03-5841-5787

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 新谷昌人

所属 : 地震研究所



図 1

蔵王観測所 ( 東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター ) における観測。左が小型絶対重力計 TAG-1、右が超伝導重力計。

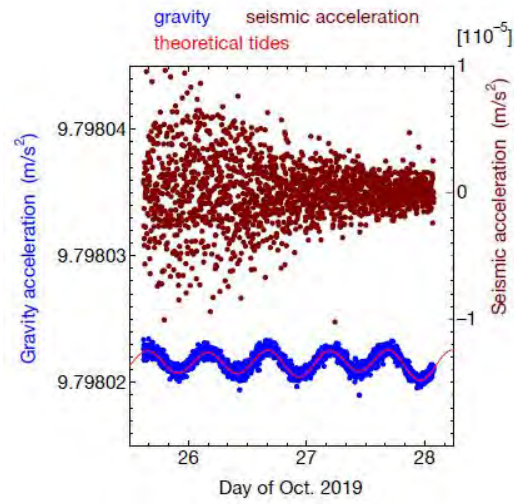


図 2

観測された重力値（青、左軸）、地面振動加速度（茶、右軸）および理論潮汐波形（赤線）。組み込み加速度計信号により地面振動の影響が補正され、重力値には表れていない。

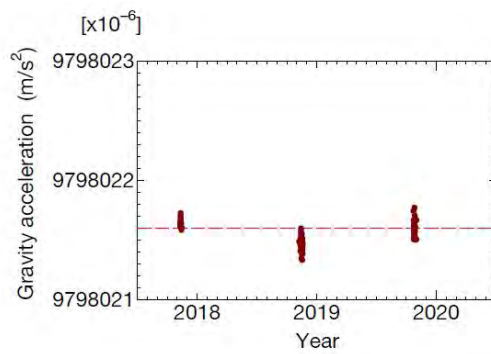


図 3

蔵王観測所における TAG-1 の過去の観測を含めた測定結果。10 $\mu$ Gal 程度の変動が認められる。



( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

高精細ミュオグラフィ画像自動診断による火山活動状況の推移との相関評価

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 国際共同研究・国際協力

( 5 ) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

我が国が世界に先駆けて成功させた素粒子ミュオンによる火山透視(ミュオグラフィ)はこれまでにない解像度で火山浅部の内部構造を画像化することが可能である。

例えば、浅間山では固結した溶岩の下にマグマ流路の上端部が可視化され、また、薩摩硫黄島ではマグマ柱上端部に発泡マグマが可視化された。一方、2009年の浅間山噴火における火口底に固結していた溶岩の一部欠損の可視化、2013年薩摩硫黄島噴火におけるマグマ頭位の上下動の映像化など静止画のみならず動的変化も捉えられるようになってきている。

2016年度より開始した次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト(以下次世代火山プロジェクト)「先端的な火山観測技術の開発・サブテーマ1新たな技術を活用した火山観測の高度化」では、国際共同研究による火山透視像と火山活動の相関のデータベース化、火山活動評価への展開を目標としている。ハンガリー科学アカデミーウイグナー物理学研究センター(以下ウイグナー物理学研究センター)との協働の結果、2017年度までに1万画素(従来の画素数の100倍以上)を超える高精細ミュオグラフィの開発に成功し、桜島の観測を2017年より継続している。その結果、桜島中央火口近傍の密度変化を示唆する時系列的な画像が得られ始めている。

( 7 ) 本課題の5か年の到達目標：

2019年度までの研究によって得られるようになった透過像は1枚の画像を得るのに半年かかっている。一方で、2018年度終了時までの技術開発によりミュオグラフィの口径が6?に拡張されることで画像取得速度は10倍向上した。したがって、2019年度以降は1カ月に1枚画像が得られる予定である。本

研究計画ではこの技術的な到達をもとに、機械学習等による火山活動状況の推移との相関を評価するシステムを構築する。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

2019年度 : 1か月に1枚、高精細画像を出力するシステムを整備する。医用画像用コンピューター自動検出/診断の適用可能性の検討。観測装置の口径を6?から10?へ拡張する。

2020年度 : 2019年度に得られた12枚の画像と他の観測で得られた情報を多次元空間上で比較、Deep learningによる特徴量抽出。2020年には24枚の画像が得られるので、それも併せて機械学習する。観測装置の口径をさらに拡大する。

2021年度 : 2020年度までに得られる36枚の画像の学習結果から画像から噴火の実況を予測する。学習する画像枚数を60枚へと増やす。観測装置の口径をさらに拡大する。

2022年度 : 100枚を超える透視画像を用いて予測精度の向上を行う。

2023年度 : 成果を取りまとめる。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

桜島ミュオグラフィ観測所(SMO)において、観測装置の口径を6?から10?へ拡張する段階において、要素数が増えることによるシステム全体の不安定性が増加することが確認された。電源及び通信システムの強化を行い、2020年度以降の安定運用を目指す。得られたデータは全て中央サーバーにアップロードされ、リアルタイムに状況を監視できる環境を整備した。2017年終わりから2018年初めにかけて、噴火活動が昭和火口から南岳火口へと推移した時期に昭和火口底で観測された密度上昇現象について考察を行い、プラグ様の物体が形成されていることが分かった(図1)。成果は米誌(Geophysical Research Letters)に公表され、SMOの写真が同誌の表紙に採用された(図2)。医用画像用コンピューター自動検出/診断の適用可能性の検討については、桜島の第2世代ミュオグラフィの観測データに対して、画像認識で威力を発揮するconvolutional neural network(CNN)を用いた深層学習の手法により火山の噴火予測のパイロットスタディを行った。直前の連続する7日間のミュオグラフィの画像データから翌日の噴火予測を後方視的に試みたところ、ROC曲線の下方面積(AUC)で0.726が得られ、ある程度の確率での予測が可能であることが示唆された。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

L. Szilágyi, O. Hiroki, H. Tanaka, Takao Ohminato, Gergely Hamar, Dezső Varga, Plug Formation Imaged Beneath the Active Craters of Sakurajima Volcano With Muography, Geophysical Research Letters, Volume46, Issue17-18, 1-28 September 2019, Pages 10417-10424.

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

医学分野において高度に発達してきた機械学習、その中でも特に深層学習による高度な画像認識技術をミュオグラフィに適用し、ミュオグラフィによる火山噴火予測の技術の開発を行う。2019年度に強化された観測装置から出力される画像と他の観測で得られた情報は第2世代のミュオグラフィと比べて空間分解能が向上している一方、この第3世代のミュオグラフィを使用する場合には最適条件が異なってくる可能性が高い。他の課題の結果と合わせて予測ウィンドウやそれ以外の設定条件を検討していく。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学地震研究所(田中宏幸)

東京大学医学部附属病院(林直人)

他機関との共同研究の有無 : 有

近畿大学(根本充貴)

広島市立大学(増谷佳孝)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：田中宏幸

所属：地震研究所

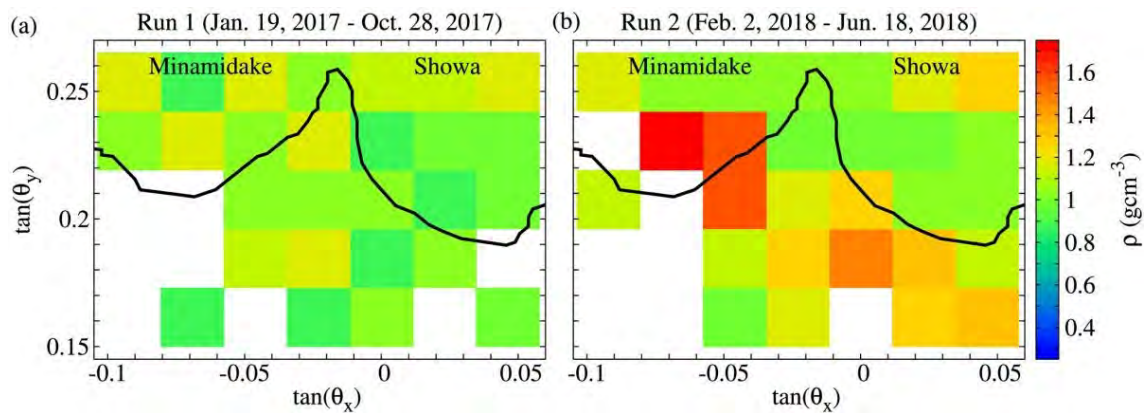


図1：桜島昭和火口直下及び南岳火口近傍における密度上昇を示すミュオグラフィ画像

(a)2017年7月～10月にかけて得られたデータ。(b)2018年2月～6月にかけて得られたデータ。

# Geophysical Research Letters

1–28 September 2019 • Volume 46 • Issue 17–18

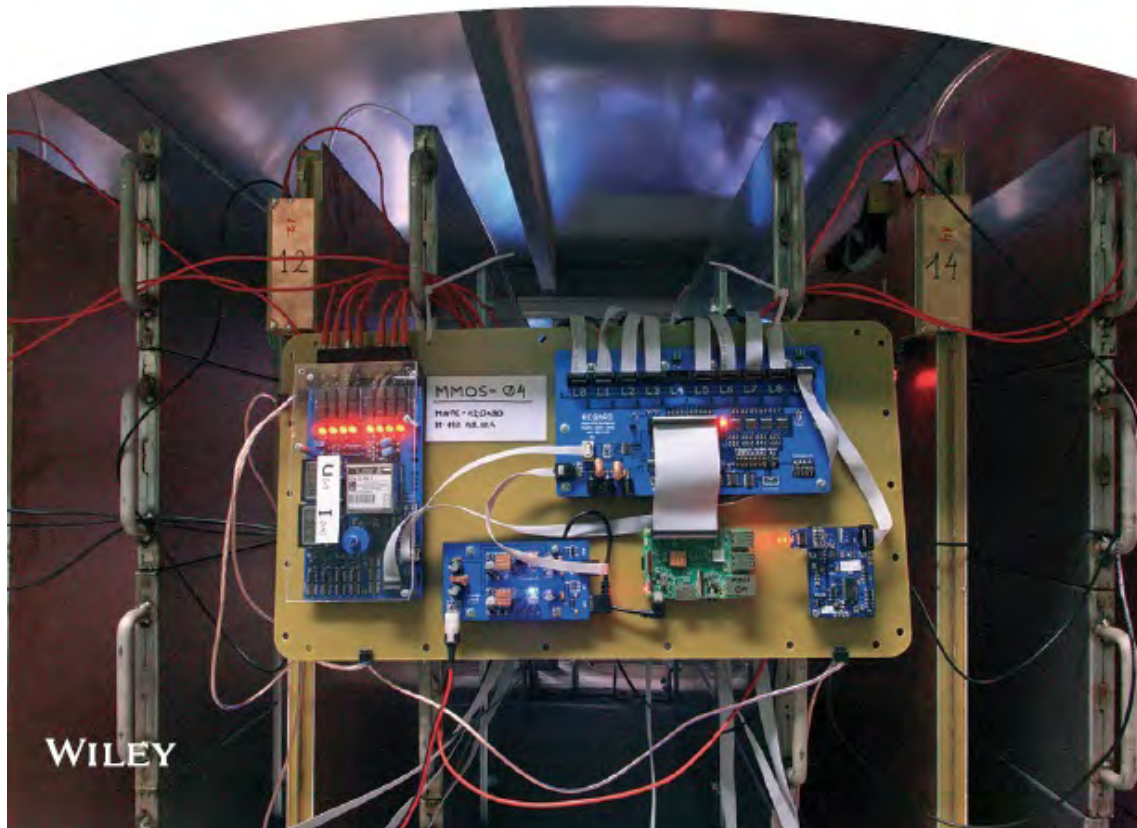


図 2 : 桜島ミュオグラフィ観測所 ( SMO )

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

海底ケーブルを用いる地震・地殻変動・津波リアムタイム観測技術開発

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

平成 23 年東北地方太平洋沖地震の津波により被災し、観測が中断していた三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システムの復旧を、2014 年に実施した。2013 年には、被災の経験を活かした局舎を再建して、観測システムの拠点としている。2014 年 6 月からは、津波警報へのデータ活用のために、気象庁へのデータ伝送を開始した。さらに、対象領域での観測継続のために、インターネット技術を用いた通信回線の冗長化による観測の信頼性の向上、最新半導体技術を用いた観測装置の小型化などが特徴である新規開発ケーブルシステムの敷設を 2015 年に実施し、現在は、これら 2 つのケーブルシステムの併行観測運用を行っている。また、対費用効果は現状のまま、データ取得の信頼性を高めるシステムの検討を開始した。

( 7 ) 本課題の5か年の到達目標 :

地震火山噴火発生予測において、海域となっている海洋プレートの沈み込み帯直上における地震・地殻変動・津波観測は本質的な情報を与える。データがリアルタイムで得られる定常的海底観測は、地震火山噴火発生予測のための海洋プレート沈み込みに関する研究に寄与するだけでなく、緊急地震速報の高度化や緊急津波情報の発信など、防災上不可欠の情報を得ることができる。これらの目的のためには、できるだけ高密度で高品質のデータを取得する必要がある。そこで、本研究計画では、定常的な海域観測網のさらなる高度化に取り組む。特に海底ケーブルを用いるリアルタイム観測について、さらに高度化なシステムの開発をめざす。また、海域に観測網を構築するにあたって、コストの問題も考慮する必要がある。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

海底ケーブルを用いる観測技術開発を行う本研究課題では、当該システムの設置に大きな費用がかかるために、技術開発についても、明確な年度計画を設定しづらい。しかしながら、海底システム設置の予算が認められた段階から観測技術開発を始めては、間に合わないの、可能な開発項目を順次進めて行く。現在は、南海トラフ高知県沖から宮崎県沖の領域に、海底ケーブル観測システムの設置が計画されており、このシステムに貢献することを目標として、下記の開発項目を優先的に実施する。

- ・高信頼性を保ち、大規模展開に適した対費用効果をあげるケーブルシステムの開発
- ・研究の進展に伴い観測高度化可能なシステム
- ・GNSS/A や海底孔内観測システムなどと統合できるシステムの開発

一方、さらに将来の海底ケーブルを用いる観測技術開発として、

- ・分散型音響センシングなどの最新技術を取り入れたケーブルシステムの開発

を実施する。これは光ファイバーをセンサーとして利用する振動計測技術であり、超高密度の観測データが取得できることが期待される。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

定常的な海域観測網の高度化については、2014年に復旧した既設の三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システムおよび2015年に設置した新規開発した海底光ケーブル式地震津波観測システム(OBCSTシステム)の両方を用いた併行観測を継続している(図1)。また、システムの保守および改良も実施している。同システムでは、2016年1月に、汀線部で観測ケーブルの露出が発見されたため、2016年5月13日、14日に、当該ケーブルの汀線部から沖合100mまでの区間のケーブル敷設状況調査を実施し、汀線部から沖側約30mまでの区間のケーブルの保護強化対策が必要であることがわかった。2017年には、波浪の影響を受けやすい汀部から沖側約30mまでの区間のケーブルの保護対策と、アース電極の沖合への設置作業を実施した。沖合数十mにアース電極を設置し、これまで利用していた汀線部アースと並列に接続した。その結果、給電電圧の変動はほぼ無くなり、安定した運用ができるようになった。2018年は、9月に汀線部から沖合100m程度までの状況の監視調査を行ったが、大きな問題は発見されず、前年に実施した保護対策が有効であることが確認された。また、同月に1996年に設置したケーブル観測システム(既設システム)について、システムの監視と観測データの冗長性向上を図るために、陸上局舎内に既設システム監視用サーバを新規に追加した。これにより、既設システムについても、より詳細なシステムの状況をモニタリングすることが可能となった。2019年10月に、同年台風19号の影響により、02:32(日本時間)頃から、釜石陸上局への給電が停止した。そのため、発電機が起動し、システムへの給電が行われた。同日17:30頃に復電し、通常観測に復帰した。しかし、道路の被害や局舎付近への土砂流入などが発生し、現在復旧に向けた作業を行っている。また、2019年11月11日18:20頃、落雷により陸上局舎内の新システム給電装置に不具合が発生し、観測不能となった。その後、給電装置の復旧を行い、同年12月2日15時頃に、観測システムを再起動させ、観測を再開した。なお、再起動以降は、連続的に観測を行っている。

光ファイバセンシング技術の一つであり、振動を計測する分散型音響センシング(Distributed Acoustic

Sensing、以下 DAS ) は、近年様々な分野で応用され始めている。地震関係分野では、資源探査のための構造調査に多く利用されており、地震観測にも適用され始めている。この計測は、光ファイバー末端からレーザー光のパルスを送出し、光ファイバー内の不均質から散乱光を計測し、その変化から、振動を検出する方法である。光ファイバーに沿って、時空間的に密な観測を実施できることが特長である。地震研究所が 1996 年に設置した三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムは、伝送路である海底ケーブルに予備の光ファイバーを持っている。この予備光ファイバーに、DAS 計測を適用することによって、空間的に高密度の海底地震観測を実施できる。2019 年は 2 月、6 月、11 月の計 3 回計測を実施した。2 月の計測では、測定全長 100 km として、チャンネル間隔 5 m として、合計 2 日間実施した。その結果、計測装置を設置した陸上局から 70 km 程度まで、連続して地震波が記録されることを確認した(図 2)。また、6 月の計測では、空間的高密度計測として、測定全長 5 km、チャンネル間隔 1 m とした。観測期間は約 3 日である。観測記録には多数の地震が記録されていた。11 月の計測では、長期観測を念頭において、2 週間弱の連続観測を行った。測定全長は 70 km、チャンネル間隔は 5 m である。今後、定常観測に用いることをめざして、システム開発を実施する。

- ( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Shinohara, M., T Yamada, T Akuhara, K Mochizuki, S. Sakai, T. Kasajima, T. Arioka, M. Hamakawa, and S. Kubota, 2019, Distributed Acoustic Sensing measurement by using seafloor optical fiber cable system off Sanriku for seismic observation, *OCEANS 2019 Seattle*, doi:10.23919/OCEANS40490.2019.8962757.
- 篠原雅尚, 2019, 海底における地震・津波・地殻変動のモニタリング - 海底ケーブルネットワーク -, *海洋調査技術*, 31(1), 11-16.
- 篠原雅尚・山田知朗・悪原岳・望月公廣・笠嶋丈夫・有岡孝祐・濱川雅之・久保田俊輔, 2019, DAS 計測技術を用いた三陸沖光ケーブル観測システムにおける高密度海底地震観測の試み, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, STT43-04.
- 篠原雅尚・山田知朗・悪原岳・望月公廣・笠嶋丈夫・有岡孝祐・濱川雅之・久保田俊輔, 2019, DAS 計測技術による三陸沖光ケーブル観測システムにおける海底地震観測, 日本地震学会 2019 年度秋季大会, S02-03.
- Shinohara, M., T. Yamada, T. Akuhara, K. Mochizuki, and S. Sakai, 2019, Precise Distributed Acoustic Sensing measurements by using the seafloor optical fiber cable system offshore Sanriku for earthquake monitoring, AGU 2019 Fall meeting, OS13B-1524.
- Shinohara, M., 2019, Seafloor monitoring systems of crustal activities and tsunamis - Advance of OBS and cable system -, ERI-IPGP Workshop.

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

海底ケーブルを用いる観測技術開発を行う本研究課題では、当該システムの設置に大きな費用がかかるために、技術開発についても、明確な年度計画を設定しづらい。しかしながら、海底システム設置の予算が認められた段階から観測技術開発を始めては、間に合わないのので、可能な開発項目を順次進めて行く。具体的には、下記の開発項目を可能なものから実施する。

- ・高信頼性を保ち、大規模展開に適した対費用効果をあげるケーブルシステムの開発
- ・研究の進展に伴い観測高度化が可能なシステム
- ・GNSS/A や海底孔内観測システムなどと統合できるシステムの開発

一方、さらに将来の海底ケーブルを用いる観測技術開発として、

- ・分散型音響センシングなどの最新技術を取り入れたケーブルシステムの開発

を引き続き実施する。これは光ファイバーをセンサーとして利用する振動計測技術であり、超高密度の観測データが取得できることが可能である。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :



篠原雅尚・塩原肇・望月公廣・一瀬建日・悪原岳 (東京大学地震研究所)  
他機関との共同研究の有無：有  
防災科学技術研究所、海洋研究開発機構

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：篠原雅尚

所属：東京大学地震研究所

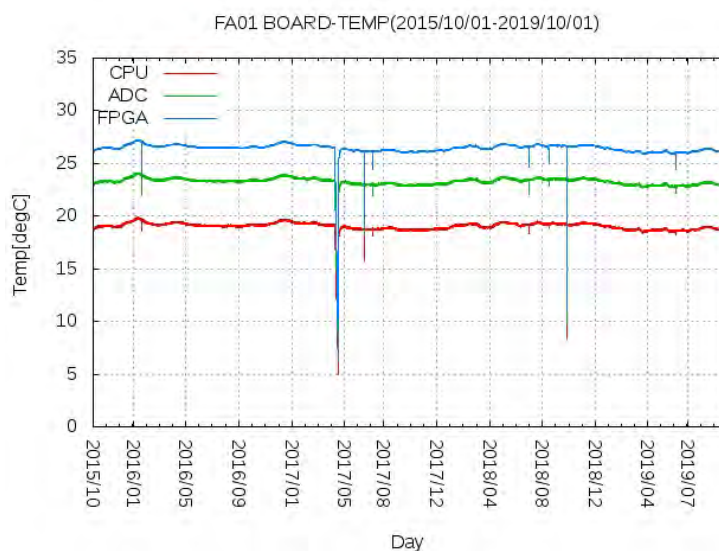


図 1

2015年に設置したシステムの観測装置内部の温度変化。2015年に設置した三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システムの海岸に最も近いFA01における設置後2015年10月から2019年9月までの観測装置内CPU, AD変換装置、FPGA(書き換え可能ゲートアレイ)の温度である。どの素子も30度以下でほぼ一定の温度を保っている。一時的に低温になるのは、観測を一時的に停止した時期である。

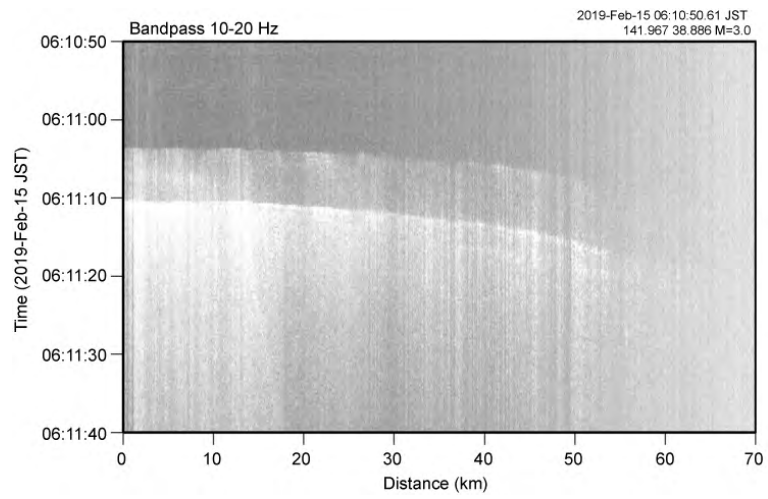


図 2

DAS 計測により記録された地震の例。1996 年に設置した三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システムの空き光ファイバーを用いて、DAS 計測の試験観測を行った。横軸は陸上局からの距離、縦軸は時間である。P 波と S 波が明瞭に記録されている。

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

海底での地震・地殻変動観測に向けた機動的観測技術の高度化

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

機動的観測での開発の一つとして、2015 年度に科研費基盤研究(A)の採択により本格的に開始した、次世代型広帯域海底地震計(BBOBS-NX)の自律展開設置・自己浮上回収方式への機能高度化を更に進めた。2016 年度の実海域試験結果とその実用的試験機としての改修成果を基に、自律展開設置・自己浮上方式の新型機(NX-2G)の長期試験観測(福島県沖日本海溝陸側斜面に設置)を2017年4月の研究船航海時に開始し、自由落下設置後の自律動作による観測開始までを船上からの音響通信により確認した。この際の動作は、着底の様子も含め、NX-2Gに取り付けた小型深海用ビデオカメラにより自撮りさせていた。2018年10月の研究船航海で、無人潜水艇(かいこう Mk-IV)を用いて観測状態および回収状態への遷移の様子を観察し、錘を含めた機器全体の回収を実施した。海底面が柔らかいこともあり、錘を切り離してセンサー部を堆積層から引き抜き始めると直ちにセンサー部全体が海水中に引き上げられた。ビデオカメラも含めて機器とデータは無事に回収された。同地点では通常型の

BBOBS も設置され記録が取られており、NX-2G とのノイズレベル比較を実施した結果、これまでの BBOBS-NX と BBOBS での差は水平動ノイズレベルの改善が見られなかった。これは、センサー部と記録部を唯一つなぐ水中ケーブルの引き回しが悪く、ケーブルが十分に海底に落ちていなかったため、海中に浮遊状態にある記録部の振動がセンサー部へ伝わってしまったことによると考えられる。これは容易に解決可能であり、2002 年に発案し開発を進めてきた、自己埋設方式センサーによる自己浮上型 BBOBS が基本的には実現できたものと考えている。

房総沖で長期海底傾斜観測(2年間)を2015年7月に開始したままであった BBOBST-NX の回収を実現するため、研究船公募による無人潜水艇利用を今年度申請し、2019年6月に実施する予定となった。また、海底面に自由落下で設置される通常型の BBOBS においても、底層流が弱い環境下では  $1\ \mu\text{rad}$  オーダーでの傾斜観測の可能性が充分にあることも分かってきた。これを踏まえ、2019年1月に開始したチリ沖での BBOBS 観測(2年間)では6台で地震・傾斜同時観測を20km程度の観測点間隔で実行中である。水晶発振方式加速度センサーの評価試験は、鋸山観測坑でのサーボ型加速度計との比較試験を進行中で、東北大で開発された GPS アンテナ試験用可動台を用いて実施するための準備を進めている。

海底において空間的に高密度なやや広帯域地震観測の実施をめざして、小型広帯域地震計を搭載した長期観測型海底地震計の開発を行った。現在多数運用されている1年以上観測可能な長期観測型海底地震計は短周期地震計(固有周期1秒)搭載しており、小型広帯域地震計に換装することにより広帯域化できる。2017年までは、小型広帯域地震計には、固有周期20秒の Nanometrics 社 Trillium Compact Broadband Seismometer を用いて開発を行った。この小型広帯域地震計は、直径90mm、高さ100mmの円筒容器に収納されており、収納容器のまま搭載できるレベリング装置を新規に開発した。開発した長期観測型小型広帯域海底地震計は、主にプレート境界浅部で発生するスロー地震の観測をめざしているが、深部構造研究のための深発地震や遠地地震の観測や、海底火山の観測への利用も可能である。新規開発した海底地震計を、2017年2月に日向灘に設置し、同年7月に回収した。回収した記録には、超低周波地震が S/N 比よく記録されていた。2018年には、同じく Nanometrics 社の Trillium Compact Broadband Seismometer 固有周期120秒を用いた小型広帯域地震計を製作した。これは、サイズ、重量ともに固有周期20秒のものと同じであるが、観測時に許される傾斜角が小さい。そのため、20秒計用に開発したレベリング装置を、制御ソフトウェアの改良により、より精度の高いレベリングを必要とする120秒計に適用可能とした。この120秒計を搭載した小型広帯域海底地震計は、日本海溝陸側斜面における観測に使用した。

(7) 本課題の5か年の到達目標:

地震予知の基礎的観測研究を行う上で、海洋プレートの沈み込み帯でのプレート境界地震及びスロースリップイベントが繰り返し発生している場の直上である海底での、地震・地殻変動観測は重要である。陸域と同等な観測をこの海底で実現させるという基本的観点から、これまで長期高密度な機動的な地震観測、機動的強震観測、機動的かつ長期の広帯域地震観測、などをこの十数年の間に実現させてきた。海域での地震・地殻変動観測をより高度化させるため、陸上と同等な広帯域地震観測を海域で機動的に行う技術開発、超深海域での機動的な地震観測の実用化、海底面での機動的な水圧(上下変動)観測と傾斜観測の面的展開技術の実用化、などを今後の技術開発の課題として引き続き取り組む。

(8) 本課題の5か年計画の概要:

本研究課題では、明確な年度計画は設定せず、後述の開発項目のうち予算的裏付けと試験観測が可能となったものを順次進めて行く。その理由として、これらの機器開発の予算はその大部分を科学研究費や運営費交付金(地震研内のセンター経費・所長裁量経費など)で賄っていること、及び試験観測には研究船利用(潜水艇も含む)が必要であり、その実施には近年は特に不確定要素が多いためである。

主たる開発項目は引き続き、

1. 次世代型広帯域海底地震・傾斜計の自律展開設置・自己浮上回収方式への機能高度化、

2. 超深海域で長期(広帯域)地震観測の実用化、
3. 面的展開が可能な海底面での傾斜観測の実用化、
4. 長期安定した精密水圧観測への観測手法と次世代圧力センサーの開発、とする。

(9) 令和元年度の成果の概要：

機動的観測での開発の一つとして、2015年度に科研費基盤研究(A)の採択により本格的に開始した、次世代型広帯域海底地震計(BBOBS-NX)の自律展開設置・自己浮上回収方式への機能高度化を更に進めた。2016年度の実海域試験結果とその実用的試験機としての改修成果を基に、自律展開設置・自己浮上方式の新型機(NX-2G、図1)の長期試験観測(福島県沖日本海溝陸側斜面に設置)を2017年4月の研究船航海時に開始し、自由落下設置後の自律動作による観測開始までを船上からの音響通信により確認した。この際の動作は、着底の様子も含め、NX-2Gに取り付けた小型深海用ビデオカメラにより自撮りさせていた。2018年10月の研究船航海で、無人潜水艇(かいこう Mk-IV)を用いて観測状態および回収状態への遷移の様子を観察し、錘を含めた機器全体の回収を実施した。海底面が柔らかいこともあり、錘を切り離してセンサー部を堆積層から引き抜き始めると直ちにセンサー部全体が海水中に引き上げられた。ビデオカメラも含めて機器とデータは無事に回収された。同地点では通常型のBBOBSも設置され記録が取られており、NX-2Gとのノイズレベル比較を実施した結果、これまでのBBOBS-NXとBBOBSでの差程は水平動ノイズレベルの改善が見られなかった。これは、センサー部と記録部を唯一つなく水中ケーブルの引き回しが悪く、ケーブルが十分に海底に落ちていなかったため、海中に浮遊状態にある記録部の振動がセンサー部へ伝わってしまったことによると考えられる。この問題を解決するため図2に示す改修を進め、2019年8月に再度の長期試験観測を実施する段階にあったが、2週間の航海期間に台風が観測海域を3連続して到来したため、出航すら出来ず観測の実施を断念することになった。2020年度には本試験を実施できる観測航海が確保できていないため、この試験観測は2021年度以降となる。

房総沖で長期海底傾斜観測(2年間)を2015年7月に開始したままであったBBOBST-NXを回収するため、研究船公募による無人潜水艇利用を2018年度に申請し、2019年6月に実施する予定であった。この航海は4日間と短期で梅雨前線の活発化と作業海域が重なり、観測(潜航)作業が実施出来る海況ではなく、機器回収・継続的再設置は断念した。これを踏まえて2020年度の研究船利用公募を申請・仮採択され、2020年10月に観測航海を実施できる予定となっている。

海底において空間的に高密度なやや広帯域地震観測の実施をめざして、小型広帯域地震計を搭載した長期観測型海底地震計の開発を行っている。現在多数運用されている1年以上観測可能な長期観測型海底地震計は短周期地震計(固有周期1秒)を搭載しており、小型広帯域地震計に換装することにより広帯域化できる。2017年までは、小型広帯域地震計には、固有周期20秒のNanometrics社 Trillium Compact Broadband Seismometerを用いて開発を行った。この小型広帯域地震計は、直径90mm、高さ100mmの円筒形容器に収納されており、この容器のまま搭載できるレベリング装置を新規に開発した。開発した長期観測型小型広帯域海底地震計は、主にプレート境界浅部で発生するスロー地震の観測をめざしているが、深部構造研究のための深発地震や遠地地震の観測、海底火山の観測への利用も可能である。新規開発した海底地震計を、2017年2月に日向灘に設置、同年7月に回収し、超低周波地震がS/N比よく記録されていた。2018年には、同じくNanometrics社のTrillium Compact Broadband Seismometer固有周期120秒を用いた小型広帯域地震計を製作した。これは、サイズ、重量ともに固有周期20秒のものと同じであるが、観測時に許容される傾斜角が小さい。そのため、20秒計用に開発したレベリング装置を、制御ソフトウェアの改良により、より精度の高いレベリングを可能とし、120秒計に適用した。その後、主に120秒計を用いた台数の確保に努め、2019年には10台規模で観測に用いることができるようになった。また、2018年4月から11月まで宮城県沖に設置された120秒計を搭載した小型海底地震計3台の記録について評価を行った。その結果、遠地地震・深発地震などが3台ともに明瞭に記録されていた。雑微動ノイズレベルについては、上下動は、数十秒まで低いレベ

ルであったが、水平動成分に関しては、上下動成分よりも雑微動レベルが高い結果となった(図3)。引き続き、海底での記録の評価を行い、改良を加える予定である。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Y. Fukao, T. Miyama, Y. Tono, H. Sugioka, A. Ito, H. Shiobara, M. Yamashita, S. Varlamov, R. Furue, and Y. Miyazawa, Detection of Ocean Internal Tide Source Oscillations on the Slope of Aogashima Island, Japan, *J. Geophys. Res. Oceans*, 124, 4918-4933, doi:10.1029/2019JC014997, 2019.

H. Shiobara, A. Ito, H. Sugioka, and M. Shinohara, New Era of Ocean Bottom Broadband Seismology with Penetrator System of the Autonomous BBOBS-NX (NX-2G), 27th IUGG General Assembly, S05a, IUGG19-0453, 16 July 2019.

塩原肇・伊藤亜妃・杉岡裕子・篠原雅尚、次世代観測へ向けた自律動作方式の高性能広帯域海底地震計 : NX-2G、日本地震学会 2019 年度秋季大会、京都大学吉田キャンパス、2019 年 9 月 16 日、S02-02。篠原雅尚、海底における地震・津波・地殻変動のモニタリング - 海底ケーブルネットワーク -、海洋調査技術、31(1), 11-16, 2019

Shinohara, M., Seafloor monitoring systems of crustal activities and tsunamis - Advance of OBS and cable system -, ERI-IPGP Workshop, October 3 2019.

Shinohara, M., T. Yamada, H. Shiobara and Y. Yamashita, Development of Compact Long-term Ocean Bottom Seismometer with Small Broadband Seismic Sensor, 27th IUGG General Assembly, IUGG19-0507, July 16 2019.

(11) 令和2年度実施計画の概要 :

機動的傾斜変動観測での開発に関しては、2020 年 10 月に予定されている観測航海において、未回収となっている房総沖の BBOBST-NX の回収を研究船(よこすか・しんかい 6500)で実施する。既に回収している他の地点での BBOBST-NX のデータと比較・検証し、自己埋設方式センサーでの海底面傾斜観測の評価を進める。2019 年 1 月にチリ沖に設置した BBOBS 群でもマスポジション連続データによる傾斜観測の評価を行う予定であり、2021 年 1 月前後の回収を計画している。また、水晶発振方式加速度センサーの評価試験を鋸山観測坑および東北大で実施し、長周期帯域でのノイズレベルやレスポンスを確認する計画を進める。

小型広帯域地震計を搭載した長期観測型海底地震計の開発については、現在開発した測器を観測に用いており、海底での記録が得られているので、これら複数の海域での記録を評価することにより、現在の性能を確認し、さらなる改良について検討する予定である。また、振り子と光学干渉計測を利用した小型で低消費電力の地震計が開発されているので、この地震計センサーの評価を行うとともに、海底地震計への搭載を検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

塩原肇・篠原雅尚・望月公廣・山田知朗・一瀬建日・悪原岳  
他機関との共同研究の有無 : 無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部  
電話 : 03-5841-5787  
e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp  
URL : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 塩原 肇



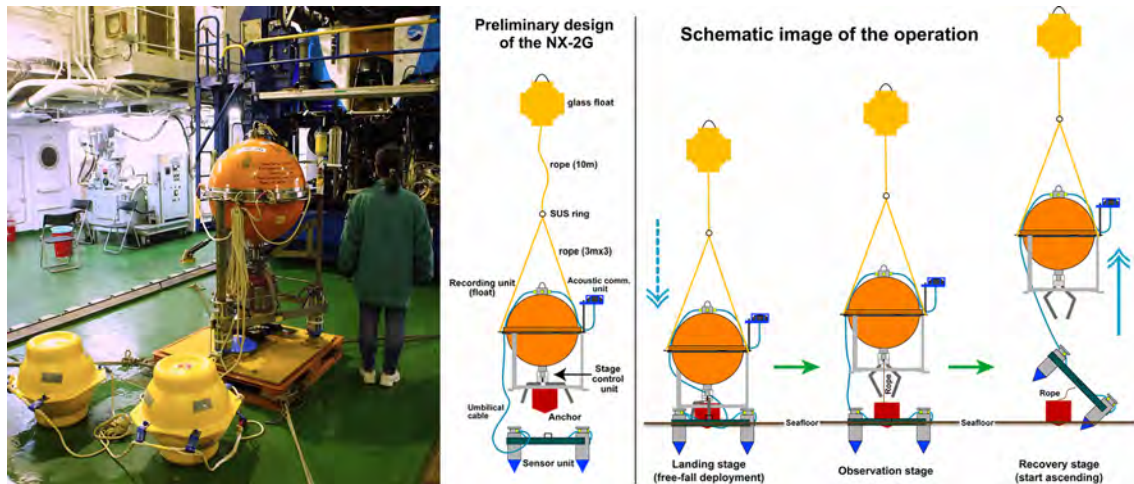


図1 2017年4月から1年間の長期試験観測を実施した自律動作方式のBBOBS-NX(NX-2G) 2016年の実地試験で機能を確認し、問題点などを修正したNX-2G試験機を、福島県沖の日本海溝陸側斜面(地点名: AoA60、水深: 4236 m)に設置、長期試験観測を2017年4月に開始、2018年10月に無事回収した。左: 手前に見える黄色の物体2個がガラス球フロートで、13 m長のロープを介してNX-2Gの記録部(オレンジ色のチタン球耐圧容器)の赤道部に繋がっており、センサー部を引き抜く浮力および降下中での記録部の回転の抑制、の役割を持つ。右: NX-2Gのシステム全体とその動作(投入・観測・回収の3状態)を模式的に示した図。

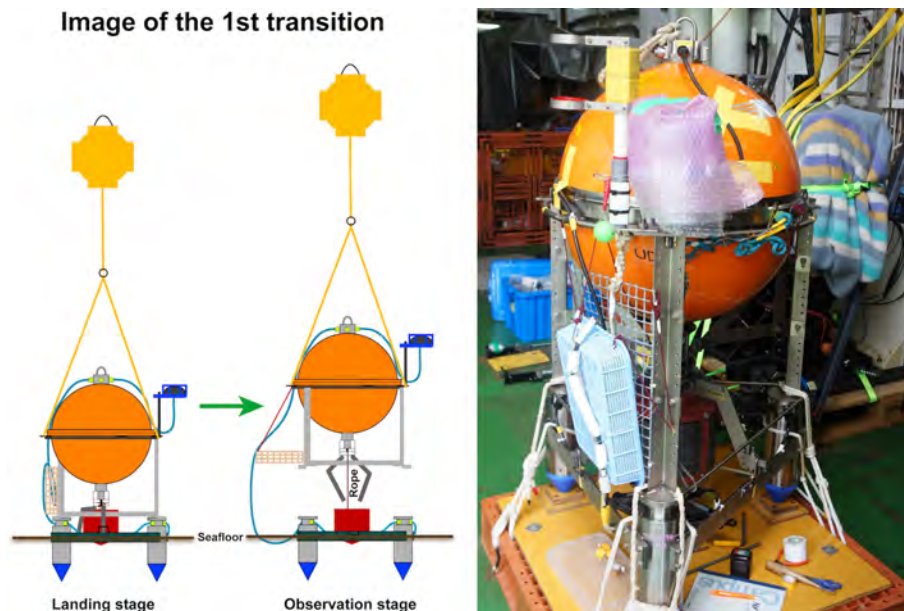


図2 NX-2Gの観測機能向上 2019年8月に予定されていた長期試験観測に合わせて、水中ケーブルの自己展開方法への改修を行った。図1右での着底状態(左)から観測状態(中央)への移行に伴い、水中ケーブルの下部がセンサー部から離れて着底する構造とした(左図の観測状態[右]を参照)。これにより、底層流による記録部の振動が水中ケーブルを伝搬しセンサー部へ伝わるのを抑制する効果が期待される。



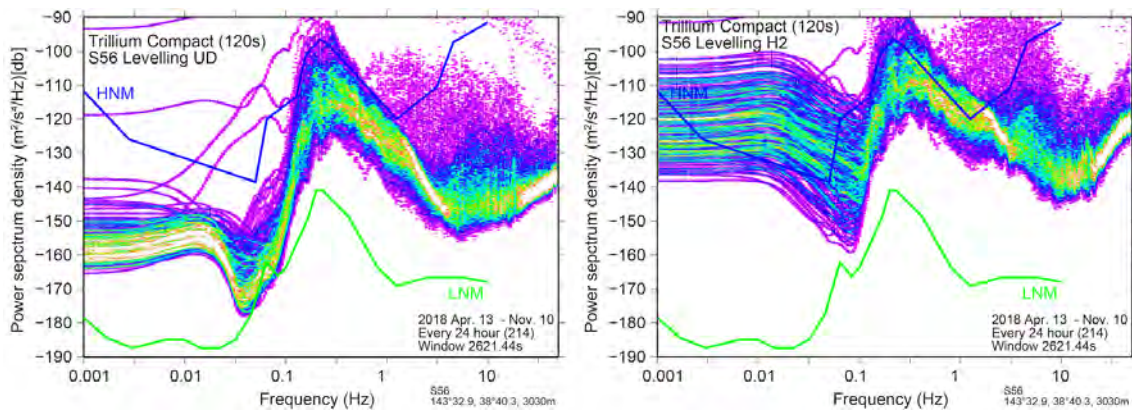


図3 小型広帯域地震計レベリングシステムに搭載した Nanometrics 社 Trillium Compact Broadband Seismometer 固有周期 120 秒計の海底における雑微動スペクトル

120 秒計を搭載した小型広帯域海底地震計を宮城県沖日本海溝陸側斜面に設置して、2018 年 4 月から同年 11 月まで観測を行った。水深は約 3000 m である。4 月 13 日から 11 月 10 日まで、24 時間ごとに約 44 分の記録からパワースペクトルを求めた。上下動成分に関しては、同時に設置した 3 台ともに同ノイズのスペクトルが得られた。水平動成分は上下動成分より、ノイズが大きく、ばらつきも大きい結果となった。特に長周期側でその傾向が大きい。

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

マルチプラットフォーム次世代 WIN システムの開発

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

課題 1518 等の一環として、観測データの収集や全国データ流通を安定的に行うために必要な WIN システムの改修や、研究基盤として重要なデータベースシステムの開発などを進めた。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

WIN 形式データのリアルタイム伝送が機関の枠を超えた全国規模のデータ流通の基盤となっていること、WIN システムが大学等のデータ処理システムで現在広く使われていること等を踏まえつつ、防災科研や気象庁、海外の関係機関等のデータ伝送システムや対話験測処理システムを参考にしながら、現在の WIN システムに代わるマルチプラットフォームのソフトウェア群(次世代 WIN)の検討と試作を行う。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 31 年度においては、現 WIN システムにおける課題と次世代システムへの要望の集約を行う。平成 32 年度においては、伝送系システムまたは対話験測処理系システムの検討と試作を開始し、平成 33 年度に試作品を提供して試用を開始する。平成 34 年度においては、残りのシステムの試作を開始する。平成 35 年度には試作プログラムを公開する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

令和元年度は、現 WIN システムにおける課題と次世代システムへの要望の集約を行った。本課題の担当者を通じて WIN システムに関連の深い研究者や技術者にメール等によりアンケートを実施し、18 機関(北海道大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、琉球大学、防災科学技術研究所、神奈川県温泉地学研究所、気象庁、気象大学校、地震予知

総合研究振興会，企業4社）から回答をいただいた．データ量（チャンネル数）の増大，通信の高速化，再送機能の充実，高精細かつ多色表示可能な操作環境の普及などへの対応が検討事項として挙げられていた．hypomh以外の震源計算プログラムや他の解析プログラムへの対応，WINシステムのチュートリアルの実用化なども課題として挙げられていた．このアンケート結果を参考にしながら，本課題の担当者を中心として次世代システムの備えるべき機能等について引き続き検討を進めることとした．また，WINフォーマット波形のバイナリデータをFortran言語で記述された解析プログラムから直接読み込むためのモジュールを開発した（前田，2019）．さらにPython言語で地震データ解析の際によく使用されるObsPyパッケージに親和性の高いWINフォーマット波形やチャンネル表の読み込みモジュールの開発を進めている．

（10）令和元年度の成果に関連の深いもので，令和元年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
前田拓人，2019，WIN/WIN32フォーマット地震波形ファイルの高速読み込みツールの開発，日本地震学会秋季大会，S02P-07．

（11）令和2年度実施計画の概要：

令和2年度においては，伝送系システム及び対話観測処理系システムの仕様と作業の優先順位について検討を開始する．その検討に基づいて，いずれかのシステムについて試作を開始する．

（12）実施機関の参加者氏名または部署等名：

中川茂樹・鶴岡弘・青木陽介

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学（青山裕・高橋浩晃），弘前大学（前田拓人），東北大学（内田直希・山本希），名古屋大学（前田裕太），京都大学（大見士朗・中道治久），高知大学（大久保慎人），九州大学（松島健），鹿児島大学（八木原寛），防災科学技術研究所（汐見勝彦・植平賢司・上田英樹），気象庁（原田智史），気象研究所（橋本徹夫），気象大学校（大竹和生），神奈川県温泉地学研究所（本多亮），地震予知総合研究振興会（関根秀太郎）

（13）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話：03-5841-5787

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/

（14）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中川茂樹

所属：東京大学地震研究所

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

研究成果共有データベースの構築

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と活用・公開

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

イ. 考古データの収集・集成と分析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

火山

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

イ. 地震断層滑りのモデル化

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

- (2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測
  - ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測
  - イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験
- (3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測
- (4) 中長期的な火山活動の評価
  - ア. 火山噴火の長期活動の評価
  - イ. モニタリングによる火山活動の評価
- (5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

### 3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
  - ア. 強震動の事前評価手法
  - イ. 津波の事前評価手法
  - ウ. 大地震による災害リスク評価手法
  - エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法
  - オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法
- (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
  - ア. 地震動の即時予測手法
  - イ. 津波の即時予測手法
  - ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法
- (3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究
  - 地震
  - 火山

### 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明
- (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

### 5 研究を推進するための体制の整備

- (1) 推進体制の整備
- (3) 研究基盤の開発・整備
  - ア. 観測基盤の整備
  - イ. 観測・解析技術の開発
  - ウ. 地震・火山現象のデータ流通
- (4) 関連研究分野との連携強化
- (5) 国際共同研究・国際協力
- (6) 社会との共通理解の醸成と災害教育
- (7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

( 5 ) 総合的研究との関連 :

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果 ( または観測実績 ) の概要 :

研究成果共有サーバ ( evrrss ) において , DropBox と同等のオープンソフトウェア ownCloud を導入して , コミュニティにおける利用を進めた . 地震活動解析ソフトウェアの開発を進めた . 大規模連続地震波形データ解析システムへの地震データ格納を進めた .

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

観測研究計画で得られる成果やデータ , メタデータ情報などを共有し活用するために必要となる制度的・技術的な課題を各部会や関係機関と整理検討し , 持続可能なデータベースに向けたポリシーを作成する . 策定されたポリシーに基づき , 必要とされる場合にはデータアーカイブ作業を運用する体制の整備や , データサーバの製作などを実施する .

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

平成 31 ~ 33 年度においては , 部会や関係機関と成果共有データベースの方向性についての意見交換を実施し , 運用体制の持続可能性に十分に配慮したうえで , ポリシーを決定する . データへの doi 付与等についても連携して検討を実施する .

平成 33 ~ 35 年度においては , 策定されたポリシーに基づき , 研究成果データベースの持続的な運用に必要な制度設計などの作業を実施する . 具体的な内容はポリシーに依存するが , 例えば , データの取り扱いを支援する専門員の業務仕様の策定や , データサーバの開発などが想定される .

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

データベースの方向性について検討を実施し , 現有の研究成果共有システムを活用する方向で調整を行うこととした . サーバーの運用体制やポリシーについても検討を行った . データの格納を行うにあたり , 著作権等の検討から , 関係者の承諾が取れているものから実装を展開する方針とした .

具体的に格納を行う情報・データの検討を実施し , 以下のコンテンツの整理を先行的に進めることにした . 成果報告時に登録される成果物のリスト , 火山構造探査データ , 機動 GNSS データのほか , これまでの建議研究で作成されているデータベースやソフトウェアへのリンク . 建議研究で実施されている観測や調査に関するメタ情報についても , 本システムで一元的に収集することとした .

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので , 令和元年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

コンテンツの格納・リンク作業を進めるとともに , 新たに格納可能なデータのサーベイを行い , 所有者・関係者・各部会との調整を行う . 観測や調査のメタデータを収集するための共通フォーマットの試作を行うとともに , 部会・関係機関との調整を図る .

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

地震・火山噴火予知研究協議会企画部研究戦略室 ( 東京大学地震研究所 )

他機関との共同研究の有無 : 有

建議に参加するすべての機関

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会 企画部

電話 : 03-5841-5787

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/YOTIKYO/>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 鶴岡弘

所属 : 東京大学地震研究所



( 1 ) 実施機関名：

国土地理院

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

内陸の地殻活動の発生・準備過程の解明

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要：

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

他機関との共同研究の有無：無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：

電話：

e-mail：

URL：

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：矢来博司

所属：

( 1 ) 実施機関名：

国土地理院

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

プレート境界面上の滑りと固着の時空間変化の広域的な把握

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

時間依存のブロック断層モデリングのプログラムを開発し、Loveless & Mead (2010) のブロック断層形状を用いて東北地方太平洋沖地震前及び 2014 年以降の日本全国の解析を行い、プレート境界における滑り欠損、滑り、ブロック運動の推定を行った。その結果先行研究と調和的な結果が得られた。日本全国の解析及び監視を半自動で行えるシステムの構築を行った。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

日本を構成するマイクロプレートの動き、海底地殻変動データを解析に取り入れ、広域的な地殻変動データから、日本の主要な領域のプレート間の固着・滑りの推定を行う解析手法を改良し、プレート間の固着・滑りの推定結果の精度を高める。開発された手法を用いて日本のプレート境界の広域的な固着・滑りの時空間変化、ブロック運動の変化の可能性を明らかにする。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

令和 1 年においては、時間依存のブロック断層解析プログラムの改良を行うと共に、Loveless & Mead のブロック断層形状を用いて、各種パラメータの最適化を試みる。令和 2 - 3 年においては、時間依存のブロック断層解析プログラムの改良を引き続き行うと共に、ブロック形状の最適化を試みる。令和 4 - 5 年においては、ブロック運動が時間的に変化してもよいという条件での解析を行い、ブロック運動の変化の可能性も探る。また定常的な解析・可視化を行えるようにする。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

時間依存のブロック断層モデリングを行い、2014 年以降の日本列島のプレート境界の固着状況の変化を調べた。ブロック境界は Loveless & Meade (2010) によった。その結果、2018 年頃から発生した豊後水道の SSE 等の固着状況の変化を検出できた(図 1)。また南海トラフ域のスロー地震(SSE)を調べ、2019 年初めころの豊後水道、四国南西部、日向灘北部の SSE の時空間変化を推定できた。その結果、日向灘北部の SSE が 2018 年 6 月及び、2019 年初めに 2 回発生した事等がわかった(図 2)。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

小沢慎三郎、広域地殻変動データに基づくプレート境界の固着とすべりの時間変化に関する研究、国土地理院調査研究年報（令和元年度）

小沢慎三郎、測地学的データに基づくスロースリップイベントの発生過程に関する研究、国土地理院調査研究年報（令和元年度）

S. Ozawa, H. Yarai, T. Kobayashi, Recovery of the recurrence interval of Boso slow slip events in Japan, Earth Planets Space, 2019 71:78

（11）令和2年度実施計画の概要：

時間依存のブロック断層モデリングにより、日本列島の固着状況の変化を各種パラメータの下、調査する。西南日本の長期的及び短期的SSEの検出及びその時空間変化の調査を行う。

（12）実施機関の参加者氏名または部署等名：

地理地殻活動研究センター地殻変動研究室

他機関との共同研究の有無：無

（13）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：地理地殻活動研究センター地殻変動研究室

電話：

e-mail：yarai-h96rq@mlit.go.jp

URL：

（14）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：矢来博司

所属：

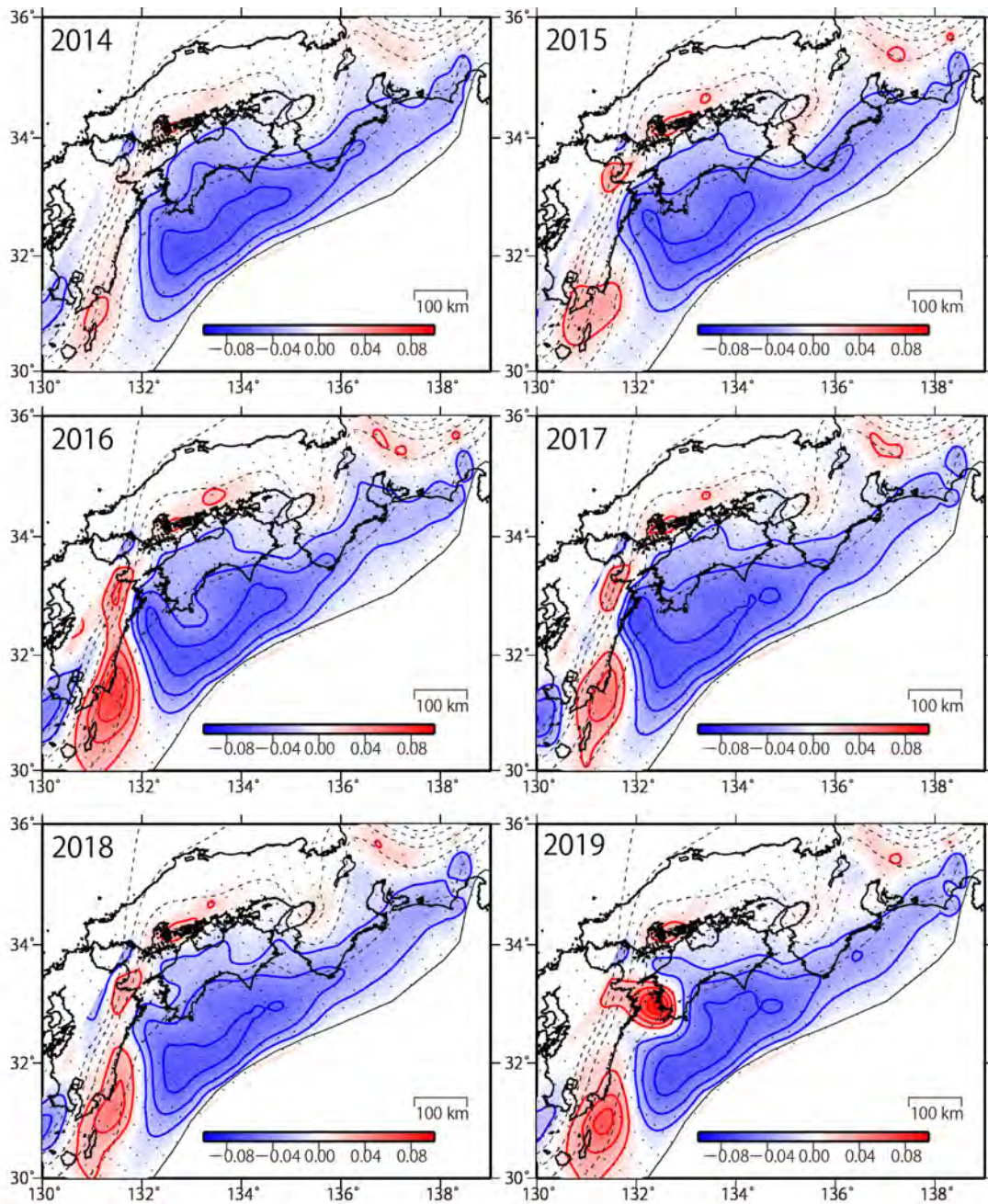


図1 ブロック断層モデリングで推定した西南日本の固着（青）と滑り（赤）

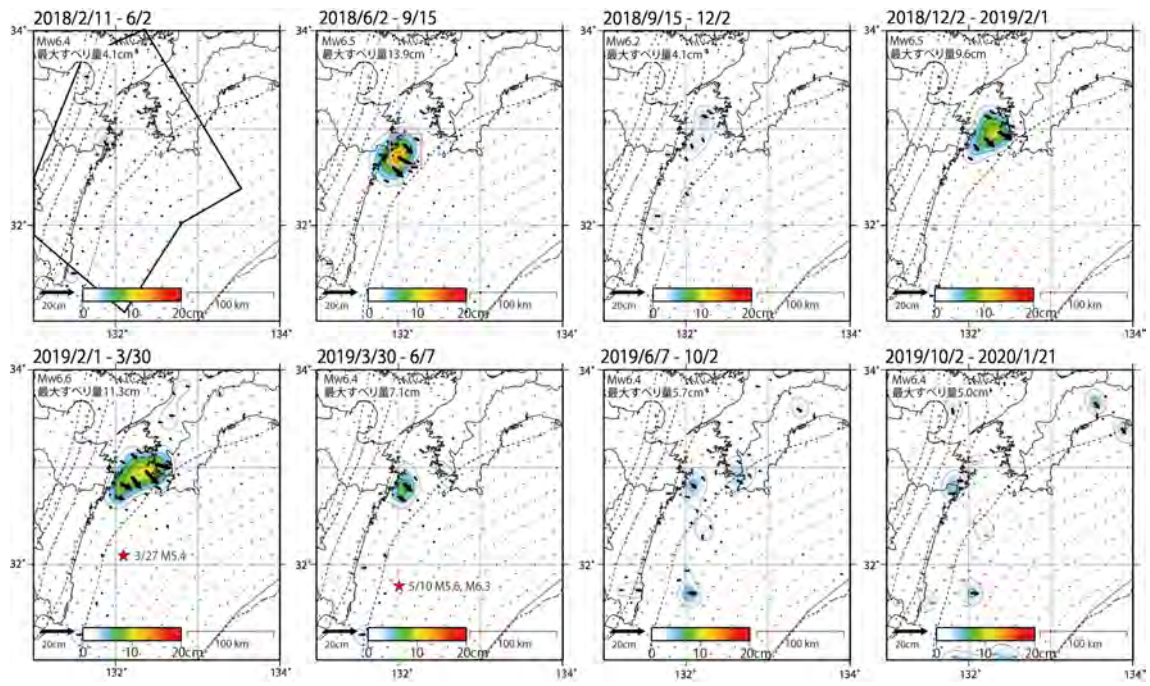


図2 西南日本のプレート境界滑りの時空間変化

( 1 ) 実施機関名：

国土地理院

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

火山地域のマグマ供給系のモデリング

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

時間依存のインバージョンプログラムを開発し、伊豆大島、桜島等の火山地域のマグマ溜りの時間変化のモデル化を行った。その結果、伊豆大島、桜島では、膨張・収縮を繰り返しながら長期的に膨張している様子が捉えられた。時間依存のインバージョンの非線形化を行い、シル、ダイクといったモデリングも行えるようにした。また粒子フィルターによる時間依存インバージョンプログラムの開発も並行して行われた。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

火山地域のモデルにシル、ダイク、テクトニックな変形を取り入れ、マグマ溜りの膨張・収縮及びマグマの移動まで含めた解析を行えるようにし、開発された手法を用いて特定の火山地域を半自動で解析・監視できるシステムを構築する。構築されたシステムを適用して、マグマ供給系の時間変化に関する知見を得る。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

令和 1 年度においては、線形の時間依存のインバージョンを用いて伊豆大島、桜島のモデルを構築する。また非線形の時間依存のインバージョン及び粒子フィルターを用いた時間依存のインバージョンを用いて、マグマ溜りの位置変化の推定を試みる。

令和 2 - 3 年度においては、伊豆大島、桜島以外の火山地域のモデル化を試みる。

令和 4 - 5 年度においては、時間依存のインバージョンにより様々な火山地域のモデリング及び結果の可視化を半自動で行えるシステムの構築を行う。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

非線形の時間依存のインバージョンを伊豆大島、桜島及び霧島に適用し、マグマ溜まりの位置とその体積変化を推定した。マグマ溜まりの位置は時間的に変化しないという仮定の下で推定している。その結果伊豆大島では、膨張収縮を繰り返しながら体積増加が継続していることが確かめられた(図 1)。桜島と霧島の同時解析では、桜島では膨張収縮を繰り返しながら体積増加が継続していること

を確かめた(図-2)。霧島では、2011年及び2018年の噴火時に収縮しその前後に膨張した事が推定された。桜島、霧島のマグマ溜まりの相関は確認できなかった。

- (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
小沢慎三郎、地殻変動データに基づく力源モデルによる火山活動の監視手法の開発に関する研究(第9年次)、国土地理院調査研究年報(令和元年度)
- (11) 令和2年度実施計画の概要：  
伊豆大島、桜島、霧島のマグマ溜まりの時間変化を引き続き調査する。伊豆大島、桜島、霧島以外の火山地域のモデル化を試みる。
- (12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
地理地殻活動研究センター地殻変動研究室  
他機関との共同研究の有無：無
- (13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：地理地殻活動研究センター地殻変動研究室  
電話：  
e-mail：gsi-eiss@gxb.mlit.go.jp  
URL：
- (14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者  
氏名：矢来博司  
所属：



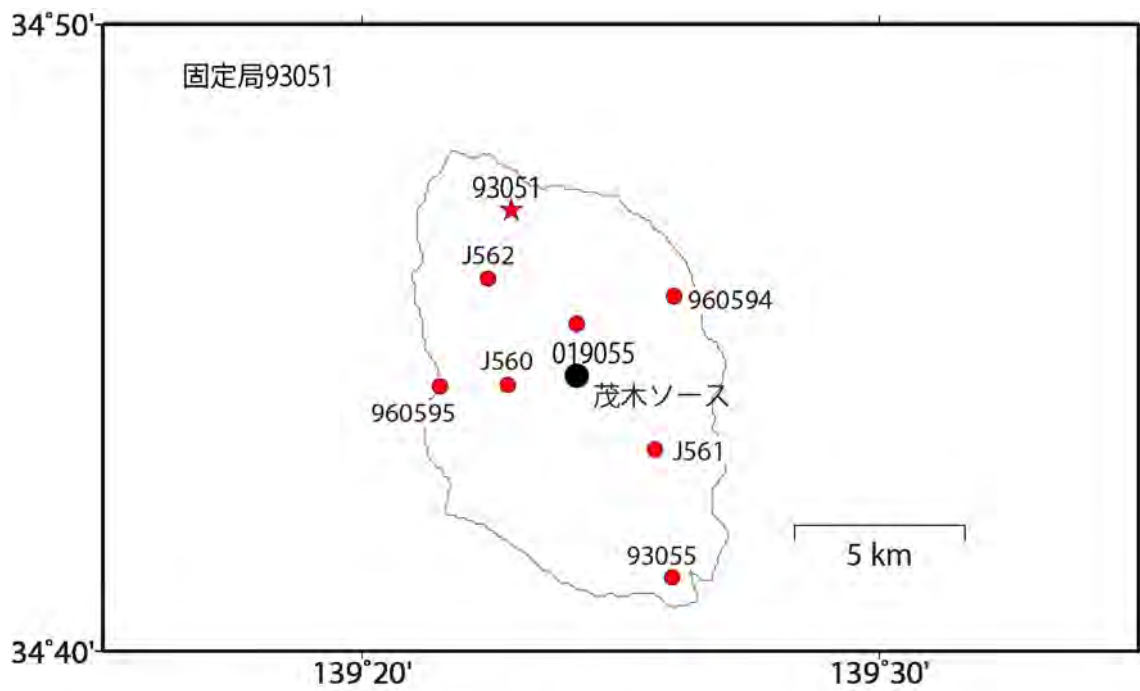
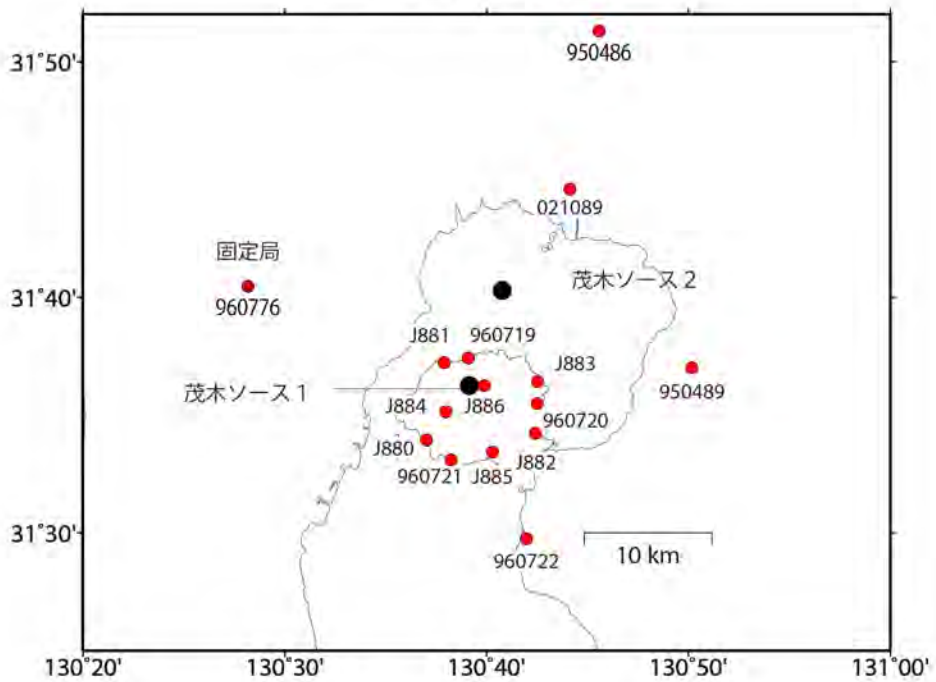


図1 伊豆大島のマグマ溜まりの体積変化

# 桜島の茂木ソースの位置と体積変化

時間依存のインバージョン解析



茂木ソース1: 緯度 31.603° 経度 130.656° 深さ 5.5km

茂木ソース2: 緯度 31.670° 経度 130.709° 深さ 10km

\*電子基準点の保守等による変動は補正済

国土地理院

図2 桜島のマグマ溜まりの体積変化

( 1 ) 実施機関名：

国土地理院

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

GNSS 連続観測( GEONET )

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

( 4 ) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

イ. 津波の即時予測手法

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

GNSS 連続観測( GEONET )による日本列島全域の地殻変動・火山活動のモニタリングを着実に実施し、東北地方太平洋沖地震後の継続的な余効変動、平成 30 年 4 月 9 日に鳥取県西部で発生した地震、6 月 18 日に大阪府北部で発生した地震、9 月 6 日に北海道胆振東部で発生した地震、1 月 8 日に種子島近海で発生した地震に伴う非定常的な地殻変動を検出した。さらに、6 月に房総半島沖、2018 年春頃から九州北部、2018 年秋頃から四国西部で発生したプレート間ゆっくりすべり(スロースリップ)現象に伴う非定常的な地殻変動、硫黄島や桜島周辺の火山活動に伴う地殻変動等も検出するなど、防災や地震発生・火山活動のメカニズムに関する研究等に寄与した。また、これらのモニタリング結果は、速やかにホームページなどで公表するとともに、地震調査委員会、火山噴火予知連絡会等に報告した。加えて、GNSS 連続観測点の運用及び適切な維持管理を実施し、観測の継続に努めた。さらに、定常的に実施する解析手法の一部について、より精度の高い解析結果が得られるよう改良を行った。また、国際 GNSS 事業( IGS )への参加において、石岡局を新たに登録し、IGS 観測局の運用と IGS データセンターに観測データを提供した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

GEONETによる地殻変動連続観測を着実に継続し、日本列島全域の地殻変動・火山活動のモニタリングシステムの高度化をさらに推進することを目指す。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

全国において、GNSS連続観測点を平均20キロメートル間隔の配置として維持するとともに、観測を継続する。必要に応じて、重点的な観測地域において観測点密度を考慮した観測体制の充実を目指す。また、GNSSの発展・最新のITRF座標系の実現等に伴いGEONETの解析手法の高度化を図る。加えて、GNSS連続観測(GEONET)による日本列島全域の地殻変動・火山活動のモニタリングを定期的に行い、得られた結果は防災情報への活用のため速やかにホームページなどで公表するとともに、地震調査委員会、火山噴火予知連絡会等に報告する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

全国において、GNSS連続観測点を維持し、観測を継続した。また、国際GNSS事業(IGS)へ参画し、観測データの提供を行った。加えて、GNSS連続観測(GEONET)の解析手法の高度化を図った。また、GEONETによる日本列島全域の地殻変動・火山活動のモニタリングを着実に実施し、東北地方太平洋沖地震後の継続的な余効変動、5月10日に日向灘で発生した地震、6月18日に山形県沖で発生した地震に伴う地殻変動を検出した。さらに、2018年春頃から九州北部、2018年秋頃から四国西部で発生したプレート間ゆっくりすべり(スロースリップ)現象に伴う非定常的な地殻変動、硫黄島や箱根山、桜島周辺の火山活動に伴う地殻変動等も検出するなど、防災や地震発生・火山活動のメカニズムに関する研究等に寄与した。これらのモニタリング結果は、速やかにホームページなどで公表するとともに、地震調査委員会火山噴火予知連絡会等に報告した。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

日本列島の地殻変動 <https://www.gsi.go.jp/kanshi/index.html>

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

全国においてGNSS連続観測点を維持し観測を継続する。また、国際GNSS事業(IGS)へ参画し、観測データの提供を行う。引き続きGNSS連続観測(GEONET)の解析手法の高度化を図る。また、GEONETによる日本列島全域の地殻変動・火山活動のモニタリングを定期的に行い、得られた結果は防災情報への活用のため速やかにホームページなどで公表するとともに、地震調査委員会、火山噴火予知連絡会等に報告する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

測地観測センター 電子基準点課、地殻監視課  
他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地理地殻活動研究センター 研究管理課  
電話 : 029-864-5954  
e-mail : [gsi-eiss@gxb.mlit.go.jp](mailto:gsi-eiss@gxb.mlit.go.jp)  
URL : <http://www.gsi.go.jp>

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 矢来博司  
所属 :

( 1 ) 実施機関名：

国土地理院

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地形地殻変動観測

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

全国 25 験潮場の潮位連続観測を安定的に実施するため、定期的な保守および監視を実施するとともに、これらの観測データを引き続きホームページで公開した。また、防災情報の発信への活用のため、関係機関と潮位データの共有化を行った。

機動観測として、自動測距測角装置による連続観測を 1 火山(伊豆大島)で実施し、得られたデータは火山噴火予知連絡会等の会議に報告した。(地殻監視課)

南海トラフ地震防災対策推進地域・南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域等において、一等水準測量 1,314km(相模、駿河、島田、御前崎、遠州、渥美、紀伊北、紀伊南、室戸、足摺地区)を平成 30 年度に実施した。

なお、平成 26 年度～30 年度には、大規模地震対策特別措置法地震防災対策強化地域および南海トラフ地震防災対策推進地域等において、一等水準測量 6,413km を実施し、高精度の地殻上下変動データを取得した。

火山活動に応じて周辺地域において GNSS 火山変動リモート観測装置( REGMOS )等による連続観測を 10 火山で実施した。また、GNSS による機動連続観測を 9 か所で実施した。

全国の活動的な火山(噴火警戒レベル 2 以上)の航空機 SAR 観測を実施し、噴火前の情報を取得した。また、活発な噴火の際には噴火後迅速に観測を実施し、噴火前後の変化をホームページで公開した。(測地基準課、電子基準課、地図情報技術開発室)

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

日本列島全域の地殻活動のモニタリングシステムの高度化に寄与するため、潮位連続観測データを継続的に取得すると共に、観測システムの更新やデータの共有化を進める。(地殻監視課)

基本測量に関する長期計画の施策を基本に、大規模地震対策特別措置法に基づく「地震防災対策強化地域」など、南海トラフ地震、首都直下地震等が想定される地域を対象として、定期的に水準測量を実施し信頼性のある高精度の地殻上下変動量データを取得する。

火山周辺地域において REGMOS 等による連続観測を継続するとともに、観測システムの更新など観測設備の安定的・継続的な運用を行う。

航空機 SAR を利用して、活動的な火山における火口等を観測し、噴火前後の変化情報を蓄積する。

( 測地基準課、電子基準課、地図情報技術開発室 )

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

全国 25 験潮場での潮位連続観測を引き続き実施するとともに、日本周辺の海面変動トレンドの定量的な評価を行う。また、潮位データ等を公開するなどデータの共有化を進め、津波等の発生時における予測や終息等の防災情報の発信への活用を図る。

( 地殻監視課 )

「地震防災対策強化地域」など、南海トラフ地震、首都直下地震等が想定される地域の水準路線を対象に、平成 31 年度においては 1,309 キロメートルの水準測量を実施し、平成 32 年度以降においては対象となる水準路線を中心に定常的な観測を実施する。

活動的な火山において電子基準点を補完して詳細な地殻変動を捉えるため REGMOS 等による地殻変動連続観測を実施する。

全国の活動的な火山について航空機 SAR によって観測を実施し、火口付近の地形を明らかにして、地形情報をアーカイブする。また、活発な噴火活動によって災害が発生した際には、噴火前後の変化情報を明らかにする。

( 測地基準課、電子基準課、地図情報技術開発室 )

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

全国 25 験潮場の潮位連続観測を安定的に実施するため、定期的な保守および監視を実施するとともに、これらの観測データを引き続きホームページで公開した。また、防災情報の発信への活用のため、関係機関と潮位データの共有化を行った。

機動観測として、自動測距測角装置による連続観測を 1 火山 ( 伊豆大島 ) で実施し、得られたデータは火山噴火予知連絡会等の会議に報告した。

全国 25 験潮場において潮位連続観測を実施し、潮位観測データ、験潮場間の潮位差データを用いた地殻変動の把握を行った。また、潮位連続観測の結果として、30 秒値、毎時平均潮位、日平均潮位、月平均潮位等をホームページ等で公開するとともに、気象庁、国土交通省の防災情報提供センターに潮位データを提供し、潮位データを共有化した。

( 地殻監視課 )

令和元年度は、南海トラフ地震防災対策推進地域、南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域等において、一等水準測量 1,417km ( 相模、駿河、島田、御前崎、遠州、渥美、紀伊北、紀伊南、室戸、足摺、須崎、四万十地区 ) を実施した。( 測地基準課 )

火山活動に応じて周辺地域において GNSS 火山変動リモート観測装置 ( REGMOS ) 等による連続観測を 9 火山で実施した。また、GNSS による機動連続観測を 9 か所で実施した。( 電子基準点課 )

令和元年 8 月に噴火警戒レベル 3 に引き上げられた浅間山の航空機 SAR 観測を実施し、噴火前後の新旧比較画像をホームページで公開した。また、観測機器の航空機への常設化改修を行った。( 地図情報技術開発室 )

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

国土地理院,2019, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報,102,140-167

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

全国 25 験潮場での潮位連続観測を安定的に実施するため、定期的な保守および監視を実施するとともに、これらの観測データを引き続きホームページで公開する。また、防災情報の発信への活用のため、関係機関と潮位データの共有化を行う。

機動観測では、自動測距測角装置による連続観測を 1 火山 ( 伊豆大島 ) で実施し得られたデータは火山噴火予知連絡会等の会議に報告する。

( 地殻監視課 )

南海トラフ地震防災対策推進地域、南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域等において、一等水準測量 1,154km( 相模、駿河、御前崎、遠州、紀伊北、十津川、紀伊南、室戸、足摺地区 ) を実施する。( 測地基準課 )

火山周辺地域において REGMOS 等による連続観測を引き続き実施するとともに、観測システムの更新等により観測設備を安定的・継続的に運用する。( 電子基準点課 )

航空機に常設化した航空機 SAR を用いて、全国の活動的な火山( 噴火警戒レベル 2 以上 ) の観測を実施し、噴火前の地形情報をアーカイブする。また、活発な噴火の際には噴火後迅速に観測を実施し、噴火前後の変化情報を明らかにする。( 地図情報技術開発室 )

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

測地観測センター 地殻監視課  
測地観測センター 電子基準課  
測地部 測地基準課、  
基本図情報部 地図情報技術開発室  
他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地理地殻活動研究センター 研究管理課  
電話 : 029-864-5954  
e-mail : [gsi-eiss@gxb.mlit.go.jp](mailto:gsi-eiss@gxb.mlit.go.jp)  
URL :

( 14 ) この研究課題( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 矢来博司  
所属 :



( 1 ) 実施機関名：

国土地理院

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

物理測地観測

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

オ. 高リスク小規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

東海・東南海地域を含む全国で基準重力延べ 12 点の絶対重力観測、一等重力点等延べ 583 点で相対重力観測を実施し、日本重力基準網 2016 ( JGSN2016 ) を構築及び公表した。また、御前崎において絶対重力観測を繰り返し実施し、時間変化を把握した。

地磁気の連続観測については、5 年間を通じ、鹿野山測地観測所をはじめ全国 14 箇所で実施した。また、地磁気絶対観測等は、基準磁気点 10 点及び一、二等磁気点 12 点において実施した。把握した日本全国の地磁気の時間変化及び地理的分布は、磁気図 2015.0 年値にまとめ公表した。さらに、富士山中腹において、全磁力の連続観測を実施した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

航空重力測量により全国の高品質な重力データを収集し、全国を網羅する標高基準(ジオイド・モデル)の精度を向上することにより、GNSS 測位によって容易に信頼できる標高が得られる環境を整備

する。また、地上における重力値の繰り返し観測及び地磁気の連続観測を行い、地震や火山活動の監視、現象の理解等に必要となる基礎資料として提供する。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

航空重力計を航空機に搭載し、山間部や沿岸海域を含む全国を網羅した稠密な重力データの測定を令和元年度から4年間かけて順次実施する。得られた重力データを利用し、令和5年度には高精度な精密重力ジオイドの計算を実施する。

また、地震や火山現象の理解とその予測研究に必要な基礎的資料を整備するため、南海トラフ巨大地震の想定震源域における繰り返し絶対重力観測による重力変化の把握を引き続き行うとともに、地磁気の連続観測及び富士山中腹における全磁力連続観測による地磁気変化の監視を継続する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

重力測定については、航空重力測定に必要な飛行場重力点の設置を、調布、名古屋、八尾、仙台、青森、北九州の各飛行場にて実施した。また、関東地方の一部において、航空重力測定を実施し、上空の重力データを取得した。このほか、御前崎(静岡県)において、絶対重力観測を実施した。

地磁気測定については、測地観測所等(鹿野山測地観測所、水沢測地観測所及び全国11か所に設置している地球電磁気連続観測装置)において地磁気連続観測データを取得した。また、測地観測所等で地磁気絶対観測等を実施した。さらに、富士山中腹において全磁力連続観測を実施した。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

兒玉篤郎, 富山顕, 大森秀一, 吉樂絵里香, 矢萩智裕, 平岡喜文, 河和宏, 2019, 精密重力ジオイド構築に向けた航空重力測定の取組み, 日本地球惑星科学連合2019年大会予稿集(発表番号: SGD01-10) .

富山顕, 兒玉篤郎, 大森秀一, 平岡喜文, 矢萩智裕, 2019, 石岡測地観測局における重力値の季節変動, 日本地球惑星科学連合2019年大会予稿集(発表番号: SGD01-01) .

高橋伸也, 吉藤浩之, 山口智也, 越智久巳一, 2020, 予測値計算手法の構築と精度評価, 2019年度CA研究会論文集(発表番号: CA2019-P11) .

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

引き続き、関東、中部、近畿、東北地方等において、航空重力測定を実施する。また、丘珠、女満別、鹿児島各飛行場において、飛行場重力点の設置を行う。このほか、地上における絶対重力観測、測地観測所等における地磁気の連続観測及び富士山中腹における全磁力連続観測を実施する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

測地部物理測地課

他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地理地殻活動研究センター 研究管理課

電話 : 029-864-5954

e-mail : [gsi-eiss@ml.mlit.go.jp](mailto:gsi-eiss@ml.mlit.go.jp)

URL : <http://www.gsi.go.jp>

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 矢来博司

所属 :

( 1 ) 実施機関名：

国土地理院

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

宇宙測地技術による地殻変動監視

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(5) 国際共同研究・国際協力

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

ALOS-2 等の SAR データを使用し、SAR 干渉解析により全国の地殻変動を高精度に捉えた。大規模な地震発生時及び火山活動が活発化した際には、緊急の SAR 干渉解析を実施し、その結果を迅速に関係機関に提供した。

国際 VLBI 事業 ( IVS ) に参加して国際共同観測を定常的に実施することで、地殻変動やプレート運動監視の基準となる国際地球基準座標系 ( ITRF ) の構築等に貢献した。アジア太平洋地域の共通の基準座標系 ( APREF ) 構築のためのアジア・オセアニア VLBI グループによる測地観測に関する事業に参画した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

地殻変動分布の把握による地震像・火山活動の詳細な解明及び火山活動箇所の正確な把握による災害軽減に活用する。また、今後起こりうる地震や火山噴火の長期予測のため、海外の地殻変動観測事例をできる限り解析する。

日本列島とその周辺海域に展開される地震観測網や地殻変動観測網などの観測基盤を維持するとともに、中長期的視野に立った観測基盤の整備や更新を行っていく。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

陸域観測技術衛星 2 号 ( ALOS-2 ) 等の SAR データを使用して日本全国の SAR 干渉解析を定常的に実施し、日本国内における火山、地盤沈下等による地殻・地盤変動を検出する。また、国内外で地震が発生した際及び火山活動が活発化した際には、緊急時の現況把握を目的として緊急解析を実施する。さらに、2020 年度に打ち上げ予定の先進レーダ衛星 ( ALOS-4 ) に対応するため、解析手法やシステム構成の検討を進め、切れ目なく地殻・地盤変動の監視を継続する。

ITRF の構築に貢献し、我が国の測量の基準となる座標系を維持し、また、巨大地震を引き起こすとされているプレート運動を監視するため、IVS と連携して VLBI 測量を実施する。具体的には、石

岡 VLBI 観測施設において、IVS の年間計画に基づき国際 VLBI 観測を実施する。また、IVS が推進する次世代 VLBI 観測システム (VGOS) による広帯域観測を実施する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

ALOS-2 の SAR データを使用して北方四島を含む国土全域を対象に定常的に SAR 干渉解析を行ったほか、緊急解析により、国内外で発生した大規模な地震や火山活動に伴う地殻変動を検出した。2019 年 7 月 6 日に発生したアメリカ・カリフォルニア州の地震では、長さ約 40km の変位の不連続のほか、局所的な変位の不連続を複数捉えるなど複雑な変動を検出した。西之島では、2019 年 12 月からの火山活動に伴う地殻変動及び溶岩等によるものとみられる地形変化を検出した ( 図 1 )。この解析結果は火山噴火予知連絡会等に提供された。2020 年 1 月のフィリピン・タール火山の噴火では、タール湖の南西側を中心に最大 1m を超える地殻変動を検出した ( 図 2 )。この解析結果は現地の関係機関に提供された。

国際 VLBI 事業 (IVS) の観測計画に基づき、石岡 VLBI 観測施設において VLBI 国際共同観測を 86 回実施した。そのうち、9 回はアジア・オセアニア VLBI グループによる測地観測として実施した。これらのデータを 1980 年以降世界中で観測された VLBI データとともに全地球的に解析し、観測局位置とその変化を求めた。約 5 年の観測データから、水平約 0.8mm、鉛直約 2.1mm の位置決定精度 (標準偏差) で局位置が求められた。また、石岡局の速度は約 23.5mm/年 (方位角 133 °方向) であった ( 図 3 )。これは、通常のプレート運動の成分に東北地方太平洋沖地震の余効変動を含んでいるものと考えられる。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

本田昌樹・岩田昭雄・山下達也・林京之介・桑原將旗・酒井和紀・宗包浩志・住谷勝樹・堤隆司・加古孝範・齋田宏明・矢来博司・小林知勝・森下遊 (2019), 平成 30 年北海道胆振東部地震における SAR 干渉解析及び基準点復旧測量, 国土地理院時報, 132.

Kobayashi, T.(2018), InSAR-detected local ground deformation in potential areas of phreatic eruption: Way forward to proactive monitoring for disaster risk mitigation, proceeding of 13th SEGJ Information Symposium, 186-169, 2019, doi:10.1190/SEGJ2018-050.1.

Kobayashi, T., K. Hayashi, H. Yarai(2019), Geodetically estimated location and geometry of the fault plane involved in the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake, Earth Planets Space, 71:62, doi:10.1186/s40623-019-1042-6.

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

衛星 SAR データを使用して日本全国の SAR 干渉解析を定常的に実施し、日本国内の火山における地殻変動を監視する。国内外で大規模な地震が発生した際及び火山活動が活発化した際には緊急解析を実施する。

VLBI は、引き続き IVS の観測計画に基づき、石岡局で国際共同観測を実施する。また、観測データを解析し、観測局位置とその速度を算出する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

測地部 宇宙測地課

地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地理地殻活動研究センター 研究管理課

電話 : 029-864-5954

e-mail : gsi-eiss@gxb.mlit.go.jp

URL : http://www.gsi.go.jp

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 矢来博司

所属 : 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

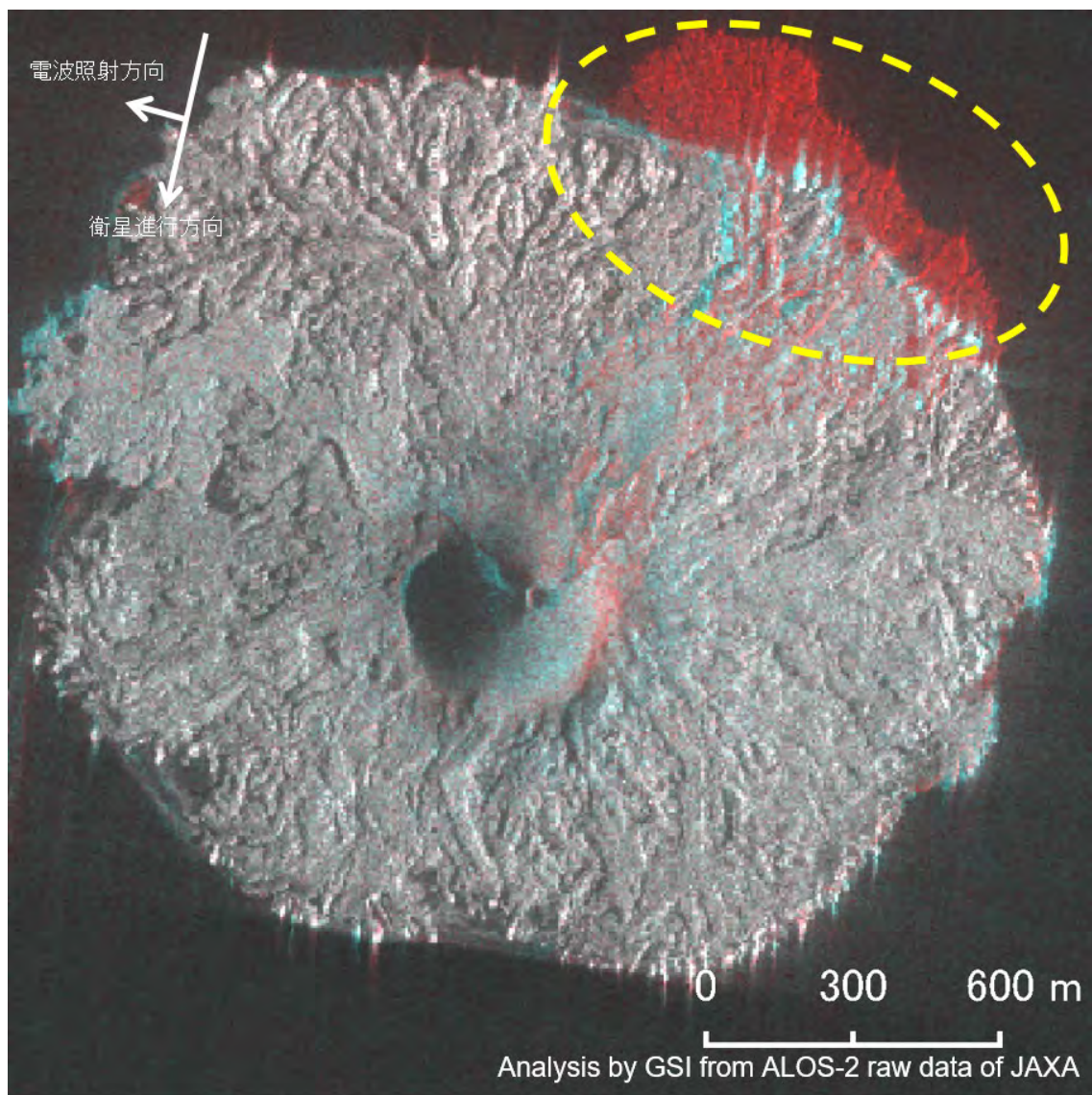


図1 SAR強度画像の加色混合法による西之島の解析結果

黄点線中の赤色部分で陸地が拡大したことを示す。

青 : 2019年12月20日観測 赤 : 2020年1月3日観測



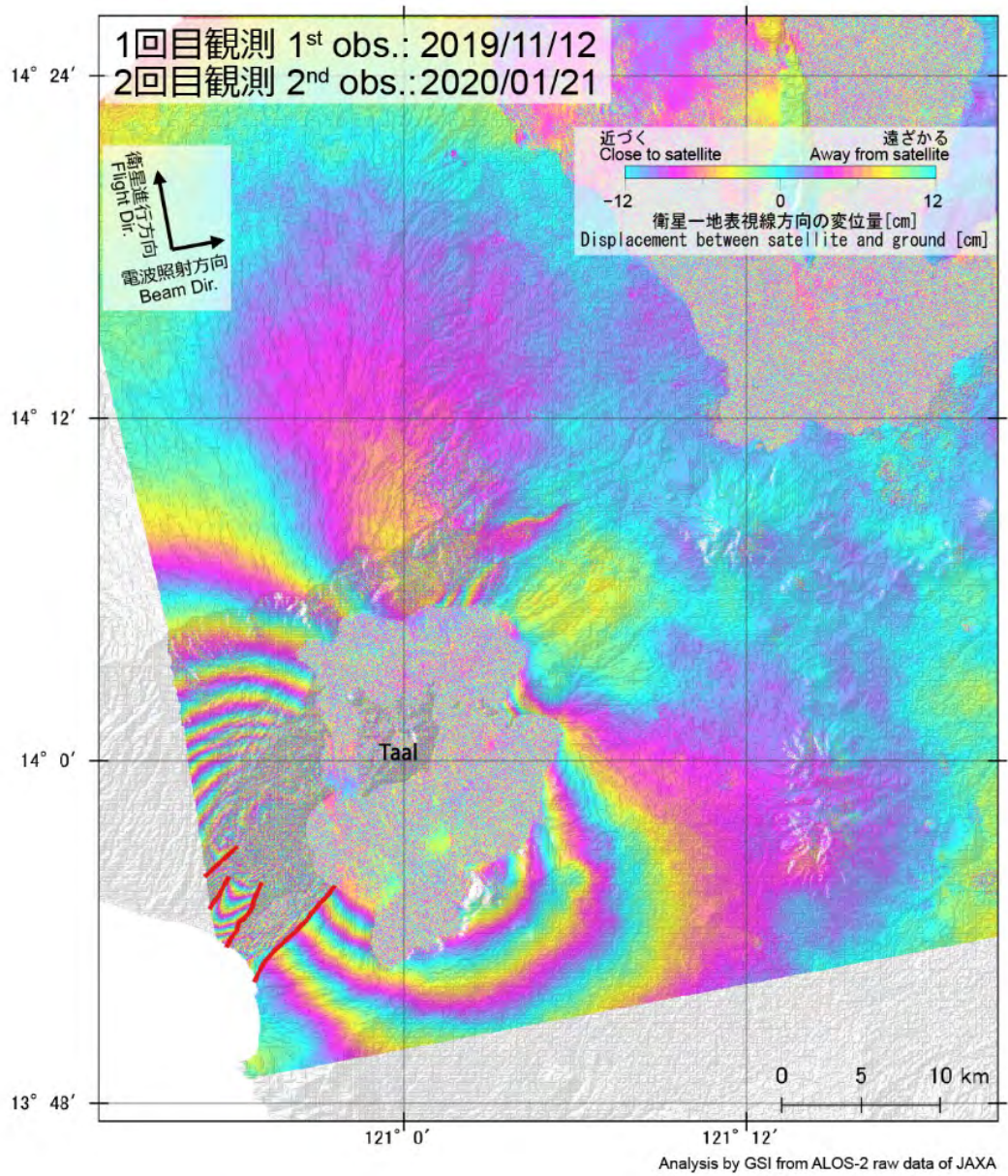


図2 フィリピン・タール火山の噴火前後の SAR 干渉画像

### VLBI観測局の平均的な運動

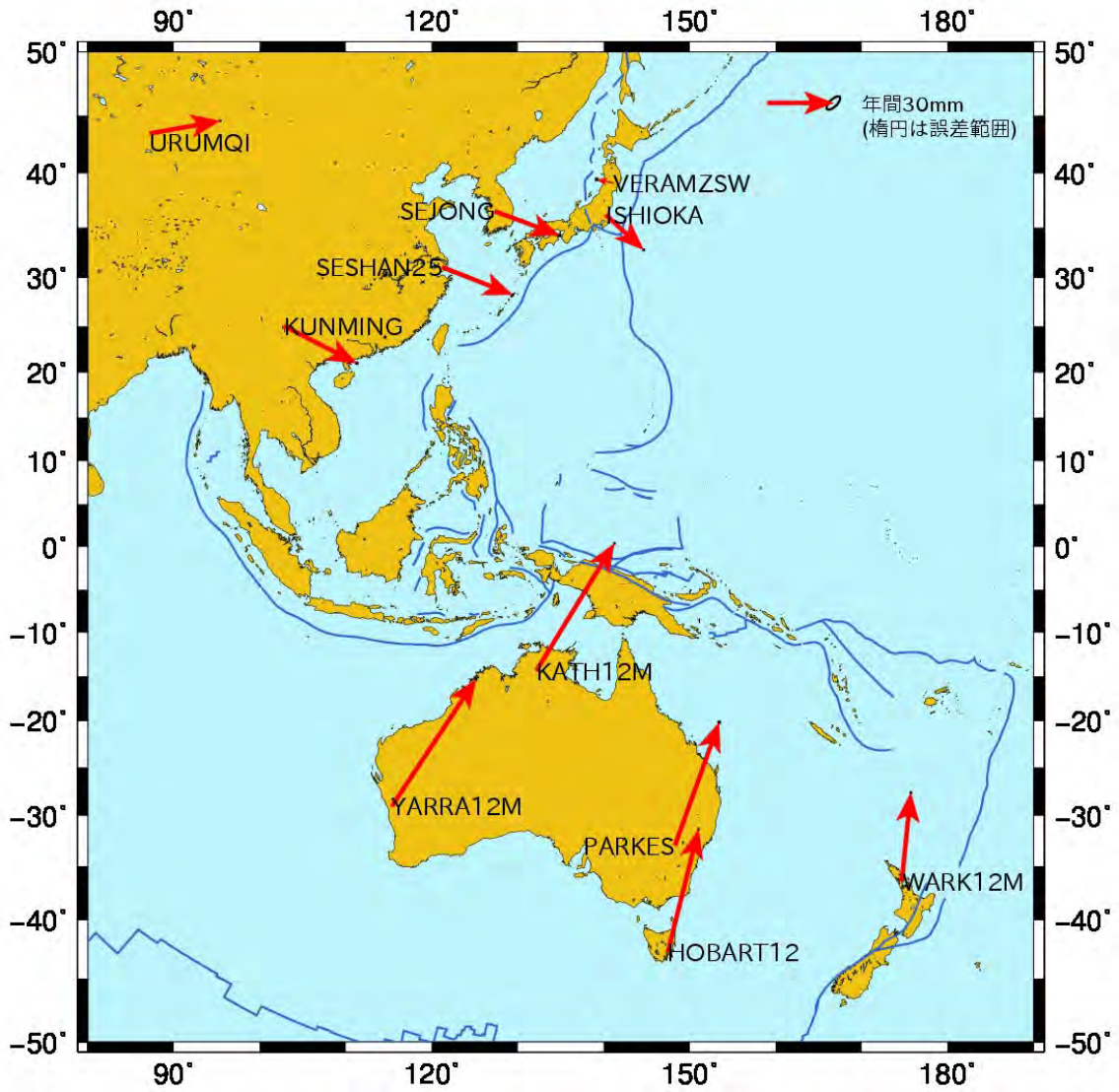


図3 VLBI観測データの解析により得られたアジア・オセアニア地域のVLBI観測局の速度



( 1 ) 実施機関名：

国土地理院

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

GNSS 観測・解析技術の高度化

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

( 4 ) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

イ. 津波の即時予測手法

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

課題 6004「GNSS を用いた震源メカニズム即時推定技術の開発」において以下の成果を得た。

- ・電子基準点観測データの誤差特性を総合的に分析する手法を開発した。
- ・GNSS 解析技術を高度化した上で、過去の地震や火山活動に関して高時間分解能の地殻変動情報を抽出する技術を開発した。
- ・リアルタイム GNSS 解析の安定化、高精度化を図る技術を開発した。
- ・全国の電子基準点を対象としてリアルタイム GNSS 解析を安定して実施可能な電子基準点リアルタイム解析システムを開発した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

災害関連情報の迅速な発表に貢献するために、地殻変動を迅速に高い時間分解能で観測し解析するシステムを構築・高度化する

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

- ・前期に引き続き、地殻変動を即時的・高時間分解能で把握可能な、電子基準点リアルタイム解析システムの高度化を行う
- ・地殻変動を迅速に高時間分解能で把握するための電子基準点キネマティック解析システムについて、解析結果の信頼性及び精度を向上させるためにマルチ GNSS に対応させるなどの技術開発を行う。
- ・様々な汎用的な機器を用いた民間等の GNSS 観測点のデータも取り込み活用することができる地殻変動観測システムの開発を行う。

・より信頼性の高い災害関連情報の発信を図るために、得られた地殻変動解析結果の品質評価や異常値を判定する仕組みを構築する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

・全国の電子基準点を対象とした電子基準点リアルタイム解析システムを運用した。また、地震発生後に地殻変動量を関係者へ通知する際の変動点検知機能を強化し、システムの高度化を進めた。令和元年6月18日に発生した山形県沖を震源とする地震において、震源近傍の観測点で約5cmの地殻変動をリアルタイムに検知し、後処理解析と整合する結果を得た。

・地殻変動を高時間分解能で把握するための電子基準点キネマティック解析システムについて、昨年度までに構築したPPP-ARによるプロトタイプシステムを用いて1日1回、24時間スパン1秒間隔の解析を1年間実施し、座標時系列の水平成分の標準偏差を計算した。その結果、通年の標準偏差の平均値は1cmで、おおむね85%の時系列は標準偏差が1.2cm以下となった。

・複数の低価格GNSSアンテナと低価格GNSS受信機「ZED-F9P」を用いた観測システムを構築し試験観測を実施した。その結果、マルチGNSSによる観測及び設置環境に応じた位相特性の補正を実施しなければ、十分な測位性能を得られないことが判明した。さらに、測量用検定架台での観測データを用いて各GNSSアンテナの位相特性を算出し、これを考慮した上でGPSとGLONASSを用いたキネマティック解析(2日間、30秒間)を実施した結果、約30kmの長距離基線での標準偏差が水平20mm以内、上下45mm以内となった。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

・引き続き、地殻変動を即時的・高時間分解能で把握可能な、電子基準点リアルタイム解析システムの高度化を行う。

・電子基準点キネマティック解析システムについて座標時系列の安定性を向上させるための取り組みを継続する。

・汎用低価格受信機を用いた地殻変動観測システムの開発について、連続観測(20点程度)を実施するとともに、他の低価格受信機を用いた観測システム構築及び試験を実施する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

地理地殻活動研究センター 宇宙測地研究室

測地観測センター 電子基準点課

他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地理地殻活動研究センター 研究管理課

電話 : 029-864-5954

e-mail : [gsi-eiss@gxb.mlit.go.jp](mailto:gsi-eiss@gxb.mlit.go.jp)

URL : <http://www.gsi.go.jp>

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 矢来博司

所属 :

( 1 ) 実施機関名 :

国土地理院

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名 :

全国活断層帯情報整備

( 3 ) 関連の深い建議の項目 :

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

工. 地震・火山現象のデータベースの構築と活用・公開

( 4 ) その他関連する建議の項目 :

( 5 ) 総合的研究との関連 :

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要 :

平成 26 年度から平成 30 年度の間に 19 断層帯(三峠・京都西山断層帯、六甲・淡路島断層帯、警固断層帯、砺波平野断層帯、山崎断層帯、雲仙断層群、人吉盆地南縁断層、森本・富樫断層帯、綾瀬川断層、那岐山断層帯(山崎断層帯)、菊川断層帯、屏風山恵那山断層帯及び猿投山断層帯、鈴鹿西縁断層帯、別府-万年山断層帯、布田川・日奈久断層帯、糸魚川-静岡構造線断層帯、濃尾断層帯、山田断層帯)について調査を実施した。当初計画では 17 断層帯であったが、熊本地震に関連する 2 断層帯(布田川・日奈久断層帯)の調査を追加した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

全国の主要な活断層について、位置・地形等のデータベースの充実を図る。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

本課題は、国土地理院経費のうち災害情報整備推進費により主要な活断層について、断層の詳細な位置、関連する地形の分布等の情報を整備・提供するものである。

令和元年度においては、庄川断層帯、長良川上流断層帯、長岡平野西縁断層帯、石狩低地東縁断層帯、糸魚川-静岡構造線断層帯(改訂)、上町断層帯(改訂)の 6 断層帯を 1:25,000 活断層図として整備。令和 2~5 年においては、26 断層帯を調査する予定。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

平成 30 年度に調査を実施した、牛首断層帯及び跡津川断層帯とその周辺「立山」「有峰湖」「船津」「白木峰」「飛騨古川」「白川村」、養老-桑名-四日市断層帯とその周辺「津島改訂版」「桑名改訂版」8 面の 1:25,000 活断層図を整備・公開及び、庄川断層帯及び長良川上流断層帯、長岡平野西縁断層帯、石狩低地東縁断層帯、糸魚川-静岡構造線断層帯、上町断層帯の調査を実施した。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

令和2年度においては、櫛形山脈断層帯・月岡断層帯・長岡平野西縁断層帯、頓宮断層・木津川断層帯、大原湖断層・小郡断層、糸魚川-静岡構造線断層帯の調査を行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

応用地理部 地理情報処理課

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：地理地殻活動研究センター 研究管理課

電話：029-864-5954

e-mail：gsi-eiss@gxb.mlit.go.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：矢来博司

所属：地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

( 1 ) 実施機関名：

国土地理院

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

火山基本図・火山土地条件図整備

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

工. 地震・火山現象のデータベースの構築と活用・公開

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

平成 26 年度～30 年度までに、「新潟焼山」「焼岳」「桜島」「八丈島」「新島」「西之島」「弥陀ヶ原」「霧島山」「口永良部島」「鳥海山」「吾妻山」「草津白根山」「乗鞍岳」「阿蘇山」「雲仙岳」の火山基本図データを整備した。また、「秋田駒ヶ岳」「秋田焼山」「鳥海山北部」「鳥海山南部」「八丈島」の火山土地条件調査を実施した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

火山防災のために監視・観測体制の充実等の必要がある 50 火山について、火山基本図及び火山土地条件図を作成するとともに、それらの数値データ化を進める。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題は、国土地理院経費のうち災害情報整備推進費及び地理空間情報整備・活用等推進費により火山防災地形データとして整備・提供するものである。

令和元年度においては、「箱根山」の火山土地条件調査を実施し、「岩手山」「秋田駒ヶ岳」「日光白根山」の火山基本図整備を実施する。

令和 2 年度～5 年度においては、毎年度 1 火山程度の火山土地条件調査、毎年 3～4 火山程度の火山基本図整備を実施し、それらの数値データを整備・提供予定。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

「八丈島」の火山土地条件図及び数値データを整備した。

「箱根山」の火山土地条件調査を実施した。また、数値データを整備した。

「岩手山」「秋田駒ヶ岳」「日光白根山」の火山基本図及び数値データを整備した。

「箱根山」の数値データは前倒して実施。それ以外については計画どおり。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要：

「浅間山」の火山土地条件調査の実施と数値データを整備予定。

「雌阿寒岳」ほか3火山を対象に火山基本図を整備予定。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

応用地理部 地理調査課

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：地理地殻活動研究センター 研究管理課

電話：029-864-5954

e-mail：gsi-eiss@gxb.mlit.go.jp

URL：

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：矢来博司

所属：

( 1 ) 実施機関名：

国土地理院

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地殻活動データベース整備・更新

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要：

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

他機関との共同研究の有無：無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：

電話：

e-mail：

URL：

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：矢来博司



所属：

( 1 ) 実施機関名：

北海道大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

津波堆積物情報の高度化と実践的活用に関する研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(5) 国際共同研究・国際協力

( 5 ) 総合的研究との関連：

千島海溝沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

北海道大樹町、当縁川下流域において 17 世紀および 12-13 世紀の巨大津波の堆積物とこのイベント前後の地殻変動を検出した。17 世紀のイベントについては、海岸から 1.8km 内陸まで津波堆積物を識別した。また、珪藻分析から求められた地殻変動量は最大 2.3m の隆起である。地殻変動量は海岸から内陸にかけて大きくなり、1.9km 内陸の地点で検出限界に達する。12-1 世紀地震の地殻変動については、少なくとも数 10cm 程度地震後に隆起し、その後沈降に転じ数 10cm 程度沈降した可能性が高い。

北海道太平洋岸での渡島から根室までの地域で、17 世紀の津波堆積物の広域対比を行った。1640 年の北海道駒ヶ岳津波の堆積物は噴火湾から苫小牧市まで、1611 年慶長三陸津波の堆積物は苫小牧市からむかわ町にかけて分布する。一方、十勝地方から釧路地方に分布する津波堆積物は 1611 年よりは明らかに後年であることがわかった。

国後島で 2015 年から 2018 年まで津波堆積物調査を実施した。場所は太平洋岸の東沸からクラオイ川まで直線距離で約 50km の範囲にある沿岸低地で、露頭、ピット掘削、ジオスライサー掘削のいずれかでコアを観察した地点は 105 カ所である。成果としては、津波の痕跡が残されている可能性がある島の太平洋岸の沿岸低地を網羅的に調査して複数の津波堆積物候補を見つけたこと、古釜布から東

の低地で 1994 年に発生した北海道東方沖地震津波の痕跡とみなせる砂層を確認したことが挙げられる。また、北海道の火山起源の火山灰である駒ヶ岳 c1 (1856 年)、樽前 a (1739 年)、駒ヶ岳 c2 (1694 年)、樽前 b (1667 年)、摩周 b (約 900 年前)、樽前 c (約 2700 年前) が、いずれも島の複数地点に堆積していることも確認した。

(7) 本課題の 5 か年の到達目標 :

本課題の目的は、(a) 津波堆積物の認定、(b) 年代決定、(c) 津波規模の推定、(d) 地点間対比、(e) 津波堆積物の保存 / 消失過程の評価について、それぞれ高度化を実現するための手法を確立し、信頼性の高い地質情報を得ることにある。5 年計画では、総合的研究の項目にある千島海溝沿いの巨大地震を主な対象として (a)-(d) の調査を進め、複数の地点で地震の規模まで含めた発生履歴を明らかにする。特に 17 世紀と 12 世紀のイベントについては北海道全体で津波の波高分布を明らかにした上で年代による対比を行い、地殻変動の量も推定する。これにより、最終年度までに波源モデルの構築と信頼性の高く一貫性のある長期評価を実現可能とする。(e) については東北地方の太平洋岸と日本海岸などで地域を厳選し調査を行う。

(8) 本課題の 5 か年計画の概要 :

前述の (a)-(d) の手法の確立は、国内で実施する津波堆積物調査と分析を通じて行う。(a) は、すでに提唱されている手法と海外の研究者が進めている新しい地球化学的、生物学的手法による認定手順 2011 年や 1983 年の津波堆積物など既知の津波堆積物に適用することで検証する。(b) は、現計画の中の拠点間連携課題で現在進められた「津波堆積物の高精度年代決定」の成果を踏まえ、時代や環境が異なる津波堆積物に適用して有効性を検討して効率化を目指す。(c) は、残存する津波堆積物の微細構造から流速と波高を推定する手法の開発、古津波については遡上限界に焦点を当てた丹念な追跡調査、同時期の地殻変動の検出などを通じて評価する手順を検討する。(d) は、年代決定結果と津波と土砂移動の数値計算結果、時代によっては歴史記録との整合性を評価して対比させる手法を検討する。(e) は、過去 30 年以内に国内外で起きた地震で津波を伴い、その堆積物の一部が残存している事例について追跡調査を実施する。

平成 31-33 年度においては、総合的研究の項目にある千島海溝沿いの巨大地震を主な対象に (a)-(d) の調査を進め、平成 34-35 年度においては、日本海溝沿い、日本海沿岸で調査を実施する。(e) については平成 31 年度から計画的に調査を実施し、平成 32-34 年度に海外ではインドネシア、トンガ、ソロモン諸島などで調査を行う。千島海溝沿いの巨大地震については、平成 34 年度までに複数の地点で地震の規模まで含めた発生履歴を明らかにする。また、北海道の胆振・日高地方や北方領土のデータも詳細に検討し、17 世紀と 12 世紀のイベントについては北海道全体で津波の波高分布を明らかにし、平成 35 年度までに波源モデルの構築と信頼性の高く一貫性のある長期評価を実現可能とする。

(9) 令和元年度の成果の概要 :

「(a) 津波堆積物の認定」に関しては、2011 年東北津波で青森県の三沢海岸に形成された砂質堆積物について、これまで提唱されている津波堆積物の認定条件が適用できるかどうか、あるいは適用限界を考える必要があるかどうかを検証した。内陸薄層化、内陸細粒化、侵食痕、Rip-up clasts といった津波堆積物の特徴を示す産状は、形成直後と同様によく保存されていることがわかった。化学組成や生物痕跡からも海成砂であることは十分に言えそうである。一方、津波堆積物の上位に形成された新しい土壌は、津波堆積物の一部を取り込みながら形成された様子が確認できた。

「(b) 津波堆積物の年代決定」に関しては、これまで津波堆積物の存在が知られている北海道の太平洋岸で再調査、再検討を実施した。手順としては、複数の掘削により地域内の整合性を確認した上で、泥炭の質について珪藻分析、CT 画像の利用、植物相の検討を行い、さらに年代測定は求めたい年代周辺の較正曲線の形をみて必要な層準を決めてからサンプリングして年代を測定した。その結果、胆振地方に 17 世紀前半のイベントについては、西から伊達市有珠、登別市富岸、竹浦の津波堆積物は 1640

年北海道駒ヶ岳噴火起源であること、さらに西の白老町社台、苫小牧市勇払、むかわ町汐見の津波堆積物は1611年慶長地震津波起源の可能性が高いことがわかった。また、十勝の大樹町における17世紀津波堆積物の年代は、浦幌町と同様に1611年よりは新しい時代のものであると推測された。これらの結果は、いわゆる17世紀超巨大地震の波源の構築方針を再検討する必要があることを示唆するものである。

「(c) 津波規模の推定」に関しては、まず化学的手法の開発と検討を行うため、青森県の三沢海岸に形成された2011年津波堆積物について、海岸林から遡上限界まで、海岸線に直行する測線を設けて試料を採取し、化学的な特性を調べた。その結果、砂質津波堆積物が目視で確認できる地点のさらに内陸まで、海水で運ばれたと思われる枯葉や土壌の痕跡が追跡できることがわかった。

「(d) 地点間対比」に関しては、北海道浦幌町の湿原において、樽前b火山灰(1667年)と樽前c火山灰(約2700年前)の間にある4層の津波堆積物を対象に、150m間隔で4ヶ所の掘削調査を実施し、砂の化学組成の違いで対比が可能かどうかを検証中である。

「(e) 津波堆積物の保存/消失過程の評価」に関しては、上の(a)と関連して1983年日本海中部地震による津波堆積物について新たな調査を実施するとともに、2018年12月のクラカトア火山噴火津波でサンゴ礁海岸に形成された津波堆積物について、1年後の調査を実施して直後の調査結果と比較するとともに、調査をさらに繰り返し行う体制を整備した。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(11) 令和2年度実施計画の概要：

青森県三沢海岸と宮城県石巻の鮫浦湾周辺で2011年津波堆積物の調査を実施、また秋田県能代市で1983年津波堆積物調査を実施し、引き続き「津波堆積物の認定条件の検証との適用限界の理解」を深める。令和元年度の予備調査結果を踏まえ、北海道の十勝、根室地域において、17世紀および12世紀の津波堆積物の年代を精度よく決定する。北海道浦幌町の試料を用いて、津波堆積物の地点間対比の新しい手法を検討する。海外(インドネシア)も含めて、起源がわかっている津波堆積物の追跡調査と検討を系統的に実施するための体制作りを進め、実際に複数箇所調査を実施する。特に、痕跡が消失したと認められる場合にその理由を検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

西村裕一・石澤堯史(北海道大学大学院理学研究院)

他機関との共同研究の有無：有

秋田県立大学(千葉 崇)

新潟大学人文社会・教育科学系(高清水康博)

ふじのくに地球環境史ミュージアム(菅原大助)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話：011-706-3591

e-mail：isv-web@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL：https://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：西村裕一

所属：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

( 1 ) 実施機関名：

北海道大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

大規模噴火に関わるマグマプロセスの時間スケールの解明

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

「地質および物質科学的データに基づく低頻度大規模火山現象およびその準備過程の研究」の課題では、カルデラ形成噴火と大規模山体崩壊の解明を目指し、前者では始良・支笏・鬼界・摩周を、後者では磐梯山・雲仙・十勝岳を調査対象として、地質調査・年代測定・化学分析・古記録の検討などを行ってきた。その結果、鬼界カルデラにおける 7.3 ka アカホヤ噴火および前後の活動履歴の解明、摩周火山 7.6 ka 噴火推移の解明、鬼界アカホヤ噴火と屈斜路火山 KpIV のマグマ供給系(先行活動を含む)の解明、磐梯山 1888 年の山体崩壊の詳細(多段階での崩壊プロセス)の解明など、数多くの成果が得られた。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

カルデラ噴火のような大規模な噴火において、マグマはどのような速さでマグマ溜まりに蓄積されるのか、マグマはどのくらいの期間マグマ溜まりに停留するのか、そして噴火を引き起こす準備プロセスはいつから始まるのか、といった時間スケールを明らかにすることは、噴火予測において極めて重要であるが、日本のカルデラ火山においては、このような定量的な情報がほとんど蓄積されていない。そこで本課題では、国内の代表的なカルデラ火山を対象に、ウラン系列放射非平衡を用いた物質科学的研究を実施し、カルデラ噴火を引き起こすような大量のマグマがどのような時間スケールで準備されるのかを明らかにすることを目的とする。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

本研究で利用する U-Th 放射非平衡法では、現在から遡って約 1 万年前～30 万年前の期間に起きたマグマプロセスに対応できることから、この期間内に活動した洞爺、阿蘇、阿多を解析対象とし、さらに余裕があれば屈斜路、阿寒、始良についても解析を進める。U-Th 放射非平衡法を適用するにあつ

ては、マグマ供給系を含めたマグマプロセスについての事前的検討が不可欠であるため、先行研究を十分に吟味した上で、必要に応じて試料の採取、岩石学的・地球化学的解析を行い、マグマの蓄積プロセスや分化プロセスを詳細に明らかにし、U-Th 放射非平衡を測定する試料を選定する。

- 1 年目： 阿蘇・洞爺を対象とした岩石試料の採取・化学分析
- 2 年目： 阿蘇・阿多を対象とした岩石試料の採取・化学分析
- 3 年目： 阿蘇・洞爺におけるマグマプロセスの解析
- 4 年目： 阿蘇・阿多におけるマグマプロセスの解析
- 5 年目： 各火山の代表的な試料の U-Th 放射非平衡の測定・時間スケールの抽出

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

今年度は、(1) U-Th 放射非平衡測定法の改良、(2) 支笏カルデラの噴出物を対象とした U-Th 放射非平衡の測定、(3) 洞爺カルデラの噴出物の採取と化学分析、を行った。

(1) U-Th 放射非平衡測定法の改良

対象試料(全岩および鉱物)の U-Th 放射非平衡の測定には、それらの  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$  比と  $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$  比の測定が必要である。そのためには、珪酸塩試料からの U と Th の化学分離方法の確立、U/Th 比の測定法の確立、Th 同位体比の測定法の確立、が必要となる。本課題研究の開始時の段階では、岩石試料からの U と Th の化学分離法、および U/Th 比の測定法については確立していた一方で、Th 同位体比 ( $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ ) の測定法については、同位体比のキャリブレーション方法が確立されておらず、分析精度が保証されていない状況であった。そこで今年度は、分析精度を向上させるための様々な試みを行い、未知試料の測定時に同位体比がよく決まっている複数の標準岩石試料(アメリカ地質調査所の BHVO-2 と W-2) で bracketing を行うことで、この問題を解決することができた。その結果、例えばモニター試料として測定した BCR-2 について、 $(^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}) = 0.876 \pm 0.003$  ( $n = 5, 2\sigma$ ) が得られ、推奨値 (= 0.874) と有意に一致していることが確認された。

(2) 支笏カルデラの噴出物を対象とした U-Th 放射非平衡の測定

カルデラ噴火の噴出物に対する U-Th 放射非平衡測定法の有用性を確認するため、先行研究によってマグマプロセスがよく理解されている支笏のカルデラ形成噴火(約 44 ka)を対象に、代表的な珪長質噴出物、および後カルデラ火山である樽前火山の玄武岩試料について、U-Th 放射非平衡の測定を行った。支笏カルデラの噴出物は、無斑晶質な CP タイプと斑晶に富む CR タイプに分類され、さらに CP タイプの大部分は D マグマと R マグマを端成分とする主珪長質マグマ系を形成することが明らかとなっているが、多くの噴出物が Th に過剰な放射非平衡を示すことが分かった。一方で、樽前火山の玄武岩は、火山フロント近傍の初生マグマの特徴を反映していると考えられる、U に過剰な放射非平衡を示すことが明らかとなった。このことから、支笏カルデラの珪長質マグマは、マントル由来の玄武岩マグマの結晶分化作用ではなく、基本的に地殻物質の部分融解によって生成したことが分かった。また CP タイプの試料を対象とした分析の結果、1) 主珪長質マグマ系の U-Th 放射非平衡データについても D マグマと R マグマの 2 成分混合と調和的であること、2) R マグマは 40 万年以上に地殻物質の部分溶融によって生成したこと、3) R マグマは恐らく噴火の少し前に地殻物質の部分溶融によって生成したこと、が明らかとなった。さらに CR タイプの試料について分析を行った結果、特に未分化な特徴をもつ試料については U に過剰な放射非平衡を示すことが分かった。このことは、CR タイプのマグマはマントル起源の玄武岩マグマの分化に由来することを意味し、CR マグマが主珪長質マグマの噴火 (= カルデラ形成噴火) の引き金となったというシナリオと調和的である。

(3) 洞爺カルデラの噴出物の採取と化学分析

約 114 ka に活動した洞爺カルデラの噴出物について野外調査を行い、試料の採取を行った。これらの試料については粉末を作成し、蛍光 X 線分析装置を用いた主要元素・微量元素濃度測定を行った。また代表的な試料について薄片を作成し、EPMA を用いた鉱物・ガラスの組成分析を行った。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

令和 2 年度は、令和元年度に引き続いて洞爺カルデラの噴出物を対象としたマグマプロセスの解析を行い、それが終了次第、U-Th 放射非平衡の測定を行い、珪長質マグマが準備された時間スケールについての検討を行う。また、当初は令和元年に行う予定であった阿蘇カルデラ ( Aso-4 ) を対象とした岩石試料の採取と物質科学的解析は、U-Th 放射非平衡測定法の改良作業に予想を超える時間が費やされたために持ち越しとなったため、令和 2 年度の早い時期に作業を開始する予定である。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

栗谷豪, 中川光弘, 吉村俊平, 松本亜希子  
他機関との共同研究の有無 : 有  
東京工業大学, 横山哲也  
大阪市立大学, 柵山徹也

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 北海道大学大学院理学研究院  
電話 : 0117062729  
e-mail : kuritani@sci.hokudai.ac.jp  
URL :

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 栗谷豪  
所属 : 北海道大学大学院理学研究院



( 1 ) 実施機関名：

北海道大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

マグマ脱ガス実験と火山噴出物の揮発性成分解析に基づく噴火分岐メカニズムの解明

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

噴火事象の分岐は、火道上昇中のマグマの発泡・脱ガス現象の起こり方の違いに起因すると考えられている。すなわち、発泡が卓越しマグマ浮力が高まれば爆発的噴火となり、開放系脱ガスが卓越しガスが失われると非爆発的噴火に至ると考えられている。しかし、火道内の各深度で発泡・脱ガスがどのように起きているかは不明であり、噴火分岐の根本的要因は未解明である。そこで本課題では、火山噴出物の揮発性成分の解析と実験室でのマグマ脱ガスシミュレーションを組み合わせることで、噴火分岐の要因を明らかにすることを目標とする。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

まず、対象火山として、観測データが揃っており、将来の噴火が危惧され、爆発性の高い安山岩～流紋岩質マグマを噴出する桜島火山・浅間火山・有珠火山などを選定し、噴火様式ごとに火山噴出物を採取し揮発性成分組成の特徴を明らかにする。次に、室内実験でマグマの発泡・脱ガス・圧密を再現し、試料の揮発性成分の特徴を明らかにする。そして、天然と実験を比較し、火道内でどのような

脱ガス過程が起きたかを解読する。読みだされた脱ガス過程と噴火様式の関係を検討し、噴火分岐の仕組みを実証的に明らかにする。

令和元年においては、桜島・浅間・有珠を対象とした岩石の採取、および揮発性成分の分析を行う。

令和2年においては、高温高圧実験によりマグマ発泡を再現し、揮発性成分の濃度変化を解析する。

令和3年においては、高温高圧実験によりマグマの開放系脱ガスを再現し、揮発性成分の濃度変化を解析する。

令和4年においては、天然と実験を比較し、天然の脱ガス過程を解読する。

令和5年においては、脱ガス過程と噴火様式の対応関係を構築し、分岐要因を解明する。

#### (9) 令和元年度の成果の概要：

当初の計画では、令和元年度は天然噴出物の揮発性成分の分析を行い、火道内での脱ガス現象を推定する予定であった。しかし、噴出物の分析が難航したことや、岩石組織が複雑なせいで分析がうまく行えなかったことから、急遽、次年度の計画である実験的研究を前倒しにし、初年度に行うことにした。天然噴出物の分析については、次回以降に詳細に報告する。

SiO<sub>2</sub>濃度の高い珪長質マグマの火山噴火の様式は、マグマが火道を上昇する際に経験する脱ガス過程に支配される。すなわち、マグマが上昇・減圧し、激しく発泡すれば噴火は爆発的になり、発生したガスが効率よく外部へ逃げる開放系脱ガスが起これば噴火は穏やかになる。また、これらに加え、気泡の再溶解や、マグマ破碎粒子の溶結がダイナミックに起こり、噴火を支配するとの考えも提案されている(Watkins et al., 2017; Gardner et al., 2019)。しかしながら、火道内で実際にどのような現象がおきたかを解析する手法は確立されていないため、噴火の仕組みを理解できないでいた。最近我々は、火道内の脱ガスの記録が、噴出物の塩素濃度の不均質に残されている可能性があることを提案した(Yoshimura et al., 2019)。すなわち、塩素は拡散が遅いため、他の揮発性成分が失われたり均質化した後でも、塩素なら脱ガス時の拡散性の不均質を残していると考えられ、これを利用してかつての脱ガス履歴を読み解くことができるという考えである。本研究では、この考えを確かめるため、実験的に火道内で起こると考えられている、気泡の成長(発泡)気泡再溶解、開放系脱ガス、破碎粒子の溶結を実験的に再現し、それぞれの過程が起きたとき、どのような塩素濃度分布が作られるかを調べた。

実験では和田峠産流紋岩質黒曜石(含水量 0.75 wt%)をコアまたは破片状に加工したものを手製の加圧装置に入れ、900~1000、2.5 MPaで最大19時間保持した。コアを加熱した実験では、黒曜石は融けて発泡し、気泡を含むマグマが形成された。一方、試料の周縁部では、気泡は溶解する様子が観察された。これは、試料周縁部は脱水し、メルトが水に不飽和になるためである(Yoshimura & Nakamura, 2008)。塩素の空間分布を調べた結果、成長する気泡の周りでは塩素は気泡壁に向かって拡散し、濃度が低下していた。一方、溶解中の気泡については、塩素は気泡から周囲メルトへ放出され、その濃度は気泡壁から外に向かって低下していた。このことから、塩素濃度分布を調べれば、ある気泡が成長しているか、それとも溶解しているかを容易に区別することができることが判明した。

フレークを加圧した実験では、フレーク同士が互いに溶結し、塊状のガラスが形成された。フレークの界面がすでに溶結によって見えかかっている試料でも、塩素濃度の分布で見ると、かつての界面で塩素濃度が低くなっており、容易に識別することができた。これは、各フレークは溶結する前に表面で脱ガスし、塩素濃度を低下させていたことを示す。またフレークを加圧実験では、フレーク内に生じた気泡が変形し、開放系脱ガスを起こす様子が観察された。すなわち、気泡がつぶれ、複数の小さな気泡に分裂するとともに、気泡同士は塩素の低濃度の帯で結ばれていた。このことは、これらの気泡はかつては1つの大きな気泡であったことを示す。また、気泡に向かって塩素濃度は低下していた。このことは、気泡界面で塩素はガスになっていることを示す。したがって、気泡界面でガスが発生しているのに、気泡は成長するのではなく、押しつぶされているということになる。これは、開放系脱ガスが進行していることを示す結果である。

以上のように、マグマ中でおきたプロセスによって塩素濃度分布のパターンは大きく異なることが判明した。したがって、天然の噴出物を対象に塩素の濃度分布を詳しく解析すれば、かつての脱ガス

過程を解読できる可能性がある。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Yoshimura, S., Kuritani, T., Matsumoto, A. and Nakagawa, M. (2019) Fingerprint of silicic magma degassing visualised through chlorine microscopy. Scientific Reports, 9, 786, doi:10.1038/s41598-018-37374-0.

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要：

令和2年度は、初年度に行う予定であった天然噴出物の揮発性成分の分析を行う。とくに、火道内のさまざまな深度で急冷固化した物質と考えられている火砕性黒曜石を対象とし、H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>を分析することで、急冷深度を決定する。また、Clを分析することで、火道内での脱ガス過程を推定する。すでに有珠火山では試料を採取し、予察的な分析を始めている。しかし、石基ガラス中にマイクロライトが大量に晶出しており、塩素の分布がかき乱されているように見える。さらに分析を継続し、このような物質でも脱ガス現象を理解するのに利用できるかどうか、詳しく検討する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

吉村俊平、栗谷豪、松本亜希子、中川光弘(北海道大学)  
他機関との共同研究の有無：無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：北海道大学大学院理学研究院  
電話：  
e-mail：shumpyos@sci.hokudai.ac.jp  
URL：

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：吉村俊平  
所属：

( 1 ) 実施機関名：

北海道大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

電磁気・熱・ガス観測に基づく火山活動推移モデルの構築

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

課題番号 1003 等で本研究計画に繋がる実績が得られた。いずれも本課題を支える要素技術の開発や火山活動推移モデルの試行として位置付けられる。

- ドローンを用いた空中からの火山ガス組成観測や湖水の採取に成功した。

- 連続写真から噴気を除去する画像処理手法を開発し、地熱異常域からの放熱率推定の精度向上を実現した。

- 数理モデルに基づいて火口湖の熱・水収支をモデル化し、その長期安定性について検討した。

- 地磁気・地盤変動・火山ガス組成の観測データに基づいて、非噴火時の火山活動推移のモデル化を試みた。

- 水蒸気噴火の準備過程のモデル化を念頭に、火山体への熱水供給と火道閉塞の関係について熱水流動数値計算に基づいて検討した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

我が国では数 10 年の休止期を挟んで小規模な噴火を繰り返す火山が多いが、こうした火山の噴火予知は、現状では噴火直前の前兆的地震活動の検知に頼るところが大きく、非噴火期において次の噴火の切迫度を評価する方法は確立されていない。これは、噴火準備過程・噴火・終息過程を通じた火山活動サイクルのモデル化があまり進んでいないためであるが、その根本的な原因として、地震や地盤

変動以外の観測項目では、非噴火時を含めた長期間にわたるモニタリングデータが不足しており、火山相互の比較や類型化が十分に行われていないことが背景にある。

本課題では、前建議計画の熱水系卓越型火山の課題等で取り組んだ電磁気・熱・ガスのモニタリング観測を進展させるとともに、新たなチャレンジとして、ドローンを利用した火口近傍の空中磁気反復測量と、遠望カメラ画像の自動解析による噴気放熱率の連続的推定手法の開発を進める。非噴火期を含めた火山活動推移モデルの構築を目指すとともに、研究対象とする火山については順次活動評価を試みる。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

本研究課題と同様にモニタリング観測による火山活動の評価に取り組む地震・地盤変動モニタリング課題 ( KUS02 ) とは相互補完の関係にあるため、合同研究集会を開くなど連携しながら研究を進める。令和1年度: 各火山での地磁気・比抵抗・熱・ガス観測。噴気放熱率推定自動化のスキーム開発。九重山でのドローン空中磁気観測。研究会合。十勝岳の火山活動評価。

令和2年度: 各火山での地磁気・比抵抗・熱・ガス観測。噴気放熱率推定自動化ツールの試作。御嶽山でのドローン空中磁気観測。阿蘇山の火山活動評価。

令和3年度: 各火山での地磁気・比抵抗・熱・ガス観測。噴気放熱率推定自動処理のテスト運用。蔵王山でのドローン空中磁気観測。研究会合。吾妻山の火山活動評価。

令和4年度: 各火山での地磁気・比抵抗・熱・ガス観測。噴気放熱率推定自動処理を連続遠望画像に適用。草津白根山の火山活動評価。

令和5年度: 各火山での地磁気・比抵抗・熱・ガス観測。噴気放熱率推定自動処理を連続遠望画像に適用。研究会合。雌阿寒岳の火山活動評価。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

当初計画で予定していた項目はすべて実施した。進捗は良好である。

1. モニタリング観測

【十勝岳】

- ・地磁気全磁力観測 ( 連続2カ所, 反復サーベイ1回 ) . 2008年からデータあり ( 北大・気象庁 )
- ・火山ガス観測 ( SO<sub>2</sub> フラックス2回 ) . 火口近傍でドローンを使った観測では, 62-2火口と振子沢噴気孔群の噴気を区別して測定できた ( 北大・東大理 ) . これとは別に, 山麓部の車載トラバースも実施 ( 東大理 ) .
- ・ベンガラ温泉で自動サンプラーを用いた温泉水の高頻度サンプリングと分析. 試験的に今年度から開始 ( 東大理・道総研 )
- ・62-2火口近傍での Multi-GAS 連続観測を R02年度に新規設置するための準備 ( 北大, 産総研と共同 )

【蔵王山】

- ・全磁力反復サーベイを気象庁と共同で実施 ( 東北大, 2014年から ) . 観測点を新たに拡張した。

【吾妻山】

- ・全磁力反復サーベイを気象庁と共同で2年ぶりに実施. 消磁傾向が継続中であることを確認した ( 東北大, 2003年から気象庁データあり, 2016年に気象庁は連続観測開始 )

【伊豆大島】

- ・電磁気による各種モニタリングを継続 ( 地磁気全磁力, 直流比抵抗法, ACTIVE-CSEM ) . カルデラ内では緩やかで単調な帯磁傾向 ( 1988-89年噴火後の緩和過程 ) が継続中. 比抵抗モニタリングでは今のところ火口下の低比抵抗化は見えない ( 東大地震研 )
- ・ドローンを用いて三原山火口底の噴気ガス組成の測定に成功した ( 東工大・気象研・東大理・東海大 )

【西之島】

・ひまわり 8 号による赤外画像により、西之島 2019 年 12 月噴火について、活動経過の観察と溶岩噴出率の推定を行った（東大地震研）

#### 【草津白根山】

- ・地磁気全磁力連続観測の継続。草津白根が 2015 年頃から消磁期に入った可能性を示唆（東工大，約 10 年の記録あり）
- ・ドローンを用いた遠隔多項目観測（湯釜湖水の採取と化学分析，水温深度分布の測定，火山ガス組成の観測）を実施。研究者自身によるオペレーション（東工大）
- ・土壌ガス成分（水銀とヘリウム同位体）マッピングで火口周辺の破碎帯推定（東工大）
- ・噴気ガス採取と化学分析。同一地点で長期間継続して実施している（東海大：公募研究課題で実施）

#### 【焼岳】

- ・3カ所で地磁気全磁力観測を継続。緩やかな変動が見られるものの，年周変化が大きく詳細要検討。来年度に増設予定点の下準備も実施（京大防，観測開始は 2016 年）
- ・山頂周辺の噴気ガスを採取・化学分析。2016 年から平均 1 回 / 年程度の頻度で実施（信州大：公募研究課題で実施）

#### 【九重山】

- ・硫黄山の噴気地帯で MT 連続観測を継続（九大，2016 年から）
- ・ドローン空中磁気測量を計画通り九重山で 2019 年 10 月 13～15 日に実施。専門業者オペレータ 1 名 + 研究者数名で安全に観測できた。有人機による調査と比べ費用は格段に安くフレキシビリティが高い。データ品質にも問題なく，この手法の有用性が実証できた。予察的な解析では，2004 年京大理実施の空中磁気測量データとの比較で，有意な時間変化が検出された。地上観測から期待されるモデルと整合的（京大理・北大）

#### 【阿蘇山】

- ・中岳第一火口内の熱赤外観測（地上 + 空中の反復観測）を継続。温度と放熱率。連続観測点設置の準備も進めた（京大理）

#### 【霧島硫黄山】

- ・電場と磁場の連続観測を硫黄山の新噴火口から約 300 m の位置で継続。2018 年 4 月の水蒸気噴火発生時の微動・傾斜変動に伴う電磁場変動を捉えていた（おそらく世界初）（九大）

## 2. ツール開発

噴気画像の自動処理（北大）。今年度は，気象庁の火山監視カメラのインターバル画像の提供を受け，2 地点の画像から風向風速を逐次自動推定するソフトウェアを開発した。

## 3. 研究集会

本研究課題と同様に，モニタリング観測による火山活動の評価に取り組む地震・地盤変動モニタリング課題（KUS.02）と合同で，2019 年 12 月に研究集会を札幌で開催した。

## 4. 観測データに基づく火山活動評価

各種観測データに基づく，数年～数 10 年スケールの中期的な火山活動評価（とりわけ unrest 事象の定量的評価）を行うにあたり，ニュージーランドで開発された VUI（火山活発化指数）を我が国の火山用にカスタマイズして適用するための具体的検討を開始した。今年度は十勝岳を対象として，分担者 5 名からなる作業部会を設置し，気象庁と大学の観測データをベースに，VUI 計算シートの評価項目と基準値を暫定的に決めた。

- (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので，令和元年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
Hashimoto, T., W. Kanda, Y. Morita, M. Hayakawa, R. Tanaka, H. Aoyama, and M. Uyeshima, 2019, Significance of electromagnetic surveys at active volcanoes: toward evaluating the imminence of wet eruptions,

J. Disast. Res., 14, 580-591.

橋本武志・宇津木充・大倉敬宏・神田 径・寺田暁彦・三浦 哲・井口正人, 2019, 非マグマ性の火山活動に伴う消磁及び地盤変動のソースの特徴, 火山, 64, 103 - 119.

Kaneko, T., F. Maeno, A. Yasuda, M. Takeo, and K. Takasaki, 2019, The 2017 Nishinoshima eruption ? combined analysis using Himawari-8 and multiple high-resolution satellite images, Earth Planets Space, 71, 141.

Kaneko, T., F. Maeno, and A. Yasuda, 2019, Observation of the eruption sequence and formation process of a temporary lava lake during the June-August 2015 Mt. Raung eruption, Indonesia, using high-resolution and high-frequency satellite image datasets, J. Volcanol. Geoth. Res., 377, 17-32.

Ohba T., M. Yaguchi, K. Nishino, N. Numanami, U. Tsunogai, M. Ito, and R. Shingubara, 2019, Time Variation in the Chemical and Isotopic Composition of Fumarolic Gasses at Kusatsu-Shirane Volcano, Japan, Front. Earth Sci. 7:249. doi: 10.3389/feart.2019.00249.

Ono, T., T. Mori, and F. Tsunomori, 2020, High-frequency field auto-sampling of volcanic waters discharged near craters of active volcanoes, Bull. Volcanol., 82, 16.

北海道大学, 2019, 有珠山 ( 2000 年噴火域の全磁力変化 ), 第 145 回火山噴火予知連絡会資料 ( その 6 ? 1 ), 91.

北海道大学, 2019, 有珠山 ( 山頂火口原の全磁力変化 ), 第 145 回火山噴火予知連絡会資料, 91-92.

北海道大学・札幌管区気象台, 2019, 十勝岳 ( 地磁気全磁力 ), 第 144 回火山噴火予知連絡会資料 ( その 1 ), 59.

北海道大学・札幌管区気象台, 2019, 十勝岳 ( 地磁気全磁力 ), 第 145 回火山噴火予知連絡会資料 ( その 5 ), 86-87.

北海道大学・東京大学, 2019, 十勝岳 ( 二酸化硫黄放出率 ), 第 145 回火山噴火予知連絡会資料 ( その 5 ), 88.

東京大学地震研究所, 2019, 伊豆大島全磁力, 第 144 回火山噴火予知連絡会資料 ( その 4 の 4 ), 39-40.

東京大学地震研究所, 2019, 伊豆大島三原山の見掛け比抵抗変化, 第 144 回火山噴火予知連絡会資料 ( その 4 の 4 ), 41.

東京大学地震研究所, 2019, 伊豆大島全磁力, 第 145 回火山噴火予知連絡会資料 ( その 6 ? 4 ), 29-30.

東京大学地震研究所, 2019, 伊豆大島三原山の見掛け比抵抗変化, 第 145 回火山噴火予知連絡会資料 ( その 6 ? 4 ), 28.

東京大学地震研究所, 2019, 霧島-硫黄山の赤外観測, 第 144 回火山噴火予知連絡会資料 ( その 2 ), 129.

東京大学地震研究所, 2019, ひまわり 8 号・しきさいによる西之島 2019 年 12 月活動の観測, 第 145 回火山噴火予知連絡会資料 ( その 4 ), 22-25.

東京大学地震研究所, 2019, 霧島-硫黄山の赤外観測, 第 145 回火山噴火予知連絡会資料 ( その 1 ), 201-202.

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

各火山で地磁気・比抵抗・熱・ガス観測を継続し, 非噴火期または噴火期の活動評価の基礎となるデータを引き続き蓄積する。噴気放熱率推定自動化ツールの開発では, 連続画像から噴気形状の自動推定を行う部分に着手する。御嶽山では第 1 回目となるドローン空中磁気観測を実施する。阿蘇山の火山活発化指数ワークシートを作成する。KUS\_02 と合同で研究集会を開催する ( 場所・日程は未定 )。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

橋本武志

青山 裕

田中 良

他機関との共同研究の有無 : 有



本課題からの予算配分を予定している機関の共同研究者

東北大学： 市來雅啓

東大震研： 小山崇夫・金子隆之

東大理： 森 俊哉

東工大： 神田 径・寺田暁彦

名大環境： 市原 寛

京大理： 宇津木充・大倉敬宏・横尾亮彦

京大防： 吉村令慧

九大理： 相澤広記

本課題からの予算配分を行わない機関の共同研究者

東海大： 大場 武

信州大： 齋藤武士

気象庁： 高木朗充

道総研： 高橋 良

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話：011-706-2892

e-mail：

URL：

( 14 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：橋本武志

所属：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

( 1 ) 実施機関名：

北海道大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

巨大地震に伴う海底斜面崩壊による津波の事前評価・即時予測に関する研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

イ. 津波の事前評価手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

イ. 津波の即時予測手法

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

千島海溝沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

1 ) 津波波源の近傍にある海底水圧計の津波データを同化して津波伝播シミュレーションを行う手法の開発に成功した (Tanioka, 2018, Tanioka and Gusman, 2018) .

2 ) 1640 年駒ヶ岳山体崩壊津波・1741 年渡島大島山体崩壊津波・1792 年眉山山体崩壊津波の津波数値計算を山体崩壊計算も含めて同じ手法で実施し、津波評価のための指標を見出すことに成功した ( Yamanaka and Tanioka, 2017 ) .

3 ) 1741 年渡島大島山体崩壊津波について山体崩壊域と津波遡上域・津波堆積物分布域を含めて全て説明可能な 2 層流数値計算モデル化を実施し、モデル化に必要な摩擦係数を推定した ( Ioki et al., 2019 ) .

上記研究成果で使用した 2 層流数値計算手法の改良により、深海での地すべりによる津波数値計算手法の開発は可能である。また、海底観測網の観測波形を評価した即時津波予測への応用も可能である。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

海底地すべり(斜面崩壊)による津波について精密な数値計算によるモデル化を行い、深海での海底地すべりから津波励起・伝搬・遡上まで再現できる手法を開発する。さらに、開発した数値計算手法を用いて、過去の海底地すべり津波による近地津波の再現を行い数値計算手法の改良と津波再現性の向上を図る。さらに、南海トラフ沿い及び日本海溝・千島海溝沿いの海底地すべり地形から、地すべり津波の沿岸での津波災害ポテンシャルを評価する。また、そのような地すべり津波が津波観測網(S-NET・DONET)でどのように観測されるかを計算し、津波即時予測への影響を評価するとともに、数値計算結果を津波即時予測に取り込む手法の開発を行う。

(8) 本課題の5か年計画の概要:

平成31年度においては、深海での海底地すべりによる津波数値計算手法の開発を実施。

平成32年度においては、開発された津波数値計算手法を用いて、過去の海底地すべりによる津波の再現数値実験を実施するとともに、津波数値計算手法の改良を実施する。

平成33年度においては、他の海底地すべりによる津波の再現数値計算実験を実施するとともに、津波数値計算手法のさらなる高度化を実施する。また、南海トラフ沿いや日本海溝・千島海溝沿いの地すべり地形を評価する。

平成34年度においては、南海トラフ沿いや日本海溝・千島海溝沿いの地すべり地形から津波数値計算を実施し、津波災害ポテンシャルを評価する。

平成35年度においては、それまでの海底地すべり津波が発生した場合の津波即時予測手法の開発を行う。

(9) 令和元年度の成果の概要:

巨大地震に伴う海底斜面崩壊による津波の数値計算手法開発を実施し、1929年 Grand Banks Tsunami に適用を試みた。巨大地震は発生しないとされているアメリカ東海岸の沖で1929年 Grand Banks 地震(M7.2)が発生した。この地震直後に震源近傍のケーブルが切断され、海底地すべりが発生したことが確認されている。さらに地震波形解析から地すべり自体が地震波を励起したとされている(Hasegawa and Kanamori, 1987)。さらにこの地震(海底地すべり)は津波を励起し、震源域近傍は大きな被害が報告されている。さらにHalifax(カナダ)の検潮記録には津波波形も記録されている。

本研究では、先行研究で提示されている海底地すべり域を参考に地すべり域を仮定し、地すべりの層厚を変化させて、海底地すべりと津波の数値計算を実施し、Halifaxの津波波形(第1波)の再現実験を行った(図1,2)。その結果、海底地すべりの量は約100km<sup>3</sup>と見積もられた。今後、波形全体の再現を試みるとともに、津波浸水域の再現も試みる。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

Ioki, K., Y. Tanioka, H. Yanagisawa, G. Kawakami, (2019) Numerical simulation of the landslide and tsunami due to the 1741 Oshima-Oshima eruption in Hokkaido, Japan, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2018JB016166

(11) 令和2年度実施計画の概要:

1929年 Grand Banks Tsunami の再現実験を完成させることで、海底地すべり数値計算手法の妥当性を検証する。第2段階として1998年パプアニューギニア地震津波への適用を試みる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

地震火山研究観測センター

他機関との共同研究の有無: 有

東北学院大学(柳澤英明)

海洋研究開発機構(3名)

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：地震火山研究観測センター  
電話：011-706-3591  
e-mail：isv-web@mail.sci.hokudai.ac.jp  
URL：https://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/

( 14 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者  
氏名：谷岡勇市郎  
所属：北海道大学

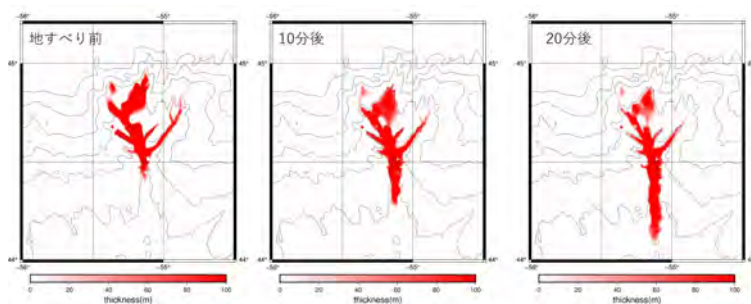


図 1  
計算された地すべりの時間変化

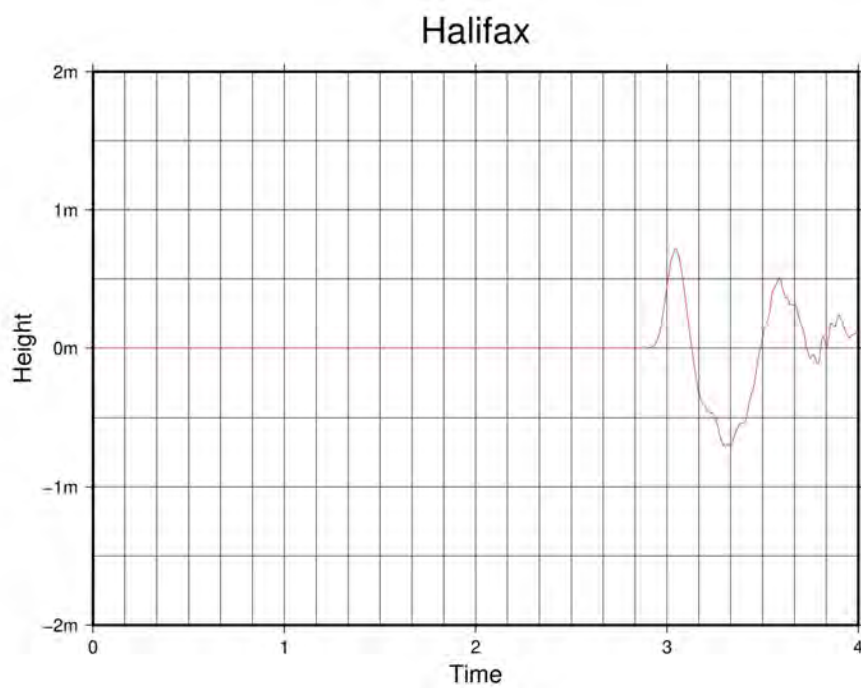


図 2  
Halifax ( カナダ ) での津波計算波形

( 1 ) 実施機関名：

北海道大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

火山活動即時解析表示システムの開発

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

火山

( 4 ) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

前建議研究課題 1009 において、火山情報や気象情報など、インターネット上で入手可能な各種防災情報を準リアルタイムで収集・表示するシステムの構築に取り組んできた。このシステムは、地方自治体における噴火前兆期や噴火活動期の減災対応において、未確立な予知技術を補完する情報ツールとすることを目指してきた。また、地方自治体での活用も同時に進めており、ここまでの実績に立脚してさらに研究を発展させる余地がある。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

火山噴火が切迫した段階または噴火中には、火山性地震や微動が頻発したり、大きな地盤変動が急激に進行したりする場合がある。このようなケースでは、研究者や現業者が手動で地震波形や地盤変動データを読み取って震源や力源を推定することは多くの場合困難であり、精度を多少犠牲にしてもほぼリアルタイムで自動的に震源や力源が推定できるシステムの方が有用性は高い。そのため、本研究課題では、5 年間でこうした自動処理システムを試作するとともに、前建議計画で開発した準リアルタイム火山情報表示システムの追加表示コンテンツとして組み込む。将来的には、こうしたシステムを、現業機関や、地元自治体火山防災協議会メンバーの火山専門家に利用してもらうことで、火山噴火の災害誘因予測を、迅速かつ的確な状況把握と災害対応の支援につなげることを目指す。本計画ではこのための実験的展開も行う。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

地震波形・GNSS・傾斜計等のデータを即時解析して震源や地盤変動源を表示するシステムを試作する。試作したシステムは、前計画で開発した準リアルタイム火山情報表示システムのコンテンツの一部としても活用し、地元自治体火山防災協議会のメンバーとなる専門家がアドバイスをを行うにあたっての支援ツールとしての利用を念頭に置く。これに加えて、自治体の防災担当者にこの情報表示システムを平常時から活用してもらえよう、火山以外の観測・防災情報(例えば気象情報や地震活動など)についても、ユーザの要望を取り入れながら改良を進める。R1年度とR2年度は、代表機関と東北大を中心にシステム設計を進め、R3年度以降は九州地方への展開も行う。

令和1年度:地殻変動源自動推定ツール・振幅震源自動推定ツールの設計。前計画で設置したシステムの入替え(北海道・東北)

令和2年度:システム開発。前計画設置システムの入替え(北海道・東北)

令和3年度:九州地方へのシステム展開。前計画で設置したシステムの入替え。

令和4年度:システム改修。前計画で設置したシステムの入替え。

令和5年度:九州地方へのシステム展開。5カ年の総括。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

今年度は、表示システムに新たに導入するコンテンツとして、振幅震源自動推定ツールと地殻変動源自動推定ツールの基本設計に取り組んだ。まず、5月には北海道大学と東北大の実施担当者が札幌で会合を開き、上記ツールが満たすべき要件について議論した。

振幅震源自動推定ツールについては、Battaglia and Aki (2003) および Kumagai et al. (2010) の解析手法を用いて試作を進めている。winシステムでテレメータされている地震波形のデータを用いて、専用の解析サーバー上で震源を逐次推定し、結果を画像として保存していく処理系を考えている。ここまでに、win-UDPパケットを受信して自動解析を行うプログラムの試作と北大サーバ内での試運転を開始した。

地殻変動源自動推定ツールについては、リアルタイムでテレメータされるGNSSデータを念頭に置いたソース推定を予定しているが、インバージョンで最適解のみを求めるのではなく、あらかじめ火山周辺にグリッド状に圧力源モデルを配置しておき、観測データが流れ込むに従って、それぞれのグリッド点における膨張・収縮量の最適値を推定・表示する仕様を検討している。このようにすることで、ソース推定の不確かさの情報も含めて表示できるため、意思決定に役立つと考えられる。

なお、前計画で設置したシステムについては、老朽化した機材の入替えを行いつつ、通信契約の切り替えも適宜進めている。また、現行の表示システムを利用しているユーザーからは、不具合の報告や今後の改良に関する要望もあった。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

振幅震源自動推定ツールについては、テスト運用の結果に基づいて不具合の修正や改良を行い、表示システムへの実装試験までを行う。地殻変動源自動推定ツールについては、ノイズ付きのシンセティックデータを用いて茂木モデルによるソース推定ツールを試作する。これらのツール開発と平行して、老朽化したシステムの入替え作業も随時進めていく。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

橋本武志(北大) 課題連絡担当者

青山 裕(北大)

高橋浩晃(北大)

谷岡勇市郎(北大)

大園真子(北大)

田中 良(北大)

他機関との共同研究の有無：有

山本 希(東北大)システム設置・メンテナンス・地元自治体等のニーズ調査(蔵王山など)

太田雄策(東北大)地殻変動源推定ツールの設計。

大倉敬宏(京大理)システム設置・メンテナンス・地元自治体等のニーズ調査(阿蘇山など)。火山防災協議会メンバーとしての実験的利用と開発へのフィードバック。

松島 健(九大)システム設置・メンテナンス・地元自治体等のニーズ調査(雲仙など)

石峯康浩(鹿大)全国の火山防災協議会の動向調査。システム設置・メンテナンス・地元自治体等のニーズ調査(霧島山など)

気象庁 気象庁データの使用に関する調整。

防災科研 防災科研データの使用に関する調整。

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話：011-706-2892

e-mail：

URL：

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：橋本武志

所属：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

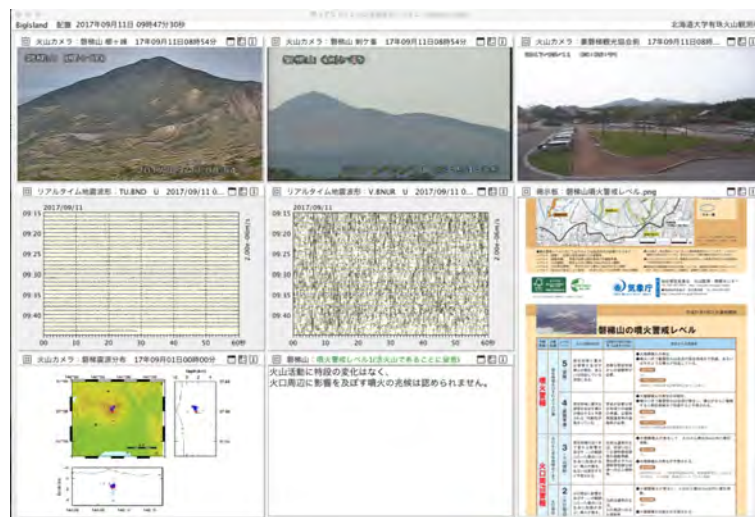


図1. 磐梯山噴火記念館で提示の一部として導入されている前計画システムの画面



( 1 ) 実施機関名：

北海道大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地理空間情報の総合的活用による災害への社会的脆弱性克服に関する人間科学的研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

イ. 津波の事前評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

イ. 津波の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

( 5 ) 総合的研究との関連：

## 千島海溝沿いの巨大地震

### (6) 平成30年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要:

課題番号 1006 「地理空間情報の総合的活用による災害に対する社会的脆弱性克服のための基礎研究」  
に関する成果として以下のものがある。

#### a. 防災GISに関して出版した書籍

- ・橋本雄一編(2017):『二訂版 QGISの基本と防災活用』古今書院.
- ・橋本雄一編(2016):『四訂版 GISと地理空間情報 ArcGIS10.3.1とダウンロードデータの活用』古今書院.
- ・橋本雄一編(2015):『QGISの基本と防災活用』古今書院.
- ・橋本雄一編(2014):『三訂版 GISと地理空間情報 ArcGIS10.2とダウンロードデータの活用』古今書院.

#### b. 地理空間情報とGISの統合的活用法と地域防災力を強化に関する研究

- ・塩崎大輔, 橋本雄一(2017): オープンソースライブラリを用いた津波浸水に関する時間発展の可視化. 地理情報システム学会講演論文集, 26, CD-ROM.
  - ・川村 壮, 橋本雄一(2017): 津波浸水の時間経過を考慮した建物ごとの避難可能性の時空間分析 - 北海道苫小牧市を事例として -. 地理情報システム学会講演論文集, 26, CD-ROM.
  - ・橋本雄一(2016) オープンデータとGISを活用し地域防災力を強化する. 測量, 33(3), 4-5.
  - ・橋本雄一(2016): 地域の防災計画にGISを活かす. 地理, 61(4), 18-25.
  - ・仁平尊明, 橋本雄一(2015): 釧路市における自主防災組織の活動から見た津波避難の課題. 地理学論集, 90, 1-14.
  - ・最上龍之介, 橋本雄一(2015): 積雪寒冷地における保育園の津波集団避難 北海道釧路市における認可保育園を事例に . 地理学評論, 88(6), 571-590.
  - ・川村 壮, 橋本雄一(2015): 都市計画基礎調査を用いた積雪寒冷地の港湾都市における津波災害リスクの空間分析. 地理情報システム学会講演論文集, 24, CD-ROM.
  - ・三好達也, 橋本雄一(2015): 国勢調査人口メッシュと消防署データを利用した地域分析. 地理情報システム学会講演論文集, 24, CD-ROM.
  - ・橋本雄一(2014): 北海道における津波浸水想定域人口の推定. 北海道大学文学研究科紀要, 144.31-65.
  - ・深田秀実, 橋本雄一(2014): 地方自治体における自立的な津波ハザードマップ作成のためのPM手法適用可能性に関する検討. 地理情報システム学会講演論文集, 23, CD-ROM.
  - ・三好達也, 橋本雄一(2014): 国勢調査人口メッシュと避難施設データを利用した地域分析. 地理情報システム学会講演論文集, 23, CD-ROM.
  - ・川村 壮, 橋本雄一(2014): 積雪寒冷地における港湾都市の内部構造と津波災害に関する時空間分析. 地理情報システム学会講演論文集, 23, CD-ROM.
  - ・川村真也, 深田秀実, 橋本雄一(2014): ファジィAHPによる観光地の地域特性分析. 地理情報システム学会講演論文集, 23, CD-ROM.
  - ・最上龍之介, 橋本雄一(2014): 釧路市における保育施設の立地と津波災害時避難に関する空間分析. 地理情報システム学会講演論文集, 23, CD-ROM.
- #### c. 衛星測位とGISを活用した積雪寒冷地の災害時避難の研究
- ・奥野祐介, 塩崎大輔, 橋本雄一(2017): 観光都市における疑似的津波集団避難に関する移動軌跡データ分析. 地理情報システム学会講演論文集, 26, CD-ROM.
  - ・深田 秀実, 橋本 雄一, 沖 観行(2017): 津波避難ビルの階段上昇を含む避難行動シミュレーション - 釧路市橋北地区を対象とした基礎的検討 -. 地理情報システム学会講演論文集, 26, CD-ROM.
  - ・奥野祐介, 塩崎大輔, 橋本雄一(2016): GNSSを用いた津波集団避難行動に関する移動軌跡データ分析. 地理情報システム学会講演論文集, 25, CD-ROM.

- ・深田秀実，橋本雄一，沖 観行( 2016 ): 津波避難における個人行動シミュレーション分析の試み．日本災害情報学会第 18 回学会大会予稿集, A5-3, pp.46-47 .
- ・奥野祐介，橋本雄一( 2015 ): 積雪寒冷地における疑似的津波避難に関する移動軌跡データ分析．GIS - 理論と応用, 23 ( 1 ), 11-20 .
- ・最上龍之介，橋本雄一( 2015 ): 積雪寒冷地における保育園の津波集団避難 北海道釧路市における認可保育園を事例に ，地理学評論, 88(6), 571-590 .
- ・奥野祐介，塩崎大輔, 橋本雄一( 2015 ): GNSS を用いた津波集団避難実験と移動軌跡データ分析．地理情報システム学会講演論文集, 24, CD-ROM .
- ・奥野祐介，橋本雄一( 2014 ): 積雪寒冷地における疑似的避難行動軌跡データを用いた避難経路の状況分析 - 北海道二セコ町を事例として - ．地理情報システム学会講演論文集, 23, CD-ROM .

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

2007 年に地理空間情報活用推進基本法が制定され，それを受けて翌年には地理空間情報活用推進基本計画( 一次 ) が閣議決定された。これらにより日本では法的根拠を持って国家的な地理空間情報の整備や更新が行われるようになった。さらに，東日本大震災の経験により，防災を中心とした地理空間情報の整備や活用が望まれるようになった。そこで，前期の「災害の軽減に貢献するための地震・火山噴火観測研究計画」では，地理空間情報( G 空間情報 )，GIS( 地理情報システム )，衛星測位( GPS，準天頂測位システムなど ) を統合活用し，防災・減災に活用するための基礎的システムを開発し，それによって高精度避難ナビゲーションシステムを含む防災・減災のための情報システム構築などを目指し，成果をあげた。

今期の計画において本研究は，地理空間情報，GIS，衛星測位に現代的 ICT 技術，AI，IoT などを統合し，避難行動に関するマイクロジオデータ等を収集して，防災・減災に関して社会的有効性の高い統合的な情報活用システムを開発する。

本研究では開発したシステムを援用し，都市的な地域開発と災害誘因となる自然現象とで人的被害や経済的被害を分析することで災害リスクの解明を行い，その結果から「災害に対する社会的脆弱性( Vulnerability )」について，人文社会科学と自然科学の両方の立場から議論を行う。特に，ここでは地方レベル，市町村レベル，町内会レベルというように空間スケールごとに分析を行ない，各スケールにおける開発と災害リスクの関係やリスク軽減のための課題などを明らかにする。

上記の分析結果を受けて，防災・減災の対策を情報流通の面から検討する。特に，災害リスクを軽減させるために，国，地方自治体，住民組織，住民個人の間で，どのような情報流通を行う必要があるか明らかにし，それによって「災害に対する社会的脆弱性( Vulnerability )」克服のための可能性を探る。

特に本研究は，地震本部により発生が切迫している可能性が高いと評価された千島海溝南部の超巨大地震による津波を想定し，北海道東部太平洋沿岸( 釧路市，厚岸町など ) の積雪寒冷地を主なフィールドとして研究を進める。これらのフィールドは，道路の凍結や，堆積した雪による歩道の幅員減少など，冬季( 積雪期 ) に避難移動を困難にする要素が増加する。このような状況を想定し，本研究は積雪寒冷地の防災・減災に向けた情報システムの開発と活用についても研究を進める。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

平成 31 年度においては，災害の人文社会学的研究に関する地理空間情報，GIS，衛星測位の統合的活用方法の開発を行う。準天頂衛星システムは平成 29 年度に衛星 4 機体制となったため，衛星測位で取得できる位置データや標高データの精度が大幅に向上した。当年度には準天頂衛星システムを用いた活用方法の開発と実証実験を行い，さらに従来空間分析手法の改良などを行う。なお，当年度では平成 27 年国勢調査小地域統計など最新の人口や土地利用を収集し，これまでに収集したデータと融合させて，分析に用いる時空間データベースの作成を行う。

平成 32 年度においては，地方レベル・市町村レベル・町内会レベルでの人口や土地利用などの地理

空間情報を用いた津波浸水による津波被害に関する分析、避難施設と避難困難地域（津波到達までに避難場所に到達できない地域）に関する分析、住民の避難行動に関する分析などを行う。当年度には、積雪寒冷地である北海道全域を対象に、現在、北海道総務部危機対策課が整備を続けている津波浸水想定データを用いて、マクロな視点による津波被害分析を行う。その際には人口や土地利用のデータを時系列的に収集し、GISに取り込んで空間データベースを構築した後に、都市の変化と災害リスクとの関係について分析する。

平成33年度においては、積雪寒冷地である北海道沿岸の事例市町村を選定し、人口、土地利用、津波浸水想定だけでなく、避難施設と避難困難地域に関するデータの収集と分析を行う。事例市町村としては、地震本部により発生が切迫している可能性が高いと評価された千島海溝南部の超巨大地震による津波の浸水想定域が広範囲に及ぶ東部太平洋沿岸の釧路市や厚岸町などとする。道路の凍結や堆積した雪による歩道の幅員減少など、冬季（積雪期）に避難移動を困難にする要素を加え、避難施設や避難ルートなど住民避難に関する地理空間情報を用いて空間データベースを構築する。この分析により、生活レベルのミクロな視点で、各自治体のもつ「災害に対する社会的脆弱性」に関する分析を行う。

平成34年度においては、ここまでの結果を受けて、当年度には事例市町村の津波浸水想定域における町内会レベルもしくは個人レベルの避難に関する分析を行なう。その際には、準天頂生成に対応した津波避難支援ナビゲーションシステムを用い、何が避難の障害になり、何が避難をサポートするのか、ミクロレベルでの地物に関する分析を行う。また、集団での避難実験の移動ログを収集し、個人レベルとは異なる避難の障害を抽出する。最後に各スケールにおける開発と災害リスクの関係やリスク軽減のための課題などを明らかにし、「自助・共助を最適化する公助」について考察を行う。

平成35年度においては、上記の分析を継続しつつ、当年度には自治体・住民組織を対象とした災害関係の情報流通に関する分析を行う。ここでは、防災・減災の対策を、各種避難警報やハザードマップなどを要素とした情報の流通に関して検討する。特に、災害リスクを軽減させるために、国・地方自治体・住民組織・住民個人の間で、どのような情報流通を行う必要があるか、自治体、住民などへの聞き取りから明らかにする。また、この情報流通を加速させる手段について、自治体と協力し実証実験を行う。この研究では、自宅から避難場所までの住民行動を総合的に扱い、避難開始や避難場所選定などに関する住民の意思決定についてはファジー AHP などの手法で分析する。また、避難移動に関しては現実空間の模擬避難実験と仮想空間の避難シミュレーションを統合して分析する。

最終年度である平成36年度には以上の分析成果を統合し、津波災害時の住民避難の課題を抽出し、地域開発と災害に対する関係性を考慮して、災害に関する社会的脆弱性を明らかにする。なお、災害の危険生が高い地域で積雪寒冷地の地域性を考慮した研究を行うために、積雪のある冬季と、積雪のない夏季の2時期での検討に重点を置く。

また、全ての年度を通じて、地域防災のための公開講座や講演会の開催や、自治体防災担当者への講義や防災GISハンズオンセミナーなどを実施する。北海道総務部危機対策課の防災アドバイザー制度を利用して自治体への防災GISの普及を試みるほか、北海道大学と自治体との相互協定等を利用して防災教育活動・地域貢献を実施し、効果的な研究成果の普及手法を探る。

#### (9) 令和元年度の成果の概要：

##### 1. はじめに

令和元年度には、災害の人文社会学的研究に関する地理空間情報、GIS、衛星測位の統合的活用方法の開発を行った。平成29年度に準天頂衛星システムが衛星4機体制となったため、衛星測位で取得できる位置データや標高データの精度が大幅に向上した。当年度には準天頂衛星システムを用いた活用方法の開発と実証実験を行い、さらに従来空間分析手法の改良などを行った。なお、当年度では平成27年国勢調査小地域統計など最新の人口や土地利用を収集し、これまでに収集したデータと融合させて、分析に用いる時空間データベースの作成を行い、今後作業を継続していく。

具体的な成果として、平成元年度には避難訓練結果を可視化する避難訓練可視化システムを開発し、

集団避難実験における運用を通して、システムの効果及び課題を検証した。

## 2．研究方法及びシステム概要

本研究ではまず移動軌跡情報を送信する端末アプリと、受信した軌跡情報を格納し WebGIS 上に可視化する避難訓練可視化システムを開発する。次に、北海道釧路市及び稚内市の津波浸水地域にて津波集団避難実験を行い、その中で避難訓練可視化システムを運用する。実験後にそれぞれ避難軌跡及び津波浸水データを可視化し、避難実験参加者に対して実験結果をフィードバックする。最後に参加者に対して、フィードバック前後にアンケート調査を行い、その調査結果からシステムの効果及び課題を検証する。

避難訓練可視化システムは避難訓練参加者の軌跡情報をリアルタイムに収集する端末アプリと、訓練結果を津波浸水想定データ等の災害関連情報と合わせて表示する可視化アプリから構成される。可視化アプリの特徴は WebGIS ライブラリである Cesium を用いることにより、移動軌跡や津波浸水の変化を動的に可視化できるという点にある。実際の災害発生時では、発災時緊急避難行動や状況把握などを行なった後に避難行動を行うため、避難訓練時よりも避難行動開始時間が遅くなることが考えられる。位置情報収集アプリは起動されると 5 秒間隔で位置情報を収集し、モバイルネットワーク機能を通じて 1 分毎に Web サーバに送信する。

本システムが避難行動を可視化する際に利用する背景地図は、国土交通省国土地理院が提供する地理院地図である。

津波浸水想定データは北海道危機対策局危機対策課から提供された、北海道沿岸部に最大想定津波浸水を想定したシミュレーションデータを利用する。

## 3．集団避難実験及び避難軌跡可視化結果

津波集団避難実験は 2018 年度と 2019 年度にそれぞれ実施された。2018 年度は北海道釧路市で 2 ルート、厚岸町で 1 ルート設定し、北海道大学文学部で開講された地域システム科学演習を受講した学部生、院生の 36 名が参加した。この実験に関しては、奥野ほか(2018)が集団避難行動の分析結果と合わせて発表しているのを参考にしたい。

2019 年度の実験は、稚内市で避難経路を 3 ルート設定し、北海道大学文学部の学部生、院生の 38 名が参加した。3 ルート目は津波災害と合わせて、地震に伴う土砂災害が発生するという複合的な要因を設定した。この実験では、土砂災害危険エリア前に運営スタッフが待機しており、実験参加者が土砂災害危険地域に近づくとスタッフが土砂災害のため通行止めになっていること、そしてスタッフの誘導に従って避難するよう参加者にアナウンスし避難経路を変更した

実験後に参加者に対して避難実験結果をフィードバックする時間を設けた。フィードバック学習はプロジェクターに映し出された内容を基に説明を行う講義形式で行った。まず支援システムにより可視化された訓練結果を参加者に示し、その後詳細な説明を行った(図 1)。

2018 年度の釧路市の実験では、訓練中に集団の避難速度が変化し注目しフィードバック学習を行った。例えば 1 回目の実験では参加者が、信号の切り替わりと共に行動速度が速く信号を渡り切った集団と、信号で立ち往生した集団に分断された。信号で足止めされた集団はその後、避難ビルにたどり着く直前で浸水エリアと重なったという結果を支援システムにて示し、避難の遅れが被災につながるリスクを説明した(図 2)。

稚内市の実験では、浸水エリアの変化が津波発生場所によって異なるという特性に着目してフィードバック学習を構成した。稚内市が想定する津波浸水の開始時間は、北海道が津波浸水想定計算に利用した津波断層モデル F01 で 15 分、F02F03 連動モデルで 36 分とされている。しかし F01 は浸水開始 15 分頃に比較的小規模な浸水が発生し、その 1 時間後に宗谷湾内で勢力を増した津波が再び浸水を生じさせるという特徴が挙げられる。このような湾内で津波の勢力が増す現象は、函館湾でも見られる現象であるが、ハザードマップからはそうした特徴は読み取れない(塩崎・橋本, 2017)。ここに土砂災害等複合的な要因をシステム上でシミュレーションし説明することで、多様な状況を参加者にフィードバックすることができた(図 3)。

## 4．釧路市におけるフィードバック学習の効果

ここでは釧路市避難実験後に行われた、フィードバック学習前後のアンケート調査結果をまとめる。アンケート項目はまず「今回の避難訓練では、迅速な避難ができましたか？」という問いに対して「はい」または「いいえ」で回答し、その理由を自由記述で回答してもらった。次に「今回の避難訓練・振り返り学習を通して、避難行動を考える上で最も重要だと思ったことはなんですか？」という問いに対して7つの選択肢を用意し回答させ、その理由を自由記述で記載してもらった。

まず訓練の成否を自己評価する問いに対して、フィードバック学習前では50%の参加者が「はい」を選択した。1回目の実験では、浸水が迫る前に避難できた参加者は3名だったが、支援システムを利用する前では評価基準が乏しくかったためと考えられる。フィードバック学習後に行ったアンケート調査では、「はい」を選択した参加者が29%、「いいえ」を選択した参加者が71%であった。浸水エリアと避難者が重なるといった客観的データが可視化されたことにより、参加者の評価が変化した。

次に避難行動時の重要項目に対するアンケート調査結果を見ていく。フィードバック前では「避難所位置の確認」と「避難経路の確認」を選択した回答者がそれぞれ40%であった。フィードバック学習後の調査結果では、「避難行動速度」を選択した39%であった。次いで「避難経路の確認」が28%、「避難所位置の確認」が19%であった。津波浸水の時間発展と自身行動をあわせて確認することにより、よりすばやく避難を行うことが重要であるという認識を持ったことが、行動速度を重要視した一つの要因ではないかと考えられる。

#### 5. 稚内市におけるフィードバック学習

稚内市のフィードバック学習前後でも、釧路市と同様のアンケート調査が行われた。まず学習前の避難訓練成否に関しては、回答者28名中「はい」を選択した参加者が68%であった。特に3回目の実験結果から、6名の参加者がスタッフの誘導にスムーズに対応できた点を評価した。学習後のアンケートでは、「はい」が54%に対して、「いいえ」が46%と増加した。評価を改めた4名のうち3名は、複合災害に対する意識がなかった点を理由として挙げ、1名は避難速度を理由に挙げていた。

次に避難行動時の重要項目に対するアンケート調査結果を見ていく(図5)。「避難所位置の確認」と「避難経路の確認」を選択した回答者がそれぞれ42%であった。釧路市の結果と合わせてみても、避難訓練参加者の重要視する項目は、この2項目に絞られることが明らかとなった。しかしフィードバック学習後の回答では、避難所位置が25%、避難経路が32%と比率を下げた。最も割合を増やした項目が「事前の防災学習」で、4%から25%となった。次いで「避難行動速度」が7%から14%となった。2度浸水が起こるといった津波の特徴や、複合的な災害といったそれまで知られていなかった内容が、参加者の意識に強く残ったのではないかと考えられる。

#### 5. おわりに

本研究は避難訓練結果を可視化する避難訓練可視化システムを開発し、集団避難実験における運用を通して、システムの効果及び課題を検証することを目的とした。避難訓練可視化システムの運用はおおむね良好に進められた。特に端末側アプリの機能簡略化によって、参加者もアプリを意識することなく、避難行動を行うことができた。

システムを利用したフィードバック学習に関しては、動的な訓練結果と災害関連情報を可視化することによって、参加者の防災意識を変化させる効果があったと考えられる。まず、訓練成否の自己評価に関して、主観的な評価から客観的な評価に変化した点が特徴として挙げられる。また、システムによる津波発生からの経過時間を意識した訓練結果の提示により、自身の避難速度や津波浸水の特徴といった点も参加者に意識させたことが評価できた。

今後は同様の実験を進めることによりデータ収集を行い、自治体などの防災計画や防災教育に援用できる分析を進めていく。合わせて建物倒壊や火災、土砂災害など地震発生時に併発する可能性がある現象の再現を行い、状況に応じて被災者の行動がどのように変化するかを明らかにしていく予定である。

#### 参考文献

奥野祐介, 塩崎大輔, 橋本雄一(2015): GNSSを用いた津波集団避難実験と移動軌跡データ分析. 地理情報システム学会講演論文集, 24, CD-ROM.

塩崎大輔, 橋本雄一 (2017): オープンソースライブラリによる津波浸水に関する時間発展の可視化と利活用. 情報処理学会研究報告, 2017-IS-141, 1-6.

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので, 令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

橋本 雄一編著, 2019, 五訂版 GIS と地理空間情報 - ArcGIS 10.7 と ArcGIS Pro 2.3 の活用 -, 古今書院, 175 ページ.

橋本 雄一・塩崎 大輔, 2019, 津波浸水想定データを援用した避難訓練可視化システムの開発と利活用, 地理情報システム学会講演論文集 28, 2019, CD-ROM.

橋本雄一, 2019, 汎用・基盤的データの存続と地理教育, 日本地理学会発表要旨集, 95, 16p.

奥野 祐介・塩崎 大輔・橋本 雄一, 2019, 津波と土砂崩れによる複合災害を想定した集団避難行動分析 - 北海道稚内市を事例として -, 地理情報システム学会講演論文集 28, 2019, CD-ROM.

川村 壮・橋本 雄一・戸松 誠・竹内 慎一, 2019, 積雪寒冷地の港湾都市における建物立地状況と津波からの避難可能性に関する空間分析, 地理情報システム学会講演論文集 28, 2019, CD-ROM.

川村 壮, 橋本 雄一, 戸松 誠, 竹内 慎一, 2019, 港湾都市の津波浸水想定地域における施設立地の変化, 日本地理学会発表要旨集, 96, 50p.

三好 達也・橋本 雄一, 2019, 北海道における GIS コミュニティの発展, 地理情報システム学会講演論文集 28, 2019, CD-ROM.

小野塚 仁海・橋本 雄一, 2019, 生鮮食料品店への近接性からみた日本における買物困難圏の推定, 地理情報システム学会講演論文集 28, 2019, CD-ROM.

小野塚 仁海・橋本 雄一, 2019, 北海道北部における買い物困難圏と移動販売車の果たす役割, 日本地理学会発表要旨集, 96, 90p.

秋本 弘章・橋本 雄一・河合 豊明, 2019, 「地理総合」と GIS - その意義と汎用・基礎データの存続・課題と支援・実践, 学術の動向 24(11), 18-22.

(11) 令和2年度実施計画の概要:

令和2年度においては, 地方レベル・市町村レベル・町内会レベルでの人口や土地利用などの地理空間情報を用いた津波浸水による津波被害に関する分析, 避難施設と避難困難地域(津波到達までに避難場所に到達できない地域)に関する分析, 住民の避難行動に関する分析などを行う。当年度には, 積雪寒冷地である北海道全域を対象に, 現在, 北海道総務部危機対策課が整備を続けている津波浸水想定データを用いて, マクロな視点による津波被害分析を行う。その際には人口や土地利用のデータを時系列的に収集し, GIS に取り込んで空間データベースを構築した後に, 都市の変化と災害リスクとの関係について分析する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

橋本雄一(北海道大学文学研究院)・谷岡勇市郎(北海道大学理学研究院)  
他機関との共同研究の有無: 無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 北海道大学大学院文学研究院

電話:

e-mail: you@let.hokudai.ac.jp

URL: <https://www.let.hokudai.ac.jp/staff/4-4-02/>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 橋本雄一

所属: 北海道大学大学院文学研究院





図1 フィードバック学習時の様子



図2 釧路市実験結果可視化画面



図3 稚内市実験結果可視化画面

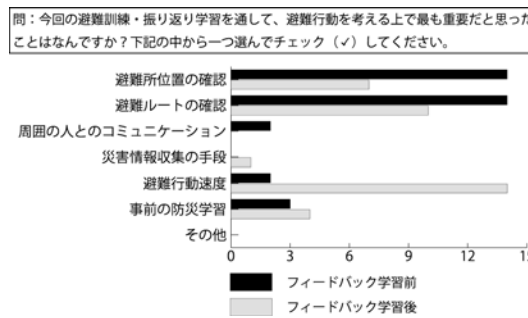


図4 避難行動時の重要項目に対する アンケート 調査結果 (2018 年度, 釧路市)

問：今回の避難訓練・振り返り学習を通して、避難行動を考える上で最も重要だと思ったことはなんですか？下記の中から一つ選んでチェック（✓）してください。

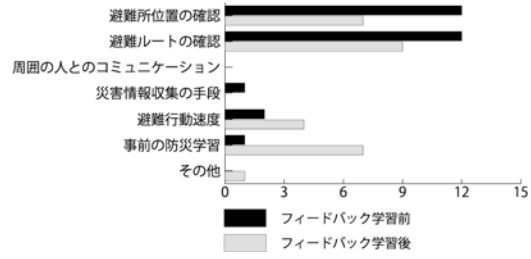


図5 避難行動時の重要項目に対するアンケート調査結果（2019年度，稚内市）

( 1 ) 実施機関名：

北海道大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地殻変動等多項目データの全国流通一元化公開解析システムの高度化

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

イ. 津波の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

イ. 観測・解析技術の開発

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

GNSS データ公開流通サーバの製作を行うとともに、過去の GNSS キャンペーン観測データのアーカイブ作業を行った。地殻変動連続観測等データの全国流通一元化システムの運用を継続するとともに機能強化を実施し、潮汐予測や理論ひずみ波形計算機能等を付加したほか、電磁気観測データや超伝導重力計データ等の収集を新たに開始した。地殻変動連続観測の学習キットを作成し技術研修を行って計測技術の伝承を図った。

( 7 ) 本課題の5か年の到達目標 :

地殻変動連続観測や GNSS など、地殻変動等の多項目観測データを全国に流通させるシステムを運用・高度化して研究基盤として観測研究を支える。地殻変動研究の基盤となるデータの収集や共有・公開を進めるとともに、新たな観測項目や機能の追加、既存機能の高度化・安定化、新たな接続機関の拡大を目指す。サーバやデータ流通経路を分散化し災害に強いシステムを構築する。技術研修を実施し、地殻変動観測技術の伝承を図る。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

地殻変動連続観測、および、GNSS データサーバの運用を継続し、地殻変動等多項目データ流通一元化・蓄積・公開を継続して行う。データサーバの安定運用と高度化を図り、新たな観測項目や関係機関からのデータの受け入れを行うためのプロトコルを整備する。データの長期保存を図るため、バックアップ作業を実施する。災害に強いシステムとするため、サーバの分散化やデータ流通経路の多重化を検討する。地殻変動観測技術の伝承を目的とした研修会を実施する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

地殻変動連続観測、および、GNSS データサーバの運用を継続し、地殻変動等多項目データの一元的な流通とデータの蓄積などを行った。地殻変動連続観測サーバーでは、419 チャンネルのデータの収集を行っている。GNSS データサーバに格納する過去の機動観測データの発掘・整理を行った。気象庁の地殻ひずみ計データの流通に向けて関係機関との調整を開始した。地殻変動観測技術の伝承を目的としたひずみ計測の研修会を実施し、全国の大学院生や技術職員 20 名程度が参加した。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

地殻変動連続観測と GNSS データサーバの運用を継続し、地殻変動等多項目データ流通一元化・蓄積・公開を継続して行う。整理された過去の GNSS データを汎用フォーマットに変換するとともに、GNSS データサーバに格納する作業を実施する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

高橋浩晃・大園真子(北海道大学大学院理学研究院)

他機関との共同研究の有無:有

北海道立総合研究機構地質・環境研究本部地質研究所(岡崎紀俊)

自然科学研究機構国立天文台水沢V L B I 観測所(田村良明)

東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知観測研究センター(三浦哲、太田雄策)

産業技術総合研究所地質調査総合センター地質情報研究部門(名和一成)

気象庁気象研究所(勝間田明男、小林昭夫)

気象庁地震火山部(宮岡一樹)

東京大学地震研究所(新谷昌人)

神奈川県温泉地学研究所(加藤照之、本多亮、原田昌武、道家涼介)

地震予知総合研究振興会東濃地震科学研究所(浅井康広)

名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター(鷺谷威、伊藤武男)

京都大学防災研究所附属地震予知研究センター(山崎健一、山下裕亮、西村卓也)

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設(柴田智郎)

高知大学自然科学系理学部門(田部井隆雄、大久保慎人)

九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター(松島健)

鹿児島大学大学院学術研究院(中尾茂)

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話：011-706-3591

e-mail：isv-web@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL：https://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/

( 14 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：高橋浩晃

所属：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

( 1 ) 実施機関名：

北海道大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

千島海溝沿いの巨大地震津波災害軽減に向けた総合研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

イ. 津波の事前評価手法

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

イ. 津波の即時予測手法

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

#### 4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

- (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明
- (2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

#### 5 研究を推進するための体制の整備

- (3) 研究基盤の開発・整備
  - ア. 観測基盤の整備
  - ウ. 地震・火山現象のデータ流通
- (4) 関連研究分野との連携強化
- (5) 国際共同研究・国際協力
- (6) 社会との共通理解の醸成と災害教育
- (7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

#### (5) 総合的研究との関連：

千島海溝沿いの巨大地震

#### (6) 平成 30 年度までの関連する研究成果（または観測実績）の概要：

千島海溝沿岸の津波堆積物調査から、イベントごとに分布や層厚などが異なっていることを明らかにした。十勝沖と根室沖で反射強度が異なること、中規模地震の応力降下量が大きいことを明らかにした。世界の海溝型巨大地震で長期静穏化が普遍的に見られることを明らかにした。千島海溝南部の 17 世紀初頭の超巨大地震の断層モデルを作成した。津波波源近傍の海底水圧計データを同化して伝播シミュレーションを行う手法を開発した。避難訓練データを GIS で解析し冬季避難行動等の課題を明らかにした。

#### (7) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震調査研究推進本部は、千島海溝沿いで M8.8 程度以上の超巨大地震の発生が切迫していると評価している。千島海溝沿いで超巨大地震が発生すれば、北海道を中心に津波や地震動による広域的な複合災害となる。本研究では、津波堆積物やプレート間固着状況、地震活動などの調査観測から地殻活動の現況把握に必要なデータの取得を目指すとともに、津波・地震動等の事前・即時予測手法の高度化等の防災対策を下支えする研究を実施し、超巨大地震現象の解明に基づく地震津波災害の軽減を目指した基礎的な研究を総合的に実施する。

北海道東部を中心に津波堆積物調査を継続し、千島海溝南部の古地震や古津波履歴の高度化を図る。千島海溝南部の海底地殻変動観測と連携し、北海道陸域を含む広域的な地殻変動場のデータからプレート間固着状況の推定を行う。中長期的な地殻活動の時空間変化を震源カタログや海底地震観測等から調査する。津波の事前・即時予測手法の高度化を実施する。広帯域強震動予測に向けて震源特性や地盤特性を検討するとともに、古地震による液状化履歴の特性を検討する。地殻活動の現況や研究成果を関係機関や社会と共有する。

#### (8) 本課題の 5 か年計画の概要：

津波堆積物調査：千島海溝南部沿岸から東北地方太平洋沿岸北部にかけて広域的な津波堆積物調査を継続する。堆積物の堆積構造や層厚などの広域比較から、イベントごとの特徴を抽出し、古津波の多様性と共通性を検討する。



地殻変動観測：千島海溝南部のプレート沈み込み形状や陸上 GNSS 観測点分布から、効果的にプレート間固着の検出が可能な海底地殻変動観測基準局の配置を検討する。海底地殻変動観測から得られる地殻変動データと、北海道陸域からアジア北東部にかけての広域的な地殻変動データを統合し、十勝根室沖のプレート間固着率の推定を行う。

地殻活動評価：地震カタログ等を用いて、大地震前後や中長期的な地震活動の特徴を定量的に検討する。十勝根室沖で海底地震観測等を実施し、地震活動の空間的な特徴やプレート間固着率との比較を行う。過去の地殻活動を系統的に表現する手法の検討を行う。

津波の事前・即時予測手法の高度化：S-net を用いた津波即時予測手法の高度化を継続する。地震活動や地殻変動観測から得られるプレート間固着率の情報などを用いて、複数の津波事前予測シナリオを作成する。津波避難シミュレーションに、津波事前予測から見積もられる誤差を含めた浸水予測情報を提供する。

強震動予測：千島海溝南部で発生する地震の多様な震源特性を検討する。強震動観測波形や、地盤構造探査から、伝播経路特性や地域ごとの地盤特性を明らかにし、強震動予測の高精度化・広帯域化を試みる。過去の液化化情報を収集し古地震との関係を検討する。

現況データや成果の社会との共有：関係機関等と地殻活動の情報共有を行うとともに、自治体などの防災計画立案を支援し、さらに公開シンポジウム等を通じて地域防災力の向上を目指す。

#### ( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

北海道太平洋岸の古津波情報を高度化ため、キーとなる地点での再調査、再検討を実施した。複数点での掘削から地域内の整合性を確認し、泥炭の質について珪藻分析、CT 画像の利用、植物相の検討を行い、年代較正曲線の形から必要な層準を決めて採取したサンプルで年代を測定した。その結果、17 世紀前半のイベントについては、胆振地方の伊達市有珠、登別市富岸・竹浦の津波堆積物は 1640 年北海道駒ヶ岳噴火起源であること、白老町社台、苫小牧市勇払、むかわ町汐見の津波堆積物は 1611 年慶長地震津波起源の可能性が高いことがわかった。また、十勝の大樹町における 17 世紀津波堆積物の年代は、浦幌町と同様に 1611 年よりは新しい時代のものであると推測され、17 世紀超巨大地震の波源の構築方針を再検討が必要であることが示された。

千島海溝南部の根室沖に海底地殻変動観測基準局を 3 か所設置し、1 回目の測定を実施した( 図 1 )。新たに設置した海底基準局 3 点を含めた固着率の推定精度の感度検定を実施し、陸域の GNSS データのみを用いた場合に比べ、プレート境界浅部での固着の有無の検出が可能になることを示した。

地震活動の静穏化現象を用いて、カムチャツカ半島東岸から千島列島、北海道沖、東北日本沖、伊豆小笠原諸島にかけての沈み込み帯での長期予測を試行した。1988 年から 2015 年までに発生した震源の深さ 70 km 以浅、Mw7.5 以上の 9 地震を予測対象とし、15 年間のサブカタログを作成して空間格子の周囲から 6 個の地震を選び、地震の発生間隔が 11 年以上の場合を「静穏化」と判定して警報 ON にした場合の確率利得は 1.9 となり、ランダムな予測より高い結果が得られた。2019 年 3 月～5 月に、また、釧路・根室沖の地震活動が比較的活発な海域で、海底地震計 10 台を用いた自然地震観測を 2 か月間実施した( 図 2 )。

地殻変動観測や地震活動評価から得られたプレート間固着の状態把握を先見情報として利用し、かつ S-Net で観測される圧力波形データから津波即時予測を実施する手法開発を行った。1 ) S-Net 観測網で地震発生後 500 秒以内に観測された圧力波形を 3 つのタイプに分類することで津波波源域( 地震時隆起域 ) を推定し、かつ隆起域の面積から地震のマグニチュードを推定する手法を開発した。1952 年十勝沖地震と 1968 年十勝沖地震の震源過程に適用し、それぞれ適切な隆起域とマグニチュードの推定が可能であることが確かめられた( Inoue et al., 2019 )。2 ) 前計画で開発された震源域近傍の海底圧力観測データ同化による津波数値計算手法を用いて、実際の S-Net 観測点分布で津波がどの程度可能かを検証した。1968 年十勝沖地震の断層モデルに適用し、津波の高さ分布が過大に見積もられる傾向にあることが分かった( 図 3 )。

千島海溝南部で発生する地震の多様な震源特性・伝播経路特性・地域ごとの地盤による増幅特性を

明らかにするため、2018年北海道胆振東部地震で得られたデータを用いた検討を実施した。この地震は中程度かつ深さが37kmと深く、震央付近においても震源距離が比較的大きいにも関わらず、震度7や震度6強が広い範囲で観測された。この地震の高震度域と札幌都市圏での強震動分布特性について、特に地盤増幅特性に注目して、余震観測記録や微動記録等を用いて地下構造を推定し、強震動が主に地下構造による増幅特性である事を明らかにした。震度7相当値と震度6強が同一敷地内で記録された安平町の追分においては、その原因が浅部の地下構造の変化の影響である事を明らかにした(図4)。

千島海溝における巨大地震について、過去の地震発生履歴検討の基礎資料とするため、北海道内の遺跡に係る調査報告書の記載を再解析し、地盤液化化をはじめとする地盤変状の可能性のある地質構造についてデータベース化に着手した。今年度は釧路・根室地方について調査を実施した。調査対象とした報告書は釧路管内が147件、根室管内が110件である。地盤液化化の痕跡については、根室市温根沼2遺跡で噴砂を伴う地割れが報告されている(北海道埋蔵文化財センター、2018;富永、2019)。明瞭な噴砂や地盤変状をとめない、地層との堆積関係から縄文時代中～後期頃に噴砂を形成するイベントが発生したと推定される。この他にも一部に噴砂を伴う地割れが、海成段丘・河成段丘上の複数の遺跡で見いだされた(図5)。

災害の人文社会学的研究に関する地理空間情報、GIS、衛星測位の統合的活用方法の開発を行った。準天頂衛星システムが衛星4機体制となったため、衛星測位で取得できる位置データや標高データの精度が大幅に向上している。当年度には準天頂衛星システムを用いた活用方法の開発と実証実験を行い、さらに従来の空間分析手法の改良などを行った。平成27年国勢調査小地域統計など最新の人口や土地利用を収集し、これまでに収集したデータと融合させて、分析に用いる時空間データベースの作成を行った。避難訓練結果を可視化する避難訓練可視化システムを開発し、集団避難実験における運用を通して、システムの効果及び課題を検証した。避難訓練可視化システムの運用はおおむね良好に進められた。特に端末側アプリの機能簡略化によって、参加者もアプリを意識することなく、避難行動実験に参加することができた。システムを利用したフィードバック学習に関しては、動的な訓練結果と災害関連情報を可視化することによって、参加者の防災意識を変化させる効果があったと考えられた。関係機関との情報共有や、公開講座・防災機関向け・報道機関向けの地震津波防災勉強会を実施したほか、津波警報時の呼びかけ方法について報道機関とフィールドワークを実施し、地域防災力の向上を図った。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等): 青田裕樹・大園真子・富田史章・高橋浩晃、2019、陸域GNSSデータによる釧路・根室沖の簡易的なプレート間固着の推定、JpGU。

Inoue, M., Y. Tanioka, Y. Yamanaka, 2019, Method for Near-Real Time Estimation of Tsunami Sources Using Ocean Bottom Pressure Sensor Network (S-Net), Geosciences, doi:10.3390/geosciences9070310.

井上真優・谷岡勇市郎・山中悠資、2019、海底圧力観測網(S-net)を用い即時的に津波の規模を推定する手法の開発、JpGU。

西村裕一・石澤堯史・千葉崇・横山祐典・宮入陽介、2019、津波堆積物から描く慶長地震津波(1611年)の北海道における波高分布、歴史地震研究会、O-06、2019。

村井芳夫・勝俣啓・高波鐵夫・渡邊智毅・山品匡史・長郁夫・田中昌之・東龍介、2019、海陸地震観測から得られた北海道南部の島弧-島弧衝突帯から太平洋プレート沈み込み帯前弧域の地震波速度構造、日本地球惑星科学連合2019年大会、SSS12-02。

太田雄策・木戸元之・東龍介・佐藤真樹子・鈴木秀市・山本龍典・高橋秀暢・木村友季保・大塚英人・本莊千枝・日野亮太・大園真子・岡田和見・青田裕樹・高橋浩晃・篠原雅尚・富田史章・金松敏也・Kan-Hsi Hsiung・飯沼卓史、2019、千島海溝南西部根室沖における海底測地観測網の構築、日本地震学会2019年秋季大会。

重藤迪子・高井伸雄・堀田淳・野本真吾・前田宜浩・山中浩明・地元孝輔・津野靖士・是永将宏・山田伸之、2019、北海道むかわ町における単点微動観測、物理探査学会学術講演会講演論文集、140:89-91。

Takai N, Shigefuji M, Horita J, Nomoto S, Maeda T, Ichiyangi M, Takahashi H, Yamanaka H, Chimoto K, Tsuno S, Korenaga M, Yamada N, 2019, Cause of destructive strong ground motion within 1?2 s in Mukawa town during the 2018 Mw 6.6 Hokkaido eastern Iburi earthquake. Earth, Planets and Space 71 :67. doi:10.1186/s40623-019-1044-4.

高井伸雄, 重藤迪子, 2019, 2018年北海道胆振東部地震における強震動と被害の概要. 地震ジャーナル, 67, 10-17.

Tanioka, Y., 2019, Tsunami simulation method assimilating ocean bottom pressure data for real-time tsunami forecast; A case study for the 1968 great earthquake, EGU, 2019

Tanioka, Y., M. Inoue, Y. Yamanaka, 2019, Near-real time estimation of tsunami sources using a classification of waveforms observed at dense ocean bottom pressure sensors, AGU Fall Meeting.

Tanioka, Y., 2019, Tsunami forecast method assimilating ocean bottom pressure data in the source area; A case study for the Tokachi-oki earthquake (Mw8.0), IUGG Fall Meeting.

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

津波堆積物の広域比較を継続し、17世紀超巨大津波の波源推定の検討を進める。海底地殻変動観測を継続して実施する。地震活動の静穏化を利用した手法の有効性を確認するため、南米沖の地震を予測・評価を試みる。回収した海底地震計のデータを用いた震源決定を実施する。津波即時予測手法の改良を継続し、プレート間固着の情報を隆起量に反映させる手法の改良を試みる。札幌都市圏において、北海道胆振東部地震等の高密度の強震記録を地下構造モデル等と比較し分析することで、千島海溝南部で発生する地震の強震動予測の高度化を試みる。液状化痕跡については、多くが縄文～擦文期にかけてのイベントと推定されるが、イベント発生年代や複数イベントが重複している可能性、地すべりに伴うものである可能性について精査を行う。地理空間情報データの収集作業と避難訓練システムの開発を継続する。地域防災力の向上に向けた取り組みを引き続き行う。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

高橋浩晃・谷岡勇市郎・西村裕一・勝俣啓・村井芳夫・大園真子(北海道大学大学院理学研究院)

高井伸雄(北海道大学大学院工学研究院)

橋本雄一(北海道大学大学院文学研究院)

他機関との共同研究の有無 : 有

太田雄策・日野亮太・木戸元之・東龍介(東北大学大学院理学研究科)

石丸聡・大津直(北海道立総合研究機構環境・地質研究本部地質研究所)

ロシア科学アカデミー極東支部、ロシア科学アカデミー地球物理学調査所

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話 : 011-706-3591

e-mail : isv-web@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL : <https://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/>

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 高橋浩晃

所属 : 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

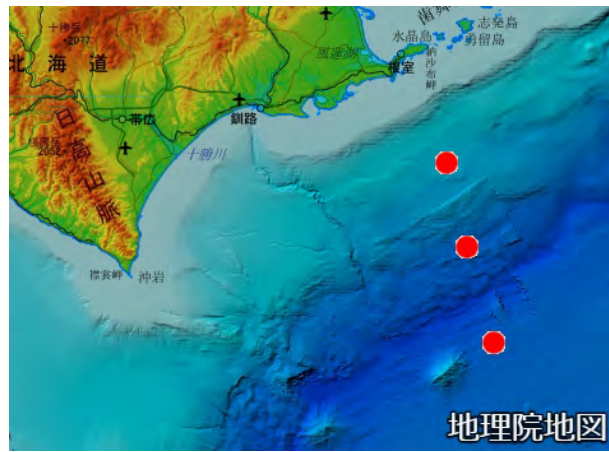


図1 .  
新たに設置された海底地殻変動基準局3か所の分布。

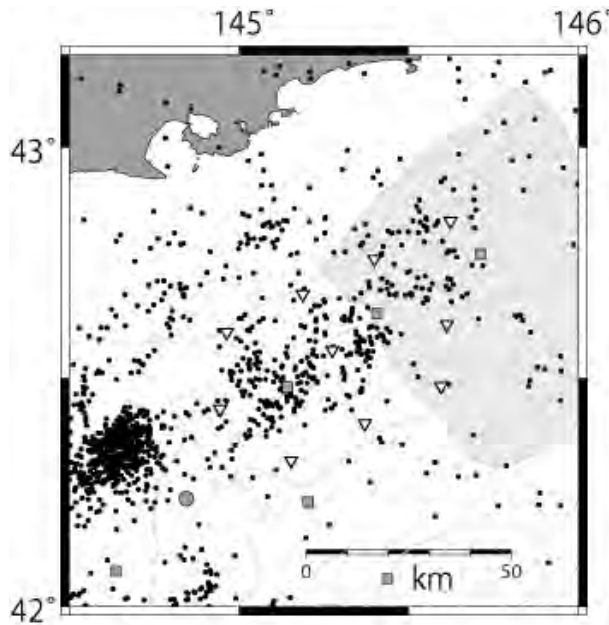


図2 .  
海底地震計の観測点分布（白三角）、海底地震観測によって得られた2006年2月1日～5月15日の震央分布（黒丸）（篠原・他、2009）、S-net 観測点（灰色四角）、海洋研究開発機構の海底地震観測点（灰色丸）をそれぞれ示す。灰色の領域は1973年根室半島沖地震の破壊域（山中・菊地、2002）。

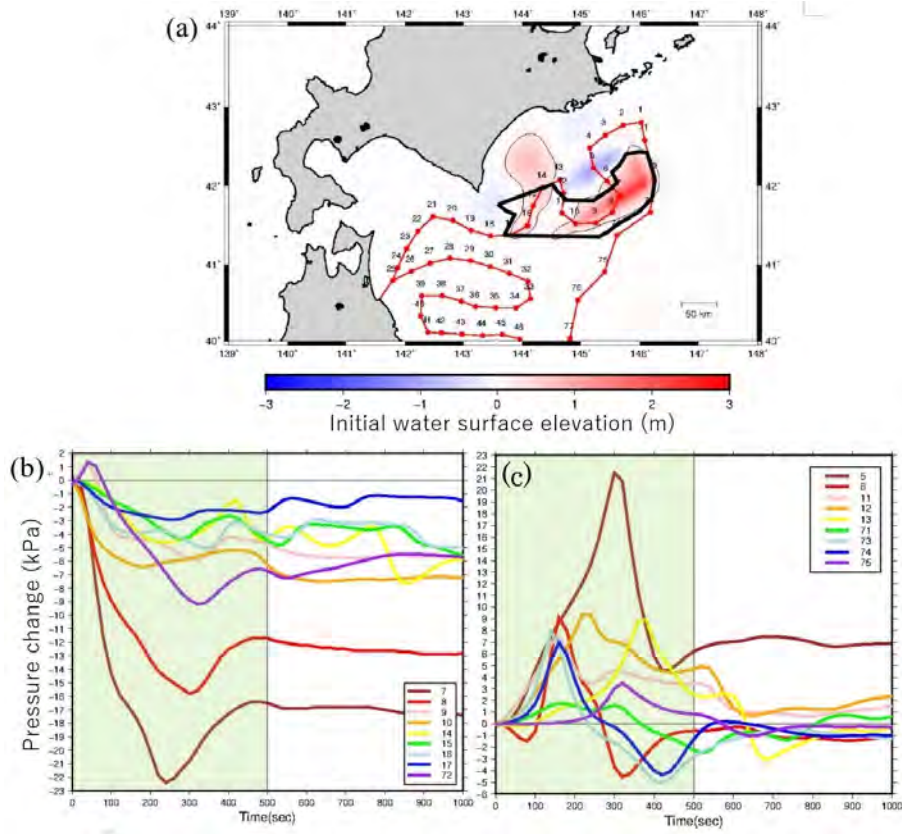


図 3 .  
 1952 年十勝沖地震の地震時隆起域を S-Net 観測網の観測点で計算された圧力波形 ( 500 秒 ) のタイプ分けにより推定した。( Inoue et al., 2019 )

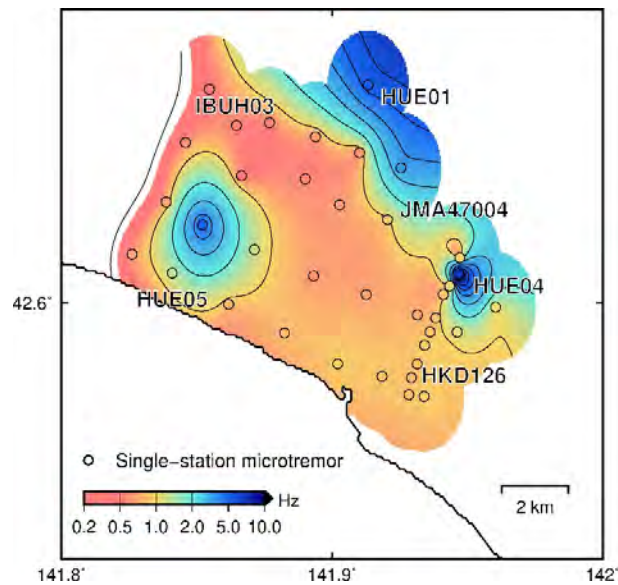


図 4 .  
 むかわ町付近の微動 H/V スペクトルの 1 次卓越周波数の空間分布。被害が大きかった HKD126 周辺が北から南へ固有周期が長くなっている ( 堆積層が厚い ) 事が理解出来る。

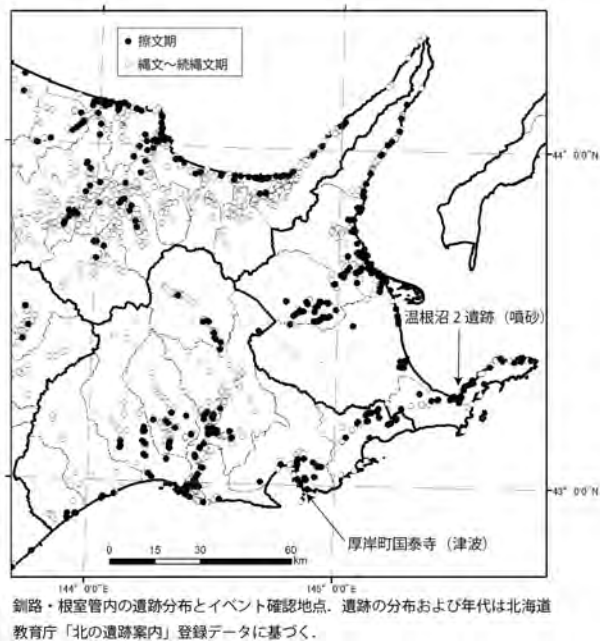


図5 .  
 北海道東部の遺跡分布と今回確認を行ったイベント確認地点（温根沼2遺跡および厚岸町国泰寺）

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震火山史料連携研究機構

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震火山関連史資料に基づく低頻度大規模地震火山災害の調査

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

火山

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

イ. 考古データの収集・集成と分析

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) 関連研究分野との連携強化

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震



( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果 ( または観測実績 ) の概要 :

江戸時代末期に関東地方南部で発生した被害地震である 1855 年安政江戸地震について、史料記述にある被害発生場所の特定を試みた。その結果、地震では軽微な被害であった市街地が、地震後の類焼によって焼失に至った実態が明らかになった。同じく安政江戸地震について、史料記述にある江戸やその周辺地域での被害の記録ではなく、遠地で記された有感地震の記録に基づき、地理情報システムを用いて推定震度分布図を作成した。被害範囲ではなく有感範囲に着目することで、安政江戸地震の規模や震源の深さを検討する際に、従来の研究にはない新たなデータを提供できた。

また、近世の京都盆地に被害を及ぼした 1596 年文禄伏見地震・1662 年寛文近江・若狭地震・1830 年文政京都地震について、信頼性の高い史料記述のみを使用し、歴史学や建築学などの研究成果を援用して、被害地震ごとに推定震度分布図の試作版を作成した。これらの推定震度分布図は地理情報システムを用いて作成しており、他のデータベースや地理情報システムとの統合を指向したものになっている。

さらに、特定地域の歴史地震に関する詳細な被害状況の分析を目的として、地震関連史料データベースと考古資料データベースとを組み合わせ、双方のデータを統合したデータベース及び地理情報システムの試作版を作成した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

本研究課題の目的は、史料データ・考古データなどを用いて、過去に発生した地震・津波や火山噴火の実態を分析し、近代以降の機器観測による観測データとの比較・検討を通じて、低頻度ではあるが大規模な地震・火山現象とそれによる災害の実態を解明することである。

平成 26 年度から実施されている「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」においては、近代的な観測記録が存在しない地震や火山噴火について、地震学や火山学といった理学系の分野だけでなく、歴史学や考古学といった人文学系の分野の研究者も組織的に参加して、連携した研究が実施されている。このような連携研究を主体的に実施しているのが本研究課題であり、史料や考古資料を主軸に据えた研究を基盤として、地震学・火山学や関連諸分野との連携強化を指向した、取りまとめ課題としての役割も有している。

本研究課題では、別の研究課題においてデータ化が進行中の史料データに基づいて、近代以前に発生した地震・津波や火山噴火の現象とその災害の様相を明らかにしていく。史料のデータ化及び史料記述の分析に際しては、東京大学史料編纂所と連携して実施していき、既刊地震史料集に所収されている歴史的に信頼できる史料に加え、新たに調査・収集された史料も活用して、低頻度で大規模な地震・火山現象とそれによる災害の実態を検討する。また、別の研究課題においてデータベース化が進行中の考古データなどを援用して、それらの実態解明を深化させていく。この際に重要になってくるのが史料データと考古データとの統合である。

史料データは被害発生の時期は明確であるが場所は必ずしも明確ではなく、考古データは被害発生の時期に幅があるものの場所は明確である。「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」におけるこれまでの研究では、このような特徴を持った双方のデータについて、被害発生の時期と場所とを結合して連続したデータを作成し、時代・時間情報と位置情報の両方から検索可能なデータベースの構築に向けて、史料・考古の統合データベースの試作版を作成してきた。そこで本研究課題においても、既刊地震史料集を中心とした文献史料に基づく史料データベースと、考古資料に基づく災害痕跡データベースとの統合データベースのシステム構築を目指していく。具体的には、史料記述にある被害発生場所を位置情報 ( 緯度・経度 ) に変換し、史料データと考古データとの統合分析が可能なデータベース及び地理情報システムを構築する。これによって、位置情報という共通の要素を導入部として、双方のデータベースに収められた様々なデータを統合的に利活用できるようにする。

以上のように、本研究課題では今後の 5 か年の間に、上記の史料・考古データの統合データベースを構築・改良しつつ、機器観測以前の長期間にわたる地震火山活動の検討に資するための基礎データを作成していき、近代以前の日本列島における低頻度で大規模な地震・津波や火山現象とそれらによ

る災害の実態を明らかにしていく。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

[ 平成 31・32 年度 ]

別の研究課題において作成された史料データや考古データなどを用いて、近代以前に発生した地震・津波や火山噴火の現象とその災害について、統合的に分析可能なデータベース及び地理情報システムを構築する。また、史料データ・考古データなどから、近代以前の日本列島における地震・津波や火山噴火の現象とその災害の実態を解明する。

[ 平成 33・34 年度 ]

別の研究課題で作成された史料データや考古データなどを用いて、統合データベース及び地理情報システムの構築と改良を継続して実施する。また、これらのデータに基づいて、近代以前の日本列島で発生した地震・津波や火山噴火の現象とその災害の実態を解明し、特に、南海トラフ沿いで発生した巨大地震・津波や西南日本の内陸部で発生した大地震を対象とする。

[ 平成 35 年度 ]

別の研究課題で作成された史料・考古データなどを活用して、統合データベース及び地理情報システムの構築と改良を実施し、公開に向けた整備を行う。また、これらのデータから、近代以前の日本列島で発生した地震・津波や火山噴火の現象とその災害の実態を解明する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

日記史料と観測記録に基づく江戸・東京における有感地震の調査

既刊地震史料集に所収されている日記史料の中から、長期間にわたる江戸での有感地震の記録があるものを選び出し、日記史料ごとに有感地震の回数を集計した。個々の日記史料には有感地震の記録がない年もあるが、複数の日記史料を組み合わせることで有感地震の記録されていない年を補完することができる。17 世紀前半から 19 世紀中頃の江戸屋敷における有感地震の記録がある 6 つの大家の日記史料を用いて、1 年ごとの有感地震の回数を調査した。その結果、1649 年(約 50 回)、1704 年(約 60 回)、1855 年(約 50 回)に特に回数の多い年があった。これらの年はそれぞれ、1649 年 7 月 30 日の慶安川越地震と同年 9 月 1 日の慶安川崎地震、1703 年 12 月 31 日の元禄関東地震、1855 年 11 月 11 日の安政江戸地震が発生した年に対応しており、被害地震の発生直後に多発した余震を示していると考えられる。

また、1885 年以降の東京での有感地震については、気象庁の震度データベースを用いて有感地震の回数を集計した。1 年ごとの震度 2 以上の地震記録を調査した結果、1923 年(36 回)、1924 年(35 回)、2011 年(148 回)に回数の多い年があった。これらは、1923 年 9 月 1 日の大正関東地震、2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震の発生年に対応しており、地震発生直後に多発した余震や誘発された地震を示していると考えられる。

17 世紀前半から 21 世紀初頭までの約 400 年間に及ぶ(1869~1884 年の記録は未調査)江戸・東京での有感地震の回数についてまとめると、周辺や直近で発生した被害地震の直後に特に多くなっている状況がわかる。

史料に基づく前近代の奈良における被害地震の調査

別の研究課題において構築中の「日本歴史地震関連史料データベース」に収められている史料データを用いて、前近代の奈良における被害地震について被害実態を調査した。奈良では、古代・中世・近世の各時代における史料が現存しているために、前近代の長期間にわたって複数の被害地震に関する検討が可能である。但し、現存する史料が公家や寺院の記録に限られるため、古代・中世に発生した地震について被害が判明するのは、東大寺や薬師寺などの寺院に限定される。一方で、地震による被災後も現存している建造物が複数存在しており、史料と建造物の両側面から地震被害について検討できる。

東大寺の鐘楼は、大仏殿東方の高台に位置しており、989 年(永祚元年)の大風による倒壊後に再建

され、1070年(延久二年)、1096年(嘉保三年)、1177年(治承元年)の地震の際には鐘楼自体は倒壊しなかったが、鐘の鈕が切れるなどして鐘が地面に落下した。その後、13世紀初頭には鐘楼が新規に創建されており、1239年(延応元年)には鐘が落下したために釣手金具が新調されている。これ以後は、地震や大風による鐘の落下は確認できないことから、11世紀後半から12世紀後半に至る3回の地震による鐘の落下は、地震の揺れだけでなく、鐘の鈕や釣手金具といった鐘自体と鐘楼との接続部分の脆弱性にも要因があったと考える。

薬師寺は、8世紀初頭の平城京への移築から19世紀中頃までの約1100年間に、1096年(嘉保三年)、1361年(康安元年)、1494年(明応三年)、1707年(宝永四年)、1854年(嘉永七年)の少なくとも5回の地震被害を受けている。その中でも東塔は、8世紀初頭の建立以後、地震や大風によって破損し修復したとする複数の史料記述はあるものの、東塔自体が倒壊したことを窺わせる記述は見当たらない。

史料に記された明確な建造物被害に基づくと、8世紀初頭の平城京遷都から19世紀中頃までの前近代において、奈良に被害を及ぼした地震は少なくとも8回ある。その中には、奈良盆地近傍の内陸活断層による地震の他に、紀伊半島沖で発生した南海トラフ巨大地震(東海地震)も含まれることが、前近代の奈良における被害地震の特徴として挙げられる。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

K. Satake, 2019, Annual Number of Felt Earthquakes in Tokyo in Last 400 Years from Historical Daily Records and Seismic Intensity Measurements, 27th IUGG General Assembly, IUGG19-0496 (Oral), Montreal, Canada, Palais des Congres de Montreal, 8-18 July, 2019.

佐竹健治, 2019, 日記史料と震度データベースからみた過去400年の江戸・東京の有感地震, 第36回歴史地震研究会(徳島大会)講演要旨集, 21.

(11) 令和2年度実施計画の概要 :

別件の研究課題において作成されている史料データや考古データなどを用いて、それらを統合的に分析するためのデータベース及び、地理情報システムの構築に向けて準備作業を実施する。また、これらの史料データ・考古データなどを活用して、前近代の日本列島における地震・津波や火山噴火の現象とその災害の実態についても解明していく。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学地震火山史料連携研究機構

佐竹健治・西山昭仁

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学史料編纂所

榎原雅治・杉森玲子・荒木裕行・林 晃弘・山田太造

東京大学地震研究所

鶴岡 弘・加納靖之

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 :

電話 :

e-mail :

URL :

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 佐竹健治

所属：東京大学地震火山史料連携研究機構

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震火山史料連携研究機構

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震関連史料に基づく近代以前の地震活動の調査

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

イ. 考古データの収集・集成と分析

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) 関連研究分野との連携強化

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果 ( または観測実績 ) の概要 :

新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

本研究課題の目的は、日記史料に記されている数百年間に及ぶ有感地震の記録を活用して、近代以前の日本列島において巨大地震・大地震の前後に発生した中・小規模の地震や地震活動の実態などを解明することである。

本研究課題では、別件の研究課題において実施される、近代以前に発生した低頻度の巨大地震・大地震や火山噴火の現象とその災害の実態を解明する研究とは異なり、規模は小さいが高頻度で発生する中・小規模の地震や地震活動などについて、近代以前における有感地震の記録の収集と分析に基づいて実態の解明を試みる。本研究課題は、東京大学のデジタルアーカイブズ構築事業において、平成 29 年度から東京大学地震火山史料連携研究機構が実施している研究「歴史地震火山活動データベース構築・分析」を基盤としており、史料に基づく研究成果を地震学において活用していくための研究として位置付けられる。本研究課題を実施する上で基盤となる日記史料に基づく有感地震のデータベース構築については、上記の研究プロジェクトにおいて先行して実施されている。そのため本研究課題では、構築・公開中の日記史料有感地震データベースに基づいて、機器観測以前の長期間にわたる地震活動の時空間分布を明らかにし、近代以前の地震活動のデータと近代的な機器観測によるデータとの比較・検討を実施していく。そして、近代以前における中・小規模の地震の発生状況や地震活動などについて解明することで、長期的な地震活動の全体像把握に貢献することを目指す。特に、今後の 5 か年の間に、19 世紀中頃に発生した南海トラフ沿いでの巨大地震に関して、その前後に発生した中・小規模の地震を含む地震活動の実態を解明したいと考えている。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

[ 平成 31・32 年度 ]

現存する膨大な史料の中から、十数年分の有感地震が記されている日記史料を調査・収集し、日記史料有感地震データベースを構築する。近代以前における有感地震の時空間分布と、近代的な機器観測による地震活動との比較・検討から、近代以前における中・小規模の地震の実態を解明し、巨大地震や大地震との関連性の調査・研究に資するデータセットを作成する。

[ 平成 33・34 年度 ]

日記史料の調査・収集に基づいて、日記史料有感地震データベースの構築と改良を継続して実施する。近代以前における有感地震の時空間分布と、近代的な機器観測による地震活動との比較・検討を行い、近代以前における中・小規模の地震の実態を解明し、巨大地震や大地震との関連性の調査・研究に資するデータセットの作成と改良を実施する。

近代以前の有感地震の時空間分布と、近代的な機器観測による地震活動との比較・検討に基づいて、前近代に南海トラフ沿いで発生した巨大地震や西南日本で発生した大地震と、中・小規模の地震との関係について実態の解明を試みる。

[ 平成 35 年度 ]

日記史料有感地震データベースの構築と改良を継続して実施し、データベースに基づく有感地震の時空間分布と、近代的な機器観測による地震活動との比較・検討から、近代以前における中・小規模地震の実態の解明を試みる。

近代以前の有感地震の時空間分布と、近代的な機器観測による地震活動を比較・検討するためのデータセットを用いて、19 世紀中頃に西南日本で発生した中・小規模の地震のカタログ化を試みる。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

日記史料に基づく江戸期京都における有感地震の調査

日記史料にある有感地震の記録について、歴史地震研究の基礎データとして使用する際には、個々

の日記史料における有感地震の記録(有感記録)の特性について把握しておく必要がある。そこで、江戸時代前期の京都で記された日記史料にある有感記録について調査した。

下鴨神社の社家であった鴨脚家の日記史料である『豊光日次』には、日々の天気に加えて地震についても記されており、特に、寛文二年五月一日(グレゴリオ暦:1662年6月16日)に発生した寛文近江・若狭地震の直後から有感記録が多くなっている。有感記録が減少し始めるのは十一月になってからであり、その後、日数の経過と共に有感記録は減少していくものの、寛文三年十二月と寛文五年五月には有感記録が多くなっている。これらは、京都で石燈籠の顛倒などが生じた寛文三年十二月六日(1664年1月4日)の地震と、同じように京都で小規模な被害が生じた寛文五年五月十二日(1665年6月25日)の地震を示している。

吉田神社で記された吉田家の日記史料である『御広間雑記』には、日々の天気に加えて地震の記述もみられる。有感記録については『豊光日次』と同様に、五月一日の寛文近江・若狭地震の直後から多くなっている。日々の種々の記述については『豊光日次』に比べて詳細であり、五月三日には有感記録の他に、夕暮れに光り物が愛宕山の方角(西北西)から出現して如意ヶ嶽の方角(東南東)へ飛んでいった、とする天変についても記されている。

同時期の同地域で記された『豊光日次』と『御広間雑記』にある有感地震の記録数について比較したところ、日々の記述については後者の方が詳細であるが、有感記録は前者の方が多い状況がわかった。日記史料にある有感記録は、記主が感じた地面や建物の揺れ方を表現しており、有感記録数の違いには記主の主観や経験がある程度影響していると考えられる。しかし双方の日記史料とも、日々の天気については毎日ほぼ洩らさず記されており、珍しい天変についても記されているため、地震の感じ方だけに差異があったとは考えがたい。そのため上記の要因としては、日記史料の記述場所である下鴨神社と吉田神社における地震時の揺れ方に違いがあり、それによって記主が感じた地震数に差異が生じたことが挙げられる。

#### 日記史料有感地震データベースへのデータ及び機能の追加

別件の研究事業において構築されている日記史料有感地震データベースでは、多数の日記史料の中から、長期間にわたる天気の記述があり、地震の記述が散見されるものを選定し収集している。このような複数の日記史料にある記述内容を分析して、年月日(太陰暦・太陽暦)、時刻(時間帯)、天気、地震、自然現象、史料本文(記述の抜粋)、所在地といった記述を抽出し、データベースへのデータ登録を実施している。本データベースでは、日記史料の記録の連続性に着目し、有感記録のない日についてもデータ化している。日記史料データを複数組み合わせ、日記史料有感地震データベースを構築しており、現時点(2019年11月更新)では、41点の日記史料にある嘉永七年(1854年)~安政三年(1856年)の有感記録(3,376件)が収録されている。

また、本データベースに次のような新たな機能を追加した。一つは、有感記録のある場所と揺れの大きさを地図上に表示し、指定した期間を動画として再生する機能である。もう一つは、同じ日に別々の場所で記録がある有感地震について、同一の地震によるものか否か比較・検討するため、有感記録にある時間帯を並べて表示する機能である。本データベースと新たに開発・改良したこれらの機能によって、歴史学の専門性を必要とする日記史料の読解は基本的に不要となったため、今後、デジタル化された日記史料データの地震学研究への利用が期待される。

#### 日記史料有感地震データベースを活用した歴史地震研究

本データベースを活用して、19世紀中頃の日本における有感範囲のデータ(日記史料有感データ)と、気象庁の震度データベースに収められている機器観測による有感範囲のデータ(気象庁有感データ)とを比較・検討し、19世紀中頃の日本で発生した地震の震源推定に向けた研究手法を開発した。この手法では最初に、日記史料有感データにある有感場所に最も近い気象庁の地震観測点を選択し、次に日記史料有感データにある有感記録の中で時刻が同じデータを選び出して、その地震の有感分布図を作成した。この有感分布図と気象庁有感データに基づく有感分布図とを比較・検討して、気象庁の震度データベースに収められた地震から、近似した有感分布を有する地震を選び出した。その結果、19世紀中頃の日本で発生した幾つかの地震について、その震源の候補を抽出できたものの、日記史料



有感データの有感場所の数量が十分でないために、抽出の確度はあまり高くなかった。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Nishiyama, A., M. Ebara, A. Katagiri, R. Mizuno, and Y. Oishi, 2019, Attempt to Determine Hypocenters of the Earthquakes Occurred in Pre-modern Japan, EGU General Assembly 2019, EGU2019-12181 (Poster), Vienna, Republic of Austria, Austria Center Vienna (ACV), 7-12 April, 2019.

西山昭仁, 2019, 歴史地震研究と日記史料有感地震データベース, 今村文彦監修・鈴木親彦編, デジタルアーカイブ・ベーシック 第2巻 災害記録を未来に活かす, 勉誠出版, 274pp., 198-213.

西山昭仁, 2019, 日記史料にみる江戸期京都における有感地震の検討, 第36回歴史地震研究会(徳島大会)講演要旨集, 38.

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

現存する膨大な史料の中から、十数年分の有感地震が記されている日記史料を調査・選定・収集し、日記史料有感地震データベースの登録データ数を増やしていく。また、このデータベースを活用して近代以前における有感地震の時空間分布を作成し、近代的な機器観測による観測データと比較・検討するための研究手法を開発する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学地震火山史料連携研究機構

西山昭仁・佐竹健治

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学史料編纂所

榎原雅治・杉森玲子・荒木裕行・林 晃弘・山田太造

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 :

電話 :

e-mail :

URL :

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 西山昭仁

所属 : 東京大学地震火山史料連携研究機構

( 1 ) 実施機関名：

北海道立総合研究機構地質研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

北海道内の活火山の地球物理学的・地球化学的モニタリング

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、有珠山および北海道駒ヶ岳において、地殻変動や、地温、温泉水・噴気の化学成分・同位体比等の各種モニタリングを継続的に行った。いずれの火山においても、この期間中に明らかな火山活動の活発化を示すような変化は認められなかった。モニタリングデータについては、気象台や大学と共有し、各火山の監視に活用された。

近年、山体膨張や地震の増加、温泉水成分の変化などが観測されている十勝岳については、北海道大学や札幌管区気象台と共同で平成 26～28 年度に多項目の調査・観測を集中的に行った。その調査・観測の結果に基づいて、火山帯内部構造や熱水流動系のモデルを構築した。その研究成果は、北海道地質研究所調査研究報告第 44 号としてまとめ、地質研究所のウェブサイトで公開している ([http://www.hro.or.jp/list/environmental/research/gsh/publication/report/gsh\\_special\\_report\\_44.pdf](http://www.hro.or.jp/list/environmental/research/gsh/publication/report/gsh_special_report_44.pdf))。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

北海道における火山噴火災害を軽減するため、特に活動的な火山を対象として継続的な地球物理学的・地球化学的モニタリングを行い、火山活動の現況を把握し、噴火の先行現象やそれに続く火山現象を捉える。また、熱水系の発達している火山(倶多楽など)においては、熱水系の構造や熱水の化学成分の変化などを検討し、観測されている地殻変動や地震活動との関係を明らかにする。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、倶多楽、有珠山及び北海道駒ヶ岳において、噴火の先行現象などの火山活動の変化を捉えるために、地殻変動や、地温、温泉水・噴気の化学成分・同位体比等の各種モニタリングを継続的に行う。

倶多楽や十勝岳など熱水系の発達している火山については、これまで蓄積したモニタリングデータの再検討を行うとともに、熱水変質調査や電磁探査など多項目の調査・観測を必要に応じて行い、火山体の内部構造や熱水系の構造などを検討する。それによって得られた知見を基に、各火山における適切な観測体制の構築を随時行う。

得られたモニタリングデータなどは気象庁や大学と共有するとともに、地元自治体等へ情報を提供する。

#### (9) 令和元年度の成果の概要：

当初の計画通り、雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、倶多楽、有珠山及び北海道駒ヶ岳において、地球物理学的・地球化学的モニタリングを継続して行い、火山活動の変化を捉えるためのデータの蓄積を行った。気象庁や大学との得られたデータの情報共有は随時行っている。

##### (1) 雌阿寒岳

GPS 連続観測と火口域での地温連続観測、噴気および温泉水の地球化学的観測、地下水位連続観測を行った。雌阿寒岳西麓の湯の滝などでは温泉水の Cl や SO<sub>4</sub> 濃度がここ数年上昇する傾向がある。また、雌阿寒温泉では 2017 年以降、温度の上昇が続いている。温泉水の酸素・水素同位体比には大きな変化はなかった。また、中マチネシリ火口の噴気の化学成分や凝縮水の酸素・水素同位体比には大きな変化はなかった。

##### (2) 十勝岳

GPS 連続観測と火口域での地温連続観測、噴気および温泉水の地球化学的観測、地下水位連続観測を行った。GPS 観測では、2006 年から続く火口域の膨張傾向が 2018 年春頃からは収縮傾向へ変わったが、2019 年は横ばいで推移した。吹上温泉地域の温泉では、7 月から自動採水器を用いて高頻度試料採取を行った。その結果、地震活動と Cl 濃度などに相関が認められた。大正火口の噴気の温度や化学成分、凝縮水の酸素・水素同位体比には大きな変化はなかった。活動の活発化が認められる振子沢噴気孔群では、噴気域の拡大や溶融硫黄の流出が認められ、高温状態が続いている。その噴気の凝縮水の酸素・水素同位体比はこれまでと同様に島弧のマグマ水と類似した値を示した。

##### (3) 樽前山

火口域での地温連続観測と、噴気および温泉水の地球化学的観測を行った。A 火口と B 噴気孔群の噴気温度は、それぞれ約 500 および約 350 で高温状態が続いているが、徐々に低下する傾向が続いている。A 火口と B 噴気孔群の噴気は 2008 年から 2012 年まで硫黄化合物の濃度低下が認められたが、それ以降は横ばいで推移している。一方、どちらの噴気域でも凝縮水の酸素・水素同位体比は徐々に重くなる傾向が続いている。山麓の温泉水の化学成分は 1998 年の観測開始以降、濃度低下が続いていたが、2011 年頃から横ばいとなり、2019 年もその傾向が続いた。

##### (4) 倶多楽

今年度から温泉水の地球化学的観測を開始した。大正地獄や大湯沼、奥の湯などでの観測のほか、温泉街の主要泉源でも観測を行った。また、これまで登別温泉地域で行われてきた温泉観測のデータのコンパイルを行った。

##### (5) 有珠山

山頂・山麓での重力観測、噴気観測、および地下水位連続観測を行った。山頂火口原では、山体の収縮に伴う重力値の増加が観測されており、2019 年も同様の傾向が続いた。一方、山麓部では重力値に変化はない。山頂の I 火口の噴気温度は約 400 で変化は認められない。また、噴気凝縮水の酸素・水素同位体比にも大きな変化はなかった。

(6) 北海道駒ヶ岳

火口域での噴気温度観測、山麓域での温泉水の地球化学的観測と地下水位連続観測を行った。山麓の温泉水の温度や化学成分、酸素・水素同位体比に大きな変化はなかった。また、山麓の地下水位に火山活動に関連した変化は認められなかった。

(7) その他の火山

アトサヌプリにおいて噴気観測を、恵山において噴気と温泉水の観測を行った。噴気凝縮水の酸素・水素同位体比や、温泉水の化学成分と酸素・水素同位体比に大きな変化は認められなかった。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Takahashi, R., Okazaki, N., Tamura, M., Ogino, T., Murayama, Y. (2019) The interaction of volcanic gas and deep magmatic fluid with shallow aquifers at Tokachidake volcano, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 388, 106678.

(11) 令和2年度実施計画の概要 :

雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、倶多楽、有珠山および北海道駒ヶ岳において、地盤変動や、地温、温泉水・噴気の化学成分・同位体比等の各種モニタリングを継続する。十勝岳や倶多楽など熱水系の発達している火山については、これまで蓄積したモニタリングデータの再検討を行うとともに、熱水変質調査や電磁探査など多項目の調査・観測を加えて、熱水系の構造などを検討する。それらを基に、観測されている地殻変動や地震活動のメカニズムを総合的に検討する。得られたモニタリングデータなどは気象庁や大学と共有するとともに、地元自治体等へ情報を提供する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

地質研究所 地域地質部 地質防災グループ  
他機関との共同研究の有無 : 無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 北海道立総合研究機構 地質研究所  
電話 : 011-747-2420

e-mail :

URL : <http://www.hro.or.jp/list/environmental/research/gsh/index.html>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 高橋良

所属 : 地域地質部 地質防災グループ

( 1 ) 実施機関名：

北海道立総合研究機構地質研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

津波による最大リスク評価手法の開発と防災対策の実証的展開

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

北海道の日本海沿岸における 1741 年渡島大島の津波、および 12 世紀頃の北海道南西沖津波について、津波堆積物および津波シミュレーション両面から検討を行い、両津波による浸水実績を明らかにした。研究成果は当所のウェブサイトから WebGIS により配信している。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

巨大地震津波の想定において、地震の影響を考慮した避難経路の使用可能性や、積雪寒冷・夜間などの悪条件下での避難速度を明らかにするとともに、屋外での低温環境が避難者に及ぼす影響などを総合的に評価し、津波災害による最大リスクを評価する手法を開発する。更に、地域社会における人口構成、市街地の再編や海岸保全施設等の整備などの経年変化を考慮し、長期的に変動してゆく防災対策の効果の評価する。また本研究では、想定される最大リスクを軽減するための複数の防災対策案について、モデル地域の住民や自治体と共に対策コストや効果、利便性、地域産業への影響などの条件から定量的に評価して優先順位を決定し、津波防災地域づくり計画や津波避難計画に反映させる。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

本研究課題は北海道立総合研究機構の重点研究として実施しているもので、平成 29 年度に開始し今年度は最終年度である。これまでに 3 町において避難経路・避難所の発災時における使用可能性の評価データ、および冬季避難訓練に基づく避難速度の実測データなどを取得している。

平成 31 年度 津波災害に関わるハード・ソフト対策による被害軽減効果を評価し、モデル地域の住民や自治体と共にコスト、利便性、地域産業への影響などの条件を踏まえて定量的に再評価して対策の優先順位を決定し、津波防災地域づくり計画や津波避難計画へ反映する。

平成 32 年度以降は研究計画未定

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

モデル地域において、実測した歩行速度(図1)に基づき避難場所までの避難シミュレーションを行い、想定津波における避難困難地区を特定した(図2)。シミュレーションでは、避難設備の現地での確認調査(図3)を踏まえて発災時に使用できないと判定された避難路(表1)を除外して計算を実施している。避難困難地区の対策を自治体・地域住民と協議し、新たに避難路の整備が必要な個所を抽出したほか、役場庁舎の建て替えに合わせて庁舎に津波避難ビル機能を持たせることを決定した(図4)。庁舎の設計では、想定津波に耐える強度、冬季を想定した発災下での暖房の確保、想定される避難人数などを考慮した。新設する避難設備を条件に組み込んで再度避難シミュレーションを実施し、避難困難地区が解消されることを確認するとともに、地区ごとの避難場所の最適化を図った(図5)。以上に加えて、地震の強震動や液状化による道路破損を想定した車避難のリスク評価を行い、渋滞発生箇所を推定した(図6)。これらの研究データは、地域の避難計画の更新に活用する予定である。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
なし

(11) 令和2年度実施計画の概要：  
市町村向けに成果の普及活動を実施する予定。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
地質研究所 地域地質部 地質防災グループ  
北方建築総合研究所 地域研究部 環境防災グループ  
林業試験場 森林環境部 環境グループ  
他機関との共同研究の有無：有  
国立大学法人埼玉大学 大学院・理工学研究科環境科学・社会基盤部門 環境計画 田中 規夫  
教授  
国立大学法人北海道大学 大学院・文学研究科人間システム科学専攻 地域システム科学講座 橋  
本 雄一 教授

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：地質防災グループ  
電話：011-747-2447  
e-mail：kawakami-gentaro@hro.or.jp  
URL：

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者  
氏名：川上源太郎  
所属：地質防災グループ

	速度(m/s)	人数
平地平均	1.3	58
登坂平均	0.9	42
30代平地平均	1.6	3
40代平地平均	1.3	4
50代平地平均	1.3	6
60代平地平均	1.3	28
70代平地平均	1.2	13
80代平地平均	1.0	4
30代登坂平均	0.9	2
40代登坂平均	1.1	2
50代登坂平均	1.0	4
60代登坂平均	1.0	21
70代登坂平均	0.9	10
80代登坂平均	0.7	3



既存の避難速度(0.74m)を  
変更できる可能性を示唆

図1 GPS を用いた避難速度の算定

モデル地域で避難訓練を実施し、様々な年代の住民の避難速度を実測した。

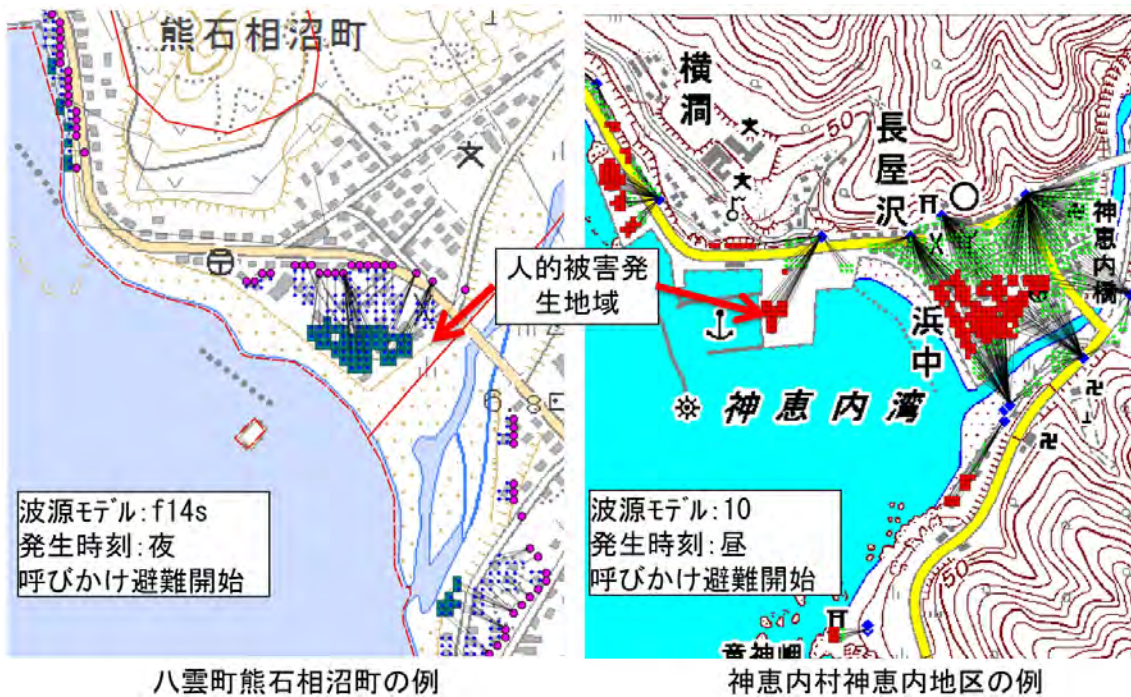


図2 現状の避難設備に基づく避難シミュレーション

実測した避難速度・想定津波に基づき、現状の避難設備の設置条件下における避難困難地区を特定した。





図3 避難設備の発災時における使用可能性の確認

避難設備について、地形地質条件や設備の性状、管理状況、暗夜や積雪時の状況をチェックした。

No	地点	種別	施工状況			地形条件	地質条件	避難地点	到達標高	経路可能性	積雪時使用可否	暗夜使用可否	危険性	適合判定	
			形状	材質・構築	フェンス・手すり										対策工事
1	徳島	避難経路	階段+スロープ	コンクリート及びアスファルト	金属製柵	鋼管フレーム工	段丘頂に高平型防壁(深い土層)が南側に隣接	中新世徳島内層 筑山層貫入砕岩および段丘	段丘上の平地・畑地	20	A	B	B	A	B
2	長尾沢	避難経路	生活路	アスファルト	なし	無対策(下層土層の崩壊)	沢地形	中新世徳島内層 筑山層貫入砕岩+谷原層 礫物	河川沿いの平地	-50	A	A	B	B	A
3	横間	避難経路	階段階段+スロープ	河川筋	木製柵	鋼管フレーム工	段丘崖	中新世徳島内層 筑山層貫入砕岩および段丘	段丘上まで崩壊は行われていない。段丘崖上部の崩壊まで	-25	B	C	C	C	C
4	二ノ目川	避難経路						中新世徳島内層 筑山層貫入砕岩および段丘							
5	赤石	避難経路	スロープ	河川筋	ロープ+手すり		断崖絶壁(高差約10m)	中新世徳島内層 筑山層貫入砕岩および段丘	段丘上	-50	B	C	C	C	C
6	赤石	神2歩道+河川筋	階段+スロープ	コンクリート及び河川筋	一部手すり	河川筋	沢地形	中新世徳島内層 筑山層貫入砕岩および段丘	河川筋上	50	A	A	B	B	A
7	赤石	避難経路	階段階段	金属製(ステンレス)	金属製(ステンレス)	河川筋、河川筋フレーム工(鋼管柵)	高い河川	中新世徳島内層 筑山層貫入砕岩	河川上	20	B	C	C	C	C
8	赤石	工事用臨時階段	階段階段	金属製(ステンレス)	金属製(ステンレス)	河川筋+河川筋フレーム工(鋼管柵)	高い河川	中新世徳島内層 筑山層貫入砕岩+段丘+河川筋礫物	河川上	30+	B	C	C	C	C
9	赤石	避難経路	生活路	コンクリート	なし	なし	高い河川	中新世徳島内層 筑山層貫入砕岩+段丘+河川筋礫物	河川筋側	50	B	B	B	B	B
10	赤石	避難経路	階段階段	金属製(ステンレス)	金属製(ステンレス)	河川筋下層フレーム工、エニールキーロック(足置き+手すり)	河川筋比降が急(約10%)、崖せき取壁が隣接	中新世徳島内層 筑山層貫入砕岩+段丘+河川筋礫物	河川上	-25	B	C	C	C	C
11	大森	避難経路	階段階段	金属製(ステンレス)	金属製(ステンレス)	下層土層の崩壊	高い河川、急傾斜	中新世徳島内層 筑山層貫入砕岩+段丘+河川筋礫物	段丘上	00	B	C	C	C	C
12	神楽町	避難経路	階段階段	赤木柱柵	金属製(ステンレス)	フレーム工	河川筋	中新世徳島内層 筑山層貫入砕岩	河川上	-15	A	A	A	B	A
13	神楽町	河川筋上層のスロープ+河川筋	スロープ	コンクリート	手すり	河川筋下層フレーム工	小規模	中新世徳島内層 筑山層貫入砕岩	河川上	15	B	C	C	C	C
14	神楽町(河川筋沿)臨時階段	避難経路	高差	アスファルト+河川筋	なし	谷筋は河川筋	沢地形	中新世徳島内層 筑山層貫入砕岩	谷筋(河川筋)	30	A	A	B	C	A
15	神楽町	避難経路	生活路	アスファルト+河川筋+河川筋(コンクリート)上層の河川筋	なし	なし	沢地形	中新世徳島内層 筑山層貫入砕岩	谷筋(河川筋)	30	A	B	B	C	B

表1 避難経路、避難設備の発災時使用可能性の判定

避難設備の現地確認の結果を一覧に整理し、発災時に使用可能かどうかを定性的に判定した。

### 防災庁舎の基本コンセプト

- ◎津波の衝撃力や漂流物を受け止めずに、いなすピロティ
- ◎地中熱を利用した空調で冬季の避難時でも暖かさを確保 (BCP)
- ◎人を滞留させないスムーズな避難経路の計画



図4 津波避難ビルの機能を備えた役場庁舎の設計

モデル地域において、想定津波に対する強度を備え、冬季の発災下での暖房も考慮した庁舎を設計し、避難困難地区の解消を図った。

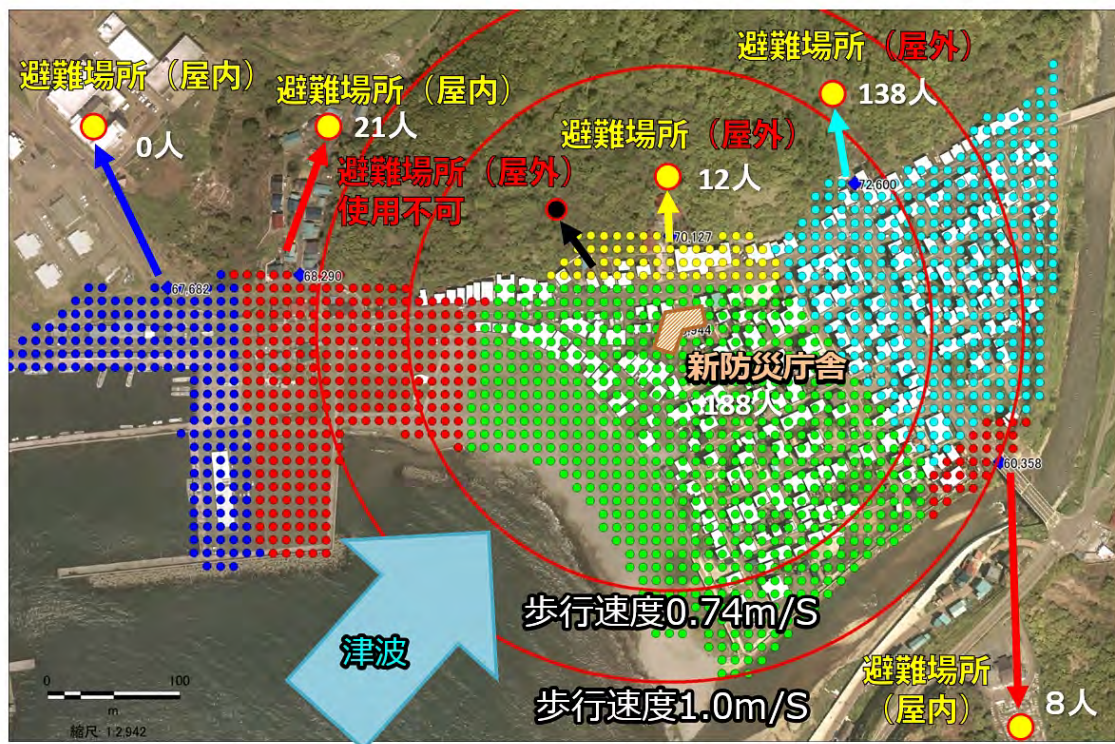


図5 避難設備の使用可能性、避難設備の新設を踏まえた避難シミュレーション

発災時に使用可能な避難設備や新設する津波避難ビルを条件として、地区ごとに避難場所を最適化した。



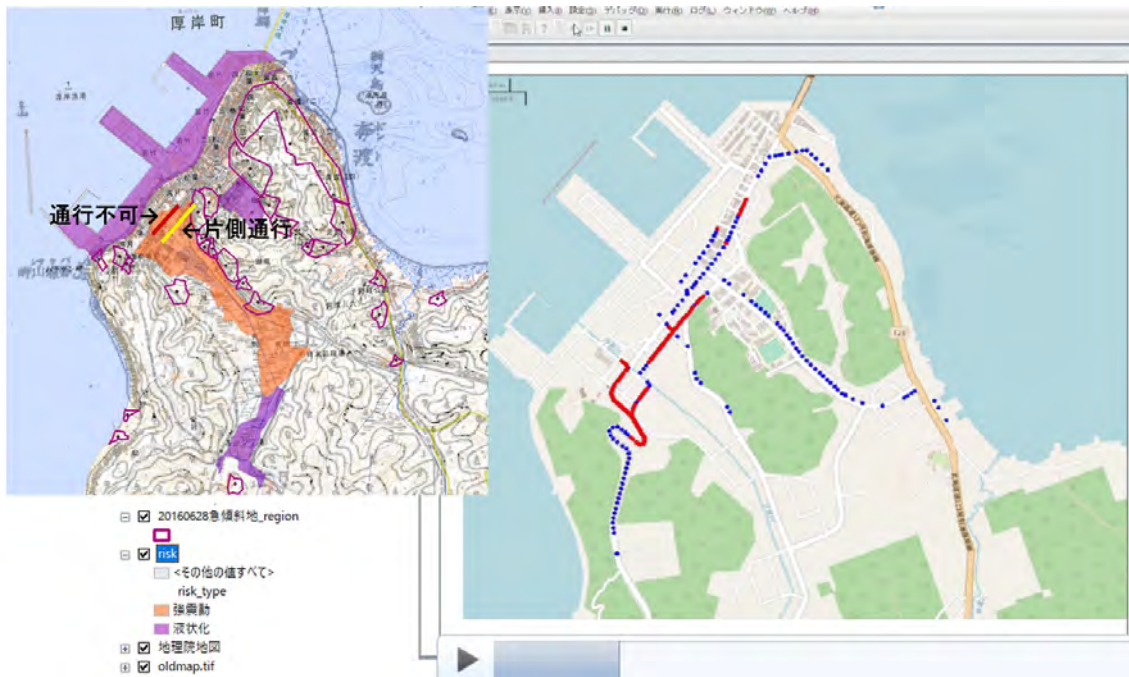


図6 車避難のリスクの検討

地震時の強震動や液状化による道路破損箇所を推定し、車避難シミュレーションを実施して渋滞発生箇所の推定を行った。

( 1 ) 実施機関名：

弘前大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

東北日本弧・千島弧会合部とその周辺における地震発生場の解明

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

千島海溝沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

- ・秋田県北部の森吉山北方の誘発地震発生域での散乱体位置、散乱波の波形の時間変化、異方性の強さと地震活動の相関など、地殻流体の寄与が考えられる観測結果を得た。
- ・東北日本弧での深部低周波地震については、波形の多様性を明らかにし、長いコーダ波を持つ地震の発生領域を特定した。継続時間の長い波動は震源起源と考えられることを示した。
- ・青森県内のいくつかの地点における微動探査に基づいた構造推定を行なった。また、地震波干渉法の解析手法の開発を行った。

・津軽半島の日本海沿岸において、地質調査で確認された津波堆積物などの試料を収集・分析し、津波の発牛年代や浸水範囲について検討した。

(7) 本課題の5か年の到達目標:

千島海溝沿いの巨大地震は地震本部によって高い切迫性が指摘されていて、災害科学的にも重要である。本課題は、東北日本弧・千島弧における地震発生を支配する場の解明を目的に、島弧会合部とその周辺におけるプレート構造、震源分布、応力場、流体分布の推定を、主として陸上の地震観測データを用い、波動伝播シミュレーションを活用した手法開発も含めて行う。目標は、島弧会合部における応力場の把握、及び地殻流体と内陸地震発牛の関係の解明である。また、日本海沿岸では太平洋側に比べて砂丘列が発達するため、津波は主に河川遡上して氾濫、または河口部から内陸への氾濫となることが多い。これらの津波堆積物を認定するための新たな手法の開発を試みる。さらに、地震災害誘因の事前評価手法の高度化に資することを目的に、歴史地震発牛域を含む領域における堆積層構造の推定を行う。

(8) 本課題の5か年計画の概要:

1. 島弧会合部とその周辺における地震発牛場の解明

S-net 観測網や、3次元波動伝播シミュレーション技術を活用して、青森県東方沖から千島海溝沿いでの震源とメカニズム解の決定精度を向上させるとともに、地震波形を説明できるプレート構造の推定を行う[2019~2020年度]。これらにより、東北地方北部から日高山脈にかけての海域を含んだ領域での地震発生を規定する応力場について基本的理解を得るとともに、時間発展の枠組みの中での現状認識を行う[2020~2023]。また、誘発地震発牛域など内陸地震活動が活発な領域では、震源のマイグレーションの解析、S波偏向異方性の時間変化の高精度推定、地殻浅部低周波地震活動の解明、深部低周波地震の波形モデリングを通して、流体と内陸地震発牛の関係をこれまで以上に明らかにする[2019~2021]

2. 津波堆積物等の地質学的調査

島弧会合部にあたる北東北の日本海沿岸や下北半島などにおいて津波の履歴や浸水範囲の解析を行い、津波の史料が乏しい江戸中期以前の津波波源の推定に必要な基礎資料を得る。具体的には、地質調査・試料分析・年代測定などを通じて、日本海側の津波堆積物を認定するための新たな調査手法を構築する[2019~2023]。2019~2021年度は青森県・秋田県・山形県の日本海沿岸を、2022~2023年度は下北半島の津波堆積物の調査を実施する。

3. 堆積層構造調査

歴史地震発牛域の津軽平野南部などにおいて、地震波干渉法による構造推定と波動伝播シミュレーションによる検証を行う[2019~2021]。また、地震動と微動探査を用いた表層地盤構造推定を行って干渉法による構造と比較検討し、強震動評価の高度化に資する[2019~2023]

(9) 令和元年度の成果の概要:

1. 島弧会合部とその周辺における地震発牛場の解明

宮城県沖プレート境界で発生した地震について、3次元波動伝播シミュレーションを活用してsP波を特定し、それが顕著に見られる観測点範囲と、地震による違いを検討した。その結果、sP波の出現は、地下構造以外に震源側の要因にも影響されることが判明した。また、pP波や地殻内トラップ波も観測されていることもわかった。これらのことは、シミュレーションを活用した既存地震波形データの解析が、海域で発生した地震の震源とメカニズム解の高精度推定のほか、伝播経路の構造推定にも役立つことを示している。

秋田県森吉山北方の誘発地震の震源クラスター内で発生した地震について、顕著な後続波部分の波形の時間変化を調べた。波形の振幅・ピーク数・継続時間は複雑な時間変化を呈し、中には十数時間から数日という短期間で変化する場合があることを見出した。このような急激な変化の原因として、地

殻流体の移動が考えられる。地震計アレイの解析からクラスターのほぼ直下と推定した後続波の発生位置の下方に地震波低速度領域が存在することも、後続波の発生に地殻流体が関与していることを示唆する。

東北日本で発生する深部低周波地震のうち、特定の周波数が卓越して振動継続時間が長い特異な波形をもつ地震の出現条件について、波動伝播シミュレーションに基づいて検討した。このような波形は、低速度領域内で特別な力源が作用した時の共鳴によって再現することができる。その力源とは、共鳴が重なり合うように複数のパルスが特定の時間間隔で作用するものである。実際にはこのような条件が満たされることが稀なことが、深部低周波地震の多様な波形を生む原因と考えられる。

最近、地殻浅部においても低周波地震が発生していることが明らかになってきた。やや低周波の余震の発生が報告されていた2008年岩手・宮城内陸地震について、網羅的・客観的な低周波地震の検出を行なった。低周波余震は空間的にまとまった分布を示し、カルデラ構造や余効すべりが大きかった領域との対応が見られる。最も興味深いのは本震の震源の北東側の領域で、西傾斜の本震断層に沿っては比較的高周波の地震が、それと共役な東傾斜の地震群には高周波と低周波の地震の両方が発生している。低周波の地震は時間経過とともに浅部に移動するように見え(図2)、地殻流体の移動を示唆する。

以上の誘発地震と深部・浅部低周波地震の解析からは、流体と内陸地震発生の関係及び低周波振動の発生原因についての知見を蓄積することができた。

## 2. 津波堆積物等の地質学的調査

青森県十三湖北側において見出した津波堆積物と考えられるイベント堆積物について、堆積構造や、そこに含まれるテフラ・珪藻の同定、植物片・貝化石の放射性炭素年代測定などから、堆積物をもたらした津波について検討した。年代測定の結果から、イベント堆積物は西暦1700年ごろに発生した津波によって形成されたと考えられる。その候補としては1741年渡島大島津波と1793年鯨ヶ沢地震津波がある。そのいずれによるものかは今後の検討が必要である。

## 3. 堆積層構造調査

秋田県・岩手県北部から渡島半島南部にかけての領域で地震波干渉法解析を行った。各波線での群速度を空間的なブロックに分配するトモグラフィ解析を行い、群速度の空間分布を推定した。津軽平野地域においては4.78 s帯域で低速度となっており、平野の堆積層の厚さについての制約条件を与える結果が得られた。

今後の発生が懸念される青森県東方沖の地震によって、青森県の県南地域が強い地震動を受けた際の最大加速度および最大速度の増幅倍率の振幅依存性について検討した。複数の地下構造と入力地震動に対して等価線形解析によって評価した結果は、大振幅の地震動が入力した場合には既往研究で示されているほどの増幅は起こらないというものであった。

これらの結果は、歴史地震震源域および将来的に強震動を経験することが予測されている地域での強震動評価の高度化に資するものである。

## (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Amezawa, Y., M Kosuga, and T. Maeda, Temporal changes in the distinct scattered wave packets associated with earthquake swarm activity beneath the Moriyoshi-zan volcano, northeastern Japan, Earth Planets Space, 71, 132, 2019.

## (11) 令和2年度実施計画の概要 :

### 1. 島弧会合部とその周辺における地震発生場の解明

東北地方太平洋沖プレート境界で発生した地震からのsP波、pP波、地殻内トラップ波の出現状況を、島弧に平行および直交方向に追跡し、その特徴を把握するとともに、それらを震源深さの制約に用いる方法を検討する。

2018年胆振東部地震震源域においてS波スプリッティング解析を行い、震源域での異方性と震源域

周辺の応力場との関係を調べる。また、応力降下量の空間分布と異方性および震源過程の関係についての調査を行う。

内陸の群発地震発生域において、地震活動の特徴を ETAS モデルによる解析や震源メカニズム解の時空間分布を通して検討し、地震活動の継続時間を決める要因を探る。また、地殻浅部・深部低周波地震の活動を調べ、低周波地震発生メカニズム解明のためのデータを蓄積する。具体的には以下の通りである。2008 年岩手・宮城内陸地震震源域においては、やや低周波の地震の発生状況の時間変化に重点をおいて調べる。函館付近において臨時地震観測を実施し、浅部での低周波地震の検出を行う。深部低周波地震震源域においては、浅部の地震も含めて低周波地震の検出を行い、その時空間変化を調べる。

## 2. 津波堆積物等の地質学的調査

1700 年代に青森県十三湖に及んだ津波が 1741 年渡島大島津波か 1793 年鰯ヶ沢地震津波かについて、シミュレーションを通じた検討を行う。

## 3. 堆積層構造調査

他のプロジェクトで津軽平野を横断する構造探査が行われることに合わせて臨時地震観測を行い、津軽平野南部から岩木山にかけての構造を推定する。これは令和元年度に行った地震波干渉法による群速度のインバージョンを補完するものとなる。また、青森県東部において揺れやすさが大きいことが指摘されている地点において微動探査を行い、揺れやすさに影響する要因を探る地下構造の推定を行う。

### (12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

小菅正裕、前田拓人、渡辺和俊、片岡俊一、梅田浩司

他機関との共同研究の有無：有

秋田大学：鎌滝孝信（連携研究）

### (13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：弘前大学理工学研究科

電話：0172-39-3609

e-mail：mkos@hirosaki-u.ac.jp

URL：

### (14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：小菅正裕

所属：弘前大学理工学研究科



( 1 ) 実施機関名：

弘前大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

データ同化に基づく津波現況把握と即時予測の高度化

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

イ. 津波の即時予測手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

千島海溝沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

2011 年東北地方太平洋沖地震とそれによる東日本大震災を受けて急ピッチで海底における地震・津波観測網の構築が進み、陸・海を統合した地震と津波のモニタリング体制が確立しつつある。これを受けて、特に海域における地震津波等の記録の即時的な利用に基づく地震・津波の即時予測技術の高度化には多大なる期待が寄せられている。日本列島周辺には世界中他に類を見ないような高密度海底・海上津波観測網が敷かれつつあることから、高密度観測に基づく津波即時予測手法の開発および検証研究がきわめて活発に行われている。

これまで開発されてきた多くの津波即時予測技術が災害誘引である地震発生やそれによる地殻変動などの逆推定に基づくものであるのに対し、本課題の申請者らは、それらの災害誘引の地震学的描像に直接立脚せずに高密度観測記録から津波波動場そのものの現況把握を行う「データ同化」に基づく津波即時予測手法を提唱し、その開発を行ってきた。この方法は、複雑な地震断層運動の推定の不確実性に依存せず、また地震情報に依存しないことから海底の斜面崩壊等の非地震性の津波にもそのまま適用可能であると期待されるなど、さまざまな状況下での安定した津波即時予測に適した側面があると考えられる。しかし、この手法は提案されてからまだ日が浅く、真に実用的な津波予測手法に育て上

げるためには、まだ多くの積み残しがある。本研究課題では、津波の波動伝播の実況把握から予測を行う時間発展型予測手法としてのデータ同化に基づく津波即時予測手法のさらなる高度化を実施する。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要：

本研究計画の津波データ同化技術は、大別してデータ同化に基づく津波の現況把握と、それを用いた即時予測の部分からなる。解析手法の高度化を行うのはもちろんのことであるが、低頻度巨大災害である津波は実記録に基づく手法の妥当性の検証がそもそも困難であり、津波の数値シミュレーションに基づく数値実験が決定的に重要である。そこで、地震・津波数値計算技法の開発や、それらの数値シミュレーションに基づく津波即時予測技法の検証も本研究でカバーする。

現況把握においては、海底津波記録がその観測機器の置かれている場所における地殻変動のオフセットの影響を受けること、より即時性を高めようとするほど地震直後の大振幅地震波信号が推定を難しくするという問題が認知されるようになった。前者についてはその対処法の一部はすでにその研究に着手してきたところであり、本研究計画の初期段階において、集中的に検討を行う。また、後者の問題については、これまで我々が開発してきた地震・津波統合シミュレーションのほか、地震動と津波の両方の記録を合成する手法が複数提案されている。大規模かつ現実的な地震・津波の統合的シミュレーション技術の利活用によって、よりリアルな津波疑似記録の作成とそれを用いた津波即時予測実験を本計画で実施し、津波予測手法の即時性の限界点を明らかにする。

後者の即時予測については、これまで現況把握された津波波動場を初期条件とする津波シミュレーション ( Maeda et al., 2015; Gusman, et al., 2016 ) と、その部分に Green 関数の考え方を導入して特定地域の予測を高速に行う方法 ( Wang et al., 2017 ) がある。いずれも広域における津波現況把握から予測を行うため、その場でのシミュレーションあるいは事前の Green 関数の準備に比較的大規模な計算が必要となってしまう。そこで、沖合での同化結果を踏まえて海岸付近の津波増幅の問題を独立に取扱い、データ同化による現況把握・予測とシームレスに接続することにより、本手法に基づく津波即時予測の高精度化にも道筋をつける。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

海底地震津波観測網 DONET で捉えられた 2016 年鳥島沖地震津波についてデータ同化が適用され、Green 関数を用いたデータ同化に基づく津波即時手法 ( GFTDA; Wang et al., 2017 ) の適用に基づいた津波即時予測実験を実施した ( Wang et al., 2019 )。これはリアルタイムに実施されたものではないが、リアルタイムに取得された記録を用いたデータ同化に基づく津波予測が初めて実現されたものである。また、この地震は海底火山カルデラ内で約 10 年周期で繰り返し発生する津波地震 ( Fukao et al., 2018 ) であり、その津波の規模に比して地震動は極めて小さく、かつ励起源がカルデラ床の上下変位が支配的な CLVD メカニズムのため、地震動からの解析によって津波を即時的に予測することが困難な事例である。このような事例の津波について、ノイズを含む実データに基づいて津波即時予測実験を成功させたことは大変意義深いものである。

津波データ同化法の実記録への適用の成功を受けて、リアルタイムな実データに対しての適用のための信号処理手法の検討も開始した。実データは単にばらつきやノイズ成分が多いだけでなく、地震動や潮汐成分も重畳している。これらの非津波信号と津波信号とは周波数の違いによって原理的には分離可能であるが、フィルタ処理を行うためには一定時間のデータの蓄積が必要なうえ、逐次的に来るデータに対して適用可能な因果的フィルタでは、フィルタの群遅延特性による津波波形の崩れも無視できない。そこで、大気分野で活用されている経験的モード分解法を海底圧力計記録の津波信号に適用し、津波信号の効果的な抽出を試みた ( Wang 他, 2019 )。本項目は来年度以降にも引き続き検討を行う。

さらに、共同研究として世界各地における津波即時予測に対するデータ同化の適用可能性が始まっている。昨年度のニュージーランド沖 Dusky Sound 地震に対する既存観測記録を用いた津波データ同化の適用可能性の検討 ( Sheehan, et al., 2019 ) に続き、地中海西部において仮想的な海底津波観測網を

考え、津波データ同化による予測実験から海底観測網とそれに基づく津波即時予測の有効性が検討された (Heidarzadeh et al., 2019)。

また、厳密には令和元年度ではないが、本5か年計画を策定してから計画が開始するまでのあいだの大きな成果として、相対的に密ではない観測網に対して津波データ同化法を実現した (Wang et al., 2019) ことが挙げられる。データ同化はある種の補間法であり、観測記録とシミュレーションの予測値の残差に対する修正を、観測点の周辺空間に補間によって割り振る。この特徴から、データ同化が適用可能なのは観測点間隔が津波1波長程度以内の密な観測網に限られていた。これに対し、観測点間を結ぶ仮想観測点を用意し、それらにおける仮想波形を実記録の波動伝播による時間遅れを考慮した時空間補間によって作成し、それらの仮想記録を含んだデータ同化を行う、という2ステップ法を考案し、その実用性を示すことに成功した。

本課題で研究開発を行っている津波データ同化法は2次元的に伝播する波動現象を現況把握する方法であり、その活用は津波だけに限らない。課題間の連携により、同じ手法を地震動のうち表面波が卓越する長周期地震動についても適用し、成功を収めつつある (Furumura et al., 2019; Oba et al., 2020 投稿中)。

- (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
- Wang, Y., K. Satake, K., Sandanbata, O., Maeda, T., Su, H.-Y. (2019). Tsunami data assimilation of cabled ocean bottom pressure records for the 2015 Torishima volcanic tsunami earthquake, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124(10), 10413-10422. doi:10.1029/2019JB018056.
- Heidarzadeh, M., Wang, Y., Satake, K., & Mulia, I. E. (2019). Potential deployment of offshore bottom pressure gauges and adoption of data assimilation for tsunami warning system in the western Mediterranean Sea. *Geoscience Letters*, 6(1). doi:10.1186/s40562-019-0149-8.

- (11) 令和2年度実施計画の概要 :

巨大津波は低頻度巨大災害のため、海底観測網で捉えられる僅かな記録のみで手法を構築することは困難であり、地震・津波双方を含むできるだけ現実的な記録を数値的に合成し、それに対して予測手法のテストを行うというプロセスが不可欠である。そこで、大規模計算が必要だが3次元的地震・津波運動を計算できる融合数値計算法 (Maeda and Furumura, 2013) から海底圧力を合理的に再現できる地震津波シミュレーション手法 (Saito et al., 2016) をシームレスにつなぎ、実用的かつ現実の不均質構造を組み込んだ地震にともなう全波動現象を実現する。そのための実装として、これまで国内コミュニティで開発してきたオープンソースの地震動シミュレーションコード OpenSWPC (Maeda et al., 2016) と津波シミュレーションコード JAGURS (Baba et al., 2015) とを利用し、その成果もオープンソースとして広く公開する。

- (12) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

前田拓人

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学地震研究所 (佐竹健治)

- (13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 弘前大学大学院理工学研究科

電話 : 0172-39-3505

e-mail :

URL : <http://www.st.hirosaki-u.ac.jp/>

- (14) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名：前田拓人

所属：弘前大学大学院理工学研究科

( 1 ) 実施機関名：

兵庫県立大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震・火山観測データを活用した減災・復興モデルの構築とリスクコミュニケーションに資する事例収集

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

( 4 ) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

オ. 高リスク小規模火山噴火

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

室崎益輝・兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科編「災害に立ち向かう人づくり 減災社会構築と被災地復興の礎」, ミネルヴァ書房, 2018

Sakamoto M., and others: Disaster Governance in Disaster Management Planning-Analysis of the Evacuation Planning Process for Kuchinoerabujima Volcano Eruption, Journal of Natural Disaster Science, Vol.37, No.2, pp.105-117, 2016

阪本真由美, 田所敬一, 高木朗充, 臼田悠一郎, 宇井忠英; 御嶽山に関する住民意識調査から考察する災害情報の伝達, 地域安全学会論文集, No.28, pp.139-145, 2016

阪本真由美: 御嶽山噴火をめぐるリスク・コミュニケーション, 自然災害科学, 第 34 巻特別号, pp.23-34, 2015

( 7 ) 本課題の5か年の到達目標 :

本研究では、過去に発生した災害において、地震・火山観測情報がどのように災害対応・復興に活用されてきたのか、災害対応における意思決定と災害を契機とした被災地の移転再建や生活再建における観測情報の利活用を事例検証を通して明らかにすることを目的とする。また、その社会的知見(災害の教訓)と地震・火山に関する科学的知見(メカニズム)を、市民の防災リテラシー向上と、減災・復興施策(災害対応・事前移住・事前復興計画技術など)に資する災害事例の収集を行う。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

過去の災害事例において、地震・火山観測情報が災害対応・復旧・復興にどのように活用されたのかを、文献調査、現地調査、通時調査を通して検証する。研究実施過程においては、セミナーなどを通して研究成果を社会的に発信するとともに、減災・復興政策に活かすという目的のもとリテラシー向上を図るための人材育成に取り組む。具体的な、検討事項は以下のとおり。

( 1 ) 地震・噴火発生時の災害対応に活用される観測情報の体系化

( 2 ) 被災したエリアにおける、生活環境の移転・土地利用規制と生活再建の検討

( 3 ) 地震・噴火による社会的被害の解明と、その社会的知見(災害の教訓)と地震や火山に関する科学的知見(メカニズム)を生かした、事前復興計画の策定と市民の防災リテラシー向上。

2019年度は、過去に発生した災害(南海地震、阪神・淡路大震災、東日本大震災、熊本地震、伊豆大島、御嶽山噴火、口永良部島噴火など)の災害対応・復旧復興過程において、観測情報がどのように活用されたのかを事例検証を通し明らかにする。

2020年度、21年度は、観測情報に基づく、警戒区域や危険区域の指定などの土地利用規制が、そこに住む住民の暮らしや生活再建にどのような影響を及ぼしたのか、地域住民への調査に基づき検証する。災害復興過程において、警戒区域や危険区域の指定により被災エリアへの立ち入りや再建が規制されたエリア(東日本大震災、有珠山・雲仙岳・伊豆大島・口永良部島など)に着目し事例検証を行う。2022年度は、被災経験やその後の観測情報提供の仕組みの見直し、被災地域住民の防災意識や地域の防災計画にどのような影響を及ぼしたのか、阪神・淡路大震災、東日本大震災、熊本地震、御嶽山、口永良部島などの被災地における事例調査から検討する。

2023年度は、これまでの地震や火山噴火による被害状況とその要因の相関関係を考察し、その知見(災害の教訓)と地震や火山に関する科学的知見(メカニズム)を、事前復興や市民の防災リテラシー向上に活用するための方策を検討・実践する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

1) 火山観測情報をめぐる地域とのリスク・コミュニケーションについて

2019年度は、災害対応における観測情報の利活用について、口永良部島の新岳噴火を中心に分析を進めた。口永良部島では、2014年8月3日の噴火以降火山活動が継続しており、2018年8月15日には噴火警戒レベルが2から4に引き上げ、その2週間後の8月29日にはレベル3に引き下げられた。10月21日に小規模噴火、12月18日、12月28日、2019年1月17日に爆発的噴火というように、噴火警戒レベル引き下げ後に噴火が発生し住民が自主避難した。2019年6月に噴火警戒レベルはレベル2に引き下げられたが、噴火は継続して発生している。そこで、住民がどのように地域の噴火リスクを認識しているのかを、ヒアリング調査、参与観察を通して把握、その結果をリスク・コミュニケーションに着目して分析した。調査からは、住民の火山観測情報の認識度は高く、レベル変化の判断基準に加え、噴火がいつ発生するか事前に把握することが困難であることも認識されていた。この背景には、第一に、ここ数年に発生した噴火の経験をふまえ、災害対応計画を住民主体で検討する、復興計画を策定する、噴火の歴史を整理しそれをニュースレターで周知するなどの取り組みを住民が主体となり実施してきたこと、第二に、気象庁が地域住民への継続的な説明会の開催してきた、という取り組みがある。気象庁は、2016年に口永良部島火山防災連絡事務所設置しており、噴火警戒レベルの変更や、

噴火が発生した場合には、口永良部島で住民を対象にした勉強会を行っている。また、金岳小中学校の児童生徒を対象とした出前授業を実施している。このようなリスク・コミュニケーションに加え、災害リスクが高まった際のクライシス・コミュニケーションも密であり、火山活動が活発化すると、連絡事務所から学校長にホットライン（電話連絡）により情報提供が行われている。このような気象庁と住民間のコミュニケーション、住民内でのコミュニケーションが住民のリスク認識に影響を及ぼしていた。

## 2) 地震観測情報を活用した地区防災計画の策定について

地域における地震に関する情報の活用については、活断層、液状化、震度情報などが掲載されたハザードマップを活用することにより災害リスク認識を高める、というアプローチが一般的である。本研究では、地震観測情報を地域防災に活用するための方策として、詳細な都市被害モデルを構築し、その地区防災への適応を検討した。想定南海地震（陸側ケース）のNS方向の地表面加速度と、EW方向の地表面加速度から作成した波形を活用し、建物の構造種別（木造、S造、RC造）と層間変形角を用いた被害想定を行った。これにより、どの構造種の建物がどこに存在するか、被害がどのように分布しているかを可視化した。養田南地区の地区防災計画の策定において本シミュレーションを活用したワークショップを実施し、建物被害を想定した避難ルート、避難方法について検討した。詳細な地震・建物被害情報の活用は地区住民の防災意識を高めるうえでも有効である。また、福良地区では、兵庫県立大学の大学生・大学院生らが福良津波防災フォーラムに参加し、ワークショップ・セミナーを通して情報を伝えた。

- (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
阪本真由美・中道治久・荒島千鶴・高橋若菜・荒木田勝, 2019, 越境火山災害をめぐる国際リスクコミュニケーション - 2010年アイスランド火山噴火対応の事例より -, 日本火山学会 2019年度秋季大会, B2-18.  
石水英梨花・阪本真由美, 2019, 火山災害軽減に効果的な地域の関係性に関する考察 口永良部島におけるヒアリング調査から, 日本火山学会 2019年度秋季大会, P111.  
Sakamoto, M., 2019, Governance for Trans-boundary Volcanic Disaster -a case of 2010 Eyjafjallajökull Eruption-, Japan Geoscience Union Meeting 2019, MZZ50-P01.  
Ishimizu, E. and M. Sakamoto, 2019, Issues of Japan's volcanic disaster prevention system as viewed from overseas alert systems, Japan Geoscience Union Meeting 2019, MZZ50-P03.

## (11) 令和2年度実施計画の概要：

2020年度は、観測情報に基づく、警戒区域や危険区域の指定などの土地利用規制が、そこに住む住民の暮らしや生活再建にどのような影響を及ぼすのかに着目し研究をすすめる。1) 火山については、口永良部島を中心に、噴火警戒レベルによる住民の居住域の立ち入り規制が、生活にどのようなインパクトをもたらすのかを、現地調査を通して把握する。同時に、観光地とされている火山における、対応について箱根に着目して検討する。2) 地震については、2019年に開発した都市被害モデルを地域の防災対策に活用するための方策について引き続き検討する。また、活断層の情報に着目し、2016年の熊本地震を中心に活断層が確認されたエリアのその後の土地利用に着目して分析をすすめる。

## (12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科 室崎益輝、森永速男、加藤恵正、富永良喜、紅谷昇平、青田良介、浦川豪、阪本真由美

他機関との共同研究の有無：有

兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科 永野康行



( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科  
電話：078-891-7376  
e-mail：  
URL：<https://drg-u-hyogo.jp/>

( 14 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者  
氏名：阪本真由美  
所属：兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科

( 1 ) 実施機関名：

兵庫県立大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震観測研究の成果を活用した土地利用に係る事例収集に基づく枠組みの提案

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

( 4 ) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

エ. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

桜島大規模火山噴火

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

これまで、ニュージーランドやトルコ、台湾などにおいて、活断層の近傍における建築制限を含む土地利用規制が進められてきた。日本においては、現在中央構造線近傍における特定建築物の建築制限を徳島県が主体となって実施している。

とはいえ、一部私権を制限することや、その断層が地表面に明確に現れていないことなどから、土地利用規制や建築制限をしても実態としての建物移転はなかなか進まない現状にある。観測技術の進展によって災害誘因の予測が精緻化されてきた現在、それを被害軽減を図る土地利用規制、建築規制にきちんと展開することが可能となっているが、これまでの状況を踏まえると、社会実装時に十分活用できない可能性がある。

そこで、海外事例、さらには徳島での取り組みによる関係機関、当事者の認識等を細かく整理することで、将来に向けた防災・減災の視点を含めた情報共有、対策実施のあり方を検討する。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

平成31年度～33年度までは、特に海外での建築制限の運用実態を把握するための調査を進める。具体的にはニュージーランド、トルコ、台湾を想定している。規制を進める当局だけでなく、住民や事業者、不動産関連業者への調査を進める。

平成34年度以降は、国内での土地利用規制の運用実態を把握し、災害誘因予測が精緻化された状況下での運用のあり方を検討する。また、東日本大震災被災地における土地利用規制(災害危険区域)の現状把握にもつとめ、時間経過に伴う実態変化を把握する。

平成35年度にはそれらの成果を関連分野に提供・共有し、我が国における観測技術の土地利用規制への活用方策を検討する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

イタリア・ラクイラ地震(2009)アマトリーチェ地震(2016)の復旧・復興状況についての現地調査を実施した。特にラクイラ地震で被害を受けた歴史的市街地およびその周辺部の建物再建を主とした復旧施策については、政府の災害防護庁主導のもと、壁面を共有する建物所有者が共同で再建計画を策定し、それに認可を与えることで予算措置がなされ、建物所有者の金銭負担を最小限にしているという特徴を把握した。その際、建物の耐震性を向上するにあたっては、将来的な災害発生危険性については配慮されないものの、現在の建物設計基準の6割を目途にした補強計画を求められていること、郊外農村部においては地盤を中心とした災害危険性に鑑み、移転再建を再建計画受理の条件としていることなども明らかとなった。本年度の末にはニュージーランドにおける断層近傍の建築制限区域の設定及び運用状況についても調査を行う予定である。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

澤田雅浩,2019, 割地制度の実態把握と被災地への応用可能性に関する一考察 新潟県長岡市信濃川沿岸での実態調査を通じて, 地域安全学会論文集,35,59-66

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

令和元年度に引き続き、海外における断層近傍の建築制限の運用実態についての調査をすすめる。

具体的にはニュージーランド、トルコ、台湾を想定している。

災害発生後に明らかになった断層の存在がその後の復興計画にどのような影響を及ぼしたのか、そしてその後その運用はどの様になっているのかを把握するとともに、可能であればそれによる不動産価値の変容についても整理を進める。

また、熊本地震の被災地において、現地再建を検討する際に断層の存在が議論に影響をしていた実態を改めて把握する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

澤田雅浩准教授(研究統括)

馬場美智子准教授・紅谷昇平准教授・青田亮介教授・室崎益輝教授(研究科長)

他機関との共同研究の有無: 有

関西学院大学総合政策学部 照本清峰准教授

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：減災復興政策研究科

電話：078-891-7376

e-mail：

URL：<https://drg-u-hyogo.jp/>

( 14 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：澤田雅浩

所属：減災復興政策研究科

( 1 ) 実施機関名：

東京大学情報学環

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

ニーズ・アセスメントに基づく地震・火山災害に関する発生確率、被害想定、災害情報のコミュニケーション戦略の開発

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

( 4 ) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

オ. 高リスク小規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

総合防災情報研究センターでは、設立時のミッションである「災害情報の生産 - 伝達 - 受容過程の解明」および「首都直下地震災害の全体像の把握」を中核に置き、「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」(平成 25～32 年度)、「日本海地震・津波調査プロジェクト」(平成 25～32 年度) また拠点間連携研究「災害ハザード情報を社会機能の強靱化につなげるための要件の分析」(平成 26 年度)「巨大災害想定コミュニケーション戦略に関する研究」(平成 27・28 年度)などに参画し、防災対策に資するため、人々の避難意図、リスクコミュニケーションの研究を実施してきた。

その結果、科学的な生起確率、様々な想定が住民や関係諸機関に適切に理解されておらず、積極的には活用され難い現状を明らかにしてきた。

( 7 ) 本課題の5か年の到達目標 :

本研究では、南海トラフ地震や首都直下地震、大規模噴火災害等の想定災害において、多様なステークホルダーを対象に、災害の発生確率、被害想定、関連する災害情報(火災情報や降灰情報)をどのように理解・掌握して活用しているかなど情報の理解の現状と課題を明らかにすることを目標とする。これらより一層の活用を図るために地震学・火山学に求められる情報内容や表現、活用条件について考察する。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

平成31年度においては、地震・火山災害情報の活用のための住民の知識体系にかんする基礎的調査を実施する。

平成32年度においては、地震・火山災害情報の活用のための住民の知識体系にかんする基礎的調査の解析を行う。

平成33年度においては、1年目、2年目の成果を元に、地震・火山災害の発生確率、被害想定など災害情報にかんする調査を実施する。

平成34年度においては、地震・火山災害の発生確率、被害想定など災害情報にかんする調査の詳細解析を行う。

平成35年度においては、地震学・火山学のアウトプットに対するニーズや活用実態災害、情報としての活用を抑制している要因および課題の明確化する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

令和元年度においては、地震・火山災害情報の活用のための住民の知識体系にかんする基礎的調査を実施する予定であった。本年度、たまたま2019年12月1日~8日、日本放送協会による「体感・首都直下地震ウィーク」が実施されることとなり、ドラマ『パラレル東京』や関連するNHKスペシャルが放映されたので、この時期がもっとも、地震防災に関連する「地震の発生確率」「ハザードマップ」「被害想定」「関連する災害情報」などへの関心が高まると考え、このキャンペーン報道による学習効果も含めて検討することにした。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

安本真也・石濱陵・森野周・関谷直也, 2020「南海トラフ地震に関連する情報」に対する住民の反応, 災害情報 18, 日本災害情報学会誌齋藤さやか・関谷直也・安本真也, 2020, 地震対策行動の規定因に関する探索的研究, 9.22, 第38回日本自然災害学会学術講演会・安本真也・田中淳・関谷直也, 2020, 漁港における津波対策の現状と課題 沿岸部自治体の悉皆調査結果より, 自然災害科学 特別号, 日本自然災害学会.

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

令和2年度においては、地震・火山災害情報の活用のための住民の知識体系にかんする基礎的調査の解析を行う。

令和元年度に実施した2調査に加え、設問を追加し3回目のアンケート調査の実施する予定である。3回分通した調査結果の分析を来年度行い、知識や不安感などに関して、一定の時間が経過した後、どの程度変化するのか住民の災害(特に今回は、首都直下地震)に対する知識体系を明らかにする。

また、令和2年度以降の、地震災害・火山災害の発生確率、被害想定、関連する災害情報(火災情報や降灰情報)など、対象を限定した詳細な住民調査へとつなげる。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

田中 淳 : 東京大学大学院情報学環附属総合防災情報研究センター

関谷 直也 : 東京大学大学院情報学環附属総合防災情報研究センター

片田 敏孝：東京大学大学院情報学環附属総合防災情報研究センター  
宇田川真之：東京大学大学院情報学環附属総合防災情報研究センター  
他機関との共同研究の有無：有  
山梨大学・秦康範、琉球大学・斉藤さやかほか

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：総合防災情報研究センター

電話：03-5841-5924

e-mail：cidir@iii.u-tokyo.ac.jp

URL：http://cidir.iii.u-tokyo.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：関谷直也

所属：東京大学大学院情報学環総合防災情報研究センター

## 地震・火山災害情報の活用のための 住民の知識体系にかんする基礎的調査

### 1回目調査

調査対象	東京都民（NTTコム リサーチのモニター）
調査名	首都直下地震に関する調査
有効回答	10680サンプル
調査方法	WEB調査（パネル調査）
調査期間	2019/11/29 ～ 2019/12/01（キャンペーン放送開始直前）

### 2回目調査

調査対象	東京都民（NTTコム リサーチのモニター）
調査名	首都直下地震に関する調査（2回目）
有効回答	8329サンプル（1回目と同一パネル、80.0%）
調査方法	WEB調査（パネル調査）
調査期間	2019/12/11 ～ 2019/12/12（キャンペーン放送終了直後）



( 1 ) 実施機関名：

東北大学災害科学国際研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

東北地方における地震・津波・火山情報に関する歴史資料の所在調査とデータ収集

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

平成 25～30 年度の「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」では、平成 27 年度地震・火山噴火の解明と予測に関する公募研究「岩手県沿岸で発生した地震・津波に関連する歴史情報の収集」および平成 28 年度同公募研究「旧気仙郡地域における歴史地震・津波に関する災害史料の収集とデータベース化」において、岩手県大船渡市・陸前高田市および釜石市唐丹地区など、かつて気仙郡と呼ばれた地域をフィールドとして、東日本大震災における個人所蔵の歴史資料に対する津波被害の状況について調査をした。この調査の過程で、旧吉浜村で明治三陸津波後に高台移転を実施した村長家に関する史料群や、旧唐丹村の村役場文書の存在が確認され、同地域の災害を含めた歴史について新たな史料群の存在を確認することができた。これらの結果から、東日本大震災の被災地となった東北地方太平洋沿岸をはじめとして、東北地方においては未調査の歴史資料や災害情報が数多く残されており、これらを調査・撮影を実施する必要があると考える。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

本課題では、東北地方をフィールドとして『新収日本地震史料』や既存の自治体史に部分的に掲載されている災害関係史料の原本の所在を調査し、それらの所蔵機関・所蔵者を訪問して原本全体をデジタルカメラで撮影し、データを収集する。その際、災害史料単体ではなく、それらの史料が含まれる史料群に着目し、従来の災害研究では着目されなかった絵図・地図類や地域の開発や社会変遷が伺える記録類の情報も収集することにする。

新出史料の調査については、2011 年の東日本大震災を受けて各地で被災史料の保全活動を実施している自治体や史料保全ネットワークなどと連携し、各地で展開している史料の保全活動と連携しながら、近年の調査で所在が判明した史料群における災害関連資料の有無を確認し、所在が確認された場合にはデータ撮影を実施する。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

本課題の実施計画は、5年間の中で東北6県を全て網羅することとし、宮城県における史料所在調査および撮影は随時実施することとし、それ以外の5県については、各1年間をかけて集中的に調査を実施することにする。特に東日本大震災の被災地である地域を優先し、平成31年度においては岩手県、平成32年度においては福島県、平成33年度においては青森県、平成34年度においては山形県、平成35年度においては秋田県という順番で実施することを想定している。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

本年度の調査では、まず地域に存在する歴史資料の調査として、岩手県釜石市唐丹地区の行政文書について撮影とデジタル化を実施し、同地区における昭和三陸地震津波に関連する被害状況に関する情報を得た。

特に同史料群の中には、字界の範囲で5枚の絵図が含まれており、昭和8年(1933)に発生した昭和三陸地震津波前後の地形及び居住形態について詳細に記載されている(図1)。うち1枚の「字小白濱絵図」には、昭和三陸津波後に整備された復興地とみられる地割と坪数を示した図も付録として添付されており、役場の照合年月を示した照合の記録の痕跡がみられる。この絵図において、当時から位置が変わっていない盛岩寺の位置が右端中段であること、宅地の配置や軒数から、写真の下部が海面および海岸線と判断でき、昭和16年(1941年)の時点までに津波浸水範囲であった部分に加えて、「新開地」とされる南西側の用地が海岸線いっばいのところまで拓かれていたことがわかる。また、絵地図の付録されていた「小白浜第一住宅地」には、宅地の区画と坪数が記載されており、小白浜における移転地造成の区割りや敷地面積など昭和三陸津波後における復旧・復興の過程が具体的に記されている。

次に、秋田県にかほ市象潟町関地区において、江戸時代の名主文書を撮影・デジタル化し、1804年に発生した象潟地震の際の家屋倒壊や田畑の被害に関連する古文書や古絵図の存在を確認することができた。象潟地震によって発生した津波について、この関地区における津波の浸水状況は重要な意義をもつため、今回撮影を実施した史料群にもとづき、関地区のフィールドワークを実施し、当時の絵図史料と比較検証しながら、象潟地震当時の関地区の居住形態を復元し、ここに「当六月四日之夜大地震二付潰家死人馬書上帳面控」に記された家屋の全壊・大痛・中痛の被害状況を重ねあわせ、象潟地震の被害状況を復元した(図2)。これをみると、象潟地震における関地区の被害状況には、津波被害にみられるような規則的な破壊は見受けられず、関村の被害は地震動による家屋倒壊であったことが明らかとなった。

また、文化6年(1809)に描かれた奈曽川流域の荒所の状況を記した絵図には、「地震荒所」と記される場所が奈曽川上流部に多数みられる(図3)。ここから、象潟地震において関村周辺はもとより、関村上流部の田畑における被害状況が大きかったことが明らかとなった。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

蝦名 裕一・今井 健太郎, 2019. 秋田県関村における歴史地形と象潟地震被害の復元, 2019年度歴史地震研究会徳島大会予稿集.

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

令和2年度の計画として、当初計画では平成35年度に計画していた秋田県の資料調査であるが、前年度に実施した秋田県関村文書を手がかりとして、1804年象潟地震に関する史料調査を先行して実施する。特に関地区の古文書・古絵図について継続的に調査するとともに、周辺地域の象潟地震をはじめとした災害史料の所在調査を実施する。また、東北地方太平洋側の調査としては、唐丹村役場文書の解読・分析を進めて昭和三陸地震津波の情報を詳細に得ると共に、これに関連する周辺地域の歴史資料を調査する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

蝦名裕一、東北大学災害科学国際研究所、人間・社会対応研究部門、准教授  
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学災害科学国際研究所 災害文化研究分野

電話：022-752-2146

e-mail：zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp

URL：http://irides.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：蝦名裕一

所属：東北大学災害科学国際研究所

### 「字小白濱絵図」



図1：「字小白濱絵図」





図2：象潟地震当時の関地区の居住形態と地震被害の分布

文化6年(1809)の奈曾川流域の荒所(耕作不能地)の状況

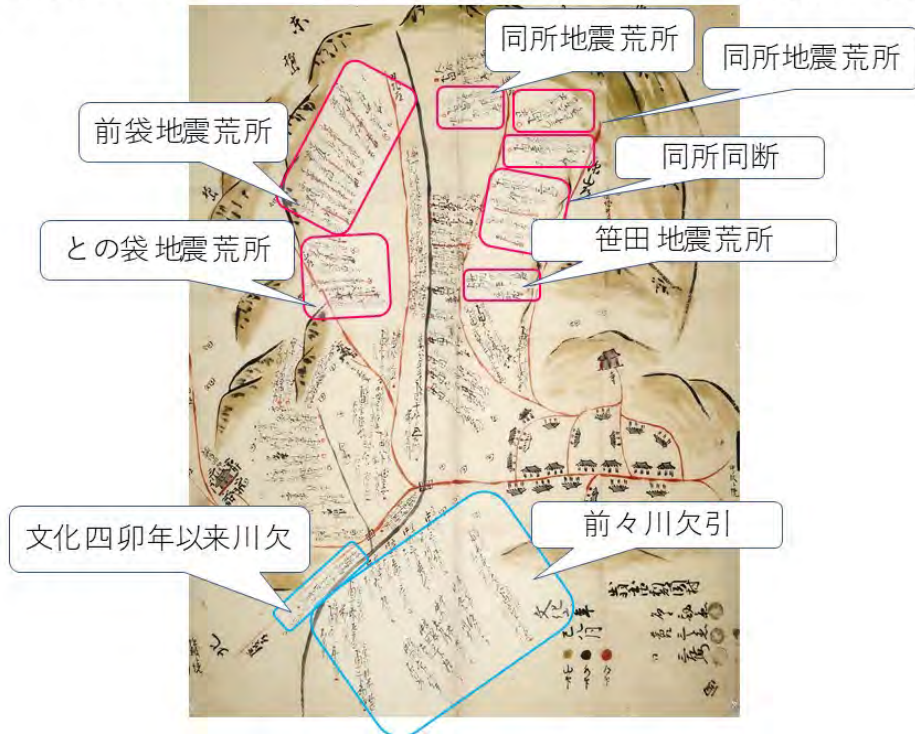


図3：象潟地震における関村の田畑被害の状況

( 1 ) 実施機関名：

東北大学災害科学国際研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

GPS-A 観測による効率的な上下変動検出技術の開発と根室沖観測への適用

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

第1次計画の「4.(2)ウ」に関連した課題番号1210「海溝軸近傍で観測可能な海底地殻変動観測技術の開発」を通して、海溝軸近傍の大深度海域における海底圧力計、海底間音響測距の海底測地観測技術を開発、実観測への適用を果たしている。海底間音響測距観測では、海溝軸をまたぐ大深度・長基線での観測に成功し、沈み込みに伴う海溝軸近傍の変形様式を実測により示すとともに、GPS-A 観測の根幹である長距離海中測距技術を確立した。

一方、受託研究などで東北沖地震の地震時変位(Kido et al., GRL 2001)や地震後の広域の余効変動場(水平変位)をGPS-A 観測により明らかにした実績があり(Tomita et al., Sci.Adv., 2017)、現在は独立データとしての上下動観測が期待される他、上下動観測が可能な様々な観測形態についての理論的研究を推し進めている(Honsho and Kido, JGR, 2017)。

( 7 ) 本課題の5か年の到達目標：

これまでGPS-A 観測は、海域での地殻変動を直上で捉えられる有効な手段として普及してきたが、上下動の計測には移動観測が必要でかつ検出精度も低かったことから、水平変動の検出に重点が置かれてきた。しかし、海底設置トランスポンダを適切なレイアウトで配置して定点観測を実施することで、これまで原理的に上下変動が解けないとされてきた定点観測方式でも上下変動の検出が可能であることがわかってきた。今後のGPS-A 観測網の広域展開時に期待される海上自律プラットフォームでの自動観測は、長期観測時の燃料の制限から、推進性能上定点観測に限定される可能性があり、定点観測で水平動と合わせて上下動も計測する方法の開発が望まれている。

一方、千島海溝での M8.8 以上の超巨大地震の今後 30 年の発生確率が最大で 40%に達すとの政府の見解が有り、同海域を対象とした研究計画が同じ項目から申請されている。地震間の地殻変動としては水平変動が卓越しているが、地震時変位や地震後の余効変動では上下動も無視できない存在であることが、2011 年の東北沖地震に関する研究で明らかになっている。新たな観測網を構築する千島海溝で、巨大地震に備え上下動検出可能な体制を作っておくことは重要である。

本研究では、コスト効率の高い最適な GPS-A 海底局設置レイアウトを精査し、新規観測が予定されている根室沖および現在余効変動による顕著な上下動が見られている東北沖の特定の点で実測データを得ることで、上下変動が検出可能なことを理論と観測の双方から 5 年以内の実証し、今後の新しい GPS-A 観測のモデルケースとして提案することを目標とする。また、5 年間の実証データを利用し、千島海溝および日本海溝沿いの海底地殻変動場を把握するのに有用なデータを提供する。

#### ( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

水平方向の地殻変動成分の検出に特化してきた既存の海底局アレイの中央に、海底局を 1 台追加して配置することにより、通常行われる定点観測で上下動検出が可能なことを実証し、得られるデータは地震の長期評価に利用する。

2019 年度は、課題 HKD.09 および ERL.05 と連携し、根室沖に設置予定の 3 ヶ所の GPS-A 観測点の海底局アレイの中心に、本課題で整備する海底局を追加設置し、アレイ全体の形状決定のための観測をおこなったうえで、上下動検出を可能にするアレイ中心での定点観測を開始する。1 キャンペーン観測内のアレイ位置の時系列から、上下変位検出精度の暫定的に検討する。

2020 年度と 2021 年度は、根室沖での繰り返し観測を実施し、初回の上下も含めたアレイ変位を求め、想定される観測精度と照らし合わせ解釈を行うとともに、上下変位推定における観測時の海上プラットフォームの違いの影響を吟味する。また、根室沖での初期観測結果を参考にしつつ、日本海溝沿いに展開している東北大所有の GPS-A 観測点の中から適当な 1~2 点を選定し、別途回収予定の海底局の電池を整備し直し、選定した観測点に追加設置することで、根室沖と同様の上下動検出が可能な状態にし、それらのサイトでも観測を開始する。

2022 年度および 2023 年度は年 1 回の頻度で観測を継続しデータを集積させる。さらに、既存観測点から上下変動検出が可能な 6 局等の特別なレイアウトのものを抽出し、近年考案された上下変動を組み込んだ解析アルゴリズムで既存の観測データを再解析し、現状のレイアウトでの上下変動検出精度、誤差要因を把握するとともに、誤差伝搬理論に基づいた最適な観測機器配置レイアウトを提案する。

各年度の観測では、誤差要因について考察できるよう、CTD/XCTD 等による海中音速場についても同時計測を実施する。観測で使用する調査船は、別課題で申請した傭船によるものの他、海洋研究開発機構の共同利用の機会も併せて利用する予定である。得られた水平・上下変動推定値を、観測を実施した研究課題に還元し、プレート固着状態の推定に役立てるとともに、誤差要因について精査した後に、新しいタイプの GPS-A 観測レイアウトとして提案し、他の GPS-A 観測を実施している研究機関が利用できるようにする。

#### ( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

本研究の予算と他の研究費とを合わせて、海底局 11 台を新規購入、あるいは再利用により確保し、2019 年 7 月の新青丸 KS19-12 次航海で、根室沖の海溝軸に直交する測線上の 3 箇所に設置した( 図 1 )。観測点は陸に近い方から G21( 4 局、海溝軸から約 100 km、水深 2920 m )、G22( 4 局、同 35 km、水深 6242m )、さらに太平洋プレート上の G23( 3 局、同 30 km、水深 6700 m )である( 図 2 左 )。設置後、海底局アレイ上をまわる移動観測をそれぞれの観測点で数時間行い( 図 2 右 )、その場解析で暫定着底位置を推定し、アレイの中心位置を求めた。さらに求めたアレイ中心でそれぞれ 12 時間程度の定点観測を実施し、初期のキャンペーンデータを得た。また観測と併行して、基準音速プロファイルを得るための CTD/XCTD 計測も実施した。陸上の GNSS とで基線解析を行い、個々の海底局の精密局位置解析を行い、アレイ形状を決定した。

一方、中心海底局を加えた、定点観測による海底局アレイの上下変位検出に関する精度評価の数値シミュレーションを行った。その結果、水平変位の分解能は常にサイズの異なる同心三角形の6局アレイの方が4局アレイに比べ有利であるが、上下変位に関しては、水深に対して十分大きなアレイとすることで、4局アレイの方が6局アレイよりも有利であることがわかった。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Honsho, C., M. Kido, F. Tomita and N. Uchida, 2019, Offshore postseismic deformation of the 2011 Tohoku earthquake revisited: Application of improved GPS-acoustic positioning method considering sloping sound speed structure, *J. Geophys. Res.*, 124 No.6, doi: 10.1029/2018JB017135.

Imano, M., M. Kido, C. Honsho, Y. Ohta, N. Takahashi, T. Fukuda, H. Ochi and R. Hino, 2019, Assessment of directional accuracy of GNSS-Acoustic measurement using a slackly moored buoy, *PEPS*, 6 No56, doi:10.1186/s40645-019-0302-1.

Matsui, R., M. Kido, Y. Niwa and C. Honsho, 2019, Effects of disturbance of seawater excited by internal wave on GNSS-acoustic positioning, *Mar. Geophys. Res.*, 40, doi:10.1007/s11001-019-09394-6.

Tomita, F., M. Kido, C. Honsho, R. Matsui, 2019, Development of a kinematic GNSS-Acoustic positioning method based on a state-space model, *Earth Planets and Space*, 71(1), 102, doi:10.1186/s40623-019-1082-y.

太田・他, 千島海溝南西部根室沖における海底測地観測網の構築, 日本地震学会 2019 年度秋季大会, 9 月 16 日, 京都大学, 京都.

(11) 令和2年度実施計画の概要 :

2020年5月に予定されている航海で、3局アレイのG23に1局を追加設置し、全点で4局体制とする。同時に2回目となるキャンペーン観測を実施し、更に秋に予定されている航海で3回目のキャンペーン観測を行い、各観測点のアレイの変位速度の暫定値を得る。同時にどの程度の鉛直変位推定精度が達成できるかを、実データに基づき検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東北大学災害科学国際研究所(木戸元之)

他機関との共同研究の有無 : 有

東北大学理学研究科(日野亮太・太田雄策・東龍介)

北海道大学(高橋浩晃・大園真子)

海洋研究開発機構(飯沼卓史・富田史章・堀高峰・尾鼻浩一郎)

東京大学地震研究所(篠原雅尚)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東北大学災害科学国際研究所

電話 :

e-mail : zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp

URL : <http://irides.tohoku.ac.jp/>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 木戸元之

所属 : 東北大学災害科学国際研究所



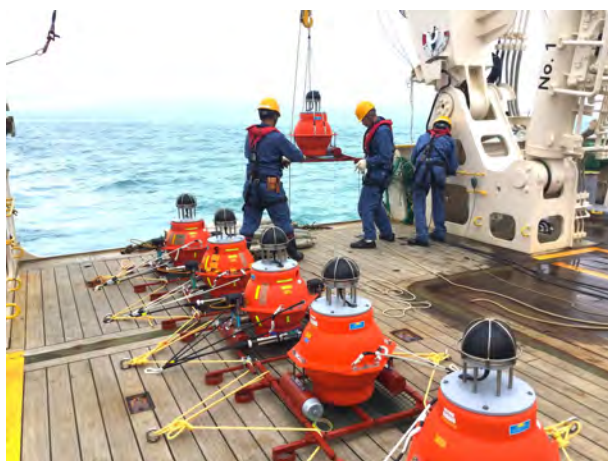


図1：GPS-A 海底局の設置作業

3箇所の観測点に計 11 台の海底局を船上からの自由落下で設置した。

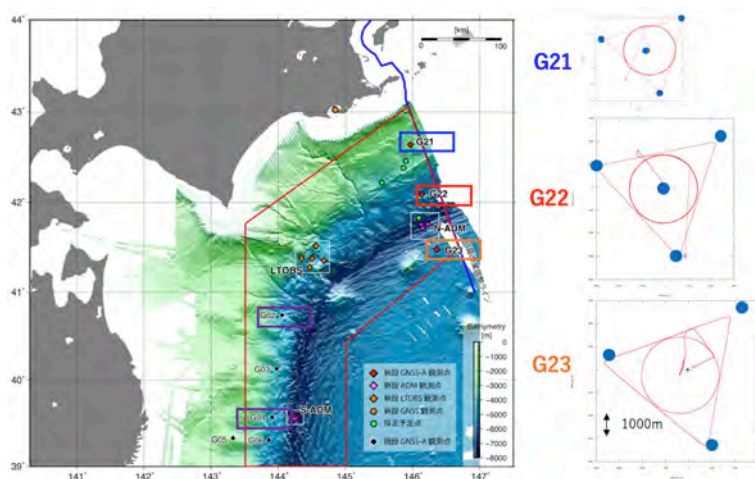
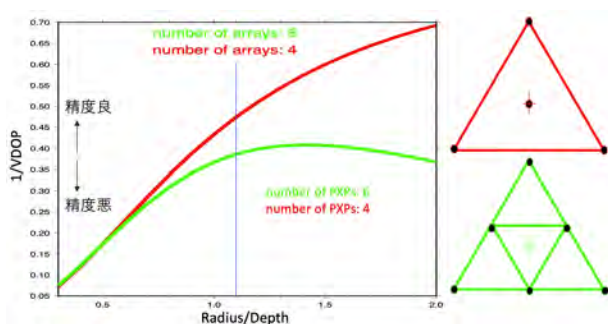


図2：根室沖の観測点配置

左図に千島海溝の海底地形図と GPS-A を含む全ての観測点を、右図にそれぞれの GPS-A 観測点での移動観測時の航跡を示した。



VDOP (Vertical Dilution of Precision) に基づく鉛直変位の精度評価

中心定点観測の際の、水深に対するアレイの外接円半径サイズと鉛直変位の幾何学的推定精度の関係を示した。赤は 4 局の例、緑は 6 局の例。比が 0.6 より大きくなると 4 局の方が有利になる。

( 1 ) 実施機関名：

東北大学災害科学国際研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地表設置型合成開口レーダ(GB-SAR)による地表面変位計測の高精度化

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

Ⅰ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 国際共同研究・国際協力

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

宮城県栗原市荒砥沢地区ならびに熊本県南阿蘇村立野地区の2ヶ所に地表設置型合成開口レーダ(GB-SAR)を設置し、リアルタイムモニタリングを数年にわたり継続しており、地元自治体、関係者への早期警報システムを確立した。

( 7 ) 本課題の5か年の到達目標：

GB-SAR 干渉計測では、レーダ電波の地表面の往復時間・位相を計測し、繰り返し計測における位相の変化を計測し、地表面変位を推定している。電波は空中の伝搬速度が、大気に含まれる水蒸気量によって変化する。電波の伝搬速度が変化するとレーダで計測する対象物が変化しなくとも、計測される位相が変化するため、あたかも地表面が変位するような誤差を与える。我々が荒砥沢、南阿蘇で計測したデータにおいて、水蒸気量による誤差は、日変化においても無視できないほどの量であり、そのための大気補正手法を開発してきた。これにより、大気状態が比較的安定している場合、正確な地表面変位の計測が行えることを確認したが、強雨時など補正が十分でない事例も確認している。本研究では、こうした問題を解決することで、GB-SAR 干渉計測の精度を向上させ、地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法に資することを目標とする。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要：

平成 31-33 年度は現在宮城県荒砥沢地区ならびに熊本県南阿蘇村立野に設置している 2 台の GB-SAR の連続計測を継続し、GB-SAR データの取得を行う。合わせて、気象観測ステーションを設置するなどして、局所的な大気情報計測を行う。

広域の GB-SAR 計測では、大気補正を計測したレーダデータを用いて行うことが実用上重要であり、本研究ではこれまで計測地域の大気を単純化したモデルで表現し補正に利用してきたが、モデルを高精度化し、時間・空間的にアダプティブな補正手法を開発する。そのために、局所的かつ詳細な大気情報を利用し、手法を検証する。

研究グループが所有する GB-SAR 装置は世界的にも数少ないフルポーラリメトリ計測を行える。特に偏波情報を利用した大気補正は世界的に他のグループが実践的なデータを利用して行うことができず、我々は世界に先駆けた研究を行う体制を整えている。

平成 34,35 年度は発生する火山噴火予兆や地滑り予兆なども考慮しつつ、計測対象を変えて開発した手法の検証を継続する。

#### ( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

宮城県荒砥沢地区ならびに熊本県南阿蘇村立野に設置している 2 台の GB-SAR の連続計測を継続し、GB-SAR データの取得を行った。

南阿蘇立野地区には 2017 年に地上設置型合成開口レーダ ( GB-SAR ) を設置した。主に 2019 年 1 月から 11 月までのデータから推定した面的変位速度からは大きな変位は確認されていない。図 1 に GB-SAR で計測した変位量を示す。同地区はこれまで熊本地震による崩落地帯の安定化、国道ならびに鉄道の復旧工事が行われてきたが、これらの工事が年度末ではほぼ終了する見込みである。斜面の安定化事業により、GB-SAR で観測してきた地域は金属ネットで覆われ、植生が進められた結果、従来の計測状態とは変化し、安定化の確認が主たる目的となっている。しかし例えば 2019 年 6 月 30 日に大雨により崖面一部の崩落が観察されたが、GB-SAR ではこれを的確に捉えている。国交省との情報提供など引き続きモニタリングを継続している。

SAR 画像のピクセルごとの位相・強度情報を用い、二枚の SAR 画像を干渉させる ( 位相の差をとる ) ことにより、二回の観測の間における変位量を推定する。しかし、観測間において大気屈折率が時間的・空間的に変化した場合、その変化量は電波の伝搬速度を変化させ、結果的に干渉 SAR における位相差として現れる。この誤差を軽減するのが大気補正である。立野の観測範囲はカルデラ内部の山間部であり、その独特な気象状態から、5 分の観測間隔においても大きな大気誤差が発生することが分かっている。これを解決するため多数の SAR 画像を使用して変位速度を推定する Persistent Scatter Interferometry ( PSI ) 技術を使用した。PSI 技術により、二枚の SAR 画像間で変位量を求めるより、より少ない誤差で変位を推定することができる。したがって、本観測においても、PSI を適用した変位速度推定を行っている。日報では 1 時間ごとに前 2 時間の 8 枚の SAR 画像を用いて PSI により推定した変位速度 [ mm/h ] を表示している。また、PSI 手法では、安定したピクセルのみを扱う。降雨により、表面の土砂が多少流れるためある程度の変位が予想されるが、このようなピクセルは適用アルゴリズムの都合上不安定 ( ノイズの多い ) ピクセルと見なされてしまうため、正確な値を推定することができない。したがって、本結果は地滑りの前兆であるクリーピング現象などのような比較的ゆっくりした変位のみ推定することができる。

一例として、設置した GB-SAR がとらえた変位を図 2 に示す。この変位は 2018 年 11 月 27 日 15:58-17:58 の間に取得した 8 枚の SAR 画像を処理して推定したものである。現場ではバックホウにより掘削作業が行われており、発生した土砂により干渉画像が著しく変化していた。通常、土砂による位相変化は急峻であるため、不安定ピクセルと見なされる。一方図 2 は作業終了後の結果を示しており、工事により斜面に蓄積した土砂は正方向の変化を示していることが解析より判明した。これは、風などによる浸食が原因と推測される。この結果から明らかのように本 GB-SAR による観測では、mm オーダーの変化を捉えられることが分かる。

宮城県荒砥沢についても大きな変化は無いが、10 月の豪雨の際、斜面の浸食が認められた。図 3 に、

計測対象地域を区分したエリア分布を示す。図4に10月の降水量とGB-SARで得られた変位を示す。GB-SARによる変位観測結果から土砂浸食量の推定法を提示し、降水量との相互相関をとると図5に示すよう一定時間の遅れがあることを見いだした。今後、土砂浸食の予想へつながる成果と考えている。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

秋山 祐也, 佐藤 源之, 2019, MIMO レーダを用いた干渉 SAR による表面変位測定, 信学技報, vol. 119, no. 55, EMT2019-5, 23-28.

秋山 祐也, 佐藤 源之, 2019, MIMO レーダのアジマス分解能評価, 信学技報, vol. 119, no. 121, SANE2019-32, 79-84.

D.C.Valentine, M.Sato, 2019, Integration of GB-SAR and Spatial Data Processing for Real-Time Landslide Monitoring, IEICE Technical Report, vol.119, no.121, SANE2019-31, 73-78.

佐藤 源之, 鄒 立龍, ジョバンニ ニコ, 菊田 和孝, 2019, GB-SAR(地表設置型合成開口レーダ)による変位・振動計測、電子情報通信学会 B 論文誌 vol.J-102B no.11, 844-852.

D.C.Valentine, M.Sato, 2019, Integration of GB-SAR and Spatial Data Processing for Real-Time Landslide Monitoring, Remote Sensing Society of Japan (RSSJ) annual meeting.

(11) 令和2年度実施計画の概要 :

宮城県荒砥沢地区ならびに熊本県南阿蘇村立野に設置している2台のGB-SARの連続計測を継続し、GB-SARデータの取得を継続する。現在開発中のMIMOレーダによる計測システムの置換を検討し、長期モニタリングの信頼性向上をめざす。

大気補正の手法は引き続き推定精度の信頼性向上のために必要である。宮城県荒砥沢地区ならびに熊本県南阿蘇村立野のデータを利用して検討を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

佐藤 源之 (東北大学 災害科学国際研究所、東北アジア研究センター)

森口 周二 (東北大学 災害科学国際研究所)

Anwer Sayed (東北大学 東北アジア研究センター)

菊田 和孝 (東北大学 東北アジア研究センター)

長谷中 利明 (熊本大学 くまもと水循環・減災研究教育センター)

他機関との共同研究の有無 : 有

栗原市

国交省九州復興事務所

熊谷組

安藤・ハザマ

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東北アジア研究センター

電話 :

e-mail : zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp

URL : <http://magnet.cneas.tohoku.ac.jp/satolab/satolab-j.html>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 佐藤源之

所属 : 東北大学 災害科学国際研究所(東北アジア研究センター)

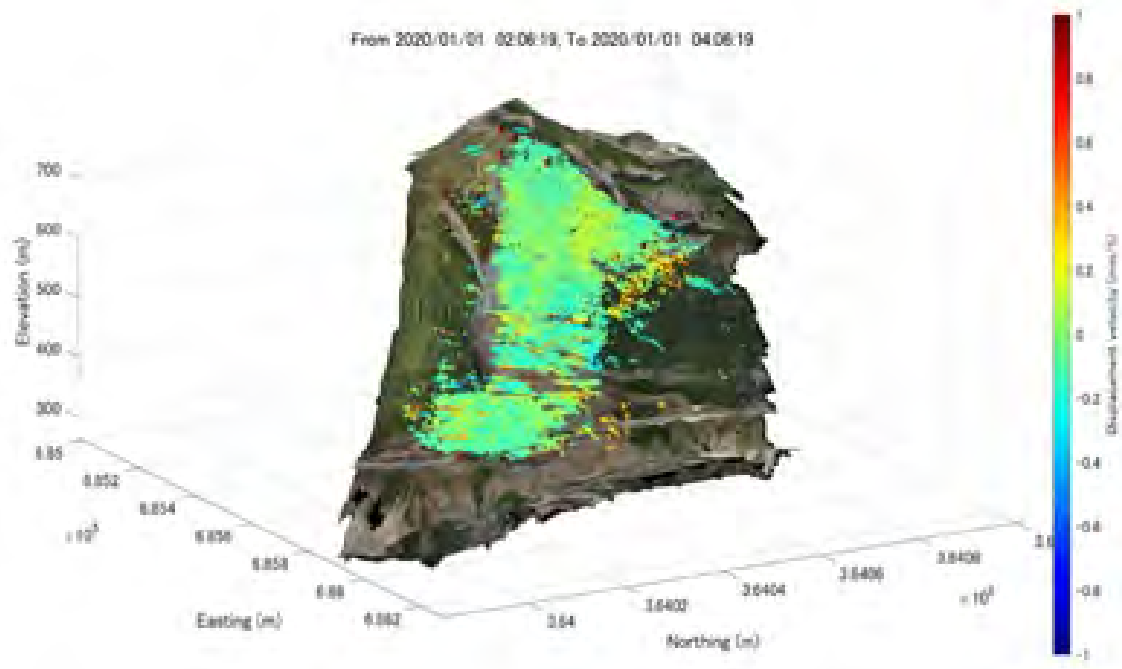


図 1 南阿蘇村立野地区 GB-SAR 変位画像の例  
 24 時間こうした変位画像をモニタリングしている

201811.27 15:58-17:58

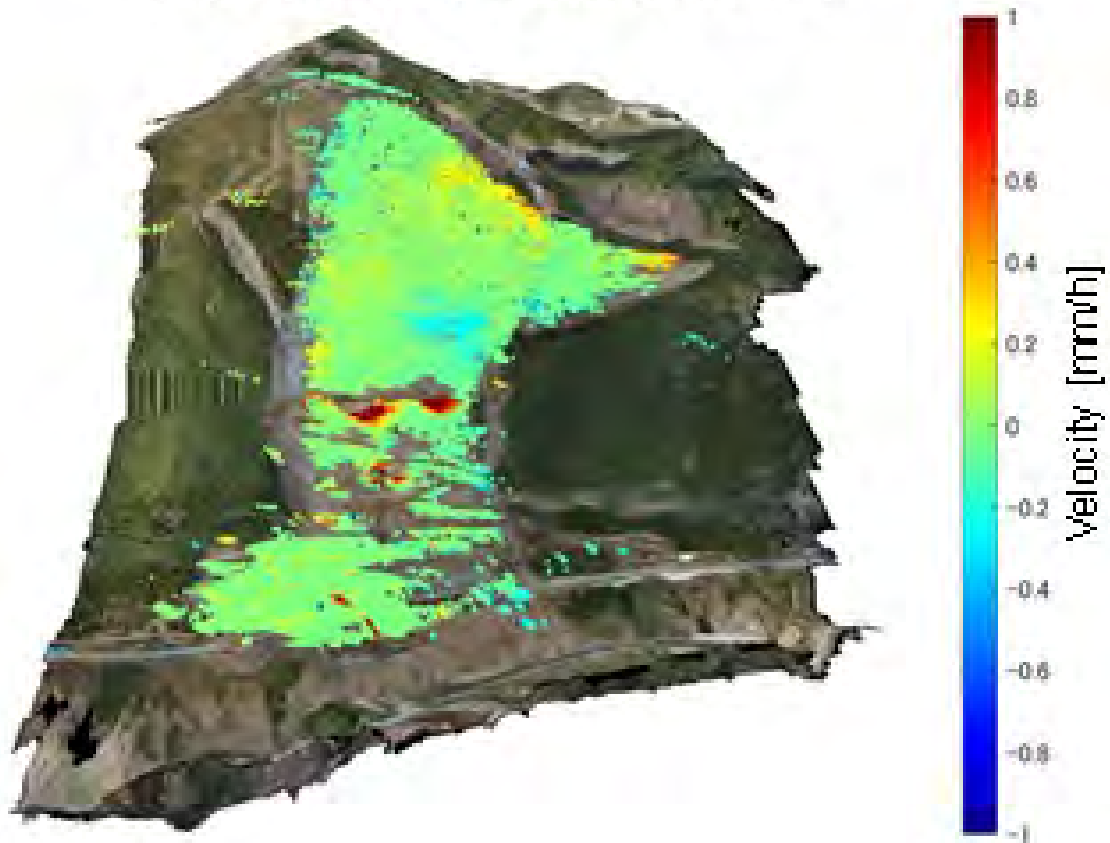


図2 GB-SAR で人工的な地表面変位を捉えた例

2018年11月27日15:58-17:58の間に取得した8枚のSAR画像を処理して推定したものである。現場ではバックホウにより掘削作業が行われており、発生した土砂により干渉画像が著しく変化していた。通常、土砂による位相変化は急峻であるため、不安定ピクセルと見なされる。

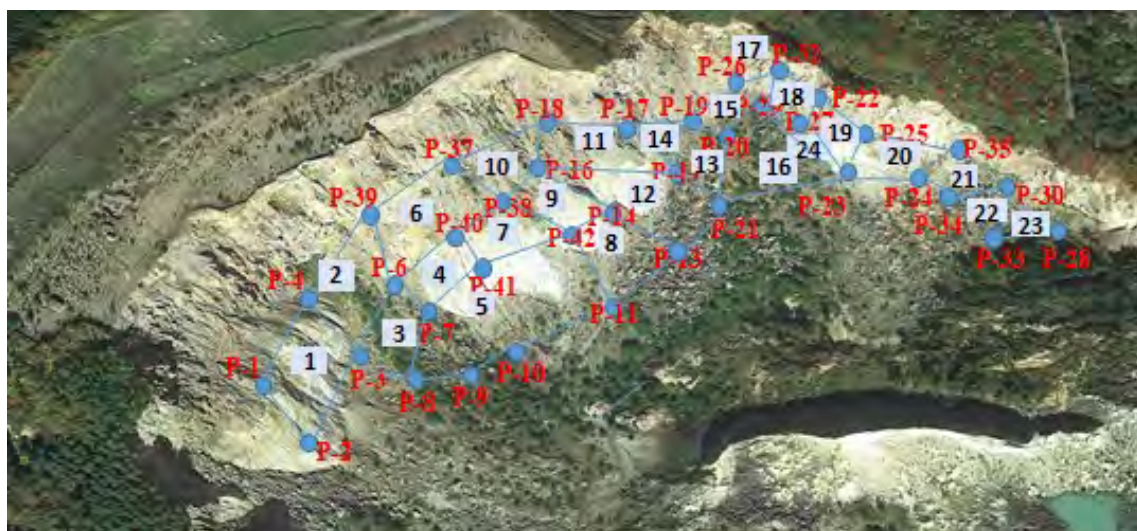


図3 観測エリア

GB-SARによって地滑り計測を行っている宮城県栗原市荒砥沢地区と、区分化したサイト



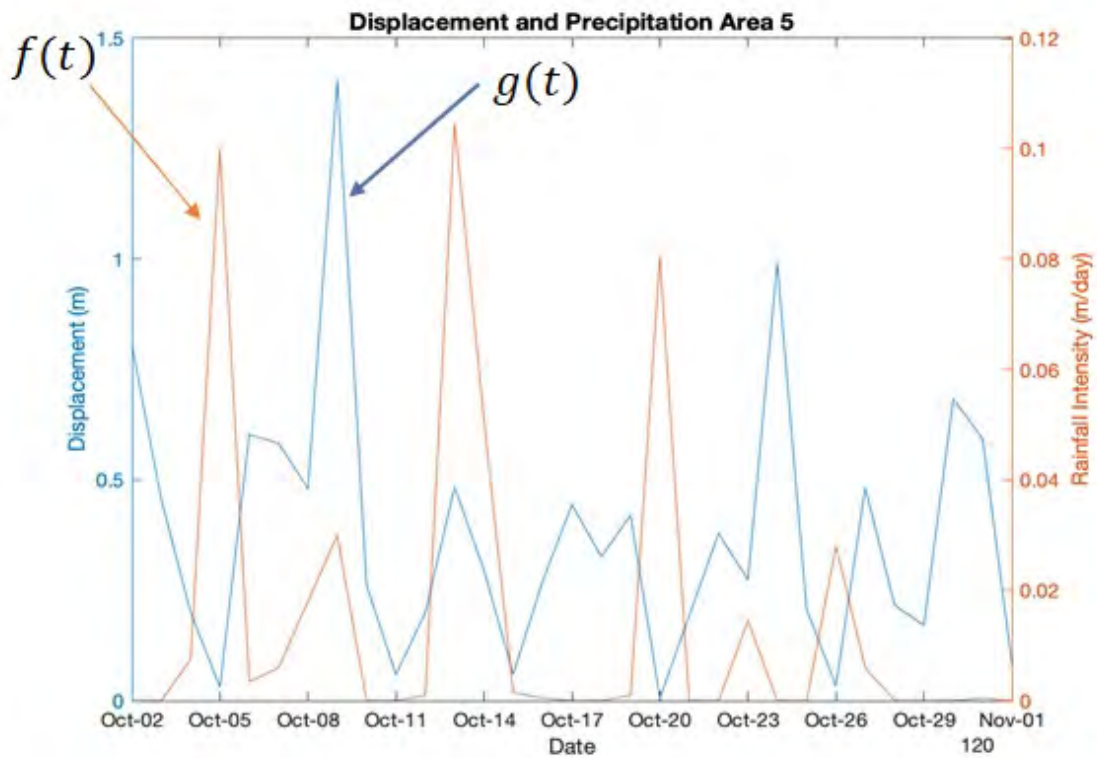


図4 GB-SARで推定した地表面変位量と降水量  
 GB-SARで推定した地表面変位量と降水量の時系列データ

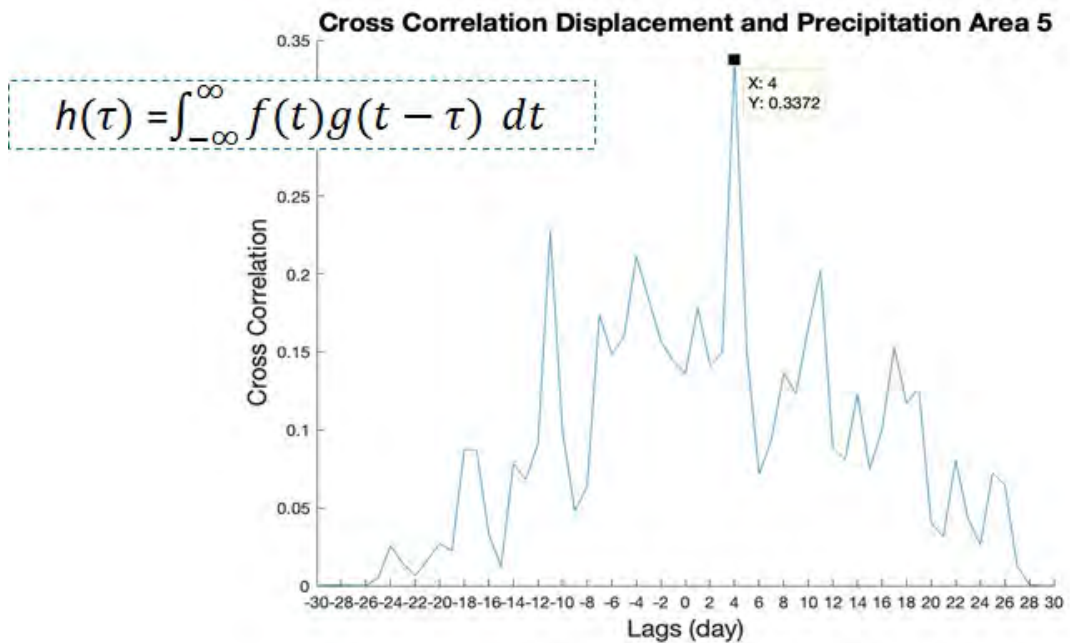


図5 地表面変位と降水量の相互相関  
 地表面変位と降水量の相互相関から、降水後4日程度で変位が現れる現象を見いだした



( 1 ) 実施機関名：

東北大学災害科学国際研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震の事前情報を起点とするハザード事象系統樹の開発

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究  
地震

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

南海トラフ沿いの巨大地震について、その震源域周辺で非定常な現象が発生し、発生確率が相対的に高まったと評価された際(「臨時情報」が発表された際)、その後に発生しうる自然現象の推移シナリオやそれらの発生確率およびその幅が把握できるような「ハザード事象系統樹」を作成する。また、当事象系統樹をベースに、臨時情報に対応した防災計画作成の必要がある組織の担当者が、様々な自然現象の推移を理解し計画作成に活用できるツールを開発する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

計画前半においては、南海トラフ沿いで東海側(紀伊半島沖より東側)あるいは南海側(紀伊半島沖より西側)のいずれかを破壊するようなマグニチュード 8 クラスの巨大地震が発生した場合(「片割れ」ケース)、一段階規模が小さいマグニチュード 7 クラスの地震が南海トラフ巨大地震想定震源域周辺で発生した場合(「一部割れケース」、普段観測されないようなゆっくりすべりが発生した場合(「ゆっくりすべりケース」)について、過去の事例研究の整理やグローバル地震カタログの調査などを行いつつ、事象系統樹のプロトタイプを完成させる。

計画後半においては、事象系統樹の末枝で想定される各シナリオ地震による津波浸水の予測・被害推定等の結果を事象系統樹と融合させ、臨時情報に対応した防災計画作成の必要がある組織の担当者が、様々な自然現象の推移を理解し計画作成に活用できるツールを開発する。本ツールの開発においては、想定ユーザーに含まれる地方自治体等の意見を聞き、その概形・表現方法・付加する情報等に反映させる。また、今後の技術発展を見越した事象系統樹の将来進化を検討し、臨時情報に基づく社会対応にとって有用な観測網の提案も行う。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

ハザード事象系統樹の設計について検討した。系統樹は、起こりうる現象のシナリオの選択肢を整理し視覚化するのには優れているものの、時間的な変化の表現には課題があることがわかった。そこで、起こりうる現象の発生確率の時間変化の表現方法について検討を行った。その結果、確率の時間変化の表現には系統樹よりも表形式のほうが適しているという結論を得た。さらに、その基本スキームを構築した。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :  
なし

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

1年目で構築した基本スキームに基づき、M8クラス(半割れ)およびM7クラス(一部割れ)の地震発生後の後発する地震の発生確率について、最近100年間のグローバルな地震カタログを用いて計算する。この際、内閣府が公表した南海トラフ地震臨時情報の防災対応検討ガイドラインと整合させるために、地震発生直後から一週間後、および、地震発生から一週間後~二週間後、の2期間の時間ウィンドウを用いることとする。これにより、片割れケースと一部割れケースの場合について、ハザード事象の確率推移表の基本形を完成させる。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東北大学災害科学国際研究所 災害理学研究部門 福島 洋・木戸元之  
東北大学災害科学国際研究所 災害リスク研究部門 越村俊一  
東北大学大学院理学研究科 日野亮太・太田雄策  
他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東北大学災害科学国際研究所 災害理学研究部門  
電話 :  
e-mail : zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp  
URL : <http://irides.tohoku.ac.jp/>

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 福島 洋  
所属 : 東北大学災害科学国際研究所 災害理学研究部門

( 1 ) 実施機関名：

東北大学災害科学国際研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

歴史地形の復元・可視化手法の確立と災害発生要因の分析

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

平成 25～30 年度の「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」では、平成 27 年度拠点間連携共同研究「絵図史料に基づく歴史地形の復元と歴史災害の分析」において、岩手県宮古市を対象として、地形復元を実施し、1611 年の慶長奥州地震津波の歴史記録や伝承や東日本大震災の被害との関係性を検討した。平成 28 年度拠点間連携共同研究「東北地方太平洋沿岸の歴史地形の復元・可視化に基づく歴史災害研究」では、岩手県山田町、宮城県多賀城市などの歴史地形復元を実施し、慶長奥州地震津波や明治三陸地震津波の被害状況との関係性を検討した。平成 29 年度拠点間連携共同研究「歴史資料による海岸・河川地形の復元に基づいた歴史災害研究」では、前年度までに確立した手法を応用して東北地方太平洋沿岸全体の沿岸部および平成 28 年台風 10 号で被害を受けた岩手県岩泉町の歴史地形の復元と災害との関連性について分析した。これらの研究により、様々な歴史資料から復元した歴史地形は、歴史災害の研究のみならず、今日の災害発生メカニズムと密接に関わっていることを明らかにした。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究においては、明治時代の地籍図や江戸時代の国絵図・村絵図類をもとに、近現代の開発による改変以前の古地形や集落の広がりを復元・可視化することを目的とする。この復元した歴史地形をベースに、特に東日本大震災の被災地となった東北地方太平洋沿岸において発生した地震・津波・洪水といった歴史的な災害を比較し、災害発生時の地形と被害の関連性を明らかにする。加えて、南海トラ

フ巨大地震の被災地となる東海・紀伊半島・四国地方を例に、歴史的な地形変遷から将来発生が懸念される災害について予測し、災害の予防や防災意識の啓発といった被害軽減への活用をはかる。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

本課題では、前半で東北地方を中心とする地形復元を実施し、ここで得られた地形復元の手法を応用して南海トラフ巨大地震の被害範囲とされる地域の地形復元を実施する。平成31年度においては、国土地理院の前身である陸軍陸地測量部によって作成された輯製図・帝国図をベースとして、高度経済成長による大規模開発以前の東北地方沿岸の歴史地形を復元する。これに基づいて、平成32年度は東北地方太平洋沿岸、平成33年度は東北地方日本海沿岸を中心に、各地の古絵図・古地図の情報を収集し、近世期の地形を復元する。ここで確立した歴史地形復元の手法をもとに、平成34年度は東海地方、平成35年度は紀伊半島・四国沿岸の地形復元を実施する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

本年度は岩手県山田町船越地区について、各種歴史津波に前後した時期の史料情報を収集し、当時の地形および津波の被害状況について復元・可視化をおこなった。

山田町船越地区は、江戸時代は船越村として、その中心地は現在の船越半島前須賀に位置し、枝郷として田の浜・大浦・小屋島が成立していた。明治維新後も船越村の村役場などは前須賀地区に位置していたが、明治29年(1896)の明治三陸津波をうけて、船越半島付け根の高台に位置している。

明治三陸津波以前のこの地域を描いた絵図としては[1]明治7年(1874)「陸中国閉伊群第拾七区船越村絵図面」(岩手県立図書館所蔵)がある。その後この地域を描いた絵図としては、[2]陸地測量部作成50000分の1地形図がある。明治三陸津波の被害状況と当時の地形について記した史料としては、[3]浅利和三郎「山田警察分署所轄海嘯被害明細図」、[4]山奈宗真「岩手県沿岸大海嘯部落見取絵図」がある。特に「山田警察分署所轄海嘯被害明細図」は、家屋の流失・浸水・全壊など、被害の状況に応じた記載がなされている。昭和8年(1933)昭和三陸地震津波の発生をうけて、[5]昭和9年(1934)に内務大臣官房都市計画課より「三陸津波に因る被害町村の復興計画報告」が作成されており、この中に昭和三陸津波直後の状況を空撮した航空写真が掲載されている。同地域の空撮写真としては最も古いものと位置づけられる。

これらの情報をもとに、歴史的な地形の復元をおこなった。まず現代の地形図や[2]から、主に海岸線など測量に基づく地形データを復元し、ここに[6]から高度経済成長以前の地形情報や道路の様子を復元、[1]から前近代の街道の位置や土地利用についての復元をおこなった。さらに[3]、[4]の記載に基づいて、明治三陸地震津波の被害状況を復元した。

復元した地形と明治三陸津波の被害状況を比較すると、船越村では半島と陸地を繋ぐトンボ口部分に位置していた村の中心部が津波によってほぼ壊滅し、南西の山ノ内の高台に位置している数軒のみが津波の流失を免れている。また、字大浦はリアス式海岸の特徴的な傾斜の大きい地形に集落が位置していることにより、標高5m以下の地域で家屋が流失・全壊する一方、標高7m以上の地域にはほとんど被害が及んでいない様子が読み取れる。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

蝦名 裕一・行谷 祐一・今井 健太郎, 2019. 岩手県山田町における明治三陸津波以前の歴史地形復元, 2019年度歴史地震研究会徳島大会予稿集.

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

次年度は、岩手県山田町域の織笠地区、山田地区、大沢地区の地形復元に着手する。同地域について、岩手県立図書館に所蔵されている明治年代初期に作成された地籍図などの情報を収集するとともに、「山田警察分署所轄海嘯被害明細図」に記される明治三陸津波の被害状況との重ねあわせを実施し、同地域の歴史地形と津波被害の関連性について分析を進める。同様に、岩手県の他の地域や宮城県にお

ける明治期の壬申字引絵図といった古地図を対象に調査を実施し、本年度の作業で確立した手法を用いた歴史地形復元を展開する。また、これらの復元した歴史地形を活用して、海岸工学・河川工学などの研究者と共同で研究会を実施し、歴史地形と現代の災害の関連性に関する検討をおこなうことにする。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

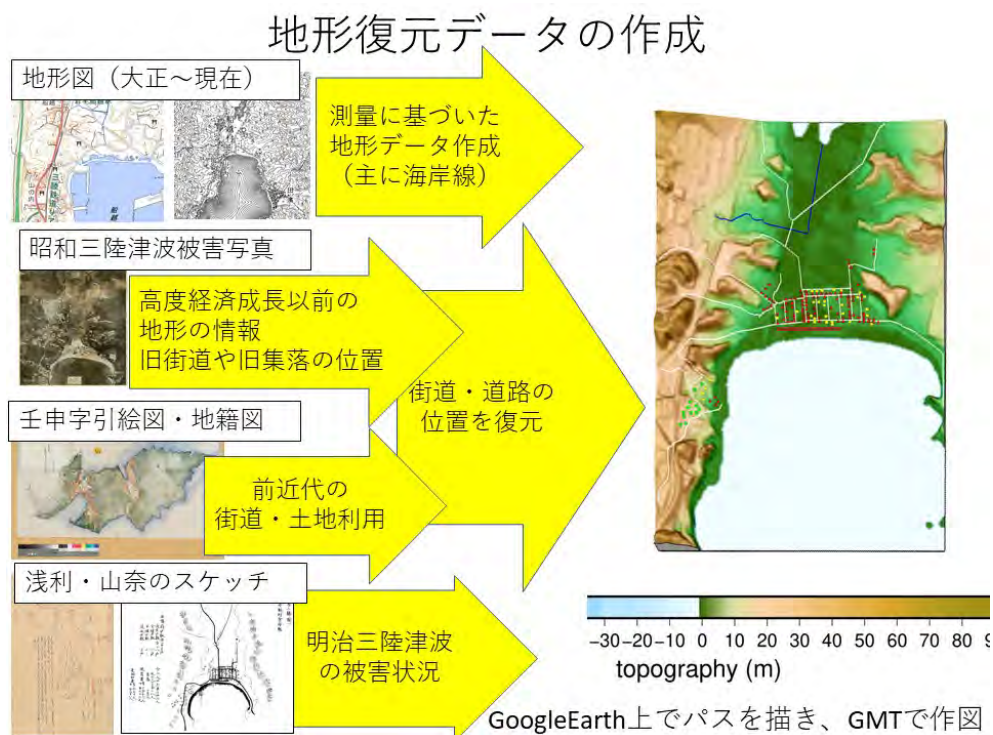
蝦名裕一, 東北大学災害科学国際研究所, 人間・社会対応研究部門, 准教授  
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学災害科学国際研究所 災害文化研究分野  
電話：022-752-2146  
e-mail：zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp  
URL：http://irides.tohoku.ac.jp/

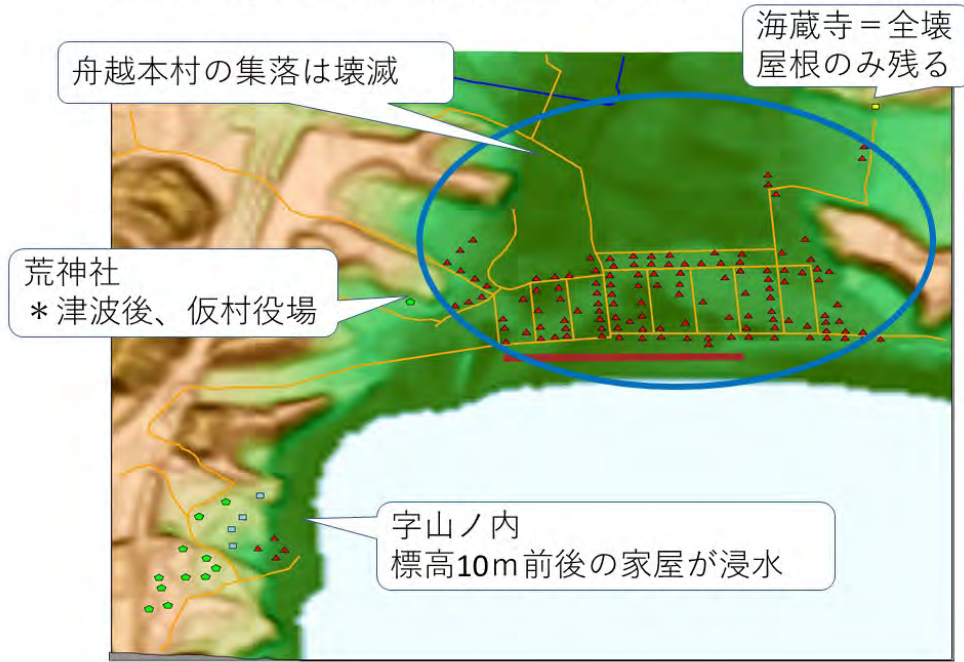
(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：蝦名裕一  
所属：東北大学災害科学国際研究所



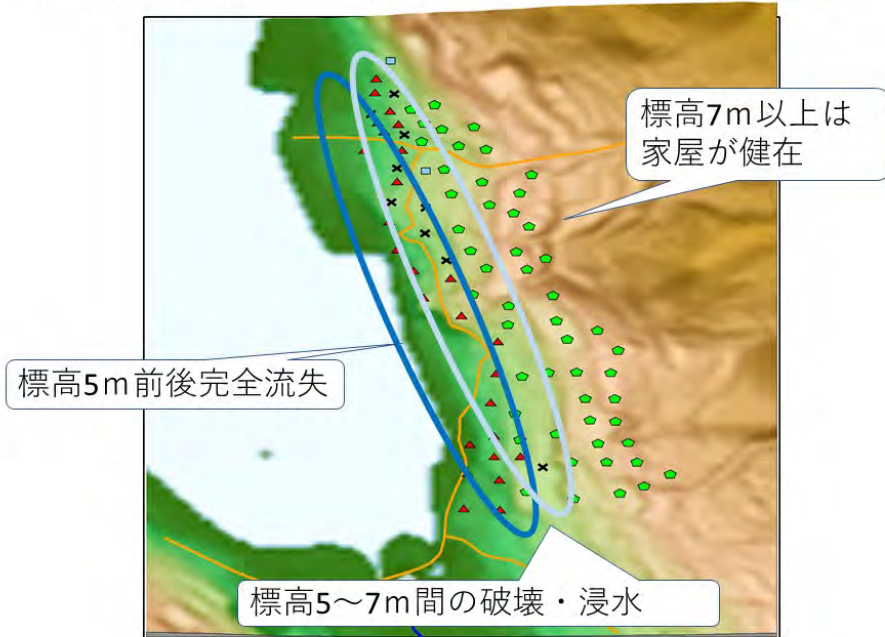
地形復元の手法

## 船越地域における明治三陸津波の被災状況



船越地区の復元地形と津波被害

## 大浦地区における明治三陸津波の被災状況



大浦地区の復元地形と津波被害



( 1 ) 実施機関名：

東北大学災害科学国際研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

災害に関わる個人の心理・行動特性とその評価・活用・調整に関わる研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

我々は東日本大震災の被災者に取材して、災害の危機を回避し困難を克服する個人の心理・行動特性として「災害を生きる力」の 8 因子(リーダーシップ・問題対応・愛他性・頑固さ・エチケット・感情抑制・自己超越・能動的健康)を明らかにしてきた(Sugiura et al., 2015)。地震・火山等の自然現象や社会の仕組みに関する知識、また災害予測情報等を、災害対応に活用できるか否かは個人差が大きく、この個人差をよく理解して活用することで、より効果的な防災対策が可能になると期待される。本研究では「災害を生きる力」のうち、災害情報活用に関わる因子に着目し、認知・脳メカニズムレベルでその理解を深め、災害対応チームの構成や研修プログラム開発、一般向けの防災教育やアウトリーチ活動に活用可能な新しい枠組みを提案・検証する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 31 年度においては、災害情報を活用する態度・能力・考え方と関係する「災害を生きる力」因子を整理する調査を設計し、平成 32 年度にこの調査を実施、得られたデータを分析して災害情報活用の社会・心理学的枠組み(いつ誰がどんな文脈で)と、それに貢献する「災害を生きる力」因子を明らかにする。平成 33 年度に、これらの因子が災害被害の発生抑止・軽減に資する過程について認知仮説を立て実験検証を行い、平成 34 年度にこれを脳メカニズムレベルで検証する認知課題を設計し、健常大学生を対象に機能的 MRI を用いた脳活動計測実験を行う。平成 35 年度にこのデータを解析し、因子の得点と判断課題時の脳活動との関係を明らかにする。これら一連の知見を統合して、災害情報を活用する「災害を生きる力」因子の認知・脳科学的実体と、これを防災に活用するための考え方のモデルなどを体系化する。なお、部会全体としての研修プログラム構築に知見を提供する予定である。



( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

災害情報を活用する態度・能力・考え方と関係する「災害を生きる力」因子を整理する調査(令和2年実施予定)の設計のために、対象とする災害の絞り込みを中心とした基礎的検討を行った。地震火山観測と関係が深く、「災害を生きる力」研究の背景ともなっている津波と津波避難に絞り、その上でA「通常の大地震発生とそれに伴う大津波からの避難」とB「南海トラフ地震臨時情報(巨大地震警戒)に基づいた避難」を検討対象とした。

<調査>南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域(図1)在住の成人(20歳~79歳)240人を対象としたweb調査を対象AとBそれぞれ独立に実施した。いずれの調査でも回答者は6世代(20代~70代)の各世代男女各20名となるように調整した。対象A調査では自宅で休日に強い地震(震度6強を想定)に遭遇し停電等で何も情報が入らないというシナリオを提示し、自宅が大津波に襲われる可能性の認識と、それを警戒して避難を行いそうな程度を問うた(各0~5の6段階評価)。対象B調査では南海トラフの半割れ想定における地震臨時情報(巨大地震警戒)について基礎的な知識を提供した後、回答者の居住地域の反対側(紀伊半島沖で回答者を東西に分割)で発生した大地震(M8.3)に基づいた臨時情報によって「後発地震が発生してからの津波避難では間に合わない可能性のある地域、高齢者などの要配慮者は1週間程度避難」の勧告が自治体から発されるシナリオを提示し、同様に自宅が大津波に襲われる可能性の認識と、それを警戒して1週間の避難を行いそうな程度を問うた。いずれの調査でも、避難するか否か判断する上で、参考にする知識・情報について自由記述を求めた。また津波に関する現有知識量(仕組み・伝承・歴史)の自己評定と生きる力8因子質問紙も実施した。

<分析結果>いずれの調査でも、回答者の居住地域は神奈川県・静岡県が各20%、三重県・和歌山県・徳島県・高知県・大分県・宮崎県から各10%程度であった。職業は会社勤務(一般社員)・専業主婦・無職が各20%、パート/アルバイトが10%程度であった。自宅が大津波に襲われる可能性の認識は対象Aの方がBより高かったが、Bは実際の後発地震の発生確率を考えると不適切に高い認識とも解釈できる(図2A)。大津波を警戒して避難を行いそうな程度(避難見通し)には大きな差はなかった。ただその一方で、Aの方が「絶対避難しない」「必ず避難する」の回答は多かった(図2B)。避難見通しへの年齢・性別の影響(2元配置分散分析)は対象A調査でのみ相互作用が有意( $p=.048$ ;主効果はn.s.)で、男性が年齢で単調減少するのに対し、女性は30代と60代に落ち込みがみられた(図3A)。避難見通しへの生きる力8因子の影響(重回帰分析;年齢と性別を共変量に8因子はステップワイズ法;検定多重比較補正はBonferroni法)は対象B調査でのみ「愛他性」の効果が有意であった(図3B)。対象A「通常の大地震発生とそれに伴う大津波からの避難」については回答者が既に固有に持っている知識や経験の影響が大きいのに対し、対象B「南海トラフ地震臨時情報(巨大地震警戒)に基づいた避難」では、そもそも臨時情報の内容自体の理解が不十分で、避難見通しの一部は勧告を発した自治体への信頼(「愛他性」の効果)に依存している可能性もある。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Sugiura, M., Sato, S., Nouchi, R., Honda, A., Ishibashi, R., Abe, T., Muramoto, T., & Imamura, F. (2019).

Psychological processes and personality factors for an appropriate tsunami evacuation. *Geosciences*, 9(8), 326.

Ishibashi, R., Nouchi, R., Honda, A., Abe, T., & Sugiura, M. (2019). A Concise Psychometric Tool to Measure Personal Characteristics for Surviving Natural Disasters: Development of a 16-Item Power to Live Questionnaire. *Geosciences*, 9(9), 366.

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

令和元年度の予備調査の結果(特に自由記述内容)と部会での議論に基づいて対象とする災害と情報活用形態について整理し、災害情報を活用する態度・能力・考え方と関係する「災害を生きる力」因子を整理するための調査を設計・実施する。得られたデータを分析して災害情報活用の社会・心理学的枠組み(いつ誰がどんな文脈で)と、それに貢献する「災害を生きる力」因子を明らかにする。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

杉浦 元亮（東北大学災害科学国際研究所・教授）  
佐藤 翔輔（東北大学災害科学国際研究所・准教授）  
保田 真理（東北大学災害科学国際研究所・プロジェクト講師）  
水谷大二郎（東北大学災害科学国際研究所・助教）  
大場健太郎（東北大学加齢医学研究所・助教）  
石橋 遼（東北大学スマート・エイジング学際重点研究センター・助教）  
浅野 竜一（一般社団法人 Project72・ミッショントレーナー）  
本多 明生（静岡理科大学・准教授）  
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：災害認知科学研究分野（加齢医学研究所・人間脳科学研究分野）  
電話：  
e-mail：zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp  
URL：http://www.hubs.idac.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：杉浦元亮  
所属：東北大学加齢医学研究所 / 災害科学国際研究所



図1 南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域  
地図中の青い地域

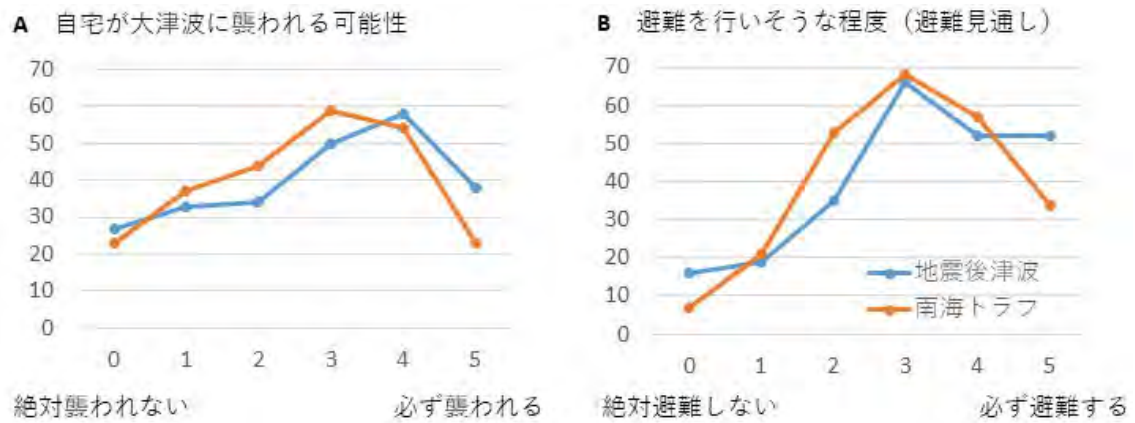


図2 対象災害による津波の危険性認識と避難行動の違い

A：自宅が大津波に襲われる可能性の認識、B：避難を行いそうな程度（避難見通し）、青線は地震後津波（対象A調査）、橙線は南海トラフ臨時情報（対象B調査）

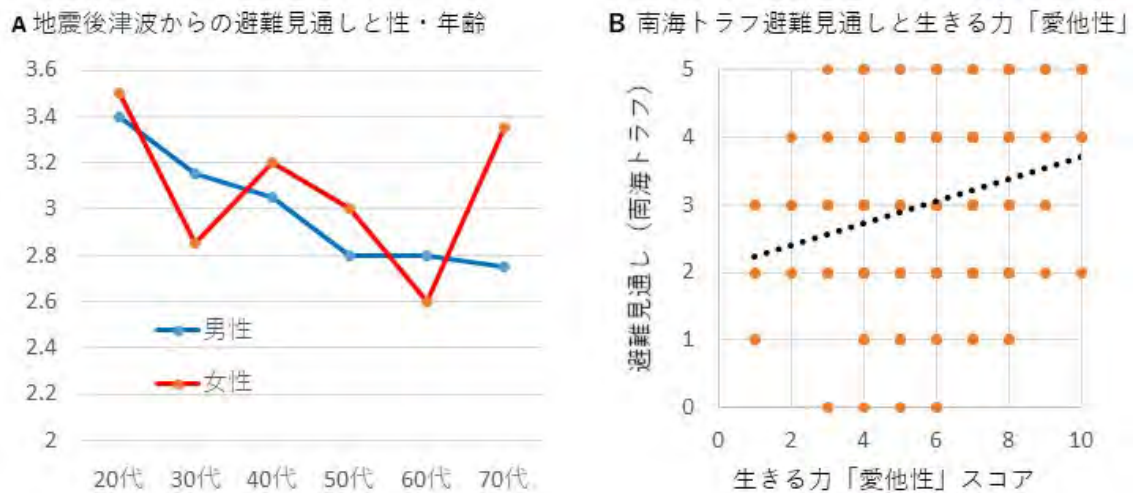


図3 対象災害による避難見通しへの影響因子の違い

A：地震後津波からの避難見通しには性と年齢の相互作用が有意に影響、B：南海トラフ避難情報による避難見通しには生きる力「愛他性」が有意に促進的に影響

( 1 ) 実施機関名：

海洋研究開発機構

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震発生帯モデリング研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

イ. 津波の即時予測手法

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

## 計画期間中の成果の概要

DONET2 を完成し防災科学技術研究所に運用移管をおこなうとともに、2 点の新たな多項目孔内観測システムを設置し DONET への接続を実施した。このシステムを活用することにより 2016 年三重県南東沖地震の震源を高精度に決定して約 70 年ぶりに発生したプレート境界地震であることを明らかにした。また孔内間隙水圧データから、これまでに観測されることがなかった地震発生帯浅部でのゆっくりすべりが非地震時でも繰り返し発生していることを発見した。

DONET 津波計データを用いて、津波の伝搬特性を生かして即時的に津波浸水を予測するシステムの構築と自治体へのシステムの提供をおこなった。さらに DONET2 データも取り込んで広域化を進めた。

すべりの多様性と相互作用に大きく影響する摩擦則と非線形粘弾性応答の両方を考慮した地震発生サイクルシミュレーションにより東北地方太平洋沖地震後の余効変動をよく説明するモデルを構築した。また、掘削孔内計測による地震波・地殻変動（海底上下動、歪変化）の観測データによって、M8 地震の震源域内の M6 地震とその後の変動の起こり方を明らかにするとともに、その振る舞いを定性的にシミュレーションで再現することにより、南海トラフ巨大地震の準備状況についての知見を得た。さらに、地表の変位速度場の空間勾配から、逆解析を経ずにプレート境界での固着・すべり分布の時空間変化をモニタリングする手法を開発・適用し、東北地震前の固着の剥がれが周期的な変動を伴いながら生じていたことを示した。

南海トラフや南西諸島、日本海溝や日本海などの地震発生帯において調査観測研究を実施し、下記のような成果を得た。

- (1) 南西諸島南部海溝付近において低周波微動観測および地下構造探査によって南西諸島南部での津波地震、低周波微動、スロースリップ発生域と地下構造の関係を明らかにし、南海トラフとは異なってプレート間の固着の弱い領域が支配的に存在することが明らかになった。
- (2) これまでに得られてきた南海トラフ域における地下構造をコンパイルして地震発生帯の 3 次元海洋プレート形状モデルを構築し公開した。また、詳細なプレート形状モデルが未構築な南西諸島では海域での大規模な地震観測から地震活動やトモグラフィーの解析から北部と南部でそれぞれプレート形状モデルを構築した。
- (3) 日本海東縁から南東縁では海洋地殻、厚い海洋地殻、大陸地殻という異なる地殻構造の領域が分布していることがわかり、それらの形成過程を明らかにするとともに、過去の地震破壊域や地震活動との関係を明らかにした。
- (4) 日本海溝海溝軸近傍における調査観測研究によって、東北地震において海溝陸側斜面の変動が大きかった部分とそうでない部分の分布が明らかになり、断層や褶曲構造および堆積構造の分布に差異があることがわかった。
- (5) 海溝海側アウターライズ域において、沈み込む海洋地殻およびマントルの変質を確認するとともに、アウターライズ地震断層について日本海溝側の方が千島海溝側よりも深部まで発達していることがわかった。また詳細な地震活動の解析から活構造に対応した震源の分布が認められることや断層メカニズム解から海洋プレート内部の応力状態について明らかにした。
- (6) 日本海溝における調査観測研究により、2011 年地震時の海底地形変動を東北沖全体で明らかにし、宮城沖以外は大きな変動がないことを示した。また 2011 年地震時の浅部断層のすべり量分布を定量的におこない、すべりモデルを提唱した。2011 年と同等の過去の地震の分布と年代を日本海溝の地層から読み取り、その発生域や繰り返しなど、東北沖で発生する地震の実態解明を進めた。
- (7) 海底地震計や水圧計の観測データの処理手法を開発し海洋地殻内の堆積層の層厚や異方性を得るとともに、S 速度構造の推定をおこないプレート境界近傍の低速度層の検出と低周波微動の活動との関連について知見を得た。
- (8) 海域コア試料の調査により、南西諸島および南海トラフの海域津波地震履歴記録の年代分布を把握した。

- (9) 海底下浅部構造把握のための電磁気学的手法を開発し、地震発生海域（日本海溝アウターライズ）で観測実施した。
- (10) 期間中に発生した2016年の熊本地震や、福島県沖で発生した地震の周辺海域で、迅速な調査による海底断層の現状把握を行なった。
- (11) 房総沖 OBS 観測データを用いた震源決定やトモグラフィー解析からフィリピン海プレート上面形状を推定し、上面の深さが従来より数 km 浅いことがわかった。

(7) 本課題の5か年の到達目標：

( 国立研究開発法人海洋研究開発機構第4期中期目標より抜粋 )

III 1 (3) 海域で発生する地震及び火山活動に関する研究開発

我が国の周辺海域においては、南海トラフ地震や海底カルデラ等、大規模災害をもたらす地震・火山活動が活発であり、防災・減災対策の更なる強化が求められている。そのための具体的な検討を進めるには、海底下で進行する地震・火山活動の実態把握及び長期評価が欠かせないものの、現在は観測データも十分に揃っていない状況にあり、観測体制の構築と、データの取得・解析を通じたメカニズムの理解等の科学的知見の充実が課題となっている。このため、機構は、地震発生メカニズムの理解、プレート固着の現状把握と推移予測及び海域火山活動の予測研究に資するデータと知見を蓄積し、地震調査研究推進本部、気象庁、防災科学技術研究所、大学等の関係機関に情報提供することで、地震発生帯の現状把握・長期評価及び火山活動評価に貢献する。これを実現するために、大学や防災科学技術研究所等の関係機関と連携して、南海トラフ地震の想定震源域等を中心とした、広域かつ精緻なデータを連続的にリアルタイムで取得する海底地殻変動観測網の整備・高度化を進めるとともに、高精度の海底地下構造調査、海底堆積物・海底下岩石試料の採取・分析を実施する。これにより得られたデータと既存のデータの統合・解析を行うことで、地震発生帯モデル及びプレート固着状態に関する推移予測手法の高度化を行う。また、海域火山に係る先進的な観測手段を確立し、海域火山周辺において火山活動の現状把握を行うとともに、地球内部構造や熱・物質循環機構等の解析を進める。

(8) 本課題の5か年計画の概要：

国立研究開発法人海洋研究開発機構第4期中期計画に基づき下記の事項について実施する。

地震発生帯の現状把握・長期評価へ貢献するために、地震発生帯の調査観測から得られた最新の観測データに基づき、地震発生メカニズムの理解やプレート固着の現状把握と推移予測に資する知見を蓄積する。そのためには、まず、海域観測で取得した各種データと既存データ等を統合してこれまでに機構で開発された地震発生帯モデルを高精度化し、それらモデルを用いた地震発生帯変動の計算結果と観測データの解析による現状把握及び推移予測の手法を確立する。同時に、これまでに構築してきた即時津波被害予測システムの高度化を進める。得られた知見は、国等の地震・津波被害想定や現状評価のための情報として提供するとともに、情報創生の研究部門とも連携して社会へ情報発信する。具体的には(1) 新たな観測システム、調査・観測、実験によって得られたデータを用いた三次元地震発生帯地下構造モデルの構築(2) 地震発生帯における地殻活動の変動状況の把握と予測のためのデータ同化手法の高精度化(3) 海底地すべり等、地震以外の津波発生源を考慮した、即時津波被害予測システムの高度化等をおこなう。

さらに、これらの進捗状況を踏まえ、(1) 高度化された三次元地震発生帯地下構造モデルでの地震の発生、地震波の伝播、津波の発生等の各過程に関するシミュレーションや、地殻活動のデータ解析の実施(2) 掘削による実断層サンプルを用いた力学実験結果に基づく、断層運動の力学過程のモデル化(3) データ同化手法を用いたプレート固着状態の推移予測の試行に取り組む。これらにより、地震・津波の発生過程の理解とその予測を進め、得られた知見及びデータを国、関係機関等へ提供する。

(9) 令和元年度の成果の概要：

今年度の成果は下記の通りである。

統計的性質から探るスロー地震のメカニズムの研究では、南海トラフ・紀伊半島沖で発生した浅部微動のサイズ分布を調べた。地震のサイズは通常、長周期成分の振幅から計算されるマグニチュードによって測るが、微動の場合、マグニチュードの計算は容易ではない。本研究では、地震波エネルギーから微動のサイズを推定し、その頻度分布を調べた。得られたサイズ分布はべき分布で良く説明でき、 $b$  値は  $1 \sim 1.3$  となった。ただし最大級のイベントサイズ付近では指数分布に近づき、Tapered Gutenberg-Richter (TGR) 分布によって良く説明される。このような分布になる原因として、小さいイベントは自己相似的だが、大きくなると震源域が有限である影響を受け、指数分布的になる、というモデルが考えられる。他の可能性として、粘性摩擦によって大きなイベントが抑制される、というモデルが考えられる。

余効すべり伝播速度と摩擦特性との定量的な関係式の導出のため、時間遅れを伴う地震活動が余効すべりによって誘発される場合を考察すべく、余効すべり域の摩擦特性が均質となる試行モデルを想定し、その均質摩擦特性について異なる複数のモデルを設定することで、その数値シミュレーション結果から、余効すべりの発生過程について近似条件を導き出し、速度状態依存摩擦構成則に基づいた理論解析を行った。その結果、摩擦特性パラメタ値  $a$ 、有効法線応力  $\sigma$ 、せん断応力変化量  $\Delta\tau$  を用いた  $\exp(-\Delta\tau/a)$  が余効すべり伝播速度に比例することを導出した。これにより、 $a$  が小さいほど指数関数的に伝播速度が増大することを見出した。一方で、余効すべり伝播過程は熱拡散方程式として近似出来ることから、摩擦特性が時空間的に均質であっても、経過時間と共に比例することが確かめられた。

状態空間モデルを用いた GNSS-A 測位手法の開発として、GNSS 音響結合方式 (GNSS-A) による海底地殻変動観測の即時推定に向けた動的 GNSS-A 測位手法を開発した。本手法では、GNSS-A 測位における主要な誤差要因である海中の音速場を GNSS 測位における対流圏遅延と同様のモデル化を行うことで、拡張カルマンフィルタによる状態空間モデルの枠組みで音速場と海底局変位を推定する。合成データの解析では、本手法は従来手法と比べて、海中音速の水平不均質場 (水平勾配構造を仮定) の検出・上下変位の検出の点で優れていることを確認した。実データの解析では、本手法は 30 分以下の頻度でサンプリングすることで従来手法よりも上下変位の検出に優れ、地震時変位のようなステップ変化を約 5 cm の精度で検出できる可能性を見出した。一方で、実データでは本手法でも海中音速の水平不均質場の検出は困難であり、実海域での音速場は水平勾配構造では近似できない複雑な場であることが示唆された。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

Nakano, M, S. Yabe, H. Sugioka, M. Shinohara, and S. Ide, Event size distribution of shallow tectonic tremor in the Nankai trough, *Geophys. Res. Lett.*, 46, 5828-5836. doi: 10.1029/2019GL083029, 2019.

Keisuke Ariyoshi, Jean-Paul Ampuero, Roland Burgmann, Toru Matsuzawa, Akira Hasegawa, Ryota Hino, and Takane Hori (2019): Quantitative relationship between aseismic slip propagation speed and frictional properties, *Tectonophysics*, vol. 767, 128151, doi: 10.1016/j.tecto.2019.06.021.

Tomita, F., M. Kido, C. Honsho, & R. Matsui, Development of a kinematic GNSS-Acoustic positioning method based on a state-space model. *Earth, Planets and Space*, 71(1), 102. doi:10.1186/s40623-019-1082-y, 2019.

(11) 令和2年度実施計画の概要 :

国立研究開発法人海洋研究開発機構第4期中期計画に基づき下記の事項について実施する。

地震発生帯の現状把握・長期評価へ貢献するために、地震発生帯の調査観測から得られた最新の観測データに基づき、地震発生メカニズムの理解やプレート固着の現状把握と推移予測に資する知見を蓄積する。そのためには、まず、海域観測で取得した各種データと既存データ等を統合してこれまでに機構で開発された地震発生帯モデルを高精度化し、それらモデルを用いた地震発生帯変動の計算結果と観測データの解析による現状把握及び推移予測の手法を確立する。同時に、これまでに構築してきた即時津波被害予測システムの高度化を進める。得られた知見は、国等の地震・津波被害想定や現状



評価のための情報として提供するとともに、情報創生の研究部門とも連携して社会へ情報発信する。具体的には(1)新たな観測システム、調査・観測、実験によって得られたデータを用いた三次元地震発生帯地下構造モデルの構築(2)地震発生帯における地殻活動の変動状況の把握と予測のためのデータ同化手法の高精度化(3)海底地すべり等、地震以外の津波発生源を考慮した、即時津波被害予測システムの高度化等をおこなう。

さらに、これらの進捗状況を踏まえ、(1)高度化された三次元地震発生帯地下構造モデルでの地震の発生、地震波の伝播、津波の発生等の各過程に関するシミュレーションや、地殻活動のデータ解析の実施(2)掘削による実断層サンプルを用いた力学実験結果に基づく、断層運動の力学過程のモデル化(3)データ同化手法を用いたプレート固着状態の推移予測の試行に取り組む。これらにより、地震・津波の発生過程の理解とその予測を進め、得られた知見及びデータを国、関係機関等へ提供する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海域地震火山部門 地震津波予測研究開発センター、地震発生帯研究センター  
他機関との共同研究の有無：有  
東京大学地震研究所  
東北大学

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：海域地震火山部門  
電話：  
e-mail：  
URL：<http://www.jamstec.go.jp/rimg/j/>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：堀 高峰  
所属：海域地震火山部門地震津波予測研究開発センター

( 1 ) 実施機関名：

海洋研究開発機構

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

海底広域変動観測研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

( 5 ) 総合的研究との関連：

千島海溝沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

計画期間中の成果の概要

DONET2 を完成し防災科学技術研究所に運用移管をおこなうとともに、2 点の新たな多項目孔内観測システムを設置し DONET への接続を実施した。このシステムを活用することにより 2016 年三重県南東沖地震の震源を高精度に決定して約 70 年ぶりに発生したプレート境界地震であることを明らかにした。また孔内間隙水圧データから、これまでに観測されることがなかった地震発生帯浅部でのゆっくりすべりが非地震時でも繰り返し発生していることを発見した。

DONET 津波計データを用いて、津波の伝搬特性を生かして即時的に津波浸水を予測するシステムの構築と自治体へのシステムの提供をおこなった。さらに DONET2 データも取り込んで広域化を進めた。

すべりの多様性と相互作用に大きく影響する摩擦則と非線形粘弾性応答の両方を考慮した地震発生サイクルシミュレーションにより東北地方太平洋沖地震後の余効変動をよく説明するモデルを構築した。また、掘削孔内計測による地震波・地殻変動（海底上下動、歪変化）の観測データによって、M8 地震の震源域内の M6 地震とその後の変動の起こり方を明らかにするとともに、その振る舞いを定性的にシミュレーションで再現することにより、南海トラフ巨大地震の準備状況についての知見を得た。さらに、地表の変位速度場の空間勾配から、逆解析を経ずにプレート境界での固着・すべり分布の時空間変化をモニタリングする手法を開発・適用し、東北地震前の固着の剥がれが周期的な変動を伴いながら生じていたことを示した。

南海トラフや南西諸島、日本海溝や日本海などの地震発生帯において調査観測研究を実施し、下記のような成果を得た。

- (1) 南西諸島南部海溝付近において低周波微動観測および地下構造探査によって南西諸島南部での津波地震、低周波微動、スロースリップ発生域と地下構造の関係を明らかにし、南海トラフとは異なってプレート間の固着の弱い領域が支配的に存在することが明らかになった。
- (2) これまでに得られてきた南海トラフ域における地下構造をコンパイルして地震発生帯の 3 次元海洋プレート形状モデルを構築し公開した。また、詳細なプレート形状モデルが未構築な南西諸島では海域での大規模な地震観測から地震活動やトモグラフィーの解析から北部と南部でそれぞれプレート形状モデルを構築した。
- (3) 日本海東縁から南東縁では海洋地殻、厚い海洋地殻、大陸地殻という異なる地殻構造の領域が分布していることがわかり、それらの形成過程を明らかにするとともに、過去の地震破壊域や地震活動との関係を明らかにした。
- (4) 日本海溝海溝軸近傍における調査観測研究によって、東北地震において海溝陸側斜面の変動が大きかった部分とそうでない部分の分布が明らかになり、断層や褶曲構造および堆積構造の分布に差異があることがわかった。
- (5) 海溝海側アウターライズ域において、沈み込む海洋地殻およびマントルの変質を確認するとともに、アウターライズ地震断層について日本海溝側の方が千島海溝側よりも深部まで発達していることがわかった。また詳細な地震活動の解析から活構造に対応した震源の分布が認められることや断層メカニズム解から海洋プレート内部の応力状態について明らかにした。
- (6) 日本海溝における調査観測研究により、2011 年地震時の海底地形変動を東北沖全体で明らかにし、宮城沖以外は大きな変動がないことを示した。また 2011 年地震時の浅部断層のすべり量分布を定量的におこない、すべりモデルを提唱した。2011 年と同等の過去の地震の分布と年代を日本海溝の地層から読み取り、その発生域や繰り返しなど、東北沖で発生する地震の実態解明を進めた。
- (7) 海底地震計や水圧計の観測データの処理手法を開発し海洋地殻内の堆積層の層厚や異方性を得るとともに、S 速度構造の推定をおこないプレート境界近傍の低速度層の検出と低周波微動の活動との関連について知見を得た。
- (8) 海域コア試料の調査により、南西諸島および南海トラフの海域津波地震履歴記録の年代分布を把握した。
- (9) 海底下浅部構造把握のための電磁気学的手法を開発し、地震発生海域（日本海溝アウターライズ）で観測実施した。

(10) 期間中に発生した 2016 年の熊本地震や、福島県沖で発生した地震の周辺海域で、迅速な調査による海底断層の現状把握を行なった。

(11) 房総沖 OBS 観測データを用いた震源決定やトモグラフィー解析からフィリピン海プレート上面形状を推定し、上面の深さが従来より数%浅いことがわかった。

(7) 本課題の 5 か年の到達目標 :

( 国立研究開発法人海洋研究開発機構第 4 期中期目標より抜粋 )

III 1 ( 3 ) 海域で発生する地震及び火山活動に関する研究開発

我が国の周辺海域においては、南海トラフ地震や海底カルデラ等、大規模災害をもたらす地震・火山活動が活発であり、防災・減災対策の更なる強化が求められている。そのための具体的な検討を進めるには、海底下で進行する地震・火山活動の実態把握及び長期評価が欠かせないものの、現在は観測データも十分に揃っていない状況にあり、観測体制の構築と、データの取得・解析を通じたメカニズムの理解等の科学的知見の充実が課題となっている。このため、機構は、地震発生メカニズムの理解、プレート固着の現状把握と推移予測及び海域火山活動の予測研究に資するデータと知見を蓄積し、地震調査研究推進本部、気象庁、防災科学技術研究所、大学等の関係機関に情報提供することで、地震発生帯の現状把握・長期評価及び火山活動評価に貢献する。これを実現するために、大学や防災科学技術研究所等の関係機関と連携して、南海トラフ地震の想定震源域等を中心とした、広域かつ精緻なデータを連続的にリアルタイムで取得する海底地殻変動観測網の整備・高度化を進めるとともに、高精度の海底地下構造調査、海底堆積物・海底下岩石試料の採取・分析を実施する。これにより得られたデータと既存のデータの統合・解析を行うことで、地震発生帯モデル及びプレート固着状態に関する推移予測手法の高度化を行う。また、海域火山に係る先進的な観測手段を確立し、海域火山周辺において火山活動の現状把握を行うとともに、地球内部構造や熱・物質循環機構等の解析を進める。

(8) 本課題の 5 か年計画の概要 :

国立研究開発法人海洋研究開発機構第 4 期中期計画に基づき下記の事項について実施する。

海底下で発生する地震は、陸域と比較して未だ実態の把握が大幅に遅れている。そこで、地震活動の現状把握と実態解明のために、広域かつ精緻な観測データをリアルタイムで取得する海底地殻変動・地震活動観測技術システムを開発し、展開する。特に、巨大地震・津波の発生源として緊急性や重要性が高い海域を中心に三次元地殻構造や地殻活動、断層物性、地震活動履歴等に係る調査を実施する。また、これら観測システム及び調査によって得られた各種データセットは、地震調査研究推進本部等、我が国の関係機関で地震発生帯の現状評価等に活用されるように広く情報提供する。さらに、これら日本周辺での知見に加えて、アジア太平洋地域の地震・津波の実態解明と防災研究推進のための広域的な共同研究体制を構築する。

具体的には (1) 海底地殻変動観測の高度化を目的とした、地震・津波観測監視システム (DONET) 設置海域における海域実証試験 (2) 光ファイバーセンシング等の新たな海底地殻変動・地震活動観測技術や、より広域な観測を効率的に行うための無人自動観測技術の開発 (3) 南海トラフ等の重要海域における複雑な断層形状や断層付近の各種物性を三次元的に捉えるための構造探査及び海底地震観測 (4) 海底堆積物の採取及び解析による地震発生履歴の調査等に取り組む。また、以上の調査・観測から得られたデータを詳細に解析し、地震発生帯の実態把握に係る知見として、国、地方公共団体、関係機関へ提供する。

(9) 令和元年度の成果の概要 :

第 4 期中期計画の基づく令和元年度の主な実施内容および成果は以下の通りである。

2011 年東北沖地震では 50m 以上の地震時変位が日本海溝において海底面まで達し、巨大な津波が発生した。海域構造探査によって得られたデータからは、粘土鉱物にとむ堆積物が巨大な断層滑りの発生に深く関わっていると考えられる。沈み込み帯における浅部プレート境界の滑り様式を理解する

ことは、日本海溝から千島海溝において将来の発生が予想されている大津波に備える上で重要な要素である。

南海トラフに賦存する炭化水素ガスの起源から濃集のプロセスを理解するため、複数の地震探査データを再解析し、既存の掘削情報や地質試料分析との統合解釈を行った。三次元反射法地震探査の詳細イメージから、熊野海盆下の付加体内の断層分布に対応する炭化水素ガスの存在を示唆する反射波的特徴を抽出した。一方、海底地震計探査データの反射波解析により広域地殻構造を描像し、南海トラフ付加体の構造発達と熱分解性炭化水素の生成と濃集についてモデルを提唱した。

南海トラフ地震発生帯において、旧来の解析では不明であった付加体内部の詳細構造を明らかにするため、既存の三次元反射法地震探査データを最新技術により再解析を行った。その結果、高度な解析技術の適用により刷新された地下構造イメージに基づき、熊野海盆下の付加体内部の変形構造、プレート境界および巨大分岐断層周辺の三次元的な地質構造と物性の特徴を明らかにし、新しい地質構造モデルを提案した。

房総半島沖で約一年間の地震観測を実施し、速度構造解析とレシーバー関数解析を行なった。得られたフィリピン海プレート上面の深さは、陸上での地震観測データに基づく先行研究の結果よりも3-6km浅い。また、房総半島沖で繰り返し発生しているスロースリップは、北米プレートとフィリピン海プレートの地殻同士が接している部分でのみ発生していることが初めて明らかとなった。

トルコ(北アナトリア断層) カナダ(カスカディア)などでも共同研究として、海底地震計を用いた観測を行い、断層周辺の詳細な地震活動や地殻構造を明らかにした。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Kodaira S., Fujiwara, T., Fujie, G., Nakamura, Y., & Kanamatsu, T. Large Coseismic Slip to the Trench During the 2011 Tohoku-Oki Earthquake Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2020, in press

Ito, A., Tonegawa, T., Uchida, N., Yamamoto, Y., Suetsugu, D., Hino, R., Sugioka, H., Obana, K., Nakahigashi, K. & Shinohara, M. Configuration and structure of the Philippine Sea Plate off Boso, Japan: constraints on the shallow subduction kinematics, seismicity, and slow slip events Earth Planets Space, 2019, 71, 111, doi:10.1186/s40623-019-1090-y

Hutchinson, J., Kao, H., Spence, G., Obana, K., Wang, K. & Kodaira, S. Seismic Characteristics of the Nootka Fault Zone: Results from the Seafloor Earthquake Array Japan?Canada Cascadia Experiment (SeaJade) Bull. Seismol. Soc. Am., 2019 doi:10.1785/0120190008

Uchida, N., Kalafat, D., Pinar, A. & Yamamoto, Y. Repeating earthquakes and interplate coupling along the western part of the North Anatolian Fault Tectonophysics, 2019, 769, 228185, doi:10.1016/j.tecto.2019.228185

Shiraishi, K., Yamada, Y. & Nibe, T. THERMOGENIC PETROLEUM POTENTIAL OF THE NANKAI SUBDUCTION ZONE, OFFSHORE SW JAPAN Journal of Petroleum Geology, John Wiley & Sons, Ltd, 2019, 42, 417-434, doi:10.1111/jpg.12744

Shiraishi, K., Moore, G. F., Yamada, Y., Kinoshita, M., Sanada, Y. & Kimura, G. Seismogenic Zone Structures Revealed by Improved 3-D Seismic Images in the Nankai Trough off Kumano Geochem. Geophys. Geosyst., John Wiley & Sons, Ltd, 2019, 20, 2252-2271, doi:10.1029/2018gc008173

(11) 令和2年度実施計画の概要 :

国立研究開発法人海洋研究開発機構第4期中期計画に基づき下記の事項について実施する。

海底下で発生する地震は、陸域と比較して未だ実態の把握が大幅に遅れている。そこで、地震活動の現状把握と実態解明のために、広域かつ精緻な観測データをリアルタイムで取得する海底地殻変動・地震活動観測技術システムを開発し、展開する。特に、巨大地震・津波の発生源として緊急性や重要性が高い海域を中心に三次元地殻構造や地殻活動、断層物性、地震活動履歴等に係る調査を実施する。また、これら観測システム及び調査によって得られた各種データセットは、地震調査研究推進本部等、

我が国の関係機関で地震発生帯の現状評価等に活用されるように広く情報提供する。さらに、これら日本周辺での知見に加えて、アジア太平洋地域の地震・津波の実態解明と防災研究推進のための広域的な共同研究体制を構築する。

具体的には (1) 海底地殻変動観測の高度化を目的とした、地震・津波観測監視システム (DONET) 設置海域における海域実証試験 (2) 光ファイバーセンシング等の新たな海底地殻変動・地震活動観測技術や、より広域的な観測を効率的に行うための無人自動観測技術の開発 (3) 南海トラフ等の重要海域における複雑な断層形状や断層付近の各種物性を三次元的に捉えるための構造探査及び海底地震観測 (4) 海底堆積物の採取及び解析による地震発生履歴の調査等に取り組む。また、以上の調査・観測から得られたデータを詳細に解析し、地震発生帯の実態把握に係る知見として、国、地方公共団体、関係機関へ提供する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海域地震火山部門地震発生帯研究センター

他機関との共同研究の有無：有

東京大学地震研究所

東京大学大気海洋研究所

東北大学

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：海域地震火山部門

電話：

e-mail：

URL：<http://www.jamstec.go.jp/ceat/j/>

(14) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名：石原 靖

所属：海域地震火山部門

( 1 ) 実施機関名：

海洋研究開発機構

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

海底火山観測研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

( 国立研究開発法人海洋研究開発機構第 4 期中期目標より抜粋 )

III 1 ( 3 ) 海域で発生する地震及び火山活動に関する研究開発

我が国の周辺海域においては、南海トラフ地震や海底カルデラ等、大規模災害をもたらす地震・火山活動が活発であり、防災・減災対策の更なる強化が求められている。そのための具体的な検討を進めるには、海底下で進行する地震・火山活動の実態把握及び長期評価が欠かせないものの、現在は観測データも十分に揃っていない状況にあり、観測体制の構築と、データの取得・解析を通じたメカニズムの理解等の科学的知見の充実が課題となっている。このため、機構は、地震発生メカニズムの理解、プレート固着の現状把握と推移予測及び海域火山活動の予測研究に資するデータと知見を蓄積し、地震調査研究推進本部、気象庁、防災科学技術研究所、大学等の関係機関に情報提供することで、地震発生帯の現状把握・長期評価及び火山活動評価に貢献する。これを実現するために、大学や防災科学技術研究所等の関係機関と連携して、南海トラフ地震の想定震源域等を中心とした、広域かつ精緻なデータを連続的にリアルタイムで取得する海底地殻変動観測網の整備・高度化を進めるとともに、高精度の海底地下構造調査、海底堆積物・海底下岩石試料の採取・分析を実施する。これにより得られたデータと既存のデータの統合・解析を行うことで、地震発生帯モデル及びプレート固着状態に関する推移予測手法の高度化を行う。また、海域火山に係る先進的な観測手段を確立し、海域火山周辺において火山活動の現状把握を行うとともに、地球内部構造や熱・物質循環機構等の解析を進める。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：



国立研究開発法人海洋研究開発機構第4期中期計画に基づき下記の事項について実施する。

海底火山の噴火は、突発的かつ大規模な災害をもたらす、また地球環境への影響が非常に大きい。これら火山災害の発生予測や地球環境への影響評価を行うためには、その原因となる熱、マグマ、流体の発生と輸送現象、噴火履歴や噴火推移す垢砲修譴蕪僚猗 當 謀 燭訝狼線睇 萋阿鯰 鬚垢襪海 箒 斗廚任 襦 修海如 檣斂蠅任蓮 饒歐竺げ奮愀×鏃莽茵 IODP)の下で地球深部探査船「ちきゅう」等を用いた海洋掘削を推進し、海底火山活動の観測、調査、地質試料の採取分析によって活動履歴、過去の噴火様式等の現状を把握する。また、得られたデータや知見を用いて地球内部構造や物質の収支等を推定し、火山活動を支配する地球内部 流体やエネルギーの循環機構、マグマ供給の仕組み等を、単体の火山からグローバルな規模まで解明する。

具体的には(1)無人自動観測システムと海底観測機器を組み合わせた海域火山観測システムの開発(2)我が国大規模のカルデラ等を対象とした構造探査、火山体の海底調査、岩石試料の採取(3)火山活動の現状把握とマグマや流体の生成から噴火に至る過程及び様式の理解に基づいて得られる海底火山活動の予測に資するデータ及び知見の国及び大学等研究機関への提供等をおこなう。

これらの進捗状況を踏まえ(1)伊豆・小笠原弧等の海底火山における海域火山観測システムを用いた火山活動の現状把握(2)継続的な各種調査・観測の実施、試料の採取及び分析により蓄積された知見を活用した、国内外の火山の中長期活動や噴火過程の比較検証(3)「ちきゅう」等を用いた火山体深部や海洋地殻の実態と形成過程の解明を目指した海洋掘削を可能とするためのデータ及び研究成果の創出等に取り組む。

(9) 令和元年度の成果の概要：

第4期中期計画に基づき令和元年度の主な実施内容、成果は以下の通りである。

(項目1) 海域火山観測システムの開発・システム評価

・ウェーブライダーと衛星通信を用いた観測システムの性能テストを行った。実海域試験航海は台風のためキャンセルとなったため、陸上での試験を実施し良好な結果を得た。2019年12月に噴火した西之島の現状を把握するために、3月末からウェーブライダー観測を開始する予定である。

(項目2) 海域火山の構造探査立案・海底火山調査立案・岩石資料採取

・鬼界カルデラにおいて、「新青丸」でドレッジとピストンコア、「かいいい」でドレッジ、「ちきゅう」による90m掘削を実施し、良好な岩石試料を得た。

・南鳥島近海において、「かいいい」でドレッジを実施し、初めて未分化溶岩を採取した。

・2020年度実施予定の地震観測ならびに岩石試料採取の立案をした。

(項目3) 海洋掘削プロジェクトの推進：プロポーザル作成

・南鳥島とその周辺直下モホ面の成因を探るため、「南鳥島ルネサンス掘削」のプロポーザルをIODPに提出した。

・オントンジャワ直下マントルの地震波の走時・減衰解析から下部マントルの低速度異常と上部マントルの弱減衰異常を明らかにした。

(項目4) 単体の火山からグローバルな規模で火山活動の現状把握と噴火過程・様式の理解に資する研究の推進

・IODP351 航海 U1438 掘削サイトの試料のメルト包有物から、古伊豆ー小笠原ーマリアナ弧における4200万年前から3200年前の火成活動の時間発展を明らかにした。

・岩石やマグマを対象とした熱力学モデルでは世界で初めて、機械学習を適用した「モデル選択」を行うことで、複雑な天然の溶融を適切に再現するモデルを構築した。

・IODP369 航海 U1513 掘削サイトの試料を用い、白亜紀初期のナチュラリスト海台(オーストラリア南西沖)の沈降を火山碎屑物の掘削記録から定義した。

(項目5) グローバルな規模での地球内部構造・物質収支の推定、地球内部物質・エネルギーの循環機構やマグマ供給機構の解明：データ取得、データ解析・試料分析

- ・タヒチ・ホットスポットの詳細なマントル構造を探るため、ハイドロフォン付フロート (MERMAID) を南太平洋に展開し、データの取得を行っている。
- ・数値シミュレーションと高温高压実験から下部マントルに大量のアルゴンの氷の存在を予言した。氷アルゴンの密度がマントル構成物質より軽いことからマントル上昇流を加速させる可能性を指摘した。
- ・スパースモデリングと呼ばれる数理・情報科学的手法を用いることで、岩石の化学組成から元素の増減量を定量的に推定する方法を新たに開発した。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

- Cui, R., J. Fang, M. Yoshida, and M. Chen (2019), Modeling long-Wavelength geoid anomalies from instantaneous mantle flow: Results from two recent tomography models, *Pure and Applied Geophysics* 176(10), 4335-4348, doi:10.1007/s00024-019-02215-2.
- Hamada, M., Iwamori, H., Brandl, P. A., Ushikubo, T., Shimizu, K., Ito, M., Li, H. and Savov, I. P., Temporal evolution of proto-Izu-Bonin-Mariana arc volcanism over 10 Ma: Constraints from statistical analysis of melt inclusion compositions, *Journal of Petrology* (in press)
- Hanyu, T. and Chen L.-H., Geochemical diversity in the mantle, in *Mantle Convection and Surface Expressions* (edited by H. Marquardt, M. Ballmer, S. Cottaar and J. Konter), AGU book (in press).
- Hobbs, R.W., B.T. Huber, K.A. Bogus, S.J. Batenburg, H.-J. Brumsack, R. do Monte Guerra, K.M. Edgar, T. Edvardsen, M.L. Garcia Tejada, D.L. Harry, T. Hasegawa, S.J. Haynes, T. Jiang, M.M. Jones, J. Kuroda, E.Y. Lee, Y.-X. Li, K.G. MacLeod, A. Maritati, M. Martinez, L.K. O Connor, M.R. Petrizzo, T.M. Quan, C. Richter, L. Riquier, G.T. Tagliaro, C.C. Wainman, D.K. Watkins, L.T. White, E. Wolfgring, and Z. Xu??Chun, DL Harry, L Riquier, CC Wainman, (2019), *Australia Cretaceous Climate and Tectonics. Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 369*. IODP, College Station, TX. (published online May 25, 2019)
- tano, K., K. Ueki, T. Iizuka and T. Kuwatani, Geochemical Discrimination of Monazite Source Rock Based on Machine Learning Techniques and Multinomial Logistic Regression Analysis, *Geosciences* 10(2), 63 (2020) 10.3390/geosciences10020063
- Ito, M., T. Kuwatani, R. Oyanagi, T. Omori, Sparse modeling of nonlinear dynamics in heterogeneous reactions, *ICONIP 2019, LNCS 11954*, pp. 1?12, (2019) 10.1007/978-3-030-36711-4\_32.
- Kuwatani, T., Earth materials science in a data-driven paradigm, *Elements*, 15, 280-281 (2019) 10.2138/gselements.15.4.280
- Kuwatani, T., M. Toriumi, Simple kinetic model for replacement reactions involving solid solutions: the significant role of geofluids, *Earth, Planets and Space*, 72:8 (2020) 10.1186/s40623-020-1135-2.
- Mazza S., Stracke A., Gill J. Kimura J.-I., and Kleine T. (2019), Tracing dehydration and melting of the subducted slab with tungsten isotopes in arc lavas, *Earth and Planetary Science Letters*, 530, 1-9.
- McLean D., Albert P., Suzuki T., Nakagawa T., Kimura J.-I., Chang Q., Macleod A., Blockley S., Staff R., Yamada K., Kitaba I., Haraguchi T., Kitagawa J., Victoria S. (2020), Refining the eruptive history of Ulleungdo and Changbaishan volcanoes (East Asia) over the last 86 kyrs using distal sedimentary records, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 389, 1-16.
- Morishita, T., S. Umino, J. Kimura, M. Yamashita, S. Ono, K., Michibayashi, M. Tominaga, F. Klein, M. O. Garcia , Workshop report on?hard-rock drilling into mid-Cretaceous Pacific oceanic crust on the?Hawaiian North Arch, *Scientific Drilling*, (in press)
- Noto, D., T. Tasaka, T. Yanagisawa, and T. Murai (2019), Horizontal diffusive motion of columnar vortices in rotating Rayleigh-Benard convection, *J. Fluid Mech.*, 871, 401-426.
- Ono, S. (2020) Fate of subducted argon in the deep mantle, *Sci. Rep.* 10, 1393.
- Ono, S., Phase transition in ZnSe at high pressures and high temperatures, *J. Phys. Chem. Solids* (in press)
- Rospab , M., G. Ceuleneer, N. Granier, S. Arai, and A. Y. Borisova (2019). Multi-scale development

of a stratiform chromite ore body at the base of the dunitic mantle-crust transition zone (Maqsad diapir, Oman ophiolite): The role of repeated melt and fluid influxes. *Lithos*, 350, 105235, doi: 10.1016/j.lithos.2019.105235

Shimizu, K., M. Ito, Q. Chang, T. Miyazaki, K. Ueki, C. Toyama, R. Senda, B. S. Vaglarov, T. Ishikawa, J.-I. Kimura (2019), Identifying volatile mantle array with the water?fluorine?cerium systematics of basaltic glass, *Chemical geology*, vol. 522, pp. 283?294, doi: 10.1016/j.chemgeo.2019.06.014

Suetsugu, D., H.?Shiobara, H. Sugioka, A. Ito, T.?Isse, Y. Ishihara, S. Tanaka, M. Obayashi, T.?Tonegawa, J.?Yoshimitsu, and T. Kobayashi (2019), High?QScS?beneath the?Ontong?Java Plateau,?Earth, Planets and Space, 71:97.

Takeuchi, N., K. Ueki, T. Iizuka, J. Nagao, A. Tanaka, S. Enomoto, Y. Shirahata, H. Watanabe, M. Yamano and H. Tanaka (2019), Numerical Data of Probabilistic 3-D Lithological Map of the Japanese Crust, Data in brief, Volume 26, 104497, doi: 10.1016/j.dib.2019.104497

Tanaka, S., W.?Siripunvaraporn, S.?Boonchaisuk, S.?Noisagool, T. Kim, K. Kawai, Y. Suzuki, Y. Ishihara, R.?Iritani, K. Miyakawa, N. Takeuchi, and H.?Kawakatsu?(2019), Thai Seismic Array (TSAR) Project,?Bull.?Earthq. Res. Inst., in press.

Tejada, M.L.G., E.Y. Lee, S.S. Chun, D.L. Harry, L.?Riquier, C.C.?Wainman, 2020.? Data report: Petrology and volcanic stratigraphy at Site U1513, IODP Expedition 369. Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 369, ?publications.iodp.org ?https://doi.org/10.10.14379/iodp.proc.369.202.2020

Yasukawa, K., J. Ohta, T. Miyazaki, B.S. Vaglarov, Q. Chang, K. Ueki, C. Toyama, J.-I. Kimura, E. Tanaka, K. Nakamura, K. Fujinaga, K. Iijima, H. Iwamori, and Y. Kato (2019), Statistic and Isotopic Characterization of Deep Sea Sediments in the Western North Pacific Ocean: Implications for Genesis of the Sediment Extremely Enriched in Rare Earth Elements, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems.*, 20(7), 3402-3430, doi:10.1029/2019GC008214.

Ueki, K., T. Kuwatani, A. Okamoto, H. Iwamori, S. Akaho (2020), Thermodynamic modeling of hydrous-melt?olivine using exhaustive variable selection, *Phys. Earth Planet. Int.*, 106430, doi: 10.1016/j.pepi.2020.106430

Yoshida, M.?(2019), Influence of convection regimes of two-layer thermal convection with large viscosity contrast on the thermal and mechanical states at the interface of the two layers: Implications for dynamics in the present-day and past Earth, *Physics of Fluids*, 31(10), 106603, doi:10.1063/1.5119753, 2019.

#### ( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

国立研究開発法人海洋研究開発機構第 4 期中期計画に基づき下記の事項について実施する。

海底火山の噴火は、突発的かつ大規模な災害をもたらす、また地球環境への影響が非常に大きい。これら火山災害の発生予測や地球環境への影響評価を行うためには、その原因となる熱、マグマ、流体の発生と輸送現象、噴火履歴や噴火推移、更にそれらの準備過程に当たる地球内部活動を理解することが重要である。そこで、本課題では、国際深海科学掘削計画 ( IODP ) の下で地球深部探査船「ちきゅう」等を用いた海洋掘削を推進し、海底火山活動の観測、調査、地質試料の採取分析によって活動履歴、過去の噴火様式等の現状を把握する。また、得られたデータや知見を用いて地球内部構造や物質の収支等を推定し、火山活動を支配する地球内部 流体やエネルギーの循環機構、マグマ供給の仕組み等を、単体の火山からグローバルな規模まで解明する。

具体的には (1) 無人自動観測システムと海底観測機器を組み合わせた海域火山観測システムの開発 (2) 我が国大規模のカルデラ等を対象とした構造探査、火山体の海底調査、岩石試料の採取 (3) 火山活動の現状把握とマグマや流体の生成から噴火に至る過程及び様式の理解に基づいて得られる海底火山活動の予測に資するデータ及び知見の国及び大学等研究機関への提供等をおこなう。

これらの進捗状況を踏まえ (1) 伊豆・小笠原弧等の海底火山における海域火山観測システムを用いた火山活動の現状把握 (2) 継続的な各種調査・観測の実施、試料の採取及び分析により蓄積された知見を活

用した、国内外の火山の中長期活動や噴火過程の比較検証(3)「ちきゅう」等を用いた火山体深部や海洋地殻の実態と形成過程の解明を目指した海洋掘削を可能とするためのデータ及び研究成果の創出等に取り組む。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海域地震火山部門 火山・地球内部研究センター

他機関との共同研究の有無：有

東京大学地震研究所

神戸大学

北海道大学工学部

海上保安庁

気象庁・気象研究所

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：海域地震火山部門

電話：

e-mail：ceat

URL：<http://www.jamstec.go.jp/ceat/j/>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：石原 靖

所属：海域地震火山部門

( 1 ) 実施機関名：

海上保安庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

海洋測地の推進

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(5) 国際共同研究・国際協力

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

海上保安庁では 1982 年から下里水路観測所において、SLR 観測を継続的に実施しており、ITRF の原点決定への貢献ならびに日本周辺のプレート収束速度の高精度検出に寄与している。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

SLR の国際共同観測を継続し、日本周辺を含めた広域のプレート相対運動を把握するためのデータを提供し精度向上に貢献する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

下里水路観測所において SLR の国際共同観測を継続し、日本周辺を含めた広域のプレート相対運動決定に資するデータを取得する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

海上保安庁では、1982 年から下里水路観測所において衛星レーザー測距 ( SLR ) 観測を継続的に実施しており、国際地球基準座標系 ( ITRF ) の構築及び日本周辺のプレート収束速度の高精度検出に寄与している。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

海上保安庁, 2019, 下里水路観測所における SLR 観測, 地震予知連絡会会報, 102

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要：

衛星レーザー測距 ( SLR ) の国際共同観測を継続し、国際地球基準座標系 ( ITRF ) の構築及び日本周辺のプレート収束速度決定の精度向上に貢献する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室

他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室

電話 : 03-3595-3632

e-mail : 下記 URL の問い合わせフォームから問い合わせください。

URL : <https://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 山田裕一

所属 : 海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室

## 令和元年度年次報告

課題番号：JCG\_02

( 1 ) 実施機関名：

海上保安庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

験潮

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

全国 20 カ所の常設験潮所で潮汐観測を行い、平均水面を求め、国土地理院海岸昇降検知センターに提出し、日本の地殻変動監視に供している。本成果は海岸昇降検知センターが年報としてまとめている他、日本海洋データセンターでデータを公開している。また、験潮所の観測値はリアルタイムでインターネットで公開している。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

海上保安庁が所管する常設験潮所において、継続的に験潮データを収集し、地殻変動把握のための基礎データとする。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

全国 20 カ所の常設験潮所において潮汐観測を実施し、国土交通省水管理・国土保全局および港湾局、国土地理院、気象庁と連携し、験潮データをリアルタイムでインターネットにより公開する。

海上保安庁所管の験潮所：竜飛、釜石、横浜、横須賀、千葉、三宅島、神津島、八丈島、徳山、広島、呉、大分、博多、佐世保、巖原、粟島、大泊、西之表、中之島、名瀬。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

全国 20 カ所の常設験潮所において潮汐観測を継続的に実施し、その観測結果から平均水面を求め、国土地理院海岸昇降検知センターに提出し、日本の地殻変動監視に供している。また、国土交通省水管理・国土保全局及び港湾局、国土地理院、気象庁と連携し、験潮データをインターネットでリアルタイムに公開した。

計画を着実に遂行している。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

特になし。

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要：



全国 20 カ所の常設験潮所において潮汐観測を継続的に実施し、国土交通省水管理・国土保全局および港湾局、国土地理院、気象庁と連携し、験潮データをインターネットでリアルタイムに公開する。  
海上保安庁所管の験潮所：竜飛、釜石、横浜、横須賀、千葉、三宅島、神津島、八丈島、徳山、広島、呉、大分、博多、佐世保、厳原、粟島、大泊、西之表、中之島、名瀬。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

海上保安庁海洋情報部環境調査課

他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 海上保安庁海洋情報部環境調査課

電話 : 03-3595-3609

e-mail : 下記 URL の問い合わせフォームから問い合わせください。

URL : <https://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 林王弘道

所属 : 海上保安庁海洋情報部環境調査課

( 1 ) 実施機関名：

海上保安庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

海底地殻変動観測

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

日本海溝沿いの観測から、東北沖地震前のプレートの沈み込みによる変動、東北沖地震の断層すべりによる変動、東北沖地震後の余効変動を海底において観測した。

南海トラフ沿いの観測から、プレートの沈み込みによる変動を海底で観測し、プレート境界のすべり欠損レートを推定した。また、紀伊水道沖の海底において浅部の SSE に起因すると考えられる非定常変動を観測した。

観測手法・解析技術の高度化のための研究開発により、従来よりも測位精度・時間分解能が向上した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

プレート境界の固着状態の把握のため、GNSS - 音響測距結合方式による海底地殻変動観測を継続する。観測点の増設によって空間分解能の向上を図るとともに、測位精度および時間分解能の向上を目指した技術開発を行い、固着状態の時間変化の把握に努める。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

日本海溝沿い、南海トラフ沿いなど、日本近海の高溝型巨大地震の震源域となる海域において、海底地殻変動観測を継続するとともに、観測の高度化のための技術開発を行う。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

日本海溝沿いにおける観測から、マンツルの粘弾性効果の影響を含んだ余効変動を観測している。南海トラフ沿いにおける観測から、プレート境界固着の影響による地殻変動を観測している(図1)。南海トラフの過去の観測データを統計的に解析することでスロースリップ由来と考えられる非定常の変動を複数の観測点で検出した(Yokota and Ishikawa, 2020)。海中音速の空間的傾斜を推定する手法を開発し、GNSS-A 観測が海洋学的なシグナルを捉える可能性があることを示した(Yokota and Ishikawa, 2019)。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Yokota, Y. and T. Ishikawa (2019), Gradient field of undersea sound speed structure extracted from the GNSS-A oceanography: GNSS-A as a sensor for detecting sound speed gradient, SN Applied Sciences, 1:693. doi:10.1007/s42452-019-0699-6

Yokota, Y. and T. Ishikawa (2020), Shallow slow slip events along the Nankai Trough detected by GNSS-A. Sci. Adv. 6, eaay5786. doi:10.1126/sciadv.aay5786

海上保安庁(2019), 日本海溝沿いの海底地殻変動観測結果, 地震予知連絡会会報, 102

海上保安庁(2019), 南海トラフ沿いの海底地殻変動観測結果, 地震予知連絡会会報, 102

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

引き続き、日本海溝沿い、南海トラフ沿いなど、日本近海の高溝型巨大地震が発生した海域ならびに発生が想定される海域において、観測を継続するとともに、観測の高精度化・高効率化のための研究開発を行う。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室

他機関との共同研究の有無 : 有

東北大学災害科学国際研究所

名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター

東京大学生産技術研究所

海洋研究開発機構

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室

電話 : 03-3595-3632

e-mail : 下記 URL の問い合わせフォームから問い合わせください。

URL : <https://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 石川直史

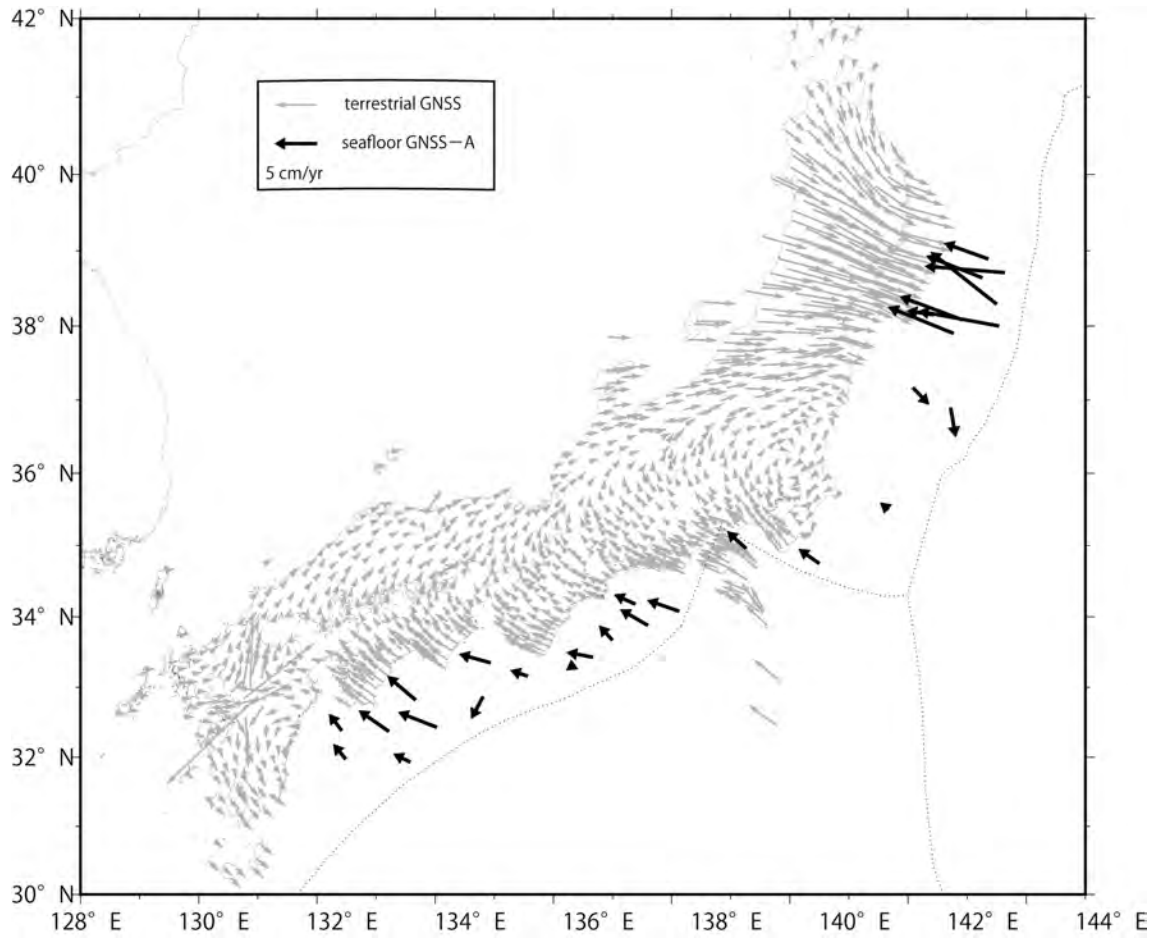


図1 最近約4年間の水平変動速度

黒矢印は、2016月から2019年までのGNSS-A観測データを直線回帰して求めた海底の変動速度。灰矢印は、2015年11月27日から2019年11月27日までのGEONET F3解を直線回帰して求めた陸上の変動速度。変動速度はユーラシアプレート固定の値。

( 1 ) 実施機関名：

海上保安庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

海域火山観測

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と活用・公開

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

南方諸島及び南西諸島方面において、航空機による海域火山の定期巡回監視観測を行った。また、測量船を用いて海域火山基礎情報を整備するための調査を「西之島」、「海德海山」、「伊豆大島」、「利島至三宅島」、「若尊」において実施した。これらの成果は、火山噴火予知連絡会等に報告するとともに海域火山データベースに反映した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

海域火山の定期巡回監視及び海域火山基礎情報整備を継続して実施する。  
海域火山データベースの整備及び公表を継続して行う。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

海域火山の定期巡回監視及び海域火山基礎情報整備を継続して実施する。  
海域火山データベースの整備及び公表を継続して行う。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

海域火山の定期巡回監視を実施した。

さらに、12月の西之島の新たな噴火に伴い、調査体制を強化し、継続して調査を実施している。

また、海域火山基礎情報調査「海德海山」、「伊豆大島」の成果を公表した。

これらの調査結果は火山噴火予知連絡会に報告するとともに、海域火山データベースに掲載した。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

海上保安庁, 2019, 海德海山の地形・地磁気, 第 144 回火山噴火予知連絡会資料

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要：

海域火山の定期巡回監視及び海域火山基礎情報整備を継続して実施する。  
海域火山データベースの整備及び公表を継続して実施する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室  
他機関との共同研究の有無：無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室

電話：03-3595-3607

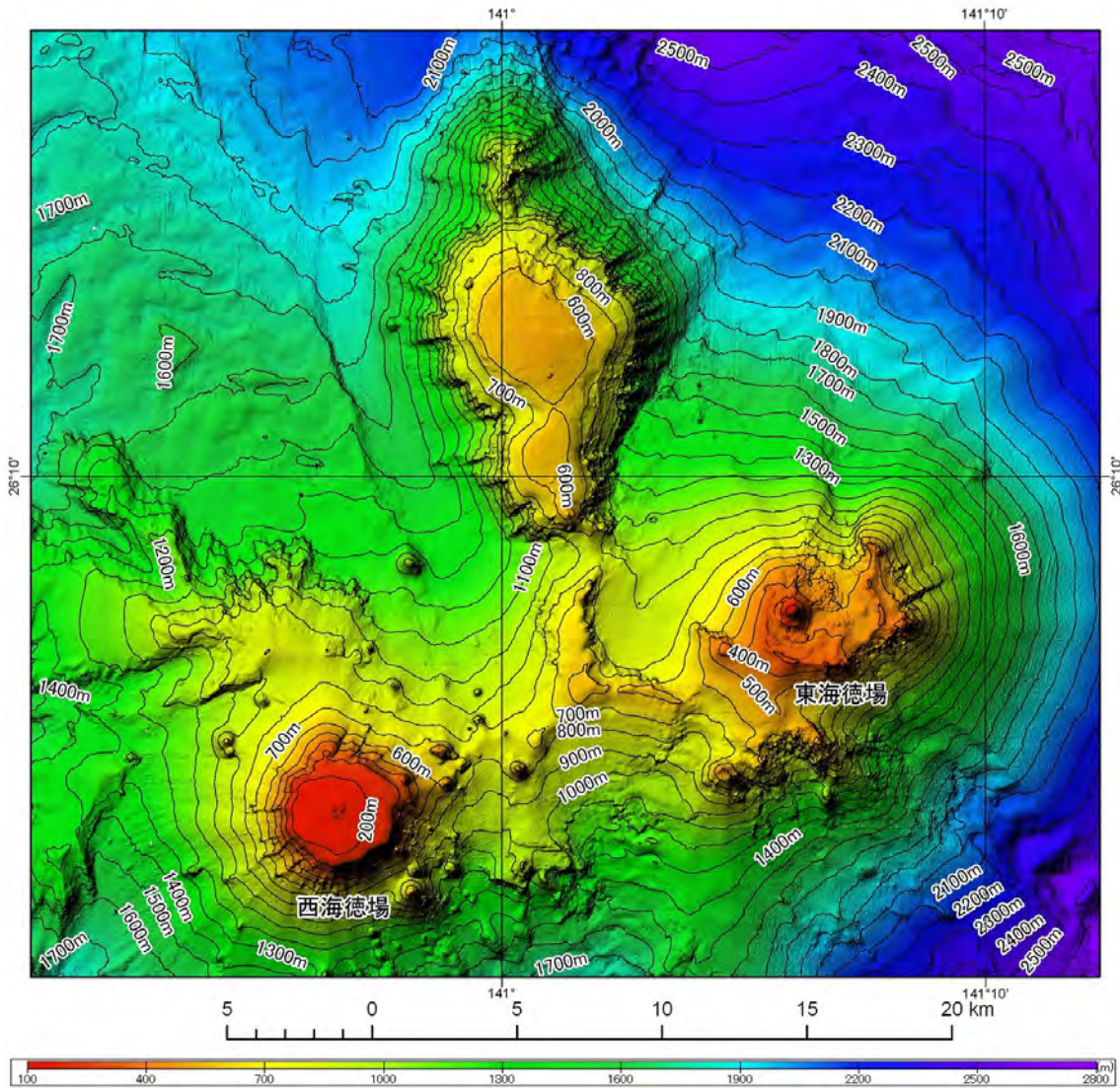
e-mail：下記 URL の問い合わせフォームから問い合わせください。

URL：<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

( 14 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：藤原琢磨

所属：海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室



第 1 図 海徳海山海底地形図





第2図 薩摩硫黄島 硫黄島港内及び磯松崎東部の変色水域 (2019年11月25日撮影)



第3図 口永良部島 口永良部島漁港とニシマザキの変色水域 (2019年11月25日撮影)

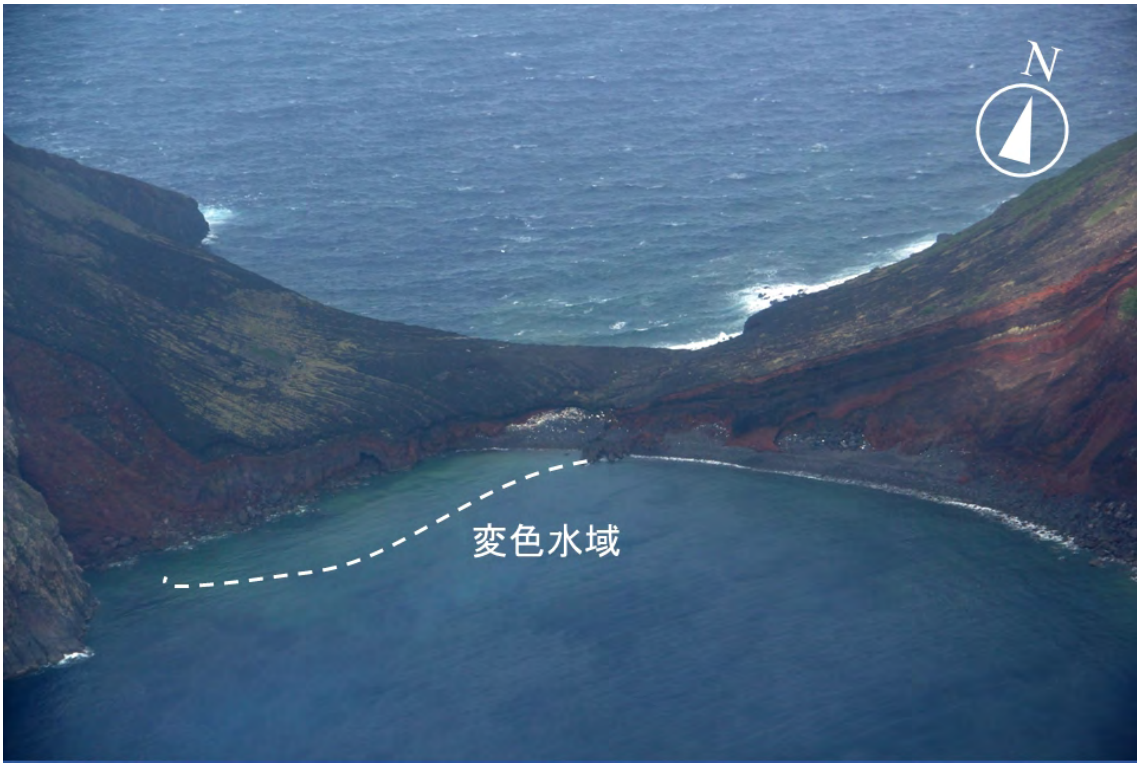


第4図 口之島 鎌倉埼の変色水域 (2019年11月25日撮影)



第5図 諏訪之瀬島 作地鼻付近の変色水域 (2019年11月25日撮影)





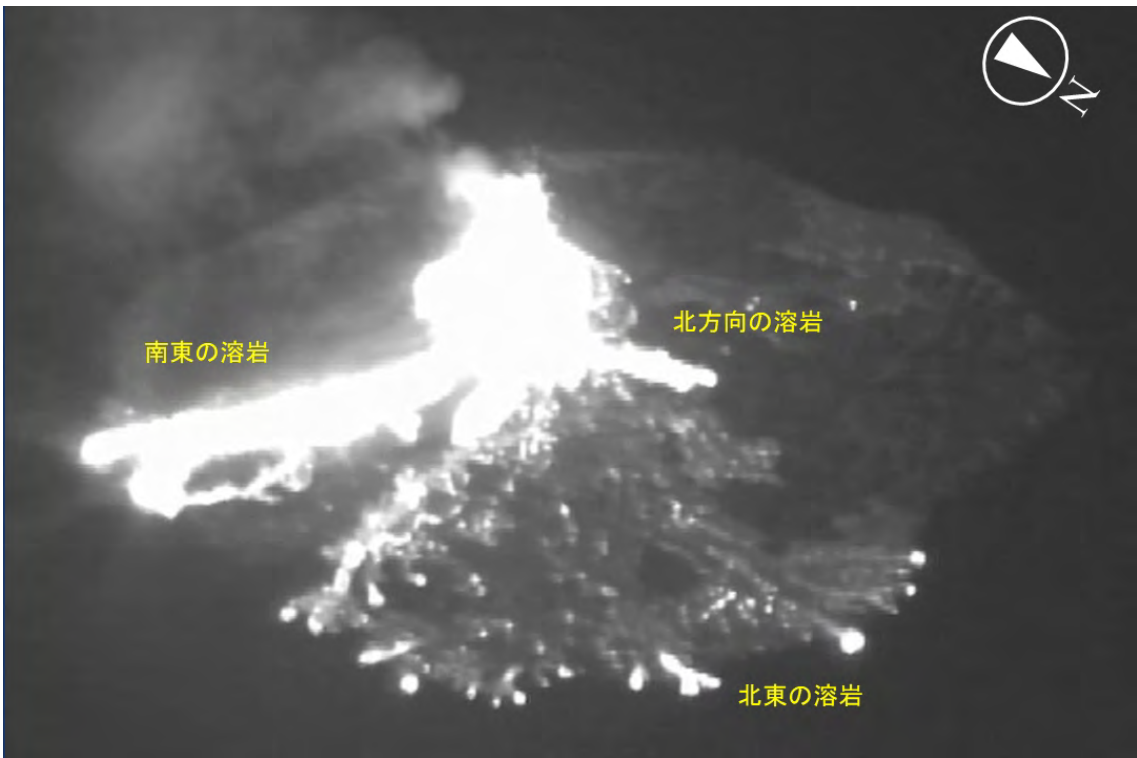
第6図 横当島 島接合部付近の変色水域 (2019年11月25日撮影)



第7図 西之島 全景 (2020年2月4日撮影)



第 8 図 西之島 火砕丘中央火口 ( 2020 年 2 月 4 日撮影 )



第 9 図 西之島 熱画像 ( 2020 年 2 月 4 日撮影 )

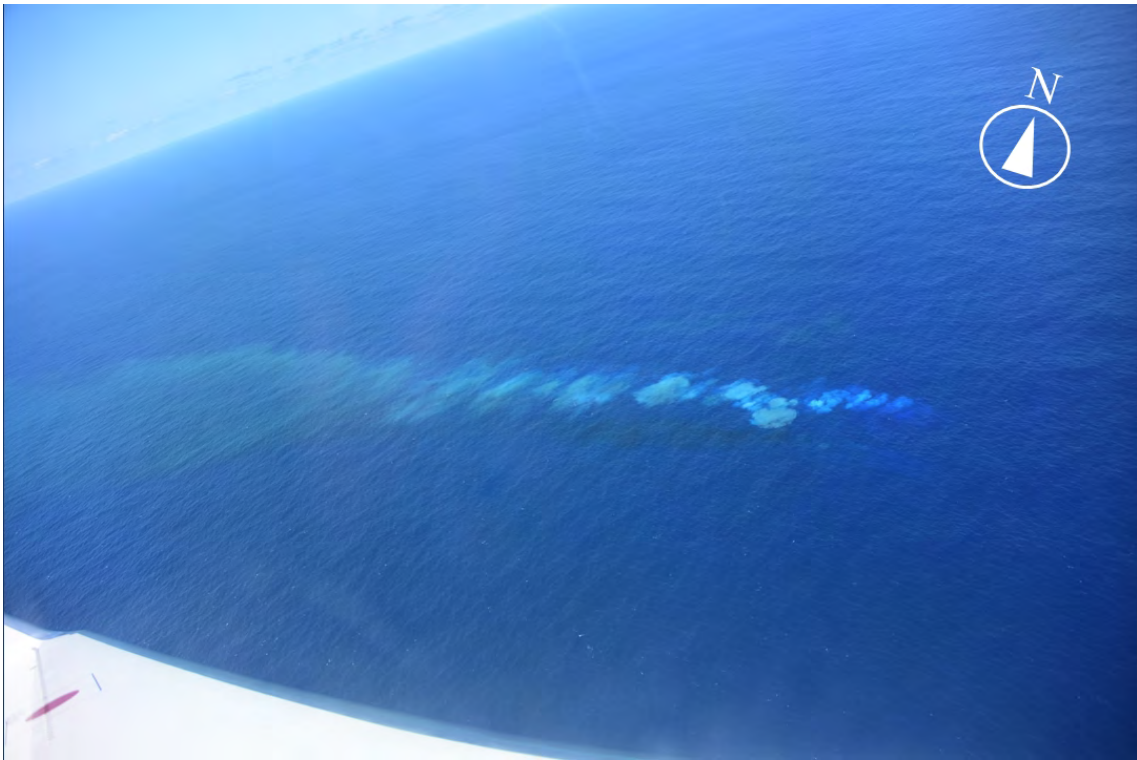




第 10 図 西之島 北東溶岩 ( 2020 年 2 月 4 日撮影 )



第 11 図 南硫黄島 変色水域 ( 2020 年 2 月 4 日撮影 )

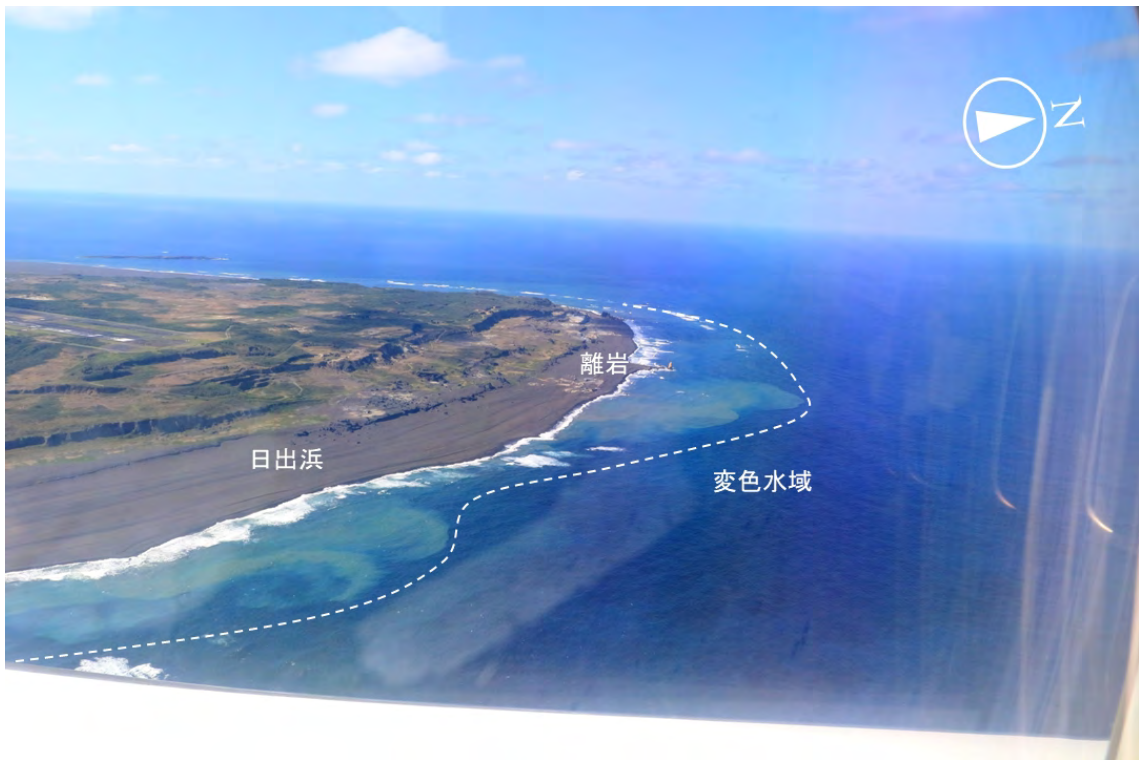


第 12 図 福徳岡ノ場 変色水 ( 2020 年 2 月 4 日撮影 )



第 13 図 硫黄島 翁浜の変色水域 ( 2020 年 2 月 4 日撮影 )





第 14 図 硫黄島 北東岸の変色水域 ( 2020 年 2 月 4 日撮影 )



第 15 図 硫黄島 阿蘇台陥没孔





第 16 図 硫黄島 離岩南火口 ( 2020 年 2 月 4 日撮影 )

( 1 ) 実施機関名：

気象庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震活動・地殻変動監視の高度化に関する研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

千島海溝沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

7006 地震活動・地殻変動監視の高度化に関する研究

GNSS やひずみ、傾斜データを用いたスロースリップ、地震波形を用いた低周波微動検出の研究などが進展した。また、地震発生シミュレーションにより、南海トラフ沿い巨大地震の発生パターンを再現するモデルの構築が進んだ。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

プレート境界の固着状態変化を検出するための手法、地殻活動状態の変化を監視する手法を高度化する。また、地震発生シミュレーションにより地震活動履歴の再現と、発生した状態変化の物理的背景の理解を進める。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

南海トラフ沿いで発生しているスロースリップについて、すべりの時空間分布を推定するための手法の改良を行う。地殻活動状態の変化を表す地震活動の様々な指標の特徴を調査し、それらを組み合わ

せた統合的指標を構築する。地震発生シミュレーションにより、千島海溝域について地震活動履歴の再現を行う。また、プレート境界の固着状態変化、地殻活動状況変化の物理的背景について考察する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

・ GNSS 座標データを用い、2017 年春から 2018 年秋にかけて発生した志摩半島付近の長期的スロースリップを検出した。長期的スロースリップ発生期間には隣接する領域で短期的スロースリップが活性化され、短期的スロースリップによる変位を除くと長期的スロースリップのすべりの規模は Mw 6.4 相当であった。

・ 中国地方を領域固定した GNSS 日値を用い、フィリピン海プレートの沈み込みと逆方向の成分について 1 年間の変化量を求め、あらかじめ南海トラフのプレート等深線 25km 上を中心とする矩形断層で一定のすべりを与えて計算した理論変位と比較することで、南海トラフ沿いの長期的スロースリップの 1 年あたりの規模の時空間分布を得る手法を開発した。

・ SAR 衛星 ALOS のデータを用いた時系列解析により、御前崎、潮岬、室戸岬、足摺岬周辺の定常的な地殻変動の検出を行い、面的に詳細でスムーズな地殻変動分布を得た。2.5 次元解析の結果と GNSS 観測点の比較により、特に上下方向で 0.5cm/年の範囲内で調和的であることを確認した。

・ 2004 年紀伊半島南東沖の地震後に行った OBS 観測から、浅部低周波地震が紀伊半島南東沖の地震の余震域と近接した場所で多数発生していたことを示した。また、浅部低周波地震が、2004 年新潟県中越地震や潮汐に敏感に反応していることを示した。

・ 東海大学と共同で、駿河湾における海底地震計観測を行った。

・ 地震モーメント保存則に基づき、日本海溝～千島・カムチャッカ海溝沿いで発生し得る地震の最大規模を推定した。推定された最大規模は、切断 G-R 則で 10 程度、宇津の式で 11 程度である。

・ トンガ・ケルマディック海溝沿いで発生したプレート境界型地震の地震活動について、潮汐との相関を調査した。解析の結果、潮汐指標値の絶対値が大きいほど地震の選択性が顕著であること、せん断応力よりも法線応力の方が地震のトリガーに寄与していることがわかった。

・ 中規模繰り返し地震について、発生状況のモニタリングと発生確率予測を行い、2016 年 2 月、2017 年 2 月及び 2018 年 2 月に岡田・他 (2007) のベイズ統計対数正規分布モデル (LN-Bayes,  $\mu=2.5$ ,  $\sigma=0.23$ ) を用いて実施した 1 年発生確率について、平均対数尤度 (MLL) とブライアスコア (BS) の評価指標を使って予測成績を確認し、他の更新過程の小標本論対数正規分布モデル (LN-SST)、BPT 分布モデル (BPT,  $\mu=0.24$ ) 及び指数分布モデル (Exp) の予測成績と比較した。結果は、MLL について、2016 年 2 月予測は LN-SST が他のモデルよりも成績は良く、2017 年 2 月と 2018 年 2 月予測は LN-Bayes が最も良い。3 回の実験はそれぞれ独立であり、3 回の結果を一つにして得られる成績は LN-Bayes が最も良い。要因は不明であるが、LN-Bayes、LN-SST 及び Exp の成績は徐々に悪化している、という結果を定量的に確認した。

・ 2011 年 3 月の地震波形に震源自動決定システム (PF 法) を適用し、現在の一元化震源カタログの 2 倍以上のイベントを検出した。その結果、東北地方では M 完全性を約 1.0 程度低下できることを示した。

・ 日本の内陸の地殻内で発生した地震の震源周辺の規模別頻度分布の時間変化を調査した。M6.5 以上の地震を対象に、地震規模との経験的關係から計算される余震域の広がり程度の範囲の地震活動を見ると、地震発生から半年程度以降は b 値が地震発生前に比べて高く、相対的に規模の大きな地震の割合が少ない傾向があることが分かった。

・ レーザー式変位計及びひずみ計データを用いて、短期的スロースリップよりも短時間のスロースリップ現象がないか調査し、継続時間約 1 時間のスロースリップ現象を発見した。そのスロースリップは通常の短期的スロースリップが発生している期間の間に発生したもので、Mw5.0 ほどの規模を持ち Ide et al. (2007) のスロー地震のスケーリング則と調和的であった。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

- Hirose, F., K. Maeda, and O. Kamigaichi, 2019, Tidal Forcing of Interplate Earthquakes Along the Tonga Kermadec Trench, *J. Geophys. Res.*, 124, 10498-10521.
- Hirose, F., K. Maeda, and Y. Yoshida, 2019, Maximum magnitude of subduction earthquakes along the Japan-Kuril-Kamchatka trench estimated from seismic moment conservation, *Geophys. J. Int.*, 219, 1590-1612.
- Kobayashi, A. and T. Tsuyuki, 2019, Long-term slow slip event detected beneath the Shima Peninsula, central Japan, from GNSS data, *Earth, Planets and Space*, 71, 60.
- Tamaribuchi, K., A. Kobayashi, T. Nishimiya, F. Hirose, and S. Annoura, 2019, Characteristics of Shallow Low Frequency Earthquakes off the Kii Peninsula, Japan, in 2004 Revealed by Ocean Bottom Seismometers, *Geophysical Research Letters*, 46, 23.
- 気象研究所, 2019, 全国 GNSS 観測点のプレート沈み込み方向の位置変化, *地震予知連絡会会報*, 102, 17-20.
- 気象研究所, 2019, 南海トラフ沿いの長期的スロースリップの客観検知, *地震予知連絡会会報*, 102, 277-279.
- 気象研究所, 2019, 内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測, *地震予知連絡会会報*, 102, 280-283.
- 気象研究所, 2019, 中規模繰り返し相似地震の発生状況と発生確率 ( 2019 ), *地震予知連絡会会報*, 102, 380-384.

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

- ・ひずみ計、傾斜計、GNSS など複数の観測要素を同時に用いることができるよう、すべり分布インバージョン手法を改良する。
- ・東海大学と共同で、海底地震計観測を行う。
- ・地震活動の特徴を表す b 値や p 値などの様々な指標の地域毎の時間変動特性および地域差の特徴について調査する。各指標の変動特性の統計的な性質を抽出するとともに、それらの指標の変動の物理的背景について検討を行う。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

気象研究所地震津波研究部

他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 気象研究所企画室

電話 : 029-853-8535

e-mail : ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL : <http://www.mri-jma.go.jp/>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 小林昭夫

所属 : 気象研究所地震津波研究部

( 1 ) 実施機関名：

気象庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地殻変動観測等に基づく火山活動評価の高度化に関する研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

火山活動の異常検出のために地殻変動観測データ等のモニタリング手法を高度化し、地殻変動源のモデル化や地殻変動シミュレーションによってマグマの蓄積・挙動の推定手法を高度化することを目標に研究を行い、以下に概要を示す成果が得られた。

伊豆大島等の活動的火山で、各種地殻変動観測を行いデータを収集して、その特徴の詳細把握とモデル解析によって、噴火の準備過程の理解と予測に向けて、課題を明らかにした。

御嶽山の 2014 年 9 月の噴火を対象に、従来のマグマ噴火から水蒸気噴火まで研究対象を拡大して、地殻変動モデル、微動源と地震活動の特徴を明らかにし、噴火のメカニズムの推定に資する解析結果を得た。

モニタリング手法の高度化として、傾斜データの降水・融雪の影響の補正と、GNSS データのスタッキング解析による SN 比向上は、監視と評価の改善に大きく貢献した(気象庁の火山監視情報システムに実装)。また、光波測距観測の気象補正の自動化システムや、相対重力計の機器依存(個体差)の校正手法を開発した。

衛星 SAR の干渉解析で、多数の火山の地殻変動を検出しモデル解析を行い、空間スケールが数 10 m 程度の変動を検出できることを明らかにした。

マグマの挙動の推定について、伊豆大島の短期的な変動を説明する概念モデルに関連して、マグマだまりの体積変化を、時間発展(シミュレーション)の計算で(部分的に)示すことができた。

霧島山のマグマだまりを、地震波干渉法により3次元S波速度構造を推定することで、イメージングすることができた。

(7) 本課題の5か年の到達目標：

火山内部の状態把握をよりの確に行えるよう地殻変動データなどの解析手法の開発・改善を進め、噴火に至るプロセス等の解明を行うことにより、火山活動評価手法の改善を図る。

[テーマ1] 伊豆大島で地殻変動源解析によりマグマ蓄積量を迅速に把握し、多項目観測を統合したブロードクトと精密に補正した重力観測データを用いて、マグマ上昇の検出・モニタリングを行う。地表熱・水収支、およびマグマ・揮発性成分収支のモデルを構築し、火山活動評価への活用を図る。他の活動的火山でも活動評価に資する地殻変動等の解析を行う。

[テーマ2] 衛星 SAR 解析における大気遅延補正を気象モデルを用いて高精度化し、GNSS 解析にも気象モデルを導入して、火山における地殻変動検知能力を向上させる。また、火山活動の理解を深めるために、地殻変動から地下の変動源の時空間変化を推定する手法、及び地下のマグマ挙動に伴う地殻変動のシミュレーション手法を開発し、それらの事例解析の比較により解析手法と物理モデルを改良する。

[テーマ3] 火山内部の状態監視や活動の異常検出を目指して、伊豆大島の震動観測データに地震波干渉法を適用し、地下の速度構造の時間変化を検出する手法を開発する。また検出された変化の要因、火山活動との関連を評価する。

(8) 本課題の5か年計画の概要：

[テーマ1]

伊豆大島における各種地殻変動データの取得・収集を継続し、地下のマグマの蓄積量(噴火ポテンシャル)を把握するための解析手法を迅速化する。マグマ上昇検出とモニタリングを目的とした、多項目観測、重力繰返し観測を実施する。そのために重力データ補正技術の向上を図る。

噴火が近づく時期の地下浅部における熱的活動を詳細に把握するために、山頂付近の空中からの熱赤外線繰返し観測、地表での熱収支観測を実施し、熱および水収支のモデルを構築して地表面からの熱・水の総放出量を定量化する。

他の活動的火山においても火山活動の活発化がみられるような場合に地殻変動等の解析を行う。

[テーマ2]

衛星 SAR の干渉解析について、気象モデルを用いた対流圏遅延補正プログラムを開発する。補正精度の評価にあたり各種気象モデルによる補正結果を比較検証する。GNSS 観測データの解析に、気象モデルによる大気遅延補正を導入するためのプログラムを開発し、パラメータ・プログラムを調整してその有効性を検証する。

地下のマグマの挙動を説明する物理モデルに基づいた地殻変動のシミュレーションプログラム、および観測データの解析による地殻変動源の時空間変化推定プログラムを開発し、両者を事例に適用し比較することにより、解析手法や地下のマグマの物理モデルなどを改良する。

[テーマ3]

伊豆大島の震動観測データに、地震学の分野で知見が深まっている地震計記録の背景雑音(ambient noise)を用いた解析手法を適用し、火山周辺における地震波速度の時間変化を検出する手法を開発する。また、その要因を評価する中で、実際の火山活動に伴う地震波速度変化の検出を目指す。

(9) 令和元年度の成果の概要：

[テーマ1]: 観測研究による火山活動の活発化や噴火に至るプロセスの解明

(1) 伊豆大島等におけるマグマ蓄積・上昇過程の解明

伊豆大島において GNSS、光波測距、多成分ひずみの地殻変動観測を継続し、その解析からマグマだまりのマグマ蓄積量の変化を推定した。また他の火山で、十勝岳、吾妻山、霧島山で、地殻変動解

析で変動源を推定し、火山活動評価に資する結果を得た。

伊豆大島で重力の繰り返し精密観測を継続し、観測データ補正技術の高度化を進めた。地震研究所との共同研究により、新たに絶対重力点との接続、重力計スケール評価を行った他、重力鉛直勾配と GNSS を用いた上下変動に伴う重力変化予測値との比較を進めた。

(2) 伊豆大島山頂部における地表放熱量評価

伊豆大島山頂域において地表面熱収支を把握するために独自に考案した装置を設置して連続観測を開始した。熱・水収支モデルの構築に向けて、地震研究所による坑井温度データを解析し、海水準より深部の熱・流体の流れ、浸透率の分布を推定できた。

[ テーマ 2 ]: 火山活動の解析・評価のための手法開発

衛星 SAR の干渉解析について気象モデルを用いた対流圏遅延補正プログラムの開発を進め、モデルから光路長を補正する手法の妥当性を確認し、モデル第 1 層の扱いを見直して標高依存で生じる誤差を低減する手法を開発した。GNSS 解析手法について、吾妻山を対象とする統合解析を行い、年周変動除去と気象モデルによる大気遅延補正を適用するための調査を行った。

火山活動に伴う地下の圧力源で生じる地殻変動の計算手法で、境界要素法を適用し、地形の影響を考慮したごく浅部の圧力源による変動の計算手法を開発し、既存の簡易な補正の適用限界を示した。

[ テーマ 3 ]: 監視観測データの活用的高度化

地震波形の観測点間の相互相関解析による地震波速度構造の解析で、霧島山の速度構造を解析し、マグマだまりがシル状となっていることを示唆する結果が得られた。また使用する震動観測データを常時蓄積・表示するシステムを構築した。

- ( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
安藤忍, 2019, 伊豆大島における ALOS - 2/PALSAR - 2 を用いた時系列解析, 日本測地学会第 132 回講演会  
Araujo, J., F. Sigmundsson, J. Okada, T. Ferreira, and M. Lorenzo, 2019, Current plate movements across the Azores triple junction determined from 17 years of continuous GPS measurements, *Geophys Res Abstr* vol. 21, EGU2019-10056  
川口亮平, 2019, 境界要素法に基づく火山周辺の気象庁傾斜計データの評価の検討, 日本火山学会 2019 年度秋季大会  
川口亮平・齋藤直子・鬼澤真也, 2019, 水位変動・地震観測に基づく立山カルデラ新湯の地下構造の推定, JpGU meeting 2019  
Kobayashi, T., K. Kato, R. Kawaguchi, Y. Yoshigai, Y. Ogawa, K. Nogami, W. Kanda, and A. Terada, 2019, Report of Volcanic Activity at Kusatsu-Shiranesan(Yugama Area), Japan in 2018-2019, AGU Fall Meeting 2019  
小久保一哉, 2019, 伊豆大島の多成分ひずみ計の複数の傾斜計を利用した検定( 2 ), 日本火山学会 2019 年度秋季大会  
Kondo, G., H. Aoyama, T. Nishimura, M. Ripepe, G. Lacanna, R. Genco, R. Kawaguchi, T. Yamada, T. Miwa, and E. Fujita, 2019, Gas flux cyclic regime at an open vent magmatic column inferred from seismic and acoustic records, *Sci Rep* 9, 5678(2019), doi:10.1038/s41598-019-42033-z  
森健彦・谷口無我・川村安・平松秀行・池田啓二・菅井明・菅原道智・?田健一・松本享・福岡管区気象台・大分地方気象台, 2019, 九重硫黄山における火山活動の変化について, JpGU meeting 2019  
長岡優・西田究・青木陽介・武尾実, 2019, 地震波干渉法を用いた浅間山の 3 次元  $V_{SV}$ ,  $V_{SH}$  構造の推定, 日本地震学会 2019 秋季大会  
長岡優・西田究・青木陽介・武尾実・大倉敬宏・吉川慎, 2019, 地震波干渉法による霧島山のマグマ供給系の解明, JpGU meeting 2019  
Nagaoka, Y, K. Nishida, Y. Aoki, M. Takeo, T. Ohkura, and S. Yoshikawa, 2019, Imaging of the magma reservoir beneath Kirishima volcanoes, Japan, by seismic interferometry, AGU Fall Meeting 2019



- 岡田純・松浦茂郎・近江克也・山村卓也・丹原裕・関晋, 2019, 吾妻山の 2014-2015 年と 2018-2019 年の火山活動に伴う地殻変動, JpGU meeting 2019
- 奥山哲・安藤忍・札幌管区気象台地域火山監視警報センター, 2019, PALSAR-2 により検出された十勝岳における局所的な地殻変動, 日本火山学会 2019 年度秋季大会
- 奥山哲・安藤忍・新堀敏基, 2019, 気象研究所における干渉 SAR 対流圏遅延補正プログラムの開発(第 2 報), JpGU meeting 2019
- 奥山哲・安藤忍・新堀敏基, 2019, 気象研究所における干渉 SAR 対流圏遅延補正プログラムの開発(第 3 報), 日本測地学会第 132 回講演会
- 鬼澤真也・長岡優・大久保修平・今西祐一・西山竜一・渡邊篤志・安藤美和子, 2019, 伊豆大島火山マグマ活動の解明に向けた精密重力観測, 地震研究所共同利用実施報告書 2018-G-12
- 鬼澤真也, 2019, 伊豆大島火山カルデラ内坑井温度プロファイルによる伝導・対流熱伝達の推定, JpGU meeting 2019
- 鬼澤真也・松島喜雄, 2019, 坑井温度プロファイルから推定される伊豆大島火山の熱水系, 日本火山学会 2019 年度秋季大会
- Toriyama, N., K. Tamaribuchi, R. Kawaguchi, K. Uhira, Y. Yoshigai, J. Miyamura, and S. Matsusue, 2019, Hypocenter determination, applying PF method to volcanic earthquake in Izu-Oshima, AGU Fall Meeting 2019

(11) 令和 2 年度実施計画の概要:

[ テーマ 1 ] 火山活動活発化や噴火へ至るプロセスの解明

(1) 伊豆大島等におけるマグマ蓄積・上昇過程の解明

伊豆大島の地殻変動観測及び変動源の解析を継続するとともに、地下のマグマの蓄積量を把握するための解析の迅速化・自動化の開発を進める。他の活動的火山についても地殻変動等の解析を行う。

伊豆大島において重力の繰り返し精密観測を継続するとともに、マグマ上昇検出とモニタリングに資する重力観測データ補正技術の高度化を進める。

(2) 伊豆大島山頂部における地表放熱量評価

地表面熱・水収支のモデル構築に向けて、地表面の熱収支連続観測を継続し、新たに空中熱赤外観測による面的な温度分布の把握(年 2 回、4 か年継続)を開始してその観測とデータ処理の技術の確立を目指す。マグマ・揮発成分収支に関わる観測データ及び活動場の物性の既存資料を調査し取りまとめる。

[ テーマ 2 ] 火山活動の解析・評価のための手法開発

(1) SAR の対流圏遅延補正高精度化

気象モデルを用いた対流圏遅延補正プログラムの開発を進める。

(2) GNSS 解析手法の高度化

気象モデルを導入した対流圏遅延補正による解析プログラムの開発、妥当性・精度検証を進める。

(3) マグマの状態・活動を地殻変動などから推定するための手法開発

火山活動に伴う地殻変動抽出、解析手法を検討し、火山内部の変動源の時空間変化の推定手法の開発を進める。地下のマグマ挙動に伴う地殻変動シミュレーション手法の開発を進める。

[ テーマ 3 ] 監視観測データの活用的高度化

(1) 地震波形の観測点間の相互相関解析による地震波速度変化のモニタリング

地震波干渉法を用いて伊豆大島地下の地震波速度構造を求め、その時間変化の検出を試みる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

研究代表者: 齋藤 誠 火山研究部長

研究担当者:

[ 火山研究部 ] ○小久保一哉、高山博之、鬼澤真也、森健彦、奥山哲、岡田純、川口亮平、長岡優、  
( 併任：火山課 ) 瀧山弘明、加古考範、山本哲也  
[ 地震津波研究部 ] 小林昭夫、安藤忍  
他機関との共同研究の有無：無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：気象研究所企画室

電話：029-853-8535

e-mail：ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL：http://www.mri-jma.go.jp

( 14 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：小久保一哉

所属：気象研究所火山研究部第一研究室

( 1 ) 実施機関名：

気象庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

火山活動に伴う地殻変動の把握及び評価

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

( 5 ) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

【GNSS】

・国土地理院からの助言や気象研究所の協力を得ながら、平成 29 年度に GNSS の解析戦略を見直した。

【傾斜計】

・傾斜データによる自動異常検出の可能性を探るために、御嶽山傾斜観測データを事例として、変動率によるアラーム報知基準を設け、アラーム報知空振り率とその原因を調査した。2014 年の 1 年間のデータを調査した結果、アラーム報知の原因として、実際の火山活動に伴う変動以外に、地震動により生じたステップ、地震の震動波形、機器固有に生じるステップ等が挙げられた。9 月 27 日噴火前に観測された急激な傾斜変動に相当する高い閾値を用いても、80 %以上の空振り率であった。

・平成 29 年度に運用を開始した火山監視情報システムにおいて、傾斜データの降水補正機能を導入した。

【衛星 SAR】

・平成 28 年度に ALOS-2 データの解析環境の再構築を行い、気象庁火山センター職員による SAR 差分干渉解析の作業環境を整備した。火山活動活発時に ALOS-2 で行われた緊急観測の解析を行い、状

況に応じて関係機関に共有した。また、国内全ての活火山を対象に火山活動監視を目的として気象研究所とともに解析を行った。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

火山活動監視・評価の高度化に資するため、全国の火山の地殻変動観測およびデータについて、監視項目の評価と適正化の検討、地殻変動検出のためのノイズ低減に向けた検討を進めるとともに、地殻変動検出時の変動源推定等の解析と結果の噴火予知連絡会等への報告を行う。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

気象庁では常時監視火山をはじめとする活火山において傾斜計や GNSS 等の地殻変動観測装置を整備しデータを取得するとともに、関係協力機関から提供を受けたデータを用いて全国の火山活動の監視を行っている。これら監視データにより地殻変動の検出を試みるとともに、活動の活発化に伴い地殻変動が検出された際には、これらのデータを使用し、適宜、変動源推定等の解析を行い、火山噴火予知連絡会等に報告する。また、観測データをより有効に活用し、監視・評価手法を改善していくために以下の検討、技術の高度化を進める。

- ・ GNSS 等の異常検知力調査およびこれに則った監視項目の評価、適正化の検討
- ・ 傾斜データ等のノイズ低減によるデータ高品位化のための検討
- ・ H30 年度に打ち上げ予定の ALOS-4 に対応した SAR データ解析環境の構築と地殻変動検出

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

GNSS 解析について、現状の解析結果では、時期により解析手法が異なることから、一貫した検知能力下での評価ができないとの課題がある。対処として、主に 2016 年度以前のデータについて再解析を実施する予定としており、令和元年度は、過去解析作業の準備として、解析手法の検証、評価を行った。

傾斜計データについて、検知能力の調査、監視項目の評価として、全国の観測点を対象に特性を把握するための調査を実施し、降水等の気象による影響(ノイズ)等を整理した。この作業により、一部の観測点については、GNSS 観測等と同様に、長期的にも火山活動による変化を捉えていることを確認した。また、監視項目の適正化の一環として、降水、気圧の影響については補正手法の検討を進めている。

国内の活火山を対象に、火山活動監視を目的として気象研究所とともにだいち 2 号 ( ALOS-2 ) の SAR 解析を行った。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

令和 2 年度にも引き続き以下を実施する。

1 ) 地殻変動観測による監視・評価常

時監視火山をはじめとする全国の活火山において傾斜計、GNSS、SAR 等の地殻変動観測データにより火山活動の監視、変動の検出を行う。顕著な変動を検出した際には、変動源推定等も含めた解析を行うと共に、他観測データと併せて活動評価に資する。

2 ) 技術的検討

地殻変動観測データの質的検討を行うと共に、ノイズ低減によるデータ高品位化のための検討を進める。また、SAR データでの地殻変動検出の試みを進める。

3 ) 成果の公表

得られた成果は、火山噴火予知連絡会における火山活動評価、火山活動解説資料等の防災目的の資料等に利用する他、適宜、学会等において発表を行う。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

気象庁地震火山部・札幌管区气象台・仙台管区气象台・福岡管区气象台火山監視・警報センター  
他機関との共同研究の有無 : 有  
国土地理院 , 宇宙航空研究開発機構 , 大学 , 研究機関 , 自治体等の火山観測実施機関

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地震火山部管理課 地震調査連絡係長  
電話 : 03-3212-8341(内線 : 4514)  
e-mail : jmajishin\_kanrika@met.kishou.go.jp  
URL : <http://www.jma.go.jp>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 瀧山弘明  
所属 : 気象庁地震火山部火山課

( 1 ) 実施機関名：

気象庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地球電磁気学的手法による火山活動評価の高度化

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

雌阿寒岳、草津白根山、伊豆大島、三宅島、阿蘇山において全磁力連続観測および繰返し観測を継続的に実施し、火山活動との対応関係を調査した。これらの火山での観測結果については年 3 回の火山噴火予知連絡会および同会報で報告した。雌阿寒岳においては AMT 法を用いた比抵抗構造探査を実施し、全磁力観測から推定される熱消磁、帯磁モデルと併せて論文にとりまとめた。気象庁地震火山部が水蒸気噴火の予知を目的として平成 27～30 年度に行った樽前山、吾妻山、御嶽山、霧島山、九重山、安達太良山における全磁力観測装置の整備事業に協力し、観測点の地点選定のための磁気測量やデータ解析等を行った。また、これら整備火山における DI 効果について調べ、参照点における地磁気三成分データを用いた DI 補正法を適用し、火山活動評価の高度化を図った。その他、2018 年 1 月に噴火した本白根山の熱活動の状況を把握することを目的とし、本白根山山頂部周辺において自然電位観測、および地磁気全磁力の繰返し観測を実施した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

雌阿寒岳、草津白根山など熱水活動の活発な火山において全磁力連続観測および繰返し観測を継続的に実施し、火山活動との対応を調査する。また、火山性磁場変動の抽出の高精度化を図る。これにより、全磁力による火山の熱水系の活動状況をモニタリングする技術を高度化し、水蒸気噴火の前兆的現象を捉えることを目標とする。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

雌阿寒岳や草津白根山、伊豆大島などの熱水系の卓越する火山において、全磁力の連続観測および繰返し観測を継続し、火山活動との対応関係を調査する。全磁力の観測結果を解析し、全磁力変化をもたらす熱源位置の推定を行う。また、地殻変動や地震活動、比抵抗構造と熱源の対応を調べ火山内部で発生している物理過程の解明を目指す。平成 27 年度～30 年度に気象庁が水蒸気噴火の予測を目的として整備した樽前山、吾妻山、御嶽山、霧島山、九重山、安達太良山における全磁力観測データの解析を行い、熱活動の状況を分析する。また、これら火山の山麓参照点に設置された三成分磁力計データを外部磁場擾乱補正に適用し、火山性磁場変化の抽出の精度向上を図る。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

雌阿寒岳、草津白根山、伊豆大島、三宅島、阿蘇山において全磁力連続観測および繰返し観測を実施し、火山地下の熱的活動を推定すると共に、火山活動との対応関係を調査した。2018年1月に噴火した本白根山では2018年に続き、2019年にも山頂部周辺において自然電位および全磁力繰返し観測を実施し、本白根山地下の熱活動の推移を調査した。DI補正については、参照点に設置してある三成分磁力計の長期安定性が不十分であるため地磁気永年変化のDI効果の補正に課題が残っていたが、人工衛星主磁場モデルを用いた補正方法について検討し、有効な方法となりうることを確認できた。その他、近い将来の噴火が想定されている伊豆大島および三宅島の三次元的な比抵抗構造を調査するため、大学等により実施されたAMT構造探査の共同観測に参加した。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

山崎明・飯野英樹・田中達朗, 本白根山における2018年噴火後の自然電位および地磁気全磁力観測, 日本地球惑星科学連合2019年大会, 幕張メッセ, 2019年5月  
浅利晴紀・長町信吾・増子徳道・高橋幸祐・小山崇夫, 地磁気火山監視における人工衛星主磁場モデルの有用性について, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 熊本大学, 2019年10月  
飯野英樹・山崎明・有田真・下川淳, 本白根山噴火後の自然電位観測, Conductivity Anomaly 研究会シンポジウム, 東京大学地震研究所, 2020年1月

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

地球電磁気学的手法による火山活動評価の高度化を目指すため、特に水蒸気噴火を起こす火山について重点的に調査を行う。この目的のもとに引き続き雌阿寒岳、草津白根山などにおいて全磁力の連続観測、繰返し観測を継続し、火山活動との対応関係を調査する。2018年に噴火した本白根においては全磁力の繰返し観測を継続する。DI効果の補正については、人工衛星主磁場モデルの適用等について引き続き調査を進める。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

気象庁地磁気観測所  
他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 気象庁地磁気観測所総務課  
電話 : 0299-43-1151  
e-mail : kakioka@met.kishou.go.jp  
URL : <http://www.kakioka-jma.go.jp/>

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 山崎 明  
所属 : 気象庁地磁気観測所技術課



( 1 ) 実施機関名：

気象庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

化学的手法に基づく火山活動監視・予測に関する研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

直接採取した火山ガスや熱水の化学組成及び安定同位体比、並びに火山灰に付着した火山ガス由来成分等の分析を通じて火山ガス活動の理解を深め、個々の火山における火山ガス活動の機構の解明を目指す。

火山ガスの放出率や組成比をモニタリング・評価する技術を開発するとともに、火山ガス活動への理解を踏まえ、地殻変動などの物理観測データも組み合わせた多項目解析を行うことで、火山活動評価への活用を図る。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

吾妻山、箱根山、草津白根山及び霧島山等の活動的火山において採取した火山ガスや熱水の化学組成及び水素・酸素安定同位体比、あるいは火山灰から抽出した水溶性の化学成分を、重量分析や容量分析などの手分析のほかにガスクロマトグラフやイオンクロマトグラフ、分光分析といった機器分析を組み合わせて分析し、火山ガス活動やその起源に関する理解を深め、個々の火山における火山ガス活動の機構の解明を目指す。

火山ガスをセンサー等で測定し火山ガス活動をモニタリングするための研究を行う。具体的には、気象庁が 4 火山に設置した、多成分火山ガス連続観測装置によるガス成分比のモニタリング技術の向上、気象モデルを用いた二酸化硫黄放出率のモニタリング技術の改善、二酸化炭素等土壌ガスの連続

観測あるいは機動観測による噴火ポテンシャル評価等を、吾妻山、草津白根山、伊豆大島、桜島等で行う。また、それらのデータと、地震や地殻変動等の既存の物理観測データを組み合わせた統合解析手法を検討する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

( 1 ) 化学分析に基づく火山活動の理解に関する研究

・箱根山、草津白根山、霧島山(えびの高原(硫黄山)周辺)、吾妻山、栗駒山及び Taal 火山(フィリピン)を対象に、火山ガス及び熱水流体の化学組成及び水素・酸素安定同位体比を分析する事例研究を行った。東海大学との共同研究を実施している箱根山では、噴気の CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S 比と He/CH<sub>4</sub> 比が火山性地震の回数と良い相関を示しており、火山活動評価の指標として有効であることを明らかにした。草津白根山では東海大学、東京工業大学と共同で観測を実施し、火口湖湯釜の湖水の Mg/Cl 比が過去の噴火・噴出現象に対応して変化したことに着目して分析を続けた結果、2019 年夏から秋にかけて湯釜湖水の Mg/Cl 比に僅かな上昇が起きたことを明らかにした。霧島山硫黄山では東海大学、東京大学などと共同で観測を実施し、2018 年 4 月に発生した噴火の前後で増加していた硫黄山山麓の湧水の Cl/SO<sub>4</sub> 比が 2019 年 1 月から 11 月にかけて明瞭に低下したことを明らかにした。

・噴火した浅間山や阿蘇山を対象に、噴火中の火山ガスの化学組成及びその変化の推定のために火山灰から抽出した水溶性物質の化学分析を実施し、浅間山では新鮮なマグマの関与はなく水蒸気噴火によって既存の山体の一部が破砕・放出されたことを明らかにした。

・草津白根山で得られた火山ガス組成と、本庁整備の多成分火山ガス観測装置による組成の比較の結果、多成分火山ガス観測装置による観測では、センサー感度変化の補正が必要なことや、活動変化による火山ガスの組成変化を捉えられることを明らかにした。

( 2 ) 火山ガス活動のモニタリングに関する研究

・センサーによる火山ガス観測の有効性を検証するため、可搬型マルチガス観測装置の異なるガス種による干渉性を点検して校正した上で、吾妻山及び九重山において本庁整備の多成分火山ガス連続観測装置周辺での観測を行った。得られた結果を連続観測データや直接採取した火山ガスの化学分析結果と比較して、有効な観測範囲や精度等について検討を行い、マルチガスを用いた観測データが火山活動監視にあたり一定の有意性をもつことや、連続観測装置のセンサー劣化の程度を把握してより精度良く補正を行う手法につながることを明らかにした。

・吾妻山の土壌ガス(CO<sub>2</sub>)の連続観測を継続し、大穴火口の活動の変化に同期した高まりが捉えられている可能性があることを明らかにした。

・二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)放出率計測の自動化へ向け、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)で行われた先行観測研究を元に課題の洗い出しと解決策の検討を行い、試験機の開発を行った。

・諏訪之瀬島において二酸化硫黄カメラを用いて、二酸化硫黄の移流拡散の実況を把握する手法について検討を行った。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Muga Yaguchi, Akihiko Terada, and Yasuo Ogawa (2020) Air-Fall Ash from the Main Crater of Asama Volcano on August 7, 2019, and its Water-Soluble Components Journal of Disaster Research, 15, 53-56. doi: 10.20965/jdr.2020.p0053.

Takeshi Ohba, Muga Yaguchi, Kana Nishino, and Nozomi Numanami (2019) Time Variation in the Chemical and Isotopic Composition of Volcanic Gas at Mt. Mihara of Izu-Oshima Island, Japan. Journal of Disaster Research, 14, 972-977. doi: 10.20965/jdr.2019.p0972.

Muga Yaguchi, Takeshi Ohba, Nozomi Numanami and Ryohei Kawaguchi (2019) Constituent mineral and water-soluble component of volcanic ash from the 2018 eruption of Mt. Motoshirane of Kusatsu-Shirane volcano, Japan. Journal of Disaster Research, 14, 991-995. doi: 10.20965/jdr.2019.p0991.

Takeshi Ohba, Muga Yaguchi, Kana Nishino, Nozomi Numanami, Urumu Tsunogai, Masanori Ito and

Ryo Shingubara (2019) Time variation in the chemical and isotopic composition of fumarolic gases at Kusatsu-Shirane volcano Japan. *Frontiers in Earth Science*, 7:249. doi: 10.3389/feart.2019.00249.

Muga Yaguchi, Takeshi Ohba and Masakazu Sago (2019) The nature and source of the volcanic ash during the 2015 small phreatic eruption at Hakone volcano, central Japan. *Geochemical Journal*, 53, 209-217. doi:10.2343/geochemj.2.0560.

Takeshi Ohba, Muga Yaguchi, Kana Nishino, Nozomi Numanami, Yasushi Daita, Chiho Sukigara, Masanori Ito and Urumu Tsunogai (2019) Time variations in the chemical and isotopic composition of fumarolic gases at Hakone volcano, Honshu Island, Japan, over the earthquake swarm and eruption in 2015, interpreted by magma sealing model. *Earth, Planets and Space*, 71:48. (<https://doi.org/10.1186/s40623-019-1027-5>).

谷口無我, 大場 武, 外山浩太郎, 福岡管区气象台, 鹿児島地方气象台, 霧島山硫黄山周辺の湧水・湯だまりの化学組成 (2019年1月25日現在), 火山噴火予知連絡会会報, 132, 312-316.

(11) 令和2年度実施計画の概要:

(1) 化学分析に基づく火山活動の理解に関する研究

- ・吾妻山・箱根山・草津白根山・霧島山等の活動的火山の火山ガスや熱水等を採取し、火山ガス成分の分析を進める。
- ・令和元年度に整備した安定同位体比分析計による分析手法を完成させ、ガス成分に安定同位体比を加えた火山活動の理解を進める。

(2) 火山ガス活動のモニタリングに関する研究

- ・二酸化硫黄放出率連続観測手法の開発研究のため、令和元年度に新たに設計・整備した測定装置の稼働試験を実施し、システム制御のソフトウェア調整及び装置の耐久性向上等を図り、令和3年度以降の本格展開に向けた準備を行う。
- ・吾妻山等における土壌ガス観測データによる二酸化炭素成分の活動と、地球物理データを含む他の観測データによる統合的な活動解釈について考察する。
- ・マルチガス連続観測装置の観測精度向上に向けた検討を引き続き行う。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

気象研究所火山研究部第三研究室  
他機関との共同研究の有無: 無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 気象研究所企画室  
電話: 029-853-8535  
e-mail: [ngmn11ts@mri-jma.go.jp](mailto:ngmn11ts@mri-jma.go.jp)  
URL: <http://www.mri-jma.go.jp>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 菅野智之  
所属: 気象研究所

( 1 ) 実施機関名：

気象庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震動・津波即時予測の高度化に関する研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

イ. 津波の即時予測手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

従来から緊急地震速報で用いられている“震源とマグニチュードの早期決定”という考え方に加え“揺れから揺れを予測する”という考え方で研究を進めた。これは、データ同化手法を用いて揺れの分布の現状を正確に把握し、波動伝播の物理を用いて未来の波動場を予測するものである。これにより、これまで以上の精度や堅牢性、迅速性が得られ、そして、速度構造、散乱・減衰構造をとり入れることで、さらに早い段階で精度よく予測できることが分かった。また、強震入力時の海底地震計の挙動とその対策や、地震動の伝播方向をリアルタイムで推定することの考察を進めた。“揺れから揺れを予測する”という考え方は長周期地震動に対しても十分に適用できる。(課題番号 7008)

遠地実体波のスペクトル解析から、スロー地震タイプの津波地震の特徴抽出を行った。それに基づき、世界各地で発生したスロー地震タイプの津波地震が日本近海で発生した場合を想定し、気象庁マグニチュード等を評価した。その結果、モーメントマグニチュードが同程度の通常地震に比べて震度が2段階ほど低くなる可能性がある他、津波地震の  $M_w$  が 8 に近い場合であっても気象庁マグニチュードの推定値は 7 程度あるいはそれ以下にとどまるという結果を得た。山体崩壊による津波について、崩壊後の地形を与えた上で崩落させた土砂の移動を計算し、その結果に基づいて津波を計算する手法について検討を行った。この手法を歴史津波観測高の得られている 1741 年渡島大島及び 1792 年雲仙眉山の事例に適用し、妥当な予測結果を得た。(課題番号 7009)

沖合で観測された津波波形の逆解析に基づく津波の即時予測手法システムについて、リアルタイム GNSS 測地データ解析によって推定される震源断層解との統合、波源の広がり小さな津波に対応するための段階的処理手法の導入等、手法の改良を行ったことに加え、観測データに含まれる非津波成分への対処や予測結果の妥当性評価の指標の開発等を行って実用性を高めた。波源推定に基づかない予測手法について、データ同化による津波面的把握とそれを用いた津波予測について検討し、マグニ

チュード 8 クラスの波源の広がり大きい津波に対しては概ね適切な予測ができることを確認したが、広がり小さい津波に対しては十分ではないことを示した。遠地津波の継続時間の予測手法について、沿岸津波観測データの移動自乗平均振幅の成長・減衰過程を数理モデルで表現し、地震のマグニチュードとの関係を明らかにすることで、継続時間の予測可能性を示した。( 課題番号 7011 )

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

地震動即時予測について観測震度に対して予測震度が概ね震度差 1 以内に収まる精度を目指す。また、震源位置やマグニチュードが決まっていない段階においても震度予測ができる迅速性・堅牢性の向上も目指す。さらに、長周期(おおよそ周期 10 秒程度まで)の様々な揺れの予測にも対応できるように拡張・強化する。

津波伝播計算における沿岸域での境界条件等を最適化する。それにより、津波伝播計算による日本の沿岸域における第 1 波到達から後続波、減衰に至るまでの津波全過程予測の精度向上を図る。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

これまで構築してきた揺れから揺れを予測する技術をさらに発展させ、データ同化手法を用いて波動場を正確に推定し、そこから未来の波動場を予測する手法を目指す。これにより、( 震度だけではなく ) 長周期地震動を含めた波形での予測が可能となる。また、海域や陸上の観測網の環境の変化に対応するとともに、波動の同定( P 波か S 波か ) の手法、伝播経路特性や地盤増幅特性の改良を行うことで、緊急地震速報や長周期地震動予測情報の精度向上・迅速化・堅牢化に向けた技術開発を行う。さらには、これらの予測手法は、現場への応用を考慮し、実時間よりも早く計算が行えるようにする。

沖合津波観測データを用いることにより、沿岸津波観測データからよりも正確に津波波源を推定する。推定された津波波源から得られる津波伝播計算結果と観測データとの比較により、沿岸域の地形データや摩擦パラメータ等、津波伝播計算における境界条件を評価し、その最適化を行う。それにより、沿岸域に捕捉され長時間継続する津波の後続波の伝播や減衰過程の予測精度向上を図る。また、これらの成果を活用するなどして、データ同化を含む沖合津波観測データを用いた津波の面的把握技術と津波即時予測技術の改良を進めるとともに、地震波周期の特徴から津波地震の規模を推定する手法の開発、地すべりによる津波発生ポテンシャルの評価、及び新たな津波監視技術の活用可能性に関する調査を行う。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

PLUM 法の高度化については、S 波群中の P 波を検知する方法を発展させ、上下動成分のみから得られる震度を予測に用いることを検討した。また、距離減衰を導入することを考察した。これらにより、PLUM 法が、近い未来のみにしか適用できない弱点を軽減する可能性を見出した。また、予測計算の堅牢化のために、機械学習によって観測点の品質を自動的に監視する方法を検討した。継続時間も含めた揺れの予測の精度向上を目指し、減衰・散乱・速度構造などの地下構造の詳細な推定や地盤増幅特性のモデル化を進めている。また、データ同化や波動伝播シミュレーションでの計算時間を短縮する方法の考察について着手した。さらに、詳細な観測網が利用可能な状況では、( 断層破壊の全体を捉える ) モーメントマグニチュードの即時推定では強い揺れに間に合わず、揺れをモニターする方法が有効であることを示唆する結果を得た。

近地津波について、後続波で高い津波が観測された過去事例を収集し、津波数値計算で再現するため初期波源など条件設定の検討を行い、福島県沖から関東東方沖にかけての海域を波源とする津波が福島県沿岸で反射して東北地方沿岸に後続波をもたらす事例を再現した。遠地津波について、南米沖及び南太平洋西部を波源とする津波に加えて北太平洋を波源とする津波についてその減衰過程を近似する関数形の解析を行い、指数関数的に減衰する過程の初期振幅が地震の規模に比例することを確認した。スロー津波地震の規模推定法として開発した積分変位を用いた規模推定法を日本近海の地震に対して適用し、マグニチュード 7 クラス以上の地震についてはモーメントマグニチュードの差が十分

に小さく推定できることを確認した。この規模推定法を代表的な津波地震である 1992 年ニカラグラ地震の観測波形に適用し、従来の変位振幅に基づく手法に比べて適正に規模を推定できる可能性が高いことを示した。2018 年スラウェシ島パル湾で発生した津波について、観測された遡上高・ビデオ記録から再現された津波波形などを説明しうる海底地すべりによる津波のモデルを提示した。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Cochran, E., J. Bunn, S. Minson, A. Baltay, D. Kilb, Y. Kodera, and M. Hoshiya, 2019: Event Detection Performance of the PLUM Earthquake Early Warning Algorithm in Southern California. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 109(4), 1524-1541, doi:10.1785/0120180326.

Kodera, Y. 2019: An Earthquake Early Warning Method Based on Huygens Principle: Robust Ground Motion Prediction Using Various Localized Distance Attenuation Models. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124, 12981-12996, doi:10.1029/2019JB017862.

Meier, M.-A., Y. Kodera, M. Bose, A. Chung, M. Hoshiya, E. Cochran, S. Minson, E. Hauksson, and T. Heaton, 2020: How often can Earthquake Early Warning systems alert sites with high-intensity ground motion?. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125, e2019JB017718, doi:10.1029/2019JB017718.

Kodera, Y., N. Hayashimoto, K. Moriwaki, K. Noguchi, J. Saito, J. Akutagawa, S. Adachi, M. Morimoto, K. Okamoto, S. Honda, and M. Hoshiya, 2020: First-Year Performance of a Nationwide Earthquake Early Warning System Using a Wavefield-Based Ground-Motion Prediction Algorithm in Japan. *Seismological Research Letters*, doi:10.1785/0220190263 (in press).

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

緊急地震速報のさらなる精度向上・迅速化・堅牢化を目指して、データ同化手法を用いて波動場を正確に推定し、そこから未来の波動場を予測する手法を発展させる。PLUM 法の改良を進め、伝播経路特性については地下構造の精緻化を図る。地盤増幅特性の中の位相特性を検討し、長周期地震動を含めた即時予測での継続時間の予測の精度向上を目指す。

近地津波について津波後続波の観測事例の整理をまとめ、それらの観測事例を再現する津波波源を推定する。遠地津波の減衰過程を説明する近似関数パラメータの改良についてまとめる。遠地津波と近地津波のそれぞれについて観測事例を用い、長時間津波伝播計算による後続波と減衰過程の再現の精度向上のため、沿岸域地形データ等の計算条件設定の改良を試みる。また、津波地震の規模推定手法の検証を進める。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

気象研究所地震津波研究部

他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 気象研究所企画室

電話 : 029-853-8535

e-mail : ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL : <http://www.mri-jma.go.jp/>

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 山本剛靖

所属 : 地震津波研究部

( 1 ) 実施機関名：

気象庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

火山噴出物の監視技術とデータ同化に基づく輸送予測に関する研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

火山

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

前計画では、3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化と関連の深い項目として「大規模噴火時の火山現象の即時把握及び予測技術の高度化に関する研究」において、Xバンド MPレーダー、Kuバンド高速スキャンレーダーなどによる噴煙観測データの解析、火山灰データ同化システム(プロトタイプ)の開発、富士山や桜島の大規模噴火を想定した降灰シミュレーションの試行を実施した。

( 7 ) 本課題の5か年の到達目標：

気象レーダー等の観測データを用いて、噴火現象の検知や噴煙に含まれる火山灰等の定量的推定手法を開発する。

浮遊火山灰や降灰等を統一的に予測するための新しい移流拡散モデルを開発・改良する。さらに火山灰データ同化システム(プロトタイプ)と結合させることにより、気象レーダー等による観測値と移流拡散モデルの予測値に基づく火山灰データ同化・予測システムを構築する。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要：

活動的な火山である桜島を主対象として、二重偏波レーダーや高速スキャンレーダーなどの先進的な気象レーダーによる噴煙のエコー強度やマルチパラメータを解析することにより、噴火検知技術の開発や噴出する火山灰・礫の量や挙動を定量的に推定するための技術開発を行う。また気象衛星で観測される火山灰から、噴火検知や噴火規模の即時的な推定の研究を行うとともに、噴火発生直後の監視カメラによる爆発映像等を利用し、気象レーダー等による解析結果の検証、火砕流や火山岩塊等の防災上重要な火山現象の解析を行う。



領域移流拡散モデルと全球移流拡散モデルを統一した新しい移流拡散モデルを、堅牢性、速報性、柔軟性および開発管理の観点から設計して開発する。そして供給源および新しい移流拡散モデルとこれまでに開発した火山灰データ同化システム（プロトタイプ）を組み合わせ、火山噴出物に対する観測データの解析から予測までを一貫して実行できる火山灰データ同化・予測システムの構築を行う。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

- ・ 気象研究所 X バンド MP レーダーおよび Ku バンド 高速スキャンレーダーによる噴煙観測と 2 次元ビデオディスクロメータ ( 2DVD ) による降灰観測を実施した。2DVD による観測では、扁平な小粒子が多いことが確認された。このことは、大きな粒子の離脱によって、小さな粒子が数多く残った噴煙または火山灰雲を MP レーダーで観測した際に、反射因子差が増加することに対応すると考えられる。
- ・ 気象庁一般気象レーダーにより噴火事例 ( 2019 年 8 月 7 日浅間山、2020 年 1 月 11 日・2 月 3 日口永良部島 ) を解析した。
- ・ 一般気象レーダーによる噴煙高度の確率的推定手法について、桜島の遠望観測データを用いた手法の検証を試行し、降水エコーとの区別など、検証をする上での問題点を整理した。
- ・ 全球移流拡散モデルと領域移流拡散モデルを統一した新しい気象庁移流拡散モデル ( JMA-ATM ) について、開発に着手した。
- ・ 火山灰データ同化システムを JMA-ATM に結合した。
- ・ 2016 年 10 月 8 日阿蘇山噴火の事例について、降灰データを逆解析して新旧移流拡散モデルを実行し、初期値の不確定性を示した。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

佐藤英一・福井敬一・新堀敏基・石井憲介・徳本哲男, 2019, 気象レーダーで観測した 2019 年 1 月 17 日口永良部島噴火に伴う噴煙・火山灰雲エコーについて, 火山噴火予知連絡会会報, 132, 420-426.

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

- ・ 気象レーダー等による噴煙の解析結果を、降灰や大気中の火山灰の実観測データによって検証するスキームを確立する。
- ・ 領域移流拡散モデルと全球移流拡散モデルを統一した、新しい移流拡散モデルを開発する。
- ・ 火山灰データ同化システムと新しい移流拡散モデルを結合した、火山灰データ同化・予測システムにおける予報官解析の利用について、必要な機能を追加する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

気象研究所火山研究部

他機関との共同研究の有無 : 有

京都大学防災研究所、鹿児島大学、防災科学技術研究所、東京大学地震研究所

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 気象研究所企画室

電話 : 029-853-8535

e-mail : ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL : <http://www.mri-jma.go.jp>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 新堀敏基

所属 : 気象研究所火山研究部第二研究室

( 1 ) 実施機関名：

気象庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

火山活動の総合判断

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

工. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

( 5 ) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

火山噴火予知連絡会定例会(年3回開催。平成26~30年度は15回)において、全国の火山活動の状況についての検討を行った。検討結果は定例会終了後に報道発表し、気象庁の「火山の状況に関する解説情報」で発表するとともに、気象庁ホームページでも公表した。

また、噴火もしくは火山活動の活発化を受けて拡大幹事会を開催し、現状の確認、今後の活動の推移の検討、及び必要な観測及び調査等の検討を行った(平成26年9月の御嶽山の噴火について2回、平成26年8月及び平成27年5月の口永良部島の噴火について2回、平成27年の桜島及び口永良部島の活動について1回、平成29年10月の霧島山(新燃岳)の噴火について1回、平成30年1月の草津白根山(本白根山)の噴火について1回開催)。

活動が複数の火口で活発になり長期化も懸念された草津白根山及び霧島山については、火山噴火予知連絡会に草津白根山部会及び霧島山部会を設置し、平成30年度にそれぞれ3回及び2回開催して活動状況の確認や今度の推移の検討、必要な観測及び調査等の検討を行った。

この他、平成26年の御嶽山の噴火を受けて、観測体制のあり方(特に水蒸気噴火に対して)及び火山情報の提供のあり方について、それぞれ火山噴火予知連絡会の火山観測体制等に関する検討会及び火山情報の提供に関する検討会で検討され、検討結果を報告として取りまとめて公表した。また、火山活動評価検討会において、監視・観測体制の充実等の必要な火山の検討及び活火山の選定の検討を随時行い、平成26~30年度に八甲田山、十和田、弥陀ヶ原が常時観測火山に、男体山が活火山に新たに選定された。

( 7 ) 本課題の5か年の到達目標 :

防災関係機関の防災活動に資するため、引き続き全国の火山活動の状況について総合的な判断を実施する。特に噴火が近づいた火山や噴火中の火山について、最新の研究成果に基づき現在の状態から火山噴火や噴火終息に至るまでの過程についての噴火推移の予測を試みる。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

火山噴火予知連絡会(定例会、臨時会)あるいは、規模の大きな噴火発生時等の社会的影響が大きい場合に特定の火山を対象に設置した部会において、噴火発生の可能性や火山活動の推移の予測等について評価し、その結果を火山噴火予知連絡会統一見解等に取りまとめて報道発表や気象庁の火山情報で公表する等により社会に分かりやすく発信するとともに、各地の火山防災協議会にも提供して防災・減災活動を支援する。

また、研究成果・観測結果の情報交換、火山観測データの流通・共有の促進、活発化した火山における臨時観測に係る総合的な調整、研究成果の社会への発信などを通じて、火山噴火予知研究の推進に寄与する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

令和元年度は、第144回(令和元年7月2日)、第145回(令和元年12月23~24日)の2回の火山噴火予知連絡会本会議を開催し、全国の火山活動の状況についての検討を行った。検討結果は本会議終了後に報道発表し、気象庁の「火山の状況に関する解説情報」で公表するとともに、気象庁ホームページでもおしらせした。定例会見後には記者会見を行い、発表資料の説明を行った。

また、令和元年12月3日に第3回霧島山部会、令和2年1月21日に第4回草津白根山部会を開催して、霧島山および草津白根山の火山活動について、それぞれ検討を行った。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :  
火山噴火予知連絡会会報131号、132号

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

火山噴火予知連絡会本会議及び特定の火山を対象に設置した部会において全国の火山活動の総合評価を実施するほか、噴火発生等の火山異常時に開催する連絡会本会議あるいは部会において、噴火発生の可能性や火山活動の推移の予測等について評価し、検討結果等に取りまとめて報道発表や気象庁の火山情報で公表する等、社会に分かりやすく発信し、各地の火山防災協議会にも提供して防災・減災に資する。

研究成果・観測結果の情報交換、火山観測データの流通・共有の促進、活発化した火山における臨時観測に係る総合的な調整、研究成果の社会への発信などを通じて、火山噴火予知研究の推進に寄与する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

気象庁地震火山部火山課(火山噴火予知連絡会事務局)、気象庁地震火山部・札幌管区气象台・仙台管区气象台・福岡管区气象台火山監視・警報センター

他機関との共同研究の有無 : 有

火山噴火予知連絡会に参画する関係機関

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地震火山部管理課 地震調査連絡係長

電話 : 03-3212-8341(内線 : 4514)

e-mail : jmajishin\_kanrika@met.kishou.go.jp

URL : <http://www.jma.go.jp>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 高木朗充

所属 : 気象庁地震火山部火山課

( 1 ) 実施機関名：

気象庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震観測、地殻変動観測

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

地震観測網や地殻変動観測網などの観測基盤の維持、関係機関の地震観測データの一元的处理結果の関係機関への提供を実施した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震観測網や地殻変動観測網などの観測基盤の維持、関係機関の地震観測データの一元的处理結果の関係機関への提供を継続する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

津波警報や地震情報等を適切に発表するため全国に展開している地震計及び震度計、東海地域を中心に展開しているひずみ計などの観測を継続するとともに、文部科学省と協力して、大学、防災科学技術研究所、海洋研究開発機構など関係機関の地震観測データを合わせて一元的に処理し、その結果を大学、関係機関に提供することにより、研究の推進に資する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

地震観測網や地殻変動観測網などの観測基盤の維持、関係機関の地震観測データの一元的处理結果の関係機関への提供を実施した。顕著な地震活動や地殻変動観測結果について、定期・臨時に情報発表・記者会見等を行うとともに、南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会や地震調査委員会において報告を行った。

- ( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
地震・火山月報(防災編) <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/gaikyo/index.html#monthly>  
地震月報(カタログ編) <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/index.html>
- ( 11 ) 令和2年度実施計画の概要：  
地震観測網や地殻変動観測網などの観測基盤の維持、関係機関の地震観測データの一元的処理結果の関係機関への提供を継続する。顕著な地震活動や地殻変動観測結果について、定期・臨時に情報発表・記者会見等を行うとともに、南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会や地震調査委員会において報告を行う。
- ( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
気象庁地震火山部、気象庁大阪管区気象台地震火山課  
他機関との共同研究の有無：無
- ( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：地震調査連絡係長  
電話：03-3212-8341 ex.4514  
e-mail：y\_kawazoe@met.kishou.go.jp@met.kishou.go.jp  
URL：
- ( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者  
氏名：原田智史  
所属：地震火山部管理課

( 1 ) 実施機関名：

気象庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

潮位観測

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

潮位の連続観測を継続して実施する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

潮位データの伝送を高度化して、障害による欠測を減少させる。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

潮位データの伝送回線を光回線化を実施している。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要：

令和元年度にデータ伝送を光回線化できなかった地点について、引き続き光回線化又は携帯電話回線化を進める。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：



気象庁 地球環境・海洋部海洋気象課、地震火山部

他機関との共同研究の有無：有

国土交通省（水管理・国土保全局、港湾局）、国土地理院、海上保安庁と連携した潮位データの一元化

- ( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：地震火山部管理課 地震調査連絡係長  
電話：03-3212-8341（内線：4514）  
e-mail：johokan@eqvol2.kishou.go.jp  
URL：https://www.jma.go.jp

- ( 14 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者  
氏名：市川真人  
所属：気象庁地球環境・海洋部海洋気象課

( 1 ) 実施機関名：

気象庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地磁気精密観測

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

柿岡、女満別、鹿屋、父島での地磁気 4 成分観測を実施し、陸域、海域での磁気測量をはじめ、大学等による地殻活動・火山活動を評価する電磁氣的観測研究に、高精度の地磁気基準値を提供した。火山活動起源のシグナルを抽出するためには、「参照データとの差を求めて局所的な磁場変動だけを取り出す」という手法が用いられるが、地域によって変化の大きさ、傾向が異なるため、地域毎の基準値観測が必要となる。そのため地磁気観測点への車両や建築物等による人工的な磁気擾乱を監視し、異常値の検出・補正処理を施し、基準値の精度維持を図った。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

地球電磁氣的観測による地殻活動及び火山活動の研究に資するため、精密な地磁気観測データを継続して提供する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

日本中央部、北日本、南西日本、日本南方の地磁気基準点である柿岡、女満別、鹿屋、父島の 4 観測点において、数十年～100 年スケールにわたる安定した地磁気観測を実施し、精密な磁場データを毎日リアルタイムで提供する。

あわせて観測データの精度向上及び編集・解析作業の効率化を図る。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

柿岡、女満別、鹿屋、父島での地磁気 4 成分観測、及びいわき、北浦での全磁力精密連続観測を実施し、陸域、海域での磁気測量をはじめ、大学等による電磁氣的観測研究あるいは幾つか提案されている日本域における標準的な全磁力磁場モデルの算出方法の検証・改良を進めるために、高精度の地磁気基準値を提供した。火山活動起源のシグナルを抽出するためには、「参照データとの差を求めて局所的な磁場変動だけを取り出す」という手法が用いられるが、地域によって変化の大きさ、傾向が異なるため、地域毎の基準値観測が必要となる。それら地磁気観測点への車両や建築物等による人工的な磁気擾乱の監視観測を維持し、異常値の検出・補正処理を施し、基準値の精度維持を図った。

- ( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
長町信吾・仰木淳平・島村哲也・藤井郁子，2013年の女満別観測施設の庁舎一部解体撤去工事に伴う  
恒久的影響量の評価，地磁気観測所テクニカルレポート，気象庁地磁気観測所，2020年3月
- ( 11 ) 令和2年度実施計画の概要：  
日本中央部、北日本、南西日本、日本南方の地磁気基準点である柿岡、女満別、鹿屋、父島の4観  
測点において、数十年～100年スケールにわたる安定した地磁気観測を実施し、精密な磁場データを  
毎日リアルタイムで提供する。  
あわせて観測データの精度向上及び編集・解析作業の効率化を図る。
- ( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
気象庁地磁気観測所  
他機関との共同研究の有無：無
- ( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：気象庁地磁気観測所総務課  
電話：0299-43-1151  
e-mail：kakioka@met.kishou.go.jp  
URL：http://www.kakioka-jma.go.jp/
- ( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者  
氏名：山際 龍太郎  
所属：気象庁地磁気観測所観測課

( 1 ) 実施機関名：

気象庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

全国における火山観測の強化

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(2) 総合的研究

工. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

( 5 ) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

1) 連続的な火山観測

全国の 50 火山について、全国 4 か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS、監視カメラ等による連続的な監視観測を継続した。

また、平成 26 年度～30 年度に、以下の火山観測体制強化、火山観測施設の整備・更新などを行った。

・御嶽山の火山活動の推移を把握するための観測強化

・全国 48 火山(桜島と口永良部島を除く常時観測火山)の火口付近への観測施設の増強

・常時観測火山の見直しに伴う 3 火山(八甲田山、十和田、弥陀ヶ原)への火山観測施設の整備

・火山観測施設(地震計、空振計、GNSS)の更新(恵山、秋田駒ヶ岳、安達太良山、磐梯山、那須岳、口永良部島)

・水蒸気噴火の兆候をより早期に把握できる手法を開発するための観測施設の整備(樽前山、吾妻山、草津白根山、霧島山、倶多楽、蔵王山、焼岳、鶴見岳・伽藍岳、九重山、アトサヌプリ、安達太良山、新潟焼山、薩摩硫黄島)

・全国 41 火山（47 箇所）の遠望観測施設（監視カメラ）の機器更新及び機能強化

その他、平成 30 年 1 月草津白根山（本白根山）噴火など、噴火発生や火山活動に変化があった火山において、臨時に観測機器（地震計、空振計、カメラ、GNSS 等）を設置して観測強化を行った。

2) 現地調査・機動観測による繰り返し観測等

全国の活火山について、GNSS 繰り返し観測、熱観測等の計画的な機動観測を実施した。また、阿蘇山、桜島、口永良部島等の二酸化硫黄ガス放出が継続している火山については、COMPUSS による火山ガス放出量の繰り返し観測を実施したほか、噴火発生や火山活動に変化があった火山では、関係機関の協力を得て上空からの観測を繰り返し実施するなど、緊急的な機動観測を実施した。

3) 観測成果の公表

各種監視・観測で得られた成果は、噴火警報、火山の状況に関する解説情報、火山活動解説資料等の防災目的の情報や資料として公表した他、地震火山月報（カタログ編）等の各種資料を公表した。また、気象庁のホームページに常時観測火山（50 火山）の観測データを回数グラフ等に加工したわかりやすい資料に取りまとめて掲載しているほか、防災科学技術研究所のホームページでは引き続き気象庁の地震計等の波形データを公開している。

4) 観測データの共有

気象庁及び関係機関による新規観測点のデータのうち、火山監視に必要と考えられる観測点についてはデータ交換の対象に追加した。

(7) 本課題の 5 か年の到達目標：

大学や防災科学技術研究所等関係機関の協力の下、火山噴火予知連絡会で中長期的な火山監視体制の強化が必要とされた 50 火山の連続的な監視観測を継続する。また、火山活動が活発化した場合には、必要に応じ観測体制を強化する。

これらの観測成果は、噴火警報等の防災情報の発表や火山解説資料の作成に利用するとともに、地震火山月報（カタログ編）や火山年報に取りまとめて公表する。

(8) 本課題の 5 か年計画の概要：

1) 連続的な監視観測

火山噴火予知連絡会で中長期的に観測体制の充実が必要とされた 50 火山について、全国 4 か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS 等により、連続的な監視観測を行う。

火山観測施設の更新計画（5 か年）に基づき、平成 23 年度から実施している観測施設の更新を継続する。

2) 現地調査・機動観測による繰り返し観測等

全国の活火山について、地震観測・GNSS 繰り返し観測、熱観測等の計画的な機動観測を実施する。また、阿蘇山、桜島、口永良部島等、火口からの二酸化硫黄ガスの放出が継続している火山については、COMPUSS による火山ガス放出量の観測を実施する。

火山活動に異常が観測された場合には、緊急的な機動観測を実施し、火山活動の詳細を把握する。

3) 観測成果の公表

各種監視・観測で得られた成果は、噴火警報等の防災情報、火山解説資料等の防災目的の資料等に利用する他、地震火山月報（カタログ編）や火山年報等により公表する。

4) 観測データの共有

気象庁及び関係機関による新規観測点のデータのうち、火山監視に必要と考えられる観測点についてはデータ交換の対象に追加する。

(9) 令和元年度の成果の概要：

1) 連続的な火山観測

全国の50活火山について、全国4か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS、監視カメラ等による連続的な監視観測を継続した。令和元年度は、草津白根山に広帯域地震計を整備。また、全国7箇所に監視カメラを増設した。

#### 2) 現地調査・機動観測による繰り返し観測等

全国の活火山について、GNSS繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測を計画的に実施した。また、口永良部島、阿蘇山、桜島等の二酸化硫黄ガス放出が継続している火山については、COMPUSSによる火山ガス放出量の観測を実施したほか、噴火発生や火山活動に変化があった火山では、関係機関の協力を得て上空からの観測を繰り返し実施した。また、ドローンによる可視・熱赤外観測を草津白根山(白根山(湯釜付近))・霧島山(新燃岳)・阿蘇山・口永良部島で実施し、火山活動評価に活用した。

#### 3) 観測成果の公表

各種監視観測で得られた成果は、噴火警報、火山の状況に関する解説情報、火山活動解説資料等の防災目的の情報や資料として公表した他、地震火山月報(カタログ編)等に取りまとめて公表した。また、気象庁のホームページで常時観測火山(50火山)の観測データを掲載。防災科学技術研究所のホームページ及びJDVNに気象庁の地震計等のデータを公開している。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
地震火山月報(防災編)2019年3月号~2020年2月号(予定)地震火山月報(カタログ編)2016年3月号~4月号

(11) 令和2年度実施計画の概要：

#### 1) 監視観測の継続

火山噴火予知連絡会で監視・観測体制の充実等が必要とされた50活火山について、全国4か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS等により、常時観測を継続する。

#### 2) 機動観測の実施

全国の火山について、GNSS繰り返し観測、熱観測、火山ガス観測、ドローンによる可視・熱赤外観測等の調査観測を計画的に実施するとともに、火山活動に異常が認められた場合には、緊急観測を実施して火山活動の詳細を把握する。

#### 3) 観測データの共有

関係機関による新規観測点のデータのうち火山監視に必要と考えられる観測点についてはデータ交換の対象に追加する。また、防災科学研究所のJDVNに観測データを共有する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地震火山部・札幌管区气象台・仙台管区气象台・福岡管区气象台火山監視・警報センター  
他機関との共同研究の有無：有  
大学・防災科学研究所等の研究機関、自治体・地方整備局等の火山観測実施機関

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：気象庁地震火山部管理課 地震調査連絡係長  
電話：03-3212-8341(内線：4514)  
e-mail：jmajishin\_kanrika@met.kishou.go.jp  
URL：http://www.jma.go.jp/

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：宮下 誠  
所属：地震火山部火山課

( 1 ) 実施機関名：

気象庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地磁気観測成果のデータベース化

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

工. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

5 観測点の地磁気 4 成分連続観測データの地磁気観測所データベースへの登録・公開および国際的なデータセンターへの提供は、計画期間の 5 年にわたり継続的に実施した。

また、柿岡については 1924 年以降、女満別・鹿屋については 1970 年以降の地磁気アナログ記録の画像データ化を進めるとともに、さらにその一部をデジタルデータ化し、それらをデータベースに公開した。その結果、デジタルデータについては、柿岡については 1956 年～1983 年まで、女満別・鹿屋については 1975 年～1984 年までの期間をデータベースに登録・公開した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

地殻活動・火山活動を的確に検出するため、地磁気基準観測および全磁力精密観測の成果を継続してデータベース化する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

柿岡、女満別、鹿屋、父島の 4 地点(定常観測点)と祓川(調査観測点)の 5 観測点における地磁気 4 成分連続観測データを、継続して地磁気観測所データベースに登録、公開するとともに、定常観測点のデータを国際的なデータセンターに提供する。

印画紙に記録された柿岡、女満別、鹿屋の地磁気アナログデータを高時間分解能のデジタルデータへの変換を継続して実施し、過去に遡ってのデータ解析を可能とする。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

計画に基づき、定常観測点の 4 地点(柿岡、女満別、鹿屋、父島)に、祓川を加えた 5 観測点における地磁気 4 成分連続観測データを、月毎に地磁気観測所データベースに登録、公開するとともに、定常観測点のデータを国際的なデータセンターに提供した。

また、今年度は女満別および鹿屋を対象として地磁気アナログ記録のデジタルデータ化を進めた。1968～1969 年の地磁気アナログ記録をデジタル画像化したほか、1973～1974 年のデジタル画像を高時間分解能のデジタルデータへ変換した。これらのデータについて、年度内にデータベースに登録・公開予定である。



( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

これまで進めてきた計画を継続し、柿岡、女満別、鹿屋、父島、祓川の5観測点における地磁気4成分連続観測データを統一的な形式に整理し、地磁気観測所データベースに登録、公開するとともに、前者4地点のデータを国際的なデータセンターに提供する。また、活動的な火山を対象とする全磁力精密観測データについても、データベースへの登録を継続する。

紙媒体による地磁気アナログ記録の画像データ化、デジタルデータ化も継続して実施する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

気象庁地磁気観測所

他機関との共同研究の有無 : 有

名古屋大学、京都大学

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 気象庁地磁気観測所総務課

電話 : 0299-43-1151

e-mail : kakioka@met.kishou.go.jp

URL : <http://www.kakioka-jma.go.jp/>

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 飯野 英樹

所属 : 気象庁地磁気観測所観測課

( 1 ) 実施機関名：

気象庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

全国地震カタログの作成

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

工. 地震・火山現象のデータベースの構築と活用・公開

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

気象庁は、1997 年 10 月から関係機関の地震波形データを収集し、文部科学省と協力して解析処理を行っている。その成果は地震調査研究推進本部や関係機関に提供するほか、気象庁ウェブサイトや「地震月報(カタログ編)」として一般に提供してきた。また、海底地震計データ活用に向けた調査、過去にさかのぼって決定した震源を取り込んだ総合的な震源カタログ作成等を実施した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

全国地震カタログを作成する。また、定常的な発震機構解析(初動発震機構解、CMT 解)及び大地震時の震源過程解析を実施し、それら成果の関係機関等への提供及び一般への公開を実施する。  
海域観測網の地震波形データを一元化処理へ取り込み、地震波形の分析や震源決定等の改善を進める。  
大学等の検測値を取り込んで過去にさかのぼった震源決定を行い、全国地震カタログに反映させて総合的な地震カタログを作成する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

各年度において、地震カタログ(震源、発震機構)の作成及び震源過程解析を実施し、関係機関等への提供及び一般への公開を実施する。  
一元化処理への S-net や DONET2 等の海底地震計データ活用のルーチン業務開始に向けた準備を行い、平成 31 年度に運用を開始する。  
過去震源の改訂に関しては、5 か年計画の前半に 1919~1921 年の再解析を行うとともに、1976~1997 年の期間について大学等の検測値を取り込んだ総合的な地震カタログを適宜作成する。再解析が終了した期間から公開する。  
その他、適宜、地震カタログに係る解析・処理の改善を図る。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

地震カタログ(震源、発震機構)を平成 30 年 8 月まで作成し、地震月報(カタログ編)として公開した(令和元年度内の予定含む)。発破イベントの識別処理の性能向上によりカタログの品質改善を図

るため、波形相関解析に用いる 2018 年～2019 年前半の発破イベントをテンプレートとして 2020 年 3 月に追加予定。

海域観測網の観測データを一元化処理業務へ取り組むためのシステム等の準備を進め、震源決定のルーチン業務を 2020 年 4 月に開始予定。ノイズとなる多数のエアガンの自動識別手法を検討し、エンベロープ波形を用いた自己相関解析（振幅考慮）が有効であることが分かった。

震源過程解析については、2019 年 6 月 18 日山形県沖の地震や海外で発生した地震について、近地強震波形または遠地実体波を用いて断層すべり分布を推定し、その結果を公開した。また、地震波のバックプロジェクション解析を行い、山形県沖の地震の高周波励起源と主なすべり域は、出現時間差はあるが空間分布は概ね整合することが分かった。

1919～1921 年の過去震源について各地の地震観測原簿等を用いて震源計算を行い、2020 年 1 月に公開した。これにより、日本周辺の地震活動について一定品質の地震のデータが 100 年以上の期間で利用可能となった。

- (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
地震月報（カタログ編）：<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/index.html>  
震源過程解析結果の公表：<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/sourceprocess/index.html>  
過去震源の改訂（1919～1921 年）：<https://www.jma.go.jp/jma/press/2001/15b/eqcatalog1919.html>  
溜淵 功史・岩崎 友理子・岩切 一宏・上野 寛，2019，海底地震観測網を活用した自動震源決定（PF 法）の評価，日本地震学会予稿集 2019 年度秋季大会，S09P-19．  
上野 寛・上田 満治・見須 裕美・横山 博文・岩崎 友理子・岩切 一宏，2019，海域観測点の気象庁一元化処理への活用について，日本地球惑星科学連合 2019 大会予稿集，S-SS10-08．  
岩切 一宏・横山 博文・上田 満治・岩崎 友理子・長谷部 大輔・上野 寛，2019，気象庁一元化震源の品質向上への最近の取り組み，日本地震学会予稿集 2019 年度秋季大会，S23P-02．

- (11) 令和 2 年度実施計画の概要：

地震カタログの作成、発震機構解析及び大地震時の震源過程解析を行い、関係機関等への提供及び一般への公開を実施する。一元化処理業務への S-net や DONET2 等の海底地震計データ活用を開始する。一元化震源決定処理における海域のノイズ対策やデータの品質改善を進める。1977 年以降の震源について大学等の検測値を取り込んだ震源再計算を行うとともに、1918 年以前の震源についても震源計算を行い、順次公開する。

- (12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

地震火山部地震予知情報課

他機関との共同研究の有無：無

- (13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：気象庁地震火山部管理課地震調査連絡係長

電話：03-3212-8341（内線：4514）

e-mail：johokan@eqvol2.kishou.go.jp

URL：<https://www.jma.go.jp>

- (14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：岩切一宏

所属：地震火山部地震予知情報課

( 1 ) 実施機関名：

気象庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

火山現象に関する基礎データの蓄積と活用

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

工. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

( 4 ) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

火山

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

工. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

( 5 ) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

全国の 50 活火山について、全国 4 か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS 等の観測データを常時収集し、解析を行い、蓄積した。

全国の火山について、地震観測、GNSS 繰り返し観測、熱観測等の計画的な機動観測により得られた観測データを解析し、蓄積した。

平成 30 年度に噴火が発生した霧島山(新燃岳)、桜島、及び口永良部島のほか、火山活動の高まりがみられた吾妻山、草津白根山(白根山(湯釜付近))、霧島山(えびの高原(硫黄山)周辺)等において、緊急的な機動観測により収集した火山活動の詳細な観測データを解析し、蓄積した。

これらの観測データの蓄積にあたって、今後の活火山総覧の改訂に活用できるようにデータベース化した。

各種監視・観測で得られた成果は、HPで速報的に公開するとともに、噴火警報等の防災情報、火山活動解説資料等の防災目的の資料等に利用する他、火山月報(カタログ編)や火山年報等によりHPにより公表した。また、火山活動の概況を英文でとりまとめてHPにより公表した。

(7) 本課題の5か年の到達目標:

全国の活火山のうち、気象庁の常時観測火山(50火山)については観測データの収集を行い、それ以外の活火山も含めた火山機動観測班が計画的あるいは緊急的に実施する機動観測による観測データを収集し、火山現象のデータベースとしてその蓄積を図る。

これらの成果は、噴火警報等の防災情報発表や火山活動解説資料等の作成に利用するとともに、火山月報(カタログ編)や火山年報に取りまとめて公表する。

(8) 本課題の5か年計画の概要:

気象庁が常時観測を行っている50火山については、全国4か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS、傾斜計、監視カメラ等の常時観測データの収集、解析を行い、蓄積する。

全国の活火山については、4センターの火山機動観測班が行う地震観測、GNSS繰り返し観測、熱観測、火山ガス観測等の計画的な機動観測により得られたデータを解析し、蓄積する。また、火山活動に異常が認められた場合には、火山機動観測班が出動して行う緊急的な機動観測により収集したデータを解析し、蓄積する。

これらの観測データの蓄積にあたっては、今後の活火山総覧改訂に活用できるようにデータベース化する。

各種観測で得られた成果は、噴火警報等の防災情報や火山活動解説資料等の防災資料の作成に利用するほか、火山月報(カタログ編)や火山年報、火山活動の概況(英文)に取りまとめて気象庁HPにより公表する。

地元自治体による災害対策の意志決定を支援するため、火山防災協議会に対する観測成果の共有を進める。

(9) 令和元年度の成果の概要:

全国の50活火山について、全国4か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS等の観測データを常時収集し、解析を行い、蓄積した。

全国の火山について、地震観測、GNSS繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測により得られた観測データを解析し、蓄積した。

令和元年度(平成31年度)に噴火が発生した浅間山、阿蘇山、桜島、薩摩硫黄島及び口永良部島のほか、火山活動の高まりがみられた吾妻山、草津白根山(白根山(湯釜付近))、箱根山等において、緊急観測により収集した火山活動の詳細なデータを解析し、蓄積した。

これらのデータの蓄積にあたって、今後の活火山総覧の改訂に活用できるようにデータベース化した。

各種監視・観測で得られた成果は、HPで速報的に公開するとともに、噴火警報等の防災情報、火山活動解説資料等の防災目的の資料等に利用する他、火山月報(カタログ編)や年報等によりHPにより公表した。また、火山活動の概況を英文でとりまとめてHPにより公表した。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

地震・火山月報(防災編)2019年3月号~2020年2月号(予定含む)

火山月報(カタログ編)2016年3月号~2016年12月号(予定含む)

平成31年・令和元年(2019年)の火山活動(各火山)

Monthly Volcanic Activity Report 2018年4月号~2019年3月号(予定含む)

(11) 令和2年度実施計画の概要:

全国の50活火山について、全国4か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS等の観測データを常時収集し、解析を行い、蓄積する。

全国の火山について、地震観測、GNSS繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測により得られた観測データを解析し、蓄積する。

火山活動に異常が観測された場合には、緊急観測により収集した火山活動の詳細なデータを解析し、蓄積する。

これらのデータの蓄積にあたって、今後の活火山総覧の改訂に活用できるようにデータベース化する。

各種監視・観測で得られた成果は、HPで速報的に公開するとともに、噴火警報等の防災情報、火山活動解説資料等の防災目的の資料等に利用する他、火山月報(カタログ編)や年報等によりHPにより公表する。また、火山活動の概況を英文でとりまとめてHPにより公表する。地元自治体による災害対策の意志決定を支援するため、火山防災協議会に対する観測成果の共有を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

気象庁地震火山部・札幌管区气象台・仙台管区气象台・福岡管区气象台火山監視・警報センター  
他機関との共同研究の有無: 有  
大学、防災科学研究所等の研究機関、自治体、地方整備局等の火山観測実施機関

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 地震火山部管理課地震調査連絡係長  
電話: 03-3212-8341(内線: 4514)  
e-mail: jmajishin\_kanrika@met.kishou.go.jp  
URL: <http://www.jma.go.jp>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 山本 哲也  
所属: 地震火山部火山課火山調査係長

( 1 ) 実施機関名：

気象庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震・津波・火山防災情報の改善に係る知見・成果の共有

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 国際共同研究・国際協力

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

桜島大規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

気象庁では、地震学、火山学の最新の研究成果や地方自治体、関係防災機関のニーズを踏まえ、地震や火山噴火の災害軽減に資するため、津波警報、緊急地震速報、長周期地震動情報、噴火警報や降灰予報について過去の経験を踏まえて高度化を進めてきた。

これらの情報内容の改善や高度化にかかる知見・成果については、広く大学等関係機関、防災関係機関に気象防災情報として、また、各種情報の検討部会等を通じ、広く共有し、また、防災対応へ、各分野の研究の推進に活用されている。また、火山噴火予知連絡会では、火山活動の評価結果を公表しており、一般の方にも理解しやすい表現を心がけている。

また、国際共同研究・国際協力については国際地震センター、米国地質調査所、包括的核実験禁止条約機構、米国大学間地震学研究連合(IRIS)及び近隣国との地震観測データの交換などの組織的な連携・協力を通じて、また、航空路火山灰情報センター及び北西太平洋津波情報センターの国際協力業



務や開発途上国における地震・火山の観測や津波警報の発表などの体制整備に必要な技術的な支援を通じて、国際的な研究活動の進展に寄与している。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

津波警報、緊急地震速報、長周期地震動に関する情報、南海トラフ地震に関連する情報、噴火警報、降灰予報などの防災情報の改善のための検討で得られた知見や成果を共有する。これにより、関連の研究の推進に資する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

気象庁の発表する防災情報の改善や高度化に係る知見・成果を、広く大学等関係機関、防災関係機関に気象防災情報として、また、各種情報の検討部会や火山噴火予知連絡会等を通じ、広く共有する。アンケートを実施するなどして、社会の受けとめかたを調査し、その結果を基にして情報内容の改善を図る。また、火山防災協議会などを通じ情報の普及・啓発を図る。

国際共同研究・国際協力については国際地震センター、米国地質調査所、包括的核実験禁止条約機構、米国大学間地震学研究連合( IRIS ) 及び近隣国との地震観測データの交換などの組織的な連携・協力を通じて、また、航空路火山灰情報センター及び北西太平洋津波情報センターの国際協力業務や開発途上国における地震・火山の観測や津波警報の発表などの体制整備に必要な技術的な支援を通じて、国際的な研究活動の進展に寄与する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

気象庁から発表する地震・津波に関する防災情報の高度化を図るため以下の検討会等を開催し、報道発表等により広く情報共有を図った。

- ・緊急地震速報評価・改善検討会の開催( 3 月予定 )
- ・長周期地震動に関する情報検討会の開催( 3 月予定 )
- ・津波予測技術に関する勉強会の開催

また、「南海トラフ地震に関連する情報」( 平成 29 年 11 月 1 日から運用開始 ) を発表するため、南海トラフ全域を対象として地震発生の可能性を評価するにあたり有識者から助言いただくために「南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会」を開催し、評価結果を関係資料とともに公表している。令和元年 5 月 31 日に、中央防災会議において南海トラフ地震防災対策推進基本計画が変更されたことを受けて、情報の受け手が防災対応をイメージし適切に実施できるよう、「巨大地震警戒」等の防災対応等を示すキーワードを情報名に付記した「南海トラフ地震臨時情報」と、観測された異常な現象の調査結果を発表した後の状況の推移等を発表する「南海トラフ地震関連解説情報」の発表を開始( 両情報をあわせた総称を「南海トラフ地震に関連する情報」とする )。

火山については、火山噴火予知連絡会の提言を踏まえ、どのような場合に噴火警報が発表されるか登山者等が認識できるよう、噴火警戒レベルの引き上げや引き下げの基準を精査し、精査の終わった火山より順次公表を始めた。また、日々の火山観測データについて平成 28 年 12 月 21 日より気象庁ホームページへの掲載を行っている。

計画期間( 平成 26 年度 ~ 30 年度 ) を通じ、上記取り組みを実施した。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :  
特になし。

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

平成 31 年度も、引き続き、各種情報の利活用・高度化等のための検討を進める。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

気象庁及び全国気象官署職員  
他機関との共同研究の有無：有  
様々な関係機関、専門家等と連携

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：地震調査連絡係長

電話：03-3212-8341 ex.4514

e-mail：y\_kawazoe@met.kishou.go.jp

URL：

( 14 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：長谷川安秀

所属：地震火山部管理課地震津波防災対策室

( 1 ) 実施機関名：

気象庁

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

防災・減災に関する知識の普及啓発

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

( 4 ) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

エ. 桜島大規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

桜島大規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

気象庁では、国や地方自治体等の防災関係機関、教育機関、大学等研究機関と連携しながら、地震・津波及び火山に関する現象や警報をはじめとする防災気象情報に関する、知識、防災・減災等に対する住民の意識の向上に、全庁を挙げて戦略的に取り組んでいる。

このうち、地震津波関係で、特に、緊急地震速報の利活用促進、長周期地震動情報、津波防災に関する普及・啓発について、さらに進めていくこととしている。また、火山関係では噴火警報、噴火警戒レベル、火山の状況に関する解説情報の利活用推進をさらに進めると共に、量的降灰予報の普及・啓発を進めている。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

一般の防災リテラシー向上のため地震・津波及び火山に関する現象や警報をはじめとする防災気象情報に関する、知識、防災・減災等に対する住民の意識の向上に戦略的に取り組む。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

気象庁では、引き続き国や地方自治体等の防災関係機関、教育機関、大学等研究機関と連携しながら、地震・津波及び火山に関する現象や警報をはじめとする防災気象情報(津波警報、緊急地震速報、長周期地震動に関する情報、南海トラフ地震に関連する情報、噴火警報、降灰予報など)に関する、知識、防災・減災等に対する住民の意識の向上に、全庁を挙げて戦略的に取り組む。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

関係機関と連携し、地域の状況にあった様々な手段を用いて地震・津波及び火山に関する知識や防災行動についての普及啓発に継続的に取り組んだ。主な実施内容は以下のとおり。

- ・地方自治体等と連携した防災訓練への助言・協力、HP等での相互協力
- ・教育機関と連携した学校防災教育へ助言・協力
- ・防災関係機関、民間団体等と連携した出前講座・防災講演会等の実施
- ・関係機関と連携した合同登山・学習登山の実施
- ・報道機関と連携した防災番組への協力

計画期間(平成26年度~30年度)を通じ、上記取り組みを実施した。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :  
特になし。

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

これまでの取り組みの成果や経験を活かし、全国の気象官署において引き続き継続的或いは発展的に取り組む。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

気象庁及び全国気象官署職員

他機関との共同研究の有無 : 有

様々な関係機関、専門家等と連携

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地震調査連絡係長

電話 : 03-3212-8341 ex.4514

e-mail : y\_kawazoe@met.kishou.go.jp

URL :

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 長谷川安秀

所属 : 地震火山部管理課地震津波防災対策室

( 1 ) 実施機関名：

鹿児島大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

南西諸島北部域におけるプレート間すべりの特性に関する地震・地殻変動観測研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

平成 26～30 年度にかけて、南西諸島北部域のトカラ東方海域において LOBS (長期収録型海底地震計) を同一位置に繰り返し投入するとともに、周辺の有人・無人離島の地震観測点を含めた準定常地震観測網を構築し、3～4 年間にわたる中期の連続データを取得した。その結果、陸上地震観測網では精度が十分でなかった沈み込むプレートの形状が明確になった他、海溝軸に近い海底観測点では 4 年間に少なくとも 8 回のエピソード (浅部低周波地震活動) が検出された。この活動は、マイグレーションを伴う可能性があること、全てではないものの、短期的 SSE と同期して発生する場合や日向灘と同時に広域でスロー地震が活発化する場合があることが分かった。さらに長期の陸域地震観測による小繰り返し地震の解析では、日向灘から奄美大島北東沖に至る広域で 2015 年頃に準静的滑り速度が変化 (増加) していることが分かった。一方で島嶼域 GNSS 観測の解析では、沖縄トラフ北端部に近接した無人離島間の距離が拡大する観測事実が得られ、拡大率 (約 5 mm/yr.) が推定された。

以上のように、南西諸島北部域に関して複数の新たな知見が得られたが、平成30年度までの準定常地震観測網データでは解決できない課題もまた明らかになった。スロー地震の震央推定の精度が十分でなく、通常の地震との時空間的關係について精度の良い把握ができていない。このため、観測点密度を有意に向上させた海底地震観測を実施する必要がある。また島嶼域 GNSS 観測についても、沖縄トラフ拡大と当該領域のプレート間固着状態の理解の高度化をはかるために、未設置の島嶼への GNSS 観測点の設置を含めた観測の強化・継続を行い、3次元有限要素解析も併せて行う必要がある。

(7) 本課題の5か年の到達目標：

平成30年度までの研究成果を踏まえ、地震の検知能力・分解能の向上に特化した小スパン観測網を年度ごとに少しずつ移動させる機動的な海底地震観測を実施する。これを4か年に渡り実施することで、特に1911年喜界島近海地震の想定震源域及びその周辺域を重点的にカバーし、スロー地震活動及び通常の地震活動の観測データを取得する。並行して島嶼域においては、平成30年度まで実施してきた GNSS 観測を継続・強化する。

得られた観測データを解析し、1911年喜界島近海地震の想定震源域周辺におけるスロー地震活動（特に低周波微動活動）について、その震源域の広がりや想定震源域との位置関係を明らかにする。また、通常の地震活動との比較を行い、両者間の時空間的關係について考察する。さらに、日向灘など他地域との比較を行い、類似点・相違点について検討する。

一方、1911年喜界島近海地震の想定震源域およびその周辺域における、島嶼域地震観測のみでは検出できない未知の小規模な相似地震活動について、想定震源域内外での活動分布を明らかにする。また、スロー地震活動（特に低周波微動）の震源分布と比較し、両者の空間的境界を検討する。

併せて島嶼域 GNSS 観測では、沖縄トラフの拡大とブロック運動をさらに精度を向上させて求め、3次元有限要素解析により南西諸島北部域のプレート間の固着域、固着率を推定する。

以上の地震・地殻変動観測研究の結果を総括し、スロー地震（特に浅部低周波微動）活動、通常の地震活動、相似地震活動、プレート間の固着域と固着率を基に現在の北部南西諸島域のプレート間すべりの特性について考察する。

(8) 本課題の5か年計画の概要：

機動的な海底地震観測と島嶼域 GNSS 観測の実施

1年目の概ね上四半期の期間中に1911年喜界島近海地震の推定震源域付近に LOBS を投入し、小スパン海底地震観測網による観測を開始する（LOBSの第1期観測の開始）。続く2年目においては、概ね上四半期の期間中に第1期観測の LOBS を回収し、新規位置に LOBS を投入しての観測を開始する（LOBSの第2期観測の開始）。以後同様に、3~4年目は LOBS の回収と新規位置に LOBS を投入しての観測開始を繰り返す。5年目に第4期観測の LOBS を回収し、機動的な海底地震観測を終了する。なお、当該観測航海を大学院生等の海域観測実習の場として利活用する。

GNSS 観測については、平成30年度までに実施してきた島嶼域観測網を継続するとともに、1年目中に下甑島に GNSS 観測点を設置して観測網を強化し、5か年計画の末まで継続する。

スロー地震活動（特に、浅部低周波微動）と通常の地震活動の解析

1年目は、機動的な海底地震観測のデータが未取得のため、喜界島東方沖で過去に実施された別プロジェクトの海底地震観測および平成30年度までの準定常海底地震観測で取得されたデータの再解析を行う。2~5年目は、その年度に回収された LOBS のデータを用い、低周波微動や通常の地震の震源決定を年次的に実施する。5年目は、5か年分の結果を総括し、低周波微動の震源域、小繰り返し地震を含む通常の地震との時空間的關係を明らかにし、1911年喜界島沖の地震の想定震源域との関係を議論する。また、スロー地震活動の特徴について、日向灘など他地域との比較を行う。

相似地震の解析

1年目は、平成30年度までの準定常海底地震観測で得られたデータを利用し、島嶼域の地震観測網では検出できない規模の小さいものも含めた相似地震の解析を試行する。2~5年目は、その年度に回収

された LOBS のデータから、相似地震を検出し、震源決定を行う。5 年目は、5 か年のうちに得られた震源分布から、1911 年喜界島近海地震の想定震源域との空間的な関係を明らかにする。また、上記のスロー地震（特に浅部低周波微動）の震源分布と比較検討することで、当該領域におけるプレート境界のすべり特性を議論する。

#### 島嶼域 GNSS データの解析

2 年目は、高度化された種子島から奄美大島までのプレート境界を 3 次元有限要素モデルに組み込む。当該地域のプレート運動を再推定し、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う内部変形を求める。3 年目は、新規に追加設置した観測点を含めた測線の解析で得られた沖縄トラフの拡大率を求める。沖縄トラフの拡大率、フィリピン海プレートの沈み込み速度を境界条件とし、前年度に求めた当該地域の内部変形を説明できるように固着域、固着率を求める。4 年目は、GNSS 連続観測データを使ってスロースリップの検出を行い、検出できたスロースリップの断層モデルを求める。5 年目は、固着域、固着率とスロースリップ発生域、繰り返し地震から求めたプレート間の固着の情報を精査する。

#### 観測研究の総括

5 年目において、計画期間中のスロー地震（特に浅部低周波微動）活動、通常地震活動、相似地震活動、プレート間の固着域・固着率の解析結果に基づき、現在の南西諸島北部域のプレート間すべりの特性について考察する。

### ( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

#### 機動的な海底地震観測と島嶼域 GNSS 観測の実施

令和元年度（2019 年度）は、4 月中旬に喜界島東方海域において 8 台の 1 Hz 長期収録型自己浮上式海底地震計（LOBS）を投入し、小スパン海底地震観測網による機動観測（第 1 期）を新たに開始した（図 1：赤四角）。投入直前の時刻較正は正常に完了し、LOBS の着底位置座標は音響通信装置を用いた三点測量により決定した。第 1 期 LOBS は設置から約 1 年後の令和 2 年（2020 年）4 月中旬に回収し、同航海で新規位置へ入れ替え（第 2 期）を予定している（図 1：青十字）。LOBS の設置・測量作業は、長崎大学水産学部附属練習船・長崎丸の教育関係共同利用に基づき実施した。なお、本共同利用においては、海域観測の実習の場として大学院生延べ 7 名が乗船した。

第 1 期 LOBS の観測点間隔は約 20 km と前計画（図 1：灰四角、約 40～60 km）に比べ稠密に展開することで、前計画で明らかとなったスロー地震（特に浅部低周波微動）や相似地震の検出・震源決定精度の向上に貢献すると期待される。高い震源精度での議論が可能となることで、他の海溝域で報告されているような地震・スロー地震領域の棲み分けが南西諸島北部域でも見られるのか、明らかにしていく。LOBS の投入地点は 1911 年に喜界島近海で発生した M8.0 巨大地震の推定震央（図 1：星印）および震源域付近に位置しており、推定震源域内外での地震・スロー地震活動についてもデータ取得後の令和 2 年度（2020 年度）以降、解析を進める。

島嶼域 GNSS 観測については、平成 30 年度（2018 年度）までに継続してきた島嶼域観測網を本課題でも継続するが、付近を通過した台風により女島観測点では観測機器が流出し、臥蛇島観測点は壊滅的な被害を受けて観測が中断した。うち女島観測点は復旧できたが、臥蛇島観測点は復旧予定が気象条件により延期を繰り返さざるを得ず、復旧に至っていない（令和 2 年度中の復旧を予定）。宇治島では台風の被害は発生せず、太陽光発電等の電源周りを強化した。なお横当島への最新のアクセスは令和元年（2019 年）3 月（機器の正常稼働を確認）で、それ以降は気象により渡島できていない。

#### スロー地震

前計画で平成 26 年（2014 年）4 月～令和元年（2019 年）10 月の約 5 年間に LOBS で取得された海溝軸側の 3 点のデータを解析し、低周波微動の検出を行った。検出の方法は、各 LOBS 観測点において、低周波微動が卓越する周波数（概ね 2 Hz 前後）、高周波側の帯域（概ね 10 Hz 前後）のエンベロープ波形を求め、それぞれの振幅比、またノイズレベルとの比を 1 秒毎に求め、一定の基準を 10 秒以上連続して超えた場合に 1 イベントとカウントしている。図 2 に平成 26 年（2014 年）4 月から令和元年（2019 年）10 月までの解析結果を示す。なお、L3 観測点については平成 30 年（2018 年）4 月以降



のデータが取得できていないため解析結果はない。今年度新たに加わった平成 30 年(2018 年)4 月以降の結果について、バースト的な活動が平成 30 年(2018 年)11 月に見られたが、それ以外に特に際立った活動は見られなかった。同海域において東京大学地震研究所と地震予知総合研究振興会が共同で実施している海底地震観測データを加え、検出されている浅部低周波微動の震源決定を実施した(図 3)。暫定結果であるが、L6 付近(喜界島北東沖)と L3 付近に浅部低周波微動のクラスターが存在している可能性が高い。これは、これまで L6 と L3 は図 2 のイベントカウントの時系列が一致しないこと、L5 は L3 周辺の活動域に近く、L3 と L5 の時系列が似ている事とも整合的である。L5 周辺の空白域は通常の地震活動も低い領域であり、この領域が 1911 年喜界島沖(M8.0)の震源域である可能性も考えられる。なお、L5 の深部域に決定されているイベントは通常の地震活動が活発な領域で、気象庁カタログにない小さなイベントを誤決定している可能性が高い。

#### 海底地震観測網付近の微小相似地震の解析

令和元年度(2019 年度)は、上述した機動的な海底地震観測の新規開始に伴いデータが未取得であるため、平成 30 年度(2018 年度)までの前計画で取得されたトカラ列島東方海域の海底地震観測データを利用し、島嶼部の地震観測網のみでは検出できない小規模イベントも含めた相似地震の解析を試行した。相似地震の検出には、プレート地震と連続波形との波形相関に基づく解析手法を採用した。プレート地震には、平成 29 年(2017 年)の地震観測データから 85 イベント(M3 以上、深さ 100 km 以浅)を抽出し、解析には 17 観測点(うち海底観測点は 6 点)×3 成分を利用した。ここでプレート震源は、陸上観測から求められた既存の震源情報に対し、LOBS での地震波到達時刻の読取値を統合して震源再決定し、プレート境界付近で発生した地震であることを確認している。図 4 に相似地震の検出例を示す。海底地震観測点においても高い相似性をもつ地震波形が捉えられていることがわかる(図 4 下:赤字)。検出地震数は 991 イベントで、相似地震群として 39 グループを認定した。検出された相似地震群は、大別して 3 つの活動様式に分類された。1 つ目は定期的に発生する繰り返し型、2 つ目は短期間で集中的に発生するバースト型、3 つ目は繰り返し型とバースト型の混合型である(図 5)。これらの相似地震群はフィリピン海プレートの上面深度が約 20 km の深さ付近で特徴的に検出されたが、この結果が浅部低周波微動など他のすべり現象とのプレート境界面上での棲み分けを示唆するのか、令和 2 年(2020 年)4 月にデータ回収が始まる新規観測とあわせて検証する必要がある。

#### 日向灘 南西諸島北部域の準静的すべり速度の時空間変化

前計画に引き続き、バースト的な活動を除いたプレート境界域での相似地震(小繰り返し地震)を用い、日向灘から奄美大島にかけての小領域ごとに小繰り返し地震が発生する度に、その地震発生前 2 年間の準静的すべり速度を求め、時間変化について調べた(図 6)。前計画では 10 の小領域について解析していたが、日向灘の最北部域領域を 2 領域に分け、さらに奄美大島域を新たに追加した(図 6 の A~M、12 領域)。

当該領域では、平成 17 年(2009 年)10 月 30 日の奄美大島北方海域の M6.8 以降、M6.0 以上の活動は 2014 年 8 月 29 日に日向灘で発生した M6.0 のみであったが、令和元年(2019 年)には 1 月 8 日に種子島東方沖で M6.0、5 月 10 日に日向灘中部で M6.3 が発生した。領域 B と領域 E において準静的すべり速度が急激に増加している(図 6)のは、これら M6.3 と M6.0 の余震活動中に相似地震が多発したためである。M6 クラス(M=5.5)の発生個数で見ると、平成 22 年(2010 年)~平成 28 年(2016 年)の 7 年間は 2 個だけであったが、平成 29 年(2017 年)~令和元年(2019 年)の 3 年間では 6 個発生しており、相対的に規模の大きな地震活動が活発化している可能性がある。平成 27 年(2015 年)前後以降の日向灘~奄美大島域の広域にわたる準静的すべり速度の明瞭な増加は、相対的に規模の大きな地震活動の活発化と関係している可能性がある。

日向灘北部(領域 A)奄美大島北東(領域 K)を除く 9 領域で、平成 27 年(2015 年)頃以降、準静的すべり速度が明瞭に増加している。平成 13 年(2001 年)~平成 26 年(2014 年)頃の 14 年間については、ほとんどの領域で準静的すべり速度の変化は小さい(図 6)ことから、平成 27 年(2015 年)前後の変化を見るために、平成 27 年(2015 年)~令和元年(2019 年)と平成 13 年(2001 年)~平成 26 年(2014 年)のそれぞれの期間で求められた準静的すべり速度(図 7 の左・中)及びその比(図

7の右)を緯度0.3°×経度0.3°の領域について0.1°ずつ、ずらしながら求めた。M6.3が発生した日向灘中部、M6.0が発生した種子島東方を含む日向灘中部から奄美大島にかけての広域で準静的すべり速度が増加している。その中において奄美大島北東(図6の領域K)では準静的すべり速度が低下しており、周辺領域とのコントラストが明瞭である。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):  
山下 裕亮・渡邊 早姫・山田 知朗・篠原 雅尚・松島 健, 2019, Spatiotemporal variation of released seismic energy from shallow low-frequency tremor in Hyuga-nada, revealed by ocean bottom seismological observation, JpGU2019, SCG48-P43.

Yukihiro Nakatani, Hiroshi Yakiwara, Shuichiro Hirano, Reiji Kobayashi, Hiroki Miyamachi, Shigeru Nakao, Kazunari Uchida, Takeshi Matsushima, Hiroshi Shimizu, Kazuo Nakahigashi, Yusuke Yamashita, Hideji Abe, Tomoaki Yamada, and Masanao Shinohara, 2019, Ocean bottom seismographic observation and similar earthquake detection in the northern part of the Nansei Islands, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会.

仲谷幸浩・八木原寛・平野舟一郎・小林励司・宮町宏樹・中尾茂・内田和也・松島健・清水洋・山下裕亮・中東和夫・山田知朗・阿部英二・篠原雅尚, 2019, 南西諸島北部域における海底地震観測と検出された相似地震の特徴, 日本地震学会 2019 年度秋季大会.

仲谷幸浩, 2020, 南西諸島北部域における機動的な海底地震観測, 研究集会「フロンティア地球観測 - 「観測知」の共有に向けて -」.

七條 彰啓・中尾 茂・松島 健・大倉 敬宏, 2019, ブロック断層モデルを用いた鹿児島 宮崎・熊本県境付近のブロック境界の検討, 鹿児島大学理学部紀要, 52, 15-22.

八木原寛・仲谷幸浩・平野舟一郎・小林励司・宮町宏樹・中尾茂・山下裕亮・内田和也・松島健・清水洋・中東和夫・馬越孝道・阿部英二・池澤賢志・諏訪祥士・山田知朗・篠原雅尚, 2019, 南西諸島北部の海域及び島嶼域における地震観測によるプレート境界面形状の推定(6), 2019 年日本地震学会秋季大会.

(11) 令和2年度実施計画の概要:

喜界島東方海域に展開した第1期 LOBS を 2020 年 4 月中旬に全 8 台回収し、同航海で新規配置への 8 台投入を実施する(第2期観測の開始)。8 点の観測点のうち、2 点は同一位置での入れ替えを予定している。

令和元年度に設置した 20km スパンの海底地震計データを用いて、期間中に発生した浅部低周波微動の震源決定を実施する。また、1911 年 M8.0 喜界島近海地震の推定震央付近での相似地震を検出する。島嶼域 GNSS 観測に関しては、前計画の課題で推定されたプレート境界域の深さ分布に基づき FEM モデルを構築し、観測された地殻変動を説明する固着域の推定を予定している。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

八木原 寛、仲谷幸浩、中尾 茂

他機関との共同研究の有無: 有

京都大学防災研究所(山下裕亮)

東京海洋大学(中東和夫)

東京大学地震研究所(山田知朗、篠原雅尚)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 南西島弧地震火山観測所

電話: 099-244-7411

e-mail: yakiwara@km.kagoshima-u.ac.jp

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 八木原 寛

所属 : 南西島弧地震火山観測所

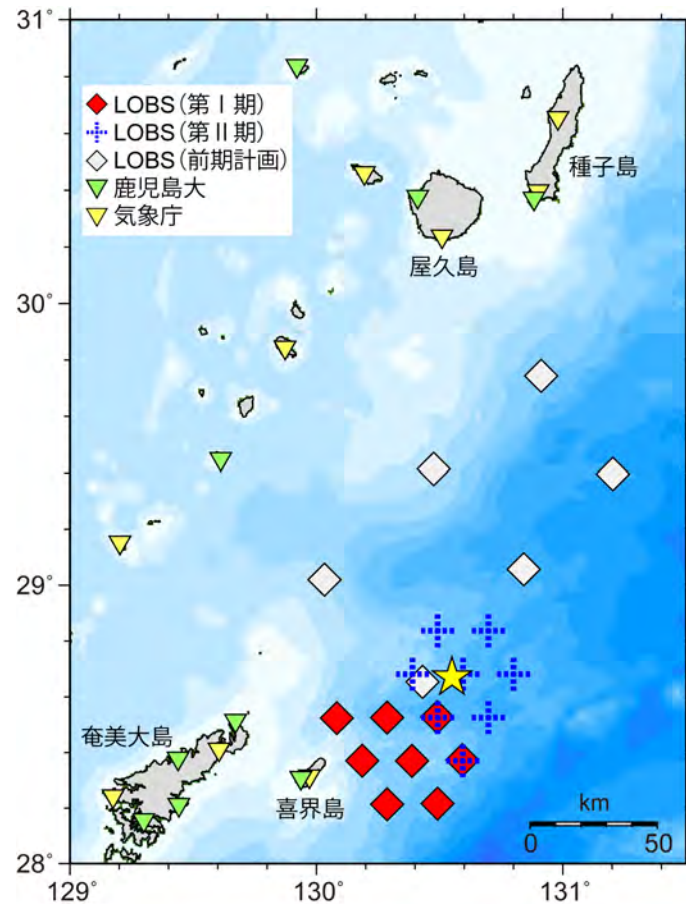


図1 海底および島嶼部の地震観測点配置。

赤四角が2019年度に新規投入された第I期LOBSの位置を示す。青十字が2020年度に入れ替えらえる第II期LOBS、灰四角が前計画でのLOBS配置である。1911年に発生したM8.0喜界島近海地震の想定震源(後藤, 2013)は星印で示した。逆三角形のシンボルは、島嶼部の定常地震観測点である。

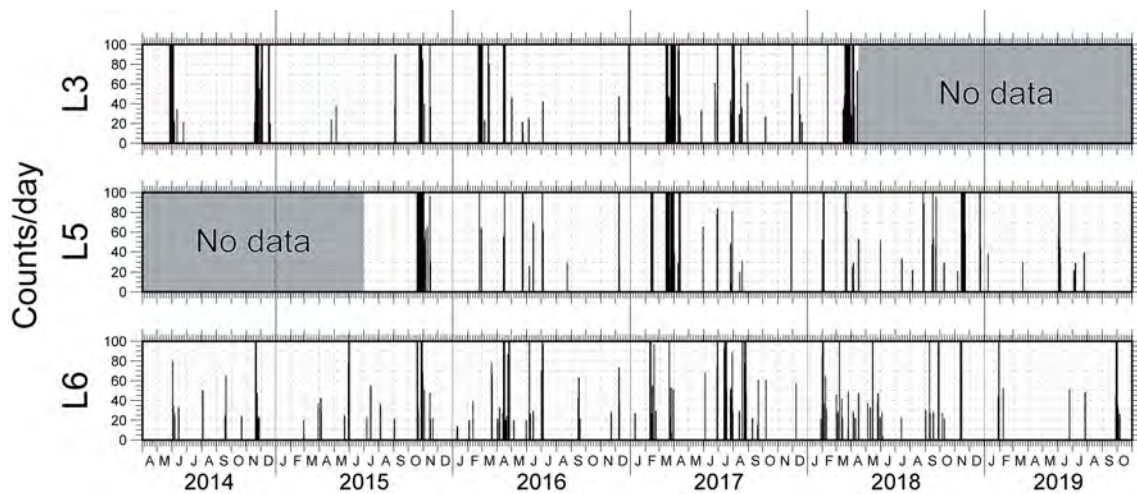


図2 2014年4月～2019年10月の約5年間における海溝軸側観測点(L3, L5, L6)で検出された低周波微動の日回数。

グレーの時期はデータが存在しない期間を示す。L3, L5, L6の位置は図3を参照されたい。

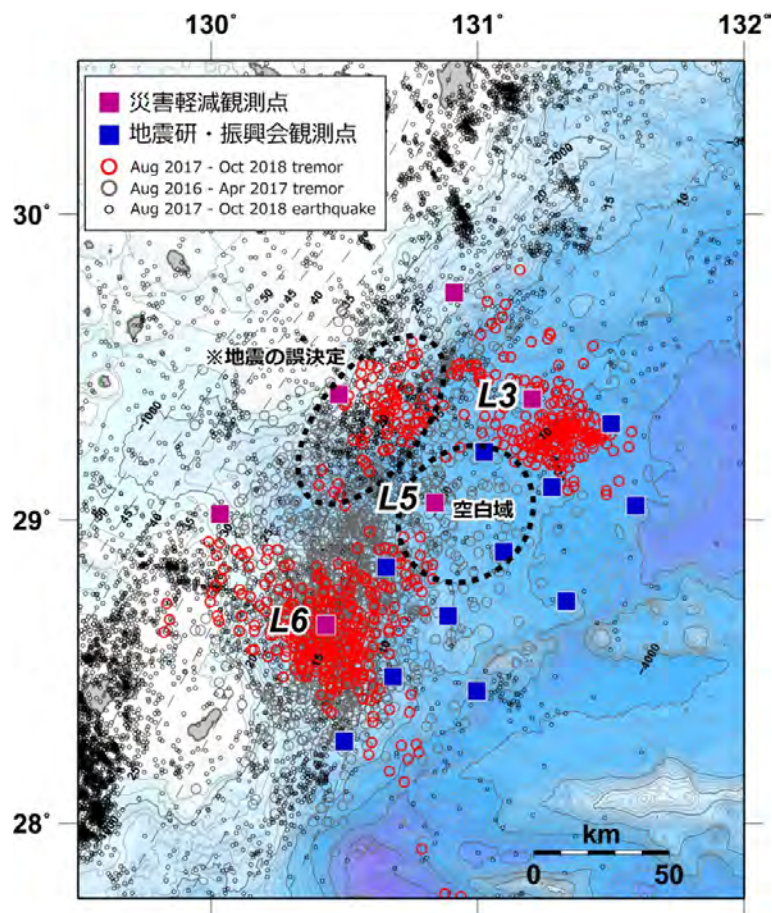


図3 スロー地震(浅部低周波微動)の震央分布。

赤丸が決定されたスロー地震の震央、黒丸は通常地震の震央(気象庁の一元化震源)を示す。四角はLOBS観測点で、このうち紫と青はそれぞれ、前計画の課題で実施した準定常(繰り返し)観測点、東京大学地震研究所と地震予知総合研究振興会が共同で設置した観測点である。



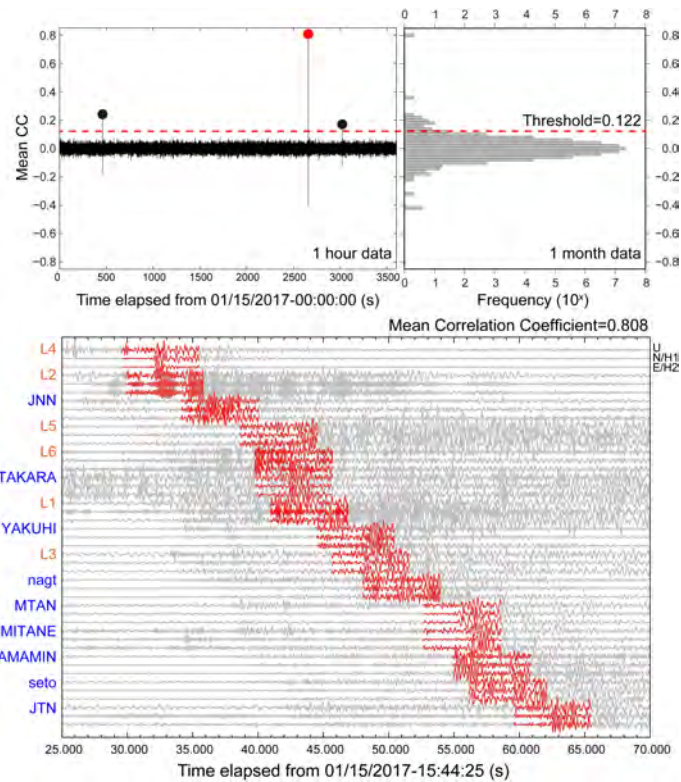


図4 2017年1月18日に発生したテンプレート地震(M3.2)による相似地震検出例。(左上)観測波形とテンプレート波形との相互相関係数(全観測点平均)。相似地震が検出された例のうち、特に高い相関(=0.808)を示した地震を赤丸で示している。(右上)2017年1月1ヶ月間における相互相関係数(全観測点平均)の頻度分布。(下)図2左上において最大相関をとったとき(赤丸)の地震観測波形とテンプレート波形。各成分における観測波形(灰色)にテンプレート波形(赤色)を重ね合わせて示している(振幅は規格化)。テンプレート波形は、S波理論到達時刻2秒前から6秒間の波形である。観測点はテンプレート震源との距離に近い順に上から並べ、赤字が海底観測点、青字が島嶼観測点に対応する。

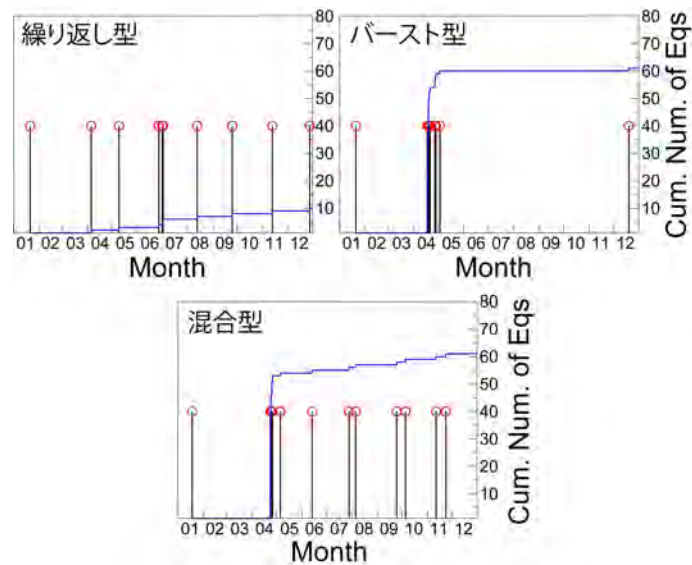


図5 各相似地震群の発生間隔と積算地震発生数。繰り返し型(左上)・バースト型(右上)・混合型(下)の特徴をもつ相似地震群の発生間隔(赤丸)と2017年1月~12月の積算地震発生数(青線)を示す。

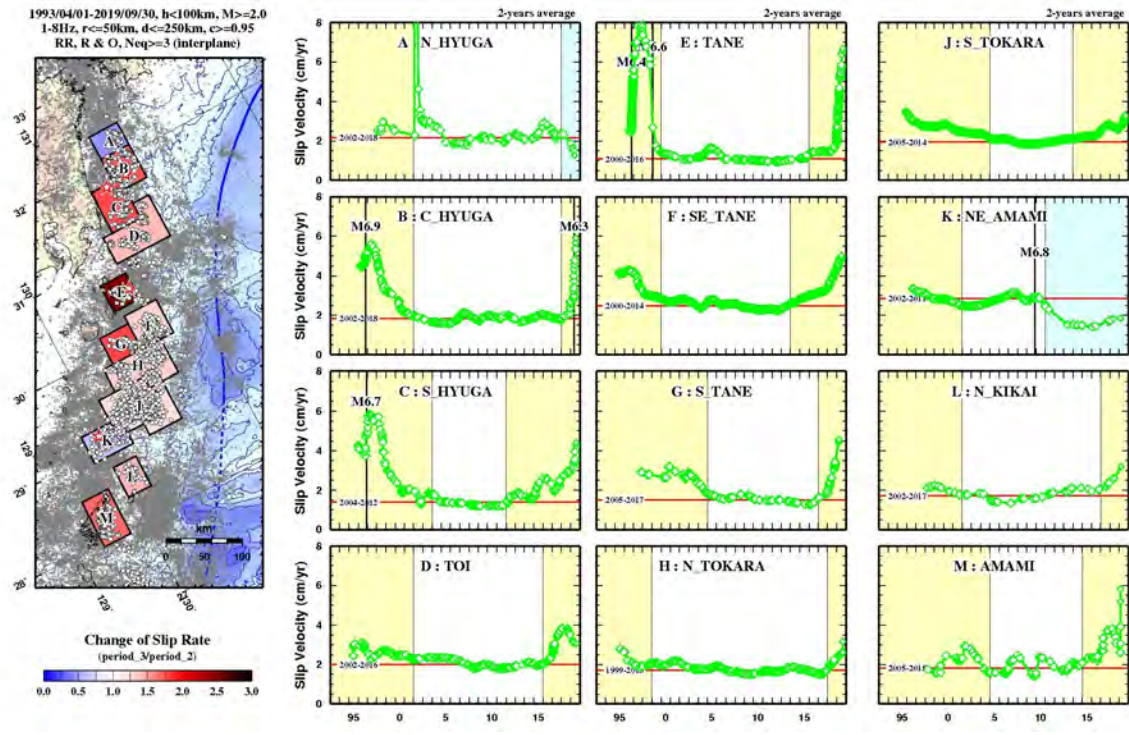


図6 日向灘から奄美大島近海に至る12領域での準静的すべり速度の時間変化。淡黄色と薄青色はそれぞれ、準静的すべり速度の大、小の期間であることを示す。各図中の赤線は、それに付した期間における準静的すべり速度の平均値である。1993年以降に発生したM6.4以上のプレート境界地震の発生時が、該当する図中に縦太線で示されている。

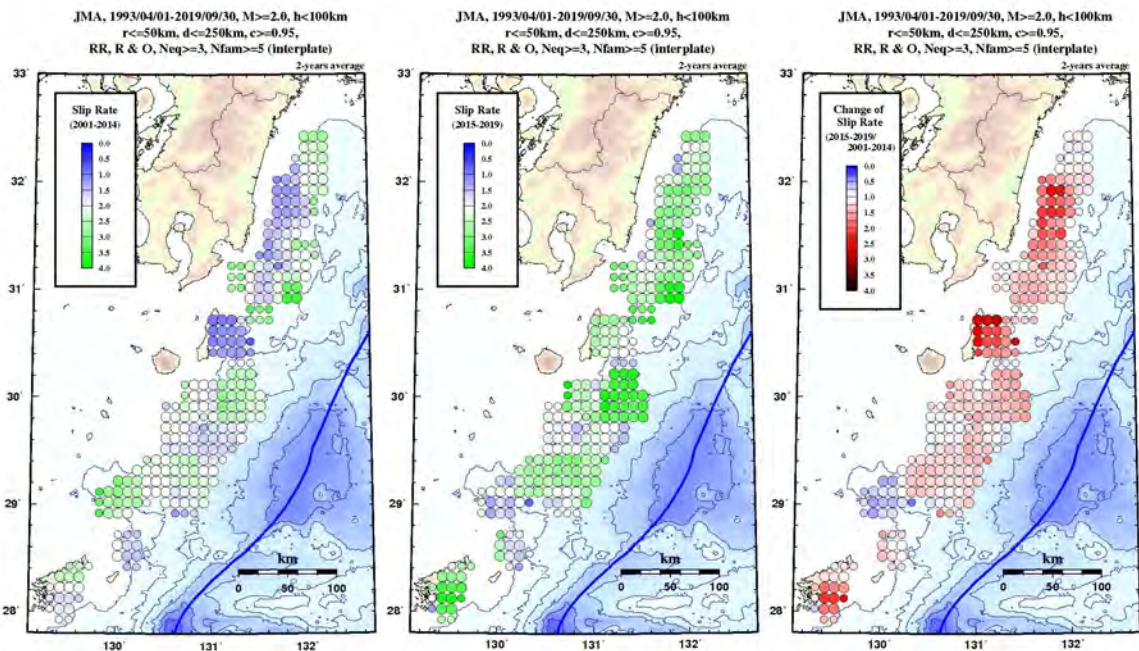


図7 日向灘から奄美近海に至る領域における2015年前後の平均的な準静的すべり速度、及び準静的すべり速度の比の分布。左図と中図がそれぞれ、2001~2014年及び2015~2019年の平均的な準静的すべり速度の分布を示す。右図が2015~2019年と2001~2014年の準静的すべり速度の比を示す。解析は、緯度0.3°×経度0.3°の領域を0.1°ずつ、ずらして行った。

( 1 ) 実施機関名：

神戸大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

鬼界海底カルデラにおけるマグマ供給系の構造・進化の解明

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

40km<sup>3</sup> 以上のマグマを噴出する「巨大カルデラ噴火」は今後 100 年で約 1 % の確率で発生し、その危険値( = 想定犠牲者数 × 発生確率 ) は海溝型巨大地震・首都直下地震と同程度の、典型的な低頻度大規模火山現象である。従って、この噴火を引き起こすマグマ供給系の構造と進化並びに活動度の理解と把握は我が国にとって喫緊の課題である。しかしながら、日本列島で地質記録が比較的揃っている過去 12 万年間に巨大カルデラ噴火を起こした 7 座の火山で、現在巨大カルデラ噴火につながる可能性のあるマグマ溜りの存在(位置と形状)すら確認できていない。その最大の原因の 1 つは、陸域火山ではマグマ溜りの確認に有効な大規模稠密構造探査が困難なことにある。

そこで神戸大学では 2016 年から、付属練習船「深江丸」を用いて海洋研究開発機構などと連携して我が国で唯一海域に存在し、最も直近(7300 年前)に巨大カルデラ噴火を起こした「鬼界海底カルデラ」の地球物理学的観測・探査を開始し、カルデラ形成後に巨大溶岩ドームが形成され、それは現在も活動的であることを確認した。

一方で、巨大噴火とカルデラ形成を繰り返す巨大カルデラ火山におけるマグマの進化過程は、岩石学に残された未解決問題の 1 つであるとともに、その解明は巨大カルデラ火山の活動予測を行う上でも重要な束縛要件を与える。これまでの研究で、巨大カルデラ噴火を起こす中間組成～フェルシクなマグマには、マントルのみならず、下部・上部地殻の物質が関与することが示されている。従って、そのマグマの進化過程の詳細を理解するには、微小域同位体比・微量元素分析法を用いて斑晶鉱物に記録されたマグマ組成の時間変化を読み解き、地球物理学的に得られたマグマ供給系の構造と合わせた包括的な進化モデルの提案が必要不可欠である。



以上の背景、研究の重要性を鑑みて、神戸大学では「鬼界海底カルデラ」に焦点を当てて、以下の点を5年間で明らかにすることを計画している：

- a) 海底電位差磁力計などを用いた鬼界カルデラ下のマグマ供給系のイメージング
- b) 稠密反射法地震探査、陸上地質調査、ピストンコアリングによる、少なくとも過去3回起きた鬼界巨大カルデラ噴火のマグマ噴出量の推定
- c) ドレッジ、簡易ドリリングなどによる海底岩石及び陸上試料の物質科学的解析による、マグマ供給系進化の解明

(8) 本課題の5か年計画の概要：

本研究課題の目標を達成するために、神戸大学の附属練習船「深江丸」による探査航海を毎年実施し、稠密反射法地震探査と海底電位差磁力計の設置・回収を行う。一方、ピストンコアリング、ドレッジや簡易ドリリングによる試料採取は、海洋研究開発機構の調査船を用いて行う予定である。得られた試料の物質科学的解析は、陸上地質調査により得られた試料を含めて毎年継続的に行う。

海底電位差磁力計(OBEM)による電磁気トモグラフィでは、比抵抗構造の推定により、巨大カルデラ火山のマグマ溜り等の溶融体を含む構造を正確に把握することに重点を置く。具体的には、4台のOBEMの設置・回収を毎年繰り返すことにより、巨大カルデラ火山を横切る2次元測線と山体を覆う面的な観測点での長期海底地磁気観測を実施する。このデータ解析により、巨大カルデラ火山全体の大局的な2次元比抵抗構造と、山体下の上部マントルまでの3次元比抵抗構造を推定する。これにより、マントルダイアピルの規模を把握するだけでなく、深部の部分融解ゾーンやマグマ溜りを把握する。

反射法地震探査を稠密な測線で毎年実施することにより、1)貫入岩体と、2)少なくとも過去3回起きた鬼界巨大カルデラ噴火の噴出物と考えられる堆積層の、空間分布や総量の把握を行う。

1)では、二重のカルデラ縁に沿って複数の脈状貫入岩体が存在することを確認しており、この空間分布をより正確に理解する。さらに、これらの岩石試料の採取を、ドレッジや簡易ドリリングにより実施する。得られた岩石については主成分・微量成分・同位体比分析を行い、これらの組成をこれまでに我々が明らかとした鬼界カルデラ地域の岩石の化学的特徴と比較することでカルデラ形成前後のマグマとの成因関係を明らかにする。

2)では反射法地震探査で見いだされた各堆積物層を認定し、その連続性を使って各層の空間分布を把握する。このうち、主に鬼界アカホヤ噴火の噴出物と考えられる堆積物を対象にピストンコアリングを実施する。得られた堆積物については火山ガラス組成の分析を行い、SiO<sub>2</sub>量の異なる2種類の火山ガラスを含むことが特徴的な鬼界アカホヤ噴火噴出物との対比を行い、鬼界アカホヤ噴火の噴出物であることを確認する。この同定対比結果と反射法地震探査で明らかにする堆積物層の平面的な広がりや層厚から、海底に堆積した鬼界アカホヤ噴火噴出物の量を推定する。この海底堆積物量と既知の陸上の堆積物量を基に、鬼界アカホヤ噴火の総噴出量を推定することにより、世界で初めて巨大カルデラ噴火に伴う総噴出物量の精密推定を行う。鬼界アカホヤ噴火より古い噴火の噴出物と考えられる堆積層についても、可能な限り試料採取を試みてその分析も行い、鬼界アカホヤ噴火と同様の解析を試みる。

(9) 令和元年度の成果の概要：

九州の南の海域に位置する鬼界海底カルデラを対象にして、次の合計4回の航海を実施し、観測・探査データの取得と試料採取を行った。そして、得られた反射法地震探査ならびに長期海底地磁気観測のデータ解析と、堆積物・岩石試料の物質科学的解析を進めている。

1)神戸大学の附属練習船「深江丸」による探査航海を10月14日~22日と2月27日~3月11日(予定)の2回実施し、反射法地震探査と海底電位差磁力計(OBEM)の設置・回収を行った。今年度に回収したOBEMによる長期海底地磁気観測地点は、鬼界カルデラ周辺の5点である(図1:回収予定を含む)。

2) 海洋研究開発機構の研究船「新青丸」による航海(9月9日~15日)により、さらに、ピストンコアリング、オケアングラブ採泥器、ドレッジにより、堆積物試料と岩石試料を取得した。同時に、SBP(サブボトムプロファイラー)とMBES(地形)調査も実施している(図2)。

3) 海洋研究開発機構の地球深部探査船「ちきゅう」のSCOREプログラムによる航海(1月4日~15日)により、竹島の北側沖の地点でのピストンコアリングにより、深度95mまでの試料を不連続ながら取得した(図3)。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
On Board Cruise Report: 新青丸 KS-19-17 次研究航海報告、2019年

(11) 令和2年度実施計画の概要：

神戸大学の附属練習船「深江丸」による探査航海を実施し、反射法地震探査と海底電位差磁力計(OBEM)の設置・回収を行う。

これまでOBEMで得られた長期海底地磁気観測のデータ解析を進め、巨大カルデラ火山下の比抵抗構造の推定を行う。比抵抗構造を推定する領域を広げるもしくはその解像度の向上のために、観測地点を毎年増やす計画であり、その観測地点で得られたデータの解析を随時進めていく。

得られた反射法地震探査データを解析することにより、反射法地震探査で見いだされた各堆積物層を認定し、その連続性を使って各層の空間分布の把握を進める。このうち、主に鬼界アカホヤ噴火と約9万5000年前の噴火の噴出物と考えられる堆積層の平面的な広がりや層厚からその総量を見積もる。

ピストンコアで得られた堆積物試料、ドレッジによる岩石試料の物質科学的解析を進める。特にアカホヤ噴火の噴出物と考えられる堆積層を対象に実施したピストンコアリングにより得られた堆積物については火山ガラス組成の分析を進める。SiO<sub>2</sub>量の異なる2種類の火山ガラスを含むことが特徴的な鬼界アカホヤ噴火噴出物との対比を行い、鬼界アカホヤ噴火の噴出物であることを確認する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

巽 好幸 (海洋底探査センター火山学部門) 客員教授  
島 伸和 (海洋底探査センター構造探査部門・理学研究科惑星学専攻) 教授  
杉岡 裕子 (海洋底探査センター構造探査部門) 教授・センター長  
松野 哲男 (海洋底探査センター構造探査部門) 特命講師  
中東 和夫 (海洋底探査センター構造探査部門) 客員准教授・東京海洋大学准教授  
清水 賢 (海洋底探査センター探査運用部門) 特命講師  
佐野 守 (海洋底探査センター探査運用部門) 特命助教  
井和丸 光 (海洋底探査センター探査運用部門) 特命助教  
鈴木 桂子 (海洋底探査センター火山学部門) 客員教授  
金子 克哉 (海洋底探査センター火山学部門・理学研究科惑星学専攻) 教授  
清杉 孝司 (海洋底探査センター火山学部門) 講師  
中岡 玲奈 (海洋底探査センター火山学部門) 助教  
木村 純一 (海洋底探査センター火山学部門) 客員教授・海洋研究開発機構 分野長代理  
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：海洋底探査センター  
電話：078-431-4620  
e-mail：kobec-office@research.kobe-u.ac.jp  
URL：http://www.k-obec.kobe-u.ac.jp/

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 島 伸和

所属: 理学研究科惑星学専攻 / 海洋底探査センター

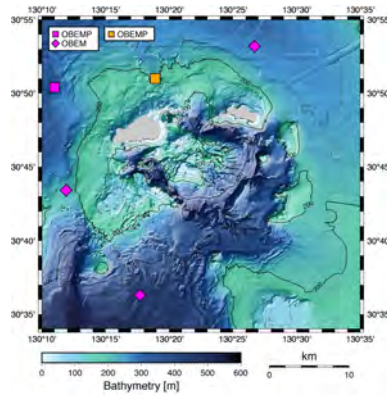


図1: 海底電位差磁力計(OBEM)による長期海底地磁気観測地点。

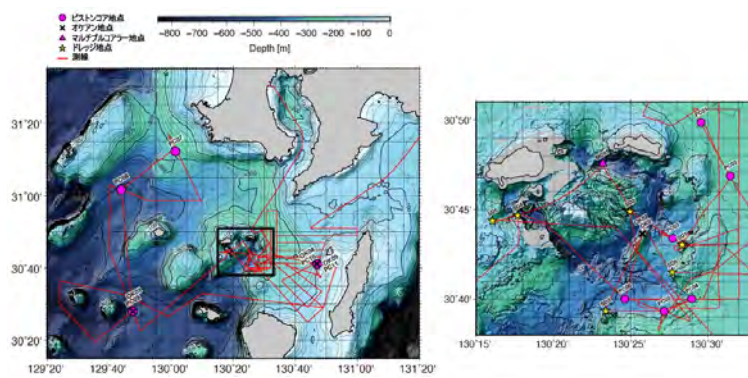


図2: 新青丸 KS-19-17 次研究航海の航跡・測点図。

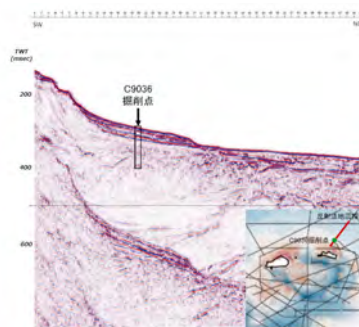


図3: 地球深部探査船「ちきゅう」によるピストンコアリングの地点(C9036 掘削点)とその場所での反射法地震探査断面図。

( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

歴史災害研究のオープンサイエンス化に向けた検討

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

本研究では、オープンサイエンスの標準手法を導入し、災害史料にオープンかつ機械可読な形式でアクセスするための情報基盤を構築する。また、市民参加型のプラットフォームを開発し、少数の研究者の手では不可能な災害史料の大規模データ化を遂行する。これにより、歴史災害研究の情報基盤を最適化し、史料データの高度な利活用を促進する。具体的な研究課題として次の3項目を設定する。

1. 災害史料の構造化記述モデルの構築 地震学・歴史学・地理学・情報学の各専門家の検討の下、災害史料に含まれる時空間情報や被害状況を、機械処理可能な構造化データとして記述するためのモデルを構築する。構造化データの Linked Open Data 化や、史料への DOI ( Digital Object Identifier ) 付与、データ可視化、原史料画像の IIIF 公開、歴史 GIS 技術との連携など、データの永続的管理や活用手法についても併せて検討する。検討のため Web 上の情報のほか、関連する資料・書籍を購入し参照する。
2. 市民参加による大規模データ構築 膨大な量が残されている災害史料から、課題 1 の構造化モデルに基づくデータを生成するために、多数の市民の参画を実現するクラウドソーシング・プラットフォームを開発する。その土台として、研究代表者らがすでに開発公開している『みんなで翻刻』を拡張する。このプラットフォーム上で、デジタル化した災害史料を公開し、市民の協力のもと災害研究に有用な各種データを構造化して抽出する。特に、史料からの時空間情報と被害情報の抽出に重点を置く。
3. 地震研究所蔵史料への適用 「みんなで翻刻」で公開した史料群に、実験的に課題 1,2 で開発した構造化記述と市民参画の手法を適用する。

昨年度は、まず課題 1 について、XML を用いずに歴史資料中に現れる地名や日時、被害情報等を容易に構造化して記述することが可能な軽量マークアップ言語「Koji」(<https://koji-lang.org/>)を開発・公開した。また課題 2 について、IIIF ( International Image Interoperability Framework ) に対応した「みんなで翻刻」の次期バージョンの開発にあたった。また課題 3 について、地震研図書室特別資料デー

データベースに掲載されている約 500 点の和古書資料を対象に、市民参加型翻刻プラットフォーム「みんなで翻刻」上で翻刻を実施し、481 点の全文翻刻が完了した。

今年度は、まず課題 1 について、Koji を使用したクラウド上の翻刻エディタを公開し、災害資料を効率的に翻刻・マークアップする環境を整備する。また、人間文化研究機構が公開する「歴史地名データ」の検索システムを整備し、Koji と歴史地名データを連携させる。次に課題 2 について、IIIF に対応した次期バージョンの「みんなで翻刻」を公開する。IIIF 連携機能を使用して、地震研以外の機関が所蔵する災害資料の翻刻を進める。最後に課題 3 について、Koji を使用した地震研所蔵資料のマークアップを実施する。また、マークアップした結果を可視化・解析し、災害研究に有用な知見が得られるか検討する。

( 7 ) 令和元年度の成果の概要 :

課題 2 について、2019 年 7 月に IIIF ( International Image Interoperability Framework ) および AI による自動文字認識に対応した次期バージョンの「みんなで翻刻」を公開した。新バージョンでは、東京大学総合図書館が所蔵する災害史料群「石本コレクション」の翻刻が進行しており、2020 年 2 月までに 353/578 点の翻刻が完了している。翻刻作業に参加する市民の数は 500 名を超えており、歴史災害史料のテキスト化にシチズンサイエンスの手法が有効であることを実証した。

課題 1 について、「みんなで翻刻」上で翻刻された 600 万文字を超えるテキストを構造化記述し、地名や日時等の地震研究上の重要情報を自動抽出するための検討を継続しているが、具体的な成果はまだ得られていない。生医学分野では、PubMed など巨大論文コーパスから固有表現抽出やエンティティ・リンクングなどの自然言語処理技術を駆使して構造化された情報を抽出する試みが広まっているが、同様の技法は歴史資料に対しても有効であると考えられ、この分野の研究者と協働して災害史料の解析にあたっている。

( 8 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Hashimoto, Y., 2019, Honkoku2: Towards a Large-scale Transcription of Pre-modern Japanese Manuscripts, Proceedings of the 9th Conference of Japanese Association for Digital Humanities, 97-100.

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

他機関との共同研究の有無 : 無

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 国立歴史民俗博物館

電話 : 043-486-4228

e-mail : yhashimoto@rekihaku.ac.jp

URL :

( 11 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 橋本 雄太

所属 : 国立歴史民俗博物館

( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

有感地震記述ならびに震度の距離減衰式に基づく地震活動解析

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

近年の稠密観測網によって観測された震度データ(気象庁震度データベース等)を用いて、様々な地震活動変化(大地震発生、地震活動の活発化(群発的地震活動を含む)・静穏化、グーテンベルグ・リヒター則の $b$ 値変化等)が有感地震の時空間的特徴にどのような影響を及ぼすのか、調査する。また平成30年度地震・火山噴火の解明と予測に関する公募研究における課題「史料中の有感地震記録を用いた歴史地震研究の新展開」で構築した、有感地震回数に基づき大地震の震源域を推定する予察的手法の高度化に向けた検討を行う。近年の地震を対象に、観測震度と計算震度との残差分布に基づく大地震の類型化に関する基礎的検討を実施する。震度計算には、近年構築された地表における計測震度の多次元距離減衰式(田中・他, 2017; Matsu'ura et al., 2018)を用いる。なお、地震ハザードステーション(J-SHIS)における表層30mにおける平均S波速度(AVS30)を用いることで、気象庁震度データベースにおける有感地震回数を精度良く再現できることが実証されている(石辺・他, 2017; 日本地震学会秋季大会)。

史料中の有感地震に基づいて地震活動を解析するためには、近年に発生した地震活動変化が有感地震の時空間分布にどのような変化を及ぼすのか調査する必要がある。そこで既往研究によって明らかにされている様々な地震活動変化を対象に、有感地震回数の時空間的变化について調査する。

平成30年度地震・火山噴火の解明と予測に関する公募研究における課題「史料中の有感地震記録を用いた歴史地震研究の新展開」では、有感地震回数の空間的分布に基づいて大地震の震源域を推定する予察的手法を構築し、近年に発生した3地震(2004年新潟県中越地震、2008年岩手・宮城内陸地震ならびに2011年福島県浜通りの地震)に対して適用することで、その震源域のイメージングに成功した。この結果は今後、史料から有感地震に対する記述を抽出・蓄積するとともに、予察的に構築した手法を高度化することで歴史地震の震源域を従来の被害記述とは異なった観点から議論できる可能性を示唆する。ただし予察的に構築された手法は、大地震に伴う余震活動かつその空間分布にのみ着目したものであり、時間分布ならびに大地震発生時以外の定常地震活動の把握を目的として手法の高度化・拡張に向けた検討を実施する。

太平洋プレート、フィリピン海プレート上面の地震、スラブ内地震ならびに地殻内地震に対して上記の計測震度の多次元距離減衰式は構築されている。そこで近年に発生した中規模以上の地震(且つ距離減衰式の構築には用いられていない地震)を対象に、それぞれの地震タイプに対して構築された

距離減衰式と観測された震度分布の残差分布について統計的解析を実施し、その特徴を整理することで、震度分布に基づいて地震タイプを類型化するための基礎的研究を実施する。

(7) 令和元年度の成果の概要：

平成30年度地震・火山噴火の解明と予測に関する公募研究における課題「史料中の有感地震記録を用いた歴史地震研究の新展開」では、有感地震回数の空間的分布に基づいて大地震の震源域を推定する予察的手法を構築し、近年に発生した3地震(2004年新潟県中越地震、2008年岩手・宮城内陸地震ならびに2011年福島県浜通りの地震)に対して適用することで、その震源域のイメージングに成功した。この結果は今後、史料から有感地震に対する記述を抽出・蓄積するとともに、予察的に構築した手法を高度化することで歴史地震の震源域を従来の被害記述とは異なった観点から議論できる可能性を示唆する。

令和元年度には、近年の稠密観測網によって観測された震度データ(気象庁震度データベース等)を用いて、様々な地震活動変化(大地震発生、地震活動の活発化(群発的地震活動を含む)・静穏化、グーテンベルグ・リヒター則のb値変化等)が有感地震の時空間的特徴にどのような影響を及ぼすのか、2011年東北地方太平洋沖地震の前後を中心に調査した。

その結果、2011年東北地方太平洋沖地震後に東北地方内陸で活発化した群発的活動では、その近傍の観測点で有感地震回数の増加が認められる一方で、その周辺の観測点では近傍に比べ頻度の増加程度は小さい傾向が顕著に見られた。また、近年に日本内陸で発生した顕著地震後の有感地震回数の時空間的特徴からは、震源域近傍の観測点においてはその累積頻度分布は余震の時間的減衰の特徴を表す、大森-宇津公式に近い形状を示す一方で、震源域から離れるに従って分布形状が階段状なものへと変化する様子が見出された。これらの結果は有感地震回数の時空間的特徴から歴史地震前後の地震活動変化(静穏化・誘発地震活動の発生)の検出や、歴史地震の震源域推定の可能性を示唆する。

また令和元年度には、近年の地震を対象に、観測震度と計算震度との残差分布に基づく大地震の類型化に関する基礎的検討を実施した。気象庁震度データベースに報告のあるすべての有感地震を対象に、近年太平洋プレート内部、太平洋プレート上面、フィリピン海プレート内部の地震、ならびに地殻内地震に対して構築された地表における計測震度の多次元距離減衰式(田中・他, 2017; Matsu'ura et al., 2018)に基づき震度計算を実施し、データベース化するとともに、それぞれの地震に対して残差が最小となる距離減衰式のタイプを求めた。なお、地震ハザードステーション(J-SHIS)における表層30mにおける平均S波速度(AVS30)を用いた。

今後は、これらのデータベースならびに統計的手法に基づき、様々な地震活動変化の検出や歴史地震の震源域を推定する手法を高度化し、その検証を実施する。

(8) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

(代表者名) 石辺 岳男 公益財団法人地震予知総合研究振興会主任研究員

(分担者名)

松浦 律子 公益財団法人地震予知総合研究振興会解析部長

古村 美津子 公益財団法人地震予知総合研究振興会部長代理

赤塚 真弓 公益財団法人地震予知総合研究振興会主任研究員

田力 正好 公益財団法人地震予知総合研究振興会主任研究員

岩佐 幸治 公益財団法人地震予知総合研究振興会主任研究員

他機関との共同研究の有無：有

榎原 雅治 東京大学史料編纂所教授

佐竹 健治 東京大学地震研究所教授



( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：公益財団法人地震予知総合研究振興会 地震調査研究センター

電話：03-3295-1502

e-mail：ishibe@erc.adep.or.jp

URL：

( 11 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：石辺 岳男

所属：公益財団法人地震予知総合研究振興会 地震調査研究センター

( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

古地磁気方位を利用した火山層序の高精度化

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

本研究では、阿蘇火山などの火山噴出物から精度のよい古地磁気方位を得ることで、火山噴出物おのしの対比、時間間隙、噴火年代推定に関する基礎データを得て、火山層序の高精度化を試みる。本年度は、阿蘇中岳の山頂付近に露出している溶岩・アグルチネートの複数サイトの古地磁気方位測定を行う。それらに対比できるものなのか、あるいは、異なる時代に形成されたものを古地磁気方位に基いて、検討する。さらに、過去2千間の考古地磁気永年変化カーブ(Hirooka, 1971; 畠山ほか, 私信)との比較を行い、それらの火山噴出物の年代推定を行う。以上により、阿蘇火山の火山層序の高精度化を試みる。古地磁気学的測定は、熊本大学の古地磁気実験室で行う。

( 7 ) 令和元年度の成果の概要：

中岳火山は、阿蘇カルデラ内で唯一の活火山であり、日本で最も活発な火山の1つである。約22-21kaから活発に活動しており、古期中岳山体(22-21ka)、新期中岳山体(5ka前後)および最新期火砕丘(～現在)からなる。新規中岳は5ka前後において溶岩流を伴う噴火を行っていることが明らかとなっている。新規中岳溶岩流は、5ka付近の噴火史を詳細に記録していると考えられるが、化学組成や岩相は類似しており、区別することが困難である。このため、噴火史を考察するための火山層序を確立することは非常に困難である。また、最新期火砕丘は溶岩流を伴う噴火はなかったと考えられているが、詳細は明らかとなっていない。そこで、新期中岳溶岩およびアグルチネートに対して古地磁気学的手法を適用し、詳細な火山層序の再検討を試みた。この研究は、火山層序だけでなく、火山災害リスク軽減(DRR)への波及効果も期待できる。

溶岩流(14サイト)およびアグルチネート(6サイト)合計256試料について古地磁気および岩石磁気測定を行った。これらの試料を採取した露頭は、表面は淡赤色に変質しており、火山ガスや表層水による変質の影響が考えられる。そこで、化学的な変質の影響を把握するために、収集した磁化測定用コアの上部(岩の表面)と底部(岩の内部)のチップサンプルに対して熱磁気分析を行った。熱磁気分析では、コアの上部と下部は異なる色にもかかわらずほぼ同じ測定結果であり、磁化はチタンに富む( $x$ は約0.6)または貧しい( $x$ は約0.1から0.2)チタノマグネタイトが担っていることが明らかとなった。各試料の自然残留磁化は、交流消磁実験の結果、単一成分を示しており、特徴的残留磁化を明確に分離できた。サイト平均方位は、3つの異なる方位を示した。この結果は、新期中岳の溶岩お

よびアグルチネートを伴う噴火は少なくとも異なる3つの年代に起こったことを示唆している。これらの方位を、阿蘇中央火口丘群の玄武岩質火山から得られた古地磁気永年変化曲線と比較すると、それぞれ5ka、4.5ka、3.5ka前後の年代であることが明らかとなった。

- ( 8 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Anai, C., et al., Paleomagnetic study of Holocene lava flow age at Nakadake volcano in Aso caldera, Kyushu Japan: Contribution to establish the Eruptive history, AGU Fall Meeting 2019, GP42A-06, 12 Dec 2019.
- ( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
(代表者名) 望月 伸竜 熊本大学准教授  
(分担者名) 渋谷 秀敏 熊本大学教授  
他機関との共同研究の有無：有  
(分担者名) 穴井 千里 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター 機関  
研究員
- ( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：熊本大学 大学院先端科学研究部  
電話：096-342-3420  
e-mail：mochizuki@kumamoto-u.ac.jp  
URL：
- ( 11 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者  
氏名：望月 伸竜  
所属：熊本大学 大学院先端科学研究部

( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

カルデラ・リサージェンスモデルに基づく北海道屈斜路カルデラの大規模噴火予測

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

屈斜路カルデラ内の中島火山の地質調査を行い、火山地質図を作成する。中島火山の主要な地質ユニットに関して、偏光顕微鏡による火山岩の岩石学的記載、蛍光 X 線分析装置による主成分全岩化学分析、放射性炭素同位体による年代測定を行い、中島火山の噴火史を確立する。また、屈斜路カルデラのポストリサージェンス活動により形成されたアトサヌプリ溶岩ドームに関して、地質調査を行い、偏光顕微鏡による火山岩の岩石学的記載、蛍光 X 線分析装置による主成分全岩化学分析、放射性炭素同位体による年代測定を行う。

( 7 ) 令和元年度の成果の概要：

屈斜路カルデラ内の中島火山の地質調査を行い、火山地質図を作成した。中島火山の主要な地質ユニットに関して、偏光顕微鏡による火山岩の岩石学的記載と放射性炭素同位体による年代測定を行い、中島火山の噴火史を確立した。また、屈斜路カルデラのポストリサージェンス活動により形成されたアトサヌプリ溶岩ドームに関して、地質調査を行い、偏光顕微鏡による火山岩の岩石学的記載、蛍光 X 線分析装置による主成分全岩化学分析、放射性炭素同位体による年代測定を行った。その結果、屈斜路カルデラの最新の火山活動の詳細が明らかになった。

( 8 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Goto, Y., Danhara, T. and Tomiya, A. (2019) Catastrophic sector collapse at Usu volcano, Hokkaido, Japan: failure of a young edifice built on soft substratum. *Bulletin of Volcanology*, 81, 37.

Goto, Y. and Tomiya, A. (2019) Internal structures and growth style of a Quaternary subaerial rhyodacite cryptodome at Ogariyama, Usu volcano, Hokkaido, Japan. *Frontiers in Earth Science*, 7, 66.

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

他機関との共同研究の有無 : 無

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 室蘭工業大学

電話 : 0143-46-5291

e-mail : ygoto@mmm.muroran-it.ac.jp

URL :

( 11 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 後藤 芳彦

所属 : 室蘭工業大学

( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

南アフリカ大深度金鉱山直下で発生した M5.5 地震震源域の力学的・物質科学的解明

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

ICDP-DSeis 計画で行われた、南アフリカのオークニー地区で発生した M5.5 の地震の震源断層を貫通する掘削で得られたコア試料のうち、断層交差部付近および応力測定に用いる試料が日本に輸入された。本研究では、高知コアセンターにおいて、これらの試料内部の亀裂を把握するための X-CT 撮影と孔内検層データと比較するための MSCL 測定を行う。MSCL 測定では、密度・帯磁率・自然ガンマ線強度のプロファイルを得る。さらに、一部のコアに DCDA と DRA を適用して、応力場の空間変化を明らかにする。

( 7 ) 令和元年度の成果の概要：

ICDP-DSeis 計画で採取された掘削コア試料を、高知コアセンターに持ち込み、MSCL による物性測定と医療用 X-CT 装置による断層撮影を行った。これらの結果は、2019 年 9 月に輸入され、課題 RTM01 によって MSCL と断層撮影が行われた掘削コア試料のデータと合わせて、孔内検層データとの対応付けを進めている。

Hole A (震源断層とは交差していない) の掘削コア試料に DCDA と DRA を適用して応力測定を行った。DCDA では、長さ約 800m の Hole A (傾斜 40-45 度) のコア全長にわたり、5-6m 間隔で孔井直交面内の差応力を測定した。差応力は概ね 20 MPa 程度であったが、間隙圧 10 MPa の高濃度塩水の湧出が見られた深度(孔口から 420 m)と余震発生域上端に相当する深度(孔口から 700 m)で、それぞれ、最大 50 MPa と 40 MPa 程度の局所的な高異常がみられた。これら高異常の幅は、いずれも 40 m 程度である。

孔口から 434m と 442 m、780 m の 3 深度で DRA による応力測定を行った。DRA では、互いに直交する 3 つの面内で、それぞれ 45 度ずつ異なる、計 9 方向で測定した法線応力から 3 次元主応力を推定した。この主応力から計算される、孔井直交面内の差応力の大きさは、DCDA による測定値と一致した。434 m と 442 m で推定された主応力方向は、円錐孔底応力解放法により採掘レベルで測定された正断層的なものとは明らかに異なっていた。784 m では、最大圧縮主応力と中間圧縮主応力の差が小さい。孔口から 700 m の深さまでは、孔井直交面内の最大圧縮方向は孔井の high-side 付近で安定しているが、700 m 地点では顕著な擾乱が見られた。これは、DRA により推定された 784 m 地点の最大圧縮主応力と中間圧縮主応力の差が小さいことと整合している。

震源断層を貫通した Hole B と Hole C の掘削コアに対しても DCDA を適用して、孔井直交面内の差応力分布を求めた。Hole C は Hole B から分岐したものであり、両者の距離は最大で 2 m であるが、差応力の大きさは最大で 40 MPa 程度異なっていた。さらに、Hole B の断層交差部付近に生じたブレイクアウトの方向は、わずか 1 m の間に 90 度回転していた。これら、震源断層付近では応力場に著しい不均質があることを示唆する。

( 8 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Yabe, Y., S. Abe, T. Ito, A. Ishida, K. Sugimura, M. Kanematsu, M. Higashi, R. Tadokoro, H. Ogasawara, A. Funato, H. Kato, B. Watson, S. Mngadi, R. Durrheim, G. Hofmann, and L. Sheepers (2019), In-situ stress around earthquake source faults in and beneath South African deep gold mines, EGU General Assembly 2019, Vienna, EGU2019-1912, 8 Apr. 2019.

Yabe, Y., S. Abe, T. Ito, A. Ishida, K. Sugimura, M. Kanematsu, M. Higashi, R. Tadokoro, H. Ogasawara, A. Funato, H. Kato, B. Watson, S. Mngadi, R. Durrheim, G. Hofmann, L. Scheepers, and S. Yoshida (2019), In-situ stress around source faults of seismic events in and beneath South African deep gold mines, Proc. 9th Int. Congr. Deep and High Stress Mining, Symposium Series S98, Southern African Inst. Min. Metal., 399-411, doi:10.36487/ACG\_rep/1952\_30\_Yabe.

Yabe, Y., M. Kanematsu, M. Higashi, R. Tadokoro, S. Yoshida, K. Sugimura, H. Ogasawara, T. Ito, A. Funato, B. Liebenberg, B. Watson, S.B. Mngadi, M.S. Manzi, R.J. Durrheim and ICDP-DSeis team (2019), Stress state in the upper margin of aftershock zone of the 2014 Orkney earthquake (M5.5), South Africa, measured from boring cores of ICDP-DSeis project. AGU Fall meeting, San Francisco, NH11D-0803, 9 December 2019.

Ogasawara, H., A. Ishida, K. Sugimura, Y. Yabe, S. Abe, T. Ito, A. Funato, H. Kato, B. Liebenberg, G. Hofmann, L. Scheepers, R. J. Durrheim, and the SATREPS and DSeis teams (2019), Spatial variation in stress in seismogenic zones in South African gold mines (Keynote paper), Proc. 2019 Rock Dyn. Summit in Okinawa, specialized conf. ISRM, 7-11 May 2019 (eds. O. Aydan, T. Seiki, K. Kamemura, N. Iwata, T. Ito), 39-44, CRC Press.

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

他機関との共同研究の有無 : 無

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東北大学・流体科学研究所

電話 : 022-217-5234

e-mail : takatoshi.ito.c5@tohoku.ac.jp

URL :

( 11 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 伊藤 高敏

所属 : 東北大学・流体科学研究所



( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

玄武岩質およびデイサイト質マグマの噴火準備過程の高精度解明

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

玄武岩質マグマとデイサイト質マグマのような化学組成の異なるマグマは、粘性率・密度などの物性が異なり、噴火に至るまでの準備過程(マグマの注入、蓄積、混合、上昇)が異なることが予想される。本研究では、北海道中央部、大雪火山・御鉢平カルデラのデイサイト質マグマ、北海道東部、雌阿寒岳・阿寒富士の玄武岩質マグマを噴出した2種類の噴火を対象として、岩石学的な検討を用いてマグマ溜まりへのマグマの注入から、噴火に至るまでのタイムスケールを定量化することを目的としている。天然の岩石から得られる多様なデータを基に、高粘性(デイサイト～流紋岩質)マグマばかりでなく低粘性(玄武岩質)マグマの噴火の準備過程を高精度で解明することができ、今後の噴火予知研究への貢献が期待できる。

( 7 ) 令和元年度の成果の概要：

【大雪火山・御鉢平カルデラについて】

山麓および山頂部で地質調査を行い、カルデラ形成噴火の活動履歴を明らかにすることができた。カルデラ形成噴火では、火砕流の発生前に複数回の降下物を堆積させるイベントがあった。岩石学的に検討した結果、どの噴火シーケンスにおいても珪長質マグマと苦鉄質マグマの混合が認められ、珪長質マグマ溜まりに苦鉄質マグマが注入することによって噴火が生じたと考えられる。火砕流堆積物中の軽石に含まれる斜長石の組成累帯構造を解析すると珪長質マグマ溜まりへの苦鉄質マグマの注入は噴火の数100年前から断続的に生じていることも明らかとなった。

【雌阿寒岳・阿寒富士について】

山麓での地質調査の結果、阿寒富士の活動初期堆積物の直下の土壌から約2500年前の14C年代が得られたこと、さらに、その土壌の直下の火山灰のガラス組成が約2500年前のTa-cのガラス組成と一致したことから、噴火活動は2500年前以降に生じたことが明らかとなった。また阿寒富士で最も新しい堆積物の上位にはわずかに土壌を挟み約1000年前のMa-bが堆積していることが分かった。したがって、噴火活動は2500年前以降に開始し、1000年前には終了しており、その間少なくとも17回の降下スコリアを噴出するマグマ噴火が生じたことが明らかとなった。17枚のスコリア層から8層について岩石学的に検討した結果、どの層からもマグマ混合の証拠が認められた。カンラン石のバイモーダルな組成分布から2端成分マグマの混合が示唆され、玄武岩質マグマ同士の混合だったと考えられ

る。また、カンラン石の組成累帯構造からマグマ混合は短時間で行われたと推定できる。大雪山・御鉢平カルデラの噴火と比較すると、混合端成分マグマの化学組成が異なるが、組成の違いによって混合から噴火までのタイムスケールの違いが明らかとなった。また、本研究は計画に沿って実施することができた。

- ( 8 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
- ・佐藤鋭一・和田恵治・南裕介・石塚吉浩・中川光弘・足立佳子、2019、トレンチ調査による雌阿寒岳の噴火史の再検討。日本地球惑星科学連合 2019 年大会, SVC36-P01, 幕張メッセ, 2019 年 5 月 26 日。
  - ・南裕介・中川光弘・佐藤鋭一・和田恵治・石塚吉浩・足立佳子、2019、掘削調査からみた雌阿寒岳ボンマチネシリにおける過去 1000 年間の火山活動史。日本地球惑星科学連合 2019 年大会, SVC36-P02, 幕張メッセ, 2019 年 5 月 26 日。
  - ・佐藤鋭一・和田恵治・南裕介・石塚吉浩・中川光弘、2019、雌阿寒岳, 阿寒富士の噴火活動とマグマ供給系。日本火山学会 2019 年度秋季大会, A2-17, 神戸大学, 2019 年 9 月 26 日。
  - ・安田裕紀・佐藤鋭一・鈴木桂子、2019、古地磁気方位の比較からみた大雪山火山群御鉢平火山の噴火史。日本火山学会 2019 年度秋季大会, B3-17, 神戸大学, 2019 年 9 月 27 日。
  - ・和田恵治・石田滉人・佐藤鋭一・遠藤優磨、2019、雌阿寒岳, 中マチネシリ火砕噴火期 I・II の噴火推移とマグマの変遷。日本火山学会 2019 年度秋季大会, P050, 神戸大学, 2019 年 9 月 26 日。

- ( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

( 代表者名 ) 佐藤 鋭一 大阪府立大学 高等教育推進機構准教授

他機関との共同研究の有無：有

( 分担研究者 ) 安田 裕紀 神戸大学内海域環境教育研究センター研究機関研究員

( 分担研究者 ) 山崎 和仁 神戸大学理学部講師

( 研究補助者 ) 鈴木 晴樹 神戸大学理学部惑星学科学部 4 年生

- ( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：大阪府立大学 高等教育推進機構

電話：072-254-9774 ( 内線: 3898 )

e-mail：esato@las.osakafu-u.ac.jp

URL：

- ( 11 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：佐藤 鋭一

所属：大阪府立大学 高等教育推進機構

- ( 1 ) 実施機関名：  
公募研究
- ( 2 ) 研究課題（または観測項目）名：  
地震先行 VLF 帯電磁波強度減少研究のための超小型衛星のブレッドボードモデル及びエンジニアリングモデルの製作
- ( 3 ) 関連の深い建議の項目：  
2 地震・火山噴火の予測のための研究  
(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測
- ( 4 ) その他関連する建議の項目：  
5 研究を推進するための体制の整備  
(3) 研究基盤の開発・整備  
イ. 観測・解析技術の開発
- ( 5 ) 総合的研究との関連：
- ( 6 ) 令和元年度の計画の概要：  
将来の地震先行現象観測研究を低コストで実現するための超小型衛星の宇宙実証を目的とした地震先行現象検証超小型衛星：Prelude (Precursory electric field observation CubeSat demonstrator) の地上試験モデルの開発研究を実施する。
- ( 7 ) 令和元年度の成果の概要：  
ミッションデザインおよび概念設計に基づき、実現性を確認するためのブレッドモードモデル (BBM) の製作を行ない、目的を達成するには 6U サイズ (10 × 20 × 30cm) の CubeSat で実現可能とわかった ( 図 1 )。DEMETER ( 130 kg ) で得られた成果を超えるミッションを、6U ( 10 kg 程度) の CubeSat で実現できることが確認できた。衛星のブレッドボードモデル ( 新規技術要素を有する開発において、設計の実現性を確認するために高価な宇宙用の部品ではなく、地上の一般用部品や材料を使用して製作・試験されるモデル) の設計・製作はほぼ完了し、エンジニアリングモデル ( 機能・性能・環境試験に供することで設計の妥当性を確認するため、部品等の品質と信頼性を除いて打上げ実機とほぼ同一仕様を有するモデル) の製作に着手した。
- ( 8 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 )：  
児玉哲哉, S-Booster2018 参加報告, 日本地球惑星科学連合大会 (2019)  
鴨川 仁, 児玉 哲哉, 長尾 年恭, DEMETER 衛星によって検知された地震先行的 VLF 強度現象時の ELF 帯電波強度について, 日本地球惑星科学連合大会 (2019)  
児玉 哲哉, 山崎政彦, 鴨川 仁, 地震先行現象検証超小型衛星：Prelude の現状, 第 16 回宇宙環境シンポジウム, 東京都市大学, (2019)
- ( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

児玉 哲哉 宇宙航空研究開発機構主任開発員  
他機関との共同研究の有無：有  
山崎 政彦 日本大学助教  
前後 大河 日本大学大学院生  
前田 賢人 日本大学大学院生  
二又 領 日本大学大学院生  
鴨川 仁 静岡県立大学特任准教授

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：宇宙航空研究開発機構 研究開発部門 第一研究ユニット  
電話：050-3362-7257  
e-mail：kodama.tetsuya@jaxa.jp  
URL：

( 11 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：児玉 哲哉  
所属：宇宙航空研究開発機構 研究開発部門 第一研究ユニット

( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

行政等が所有する宏観異常現象に関わるデータを用いた地震発生の確率予測

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

地震前の動物異常行動や地下水異常などの宏観異常現象の研究は、示される時系列データが短すぎることなどから批判されることがある。本研究ではこうした批判に耐え得る長期的な時系列データを見出し、それを用いて地震発生の確率予測を行い、その宏観異常現象が災害軽減に役立つ情報になり得るかを検証する。

( 7 ) 令和元年度の成果の概要：

鯨類ストランディングデータについては、国立科学博物館がホームページ上で公開しているデータが日本鯨類研究所のようにエクセル形式で一括ダウンロードできるものではなかった。1日ごとにコピー＆ペーストをする必要があり、本年度はマス・ストランディングについて、1886年から2016年までの377件のデータをそろえた。深海魚については、投稿中だった論文が2019年6月アメリカ地震学会の学会誌“Bulletin of the Seismological Society of America”に掲載された。本論文は日本の複数のメディアで紹介されたばかりでなく、アメリカ科学振興協会(AAAS)が提供するオンラインニュースにも掲載された([https://www.eurekalert.org/pub\\_releases/2019-06/ssoa-aod061819.php](https://www.eurekalert.org/pub_releases/2019-06/ssoa-aod061819.php))。また、2019年12月にインドネシアでリュウグウノツカイが獲れ、地震発生をおそれる声がSNS上で広まった。インドネシア当局がこのうわさの火消しとして本論文を根拠としたことでテレビ朝日から取材を受け、深海魚と地震について解説した。また、一般向けの科学雑誌である『地震ジャーナル』に「深海魚と地震」のタイトルで寄稿した。

宮城県が所有する宮城県沿岸と沖での海水温と塩分の定点観測に関する報告書(紙ベース)のデジタル化作業は2020年1月末時点で、大島・江の島・田代島の3地点における毎日2回の海水温と塩分濃度が1972年4月1日から1974年3月31日まで、年10回実施される地先(沿岸定線)定線調査(18地点)の水温及び塩分濃度データが1972年、1973年各10回分と1974年の第1回まで、年45回実施される沖合定線調査(21地点)の水温及び塩分濃度データが1972年と1973年の全回が終了した。

地下水については、紙媒体からのデジタル化が終了している「なまずの会」による地下水データと地震との関連を調べた。「なまずの会」は神奈川県温泉地学研究所が中心となって1976年に設立された

アマチュア研究グループである。Oki and Hiraga (1988) では「なまずの会」の成果を報告しているが、おもに先行異常があった地震についての報告であった。地下水に限らず地震に先行する何らかの異常現象と地震との関連を考察する場合、1) 異常あり・地震ありだけでなく、2) 異常あり・地震なし、3) 異常なし・地震あり、4) 異常なし・地震なしの4パターンを調べる必要がある。「なまずの会」による観測データは、年に数回発行されていた「観測だより」のなかに、全観測点の日ごとのデータが地下水位観測星取表として残っている(神奈川県温泉地学研究所, 1977~1987)。本研究ではこの地下水位観測星取表をデジタル化し、上記4パターンに関する検証を行った。観測だよりに掲載された地下水位観測星取表は1977年2月1日から1987年3月31日までの計3710日間で、参加者はのべ234の個人または団体であった。このなかから、季節変動の可能性を考慮できるような観測日数が730日未満(2年未満)のものを除外し、さらに、観測場所が都道府県単位でしかわからないものを除いたところ観測点は全部で137となった(Fig. 1)。また、対象とする地震は上記の期間中に発生したマグニチュード(M)6.0以上(100km以浅)とした(余震は除く)。次に、マグニチュードが大きくなれば、より遠くまで異常が出現する可能性を考慮し、M6.0以上M6.5未満で震源から半径100km、M6.5以上M7.0未満で半径150km、M7.0以上M7.5未満で半径200km、M7.5以上M8.0未満で半径250km以内に稼働する観測点がなかった地震も除外した。対象となる地震は全部で18個となった(Table 1)。また、2日以上連続して異常が出現しているときに対象地震が発生、または地震前日まで異常が2日以上連続していた場合、その連続日数をアタリ日としてカウントした。一方、地震2日前までの異常はハズレとした。さらに、地震発生翌日から3日間の異常は、コサイスマック変化の影響を考慮して異常日から除外した(ただし、観測日数には含める)。その結果、異常日なし&対象地震ありが55観測点、異常日あり&対象地震あり&アタリなしが38観測点、異常日あり&対象地震あり&アタリありが39観測点となった。異常日も対象地震もなかった5観測点を除外し、地震前に異常がみられた観測点は29.5%(39/132)となった。次に、異常と地震との関連の確からしさを検証する指標として、これら39観測点について、1) EOR (Earthquake Occurrence Rate)、2) AAR (Anomaly Appearance Rate)、3) AF (Alarm Fraction)、4) PG (Probability Gain)、5) p-value を調べた。1) EOR=(地震を伴った異常日数)/(全異常日数)、2) AAR は観測点ごとに対象となる地震について、AAR =(異常が事前にあった地震数)/(全地震数)である。3) AF は一般的には予測対象の全時空間(欠測等で判定不可能となった時空間は除く)のうち、警報ON(異常あり)とされた時空間の占める割合であるが、簡単のため本研究では、AF =(全異常日数)/(全観測日数)とした。また、PG は大地震の発生確率が基準にくらべて何倍高くなるかを示しており、PG =AAR/AF で示すことができる。p-value は二項分布から異常ありの地震数以上のアタリ確率として計算した。そして、AAR 50% & EOR 50% & PG 20 & p-value < 5% を好成績観測点とした場合、39観測点のうち6観測点(15.4%)が好成績となった(Table 2)。

他の宏観異常現象については、2019年6月18日に発生した山形県沖の地震(M6.7, 最大震度6強)に関連して、6月21日の朝に秋田魁新報社と共同通信社が「地震雲? 18日夕方に目撃情報 太い棒状の雲、由利本荘市で」といったタイトルのWeb news記事を配信したことから、この地震に関する「地震雲」の調査を行った。具体的には、地震発生前にTwitter上で地震雲は騒がれていたのか?を探るため、Yahoo!リアルタイム検索(<https://search.yahoo.co.jp/realtime>)を用いて、「地震雲」のキーワードでこのサービスの過去ログを検索した。その結果、ツイート数は地震当日が最も多かった(Fig. 2)。また、これを見ると地震2日前からツイート数が急増しているが、ツイートされていた雲の大半は秋田県由利本荘市の雲ではなく福岡県の雲だった。

- (8) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Orihara, Y., M. Kamogawa, Y. Noda, and T. Nagao, 2019, Is Japanese folklore concerning deep-sea fish appearance a real precursor of earthquakes?, Bull. Seismol. Soc. Am., <https://doi.org/10.1785/0120190014>.
- 織原義明, 2019, 2019年6月18日山形県沖の地震前後の地震雲発生のうわさから考える Twitter ユーザーの科学リテラシー, 東海大学海洋研究所研究報告, 41, 16-31. 織原義明・鴨川仁・長尾年恭, 2019, なまずの会による地下水異常と地震との関係についての再調査, 日本地球惑星科学連

合 2019 年大会予稿集, MIS22-04. 織原義明, 2019, 2019 年 6 月 18 日 形県沖の地震前後の地震雲に関する「つぶやき」から考えるツイッターユーザーの科学リテラシー, 日本地震学会講演予稿集 2019 年度秋季大会, S24-11. 織原義明・長尾年恭, 2019, アマチュア研究グループ“なまずの会”による地下?異常と地震との関係についての再調査, 日本地震学会講演予稿集 2019 年度秋季大会, S14-04. 織原義明, 2019, 地震予知を目指したアマチュア研究グループによる地下水データの再検証, 日本地震予知学会第 6 回学術講演会アブストラクト集, No.19-02. 織原義明, 2019, 深海魚と地震, 地震ジャーナル, 68, 40-43.

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

他機関との共同研究の有無 : 無

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東海大学海洋研究所

電話 : 054-334-0411 ( 代表 )

e-mail : orihara@tsc.u-tokai.ac.jp

URL :

( 11 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 織原 義明

所属 : 東海大学海洋研究所



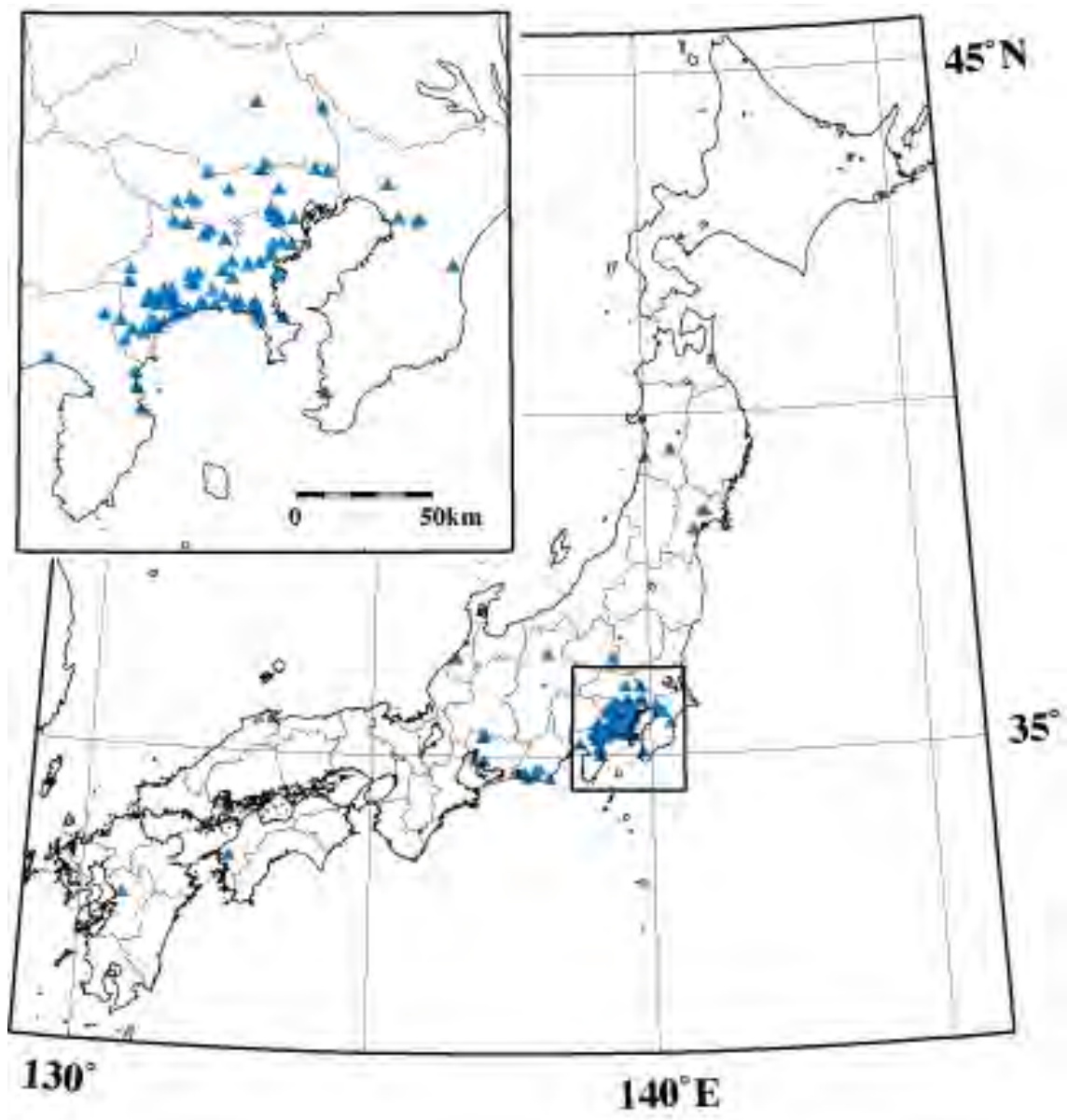


Fig.1 Distribution of 137 groundwater observation stations.

Y/M/D	Site	Lon.	Lat.	depth(km)	Mag.	異常あり
1978/1/14	伊豆大島近海	139.250	34.767	0.0	7.0	○
1978/2/20	宮城県沖	142.200	38.750	50.0	6.7	○
1978/6/12	宮城県沖	142.167	38.150	40.0	7.4	○
1979/7/13	山口県南東沿岸	132.050	33.850	70.0	6.0	○
1980/6/29	伊豆東方	139.233	34.917	10.0	6.7	○
1980/9/25	千葉県中部	140.217	35.517	80.0	6.0	○
1981/1/19	宮城県沖	142.967	38.600	0.0	7.0	×
1982/7/23	茨城県沖	141.950	36.183	30.0	7.0	×
1983/2/27	茨城県南部	140.152	35.940	72.0	6.0	○
1983/5/26	日本海中部	139.073	40.360	14.0	7.7	○
1983/8/8	神奈川・山梨県境	139.022	35.522	22.0	6.0	○
1984/8/7	日向灘	132.153	32.383	33.0	7.1	×
1984/9/14	長野県西部	137.557	35.825	2.0	6.8	○
1985/10/4	茨城県南部	140.155	35.872	78.4	6.0	×
1986/6/24	房総半島南東沖	140.717	34.827	73.3	6.4	×
1986/11/22	伊豆大島南東沖	139.522	34.550	15.1	6.0	×
1986/12/1	岩手南部沖	142.137	38.875	50.8	6.0	×
1987/1/9	岩手県沿岸	141.777	39.837	71.6	6.6	×

Table 1 List of 18 earthquakes.

Station	AAR(%)	EOR(%)	PG	p-value(%)
AKT01	100.0	57.1	528.7	0.2
MYG03	100.0	64.8	39.4	0.1
KNG24	100.0	90.9	75.6	1.3
KNG25	100.0	50.0	61.4	1.5
ACH03	100.0	56.3	45.9	2.0
NGN01	100.0	71.7	69.1	1.4

Table 2 List of AAR, EOR, PG and p-value of 6 stations.

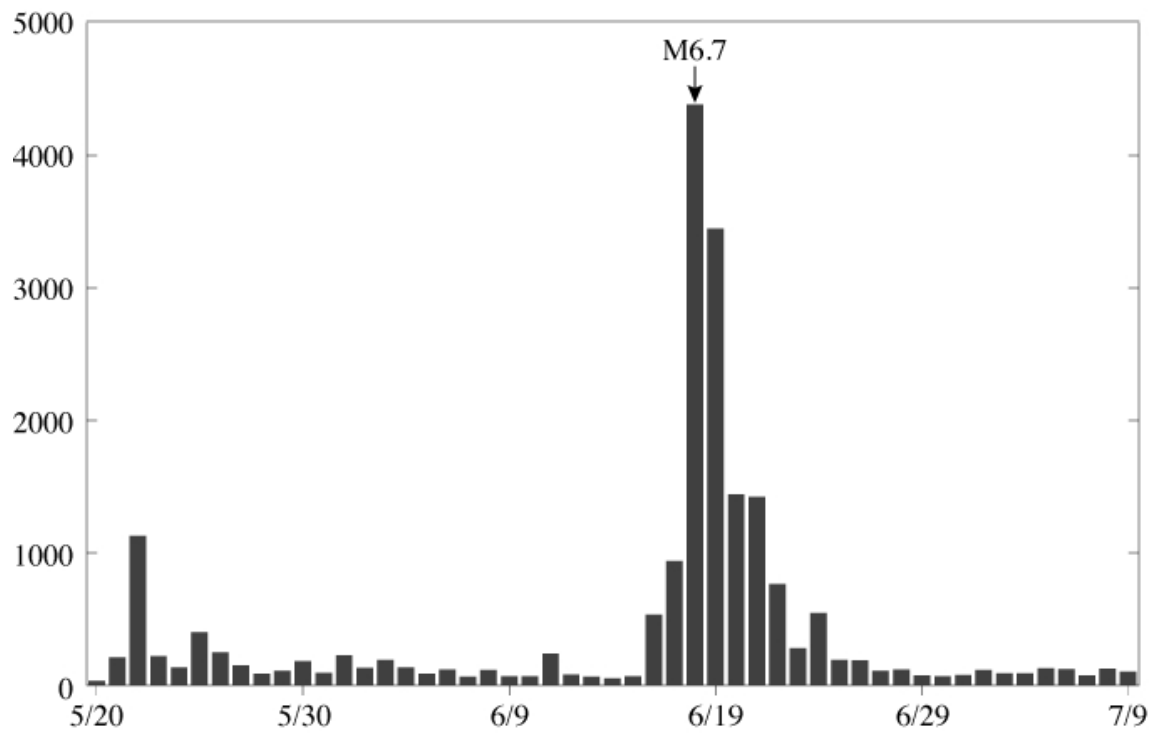


Fig.2 The number of tweets of “ earthquake clouds ”.

( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震先行 VLF 帯電磁波強度減少の発生メカニズムの解明

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

過去の公募研究で複数の成果が得られたが、学術論文出版化に向けては若干課題が残されている。本年度では成果の出版化に向けて課題を解決していく。

1 ) CSES 衛星を用いた同一解析

現在は、DEMETER 衛星を用いて研究をしているが、得られた先行現象とみられる電波強度減少が統計的には顕著とはいえず、微小量であるため、他衛星の同種の観測で同一の結果が、得られる必要がある。2018 年 2 月に中国版 DEMETER というべき CSES が打ち上げられ、運用されている。

搭載測定機器は DEMETER の上位互換というべきものであるが、大きな違いとして衛星高度( DEMETER 680 km, CSES 550 km ) や周回する衛星が元の場所に戻ってくる回帰日数( DEMETER 16 日, CSES 5 日 ) 観測地方時( DEMETER 10:30, 22:30, CSES 14:00 2:00 ) がある。

この違いは図結果に大きな影響を与えるとは考えにくいいため、同一の結果が得られる必要がある。

2 ) 先行研究解析手法の改善

先行研究の Nemeč らの計算 (Nemeč et al., GRL, 2008) では解析事例数の確保のために思い切った統計的な仮定をしている。

本年度では、先行研究で用いている仮定を最小限にした手法で解析を行う。

### 3) 機械学習による先行現象検知

DEMETER 衛星の全時系列データを用いて、予知率と適中率を前年度の公募研究で求めた。

その結果、現象と地震とに因果性が見られたものの、適中率が、先行現象の判定条件のパラメータチューニングしても最大 0.05% 程度であり、予知率数%と比較すると非常に小さい。

そのため、本研究の改善とは別に、機械学習による先行現象検知を開始する。

## (7) 令和元年度の成果の概要：

本年度は、3つの項目を行った。

### 1) CSES 衛星データを用いた解析 (図 1)

中国の CSES 衛星 (2018/2 打ち上げ、現在運用中) は、地震先行現象検知衛星 DEMETER (2004-2010 運用) の上位互換といっても良い衛星である。2 衛星の相違は、太陽同期軌道における地方時と軌道高度が DEMETER、CES の場合それぞれ、10:30 と 660 km、14:00 と 500 km と若干ある。しかし先行研究で報告されている先行現象とみられる現象は、本公募研究の成果として夜間 D 領域の電子密度の上昇が起因ということがわかっており、この 2 つの衛星の相違によって成果が変わることは少ないと予想される。したがって、CSES 衛星のデータを用いて DEMETER と同一データ解析を行い、同種の結果が結果が得られるか確認を行うことで、先行研究の信頼性が増す。その観点から、本報告の直前において提供が可能となっている 2018 年 7 月から 8 月の 1 ヶ月のみのデータを用いて、DEMETER の解析と同一解析ができる環境を整えた。現時点では、観測値を用いた経験モデルを構築することができた。限られたデータ数の範囲ではあるが経験モデルの成果から測定を評価すると観測値は DEMETER の成果とも矛盾などはないため妥当と判断できる。

### 2) DEMETER 衛星データの再解析 (図 2)

先行研究 (Nemeč et al, GRL, 2008) の地震-先行現象の解析手法では、時空間解析領域における地震数のばらつきを整えるために多数の仮定を設定していた。その仮定によって成果が異なる可能性があったため、本研究ではこのばらつきを無くすための別手法にて解析を行い、類似した成果は得られ、過去の手法も問題点は解決した。

### 3) DEMETER 衛星バーストモードデータを用いた機械学習による先行現象検知の試み

DEMETER 衛星には、地震活動が活発な領域 (環太平洋など) のみ波形データと呼ばれる高サンプリングデータ (バーストモードと呼ぶ) データを取得している。そのデータには、対流圏で発生した雷放電を 1 つ 1 つ識別できるほどになっており、このデータを用いることで地震先行電離圏 D 領域電子密度上昇を検知できるか機械学習で判別を試みた。初期段階としてインドネシア領域のバーストモードデータ 3000 軌道を学習させ、地震先行現象が見られていると先行研究から確認されている軌道 1 つを識別できるか数値実験を行った。現段階では、解析におけるパラメータを調整中である。

## (8) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) : 現在論文執筆中のため、該当なし。

## (9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

(代表者名) 鴨川 仁 静岡県立大学グローバル地域センター特任准教授

他機関との共同研究の有無：有

児玉 哲哉 宇宙航空研究開発機構研究開発部門第一研究ユニット主任研究員

城和 貴 奈良女子大学理学部教授

石通 彩加 奈良女子大学大学院人間文化研究科博士前期課程 2 年

金井 龍一 ユニヴァーシティ・カレッジ・ロンドン数理科学物理学部博士 1 年

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：静岡県立大学グローバル地域センター  
電話：042-329-7484  
e-mail：kamogawa@u-shizuoka-ken.ac.jp  
URL：

( 11 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者  
氏名：鴨川 仁  
所属：静岡県立大学グローバル地域センター

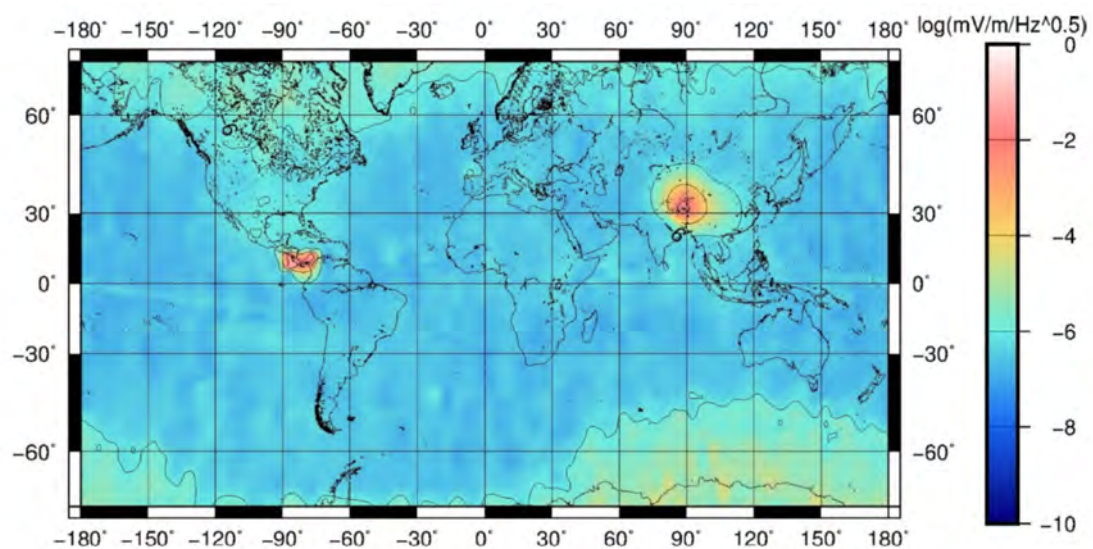


図 1 CSES 電場スペクトルデータを用いた経験モデル図

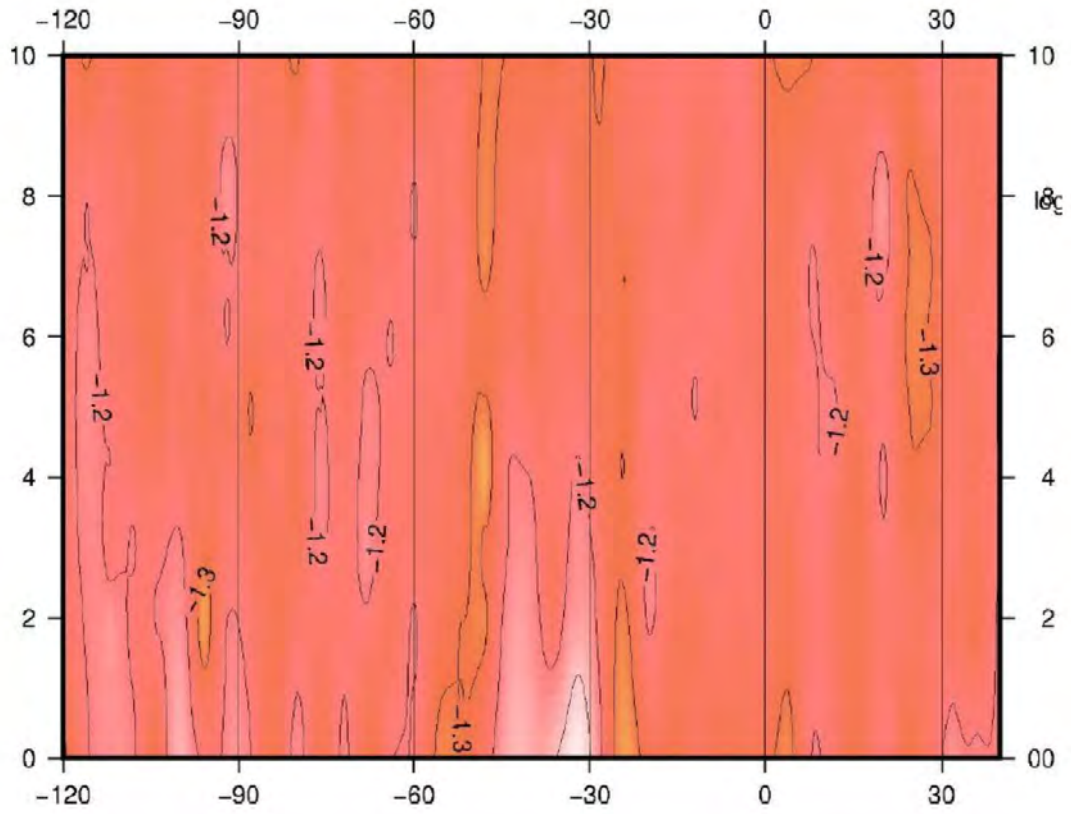


図 2 DEMETER 電場スペクトルデータ (サーベイデータ) を用いた時間重畳法解析。横軸は地震発生からの時間。縦軸は解析半径番号を示す。番号 1 は半径 350 km の円。番号 2 は半径 350km の円と同面積となるようなドーナツ状円で内円は番号 1 の円の直径。



( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

北海道摩周火山の噴火履歴とマグマ供給系の変遷

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

今年度は摩周火山の噴火史を詳細に解明する最終年度としたい。また噴出物の物質化学的解析を通して、摩周火山のマグマの性質やマグマ溜まりの物理化学状態、その変化過程について明らかにすることを目的とする。

1. 摩周火山の過去4万年の噴火履歴とマグマ供給系の変遷の解明

摩周火山は屈斜路カルデラの東壁上に噴出した後カルデラ火山である(Katsui et al., 1975)。約7500年前に起こったプリニー式噴火と火砕流噴火によって生成した直径6x7 kmのカルデラをもつ。摩周火山は約4万年前に活動を開始後、プリニー式噴火を主とした大噴火を周期的に行ってきた(隅田、1990; 長谷川ほか、2009; 岸本ほか、2009)。本研究の成果である過去14000年間のマグマ噴出量の積算変化図を見ると、噴出量が多い3つの噴火イベントが約7000年の間隔で起こった(Ma-l: 14000年前、Ma-f~j: カルデラ形成7500年前、Ma-b: 1000年前)。カルデラ形成後は溶岩の噴出や爆発的な噴火を数百年程度以下の間隔で繰り返した。約4000年前にカムイヌプリ中央火口丘が形成されてからは後カルデラ期で最も長い休止期間(約1500年)を経てMa-cの断続的な噴火が起こった。後カルデラ期を通じた噴火履歴の特性から考えると、1000年前の最新噴火(Ma-b)から1000年の休止期間を経た現在は、マグマ蓄積の準備が整って新たな噴火イベントが始まる時期にあると言える。

約7500年前のカルデラ形成期においては石質岩片の種類の変化や鉱物組成の変化から複数のマグマ溜まりからの同時噴火の可能性が指摘された(和田ほか、2017)。全岩化学組成のTiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O図で見ると、カルデラ形成を引き起こしたマグマは、後カルデラ期と約14000年前のMa-l期のマグマとは異なる組成領域にあって、約7500年前の時期だけマグマ供給系が異なっていたことが推定される。岩石記載と鉱物組成、鉱物温度計、MELTSプログラムから、カルデラ形成期前後、後カルデラ期のマグマ溜まりの温度や深さ、水分量を推定してマグマ供給系の変遷について考察していく。

摩周火山の過去4万年間の全噴火履歴を本研究で明らかにすることによって、噴火頻度の中長期的な規則性、マグマ蓄積との関係、爆発的噴火の準備過程の理解が進むことが期待できる。

## 2. 摩周火山の火山ハザードマップ作成

高頻度の爆発的噴火履歴を示す摩周火山であるが、気象庁の常時観測火山に指定されていない。火山ハザードマップもできていない。

過去の噴火履歴からは千年～二千年間の休止期の間にはマグマが蓄積されて次なる爆発的噴火の準備がなされていると予想される。このことを考えると、さらなる詳細な調査・研究によって、爆発的噴火の準備過程としてマグマ溜まりに蓄積されるマグマ量の時間的規則性が地質学的及び岩石学的手法によって推定されれば、摩周火山の最新噴火である約1000年前に起こったプリニー式噴火後、噴気活動もなく静穏な状態が続いている現在の摩周火山の中長期的な噴火予測に本研究が大いに役立つと考える。

本研究では最大規模の噴火実績を防災マップに正しく示し、爆発的噴火が高頻度で繰り返される摩周火山のハザードマップを新しく作成する。

## 3. 研究計画・方法

噴火史初期～中期(4万年前～1万4千年前)のテフラも含めて補足的な調査を根釧平野・斜里平野で実施し、テフラの分布や噴出量の見積もりを行う。摩周カルデラ形成期の詳細な噴火推移を編むためにMa-jからMa-fの噴出物層序の精密調査・試料採取を重点的に行う。層序の対比や噴火推移をまとめて調査研究を完結する。

カルデラ形成期噴出物中の岩片について成分割合や量的変化を調べる。特に軽石組織・ガラス包有物・鉱物のCSDに注目する。ガラス包有物中のH<sub>2</sub>O量をFTIR及びラマン分光によって分析する。EPMAを用いて斜長石と磁鉄鉱の中心部から外側への化学組成変化を重点的に分析し、マグマ供給系の時間変化を推定する。XRFを用いて摩周火山の噴出物の化学組成分析を行う。全岩組成と石基ガラスおよびガラス包有物組成を用いてMELTSプログラム・ソフトウェアで圧力-温度-H<sub>2</sub>O-酸素フィガシティをシミュレートし、斑晶鉱物組合せ・組成・温度の適合条件を見出す。

MELTSによる結果、元素拡散モデルによる鉱物の累帯構造解析結果も合わせ、マグマ溜り・火道・噴火に至るマグマプロセスを明らかにするとともに、カルデラ形成期における噴火推移の結果や中長期の噴火履歴と対応させ、マグマ溜りの構造など摩周火山の具体的なマグマ供給系とその変遷過程の解明につなげていく。

## (7) 令和元年度の成果の概要：

### 摩周火山の形成史概要

本研究では、長谷川他(2009)による14000年以前の摩周火山の層序を基に摩周火山の地形発達史の復元を試みた。3.5万年前から1.7万年前の時期を摩周火山古期、1.7万年前から現在までの時期を摩周火山新期と呼んでステージ分けした。古期は3.5～2.7万年前の古期カルデラ形成期、2.7～1.7万年前の後古期カルデラ・西別岳形成期に2分した。新期は従来通り、成層火山形成期、カルデラ形成期、後カルデラ形成期と3分する。古期火山は主に2つの火山体(古期カルデラと西別岳成層火山)として成長したと考えた。

### 摩周火山新期の発達史

新期の1.7～1.4万年前には3つの火山体が集合した成層火山をなしていた。約7500年前のカルデラ形成期ではMa-gの軽石噴火から火口の位置が変わり、続いてMa-fの火砕流噴火で現在のカルデラが生じた。マグマシステムが約7500年前の時期だけ異なっていたことが推定された。カルデラ形成後、約6000年前にカルデラ中央部にカムイシュ島溶岩ドームが形成した。約5.5～3.8千年前に安山岩溶岩と火砕丘が形成された。1500年間の休止期を経て約2.5千年前以降に水蒸気(+マグマ)爆発(Ma-c)が断続し、溶岩主体のカムイヌプリ山体が形成した。そして1000年前の軽石噴火(Ma-b)が連続して起こり、山頂に直径1.3x1.5kmの火口が生じた。

### 摩周火山のマグマ供給系

MELTSプログラムと鉱物温度計から推定すると、斑晶鉱物(斜長石-直方輝石-普通輝石-鉄チタン酸化物)が平衡に存在できる過去7500年間の摩周火山の珪長質マグマ溜まりは、圧力4～5kb、H<sub>2</sub>O4～

5%, 温度 930 ~ 970 の条件が最も適合するが, 14000 年前では普通輝石と斜長石の組成が MELTS モデルと一致しないため, マグマ溜まりシステムを構築できなかった。

- ( 8 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので, 令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
- 和田恵治・佐藤鋭一・佐野恭平・岡田侑也, 2019, 摩周火山, 過去 14000 年間におけるマグマ供給系の変遷. 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, SVC36-P03, 幕張メッセ, 2019 年 5 月 26 日.
  - 和田恵治, 2019, 北海道, 摩周カルデラ火山の噴火史と地形発達. 日本第四紀学会 2019 年大会, 銚子, 2019 年 8 月 23 日.
  - 佐野恭平・佐藤鋭一・和田 恵治・壺井基裕・中岡礼奈, 2019, 顕微ラマン分光・顕微赤外分光法に基づく高粘性マグマの開放系脱ガス・酸化組織形成過程. 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, SVC36-P09, 幕張メッセ, 2019 年 5 月 26 日.
  - 佐野恭平・佐藤 鋭一・和田 恵治・壺井 基裕・中岡 礼奈, 2019, マイクロライト組織の解析に基づく高粘性マグマ噴火の酸化組織形成過程. 日本火山学会 2019 年秋季大会, 神戸, 2019 年 9 月 26 日

- ( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

( 代表者名 ) 和田 恵治 北海道教育大学旭川校教授

( 協力研究者 ) 藤丸 航 北海道教育大学旭川校大学院修士課程

他機関との共同研究の有無: 有

( 分担研究者 ) 佐野 恭平 兵庫県立大学助教

- ( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 北海道教育大学旭川校・地学研究室

電話: 0166-59-1315

e-mail: wada.keiji@a.hokkyodai.ac.jp

URL:

- ( 11 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 和田 恵治

所属: 北海道教育大学旭川校・地学研究室

( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

マグマ起源物質の地球化学的モニタリングによる火山性流体挙動解明および火山活動評価

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

火山噴火はマグマの脱ガス，あるいは脱ガスした高温気体の熱水への注入で発生する．活火山周辺の地表で放出される火山ガス，火口湖水，温泉水にはマグマから脱ガスした物質が含まれている．よって火山ガス，火口湖水，温泉水を詳しく調べることは，特に水蒸気噴火が予想される火山において，火山活動を推定する最も直接的な方法と言える．

本研究では，近い将来水蒸気噴火が予想される火山をターゲットとし，繰り返し火山ガス，火口湖水，温泉水を採取し，その化学組成および同位体比を詳細に測定し，時間変化を捉える．火山性地震震源分布，火山性地震発生回数，地殻内膨張圧力源，比抵抗構造，地震波トモグラフィー，SARによる地表面変位，熱消磁領域等の地球物理学的データを踏まえ，得られた地球化学的データを説明する最適なマグマ熱水系モデルを考案し，火山内部の火山性流体挙動を解明する．さらに，得られたモデルに基づき，今後の火山活動を推定する．

( 7 ) 令和元年度の成果の概要：

箱根山の中央火口丘に発達する地熱地帯である大涌谷と上湯場で，自然に放出している噴気(それぞれを n, s とする)を毎月採取・分析し，以下の成果を得た．これらは，当初予定していた計画と一致している．

1．CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S 比の時間変動(図1を参照)

噴気 n では CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S 比が 2019 年 1 月から上昇を開始し，同年 9 月にピークに達し，年末にかけて低下した．その過程で，5 月中旬に火山性地震が頻発し，噴火警戒レベルは 1 から 2 に引き上げられた．噴気 s で CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S 比は 2019 年 2 月から 4 月にかけて一度低下したが，5 月から上昇し，噴気 n と同様に同年 9 月にピークに達した後，年末にかけて低下した．

2．He/CH<sub>4</sub> 比(図2を参照)

噴気 n では He/CH<sub>4</sub> 比が 2019 年 4 月から上昇を開始し，同年 8 月にピークに達し，年末にかけて低下した．噴気 s では He/CH<sub>4</sub> 比が 2019 年 3 月から上昇を開始し，同年 8 月にピークに達し，年末にかけて低下した．He/CH<sub>4</sub> 比のピークが CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S 比のピークよりも約一か月早いことは注目に値する．火山活動の推移，特に沈静化の判断は，活火山を抱える観光地の各方面から強く期待されている．

3．N<sub>2</sub>/He 比(図3を参照)

噴気 n では、2019 年 1 月に例外的に高い値を示した。N<sub>2</sub> は大気に由来する成分であり、噴気に N<sub>2</sub> が増加することは、浅部熱水系の流体圧が低下し、通気帯を通じ、大気の混入が発生したことを示唆している。2015 年の 4 月末から始まった群発地震の直前にも N<sub>2</sub>/He 比の上昇が観測されており、マグマシーリングによるマグマ起源ガスの浅部熱水系に対する流量の低下が原因として考えられている。2019 年 1 月にも小規模であるが、マグマシーリングが発生し、それに引き続くマグマ起源ガスの浅部熱水系に対する流量増加が 2019 年 5～8 月の火山性地震の群発をもたらしたと考えられる。

- ( 8 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Takeshi OHBA, Muga YAGUCHI, Kana NISHINO, Nozomi NUMANAMI, Yasushi DAITA, Chiho SUKIGARA, Masanori ITO, Urumu TSUNOGAI “ Time variations in the chemical and isotopic composition of fumarolic gases at Hakone volcano over the earthquake swarm and eruption in 2015, interpreted by magma sealing model ” Earth, Planets and Space (2019) 71:48, <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1027-5>
- ( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
他機関との共同研究の有無：無
- ( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：東海大学・理学部  
電話：0463-58-1211  
e-mail：takeshi\_ohba@tokai-u.jp  
URL：
- ( 11 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者  
氏名：大場 武  
所属：東海大学・理学部

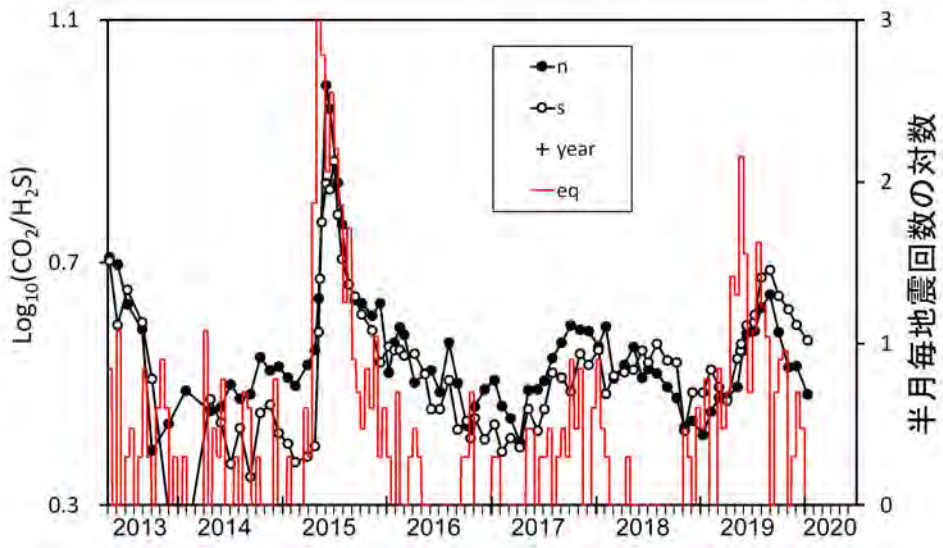


図1. 箱根山火山ガスの組成変動(地震回数は気象庁の観測に基づく)

図1 . CO2/H2S 比の時間変動

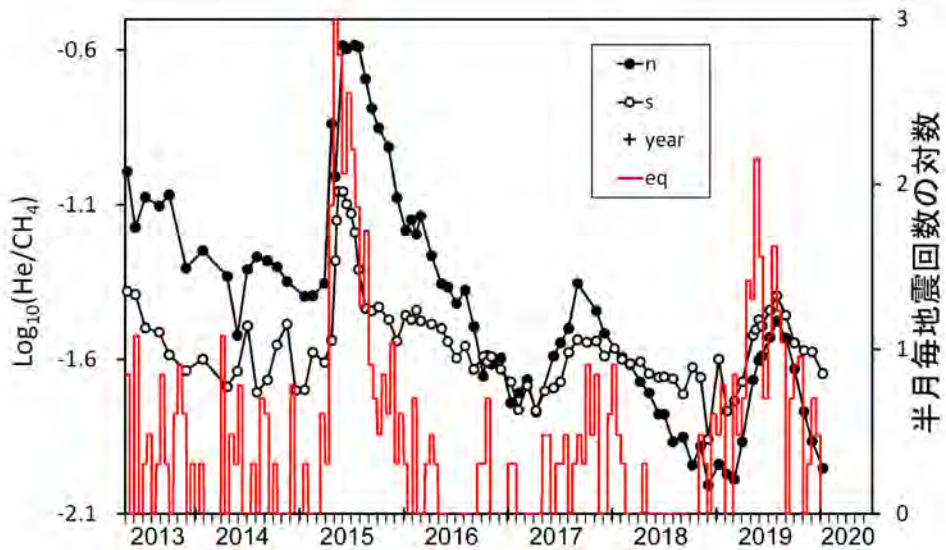


図2. 箱根山火山ガスの組成変動(地震回数は気象庁の観測に基づく)

図2 . He/CH4 比の時間変動

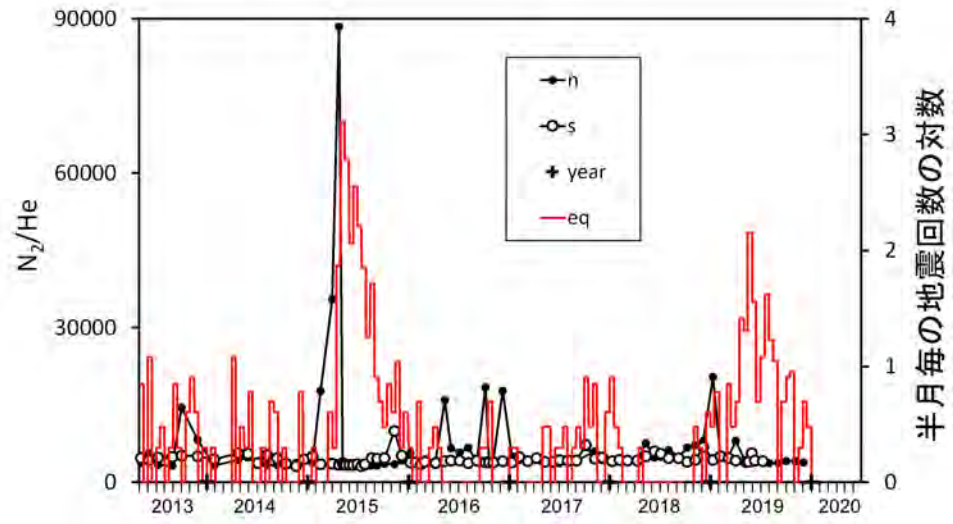


図3. 箱根山火山ガスの組成変動(地震回数は気象庁の観測に基づく)

図3 .  $N_2/He$  比の時間変動

( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

火山ガス観測による焼岳火山の活動評価とガス輸送システムの解明

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

1963年噴火以降静穏な状況が継続している焼岳は、活発な噴気活動の続く噴火の可能性の高い活火山である。本研究では噴気の物理・化学的観測を行い、現在の活動について評価するとともに、マグマ溜まりから地表までのガス輸送システムについて考察することで、山体内部のマグマ-熱水系を推定する。

( 7 ) 令和元年度の成果の概要：

2019年は7月末から10月半ばにかけて、2017年以来2年ぶりに空振を伴う火山性地震がたびたび観測されたため、山頂部での変化を調べるための現地観測を定期的に行った。その関係もあり、これまで定期的に噴気を採取していた山頂南噴気孔からの噴気採取は1回にとどまった。昨年度はじめて噴気を採取した山頂北部の1962-63火口からも噴気を1回採取した。山頂南の噴気は昨年度と比べて約10度温度が低下し、噴気の勢いも衰えが認められるものの、化学組成・水の同位体組成にはほとんど変化はなく、 $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ は低い $\text{He}$ に富み、水の同位体組成もマグマ性流体の高い寄与を示した。1962-63火口の噴気も昨年度と同様な特徴を示した。

現地観測の結果、山頂の北西に位置する黒谷火口で大きな地形の変化と新たな噴気活動を認めた。空振を伴う火山性地震の発生に伴い、火口壁が大きく崩壊し、2017年8月と比較して約60m火口底が



上昇した。11月の調査では火口東壁から活発な噴気の放出が確認され、噴気孔の周囲には新たに硫黄が析出していたことからSO<sub>2</sub>の放出量がそれ以前と比べて増加している可能性がある。また黒谷火口の南方250mの斜面上に新たな噴気帯が出現した。これらの活動は山頂の北西側に集中しており、山頂南や1962-63火口の噴気に影響を与えてはいないが、今後の推移を注視する必要があると考える。

- (8) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
齋藤武士・澤村俊・網田和宏・三島壮智・大沢信二，焼岳火山の山頂と1962-63年火口の噴気の化学・同位体組成．日本地球惑星科学連合2019年大会，SVC38-P12，2019．  
信州大学・理学部，焼岳黒谷火口の地形変化と周辺の噴気活動．第145回火山噴火予知連絡会資料(その4)，129-132，2019．

- (9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
(代表者名) 齋藤 武士 信州大学学術研究院理学系准教授  
他機関との共同研究の有無：有  
大見 士朗 京都大学防災研究所准教授

- (10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：信州大学 学術研究院理学系  
電話：0263-37-2484  
e-mail：saito@shinshu-u.ac.jp  
URL：

- (11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者  
氏名：齋藤 武士  
所属：信州大学 学術研究院理学系

( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

北海道摩周周辺における火山熱水活動の地球化学的調査

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

年度内に 1 回以上摩周付近での野外調査を行うことで、温泉の遊離ガスやアトサヌプリの噴気を採取し、化学組成やヘリウム・アルゴン・炭素・窒素等の揮発性元素の同位体組成を分析する。そして平成 30 年度公募研究課題「北海道摩周における火山活動の化学的調査」(代表者：鹿児島渉悟)で得られた遊離ガス・噴気のデータや、摩周湖の観測結果( Igarashi et al., 1992, EPSL; Kagoshima et al., 2018, Goldschmidt Abstracts )などとの比較を行うことで、現在の摩周周辺における火山活動度について推定を行う。また、胆振周辺の温泉水を分析することで北海道胆振東部地震に伴う温泉水組成の変化を観測し、地震活動が摩周の火山活動と化学データに与える影響を評価する。

( 7 ) 令和元年度の成果の概要：

2019 年 11 月に摩周周辺のアトサヌプリや和琴温泉でガス試料を採取し、北海道胆振東部地震の震源周辺の水試料を獲得した。また、平成 30 年度公募研究課題「北海道摩周における火山活動の化学的調査」(以下、「昨年度研究課題」と表記)で獲得した試料等に含まれる揮発性元素の濃度・同位体組成の分析を進めて、当該地域におけるデータを収集した。昨年度研究課題において、アトサヌプリ・和琴温泉で 2017 年から 2018 年にかけて採取された試料に含まれる大気成分を補正したヘリウム同位体比( $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比)はほぼ等しく、2017 年に摩周湖の底層で観測された火山性成分を含むと考えられる流体(Kagoshima et al., 2019, Goldschmidt Abstracts)や、Rouilleau et al. (2015, Chemical Geology)が報告した十勝岳や雌阿寒岳における噴気に近い値を持つことを確認した。今年度は他の項目について分析を進め、アトサヌプリ噴気の主成分は二酸化炭素と硫化水素などであるのに対し、和琴温泉遊離ガスの主成分は窒素や二酸化炭素・メタンなどであることを確認した。両地点の試料においてアルゴン同位体比は大気との区別がつかなかった。また、アトサヌプリ試料の炭素同位体比( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比)と硫黄同位体比( $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ 比)、和琴温泉試料の窒素同位体比( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 比)については 2017 年から 2018 年にかけて顕著な変動が観測されなかった一方で、和琴温泉試料の二酸化炭素の炭素同位体比については 2017 年 5 月時点の方が 2018 年 12 月時点よりも高く、メタンの炭素同位体比とは逆の関係が見られた。今後は炭素同位体比における季節変動の影響を確認することにより、火山活動の変動について重要な情報が得られる可能性がある。北海道以外では、箱根山における火山活動と噴気の同位体組成に関する研究成果(Kagoshima et al., 2019, Geochemistry, Geophysics, Geosystems)などを得ており、このような

成果は北海道摩周付近の化学データと火山活動の関係を調査する上で役立つと期待される。本研究で得られたデータは今後の観測で得られる化学データと比較可能であり、同地域の火山活動度を評価していく上で有用と考えられる。

- ( 8 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Kagoshima, T., Sano, Y., Takahata, N., Lee, H., Lan, T. and Ohba, T., 2019, Secular variations of helium and nitrogen isotopes related to the 2015 volcanic unrest of Mt. Hakone, central Japan. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 20, 2019GC008544.  
Lee, H., Kim, H., Kagoshima, T., Park, J., Takahata, N. and Sano, Y., 2019, Mantle degassing along strike-slip faults in the Southeastern Korean Peninsula. *Scientific Reports* 9, 15334.  
Kagoshima, T., Sano, Y. and Tanaka, A., 2019, Variation of helium isotopic compositions around Mashu, Japan. *Goldschmidt Abstracts*, 1587.
- ( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
他機関との共同研究の有無：無
- ( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：東京大学・大気海洋研究所  
電話：04-7136-6067  
e-mail：kagoshima@ori.u-tokyo.ac.jp  
URL：
- ( 11 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者  
氏名：鹿児島 涉悟  
所属：東京大学・大気海洋研究所

( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

八幡平火山～秋田・駒ヶ岳の熱水流動系が周辺水域に与える影響評価: 広域的火山活動と田沢湖関連水域との関係

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

本研究は、八幡平火山～秋田駒ヶ岳の熱水系が周辺水域にどのように影響するのかをさぐるため、秋田県・田沢湖と周辺水域を対象として同湖と周辺熱水域の熱収支・化学成分収支を評価し、水域全体での地下熱流量とそれに伴う化学成分負荷量を明らかにすることを目的としている。また、この結果に基づき経時変化から、今後の火山活動が熱水系を通して周辺水域にどのように影響するのか定量的に予測することを考える。今年度8月までの段階で、現地調査を計3回実施した。まず、八幡平火山～秋田駒ヶ岳の泉源域分布を得るため、玉川温泉、乳頭温泉、水沢温泉など各温泉郷に供給される泉源場所を特定し、泉温とH<sub>2</sub>Sガス濃度を測定し、温泉水を採取した。今後、その化学成分の違いからこの地域での総合的な熱水湧出系の分布を明らかにする予定である。他方、これらの温泉水が混合流入する田沢湖の熱・化学成分の収支を明らかにするため、現在、各収支の基本となる水収支評価を行っているところである。

( 7 ) 令和元年度の成果の概要：

本研究の成果として、八幡平火山～秋田駒ヶ岳の熱水系に関する源泉の採取と分析、および熱水が水質に寄与する田沢湖について水収支評価を行った。八幡平火山については玉川温泉の源水(大噴:大釜Z-9)、秋田・駒ヶ岳については水沢温泉と乳頭温泉の源泉を採取し、現在、化学分析中である。他方で秋田・駒ヶ岳山麓から田沢湖に流入する先達川と玉川で川の水質・電導度をモニタリングしており、将来の田沢湖の化学成分収支評価につなげたいと考えている。これらの川の水質は、いずれも八幡平火山～秋田駒ヶ岳の熱水系に強く影響されており、田沢湖の水質(pH, 5.2～5.4)にも影響している。なお、田沢湖の水収支評価は、東北電力より提供された「水利用に関する日平均流量データ」を

基に実施し，結果として，正味の地下水流入量  $3.09 \pm 1.29 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  と求まり，田沢湖周囲のカルデラ壁からの不圧地下水流入が卓説していることが示唆された。

(8) 令和元年度の成果に関連の深いもので，令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
 知北和久・大八木英夫・牧野昌・漢那直也・刀根賢太・坂元秀行・波多俊太郎・安藤卓人・白井裕子，  
 2020, 山岳湖沼における結氷現象と気候変動との関係, 陸水物理学会誌 2(印刷中)。

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
 (代表者名) 知北 和久 北海道大学大学院理学研究院非常勤講師  
 他機関との共同研究の有無：有  
 網田 和宏 秋田大学大学院理工学研究科助教  
 岡田 純 気象庁気象研究所火山研究部研究官

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
 部署等名：北海道大学大学院理学研究院  
 電話：011-706-2764  
 e-mail：chikita@sci.hokudai.ac.jp  
 URL：

(11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者  
 氏名：知北 和久  
 所属：北海道大学大学院理学研究院

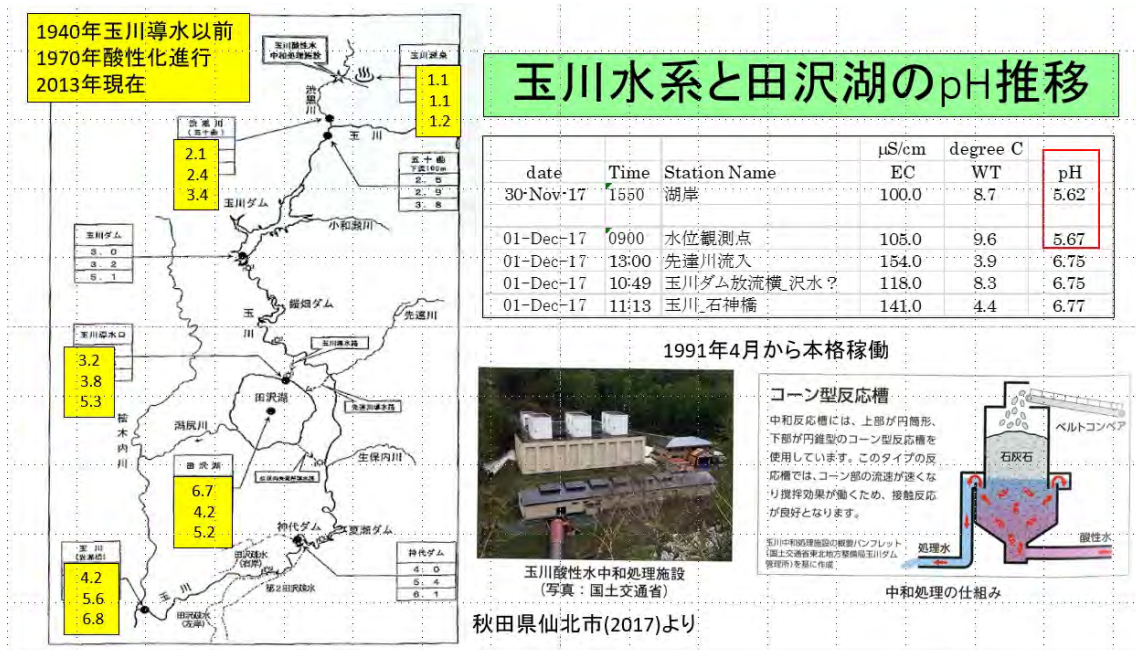


図 1. 田沢湖の水利用と水質変化

( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

蔵王山、過去約 800 年間の活動の噴火推移の類型化

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

( 5 ) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

蔵王山では噴火の前兆的現象が認められ噴火予測に関する研究が急がれている。蔵王山では約 800 年前以降に 7 回の噴火が認められている。本課題では、各噴火について、噴出物の露頭観察、試料の物質科学的分析、炭素 14 年代測定、古記録情報との比較を基に噴火推移を類型化し、各タイプの発生頻度を検討する。

( 7 ) 令和元年度の成果の概要：

蔵王火山の最新の火口である御釜の活動は約 800 年前から続いている。御釜を火口とするテフラ層は Za-Ok1 7 の 7 枚あり、挟在される古土壌試料の 14C 年代と古記録を基に、Za-Ok1 ~ 4 は 13 ~ 16 世紀、Za-Ok5 は 17 世紀、Za-Ok6 は 18 世紀末 ~ 19 世紀、Za-Ok7 は 1894 ~ 1897 年の噴火によるものと推定している。本研究は、各テフラ層内の特徴の推移を解明することによって、噴火の推移を類型化し各々の発生頻度を求めることを目的としている。

多数の地点でのテフラ層の観察結果を基に、各テフラ層内の推移を詳細に検討した。まず、テフラを構成する層として、白色変質火山灰層、黒色火山灰層、褐色スコリア質火山灰層を認定した。黒色火山灰層は多数の粒度の異なる薄層が集積したものである。卓越層の粒度は細粒、やや細粒、やや粗粒の場合がある。白色変質火山灰層、黒色火山灰層、褐色スコリア質火山灰層は各々、水蒸気噴火、ブルカノ式 ~ マグマ水蒸気噴火、準プリニー式によるものと推定される。

テフラ層内の推移を以下の 4 通りに分けた。まず、白色変質火山灰層が最下位に認められ、その上位にマグマ噴火による層が累重する場合とそうでない場合で A、B に分けた。A タイプはその上位に褐色スコリア質火山灰が認められる場合とそうでない場合で A1 と 2 に細分した。Za-Ok1 と 3 が A-1 に相当する。Za-Ok1 の場合は、黒色火山灰層(やや粗粒層主体) 薄い古土壌 薄い白色変質火山灰層 黒色火山灰層(やや細粒層主体) 黒色火山灰層(やや粗粒層主体) 黒色火山灰層(やや粗粒

層主体) 黒色火山灰層(やや細粒層主体)という推移が認められる。これに相当する。両者とも、褐色スコリア質火山灰の前後に黒色火山灰層が認められる。Za-Ok3の場合は、白色変質火山灰層 黒色火山灰層(やや粗粒~細粒互層) 褐色スコリア質火山灰層(粗粒) 黒色火山灰層(やや細粒主体) 黒色火山灰層(やや粗粒主体) 黒色火山灰層(やや細粒主体)という推移が認められる。Za-Ok2, 5, 6がA-2に相当する。Za-Ok2と5では、白色変質火山灰層 黒色火山灰層(細粒主体) 黒色火山灰層(やや粗粒主体) 黒色火山灰層(細粒主体)という推移が認められる。Za-Ok6の場合は、白色変質火山灰層の上位に、黒色火山灰層(細粒、土壌混じり)が3~4層が認められる。Bタイプは、白色変質火山灰層を欠くB-1と白色変質火山灰層のみからなるB-2に分けられる。Za-Ok4がB-1に、Za-Ok7がB-2に相当する。Za-Ok4はやや粗粒の黒色火山灰層が4層累重している。

古記録の情報との比較及び<sup>14</sup>C年代測定結果を基に活動期間について検討を進めた。その結果、Za-Ok1, 5, 6について、各々50年間以上、約100年間、約70年間であったと推定された。なお、Za-Ok7については主な噴火活動は1~2年間に行われたことが推定されている。

- (8) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):  
伴雅雄・及川輝樹・山崎誠子・後藤章夫・山本希・三浦哲(2019) 近代的噴火観測事例のない火山での噴火推移予測: 蔵王火山の例. 火山, 64, 131-138.

Takebe, M, Nishi, Y, Ban, M (2019) Evolution of the Magma Feeding System of the Komakusadaira Pyroclastics in Zao Volcano, Northeast Japan Arc. 27th IUGG General Assembly, Montreal Canada, V08p-447.

佐藤初洋、伴雅雄(2019) 蔵王火山, 五色岳火砕岩類上部における噴火準備過程. 日本地球惑星科学連合2019年大会. SVC36-P14.

伴雅雄(2019) 蔵王の火山の歴史と現状. 雪氷研究大会2019, 山形, 公開講座.

佐藤初洋、伴雅雄(2019) 蔵王火山, 御釜火口活動期における噴火準備過程. 日本火山学会2019年度秋季大会. A2-01.

杉下七海、伴雅雄、常松佳恵、佐々木寿(2019) 蔵王火山1895年噴火の投出岩塊の噴出速度および噴出角の推定. 日本火山学会2019年度秋季大会. P119.

川島弘之介、伴雅雄、常松佳恵、片岡香子(2019) 蔵王山東麓、濁川・遠刈田地域のラハール堆積物一堆积過程・発生要因・年代について. 日本火山学会2018年度秋季大会. P122.

- (9) 実施機関の参加者氏名または部署等名:  
他機関との共同研究の有無: 無

- (10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名: 山形大学・理学部  
電話:  
e-mail:  
URL:

- (11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者  
氏名: 伴 雅雄  
所属: 山形大学・理学部

( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

2018年1月の草津白根火山の噴火における緊急時の災害情報伝達に関する研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

才. 高リスク小規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 令和元年度の計画の概要：

( 1 ) 研究の目的と意義(特に、地震火山災害軽減研究との関連について)

【目的】

本研究の目的は、2018年1月23日の草津白根火山の噴火を事例研究することで、突発的な噴火時における緊急時の災害情報伝達の方策を検討することを目的とする。

2018年1月の草津白根火山の噴火は、1月23日は火曜日に発生した。つまり、「平日・昼間」の災害であり、地方自治体、各種の行政機関、民間事業所などでは通常勤務中の職員がいたという意味で、人員の不足には陥らずに災害情報の発信・受信が可能である筈であった(慢性的な人員不足は除く)。

しかし、

- ・ 噴火速報が出なかったこと。
- ・ 噴火警戒レベルが上がったことについての情報共有

に課題があったことが、報道などにより指摘されている。

ここで、群馬県災害対策本部会議資料をもとに、噴火後の災害情報を時系列に整理すると(噴火発生日に限る)

9時59分 本白根山の鏡池付近で噴火が発生

11時05分 火口周辺警報(噴火警戒レベル2)が発表

11時50分 火口周辺警報(噴火警戒レベル3)が発表

13時00分 草津白根山の火山活動解説資料が発表

18時00分 草津白根山の火山活動解説資料が発表



され、予断を許さない状態が続いていたことがわかる。この間、山頂付近にはスキー客など約 80 人が取り残されていることがわかり、今後の噴火の推移が見定まらないなか、救助・避難を進めなければいけない、という非常に切迫した状況でもあった。避難自体は同日の 17 時 45 分に完了し、群馬県災害対策本部でも確認されたが、噴火の経過が不透明な中で関係機関が災害対応に従事することになった。

今回の噴火は火山学の見地からしても非常に突発的で、今後の推移がわかりづらい状態であり、科学的な知見が限定的な役割をはたすにとどまらざるを得ない事態であったかもしれない。しかし、今後も類似の事象が発生する可能性に備える必要がある。そこで、本研究は、噴火当日を「緊急時」として、「噴火警戒レベル」及び「火山活動解説資料」が火山近傍の関係団体にどのように伝達されたのか、理解されたのか、情報内容の課題があったのかを分析することを目的とする。

#### 【意義】

「地震火山災害軽減研究(第2次)」には、  
大学は、地震・火山噴火の予測情報に対する、住民・企業・地方公共団体などのユーザのニーズや活用実態の調査を通じて、被害軽減に繋がる地震・火山噴火情報のあり方に関する研究を行う。  
と記載されている。本研究は、現在の火山学の知見としては今後の噴火シナリオを同定することが困難であるにもかかわらず、社会的要請としては噴火に関する情報を求められるという局面における火山噴火情報を分析対象とする。理想的な観測体制で、理想的な災害対応を仮定するほうが、むしろ現実的ではないこともあることから、このような「制約つき」での火山噴火情報のあり方を検討し、今後の情報発信に向けた示唆を得ることに、本研究の意義がある。

#### (2) 研究の実施方法

本研究は、草津白根山火山防災協議会の参画機関及び、地元観光協会、「避難場所」として指定されている教育施設・福祉施設・区民館を対象として、インタビュー調査(質的な調査)を実施する。区民館には常駐の職員がいないことが考えうるため、地元の住民自治組織(町内会など)に対して、区民館の管理運営体制も含めて、噴火当日の様子の聞き取りを行う。

草津白根山は、噴火の場合は、群馬県と長野県の両県に対して影響を与える可能性があり、複数県にまたがるという広域性、観光客を含める一般住民、国直轄の気象台や砂防事務所といった多種多様な主体が関係する地理的特性がある。その一方で、噴火警戒レベルの変化や、複数回にわたる火山活動解説資料の発表があり、情報の受け手にとっては短時間に多くの火山噴火に関する情報に接したことから、各情報の区別をしつつ当時の状況を聞き取る必要がある。そのため、画一的な質問紙調査(アンケート調査)によるよりも、インタビュー形式で個別に聞き取りを行うことにより、当事者それぞれの情報に対する理解の詳細を明らかにすることが可能となる。

#### (3) 期待される成果 (特に地震火山災害軽減研究との関連について)

本研究は、草津白根山の噴火当日の災害情報伝達の実態と課題を明らかにするものであるが、その分析をもとに今後の噴火災害における情報伝達に向けた示唆を得ることができると考えられる。

例えば、気象庁が発表する「火山活動解説資料」は、「火山の活動の状況や警戒事項について、定期的または必要に応じて臨時に解説する資料(気象庁ホームページより引用)」であるが、そこに記載されている文章だけでは、火山近傍の自治体や住民は対応行動を決めることが容易ではないと推察される。

実際に、草津白根山の噴火の事例では、  
【「防災上の警戒事項」として「〇〇地点から \* \* キロメートルの範囲では噴火に伴う弾道を描いて飛散する大きな噴石に警戒して下さい」という記述があれば、「\* \* 」という数値を信用してよいのか。「噴火後、火山性地震が多数発生していますが、徐々に減少しています。本日 00 時~16 時までの火山性地震の発生回数は 382 回です。」という説明に対して、「減少している」と書いてあるからには、今後は噴火の心配をしなくてもよいのかと思う反面、「382 回です」という数値を見ると、この「382 回」という数値が多いのか少ないのかの判断に迷う。  
といった疑問が生じざるを得ない。

もちろん、火山噴火警報は受け手のことだけを考えればよいというものではなく、警報の出し手のことを考慮しないといけないだろう。限られた時間内で、限られた観測結果や過去の知見をもとに噴火に関する情報を出すことの困難さがあり、一定程度の制約を承知のうえで情報を出しているはずである。

しかし、緊急時の追い詰められた局面で、情報の「出し手」がどのような制約に苦しみ、情報の「受け手」の理解がどのように限られてしまうのかを、詳細に明らかにした事例研究は、申請者が知る限りでは非常に少ないと思われる。そのため、草津白根火山の噴火事例の事例研究をもとに、緊急時の災害情報伝達のあり方の一般化に向けた示唆を引き出すことが、本研究の期待される成果となる。

## (7) 令和元年度の成果の概要：

### 1. 目的

本研究は、2018年1月の草津白根火山の噴火事例で、噴火に関する情報が火山近傍の関係団体にどのように伝達され、理解され、情報内容の課題があったのかを分析することを目的に、インタビュー調査を実施する計画であった。しかし、2018年1月の噴火事例では関係団体に対する情報提供よりも、不特定多数のスキー・スノーボード客への情報伝達の困難が浮き彫りとなった。そこで、調査対象と手法を変更するほうが本研究の目的と意義にかなうと考えた。

本報告では、火山防災情報に伴う「制約」について調査研究の概要について報告する。現在の火山学の知見としては今後の噴火シナリオを同定することが困難であるにもかかわらず、社会的要請としては噴火に関する情報を求められるという問題がある。理想的な観測体制で、理想的な災害対応を仮定するほうが、むしろ現実的ではないこともあることから、「制約つき」での火山防災情報について検討した。

### 2. 調査の方法

#### 2.1 調査対象

草津白根火山近傍の「草津温泉スキー場(旧称：草津国際スキー場)」の利用者を対象とした。これは、2018年1月23日の噴火では、山頂付近に取り残されたスキー・スノーボード客の避難や、利用者が乗るゴンドラが被害を受けたことが主要な問題となり、不特定多数のゲレンデ利用者への情報伝達が課題となったことによる。

出現率調査で回答者が集まるか調べたところ、今シーズン(2019年12月から2020年1月にかけて)のスキー・スノーボード客だけでは、目標回答者数に到達しない可能性があった。そのため、昨シーズン(2018年12月から2019年1月)のゲレンデ利用者も含めることにした。昨シーズンのスキー・スノーボード客を含めることにかんして、草津白根火山では「草津白根山(白根山(湯釜付近))」に2018年9月28日に火口周辺警報(噴火警戒レベル2、火口周辺規制)が発表された後、警報事項に大きな変更がないため、昨シーズンを含めても妥当かと考えている。

また、回答者数と質問数の兼ね合いから、回答者は「関東地方(1都6県)に居住する人」に限定し、回答者数を200人に設定した。

#### 2.2 調査の実施方式

インターネット調査を行う調査会社が保有するモニター向けにアンケートを配信する方式で調査を実施した。具体的には、楽天インサイト株式会社が有するモニター向けにアンケートを配信した。調査対象者が不特定多数のスキー・スノーボード客であるため、住民基本台帳などに基づくランダムサンプリングを行うのは困難である。そこで、幅広く調査対象者を募ることが可能なインターネット調査を採用した。

アンケートは、2020年1月31日金曜日から2月2日日曜日にかけて実施した。1月23日は草津白根山が噴火した日であるので、その日に報道が増えて、回答者の理解などに影響するかもしれないため、その日の前後は調査の実施を避けた。実際には、草津白根山の報道量が顕著に増えたということはない。

#### 2.3 アンケート回答者の属性について

回答者数 200 人を、性別と 4 つの年齢層の組み合わせで、8 つに均等に割り付けた。4 つの年齢層は、20 歳代・30 歳代・40 歳代・50 歳以上とした。スキー・スノーボード客が都県ごとの人口比に比例しているかを参照する資料が手に入らなかったため、回答者数を人口比ごとに配分する方法は採用しなかった。

## 2.4 アンケートの質問項目と回答方法について

アンケートの質問項目は、2018 年 1 月 23 日の草津白根山での噴火についておぼえているか、草津白根山が活火山であることを知っていたか、水蒸気噴火について、噴火警報・噴火警戒レベル・噴火速報について、回答者自身の情報入手について、合計 20 問で構成した。

回答方法について、小林・田中(2017)により、回答者の知識を問う質問については、回答者自身の意見ではなく「あなたの周囲の方々はどの程度ご存知だと思いますか」という質問方法を用いた。これは、回答者が社会的に望ましいと回答する傾向を避けるために、あえて「あなたの周囲の方々は」として間接的に問う方式とした。

表 1 に主な質問項目を整理した。1 番から 3 番までと、15 番及び 16 番は、「回答者自身」の記憶や行動を聞いているため、「あなたの周囲の方々は」という聞き方はしていない。4 番から 14 番までは、「あなたの周囲の方々はどの程度ご存知だと思いますか」という聞き方をして、回答選択肢は「よく知っていると思う」から「まったく知らないと思う」の 4 件法とした。ただし、噴火警戒レベルなど専門用語については、「噴火警戒レベル」のことはよくわからないので答えようがない」と「そもそも「噴火警戒レベル」というものがあることを今初めて知った」という回答選択肢を設けて、回答者自身が答えに困らないよう工夫をした。

## 3. 主な結果

### 3.1 質問項目ごとの集計結果の概要

まず、2018 年 1 月 23 日に草津本白根山で噴火が発生したかを質問したところ、「はっきりとおぼえている」と回答したのが 100 人(50.0%)いた(以下「はっきりとおぼえている」群とする)。それ以外の「うろおぼえだが、そのようなことが起こったような気がする」、「まったくおぼえていない」、「そのようなことが起こったとは知らなかった」と回答した人は、記憶がはっきりしていないため、「おぼえていない」群とした。

表 1 の「回答者全体」の列は、「はっきりとわかっていた」や「よく知っていると思う」など、最も回答内容がはっきりしていた選択肢の回答比率を表す。その右列は、「はっきりとおぼえている」群のみに絞って際の回答比率である。

質問項目 12 の「噴火警戒レベルの意味」の比率が回答者全体の 16.0%で最も低い値であるので、本報告ではここに注目して集計結果について述べる。

### 3.2 噴火警戒レベル 1 の意味

噴火警戒レベル 1 自体の意味を理解することは重要だが、その理解に加えて、「前兆現象から噴火に至るまでの時間が難しいこと(質問項目 4)」や「突発的な噴火の発生予測が難しいこと(質問項目 5)」といった、制約についても理解されていることが望ましい。さらには、噴火警戒レベルは「レベル 1」でも、いきなり噴火してしまうことがあるので、とっさに身を守るために「避難する場所を確認(質問項目 3)」を確認しておくことが必要となる。

「噴火警戒レベル 1 の意味」と「前兆現象から噴火に至るまでの時間が難しいこと」を知っているかのクロス集計表を見ると、「はっきりとおぼえている」群では「よく知っていると思う」及び「やや知っていると思う」という組み合わせの合計値が 48.0%であるのに対して(表 2 の灰色で網掛け下部分の合計値)「おぼえていない」群では 20.0%であり、倍以上のひらきがある。

「突発的な噴火の発生予測が難しいこと」とのクロス集計でも同様の傾向がみられる。「はっきりとおぼえている」群では「よく知っていると思う」及び「やや知っていると思う」という組み合わせの合計値が 51.0%であるのに対して、「おぼえていない」群では 20.0%であった(表 3 の灰色で網掛け下部分の合計値)。

さらに、「避難する場所を確認」したかについても、「よく知っていると思う」及び「やや知っている

と思う」と、「確認したことがある」のクロス集計が、「はっきりとおぼえている」群では 35.0 % (表 4 の灰色で網掛け下部分の合計値) で、「おぼえていない」群では 5.0 % と 7 倍もの違いがあることがわかった。

### 3.3 情報伝達手段について

調査では携帯電話が情報伝達に使えるかを検討するため、「あなた御自身は、防災に関係するアプリをスマートフォンで使っていますか」と「あなた御自身はスキーやスノーボードをしている最中に、スマートフォンを使いますか」という質問を設けた。なお、回答者全員のうち 4 人が、スマートフォンを持っていなかったため、それらの回答者は集計には含んでいない。

「実際にアプリで通知を受信したことがある」と回答した人で、スキーやスノーボードをしている最中にも携帯電話を「たまに」もしくは「頻繁に」使う人は、「はっきりとおぼえている」群では 35.1 % で、「おぼえていない」群では 7.1 % で 5 倍近いひらきがあることが明らかとなった。

### 4. 結論

表 1 の集計結果の概要からは、全体的に火山防災の専門用語や知識についての理解が低調であることがわかった。しかし、2018 年 1 月の本白根山の噴火を「はっきりおぼえている」群と、そうではないグループに分けて比較すると、「はっきりおぼえている」群では、顕著に理解度や知識量が高い傾向にあることがわかった。一方で、噴火の記憶がはっきりしていないグループは、理解度や知識が低い傾向がある。加えて、情報伝達についても携帯電話を用いても情報は届かない可能性が高いことがわかった。このことから、不特定多数のグレンデ利用者といっても、利用者の特徴ごとにいくつか細分化して、どのような項目の誓いや知識を高めるべきか、情報伝達をすべきかについて検討を進めるのが今後の課題となるであろう。つまり、今回の報告では単純に 2 群にわけて比較をしたが、各変数 (質問項目) を詳細に分析し、郡の分け方を検討する必要がある。

また、草津白根山に限らず、関連するほかの調査研究との比較も求められる。本研究の調査では、インターネット調査を用いて、さらに回答者を 1 都 6 県に限定したため、調査結果の一般化には慎重にならないといけない。たしかに、調査方式、実施時期、質問文や回答選択肢が、すべての調査で同一ではないものの、本研究の結果を相対的に理解するために参考になりうる。

#### 【参考文献】

小林秀行, 田中淳, 2017 年, 災害知識構造が災害対応行動意図に与える影響 - 平成 27 年関東・東北豪雨を事例として -, 災害情報, No.15-2, pp.137-147.

(8) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :  
地引泰人, 2020, 2018 年 1 月の草津白根 (本白根) 山の噴火における緊急時の災害情報伝達に関する予備的考察, 日本災害情報学会第 21 回学会大会予稿集, pp.228-229.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :  
他機関との共同研究の有無 : 無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名 : 東北大学大学院理学研究科  
電話 :  
e-mail : yasuhito.jibiki.e3@tohoku.ac.jp  
URL :

(11) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者  
氏名 : 地引 泰人  
所属 : 東北大学大学院理学研究科

表1 質問項目ごとの単純集計

質問項目	回答者全体	「はっきりとおぼえている」群
1. ハザードマップの確認	27.0%	40.0%
2. 避難する場所の確認	25.5%	40.0%
3. 前兆現象から噴火に至るまでの時間が短い	20.5%	36.0%
4. 突発的な噴火の発生予測が難しいこと	27.5%	37.0%
5. 噴火警報の認知	23.0%	38.0%
6. 噴火速報の認知	22.0%	32.0%
7. 噴火警報が2種類ある(「火口周辺」と「居住地域」)	16.5%	21.0%
8. 噴火速報を見聞きした際の行動	20.0%	28.0%
9. 噴火警戒レベルの運用	20.5%	33.0%
10. 事前に噴火警戒レベルを確認したか	21.5%	33.0%
11. 噴火警戒レベル1の意味	16.0%	27.0%
12. 噴火警戒レベル3の意味	18.5%	33.0%
13. 火山灰の影響	18.5%	30.0%
14. 噴火への警戒	21.0%	31.0%

表 1

表2 「レベル1の意味」と「突発的な噴火の発生予測が難しいこと」のクロス集計

			噴火では、前兆現象から噴火に至るまでの時間が短い場合があるということや、あなたの周囲の方々ほどの程度ご存知だと思いますか。				
			よく知っていると思う	やや知っていると思う	あまり知らないと思う	まったく知らないと思う	合計
「はっきりとおぼえている」群	噴火警戒レベルは「レベル1」でも、いきなり噴火してしまうことがある。	よく知っていると思う	20 20.0%	5 5.0%	1 1.0%	1 1.0%	27 27.0%
		やや知っていると思う	10 10.0%	13 13.0%	5 5.0%	0 0.0%	28 28.0%
		あまり知らないと思う	5 5.0%	7 7.0%	13 13.0%	3 3.0%	28 28.0%
		まったく知らないと思う	1 1.0%	2 2.0%	10 10.0%	2 2.0%	15 15.0%
		「噴火警戒レベル」のことはよくわからないので答えようがない	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 1.0%	1 1.0%
		そもそも「噴火警戒レベル」というものがあることを今初めて知った	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 1.0%	1 1.0%
		合計	36 36.0%	27 27.0%	29 29.0%	8 8.0%	100 100.0%
「おぼえていない」群	噴火警戒レベルは「レベル1」でも、いきなり噴火してしまうことがある。	よく知っていると思う	3 3.0%	0 0.0%	2 2.0%	0 0.0%	5 5.0%
		やや知っていると思う	1 1.0%	16 16.0%	4 4.0%	0 0.0%	21 21.0%
		あまり知らないと思う	1 1.0%	18 18.0%	19 19.0%	2 2.0%	40 40.0%
		まったく知らないと思う	0 0.0%	4 4.0%	12 12.0%	12 12.0%	28 28.0%
		「噴火警戒レベル」のことはよくわからないので答えようがない	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 1.0%	1 1.0%
		そもそも「噴火警戒レベル」というものがあることを今初めて知った	0 0.0%	0 0.0%	3 3.0%	2 2.0%	5 5.0%
		合計	5 5.0%	38 38.0%	40 40.0%	17 17.0%	100 100.0%
回答者全体	噴火警戒レベルは「レベル1」でも、いきなり噴火してしまうことがある。	よく知っていると思う	23 11.5%	5 2.5%	3 1.5%	1 .5%	32 16.0%
		やや知っていると思う	11 5.5%	29 14.5%	9 4.5%	0 0.0%	49 24.5%
		あまり知らないと思う	6 3.0%	25 12.5%	32 16.0%	5 2.5%	68 34.0%
		まったく知らないと思う	1 .5%	6 3.0%	22 11.0%	14 7.0%	43 21.5%
		「噴火警戒レベル」のことはよくわからないので答えようがない	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	2 1.0%	2 1.0%
		そもそも「噴火警戒レベル」というものがあることを今初めて知った	0 0.0%	0 0.0%	3 1.5%	3 1.5%	6 3.0%
		合計	41 20.5%	65 32.5%	69 34.5%	25 12.5%	200 100.0%

表2

表3 「レベル1の意味」と「突発的な噴火の発生予測が難しいこと」のクロス集計

			突発的な噴火については、現時点での最新科学をもってしても発生予測はできない。				
			よく知っていると思う	やや知っていると思う	あまり知らないと思う	まったく知らないと思う	合計
「はっきりとおぼえている」群	噴火警戒レベルは「レベル1」でも、いきなり噴火してしまうことがある。	よく知っていると思う	22 22.0%	3 3.0%	2 2.0%	0 0.0%	27 27.0%
		やや知っていると思う	9 9.0%	17 17.0%	2 2.0%	0 0.0%	28 28.0%
		あまり知らないと思う	5 5.0%	9 9.0%	14 14.0%	0 0.0%	28 28.0%
		まったく知らないと思う	1 1.0%	3 3.0%	7 7.0%	4 4.0%	15 15.0%
		「噴火警戒レベル」のことはよくわからないので答えようがない	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 1.0%	1 1.0%
		そもそも「噴火警戒レベル」というものがあることを今初めて知った	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 1.0%	1 1.0%
		合計	37 37.0%	32 32.0%	25 25.0%	6 6.0%	100 100.0%
「おぼえていない」群	噴火警戒レベルは「レベル1」でも、いきなり噴火してしまうことがある。	よく知っていると思う	4 4.0%	0 0.0%	1 1.0%	0 0.0%	5 5.0%
		やや知っていると思う	5 5.0%	11 11.0%	4 4.0%	1 1.0%	21 21.0%
		あまり知らないと思う	7 7.0%	16 16.0%	15 15.0%	2 2.0%	40 40.0%
		まったく知らないと思う	2 2.0%	3 3.0%	11 11.0%	12 12.0%	28 28.0%
		「噴火警戒レベル」のことはよくわからないので答えようがない	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 1.0%	1 1.0%
		そもそも「噴火警戒レベル」というものがあることを今初めて知った	0 0.0%	0 0.0%	3 3.0%	2 2.0%	5 5.0%
		合計	18 18.0%	30 30.0%	34 34.0%	18 18.0%	100 100.0%
回答者全体	噴火警戒レベルは「レベル1」でも、いきなり噴火してしまうことがある。	よく知っていると思う	26 13.0%	3 1.5%	3 1.5%	0 0.0%	32 16.0%
		やや知っていると思う	14 7.0%	28 14.0%	6 3.0%	1 .5%	49 24.5%
		あまり知らないと思う	12 6.0%	25 12.5%	29 14.5%	2 1.0%	68 34.0%
		まったく知らないと思う	3 1.5%	6 3.0%	18 9.0%	16 8.0%	43 21.5%
		「噴火警戒レベル」のことはよくわからないので答えようがない	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	2 1.0%	2 1.0%
		そもそも「噴火警戒レベル」というものがあることを今初めて知った	0 0.0%	0 0.0%	3 1.5%	3 1.5%	6 3.0%
		合計	55 27.5%	62 31.0%	59 29.5%	24 12.0%	200 100.0%

表 3

表4 「レベル1の意味」と「避難する場所の確認」のクロス集計

			もしも草津白根山が噴火したら、どこに避難したらよいかをあなた御自身が実際に確認したことはありますか。				
			確認したことがある	はっきりとはおぼえていないが、確認したことがあるような気がする	多分確認したことはないと思う	確認したことはない	合計
「はっきりとおぼえている」群	噴火警戒レベルは「レベル1」でも、いきなり噴火してしまうことがある。	よく知っていると思う	20 20.0%	4 4.0%	0 0.0%	3 3.0%	27 27.0%
		やや知っていると思う	15 15.0%	8 8.0%	3 3.0%	2 2.0%	28 28.0%
		あまり知らないと思う	4 4.0%	7 7.0%	8 8.0%	9 9.0%	28 28.0%
		まったく知らないと思う	1 1.0%	3 3.0%	6 6.0%	5 5.0%	15 15.0%
		「噴火警戒レベル」のことはよくわからないので答えようがない	0 0.0%	0 0.0%	1 1.0%	0 0.0%	1 1.0%
		そもそも「噴火警戒レベル」というものがあることを今初めて知った	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 1.0%	1 1.0%
		合計	40 40.0%	22 22.0%	18 18.0%	20 20.0%	100 100.0%
「おぼえていない」群	噴火警戒レベルは「レベル1」でも、いきなり噴火してしまうことがある。	よく知っていると思う	3 3.0%	1 1.0%	1 1.0%	0 0.0%	5 5.0%
		やや知っていると思う	2 2.0%	14 14.0%	4 4.0%	1 1.0%	21 21.0%
		あまり知らないと思う	5 5.0%	14 14.0%	13 13.0%	8 8.0%	40 40.0%
		まったく知らないと思う	1 1.0%	1 1.0%	10 10.0%	16 16.0%	28 28.0%
		「噴火警戒レベル」のことはよくわからないので答えようがない	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 1.0%	1 1.0%
		そもそも「噴火警戒レベル」というものがあることを今初めて知った	0 0.0%	0 0.0%	1 1.0%	4 4.0%	5 5.0%
		合計	11 11.0%	30 30.0%	29 29.0%	30 30.0%	100 100.0%
回答者全体	噴火警戒レベルは「レベル1」でも、いきなり噴火してしまうことがある。	よく知っていると思う	23 11.5%	5 2.5%	1 .5%	3 1.5%	32 16.0%
		やや知っていると思う	17 8.5%	22 11.0%	7 3.5%	3 1.5%	49 24.5%
		あまり知らないと思う	9 4.5%	21 10.5%	21 10.5%	17 8.5%	68 34.0%
		まったく知らないと思う	2 1.0%	4 2.0%	16 8.0%	21 10.5%	43 21.5%
		「噴火警戒レベル」のことはよくわからないので答えようがない	0 0.0%	0 0.0%	1 .5%	1 .5%	2 1.0%
		そもそも「噴火警戒レベル」というものがあることを今初めて知った	0 0.0%	0 0.0%	1 .5%	5 2.5%	6 3.0%
		合計	51 25.5%	52 26.0%	47 23.5%	50 25.0%	200 100.0%

表 4



( 1 ) 実施機関名：

高知大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震動観測点観測環境の時間変化把握に向けた、解析手法の検討・開発

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(4) 関連研究分野との連携強化

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震・火山噴火の予測および災害の軽減のために利用される基礎データである地震動観測点における観測状況の健全性を、時間変化を追って把握できる手法の開発を行う。本課題によって観測状況の把握が可能となれば、? 観測点における観測の維持・管理に携わる人的資産の効率的な運用、? 周辺における工事や構造物の建築等によりやむなく観測点の休止・廃止が必要となった場合に同等の観測状況を持つ候補地選定、といった観測点および観測網、付随する施設を維持するために必要な判断基準作成が可能となる。

観測状況把握の重要性が増す一方、観測に携わる人的資産の確保は、多くの機関において大きな負担となっている。これに伴い、観測点の大半が無人となっていることから、観測の質を担保するための観測点における観測状態の監視・把握を遠隔から可能とするシステム開発と導入は必要不可欠である。観測点における観測状態の変化には、主に観測機器の故障や不調と、観測機器の設置状況の変化が含まれる。観測機器が同時に不調となるとは考えづらいため、複数の異なる手法で観測状況を監視できれば、状況の切り分けが可能となる。また、ごく浅層地盤における速度構造変化に注目することで観測機器の設置状況の変化の把握が可能となると考えられる。高知県を含む四国南部では、降り始めからの積算雨量が 1 0 0 0 mm を超すことも珍しくない。あわせて大量の降雨は、急傾斜地が多く存在する地域では土砂災害にも繋がる。このことからも雨水がごく浅層地盤からより深部へ浸透することによって、周辺地盤に影響を与えていると考えられる。したがって、観測機器の設置状況の変化を地震動観測点下の地震波速度構造の時間変化として抽出できれば、観測状況を把握することが可能となる。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題では、ごく浅層地盤における地震波速度構造変化抽出のための常時微動アレイを観測点のごく近傍に連続稼働させると共に、観測記録の自己相関関数の時間変化と共に比較することで、対象深度の異なる観測状態の変化を抽出する観測・解析手法の開発を目指す。

平成31年度：

雨水浸透に伴うごく浅層地盤速度構造の変化抽出のため、微動アレイ観測を常時実施するシステムの設置を行う。

平成32年度：

四国内に設置してある地震動観測点における過去の波形記録から気象擾乱（大量降雨、気圧変動）や地盤変動に起因する変動現象の抽出を行う。あわせて常時微動アレイの記録を準リアルタイムで解析し、ごく浅層地盤速度構造の変化を抽出する解析手法の開発を行う。

平成33年度：

四国内に設置した地震動観測点の過去の波形記録から気象擾乱（大量降雨、気圧変動）や地盤変動に起因する変動現象の抽出を継続する。あわせて常時微動アレイの記録にごく浅層地盤速度構造の変化を抽出する解析手法を適用する。

平成34年度：

常時微動アレイの運用と変動抽出の解析を継続する。

平成35年度：

課題の取りまとめと実運用可能なシステムへの実装を提言する。

(9) 令和元年度の成果の概要：

令和元年度（平成31年度）は、高知大学の土居地震観測において、やや広帯域の地震動観測が可能な速度型地震計の設置を行った。地震動観測はより浅層の情報が抽出可能なように500Hz サンプリングとした。併せて、常時微動アレイ観測を併設して実施できるよう、高感度ジオフォンの整備を進めた。これらの地震動観測記録をリアルタイムでごく浅層地震波速度構造解析および層境界推定をおこなうことで雨水浸透による影響を評価する。

同時に速度型3成分地震計が浅層の地盤構造を反映し、常時微動として観測されていることを検証する為、常時微動から地下構造を抽出する解析を適用した。解析対象は多雨地域であるインドネシアスマトラ島、バンダアチェにおいて過去観測していた地震動記録とした。解析の結果から観測点近傍に有る断層からの反射を反映したと思われる信号の抽出ができた。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

Yamashina, T., *et. al.*, 2019, Exploration of the fault extension using SITES method; Aceh and Seulimeum segments of the Sumatran fault, Indonesia, AGU Fall meeting 2019 S11D-0373

(11) 令和2年度実施計画の概要：

令和2年度は、令和元年度設置をおこなった観測系に常時微動記録を解析するシステムの構築を行う。併せて、気象擾乱（大規模降雨、気圧変動）の同時観測を統合し、記録の比較をおこなう。ごく浅層地震波速度構造変化に対応する変動の抽出を目指す。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

高知大学 理工学部附属 高知地震観測所

大久保慎人

他機関との共同研究の有無：有

産業技術総合研究所、防災科学技術研究所、など5名程度

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：理工学部附属 高知地震観測所

電話：

e-mail：okubo@kochi-u.ac.jp

URL：

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名：大久保慎人

所属：理工学部附属 高知地震観測所

( 1 ) 実施機関名：

高知大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震波形データ流通のための、新WIN伝送プロトコルの検討・開発

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) 関連研究分野との連携強化

(5) 国際共同研究・国際協力

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

現在、日本(特に大学間)では、地震波形記録を含む各種観測網から得られるデータを即時的に流通させるためにWINシステムの伝送プロトコルを利用している。WINシステムは1990年代のコンピュータ(サーバ、ワークステーションも含む)の処理速度が速くなく、データ伝送のための回線容量も大きくなく、データ伝送速度も高速ではない時代に、ある程度のデータ量の圧縮を行い、多項目の観測データの流通を準リアルタイムで可能とする仕組みとして確立した。そのため、WIN自体のデータフォーマットはごくわずかな時刻情報のみを付与した簡便な形式で、拡張性は乏しいものである。このような設計は、1990年代のワークステーションの数千倍の処理能力と精細な動画をリアルタイム再生可能な通信速度を誰でもがスマートフォンとして持ち得る、現在の通信事情にはそぐわない。加えて、WINシステムは、かつての日本独自規格であった「ケータイ」と同様に日本国内のみで使われる仕様・システムとなってしまうっており、グローバルスタンダードとなり得ていない。しかしながら、観測点から自律的に多種多様なデータを準リアルタイムで伝送可能な仕組みは、他の波形記録フォーマットSEED(miniSEED)などを用いる仕組みには無い特徴である。自律的なデータ伝送機器として、現在IoT(Internet of Things)が取り上げられており、観測機器がこれに当たると考えれば、データ伝送のためのプロトコル(手順)のみが時代遅れとなっていると言える。したがって、新たなデータ伝送プロトコルの開発は急務である。本課題では、WIN伝送プロトコルが

現状抱えている問題点を洗い出し、グローバルスタンダードとなりうる伝送プロトコルへの発展を視野に入れ、次世代仕様のWIN伝送プロトコルの策定・実装を目指す。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

本課題は、5 - ( 3 ) - アにある、各種観測網から得られるデータを即時的に流通させるシステムの運用に必要な、大容量かつ多項目の観測データを確実に、かつ効率的に流通させるための通信方式の検討・開発を行う。通信方式の中核をなす、伝送プロトコルを策定し、実装するために必要な検討・開発を担う。

平成31年度 :

現状のWINシステムおよびWIN伝送プロトコルに関する問題点の洗い出しを行う。  
問題点の洗い出しと開発に向け、通信実験テストベッドとなる小規模通信網を構築する。

平成32年度 :

新たなWIN伝送プロトコルの策定に向けプロトタイプの実装を試みる。

平成33年度 :

通信実験テストベッドと多チャンネル・時間分解能が高いデータを用いた実証実験を実施する。

平成34年度 :

時期、時間帯を限定し、SINET、JGN等の大規模通信網を用いた実証実験を実施する。

平成35年度 :

課題の取りまとめと新プロトコルを実運用可能なシステムへの実装を提言する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

令和元年度(平成31年度)

新WIN伝送プロトコルの開発に向け、2台の機器が対面で通信する通信実験テストベッドである小規模通信網を構築した。次世代WINシステム開発の課題(ERI24)と連携し国内研究者が望む伝送プロトコルについて調査を行った。

併せて、国立情報学研究所(NII)が実施しているSINET広域データ収集基盤実証実験に参画し(採択ID:2、テーマ名「環境モニタリングデータを利用する地域防災への取り組み」)、様々な通信形態や通信速度、多種多様な観測データを収集するネットワークを構築した。これにより固定通信網以外での新WIN伝送プロトコルの実証実験も可能となると考えられる。

なお、SINET広域データ収集基盤実証実験は今年度(令和2年3月)末において終了する。後継となる次期テストベッドが令和2年度開始予定となっており、継続して携帯型データ通信網での実証も可能である。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :  
特になし

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

令和2年度では、令和元年度に構築した通信テスト環境を利用し、新たなWIN伝送プロトコルの策定に向けプロトタイプの実装を試みる。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

高知大学 理工学部附属 高知地震観測所

大久保 慎人

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学 地震研究所、北海道大学、気象庁 気象大学校、地震予知総合研究振興会、など5名程度

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：理工学部附属 高知地震観測所

電話：

e-mail：okubo@kochi-u.ac.jp

URL：

( 14 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大久保慎人

所属：理工学部附属 高知地震観測所

( 1 ) 実施機関名：

京都大学理学研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地殻活動データの同化による沈み込みプレート境界面すべり予測に関する研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

課題 1803 において、摩擦構成則に基づく断層すべりの物理モデルにアンサンブルカルマンフィルタ、アジョイント法、マルコフ連鎖モンテカルロ法等の手法を用いて測地データを同化し、摩擦パラメータを推定する手法を開発した。これらの手法を模擬的あるいは実際の余効すべりやスロースリップイベントに適用した。また、地震活動の物理モデルにデータを同化し、地震時のすべり分布や摩擦パラメータを推定する手法を開発し、余震データに適用した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

大地震の発生予測へとつながる地震サイクルシミュレーションを行うにあたっては、摩擦構成則に現れる摩擦パラメータやシミュレーションの変数をどのように設定するかが重要である。本課題では、主にスロースリップイベント ( SSE ) を対象として、摩擦パラメータやシミュレーション変数を推定するためのデータ同化手法を開発し、測地データに適用する。さらに、この結果を基に SSE の発生予測を試行する。また、地震活動・地殻変動データの統合的同化手法、機械学習とデータ同化を組み合わせた手法等のより高度な手法の開発や地震のような「硬い」系へのデータ同化の適用可能性についての検討を行う。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

既に開発されている EnKF やアジョイント法などのデータ同化手法を豊後水道や八重山等の SSE に適用し、推定された摩擦パラメータとシミュレーション変数の初期値に基づく予測実験を実施する。地震活動・地殻変動データの統合的同化手法を開発する。EnKF とアジョイント法を融合したハイブリッドデータ同化法や機械学習とデータ同化を組み合わせた手法等のより高度な手法の開発を行い、SSE に適用する。データ同化手法を地震のような「硬い」系に適用する上での問題点についての検討を行う。データ同化で観測データとして用いるために、八重山における大学独自の GNSS 観測を継続する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

1. アンサンブルカルマンフィルタに基づくデータ同化手法の開発

2010 年の豊後水道長期的スロースリップ ( L-SSE ) のデータ同化をアンサンブル・カルマンフィルタ ( EnKF ) に基づいて行い、地殻変動データと速度・状態摩擦構成則の両方に合うようなすべりの時空間発展を推定した。本研究では、均質な半無限弾性体中にフィリピン海プレートの三次元形状を導入した解析領域を設定し、断層面を 5,400 個の小断層セルに分割して、弾性体の準動的な運動方程式と速度・状態依存摩擦則 ( Dieterich, 1979 ) を連立させ、各セルにおけるすべり速度  $V$  及び状態変数の時間発展を計算した。その際、の時間発展には Slowness 則 ( Ruina, 1983 ) を用いた。また L-SSE 発生領域として、断層面に半径 35 km の円形速度弱化パッチを設定した。観測データとしては、GNSS データをインバージョン解析して得られた L-SSE 領域におけるすべり速度 ( 横井, 2019 ) を使用した。初期アンサンブルの摩擦パラメータの選出については、Hirahara and Nishikiori (2019) による手法にさらにグリッドサーチを組み合わせることで、初期値依存性の軽減と解析の不安定性の改善を同時に実現した。データを同化するとともに L-SSE 領域における摩擦パラメータが収束し、円形パッチ内では観測値を用いて適切に修正されたすべり速度の解析値が得られた。また、L-SSE 発生期間中において、そのイベントの終了する時期の予測といった数か月程度の短期的な予測が可能であることが示唆された。

2. アジョイント法に基づくデータ同化手法の開発

地表面で観測された GNSS による地殻変動データから、アジョイント法により直接プレート境界面の摩擦特性を推定する手法を整備・改良し、2003 年十勝沖地震の余効すべりを模した数値実験により、開発手法の妥当性を検証した。これまでの数値計算では、アジョイント行列を直接演算していたが、このアジョイント行列は疎な行列であるため、微分方程式として解くことで計算時間が従来の数分の一程度に削減された。

3. 粘弾性緩和を考慮したモデルに対するベイズデータ同化手法の開発

本課題では摩擦構成則に基づく物理モデルのパラメータを推定する手法を開発することを主要な目的としているが、余効変動や地震間の地殻変動をモデル化する場合は、断層すべりに加えてマンツルの粘弾性緩和を考慮しないとパラメータ推定値に偏りが生じる。また、パラメータ推定を行う際には、パラメータの最適値のみならず、不確実性も推定できる手法を開発することがより望ましい。そこで、摩擦構成則に従う断層すべりとマンツルの粘弾性緩和を取り入れた物理モデルのパラメータをベイズ的に推定する手法を開発し、測地的に観測された余効変動に適用した。モデルとしては、前計画の課題 1803 で開発した余効変動の物理モデルを用いた。このモデルでは、地震時の応力変化により余効



すべりと粘弾性緩和が駆動され、余効すべりは定常状態を仮定した速度・状態依存摩擦構成則、粘弾性緩和は Burgers rheology に従うと仮定している。また、余効すべりと粘弾性緩和の相互作用をモデルに取り入れている。本研究では、地震時のすべり分布、これに対する平滑化パラメータ、断層の摩擦パラメータ (a-b)、海洋・大陸マントルの Maxwell 及び Kelvin 粘性率を未知パラメータとし、これらを同時推定した。このモデルは計算コストが高いため、多数回のフォワード計算を必要とする標準的なベイズ推定手法を適用することは困難である。そこで、(1) 既存のフォワード計算の結果から Voronoi cell を用いて近似的な事後確率分布を構築し、(2) これをギブスサンプラーでサンプリングし、(3) (2) で生成されたサンプルに対してフォワード計算を実施するというプロセスを反復して事後確率分布の推定を逐次的に改良するアルゴリズムを構築した。この手法は標準的なベイズ推定手法 (マルコフ連鎖モンテカルロ法の一つである Metropolis-Hastings 法など) より必要なフォワード計算の回数が少なく、アルゴリズムの並列性が高いため、現実的な計算時間で事後確率分布を推定することができる。この手法を 2011 年東北沖地震の地震時及び地震後 7 年間の地殻変動データに適用しパラメータの事後確率分布を推定した (図 1)。推定されたパラメータによるモデル計算値は地震時及び地震後の観測を良く再現することができた。また、推定されたパラメータによるモデル計算の結果は、余効変動の初期段階から、粘弾性緩和の寄与が余効すべりの寄与に比べて大きいことを示す。

#### 4. データ同化のための断層すべり速度推定に関する研究

本項目では、上記のようなデータ同化研究で使用するために、琉球海溝南西部八重山諸島近傍においておよそ 6 ヶ月周期で繰り返し発生するスロースリップイベント (SSE) の解析を行い、すべりの時空間分布を推定した。Kano et al. (2018) は 2010-2013 年に発生した SSE に伴う断層すべり速度の時間発展の振る舞いが SSE 毎に異なることを示した。今年度は、解析期間を 2018 年まで拡張するとともに、2013 年以降に整備された新規の GNSS 観測点のデータを加えることで、より多くの SSE に解析に着手した。また SSE の解析だけでなく、断層すべり速度を推定する領域を、Kano et al. (2018) から拡張し、浅部の固着していると考えられる領域まで含めることで、陸域観測点のみで琉球海溝南西部浅部における固着の状況が解明できるか、解明できた場合にどのようなになっているのか、を明らかにすることを来年度以降引き続き検討する。

#### (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

Fukuda, J., 2019, Variability of the space-time evolution of slow slip events off the Boso Peninsula, central Japan, from 1996 to 2018 (Invited), 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, SCG48-01.

Fukuda, J., and K. M. Johnson, 2019, Bayesian parameter estimation of a physics-based model of postseismic crustal deformation (Invited), 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, MGI30-12.

Fukuda, J., and K. M. Johnson, 2019, Bayesian inverse modeling of postseismic deformation following the 2011 Tohoku-oki earthquake using mechanically coupled models of coseismic slip, stress-driven afterslip, and viscoelastic relaxation, AGU Fall Meeting 2019, T11A-04.

Hirahara, K., and K. Nishikiori, 2019, Estimation of frictional properties and slip evolution on a long-term slow slip event fault with the ensemble Kalman filter: numerical experiments, *Geophysical Journal International*, 219, 2074-2096, doi:10.1093/gji/ggz415.

岩田貴樹・吉田圭佑・深畑幸俊, 2019, 地震学的データを用いた応力インバージョン, *地学雑誌*, 128, 797-811, doi:10.5026/jgeography.128.797.

Kano, M., A. Kato, and K. Obara, 2019, Episodic tremor and slip silently invades strongly locked megathrust in the Nankai Trough, *Scientific Reports*, 9, 9270, doi:10.1038/s41598-019-45781-0.

Kano, M., and Y. Kano, 2019, Possible slow slip event beneath the Kii Peninsula, southwest Japan, inferred from historical tilt records in 1973, *Earth, Planets and Space*, 71:95, doi:10.1186/s40623-019-1076-9.

#### (11) 令和 2 年度実施計画の概要 :

アンサンブルカルマンフィルタに基づくデータ同化手法の開発を継続する。初期アンサンブルの拡

がりを大きく取ると EnKF が途中で非物理的な解になって計算が止まる傾向があるので、このことを解決する手法を考案し、同化結果の改善を目指す。

アジョイント法に基づき地殻変動データから摩擦パラメータを直接推定する手法を、実観測データに適用する。

データ同化と教師なし機械学習のスキームであるクラスタリング手法を組み合わせる摩擦パラメータの空間分布を推定する手法を開発し、数値実験によって性能評価を行う。

今年度開発したベイズデータ同化手法のスロースリップイベントや地震間の地殻変動等のモデルへの適用に着手する。また、これに使用するフォワードモデルの検討や計算コードの作成を行う。

八重山諸島における大学独自の GNSS 観測を継続する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

京都大学理学研究科 : 宮崎真一

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学地震研究所 : 福田淳一

常磐大学人間科学部 : 岩田貴樹

東北大学理学研究科 : 加納将行

理化学研究所 : 平原和朗

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 京都大学理学研究科

電話 : 075-753-3911

e-mail : miyazaki.shinichi.2m@kyoto-u.ac.jp

URL :

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 宮崎真一

所属 : 京都大学理学研究科

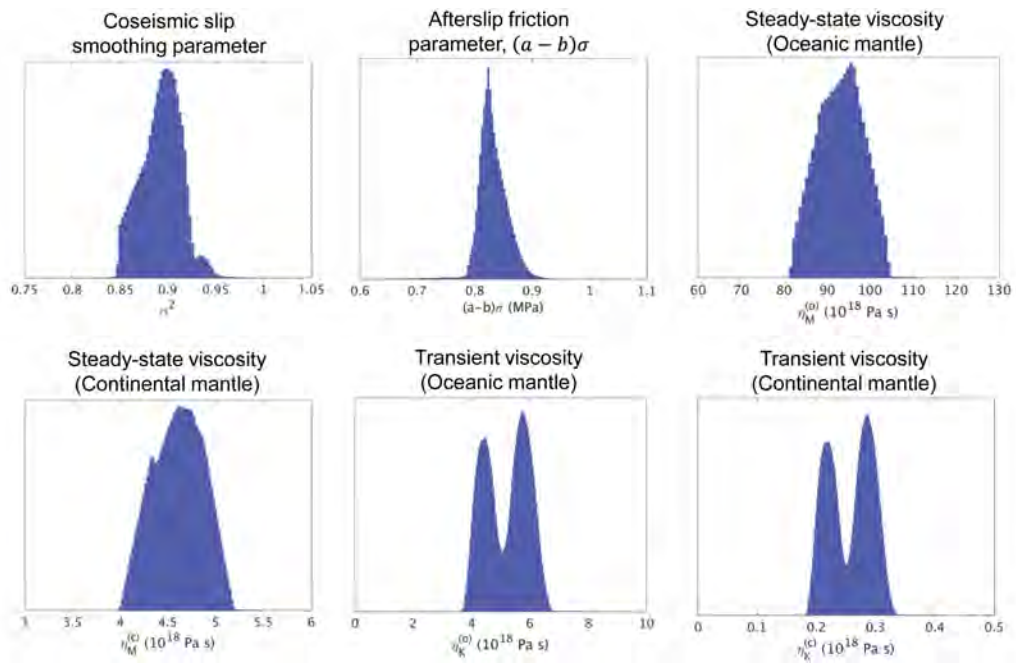


図 1

2011年東北沖地震の地震時及び地震後7年間の地殻変動データを用いて推定された地震時すべり分布に対する平滑化パラメータ、プレート境界の摩擦パラメータ  $(a-b)$ 、海洋・大陸マンツルの steady-state viscosity 及び transient viscosity の事後確率分布。

( 1 ) 実施機関名：

京都大学理学研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震・地殻変動モニタリングによる中期的な火山活動の評価

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

課題番号 1802(「阿蘇火山における水蒸気爆発の予測および火山災害軽減のための観測研究」と「水蒸気噴火後の火山活動推移予測のための総合的研究 - 御嶽・口永良部・阿蘇 - 」)および 1003「多項目観測に基づく火山熱水系の構造の時空間変化の把握と異常現象の検知」により、2014年に噴火した口永良部島と阿蘇山および御嶽山において、水蒸気噴火後の活動推移予測のための観測的研究を実施した。これら3火山での比較研究から、火山活動の推移予測にはGNSSや水準測量による地殻変動観測、火山ガス(二酸化硫黄)放出率の観測、地震観測が特に重要であることが再確認された。

御嶽山では、課題番号 1802 などにより、2014年噴火前の流体貫入に伴う局所応力場変化、噴火直前の長周期地震と傾斜変動の発生メカニズム、2007年・2014年噴火を挟む長期間の膨張・収縮とその変動源が明らかにされた。

口永良部火山では、2014年8月3日の噴火の約1時間前に山体膨張と地震活動がとらえられ、それらが噴火20分前に加速したことが明らかになった。また、2015年噴火は2014年噴火よりも顕著な中期的な前駆現象を伴っていたことが明らかになった。

阿蘇火山では、2014、2015、2016年に発生した噴火に至るまでの過程が多項目観測により詳細に記録された。

十勝岳、吾妻山、草津白根山では課題番号 1003 などにより、火口近傍の多項目観測の強化が推進され、これまでの観測網では見えなかった微小な地動イベントが検知できるようになり、多点データに基づく変動源パラメータの推定が可能になった。

三宅島では、繰り返し相対重力測定により、2000年噴火時のマグマの移動とカルデラの形成プロセスを重力という観点から明らかにした。

また、課題番号 1909「焼岳火山の噴火準備過程の研究」や課題番号 2201「地震・火山相互作用下の内陸地震・火山噴火発生場解明およびモデル化の研究」では、焼岳や九重山の地震・地殻変動観測網が整備された。

#### (7) 本課題の5か年の到達目標：

我が国には数十年以上の休止期を挟んで噴火を繰り返す火山が多い。しかし、その活動サイクルを通して観測研究が行われている火山はごくわずかである。したがって、その他多くの火山を対象として活動評価をおこなうためには、阿蘇や口永良部島などの火山において、長年にわたる近代的観測により蓄積されてきた多項目観測データの分析を進めて、火山活動推移モデルを構築することが不可欠である。一方、その他の火山においては、それぞれの火山活動サイクルの中でさまざまな段階にあると考えられる複数の火山で、同一の項目でモニタリングを実施し、他火山との比較研究を通して、個々の火山の状態を把握することが必要になる。

そこで、本研究課題では、長期間にわたるデータの存在する観測項目である、火山性地震、地殻変動、重力、応力場などのモニタリングを複数の火山で実施し、それらの比較研究をおこなう。そして、近代的観測研究により蓄積されつつある知見を最大限に活用し、「中長期的な火山活動の評価」を実施する。全体の到達目標は、予測精度向上や推移モデルの高度化のために、観測データによる噴火推移の支配要因の理解を深め、さらなる観測事例の蓄積により火山活動推移モデルの構築および事象分岐条件の設定をすることである。

本課題の対象火山は、駒ヶ岳・有珠・樽前・十勝・雌阿寒・吾妻・伊豆大島・三宅島・焼岳・御嶽・阿蘇・九重・口永良部島であり、以下に重点的な観測を実施する火山などの到達目標を記す。

有珠：総合観測と集中的な地震観測を実施し、次期噴火にいたる過程で生じる現象をとらえる。

十勝：総合観測を継続し、unrest イベントを含む火山活動推移（特に噴火準備過程）の類型化を行う。

吾妻：火山深部から浅部における火山性流体の分布・挙動を明らかにし、他の研究対象火山における現象との比較を通じて、中長期的な火山活動の評価を行う。

伊豆大島・三宅島：精密な重力変化の分析により次期噴火にいたる過程で生じる地下のマグマの移動を明らかにする。

焼岳：総合的な観測を継続し、1914年噴火から100年以上が経過した同火山が活動再開に至るまでの推移を把握する。

御嶽：2014年噴火以降に長期にわたり継続している山頂域の地震活動と収縮の発生プロセスを明らかにすること、次の噴火に向けた活動変化を捉える。

阿蘇：噴火サイクルが10～20年と比較的短い阿蘇火山では、そのサイクルを規定する物理量の抽出を目指した多項目モニタリングを実施し、他火山の活動評価の指標を提示する。

口永良部：数ヶ月から数年の時間スケールにおける、マグマ蓄積過程とマグマ蓄積量・率を明らかにする。

#### (8) 本課題の5か年計画の概要：

本研究課題と同様に「モニタリングによる火山活動の評価」に取り組む北大代表の課題「電磁気・熱・ガス観測に基づく火山活動推移モデルの構築」とは相互補完の関係にある。そのため、研究集会を開き密接に連携しながら研究を進め、合同で火山活動評価をおこなう。

本課題では、各火山において、地震観測と地殻変動の連続観測（GNSS and/or 傾斜計）と後述の臨時観測などを実施する。さらに、地震波干渉法による速度構造の時間変化検出や、御嶽山で見られた火山活動にともなう地震活動のメカニズム解の変化検出など、共通の解析手法を適宜各火山のデータに適用することを目的に、各火山担当者の情報交換をすすめる。

また、富山大課題の「富山県弥陀ヶ原火山における地球物理学的観測による火山活動モニタリング」と連携して研究を遂行する。

各年度に実施する観測の内容は以下の通りである。

令和1年度：

御嶽山：In-SAR 解析+水収支モデリング、GNSS キャンペーン観測、山頂地震観測

伊豆大島：絶対重力測定および相対重力サーベイ。

三宅島：火山PJと共同で臨時地震観測

阿蘇火山：地震・空振・傾斜計アレイなど多項目観測。年3回の相対重力測定。

口永良部：レーダ観測をふくむ多項目観測の継続、水準測量

令和2年度：

有珠山：次期噴火の準備をとらえるための臨時観測点設置

三宅島：絶対重力測定および相対重力サーベイ。

御嶽山：水準測量、GNSS キャンペーン観測、山頂地震観測

阿蘇火山：多項目観測の継続。絶対重力測定と年3回の相対重力測定。

口永良部：多項目観測の継続、水準測量

令和3年度

有珠山：火山PJと歩調を合わせ臨時地震観測

伊豆大島：絶対重力測定および相対重力サーベイ。

御嶽山：GNSS キャンペーン観測、山頂地震観測

阿蘇火山：年3回の相対重力測定。多項目観測の継続

口永良部：多項目観測の継続、水準測量

令和4年度：

三宅島：絶対重力測定および相対重力サーベイ。

御嶽山：水準測量、山頂地震観測。

阿蘇火山：水準測量。絶対重力測定と年3回の相対重力測定。多項目観測の継続

口永良部：多項目観測の継続、水準測量

令和5年度：

伊豆大島：絶対重力測定および相対重力サーベイ。火山PJと共同で臨時地震観測

御嶽山：山頂地震観測

阿蘇火山：年4回の重力測定。多項目観測の継続

口永良部：多項目観測の継続、水準測量

#### (9) 令和元年度の成果の概要：

対象火山において地震や地殻変動観測によるモニタリングを実施するとともに、電磁気・熱・ガスのモニタリング課題(HKD\_04)と合同で研究集会を開いた(2019年12月)。また、各種観測データに基づく中期的な火山活動評価の対象として十勝岳を選定し、ニュージーランドで開発された火山活発化指数(Volcanic Unrest Index)を適用するための検討を開始した。

各火山における観測は以下に示すようにおおむね順調に進展している。

#### 【駒ヶ岳・有珠・樽前・十勝・雌阿寒】

道内主要5火山地域における地震・地殻変動観測を継続した。十勝岳の火口近傍観測では、傾斜変動を伴う地震や微動の活動が繰り返し認められた。11月1日~5日や1月20日~21日には、前十勝西観測点で4~5rad/dayの明瞭な変化が現れ、同時に地震活動の増大や微動発生が確認された。

#### 【吾妻】

既設の機動観測点において、2018年以降見られた活動活発化に伴う地震・傾斜変動等を高精度に捉え、それらの変動が、吾妻山大穴火口直下における熱水・熱の供給路で発生していることを明らかにした。

#### 【伊豆大島・三宅島】

次の噴火が近づいていると考えられる伊豆大島において、重力測定を実施した。装置の故障が続発したため、当初計画したような長期連続データは取得できていないが、2019年12月から2020年1月の約2ヶ月のデータからは、徐々に重力が減少している傾向が明瞭に見られた。この変動の原因は地下水位が長期的に下降していることであると考えられる。

#### 【焼岳】

焼岳山頂近傍での既存観測に加え、焼岳山頂(DP.YKEP)におけるGNSS観測、西山麓の焼岳中尾(DP.YAKE)における傾斜計観測を開始した。2019年7月末からの黒谷火口付近を震源とする低周波イベントが発生したが、それに伴う地殻変動などは観測されていない。

#### 【御嶽】

山頂域で観測された地震波形データを用いた機械学習による火山性地震の検知手法開発を進めた(図1)。

また、山頂域および山麓域のGNSS観測を実施した。山頂付近の収縮変動は2019年も継続しているものの、2018年から2019年にかけて山頂域北部を変動源とする隆起が観測された。(図2)。そして、東山麓での水準測量を実施し、前年からの1年間で最大7?の沈降が検出された。一方、御嶽山2014年噴火後の火口からの熱放出現象に関連する3つの観測値の時系列を比較し、放水量の時間変化を説明する水の主要な供給源は深部収縮源であることを明らかにした。

#### 【阿蘇・九重】

3回の相対重力繰り返し測定を実施し、坂梨重力点を基準とした重力の時空間分布を得た。一方、熊本地震前後(2016年~2017年)に観測された絶対重力データを再解析した結果、熊本地震時の地殻変動の寄与を補正したとしても、阿蘇火山周辺では有意な重力増加が残ることが分かった。モデル計算の結果、中岳第一火口直下および草千里直下での熱水質量の増加によって一部の重力変化を説明できることが明らかになった。

中岳第一火口周辺で観測された地震・空振観測記録から、2019年7~8月の火山灰噴煙噴出の開始直前に、火口直下への流体フラックスの増大が繰り返されていたことが示唆された。まず連続微動振幅の増大がみられ、それにやや遅れて微小空振パルスの頻発および振幅増大がはじまる。微動振幅比の時間変化からは火口直下での微動発生が、また、空振パルス波形解析からは関与するガスフラックスの増大が発生していたことが示唆された。

#### 【口永良部島】

地震およびGNSSの連続観測を実施し、2018年7月から2019年11月の期間では、2018年8月15日に山麓で発生したM1.9の地震時に山頂部を東西に横切る基線長(図1 KUC7-KUC9)が伸び、その後10月にかけて解消された。この時期の地震活動は比較的低調であったが、二酸化硫黄放出量が1000トン/日超の値が観測されていた(図1)。これはマグマが供給され火口が開放状態であることを示唆する。2019年2月の噴火以降9月まで基線長に特段の変化は無く、地震活動は低調で二酸化硫黄放出量は比較的少なかったが、2019年10月から12月に基線長が短縮し、2019年11月には二酸化硫黄放出量が増加した。2019年12月実施の水準測量結果から2018年8月と比較して、火口方向の沈降が示唆された(図2)。2020年1月11日に噴火が発生し、その後1月27日と2月3日に噴火した。2月3日の噴火の24時間前から微小地震の頻発が観測され、このことから噴火前の火道内の増圧の進行が示唆される。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
論文

Hashimoto, T., W. Kanda, Y. Morita, M. Hayakawa, R. Tanaka, H. Aoyama(2019), M. Uyeshima, Significance of Electromagnetic Surveys at Active Volcanoes: Toward Evaluating the Imminence of Wet Eruptions, Journal of Disaster Research, 14, (4), 580-591.

風間卓仁, 吉川慎, 長縄和洋, 宮内佑介, 大倉敬宏, 福田洋一 (2019): 熊本県北部における絶対重力測定および相対重力計のスケールファクター検定 (2018年8月). 東京大学地震研究所彙報, 94, 13-28.

Kondo, G., H. Aoyama, T. Nishimura, M. Ripepe, G. Lacanna, R. Genco, R. Kawaguchi, T. Yamada, T. Miwa, E. Fujita(2019), Gas flux cyclic regime at an open vent magmatic column inferred from seismic and acoustic records, Scientific Reports, 9.

Narita, S., Murakami, M. and Tanaka, R. Quantitative relationship between plume emission and multiple deflations after the 2014 phreatic eruption at Ontake volcano, Japan. Earth Planets Space 71, 145 (2019). <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1124-5>

学会発表

青山 裕・橋本武志・田中 良・大島弘光・齋藤公一滝・道下剛史・奥山 哲・札幌火山監視・警報センター, 十勝岳の火口近傍でとらえられた力学現象, JpGU2019.

木村育磨, 大倉敬宏・松本 聡・志藤あずさ・清水洋:阿蘇火山周辺の3次元地震波速度構造. 日本火山学会 2019年度秋季大会

前田裕太 (2019), 火山性地震活動把握のための機械学習による大振幅領域の推定, 日本地球惑星科学連合大会 2019年大会

前田裕太 (2019), 振幅分布に注目した機械学習による火山性地震の検知 (改良版), 日本火山学会 2019年度秋季大会

宮内佑典, 風間卓仁, 福田洋一, 吉川慎, 大倉敬宏, 西島潤, 藤光康宏 (2019/05/27): 相対重力計で観測された熊本県阿蘇地域における重力変化 (2015~2018年). 日本地球惑星科学連合 2019年大会

宮内佑典, 風間卓仁, 福田洋一, 吉川慎, 大倉敬宏, 西島潤, 藤光康宏 (2019/10/29): 阿蘇火山の相対重力変化 (2016~2018年) から予想される地下質量の時空間変動. 日本測地学会第132回講演会

村瀬雅之、北爪直果、山中佳子、松島健、木股文昭、森濟、長谷崇雅、李楊、大淵一樹、國友孝洋、前田裕太、堀川信一郎、奥田隆、松廣健二郎、田ノ上和志、内田和也、手操佳子、宮町凜太郎、森田花織、吉川慎、井上寛之、影山 勇雄、細川 周一、築田 高広、田中里奈、道家涼介 (2019) 水準測量データから推定する2017年御嶽山東山麓でのM5.6地震の断層モデル、日本地球惑星科学連合 2019年大会

山本 希, 吾妻山における長周期地震とそれに伴う傾斜変動, 日本火山学会 2019年度秋季大会

山中佳子, 堀川信一郎, 前田裕太 (2019), 2007年および2014年御嶽山噴火前後に発生した山頂付近の地震活動, 日本地球惑星科学連合 2019年大会

#### (11) 令和2年度実施計画の概要:

HKD\_04と合同で研究集会を行い、阿蘇山を対象とした中期的な火山活動評価を実施する。

各火山での観測計画を以下に示す。

##### 【駒ヶ岳・有珠・樽前・十勝・雌阿寒】

道内主要5火山地域における力学的連続観測を継続する。十勝岳については、火山活動の状況を見ながら火口近傍観測の補助となる臨時観測を計画するほか、試作するVUI指標に従って活動活発化の度合いを随時評価する。有珠山では臨時地震観測、地殻変動観測の準備をおこなう。

##### 【吾妻】

吾妻山の既設観測点における地震・地殻変動の連続観測を継続し、火山深部から浅部における火山性流体の分布・挙動の解明を明らかにする。

##### 【伊豆大島・三宅島】

三宅島火山において、絶対重力計と相対重力計を組み合わせたハイブリッド重力測定(期間は1週間程度)を行い、今後の活動予測に資するための基礎データを取得することを目指す。



【焼岳】

多項目連続観測を継続する。

【御嶽】

山頂域での地震テレメータ試験運用観測点および御嶽山周辺域を含む地震観測網の維持・整備を継続する。GNSS キャンペーン観測(山頂域)を実施するとともに連続観測(周辺域)を継続する。御嶽山東部の棧路線、屋敷野路線、木曾温泉路線、ロープウェイ路線、中の湯路線、屋敷野 中の湯接続新路線(仮)で水準測量を実施する。

【阿蘇・九重】

中岳火口周辺域での地震・空振観測を継続するほか、火口からやや離れた地点に空振アレイ観測点を設置する。また、複数箇所ですべて臨時地震観測を行い、連続微動発生位置の再決定を行う。年2回の頻度で阿蘇火山周辺において相対重力の繰り返し測定を実施し、阿蘇火山周辺の相対重力の時空間変動を把握する。また、京都市～熊本県北部の間で相対重力の往復測定を実施し、相対重力値の器差を検証し、重力を用いた火山活動監視に役立てる。その他、GNSSによる地殻変動観測も継続する。

【口永良部島】

地震、空振および GNSS の連続観測を引き続き実施する。水準測量を1回実施する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

大倉敬宏、横尾亮彦、風間卓人

他機関との共同研究の有無：有

青山 裕、橋本武志、村上 亮(北大)

山本 希、三浦 哲(東北大・理)

今西祐一、大湊隆雄(東大震研)

寺田暁彦(東工大)

前田裕太、山中佳子、寺川寿子、伊藤武男(名大)

大見士朗、中道治久、山本圭吾(京大防)

研究協力者

村瀬雅之(日本大)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：火山研究センター

電話：0967-22-5000

e-mail：

URL：

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：大倉敬宏

所属：火山研究センター

( 1 ) 実施機関名：

京都大学理学研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

阿蘇で学ぶ地震・火山災害への備え

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

( 4 ) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

( 5 ) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

日奈久・布田川断層帯での 30 年地震発生確率が全国の活断層のうちでは比較的高い部類に属するとされていたにもかかわらず、この情報が地元自治体では共有されていなかった。地震や火山に関する情報を適切な防災行動や防災対応につなげるためには、情報の受け手(一般市民)も地震や火山及びそれらに起因する災害について正しく理解することが必要となる。正しい理解のためには、学習する機会を提供し、理解しやすくする仕組みが必要である。そこで、その機会や仕組みを地震・火山の準リアルタイムデータ表示や震災・火山噴火体験を交えたガイドプログラムの中に実装する。そしてまず第一に、阿蘇にて活動するガイドの防災リテラシーを向上する。次にガイドを仲介媒体として、阿蘇地域を訪れる観光客や他地域の自治体職員の地震や火山にかかる正しい知識を醸成する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

地震・火山の準リアルタイムデータ表示として、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」(平成25～30年度)において北海道大学の島氏が開発した準リアルタイム火山情報表示システムを改良して使用する(以下、表示システムと略)。

阿蘇地域では、火山博物館ガイドセンターやジオパークガイド協会に所属するガイドらが地震災害の語り部などとして活躍している。また彼らは「熊本地震の経験や教訓を伝える修学旅行生向けの学習プログラム」や「震災遺構を巡る観光ツアー」、「2016年10月に爆発的噴火を起した阿蘇火山の案内」などの震災体験を交えたガイドプログラムを既に実行している。本研究課題では、ガイドの情報発信力を高めるため、2～3ヶ月に一回程度、阿蘇火山博物館などにおいてサイエンスカフェを開催する。また、年に1～2回、専門家(地震、火山、災害対応など)による講習会を実施する。また、ガイドとともに、阿蘇火山博物館での中高生への教育プログラムを改良し、修学旅行生に自地域でのハザードを認識させるようにする。

なお、部会全体としての研修プログラム構築に知見を提供する予定である。

年次計画は以下の通りである。

R1年度：

表示システムを熊本県庁と阿蘇地域振興局に設置し、地方自治体関係者の地震や火山情報に対するニーズを調査する。

阿蘇火山博物館に観光客向けの表示システムを設置し、観光客の地震や火山情報に対するニーズを調査する。

阿蘇火山博物館を過去に修学旅行で利用した中高の上位5都府県をターゲットに、ハザードマップなどを収集し、その府県向けの学習プログラムを作成し(阿蘇ガイドと協力し情報共有する)随時実施する。

阿蘇ガイドを対象とする地震学セミナーを開催する。

R2年度：

環境省・南阿蘇ビジターセンターに観光客向けの表示システムを設置する。

阿蘇火山博物館を修学旅行で利用した中高の615位の都府県をターゲットに学習プログラムを作成し、随時実施する。

阿蘇ガイドを対象とした講演会やサイエンスカフェを定期的に関き、地震や火山に関する最新の知見の共有をはかる。また、ガイド講習会の実施する。

R3-5年度：

阿蘇火山博物館で全都道府県をターゲットに学習プログラムを作成する。

阿蘇ガイドを対象とした講演会やサイエンスカフェを定期的に関き、地震や火山に関する最新の知見の共有をはかる。

ガイド講習会を実施する。そのなかで、阪神・淡路大震災等の過去災害における語り部活動の事例を調査し、比較検討することにより、ガイドプログラムの向上をはかる。

(9)令和元年度の成果の概要：

準リアルタイム火山情報表示システムを阿蘇火山博物館の火口ライブ映像コーナーに設置した。火口周辺の地震波形、GNSSによる地殻変動を表示している。また、地方自治体関係者の地震や火山情報に対するニーズを調査し、熊本県の地域振興局と危機管理防災課に表示システムを設置することとし、そのためのサーバー構築を実施した。

ジオパークガイドへの講習内容を検討するため、現役ジオパークガイド、ガイド養成講座受講生それぞれに、熊本地震に関するアンケートを行った。使用したアンケートは、文部科学省(2017)、Kimura et al. (2017)の「熊本地震における余震情報と避難行動等に関するアンケート」である。今回の標本数は少ないために、得られたデータは統計的な議論には耐えないものではあるが、講座受講生のうち熊本地震発生前から活断層の存在を知っていた人の割合は3割以下であり、Kimura et al. (2017)でしめされている地震前の活断層認知率と大差のない結果であった。一方、現役ガイドの活断層認知率は7

割程度と高かった。講座受講生の大半が今後ジオガイドになることから、新人ガイドの地球科学リテラシー向上につながる講習が非常に重要であることが明らかになった。

ジオパークガイドの講習を兼ね、京都大学火山研究センターのウィーヘルト地震計の解体作業を実施した。この地震計は1922年の島原半島での地震活動活発化の際に島原城跡に設置され、関東地震を記録している。そして、1928年から2000年まで、火山研究センター本館において火山性地震観測のために使用されていたが、2016年の熊本地震本震により破損した。今後は、火山研究センター本館の修復工事完了後に修理と再設置をおこない、地震計のしくみや地震観測の歴史に関する教材として活用する。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(11) 令和2年度実施計画の概要 :

阿蘇火山博物館のシステムの更新を行い、表示内容の充実をはかる。熊本県の地域振興局と危機管理防災課に表示システムを設置する。また、環境省・南阿蘇ビジターセンターに観光客向けの表示システムを設置するための準備をおこなう。

阿蘇火山博物館を過去に修学旅行で利用した中高の上位15都道府県をターゲットに、断層分布図、ハザードマップなどをジオガイドと協力して整理し、その都道府県向けの学習プログラムを作成する。

ジオガイド(新人)向けの講習を実施する。内容は地震や火山の基礎知識である。一方、現役ジオガイドには「平成28年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査」による最新の研究成果をふまえ、断層運動により引き起こされる揺れについてのセミナーなども実施する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

大倉敬宏

他機関との共同研究の有無 : 有

阿蘇ジオパーク事務局 池辺伸一郎

阿蘇火山博物館 豊村克則

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 火山研究センター

電話 : 0967-22-5000

e-mail : bonkura@aso.vgs.kyoto-u.ac.jp

URL :

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 大倉敬宏

所属 : 火山研究センター

( 1 ) 実施機関名：

九州大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震火山相互作用下の内陸地震空間ポテンシャル評価

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(4) 火山現象の解明とモデル化

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

5 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

( 5 ) 総合的研究との関連 :

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果 ( または観測実績 ) の概要 :

本課題参加者が H26-30 年度に実施した、建議研究 (2201: 地震・火山相互作用下の内陸地震・火山噴火発生場解明およびモデル化の研究)、次世代火山研究推進事業、地震調査推進本部活断層重点調査、科研費による実績が、本研究計画の立案の基礎となっている。内陸地震に関連する成果としては、比抵抗構造と熊本地震の関連 [1]、熊本地震大すべり域と地震波速度構造 [2]、比抵抗構造 [3] との関係、地震による非弾性変形が局所的に大きな領域の近傍で熊本地震が発生した可能性 [4]、偏差応力場の推定と九州のシアゾーンとの関係 [5, 6]。地震前応力場が地震時すべりを規定していること、地震断層が応力場の最適面でない場所でも大きく滑っていること [7]、内陸でのスロー地震発生の可能性 [8]、不均質地殻構造に基づくひずみ集中域形成過程の再現 [9] などの成果を得た。主に火山に関連する成果については、レシーバー関数による阿蘇火山下の低速度領域と深部低周波地震と地殻変動源との対応からのマグマ溜り推定 [10]。火山直下の断層の比抵抗イメージングとガス流体が地震を引き起こすモデルの提案 [11]、マグマ上昇経路とその周辺の地震との関連 [12] などの成果を得た。また化学的観測による地殻流体の通路となり得る断層帯の間隙率の評価方法の確立 [13] した。地下水に溶存する窒素-ヘリウム-アルゴンの三成分比の時間変化から、地殻流体の上昇に関する情報を連続的に得る方法を開発し運用を開始した。

[1] Aizawa K. et al., (2017), Earth, Planets and Space, 69:4.

[2] Shito A. et al., (2017), Geophys. Res. Lett., 44, doi:10.1002/2017GL074593.

[3] 相澤広記, (2017), 地球惑星圏・電磁気学会.

[4] Matsumoto et al. (2016), Earth, Planets and Space, 68:207

[5] Matsumoto et al. (2015), Earth, Planets and Space, 67:172

[6] Matsumoto (2016), Geophys. Res. Lett., doi:10.1002/2016GL070129

[7] Matsumoto et al. (2018), Geophys. Res. Lett., doi:10.1002/2017GL075725

[8] Ohzono M. et al., (2015), Geophys. J. Int., 200, 144-148.

[9] 湊 ( 2015), 北大修論.

[10] Abe Y. et al., (2017), J. Geophys. Res., 122, doi:10.1002/2016JB013686.

[11] Aizawa K. et al., (2016), Geology, 44:127-130.

[12] Aizawa K. et al., (2014), J. Geophys. Res., 2014, doi:10.1002/2013JB010682.

[13] Kuo, T., Tsunomori F., (2014), J. Petrol. Sci. Eng., 122, 700-704.

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

本課題では、内陸地震の発生場所や規模の評価を、多項目観測や室内実験を通じて調べ、支配的な要素や、要素間の関係性を見出すことで、評価手法の確立に道筋をつける。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

熊本 阿蘇火山と、北海道の屈斜路 - 阿寒カルデラ周辺を観測重点地域として内陸地震空間ポテンシャル評価の研究を行う。地震発生は、対象地域に働く応力場、断層周辺の力学的応答、地震を発生させる断層面の形状、断層の強度、破壊の開始や停止に対する流体の効果、流体の上昇の効果、という要素に規定されていると考え、以下のような手法に基づきそれぞれの要素の評価を行う。

応力場：地震活動がある領域についてはモーメントテンソルを用いて推定する。地震の起こっていない領域については周辺の応力状態、変形状態から推定し、応力場モデルの構築を行う。機動地震観測により地震活動が活発な地域では水平深さ方向とも 5°程度の分解能で推定する。さらに構造情報を入れて、数値計算により不均質な応力場の再現を試みる。応力場が不均質であることが示唆されている天草周辺の非地震帯、警固断層周辺で臨時 GNSS 観測、地震観測を強化し、不均質な応力場が形成されるメカニズムを推定する。

断層周辺の力学的応答：地震学的、電磁気学的構造、測地学的運動から周辺の地域の弾性的・非弾性的応答を推定し、数値計算により断層に載荷される応力（応力再配分）を推定する。一方、地震による非弾性変形や GNSS 観測による地表変位速度データをもとにして、定常変形や大規模地震による応答を求める。

地震を発生させる断層面：主に観測重点地域を対象に地表の活断層の分布、稠密地震活動から見出される震源の面上配列、広帯域 MT 調査による厚みをもった破碎帯（低比抵抗帯）の形状から推定する。

断層の強度：周辺の地震活動から見積られる間隙流体圧、応力場と断層面との関係、低比抵抗 - 低速度域、断層直上の温泉ガス分析から推定される空隙率、等を用い推定する。流体供給源の位置と化学観測からの流体経路を参考にして、断層の強度低下の可能性を検討する。

流体分布と、流体が地震の開始や停止に及ぼす影響：比抵抗構造、速度構造、減衰構造の 3 者を推定することにより地下の流体の蓄積場所と、水かガスかマグマかの判別、温度、粘性係数、さらには流体を蓄える亀裂の大きさを推定する。観測重点地域は 5～10 km 程度の解像度で応力場モデルと組み合わせ、歴史地震の発生した場所の地震ポテンシャルを検討する。さらに、断層端と流体分布の位置関係から、破壊が流体によって停止する可能性を検討する。流体周辺域とその他の地域に分け、初期破壊過程と最終的な地震の規模との関連を統計的に評価する。

流体移動の効果：火山周辺ではマグマの蓄積や粘性緩和によって周辺の応力場が変化し、地震発生につながることが考えられる。屈斜路 - 阿寒カルデラにおいては GNSS 観測などから歪の不均質場を明らかにするとともに、地震活動や火山活動との関連性について検討する。マグマが冷却結晶化する過程で析出した水を含む揮発性成分や、断層地下にもともと蓄積されている流体も移動することにより地震を誘発する可能性がある。熊本 - 阿蘇地域の温泉を対象に H<sub>2</sub>, 4He, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, 36Ar, 40Ar, CO<sub>2</sub>, 222Rn のモニタリング連続観測を行い、玄武岩質マグマ起源流体、安山岩質岩マグマ起源流体、大気の混合比を求め、その時間変化と地震活動との相関を検討する。さらに水の酸素水素同位体比チンチン澄澄 3He/4He/20Ne 比ケ 曠う ゼ昇塵 222Rn のサンプリングも定期的に行い、流体の起源を推定し流体供給路を推定する。また、起源の異なる流体が相互に混入することがあるかどうかを調べる。これによって、火山活動との相互作用や地震活動の活動様式について知見を得る。また、断層等でガスサンプリングを実施する。また、流体の起源についての別のアプローチとして、野外の露頭調査からは深成岩体（過去のマグマ溜り）周辺の含水鉱物の分布や、分析による化学組成、さらには冷却結晶化の室内実験において結晶化の進行と発生するガスの挙動を調べ、流体の振る舞いや、流体が深成岩体周辺に 100 万年単位で蓄積される可能性を検討する。

以上の手法により、過去に大きな地震が起きた地域をモデルケースとして、各要素を推定し、支配的な要素や、要素間の関係性を調べる。これにより内陸地震の空間ポテンシャル評価手法の開発を試みる。

平成 31 年度は以下の観測調査を行い、既存データと併せて解析を進める。

地震観測：熊本地震震源域、その南部延長部、天草非地震帯および阿蘇を含む領域で稠密地震観測を実施し、地震後応力場推定の精度を向上させるとともに、地震活動様式を詳細に把握することでこれらの時空間変化をとらえるためのデータ取得を開始する。また、既存データの処理解析を進め、布田川 日奈久断層帯の断層面形状、地震後応力場推定を進める。

測地観測：GNSS による熊本地震の余効変動観測を継続する。屈斜路 - 阿寒カルデラ周辺において連続 GNSS 観測のデータを収集、解析する。

化学観測：熊本 - 阿蘇地域の温泉（3 地点）を対象に H<sub>2</sub>, 4He, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, 36Ar, 40Ar, CO<sub>2</sub>, 222Rn の

モニタリング連続観測を開始する。

電磁気観測：鶴見岳周辺で10点規模の広帯域MT観測を実施する。

室内実験：アナログ物質を用いて冷却速度が、気泡形成の振る舞いに及ぼす影響を調べるための実験装置のデザインを行う。

重力観測：北海道屈斜路カルデラ・阿寒カルデラ周辺において、これまでの重力観測のデータを整理する。

(9) 令和元年度の成果の概要：

本課題では、内陸地震の発生場所や規模の評価を、多項目観測や室内実験を通じて調べ、支配的な要素や、要素間の関係性を見出すことで、評価手法の確立に道筋をつけることを目標としている。

地殻内に局在化した Weak zone での非弾性変形は、応力集中プロセスにおいて重要な役割を果たすと考えられている。2016年熊本地震震源域を含む九州中央部は、20~30kmの帯状の活発な地震活動とそれに囲まれた地震空白域(南島原-天草)を有している。測地データと地震データを使用した解析によって、この領域の非弾性変形と応力集中プロセスや地震空白域との関係を検討した。応力の連続性から上部地殻から下部地殻まで応力テンソルの形状は大きく変化しないと仮定し、発震機構データから推定した上部地殻の偏差応力を拘束条件として下部地殻の非弾性変形の方角と大きさを推定する手法を開発した(Yuasa et al., 2020, GJI)。測地観測によって得られたひずみ速度場を入力データ、発震機構データから推定された偏差応力場を拘束条件としたインバージョン結果は、地震活動が活発な領域下に高い非弾性歪み速度( $10^{-7}$  /yr)を有する領域があることを示す。またその直上の上部地殻では非弾性変形によって効果的に応力集中が進行していることが示唆された。その一方、南島原-天草の地震空白域の下部地殻も歪み速度はそれほど顕著ではないものの周囲と同程度に非弾性変形しており10年の単位では上部地殻に応力を蓄積しつつあることが示唆された。地震空白域は、地震波速度構造から高速度異常であり(Saiga et al., 2010)、本年度に実施した広帯域MT探査からは地震空白域を中心に明瞭な高比抵抗体が存在することが明らかになった。以上のことから南島原-天草の地震空白域の特に上部地殻に相当する深度に深成岩体のような温度が低く水をあまり含まず破壊強度が高い物質が存在し、そのことが地震空白域の原因であると推定された。

大局的な観点から深成岩体などの破壊強度が強い領域が地震空白域の原因と推定されたが、比抵抗構造と内陸地震の震源分布の対応を見ると、地震活動が活発な領域は巨大な高比抵抗体の端部であり、その近傍には流体と解釈される低比抵抗体が存在する。熊本地震震源域を対象に新規データを加えた3次元比抵抗構造を推定し、震源と比抵抗の空間的な対応を精査したところM5以上の規模の大きい地震は低比抵抗体の近傍で破壊が開始する一方で、M5より規模が小さい地震は高比抵抗領域でも破壊が開始することが示唆された(相澤他, 2019, JpGU)。同様の関係は九重山周辺で行った広帯域MT観測からも推定され(相澤他, 2019, 地熱学会秋季大会)、流体が破壊の成長に影響していることを示唆した結果と考えられる。流体が破壊の成長、特に初期段階に役割を果たしていることは稠密地震観測からも示唆された。2000年鳥取県西部地震震源域で2014-2018年新学術領域研究「観察・観測による断層帯の発達過程とミクロからマクロまでの地殻構造の解明」の一環で行われた1000点の地震観測(0.1満点地震観測)からは、地震の初動に断層運動だけでは説明がつかない押し(体積増)の成分が見られる地震が多発していることが明らかになった(Hayashida et al., 2020, GRL)。同様の Non double couple (NDC) 成分を持つ地震の発生は熊本地震震源域の臨時地震観測網からも示唆されており、流体分布とそれが破壊の初期段階に与える影響を解明するため今後、熊本地震震源域にて稠密地震観測を可能な範囲で行いNDC成分と構造等から推定される流体分布との対応を検討する。

上記鳥取県西部地震震源域の1000点のデータを用いて、2017年3月から2018年4月までの余震活動を詳細に調べた。この観測により、マグニチュード0.5程度まで発震機構解が精度よく推定された。従来、余震活動は余震数、マグニチュードなどを尺度に議論されてきたが、精度の高い発震機構解が得られたことで、余震活動を大地震による非弾性緩和現象としてとらえるアプローチを進めた。その結果、余震活動はおおむね、べき乗流体として変形していると表現できることが明らかになった。ま



た、余震の減少が少ない領域は非地震的なすべりが発生している可能性を指摘した。

地震の発生を理解するためには、地震断層の正確な断層形状とその周辺の応力状態を知ることが必要である。DD法を用いて決定した震源分布(Shito et al., 2017)を再解析し、その余震分布から2016年熊本地震の震源域である日奈久・布田川断層の枝分かれ構造等詳細な形状を決定した。また、その周辺の絶対偏差応力場の推定を試みた(Mitsuoka et al., in revision)。前震前、本震後の2期間の震源メカニズム分布から偏差応力テンソルの時空間変化が推定された。この変化はすべて熊本地震による弾性応答によると仮定し、偏差応力の絶対値の推定を行った。その結果、2016年熊本地震発生前は、最大前震・本震の震源近傍の差応力は、数MPa～数10MPaであり、その周囲に比べ応力集中していたことが示唆された。地震後、震源近傍の差応力は地震前に比べ半分程度に減少したが、日奈久断層の南延長部では、差応力が約2倍に増加したことが示唆された。このことは日奈久断層の南部で地震発生可能性が高まったことを示す結果である。一方、2016年熊本地震後に展開した臨時GNSS観測網を維持することにより2019年度も熊本地震による余効変動が継続していることを確認した。今後、余効変動のモデルを検討し、上記の差応力絶対値推定等に生かす。

火山地域においては、深さ数kmの浅部の比抵抗構造と地殻変動との対応が見られた。阿寒カルデラ周辺では、2016 - 2017年の非定常イベントに伴う地殻変動が局所的に発生しており、相対重力観測のデータを整理した結果からも同様に大きな変化が見えている。この地域の予察的な比抵抗構造 [HKD04課題と連携] から、非定常イベントの変動圧力源周辺に低比抵抗体の存在が示唆された。また九重硫黄山でも同様の関係が推定された(相澤他, 2019, 地熱学会秋季大会)。今後、地殻変動源が低比抵抗体と空間的に一致するのか、その下部、または上部に位置するか、さらに重力変化も詳細に検討し、流体が熱水であるかマグマであるかの判別と地殻変動のメカニズムを推定する。

マグマから揮発した流体は地震活動を活発化させ、一方で地震によりマグマの発泡が促進されるなど、流体の移動を介して火山活動、地震活動が相互に影響することを化学観測により検証する。空間的に近接した布田川日奈久断層帯と阿蘇火山の関連を地下水に溶存しているヘリウム窒素アルゴンの三成分比の時間変化に注目して調べる。2020年3月に布田川断層帯沿いの温泉施設と2020年3月に分析計を設置することに合意したので観測を開始する。阿蘇山リム内では、引き続き温泉施設と交渉を行い、できるだけ早く観測開始を目指す。

マグマだまりが地下深部で結晶化することで、マグマだまり内部に揮発性成分が濃集していく。揮発性成分が過飽和になると、気泡が形成し、マグマだまりの増圧や、マグマだまりからの揮発性成分の脱ガスが起こる。このように、マグマだまりの冷却結晶化に伴う発泡過程は、噴火ポテンシャルの評価や、周辺岩体への火山性流体の供給と関係する。冷却固結に伴い揮発成分の濃集と気泡形成がどのように進行するかを理解するために、H<sub>2</sub>O-KCl-CO<sub>2</sub>系をアナログ物質として、実験的研究を行った。その結果、揮発性成分の過飽和と気泡の形成は、冷却に伴う揮発性成分のメルトへの溶解度の増加と結晶形成に伴う、メルトへの揮発性成分の濃集の競合によって支配され、従来の考え方のように溶解度の増加を無視してはいけないことがわかった。また、気泡形成の時間空間発展は、結晶成長のミクロ(結晶形態)とマクロ(温度場の幾何学)の構造に関係し複雑であることがわかった。

より広域な場

広域な応力場について国土地理院のGNSS連続観測点の日座標解を使用して、北海道東部のひずみ場の時間変化を検証した。結果として、2003年十勝沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震に伴う地震時および地震後の時期に擾乱を受けるものの、どの地域においても水平主ひずみはほぼ一貫してプレート収束方向ないし千島海溝の海溝軸に直行する方向に短縮の軸を保っていることが明らかになり、広域応力場として常にプレート収束の影響が存在することを確認した。

南島原 天草の地震空白域の研究から、変形場、応力場、地震活動を解明する上では、下部地殻だけではなく上部地殻も含め地下構造を推定することが重要であることが示された。地震波減衰構造については多重等方散乱を仮定したモンテカルロ法にもとづく散乱波の感度カーネルの計算により、散乱と減衰の三次元構造を分離して推定する手法を開発し、九州全域を対象として適用した(Shito et al., in revision)。その結果、深さ10kmまで1-2Hz, 2-4Hz, 4-8Hzにおいて、信頼度の高い内部減衰と散乱

減衰の三次元減衰構造が得られた。その結果、全ての周波数帯において火山周辺に顕著な高散乱減衰領域がイメージングされた。これは、火山体地下にマグマだまりなどを含む様々な空間スケールの不均質構造が存在していることを示していると考えられる。また、白亜紀花崗岩に対応した九州北部の低内部減衰領域がイメージングされた。また熊本地震の震源西部深さ 10 km の領域は活火山が存在していないにも関わらず 4-8Hz で顕著な高散乱減衰を示した。その原因は空間スケール 1 km 以下のクラック等のランダム不均質の存在であると考えられる。この結果は比抵抗構造で低比抵抗がイメージングされたことと調和的で、流体の存在を示唆している。

高精度震源データ JUICE カタログ (Yano et al., 2017) を用い、西南日本沈み込み帯で発生する地震 (プレート境界、スラブ内地震) における Gutenberg-Richter 則に従う  $b$  値の空間分布を求め、スロー地震の中でも低周波地震 (LFEs)、長期的スローリップ (SSEs) との対応関係から、当地域における応力・強度状態について考察した。その結果、四国中央部を除き、LFEs 発生域 (紀伊半島、四国西部、豊後水道) では高  $b$  値をとることがわかった。Nakajima and Hasegawa (2016) では、LFEs 発生域においてはプレート境界上盤側の浸透率が小さく、スラブから脱水した流体がプレート境界にとどまり、間隙水圧が上昇することにより LFEs が発生すると指摘しているが、高  $b$  値はプレート境界における間隙水圧上昇に伴う強度低下を反映している可能性がある。一方、四国中央部は LFEs の発生域にかかわらず、顕著な低  $b$  値をとることがわかった。地震波速度構造 ( $V_p/V_s$ ) や減衰構造 ( $Q_p$ ) (Matsubara et al., 2009; Kita and Matsubara 2016) との対応から、四国中央部は他の LFEs 発生域に比べて、沈み込むスラブからの脱水量が小さい可能性がある。今後は九州内陸部をターゲットに  $b$  値の分布を求め、流体分布との対応も考慮しながら応力・強度状態を把握し、当地域における地震発生ポテンシャル評価に生かす。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Chiba, K. (2020) Stress state along the western Nankai Trough subduction zone inferred from  $b$ -values, long-term slow-slip events, and low-frequency earthquakes, *Earth, Planets and Space*, <https://doi.org/10.1186/s40623-020-1130-7>, 72, 3.

Yuasa Y., Matsumoto S., Nakao S., Matsushima T., Ohkura T. (2020), Inelastic strain rate and stress fields in and around an aseismic zone of Kyushu Island, Japan, inferred from seismic and GNSS data. *Geophysical Journal International*, ggaa008, <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa008>.

Hayashida Y. Matsumoto S., Iio Y., Sakai S., and Kato A., Non-double-couple micro-earthquakes in the focal area of the 2000 Western Tottori earthquake (M 7.3) via hyperdense seismic observations, *Geophysical Research Letters*, DOI: 10.1029/2019GL084841, in press.

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

熊本地震震源域にて稠密地震観測  
熊本地震震源域にて余効変動観測の継続  
九州内陸部での  $b$  値の分布推定  
下部地殻の非弾性変形の方法と大きさを推定する手法の高度化  
弟子屈 阿寒地域での広帯域 MT 観測  
鶴見岳周辺での広帯域 MT 観測  
ヘリウム・窒素・アルゴンの三成分連続観測  
屈斜路 - 阿寒カルデラ周辺において連続 GNSS 観測  
冷却速度が、気泡形成の振る舞いに及ぼす影響を調べるための室内実験

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

相澤広記・松本 聡・松島 健・清水 洋・寅丸敦志 (九州大学)  
大園真子・高橋浩晃・橋本武志 (北海道大学)

角森史昭(東京大学)

中尾 茂(鹿児島大学)

他機関との共同研究の有無：有

滋賀県立大：小泉尚嗣(化学調査分析)

名古屋大学：市原寛(MT観測)

京都大学理学研究科：柴田智郎(化学調査分析)

道総研地質研：岡大輔(重力観測)

産総研：名和一成(重力観測)、森川徳敏(化学調査分析)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：九州大学地震火山観測研究センター

電話：092-802-4347

e-mail：aizawa@sevo.kyushu-u.ac.jp

URL：http://www.sevo.kyushu-u.ac.jp/

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：相澤広記

所属：九州大学地震火山観測研究センター

( 1 ) 実施機関名：

山梨県富士山科学研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

富士山の事象系統樹を精緻化するための噴火履歴の研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

富士山の噴火履歴の精緻化を目的に、火口特定やテフラ層序に関する野外調査やトレンチ調査、古地磁気を使用した溶岩の噴出年代の推定、特定有機化合物を使用した放射性炭素年代測定法の検討に関する研究を実施した。これらの研究の成果は、現在検討を行っている富士山のハザードマップの検討に活用されている。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

富士山におけるテフラ層序や年代未詳の噴出物の年代を決定させることにより、噴火履歴を高精度化し、その結果をもとに噴火事象系統樹を精緻化する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

富士山の噴火事象系統樹を精緻化するために、詳細な噴火履歴と噴火推移が必要である。そのため、地質調査およびトレンチ調査を実施し、富士火山東麓におけるテフラ層序の再検討を行う。また、堆

積物中の有機分子を使った年代推定手法の検討や古地磁気の永年変化を用いた溶岩の年代決定法を検討し、年代未詳の溶岩やテフラの年代決定を行う。さらに、富士山噴出物の既存研究のデータを集約し、調査研究で得られたデータと共に富士山噴出物データベースを構築し、これらのデータを基に噴火履歴の高精度化、噴火事象系統樹の精緻化に取り組む。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

富士山の溶岩の年代決定や層序対比を行うため、 $^{14}\text{C}$  年代測定法や古記録による年代の決定している溶岩および火砕岩について古地磁気の測定を実施した。その結果、これまで古記録より西暦 800-802 年とされていた鷹丸尾溶岩は、古地磁気方位から西暦 600-700 年と推定される (図 1)。また、鷹丸火砕流堆積物、檜丸尾第 1 溶岩流、中の茶屋溶岩流、青沢溶岩流も同時期の噴出物であることが明らかとなった。西暦 937 年とされている剣丸尾第 1 溶岩は西暦 1000 年と推定されている不動沢溶岩の古地磁気方位と一致し、永年変化曲線との対比に於いても西暦 1000 年頃と推定された。さらに、宝永山に含まれる火山弾の古地磁気方位は西暦 1700 年頃を示し、宝永山が宝永噴火 (西暦 1707 年) 時に形成されたことが示唆された。

有機化合物を用いた  $^{14}\text{C}$  年代測定法の有効性を確認するため、忍野村の陸上トレンチ断面 (Oshi2) で大室山スコリア (Om) の直下の土壌層中の陸上植物起源の  $\text{C}_{24} \cdot \text{C}_{26} \cdot \text{C}_{28}$  脂肪酸の  $^{14}\text{C}$  年代測定を行ない、Oshi2 及び山梨県南都留郡富士河口湖町のトレンチ断面 (Kunugi) で得られた炭化木片等の年代との比較を行った。Oshi2 の  $\text{C}_{24} \cdot \text{C}_{26} \cdot \text{C}_{28}$  脂肪酸と Kunugi の炭化木片の  $^{14}\text{C}$  年代は、それぞれ  $3078 \pm 53$  年前 (yr BP) と  $2960 \pm 61$  年前 (yr BP) であり、両者の年代範囲は誤差の範囲内で概ね一致が見られた (表 1) 。こうしたことから、今後、炭化木片が産出しない土壌試料でも、これら脂肪酸を利用した年代推定が可能であることが示された。

テフラについては、スコリアの粒度や形状、含まれる気泡の量や形状、斑晶組み合わせ、化学組成を用いた定量的な対比方法を検討するため、スコリアの粒形状、含まれる気泡の量や形状のデータを収集した。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

富士山東麓における地質調査およびトレンチ調査を実施し、テフラ層序の再検討を行う。また、堆積物中の有機分子を使った年代推定手法の検討および古地磁気の永年変化を用いた溶岩の年代決定法を検討し、年代未詳の溶岩やテフラの年代決定を行う。さらに、富士山噴出物の既存研究のデータを集約し、調査研究で得られたデータと共に富士山噴出物データベースを構築に取り組む。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

山梨県富士山科学研究所 富士山火山防災研究センター  
吉本充宏、馬場章、山本真也、亀谷伸子、内山高、本多亮、石峯康浩  
他機関との共同研究の有無 : 有  
東京大学地震研究所 安田敦 准教授

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 山梨県富士山科学研究所  
電話 : 0555-72-6211  
e-mail : [www-admin@mfri.pref.yamanashi.jp](mailto:www-admin@mfri.pref.yamanashi.jp)  
URL : <http://www.mfri.pref.yamanashi.jp/index.html>

( 14 ) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名：吉本充宏  
 所属：山梨県富士山科学研究所

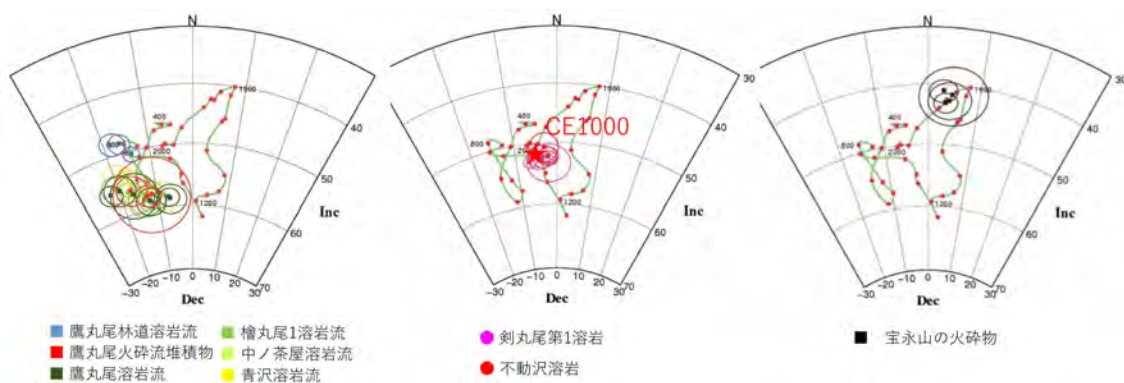


図1 富士山の溶岩および火山噴出物の古地磁気方位と地磁気永年変化モデル (JRFM2K.1: Hatakeyama et al., 2012)

サンプル名	測定対象	<sup>14</sup> C age (yr BP)		Cal age (cal BP)		Reference
Kunugi	炭化木片	3010	±40	3202	±71	山元ほか(2005)
Kunugi	炭化木片	2960	±61	3123	±93	山本ほか(2020)
Oshi2	脂肪酸	3078	±53	3281	±67	山本ほか(2020)
Oshi2	土壌	2730	±30	2821	±32	山本ほか(2020)

表1 大室スコリア (Om) の直下の土壌層の年代値の比較

( 1 ) 実施機関名：

山梨県富士山科学研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

火山モニタリングと地下水流動把握のための多点連続重力観測

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

イ. 観測・解析技術の開発

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

研究課題「富士山における地下水観測」では富士北麓地域の涵養源の把握のために同位体比や主要イオン、微量元素などの測定を行い、代表的な水文地質構造の地下地質断面図をまとめた。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

本課題ではこれまで同様、井戸や湧水等での水位観測・水質観測によって富士山麓の水の流れを追うとともに、重力観測を行うことで広域的に水の動きを追うことを試みる。水位観測については可能であれば観測点数の増強を行い、重力連続観測点についても複数点展開する。これまでに明らかになった水理地質構造に基づき地下水流動による重力効果のシミュレーションを行う。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 31 年度～32 年度においては重力観測点の整備を行い観測データの即時的流通を図るとともに、水質調査による水理地質構造の解明をすすめる。また、研究所内井戸の水位観測を実施しデータの流通

を図る。平成 35 年度までには、重力観測データ蓄積により季節変動成分が議論できる状態になり、水位観測データを参照することで既知の水理地質構造中での地下水流動による理論重力値を観測値と比較できる状態を目指す。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

令和元年度は、前年度までに整備した山梨県富士山科学研究所管理棟内にある重力点に gPhone 重力計 ( #163 ) の導入を行い、連続観測を開始した。研究所屋上には国土地理院による REGMOS 点があるので、地殻変動情報はこれを参照する。また、気象観測装置を併設したことで、今後これにより気象環境変化に起因する重力変化の有無を判じる。富士山北麓地域の水位・水質の観測は継続している。重力計が導入された直後、ドリフトがまだ安定しない時期ではあったが、本年度発生した台風 19 号による 1 日あたり 300 mm 近い降水の影響が重力計記録に捉えられた。令和 2 年 2 月現在、重力計のドリフト量は約 50 ugal/月程度で安定している。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) ：  
本多亮，柳澤孝一，田中俊行，浅井康弘，重力変化で捉える既知の水理地質構造中の地下水流動 - 岐阜県東濃地域における長期水圧低下を例として - ，物理探査，72，34-48，2019。

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要：

令和 2 年度は以下の項目を進める。

- ・重力連続観測記録について、一時処理後 Web スペースへのアップロードまでを自動化し、24 時間どこからでもデータの状況が確認できる体制を確立する。
- ・水位観測、水質観測の継続
- ・降水イベントで生じた重力変化について、過去に提案された水理地質構造を適用したシミュレーションを実施する。
- ・積雪についても効果の試算を試みる。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

山梨県富士山科学研究所 火山防災研究センター  
他機関との共同研究の有無：有  
産業技術総合研究所：名和一成 研究グループ長  
東京大学地震研究所：今西祐一 准教授

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：  
電話：  
e-mail：  
URL：

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名：本多亮  
所属：山梨県富士山科学研究所



( 1 ) 実施機関名：

奈良文化財研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

考古・文献資料からみた歴史災害情報の収集とデータベース構築・公開ならびにその地質考古学的解析

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

イ. 考古データの収集・集成と分析

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

火山

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 桜島大規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と活用・公開

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

日本国土において表層地質情報を最も蓄積していた考古学において、しかしその発掘調査目的は文化財の保護・記録であったために地域災害履歴の蓄積や防災・減災への貢献がほとんど進まなかった背景において、本計画に改めて参画したことが最も大きな成果といえる。本計画以前にも「地震考古学」という名称で特に阪神淡路大震災以降、一時的に情報の蓄積が行われたが、行政執行目的外の背景からその流れは継続しなかった。今回、地域ごとの有志による小規模データベースではなく、行政区画を超えた形で一括したデータベース作成を進めた意義は大きい。実務的な内容としては、当初計画通り、平成 26 年度にはデータベースの項目設計、発掘現場での情報収集、データの収集と分析、文献史料の調査、平成 27 年度にはデータベースの構築開始、発掘現場での情報収集、データの収集と分析、

研究集会の開催と順調に進んだが、災害痕跡の記録、検証についてのノウハウが発掘調査担当者の中に浸透しておらず、調査現場からの情報抽出の困難さが浮きぼりとなった。加えて本計画開始当初で遺跡の総数は全国で44万件を超えており、その情報の集成とデータベース化のシステムを検討する必要が出てきた。そこで担当省庁である文化庁を通じた全国地方公共団体との協業について現在も模索中ではあるものの、そのシステム構築に向けた取り組みを進めている。そこで平成28年度には歴史時代を中心としたデータベースのプロトタイプ構築を進めるとともに発掘現場での情報収集、データの収集と分析を進めた。さらに平成29年度にはデータベースの先史時代への拡張、発掘現場での情報収集、データの収集と分析、研究集会を開催し、本年度となる平成30年度には拡張版データベースの公開に向けて取り組んでいる。

(7) 本課題の5か年の到達目標：

主に以下の6点の課題を中心に取り組み、データベースの拡充を進める。

課題1) 考古発掘調査から地震、火山噴火現象を示す痕跡を明確に識別する方法の開発と、それらの発生時期特定に関わる調査・記録法の普及・啓発。

課題2) 過去の低頻度巨大地震の発生時期の検証と被災分布や具体的な被災像の追跡。

課題3) 海溝型地震と内陸型地震発生の関係。

課題4) 史料による近世地震・火山噴火記録と発掘調査から検証される災害・被災実像の対比から、先史・古代・中世の地震・火山噴火像についてより具体的な現象像の解明。

課題5) 日本全国の百年から千年単位のスケールでの地震・火山噴火発生像の追跡。

課題6) 埋蔵文化財情報についての地域発信(発掘調査現地説明会、学校教育授業への情報提供、出前講演など)を通し災害履歴情報の共有化を進め、災害知識の定着化を目指す。

本研究課題は、2-1(1)「地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析」、2-1(2)「低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明」、2-2(1)「地震発生の新たな長期予測」、2-2(4)「中長期的な火山活動の評価」、2-4(1)「地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明」に根本的に関わる内容である。その上で課題2)～5)の中でおこなっていくデータベースの拡充は、地震・火山噴火災害についての長期的データの収集と解析を基盤とした、a)長期間での地震・火山噴火現象への理解、b)「地震発生の新たな長期予測」や「中長期的な火山活動の評価」に結びつく長期間での地震・火山噴火発生履歴への理解、さらにその履歴からc)長期間での災害および被災履歴の解明に結びつくと考えられる。このような取り組みから、地震・火山噴火発生の時期性や地域性としての実態も見えてくる可能性は高い。またデータ収集をおこなっていく中で、時間・空間スケールの大きく異なる史料、考古、地質学的アプローチやデータについて、共有性や連携強化を進め、災害実像解明に資するデータ基盤作成の強化を図る。

課題1)と5)とした「発掘調査における災害痕跡の調査・記録方法の開発と普及・啓発」と「埋蔵文化財情報についての地域発信を通じた災害履歴情報の共有化と災害知識の定着化」を目指した取り組みは、2-5「研究を推進するための体制の整備」に関わり、データベースの公開によるアウトリーチ活動の活性化を図るだけでなく、2-5(2)「分野横断で取り組む総合的研究を推進する体制」、2-5(3)「研究基盤の開発・整備」、2-5(4)「関連分野との連携強化」を支える基盤情報整備として活動を目指し、さらに文化庁や地方公共団体との連携強化を進めることで、2-5(6)「社会との共通理解の醸成と災害教育」への取り組みを目指す。

(8) 本課題の5か年計画の概要：

本5か年計画では、(7)の項で示した6つの研究課題について進めていく。このうち、課題1)については科研費(平成30年度科学研究費助成事業(挑戦的研究(開拓))での採択課題「歴史災害の実像解明への考古・歴史・地質学的複合解析による災害履歴検索地図の開発」としてもすでに着手を始めている。課題2)～5)については本5か年計画で進める研究課題としてデータベースを拡充していく内容であり、課題遂行は当然のことである。課題6)については今後の新しい取り組みの一つ

となるが、基幹省庁である文化庁との調整を続けていることと、データベースの運用において最も大きな課題となる基盤情報の取得を、地方公共団体を取り込むことで解決する必要があることから、この課題の遂行は是が非でも進める必要がある。資金等において課題があるが、課題の重要性から行政的な任務遂行に向けた挑戦を進めたい。

課題 2) ~ 5) の基盤となる全国の発掘調査成果に基づく災害痕跡データの集成とデータ入力については、年度を区切らず継続的に進め、これまでの実績から今後 5 年間で 10 万地点程度のデータ精査を進め、4 万点程度の災害痕跡を抽出できる見込みである。その上で、以下の通り次の 5 力年で進める概要工程を示す。またデータ集成組織の更新に向けた基幹省庁との調整は、適宜順次進める。

#### 【31 年度】

- ・奈良県全体の地震痕跡を中心に地震発生時期の特定と検証をおこなう(課題 2、3)
- ・上記の地震痕跡をもとに近畿エリア(主に兵庫県、大阪府、京都府、和歌山県)の地震痕跡を整理し、被災分布や具体的な被災像の追跡や海溝型地震と内陸型地震発生との関係の検討を進める(課題 2、3)
- ・九州エリア、中国エリア、関東エリアにおける火山噴火災害痕跡を整理し、発掘調査において検証されうる災害の網羅をおこなう(課題 4)
- ・災害痕跡情報の集成や調査研究を通し蓄積される情報を取りまとめ、調査・研究、災害痕跡の記録方法等について検討する(課題 1)
- ・上記の成果についてリーフレットを作成し情報のアウトリーチを進める(課題 6)

#### 【32 年度】

- ・1 年目で修正した災害痕跡データを基幹に、東海、四国、九州沿岸の考古災害痕跡データを整理することで、南海トラフ型地震の具体的な地震像の抽出を進める(課題 2、3)
- ・近畿エリア、九州エリア、中国エリア、関東エリアを中心に、近世地震・火山噴火記録と発掘調査資料とを細かく対比し、その実像解明に向けた調査研究を進める(課題 4)
- ・上記の調査研究を基幹に、近畿エリアを中心に史料に残されていない、発掘調査から発見される過去の地震・火山噴火像、記録のない地域や時期における実態解明を進める(課題 4)
- ・上記の成果についてリーフレットを作成し情報のアウトリーチを進める(課題 6)

#### 【33 年度】

- ・南海トラフ型地震の具体的な地震像の抽出を継続して進める(課題 2、3)
- ・日本全国の百年から千年単位のスケールでの地震・火山噴火発生像の追跡を進める(課題 5)
- ・上記の成果についてリーフレットを作成し情報のアウトリーチを進める(課題 6)
- ・埋蔵文化財情報についての地域発信(発掘調査現地説明会、学校教育授業への情報提供、出前講演など)を通し災害履歴情報の共有化を進め、災害知識の定着化のための試験的作業を進める(課題 6)

#### 【34 年度】

- ・1 ~ 3 年目までの作業を進め、データベースやアウトリーチ化を進めると共に、研究内容、東大史料編纂所等との連携データベースの統括を進める。

#### 【35 年度】

- ・研究内容の総括

#### (9) 令和元年度の成果の概要:

課題 1 ~ 6 の順に令和元年度の成果の概要をまとめる。

課題 1) 奈良文化財研究所が発掘する平城宮第一次大極殿院地区(平城第 612 次調査)、法華寺阿弥陀浄土院隣接地(平城第 613 次調査)や藤原宮大極殿院地区(藤原第 200 次調査)をはじめ、全国各地で液状化や地滑り、地割れといった地震痕跡が発見された。これら地震痕跡の識別については、地質切取試料、地質剥ぎ取り試料について粒度分析、軟 X 線や X 線 CT スキャンを用いた微細堆積構造解析を通し、精度高く検出することができるようになってきた。そのことにより、発掘調査中に検出される地震痕跡と疑わしい事例に対し、現場での調査・記録方法、その後の分析作業による調査方法の蓄積が進んだ。地震の発生時期については、特に前述の 3 調査地点において、放射性炭素年代測定、

土器型式編年、遺構の切り合い、木簡文字史料などを駆使し、5世紀後半、7世紀後半～末、8世紀後半～9世紀半ばに震度5弱以上の地震が発生していたことを明らかにした。この調査過程において、地震発生時期特定に関わる調査・記録方法について手法の開発が進み、今後継続的に活用しその実践性を検証すると共に、調査方法の普及・啓発のためのリーフレット等の作成を進める予定である。過去の火山噴火現象の痕跡については、浅間山、榛名山の山麓に位置する金井東裏遺跡、金井下新田遺跡（共・群馬県埋蔵文化財事業団）の発掘調査に関わり、調査方法の開発を進めている。また桜島大規模火山噴火調査グループとの提携を進めることにより、さらに広範囲での調査方法の蓄積が進むと考えられる。

課題2) 古代より史料が継続的に残り、比較的地震被災の少ない奈良盆地において、古墳時代以降の遺跡の被災類別、被災分布の集成を進めた。その結果、盆地内の低地域において震度5弱以上の液状化、丘陵部付近で震度7以上に発生しやすいといわれる地滑り、地割れの痕跡が、課題1で示した時期に集中して発生している傾向が掴めてきた。同時に河川地形域で土石流、洪水の頻発もみられ、包括的な災害実像に迫れる可能性を見出している。

課題3) この課題については、広域のデータ比較および検証が必要なため、現在進行中である。

課題4) この課題についても広域データの比較および時間軸におけるデータの大量蓄積が必要なため、現在進行中である。

課題5) すでに課題1、2の成果の中でも述べたが、遺跡から解明される細かな人間活動の変遷を時間軸とすることにより、地震・火山噴火の発生像が見え始めている。地震、火山噴火という単一現象に止まらず、斜面崩壊による土石流や洪水の発生など多様な災害現象の現出像に着目して調査研究を進めたい。

課題6) 奈良文化財研究所の主催する「公開講演会」、学士会の主催する「夕食会」、奈良市市民ネットワークが主催する講演会などで、上記の成果を発信した。アンケート調査などからは、その効果性を高く評価する意見が目立ち、本調査研究の重要性も理解されていると感じる。

- (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
村田泰輔, 2019, 6 地質学的調査「藤原宮大極殿院の調査 第195・198次」奈良文化財研究所紀要, 2019, 76-84.

- (11) 令和2年度実施計画の概要：

令和元年度に引き続き、主に以下の6点の課題を中心に取り組み、データベースの拡充を進める。

課題1) 考古発掘調査から地震、火山噴火現象を示す痕跡を明確に識別する方法の開発と、それらの発生時期特定に関わる調査・記録法の普及・啓発。

課題2) 過去の低頻度巨大地震の発生時期の検証と被災分布や具体的な被災像の追跡。

課題3) 海溝型地震と内陸型地震発生の関係。

課題4) 史料による近世地震・火山噴火記録と発掘調査から検証される災害・被災実像の対比から、先史・古代・中世の地震・火山噴火像についてより具体的な現象像の解明。

課題5) 日本全国の百年から千年単位のスケールでの地震・火山噴火発生像の追跡。

課題6) 埋蔵文化財情報についての地域発信（発掘調査現地説明会、学校教育授業への情報提供、出前講演など）を通し災害履歴情報の共有化を進め、災害知識の定着化を目指す。

すでに令和元年度の成果として、進捗の捗っているものについても、データの検証や調査・記録方法の汎用性の検証を引き続き行っていく。

- (12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

村田泰輔（奈良文化財研究所 埋蔵文化財センター遺跡・調査技術研究室）

他機関との共同研究の有無：有

佐竹健治 他3名（東京大学地震研究所）

榎原雅治 他 2 名（東京大学史料編纂所）

（13）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：奈良文化財研究所研究支援推進部総務課総務係

電話：0742-30-6733

e-mail：webinfo@nabunken.go.jp

URL：https://www.nabunken.go.jp/

（14）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：村田泰輔

所属：奈良文化財研究所埋蔵文化財センター遺跡・調査技術研究室

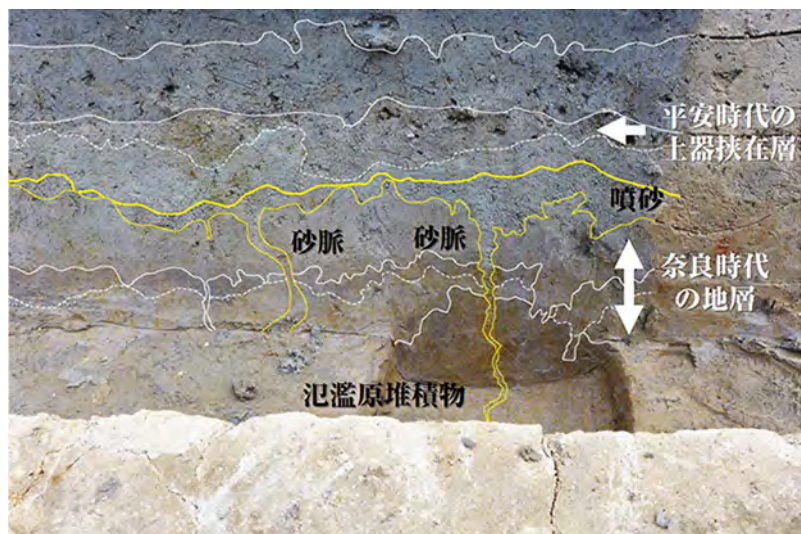


図1 法華寺阿弥陀浄土院隣接地で見つかった地震痕跡





( 1 ) 実施機関名：

新潟大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

日本海沿岸地域を中心とした地震・火山現象の解明のための史料収集と解析

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

( 4 ) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

イ. 首都直下地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

a. 史料を収集し,1804年出羽象潟地震の被害数の見直しを行い,全壊家屋数,死亡者数を確定した. b. 確実な史料を収集し,1707年伯耆・美作地震と翌年の1708年伯耆・美作地震の実像を明らかにした. c. 1855年安政江戸地震における武蔵国幸手領・川崎領の被害表を作成し,全壊家屋倒壊率を導き出した. さらに安政江戸地震の被害中心地の一つであるとされていた幸手領は,史料の検討により,被害の中心地ではないことを明らかにした. d. 従来史料紹介されていなかった善光寺大本願所蔵「江戸青山善光寺奥御用所日記」の1847年善光寺地震記事の翻刻,原本調査にもとづく1858年飛越地震の飛?国側の史料翻刻など,多くの地震史料の翻刻を行った. 史料の翻刻では,理系の研究者等にも理解しやすいように丁寧な校訂者注を付けた. 1858年飛越地震の飛?国の被害表も作成している. 翻刻した史料の大半は新潟大学学術リポジトリに掲載し,ダウンロードできるようにした. 翻刻した史料は最終的には東大史料編纂所が中心に作成を行っている地震史料データベースに統合される. e.  $[(全潰戸数) + 0.5 \times (半潰戸数)]$  を全戸数で除したものをパーセントで示し,これを家屋被害率(震度を確定する基礎資料)とすることの問題点を明確にした. また,半潰等の家屋被害等級を示す語句の検討も行った. f. 1828年三条地震では震源域内の村における一軒当たり死亡者数の最大は0.27人で,そうでない村の一軒当たり死亡者数にくらべ極めて高い数値であることを明らかにした. さらに,1751年の越後高田地震,1858年飛越地震の一軒当たり死亡者数を検討すると,一軒当たり死亡者数が1人を超える村があるが,その村は土砂災害によって多くの死亡者が出たことを明らかにした. g. 歴史学・地理学・考古学の成果を報告する研究会を4回開催した. h. 地形・調査の結果から鳴門南断層が上下変位していることを確認した. この結果は,1596年に地震性の隆起が生じ塩田開発の契機となったとする史料の内容を支持しており,文書の

信憑性は高いことを明らかにした. i. 長野県小谷村北小谷下寺でトレンチ調査を実施し, 最大厚 80cm の洪水砂層を検出し, この洪水砂層が正徳 4 年( 1714 ) 信濃小谷地震の際の天然ダム決壊により発生した洪水堆積物であることを明らかにした. j. 1751 年高田地震等の地震が起こる高田平野で液状化痕跡が乏しいことの原因について検討した. 地震関連考古データの収集で実施した収集データの検討により, 噴砂等の液状化痕跡が発生しやすい低地とそうでない低地があることが明確になった. k. 熊本城下であった古町遺跡では, 17 世紀前葉と中葉の間で遺構の連続性が途切れるが, この変化は 1625 年熊本地震に起因する一連の現象であることを明らかにした. l. 『前近代歴史地震絵図資料集成』を刊行した. m. 1964 年新潟地震の新たな映像を見だし, DVD 『新潟地震とその復興の記録—新潟市立白山小学校に残された 8 ミリフィルム映像』を制作した. この DVD は防災教育に活用されている.

n. 主な業績のリスト

小野映介ほか, 2016, 徳島県撫養地区における塩田開発と 1596 年の地震との関連性. 歴史地理学 58-3, 24-34

齋藤瑞穂, 2015, 地震と遺跡?新潟県?, 前近代歴史地震史料研究会(編)「歴史学による前近代歴史地震史料集」, 新潟大学人文学部, 149-159

齋藤瑞穂ほか, 2016, 新潟県見附市田井町福順寺試掘調査報告 文政 11 年( 1828 ) 三条地震実態復原のための考古学・歴史学的研究, 災害・復興と資料, 8, 横書 48 - 72, 縦書 37-48

齋藤瑞穂ほか, 2018, 長野県北安曇郡小谷村北小谷下寺試掘調査報告 正徳 4 年( 1714 ) 信濃小谷地震の考古学的研究, 災害・復興と資料, 10, 24-37

前近代歴史地震史料研究会編, 2015, 「前近代歴史地震絵図資料集成」, 新潟大学・災害復興科学研究所, 1-74

原直史, 2016, 文政 11 年越後三条地震からみる広域災害情報の集積, 災害・復興と資料, 8, 1-8

原直史, 2018, 新潟町における天保 4 年庄内沖地震津波の被害と情報, 災害・復興と資料, 10, 9-14

堀健彦・新潟大学人文学部地理学研究室, 2016, 1964 年新潟地震による佐渡両津における津波被害範囲について, 越後佐渡文化交流史研究 16, 1-6

堀健彦・小野映介, 2018, 1833 年庄内沖地震による輪島の津波被害の地域的差異と微地形, 災害・復興と資料, 10, 15-23

矢田俊文, 2016, 一八五八年飛越地震の史料と家屋倒壊率 飛騨国を事例として, 災害・復興と資料, 7, 1-30

矢田俊文, 2017, 1855 年安政江戸地震における家屋倒壊率の再検討 武蔵国幸手領・川崎領, 資料学研究, 14, 2017, 1-14

矢田俊文・原直史, 2017, 「江戸青山善光寺奥御用所日記」から見た一八四七年善光寺地震, 災害・復興と資料, 9, 19-29

矢田俊文, 2018, 史料から見た一七〇一年伯耆・美作地震と一七〇一年伯耆・美作地震, 災害・復興と資料, 10, 13 - 18

矢田俊文, 2018, 近世の巨大地震, 吉川弘文館, 1-248

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

本研究は研究計画のうち, 1. ( 1 ) ア. 史料の収集とデータベース化と 4. ( 1 ) 地震・火山噴火の災害事例による災害事例による災害発生機構の解明を中心に取り組む. 既刊の地震・火山活動関連史料集収載のうち重要な史料については, 改めて原本により校訂し直す. また, 日本海側を中心に既刊の史料集に収載されていない史料を発見することに務める. さらに, 各地の地震・火山現象に関連する言語表現の内容を明確にする. 半潰等がいかなる被害状況を示しているものかについて明らかにする. その上で, 震度推定のための家屋倒壊率の適切な活用方法を提言する. このことによって, 近代以降の震度とそれ以前の震度との連続性を確かなものにして行く. 家屋倒壊率と地形の関連についても, 地積図等の地図を分析して明らかにしていく.

明治・近世の史料をもとに古地形を復元・可視化し, 過去の当該地域の地震・火山噴火被害との関連を明らかにする. そのことによって, 同地域において次に起きる被害がどのような被害なのかについて



予測し、災害予防と防災意識の啓発等への活用を図り、災害の軽減に貢献する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

平成 31 年度は各地の文書館・図書館等の史料保存機関に所蔵されている日本海沿岸を中心とした地震・火山現象に関連する近代観測開始以前の史料を調査・収集し、新たな史料については翻刻を行う。災害絵図も収集し、絵図記載の文字の翻刻・トレース図の作成を行う。また、歴史学・考古学・地理学研究者が参加する研究会を開催する。

平成 32-34 年度は、収集した史料のうち、総家数・倒壊家屋数・即死者数が記載されている近代的な観測データとの比較・検討が可能な良質の史料については被害表等を作成する。収集した災害絵図については、絵図記載の文字の翻刻・トレース図の作成を行う。歴史学・考古学・地理学研究者が同じ研究対象を共同で研究する。

平成 35 年度は、収集した皆潰・半潰・大破等の家屋被害等級を示すと思われる語句が記載された史料に記された意味を明らかにし、確実な家屋倒壊率とはどのように導き出すのかを明確にする。さらに、一軒当たり死亡者数の原因を明らかにするため、史料・地形等の検討を行う。また、歴史学・考古学・地理学研究者等が共同で行ってきた研究成果を吟味することにより、異なる学問分野の研究者等の連携研究の方法を明確にする。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

令和元年度の主な成果は以下のとおりである。

1. 日本海沿岸地域を中心とした地震・火山現象を解明するために、各地の史料保存機関に所蔵される史資料の調査や、既刊の地震・火山噴火史料集に所収される史料の原本調査に基づく校訂作業を実施した。これらの調査・作業に基づく史料の解析から次のような成果が得られた。

( 1 ) 15 世紀半ばの越中地震に関する史料の検討

富山市の四方背戸割遺跡・打出遺跡の噴砂の年代を、残留磁気と地磁気変化との対比による年代推定法により 15 世紀半ば( 1450 ± 50 年 ) としての研究( 酒井他 2011・2019 ) について、史料の扱いに誤りがあるため典拠史料にさかのぼり検討を行った。その結果、文安五年( 1448 ) の地震津波記事のある史料 3 点は、近世の『和漢皇統編年合運図』の記事をもとに加筆文飾した年代記である可能性が高く、信頼できないことを確認した( 片桐 2019 ) 。

( 2 ) 『常光寺王代記并年代記』の検討

三河国渥美郡堀切村( 現愛知県田原市 ) 常光寺に伝来した『常光寺王代記并年代記』の影写本( 原本 1945 年焼失 ) を史料学的に検討した。その結果、本年代記は天文十年( 1541 ) までに常光寺 3 世樹王がまとめた後、少なくとも 14 人が代々書き継いだこと、文正元年( 1466 ) 以降の記事はそれぞれ同時代史料であることを明らかにした。すなわち本年代記に所収される明応二年( 1493 ) 十月二十九日、同年十二月四日、明応三年( 1494 ) 五月七日、明応七年( 1498 ) 四月五日、同年六月十一日、同年八月二十五日、永正十年( 1513 ) 八月五日、天正十三年( 1586 ) 十一月二十九日、同年月三十日、慶長九年( 1605 ) 十二月十六日、慶長十九年( 1614 ) 十月二十五日、元禄十六年( 1703 ) 十一月十八日、宝永四年( 1707 ) 十月四日、同年十一月二十三日、宝永五年( 1708 ) 春の地震関連記事は信頼できる。

( 3 ) 1707 年宝永地震と「大地震祈祷連歌」の史料学的分析

1707 年宝永地震について、俳人岡西惟中が実際の地震体験を記した連歌「大地震祈祷連歌」の内容を分析し、当時大坂に住んでいた惟中が記述した砕けた橋の数や死亡者数などの被害情報は重要であるとし、幕府が把握していた情報など他の史料との比較検討が必要であることを指摘した( 矢田 2019 ) 。

( 4 ) 地震による家屋倒壊率と一軒当たり死亡者数の分析

地震による家屋倒壊率と一軒当たり死亡者数について、1804 年象潟地震における由利郡庄内藩預所、1828 年三條地震における桑名藩預所 3 か村・長岡藩栃尾組 6 か村、1854 年東海地震における江川太郎左衛門代官領それぞれの被害 3 つの事例の史料を分析した。その結果、a 一軒当たり死亡者数が 0.27 人以上の村は活断層近くの村である。活断層近くの村では家屋全壊率も 90 パーセントを越えること。

b 活断層近くの村でなくても家屋全壊率も 90 パーセントを超える場合がある。しかし、活断層近くの村と比較すると、一軒当たり死亡者数はそれほど多くはないこと。c 活断層とそれほど近くではなくて家屋全壊率も 90 パーセントを越え、一軒当たり死亡者数はそれほど多くはない村は地盤が極めて弱い村であることを明らかにした。

#### (5) 1847 年善光寺地震の地震被害についての検討

1847 年善光寺地震による被害については従来、a 地震後の火災被害、b 地震後の犀川湛水の決壊による水害、c 5 日後 3 月 29 日の高田地震の被害も含めて一括して捉えられてきた。3 月 24 日の善光寺地震の大きさを知るためには、1847 年の被害全体から a・b・c の被害を差し引かなければならない。そこで善光寺町とその周辺の地震被害について、松代藩の勘定所元が領内の被害を記した『大地震一件』に掲載された日毎の被害を集計し、その分布の変遷を分析した。その結果、地震そのものの被害はそれほど大きくないこと、被害が集中した地域は現在の長野市信州新町周辺であったこと、善光寺町地域では旧善光寺境内の周辺にある町の被害が大きかったことなどを明らかにした(原田 2019)。

#### (6) 1961 年長岡地震に関する歴史資料の検討

昭和三十六年(1961)二月二日に発生した長岡地震の災害状況について、従来検討不十分であった二つの歴史資料を検討した。A. 地震発生時の長岡市の災害対応を記録した「長岡市地震災害救助実施要項 昭和 36.2.2」には、被災直後に近い時期に調査した被害数値が記載されること、避難先として想定されていた公共施設(「部落公会堂等」)等の被害が大きく避難が困難であったことなどがわかる。B. 被災地域の長岡市寺宝町に所在した王寺川小 5 年生 28 名の作文からなる文集(ガリ版刷)の記述内容を、a 地震発生時、b 地震直後の屋内被害、c 地震から朝までの行動、d 翌朝の食事、e 翌朝の学校、f 翌日夜の状況の 6 つに分類し、被災直後の具体的な行動や様相を明らかにした(中村 2019)。

### 2. 考古学および地形・地質の調査

#### (1) 縄文三陸地震津波の考古学的研究

縄文時代中期に発生した三陸地震津波の年代について、以前の成果(齋藤 2014, Saitoh 2015)に新たに発掘された岩手県山田町浜川目沢田 1 遺跡、浜川目沢田 2 遺跡など大規模な縄文集落遺跡を含めて分析し直した。その結果、津波の年代は大木 9 式の直前、すなわち大木 8-9(中間)式期とみるのが妥当であることを明らかにした。また、炭素濃度の乱高下する特定パターンの気候変動下で大地震が発生するとの考え方を提示した(齋藤 2019)。

#### (2) 真那板山崩壊 = 文亀元年(1502)越後南西部地震起因説の再検討

新潟・長野県境の真那板山が文亀元年(1502)越後南西部地震で山体崩壊し姫川を堰き止めたとする説について検討した。真那板山の崩壊堆積物を覆う「三角州堆積物」出土の埋もれ木の 14C 年代値が  $510 \pm 90\text{BP}$  であると報告された(小嶋ほか 1998)ことから、越後南西部地震の誘因説が生まれた。しかし成立プロセスや根拠に問題がある上、小嶋氏は  $510 \pm 90\text{BP}$  は未校正とし校正した 1300-1430calBP(1502 年より 170 年前、もしくはそれ以上前)を提示しており、文亀元年越後南西部地震起因説は再検討の余地がある。

#### (3) 『震潮記』所載「穴喰浦荒図面」の検討

1854 年南海地震の被害が描かれる徳島県海陽町穴喰に残る「穴喰浦荒図面」における絵画的な描写や浸水深などの文字記載について地理学的な検討を行った。その結果、a「穴喰浦荒図面」は、組頭庄屋クラスの者が穴喰浦で情報を収集し、被害状況を観察した上で描かれたものであり、居宅の近隣や社会的に近しい家の被害をより詳細に描いていること。b 被害書き上げのような史料とも対比ができる信頼性の高い資料と評価できること、c 絵図の凡例から「流家」「潰家疼み潰家同断」「潮入家」「無難家」という尺度で評価し描き分けていること、d 絵図の被害記載と現在の標高からみると、津波は、穴喰川を遡する形で到達して市街地に最大被害をもたらしたが、近隣の「三反田」や「松本」「松原」といった地区を越える形で穴喰浦に到達したことなどを明らかにした。

### 3. 歴史学・考古学・地理学研究者が参加する研究会の開催

#### (1) 第 7 回前近代歴史地震史料研究会

2019年11月16日に第7回前近代歴史地震史料研究会を新潟大学にて開催し、歴史学者9人、考古学者2人、地理学者3人、地震学者1人による歴史地震に関わる研究発表を行った。

(2) 災害資料シンポジウム

2019年12月15日に本年が2004年の新潟県中越地震から15年目であることに鑑み、「繰り返す災害と長く向き合うために」と題する災害資料シンポジウムを新潟大学にて開催し、県内外の研究者・学芸員4人が報告しその後全体討論を行った。

[ 引用文献 ]

小疇 尚ほか, 1998, 長野県北部真那板山の崩壊と姫川の堰き止め, 駿台史学, 105, 1-18

酒井英男, 2011, 年代推定 自然災害の痕跡を追う, 中條利一郎ほか編, 考古学を科学する, 臨川書店, 12-25

齋藤瑞穂, 2014, 三陸海岸で検出された津波イベント堆積物の年代と遺跡の消長 岩手県域を中心に, 2014年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集, 7-10

酒井英男・泉吉紀・名古屋岳秀・野垣好史・ト部厚志, 2019, 噴砂の磁化による古地震の年代推定 御館山館跡と四方背戸割遺跡において, 情報考古学, 24, 1-8

矢田俊文, 2013, 1707年宝永地震と大坂の被害数, 災害・復興と資料, 2

矢田俊文, 2018, 近世の巨大地震, 吉川弘文館

矢田俊文・堀田高洋, 2019, 地震被害評価方法の再検討, 資料学研究, 16, 1-15

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

片桐昭彦, 2019, 15世紀の越中における地震と津波, 2019年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集, 14-16

齋藤瑞穂・鈴木正博, 2019, 縄文三陸地震津波再論 山田湾の復興を考える手掛かりとして, 2019年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集, 1-5

中村 元, 2019, 歴史資料に見る1961年長岡地震の災害状況, 2019年度日本地理学会秋季学術大会発表要旨集, 30

原 直史, 2019, 安政地震における泉北地域の家屋被害, 2019年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集, 32-34

原田和彦, 2019, 善光寺町(長野市)における災害と復旧・復興, 2019年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集, 26-28

堀 健彦, 2019, 1854年南海地震による津波被害絵図について, 2019年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集, 29-31

矢田俊文, 2019, 俳人岡西惟中と宝永地震, 2019年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集, 22-25

(11) 令和2年度実施計画の概要 :

令和2年度は各地の文書館・図書館等の史料保存機関に所蔵されている日本海沿岸を中心とした地震・火山現象に関連する近代観測開始以前の史料の

調査・収集・翻刻を継続すると共に、収集した史料のうち、総家数・倒壊家屋数・即死者数が記載されている近代的な観測データとの比較・検討が可能な良質の史料については被害表等を作成する。収集した災害絵図については、絵図記載の文字の翻刻・トレース図の作成を行う。歴史学・考古学・地理学研究者が同じ研究対象を共同で研究する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

片桐昭彦, 北村繁, 清水香, 中村元, 原直史, 堀健彦, 矢田俊文

他機関との共同研究の有無 : 有

九州大学埋蔵文化財調査室, 齋藤瑞穂, 駒澤大学文学部, 小野映介, 長野市立博物館, 原田和彦

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：新潟大学災害・復興科学研究所  
電話：025 - 262-6289  
e-mail：nakamura.moto@human.niigata-u.ac.jp  
URL：

( 14 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者  
氏名：中村元  
所属：新潟大学災害・復興科学研究所

( 1 ) 実施機関名：

新潟大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震・火山噴火災害における被害軽減のために利活用可能な要素・知識体系の整理・検証

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

( 4 ) その他関連する建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

千島海溝沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

過去の災害事例に基づく減災科学に係る研究 課題番号 2702 新潟大学

新潟県において、過去に経験した焼山火山災害、新潟地震、中越地震、中越沖地震等を契機とし進めてきた「災害メカニズムの調査研究」に基づき、地域安全の確保を目的とした火山・地震災害の事例研究を実施した。研究成果を事例とし、地震・火山噴火に係る知見の発信技術について開発を実施した。研究成果を事例とし、地震・火山噴火に係る知見の発信技術プロトタイプの検証を実施した。地震・火山の観測研究の成果が、特に災害対応従事者である行政職員が実施する災害対応・防災対策にいかに関与できるかを中心に検討した。観測研究の成果を直接的に発信するよりは、業務のシミュレーション等を通じて、成果を業務に役立ててもらうことを目指した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震・火山災害の研究成果を活用し、災害軽減に効果的に生かすためには、研究成果を理解するための枠組みを国民 1 人 1 人が持つことが理想である。ところが、熊本地震調査において「断層があることは知っていたが、その断層が地震を引き起こすことを知らなかった」と答えた回答者が相当数のほり、この理想を現実とすることが、被害軽減の大きな課題である。では、理学研究が基本となる地

震・火山災害の研究内容を理解するためにどのような理解枠組みを持つべきか、その知識体系はこれまで整理されてこなかった。

本研究では、平時より防災・災害対策にかかわる行政や関係機関の職員を対象に、必要な要素や枠組みを検証しながら、理解枠組みの検討を実施する。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

初年度においては、地震・火山研究者が「理解してほしいこと」、職員が「理解したいこと(疑問に思っていること)」を明らかにし、要素の洗い出しを実施する。

2年目においては、要素に基づき、知識体系の範囲と枠組みを仮説化する。

3年目においては、仮説化された枠組みをもとに、研修プログラムを構築する。

4年目においては、研修プログラムを実装することで、効果検証を実施する。

5年目においては、研修プログラムを標準化し、プログラムの展開を図る。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

初年度においては、地震・火山研究者が「理解してほしいこと」、職員が「理解したいこと(疑問に思っていること)」を明らかにし、要素の洗い出しを実施した。1)理解枠組みを醸成することで「育成したい人材」、2)理解枠組み醸成のための「育成対象の同定」、3)理解枠組みのためのデータ収集のための「育成プログラムのプロトタイプ」の作成、を実施した。

1) 育成したい人材の特性(図1): 観測研究計画の成果を活用し、災害の軽減に貢献する能力や技術を持つ人材の特性を仮説化した。

(1) 能力: 能力や技術を持ち、社会の変化に適応しながら、目指す成果を実現するための行動特性、具体的には「科学的に現象を理解」「科学的な問いを策定・評価」「データと証拠を科学的に解釈」といった能力を実現する

(2) 知識: 原因の把握に基づく確実な認識、具体的には、「科学的に取得すべき知識内容」「手続き的知識」「認識論的知識」を体得する

(3) 態度: 人の行動を司る意識や人間特性、本研究においては「科学への興味」「科学的見地からの問いに対応」「環境への意識」を持つ

(4) 貢献: 本研究においては、災害の軽減に貢献する、具体的には「社会参画」「社会的課題の解決」「国内外への発信」を実現する

2) 育成フレームの同定(図2): インストラクショナルデザインにおける「効果的な研修設計」のための科学的な理論としての ADDIE モデルを援用し、人材育成のためのフレームを同定した。

(1) 分析(Analysis): 育成の対象者は、行政防災局ならびに全庁職員、組織の防災担当、地域における主体的な推進者(消防団、防災士)、人材育成のための課題は「防災」を仕事として進める上での基礎知識がない、「命を守る」ことの重要性は認識しているが、「科学的根拠に基づいた」防災対策を実現する知識フレームがない、ことを対象とする

(2) 設計(Design): 技術や知識としては、外力想定の意味を正しく理解し地域外力を知り、科学的な外力想定に基づく防災対策を考えることができる・研修の水準を一定に保つために指導要領を作成し、デジタル教材をデザインすることで、研修過程を記録する

(3) 開発(Development): 概要、座学、演習に基づく半日研修プログラムを作成し、共通的なスライドやデジタル教材をデザインし、開発要素とする

(4) 実施(Implementation): 半日プログラムを実施することで、基礎的な知識レベルを共通基盤都市、事務者と研究者のニーズギャップを探索する

(5) 評価(Evaluation): 科学的根拠に基づく防災対策、特にソフト対策における研修前後の変化を知り、実務者ならびに研究者の行動変容を実現する

インストラクショナルデザインにおける「効果的な研修設計」のための科学的な理論としての ADDIE モデルを援用し、人材育成のためのフレームを同定する。

3) 育成プログラムのプロトタイプ ( 図 3 ):

育成プログラムのプロトタイプを仮説化した。

(1) 全体概要：日本の防災体制の全体フレームを理解する ( 地震・火山研究と防災対策との関わり、観測研究計画の果たす役割 )

(2) 座学：育成実施者 ( 研究者 ) と育成対象者 ( 行政・組織の防災担当・消防団や防災士 ) において、知識の共通基盤を共有する。1 コマ 15 分 + 確認テスト 5 分 × 7 コマ = 140 分。実施者から対象者への一方通行のコミュニケーションとなる。

(3) 演習：共通基盤の知識をもとに、地域の外力について、実施者と対象者のリスクコミュニケーションを図る。相互の理解やニーズのギャップを知る。

(4) 研修のふりかえり：実施者と対象者における、課題解決に向けた行動変容を期待する

(5) 防災リテラシーの研究成果の共有：防災リテラシー研究の動向を共有することで、災害の軽減に貢献するという目標を共有する。

評価：研修前・研修後に受講者に対し、考えられる対策を尋ねる。外力の基盤知識に基づいた対策立案が実現することで、研修による能力向上、知識の取得、態度の変容、貢献への積極性の醸成度合いを測る

文献：

(1) 研修効果測定の基本 エバリュエーションの詳細マニュアル, ドナルド・マケイン著, 霜山 元訳, ヒューマンバリュー, 2013

(2) 効果的な教育研修をデザインし成果を検証する人材マネジメント, ナレッジマガジン vol.19, テンプ, 2013, (<https://www.tempstaff.co.jp/magazine/manage/vol19.html>)

(3) Scientific Literacy-An Approach to Teaching it, Tasker Milward Physics Website, 2020, (<https://studylib.net/doc/1002149/literacy—tasker-milward-physics-website>)

(4) Youth Scientific Literacy, Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, 2020 (<https://ucanr.edu/sites/youthscientificliteracy/>)

(5) Smith, M.H., Worker, S., Ambrose, A., Schmitt-McQuitty, L. (2015). Scientific literacy: California 4-H defines it from citizens' perspective. California Agriculture, 69(2), 92-97.

(6) Smith, M.H., Worker, S., Ambrose, A., Schmitt-McQuitty, L. (2015). Including civic engagement as a component of scientific literacy. Science Education and Civic Engagement, 7(2), 29-33.

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :  
田村圭子, 井ノ口宗成, 堀江啓, 地震災害における生活再建支援業務マネジメントツールを活用した罹災証明書発行業務解析, 電子情報通信学会 安全・安心な生活と ICT 研究会, ICTSSL2019-10, 2019

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要：

2 年目においては、要素に基づき、知識体系の範囲と枠組みを仮説化する。初年度に構築したプロトタイプへの評価を実施し、知識体系の範囲と枠組みの仮説化を実現させる。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

新潟大学 危機管理本部危機管理室 / 災害・復興科学研究所 ( 兼務 ) 教授 田村圭子

他機関との共同研究の有無：有

東京大学地震研究所 教授 加藤尚之

東京大学地震研究所 教授 森田裕一

兵庫県立大学環境人間学部 教授 木村玲欧

富山大学都市デザイン学部 准教授 井ノ口 宗成

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：新潟大学危機管理室（総務部総務課）  
 電話：025-262-6022  
 e-mail：rmo-jimu@adm.niigata-u.ac.jp  
 URL：

（14）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：田村圭子

所属：新潟大学 危機管理本部危機管理室 / 災害・復興科学研究所（兼務）



図 1. 育成したい人材の特性

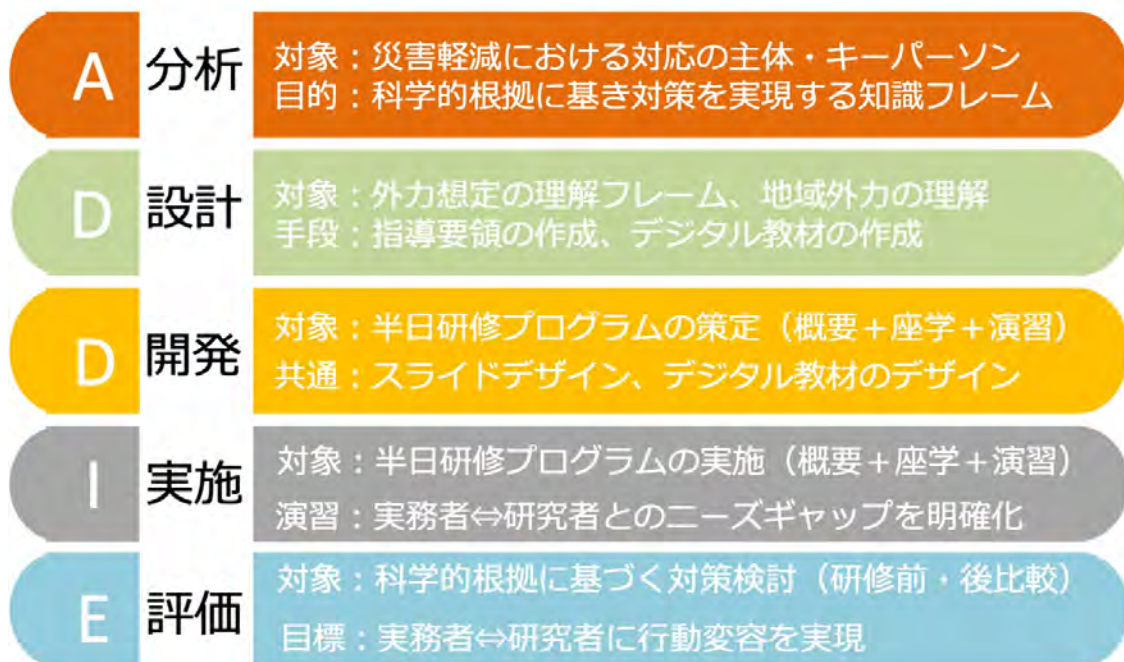


図 2. インストラクショナルデザインの ADDIE モデルにおける育成フレームの同定



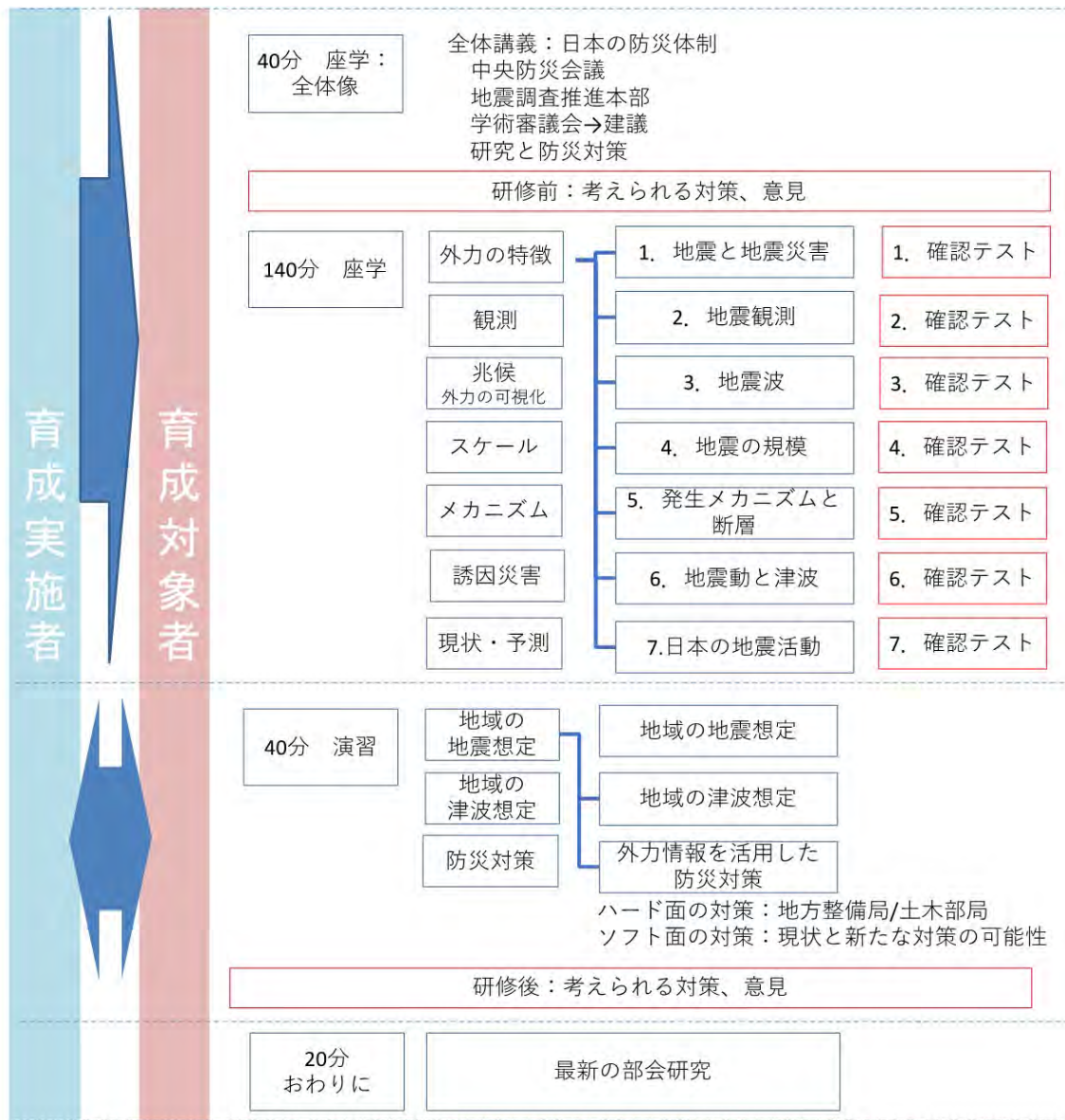


図 3. 育成プログラムのプロトタイプを検討（地震）

( 1 ) 実施機関名：

名古屋大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

古文書解読による南海トラフ巨大歴史地震像の解明 ～歴史地震情報の可視化システムの構築とその活用～

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(4) 関連研究分野との連携強化

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

前計画では主として史料収集や、これまでに収集された史料の検索システムの構築、歴史地名検索システム、文献検索システムの構築など歴史地震研究を行うために必要な環境整備を行ってきた。個々の地震の研究としては、明治熊本地震の詳細な震度分布を求めた。その際、表層地盤増幅率と比較すると(ある意味当然だが)震度分布は地盤増幅率に大きく影響されていること、そして昔の人は地盤

のよいところに住んでいたことなどが見えてきた。これまで歴史地震については震度情報や津波高などから震源について考えることが多かったが、地盤情報なども考慮しつつ検討する必要がある。

また、安政東海・南海地震の被害と尾張藩の救済について丁寧に史料を検討した結果、信憑性が高い史料であっても当時報告が間に合わなかった地域は載っていないこと、被害にあっても救済金をもらわない人達の存在などが新たな史料発見によりわかった。このように信憑性が高い史料だけではわからないこともあることもわかり、まだまだ新しい史料調査の必要性を感じた。

(7) 本課題の5か年の到達目標：

史料収集をしてみると、揺れの細かい情報、余震の情報、津波が到来した時刻や到来方向など様々な情報が書き残されていることがわかった。本研究ではこれまでに収集された史料から得られた南海トラフ巨大歴史地震の地震活動、地殻変動、津波、人的・建物的被害状況などの情報をGISを用いて面的に整理、可視化し、現在得られている地震・地殻変動・地盤情報や過去の地形など様々な地図情報と併せて検討できる仕組みを構築することを目的とする。将来的にはこれを用いて南海トラフ巨大地震の震源過程の解明を試みる。

歴史地震史料はこれまでも宇佐美らによって多くの史料が集められている。またこれらの信憑性も検討しより精度のよい史料DBが史料編纂所によって現計画で構築されつつある。ただし史料は膨大で、これらを使いこなし地震学的解明を行うにはよっぽどこれらの史料を読み尽くした人でないと難しく、現時点では震度分布や津波高分布を求めたり、個々の史料の信憑性を追求する研究が多い。この原因の1つに、様々な時代に様々な地点で史料が書かれているため、それらの地理的關係を頭で整理することが難しいと言う点が挙げられる。そこでこれまでに得られた史料を地図情報として整理してみようというのが今回の課題である。本研究ではe-コミマップを活用する。今回の可視化はとりあえず南海トラフ巨大地震をターゲットとして高知県、和歌山県、三重県、愛知県、静岡県について構築を行い、地震毎に同じ地域での被害の違い等を比較することで南海トラフ巨大地震の震源過程の特徴を検討する。また南海トラフ巨大地震に関連する内陸での被害地震についても合わせて検討する。

また、各地にはまだ翻刻されていない史料もたくさんあることから南海トラフ巨大地震に関する古文書調査、翻刻も並行して行う。またどの史料にどの地震の情報があるのか、すでに出版された史料集を元に検索ができるシステムを現計画で構築したが、その後収集された史料についても追加し検索できるようDBの更新も行う。

(8) 本課題の5か年計画の概要：

・史料調査および検索システム開発：今後も新たな史料の調査は重要である。各地の図書館や史料館などで収集されている史料だけでなく個人所蔵の史料なども可能であれば収集する。収集された史料についてはDB化を行い、検索システムで検索できるようにし研究者間での情報共有を図る。また検索システムについてもより活用がしやすいよう改良を加える。

・歴史地震史料の可視化：すでに調査された地震情報をe-コミマップを用いて面的に整理し、現在わかっている様々な情報と併せて検討できる仕組みを構築する。構築に当っては情報をさまざまな角度で比較検討ができるよう工夫する。また地図やその他資料でデジタル化されていないものについてはデジタル化をし、e-コミマップで使えるようにする。史料がどの地点の情報であるかを特定することは難しいが、現在地方史を中心に集めた史料があり、まずは地域単位で地図上に整理する。その上で現地調査や資料調査などを行い、わかった情報からさらに特定の場所に整理する。このように可視化された史料からそれぞれの地震の相違点を明確化し、南海トラフ巨大歴史地震の地震像解明を目指す。また史料調査では南海トラフ巨大地震だけでなく同時代に発生した内陸被害地震に関する情報も得られることが多いことから、これらについても併せ可視化を行う。初年度はe-コミマップ上での表現方法の検討を行う。

各年度の主な計画は、

H31: 史料収集、検索システムの改良、歴史地震史料の可視化手法の検討

- H32: 史料収集, 検索システム DB 更新, 歴史地震史料の可視化手法の改良  
H33: 史料収集, 検索システム DB 更新, 歴史地震史料の可視化  
H34: 史料収集, 検索システム DB 更新, 歴史地震史料の可視化  
H35: 史料収集, 検索システム DB 更新, 歴史地震史料の可視化, 南海トラフ巨大歴史地震の比較検討.

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

・これまで構築してきた検索システムの高速化のためDBの再構築を行った。検索システムの高速化も行い、検索結果が大量であったときの表示方法を修正した。また文献システムもバージョンアップし、検索できる雑誌に博物館紀要なども追加した。( 図 1 )

検索サイトは以下のとおり。

<http://wwwvevrc.seis.nagoya-u.ac.jp/HistEQ/>

<http://wwwvevrc.seis.nagoya-u.ac.jp/HistEQMap/>

・岐阜市在住の大沢家の史料調査を行った。その中には安政東海・南海地震と安政江戸地震の記録が多数あることが分かり、本年度は写真撮影を行った。

・歴史地震史料の可視化：地震史料を e-コミマップを用いて面的に整理することを試みた。今年度は表現方法の検討をしながら、鳥羽地域を対象にしてこれまでに報告されている宝永地震、安政東海地震についての地震史料を e-コミマップを用いて面的に整理してみた。見ただけでこれらの地震の状況が比較できるようにするためにはシンボルなどをもう少し工夫する必要がありそうである。またこれらの史料と合せて見られるよう、e-コミマップに三重県の旧版地形図や J-shis の表層地盤の揺れやすさの情報、シームレス地質図などを追加し、合せて史料の検討を行った。三重県の石碑の情報も合せて見られるようにした。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

- ・検索システムの高度化を図る。また文献資料についても追加を行う。
- ・昨年度見つけた大沢家史料についての翻刻を行う。今後も新たな史料の調査は重要であり、各地の図書館や史料館などで収集されている史料だけでなく個人所蔵の史料なども可能であれば収集する。
- ・歴史地震史料の可視化については、さらに入力地域を増やすとともに安政南海、昭和や明応についても入力する。また表示方法について改良を行っていく。また e-コミマップに微地形などの情報も追加し、史料の内容検討を行っていく。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

山中佳子, 平井敬(名古屋大学大学院環境学研究科)

石川寛(名古屋大学文学部)

武村雅之, 都築充雄, 倉田和己, 浦谷裕明(名古屋大学減災連携研究センター)

他機関との共同研究の有無: 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター

電話: 052-789-3046

e-mail:

URL:

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 山中佳子

所属：名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター

歴史地震史料検索 文献資料検索

検索画面へ

項目名をクリックすると並び替えを行います。

全37件 表示行数：10 < 1-10 >

著者	タイトル	雑誌	号	DOI ページ	出版 年	リンク	詳細
澤田 白龍	土佐國寶永の震災	地学雑誌	2	574-576	1890		
寺石 正節	土佐國四大地震記	地学雑誌	5	286-292	1893		
今村 明恒	寶永四年の南海沖大地震に伴へる地形變動に就いて	地震	2	81-88	1930		
石橋克彦	1707年宝永地震の震源域は駿河湾奥まで及ばなかったか？	地震予知連絡会 東海部会資料		69-78	1977		
飯田及事	宝永4年10月4日（1707年10月28日）の宝永地震の震害と震度	東海地方地震・ 津波災害誌(飯 田及事教授論文 選集)		63-80	1985		
	三重県瀬村災害史の研究 上 ～宝永の津波～	海と人間	16		1989		
西山昭仁, 小松原珠	【講演要旨】宝永地震（1707）における大阪での被害とその地理的要因	歴史地震	23	148	2008		

編者名：小野隆介・安竹健夫

図1. 文献検索結果例

( 1 ) 実施機関名：

名古屋大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

南西諸島海溝におけるプレート間固着状態の解明

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

南西諸島海溝の中南部では、1791 年と 1771 年にそれぞれ沖縄本島南東沖と先島諸島南方沖で津波を伴う M 8 クラスの海溝型巨大地震が発生したとして海溝軸近傍に津波の波源域が求められている。特に 1771 年の地震は八重山地震として知られている。したがって、南海トラフの延長である南西諸島海溝も、低頻度であっても海溝型地震の発生ポテンシャルを有していると考えられる。しかし、地球物理学的観測による現在のプレート間固着状態や固着域の広がりは明らかになっていない。そのため、地震本部による海溝型地震の長期評価も手つかずの状態である。よって、プレート間固着状態の現状把握が急がれる。

そこで、GNSS?音響方式による海底地殻変動観測(以下、単に「海底地殻変動観測」という)によって実測したすべり欠損レートをともに、沖縄本島から先島諸島にかけての海域における大まかなプレー

ト間の固着域の広がりや固着率(固着の有無を含む)を5ヶ年で明らかにする。さらに、低周波地震・超低周波地震の分布・活動度等もふまえて、当該海域のプレート間固着状態を統一的に解釈し、同海域における海溝型地震の発生ポテンシャルの評価に生かす。

(8) 本課題の5か年計画の概要:

○海底地殻変動観測と固着状態の把握

南西諸島海溝沿いに既に設置されている3ヶ所の観測点(沖縄本島 宮古島間2カ所;西表島沖1カ所)において海底地殻変動観測を実施する。沖縄本島 宮古島間では初年度から4年目まで年1回、西表島では2年目から4年目まで年1回の観測を行う。特に、沖縄本島 宮古島間は島嶼が存在せず、地殻変動観測の空白域となっている海域であり、これらの点での観測を本研究で新たに開始する。

5ヶ年の観測で得たデータをもとに各観測点での平均的な変位速度を求める。得られた海域の変位速度場とGEONETによる陸域の変位速度場をもとにバックスリップモデルを適用し、プレート境界面上のすべり欠損レートを推定する。その際、フィリピン海プレートの運動はMORVELによるモデルを採用する。以上により、対象海域におけるプレート間固着の状態と分布を明らかにする。

○プレート間固着の統一的解釈

プレート間の固着度合いは、低周波地震等のひずみ解放現象の活動度と相補的であると考えられる。また、超低周波地震の潮汐荷重応答の地域性からプレート境界面の滑りやすさ(固着度合い)に違いがあるとの報告がある(Nakamura and Kakazu, 2017)。そこで、海底地殻変動観測を実施する約5年間について、低周波地震(気象庁の短周期地震計記録を利用)および超低周波地震(F-net等の広帯域地震計記録を利用)の系統的な解析を行い、それらの活動域と活動度を把握するとともに、超低周波地震の潮汐荷重応答の詳細な地域性を明らかにし、海底地殻変動観測結果とあわせてプレート間固着状態を統一的に解釈する。

(9) 令和元年度の成果の概要:

2019年9月24日から25日に沖縄本島 宮古島間に設置している2カ所の海底局の観測に出発した。ところが、1カ所目の観測途中で海底局と船上との音波の送受信ができなくなった。船側の音響センサあるいは音響制御装置の不具合か海底局の不具合かを切り分けるため、当初予定していた2カ所目の観測点に向かい音響測距を試みたが、やはり音波の送受信はできなかった。次に、別経費にて2週間前に音響測距を行ったばかりの別の観測点(沖縄本島南東沖)で音響測距を試みたが、結果は同じであった。この間、音響制御装置の交換も行っている。これらの調査により、船側の音響センサが故障したとの結論に至り、やむなく観測を中止した。メーカーによると、今年度中の音響センサの修理は不可能とのことであり、来年度に繰り越して観測を行うことにした。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

(11) 令和2年度実施計画の概要:

南西諸島海溝沿いに既に設置されている3ヶ所の観測点(沖縄本島 宮古島間2カ所;西表島沖1カ所)において海底地殻変動観測を実施する。沖縄本島 宮古島間の2カ所では3日間、西表島沖では1日間の観測を予定している。得られた観測結果と過去の解析結果を含めて、最新の変位速度ベクトルを得る計画にしている。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

田所敬一

他機関との共同研究の有無: 有

琉球大学(中村 衛)・静岡大学(生田領野)

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：名古屋大学環境学研究科

電話：052-789-3046

e-mail：

URL：

( 14 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：田所敬一

所属：名古屋大学環境学研究科



( 1 ) 実施機関名：

名古屋大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

変動地形学的手法による内陸地震発生モデルと活断層長期評価手法の再検討

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

5 研究を推進するための体制の整備

(4) 関連研究分野との連携強化

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

地震災害軽減のためには、将来発生する地震の場所と規模、頻度など(以下、「地震像」と自然現象がもたらす被害の「災害像」を予測する必要がある、そのためには「活断層」「地表地震断層」「地震像」「災害像」4者の相互関係を解明することが求められる。活断層が一般に千年程度以上の長い活動間隔を有することを考えれば、1:変動地形学的手法によって数千年~数万年の時間スケールでの調査によって活断層の位置形状を明らかにする、2:過去の「地震像」を復元して活動繰り返しパターンを明らかにする、3:活断層が実際に動いて出現した地表地震断層を精査してその位置形状と「地震像」の関係を検証する、4:地震像と災害像の相互関係を明らかにすることが不可欠であるのは明らかで、その際には、5:近年充実しつつある高解像度 DEM の活用とそのデータ取得手法の改良も重要である。これらを解明するために過去に地表地震断層が出現した断層帯で調査を行うことを目的としていた。この間、熊本地震や神城断層地震が発生したことで、4者(「活断層」「地表地震断層」「地震像」「災害像」)の相互関係を検証する貴重な機会を得ることが出来た。調査の結果、これらの断層における多様な地震像の存在が明確になってきた。具体的には 1) LiDAR や SAR 等の高解像度 DEM や

ドローンを用いた地形計測を用いた変動地形および地震断層の解析を目指し、これまで未確認の長波長変形や、断層末端の微地形が新たに見出され、そのテクトニクスにおける意義が考察された。同時にデータ取得手法や加工技術の検証がかなり進み、その有効性と将来性が示された。2) 2014年神城断層地震や2016年熊本地震時にオールジャパン体制で地震断層調査を行い速報した。神城断層地震では地表地震断層の地上踏査を用いた変位量分布調査と強震動データを用いた震源破壊過程モデルに基づくすべり量分布は震源中部においてやや齟齬が生じた。ところが、DEMを用いた地震前後の差分を用いると1km程度の測線でとらえることのできる長波長の変位量は震源破壊過程モデルに基づくすべり量分布と近い値を示し、地表地震断層の断層近傍の短波長の変位量分布のみでは深度1km以深の断層運動の解明には不十分である場合があることが明らかとなった。また、断層トレースの活動履歴調査によって、神城断層には複数の地震像が併存していることが明らかとなり、それらは地震像ごとに変位が生ずる断層が異なる可能性が指摘された。熊本地震では地表地震断層の変位量分布と強震動データ等を用いた震源破壊過程モデルに基づくすべり量分布は地域的に概ね対応することが明らかになった。しかし、活断層と地表地震断層の対応関係は複雑で、新たに確認された益城に伸びる活断層の存在や、正断層である出ノ口断層と横ずれ断層である布田川断層が同時に活動するといった活断層間の関連性、一部区間は前震と本震の両方で地震することなど、従来の長期評価とは異なる現象が確認された。また、布田川断層と日奈久断層の区分に問題があることも判明した。断層の走向分岐により機械的に分けるのではなく、変位地形の連続性に注目することで改善されることを提案した。また、従来の活断層評価の問題点(セグメンテーションおよび一回り小さな地震)をいち早く指摘して改良提案も行った。3) LiDARの差分解析手法を検討し、地震断層認定を高精度化させるとともに、地表変形の「波長問題」(短波長変位と長波長変位とが食い違うこと)に気づき、変動地形学的な長期評価手法の改良という視点で検討を開始した。4) 神城断層地震と熊本地震において、地震断層と被害集中の関係を明らかにし、本グループが問題提起した強震動評価における地下浅部の断層破壊の影響は、強震動研究者にもある程度受け入れられ、強震動計算手法の高度化の機運を生んだ。

(7) 本課題の5か年の到達目標：

地震調査研究推進本部において20年以上にわたり、主要活断層の長期評価が行われてきた。この成果は防災上重要な活断層が認知されたことにある。しかし近年発生した内陸直下地震の中には、実際に破壊した活断層区間が評価結果と整合しない例や、一見整合的でも実際は十分な予測精度を有していなかった例が多々ある。こうした問題の背景には、活断層の長さや規模を最大に見積もった固有地震の単純な繰り返しを仮定していたこと、ひとまわり小さなM6級地震で出現する地表地震断層の地形形成への寄与を評価できていないこと、断層ごとの構造的な特徴を重視した評価手法ではなかったこと、解釈に任意性もある活断層の活動履歴データに過度に依存したこと、活断層分布の知られていない場所で変位が生じたことなどがある。本研究は、これらの課題解決をめざして以下の点を検討し、活断層長期評価に資する新たな活動モデルの構築をめざす。基本的には近年地表地震断層を出現させた地震について、地震規模や断層長、断層位置、変位量が従来の予測とどう異なり、何が評価できていなかったのかを明確にする。その上で、地震時の地表地震断層トレースおよび変位量分布、変動地形による断層分布と累積変位量・平均変位速度分布とそのパターンを比較して、断層分布と累積変位量や平均変位速度の分布パターンから予測される断層活動を検証する。加えて断層線の分岐形状なども参考に地震ごとの破壊範囲の多様性や断層構造の複雑性を考慮した地震発生モデルの構築を目指す。当研究グループはこれまで10年以上にわたって、活動履歴データを活用しつつも、活断層線の形状や平均変位速度の走向方向の分布を重視した活動予測に取り組んできた。その成果を、活断層の長期評価手法の改良という形に集約する。断層変位地形を詳細に観察すると、近年出現した地表地震断層近傍に、地震時には活動しなかった活断層が見つかる。また地表地震断層の変位量分布が変動地形からわかる累積変位量分布・平均変位速度分布と一致しない事例もある。こうした活断層を含む活動履歴や変位量分布パターンを説明できる震源断層モデルが必要である。そのためには断層最大長に拘らない過去複数回における地震時活動区間の特定と、各々の地震時に発生した地表地震断層の変位

量分布を明らかにして、累積的な変位量分布を説明できる適切な震源断層モデルが重要であり、2014年長野県北部の地震や2004年新潟県中越地震のような一回り小さな活動も考慮に入れる必要がある。地表変位の証拠が残らない活動については、地震観測データからの検討も必要である。こうした情報を総合して、活断層のセグメンテーション・グルーピングに焦点を当て、本課題によって、蓄積された活断層情報と実際に発生した物理現象との関連性を考えることで、新たな活断層長期評価手法を再検討する。

(8) 本課題の5か年計画の概要：

近年発生した内陸地震(2016年熊本地震、2014年長野県北部の地震など)を対象に、変動地形学・第四紀地質学・古地震学的な調査研究に基づき、地表地震断層の幾何学的形状や地震時変位量分布などのパラメーターを、活動しなかった断層を含む断層系全体の累積変位量分布・活動履歴と過去複数回の一回変位量・浅層部の地下構造・地質構造などと総合的に解釈する。調査結果と観測事実に基づき、地表地震断層トレースの諸特徴と震源断層や地震時すべり量、断層破壊過程との関連性を、海外の事例も含めて詳細に検討し、地震毎の地震の規模・破壊領域・地表変位のばらつきなどを説明する活断層の地震発生・震源断層モデルを構築し、内陸地震の長期予測の高度化を図る。なお、研究期間中に地表地震断層を伴う内陸地震が発生した場合は、その地震も同様に重点的な調査研究を行う。

平成31(令和1)年度においては、2016年熊本地震や2014年長野県北部の地震に伴う地表地震断層などを対象に変動地形調査・トレンチ掘削による古地震調査を実施し、内陸地震に伴う地表地震断層の諸特徴(過去の地震発生時期・地震時変位量)を推定する。これらのデータと地表地震断層と地震時の断層破壊過程の関係を考察するとともに、既往研究のレビューを行い、断層活動の多様性を考慮した活断層における地震発生モデルを立てる。令和2年度においては、上記のモデルをトレンチ掘削調査などから検証し、活断層で発生する地震の多様性を明らかにする。令和3年度においては、地表地震断層と活断層・変動地形との関係を明らかにするための戦略的古地震調査を実施する。令和4年度においては、地表地震断層と活断層・変動地形との関係を明らかにするための浅層反射法地震探査を実施し、地表地震断層・変動地形の震源断層モデルの再構築を試みる。令和5年度においては、補足的な調査を行い震源断層とリンクした断層活動の多様性を考慮した活断層における地震発生モデルの高度化を実現する

(9) 令和元年度の成果の概要：

令和元年度は、2016年熊本地震や2014年長野県北部の地震に伴う地表地震断層などを対象に変動地形調査・トレンチ掘削による古地震調査を実施し、内陸地震に伴う地表地震断層の諸特徴を推定した。

2016年熊本地震

変動地形調査：地震発生当日に国土地理院により撮影された空中写真を判読し、地表地震断層の幾何学的形状をメートルオーダーでマッピングしGISデータとして記録した。同時に、空中写真から確認することができる変位基準を用いて水平・垂直変位量を計測した。これにより、断層の破壊過程との関係や既知の活断層トレースとの地理的な差異を議論できる基礎的データを取得した。

古地震調査：布田川 日奈久断層帯の活動履歴と活動性を明らかにした。2019年9月に益城町平田で行ったトレンチ掘削調査では約1万年前の地層が2.9-8.6m右横ずれ変位しており、水平変位速度は0.29-0.86mm/yrと見積もられる。また、5,000年前の地形面を開析する谷が約5m屈曲していることから水平変位速度が約1mm/yrと見積もられる。これ以前に、2018年9月に西原村小森で行ったトレンチ掘削調査では2016年熊本地震と同様の変位が累積している様子がトレンチ壁面から認められ、2016年熊本地震を含めて4回の断層運動があったことを明らかにした。その平均活動間隔は2,400-3,500年であり、このうち2016年熊本地震の1つ前の活動が2,086-2,287calBPにあったことが明らかになった。小森トレンチと平田トレンチの結果は調和的であり、先行研究の結果とも矛盾しないことから、布田川 日奈久断層帯が2,000-3,000年程度の間隔で活動してきた可能性は高い。また、布田川断層の中央部である布田において、5つの小トレンチを掘削した。K-Ah火山灰(7300年前)以降の活動が複数

確認され、現在放射性炭素年代測定を実施しており、その活動時期を絞る予定である。くわえて、布田川断層に並走する出ノ口断層におけるトレンチ調査を行い検討した。出ノ口断層では、K-Ah 火山灰以降に少なくとも3回(2016年イベント含む)活動しており、布田川断層の活動履歴や頻度と一致する。このことから、2016年熊本地震で出現した地震断層の一部は少なくとも過去にも同様に布田川断層の活動と同期していた可能性がある(図1)。

#### 2014年長野県北部の地震

変動地形調査：変動地形から地震時および累積的な断層変位量を定量的に推定するために、写真測量を実施した。対象地域は地表地震断層が出現した塩島・大出地区、活断層は明瞭であるが2014年の地震時には地表地震断層が出現しなかった信濃森上地区、近年新たに左横ずれ成分を持つ活断層が確認された青木湖地区である。これらの地区は人工改変が著しく、現地測量等によって断層変位量を推定することが出来ないため、人工改変前の米軍撮影の空中写真を用いた写真測量によって変動地形を復元した。

古地震調査：白馬村北城塩島地区において、2014年に出現した地表地震断層崖を横切る方向で、長さ約15m、幅約5m、深さ最大で約3mのトレンチ調査を行い、明瞭な断層による累積的な地層の変形や活動履歴解明に資するデータを取得した(図2)。その結果、2014年を含めて3回の断層活動を読み取ることができた。1:最新活動は2014年であり、米軍撮影の航空写真撮影後に埋められた人工改変層Aを西方へ大きく撓ませており、地表面は約1mの東側隆起を示す。2:一つ前の断層活動はF2により、E(砂礫層)やC(シルト質砂礫層)、D(シルト層)を変位させるが、人工改変層Aに覆われる。断層活動時期はD、C層堆積後、A層堆積以前である。南壁面のD層基底面から採取した炭化物の放射性炭素年代測定から、 $340 \pm 30$  yBP(A.D.1470-A.D.1640)の年代値が得られており、断層活動はそれ以降となる。3:二つ前の断層活動時期は、D層堆積以前、F層堆積以降である。D層は腐植を含むシルト質の堆積物であり、断層変位による下流側(東側)隆起によって一時的にせき止められたものと考えられる。F層基底の年代は $1710 \pm 30$  yBP(A.D.251-A.D.398)であり、このせき止め発生時(すなわち断層活動により当時の地表面に崖が形成された時期)は、D層堆積(A.D.1470-A.D.1640)以前かつF層堆積以降となる。以上のように $1710 \pm 30$  yBP(A.D.251-A.D.398)以降3回の地震イベントがあることが明らかとなった。本地域における被害を起こした比較的大規模な歴史地震として、姫川の谷沿いに死者や住家倒壊の被害が発生した1714年の小谷地震(マグニチュード)が知られている。本トレンチで確認された断層活動のうち、“2”の一つ前の活動がまさに1714年小谷地震に該当する可能性が高い。また1714年小谷地震以前の被害地震として、762年の美濃・飛騨・信濃の地震(マグニチュード)、841年信濃の地震(マグニチュード)が知られているが、上記“3”のF層堆積後の地震活動は、これらのいずれの歴史地震にも対応する可能性がある。

- (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
石村大輔，2019，熊本県西原村布田における布田川断層の2016年熊本地震(Mw7.0)時上下変位と活動性．活断層研究，50，33-44．  
岩佐佳哉・熊原康博・後藤秀昭・中田 高，2019，熊本県益城町堂園地区における2016年熊本地震の地表地震断層の詳細な分布と共役断層の活動履歴．活断層研究52(印刷中)  
Ishimura, D., Takahashi, N., Tsutsumi, H., Kumahara, Y., Toda, S. and Ichihara, T., 2020, Paleoseismic trenching on the subsidiary surface ruptures associated with the mainshock of the 2016 Kumamoto earthquake sequence. Hokudan 2020 International Symposium on Active Faulting. Hokudan Earthquake Memorial Park in Awaji City, Awaji Island, Japan (January 2020). oral (invited)  
石村大輔・堤 浩之・高橋直也・小田龍平・松風 潤・金田平太郎・小林幹也・熊原康博・小林 淳・市原季彦，2019，熊本県西原村，出ノ口断層における古地震調査．日本地球惑星科学連合2019年大会，SSS15-16

- (11) 令和2年度実施計画の概要：

令和2年度においては、上記のモデルをトレンチ掘削調査などから検証し、活断層で発生する地震の多様性を明らかにする。

2016年熊本地震では、布田川断層上のトレンチ成果を取りまとめ、放射性炭素年代測定を追加し、活動時期を決定する。さらに、副次的な地震断層上で行った2つのトレンチの断層イベントと布田川断層で得られた断層イベントの同時性を議論する。

2014年長野県北部の地震では、写真測量をもとにした変位量測量とトレンチ調査を実施し、一回り小さな地震を含めた活断層の挙動を精緻化するために、過去の各々の地震でどの断層が活動したのか、どの程度の変位があったのかについて明らかにする。

同時に同じ糸静線の南部周辺の変動地形学的な調査を実施する。この付近の活断層帯は主に地形境界に分布する逆断層と考えられているが、航空レーザ測量による詳細な地形解析から周辺山地に多様な変動地形が認識されつつある。令和2年度において、地表踏査とトレンチ調査を行って断層の直接的な証拠を得るとともに、活動度や活動時期から断層帯の活動の多様性を明らかにする。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

鈴木康弘

他機関との共同研究の有無：有

東大地震研(石山達也)・法政大学(杉戸信彦)・広島大学(後藤秀昭・熊原康博・中田 高)・千葉大学(金田平太郎)・岡山大学(松多信尚)・信州大学(廣内大助)・首都大学東京(石村大輔)・東北大学(岡田真介)・山口大学(楮原京子)・東洋大学(渡辺満久)・国立鶴岡工業高等専門学校(澤祥)等

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：名古屋大学減災連携研究センター

電話：052-789-3468

e-mail：

URL：<http://www.gensai.nagoya-u.ac.jp/>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：鈴木康弘

所属：名古屋大学減災連携研究センター

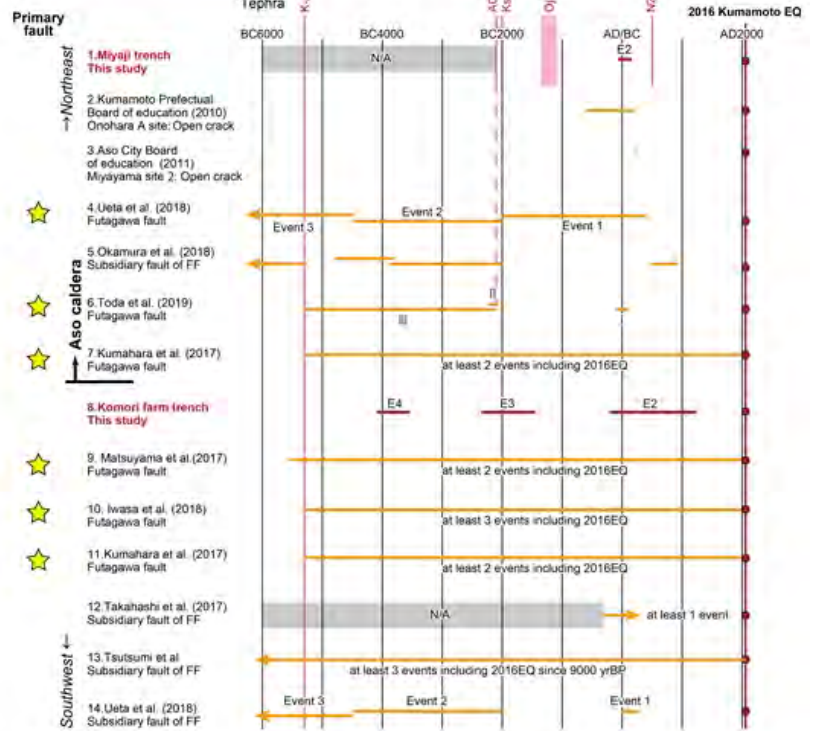
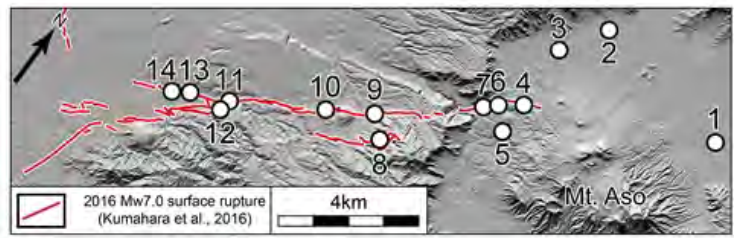
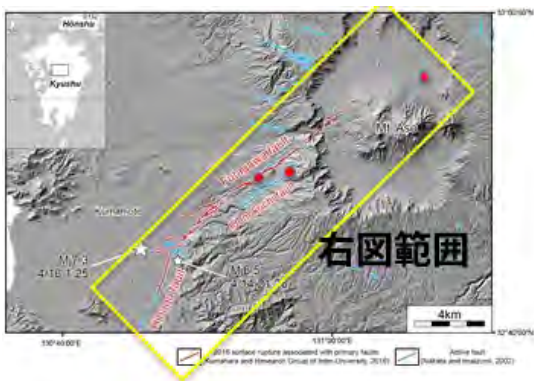


図1 2016年熊本地震の地表地震断層の活動履歴



# 森上（塩島）トレンチ北面写真と地層区分図

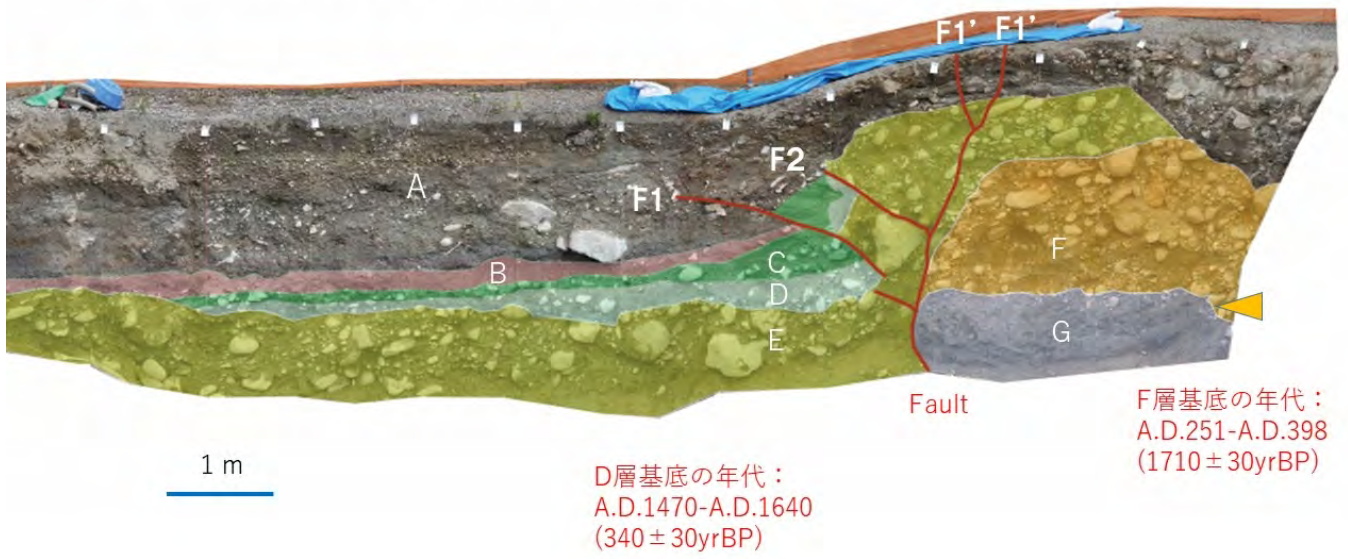


図2 2014年長野県北部の地震の塩島地区トレンチ調査北壁面

( 1 ) 実施機関名：

名古屋大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

南海トラフ域におけるプレート間固着・滑りの時空間変化の把握

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

現行計画では、研究課題「南海トラフ域における巨大地震断層域の力学ナニ粗胆 稜聴 廚終損櫻靴 討 拭F 邀う肇蒞媪感疗気 茲局佞 螢團鶻う塵課璽半紊任粒つ賤漏綿册哀自縫織螢鳴阿 蕁 些 ぐ茲砲 韻解団蠹 覆垢戮懈孺士未板世漬 爛塵譟璽箬瞭阿 世猶 砲覆辰拭 Yasuda et al., 2017 )、また、Tadokoro et al. ( 2012 ) による熊野灘における海底地殻変動モニタリングの結果は、内陸のブロック運動も考慮したプレート間固着状態の推定 ( Kimura et al., 2017 ; Nishimura et al., 2018 ) や、津波シナリオの高度化 ( Watanabe et al., 2018 ) に活用されている。



陸上 GNSS 観測や数値シミュレーションを用いて、沈み込む海洋プレートの力学的特性 ( Sasajima and Ito, 2017 )、マントルウェッジのレオロジー構造 ( 大間・伊藤、2016 )、前弧域の運動 ( 塩見ほか、2017 ) やゆっくり滑り ( 光井・伊藤、2017 ) の解明など幅広く実施している。

東海地方でのアクロスの連続運転によって、地震波速度の定常的な増加傾向と東北地方太平洋沖地震の際の減少を確認することができ、地震波速度変化のモニタリングから内陸地殻の物性変化が捉えられた ( Tsuji et al.、2018 )

熊野灘～遠州灘において海底地形の高解像度データ ( 1 秒グリッド ) を取得し、また浅層地質構造探査を実施して、変動地形の分布と変位様式を詳しく検討した。安乗口海底谷においては、詳細地形調査および堆積物調査によって、海底谷を横切る活断層が比較的最近に活動した可能性が指摘された ( 杉戸ほか、2018 )。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

海溝型巨大地震発生の予測のためには、プレート間の固着による定常的なすべり欠損の蓄積と、地震間の間欠的なすべり欠損の解消をもたらすゆっくり滑り等の地殻活動の把握の両方が欠かせない。特に、現行計画で得られた南海トラフ域におけるすべり欠損分布の解釈には、沈み込む側のプレート、特に伊豆マイクロプレートの境界と運動の把握が決定的に重要であることが明らかになった。また、海底地殻変動観測による変位速度の空間的不均質性の解釈には、プレート境界面上でのすべり欠損以外にも陸棚外縁撓曲付近でのひずみ蓄積等の可能性も考慮する必要があることが示唆された。

そこで、本研究では、海域での測地学的観測に加え、現行の地殻変動観測網の制約を克服するために変動地形の分布や変位様式の把握といった変動地形学的調査も併せて行い、伊豆マイクロプレートの境界 ( 特に西端部 ) と運動の把握を行う。さらに、変動地形学的調査から陸棚外縁撓曲付近でのひずみ蓄積過程も推定する。これらの全てをふまえて、海陸における地殻変動観測結果からより現実的なプレート間固着状態の把握を行う。これと並行して、5 年間にわたる連続的な陸上 GNSS およびアクロスによるモニタリングによって、測地学的アプローチと弾性波動学的アプローチの両面から地殻活動の現状を把握する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

南海トラフ域東部を対象として、以下に詳しく述べる 1 ) 変動地形学的、2 ) 測地学的、3 ) 弾性波動学的アプローチから各種観測・調査を行う。海域地殻変動観測結果と変動地形学的調査をもとに、ブロック運動モデルによって南海トラフ沿いのすべり欠損の空間分布の把握を行う。また、陸上 GNSS とアクロスを用いた連続モニタリングから、定常時やゆっくり滑り時におけるプレート境界領域の物性変化を捉える。

1 ) 変動地形学的アプローチ

海底地形調査 :

銭洲海嶺西端付近、ならびに志摩海脚において、海底地形詳細調査、ならびに浅層地質構造探査を行う。銭洲海嶺西端付近では、変動地形の連続性から伊豆マイクロプレートの西端部の境界を明らかにするとともに、変動地形の位置・形状から伊豆マイクロプレートの挙動の推定を試みる。陸棚外縁撓曲付近でのひずみ蓄積等が海底地殻変動観測による変位速度の不均質性に与える影響を探るため、志摩海脚でも調査を行う。

陸域地形調査 :

陸棚外縁撓曲の活動度等を明らかにするため、紀伊半島等の沿岸部で活構造等の地形と地質を調査する。

2 ) 測地学的アプローチ

海域地殻変動観測 :

南海トラフ地震震源域の浅部におけるすべり欠損の空間分布の把握のために、海上保安庁の観測点が設置されていないトラフ軸近傍の 1 ヶ所で海底地殻変動観測を 2 年に 1 回行う。また、伊豆マイク

ロプレートの西側境界の大まかな位置を推定するとともに沈み込むプレートの運動を実測するため、南海トラフの海側（沈み込むプレート側）の1ヵ所において2年に1回の頻度で海底地殻変動観測を行う。

伊豆マイクロプレートの動きを把握するため、銭洲岩礁にて2年に1回の頻度でキャンペーン GNSS 観測を行う。

得られた観測結果をもとに、変動地形学的知見もふまえて、ブロック運動モデルにより南海トラフ域のプレート間固着状態を把握する。

陸上 GNSS 観測：

南海トラフ地震震源域の深部におけるスロースリップ等による変動の把握のため、三重県、愛知県、和歌山県内の12ヵ所で GEONET の観測点の間を埋める形で GNSS 連続観測を実施する。

### 3) 弾性波動学的アプローチ

アクロス：

プレート境界面における固着やすべり現象に伴う定常・非定常な物性変化を地震波速度変化等から捉えるため、東海地方の2ヵ所でアクロスの連続運転を行い、定常地震観測点で捉えられた信号記録の解析を行う。

## (9) 令和元年度の成果の概要：

南海トラフ域東部を対象として、以下に詳しく述べる1) 変動地形学的、2) 測地的、3) 弾性波動学的アプローチから各種観測・調査を行った。

### 1) 変動地形学的アプローチ

海底地形調査・浅層地質構造探査

今年度実施予定であった海底地殻変動観測を中止せざるを得ない事態に陥ったため、来年度実施予定であった銭洲海嶺西端およびその延長部における海底地形詳細調査と浅層地質構造探査を前倒しで行った。取得したデータの解析は来年度実施する予定である。

上記調査・探査は2020年2月2日～4日に海洋エンジニアリング(株)の第二開洋丸によって実施された。調査海域は、銭洲海嶺の西方延長で海底地殻変動観測点(TOA)が設置されている地点を含む長辺約42km、短辺約20.5kmの範囲である。当該海域の水深は3500～4200m程度である。

海底地形詳細調査は、マルチビーム測深機EM304を用いて行った。北東-南西方向に全長約42kmの測線を約3.3km間隔で6本設定し、測深を行った。詳細はデータ解析を待って検討するが、銭洲海嶺と西方の檜野埼海丘の間にも地殻変動に起因すると考えられる海底面の起伏が確認された。

浅層地質構造探査は、サブボトムプロファイラTOPAS PS18を用いて行った。檜野埼海丘～銭洲海嶺間に全長約15kmの測線を北西-南東方向に2本設定した。その結果、変位・変形構造がイメージングされた。それらの中には海底面まで変位させるものも含まれる。

これらの変動地形と伊豆マイクロプレートの境界との関係は、来年度に行う詳細な解析等の結果を待つ必要がある。

### 2) 測地的アプローチ

海域地殻変動観測(海底)

南海トラフ地震震源域の浅部におけるすべり欠損の空間分布の把握、ならびに伊豆マイクロプレートの西側境界の大まかな位置を推定するとともに沈み込むプレートの運動を実測するために、南海トラフ軸近傍の2ヵ所で海底地殻変動観測を行う計画であった。ところが、船側の音響センサが故障したため、今年度の観測は断念せざるを得なくなった。

過去に取得した海底地殻変動データを再解析した。南海トラフの海側のフィリピン海プレート上に設置した観測点では、2013年から2016年までの6回の観測から、アムールプレートに対する変位速度ベクトルとして $N71\pm 21W$ 、 $5.6\pm 2.1$  cm/yを得た。この変位速度ベクトルは誤差の範囲でMORVEL(DeMets et al., 2010, 2011)の予測値( $N60W$ 、 $5.7$  cm/y)と一致している。南海トラフの陸側に設置した観測点では、2013年から2017年までの7回の観測から、アムールプレートに対する変位速度ベ

クトルとして N53+/-19W、5.9+/-2.0 cm/y を得た。この変位速度ベクトルは、MORVEL から予測される PH-AM の相対速度とほぼ同じである。

#### 海域地殻変動観測（銭洲岩礁）

伊豆マイクロプレートの動きを把握するため、2019年7月30日に銭洲岩礁にてキャンペーン GNSS 観測を行った。観測時間は約4時間であった。また、銭洲岩礁での連続 GNSS 観測に向けた取り組みとして、岩礁のほぼ最高点到防水箱とソーラーパネルを固定した。来年度以降、防水箱とソーラーパネルに損傷が確認されなければ、アンテナと受信機を設置し、連続観測化を試みる計画である。

#### 陸上 GNSS 観測

南海トラフ地震震源域の深部におけるスロースリップ等による変動の把握のため、三重県、愛知県、和歌山県内の12カ所で GEONET の観測点の間を埋める形で GNSS 連続観測点を設置し、データ収録を開始した。

#### 3) 弾性波動学的アプローチ

##### アクロス

東海地方の2カ所でアクロスの連続運転を行い、データの収録を継続した。

- (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
杉戸信彦・岩井雅夫・若木仁美・松井浩紀・鈴木康弘，2019，安乗口海底谷における南海トラフ周辺海底活断層の変動地形的・古地震学的調査 - 有孔虫分析と放射性炭素年代測定 - ，日本地球惑星科学連合 2019 年大会予稿集，SSS15-P18，千葉，5月。

- (11) 令和2年度実施計画の概要：

#### 1) 変動地形的アプローチ

##### 海底地形調査

今年度実施して取得した海底地形詳細調査と浅層地質構造調査のデータを解析し、変動地形の連続性および変位様式の把握によって、伊豆マイクロプレートの西端部境界の決定を目指すとともに、海底地殻変動観測点 TOA がフィリピン海プレート上に位置するのか伊豆マイクロプレート上に位置するのかを明らかにする。

##### 陸域地形調査

陸棚外縁撓曲の活動度等を明らかにするため、紀伊半島等の沿岸部で活構造等の地形と地質の調査を実施する。

#### 2) 測地学的アプローチ

##### 海域地殻変動観測（海底）

南海トラフ軸近傍の2～3カ所の観測点で海底地殻変動観測を行い、今年度解析した結果を含めて南海トラフ地震震源域の浅部における変位速度やすべり欠損の空間分布の把握を試みる。

##### 陸上 GNSS 観測

今年度データ取得を開始した12カ所の GNSS 連続観測点におけるデータ収録を継続する。

#### 3) 弾性波動学的アプローチ

##### アクロス

東海地方の2カ所でアクロスの連続運転を継続し、信号振幅の時間変化の検出を試みる。

- (12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

田所敬一・伊藤武男・山岡耕春・渡辺俊樹・國友孝洋・鈴木康弘

他機関との共同研究の有無：有

高知大学（田部井隆雄）・静岡大学（生田領野）・法政大学（杉戸信彦）・岡山大学（松多信尚）

- (13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：名古屋大学環境学研究科

電話：052-789-3046

e-mail：

URL：

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名：田所敬一

所属：名古屋大学環境学研究科

( 1 ) 実施機関名：

名古屋大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地表地震断層の特性を重視した断層近傍の強震動ハザード評価

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究においては、地表地震断層の詳細な特性を考慮して、断層近傍の強震記録を再現できる強震動シミュレーション手法を開発する。地表地震断層のごく近傍の詳細な建物被害分析結果に注目した強震動シミュレーションは新たな取り組みである。活断層から発生する地震予測に関する従来のパラメータステディは約 1 秒以上の長周期成分を対象としたものが多く、建物被害に大きな影響を及ぼす 1 秒以下の短周期成分を考慮した研究例は少なかった。これらの周期帯をあわせて広帯域地震動を評価するためには、地震基盤以浅の地表地震断層近傍域における詳細な地盤構造モデルを構築する必要がある。

従来の地表地震断層の研究は、変位量の記載や個々のセグメントの特徴の把握にとどまっていた。強震動との関係を議論するためには、起震断層帯全体の中で相互に関連する地震断層形状の正確な把握や、変位量の空間的变化を高解像度で把握し直すことが求められる。本研究では熊本地震の地震断層の再検討を行うが、いわゆる活断層としての活動性に関する情報は別プロジェクトで得られる成果を用い、強震動予測に適したデータベース化を行う。

最終的に、熊本地震等の事例について新たな強震動評価手法を用いた強震動分布を再現し、建物被害との整合性を確認する。その上で、海外の事例を含めた他地域への適用を試行する。他地域への適用に当たっては、従来からの変動地形学的活断層調査結果を参考にする。なお、期間内に新たな地震断層が出現した場合は、これを検討対象に加える。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

平成 31 年度は、「熊本地震の益城町と南阿蘇村を事例とした基礎データ収集・感度解析」として以下の項目を実施する。

- 1) 強震動計算モデルへ組み込むため、地表地震断層の詳細な形態的特徴を精査し、破壊開始点、変位量分布のデータベースを作成する。
- 2) 航空写真と現地調査結果を総合して、地震断層近傍全域における全壊家屋分布図を作成する。建築構造情報を考慮したデータベース作成。
- 3) 地震動記録の再検討。全壊家屋分布を説明できる強震動計算モデルを構築する。

平成 32 ~ 33 年度は、「熊本地震の地震断層周辺全域への適用・モデル改良」として以下の項目を実施する。

- 1) 熊本地震の地震断層近傍の全域について強震動モデルによる計算を適用する
- 2) 強震動の出現に著しい地域差があることに注目して、地震断層・活断層の特徴との相関を分析する。
- 3) 強震動の地域差を表現できる強震動モデルを検討し、モデルの高度化を目指す。

平成 34 ~ 35 年度は、「他地域・他の活断層へ試行」として以下の項目を実施する。

- 1) 新たな強震動評価手法を他の活断層へ適用し、強震動予測地図を作成する。
- 2) 活断層データとしては、他の課題(「変動地形学的手法による内陸地震発生モデルと活断層長期評価手法の再検討」(2 . (1) イ . 内陸地震の長期予測)の成果を活用する。
- 3) 活断層の強震動評価手法として一般化させ、地震本部において活用可能な形を目指す。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

熊本地震の益城町と南阿蘇村を事例とした基礎データ収集および感度解析を目指した。主な実施項目は以下の 3 点である。(1) 強震動計算モデルへ組み込むため、地表地震断層の詳細な形態的特徴を精査し、破壊開始点、変位量分布のデータベースを作成した[地表地震断層の詳細情報の精査とモデル化]。また(2) 航空写真と現地調査結果を総合して、地震断層近傍全域における全壊家屋分布図を作成し、建築構造情報を考慮したデータベースを作成した[建物被害分析]。(3) 地震動記録を再検討し、全壊家屋分布を説明できる強震動計算のための断層モデルを検討した[強震動計算手法の検討]。さらに(4) 強震動計算において重要となる地盤構造モデルを精査した[地盤構造モデルの改良]。

(1) 地表地震断層の詳細情報の精査とモデル化については、以下の検討を行った。地表で観察された地表地震断層の分布を 100 m 間隔の 3 次元点群化モデルで表現した。そのために、まず、地震後のインバージョン結果に基づく地下の震源断層モデルと、地表で観察された地表地震断層の分布をそれぞれ 100 m 間隔の 3 次元点群化モデルで表現した。次に、地下の震源断層モデルと地表地震断層の分布を考慮した地表下浅部の点群の接合・収斂について、地震・強震動分野の研究者と変動地形分野の研究者で議論を重ねて、複数のモデルを提案した。このモデルに基づいた妥当な強震動の計算結果を得るために、すべり量、すべり角、破壊伝播、地下浅部のすべり速度関数の選択について試算結果を検討しながら議論を継続している。

また、布田川断層からは遠隔にある清正公道沿いの地表変状(rupture)と被害の関係について見直した。ここでは地震時に右横ずれを伴う rupture が連続的に出現するとともに、近傍において強震動による構造物被害が生じた。ちょうどその位置はかつての清正公道を埋め立てた際の盛り土境界付近にあるため、地盤の影響による rupture である可能性も指摘されていた。2019 年 1 年と 11 月にトレンチ調査を実施したところ、rupture は盛り土境界ではなく、半固結ローム層を明瞭に断ち切り、系統的な右横ずれを伴う地震断層であることが判明し、清正公道断層と呼ぶべきものであることが明らかと

なった。断層浅部のずれに伴ってごく近傍に強震動が生じた事例であることが判明した。

(2) 建物被害分析については、益城町市街地において、詳細な地表地震の性状を解明し、建物被害との関係を明らかにした。その結果、?地震断層から 120m 以内の範囲に全壊家屋の総数の 94%が集中すること、?被害率については近傍 120m の範囲内において断層からの離隔距離と被害率には負の相関があること、?建築年代を昭和 50 年以前と以後に分けて分析すると、新旧に寄らず?の関係が成立することが明らかとなった。

また全域について地表断層ごく近傍での建物被害分布を検討した。熊本地震の地表地震断層近傍の建物登記簿調査データを用いて、航空写真判読の建築年代を修正し、木造建物の建築年代別の建物被害と地表地震断層との関係を分析した。その結果木造建物の旧耐震(1980 年以前)、新耐震(1981 年～1999 年)、新耐震(2000 年以降)ともに地表地震断層から 100m 以内において急激に倒壊率が増加する傾向がみられ、それぞれ 20%、13%、5%程度であることを明らかにした。

(3) 強震動計算手法の検討については、まず従来断層モデルや強震動計算方法の問題点および改良の方向性を検討した。観察された地表地震断層の長さ 34km に基づいて、地震本部の強震動予測手法「レシピ」に従った断層モデルにより熊本地震の強震動計算を行ったところ、地震モーメントや地震動が過小評価となった。一方、観測に基づく熊本地震の地震モーメントを既知として設定した断層モデルを「レシピ」で計算したところ、地震動分布は観測記録をおおむね説明できた。ただし、地表地震断層ごく近傍の観測点における周期 1 秒程度以上の地震動は過小評価のままであった。このことについて、予察的な検討として、地震発生層よりも浅い領域に断層すべりを考慮した断層モデルで計算を行うと、結果が改善することが確認された。そこで、地表地震断層の分布形状と変位量分布を取り込んだ運動学的断層モデルとして、100m の分解能を目指すこととした。

2016 年熊本地震で観測された地表地震断層近傍の特徴的な地震動や建物被害の生成要因解明のため、断層ごく近傍での地震動の数値計算を目的として、熊本地震の際に観測および測量された地表地震断層の分布形状と変位量分布を取り込んだ運動学的断層モデルの検討を開始した。特性化震源モデルによる強震動評価を行い、地震記録および建物被害分布との比較・検討を行った。

事前予測の観点から、上記の「レシピ」に基づく評価で地震モーメントや地震動が過小となったことについても、事前の変動地形判読の成果である活断層の分布、地震時に出現した地表地震断層の分布、さらに、地震後の震源断層のモデルの相違とその要因を議論して、経験式とその説明変数の選択について両研究分野のレビューとともに議論している。

さらに、2018 年 9 月 16 日に発生した北海道胆振東部地震について、地震動予測地図などでの事前の想定よりも深い下部地殻内で発生したという特徴を踏まえて、この地震の震源域の西方に分布する活断層の石狩低地東縁断層帯との位置的な関連性が議論されている。甚大な斜面災害を引き起こしたこの地震の強震動の生成要因と事前予測可能性についても検討を行った。

(4) 地盤構造モデルの改良について、断層近傍の益城町および阿蘇を中心とした地域において、強震動評価用の地盤モデル構築のため、新たにボーリングデータの収集・整理(約 300 本)と微動アレイ観測(103 地点)および S 波速度構造の解析を実施した。収集したこれらのデータに基づき、50 m メッシュ単位の詳細な浅部・深部統合地盤モデルを構築した。

- (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
岩城麻子・森川信之・藤原広行・前田直浩・久保久彦・藤原広行, 2019, 平成 30 年北海道胆振東部地震の広帯域地震動シミュレーション, 日本地球惑星連合 2019 年大会, SSS13-P08  
先名重樹・若井 淳・谷田貝淳・稲垣賢亮・松山尚典・藤原広行, 2019, 阿蘇地域全域における微動アレイ観測結果, 第 54 回地盤工学研究発表会, 0954  
先名重樹, 2019, 熊本平野における広帯域強震動評価のための浅部・深部統合地盤モデルの構築「平成 28 年(2016 年)熊本地震と ESG 研究」シンポジウム(10/21)講演集, 日本地震工学会  
Suzuki, Y., M. Watanabe, and T. Nakata, 2020, Extremely strong ground motions associated with the 2016 Kumamoto earthquake: Special references to Mashiki and Ozu areas. HOKUDAN2020.

渡辺満久・鈴木康弘, 2020, 清正公道に沿って現れた 2016 年地表地震断層と地震被害, 日本地理学会講演要旨.

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

令和 2 年度は, 熊本地震の地震断層周辺全域への適用・モデル改良として, 当初計画に従い, 令和 3 年度までの 2 ヶ年かけて熊本地震を事例とした強震動分布を説明できる計算モデルを確立することを目指す.

- 1) 熊本地震の地震断層近傍の全域について地表地震断層の詳細情報を考慮した断層モデルによる強震動計算を行う
- 2) 強震動の出現に著しい地域差があることに注目して, 地震断層・活断層の特徴との相関を分析する.
- 3) 断層近傍における強震動分布の詳細な地域差を表現できる断層モデルおよび強震動計算方法を検討し, 強震動予測手法の高度化を目指す.
- 4) 上記に加え, InSAR や LiDAR で観測された地表の広域変形を検証し, 断層モデルに組み込む.

すなわち 1) ~ 4) を通じ, 断層ごく近傍域での強震動予測精度の向上を目指して, 地表と地下の変位分布, および, 破壊伝播をシームレスに統合するモデルを作成する. 断層面の 3 次元的な形状を表現できるモデルを作成し, 断層浅部での変位や滑り速度時間関数の検討を行う. 断層ごく近傍域での強震動の分布を推定するため, 強震観測記録だけでなく, 建物の被害分布データを利用する. また, 断層近傍域での浅部・深部統合地盤モデルを高度化する. また, InSAR や LiDAR で観測された地表の広域変形の検証を行う. これらを総合的に用いたシミュレーション手法を開発し, 熊本地震の全壊家屋分布を説明できる強震動計算モデルの構築を目指す.

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

名古屋大学 ( 鈴木康弘 )

他機関との共同研究の有無 : 有

岡山大学 ( 隈元 崇 ) 広島大学 ( 中田 高 ) 東洋大学 ( 渡辺満久 ) 防災科学技術研究所 ( 藤原広行・森川信之・中村洋光・先名重樹 )

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 地震火山研究センター

電話 : 052-789-3046

e-mail :

URL : <https://www.seis.nagoya-u.ac.jp/center/index.html>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 鈴木康弘

所属 : 名古屋大学



( 1 ) 実施機関名：

名古屋大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

被害の地域的な発現過程とコミュニティの社会・空間構造に着目した地震・津波災害発生機構に関する文理融合的研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

( 4 ) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究  
地震

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

平成 26～30 年度の「地震・津波被害に対する地域社会の脆弱性測定に基づくボトムアップ型コミュニティ防災・減災に関する文理融合的研究」(課題番号：1704)において、理論的には、(1)社会的脆弱性が土地利用、社会的凝集性、災害文化、災害対策の4側面とそれらの相互作用によって構成されることを導き出した。実証研究では、東日本大震災被災地を対象に、(2)被災地の過去100年間にわたる土地利用調査から、1970年代以降のその変化において「堤防効果」あるいは「安全開発のパラドクス」と呼ばれる傾向を指摘するとともに、(3)津波生存者への質問紙調査から、避難行動の基盤にあった自己判断力が教育水準や科学的知識の有無、防災訓練への参加などに関連しないことを見出した。防災対策に関連しては、(4)名古屋市南区住民への質問紙調査に基づいて、住民の持つ科学的知識が防災・減災行動を導く知識につながらない、いわゆる「リスク認知のギャップ」を明らかにした。また、他プロジェクトと連携して、(5)全国の基礎的自治体と自主防災組織への質問紙調査を行い、自主防災活動の目下の課題として、地域の状況に応じた防災対策や、コミュニティレベルでの組織間連携の必要性を指摘するとともに、(6)地域防災力の向上に取り組む先進地の経験を総括するために、名古屋大学において定期的にコミュニティ防災研究会を開催し、報告書を刊行した。

( 7 ) 本課題の5か年の到達目標 :

これまでの人文社会科学的な災害研究では、情報伝達や避難行動といった「どのように( how )対応したのか」を問題とするものが多く、「なぜ( why )災害が発生したのか」を、災害前や復興後における被災地の社会構造に遡及して解明するものはほとんどない。防災リテラシーの向上のためには、自然災害が社会的構築物であるという基本的な認識の上で、いわゆる緊急対応のみならず、長期間にわたる自然ハザードと地域社会との関係という統合的観点からハザードが災害に転換する構造的脈絡を明らかにする必要がある。

それゆえ、本研究では、同一のハザード( 地震、津波、火山噴火など )の外力がかかっても地域ごとに被害や対応の現れ方が異なる過程に着目し、そこにどのような社会的要因が介在しているのかを脆弱性概念に基づいて分析する。脆弱性は土地利用、社会的凝集性、災害文化、災害対策の4側面から捉えられ、工業化や都市化といった構造的要因によって長期的に変化する。本研究では、自然的・社会的特性の異なる地域社会を取り上げ、それぞれについて脆弱性各側面の具体的項目を定量的・定性的に調べるとともに、ハザード外力の地域差と重ね合わせ、災害発生メカニズムやその規定因を明らかにする。それによって、災害軽減のためにどのような社会的対応が求められるかを明確にする。

具体的には、( 1 ) 東日本大震災などの過去の災害を事例に、以上のような地域的差異に着目する視点からハザード外力と脆弱性との相互既定関係を検証し、また、復興後の社会変動によって生じた地域社会における脆弱性の再編様式を明らかにする。( 2 ) 東海地域に焦点を置き、地形や集落立地、経済・人口規模や都市システム、災害履歴などを指標に地域的な類型化を行い、ハザードの将来予測と重ね合わせながら、地域類型ごとの脆弱性の内容について比較検討する。( 3 ) コミュニティ防災の全国的な先進事例も参照しながら、以上の結果をもとに、災害軽減のためにどのような社会的対応が求められるかを地域単位で検討し、地域特性に応じたコミュニティ防災の条件や課題について提言を試みる。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

2019年度: 東日本大震災被災地のコミュニティ組織を対象に、他のプロジェクトと連携して2018年度に実施した質問紙調査の分析結果と、その回答者に対する、復興後の災害対応の変化などに関する追跡調査( インタビュー調査 )をもとに、これまで行ってきた東日本大震災研究の総括を行うとともに、ハザード外力と脆弱性との相互既定関係について理論化を図る。なお、各年次、コミュニティ防災の取り組み担当者を招聘し、全国的な先進事例に関する定例研究会を開催する。

2020年度: 東海地域( 愛知・三重・静岡県 ) とりわけ南海トラフ地震で津波被害が想定される自治体において予備調査を行うとともに、各種統計などをもとに、ハザードなどの自然的特性と、都市規模や都市システムといった社会的特性から、大都市地域、地方中都市、小都市・農村部、沿岸漁村部といった地域構造に基づく地域類型マップを作成し、予備調査の結果と合わせ、詳細分析の対象地域社会を選定する。

2021年度: 地域類型の異なる複数の地域社会( 自治体およびコミュニティ )において、( 1 ) 地域の自然特性と社会特性、および近年の社会・経済変動を調査し、データベースを作成するとともに、( 2 ) 少なくとも第2次世界大戦後の災害履歴を、ハザードの特徴や被害状況のみならず、防災対応や復興プロセスも考慮して整理し、災害発生メカニズムにかかる政策的・地域的要因に関する考察を行い、( 3 ) 地域類型間( 自治体およびコミュニティのレベル ) の比較検討と、地域差をもたらす社会的要因を解明する。インタビュー調査を中心とした現地調査を基本とするが、必要に応じてサーベイ調査も実施する。

2022年度: 前年度の活動を複数の地域社会において実施し、調査結果を蓄積するとともに、とりわけ東日本大震災後の法改正や住民の意識変化等に伴う自治体の防災対策の改変やそのコミュニティに対する影響に関して知見を得る。

2023年度: それまでの活動を継続し、蓄積された調査結果の理論的集約を進める。なお、各年次における研究成果は、国内外の学会で発表するとともに、学術論文として公表するほか、公開研究

会の開催などを通じて地元還元に努める。最終的には、可能な限り、報告書や図書（専門書や一般書）の刊行を目指す。

（ 9 ）令和元年度の成果の概要：

東日本大震災研究

宮城県の津波被災地を対象に実施したサーベイ調査の結果を分析し、以下の知見を得た。（ 1 ）避難や住宅再建に果たしたコミュニティの役割に関し、リージョナルな地域区分（リアスと平野）とローカルな地区特性区分（農村、漁村、市街地）と関連した地域差が確認できる（図 1 ）。（ 2 ）現地再建地と移転地の別に関わらず震災後の津波被害抑止対策への評価は向上したが、買物や公共交通の便といった生活環境条件の現状評価は移転地で有意に低くなっている。特に、三陸の移転地でその傾向が顕著である（図 2 ）。（ 3 ）震災後の地域防災は全体として活発化しているが、市街地では住民の参加度が低く、また三陸のコミュニティで活動が停滞傾向にある。高台移転による津波災害文化の風化が示唆される。

東海地域の脆弱性研究

名古屋市南区で現地調査を実施し、以下の分析を行った。（ 1 ）東日本大震災後に上方修正された南海トラフ地震の被災想定区域は概ね伊勢湾台風の浸水区域と一致するため、伊勢湾台風後の土地利用の変遷を分析した。その結果、浸水リスクの高い低地において独居高齢者や外国人が増加傾向にあること、居住歴の短い通勤層の占める比率が高いことが明らかになった（表 1 ）。（ 2 ）伊勢湾台風の記憶が現在のコミュニティ防災にどのような影響を及ぼしているのかについて地域間比較調査を実施した。その結果、伊勢湾台風に対する認知度は総じて高いものの、防災活動の実践には顕著な地域差がみられること、活動の規定因は知識の量や防災意識の高さよりも、それを地域防災に媒介するコミュニティガバナンスの仕組みにあることを明らかにした（図 3 ）。

（ 10 ）令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

田中重好, 2019.11, 「災害とコミュニティ」『第 81 回 全国都市問題会議 防災とコミュニティ』（全国市長会）, pp.3-7.

Shigeyoshi Tanaka, 2020.3, Design toward the Systematization of Disaster Sociology, 尚綱学院 大学大学院 総合人間科学研究科 『人間学論考』 2, pp.50-90.

（ 11 ）令和 2 年度実施計画の概要：

東海地域（愛知・三重・静岡県）において南海トラフ地震で津波被害が想定される自治体を視察し、コミュニティの住民生活や防災の現状に関する予備調査を行う。それと並行して、各種の統計、資料分析を行い、ハザードなどの自然的特性と、都市規模や都市システムといった社会的特性から、大都市地域、地方中都市、小都市・農村部、沿岸漁村部といった地域の構造特性に準拠した地域防災の類型化を行う。予備調査の結果と合わせ、年度末までに次年度以降の事例研究の調査対象地域を選定する。

（ 12 ）実施機関の参加者氏名または部署等名：

室井研二、高橋誠、堀和明、山岡耕春

他機関との共同研究の有無：有

黒田由彦（椋山女学園大学）、田中重好（尚綱学院大学）

（ 13 ）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：

電話：

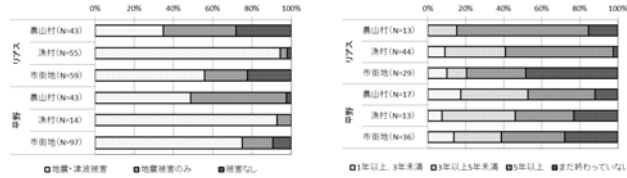
e-mail：

URL：

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 室井研二

所属: 環境学研究所



注:「リアス」は奥仙沼、南三陸、女川、「平野」は石巻、東松島、七ヶ浜、名取、岩沼、亶理、山元の被災地区(行政区)

図1 津波被害と住宅再建:リアスでは漁村に被害が集中しているのに対し、平野ではその地形的特徴から、地区特性に関係なく津波被害が広範に発生している。住宅再建に関しては、被害が相対的に軽かった市街地で再建期間が長期化している。

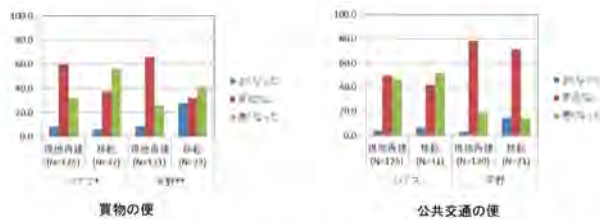


図2 生活環境条件の変化:震災後の復興政策によって防災施設に対する評価は向上したが、生活環境条件は全体として悪化した。買物の便については、リアスと平野の区分よりも、移転の有無による差異が顕著に現れている。公共交通条件に関しては、移転の有無よりも、リアスと平野の地帯区分による差異が顕著に現れている。

表1 暴露人口の特徴

地盤高	1975			1995			2015			高齢者のみの世帯率		
	世帯数	世帯数	増加率	世帯数	増加率	1975	1995	2015				
5m以上	5,940	9,194	54.8	11,003	19.7	2.0	8.6	18.6				
2-5m	15,994	17,361	8.5	19,531	12.5	2.5	12.5	23.4				
0-2m	66,427	84,028	27.4	88,585	4.7	2.2	10.7	24.3				
0m未満	16,813	29,156	73.4	33,540	15.0	1.0	5.9	20.3				
全体	105,174	140,339	33.4	152,659	8.8	2.0	9.6	22.9				

地盤高	1995		2015		1995		2015	
	外国人人口	%	外国人人口	%	総市区町村運動会率	20坪以上の居住者率		
5m以上	379	1.4	654	2.3	49.8	23.8		
2-5m	1,095	2.4	843	1.9	48.4	29.9		
0-2m	5,603	2.5	7,930	4.0	45.1	29.6		
0m未満	1,162	1.2	2,147	2.4	51.5	31.9		
全体	8,239	2.1	11,574	3.2	47.4	29.7		

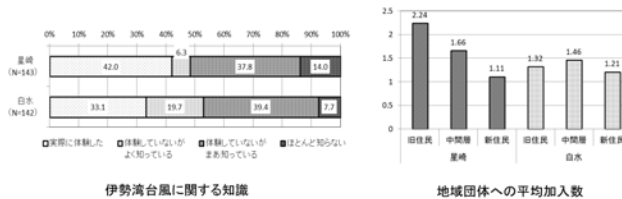


図3 地域防災の規定因:名古屋市南区の星崎学区、白水学区はともに伊勢湾台風の被災地であり、南海トラフ地震対策は伊勢湾の経験に依拠して進められている。しかし、取組みには明確な地域差が現れており、そうした差異は、防災に関する意識や知識よりも、知識を行動に媒介するコミュニティガバナンスの仕組みに規定されているところが大きい。

( 1 ) 実施機関名：

名古屋大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

御嶽山地域の防災力向上の総合的推進に関する研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

( 5 ) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

2014 年御嶽山噴火後の御嶽山地域において、地元ステークホルダーを主体とした総合的防災力推進に研究機関として貢献する方法論の確立のため、そのプロセスに関する記録を残すとともに有効性を検証する。ステークホルダーの代表として、御嶽山火山マイスターを対象として、名古屋大学御嶽山火山研究施設と連携した活動に焦点を絞る。不確実性が高い情報を受けた際に、専門家からどのような情報を提供するのかが、地元ステークホルダーはどのような対応をとり得るかに着目する。研究期間の前半 3 年間は長野県からの寄附による名古屋大学御嶽山火山研究施設が運営されており、その期間に地元と名大との顔の見える関係を構築し長期的に継続できるものにし、その成果としての後半 2 年間を検証する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

名古屋大学環境学研究科地震火山研究センターに御嶽山火山防災寄附分野が設置されている 3 年の間は、御嶽山火山研究施設に専門家(名古屋大学特任准教授)と長野県からの出向職員(名古屋大学研究協力員)が御嶽山地域に常駐するので、その期間に地元との顔の見える関係(火山マイスター制度を通じた火山リテラシーの向上)を図るとともに、名古屋に常駐する研究者と火山マイスターや地元防災担当者との良好な連携体制を築く。後半の 2 年間では、その関係を維持・発展させるための取り組みを行う。5 年間を通じたプロセスの記録と課題の抽出を行い、パイロットケースの成果として残

す。活動を記録する作業は、専門家の指導のもとで主に外部に委託し、研究者の負担軽減を図る。また部会全体としての研修プログラム構築に知見を提供する。

初年度から3年間は、御嶽山火山研究施設の常駐専門家が中心となり、長野県や地元防災担当者の協力を得ながら、御嶽山火山マイスター等の火山リテラシー向上に貢献する。具体的には火山の基礎知識、御嶽山や御嶽山地域の自然に関する知識、噴火予知連絡会の資料の読み解き等を通じた火山活動やハザードの理解、御嶽山火山防災協議会や御嶽山緊急砂防計画検討会との交流を企画する。火山マイスターは長野県のみならず今後は岐阜県側からの参加も想定されているため、御嶽山地域全域への火山リテラシー向上の足がかりになる。また年に1 - 2回、名古屋大学の研究者との交流の機会を作り、寄附分野終了後につなげる。

4 - 5年度は、火山マイスターや地元の防災担当者と協力しながら、年3 - 4回程度の交流を進める。また年3回開催される噴火予知連絡会本会議資料の読み解きなどを通じ、定期的に顔を合わせる関係を構築する。

(9) 令和元年度の成果の概要：

名古屋大学環境学研究科地震火山研究センターの御嶽山火山防災寄附分野のメンバーが、木曽町にある名古屋大学御嶽山火山研究施設を活用し、木曽町・王滝村で開催されたマイスター関連行事の顧問的役割を果たし、運営に協力した。また、マイスターの活動について、研究や検証が可能となるような記録集を作成した。年度の前半にはマイスターが発足した初年度の2018年度の活動につて、議事録やFACEBOOKの公開記事を用いて作成した。内容は、個人情報に関する記述の問題を点検した後に公開を検討する。2019年度の活動については、2019年度末にまとめの作業を終える予定である。

2019年度における、御嶽山火山防災寄附分野のメンバーが関わった行事は以下の通り、それ以外にも定例の会議を名古屋大学御嶽山火山研究施設にて開催しており、分野のメンバーがオブザーバ参加している。

4/26 御嶽山火山マイスター認定証交付式@木曽合庁

5/7 御嶽山火山ビジターセンター建設に関する庁内会議@木曽町本庁

5/7 御嶽山火山マイスター総会

7/1 御嶽山火山マイスター開山式イベント@御岳ロープウェイ

7/20-21 御嶽山火山マイスター主催講演会<吉本充宏先生>@三岳公民館

7/21 御嶽山火山マイスター主催フィールドワーク<吉本充宏先生>@田の原

9/7 御嶽山火山マイスター主催講演会<及川輝樹先生>@木曽合庁講堂

9/8 御嶽山火山マイスター主催フィールドワーク<及川輝樹先生>

10/16 御嶽山火山マイスター運営委員会@木曽合庁

10/20-22 洞爺湖有珠火山マイスターとの交流事業

シンポジウム@木曽合庁

フィールドワーク@御嶽崩れなど

フィールドワーク@寝覚床など

11/16 御嶽山火山マイスター基礎講習1、2@木曽合庁

11/19 御嶽山火山研究施設懇談会@木曽町役場本庁

11/20 御嶽山火山マイスター基礎講習1@木曽合庁

12/11 御嶽山火山マイスター基礎講習2@木曽合庁

12/14 きそジュニアマイスター養成講座@三岳公民館

12/14 御嶽山火山マイスター主催講演会<中山郁先生(皇學館大学)>@文化交流センター

12/15 御嶽山火山マイスター主催フィールドワーク<中山郁先生>@王滝村

12/18 御嶽山ビジターセンター建設専門委員会@木曽町役場本庁

12/21 御嶽山火山マイスター及び関係機関合同研修会(主催:長野地方気象台)@研究施設

1/17 御嶽山ビジターセンター建設専門委員会@木曽町本庁

2/1 御嶽山火山防災協議会主催学習会<川上・近藤マイスター>@木曽町文化交流センター  
2/5 御嶽山火山マイスターとの懇談会<木曽町長・王滝村長>@三岳支所  
3/13 名古屋大学環境学研究科地震火山研究センター年次報告会にマイスターを招待@名古屋大学  
3/15 御嶽山火山マイスター認定審査(面接)@木曽合庁  
以上

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):  
Nakamura H, Yamaoka K, Horii M, Miyamae R, An open dialogue approach to volcano disaster resilience and governance: action research in Japan in the aftermath of the Mt. Ontake eruption. Journal of Disaster Research, vol. 14, 829-842.

(11) 令和2年度実施計画の概要:

- ・2020年にも新たに認定されたマイスターが参加するため、マイスターにインタビューをする。
- ・年度を通じて行われるマイスターの会合にオブザーバとして参加し、会議の記録を作成する
- ・マイスターネットワークが主催・共催して実施する行事に参加し、記録を作成する。
- ・名古屋大学の地震火山研究センターが主催する行事にマイスターを招待し、交流を進める
- ・2019年度および2020年度のマイスター活動記録の内容を公開可能なように編集する。
- ・2021年度のマイスター活動記録を作成する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

名古屋大学 山岡耕春・國友孝洋・田ノ上和志(長野県からの出向)

他機関との共同研究の有無:有

信州大学教育学部 竹下欣宏 (火山地質学の観点から)

山梨大学総合研究部 秦康範 (災害情報学の観点から)

兵庫県立大学減災復興政策研究科 阪本真由美 (防災・防災教育の観点から)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名:名古屋大学環境学研究科地震火山研究センター

電話:052-789-3046

e-mail:

URL:www.seis.nagoya-u.ac.jp

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名:山岡耕春

所属:名古屋大学環境学研究科地震火山研究センター

( 1 ) 実施機関名：  
名古屋大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：  
小電力・小型・携帯テレメータ地震観測装置の改良開発

( 3 ) 関連の深い建議の項目：  
5 研究を推進するための体制の整備  
(3) 研究基盤の開発・整備  
イ. 観測・解析技術の開発

( 4 ) その他関連する建議の項目：  
1 地震・火山現象の解明のための研究  
(4) 火山現象の解明とモデル化  
ア. 火山現象の定量化と解明  
(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化  
イ. 内陸地震  
ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明  
2 地震・火山噴火の予測のための研究  
(4) 中長期的な火山活動の評価  
イ. モニタリングによる火山活動の評価

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：  
新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

火山の直近や大地震後の余震活動が活発な地域での地震テレメータ観測では、迅速なデータ取得開始はもちろん、作業者の安全を確保するためにも高い機動性が求められる。近年では携帯網を利用する機動テレメータ観測が主力となりつつあるが、汎用の携帯端末(ルータ)の利用が一般的であり消費電力が高く、中長期の観測では商用電源が確保されることが設置条件となる。特に電源の確保の難しい非常時や火口近傍での観測では、オフライン観測となることが多く、即時性が必要な研究や防災情報の発信に生かすことができない。このような問題を解決するため、携帯網を利用した機動地震観測に求められる小型化・軽量化・小電力化・使いやすさ(汎用性、現場作業の簡略化)を追求した地震テレメータ観測装置が必要である。

現在プロトタイプの地震テレメータ観測装置を用いて御嶽山山頂でテスト観測を行っている。その中で色々と改良すべき点が見つまっている。そこでテスト観測をしながら問題点を改良し、安定的に確実に観測できる小電力・小型・携帯テレメータ地震観測装置の開発を行う。



( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

名古屋大学が開発を行ってきた小型軽量地震テレメータ装置は現在御嶽山山頂で試験運用中であるが、すでにいくつかの既知の課題がでてきている。例えば、ファームウェアでは、小電力化のひとつの方法として間欠送信による準リアルタイムテレメータを行う仕様となっているが、未送信の古いデータから送信を開始するため電波環境の不安定な場所では送信が大幅に遅れ、リアルタイム性が失われる。ほかにも弱電波地域の通信、蓄電量が減った時の通信、設定変更のリモート操作などが検討課題である。ハードウェアでは通信速度の向上、さらには次世代通信規格への対応、より高度な電源管理などが課題となっている。これらの課題を解決するため、ファームウェア改良、ハードウェア改良を行う。また、データを受けるサーバ側でも運用状況の情報管理システムを改良する。さらに現在行っている試験運用状況を検証し、より使いやすい安定したシステムへの改良を試みる。

各年度の主な計画は、

H31: 現試験運用機の検証、開発の基本構想・方針決定、部品選定

H32: 試作機ハードウェア組み上げ、ファームウェア作成、試作機用サーバ作成

H33: 長期での評価試験、中間評価、ハードウェア再構成・再構築、サーバ改良

H34: ファームウェア刷新、筐体作成、サーバ改良

H35: 試作機のテスト運用、評価

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

現用機に対する小規模な改良を計画し、部品の選定、改良テスト機( 1 台 ) への実装を行った。改良点は以下の通り。

1 ) 電源スイッチにリードスイッチを並列に挿入した。これにより防水筐体を開けることなく磁石を装置に近づけるだけで起動することができる。観測開始までの時間が短縮され、特に悪天時の設置においては作業性が格段に高まる。

2 ) 動作状態を確認するためのLEDが基板に面実装されているため、観測現場で基板を露出させる必要があり、保守性が悪かった。導光板で基板を露出せずに確認できるようにした。

3 ) 直結していた防水筐体と内部装置をコネクタ接続に変更し脱着可能とした。現場において不良箇所の切り分け各ブロックの交換を簡単に行えるほか、用途に合わせ外部筐体を選択し観測セットを構成することができる。

またこれらの現行機を用いた御嶽山山頂での観測( 10 観測点 ) の観測も現在のところほぼ順調にリアルタイムにデータを送信している。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :

堀川信一郎, 2020, 御嶽山火口域における通年地震テレメータ観測の試み, 名古屋大学理学部技術報告, VOL.24.

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

令和元年度に行った改良部の試験を行う。リードスイッチについては、実際の操作性や誤作動などの問題が考えらえる。防水筐体と各内蔵装置とをコネクタ接続にすることで故障部の交換を容易にすることができるが、故障リスクを伴う可能性がある。いずれも試験をしながら継続して効果を検討していく必要がある。

また我々の開発したロガーは、各部の切り離しを可能としたことで観測スタイルに最適化した装置のアレンジも可能としたが、装置の一体化( アレンジの1形態であるが ) が必ずしも観測作業を簡単にするわけではない。例えば、御嶽山山頂域での運用において、バッテリーを内蔵した一体型は設置が容易であったが、運用が長期化するなかで、劣化バッテリーの交換作業時には外部に切り離されていたほうが保守性が高いという場面も生じている。そこで筐体内部の改良だけでなく、筐体そのものも含めた改良を検討していく。

ソフト面では、ファームウェアの改良（特に最新データからの送信）、データ受信サーバでのステータス情報の処理・表示部の改良についての検討を開始し試行を加えていく。

（12）実施機関の参加者氏名または部署等名：

山中佳子，前田裕太，寺川寿子，堀川信一郎

他機関との共同研究の有無：無

（13）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター

電話：052-789-3046

e-mail：

URL：

（14）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山中佳子

所属：名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター

( 1 ) 実施機関名：

情報通信研究機構

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

先端リモートセンシングによる地震及び火山の被害状況把握技術の高度化

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

イ. 観測・解析技術の開発

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

平成 30 年度までの期間において、航空機 SAR ( Pi-SAR・Pi-SAR2 ) により火山地域や地震被害地域の観測を適宜実施するとともに、取得した観測データについて観測データ検索・配信システムにて公開した。また、火山噴火予知連絡会火山活動評価検討会報告(平成 21 年 6 月報告 参考資料 1 ( 監視・観測体制の充実等が必要な火山の選定理由取りまとめ資料 )) で記載されている火山( 99 箇所 )のうち、平常時における火山観測を 41 箇所完了させた。

合わせて、SAR により取得された観測データを活用するため、地震・火山災害時の被害判読等の技術開発を行った。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

航空機 SAR を用いた地震及び火山による災害状況を把握する技術の発展的な開発を行うとともに、これまで収集した航空機 SAR データの公開を推進する。災害時等には航空機 SAR の積極的な運用を行う。

また、航空機 SAR 以外のリモートセンサを活用する技術を開発する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

情報通信研究機構の第 4 期中長期計画期間である平成 32 年度までにおいては、以下の研究活動の実施を計画している。平成 33 年度以降については、次期中長期計画の策定に合わせて検討を進める。

平成 30 年度までの成果を引き継ぎ、Pi-SAR2 により地震・火山災害時に取得したデータから被害を判読する技術等の開発を進める。これまで航空機 SAR ( Pi-SAR および Pi-SAR2 ) で取得したデータの観測データ検索・配信システムによる公開を進めることにより、災害軽減のための情報利用技術の高度化に関する研究に資する。また、実際の災害発生時には、航空機 SAR の積極的な運用と迅速なデータ配布・公開を行う。

さらに、航空機 SAR 以外の先進的リモートセンサを活用した地震及び火山災害のモニタリング技術についても検討をすすめる。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

Pi-SAR2 により地震・火山災害時に取得したデータから被害を判読するため情報抽出技術に関する以下に示す研究を実施した。

1. 機械学習をベースにした土地被覆分類法に関する研究

本研究では、SAR によって計測された地表面画像データを有効に活用できるようにするために、機械学習、特に深層学習を用いて画像解析することで地表面の様々な情報を抽出する解析技術に関する研究を実施している。今年度は、Pi-SAR X2 の観測データと GIS データを深層学習させることにより土地被覆分類を行った [有馬 (2019)]。

2. GIS データと SAR データを用いた情報抽出技術に関する研究

本研究では、NICT で研究開発している航空機搭載合成開口レーダー Pi-SAR X2 で観測した画像データと GIS データを総合的に解析することで、高精度に浸水地域を抽出することができる新しい解析法を開発した。開発した解析法の妥当性を検証するために、Pi-SAR X2 によって観測された東日本大震災直後の仙台空港周辺の画像データと GIS データから浸水マップを作成し、国土交通省都市局の復興支援調査アーカイブデータの浸水深マップと比較・検証を実施した。検証の結果、新しい解析法によって、高精度に浸水マップを算定できることを確認した。さらに、本研究では、SAR 画像と GIS データを用いることで SAR 画像のみでは推定することができなかった浸水深マップを作成する新しい解析法も開発した [児島・他 (2019)]。

3. クロストラック干渉 SAR とレーダグラメトリを用いた地形変化抽出に関する研究

本研究では、Pi-SAR X2 のクロストラック干渉 SAR 機能で得られる地表面の高さ情報から土砂崩れ箇所を抽出する解析手法に関する検討を行なった [上本・他 (2019)]。検討では、2016 年 4 月 16 日に発生した熊本地震による土砂崩れ箇所の抽出と土砂崩れに伴う地形変化を抽出した。一方、レーダグラメトリでは、地表面の水平移動検出に関する検討を行った [今井・他 (2019)]。検討では、熊本地震による地表面の水平方向の変化を抽出した。

また、これまで Pi-SAR・Pi-SAR2 により火山地域(火山噴火予知連絡会火山活動評価検討会報告(平成 21 年 6 月報告 参考資料 1(監視・観測体制の充実等が必要な火山の選定理由取りまとめ資料))で記載されている火山(99 箇所)のうち、平常時における火山観測を 41 箇所)や地震被害地域の観測した画像データについては観測データ検索・配信システムにて公開している。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

児島正一郎, 有馬悠馬, 航空機搭載合成開口レーダー Pi-SAR X2 と GIS データを用いた浸水領域の抽出法に関する研究, 情報通信研究機構研究報告, Vol.65, No.1, 49-55.

上本純平, 児島正一郎, 灘井章嗣, 中川勝広, クロストラック干渉 SAR データセットの土砂崩れに関する解析, 情報通信研究機構研究報告, Vol.65, No.1, 57-62.

有馬悠馬, Pi-SAR X2(航空機 SAR) × 深層学習による土地被覆分類, 情報通信研究機構研究報告, Vol.65, No.1, 63-66.

H. Imai, K. Ito, T. Aoki, J. Uemoto, and S. Uratsuka, A Method for Observing Seismic Ground Deformation from Airborne SAR Images, in "Proceedings of International Symposium on Remote Sensing 2019", 1506-1509 July 2019, Yokohama, Japan, 5816-5819. doi:10.1109/IGARSS.2019.8900352

有馬悠馬, 深層学習による Pi-SAR X2 偏波観測データの土地被覆分類, 日本リモートセンシング学会第 66 回学術講演会論文集, 233-236.

上本純平, 森山敏文, 航空機搭載 SAR により取得されたシングルパス干渉データの処理ツールの作成, 日本リモートセンシング学会第 66 回学術講演会論文集, 293-294.

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

現計画に引き続き Pi-SAR・Pi-SAR2 で観測したデータを Web 上で公開する「観測データ検索・配信システム」の運用を行うとともに、被災地の状況把握や災害軽減に有効な情報提供に向けた航空機 SAR による災害把握技術の高度化を実施する予定。また、現在開発を進めている次世代航空機搭載合成開口レーダー Pi-SAR X3 の機器を完成させ、初期機能・性能確認試験を実施する予定。Pi-SAR X3 の観測データについては、Pi-SAR・Pi-SAR2 の観測データと同様、Web 上で公開する方向で準備を行う予定。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

情報通信研究機構 電磁波研究所  
他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 情報通信研究機構広報部  
電話 : 042-327-5322  
e-mail : publicity@nict.go.jp  
URL : <http://www.nict.go.jp/>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 中川勝広  
所属 : 情報通信研究機構 電磁波研究所

( 1 ) 実施機関名：

防災科学技術研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

多角的火山活動評価に関する研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

イ. 考古データの収集・集成と分析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連 :

桜島大規模火山噴火

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果 ( または観測実績 ) の概要 :

研究課題名 ( H26 ~ H30 ) 「 噴火予測システムの開発 」 を実施した。

多項目観測データによる火山現象・災害過程の把握のための研究として、草津白根山・富士山・伊豆大島・三宅島・阿蘇山・桜島・霧島・口永良部島などの V-net データの解析により、火山活動評価・メカニズム解明に関する研究を進めた。火山リモートセンシング技術の開発研究では、衛星 InSAR 解析、地上設置型レーダー干渉計による地殻変動モニタリングに関する研究、ARTS-SE 等の開発を実施した。噴火・災害ポテンシャル評価のためのモデリング研究では、火山噴出物モニタリングシステムの開発、火山性流体のレオロジーモデル開発、溶岩流・岩脈貫入シミュレーションなどの開発を進めた。火山災害軽減のためのリスクコミュニケーションに関する研究では、地方自治体主催の防災訓練におけるアウトリーチ活動、専門家・非専門家を対象としたアンケート調査とギャップに関する考察、都市部のインフラに対する降灰リスク評価に向けた閾値や情報の整理等を進めた。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

基盤的火山観測網・リモートセンシング技術等による多項目の火山観測データの活用、火山活動及び火山災害の推移を予測する技術開発、火山災害による被害の軽減につなげるためのリスクコミュニケーションの在り方に関する研究を実施し、火山災害軽減のための技術開発を行う。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

本課題は、防災科学技術研究所の第 4 期中長期計画 ( H28-H34 ) に基づいたものである。

基盤的火山観測網、火山ガス・地殻変動・温度の把握を目的としたリモートセンシング技術等による多項目の火山観測データを活用し、多様な火山現象のメカニズムの解明や火山災害過程を把握するための研究開発を進める。

また、事象系統樹は、地域住民、地方公共団体や政府が、噴火災害の恐れのある噴火活動に対して、その火山活動や噴火現象の推移の全体像を把握し、適切な判断をする基本となるもので、社会的に重要である。この事象系統樹による推移予測技術の開発、実験的・数値的手法による多様な火山現象を再現する物理モデルの構築などにより、火山活動及び火山災害の推移を予測する技術開発を実施する。さらに、水蒸気噴火の先行現象の研究等に資するため、火口付近を含む火山体周辺において火山観測網を補完する機動的な調査観測を行うほか、噴火様式の変化を早期に捉えるため、遠隔で火山ガスや火山灰等の分析を行うモニタリング技術を開発する。

災害リスク情報に関する研究と連携し、火山活動と火山災害に関する空間的・時間的情報を一元化し、火山防災に関わる住民・国・地方公共団体・研究機関が迅速に共有・利活用できるシステムを開発する。また、火山専門家の知見を社会に効果的に伝える手法の開発等、火山災害による被害の軽減につなげるためのリスクコミュニケーションの在り方に関する研究を実施する。国内の火山研究の活性化と成果の社会実装を推進するため、大学・研究機関・火山防災協議会等との連携を強化し、研究実施体制の強化・充実を図る。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

多項目観測データによる火山現象・災害過程の把握のための研究では、阿蘇山に整備した V-net 及び臨時観測点において、阿蘇山の噴火に前駆するマグマ溜まりの膨張を高精度に捉えることに成功した。また、地震波の散乱・内部減衰の値を雑微動の相互相関関数を用いて推定する手法を伊豆大島や阿蘇山を含む 10 火山に適用し、非火山地域に比べ 2 桁程度大きいことを明らかにした。火山リモートセンシ

ング技術の開発研究では、衛星 SAR 解析により 2016 年熊本地震後の長期的影響評価を実施した。震源断層および阿蘇山付近の地点におけるスラントレンジの時間変化を対数関数 + 線形関数によるフィッティングを行い、地震後 1 年まではおおそ対数関数に沿っているが、その後線形的な変動があることを把握した。STIC のセンサ技術を応用したポータブルな画像分光装置 (G-STIC) を開発 ( 赤外域 ) した。G-STIC の開発では、多眼カメラで構成されるマルチバンド型の赤外カメラの開発を行い、非冷却型赤外カメラによる SO<sub>2</sub> ガスの可視化を実現するマルチバンドカメラのセンサ部とこれらを利用した 3 台のマルチバンドカメラの同期観測システムを構築し、約 0.5ppmv の精度で SO<sub>2</sub> ガスを可視化するシステムを実現した。噴火・災害ポテンシャル評価のためのモデリング研究では、火山灰自動採取・可搬型分析装置開発 (VOLCAT)、自動火山灰分類システムを開発・改良した。また、VOLCAT2 号機について桜島でのテスト観測を行い 1 号機の改良も合わせて行った。火山災害軽減のためのリスクコミュニケーションに関する研究では、那須岳火山防災協議会における防災訓練及び座学研修を実施するとともに、次年度実施の那須岳における登山者動向把握実験について、企画と調整を行った。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Tomoya Takano, Takeshi Nishimura and Hisashi Nakahara, Hideki Ueda, Eisuke Fujita, 2019, Sensitivity of Seismic Velocity Changes to the Tidal Strain at Different Lapse Times: Data Analyses of a Small Seismic Array at Izu Oshima Volcano, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 124, 3011-3023.

Hideki Ueda, Taishi Yamada and Takahiro Miwa, Masashi Nagai, Takanori Matsuzawa, 2019, Development of a Data Sharing System for Japan Volcanological Data Network, Journal of Disaster Research, 14, 571-579.

Jitsufuchi, T., Development of an optical multispectral remote sensing system for measuring volcanic surface phenomena -Promotion Project for Next Generation Volcano Research B2(subtopic2-2), J. Disast. Res., Vol.14, No.5, pp. 728 ? 743, 2019.

T. Jitsufuchi, "Repeated Observations with Short Time Intervals for Measuring Temperature Distribution of a Volcanic Crater Using an Airborne Imaging Spectrometer," IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Yokohama, Japan, 2019, pp. 1809-1812. doi: 10.1109/IGARSS.2019.8898090

T. Jitsufuchi, "Development of an Airborne Radiative Transfer Spectral Scanner for a Single-Engine Aircraft," IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Yokohama, Japan, 2019, pp. 9141-9144. doi:10.1109/IGARSS.2019.8897914

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

多項目観測データによる火山現象・災害過程の把握のための研究では、活発な火山活動が続いている阿蘇山・霧島山を重点火山として研究を進める。基盤的火山観測網 ( V-net ) や機動観測網、さらに火山観測データ一元化共有システム ( JVDN システム ) に集約された多項目観測データを活用し、噴火に関連する火山性微動や地殻変動等のメカニズムの解明や火山災害過程を把握するための研究開発を進める。

火山リモートセンシング技術の開発研究では、地上設置型レーダー干渉計による機動観測に向けた高時間分解能観測手法の開発、ARTS-SE のデータの処理手法の開発 ( ARTS-SE のカメラ型センサ : STIC による箱根試験観測、斜め観測データの処理技術開発、火成岩の赤外分光放射率計測 )、望遠分光装置 ( G-STIC ) の開発 ( 可視域のセンサ部開発 ) を進める。

噴火・災害ポテンシャル評価のためのモデリング研究では、伊豆大島を対象とした物質科学分析・実験から噴火過程のモデル化、マグマシステム内進化過程シミュレーションマスターモデル開発、水蒸気爆発シミュレーションのための設計、気泡を含むマグマの粘性流動シミュレーションを実施する。火山災害軽減のためのリスクコミュニケーションに関する研究では、Twitter の防災科研火山防災研究部門公式アカウントを作成し、これを利用した情報発信と情報収集を行う。



( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

国立研究開発法人 防災科学技術研究所火山防災研究部門  
他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 防災科学技術研究所 企画部広報課

電話 : 029-851-7611

e-mail : [toiawase@bosai.go.jp](mailto:toiawase@bosai.go.jp)

URL : <http://www.bosai.go.jp/index.html>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 藤田英輔

所属 : 火山防災研究部門

( 1 ) 実施機関名：

防災科学技術研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震・津波予測技術の戦略的高度化研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

オ. 構造共通モデルの構築

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果 ( または観測実績 ) の概要 :

十勝沖から三陸沖において、S-net の解析から低周波微動を発見した。この低周波微動活動は、超低周波地震と同期して活発化することを確認した。一方、東北地方太平洋沖においては、F-net の解析から超低周波地震を発見した。東北地方太平洋沖地震後は、三陸沖と福島・茨城沖で活発化した。地震波干渉法により、東北地方太平洋沖地震前後の東北地方や 2014 年長野県神代断層地震前後の周辺地域について、地震波速度変化の様子を捉えた。いずれも地表から深さ数 100m までの地震波速度の変化で説明可能であった。

2014 年と 2018 年に発生した房総半島沖のスロースリップイベントの解析を行った。いずれのイベントもすべり域はこれまでと同様であった。2018 年の活動はこれまでと同程度のモーメントだったのに対し、2014 年の活動は従来の半分程度であった。

2016 年 4 月 1 日に紀伊半島南東沖で発生した地震について、3 次元地震波速度構造に基づく CMT 解析を実施した。その結果、陸域の F-net 波形データのみで低角逆断層型の発震機構解が求められ、プレート間で発生した地震であったことが確認出来た。また、初動解と CMT 解の違いは 3 次元速度構造に起因することを示した。より規模の小さな現象を含め、南海トラフの海溝軸付近の地震活動解析の高度化には、厚い海洋堆積物 ( 付加体 ) の精度の高い地震波速度構造モデルを構築し、より広帯域の地震波動場をモデル化する必要がある。そこで、DONET で得られた 1 次元構造を基に 3 次元構造を構築した。同海域で発生する超低周波地震活動についても、3 次元速度構造に基づく CMT 解析を実施したところ、いずれも海溝軸付近の低角逆断層型として求まった。得られた結果は DONET を用いて得られた結果とほぼ一致しており、一定規模以上のイベントについては、F-net を利用した長期間のカタログ作成が可能であることを確認した。

四国地域において、P 波減衰構造を推定した。長期的 SSE の上盤側の地殻内では減衰が強い。また、深部低周波微動活動のセグメント境界付近は減衰が大きく変化する領域と対応する。

南海トラフ域で発生する地震の強震動および広帯域地震観測データの解析により、南海トラフのプレート間で発生する地震によって、高層ビル等に強い影響を及ぼしうる長周期地震動が効率的に生成されることを示した。

2016 年熊本地震について、地震活動の高周波エネルギー輻射量の推移を解析したところ、同地震の前震に伴う余震のエネルギー輻射効率が、本震後の余震エネルギーに比べて顕著に大きかったことを確認した。

南西諸島において、広帯域地震計の臨時観測を実施し、超低周波地震の活動状況のモニタリングを実施した。繰り返し地震から推定されるすべりレートの空間的差異と調和的な結果が得られた。

数値シミュレーションにより、日向灘から四国沖の浅部および深部 SSE を一つのモデルで再現した。潮汐の SSE への影響評価では、パッチ状の SSE 領域で、潮汐は発生周期を安定化させる効果を示すことが分かった。

様々なモニタリング成果は、地震調査委員会など政府関連の各種委員会に随時報告した。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

防災科研陸海統合地震津波火山観測網 (MOWLAS) 観測データに加えて、GEONET 等様々な機関のデータや機動的な調査観測のデータを最大限活用した研究開発を実施することにより、地震および津波にかかる防災・減災に貢献しうる情報ならびにそれを提供するための手法を開発することを目指す。特に、陸海統合地震津波火山観測網より得られるデータのモニタリング研究により、多様な情報からなる地震カタログの作成を進めるとともに、地震発生の長期評価の発展につながる地震発生モデル構築を目指す。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

陸海統合地震津波火山観測網 MOWLAS や必要に応じて実施する臨時観測、その他国内外の機関より公表される観測データから、通常地震ならびにスロー地震の検出、震源決定、発震機構解、断層モ

デル等の推定を自動的かつ高精度に実施するための手法開発・高度化を行い、その活動状況を逐次的にモニタリングすることで、多様な情報からなる地震カタログを作成する。得られたカタログについて、防災科学技術研究所による別課題「巨大地震による潜在的ハザードの把握に関する研究」と協力し、モニタリング成果を活かした地震発生モデル構築および数値シミュレーション研究を行う。本課題に得られた成果を国民に対してわかりやすく情報発信出来るような工夫を進める。また、地震調査委員会等の政府委員会に随時提供する。

なお、本課題は防災科学技術研究所の中長期計画に基づく運営費交付金によるプロジェクト研究の一環として実施される。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

内陸における地震発生層の下限 (D90) を求めるため、3次元地震波速度構造を用いて再決定した震源カタログを構築するとともに、このデータ等に基づいて日本海沿岸や中央構造線沿い等の D90 の分布を調査した。また、地震波走時トモグラフィによる速度構造から推定された温度構造・岩種と D90 の分布の関連性を議論した。地震モーメント ( $M_0$ ) の空間分布を推定することを目的として、内陸の上部地殻で発生するマグニチュード 3 クラスの地震を対象としたスペクトル解析を行い、各地震の  $M_0$  と  $M_w$  を推定した。沖縄トラフで発生する浅部地震活動の特徴を知るため、地震発生域と地震学的構造との関連について調査した。また、3次元構造を取り入れた走時表を用いた震源計算システムを開発した。

従来の地震波形データに加え、水圧計データも考慮した震源過程解析を行うための手法を開発した。防災科研 S-net のデータを用いることにより、2016年8月の三陸沖の地震 ( $M_w6.0$ ) の断層サイズおよび応力降下量を高い精度で推定することに成功した。また、2012年12月7日に日本海溝の近傍の太平洋プレート内部で発生した2つのサブイベントからなる地震について、震源域の近傍で得られた津波記録、遠地地震波形、余震分布からそれぞれのサブイベントの断層モデルを推定し、2011年東北地方太平洋沖地震後のプレート内折れ曲がり応力場と巨大地震による応力場の変化について定量的な考察を行うことに成功した。

余震活動については、大地震後の連続波形データに出現する振幅値の統計解析から、「ある期間内における、ある閾値以上の地震動の発生回数の確率分布」を予測する手法を開発し、熊本地震の観測データ等で評価した。また、余震域の拡がり和本震のマグニチュードの関係性について、両者間のスケールリングを調査するとともに、本震による歪みエネルギー変化と対比した。

スロー地震活動について、S-net の観測記録に基づき、十勝沖・三陸沖の日本海溝近傍で発生する低周波微動を捉えた。低周波微動は、当該地域で発生した巨大地震の震源域浅部側に隣接して分布すること、プレートの走向に沿う帯状の領域内で2つのクラスタを形成すること、このクラスタ間は巨大地震の破壊開始域や余震活動が分布することを明らかにした。東海地方においては、紙記録として保存されている1980年以降の連続波形データに基づき、基盤観測網整備以前の深部低周波微動の活動状況を調査した。四国地方東部における深部低周波地震ならびに奄美地方から日向灘周辺で発生する浅部低周波地震活動について、臨時観測データを用いて震源の詳細な空間分布を求めた。3次元構造を用いて、南海トラフ海域における浅部超低周波地震の CMT 解を求めた。その結果、その多くは低角逆断層型であること、フィリピン海プレート上面のすべり欠損速度が大きい領域の周囲、かつ地震波速度が遅い領域で活発に発生していることが明らかとなった。四国から日向灘までの範囲を対象に、浅部のスロー地震活動を含めた数値シミュレーションを実施した。

防災科研 Hi-net や F-net のデータに S-net のデータも活用することにより、海域の下の3次元地震波速度構造の高精度な推定を行い、結果を防災科研 Hi-net の web サイトから公開した。また、北海道胆振東部地震の地下構造について、地質構造と屈折法地震探査の結果や地震波トモグラフィ法による結果などを合わせて議論した。千島弧の地殻が上部は西に衝上し下部は東北日本弧のマンテルまで下降するデラミネーション構造を成している様子が示唆された。その結果、地殻深部の温度が低下することにより、脆性的な地震の発生が可能であると考えた。DONET1 が設置されている紀伊半島南東沖を解析

対象エリアとして、プレート下を含む3次元速度構造の推定を行った。四国東部を対象としたレシーバ関数解析により、当該地域下に沈み込むフィリピン海プレート内モホ面の傾斜方向の推定を行った。最短経路法による効率的な走時計算法を開発し、トモグラフィ解析等への応用について検討した。

- (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
- Iwasaki, T., N. Tsumura, T. Ito, K. Arita, M. Makoto, H. Sato, E. Kurashimo, N. Hirata, S. Abe, K. Noda, A. Fujiwara, S. Kikuchi, and K. Suzuki, 2019, Structural heterogeneity in and around the fold-and-thrust belt of the Hidaka Collision zone, Hokkaido, Japan and its relationship to the aftershock activity of the 2018 Hokkaido Eastern Iwate Earthquake, *Earth, Planets and Space*, 71, 103, doi:10.1186/s40623-019-1081-z.
- Kubota, T., R. Hino, D. Inazu, and S. Suzuki, 2019, Fault model of the 2012 doublet earthquake, near the up-dip end of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, based on a near-field tsunami: implications for intraplate stress state, *Prog Earth Planet Sci*, 6, 67, doi: 10.1186/s40645-019-0313-y.
- Kubota, T., T. Saito, and W. Suzuki, 2020, Millimeter-scale tsunami detected by a wide and dense observation array in the deep ocean: fault modeling of an Mw 6.0 interplate earthquake off Sanriku, NE Japan, *Geophys. Res. Lett.*, in press.
- Matsubara, M., H. Sato, K. Uehira, M. Mochizuki, T. Kanazawa, N. Takahashi, K. Suzuki, and S. Kamiya, 2019, Seismic velocity structure in and around the Japanese Island arc derived from seismic tomography including NIED MOWLAS Hi-net and S-net data, *Seismic Waves - Probing Earth System*, M. Kanao and G. Toyokuni eds., 1-19, doi: 10.5772/intechopen.86936.
- Takemura, S., T. Matsuzawa, A. Noda, T. Tonegawa, Y. Asano, T. Kimura, and K. Shiomi, 2019, Structural characteristics of the Nankai Trough shallow plate boundary inferred from shallow very low frequency earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 46, 4192-4201, doi: 10.1029/2019GL082448.
- Tanaka, S., T. Matsuzawa, and Y. Asano, 2019, Shallow low-frequency tremor in the northern Japan Trench subduction zone, *Geophys. Res. Lett.*, 46, 5217-5224, doi: 10.1029/2019GL082817.

(11) 令和2年度実施計画の概要：

陸海統合地震津波火山観測網 MOWLAS 等の観測データから、通常の地震ならびにスロー地震の検出、震源決定、発震機構解等の推定を自動的かつ高精度に実施するための手法開発・高度化を継続して実施する。本課題で得られたカタログを活かした地震発生モデル構築および数値シミュレーション技術の開発を行うとともに、地震調査委員会等の政府委員会に随時資料提供を行う。

なお、本課題は防災科学技術研究所の中長期計画に基づく運営費交付金によるプロジェクト研究の一環として実施される。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター  
他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：防災科学技術研究所 企画部広報課  
電話：029-856-1611  
e-mail：toiawase@bosai.go.jp  
URL：http://www.bosai.go.jp/

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：汐見勝彦

所属：防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター

( 1 ) 実施機関名：

防災科学技術研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

巨大地震による潜在的ハザードの把握に関する研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

研究課題名(平成 25～30 年度)「巨大地震による潜在的ハザードの把握に関する研究」に取り組んできた。

南海トラフをターゲットとし、拡充された海域測地データと粘性緩和効果とを取り入れてプレート境界面上の固着分布を推定した。さらに、推定した固着分布を用いて、その固着が内陸部に作り出す剪断歪みエネルギーの分布を計算し、エネルギーの増減と地震の活動度とが空間的に相関していることを確認した。また、推定したプレート間固着分布を応力分布の初期条件として三次元動的破壊伝播シミュレーションを実施し、発震位置と最終的な地震の規模との関係を調査した。海洋音響波・地震波・津波の連成シミュレーション手法を開発した。

防災科が所有する大型振動台を利用して岩石摩擦実験を実施し、摩擦特性(摩擦係数の仕事率依存性)が岩石試料の断層スケールによって異なることを発見した。様々な観察に基づく数値計算により、

そのスケール依存性が自己成長する空間的応力不均質に起因することを確認した。さらに、スティックスリップイベント発生時の断層破壊過程を調査し、载荷速度や断層粗さ、破壊開始場所が初期及び主破壊過程に大きく影響することを明らかにした。また、実験データを数値シミュレーションで再現することにより速度-状態依存摩擦構成則のパラメタを推定し、摩擦パラメタが累積変位と载荷速度に依存することを明らかにした。

SWIFTによる地震パラメタの解析対象地域を、インドネシア・フィリピン・チリ北部地域に加えチリ全域および中南米地域を加えた。さらに SWIFT-TSUNAMI システムの導入により津波の予測結果を加えるとともに、観測データの自動選択手法を改良して自動 CMT 解の精度を向上させた。解析結果は Web で公開している。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

本課題は、防災科学技術研究所の中期目標達成のために支出されている運営費交付金によって行われている。そのため、ここでは第 4 期中長期計画期間が終了する平成 34 年度末までの到達目標を記述する。

今後発生が懸念される首都直下地震をはじめとする内陸部を震源とする地震、南海トラフや日本海溝等における海溝型巨大地震およびそれにともなう津波による被害の軽減に向けた研究開発に取り組む。具体的には、室内実験および大規模シミュレーション等の成果に基づき、地震発生長期評価の高度化に資する地震発生モデルを構築する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

本課題は、防災科学技術研究所の中期目標達成のために支出されている運営費交付金によって行われている。そのため、ここでは第 4 期中長期計画期間前半の平成 31 年度末までの計画概要を記述する。室内実験によって明らかにした破壊法則や観測から得られた地震発生場等の知見を大規模シミュレーションに組み込み、南海トラフにおける海溝型巨大地震、及び内陸大地震の発生多様性を検討し、大地震発生シナリオ作成の高度化を実現する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

巨大地震のシナリオを作成に必要となる動力学的破壊シミュレーション高度化に向けて、破壊現象に関して、破壊によって解放される歪みエネルギーと摩擦で消費されるエネルギーのバランスを調査した。複雑な地震時すべり分布のスペクトルを使って歪みエネルギー・応力降下量・地震モーメントに関する理論的なスケールリング則を導出した。地震時すべり分布が複雑であればあるほど、エネルギー収支の観点からみた実効的な応力降下量は大きくなる。これは、背景の応力レベル(断層面にかかる剪断応力)が高ければ高いほど、複雑なすべりをもつ破壊を引き起こす能力をもち、応力蓄積期間が長くなるほど連動破壊を引き起こしやすくなることを意味する。

地殻内のせん断歪みエネルギーの蓄積が地震発生に深く関与するという考えのもと、2016 年熊本地震による地殻内のせん断歪みエネルギーの変化を 3 次元的に推定した。この結果と熊本地震発生後 1 週間の余震分布を比較し、せん断歪みエネルギーが増加した場所で余震が顕著に活発化したことを明らかにした。更に、せん断歪みエネルギーの変化量は、背景応力の大きさに強く依存することが分かった。この事実を利用して、エネルギー保存という新たな観点から地殻応力の下限值(深さ 10km で 14MPa 以上)を推定することに成功した。

速度-状態依存摩擦構成則のパラメタの断層長への依存性を確認するため、防災科研が所有する大型振動台を利用してメートルスケールのガウジ摩擦実験を実施した。インド産変はんれい岩を用いて実施したメートルスケール摩擦実験のデータを解析し、約 1000 回のスティックスリップイベントを経た結果、断層面に沿って伝播するレイリー波の群速度が約 1.4 % 低下したことを明らかにした。他の観察結果とともに検討し、断層面付近の媒質がダメージを受けて軟化したこと及び、ガウジの発生等によるエネルギー散逸効果が速度低下の原因であることを示した。



防災科研が所有する長大岩石摩擦試験機を用いて、4 m 長の変はんれい岩試料を用いたスティックスリップ実験をおこなった。本震直前に観測された前震がプレスリップの通過にともなって引き起こされており、その発生には局所的な載荷速度がある閾値以上に達する必要があることに加え、局所的載荷速度が高いほど大規模な前震が発生する傾向にあることを明らかにした。

沖合観測技術の発展に伴って、津波モデリング研究がどのように発展してきたかレビューし、震源域内津波観測を実現する観測網での津波モニタリング・予測においては、津波地震等を含む断層破壊の多様性、地震波と津波が混在する波動場の理解が重要であることを報告した。加え、仮想的に稠密広域観測網を南海トラフに想定し、動力学破壊シミュレーションをもとに作成した巨大地震破壊シナリオを用いた固液複合波動場シミュレーションを実行した。これによって、地震波が津波に重畳する震源付近の観測状況で、モニタリングと予測に与える影響をシミュレートした。

- ( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Noda, A., T. Saito, E. Fukuyama, T. Terakawa, S. Tanaka, and M. Matsu'ura, 2020, 3-D Spatial distribution of shear strain energy changes associated with the 2016 Kumamoto earthquake sequence, southwest Japan. *Geophysical Research Letters*, e2019GL086369. doi:10.1029/2019GL086369
- Saito, T., T. Baba, D. Inazu, S. Takemura, and E. Fukuyama, 2019, Synthesizing sea surface height change including seismic waves and tsunami using a dynamic rupture scenario of anticipated Nankai trough earthquakes. *Tectonophysics*, 769, 228166. doi:10.1016/j.tecto.2019.228166
- Saito, T., and A. Noda, 2020, Strain energy released by earthquake faulting with random slip components. *Geophysical Journal International*, 220(3), 2009-2020. doi:10.1093/gji/ggz561
- Saito, T., and T. Kubota, 2020, Tsunami modeling for the deep sea and inside focal areas. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 48. doi:10.1146/annurev-earth-071719-054845
- Xu, S., E. Fukuyama, F. Yamashita, and S. Takizawa, 2019, Evolution of Fault-Interface Rayleigh Wave speed over simulated earthquake cycles in the lab: Observations, interpretations, and implications, *Earth and Planetary Science Letters*, 524, doi:10.1016/j.epsl.2019.115720.

- ( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

破壊フロントでの応力集中と破壊エネルギーを考慮することにより、非一様応力・摩擦下での破壊の開始と停止を支配する力学的条件を解明する。破壊にともなうエネルギーバランス(歪みエネルギーと破壊エネルギー)を考慮することで、現在観測されている歪み蓄積レート分布を基に、巨大地震発生シナリオを作成する。地殻内のせん断歪みエネルギーの3次元空間分布の可視化のため、弾性・非弾性歪み解析手法を活用する。

中速度領域における摩擦特性のスケール依存性と断層面不均質との関係を明らかにするため、大型振動台を利用したガウジ摩擦実験を実施する。さらに大規模な岩石試料を用いた摩擦実験を可能とするため、新たな試験機的设计と製作をおこなう。

巨大地震の破壊シミュレーション結果を利用した地震波・津波計算を実施する。

- ( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

国立研究開発法人 防災科学技術研究所地震津波防災研究部門  
他機関との共同研究の有無 : 無

- ( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 防災科学技術研究所 企画部広報課  
電話 : 029-851-7611  
e-mail : toiwase@bosai.go.jp  
URL : <http://www.bosai.go.jp/index.html>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 齊藤竜彦

所属 : 防災科学技術研究所 地震津波防災研究部門

( 1 ) 実施機関名：

防災科学技術研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

自然災害ハザード・リスク評価と情報の利活用に関する研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

( 4 ) その他関連する建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

イ. 津波の事前評価手法

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

全国を対象とした地震ハザード・リスク評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進めるとともに、地域への展開を支援・促進するためモデル地域を対象とした地震ハザード・リスク評価手法の開発に着手した。これらの検討を踏まえた地震のハザード・リスク情報ステーションの開発を行い、情報の試験提供を行う。全国を対象とした津波ハザード評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進めつつ、全国を対象とした津波ハザード評価を踏まえた建物被害や人的被害等の津波リスク評価に着手した。津波のハザード・リスク情報ステーションの開発を行い、情報の試験公開に着手した。モデル地域を対象とした津波ハザード評価手法の開発に着手した。

( 7 ) 本課題の5か年の到達目標 :

平時から発災時、復旧・復興時の幅広いタイムスケールの中で、各セクターの適切な対応を支援できるように次の目標を達成する。全国地震動予測地図及び全国を対象とした津波ハザード評価の高度化とともに、全国概観版及び地域の詳細な情報提供を目的とした地域詳細版の地震及び津波のリスク評価研究を実施し、各セクターによるリスクマネジメントを支援可能にする。風水害や土砂災害等の各種自然災害のハザード・リスク評価を統合したマルチハザード・リスク評価手法を開発する。災害情報収集技術や実被害情報と推定情報の融合技術によるリアルタイム被害推定・状況把握システムを開発し、情報提供可能にする。ハザード・リスク評価やリアルタイムシステムの開発基盤として、防災シミュレーションプラットフォームを開発する。研究成果の地域での防災対策や国際的な枠組みでの活用を進める。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

< 2019 年度 >

全国を対象とした地震ハザード・リスク評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進めるとともに、地域への展開を支援・促進するためモデル地域を対象とした地震ハザード・リスク評価手法の開発に着手する。これらの検討を踏まえた地震のハザード・リスク情報ステーションの開発を行い、情報の試験提供を行う。全国を対象とした津波ハザード評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進めつつ、全国を対象とした津波ハザード評価を踏まえた建物被害や人的被害等の津波リスク評価に着手する。津波のハザード・リスク情報ステーションの開発を行い、情報の試験公開を行う。モデル地域を対象とした津波ハザード評価手法の開発に着手する。

< 2020 年度 >

全国を対象とした地震ハザード・リスク評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進めるとともに、モデル地域を対象とした地震ハザード・リスク評価手法を高度化する。これらの検討を踏まえた地震のハザード・リスク情報ステーションの開発を行い、情報の試験提供を進める。全国を対象とした津波ハザード評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進め、情報の試験提供を行う。また、全国を対象とした津波ハザード評価を踏まえた建物被害や人的被害等の津波リスク評価を実施し、リスクマネジメントに資する研究に着手する。さらにモデル地域を対象とした津波ハザード評価手法を高度化し、リスク評価手法の開発に着手する。

< 2021 年度 >

全国を対象とした地震ハザード・リスク評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進めるとともに、モデル地域の拡大を図り、地震ハザード・リスク評価手法を高度化する。これらの検討を踏まえた地震のハザード・リスク情報ステーションの開発を行い、情報の本格的な提供を検討する。全国を対象とした津波ハザード評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進め、情報の本格的な提供を検討する。また、全国を対象とした津波ハザード評価を踏まえた建物被害や人的被害等の津波リスク評価を実施し、リスクマネジメントに資する研究を実施する。さらにモデル地域を対象とした津波ハザード・リスク評価手法を高度化し、リスクマネジメントに資する研究に着手する。津波のハザード・リスク情報ステーションの開発を進める。

< 2022 年度 >

社会実装に向けて全国概観版及び、モデル地域を対象とした地震ハザード・リスク評価手法の評価、検証、改良を行い、地震ハザード・リスク情報ステーションを高度化し、情報の本格的な提供を実施する。全国を対象とした津波ハザード・リスク評価を実施するとともに、モデル地域を対象とした津波ハザード・リスク評価手法を高度化し、リスクマネジメントに資する研究を実施する。モデル地域を対象とした津波ハザード・リスク評価手法を高度化し、リスクマネジメントに資する研究を実施する。これらの検討を踏まえた津波のハザード・リスク情報ステーションを高度化し、情報の本格的な提供を実施する。

< 2023 年度 >

社会実装に向けて全国概観版及び、モデル地域を対象とした地震及び津波のハザード・リスク評価手法の評価、検証、改良を行い、地震及び津波のハザード・リスク情報ステーションを構築する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

地震ハザード評価手法の高度化に関しては、地震本部の長期評価を踏まえ、モデルの改良を行い、全国地震動予測地図の高度化に資する検討を実施した。応答スペクトルによるハザード評価に関する検討を実施した。浅部・深部統合地盤モデル、活断層重点調査の成果等を統合し、新しい全国版深部地盤モデルを構築した。

津波ハザード評価では、地震本部の南海トラフ沿いの大地震に伴う津波ハザード評価に向け、津波レシピに基づく数千の波源断層モデルの設定、津波計算を行い、津波ハザードステーションの開発を開始した。

地震ハザード評価を踏まえたリスク評価では、地震災害からの復旧・復興状況を示す数理モデルの開発を実施した。地震ハザード・リスク情報ステーションとして、地震リスク評価結果の公開を行った。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

全国を対象とした地震ハザード・リスク評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進めるとともに、モデル地域を対象とした地震ハザード・リスク評価手法を高度化する。これらの検討を踏まえた地震のハザード・リスク情報ステーションの開発を行い、情報の試験提供を進める。全国を対象とした津波ハザード評価手法の高度化及び評価に必要な基盤情報の整備を進め、情報の試験提供を行う。また、全国を対象とした津波ハザード評価を踏まえた建物被害や人的被害等の津波リスク評価を実施し、リスクマネジメントに資する研究に着手する。さらにモデル地域を対象とした津波ハザード評価手法を高度化し、リスク評価手法の開発に着手する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

マルチハザードリスク評価研究部門  
他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : マルチハザードリスク評価研究部門  
電話 :  
e-mail :  
URL : <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 藤原広行  
所属 : 防災科研

( 1 ) 実施機関名：

防災科学技術研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

基盤的観測網の運用

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

日本海溝海底地震津波観測網(S-net)の整備を行い、かつ既存の世界最大規模の稠密かつ高精度な陸域及び海域の基盤的地震津波火山観測網(Hi-net, F-net, K-NET, KiK-net, V-net, DONET)を含めた陸海統合地震津波火山観測網(MOWLAS)を安定的に運用した。

既存の火山観測施設や基盤的火山観測網を含め、重点的に観測を強化すべき火山について観測施設の整備・運用を行った。これにより得られる観測データについては、全国の大学が運用する観測網のデータとの共有化を進め、大学等の火山防災の基礎研究の振興や気象庁の監視業務の推進、さらには地方防災行政の関係機関の情報共有化に貢献した。

地震・津波防災研究の中核的機関として国内外の機関とも連携し、日本における地震観測データを集約・公開・解析し、得られた地震津波防災情報等を国民に対して分かりやすく情報発信を行うとともに

に、政府関係委員会等への資料を提供することにより、国民の安全・安心と社会の安定的発展に貢献した。地震・火山観測網により得られたデータは定常的に蓄積し、波形データベースを構築した。また、モニタリングの結果などをもとに地震波速度構造をはじめとする「日本列島標準モデル」を構築し、地震波速度構造や高精度時震源カタログなどを公開した。

( 7 ) 本課題の5か年の到達目標 :

陸海統合地震津波火山観測網 ( MOWLAS ) 及び首都圏地震観測網 ( MeSO-net ) を安定的に運用するとともに、良質な地震等の観測データの取得・流通を図り、防災科学技術研究所を始めとする関係機関における研究、その他の業務の遂行や我が国の地震調査研究の発展に貢献する。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

陸海統合地震津波火山観測網 ( MOWLAS ) である、陸域の基盤的地震観測網 ( 高感度地震観測網 ( Hi-net )、強震観測網 ( K-NET )・基盤強震観測網 ( KiK-net )・広帯域地震観測網 ( F-net ) )・基盤的火山観測網 ( V-net )、海域の基盤的観測網 ( 日本海溝海底地震津波観測網 ( S-net ) )・地震・津波観測監視システム ( DONET ) ) および首都圏地震観測網 ( MeSO-net ) について安定的な運用を継続するとともに、海陸統合データベースを構築し、良質な地震等の観測データの取得・流通を図り、防災科学技術研究所を始めとする関係機関における研究、その他の業務の遂行や我が国の地震調査研究の発展に貢献する。さらに、南海トラフの想定震源域のうち DONET ではカバーされていない海域 ( 高知県沖 ~ 日向灘 ) に、南海トラフ海底地震津波観測網 ( N-net ) を構築する。

既存の火山観測施設や基盤的火山観測網を含め、重点的に観測を強化すべき火山について観測施設の運用を行いつつ、これにより得られる観測データについては、全国の大学が運用する観測網のデータとの共有化を引き続き進め、大学等の火山防災の基礎研究の振興や気象庁の監視業務の推進、さらには地方防災行政の関係機関の情報共有化に貢献する。

MOWLAS 等によって得られたデータを定常的に蓄積し、波形データベースを構築する。また、「日本列島標準モデル」に組み込む各種構造の推定・多機能地震カタログの整備を進める。

MOWLAS データを用いた解析結果等については、発災時を含め地震調査委員会等の関係機関へ速やかに提供する。

なお、本課題は防災科学技術研究所の中長期計画に基づく運営費交付金により実施される。また、防災科学技術研究所の中長期計画は 2022 年度末までなので、それ以降の計画については見直す可能性がある。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

陸海統合地震津波火山観測網 ( MOWLAS ) 及び首都圏地震観測網 ( MeSO-net ) を安定して運用することにより、地震、低周波地震、超低周波地震、スロースリップイベントについてイベント検出および震源位置、震源メカニズム解、断層モデルの推定、余震活動の予測等を行った。さらに、その活動状況のモニタリング結果を国民に対して分かりやすく情報発信を行うとともに、地震調査委員会、地震予知連絡会等に随時提供した。

また 2019 年 6 月 18 日 22 時 22 分に山形県沖で発生した地震 ( M 6.7 : 気象庁 ) に関して、MOWLAS の観測記録を用いた解析を行った。K-NET、KiK-net 及び F-net の強震波形記録を用いた震源インバージョン解析の結果、大きなすべりは震源より up-dip 側の領域に見られ活発な余震活動域に重なること、地震発生から 1.5-4.5 秒後に大すべり領域において主たる破壊が生じていたことがわかった。加えて、Hi-net の波形データを用いて Double-Difference 法によって推定した震源分布は、南部の余震活動は北西傾斜の面に沿って分布している一方、本震を含む北側の震源は北東-南西走向方向に約 7km の幅を持ち、深さ 10-15km の領域に東南東方向に傾斜する面に沿って広がって分布することを示した。さらに、Hi-net 及び KiK-net データから高周波エネルギー輻射量を求めたところ、本震発生から 10 日後までの余震による積算エネルギー輻射量は本震のエネルギー輻射量の 0.15% で、2016 年熊本地震の本震

( MJ7.3、13% ) や 2018 年大阪府北部の地震 ( MJ6.1、0.99% ) よりも小さいことがわかった。

- ( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :
- 防災科学技術研究所, 2019, 2019 年 6 月 18 日山形県沖の地震による高周波エネルギー輻射量, 地震予知連絡会会報, 103, 印刷中 .
  - 防災科学技術研究所, 2019, 近地強震記録によって推定された 2019 年 6 月 18 日に山形県沖で発生した地震の震源過程, 地震予知連絡会会報, 103, 印刷中 .
  - 防災科学技術研究所, 2019, Double-Difference 法による 2019 年 6 月 18 日山形県沖の地震の震源分布, 地震予知連絡会会報, 103, 印刷中 .
  - 防災科学技術研究所, 2019, 西南日本における短期的スロースリップイベント (2019 年 5 月 ~ 2019 年 10 月), 地震予知連絡会会報, 103, 印刷中 .
  - 防災科学技術研究所, 2019, 南海トラフ周辺における最近の傾斜変動 (2019 年 5 月 ~ 2019 年 10 月), 地震予知連絡会会報, 103, 印刷中 .
  - 防災科学技術研究所, 2019, 西南日本における深部低周波微動活動 (2019 年 5 月 ~ 2019 年 10 月), 地震予知連絡会会報, 103, 印刷中 .
  - 防災科学技術研究所, 2019, 日本周辺における浅部超低周波地震活動 (2019 年 5 月 ~ 10 月), 地震予知連絡会会報, 103, 印刷中 .
  - 防災科学技術研究所, 2019, 連続地震計記録を用いた余震による最大振幅の予測について, 地震予知連絡会会報, 103, 印刷中 .

- ( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

引き続き MOWLAS 及び MeSO-net を安定的に運用することにより、海陸統合データベースを構築し、良質な地震等の観測データの取得・流通を図り、関係機関における研究・技術開発、その他の業務の遂行や我が国の地震調査研究の発展に貢献する。

- ( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター  
他機関との共同研究の有無 : 無

- ( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 防災科学技術研究所 企画部広報課  
電話 : 029-863-7672  
e-mail : [toiawase@bosai.go.jp](mailto:toiawase@bosai.go.jp)  
URL : <http://bosai.go.jp>

- ( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 青井真  
所属 : 地震津波火山ネットワークセンター



( 1 ) 実施機関名：

立命館大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

南アフリカ大深度金鉱山からの地震発生場における応力と物質の直接調査

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

5 研究を推進するための体制の整備

(5) 国際共同研究・国際協力

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

M2.0-M5.5 の地震発生場の詳細が、南アフリカの大深度金鉱山における至近距離地震観測によって、2015 年までに描き出されていた。これらを直接精査するために、国際陸上科学掘削プログラム( ICDP) などによって、欧米と南アフリカを含む 8 ヶ国の研究者達と、総延長約 1.7 km のフルコア掘削を地下大深度から 2018 年 6 月まで行った。これらは日本が主導した。M5.5 の地震発生場(余震発生域上端部とその周辺)においては、掘削中の孔の崩壊や閉塞、および、掘削によるコアのダメージを最小限に抑え、Talc 等を含む低摩擦断層物質と母岩(  $V_p > 5.5 \text{ km/s}$ ) を回収することに成功した。地震によるダメージそのものも回収できている。断層交差部とその奥以外では孔内物理検層と応力測定を行うことができた。そして、これらの物理・化学・地質学的精査、地震反射法探査データの再解釈を始めることができた。孔内の水とガスの観測では、そして、天水や地表下 1km 以内のドロマイイト層中の水と

は起源が異なり、塩分がほとんど飽和した圧力約 10 MPa の水や、非生物起源の岩石と水の反応によるガスが検出された。

2015 年度までに研究した、採掘レベルの通常の誘発地震は、主に、太古代の珪岩の、ドライな環境の圧縮破壊的な正断層運動によるものが多かったが、鉾山下で発生した左横ずれ型 M5.5 地震は、水と Mafic な貫入岩（下部地殻・マントル物質）との作用を起源とする物質が関与している可能性があることが明らかになり始めた。Talc はサンアンドレアス断層のクリープ領域で行われた大深度科学掘削でも確認された低摩擦物質である。この地震発生場の直接調査を進めることで自然地震の現象解明に資する重要な知見を得ることができる可能性が見えてきた。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

これまでの 5 年間で成功した、上述の、世界初の地震発生深度での直接総合調査を、次の 5 年間でさらに推し進める。それによって、地震発生場の地質と構造、絶対応力の空間変化、摩擦特性や、地震発生場の破壊と地殻流体との物理化学的関係の理解を深める。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

次の 5 年間は、ICDP DSeis 計画 (2016-2019) で地震発生場から掘削回収できたコアの岩石力学・地質学・化学的解析を進める。孔内物理検層や、地震波反射法探査、地震観測のデータとの比較を進める。これらには他予算や高知コアセンターとの共同利用も活用する。他予算がさらに獲得できれば、追加の掘削や孔内物理検層、孔内観測を行ったりする。これらを進めるために、本計画では南アフリカなどでの渉外活動や、アメリカとドイツが主導する水とガスの観測との協力・連携も続ける。

平成 31/令和元年度は、現有コアとデータの解析を進める。採択されている高知コアセンター共同利用によってコアの解析を進める。採択されている別予算で国際ワークショップを開催し、成果をまとめ、追加掘削計画を固める。

令和 2 年度以降は、地震発生場の直接調査範囲を拡大するための新たな他予算の獲得を目指す。獲得がなかった場合は掘削や検層を加え、孔内稠密地震観測網の構築を始める。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

ICDP DSeis 計画 (2016-2019) を柱とする諸研究活動を推し進めるために、本計画では (8) で記した関連渉外活動を行った。(8)に記載した国際ワークショップの開催と新しい追加調査予算の獲得はかなわなかったが、他については行うことができた。昨年度までの取り組みは、ICDP Annual Report 2018 (ICDP, 2019a) に Accomplished Project として紹介され、ICDP の広報誌“ The Thrill to Drill ”(ICDP, 2019b) にも一部が掲載された。これらと今年度の成果をとりまとめる形で、ICDP post-drilling workshop 申請書を書き上げ、令和 2 年 1 月に ICDP に提出することもできた。

これらの簡単な概略は、以下の通りである。

2018 年に、地下 2.9km から、700m 長の傾斜孔 (Hole B)、および、その 544m 地点からの分岐孔 ( Hole C ; 96m 長; 重要部は 1.5m triple-tube) をフルコアで掘削できていた (Ogasawara et al., 2019a)。しかし、これらの、M5.5 断層との交差部とその奥では、孔の閉塞のために孔内物理検層ができていなかった (Yoshida et al., 2019)。このため、2019 年 5 月から、この区間と、比較のための Hole A の同じ岩種の試料、合計 880kg を、高知コアセンターへ輸出し、密度、磁化率、線強度と X-ray CT-scan を 2019 年 12 月まで行った (小笠原, 2020)。同センターでは、昨年度の XRD 分析で talc が M5.5 断層交差部で多いことが確かめられていた (Hirono et al., 2019)。今年度は、その断層交差部と周囲の試料について XRF 化学組成分析も行った。得られた非破壊分析と鉱物組成と元素組成とから、昨年度 talc が検出されたのは、マフィックなランプロファイアー・ダイクが珪質の熱水で変質したものであることが明らかになってきた。M5.5 断層交差部での断層試料は talc を多く含み、かつ剪断による葉状構造があることがわかった (横山・他, 2019)。しかし、断層周辺のコア試料では、talc の含有量に場所によるばらつきが認められた。これは、ダイク中での熱水変質の空間的不均質性を示すのかもしれない。

1996年に行われた3次元地震反射法探査データの再解析を進めた。未解釈だった採掘レベル以深で、本震時に周囲より大きく滑った領域 (Mori et al., 2019) および余震のギャップと、反射体が分布する領域との位置関係が相補的であることがわかった (Noda et al., 2019)。また、ランプロファイアー・ダイクに対応する位置では、反射体分布に乱れが見られ、それが、M5.5の余震の広がりに沿って掘削地点よりも南北に広がっていることが確認できた。マフィックなランプロファイアー・ダイクは、日本では珍しいが、世界では、花崗閃緑岩の岩体や珪質の堆積岩の上に洪水玄武岩やマフィックで大きい火成岩体がある地域で見られる。それらは、数 km にわたってほぼ真っ直ぐに伸びている場合もあることが特徴である。公募研究 [KOB05] では、この構造に左横ずれを発生させる応力がかかっていたであろうことが分かった。この応力場レジームは、地下2~3kmの採掘レベルの正断層的応力レジームとは異なるものであった。この地域の火成貫入岩は、最も新しいものでも Gondwana 大陸が分裂した時代のものである。この様に、マントル物質の板状貫入と熱水変質があれば、珪質の堆積岩体の中であっても、中規模地震を起こしうる、面的な弱い構造が地質史的に生まれうること、また、それが応力場次第で再活動しうるということがわかった。

- (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
- Hirono, T., Y. Yokoyama, S. Kaneki, H. Ogasawara, Y. Yabe, T. Matsuzaki, Y. Yamamoto, E. Tokuyama, T. C. Onstott, M. Ziegler, R. Durrheim, v.H. Esterhuizen, B. Liebenberg, and the ICDP DSeis team, ICDP DSeis 2: Preliminary results of physical property measurement and XRD analysis of the M5.5 fault material recovered from DSeis Project, Abstract JpGU, MIS02-09, 29 May 2019, Chiba, Japan
- ICDP, 2019a, "ICDP Annual Report 2018", <[https://www.icdp-online.org/fileadmin/icdp/media/Annual\\_Report/Annual\\_ICDP\\_Report\\_2018.pdf](https://www.icdp-online.org/fileadmin/icdp/media/Annual_Report/Annual_ICDP_Report_2018.pdf)>, (参照 2020-2-2)
- ICDP, 2019b, "The Thrill to Drill", <[https://www.icdp-online.org/fileadmin/icdp/media/doc/The\\_Thrill\\_To\\_Drill\\_2018\\_HR\\_small.pdf](https://www.icdp-online.org/fileadmin/icdp/media/doc/The_Thrill_To_Drill_2018_HR_small.pdf)>, (参照 2020-2-2)
- Mori, J., T. Yasutomi, H. Ogasawara, S.N. Somala, and S. Sangaraju, 2019, Near-Field Observations of the Rupture for the M5.5 Orkney, South Africa Earthquake. SSA Annual Meeting 2019, Seattle, USA (25 April 2019), *Seismol. Res. Lett.*, **90**, 936-936.
- Noda, N., M. Manzi, H.Y. Ogasawara, L. Linzer, S. Enslin, R. Durrheim, and H. Ogasawara, 2019, ICDP DSeis 8: the M5.5 fault structure and reflective intrusives in legacy 3DSeismic reflection data, Abstract JpGU, MIS02-P11, 29 May 2019, Chiba, Japan.
- Ogasawara, H., B. Liebenberg, M. Rickenbacher, M. Ziegler, v.H. Esterhuizen, T.C. Onstott, R.J. Durrheim, M.S.D. Manzi, S. Mngadi, Y. Yabe, H.Y. Ogasawara, S. Kaneki, E. Cason, J.G. Vermeulen, E. an Heerden, T. Wiersberg, M. Zimmer, C. Kujawa, R. Conze, G. van Aswegen, N. Wechsler, A.K. Ward, S. Enslin, S. Tau, M.S. Bucibo, and the DSeis Team, 2019a, 2019 status report: Drilling into seismogenic zones of M2.0-5.5 earthquakes in South African gold mines (DSeis project), *Proc. 9th Int. Congr. Deep and High Stress Mining, Symposium Series S98, Southern African Inst. Min. Metal.*, 375-384, doi: 10.36487/ACG\_rep/1952\_28\_Ogasawara
- Ogasawara, H., T.C. Onstott, T.L. Kieft, T. Wiersberg, M. Zimmer, Y. Yabe, R.J. Durrheim, M.S. Manzi, E.D. Cason, B. Liebenberg, M. Ziegler, T. Hirono, T. Ito, A. Funato, Y. Yamamoto, and ICDP DSeis team, 2019b, Potential borehole observatory in the aftershock zone at about 3.5 km depth of a 2014 M5.5 sinistral earthquake that the ICDP DSeis project has probed, AGU Fall meeting, San Francisco, NH11D-0798, 9 December 2019.
- 小笠原宏 (ICDP DSeis 計画国際研究チーム代表者), 2020, 地震発生帯の掘削調査に成功, なみふる (日本地震学会広報誌), No.120, 2-3, <<https://www.zisin.jp/publications/pdf/nf-vol120.pdf>> (参照 2020-2-2)
- 横山友暉・廣野哲朗・小笠原宏・矢部康男, 2019, M5.5 Orkney 地震を引き起こした断層岩および母岩の鉱物組成と微小構造 (ICDP DSeis Project), 日本地震学会 2019 年秋季大会講演予稿集, S08P-16,

2019年9月18日.

Yoshida, S., R. Tadokoro, K. Sugimura, M. Kanematsu, M. Higashi, B. Liebenberg, v.H. Esterhuizen, S. Tau, S. Mngadi, R. Durrheim, M. Ziegler, Y. Mukuhira, R. Conze, Y. Yabe, S. Kaneki, Y. Yokoyama, N.Z. Nkosi, D. Roberts, S. Bucibo, and H. Ogasawara, 2019, ICDP DSeis 4: Drilling, core logging, and in-hole geophysical logging of ICDP DSeis drilling into the M5.5 aftershock zones in a South African gold mine, Abstract JpGU, MIS02-P07, 29 May 2019, Chiba, Japan.

(11) 令和2年度実施計画の概要:

活動予算の主体は他の計画である。本計画では(8)で記した関連渉外活動を行う。

ICDP post-drilling workshop proposal が採択された場合は、初日に立命館大学東京キャンパスで半日国際セミナーを開催し、DSeis 計画の成果と、世界の他のICDP や科学掘削計画の成果を共有し合う。2日目と3日目は高知コアセンターのWorkshopで、DSeis 計画の最も重要な掘削回収コアを前にして、得られた成果の理解を深める。アメリカとドイツは、M5.5地震発生場掘削孔で、水温・水圧・ガス成分の連続観測を行っている。これらの知見も合わせ、岩石と破壊と水とガスの関係の理解を深める。

それなりの規模の予算は必要だが、これまでに比べたら低コストで、重要な枝掘りや孔内物理検層をさらに行うことができる(Ogasawara et al., 2019b)。今年度までに得られた知見は、世界の他の場所の地震活動を解釈する際にも非常に重要である。これらの予算獲得を追求したい。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

小笠原 宏

他機関との共同研究の有無: 有

東北大学 矢部 康男・森谷 祐一・坂口 清敏・伊藤 高敏

(公財) 深田地質研究所 船戸明雄

大阪大学 廣野 哲朗

(公益社団法人) 地震予知総合研究振興会 石井 紘

鹿児島大学 中尾 茂

高知大学 大久保 慎人・山本 裕二

防災科学技術研究所 小村 健太郎・松原 誠

産業技術総合研究所 今西 和俊

東京大学 三宅 弘恵・加藤 愛太郎

京都大学 Jim Mori・直井 誠

参加他国 南アフリカ・アメリカ・ドイツ・スイス・インド・イスラエル・オーストラリア

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 立命館大学 研究部 リサーチオフィス(BKC) P J 管理担当

電話: 077-561-2802

e-mail: ml-b-kanri@ml.ritsumei.ac.jp

URL: [http://www.ritsumei.ac.jp/research/center/sci\\_eng/](http://www.ritsumei.ac.jp/research/center/sci_eng/)

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 小笠原宏

所属: 理工学部

( 1 ) 実施機関名：

立命館大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震に先行する極微小な前震活動の異常度評価と発生環境の評価

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

平成 30 年度までの計画においては、日本を含む世界各地で発見されてきた大規模地震に先行する極微小な前震活動について、その検出試行例の増加にむけた検出手法の開発をおこなうこと、並行して室内実験を利用した前震の発生様式を推定することを研究計画に定めた。

長野県中部の地殻内地震(2011年,  $M_j5.4$ )を例として、防災科研 Hi-net の震源近傍(10 km 以内)の 4 観測点の 3 成分連続波形記録を利用し、前震検出の適切な基準について詳細な検討をおこなった。まず、テンプレートとなる前震記録との相互相関係数(CC)の頻度分布を作成し、その分布の特徴を精査したところ、CC の分布の裾が、正規分布よりも極値分布で良く説明できることが明らかになった。またこの分布を利用し、大きい CC を示す外れ値の上位いくつまでをイベントとみなすのが合理的か、赤池情報量規準(AIC)を基に議論した。AIC を利用することにより、定数や標準偏差の定数倍等の任意性の残る閾値ではなく、合理的かつ客観的な閾値の設定方法を提案することができた。

気象庁カタログに記載済みの前震は本震 13 時間前からに限定されていたが、以上の新手法を基に、本震から遡ること 2 年間の地震活動を評価したところ、新たに見つかった地震は、本震の 2ヶ月前に 1つと、3~4 日前にまとめて 3 つのみであった。このことは、前震活動が定常的な微小地震の巨大化・頻発化と呼べるものではなく、過去 2 年間に殆ど例のなかったイベント群の発露であったことが示された。

2016 年熊本地震に続発した愛媛県北東部の地震(深さ 7.7km,  $M_j3.1$ )に関し、これが大地震の前震である可能性を想定し、この波形記録をテンプレートとして、準リアルタイムのモニタリングを実

施したが、気象庁一元化震源カタログに記載された2つのM0クラスの地震以外には前震は検出されなかった。

防災科学技術研究所と共同で実施した二軸せん断試験の際に取得された連続波形記録の解析をおこない、断層全面がすべる大規模動的すべりイベント(本震)に先行した前震の中に、小繰り返しイベント群があることを示した。これらは、断層全面がすべる大規模な動的すべりイベントをはさんで発生しており、断層全面がすべることによって前震を発生させるパッチが保持されることが示された。並行して、実験室で発生する高周波微小破壊(AE)の波形記録を地震計記録のように扱うことができるようにするためのセンサーの開発をおこなった。これにより、実験室で発生する前震的AEの特徴をより詳細に把握できるようになる。

#### (7) 本課題の5か年の到達目標:

自然地震における前震活動の存在は、地震計によるリモート・センシングが可能な現象であり、地震発生予測の確度を上げるための鍵となる。防災科研Hi-netに代表される高感度連続地震観測のおかげで、日本においては極微小な前震の検出も可能であり、現行計画において極微小な繰り返し前震の検出アルゴリズムも提案できた。また2011年に長野県中部で発生したある地震(Mj5.4)の繰り返し前震について、本震に先行する2年程度においては直前においてのみ検出されることが示された。これは、2007年能登半島地震や2008年岩手・宮城内陸地震において、数週間の解析ながら確認された現象と同様である。

しかしながらテンプレートとなる地震波形は、現時点では本震発生後に前震として認められたものを用いたある種の「事後予測」にあたる。そこで、本課題では、2つのアプローチでこの問題の解決を図る。一つ目の目標は、日常的に発生する微小地震記録をテンプレートとして用いた場合に、極微小な繰り返し前震活動が異常活動として認識されるか否か、すなわち「本震」の発生という情報を持たない状態で「本震」の発生をどの程度の確率で予測できるか、を明らかにすることである。二つ目の目標は、テンプレートを必要としない繰り返し地震活動を抽出する手法を確立し、それを適用することで微小繰り返し前震活動の検出を目指すことである。

また、実験室で実施される破壊試験や固着すべり試験時に観測される微小な繰り返し破壊を活用して、繰り返し前震の発生様式、発生機構を明らかにすることも本課題の目的とする。

これらの取り組みを通じて、繰り返し前震活動について、その活動およびイベント自身の異常さを利用して、大地震の発生確率評価にどの程度利用できるかを明らかにすることを目指す。

#### (8) 本課題の5か年計画の概要:

研究目的の達成のために、以下のような年度計画で課題を遂行する。なお、成果の取りまとめは随時実施する。

【令和1年度】近年に大規模地震が発生した地域、定常地震活動度の高い地域、定常地震活動度の低い地域、大地震の切迫度が高いと評価されている地域等から、研究対象領域を抽出し、気象庁一元化震源カタログよりテンプレートとして使用する微小地震を設定する。現行計画で開発したアルゴリズムに従い、繰り返し活動の抽出をおこなう。データ量が多いため、高速化のためのアルゴリズムの改良も進める。

二軸せん断試験で得られた波形の解析を高度化するために、実験時に貼り付けられていた弾性波トランスデューサの計器特性を精査するための検定試験を実施する。

【令和2年度】令和1年度に引き続き、繰り返し活動の抽出をおこなう。また、抽出された繰り返し活動の特徴を調べ、極微小な繰り返し前震活動に共通する特徴の有無について検討する。

テンプレートを必要としない繰り返し地震活動抽出のためのアルゴリズムの検討、解析コードの開発をおこなう。

前年度に得られた計器特性を利用して二軸せん断試験で得られた波形解析を進める。

【令和3年度】令和1,2年度までに開発された手法に基づき、引き続き繰り返し活動の抽出をおこな

い、抽出された繰り返し活動の特徴から、繰り返し前震活動に共通する特徴の有無について検討する。

二軸せん断試験時の前震の微小破壊について、載荷や破壊面形成と微小繰り返し破壊の時空間的な関係を調べる。

【令和4年度】令和1,2,3年度に引き続き、繰り返し活動の抽出をおこなう。繰り返し活動の出現に対する大地震の付随確率を求め、大地震の発生確率評価をおこなう。

【令和5年度】大地震に先行して発生する繰り返し前震活動について、実験室で得られた知見と照らし合わせ、繰り返し前震活動の物理的な位置づけを考察するとともに、この活動の特異性について評価する。

(9) 令和元年度の成果の概要：

これまでに、大規模地震に先行する微小な前震活動を検出するための手法開発を研究計画としてきた。その技術的根幹は平成30年度におよそ完成し、令和1年度においては国際学術誌への投稿準備を進めると共に、更なる計算の効率化を検証し、また一方で近年提案された全く異なる手法の改良による微小地震検知能力の向上可能性についても検討を開始した。

平成30年度までに、長野県中部の地殻内地震(2011年, Mj5.4)を例として、震源から10km以内の防災科研Hi-netによる連続波形記録から、前震検出の適切な規準について検討した。その際、既存研究で頻繁に用いられる手法通り、既知の前震波形と連続波形との相互相関係数(CC)を計算したが、その上で具体的に相似地震波形と判断するCCの閾値を客観的に決定する方法を新たに提案した。この方法は、大きいCCを示す外れ値の上位いくつまでを相似地震波形とみなすのが合理的かを、赤池情報量規準(AIC)によって判断するものである。

この手法は当該地域における微小地震検出において成功を収めたが、計算された膨大なCCの分布を適切に表現するためのパラメタを最尤推定すること、および上位いくつまでを外れ値とするかを逐次検証することに計算コストを要し、これ以上の解析期間や観測点数の増大によって波形データが増えた場合に運用が困難となるおそれがあった。そこで令和1年度においては、1) CCの分布を表現するパラメタを、厳密な最尤推定を行わずに近似すること、および2) 外れ値の上位をひとつずつ検討するのではなく、1)で近似的に求めたパラメタから、直接的に閾値を求めること、の2点において改良に成功し、計算の高速・効率化を達成した。1)の近似にはL-moment法と呼ばれる方法が有効であることが判明し、これまで必要としていた反復計算なしで近似値を求めることが可能になった。これまでの解析から、この反復計算による最尤推定は不安定であり、そのために広く利用されている商用ソフトウェアでは値が得られない場合が多数あることがわかっていたが、本手法は反復計算に頼らないことでこの問題を解決しており、本成果のアルゴリズムを多くのユーザが利用する際の障壁を取り払うことにも貢献する。2)については1)で求めたパラメタを含むある種の非線形方程式を解くことで、AICによる客観的な閾値の近似値を得ることを可能にした。この非線形方程式の数値解法は比較的平易であり、この点でも本手法の扱いやすさに大きな改善が見られた。

とはいえ、上記の解析は既知の地震波形と相似な波形を探すためのものであり、未知の地震波形が複数埋もれている場合に、それら同士の類似性を見出すことはできない。この問題を回避するためには、既知の地震波形だけでなく、連続波形波形データから得られる短時間波形全ての組み合わせについて、その類似度を判定することが有用である。このような解析は類似音声信号の探知を動機とする研究に端を発し、地震波形への適用が5年ほど前から試みられてきたが、先述の相関係数を用いた解析とは結果が異なる場合が多いこと、および依然として計算時間が膨大であることの2点において困難を抱えていた。これを回避すべく、平成30年度の予備的検討を経て、令和1年度には本格的に研究を開始した。本研究では先述2点の問題に対し、短時間波形の特徴を抽出するための関数として新たなものを2通り提案し、その性能を既存の関数と比較した。その結果、2者共に既存の関数よりも計算が容易な関数であるにもかかわらず、計算時間の劇的短縮が可能であること、および検知された相似波形同士の相関係数が、既存手法によるものよりも概して高いことを明らかにした。このことは、気象庁カタログに前震の記載が乏しい地震であっても、カタログに記載されないほどのごく微小

な前震活動が存在したか否かを、長期に渡り高い精度で判定しうるものである。

二軸せん断試験で得られた波形の解析を高度化するための弾性波トランスデューサの計器特性を精査するための検定試験は、準備段階であり、次年度に継続して実施する。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Hirano, S., H. Kawakata, and I. Doi, 2019, Foreshock activity detection by a threshold-free matched-filter technique, Japan Geoscience Union Meeting, Chiba, Japan, SSS04-05.

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

令和1年度に引き続き、手法の開発並びにその検証をおこなう。相互相関を用いる改良手法については、すでに検出されている微小地震波形記録を利用し、連続波形記録から相似波形の抽出を試みる。また、既存検出記録を必要としない手法についてもさらにその能力の検証を進める。この際、自然地震記録に加え、室内実験記録への適用も試みる。

二軸せん断試験で得られた波形の解析を高度化するために、実験時に貼り付けられていた弾性波トランスデューサの計器特性を精査するための検定試験を令和1年度に引き続き実施する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

立命館大学理工学部 : 川方裕則、平野史朗

他機関との共同研究の有無 : 有

京都大学防災研究所 : 土井一生

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 立命館大学研究部 B K C リサーチオフィス

電話 : 077-561-2802

e-mail : ml-b-kanri@ml.ritsumei.ac.jp

URL : <http://www.ritsumei.ac.jp/research/center/sci/>

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 川方裕則

所属 : 立命館大学理工学部



( 1 ) 実施機関名：

東北大学理学研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

国際共同研究によるニュージーランドにおける地震発生機構の解明

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

5 研究を推進するための体制の整備

(5) 国際共同研究・国際協力

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

課題：1203・1204(東北大学)、2201(九州大学)、1907(京都大学防災研究所)等により以下のような研究成果を得た。

日本で発生した2016年熊本地震や2008年岩手宮城内陸地震の臨時余震観測データにより、地震波速度構造や震源分布、地震波反射面などから、下部地殻の構造、特に流体の分布が内陸地震の発生規模や活動範囲を規定する可能性を示した。

ニュージーランド南島北中部でこれまでに実施した臨時観測データを用いて、地震波速度トモグラフィを行い、断層深部や震源域付近に流体の分布域と対応すると考えられる地震波速度低速度域を見いだした。臨時観測データを用いて、応力テンソルインバージョンを行い、カイコウラ地震前後で応力場が大きく変化しなかった可能性を示した。また、アルパイン断層掘削孔の孔内地震計を用いて、アルパイン断層周辺の地震波異方性構造を示した。

本課題の継続的な研究の実施により、一層の解析の進展ならびに、より長期間の観測網のデータを使用することで、本観測研究計画で課題として挙げられている複雑な断層系の相互作用や断層端の特性の理解のための詳細な知見を得ることが可能となる。

( 7 ) 本課題の5か年の到達目標：

日本と同様に沈み込み帯に位置するニュージーランドにおいて地震観測を実施し、地震発生過程の理解を普遍化する。ニュージーランドでは、南島北部において、2010年・2011年クライストチャーチ地

震や 2016 年カイコウラ地震が発生し、甚大な被害を生じた。カイコウラ地震・クライストチャーチ地震は、地震時あるいは地震後に複数の断層が連動して破壊した地震であると考えられており、2016 年熊本地震において指摘されたような複雑な断層系の相互作用や断層端の特性の理解の上で最適な対象である。研究担当者がカイコウラ地震発生前から実施中の南島北部での臨時地震観測を継続し、複数の断層が様々な時定数で連動破壊した原因を明らかにする。特に、非弾性変形や応力・流体との関わりを明らかにする。また、内陸断層とプレート境界との連動の検討を行う。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

カイコウラ地震・クライストチャーチ地震両震源域を含む領域でこれまで行ってきた臨時観測データの解析を進めるとともに、両地震の地震後過程のモニタリングやより詳細な構造を求めため、臨時観測を継続する。

研究担当者は、これまでの研究から、日本の内陸地震について、下部地殻の構造、特に流体の分布が内陸地震の発生規模や活動範囲を規定する可能性を示してきた(業績 1 ~ 3)。本課題の対象領域においても同様の下部地殻の不均質構造は、研究担当者らの予備的な研究結果からも見えてくる。そのような知見を踏まえ、複数断層の連動破壊・遅れ破壊に地殻下部の構造や流体の存在が関わる可能性を検討する。そのために、以下の観測解析を、データの蓄積状況・一次処理状況に応じて、順次実施する。

高精度震源決定により、地震発生下限深度分布を正確に推定する。また、地震断層とされた断層群との対応関係から各断層の位置や形状を正確に推定する。多数のメカニズム解を正確に推定し、応力テンソルインバージョンや S 波スプリッティングにより、偏差応力の向きや大きさ、強度や間隙流体圧を求める。地震波トモグラフィや地震波反射面の分布により流体を含む領域を求め、強度と水との関わりを明らかにする。地震波形・地震波干渉法による地下構造の時空間変化の推定を行い、応力場や流体挙動の時間変化を把握する。

地震観測結果と地質学・地形学的知見を総合化し、ニュージーランド南島北部のテクトニクス下における、複雑な断層の分布およびその原因を把握する。地震発生下限深度分布や地震観測で得られた構造・応力場等の比較から地殻内の非弾性変形域を抽出する。非弾性変形域の広がりや詳細に把握した断層の形状や応力-強度状態に基づき、カイコウラ地震・クライストチャーチ地震の連動破壊や遅れ破壊を説明可能なモデルの構築を行う。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

カイコウラ地震発生以前から南島に展開されている臨時地震観測点のデータと

定常観測網である GEONET、及び Victoria University of Wellington, University of Wisconsin-Madison による地震観測点データを統合し、カイコウラ地震の余震分布を詳細に決定した( Kawamura et al., 2019 )、図 1 に南島における地震観測点分布を示す。決定には Double-Difference 法を用いた。余震分布から推定される断層面はおよそ 10 におよび、地表で観察されている複雑な断層運動を支持するものであった。しかしながら、まだ十分な解像度で形状を決定できていない段階であるため、今後は手動読み取り値を増やすことや Matched Filter 法などを用いて詳細な断層面形状を推定する。

また、観測された余震の水平動成分地震記録から震源域における反射体を探索する試みを行なった( Matsumoto et al., 2019 )。Dip moveout 処理を用いて調べた結果、地殻中には複数の反射体が存在し、震源域の内部にも存在する可能性が示唆された。また、沈み込むプレートやその内部に反射体が存在することが見いだされた。模式図を図 2 に示す。

地震波速度トモグラフィ( Okada et al., 2019a, 2019b )の結果、南島北部の断層帯深部およびカイコウラ地震の震源付近に地震波速度低速度・高  $V_p/V_s$  の領域を見出した( 図 3 )。この地震波速度低速度・高  $V_p/V_s$  の領域は高い間隙流体圧の領域を示しており、断層活動や地震活動と流体との関連が示唆される。

メカニズム解および応力テンソルインバージョンにより、カイコウラ地震の前後について、応力場の

推定を行なった。得られた結果は既往研究と調和的なものであった。カイクウラ地震の前後での応力場の顕著な時間変化は見られなかった(図4、Matsuno et al., 2019)。

S波スプリッティング解析や地震波干渉法解析により、地下構造の時間変化を推定した。S波スプリッティング解析の結果、S波の偏向異方性の方向には空間変化が見られ、地形(重力)による影響が考えられる。S波の偏向異方性の方向および大きさの顕著な時間変化は見られなかった(Savage et al., 2019)。

地震波干渉法解析の結果、地殻上部(10kmより浅)で0.04%程度の地震波速度の低下がカイクウラ地震発生時に生じたことが分かった(Kortinik et al., 2019, Jacobs and Savage, 2019)。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Lanza, F., C. J. Chamberlain, K. Jacobs, E. Warren-Smith, H. J. Godfrey, M. Kortinik, C.H. Thurber, M. K. Savage, J. Townend, S. Roecker, and D. Eberhart-Phillips, 2019, Crustal fault connectivity of the Mw 7.8 2016 Kaikoura earthquake constrained by aftershock relocations, *Geophysical Research Letters*, 46, 6487-6496, doi:10.1029/2019GL082780.

Okada, T., Y. Iio, S. Matsumoto, S. Bannister, S. Ohmi, S. Horiuchi, T. Sato, T. Miura, J. Pettinga, F. Ghisetti, R.H. Sibson, 2019a. Comparative tomography of reverse-slip and strike-slip seismotectonic provinces in the northern South Island, New Zealand. *Tectonophysics* 765, 172-186, doi: 10.1016/j.tecto.2019.03.016.

Kawamura, Y., S. Matsumoto, T. Okada, M. Matsuno, Y. Iio, T. Sato, S. Bannister, M. Savage, C. Thurber, R. Sibson, 2019, Characteristic of fault form in the focal area of the 2016 MW 7.8 Kaikoura earthquake inferred from high precision aftershock distribution in "Abstract Volume: Geosciences 2019, Hamilton, New Zealand. Geoscience Society of New Zealand Miscellaneous Publication 154A", ed. by PJJ. Kamp, and A. Pittari, p 105.

Kortinik, M., M. Savage, T. Okada, S. Matsumoto, Y. Iio, K. Jacobs, 2019, Effect of the Kaikoura earthquake on stress in and around the ruptured region: a noise cross correlation approach in "Abstract Volume: Geosciences 2019, Hamilton, New Zealand. Geoscience Society of New Zealand Miscellaneous Publication 154A", ed. by PJJ. Kamp, and A. Pittari, p 111.

Matsumoto, S., Y. Kawamura, T. Okada, M. Matsuno, Y. Iio, R. Sibson, M. Suzuki, S. Bannister, M. Savage, 2019, Detection of S-wave reflectors beneath aftershock area of the 2016 Kaikoura Earthquake, New Zealand, in "Abstract Volume: Geosciences 2019, Hamilton, New Zealand. Geoscience Society of New Zealand Miscellaneous Publication 154A", ed. by PJJ. Kamp, and A. Pittari, p 128.

Matsuno, M., T. Okada, S. Matsumoto, Y. Kawamura, Y. Iio, T. Sato, S. Bannister, J. Ristau, M. Savage, C. Thurber, R. Sibson, 2019, Stress tensor inversion in focal area of the 2016 MW 7.8 Kaikoura earthquake, New Zealand, in "Abstract Volume: Geosciences 2019, Hamilton, New Zealand. Geoscience Society of New Zealand Miscellaneous Publication 154A", ed. by PJJ. Kamp, and A. Pittari, p 129.

Okada, T., S. Matsumoto, Y. Iio, F. Lanza, C.H. Thurber, M. Matsuno, Y. Kawamura, T. Sato, S.C. Bannister, J. Ristau, M.K. Savage, J. Townend, J. Pettinga, F. Ghisetti, R.H. Sibson, 2019b, Complexity of the 2016 M 7.8 Kaikoura, New Zealand, earthquake from seismic observation: inferences of overpressured fluid involvement, JpGU 2019 Annual Meeting, SCG61-09.

Jacobs, K. and M. Savage, 2019, Velocity changes in Cook Strait following the 2016 Kaikoura Earthquake, in "Abstract Volume: Geosciences 2019, Hamilton, New Zealand. Geoscience Society of New Zealand Miscellaneous Publication 154A", ed. by PJJ. Kamp, and A. Pittari, p 98.

Savage, M.K., K. Graham, Y. Aoki, R. Arnold, T. Okada, Y. Iio, S. Matsumoto, Seismic Anisotropy Measured before and after the 2016 Kumamoto and Kaikoura earthquakes, JpGU 2019 Annual Meeting, SSS05-05.

(11) 令和2年度実施計画の概要：

国際共同研究として、Victoria University of Wellington , GNS Science などと協力しながら現在の解析を進めて地震発生層，余震活動，地殻内不均質構造と大地震発生の関係性を議論していく。  
臨時観測データの整理を進め、震源分布・地震波反射面分布・地震波速度トモグラフィや応力場推定の精緻化を行なう。特に時空間変化の検討を行う。S波スプリットング解析や地震波干渉法解析については、長期間のデータ解析を行なうことで長期変動の様相を明らかにする。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

岡田知己・高木涼太(東北大学大学院理学研究科)

他機関との共同研究の有無:有

飯尾能久(京都大学)、松本聡(九州大学)、Richard H Sibson 名誉教授(オタゴ大学)

Stephen Bannister 研究員(GNS Science)、Martha K Savage 教授(ビクトリア大学ウェリントン)、

Jarg Pettinga 教授(カンタバリー大学)、Clifford H Thurber 教授(ウィスコンシン大学マディソン校)

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名:東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

電話:022-225-1950

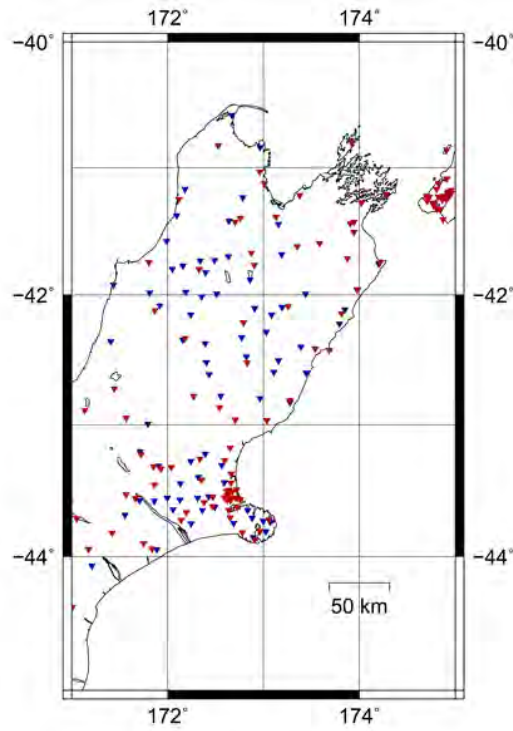
e-mail: zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL: www.aob.gp.tohoku.ac.jp

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名:岡田知己

所属:東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター



観測点分布  
 赤：定常観測点  
 青：臨時観測点

図1 . ニュージーランド南島に展開されている地震観測点。  
 青が本研究で展開されている観測点位置を示す。

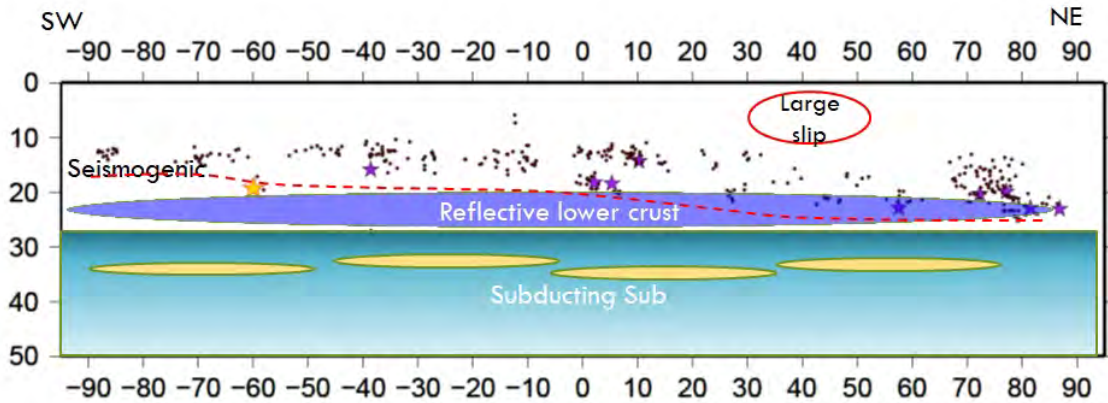


図2 . カイコウラ地震余震の走向方向での震源，反射体を示した模式図。  
 は本震の破壊開始点。

Cross-section (h): Murchison, Hypocenter of the 2016 Kaikoura earthquake (r5)

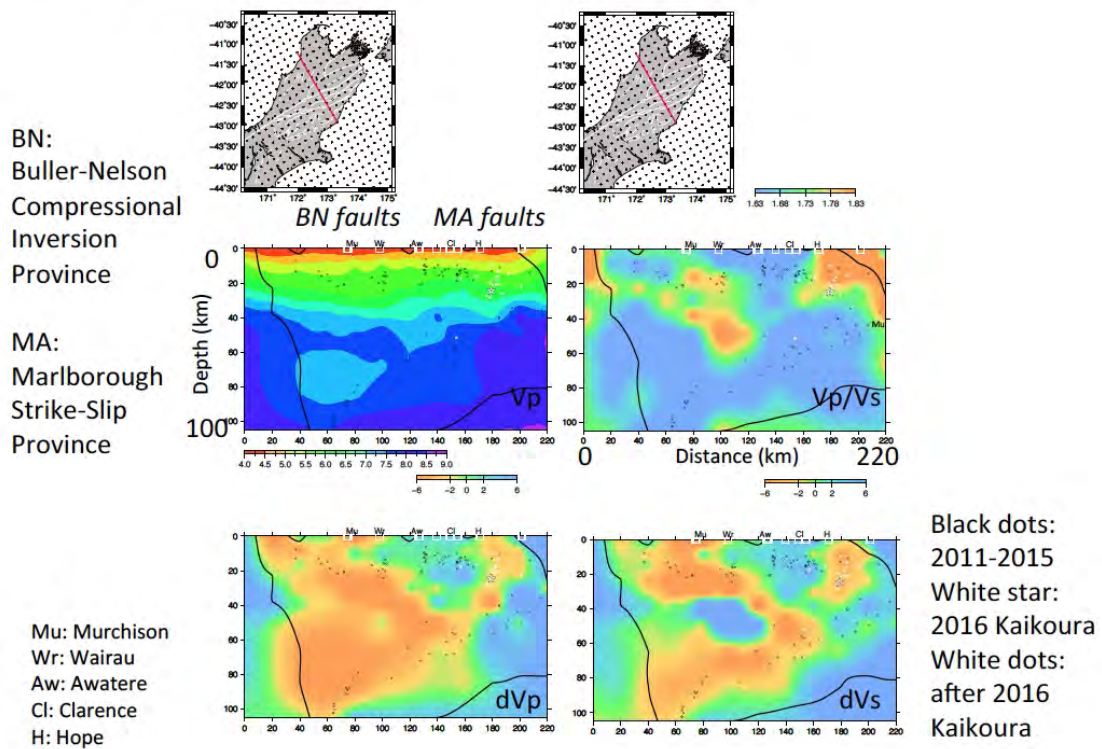


図3 . ニュージーランド南島北部の地震波速度構造の島弧横断方向鉛直断面図 ( Okada et al., 2019a )  
 ( 左上 )  $V_p$  (km/s) ( 右上 )  $V_p/V_s$  ( 左下 )  $dV_p$  (%) ( 右下 )  $dV_s$  (%) . 黒点はカイコウラ地震発生前, 白 はカイ  
 コウラ地震, 白点はカイコウラ地震後の地震 ( 余震 ) を示す。黒線の内部は信頼性の高い領域を示す。

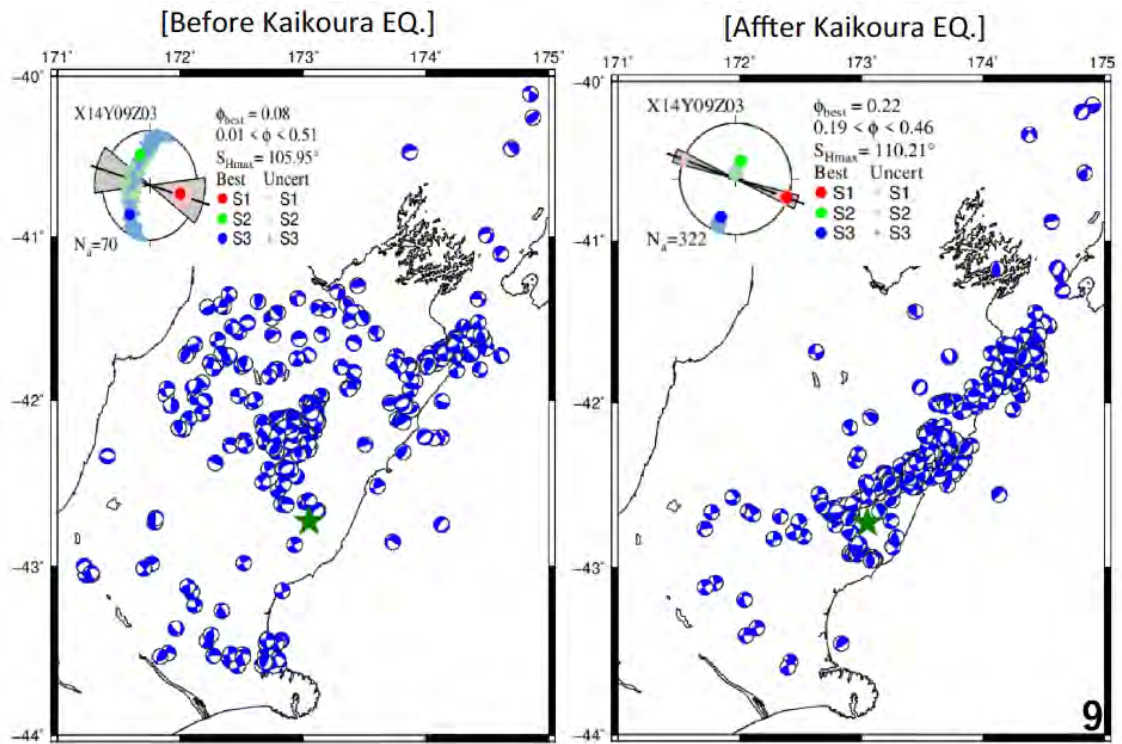


図4 . ニュージーランド南島北部のメカニズム解と応力テンソルインバージョン結果 ( Matsuno et al., 2019 )  
 左図は , カイコウラ地震発生前 , 右図はカイコウラ地震発生後の結果を示す .



( 1 ) 実施機関名：

東北大学理学研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

流体の寄与に注目した地震断層すべり物理モデルの高度化

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

課題番号：1204，課題名：地震断層すべり物理モデルの構築

断層の成長の特徴を抽出し、大きな断層も小さな断層も3階層程度の入れ子構造を持つことを示した。また、地震発生域近傍の比抵抗構造を調べ、いずれも地震はやや高比抵抗の領域で発生するものの、その直下に低比抵抗の領域が存在していることが多いことを示した。

2011年東北地方太平洋沖地震後に発生した山形-福島県境付近の群発地震活動を丹念に調べ、カルデラの周りで地震波反射面が分布していることを明らかにした。これはカルデラ壁に沿って流体が存在している可能性を示す。また、この群発地震活動は深部から浅部に向かってマイグレーションしており、活動の様々なパラメータが活動開始から50日くらいまで異常な値を取り、それ以降は普通の値に落ち着くことを明らかにした。このことは、群発地震活動の初期の活動は間隙圧増加による強度低下によって生じていることを強く示唆する。

実験に基づき、塩水の比誘電率を定式化し、これにより、石英等が析出しやすい条件を明らかにすることができた。実際に実験により、石英の溶解や析出によるシールを再現することに成功した。また、下部地殻の条件下で、水があると強度が下がって変形が進み、さらに水が入って変形しやすくなることを明らかにした。さらに、沈み込んだスラブから島弧地殻へと水が供給される過程における、前弧側マントルウェッジ内での水の存在形態の候補も示した。

以上のように、流体と地震の関係が様々な観点から検証されたことにより、少なくとも群発地震は流体の急激な上昇によって発生した可能性が高いことが明らかになり、また、下部地殻の剪断帯に水が入り込むと、ますます変形が進みさらに水が入り込むという正のフィードバックが働くことから、



水が存在すると強度が低下するのみならず、応力・歪が集中していくことも明らかになった。これにより、断層スケールでも、比抵抗分布等から水の存在範囲を調べることにより、地震の発生しやすい場所をあらかじめ特定できる可能性があり、それによって災害軽減に貢献できる可能性があることがわかった。

(7) 本課題の5か年の到達目標：

流体が深部に局所的に豊富に存在していると、そこで歪速度が上昇しやすくなり、その浅部に応力・歪が集中しやすくなると考えられる。また、断層中に流体があれば、間隙圧が上昇して強度が低下すると考えられる。このように流体は地震発生に大きくかかわっていると考えられていたが、多くは定性的な理解にとどまり、定量的な理解が進んだのはごく最近のことである。このような定量的な検討から、地震発生域では差応力が小さく、断層の強度がこれまで考えられていた値の1/10程度と極めて低いことが次第に明らかになって来ており、その原因としてはやはり断層の中の流体の可能性が一番高いと考えられている。しかし、その流体が断層に及ぼす影響や流体の存在形態はまだ必ずしもよくわかっていない。このような問題意識のもと、下記のサブテーマを実施し、これらを統合することにより、特に流体の寄与に注目して地震断層すべり物理モデルの高度化を目指す。

1) 応力・強度推定手法の高度化と強度低下原因の解明

地震断層すべりの理解の上で応力と強度を正しく把握することが重要である。応力については主応力の方向と応力比の情報に加えて、大地震やかぶり圧の影響を正しく評価することにより、差応力の大きさについても情報が得られつつある。今後、高精度・多量の震源分布と発震機構解を利用し、小規模な地形や中規模地震が応力場に与える影響から、差応力の大きさの分布を高精度で推定することを目指す。さらに地震の振幅情報も用いて、発震機構解と応力場と観測点補正值を同時に推定する新しい手法を開発する。また、大地震による構造の時空間変化を推定し、それと地震活動や応力の時空間変化と比較することにより、地震活動に対する流体の寄与についてより詳細に明らかにする。

2) 摩擦強度の環境依存性の解明

速度・状態依存摩擦則の微視的過程は真実接点における圧力溶解クリープであり、その振る舞いは雰囲気中の水蒸気量に依存することが最近の実験で示されている。一方、摩擦すべりに伴って局所的な脆性破壊(AE)が発生することや、脆性破壊強度が雰囲気中の水蒸気量に依存することは知られているが、これらが複合して摩擦の振る舞いにどのような影響を与えているのかは調べられていない。本サブテーマでは水蒸気量を制御した雰囲気中で摩擦実験を行い、摩擦の振る舞いとAE活動の関係を調べることで、脆性破壊の水蒸気量依存性が摩擦強度の環境依存性に及ぼす影響を明らかにする。この成果は微小地震活動モニタリングに基づくプレート境界の摩擦特性の推定や固着状態の評価にも貢献し得る。

3) 実験・数値シミュレーション・野外観察に基づく岩石-水相互作用の解明

地殻流体が地震の発生に強く関与していることが指摘されているが、地震に関与する地殻流体の物理化学的性質および動的挙動についての知識は希薄である。特に地震発生帯やその直下での温度・圧力条件での地殻流体の基本的性質についての理解が進んでおらず、状態方程式、化学反応性、流体分子構造、輸送現象の解析などが未整備の状態である。本サブテーマでは、地殻流体の熱物理、化学反応、分子構造、輸送現象、破壊現象間の関わりについて先端設備を用いた室内実験や数値シミュレーションにより明らかにするとともに、地上に露出した化石地震発生帯の野外観察どの情報を融合させて、地震発生における地殻流体の役割と振る舞いについての検討を進める。

4) 高温高压状態における地殻流体の存在形態の解明

地球物理学的に観測される地震波速度と電気伝導度から、岩石の粒間に存在する地殻流体の存在量・組成・存在形態を見積るには変数が過剰であり、岩石相など何らかの仮定を置く必要がある。もし流体の化学組成と間隙流体の存在形態・電気比抵抗との間の関係式を新たに与えることができれば、制約条件が増え、流体量などのより正確な推定が可能となる。地殻流体は、有馬型熱水に代表されるようにCO<sub>2</sub>とNaClの濃度が高いと考えられているが、この両成分は、流体の二面角に対して相反する

効果を与え、両者が共存した場合の二面角がどのような挙動を示すかについては殆ど知られていない。そこで、 $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $NaCl$  三成分系の流体と鉱物間の二面角を高温高压実験によって決定する。

#### 5) 下部地殻のレオロジーにおける流体(水・メルト)の効果の解明

地震波トモグラフィや電磁気探査から断層深部延長の下部地殻に流体(水や部分溶融体)の存在が示唆され、流体の存在による歪局所化が断層深部への局所的ローディングを引き起こす可能性が指摘されている。つまり、流体の存在は、断層の強度を低下させるのみならず、断層のローディング機構にも深くかかわっている可能性がある。そこで、下部地殻条件における流体の効果を明らかにするために、実験室において下部地殻の温度圧力を発生することのできる試験機を用いて、下部地殻岩石のレオロジーに及ぼす流体の効果を明らかにする。

### (8) 本課題の5か年計画の概要:

#### 1年目(令和元年度)

##### 1) 応力・強度推定手法の高度化と強度低下原因の解明

2011年東北地方太平洋沖地震後の応力場の時空間変化を追跡し、歪速度場の時空間変化と比較することにより、応力の時空間変化の原因を探る。中規模地震の破壊過程を詳細に調べることにより、強度の不均質性と破壊の不均質性の関係を検討する。ニュージーランド等、海外の応力場と日本の応力場の違いと共通性を検討する。応力場を推定する新たな手法の開発に着手する。

##### 2) 摩擦強度の環境依存性の解明

試料室を外気と隔離できるようにしたロータリー式低速せん断試験機(最大すべり速度は約0.8 mm/s, 法線応力は15 MPaまで)で摩擦すべり実験を行い、水蒸気量が摩擦強度や摩擦のパラメータ、AE活動に及ぼす影響を調べる。現状では、試料室の雰囲気制御は乾燥状態(湿度がほぼ0%), 飽和状態(湿度がほぼ100%), 室内状態の3通りに限られている。初年度は実験を行いつつ、雰囲気制御範囲を広げるよう試験機の改良を行う。

##### 3) 実験・数値シミュレーション・野外観察に基づく岩石-水相互作用の解明

超臨界地殻流体の300-500, 50-1000 MPaでの状態方程式と、その条件での岩石と流体の反応についての状態方程式や熱力学データが全く不足している。特に、地殻流体の平衡計算をする上で重要となる電荷のある溶存種について熱力学データについて、既存のデータには存在しない超臨界、気相領域まで経験的に外挿することを試み、実験によって検証する。

鉱物界面での純水の構造化を調べた実験装置と技術を用いて、 $H_2O$ - $NaCl$ - $CO_2$ の混合流体と鉱物との相互作用および鉱物界面での流体分子を調べる。さらに、既に開発している超臨界条件における真三軸応力発生ならびに水圧破碎装置を用いて、300-500, 50-150 MPa条件での岩石内の3次元き裂の優先流路の形成の時間発展ならびに地殻流体透水性に関する流体流動実験に着手する。また、三波川変成帯、東北地方の花崗岩類と接触変成岩における流体通路(鉱物充填脈)の分布、特性を評価し、沈み込み帯と地殻における流体の物理化学的特性とその動的挙動を調べる。

##### 4) 高温高压状態における地殻流体の存在形態の解明

鉱物の界面エネルギー異方性が比較的小さく、いわゆる組織平衡の状態を想定しやすい、最上部マントルを構成する主要鉱物である橄欖石の、 $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $NaCl$ 三成分系流体との二面角を、ピストンシリンダー装置を用いて1-4 GPa, 900-1200 の条件で実験を行う(高压側では $MgCO_3$ が共存する条件となる)。

##### 5) 下部地殻のレオロジーにおける流体(水・メルト)の効果の解明

下部地殻を構成する鉱物粉末を焼結し人工多結晶体を焼結する。さらに細粒変成岩試料を出発試料として、下部地殻の温度・圧力を発生することのできる変形試験機を用いてこれらの多結晶体の変形実験を行い、下部地殻の変形における流体の効果を調べる。

#### 2-4年目(令和2-4年度)

##### 1) 応力・強度推定手法の高度化と強度低下原因の解明

応力場の推定手法の開発を継続し、実施しやすい地域から随時応力場の推定を行っていく。合わせ

て誤差の評価も行うことにより、差応力の推定範囲を正しく見積もる。顕著な応力変化が見られた地域において地震波干渉法等により構造の時空間変化を推定し、地殻流体と地震発生の関係を明らかにする。また、海外も含めた様々な地域での応力推定結果を比較し、地殻流体の観点から、応力場や強度の地域性の解釈を行う。

#### 2) 摩擦強度の環境依存性の解明

改良された試験機を用いて、より多様な雰囲気中で摩擦の振る舞いと AE 活動の関係を調べることに より、脆性破壊の水蒸気量依存性が摩擦強度の環境依存性に及ぼす影響を明らかにする。

#### 3) 実験・数値シミュレーション・野外観察に基づく岩石-水相互作用の解明

H31 年度に開発された計算コードを用いて、既存の  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2$  系流体中の石英の溶解実験データから、同系流体の誘電率を見積もる。鉱物界面での流体の状態・挙動の実験を継続し、 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2$  の混合流体と鉱物との相互作用および鉱物界面での流体分子を明らかにする。流体流動実験を継続し、岩石内の 3 次元き裂の優先流路の形成の時間発展と地殻流体透水性を明らかにする。さらに、領家変成帯や三波川変成帯における流体通路の調査を継続し、母岩の温度構造と流体の物理化学的特性との関係を明らかにする。

#### 4) 高温高压状態における地殻流体の存在形態の解明

2 年目は橄欖石の実験を継続する。二面角は、鉱物表面の分極度と、流体の分子スケール構造によって決定され、後者の方が前者に比べて、温度圧力条件によって大きく変化すると考えられるため、橄欖石の実験結果を解析することで、他の鉱物と三成分系流体との間の二面角についても、流体組成による変化傾向が推定できる。そこで 3 年目は石英・輝石など地殻を構成する主要構成鉱物と三成分系地殻流体との二面角についての見積りを行う。地殻流体の電気比抵抗と化学組成の関係については、近年、市来らによるモデル化が進んでいるので、以上によって求めた地殻流体組成と流体形状の関係式と併せることで、宮城県北部地域など地震波トモグラフィや MT 法の同時観測が行われている地域について、地殻流体量の再見積りを 4 年目に行う。

#### 5) 下部地殻のレオロジーにおける流体(水・メルト)の効果の解明

人工および天然の変成岩類多結晶体の変形実験を継続し、下部地殻の変形における流体の効果を明らかにする。特に岩石の組成や流体量、実験の温度・圧力・ひずみ速度を制御することで、岩石の強度に対する反応(含水反応)などの効果を定量的に評価し、下部地殻レオロジーに及ぼす流体(水・メルト)の効果を定量的に評価する。

#### 5 年目(令和 5 年度)

各サブテーマにおいて最終的な解析を行い、それらを取りまとめて、流体が断層に及ぼす影響や流体の存在形態を明らかにすることにより、流体の寄与を考慮した新たな地震断層すべり物理モデルを提案する。

### (9) 令和元年度の成果の概要:

#### 1) 応力・強度推定手法の高度化と強度低下原因の解明

地震データの詳細な解析により、小地震でも破壊伝播指向性が見られることが多いことを明らかにした(図 1; Yoshida, 2019)。また、発震機構解の二つの節面のうちどちらが真の断層面であるか判定する上で、破壊伝播指向性が重要な指標となることを示した(Yoshida et al., 2019)。日本列島内陸域で発生した地震の応力降下量・破壊伝播指向性の空間分布を求めた結果、破壊伝播指向性を考慮しないと応力降下量を過小評価してしまうこと、また応力降下量は深さや歪速度と正の相関があることを発見した。

鳥取県西部地震域の余震メカニズム解について、ベイズ統計における棄却サンプリング法を用いて定量的な誤差推定を行い、広域応力場に対する各余震の Misfit 角を推定し、応力場の不均質性に関する評価を行った。また箱根カルデラ内において 2019 年 5 月に発生した群発地震活動について高精度震源決定並びに地震検出を行った結果、震源はほぼ鉛直な面上に集中し、前駆的な比較的ゆっくりとした震源移動から、拡散的により高速度で移動する地震活動に変遷する過程が明らかになった(図 2)。

こうした震源移動様式は、断層帯内での流体圧の拡散様式の変化、もしくは高圧流体に励起された非地震性すべりの寄与を示唆している可能性がある。そのほか、深部低周波地震活動と浅部群発地震との時間的な関連性について検証を行い、浅部の活発な地震活動や火山性地殻変動に先行し、低周波地震の活発化が起きていることが明らかになった。

地下の流体分布を知る上で地震波速度構造は良い指標である。そこでニュージーランド南島北部において臨時地震観測を行い、地震波速度トモグラフィを実施した (Okada et al., 2019)。その結果、特に P 波速度偏差構造と低電気比抵抗構造との間に、若干の差異はあるものの大局的に良い相関が見られた (図 3)。低地震波速度・低電気比抵抗領域は流体を多く含む領域であると考えられる。

## 2) 摩擦強度の環境依存性の解明

試料室を外気と隔離できるようにした現有のロータリー式低速せん断試験機を用いて水蒸気量をコントロールして摩擦すべり実験を予定であったが、試験機制御盤において経年劣化による動作不良が生じて、信頼性のあるデータが得られるような安定した実験ができなかった。基板のクリーニング・修理等、様々な対処を行ったが回復に至らなかったため、既存の試験機制御盤をあきらめ、PC による制御に移行する準備を開始した。

## 3) 実験・数値シミュレーション・野外観察に基づく岩石-水相互作用の解明

図 6 でしめしたような高温・真三軸条件下での超臨界水圧破碎実験を行い、大きな 1 枚亀裂が形成する低温の水圧破碎とは異なり、差応力下でも等方的にクラウド状の細かい亀裂ネットワークが形成することを見出した (図 4; Watanabe et al., 2019)。また、AE シグナルも超臨界では群発的に起こることがわかった。また、これは、岩石の脆性 - 延性遷移などの力学的性質に依存するのではなく、水の状態が気相的になるためであることを明らかにした。このような高温地殻における短期間の超臨界流体の流入現象は、天然の花崗岩体や南極の下部・中部地殻の岩体で確認され (Nohara et al., 2019)、反応帯を用いたタイムスケールの解析を進めている。

また、超臨界条件からのフラッシング実験により、地震時に断層内で減圧が起こることにより、ナノからマイクロスケールのアモルファス粒子が瞬時に発生すること、また、それが短期間で石英へと変化することを明らかにした (Amagai et al., 2019)。

## 4) 高温高圧状態における地殻流体の存在形態の解明

地殻のレオロジーや地震の発生に対して重要役割を果たす流体が、沈み込み帯でどのように供給されるかを調べるため、 $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $NaCl$  三成分系の沈み込み流体と楔形マン托ルの主要構成鉱物であるカンラン石間の二面角を決定する高温高圧実験を行い、 $H_2O$  -  $NaCl$  系流体についての論文を公表した (Huang et al., 2019)。二面角を引き下げる  $NaCl$  の効果は極めて大きく、わずか数 wt % の塩濃度でも、楔形マン托ルの広い領域をカバーする温度圧力条件において、二面角は連結閾値である  $60^\circ$  を有意に下回ることがわかった。

沈み込み流体が、蛇紋岩として固定される前弧域と、マン托ルを融解させる領域の間にはマン托ル岩の粒間に流体が共存する領域があり、その上部には、近年、前弧下部地殻付近で発見されている高電気伝導度帯が位置している (図 5)。沈み込んだ流体がマン托ルを浸透して前弧域に直接抜けていると考え、この高電気伝導度帯が形成される原因と、沈み込み帯への流体の流入フラックスと放出フラックスが合わない「Missing fluid」問題に対する一つの解答も得られる。

## 5) 下部地殻のレオロジーにおける流体 (水・メルト) の効果の解明

下部地殻を構成する主要構成鉱物である斜長石多結晶の塑性流動強度に及ぼす水の効果を明らかにするために、無水の人工アノサイト多結晶に、最大 0.5 wt% の水を導入させながら流動特性を調べた過去の実験結果について再検討を行った。剪断ひずみ速度と流動応力から、見かけの粘性率 (剪断応力/剪断ひずみ速度) を計算してみたところ、試料に加えた含水量が増えるほど、粘性率が下がることわかった (図 6)。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

Amagai, T., A. Okamoto, T. Niibe, N. Hirano, K. Motomiya, and N. Tsuchiya, 2019, Silica nanoparticles

produced by explosive flash vaporization during earthquakes, *Sci. Rep.*, 9:9738, doi:10.1038/s41598-019-46320-7.

Amanda, F.F., R. Yamada, M. Uno, S. Okumura, and N. Tsuchiya, 2019, Evaluation of caldera hosted geothermal potential during volcanism and magmatism in subduction system, NE Japan, *Geofluids*, 2019:3031586, doi:10.1155/2019/3031586.

Huang, Y., T. Nakatani, M. Nakamura, and C. McCammon, 2019, Saline aqueous fluid circulation in mantle wedge inferred from olivine wetting properties, *Nature Comm.*, 10:5557, doi:10.1038/s41467-019-13513-7.

岩森光・行竹洋平・飯尾能久・中村仁美, 2019, 地殻流体の起源・分布と変動現象, *地学雑誌*, 128, 761-783, doi:10.5026/jgeography.128.761.

Nohara, T., M. Uno, and N. Tsuchiya, 2019, Enhancement of permeability activated by supercritical fluid flow through granite, *Geofluids*, 2019:6053815, doi:10.1155/2019/6053815.

Okada, T., Y. Iio, S. Matsumoto, S. Bannister, S. Ohmi, S. Horiuchi, T. Sato, T. Miura, J. Pettinga, F. Ghisetti, and R.H. Sibson, 2019, Comparative tomography of reverse-slip and strike-slip seismotectonic provinces in the northern South Island, New Zealand, *Tectonophysics*, 765, 172-186, doi:10.1016/j.tecto.2019.03.016.

Watanabe, N., K. Sakaguchi, R. Goto, K. Yamane, T. Ishibashi, Y. Chen, T. Komai, and N. Tsuchiya, 2019, Cloud-fracture networks as a means of accessing superhot geothermal energy, *Sci. Rep.*, 9:939, doi:10.1038/s41598-018-37634-z.

Yoshida, K., 2019, Prevalence of asymmetrical rupture in small earthquakes and its effect on the estimation of stress drop: A systematic investigation in inland Japan, *Geosci. Lett.*, 6:16, doi:10.1186/s40562-019-0145-z.

Yoshida, K., T. Saito, K. Emoto, Y. Urata, and D. Sato, 2019, Rupture directivity, stress drop and hypocenter migration of small- and moderate-sized earthquakes in the Yamagata-Fukushima border swarm triggered by the upward pore pressure migration after the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Tectonophysics*, 769:228184, doi:10.1016/j.tecto.2019.228184.

Yukutake, Y., Y. Abe, and R. Doke, 2019, Deep low-frequency earthquakes beneath the Hakone volcano, central Japan, and their relation to volcanic activity, *Geophys. Res. Lett.*, 46, 11035-11043, doi:10.1029/2019GL084357.

## (11) 令和2年度実施計画の概要:

### 1) 応力・強度推定手法の高度化と強度低下原因の解明

微小地震の震源移動を用いて、地殻断層での非地震過程について情報抽出する。震源域近傍の地震波速度・減衰特性を求め、その時空間変化を調べる。群発地震の震源移動現象について、高压流体及び非地震性滑りとの関係について検証を進める。群発地震の発生域と地殻構造との関係について調査を進める。ニュージーランドや国内の臨時地震観測を活用し、地震の震源域周辺での地震波速度構造・応力場等を推定する。また、S波の後続波には局在化した流体だまりからの反射波が確認できるため、反射波の原因となる反射面やその内部構造の推定を行なう。地震波干渉法解析により、沈み込み帯浅部におけるS波速度構造やS波異方性を推定し、そこで発生する地震と流体と応力との関係を検討する。

### 2) 摩擦強度の環境依存性の解明

ロータリー式低速せん断試験機をPCで制御を行うためのプログラムの開発および電気回路の作成を行う。また水蒸気量を安定にコントロールするための改良を進める。

### 3) 実験・数値シミュレーション・野外観察に基づく岩石-水相互作用の解明

天然の中下部地殻に存在する反応帯の元素プロファイルを解析することにより、亀裂の形成に伴う短期的な浸透率の増大とイベントのタイムスケールを明らかにする。水熱実験により、流体流動場におけるシリカ粒子の形成とそれによる亀裂閉塞が断層の水理学的・力学的挙動に与える影響を実験的

に明らかにする。

#### 4) 高温高压状態における地殻流体の存在形態の解明

H<sub>2</sub>O - CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O - CO<sub>2</sub> - NaCl 系の二面角測定実験もほぼ終わっているため、それに関する論文を投稿し、楔形マントルにおける粒間流体形状の全体像を得る。また流体を粒間を含むカンラン石多結晶体の電気比抵抗を高温高压下で測定する実験を完成させ、論文として投稿する。

#### 5) 下部地殻のレオロジーにおける流体(水・メルト)の効果の解明

天然の斜長石結晶を使うことで wet 多結晶体を合成し、水およびメルトの存在による強度の変化を調べる。

#### (12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

中村美千彦・武藤潤・矢部康男・岡田知己・吉田圭佑・高木涼太・松澤暢

他機関との共同研究の有無: 有

東北大学環境科学研究科先進社会環境学専攻 土屋範芳・岡本敦

神奈川県温泉地学研究所 行竹洋平

#### (13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 東北大学 大学院理学研究科

電話: 022-225-1950

e-mail: zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL: <http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/>

#### (14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 松澤暢

所属: 東北大学 大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

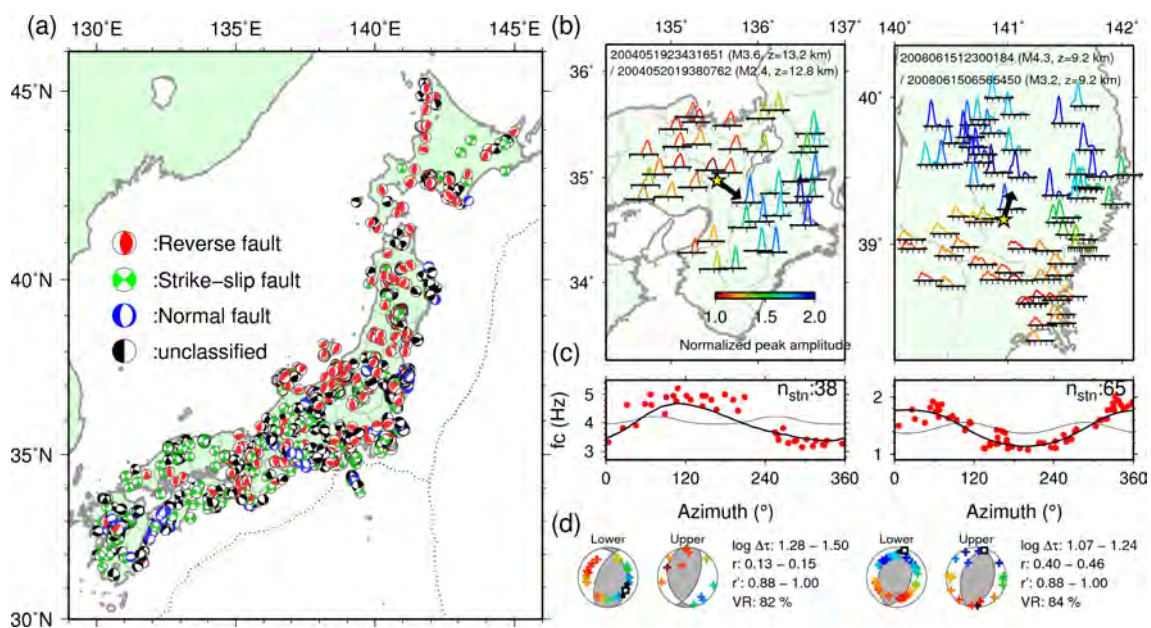


図 1. 日本列島内陸の地震の破壊指向性 (Yoshida, 2019)。

(a) 解析に用いた地震の発震機構解の分布。(b) 見かけの震源時間関数の分布の例。(c) 応力降下量の方位依存性。(d) 最適破壊伝播方向(白四角)、破壊伝播により説明可能な方向依存がよく見える。



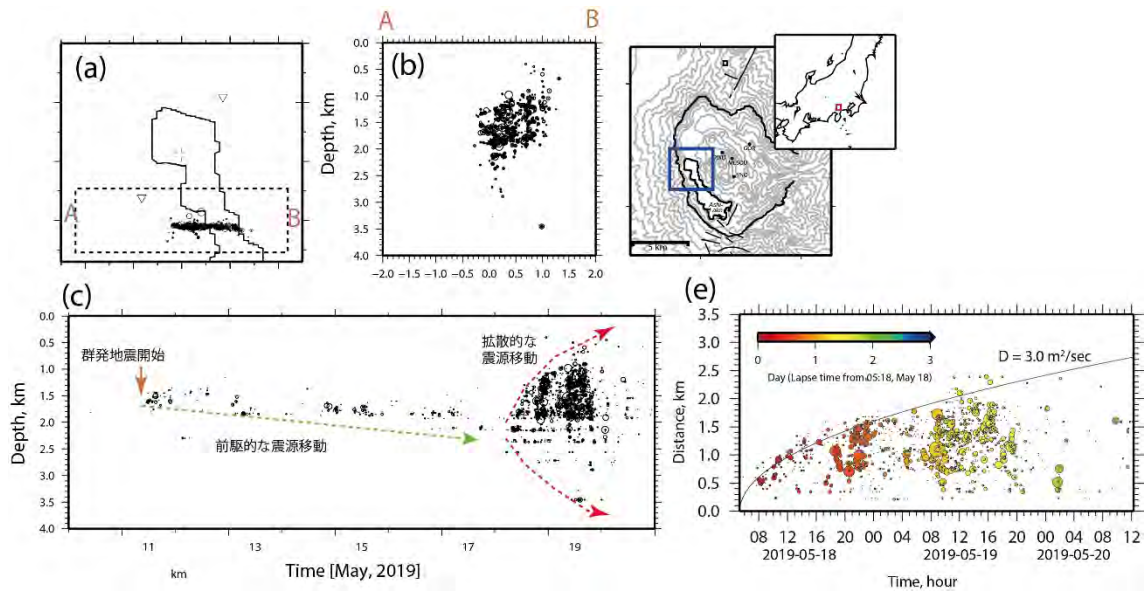


図 2. 2019 年 5 月箱根カルデラ内での群発地震の時間空間分布。

(a) 震央分布、(b) 矩形 A-B に沿った深さ断面、(c) 矩形 A-B における時間 震源深さとの関係、(d) 5 月 18 日未明から始まった拡散的な震源移動現象における、時間 初期イベントからの距離との関係。

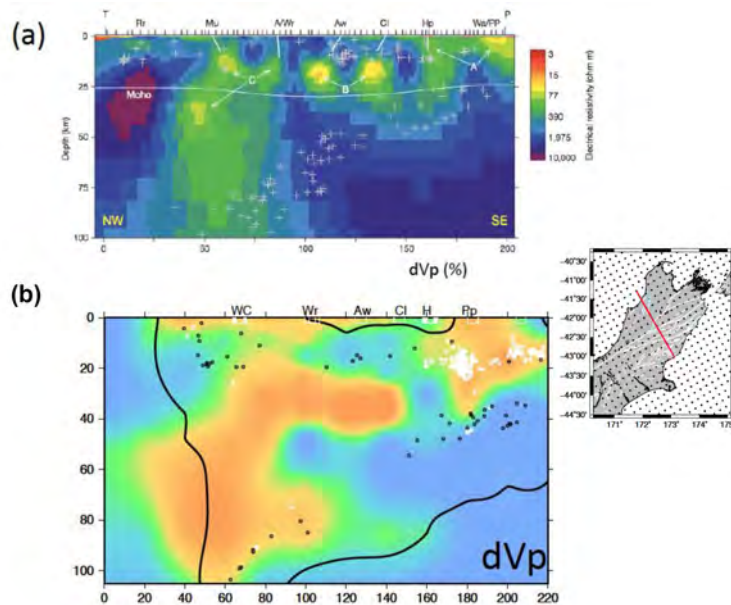


図 3. ニュージーランド南島北部における (a) 比抵抗構造 (Wannamaker et al., 2009) と (b) 地震波速度 (P 波速度偏差) (Okada et al., 2019) との比較。

図 (b) 内の黒線はチェッカーボードテスト等により 20km 程度以下の分解能を持つと考えられる範囲、黒丸はカイコウラ地震前の地震 (2011 年 3 月-2016 年 11 月 12 日)、白丸はカイコウラ地震後の地震 (余震) の震源分布を表す。図上端の白四角は主な断層の位置を示す (WC: White Creek, Wr: Wairau, Aw: Awatere, Cl: Clarence, H: Hope, Pp: Porter Pass )

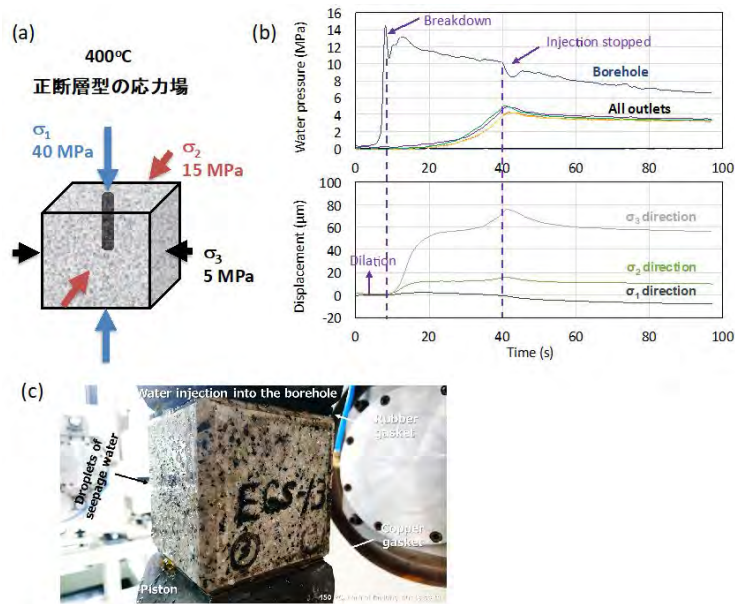


図 4. 高温・真三軸条件下での花崗岩の超臨界水圧破碎実験。  
 (a) 実験条件、(b) 水圧(上図)と変位(下図)の時間変化。(c) 破碎後の「汗かき」花崗岩 (Watanabe et al., 2019 )

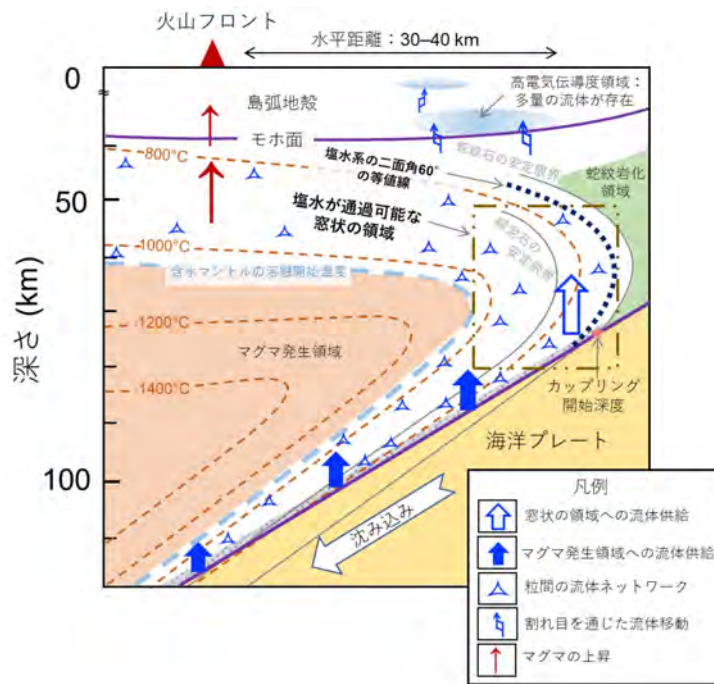


図 5. カンラン石間の二面角を決定する高温高压実験の結果に基づき提案された沈み込み帯の水循環モデル (Huang et al., 2019 )

沈み込んだプレート(スラブ)から放出される塩分を少量含んだ水を主成分とする超臨界流体は、地殻との間の「楔形マントル」のほぼ全域で岩石の粒間に浸透できる。前弧(島弧の海溝側)域の地下には、流体成分が、含水鉱物を形成して固定される海溝付近と、マントルを溶融させてマグマに溶け込む領域の間で、スラブから放出された流体が粒間を浸透して移動できる領域が、窓のように存在すると考えられる。このような流体の移動経路は、前弧のモホ面近傍に電気伝導度の高い領域が形成されることを説明できるとともに、スラブから供給された流体が何処に運ばれるのか、という問題の解決につながる。



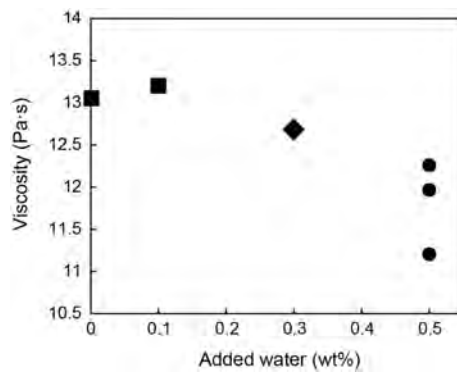


図 6. 無水の人工アノサイト多結晶体に水を導入させたときの応力-剪断歪速度の関係から得られた見かけの粘性率（剪断応力/剪断ひずみ速度）と加えた水の量との関係。

シンボルは、 $\blacksquare$  : Brittle、 $\blacklozenge$  : Semi-brittle、 $\bullet$  : Ductile を示す。脆性変形を起こした左側二つの実験結果については、実際の粘性率はもっと高いと考えられる。

( 1 ) 実施機関名：

東北大学理学研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

噴火発生時刻の即時把握と噴火ダイナミクスの研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

噴火の発生時刻は、山体変形現象や火道内マグマ上昇、爆発過程の理解をする上で最も基本的な情報である。従来、空振観測や映像観測等を用いて発生時刻が測定されていたが、風や雲の影響を受け、必ずしも安定した観測ができていたわけではない。本研究は、電荷した噴出物が大気中に放出されたことにより擾乱を受ける空中電位を測定することにより、噴火の発生時刻の測定を行う。また、空振計小アレー観測も行い、到来方向等の情報を抽出することにより、噴火発生時の検知率をあげる。噴火に伴う山体変形や地震波形の解析も合わせて行い、噴火のダイナミクスの解明を進める。また、噴火発生時の即時把握法の開発も試みる。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

1980年代に空中電位の観測例がある桜島や諏訪之瀬島など噴火が繰り返し発生している火山を第一のターゲットとする(1-2年目)。また、近い内に噴火発生が予想される浅間山、草津白根山、十勝岳などにも計測器を展開する(3-5年目)。噴火起源の擾乱であるか判断できるよう、火口近傍、山麓、やや離れた遠方に、空中電位計を設置し、常時観測を行う。また、火道内現象との因果関係を知るため、内1点には地震計や空振計も合わせて設置する。噴火に伴い現れる空中電位波形の把握やノイズの特性把握を進める。また、定常観測網のデータも利用しながら、噴火直前の地震発生源や空振発生源の位置や発生時間と噴出物が火口から放出される時間を比較することにより、火道内のダイナミクスの理解を進める。

令和1年度(平成31年度)は爆発的噴火が発生する桜島において、空中電位信号を効果的に記録できるよう、火口からの距離をいくつか変えて観測を行い、観測点場所を選択する。また、空振計アレーを設置し、到来方向や微弱な噴火信号の検知アルゴリズムを構築する。その知見をもとに、令和2年度は諏訪之瀬島、令和3年度は浅間山、令和4年度は草津白根山、令和5年度は十勝岳に設置する。

観測を開始した火山においては、空中電位信号や空振波の発現時刻と火口映像記録を比較するとともに、噴火発生検知のアルゴリズムを開発し、噴火発生の自動検知システムの構築を進める。また、噴火規模や様式と空中電位の発現や波形の特徴を調べる。また、空中電位の発現時刻を火口底からの噴出開始時刻とし、爆発地震の発震時や震源深度、発生メカニズム、山体変形を及ぼす圧力源の時空間分布との関係を調べる。これらの観測量と火道およびマグマ溜まり内の火山性流体モデルの比較を行い、噴火発生機構を明らかにする。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

桜島において、2019年11月末に空中電位計、空振計、短周期地震計の観測を開始した。南岳火口から水平距離約2.7km、地上距離約2.9kmのハルタ山に設置した。気象庁鹿児島地方気象台がホームページで報告する火山噴火リストに基づき、1月中旬までに記録された約70の爆発(Ex)と約30の噴火(Er、爆発を除く噴煙量が中量以上の噴火)について、空中電位や空振、地震の発現の有無および信号着信時を調べた。顕著な空振及び地震が記録される際にExとなるので、ハルタ山に設置した臨時点においてもほぼ100%、顕著な信号が記録されたのに対し、空中電位計は約75%のExについて数十秒ほどの長周期の信号を記録した。一方、Erについては、約25%の事象にノイズレベルを超えて識別できる空振記録が認められたのに対し、約60%が空中電位計に記録されていた。このように、空振計だけでなく、空中電位計もあわせて火山周辺に展開することにより、噴火発生の検知レベルを向上させることができることが明らかとなった。

空中電位の信号は、火口から電荷した火山灰が放出されることにより励起されていると考えられることから、空中電位信号の発現時は噴火発生時刻と考えることができる。また、爆発地震の震源を火口下の深さ数km下と仮定すると、ハルタ山の爆発地震の着信時の約2秒前に地下マグマの運動が開始されたと推定できる。S/N比のよい約10個の事象について、空振と爆発地震の着信時の差、及び空振と空中電位の着信時の差を調べると、それぞれ約8-9秒と6-8秒と求められた。空中電位波形はゆっくりとした長周期成分のため立ち上がり時刻は必ずしも明瞭に読み取れないが、爆発地震の初動のあとに空中電位波形が励起されているように見える。これらの着信時差は、爆発地震源の深さ、そこから火口までの圧力波の伝播速度、衝撃波伝播過程、火口地形などに関連していると考えられることから定量的考察をさらに進める必要がある。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

令和元年度に取得した桜島のデータの解析を進める。爆発地震の震源決定を行い、火口深部から地表までの圧力波の伝播速度や空振波伝播速度を測定する。これらの結果をもとに、火道内ダイナミクス

や爆発に伴う衝撃波伝播プロセスを調べる。また、火山噴火の発生が期待される火山に、空中電位計や空振計、地震計を設置し観測を開始する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

西村太志、小園誠史

他機関との共同研究の有無 : 有

北海道大学 青山裕

東京大学 大湊隆雄

東京工業大学 神田径

京都大学 井口正人

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東北大学 大学院理学研究科

電話 : 022-225-1950

e-mail : zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL : <http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 西村太志

所属 : 東北大学大学院理学研究科

( 1 ) 実施機関名：

東北大学理学研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

浅部貫入マグマの結晶化速度と噴火挙動の推定手法の開発

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

工. 桜島大規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

課題番号 1205 「岩石組織に基づく火道浅部マグマプロセスの推定手法の開発」

1. 新燃岳 2011 年噴火において、噴火様式の分岐が石基のナノスケール結晶であるナノライトの鉱物組み合わせに記録されていることを見出し、さらに核形成や結晶サイズ分布形成などの結晶化カINETIXSを明らかにした。

2. マイクロライトの粒間マトリクスの化学組成が石基結晶度を正確に反映することを見出し、画像解析よりはるかに迅速で定量的に結晶度が見積もれることを示した。

3. 安山岩質軽石の緩和実験を行い、表面張力による自己圧密によってフォーム状マグマ中にメルトの収縮中心が多数形成され、滴状メルトの間隙に浸透流脱ガス経路が形成されて圧密が起こることを示した。また、表面張力による組織緩和の時間スケールはブルカノ式噴火の時間スケールと対比可能であることが分かった。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

1. 半深成岩が形成されるような低圧高温条件で一定以上の時間が経過すると、マグマの結晶量が増加し、結晶のネットワークが形成されてほぼ流動できない状態となる。そこでマグマの結晶化実験を系統的に進め、火山浅部に貫入したマグマが流動性を失うまでの時間を明らかにする。これにより、新たな貫入が認められなくなってからどれくらいの時間が経過すれば、マグマ噴火の危険性が低下するかを定量的に把握し、噴火警戒レベル引き下げの科学的判断基準の向上にも貢献できるようにする。
2. 火山灰や軽石などの火砕物の帯磁率に基づき、マグマの活動度推移を即時把握する手法を開発する。帯磁率は少量の試料粉末により1分以内で測定することができるため、火山活動推移の即時把握に利用できると考えられる。多様な化学組成、噴出形態の火砕物の帯磁率を測定して全体的傾向を掴むとともに、一連の噴火活動事例における帯磁率の経時変化を調べる。

(8) 本課題の5か年計画の概要：

1. 半深成岩形成実験：貫入マグマの低圧高温の条件は、主に外熱式ガス圧装置を用いて再現する。出発物質には、安山岩質軽石を用いる。平成31年度は温度・圧力・時間などの基本的な条件を系統的に変えた実験を実施し、実験産物の鉱物学的な解析を行って、反応の素過程を考察する。平成32年度は、ハロゲン元素などの反応速度に対する効果や、実験産物の空隙率などを評価したうえで、結果を論文として投稿する。また、天然の溶岩ドームにおいて類似の組織を持つ岩石サンプルを観察し、実験結果との比較を行って、溶岩ドーム形成におけるマグマの結晶化と自爆性との関係を考察し、論文として投稿する。
2. 火砕岩帯磁率の火山活動評価への応用：帯磁率は、試料に含まれる磁鉄鉱の量と磁区サイズに依存するので、たとえば長時間、地下に滞留して析出ラメラが形成された磁鉄鉱を含むマグマや、地下浅部で磁鉄鉱ナノライトの結晶作用が進行したマグマでは、上昇すると考えられる。また、熱水変質により磁鉄鉱が硫化物に変質すると帯磁率はほぼ0となる。すなわち、火山灰の構成粒子の種類や割合、本質マグマの性質などが変化すると、帯磁率も変化することが予想される。これを実用化するため、平成31年度は、霧島火山新燃岳2017~2018年活動時の噴出物について、帯磁率の火山活動評価への有効性を示す論文を投稿する。令和2年度以降は、噴出物の全岩化学組成や斑晶量などについて幅広いサンプルの帯磁率データを収集し、応用可能性を上げた論文を作成する。

(9) 令和元年度の成果の概要：

研究項目 1. マグマの結晶化速度測定について、出発物質として石基結晶がほぼ晶出していない桜島火山1914年大正噴火軽石を用い、低圧高温結晶化実験を開始した。

近年、火山岩の石基中のマイクロライトの間にナノスケールの結晶が見つかり、幅30nm-1 $\mu$ mの結晶がナノライト、直径30nm以下の結晶がウルトラナノライトと定義された(Mujin et al.,2017)。これらの結晶は火道の非常に浅部で晶出すると考えられ、火道浅部での噴火様式の分岐を記録する可能性が示された(Mujin & Nakamura, 2014)。また、これらがマグマの粘性を上昇させることも示唆されている(Di Genova et al.,2017)。このためこれらの結晶の晶出・成長条件を明らかにすることは火山噴火のダイナミクスの理解において重要である。これまでマイクロライトの減圧結晶化実験は数多く行われてきたが(Hammer and Rutherford,2002など)、ナノライトの結晶化実験は行われていない。本研究では火道浅部での減圧結晶化を模擬した低水蒸気圧下での結晶化実験を行い、ナノスケールの結晶の晶出条件を調べた。

実験は試料をガラス管内に封入後電気炉で加熱し、一定時間保持することで行った。温度は800-1000、時間は30分-32時間、圧力は0.07MPa(LVP)及び2-6MPa(HVP)の条件で行った。(図1参照)

磁鉄鉱と輝石の晶出状況に着目し、組織を次の4つに分類した。(1)マイクロライトが試料全体に晶出した組織、(2)ウルトラナノライトが試料全体に晶出した組織、(3)(1)と(2)の中間的な組織、(4)試料中に不均質に高結晶度領域が存在する組織。マイクロライトは2MPa、30分で晶出が確認できた。ウルトラナノライトは800、LVP条件のみで晶出し、2時間後から晶出が確認できた。ウルトラナノライトの晶出には低水蒸気圧で、かつ温度もやや低下した非常に大きい過冷却度を要すると考えら

れる。輝石ナノライトが全試料で観察されたのに対し、磁鉄鉱ナノライトは1000 HVPでは観察されなかった。このため、磁鉄鉱は輝石に比べてより過冷却度の大きい環境で晶出しやすいと考えられる。これらの結果により、火道浅部においてマグマが経験した圧力、温度、及び定置時間を制約できる可能性がある。またこれまでの観察で、桜島火山の2013年及び1978年のブルカノ式噴火の試料において、(4)以外は同様の組織が観察された。

また研究項目2．火砕物の帯磁率の利用方法の確立について、新燃岳2017年10月11-16日および2018年3月1-8日、4月5日、5月16日の噴出物の帯磁率測定をBartington社MS2GセンサーとMS3meterを用いて行い、実体顕微鏡観察・電子顕微鏡観察との比較を行った。その結果、熱水変質や高温酸化した異質・類質火山灰からなる噴出物では帯磁率が $4 \mu \text{ m}^3/\text{kg}$ 程度なのに対し、本質火山灰では $>10 \mu \text{ m}^3/\text{kg}$ となり、火山活動の活発化によって本質物質の量比が増大する傾向を、帯磁率によって迅速に捉えることができることがわかった。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
なし

(11) 令和2年度実施計画の概要：

霧島火山2011年度噴火の多様な噴火形態による噴出物について、石基の結晶作用をサブミクロンスケールで詳細に分析し、噴火様式の分岐点と結晶作用の関係を明らかにするとともに、石基のナノスケール結晶作用自体が噴火様式に与えた影響を考察する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

地学専攻 中村美千彦

地学専攻 無盡 真弓

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学 大学院理学研究科

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：中村美千彦

所属：東北大学理学研究科

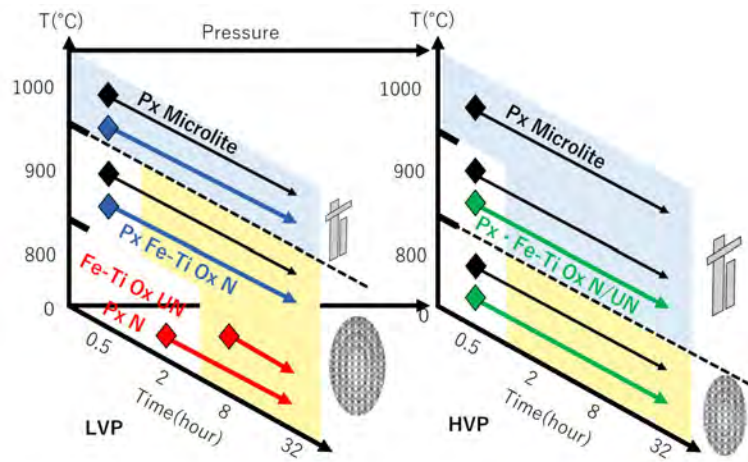


図1 . 火道浅部を模擬した減圧結晶化実験で明らかになった、結晶の晶出温度、圧力、時間の関係



( 1 ) 実施機関名：

東北大学理学研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

世界各地の大地震発生域との比較研究に基づく地震・火山現象の理解

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

オ. 構造共通モデルの構築

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

エ. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

桜島大規模火山噴火

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果 ( または観測実績 ) の概要 :

前建議の「 1.(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明」に係る研究として、東北地方下の詳細な 3 次元地震波速度・減衰・異方性構造を調べ、2011 年東北沖地震を含むプレート境界型大地震の震源分布と地下構造との間には顕著な相関が存在することを明らかにした。これにより、プレート境界部の構造不均質の理解に基づいて巨大地震の発生機構を解明し、その発生域を予測できる可能性が示された ( 例えば、Zhao et al., 2011, GRL; Liu & Zhao, 2018, Sci. Adv.).

また「 1.(3) 地震・火山噴火の発生場の解明」と「 4.(6) 国際共同研究・国際協力」に関して、中国・韓国・台湾等との共同研究により、東アジア全域における高分解能マントル 3 次元 P 波速度構造を初めて決定し、東アジア地域下のマントル遷移層に停滞している太平洋プレートの上部は巨大なマントルウェッジ ( Big Mantle Wedge, BMW ) となっていることを明らかにした。これにより、アジア東部地域の地震活動と火山活動 ( 長白山, 五大連池, 濟州島など ) は、BMW 内の対流と停滞プレートの深部脱水などのプロセスで統一的に説明できるようになった ( 例えば、Zhao et al., 2009, PEPI; Zhao, D. 2017 PEPI ).

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

世界各地のプレート沈み込み帯における地震波トモグラフィー解析の結果を比較することで、プレート沈み込みに伴う地震発生メカニズムの共通点・多様性を明らかにし、大規模な地震・火山噴火発生場に対する理解を深める。これにより低頻度災害の発生メカニズムに関する知見を効率よく増やすことができ、また国際貢献にも繋がると期待される。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

2019 年度においては、フィリピン沈み込み帯の 3 次元地震波速度構造を求め、地震発生と島弧マグマ生成のメカニズムを調べる。

2020 年度においては、アラスカ沈み込み帯の 3 次元地震波速度構造を求め、地震発生と島弧マグマ生成のメカニズムを調べる。

2021 年度においては、アメリカとカナダの西部にある Cascadia 沈み込み帯の 3 次元地震波速度構造を求め、地震発生と島弧マグマ生成のメカニズムを調べる。

2022 年度においては、アジア大陸東部の 3 次元地震波速度構造を求め、大陸内部の地震発生機構とプレート内部火山の起源を調べる。

2023 年度においては、中国大陸西部の 3 次元地震波速度構造を求め、インドプレートの沈み込みに伴う地震発生メカニズムを調べる。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

フィリピン沈み込み帯の 3 次元 P 波速度と異方性構造について調べた。日本列島に比べて、フィリピン沈み込み帯はより複雑である。この地域では、ユーラシアプレート、オーストラリアプレートとフィリピン海プレートの複雑な相互作用が起こっている。東からフィリピン海プレートがフィリピン海溝に沿って西へ沈み込んでいる。また、西からユーラシアプレートがマニラ海溝に沿って南東方向に沈み込んでいる。この二つのプレートの沈み込み方向の違いによって、フィリピン列島上に南北方向に走る横ずれ型のフィリピン断層が生まれた。また、プレートの沈み込みによって、多くの島弧火山がフィリピン列島上に生成され、頻繁に火山噴火が起こる。フィリピン沈み込み帯の活発な地震・火山活動にもかかわらず、この地域下の 3 次元地殻とマントル構造、特に沈み込んでいるスラブの形状と深さ及びマントルダイナミクスはまだよくわかっていない。本研究で我々は最先端の実体波異方性トモグラフィー法 ( Wang and Zhao, 2013; Zhao et al., 2016 ) を用いて、フィリピン沈み込み帯の初めての 3 次元 P 波異方性トモグラフィーを推定した。深さ 700 km までの 3 次元等方 P 波速度分布と方位異方性・鉛直異方性の構造モデルを求めた ( Fan and Zhao, 2019 )。用いたデータは、国際地震センターの ISC-EHB カタログから集めた本研究領域にある地震観測点 ( 89 点 ) で記録された 3371 個の近地地震からの 29,801 個の P 波走時データと 2938 個の遠地地震からの 21,931 個の P 波走時データである ( 図 1 )。

インバージョンを行った結果、フィリピン地域下の上部マントル(モホ面から深さ 410 km まで)とマントル遷移層(深さ 410-660 km)に高 P 波速度の沈み込んでいるスラブと島弧火山下の低 P 波速度異常体が明瞭に映し出された(図 2)。また、スラブの深い沈み込みによって生じたマントル対流を反映する強い地震波方位異方性と鉛直異方性も検出された(Fan and Zhao, 2019)。これらの結果は、フィリピン地域の地震発生メカニズム、島弧マグマの成因及び沈み込みダイナミクスを考えるには重要な情報だと思われる。

#### 参考文献

Fan, J. and D. Zhao, 2019, P-wave anisotropic tomography of the central and southern Philippines, Phys. Earth Planet. Inter., 286, 154-164.

Wang, J. and D. Zhao, 2013, P-wave tomography for 3-D radial and azimuthal anisotropy of Tohoku and Kyushu subduction zones, Geophys. J. Int., 193, 1166-1181.

Zhao, D., S. Yu and X. Liu, 2016, Seismic anisotropy tomography: New insight into subduction dynamics, Gondwana Res., 33, 24-43.

- ( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Fan, J. and D. Zhao, 2019, P-wave anisotropic tomography of the central and southern Philippines, Phys. Earth Planet. Inter., 286, 154-164.

- ( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要：

アラスカ大学地震観測網と最近アラスカ地域に設置された USArray 臨時地震観測網で記録された近地震と遠地震の走時データを用いてアラスカ沈み込み帯の 3 次元地震波速度と異方性構造を求め、地震発生と島弧マグマ生成のメカニズムを調べる。

- ( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

趙大鵬

豊国源知

片山悠

他機関との共同研究の有無：有

中国南京大学、中国科学院、中国地震局、吉林大学、中山大学、西北大学

- ( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学大学院理学研究科

電話：022-225-1950

e-mail：zhao@tohoku.ac.jp

URL：www.aob.gp.tohoku.ac.jp

- ( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：趙 大鵬

所属：東北大学 大学院理学研究科

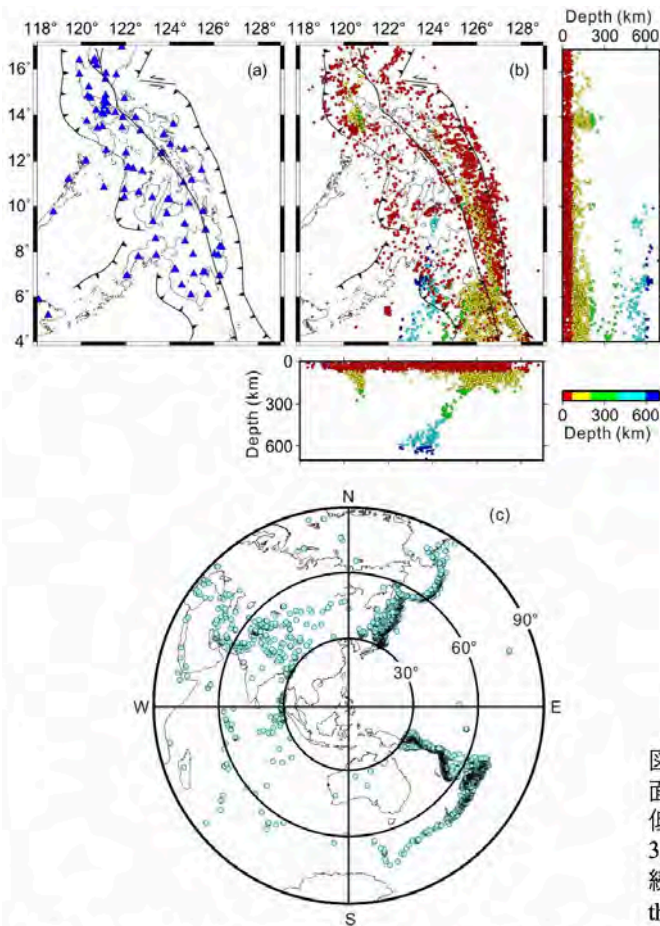


図1. フィリピン沈み込み帯の研究(Fan & Zhao, 2019)に用いた (a) 地震観測点, (b) 近地地震と(c)遠地地震の空間分布. (b)にある色は地震の深さを示す.

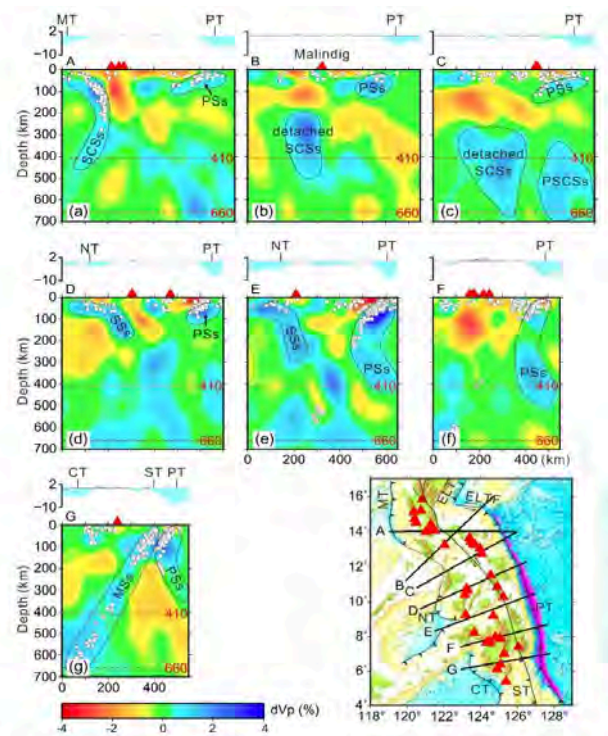


図2. フィリピン沈み込み帯のP波等方速度トモグラフィの断面図 (Fan & Zhao, 2019). 断面の位置は右下の地図に示す. 赤色は低速度, 青色は高速度を示す. 赤三角は火山を, 白丸は各断面から30 km以内の地震(seismicity)を示す. 赤点線は410 kmと660 km不連続面を, 黒点線は推定した沈み込んだスラブの形状を示す. MT, the Manila Trench; PT, the Philippine Trench; NT, the Negros Trench; ST, the Sangihe Trench; CT, the Cotabato Trench; ELT, the East Luzon Trough; ELTF, the East Luzon Transform Fault; SCSs, the South China Sea slab; PSCSs, the proto South China Sea slab; PSs, the Philippine Sea slab; SSs, the Sulu Sea slab; MSs, the Molucca Sea slab.

( 1 ) 実施機関名：

東北大学理学研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

スラブ内地震の発生メカニズムに関する研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

イ. 地震断層滑りのモデル化

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

首都直下地震

千島海溝沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

従来のスラブ内地震研究は地震波速度不均質構造の推定による地震発生場の研究が中心であったが、平成 26～30 年度にかけては高精度震源決定や断層パラメータの推定により、上面地震の活動度がスラブモホ面付近で高いこと、上面と面間の起震応力場は空間的に大きく変化すること、深発相似地震は既存弱面が再活動して起こりそれらの破壊域が相補的であることなど、地震発生の物理の理解に寄与する成果を得ることができた。また、北西太平洋海域での地震探査によって沈み込む前の海洋地殻第 3 層が速度逆転層を有することを明らかにしたほか、海底圧力観測からはスラブ内地震津波に伴う海底圧力変動の解析によってスラブ内応力中立面の深さを把握できる可能性を示した。室内実験においては、石膏の脱水摩擦変形試験では脱水に伴う強度低下が観測され、脱水過程とクラック周りの水理特性が地震の分布や発生様式をコントロールする可能性を指摘した。さらに、放射光施設でのローソナイト変形実験からは、脱水を伴わない高封圧下でも脆性的な挙動を示すことを明らかにし、脱水前でも地震につながるような不安定すべりを引き起こす可能性があることを指摘した。上面と面間の地

震に対する理解が深まった一方で、下面地震に対する理解が及んでいない。そのため、下面地震活動の実態とその発生メカニズム、下面地震帯深度への含水化メカニズムや含水鉱物の挙動の把握といった基礎研究がスラブ内地震の基本的枠組みを理解するうえで重要である。

(7) 本課題の5か年の到達目標：

本課題は海陸の地震観測と室内実験によって、スラブ内地震の発生する場所、条件、様式、それらのスラブごとの差異といった、スラブ内地震の基本的枠組みの包括的な理解を目指す。海域観測では、日本海溝海側での海底地震観測網で観測された東北地方下の地震を解析することで、沈み込む海洋プレート内に存在しうる断層の広がり の把握を目指す。また、東北地方の二重深発地震面の下面に沿う地震波速度・減衰構造やスラブ内地震の応力降下量、地震波エネルギー放射効率といった断層運動に関する物理量を精査し、上面地震と下面地震との発生要因の相違を明らかにする。さらに、室内実験では、スラブ構成岩石を主として相転移断層形成・脱水脆化・塑性不安定性に伴う断層形成機構を実験的に検証し、温度・圧力・岩石種ごとの主要断層形成機構を把握する。

(8) 本課題の5か年計画の概要：

海域地震観測：アウターライズ正断層地震の断層下端深さの把握を目的とし、1933年昭和三陸地震および2011年宮城県沖地震の震源域直上での海底地震観測網で観測された稍深発地震の解析を行う。解析で用いる稍深発地震震源 - 観測点間波線経路は、余震活動を用いた地震波トモグラフィでは推定が難しい大地震断層の深部側を通るため、仮に破砕や含水化が断層の深部に及んでいれば、それに関連した低速度異常の検知が期待される。平成31、32年度では、1933年地震震源域の海底自然地震観測記録から稍深発地震波の見かけ速度の変化を調べ、波線追跡法を用いて1933年地震断層にかかわる走時異常の下端深さの把握を試みる。平成33、34年度は、2011年地震震源域での地震観測記録について同様の手順を踏んだ解析を行う。ここでの観測点分布は1933年震源域とほぼ同じだが、断層サイズが異なるので検出される走時異常の分布の広がりも異なることが予想される。平成34年度以降は、三陸沖と宮城県沖で得られた結果と既往の地震波速度研究とを総合して比較し、大断層形成にかかわる構造変化の様子を明らかにする。2011、1933年地震震源域での海底観測記録は海洋研究開発機構から提供を受ける。

陸域地震観測：平成31、32年度は、日本列島で発生するスラブ内地震の波形解析により、静的応力降下量や地震波エネルギー放射効率を推定し、震源パラメータに地域変化や深さ変化、規模依存があるかを確認する。また、深発地震の掃除地震活動の抽出も行う。平成33、34年度には、太平洋スラブの下面地震発生場の理解を深めることを目的として、北海道・東北地方で得られた稍深発～深発地震波形を解析する。その際、スラブの違法性を考慮した速度構造、およびS波減衰構造の推定を行うことで、スラブ内不均質構造を明らかにする。平成34年度以降は、一連の解析で得られた結果を総合的に解釈し、上面地震と下面地震との発生要因の相違を明らかにするとともに、スラブ内地震の発生モデルを高度化する。

室内実験：含水鉱物（蛇紋石、緑泥石、ローソナイトなど）の脱水反応やオリビン - スピネル相転移に伴う断層形成機構の把握を目的として、稍深発～深発地震発生域の温度・圧力条件が発生可能な岩石変形試験機（固体圧変形試験装置およびD-DIA型変形試験装置）を用いて高温高圧実験を行う。鉱物種ごとに異なる温度・圧力条件化での摩擦不安定性や降伏強度および不安定すべり時の応力降下量の変化、変形特性を調べる。先の研究成果によりローソナイトは脱水を伴わずとも破壊が生じることが明らかとなり、鉱物種によって異なる変形・破壊特性を示すことが予想された。そこで、平成31年度では、ローソナイトや他の含水鉱物でも同様の実験を行い、脱水前後、どのタイミングで不安定すべりを引き起こすかの検証を行う。平成32～34年度では、間隙水圧を制御したセル（金属ジャケット使用）を開発し、脱水脆性化の有無を調べる。こちらも鉱物種による違いを検討する。平成35年度では、スラブ内に存在する岩石を作成し、多相系での脱水脆性化について検証を行う。また、オリビンスピネル相転移についても、実際のマントルに存在するオリビンを出発物質として用いた相

転移を伴う変形実験を行い、断層形成が起こるか検討をする。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

海域地震観測

太平洋プレート上の S-net 観測点 18 点下の堆積層構造を、自然地震の堆積層基盤 ( 海洋地殻上面 ) PS 変換波を用いて調べた。その結果、基盤変換面の深さは約 330-480 m であったが、地震波エンベロープ波形の振幅に注目すると、北緯 39 度以南の 10 観測点に総じて大振幅の基盤変換相より手前に小振幅の変換相が複数あらわれ、基盤より浅部が多層構造となっていることが示唆された。類似した観測例がプチスポットにおける実施されたレシーバー関数の研究により報告されており、プチスポットマグマが堆積層内にシル状に貫入することによって多層化すると考えられている。すなわち、北緯 39 度以南で堆積層の多層化の傾向を示す観測点が多いことは、1 つのプチスポットの影響範囲が広い、あるいはプチスポットが多数存在するとも解釈可能で、北緯 39 度以北が単層となっていることは南部に比べてプチスポット活動が低調である可能性を示唆する。

2012 年 12 月 7 日にアウターライズ域で発生したスラブ内ダブレット地震の震源モデルを、震源近傍の海底圧力計、遠地震波形、余震分布から推定した。その結果、浅部正断層型地震の断層下端と深部逆断層型地震の断層上端はそれぞれ約 35 km、約 45 km の深さにあり、正断層型地震発生層の下限は 2007 年の宮城県沖アウターライズ正断層地震活動の下限 ( 約 25 km ) に比べ有意に深く、東北沖地震によって正断層型地震の活動する深さが変化したと考えられる。こうした東北沖地震前後での正断層型地震発生層下限の深さ変化を東北沖地震による応力変化で説明するには、正断層型地震が発生する範囲での摩擦係数は大きくとも 0.2 でなければならない。これは、プレート内の断層に沿って間隙流体が深さ 30 - 35 km まで浸透しているために岩石のせん断強度が大幅に低下している可能性を示唆する。曲げ変形によるひずみ速度が遅いプレート内深部では定常的な地震活動が低い、摩擦強度が低下しているために東北沖地震による応力変化で正断層型地震の活動が顕在化したと解釈される。

陸域地震観測

九州下の深さ 30-270 km で発生しているスラブ内地震の震源再決定、メカニズム解の決定を行った。次に得られた震源・メカニズム解の空間変化とこれまでに推定されているスラブモホ面を参考に、スラブ地殻とスラブマンツルの地震に分類した。その結果、地殻内地震は深さ 100 km を越えるとほとんど発生しなくなるのに対し、マンツル地震は深さとともに増加し深さ約 150 km で最も活発になることが明らかになった ( 図 1 )。また地殻内震源の広がりからスラブ地殻の厚さを推定したところ、九州-パラオ海嶺の深部延長上で約 12 km と局所的に厚いことが示唆される ( 図 2 )。年代が 50Ma より古いフィリピン海プレートが沈み込んでいる南九州では、深さ 80-150 km で明瞭な二重深発地震面が形成されており、マンツルの地震はプレート年代が古くなるほど深くまで発生しているという特徴がある。

震源位置とメカニズム解から同一断層面の隣り合うパッチで発生していると解釈できる中部地方下の深さ約 350 km で発生している 2 つの相似地震グループの震源パラメータを推定した ( 2 つのグループ間の距離は 20 km ほど )。その結果、各グループ内の地震では応力降下量はほぼ一定であるのに対し、地震波放射エネルギー効率はグループ内で異なることが明らかになった ( 図 2 )。また、応力降下量は 2 つのグループ同士で 10 倍ほど異なるという特徴がある。これらの結果は、一つの断層面ではその強度はほぼ一定であるが、比較的近い断層であっても強度は断層間で大きく異なること、一方ですべりの動的プロセスは同一断層面上の隣り合うパッチのすべりであっても異なることを強く示唆している。今後は地震のサンプルを増やして解析を進めて行く予定である。

室内実験

冷たい沈み込み帯で発生する 2 重深発地震面の上面地震帯の原因の一つとされるローソナイトの脱水脆性化について、放射光ビームラインでの高温高圧下における変形実験により検証を行った。スラブ内の震源域に相当する温度圧力条件 ( 圧力 3 ~ 6 GPa、温度 300 ~ 800 ) で変形とともに加熱したところ、温度 500 ~ 550 付近で応力降下が起き、回収試料の観察から断層すべりが発生したことがわかった。一方、脱水にともない歪軟化するものの、顕著な応力降下や断層すべりの徴候は確認できな



かった。

オリビーンスピネル相転移に伴う断層形成機構に重要なオリビン初期粒径の効果を明らかにするために天然のシリケイトオリビンよりも低圧で相転移するゲルマニウムオリビンを用いて室内変形実験を行った。固体圧試験機を使って行われた実験（圧力 1.2GPa, 温度 600-700℃）では、先行研究よりも細粒なオリビンを用いたドライ条件下において、先行研究よりも低温ですべりが起きた。また試料の観察から、細粒多結晶は微量の水を含むことが明らかになった。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

R. Azuma, R. Takagi, G. Toyokuni, T. Nakayama, S. Suzuki, M. Sato, N. Uchida, R. Hino, Seafloor sediment thickness below S-net observatories offshore of the east Japan revealed from PS conversion wave at the sedimentary basement, American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, USA, Dec 9-13, 2019.

Kubota, T., R. Hino, D. Inazu, and S. Suzuki, Fault model of the 2012 doublet earthquake, near the up-dip end of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, based on a near-field tsunami: implications for intraplate stress state, *Prog. Earth Planet Sci.*, 6, 67, 2019

Nakajima, J., Revisiting intraslab earthquakes beneath Kyushu, Japan: Effect of ridge subduction on seismogenesis, *J. Geophys. Res.*, 124, 8660-8678, 2019.

Kashiwagi, H. and J. Nakajima, Three-dimensional seismic attenuation structure of central Japan and deep sources of arc magmatism, *Geophys. Res. Lett.*, 46, 13,746-13,755, 2019.

Oikawa, G., N. Aso, and J. Nakajima, Focal mechanisms of deep low-frequency earthquakes beneath Zao volcano, northeast Japan, and its relationship to the 2011 Tohoku earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 46, 7361-7370, 2019.

S. Sawa, J. Muto, H. Nagahama, N. Miyajima, “ Grain size dependency of the olivine-spinel phase transformational faulting mechanism responsible for deep-focus earthquakes ”, Annual Report, Bayerisches Geoinstitut, 2020 in press.

R. Shiraishi, J. Muto, A. Tsunoda, S. Sawa, A. Suzuki, “Rheology and frictional instability of lawsonite in high pressure deformation experiments”, JpGU meeting (May 26-30, Chiba, 2019), poster presentation.

(11) 令和2年度実施計画の概要：

海域地震観測

1933年昭和三陸地震震源域周辺の海底地震計アレイ観測記録から陸域下スラブ内地震の地震波見かけ速度を調べ、アレイ沿いの走時異常から震源断層由来の構造異常の把握を試みる。

陸域地震観測

解析領域及び解析期間を広げ深発相似地震の事例を増やし、震源パラメータを推定する。その空間変化から深発地震の発生モデルを高度化する。

室内実験

ローソナイトの変形実験では、アコースティックエミッション測定なども導入し、不安定化に至るプロセスを明らかにする。ゲルマニウムオリビンに関する実験では、これまで検討を行った粒径に比べ、より粗粒な試料を用いて実験を行い、不安定すべりに対する粒径の効果を明らかにする。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東北大学（松澤暢、日野亮太、内田直希、矢部康夫、鈴木昭夫、武藤潤、白石（益戸）令、東龍介）

他機関との共同研究の有無：有

東京工業大学（中島淳一、麻生尚文）

海洋研究開発機構（小平秀一、尾鼻浩一郎、藤江剛）



(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.aob.geophys.tohoku.ac.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：東龍介

所属：東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター

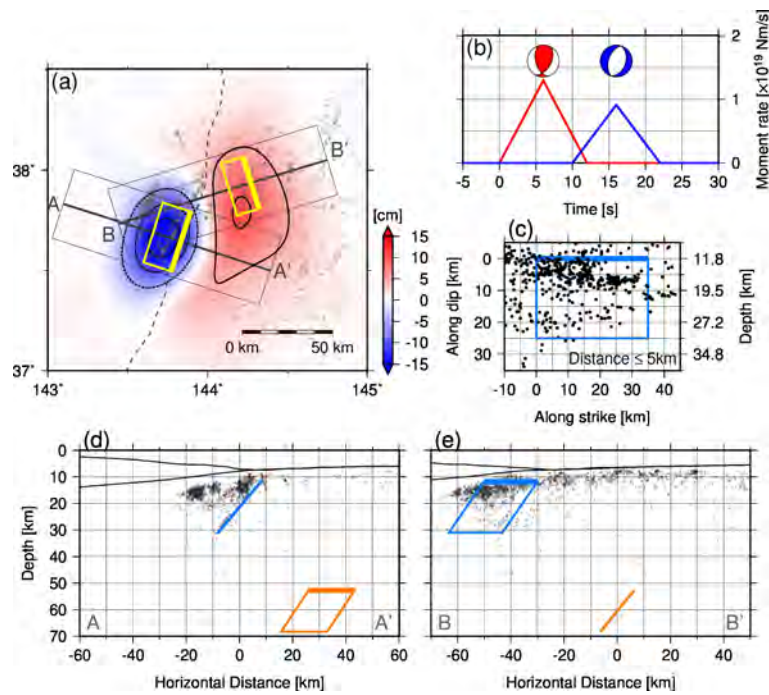


図 1

2012年ダブルット地震の震源断層モデル (Kubota et al., 2019)。(a) 2つのサブイベントの震源断層 (黄色) と、それらから期待される海面変動。(b) 遠地震波形から求めた震源時間関数。(c) 正断層型サブイベントの周辺での余震分布。(d, e) 図 a 中の A-A'、B-B' 測線での鉛直断面図。

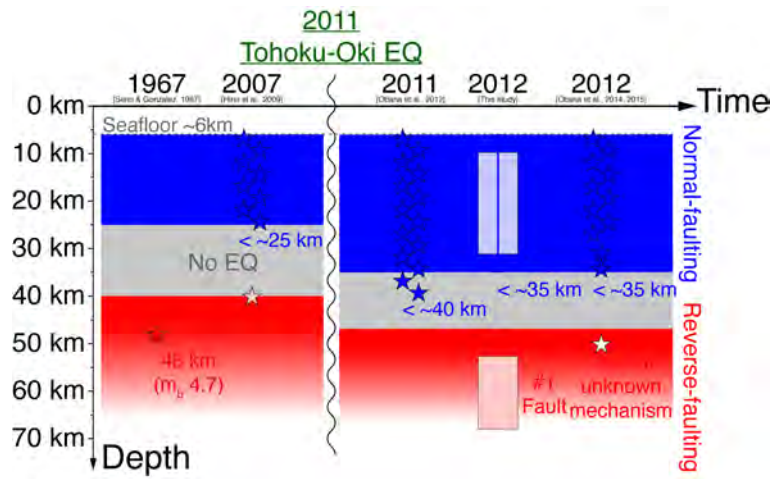


図 2

宮城県沖の沈み込むプレート内における応力深さプロファイルの時間変化の模式図 ( Kubota et al., 2019 )。赤色は深部における水平圧縮応力 ( 逆断層型地震活動 )、青色は浅部における水平引張応力 ( 正断層型地震活動 )。正断層型地震の発生下限深さは 2011 年東北沖地震後に有意に深くなっている。

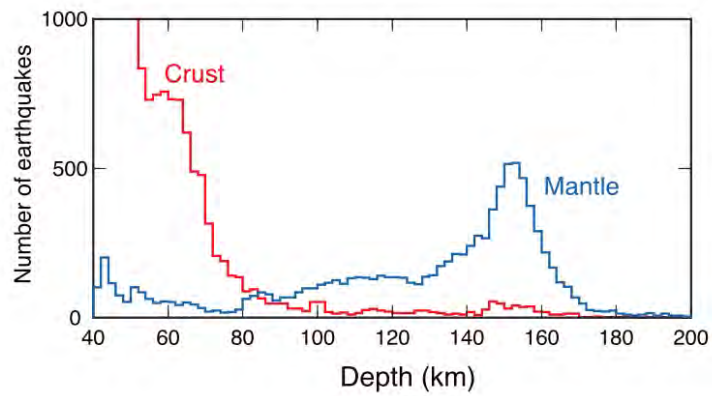


図 3

スラブ地殻 ( 赤 ) とスラブマントル ( 青 ) の地震の深さ頻度分布 ( Nakajima, 2019 )。

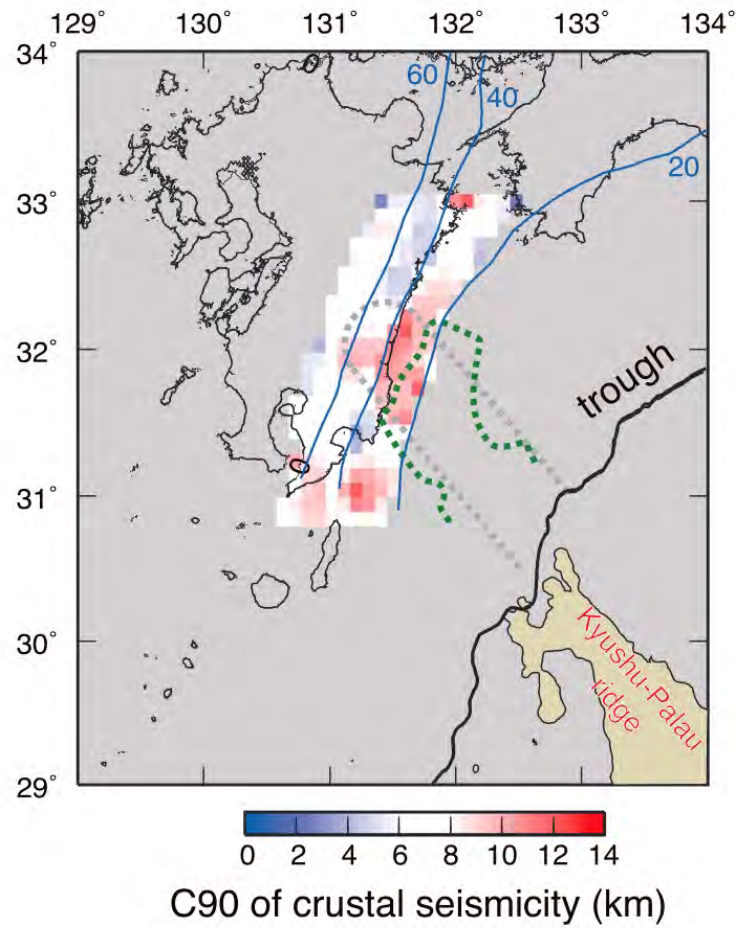


図 4

地殻内地震の分布から推定したスラブ地殻の厚さ ( Nakajima, 2019 )。灰色および緑色の破線は先行研究で推定された九州-パラオ海嶺の深部延長。

( 1 ) 実施機関名：

東北大学理学研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地殻応答による断層への応力載荷過程と断層間相互作用の解明と予測

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

これまでに前計画の課題番号：1203 等の研究により、以下が明らかになっている。

臨時観測データ等を用いた詳細な震源分布や応力テンソルインバージョンなどから、秋田県中部(秋田仙北地震震源域付近)・秋田県北部(森吉山付近)・山形・福島県境付近の群発地震活動が東北沖地震に伴う応力変化や間隙流体圧の変化に伴う強度低下により引き起こされた可能性を指摘した。現計画における目標は概ね達成できたと考え、GNSS 速度場との比較検討を含め、今後引き続き経緯をモニタリングしていく必要がある。

東北地方中北部領域においては、既存のデータを用いて、地震波速度トモグラフィを行い、断層深部や震源域付近に地震波速度低速度域を見いだした。本課題の予備的な成果として、

1) 長町-利府線断層帯および福島盆地西縁断層帯に沿って、上部・下部地殻に地震波速度低速度異常が分布するが、両断層に対して連続的に分布していない。このことは、これまで両断層の連続性が強く指摘されていないことを支持する。

2) 蔵王山や吾妻山の直下の深部低周波地震震源域付近にはマグマ供給系に対応すると考えられる地震波低速度域が存在する。

一方、島弧を横断する 2 次元の比抵抗構造では、奥羽脊梁と背弧側の日本海側に地殻深部から浅部まで鉛直に延びる低比抵抗体が共通して存在する。前弧については福島県南東部(いわき)付近の直下に低比抵抗が存在するが、福島県北部から宮城県南部の沿岸地域下の地殻には低比抵抗体は存在しないといった結果が得られた。

また、仙台平野南部において、反射法地震探査・重力探査を実施し、地震調査委員会による双葉断層帯の北延長に対応する領域で伏在活断層の存在を指摘した。

ただし、現状の観測点分布や測線分布は、地殻上部・浅部の構造を精度良く得るには、密度・配置などが不充分であり、本課題による、より密度の高い観測データを使用し、より詳細な知見を得ることが必要である。

岩石のレオロジーを考慮した東北沖地震の余効変動解析から、余効変動の垂直変動が内陸のレオロジー不均質を反映している可能性を示し、余効変動において岩石レオロジーを考慮する必要があることを示した。しかし、余効変動最初期(地震後5年程度まで)における遷移挙動を決定する力学特性は未だ明らかになっておらず、本研究において引き続き検討を行う。

(7) 本課題の5か年の到達目標:

東北地方、特に東北地方太平洋沖地震が発生した後に地震活動の変化が見られた秋田県を中心とする東北地方中北部領域などの領域で、東北沖地震後のひずみ場、地震活動や応力場・地殻流体の挙動に伴う強度の時間変化をモニタリングし、東北地方の陸域地殻の東北沖地震後約12年間の応答(余効変動)について知見を得る。また、活断層が複雑に分布する宮城県中部～山形県南部～福島県北部における地震活動の理解を深め、複雑な断層系における応力・ひずみ蓄積過程や断層間の相互作用の理解に貢献する。

また余効変動のような遷移的な変形挙動を予測する岩石力学的データは乏しく、余効変動の盛衰を占う余効すべりと粘弾性緩和の定量的な区分は未だ困難である。そこで本研究では、広範な上部マントル温度条件下でのカンラン石試料の応力緩和実験も行い、東北沖地震の余効変動を予測する遷移流動挙動のレオロジー解明を目指す。

(8) 本課題の5か年計画の概要:

1年目: 長期にわたって継続するための測地観測網・地震観測網の整備を行う。

前計画の課題: 1203 や科研費・新学術領域「地殻ダイナミクス」で設置した臨時観測点を再編し、またこれまでオフラインで行ってきた観測をオンライン化する等、長期観測に対応する。さらに、これまで観測・理解が手薄だった領域の強化として、宮城県中部～山形県南部～福島県北部において臨時地震観測網を整備する。それぞれの観測点間隔は、地震発生層の厚さ(約10-20km)を考慮し、約15km程度とし、また既存観測点の配置を考慮し、計約30点の地震観測点を整備する。比抵抗構造探査については、前年度までに整理・統合したデータを利用し、新潟県村上市 福島県相馬市の二次元測線の解析を進める。実験については、既設の実験機材の整備を行う。領域内の断層浅部・深部構造探査等の結果について既往研究の成果・データ等の収集およびコンパイルを行うとともに、機材調整および測線設定と下見を進める。

2年目以降: 測地観測網・地震観測網の整備および比抵抗観測を進める。各項目において整備した観測網や実験装置を利用し、過去に設置した観測点のデータと合わせて、各解析・実験を順次進める。

ひずみ分布やメカニズム解・応力場・地殻流体および強度分布・震源分布・地震活動を精度良く推定しそれらの時空間変化を捉える。

さらに、宮城県中部～山形県南部～福島県北部において臨時地震観測データを活用し、震源分布・応力場・地震波速度構造を精度良く推定する。Matched Filter 法などを用いて、気象庁の一元化処理など定常観測網では検出できない地震活動を抽出する。宮城県・福島県沖の S-net のデータを併用し、沿岸域の地震活動や地殻構造の推定を行う。既往の断層浅部・深部構造探査結果を踏まえ、領域内の断層構造探査を行う。飯豊山や朝日岳周辺で得られている MT データもコンパイルし、宮城県中部～山形県南部～福島県北部の3次元地殻比抵抗構造を高解像度で推定する。得られた地震学的構造と比抵抗構造などの比較を行うとともに、地震活動・ひずみ場や応力場の時空間分布との関係を明らかにする。長町-利府線断層帯と仙台平野南部の伏在活断層を含む双葉断層帯の関係について、それぞれの断層帯の接合部付近(福島県新地町～宮城県山元町)において重力探査を実施する。それぞれの断層帯の端部において断層と直交する方向に複数本の測線を設定する。またそれぞれの断層帯間においても断層の走向と直交する測線を設定し、測定を行うことにより、地下構造の連続性を明らかにする。ま

た、既往反射法地震探査データ等と比較を行う。

得られた観測結果を基に以下の検討を行う。長町-利府線断層帯と福島盆地西縁断層帯の連続性について、検討を行う。長町-利府断層帯と双葉断層帯の関係(連続性の有無)について、検討を行う。福島盆地西縁断層帯と会津盆地東縁・西縁断層帯の関係について、東北中部(岩手山~横手盆地東縁断層帯・北上低地西縁断層帯~栗駒山)で得られている東北脊梁部の構造モデル(いわゆる長谷川モデル)との比較を行う。吾妻山や蔵王山などこの領域に分布する火山の構造と各断層帯との関係について検討を行う。

上記の地震観測による応力やGNSSによるひずみの時空間分布について数値モデルによる余効変動・地殻応答の再現を行う。その際に使用するレオロジー構造モデルを、比抵抗構造や地震波速度構造を考慮し作成する。特に、微細組織を制御した人工カンラン岩試料(多結晶および単結晶)を用いて、地震による応力変化を模したクリープ試験、応力ステップ試験を行い、遷移流動挙動の力学特性を測定する。微細組織観察と力学データの解析と既存のカンラン岩のレオロジーデータを組み合わせ、遷移流動挙動を表現するレオロジーモデルの探求を行い、遷移挙動の素過程解明を行う。

東北沖地震からの時間が経過するにつれて、余効変動はより広域に生じるものと考えられる。東北地方のみならず、より広域の構造モデルも作成し、モデル化を行う。

#### (9) 令和元年度の成果の概要:

##### [ 地震および測地観測 ]

秋田県および宮城県・福島県・山形県において、臨時観測点の整理および新規テレメータ観測点の設置、継続するオフライン観測点の保守作業を行なった。予定のおよそ半数の設置が完了した(図1)。2019年山形県沖の地震に際し、東京大学地震研究所と共同で、臨時地震観測を行なった。山形県沖地震の臨時観測においてはモバイル通信を利用したオンライン観測システムを構築した(平原, 2020)。2019年山形沖で発生したM6.7の地震に伴う震源の高精度決定を定常地震観測網を用いて行った(吉田・他, 2019; 図2)。その結果、余震活動が数枚の面構造に集中し、その震源が深部から浅部へ migration することが分かった(図3)。同様の震源移動は、2017年秋田県大仙市で発生したM5.1の地震や2017年の鹿児島湾のM5.1・M5.3地震の前後にも見られた。これらのことは、地震活動の発生要因として流体移動や非地震性すべりなどが関係していることを示唆する。余震分布の形状は、臨時観測による余震分布(岡田・他, 2019)や測地観測による断層モデル(大野, 2019)と調和的である。

その他、得られた臨時観測のデータを用いて、以下の研究を実施した。山形県・福島県県境付近の群発地震の震源域下のS波反射面の空間分布を推定し、群発地震の震源域下に流体が存在することを示した(Suzuki et al., 2019)。東北地方におけるメカニズム解分布や応力場の再検討を行った(Tagami and Okada, 2020)。東北地方の地殻内地震を用いたS波スプリッティング解析を行なった(水田, 2019)。また、2011年東北地方太平洋沖地震によるプレート境界の繰り返し地震を用いて、プレート境界のゆっくりすべり(東北沖地震の余効すべり)の時空間分布を示すとともに、東北沖地震の余効すべりに伴う繰り返し地震の震源パラメータの時空間変化を見出すとともに、プレート境界の摩擦特性の空間変化との関係を指摘した(Tateiwa et al., 2019; 立岩, 2019)。

本課題で目的とする地震時・後の地殻応答を知る手段として、地震波干渉法が有効である。Hi-netと気象庁の地震観測点で観測された常時微動記録に地震波干渉法に基づく自己相関解析を適用し、2018年北海道胆振東部地震による地震波速度および散乱特性の時間変化を検出した(Ikeda and Takagi, 2019; 図4)。震源域に近い厚真の2観測点においては地震時に3%程度の速度低下、他の観測点では0.1-0.3%程度の速度低下を検出し、地震波速度低下量が強震動による動的ひずみ変化量と相関することを示した。また、自己相関関数の波形変化から、震源域の深さ30km付近における散乱特性変化が変化した可能性を示した。これは地震時の大すべり域付近に位置することから、地震時すべりの応力変化による断層帯やその近傍におけるクラック形成を捉えた可能性がある。

##### [ 電磁気探査 ]

本計画中の比抵抗構造探査は1年目で新潟県村上市 福島県相馬市、他の2次元地殻比抵抗構造解析、

2年目以降に新潟下越から山形県南部、福島県全域の東北南部や秋田県内、宮城県北部と岩手県南部の太平洋側で取得されているデータをコンパイルして3次元的地殻比抵抗構造の解明を進め、地震活動、ひずみ場、断層との空間分布の対応を明らかにすることを目標としている。

1年目の成果は、一部の地域においては2年目以降の計画である各地域の面的なデータコンパイルを行い、岩手県南部から宮城県北部と山形県南部・宮城県南部・新潟県下越・福島県北部を別々に3次元解析まで行った。両結果における前弧側に着目すると、太平洋沿岸の北上帯と阿武隈帯に対応する前弧下は高比抵抗体が推定され、何れもドライな花崗岩体がイメージできた(深井・小川, 2019; 深井・他, 2019; 本山・他, 2019)。阿武隈帯には双葉断層が南北に走っているが、双葉断層に低比抵抗は対応しなかった(本山・他, 2019)。阿武隈帯より北側の宮城県南部に上部地殻に低比抵抗の南北のリニエーションが見え、これは長町-利府断層でなく畑川構造線とトレンドが対応するように見える(本山・他, 2019; Tank・他, 2019)。東北最南部のいわきの群発地震域を含む新潟中越地域から福島南部にかけてのデータのコンパイルと3次元解析については現在も整理を行っている段階である。秋田県内については最も北側の秋田空港から仙北市までの東西測線のMTデータの質が悪いため、MT観測の再測を行ったが、同程度の質のデータしか取れず、周期10秒が解析に堪える限界であった。2次元解析を行ったところ、中新世中期の諏訪山溶岩類が地表に広がる地域直下の深さ5kmを中心とする高比抵抗体が再現され、東北太平洋沖地震後に活発化した微小地震は高比抵抗体の周囲で起こっていることを再確認した。但しこの2次元構造は構造境界の感度が十分でない。最後に2つの比抵抗構造では火山フロントと比抵抗構造に関する知見も得た。上記の岩手県南部から宮城県北部の3次元地殻比抵抗構造において、中部地殻に火山フロントから30kmに渡って東側に低比抵抗体があることが分かり、マントルから供給されている流体が一部は火山フロントを超えて東側へ供給されることが分かった(深井・他, 2019)。また本計画には入っていないが前計画で報告した長周期MTデータの東北地方の全域の東西断面を見直すと、いずれの東西断面でもプレート境界のマントルウェッジ側の比抵抗構造が、丁度深さ70-80kmより浅い側が高抵抗、深い側が高伝導になっていることが分かり、この結果は室内実験による橄欖岩の二面角の実験結果と合致し、火山前線がプレート境界の深さ80kmとほぼ一致することを上手く説明する(市来・他 2019)。

#### [断層浅部構造・重力探査]

次年度(R2年度)以降に仙台平野南部において重力測定を精密に行うために、ラコスト重力計(G-682)の検定を行った。また、研究対象地域の過去の測定結果とも調和的となるように、ラコスト重力計の定数の調整を行った(図5)。

その結果、約0.02mgal以下の測定誤差で測定できていること確認した。仙台平野南部で実施予定の相対重力測定では、0.1mgal以上の精度を目指すため、使用したラコスト重力計の測定精度が充分であることを確認できた。

#### [レオロジーモデル構築]

- ・東北沖地震の余効変動(特に、垂直変動)のモデル化

2011年東北沖地震からこれまで余効変動の論文は数多く提出されているが、我々の生活に直結する垂直変動およびその時系列までを再現したモデルは未だ提出されていない。本研究(Muto et al., 2019)は、本震の大滑り域をとる宮城-山形の2次元側線で、岩石の非線形流動特性および速度状態依存摩擦構成則を考慮することで、現在活発に進んでいる太平洋沿岸部の隆起が、深部の余効すべりによって引き起こされていることを解明した(図6、7)。また粘弾性緩和と余効すべりの相互作用によって沿岸部の沈降回復過程に影響が出ること、相互作用は地震直後の短期間では小さいものの今後時間ともに徐々に大きくなること(図8)を示し、地震によって沈降した沿岸部の隆起過程の予測には岩石の変形特性を検討する必要があることを示した。

- ・中部日本歪集中帯・応力場のモデル化

地温勾配の分布(図9a)から推定した温度構造、水の分布、既存の地質構造を考慮し、東西方向に短縮させることで、中部日本における歪・応力集中過程を再現した。新潟地域のリフト構造(強度の弱い領域)及び飛騨山脈周辺の高温度域を考慮することで、新潟から飛騨山脈周辺までの歪集中帯を再



現した(図9 b)。図9 cに深さ14?での応力場と震源(深さ13-15km)を示す。低応力の延性領域では地震活動は無く、高応力の脆性領域で地震が発生している。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Ikeda, H. and R. Takagi, 2019, Coseismic changes in subsurface structure associated with the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake detected using autocorrelation analysis of ambient seismic noise, *Earth Planets Space*, 71:72, doi:10.1186/s40623-019-1051-5.

岩田貴樹・吉田圭佑・深畑幸俊, 地震学的データを用いた応力インバージョン, *地学雑誌* 128(5) 797-811, 2019

市来 雅啓、海田 俊輝、小川 康雄、2019、A 3-D crust and uppermost mantle electrical conductivity model of subduction zone beneath NE Japan、地球惑星科学連合大会

大野圭太郎, 2019, リアルタイム GNSS による震源断層モデルおよびその不確実性の即時推定に関する研究, 東北大学修士論文(指導教員: 太田雄策)。

岡田知己・酒井慎一・吉田圭佑・内田直希・中山貴史・平原聡・松澤暢・日野亮太・篠原雅尚, 2019, 陸上臨時地震観測で見た 2019 年山形県沖の地震, 2019 年地震学会秋季大会予稿集

Sasajima, R., Shibasaki, B., Iwamori, H. et al., 2019, Mechanism of subsidence of the Northeast Japan fore-arc during the late period of a gigantic earthquake cycle. *Sci Rep* 9, 5726, <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42169-y>

芝崎文一郎, 2019, 不均質レオロジー構造を考慮した中部日本における歪集中と山地形成過程のモデル化, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, SCG61-19.

Tagami, A. and T. Okada, 2020, Distribution of focal mechanisms and trend of stress field in Tohoku district, NE Japan, 5th Hokudan international symposium on active faulting, 2011.

Suzuki, M., A. Hasemi, T. Okada, T. Matsuzawa, N. Umino, T. Nakayama, N. Tsumura, T. Yamashina, Group for the aftershock observations of the 2011 off the Pacific of Tohoku Earthquake, 2019, S-wave reflectors beneath the earthquake swarm in the Yonezawa ? Kitakata area, NE Japan, in " Abstract Volume: Geosciences 2019, Hamilton, New Zealand. Geoscience Society of New Zealand Miscellaneous Publication 154A " , ed. by PJJ. Kamp, and A. Pittari.

Tateiwa, K., T. Okada, T. Kono, N. Uchida, 2019, Spatiotemporal change of source parameters of repeaters due to the afterslip of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, NE Japan, in " Abstract Volume: Geosciences 2019, Hamilton, New Zealand. Geoscience Society of New Zealand Miscellaneous Publication 154A " , ed. by PJJ. Kamp, and A. Pittari.

立岩和也, 2019, 2011 年東北地方太平洋沖地震による繰り返し地震の震源パラメータ変化, 東北大学修士論文(指導教員: 岡田知己)。

Tank, Sabri Bulent, Yasuo Ogawa, 2019, Role of Fluids in the earthquake generation: The Nagamachi-Rifu reverse fault, NE Honshu, Japan, 地球惑星科学連合大会

布原 啓史、Kuo Hsuan Tseng、岡野 広樹、小川 康雄、土屋 範芳、2019、Preliminary report on geothermal structure revealed by geological and MT surveys around Akayumatasawa river in Sanzugawa caldera, NE Japan 地球惑星科学連合大会

深井 雅斗、小川 康雄、2019、Elucidation of crustal fluid distribution in NE Japan backarc active zone by wideband MT observation, 第 146 回 地球電磁気・地球惑星圏学会 総会および講演会

平原聡, 2020, 2019 年山形県沖の地震(M6.7)に対するオンライン臨時地震観測 -新システムの開発と災害時の観測点仮復旧への応用-, 東北大学理学部技術研究会報告。

深井 雅斗、小川 康雄、曾 國軒、市来 雅啓、高倉 伸一、2019、広帯域 MT 観測による東北日本前弧の地殻流体の三次元分布の解明、地球惑星科学連合大会

水田達也, 2019, S 波スプリッティング解析を用いた東北地方の地震波速度異方性測定, 東北大学卒業論文(担当教員: 岡田知己)。



- Muto J., J. D. P. Moore, S. Barbot, T. Iinuma, Y. Ohta, H. Iwamori (2019) Coupled afterslip and transient mantle flow after the 2011 Tohoku earthquake. *Science Advances*, doi:10.1126/sciadv.aaw1164
- 本山 葵、小川 康雄、上嶋 誠、浅森 浩一、内田 利弘、長谷 英彰、小山 崇夫、坂中 伸也、山谷 祐介、相澤 広記、市來 雅啓、2019、日本東北地方南部の地殻の三次元比抵抗構造、地球惑星科学連合大会
- Wang, K., L. Brown, Y. Hu, K. Yoshida, J. He, T. Sun, Stable forearc stressed by a weak megathrust: Mechanical and geodynamic implications of stress changes caused by the M=9 Tohoku Oki earthquake, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124(3) 6179-6194, 2019
- 吉田圭佑、長谷川昭、行竹洋平、松澤暢、2011年東北沖地震後の流体圧変化に伴う内陸の群発地震震源域近傍の速度構造の時間変化、2019年地震学会秋季大会予稿集
- 吉田圭佑、平原聡、中山貴史、内田直希、岡田知己、松澤暢、2019年山形沖 M6.7 地震の余震の詳細な震源分布とその時空間発展、2019年地震学会秋季大会予稿集
- Yoshida, Keisuke, Tatsuhiko Saito, Takahiro Taira, Kentaro Emoto, Toru Matsuzawa, Stress release process ongoing along a crustal fault examined through the foreshock-mainshock-aftershock sequence of the 2017 M5.2 Akita-Daisen, NE Japan, earthquake, 2019年地震学会秋季大会予稿集
- Yoshida, Keisuke, Prevalence of asymmetrical rupture in small earthquakes and its effect on the estimation of stress drop: A systematic investigation in inland Japan, *Geoscience Letters*, 6, 2019
- Yoshida, Keisuke, Tatsuhiko Saito, Kentaro Emoto, Yumi Urata, Daisuke Sato, Rupture directivity, stress drop and hypocenter migration of small- and moderate-sized earthquakes in the Yamagata-Fukushima border swarm triggered by the upward pore pressure migration after the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Tectonophysics*, 2019

(11) 令和2年度実施計画の概要：

[ 地震および測地観測 ]

山形県沖地震についての研究を引き続き実施し、同地震の発生機構を明らかにする。それ以外の領域においても臨時観測のデータも活用し、震源の時空間分布・地震波速度構造・S波反射面・応力場・S波スプリッティング解析の研究を進め、歪み速度分布などとの比較を踏まえ、それらと地震活動・断層活動との関係の検討を行う。

地震波干渉法解析により、沈み込み帯浅部におけるS波速度構造やS波異方性を推定し、そこで発生する地震や応力場との関係を議論する。

近年に日本列島で発生した前震・余震・群発地震の震源移動の速度を系統的に調べ、その原因および多様性の意味についての情報を得る。S-net観測データを用いて、太平洋沖で発生した地震の破壊伝播指向性・応力降下量について系統的に調べる。これらにより断層間相互作用を知る上で重要な情報を得ることができると期待される。

[ 電磁気探査 ]

引き続き東北地方各地域でのデータの収集コンパイルを進める。また、一部の3次元解析ではMTデータのみのインバージョンを行っているが地磁気変換関数を加え情報量を増やした3次元解析も行う。

[ 断層浅部構造・重力探査 ]

仙台平野南端部付近において、東西方向に6測線の重力測線を設定し、200~250mの測定間隔で相対重力測定を行う。測定で得られた重力値から、ブーゲー重力異常を計算し、既存の反射法地震探査等の結果と比較しながら、地下構造の連続性について検討する。R2年度・R3年度にそれぞれ3測線ずつ測定を実施する計画である。

[ レオロジーモデル構築・総合検討 ]

岩石の非線形レオロジーを用いたモデル化した2次元余効変動データや室内でのかんらん石多結晶体の流動変形実験データを使い、かんらん石の遷移流動特性のパラメータを評価する。

東北日本南部を対象に、地震波速度構造などに関する研究成果を基に不均質レオロジー構造を設定し、歪集中、断層形成、応力場のモデル化を行う。  
作成したモデルを用いて、ひずみの時空間変動、対象領域内の断層への応力載加過程や東北沖地震の地震時・地震後の影響を検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

岡田知己、松澤暢、高木涼太、吉田圭佑、内田直希、市來雅啓、三浦哲、武藤潤、矢部康男、山本希、日野亮太

他機関との共同研究の有無：有

建築研究所（芝崎文一郎）

東北大学災害科学国際研究所（岡田真介）、北海道大学（大園真子、勝俣啓、高橋浩晃）、弘前大学（小菅正裕）、名古屋大学（山中佳子）、京都大学防災研究所（片尾浩）、九州大学（松島健）、鹿児島大学（八木原寛）、秋田大学（坂中伸也）、東大地震研（上嶋誠）、東京工業大学（小川康雄）、産業技術総合研究所（山谷祐介）

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL：www.aob.gp.tohoku.ac.jp

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：岡田知己

所属：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター



図1 . 本年度設置した臨時地震観測点

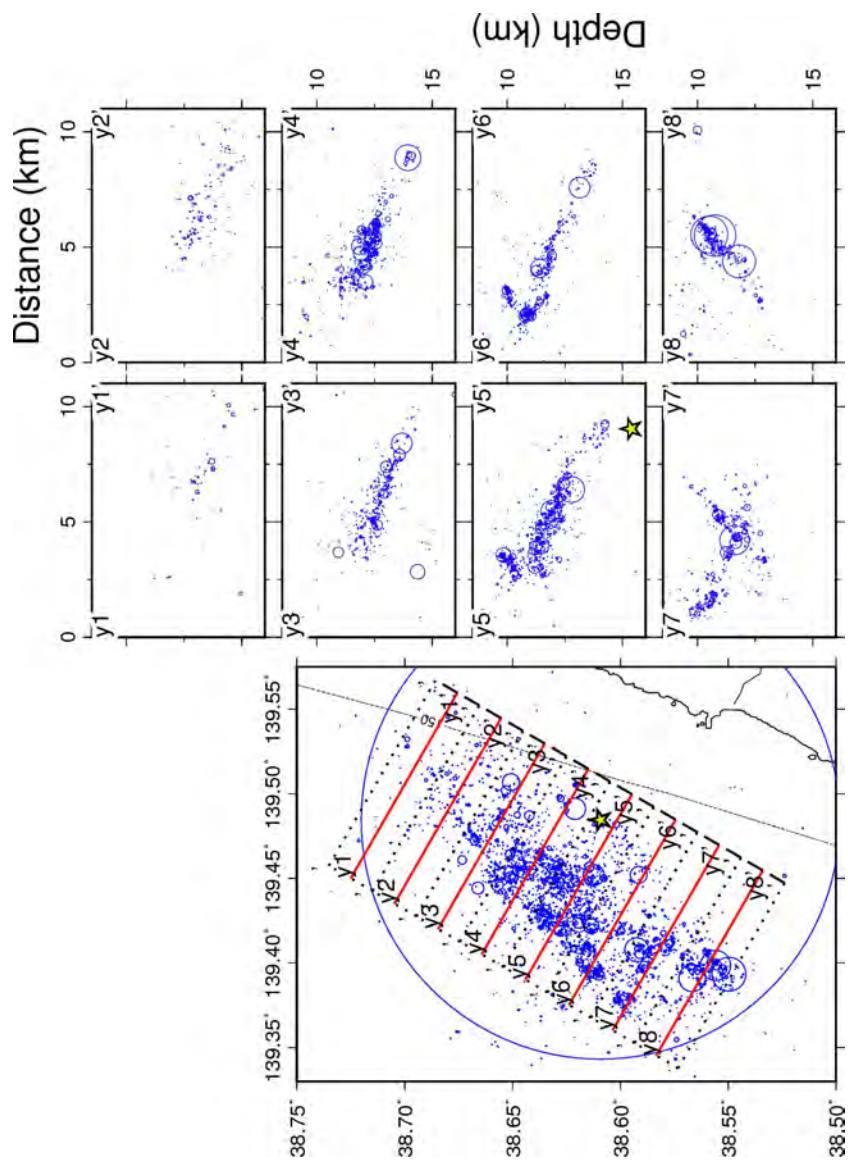


図 2 . 震源再決定により求めた 2019 年山形沖の地震の余震の震源分布

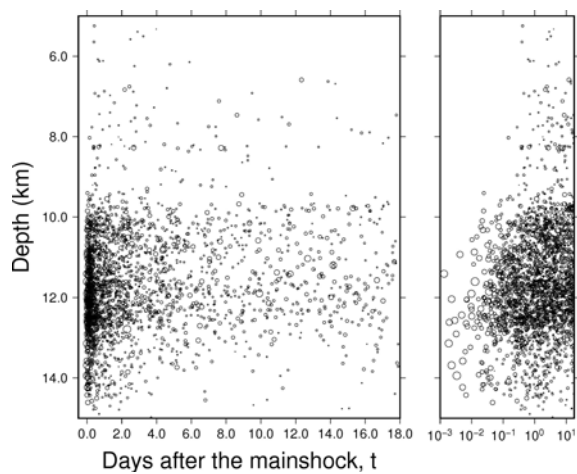


図 3 . 2019 年山形沖の地震の余震の震源深さと発生時刻の関係 .

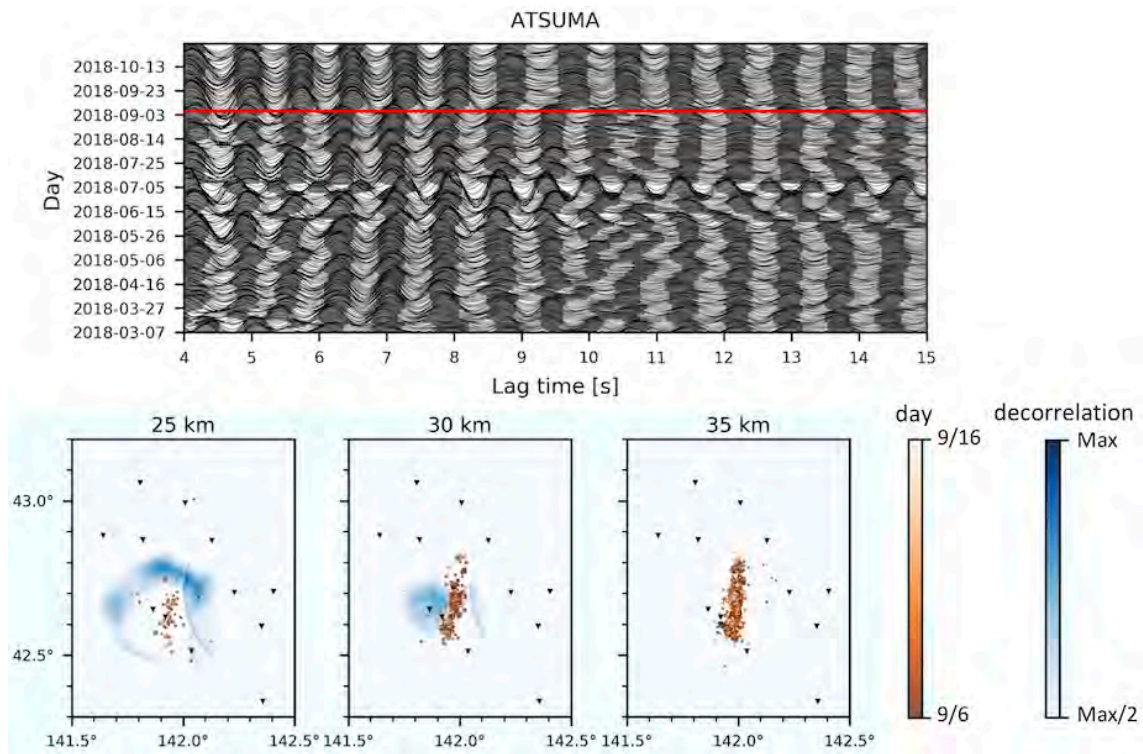


図4. 2018年北海道胆振東部地震による地震波速度および散乱特性の時間変化 ( Ikeda and Takagi, 2019 )  
 上図は、日毎の自己相関関数。赤線は北海道胆振東部地震発生時。下図は各深さにおける相関係数のマッピング結果。値は「1-相関係数」を規格化したもので、値が大きいくほど、相関係数が悪くなることを示し大きな散乱特性変化を示唆する。色丸のその深さにおける震源分布。色は時間(月日)を示す。



図5. ラコスト G-682 による測定の様子。



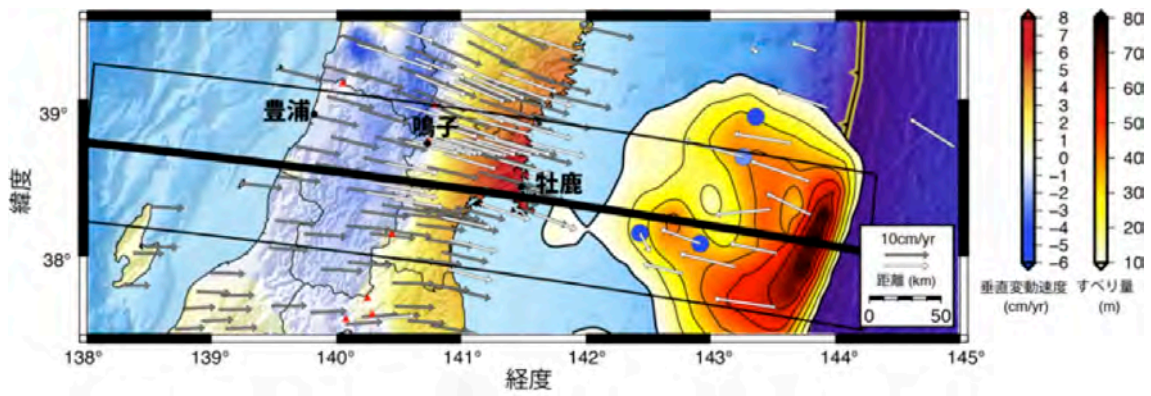


図6．宮城県 山形県周辺での2012年9月 - 2016年5月までの余効変動観測と解析を行った2次元測線（黒線）、灰色矢印は国土地理院 GEONET による観測、白色矢印は東北大学による観測を示す。赤 青色は地面の鉛直変動を示し、赤が隆起、青が沈降を示す。海底での黄 黒色は、Iinuma et al. (2012) による地震時のすべり量を示す。

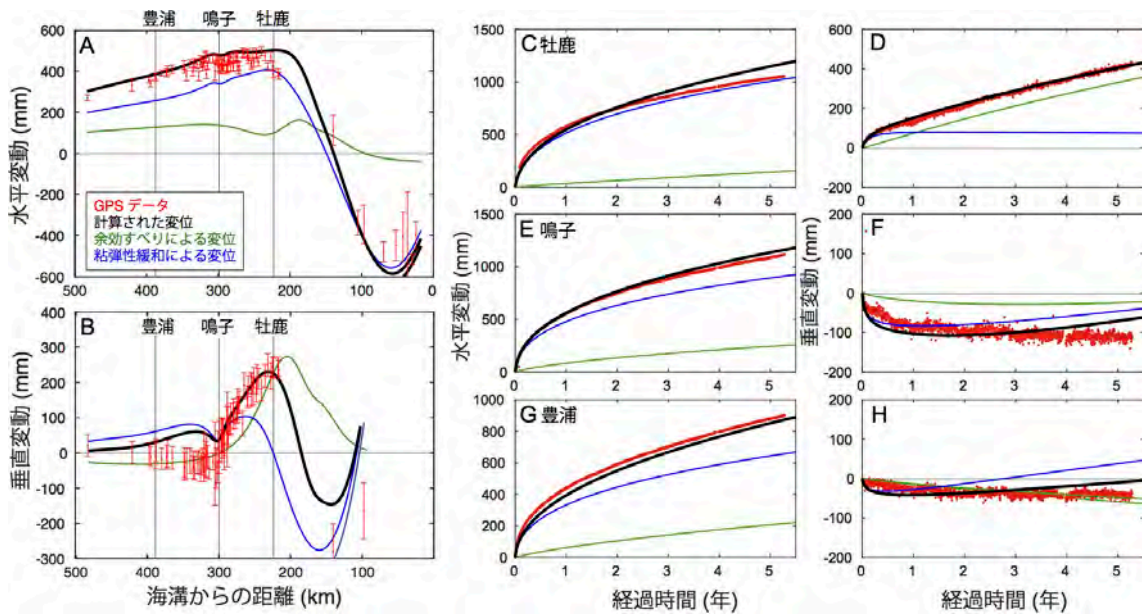


図7．モデルにより計算された変位場（A, B）とそれぞれの観測点の時系列データ（C-H）。赤がGPSデータ、緑が余効すべりによる変位、青が粘弾性緩和による変位、黒が計算された変位（余効すべりと粘弾性緩和を足し合わせたもの）を示す。変位場および時系列とも、計算値（黒線）が観測値（赤点）とよく一致している。

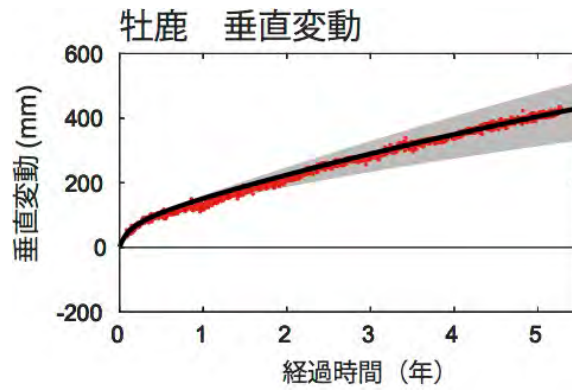


図 8 . 余効変動と粘弾性緩和の相互作用によって生じる牡鹿半島の隆起量の差。  
 黒が計算値、赤点が観測値、灰色部分が相互作用によって生じうる垂直変動の誤差を示す。

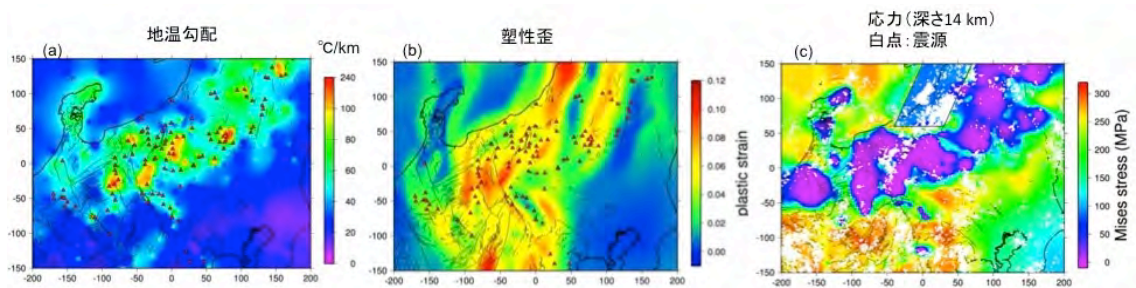


図 9 . 中部日本歪集中帯・応力場のモデル化  
 (a) 地温勾配の分布。赤三角は第四紀火山。(b) 地表における塑性歪。  
 (c) 深さ 14km での相当応力場。白点は深さ 13 - 15km の震源を示す。

( 1 ) 実施機関名：

東北大学理学研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

集中地震観測による火山体構造・火山現象発生場の解明

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

第5次噴火予知計画(平成6年度～11年度)以降、噴火予知計画及び地震火山観測研究計画において人工地震を用いた火山体構造探査が全国の活火山で計画的・継続的に行われた結果、過去繰り返し発生した噴火活動に起因すると考えられる地震波高速度領域が各火山の火口直下に共通して存在するといった火山構造の共通点が明らかになるとともに、各火山固有の浅部構造が推定され、多様な火山現象を生み出す場の理解が進められてきた。これらの火山体構造探査によって得られた地震波速度構造



は、火山性地震や地殻変動源の理解の基礎データとなるとともに、火口直下で発生する火山性地震の震源決定精度向上にも活用され、一部の火山においては気象庁の火山監視業務にも役立てられている。

例として、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」(平成25~30年度)の一環として、平成27年度に実施した蔵王山における人工地震構造探査では、地表下300~400mまで基盤が盛り上がった特徴的な火山浅部構造が明らかになるとともに、火口湖御釜・噴気地帯の直下に熱水だまりと考えられる低速度・高減衰領域が存在することが示された。この熱水だまりは、繰り返し全磁力磁気測量によって示された消磁域と蔵王山で断続的に発生している超長周期地震の振動源の間に位置し、浅部における流体供給系を反映したものと考えられる。また、このような静的な火山体構造に加え、桜島においては構造の時間変化の抽出を目的とした構造探査(反復反射法探査)が平成20年度以降繰り返し実施され、その結果、桜島北東部において地震波の反射強度の時間的変動が明らかとなり、深さ約6kmにおける高発泡度マグマのシル状貫入が提唱されるなどの成果がこれまでの本観測研究計画によって得られた。

(7) 本課題の5か年の到達目標:

近年、高精度の多項目火山観測の拡充により、噴火に先行する中長期的なマグマだまりの変動や、噴火直前の火山体浅部における諸火山現象が検出・解明されつつある。このような一連の火山現象を支配するやや深部から浅部までのマグマ供給系・熱水系を含む火山体構造を明らかにすることは、現象の理解・噴火活動の推移予測(噴火事象系統樹の分岐過程)の基礎情報となるとともに、噴火事象系統樹・噴火活動推移モデルにおける時間発展の把握・理解にとって不可欠である。

これまでの噴火予知計画や地震火山観測研究計画においては、人工地震を用いた火山体構造探査が全国の活火山で継続的に行われ、その結果、火山浅部の詳細な地震波速度構造が明らかになり、火山現象の理解の進展に貢献してきた。しかしながら、浅部に低速度構造をもつ火山体構造故に、マグマだまりが存在するやや深部(~地下10km弱)の構造の理解は十分とは言い難い。一方で、近年の地震波干渉法等の地震波伝播理論・解析手法の発展により、やや深部の地震波速度構造、さらには構造異方性を推定できる可能性が示されつつある。

そこで本研究課題では、マグマだまり及び浅部の両者において火山活動に伴う変動が見られている蔵王山及び箱根山をテストフィールドとして、それぞれ約2年間の集中地震観測を全国連携で実施し、やや深部から浅部にかけての地震波速度構造を推定することで、火山性流体の分布・供給路を明らかにし、噴火活動推移のモデル化に資する基礎情報を得ることを目指す。具体的には、地震波干渉法による表面波解析により速度構造及び異方性の推定を行うとともに、既存データも併用して自然地震トモグラフィの分解能向上を図り、火山体やや深部構造の推定方法の確立を目指す。また、想定火口域近傍に観光客等が訪れる両火山において観測研究を進めることにより、防災対策に必要となる中長期的な噴火ポテンシャルや切迫度の評価のための科学的情報を取得し、火山災害軽減に資することを目指す。

(8) 本課題の5か年計画の概要:

やや深部(~約10km)から浅部までの火山体構造推定のために、蔵王山及び箱根山の周辺約30km四方に臨時地震観測点20~30点を展開する。それぞれの火山において約2年間の連続観測を実施し、地震波干渉法解析・自然地震トモグラフィに必要なデータを取得し、既設地震観測点のデータも用いて火山体構造推定を行う。箱根山における観測は、神奈川県温泉地学研究所の支援を受けつつ実施する。

両火山においては、地震学的・電磁気学的な広域構造等についての既往研究結果があるため、これらの結果と本研究課題で得られた構造との統合的な解釈を進め、火山性流体の分布を明らかにする。また、各手法によって推定した構造の比較を行い、火山体構造推定の高度化に向けた検討を進める。各年度では、以下のように研究を実施する。

2019年度: 既存データ・既往研究結果をもとにした予備解析を進めるとともに、観測・解析の事前シミュレーションを行い、観測点配置等の検討を行う。

2020年度：蔵王山周辺に観測点を展開し、地震観測を開始する。得られたデータをもとに構造解析に着手し、観測データの質のチェック・予備解析を行う。

2021年度：蔵王山における観測を積雪期前まで継続し、解析データの蓄積を行う。年度後半に箱根山周辺に観測点を展開し、地震観測を開始する。

2022年度：蔵王山で得られたデータを用いて構造解析を進めるとともに、得られた構造を用いた震源再決定等を行い、火山現象とその発生場の関連を検討する。また、観測期間中の構造時間変化の抽出を行う。また、箱根山における保守作業において回収したデータを用いた構造解析に着手する。

2023年度：箱根山における観測を継続するとともに、箱根山の構造解析を進める。両火山で得られた構造をもとに、火山性流体の分布形態・供給路の推定を行い、火山活動評価に資する情報の抽出を行う。

(9) 令和元年度の成果の概要：

令和2年度に蔵王山において実施予定の集中地震観測の予備解析を実施し、観測点配置・観測期間の検討を進めた。蔵王山周辺に既設の東北大学・気象庁・防災科学技術研究所の観測点の連続記録を用いて地震波干渉法解析を行った結果、比較的浅部の地震波速度に感度のある周期数秒の帯域については、観測点間距離5 km程度までの場合には抽出される表面波のS/N比が2カ月程度の観測期間で安定する一方で、本観測で想定している20 km程度の観測点間距離の場合には少なくとも8カ月程度の観測記録を重合する必要があることが分かった。また、この周期帯域においては、3 km程度までの観測点距離では表面波に加えて実体波の伝播も明瞭に分解することができた。想定火口域周辺など観測点密度が比較的密な領域については、表面波を用いたS波速度構造の推定とともに実体波を用いた速度構造推定も可能であることをこの結果は示唆する。本研究の主対象であるやや深部の地震波速度に感度のある周期10秒以上の帯域については、本課題での予定観測期間(～1年半)の重合によって十分なS/N比を確保できることが分かった。予備解析では、海洋脈動等の常時微動の入射方位に季節的な変動がみられたため、1年以上の連続解析を行うことが望ましいことも明らかとなった。これらの結果をもとにして、実際の観測点配置を検討し、地震観測点の設置候補地点の選定及びその現地調査・許認可手続きを進めた。

本課題で用いる解析手法の他火山への適用可能性を検討することを目指し、過去に実施された集中地震観測のデータ収集・整理と初期解析もあわせて実施した。例えば、磐梯山においては、第5次噴火予知計画の一環として人工地震火山帯構造探査が1997年に実施された直後の期間に自然地震観測を目的とした臨時観測網が展開され、82観測点において10日間の連続観測(夜間のみ収録)が行われた。地震波干渉法を用いてこの記録を再解析したところ、相互相関関数・自己相関関数それぞれで波動伝播が抽出でき、その伝播特性は人工地震構造探査で得られた地下構造と大局的には調和的であることが明らかになった。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(11) 令和2年度実施計画の概要：

令和元年度に検討を進めた結果をもとに蔵王山における集中地震観測を開始し、構造解析に着手する。次年度までの観測継続を念頭におき、観測データの質のチェック及び予備解析を通じた観測点配置の妥当性の検証・確認を行う。また、次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトで令和2年度の実施予定の蔵王山における電磁気学的観測・比抵抗構造推定の結果を踏まえ、火山性流体の分布・供給路の推定に着手する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東北大学理学研究科(山本希・岡田知己・高木涼太・西村太志)

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学大学院理学研究院(青山裕)

東京大学地震研究所（大湊隆雄）  
東京工業大学理学院（寺田暁彦）  
名古屋大学大学院環境学研究科（前田裕太）  
京都大学大学院理学研究科（大倉敬宏）  
九州大学大学院理学研究院（松島健）  
京都大学防災研究所（中道治久）

（13）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター  
電話：022-225-1950  
e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp  
URL：www.aob.gp.tohoku.ac.jp

（14）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：山本 希  
所属：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

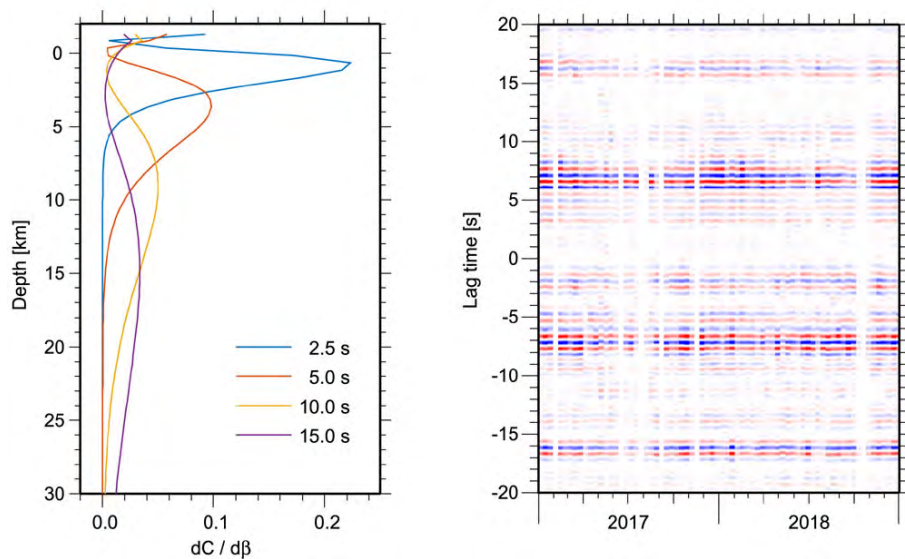


図1．レイリー波のS波速度に対する感度カーネルと相互相関関数の例

左図はS波速度に対するレイリー波基本モードの感度カーネル。ここでは、広域の速度構造の上部に人工地震構造探査で推定した浅部の低速度層を加えた構造を仮定した。マグマだまりから浅部にかけての速度構造推定のためには、広帯域の分散関係を得る必要があることが示唆される。

右図は地震波干渉法解析の結果例。約21 kmの観測点間を伝播する表面波が確認できる。年周変動的な変化が見られるため、速度構造の推定には1年以上の連続観測が望まれる。

( 1 ) 実施機関名：

東北大学理学研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

繰り返し地震再来特性の理解に基づく地殻活動モニタリング

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

イ. 首都直下地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

首都直下地震

## 千島海溝沿いの巨大地震

### (6) 平成30年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要:

- ・日本列島域で発生した繰り返し地震のカタログを作成するシステムを構築した。
- ・繰り返し地震を用いてプレート間固着状態の時間・空間変化や大地震発生前の前駆的すべり、余効すべりの発生を明らかにした。
- ・繰り返し地震発生の揺らぎの特徴を調べ、大地震の余効すべりが地震発生規模およびその間隔に影響を与えることを観測および数値シミュレーションによって検証した。

### (7) 本課題の5か年の到達目標:

繰り返し地震を用いて断層面の固着状態の時間・空間的变化をモニタリングする手法を高精度化し、地殻活動の理解を進め、地震発生予測の高度化に資する。そのため、プレート境界および内陸地域で発生する繰り返し地震のカタログを整備する。さらに、繰り返し地震の再来特性を理解し、大地震の発生モデルの構築に寄与することで、将来発生する大地震の地震像およびその変動範囲の推定に役立てることを目指す。

### (8) 本課題の5か年計画の概要:

#### 1. 繰り返し地震カタログの更新

前計画で作成した日本の小～中規模の繰り返し地震カタログをアップデートし繰り返し地震活動のモニタリングを行う(2019-2023)。地震の震源再決定、発震機構解の推定および地震波速度構造の時間変化の推定を行い、同一場所での地震の再来を検証する(2020-2023)。また、日本のHi-net以前の大学観測データやS-netやDONET等の新規データの活用も検討し、より長期間および小規模の繰り返し地震の活動を把握する(2020-2023)。また、世界の繰り返し地震活動についても調べ、テクトニクスの違いによる繰り返し地震の特徴の共通点・相違点についての知見を新たに得る(2020-2022)。

#### 2. 断層面固着状態の推定

沈み込むプレート境界および内陸活断層における固着状態の時間・空間的变化をモニタリングする手法を高精度化する。特に、すべりレートの推定に用いるスケーリング則の検討を行う(2019-2023)。震源過程解析や地震波形のシミュレーション、繰り返し地震以外の地震等を用い、すべり推定手法の検討を行う(2019-2023)。さらに、繰り返し地震と通常の地震やスロー地震の関係を調査する(2019-2020)。また、南アフリカ大深度金鉱山において見つかっている、破壊サイズ数十mmという超微小繰り返し地震についても解析を行う(2019-2023)。同観測では14ヶ月の期間に最大50回もの繰り返し地震が確認されており、活動パターンや震源特性の時間変化を短い時間で検出できると期待される。

#### 3. 地震再来特性の解明

繰り返し地震に見られる再来間隔・規模の揺らぎの特徴や原因を、地震の震源過程解析、統計解析および数値シミュレーションにより明らかにする(2019-2023)。また、中小の繰り返し地震の特性を解明することが大地震の地震像の推定に役立つかどうか調べるために、規模の異なる繰り返し地震の性質を比較検討する(2022-2023)。

#### 4. 重点地域における地震観測

島嶼部地震観測空白域での地震カタログの構築および沿岸・内陸地域において小規模繰り返し地震群発生の特徴を詳細に調べるため、小笠原諸島伊豆鳥島・房総半島・釜石地域など重要な既存の臨時観測点を維持するとともに内陸の地震活動をターゲットとした調査観測も行う(2019-2023)。伊豆鳥島の観測では、この地域の繰り返し地震は、数年程度という比較的長い発生間隔を持つと期待されるため、今期の観測の継続・定期的な保守によりこの地域の繰り返し地震の有無が調査できる。釜石地域においては、計画期間中にM5程度の地震の発生が予測される。この地震の近傍に構築したオフライン観測の継続により、微小地震活動を通じM5程度繰り返し地震の1サイクルにおける準備過程を調べる。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

[繰り返し地震カタログの更新]

・日本全国の定常観測網で観測された地震波形データを蓄積し、日本列島周辺で発生した繰り返し地震活動の検出を行った。また、作成した繰り返し地震カタログを用いて、日本列島周辺における滑りの空間分布・時間変化の特徴を調べた。沈み込むプレートの境界における滑り速度は、近年は、ほとんどの地域でプレート間の相対運動速度よりも遅く、大地震の余効滑りの影響はわずかな地域で見られるのみであった。地殻内で発生する大地震の余震活動や群発地震活動の中にも繰り返し地震が多数見つかった。その多くはバースト的な活動を示し、地震活動の推移に従って活動度が減少する傾向にあった。一方で、1995年兵庫県南部地震の余震域等、長期間活動が継続する場所もいくつか見られた。地殻内の相似地震に対して、プレート境界で適用している滑り推定式を用いた場合、その推定値は、過大評価される傾向にある。ただし、東北沖地震発生後に地震が誘発された福島県南部～千葉県銚子沖の活動については、大規模な余効変動を示唆している可能性があり、さらなる検討が必要である。

・局所性鋭敏型ハッシュ検索技術を応用した類似波形探索アルゴリズム ( FAST ; Yoon et al . 2015 ) をテスト的に実装した。同手法では、連続収録データ中に存在する類似波形をテンプレートなしに効率よく抽出することができる。同手法を山陰地方で展開されている稠密地震観測 ( 満点観測 ) で得られた、2011年6月4日に発生したM5.2の地震直後の連続収録データに適用し、類似波形イベントを検出できることを確認した ( 図1 )。

・トルコアナトリア断層での繰り返し地震分布を推定し、過去の大地震の破壊域の端に分布していること、繰り返し地震の積算すべりから一部では、プレートの相対運動速度に近い速度で非地震的に変位していることを明らかにした ( 図2、Uchida et al., 2019 )。

・繰り返し地震の抽出方法について、解析周波数帯の影響を詳細に検討しそれをレビュー論文として発表した ( 図3、Uchida, 2019 )。また、世界の繰り返し地震の研究履歴や動向についてまとめそれをレビュー論文として発表した ( Uchida and Burgmann, 2019 )。

[断層面固着状態の推定]

・Brownian Passage Time ( BPT ) 分布更新過程から拡張した繰り返し地震群に対する時空間点過程モデルを用いて、1993年7月から2016年8月までの東日本太平洋プレート沈み込み帯におけるプレート境界上の準静的滑りの時空間的变化をスプライン関数により推定した ( 図4 )。特に、2011年東北地方太平洋沖地震後の滑り速度の時空間変化から、2016年までに東北沖の滑り速度がほぼ2010年以前の水準に戻っていく様子や、2012年と2015年の二度にわたり三陸沖の同じ領域においてM6台の地震を伴う滑り加速が発生した様子が捉えられた ( 図5 )。

・函館周辺で発生している地震・低周波地震の震源位置・波形について詳細に調べた。その結果、通常地震と低周波地震が近傍で発生していること、気象庁カタログでは浅い低周波地震が通常地震と分類されていること、通常地震が同一場所を繰り返し破壊させた可能性があることを示した ( 図6、図7 )。

[地震再来特性の解明]

・階層ベイズ型時空間 ETAS モデルによる東北沖地域の常時地震活動度 ( 1926-1995: M 5 ) の pattern は選定期間 ( 1926-2012: M 5 ) でも不変で、推定期間外の大地震の震央 ( centroid epicenter ) や「繰り返し地震」の震央 ( 図8 ) との良好な対応を示した。また日本内陸部の常時地震活動度と内陸部地殻 ( 上盤側プレート ) 内の「繰り返し地震」( 五十嵐 2019 地震学会 ) で大きめの地震直後のもの ( バースト型 ) を除いた非バースト型の震央分布と階層ベイズ時空間 ETAS モデルによる日本内陸部の常時地震活動度 ( 1926-1995: M 4 ) との良好な対応 ( 図9 ) を見出した。

また、相似地震の揺らぎの要因の一つである余効すべりの伝播現象について、伝播速度と摩擦特性との関係式を導出することに成功した。これにより、大規模な地震が起きてから非相似地震が発生するまでの時間差から摩擦特性を絞り込むことが期待される。

[重点地域における地震観測]

・2002年から継続している伊豆鳥島における地震観測 ( 2Hz 上下1成分 ) を継続した ( 図10, 11 )。2015年からは、新衛星携帯電話による3成分 ( 1Hz 上下動 + 2成分傾斜計 ) の地震観測システムを増

設し、必要日時のデータをリモートで回収可能となっている。令和元年度は、新システムの連続地震波形データを現地回収するとともに、旧システムの 2Hz 地震計が故障したため交換作業を行った。  
・繰り返し地震を含む釜石沖の地震クラスターでの地震活動の詳細を調べるための 13ヶ所での陸域臨時観測を引き続き継続した(図 12)。

- (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
- Ariyoshi, K., J-P Ampuero, R. Burgmann, T. Matsuzawa, A. Hasegawa, R. Hino, and T. Hori, 2019, Quantitative relationship between aseismic slip propagation speed and frictional properties, *Tectonophysics*, vol. 767, 128151, doi: 10.1016/j.tecto.2019.06.021.
- 野村俊一, 2020, Inversion of spatio-temporal variation in interplate slip rate from repeating earthquakes, 第 10 回データ同化ワークショップ, 海洋研究開発機構, 横浜市, 2020 年 1 月 30 日, 招待講演.
- Nomura, S., Y. Ogata, N. Uchida and M. Matsu'ura, 2020, Spatio-temporal renewal model for repeating earthquakes to estimate interplate slip rate, *ISM Symposium on Environmental Statistics 2020*, 立川市, 2020 年 3 月 26, 27 日, 招待講演
- 吉田圭佑・長谷川昭・野口科子, 2019, 北海道函館周辺の深部低周波地震と内陸の繰り返し地震, 2019 年地震学会秋季大会予稿集
- Yoshida, K., T. Saito, T. Taira, K. Emoto, T. Matsuzawa, 2019, Stress release process ongoing along a crustal fault examined through the foreshock-mainshock-aftershock sequence of the 2017 M5.2 Akita-Daisen, NE Japan, earthquake, 2019 年地震学会秋季大会予稿集
- Yoshida, K., 2019, Prevalence of asymmetrical rupture in small earthquakes and its effect on the estimation of stress drop: A systematic investigation in inland Japan, *Geoscience Letters*, 6
- Yoshida, K., T. Saito, K. Emoto, Y. Urata, D. Sato, 2019, Rupture directivity, stress drop and hypocenter migration of small- and moderate-sized earthquakes in the Yamagata-Fukushima border swarm triggered by the upward pore pressure migration after the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Tectonophysics*
- 岩田貴樹・吉田圭佑・深畑幸俊, 2019, 地震学的データを用いた応力インバージョン, *地学雑誌* 128(5) 797-811
- Wang, K., L. Brown, Y. Hu, K. Yoshida, J. He, T. Sun, 2019, Stable forearc stressed by a weak megathrust: Mechanical and geodynamic implications of stress changes caused by the M=9 Tohoku Oki earthquake, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124(3) 6179-6194
- Ogata, Y., Katsura, K., Tsuruoka, H. and Hirata, N., 2019, High-resolution 3D earthquake forecasting beneath the greater Tokyo area, *Earth, Planets and Space*, Vol.71, ArticleNo.113, <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1086-7>, November 2019. (Open Access)
- 尾形良彦, 2019, Delaunay 三角形網による高分解能地震活動モデル, 日本地震学会 2019 年度秋季大会, 京都大学吉田キャンパス, 京都市, 2019 年 9 月 18 日, 一般講演.
- Ogata, Y., 2019, High resolution seismicity models using interpolation with Delaunay triangulation, 11th International Workshop on Statistical Seismology (第 11 回統計地震学国際ワークショップ), ザ・プリンス箱根芦ノ湖, 神奈川県箱根町, 2019 年 8 月 20 日, 一般講演.
- Fukushima, Y., M. Hashimoto, M. Miyazawa, N. Uchida and T. Taira, 2019, Surface creep rate distribution along the Philippine fault, Leyte Island, and possible repeating of Mw 6.5 earthquakes on an isolated locked patch, *Earth, Planets and Space*, 71(1), doi:10.1186/s40623-019-1096-5.
- Ito, A., T. Tonegawa, N. Uchida, Y. Yamamoto, D. Suetsugu, R. Hino, H. Sugioka, K. Obana, K. Nakahigashi, and M. Shinohara, 2019, Configuration and structure of the Philippine Sea Plate off Boso, Japan: constraints on the shallow subduction kinematics, seismicity, and slow slip events, *Earth, Planets and Space*, 71(1), doi:10.1186/s40623-019-1090-y.
- Uchida, N., D. Kalafat, A. Pinar, and Y. Yamamoto, 2019, Repeating earthquakes and interplate coupling along the western part of the North Anatolian Fault, *Tectonophysics*, 769, 228185, doi:10.1016/j.tecto.2019.228185.

- Nishikawa, T., T. Matsuzawa, K. Ohta, N. Uchida, T. Nishimura, and S. Ide, 2019, The slow earthquake spectrum in the Japan Trench illuminated by the S-net seafloor observatories, *Science*, 365, 808-813, doi:doi:10.1126/science.aax5618.
- Honsho, C., M. Kido, F. Tomita, and N. Uchida, 2019, Offshore Postseismic Deformation of the 2011 Tohoku Earthquake Revisited: Application of Improved GPS-Acoustic Positioning Method Considering Sloping Sound Speed Structure, *J. Geophys. Res.*, 124(6): 5990-6009
- Uchida, N., 2019, Detection of repeating earthquakes and their application in characterizing slow fault slip, *Prog. Earth. Planet. Sci.*, 6(1): 40
- Takagi, R., N. Uchida and and K. Obara, 2019, Along-strike variation and migration of long-term slow slip events in the western Nankai subduction zone, Japan, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2018JB016738
- Uchida, N. and R. Burgmann, 2019, Repeating earthquakes, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 47, doi: 10.1146/annurev-earth-053018-0601191.
- Uchida, N., R. Takagi, Y. Asano, and K. Obara, 2020, Migration of shallow and deep slow earthquakes toward the locked segment of the Nankai megathrust, *Earth and Planetary Science Letters*, 115986.

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

- ・引き続き繰り返し地震活動のモニタリングを行う。また、内陸活断層における繰り返し地震活動の特徴を調査し、滑り推定手法を検討する。
- ・類似波形探索アルゴリズムと機械学習による波形処理をあわせて、連続波形データから効率的に地震ならびに類似波形群のカタログを作成するスキームの確立を目指す。
- ・時空間点過程モデルを用いたすべり推定では、解析プログラムを R から MATLAB へと移植して解析の高速化およびスプライン基底のグリッド分割数の増加を行うとともに、東北地方太平洋沖地震以降の繰り返し地震の下限マグニチュードを下げることで解析結果の時空間解像度を高め、新たな知見を得ることを目指す。
- ・ひきつづき、伊豆鳥島・釜石市周辺における地震観測を継続する。伊豆鳥島では主要地震データについては、衛星携帯電話回線を用いてデータ回収を行う。伊豆鳥島の連続波形データについては、3 月にメモリカードを現地回収することで対応する。
- ・時空間 ETAS モデルを用いた解析では海溝沿いの地震について、さらにマグニチュードの下限を低め、経年の検出率の変化を考慮して推定精度を高めることを試みる。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東北大学 : 内田直希・松澤暢・吉田圭佑

他機関との共同研究の有無 : 有

東大地震研 : 五十嵐俊博・加藤愛太郎・加藤尚之

弘前大学 : 小菅正裕

京大防災研 : 直井誠・山下裕亮

九州大学 : 松島健

防災科学技術研究所 : 木村尚紀・松原誠

海洋研究開発機構 : 有吉慶介

鹿児島大学、金沢大学、横浜市大、首都大学東京、統計数理研究所、気象研究所、UC Berkeley の研究者とも連携して実施。

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東北大学大学院理学研究科

電話 : 022-225-1950

e-mail :



URL :

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 内田直希

所属 : 東北大学理学研究科

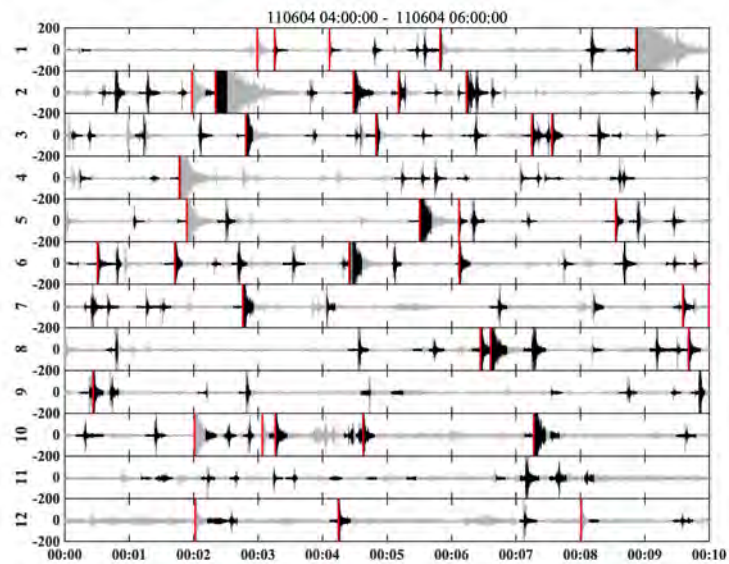


図 1

満点観測網のある観測点で得られた上下動成分の連続波形記録 ( 二時間分 ; 250 Hz サンプリング ) . 黒線で示した部分は , FAST によって類似波形として認定された波形を含む窓を表す . 赤線は付近のある定常観測点において , 気象庁一元化カタログ中に検測記録が存在するタイミングを表す .

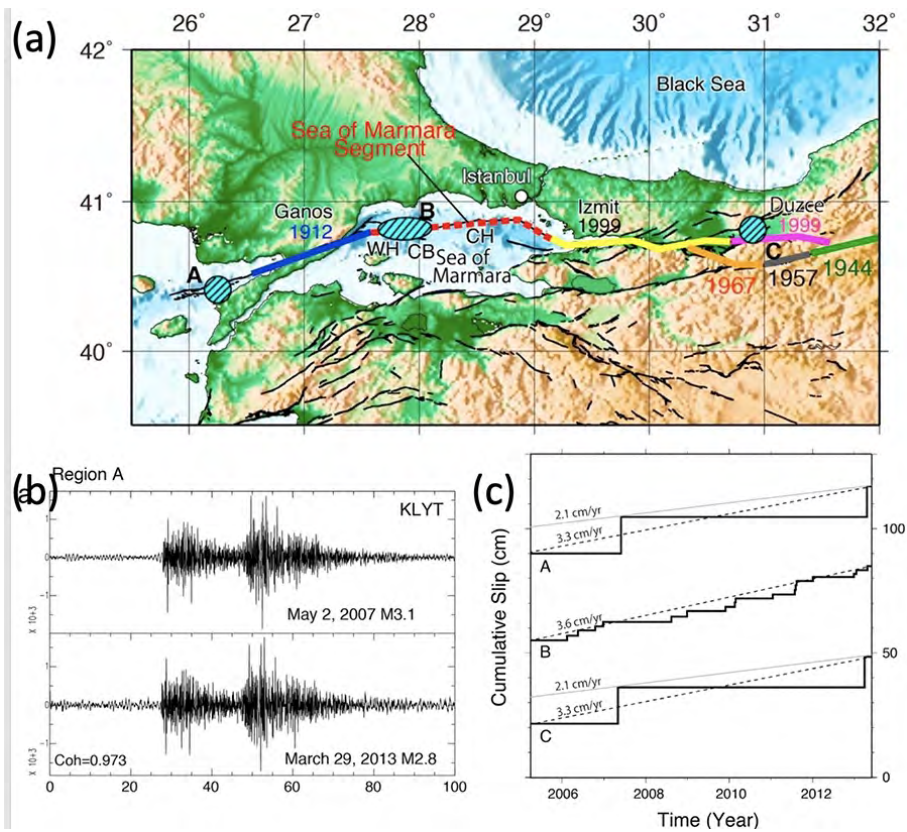


図 2. トルコ、マルマラ海周辺で発見された繰り返し地震発生領域 (a-c) と (b) そこでの繰り返し地震の波形例および (c) 3 領域で繰り返し地震から推定したプレート境界のすべりレート

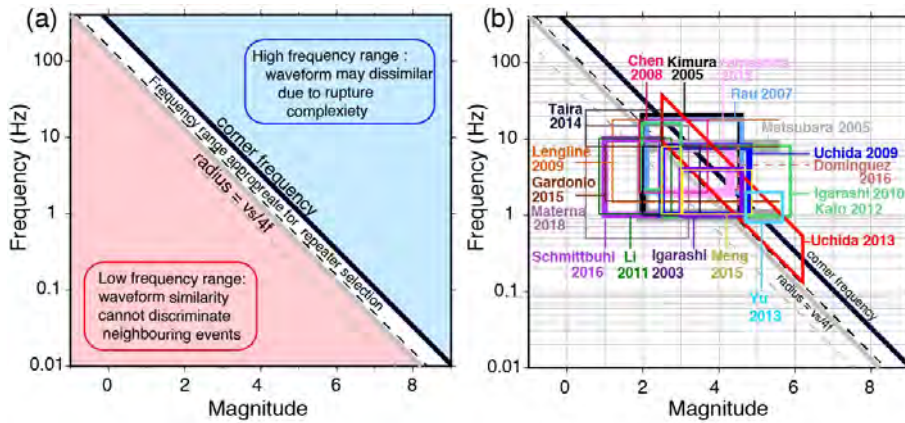


図 3. マグニチュードとコーナー周波数および断層サイズを考慮した解析周波数帯 (a) と過去の研究で用いられた解析周波数帯 .

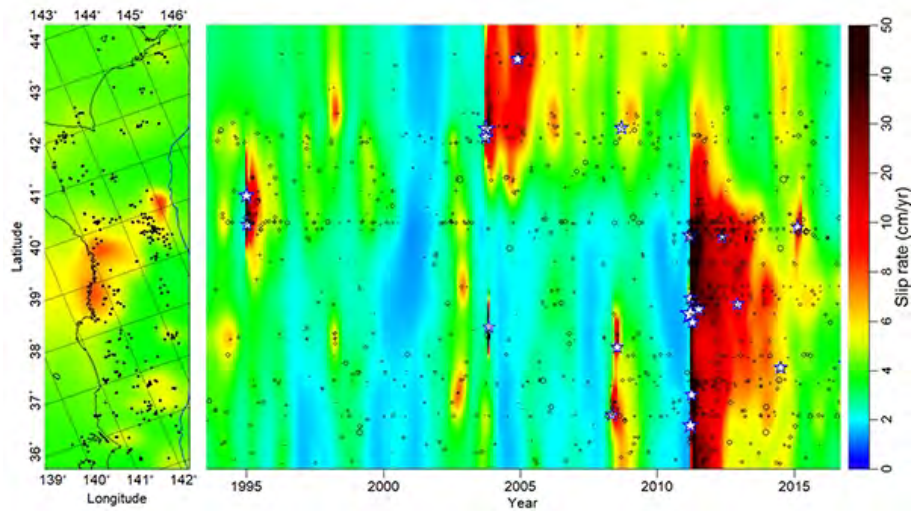


図 4

繰り返し地震から推定された 1993 年から 2016 年までの滑り速度分布の全期間平均値（左）と時空間推移（右）。黒丸は繰り返し地震の震央位置および発生時点、青星は繰り返し地震の余震を多数伴った M6 以上の地震の震央位置および発生時点を示している。

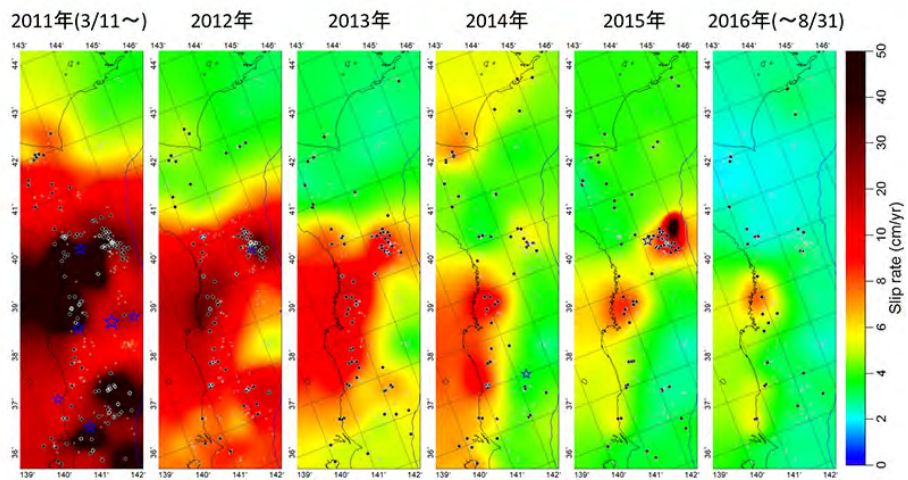


図 5.

繰り返し地震から推定された 2011 年東北地方太平洋沖地震から 2016 年までの滑り速度分布の年平均値の推移。黒点および青星は、各年に発生した繰り返し地震および繰り返し地震の余震を多数伴った M6 以上の地震の震央位置を表す。

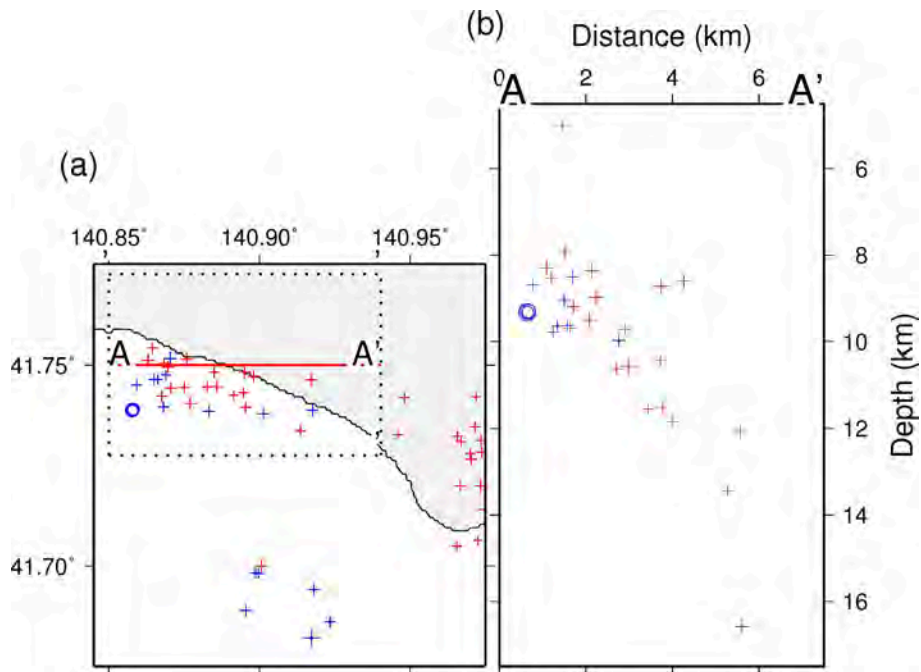


図 6

震源再決定により求めた函館周辺で発生する通常地震活動と低周波地震の震源分布。青丸で通常地震を示し、十字で低周波地震を表す。低周波地震を表す十字が青色と赤色のものは、それぞれ気象庁一元化震源で低周波地震と通常地震と分類されているもの。

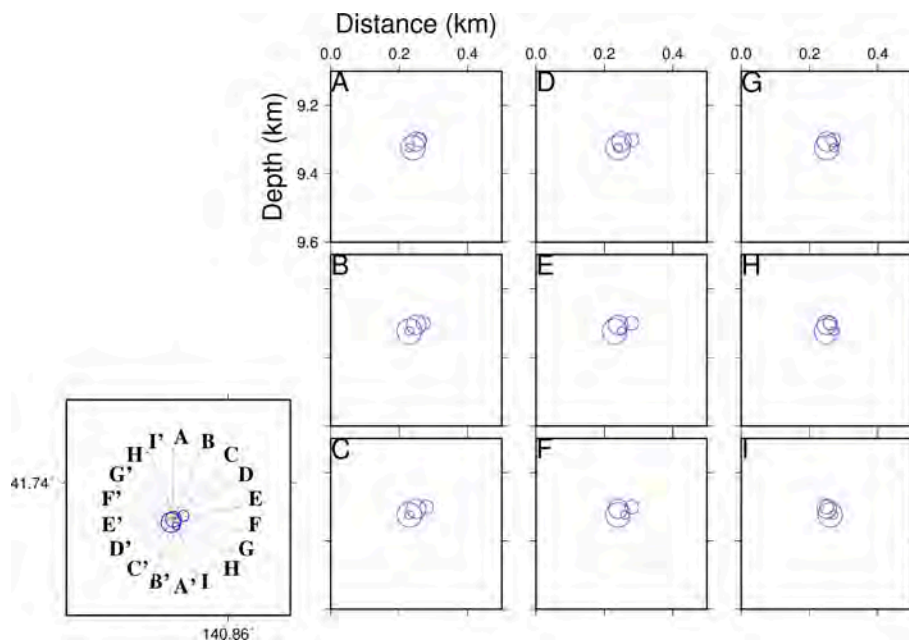


図 7

低周波地震の近傍で発生している、繰り返し地震の可能性のある通常地震クラスター。丸の大きさを、応力降下量 3MPa を仮定した断層サイズに合わせてプロットした。



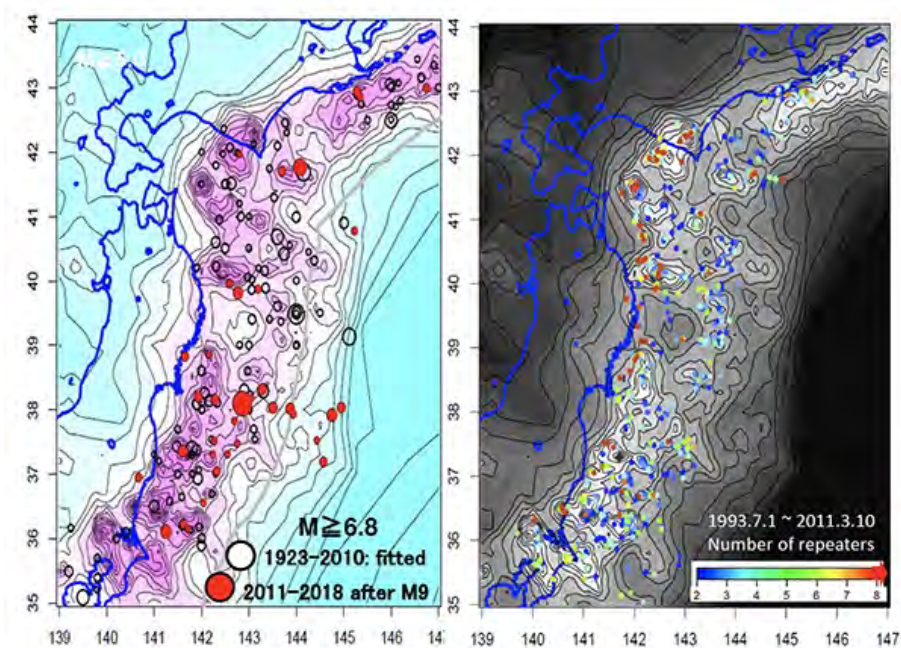


図 8  
 階層的時空間 ETAS モデルによる  $M \geq 5$  地震の常時地震活動度（1日×1度<sup>2</sup>あたりの発生率）と東北沖地震前後の大地震の震央（左図）および「繰り返し地震」の震央（右図）。等高線は対数スケール等間隔で約3倍ごとに増加している。

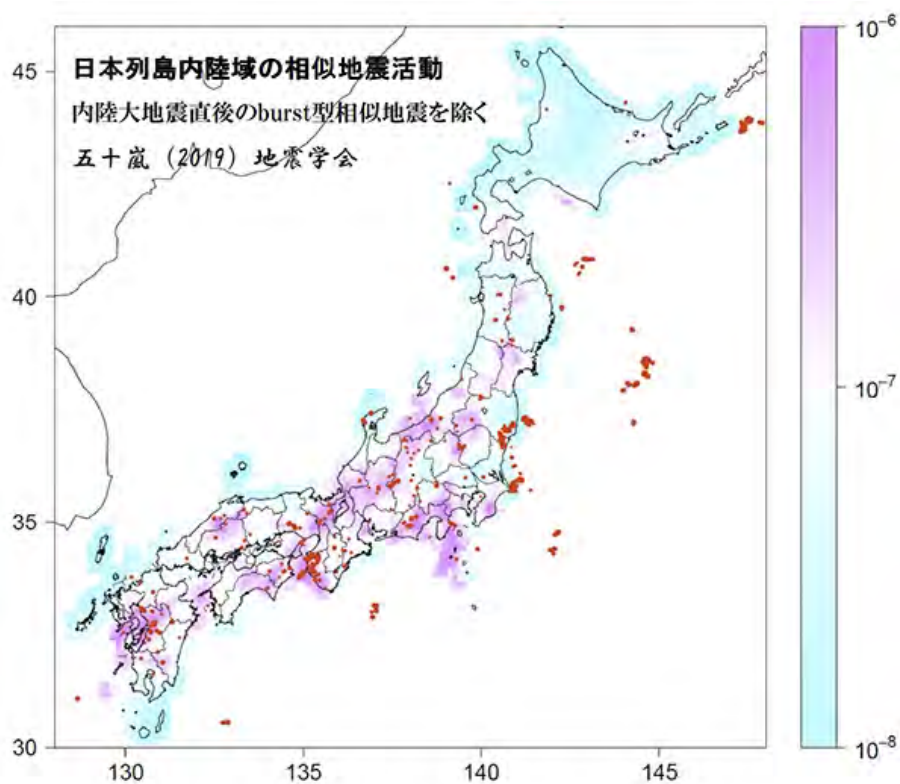


図 9  
 階層的時空間 ETAS モデルの  $M \geq 4$  地震の常時地震活動度（1日×1 km<sup>2</sup>あたりの発生率）と非バースト型の震央分布（赤点）。

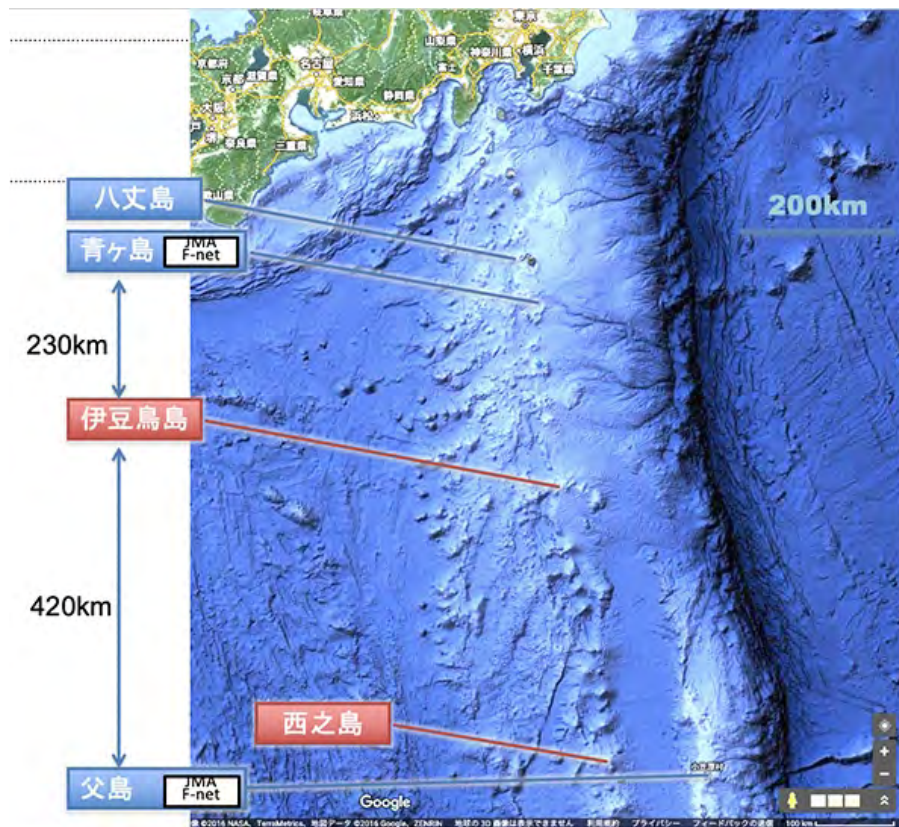


図 10  
伊豆鳥島観測点の位置

## 最近の波形例

2019-12-12 12:33:17.81 N30.794 E142.106 D19km M4.8 V NEAR TORISHIMA IS

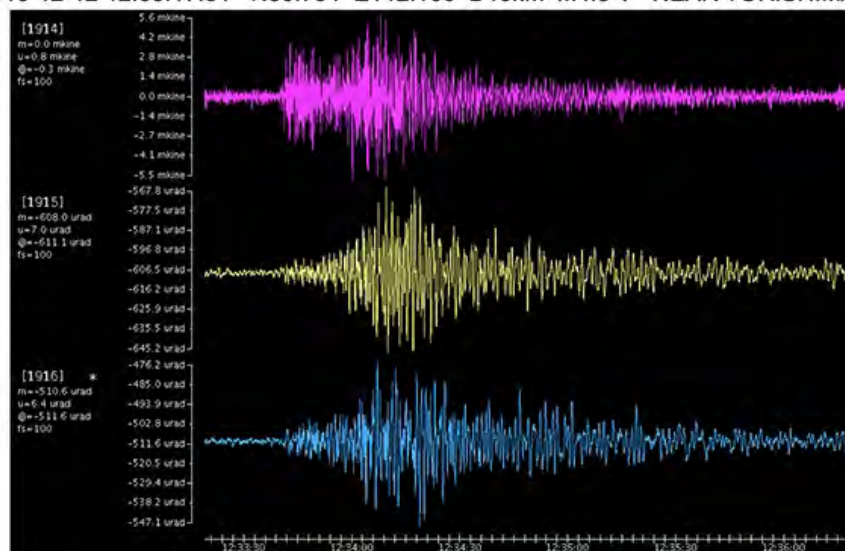


図 11  
波形例

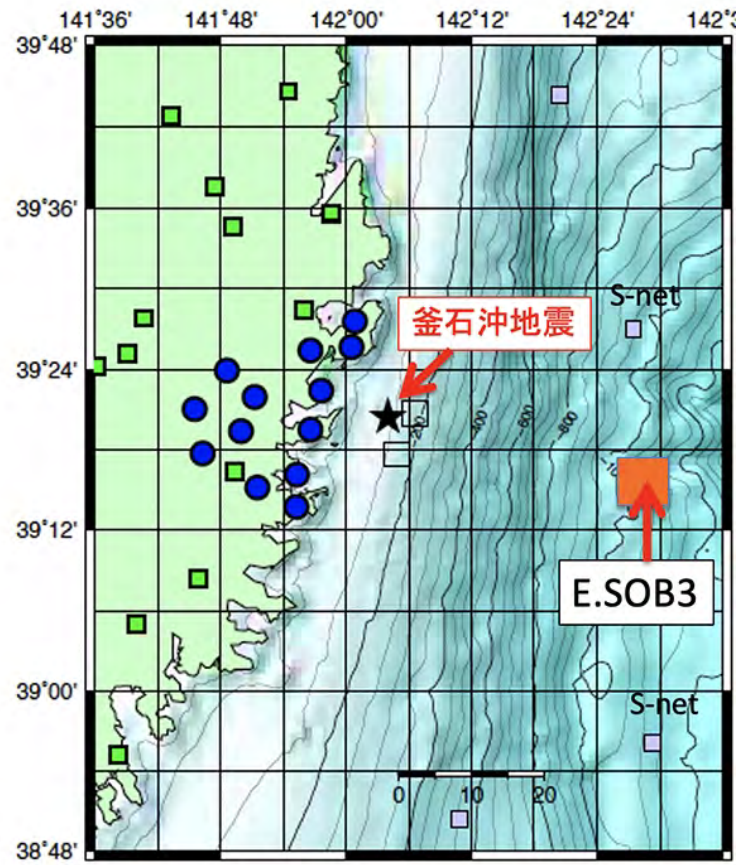


図 12  
釜石市周辺の臨時地震観測網（青丸）



( 1 ) 実施機関名：

東北大学理学研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地殻変動に伴う大気中ラドン濃度変動

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

平成 30 年度までに 25 施設の全国医薬系放射線管理施設が参画しており、これらの機関との共同研究においてデータ解析を進めた。更に地殻変動モニタリングに使用できる放射線施設に協力を求めることで、全国をくまなくカバーすることの出来る全国放射線管理施設ネットワークの拡大をおこなった。

得られたデータを用いて、大気中ラドン濃度のデータを広範囲・長期間に収集・分析し、地震・火山噴火・ゆっくりすべり・地殻ひずみなどの活動と比較した。平成 26 年度は、これまでに得られている放射線管理施設の大気中ラドン濃度変動データの解析を進め、大気中ラドン濃度の露点依存性を明らかにした。

平成 27 年度以降は、引き続きデータ解析および協力施設からの収集を進めるとともに、地殻変動(東北地方太平洋沖地震、和歌山県北部地震、大阪府北部地震、鳥取県中部地震、長野県神城断層地震、北海道胆振東部地震など)との比較を行なった。



解析では、大気中ラドン濃度の日変動や年変動の特性を明らかにし、気候変動、地下水変動、GPS変動解析などとの相関や特異値分解（部分空間法）による異常値の検出や潮汐分潮解析、対数周期変動との関連を検討し、大地震に先行あるいは地震に呼応するラドンガス放出について明らかにした。

(7) 本課題の5か年の到達目標：

本課題では、地殻変動や地震・火山活動のデータに限らず、地球潮汐データ、電磁気学的データ（たとえば、大気電位データ）、地下水データなどと大気中ラドン濃度との関連を求め先行現象の発現メカニズムを解明し、中短期の地震・火山噴火先行現象の統計的評価に着手することを目的とする。

(8) 本課題の5か年計画の概要：

令和元年度（平成31年度）は、地殻変動モニタリングに使用できる放射線施設に協力を求め、全国をくまなくカバーすることのできる全国放射線管理施設ネットワークの拡大を進める。大学及び研究機関の各放射線管理施設から得られた排気データを用いて、広域な大気中ラドン濃度変動解析を進める。大気中ラドン濃度の異常変動発現メカニズムを解明すると共に、機械学習等のデータ駆動手法を取り入れた中短期の地震・火山噴火先行現象の統計的評価を試みる。

令和2年度以降においても、地殻変動モニタリングに使用できる放射線施設に協力を求め、全国をくまなくカバーすることのできる全国放射線管理施設ネットワークの拡大を進めつつ、広域な大気中ラドン濃度変動解析を行う。各年度において大気中ラドン濃度の異常変動発現メカニズムを解明と機械学習等のデータ駆動手法を取り入れた中短期の地震・火山噴火先行現象の統計的評価を試みる。

各年度において、得られた研究成果を研究成果報告会、国際会議や国際学術雑誌や出版物に公表するほか、学内のHPでの掲載やプレスリリース等を通じ報道機関などへも公表する。

(9) 令和元年度の成果の概要：

1) 全国規模での放射線管理施設のモニタリングネットワークの構築や測定データの解析

令和元年度（平成31年度）までに25施設の全国医薬系放射線管理施設が参画しており、今年度は大気中ラドン（ $^{222}\text{Rn}$ ）データとして、獨協医科大学（栃木）の2011年以降のデータを入手するとともに、線データの解析に有効な星薬科大学（東京）のデータを入手した。さらにこれまでに得られている放射管理施設の大気中ラドン濃度変動データの解析を進めた。学会や論文等で、解析データの公表が可能になった際に、協力事業所名を公表する。また新たに全国の放射線管理施設で長期間の大気中ラドン濃度計測データを持つ協力機関を探し、ネットワーク拡大を進めている。

2) 潮汐分潮解析

神戸薬科大学での観測された大気中ラドン濃度変動データ（1984年～1994年）を用いて、福島県立医科大学の大森が予察的に昨年度潮汐分潮解析（図1-3）を行い、今年度さらに潮汐分潮解析を精査した結果、主要分潮のS1、K1、S2に該当する周期が認められた。またS1、S2については、気象による影響が高い。K1については、1984-1988年では認められなかったが、兵庫県南部地震前の1990年-1994年の期間では認められた。

3) 宮城県石巻市牡鹿半島小積地区で観測された大気中ラドン濃度変動

宮城県牡鹿半島にある宮城県原子力センターモニタリングステーション（小積地区）でアルファガードを使用して観測されていた大気中ラドン濃度データを解析し、2005年から2011年までの毎年、前年の12月から翌年3月までの大気中累積ラドン濃度（散逸率）が、2010年10月から2011年3月にかけて低かったことを指摘した（「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」平成25年度年次報告、課題番号1223）。

高感度モニタ（Aloka排気モニタ及びPME-TEL）と汎用モニタ（AlphaGUARD）によるラドン濃度測定結果の経時変化を解析した結果（南ほか，2016）、高感度モニタの2機種は値がほぼ一致し、測定値として有効なデータが得られると判定した。しかし、汎用モニタの値のばらつきが大きいことが明らかにした（「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」平成27年度年次報告、課題番号1223）。

そこで、今年度は、汎用モニタの値のばらつきを考慮し、この大気中ラドン濃度変動に関する状態空間モデルを用いて欠損データを補間し、時系列データ解析を行った(図4)。

#### 4) 大気中ラドン濃度変動に寄与する地震の条件の推定

各観測点で測定される大気中ラドン濃度変動が、どのくらい広い範囲が影響しているのか、またどのくらいの規模の地震が寄与するのかを明らかにするために、福島県立医科大学と札幌医科大学における大気中ラドン濃度変動度(連続データ)と地震系列(非連続データ)の強度関数が近くなるように地震を選択することで、大気中ラドン濃度変動に寄与する地震の条件の予察的な推定をおこなった。これにより、大気中ラドン濃度異常においても地震に伴う地下水位の異常(Matsumoto et al., 2003)と同様なマグニチュード 震源距離の関係が認められた。

#### 5) 大阪薬科大学で観測された大気中ラドン濃度変動

2018年(平成30年)6月18日に発生した大阪府北部地震( $M_j$  6.1)前に大気中ラドン濃度が低下したことを昨年度速報として発表したが、大阪薬科大学で観測された大気中ラドン濃度の経年変化と正弦回帰した平均変動解析を今年度進め、大阪府北部地震の約1年前から大気中ラドン濃度の低下が下がっていたことを発表した(三浦ほか, 2019)。このことに類似した1995年兵庫県南部地震の際に神戸薬科大学で観測された大気中ラドン濃度が地震直前に減少したこと(Yasuoka et al., 2009)も報告されており、今後はこの減少期間中の地震活動などとの関係を調べていく。

#### 6) RAD7、PicoRad、監視モニタによるラドン濃度測定法の確立

##### 6-1) RAD7装置による水中ラドン濃度測定

RAD7装置を用いた水中のラドン濃度測定は、液体シンチレーションカウンター(LSC)のように有機溶媒を使用しない。そのため、水文学のような屋外での地下水などの水中ラドン濃度測定をする場合にも、使用され始めている。水中のラドン濃度測定範囲が $10\sim 90\text{ Bq L}^{-1}$ において水中のラドン濃度の測定が可能であることを昨年度予察的に発表したが、今年度その研究成果はHiguchi et al.(2019)に掲載された。

##### 6-2) ピコラドのための校正係数の導出と評価

活性炭を用いたラドン収集器(PicoRad)は、室内ラドンのスクリーニングや土壌からのラドン散逸簡易測定に用いられ、同時多地点測定することができる。しかし、PicoRadを含む市販のラドン収集器について適切な測定結果を得るには、有効期限の異なるロットごとにPicoRadの換算式の係数が必要であることを昨年指摘し、今年度その研究成果をWakabayashi et al.(2019)として報告した。

##### 6-3) 監視モニタによる空気中ラドン濃度測定の検討 測定器の温度依存性の評価

放射線施設において、管理区域内からの放射性同位元素(RI)の漏えいを監視するための排気用監視モニタとして通気式電離箱が広く用いられてきた。RI漏えいを監視するためには平常時のデータの変動を捕らえておくことが重要である。これまでに平常時のデータは、その変動を屋外空気中のラドン濃度変動の測定に利用できることを報告してきた。日本の太平洋側では、屋外空気中のラドン濃度の季節変動は外気温と逆相関すると言われている。室温制御がされている場合、電離電流値からラドン濃度に変換可能であるが、室温制御がない場合、測定データが測定空気の温度の影響を受けている場合があることが明らかになった。そこで、神戸薬科大学の監視モニタデータを用いて、この温度による測定器への影響を取り除く補正をおこなうことで、監視モニタ(検証器)によって空気中ラドン濃度の測定が可能となることを明らかにした。

#### (10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Higuchi, S., Kamishiro, Y., Ishihara, M., Yasuoka, Y., Mori, Y., Hosoda, M., Iwaoka, K., Tokonami, S., Takahashi, R., Janik, M., Muto, J., Nagahama, H., Mukai, T., (2019) Evaluation of a radon air monitor in the measurement of radon concentration in water in comparison with a liquid scintillation counter. Radiation Protection Dosimetry 184, 426-429.

Wakabayashi, A., Yasuoka, Y., Janik, M., Nagahama, H., Fukuhori, N., Mori, Y., Arai, Y., Fujii, S., Mukai, T., (2019) Derivation and validity evaluation of calibration factors for activated-charcoal radon collectors.

Radioisotopes 68, 317-329.

三浦 直, 吉井未来, 安岡由美, 床次眞司, 長濱裕幸, 向 高弘, (2019) 監視モニタによる空气中ラドン濃度測定 of 検討. 第 69 回日本薬学会関西支部総会・大会, 神戸 (2019 年 10 月 12 日).

(11) 令和 2 年度実施計画の概要 :

本課題では、地殻変動や地震・火山活動のデータに限らず、地球潮汐データ、電磁気学的データ、地下水データなどと大気中ラドン濃度との関連を求め先行現象の発現メカニズムを解明し、中短期の地震・火山噴火先行現象の統計的評価に着手することを目的とする。各年度大学及び研究機関の各放射線管理施設の排気データの読み取りから、広域な大気中ラドン濃度変動解析を進める。大気中ラドン濃度の異常変動発現メカニズムを解明すると共に、機械学習等のデータ駆動手法を取り入れた中短期の地震・火山噴火先行現象の統計的評価を試みる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

長濱裕幸・武藤 潤

他機関との共同研究の有無 : 無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東北大学大学院理学研究科

電話 : 022-225-1950

e-mail : zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL : <http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/>

(14) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 長濱裕幸

所属 : 東北大学大学院理学研究科地学専攻

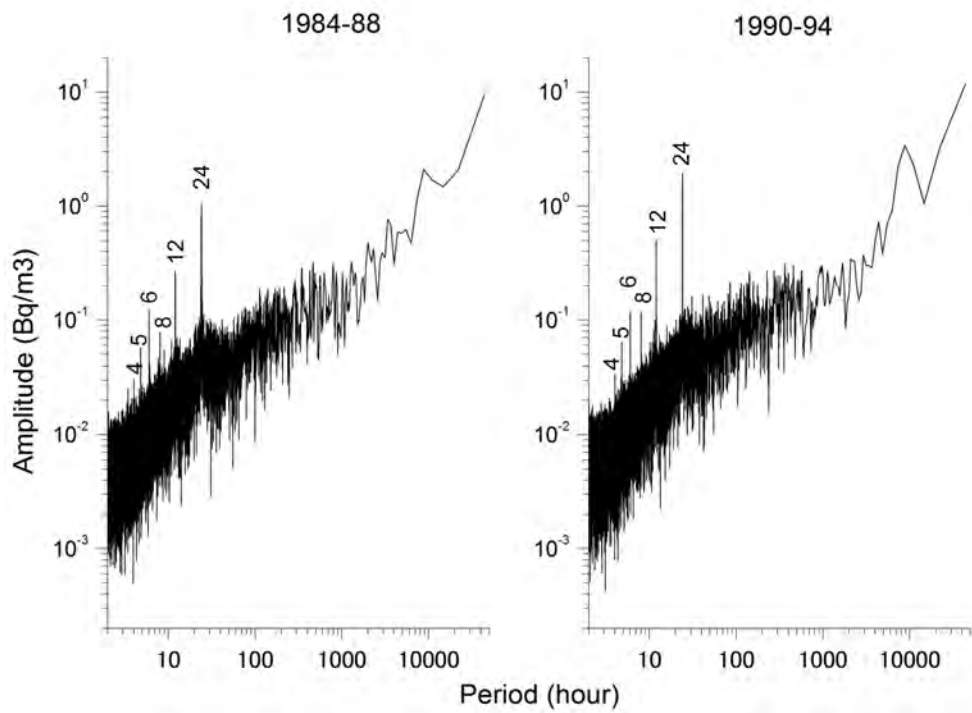


図 1. 振幅スペクトル解析  
測定期間 1984-1988 年 ( 左 ) 測定期間 1990-1994 年 ( 右 )

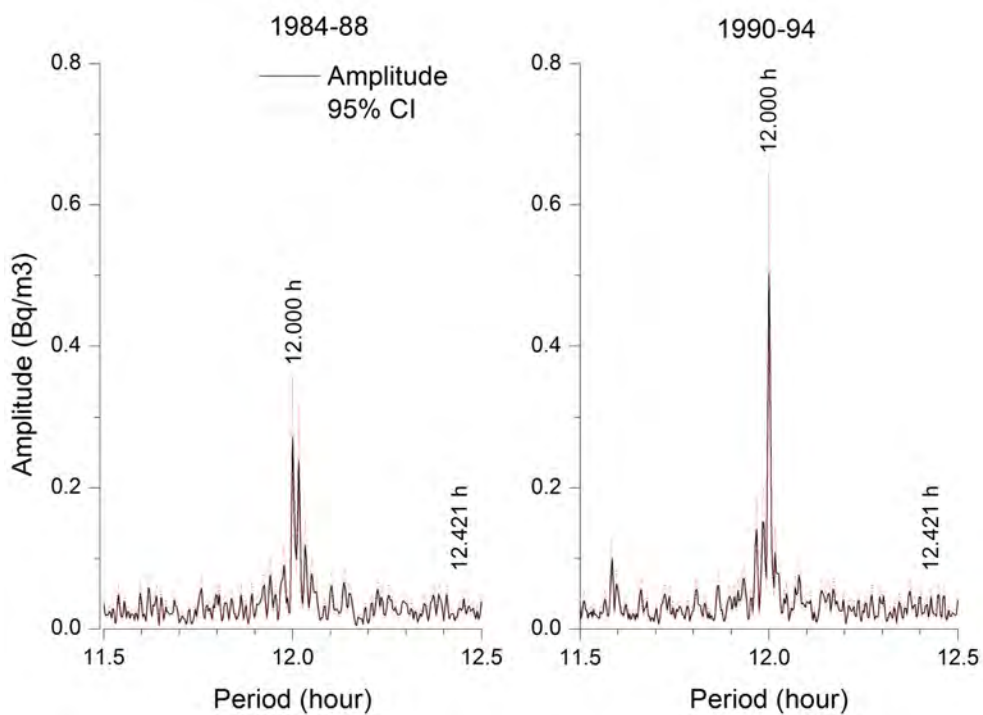


図 2. 振幅スペクトル ( 周期 12 時間 )  
測定期間 1984-1988 年 ( 左 ) 測定期間 1990-1994 年 ( 右 )

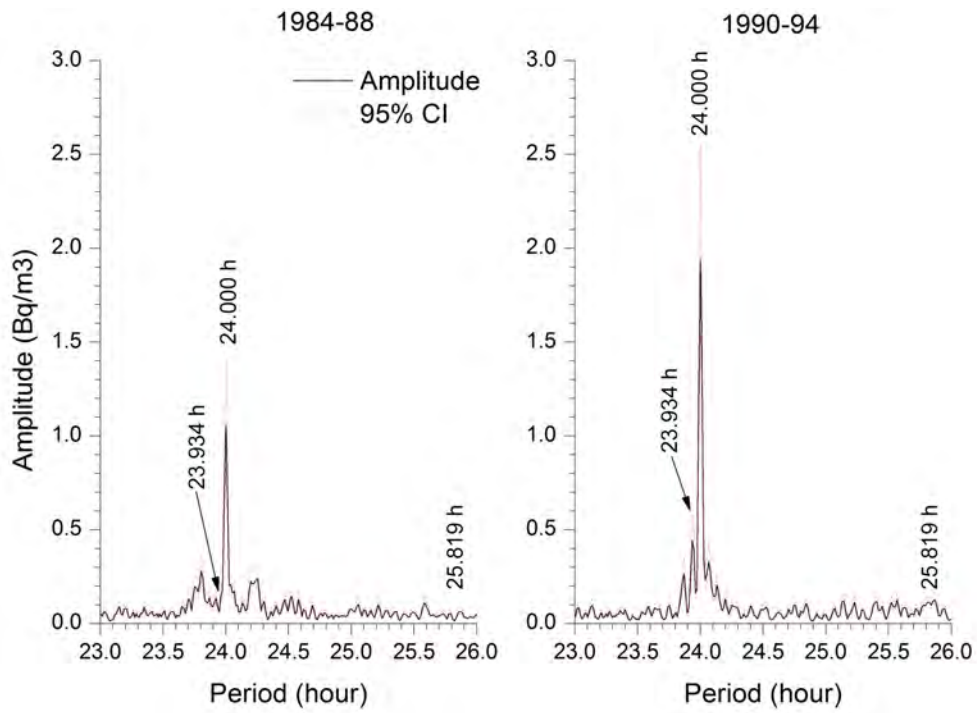


図3. 振幅スペクトル(周期24時間)  
測定期間1984-1988年(左)、測定期間1990-1994年(右)

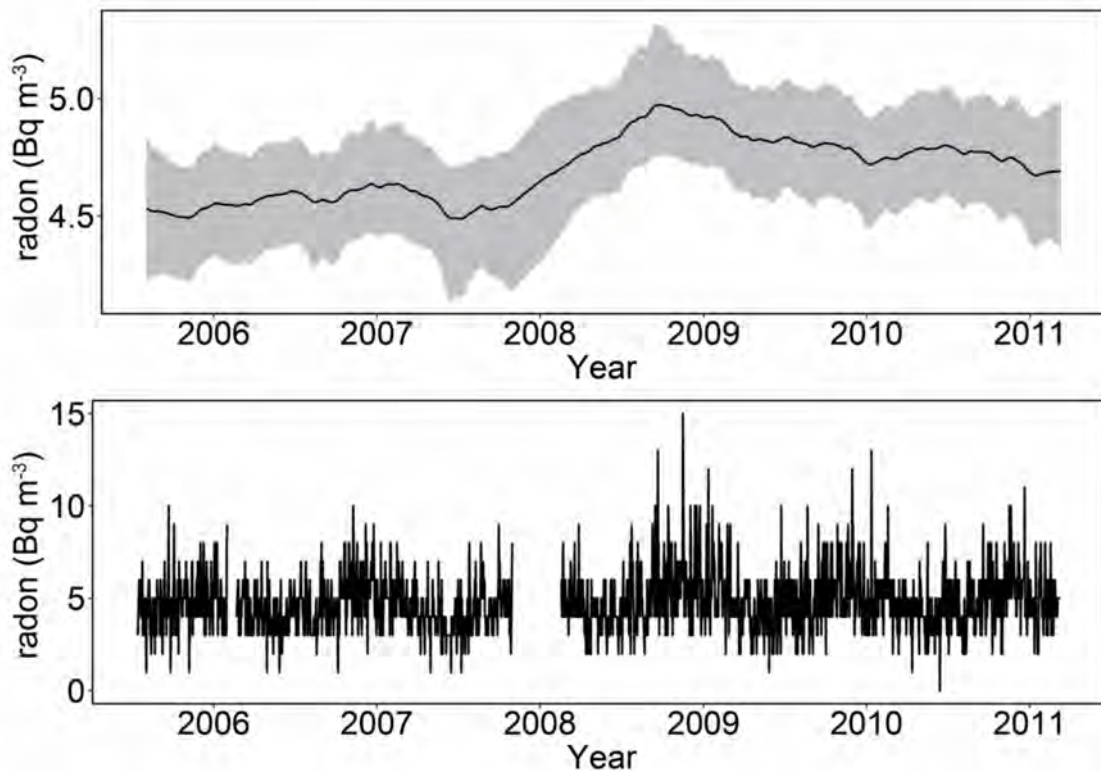


図4. 大気中ラドン濃度の変動データを用いた状態空間解析による時系列データ  
観測データ(下)、観測データに基づく状態空間解析結果(上)

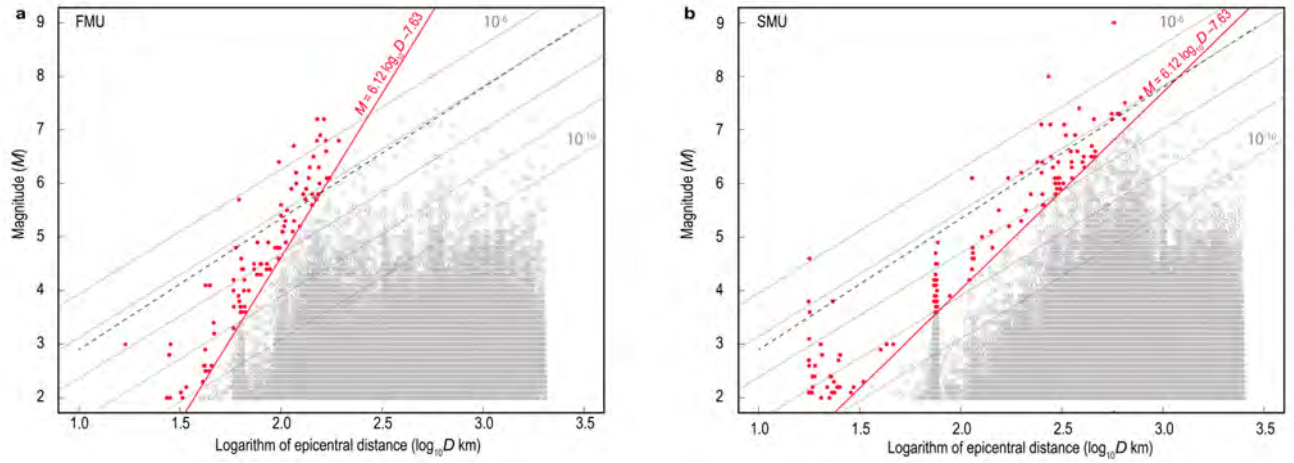


図 5. 大気中ラドン濃度変動に寄与する地震の規模と震源距離

福島県立医科大学（左）、札幌医科大学（右）。赤丸が大気中ラドン濃度変動に寄与した地震、黒丸が大気中ラドン濃度変動に寄与しない地震。赤線が閾値、点線が地下水位変動に寄与した地震の閾値、黒実線は地殻歪を表す。

( 1 ) 実施機関名：

東北大学理学研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

多項目観測データに基づく火山活動のモデル化と活動分岐判断指標の作成

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

工. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

平成 26-30 年度には、「観測事例及び理論予測に基づく噴火事象系統樹の分岐条件の検討」の研究課題として、分岐現象に着目して、全国の火山研究者により多くの火山活動を分類し、噴火活動の特徴と観測量との定性的な関係をまとめることができた。また、大地震による火山噴火の誘発あるいはその逆の誘発確率、山体変形データの特徴と火山噴火発生の確率、火山ガスに基づく活動予測、マグマ貫入率にもとづく桜島噴火規模様式の分岐モデルの構築などを行った。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

全国の主要な火山について、これまでに得られている地球物理学的、物質科学的データをもとに、火山活動や噴火活動について分岐指標を整理し、分岐判定に対する論理的評価方法を開発する。また、

山体構造や周辺テクトニクスを考慮に入れた火山活動をモデル化する。火山活動の活発化や噴火発生時の現象理解や事象分岐の予測に役立てるために、時系列上に、起こりうる火山現象と期待される地球物理学的観測量や噴出物特性をまとめる。加えて、観測量や噴出物特性を説明する物理化学的解釈やモデルを提示する。噴火を繰り返している国内の火山については、個別に火山活動および噴火活動のモデルを提示し、噴火事例の少ない火山については、他火山の事象との比較検討などを通して、特徴的な分岐現象や定常時の活動に着目したモデルを提示することを目指す。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

これまでの地球物理学的観測研究、地質・岩石学的研究の成果に加え、次期研究計画等で実施される研究課題の成果を取り入れ、樽前山、岩手山、吾妻山、蔵王山、草津白根山、箱根山、伊豆大島、三宅島、浅間山、雲仙岳、阿蘇山、霧島山などを候補として、火山活動のモデル化を行う。

令和1年度(平成31年度)は、噴火事例の有無、観測データの充実度等を指標に、研究対象とする火山を選定し、分類方法やモデル化の方法を検討する。近代的な観測が始まって以降に噴火事例が複数ある火山、一例しかない火山、あるいは、全くない火山があるので、近代観測以降の噴火発生数、静穏期の長さ、観測項目数等を考慮し、対象する火山や特徴的な分岐指標等を決定する。

令和2年度目および3年度目は、過去のデータ等をもとに各火山等でモデル化を進める。令和4年度目は、各火山等のモデルを比較検討し、共通点や相違点を洗い出し、平均的な描像や特異性を視点に加え、モデルをできるだけ一般化する。令和5年度目は、全体のモデルを俯瞰し、よりわかりやすい表現等を取り入れたモデルの提示方法を検討する。

年に数回、各大学や国の機関に所属する担当者とともに研究集会を実施し、各火山の活動モデル化を進める。また、最終年度を目処に、成果報告書などにまとめる。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

国内の活動的火山について、活動推移のモデル化や分岐判断指標の作成を十分行える観測データ等について検討した。多くの火山で記録されている地震活動や地殻変動について、地震発生と噴火や表面噴気活動との相関性、地震源の移動現象と山体膨張・収縮活動との関連性、大地震による応力場と噴火発生の関連性、などが見いだされることが分かった。また、火山性地震活動の新しい分類方法や火山性流体挙動の推定方法、継続的な噴煙活動のパターン化の方法の検討を行った。また、熱水系が卓越する火山において、多項目観測データの分析や浅部構造探査結果をもとにした火山活動のモデル化、地球物理学的観測データの定量的理解を進めるための熱流体活動の数値モデル化の可能性を議論した。より現実に即した火道流モデルへの展開を念頭に、実験によるマグマ特性のモデル化を進めた。そのほか、伊豆大島などの玄武岩質マグマ活動が活発な火山については、噴火事象系統樹の構築を開始した。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

井口正人・為栗健・平林順一・中道治久, 2019, マグマ貫入速度による桜島火山における噴火事象分岐論理, 64, 33-51.

西村太志, 2019, 噴火発生頻度の時空間的特徴, 64, 53-61.

高木朗充, 2019, 深部圧力源による火山性地殻変動に基づく噴火発生予測の評価, 64, 63-81.

橋本武志・宇津木充・大倉敬宏・神田径・寺田暁彦・三浦哲・井口正人, 2019, 非マグマ性の火山活動に伴う消磁及び地盤変動のソースの特徴, 64, 103-119.

篠原宏志, 2019, 火山ガス観測から推定される火山活動推移過程, 64, 121-129.

伴雅雄・及川輝樹・山崎誠子・後藤章夫・山本希・三浦哲, 2019, 近代的噴火観測事例のない火山での噴火推移予測: 蔵王火山の例, 64, 131-138.

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :



令和元年度に検討を進めた内容をもとに、地震・地殻変動データや多項目観測データ等を元にした火山活動のモデル化、多項目観測データや構造データを総合的に説明する個別火山のモデル化、玄武岩質マグマを有する火山の噴火事象系統樹をもとに噴火活動のモデル化などを進める。火山活動を定量化するための新たな解析手法を開発・利用しながら進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

西村太志、山本希

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学 橋本武志、中川光弘、青山裕

東京大学 大湊隆雄、森田裕一、前野深

東京工業大学 神田径、寺田暁彦

名古屋大学 前田裕太

京都大学 井口正人、大倉敬宏、中道治久

九州大学 清水洋

気象庁 高木朗充

防災科研 藤田英輔、三輪学央

産総研 篠原宏志

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学 大学院理学研究科

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：西村太志

所属：東北大学大学院理学研究科

( 1 ) 実施機関名：

東北大学理学研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

海陸測地データを活用したプレート境界面すべり即時把握能力の向上とそれにもとづく津波即時推定手法の高度化

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

イ. 津波の即時予測手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

本研究課題は「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」(平成 25～30 年度)における「トランジェント現象リアルタイムモニタリングのための複合測地データ利用の高度化」(課題番号：1209)と密接に関連した課題である。同課題は、幅広い時間帯域における地殻変動現象を複合測地観測データから明らかにするための研究計画であり、以下で述べる成果をこれまでに得ている。

(1) リアルタイム GNSS を用いた震源断層即時推定手法の高度化に関する研究

リアルタイム GNSS 測位から変位の自動検知、そして断層モデル推定とその津波予測への活用という一連の流れを、2011 年東北地方太平洋沖地震のデータを例としてこれまでに示した(Ohta et al., JGR, 2012; Ohta et al., IAGS, 2015)。さらにそれらの技術は現業機関である国土地理院に技術移転され、東北大学との共同研究によって地震時断層即時推定システム( REGARD, Kawamoto et al., JGR, 2017)と

してすでに実際の地殻変動監視に活用されている。2016年熊本地震では実際に、人の手を介さずに震源断層モデルを即時推定することに成功している (Kawamoto et al., EPS, 2016)。また、東北大学を中心とするコンソーシアムによって開発が進められている、実時間で津波浸水を高い空間分解能で予測するシステムにおいて REGARD は、断層モデルを提供する一機能として活用されている。さらにそれら津波浸水予測に関するシステム全体は、内閣府の総合防災情報システムの一機能である「津波浸水被害推計システム」として採用され、政府の発災時初動対応へ活用が期待されている (Ohta et al., JDR, 2018)。また、通常のキネマティック測位を介さずに、GNSS の生データである搬送波位相の変化と断層すべりを直接結びつけて推定する Phase To Slip (PTS) と呼ばれる手法の高度化を行い、短い時間帯域の現象であれば、精度の低い放送層等の衛星軌道情報でも断層すべり分布を推定できることを示した。さらにリアルタイム GNSS によって即時的に推定される断層すべりが持つ不確実性の定量評価を迅速に把握するための研究開発を開始した。

#### (2) 様々な時定数を持つ地殻変動現象の高精度把握のための研究

これまでにキネマティック GNSS における対流圏遅延と地殻変動場の高精度な分離を目的とした解析時の最適プロセスノイズ値の網羅的探索手法の開発を行い、上下成分で最大 29% (日毎の座標値のばらつき) 時系列のばらつきを低減できることを示した (Hirata and Ohta, EPS, 2016)。さらに海底圧力計の長期ドリフト成分の低減に向けた室内実験を産業技術総合研究所計量標準総合センターと共同で 2016 年より継続して進めている。

#### (7) 本課題の 5 か年の到達目標：

GNSS データや海底水圧計など、海陸の測地データを活用したプレート境界面におけるすべりの即時的な把握能力向上を目指した技術開発およびそれにもとづく津波即時推定手法の高度化を行う。

プレート境界すべりの時空間把握 (地震間、地震時、地震後) を即時的に行い、その推移予測を行うことは、地震発生予測を行う上で基盤となる技術である。特に陸上 GNSS に代表される測地観測データや、繰り返し地震等の地震学的データによる日～月～年単位でのプレート間カップリング状態の把握はこれまでに数多くの成果を挙げている。しかしそれらの結果を推移予測に活用していくためには、推定精度および時間分解能の向上が必須である。特に高い時間分解能を持つ GNSS では、主として対流圏遅延等の影響によって数十分～1 日程度の時間帯域における精度劣化が大きく、こうした時間帯域の地殻変動把握の障害となっている (例えば、Hirata and Ohta, EPS, 2016)。また海底における圧力観測は上下地殻変動場を連続的に把握できるという点で大きな利点を持つが、センサー固有のドリフトが大きく、特に数ヶ月以上の時定数を持つような地殻変動場、例えば地震間のひずみ蓄積や地震後の余効変動等の把握に困難性が存在する。

一方、より短い時間帯域の現象である地震時の断層すべりの即時推定に関しては、国土地理院と東北大学が開発を進めているリアルタイム GNSS を用いた地震時断層即時推定システム (REGARD, Kawamoto et al., JGR, 2017) の運用がすでに開始されており、実際の地震規模推定等に活用されている。しかし REGARD では陸上 GNSS によって得られた永久変位データのみを用いていることから震源域から遠く離れた海溝軸近傍での断層すべりを高い精度で推定することが難しく、推定誤差の定量的な把握が難しいという問題点がある。

こうした背景を受けて、本研究課題では様々な時間帯域 (年、月、日、分) におけるプレート間カップリングを、海陸測地データ (GNSS および海底圧力計) 観測・解析の高度化にもとづいてシームレスに把握する能力の向上を目指す。また、そうした精度向上と並行して、リアルタイム GNSS によって推定されるプレート境界型地震および海域で発生する地震の断層モデルが持つ不確実性を定量的に明らかにする手法を確立する。同手法については、国土地理院と東北大学が共同開発している REGARD への実装を目指す。さらに、S-net や DONET 等の沖合津波観測で実際に観測される津波記録を用いて、陸上 GNSS から即時的に推定される断層モデルが持つ不確実性を低減させる統合インバージョン手法 (例えば tFISH/RAPiD, Tsushima et al., GRL, 2014) の高度化を併せて行う。申請者らは、スーパーコンピュータを利用したリアルタイム津波浸水被害予測技術の高度化に取り組んでおり、即時的に得られ

る断層モデルのリアルタイム浸水予測の精度向上における優位性を実証するとともに、それら断層モデル等の不確実性が沿岸津波波高および津波浸水予測に与える影響を併せて検討し、それら不確実な情報をどのように災害情報に結びつけるべきかについて検討を進める。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要：

平成 31 年度：キネマティック GNSS の感度が大きく低下する時間帯域における対流圏遅延と地殻変動場の高い精度の分離を目指し、搬送波位相変化から断層すべりを直接推定する手法による1日以下の時間窓におけるモニタリング能力の精度検証を行う。また海底水圧計の長期ドリフトの室内実験での把握実験を行う。また実海底環境下でドリフト特性をその場で把握できる観測機材の開発を開始する。さらにリアルタイム GNSS による震源断層即時推定における不確実性の定量把握をマルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) で行うための技術開発を行う。

平成 32, 33, 34 年度：搬送波位相変化から断層すべりを直接推定する手法による1日以下の時間窓におけるモニタリング能力の向上のために、対流圏遅延推定のためのハイパーパラメータ等の最適化を行う。室内実験での海底水圧計の長期ドリフトの把握結果を基に、実海底環境下でドリフト特性をその場で把握できる観測機材の開発を継続し、実海域での試験観測を行う。実海域での試験観測は主としては、根室沖の S-net 観測点近傍で行う(根室沖における海底測地観測に関する研究課題と密接に連携)。MCMC 法で与えられた断層モデルの不確実性を沖合津波観測データで更新していく手法の高度化のための開発を行い、数値実験や既往地震等によってその性能を定量的に評価する。さらにこれら不確実な情報の災害情報への活用について特に津波浸水被害に着目して検討を行う。

平成 35 年度：搬送波位相変化から断層すべりを直接推定する手法による地震現象モニタリング能力の定量評価を行う。海底環境下でドリフト特性をその場で把握できる観測機材による既設海底水圧計等のドリフト推定を試みる。断層モデルの不確実性の災害情報へ活用する方策を特に津波浸水被害に注力してまとめる。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

搬送波位相変化から断層すべりを直接推定する手法 (Phase To Slip, 以下 PTS) の性能評価を目的とし、2011 年東北地方太平洋沖地震 (Mw 9.0) とそれに引き続く岩手県沖地震 (Mw 7.4) および最大余震である茨城沖地震 (Mw 7.8) に対して同手法を適用した。データには関東から東北にかけての GEONET 観測点 62 点の1秒ごとの搬送波位相データを用いた。沈み込む太平洋プレート上面を 386 の小断層に分割し、それら小断層上のすべり分布を、平滑化拘束を課した状態で推定した。グリーン関数には Okada (1992) の手法を用いた。PTS では、各観測点および各衛星における搬送波位相の二重位相差を観測値として用いる。今回、この二重位相差の生成方式に改良を加えた。すなわちペアを組む際の基準衛星を衛星の仰角が高い順に選択することで、できる限り長い時間二重位相差を組むペアに変更が生じないようにした。推定された断層面上でのすべり分布を見ると、2011 年東北地方太平洋沖地震本震については陸上 GNSS の変位データを用いたものと同様の結果が得られた (図 1)。さらに引き続き余震に注目すると、明瞭なすべり量のステップが岩手沖地震、茨城沖地震双方で確認できた (図 2)。さらにそれらのすべり分布を確認したところ、これについても先行研究と同様の結果が得られた。これらの成果は、PTS によって1日以下で連続する地震現象のモニタリングが可能であることを示唆する結果と考えられる。一方で、地震後のより長期の PTS によるすべり時系列を見ると、それら時系列には明瞭なドリフト成分が重畳していることも確認できた。これはそうした時定数における未知パラメータ間の分離精度が低いことを示唆し、それらの分離精度の向上が今後の課題と考えられる。

実海底環境下でドリフト特性をその場で把握できる海底圧力観測システムのプロトタイプ機を開発し、同機を実海域に短期間設置することでその動作確認を行った。その結果、想定した通りの動作を確認することができた。今後、より長期間のデータ取得を行い、その性能評価を行う。

リアルタイム GNSS による震源断層即時推定における不確実性の定量評価をマルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) で行うための技術開発を行った。本年度は、単一の矩形断層モデルをリアルタイム

GNSSによる永久変位場にもとづき即時的に得ることを目指したアルゴリズム開発を行った。同手法を Real-time automatic UNcertainty Estimation of the coseismic single rectangular fault model based on GNSS data (RUNE) と呼ぶ。MCMCでは、あらかじめ各パラメータの初期値や、尤度関数やそれを規定するパラメータ等を試行錯誤的に決める必要がある。RUNEではリアルタイムでの動作を念頭に、緊急地震速報や広域応力場の情報などから断層パラメータの初期値を設定した。また尤度関数としては正規分布を仮定し、その幅を規定するを自動決定するアルゴリズムを開発した。開発した手法を、日本海東縁で発生する地震を念頭に置いたシミュレーションデータに対して適用した。同適用においては仮定した断層モデルから期待される地表面変位に対して、水平 2cm, 上下 5cm の正規分布に従う観測誤差を与え、それをデータとして用いた。次に RUNE でそれらデータにもとづき断層モデルを推定した。この時に尤度関数のを自動推定した結果、仮定した水平 2cm, 上下 5cm に近い水平 1.94cm、上下 4.88cm という値を得ることができた(図 3) これによって、リアルタイムでの解析において仮定が必要なパラメータを自動決定することができた。次年度以降、より多様なモデルに対して RUNE を適用することでその性能評価を行うとともに、REGARD への同手法の技術移転において必要な要件等を明らかにしていく。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Kagawa T. and Y. Ohta, Prior and Immediate Estimations of Ground Motion, Tsunami, and other Geodynamic Hazards, J. Disaster Res, in press.

大野圭太郎, 太田雄策, MCMC による震源断層モデル推定の不確実性リアルタイム評価手法の開発, 2019, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, SCG59-10.

大野圭太郎, 太田雄策, 村松弘規, 阿部 聡, 震源断層モデル推定の不確実性リアルタイム評価手法の開発 -2019 年山形県沖の地震への適用-, 2019, 日本地震学会 2019 年度秋季大会, S24P-04.

大野圭太郎, 太田雄策, GNSS による断層すべり分布推定の不確実性定量評価-南海トラフを対象とした数値シミュレーション-, 2019, 日本測地学会第 132 回講演会, 52.

田中優介, 太田雄策, 宮崎真一, PTS による地震時および地震後の断層すべり現象の検出: 2011 年東北地方太平洋沖地震の事例, 2019, 日本測地学会第 132 回講演会, 10.

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

令和元年度に進めた搬送波位相変化から断層すべりを直接推定する手法 (Phase To Slip, 以下 PTS) の性能評価を継続し、特に 1 日以下の時間窓におけるモニタリング能力の精度向上を目指した対流圏遅延推定のためのハイパーパラメータ等の最適化を行う。また実海底環境下でドリフト特性をその場で把握できる海底圧力観測システムのプロトタイプ機のより長期間の海域試験を行い、その精度評価を行う。さらにリアルタイム GNSS による震源断層即時推定における不確実性の定量評価をマルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) で行うための技術開発を継続するとともに、それらを災害情報として活用するための方策について検討を開始する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東北大学大学院理学研究科 太田雄策, 日野亮太, 東北大学災害科学国際研究所 越村俊一  
他機関との共同研究の有無 : 有

国土交通省 国土地理院 測地観測センター, 産業技術総合研究所 計量標準総合センター

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東北大学大学院理学研究科

電話 :

e-mail :

URL :

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 太田雄策

所属: 東北大学大学院理学研究科

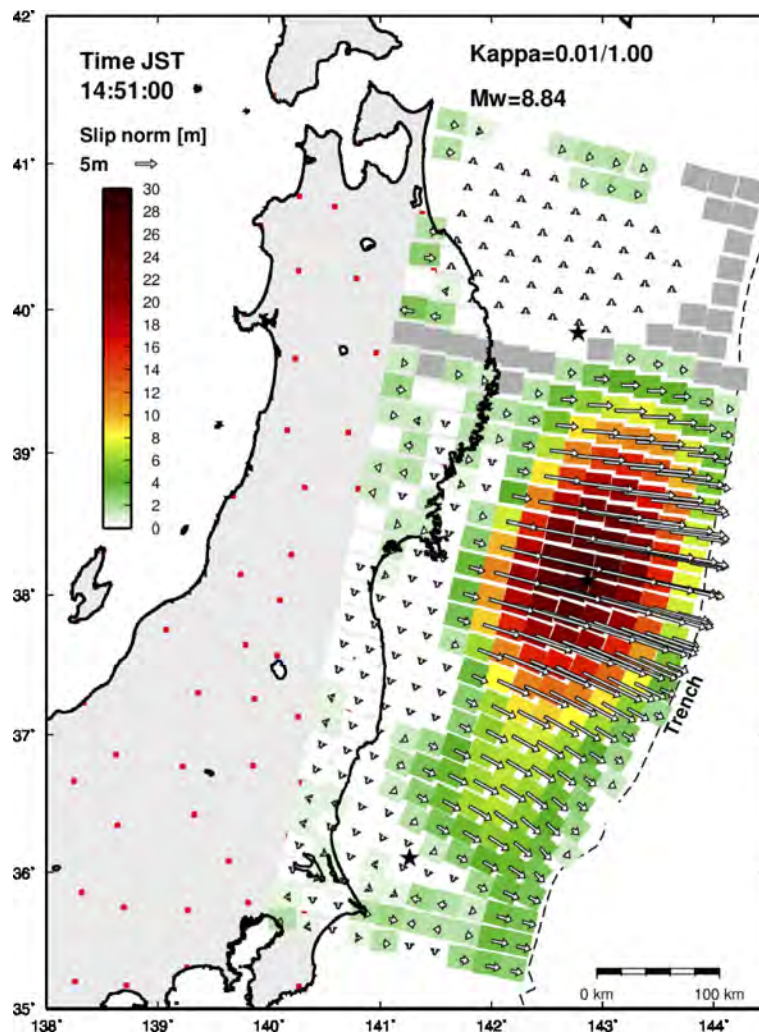


図 1.

PTS によって推定された 2011 年東北地方太平洋沖地震のすべり分布。



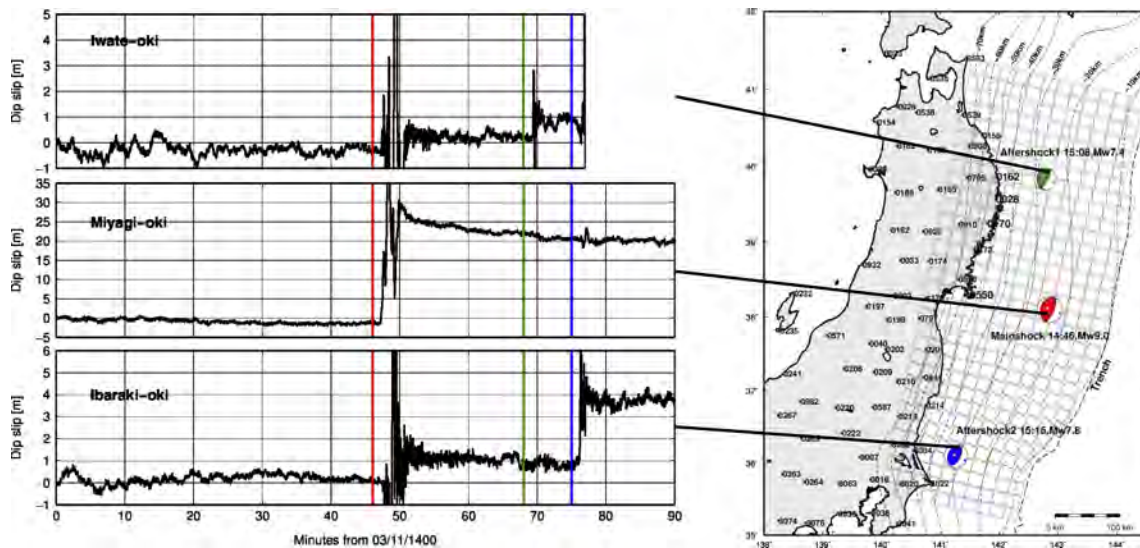


図 2.

PTS によって推定された 2011 年東北地方太平洋沖地震とそれに引き続く余震にともなう断層すべりの時系列。右図の各断層パッチのすべり時系列を左に示す。

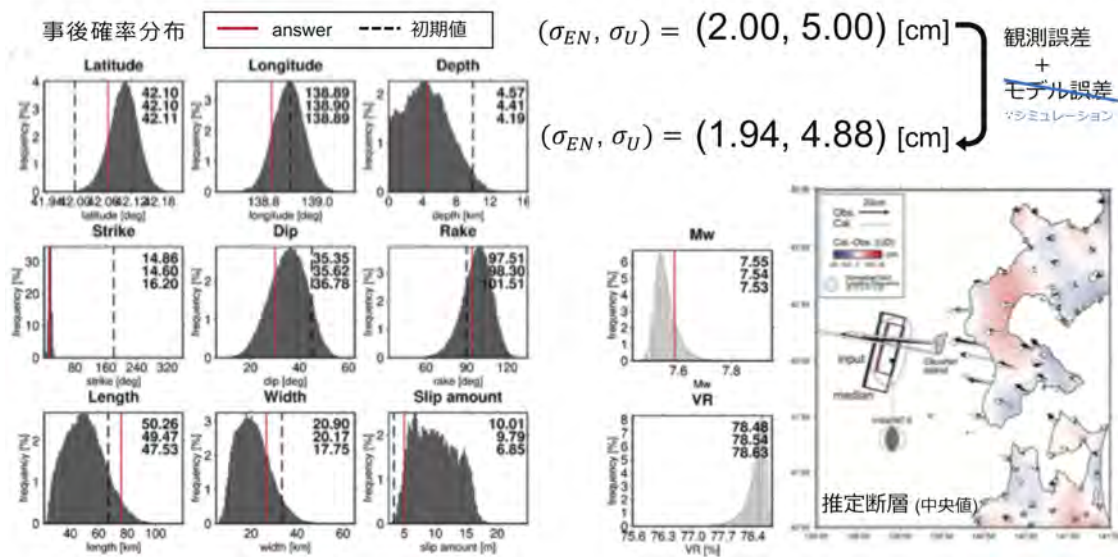


図 3.

日本海東縁で発生する地震をシミュレーションした結果に対して RUNE を適用し、断層モデル等を推定した結果。あらかじめ付与した観測誤差を自動推定できていることがわかる。また得られた結果を事後確率分布として確認できることから、推定誤差の不確実性の議論が可能であることが分かる。

( 1 ) 実施機関名：

東北大学理学研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震・火山データの無線伝送技術の開発

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震

火山

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

工. 桜島大規模火山噴火

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

( 5 ) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規研究



( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

本研究では、地震や火山のオンライン観測のための無線データ伝送技術を開発し、地震や火山現象の把握および解明に資する。

短期間に多数の観測点の設置が必要な余震観測は、電源や通信を短期間に確保することが一般的に難しいため、そのほとんどがオフラインで運用されている。リアルタイム観測が可能になれば、余震活動状況の詳細のより早い把握ができる。火山観測においては、火口近傍等商用の回線・携帯網での接続が難しい場所が多く、このような場所での多項目オンライン観測が可能になれば、火山活動の推移の把握に大変有効である。

最近の無線通信の制度面の動向として、2012年の電波法の改正に伴って920MHz帯が新たに無線通信に割り当てられたことで、帯域幅および出力がおおよそ2倍となり、多くの通信モジュールが提供されるようになった。また、本建議に基づく地震予知又は火山噴火予知のための観測用に割り当てられている400MHz帯について、九州総合通信局のもとでこの帯域の有効利用に関する調査検討が行われ、近い将来に通信の高速化が可能になる制度改正が見込まれる。さらに技術面の動向として、近年の社会的ニーズにより、いわゆるLPWA ( Low Power Wide Area ) などの長距離・低消費電力の無線伝送技術が発展し、“モノがインターネットにつながる”社会に近づきつつある。LPWAの中には、プライベートLoRaのような基地局不要の通信規格もあり、自営センサーネットワークなどへの応用が急速に広まっている。

そこで本研究では、このような制度的・技術的發展を地震・火山観測に取り込み、地理的な制約や既存インフラにあまり依存しない機動性や自由度の高い地震・火山観測の実現を目指して、観測センサーを自営網によりインターネットにつなげるための無線伝送システムの技術開発を行う。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

自営無線伝送技術の長所の1つとして、既存のインフラに頼ることなく、必要な場所で使用できるということがある。そのため、地方部や火山近傍など電源・通信インフラが整っていない場所での連続観測のほか、大地震の発生や噴火の兆候・発生といった緊急に観測システムの構築が必要な場面において役立てられると考えられる。本研究では、地震計や傾斜計・GNSS・画像など多項目の観測データについて、気象条件・設置条件の異なる国内の様々なフィールドにおいて伝送試験を行い、地震・火山活動状況の迅速な把握に役立てるための技術開発を行う。

多様な観測データの伝送に対応するため、情報通信機構の持つ多様な無線技術を応用し、観測項目にあった無線伝送方法・伝送方式を検討する。低速だが長距離・低消費電力を特徴とするLPWAについては、ガスの検針や気象データ等のデータ量の少ない通信での活用例はあるものの、高サンプリングレートが要求される地震波はデータ量が格段に大きく伝送容量が不足する可能性がある。そこで様々な通信規格を比較検討するほか、通信速度に応じたシステムを開発する。速度が不足する場合には観測点側に配置したコンピュータによるエッジコンピューティングにより、地震波の位相読み取りや波形相関による位相差データ作成等を行ったり、観測データのランニングスペクトル画像を作成したりし、一次処理済みの情報を伝送するなどの工夫をして、自営システムとして地震・火山活動状況の迅速な把握に役立てられるものを目指す。

一方、規格改正による新たな利用形態が期待される400MHz帯の利用については、免許帯であり、地震・火山観測用に最適化できる可能性がある。現在、920MHz帯ですすめているLPWA等の新たな技術を活用し、400MHz帯での新たな無線観測システムの開発にあたる。これについては、H33頃の規格改正を見据え地震観測機器のメーカーとの共同開発を行う。

他課題との連携については、桜島大規模火山噴火・蔵王の火山での観測、内陸地震の発生機構の解明に関する課題と連携していく。また、火山プロジェクトでの緊急観測への活用も視野に入れる。これにより内陸の新たな余震観測のプロトタイプの完成および活発な火山での長距離無線伝送に道を拓く。各年度の計画は以下の通りである。

2019年度

内陸地震および火山近傍における無線伝送のためのシステム要件の検討およびシステム開発を行う。吾妻山における傾斜計データの無線伝送を試みる。約2年後の法改正を見越して400MHz帯長距離無線機材の開発に着手する。

2020年度

システム開発を継続するとともに、920MHz帯において実際の内陸地震火山観測現場でのフィージビリティスタディを行う。内陸地震は中規模地震の余震活動をターゲットとし、課題の洗い出しを行う。火山では吾妻山等の観測現場での、課題の洗い出しを行う。

2021年度

前年度得られた課題の解決を行うとともに、実際の大規模内陸余震観測への無線システム組み込みに関する検討を行う。また、エッジ処理による地震波検知の試行を行う。法改正後に400MHz帯を利用した試験機をテストする。

2022年度

GNSS等地震波以外のデータ伝送に関するシステム開発に着手する。また、省電力性・可搬性・観測点展開の容易性などの向上に務める。さらに、エッジ処理による精密震源決定の試行を行う。データ流通網への接続試験を行う。稠密地震観測・定常観測点データのバックアップ等のアプリケーションの検討も行う。

2023年度

観測の現場での長期安定性の検証のほか、データ流通網への即時接続・エッジ部分とセンター側での処理の最適化などトータルのシステムとしての完成度の向上をはかる。

#### (9) 令和元年度の成果の概要：

[研究集会およびフィールド試験]

10月に北海道にて課題の研究集会を開催するとともに、フィールド試験・巡検を行なった。1日目は北大キャンパスにて各機関の現状や課題、技術開発の状況に関する情報交換を行い、2日目は樽前山周辺にてNICTを中心に開発中の920MHz帯の省電力無線通信機の移動通信試験を実施した。試験には北大樽前山火山観測網の支笏湖畔観測点を基地局とし、移動局側として樽前6合目観測点、美笛観測点の周辺のほか、丸駒温泉など支笏湖岸一帯の地域の北大の観測フィールドを巡検した。支笏湖畔観測点では北大および気象庁が運用中の400MHz帯無線受信装置を、樽前6合目と美笛観測点でも北大の400MHz帯無線送受信装置の運用実態を実際に課題メンバーが視察し、運用実態の認識共有を図った(図1)。

[920MHz帯]

上述のとおり、樽前山周辺でメンバーが集まって920MHz帯の省電力無線通信試験を行なった。この試験では、情報通信機構が中心となって開発されたLoRa試験機およびLoRaを用いたWIN波形伝送用無線機の2つを用いた電波の伝播試験を行なった(図2-4)。その結果、周波数帯が低く電波の回り込みが期待できるLoRaであっても、写真のように限定された見通しの環境では通信範囲が限定されるため、ある程度の見通しが必要であることがわかった。また、同じ見通しであっても、樽前山7合目のように、より高所に設置した端末であれば、より長距離でも安定した通信が見込めることがわかった。さらに、吾妻山及び蔵王山においても920MHz帯無線を用いたデータ伝送の試験を実施した。それぞれの火山観測点において、Lazuriteモジュール・ITM920モジュールを使用して1Hzサンプリングの観測環境データ(電圧・気温・湿度)の伝送を行った。データ伝送は概ね安定して行うことができたが、吾妻山・東吾妻山観測点(標高1975m)では、冬季に温度低下に伴うと考えられる障害が発生し、今後の連続的な使用への課題点が明らかとなった。

[400Hz帯]

400MHz予知研究用の免許帯での機器開発に向けては、全国の400MHz帯無線機所有の大学・研究機関の研究者と研究集会等で意見聴取を行い、現状や新無線形式に帯するニーズの調査を行った。また新たな無線機器に必要な仕様について協議を重ねた。また、400MHz帯地震・火山噴火予知観測用無

線移動局の 21 波の周波数について、新伝送形式やチャンネル結合による伝達情報速度や伝達距離の向上をめざし、総務省総合通信基盤局において事業説明を行い、法整備や実験用免許についての協力を要請した。さらに、無線機器メーカーと打合せを行い、機器の開発についてとされる機能、市場ニーズ等について意見交換を行った。

[無線機器の活用に向けた取り組み]

無線機器の活用に向けて北大では、電波法関連の改正に伴う H33 年の規制強化に対応するため、樽前山の支寒内観測点で運用中の 400MHz 帯無線送受信装置の改造を行ったほか、有珠山での無線利用のテレメータ観測点を、携帯電話経由の通信へ移行した。また、東北大では情報通信機構の IoT キャラバンテストベッドを用い、携帯網を通じて観測点からデータを収集し、それを直接全国のデータ流通網へ流すシステムの構築に成功した。現在は、不要なデータを流さないようにするため、データは情報通信機構内の仮想サーバまでで止めているがシステムは 2ヶ月以上にわたって順調に稼働している。今後、突発的な地震や火山活動の際の機動観測・LPWA 等の自営無線網により収集したデータの大学等までの伝送のため有用と考えられる。京大では、桜島の観測点において、400MHz 帯の無線機の導入を行なった。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :  
特になし

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

920MHz 帯においては、LoRa 通信の高速化のための模索を行う。そのために上半期は安定通信可能な LoRa テストフィールドの準備や安定通信下での LoRa リンク多重化検討を行う。下半期は、4 値 FSK 等との比較検討を行う。

400MHz 帯においては、全国の大学・研究機関の担当者およびメーカー技術者も含めて、新たに開発する無線機器の仕様を策定する。また、引きつづき総務省総合通信基盤局とコンタクトをとり、400MHz 帯移動無線局に対する早急な法整備を要請する。

無線機器の活用に向けた取り組みでは、400MHz 無線送受信装置の新規格への対応作業を進める。北大では、携帯テレメータ化できる観測点について 400MHz 無線送受信装置からの置き換え作業を進める。置き換え作業は北海道駒ヶ岳の火山観測点を計画している。京大では、400MHz 無線送受信装置の新規格への対応作業を、薩摩硫黄島・口永良部島・諏訪之瀬島で進める。吾妻山や蔵王山等の火山観測点における、動作試験も引き続き進める。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東北大学理学研究科(内田直希・岡田知己・山本希・太田雄策・吉田圭佑)

他機関との共同研究の有無 : 有

北海道大学(青山裕)

京都大学(中道治久)

九州大学(松島健)

情報通信研究機構(佐藤剛至・天間克宏・大和田泰伯)

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東北大学大学院理学研究科

電話 : 022-225-1950

e-mail :

URL :

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：内田直希  
所属：東北大学理学研究科



図 1.  
樽前山の既設 400MHz 無線受信点の様子。この観測点に LoRa の試験のための受信機も設置した。

## • NICT キャラバンテストベッド LoRa試験機

親機



設定：

帯域幅 (Bandwidth) : 500KHz

拡散率 (SpreadFactor) : 10

子機は10秒および30秒ごとに位置を通知

子機1



図 2

LoRa 試験機での試験の様子。左は親機、右は車内に設置した子機。

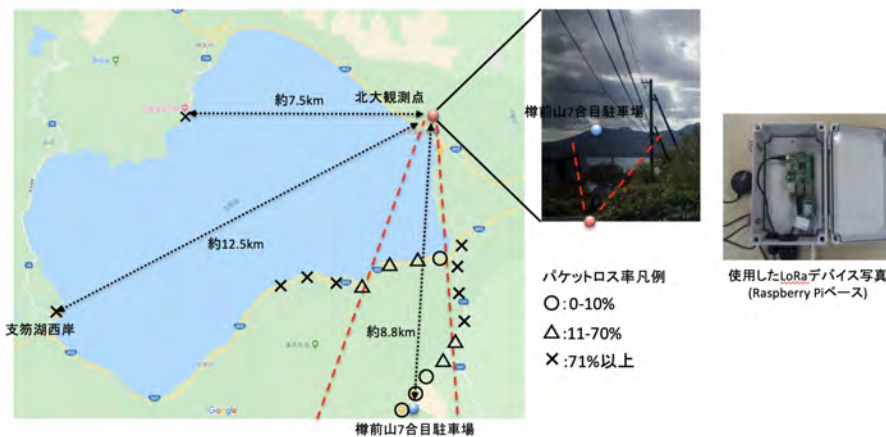


図 3.

WIN 波形伝送装置での試験の様子とその結果



## 結果全体図

A-E 地点では、地震波形  
ファイルの伝送試験も実施



丸駒温泉から親機方面 (約7.4km)

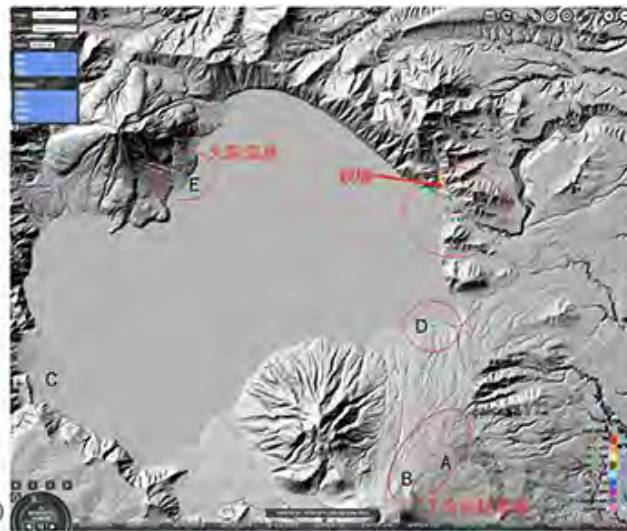


図 4.

LoRa 試験機での電波強度分布の結果。赤丸の地点では通信ができた。

- ( 1 ) 実施機関名：  
東京工業大学
- ( 2 ) 研究課題（または観測項目）名：  
海域火山活動に伴う熱水活動の実験的研究と観測研究
- ( 3 ) 関連の深い建議の項目：  
1 地震・火山現象の解明のための研究  
(4) 火山現象の解明とモデル化  
ア. 火山現象の定量化と解明
- ( 4 ) その他関連する建議の項目：  
2 地震・火山噴火の予測のための研究  
(4) 中長期的な火山活動の評価  
イ. モニタリングによる火山活動の評価
- ( 5 ) 総合的研究との関連：
- ( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果（または観測実績）の概要：  
海域火山の活動時に発現する変色海水によって海域火山活動の評価が行われてきた。  
「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」では、評価方法について新たな手法を検討し、確立した。この手法によって西之島・口永良部島の活動度を評価した。
- ( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：  
海域火山活動時に発現する変色海水について、熱水の組成変化を実験的に明らかにする。
- ( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：  
平成 31 年度は、変色海水の採取・分析法について、検討を行う。  
平成 32～34 年度は、変色海水の原因である熱水について、その組成変化に関する実験的研究を行う。  
平成 35 年度は、5 年間のとりまとめを行う。  
海域火山活動の観測研究については、5 年間を通じて実施する。
- ( 9 ) 令和元年度の成果の概要：  
海底火山活動にともなって海面下にある海底火山の火口の直上や沿岸部が白色～黄緑色～褐色に変化する現象がしばしば観測される。この得意な現象は変色海水と呼ばれ、海底火山から放出される酸性の熱水が弱アルカリ性の海水と中和反応を起こし、熱水中の Fe, Al, Si が水酸化物として共沈して生成する沈澱物によるものである。これまで、福岡ノ場海底火山や伊豆大島、口永良部島等で発生した変色海水が採取・分析されている。今年度はこれらの分析法を再検討した。正確な定量には共存する海水の影響が大きいこと、熱水中の Si は約 30%しか沈澱しないことなどを考慮し、沈澱を濾過し、それを塩酸溶液で溶解する方法が最適であることを確認した。沈澱採取量が少ない場合には、Al や Fe は溶媒抽出法で定量することで、低濃度の分析も可能である。

今年度も海上保安庁の協力のもと、南方諸島海域火山観測を行い、変色海水の発生状況から海底火山活動についての推定を行った。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
野上健治，日本近海における海底火山活動とその観測，水路，191，14-21.

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要：

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

野上健治

他機関との共同研究の有無：無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京工業大学理学院火山流体研究センター

電話：0279-88-7715

e-mail：knogami@ksvo.titech.ac.jp

URL：

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：野上健治

所属：東京工業大学理学院火山流体研究センター



( 1 ) 実施機関名：

東京工業大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

小型拡散放出二酸化炭素率測定装置の開発

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

火山活動にともなって放出されるマグマ起源の二酸化炭素を面的に捉えるための測定装置を開発する

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 31 年度は、装置の基本的な設計を行う。

平成 32～33 年度は、装置の試作を行う。

平成 34 年度は、試作した装置を使い、桜島などの火山での観測を行う。

平成 35 年度はこれらの成果のとりまとめを行う。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

マグマの上昇に伴って減圧が起こり、マグマに含まれる揮発性成分がマグマから脱ガスする。マグマに含まれる揮発性成分の殆どは水であり、二酸化炭素がそれに次ぐが、二酸化炭素は水よりも高圧下で脱ガスする。脱ガスした二酸化炭素は噴気や噴煙として大気に放出されるだけでなく、火山体の

地表面からも拡散放出されている。地表面から拡散放出される二酸化炭素が火山活動と密接に関係していることが知られており、その測定は火山活動の推移を推し量る上で非常に重要である。この測定法として世界的には Accumulation chamber 法が広く用いられている。今年度はこの方法に準じ、チャンパー内に比分散型赤外分光法 (NDIR) で測定する小型センサーで二酸化炭素濃度の上昇を測定し、放出率を求めることとした。自律的にチャンパーが上下してチャンパー内の二酸化炭素濃度を大気と入れ替えるリフレッシュ機構の設計を行い、装置の試作を行った。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

野上健治

他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京工業大学理学院火山流体研究センター

電話 : 0279-88-7715

e-mail : knogami@ksvo.titech.ac.jp

URL :

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 野上健治

所属 : 東京工業大学理学院火山流体研究センター

( 1 ) 実施機関名：

東京工業大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

水蒸気噴火の準備過程を捉えるための火山熱水系構造モデルの精緻化

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

( 5 ) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

草津白根火山では、比抵抗構造(Nurhasan et al., 2006)と地球化学的モデリング(Ohba et al., 2000)により、浅部熱水流動の詳細が描像されつつある(寺田, 2018)。また、浅部熱水系の大気接続部分に相当する火口湖の物質・エネルギー収支を支配する物理パラメータが導かれた(Terada and Hashimoto, 2017)。更に、噴火期でも火口湖から湖水採取を安全に実施するためのドローンを用いた新手法を確立されている(Terada et al., 2018)。この他、CSEM( Controlled Source Electromagnetic )法の一つである電磁 ACROSS を用いた観測試験が進められている。

御嶽火山でも、浅部帯水層に関する比抵抗構造が ( Abd and Mogi, 2016 )、その南東麓の地震発生域においては三次元比抵抗モデルが提案されている。また、2014 年噴火前の震源移動 ( Kato et al., 2015 ) やメカニズム解の変化 ( Terakawa et al., 2016 ) のほか、噴火直前の長周期地震・傾斜ソース ( Maeda et al., 2015; 2017 )、長期間の膨張・収縮とその変動源 ( Murase et al., 2016 ) の位置が判明している。2014 年噴火の直後には、ドローン等を用いた火山ガス組成比が繰り返し測定されている ( Mori et al., 2016 )。

伊豆大島火山については、以下 CSEM 法による比抵抗連続モニタリングを実施して大局的な標準構造が求められているほか、帯水層上面の昇降に起因すると思われる年周変化が検出されている。さらに、活動活発化時に即応できるよう、想定される変化に対する本システムの応答を数値シミュレーションにより確認されている。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

本課題では、浅部熱水系への流体供給源であるマグマだまりや、Brittle-Plastic 境界 ( 地表下 2-3 km 付近 ) で深に貯留されている高温・高圧の熱水の挙動を観測から伺い知るために、これまで判明している領域よりもやや深い場所の地下構造と、その周辺の熱水流動との関係を明らかにすることを目標とする。そのために、草津白根、御嶽および伊豆大島火山の 3 火山において電磁気学的な構造探査を基軸とした観測研究を実施する。本課題では、得られた地下比抵抗構造の特徴を、地球物理・地球化学的な観測成果と比較することで解釈する。すなわち、山体スケールで地震・地殻変動等の観測とデータ解析を進めるほか、火口周辺に加えて、やや広域を対象として噴気ガスや温泉等の試料採取する、あるいは既存データを収集する。このように得られた諸成果を整理することで、地下数 ~ 10 km 程度までのやや深い領域までの構造と流体輸送との関係を研究する。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

1 年目 : 草津白根、伊豆大島および御嶽火山 ( 以下、対象 3 火山と呼ぶ ) において MT 観測等の電磁気学的構造探査を実施。草津白根火山では地球物理観測 ( 地震・地殻変動、全磁力および温度観測 ) および地球化学的調査 ( 広域での温泉水採取、および火口周辺での繰り返しサンプリング ) を実施  
2 年目 : 対象 3 火山において電磁気学的構造探査を実施。草津白根火山では地球物理観測および地球化学的調査を継続  
3 年目 : 対象 3 火山において比抵抗構造解析を進めるほか、必要に応じて補充観測を実施。草津白根火山では温泉および震源分布等の解析を行うほか、地球物理観測および地球化学的調査を継続  
4 年目 : 対象 3 火山において比抵抗構造を求める。伊豆大島では CSEM 連続観測を実施。草津白根火山では温泉および震源分布等の解析を行うほか、地球物理観測および地球化学的調査を継続  
5 年目 : 対象 3 火山において得られた比抵抗構造を、地球物理および地球化学的調査結果に基づき解釈する。伊豆大島では CSEM 連続観測を継続。草津白根火山では地球物理観測および地球化学的調査を継続

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

( 草津白根火山 )

白根および本白根火砕丘周辺において既存の地震、地殻変動観測点を運用し、震源位置および地殻変動力源位置を明らかにした。

草津白根山周辺の広域の地下比抵抗構造を推定することを目的として、広帯域 MT 観測を実施した。次世代火山人材育成総合 PJ で取得したデータと併せて 3 次元比抵抗構造解析に着手した。

草津白根山湯釜周辺については、広帯域 MT 観測データを 3 次元解析することで詳細な 3 次元抵抗構造を解析した。湯釜の東に広がる地表付近の厚さ 200m の釣鐘状キャップロックが解析された。その下の北東-南西走行の高比抵抗熱水ガスたまりが湯釜の南東縁に長さ 500m 程度に見出され、これは過去の水蒸気噴火火口に沿って存在している。さらに海拔 800-1000m 以深に超臨界状態の高塩濃度流

体が湯釜直下から北西方向に分布することがわかった。このほか、電磁アクロスシステム測定システムの構築、運用と解析について進めた。

湯釜湖水、周辺温泉水、火山ガス、および地中ガスを採取し、湯釜火口湖周辺の温泉供給系を具体的にモデル化した。さらに、地下浅部構造を反映したと考えられるガス放出を湯釜南斜面に見出した。ドローンを用いて湯釜の任意場所・深度から採水を繰り返したことで、湖水定期採水場所で得られる試料と、湖底湧出流体との化学的な違いが検討された。

さらに、2018年に活発な群発地震活動が認められた長野県高山村村内において繰り返し温泉採取を行い、同温泉群に高濃度で含まれるClが化石海水を起源とすること、その寄与が最も強い源泉位置が群発地震の震源域に隣接していることを明らかにした。

湯釜火口周辺の噴気で定期的な $3\text{He}/4\text{He}$ 比観測を継続した。また、従来観測地点の少なかった西方の、火口から7kmほど離れた五色温泉で初めて温泉ガスを採取し、5.3 RAという値を得た。火口からの距離に対応して寄与は減少しているものの、マグマ起源ヘリウムを含む流体がこの地域まで到達していることが分かった。

(伊豆大島火山)

現在の伊豆大島火山下の浅部構造を把握するためにカルデラ内でAMT観測およびACTIVE観測を実施した(2019/11/10-15, 12名参加)。また、来る噴火事象に備えた監視観測を目的として、ACTIVE連続観測、およびDC比抵抗法連続観測を継続している。また、2019年6月にマルチガスセンサを搭載したドローンを三原山山頂火口内へ降下させ、同火口としては初めて火山ガスの $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比を測定できた。この観測において $\text{SO}_2$ と $\text{H}_2\text{S}$ は検出限界以下であった。

(御嶽火山)

御嶽山山頂部において地下浅部の三次元比抵抗構造を明らかにし、2014年の水蒸気噴火などに関連する熱水系実態を解明するために計9観測点でMTデータを取得(2019年8-9月, 6名参加)、そのうちの2点において予察的に一次元比抵抗構造を解析した。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

亀谷伸子・石?泰男・吉本充宏・寺田暁彦、草津白根火山、白根火砕丘群と弓池マールおよび逢ノ峰火砕丘の岩石学的特徴、地質学雑誌、印刷中

Yaguchi, M., Trada, A. and Ogawa, Y. (2020) Air-Fall Ash from the Main Crater of Asama Volcano on August 7, 2019, and its Water-Soluble Components, Journal of Disaster Research, 15, 53-56, DOI: 10.20965/jdr.2020.p0053

Matsunaga, Y., Kanda, W., Takakura, S., Koyama, T., Saito, Z., Seki, K., Suzuki, A., Kishita, T., Kinoshita, Y., Ogawa, Y. (2020) Magmatic hydrothermal system inferred from the resistivity structure of Kusatsu-Shirane Volcano, J. Volcanol. Geotherm. Res., 390, 106742, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2019.106742>

東京大学地震研究所(2019)第145回火山噴火予知連絡会資料(2019年12月)

橋本武志・宇津木充・大倉敬宏・神田 径・寺田暁彦・三浦 哲・井口正人(2019)非噴火期の消磁源及び地盤変動源の特徴について、火山、64, 103-119

東京大学地震研究所(2019)第144回火山噴火予知連絡会資料(2019年6月)

Noguchi, R., Nishizawa, T., Kanda, W., Ohkura, T. and Terada, A. (2019) Installation of new GNSS network around Kusatsu-Shirane volcano, Japan: its perspective and the first result, Journal of Disaster Research, 14, 744-754, DOI: 10.20965/jdr.2019.p0744

西嶋就平・市原 寛(2019)御嶽山MT観測と既存データの1次元解析、令和元年度(平成31年度)Conductivity Anomaly研究会, CA2019-P07

(発表) Terada, A. Relationship between phreatic eruptions and the active hydrothermal system of Kusatsu-Shirane volcano, Japan, International Workshop on the mechanism of Phreatic Eruption, 2020/1/16, Hakone, Japan

- Kanda, W., Seki, K., and Matsunaga, Y., Resistivity structure of preparation zone for phreatic eruptions in several volcanoes in Japan, 2020/1/15, Hakone, Japan
- Hashimoto, T., Terada, A. and Tanaka, R., Simple and Fast Method to Remove Volcanic Smoke in Visible and TIR Imagery, 27th IUGG General Assembly, IUGG19-0493, 2019/7/14, MONTREAL, CANADA
- Hashimoto, T., Utsugi, M., Ohkura, T., Kanda, W., Terada, A., Miura, S. and Iguchi, M., Source characteristics of demagnetization and ground deformation during inter-eruptive periods, 27th IUGG General Assembly, IUGG19-1263, 2019/7/16, MONTREAL, CANADA
- 山田大志・黒川愛香・寺田暁彦・神田径・上田英樹・青山裕・大倉敬宏・小川康雄・棚田俊收, 地震波解析から推定される草津白根火山本白根山 2018 年噴火の噴火機構, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 神戸市
- 谷口無我・大場 武・寺田暁彦, 草津白根山山頂火口湖湯釜の水質と火山活動との対応, 日本火山学会秋季大会, 神戸市
- 寺田暁彦・森 俊哉・大場 武・谷口無我・鬼澤真也・大野鷹士・森田裕一, 伊豆大島三原山火口底の火山ガス組成測定, 日本火山学会 2019 年秋季大会, 神戸市
- 香取 慧・寺田暁彦・西野佳奈・沼波 望・大場 武・谷口無我, 草津白根火山における浅部熱水だまりの化学組成, 日本火山学会 2019 年秋季大会, 神戸市
- 小川康雄・青山 裕・山本 希・筒井智樹・寺田暁彦・大倉敬宏・神田 径・小山崇夫・金子隆之・大湊隆雄・石崎泰男・吉本充宏・石峯康浩・野上健治・森 俊哉・木川田喜一・片岡香子・松元高峰・上石 勲・山口 悟・伊藤陽一・常松佳恵, 2018 年草津白根火山噴火に関する総合調査 - 草津白根山火山噴火から 1 年 -, 第 56 回自然災害科学総合シンポジウム, 京都大学防災研究所自然災害研究協議会, 2019 年 9 月, 京都府宇治市
- 寺田暁彦・水谷紀章, 草津白根火山・湯釜火口周辺における土壌水銀放出帯, 地球惑星科学連合大会 2019, SVC38-39, 千葉市幕張
- 外山浩太郎・角野浩史・川名華織・秋山良秀・大場 武・谷口無我・寺田暁彦, 草津白根火山周辺の噴気及び温泉ガス中の希ガス同位体組成, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会 SVC39-P07, 千葉市幕張
- Tseng, K., Ogawa, Y., Kunitomo, T., Fukai, M., Ichihara, H., New development and operation of the EM-ACROSS: an investigation at Mount Kusatsu-Shirane, JpGU2019, 2019.5.26 (Invited). MAKUHARI, CHIBA

(11) 令和 2 年度実施計画の概要:

(草津白根)

地震地殻変動に関する定常観測点による連続観測を継続する。また、地中ガス採取、ドローンを用いた採水、および火山ガス組成比観測を実践的に行い、地表面で観測される物理・化学的データと地下構造との関係を検討する。これまで観測が手薄であった草津白根山西方(高山村, およびその周辺)での臨時地震観測を継続するとともに、本地域においても温泉水の定期採取と分析を行う。

広域での MT 観測データの取得を引き続き行い、過去のデータも使用して草津白根山周辺の深さ 10 km 程度までの 3 次元比抵抗構造モデルの構築を進める。電磁アクロス観測システムについては、その運用を継続しつつ、電磁アクロス順問題計算コードをさらに改良する。

ヘリウム観測については、火口周辺の噴気の  $3\text{He}/4\text{He}$  比の定期観測を継続しつつ、より広域で温泉水等を採取し、 $3\text{He}/4\text{He}$  比を指標として熱水流動の拡がりを把握する。

(伊豆大島)

伊豆大島の広域の構造を調べるために、カルデラ内外で広帯域 MT 法を実施する。また、ACTIVE 連続観測、DC 比抵抗法連続観測を継続する。

(御嶽火山)

御嶽山山頂部北部の新規観測及び南部の一部観測点において再測を実施する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京工業大学 寺田暁彦・神田 径・小川康雄・野上健治  
北海道大学 青山 裕  
東北大学 山本 希  
東京大学地震研 小山崇夫  
名古屋大学 市原 寛・前田裕太・渡辺俊樹  
京都大学 大倉敬宏  
研究協力者  
東京大学大学院総合文化研究科 角野浩史  
気象庁気象研究所 鬼澤真也  
防災科学技術研究所 山田大志  
他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 理学院火山流体研究センター

電話 :

e-mail :

URL : <http://www.ksvo.titech.ac.jp/jpn/>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 寺田暁彦

所属 : 理学院火山流体研究センター

( 1 ) 実施機関名：

鳥取大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地方自治体の地震被害想定，災害リスク評価を高度化するための基盤整備

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ウ. 大地震による災害リスク評価手法

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測手法

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

自治体(鳥取県)と連携して，自治体計測震度ネットワークから1秒パケットの震度情報を受信し，県内のリアルタイム震度分布をリアルタイム予測して表示するパイロットシステムを構築した。これに関連して，自治体震度計設置場所での地盤震動特性の評価，2016年鳥取県中部の地震に関する緊急調査などを実施した。

また鳥取大学は，地下構造調査情報の提供や検討会への参加など鳥取県の地震・津波被害想定に深く関与しており，防災実務を担当する自治体と連携して研究アウトプットのあり方を模索している。

( 7 ) 本課題の5か年の到達目標：

鳥取大学が立地する鳥取県は山陰ひずみ集中帯に含まれ，1943年鳥取地震をはじめ複数の被害地震が発生している。大学と県は防災顧問の制度を活用して連携し，地震被害想定の方策などに先進的な概念を導入して来た経緯がある。その実施に際して，大学が積極的に情報提供をおこなっているものの，地下構造モデル策定に必要なデータは都市圏に比べて乏しい。

そこで，地震被害想定における不確実性を低減することを目的として，地下構造モデル構築に必要な探査をより充実し，次期被害想定に用いることができるデータベースを充実する。特に，広域の地震



動想定でおざなりにされがちな山間部での地下構造モデル作成の高度化を図る。また構造物被害の評価では、地域固有の条件を考慮した上で総合的なリスク評価の高度化を進め、新たな条件設定で現状の予測の再評価をおこなう。また、その結果を県民に伝えるために有効な手段について、対象自治体と連携して策定する。同時に、鳥取県震度計ネットワークを用いたリアルタイム震度予測を自治体の地震防災体制に積極的に活用するための方法を模索して実装する。

本観測研究計画では、災害誘因毎にパイロット地域を設けて、防災実務者と連携を図ることが重要と考えている。本提案は主として鳥取県を対象に実施する計画としているが、地震動評価、災害リスク評価に直接的に必要な研究に留まらず、得られた成果を災害実務に役立てることを目的として地域に還元する方法論の検討を指向する。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要：

平成31年・令和元年度には、鳥取県内で地下構造情報の乏しい領域で、主に微動探査・重力探査を用いた現地観測を実施する。加えて、鳥取県震度計ネットワークを用いた地震動即時予測について、自治体で実務に活用できるシステムを模索した開発をおこなう。

令和2年度には、鳥取県内での現地観測に基づく地下構造モデルの構築を継続実施する。また、鳥取県に固有の建物条件、人口構成、産業条件などを取り入れた、地域に固有の災害リスク評価手法の検討を始める。

令和3年度には、自治体の意見を参考にしつつ、鳥取県内の地震災害リスクを県民に分かり易く伝えるためのHPの構築を始める。また、現地観測に基づく地下構造モデルの構築を継続する。

令和4年度には、新たな情報および条件に基づく災害リスク評価の試算を始める。また、地下構造モデルの更新を目的とした現地観測と地震災害リスクを県民に分かり易く伝えるためのHPの構築を継続する。

令和5年度には、得られた情報および条件に基づく災害リスク評価を実施し、その結果を県民に分かり易く伝えるためのHPを鳥取県と連携して実装する。また、地下構造モデルの更新を目的とした現地観測を継続実施する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要：

今年度の実施内容と成果は以下の3項目である。

(1) 鳥取県大山町役場と連携して、微動を用いた町内の面的な地盤震動特性の把握、および地下速度構造の推定を実施した。あわせて、同町内の避難所施設として指定されている20棟の建物(主に体育館)に内で微動観測を実施し、振動特性(卓越周期)の調査を行った(図-1)。

(2) 2016年鳥取県中部の地震で被害を生じた県中部域(倉吉市、湯梨浜町、北栄町)において微動観測を追加するとともに、これまでに実施した調査(余震観測、微動探査、重力探査)を総合的に再解析し(図-2)、地下構造のモデル化を行った。

(3) 2000年鳥取県西部地震で被害を生じた鳥取県境港市の強震観測記録を精査し、強震動の面的予測において表層地盤の非線形地盤応答特性の評価に一般的に用いられる等価線形手法のパラメータの合理的設定に向けた検討を開始した。具体的には、小地震と大地震の地震観測H/Vに拡散波動場理論を適用し、それぞれの地盤ひずみレベルに応じた等価線形地盤(地震波速度、減衰)を同定し(図-3)、小地震の地盤(線形)を初期値として大地震の等価線形地盤に移行するような地盤の非線形応答特性を逆推定する。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

香川敬生, 2019, 自治体震度計ネットワークを用いたリアルタイム震度評価の試み - 鳥取県の事例 -, 土木学会論文集 A1, Vol.75, No. 4 (地震工学論文集第38巻), pp. I.674-I.677.

西川隼人・野口竜也・西村武・宮島昌克・香川敬生, 2019, 2016年鳥取県中部の地震を対象とした木造建物の最大応答変形角評価式の検討, 土木学会論文集 A1, Vol.75, No. 4 (地震工学論文集第38

巻), pp.L383-L390.

- 野口竜也・西川隼人・吉田昌平・香川敬生, 2019, 微動および地震観測に基づく鳥取県中部域の地盤構造推定と地盤震動特性の把握, 日本地震工学会論文集, Vol.19, No.6, pp. 6\_258-6\_271.
- 西川隼人・野口竜也・宮島昌克・香川敬生, 2019, 微動 H/V の 1 次ピークの振動数と振幅に基づいた地盤増幅度評価式の検討, 日本地震工学会論文集, Vol.19, No.7, pp. 7\_41-7\_55.
- 西村武・野口竜也・香川敬生, 2019, 微動探査に基づく鳥取県湯梨浜町における地盤構造の推定, 土木学会第 39 回地震工学研究発表会講演論文集, 論文番号 1401.
- 香川敬生, 2019, 自治体震度計ネットワークによるリアルタイム震度評価の高度化 - 鳥取県の事例 -, 日本地球惑星科学連合大会 2019 年大会.
- 香川敬生, 2019, 地震ハザードマップへの非線形地盤応答の影響, 日本地球惑星科学連合大会 2019 年大会.
- 西村武・野口竜也・香川敬生, 2019, 鳥取県湯梨浜町小鹿谷・高辻の稠密微動探査による地盤構造の推定, 土木学会中国支部第 71 回研究発表会.
- 香川敬生・吉田昌平・野口竜也, 2019, 鳥取県境港市で観測されるやや長周期地震動, 日本地震学会 2019 年度秋季大会.
- 香川敬生・星山賢太郎・野口竜也, 2019, 2000 年鳥取県西部地震境港市役所における強震動の推定, 土木学会第 74 回年次学術講演会.
- 西村武・野口竜也・香川敬生, 2019, 鳥取県北栄町西園・由良地域における稠密微動探査と地盤構造の推定, 土木学会第 74 回年次学術講演会.
- 香川敬生・星山賢太郎・野口竜也, 2019, 2000 年鳥取県西部地震による気象庁境港観測点における非線形地盤応答特性と境港市役所における観測記録の再現, 土木学会第 39 回地震工学研究発表会.
- 西村武・野口竜也・香川敬生, 2019, 微動探査に基づく鳥取県湯梨浜町における地盤構造の推定, 土木学会第 39 回地震工学研究発表会.

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

鳥取県内の地震動予測高度化のため, 主に微動探査・重力探査・観測地震動の解析を通じた地盤震動特性および地下構造の把握を継続的に実施する。また事業開始が 1 年遅れたが, 鳥取県が令和 2 年度に市町村と共有する危機管理情報の高度化を実施する予定なので, これと連携して, 鳥取県震度計ネットワークを用いた地震動即時予測の実務への取り込み, 地域に固有の災害リスク評価手法の検討を加速する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

香川敬生, 野口竜也 2 名

他機関との共同研究の有無 : 無

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

電話 : 0857-31-5641

e-mail : kagawa@tottori-u.ac.jp

URL :

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 香川敬生

所属 : 鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

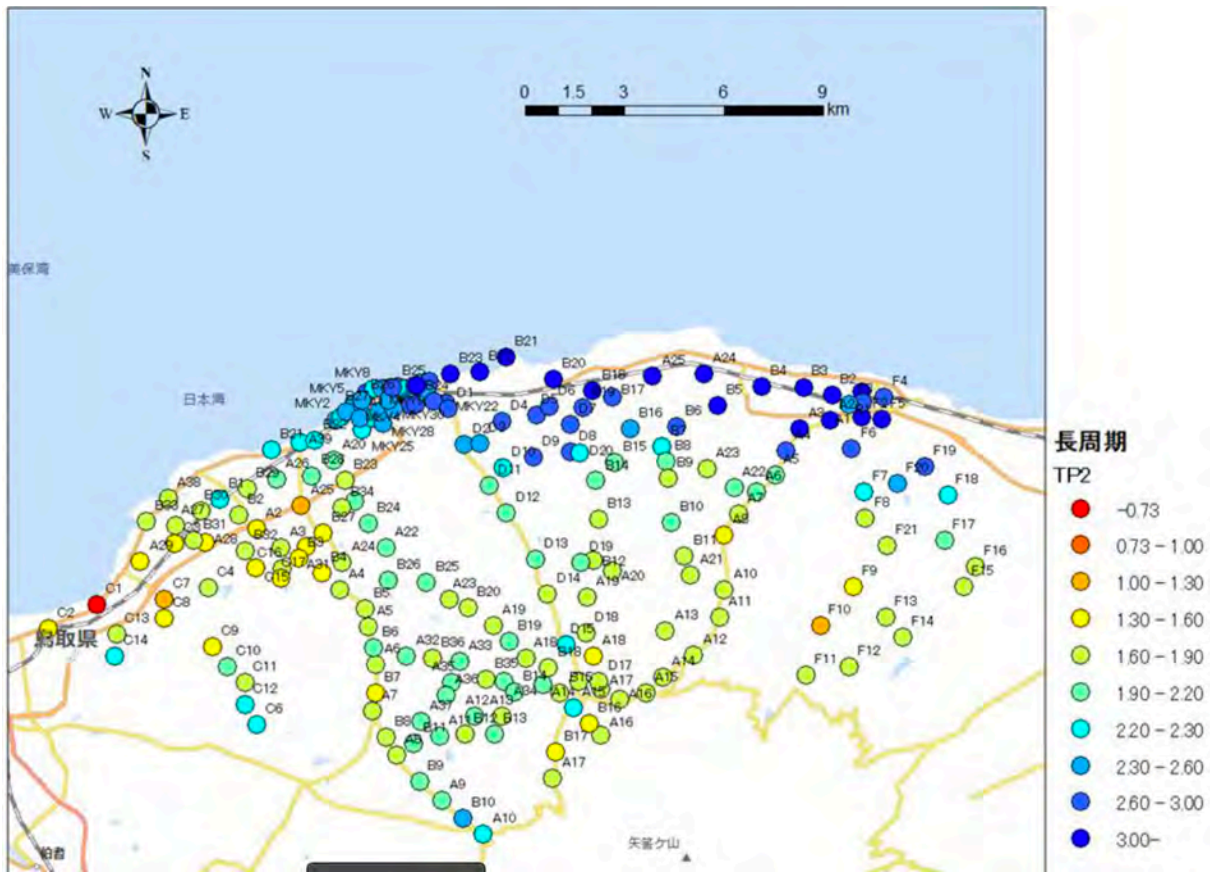


図-1 鳥取県大山町の微動卓越周期分布

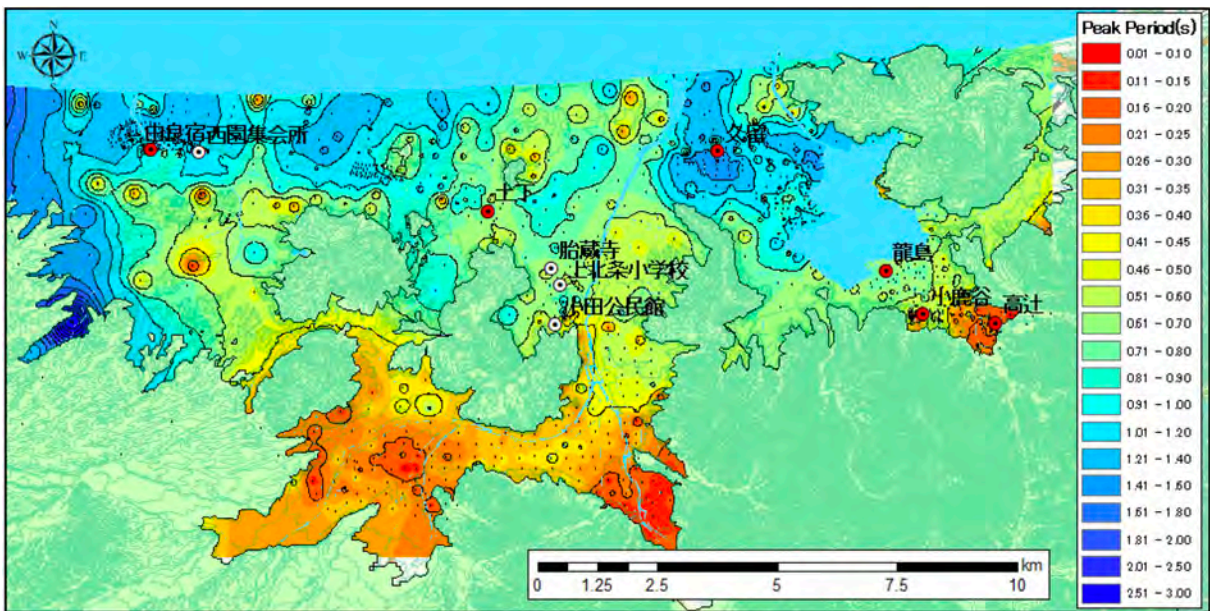


図-2 鳥取県中部域の微動卓越周期分布

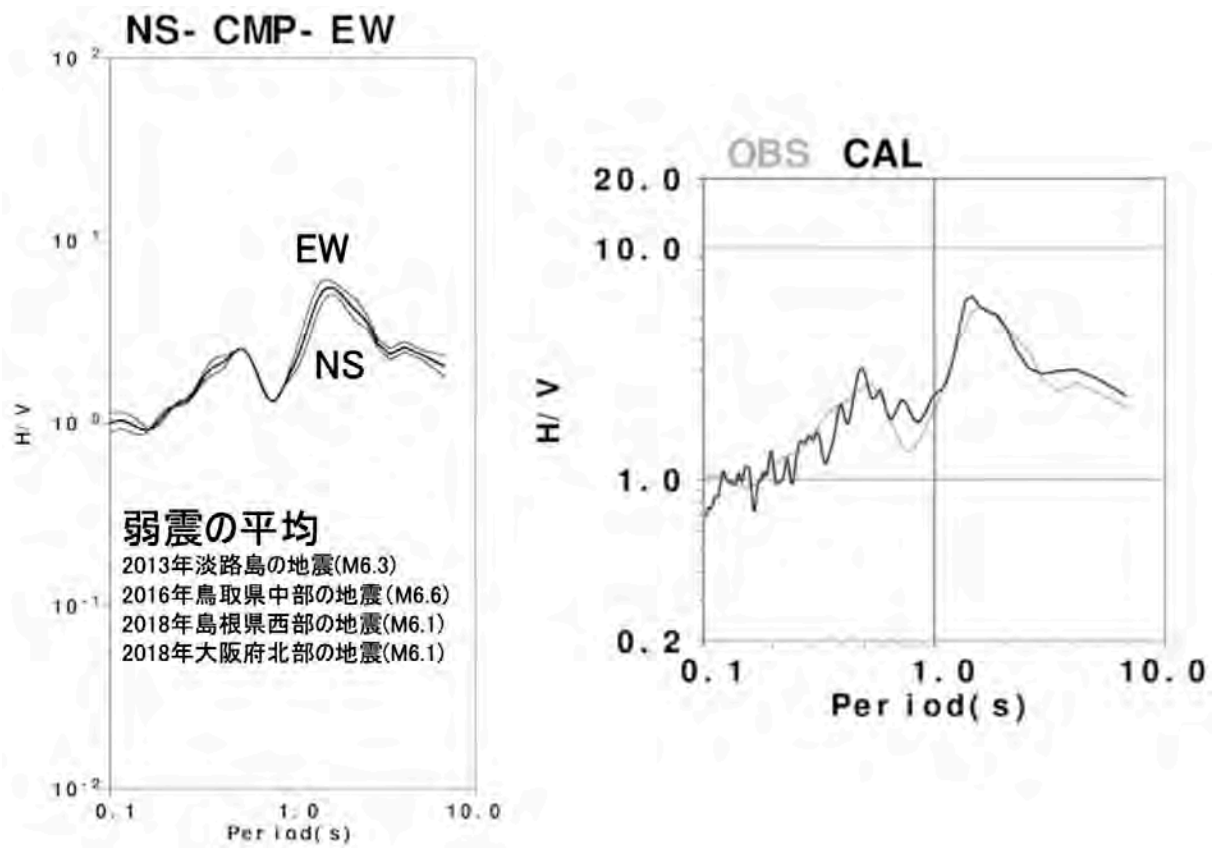


図-3 拡散波動場理論を援用した鳥取県境港市における地盤構造推定例

( 1 ) 実施機関名：

富山大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

極小規模噴火を含めた草津白根火山の噴火履歴の解明と噴火ポテンシャル評価

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

( 5 ) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

平成 25 年度東大地震研特定共同研究、平成 26 年度災害軽減研究、平成 28 年度～平成 30 年度地震・火山噴火の解明と予測に関する公募研究で、草津白根火山での噴火履歴調査を行ってきた。この期間には、( 1 ) 詳細な噴火履歴が不明な本白根火砕丘群の噴火履歴解明、( 2 ) 同火砕丘群の北方に位置する弓池マール及び近傍の小火口列の活動年代の特定、( 3 ) テフラ層序に基づく草津白根火山の完新世噴火履歴解明を目的とした調査を行ってきた。各研究項目に関する研究成果は以下のようにまとめられる。

( 1 ) 本白根火砕丘群を構成する火砕丘の活動は、各火砕丘構成物の層序関係から、南から北へ推移した。現時点までに活動年代が明らかになっている火砕丘とその活動年代は、火砕丘群の中央部に位置する鏡池火砕丘が約 5,000 年前、火砕丘群の北端に位置する鏡池北火砕丘が約 1,500 年前以降である。なお、2018 年 1 月 23 日の噴火は、最も新しい火砕丘である鏡池北火砕丘で発生した。

(2) 地表調査及び重機を用いたトレンチ調査により、弓池マール及びその近傍の小火口列の噴出物を同定し、噴火年代の特定に用いることが可能な材や土壌を採取した。それらの放射性炭素年代測定から判明した噴火年代は、弓池マールが約 1,200 年前、近傍の小火口列が約 1,000 年前である。

(3) 草津白根火山の主に東半部においてテフラ層序調査を行った。本地域の指標テフラの他、最近 11,000 年間に草津白根火山から噴出したと考えられる 20 層ほどのテフラ層を認定し、テフラ層間に挟在する土壌の放射性炭素年代を測定した。いずれの調査地点においても各テフラ層の間に層厚 20 cm 以上の土壌層が観察されないことから、草津白根火山は比較的短い間隔で噴火を繰り返し発生してきたと考えられる。約 4,000 年前以降には、火砕丘を形成する噴火により特徴的に形成される火山砂層が見られなくなることから、草津白根火山の山頂部に見られる火砕丘の多くは 11,000 ~ 4,000 年前頃に形成されたと推測される。

なお、2018 年 1 月 23 日の本白根火砕丘群での噴火の際には、我々のチームが中心となって降灰分布調査、噴石被害調査及び火口調査を行い、草津町、火山防災協議会、気象庁等に情報を提供した。

(7) 本課題の 5 か年の到達目標：

(1) 地表調査及びトレンチ調査と放射性炭素年代測定により、極小規模～小規模噴火も含めた、草津白根火山山頂部での噴火履歴（噴火の様式・推移・規模・年代及び発生地点）の全容を解明する。

(2) 噴出物の物質科学的解析により、草津白根火山のマグマ溜りと熱水系の深度、温度、化学的狀態、規模（空間的広がり）とその時間変遷を解明する。

(3) 上記(1)と(2)を総合し、草津白根火山の山頂部各域の噴火発生ポテンシャルを評価する。

(8) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 31 年度には、白根火砕丘群の噴火履歴解明のため、湯釜・涸釜・水釜の火口壁沿いで噴出物層序調査を行う。白根火砕丘群東斜面では大・小のトレンチ調査を実施し、極小規模～小規模噴火のテフラの洗い出しを行う。テフラ中の材やテフラ層間の黒土の放射性炭素年代測定を行い、各テフラの年代を決定する。火山岩塊の定方位試料については岩石磁気解析を行い、定置年代・温度を決定し、温度データを基に噴火様式を特定する。火山灰試料については物質科学的解析を行い、各噴火時のマグマ溜り（マグマ噴火の場合）・熱水変質帯（水蒸気噴火の場合）の物理化学的狀態を推定する。また、草津白根火山東麓の青葉山付近で地表調査とトレンチ調査を行い、同火山のテフラの層序の骨格を確立する。採取したテフラ試料については物質科学的解析を行い、熱水変質帯の物理化学的狀態の時間的変遷（熱水による酸化・還元状態の変化や熱水変質による再帯磁現象の有無の検証を含む）を検討する。

平成 32 年度には、白根火砕丘群での噴出物層序調査と東麓でのテフラ層序調査を継続することに加え、本白根及び白根火砕丘群の間に点在する小火口群について、火口近傍での地表調査とトレンチ調査を行い、火口の形成年代、火口を形成した噴火の様式・規模・推移を明らかにする。採取試料については前年度と同様の分析を行い、各噴火時のマグマ溜り・熱水変質帯の物理化学的狀態のデータを蓄積する。

平成 33 年度には、本白根火砕丘群の山頂部に見られる火口列で地表調査とトレンチ調査を行い、噴火履歴を明らかにする。採取試料については、平成 31・32 年度と同様の分析を行う。

平成 34 年度には、本白根火砕丘群の山頂部に見られる火口列で地表調査とトレンチ調査を継続する。採取試料については、前年度までと同様の分析を行う。

平成 35 年度には、前年度までの研究成果を総括し、草津白根火山の山頂部各域の噴火発生ポテンシャル評価を行う。また、成果報告会を草津町で開催する。

(9) 令和元年度の成果の概要：

本年度は、ほぼ当初計画の通り、(1) 白根火砕丘群の活動史解明のための噴出物層序調査と放射性炭素年代測定、(2) 白根火砕丘群東斜面でのテフラ層序調査とテフラ試料の物質科学的解析、(3) テ



フラ層の古地磁気解析を行った。

( 1 ) 白根火砕丘群の活動史

白根火砕丘群山頂部の酒釜火口の断面には、5層のブルカノ式噴火による火山角礫岩層(上位より SPD1 ~ 5)が火山灰層と淡褐色を呈する風化火山灰土層を挟んで堆積している(図1)。白根火砕丘群の形成年代を明らかにするため、土壌層の年代測定を行った。

試料はいずれも風化火山灰土であり、SPD 1と2の間(試料KS1)、SPD 2直下(試料KS2)、SPD 3直下(KS3)から採取した(図1)。得られた年代は、KS1が  $2180 \pm 20$  yr BP、KS 2が  $5300 \pm 30$  yr BP、KS3が  $5190 \pm 30$  yr BPである。これらの年代値から、約6000年前頃には白根火砕丘群の主要部が形成されており、約2000年前頃までマグマ噴火が発生していたことが明らかになった。

( 2 ) テフラ層序及びテフラの粘土鉱物解析

国道292号線の標高1890m地点には、10500 cal yr BP ~ 500 cal yr BPに堆積したテフラ層が良好に保存されており、6層の指標テフラのほかに18層のテフラ層が確認された。これらのテフラのうち、水蒸気噴火のテフラ(ユニットが分かれるものはユニットごとに採取し、23試料を分析)のXRD分析をおこなった。硫酸塩鉱物であるミョウバン石と強酸性環境で生成するシリカ鉱物が過去1万年間のテフラ中に産することから、硫酸酸性の熱水が継続的に活動してきた可能性が高い。また、スメクタイトが含まれるテフラは主に12L火山砂層(4800 cal yr BP)以降の上位に産することから、4800年前以降にスメクタイトが安定に存在できる低温( $< 200$ )で中性~塩基性環境が硫酸酸性変質帯の周縁部(おそらく地表付近)に形成されたと考えられる。

( 3 ) テフラの古地磁気分析

国道292号線の標高1890m地点の露頭にて、テフラ層から定方位で試料採取を行った。岩石磁気分析の結果、テフラ中に含まれる主要な磁性鉱物は疑似単磁区チタノマグネタイトおよびチタノマグヘマイトと考えられる。自然残留磁化の測定後、すべての試料に対して段階交流消磁を行い、テフラ層ごとに平均磁化方位を求めた。結果は、下位層でより信頼度の高い残留磁化方向が認められた。各層準の平均磁化方位と琵琶湖の湖底堆積物から得られた古地磁気永年変化曲線(BIWA SV-3)(Ali et al.,1999)を比較し、テフラ層の年代を推定した(図2)。その結果、5層準(層準4、5、7、8、10)でBIWA SV-3のピークと一致し、古地磁気年代が得られた。そのうち、3層準(層準4、7、10)は、放射性炭素年代と調和的な年代値を示した。12L火山砂層と考えられる層準8・10は、4600 yr BP ~ 4900 yr BPの年代値が求められ、比較的短時間で堆積したと考えられる。この結果は、層準7の4300 yr BP ~ 4400 yr BP(14C年代: 4415 ~ 4247 yr BP)とも整合的である。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):  
亀谷伸子・石崎泰男・勝岡菜々子・吉本充宏・寺田暁彦、2020、草津白根火山、白根火砕丘群、弓池マールおよび逢ノ峰火砕丘の岩石学的特徴. 地質学雑誌、印刷中。

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要:

令和2年度には、白根火砕丘群での噴出物層序調査と東麓でのテフラ層序調査を継続することに加え、本白根及び白根火砕丘群の間に点在する小火口群について、火口近傍での地表調査とトレンチ調査を行い、火口の形成年代、火口を形成した噴火の様式・規模・推移を明らかにする。採取試料については前年度と同様の分析を行い、各噴火時のマグマ溜り・熱水変質帯の物理化学的状態のデータを蓄積する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

石崎泰男

川崎一雄

他機関との共同研究の有無: 有

山梨県富士山科学研究所 吉本充宏、亀谷伸子

- (13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：富山大学大学院理工学研究部（都市デザイン学）  
電話：076-445-6656  
e-mail：ishizaki@sus.u-toyama.ac.jp  
URL：

- (14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者  
氏名：石崎泰男  
所属：富山大学大学院理工学研究部（都市デザイン学）

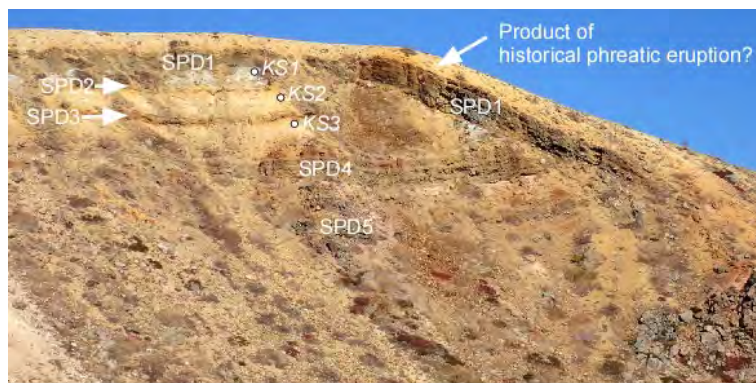


図1  
涸釜火口の火口壁に露出する白根火砕岩

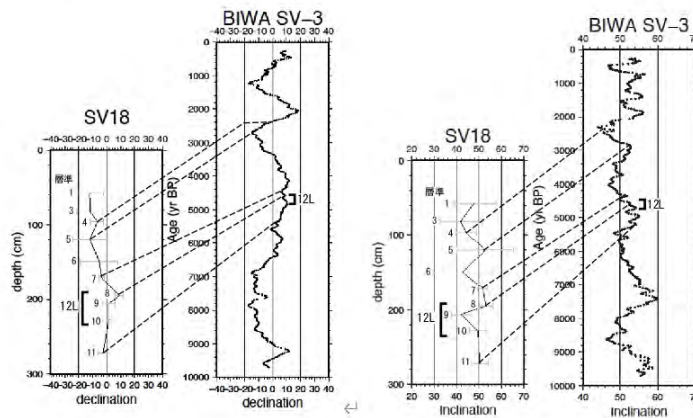


図2  
草津白根火山 (SV18) と琵琶湖の古地磁気永年変化曲線 (BIWA SV-3: Ali et al. 1999 を一部改変) なお, 草津白根火山における誤差は 95 値



( 1 ) 実施機関名：

富山大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

富山県弥陀ヶ原火山における地球物理学的観測による火山活動モニタリング

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

( 5 ) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

富山大学は 2015 年以降、弥陀ヶ原火山の地獄谷において精密水準測量による地殻変動観測に着手しており、地獄谷での隆起や沈降が検出されている。今後も測量を継続することで、今後実施する他の観測項目と合わせた火山過程の解明が可能であると期待される。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

1. 地殻変動観測

富山大学により 2015 年から行われている精密水準測量の水準点は地獄谷の南東部に偏っており、かつ上下変動のみしか検出できないため、変動源の形状を一意に特定することは難しい。また、地獄谷内は大部分が砂地であり、水準点を面的に拡張することも困難である。そこで、本研究では精密水準測量と合わせて GPS 測量を実施する。現在、弥陀ヶ原火山周辺には、地獄谷から数 km 離れた位置に

GEONET 観測点と富山大学浄土山観測点の 2 点の GPS 観測点がある。一方で、水蒸気爆発に関連しそうな熱水だまりは浅部にあると考えられており、その膨張に伴う地殻変動の検出可能領域は極めて狭い範囲に限られることが予想される。地獄谷周辺における GPS 観測網をより強化することで、熱水だまりの活動とその形態を明らかにしていくことが出来ると期待される。地下深部にあると考えられるマグマだまりの形態を明らかにするために、現状の観測点を含む広域の観測網も合わせて拡充していく。

## 2. 地震観測

弥陀ヶ原火山で最近活発化している噴気活動に伴う振動を長期的にモニタリングすることで、噴気活動を定量化できることが期待される。また、深部低周波地震を長期的にモニタリングし精査することで、マグマの供給・蓄積の様子を把握することができる可能性がある。一方、マグマや熱水が急激に貫入するなど、地下で何かしらのイベントが発生した場合、火山構造性地震といった低周波地震とは異なるタイプの火山性地震が発生すると考えられる。長期にわたって地震観測を実施し、記録を蓄積することで、平時の弥陀ヶ原火山の状況や活動に伴う変化、水蒸気噴火やマグマ噴火の前兆現象を捉えることができると期待される。

## 3. 熱活動観測

これまでの富山大の調査により、地獄谷内の噴気帯が拡大していることが確認できた。地表調査のみでは、地獄谷内全域の噴気帯の盛衰や地表の温度状況とその変化を正確に把握することは困難なため、赤外線サーモグラフィカメラを搭載したドローンシステム ( UAV ) を観測に導入し、上空から地獄谷全域の熱活動のモニタリングを行う。上記 1・2 の観測データと総合することにより、地殻変動と熱活動の盛衰との相関・因果関係が解明できると期待される。

### ( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

水蒸気噴火やマグマ噴火が発生する可能性のある弥陀ヶ原火山の火山過程を明らかにするために、地獄谷の地球物理学的観測を行う。観測を通して、熱水だまりやマグマだまりの形態、地殻変動と熱活動の盛衰との相関・因果関係の解明を図る。

平成 31 年度においては、地獄谷周辺に GPS 観測点や地震観測点の選定・設置を行い、観測・データの蓄積を開始する。精密水準測量は秋に引き続き行う。UAV による熱活動観測は秋に実施する。

平成 32 年度においては、地殻変動観測、地震観測および熱活動観測を継続し、データを蓄積することで弥陀ヶ原火山における進行しつつある火山過程の解明を図る。また、観測点のメンテナンスも随時行う。

平成 33 年度においては、前年度までの研究で不足している観測点分布を検討し、必要に応じて地殻変動・地震観測網の拡充を図る。地殻変動観測、地震観測および熱活動観測は引き続き継続する。

平成 34 年度においては、地殻変動観測、地震観測および熱活動観測を継続し、データを蓄積することで弥陀ヶ原火山における進行しつつある火山過程やその変化の解明を図る。

平成 35 年度においては、引き続き地殻変動観測、地震観測および熱活動観測を継続し、データを蓄積することで弥陀ヶ原火山における進行しつつある火山過程やその変化のさらに詳細な解明を図る。さらに、ここまで蓄積されたデータの整理、とりまとめを行う。

### ( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

#### 1. 地殻変動観測

地獄谷遊歩道における水準測量はグループ内で実施することができなかったが、楠本成寿教授らにより令和元年 9 月に実施された。平成 30 年 9 月と比較すると、鍛冶屋地獄で最大 1.1 cm の隆起が検出された一方で、百姓地獄では最大 0.7 cm の沈降が検出された ( 図 1 )。これは平成 27~29 年と類似の傾向である。一方、新たに GPS 観測をはじめめるために、令和元年 9 月上旬に地獄谷遊歩道沿いに 5 箇所のベンチマーク候補点を選定 ( 図 2 ) し、環境省および富山県に工作物の新築許可を申請した。この申請が受理されたのは令和 2 年 1 月末であり、観測を開始することはできなかったが、令和元年 11 月

上旬に、GEM-2を用い、選定したベンチマーク候補点上で予備調査的な測量を実施した。その結果、各点1~2時間程度の測量を行うことで、水平成分についてはいずれも1 < 0.3 cmと十分な精度で測位できることが分かった。

## 2. 地震観測

噴気活動の変動を定量的に評価することを目的として、噴気に伴う微動観測を行うことを計画している。今年度は、観測点の設置方法を検討するため、百姓地獄北東部の噴気孔から約30 m離れた地点(北緯36度35分0.2秒,東経137度35分37.2秒)において、深さ50 cmに地震計(Lenartz, LE-3Dlite MkIII)を設置して、連続観測を行った。観測された波形記録を図3に示す。周期0.1 Hz付近の振動が卓越している。

## 3. 熱活動観測

2019年9月に赤外線サーモカメラ(Flir Vue Pro)を搭載したドローン(DJI Phantom 3 advanced)を用いて、地獄谷内の熱観測を行った。2018年9月にも同様の観測を行っており、過去2年間の観測で次のような熱活動の変化が明らかになった。

(1) 現在、最も噴気活動が活発な雷鳥荘西方の“新噴気帯”では、いくつかの噴気孔の活動が低調化した。新たな噴気孔も活動を開始しており、全体として噴気帯が東方へと拡大しているように見える。活動を停止した噴気孔の中には、計5 mほどの陥没孔になったものもある。

(2) 1946年に小規模な水蒸気噴火を発生させた“新大安地獄”(水蒸気噴火による火口)では、“新大安地獄”西方に存在した噴気帯が2019年には大幅に縮小した。また、“新大安地獄”は、2017年までは間欠泉となっていたが、2018年からは熱水の供給が完全に停止し、2018年と2019年には火口の埋積が進行している。

一方で、これとは別にオフライン観測点22点、およびオンライン観測点10点で地中温度を観測している(図4)。オフライン観測点では、深さ50 cmでの温度を30分間隔で記録している。オンライン観測点は、NTT西日本と共同で設置したもので、室堂のホテル立山にあるLPWA基地局を利用し、30分間隔で計測した地中温度をインターネット上のサーバーに送っている。オンライン観測点では、深さ10 cmと50 cmの温度を計測している(図5)。深さ10 cmの温度には気温変化の影響が強く表れている。この影響を補正することにより、地下からの熱流量の推定ができる。2019年9月から10月にかけての地中温度(深さ50 cm)を図6に示す。熱水活動が活発な百姓地獄、鍛冶屋地獄の周辺で温度が高い。紺屋地獄の北側は、地表に顕著な熱水活動は見られないが、50度近い温度が観測されている。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):  
特になし

(11) 令和2年度実施計画の概要:

### 1. 地殻変動観測

地獄谷遊歩道における水準測量は、以後グループ内で継続して実施する。GPS観測については、令和元年度に選定した5箇所に測量用ボルトを埋め込むことでベンチマークを構築し、各点数時間の繰り返し観測を数回実施する。また、必要に応じてベンチマークの増築申請を行う。

### 2. 地震観測

噴気との関係を理解するため、空振計との同時観測を計画している。

### 3. 熱活動観測

来年度の観測では、実温度が計測できる赤外線サーモカメラ(Flir Vue Pro R)を搭載したドローンを用いる予定である。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

渡邊了、石崎泰男、堀田耕平

他機関との共同研究の有無：有  
京都大学課題（KUS02）と連携を行う

（13）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：富山大学理工学研究部（都市デザイン）  
電話：076-445-6555  
e-mail：hotta@sus.u-toyama.ac.jp  
URL：

（14）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者  
氏名：堀田耕平  
所属：富山大学理工学研究部（都市デザイン）

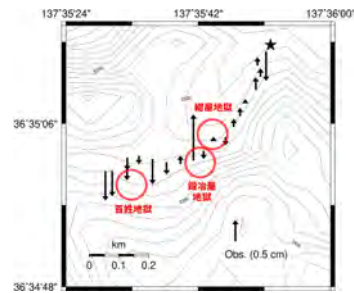


図1 水準測量によって得られた平成30年～令和元年の上下変動。 は基準とした水準点を示す。



図2 地獄谷遊歩道沿いに選定したGPSベンチマークの位置（MDGA～E）。

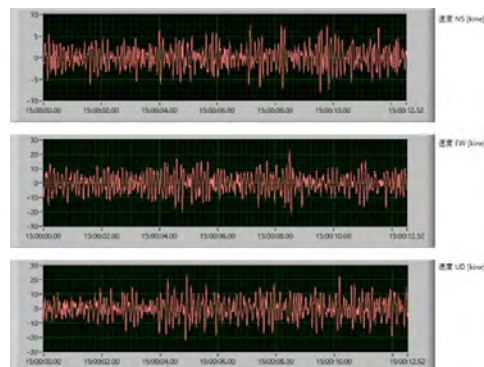


図3 地獄谷北東部の噴気孔近くで観測された微動（2019年9月30日）。



図4 地中温度観測点の配置。

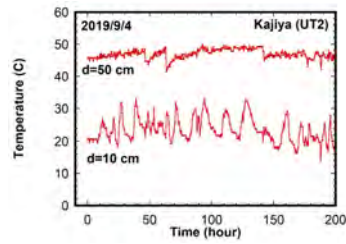


図5 オンライン観測点(鍛冶屋地獄)の地中温度変化。



図6 地獄谷における地中温度(2019年9月および10月)

( 1 ) 実施機関名：

富山大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震学・火山学の知見に基づくコンパクトシティをデザインする情報科学からの被災生活シミュレーション

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

( 4 ) その他関連する建議の項目：

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

オ. 高リスク小規模火山噴火

(3) 研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

(6) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(7) 次世代を担う研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

( 5 ) 総合的研究との関連：

高リスク小規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」(平成 25～30 年度)の中では、2つの研究を実施している。「地震を中心にマルチハザードを対象とした個人・地域に根ざした避難計画策定支援ツールの開発」として、地震を起因として発生する様々な災害に対して、ウェブ上で個人の居宅から各避難先への避難ルートを検索するとともに、避難ルート上の危険性を把握しながら、個人の実態に応じたルート選択と、それを基本とした避難計画策定を支えるためのツールの開発を行った<sup>(1)</sup>。また、後者については、過去の地震観測研究にかかる「研究題目」を対象として、キーワードの抽出とキーワード間の共起ネットワークを構築し、年次変化を調査することにより、研究領域の拡張の変遷状況を把握した<sup>(2)</sup>。これらの2つの研究成果は、本研究の適用範囲や視点、技術において援用できる基礎研究であったと考える。

くわえて、本研究代表者は、「被災者台帳を活用した被災者生活再建支援の運用方策」に関する研究を長年実施している<sup>(3),(4)</sup>。これは、個人・世帯単位での被災者の生活再建過程を一元的なデータベースを通して管理するとともに、その状況を把握するための仕組みである。被災生活シミュレーションを実施する上で、過去の被災者生活再建過程から学ぶことは多く、これらの既往研究を基盤として、本研究のモデル設計・実装を推進する。

<参考文献リスト>

- (1) Munenari Inoguchi, Takahiro Sekikawa, and Keiko Tamura, Developing a Web-Based Supporting Application for Individual Evacuation Plans Through Hazard Risk and Geographical Analyses, Journal of Disaster Research, Vol.12, No.1, pp.6-16, 2017.2.
- (2) 阿部光樹・井ノ口宗成・加藤尚之・森田裕一・田村圭子・木村玲欧・中野敬介, 形態素解析を用いた地震学研究の動向把握に資する研究 - 地震学会 10 年間の研究題目を事例として -, 電子情報通信学会技術研究報告 安心・安全な生活と ICT, Vol. 114, No.422, ICTSSL2016-61 pp.145-150, 2017.1.
- (3) 井ノ口宗成・田村圭子・木村玲欧・小原 亜希子・林 春男, 広域災害を対象としたウェブ配信型被災者台帳システムの実装 - 岩手県・宮古市を中心とした東日本大震災被災自治体の試み -, 地域安全学会論文集, No.18, pp.351-361, 2012.11.
- (4) Munenari Inoguchi, Keiko Tamura, Haruo Hayashi, Keisuke Shimizu, Time-Series Analysis of Workload for Support in Rebuilding Disaster Victims' Lives -Comparison of the 2016 Kumamoto Earthquake with the 2007 Niigataken Chuetsu-oki Earthquake-, Journal of Disaster Research, Vol.12, No.6, pp.1161-1173, 2017.12.

(7) 本課題の5か年の到達目標:

近年、人口減少・少子高齢化による人口減少が進む中、地方創生を目指し、コンパクトシティのあり方について議論がされている。富山市では、ライトレールを中心に対策を講じ、「世界先進モデル都市」に選ばれ、我が国でもコンパクトシティの成功事例として扱われている。富山県を広く見れば、黒部・立山方面においては、観光が盛んであり、まちの維持を支える大きな柱となっている。しかしながら、弥陀ヶ原の火山噴火のリスクを保有しており、ひとたび噴火災害が発生すると、観光事業に大きな打撃を与える。また、それら地域からの避難者の受け入れや対応において、地域間連携が求められ、直接的な被害を受けない富山市において、その災害への対応策（避難者受け入れ・応援体制等）の検討が求められる。一般的な「まちづくり」の観点の主眼は、平時の生活・都市計画となっており、かならずしも、地震や火山の発生を中心とはしていない。その地域で暮らす住民に視点を移せば、そのまちの人の暮らし方を大きく変えることが想定され、命を守る安全確保行動に加え、被災者生活としてのあり方や他地域住民との連携など、視野を広げなければならない。そこで、本研究では、平時の利便性を維持しながらも、個人や地域属性に応じて、地震・火山の知見を活用した事業継続性の高い「まちづくり」と「災害時の行動計画」を、「都市計画」と「行動情報学」の観点から追求する。本研究を推進するにあたり、平時の生活の質を確保しながらも、環境への配慮を行うとともに、災害に強いまちづくりが求められる。本学の強みを活かし、デザイン学(ユニバーサルデザイン)の観点から、誰もがその時々状況(次の変動)を、実感を伴って確実に理解できる(伝わる)ことを前提とした情報発信の方策を検討する。また、まちを構成する社会資産を単純に実装するのではなく、持続可能なSDGsの観点から、グリーンインフラを通じた社会の強化と、個人・地域の防災リテラシーの向上をめざし、「にぎわいのあるまちづくり」と「災害を乗り越える力を持つ地域づくり」を融合させた、新しい社会の形成と、それを支える情報コミュニケーションに必要な知識体系、基盤構築を推進する。

とくに、まちの中で暮らす人の行動をICTツールや社会サービス利用等から把握し、個人防災力と「まち」が持つ地震・火山への対抗力の効果的な融合の形を解明する。研究成果をとりまとめ、個人・地域属性に応じた災害時行動計画とまちを融合した新しい都市の形をデザインし、全国の地方都市・中核都市への展開を目指す。

(8) 本課題の5か年計画の概要:

H31年度においては、「個人・地域特性の計測方法・評価軸の設計、地震・火山の災害が生活にあたる影響把握生活モデルの設計」を目指す。富山をフィールドとして、地震・火山のリスクを評価するとともに、地域に対して与える影響範囲を解明する。この影響を個人や地域単位で把握するために

は、それらにかかる情報を取得するための仕組みが必要となる。個人や地域特性に対して、それらの活動を通して社会とインタラクションを行う中で情報を取得するものとし、計測方法を設計する。また、個人や地域の行動・活動と災害リスクとの関係性を解明しつつ、行動・活動変化を定量的に分析するための評価軸を検討する。この個人・地域の生活にかかる計測・評価に基づき、リスクと向き合う中で変化を継続的に把握するための生活モデルを検討する。

H32年度においては、「IoTをベースとした社会サービスとのインタラクションを可能とするまちづくりのデザイン」を目指す。初年度で設計された生活モデルにもとづき、個人・地域の行動・活動変化の継続的な把握を実現するための「まちづくりデザイン」を推進する。近年のICTの進展にともない、IoT( Internet of Things )が着目を浴びている。本研究においても、IoTの活用を視野に入れ、どのような社会的な計測が可能となるかを検討する。また、個人や地域が活動を続ける中で発生する社会サービスとのインタラクションから、その行動・活動変化を捉える方策を検討する。平常時の生活まで視野を広げ、まちづくりの知見を活かしながら、リスクや影響の把握に展開可能な仕組みとするべく、どのようにまちをデザインすべきかについてのモデル構築を検討する。

H33年度においては、「IoTを活用した地震・火山の科学的知見に基づく地域の強さ・弱さの計測実施、分析手法の確立」を目指す。IoTを例としたICTツールを通して計測される各種の情報をもとに、地震・火山のリスクや社会に与える影響と照らし合わせ、個人・地域の強さ・弱さを計測・分析する。例として、地震や火山の発生確率や、影響規模、範囲を特定し、その地域に居住する個人・地域、さらには、その地域への流入・流出する観光資源を対象として、影響度を分析する。ここで扱う個人や観光資源は、流動的に変化することから、時系列的な特徴をとらえ、強さ・弱さを継続的に計測しながら、その分析手法を確立する。これは、まちづくりのデザイン過程において、ハード・ソフトの両面にフィードバックするものであり、デザインに必要な要素とかけあわせ、分析結果の効果的な活用を視野に入れた手法確立を推進する。

H34年度においては、「地域の強さ・弱さの具体的な評価実施、まちづくりへの反映方策モデルの構築」を目指し、まちづくりデザインの具体的な方策を追求する。地域を構成する要素として、ハードの観点から、地域が保有する資源の脆弱性評価を行うとともに、地震や火山災害が発生した際の影響度を、地域の各資源に対して分析を行う。これにより、災害発生時に利活用を期待できる資源が明確化され、それらを社会から得られる1つのサービスとして位置づけ、ソフト面との連携をはかる。ソフトの観点からは、個人や地域の災害に対する強さ・弱さを分析し、命の安全確保行動の期待値の明確化、その後の被災生活における適応可能性や被災生活で必要となるサービスの具体化を進める。これらの高度化を実現するために、「まち」として事前整備および事後の災害対応を通して実装可能な事項を解明し、その運用モデルを確立する。これを基盤として、リスクを想定した個人・地域の被災生活シミュレーションのモデルに反映し、一元的な仕組みとしての確立を目指す。

H35年度においては、『富山を事例とした人や地域属性に応じた事業継続性の高い「まちづくり」と「災害時の行動計画」のクラウドを介した社会発信、全国からの学びを可能とする環境整備』を目指す。4年次までで構築したモデルを中心として、モデル運用にかかる入力・出力を、クラウド上で扱い、シミュレーションを実現できる仕組み・基盤の整備と社会発信を推進する。富山というフィールドを通して、直下型地震や火山噴火による直接的な被害からの被災生活シミュレーション、避難者や仮住まい生活者の受け入れによる「まち」変化にともなう個人・地域の被災生活シミュレーション、観光資源の変化にともなう被災生活シミュレーション等を総合的に試行できる仕組みを実現する。これらをクラウド上で展開することで、富山内の各個人・地域が自由に利用できるだけでなく、他地域からの利用も可能とする。クラウド上で運用する中で、利用実態をさらに分析することにより、利用頻度から見た社会への貢献度を評価するだけでなく、利用目的の展開可能性や他の仕組みとの連携可能性についても把握する。これらは、本研究で実装する仕組みに対してのユーザーインタラクションの結果を活用する。また、他地域のリスクや生活実態にかかるデータ群を入力値として受け付けた上でシミュレーション可能な仕組みとする。これにより、全国からの学びを可能とする1つの環境として整備されるとともに、学びの結果を継続的に把握・分析することにより、本仕組みの発展が期待でき



ると考える。

なお、部会全体としての研修プログラム構築に知見を提供する予定である。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

初年度は、「個人・地域特性の計測方法・評価軸の設計、地震・火山の災害が生活にあたる影響把握生活モデルの設計」を目指し、地域に潜むリスクの分析と地域の脆弱性評価、ならびに対応力にかかる技術の可能性を検討した。まず、地域の脆弱性を評価する軸が明確でない実態と、災害発生後の被害状況把握を通して被災者を支援する方法論が確立していない実態を踏まえ、それぞれに対する検討を実施した。

地域の脆弱性評価においては、国勢調査データにもとづき、富山県を対象として、人口密度分布ならびに乳幼児・高齢者の人口密度分布を可視化した。さらに、地域に潜む脆弱性の1つとして、災害時弱者支援力を検討した。初年度では、国勢調査データから収集可能な乳幼児と高齢者を対象とし、それ以外の人口に対する比率を分析することによる「見守られ率」という1つの尺度を定義した。見守られ率が1を超えると、複数人の成年で1名の災害時弱者を見守ることとなり、脆弱性は小さいと評価できる。一方で、1未満であれば1名の成年が複数名の災害時弱者を見守らなければならないため、脆弱性は高いと評価できる。この手法に基づいて富山県内を分析した。結果として、乳幼児・高齢者の人口密度が高くない地域であっても過疎化が進んでいるためか、市街地以外では見守りにかかる脆弱性は低いという結果が導出された(図1)。

この結果から、乳幼児ならびに高齢者に対し、防災意識を高め、自助力を高めるアプローチが必要と考えた。そこで、保育園や高齢者福祉施設等で「歌によるリクリエーション」の場に着目し、「富山の防災を知る歌」の設計・開発を推進した。この歌は、ハザードごとに地域のハザードを伝え、工学的・社会科学的な防災対策を伝えるよう構成し、テンプレート化を進めた。テンプレートを用いることで、どの地域であっても適用を可能としている。柔らかく、かつ覚えやすい楽曲を作成し、親しみやすさを有しながらも、防災リテラシー向上のための基礎知識ならびに地域の知を継承する試みとした。作成した楽曲は今後、地域の場に還元し、普及を推進する予定である。

一方で、地域の防災力の強化に向けて、迅速な被害状況把握と、地域住民への還元を通じた生活再建支援の可能性についても研究を実施した。特に2019年6月には山形沖地震が発生し、それを受けて、被災地の1つである新潟県村上市を事例として、ドローン空撮とAIの活用による被災状況把握の可能性を追求するとともに、被災者へ還元することによる効果を言及した。本研究では、一定の精度の下、ブルーシートで覆われた被災家屋の屋根被害を特定できているものの、他災害への適用では精度が下がることが確認された。AIによる判定モデルの強化ならびに改善策の検討は必要であった。しかしながら、屋根被害の特定結果と空撮画像を被災者に還元することで、生活再建の一步である被災家屋の修繕過程において、被災者が活用でき、早期での再建方針の判断に貢献できた結果を得た。迅速な被害状況把握と、それを被災者に還元する仕組みや技術の開発は、行政等の災害対応機関の対応力向上が主目的でありがちであるが、地域の防災力の1つである「生活再建力」を考えれば、その力を向上させるためにも活用可能であることが明らかとなった。すなわち、このような被害状況把握技術を地域で有することが、被災後の生活再建の迅速化につながる事となる。そこで、富山県内に設置されている「産官学ドローン推進協議会」に参画し、関係を強化した。本年度は具体的な活動に至っていないが、体制が強化されたことは1つの成果であるといえる。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

- [1] Tohru Watanabe et al., Elastic wave velocity and electrical conductivity in a brine-saturated rock and microstructure of pores, Earth, Planets and Space 2019, 12pp., <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1112-9>.
- [2] 安江 健一・廣内 大助(2019) 帯磁率を用いた活断層の変位把握の試み. 日本活断層学会2019年度秋季学術大会, P-14.
- [3] 安江 健一・倉橋 奨(2019) 小学生による活断層を紹介するパンフレットの製作. 愛知工業大学地

域防災研究センター年次報告書, Vol.15, 59-62.

- [4] Munenari Inoguchi, Keiko Tamura, Ryota Hamamoto, Establishment of Work-Flow for Roof Damage Detection Utilizing Drones, Human and AI based on Human-in-the-Loop Framework, IEEE Big Data 2019, pp.4618-4623, 2019.12.
- [5] 井ノ口 宗成・田村 圭子・濱本 両太・堀江 啓, ドローンによる空撮画像を活用した屋根被害把握と被災者支援への利用 - 2019 年山形沖地震における村上市の対応を事例として -, 第 60 回 土木計画学研究発表会, 土木計画学研究・講演集, Vol.60, p.6 (CD-ROM), 2019.11.

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

令和 2 年度では「IoT をベースとした社会サービスとのインタラクションを可能とするまちづくりのデザイン」を目指す。初年度で設計された地域の脆弱性を考慮し、個人・地域の行動・活動変化の継続的な把握を実現するための「まちづくりデザイン」を推進する。本研究では、IoT の活用を視野に入れ、どのような社会的な計測が可能となるかを検討する。また、個人や地域が活動を進める中で発生する社会サービスとのインタラクションから、その行動・活動変化を捉える方策を検討する。平常時の生活まで視野を広げ、まちづくりの知見を活かしながら、リスクや影響の把握に展開可能な仕組みとするべく、どのようにまちをデザインすべきかについてのモデル構築を検討する。一方で、令和元年度に提案した地域の脆弱性手法の結果を、地域が有するハザードにかかる情報と合わせて限定的に公開し、その効果検証のための基盤の構築を推進する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

井ノ口宗成, 渡邊 了, 久保田 善明, 中川 大, 原 隆史, 堀田 裕弘, 矢口 忠憲, 安江 健一, 立石 良, 阿久井 康平

他機関との共同研究の有無 : 有

筑波大学 : 森嶋 厚行, 北原 格

(株)サイエンスクラフト : 元谷 豊

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 理工系事務部理工系総務課 ( 都市デザイン学部担当 )

電話 : 076-445-6918

e-mail :

URL : <https://www.sus.u-toyama.ac.jp/>

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 井ノ口宗成

所属 : 都市デザイン学部



( 1 ) 実施機関名：

東京大学史料編纂所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震火山関連史料の収集・分析とデータベースの構築・公開

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

イ. 考古データの収集・集成と分析

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

火山

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) 関連研究分野との連携強化

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

既刊地震史料集に所収されている史料について、XML データ化のためのタグ付け及び XML データ化作業を実施した。史料を XML データ化する際に、信頼できる原典に遡って史料本文の間違いの修正や省略部分の補足を行う校訂作業を実施し、「日本歴史地震関連史料データベース」(試作版)を構

築した。また、本研究で XML データ化した地震関連史料について、史料本文中の被害発生場所を示す箇所に緯度・経度を付与し、国土地理院の地図上に表示するシステムを試作した。

既刊地震史料集に未収録の地震関連史料の調査・収集を実施し、1854 年安政東海地震における駿河国（現静岡県東部）地域での地震とその被害について記された嘉永七年「恒例関東献上使日記」を翻刻した。また、東海地方において長期間にわたる日記史料が伝存している三河国田原藩（現愛知県田原市）の「田原藩日記」をはじめとして、各地の史資料保管機関において地震関連史料の調査・撮影を実施した。これらの調査・収集・翻刻した史料を用いて、1596 年文禄豊後地震については、史料学的な評価に基づいてその実態を検討し、1854 年安政東海・南海地震については、日記史料の記録に基づいてその前後の期間における有感地震の発生傾向を分析した。

平成 28 年度に開催された「東京大学史料編纂所第 37 回史料展覧会」において地震史料のコーナーを設け、安政東海地震などに関する新史料を展示して、展示図録『史料を後世に伝える営み』に解説を掲載した。

#### （7）本課題の 5 か年の到達目標：

本研究課題の目的は、地震火山関連史料の収集と分析に基づいてデータベースを構築し、史料記述の検討に基づいて、地震・津波や火山噴火の現象とその災害の実態解明に資する近代以前の史料データを作成するとともに、関連する諸研究における利便性の向上に努めることである。

平成 26 年度から実施されている「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」においては、近代的な観測記録が存在しない地震や火山噴火について、地震学や火山学といった理学系の分野だけでなく、史料の取り扱いに慣れた歴史学の研究者も組織的に参加して、連携した研究が実施されている。このような連携研究を歴史学側から主体的に実施しているのが本研究課題であり、地震火山関連史料データベースの構築・公開を主軸に据えた研究を基盤とし、このデータベースを通じて地震学・火山学や関連諸分野との連携強化を指向している。

本研究課題では、既刊地震史料集に所収されている史料を中心として、地震火山関連史料データベースの構築を実施する。既刊地震史料集には、近代以前の地震・火山噴火について研究する上で貴重な史料が所収されているが、紙幅が限定された編集の都合上、省略されてしまった部分が多く存在している。また、原典とした史料の刊本が不適当な場合や、史料集には相応しくない書籍や報告書からの引用文が所収されている場合があり、そのままの状態では地震学や火山学の研究に利用するには問題がある。そのため、既刊地震史料集に所収されている個々の史料の記述内容については、原典史料を用いた確認と修正・補筆を行う校訂作業が必要となる。

これまで、既刊地震史料集の校訂作業では紙媒体を用いて紙面上で作業を行っており、必ずしも効率的な手法ではなかった。そこで今後、本研究課題では、史料の校訂作業における新たな手法の開発に着手し、実用化していく計画である。これによって、既刊地震史料集の校訂作業を、従来よりも進捗させることができると考える。また、これまでの地震火山関連史料データベースの構築作業についても、新たに全文デジタルデータ化を基盤とした構築方法を導入し、従来の紙媒体上での編集から史料データを用いた編集作業へと手法を転換して、作業全体の効率化・迅速化を目指していく。これらの新たな手法の開発・導入によって、本研究課題では今後の 5 か年の間に、既刊地震史料集の全文デジタルデータ化を完了させ、史料本文の校訂作業を大幅に進捗させて、構築中の地震火山関連史料データベースを公開する計画である。

さらに、日本全国の主要な史資料保管機関で収集・所蔵されている史料を調査し、地震・津波や火山噴火の現象とその災害に関連する近代以前の史料を収集して翻刻を行う。これらの新史料についても、デジタルデータ化を実施して地震火山関連史料データベースに組み込んでいく。

本研究課題で構築する地震火山関連史料データベースでは、史料本文を単にデジタルデータ化するだけでなく、史料本文を分析してそこに記されている被害発生場所に現在の緯度・経度の情報を付与し、地理情報システム上で表示できるようにする。このような史料分析と位置情報への変換については、東京大学地震火山史料連携研究機構と協力して進めていく。このような取り組みは、別の研究課題

において実施される、地震火山関連史料データベースと考古資料災害痕跡データベースとの統合データベースの構築に、大いに寄与できると考える。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

[ 平成 31 年度 ]

史料の校訂作業における新たな手法を開発・実用化し、既刊地震史料集に所収の史料について校訂作業を実施していく。また、地震火山関連史料データベースの構築作業について、新たに全文デジタルデータ化を基盤とした構築方法を導入し、従来の紙媒体上での編集から史料データを用いた編集作業へと手法を転換する。これらによって、歴史的に信頼できる史料に基づいた史料データベースを構築していく。さらに、現存する膨大な史料の中から、近代以前の地震・津波や火山噴火に関連する新たな史料を調査・収集する。

[ 平成 32・33・34 年度 ]

既刊地震史料集に所収の史料について、新たな手法による校訂作業を実施していき、歴史的に信頼できる史料に基づいた史料データベースを構築・改良していく。また、近代以前の地震・津波や火山噴火に関連する新たな史料の調査・収集を実施する。

[ 平成 35 年度 ]

既刊地震史料集に所収の史料について、新たな手法による校訂作業を実施し、また、近代以前の地震・津波や火山噴火に関連する新たな史料を調査・収集して、歴史的に信頼できる史料に基づいた史料データベースを構築・改良する。この史料データベースの公開に向けて、内容の最終的な確認作業を行う。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

既刊地震史料集の全文デジタルデータ化について、本年度は9巻(計7,456頁)分が完了している。この完了分に、昨年度の前観測研究計画において完了した9巻(計5,779頁)分を合わせると、計18巻(計13,235頁)分の全文デジタルデータ化が完了していることになる。これは、本研究課題における全文デジタルデータ化対象の既刊地震史料集全28巻(計22,771頁)のうち、頁数にして約58.1%にあたり、データ化は順調に進捗していると言える。また、既刊地震史料集に所収されている史料の校訂作業については、これまでは紙媒体を用いて紙面上で作業を行っていた。本年度からは、新たに開発したTXTファイルからXMLファイルへの変換システムを導入することで、紙媒体を介さずにデジタルデータ上での校訂作業が可能となった。この新たな手法の開発によって、これまで膨大な時間と労力を要していた既刊地震史料集の校訂作業について、従来よりも作業負担の軽減化と効率化が進むと考える。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

既刊地震史料集に所収されている史料について全文デジタルデータ化を実施し、デジタルデータ上での校訂作業を実施して、歴史的に信頼できる史料に基づいた史料データベースを構築し改良していく。また、前近代の地震・津波や火山噴火に関連する新たな史料の調査・収集を実施していき、それらの現象と災害の実態についても解明を進めていく。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学史料編纂所

榎原雅治・杉森玲子・荒木裕行・林 晃弘・山田太造

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学地震火山史料連携研究機構

西山昭仁・佐竹健治

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 :

電話 :

e-mail :

URL :

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 榎原雅治

所属 : 東京大学史料編纂所

( 1 ) 実施機関名：

東京大学史料編纂所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

近代以前の地震・火山災害に関する多角的研究

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ア. 史料の収集とデータベース化

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

火山

4 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

(2) 地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

5 研究を推進するための体制の整備

(3) 研究基盤の開発・整備

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(4) 関連研究分野との連携強化

( 5 ) 総合的研究との関連：

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

江戸時代の被害地震における日光東照宮での地震対応について検討した。当時の江戸幕府にとって宗教上の重要施設であった日光東照宮は、元禄十六年(1703年)の元禄関東地震とその152年後の安政二年(1855年)の安政江戸地震に遭遇しているが、被害程度は双方ともに軽微であった。日光東照宮に関する震災対応について、元禄関東地震の際には、江戸から地震見舞いの使者が日光東照宮へ派遣されていたが、安政江戸地震の際には使者の派遣はなかった。双方に共通する地震対応としては、江戸の幕府からの命令によって実施された天下安穩の祈祷が挙げられる。

また、安政江戸地震後における江戸での人々の避難状況や、罹災民に対する幕府の救済の有り様などについて、文献史料や絵画史料に基づいて検討した。これによって、地震直後における人々の避難方法と避難場所、罹災民に対する幕府(町奉行)の施策、余震の発生状況や気象条件に起因する避難状況の変化などについて解明できた。



( 7 ) 本課題の5か年の到達目標 :

本研究課題では、現代とは異なる社会状況の下で発生した災害時における人々の行動や対応、復旧・復興過程などの事例を集積し、時代的・地域的な特性を導き出して、今後の防災・減災施策、復興施策などの検討に資する事例の提示を目指している。

( 8 ) 本課題の5か年計画の概要 :

[ 平成 31・32・33・34 年度 ]

現存する膨大な史料の中から、近代以前の地震・火山災害に関連する新たな史料を調査・収集・翻刻する。既存の史料に新たな史料を加えて、近代以前に発生した地震・火山災害などについて、当時の人々の行動や対応、復旧・復興過程などについて検討し、災害事例を集積する。

[ 平成 35 年度 ]

近代以前の地震・火山災害に関連する新たな史料を調査・収集・翻刻する。近代以前に発生した地震・火山災害などについて、当時の人々の行動や対応、復旧・復興過程などについて検討し、災害事例を集積する。このような検討に基づいて、自然災害における地震・火山災害の特徴を解明し、今後の防災・減災施策、復興施策などの検討に資する事例の提示を目指す。

なお最終年度には、部会全体としての研修プログラム構築に際して、近代以前の地震・火山災害への対応の事例に基づいた知見を提供する予定である。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

安政江戸地震による被害に関する報告事例が少ない旗本屋敷について、文献史料とともに空間利用の状況を検討し、旗本屋敷が密集する地域での地震後の居住者の対応を具体的に明らかにした。

また、安政江戸地震による被害とそこからの復興の様子が描かれた絵巻「江戸大地震之図」を文献史料とあわせて検討した。その結果、絵巻は従来、一般的な被害等の様子を描いたものとみなされていたが、特定の場所や出来事を事実に基づいて描いた絵画史料としてとらえられることを明らかにした。地震や火事による被害と復興の過程を描いた絵巻は、災害への対応を視覚的にとらえられる点で貴重である。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

杉森玲子、2019、1855年安政江戸地震後の旗本屋敷の状況、2019年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集、37-38

杉森玲子、2020、「江戸大地震之図」を読む、KADOKAWA、pp.272

( 11 ) 令和2年度実施計画の概要 :

前年度に引き続き、近代以前の地震・火山災害に関連する新たな史料を調査・収集・翻刻する。あわせて、既存の史料の読み直しや、翻刻史料の原史料による確認などにも留意し、近代以前に発生した地震・火山災害などについて、当時の人々の行動や対応、復旧・復興過程などを検討しながら、災害事例を集積する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

杉森玲子・榎原雅治・荒木裕行・林 晃弘・山田太造

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学地震火山史料連携研究機構 西山昭仁

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 :

電話 :

e-mail :

URL :

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 杉森玲子

所属 :

( 1 ) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

沿岸巨礫を用いた古津波評価法の検討：南海トラフ～琉球海溝の連動可能性評価に向けて

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

我が国の沿岸部では、日本海溝沿いや琉球海溝沿いを中心として津波(津波石)や台風の高波で打ち上げられた巨礫群が沿岸部に堆積している。これらは、現在から数千年前の間に発生した津波あるいは高波で打ち上げられ、その後も移動を繰り返して現在のサイズ・空間分布を形成していることから、この間の津波・高波の履歴と規模の情報を保持していると考えられる。そのため、巨礫のサイズ・空間分布、打ち上げ年代から、過去数千年にわたる時間スケールでの津波と高波の履歴と規模(既往最大クラスを含む)を時空間的に復元できる可能性がある。しかしながら、既往研究は認定と規模推定の定量的評価に課題が残り、津波規模などの実態は十分解明されていない。そこで本研究では、現地調査、試料分析、数値計算により、沿岸巨礫を用いた古津波評価法の検討を行う。さらに、特に琉球列島北部に分布する巨礫群を活用することにより、南海トラフ-琉球海溝の連動可能性評価を行う。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

本研究計画は(1)現地調査(2)年代測定及び統計処理(3)数値計算、で構成され、以下を5年計画で実施する。

現地調査：本研究では、津波・高波履歴と規模復元に有効な地域を全国の中から厳選して、主に平成31～34年度にかけて調査を実施する。また、琉球列島においては、津波・高波の規模推定のために台湾の沿岸巨礫分布の情報が重要であるため、台湾も対象地域とする。津波石は、特に巨大津波の規模と履歴に注目するため、高い標高または供給源からの移動距離が長い巨礫群を調査する。また、津波発生年代の理解には砂礫質津波堆積物の情報も重要であり、同時に現地調査を実施する。一方、台風の高波で打ち上げられた巨礫群は沖縄・奄美諸島に広く分布しており、近年の台風で移動した巨礫を空中写真で確認し、サイズ・空間分布を調査する。

年代測定：琉球列島においては津波石を用いた津波発生年代に関する研究が行われてきた。しかしながら、推定津波年代にばらつきがあり、統一的な理解が得られていない。これは、測定試料選定、暦年較正、年代値の解釈の違いによる。そこで、既往研究のうちハマサング巨礫等の信頼性の高い巨礫年代を測定したデータを厳選するとともに、調査で採取する資料を用いて追加の放射性炭素あるいはウラン・トリウム年代測定を平成32～35年度にかけて行う。そして、ベイズ理論に基づき年代結果を統計処理し、津波履歴を高精度で復元する。

数値計算：＜津波規模評価＞巨大津波に特化した解析を行うため、特に高い標高に堆積する津波石の打ち上げ計算を行う。数値計算による検討は平成31～35年度の各年度に、現地データや地形データが収集できた地域から順次実施する。具体的には、巨礫移動の水力実験により精度検証を行った上で、鉛直方向の流速、加速度等を考慮した津波計算を実施し、崖上の巨礫打ち上げを説明できる入射波条件を推定する。その結果を制約条件とし、津波波源モデルを推定する。一方、台風の高波での打ち上げが確認できる巨礫群は、津波規模の上限値を推定するために活用することができる。まず、数値計算により推定される台風の高波の波浪強度を推定する。そのうえで、現在の巨礫のサイズ・空間分布を維持できる規模の津波を繰り返し計算により推定し、過去数千年程度の間に発生した可能性のある地震・津波規模を評価する。

(9) 令和元年度の成果の概要：

本年度は、琉球列島北部および南部において、沿岸巨礫の現地調査を行った。これらの地域では、隆起地形についても検討を行い、地震性隆起の有無と隆起量について検討を行った。さらに、砂質津波堆積物の調査適地を探すための予備調査も沿岸各地で実施し、複数箇所候補地点を選定した。また、琉球列島南部における津波堆積物について、堆積物中の試料を用いた多点数の放射性炭素年代測定を実施した。その際、試料の保存状態や方解石化の有無等をすべての試料に対して実施し、年代値の信頼性についても評価した。その結果、年代測定結果は様々な年代を示すものの、ある年代値に収束する傾向が見られ、当該地域で知られている1771年明和大津波より一つ前の津波の発生年代を高確度で決定できる可能性が高いことが明らかになった。本手法は、亜熱帯地域等、通常の測定法では年代決定が難しい地域において、津波発生年代を推定する有効な手段になりえと考えられる。琉球列島北部については、地質・地形条件を制約条件として、これらを説明しうる断層モデルを決定するための予察的な検討を実施した。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(11) 令和2年度実施計画の概要：

現地調査は引き続き複数の島々で行い、巨礫分布調査と砂質堆積物の調査を実施する。そして、年代測定に適した地域・試料を選定し、これらの試料に対して多点数の放射性炭素年代測定を実施する。特に、明和大津波規模の津波の再来間隔の推定が重要であり、琉球列島南部において明和大津波以前の津波に特に着目し、年代測定を行う。この際、得られた年代値の統計的処理が必要であり、手法の検討も行う。こうした巨礫・砂質津波堆積物分布等に基づき数値計算を行うための高解像度地形の整備

を行い、準備が整った地域から局所的な津波規模の推定を行う。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

後藤和久・東京大学大学院理学系研究科・教授

他機関との共同研究の有無 : 有

森信人・京都大学防災研究所・准教授

横山祐典・東京大学大気海洋研究所・教授

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 :

電話 :

e-mail :

URL :

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 後藤和久

所属 : 東京大学大学院理学系研究科

( 1 ) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

巨大地震に伴う粘弾性余効変動の解明

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

地震

( 4 ) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

新規研究

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

海底地殻変動観測によって、東北地方太平洋沖地震後から継続している地殻変動のメカニズムとして、粘弾性変形が重要であることが判明した。本課題は、海陸の地殻変動データに加え、今後のデータ取得が進む衛星重力データの利用まで視野に入れた、広域粘弾性変形モデルを開発することで、地震サイクルの各段階における列島規模の地殻変動の理解を深めることを目的とする。5 か年の間に、プレート沈み込み境界の形状、密度・弾性・粘性の不均質構造、自己重力を考慮した球体地球モデルにおける粘弾性変形の計算手法を確立し、日本列島で発生した過去の巨大地震へ適用するとともに、既存手法との差を明らかにすることを目指す。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成31・32年度に、既存モデルと提案モデルとの比較による、曲率や自己重力の影響の評価を行う。平成33・34年度において、提案モデルへ水平不均質構造を取り込み、平成35年度にプレート境界形状等を考慮した、巨大地震による余効変動のシミュレーションを実施する。

(9) 令和元年度の成果の概要：

3年目度目に予定されていたモデル開発を前倒しで開始した。密度と弾性定数の水平不均質が余効変動に与える影響を見積もる前段のステップとして、それらの水平不均質が表層荷重に対する変形に与える影響を2次元回転対称の地球モデルに対して見積もる手法を開発した。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Tanaka, 2019, Estimating the effects of laterally heterogeneous elasticity and density structures on surface loading ?a rotationally symmetric case, AGU Fall Meeting, [G53B-0615].

(11) 令和2年度実施計画の概要：

5か年計画に基づき、初年度に開発した手法の3次元モデル及び余効変動への拡張を行うとともに、汎用的なモデルを用いた場合との差について定量化を進める。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

田中愛幸

他機関との共同研究の有無：無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：

電話：

e-mail：

URL：

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：田中愛幸

所属：東京大学大学院理学系研究科

( 1 ) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震発生場のテクトニクスとマルチスケール地震現象の予測可能性

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

イ. 地震断層滑りのモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生 of 新たな長期予測

ア. 海溝型巨大地震の長期予測

(2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

ウ. 千島海溝沿いの巨大地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 国際共同研究・国際協力

(7) 次世代を担う研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

千島海溝沿いの巨大地震



(6) 平成30年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要:

「地震発生場の階層性を考慮した地震活動予測」

地震の震源領域に存在する「階層性」に着目して、地震の予測可能性を検討する研究を行った。全世界的な研究と東北沖を対象とした地域研究に分かれる。全世界的研究では階層性に強く関わる Gutenberg Richter 則について、 $b$  値はプレート年代が若いほど小さいことを示した。一方  $a$  値は沈み込み速度と同時にプレートの屈曲に依存することも解明した。これらの研究でプレート年代や水の存在量などテクトニクスが階層性に及ぼす効果の一端が明らかになった。全世界的な研究ではさらに、潮汐応力が  $b$  値を変化させることで予測可能性をコントロールしていることを明らかにした。東北沖では地震の階層性を調べるために、主にエンドメンバーである繰り返し地震についての分析も進めてきた。繰り返し地震のエネルギーが繰り返し間隔に依存することや、個々の繰り返し地震は内部構造となる階層構造にゆるく縛られながら多様な破壊をすることが明らかになった。また世界的に検出法を確立した群発地震について、茨城沖でさらに詳細な分析を行い、M7級の地震に先立つ前震活動と通常の群発地震を区別できる可能性を指摘している。

(7) 本課題の5か年の到達目標:

地震発生場の不均質性をどのように定量化するか、という問題は震源物理学の主要な問題の一つである。1980年代に「アスペリティ」や「バリア」として認識された2元的な不均質性は、繰り返し発生する特徴的な地震の振る舞いを説明するものの、微小スケールから巨大地震までのマルチスケールな地震現象の振る舞いを説明するには単純すぎた。それに代わるものとして2005年以来、本研究代表者らが提案している階層パッチモデルは、地震現象のマルチスケールな側面の多くを説明する。特に2011年東北沖地震が政府の想定を超えた規模の超巨大地震として発生して以来、階層性の理解が地震の予測可能性にとって重要であることが明らかになってきた。また階層性に影響を及ぼす要因として、プレートの相対速度や熱的構造など、地域的なテクトニクスの違いがあることが全世界規模の研究により明らかになってきた。

次期計画では、現行計画で得られた知見を元に、データ解析と数値モデリングを組み合わせ、様々なテクトニクスの環境条件と階層性の定量化を進め、マルチスケール地震現象の予測可能性を検討する。具体的には様々な地域で地域ごとに異なる階層構造を特徴づける地震活動パラメタの推定を行うとともに、地域を絞って大きさの異なる地震の破壊過程の高精度イメージングによって地域的な階層構造の定量化およびスケーリングを行う。世界各地の沈み込み帯を比較することで、テクトニクス環境条件とスケーリングや階層性パラメタの関連性を調べる。一方で数値モデリングにより階層性パラメタが予測可能性に及ぼす影響を明らかにする。

計画遂行にあたっては、先端的なデータ解析研究と数値モデリング研究を遂行する一方で、これらの研究に用いる手法の簡便化、標準化を通じて、次世代研究者養成のための教育ツールの開発も行う。実際の研究の一部に学生を参加させることで研究者養成も行う。

(8) 本課題の5か年計画の概要:

小規模から超巨大地震まで、個々の破壊プロセスが含む階層性と、複雑系の相互作用として出現する地震活動の階層性をデータ分析によって定量化し、数値モデリングで予測可能性を検討する。既存の高精度階層性イメージング手法を新しいデータに適用するとともに、先端計算科学の知見を取り入れて新たな階層性分析手法を開発する。これらの分析結果と数値モデリングによって階層性が予測可能性に及ぼす影響を評価する。日本周辺の沈み込み帯での地域研究を基盤として、世界各地の沈み込み帯を対象とすることで、異なるテクトニクスの影響を検討する。そのためにチリ、メキシコ、台湾など世界各地の研究機関と国際協力を進める。データ解析、モデリングの手法を標準化し、次世代研究者養成のための教育ツールを開発する。年度ごとの研究計画は以下の通り。

初年度: 日本周辺における高精度階層性イメージング、階層性モデリング手法開発  
階層性抽出のための新技術開発、地域研究のための予備解析

- 2年度目：高精度階層性イメージングの他地域への適用準備、階層性モデリング適用  
新技術の適用、既存データ解析・モデリング手法の標準化
- 3～4年度目：多数の地域での各種分析手法の適用、階層性モデリングによる評価、  
標準化した手法を用いた研究教育実施
- 5年度目：各種分析手法の適用、階層性モデリングによる評価、研究の取りまとめ  
標準化した手法を用いた研究教育実施

(9) 令和元年度の成果の概要：

今年度は、北海道から東北沖の沈み込み帯における階層的地震発生構造を解明するために、階層的地震破壊の実例を多数調査した。M4.5以上の大地震と、M4以下の中小地震の波形の立ち上がりを網羅的に比較した結果、多くの大地震の組が立ち上がり、小地震と同じであることを発見した。これは階層的な地震破壊を示唆する。具体的には低角逆断層の沈み込みタイプの地震899イベントのうち170イベントが該当する。但しこの割合は低角逆断層でない地震の場合には極めて低くなる。その低い割合が実は直前前震であることは地震の震源核形成過程にとって重要な示唆を与える。この研究成果はIUGG2019年大会や日本地震学会でも発表された。論文としてはNature誌にて出版され、出版時にはマスコミでも取り上げられた。また、世界各地の地震について、波形の比較から精密相対震源決定する手法を開発し、2011年東北沖、2010年チリなど、4つの超巨大地震前後の地震活動に適用した。この手法と経験的震源イメージングによって、地震活動と震源過程を総合した分析のための基礎ツールがそろったことになる。この研究の前半部分はEarth Planet and Space誌で出版された。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Ide, S. (2019). Frequent observations of identical onsets of large and small earthquakes. *Nature*, 573(7772), 112-116. Chang, T. W., & Ide, S. (2019). Empirical relocation of large subduction-zone earthquakes via the teleseismic network correlation coefficient method. *Earth, Planets and Space*, 71(1), 79.

(11) 令和2年度実施計画の概要：

引き続き日本周辺の地震破壊の階層性の定量化を進める。昨年度に開発した初期破壊同一性の検出手法をより、日本全域に適用する。また過去20年近くかけて開発してきた、経験的震源イメージング手法(Ide, 1999)を整頓して、一般に使用しやすいような形にまとめ、公開を目指す。それらの手法の実際のアプリケーションとしてモデル地域において震源の階層性をイメージングする。今後、地震の初期破壊、破壊伝播、最終サイズの関係について定量化の手法を検討する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東京大学大学院理学系研究科 井出哲  
他機関との共同研究の有無：有  
フランス BRGM Hideo Aochi  
メキシコ国立自治大学 Victor Manuel Cruz Atienza  
チリ大学 Sergio Ruiz  
台湾国立師範大学 Kate Huihsuan Chen

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：

電話：

e-mail：

URL：

( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 井出哲

所属 : 東京大学大学院理学系研究科

( 1 ) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地殻流体の化学的観測による地震火山活動評価システムの高度化と応用

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

イ. 内陸地震

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(3) 先行現象に基づく地震発生の確率予測

(4) 中長期的な火山活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

イ. 首都直下地震

(3) 研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

( 5 ) 総合的研究との関連：

首都直下地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果(または観測実績)の概要：

課題 1401「地殻流体の連続化学観測にもとづいた地殻の状態評価システムの開発」

地下水溶存ガスの観測を跡津川観測点で実施した。断層の下盤側の帯水層から地下水をくみ上げ、遊離した溶存ガス気液分離装置と電子除湿機によって乾燥させ、四重極質量分析計で精密なガス組成を決めた。その結果、跡津川観測点では、He, N<sub>2</sub>, Ar の Giggensbach ダイアグラム上の点が時間とともに変化し、大気と地下深部ガスの混合比が変動することを見いだした。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

これまでに開発してきた四重極質量分析計での観測を本宮観測点などにおいて実施し、周囲の地震火山活動と He, N<sub>2</sub>, Ar の組成の時間変化との対応を明らかにする。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

本課題では、本宮観測点などにおいて地下水・噴気観測を実施する。採取した地下水や噴気的气体の組成を、四重極質量分析計によって連続的に計測する。

毎年 2 回の地下水・噴気サンプリングを行い、<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He をはじめ測定可能な全ての化学分析を実施する。<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He の分析と酸素水素同位体比の測定は産総研で実施する。

これらの分析結果を集約するとともに、それぞれの地域での地殻変動や火山活動の情報を収集し、周囲の地震火山活動と He, N<sub>2</sub>, Ar の組成の時間変化との対応を明らかにする。また、データが蓄積された段階で「先行現象に基づく地震発生の確率予測」を主課題としているグループとデータを共有し、データを評価する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

今年度は、四重極質量分析計の整備およびデータ処理システムの更新を行った。本宮観測点の設置事情により中断した観測を再開した。観測結果はホームページに順次掲載している。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

令和 2 年度は、データをさらに蓄積するとともに、周囲の地震活動や低周波地震の活動との関連性に注目してデータを整理する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

他機関との共同研究の有無 : 有

滋賀県立大学 小泉尚嗣

産業技術総合研究所 森川徳敏

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設

電話 :

e-mail :

URL :

( 14 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 角森史昭

所属 : 東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設

( 1 ) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

物理モデルと地形・地質学およびテクトニックな観測データを統合した地震発生の長期予測手法の開発と検証

( 3 ) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測

イ. 内陸地震の長期予測

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

ア. 地震発生機構の解明

イ. 地震断層滑りのモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

オ. 構造共通モデルの構築

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

ア. 強震動の事前評価手法

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(5) 国際共同研究・国際協力

( 5 ) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果 ( または観測実績 ) の概要 :

新規課題

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

本研究では、地震発生の長期予測を、物理的客観性と定量性の向上を目的とし、地震発生シミュレーション手法の高度化と検証、定量的な変動地形解析手法の開発を行う。それぞれの課題について、5 か年での到達目標を以下の様に設定する。シミュレーション研究においては、国内外のいくつかの内陸大地震を対象に、観測データとシミュレーション結果を比較することにより、予測手法の系統的な検証を順次行う。物理モデル構築に当たっては、共同研究により、応力場や断層形状等の地震発生場のモデルを構築し、古地震データから応力蓄積率を推定する。大規模並列計算により順問題を多数回解くことで、動的破壊過程 ( 地震の位置、規模、時期を含む ) とそのばらつきを定量化し、観測データと比較することで、その再現性や予測性能を検証する。また、古地震による地殻変動量とその時期といった地形・地質データの高精度化のために、数値的な地形解析手法の開発と検証を行う。そのために、ドローンを用いた高空間分解能な数値標高データの取得と精度検証、段丘堆積物等の年代測定を、合わせて行う。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

地震発生予測手法の開発と検証については、年次ごとに、既往の顕著な地震イベントから一つを選んで、検証を実施していく。初年度においては、2016 年熊本地震を対象とする。モデルの構築にあたっては、産業技術総合研究所と共同研究を行い、応力場と断層形状モデルの構築、ならびに古地震データの収集・解析を行う。シミュレーション結果を地震時の強震動と SAR 等の地殻変動データと比較し、再現性等を評価する。2 年目から 5 年目においては、同様の検証を 2000 年鳥取県西部地震、2004 年中越地震、2011 年福島県浜通の地震、2014 年長野県北部の地震、2016 年ニュージーランド ( カイコウラ ) 地震、2018 年北海道胆振東部地震などを対象として、順次実施する。ニュージーランドの事例については、現地の研究者と共同する。

定量的な古地殻変動解析手法の開発については、以下の通り行う。初年度においては、地形解析アルゴリズムを整備した上で、房総半島南部に適用し、海岸段丘の自動検出を行う。段丘の形成年代を推定するため掘削による段丘堆積物の取得と年代測定を行う。

2 年目においては、海岸段丘を対象としたドローン測量による数値標高モデルの取得 ( DEM ) と精度を検証する。解析ソフトを用いて房総半島南部での地殻変動量の推定を行い、引き続き、未調査地点において段丘堆積物の取得と年代測定を実施する。3~5 年目においては、対象を南海トラフの海溝型地震として、同様に海岸段丘の検出と年代測定を行う。調査地点は、富士川河口地域などを想定する。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

本研究計画では、震源物理学に基づいたモデリングとシミュレーションによる地震破壊過程の予測手法の高度化と、高精度な地形・地質学的な計測と数理モデリングの組み合わせによる古地震履歴の推定手法の高度化を行うことを内容としている。本年度は、それぞれについて、以下の様な研究を行った。

地震破壊過程の予測手法の高度化では、長期予測の目的で使用できるように、比較的単純な条件設定を行い主要なモデルパラメタを観測で拘束できることを重視する一連のモデル化手法の開発を目的としている。観測で拘束できるモデル化を行うことで、データに基づく客観的なモデルの検証が可能ともなる。モデル化手法を、近年発生した大地震に系統的に適用し検証し必要な改善を行うことで、モデルの信頼性の評価と高度化を行う。本年度は、主に 2018 年北海道胆振東部地震を対象とした、動的破壊シミュレーションを行った。北海道胆振東部地震は、地震波観測データの解析結果によると、断層面上の場所によって逆断層滑りと横ずれ断層滑りの大きさが変化するような、複雑な特徴を持っていることが分かっている。本研究では、本イベントを、開発している手法に則ってモデル化を行うことで、どの程度の現象の再現性があるかを調べるとともに、パラメタ推定の不確実性によりどの程度

の解のばらつきが生じるかを調べた。モデルには、標準的な摩擦則とテクトニックな広域応力場、非平面な断層形状を考慮した。このうち、広域応力場は本イベント前の観測による推定 (Terakawa and Matsu 'ura, 2010) で拘束し、断層面形状については本イベントの余震分布により拘束した。摩擦係数については、直接的な観測による拘束が難しいため、断層面の全体に渡って均一な値を仮定した。断層滑りは不均質性が強いと考えられているが、その原因が摩擦パラメタの不均質分布に依存しているのか、断層面形状の不均質に依存しているのか、また両者の効果がどのように影響しあっているのかは、まだよく分かっていない。本研究では、観測で検証可能な断層形状の効果に注目して、モデル化と観測結果との比較を行った。断層面形状は、Double difference 法で震源再決定した余震空間分布に合うように、6 個の断層セグメントの組み合わせで構成した。個々のセグメントは平面とした。断層非平面形状を高精度で数値解析するために、高速領域分割法 (FDPM) で高効率化した時空間境界積分方程式法 (FDP-BIEM) を用いてシミュレーションを行った。

シミュレーションの結果、地震波観測に基づいた運動学的インバージョンによって得られた、最終滑り分布と破壊伝播速度の空間的变化のパターンの特徴を再現することができた (図 1)。また、モデルに考慮する広域応力場をグリッドサーチ的に変化させて滑りパターンを運動学的インバージョン解析の結果と比較することで、広域応力場をより詳細に再決定することにも成功した。本結果は、断層面形状の複雑さがモデルに適切に考慮されていれば、広域応力場と断層摩擦に単純なモデルを仮定したとしても、複雑な破壊パターンの大局的な特徴は比較的よく再現されることを示唆している。本研究の結果は、国際誌に投稿中である。

古地震履歴の推定手法の高度化については、高解像度な数値標高モデル (DEM) を対象としたクラスタリング手法に基づいた定量的かつ客観的な数値解析手法の開発を行った。海岸段丘地形や段丘堆積物は、過去の地震性隆起の痕跡として認識されており過去の地震発生回数や発生年代の推定に広く用いられている。一方で、過去の地殻変動の量そのものを記録していると考えられる段丘地形の 3 次元形状を利用するには、段丘の区分や段丘面標高の定量化を広域にわたり客観的に行うことの困難を解決する必要がある。本研究ではこの困難を乗り越えるため、新しい数値解析手法を開発した。

本研究で開発した手法は以下のようなものである。まず、DEM データから段丘崖の位置を抽出するために、海岸線に直交方向に標高のプロファイルと曲率の分布を求める。このプロファイルを、海岸線に並行方向に多数作成して、曲率の空間分布を海岸並行方向に求める。ここで注意が必要なのは、現在の DEM で得られる段丘地形には形成後の堆積削剥や人工改変、地質の違いなどの様々なノイズ要因が乗っているため、曲率の空間分布のみでは、必ずしも段丘面の連続性やその標高を認定するのは簡単ではないということである。そのため、本研究では、曲率の空間分布を点群データとして扱い、k-means クラスタリングという点群を分類する技術を用いて、客観的に段丘面を分類しその標高を定量化した。本手法を、房総半島南部でこれまで知られていた沼段丘と呼ばれる海岸段丘地形に適用したところ、これまでに知られていた四段の段丘面を抽出することに成功した。さらに、それら段丘面間の比高の空間分布を定量的に求めることに初めて成功し、それら比高がどの段丘面間の場合でも南部に行くほど大きくなることを明らかにした (図 2)。この空間パターンは、これまで知られていた 1703 年元禄関東地震 (M8.2) での隆起沈降分布に類似している。この結果は、これまでよく分かっていなかった 1703 年イベント以前のイベントの地殻変動を推定するのに重要な拘束条件となる。本研究の結果は、国際誌に投稿中である。

また本課題では、房総半島南部地域での段丘構成堆積物の年代測定により隆起年代の推定も行っており、これまで年代値の得られていなかった平砂浦地域でも段丘構成層中の貝化石試料の採集と年代測定を行った。さらに、年代値の解釈を定量化し、また試料年代を用いた隆起年代の推定誤差を定量化するために、堆積過程を考慮した数理モデルを導入した新たなデータ解析手法を開発しているところである。

(10) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :



( 11 ) 令和 2 年度実施計画の概要 :

令和 2 年度の実施計画では、引き続き、震源物理学に基づいたモデリングとシミュレーションによる地震破壊過程の予測手法の高度化と、高精度な地形・地質学的な計測と数理モデリングの組み合わせによる古地震履歴の推定手法の高度化を行う。

地震破壊過程の予測手法の高度化では、2019 年リッジクレスト ( カリフォルニア ) 地震を対象としたシミュレーションを行う。本地震は、熊本地震の様に M6 規模の前震と M7 規模という明瞭な前震-本震系列を示しており、さらに前進と本震が横ずれ断層の共役断層系であるという、力学的な解析を行うのに適したイベントである。予備的な解析によると、前震が励起した応力変化により本震の破壊が促進されるという現象がみられている。来年度では、実際の観測と比較することで物理モデルを定量的に評価し、本課題で構築しているモデル化手法の妥当性を検討する。古地震履歴の推定手法の高度化については、数理モデルに基づいた新たなデータ解析手法の枠組みを構築し、房総半島南部地域でこれまで得られた試料年代データに適用することで隆起年代やその推定誤差を定量化する。また、年代試料採集と分析を進めて、データの充実を図る。また、従来の LiDAR 計測による DEM 構築法に比べてより簡便な UAV (ドローン) を用いた手法を用いて、その変動地形への適用可能性を評価する。

( 12 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

安藤亮輔

他機関との共同研究の有無 : 有

産業技術総合研究所 宍倉正展 , 宮下由香里 , 今西和俊

( 13 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学大学院理学系研究科

電話 :

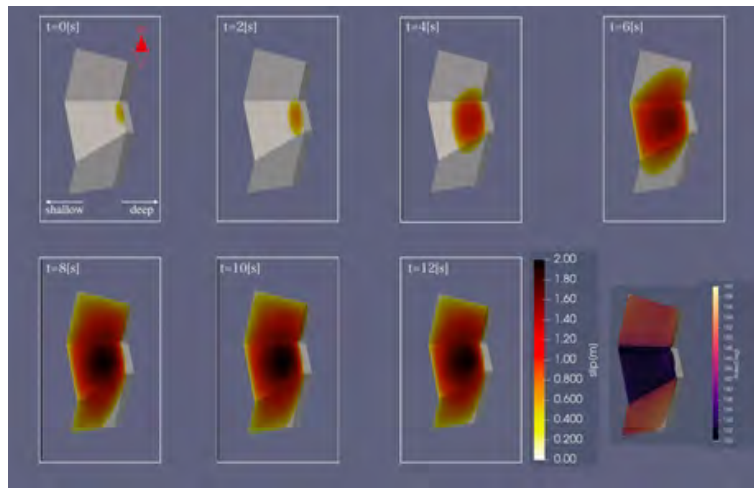
e-mail :

URL : <http://www-solid.eps.s.u-tokyo.ac.jp/ ando>

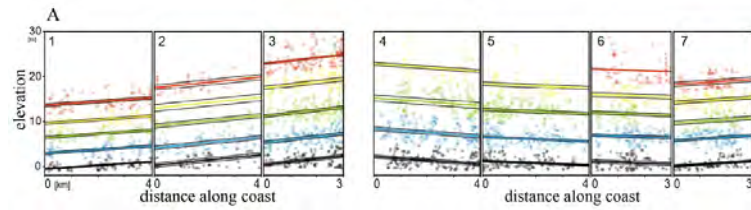
( 14 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 安藤亮輔

所属 : 東京大学大学院理学系研究科



2018 年胆振東部地震の動的破壊シミュレーション  
滑りの時空間発展を示すスナップショット。



房総半島南部の沿段丘面の標高分布  
デジタル標高モデル (DEM) に曲率に基づく特徴量抽出と k-means クラスタリングによる分類を行った結果

- ( 1 ) 実施機関名：  
東京大学理学系研究科
- ( 2 ) 研究課題（または観測項目）名：  
遠隔地火山、特に離島火山における火山ガスモニタリングの高度化
- ( 3 ) 関連の深い建議の項目：  
2 地震・火山噴火の予測のための研究  
(4) 中長期的な火山活動の評価  
イ. モニタリングによる火山活動の評価
- ( 4 ) その他関連する建議の項目：  
1 地震・火山現象の解明のための研究  
(4) 火山現象の解明とモデル化  
ア. 火山現象の定量化と解明  
イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化  
(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化  
ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明  
2 地震・火山噴火の予測のための研究  
(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測  
3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究  
(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化  
オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法  
(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化  
ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法  
(3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究  
火山  
5 研究を推進するための体制の整備  
(2) 総合的研究  
工. 桜島大規模火山噴火
- ( 5 ) 総合的研究との関連：  
桜島大規模火山噴火

( 6 ) 平成 30 年度までの関連する研究成果 ( または観測実績 ) の概要 :

「【1403】 噴火推移モニタリングのための火山ガス観測装置の開発」で開発した簡易型トラバース装置は、火山ガスが専門の研究者でなくても二酸化硫黄放出率の測定ができるようすることを目的として測定手順を自動化した装置である。2014 年 8 月の口永良部島が噴火以降の二酸化硫黄放出率の増加を受けて、屋久島-口永良部島間のフェリーに開発した装置を搭載することで、2014 年 11 月末から口永良部島の二酸化硫黄放出率の繰返し測定を確立した。測定開始からすでに 4 年以上経過しており、この間、口永良部島の 2015 年 5 月 29 日の噴火前、そして噴火後の二酸化硫黄放出率推移、2018 年 10 月 21 日の噴火前の放出率の上昇等、火山活動を理解するうえで貴重なデータを提供することができた。

( 7 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :

前期計画で開発した山ガス放出率観測のための簡易型トラバース測定装置を定期フェリーに搭載することで口永良部島の二酸化硫黄放出率の繰返し測定が確立され、公共交通など定期運行されている移動体を使用した二酸化硫黄放出率測定が、離島や遠隔地の火山で有効な手法であることを示した。本課題では、二酸化硫黄放出率の観測頻度が非常に低い他の離島火山や遠隔地火山に、さらに高度化した簡易型トラバース装置を展開することで、これまでより頻繁に二酸化硫黄放出率が測定できるようにする。また、これまで火山ガス放出量のみでの測定であったが、火山ガスの質にあたるガス組成 (  $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$  比 ) の測定にまで観測項目を広げることにより、モニタリング技術をさらに高度化し、火山噴火の中期予測に貢献するような火山ガスデータの提供を目指す。

( 8 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

令和元年度および 2 年度においては、測定装置の開発・高度化と測定基盤の確立を行う。簡易型二酸化硫黄装置をさらに改良し高度化するとともに、火山ガス組成用の小型装置の開発を行う。また、装置の設置ための交渉や、各火山における測定条件に対応した装置やシステムのチューニングを行う。口永良部島の観測の継続及び、測定開始できた火山の観測を継続する。

令和 3 年度から 5 年度においては、観測が開始できた火山の観測の維持し継続する。質の良い測定データがとれるようになったら、気象庁やその他の機関に測定で得られたデータを提供することで、火山活動評価に貢献する。最終年度に向けて、開発・確立した装置、および測定手法の技術移転を目指す。

( 9 ) 令和元年度の成果の概要 :

当初計画通り順調に進捗した。

簡易型トラバース測定装置を用いた、口永良部島の二酸化硫黄放出率測定は観測を継続している。口永良部島は 2020 年 1 月 11 日に新たな噴火活動期に入ったが、噴火に先立つ 1 月初めから二酸化硫黄放出率の増加が観測された。今回のいくつかの噴火では噴火数日前に二酸化硫黄放出率が減少し、その後噴火するパターンがみられている。また、2018-2019 年の噴火活動期に比べ、火山ガス放出率が高いことから、脱ガスに関与するマグマ量やその位置などに関して違いがあるのではないかと推定される。この課題による口永良部島の二酸化硫黄放出率のデータは、気象庁に共有され、火山活動の監視に役立っている ( 口永良部島の火山活動解説資料などを参照 )

簡易型トラバース装置に関しては、さらに高度化を進め、種々の測定状況に対応できるように改良を行った。2019 年 12 月からは、離島である諏訪之瀬島と薩摩硫黄島の二酸化硫黄放出率の観測のため、2 つの航路でフェリーによる観測を開始した。この二つの火山の二酸化硫黄放出率のデータはこれまで非常に少なかったが、徐々にデータが蓄積されつつある。

火山ガス組成用の小型装置に関しては、センサーやデータロガーの選定を行い、小型化した装置のプロトタイプ製作とテストを行った。

( 10 ) 令和元年度の成果に関連の深いもので、令和元年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

東京大学・京都大学, 2019, 薩摩硫黄島の二酸化硫黄放出率, 第 145 回火山噴火予知連絡会資料 ( その

3),68. 東京大学・京都大学, 2019, 諏訪之瀬島の二酸化硫黄放出率, 第 145 回火山噴火予知連絡会資料(その3),87.

(11) 令和2年度実施計画の概要:

現在、フェリーによる測定を行っている口永良部島、諏訪之瀬島、薩摩硫黄島の二酸化硫黄放出率観測を継続するとともに、装置の問題点などの解決にあたる予定である。諏訪之瀬島と薩摩硫黄島の二酸化硫黄放出率のデータに関しても、気象庁との共有をすることで、これらの火山の活動評価に貢献していく予定である。

火山ガス組成測定的小型装置に関しては、前年度作製したプロトタイプを自動測定用に改良し、フェリー観測に組み込む方向で進めていく。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

東京大学大学院理学系研究科 森 俊哉

他機関との共同研究の有無: 無

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名: 東京大学大学院理学系研究科

電話: 03-5841-4649

e-mail: mori@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp

URL:

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 森 俊哉

所属: 東京大学大学院理学系研究科