

(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技術による地震及び火山の災害把握技術の開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 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

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

平成 25 年度までの成果を引き継ぎ、航空機 SAR による地震及び火山の災害把握技術の発展的な開発を行うとともに、データの公開の推進と災害時等には Pi-SAR2 の必要な運用を行う。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。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

情報通信研究機構の第 3 期中期計画期間である平成 27 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 28 年度以降については、次期中期計画の策定に合わせて検討を進める。

平成 25 年度までの成果を引き継ぎ、Pi-SAR2 による地震・火山災害時の被害判読等の技術開発を進めるほか、Pi-SAR および Pi-SAR2 のデータ検索システムの公開・運用を進めることにより、災害軽減のための情報の高度化の研究に資する。また、実際の災害発生時には、Pi-SAR2 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。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

平成 29 年 10 月 11 日に噴火した新燃岳について、Pi-SAR2 による火口の状況把握を主目的とした観測を実施し、取得画像を内閣府等の関係機関に提供した。合わせて、「火山防災のために監視・観測体制の充実等が必要な火山」に選定されている火山のうち、富士山、伊豆大島、九重山、阿蘇山、雲仙岳、霧島山、桜島について、平常時のデータ取得を目的とした観測を実施した。

なお、これまでの Pi-SAR・Pi-SAR2 による観測で、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。これらの

観測データについては、観測データ検索・配信システムによって公開している。また、2018年1月23日に噴火した草津白根山の観測実施について関係機関と協力した。

航空機 SAR による災害状況把握について、衛星 SAR との比較等を通して、その特長について整理した [Uemoto et al. (2017)]。

火山噴火や地震後の地形を計測するための手法として、従来から開発してきているクロストラック干渉 SAR 手法による地形計測精度に影響を及ぼす要因に関する検討を行った [Nadai et al. (2017)]。また、ステレオレーダグラメトリ手法に関して、クロストラック干渉 SAR 手法との比較を行い、その有効性を検討した [上本・他 (2017)]。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Uemoto, J., A. Nadai, S. Kojima, T. Umehara, T. Kobayashi, M. Kubota, S. Uratsuka, and T. Matsuoka, 2017, Pi-SAR2 observation of the disaster areas affected by volcanic eruption and earthquake, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 20-25 May 2017, Makuhari, Japan, ACG49-06.
- Nadai, A., J. Uemoto, S. Kojima, T. Umehara, T. Kobayashi, and T. Matsuoka, 2017, A study on measurement error of topography using cross-track interference SAR, in "Proceedings of International Symposium on Remote Sensing 2017", 17-19 May 2017, Nagoya, Japan, 620-623.
- 上本純平・菱沼将太・伊藤康一・青木孝文・浦塚清峰, 2017, 同一データセットに基づくレーダグラメトリと干渉 SAR による高さ計測結果の比較, 日本リモートセンシング学会第 63 回学術講演会論文集, 321-322.

- (10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

平成 29 年度に引き続き、Pi-SAR・Pi-SAR2 による観測データを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、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行う。

- (11) 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

- (12) 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/>

- (13) 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 リモートセンシング研究室

(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

(3) 最も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・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

(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整理

ア. 史料の収集とデータベース化

ウ. 地質データ等の収集と整理

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

イ. 熱水系の卓越する火山

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

低頻度大規模火山現象としてカルデラ形成噴火と、大規模山体崩壊現象を研究対象とする。まず過去に発生した大規模カルデラ形成噴火を対象として、主として地質学的手法により、先行する噴火の有無を確認し、その時期と規模・様式・推移等について明らかにする。またカルデラ形成噴火についても、噴火開始から終了までの推移を詳細に復元する。そして物質科学的手法により、マグマ供給系の実体と時間変化を明らかにする。とくに、大規模噴火に至るまでのマグマ蓄積過程や周期性を定量的に理解し、マグマプロセスやその変化について時間軸を明確にして議論する。そして先行噴火からカルデラ形成噴火にかけてのマグマ供給系の生成・移動・蓄積という準備過程、そしてカルデラ形成噴火過程について明らかにすることを目的とする。そのことによりカルデラ形成噴火における、観測可能な前兆現象の種類と規模について議論できる材料を提供することを目指す。大規模山体崩壊現象では、記録の残る国内の過去の山体崩壊事例について、前兆現象および崩壊の推移について再検討する。また火山活動とは関係なく大地震によって誘発される火山体崩壊事例も、それらの分布と発生頻度について検討する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

○カルデラ形成噴火：基礎的な火山地質学的研究が行われており、形成年代が比較的新しく、異なる規模という観点から、VEI=7 として始良および支笏、VEI=6~7 として鬼界および摩周を対象とする。

これらについて表層地質調査およびボーリング・トレンチにより、カルデラ噴火の推移について、特に最初期の噴火に注目して、層序を確立する。さらにカルデラ形成噴火前の噴火活動について、特に中小規模の噴火の有無を明らかにする。これらに加えて必要に応じて K-Ar および炭素同位体による年代測定も実施する。また海外の事例を文献、あるいは必要に応じて現地調査から再検討する。さらに、規模は小さいが VEI=5 クラスの国内の歴史時代の噴火事例についても先行・前兆現象を中心に検討する。本研究で得られた高精度・高分解能の噴火層序に基づき、分析試料を採取する。噴出物は通常の記載を経た後、XRF により大量の試料について、高精度の主・微量成分組成を求める。さらにその中から選んだ代表的試料について ICP-MS により希土類元素などの微量成分、そして質量分析計により Sr、Nd および Pb 同位体組成を求める。また U-Th 放射非平衡のシステムイクスの検討も行う。また噴出物中の火山ガラスや鉱物組成を EPMA によって求め、FE-SEM により鉱物の組成累帯構造を検討する。これらにより大規模珪長質マグマ系の生成・噴火過程、特に噴火直前のプロセスを、時間軸をもとに明らかにする。

○大規模山体崩壊：研究対象は記録が豊富に残る磐梯山 1888 年と雲仙眉山 1792 年および十勝岳 1926 年である。この中で十勝岳は別課題でも主研究対象であるが、前兆現象の解析は本課題でも実施する。これらの事例について古記録の再検討を行い、崩壊の前兆・先行現象の種類と発生時期、そして崩壊現象の経緯を再検討する。これらは地形解析および現地調査で検証する。また火山噴火とは関係ないが日本海東縁の古い火山体には大規模崩壊地形が多数認められ、これらは日本海東縁を震源とする地震との関連が疑われる。これらは地形解析や現地調査により、崩壊地形の分布・規模を明らかにし、発生頻度も検討を試みる。

平成 26 年度では、まず研究集会を行い現状認識と 5 年間の研究計画について議論する。カルデラ火山については表層地質調査と噴出物採取を行い、ボーリング地点やトレンチ地点の選定を行う。また物質科学的解析を進める。山体崩壊については地形解析を行い、眉山については古記録調査を行う。平成 27 年度では、カルデラ火山については表層地質調査と噴出物採取を継続するとともに、トレンチ調査（始良および鬼界）とボーリング（始良または鬼界）を実施する。噴出物の物質科学的解析は継続し、特に同位体比分析も開始する。山体崩壊について地形解析を続け、眉山では古記録調査に加え現地調査を実施し、磐梯山については古記録調査を開始する。平成 28 年度では、カルデラ火山の表層地質調査と噴出物採取は継続し、ボーリング地点の選定（各カルデラ）を行う。また北海道ではトレンチを実施する。物質科学的解析は継続し、同位体比分析と鉱物の組成累帯構造解析を重点に行う。山体崩壊では磐梯山・眉山の古記録調査のまとめと地質調査を実施し、日本海東縁の火山については地質調査を実施する。また研究集会を開き研究進捗状況を確認する。平成 29 年度は、カルデラ火山においてボーリングおよびトレンチを実施する（対象は研究進捗状況で決定する）。噴出物の物質科学的解析は継続し、同位体比分析と鉱物の組成累帯構造解析を重点に行う。山体崩壊について補充調査を行う。平成 30 年度は両方の課題について補充地質調査および噴出物解析を行う。研究集会を開催し研究のとりまとめを行う。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

本年度では摩周火山においてボーリングを実施した。鬼界火山でも 28 年度に終了した鬼界カルデラでのボーリングコアの解析を行い、特にカルデラ形成後の火山活動について検討した。また両火山では地表踏査および物質科学的解析を行い、それぞれのカルデラ形成噴火推移について検討した。一方、伊豆大島火山ではカルデラ形成以降のマグマ供給系について検討した。大規模山体崩壊に関する研究では、雲仙 1792 年の噴火・山体崩壊について検討した。

1. 鬼界火山の噴火推移・様式およびマグマ変遷に関する研究

(1) ボーリング調査による後カルデラ火山活動に関する研究

カルデラ噴火の準備過程を検討するために、カルデラ形成噴火（K-Ah 噴火）に先行した長浜噴火の全貌を解明することを目標に、27～28 年度に薩摩硫黄島でのボーリング掘削を実施した（図 1）。今回は予算の関係でカルデラ内でのボーリングを実施した。掘削は 140m の深度まで実施されたが、深

度 30～140m まで複数の未知溶岩流コアが回収された。これらは層序的には後カルデラ期の産物と考えられる。回収された溶岩は深部では玄武岩、浅部では安山岩であり、その全岩化学組成は表層で認められる後カルデラ火山である稲村岳や硫黄岳の噴出物とは異なるものであった(図2)。まず玄武岩質溶岩は稲村岳噴出物とは MgO や Cr だけではなく Sr および Nd 同位体で区別できる。一方、安山岩試料も Sr 同位体比が 0.7042～0.7054 と多様である点、MgO が高い Boninite 質試料も含まれる点で特異である。今回の掘削では当初の目的を達成することはできなかったが、鬼界カルデラ壁が崩落による後退があまり進行していないこと、またカルデラ底は海面下 140m よりも深部にあることとなることなどが明らかになった。さらに後カルデラ火山の活動では、表層には露出していない、また既知のマグマとは同位体比を含めた化学組成が大きく異なるマグマが噴出したことが明らかになり、後カルデラ火山のマグマの進化を考える上では重要な成果と考えられる。

(2) カルデラ形成噴火(K-Ah 噴火)の地質学的・物質科学的研究

前年度から引き続き、K-Ah 噴火のステージ 1(プリニー式噴火: Unit A-B)とステージ 2(大規模火砕流: Unit C)の間に存在する時間間隙を示唆する地質痕跡の調査・解析を進めた。地表踏査及びドローンにより、Unit B の溶結ブロックが Unit C 基底部に取り込まれている構造や、非溶結の Unit B 上面に発達した明瞭なチャンネル構造など、時間間隙を示す証拠の詳細を明らかにした。一方近傍の Unit C は、礫質及び軽石質堆積物の互層からなる複数の堆積ユニットに区分でき(図3)、最上位の軽石質層が最も厚いことがわかった。このことから、単純に 1 回の大規模火砕物密度流が発生したわけではなく、段階的に火道の形成・拡大が進行し、その中で最大のものが鹿児島本土や種子島・屋久島に到達したと考えられる。ステージ 1 のプリニー式噴火で始まったアカホヤ噴火は、噴煙柱崩壊後にやや静穏なステージを挟み、その後ステージ 2 が始まり、そして終盤に幸屋火砕流の噴出及びカルデラ崩壊に至ったと考えられる。この噴火推移は、実際に観測されたカルデラ形成噴火(1815 年タンボラ、1883 年クラカタウなど)とは異なるものである。

また、Unit A～C について軽石の見かけ密度・発泡度を検討した。軽石発泡度は、Unit A と Unit C (70～90%) に対し、Unit B の火砕流堆積物で相対的に小さいが、降下軽石については Unit A・C よりも発泡している傾向がある。Unit B の火砕流堆積物が低発泡度であることは噴煙柱崩壊の一般的理解とも調和的である。その原因として、1) マグマ上昇速度が小さく気泡の分離(脱ガス)が進んだ、2) 水冷による固結で、発泡度の増加が抑えられた、という可能性がある。

2. 摩周火山の地質学的・物質科学的研究

(1) カルデラ形成噴火(7.6 ka)の地質学的・物質科学的研究

カルデラ形成噴火期の、これまで Ma-f1 と呼ばれている火砕流堆積物を岩相の違いにより、新たに 7 層に細分した(上位から Ma-f1～7)(図4)。これにより噴火推移については以下のように考えられた。まず規模のやや小さい火砕流(Ma-f7 および 6)が発生した後、マグマ水蒸気爆発が発生した(Ma-f5)。その後に規模は拡大し、Ma-f4 の火砕流が発生し、その後半にデイサイト質溶岩の角礫を大量に含むようになる(Ma-f3)。その上位の Ma-f2 および 1 は Ma-f3 に伴う Ash cloud による堆積物と考えられる。Ma-f3 に大量に含まれるデイサイト質角礫は、Ma-f3 発生時に山頂部に存在した溶岩ドーム由来である可能性がある。ただし古地磁気分析から、デイサイト質角礫は、Ma-f3 の爆発時には十分に冷却していたと判断できる。このことから、このデイサイトが Ma-f 噴火に関連したマグマに由来するものであれば、Ma-f4 および 3 噴火前に、溶岩ドームが冷却するまでの時間間隙があったと考えられる。摩周火山のカルデラ形成噴火は、従来考えられていたような、単純な噴煙柱の形成～崩壊といった推移では説明できない可能性を指摘できた。

(2) 摩周火山のボーリング調査(予察的)

摩周火山は約 3.5 万年前の屈斜路カルデラの Kp1 噴火後に活動を開始したと考えられている。そして、まず珪長質マグマ主体の爆発的噴火を繰り返す時期(火砕噴火期)と玄武岩質～安山岩質マグマによる山体形成期を繰り返しており、現在は 3 回目の火砕噴火期にあたる。今回、摩周火山の 3.5 万年間の噴火推移・様式を明らかにする目的で、摩周カルデラの南東山麓(カルデラ中心から 8km)で深度 130m のボーリングを実施した。予察的検討では、今回は 2 回目の山体形成期までは到達したが、

摩周火山全体の噴火堆積物を網羅することはできなかった。しかしながら、これまでよりも多くの層準で火砕流堆積物が認められたこと、山体形成期ではマグマ水蒸気爆発が頻発したことが新たに明らかになるなどの成果が得られている。

3. 伊豆大島火山の物質科学研究

伊豆大島は日本で最も活動的な火山の一つであり、また近い将来に噴火を再開することが予想されている。そこで、特に玄武岩質のマグマ供給系をさらに詳細に理解する目的で、カルデラ形成期以降の火山岩を対象とした岩石学的検討、および玄武岩質噴出物の全岩化学組成を用いた主成分分析を行った(図5)。その結果、試料は大きく Group A と B に分けられ、後者はさらに Group B1 と B2 に分けられる。Group A は斑晶に富み、Group B2 は無斑晶質、Group B1 は両者の中間的な特徴をもつ。また PC1 と PC2 はそれぞれ斜長石の分別と苦鉄質鉱物の分別に対応すること、斑晶(斜長石・輝石)は主に約 5 kbar の圧力下で形成されたこと、そしてこれらの斑晶は、Group B2 の試料で代表されるメルトの組成と平衡に共存しないことが明らかになった。これらの観察事実や制約から、カルデラ形成期以降の玄武岩質マグマは、地下約 16 km のマグマ溜り由来の斑晶に富むマグマと、地下 8 - 10 km のマグマ溜りに滞留する無斑晶質なマグマとが混合することによって生じ、さらに後者のマグマ溜り内ではマグマが時間とともに分化していることが明らかとなった。

4. 大規模噴火機構とマグマ準備過程の解明のための物質科学研究

大規模噴火における揮発性成分の挙動の解明のために、FT - IR を用いた反射法を応用した火山ガラス中の H₂O と CO₂ 分析法を検討し、検量線の確立を目指している。またマグマ滞留時間検討のための Th・U 同位体比測定法の開発を行っている。現在、ICP-MS による U/Th 比の繰り返し再現性を検討している。

5. 雲仙岳 1792 年噴火および眉山崩壊に関する研究

雲仙岳で寛政四年正月以降(1792年2月)に起きた噴火と、四月朔日(グレゴリオ暦5月21日)の眉山の崩壊・津波発生事例の過程を解明するため、文献史料の収集と解析を進めた。既往の研究で収録されていない、重要な新史料も収集し、個々の史料の記録者と信頼度を丁寧に確認、吟味した(表1)。今年度の検討の結果、以下の点が明らかになった。

1) 片山(1974)による4段階の地震・噴火活動推移区分が適切であることを確認した。

2) 寛政四年の島原半島の活動は、火山活動だけではなく、島原半島を千々石から島原まで横断して雲仙地溝帯が拡大・沈降する雲仙断層群(長崎県, 2004)と一連で、地割れおよび断層活動は従来知られているよりも広域に及んでいた(図6、表1に赤字加筆)ことがわかった。

3) 島原大変を引き起こした眉山の崩壊の原因の諸説のうち、

・火山爆裂説(駒田, 1913; 佐藤 1918)を支持する規模の大きな噴出物の存在を示す記録は確認できなかった。ただし、島原沖の海上で前山の崩壊に伴う降灰と岩塊の降下を確認した記録がある。

・地震説(大森, 1908)の基本になる寛政四年四月一日(1792年5月21日)夕方の地震は、理科年表および日本被害地震総覧では M6.4 とされているが、詳細な史料検討の結果、有感の範囲は島原と南島原市有江(島原から 16km)のみであり、同年三月一日、五日の地震が、現在の長崎、佐賀、熊本、福岡県にまで有感であったことと比べて規模の小さい局地的なものであった。それ以外でも眉山崩壊のきっかけとして「強い地震」を挙げる地震説を積極的に支持する史料を見出すことはできなかった。

山体崩壊と有明海への突入の原因崩壊の原因として、三月朔日の地震活動開始後、眉山の一部が数百 m 規模の山塊状がずり落ちていたこと、島原近傍で地下水位の変動・上昇が推定されていること、大潮の日に潮位の干満差が大きい有明海で満潮時に近い時刻で起きたことから、現段階では片山(1974)や太田(1984)も指摘しているように、眉山を構成している(破碎の進んだ)岩石中の(地下水・熱水による)間隙水圧の上昇による地滑り(と、それに起因する熱水の減圧爆発)が有力であると考えられるが、決定的な裏付けデータを示すに至っていない。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
Ahmadi, P., M. R. Ghorbani, M. Coltorti, T. Kuritani, Y. Cai, A. M. Fioretti, E. Braschi, P. P. Giacomoni,

- F. Aghabazaz, S. Babazadeh, and S. Conticelli, 2018, High-Nb hawaiiite-mugearite and high-Mg calc-alkaline lavas from northeastern Iran: Oligo-Miocene melts from modified mantle wedge. *International Geology Review*, doi:10.1080/00206814.2017.1416502.
- Geshi, N., F. Maeno, S. Nakagawa, H. Naruo, and T. Kobayashi, 2017, Tsunami deposits associated with the 7.3 ka caldera-forming eruption of the Kikai Caldera, insights for tsunami generation during submarine caldera-forming eruptions, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 347, 221-233.
- Kuvikas, O.B., M. Nakagawa, T. Kuritani, Y. Muravyev, N. Malik, E. Klimenko, M. Amma?Miyasaka, A. Matsumoto, and S. Shimada, 2017, A petrological and geochemical study on time-series samples from Klyuchevskoy volcano, Kamchatka arc. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 172, doi: 10.1007/s00410-017-1347-z
- 長谷川健・中川光弘・宮城磯治 (2017) 北海道東部, アトサヌプリ火山における水蒸気噴火の発生履歴. *地質学雑誌*, 123, 269-281.
- 石毛康介・中川光弘 (2017) 北海道中央部, 大雪火山群, 旭岳サブグループの後期更新世~完新世火山活動史. *地質学雑誌*, 123, 73-91.
- Kuritani, T., T. Sakuyama, N. Kamada, T. Yokoyama, and M. Nakagawa, 2017, Fluid-fluxed melting of mantle versus decompression melting of hydrous mantle plume as the cause of intraplate magmatism over a stagnant slab: implications from Fukue Volcano Group, SW Japan. *Lithos*, 282-283, 98-110.
- Liu, J., Q.-K. Xia, T. Kuritani, E. Hanski, and H.-R. Yu, 2017, Mantle hydration and the role of water in the generation of large igneous provinces. *Nature Communications* 8: 1824, doi:10.1038/s41467-017-01940-3.
- Maeno, F., S. Nakada, M. Yoshimoto, T. Shimano, N. Hokanishi, A. Zaennudin, and M. Iguchi, in press, A sequence of a plinian eruption preceded by dome destruction at Kelud volcano, Indonesia, on February 13, 2014, revealed from tephra fallout and pyroclastic density current deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*.
- 前野深・中野俊・吉本充宏・大湊隆雄・渡邊篤志・川上和人・千田智基・武尾実 (2017) 新火山島の初上陸調査 西之島 (東京都小笠原村) (日本の露頭・景観 100 選). *地学雑誌*, 126, N1-N13.
- Nakada, S., A. Zaennudin, M. Yoshimoto, F. Maeno, Y. Suzuki, N. Hokanishi, H. Sasaki, M. Iguchi, T. Ohkura, H. Gunawan, and H. Triastuty, in press, Growth process of the lava dome/flow complex at Sinabung Volcano during 2013-2016. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*.
- 七山太・中川正二郎・前野深・成尾英仁 (2017) 南九州, 屋久島において記載された過去の巨大地震津波を示唆する幾つかの証拠. *月刊地球号外*, 67, 99-106.
- Yoshimura, S., M. Nakamura, and H. Yurimoto, 2017, Presence of carbonate ions in high-SiO₂ rhyolite observed in fluid-melt equilibrium experiments, *Geochemical Journal*, 51, 251-262.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要:

来年度は大規模噴火では鬼界カルデラと摩周カルデラ、山体崩壊では雲仙 1792 年眉山崩壊に重点を置いて、研究成果のまとめと成果公表を行う。また最終年度ということで、これまでに実施した他の事例の研究成果についても成果公表を行う。

鬼界カルデラ: 薩摩硫黄島及び竹島において地表踏査やドローンを活用した地質調査をさらに進めるとともに、平成 28 年度に実施したボーリングコアの解析結果も加味して、鬼界カルデラ形成期の噴火履歴とマグマシステムの進化を考察する。アカホヤ噴火時のステージ 1 (プリニー式噴火) とステージ 2 (クライマックス) の時間スケールに関する研究については、これまでの検討事項を踏まえ、火砕流堆積物の層構造の解析や溶結・冷却プロセス推定のためのモデルや解析について議論を進める。また同時に、鬼界カルデラおよび薩摩・大隅半島での地表調査も継続して実施し、アカホヤ噴火堆積物の地質学的データの分析、解析を進め、近傍相に対する考察と合わせて噴火推移をまとめる。物質科学的解析では特にボーリングコアの解析を進め、後カルデラ期のマグマの多様性と進化を検討して、

カルデラ形成期からの深部プロセスを明らかにする。

摩周火山：H29年度のボーリングコアの解析を進めるとともに、地熱開発で進められているボーリングコアの解析にも着手する。そして地表では得がたい摩周火山の大規模噴火初期～噴火前（成層火山形成期）の情報を収集・解析する。特に、摩周火山では、爆発度の大きなマグマ水蒸気噴火が特徴的であることが明らかになってきたので、その頻度や規模、様式の多様性などを解析することで、山体およびカルデラ形成史を詳しく検討する。同時に、確立した噴火層序に基づいた系統的な化学分析を行い、摩周火山におけるマグマ系の変遷も検討する。

山体崩壊現象：雲仙嶽噴火・崩壊（島原大変）雲仙活断層群の1792年の活動に関連する史料の整理をさらに進める。特にこの時期に千々石断層が活動したという視点から諸現象の因果関係の解明を進める。また前山（眉山）崩壊の目撃者、被災者の体験聞き取り情報の解析から崩壊過程の推移を検討する。この活動に関連する史料の整理を進め、重要な史料の史料集を刊行する。

分析手法の開発：揮発性成分分析では分析法を確立し、支笏カルデラ形成噴火について分析を行う。一方で、Th・U同位体比分析ではUとThのスパイクの導入を実現して分析法を確立することを目指す。

（11）実施機関の参加者氏名または部署等名：

北海道大学大学院理学研究院 中川光弘・栗谷 豪・松本亜希子

秋田大学大学院工学資源学研究科 大場 司

東京大学地震研究所 前野 深・中田節也

東京工業大学理工学研究科 横山哲也

京都大学総合人間学部 金子克哉

鹿児島大学理工学研究科 小林哲夫

他機関との共同研究の有無：有

山形大学理学部 伴 雅雄

茨城大学理学部 長谷川健

千葉大学大学院理学研究科 津久井雅志

神戸大学大学院理学研究科 鈴木桂子

福岡大学理学部 奥野 充

熊本大学 宮縁育夫（教育学部）・長谷中利昭（自然科学研究科）

産総研 古川竜太

（12）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：011-716-2111

e-mail：mnakagawa@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL：http://www.sci.hokudai.ac.jp/eps/

（13）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中川光弘

所属：北海道大学大学院理学研究院

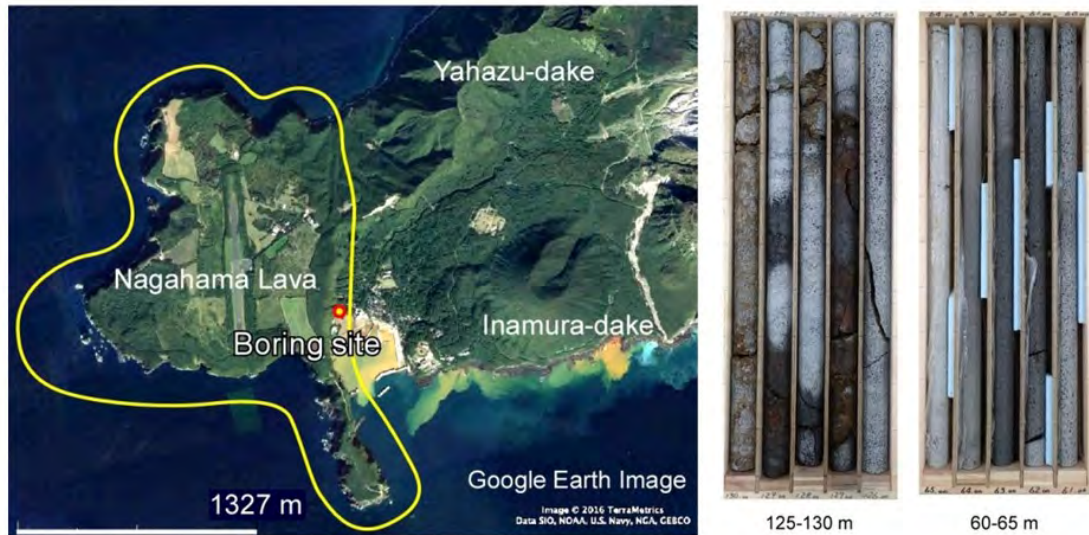


図1 . 鬼界カルデラボーリング掘削調査地点とコア写真

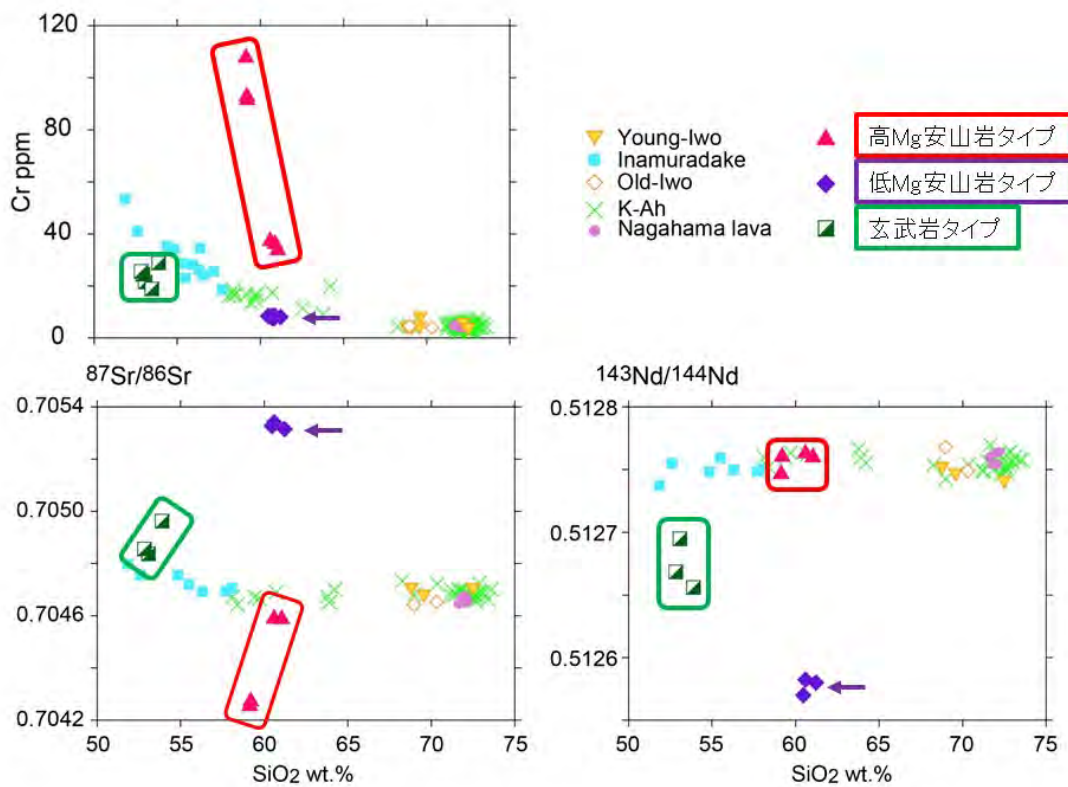


図2 . ボーリングコア試料の全岩化学組成ハーカー図
 地表に露出していない未知の玄武岩・安山岩 (Boninite 質岩含む) が存在していることが分かった。

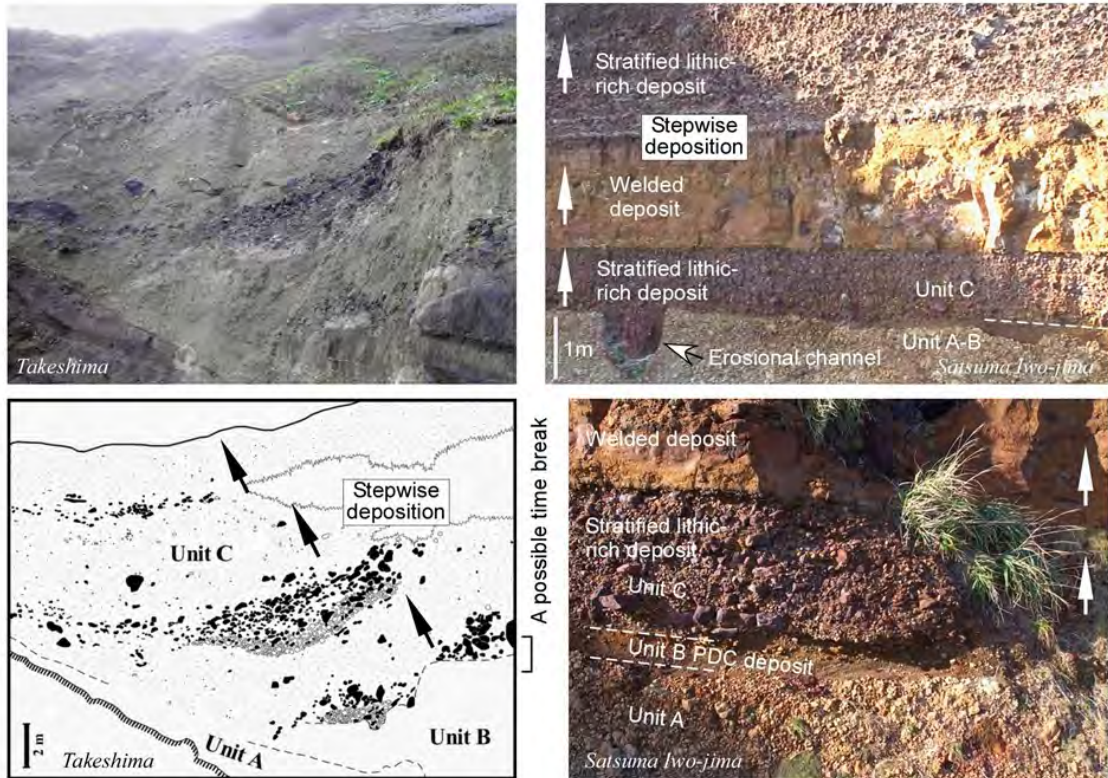


図3 . 鬼界アカホヤ噴火噴出源近傍域における堆積物の状況 (左: 竹島, 右: 薩摩硫黄島)
 薩摩硫黄島における堆積物構造の詳細は、ドローンによる接写により明らかになった

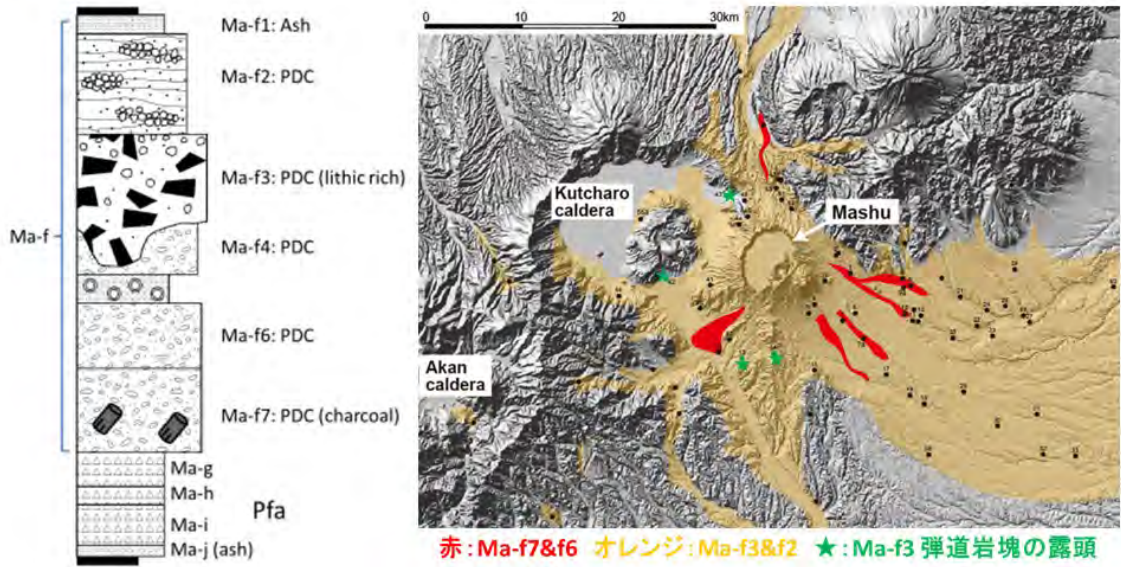


図4 . 7.6ka Ma-f 噴火堆積物の分布図

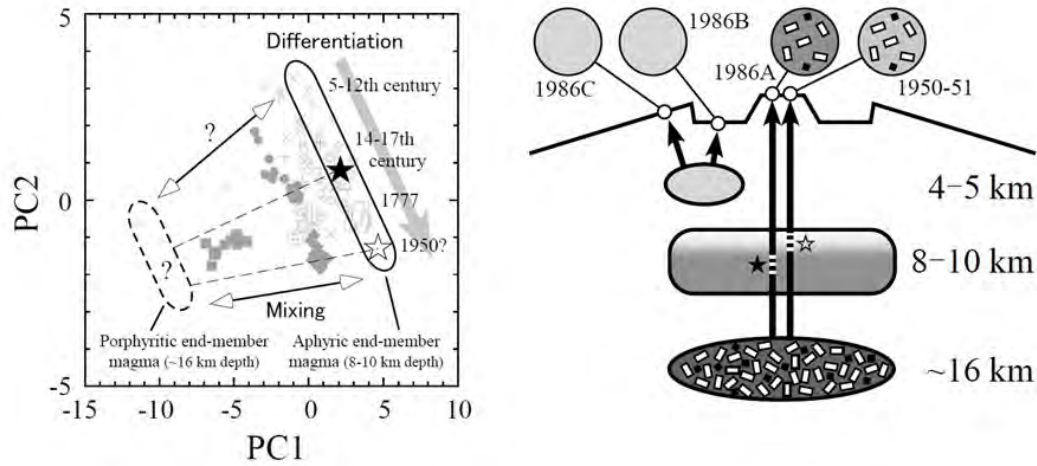


図5．伊豆大島火山のカルデラ形成後の噴出物の主成分分析結果と近年のマグマ供給系モデル

表 古記録に基づく島原大変に関連した自然現象の目録(片山, 1974, 太田, 1984に赤字部分加筆)

活動段階	和暦	グレゴリオ暦(年月日)と日本標準時	古記録
第一段階 前駆地震群	寛政三年十月八日	1791.11.3.20 ^h	地震の始まり, 以後毎日3~4回, 地鳴りを伴う。
第二段階 普賢岳噴火	寛政四年 一月十九日	1792.2.11	普賢(ふげん)祠前のくぼみから噴煙を認む。
	二月六日	2.27.10 ^h 30 ^m	穴迫(あなさこ)谷びわのぼちぐ噴煙, 砂利・土砂も噴出。
	二月八日~九日	2.29~3.1	穴迫谷びわのぼちで新焼けよう岩流生れる。
	二月六日	3.21.16 ^h 30 ^m	蜂の産震動, 噴煙, またよう岩流も噴出, やがてびわのぼちからのものに合流, 普賢祠前の地獄は沼状になる。
第三段階 三月朔(さく)地震群	閏二月二日~三日	3.24~3.25	古焼(ふるやけ)頭から噴煙。
	閏二月下旬	4中旬	おしが谷に炭酸ガス噴出, 呼吸困難, 鳥獣死ぬ。
	三月一日~二日	4.21.17 ^h ~4.22	"三月朔の地震" 震度は島原で5~6, 新しい湧水, 地割れ。 島原半島を横切り千々石断層が活動. 半島中部で最大2m開口。
第四段階 眉山大崩壊	三月三日	4.23	震度4~5の地震2回, 新焼けよう岩流の流下ほとんど止む。
	三月九日	4.29.0 ^h	橋平(くすのきだいら)の山が約200mずれ落ちた。ここは島原大変の際の大崩壊の中心部。
	四月一日	5.21.20 ^h	"島原大変" 地震後間もなくつなみ3波, うち第2波もつとも大, 波高約10m。翌朝になり, 前山が大崩壊していたことがわかった。前山大崩壊に伴って大量の出水, 死者14,500人。 大変直前地震の有感は島原, 有家のみ。
	四月五日~六日	5.25~5.26	強い地震。
	四月十日	5.30	上の原の井戸自噴, 水勢強し。
	四月十三日	6.2~	上の原などの湧水次第にたまり, 白土(しらち)池を生じた新山・万町一帯からも湧水湧出。
眉山大崩壊	四月二十五日	6.14	穴迫の噴火勢増す。
	四月二十八日	6.17~	前山の崩れ跡に6本のたて割れを認む。谷底では沸くようなはげしい音, 割れ口から泥土を噴き出す。前山の割れ筋の一部から煙立つ。
	六月一日~三日	7.19~7.22	普賢噴火。

表1．古記録に基づく島原大変に関連した自然現象の目録

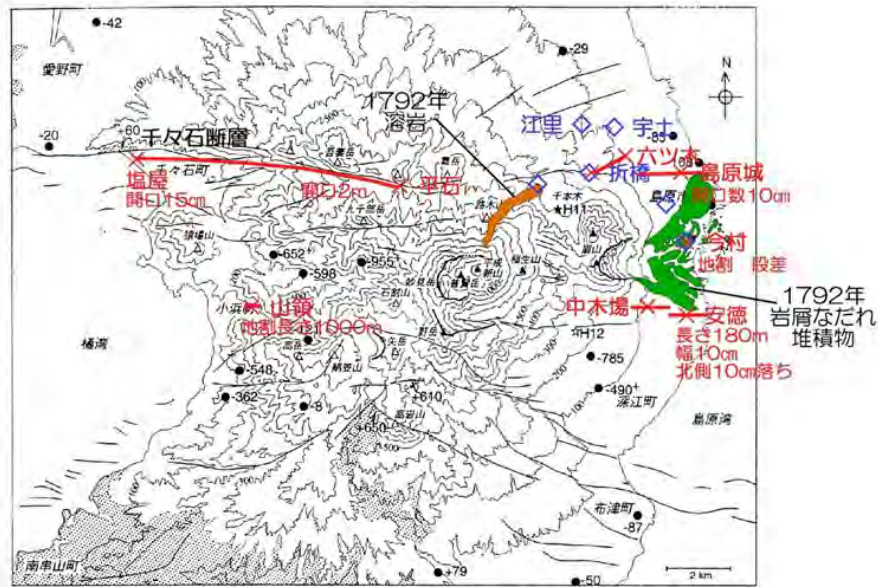


図1 雲仙火山の地形と溶岩岩深度 (6)を改良 ●は雲仙火山の基盤に到達した試錐。数字は海拔深度。数字の右側に+のついたものは、孔底まで基盤岩に到達しなかったことを示す。平島西部で地溝の内側の地点は (7)。その他の地点は [15,16] による 観測部分は、基盤岩の地表露出地蔵 ▲は新期雲仙火山、△は古期雲仙火山の山体、★はH11年度掘削地点 ☆はH12年度掘削地点。

星住・宇都,2000, 月刊地球, 22, 図1 に

1792年溶岩・岩屑なだれ堆積物, 赤(地割れ)・湧水量変化地点を加筆

- : 地割れ報告地点
- ◇ : 湧水量変動の報告地点

図6 . 古記録から読み取った地割れの分布

千々石断層に沿った地割れ(開口幅最大2m)の存在が明らかになった

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

北海道沖低頻度大規模地震の総合的理解とそのモニタリングへの基礎的研究

(3) 最も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・火山現象の解明

ア. 史料, 考古データ, 地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

(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・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

4. 研究を推進するための体制の整備

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

北海道太平洋沖では 2011 年東北地方太平洋沖巨大地震が発生する以前から太平洋沿岸で多くの津波堆積物調査が実施され、過去に災害を発生させてきた歴史津波より巨大な津波を発生させた低頻度大規模地震が 17 世紀前半に発生していたことが明らかになってきた。さらに、17 世紀前半に発生した低頻度大規模地震の際に、2011 年東北地方太平洋沖巨大地震と同じように海溝近傍のプレート境界で 20 m 以上の非常に大きな滑りが発生していた事も明らかになっている。

本研究課題では、北海道近傍で発生する低頻度大規模地震の発生様式を理解する調査研究を実施し、さらにそれら大規模地震を発生させるプレート境界の発生場を理解するための観測研究を実施し、最後にプレート境界状態のモニタリングのための手法開発のための基礎的研究を実施する。多くの研究項目を横断した研究計画となっており、地質学データに基づく低頻度大規模地震の発生様式の解明が

ら研究成果をモニタリング手法の開発につなげるまで低頻度大規模地震の予測を現実に近づけるための総合的研究を実施することを目的とする。

1) 低頻度大規模地震の履歴・発生様式の解明

17世紀前半以前の津波堆積物イベントに対し、多地点で面的津波堆積物調査を実施する。これまでの調査結果も総合的に利用し、津波遡上数値計算を実施することで断層モデルを推定し、低頻度大規模地震の発生様式の多様性を解明する。

2) 低頻度大規模地震の発生場の理解

海底構造探査により海溝近傍の構造及び海底地形を明らかにし、大滑りの発生場を理解する。研究成果は海溝近傍プレート境界の滑り予測のための情報を提供する。

北海道太平洋沖の低頻度大規模地震の震源域で海底地震調査観測を実施し、プレート境界で発生した微小地震の観測波形を解析し、微小地震の応力降下量の面的分布を得る。その応力降下量分布と大地震の大滑り域との関連を解明し、巨大地震の発生場を理解する。

低頻度大規模地震の履歴や発生様式が解明されても、広範囲で長期にわたる巨大地震の影響が評価できなければ、将来の低頻度大規模地震を予測することはできない。そこで、極東ロシアでのGPS地殻変動観測および地震観測により、2011年東北地方太平洋沖地震後の広域応力蓄積過程を解明し、マントル粘弾性の影響やプレート運動に与える影響を評価する。

3) プレート境界状態のモニタリング手法開発

低頻度大規模地震の履歴と発生様式の多様性が理解され、その発生場が理解できれば、それらの情報を地震発生予測に用いるため、プレート境界の固着をモニタリングする手法を開発する必要がある。現実には本研究課題は上記(1)、(2)の2つの課題の研究成果を受けて開発するものである。プレート境界で発生する微小地震活動や微小地震の応力降下量分布の時間変化を捕らえることでプレート境界の状態を把握し、モニタリングする手法を開発する。

(7) 本課題の5か年計画の概要:

平成26年度研究計画

(1) 低頻度大規模地震の履歴・発生様式の解明

北海道太平洋沿岸の面的津波堆積物分布を得るための現地調査を実施する。

(2) 低頻度大規模地震の発生場の理解

過去のプレート境界での微小地震の観測波形を用いて応力降下量の推定手法を確立する。ウラジオストックを中心とした極東ロシアにGPS観測網を維持、強化し、2011年東北地方太平洋沖地震による長期的な影響をモデル化への基礎研究を実施する。

(3) プレート境界状態のモニタリング手法開発

微小地震の応力降下量や微小地震活動を用いたモニタリング手法開発の検討

平成27年度研究計画

(1) 低頻度大規模地震の履歴・発生様式の解明

面的津波堆積物分布を得るための現地調査を継続する。過去の津波堆積物分析結果を津波遡上数値計算によって再現することで低頻度大規模地震の震源過程推定を試みる。

(2) 低頻度大規模地震の発生場の理解

北海道太平洋沖で自己浮上式海底地震計を用いた微小地震観測を実施し微小地震の応力降下量分布の推定を試みる。極東ロシアでのGPS観測網を維持、強化し、2011年東北地方太平洋沖地震による長期的な影響をモデル化への基礎研究を継続する。

(3) プレート境界状態のモニタリング手法開発

微小地震の応力降下量や微小地震活動を用いたモニタリング手法開発の検討。

平成28年度研究計画

(1) 低頻度大規模地震の履歴・発生様式の解明

面的津波堆積物分布を得るための現地調査を継続する。調査で得られた試料の粒度分析・珪藻分析・火山灰認定等の分析を実施する。津波堆積物分析結果を津波遡上数値計算によって再現することで過去の低頻度大規模地震の震源過程を推定する。

(2) 低頻度大規模地震の発生場の理解

プレート境界での微小地震による観測地震波形を用いた応力降下量分布の推定を継続する。極東ロシアでの GPS 観測網を維持、強化し、2011 年東北地方太平洋沖地震による長期的な影響のモデル化を実施する。

(3) プレート境界状態のモニタリング手法開発

微小地震の応力降下量や微小地震活動を用いたモニタリング手法開発を行う。

平成 29 年度研究計画

(1) 低頻度大規模地震の履歴・発生様式の解明

面的津波堆積物分布を得るための現地調査を継続。津波堆積物調査で得られた試料の分析を実施し、津波堆積物分析結果から過去の低頻度大規模地震の震源過程推定を高度化。

(2) 低頻度大規模地震の発生場の理解

北海道太平洋沖の千島海溝の海溝軸近傍で海溝軸に平行な側線で海底構造探査を実施し、低頻度大規模地震の大滑り域の付加体構造やプレート境界近傍の構造を明らかにする。プレート境界での微小地震による観測地震波形を用いた応力降下量分布の推定を継続する。極東ロシアでの GPS 観測網を維持、強化し、2011 年東北地方太平洋沖地震による長期的な影響のモデル化を実施する。

(3) プレート境界状態のモニタリング手法開発

微小地震の応力降下量や微小地震活動を用いたモニタリング手法開発を行う。

平成 30 年度研究計画

(1) 低頻度大規模地震の履歴・発生様式の解明

面的津波堆積物分布を得るための現地調査を継続する。調査で得られた試料の分析を実施し、津波堆積物分析結果を津波遡上数値計算によって再現することで過去の低頻度大規模地震の震源過程を推定し低頻度大規模地震の多様性を解明する。

(2) 低頻度大規模地震の発生場の理解

海底構造調査結果を分析し、2011 年東北地方太平洋沖地震の大滑り域の構造との比較を行い、構造と低頻度大規模地震の震源過程の多様性との関連を解明する。面的応力降下量分布を得、大地震の大滑り域との関連を解明し、モニタリングにつなげる。極東ロシアでの GPS 観測網を維持、強化し、2011 年東北地方太平洋沖地震による長期的な影響をモデル化し、北海道沖のプレート運動の挙動の把握に適應する。

(3) プレート境界状態のモニタリング手法開発

・微小地震の応力降下量や微小地震活動を用いたモニタリング手法開発を行う。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

低頻度大規模地震の履歴・発生様式の解明

北海道十勝地域において、古津波の堆積物と地殻変動の痕跡を抽出した。昨年度示したように当縁川下流域に広がる湿原の 17 地点において GPS 測量及びジオスライサー掘削を行い、その解析を実施した。昨年度解析を実施した地点 (T58) に加えて新たに地点 (T35) で得られた試料について、珪藻化石分析を行い、2 地点合わせた結果を示す (図 1, 図 2)。調査地域は標高約 1.3 m ~ 7.5 m の低地で、T58 と T35 の標高は、それぞれ 2.44m と 2.25m である。両掘削点の泥炭中には、17 世紀に北海道で発生した火山の噴火に伴うテフラ層 (1739 年樽前山噴火による Ta-a, 1667 年樽前山噴火による Ta-b, 1663 年有珠山噴火による Us-b) と、約 1000 年前の白頭山噴火に伴うテフラ層 (B-Tm) が認められた。また、Us-b と B-Tm の間に、砂 ~ 泥層が 2 層認められた。これらは、上位 (Event1) が 17 世紀に起こった巨大地震に伴う津波堆積物、下位 (Event2) が 12 世紀に発生した地震に伴う津波堆積物に相当すると見なされる (図 3)。17 世紀の津波堆積物 (Event1) は 1.4 km 内陸まで追跡することができた。津

波堆積物は内陸に向けて薄くなり、また含砂率が減少する傾向を示した。一方、珪藻殻数は内陸に向けて増加し、珪藻種組成には、内陸へ向かって汽水・海水生種が減少し淡水生種が増加する傾向が認められた(図2)。さらに、津波堆積物の前後の層準では特徴的な珪藻群集の変化が認められた。津波堆積物が堆積する前には、淡水生種が減少し淡水・汽水生種が増加した。一方、津波堆積物の堆積後には淡水生種が増加した。これらは地震間の沈降と地震後の隆起を反映していると考えられる。なお、17世紀津波堆積物の堆積後には、沈降傾向が認められていない。隆起傾向は、少なくとも17世紀の火山灰降下後まで続いていた(図3)。海成層上限(Marine limit)の指標となる珪藻種(*Pseudopodosira kosugii*)の産出層準の高さを過去の最大高潮位付近の高さとした場合、気象庁のHPを参照して得られた現在の最大高潮位との差から隆起量を見積もることができる。堆積物の圧密も考慮する必要があるが、17世紀の巨大地震~1667年樽前山噴火によるTa-bテフラの堆積後までの隆起量は少なくとも54~72cm程度と見積もられた(図3)。一方、12世紀の巨大地震による地殻変動は、17世紀のイベントと異なるパターンを示した。すなわち地震後に隆起した後に沈降に転じ、この傾向が17世紀のイベントまで継続した。また、地震時の地殻変動量は17世紀比べて小さかったことも示唆された。

M9クラスの超巨大地震の発生様式を解明するには世界の沈み込み帯での超巨大地震の発生様式を知る必要がある。今年度は1906年Colombia-Ecuador巨大地震のすべり量分布を津波波形院バージョンにより推定し、同じ場所で発生した1942年・1958年・1979年の大地震のシーケンスとの違いを議論した(Yamanaka et al., 2017)。1906年超巨大地震は1958年や1979年の震源域も破壊しているが、大すべり領域はそれらより北東側に位置していることが分かった(図4)。つまり1906年超巨大地震の破壊域は1958年・1979年の破壊域を含んで広がっているが、大すべり域は1942年・1958年・1979年地震とは違っており、巨大地震の多様性を示す結果となった。

低頻度大規模地震の発生場の理解

1) ロシア極東でのGSNN観測による発生場の広域理解

北東アジア地域のIGS観測網のGNSSデータから2011年東北地方太平洋沖地震後の6年間の余効変動場を求め、日本列島周辺の粘弾性構造を推定し、その大陸側への影響を見積もった。粘弾性構造については、これまでの弾性層と粘弾性層による単純な二層構造を仮定した場合よりも、粘性の異なる粘弾性層を複数仮定した方が、余効変動の向きを説明できることが分かり、これらの現実的な層構造の仮定・設定が、海溝型超巨大地震後の北東アジア地域の広域地殻変動場の見積もりを行う上で重要であることを示唆した(図5)。

2) 海陸地震観測データ統合処理による速度構造推定

- 日高衝突帯におけるデラミネーション構造の存在についての考察 -

平成11~13年に北海道・日高山脈付近の千島弧と東北日本弧との衝突帯で行われた大学合同の陸上稠密地震観測と、平成11年と平成12年に北海道南方沖で気象庁と共同で行われた海底地震観測データを、地震波トモグラフィー法で再解析することによって日高衝突帯からその海域延長部に到る領域のP波およびS波速度構造を推定した。その結果、千島弧の下部地殻の深い部分が日高山脈直下で分離(デラミネーション)して、1982年浦河沖地震(マグニチュード7.1)の震源域直下の太平洋プレート上面の深さまで達しているという結果が得られた(図6)。このようなデラミネーション構造は、反射法地震探査によって陸域の短い測線で断片的に確認されているものの、陸域で行われた屈折法地震探査や、陸上観測点のデータのみを用いた地震波トモグラフィー法ではイメージングされていない。デラミネーション構造をイメージングする際の海底地震観測データの重要性を示すため、陸上の観測データのみを用いて地震波トモグラフィー法による解析を行ってみた。その結果、1982年浦河沖地震の余震域直下の深さ45kmに見られるP波速度が7.0-7.6 km/sの低速度領域が、陸上のデータのみからではイメージングできないことがわかった(図7)。また、海陸データから得られたのと同様のデラミネーション構造を仮定して理論走時データを合成し、実データと同様の方法で解析すると、陸上の観測データのみを用いた場合には、海陸データを用いた場合に比べて、海域のデラミネートした千島弧の下部地殻に相当する部分の地震波速度の復元が小さいことがわかった。

プレート境界状態のモニタリング手法開発

ある地域の背景地震活動度から地震活動の時間変化を規格化し、異なる地域間の地震活動の相関も評価できる新たな手法を北海道の太平洋側と日本海側に適用した。気象庁の震源カタログを用い1960年から2013年の地震活動度を評価した結果、太平洋側と日本海側の地震活動には時空間的な相関が見られないことが明らかになった。また、1994年北海道東方沖地震の前に地震活動の低下が見いだされた (Voropaev et al., 2018)。この現象は、他の手法を用いた研究でも指摘されており、本手法の客観性が示された。

地震活動の時間変化をモニタリングし、M9クラスの巨大地震の発生を検知する手法の開発を目指すためには、世界の巨大地震発生域の地震活動について解析を実施する必要がある。ISCの地震カタログから実体波マグニチュード5.0以上、深さ60km以浅の地震を選択し、Zhuang et al. (2002)の方法でデクラスタリング処理した後、ZMAPで地震活動の長期変化を解析した。昨年度は1990年から2015年までに発生したMw8.0以上の浅い海溝型地震19個について、地震活動の長期静穏化が先行していたかどうかを調査し、すべての地震において本震発生前に10年程度以上の長期静穏化が見つかった。今年度は2017年9月にメキシコ沿岸でMw8.2の海溝型地震が発生したが、やはりこの地震の震源域でも10年以上の静穏化が見つかった。今のところ、Mw8.0以上の地震に関しては、10年程度以上の長期静穏化が先行するという規則性が例外なく成り立っている(図8, 図9)。

(9)平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Yamanaka, Y., Tanioka, Y., and Shina T., A long source area of the 1906 Colombia-Ecuador earthquake estimated from observed tsunami waveforms, *Earth Planets and Space*, 69:163, doi: 10.1186/s40623-017-0750-z, 2017

Yamada T., Y. Sato, Y. Tanioka, and J. Kawahara, Spatial pattern in stress drops of moderate-sized earthquakes on the Pacific Plate off south-east of Hokkaido, Japan: implications for the heterogeneity of frictional properties, *Progress in Earth and Planetary Science*, 4:38, <https://doi.org/10.1186/s40645-017-0152-7>, 2017

Voropaev P., H. Takahashi, V. Saltykov, Statistical Estimation of the Seismicity Level Change around Hokkaido, Northern Japan, *Pure Appl. Geophys.*, <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1776-2>, 2018

勝俣啓, Mw8.0以上の地震に先行した地震活動長期静穏化, 第217回地震予知連絡会(2017年11月22日) 地震予知連絡会会報、第99巻(印刷中)

Fukuhara, G., and Y. Tanioka, Fault model of the 1611 Keicho Tsunami earthquake (Mw9.0) estimated from historical documents using tsunami inundation simulation, *JpGU 2017 Meeting, HDS16-10*, 2017

勝俣啓, Mw8.0以上の地震に先行した地震活動の長期静穏化, 地球惑星科学連合大会, SSS14-P06, 2017

勝俣啓, Mw8.0以上の地震に先行した地震活動長期静穏化の的中率, 日本地震学会秋季大会, S21-09, 2017

Narita R., K. Hamada, K. Yoshizawa, H. Kawakatsu, H. Miyamachi, M. Ichiyangi, H. Takahashi, I. Levin, V. Mikhaylov, D. Kostylev, 3-D upper mantle structure beneath the Sea of Japan with inter-station surface-wave analysis using multiple seismic arrays, *JpGU 2017 Meeting, SIT29-P04*, 2017

Ohzono M., H. Takahashi, N. Shestakov, G. Meng, M. Gerasimenko, Estimation of the long-term effect of viscoelastic relaxation induced by the 2011 Tohoku earthquake and other interpolate earthquakes around northeastern Asia, *AGU Fall Meeting, G43A-0923*, 2017.

大園真子・高橋浩晃・N.V. シェスタコフ・孟国杰・M.D. ゲラシメンコ, 2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)による北東アジア地域の余効変動とレオロジー構造の推定, 日本地震学会講演予稿集2017年度秋季大会, S03-21, 2017

Shestakov N., M. Gerasimenko, D. Sysoev. A. Kolomiets, G. Gerasimov, N. Vasilenko, A. Prytkov, V. Bykov, V. Pupatenko, M. Serov, H. Takahashi, M. Ohzono, G. Meng, Recent crustal movements and deformations of the southeast of Russia as seen from continuous GNSS measurements, *JpGU 2017*

Meeting, SSS10-P03, 2017

Tanioka, Y., and G. Fukuhara, New insights for recurrences of the 2011 great Tohoku-oki earthquake suggested from the source model of the 1611 Keicho Tsunami earthquake (Mw9.0), International Tsunami Symposium, Bali, 2017

Tanioka, Y., and G. Fukuhara, (Invited) A large slip area of the 2011 Tohoku-oki earthquake has been already ruptured by the 1611 Keicho Tsunami earthquake (Mw9.0), IAG-IASPEI 2017, S08-2-05, 2017

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

(1) 低頻度大規模地震の履歴・発生様式の解明

津波堆積物・地震前後の地殻変動を得るための現地調査を継続する。調査で得られた試料の分析を実施し、津波堆積物・地震前後や地震間の地殻変動を推定し、過去の低頻度大規模地震の発生の詳細を解明する。津波数値計算による超巨大地震の発生様式をまとめる。

(2) 低頻度大規模地震の発生場の理解

海底構造調査結果を分析し、構造と低頻度大規模地震の震源過程の多様性との関連を解明する。面的応力降下量分布を得、大地震の大滑り域との関連を解明し、モニタリングとしての有用性を確認する。極東ロシアでの GPS 観測網を維持し、2011 年東北地方太平洋沖地震による長期的な影響をモデル化し、北海道沖のプレート運動の挙動の把握に適應する。

(3) プレート境界状態のモニタリング手法開発

・微小地震の微小地震活動を用いたモニタリング手法開発を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

谷岡勇市郎・高橋浩晃・村井芳夫・勝俣啓・西村裕一・大園真子・椎名高裕・千葉崇

(北海道大学大学院理学研究院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

篠原雅尚・望月公廣 (東京大学地震研究所)・日野亮太・東龍介 (東北大学)・山田卓司 (茨城大学)・海洋研究開発機構 (3 名)・ロシアサハリン海洋地球物理研究所 (3 名)・ウラジオストックロシア極東大学 (2 名)・ハバロフスク地球物理研究所 (2 名)

参加機関 東京大学地震研究所、東北大学、茨城大学、海洋研究開発機構、ロシアサハリン海洋地球物理研究所、ウラジオストックロシア極東大学、ハバロフスク地球物理研究所

(12) 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 : <http://www.sci.hokudai.ac.jp/grp/isv/isv-web/>

(13) 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 : 北海道大学大学院理学研究院地震火山研究観測センター

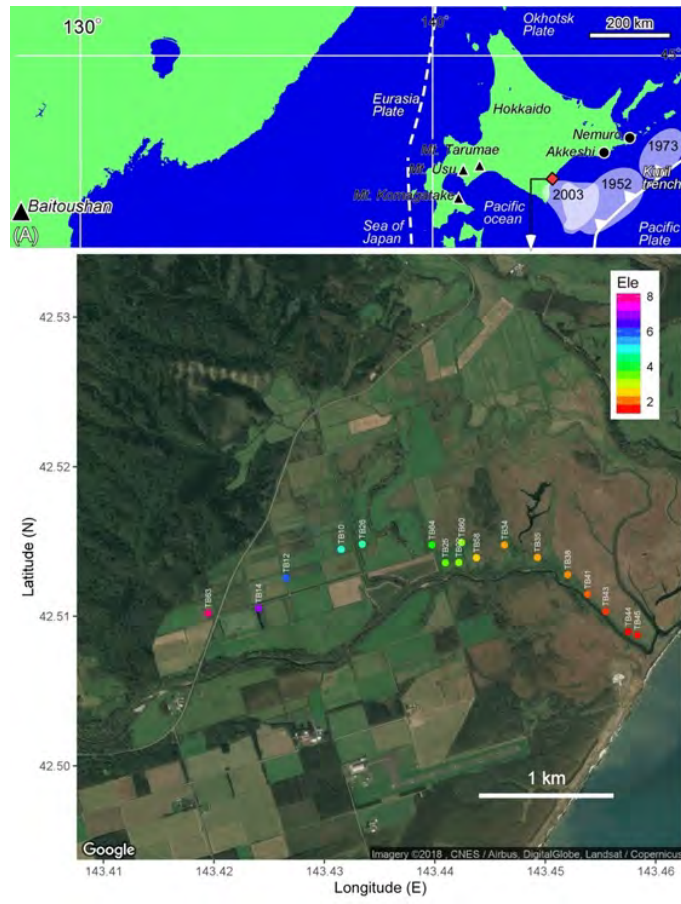


図 1
調査地域及び試料掘削地点

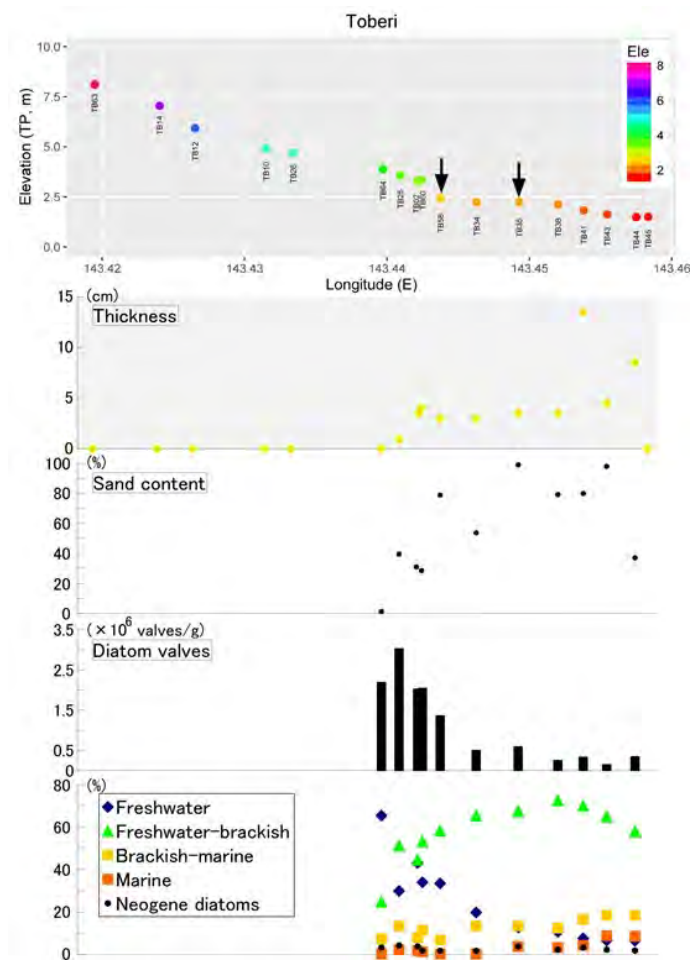


図 2

試料掘削地点の標高及び各地点の津波堆積物 (Event1) の層厚, 含砂率, 珪藻殻含有量, 珪藻種組成.

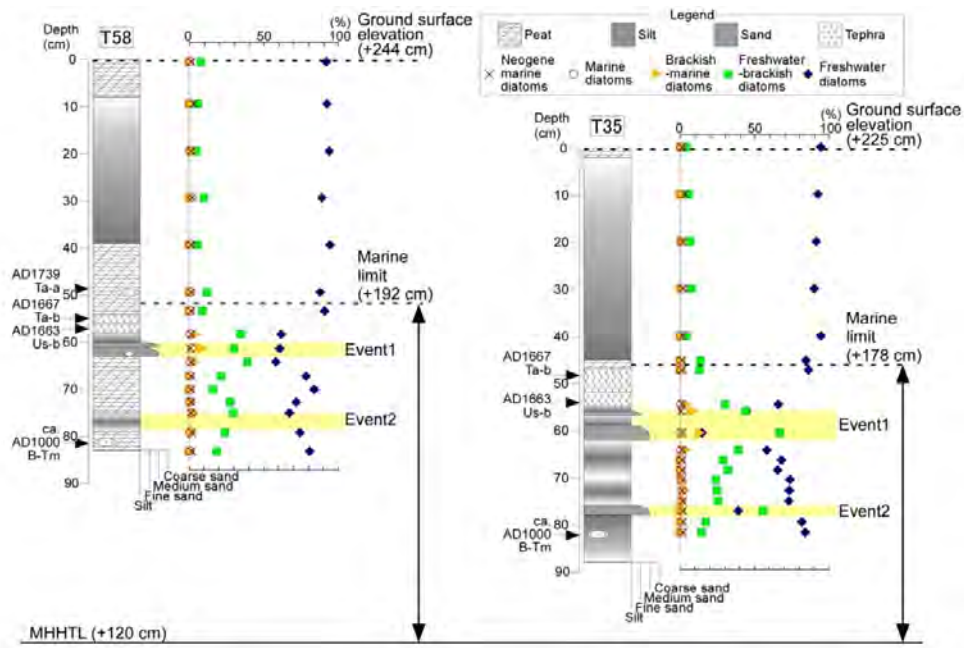


図 3

T58 及び T35 において採取された試料の岩相及び層序と珪藻群集の組成。MHHTL の高さは気象庁の HP からデータを参照した。

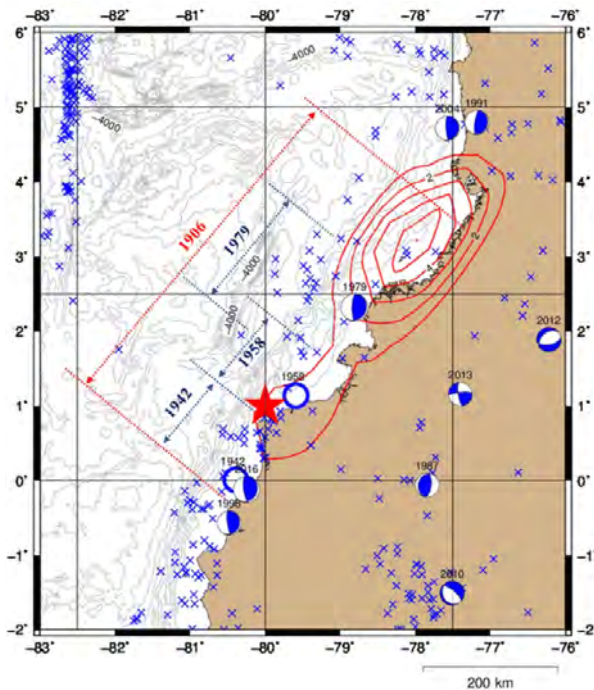


図 4

波波形インバージョンにより推定された 1906 年 Colombia-Ecuador 巨大地震のすべり量分布 (赤コンター、1m 間隔) と 1942 年・1958 年・1979 年巨大地震の震源域の比較。メカニズムは Global CMT カタログ Mw7.0 以上。青+は Mw4.0 以上 (1971 年から 2017 年) を示す。(Fig.4, Yamanaka et al., 2017)

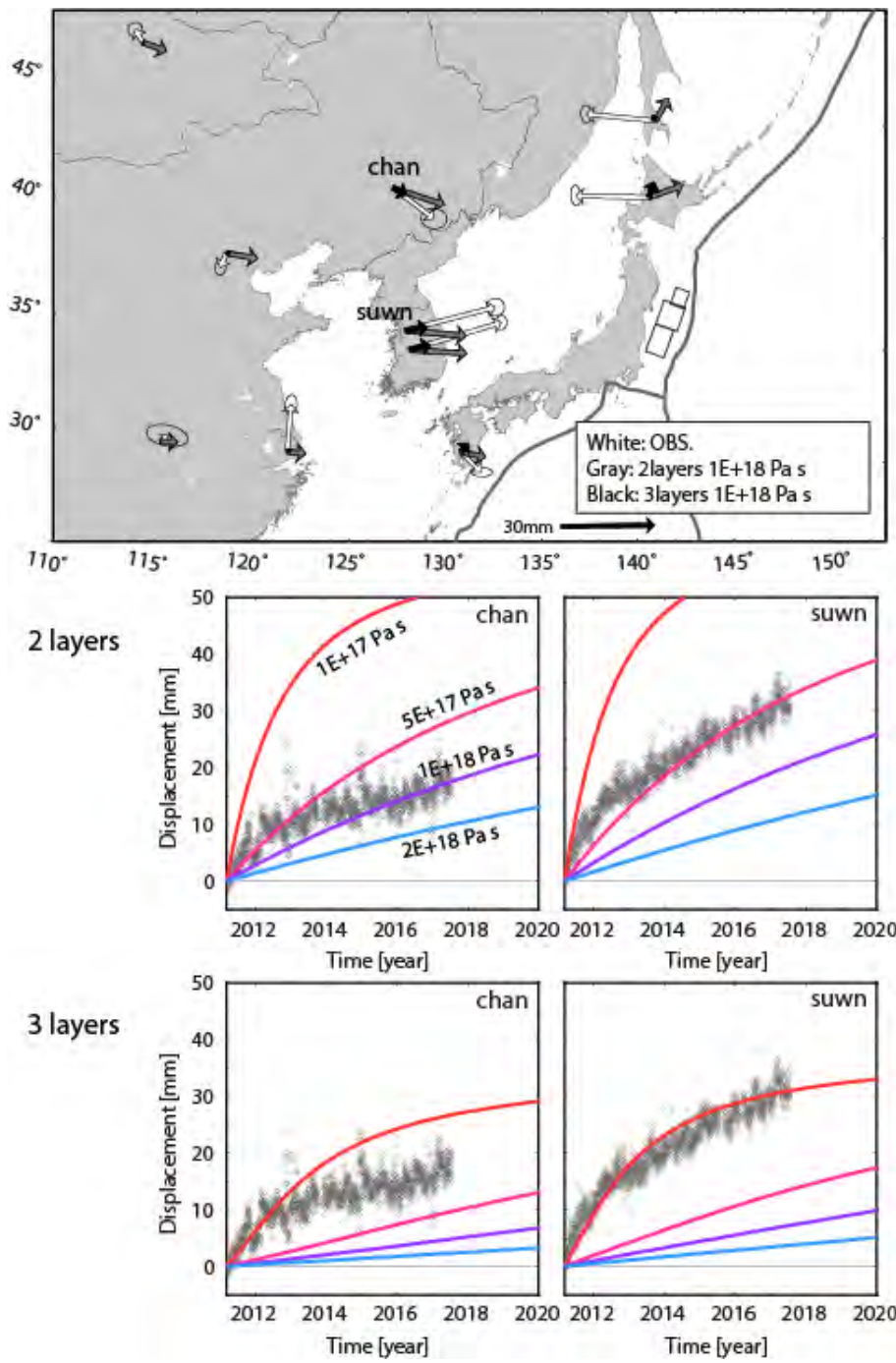


図 5

2011 年東北地方太平洋沖地震による北東アジア地域の 2017 年までの余効変動とモデル計算との比較。

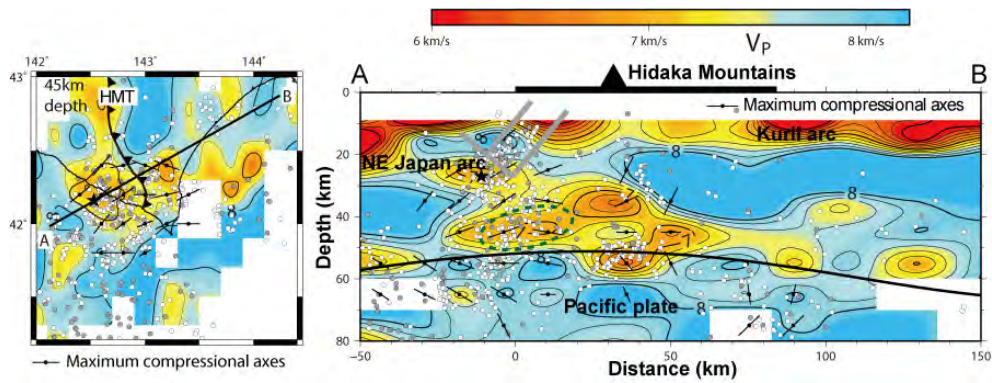


図 6

海陸データを使用したトモグラフィ解析から得られた P 波速度構造の深さ 45 km での水平断面図 (左) と左図中の直線 A-B での鉛直断面図 (右)。チェッカーボードテストでモデルが復元できた領域の速度のみを示す。左図中の星印と曲線で囲まれた領域は、1982 年浦河沖地震の鈴木・本谷 (1983) による震央と Moriya et al. (1998) による余震域をそれぞれ示す。白と灰色の丸は深さ 40 ~ 50 km の微小地震の震央で、白丸は陸上稠密地震観測網によって、灰色の丸は海底地震観測期間中に陸上と海底観測網によって決定されたものをそれぞれ表す。最大主圧縮軸の向きを示す細い直線は、その向きが水平な場合に欄外の凡例で示した長さになるように射影して示してある。右図中の横軸は北海道西海岸の位置を原点としている。Miyamachi and Moriya (1987) による 1982 年浦河沖地震の余震域を太い直線で、Katsumata et al. (2003) による太平洋プレート上面を黒い曲線でそれぞれ示す。白と灰色の丸で示される微小地震の震源は、断面の両側それぞれ 10 km の範囲で発生したものが投影されている。最大主圧縮軸の向きを示す細い直線は、その向きが断面と平行な場合に欄外の凡例で示した長さになるように射影して示してある。図上の太い直線と は陸地と日高山脈の位置をそれぞれ示す。緑色の破線の部分の低速度領域が陸上のデータのみからではイメージングされていない

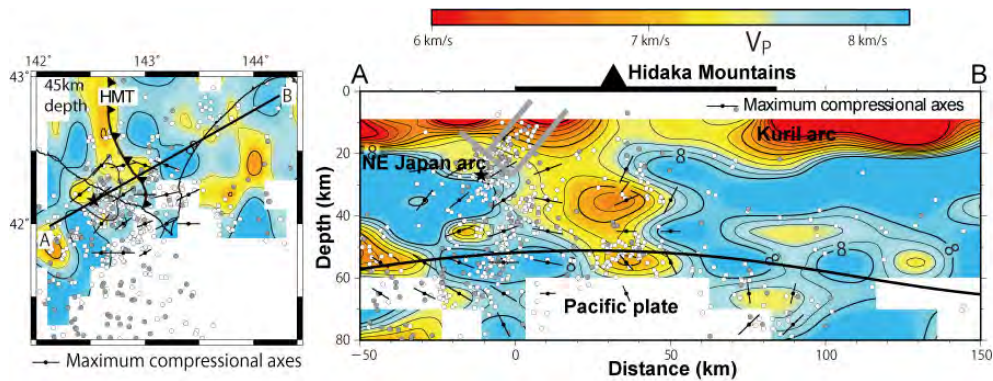


図 7

陸上の観測データのみを使用した場合に得られた P 波速度構造の深さ 45 km での水平断面図 (左) と左図中の直線 A-B での鉛直断面図 (右)。詳細は図 6 と同じ

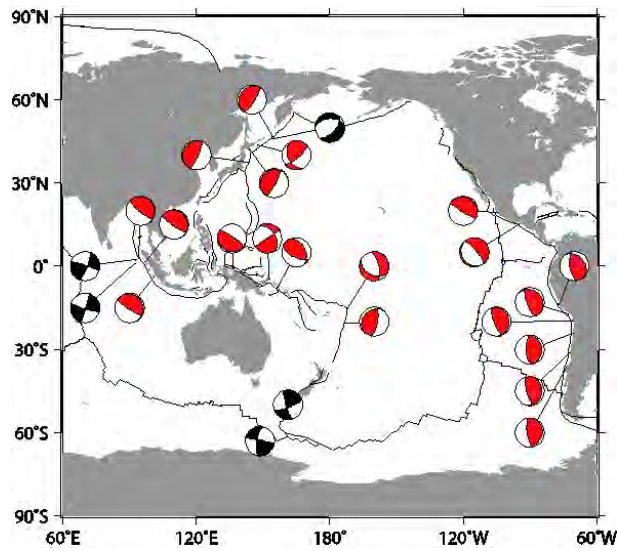


図 8

25 巨大地震 (Mw8.0 以上) のメカニズム (Global CMT catalog, 1990-2017) , 赤 : 地震活動が解析可能、黒 : 地震活動が低く解析不可能。2017 年メキシコ地震を追加。

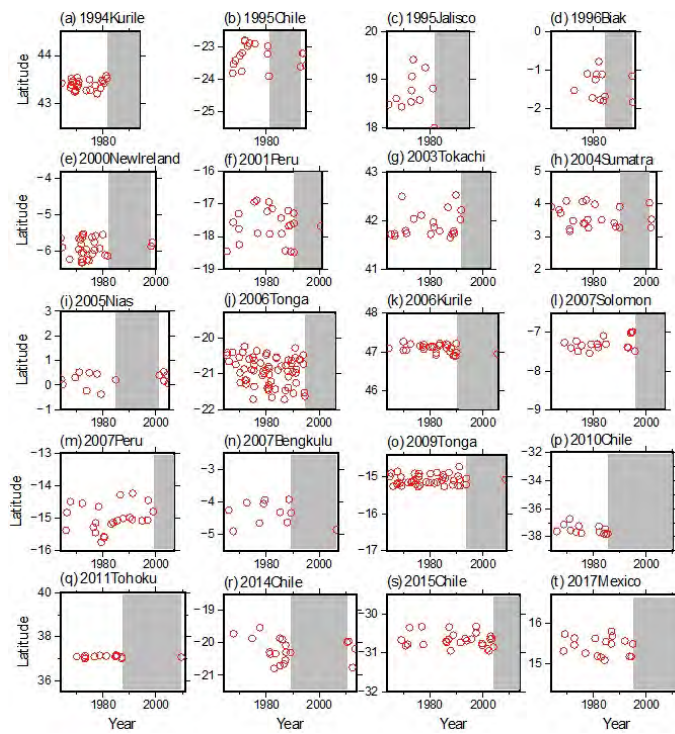


図 9

図 8 の解析可能な 20 地震について検出された長期静穏化。%は偶然に静穏化が発生する確率。今年度は 2017 年メキシコ巨大地震を追加。

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

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

(3) 最も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) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

(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

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

熱水系の卓越した火山では、本格的なマグマ噴火の前に、水蒸気噴火や小規模なマグマ水蒸気噴火が前駆することが多い。また、マグマ噴火に至らないまま一連の活動が終息してしまうことも少なくない。こうした水蒸気噴火や小規模マグマ水蒸気噴火は、マグマ噴火とは異なり、明瞭な先行現象に乏しく予知の難易度が高いとされている。その一方で、この種の噴火は発生頻度がマグマ噴火よりも高く、社会への影響は必ずしも小さくはない。現状では、水蒸気噴火や小規模なマグマ水蒸気噴火を実用レベルで予知することは現実的ではなく、この種の噴火の準備過程に関連する先行現象の事例をできるだけ多く集めて、現象の理解を深めるべき段階にある。この背景をふまえ、本研究課題では、熱水系の卓越する火山として十勝岳・吾妻山・草津白根山・阿蘇山・口永良部島を比較研究の対象として選定し、以下の 1～4 の目標を掲げて比較研究を実施する。

1. 水蒸気噴火に先行する異常現象の検知能力を高めて観測事例を増やす。

2. 比較研究を通じて現象の類似性や法則性を抽出することで、そのからくりの理解を深める。とりわけ、これまで個々の事例研究に基づいて提案されてきた、火道浅部の「熱水だまり」あるいは「蒸気だまり」等の概念モデルの実態を解明したい。

3. 理解が進んだ部分については、観測データを火山活動の現況評価に役立てるための道筋を着けることを目指す。

4. マグマ水蒸気噴火やマグマ噴火へと現象が発展する際、もしくは噴火が終息に向かう際に、観測量にどのような変化が表れるかを整理し、噴火シナリオ高度化に貢献する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

上記5火山では、マグマ活動を示唆する深部・広域の地盤変動に乏しく、噴気活動や地熱異常とその消長が見られ、火口近傍に顕著な磁場変化や地盤変動が観測されるのが共通した特徴である。また、微小地震の群発や低周波の火山性微動など、熱水系の関与を示唆する活動が見られる火山もある。こうした特徴的な現象を的確に定量化・モデル化するため、本研究課題では、活動火口域の周辺で、地盤変動、地震、磁場のモニタリング観測を共通手法として用いる(a~c)。これに加えて、可能な範囲で噴気・地熱放熱率、揮発性成分の時間推移を観測する(d,e)。また、過去の熱水系関与型噴火の地質・物質科学的調査・分析(f)により、噴火履歴および噴火推移に関する研究を行い、観測記録にもとづく先行現象との関連を議論する。必要に応じて、既存の資料・観測データの参照や再解析も行う。整備が必要な観測系はH26-27に設置作業を行う。

(a) 地盤変動観測： 熱水系の増減圧過程の時空間分布推定

- ・十勝岳・吾妻山・口永良部島に孔中傾斜計を新規に設置し、連続観測を実施
- ・草津白根山・阿蘇山では既存の観測設備を活用

(b) 地震観測： 熱水系が関与する地動特性の把握

- ・広帯域地震計観測に基づく泥噴出や水蒸気噴火などの噴出現象の定量モデル化
- ・地震波干渉法・RF解析による速度構造の推定と時間変化の検出(内陸課題との連携)

(c) 電磁気観測： 熱水系またはその近傍での蓄放熱およびその時間変化の推定

- ・5火山にテレメータ型プロトン磁力計を設置し、連続観測を実施
- ・磁場変化と放熱率変化の組み合わせによる火道浅部の熱輸送過程の推定

(d) 放熱率観測： 熱水系を通じた熱放出の定量的把握

- 主として東工大の別課題にて実施し本課題と連携
- ・空中熱赤外観測による地表放熱率とその経時変化の推定
- ・噴気画像解析による噴気放熱率の推定

(e) 揮発性成分観測： 熱水系へのマグマ揮発性成分の供給に関する知見

- ・非噴火時の火山ガスの特性把握とその起源の推定
- ・熱水系から湧出する液相の特性把握

(f) 地質調査と噴出物分析： 熱水系由来噴火の履歴解明と監視観測への示唆

- ・十勝岳(H26-28) 熱水系由来噴出物と熱水変質帯の地質調査と分析
- ・吾妻山(H26-30) カルデラ形成以後の噴火活動史の高分解能復元
- ・阿蘇山(H27-29) 完新世テフラ層序調査と年代測定
- ・草津白根山(H26-30) 公募研究枠で実施・本課題と連携予定

(8) 平成29年度の成果の概要：

課題全体の実施状況

2018年1月に草津白根山(本白根)が噴火したことにより、本研究課題で当初の主な研究対象とした5火山のうち、3火山が噴火したことになる。観測系の分野では、前年度までに展開した各種観測を継続しつつ、今年度は地震波解析と電磁気構造解析に注力した。地質岩石鉱物分野では、引き続き水蒸気噴火の履歴解明を進めており、これまでに十勝岳・大雪山旭岳・ニセコイワオヌプリ・吾妻山・御嶽山で調査・分析を行った。

サブグループ1(地震・地殻変動)

1. 振幅震源決定と地震波干渉法解析

十勝岳について、北大・気象庁・防災科研の連続地動データに対して、Amplitude Source Location 法を適用して震源決定を行った。火口域直下 1 km 付近の震源クラスタについては、PS 走時による従来の震源決定法とほぼ同じ位置に震源が推定できることがわかり、これまで波形が不明瞭で走時読み取りができなかったイベントも震源決定できるようになった。また、同じ手法を背景雑微動の高周波成分について適用したところ、最近の数年間で振動源が浅くなり、振幅も増大していることがわかった。

火山活動に伴う地震波速度の時間変化検出を目的として、十勝岳と雌阿寒岳について地震波干渉法解析を試行した。今年度は、相互相関関数の計算にあたり、様々な前処理を試して結果を比較し、最適なパラメータ設定を探索した【北大】。

上記とは別に、気象庁配信のデータを用いて、下記 14 火山に対し、前年度に引き続き半自動的に地震波干渉法解析を行った。草津白根山についても追加解析を実施中。

十勝岳・雌阿寒岳・樽前山・北海道駒ヶ岳・安達太良山・吾妻山・磐梯山・

那須岳・浅間山・伊豆大島・三宅島・雲仙岳・阿蘇山・桜島

干渉法解析で地殻変動と明瞭な相関が得られたのは、伊豆大島と桜島であった（詳細は課題 1508 で報告）。その他の火山では、地震波速度に変動が見られるものの、火山活動との明瞭な対応を認めるには至っていない【東北大】。

2. 水蒸気噴火前後の地震動・傾斜変動

霧島山新燃岳（2010年5月27日：気象庁・防災科研データ）・御嶽山（2014年9月27日：気象庁データ）・阿蘇山（2015年9月14日：京大理データ）・草津白根山（2018年1月23日：東工大データ）・口永良部島（2014年8月3日：京大防データ、為栗ほか、2016）について水蒸気噴火前後の地震動・傾斜変動を比較した【北大・京大防・京大理・東工大】。

サブグループ 2（熱・電磁気・ガス）

1. 十勝岳の電磁気観測

地磁気全磁力の反復測量（札幌管区気象台と共同）と連続観測を継続した。基本的には 62-2 火口地下浅部（数百 m）の消磁傾向が継続していると考えられる（図 2）。全磁力変化は、背景雑微動の高周波成分の振幅変動と相関しているようである。

十勝岳において過去に実施した AMT 法比抵抗探査データ（道総研・北大・気象庁の共同研究に基づく）を用いて、火口周辺域の地表から深さ 500m 程度までについて 3次元比抵抗構造解析を行った（図 3）。表層の溶岩やスコリアに対応する高比抵抗層の下に、噴気変質または熱水に対応する低比抵抗層が火口域に広く分布しており、62 火口群や大正火口に向かってその低比抵抗が伸びていることが推定された【北大】。

2. 吾妻山の比抵抗構造

吾妻山周辺域で広帯域 MT の補充観測を 5 地点で実施し、前年度までに取得したデータと合わせて 3次元比抵抗構造推定を実施した。時系列データからの再解析により S/N 比が向上した。その結果、比抵抗構造として以下が新たに分かった【東北大】。

(1) 30 m 以下の領域は大穴クレーターの海拔下 5 km を中心に南北 25 km, 東西 15 km, 鉛直 10 km の 3 軸楕円体状に広がっている。この領域は Takada & Fukushima (2013) が推定した低粘弾性領域と非常によく調和している。

(2) 大穴火口と安達太良山の北、土湯峠から箕輪山にかけての 2 か所には、火道を示唆するような直径 2.3 km の管状の低比抵抗体が上記の楕円体領域から延伸する様子が推定された。これらが吾妻山と安達太良山への熱水やマグマ経路と仮定すると、吾妻山と安達太良山の熱水・マグマ溜りは一体であると解釈できる。

(3) 吾妻小富士より東側の領域は全般的に高比抵抗 (300 m 以上) となっている。一元化震源では、吾妻小富士の東側に深さ 20 km を上限として深部低周波地震が観測されているが、その領域は高比抵抗であることが分かった。

3. 吾妻山の全磁力観測

東北大と仙台管区気象台との共同で全磁力繰り返し観測を継続した。大穴火口から西北西 300m に出現した噴気孔はさらに拡大し、近傍の 1 ベンチマークは消磁を示す全磁力減少レートが増加した【東北大】。

4. 口永良部島の全磁力観測

噴火後の入山規制で観測点の設置ができていなかった口永良部島について、古岳火口の南側 (Kanda et al., 2010 の B1 点) にプロトン磁力計を設置し、全磁力の連続観測を開始した【京大防・東工大】

5. 全磁力データサーバの改良

テレメータされているプロトン磁力計の全磁力データを対象として、データサーバ上で準リアルタイムデータを移動平均して表示する機能を追加した。サーバに登録している観測点は 15 箇所になった【東北大】。

6. 火山ガスの炭素・酸素同位体比測定

雌阿寒岳・十勝岳・草津白根山・箱根山・霧島硫黄山において、噴煙 (大気と火山ガスの混合物) のサンプリングを行い、噴煙中の二酸化炭素の炭素と酸素の同位体比測定を実施した。火山ガス中の CO₂ 炭素同位体比は、マグマ自体の値とともに、マグマの脱ガス度や基盤岩成分の混入度を反映すると考えられている。草津白根山・十勝岳 (大正火口)・草津白根山 (殺生河原)・霧島硫黄山では、島弧火山の火山ガスとして一般的な ¹³C 範囲にあることが分かった。箱根山と雌阿寒岳については、一般的な範囲よりそれぞれ若干高い値と低い値を示した【東大理】。

サブグループ 3 (地質岩石鉱物)

1. 十勝岳の水蒸気噴火堆積物の検討

十勝岳については、前年度より継続し、4700 年前、3300 年前、西暦 1926 年噴出物の SEM-EDS による鉱物化学組成の追加分析を実施した。データを取りまとめて論文 (地質学雑誌, 査読中) として投稿した。要点は以下の通り。十勝岳では、酸性流体により生じたシリカ鉱物、ミョウバン石が変質物の主体であり、カオリン鉱物を伴う。著しい溶脱反応を示しつつも、不完全な変質であり、火山ガスに由来する酸性流体と既存岩石が短時間反応したと解釈できる。大規模で安定した熱水系に由来する変質火山灰が認められた御嶽山とは異なり、十勝岳では浅所の不安定な熱水系に由来する変質物のみが認められる。マグマ貫入頻度が低い御嶽山と、貫入頻度が高い十勝岳における熱水系の発達様式の違いによる相違であると解釈される【秋田大】。

2. 吾妻山の熱水系の時間変遷

吾妻山では、28 年度の地質調査実施時に採取した火山灰試料の顕微鏡観察・鉱物化学組成分析を実施し、特に大穴火口形成 (西暦 1331 年) 前後における火山熱水系の変化に注目して分析した結果、以下の知見が得られた。吾妻小富士形成 (約 5000 年前) 以降のマグマ活動が低調な時期に一切経山の地下に熱水系が発達した。1331 年火山灰やそれ以前の火山灰は、この熱水系で生成した珪化岩片や硫酸塩 (ミョウバン石) に富み、強く変質した岩石に富む。大穴火口形成後の水蒸気噴火火山灰は、熱水変質した岩石をあまり含まず、未変質溶岩や半深成岩の破片から成る。地表での熱水活動は継続し

ていることから，頻繁に地下にマグマが貫入し，新鮮な火山岩体が形成されていると考えられる【秋田大】．

3．吾妻火山最新期噴火における噴火様式とマグマ組成に関する地質学的検討

吾妻小富士形成期の噴出物の地質調査及び試料分析により，マグマの物性変化と水蒸気爆発発生との関係を探った．今回明らかとなったことは以下の通りである．

約 5000 年前の吾妻小富士形成噴火は 4 つのステージに細分できる．このうち，第 1 及び第 4 ステージで噴火様式の変化が確認できた．第 1 ステージでは，マグマ水蒸気噴火 ストロンボリ式噴火 プルカノ式噴火，第 4 ステージではプルカノ式噴火 ストロンボリ式噴火 水蒸気爆発へと遷移する．第 2，3 ステージはプルカノ式噴火であった．

全岩 SiO₂ 量と斑晶量の間には正の相関が認められる（図 4）．SiO₂ 量 58-59wt %，斑晶量 33-40 % 付近を境に，高 SiO₂（斑晶量）側にプルカノ式噴火，低 SiO₂（斑晶量）側にストロンボリ式噴火が分布する（図 4）．マグマ水蒸気噴火は，プルカノ式噴火側の斑晶量がやや低い領域にプロットされる．同一ステージ内の噴火タイプの変化は，SiO₂ 量や斑晶量で決まる火道最上部のマグマ粘性率の変化で概ね説明可能である【茨城大】．

4．ニセコ火山群イワオヌプリの噴火活動履歴の解明

ニセコ火山群の中で最新の火山体であるイワオヌプリの活動史について，特に水蒸気爆発噴火に留意して地質調査と試料分析に基づき検討した．得られた主な知見は以下の通り．イワオヌプリの活動は噴火様式より大きく 3 つに分けられる．まず，約 9,500 年前の爆発的噴火から始まった第 1 期．その後溶岩噴出主体の活動（第 2 期）へと移行し，現山体を形成した．この際水蒸気噴火も並行して起きていたと考えられる．溶岩噴出主体の活動の後，水蒸気噴火主体の活動へと移行した（第 3 期）．この活動は現在まで断続的に継続しており，山麓では熱水活動が活発である【北大】．

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

橋本武志・青山 裕・小山 寛・森井敦司・三嶋 渉・荻野 激・高橋 良・岡崎紀俊, 2018, 非噴火時における多項目観測の重要性（樽前山の事例），月刊地球, **40**, 印刷中.

橋本武志・寺田暁彦・森 俊哉, 2018, ドローンによる火山観測, 地理, **63**, 29-35.

Hashimoto, T., A. Terada, R. Tanaka (in review) Volcanic smoke reduction in visible and thermal imageries, Earth Planets Space.

Hata M., M. Uyeshima, S. Handa, M. Shimoizumi, Y. Tanaka, T. Hashimoto, T. Kagiya, H. Utada, H. Munekane, M. Ichiki, K. Fuji-ta, 2017, 3-D electrical resistivity structure based on geomagnetic transfer functions exploring the features of arc magmatism beneath Kyushu, Southwest Japan Arc, J. Geophys. Res. Solid Earth, **122**, 172-190, DOI:10.1002/2016JB013179.

石毛康介・中川光弘, 2017, 北海道中央部，大雪火山群旭岳グループの後期更新世～完新世火山活動史. 地質学雑誌, **123**, 73-91 .

Ohminato, T., T. Kaneko, T. Koyama, A. Watanabe, W. Kanda, T. Tameguri, R. Kazahaya, 2017, Unmanned observations in an area in danger of volcanic eruptions by using an UAV at Kuchinoerabu-jima volcano, southern Kyushu, Japan, Journal of Natural Disaster Science, **38**, 85-104.

及川輝樹・大場 司・藤縄明彦・佐々木寿, 2018, 水蒸気噴火の地質学的研究（総説），地質学雑誌 125 周年特集号「水蒸気噴火」（印刷中）.

Takano, T., T. Nishimura, H. Nakahara, 2017, Seismic velocity changes concentrated at the shallow structure as inferred from correlation analyses of ambient noise during volcano deformation at Izu-Oshima, Japan. J. Geophys. Res., **122**, 6721-6736, DOI: 10.1002/2017JB014340.

Tanaka, R., T. Hashimoto, N. Matsushima, and T. Ishido, 2017, Permeability-Control on Volcanic Hydrothermal System: Case Study for Mt. Tokachidake, Japan, Based on Numerical Simulation and Field Obser-

vation, Earth, Planets and Space, **69**:39, DOI:10.1186/s40623-017-0623-5.

Tanaka, R., T. Hashimoto, N. Matsushima, T. Ishido, Contention between supply of hydrothermal fluid and hydrothermal sealing: Inferences from numerical simulations, Earth Planets Space, in review.

Terada, A. and T. Hashimoto, 2017, Variety and sustainability of volcanic lakes: Response to subaqueous thermal activity predicted by a numerical model, J. Geophys. Res., **122**, 6108-6130, DOI:10.1002/2017JB014387.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

計画の最終年度にあたり、これまでに得られた知見とデータを統合し、熱水系卓越型火山活動の特徴を抽出する。特に、水蒸気噴火の前後数分～数時間の観測データを、噴火の予測や災害軽減にどのように役立てることができるか、加えて、数年～数10年スケールの先行的異常現象を中期的な噴火切迫度評価にどのように役立てることができるか、について現状の総括と今後の見通しを示す。

サブグループ 1

草津白根山の地震・傾斜・GNSSデータの精査を行い、2018年本白根水蒸気噴火のプロセスについて理解を深めるとともに、湯釜火口のモニタリングも継続して両者の関係を考察する【東工大・北大・東北大・京大理】。

複数の火山で地震波干渉法解析を引き続き実施し、地殻変動・地震活動・地磁気変化等と比較することで熱水系卓越型火山活動の特徴を抽出する【北大・東北大】。

サブグループ 2

十勝岳の全磁力観測を継続する。一部の観測点は2017年の台風で被害を受けたため、復旧作業を行う【北大】。

吾妻山の比抵抗構造の最終モデルを提出する。全磁力観測を継続し、5年間の全磁力変動から吾妻山の熱消磁領域の時空間変遷を考察する。全磁力データサーバはほぼ完成したので、今後は大学・気象庁等との協定を進め、全磁力データ統合を進める【東北大】。

二酸化炭素の同位体比の噴煙観測を継続する。MultiGASによるCO₂/H₂S測定と合わせ、複数の火山で比較する【東大理】。

草津白根山で空中磁気測量を実施し、前回調査時(2003年、宇津木・他、2004)のデータと比較して時間変化の検出を目指す。本白根山の2018年噴火により、有人機による調査ができない可能性が高いため、無人ヘリの利用を想定し、課題1508や1804とも連携して進める予定である【東工大・東大地震研・京大理】。

サブグループ 3

引き続き十勝岳の水蒸気噴火履歴と個々の噴火様式について検討する。またニセコ火山群の最新の火山体(イワオヌプリ)の噴火履歴と様式について検討する。特に、最近数百年間の噴火の有無を確認する【北大】。

十勝岳については、現在投稿中の論文を出版する。吾妻山については火山灰の鉱物組成分析を完了し、歴史時代における一切経山～大穴火口直下における熱水系-マグマ相互作用の推移を解析する【秋田大】。

マグマ噴火における噴火タイプの変遷は火道におけるマグマの物性変化を敏感に反映していることが、吾妻小富士噴出物の岩石学検討から分かってきた。H30年度は、この検討をより定量的に行い、マグマの物性変化から火道上部のマグマの量や温度の変遷を推定する。また、水蒸気爆発発生とマグマ噴火とのタイミングを地質学的に正確に把握する。水蒸気爆発に関与したマグマと、地表付近の水あるいは熱水系消長との関連性を明らかにしていく【茨城大】。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

北海道大学大学院理学研究院	橋本武志・青山 裕・茂木 透・中川光弘
東北大学大学院理学研究科	西村太志・豊国源知・市來雅啓
東京工業大学火山流体研究センター	野上健治・神田 径・寺田暁彦・小川康雄
東京大学地震研究所	小山崇夫・青木陽介
東京大学大学院理学系研究科	森 俊哉
京都大学大学院理学研究科	大倉敬宏・宇津木充・横尾亮彦
京都大学防災研究所	中道治久・井口正人・味喜大介・山本圭吾・為栗 健
九州大学大学院理学研究院	相沢広記
他機関との共同研究の有無：有	
秋田大学国際資源学部国際資源学科	大場 司
茨城大学理学部理学科	藤縄明彦
熊本大学教育学部	宮縁育夫

(12) 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：<http://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/>

(13) 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

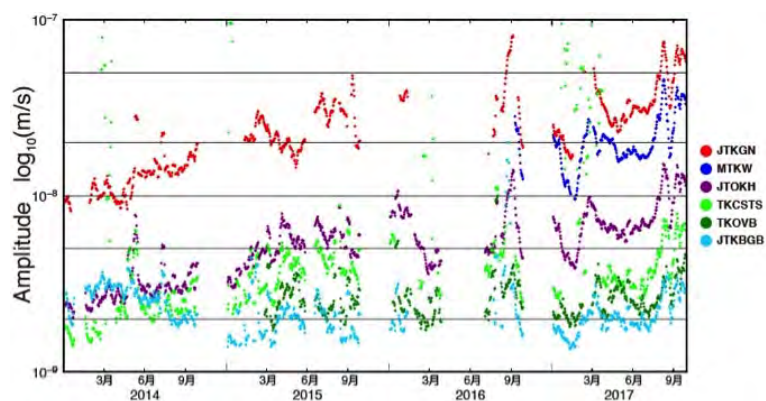


図1 . 5-10Hz の周波数帯域における背景雑微動振幅の時間変化（仲辻, 2018 北大修士論文）.

火山名	イベント	明瞭な震動開始	微動の特徴	傾斜変動	噴火後の地震活動
新燃岳	2010.5.27	5分前	開始時の振幅が大きいラップ型。	微動開始とともに直線的かつ急激に変化。噴火直前に反転後、指数関数的に減衰。永久変位なし。	
御嶽山	2014.9.27	11分前	噴火に向けて微動振幅増大。	微動とほぼ同期。加速度的。噴火と同時に反転後、指数関数的に減衰。永久変位あり。	増加
阿蘇山	2015.9.14	25分前	緩やかに振幅増大し、弱まった後に噴火。	微動開始時の傾斜変動は不明瞭。噴火4分後の大振幅時にステップ的傾斜変動あり。	
草津白根山	2018.1.23	3分前	噴火前に微動振幅が最大に達し低下。	微動開始と同期。加速度的。噴火と同時に反転後、指数関数的に減衰。永久変位あり。	増加
口永良部島	2014.8.3	3分前	噴火に向けて微動振幅増大。	傾斜変化が噴火の数10分前から開始し、噴火に向かって加速。	観測途絶のため不明

表1．最近の水蒸気噴火イベントでの地動・傾斜変動の比較

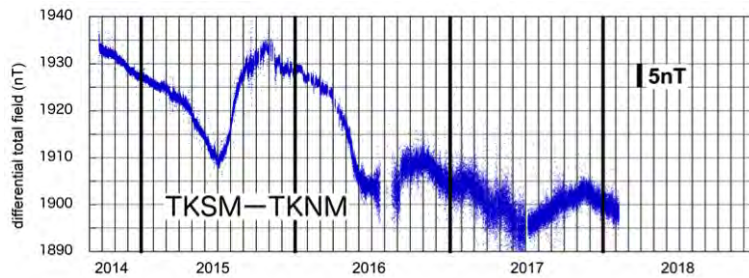


図2．十勝岳 62-2 火口南北 2 箇所全磁力差

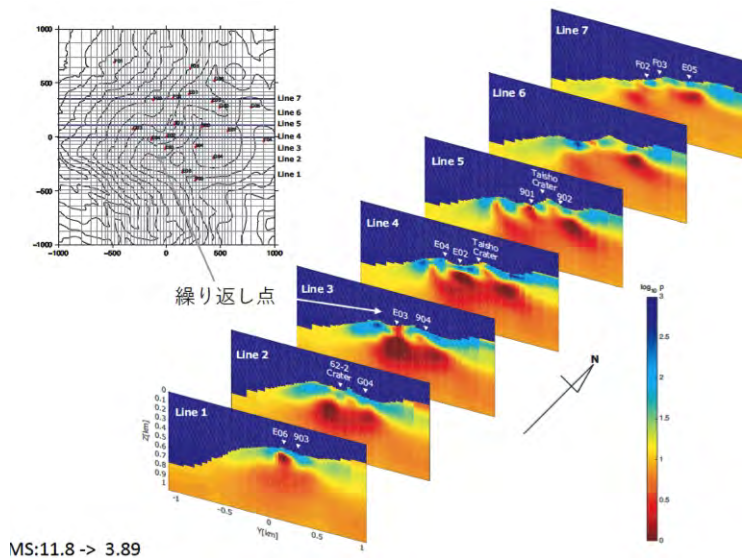


図3．AMT法3次元インバージョンに基づく十勝岳地下浅部の比抵抗構造
観測データは、道総研地質研の重点研究に基づき、道総研・北大・気象庁の共同で取得。
インバージョン解析は田中(北大)による。



図4 . 吾妻小富士形成噴火噴出物の SiO₂ 量と斑晶量の関係 . 噴火様式との大まかな対応が認められる .

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

噴火履歴及び観測事例に基づく噴火事象系統樹の試作

(3) 最も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) 事象系統樹の高度化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

(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整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

イ. 熱水系の卓越する火山

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

これまでに噴火事象系統樹(噴火シナリオ)が作成されておらず、しかしながら火山活動が活発であり、噴火が発生した場合の社会的影響が大きいと考えられる火山を選択し、従来と同様に噴火履歴に基づき、それに地球物理学的観測事例も加味した噴火事象系統樹を作成する。そして、試作結果は社会に発信し、火山防災の基礎的情報として提供する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

対象火山は火山活動レベルが高く、噴火履歴・噴火様式が個性的な、浅間山、十勝岳および阿蘇山とする。それぞれの火山では噴火履歴および各噴火の推移に関する現在までの知見を収集・整理する。必要に応じて古記録の解読・解析を行う。近年の火山活動に関しては、地震学、測地学、電磁気学、火山ガスおよび物質科学などの解析結果を整理して、先行現象と噴火現象に関する経験則を求める。また社会的要請が大きい富士山についても噴火事象系統樹の作成を試みるが、近代火山観測は富士山の確実なマグマ活動および噴火活動を経験していない。そのため、上記3火山のように、噴火事象分岐において観測事例を加味するため必要なデータが、富士山ではない。そのため地質学および古記録解読による噴火履歴・推移データのみで噴火事象系統樹を作成することになり、これまで試作した火山とは状況が異なる。試作物は学会等で公表し、研究者あるいは防災担当者の意見を集める。場合によってはそれらの意見をもとに、噴火事象系統樹を改定する。

平成 26 年度はこれまで試作した噴火事象系統樹・噴火シナリオについて総括し、そこで浮かび上がった課題に基づき、本研究課題での噴火事象系統樹の作成方針を決定する。また浅間山について、噴火履歴、各噴火の推移、物質科学的データおよび噴火観測データなど現在までの知見を収集・整理する。必要に応じて追加の資料解析を行う。

平成 27 年度は浅間山について前年度の検討結果をもとに、噴火事象系統樹を試作する。新たに十勝岳について、噴火履歴、各噴火の推移、物質科学的データおよび観測データなど現在までの知見を収集・整理する。特に 1926 年噴火では古記録の再解析を行う。

平成 28 年度は十勝岳について前年度の検討結果をもとに、噴火事象系統樹を試作する。新たに阿蘇山について、噴火履歴、各噴火の推移、物質科学的データおよび観測データなど現在までの知見を収集・整理する。

平成 29 年度は阿蘇山について前年度の検討結果をもとに、噴火事象系統樹を試作する。新たに富士山について、噴火履歴および各噴火の推移に関する現在までの知見を収集・整理する。必要に応じて古記録の再解析を行う。また富士山と類似した活動を行う火山を国内外から選び出し、その観測データと噴火現象を参考にして、富士山の噴火現象を考察する。

平成 30 年度は富士山について前年度の検討結果をもとに噴火事象系統樹を試作する。試作物は学会等で公表し、研究者あるいは防災担当者の意見を集める。一方で 5 年間の活動を総括する。作成した噴火事象系統樹を評価し、今後の課題を明らかにし、文書にまとめる。

研究課題実施中には、他の研究課題とつねに連携を取り、それらの研究成果を取り入れる。また噴火が発生した場合には、その火山において緊急的に噴火事象系統樹を試作・公表することも念頭に入れる。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

H28 年度末から今年度にかけて、十勝岳および阿蘇山について噴火事象系統樹作成のための研究集会を行った。さらに十勝岳では最近の総合研究の成果も加え、研究の到達点を明らかにして課題の洗い出しを行った。また浅間山については事象系統樹試作版の改訂のために、別研究課題を行ったトレンチ調査結果を加味して、噴火履歴・様式および個々の噴火規模の再検討を行った。また事象分岐を支配するマグマ供給系の構造について樽前山と北海道駒ヶ岳の事例について検討した。

十勝岳の噴火事象系統樹作成のための研究

事象系統樹作成のため、十勝岳の完新世の活動、特に過去 5,000 年間程度の噴火活動履歴を解析する(図 1)。そして、火口域、噴火タイプおよび前兆現象についてまとめた。また過去 100 年の活動については、噴火事例と噴火未遂事例についてもまとめた。

(1) 火山噴火活動の場

これまでの研究により十勝岳北西部の火口群(グラウンド火口、摺鉢・北向火口群、中央火口群)と、その南方約 1.5km にあるヌッカクシ火口で噴火実績が確認されている。前者ではマグマ噴火が頻発しているが、後者では水蒸気噴火あるいは山体崩壊事例がある(図 2)。

(2) 噴火タイプ

これまでの噴火実績から以下の噴火タイプに区分できる。ア) 山体崩壊を伴う噴火: 崩壊後に規模の大きな爆発的噴火に移行する場合(4,700 年前と 3,300 年前のグラウンド火口噴火)、小規模なマグマ噴火に移行する場合(1926 年噴火)、およびマグマ噴火は起こらないタイプ(2,800 年前のヌッカクシ火口)がある。イ) 準プリニー式(またはマールを形成する)の比較的規模の大きな爆発的噴火(1962 年および中央火口、北向火口、摺鉢火口で発生)。ウ) 小規模マグマ噴火(1988-89 年噴火)。エ) 溶岩流出噴火(グラウンド火口、北向火口で 2 回、焼山火口、中央火口の噴火)。オ) 水蒸気噴火のみ(1952 年、1985 年、2004 年およびヌッカクシ火口の噴火)

(3) 過去 100 年の噴火活動と前兆活動

20 世紀になってマグマ噴火活動が 3 回(1926、1962 および 1988-89 年)あった。この中でいずれのマグマ噴火活動も、熱活動レベルの上昇や火山性地震の増加などの前兆現象が起こり、水蒸気噴火

と考えられる小規模な噴火が数ヶ月～数日前に先行して起こり、その後に本格的なマグマ噴火に移行した。活動の段階的な上昇が特徴であり、事象分岐にその推移を反映しやすいと考えられる。

(4) 噴火事象の確率算出：十勝岳北西部火口群

確率は、単純に「特定イベント回数÷全イベント回数」で算出した。ただし、対象とした時間の長さは様々である。十勝岳では確かな活動の記録は20世紀になってからである。そのため噴火履歴は地質調査による解明に頼ることになるが、小中規模噴火の噴出物は地層中にほとんど残されていない可能性がある。小中規模噴火については最近の実績を外挿せざるを得ない。

1) 噴火開始と噴火未遂

20世紀になっての十勝岳では、特に1962年噴火以後は様々な地球物理学および地球化学的手法により観測が続けられている。この中でも地震観測は最も長く観測が続けられている点で、活動レベルの変化を最も長期間にわたり評価できる指標と考えられる。そこで1960年以降のB型およびA型地震活動の活発化を噴火前兆活動の指標とする。考慮する期間は1960年から2010年までの50年間とする。2010年以降については現在進行形の現象として考慮しないこととする。それによれば、その期間に地震活動の活発な時期は6回あり、そのうちの3回が噴火に至っている。単純に計算すると、噴火未遂の確率が3/6、噴火の確率が3/6となり、パーセント表記ではともに50%である。

2) 噴火開始後、水蒸気噴火で終息するかマグマ噴火に至るかの確率

噴火記録は1926年からあるが、その噴火は山体崩壊を伴う点で特別な事例と考え、その噴火以降の1927年から2010年までの83年間を考えた。この期間で前後に1年以上の休止があった噴火を、単独の噴火と認識する。噴火は8回で、そのうち水蒸気噴火のみは6回(1952、54、56、58-59、1985、2004年)、マグマ噴火に至ったのは2回である(1962、1988-89年)。したがって、前者の起こる確率は6/8、後者の起こる確率は2/8である。つまり活動活発化して水蒸気噴火のみが起こる確率は $0.5 \times 6/8 = 0.375$ 、それがマグマ噴火に至る確率は $0.5 \times 2/8 = 0.125$ である。この83年間の噴火のうち1962年噴火以外については、地質調査によりその規模の噴火堆積物を見出すのは困難である。よって83年間の噴火回数を5,000年間外挿することで、噴火回数を見積もる。ただしここでは1988-89年噴火と1962年噴火の規模の差は特に考慮しない。その結果5,000年間で、 $8 \times (5000/83) = 482$ 回の噴火が起こったことになる。

3) マグマ噴火が起こった後、準プリニー式噴火かマール形成噴火に移行する確率

1900年以降、準プリニー式噴火は1962年の1回のみ起こっている。地質調査によると、同規模がそれ以上の降下テフラ堆積物は過去3,300年間に、1962年を含めて7層記録されている。マグマ噴火が起こったのは5,000年間に $482 \times (2/8) = 121$ 回で、そのうち準プリニー式噴火に至ったのは、 $7/121$ となる。活動活発化からの確率では準プリニー式噴火に至るのは $0.125 \times 7/121 = 0.007$ 、小規模噴火で終るのは $0.125 \times 114/121 = 0.118$ となる。

4) 準プリニー式噴火がそのまま終息するか、溶岩流出に移行するかの確率

地質学的および岩石学的に識別した溶岩流は、5,000年間で4単位ある。いずれの溶岩も、その火口からテフラ噴出後に流出している。したがって準プリニー式噴火の後に溶岩流出した可能性が高く、その確率は4/7の確率である。したがって溶岩流出に至る確率は、活動活発化から $0.007 \times 4/7 = 0.004$ である。

5) 山体崩壊・岩屑なだれ堆積物の発生確率

5,000年間での噴火に伴う山体崩壊発生は3回である。山体崩壊の場合には噴火とは発生メカニズムが同列では議論できないので、活動活発化が山体崩壊に結びつく確率を計算した。山体崩壊にいたる発生確率は $3 / (482/0.5) = 0.003$ である。崩壊後に小規模なマグマ噴火で終了するのはその1/3(1926年噴火)で、2/3は十勝岳では規模の大きな火砕流が発生する。

(5) 今後の課題

今回は十勝岳北西火口群の活動について事象系統樹作成のための噴火履歴の整理と確率の算出を試みた。この中で山体崩壊の発生確率が、溶岩流出と同程度であることが確認できた。十勝岳は熱水活動が活発であり、山体の変質が進んでいるために山体崩壊が生じやすい特徴が浮き彫りになった。今後はヌッカクシ火口も加えた事象系統樹の作成および発生確率算出の妥当性について検討する必要がある。

ある。

- (9)平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
北海道立総合研究機構地質研究所・北海道大学地震火山研究観測センター・札幌管区気象台, 2017, 火山内部構造・熱水流動系のモデル化と火山活動度評価手法の高度化(十勝岳) . 北海道地質研究所調査研究報告 , 44 , P194 .

Imura, T., T. Ohba, and M. Nakagawa, 2017, Volcanic fluids-rock interaction inferred from characteristics of altered minerals in volcanic products at Tokachidake volcano, central Hokkaido, Japan. IAVCEI 2017 meeting, P476.

井村匠・大場司・中川光弘 (2017) 十勝岳火山噴出物中の変質物からみた火山性流体 - 岩石反応 . 日本地球惑星科学連合 2017 年大会 , SVC48-03 .

- (10)平成 30 年度実施計画の概要 :

十勝岳および阿蘇山において噴火事象系統樹を作成する。両火山では地球物理学的観測データが、他の火山と比べると豊富であるので、浅間と同様に噴火未遂も考慮に入れた系統樹の作成を目指す。また富士山の噴火事象系統樹作成のための研究集会を実施し、試作版の完成を目指す。

- (11)実施機関の参加者氏名または部署等名 :

北海道大学 中川光弘 , 橋本武志 , 大島弘光

東京大学 中田節也 , 森田裕一 , 武尾 実 , 前野 深

東京工業大学 野上健治

京都大学 鍵山恒臣 , 大倉敬宏 , 井口正人

他機関との共同研究の有無 : 有

日本大学 安井真也 , 高橋正樹

静岡大学 小山真人 , 石橋秀巳

熊本大学 宮縁育夫

産総研 高田 亮 , 篠原宏志 , 星住英夫 , 石塚吉浩 , 下司信夫

電中研 三浦大助 , 上澤真平

気象庁 松森敏幸

道総研地質研究所 高橋 良

- (12)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 : 011-716-2111(代表)

e-mail : mnakagawa@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL : <http://www.sci.hokudai.ac.jp/eps/>

- (13)この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 中川光弘

所属 : 北海道大学大学院理学研究院

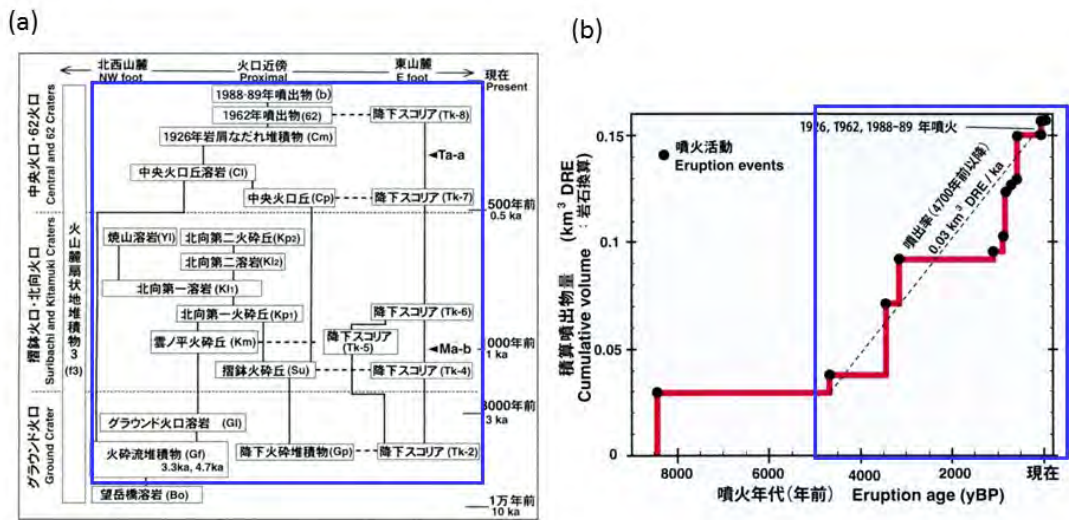


図1 . 十勝岳北西火口群の完新世噴出物の (a) 層序関係図と (b) マグマ積算噴出量-時間図 (石塚ほか (2010) に加筆)
 H29 年度は、最近 5 千年間 (青四角) を対象に検討した。

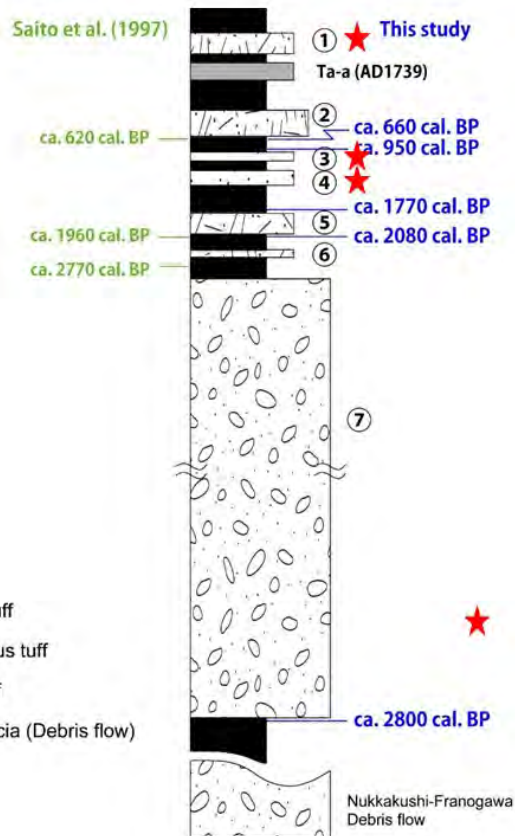


図2 . 十勝岳ヌッカクシ火口の最近 3,000 年間のテフラ層序

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

津波浸水域の即時予測手法開発のための研究

(3) 最も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

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(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・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

現在の津波予測は沿岸での津波の高さを予測するもので、陸上の遡上した津波の浸水範囲や陸上での津波高を予測するシステムになっていない。気象庁では様々な断層モデルから計算される沿岸での津波波高をデータベース化し津波の高さ予測を実施している。さらに、沖合で観測された津波波形から沿岸での津波波高を予測する手法の開発も研究されてきた。上記のような手法の開発は、近い将来数多く設置される沖合のケーブル式津波計や GPS 波浪計による津波観測データを使用して津波予測を実施する上で非常に重要になる。

2011年東北地方太平洋沖地震で発生した大津波のように沿岸から5-6kmまで津波が浸水し被害を起こす場合には、津波の正確な高さを予測するよりも、津波の浸水範囲を予測する事が災害を軽減する上では重要となる。しかし、陸上を遡上する津波を津波数値計算で精度良く再現するためには、ある程度の計算時間が必要となり、地震発生時にリアルタイムに津波数値計算を実行しては、到達するまでに津波浸水範囲の予測を出す事は難しい。本研究課題は上記の問題を解決し、リアルタイムで津波の浸水範囲を予測する手法を開発する。さらには、ケーブル式津波計データ等も使用し、津波の浸水予測をリアルタイムで改善していく手法を開発する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成 26 年度

2011 年東北地方太平洋沖地震の津波浸水域をデータとしてそれを津波が到達する前に精度良く予測することを目標として津波の浸水範囲予測手法を開発する。この手法の基礎は平成 25 年度までに開発されているものを使用するが、実際に発生した津波に対して、適用することで、データベースの量や、海域の計算地点の分布等最適な津波浸水範囲をできる限り短い時間で予測するための基礎的研究を実施する。

平成 27 年度

平成 26 年度の基礎的研究を継続する。さらに、気象研究所・東北大学・東京大学地震研究所・防災科学技術研究所等で開発中の、海底津波計や GPS 連続観測記録等を用いたリアルタイムで震源過程や海面変動を推定する手法と連動して、各地域での津波の浸水範囲を予測する手法を開発する。それらの有効性を評価する。

平成 28 年度

平成 27 年度までの研究開発を継続しながら、それまでに防災科学技術研究所での設置が完了しているケーブル式海底圧力計のデータを利用した津波浸水範囲予測手法の開発を行う。

平成 29 年度

平成 28 年度までの研究開発を継続しながら、対象域を北海道太平洋沿岸にも拡大し、沿岸主要地域での津波浸水予測データベースを作成し、その有効性を確かめる。

平成 30 年度

研究開発を行った全てのリアルタイム津波浸水域予測手法を統合し、さらにそれらの浸水範囲予測情報を発信するための手法の開発も実施する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

ケーブル式津波観測網 (S-Net) を利用した即時津波予測手法の開発

日本海溝・千島海溝に沿って約 125 の津波計 (圧力計) と地震計がケーブル式ネットワークシステム (S-Net) として設置され、観測が開始された。今年度は、地震発生後 500 秒の圧力観測波形を利用して津波発生域を推定する手法を開発した。まず、M8 クラスのプレート境界型地震が北海道太平洋沖で発生すると仮定し、長さ 140?、幅 70? の断層をプレート境界に分布させ、海底地殻変動及び津波を計算し、S-Net 観測点での圧力波形 (地震発生後 500 秒) を出力した。それらの波形の特徴から即時に津波発生域 (海底隆起域) を推定する手法を開発する (図 1)。推定手法はまず、圧力波形を 3 タイプに分類する (図 2)。タイプ 1 は地震発生からすぐ水圧が下がりはじめ、500 秒たっても回復しない。これらの観測点は津波発生域 (海底隆起域) 直上にある。タイプ 2 は水圧が上昇し、その後下降する。これらの観測点は 500 秒以内に津波第 1 波を観測しており、津波発生域近傍に位置する。タイプ 3 はそれ以外の波形。これらの観測点は津波発生域から離れている。これら 3 タイプの分類から自動的に津波発生域を推定する手法を開発した (図 3)。この手法により地震発生から 500 秒で M8 クラスの津波発生域はおおよそ推定可能であることが分かった (図 1)。この手法は観測圧力波形の分類だけを用いており、複雑な解析を必要としないのが最大の特徴である。

ケーブル式津波観測網 (DONET) で実際に観測された津波波形解析

2016 年 4 月 1 日ケーブル式津波観測網 (DONET) の直下で三重沖地震 (M6.5) が発生した (図 4)。圧力波形は観測網で観測された (図 5)。観測圧力波形 (地震発生後 10 分) を使用し、インバージョンにより海底地殻変動を推定した (図 6)。推定された海底地殻変動は解像度が良く、その海底地殻変動からグリッド断層モデルを推定すると、断層サイズ (14? × 7?)、傾斜角 9 度、走行 216 度、すべり量 29?、断層位置が精度よく推定され、プレート境界で発生したことが明確に示された。さらに、直上での津波観測網が津波即時予測に有効であることが実際の観測波形により明確になった。

地震波形を用い、津波地震に対応できる津波即時予測手法の開発

上記のようなケーブル式津波観測網がない地域では、地震波形解析により適切な断層モデルを推定する手法を開発する必要がある。特に明治三陸津波や 1992 年ニカラグア津波のように津波が非常に大

きくなる津波地震に対応できる断層モデルを適切に推定することが重要となる。本研究では深さに依存する剛性率(図7)を仮定することにより、津波地震による津波浸水予測にも対応できる手法を開発した。まず、W-phase インバージョンにより断層パラメータを得る。その結果と Blaser et al. (2010) のスケーリング則により断層長と幅を推定し、さらに図7を用いてすべり量を推定し、断層モデルを決定する。本手法をニカラグア近傍で発生した4つの地震(1992 Nicaragua・2001 El Salvador, 2004 Astillero, and 2012 El Salvador-Nicaragua)(図8)に対して適応し、1992年ニカラグア津波地震の津波遡上域を良く説明できる(図9)とともに他の津波も適切に説明できることを示した(Tanioka et al., 2017)。本手法は津波地震を含む海溝型地震による津波を適切に予測できることを示した。

- (9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
Tanioka, Y., Tsunami simulation method assimilating ocean bottom pressure data near a tsunami source region, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-017-1697-5 (2017).
Tanioka, Y., G. J. A. Miranda, A. R. Gusman, and Y. Fujii, Method to Determine Appropriate Source Models of Large Earthquakes Including Tsunami Earthquakes for Tsunami Early Warning in Central America, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-017-1630-y (2017).
Yuichiro Tanioka, Tsunami simulation method initiated from waveforms observed by ocean bottom pressure sensors for real-time tsunami forecast; Applied for 2011 Tohoku Tsunami EGU meeting 2017 (Highlight presentation)
Mayu Inoue, Y. Yamanaka and Y. Tanioka, Simple method for real-time tsunami source estimation using seafloor pressure sensor network in Japan, *International Tsunami Symposium 2017*.
Tatsuya Nakagaki, Y. Tanioka, K. Imai, T. Inuma and N. Takahashi, Estimation of source processes of the 2016 Mie-oki earthquake (Mw6.1) using tsunami waveforms observed by dense seafloor pressure sensor network system (DONET), *International Tsunami Symposium 2017*.
Yuichiro Tanioka, Greyving J.A. Miranda, and Aditya R. Gusman, Rapid Determination of Appropriate Source Models for Tsunami Early Warning using a Depth Dependent Rigidity Curve: Method and Numerical Tests, *AGU 2017 fall meeting*.
井上真優・谷岡勇市郎・山中悠資、S-netによる水圧観測記録を用いた簡易的な津波波源域推定手法の開発、2017日本地震学会秋季大会

- (10) 平成30年度実施計画の概要：
リアルタイム津波浸水域予測手法の開発を継続するとともに、今までの手法をまとめる。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：
谷岡勇市郎・西村裕一・伊尾木圭衣
(北海道大学大学院理学研究院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
佐竹健治・Aditya R. Gusman(東京大学地震研究所)・対馬弘晃(気象庁気象研究所)
参加機関 東京大学地震研究所、気象庁気象研究所

- (12) 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：http://www.sci.hokudai.ac.jp/grp/isv/isv-web/

- (13) 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：北海道大学大学院理学研究院地震火山研究観測センター

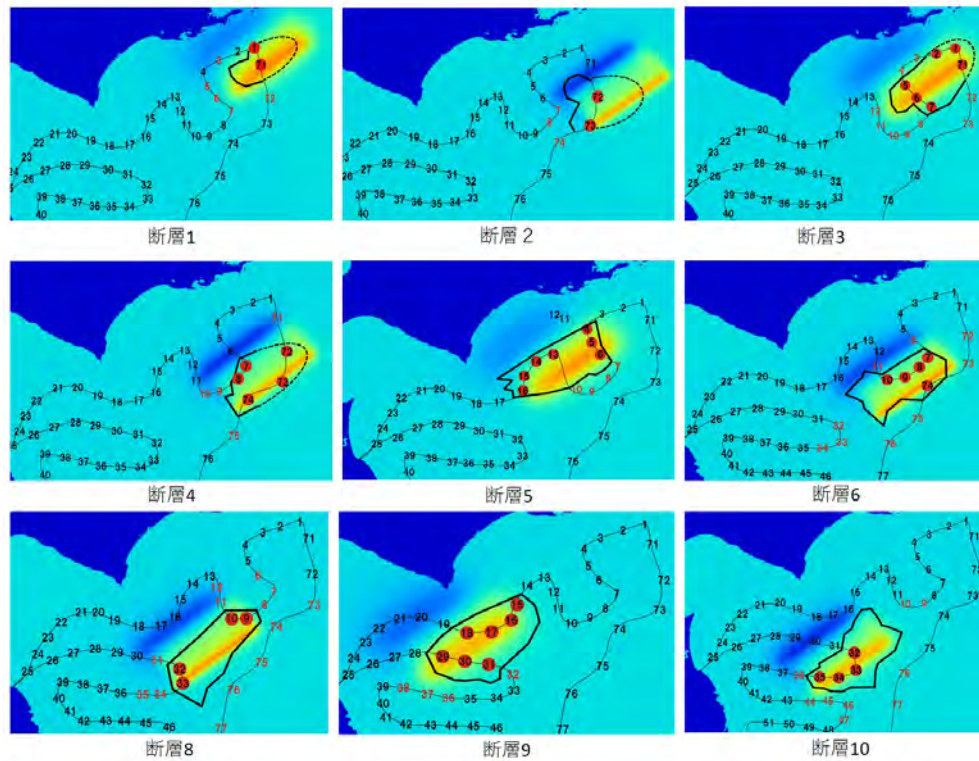


図 1

M8 クラスの断層モデルから計算される海底地殻変動と S-NET 観測点で計算された圧力波形（地震発生から 500 秒）の 3 つのタイプ分類（：タイプ 1、赤字タイプ 2、黒文字：タイプ 3）。タイプについては図 2 参照。太線は自動的に決められた津波発生域。

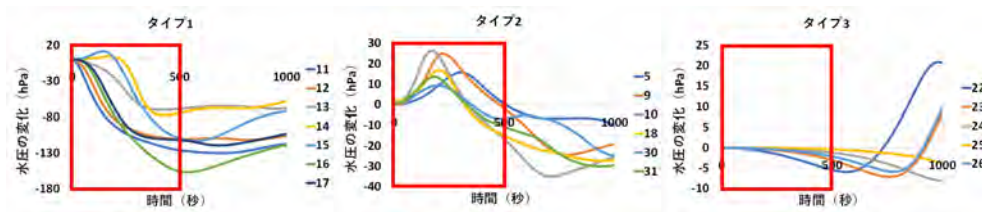


図 2

観測点での圧力波形を 3 つのタイプに分ける。断層モデルは図 3 に示す。

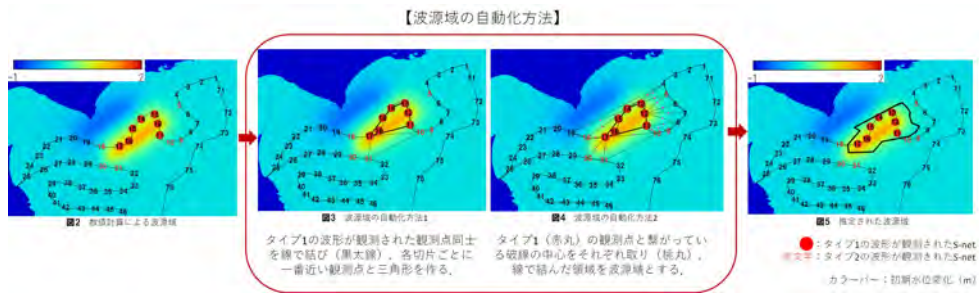


図 3

観測点での圧力波形を3つのタイプに分類した後、分類から津波発生域（海底隆起域）を推定する手法。

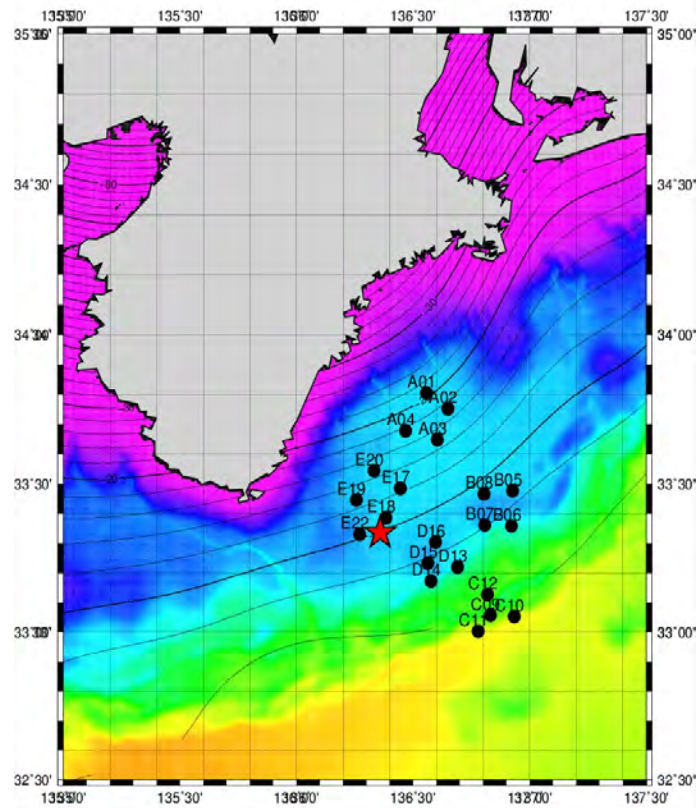


図 4

2016年4月1日三重県沖地震の震源（ ）とDONET観測点分布。色は海底地形。コンターはプレート境界面の深さ。

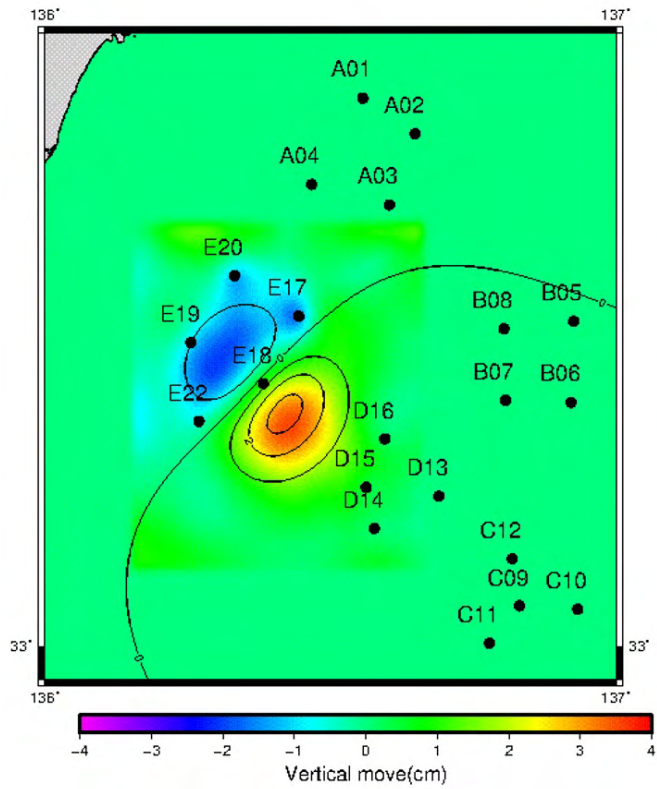


図5
 カラーが DONET 観測点の海底圧力波形からインバージョンによって得られた海底上下変動を示す。コンターは推定された海底上下変動から推定された断層モデルから計算された海底上下変動（良く一致している）

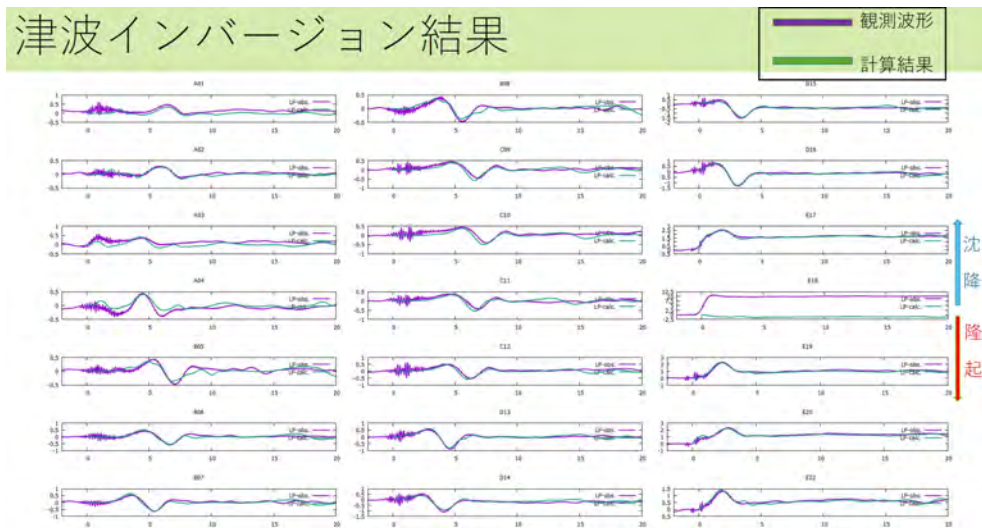


図6
 観測圧力波形（紫）とインバージョンの結果から計算された計算波形（緑）

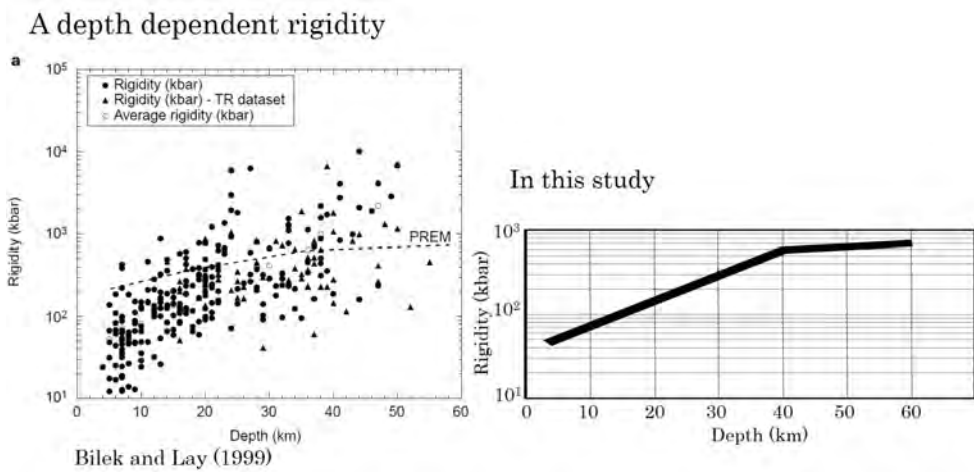


図 7

深さ依存剛性率 . 左) Bilek and lay (1999) より . 右) Tanioka et al. (2017) より

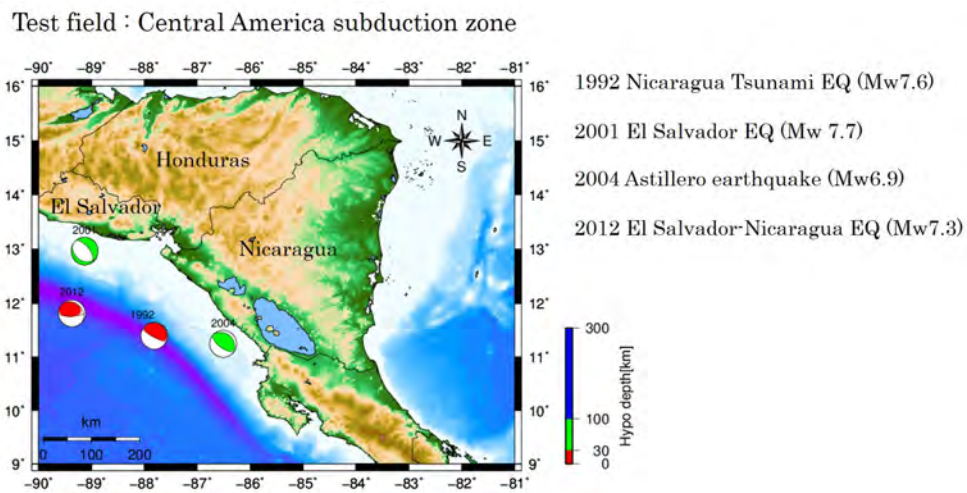


図 8

本研究の津波予測手法をテストした、ニカラグア沖で発生した4つの地震。(Tanioka et al., 2017)

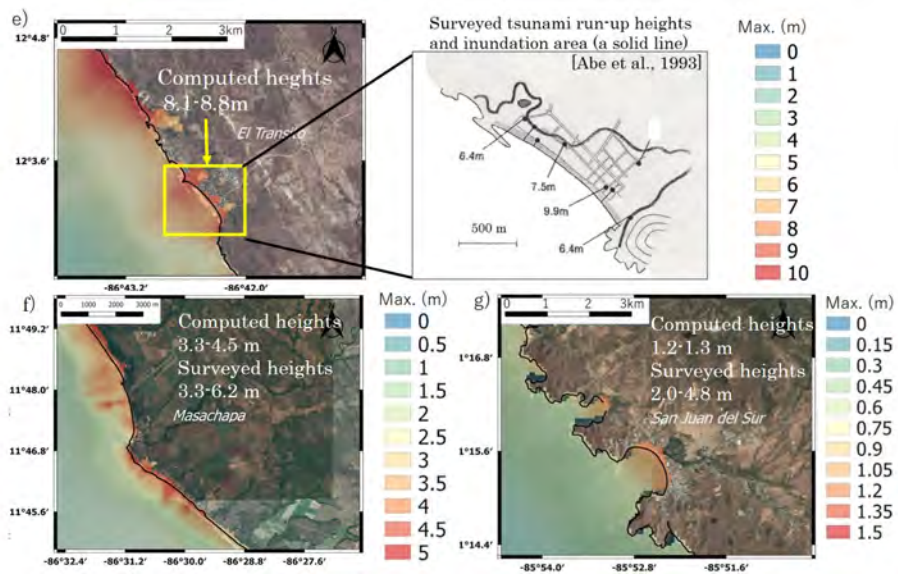


図 9

1992年ニカラグア津波地震の津波遡上調査結果と本手法による津波遡上予測計算結果の比較 (Tanioka et al., 2017)

(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に対する社会的脆弱性克服のための基礎研究

(3) 最も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

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(5) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

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) に関して , 防災・減災への統合的な活用方法を開発する。本研究では , この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と , その活用方法開発を目指す。

上記で開発したシステムを援用し , 地域開発と自然災害リスクとの関係を分析し , その結果から災害に対する社会的脆弱性について , 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。

また , 地域防災のための公開講座の開催 , 自治体防災担当者対象の講義の実施 , 自治体との相互協力協定にもとづく防災教育・地域貢献の実施等により , 最も効果的な研究成果の普及手法を探る。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年には , 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う。また , 人口 , 土地利用など下記の分析に用いるデータ (特に地理空間情報を含むもの) の収集を行う。

平成 27 年以降は、地域情報（土地利用および人口等）と被害想定に関する時系列的分析、避難施設と避難圏域に関するデータの収集と分析、住民の避難行動に関するデータの収集と分析などを行う。平成 27 年度には、北海道全域を対象に、現在、北海道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。その際には地域情報（土地利用および人口など）を GIS に取り込んで空間データベースを構築する。

平成 28 年度以降には、事例市町村を選定し、人口、土地利用、津波浸水想定だけではなく、避難施設と避難圏域に関するデータの収集と分析を行う。その際には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も取り込み、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。

これらの結果を受けて平成 29 年度以降は、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。なお、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する。平成 29 年度以降は、上記の分析と並行して、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。以上の分析の成果を統合し、地域開発と災害に対する社会的脆弱性との関係を明らかにする。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 時期で調査を行う。

全ての年度を通じて、地域防災のための公開講座の開催し、自治体防災担当者への講義を実施し、北海道大学理学研究院とえりも町との相互協定を利用したえりも町での防災教育活動・地域貢献を実施し、効果的な研究成果の普及手法を探る。

（ 8 ）平成 29 年度の成果の概要：

1．研究概要

平成 29 年度には、平成 28 年度から引き続き、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。さらに、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した。また当該年度には、上記の分析と並行して、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い、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した。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し、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を行うことで、津波防災に関する災害情報流通の加速化に向けたシステム構築の研究を行った。加えて、地域防災のための公開講座や防災 GIS 講習会等の開催により、最も効果的な研究成果の普及手法の検討を行った。以上の成果は本課題の 5 年計画に沿ったものである。

2．津波浸水シミュレーション可視化システムの構築

日本は地震やそれに伴う津波、台風や豪雨、土砂など様々な災害に見舞われている。こうした災害に対する被害を軽減する上で、平時から災害情報を公開し、一般に広く普及していくことは重要である。そうした中で近年ではスマートフォンの普及に伴い、情報通信技術（ICT）を活用した防災情報の共有や、防災アプリの開発などが積極的に行われている。現在も避難行動の支援やより多目的なハザードマップアプリの開発は行われているものの、津波の時間発展を可視化するシステムの提案は少ない。これは、使用できるデータに制約があることが要因である。しかし、該当地域において浸水深がどのように変化するかという津波の時間発展に関する情報は、避難経路の設定や、災害時の避難支援方針の決定において重要な情報になると考えられる。

そこで本研究はオープンソースライブラリである Cesium を用いて Web システムを開発し津波浸水

に関する時間発展の可視化を行い、その利活用方法を検討することを目的とした。

3. 研究方法

本研究は、まずシステムで津波シミュレーションデータを表示するために、北海道総務部危機対策局危機対策課が作成したベクタ形式の津波浸水シミュレーションデータをラスタ化した。次に津波浸水シミュレーションデータを可視化する Web アプリケーションの開発を行った。そして開発された津波浸水シミュレーション可視化システムを用いて、その利活用方法の検討を行った。

本研究では実際に津波浸水シミュレーション可視化システムの利活用法を検討するため、北海道函館市と北海道釧路市の津波浸水シミュレーションデータの可視化を行った。

北海道は北海道防災会議地震火山対策部会地震専門委員会に設置されたワーキンググループで精度を上げた津波波源モデルの想定により、津波シミュレーションを実施し、津波浸水予測図を作成した。本研究で用いるデータは 2016 年度に作成されたデータのうち「太平洋沿岸の津波被害想定に係る津波遡上データ」である。

データ加工に際しては任意の矩形領域内のデータを対象とし、60 秒毎の浸水深データを選択し抽出する。属性データ T001 (浸水深 1cm 時刻) が 0 のものを非浸水メッシュとして 0 とし、1cm、20cm、30cm、100cm、200cm をそれぞれ 1、2、3、4、5 とレベル分けした。1 分間隔で各メッシュのレベルを算定し、90 分間のレベル別ベクターデータを作成した。そして 1 分毎のベクターデータをラスターデータに変換し、レベルごとに色分けを行ったうえで KMZ ファイルに変換する。一つの矩形領域に対して 1 分毎の KMZ ファイル、計 90 ファイルが作成された。

4. 結果

本研究では、津波浸水シミュレーションデータの可視化のため、Web アプリケーションを中心とする津波浸水シミュレーション可視化システムを開発した。クラウドサーバー上に LAMP (CentOS、ApacheHTTPServer、MySQL、PHP) 環境を構築し、そこに津波浸水シミュレーション可視化システムを設置した。

津波浸水シミュレーション可視化システムの主な機能は 3 つである。第 1 に KMZ ファイルに変換された津波浸水シミュレーションデータを読み込み、Cesium で利用する CZML ファイルを作成する機能、第 2 に Cesium を用いて津波シミュレーションを可視化する機能、そして第 3 に軌跡情報を津波シミュレーションと合わせて表示する機能である。

図 1 は函館市及び釧路市における津波浸水の時間発展を可視化した画面である。まず函館市を見ていくと地震発生からおおよそ 53 分後に、津軽海峡沿い大森浜側から浸水域の拡大が始まり、55 分後には、函館山につながる陸繋島砂州が完全に浸水する。しかし 65 分後には、大森浜とは反対に位置する函館湾付近から、浸水深 200cm の範囲が広がっていく。そこから浸水深 200cm に達する領域が拡大していき、90 分後には内陸側にも広く浸水していることが分かる。

対して釧路市はおおよそ津波発生後 23 分前後から浸水が始まっており、これは函館市よりも 30 分早い。33 分後には釧路市の道々 559 号線付近まで浸水が進む。また新釧路川に接する領域は、より早い速度で浸水が進んでいく。55 分後には海岸線から 3km 以上内陸へ浸水が進んでおり、また浸水深も函館のように 10cm、20cm と進んでいくのではなく、浸水開始直後に 200cm 以上の浸水深となる。90 分後には釧路市の後背に広がる釧路湿原まで浸水が進んでおり、釧路市の主要な地域がほぼ浸水しきる様子が伺える。

このように津波浸水想定 の時間発展を可視化することによって、この想定域がどのように広がるかを詳細に把握することができた。また、函館市では浸水開始までの時間は若干の猶予があるものの津軽海峡側と函館湾側から二度に渡って波が押し寄せた。対して釧路市では避難までの猶予が 20 分と短く、また 200cm 以上の波が押し寄せるなど、津波の時間発展に関して地域差が大きいことが明らかとなった。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) : 橋本雄一 (編) , 2017 「 二訂版 QGIS の基本と防災活用 」 , 古今書院 .

- 橋本雄一，2017，国土数値情報を利用したハザードマップの作成，地理情報システム学会教育委員会編「地理空間情報を活かす授業のための GIS 教材」，古今書院，86-91．
- 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情報システムと社会環境（IS），141，1-6．
- 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．
- 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．
- 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．

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

平成 30 年度は研究の総括を行う。そのために、過去 4 年間で行った研究を下記のようにまとめる。

まず、準天頂衛星などによる衛星測位と地理空間情報および GIS の統合的活用法を開発し、積雪寒冷地の地域特性を考慮した災害発生時の避難に関する研究を行い、課題抽出と対策のための提言を行う。なお、ここでは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を構築し、その活用方法の開発を行う。

次に、地理空間情報と GIS の統合的活用法を開発し、地域防災力を強化し、防災・減災のための災害情報の高度活用について研究を行う。その中では、都市開発が地震・津波災害の災害リスクや災害に対する社会的脆弱性を増大させる可能性を論じ、地理空間情報活用による対策の有効性を解明する。なお、ここでは地方レベル、市町村レベル、町内会レベル等の異なる空間スケールごとに分析し、各スケールにおいて防災・減災のための課題などを明らかにする。

さらに、地域防災のための公開講座の開催、自治体防災担当者対象の講義の実施、自治体との相互協力協定にもとづく防災教育・地域貢献の実施等により、効果的な研究成果の普及手法を検討する。GIS や地理空間情報の防災への有効活用について、自治体や自主防災組織などで講演会を行い、紋別市や湧別町では防災 GIS セミナーを開催する。また、北海道大学大学院理学研究院地震火山研究観測センターでは地震火山地域防災情報支援室を設置し、公開講座の実施やえりも町での地震防災教育活動を実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

谷岡勇市郎・村上亮・茂木透・大島弘光・高橋浩晃・勝俣啓・村井芳夫・橋本武史

西村裕一・青山裕・森濟・山田卓司

(北海道大学大学院理学研究院地震火山研究観測センター)

橋本雄一(北海道大学大学院文学研究科)

他機関との共同研究の有無：有

参加機関 北海道大学大学院文学研究科

(12) 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：http://www.sci.hokudai.ac.jp/grp/isv/isv-web/

(13) 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：北海道大学大学院理学研究院地震火山研究観測センター

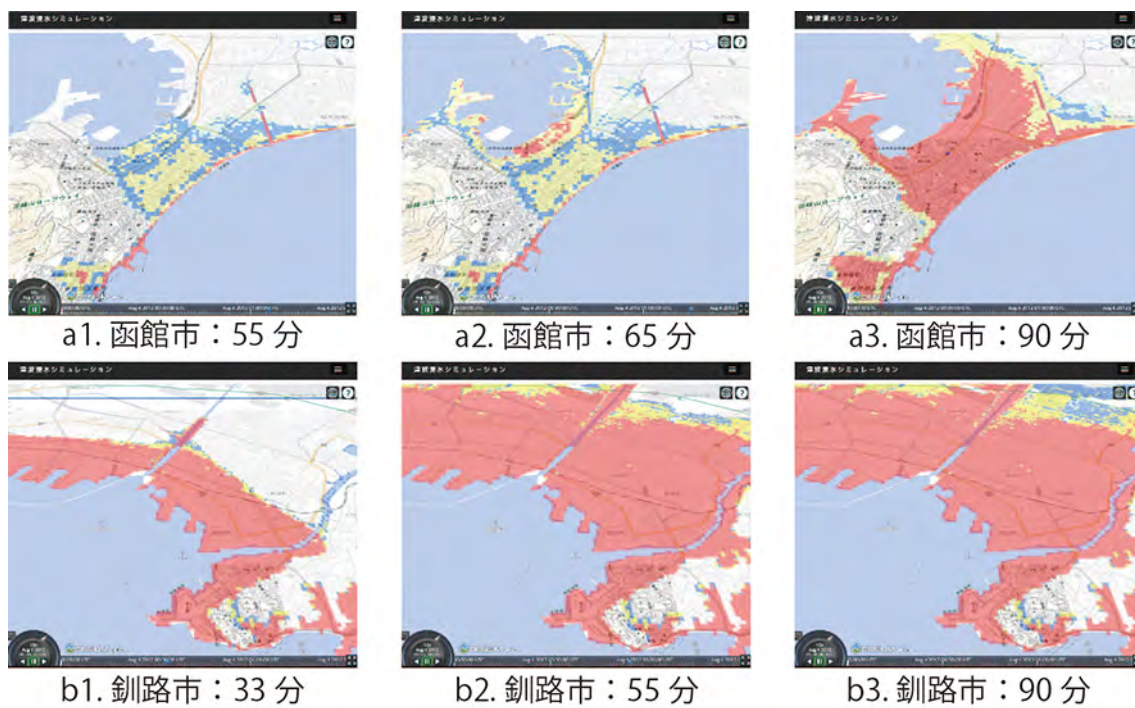


図1 函館市および釧路市における津波浸水域の時間発展

北海道総務部危機対策局危機対策課が作成した津波浸水シミュレーションデータと本研究で独自に開発した Web アプリケーションにより作成。

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地殻変動等多項目観測データ全国リアルタイム流通一元化解析システムの開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 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：

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

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

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

ウ. 観測・解析技術の開発

(4) 研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

GNSS・地殻変動連続観測等の多項目観測データを全国にリアルタイム流通させるシステムを開発し、データの流通・収集・管理・解析を一元的に行うほか、関連する技術研修を実施し人材育成を図る。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

GNSS・地殻変動連続観測等の多項目観測データ全国リアルタイム流通一元化解析を実施するために、流通データ規格の策定や、流通システム開発、解析システム開発に関する基礎的な研究や実証試験を実施する。流通データを含めた各種データの一元的な管理にむけた環境整備を進める。人材育成のため観測・機器技術研修を実施する。

平成 26 年度においては、流通管理規格、解析技術、観測・機器技術研修等 WG によるデータ流通・解析等の技術的検討と研修計画策定を開始する。

平成 27 年度においては、流通規格案を策定するほか、データ流通の技術的検討と解析システムの設計概念をまとめる。観測・機器技術研修を実施する。

平成 28 年度においては、データ流通管理規格を決定し、データ流通の試験運用を開始するとともに、データの収集・保管を実施する。解析システムの開発を開始しプロトタイプを作成に着手する。

平成 29 年度においては、データ流通試験運用で明らかになった問題点の改良を行うほか、データの収集・保管を継続する。解析システムの開発を継続し試験運用開始を目指す。観測・機器技術研修を実施する。

平成 30 年度においては、データ流通の本格運用への移行を目指すとともに、解析システムの改良を実施する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

GNSS データ流通公開保存管理システムの本体の開発を継続した。本年度は以下の機能について新たに開発を実施した。観測点諸元情報管理機能、観測データ管理機能、リアルタイムデータ受信蓄積解析機能である。昨年度までに開発してきた機能と合わせ、観測点および観測データの基本的管理が可能となった。観測点の登録、観測点諸元の管理、観測データのアップロード、観測データのダウンロードが WEB 上で一元的に行えるようになった。

アップロードしたデータを用いた後処理解析機能を付加し、WEB 上の操作だけで基線解析やそれに必要な関連データのダウンロードを可能にした。解析結果表示機能を利用し座標時系列や基線長変化などの結果を同じプラットフォーム上で確認することが出来る。

サーバーにリアルタイムデータの受信・蓄積・再配信機能を付加した。モバイルルータなどの公衆 IP 網から指定ポートに RTCM や BINEX データを送信することで、マルチキャスト機能を用いたリアルタイムデータの一元的全国流通が可能となった。受信データのリアルタイム解析機能も付加させており、解析結果表示機能を併用することで、座標時系列の準リアルタイムモニタリングが可能となった。

地殻変動連続観測等データの全国流通・公開を継続し、新たに九州大学えびの高原傾斜計のデータ受信を開始した。地殻変動観測技術の継承を目的とした講習会を実施した。本年度は、特に電気回路関係の実技を含めた講習を実施し、9 名の大学院生・技術職員の参加があった。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
高橋浩晃・日本地殻活動科学連合, 地殻変動連続観測 / GNSS 等のデータ流通の現状と今後, 日本測地学会第 128 回講演予稿集, S3, 2017 .

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

GNSS データ流通公開保存管理解析システムの試験運用を継続し、必要な機能の追加や改修を行って本格運用に移行する。GNSS リアルタイムデータについて、より広範囲の観測網を用いた実証実験を継続する。地殻変動連続観測等データの全国流通・公開を継続する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

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 高橋浩晃、山口照寛

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)

気象庁気象研究所(勝間田明男、小林昭夫、木村一洋)

東京大学地震研究所(加藤照之、新谷昌人)

神奈川県温泉地学研究所(里村幹夫、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(鷲谷威、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、森井互、加納靖之、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）
鹿児島大学理工学研究科地球環境科学専攻（中尾茂）

（12）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：http://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/

（13）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、大園真子、山口照寛
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

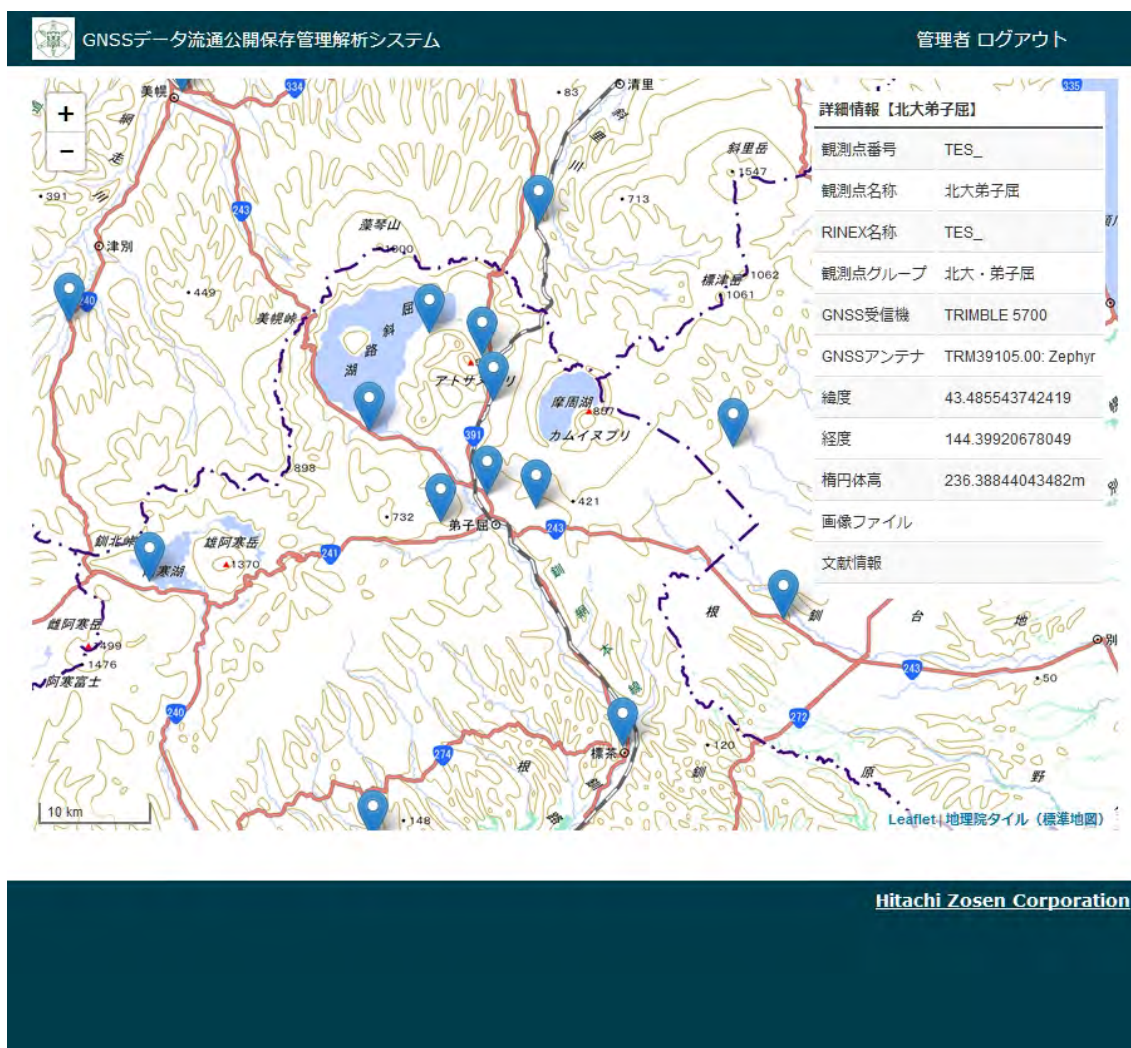


図 1

観測点管理機能の一部。観測点諸元を地図上で確認することが出来る。

GNSSデータ流通公開保存管理解析システム 管理者 ログアウト

観測点一覧

観測点グループ
北大・道北

RTS_logの保存

観測点番号	観測点名称	RINEX名称	観測点グループ	GNSS受信機種通信インタフェース	GNSSデータ提供元	GNSS受信機	GNSSアンテナ	GNSS受信機	有効/無効	画像	文献	コメント
nubs	西室士	nubs	北大・道北	なし	なし	なし	なし	未登録	有効	なし	なし	registraton: Jan 24, 2017
dnnp	勇野富	dnnp	北大・道北	なし	なし	なし	なし	登録済	有効	なし	なし	編集削除
kykw	湧山	kykw	北大・道北	なし	なし	なし	なし	未登録	有効	なし	なし	編集削除
ktk	上野塚別	ktk	北大・道北	なし	なし	なし	なし	未登録	有効	なし	なし	編集削除
jrsn	十六摩	jrsn	北大・道北	なし	なし	なし	なし	未登録	有効	なし	なし	編集削除
srkm	知野	srkm	北大・道北	なし	なし	なし	なし	未登録	有効	なし	なし	編集削除
srks	栗中	srks	北大・道北	なし	なし	なし	なし	未登録	有効	なし	なし	編集削除
mcns	松野町	mcns	北大・道北	なし	なし	なし	なし	未登録	有効	なし	なし	編集削除
hian	真安	hian	北大・道北	なし	なし	なし	なし	未登録	有効	なし	なし	編集削除
ndrk	雲町	ndrk	北大・道北	なし	なし	なし	なし	未登録	有効	なし	なし	編集削除

観測点の新規登録
観測点の一覧登録

Hitachi Zosen Corporation

図 2
観測点管理機能の一部。グループを設定し観測点情報の閲覧編集が可能である。

GARD: GNSS-Automate, Firmware Data processing

表示開始日
2017 / 01 / 22

表示終了日
2018 / 01 / 22

解析キャンペーン
Teshikaga_test1

解析クラス
test

解析観測点
0005 GEONET_弟子屈 (てしかが)

最大値(cm)
10

実行

Postscriptのダウンロード

Hitachi Zosen Corporation

図 3
解析結果表示支援機能の一部。サーバーにアップロードあるいはリアルタイムに送信されたデータの解析結果を表示することが出来る。

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

Lバンド航空機 SAR による革新的火山観測手法の開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 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

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究では、近年の技術進展が目覚ましい航空機搭載型の L バンド SAR を火山観測に応用するため、宇宙航空研究開発機構と共同して、革新的な観測・解析手法の開発を目標とする

< 振幅・偏波解析による定量的火山モニタリング >：

宇宙航空研究開発機構の航空機 SAR システムである PiSAR-L2 の高解像度散乱振幅および偏波に関する時系列データの数値的較にもとづく火山活動関連情報の定量的抽出手法を開発する。

< リピートパス干渉法の実現へのチャレンジ >：

PiSAR-L2 に装備済みの高精度 GPS-INS 航路追跡装置を利用した、航空機リピートパス干渉による地殻変動解析手法の開発をめざす。

< 地殻変動モデル化手法の高度化 >：

マグマ移動、火山性地震、地滑りなどが重畳する複雑な変動場を効果的にモデル化する手法を開発する

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本研究では、実際に桜島および霧島火山群において、Pi-SAR-L2 による航空機 SAR 観測を実施し、取得したデータに基づきながら、高度な火山観測手法の確立を目指す。以下に、実施年度ごとの研究計画を示す。

なお、研究期間中に他の火山が顕著な活動を示した場合は、関係機関と調整の上、それまでの達成成果、予算執行状況等を勘案しながら、活動中の火山に観測対象を変更することも考慮する。

第 1 年次(平成 26 年度)

・Pi-SAR-L および Pi-SAR-L2 のアーカイブデータを利用した、定量的時系列解析手法開発のための予備的検討

第 2 年次(平成 27 年度)

・JAXA が単独で実施する観測(予定地域：桜島・霧島)、を利用したデータ解析

第3年次(平成28年度)

- ・JAXAによる前年次観測結果(予定地域:桜島・霧島)の高次解析
- ・モデル構築の試行

第4年次(平成29年度)

- ・第2回目観測実施(桜島・霧島)およびデータ解析
- ・第1回目および2回目観測結果を使用したDInSAR解析の実施と改善点の洗い出し

第5年次(平成30年度)

- ・DInSAR解析手法の完成と解析結果取りまとめ
- ・地殻変動モデル構築手法の完成と解析結果取りまとめ

(8)平成29年度の成果の概要:

1. PiSAR-L2による観測の実施

本課題では、JAXAが運用する航空機SAR観測装置PiSAR-L2を利用した新たな火山観測手法の開発を目指す。特に、リピートパスによる干渉解析からの火山性地殻変動検出手法を確立することが大きな目標である。そのため、以下で報告するように、今年度は、火山性地殻変動が実際に進行している火山を対象とした新規の観測を行い、それらを用いた干渉解析を実施した。観測実施に際しては、前年度までの成果を生かし、干渉をできるだけ良好に成立させるように各種条件を設定した。

観測は、前年度に絞り込んだ観測パラメータの最適条件に探索結果に基づき、撮影や圧縮処理パラメータを詳細に設定し実施した。対象は、九州に分布する阿蘇山、九重火山、霧島、桜島、雲仙普賢岳である。これらの火山のうち、過去データの存在する阿蘇山、九重火山、霧島、桜島については、干渉処理が可能となるように、同一軌道で、また、今回が初観測となる雲仙普賢岳については、急傾斜地である対象変動域における観測条件が最良となるように、飛行経路や方向を綿密に調整したうえで、多方向から観測した。この新規観測に加え、JAXAが保有する、過去データの中から、干渉解析が可能な国内火山の既観測データを購入した。なお、新規に取得したデータと、過去データを比較することにより、少なくとも、霧島火山については、硫黄山および新燃岳が、また、阿蘇火山周辺については、火山性の変動ではないものの、熊本地震による地殻変動が検出できる可能性がある。

観測は、ダイヤモンドエアサービス社が保有・運用するガルフストリームII型機(図-1,右下)にLバンドの合成開口レーダー送受信装置を装着し、9月6日,7日,19日に実施した(図-1,図-2参照)。9月6日,7日の観測には、研究担当者である村上(北大)と青木(東大地震研)が同乗した。ただし、9月7日は、離陸はできたものの、観測地域上空の悪天候により、飛行が可能なルートに我々を含め多くの航空機が殺到したため、当初設定した飛行コースに対する空域飛行許可が管制から得られず、観測実施を断念した。なお、同日に予定していた観測は、別途、9月17日にJAXAにより実施され、所定のデータを獲得した。

リピートパスによる干渉を前提とした航空機SAR観測は、設定した飛行ルートを逸脱しないように毎回正確に飛行する極めて高度な操縦技術が要求される。GPSと慣性方法装置を統合した高精度航路ガイドシステムの誘導に従い、操縦士は設定飛行コースを10mの精度で再現しなければならない。実際の観測実施中にその運行の経過を見学し、飛行経路保持のための特殊な操縦法によって、比較的頻繁に生じる突然の加速度の変化も体感でき、干渉画像内に飛行方向と直角に出現するほぼ平行な縞状低干渉現象(次節で詳述)の原因推定の検討に有益であった。

2. 霧島硫黄山の多方向観測結果の干渉解析

H29年度に新規にデータ取得した火山の中で、霧島火山硫黄山の活動が比較的活発であり、衛星SAR観測や水準測量が進行中の地殻変動を検出していたため、2014年8月7日,2016年8月4日,2017年9月6日に取得した3方向からのデータを用いて、航空機SAR干渉解析を実施した。解析には、防災科研小澤拓主任研究員が開発しているRINCの(Radar Interferometry Calculation Tools)を使用した。昨年度までの試行的解析から、良好な干渉性の獲得には、主画像(master)と従画像(slave)の詳細位置合わせ(co-registration)の确实性の確保が、鍵になることを確認していた。干渉SARでは、地上の

同一点に対する位相の比較が必要であるため、二枚の画像のオフセットに応じて従画像 (Slave) をリサンプリングし、同一点の対応付けを行ったうえで位相差を計算する。ほぼ真空中を運動する衛星の場合は、飛行軌跡が安定しているため、一般的には座標の関数である画像のオフセットは、座標を変数とする低次の多項式で十分近似でき、2 次関数による平面フィッティングに基づくリサンプリングでも、十分なコヒーレンシーが得られる。しかし、航空機の場合は、飛行航路ガイダンスシステムを利用する結果、空間的な経路はかなり良く再現されるものの、速度を同一に保持することが困難で、上空の風速の変化などにより航空機の飛行速度の均一性が失われる、合成開口処理で生成される SLC 画像には、飛行方向 (アジマス方向) の大きな伸縮が発生する。一方、レンジ方向については、それほど大きなオフセットの乱れは生じない。

これらの問題に対処するため、今回の解析においては、まず、テストデータに対する試行錯誤による探索から、最良の位置合わせを実現させるための標準的な解析手順を作成して、その有効性を確認した後、各ペアについて解析を実施した。その結果、計 6 ペアの全てにおいて、全画面の干渉を成立させることができた (図-3 参照)。しかし、画像内において、コヒーレンシーの良否が均一ではなく、良好な領域と不十分な領域が混在している。まず、レンジ方向については、昨年度の分析結果から、干渉限界軌道距離と入射角 (5° - 70°) との関係から、軌道に近接した入射角の小さい領域は、干渉限界軌道距離も小さくなり、干渉性が急速に悪化することが予想されていたが、今年度解析した 6 ペアにおいても、その性質は、共通して現れていた。これは、SAR の原理的宿命によるもので、当初から対象領域における入射角が最適になるよう飛行ルートを設定して観測することによって回避できる。それ以外には、レンジ方向の干渉性は大きな問題はなかった。

一方、アジマス方向のオフセットの主要な成分は、低次の多項式フィッティングによって完全には近似されず、多くの場合、不規則な短周期成分が残存している。この短周期成分の影響で、2 つの画像の位置合わせが不十分となり、位置のずれが大きい場所では、コヒーレンシーが劣化することが確認できた。現在は、フィッティングとリサンプルには、座標の 2 次関数による多項式近似を採用している。当面の対応として、フィッティング処理を丹念に繰り返すことにより、ある程度のコヒーレンシーを確保し、全てのペアでほぼ全領域での干渉が達成できているが、飛行速度の短周期変化成分に起因すると思われる、干渉悪化領域が、まだ残存している (図-3 参照)。この現象に対する対処法は、スプラインフィッティング法を導入するなど、さらに従画像のリサンプリング手法を高度化することで、改善できる期待があるため、平成 30 年度に手法の開発を実施する。

上述の通り、飛行速度の不均一さに対する対応に改良の余地があり、全画像での均一な干渉は実現できなかったもの、現時点でも、かなりの領域で良好な干渉が達成されており、硫黄山や新燃岳など、地殻変動が進行中の領域で、対応すると考えられるフリッジが確認できる (図-4 参照)。そこで、2017 年に、一時的に活動が高まった霧島火山硫黄山が中心にくるように画像を拡大し、位相変化を分析した (図-5、図-6 参照)。硫黄山周辺では、期間を通じて膨張を示唆する膨張性の地殻変動が共通して現れている。この結果は、衛星 SAR など、他の観測による知見とも整合している。この結果、本課題で目指していた、現実の火山性地殻変動の検出の目標は、一応、達成されたと考える。なお、航空機 SAR の特性を生かし、多方向からの観測が行われており、地殻変動の三次元化を平成 30 年度に試みる。

3. 変動を説明するモデル作成手法の高度化

平成 29 年度は、衛星データを用いて泥火山活動に伴う地殻変動を説明する詳細モデルの作成と御嶽山の水蒸気爆発後の収縮性の変動を水蒸気の放出に伴う減圧現象ととらえ、熱力学的状態を追跡しながら減圧を計算し、地殻変動結果の説明を試みる研究を実施した。これについては、現在も継続中である。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

1. 画像理サンプリング手法の高度化

平成 29 年度の研究の結果，現状の低次多項式近似に立脚する SLC 画像のリサンプリング手法に，改良の余地があることが明らかになった．平成 30 年度は，スプラインフィッティング法を導入するなど，より高度な処理法の適用を試み，さらなる干渉度の向上を目指す，

2．霧島硫黄山の地殻変動解析の詳細化

平成 29 年度は，霧島硫黄山の他方向地殻変動解析を 2014 年，2016 年，2017 年に取得されたデータに対して実施した．2013 年に撮影されたデータも，入手したため，これらを含めた解析を実施するほか，1．で実施するリサンプリング手法の改良による干渉度の改善が達成された場合には，その手法を採用して，全データに対する高精度な解析を実施して，地殻変動データの信頼度を高める．

3．地殻変動三次元成分分解手法の適用

前節の解析対象である霧島では，多方向観測が実施されており，これらのデータに，地殻変動三次元成分分解手法を適用し，地殻変動の三次元化を試みる．さらに，衛星の同時期のデータを加えた統合解析も実施する．

4．他の火山の解析

平成 29 年度の JAXA への業務委託の一環として，他火山の干渉可能ペアデータも多数入手した，それらについても干渉解析を実施して，解析事例数を増やし，干渉性に対する地域性，地表状況等の影響の有無を評価する．

また，これまでは適切な画像が未入手で実施できなかった，振幅および偏波情報を用いた情報抽出手法も試みる．

なお，H29 年度には，雲仙岳の他方向観測を初めて実施した．H30 年度に JAXA が同一軌道で観測を行う場合は，雲仙普賢岳の溶岩ドームの変形解析も実施できる可能性があり，JAXA と協議中である．

5．モデル化の高度化

非弾性現象にも対応するためのモデル作成手法の検討をさらに進める．

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

北海道大学（村上亮，古屋正人）
東京大学地震研究所（青木陽介）
京都大学防災研究所（高田陽一郎）
防災科学技術研究所（小澤拓）
他機関との共同研究の有無：有
宇宙航空研究開発機構 代表者：島田政信

(12) 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：http://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：村上 亮
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 9月6日霧島・桜島・雲仙観測の航路計画図



図-1 9月6日の観測飛行経路

図-2 霧島上空 EW方向観測位置図

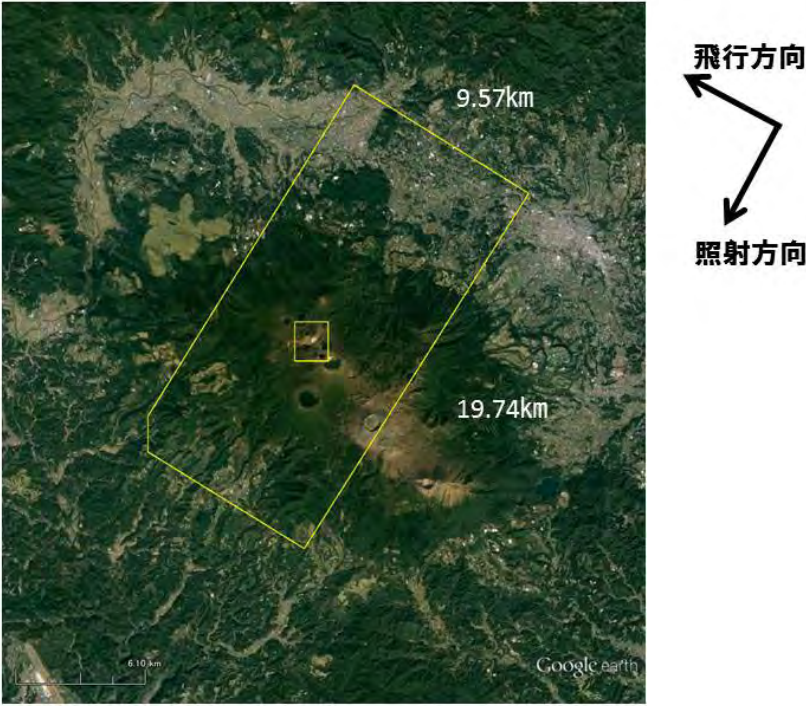


図-2 霧島上空 EW 方向観測位置図

図-3 干渉結果の例(EW軌道:2016-2017)

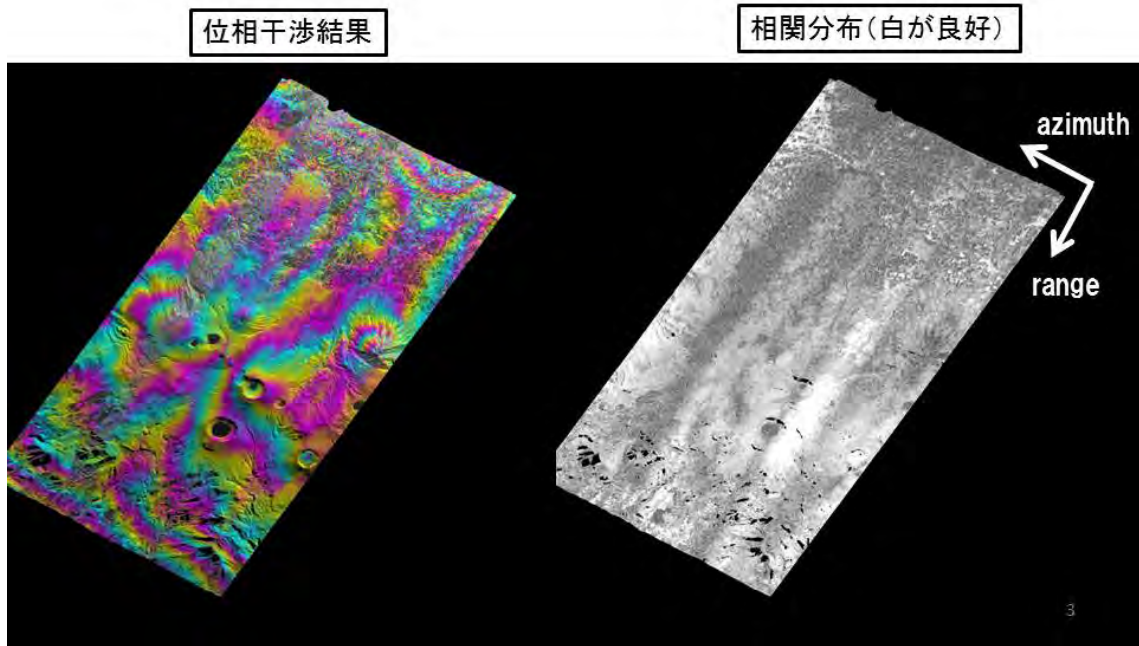


図-3 干渉結果の例(軌道:EW軌道,期間:2016年-2017年)

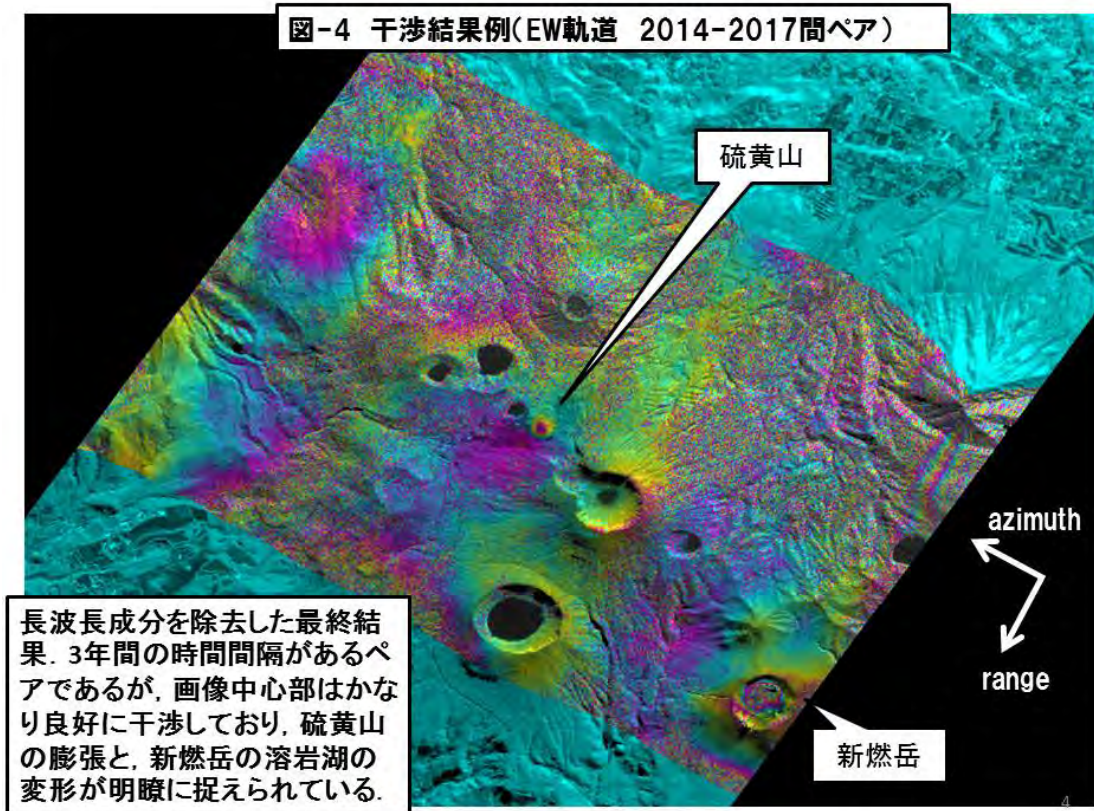


図-4 霧島火山, 硫黄山及び新燃岳を含む干渉結果例 (EW 軌道, 2014-2017 間ペア)

図-5 硫黄山周辺切り出し領域



図-5 硫黄山周辺切り出し領域

図-6 硫黄山周辺干渉図

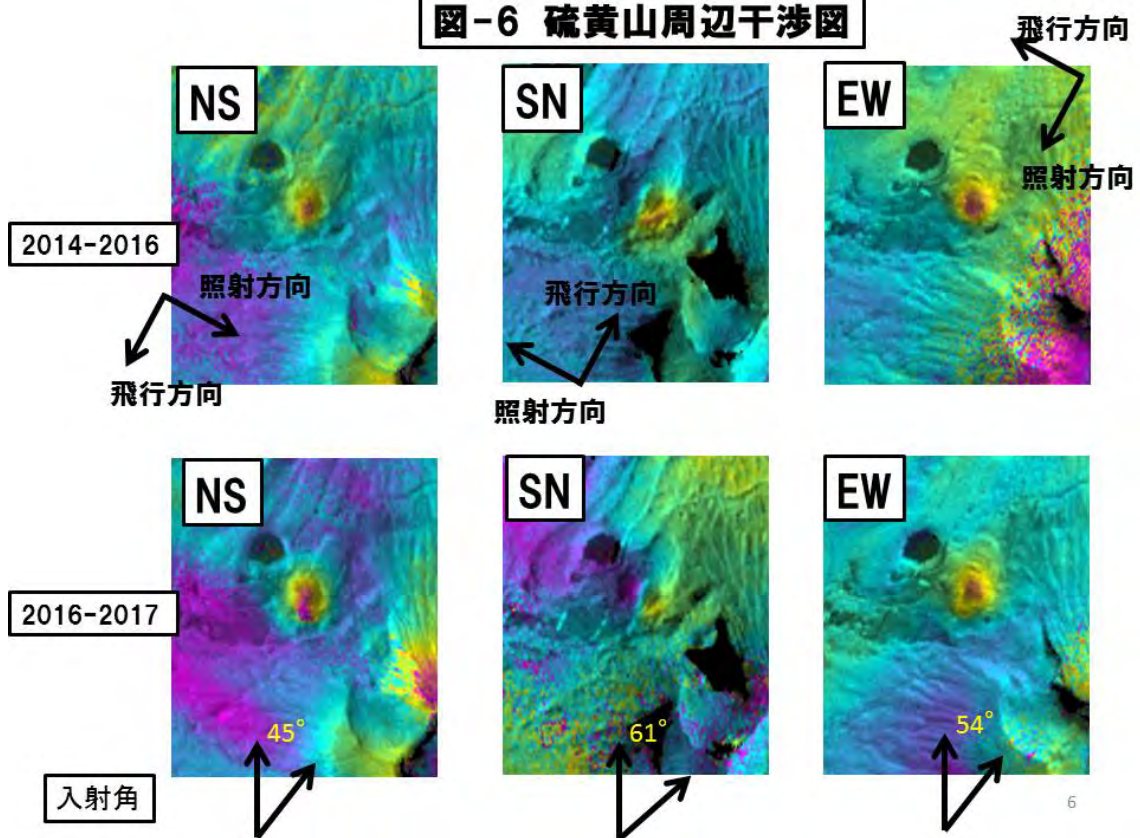


図-6 硫黄山周辺干渉図（軌道：NS,SN,EWの三方向，期間：2014-2016，2016，2017の2時期）

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

準リアルタイム火山情報表示システムの開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(5) 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：

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

火山防災対策は噴火警報等を起点とした避難等の予防対策に始まり、噴火後は被災者救援や二次災害防止等の応急対策に移り、活動が沈静に向かうにつれて避難解除、更に将来の噴火も見据えて復旧・復興対策が進められる。これら一連の対策のなかで、噴火前兆期や噴火活動期に展開される対策は活動推移に左右され、対応を誤ると被害を拡大させるが、その起点となる噴火予測や活動の推移予測の技術は研究・開発途上にある。

一方、国の IT 化推進によって数々の観測情報が(準)リアルタイムに取得できるようになってきた。これら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有用な情報になりえる。

本課題では、火山情報などの防災情報とリンクするインターネットを通して入手可能な関係機関の各種観測情報の準リアルタイムな収集と統合表示を通して、地方公共団体が現況を総合的に把握し、的確な防災対応を行うための支援システムを構築する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

開発研究にあたってはシステムをハコモノ化させないために、情報の受け手として、国内初のハザードマップを作成するなど火山防災において先導的な役割を果たしてきた道内火山周辺の自治体を協力機関に加え、共同して実用的なシステムを目指す。

平成 26 年から平成 28 年までの前半 3 年間は、開発システムを協力自治体に展開し、協力自治体の意見を反映しつつ、事務機の PC でも稼働するマルチプラットフォームで、関係機関のインターネット上のサーバーに負荷をかけない二次サーバー機能を有したシステムにまで機能拡張を進める。

後半の平成 29 年から平成 30 年までの 2 年間は、システムに潜む不具合等を修正しつつ、運用上の課題と解決策、更に実用化への方策について検討する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

昨年度で当初に計画したクライアントプログラムの開発が完了したことから、システム開発に協力をお願いした北海道のほか道内の3市9町の担当者との意見交換会を2017年7月19日に札幌において意見交換会を開催した(写真1)。

午前の部では、まず開発システムが情報を取得している気象庁および防災科学研究所から防災情報提供に関する取り組みが紹介された。次いで釧路市、美瑛町、登別市から活用事例が報告され、担当者は活用事例に興味をもって聞き入っていた。その後、研究計画終了後のシステム運用の問題や今後の計画について説明し、意見交換を行った。

午後の部は「plume 最初の一步」として、Windows へのインストール方法や使い方の説明に当たったが、準備不足もあり、十分に目的を果たすことができなかった。このため要望のあった駒ヶ岳、有珠山および倶多楽火山周辺の市町村については現地に出向いて使い方講習を行った。

活用事例としては、函館市から4月17日夜から18日朝にかけて函館地方に暴風や大しけをもたらした低気圧の来襲に際し、情報収集基盤として plume 画面をプロジェクターでスクリーンに表示し、防災対応にあたったという報告があった。

登別市では、登別温泉大正地獄で2016年11月から断続的に続いている熱泥噴騰活動の迅速な状況確認と対応を行うために業務委託を行っている大正地獄に近い登別国際コンベンション協会に新たにシステムを設置した。

また11月26日に山頂の浅い所を震源とする規模の小さな火山性地震が群発したことに伴い、「火山の状況に関する情報(臨時)」が発表された北海道駒ヶ岳周辺の3町では気象庁からの情報とあわせ活動現況の把握に活用した。

一方、10月3日に有珠山火山防災協議会が実施した「有珠山噴火総合防災訓練」では、plume 画面がスクリーンに映し出され、合同災害対策本部の一角を飾った(写真2)。

この他、システムの有用性を認めた釧路市や函館市、美瑛町ではシステムを複数のPCにインストールしたほか、東北大の配布・支援により磐梯山噴火記念館にシステムが設置された。

システムについては、これまでと同様に、衛星画像や土砂災害警戒メッシュ情報など更新されたページへの対応、川の防災情報の表示やアメダス情報などの設定・観測点選択ダイアログの不具合の修正を行った。また要望のあった高解像度レーダー情報の取得・表示を可能にした。さらにGUIの改善として単独ウインドウによる情報表示や地震波形等WINデータのudp受信機能の実装を進めた。この改良を施したバージョンは年度末の配布を目的に試験運用中である。

配布中のバージョンで取得・表示可能な情報とシステム設置機関を図1に示す。

(9)平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
大島 弘光, 宮村 淳一, 棚田 俊収, 2017, 準リアルタイム火山防災情報表示システムの開発, 2017年度日本火山学会講演予稿集, 250.

(10)平成30年度実施計画の概要:

パワーポイントで作成されている暫定版マニュアルを完成させるとともに、これまで通り不具合等の修正・改良を進める。また使用実績を含めて開発システムの評価と取りまとめを行い、研究終了後の運用体制を整備する。

(11)実施機関の参加者氏名または部署等名:

大島弘光(地震火山研究観測センター有珠火山観測所)

他機関との共同研究の有無:有

気象庁地震火山部 宮村 淳一

(独)防災科学技術研究所 地震防災研究ユニット 棚田 俊収

(12) 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有珠火山観測所
電話：0142-66-4011
e-mail：oshima@uvo.sci.hokudai.ac.jp
URL：http://uvo4.sci.hokudai.ac.jp

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者
氏名：大島弘光
所属：北海道大学大学院理学研究院地震火山研究観測センター有珠火山観測所



写真 1 . 意見交換会において活用事例を紹介する美瑛町（左）と登別市（右）の担当者

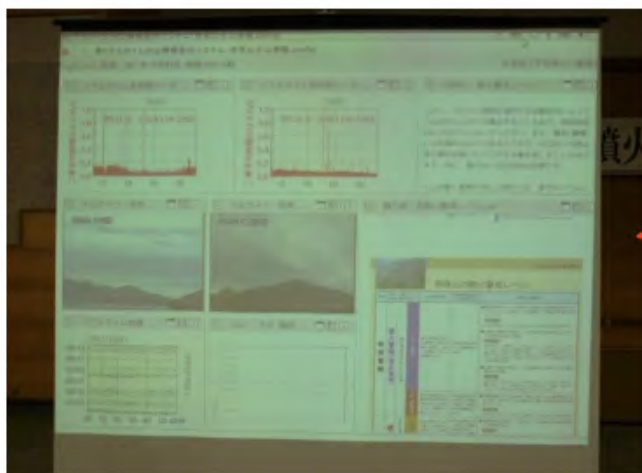


写真 2 . 有珠山火山防災協議会の「有珠山噴火総合防災訓練」において合同災害対策本部の一角を飾る plume 画面

火山	市長村等	地方气象台	気象庁	防災科学技術研究所
恵山	函館市	函館地方气象台	<input type="checkbox"/> 気象警報・注意報・情報 <input type="checkbox"/> 台風情報 <input type="checkbox"/> 土砂災害警戒判定メッシュ情報 <input type="checkbox"/> 時系列予報(天気予報) <input type="checkbox"/> 天気図 <input type="checkbox"/> レーダーナウキャスト <input type="checkbox"/> 降水 <input type="checkbox"/> 竜巻 <input type="checkbox"/> 雷 <input type="checkbox"/> 高解像度降水ナウキャスト <input type="checkbox"/> 気象衛星 <input type="checkbox"/> 標準 <input type="checkbox"/> 高頻度 <input type="checkbox"/> アメダス <input type="checkbox"/> 表形式 <input type="checkbox"/> 図形式 <input type="checkbox"/> 潮位観測情報 <input type="checkbox"/> 火山カメラ <input type="checkbox"/> 降灰予報 <input type="checkbox"/> 噴火警報 <input type="checkbox"/> 噴火速報 <input type="checkbox"/> 火山の状況に関する解説情報 <input type="checkbox"/> 週間火山概況 <input type="checkbox"/> 噴火に関する火山観測報 => 噴火活動時系列グラフ	<input type="checkbox"/> 基盤的火山観測網連続波形画像 <input type="checkbox"/> 火山活動連続観測網 広帯域地震波形画像 スペクトル画像 地震振幅画像 傾斜変化画像 GPS基線長変化画像
北海道駒ヶ岳	森町・鹿部町・七飯町			
有珠山	伊達市・洞爺湖町・壮瞥町	室蘭地方气象台		
倶多楽火山	登別市・登別国際コンベンションセンター 登別パークサービスセンター			
樽前山	白老町			
大雪山	美瑛町	旭川地方气象台		
十勝岳	美瑛町・上富良野町・新得町			
雌阿寒岳	釧路市・足寄町・野中温泉別館	釧路地方气象台		
アトサヌプリ				
	北海道	札幌管区气象台		
道外の配布機関				
気象庁気象研究所				
大分地方气象台				
京都大学阿蘇火山研究センター				
東北大学地震・噴火予知研究観測センター				
磐梯山噴火記念館(東北大が配布・支援)				
山梨県富士山科学研究所				
				北大有珠火山観測所 <input type="checkbox"/> 火山カメラ <input type="checkbox"/> リアルタイム地震波形 <input type="checkbox"/> リアルタイム長周期データ
				川の防災情報(国土交通省) <input type="checkbox"/> 河川水位 <input type="checkbox"/> 降水量
				その他 <input type="checkbox"/> 掲示板

図1 . システムの配布機関(左図)と取得・表示可能な情報(右図)

(1) 実施機関名：

弘前大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地殻流体と地震活動の関係及び過去地震の災害誘因の解明

(3) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(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) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

内陸地震の発生機構の理解のためには、地震発生域の構造やそこでの地震活動の特徴把握が重要であるが、最近は特に地震発生と地殻流体の関係が注目されている。そこで本課題では、2011 年東北地方太平洋沖地震の誘発地震発生域での精密な震源と震源メカニズム解の分布を求め、地震活動の移動現象と地殻流体との関係を明らかにする。また、流体の存在が確実である火山周辺において、火山深部・浅部低周波地震及び高周波地震の観測と解析を通して、低周波地震発生機構、地殻応力場や地震活動との関わりを明らかにし、地震火山相互作用の解明に資する。さらに、2011 年東北地方太平洋沖地震及びその余効変動による応力場の擾乱が地震・火山活動に及ぼした影響についても調べる。

建議では、工学、人文・社会科学分野と連携し、歴史学的な観点も加えて、防災や減災につながる成果を挙げることが求められている。そこで、17・18 世紀に M7 級地震が頻発した青森県の日本海沿岸と内陸地域を対象に、分野横断型の研究を実施する。自然地震及び微動観測データ、及び歴史資料に基づき、強震動が地形・地盤及び建造物の脆弱性とどう結び付いて災害を出現させたかを検討し、地震・火山災害の特性を社会環境の時代的变化に留意して理解する。また、地殻流体に関する知見も加え、地震テクトニクスの背景が共通する他地域での検証と比較し、災害誘因の解明を目指す。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

(a) 地殻流体と地震火山相互作用に関する研究

東北地方北部の誘発地震発生域では、震源を精密に決定して震源移動を明らかにする。低周波地震発生域や、流体の存在が確実である火山周辺においては、波形相関を用いるなどして地震活動を詳細に把握する。また、これらの領域で、震源メカニズム解、地震波速度、地震波散乱強度、及びS波偏向異方性の分布を求める。低周波地震に関しては、アレイ観測により低周波地震の後続波の起源を明らかにし、波形インバージョン等により発生機構の推定を行う。(平成26~28年度)

低周波地震発生域での場の特徴把握を基に、低周波地震の発生を地殻活動全体像の中で理解する。また、誘発地震、低周波地震、火山周辺の地震の震源分布や地震波散乱強度の時間変化を詳細に調べ、東北地方太平洋沖地震発生に伴う地殻の応答、流体の存在と移動、火山が存在することによる構造不均質のそれぞれが地震発生に及ぼす影響と、地震火山相互作用について検討する。(平成29・30年度)

(b) 過去の地震の災害事例の検証

青森県内の地震波速度構造・地震動距離減衰・地盤特性を自然地震観測及び微動探査により把握する。また、青森県の日本海沿岸と内陸で発生した歴史地震の研究を行い、社会環境の時代的变化に留意しつつ被害分布を再検討する。(平成26~28年度)

28年度までに行った地震動距離減衰、地盤特性、及び被害分布の検討を基に、歴史地震の断層モデルの見直しが必要かどうかを検討する。また、歴史地震の分布や断層モデルを、(a)の地殻流体や(b)の地下構造に関する知見、及び同じ日本海東縁部で発生した2004年中越地震・2007年中越沖地震の地震テクトニクス的背景を通して解釈し、災害誘因について検討する。(平成29・30年度)

(8) 平成29年度の成果の概要:

(a) 地殻流体と地震火山相互作用に関する研究

(a-1) 誘発地震の後続波を形成する散乱体位置の推定

森吉山周辺地域においては、地震波の後続波のback-projection解析から、地震波散乱体が森吉山の北西約5km、深さ13km付近に存在するという結果を得ている。本年度は昨年度に引き続き、震源域北方において実施した小アレイ観測のデータのセンブランス解析から、散乱体の位置推定を行った。その結果、散乱体は従来の推定位置よりは森吉山に近い位置に存在することが明らかになった。

(a-2) 誘発地震発生域の異方性

昨年度に引き続き、森吉山地域での臨時地震観測データを用いたS波スプリッティング解析を実施した。速いS波と遅いS波の時間差が0.015秒程度と短いことから、クロススペクトルを用いて、波形データのサンプリング間隔以下の分解能で位相差の読み取りを行なった。その結果、時間差は地震活動度と相関があることがより明瞭になった(図1)。速いS波の偏向方向はメカニズム解のP軸方位とはほぼ直交し、節面の方位と調和的であることが既にわかっている、異方性は誘発地震の断層面によると解釈している。スプリッティングを起こすためには、その面が主応力軸と直交する方向に開く必要がある。時間差と地震活動度の相関も併せて考えると、地殻流体の流入によって既存の断層面が開くとともにその周囲での地震活動度が高まり、やがて流体が拡散することで異方性が弱まり地震活動度が低下する、という解釈が可能である。

(a-3) 深部低周波地震活動の時空間変化と波形の多様性

地殻流体と地震火山相互作用を考える上で、深部低周波地震は重要な研究対象である。本年度は東北日本の10か所を対象に、地震波形のコヒーレンスを用いて地震のグループ化を行い、震源分布との対応を調べた。低周波の地震波は経路での短波長不均質構造の影響を受けにくいにも関わらず、コヒーレンスは高周波地震に比べて明瞭に低い。このことは、低周波地震の震源から出る地震波が地震ごとに異なることを示している。グループ化の結果、低周波地震の波形には、低周波地震共通のメカニズムによる振動、発生地域の特徴を反映した振動、個々の震源の特徴を反映した振動が重なり合っていることが判明した。

(b) 過去の地震の災害事例の検証

活火山である岩木山の北東山麓では、1972年に発生した活発な群発地震に引続く地震活動が、活動

度は低下したものの継続している。その深部の下部地殻においては低周波地震が発生している。また、津軽地方に大きな被害をもたらした 1766 年の地震 (M7 1/4) の震源断層は、特定されていないが津軽平野南部域に存在すると考えられている。そのため、この領域での地殻流体と群発地震、及び過去地震との関連が注目される。

津軽平野での震源分布は、断層の存在を示唆するような面状分布ではなく、ある体積を持つような分布となっている。そこで、この領域を対象に DD 法による震源再決定を行なった。その結果、短期間の地震活動は小さなクラスター内で起こり、時期によってクラスター位置が変動することから、長期間の震源分布は体積を持つように見えることが判明した。この地域では顕著な SP 変換波が観測される。Polarization 解析を基に SP 波の検出と S-SP 時間の測定を行ない、変換をもたらす地震波速度境界の深さを推定した。その結果、境界は津軽平野南縁から中央部に向かって深くなることがわかった。1766 年の地震の被害分布にその構造が影響した可能性がある。さらに、津軽平野周辺域の観測点における連続記録を用いた地震波干渉法解析を開始し、グリーン関数を推定することができた。

以上の成果は、5 か年の計画で予定していた内容に対応し、着実に成果が得られていると言える。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
小菅正裕・野呂康平・増川和真, 2017, 東北日本で発生する深部低周波地震の震源の時空間分布の特徴と地震波形の多様性, 地震研究所彙報, 92, 63-80.

- (10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

- (a) 地殻流体と地震火山相互作用に関する研究

森吉山地域の誘発地震については、波形の相互相関データを用いた DD 法による震源再決定とそれに基づく震源の時空間変動の解明、散乱波の波形の時間変化の解析、及び S 波スプリッティングと地震活動の関係の解明を実施する。これらを総合し、震源位置、散乱波波形、S 波スプリッティングそれぞれの時間変化が、地殻流体の移動によって統一的に説明できるのかどうかを検討する。

低周波地震に関しては、東北日本の広範な地域を対象に、波形のスペクトルの一般性と地域性についての特徴把握を行う。これまでに実施した地震波形による地震のグループ化の結果とも併せて、低周波地震の波形を複雑にする要因の検討を行い、低周波地震発生メカニズム解明への手がかりとする。

- (b) 過去の地震の災害事例の検証

津軽平野南部地域において、波形の相互相関データを用いた DD 法による震源再決定、SP 変換波を用いた地震波速度構造推定、地震波干渉法による浅部地震波速度構造推定を実施する。過去地震の震源位置を仮定して、推定した構造を考慮した震度を計算し、過去地震による震度分布を比較することで、過去地震の震源位置として可能な範囲を特定する。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

小菅正裕・渡邊和俊・片岡俊一・津村浩三 (以上弘前大学理工学研究科)

他機関との共同研究の有無 : 有

- ・ 8 (a) については東北大学 (松澤暢・岡田知己)、秋田大学 (坂中伸也) との共同研究。
- ・ 8 (b) については東京大学地震研究所 (西山昭仁・佐竹健治) との共同研究。

- (12) 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 : 172-39-3652

e-mail : mkos@hirosaki-u.ac.jp

URL : <http://hrsryu.geo.hirosaki-u.ac.jp/>

- (13) 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：弘前大学工学研究科

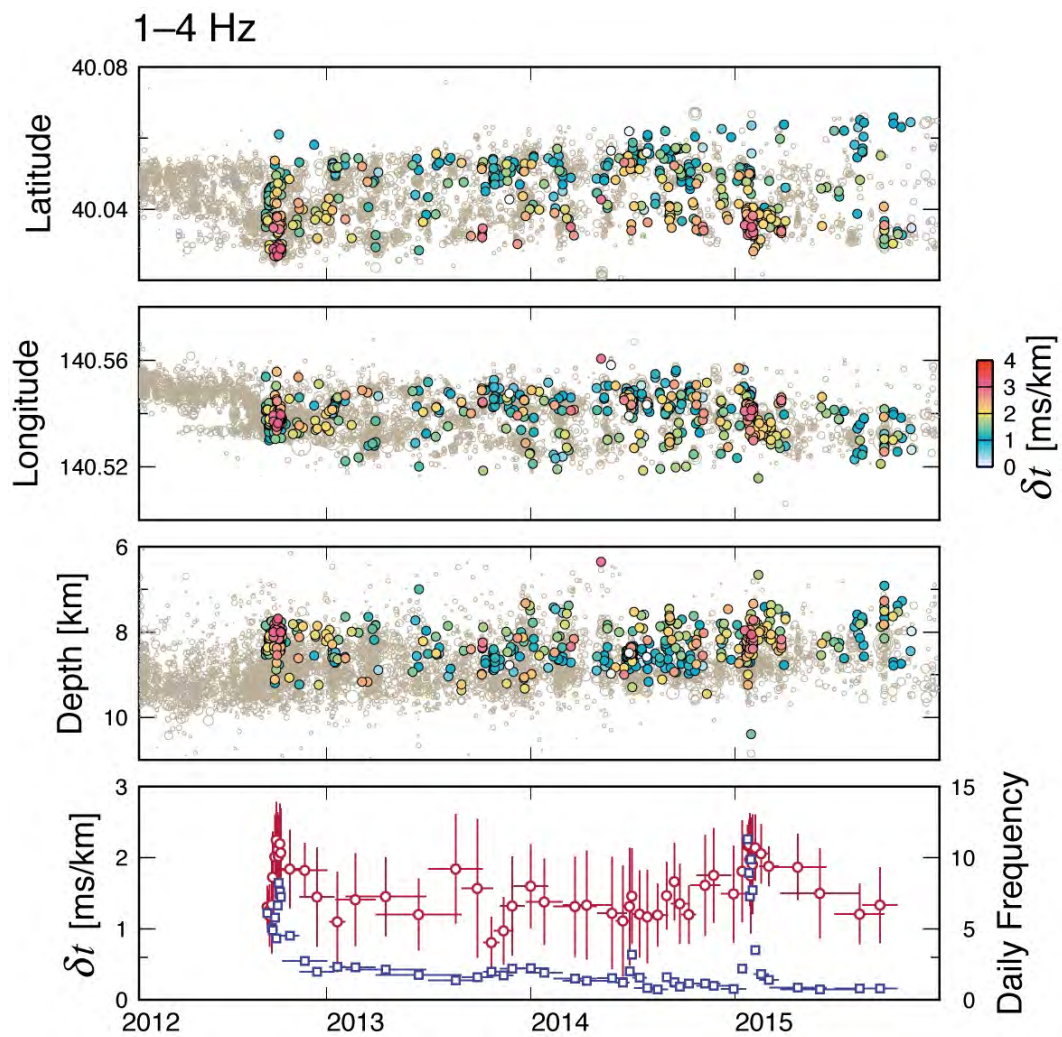


図 1 . 森吉山における震源位置とスプリッティング・パラメータの時間変化。
上から 3 段は震源位置の時間変化で、丸の色は震源距離で企画化した時間差を表す。最下段は時間差 (赤) と日別地震発生数 (青) の時間変化。横棒は時間ウィンドウ、時間差の縦棒は標準偏差を表す。

(1) 実施機関名：

東北大学

(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の解明

(3) 最も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・火山噴火の発生場の解明

イ. 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

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

首都直下地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本課題では、稍深発地震の地震波解析、含水試料による高温・高圧実験および数値シミュレーションによる沈み込み帯の温度モデリングを行う。得られた結果を包括的に比較・検討することで脱水脆性仮説の検証を行い、スラブ内地震の発生メカニズムを解明する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

スラブ内地震の地震波解析によって震源域付近の詳細な地震波不均質構造および震源パラメータの推定を行い、スラブ内地震の地震像を明らかにする。また、高温・高圧条件下での室内実験による含水鉱物の脱水に伴う脆性変形過程を調べることにより、脱水脆性仮説を包括的に検証する。さらに、数値シミュレーションによる沈み込み帯の温度構造モデリングを行い、計算された温度構造と高温・高圧実験結果に基づき含水鉱物の分布と脱水反応の進行場所を推定する。各サブテーマの具体的な計画は以下の通りである。

地震波観測

本課題では、太平洋スラブ内の深さ 200km までの地震を対象に地震波形解析を行い、相対震源決定による高精度震源決定および震源パラメータの推定を行う。得られた結果は、他の沈み込み帯で得られている観測結果と比較・検討し、スラブ内地震に共通してみられる特徴を抽出する。また、東北地方沖合に設置された OBS で観測される後続波(トラップ波・変換波など)の走時や周波数成分の解析により、スラブ地殻の詳細な P 波, S 波速度構造を推定する。得られた P 波, S 波速度モデルから、流体の存在に敏感なパラメータである V_p/V_s 比の空間分布を推定する。さらに、関東下のフィリピン海プレートの詳細な地震波速度・減衰構造の推定を行い、スラブマントル内の地震の分布と不均質構造との関係を検討するし、首都直下におけるスラブ内地震の発生ポテンシャルの評価に資する情報を提供する。

室内実験

稍深発地震を再現できる温度・圧力条件を発生することのできるマルチアンビル型プレスもしくはキューブ型プレスを用いて、蛇紋岩、角閃岩などの含水鉱物の安定領域内、相境界付近、安定領域外にて変形実験を行い、脱水反応と変形組織を比較する。多チャンネル AE 計測により、脱水に伴う AE 信号の震源決定を行い、脱水及びスラブ内条件下での震源過程を調べる。また 6ch 程度の多チャンネル AE 計測システムを構築し、石英ビーズなどを用いて、校正実験を行うことで、実験中の AE 信号が試料内部に決定されることを確認する。様々な変形条件下で変形および脱水反応を起こした場合の AE 信号を測定し、震源決定を行う。その際には、昇温および加圧レートを調整し、脱水反応の速度を調整することで AE 信号の間隔や強度の違いなどを比較する。回収した試料は電子顕微鏡を用いて、変形組織の観察を行う。特に、剪断変形組織(割れ目の幅や変位量)と脱水反応生成物の分布と量(広範囲に不連続的かつ均質に分布するか、連結し局所的な分布をするか?)に注目し、変形条件との比較を行う。AE 計測から推定される震源位置や震源パラメータと脱水鉱物分布及び剪断変形組織の比較から AE 信号の発生源を明らかにし、含水鉱物の脱水反応及び変形の測定により高温・高圧条件下における震源形成過程を明らかにする。

温度モデリング

本課題では、これまでほとんど行われてない 3 次元的な温度モデリングを行い、より現実的な温度構造を推定する。モデル化の際には、プレートの三次元形状や地殻熱流量、沈み込む海洋プレートの年代の地域変化や深海掘削で得られた鉱物組成や含水鉱物の分布などを制約条件とする。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

地震波観測

伊豆半島の約 100 km 北方で発生している孤立した 42 個の地震(深さ 40-90 km)(図の青四角)の震源決定およびメカニズム解の推定を行った。その結果、プレート境界地震と解釈される低角逆断層地震よりも深いところで 37 個の地震が発生していることが明らかになった。それらの地震は沈み込むフィリピン海スラブ内の地震と考えられる。地震発生域の温度や応力状態が周囲の非地震的なスラブと大きく異なるとは考えにくいことから、この孤立した地震活動はスラブの局所的な含水化が原因であると推測できる。

東北・北海道に沈み込む太平洋スラブ内の上面における地震活動について、密集して発生している地震を選び出し、波形を用いた相対震源決定とメカニズム解の決定を行った。その結果、東北地方中央部の深さ 110 km 付近の地震活動において、正断層と逆断層地震が深さ 1 km 以内で近接して発生していることが明らかになった。この特徴は、Nakajima et al. (2013) によって報告されている日本海沿岸したの深さ 155 km で発生している地震活動と同じである。エクロジャイト化に伴う応力変化で地震の発生を説明できる可能性がある。

日本海溝アウターライズ域外縁における太平洋プレート構造を地震探査データに基づき推定した。その結果、沈み込み直前の海洋性地殻第 3 層の下部域において顕著な負の速度勾配をもつことを明らかにした。周辺海域の探査結果および標準的な海洋プレート構造との比較から、こうした速度逆転はアウターライズ域からそのさらに外縁海域の地殻構造を特徴付けることが明らかになった。このよう

な第3層下部の低速度化は、この層を構成するガプロにオリビンが含まれ、かつそのオリビンが含水化することで説明できる可能性があるが、その場合に海溝から離れたアウターライズ外縁でそうした速度低下がどのようなプロセスで起こるかはよくわかっておらず、今後の研究課題である。

室内実験

稍深発地震発生条件を再現できるマルチアンビル型プレスを用いて、東北日本弧などの冷たい沈み込み帯を代表するローソナイトの変形実験を行った。圧力 4.5-5 GPa(深さ 150 km に相当) , 温度 270-900 度において、ローソナイトの脱水条件をまたぐ変形実験からその力学特性と変形組織を調べた。放射光 X 線施設での変形実験から、安定領域内にもかかわらず、ローソナイトは降伏後顕著な歪軟化を示した。回収試料の解析から、 1 から 45 度方向に傾斜する明瞭な断層面の存在と変位が観察された。以上のことから、ローソナイトなどの脆性的な鉱物は高封圧下の脱水を伴わない条件下においても、脆性的な挙動を示す可能性がある。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
Nakajima, J., 2018, Isolated intermediate-depth seismicity north of the Izu Peninsula, Japan: implications for subduction of the Philippine Sea plate, Earth Planets Space, 70:11, doi:10.1186/s40623-018-0779-7.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

地震波観測

東北地方の二重深発地震面の上面・下面の詳細震源決定および地震波速度構造推定を行い、スラブ内地震と不均質構造との関係を検討する。

日本海溝アウターライズ外縁域の太平洋プレートについて、地震探査記録に基づき S 波速度構造および V_p/V_s 比を推定し、その深さ変化や地域変化を周辺測線と比較しながら考察する。

室内実験

放射光施設での高圧変形実験からローソナイトなどの含水鉱物の脱水に伴う摩擦不安定性を明らかにする。特に変形とともに温度が上がる昇温実験と一定温度での実験を比較し、脱水の効果調べる。

温度モデリング

現実的なスラブの形体と斜め沈み込みの影響を考慮した三次元温度構造モデルを推定し、スラブ内地震の分布と比較する。

(11) 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、鈴木 昭夫、矢部 康男、武藤 潤、東 龍介)

他機関との共同研究の有無 : 有

ミネソタ大学(和田育子)

東京工業大学(中島淳一)

(12) 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>

(13) 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 : 大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター

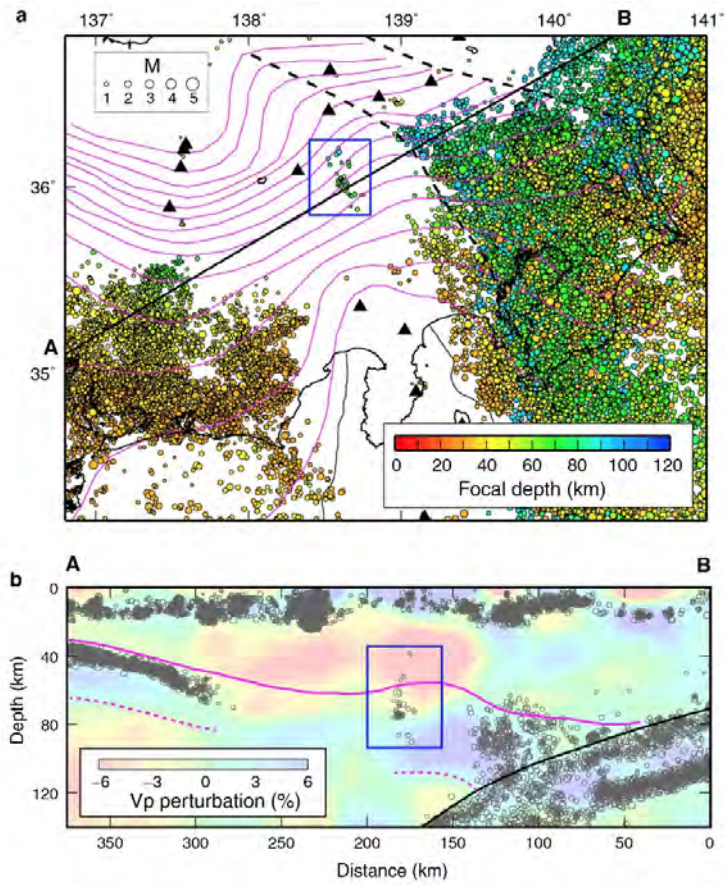


図 1

(上) 中部日本の深さ 30-100 km の地震活動。青色四角の領域の地震を解析した。(下) 測線 A - B に沿う P 波速度構造と地震活動の鉛直断面図。ピンクの実線、ピンクの波線はそれぞれ沈み込むフィリピン海プレートの上
部境界面および想定される下部境界面である。黒実線は太平洋プレートの上境界面をあらわす。

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

蔵王山周辺の総合観測

(3) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(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・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(5) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

蔵王山周辺域において、稠密な地震及び電磁気観測、制御震源による地震波速度構造探査等を実施し、火山体直下の詳細な地震波速度構造や減衰構造、比抵抗構造等を推定することにより地殻深部から火山体浅部における流体分布を明らかにする。また、傾斜観測、GNSS 観測、InSAR 解析、重力観測などにより、火山体変形の時空間的特徴を明らかにするとともに、火山性微動の解析などを通じて火山性流体系の時間発展を検出する。休止期から活動期に入ったと考えられる同火山の活動の推移を精確にモニターすることを通じてマグマ溜まりや火道などの物理的特性、また、その周辺の応力・ひずみの時空間分布を明らかにする。

有史以来の蔵王山の活動は、御釜火口における水蒸気爆発を主たる活動としているが、火口域近傍まで観光客が容易に近づけることから、小規模な水蒸気爆発であっても被害が発生する可能性も高い。また冬季の積雪も多いことから、過去にも融雪雪崩などの災害も引き起こしている。火山流体系の状態を把握するとともに、その情報を行政・地元防災機関と共有し、有効な防災・減災対策に結びつけることを目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要 :

制御震源による地下構造探査実験(平成27年度実施予定)や自然地震の観測により、山体及び周辺域のマグマ供給系の構造を推定し、震源決定精度の向上などに資する基礎データの拡充を図るとともに、火山体構造と山体及び周辺域で発生する地震や火山性微動(深部低周波微動・浅部低周波微動・長周期地震)との関連を明らかにする。また、マグマ供給系近傍のメカニズム解(応力場)分布、地震波干渉法(常時微動トモグラフィ法)、プレート境界地震や火山性地震の中に含まれる相似地震を利用した実体波による解析を実施し、微動等の火山活動に関わるマグマ等の流体の圧力変化や移動等に伴う構造や場の変化の有無に関する検討を行う。

蔵王山は水蒸気爆発を活動の主体としており、火山浅部の熱水系を明らかにするため、AMT探査による電気伝導度構造推定と全磁力観測を行う。一般に熱水系が卓越し水蒸気爆発を起こす火山では爆発前の深部・広域の地盤変動に乏しい傾向がある。電気伝導度構造と全磁力観測を組み合わせることで浅部での熱水だまりの形態や容量と熱変動の時間変化を把握することは災害予測と噴火準備過程把握の上で重要な判断材料となる。測地観測では、平成25年度に蔵王山馬の背に設置予定の傾斜観測を継続し、御釜火口において水蒸気爆発等の火山噴火が発生した際に、その活動に伴う山体変形の基礎的なデータを得る。また、簡単な圧力源モデルを用いて、噴火発生源の定量化を行う。また、GNSS観測、InSAR解析、重力観測などにより、より広域の火山体変形の時空間的特徴を明らかにする。

このようにして得られる結果から、火口流体系の構造および流体移動モデルを構築するとともに、それらの情報を気象庁や地元防災機関などとの共有を行う。また、諏訪瀬島や阿蘇山における先行研究のように噴火前兆現象として数分前からの地盤変動が観測される可能性があるため、このような観測結果を即時的かつ有効な防災・減災対策に結びつける方策を各機関と検討する。

(8) 平成29年度の成果の概要 :

地震観測 : 本課題において展開した臨時地震観測網・既設観測網で得られた記録をもとに、蔵王山直下浅部で発生する低周波地震・長周期地震の解析を継続し、浅部の熱水系及びその時間変化に関する研究を実施した。その結果、これまで長周期地震の振動特性に明瞭な時間変化は見られず、浅部熱水系において顕著な温度あるいは物性的な変化はないと解釈できる。

また、想定火口域近傍に平成28年度に新設した孔井式傾斜計及び併設した地表設置型広帯域地震計のデータ解析から、長周期地震に数分先行して現れる傾斜変動とそれに伴う地盤上下変位の推定を行った(図1)。このような長周期地震や広帯域地震計による噴火に伴う地盤変位の観測例は、阿蘇山などの他の火山でも事例はあるものの、高精度な孔井式傾斜計と同一地点での観測例は少なく、長周期地震源・傾斜変動源の実体解明のために有益なデータとなると考えられる。

さらに、平成27年度に全国の大学と合同で実施した人工地震構造探査で取得したデータの解析を進め、発破完了後の雑微動の連続波形記録の干渉法解析によって、探査のために設置した稠密観測網内を伝播する波動の抽出が可能であることを明らかにした。

今後水蒸気噴火の発生に密接に関連していると考えられる長周期地震源・傾斜変動源の解明をさらに進め、人工地震探査の結果を踏まえた地下構造を明らかにすることで、火山災害軽減に資することが期待できる。

地盤変動観測 : 蔵王山周辺では2018年1月28日から2月初めにかけて数回の火山性微動が発生し、明瞭な傾斜変化が観測された(図2左)。この傾斜ベクトルを使って変動源を推定したところ図2右に紫矩形で示した開口断層が推定された。上端の深さは0.05 km、長さは2.7 km、幅は3.0 km、傾斜角は49°、開口量は0.14 mと推定され、観測データを概ね説明可能であるものの、断層の位置は火山性地震の発生域等ともずれており、さらに検討が必要と考えている。

地球電磁気観測 : 前年度に引き続き御釜周辺で全磁力繰り返し測定を行った。今年度はこれまで本研究課題で実施した4年間の空間変化を集計し、最大6 nTに達する振幅変化の消磁傾向が明らかになった。この変動量を用いて3軸楕円体形状を仮定した熱消磁領域の推定を並列計算コードにより実施した。

御釜火口湖北岸の全磁力連続観測点の計測器をプロトン磁力計からオーバーハウザー磁力計に交換

し、データの精度を向上させた。この観測点では季節変動の振幅が 0.5~1 nT であることが分かったが、これまでの 8ヶ月間のデータから季節変動では説明できない経年変化が重畳している可能性が明らかになってきた。

重力観測：7月10日~12日に絶対重力測定と相対重力測定の組合せによるハイブリッド重力測定を実施した。前年度の測定結果と比較したところ、御釜周辺の測定点で重力値の減少傾向が得られた(図3)

丸山沢噴気の温度・化学組成・安定同位体比及びその他の観測：7月6日と10月4日に丸山沢噴気地熱地帯と濁川と振子沢の合流部付近(旧新関温泉)の現地調査を行った。丸山沢噴気地熱地帯には下部(弱い噴気活動がある変質帯)、中部(弱い噴気活動と温水湧出)、上部(強い噴気活動と温泉湧出)の三つの活動域がある(図4、写真の点線)。下部と中部は2015年頃から温度が上昇傾向にある(図4)。調査を開始した2012年に最も勢いがあつた上部の(5)は、(4)が活動を開始した頃から温度が下がり2017年に活動を停止した。現在、(4)が最も高温で勢いも強い。

8月21日に丸山沢噴気地帯の二地点で噴気を採取した。噴気の特徴として、CO₂濃度が高くH₂O同位体比は天水の値に近いことが挙げられる。SO₂/H₂S比は0.01~0.12と低く、見かけ平衡温度は168~186であった。火山活動と噴気化学組成の一般的な関係を考慮すると、採取された噴気は静穏な火山活動に対応している。観測された噴気のCO₂濃度と安定同位体比は、CO₂を約1%含むマグマ性蒸気と局地天水が16:84の質量比で混合し、170で生じる蒸気相の値と整合的である。今後、火山活動が活発化した場合、SO₂/H₂S比と安定同位体比が上昇すると予測される。

旧新関温泉では、火口周辺警報が出された2015年に30を越える温泉の湧出が再開したが、2016年には湧出量の激減と温度の低下が起こっていた。2017年もほぼ同じ状況だったが、2016年10月26日と2017年10月4日で比較すると、水温は9.1から8.6、pHは3.0から4.2へと変化していた。

9月7日に御釜の湖底に連続記録型温度計を設置し(図5)10月18日にデータを回収したところ、9月末から10月初めにかけての約1週間で2~3の温度上昇が見られた。

- (9)平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
Ichiki, M., et al., 2007, Audio-frequency magnetotelluric, and total magnetic intensity observations in 2014-2016, at Zao volcano, NE Japan, 2017 AGU Fall Meeting, Ernest N Morial Convention Center, New Orleans, USA, Dec. 12th. 2017.
Miura, S., et al., 2007, Monitoring of Volcanic Activity by Sub-mm Geodetic Analyses, 2017 AGU Fall Meeting, Ernest N Morial Convention Center, New Orleans, USA, Dec. 12th. 2017.

(10)平成30年度実施計画の概要：

引き続き観測網を維持し火山性流体移動プロセスのモデル等に必要データの蓄積を進めるとともに、人工地震構造探査のデータ解析をさらに進め、火山体構造・熱水系の詳細を明らかにする。

昨年度までの繰り返し磁気測量データの解析により御釜と丸山沢の中間付近に熱消磁域があることが推定されていたが、この位置の時間的に変化の有無を検討する。また、全磁力連続観測を継続し、御釜北観測点の経年変化が熱消磁に伴うものかどうか等について検証を行う。

また、重力、噴気温度及び化学組成等、御釜湖底温度等の測定を引き続き実施する。

(11)実施機関の参加者氏名または部署等名：

三浦 哲・西村太志・山本 希・岡田知己・太田雄策・内田直希・市來雅啓・土屋範芳・後藤章夫・福島 洋

他機関との共同研究の有無：有

東京大学地震研究所：大久保修平・今西祐一・田中愛幸

東京工業大学：小川康雄・神田 径・中島淳一

気象庁気象研究所・仙台管区气象台：岡田 純

(12) 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.gp.tohoku.ac.jp/

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：三浦 哲

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

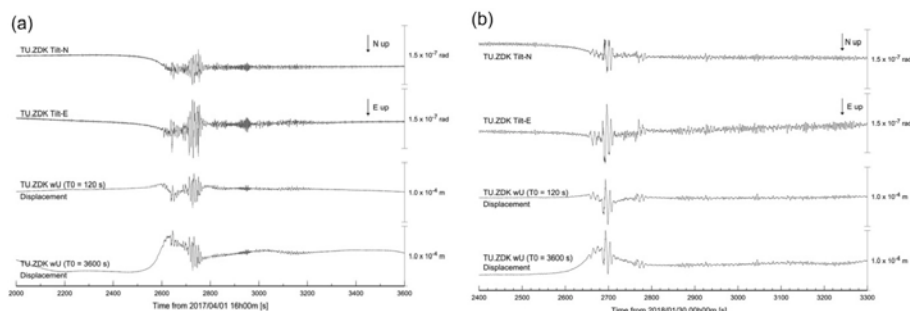


図 1 . 蔵王大黒天観測点 (ZDK) において観測された長周期地震に伴う傾斜変動及び?地動変位 .

(a) 2018 年 1 月 30 日 0 時台及び (b) 2017 年 4 月 1 日 16 時台. Tilt-N, Tilt-E は深度 120m の孔井式傾斜計の南北 , 東西成分 , wU は地表設置広帯域地震計 (固有周期 120 秒) の上下動成分 . 最下段は広帯域地震計の機器特性を補正した変位波形 . 長周期地震の発生に先行する傾斜・変位及び?両者の静的変化か?見られる .

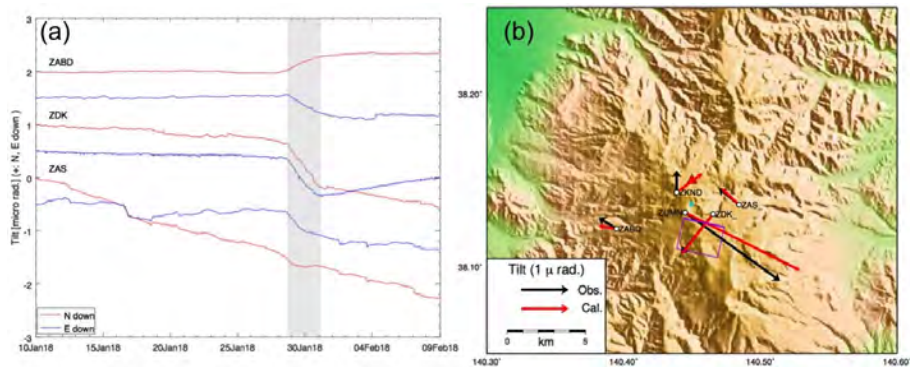


図 2 . (a) 蔵王山周辺の傾斜観測点における 2018 年 1 月 10 日 ~ 2 月 9 日までの傾斜変化 . 赤が北下がり , 青が東下がり成分を示す . (b) 1 月 28 日から 1 月 30 日までの期間の傾斜変化 (黒矢印) を用いて非線型逆解析によって推定された開口断層モデル (紫矩形 , 太線が上端) 及びモデルから計算された傾斜変化 (赤矢印) . 開口断層の上端の深さは 0.05 km , 長さは 2.7 km , 幅は 3.0 km , 傾斜角は 49 ° , 開口量は 0.14 m と推定された . 推定には開口矩形断層 1 枚のみを仮定し , 地形効果も考慮されておらず , 暫定的な結果である . 水色の丸印は御釜の位置を示す . [解析には気象庁坊平 , 熊野岳の傾斜データを使用した .]

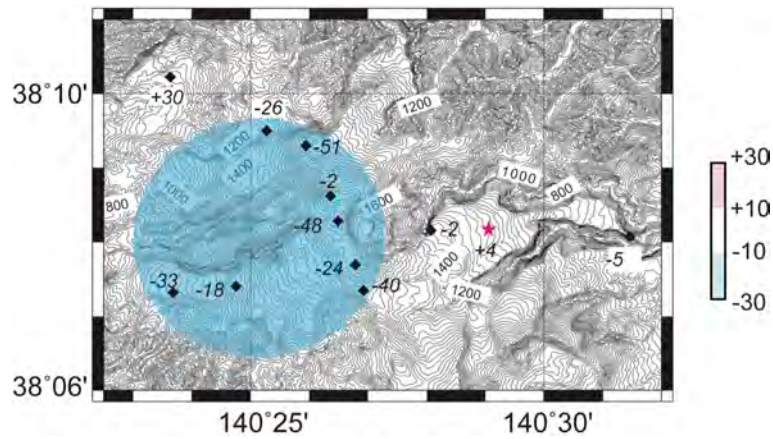


図3. 蔵王山周辺のハイブリッド重力測定による2016年7月~2017年7月の期間の重力変化. 赤星で示した東北大学蔵王火山観測所において絶対重力測定を実施し,そこを基準として菱形の測定点において相対重力測定を実施した.数値の単位は μgal である.

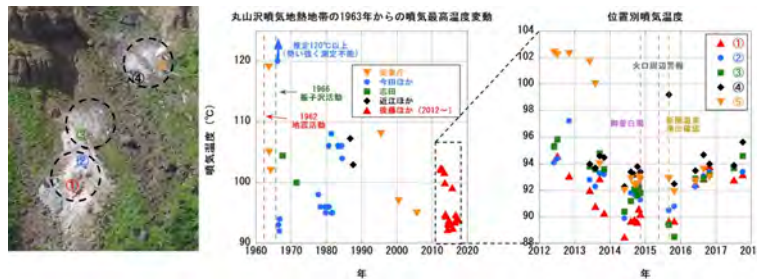


図4. 蔵王山丸山沢噴気地帯における温度測定結果. この噴気地帯には下部(弱い噴気活動がある変質帯)、中部(弱い噴気活動と温水湧出)、上部(強い噴気活動と温泉湧出)の三つの活動域があり(左図、写真の点線),下部と中部は2015年頃から温度が上昇傾向にある(右図)。調査を開始した2012年に最も熱いがあった上部の(5)は、(4)が活動を開始した頃から温度が下がり2017年に活動を停止した。現在、(4)が最も高温で勢いも強い。

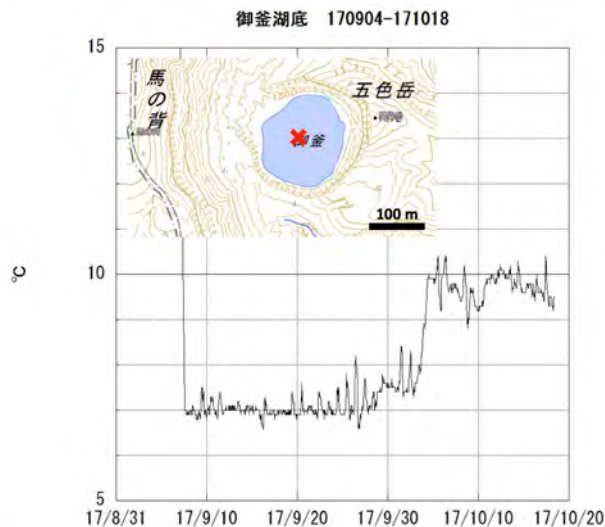


図5. 蔵王山御釜湖底中心部に設置した温度計で記録された水温変化.

(1) 実施機関名：

東北大学

(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の解明と予測

(3) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(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・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究では、観測から求められている東北日本弧の弾性・非弾性構造を、実験的アプローチと連携してより物性的不均質にまで踏み込んで明らかにし、その中で進行する変形過程を観測・シミュレーションの両面から明らかにすることで、内陸地震断層域への応力載荷プロセスの理解を深める。

2011 年東北地方太平洋沖地震の後、大きな余効変動が捉えられており、これは余効滑りと粘性緩和の両方の影響が入っている。この粘性緩和の影響を分離して推定できれば、粘性係数の分布が推定でき、地震波トモグラフィの結果とあわせてレオロジー構造を構築することができる。このレオロジー構造を用いてシミュレーションすることにより、どこにどのように応力・歪が集中するのかを推定し、これと実際の地震活動・測地データと比較することにより、モデルの検証・改良を行うことができる。低粘性の領域が推定された場合、その原因としては、温度・流量・岩石組成等の違いが考えられる。

電磁気学的知見と地質学的知見も総合することによって得られた不均質構造の生成原因の推定も行うことができると期待される。

本課題では、上記のような観点から、2011年東北地方太平洋沖地震後の余効変動・余震活動を調べ、さらに詳細な地震波速度・比抵抗の3次元構造を推定し、これらを比較することにより、東北日本弧のレオロジー構造を構築し、数値シミュレーションによってモデルの検証・改良を行う。さらに地殻流体と地震活動の移動との関係を明らかにする。

得られた構造に基づきシミュレーションによって推定された応力・歪の時空間変化と、地震・火山活動の時空間変化との比較を通じて、今後の内陸地震や火山噴火の発生ポテンシャルの評価に資することを本研究の目的とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

地震観測

- ・2011年東北地方太平洋沖地震の余震・誘発地震活動を把握するために設置された臨時・地震観測点およびそれ以外の臨時観測点を再編成して地震観測を継続(H26~30年度)
- ・いわき地域~猪苗代湖南部(H26~27年度)と猪苗代湖南部~新潟県三条市(H28~29年度)の測線において、それぞれ60点の臨時地震リニアアレイ観測を実施。
- ・これらの結果に基づき東北日本弧の上部地殻~最上部マントルにかけての地震波速度・減衰・異方性構造、詳細な震源分布を推定(H26~30年度)
- ・微小地震クラスター内の震源移動の検出、繰り返し地震のコーダ波解析、波形干渉法解析等を通して、地殻流体に関わる地震発生場の時間変化の検出を試行(H26~30年度)
- ・応力テンソルインバージョンにより、応力の時空間変化を推定(H26~30年度)

測地観測

- ・2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動を把握するために設置された臨時GNSS観測点およびそれ以外の臨時観測点を再編成してGNSS観測を継続(H26~30年度)
- ・東北地方と北海道太平洋岸において、ハイブリッド重力観測を実施(H26~30年度)
- ・以上の測地観測から、変形場や応力場の時空間発展を詳細に解明(H26~30年度)

電磁気観測

- ・いわき誘発地震域~中越地震震源域に至る領域で、広帯域MT法観測を実施するためのサイトサーベイを実施(H26年度)したのち、MT法観測を順次実施(H27~29年度)
- ・既存のデータと上記の観測結果により東北地方の広域の3次元比抵抗構造を推定(H26~30年度)

レオロジーモデリング

- ・粘性構造推定のため、岩石変形機構を明らかにする実験的研究を実施(H26~30年度)
- ・内陸の粘弾塑性応答のシミュレーションコードを開発(H26~27年度)
- ・地震学・測地学・電磁気学的知見と物質科学的知見や素過程の実験的研究を融合することにより、岩質・温度・流体量等の分布を推定し、地殻・マントルのレオロジーモデルを構築(H28~29年度)
- ・プレート境界面上の滑りの時空間変化を境界条件として与え、上記のレオロジーモデルを用いた、余効変動の数値シミュレーションを実施し、実際の歪分布や応力テンソルインバージョンの結果と比較することにより、モデルを改良(H29~30年度)
- ・北茨城いわき地方の地震活動の時空間発展が説明可能な震源域スケールでのレオロジー構造を推定し、いわき内陸地震の発生過程を説明するモデルを構築(H30年度)
- ・東北地方太平洋沖地震発生時及び発生後の活断層や活火山の周辺の歪・応力変化をシミュレーションによって再現し、さらに、その外挿として、今後の歪・応力分布を推定することにより、内陸地震や火山噴火の発生ポテンシャルを検討(H30年度)

(8) 平成29年度の成果の概要：

地震観測

2011年東北地方太平洋沖地震(以下、「東北沖地震」と呼ぶ。)後に活発化した内陸群発震源域での応力場を求めた(図1)。累積個数図に示すように地震活動は低下しているが、応力場は変化しておらず、東北沖地震の影響が未だに残っていると考えられる。

阿武隈山地南部では、東北沖地震後の1ヶ月後の4月11日に福島県浜通りの地震(M7.0)が発生した。稠密地震観測網で観測された自然地震波形を用いて、逆VSP(Vertical Seismic Profile)解析による地殻内のS波反射面のイメージング解析を行った(図2)。顕著な2つの反射面群のうち、反射面1は深さ15-20kmの地震活動域下部に求められ、これは先行研究によって低速度・高ポアソン比とされる領域の上端に位置するため、この反射面は殻内流体の存在を強く示唆し、そのすぐ上に地震活動域が存在することから、これらの地震活動は地殻流体によって引き起こされた可能性が考えられる。一方、反射面2はその深さからモホ面であると考えられる。

ニュージーランド南島北部で発生した、2016年カイクウラ地震の本震発生前後で行われた臨時地震観測のデータを使用して、地震の発震機構解から地震前後の応力場や強度を求めた。その結果、本震前後での応力場の主軸方向の変化は大きくなく、日本などで行われた既往研究と比べて差応力が大きい可能性があることがわかった。また、震源域の地震波速度構造を臨時地震観測データから推定した結果、流体の存在域を示している可能性のある地震波低速度域が本震の震源付近に確認できた。

測地観測

東北地方太平洋沖地震前の2010年1月1日から2011年3月8日までの期間の北海道のGNSS速度データ(図3a)に対してクラスタ解析を適用し、地殻変動の特徴の抽出を試行した。その結果、オホーツクプレートの運動を代表とするクラスタ(図3b 橙)と太平洋プレートとのプレート間カップリングによるプレート内変形の影響を強く受けているクラスタ(図3b 赤、青)が得られ、クラスタ境界は既存断層系や先行研究によるブロック境界と良い一致が見られた(図3c)。南東部では逆断層性のクラスタ境界が得られ、地質学的な前弧スリバーの南西端の位置とも概ね一致していた。

東北地方の5点及び北海道太平洋岸の3点、及び関東地方2点で、精度1マイクロガル程度の高精度絶対重力測定を実施した。そのうちの仙台、江刺(岩手県)、筑波山について、2011年以降の重力及び楕円体高の時間変化を図4に示す。2011年~2014年に見られていた隆起と重力減少の対応関係が、2014年以降は消失していることがわかる。このことは2014年ごろから粘弾性効果が次第に顕著になったことを強く示唆する。2017年5~7月に、東北全域及び北海道の太平洋岸の約60点で、精度10μガル程度のハイブリッド重力観測を実施した。2012~2014年と、2014~2017年の2つの期間について2年間の重力変動を図5に示す。2014年を境に空間的な重力変動パターンも大きく変わっていることがわかる。

電磁気観測

山形-宮城横断測線について、過去の大地震震源域に隣接する岩手県南部の前弧側、北上川下流周辺のデータを集中的に解析した。過去に比較して観測点密度を飛躍的に向上させたデータにより、北上低地帯を円環に回るような固定化された地電流空間構造を詳細に解明した。広い周期帯に渡ってこの電流チャネリングは保存され、詳細な比抵抗構造の推定が阻害されており、比抵抗構造推定の為、この電流チャネリングを如何に取り除くかが今後の課題である。

新潟-福島横断測線については、平成27-29年度に、阿賀野市-鮫川村、阿賀野市-石川町、五泉市-埴町の3測線のデータを取得し、また本年度は補完観測も行った。さらに、2009-2010年にひずみ集中帯事業で取得された村上市-相馬市の測線のデータ再解析も開始した。阿賀野市-鮫川村の測線では、前弧側の郡山盆地と阿武隈高地との境にあたる領域の地下10~30kmに低比抵抗領域が決定されていたが、その北側の村上市-相馬市の測線での位相テンソルによる擬似断面を作成した結果、福島と宮城の県境付近の前弧域には低比抵抗域は存在しないことが示された(図6)。

レオロジーモデリング

Barbot et al. (2017) による Unicycle というプログラムを使用し、Tomita et al. (2017) で報告された2016年までのデータを元に、東北沖地震の余効変動のモデリングを行った。定常粘性には、Horiuchi and Iwamori (2016) による沈み込み帯のコーナーフローを含む温度構造を使い、カンラン石のべき乗流

動則と Burgers レオロジー、および速度強化摩擦則による応力依存の余効すべりをモデル化している。図 7 に示すように、本モデルにより、水平方向・上下方向ともにデータをよく再現できている。

また、不均質レオロジー構造(図 8a)を考慮した地表上下変動のモデル化を通じて、2011 年東北沖地震前約 100 年間続いていた東北日本前弧域の大きな沈降(3-4mm/yr; 図 8b)のメカニズムの解明を試みた。有限要素法を用いて巨大地震サイクルのモデル計算を行った結果、浅部アスペリティの固着が数百年にわたり継続することで、マントルウェッジ及びプレート境界深部の粘性剪断帯における粘弾性緩和の進行により、プレート境界深部のすべり欠損レートが時間とともに増加するという結果が得られた。それにより前弧域は巨大地震サイクル後半にかけて沈降速度が増加していき、一方、巨大地震後 50-100 年は、地震後の粘性剪断帯における粘弾性緩和に律速される長い時定数の余効すべりが生じることで、前弧域に大きな隆起(0.5-1.5m)が生じる事が示された(図 8c)。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Ogawa, Y., and M. Ichiki, 2017, On the supercritical fluid under the brittle-ductile boundary imaged by magnetotelluric studies in NE Japan, 39th New Zealand Geothermal Workshop, Rotorua, New Zealand, 2017.11.22-24.
- Okubo, S., X. Zhang, Y. Tanaka, Y. Imanishi, S. Miura, S. Ueki, H. Oshima, T. Maekawa, K. Okada, and M. Ando, 2017. Afterslip and viscoelastic components observed in surface gravity change after the 2011 Great Tohoku earthquake, in Joint Scientific Assembly of the International Association of Geodesy and the International Association of Seismology and Physics of the Earth 's Interior, pp. J05?P?09, Kobe International Conference Center.
- Saito, Z., Y. Ogawa, M. Ichiki, H. Satoh, Y. Kinoshita, A. Suzuki, and P. Amatyakul, 2017, 3D magnetotelluric imaging of fluid distribution in a seismogenic region, Miyagi, NE Japan, JpGU-AGU joint meeting, Chiba, 2017.5.23.
- Saito, Z., Y. Ogawa, M. Ichiki, and H. Satoh, 2017, 3d distribution of fluids and their origins in a seismogenic zone, Northern Miyagi, NE Japan, IAG-IASPEI 2017, Kobe, 2017.8.2.
- 佐藤将, 2017, ニュージーランド南島北部の 2016 年カイコウラ地震震源域およびその周辺における応力場の推定, 東北大学修士論文.
- 白田優太, 2018, 反射法解析を稠密アレイ自然地震記録に適用した阿武隈山地南部の地殻構造の研究, 東京大学修士論文.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

地震観測

これまでと同様に、東北沖地震後の内陸地震震源域での震源・構造・応力場の時空間変化を追跡するとともに、5 年間の研究の総括を行う。また、観測点の一部撤収を行う。

測地観測

新潟市からいわき市に至る GNSS 稠密測線において、東北地方太平洋沖地震後の余効変動を詳細に調べ、粘弾性構造等について検討を行う。東北全域及び北海道の太平洋岸の約 60 点でハイブリッド重力観測を継続する。また、3次元粘弾性モデリングにより、重力変動の結果の説明を試みる。

電磁気観測

山形 - 宮城の測線では、電流チャネリングの問題を解決すべく対策を講じる。

新潟 - 福島 of 測線では、平成 27-29 年度にかけて実施した 3 測線と新潟村上市から福島県相馬市の測線についてデータ解析を継続する。位相の反転が見られた観測点について、観測点周辺で電場のみの測器も併用した面的な観測を実施し、その原因究明を図る。本計画の全 3 測線で得られたデータと前期計画で観測を実施していたいわき - 北茨城のデータをあわせ、南東北地域の背弧(新潟平野)から前弧(いわき - 北茨城地域)に至る 3 次元比抵抗構造の推定を行う。構造と震源分布、反射面分布

や地震学的構造との相関を調べることから、地下の流体分布推定の精密化を図ると共に、いわきの地震活動を引き起こした原因について考察を深める。

秋田・岩手の測線では、今年度実行できなかった、秋田県内の広帯域 MT データの 3 次元解析を行い、広域的な比抵抗構造から、森吉山の地震活動など個々のローカルな地震活動の発生原因について考察する。

レオロジーモデリング

東北沖地震後 5 年間で余効変動のモデリングから、粘弾性緩和と応力依存余効すべりの詳細な評価を行い、べき乗レオロジー特性を評価する。

マントルウェッジの温度構造・含水量分布・蛇紋含化などを考慮したレオロジー構造モデルを用いた東北日本弧における応力場のモデル化及び東北沖地震サイクル間での応力変動のモデル化を行い、観測されている応力場との比較を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東北大学 : 岡田知己・太田雄策・三浦哲・市來雅啓・矢部康男・内田直希・松澤暢・高木涼太・吉田圭佑・武藤潤・趙大鵬・豊国源知・山本希・遠田晋次・他計約 20 名。

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学地震研究所 : 岩崎貴哉・平田直・小原一成・上嶋誠・飯高隆・酒井慎一・平賀岳彦・蔵下英司・五十嵐俊博・福田淳一・小河勉・大久保修平・今西祐一・田中愛幸・他計約 20 名。

・地震観測は北海道大学(勝俣啓・高橋浩晃)、弘前大学(小菅正裕・渡邊和俊)、名古屋大学(山中佳子・加藤愛太郎)、京都大学防災研究所(片尾浩・飯尾能久)、九州大学(松島健・松本聡)、鹿児島大学(宮町宏樹・後藤和彦)、防災科学技術研究所(武田哲也・浅野陽一)をはじめとした全国連携の共同研究。

・GPS 観測も北海道大学(大園真子)をはじめとした全国連携の共同研究。

・重力観測は北海道大学(大島弘光)との共同研究。

・電磁気観測は秋田大学(坂中伸也)・東京工業大学(小川康雄)との共同研究。

・シミュレーションについては、建築研究所(芝崎文一郎)との共同研究。

・データ解析については東京工業大学(中島淳一)、JAMSTEC(飯沼卓史)との共同研究。

(12) 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/>

(13) 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附属地震・噴火予知研究観測センター

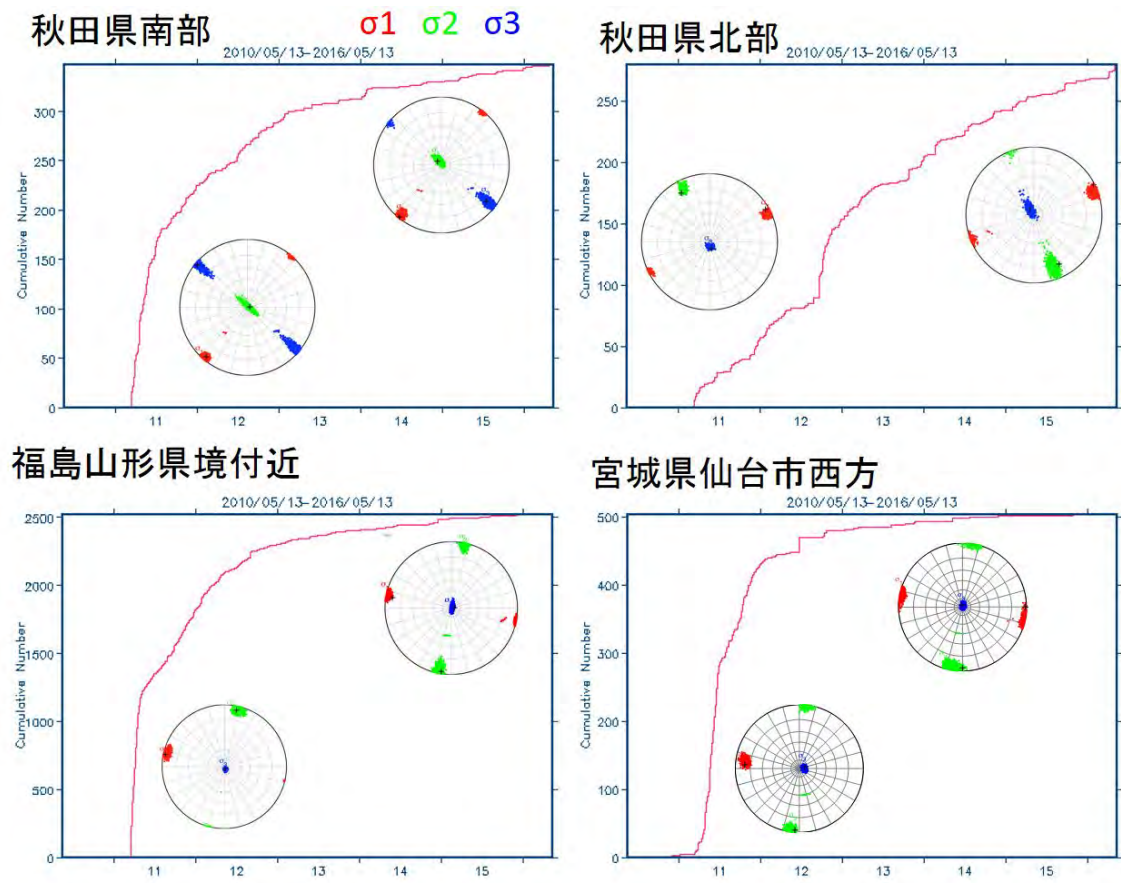


図 1 . 東北沖地震後に活発化した内陸群発震源域での応力場。
 各領域の M2 以上の地震の累積個数と、2011 年 (左) ・ 2016 年 (右) の応力場 (赤 : σ_1 , 緑 : σ_2 、 青 : σ_3) の 95% 信頼区間を示す。

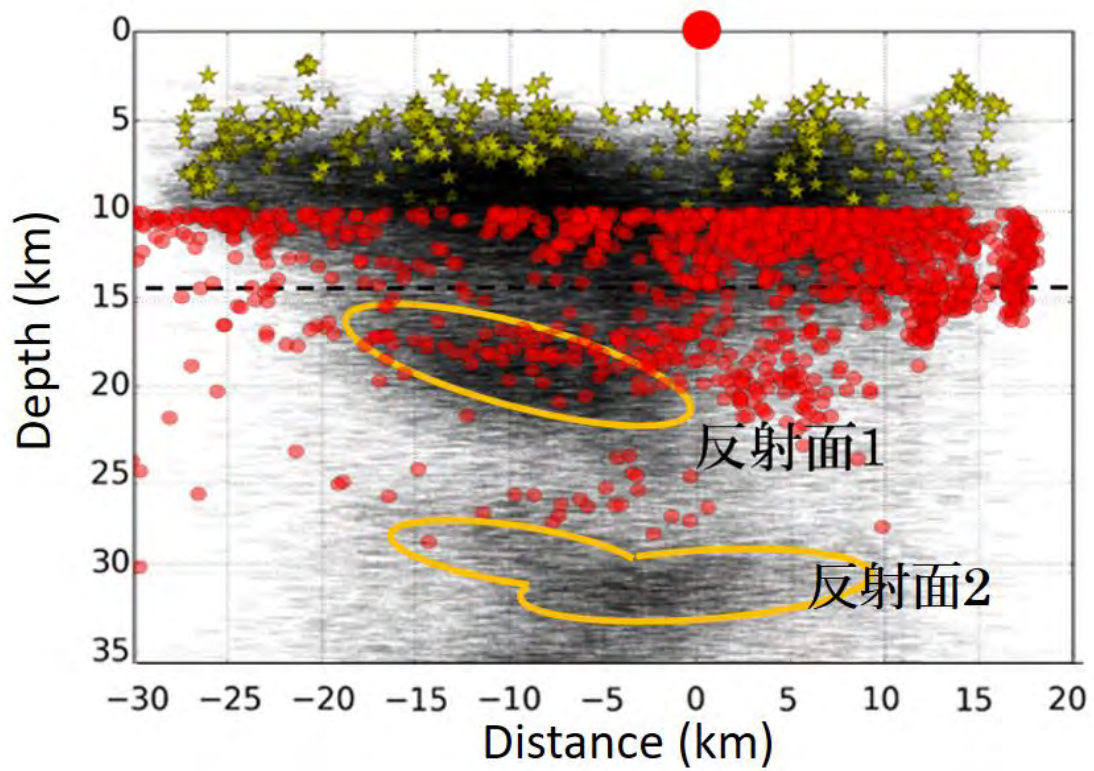


図2．阿武隈山地南部における逆 VSP 解析による S 波反射波イメージング解析の結果。
 2011 年 3 月 11 日から 2016 年 3 月 11 日における M2 以上、10km 以深の地震の震源分布を小赤丸で、反射波を同定した地震の震源分布を黄色星印で示す。

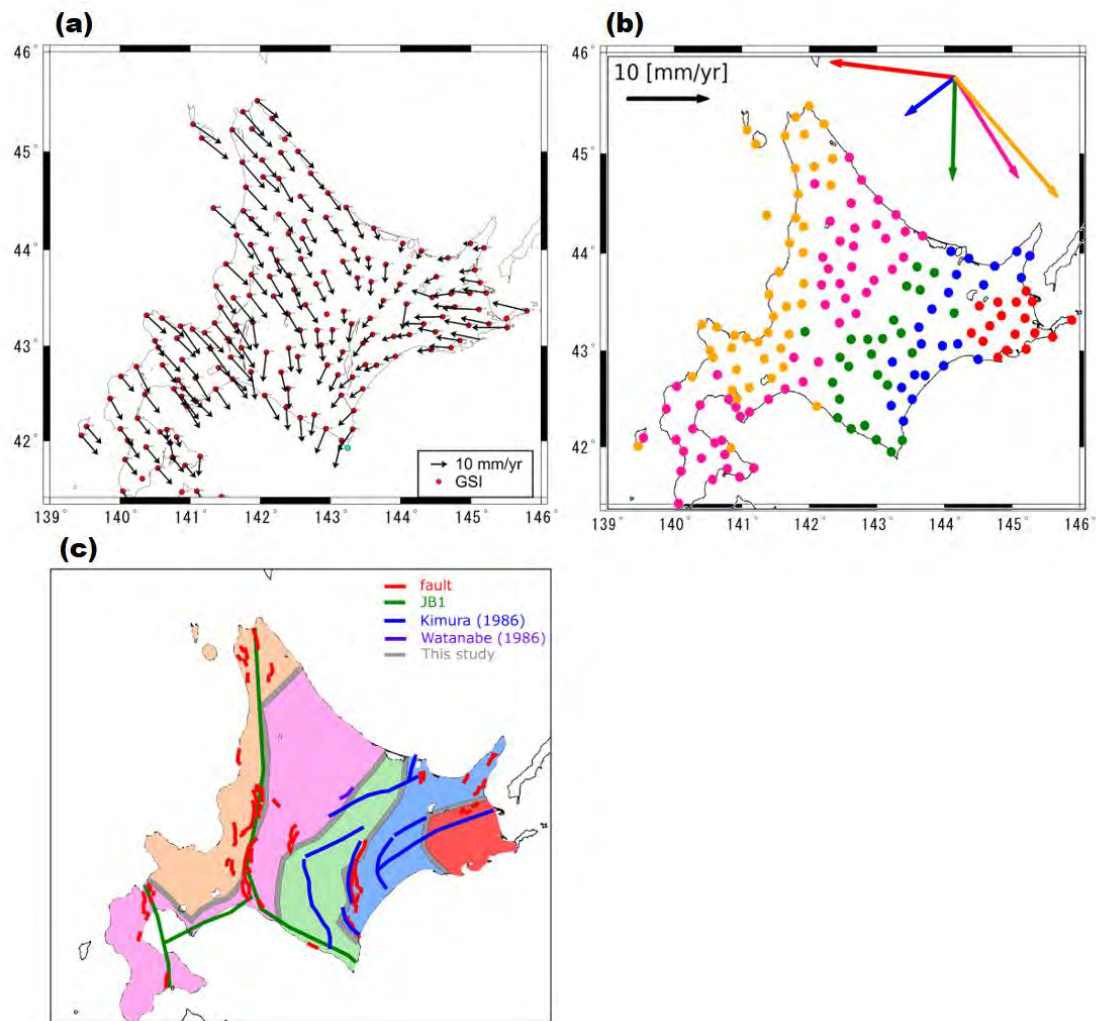


図3．北海道におけるGNSSデータのクラスタ解析。

(a) 2010年1月1日から2011年3月8日までの期間の北海道のGNSS速度データ。(b) クラスタ解析法を適用した結果。(c) 本研究によって得られたクラスタ境界(灰色)と既存断層系や先行研究によるブロック境界との比較。

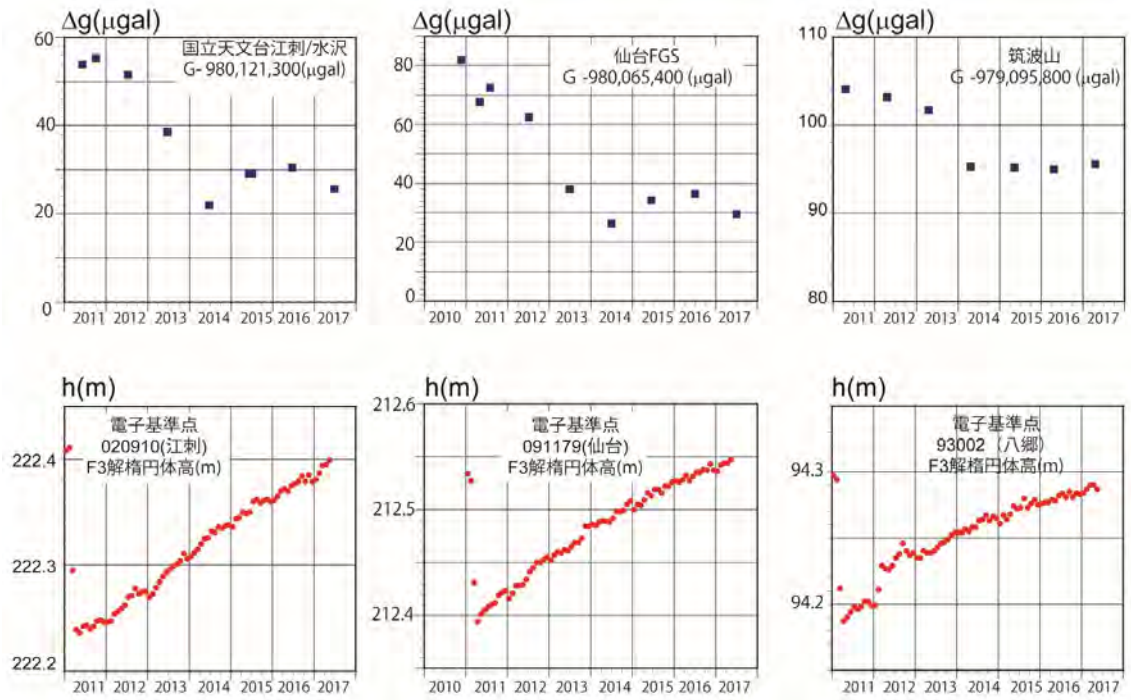


図4. 江刺、仙台、及び筑波山における、重力変化と上下変動。

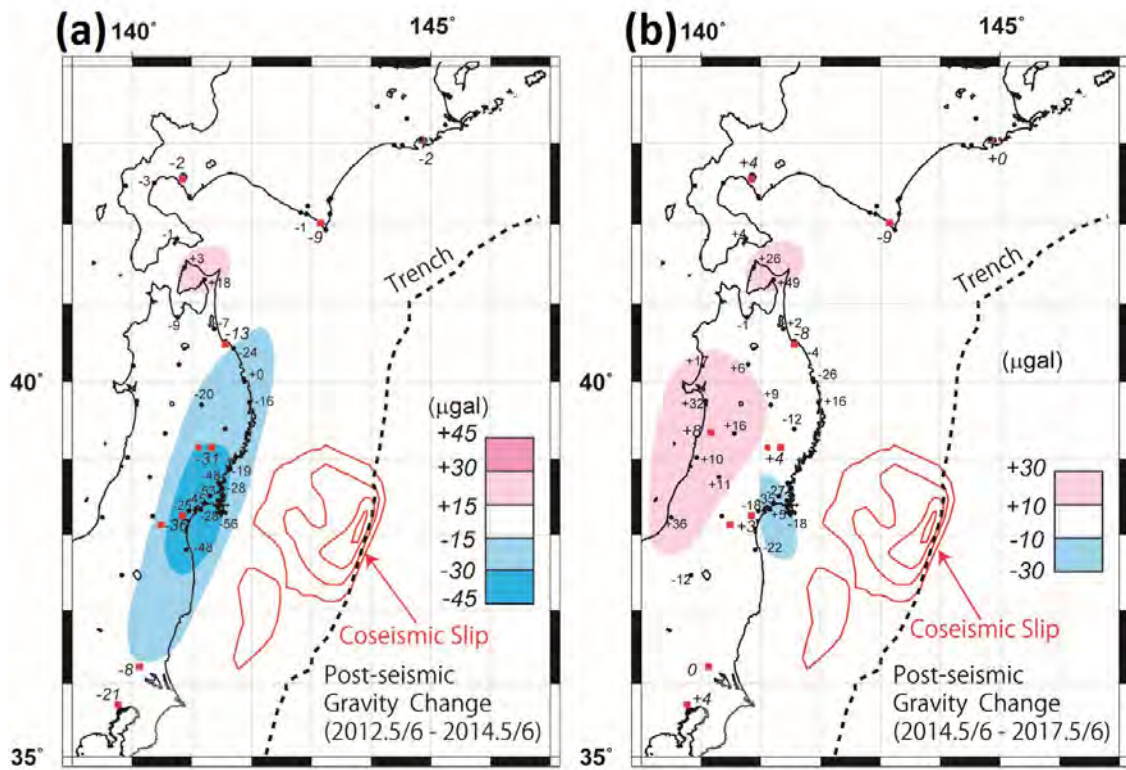


図5. 東北沖地震後の東日本の重力の時空間変動。

(左) 2014年以前。(右) 2014年以降。図中の \bullet は絶対重力点(10点) \circ は相対重力点(約50点) 赤の等値線は東北地方太平洋沖地震時のすべり量(10, 30, 50, 70 m)(Iinuma et al.(2012)による)

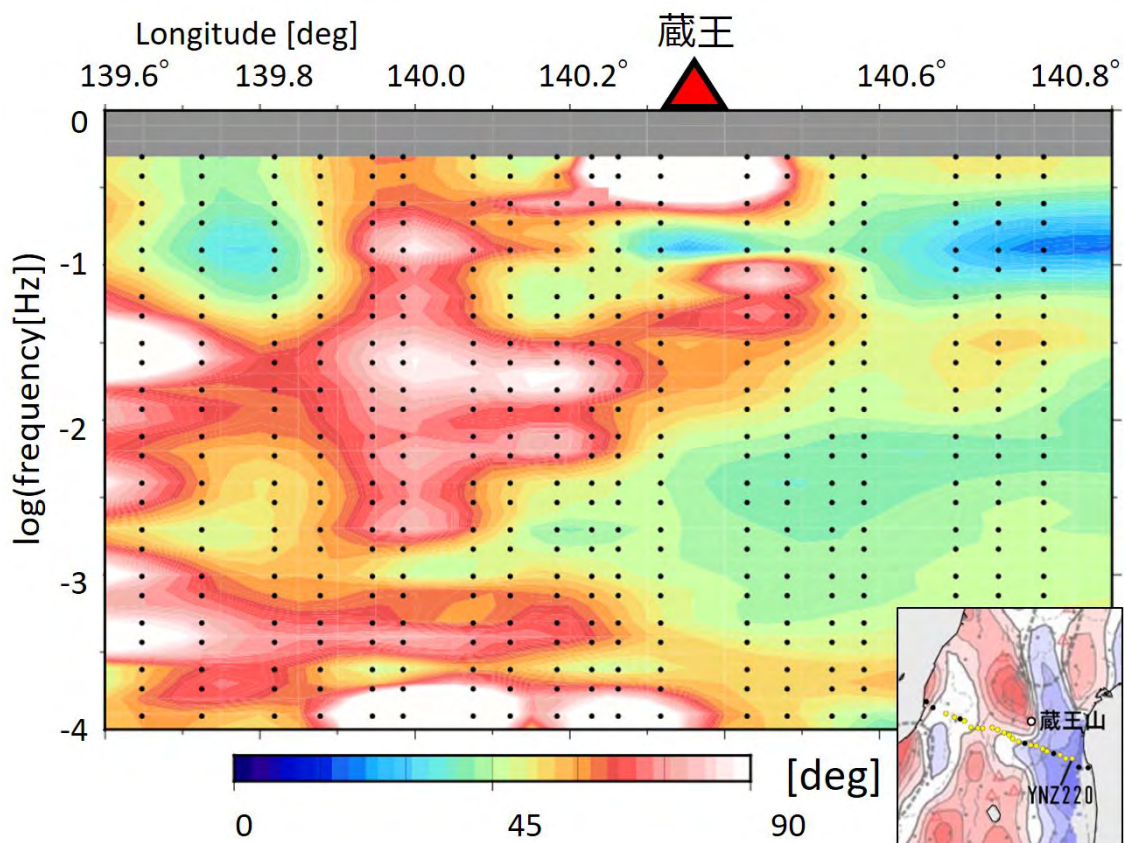


図 6 . 新潟県村上市-福島県相馬市に至る測線における広帯域 MT 観測による位相テンソル (2) 擬似断面。
暖色系から白色が低比抵抗、寒色系が高比抵抗を示唆する位相を表す。

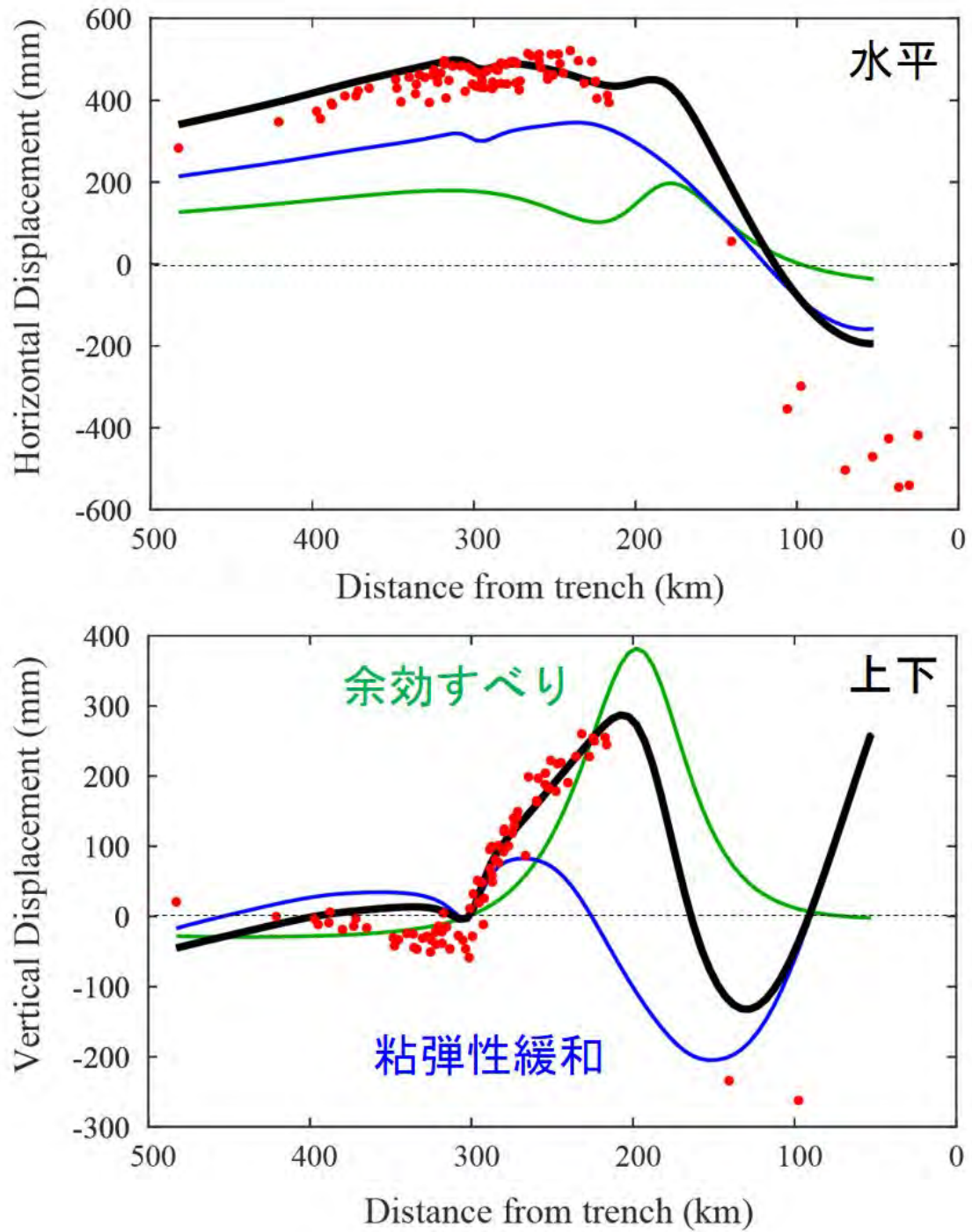


図7. 2012年5月から2016年9月までの変位場とモデルによる計算値。
 (上)水平変動。(下)上下変動。赤点はTomita et al., (2017)によるデータで、青線と緑線はそれぞれ粘弾性緩和による変位と余効すべりによる変位の計算値、黒がその合成変位を表す。

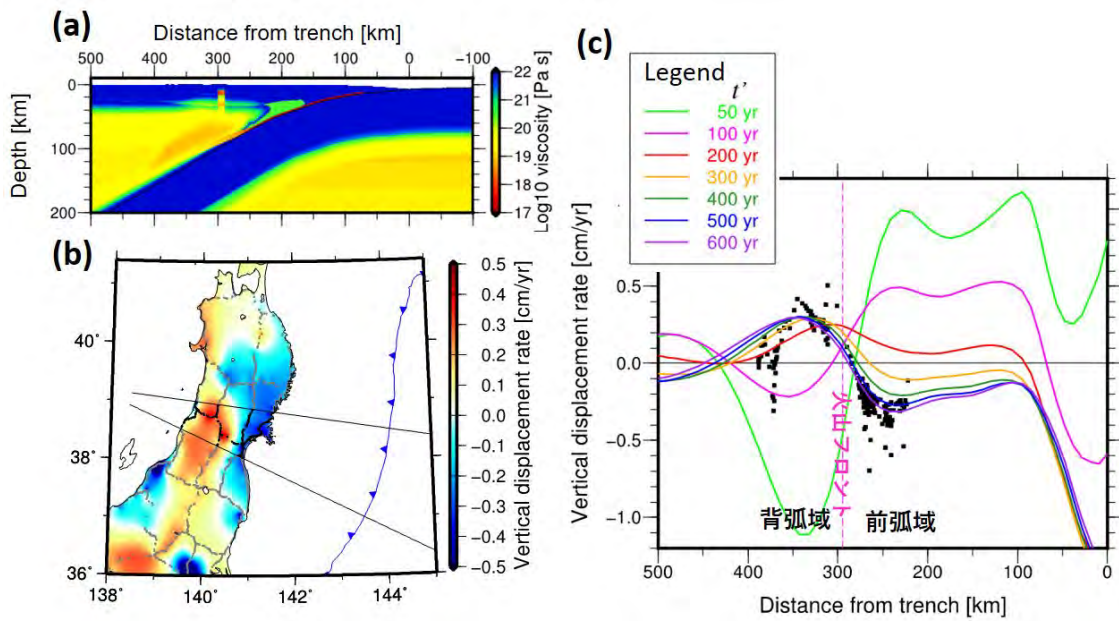


図 8 . 東北沖地震前約 100 年間に於ける東北日本島弧内陸に於ける上下変動のモデル化。

(a) 本研究に用いた二次元不均質レオロジー構造の拡大図。Horiuchi and Iwamori (2016) によるマントルウェッジの温度構造・含水量分布・蛇紋含化などを元に作成。(b) 水準測量による東北沖地震前約 100 年間の地表上下変動速度(元データは国見・他(2001)による)。(c) 本モデルによる地表上下変動速度の時間発展。中部東北日本(図 8b の二つの直線で挟まれた範囲内)の上下変動速度を海溝直交測線に投影して黒点で示す。曲線はモデルによる計算値で、レジェンドに示した t' は、巨大地震発生後の経過年数を示す。

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震断層すべり物理モデルの構築

(3) 最も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) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

(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・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震は、断層にかかっている応力が脆性破壊強度を上回った時に発生する。このような破壊現象である地震の発生を予測するためには、不均質性に起因する応力集中や流体等に起因する破壊強度の低下の状況を正確に理解しておかなければならない。本課題では、このような観点から、断層面や地殻微細構造の不均質性および流体の存在が地震の発生や規模、破壊過程の複雑性に及ぼす物理化学的影響について、野外観察、構造探査、自然地震観測、誘発地震観測、実験、シミュレーション等から明らかにすることを目的とする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

地震観測

東北地方の臨時観測網の再編成を行い(H26 年度) 観測を継続する。ただし、観測点の移設・継続は、「地殻応答による断層への応力载荷過程の解明と予測」の課題にて実施することにより、経費の節減と観測データの有効利用を図る。地震活動域の拡大速度が流体の拡散で説明できるかどうかを検証し、また、メカニズム解データなどから得られる応力場の時空間変化から、背景となる絶対応力場と間隙流体圧の時空間変化を推定する(H26 ~ 30 年度)。さらに、震源域の構造を詳細に推定するとともに、地震波干渉法や相似地震等を利用して、流体の移動に関わる構造の変化の検出を試みる(H26 ~ 30 年度)。

電磁気観測

過去に行われた電磁気観測のデータを解析することにより、臨時地震観測網によって詳細な震源分布が得られている地域での三次元比抵抗構造を推定し、地震活動域における比抵抗構造の特徴を抽出する（H26～30年度）

岩石の変形特性に及ぼす高間隙水・フugaシティの効果

内圧式岩石 水反応実験装置を用いて、地震発生帯の環境下での断層面の透水性と反応性を明らかにし、すべり挙動実験とフィールド観察を通じて検証を進める。特に、高間隙水圧下での破壊のパターンと透水特性との関係を明らかにし、地震発生帯での透水特性を調べる（H26～29年度）。また、固体圧変形試験機を用いて、地殻 - 上部マントル条件での岩石の流動強度に及ぼす水の効果を明らかにする（H26～29年度）。封圧を変化させることで、水のフugaシティを変化させ塑性流動強度に及ぼす水の効果を定量化する（H27～30年度）。

CT 観察による地殻流体の実態の把握

深部地殻・最上部マントルからもたらされた捕獲岩中に間隙流体が存在していた空隙の形態を探るために、捕獲岩のX線CT撮影と画像解析を進める。減圧時に生じるクラックを正確かつ効率的に分離するための画像処理方法の改良を行い、流体の体積分率（空隙率）・連結度・形状を定量化する（H26～27年度）。さらに、得られた結果を用いて、地下での弾性波速度と電気比抵抗を計算する（H27年度）。X線CT撮影を行った試料の研磨断面を作成し、電子線後方散乱回折法（EBSD）によって結晶定向配列を定量的に測定し、岩石の変形と流体分布との関係を明らかにする（H28～29年度）。流体の連結度に敏感な電気比抵抗分布と応力場とを比較し、実験から得られた岩石の変形と流体分布との関係がマクロスケールに影響しているかどうかを検証する（H29～30年度）。

地震発生帯における地殻流体の熱力学情報の精密化と実フィールドでの検証

地震発生帯の温度圧力環境における岩石 - 水反応の熱力学データベースの改良と地熱流体の状態方程式の精密化、岩石 - 水反応に大きな影響を及ぼす誘電率に関する岩石実験とその定式化を行い、それらを組んだ水 - 岩石相互作用シミュレータを作成する（H26～29年度）。これを用いて水 - 岩石相互作用による間隙水圧の上昇をシミュレートし、その結果と実フィールドでの地質学的観測結果との整合性についての検討を進める（H27～30年度）。

地熱流体と内陸地熱誘発地震

地熱地帯の注水井を模した装置を用いて、地下の岩石中の流体の移動と破壊を同時に計測することにより、地熱地帯における誘発地震発生モデル化を行う（H26～30年度）。さらに、実際の地熱地帯において地震観測データを用いて、注水状況と地震活動の時空間変化について比較検討する（H26～30年度）。

断層面の不均質性と内陸地震の多様性の起源

断層長さの広いスケール領域でエネルギー解放率と各階層のジョグの破壊エネルギーは等しいと期待されるが、この様な破壊エネルギーの実測値はほとんどないことから、これらを充実化させるための実験を行う（H26～29年度）。また断層運動は散逸系なので断層帯の不均質性は進化することになるため、様々なスケールの観察を通じて、この断層の不均質性の進化の過程と内陸地震の多様性の起源についてモデルを構築する（H27～30年度）。

地震断層すべり物理モデルの構築

観測から得られた結果から、断層や地震活動域と流体の存在域との位置関係関係を把握し、実験結果に基づき、岩石の非弾性変形に起因する断層への応力集中機構をモデル化する。また、CT スキャンから得られた流体の流路の情報と水 - 岩石相互作用シミュレータにより高間隙水圧の生成をモデル化し、地熱地帯の誘発地震に関する実験・観測からそのモデルの妥当性を検証する。さらに、断層面の不均質性や強度について、進化の過程と流体の影響という観点からモデル化し、地震発生と流体との関係や地震の多様性の根本原因を解明することを目指す（H29～30年度）。

（ 8 ）平成 29 年度の成果の概要：

地震観測

2011年東北地方太平洋沖地震(以後、「東北沖地震」と呼ぶ。)の後、山形県と福島県の県境で群発的地震活動が発生した。これらの地震からの地震波の走時を深さに変換した地震波記録断面を作成したところ、図1に示すような明瞭な反射面が確認された。このような反射面は地殻流体の存在を示唆する。

波形の相関を利用した高精度の震源再決定を行ったところ、この山形-福島県境付近の地震活動は明瞭なマイグレーションが認められ、また深部から浅部に向かって地震活動が移動している。図2にこれらの地震クラスタのうちの一つの例を示す。震源はさらにいくつも面状に分布しており、しかも、その面の傾斜・走向は、その面に属する地震の発震機構解の一つの節面の傾斜・走向とよく一致しており、これらの「面」が弱面として使われて地震が発生したことを強く示唆する。さらに東北沖地震直後の50日間とそれ以降では、規格化された摩擦係数・応力降下量・ b 値・背景の地震発生レート等が大きく異なっており、初期の頃の地震活動は間隙圧の上昇による強度低下によって生じたことが強く示唆される。

2008年岩手・宮城内陸地震の余震には南北圧縮の発震機構解を持つ地震が、余震域の中心付近で発生しており、しかも東傾斜の面状の震源分布を示している。面の走向・傾斜と発震機構解の節面の走向・傾斜がまったく異なるので、この分布は弱帯の分布を表すと考えて、応力場と V_p/V_s 構造を検討したところ、余震域はほとんどが V_p/V_s が1.70未満の領域となっているのに対して、このような特異な地震は本震による南北圧縮の差応力増加が8MPa以上で、 V_p/V_s が1.70程度の場所で発生していることがわかった(図3)。東北地方の上部地殻は石英が多くて基本的に V_p/V_s が1.50-1.70程度であり、水がクラック状に含まれていると1.70以上となると解釈される。

電磁気観測

2009-2010年にひずみ集中帯事業で取得された村上市-相馬市の測線のデータ再解析を行った結果、前弧側に低比抵抗を示すような結果は得られなかった(課題番号1203の成果参照)。この地域の前弧域では地震活動は低調である。その南部の阿賀野市-鮫川村の測線の結果では、前弧域のいわき周辺の地震活動域の深部に低比抵抗域が見られており、今後、地震活動の低調な領域の深部には低比抵抗域が存在しないという共通の特徴が見られるかどうかを検証していく必要がある。

岩石の変形特性に及ぼす高間激水・フュガシティの効果

これまで、下部地殻を構成する主要構成鉱物である斜長石多結晶体の塑性流動強度に及ぼす水の効果を明らかにすることを目的とした実験を行ってきた。今年度は、これまで歪量が不十分であった封圧1GPaの追加実験を行い、またこれまでの実験の回収試料について赤外分光法により含水量の測定を行った。図4aは、これまでの応力-歪実験の結果をまとめたものであり、このうち、wet実験のみの応力-歪曲線の拡大図を図4bに示す。含水量と強度の関係(図4c)を見ると、含水量が増えるほど強度低下を起こすことがわかる。図4dは、含水量(最大値) C_w と変形時間の関係を示している。外れ値もあるが $C_w \sim t^m$ の関係があり、 $m \sim 1$ のように見える。Fickの法則に従うような通常の拡散では含水量は変形時間の $1/2$ 乗に比例($m \sim 1/2$)し、 $m > 1/2$ となるようなケースは異常拡散などと呼ばれ、変形とともに内部構造が変化し拡散が起こることを意味している。今後はもっと長い変形時間で含水量と時間の関係を調べる必要がある。また、フュガシティと強度の関係は、既存の構成則(Rybacki et al., 2006; Rybacki and Dresen, 2000)の予測より弱化していることを昨年度に報告したが、今年度、Kido et al. (2016)の方法で応力補正を行うと、さらに強度が低くなることがわかった。

CT観察による地殻流体の実態の把握

これまでの一ノ目瀉捕獲岩の研究により、水に富む玄武岩(H_2O 3wt%以上)の下部地殻における結晶分化作用によって、角閃石斑れい岩を主とする沈積岩が生成されていることがわかった。下部地殻相当の圧力下に高含水量のマグマがあれば、 SiO_2 の低い角閃石・磁鉄鉱が多く分別して、 SiO_2 の高い珪長質(花崗岩質)マグマが、効率的に生成する(親マグマの25%)(図5)。つまり、下部地殻は平均的には斑れい岩質でも、部分的には石英に富む(20-25vol.%)花崗岩質マグマ溜りが存在してよいことになる。そのようなマグマが固結すると、大量の H_2O が分離するため、これが下部地殻での低周

波地震や上部地殻での地震発生を促進する可能性が考えられる。

地震発生帯における地殻流体の熱力学情報の精密化と実フィールドでの検証

地震発生時には断層面の近傍で破砕が生じ、間隙圧が急減することが期待される。これに伴う水-岩石相互作用で、亀裂が修復されるのか、それともより拡張されるのかを理解することは、地震発生サイクルを理解するうえで重要である。本年度はまず昨年度定式化した 1 m NaCl 溶媒の見かけの比誘電率の式を、4 kb (400 MPa) まで拡張した。これにより深さ 10 数 km の静岩圧下の塩水と鉱物 (岩石) の相互作用の解析が可能となった。これを用いて、地震性断層運動などで考えられる急激な亀裂の形成・発達による流体の断熱 (等エンタルピー) 的な減圧に伴う石英と方解石の沈殿 / 溶解量をシミュレートした。地温勾配により 200 から 450 の深さにあった流体の静岩圧から静水圧への断熱減圧では、どの深さの流体でも温度が 20 程度上昇した (図 6a)。石英は 1 m NaCl 溶媒と水の誘電率相当を仮定した 0.01 m NaCl 溶媒のどちらも減圧により沈殿を生じ、温度が高いほど (深部になるほど) 沈殿量が多くなる (図 6b)。これに対し、方解石は水では石英と同様の沈殿傾向を示すものの、350-400 付近では減圧により溶解が進むことが分かった。

地熱流体と内陸地熱誘発地震

地殻内に剪断破壊等が発生すると、例えばプリアパートのような空間が発生する。この空間は、いわば真空状態であり、断層内などに蓄積されていた流体がこの真空空間に噴出し、沸騰する。この現象 (Flash Vaporization) は、地殻流体の減圧沸騰-断熱膨張-冷却-熱応力の発生-熱破壊の一連の現象を引き起こす。このことを実験的に明らかにするため、超臨界状態にある岩石の急減圧実験 (図 7a) を行い、岩石内の亀裂の形成を引き起こすとともに、実験後の弾性波伝播速度の計測を行った。この結果、急激な減圧により岩石は破壊し、伝播速度はなんと水中の伝播速度 (1.45km/s) と同程度となった (図 7b)。すなわち、熱応力破壊により、粒界が開き、弾性波伝播速度の急激な減少を引き起こすとともに、この急減圧を複数回繰り返すことで、亀裂が進展する。この亀裂進展の様子を X 線 CT 画像により確認することができた (図 7c)。すなわちこれは地震による岩石の脆弱化のアナログ実験と考えることができる。

断層面の不均質性と内陸地震の多様性の起源

断層サイズのフラクタル分布は、断層は絶えず新たに生まれ、相互作用しつつ成長するという、当然なことを示唆している。陸域浅発地震の多くは活断層上で起こるので、地震のリスク評価は当然ながら活断層の活動度評価に重きを置くが、新たに生まれる断層と成長しつつある断層のリスク評価を軽視するべきではない。そこで、国内で 1800 年代以降に起きたプレート内被害地震を、a) 震源の活断層を確定できる地震、b) 近傍に震源断層の候補となるような地質構造はあるものの確定的ではない地震、c) 震源近傍に活断層が見当たらない地震の 3 種に分類して、マグニチュード別確率分布を図 8 に示す。a の地震のみならず b や c の地震を含めたりリスク評価が重要であることを、この図は示している。

地震断層すべり物理モデルの構築

これまでの研究により、内陸地震発生域の強度は差応力で数十 MPa 程度しかないことが明らかになってきた。特に群発地震では地震活動のマイグレーションが見られることから、この強度の低い原因としては間隙圧が高いことが第一に考えられる。これらの水は下部地殻をこれまで知られていた以上に軟化させる可能性が高いことも明らかになってきたため、下部地殻で局所的に水が多ければ、その上部地殻には応力・歪を集中しやすくなると期待される。マントルから供給された含水量の多いマグマが分化していくなかで SiO₂ が濃集していき、中部地殻付近でマグマから水が分離していく過程も明らかになってきた。さらに、高間隙圧を作り出す地下での石英や方解石の沈殿プロセスも明らかになって来ており、島弧における地震断層すべりの物理モデルが次第に構築されつつある。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
Fukuda, J., J. Muto, and H. Nagahama, 2018, Strain localization and fabric development in polycrystalline anorthite + melt by water diffusion in an axial deformation experiment, *Earth Planets Space*, 70, 3, doi: 10.1186/s40623-017-0776-2.

- Okamoto, A., H. Shimizu, J. Fukuda, J. Muto, and T. Okudaira, 2017. Reaction-induced grain boundary cracking and anisotropic fluid flow during prograde devolatilization reactions within subduction zones, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 172, 75, doi:10.1007/s00410-017-1393-6.
- Saishu, H., A. Okamoto, and M. Otsubo, 2017, Silica precipitation potentially controls earthquake recurrence in seismogenic zones. *Sci. Rep.*, 7, 13337, doi:10.1038/s41598-017-13597-5.
- 土屋範芳, 2017, 超臨界地熱貯留層の可能性について. *地熱技術* 42, 43-52.
- Uno, M., A. Okamoto, and N. Tsuchiya, 2017, Excess water generation during reaction-inducing intrusion of granitic melts into ultramafic rocks at crustal P-T conditions in the Sør Rondane Mountains of East Antarctica. *Lithos*, 284-285, 625-641, doi:10.1016/j.lithos.2017.04.016. ?
- Watanabe, N., T. Numakura, K. Sakaguchi, H. Saishu, A. Okamoto, S. Ingebritsen and N. Tsuchiya, 2017, Potentially exploitable supercritical geothermal resources in the ductile crust, *Nature Geosci.*, 10, 140-144, doi:10.1038/ngeo2879.
- Watanabe, N., M. Egawa, K. Sakaguchi, T. Ishibashi, and N. Tsuchiya, 2017, Hydraulic fracturing and permeability enhancement in granite from subcritical/brittle to supercritical/ductile conditions, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 5468-5475, doi:10.1002/2017GL073898.
- Watanabe, N., T. Kikuchi, T. Ishibashi, and N. Tsuchiya, 2017, α -X-type relative permeability curves for steam-water two-phase flows in fractured geothermal reservoirs, *Geothermics*, 65, 269-279, doi: 10.1016/j.geothermics.2016.10.005.
- Yanagida, Y., M. Nakamura, A. Yasuda, T. Kuritani, M. Nakagawa, and T. Yoshida, 2018, Differentiation of a hydrous arc magma recorded in melt inclusions in deep crustal cumulate xenoliths from Ichinomegata Maar, NE Japan, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, doi:10.1002/2017GC007301, accepted.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

地震観測

これまでと同様に、内陸地震震源域について構造と応力場を高精度で推定し、流体の分布と地震発生との関わりについて検討し、5 年間の研究の総括を行う。

電磁気観測

山形-宮城、新潟-福島、秋田-岩手の測線のこれまでのデータを解析をさらに進め、比抵抗構造と地震活動との関係について、総括する。

岩石の変形特性に及ぼす高間激水・フュガシティの効果

含水量と強度及び時間の関係をさらに精査し、水の拡散と強度の関係を定量的に明らかにする。

CT 観察による地殻流体の実態の把握

地殻流体を含む(最上部マントルの)岩石の電気比抵抗と弾性波速度観測データを解釈する際の基本となる、かんらん石と多成分系(H_2O-CO_2-NaCl)流体間の 1-4 GPa での二面角測定高温高圧実験の結果を取りまとめる。

地震発生帯における地殻流体の熱力学情報の精密化と実フィールドでの検証

高圧(500 MPa)下の塩水の比誘電率の見積もりのための石英(SiO_2) + 珪灰石($CaSiO_3$)の溶解度測定実験を行う。これにより、現行の式の精度の検証/改訂をし、式を完成させる。これを用いて、地震発生深度付近で想定される様々な地殻流体-岩石相互作用を解析し、成果を報告する。

地熱流体と内陸地熱誘発地震

急減圧破壊実験ならび岩石-水相互作用の実験的研究、ならびに野外観察を継続的に実施する。特に亜臨界環境からの減圧実験行い、よりマイルドな環境下でも減圧沸騰による岩石の破壊現象が生じることを明らかにする。

断層面の不均質性と内陸地震の多様性の起源

地震断層の長さと変位量とのスケーリング則は、地質学的断層に関しては成り立たないように見えるため、この問題を含めて全体像を整理する。

地震断層すべり物理モデルの構築

サブテーマのこれまでの成果を総括し、地震断層すべり物理モデルへと統合する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

岡田知己・松澤暢・市來雅啓・矢部康男・山本希・高木涼太・吉田圭佑・土屋範芳・武藤潤・大槻憲四郎・中村美千彦・奥村聡・佐々木理・他計 15 名程度。

他機関との共同研究の有無：有

地震観測は北海道大学（勝俣啓・高橋浩晃）、弘前大学（小菅正裕・渡邊和俊）、名古屋大学（山中佳子）、京都大学防災研究所（片尾浩・飯尾能久）、九州大学（松島健・松本聡）、鹿児島大学（宮町宏樹・後藤和彦）をはじめとした全国連携の共同研究。

電磁気観測は秋田大学（坂中伸也）・東京工業大学（小川康雄）との共同研究。

流体の分布・挙動については広島大学（星野健一）との共同研究。

データ解析については東京工業大学（中島淳一）との共同研究。

(12) 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/

(13) 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附属地震・噴火予知研究観測センター

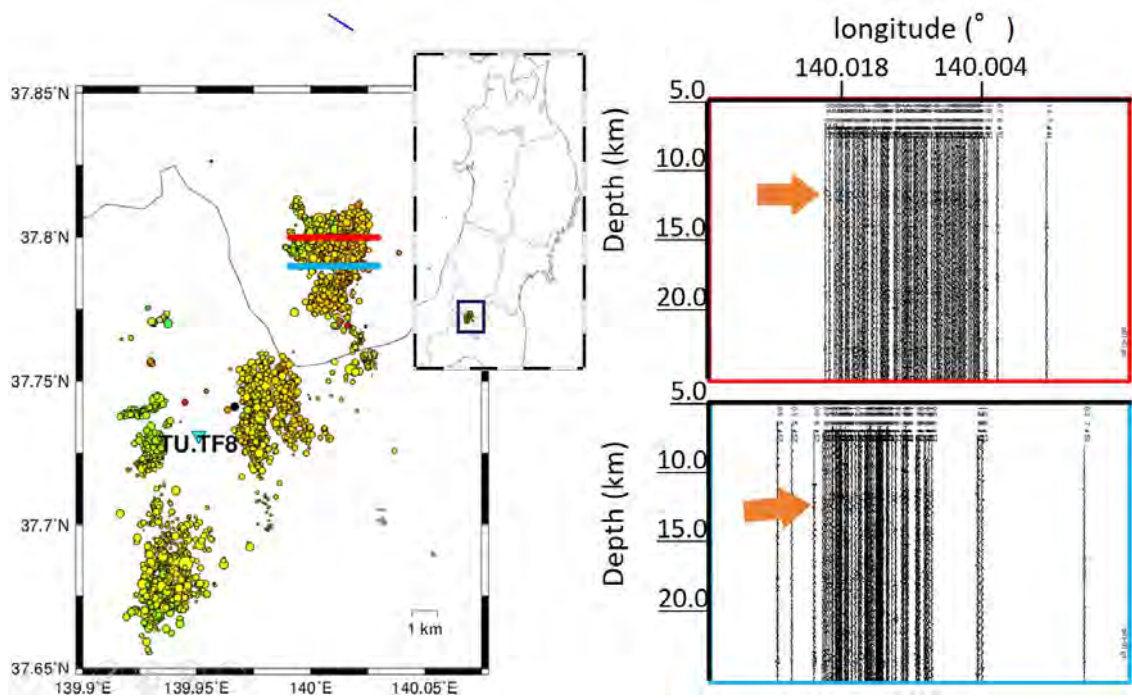


図 1 . 山形-福島県境付近の地震波反射面分布の推定。

(左) 山形-福島県境付近の地震の震央分布 (2011.03-2012.3) 。赤と青の 2 つの測線に沿った地震を反射法処理に使用した。観測点は TU.TF8 である。(右) 2 つの測線に沿って、AGC と NMO 処理を行った地震波形。矢印で示す深度に反射波と思われる波形が確認できる。

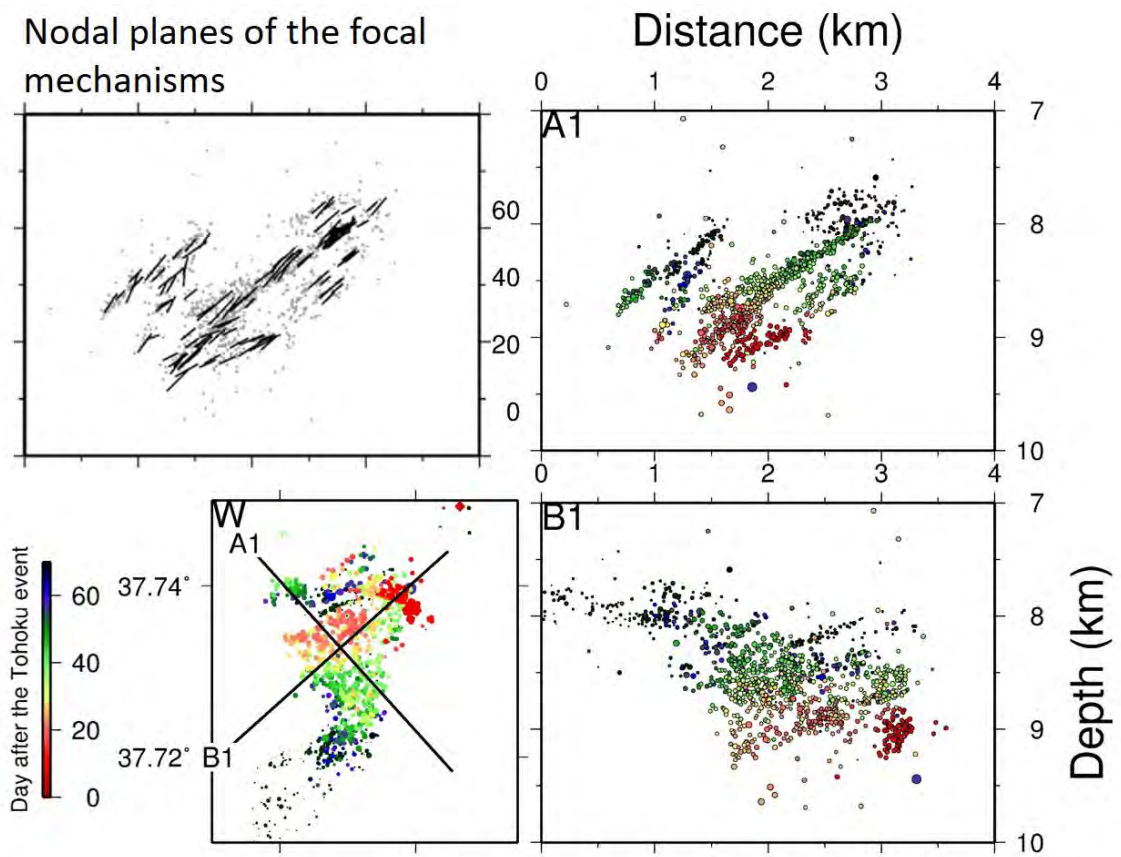


図2. 山形-福島県境付近の地震クラスタの一つの高精度震源分布。
 (左下) 震央分布。色は東北沖地震からの日数を表す。(右) 震央分布図の A1 と B1 の測線に沿った鉛直断面図。
 (左上) 発震機構解の節面の分布。A1 断面に投影して示す。

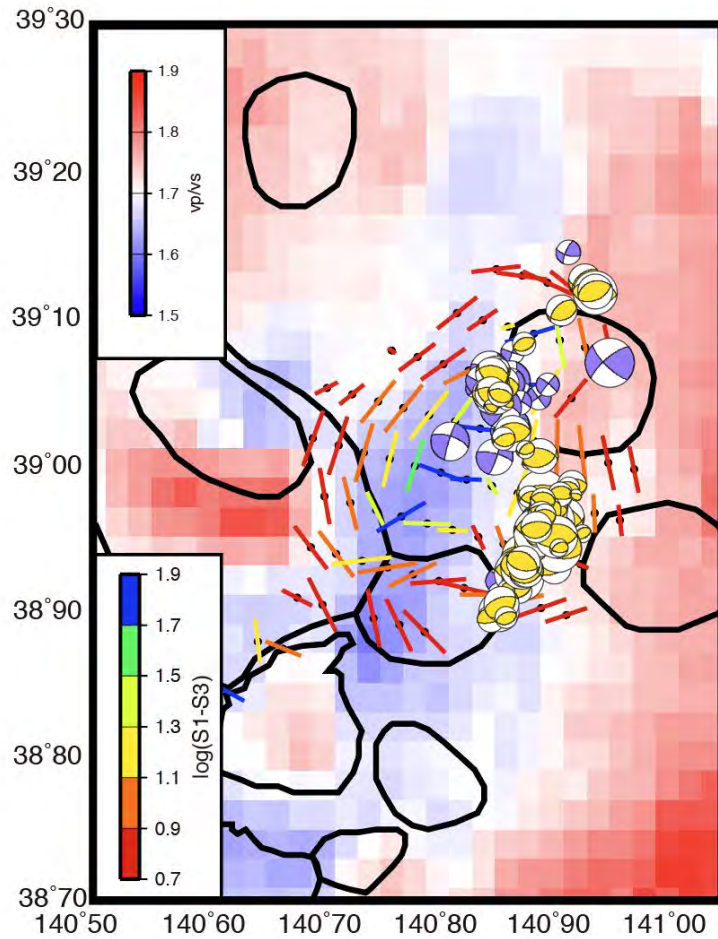


図3 . 2008年岩手・宮城内陸地震の特異な余震と応力場と V_p/V_s 比構造の比較。

南北圧縮の逆断層型(黄色)と横ずれ断層型(紫色)の余震の発震機構解の分布、Okada et al. (2012)による V_p/V_s 比、Yoshida et al. (2014)による本震後の応力変化の分布を重ねて示す。線分は、差応力変化が5 MPa以上の応力変化の分布を表す。1の方向を水平面に正射投影して示し、色が差応力の大きさ(MPa)の常用対数を表す。黒線はカルデラの分布(布原・他, 2010)を示す。

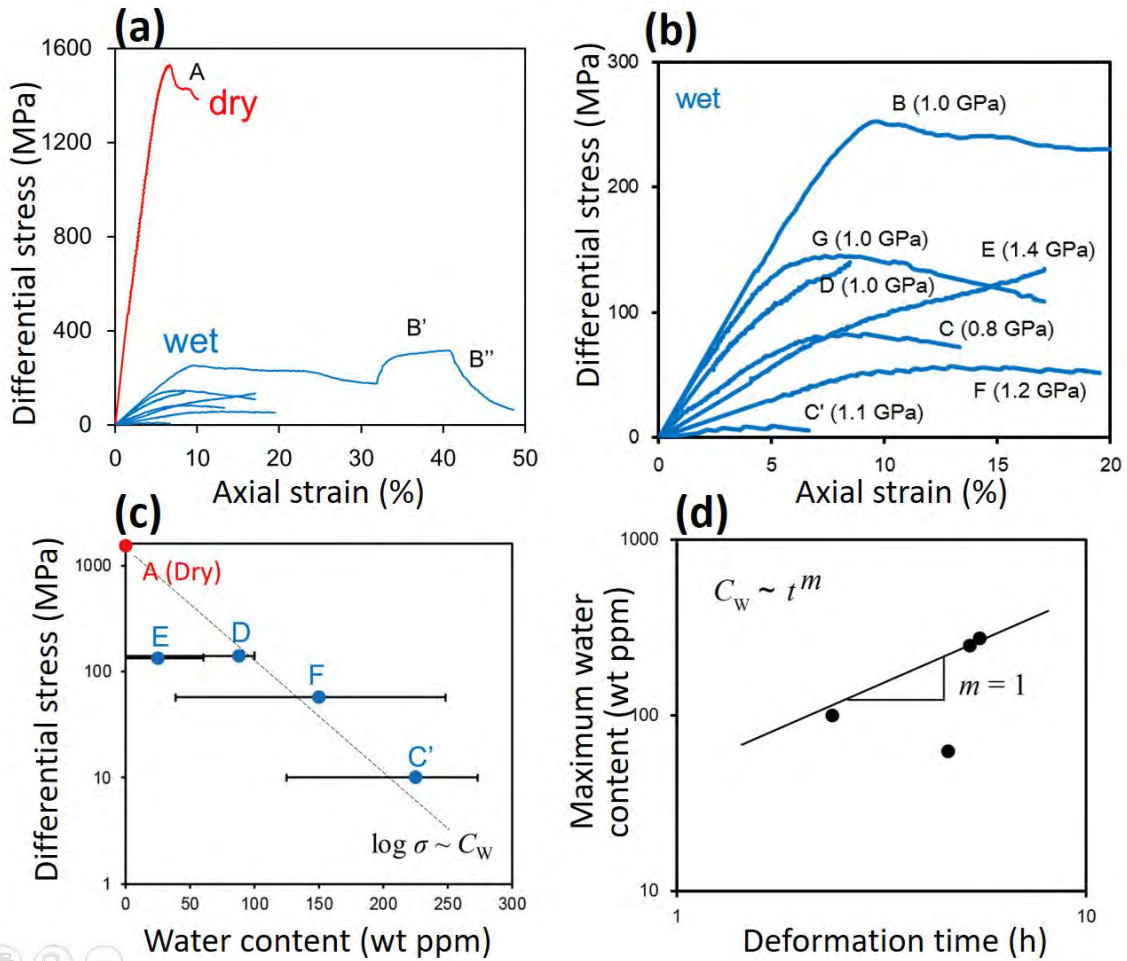


図4. 固体圧試験機を用いた下部地殻条件下での灰長石多結晶体の含水軸圧縮実験。
 (a) 応力-歪曲線。dryな場合を赤線で、wetな場合を青線で示す。すべて温度は900、歪速度は 10^{-5}s^{-1} である。
 (b) wetな場合の応力-歪曲線の拡大図。B-Gの記号とともに封圧条件を記している。(c) 含水量と強度の関係。エラーバーは最大値と最小値、点は平均値を示している。(d) 含水量(最大値)と変形時間の関係。

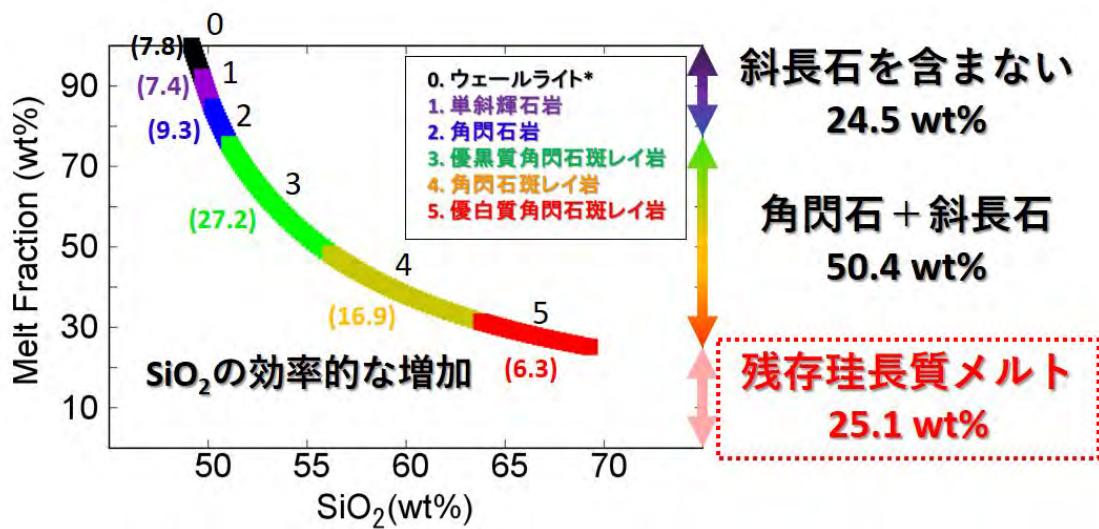


図5. 三ノ目瀧の玄武岩質マグマを出発組成とした6段階の分化モデル。
 島弧下部地殻における高含水量珩長質メルトの生成が可能であることを示す。

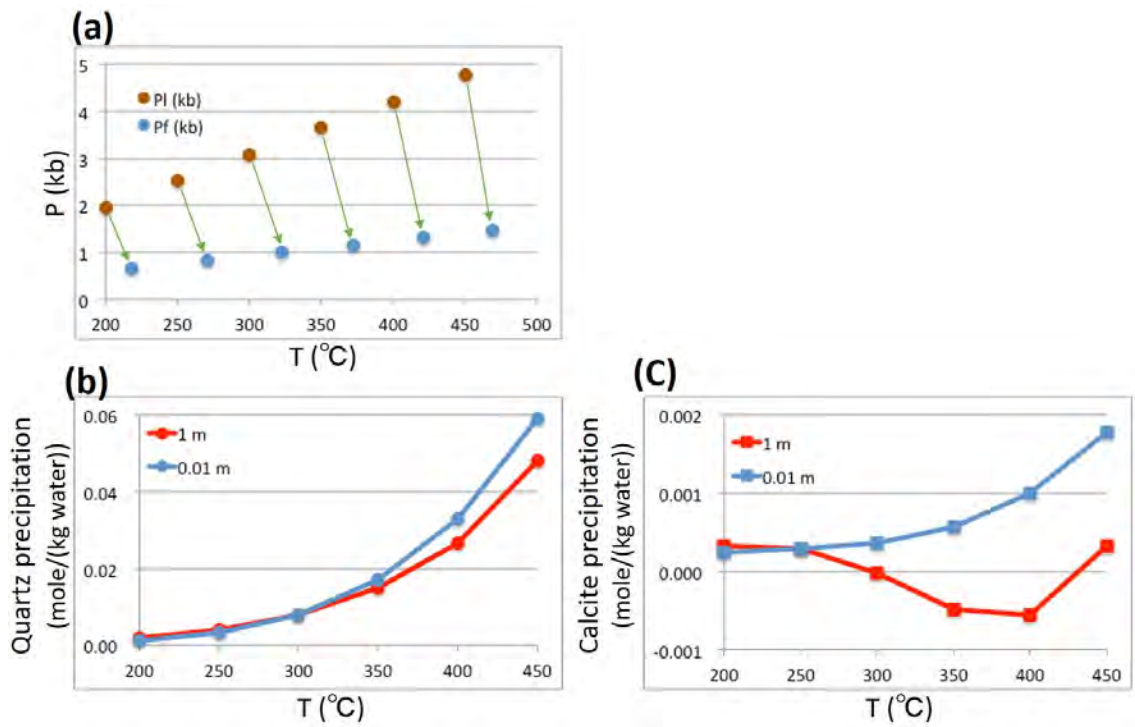


図 6 . 地震発生時の急激な減圧による塩水中の石英と方解石の沈殿・溶解。

(a) 等エンタルピー 条件下での断熱膨張により静岩圧 (赤) から静水圧 (青) に変化した場合の水の温度変化。(b) 石英で飽和した塩水 (赤) および水 (青) が静岩圧から静水圧に変化した場合の石英の沈殿量 (1 kg の水に対するモル数)。(c) 方解石で飽和した塩水 (赤) および水 (青) が静岩圧から静水圧に変化した場合の方解石の沈殿量 (1 kg の水に対するモル数)。

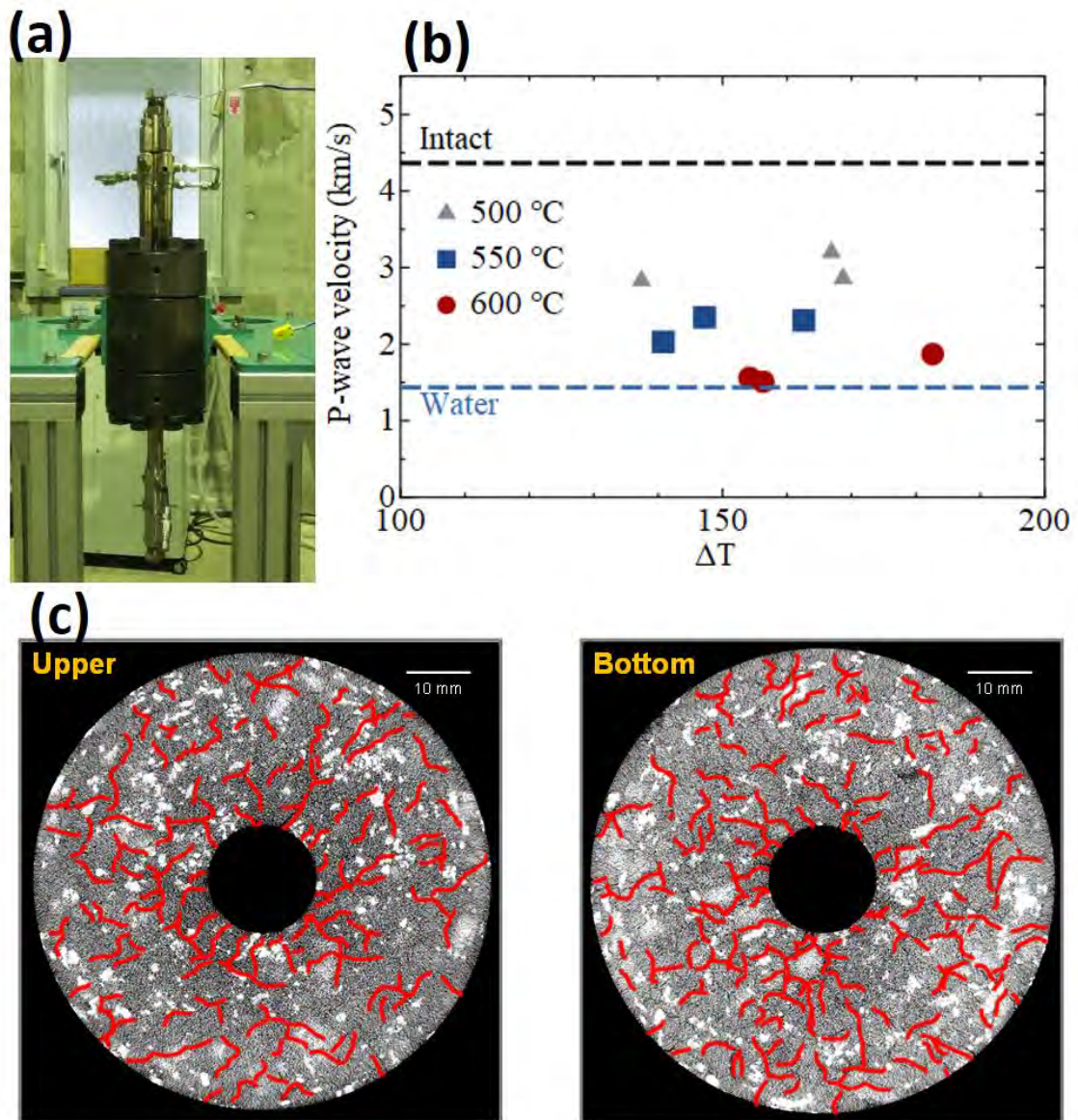


図7. 地震による岩石の脆弱化のアナログ実験。

(a) 急減圧実験装置の外観。超臨界状態から急減圧し、岩石に亀裂を生じさせた。(b) 急減圧実験後の岩石中のP波速度。当初4.5 km/sあった岩石中のP波速度が1.5 km/s程度まで減少した。(c) 600 °Cからの急減圧実験を4回行い、亀裂を進展させた例。Upper: 模擬孔井の上部、Bottom: 模擬孔井の下部。

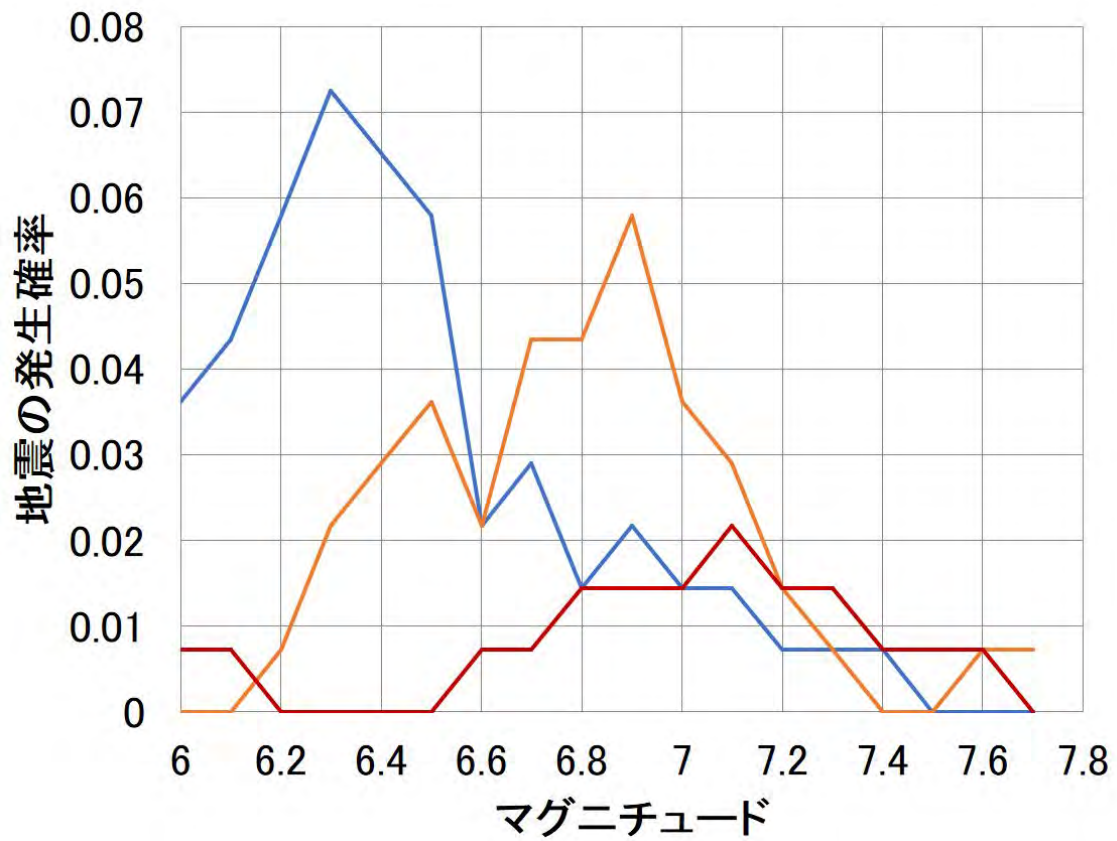


図8. 国内で1800年代以降に起きたプレート内被害地震に基づくマグニチュード別確率分布。
 赤線：震源の活断層を確定できる地震、橙線：近傍に震源断層の候補となるような地質構造はあるものの確定的ではない地震、青線：震源近傍に活断層が見当たらない地震。マグニチュードが6以上の46個の地震について、移動平均を施してある。

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

岩石組織に基づく火道浅部プロセスの推定手法の開発

(3) 最も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) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

(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) 事象系統樹の高度化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

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

1. 浅部火道条件における珪長質メルトの結晶化カイネティクスを明らかにし、新燃岳 2011 年噴火を例に、マグマの浅部滞留時間と噴火様式の分岐点の関係を明らかにする。
2. 軽石・火山灰中の火山ガラスの結晶度の分析時間を短縮する技術開発を行い、活動中の火山の火道浅部におけるマグマの状態を物質科学的に推測する(岩石学的モニタリング)手法を考案する。
3. 浅部火道条件における、安山岩質メルトフォームの表面張力による組織緩和と圧密のメカニズムを実験的に明らかにし、ガス過剰圧の蓄積過程を明らかにする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度においては、項目 1 について、2011 年新燃岳噴火噴出物の記載的研究を実施する。噴火様式(サブプリニー式軽石、ブルカノ式軽石・本質石質岩片)ごと、石基結晶の鉱物種ごとに、結晶サイズ分布(CSD)を調べる。噴火様式の違いに着目したナノライトの CSD データはこれまでに報告例がない。

平成 27 年度においては、項目 1 について、噴火事例についての岩石記載的研究についての成果をまとめるとともに、過冷却メルトの結晶化実験を実施する。また項目 3 について、メルトフォームの組織緩和実験を行う。火道浅部を再現した低圧高温実験を行うことにより、CSD と結晶化時間などの関係を、定量的に把握することができる。再現実験については予備実験を行っており技術的な問題はない。

平成 28 年度においては、平成 27 年度の計画を継続し、それぞれの実験について、温度・結晶化時間・水蒸気圧・メルト組成などの条件を変えた対照実験を追加する。これにより、幅広い噴火事例に

応用が可能とする。メルトフォームの組織緩和実験については、組織緩和の程度と、ガス浸透率の関係を調べるとともに、緩和速度とブルカノ式噴火の発生頻度との関係について検討を行い、実際の爆発的噴火における火道浅部条件を推定できるようにする。

平成 29 年度においては、項目 2 の研究として、噴火活動時に、噴出物に含まれる結晶量を短時間で簡便に測定するため、マイクロライト・ナノライトを含む試料の可視分光あるいは X 線回折分析を行う。平成 28 年度までに得られた実験をもとに、項目 1、3 について、実験的研究によって得られた成果をまとめる。

平成 30 年度においては、最終年度は、5 年間で総括し、本課題から提案する、火道浅部での噴火様式の分岐条件を「2(4)事象系統樹の高度化による火山噴火予測」にフィードバックするとともに、今後の課題を総括し、文書にまとめる。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

研究項目 1 について、新燃岳 2011 年噴火噴出物の石基結晶作用に関する論文を公表した (Mujin et al., 2017, American Mineralogist)。本研究において、石基鉱物 (輝石・斜長石・磁鉄鉱) の結晶サイズ分布 (CSD) に屈曲やギャップが見られるサイズを総合的に考慮し、あらたに幅が $1 \mu\text{m} \sim 30 \text{nm}$ の石基結晶をナノライト、30 nm より小さい結晶をウルトラナノライトと定義した。これまで、斑晶・マイクロライトがそれぞれマグマ溜りとそこからのマグマの火道上昇プロセスを記録するのに対し、ナノライト・ウルトラナノライトは、火道浅部や火口近傍でのプロセスを記録する (図 1)。これにより、噴出物の岩石学的解析に基づく噴火様式の分岐条件の研究を、従来よりもより高い時間・深さ分解能で行う基盤が整った。

また、引き続き高倍率でのナノライト・ウルトラナノライトの観察・記載的研究を 2015 年 3 月の阿蘇火山中岳の灰噴火火山灰について行った。(当間他, 2017 年日本火山学会秋季大会)。その結果、以下のことが明らかとなった。(1) 真にガラス質の火山灰の割合は低い (全観察試料の 10%以下) (2) 灰噴火を特徴づける黒色・砂状の火山灰はほぼ完全に結晶化しており、ガラス光沢を持つものと金属光沢を持つものの 2 種類が存在する。(3) 黒色・ガラス光沢を持つものはナノライト・ウルトラナノライトが卓越し (図 2) 金属光沢を持つものはピロタキシティック組織を持つ。含水玄武岩質安山岩の低下下での脱水結晶作用によりメルトフォームが急激に脆性化することが、空振を伴わず細粒火山灰を生成する破砕現象に本質的であると考えられる。

項目 2 の研究として、噴火活動時に、噴出物に含まれる結晶量を短時間で簡便に評価し、その時間変化をモニタリングする手法を開発するため、マイクロライト・ナノライトを含む試料の初期帯磁率分析を行った。最小 1cc の火山灰で測定できる帯磁率計 (Bartington 社 MS2B) を新たに導入し、携帯性は高いが多くの (100 cc) 試料が必要な ZH Instruments 社 SM-30 での測定結果 (菅谷他, 2015 年日本火山学会秋季大会) と比較したところ、絶対値は SM-30 で 30%程度系統的に低いものの、試料間の相対比は極めて良く一致することが判明した。これにより、分量が限られる結晶化実験産物や、火山灰定点自動採取装置 (Shimano et al., 2013, Bulletin of Volcanology) 試料の測定が可能となった。我々は桜島火山・阿蘇火山や霧島火山新燃岳など活火山の一連の活動で噴出した火山灰の測定を進めており、現在、最速でも数日を要している粒子構成比の時間変化の検出が、本手法によって試料採取とほぼ同時に行えるようになる可能性がある。

項目 3 については、安山岩質メルトフォームの緩和実験によって得られた実験産物の浸透率測定を行った。ブルカノ式噴火の「ガス溜まり」に必要とされる低浸透性の蓋の形成過程を明らかにするため、従来 (3-9 mm 角, Otsuki et al, 2015, Journal of Geophysical Research) より大型 (~3 cm 角) の軽石試料の緩和実験とその実験産物の浸透率測定を実施中である。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等)：

Mujin, M., M. Nakamura and A. Miyake, 2017, Eruption style and crystal size distributions: Crystallization of groundmass nanolites in the 2011 Shinmoedake eruption, American Mineralogist, 102, 2367-2380.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

研究項目 1 について、阿蘇火山中岳火山灰の記載岩石学的研究を進めるとともに、ナノライト・ウルトラナノライトの結晶作用の全容を掴むため、より幅広い化学組成・噴火様式の火山噴出物のナノスケール観察を継続して進め、噴火様式の支配要因に対する石基の結晶作用の効果を調べる。

研究項目 2 について、桜島火山・霧島火山新燃岳等、活動の時系列に沿ってサンプリングされている火山灰の初期帯磁率分析を継続する。磁鉄鉱のマイクロライト～ウルトラナノライト量や斑晶磁鉄鉱のラメラ分離の程度と、本質・累質・異質粒子の構成比との相関を調べる。

項目 3 について、サイズを変えた安山岩質メルトフォームの緩和実験を継続し、これによって得られた実験産物の X 線 CT 撮影と浸透率測定を行う。空隙構造のサイズ依存性を評価し、ブルカノ式噴火の「ガス溜まり」に必要とされる低浸透性の蓋の形成過程のモデル化を行う。

以上の結果を基に 5 年間で総括し、火道浅部での噴火様式の分岐条件を「2(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測」にフィードバックするとともに、今後の課題を総括して次期建議における研究計画に反映させる。

(11) 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地学専攻 中村美千彦、奥村聡

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学大学院理学院自然史科学専攻 吉村俊平

(12) 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学専攻

電話：022-795-6673

e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.es.tohoku.ac.jp/JP/index.html

(13) 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：東北大学大学院理学研究科地学専攻

Definition of nanolite and ultranolite

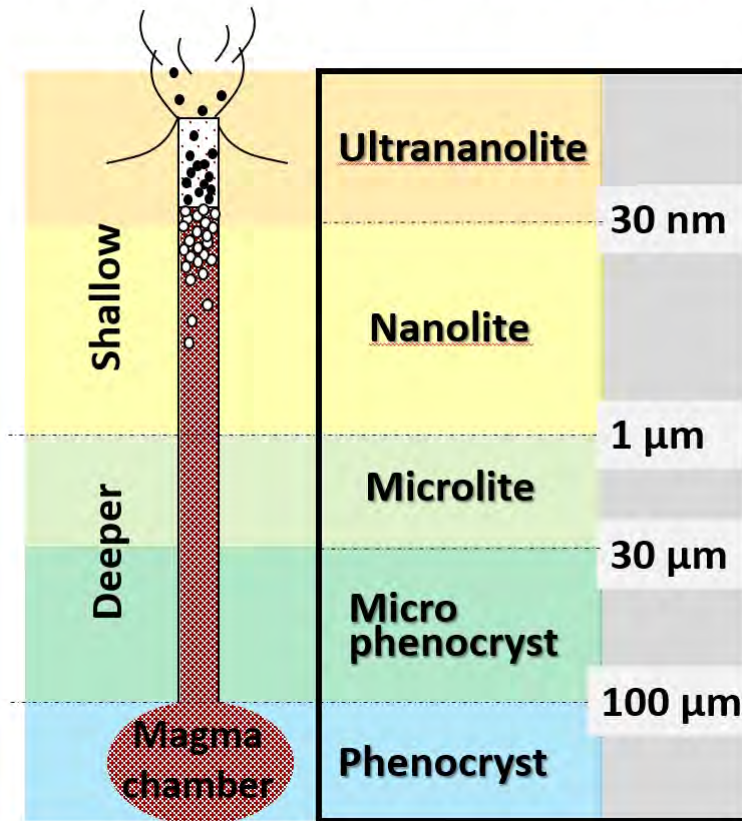


図1 ナノライト・ウルトラナノライトの定義とおよその結晶化深度

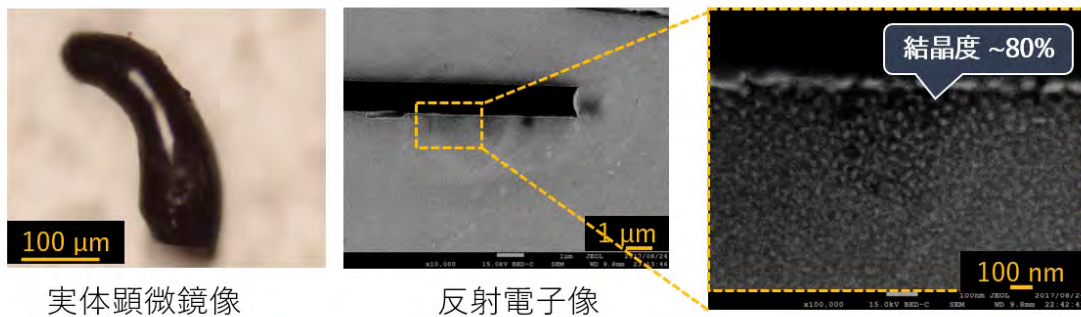


図2 阿蘇中岳 2015年3月の灰噴火火山灰の黑色ガラス質粒子

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

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

(3) 最も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) モニタリングによる地震活動予測

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(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・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究課題では、気象庁一元化震源カタログなどの既存震源データの時空間解析を最新の統計学的手法によって解析・評価し、最近の大地震や既知の断層活動履歴データと結びつけることによって、断層の地震サイクル中の地震活動の時空間変化に共通する特徴を検出する。これによって、プレート境界および活断層周辺の現地震活動が地震サイクル中のどの時間的位置付けにあるのかを明らかにし、歴史地震・古地震・地質調査以外の手法によって大地震の長期的切迫度をはかる評価法を開発する。特に、時空間解析にあたっては、震源再決定や波形相互相関テンプレート法などの最新の知見・技術を導入し、一元化震源データ以上の高精度・均質データの整備を平行しておこなう。主断層面(on-fault)とオフフォルトの震源区分とその特性にまで言及できるような検討を目指す。さらに、断層周辺での余震活動や火山活動とそれにともなう群発地震活動、地震の誘発作用、地震活動の静穏化などの時空間統計解析を通じて、断層周辺の地殻応力状態を推定し、地震発生確率の中短期変動を求める。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

5か年の研究目標に到達するために、以下の4つの小課題にわけて研究を実施する。各内容の実施期間は複数年にわたるため【 】内に明示した。

1. 地震活動と活断層データの対比：歴史地震との対応や活動履歴データの信用度が高い活断層を中心に、最新活動からの経過年（経過率）を求め、活断層沿いの最近の地震活動の時空間的特徴を抽出する。そのために、地理情報システム（GIS）に地形・地質、活断層情報、地殻変動データ、震源データを統合し、活断層の3次元位置・形態と震源分布を詳細に可視化する。小課題2で実施する震源再決定データ等も活用し、全体の地震活動の活発度やサイズ分布（b値）等だけではなく、断層沿いの集中度といった空間クラスターの特性抽出とその定量化を行う。【平成26年度～平成30年度】また、最近約100年間に発生した地殻内地震に関しては、地表地震断層・推定震源断層と余震の空間的関連性ならびにその時間的減衰過程を明らかにし、広義の余震継続時間を含めた地震サイクル初期の特徴をとりまとめる。【平成28年度～平成30年度】

2. 地震カタログの整備：過去約5年間に検知された気象庁一元化処理震源と走時データを基準にして、気象庁イベントの地震波形から相対走時差データを作成し、震源の再決定を実施する。これにより、列島スケールにわたる高精度な震源分布を推定する。【平成26年度～平成30年度】また、気象庁一元化処理震源をプレート地震とし、その波形と連続波形データとの相互相関解析を施すことで、新たに地震カタログを構築し、本震前後の地震活動度の変化を明らかにする。【平成26年度～平成30年度】

3. 余震活動詳細解析：高密度な機動観測で取得された連続波形データに対して、近年開発された自動地震検出処理と震源決定処理を施し、できるだけ多数の余震の震源情報を抽出する。その後、震源決定精度の高いイベントの高精度な相対走時差データを作成することにより、相対震源決定をおこなう。これにより、相対精度数百m以内の精緻化された余震活動の震源カタログを作成する。同時に、P波初動極性の自動読み取り結果を用いて、微小地震の発震機構解を取得する。さらに、P波からS波のコーダ波を含む波形に対して波形相互相関処理を行うことで、相似地震の検出も実施する。これらの推定された詳細な震源分布と発震機構解・相似地震を比較検討することで、震源断層の微細構造や摩擦特性を明らかにする。【平成26年度～平成30年度】

4. 静穏化検出と地殻変動：研究課題「電磁気的地震先行現象の観測と統計評価による他種の先行現象との比較」によって作成される地震活動静穏化マップを活用し、静穏化範囲と断層の位置とを比較する。また、GPS等による地殻変動との関連性を調べ、断層深部滑りなどによる微小な応力変化との関連性を探る。地震活動静穏化と地殻変動との同期現象を全国一律に検証する。そのなかで、同期現象が大地震に結びついた事例の割合から、異常現象が地震前兆である確率利得を算出し、地震確率予報の高度化につなげる。【平成28年度～平成30年度】異なる震源メカニズムを持つ地震および誘発地震に関係した経験分布を統計学的に再構築し、常時地震活動、地震クラスタリングコンポーネントと全体地震の中で静穏化の有無を検出する。これらの研究から、地震サイクル後半での静穏化メカニズムの解明と破壊直前の標準モデルの構築を目指す。【平成26年度～平成30年度】

(8) 平成29年度の成果の概要：

1. 地震活動と活断層データの対比、地震活動による地震サイクルの解明

断層の摩擦特性と挙動、前震・余震活動などを明らかにするため、南アフリカ大深度金鉱山で地震観測と解析を行っている。昨年度は、Cooke4金鉱山地下1kmで得られた14ヶ月分の解析によって見つかったMw -4前後の超微小繰り返し地震について、その中にMwが時間とともに減少するものが存在することを報告した。本年度は、これらに対して統計的検定手法を適用し、このMwの低下が有意であることを確認した上で、その結果をまとめ国際誌に投稿した。なお、この検定は複数グループに対する多重比較問題となるため、偽陽性を多く検出することを防ぐために、Benjamini-Hochberg法で偽発見率が5%以下になるようにして解析をおこなった。

活断層周辺の応力状態を推定する手法として、昨年度に続き、P波初動（押し引き）をデータとした応力空間パターン推定手法（いわゆる「応力インバージョン」）の開発を行い、2000年鳥取県西部

地震の余震域から得られた実データへの適用を試みた(図1)。手法は「断層面の向きは一様ランダム」という仮定の下に、断層面の向き自体は求めることなしに、直接、応力場の推定を行うものである。応力場と観測されたP波初動との適合性を、ベルヌーイ過程に基づく尤度で評価し、これに空間平滑化の拘束を課して、ベイズ推定の枠組みで応力場を求める。図2 aおよびbに、2000年鳥取県西部地震の余震域に対して推定された主応力軸および最大主応力軸の方位角(北から時計回り)の空間パターンを示す。断層南端で、断層をまたいで方位角の大きな変化が見られる。この空間的な方位角の変化は、本震発生時の断層運動から期待される応力場の回転(図2 c)と整合的である。

2. 地震カタログの整備と余震活動詳細解析

気象庁一元化処理震源データと、イベント同士の波形相互相関解析から抽出された高精度な相対走時差データを用いた震源再決定に着手した。まず、解析対象領域内で発生した地震イベントに対して、連続波形記録から地震波形イベントを切り出し、気象庁による読み取り値の無い観測点においては自動処理により検測値の追加を行った。その際、検測対象の観測点の範囲は地震のマグニチュードに応じて変化させた。その後、解析対象内において相対走時差法を用いて震源再決定を予備的に実施した。

余震活動など活発な地震活動中には、大量の地震が同時に発生する。そのため、複数の地震の波形が同時刻に重なって観測点に到達し、地震の欠測が顕著となる。この問題を解決するには、再決定されたプレート地震の波形を用いて連続波形記録から類似のイベントを検出する手法(Matched filter technique)が有効である。今年度もこの手法を用いて既存の地震カタログの整備・拡充を行った。2016年熊本地震発生後に展開された高密度な臨時観測点の波形データを用いて、前震から本震発生に至る過程について再度解析を行った。その結果、従来の結果に比べて、断層傾斜方向の前震域の拡大に関してより正確な様子を把握することができた。また、2016年鳥取県中部の地震(M6.5)に関して、長期間にわたる前震活動の時空間変化を明らかにした。本震発生約2ヶ月前から、震源域周辺において、不連続な移動を起こしながら、前震活動が本震の破壊開始点へ近づいて行ったことが示された(図3)。山陰地方の断層帯の成熟度は相対的に低いため、複数の断層において前震活動が飛び飛びに発生したものと解釈される。

余震活動を詳細に解析するためにETASモデルの改良を続けている。平成27年度に通常のETASモデルを拡張して有限断層ETASモデルを開発した(Guo et al., 2015)今年度は本手法を大地震の破壊幾何形状とすべり分布を推定することを目的に検討した本手法では、点震源としてのETASモデルにおける誘発効果のバイアスを補正することができる。また、2次余震以降の余震活動をより適確に分類できる利点もあるこのモデルを気象庁一元化カタログとイタリアのISIDEカタログに適用したところ、本震に直接起因する余震活動はアスペリティの近傍に位置するケースが多く、一次余震は本震によるすべりを補完する部分に発生することがわかった(図4)本手法は、本震時のすべりインバージョンの高度化や本震後の短期の余震確率予測に役立つものと思われる

活断層周辺の断層強度や応力状態を地震誘発作用の観点から検討することもできる。今年度は2011年東北地方太平洋沖地震によって動的に誘発された西南日本の地震活動を防災科学技術研究所の波形データを使って詳細に調べた(Opris et al., 2018、図5)その結果、従来指摘されていたレイリー波による影響よりも、大振幅のラブ波到達とより相関が良いことがわかった。また、動的に誘発された地震活動の継続時間は7日間程度であり、長期に継続する静的応力変化による誘発地震活動との違いが浮き彫りになった(図6)一方、2016年4月16日の熊本地震でも、広域で表面波による誘発地震(動的トリガリング)が発生した余震域3箇所(震源断層域、阿蘇地域、湯布院-別府地域)に大森-宇津則をあてはめてp値を求めたところ、火山・熱水地域である阿蘇、湯布院-別府地域では優位にp値が高いことが分かった(図7)特に湯布院-別府地域は高い熱流量が推定され、応力緩和の効果によるものと考えられる

3. 静穏化検出と地殻変動

本年度は、地震活動の静穏化を用いて、過去に発生した大地震の長期予測を実施したその結果、ランダムに予測した場合よりも有意に良い結果が得られることが分かった手法は以下の通りである最初に、1964~2014年に発生した実体波マグニチュード mb 5.0以上で震源の深さ60km以浅の地震のリス

トを International Seismological Center のデータベースからダウンロードする次に、ダウンロードしたデータから長さ 22 年間の短いリストを 30 組作成する例えば、1964~1985 年を 1 番目のリスト、1965~1986 年を 2 番目のリスト、1966~1987 年を 3 番目のリスト、などとするこれらのリストは Zhuang et al. (2002) の方法でデクラスタリングした次に、1 番目のリストを用いて 1985 年時点における地震活動の静穏化を探索する研究領域はカムチャツカ半島から千島列島、北海道沖、東北沖、房総沖を通り伊豆小笠原諸島に至るこの領域を 0.1×0.1 度の空間格子に分割するある一つの格子点近傍から 10 個の震央を取り、時間順に並べ、最後の地震発生時と 1 番目のリストの終わり (1985 年 12 月 31 日) との時間差 dT を計算するただし、格子点から半径 100km 以内に 10 個の地震が無い場合は、その格子点は解析及び成績評価から除外するもし dT が 10.8 年以上ならば、警報を 4 年間 (1986~1989 年) ON にする警報 ON の領域は、この格子点を中心とした半径 100km の円内である以上の処理を全ての格子点と 30 組全てのリストに対して行い、1990~2015 年の 1 年毎の予測マップを作成した Global CMT カタログによると、この期間に研究領域内では $M_w7.5$ 以上、80km 以浅の地震が 10 個発生したその内、 $M8$ クラスが 3 個、 $M9$ クラスが 1 個含まれている 10 個の内 7 個が警報 ON 領域で発生し、残りの 3 個が警報 OFF 領域で発生したしたがって、予知率は $7/10=70\%$ であるまた、警報 ON 領域が占める割合、警報分率は 24%なので、確率利得は $70\%/24\%=2.9$ である警報分率 24%の場合、10 個中 7 個の地震が偶然警報 ON 領域で発生する確率 P は、 $0.24^{**7} \times (1-0.24)^{**3} \times 10C7=0.24\%$ である P 値が 1% より十分小さいので、地震活動の静穏化による長期予測は統計的に有意である。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
- Cho, I., and Iwata, T., 2017, The relationship between normalized horizontal-to-vertical spectral ratios (HVSRs) of microtremors and the F distribution, *Exploration Geophysics*, EG17110, doi:10.1071/EG17110.
- Guo, Y., Zhuang J., Hirata N., Zhou S., 2017, Heterogeneity of direct aftershock productivity of the main shock rupture. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 122, doi:10.1002/2017JB014064.
- Heidarzadeh, M., O. Necmioglu, T. Ishibe and A.C. Yalciner, 2017, Bodrum-Kos (Turkey-Greece) M_w 6.6 earthquake and tsunami of 20 July 2017: a test for the Mediterranean tsunami warning system, *Geoscience Letters*, 4:31, doi:10.1186/s40562-017-0097-0.
- Heidarzadeh, M., T. Harada, K. Satake, T. Ishibe and T. Takagawa, 2017, Tsunamis from strike-slip earthquakes in the Wharton Basin, northeast Indian Ocean: March 2016 M_w 7.8 event and its relationship with the April 2012 M_w 8.6 event, *Geophys. J. Int.*, doi:10.1093/gji/ggx395.
- Ishibe, T., Y. Ogata, H. Tsuruoka, K. Satake, 2017, Testing the Coulomb stress triggering hypothesis for three recent megathrust earthquakes, *Geoscience Letters*, 4:5, doi:10.1186/s40562-017-0070-y.
- Marsan, D., M. Bouchon, B. Gardonio, H. Perfettini, A. Socquet, and B. Enescu, 2017, Change in seismicity along the Japan trench, 1990-2011, and its relationship with seismic coupling, *J. Geophys. Res., Solid Earth*, 122, 4645-4659, doi:10.1002/2016JB013715.
- Maeda, S., T. Matsuzawa, S. Toda, K. Yoshida and H. Katao, 2018, Complex microseismic activity and depth-dependent stress field changes in Wakayama, southwestern Japan, *Earth, Planets and Space*, 70:21, doi:10.1186/s40623-018-0788-6.
- Opris, A., B. Enescu, Y. Yagi and J. Zhuang, 2018, Triggering and decay characteristics of dynamically activated seismicity in Southwest Japan, *Geophys. J. Int.*, 212(2), 1010-1021, doi:10.1093/gji/ggx456.
- Saade, M., J.P. Montagner, P. Roux, K. Shiomi, B. Enescu and F. Brenguier, 2017, Monitoring of seismic anisotropy at the time of the 2008 Iwate-Miyagi (Japan) earthquake, *Geophys. J. Int.*, 211(1), 483-497, doi:10.1093/gji/ggx321.
- Vuan, A., M. Sagan, G. Amati and A. Kato, 2018, Improving the Detection of Low-Magnitude Seismicity Preceding the $M_w=6.3$ L'Aquila Earthquake: Development of a Scalable Code Based on the Cross-Correlation of Template Earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 108, 471-480, doi: 10.1785/0120170106.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

活断層沿いの地震活動の時空間的特徴を抽出するために、地理情報システム (GIS) への地形・地質、活断層情報、地殻変動データ、震源データの統合作業を継続する。その際に、活動間隔や破壊域のゆらぎに関する文献レビューを実施し、古地震パラメータの抽出の注意点を整理する。同時に実施する震源再決定データ等も活用し、空間クラスターの特性抽出とその定量化を行う。一方で、実断層の摩擦特性と地震活動との関係を明らかにするため、南アフリカ金鉱山で実施している観測と解析を引き続き実施する。プレート境界では解明しがたい多数の繰り返し中における活動間隔や破壊域の変動 (破壊パッチの移動や出現、消失など) が観察できる可能性がある。

地震カタログの整備については、気象庁一元化処理震源と走時データを基準にして、気象庁イベントの地震波形から相対走時差データを作成し、震源の再決定作業を進める。また、気象庁一元化処理震源によるテンプレート地震波形と連続波形データとの相互相関解析を行い、新たな地震カタログを構築する。

余震活動の詳細解析を引き続き進める。特に、2016 年熊本地震の稠密余震観測網のデータ解析を実施し、できるだけ多数の震源情報を抽出する。その後相対震源決定を行い、相対精度数百 m 以内の精緻化された余震活動の震源カタログを作成する。同時に余震補充の統計手法も検討する。さらに、熊本地震だけではなく、2000 年 ~ 2018 年に日本で発生した大地震による広域での動的トリガリングを調査し、地殻応力状態や断層強度と地震誘発との関連性を検討する。

活断層周辺の応力状態推定に関しては、P 波初動をデータとした応力空間パターン推定手法の開発を引き続き行い、他データへの適用を行うと共に、3 次元への適用を可能とするなど、手法の拡張を試みる。

地震活動の静穏化については、2011 年東北沖地震など日本列島周辺の巨大地震前の静穏化について統計解析を引き続き行い、大地震にともなう静穏化の統計的有意性を詳しく検討する。同時に Mw のより小さな地震についても同様の解析を試みて静穏化の有無を調査する。これらの検討を通じて、地震サイクル後半での静穏化メカニズムの解明と破壊直前の標準モデルの構築を目指す。加えて、地震活動を準リアルタイムにモニタリングするシステムの構築に向けたコードの開発ならびに検証を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

担当者 : 遠田晋次 (東北大学災害科学国際研究所)

他機関との共同研究の有無 : 有

参加人数 11 人 (担当者を含む) 北海道大学 (勝俣 啓) つくば大学 (Enescu Bogdan) 東京大学地震研究所 (中谷正生、加藤愛太郎、酒井慎一、五十嵐俊博、鶴岡 弘) 統計数理研究所 (Zhuang Jiancang) 常磐大学 (岩田貴樹) 京都大学防災研究所 (片尾 浩)

(12) 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/>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 遠田晋次

所属 : 東北大学災害科学国際研究所

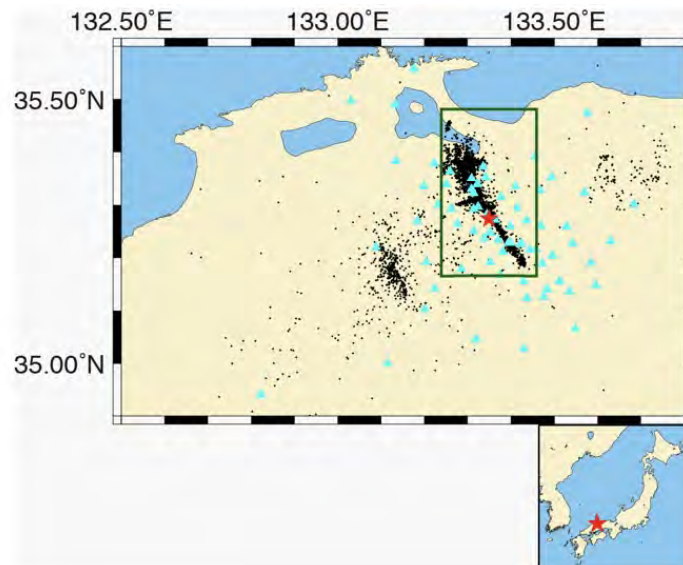


図1 応力空間パターン推定手法を適用した2000年鳥取県西部地震の余震データとその解析領域（深緑の四角：東西20km x 南北35km）
赤星は本震震央を、水色三角は稠密観測による臨時観測点をそれぞれ表す。

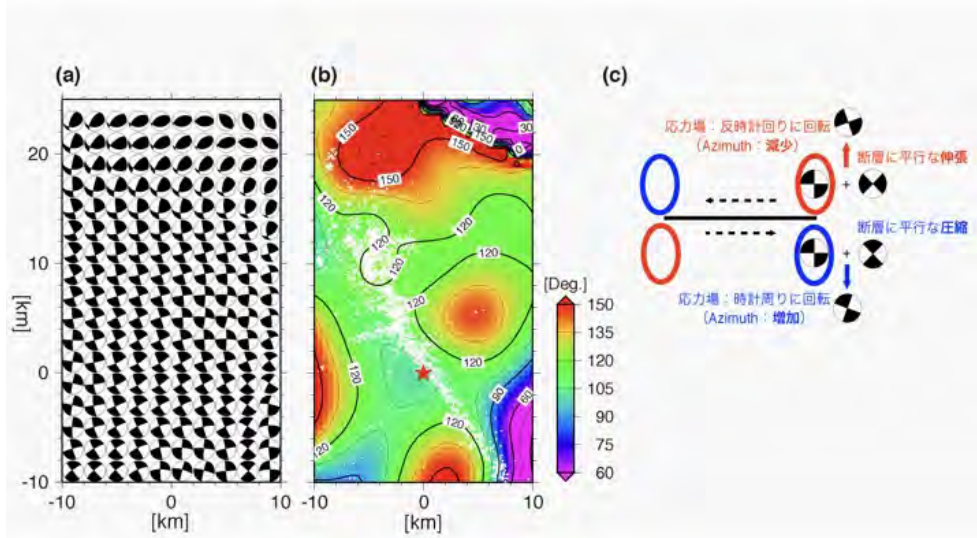


図2 2000年鳥取県西部地震の余震域に対する推定結果
(a) 主応力軸の向き（震源球を用いて表現）および (b) 最大主応力軸の方位角（北から時計回り）それぞれの推定された空間パターン (c) 左横ずれ断層において期待される応力場の回転。圧縮/伸張が生じる領域で、最大主応力軸がそれぞれ時計/反時計回りに変化する。

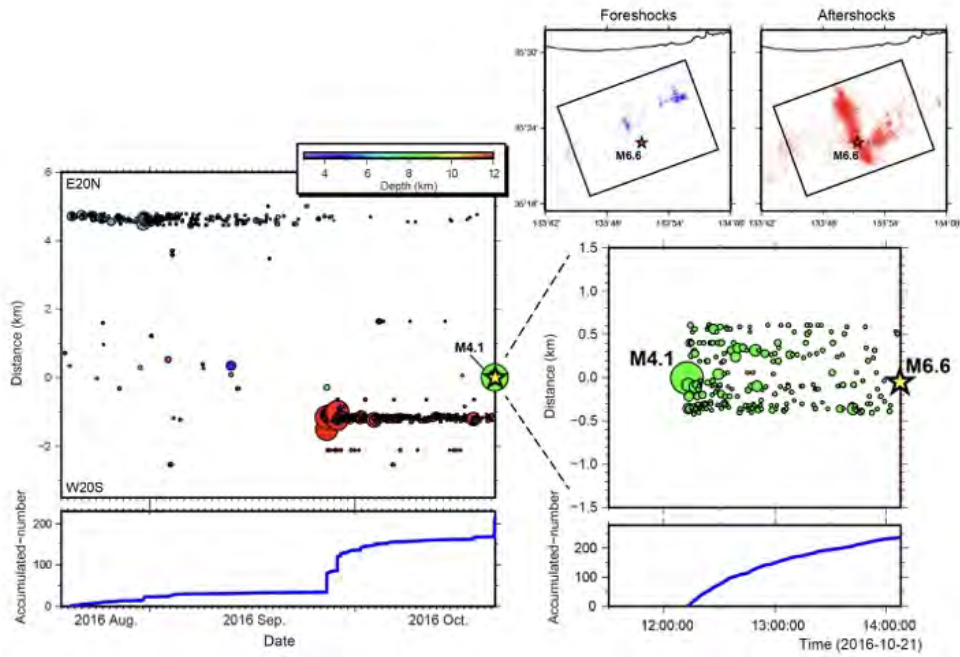


図3 2016年鳥取県中部地震の発生前に見られた地震活動の時空間発展図

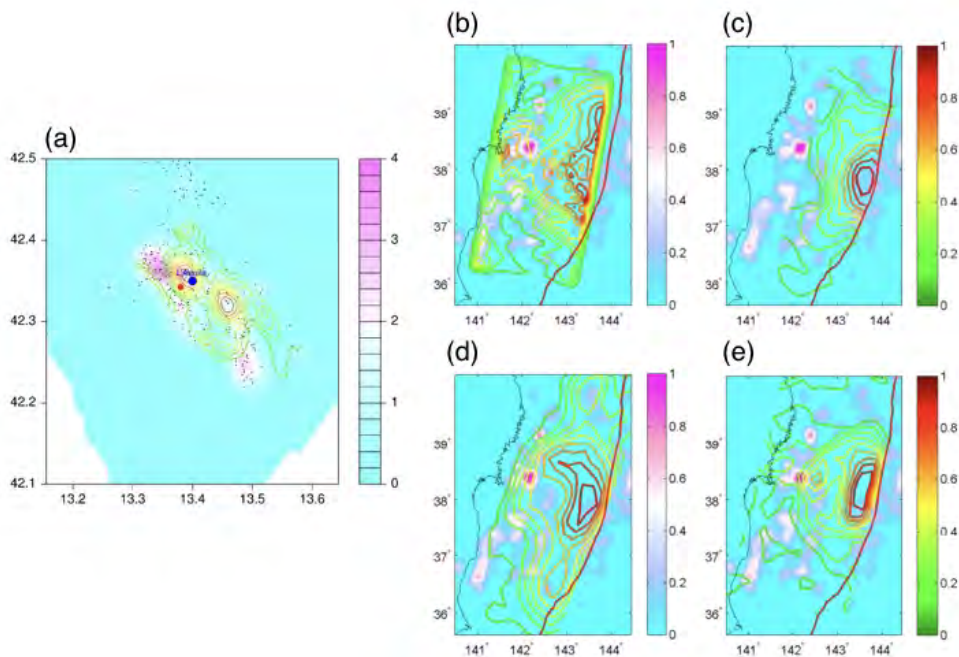


図4 有限断層 ETAS モデルによって求められた相対的余震生産性の分布
 (a) イタリア、ラクイラ地震、(b-e) 東北地方太平洋沖地震 (震源断層モデルは、それぞれ (b) Ide et al. [2011], (c) Yagi and Fukahata [2011], (d) Wei and Sladen [2011], and (e) Hayes [2011]) .

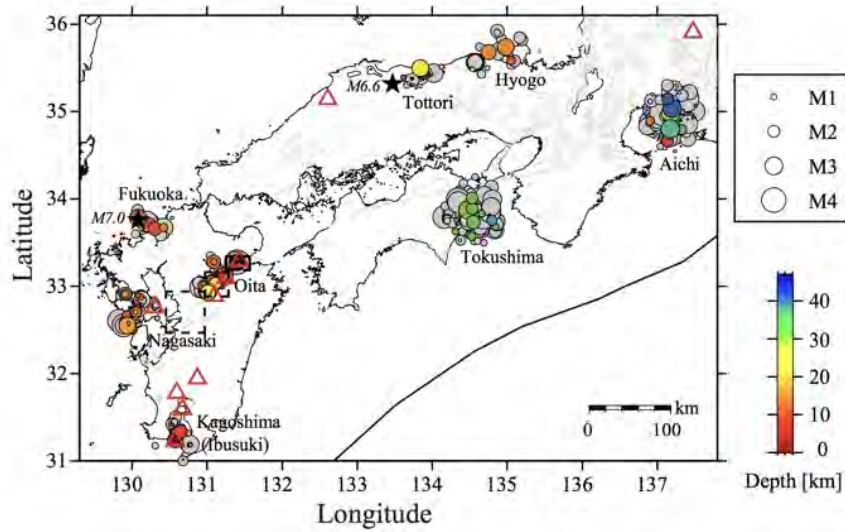


図5 2011年東北地方太平洋沖地震によって動的誘発地震活動が観測された地域
 灰色の円は最初に誘発地震が検出された地域から半径30km以内の気象庁一元化震源。期間は東北沖地震の前後60日。色付きの円は最初の1週間。黒星印は2000年鳥取県西部地震、2005年福岡県西方沖地震の震央を示す。九州の破線のボックスは熊本地震の3つの余震域。赤三角は活火山を示す。

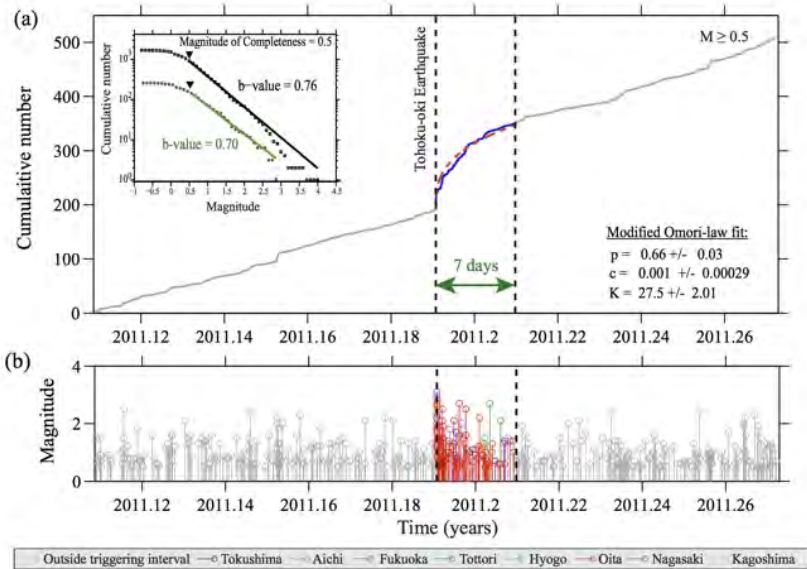


図6 遠地誘発地震活動がみられた地点での東北地方太平洋沖地震前後の地震活動の時系列
 (a) すべての地点をスタックした地震活動積算曲線。東北沖地震後の7日間の活動は青線で示す。赤破線は大森-宇津則による理論曲線。左上は前期間のM-頻度分布 (b) 同じ期間のMTダイアグラム。東北沖地震後のステムプロットの色は地域毎に変えている。

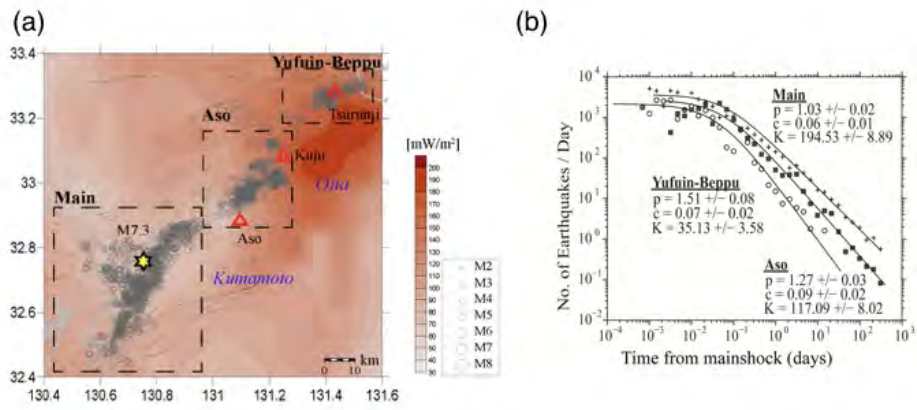


図7 2016年熊本地震の3つの余震活動域と地殻熱流量、余震減衰 p 値との関係

(a) 熊本地震の余震分布 (気象庁一元化データ、2016年4月16日~2017年2月14日) と地殻熱流量分布 (b) 3地域 (震源断層域、阿蘇地域、湯布院-別府地域) における余震減衰と大森-宇津則の最適パラメータ値。

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震に先行する大気中ラドン濃度変動に関する観測

(3) 最も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活動予測

(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・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

ウ. 内陸地震と火山噴火

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

大学及び研究機関の放射線管理施設のモニタリングネットワークによって、広域な大気中ラドン濃度変動をモニタリングすることができる。そこで、本研究では放射線管理施設が有する排気モニターを用いて、全国で大気中ラドン濃度の測定を行い、巨大地震前の地殻変動を大気中ラドン濃度変動からモニタリングすることを目的とする。広域での地殻変動モニタリングを行うために、全国規模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観測データの解析に基づいた研究を行う。収集したデータの解析により大地震に先行するラドンガス放出と地殻変動の関連を明らかにし、地震・火山噴火の発生ポテンシャルの評価に資することを本研究の目的とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

現在19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る。また更に地殻変動モニタリングに使用出来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目指す。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する。平成26年度は、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行う。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、地殻変動との比較を行い、大地震に先行するラドンガス放出と地殻変動の関連を明らかにしていく。

(8) 平成29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と測定データの解析

平成26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出来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を拡大し、得られた広範囲・長期間データを用いて大気中ラドン濃度を推定し、地震・火山噴火・ゆっくりすべり・地殻ひずみなどのイベントと比較した。今年度は、鳥取大学(図1)と信州大学(図2)の放射線管理施設のデータ解析結果を得たほか、これまでに得られているデータの解析(久留米大学、鹿児島大学等)を現在進めている。また、札幌医科大学と福島県立医科大学の観測データに関して、大気中ラドン濃度変動と地震活動の類似性の解析(図3)を岩田(東北大学)が行い、神戸薬科大学のデータのスペクトル解析を現在大森(福島県立医科大学)と進めている。

現在弘前大学、福島県立医科大学、大阪薬科大学、札幌医科大学、神戸薬科大学、高知大学の観測データの取り出しも行っている。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。今年度は和歌山県立医科大学の解析結果が、Goto et al. (2017, Radiation Protection Dosimetry) に掲載された。また継続して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新たに探し、ネットワーク拡大を行っている。

2) ラドン濃度測定器の比較

今年度は、大気中ラドン濃度や水中ラドン濃度の測定のための測定手法の開発を行った。この手法は、大気中ラドン濃度の汎用モニタによる測定や地下水中ラドン濃度の測定に貢献することが期待される。

2-1) ラドン濃度測定における管理モニタの校正

放射線施設において、管理区域内からの放射性同位元素の漏えいを24時間監視している施設が多くあり、その監視モニタとして通気式電離箱を用いている。平常時のデータは、そのモニタの値の変動を屋外空気中のラドン濃度の変動に利用できる。零点移動自動補正が装備されているタイプの電離箱(日立製作所製)については、測定する空気の温度の変動に関係なく、ラドン濃度を測定できることは既に検証されている。零点移動自動補正が装備されていないタイプの電離箱(富士電機製)については、ラドン濃度測定 of 空気温度変動の依存性について明らかになっておらず、検証を行った。その結果、零点移動自動補正が装備されていないタイプの排気用管理モニタについては、バックグランド値と変換係数において測定する空気の温度の影響を受けることを明らかにした(吉井ほか, 2018)。

2-2) 連続測定における汎用モニタ(AlphaGUARD)と高感度モニタの比較

平成28年度成果報告でも速報的に報告した汎用モニタ(AlphaGUARD)と高感度モニタ(日立製作所排気モニタ及びPME-TEL)による空気中のラドン濃度測定と比較検討結果をTanaka et al. (2017, Radiation Protection Dosimetry) で公表した。AlphaGUARDは、有効性の低い容積検出器であり、現在入手可能な最も一般的なポータブルラドンモニターの1つである。この研究では、高感度モニタと汎用モニタによるラドン濃度測定結果の経時変化を解析した結果、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く、AlphaGUARDは世界平均大気レベル(10 Bqm^{-3})は測定困難で、少なくとも3時間および10時間の積分データを使用して、世界平均レベル(約 50 Bqm^{-3})および職場の基準レベル(1000 Bqm^{-3})

のラドン濃度の正確な測定を提供することが明らかとなった。

2-3) 活性炭型ラドン検出器による屋内ラドン濃度測定の見直し

空気中ラドン濃度測定のために活性炭型ラドン捕集器(ピコラド)が用いられてきた。しかし、液体シンチレーションカウンタ(LSC)の計数率からラドン濃度への変換係数について見直しの必要があると報告されてきた。これまで神戸薬科大学・弘前大学・放医研グループは、溶出の時定数(活性炭からシンチレータへの溶出速度)と変換係数をロット毎に決定する必要性を報告してきた。屋内レベルのラドン濃度測定では、測定時間を60分間と長くする必要があり、溶出の時定数を把握することでより正確なラドン濃度測定が可能となった。そこで、ピコラドにより屋内ラドン濃度レベルの測定が可能かどうかを検討し、ピコラドによる空気中ラドン濃度の測定可能レベルで 50 Bqm^{-3} 以上では測定可能であった。さらに、 30 Bqm^{-3} 以下の低レベルでも、誤差30%の精度で測定可能であることが明らかにした(藤井ほか, 2017)。

2-4) バブリング法による水中ラドン濃度測定について

RAD7(DURRIGE社製, USA)を用いたバブリング法は、水中ラドン濃度 25 Bqm^{-3} 以上で、鉍泉分析法指針に記載されている液体シンチレーションカウンタによる定量と同等に測定できることを明らかにした。空気中ラドン濃度においては、測定器としての感度がRAD7の10倍程度高い基準モニタとRAD7での並行測定を行い、RAD7が基準モニタと同等に測定できるには、257カウント必要であることが明らかになった。このことから、バブリング法で、RAD7の250ml容器を用いて20分測定(5分間×4回 計20分間)した場合、水中ラドン濃度 5 kBqm^{-3} が測定下限であることを明らかにした(神代ほか, 2017)。

(9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Goto, M., Yasuoka, Y., Nagahama, H., Muto, J., Omori, Y., Ihara, H. and Mukai, T. (2017) Anomalous changes in atmospheric radon concentration before and after the 2011 northern Wakayama Earthquake (Mj 5.5). Radiation Protection Dosimetry, 174, 412-418.

Tanaka, A., Minami, N., Yasuoka, Y., Iimoto, T., Omori, Y., Nagahama, H., Muto, J., Mukai, T. (2017) Accurate measurement of indoor radon concentration using a low-effective volume radon monitor. Radiation Protection Dosimetry, 177, 324-330.

神代悠希, 石原万己, 藤井さとみ, 安岡由美, 細田正洋, 岩岡和輝, 床次眞司, Miroslaw Janik, 武藤潤, 長濱裕幸, 向高弘 (2017) バブリング法による水中ラドン濃度測定について. Proceeding of the 18th Workshop on Environmental Radioactivity, 333-338. 高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 2017.

Iwata, D., Nagahama, H., Muto J. and Yasuoka, Y. (2017) Change point in log-periodic power law time series of atmospheric radon concentration. JpGU-AGU Joint Meeting, 2017, Makuhari Messe. May 20-25th, 2017.

藤井さとみ, 新井友里愛, 安岡由美, 飯本武志, 床次眞司, Miroslaw Janik, 長濱裕幸, 武藤潤, 向高弘 (2017) 活性炭型ラドン検出器による屋内ラドン濃度測定の見直し. 第67回日本薬学会近畿支部大会. 2017年10月14日, 開催場所, 兵庫医療大学.

吉井未来, 石原万己, 南のどか, 安岡由美, 床次眞司, 長濱裕幸, 向高弘 (2018) ラドン濃度測定における管理モニタの校正. 第19回「環境放射能」研究会, 2018年3月13日. 高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 2018.

(10) 平成30年度実施計画の概要 :

各年度大学及び研究機関の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。また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。

(11) 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：有
神戸薬科大学 安岡由美
福島県立医科大学：本間好・鈴木俊幸

(12) 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/

(13) 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

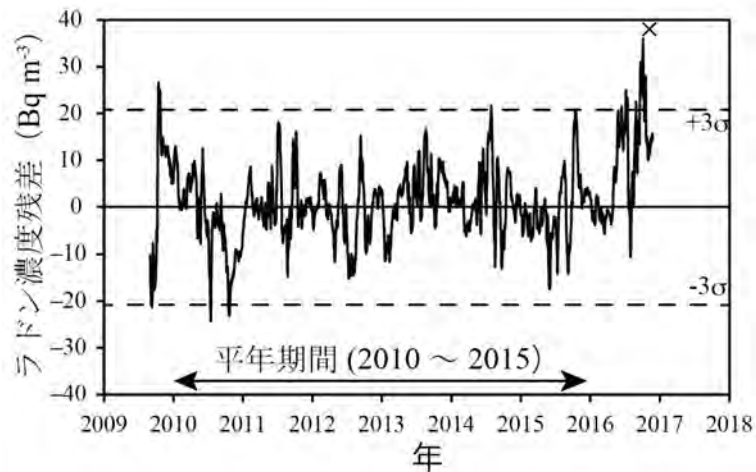


図1 鳥取大学鳥取地区放射性同位元素施設（鳥取県鳥取市）の排気モニタの計測データによる大気中ラドン濃度変動残差（鳥取大学）。

長期成分（経年変動成分）と季節変動成分を取り除いた残差値。×印は鳥取中部地震（Mj 6.6，深さ 10 km）の発生日時（2016 年 10 月 21 日）。観測点からの震央距離は 32.5 km。点線は平年期間のラドン濃度残差値標準偏差の 3 倍を示す。

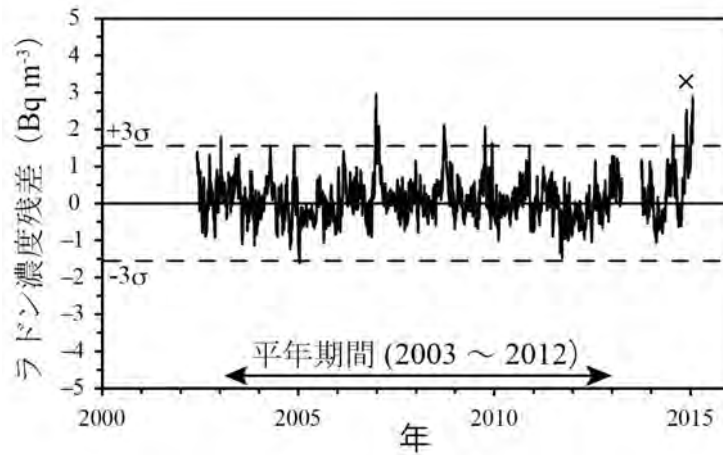


図2 信州大学松本キャンパス RI 実験施設 (長野県松本市) の大気中ラドン濃度変動残差。長期成分 (経年変動成分と12年周期成分) と季節変動成分を取り除いた残差値。×印は長野県神城断層地震 (Mj 6.7, 深さ 5 km) の発生日時 (2014 年 11 月 22 日)。観測点までの震央距離は 50 km。点線は平年期間のラドン濃度残差値標準偏差の 3 倍を示す。

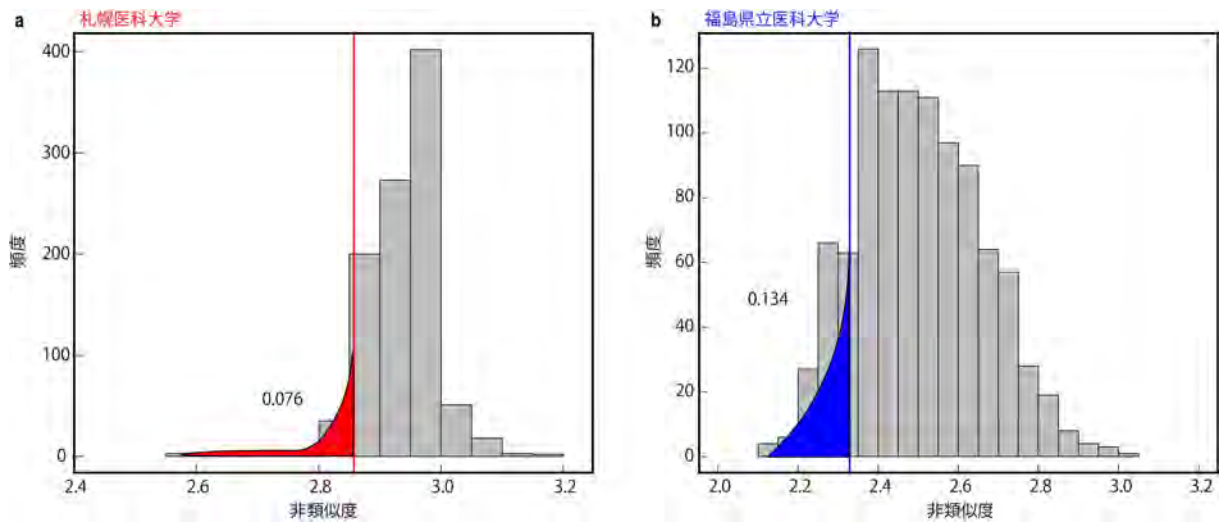


図3 大気中ラドン濃度変動と地震の非類似性。(a) 札幌医科大学, (b) 福島県立医科大学。ヒストグラムはランダムな地震時系列とラドン濃度との非類似性を示し, 縦線は実際の地震系列とラドン濃度との非類似性を表す。非類似性の値が小さいほど地震活動と大気中ラドン濃度変動との相関が高いことを示す。

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

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

(3) 最も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) 事象系統樹の高度化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

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

イ. 熱水系の卓越する火山

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の事前評価手法の高度化

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

逐次変化する火山活動に対応した予測は、火山噴火予知連絡会などによる専門家会合を開き、地球物理学的観測や物質科学的分析による結果を総合的・多面的に理解することによってなされてきた。今後、より迅速な対応をとれるように、このような専門家による判断をより客観化・一般化することにより、科学的知見として将来に蓄積する必要がある。本研究では、リアルタイムで得られる各種の観測データと火山活動や噴火現象の分岐との関係を具体的に記述し、噴火事象系統樹をより高度なものに発展させることを目的に、現在の火山学的知見および本研究計画により明らかとなる法則をまとめ、噴火事象の分岐判断の基準の作成を進める。具体的には、以下の目標を掲げる。

1. 現在の火山学的知見をもとに、火山噴火現象を類型化し、災害や火山・噴火活動にとって重要な事象の分岐点を網羅的に調べる。

2. 事象の分岐点について、過去の観測データによる経験、理論・実験的な予測等にもとづき、事象分岐の判断方法をまとめる。

3. まとめられた分岐判断の方法をもとに、類型化された火山や火山噴火現象ごとに適切な観測項目・体制を明らかにする。

このような判断基準の作成はこれまで試みられていない。5年間でプロトタイプを作成することを目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要 :

上記目標にある3項目をほぼ番号順に進める。活発な火山活動を示す火山(桜島等)や防災上重要な火山(富士山等)については、それぞれの火山における噴火シナリオの分岐判断条件を検討する。

平成26年度においては、主に項目1について実施するとともに、項目2に着手する。マグマの特性やテクトニクス的な背景、これまで提案されている噴火事象系統樹を参考にしながら、火山活動および噴火活動の事象分岐点を網羅的に調べる。さらに、災害軽減の観点から、とくに重要な事象分岐点を抽出する。重要な事象分岐点について、地震学、測地学、電磁気学、火山ガス・噴出物分析学などの、現在までの火山学的知見をもとに、先行現象と噴火現象に関する経験則や理論的な予見の調査を開始する。

平成27年度においては、項目2を継続し、事象分岐の判断基準の表を試作する。経験則には、観測事例数、適用範囲、再現性などを、理論的な予測法については、観測による検証、条件などをもとにして、いくつかのランクを設定し、分岐条件の判断基準の確からしさを加えることを検討する。

平成28年度においては、外部資金等を利用し、国内外の火山研究者とセミナーを開催し、国内外の火山の事例の比較研究を行う。これをもとに平成27年度に作成した事象分岐の判断基準の問題点を明らかにし、分岐条件の判断基準の再作成を行う。

平成29年度には、まとめられた事象分岐の判断基準をもとに、現在の火山観測体制での利用可能性を検討する。また、必要な観測体制や研究の方向性をまとめる。

平成30年度には、5年間を総括し、本課題から提案する事象分岐の判断基準と今後の課題を総括し、文書にまとめる。

研究課題実施中には、他の研究課題とつねに連携を取り、それらの研究成果を取り入れるだけでなく、特に重要な研究内容を提言する。また、事象分岐の判断基準のもととなる論文、観測報告等を電子媒体等によりまとめ、常に検証・再構築できるようにする。

(8) 平成29年度の成果の概要 :

平成29年度においては、5月に地球惑星連合大会で、国内外の火山研究者を集めて事象分岐に関するセッションを開催した。モデルや室内実験に基づく研究、火山ガスや火山灰等の物質科学的分析、火山体内の火山性流体の活動に関する観測的研究に基づく分岐に関する発表が計17件行われ、国内外の火山の比較や理論的研究の成果が議論された。また、平成28年度までの成果に基づき、事象分岐の判断に利用できる事象の整理、基準の作成方法について検討し、今年度は、多項目地球物理学的観測や地質・岩石学的分析に基づく分岐判断の調査、複数の火山の比較、また理論モデルによる火山活動分岐と火山性流体活動の関係に関する研究が行われた。

地球物理学的多項目観測による調査は、阿蘇山、桜島、口永良部島、霧島山、十勝岳、吾妻山、草津白根山などに対して行われた。これらの火山では、地震回数や火山性地震の波形特性の時間変化、測地測量にもとづく地下の体積変化量の時空間変化、熱的活動や地磁気変化の各種観測量が詳細に調べられた。噴火が発生した火山に対しては、噴火時期が近づくにつれて、次第に多くの項目の観測量に活発化を示すシグナルが現れることが見いだされた。阿蘇山では、マグマ噴火と水蒸気噴火発生前の現象比較も行われ、噴火様式を直前予測の可能性が調べられた。また、噴火の発生した火山としていない火山についての、観測量の比較が行われた。これらの結果に基づき、前兆現象の整理や活動度の活発さの評価方法の提案が行われた。一方、ひとつの観測指標にもとづく、火山活動や噴火活動推移の調査も行われた。世界の地震・噴火のデータベースから、噴火前後に、中規模地震の発生頻度が高まることが明らかとなった。また、国内9火山で発生した噴火発生事例に対して、2000年頃から整備されたGNSSの長期データに基づきの中率が調べられた。その結果、約4割が的中、約5割が噴火未遂、残りが空振りとなることがわかった。

地質・岩石学的分析にもとづく研究では、樽前山と北海道駒ヶ岳において、地下マグマ溜まりへのマグマ貫入やマグマ混合プロセスのモデル化が進み、中長期的な火山噴火活動理解にもとづく現状把握が行われた。また、メラピ山やケルト山を例として、噴出様式や規模を並べる噴火事象系統樹だけ

でなく、噴火様式によく関連する噴出率や、多項目観測量の指標と連動する系統樹の作成の必要性が明らかとなった。

観測量の分岐現象と地下火山性流体の活動変化の関係をつなげる、モデル化も行われた。山体近傍で発生する火山性地震数の変化から山体膨張/収縮による活動変化を差し引くことで、火山活動に重要な役割を果たす火山性流体による地下の間隙圧上昇を検知する方法が伊豆大島や御嶽山、箱根山に適用され、噴火活動との関係が調べられた。また、岩脈シミュレーションにより、しばしば火山近傍で観測される相似地震の活動はダイク貫入の上昇や停滞と関連することが示唆された。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
Nishimura, T., 2017, Triggering volcanic eruptions by large earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 7750-7756, doi: 10.1002/2017GL074579.

- (10) 平成 30 年度実施計画の概要：

これまでに調べた噴火現象や火山活動の分岐に関する観測や理論・実験から予測される現象について、今後の課題を考慮しながら、事象分岐の判断基準あるいは確率付与とともに文書にまとめる。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東北大学	西村太志、中村美千彦
他機関との共同研究の有無：	有
北海道大学	中川光弘、橋本武志
東京大学	中田節也、森田裕一
東京工業大学	野上健治
京都大学	鍵山恒臣、井口正人
九州大学	清水 洋
気象庁	松森敏幸
気象研究所	高木朗充
産業総合研究所	篠原 宏志
防災科学技術研究所	藤田英輔

- (12) 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球物理学専攻
電話：022-796-6531
e-mail：zisin-yoti-aob@grp.tohoku.ac.jp
URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

- (13) 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地球物理学専攻

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

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

(3) 最も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

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(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・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究課題では、(1) 海陸の複数測地データを用いてプレート境界及びその周辺で発生する巨大地震の規模及びその広がりを即時(イベント発生後 3 分以内)に把握し、それに基づく津波の高精度予測のための技術開発、(2) 数日以下の時定数を持つゆっくりとしたプレート境界上の滑り現象を GNSS データから自動検知するための解析技術の高度化及び地殻変動自動検知のためのアルゴリズム開発、(3) 火山活動の活発化に伴う地殻変動を検出し変動源の推定をリアルタイムで自動的に行う解析システムの開発、の 3 点を実施する。これらは準実時間でプレート境界や火山周辺における様々な時間帯の現象を迅速に把握する上での基盤技術であり、巨大地震発生後の津波即時予測や、プレート境界での滑りシミュレーションに取り入れるためのデータ逐次同化システムへの応用、火山活動の推移予測等を行う上で極めて重要である。これらの技術開発により、プレート境界で発生する津波や火山噴火による被害等の軽減及びプレート境界型地震の短期予測に資するデータの提供を目指し、防災・減災ならびに地震・火山噴火予測に貢献する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本計画は、(1) 複数の測地データ (GPS、地殻変動連続観測、海底水圧計等) を使用して、プレート境界及びその周辺で発生する巨大地震の地震規模を即時に推定し、高精度津波予測に活用するための技術開発、(2) GPS、GLONASS、Galileo 等を含めた複数 GNSS 衛星を用いて、数日以下の時間帯域におけるゆっくりとした地殻変動を準実時間で捉えるための解析手法の高度化、(3) 火山活動の変化に伴って観測される山体変形を準実時間で確実に把握しその変動源の時空間変化を推定できる解析技術の高度化、の3つの技術開発項目で構成される。

(1) に関しては、これまでに開発を進めてきたリアルタイム GPS データに基づいて巨大地震に伴う地殻変動を自動検知・推定するアルゴリズム (RAPiD) を GPS 以外の GNSS 衛星及び地殻変動連続観測データでも利用できるように拡張し、得られる観測量から断層面での不均質滑りを即時推定するアルゴリズムを開発して、それらに基づく高精度な津波予測システムの開発を進める。年次進行としては、平成 26、27、28 年度にかけて GNSS データと地殻変動連続観測データのノイズ特性に配慮した地殻変動検知アルゴリズムを開発し、平成 29、30 年においてリアルタイム観測データを用いたアルゴリズムの精度検証を行う。

(2) に関しては、GPS、GLONASS、Galileo 等を含めた複数 GNSS 衛星を用いて、数日以下の時間帯域におけるゆっくりとした地殻変動を準実時間で捉えるための解析手法の高度化を行う。数日以下の時間帯域では対流圏遅延の補正、マルチパスによる擾乱等の軽減等がノイズレベル軽減に重要である。それらに対流圏の数値予報モデル、Sidereal filter 等を用いて準実時間で軽減しつつ、高品位の座標時系列を得るための技術開発を5カ年通じて進める。また平成 28 年度以降、それら時系列から地殻変動を自動検出するアルゴリズムをこれまでに開発した RAPiD アルゴリズムを拡張する形で開発する。

(3) については、山体変形の検出技術は(2)と共通部分も多いが、山体変形の原因となる増減圧源については先験的情報も乏しいため、格子点状にモーメントソースを配置し、GNSS 観測データ等から地殻変動源モデルの時空間変化を精度良く推定する手法を開発する。なお、火山体変形を抽出する際には、現在もなお継続している東北地方太平洋沖地震に伴う余効地殻変動の影響を取り除く必要があるため、海陸測地観測による余効変動に関する研究課題と連携して計画を実行する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

平成 29 年度は主として2つの研究項目を実施した。1 点目が平成 28 年度に実施した GNSS 搬送波位相データから断層すべりを直接推定する手法を用いた地震時すべり分布推定であり、2 点目がリアルタイム GNSS データによって推定される震源断層即時推定における不確定性の定量的評価である。

(1) GNSS 搬送波位相データから断層すべりを直接推定する手法を用いた地震時すべり分布推定

平成 28 年度に実施した GNSS 搬送波位相データから断層すべりを直接推定する手法 (Phase To Slip, 以下 PTS と表記) の精度評価結果を受けて、同手法を用いて地震時の断層すべり分布の推定を試みた。本課題では、数日から1日以下程度の時定数を持つ地殻変動場を精密に捉えるための GNSS 解析の高精度化に係る研究開発を主として進めている。特にキネマティック GNSS 解析では、対流圏遅延に起因する未知パラメータと座標値との分離が原理的に困難であり、その精度向上を困難にしている。さらに、そのようにして推定されたキネマティック GNSS 時系列には、対流圏遅延に起因する誤差がその量の多寡は別として重畳し、最終的に求めたい地震・火山現象 (例えば断層すべりの時間発展) の推定の妨げとなる。このような観点から、本課題では平成 28 年度に Cewrveli et al. (2002) が提唱した GNSS の搬送波位相データから直接断層すべりを推定する手法である PTS を 2016 年熊本地震に適用し、1 枚の矩形断層上での横ずれ成分のみを推定を試み、そのすべりの時間発展を捉えることに成功した。平成 28 年度の成果を受け、平成 29 年度は同手法を 1 枚矩形断層のすべりだけではなく、断層面上におけるすべり分布の推定に拡張することを試みた。

対象とするのは平成 28 年度と同じ 2016 年熊本地震である。観測点としては震源域近傍の GEONET 観測点 20 点を用いた。また解析期間は本震時刻を中心とした 24 時間 (2016 年 4 月 15 日 04:25 ~ 4 月 16 日 03:25 (UTC)) であり、解析間隔は 30 秒である。すべり分布を推定ために Yurai et al. (2016) が GNSS や InSAR データの事後解析から推定した 3 枚の矩形断層から構成されるモデルを参考にし、日

奈久断層および布田川断層に沿うように2枚の断層を配置し、それらを小断層に分割し、それぞれの小断層上でのすべりの時空間発展の推定をPTSを用いて行った。PTSにおいては未知パラメータの推定に拡張カルマンフィルタを用いている。したがって、それぞれの未知数に確率過程およびそのプロセスノイズ値を与える必要がある。今回、各小断層におけるすべり量にはホワイトノイズの確率仮定を、大気遅延量にはランダムウォークを、各観測点の局所変動にはランダムウォークを、そして搬送波位相の波数不確定性にはホワイトノイズの確率過程をそれぞれ与えた。また小断層のすべり分布の推定においてはラプラシアンによる空間平滑化の条件を導入した。

PTSによって得られた本震の地震時すべり分布は布田川断層に沿って置いた断層面上でその最大すべり量が約6mであり、日奈久断層に沿って置いた断層面上では約4mの最大すべり量となった(図1)。これらの結果は、他のすべり分布モデルと大局的にはよく一致する結果であり、GNSSデータ解析をしなくても、搬送波位相のみを観測量としてモニタリングすることで地震時すべり分布を推定可能であることを示す結果と考えることができる。

(2) リアルタイムGNSSデータによって推定される震源断層即時推定における不確定性の定量的評価

国土地理院と東北大学理学研究科によって2012年9月以降、電子基準点リアルタイム解析システムREGARD (Real-time GEONET Analysis system for Rapid Deformation monitoring) の開発が進められている(Kawamoto et al., 2016, 2017)。同システムは、リアルタイムGNSSによって得られた地殻変動場にもとづいて、2種類の断層モデル(単一矩形断層、プレート境界におけるすべり分布)を即時的に推定している。このうち単一矩形断層の推定ではMatsu'ura and Hasegawa (1987)の手法を用いて、その断層パラメータを最尤推定している。同手法は非線形の問題を解くために予め断層パラメータに初期値を与える必要がある。REGARDでは気象庁緊急地震速報の値やUtsu (2001)によるスケールリング則、Terakawa and Matsu'ura (2009)によって推定された、地域毎の典型的な応力場の情報などを用いて初期値を与えることで断層モデル推定を行っている。しかし同手法の場合、得られる推定結果が与える初期値に強く依存する。例えば2016年熊本地震の際には、実際の面と共役な断層面を初期値として断層面推定が開始されたために、正解に近い断層面に推定結果が落ち着くまでに多くの時間を要したことが指摘されている(Kawamoto et al., 2016)。また、推定された断層面が持つ不確実性もその初期値に依存するため、その考慮が難しい。

このような背景をもとに、本年度はリアルタイムGNSSデータによって推定される震源断層即時推定における不確定性を定量的に評価することを目標として、マルコフ連鎖モンテカルロ法(Markov Chain Monte Carlo methods: 以下、MCMC)を用いた震源断層推定を試みた。

解析にはMCMCの一種であるメトロポリス・ヘイスティング法をもとに、一部改良を加えたものを用いた。適用事例は2011年東北地方太平洋沖地震であり、データはキネマティックGNSS解析から求めた永久変位成分である。未知パラメータは単一矩形断層モデルの断層パラメータ9つ(緯度、経度、深さ、走向、傾斜角、すべり角、長さ、幅、すべり量)であるが、ここではプレート境界型地震であることを考慮し、断層深さおよび傾斜角をプレート境界面に一致するように両者に拘束をかけた。マルコフ連鎖の総ステップ数は 1×10^7 として、Burn-inは10%とした。

図2に得られた事後確率密度分布を示す。すべり量以外の各パラメータについてはおおむね単一のピークを持つ分布が得られているが、すべり量は複数のピークを持つ複雑な分布を示す。また図3に断層面積とすべり量の相関を示す。この結果を見ると、断層面積とすべり量は明瞭なトレードオフの関係にあり、地震規模こそよく求まるものの、断層面積やすべり量の推定値には大きな不確定性があることが明瞭に把握できる。このような情報は推定された断層モデルに対して誤差の情報を付与し得るものであり、それらはそれら断層モデルから計算される津波予測の結果の誤差と考えることもできる。今後、これら断層モデルが持つ誤差をどのように津波予測の誤差として活用していくかを検討していく必要がある。

(9)平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
Ohta Y., T. Inoue, S. Koshimura, S. Kawamoto, and R. Hino, Role of real-time GNSS in near-field tsunami

forecasting, J. Disaster Res., in press.

Kawamoto S., N. Takamatsu, S. Abe, K. Miyagawa, Y. Ohta, M. Todoroki, and T. Nishimura, Real-time GNSS analysis system REGARD: an overview and recent results, J. Disaster Res., in press.

Kawamoto S., Y. Ohta, Y. Hiyama, M. Todoroki, T. Nishimura, T. Furuya, Y. Sato T. Yahagi, and K. Miyagawa, 2017, REGARD, A new GNSS based real-time finite fault modeling system on GEONET, J. Geophys. Res., doi: 10.1002/2016JB013485.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

平成 29 年度に引き続き、数日から 1 日以下程度の時定数を持つ地殻変動場を精密に捉えるための GNSS 解析の高精度化に係る研究開発を主として進める。特に平成 29 年度に地震時すべりの推定に成功した GNSS 搬送波位相データから断層すべりを直接推定する手法の数日から 1 日以下程度の時定数を持つ地殻変動現象への適用可能性についての検討を主として進める。また平成 29 年に実施したリアルタイム GNSS データによって推定される震源断層即時推定における不確定性の定量的評価を引き続き進める。また火山活動の変化に伴って観測される山体変形を準実時間で確実に把握し、その変動源の時空間変化を推定する技術開発を継続する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

太田雄策、三浦 哲、日野亮太

他機関との共同研究の有無 : 有

北海道大学 : 高橋浩晃

気象研究所 : 対馬弘晃

(12) 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/>

(13) 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地震・噴火予知研究観測センター

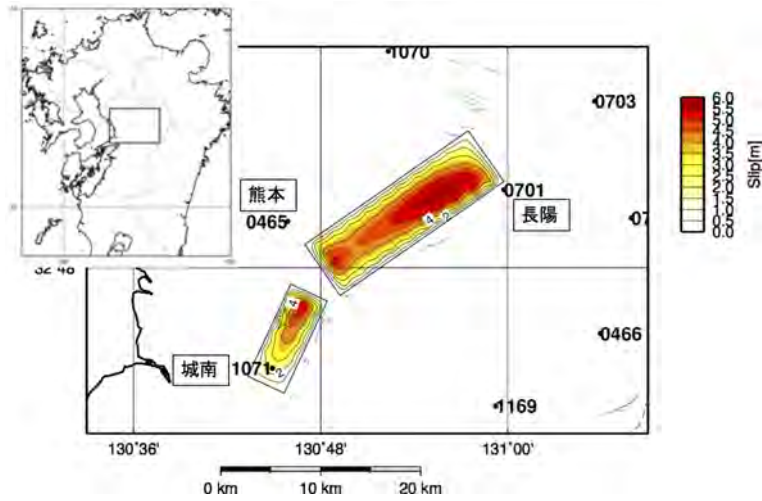


図 1
PTS により推定された 2016 年熊本地震本震時の地震時すべり分布

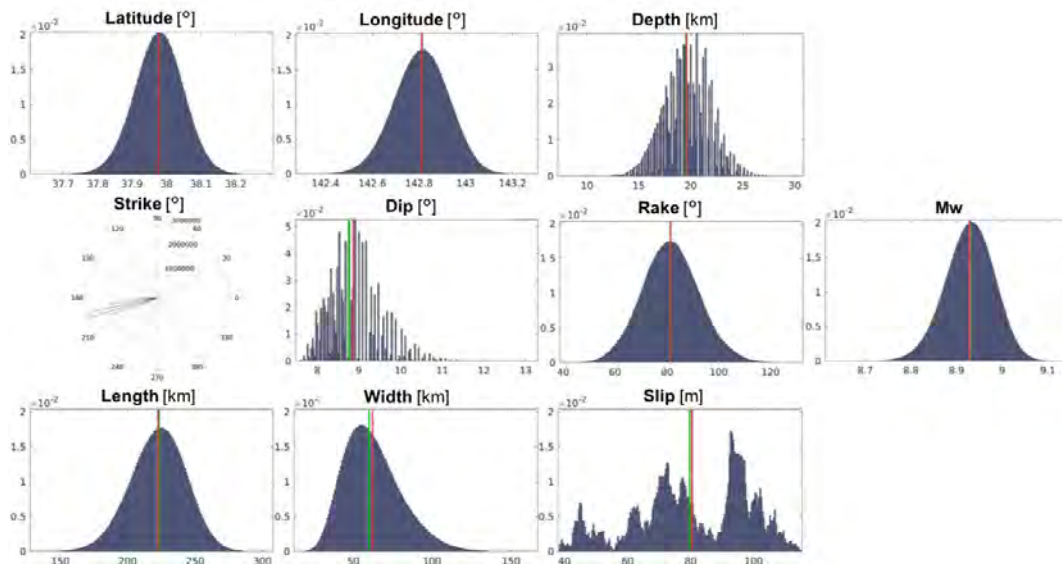


図 2
MCMC 法によって推定したリアルタイム GNSS による永久変位データにもとづく地震時単一矩形断層モデルの推定結果を確率密度分布で示す。

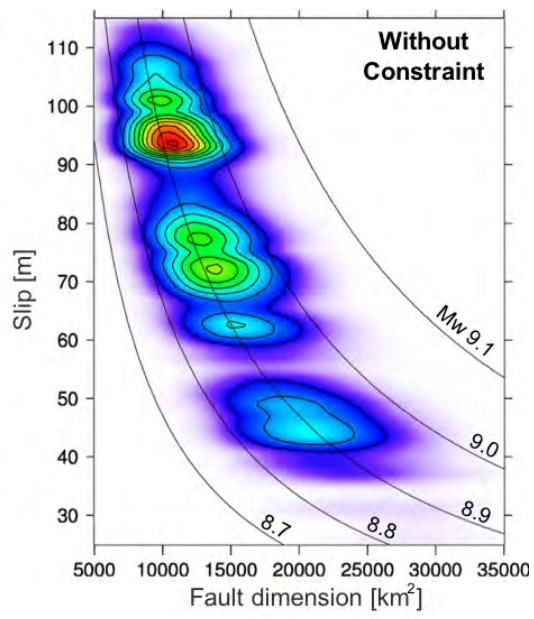


図 3

図 2 で推定された断層パラメータのうち、断層面積とすべり量の相関を正規化した頻度分布で示したもの。

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

海溝軸近傍で観測可能な海底地殻変動観測技術の開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 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・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

大きな津波を伴う海溝型の低頻度超巨大地震の発生過程において、海溝軸近傍の固着状態が非常に重要な役割を果たしていることが明らかにされつつある。東北地方太平洋沖地震後に整備された大学と海上保安庁の海底 GPS による地殻変動観測点網は、この事実を重視し、従来の観測点よりも海溝に近い大深度海域に重点的に展開されている。しかし、特に日本海溝における海溝軸直上付近での観測は、水深の倍程度の長い距離の測距の技術的困難さや、観測点を構成する海底局間の距離が、もはや剛体とは見なせない大きさになる原理的な限界から、未着手のまま残されている。これに対し海底間音響測距観測は、海底間同士の音響測距であるため距離的にも音響ノイズ的にも有利であり、また、海底の歪そのものを計るため、剛体的振る舞いが保障されない場所での観測に適することから、実現の可能性が高いと判断できる。一方、海底圧力観測では、海溝軸直近での観測を開始したものの、超深海対応の圧力センサーの大きなドリフトの低減、あるいは解析による除去などの課題が残る。本研究課題では、超深海用に開発された海底間音響測距装置と海底圧力計での実海域での観測を繰り返して、機器と解析方法の改良に関する知見を蓄積し、実用技術として確立することにより、低頻度超巨大地震の発生メカニズムの解明や想定される津波の規模の推定に役立つ、海溝軸近傍の固着状態のモニタリング観測実現に資することを目的とする。

(7) 本課題の5か年計画の概要 :

上記の超深海型の圧力計および海底間音響測距装置には、試験観測の結果をフィードバックさせながら機器と解析方法の改良を重ねていく必要がある。これらをおよそ1年サイクルで繰り返していくことにより、超深海での海底地殻変動観測技術を確認する。別予算で措置した超深海型の海底圧力計、海底間音響測距装置をプロトタイプとして使用し、各年度の機器の改良も別予算で実施する。その試験観測時に必要な消耗品としての電池の一部を本研究課題の予算でまかない、全体として年1回の観測機会を確保し、技術確立までの過程を強化する。平成26 - 27年度は、観測機器の基本性能の確認および改良部分の洗い出しを行う。具体的には、超深海型の圧力計センサーのドリフトの性質の把握を行い、海底間音響測距装置に関しては測距限界距離および温度計測による長距離の音速補正の知見を得る。平成28 - 29年度は、過年度で得た知見をもとに必要な装置の同志の設置配置を変え、圧力計では海洋の影響を取り除いた相対上下変位検出の精度評価、海底間音響測距では精度を確保できる距離で、かつ海溝をまたぐ位置へ、潜航艇の利用も想定しつつ設置し、データを得る。平成30年度には、それまでのデータをもとに最終的な改良、設置方法を提案し、実測により技術の確立を実証する。

(8) 平成29年度の成果の概要 :

東北地方太平洋沖地震の最大すべり域付近である宮城県沖の日本海溝(図1a)で、2013年、2014-2015年、および2015-2016年にかけての3回にわたり、海溝軸を跨ぐ形での海底間音響測距観測を行いプレート境界の収束状態を計測した。3回目の観測からは、(1)ユニバーサルジョイントを廃止し姿勢の安定性を重視した脚形状、(2)音響コマンドで観測頻度の設定変更や計測データの随時吸い上げが可能、(3)高精度な外付け圧力・温度センサー(RBR)搭載の新型機器を導入し、図1bに示す配置で5台の機器を設置した。本年度は、この3回目の観測のデータ解析を進めた。海溝軸を跨ぐ151A-153Bの基線(7620m)を例に説明する。走時データ(図2a)に、音速を規定する海中温度(図2b)と海底圧力(図2c)の補正、さらに機器の姿勢補正(図2d)を施した結果、平均3mm/yrの基線長変化の検出精度を達成し、精度の範囲内で有意な海溝軸の基線長変化は見られないことを実測により示した(図2e)。このことは、太平洋プレート側の観測点も含む広域GPS-A観測結果とも調和的である。また、GPS-A観測から海溝軸付近での余効すべりが予想されている福島県沖の海溝軸で、2017年3月から同様の観測を開始し、さらに2017年10月には、音響パスを確実に通すための中継局を追加設置し、データの増強を行った。現在、図3の配置で観測を継続中である。中継局設置時に、音響モデム通信により、音響パスの通っている基線を確認するとともに、半年分のデータの一部を吸い上げた。回収したデータの初期的な解析を行ったところ、海溝軸に達する余効すべりの可能性を示す基線の短縮傾向が見られた。一方、開発した大深度型の圧力計は水深7000mを超える海溝軸付近でも正常に動作しており、定期的な入れ替えにより圧力と温度の時系列データを取り続けている。

(9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Monitoring postseismic motion of the frontal wedge after 2011 Tohoku Earthquake by across-trench acoustic ranging, Yamamoto, R., R. Hino, M. Kido, C. Honsho, 2017, EGU General Assembly 2017, 23 April, Vienna.

Direct and precise geodetic measurement across the Japan Trench after the 2011 Tohoku-oki earthquake, Yamamoto, R., R. Hino, M. Kido, C. Honsho, 2017, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 20 May, Chiba.

Little evidence of shortening motion across the Japan Trench after the 2011 Tohoku-oki earthquake from direct-path acoustic ranging, Yamamoto, R., R. Hino, M. Kido, C. Honsho, IAG-IASPEI 2017, 30, July, Kobe.

Postseismic slip of 2011 Tohoku-oki Earthquake across the frontal wedge through long-term geodetic observations, Yamamoto, R., R. Hino, M. Kido, Y. Ohta, C. Honsho, 2017 AGU Fall meeting, 14 December, New Orleans.

精密音響測距によるプレート間相対速度実測の試み, 日野亮太・山本龍典・木戸元之, ブルーアースサ

イエンス・テク 2018, 1月17日, 横浜.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

2018 年 9 月に福島県沖に設置した機器の回収航海が予定されており、完全な時系列データおよび各種補正に必要なデータが得られる予定である。それらの解析を進め、宮城県沖と同程度の精度で、海溝軸の短縮速度を定量推定するとともに、今回新たに導入した中継局方式の音響測距の精度検証を行う予定である。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

木戸元之・日野亮太・太田雄策・東龍介・本荘千枝・川田佳史(東北大学)

他機関との共同研究の有無 : 有

伊藤喜宏(京都大学)

JAMSTEC(飯沼卓史)

ミネソタ大学(和田育子)

(12) 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/>

(13) 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

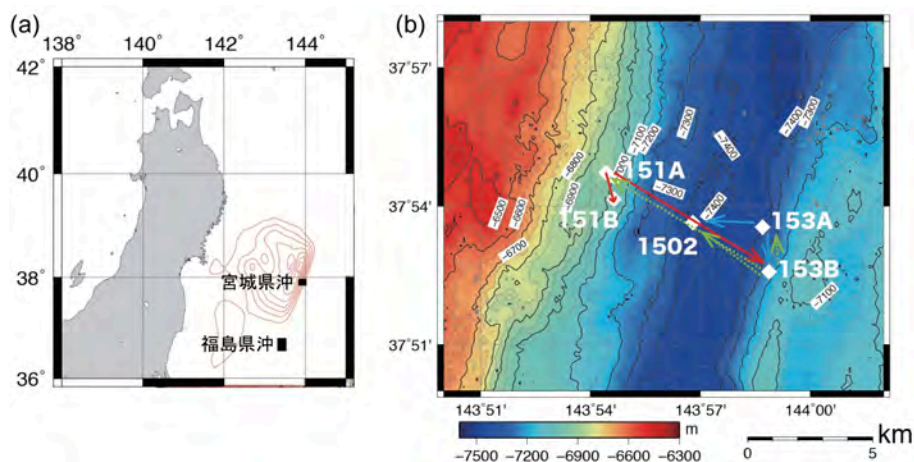


図 1

(a) 海底間音響測距装置の設置海域(宮城県沖および福島県沖)、(b) 宮城県沖の海底間音響測距装置の配置図。5 台の装置を海溝軸を跨ぐように設置した。色の着いた矢印は、音響パスの通った基線を示す・最も長い基線は 7240 m で、最大水深は 7400 m。2017 年 3 月に 5 台とも回収済み。

解析の例

- 2 局間の往復走時は、録音された波形と理論波形の相互相関により検出された。
- 海中音速の換算式は、Chen and Millero (1977) を用いた。

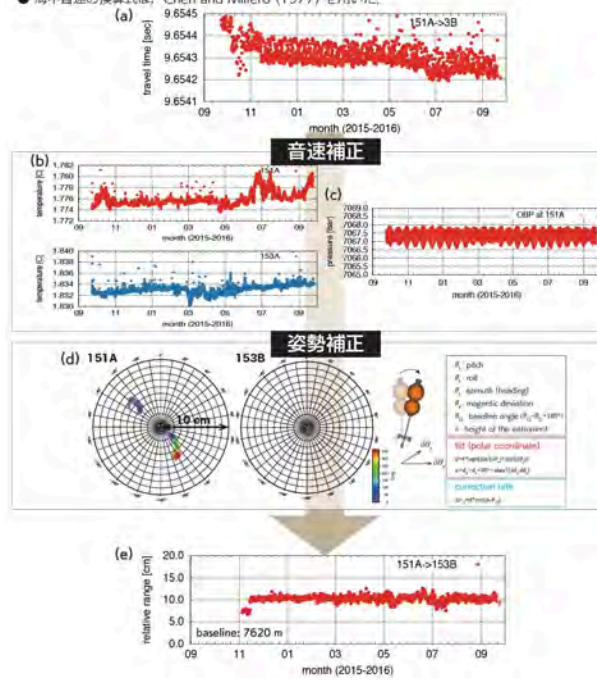


図 2

宮城県沖の海溝軸を跨ぐ基線 151A-153B を例とした解析の手順。(a) 約 1 年間の音響往復走時。(b) 基線の両端の海中温度の時系列。(c) 基線の西端での海底圧力データの時系列。(d) 傾斜計データから推定した装置音響素子部分の水平位置変化。(e) 温度・圧力データによる音速補正、および傾斜計データによる音響素子の位置の補正を施した基線長変化。有意な変化は見られない。2015 年 11 月の基線長ギャップは付近で発生した地震 (M5.1) によるものである。

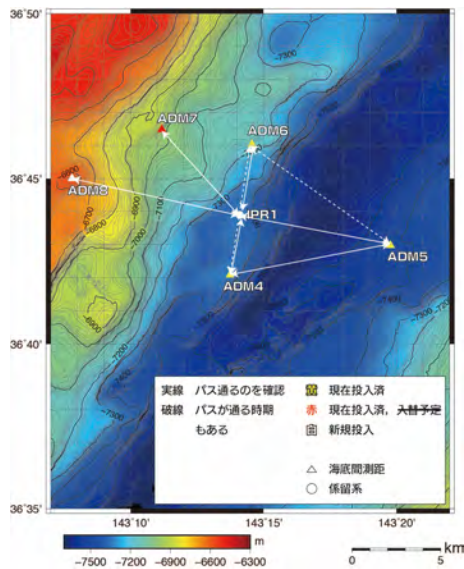


図 3

福島県沖の観測装置の配置図。黄色と赤のシンボルは 2017 年 3 月に設置した機器を、白のシンボルは 2017 年 10 月に追加設置したものを、それぞれ示す。現在も計測中であるが、追加設置の際に音響モデムで一部のデータを吸い上げ、音響パスの通り具合を確認した。

(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

(3) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(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活動予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究では、地下水に含まれる溶存イオンや溶存ガスの濃度・存在比・同位体比を連続的に分析するシステムの高度化と実装を行う。物理的・化学的な地殻の内部状態に関して情報を得るために、その変動パターンを説明する試みを行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度：

関東・東海地域にある温泉や鉱泉のひとつに、試作中の同位体比測定装置を試験導入する。温泉分析表に基づく候補地の絞り込みを行ったのち、いくつかの温泉で実際に採水分析を実施し、実施地の選定を行う。測定装置の実装においては、測定そのものだけでなく付帯する制御技術・生成技術の高度化を目指し、実験室環境での動作テストを実施する。

平成 27 年度：

選定した観測地での採水分析を定期的に行う。また、測定装置の小型化や耐久性を向上させる。イオン分析装置やラドン測定装置などを含めた装置群の集積化を行い、選定した候補地へ導入してテスト分析を開始する。

平成 28、29 年度：

選定した観測地での採水分析を定期的に行う。集積化した装置の耐久性を確認し、野外における連続運転に関連して発生する問題点を解決する。観測データの変動成分について情報を蓄積すると共に、測地学的データや地震学的データとの関連について検討する。

平成 30 年度：

これまでの内容を継続・総合し、システムのさらなる改良を検討する。最終的には他の研究者や行政機関が導入運用できるようなシステムを提案する。得られた観測データや時間変動パターンはホームページ上で公開する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

29 年度は 28 年度に引き続き、装置の耐久性の確認を実施し、野外における連続運転に関連して発生する問題点を解決した。また、観測データの変動成分について情報を蓄積した。28 年度に見いだされた、溶存ガス中の N_2 -He-Ar 三成分比が、マントル起源ガスと大気起源ガスの混合線上を時間変化する、というデータが、29 年度も引き続き確認できた。この中で、地下水溶存ガスの分離に用いる分離装置の高度化を図ると共に、溶存ガス濃度および組成の高精度分析を行う方法を確立した。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Tsunomori F., Shimodate T., Ide T., Tanaka H. (2017) Radon concentration distributions in shallow and deep groundwater around the Tachikawa fault zone, Journal of Environmental Radioactivity, 172, 106-112.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

30 年度は、 N_2 -He-Ar 三成分比の時間変動と地殻変動や地震活動との関連を調べつつ、本課題の目標である地殻の状態評価システムの確立を目指す。また、大規模地震発生後に臨時観測を行うための過般型のシステムを実用化して、今後の臨時観測にも対応できるように準備する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

担当者：東京大学大学院理学系研究科 角森史昭・田中秀実、参加人数：2 人
他機関との共同研究の有無：無

(12) 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：03-5841-4624
e-mail：fumi@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp
URL：

(13) 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

(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：

地震発生場の階層性を考慮した地震活動予測

(3) 最も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) モニタリングによる地震活動予測

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(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・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

4. 研究を推進するための体制の整備

(4) 研究者, 技術者, 防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震発生場には様々な長さスケールの不均質構造が含まれている。その理解は地震の予測可能性を判断するうえで重要だが、現実的なプレート境界において、階層性をどのように定量化するか自明ではない。地震の階層性と関係ある現象として、プレート境界で発生する繰り返し地震や「ゆっくり地震」(深部微動、スロースリップ)を観測することが可能である。世界の様々な地域で、普通の地震やゆっくり地震活動の特徴を抽出し、その他の地球科学的情報を総合することで、階層性の地域性を抽出し、それらをもとに階層性を定量化する。さらに定量化された階層性を確率予測に導入するためのモデルを検討する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

巨大地震破壊プロセス、定常地震活動、繰り返し地震活動、ゆっくり地震活動の解析結果をもとに、地震発生地域ごとの地震の階層性の統計的性質を明らかにする。個々の地震の性質（地震エネルギー、継続時間など）のスケール法則と、対象領域で見られる地震活動パラメータ（Gutenberg-Richter 則の b 値、ETAS パラメータ）ゆっくり地震の時間空間的統計性質、さらには海底地形や重力データの分析によって、まずは階層性を定性的に把握する。既存の地震破壊プロセスの解析結果、地震活動カタログや過去に推定したゆっくり地震のカタログを最大限活用する。H27 年度より 3 年間、博士研究員を採用し、これらの作業を主に担当させる。

上記分析によって得られた定性的な性質を地震発生場の階層性として定量化する方法を開発する。まずは日本周辺の沈み込み帯を対象とする。すでに東北沖ではすべり分布、過去の地震活動や b 値の解析結果に基づいて不均質パッチモデルが提案されている（Ide and Aochi, 2013）。同様の手法で北海道沖、南海沈み込み帯などで不均質パッチモデルを構築し、これらのモデルの不均質性を既存の確率論的地震活動予測モデル（ETAS 等）に取り入れる方法を開発する。その際、ゆっくり地震の発生による応力変化という要素を予測モデルに取り入れることを目指す。この開発は H27 年度からはじめ研究期間内にプロトタイプ完成を目指す。プロトタイプが完成した場合、世界のいくつかの地域を対象に確率論的地震活動予測の試験を実施する。

本研究計画では、将来の地震、火山の研究者養成を重視している。階層性抽出のために用いる基礎情報、地震破壊プロセスの解析や震源決定は地震学における基本的問題であり、研究者を目指す学生の演習として良いテーマである。研究代表者は新規採用する特任研究員とともに、大学院生、学部生への演習的指導を行う。

年度ごとの作業内容：

H26 階層性の定性的把握、既存カタログ等の情報収集

H27 階層性の定性的把握、確率的地震活動予測モデル開発

H28 階層性の定性的把握、確率的地震活動予測モデル開発

H29 階層性の定量的把握、確率的地震活動予測モデル開発もしくは試験

H30 階層性の定量的把握、確率的地震活動予測モデル開発もしくは試験、研究総括

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

北海道東北沖の繰り返し地震グループを用いて、プレート境界に存在する階層的構造の定量的把握を行った。釧路沖、釜石沖、那珂沖のプレート境界において約 15 年間に発生した M2-5 の地震を対象として、高精度相対震源決定、震源すべりインバージョンを行った。preliminary な成果として、M5 級の地震ではすべり方向に伸びた領域に固有的な破壊が繰り返すものの、破壊伝播の方向性は必ずしも一定でないことがわかった。周辺では小さな地震も発生するので、破壊プロセスは階層性によって制約されていることもわかった。過去数年間開発してきた地震カタログから定量的に群発地震を検出する方法については、手法の詳細の説明と全世界的な応用までをまとめて Journal of Geophysical Research 誌に出版することができた。この手法を茨城沖の約 30 年の地震活動に適用することで、プレート境界に繰り返し発生する群発地震活動を客観的かつ定量的に検出することが起きた。多くの群発地震活動の中でも特に活発なものは 1982 年と 2008 年の M7 の地震の前震活動に対応する。また階層的に破壊エネルギーが分布する場における動的破壊の連鎖確率を見積もる手法の開発を始めた。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

Nishikawa, T., and S. Ide, Detection of earthquake swarms at subduction zones globally: Insights into tectonic controls on swarm activity, Journal of Geophysical Research Solid Earth, 122(7), 5325-5343, doi: 10.1002/2017JB014188, 2017.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

現在進行中の東北沖の繰り返し地震の破壊過程の研究、および茨城沖での群発地震活動の研究につい

てまとめる。階層的に破壊エネルギーが分布する場における動的破壊の連鎖確率について、数値計算を行うとともに、地震活動シミュレーションに用いやすい形での表現方法を検討する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

井出哲 (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

フランス BRGM 青地秀雄

(12) 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球惑星科学専攻

電話 : 03-5841-4281

e-mail :

URL : <http://www.eps.s.u-tokyo.ac.jp/index.html>

(13) 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地球惑星科学専攻

(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：

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

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 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) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

イ. 熱水系の卓越する火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

火山噴火予測においては、噴火が開始したのち、噴火活動がどのように推移していくかを予測することも非常に重要な課題であり、活動の活発化や静穏化を見極めることは、防災・減災計画を検討して行くうえで不可欠である。火山ガス放出率、特に二酸化硫黄放出率は、地下にあるマグマの量や挙動を反映して変動するパラメータであり、その増減の推移を監視し、他の観測データと合わせて評価することは噴火活動の推移の理解に多大な貢献が可能である。一方、噴火に対応して、二酸化硫黄放出率を観測できる観測者の数は限られており、噴火開始後に、高い頻度で噴火推移をモニタリングし続けることができないのが現状である。このような状態を打開するため、噴火発生に対応して、迅速に観測態勢を立ち上げられるようなモニタリングシステムの開発や火山ガス測定の経験がなくてもガス放出率測定を容易にできるような観測装置の開発をすることで、噴火後の火山活動推移の火山ガスモニタリングを可能にすることが目標である。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本研究計画では、低価格 CCD カメラを使用した二酸化硫黄可視化モニタリング装置、ポータブルなガス放出率自動測定装置および簡易型トラバース測定装置の開発、そして、これらの装置のフィール

ドテストおよび噴火可能性のある火山周辺での事前調査が主な内容となる。各年度の概要は以下のとおりである。

平成26年度：二酸化硫黄可視化モニタリング装置と簡易型トラバース測定装置の設計・開発をおこない試作機のテストを実施する。

平成27年度：上記2装置の開発を継続する。浅間山火山、桜島火山、阿蘇火山などでテスト観測を実施する。後半からは、ポータブルガス放出率自動測定装置の設計・開発に入る。

平成28年度、平成29年度：ポータブルガス放出率自動測定装置の開発を継続するとともに、これまで開発した装置のフィールドテストを実施しつつ、装置の問題点などを修正して行く。1-2ヶ月単位で、複数の火山で試験測定を行うとともに、噴火が生じた際の装置設置場所などの事前調査をいくつかの火山で実施する。

平成30年度：平成28、29年度の内容を継続するとともに、一般ユーザーでも設置から稼働まで行えるように最終的な改良やマニュアルを作成する。

なお、5か年中に噴火が発生した場合、その時点でできるだけの対応をする。

(8) 平成29年度の成果の概要：

本研究課題で、設計・開発した簡易型トラバース測定装置は2014年11月末以降、屋久島 口永良部島間のフェリーを用い、口永良部島火山の二酸化硫黄放出率モニタリングで使用されてきた。この間、装置の改良および、測定の簡易化を進め、現在は甲板に集光光学系を常設し、紫外分光器、GPS、制御用の小型PC(Raspberry Pi Model B+)、3Gルーターなど装置のメイン部分を操舵室内に設置し運用している。平成29年度は、解析方法を大きく変更した。

これまでは、フェリーで測定され、クラウドサーバーにアップロードされた観測スペクトルを、東大側に手作業でダウンロードし、スペクトル解析を行ない、その結果を福岡管区气象台に送り、風速データと合わせることで、二酸化硫黄放出率を算出していた。今年度は、観測スペクトルのダウンロードから、スペクトル解析、そして解析結果の福岡管区气象台へ送付する一連の作業の自動化を行った。これにより、フェリーでの測定終了から45分以内に解析結果が送信されるようになった。

本研究課題で開発した簡易型トラバース装置によるフェリー太陽での繰返し測定を開始してからすでに3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を測定し、活動を理解するうえで貴重なデータを供給してきた(図1)。また、フェリー太陽で繰返し測定している二酸化硫黄放出率は、気象庁の火山活動解説資料に採用されており、口永良部島の火山活動の監視に役立っている。

口永良部島の二酸化硫黄放出率は、2015年5月29日の噴火以降、急速に100-200 t/dまで減少した。その後この値を維持していたが、2017年4月以降は300-500 t/dになる日もしばしばみられており、今後も注視していく必要がある。また、2018年1月23日に発生した元白根山の噴火を受け、簡易型トラバース装置をベースに、火口上空の二酸化硫黄モニタリング装置を作製した。

二酸化硫黄可視化モニタリング装置に関しては、装置構成を一新した。従来は、二つの紫外光波長域の撮像に、同じCCDカメラを使用していたが、可視化に使用する2つの紫外波長域のうち、短い方には、これまでより紫外光に感度のあるカメラを使用し、長い方には、同じサイズのCCDであるが、紫外光に感度の低いより格安なカメラを採用した。9月初めには、桜島で可視化測定を実施した。また、ポータブルなガス放出率測定装置に関しては、昨年度に作成した中核部のプロトタイプの前動作テストを実施した。

(9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Mori T., M. Morita, M. Iguchi, and Fukuoka Regional Headquarters, 2017, Sulfur dioxide flux monitoring using a public ferry after the 2014 eruption of Kuchinoerabujima Volcano, Japan. *Journal of Natural Disaster Science*, 38,105-118.

Iguchi M., H. Nakamichi, T. Tameguri, K. Yamamoto, T. Mori, T. Ohminato and E. Saito, 2017, Contri-

tribution of monitoring data to decision making for evacuation from the eruptions in 2014 and 2015 at Kuchinoerabujima volcano, Japan. Journal of Natural Disaster Science, 38, 31-47 .

橋本武志・寺田暁彦・森 俊哉, 2018, ドローンによる火山観測, 地理, 63-2, 29-35.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

簡易型トラバース測定装置に関しては, 今後も口永良部島の火山ガス測定を継続し, 噴火後のガス放出率推移の監視にあたる. また, 今回開発した装置, そして確立した観測手法の今後の方針を決定する. 二酸化硫黄可視化モニタリング装置に関しては, 平成 29 年度に作成した装置のフィールドテストを行うとともに, 装置の較正方法の簡易化について検討する. ポータブルなガス放出率自動測定装置に関しても, フィールドテストを実施し, 今後の実用性を検討する.

(11) 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、 角森史昭
他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 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 : 03-5841-4649
e-mail : mori@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp
URL : http://www.eqchem.s.u-tokyo.ac.jp

(13) 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地殻化学実験施設

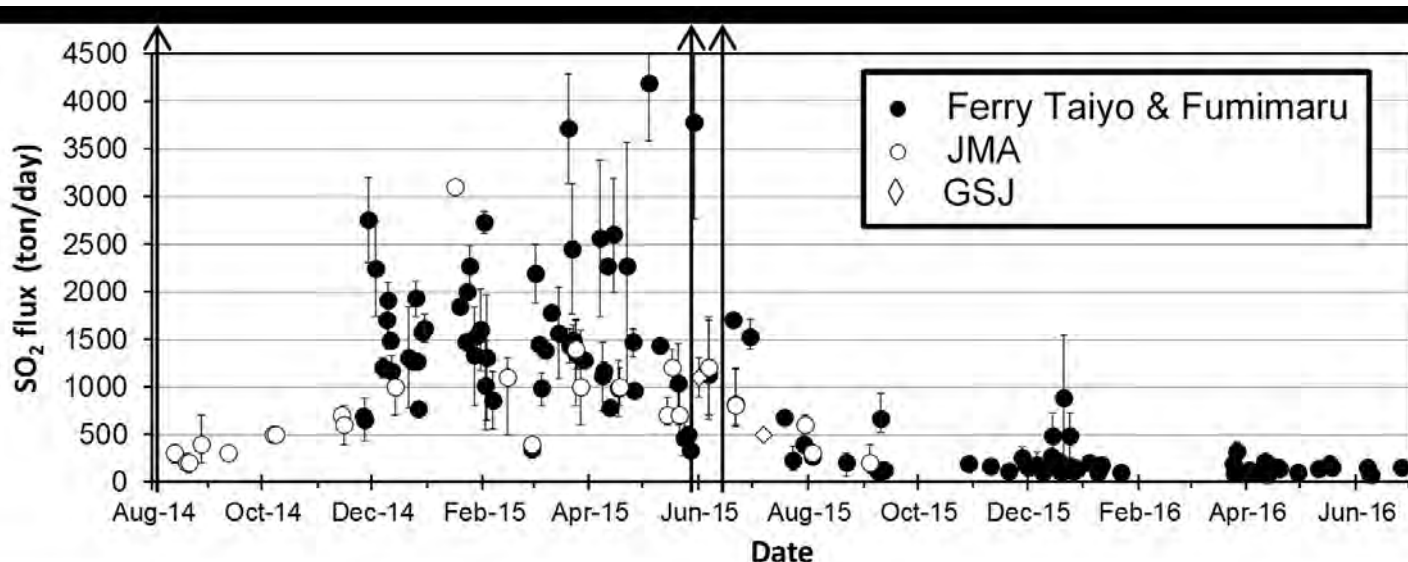


図 1

口永良部島の二酸化硫黄放出率推移。黒丸は, 本研究課題で開発した簡易型トラバース測定装置を屋久島一口永良部島の定期船に乗せて繰り返し測定した値. 3つの矢印は左から 2014 年 8 月 3 日, 2015 年 5 月 29 日, 2015 年 6 月 18 日の噴火を示す。図は Mori et al.(2017) より .

(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・火山災害の関連史資料に基づく低頻度大規模災害の調査

(3) 最も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整理

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整理

イ. 考古データの収集・集成と分析

ウ. 地質データ等の収集と整理

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究の目的は、文献史料データ・考古データ・地質データなどを用いて、過去に発生した大規模地震・津波や火山噴火とそれによる災害の実態を分析し、近代的な調査・観測データとの比較・検討から低頻度大規模災害の実態を解明することである。

本研究では、北海道大学大学院理学研究院が中心となり、津波堆積物の報告書などを調査し、津波堆積物に関する内容について時系列順・地域別に収集・整理してデータベースを構築する。津波堆積物に関する地質データのうち、近代的な調査・観測データとの比較・検討が可能な事例については、評価方法を検討して調査・観測データとの統合を目指す。

文献史料データ及び考古データを全国的・通時代的に収集・整理する研究、並びに地域を限定して様々なデータを精査する研究は、それぞれ別件の研究課題において計画されている。そこで本研究では、それらの研究課題によって得られた地震・津波・火山噴火などに関する位置情報について緯度・経度へ変換し、地質（津波堆積物）データと文献史料データ・考古データとの統合的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。

また、本研究では、文献史料データ及び考古データ・地質データを総合的に分析して、近代以前に発生した1703年の元禄地震や1707年の宝永富士山噴火などの大規模地震や火山噴火について多角的に分析する手法を確立する。その準備作業として、既刊地震史料集の史料本文について、確実な史料や良質な刊本に基づいて校訂（原史料・原本による本文の訂正）を行う。校訂作業を経た信頼性の高い史料を用いて、大規模な地震・津波・火山噴火で被害の生じた場所を特定し、個々の被害程度などを推定する。この史料本文の校訂作業に際しては東京大学史料編纂所の協力を得る。

更に、上記のような近代以前の地震・津波などに関する文献史料・考古・地質データを用いて、先史時代・歴史時代における地震の被害分布図・震度分布図、津波高分布図、津波浸水（到達）図、火山災害地図などを作成する。これに加えて、強震動予測や津波シミュレーションなどの手法を用いて、過去に発生した大規模地震・津波の実態を分析し、低頻度大規模地震に関する強震動・津波の発生予測などの検討に資することを目指す。

（7）本課題の5か年計画の概要：

[平成26年度]

既刊の津波堆積物の報告書などを調査し、津波堆積物に関する内容を収集・整理してデータベースを構築する。また、近代以前の大規模な地震・火山噴火災害関連史料について、信頼性の高い史料の原本調査と校訂作業を実施する。特に、関東地方での事例を対象とする。

[平成27年度]

津波堆積物の報告書などを調査してデータベースを構築し、近代以前の大規模な地震・火山噴火災害関連史料について、継続して校訂作業を実施する。また、本研究における地質データや校訂済み地震史料データ、別件の研究課題における考古データや文献史料データなどを用いて、先史時代・歴史時代に発生した大規模地震・津波・火山災害を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の試作版を構築する。これに基づいて、歴史時代に関東地方で発生した大規模地震・津波・火山噴火について実態の解明を試みる。

[平成28・29年度]

津波堆積物の報告書などを調査してデータベースを構築し、近代以前の大規模な地震・火山噴火災害関連史料について、継続して校訂作業を実施する。また、文献史料・考古・地質データの統合的な分析を可能とするデータベース及び地理情報システムの構築を行う。

[平成30年度]

津波堆積物の報告書などを調査してデータベースを構築し、近代以前の大規模な地震・火山噴火災害関連史料について、継続して校訂作業を実施する。また、文献史料・考古・地質データの統合的な分析を可能とするデータベース及び地理情報システムを構築して、先史時代・歴史時代に関東地方以外で発生した大規模地震・津波・火山災害の実態を解明する。

（8）平成29年度の成果の概要：

津波堆積物の調査およびデータベース化に向けての準備作業

津波堆積物など地質学的な痕跡を評価する上で、痕跡を残さない事例や、痕跡が形成された後に一部もしくは全部が消失してしまう事例についても調査しておく必要がある。そこで前年度に引き続き、津波や地殻変動の痕跡は残るのか、残存した痕跡からどのような情報を抽出できるのか、どのような過程で消失するのかについての知見を得るため、最近の事例の追跡調査を実施した。

青森県の三沢海岸に残された2011年東北地方太平洋沖地震の際の津波堆積物について、6年後に土

壤が表面を覆ってから再調査したところ、部分的に残された堆積物からも内陸薄層化、内陸細粒化といった津波堆積物によく見られる傾向が確認できた。ただし、測線の遡上限界近くまで堆積物が残っていない場合、平均粒径は細粒～極細粒砂まで細かくはなっていない。このような情報を系統的に収集・分析することで、古津波についても、津波堆積物の分布限界が津波の遡上限界の近くにあるのか、あるいはさらに内陸にあるのかを評価できると考える。三沢海岸の事例では、津波の遡上限界、津波堆積物が形成された内陸限界、5年後まで残った津波堆積物の内陸分布限界の関係が判明した。なお、三沢海岸では、津波の遡上限界と津波堆積物が形成された内陸限界に大きな差異は見られない。しかしながら、津波堆積物が5年後まで残った内陸限界は、明らかに海側にシフトしたことが確認できた。

また、2015年4月の形成時から追跡調査を続けている北海道羅臼町での地すべりについては、2017年5月の調査時には、隆起地帯のほぼ全てが浸食されて消滅していた。今年度は、実際の海藻の生息深度を現地調査し、その実測値を基に隆起量を再計算した。

史料に基づく前近代の地震活動の解明

前近代において低頻度大規模災害をもたらした巨大地震・大地震やその前後の地震活動については、近代的な観測機器によるデータは存在しない。そのため、前近代の地震現象や地震災害について調査・研究を行う際には、歴史学で使用されるのと同様の史料を用いて、個々の記述内容から地震の様相や被害の実像を検討していく。その際には、現存する多数の史料から記録内容の信憑性が高い史料を選定し、それに基づいて前近代の巨大地震・大地震の実像や地震活動を解明していく必要がある。

史料の中でも特に日記史料については、地震などの自然現象の発生と同時期に記されているために記録内容の信憑性が高い。また、記録された当時の場所が特定でき、数十年という長期間にわたって同一人物が記録しているために、連続して安定した情報が得られるという特長がある。日記史料には、被害を生じない小さな有感地震について、地震の発生時間(約2時間単位)や大きさ(大・中・小)も記されている場合が多く、個々の有感地震について発生場所と時間と大きさという情報が得られる。なお、日記史料の記録場所は、16世紀以前は京都や奈良などに限定されるが、17世紀以降は江戸などの都市域で増加し、18世紀以降は藩役所、町・村の役人、知識人・商人などの手で記されて全国的に展開していき、現在、膨大な量の日記史料が存在している。

本研究では、既存の日記史料だけでなく、新たな日記史料の調査・撮影も実施し、有感地震など自然現象に関する記録を日記史料から抽出して、一定期間にわたる有感地震データベースを構築した。このデータベースを基にして地理情報システムを作成し、そこから前近代の有感地震に関する時空間分布図の作成を試みた。今年度は特に、19世紀中葉に発生した南海トラフ沿いの巨大地震である嘉永七年(1854年)の東海地震・南海地震および、内陸部の大地震である同年の伊賀上野地震と翌安政二年(1855年)の安政江戸地震を含む期間について、集中的にデータベース化と時空間分布図の作成を実施した。

時空間分布図の活用から、嘉永七年十一月四日(1854年12月23日)の東海地震の後、安政二年九月二十八日(1855年11月7日)に東海地方で比較的大きな有感地震が発生していた状況が判明し、この有感地震は安政東海地震の余震と考えることができる。この余震の4日後、安政二年十月二日(1855年11月11日)には関東地方南部で安政江戸地震が発生しており、南海トラフ沿いでの巨大地震と内陸部での大地震との関係性を示唆していると考えられる。また、安政江戸地震の有感範囲が近畿地方までであり、中国地方には及んでいなかった状況もわかる。

今後は、日記史料のデータベース化を進めて有感地震の記録地点数と記録期間を増やしていき、前近代の有感地震の時空間分布と機器観測に基づく有感地震の震度分布との比較・検討から、前近代に発生した中・小地震の解明を試みる。これによって、前近代の日本列島における中・小地震と巨大地震・大地震との関係の解明に寄与できると考える。

- (9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29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, Y. Oishi and K. Satake, 2017, Development of historical earthquake and volcanic activity database using historical diaries, IAG-IASPEI 2017 joint assembly, S04-P-

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

津波堆積物の報告書などに基づくデータベースの整備に向けて、データの収集・分類・分析を進める。また、前近代の大規模地震・火山噴火災害の関連史料について、校訂作業を継続して実施し、地理情報システムの試作版の改良を進める。さらに、史料データと考古・地質データの統合データベースの試作版を構築し、前近代に発生した地震・津波・火山災害や有感地震などについて総合的な調査・研究を実施する。

(11) 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 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 佐藤孝之・他 5 名

北海道大学大学院理学研究院 西村裕一

(12) 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 : 03-5841-5712

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

(13) 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：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

揮発性成分定量による活火山爆発力ポテンシャル評価とマグマ溜まり深度の再決定

(3) 最も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整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(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・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究では，噴火確率の高い火山や，大規模災害を引き起こす可能性のある火山の火山噴出物について，顕微赤外反射法を用いて，効率良く多数の試料の揮発性成分定量分析を実施し，火山噴火研究の基礎資料を作成する。

マグマ中の揮発性成分量(特に水の量)は，個々の火山の「爆発力ポテンシャル」として重要であるばかりでなく，熱力学平衡をとおしてマグマおかれた温度圧力条件の評価にも大きな影響を与える。このため，過去の噴火のマグマプロセスを物質科学的に評価するためには，マグマの含水量の決定が不可欠である。しかし，これまでは測定自体の難易度が高かったため，研究対象になった火山噴火が限られており，非常に少ない含水量データしか蓄積されていない。また，分析可能な大きさ試料に限られていたため，分析試料のバイアスによる含水量評価の偏向の恐れもあった。本研究では，多数の試料の分析によって，これまで欠けていたデータの提供を行う。加えて，マグマ溜まり深度の再決定を行う。従来の物質科学研究によるマグマ溜まり深度の見積もりは含水量データの不足によって 1kb (4km) 程度の不確実性があったが，多数の揮発性成分量のデータを加えることによって，これを従来の半分以下(1~2km)で再決定することを目指す。

本研究によって，目的とする火山の爆発ポテンシャルや深度等のマグマ溜まりの状態の時間変化についての知見を積み上げることができれば，その火山の噴火シナリオの作成等の研究にも貢献することができよう。

(7) 本課題の5か年計画の概要:

研究の根幹となる顕微赤外反射法については、すでに基礎的部分の開発が終了している。この方法を実際の火山噴出物に応用して、火山噴火についての基礎試料として噴火前のマグマ中の揮発性成分量を決定する計画である。この方法ならば、20~30ミクロンサイズの斑晶ガラス包有物試料について、比較的容易に実用的な精度で水の定量分析することができる。毎年200個以上の斑晶メルト包有物を分析し(5年間で1000個)、地質基礎データの整備に貢献する計画である。

より具体的には、以下の2項目についての研究を実施する。

(1) マグマ噴火の頻度の高い火山を対象として、多数の揮発性成分データを収集し、データベース化する。また、他の岩石鉱物学的情報とあわせて、マグマ溜まり深度の再決定を行う。一つの噴火あたり40~50試料のデータを得られれば、その噴火のマグマの特徴をかなり正確に把握可能であろう。一つの火山あたり連続する数回の噴火試料を分析すれば、マグマ溜まり環境の時間変化を捉えられる可能性がある。そこで、現在から過去にさかのぼって4~5回の連続する噴火の噴出物を分析対象とする。対象とする火山としては、富士山、伊豆大島、三宅島、浅間山を予定している。

(2) 大規模災害を引き起こす可能性のある火山を対象にして、過去に発生した大規模噴火とそれに先行する複数の小規模噴火時の試料解析から、大規模噴火に到るまでのマグマ溜まりにおける揮発性成分量変化と不均質の程度を読み出す。対象とする大規模噴火としては始良カルデラ噴火を予定している。

研究は、各年度に2~3火山を対象としてとりあげ、1火山について2~3年かけて、化学分析とデータ解析をおこなう。平成26年度においては、富士山と始良カルデラ噴火についての研究に着手する。

(8) 平成29年度の成果の概要:

今年度は当初計画では、主として浅間火山の噴火噴出物について分析を行い、そのマグマ溜りの含水量とマグマ溜り深度を調べる計画であったが、西之島と諏訪之瀬島の噴出物の分析も追加実施した。西之島は2013-2015年の連続した噴火が一旦収束した後、2017年に再噴火をした。この休止期間に海底から採取された試料の分析を行う機会があり、これを使ってマグマの滞留環境の検討をおこなった。諏訪之瀬島は、特定研究での参加者を加えて、10kaの軽石噴火噴出物、1813 ADのスコリア噴火噴出物、最近10年間のストロンボリ式噴火の噴出物の比較を行い、マグマの状態の時間変化を考察した。

浅間火山については、これまで多くの岩石学的研究(高橋・他, 2007; 安井, 2016など)が行われているが、マグマの温度や圧力といったマグマ溜まりの状態を熱力学的に検討した例は少ない。浅間山2004年噴火に際して、噴出物の鉱物組成からマグマの温度を見積もり、2004年と1783年(天明噴火)のマグマの温度を比較した研究(嶋野・他, 2005)では、両者とも1050程度と見積もっていた。本研究では、1783年噴火の最初期の噴出物について、斑晶鉱物とそれに包有されたガラスの化学組成をEPMAで分析するとともに、比較的大きな斑晶ガラス包有物に対しては顕微FTIR反射分光法で含水量測定を実施し、マグマの状態について検討した。

解析の結果、1783噴火では先行研究(安井, 2016など)が示すように、3つのマグマの関与が示唆された。斜長石、斜方輝石および単斜輝石の斑晶ガラス包有物組成には、2つのクラスタ($\text{SiO}_2=66-68 \text{ wt}\%$ と $\text{SiO}_2=73-75 \text{ wt}\%$)が存在し、それらの揮発性成分量(SO_3)には明瞭な差が存在する(図1)。これらは斑晶の組織や組成とも良い対応を示しており、熱力学温度計を適用するとそれぞれ~1040と~950の温度を得た。斑晶ガラス包有物の含水量は約2wt%であり、気泡を伴うものもある。このことは、マグマの混合に伴う斑晶ガラス包有物の捕獲がほぼ海拔0m深度で起きていたことを示唆する。輝石のリム組成には2つのピークが存在しており、混合から噴火までの時間が短く温度や組成の不均質が残ったまま噴火に到ったものと思われる(図2)。斜方輝石-メルト間の平衡を用いた鉱物学的圧力計の評価値では、分化側の2つの成分に対応する2つの圧力ピーク(0.5 kbと3.5 kb)が見られるが、圧力計自体の精度が低いため、これらの値は確定的ではなくマグマの混合の場との関係も明らかにできていない。最も未分化な端成分として、かんらん石を含むマグマが関与しているが、かんらん石のメルト包有物が未分析のため、その組成や状態を十分に制約できていない。今後は、か

んらん石，単斜輝石とそのガラス包有物組成のデータを増やして，さらに検討を進める予定である．

西之島火山については，2017年5月に島の周囲4箇所（島から数km離れた山腹の海底）の海底電位磁力計を回収する作業に伴い装置に付着しているところを採取された火砕物（粒径数十 μm ~1.5mm程度）を分析した．その大部分は2013-2015年噴火および2017年噴火の際に陸上や船上で採取された降下火砕物と同様の黒および黒褐色のやや発泡したスコリアであり，構成鉱物と組成も同様であったが，いずれの地点からの回収物にもガラス質が顕著で薄茶色の tube pumice 状の火砕物も1~2割程度存在した．Tube pumice はカルデラ形成などに伴う珪長質マグマの大規模噴火の際に見られることが多く，安山岩質である西之島の火山噴出物としてはこれまで報告がない．そこで，この tube pumice 状火砕物を含むガラス質火砕物の石基組成や共存鉱物組成を調べるとともに，この火砕物の成因を検討した．

Tube pumice 状の粒子は発泡度が高いものの破断しておらず，直径が数十ミクロン程度の管状の気泡がアスペクト比30倍程度にまで伸長したのもあった．気泡中に堆積物の付着は見られず，また，気泡と接するガラスに水和層は観察できず新鮮である（図3）．Tube pumice 状の火砕物が作られるためには，変形速度に対して粘性が十分に低くて変形によってマグマが破碎しないこと，加えて変形速度がメルトの緩和速度よりも十分に速くて引き伸ばされた気泡の形状が維持されたまま冷却するという2つの条件が満たされる必要がある．実際，観察した粒子には弱い逆累帯構造を持った斜長石斑晶が若干量存在するもののほとんど石基に微結晶を伴わず，変形時には低粘性だったと思われる．また，粒子全体がぐにゃりと曲がっているものもあり，自由空間（水中）に放出された際に固化したと考えられる．石基ガラスは $\text{SiO}_2=61\text{-}62\text{ wt\%}$ の狭い範囲に集中しており， SO_3 量も air fall の試料よりも高い．斜長石リムと石基メルトの平衡温度は $1020\text{+}20$ ，石基ガラスの含水量は $1\text{+}0.5\text{ wt\%}$ （FTIR 反射測定，斜長石-メルト水量計（Lange et al., 2009））であった．Rhyolite-Melts で液組成の変化を熱力学的に検討すると，西之島火山で採取された最も SiO_2 が低いグループの全岩組成から含水量が 1.5 wt\% 程度の条件下で結晶分化させた場合に，この tube pumice 状の粒子の石基ガラス組成が再現できる．前年度の西之島火山噴出物に関する報告（H28年度本報告書；安田・他，2016年火山学会秋季大会予稿集）と合わせると，西之島火山のマグマ供給系は，以下のような描像となる（図4）（1）深部のマグマ溜まりから，浅所のマグマ滞留層へマグマが移動（温度は 1050 程度かそれよりやや高い）する（2）マグマ溜まりの縁辺部でこのマグマが弱い結晶分化を経て，tube pumice に相当する組成のマグマとなる（温度 1020 程度）（3）深部からマグマがこの浅所のマグマ溜まりへ再注入するのに伴って，この周縁部のマグマがほとんど減圧せずに山腹の海底で tube pumice 状火砕物として噴出する．また，混合したマグマの大部分は火道を上昇して減圧を経験したのち，陸上や途中の海底で噴火する．この際には，減圧による脱ガスに伴い急速に結晶量が増加して石基組成は分化する．Tube pumice 状の粒子の石基含水量からみてこの噴出孔の水深は 1000 m よりも深い．

西之島で活動しているマグマは，アルカリ濃度が高いこととやや高温であるため，地表での溶岩流の流下形態にも現れているように安山岩質マグマとしては粘性が低い．しかしながら，tube pumice 状の火砕物となるためには，水にほぼ飽和する圧力下での海中噴火という条件が加わる必要があったと思われる．すなわち，海中噴火であったため火道上昇の減圧（=脱水）に伴う微結晶生成がほとんど起きず，粘性が上昇しなかった．加えて破碎開始の核となる微結晶が少ないため千切れにくかった．これらのことによって，安山岩質であるにも関わらずマグマが破碎されないという条件が満たされたのであろう．さらに，海中噴火であったため急冷される．大気中への噴火の場合には，噴出率が高く断熱膨張による冷却の効果が効くような大噴火でない限り減圧に伴う気泡の膨張を被るが，海中噴出の場合には，被圧された状態でさらに海水で急冷されるため，引き伸ばされた気泡形状を維持できたと考えられる．

諏訪之瀬島については，最近20年の噴火噴出物であるスコリア試料について，顕微 FT-IR 反射分光分析と EPMA による斑晶とガラスの定量分析を行い，1813年噴火及び10ka 噴火の試料との比較を行った．プリニアン噴火が多発した10ka に比べて，1813年のスコリア噴火や最近のストロンボリ噴火では噴出物の含水量が低くなっており，噴火前のマグマの滞留深度が浅くなっていることが示唆

された。今後は、1813年以降のより詳細なマグマの含水量や温度の変化を調べる予定である。

(9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) : 安田敦・前野深・中田節也・外西奈津美・馬場聖至・武尾実・高木朗充, 西之島近海の海底から採取されたガラス質の火砕物について, 火山学会 2017 秋季大会予稿集, 94, 2017

(10) 平成30年度実施計画の概要 :

平成29年度に引き続き, 浅間火山と諏訪之瀬島火山の噴出物の解析を行う。浅間火山については, 1783年の噴火試料について, 斑晶鉱物と斑晶ガラス包有物の組成に関する網羅的な解析を行い, マグマ供給系についてさらに検討する。諏訪之瀬島火山については, 最近の噴出物の解析を重点的にを行い, 1813年以降のマグマシステムの時代変化についてさらに検討を行う。加えて, 平成27年度にやり残した富士山の歴史時代噴火の噴出物を分析し, 噴火様式とマグマの状態について検討する。

(11) 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

(12) 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 : 03-5841-5712
e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL :

(13) 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

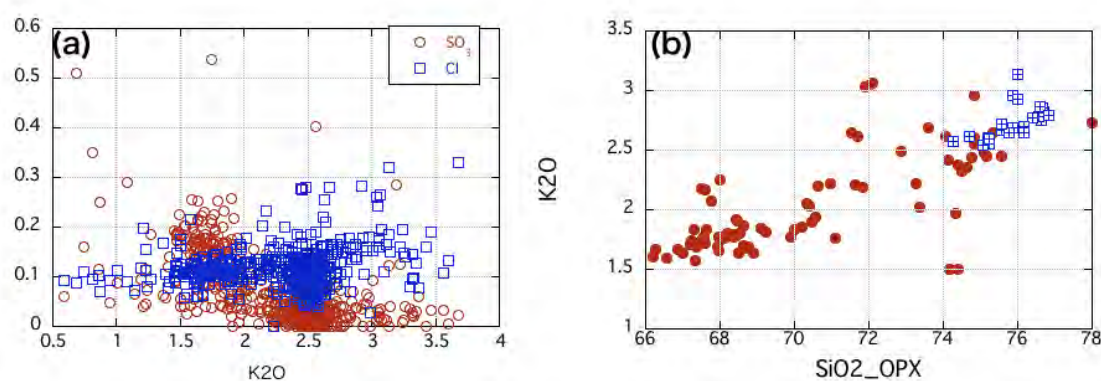


図1 . 浅間火山 1783 年噴火試料のメルト インクルージョン組成 .

(a)K2O-揮発性成分量 , (b)SiO₂-K2O 量 . 斜方輝石 (赤丸) および斜長石 (青十字四角) .

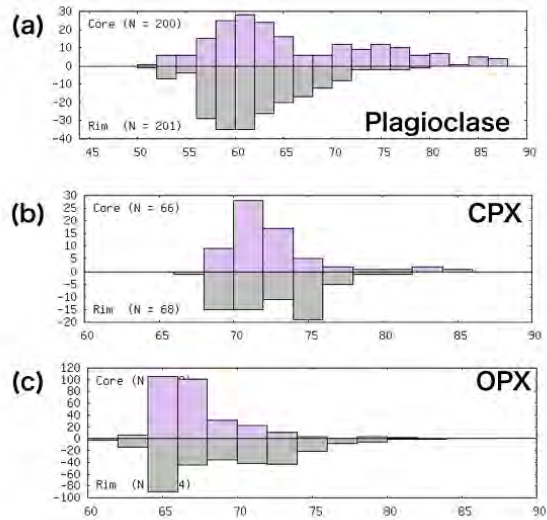


図2．浅間火山 1783 年噴火試料（最下層）の斑晶の組成ヒストグラム．
 (a) 斜長石, (b) 単斜輝石, (c) 斜方輝石．

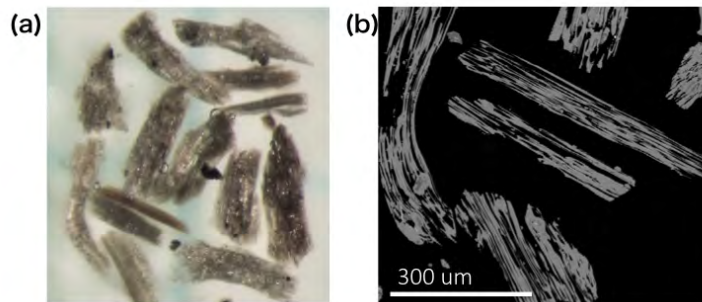


図3．西之島海底から採取された火砕物に含まれる tube pumice 状の気泡をもつ粒子．
 薄茶～白色の粒子で，最大で 1.5mm 程度の大きさ．(a) 実体顕微鏡像と (b) 反射電子顕微鏡像．

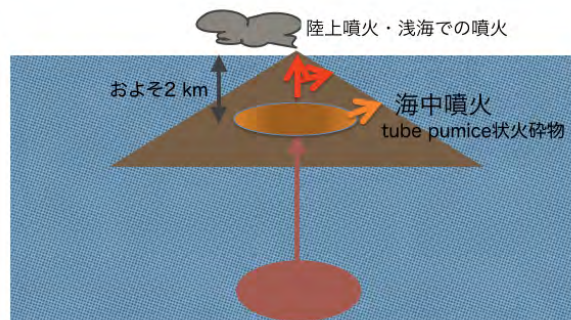


図4．西之島の 2013-15 & 海中噴火のマグマ供給系のモデル
 本文参照

(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：

日本海溝・相模トラフプレート境界で起こる多様なすべり現象の包括的モデル構築

(3) 最も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・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(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

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 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) 地震発生長期評価手法の高度化

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

東北地方太平洋沖地震発生の前後を中心とした地震・地殻変動観測データの見直しからは、日本海溝沈み込み帯においても、非地震性すべりのすべりプレートに時空間的なゆらぎがあることが明らかとなってきた。また、東北沖地震で大きな地震時すべりを示した範囲内に、地震発生以前では M7.5 程度の地震を繰り返す領域やその後の余効すべりのすべり域が混在していて、プレート境界断層面上の同じ場所が東北沖地震の発生前と発生時とで異なるすべり特性を示した可能性がある。こうした、プレート間すべりをもつ多様性をモデル化することは、沈み込みプレート境界における地震発生機構に

関する理解の刷新に必要不可欠であるばかりでなく、この領域における地震サイクルをモデル化することによって大地震発生の長期予測の信頼性を高めることに資する。

本研究では、プレート境界においては余効すべりと固着の回復とが競合して進行していると考えられる東北沖地震の震源域とその周辺において、海域を中心とした測地・地震高密度観測を実施し、地震活動・余効変動との中で発生する多様なすべり現象の詳細を明らかにするとともに、プレート境界付近の構造を明らかにする。また、観測から得られた構造モデルを制約条件としてプレート境界の状態を再現した摩擦実験から、多様なすべり現象がおこる条件・要因を明らかにし、摩擦構成則の定式化を行う。さらに実験により得られた摩擦構成則に基づいて数値モデリングを行い、日本海溝の沈み込みプレート境界で起こるすべり現象の多様性を統一的に説明し得るモデルの構築を試みる。こうした観測・実験・モデル研究の成果を統合して、この領域のプレート境界でおこるすべりの時空間発展に関して、より現実的な予測の実現をめざす。

東北沖地震の破壊領域の南側に隣接する房総半島沖においては、スロースリップ現象が数年程度の短い間隔で繰り返し発生している。そこで、上記の日本海溝における海底観測や陸上観測（別課題にて提案）と連携して、この領域で発生するスロースリップの観測を行い、海陸の観測で繰り返し発生するスロースリップの発生を規定する物理モデルの構築を試みる。構築されたモデルに基づいて、さらに次のサイクルで発生するスロースリップの発生時期や規模を予測する実験に発展させる。通常の地震に比べて繰り返し間隔が短いスロースリップは、このような予測実験に格好な対象である。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本研究計画は、海域観測研究と実験・モデリング研究から構成される。以下に各々の計画を示す。

海域観測研究

東北沖地震震源域の周辺および房総半島沖において、自己浮上式の海底精密水圧計および海底地震計（広帯域地震計を含む）による観測を実施する。これら観測測器による観測期間は2年間とし、その設置と回収を平成26～30年の間、隔年繰り返し行うことにより、約5年間の連続した観測体制を維持する。これに加え、GPS音響結合方式海底地殻変動観測を実施するほか、整備が進められている海底ケーブル方式の日本海溝地震・津波観測網による観測とも連携して、なるべく広域かつ高密度な観測が行えるように配慮する。東北地方太平洋沖地震震源域周辺の観測からは、余効変動と固着回復過程との中で発生するプレート境界ならびに太平洋プレート内で発生する多様なすべり現象の規模および頻度の時空間的な分布を明らかし、房総半島沖スロースリップ現象などの大規模なイベントについてはすべり量の時空間発展の推定を行う。これとともに、地震観測データを用いて、各イベントの発生領域を特徴付ける地下構造を明らかにする。海底観測測器の観測期間の長期化により、繰り返し観測による准モニタリング的な観測が海域においても実施できるようになった。本研究計画では、積極的に機動観測測器によるモニタリング観測を行うことにより、これまで陸上観測網では捕捉することが困難であった、海域下のプレート境界で発生するすべりイベントの空間分布とともに、その時間変化の解明をめざすことが特徴である。対象域が、巨大地震発生直後の東北沖、あるいは繰り返し間隔が短いスロースリップ現象がみられる房総半島沖であり、5年間という短い期間でも、プレート間すべりの多様性やその時空間変動を観測によって捉えることが可能であると期待できる。

実験・モデリング研究

平成26年度は、深海掘削で得られた遠洋性泥質・珪質堆積物およびそれらを模した物質を試料として、日本海溝沈み込みプレート境界浅部（0～10 km）の深度に相当する温度・有効圧力下で透水・破壊・摩擦実験を行う。透水実験結果から、熱加圧（thermal pressurization）の発生可能性を評価する。破壊実験はプレートの沈み込み速度相当の短縮速度で行い、破壊速度の実験条件に対する依存性からスロースリップの発生条件を絞り込む。摩擦実験は、プレート沈み込み速度から地震時のすべり速度までの変位速度下で行う。さらに、これらの実験結果に基づいたモデリングにより、プレート境界断層の地震発生域上限付近の挙動を明らかにする。

次の3年間は、平成26年度と同じ堆積物・模擬物質に加え、沈み込みプレート境界原位置の温度・

圧力相当で変成作用を受けたと考えられる変成岩、およびプレート境界断層上盤側のウェッジマントル中に存在すると想定される蛇紋岩を試料として、日本海溝沈み込みプレート境界中深部(10~60 km)の深度に相当する温度と、試験機で達成可能な範囲の圧力および間隙水圧条件下で、透水・破壊・摩擦実験を行う。実験条件は観測により得られた構造モデルに基づいて絞り込みを行う。また、実験により得られた摩擦特性や水理学的特性を用いたモデル化を進め、東北地方太平洋沖地震が発生したメカニズムや地震発生域におけるプレート境界断層の多様なすべりを明らかにする。さらに、観測結果を反映させてモデルの改善を図る。

平成30年度は、変成岩および蛇紋岩試料を使用して、日本海溝沈み込みプレート境界深部(60~80 km)の深度に相当する温度と試験機で達成可能な範囲の圧力および間隙水圧条件下で、透水・破壊・摩擦実験を行う。また、これらの実験結果に基づいたモデリングによりプレート境界の地震発生域下限付近の断層の挙動を明らかにするとともに、東北地方太平洋沖地震の余効すべりや固着過程を再現し、観測結果と比較することでモデルの改善を図る。さらに、隣接地域のすべりや地震発生の再現を試みる。

(8) 平成29年度の成果の概要：

海域観測研究

海域観測研究では、2013年に長期観測型海底地震計を用いて、岩手県・宮城県沖において、約1年間のモニタリング観測を実施したことや2014年度から2018年度まで、科学研究費補助金(特別推進研究)「深海調査で迫るプレート境界浅部すべりの謎~その過去・現在」が採択されたことなどから、これらの観測と密接に連携して、モニタリング観測を実施することとした。また、海域観測には、利用可能な研究航海をできるだけ利用して、海底地震計・水圧計の設置回収作業を行うこととした。これらの方針に基づいて、本研究計画では、長期観測型海底地震計を中心に使用して、海底観測を実施する。また、東北沖地震震源域のモニタリング観測については、科研費の観測とも連携することとした。

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、2017年4月と10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た(図1)。科学研究費補助金(特別推進研究)と連携して行っている海底地震計アレイ(Array of Array: AoA)観測では、次世代広帯域海底地震計(BBOBS-NX)を中心に、宮城県沖に設置されていたアレイを2017年4月に回収した。一方、福島沖に展開しているAoAを構成している自己浮上式海底地震計の回収および再設置を2017年10月に行った。福島沖に設置されている3式の海底地震計アレイは、1式がBBOBS-NXが中心であり、2式は海底設置型の広帯域海底地震計が中心である。また、同時期に福島沖の広域地震観測網を構成している自己浮上式海底地震計も回収・再設置を行った。福島沖の広域地震観測網観測点の再設置には、新規に開発した小型広帯域海底地震計(固有周期20秒)を用いた(図1)。房総半島沖においては、スロースリップ観測のために、4台の海底水圧計が設置されており、引き続き観測を継続した(図1)。用いている海底水圧計は約2年間の連続収録が可能である。房総半島沖には、同目的のために、次世代広帯域地震傾斜計1台が設置されており、2017年9月に回収を試みたが、来年度以降に再試行することとした。

2011年東北地方太平洋沖地震の震源域周辺の海底において2012年から2016年の間に観測された地殻変動を本震発生時の地殻変動と併合して逆解析することにより、地震時すべりと地震後すべりを同時に推定することを試みた。地震後に大幅に拡張されたGPS-A海底地殻変動観測網による地震後変位データには地震時すべりが励起した粘弾性緩和による変動成分が含まれることから、こうした地震後データも地震時すべり分布の推定精度向上に資することが明らかとなった。得られた本震時すべり分布(図2)は、地震時変動データのみを弾性媒質モデルを使って解析した場合に推定されたすべり分布に比べて海溝軸に沿って北側にまで広がる。しかし、津波波源解析の結果が要請するほどの広がりではなく、北緯39度以北の津波波源はプレート境界断層のすべりとは異なる変動によるものである可能性がある。

地震時すべりとともに推定された余効すべり分布(図2)によれば,その大部分が地震時すべり域より深部側プレート境界で見られる一方で,地震時すべりが及ばなかった北緯37.5度以南の海溝軸に近いプレート境界浅部で発生していることがわかった。海溝沿いの地震時すべり域から余効すべり域に遷移する位置付近では,浅部プレート境界に沿った低地震波速度物質の分布様態が大きく変化し,余効すべりの範囲では低地震波速度層がプレート境界面に沿うように広がっていることが明らかとなっており,こうした構造がすべり挙動を規定している可能性を示す。

地震時すべり域より北側の海溝沿いのGPS-A変位速度は,約5年間の平均でみると非常に小さいが,小繰り返し地震の解析から示唆されるプレート境界すべりの加速・減速が,小繰り返し地震の活動域より広範囲で発生していると仮定した場合,海溝軸近くで得られた海底地殻変動データを説明可能である(図3,図4)。このことは,2011年以前に繰り返し起こっていたことが明らかとなっている周期的スロースリップは,海溝軸そばのプレート境界浅部にまで及んでいる可能性がある。

こうした周期的スロースリップの発生域近傍では超低周波地震(VLFE)の活動があることが知られている。VLFEの震源近傍に設置されていた短周期海底地震計の記録を解析したところ,VLFEが励起したと考えられるS波の到来を認めることができ,極めて微弱ではあるが1数Hzというこれまでの観測例に比べて高い周波数帯域での周波数特性を知る有用な手がかりが得られた。

一方で,プレート境界浅部で余効すべりが進行していると考えられる福島県沖において,海底地震計アレイ観測を2016~2017年の1年間実施した。そのデータを用いたビームフォーミング解析を行ったところ,アレイ全てにコヒーレントなシグナルがノイズレベルを超えて検知される期間がいくつもあることがわかった。今後は到来方向等を用いてこれらのシグナルが微動由来のものであるかを調べていく予定である。

2011年東北地方太平洋沖地震(東北沖地震)前後に日本海溝域で展開された海底地震観測および陸上定常観測データから,同領域で発生した地震の震源とマグニチュードの詳細なカタログを作成し,東北沖地震前後の地震活動の特徴を明らかにした。海底観測データは,東北沖地震発生前(2007年10月~2008年6月)が日本海溝・千島海溝海底観測,東北沖地震発生後(2011年3月~2011年6月)が大規模余震観測(Shinohara et al., 2011, 2012)で取得された。地震波形の振幅と相関を用いて,プレート境界面付近の地震を自動検出・震源決定する手法(Nakatani et al., 2015)を適用し,震源の時空間分布や規模別頻度分布を得た。その結果,東北沖地震発生前においては,北緯39度付近で活動が変わり,北側の低活動域が少なくとも東北沖地震発生前の数年間継続したことを示した。一方,東北沖地震発生後においては,本震時大すべり域に顕著な低活動域,その周辺で高活動域が見られた。Gutenberg-Richter則(G-R則)を仮定し,地震の規模別頻度分布からb値とcompleteness magnitude(M_c)を求めると,推定された M_c は既存地震カタログと比較して1以上小さく,地震検出能力の高さを示した。 M_c の改善に伴い,東北後は低b値が広く分布することも明らかになった(図5)。そこで,規模別頻度分布を正確に記述するために,最尤法を用いて頻度分布と地震検出率を規定した。結果として,統計的に信頼性の高い新たなb値は,東北沖地震発生前に顕著な地域差が見られないのに対し,東北沖地震発生後は大きな地域性を示した。本震時に高周波破壊を起こした領域では,東北沖地震発生前後でb値が低下し,地震後の頻度分布はG-R則から逸脱した(図5)。この原因は,破壊に伴う応力変化とプレート境界面の摩擦状態変化によると考えられる。また,震源域の北・南限域でも地震後に低b値またはb値の低下が見られ,破壊に伴う差応力の増加を示唆した。

房総沖スロースリップ領域において,水圧計の観測を継続した。データ解析は前年度までに,水圧計データに線形成分,1年と半年周期の周期成分,対数成分(2011年東北地震の余効変動に対応),ギャップ成分(スロースリップによる変動に対応)の4つの成分からなる関数をフィッティングし,2013年12月から2014年1月の房総沖スロースリップに近い観測点(KAP3)で2 σ を超える有意な隆起が認められ,スロースリップから遠い観測点(BOSO2)では有意な隆起はなかったことがわかっている(図6)。この結果と陸上GNSSデータを用いてスロースリップのすべり分布を求めた。その結果,すべりの南東端が推定できたとともにすべり分布の推定誤差が減少することも示された(図7)。

また,房総沖で行われた人工地震探査データを解析し,スロースリップ領域での反射波強度について

の解析も行った。データは、2009年に白鳳丸を用いて行われ、海底地震計とエアガンを使用した測線長216?の東西測線(図8)である。解析の結果、地震波速度約5km/sの部分が東にゆるやかに傾斜していて、この部分がフィリピン海プレート上面であることが示された(図9)。Travel time mapping法を用いて反射点を2次元断面に投影すると、フィリピン海プレート上面では、反射波が見える部分と見えない部分があり、見える部分はスロースリップ領域と一致することがわかった(図9)。

実験・モデリング研究

モンモリロナイト(Na型)ガウジを用いて、温度25~150℃、間隙水圧10MPa、有効垂直応力10~70MPa、軸変位速度0.03~3μm/sの条件下で三軸摩擦実験を行い、定常摩擦係数の速度依存性(a-b値)を求めた。次に、各温度におけるa-b値と有効法線応力の線形相関に基づいて、南海・コストリカ・ヒクランギ沈み込み帯におけるデコルマ帯のa-b値の深度プロファイルを作成した。その結果、全ての沈み込み帯において、デコルマ帯は速度強化あるいは速度ニュートラルの挙動を示すことが明らかとなった(図10)。

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)4試料について、日本海溝沈み込み帯浅部の温度(50~150℃)・有効圧(50~150MPa;間隙水圧は50MPaに固定)条件下で変位速度を0.1155~11.55μm/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、日本海溝沈み込み帯浅部における断層運動について検討した。実験の結果、定常摩擦係数は粘土鉱物含有量の増加に伴い系統的に低下し、同一試料では半遠洋性粘土の100℃から150℃への変化を除き、温度上昇に伴い増加する傾向が認められた(図11a)。一方、a-b値は100℃以上の温度では粘土鉱物含有量の増加に伴い増加する傾向が認められ、同一試料では遠洋性粘土の50℃から100℃への変化を除き、温度上昇に伴い減小する傾向が認められた(図11b)。日本海溝沈み込み帯でa-b値が正から負へ変化し、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、チャートで50℃と100℃の間、玄武岩で約100℃、半遠洋性粘土で100℃と150℃の間、遠洋性粘土では150℃以上というように、粘土鉱物含有量によって系統的に変化する。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。

日本海溝沈み込み帯深部に分布すると考えられる藍閃石片岩試料について、温度22~400℃、有効垂直応力25~200MPa、変位速度0.1~100μm/sの条件下で摩擦実験を行い、a-b値の有効圧依存性と温度依存性について検討した。実験にはユトレヒト大学の回転式剪断試験機を使用した。実験の結果、藍閃石片岩は温度100~300℃の間でa-b値が負となり、200℃で最低値をとり、地震を引き起こすポテンシャルを持つことが明らかになった(図12a)。東北地方太平洋沖地震の震源域温度が約160℃程度と推測されていることから、藍閃石片岩の摩擦特性は震源核形成に関与し得ると考えられる。また、a-b値が正の温度条件においても、有効圧が低下するにつれてa-b値が負に遷移する傾向が確認された(図12b)。この結果は、間隙水圧が上昇(有効圧が低下)すると、a-b値が正から負に変化する点でスロー地震が発生する条件が現れることを示唆しており、東北地方太平洋沖地震に先行して発生したスロー地震も間隙水圧の上昇に起因している可能性がある。

昨年度までに構築した動的破壊シミュレーションコードを使用して、現実的な断層形状を考慮した自然地震の破壊過程のフォワードモデリングによる再現を試みた。2014年長野県北部地震に適用した結果、合成開口レーダーや強震動波形を基にしたインバージョン解析で求めたすべり分布の大局的な特徴を再現することができた(図13)。

- (9)平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
- Ando, R., Imanishi, K., Panayotopoulos, Y. and Kobayashi, T., 2017, Dynamic rupture propagation on geometrically complex fault with along-strike variation of fault maturity: insights from the 2014 Northern Nagano earthquake, *Earth, Planets and Space*, 69, 130, doi:10.1186/s40623-017-0715-2.
- 廣瀬丈洋, 2017, 実験室から探る南海トラフ地震断層運動, *地盤工学会誌*, 65, 70-77.
- Kameda, J., Inoue, S., Tanikawa, W., Yamaguchi, A., Hamada, Y., Hashimoto, Y. and Kimura, G., 2017,

Alteration and dehydration of subducting oceanic crust within subduction zones: Implications for d
collement step-down and plate boundary seismogenesis, *Earth, Planets and Space*, 69, #52, doi:
10.1186/s40623-017-0635-1.

- 木村 学・木下正高・金川久一・金松敏也・芦 寿一郎・斎藤実篤・廣瀬丈洋・山田泰広・荒木英一
郎・江口暢久・Sean Toczko, 2018, 南海トラフ地震発生帯掘削がもたらした沈み込み帯の新しい
描像, *地質学雑誌*, 124, 47-65.
- Kitajima, H., Saffer, D., Sone, H., Tobin, H., and Hirose, T., 2017, In situ stress and pore pressure in the deep
interior of the Nankai accretionary prism, integrated Ocean Drilling Program Site C0002, *Geophysical
Research Letters*, 44, 9644-9652.
- Kitamura, M. and Hirose, T., 2017, Strength determination of rocks by using indentation tests with a spherical
indenter, *Journal of Structural Geology*, 98, 1-11.
- Komori, J., Shishikura, M., Ando, R., Yokoyama, Y. and Miyairi, Y., 2017, History of the great Kanto
earthquakes inferred from the ages of Holocene marine terraces revealed by a comprehensive drilling
survey, *Earth and Planetary Science Letters*, 471, 74-84.
- Kono, A., Sato, T., Shinohara, M., Mochizuki, K., Yamada, T., Uehira, K., Shinbo, T., Machida, Y., Hino, R.,
Azuma, R., 2017, Geometry and spatial variations of seismic reflection intensity of the upper surface of
the Philippine Sea plate off the Boso Peninsula, Japan, *Tectonophysics*, 709, 44-54.
- Kono, A., Sato, T., Shinohara, M., Mochizuki, K., Yamada, T., Uehira, K., Shinbo, T., Machida, Y., Hino,
R., Azuma, R., 2017, Spatial distribution of reflection intensity of the upper surface of the Philippine
Sea plate, near the main slip area of the Boso Slow Slip Events, 2017 AGU Fall Meeting, S41C-0776.
- 河野昭博・佐藤利典・篠原雅尚・望月公廣・山田知朗・植平賢司・眞保敬・町田祐弥・日野亮太・東龍
介, 2017, 房総沖スロースリップイベント周辺域のフィリピン海プレート上面からの反射波強度
分布、日本地震学会講演予稿集 2017 年度秋季大会, S06-P07.
- Kono, A., Sato, T., Shinohara, M., Mochizuki, K., Yamada, T., Uehira, K., Shinbo, T., Machida, Y., Hino, R.,
Azuma, R., 2017, Geometry and spatial variations of seismic reflection intensity of the upper surface of
the Philippine Sea plate off the Boso Peninsula, Japan, IAG-IAPSEI 2017, J08-3-02.
- 河野昭博・佐藤利典・篠原雅尚・望月公廣・山田知朗・植平賢司・眞保敬・町田祐弥・日野亮太・東龍
介, 2017, 房総沖スロースリップイベント周辺域の 3 次元地震波速度構造とフィリピン海プレ
ート上面の反射波強度分布、JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SSS16-P09.
- 林 為人・廣瀬丈洋・谷川 亘・濱田洋平, 2017, 科学掘削による地震断層の応力状態・物性・すべ
りパラメーターの評価, *地学雑誌*, 126, 223-246.
- Mizutani, T., Hirauchi, K., Lin, W. and Sawai, M., 2017, Depth dependence of the frictional behavior of
montmorillonite fault gouge: Implications for seismicity along a d collement zone, *Geophysical
Research Letters*, 44, 5383-5390.
- Nakatani, Y., K. Mochizuki, M. Shinohara, T. Yamada, H. Shiobara, R. Hino, Y. Ito, Y. Murai, T. Sato, K.
Uehira, H. Yakiwara, S. Kodaira, and H. Tsushima, 2017, Spatiotemporal variations of the frequency-
magnitude distribution before and after the 2011 Tohoku earthquake in the Japan Trench subduction
zone, AGU Fall Meeting, T12B-04.
- Noda, H., Sawai, M. and Shibazaki, B., 2017, Earthquake sequence simulations with measured properties for
JFAST core samples, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, A375, doi:10.1098/rsta.2016.0003.
- Sato, T., Hasegawa, S., Kono, A., Shiobara, H., Yagi, T., Yamada, T., Shinohara, M., Usui, N., 2017, Detec-
tion of vertical motion during a slow-slip event off the Boso Peninsula, Japan, by ocean-bottom pressure
gauges, *Geophysical Research Letters*, 44, doi:10.1002/2017GL072838.
- Sawai, M., Niemeijer, A. R., Hirose, T. and Spiers, C. J., 2017, Frictional properties of JFAST core samples
and implications for slow earthquakes at the Tohoku subduction zone, *Geophysical Research Letters*,
44, 8822-8831.

Tomita, F., M. Kido, Y. Ohta, T. Iinuma, and R. Hino, 2017, Along-trench variation in seafloor displacements after the 2011 Tohoku earthquake, Sci. Adv., 3, e1700113.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

海域観測研究

- ・平成 29 年度に引き続き、GNSS-音響地殻変動観測、海底間音響測距観測、海底水圧観測からなる海底地殻変動観測、地震計アレイ観測および広帯域地震観測を日本海溝軸近傍で継続して実施する。
- ・プレート境界浅部で余効すべりが発生していると考えられる南部海域での観測データを入手し、こうした余効すべりに変動現象の検知と特徴解明を進める。
- ・房総半島沖については、海底精密水圧計について、新たに得られたデータに対して解析を進める。
- ・房総半島沖構造探査に関する反射波強度については、3次元構造解析を行い、フィリピン海プレート上面の面的な分布について解析を進める。

実験・モデリング研究

- ・前年度に引き続き、乾燥・含水条件下でのモンモリロナイトガウジの摩擦実験を行う。さらに、実験後の試料の組織解析を行い、何故モンモリロナイトの a-b 値が温度と圧力に依存するのか、明らかにする。
- ・沈み込む海洋プレートの基盤岩・表層堆積物 4 試料について、日本海溝沈み込み帯深部の温度(200 400 °C)・有効圧(200 MPa 以下)条件下で、変位速度を 0.1155 11.55 μ 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、日本海溝沈み込み帯深部における断層運動について検討する。
- ・熱水条件下での低～高速摩擦実験が可能な熱水摩擦試験機の開発・調整を行う。また、熱水環境下における断層帯の水理学特性を決定できるように試験機開発を行う。試験機の調整後、プレート境界地震発生場に存在する泥質片岩と緑色片岩の摩擦特性を調べる。
- ・間隙水加圧条件下における低～高速摩擦実験を実施し、断層の透水係数の変位速度依存性を評価する。またこの結果を熱水摩擦試験機の開発・調整へフィードバックさせる。
- ・観測により推定された摩擦特性と破壊過程を再現できるように、数値解析を継続する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

海域観測班：篠原雅尚・塩原肇・望月公廣・山田知朗・一瀬建日(東京大学地震研究所)・日野亮太・木戸元之・太田雄策・飯沼卓史(東北大学)・村井芳夫(北海道大学)・佐藤利典(千葉大学)・伊藤喜宏(京都大学)・八木原寛(鹿児島大学)

実験・モデリング班：金川久一(千葉大学)・矢部康男・武藤 潤(東北大学)・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)・安藤亮輔(産業技術総合研究所)

他機関との共同研究の有無：有

北海道大学・東北大学・千葉大学・静岡大学・京都大学・鹿児島大学・海洋研究開発機構・建築研究所・産業技術総合研究所(上記参加者による共同研究)

(12) 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：03-5841-5712

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

(13) 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

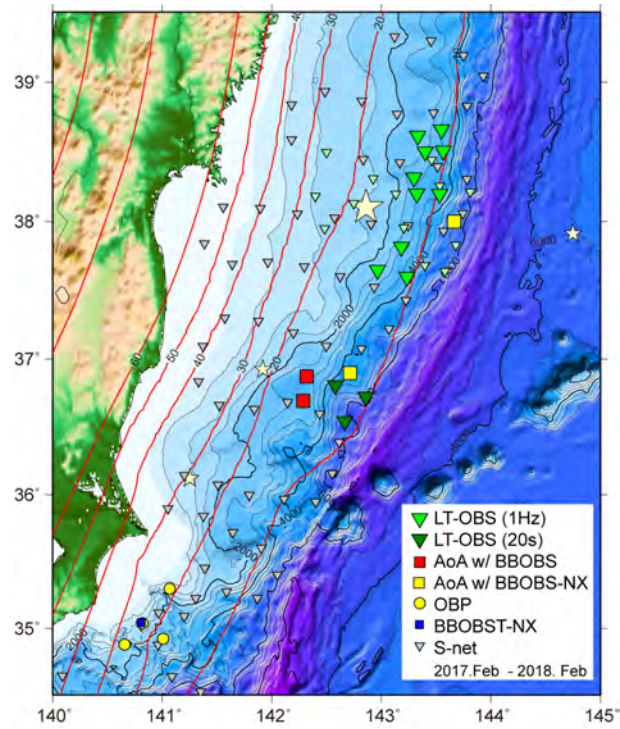


図 1 .

平成 29 年度に観測を行った海域観測点の分布．薄い緑の逆三角は，平成 28 年度以前の自己浮上式長期観測型海底地震計による宮城県沖観測網の観測点位置を示す．星は，マグニチュード 7.5 より大きい地震の震央．赤線は海域観測から推定されたプレート境界深度の等深度線を表す．BBOBS-NX は，地震計海底下埋設型の海底地震計を指す．BBOBST-NX はさらに傾斜も観測できる．

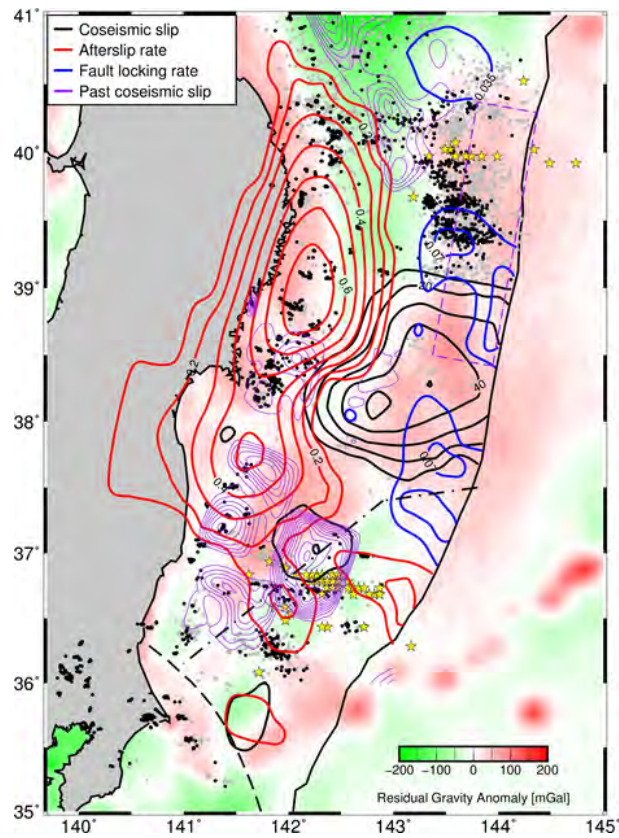


図 2 .

2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う地震時および地震後地殻変動の同時逆解析から推定した地震時および地震後すべりの空間分布 . 黒コンター: 地震時すべり (m) , 赤: 余効すべり速度 (m/a) , 青: 地震後のすべり欠損 (m/a) . 残差重力異常 (Basett et al., 2016) をカラースケールで示す . 黄色星は Matsuzawa et al. (2015) による VLF-E の震央 .

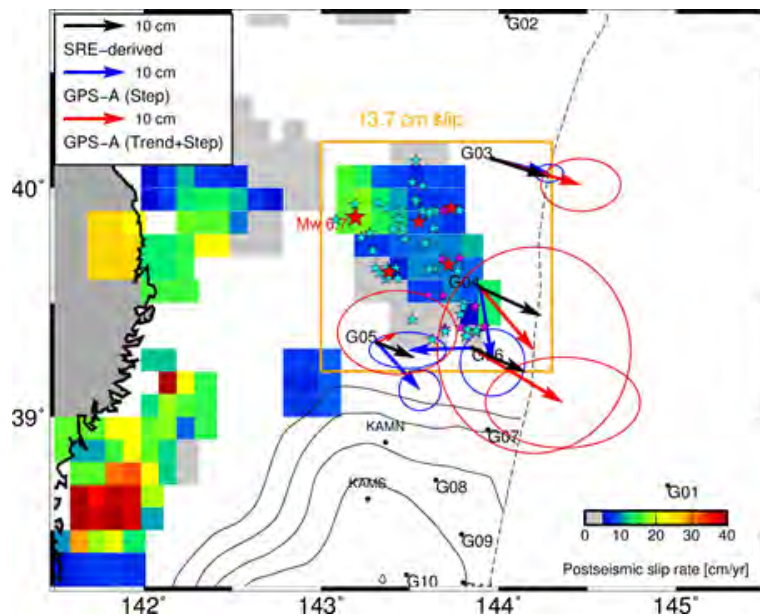


図 3 .

小繰り返し地震解析によるすべり速度の分布と海底での変位ベクトル . 黒: 橙矩形ないで 13.7 cm のすべりを仮定した場合の変位 . 青: GPS-A 観測時系列をすべり速度時のステップ変位だけで説明した場合の変位量 . 赤: 変位時系列を定常的は変位とステップ変位の重ね合わせと仮定した場合の , ステップ量 .

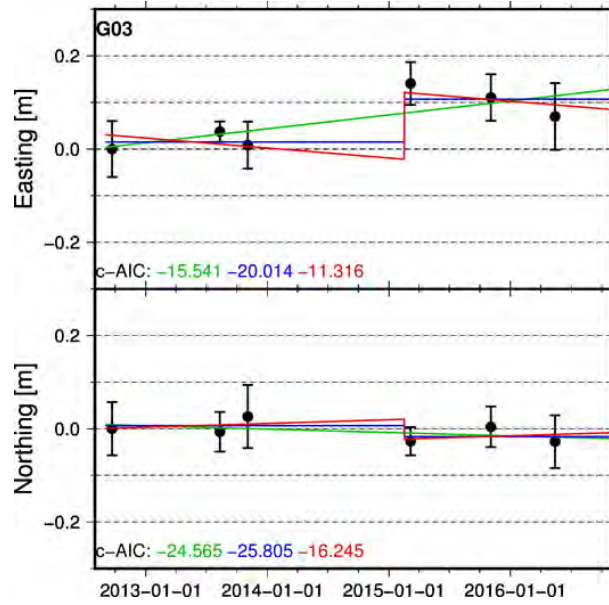


図 4 .

観測点 G03 での日本海溝北部の海溝近くで観測された GPS-A 変位時系列．緑は一定レートでの変位，青は単一ステップ関数，赤は一定レート変位とステップの重ね合わせを，観測時系列に当てはめた結果．

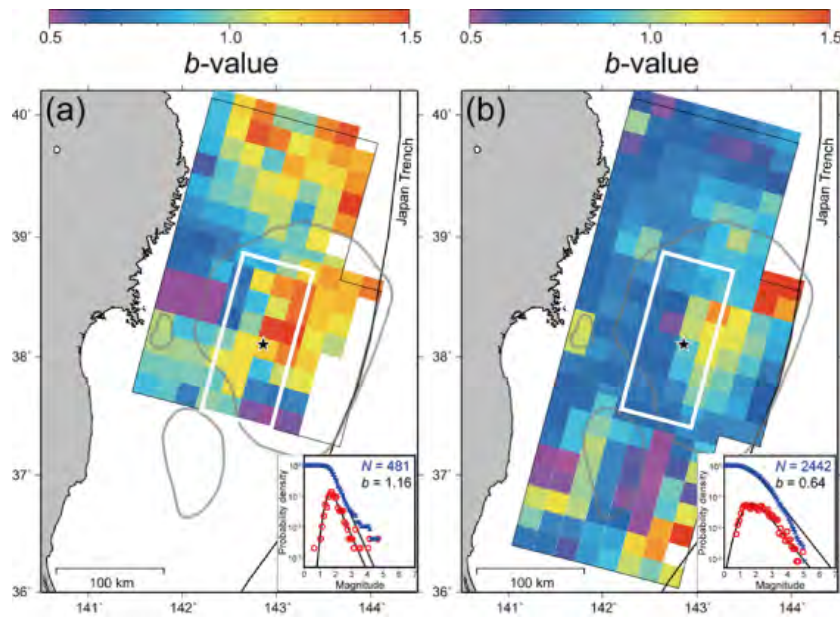


図 5 .

(a) 東北沖地震前および (b) 地震後の b 値の空間分布． b 値推定手法は，Maximum Curvature 法 (Wiemer and Wyss, 2000)．星印は東北沖地震の震源，灰色コンターは Iinuma et al. (2012) による本震時すべり分布 (10 m) を示す．挿入図は，地図上の白色矩形域内で発生した地震 (N : 全地震数) の規模別頻度分布 (赤: 非累積頻度，青: 累積頻度) を示す．ただし，ここでの b 値は Ogata and Katsura (1993) の最尤推定モデル (黒線) から得た．

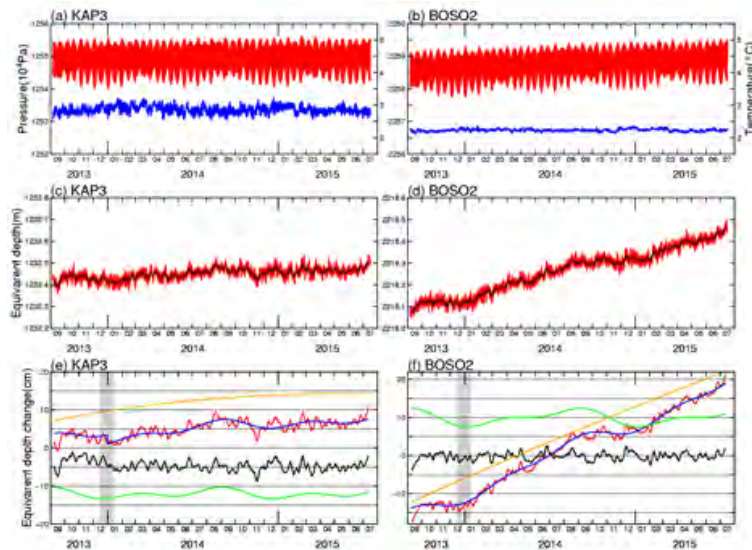


図 6 .

水圧計データの解析 . (a) , (b) 観測された圧力 (赤) と温度 (青) . (c) , (d) 潮汐成分と温度相関線分を除いたもの (赤) . 黒線は 7 日間の移動平均 . (e) , (f) フィッティング結果 . 赤線は 7 日間移動平均 , 青線は最適なフィッティング曲線 , オレンジ線は線形成分と対数成分 , 緑線は年周成分 . 黒線は 7 日間移動平均から線形 , 対数 , 年周成分を引いたもの . スロースリップ発生時 (グレー部分) KAP3 に変動がみられる .

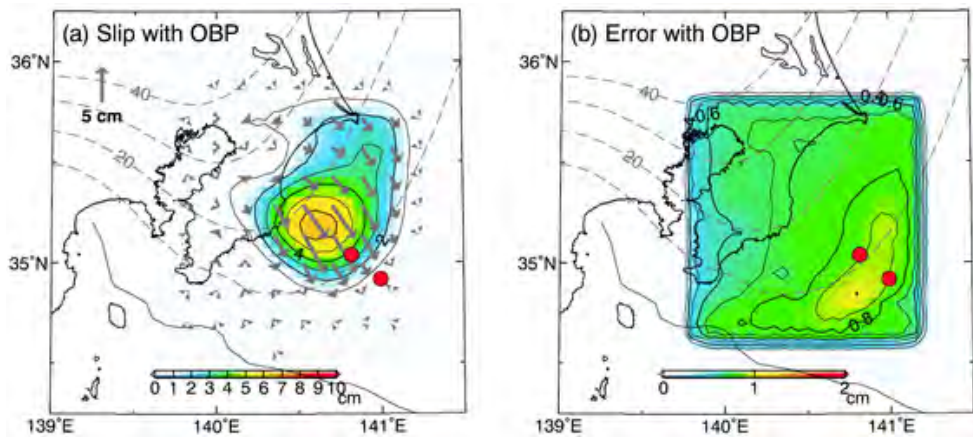


図 7 .

2013 年 12 月から 2014 年 1 月の房総沖スロースリップのすべり分布 (a) と推定誤差 (b) . 赤丸は水圧計の位置を示す .

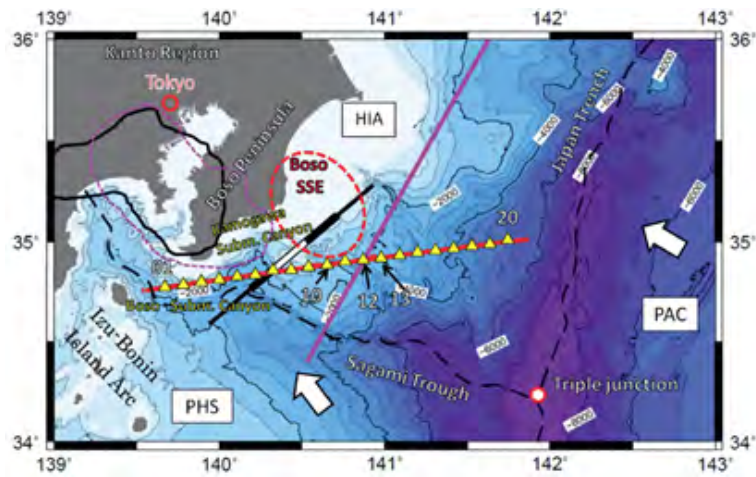


図 8 .
構造解析に用いた東西測線（赤線）．三角は海底地震計を示す．

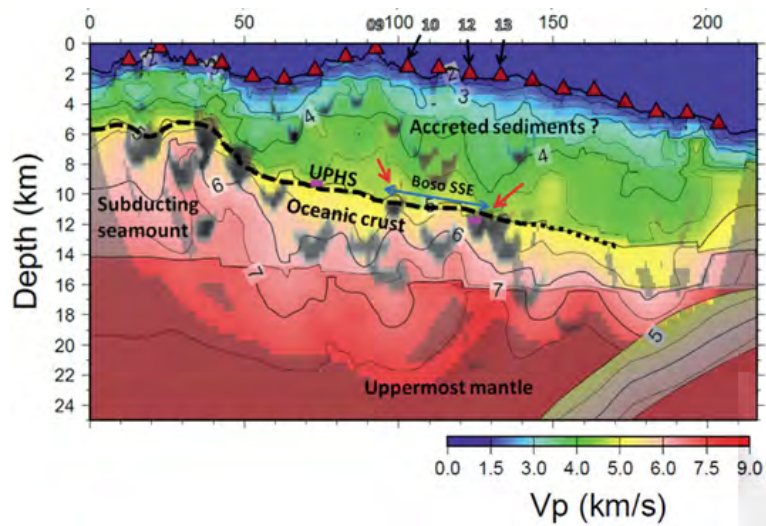


図 9 .
東西測線下の 2 次元地震波速度構造と Travel time mapping 法による反射点の投影．図中の灰色の部分観測された強い反射波の反射点を示す．破線はフィリピン海プレート上面．青矢印は房総沖スロースリップ領域．赤矢印で示すように領域の両端に反射点があることがわかる．西側のプレート上面での反射は沈み込んだ海山に関する．

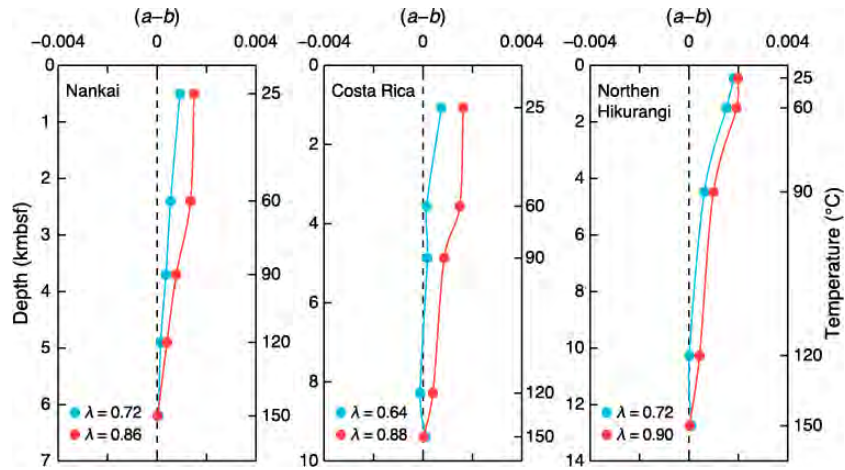


図 10 .

各温度における $a - b$ 値と有効垂直応力の線形相関に基づいて作成した、南海トラフ (a) , コスタリカ (b) , ヒクランギ (c) の各沈み込み帯における $a - b$ 値の深度プロファイル . : 間隙水圧比 .

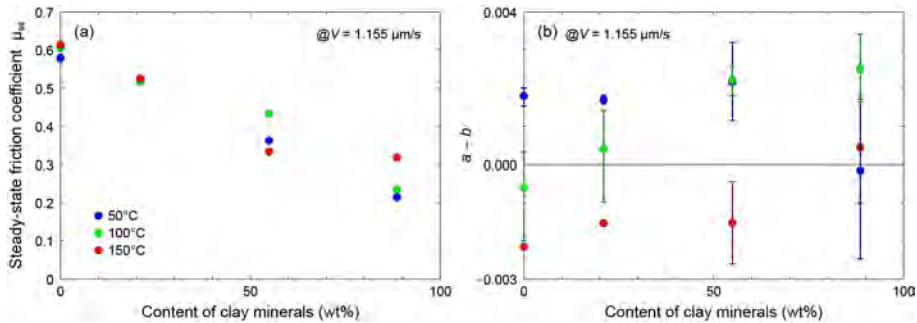


図 11 .

紀伊半島沖フィリピン海プレート海洋地殻玄武岩試料 (粘土鉱物約 21 wt%) , 宮城県沖日本海溝プレート境界断層下盤側チャート試料 (粘土鉱物 0 wt%) , 三陸沖太平洋プレート表層半遠洋性粘土試料 (粘土鉱物約 55 wt%) および遠洋性粘土試料 (粘土鉱物約 89 wt%) の、変位速度 $1.155 \mu \text{ m/s}$ における定常摩擦係数 (a) と $a - b$ 値 (b) の温度と粘土鉱物含有量による変化 .

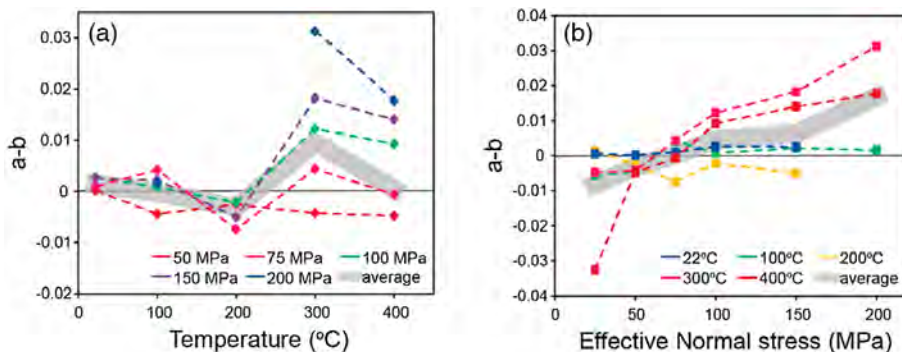


図 12 .

藍閃石片岩試料の変位速度 $10 \mu \text{ m/s}$ における $a - b$ 値の温度 (a) と有効垂直応力 (b) による変化 .

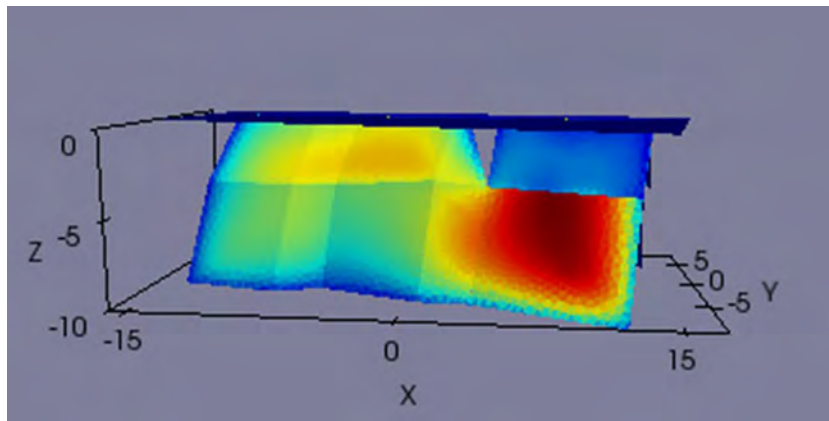


図 13 .
動的破壊シミュレーションにより計算された、2014 年長野県北部地震時の断層面上のすべり分布 .

(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：

内陸地震発生の理解と予測に向けて

(3) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(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整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

4. 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

これまでに内陸地震の研究は，各機関によって，それぞれの地域の特徴を活かした観測フィールドにおいて研究課題が提出され，実施されてきた。しかしながら，内陸地震の発生は，現象を支配する共通の物理メカニズムが存在すると考えられる。そのため，本研究では，それぞれのフィールドで得られた研究成果をもとに知見を合わせる中で内陸地震発生の現象の根幹を支配している物理を明らかにし，内陸地震の発生予測の進展を目指す。また，これまでの研究では，多くの研究課題の最終結果が現象の理解にとどまってしまうことが見られた。その反省をうけて，本課題では“日本列島広域統合コミュニティモデルの構築”を一つの柱として設定するとともに，各柱の中で予測に向けた研究観測を実施し，得られた結果を積極的に長期予測にどう生かせるかを明確にする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

内陸地震研究を 4 本の柱(地殻応答による断層への応力载荷過程の解明と予測，内陸地震発生の物理モデルの構築，日本列島広域統合コミュニティモデルの構築，地震・火山噴火発生場の解明

と地震火山相互作用の解明)で構成し、本計画の組織の中に上記関連課題の実施グループの責任者を中心に構成される研究推進委員会を組織する。本計画では、研究推進委員会を中心として、それぞれの研究課題間の連携を図り、成果の取り纏めと関連する分野に対する成果の活用を図るとともに、予測に向けた研究のかじ取りを行う。

(a) 研究成果の取り纏めと予測に向けた研究の推進

上記の4本の柱の研究の推進を図るとともに、それらの連携による内陸地震の発生メカニズムに対する定量的モデルの構築を目指す。広域統合モデル構築の成果と観測研究の成果に基づき、島弧内の広域変形、地殻・断層スケールの弾性/非弾性不均質構造、内陸地震域への応力蓄積・集中プロセスの定量的理解を深め、得られた研究成果の取り纏めと、予測に向けた研究推進のための検討を行う。

(b) 研究推進委員会や研究連絡会の開催

各課題の責任者によって構成される研究推進委員会を定期的開催し、各研究課題や関連する研究課題の連携およびこれらの研究の効果的な推進を図る。

平成 26 年

- ・関連する課題責任者による研究推進委員会を年2回程度開催し、各研究課題によって得られた研究成果をもとに内陸地震の現象を理解するとともに、予測に向けた今後の研究方針を検討する。

- ・東北地方太平洋沖地震の地震時や余効変動に伴う地殻活動の把握を行うとともに、互いの観測計画の確認と研究の方向性に関しての議論と検討を行う。

平成 27 年

- ・関連する課題責任者による研究推進委員会を年2回程度開催し、各研究課題によって得られた研究成果をもとに内陸地震の現象を理解するとともに、予測に向けた今後の研究方針を検討する。

- ・地殻流体と内陸地震との関係についての理解を深める。

- ・実験によるデータと地殻活動の観測データの比較検討から、地殻およびマンツルの粘性・弾性・塑性についての理解を深める。

平成 28 年

- ・関連する課題責任者による研究推進委員会を年2回程度開催し、各研究課題によって得られた研究成果をもとに内陸地震の現象を理解するとともに、予測に向けた今後の研究方針を検討する。

- ・さまざまな研究課題の成果をもとに、日本列島広域統合コミュニティモデルの構築に向けての議論をおこない、モデルを構築する。

- ・互いの観測・研究計画の確認と研究の方向性に関しての議論と検討を行う。

平成 29 年

- ・関連する課題責任者による研究推進委員会を年2回程度開催し、各研究課題によって得られた研究成果をもとに内陸地震の現象を理解するとともに、予測に向けた今後の研究方針を検討する。

- ・日本列島広域統合コミュニティモデルによるシミュレーション結果と東北地方太平洋沖地震の地震時や余効変動に伴う地殻活動との比較検討を行い、コミュニティモデルの高度化を行う。

平成 30 年

- ・関連する課題責任者による研究推進委員会を年2回程度開催し、各研究課題によって得られた研究成果をもとに内陸地震の現象を理解し総括を行うとともに、予測に向けた今後の研究方針を検討する。

- ・これまでのデータと解析結果をもとに、内陸地震の物理モデルの構築をおこなう。

- ・観測データとの比較検討より日本列島広域統合コミュニティモデルの改良を行う。

- ・関連する課題研究関係者による研究成果の総括と、長期地震活動予測についての総括を行いハザード予測貢献に関しての可能性の議論を行う。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

内陸地震発生の理解と予測を目指し、内陸地震断層の理解とモデル化、東北地方太平洋沖地震の効果による地殻応答、コミュニティモデルの構築やモデルを用いたシミュレーション等の研究が関連する

各課題において行なわれた。それらの関係する課題責任者を含めた研究推進委員会をおこない、現状での理解と今後の方向性についての議論をおこなった。

今年度は、課題責任者や研究担当者が集まり、東北地方太平洋沖地震発生後の地殻応答、基本構造モデル(コミュニティモデル)・物性・物質モデル、断層のモデル化、地震火山相互作用、災害誘因の解明の観点から研究の進捗状況や今後の課題について議論し、以下に示すことが話し合われた。

2011年東北地方太平洋沖地震の発生から5年以上が経過しても、東北地方内陸での誘発地震活動は依然として継続しているが、活動には時空間変化がある。この変化は誘発地震活動の原因を探る上での重要な情報となる可能性があるため、今後も誘発地震活動の時空間変化が調べられていく必要がある。地殻応答に関する研究では、東北地方太平洋沖地震発生後応力場の変化が見られ、それに関する研究は進んできた。しかし、今後も同様の傾向で物事が進むものと考えられ、次の大きな転換期がいつになるかは不明である。そのため、今後も同様のテーマで研究を継続しても同様の結果、傾向が得られるだけで新しい知見を得ることが困難であるため、その点を考慮した新たな研究が必要である。地殻応答においては2つの大きな進展が得られたと考えられる。一つは、粘弾性のモデル化の検証ができるようになってきたこと。もう一つは、内陸地震の発生域に関しては強度が弱そうであることがわかったことである。しかしながら、この地殻の強度が弱く地震が発生するという特徴は、地震が多く発生した地域特有の特徴なのか、あるいは内陸地震発生域全般に言えることなのかについて、検証を進める必要がある。さらに、シミュレーションの研究においては、今後も研究を進めていくべきであり、観測とシミュレーションの相互の再現・検証が重要である。その際に、何が問題であるかについて明らかにしていく必要がある。

基本構造モデル(コミュニティモデル)・物性・物質モデルの研究においては、最初のモデルは出来上がったが、今後も研究を続け修正していくことが必要である。そのため、どのような組織でどのような形で継続していくかについて考える必要がある。地殻は不均質で地殻流体の影響も大きいことがわかってきた。そのため、それらによる影響をどう分離していくかも重要な問題である。さらに、今後は、内陸地震研究グループだけでなく、プレート境界地震の研究グループなど広い視野に立って研究を継続していく必要がある。

断層のモデル化では、断層の下部地殻の構造ばかり見てきたが、断層の両端の構造についても考えるようになってきた。しかし、地殻構造と応力場の関係についての理解が充分ではない。これまでに地震発生場の理解は進んできたが、発生ポテンシャルを示すなど予測につなげていくように努力する必要がある。その際に、研究の全体計画の骨組みや研究の流れをはっきりさせて示す必要がある。

地震火山相互作用では、全体のモデル化とシミュレーションによる予測が重要であることが言える。つまり、沈み込むスラブがあり、そこでどのようにマグマが作られ、どのように上昇し、地殻でどのように存在し、噴火につながるかについて明確なモデル化とそれに基づくシミュレーション、さらにはそれによる噴火の予測へと繋げて行く必要がある。

災害誘因の解明では、工学系研究者との接点が重要で始まったばかりである。しかしながら、強震動による被害予測において地殻の減衰構造などを入れて評価するなどの研究が進んできている。また、CSEPなどの数値予測と構造との関係についても研究が進められてきている。

このように、関連する課題の成果をもとに、内陸地震の理解と発生の予測のための理解が進むとともに今後の方針が明確になった。

(9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

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, 41750, 2017.

臼田 優太, 反射法解析を稠密アレイ自然地震記録に適用した阿武隈山地南部の地殻構造の研究, 東京大学修士論文, 2018年

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

- ・ 関連する課題責任者による研究推進委員会を年 2 回程度開催し , 各研究課題によって得られた研究成果をもとに内陸地震の現象を理解し総括を行うとともに , 予測に向けた今後の研究方針を検討する。
- ・ これまでのデータと解析結果をもとに、内陸地震の物理モデルの構築をおこなう。
- ・ 観測データとの比較検討より日本列島広域統合コミュニティモデルの改良を行う。
- ・ 関連する課題研究関係者による研究成果の総括と、長期地震活動予測についての総括を行いハザード予測貢献に関しての可能性の議論を行う。

(11) 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 (岩崎貴哉 , 平田直 , 佐藤比呂志 , 小原一成 , 上嶋誠 , 飯高隆 , 酒井慎一 , 蔵下英司 , 石山達也 , 五十嵐俊博 , 福田 淳一 , 小河勉)

他機関との共同研究の有無 : 有

北海道大学・弘前大学・東北大学・茨城大学・千葉大学・東海大学・名古屋大学・京都大学防災研究所・金沢大学・九州大学・鹿児島大学・防災科学研究所

(12) 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 : 03-5841-5712

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

(13) 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

(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：

日本列島基本構造モデルの構築

(3) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(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・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

東北地方太平洋沖地震は、日本列島の沈み込みシステムに大規模な影響を与えており、この巨大地震によって引き起こされるプレート境界及び島弧内陸域の地殻活動を定量的に明らかにしていくことは、喫緊の重要な課題となっている。近年、詳細な地震観測網の整備や解析方法の進展、大規模な制御震源による地殻構造探査によって、日本列島の沈み込みシステムの基本構造についての知見は著しく増加した。しかしながら、これらの情報が組織的・統一的に集約され統合的な共通モデルが構築されているわけではない。日本列島の基本構造についてのコミュニティ・モデルの構築とそれらの更新は、日本列島の地殻活動予測にとって本質的に重要であり、現状の活動を把握し、今後の観測を合理的に進めていくためも欠かせないものである。東北太平洋沖地震に関して言えば、プレート境界をこれまでの研究成果から可能な限り正確に定義し、その面上での運動(地震時滑り及び余効滑り)による島弧域の弾性的/粘性的変位・歪・応力を計算し、現在進行中の地殻活動との比較によってプレート境界及び島弧域のモデルの妥当性を検証し、地殻活動の背景となる物理的メカニズムの理解につながるであろう。また、島弧域の広域応力の蓄積過程がある程度定量化できれば、島弧内の構造モデルをより精緻化し、更に列島内に分布する断層をモデル化することによって内陸地震活動の理解にも大きく貢献することができる。

本課題は、こうしたコミュニティ・モデルを構築し、これらを共有し、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ようとするものである。日本列島は、千島弧・東北本弧・西南日本弧・琉球弧・伊豆小笠原弧から成り、各々の島弧下で進行しているプレート沈み込みが複雑な相互作用を及ぼしあっている。従って、これらの領域を広範に覆う領域でのモデル化が必要である。特に東北地方太平洋沖地震後の地殻変動・地震活動現象等を支配する歪み・応力状態の定量的評価に必要な項目を含むものとし、ジオダイナミクス・被害地震の発生評価などを考慮し、統合モデルは以下の6要素を表現するものとなる。

(1) 地形、(2) 沈み込みプレート境界、(3) モホ面、地殻内脆性/延性境界 (eg. D90)、(4) 震源断層の形状、(5) リソスフェア・アセノスフェア境界、(6) 日本列島下のマントルおよび地殻のレオロジー

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本提案は、既往の成果を可能な限り収集・整理し、(6)で挙げた6つの要素についてのデジタルモデル (grid データ) を構築していくものである。従って、研究というより地道な実作業という色彩が濃い。本研究で対象とする要素の中の地形及びプレート境界についてモデル化がかなりの程度進んでおり、5ヶ年計画の初期の段階で整備する。また、モホ面・脆性/延性境界、震源断層については、現在も調査・研究が進行しており、その成果を随時取り込みながら、5ヶ年かけて実施する。また、リソスフェア・アセノスフェア境界、日本列島下のマントルおよび地殻のレオロジーについては、境界の位置や物性値そのものについても不明な点も多く残されている。これらについては、その直接的(実験的)/間接的な推定方法の開発も含め、研究的要素が強い。5ヶ年計画の前半では関係研究者による集会を通じて最新の知見を集約し、後半で実験/実作業を行うこととしたい。表1に5ヶ年計画の概要を示し、モデル化の手順の要約する。

(1) 地形・海溝軸モデルの構築 (H26年度)：対象域における地形データを統合する。更にモデルとしての海溝軸を定義する。(H26年度)。

(2) プレート境界モデルの構築 (H26-27年度)：これまでの制御震源探査・tomography 解析・高精度震源分布に基づき、Pacific Plate 及び Philippine Sea Plate 境界を定義する。

(3) 日本列島及びその周辺の震源断層モデルの構築 (H26-30)：これまでの制御震源構造探査・変動地形的調査等に基づき、震源断層の位置・形状のモデル化を図る

(4) 日本列島下のモホ面及び脆性・延性域境界モデルの構築 (H27-30)：これまでの制御震源探査・tomography 解析・高精度震源分布に基づき、日本列島下のモホ面及び脆性・延性域境界モデルの構築のモデル化を図る。

(5) リソスフェア・アセノスフェア境界の構築 (H26-30)：広域・深部 tomography・これまでの地殻変動シミュレーションの結果を踏まえ、日本列島周辺のリソスフェア・アセノスフェア境界及びその粘性的構造を推定する。

(6) 日本列島下の岩石モデル・レオロジーモデルの構築 (H26-H30)：これまでの制御震源探査・tomography 解析から得られた地震波速度構造・比抵抗構造を組み合わせ、まず島弧スケールにおける岩石モデルを構築する。構成岩石の推定は、室内での高温・高圧下での弾性波速度の測定結果との比較によって行う。高温変形試験を行い、岩石の粘性についての基礎資料を直接的に得る。日本列島下の温度構造についての知見を加え、レオロジー構造を推定する。

尚、ここで想定しているモデルでは、観測されている細かい形状変化などが、報告されている場合は、それらを反映したものとし、数値計算に必要なスムージングなどについては、初期モデルでは実施しない、いわば観測寄りの統合モデルを想定する。

(8) 平成29年度の成果の概要：

1. プレート境界モデルの構築

日本列島周辺域プレート境界モデル (Regional Model) の修正

日本列島周辺においては、様々な地球物理的観測・解析が行われており、上記の広域モデルより高精度のプレート境界位置が求められている。前年度までの作業を元に、今年度はプレート境界位置の修

正及びフィリピン海プレートの、太平洋プレートとの接合部の形状モデルの検討を行った。また、関東域における構造探査を元に、同地域の複雑なフィリピン海プレート形状の再定義を試みた。このモデルでは、伊豆半島北部から北西方向に顕著な屈曲が見られ、今後の詳細な検討が必要である。

また、前年度までに決定した太平洋プレート及びフィリピン海プレートモデルについて、下記のサイトからの公開を開始した。

<http://evrrss.eri.u-tokyo.ac.jp/database/PLATEmodel/>

2. 日本列島及びその周辺の震源断層モデルの構築

中国・四国・近畿地域において、これまで実施された主な反射法地震探査データを収集するとともに、活断層に関する変動地形・第四紀地質学的データを説明する活断層の幾何学的形状を推定した。このような地質学的データ・解析に基づき断層面の傾斜を推定すると共に、Hi-netの地震活動データに基づくD90から求められた地震発生層の厚さや、断層深部の地震活動を用いて、中国・四国(図1)・近畿地域の内陸活断層について、震源断層モデルを推定した。

3. リソスフェア・アセノスフェア境界の構築

ベイズ統計に基づくレシーバ関数のインバージョン手法を導入することで、リソスフェア・アセノスフェア境界(LAB)の深さ、およびその誤差を推定することを目指した。F-net観測点へ本手法を試験的に適用した結果、LABを検出できる見込みがあることが分かった。2013年から文部科学省委託研究により、大和海盆において海底地震計を用いた自然地震観測が行われている。同海底地震計のデータにインバージョン手法を適用したところ、深さ70 km程度にLABがある可能性が示唆された。しかしながら、海底地震計のデータは堆積層内の多重反射・変換波の影響を受けるため、得られた結果の推定誤差は大きい。今後、表面波解析とのジョイントインバージョンを行うことで、推定誤差を小さくすることを検討している。

4. 日本列島下のモホ面及び脆性・延性域境界モデルの構築

前年度までに、日本列島下のモホ面に関する既往成果の収集を図り、そのgridデータ化を行ってきた。前年度の3月からその詳細な比較検討を開始しているところである。既往成果間には、場所によって少なくとも10km以上の違いのあることは注意すべきである。本研究のモデル領域全体にわたるMoho面分布を作成することとし、そのためのprogram開発を行った。そのテストとして、日本列島周辺域のMoho面データとしてglobalなMoho面モデル(crust1.0, Laske et al., 2013)を用い、Katsumata (2010)による列島下のデータと滑らかに接続して、本研究のモデル領域全体にわたるモホ面モデルを提出した(図2)。

脆性・延性域境界については、日本列島の外側のデータがない。そのため、Katsumata (2010)によるコンラッド面分布とcrust1.1モデルを結合した、モデル領域全体のコンラッド面モデルを作成した。

5. 日本列島下の岩石モデル・レオロジーモデルの構築

地殻深部に由来する岩石の弾性波速度に基づく日本列島周辺の地殻構成岩石モデルについては、これまでの研究成果を公表論文として整理した。また、地殻構成岩石モデルからレオロジーモデルに発展させるためには温度構造を制約する必要がある。地殻深部やマントル由来の岩石の弾性波速度の温度微分係数は、地殻深部～マントルの温度構造のゆらぎを推定する上でも重要である。本年度は、地殻深部～マントルの温度に相当する高温高压(最大圧力1.0GPa、最高温度800)条件で、隠岐捕獲岩のパイロキシナイトの弾性波速度を測定し(図3)その温度微分係数を求めた。これまでの実験結果との比較については今後検討する予定である。

- (9)平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
悪原 岳・中東和夫・篠原雅尚・山田知朗・山下裕亮・塩原肇・望月公廣，レシーバ関数による大和海盆下のリソスフェア構造推定，日本地球惑星科学連合大会2017，幕張 Akuhara, T., Nakahigashi, K., Shinohara, M., Yamada, T., Yamashita, Y., Shiobara, H., and Mochizuki, K., Lithospheric Structure of the Yamato Basin Inferred from Trans-dimensional Inversion of Receiver Functions, 2017 AGU Fall Meeting, New Orleans 石川 正弘, 2017, 岩石の弾性波速度に基づく島弧地殻深部及び最上部マント

ルの構成岩石の推定：伊豆弧と東北本州弧．地質学雑誌、123 巻, p. 355-364. 石山 達也・佐藤比呂志・加藤直子・阿部 進, 2017, 反射法地震探査・地質学的データに基づく関東地域の震源断層モデル, 日本地球惑星科学連合 2017 大会, SSS16-09, 日本地球惑星科学連合. 岩崎 貴哉・佐藤比呂志・篠原 雅尚・石山 達也・橋間 昭徳・松原 誠・雨宮 由美, 2017. 日本列島基本構造モデルの構築-II, 日本地球惑星科学連合 2017 大会, SSS16-01, 日本地球惑星科学連合.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

プレート構造モデルについては、補間手法等処理 program の一層の向上を行う。また、前年度に引き続き、島弧内構造モデルの構築を実施する。即ち Moho 面及びコンラッド面形状の他に新たなる成果を取り入れ、島弧下のより高精度の 3 次元的構造モデルの策定を行う。

また、東北・中部日本・北海道地域の内陸活断層について、既存の反射法地震探査データ・変動地形・構造地質学的データと、地震活動解析等地球物理学的データ・解析に基づき、震源断層モデルの構築を行う。

日本海におけるリソスフェア・アセノスフェア境界 (LAB) モデルをめざした情報収集を引き続き実施する。平成 29 年度から、文部科学省委託研究により、日本海盆において、広帯域海底地震計による長期地震観測が開始される予定である。また、これまでに得られているデータを用いた LAB モデルを用いた解析を継続する。

日本列島下の岩石モデル・レオロジーモデルの構築においては、高温高压下での岩石鉱物の弾性波速度と地殻構造との対比から東北日本・北海道地域の地殻構成岩石モデルを検討する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

佐藤 比呂志・岩崎 貴哉・石山 達也・篠原 雅尚

他機関との共同研究の有無：有

参加人数：20 名 .

参加機関：防災科学技術研究所・国土地理院・海上保安庁・海洋研究開発機構・岩手大学・東北大学・新潟大学・愛知教育大学・中部大学・京都大学 .

(12) 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：03-5841-5712

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名：岩崎 貴哉・佐藤 比呂志

所属：東京大学地震研究所

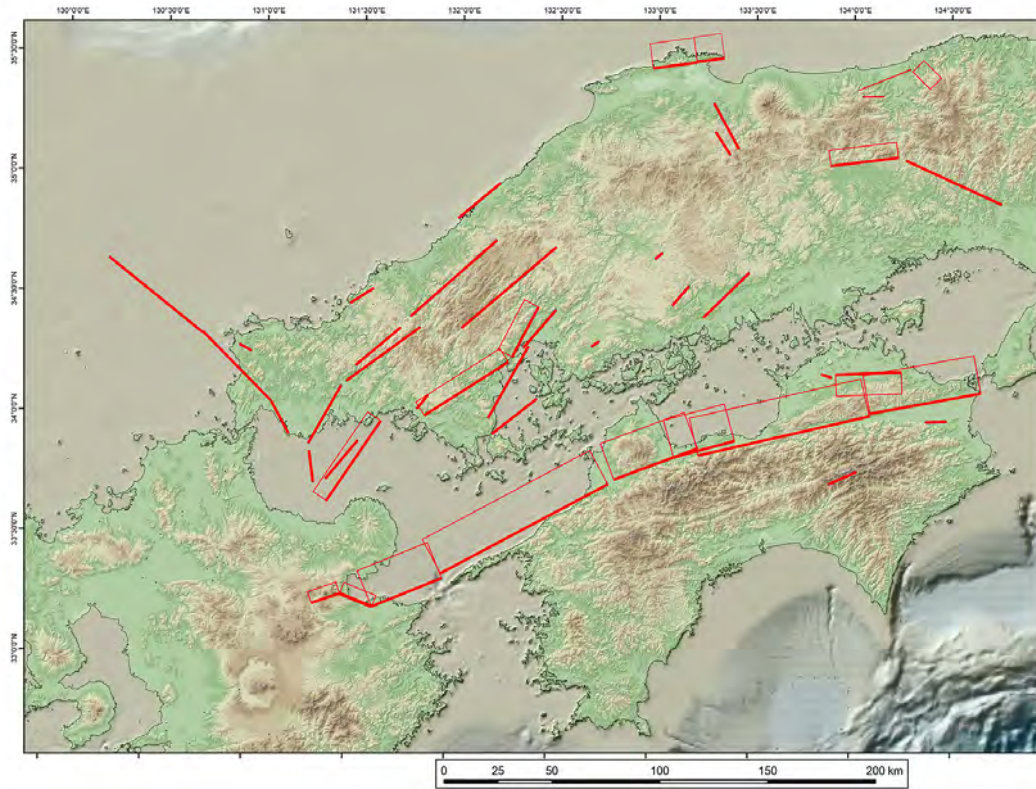


図1 中国・四国地域の震源断層モデル。

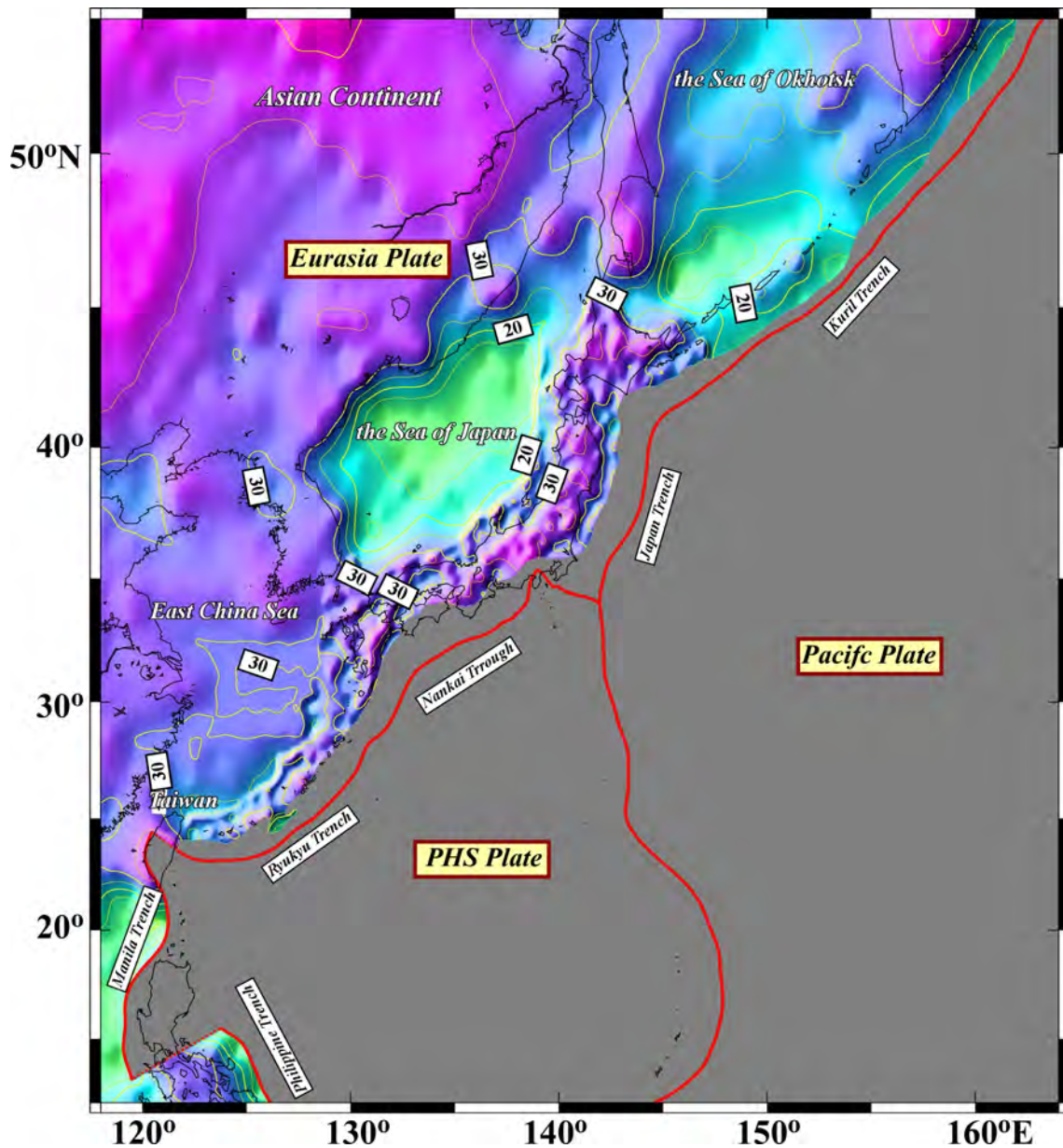


図2 ユーラシアプレートのモホ面。日本周辺は Katsumata (2010)、周辺域は crust1.0 (Laske et al., 2013) による結果を用いた。更に本研究で求めた太平洋プレート境界面で切り取った。

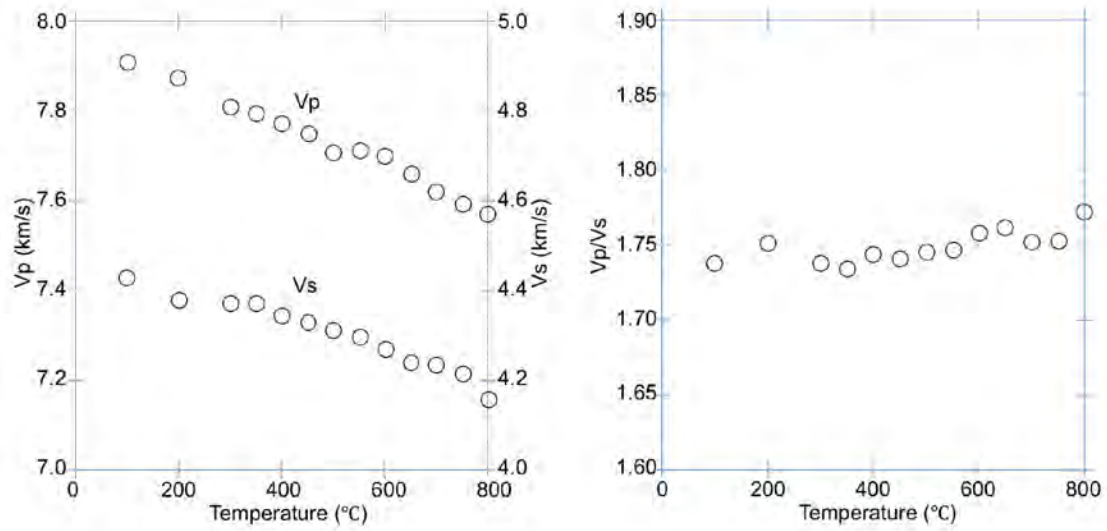


図3 圧力 1.0GPa における隠岐捕獲岩のパイロキシナイトの弾性波速度。P 波速度と温度の関係はほぼ線形であり、P 波速度の 100 あたりの速度低下率は 0.05km/s である。

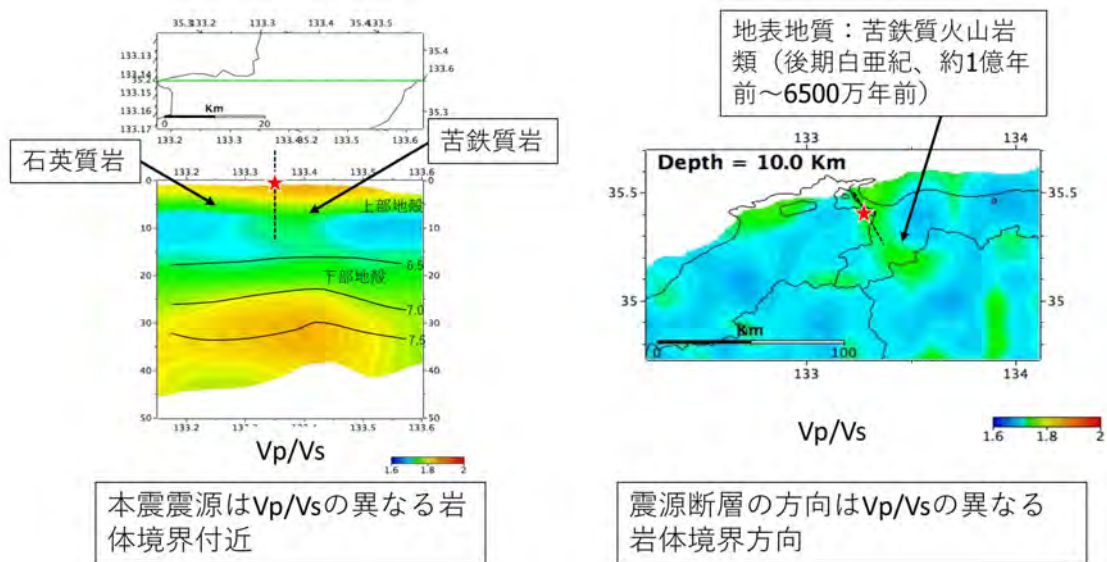


図4 鳥取県西部地震（2000年10月6日、M7.3）震源域周辺の地震波速度構造（Matsubara and Obara, 2011）に基づく地殻構成岩石の推定。

(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：

小型絶対重力計を用いた火山監視技術の開発

(3) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(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・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

マグマ噴火を主体とする火山において、その活動を予測するためにはマグマの動きを監視する技術が不可欠である。重力観測はマグマ移動に伴う密度変化に感度をもち、GPS など地表変位の観測と相補的に地下深部の情報を引き出すことができる。これまで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観測により、火山活動に伴う重力変化が観測されているが、本課題では小型絶対重力計を用いて火口の近傍で精度の高い重力観測を行い、マグマ活動を監視する技術を開発する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」で開発された小型プロトタイプ絶対重力計を用いた試験観測による実用性の向上と並行して、装置のさらなる小型化と火口近傍での観測技術開発をすすめる。重力以外の観測とも組み合わせ、5 年程度の期間で絶対重力による火山監視技術を開発する。平成 26 年度においては、小型プロトタイプによる試験観測、および光源の小型化を行う。平成 27 年度においては、小型光源の組み込み、および小型落下機構の導入を行う。平成 28 年度においては、新型プロトタイプ(小型光源・落下機構)による試験観測、および山体設置法の研究を行う。平成 29 年度においては、新型プロトタイプの火山体における試験観測、およびデータ通信試験を行う。

平成30年度においては、火口近傍での観測実証試験(1年程度)を行う。

(8) 平成29年度の成果の概要:

「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」において、マグマなど火山流体の移動を重力変化によって検知するための小型絶対重力計を開発した。計測の誤差となる地面振動を補正するための組み込み加速度計や計測に使用する落体の回転を抑えるサイレントドロップ法により、開発した絶対重力計プロトタイプ TAG-1 は市販品の70%程度のサイズとなった。火山地帯を含む複数の観測点で性能評価を行った結果、既存の絶対重力計と同等の $1\ \mu\text{Gal}$ 以内の精度を確認した。一方、絶対値については過去の測定結果と比べて $20\ \mu\text{Gal}$ 程度の低下が認められた。その間、GPSデータによると地殻変動は顕著でなかったため、測定結果は装置の系統誤差による可能性があった。

本年度はTAG-1の系統誤差の評価を継続し、石岡測地観測局(国土地理院、茨城県石岡市)における絶対重力計FG5との比較観測に昨年度につづき参加した。その結果、FG5の結果とくらべ $26\ \mu\text{Gal}$ の差が認められた。昨年よりも若干差が縮まったものの無視できない量であり、原因を調査した結果、室内のエアコンの動作に伴う温度変化による加速度計出力のドリフト、ローカルな微小地震、落体の解放時の反作用の影響、など複数の要因があることがわかった。これらの影響を除去・補正し、継続して解析を進めている。

また、火山帯における観測については、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)において2017年11月10~14日に実施した(図1)。観測中、強風の時間帯があったが、地面振動の影響はほぼ設計通りに補正され、 $300\ \mu\text{Gal}$ 程度の地面振動の影響が $2\ \mu\text{Gal}$ 程度に低減されていることが確認された。

(9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

新谷昌人、光ファイバーネットワークを用いた地震・津波・地殻変動の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, 23, 202-204, 2017.

(10) 平成30年度実施計画の概要:

系統誤差の解析を継続する。また、火山帯において長期の観測実証試験を実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

新谷昌人、高森昭光

他機関との共同研究の有無: 有

国立天文台 田村良明、東北大学 中沢正隆ほか2名、京都大学 福田洋一ほか3名、極地研 土井浩一郎、産総研 名和一成

(12) 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: 03-5841-5712

e-mail: yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL:

(13) 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: 東京大学地震研究所

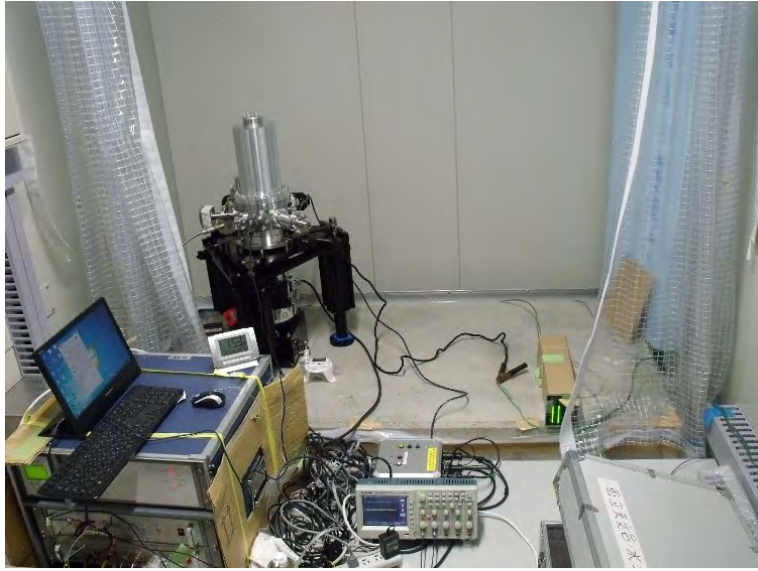


図1 蔵王観測所（東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター）における小型絶対重力計による観測

(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：

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

(3) 最も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) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

(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・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) 地震現象のモデル化

ア. 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) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

2011 年の東北地方太平洋沖 M9 地震は、アスペリティと認定されていなかった領域で大きな地震性滑りが生じたものであり、地震発生予測シミュレーションにおいて有望とされてきた、摩擦特性の固定的な空間分布によってプレート境界断層が固着域(アスペリティ)と準定常的クリープ域に棲み分けられているという単純なアスペリティモデルが巨大地震には適用できないことが明白となった。実際、2011 年 M9 の破壊域内部でのスロースリップが観測されている。また、スロースリップは、南海トラフ巨大地震の破壊域と予想されている部分の深部と浅部でもみつかっている。このような事実は、プレート境界の摩擦において時間・空間スケールによって異なった物理プロセスが働くことを示唆している。プレート境界での物理的条件や、物性に関してさまざまな仮定を置いてこのような観察を説明する仮説は既に提出されているが、仮定の妥当性を観測データだけから判断することは困難である。本課題では、室内実験・物理理論・数値シミュレーションの 3 つのアプローチを組みあわせて、複雑

で多様なプレート境界の滑り現象に関する観測と矛盾しないと同時に、プレート境界の条件での物理化学素過程として妥当なプレート境界の断層モデルを構築することを目標とする。その成果は次世代の予測シミュレーションにおいて設定されるべき物理モデルの指針となるであろう。

(7) 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. 室内実験。

A1：プレート境界では、陸側プレートと海側プレートの岩盤が、未固結堆積物の層を介して接触していると考えられる。室内実験において、粉体層内に形成される剪断集中帯より十分厚い粉体層がある場合に、高速滑りによる動的な弱化によらなくても非常に長い距離にわたる滑り弱化がおこるケースが報告されている。これは、巨大地震の発生に必要な、大きなエネルギーの長期にわたる蓄積を可能にするメカニズムであり、非常に長い滑り距離のとれる回転式剪断試験機を用いて、このような現象がおこる条件を探る。

A2：プレート境界の熱水条件下では、未固結堆積物は徐々に固結し、それとともに、力学・水理特性も変化してゆくと考えられる。この様子を解明するために熱水条件下で粉体の固結実験を行う。

A3：スロースリップは、プレート境界の剪断のメカニズムが、温度・圧力・変形速度によって、脆性的なものから延性的なものに遷移することと関係している可能性がある。本課題ではアナログ物質を用いた脆性-延性の遷移の実験等を参考に物理的に妥当な形の構成則を開発する。また、より高温高压の実験を達成することで、実際の岩石における脆性-延性遷移のデータを取得する。

A4：間隙圧の強度に対する影響は、脆性域では、「有効圧 = 拘束圧 - 間隙圧」なる有効圧力の法則としてよく確立されている。しかし、プレート境界深部に存在すると考えられる蛇紋岩等では、延性変形の効果によって大きなずれが生じることが考えられるため、高温高压実験による拘束をめざす。

B. 理論的研究においては、微視的素過程から摩擦構成則を構築し、実験室データを断層に適用するために必要となるスケール則を調べる。そのために、断層スケールでの地質学的不均一性及び断層面の不規則形状をモデル化し、モデルの最小スケールにおいて摩擦則を与えて、より大きなスケールでの平均的な挙動を調べる。また、温度計を設置した自然断層において地震の発生を待ち、滑り域が10-100m程度のサイズの地震時の摩擦発熱量から地震時動摩擦の絶対値を推定する観測を継続する。計画の後半では、最小スケールで与える構成則に時間依存性をもたせて、理論の拡張をおこなう。

C. 断層滑りシミュレーションでは、複数の変形メカニズムを滑りモデルにとりこむために摩擦構成則の拡張を行ない、階層性を含めた構成則パラメータの不均質分布が地震発生パターンに与える影響や、滑り速度や温度等で卓越する変形メカニズムが交替することの影響を明らかにする。素過程としては、高速滑りによる動的弱化等、本課題での実験以外から知られているものも含めて、様々な素過程の競合・共存を検討する。滑りによる発熱や断層周辺岩石の破碎と間隙流体の非線形相互作用に関しては、ゆっくりとした流体移動から高速な断層滑りまでの一見多様に見える動的な地震破壊を体系的に理解することをめざす。また、不均質媒質中の地震破壊伝播計算手法の開発を行い、断層周辺の不均質構造と地震断層破壊との力学的相互作用を取り入れた定量的モデルを構築する。

(8) 平成29年度の成果の概要：

摩擦の物理的基礎

高速せん断中の接触点温度と強度の関係を明らかにするために、高時空間分解能での温度分布の直接測定に取り組んでいる。本年度は、高速せん断される摩擦面の真実接触点の発熱による発光を高速カメラで撮影し(図1)、2色温度法で温度を推定することに成功した(Kuwano, 2017; 桑野, 2018)。接触点の最高温度は常圧での試料の融点を越え2500程度まで上昇していたが、これは真実接触点が数GPa程度の高圧であることを考えればおかしくない。ここで大事なことは、2つの波長での輝度の比によって温度を推定する2色法は、輝度そのものに頼る1色法とは違い、撮影データの分解能の限界が

らくる平均化効果に邪魔されずに、局所的瞬間的発熱(フラッシュヒーティング)によって発生した温度の絶対値を正しく捉えられることである。図2には、図1の実験に用いた撮影システムに対する2色温度法のキャリブレーション結果を示す。

断層の強度と摩擦特性

含水板状鉱物は沈み込みプレート境界断層の滑り特性に大きく寄与すると考えられているが、玄武岩質海洋地殻の主要変成鉱物のひとつである緑泥石の沈み込み帯条件での摩擦挙動については殆ど実験が行われていない。そこでユトレヒト大学の熱水式回転摩擦試験機を用いて高圧・熱水条件下での大歪・低速摩擦試験を行った(岡本他, 2017a)。試料には天然の単結晶緑泥石を粉碎し、高純度の緑泥石人工ガウジを作成して用いた。実験は法線応力を300 MPaに固定し、温度を室温から600℃まで、間隙水圧を120-220 MPaに変化させて行った。この実験条件の範囲において緑泥石の摩擦は有効応力の法則に従い、摩擦係数は400 MPa以下では0.2-0.3、500 MPa以上ではやや増加するが0.3-0.4程度と、通常の鉱物の摩擦係数(約0.7)より著しく小さい値が得られた(図3a)。速度ステップ試験(0.0003-0.1 mm/s)では、ほぼすべての条件下で速度強化傾向が見られた(図3b)。これらの結果より、プレート境界断層が玄武岩質の海洋地殻物質よりなる場合、緑泥石の生成が断層の弱化や安定滑りに貢献することが予想される。一方、中央構造線近傍から採取した、緑泥石を14 wt.%含むカタクレサイトの粉碎試料を用いた摩擦実験(岡本他, 2017b)では、300 MPaにおける摩擦係数が0.5-0.6で速度弱化という予察的結果が得られた。緑泥石による断層強度低下が顕著になるには、より高い緑泥石含有量が必要であると考えられる。

南アフリカの鉱山でおこったM2.2の地震の7ヶ月前と18ヶ月後に破壊域(地下3.3km)から採取してあったボーリングコアを用いて、断層強度の推定をおこなってきた。これまでは、ポアホールブレイクアウトとコアディスクキングの観察(Yabe et al., 2013)とDCDA法(Funato and Ito, 2013)法を用いて、可能な三軸応力状態の組合せを絞り込んできたが、本年度は、ディスクキングがみられなかったことから拘束情報が乏しかった断層近傍の下盤側の試料に対して、実験室での繰り返し荷重に対する応答の変化から現位置にあったときの応力を推定するDRA法(Yamamoto et al., 1990)の適用を開始した(Abe et al., 2017)。予備的な結果は、昨年までに他の方法から推定した範囲に入っており、この地震の断層はByerlee則に従う高い強度をもつとの見解は変わらない。

東北沖のプレート境界の強度断面モデル(Shimizu, 2014, EPS)では、海洋地殻の珪質堆積物の脆性-塑性遷移がプレート境界のレオロジー構造を大きく支配すると予想されている。塑性領域の応力の見積りには高温高压変形実験で報告されている石英の転位クリープ流動則が用いられた。しかし、これまで報告されている実験結果には用いた装置や実験試料などの実験条件の違いによって、非常に大きなばらつきがあった。そこで、Fukuda & Shimizu (2017)は転位論と石英中の酸素の拡散データから石英の回復クリープの流動則を理論的に導出し、過去に報告されているクリープデータと比較した(図4)。これまでの実験データの違いは水のフュガシティー効果である程度説明がつく。とくにLuan & Paterson (1992)のwetな石英の実験結果が、石英の体拡散律速型回復クリープのモデルによく合うことがわかった。

巨視的な滑りイベントの伝播モードに関する新しい統一的理論

滑り速度に非線形に依存する摩擦則の下での滑り端の伝播において、滑り端伝播速度を求めた(Suzuki and Matsukawa, 2018, submitted to PRE)。基板上に置かれたブロックを考えこれを水平方向に荷重して滑らせる状況を考える。ブロックは上側の半無限領域を占める均質等方な粘弾性媒質であり、基板は剛体平面であると仮定する。右方無限遠でのブロックの滑り速度はゼロに固定し、左方無限遠の点に荷重することで滑りを起こす。ブロックには滑り速度の二次関数となる摩擦力および線形粘性力が働くとする。このような設定のもとで、我々は、右へ伝播する滑りと、左へ伝播する滑りそれぞれについて、伝播速度を粘性および摩擦パラメタの式として解析的に求めることができた。

さらに、この系に線形臨界安定性解析が適用できることも明らかになった。線形化された支配方程

式は波動方程式と拡散方程式の組み合わせと解釈でき、従って拡散により加速される伝播端と減速される伝播端が存在する。前者を intruding front、後者を extruding front と呼ぶ。これら伝播速度に関しても解析的が得られ、それは先立って得たものと一致した。

この一致の理由を考えるため、intruding front、extruding front での滑り速度のプロファイルが指数関数的だとして拡散の果す役割を検討すると、両方向への伝播速度の解析解にみられるのと調和的な、拡散効果によるすべりの加・減速が作用していることが式中にみてとれ、摩擦則の線形部分が系の振る舞いを完全に支配すると結論付けられた（鈴木・松川, 2017a）。

断層破壊数値計算法の理論的基礎づけ

近年、地表面や二層媒質境界面など不連続面で区切られた不均質媒質を考慮した断層破壊計算手法の定式化が提案され実装が試みられている。本年度は、2次元動的破壊問題において媒質境界破壊の取り扱いに必要な時刻更新スキームを提案し、計算コードを作成して検証した（Kusakabe & Kame, 2017）。

複雑な幾何構造をもつ断層のダイナミクス

複雑な内部構造（フラクタル的な凸凹やジョグなど）をもつ断層帯における地震活動の簡単なフォワードモデルとして、スケールフリーネットワーク上でセルオートマトンモデルを構築し、その地震活動的な挙動をシミュレーションで調べた。規模別頻度は概ね GR 則を再現するが、固有地震的なピークも幅広いパラメタ領域で得られることを発見した。GR の b 値は様々な要因に依存するが、断層のサイズ分布として与えた（静的な）フラクタル指数とは異なる指数が得られることは特筆される。 b 値の時間変化についても調べ、固有イベント前に減少し固有イベント後に増大するという平均的挙動を得た。系の応力分布に対応する動的な不均一性を特徴付けるパラメタを導入し、その値が定常地震活動では一定値になること、固有イベントが起こると大きく定常値から外れ、その後の余震活動に伴い定常値へ回復していくことを発見した。

並行して、断層面における滑りの直接シミュレーションへ向けた研究も開始した。本年度は、準備的作業として、フラクタル形状をもつ断層への BIEM 実装と、曲率を持つ断層面でのグリーン関数導出の再検討を行なった。

大きな SSE を含む地震サイクル

昨年度までに、遷移域で大きな SSE が起こるような地震サイクルの連続体シミュレーションにより、SSE 後短期間（1ヶ月程度）に地震が起きる確率が非常に高いという結果が得られた（Ohtani et al., 2016）。今年度は、SSE から地震までの待ち時間の分布を、RSF 則による遅れ破壊であると考えて、一自由度のバネブロックモデルによる考察で、連続体シミュレーションで得られた待ち時間の確率分布を定量的に理解することを試みた。連続体シミュレーションの結果を参考に、通常の一速度での載荷に加えて、地震サイクルの 1/3 程度の周期で大きな（地震の静的応力効果の 1-3 割程度）ステップ的応力増加を加えるシミュレーションを行ない、サイクル中三度目の応力ステップを与えるタイミングを様々に変えて、地震がおきるまでの待ち時間を調べたところ、SSE が大きいほど、待ち時間が 0 近くに集中するようになる傾向はみられたが、その集中度は、連続体でのサイクルシミュレーションで得られたものより格段に低いことがわかった（Ohtani et al., 2017）。一方で、1自由度モデルでの結果は、連続体中での自発的震源核の加速的発展を近似し、余震の時間遅れの説明に使われている Dieterich (1992) の式とは整合しており、この違いが何処から来るのかについては答えが見い出せていない。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
Abe, S, Y. Yabe, T. Ito, M. Nakatani, H. Gerhard, H. Ogasawara, 2017, Estimate of the stress state in the source region of Mw 2.2 earthquake in a South African deep gold mine, JpGU-AGU, SIT24-08, Chiba, 24 May.

- Fukuda, J., and I. Shimizu, 2017, Theoretical derivation of flow laws for quartz dislocation creep: Comparisons with experimental creep data and extrapolation to natural conditions using water fugacity corrections, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, 5956-5971, doi:10.1002/2016JB013798.
- Kusakabe, T. and Kame, N., 2017, Derivation of 2-D XBIEM kernels and their application to a rupture crossing a bimaterial interface, *Geophys. J. Int.*, 210, doi:10.1093/gji/ggx240, 1374-1387.
- Kuwano, O., 2017, Direct observation of frictional contacts during high-velocity slip, AGU fall Meeting 2017, S51E-05, USA, 15 Dec., 2017.
- 桑野修, 2018, 高速せん断される摩擦接触面の発熱の可視化, *可視化情報学会誌*, 38(149) (印刷中).
- Ohtani, M., N. Kame, and M. Nakatani, 2017, Time to instability of the seismic event triggered by SSE, S09-P-03, IAG-IASPEI, Kobe, Japan, 2 Aug.
- 岡本あゆみ・A. R. Niemeijer・C. J. Spiers・清水 以知子, 2017a, 高温高压・含水条件下における緑泥石の摩擦強度, *日本地質学会第 124 年学術大会*, 松山市, 9 月 16 日.
- 岡本あゆみ・清水 以知子・A.R. Niemeijer・C. J. Spiers・荒井 駿・竹下 徹, 2017b, 緑泥石の摩擦特性と中央構造線の深部断層強度, *新学術領域「地殻ダイナミクス」2017 年全体集会*, 米子市, 9 月 25 日.
- Shimizu, I., T. Ueda, and J. Fukuda, 2017, Stress in the Sanbagawa metamorphic belt estimated from flow laws of quartz: influence of water fugacity, *JpGU-AGU*, Chiba, May 23.
- 清水 以知子・竹内昭洋・中谷正生, 2017a, 熱水式回転摩擦試験機のための圧力容器の耐圧性能, *日本地質学会第 124 年学術大会*, 松山市, 9 月 16 日.
- 清水 以知子・中谷正生・竹内昭洋・廣瀬丈洋, 2017b, 熱水式回転摩擦試験機的设计開発, *新学術領域「地殻ダイナミクス」2017 年全体集会*, 米子市, 9 月 25 日.
- Suzuki, T., 2017a, Emergence and seismological implications of phase transition and universality in a system with interaction between thermal pressurization and dilatancy, *Phys. Rev. E*, 96, 023005, doi: 10.1103/PhysRevE.96.023005.
- Suzuki, T., 2017b, Phase transition and universality in the system including common nullclines associated with dynamic earthquake slip, *Joint Workshop on Slow Earthquake 2017*, O1-16, Matsuyama, Japan, 19 Sep.
- Suzuki, T., 2017c, Geometrically Different Attractors With Heat, Fluid Pressure and Dilatancy and its Seismological Implications, 14th Annual Meeting of AOGS, SE21-D2-AM1-327-006, Singapore, 8 Aug.
- 鈴木岳人, 2017a, 共通のヌルクラインを持つ系に現れる普遍性とその地震学的意義, *日本地震学会 2017 年度秋季大会*, S08-18, 鹿児島, 10 月 26 日.
- 鈴木岳人, 2017b, 共通のヌルクラインを持つ系に現れる臨界性と普遍性, *日本応用数理学会 2017 年度年会*, 東京, 9 月 6 日.
- 鈴木岳人, 2017c, 熱・流体・空隙生成相互作用モデルに現れる幾何的に異なったアトラクタ, *日本応用数理学会 2017 年研究部会連合発表会*, 東京, 3 月 7 日.
- 鈴木岳人・松川宏, 2017a, 巨視的滑りの滑り端伝播速度における解析解と境界条件の統一的理解, *日本物理学会 2017 年秋季大会*, 23pJ16-11, 盛岡, 9 月 23 日.
- 鈴木岳人・松川宏, 2017b, 巨視的滑り出しに現れる臨界現象と伝播端速度の数値的解析, *日本物理学会第 72 回年次大会*, 18pB23-12, 大阪, 3 月 18 日.
- Tanaka, H. and T. Hatano, 2017, Statistical properties of Olami-Feder-Christensen model on Barabasi-Albert scale-free network, *Eur. Phys. J. B* 90: 248 DOI: 10.1140/epjb/e2017-80295-0.
- 上田匡将・清水 以知子, 2017a, 四国中央部汗見川流域における三波川変成帯の石英微細構造と古応力推定, *JpGU-AGU*, Chiba, 22 May.
- 上田匡将・清水 以知子, 2017b, カンラン岩体 (イタリア) 中の小断層における脆性 - 延性遷移温度, *新学術領域「地殻ダイナミクス」2017 年全体集会*, 米子市, 9 月 25 日.

高速度カメラを用いた2色法によるその場温度観察を行いながら、滑り速度や法線応力を変えた高速摩擦実験を行い、フラッシュヒーティングが摩擦に重要となる条件を実証的に示し、他に提案されている高速摩擦メカニズムと比較する。

低速摩擦に関しては、地震研究所に導入を進めている熱水回転式摩擦試験機で長距離低速摩擦のデータを取得し、既存の試験機による結果と比較し、データの品質を吟味する。

フラクタル的に凸凹な断層面における滑りの直接シミュレーションの本格研究に入る。曲率を持つ断層面でのグリーン関数を用いたBIEMを実装し、準静的な核形成過程をシミュレーションする。あわせて、速度(応力)ステップ的な状況を作り出すことによって、速度・状態依存摩擦法則の粗視化を試みる。

大きなSSEをもつ地震サイクルに関するシミュレーションの現象論的な結果を論文化する一方、遅れ時間分布が、Dieterich(1992)の式と合っていないことの原因の究明をめざす。

巨視的滑りの伝播モードの研究に関しては、摩擦則が滑り速度のみに依存する場合には、滑り端の伝播速度を境界条件も含めて統一的に理解できた。来年度は、滑りにも依存するより一般的な摩擦則を導入する。線形化の仮定の下で、摩擦力を表現するのに2つのパラメータが必要であることになり、これらが作る相空間で滑り端伝播速度を分類することになる。

(11) 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・波多野恭弘・吉田真吾

他機関との共同研究の有無：有

東京大学大学院理学系研究科 清水以知子

青山学院大学 鈴木岳人

海洋研究開発機構 桑野修

東邦大学 上原真一

京都大学防災研究所 野田博之

産業技術総合研究所 大谷真紀子

(12) 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：03-5841-5712

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

(13) 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

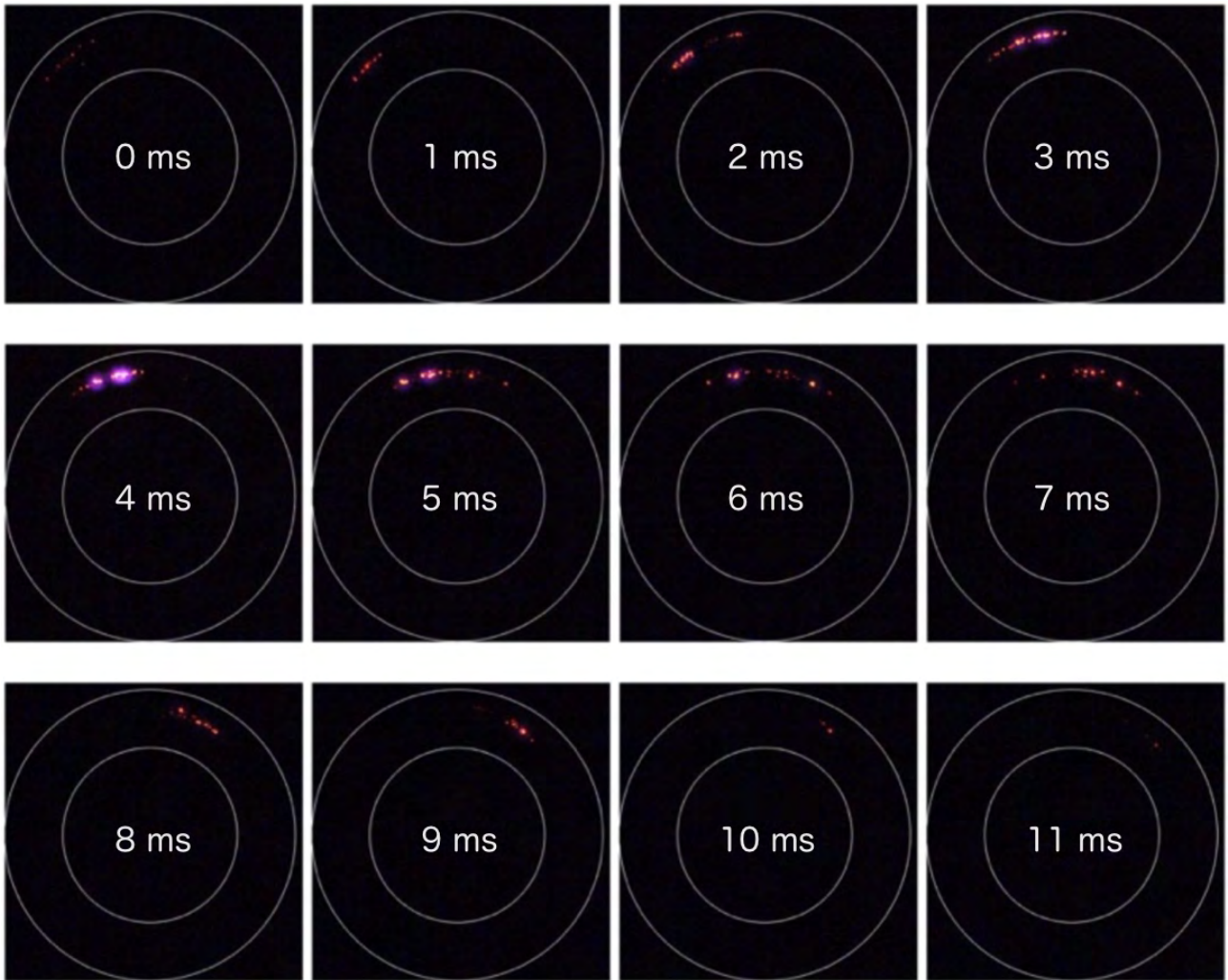


図 1. 高速せん断される摩擦面の可視画像のスナップショット。

カラー高速カメラで 1 ミリ秒ごとに撮影した。白い線による円輪は試料のみかけの接触面 (内径 6mm 外径 10mm)。石英ガラスで作った円筒試料は、サファイアガラスの平板に押しつけられ、時計周りに 245rad/s (平均 1m/s のすべりに相当) で回転している。平均法線応力は 0.3MPa であるが、真実接触点はわずかで、GPa レベルの法線/剪断応力が作用し、フラッシュヒーティングを起こしている。桑野 (2018) を改変。

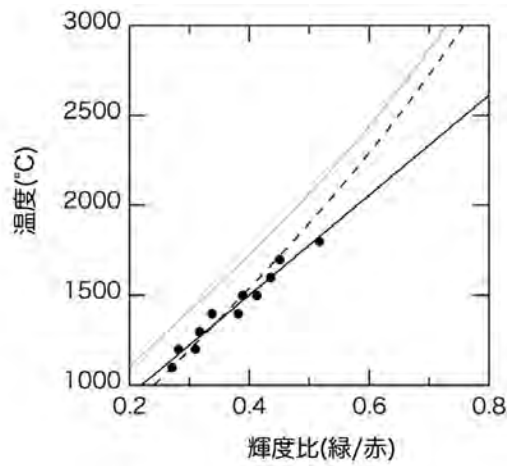


図 2. 二色法による温度測定のための較正曲線。

灰色: 黒体放射による理論曲線。破線: カメラの感度特性を仮定した理論曲線。黒点: 較正実験データ。黒実線: 較正実験データの直線近似。桑野 (2018) を改変。

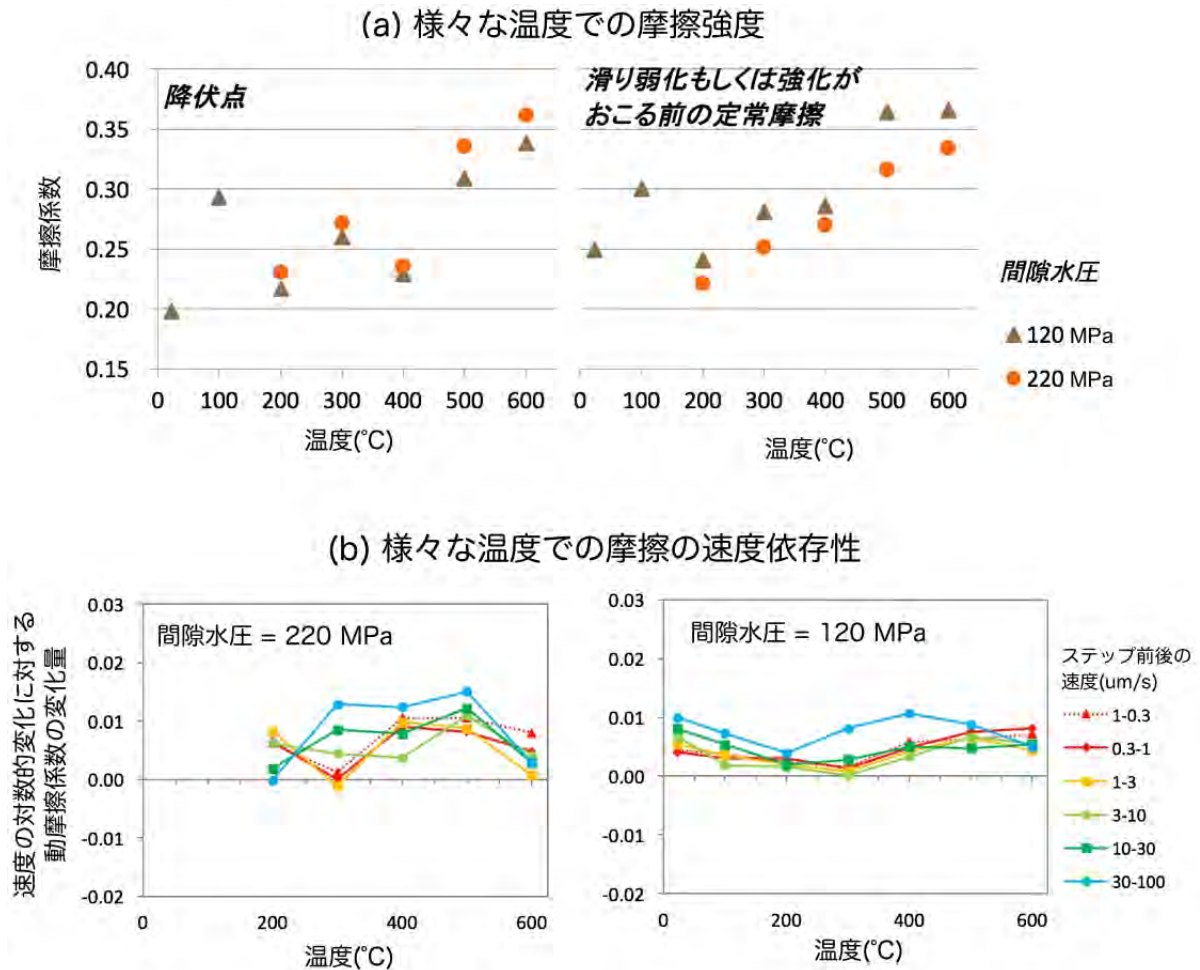


図 3. 熱水下での高純度の緑泥石人工ガウジの摩擦実験。

(a) 摩擦降伏強度と定常摩擦の温度依存性。(b) 定常摩擦の速度依存性。詳細は本文を参照。

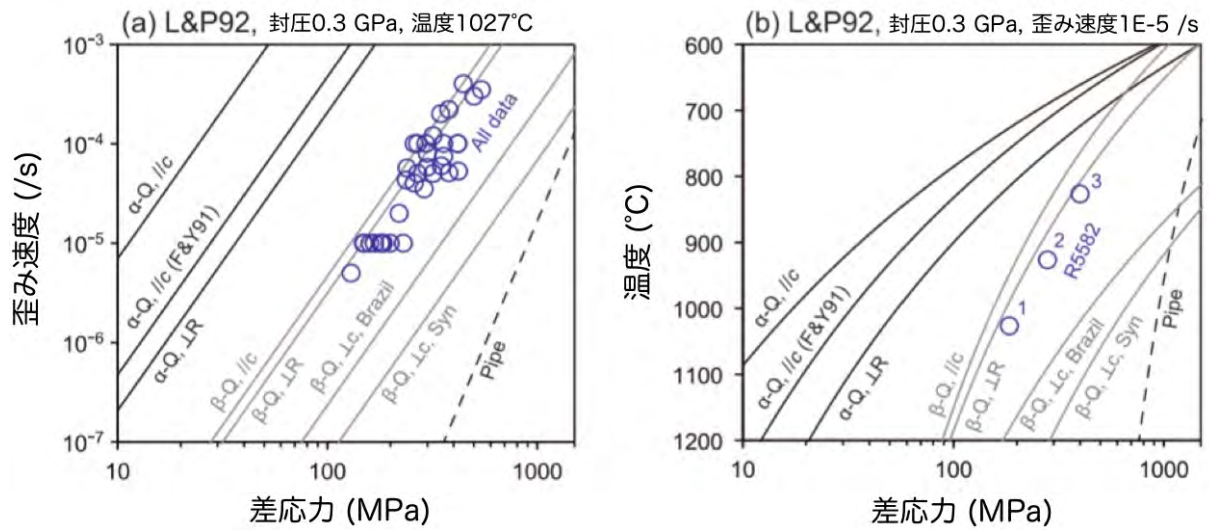


図 4. 理論的に導出した石英の回復クリープの構成関係と実験データの比較。
 実験結果 (青丸) は Luan & Paterson (1992) の石英の転位クリープ実験のもの。理論はアルファ(黒) 及びベータ(灰) 石英の体拡散律速型、パイプ拡散律速型 (破線) 回復クリープモデルを示した。Fukuda & Shimizu (2017, JGR) を 改変。

(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：

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

(3) 最も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) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

(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

(5) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究では、国内外の火山の比較研究を行う。1) 浅間山の研究に基づきマグマ供給系の深部から浅部に渡る詳細なモデルを提案し、他のマグマ噴火を主体とする国内外の火山で提案されているマグマ供給系モデルとの比較を行う。2) 伊豆大島のデータから応力変化と地震発生の関係を表すモデルを提案し、地震学の分野での先行研究と比較し、火山に適用できるモデルの確立を目指す。3) 諏訪之瀬島では火口近傍観測で観測された噴火直前の加速度的な傾斜変化が、火道内マグマ上昇モデルにより説明されている。諏訪之瀬島において傾斜計を含む火口近傍多項目観測網を強化してモデルの精密化を図るとともに、国内外の火山における観測データおよびモデルと比較する。

これらの比較研究を通じて、マグマ噴火を主体とする火山に共通する要素を抽出し、モデルの高度化を進める。これまでの噴火事象の分岐判断は経験的要素が強かったが、モデルの高度化により、分岐判断に物理的な根拠を与えることができる。それにより、噴火事象系統樹は経験則の段階から科学的理解を基礎に置いた予測手法へ進化し、経験則に近い現状に比べて予測精度が大きく向上する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題は実施機関及び共同研究機関の運営費交付金に支えられる計画である。

平成 26 年度：浅間山、諏訪瀬島において観測網の高度化を開始する。また、伊豆大島においてはガス観測準備のため、1000m 孔からのケーブル引上げを行う。桜島において空中時期観測および火口近傍への観測装置設置を行う。

平成 27 年度：浅間山、諏訪瀬島においては高度化された観測を継続する。伊豆大島においてはガス観測機器の開発を進めるとともに、地震・地殻変動観測網の高度化を進める。樽前山で空中時期観測を行う。比較研究のための海外火山調査を行う。

平成 28 年度：浅間山、諏訪瀬島、伊豆大島においては高度化された観測を継続する。伊豆大島においてはガス観測機器の開発も継続する。桜島において空中時期観測および火口近傍への観測装置設置を行う。観測対象火山においてモデルを構築し、国内外火山との比較を進める。

平成 29 年度：浅間山、諏訪瀬島、伊豆大島においては高度化された観測を継続する。伊豆大島においてはガス観測機器の運用テストも行う。樽前山において空中時期観測を行う。比較研究のため、海外調査を行う。観測対象火山においてモデルを構築し、国内外火山との比較を進める。

平成 30 年度：浅間山、諏訪瀬島、伊豆大島での観測を継続するとともに、比較研究に基づくモデルの高度化を進める。桜島において空中時期観測および火口近傍への観測装置設置を行う。海外調査を行い、観測対象火山と国内外火山とでモデルの比較をさらに進め、噴火事象系統樹の分岐判断へ応用する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

浅間山、伊豆大島、霧島新燃岳において多項目高精度観測を継続している。霧島新燃岳においては 2017 年 10/11 に霧島新燃岳が 6 年ぶりに噴火し、その噴火に先行する顕著な火山性微動が 10/9 の 15 時台に発生した。新燃岳周辺に設置した広帯域地震計によりこの微動に伴う傾斜変動が捉えられた。この傾斜変動は新燃岳火口直下深さ 1km 付近における 10^4m^3 の膨張源によって良く説明されることから(図 1)、火山性微動は噴火に先行して流体が新燃岳の浅部に移動したことに伴い発生したと解釈できる。一方、新燃岳周辺では、2016 年の熊本地震に伴う電磁気現象が MT 観測で検出されており、本研究で得られた地震データとの比較研究を進めている。

無人ヘリを用いた火口近傍観測も継続して実施している。桜島においては無人ヘリによる地震計・GPS 受信機の回収・設置を行い観測を継続している。霧島新燃岳においては、無人ヘリによる通算 6 度目の空中磁気測量を 10/31 に実施した。この観測は 10/11 噴火の直後だったため、これまでの冷却トレンドから外れる変化を予想していたが、これまでの変化傾向を外れることなく帯磁が進んでいることがわかった(図 2)。この結果は、局所的な熱異常の高まりの可能性は否定できないものの、バルクでは大きく熱異常が高まっているとはいえず、浅部での火山活動は活発化・活性化していないことが示唆される。

噴火推移の比較研究として、前回に引き続き米国セントヘレンズ火山での噴出物調査を実施した。本研究は 1980 年噴火の推移を支配する要因を明らかにすることを目的としており、山体崩壊直後に発生したブラストと、その後数時間かけて成長しさらに数時間継続的に噴出したプリニー式噴火の噴出物調査を行った。また、その調査と、前回 2015 年度調査で採取した試料の見かけ密度や内部組織の分析を行った。その結果、脆性破壊の痕跡の有無や石基中の微結晶や微小気泡の量について、系統的であるが不連続な変化が見かけ密度の違いによって見られることが分かった。組織観察の結果と、マグマ破碎の模擬実験の結果を比較し、Blast 噴出は、山体崩壊に伴う急減圧によって発生した脆性破碎および遅延破碎の結果であり、その終了は、マグマの脆性度による破碎限界で決まっている可能性があると考えた(図 3)。

火山ガス研究の一環として、樽前山と薩摩硫黄島において、噴気孔から離れたところに流れてきた火山ガス噴煙のサンプリングを行い、二酸化炭素の炭素と酸素の同位体比を分析し、おおもとの火山ガスの CO_2 の炭素同位体比と酸素同位体比を推定した。樽前山では、島弧火山の火山ガスとして一般的な ^{13}C の値が得られた。また、薩摩硫黄島小岳の 95 の低温噴気では一般的な火山ガスの値が得られたが、荒山では、通常より非常に重い ^{13}C 値が推定された(図 4)。この原因については今後

精査が必要である。CO₂ の 18O の分析結果から、大気と火山ガスの混合したものである噴煙の測定により、火山ガスの 18O の推定ができることが示された。

地震波干渉法による地震波形データの解析を進めており、伊豆大島において、地震波速度変化と火山性圧力源により生じた面積ひずみの関係を調べ、山体浅部に歪み変化による地震波速度変化域が集中することがわかった。桜島において、地震波干渉法で得られる相関関数のコヒーレンスの時間変化をもとに調べ、火山体浅部の地震波散乱係数の変化領域を推定し、2015年8月のマグマ貫入位置との比較を行った。

なお、5か年計画で示された対象火山と本年度の観測対象火山は必ずしも一致していないが、これは火山の活動度等を踏まえ、より効果的に研究成果が得られことを目指したことによる修正である。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Ichihara, M. and S. Matsumoto, 2017, Relative source locations of continuous tremor before and after the subplinian events at Shinmoe-dake, in 2011, *Geophys. Res. Lett.*, 44 (21) doi:10.1002/2017GL075293.

Iguchi, M., H. Nakamichi, T. Tameguri, K. Yamamoto, T. Mori, T. Ohminato, E. Saito, 2017, Contribution of monitoring data to decision making for evacuation from the 2014 and 2015 eruptions of Kuchinoerabujima Volcano, *Journal of Natural Disaster Science*, 38, 31-47.

伊野遥・寅丸敦志, 2017, 1980年5月18日セントヘレンズ山噴火における降下火砕堆積物の岩石組織記載と密度分析, JpGU-AGU Joint meeting, SVC50-P21.

Kameda, M., M. Ichihara, S. Maruyama, N. Kurokawa, Y. Aoki, S. Okumura, and K. Uesugi, 2017, Advancement of magma fragmentation by inhomogeneous bubble distribution, *Scientific Reports*, 7, doi: 10.1038/s41598-017-16941-x.

小山崇夫・金子隆之・大湊隆雄・渡邊篤志, 2018, 無人ヘリ繰り返し空中磁気測量による磁場時間変化の検出, H29年度CA論文集, (印刷中).

Ohminato, T., T. Kaneko, T. Koyama, A. Watanabe, W. Kanda, T. Tameguri, and R. Kazahaya, 2017, Observations using an unmanned aerial vehicle in an area in danger of volcanic eruptions at Kuchinoerabujima Volcano, southern Kyushu, Japan, *Journal of Natural Disaster Science*, 38, 85-104.

大湊隆雄・金子隆之・小山崇夫・渡邊篤志・安田敦・武尾実・青木陽介・柳澤孝寿・本多嘉明・梶原康司・神田径・為栗健・風早竜之介・篠原宏志, 2018, 無人ヘリによる火口近傍観測の進展, 2018年 Conductivity Anomaly 研究会論文集(印刷中).

Takano, T., T. Nishimura, H. Nakahara, 2017, Seismic velocity changes concentrated at the shallow structure as inferred from correlation analyses of ambient noise during volcano deformation at Izu-Oshima, Japan. *J. Geophys. Res.*, 122, 6721-6736, DOI: 10.1002/2017JB014340.

竹原瑞樹・寅丸敦志, 2017, Textural analysis of Blast deposits from the May 18, 1980, eruption of Mount St. Helens, JpGU-AGU Joint meeting, SVC50-P22.

上嶋誠・相澤広記・塚本果織・神田径・関香織・木下貴裕・大湊隆雄・渡邊篤志, 2018, 2016熊本地震活動に伴ってえびのにおいて観測された電磁気変動について, 2018年 Conductivity Anomaly 研究会論文集(印刷中).

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

浅間山、伊豆大島、霧島新燃岳において多項目高精度観測を継続する。特に、浅間山西部のマグマ溜まり検出を目的とする MT 観測を実施する予定である。また、無人ヘリを用いた火口近傍観測技術の開発を継続する。

セントヘレンズ火山 2017 年度調査で採取した、火口近傍の噴出堆積物について、分析を進める。また、セントヘレンズ火山 1980 年噴火と、霧島山新燃岳 2011 年噴火の噴出物の変化と推移について比較する。以上を統合し、噴火前のマグマの状態の空間不均質が噴火の推移に与える影響を明らかにする。

複数の火山の噴煙で二酸化炭素の同位体比測定を実施するとともに、赤外分光計を用いた火山ガス組成の遠隔測定を行い、比較検討する。

諏訪之瀬島で引き続き山体変形観測を実施する。桜島や伊豆大島において地震波干渉法解析を適用し、地震波速度変化量と火山活動等にともなう火山体構造の時空間変化を調べる。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

武尾実、森田裕一、大湊隆雄、上嶋誠、市原美恵、及川純、金子隆之、青木陽介、小山崇夫（以上地震研究所）、橋本武志（北大）、本多嘉明（千葉大）、井口正人、中道治久、為栗健（以上京大防災研）、西村太志、三浦哲（以上東北大）、野上健治（東工大）、松本聡、寅丸敦志（以上九大）、森俊哉（東大院理）、八木原寛（鹿児島大）

他機関との共同研究の有無：有

浅間山：森俊哉（東大院理）

伊豆大島：松本聡（九大）、野上健治（東工大）、三浦哲（東北大）

諏訪瀬島：井口正人、中道治久、為栗健（以上京大防災研）、西村太志（東北大）、八木原寛（鹿児島大）

樽前山：橋本武志（北大）、本多嘉明（千葉大）

桜島：井口正人、中道治久、為栗健（京大防災研）、本多嘉明（千葉大）

モデル化：寅丸敦志（九大）

(12) 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：03-5841-5712

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

(13) 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

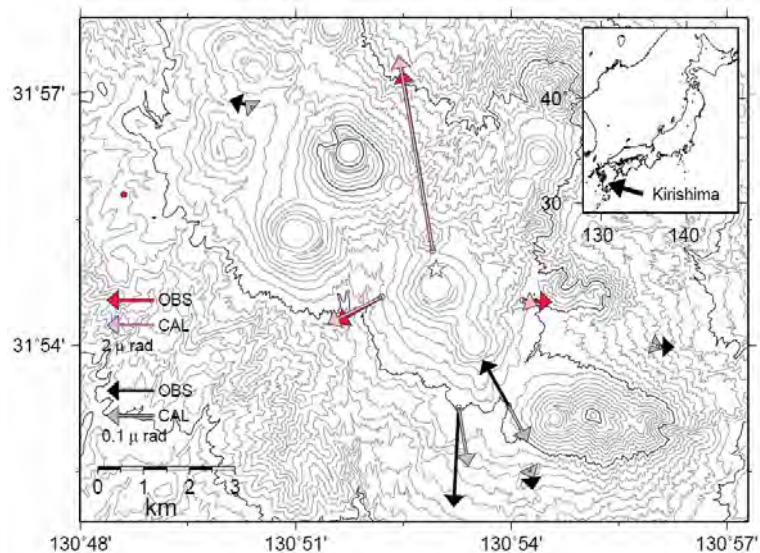


図1 霧島新燃岳において2017年10月11日噴火に先行して観測された傾斜
 茂木ソースを仮定すると、火口下1kmに置いた 10^4m^3 の膨張源が観測値をもっともよく説明する。星印が推定された膨張源の位置を表す。

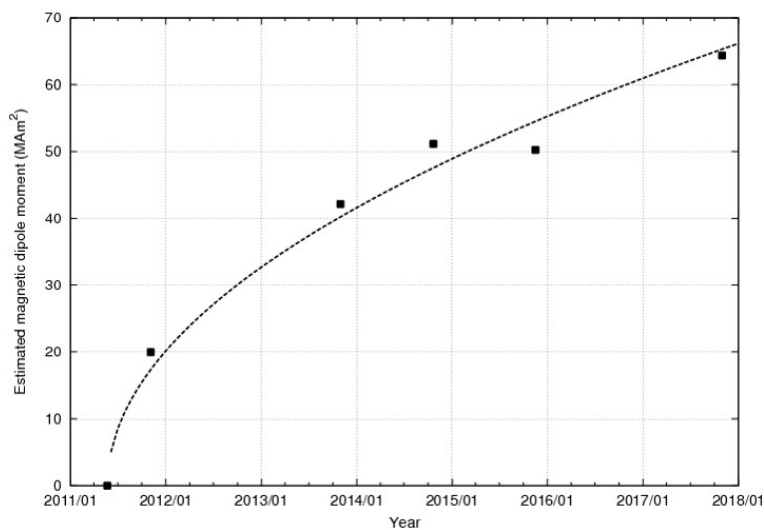


図2 新燃岳火口内溶岩の冷却過程
 霧島新燃岳で実施した6回の空中磁気測量で得られた火口内溶岩の磁気モーメントの時間変化。磁気モーメントの増加は溶岩の冷却による帯磁を示す。

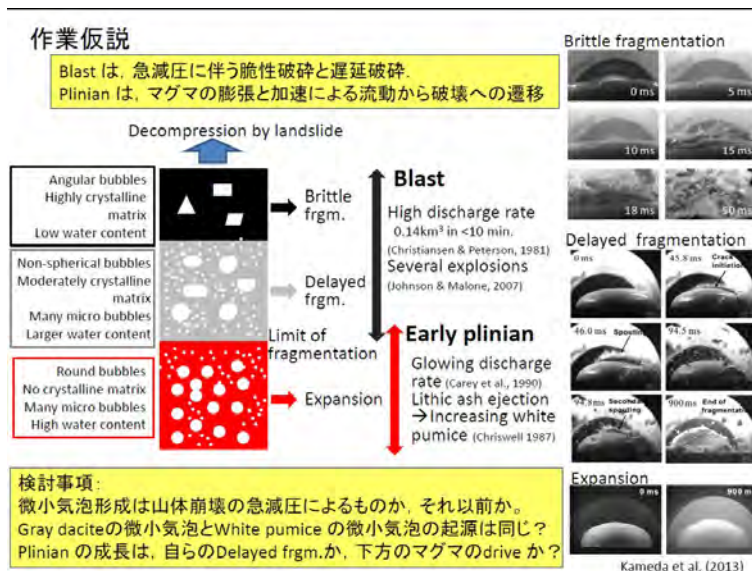


図3 セントヘレンズ山1980年噴火に伴うブラストに関する作業仮説
組織観察の結果とマグマ破碎の模擬実験の結果を比較した結果、Blast噴出は山体崩壊に伴う急減圧によって発生した脆性破碎および遅延破碎の結果であり、その終了は、マグマの脆性度による破碎限界で決まっている可能性があると考えられる。

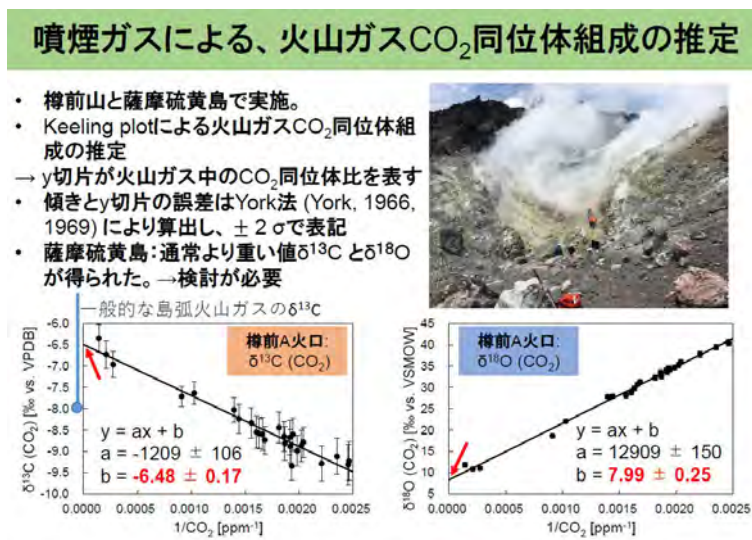


図4 火山ガス同位体比の推定
噴気孔から離れたところに流れる噴煙中の二酸化炭素と酸素の同位体比を測定し、火山ガスの δ¹⁸O の推定ができることを示した。

(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：

プレート境界すべり現象モニタリングに基づくプレート間カップリングの解明

(3) 最も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) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(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・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(3) 関連研究分野との連携の強化

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標 :

プレート間カップリングの多様性と相互作用を詳細に把握し, そのメカニズムを明らかにすることは, 巨大地震と他のプレート境界現象との相互作用の解明に資するとともに, プレート境界に対する理解を深めることで巨大地震の発生予測の高度化に貢献する. そのため, スロースリップイベントや深部低周波微動を含むスロー地震等の多様な滑り現象を高精度に把握し, それらの現象の時空間発展等の活動様式, とくに現象間の相互作用を明らかにするとともに, これらの多様なプレート間カップリングを規定する構造的要因を明らかにする. また, 相互作用によって発生する現象の誘発メカニズムを理解し, シミュレーションによって現象の再現を試み, 巨大地震との関わり合いに関する知見を得る. 特に, 2016 年に発生が予想される豊後水道の長期的スロースリップイベント (SSE) とそれに誘発される様々な滑り現象などについて, 多項目のモニタリングを集中することにより, 相互作用を含めた一連の現象のメカニズムを解明する.

(7) 本課題の 5 か年計画の概要 :

本研究計画は, 以下のモニタリング, 構造探査・シミュレーションから構成される.

1. モニタリング精度向上とプレート境界すべり現象解明

1(1) 豊後水道における隣接すべり現象間の相互作用の解明

豊後水道で 2016 年 (平成 28 年度) に発生が予想される長期的 SSE とそれによって誘発される多様なスロー地震群を正確に把握し, その時空間発展に基づいて相互作用を解明するため, 豊後水道の周辺陸域に広帯域地震観測点, 島嶼部に GPS 観測点, 海域に海底地震計・圧力計を設置し, 長期的 SSE の滑りパラメータや浅部超低周波地震の検出精度を向上させる. また地震波干渉法による地下構造の時間変化の抽出を試みるとともに, 重力・電磁気観測の結果と比較し, すべりの時間発展と流体との相互作用を明らかにする.

[GPS 観測]

(平成 26 年度)

豊後水道周辺島嶼部の数か所に機動的 GPS 観測点を設置し, 国土地理院 GEONET のデータを加えて長期的 SSE のすべり分布の時空間発展を推定するためのモニタリング体制を構築する.

(平成 27~30 年度)

機動的 GPS 観測点によるモニタリングを継続し, 長期的 SSE が発生した場合には, 国土地理院 GEONET のデータを加えてすべり分布の時空間発展を推定する.

[陸域地震観測]

(平成 26 年度)

浅部・深部超低周波地震等を把握するための機動的広帯域地震観測点や, 地震波干渉法による長期的 SSE 震源域周辺の速度変化把握のための機動的短周期地震観測点の選定を行なう.

(平成 27~30 年度)

機動的広帯域地震観測点を設置し, 既存のデータ流通網を活用して防災科研にもデータ転送し, 超低周波地震・深部低周波微動について従来の処理システムを活用したモニタリング体制を構築する. それに基づいて, 長期的 SSE の発生に伴う浅部超低周波地震や深部低周波微動・超低周波地震の検出を進める. また, 地震波干渉法によるモニタリングを行なうとともに, 過去データ解析を進める.

[海域観測]

(平成 26~30 年度)

海域に海底地震計や圧力計を数台設置して観測を実施し, 海域観測機器を交換してモニタリングを継続するとともに, 長期的 SSE 発生前の定常的活動及び長期的 SSE に伴う地殻変動や超低周波地震を検出するためのデータ処理を行なう.

機動的 GPS・広帯域・短周期地震観測点については, 長期的 SSE 終了後もその影響を見極めるためのモニタリングを継続する. 長期的 SSE が発生した場合には, 海陸のデータを融合して各スロー地震の発生源の時空間発展を正確に推定し, 現象間の相互作用を明らかにする. また, 1(5) によって得ら

れた重力変化や比抵抗変化，及び地震波干渉法による地下速度構造変化との比較から，すべりの時間発展と流体との相互作用を明らかにするとともに，シミュレーションモデルの構築に資するデータを提供する．

1(2) 東海地域における長期的・短期的 SSE の時空間変化の 推定手法の高度化とプレート間すべりの解明

東海地域は数年に及ぶ長期的 SSE と一週間程度の短期的 SSE が発生する場であり，これらの発生領域の特性を解明することが重要である．このため，東海地域に展開している大学連合による GPS 観測を維持・強化し，周期的に発生する短期的 SSE を把握して滑りパラメタを高精度に推定し，当該地域における滑り収支を把握するとともに，長期的 SSE の発生も期待されるため，発生した場合にはその滑りパラメタの高精度推定を行う．

(平成 26 年度)

伊勢湾付近を中心として機動的 GPS 観測点を数か所設置し，既存の大学連合による GPS 観測点及び国土地理院 GEONET のデータを加えて，東海長期的 SSE や微動に伴って生じる短期的 SSE のモニタリング体制を構築するとともに，短期的 SSE を自動的に検出する手法の開発を進める．

(平成 27～30 年度)

モニタリングを継続するとともに，周期的に発生する短期的 SSE について自動検出結果との比較に基づき，システムの改良を継続的に行う．長期的 SSE が発生した場合にはその滑りパラメタの高精度推定を行う．前期の研究に基づき，短期的 SSE と長期的 SSE の特性を比較し，場の物理特性の違い等を解明する．

1(3) 房総 SSE と群発地震活動との相互作用の解明

房総半島に展開している機動的 GPS・地震観測網や定常観測網を維持し，房総沖でこれまでも繰り返し発生している SSE とそれによってトリガーされる小繰り返し地震を含む群発地震活動をモニタリングし，発生した場合にはその時空間発展に基づきこれらの相互作用を解明する．

[GPS 観測]

(平成 26～30 年度)

房総半島沿岸の機動的 GPS 観測点の維持を行なうとともに定常状態を把握し，房総 SSE が発生した場合には，そのすべりの時間発展を正確に推定する．

[地震観測]

(平成 26～28 年度)

委託研究で維持されている房総半島内の MeSO-net (大大特) の地震観測データを活用し，既存の地震観測データを含めて定常的な地震活動の把握を行なう．

(平成 29～30 年度)

MeSO-net 観測点を維持するとともに，房総沖 SSE が発生した場合にはそれに伴う群発地震活動の高精度震源決定を行ない，SSE すべり域との時空間的關係を明らかにする．

小繰り返し地震解析から準静的すべりのすべり量を推定し，測地学的推定結果との比較を行う．

1(4) 西南日本スロー地震活動様式の解明

(平成 26～30 年度)

深部低周波微動等のスロー地震カタログを用いて、セグメント構造・周期性・移動性・トリガリングなどのスロー地震活動様式の特徴を抽出し，巨大地震活動様式との類似性・相違性を明らかにし，活動予測モデルを構築する．

1(5) 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

南海トラフ等の長期的 SSE の生じている地域において重力観測及び電磁気観測を実施し，摩擦構成則に関連する間隙流体圧の変動パターンを質量変化及び比抵抗変化を通じて捉えることにより，すべりの時間発展と流体との相互作用を明らかにする．

[重力観測]

(平成 26～30 年度)

東海・四国・宮崎・房総等の SSE 発生域において年 1 回程度の絶対重力観測を行う。平成 29 年度に豊後水道で絶対重力観測を連続観測に切り替え、SSE による重力変化の常時監視を行う。平成 30 年度に SSE による重力変化データを GPS、地震、電磁気データと統合し、流体とすべりとの相互作用をモデリングする。

[電磁気観測]

(平成 26 年度)

1994-1995 年、2000-2001 年にわたって観測を実施した四国西部におけるネットワーク MT 法観測データをコンパイルし、四国西部広域深部 3 次元比抵抗構造を推定する。得られた構造に対して比抵抗構造の変化が予想される領域に対する地上電磁場観測点の感度を調べ、平成 27 年度からのモニターの観測の最適な観測点配置を検討するとともに、ネットワーク MT・磁場観測点の選定、土地交渉等を行う。

(平成 27 年度)

前年度に選定したネットワーク MT・磁場観測点において、それぞれ長基線地電位差観測・磁場 3 成分観測を開始する。さらに、観測データの 1 次的解析(電磁場、磁場磁場間応答関数推定)を実施し、得られた応答関数が平成 26 年度で検討した感度を勘案して著しくデータの質が劣る観測点に関しては、観測の中止、ないしは移転を行う。

(平成 28~30 年度)

電磁場モニター観測を継続し、豊後水道長期的 SSE を含む応答関数変化の検出を試みるとともに、平成 26 年度における感度検定のために用いた従来のネットワーク MT 法データに、本研究で得られるネットワーク MT 法データをあわせて 3 次元構造解析を行う。

得られた応答関数の変化について、3 次元構造解析に基づいた感度行列から、応答関数変化を担う比抵抗変化領域と比抵抗変化値の決定を試みる。地震波速度構造の変化や、重力値変化から推定された密度構造変化をあわせ、SSE に流体移動の関与があったかどうかを定量的に検証し、SSE の時空間発展メカニズムを考察する。

1(6) 海域観測に基づくスロースリップと誘発現象との相互作用の解明

既に沈み込み帯浅部において SSE または低周波微動・超低周波地震が検出されている領域直上で、海底圧力計による上下変動観測をトラフ軸付近で実施し、浅部の SSE 活動を詳細に調べて、それにより誘発される多様な地震活動を既設のケーブル式地震計記録などから検出する。さらに、観測された SSE の時空間発展と誘発される地震活動の時空間的特徴を比較し、SSE による誘発現象の物理プロセスを調べる。得られた知見に基づき、SSE により誘発される地震活動の予測、特に発生時期に関する予測に向けた研究を行う。

(平成 26~28 年度)

熊野灘や室戸沖の海底ケーブル式観測網の周辺に海底圧力計を設置し既存の観測データと併せて、特に沈み込み帯浅部で発生する SSE とそれに誘発される地震やスロー地震の活動を把握する。

(平成 29~30 年度)

前年度からの観測を継続する。熊野灘や室戸沖周辺で観測された SSE と誘発される地震・スロー地震活動の時空間的特徴から、SSE による周囲への応力の載荷速度の変化と誘発される地震・スロー地震活動との関係を明らかにする。また、東北日本や他地域で観測された SSE とそれに誘発される現象も含めて、SSE とそれにより誘発される地震・スロー地震活動の予測モデルを構築する。

1(7) 余効すべりの物理モデルの構築と摩擦特性の推定

速度・状態依存摩擦構成則に従う余効すべりと地震時・地震後のすべりによるマンツルの粘弾性緩和の双方を考慮したプレート境界地震の余効変動の物理モデルを構築する。このモデルを 2011 年東北沖地震等のプレート境界地震後の GNSS データに適用し、余効すべり発生領域の摩擦特性とマンツルのレオロジーを推定する。また、観測された余効変動に対する余効すべり及び粘弾性緩和の寄与を分離することを試みる。

(平成 26~30 年度)

弾性媒質を仮定して速度・状態依存摩擦構成則に従う余効すべりの物理モデルを構築する。このモデルを用いて、地震時のすべり分布や摩擦パラメータの分布が余効すべりに与える影響を調べる。このモデルを基に、地震時・地震後のすべりによるマンツルの粘弾性緩和を取り入れたモデルを構築する。弾性・粘弾性モデルを用いて、東北沖地震等のプレート境界地震後の GPS データを再現できるような余効すべり域の摩擦特性とマンツルのレオロジーを推定する。

2. プレート境界すべり現象メカニズム解明のための地下構造異常の抽出とスロー地震・巨大地震の相互作用シミュレーション

想定東南海地震・南海地震震源域の境界域の深部延長上を含む紀伊半島中央部や深部低周波微動活動が明瞭な北東部において、プレートの沈み込む方向に線状稠密アレイを展開し、地震波トモグラフィ解析・地震波干渉法解析・反射法解析等を実施することで巨大地震破壊域の広がりや様々な滑り現象を規定するプレートやマンツルウエッジにおける構造不均質を抽出する。また、過去に実施された自然地震の稠密観測データの再解析に基づき、スロー地震の滑り特性の違いに対応する構造変化、深部スロー地震域セグメント境界・上端・活動様式の深さ依存性を規定する構造の抽出を行う。また、ここで得られた地下構造異常に関する情報に基づいて摩擦パラメータを設定してシミュレーションを行ない、1 で得られた様々なプレート間すべり現象の発生様式や相互作用を説明するように、スロー地震活動様式を再現することを試みる。また、スロー地震と巨大地震の同時シミュレーションに基づき、巨大地震発生前後におけるスロー地震活動の長期的・短期的変化を抽出し、巨大地震の切迫度評価や発生予測に資する知見を得る。

2(1) プレート境界すべり現象メカニズム解明のための地下構造異常の抽出

(平成 26 年度)

紀伊半島で取得されている既存地震観測データの再解析を実施し、深部低周波微動の活動度が異なる紀伊半島北東部と中央部における地下構造の特徴を明らかにするのに最適な地震観測測線位置の検討を行う。既存地震観測データの再解析は、平成 29 年度に渡って実施し、微動発生域を含むプレートやマンツルウエッジの詳細な構造を明らかにする。

(平成 27 年度)

紀伊半島北東部の深部低周波微動が明瞭な領域を通る滋賀県甲賀市から三重県南伊勢町至る「甲賀南伊勢測線」(測線長 約 90 km) で稠密自然地震観測を実施する。測線上の 60 か所に観測点を設置し、6 か月間の連続観測を行う。

(平成 28 年度)

「甲賀南伊勢測線」沿いで既に取得されている制御震源探査データと平成 27 年度に取得した自然地震観測データとの統合解析を実施し、深部低周波微動発生域を含むフィリピン海プレートやマンツルウエッジの詳細な構造を明らかにする。

(平成 29 年度)

紀伊半島中央部の低周波微動の活動が不明瞭な領域を通る測線(串本-橋本測線、測線長 約 90km) に 60 か所の観測点を設置し、6 か月間の自然地震観測を行う。また、測線下の詳細な P 波速度構造を得る為に、測線上の 3 か所で発破を実施する。発破を実施する際には、既存研究で明らかになっている地殻深部の明瞭な反射面の、プレートの沈み込む方向における深度変化を明らかにする為に、450 台のオフラインレコーダを設置する。

(平成 30 年度)

平成 29 年度に取得した「串本-橋本測線」の制御震源・自然地震データの統合解析を実施すると共に「甲賀南伊勢測線」・「串本-橋本測線」と紀伊半島で既に取得されている観測データとの統合解析を実施することで、巨大地震破壊域の広がりを規定するプレートやマンツルウエッジの地下構造異常を抽出し、地下構造異常が微動活動度に及ぼす影響を明らかにする。

2(2) スロー地震・巨大地震の相互作用シミュレーション

(平成 26~30 年度)

深部低周波微動の分布や地下構造研究結果を考慮して長期的及び短期的 SSE 発生域における摩擦パラメータ (a-b) や有効法線応力を設定し、カットオフ速度を考慮したすべり速度・状態依存摩擦則を用いたシミュレーションを実施し、観測される SSE を再現するようにパラメータを調節しつつ SSE 発生モデル化を進めるとともに、巨大地震発生前後におけるスロー地震活動の発生間隔等の発生様式における長期的・短期的変化を抽出する。また、豊後水道長期的 SSE に伴って発生する誘発現象についても、パラメータ調節によって観測された現象を再現可能なモデル化を進め、2016 年に発生すると予想される長期的 SSE の観測結果に基づいて、モデルの検証・改訂を行なう。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

平成 29 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、房総半島や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、既存観測データを用いたスロー地震活動様式の特徴把握を行なった。

1. モニタリング精度向上とプレート境界すべり現象解明

1(1) 豊後水道における隣接すべり現象間の相互作用の解明

[GPS 観測]

豊後水道周辺および島嶼部の 5 か所に機動的 GPS 観測点を設置し、国土地理院 GEONET のデータを加えて長期的 SSE のすべり分布の時空間発展を推定するためのモニタリング体制を構築した。

平成 28 年度までに新設した 6 か所の観測点は、平成 29 年度もほぼ欠測なしでデータが取得されており、長期間に渡る地殻変動データが蓄積されつつある。平成 29 年度は愛媛県八幡浜市・西予市・大洲市・宇和島市・大分県豊後大野市の 5 地点に機動的 GPS 観測点を新設し観測を開始した(表 1)。これらの観測点も携帯電話端末を取り付けたモバイルルータを設置することで、外部から毎日定期的にデータを収録できるようになっている。特に豊後大野市は衛星携帯電話端末を使用している。その他に 6 地点に機動的 GPS 観測点を設置する準備がすすめられているが、海象の影響や設置許認可の問題で作業が遅れており、本格的な観測データの取得は来年度に持ち越しとなる。

回収されたデータを周囲の GEONET 観測点や海上保安庁のデータと一緒に精密単独測位法 GIPSY-OASIS 6.3 を用いて解析した。本研究課題で新設された機動的 GPS 観測点で求められた日々の座標のグラフを図 1 に示す。フィリピン海プレートの沈み込みにもなう西方向の通常的地殻変動変位のほか、2016 年 4 月に発生した熊本地震による coseismic な変位や余効変動が見られる。図 2 に 2016 年 10 月から 2017 年 10 月にかけて、豊後水道およびその周辺の GPS 観測点で記録された地殻変動を示す。赤色のベクトル点が、本研究で新設された機動的 GPS 観測点での結果を示す。ベクトル矢印の先端の楕円が推定誤差を示しており、新設した 6 か所のデータの精度は、GEONET と遜色ない安定性をもっていることがわかる。

2015 年 12 月ごろから四国南部を中心に長期的 SSE の可能性のある小さな地殻変動が観測された。しかしながらその変動量や推定されたモーメントマグニチュードは、豊後水道で想定されている長期的 SSE の数分の 1 しかなく、本格的な長期的 SSE は 2018 年以降に発生すると予測される。

[陸域地震観測]

愛媛県南部及び高知県西部の合計 3 箇所における広帯域地震計臨時観測を継続するため、不具合の見られる地震計の交換などを行った。また、大分県東部及び愛媛県西部に広帯域地震計観測点を新たに 3 箇所設置した。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解析をそれぞれ行った結果、サイズの統計分布が普通の地震とは異なることが分かった。さらに、浅部と深部では超低周波地震の特徴的な大きさが異なり、内陸の深部超低周波地震の方が検出が難しく直上での観測が重要になることなどを示した。

[海域観測]

平成 29 年度は、豊後水道南方のプレート境界浅部領域に構築した海底地震・圧力計アレイによる観測を継続した。海底地震・圧力計の回収は 2017 年 8 月に実施した。なお、この観測は、平成 25 年度に開始した文部科学省委託研究「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」と連携して行われている。

また、2017年3月より科研費新学術領域研究「スロー地震学」にて同じ領域で海底地震観測を実施しており、2018年8月頃に回収を予定している。さらに、海底地震計10台を、平成30年度中に新学術領域研究で設置した広帯域型海底地震計の周囲約2kmの範囲内に設置し、アレイ観測を開始する予定である。今年度はこれまでに回収したデータから、2015年の低周波微動の震央分布を求めた。2015年は、5月から7月末までの約3ヶ月弱の活動が確認され、その震央は、2013年の活動領域(Yamashita et al., 2015)や2014年の活動領域のさらに東側の足摺沖まで拡大した(図3)。足摺沖は、これまで浅部超低周波地震が2003年と2010年の豊後水道SSEと同期して発生したことが知られているが(Hirose et al., 2010; Asano et al., 2015)、今回は豊後水道における明瞭なSSEの発生は確認できていない。また、2013年に見られた南から北への震源移動よりは、西から東への震源移動が顕著に見られた(図4)。

1(2) 東海地域における長期的・短期的SSEの時空間変化の推定手法の高度化とプレート間すべりの解明

年次計画に基づき、昨年度に引き続き、今年度も静岡県内55点、愛知県内5点の計60点で観測を京大防災研との共同研究として継続した。本研究課題の主担当者が今年度で定年退職することから、観測網の大半を今年度で撤収することとし、長期スロースリップの監視に重要と思われる数点では観測を継続することとした。昨年度の成果発表に引き続き、2013年頃からはじまった長期スローイベントの解析を進めたほか、これまで蓄積してきたデータに基づいてひずみの時間変化について検討した。

まず、2013年頃からはじまったと言われる長期スローイベントに関して、時間発展インバージョンを用いた解析を引き続き実施した。手法は昨年と同様であるが、解析の期間を一か月延ばして2013年1月1日から2016年1月31日までとした。このため、2015年12月末から2016年1月初めにかけて伊勢湾付近で発生した短期的SSEによるとみられるすべりを推定することに成功した。すべりの時空間発展は北東方向への伝搬を示し、同時期に発生した深部低周波微動の伝搬方向とも対応が見られた。2013年1月1日から2016年1月31日の期間の長期SSEの最大すべり量は約7cm、モーメントマグニチュードはMw6.6と推定された。結果の一部の図を図5及び図6に示す。

次に、東海GNSSアレイは2004年頃から設置・観測が実施されており、これまでに12年を超える期間の観測データが蓄積されていることから、この長期のデータを用いて東海地方のひずみデータの時間変化について調査を行った。まず、2004年から2016年の本研究による稠密アレイとGEONETのデータを用い、1年ずつずらせた3年ごとの11期間のデータ(2004-2006、2005-2007、…、2014-2016)を作成した。各区間の各観測点の時系列データから速度場を推定し、最小二乗予測法を適用して面積ひずみ、最大ずりひずみの分布を推定した。図7にこの期間のいくつかの事例を示す。2011年東北地方太平洋沖地震の影響が顕著に見て取れる。最近のデータは最初の期間のデータと似てきており、東北の地震の影響が少しずつ小さくなっていることが見て取れよう。

1(3) 房総SSEと群発地震活動との相互作用の解明

[GPS観測]

千葉・茨城県内の太平洋沿岸で行っているGNSS連続観測を継続した。今年度は新たなSSEによる顕著な地殻変動は見られなかった。また、1996、2002、2007、2011、2013-2014年の房総SSEの時間発展に関する論文をまとめた(Fukuda, 2018)。

[地震観測]

房総沖で繰り返し発生しているスロースリップ域で発生する地震活動をモニタリングした。この地域の地震活動は6月に活発化したが、相似地震活動の増加は見られなかった。この時期にすべり速度がやや増加した可能性は示唆されるものの、大規模なスロースリップイベントは発生しなかったと考えられる。今年度は上盤側プレートの余効変動の影響を調べるため、銚子沖の地殻内で発生している地震クラスターの活動を調査した。その結果、相似地震が多数検出された。この地域の地震活動は現在も継続しており、長期間にわたって変動が生じていることが推測される。

1(4) 西南日本スロー地震活動様式の解明

西南日本で発生するスロー地震のうち、深部超低周波地震のマッチドフィルター法による自動検出システムを構築し、2004-2017年の活動推移や長期SSEへの応答性を解明した(Baba et al. 2018)。豊後

水道で長期 SSE が発生した時に豊後水道での深部超低周波地震活動が活性化すること、その活性化領域が 2010 年と 2014 年では異なり、長期 SSE の大きさや活動範囲を反映することなどが分かった(図 8)。また、豊後水道から愛媛県西部にかけて、2014 年後半以降に深部超低周波地震活動が低下しており、プレート間の固着強度が長期的に変化している可能性を示した(図 9)。同様の解析を紀伊・東海地方でも行ったが、超低周波地震の検出数自体が少なく、明瞭な活動度の時間変化は見られなかった。

深部低周波微動発生域では、短期的 SSE を伴う微動活動の他に、遠地地震の表面波によってトリガーされる誘発微動が知られている。その詳細な活動様式を解明する目的で、マッチドフィルター法による誘発微動の検出を継続的に行なった。短期的 SSE に伴う微動活動と誘発微動の振幅は、紀伊半島北東部では変わらないのに対し、四国西部では誘発微動の振幅が大きくなる傾向にあることを示した。

1(5) 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]

前年度に引き続き、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観測を継続している。今年度の絶対・相対重力観測は、9月に御前崎1点、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)で実施した。東海では、2001年、2013年頃から長期的スロースリップが発生している。この時期を含む、これまでの約20年間の重力観測により、スロースリップによる重力変化を観測することに成功した。図10に観測結果を示す。ただし、今年度の観測結果は解析中のため示していない。スロースリップ域の浅部に位置する御前崎・菊川では、スロースリップ中に重力変化が小さく、スロースリップの発生していない時期に重力が増加している。スロースリップ中の重力減少が断層破碎帯内の流体移動で説明しうることを示した(Tanaka et al., 2018)。一方、重力増加の原因はまだ分からない。宮崎、足摺岬ではデータをさらに蓄積し、今後、同様の解析を行う予定である。石垣島では超伝導重力計、地磁気の連続観測を継続している。

関東南部のGNSSデータを調査したところ、東京湾北東部で長期的スロースリップが発生していたことを新たに発見した(Tanaka and Yabe, 2017)。海底圧力がもたらす応力の変化と同期していることが分かった。このメカニズムは他のスロースリップ域にも働いている可能性があり、今後、重力観測結果と合わせてスロースリップのメカニズムを解明するのに役立つ。

[電磁気観測]

2015年6月より、愛媛県内の2観測点(窪野観測点と菊川観測点)でオフラインの磁場3成分観測を開始した一方、愛媛県と高知県にわたる17エリア内に、総計58点の電極を埋設し、2016年3月末よりNTTメタリック通信回線網を用いたネットワークMT長基線地電位差連続観測を開始した。

今年度においては、昨年度に引き続き、上記の磁場と長基線地電位差の毎秒サンプリングによる観測を継続した。一方、まず2016年4月1日から5月31日までの2か月間のデータを用いて、各地電位差と窪野観測点における2成分水平磁場との間のネットワークMT周波数応答関数を求めた。この際、窪野観測点の磁場に含まれるローカルノイズによる応答関数推定のバイアスを避けるため、菊川観測点の2成分水平磁場をremote-referenceとして用いた。観測から推定されたネットワークMT応答関数を直接的に逆解析できるように改良した3次元インヴァージョンコード(Siripunvaraporn et al., 2004)を用い、グリッド数を60(南北)×57(東西)×45(鉛直)、ターゲット地域での水平グリッド間隔を2.5kmと設定して、周期20秒から約10,000秒にわたる10周期の応答関数を用いたインヴァージョン解析を行った。

得られた比抵抗構造の特徴として、まず沈み込むフィリピン海プレートの上盤側の中部地殻内、約20kmまでの深さに顕著な低比抵抗域が見いだされた。得られた構造に気象庁一元化震源を重ねたところ、他の地震活動帯で指摘されてきたと同様に、微小地震活動が相対的に高比抵抗のところで発生している傾向が認められた。本観測の最も重要なターゲットは、さらにその深部にあたる沈み込むスラブの上面、スロースリップや深部低周波微動活動が起きている領域に特異な構造が認められるか否かを見究めるところにあった。しかしながら、上記の顕著な浅部低比抵抗域の存在のため、深部構造への感度が落ち、すべての場所で沿スラブ構造の詳細を議論することは困難であった。しかし、上述のように、低比抵抗域がきれ高比抵抗が分布している場所もあるため、その場所について検討を行った

ところ、沈み込むスラブに沿って、最大 10km 程度の厚さを持つ 160 Ohm m 程度の（その直上の上盤比抵抗より約 2.5 倍小さい）弱い低比抵抗帯が認められ、沈み込むスラブに沿う水の存在が示唆された。その低比抵抗帯に関し、電磁気学的には、その厚さと電気伝導度（電気の流れやすさを示し、比抵抗の逆数）の積に感度がある構造が推定され、厚さと電気伝導度それぞれを独立して決定することは困難である。このため、沈み込むスラブに沿ってもっと薄く、もっと低比抵抗である領域が存在する可能性もあり、地震学的構造等、他の観測可能な物理量からの検証を進める必要がある。ただ、相互につながっている良導体の体積分率と電気伝導度との間には比例関係が成立すると考えられるため、比抵抗の絶対値が不定であっても、沿スラブ域に存在する連結した水の総量に対しては制約が与えられると考えている。

本観測の実施にあたっては、西日本電信電話株式会社やその関連各会社からの多大なるご支援を頂いております。

1(6) 海域観測に基づくスロースリップと誘発現象との相互作用の解明

スロースリップに伴う上下地殻変動を観測する目的で、昨年度に引き続き 2 台の海底圧力計の設置回収作業を熊野灘で実施した。設置点は、海底ケーブル式観測網 (DONET) の海底圧力計よりも沖側で、一台は陸側斜面、もう一台は沈み込むフィリピン海プレート上とした。

海底圧力記録からスロースリップによる地殻変動を抽出する手法の開発を昨年度に引き続き実施し、海底圧力計に含まれる非海洋潮汐成分を除去しスロースリップに伴う圧力変動の検出手法を確立した。また、海底地震計記録から微弱な低周波微動を検出して震源を推定する手法の開発を行った。今年度は、単独の観測点で検出される微動の振幅を用いる方法と S 波の振動軌跡を用いる方法の 2 つ手法を開発した。これらの手法はともに、観測点密度が十分でない地震観測網や規模の小さな微動の検出および震源決定に適用できる。さらに地震干渉法を用いたスロースリップのモニタリングに向けた研究開発を昨年度に引き続き行い、スロースリップに伴う地下構造変化のモニタリングの手法の開発に成功した。

1(7) 余効すべりの物理モデルの構築と摩擦特性の推定

昨年度に引き続き、摩擦構成則に従う余効すべりとマンツルの粘弾性応力緩和を組み合わせた余効変動の物理モデルを用いて、2011 年東北地方太平洋沖地震の余効変動のモデル化を行った。昨年度までの研究で、マンツルの粘性率を空間的に一様とした場合、陸上と海底の上下変動を同時に説明することが困難であることが分かった。今年度は陸上と海底の上下変動を統一的に説明するために、粘性率の空間変化を考慮したモデルを構築した。様々な粘性率の値に対してモデル計算を行った結果、観測された水平変動は広範囲の粘性率分布に対して、余効すべりと粘弾性緩和による寄与の和として説明できることが分かった。一方、上下変動は粘性率の空間変化に敏感であり、観測された上下変動を説明するためには、マンツルウエッジと海洋マンツルに異なる粘性率を与えることが必要である。

2. プレート境界すべり現象メカニズム解明のための地下構造異常の抽出とスロー地震・巨大地震の相互作用シミュレーション

2(1) プレート境界すべり現象メカニズム解明のための地下構造異常の抽出

スロースリップイベントや深部低周波微動等の多様なプレート間の滑り現象を規定する地下構造異常の抽出を目的とし、深部低周波微動活動が不明瞭な領域の紀伊半島中央部で稠密自然地震観測を実施した。臨時地震観測点は、和歌山県紀の川市から串本町に至る約 90km の測線上の 90 カ所（観測点間隔：約 1km）に設置した（図 11）。観測は平成 29 年 6 月 20 日から平成 29 年 12 月 20 日まで実施し、各観測点では、長期間収録型地震観測装置と固有周波数 1 Hz の地震計によって上下動及び水平動の 3 成分観測を行った。サンプリング周波数は 200 Hz または 250Hz で行った。また、測線下の詳細な P 波速度構造や沈み込むプレート・島弧モホ面の形状を把握するために制御震源地殻構造探査を実施した。制御震源として含水爆薬を使用し、和歌山県有田川町（SP1）、和歌山県日高川町（SP2）、和歌山県田辺市（SP3）、和歌山県古座川町（SP4）の計 4 か所で発破を行った（図 11）。薬量は、すべての点で 200kg である。これら発破による信号を観測するために、和歌山県有田川町から古座川町に至る約 60km の測線上の 302ヶ所（観測間隔：約 200m）に短期間収録型地震観測装置を設置した（図 11）。観

測は平成 29 年 8 月 20 日から平成 29 年 9 月 6 日まで実施し、各観測点では、固有周波数 4.5 Hz の地震計によって上下動及び水平動の 3 成分観測を行った。サンプリング周波数は 500 Hz で行った。気象庁一元化震源カタログによると、観測期間中(平成 29 年 6 月 20 日から平成 29 年 12 月 20 日)には、図 11 に示す範囲で 5,901 個の地震の震源が決定されている。また、深部低周波地震の発生も報告されている。得られた連続記録から、これら地震の震源時刻と発破時刻に従って、イベント毎へのデータ編集を実施した。発破記録の一例を図 12 に示す。記録は良好で、初動到達後に、深部地殻内や沈み込むフィリピン海プレートに起因したと考えられる明瞭な反射波が確認できるデータが取得できた。

2(2) スロー地震・巨大地震の相互作用シミュレーション

地球潮汐の影響を取り入れたスロースリップイベント(SSE)の数値シミュレーション研究を行った。本年度はとくに短期的 SSE 領域周辺域で、長期的 SSE のようなすべりが発生することによる影響の評価を行った。平板のプレート形状をもち円形パッチを仮定したモデルにおいては、領域全体のすべりが発生した後、スロースリップイベントの発生がしばらくみられない状況が発生する。しかし、潮汐の効果を導入した場合には、周辺域でのすべり後、より早く短期的 SSE の発生がみられるようになった。さらに、四国の形状を考慮した Matsuzawa et al. (2013) と同様のモデルに潮汐による影響を導入したところ、長期的 SSE の発生後、同様により早く短期的 SSE の繰り返し発生に戻る傾向がみられた。この結果より潮汐は、周辺域のすべりによる応力擾乱に対し、短期的 SSE の繰り返し発生を安定化させる役割をもつ可能性が示唆される。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

- Baba, S., A.Takeo and K.Obara, A.Kato, T.Maeda, T.Matsuzawa, 2018, Temporal activity modulation of deep very low frequency earthquakes in Shikoku, southwest Japan, *Geophysical Research Letters*, 45, DOI: 10.1002/2017GL076122.
- Chao, K., Z. Peng, Y.-J., Hsu, K., Obara, C., Wu, K.-E., Ching, S., van der Lee, H.-C., Pu, P.-L., Leu, and A., Wech, 2017, Temporal Variation of Tectonic Tremor Activity in Southern Taiwan Around the 2010 ML6.4 Jiashian Earthquake, *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 122, doi:10.1002/2016JB013925.
- Fukuda, J., 2018, Variability of the space-time evolution of slow slip events off the Boso Peninsula, central Japan, from 1996 to 2014, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 123, doi:10.1002/2017JB014709.
- 伊藤喜宏, 2018, 講座「南海トラフ巨大地震・津波発生の真実にせまる～強靱な社会の構築に向けて～」5. 南海トラフのスロー地震と断層活動, *地盤工学会誌*, 66(1), 54-60.
- Ito, Y., M. J. Ikari, K. Ujiie, and A. J. Kopf, 2017, Coseismic slip propagation on the Tohoku plate boundary fault facilitated by slip-dependent weakening during slow fault slip, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 8749-8756, doi:10.1002/2017GL074307.
- Katakami, S., Y. Yamashita, H. Yakhara, H. Shimizu, Y. Ito, and K. Ohta, 2017, Tidal Response in Shallow tectonic tremors, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 19, doi:10.1002/2017GL074060.
- 片上智史・山下裕亮・八木原 寛・清水 洋・伊藤 喜宏・太田 和晃, 2017, Tidal response in shallow micro low-frequency tremors, SSS04-P36, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Chiba, 20-25 May.
- Kato, T., H. Sakaue, T. Nishimura, R. Ikuta, and Y. Harada, 2017, Analysis of detailed crustal strains due to the dense GNSS array in the Tokai region, central Japan, J03-P-02, IAG-IASPEI 2017, Kobe, July 30- August 4.
- 加藤照之・坂上啓・西村卓也・生田領野・原田靖, 2017, 東海地方における稠密 GNSS アレイに基づく地殻ひずみの時間変化(2004~2016), S03-P16, 日本地震学会講演予稿集 2017 年度秋季大会, 鹿児島市, 10 月 25 日-27 日.
- 近藤健太郎・清水 洋・山下裕亮・八木原 寛・馬越孝道・松島 健・平野舟一郎・内田 和也, 2017, 陸上および海陸地震観測データの統合解析による日向灘の 3 次元速度構造の推定, SSS16-P10, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Chiba, 20-25 May.
- 蔵下英司・飯高隆・津村紀子・岩崎貴哉, 2017, 紀伊半島北東部下のスロー地震発生領域周辺における

不均質構造のイメージング, S06-P13, 日本地震学会講演予稿集 2017 年度秋季大会, 鹿児島市, 10 月 25 日-27 日.

Kurashimo, E., T. Iidaka, N. Tsumura and T. Iwasaki, 2017, Detailed crustal and upper mantle structure of the subducting Philippine Sea plate and the overlying southwestern Japan arc, revealed by dense seismic array observation, J08-P-11, IAG-IASPEI 2017, Kobe, July 30- August 4.

Kurashimo, E., T. Iidaka, N. Tsumura and T. Iwasaki, 2017, Heterogeneous structure in and around the slow-earthquake source region beneath the eastern Kii Peninsula, SW Japan, SSS04-P12, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Chiba, 20-25 May.

中東和夫・蔵下英司・松島 健・手繰佳子・宮町凛太郎・渡邊早姫・廣瀬 仁, 2017, 豊後水道水ノ子島での地震観測, S02-P06. 日本地震学会講演予稿集 2017 年度秋季大会, 鹿児島市, 10 月 25 日-27 日.

中浴広樹・津村紀子・梅山恵理・水野直希・蔵下英司・加藤愛太郎・酒井慎一・飯高隆・岩崎貴哉, 2017, 紀伊半島東部における三次元地震波減衰構造の推定, S06-P14, 日本地震学会講演予稿集 2017 年度秋季大会, 鹿児島市, 10 月 25 日-27 日.

Nishimura, T., T. Matsushima, T. Tabei, and H. Hirose, 2017, Short-term SSEs detected by GEONET and a new GNSS array from western Shikoku to the Ryukyu Islands, 2017 年度スロース地震合同研究集会, A1-05.

Sakaue, H., T. Nishimura, J. Fukuda and T. Kato, 2017, Estimation of the spatiotemporal evolution of slow slip events in the Tokai region, central Japan, during 1994 - 2016 using GNSS data, S41C-0795, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, 11-15 Dec.

坂上啓・西村卓也・福田淳一・加藤照之, 2017, 1994 年から 2016 年に東海地方で発生したスロースリップイベントの時空間発展の推定, S03-P15, 日本地震学会講演予稿集 2017 年度秋季大会, 鹿児島市, 10 月 25 日-27 日.

Sakaue, H., T. Nishimura, J. Fukuda and T. Kato, 2017, Estimation of the spatiotemporal evolution of slow slip events in the Tokai region, central Japan, during 1994 - 2016 using GNSS data, International Symposium on Slow Earthquake, Abstract, Matsuyama, Japan, 19-21 September.

Sakaue, H., J. Fukuda, T. Kato and T. Nishimura, 2017, Estimation of the spatiotemporal evolution of slow slip events in the Tokai region, central Japan, since 2013 using GNSS data, J06-P-05, IAG-IASPEI 2017, Kobe, July 30- August 4.

Sakaue, H., J. Fukuda, T. Kato and T. Nishimura, 2017, Estimation of the spatiotemporal evolution of slow slip events in the Tokai region, central Japan, since 2013 using GNSS data, Workshop on the Project for Hazard Assessment of Large Earthquakes and Tsunamis in the Mexican Pacific Coast for Disaster Mitigation, Abstract, Nara, Japan, 26-28 July.

Sakaue, H., J. Fukuda, T. Kato and T. Nishimura, 2017, Estimation of the spatiotemporal evolution of slow slip events in the Tokai region, central Japan, since 2013 using GNSS data, SSS04-P29, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Chiba, 20-25 May.

Shinohara, M., T. Yamada, H. Shiobara, Y. Yamashita, 2017, Development of compact long-term broadband ocean bottom seismometer for seafloor observation of slow earthquakes, S11C-0606, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, 11-15 Dec.

Tanaka, Y. and S. Yabe, 2017. Two long-term slow slip events around Tokyo Bay found by GNSS observation during 1996-2011, Earth, Planets and Space, 69:43, DOI 10.1186/s40623-017-0628-0.

利根川貴志・山下裕亮・高橋努・篠原雅尚・石原靖・小平秀一・金田義行, 2017, 海底観測記録を用いた日向灘の浅部超低周波地震の震央位置決定, S09-P26, 日本地震学会講演予稿集 2017 年度秋季大会, 鹿児島市, 10 月 25 日-27 日.

Tsumura, N., H. Nakasako, E. Umeyama, N. Mizuno, E. Kurashimo, A. Kato, S. Sakai, T. Iidaka and T. Iwasaki, 2017, Three dimensional attenuation structure in and around the source region of low frequency earthquakes beneath the Kii Peninsula, southwest Japan, revealed by dense seismic array observation,

J08-3-05, IAG-IASPEI 2017, Kobe, July 30- August 4.

Tsumura, N., H. Nakasako, E. Umeyama, N. Mizuno, E. Kurashimo, A. Kato, S. Sakai, T. Iidaka and T. Iwasaki, 2017, Three dimensional attenuation structure beneath the eastern part of Kii Peninsula, southwest Japan, derived from small earthquake spectra, SSS04-P11, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Chiba, 20-25 May.

Uyeshima, M., M. Hata, H. Ichihara, R. Yoshimura and K. Aizawa, 2017, Network-MT survey in the vicinity of area with a forthcoming slow slip event in the SW part of Shikoku Island, SW Japan, J06-P-14, IAG-IASPEI 2017, Kobe, July 30- August 4.

Watanabe, S., Y. Yamashita, T. Yamada, and M. Shinohara, Shallow Tremor Activity in the Hyuga-nada region after the 2016 Kumamoto Earthquake Revealed by Ocean Bottom Seismological Observation, S41C-0794, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, 11-15 Dec.

渡邊早姫・山下裕亮・山田知朗・篠原雅尚, 2017, 日向灘における海底地震観測にもとづく 2016 年熊本地震後の浅部低周波微動活動, S09-P27, 日本地震学会講演予稿集 2017 年度秋季大会, 鹿児島市, 10月25日-27日.

Yamashita, Y., M. Shinohara, H. Yakiwara, T. Yamada, S. Watanabe, K. Nakahigashi, H. Shiobara, K. Mochizuki, T. Maeda, and K. Obara, 2017, Shallow slow earthquake activity from the Hyuga-nada to Ryukyu Trench, S41C-0792, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, 11-15 Dec.

山下裕亮・篠原雅尚・八木原寛・山田知朗・渡邊早姫・中東和夫・塩原肇・望月公廣・前田拓人・小原一成, 2017, 長期海底地震観測に基づく日向灘～南西諸島海溝中部域にかけての浅部低周波微動活動の特徴, S09-10, 日本地震学会講演予稿集 2017 年度秋季大会, 鹿児島市, 10月25日-27日.

Yamashita, Y., M. Shinohara, H. Yakiwara, T. Yamada, K. Nakahigashi, H. Shiobara, K. Mochizuki, T. Maeda, and K. Obara, 2017, Low-frequency tremor activity in the shallow part of Nankai trough and Ryukyu trench revealed by long-term ocean bottom observation, J06-P-13, IAG-IASPEI 2017, Kobe, July 30- August 4.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要:

1. モニタリング精度向上とプレート境界すべり現象解明

1(1) 豊後水道における隣接すべり現象間の相互作用の解明

[GPS 観測]

現在設置準備中の 6 地点の機動的 GPS 観測点の本格的な観測を開始する。既設の機動的 GPS 観測点によるモニタリングを継続し、長期的 SSE が発生した場合には、国土地理院 GEONET のデータを加えてすべり分布の時空間発展を推定する。

平成 30 年予定点

- ・愛媛県西予市明浜町田之浜
- ・大分県佐伯市直川
- ・大分県佐伯市米水津
- ・大分県大分市大字佐賀関
- ・愛媛県 2 地点

[陸域地震観測]

愛媛・高知県・大分県の合計 6 点における広帯域地震計臨時観測を継続する。浅部及び深部超低周波地震活動を継続的にモニタリングする。また、超低周波地震の震源スペクトルについて普通の地震との違いを明らかにする。長期的 SSE が発生した場合には、それに伴って発生することが予想される超低周波地震等のスロー地震の解析を進める。

[海域観測]

平成 30 年度も引き続き、豊後水道南方のプレート境界浅部に設置した広帯域海底地震・圧力計を用いた観測を継続する。平成 30 年夏頃に、豊後水道南方のプレート境界浅部に設置した広帯域海底地

震・圧力計を回収する予定である。また、これまでに回収した広帯域海底地震・圧力計の解析を実施する。

1(2) 東海地域における長期的・短期的 SSE の時空間変化の 推定手法の高度化とプレート間すべりの 解明

1．静岡・愛知に設置されている GNSS 観測網の観測に基づく地殻変動のモニタリングを継続する。また、これまでに取得したデータを整理し公開に向けて準備を行う。

2．これまで取得してきたデータに基づき、長期的スロースリップイベントの時空間発展の詳細についてとりまとめを行い、論文として公表する。

3．これまで取得してきたデータに基づき、ひずみ変化の時間変化についてとりまとめを行い、論文として公表する。

1(3) 房総 SSE と群発地震活動との相互作用の解明

[GPS 観測]

GNSS 連続観測を継続する。平成 28 年度に実施した、GNSS によるすべりの時間発展の推定結果と摩擦構成則を組み合わせたモデリング研究を継続する。

[地震観測]

地震観測データを活用し、既存の地震観測データを含めて定常的な地震活動の把握を行う。房総沖 SSE が発生した場合には、それに伴う群発地震活動の高精度震源決定を行い、SSE すべり域との時空間的関係を明らかにする。銚子沖の地殻内で発生する相似地震活動を詳細に調べ、2011 年東北沖地震後の上盤側プレート内における余効変動の影響を推定する。

1(4) 西南日本スロー地震活動様式の解明

深部超低周波地震に加えて、浅部超低周波地震活動の自動検出システムを構築する。微動活動と超低周波地震活動の関連性について再評価を行い、スロー地震活動の全体像を解明する。

1(5) 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]

南海トラフに沿ったプレート境界域での絶対・相対重力観測を継続する。石垣島の超伝導重力観測と磁場観測を継続する。スロースリップ時のデータを蓄積するとともに、地下水等の補正手法改善による観測データの誤差低減手法に取り組む。スロースリップに及ぼす流体の効果をモデリングする。

[電磁気観測]

四国西部にて 3 成分磁場観測と長基線地電位差観測を継続し、引き続き電磁場データを蓄積する。平成 29 年度に推定した構造の確度を検証するとともに、その構造に基づいて、地下の比抵抗変化の検知可能性を吟味する。また、豊後水道でスロースリップが発生した時には、応答関数の時間変化や電磁場そのものの時間変化をモニターし、スロースリップに伴う電磁気現象発現の有無を検討する。

1(6) 海域観測に基づくスロースリップと誘発現象との相互作用の解明

平成 29 年度に設置した 2 台の海底圧力計の回収作業を行う。特に、回収される 2 台の海底圧力記録と熊野灘の DONET の海底圧力計との併合処理を行い、スロースリップに伴う海底上下変動の検出し、周辺の地震活動や低周波微動との関係を調べる。

1(7) 余効すべりの物理モデルの構築と摩擦特性の推定

粘性率等のモデルパラメータの余効変動計算値への影響を引き続き検討し、その結果に基づき陸上・海底の水平・上下変動を説明可能なモデルを構築する。

2．プレート境界すべり現象メカニズム解明のための地下構造異常の抽出とスロー地震・巨大地震の相互作用シミュレーション

2(1) プレート境界すべり現象メカニズム解明のための地下構造異常の抽出

平成 29 年度に取得した制御震源・自然地震データの統合解析を実施し、低周波微動活動が不明瞭な地域のフィリピン海プレートやマントルウエッジの詳細な構造を明らかにする。また、紀伊半島で既に取得されている地震観測データとの統合解析を実施し、スロースリップイベントや深部低周波微動等の多様なプレート間の滑り現象を規定する地下構造異常を抽出する。

2(2) スロー地震・巨大地震の相互作用シミュレーション

潮汐に伴う応力変化に加え、海洋荷重の変化による非地球潮汐の応力擾乱を考慮できるような数値シミュレーションプログラムを改良する。このプログラムにより、年単位の応力変化が SSE 発生に及ぼす影響を検討する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

小原一成・岩崎貴哉・酒井慎一・前田拓人・篠原雅尚・望月公廣・山田知朗・田中愛幸・今西祐一・大久保修平・上嶋誠・加藤照之・福田淳一・五十嵐俊博・酒井慎一・飯高隆・蔵下英司・加藤尚之・竹尾明子・加藤愛太郎・木下正高（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

松島健（九州大学大学院理学研究院） 田部井隆雄・村上英記（高知大学理学部）
西村卓也・伊藤喜宏（京都大学防災研究所） 廣瀬仁（神戸大学大学院理学研究科）
日野亮太・三浦哲・高木涼太（東北大学大学院理学研究科） 津村紀子（千葉大学大学院理学研究科）
伊藤武男（名古屋大学大学院環境学研究科） 生田領野（静岡大学理学部）
原田靖・長尾年恭（東海大学海洋研究所） 浅野陽一・松澤孝紀・木村尚紀・武田哲也・汐見勝彦（防災科学技術研究所） 芝崎文一郎（建築研究所）
荒木英一郎（海洋研究開発機構） 塩崎一郎（鳥取大学大学院工学研究科）

(12) 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：03-5841-5712

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：小原一成

所属：東京大学地震研究所

観測点コード	地名	北緯	東経	備考
YHNI	愛媛県八幡浜市保内町	33.4805	132.3972	2017/03/28～
SNOM	愛媛県西予市野村町	33.3732	132.6436	2017/03/28～
YURA	愛媛県宇和島市津島町	33.0566	132.4299	2017/02/07～
AOSM	愛媛県大洲市長浜町青島	33.7357	132.4870	2017/03/11～
TKOB	大分県豊後大野市緒方町	32.8209	131.3812	2017/07/18～

表 1. 平成 29 年新設 GPS 観測点

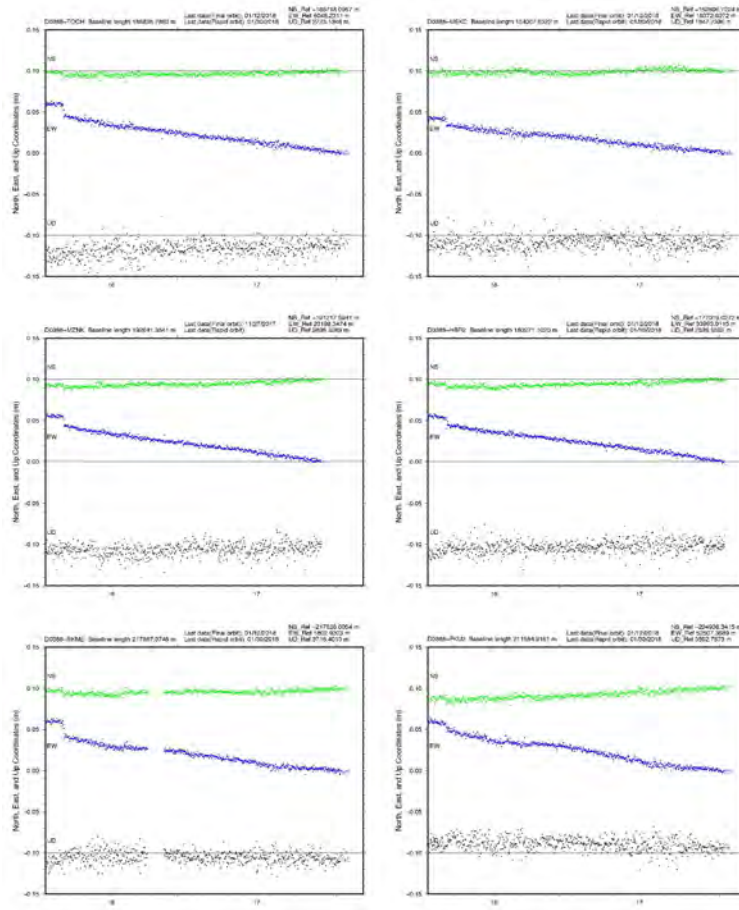


図 1 . 本研究で設置された機動的 GPS 観測点で求められた日々の座標値のグラフ。

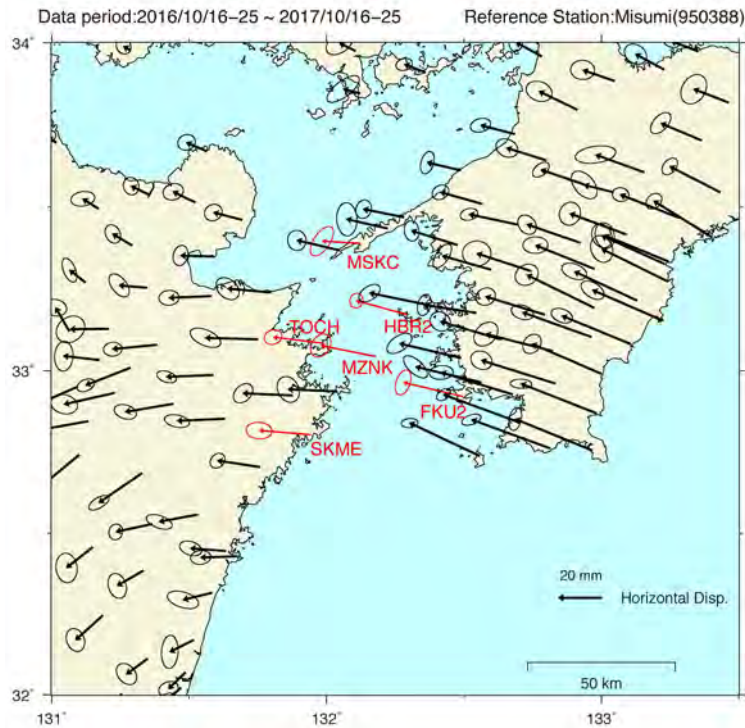


図 2 . 豊後水道およびその周辺の GPS 観測点で記録された地殻変動。
赤色のベクトル点が、本研究で新設された機動的 GPS 観測点での結果を示す。

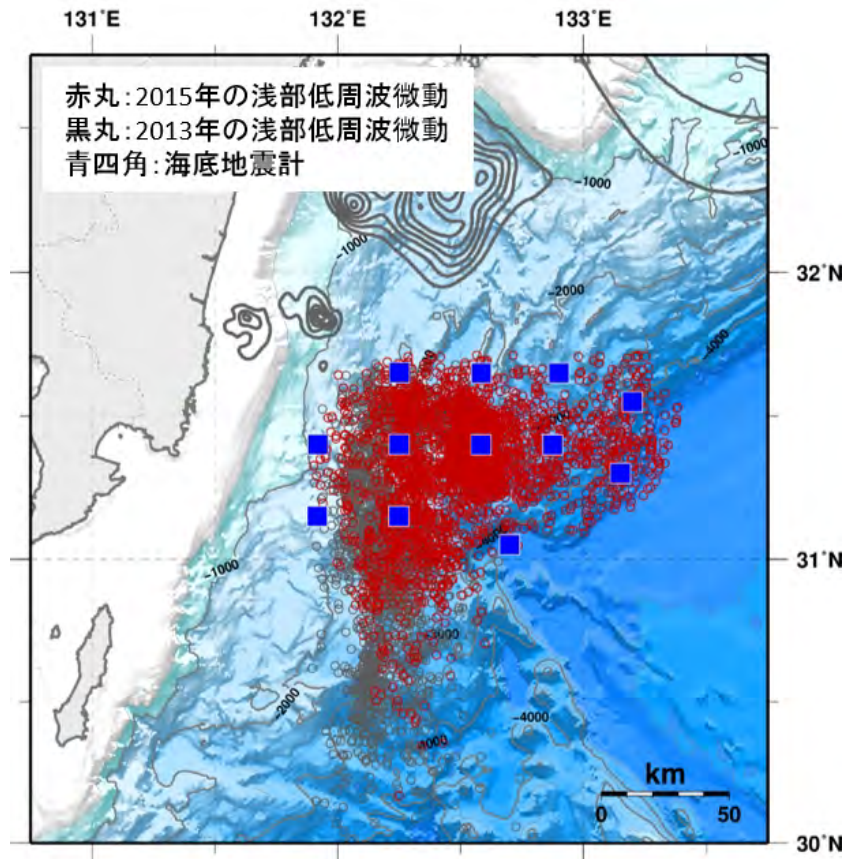


図3. 2015年5月~7月に活動した低周波微動の震源位置(赤丸)

この活動は3ヶ月弱の長期にわたる活動であり、2013・2014年に観測された低周波微動(灰色丸)活動領域内だけでなく、さらに東進し足摺岬沖でも発生した。青四角は、海底地震計の位置を示す。灰色のコンターは1968年日向灘地震と1996年10月・12月の日向灘の地震の50cm毎のすべり分布(八木・他, 1998; Yagi et al., 1999) および1946年南海地震の2m毎のすべり分布(Sagiya and Thatcher, 1999)を示す。

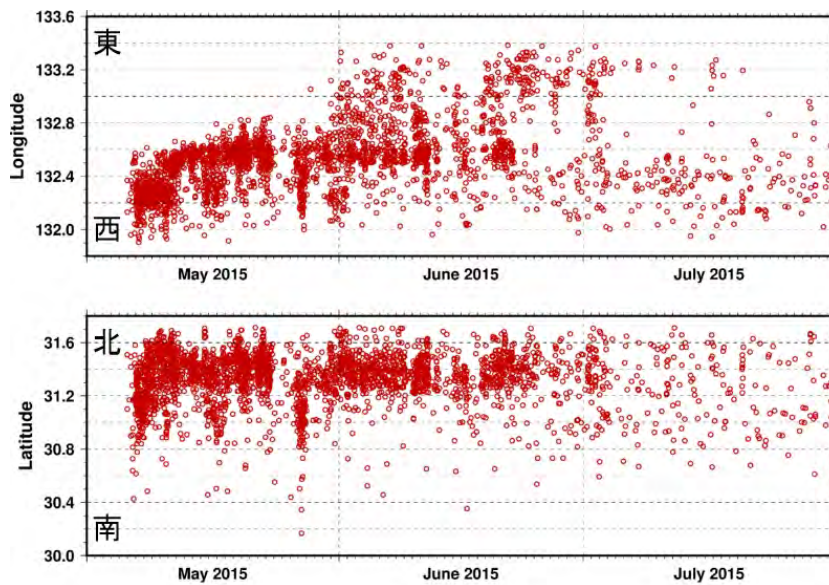


図4. 浅部低周波微動の時空間分布図。

上図は経度方向(東西方向)、下図は緯度方向(南北方向)で、2015年5月から7月までの期間を示している。2015年の活動は主に東西方向への移動が顕著であった。

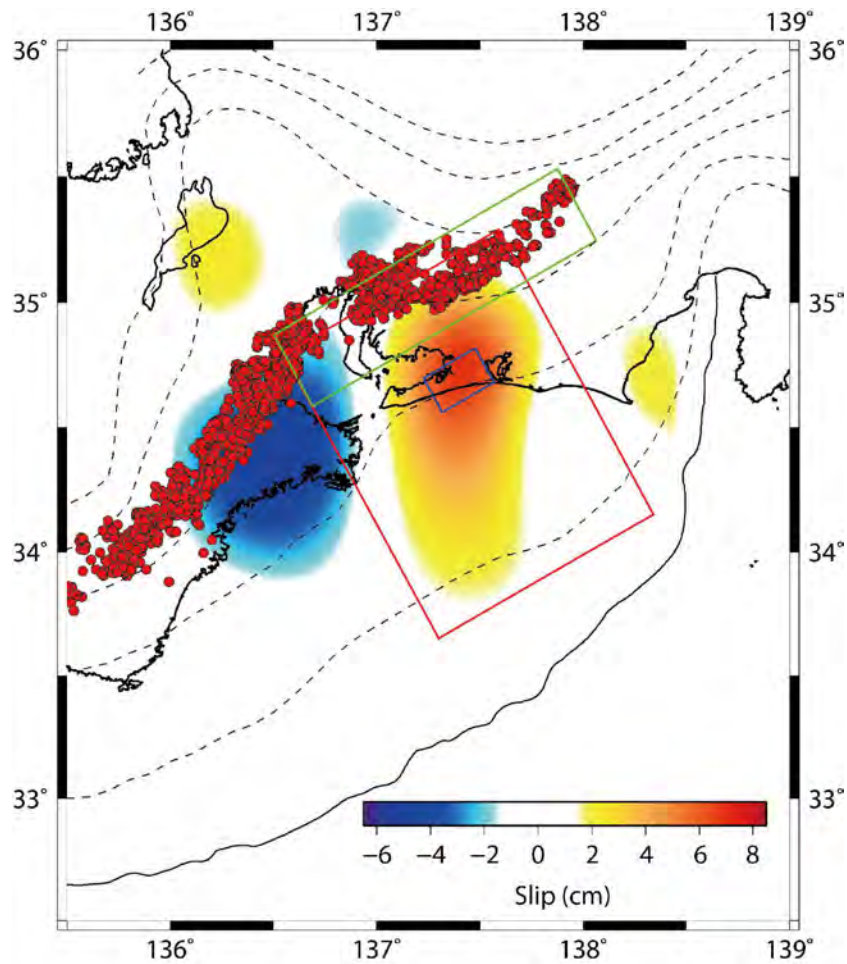


図5 . 2013年1月1日から2016年1月31日の積算すべり分布と深部低周波微動の震央分布 (Obara et al . , 2010) 。 実線は駿河トラフ、破線は 10 km ごとのフィリピン海プレートの上面の深さを示す。赤線、緑線及び青線の四角形は図6の積算モーメントの計算値を推定した領域を示す。暖色と寒色で示した領域は、それぞれ、プレート境界がフォワードスリップ (SSE) した領域及びバックスリップ (固着) した領域を示す。

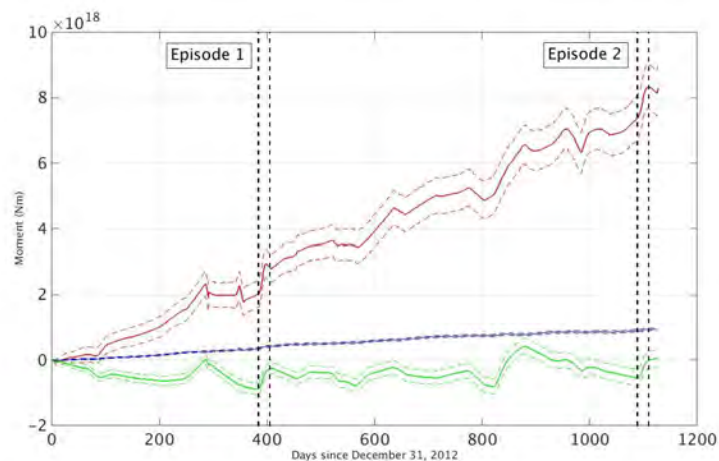


図6 . 図5の赤色、緑色、青色の領域における解放モーメントの時間変化をそれぞれの色で示す。破線は推定誤差 (標準偏差) を示す。Episode 1、Episode 2 はそれぞれ 2014年1月からと 2015年12月から発生した短期的 SSE の期間を示す。

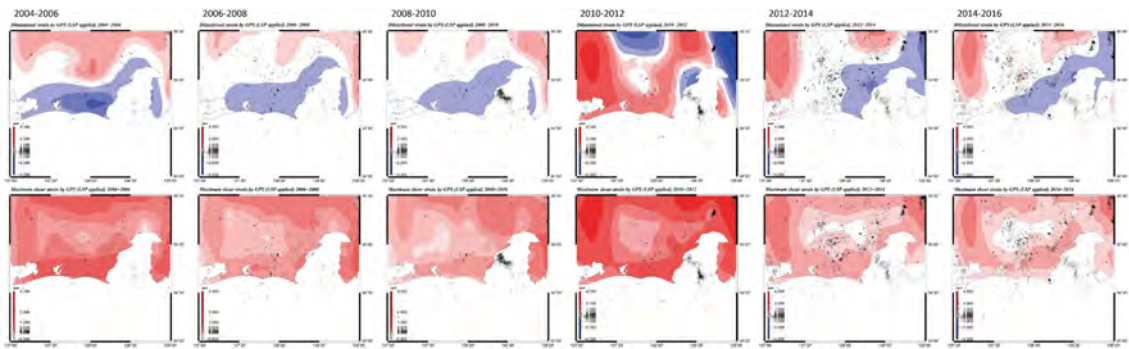


図7 . 東海地域のひずみの時間変化。

左から 2004-2006、2006-2008、2008-2010、2010-2012、2012-2014、2014-2016 の期間のひずみを示す。上段は面積ひずみ、下段は最大ずりひずみ。

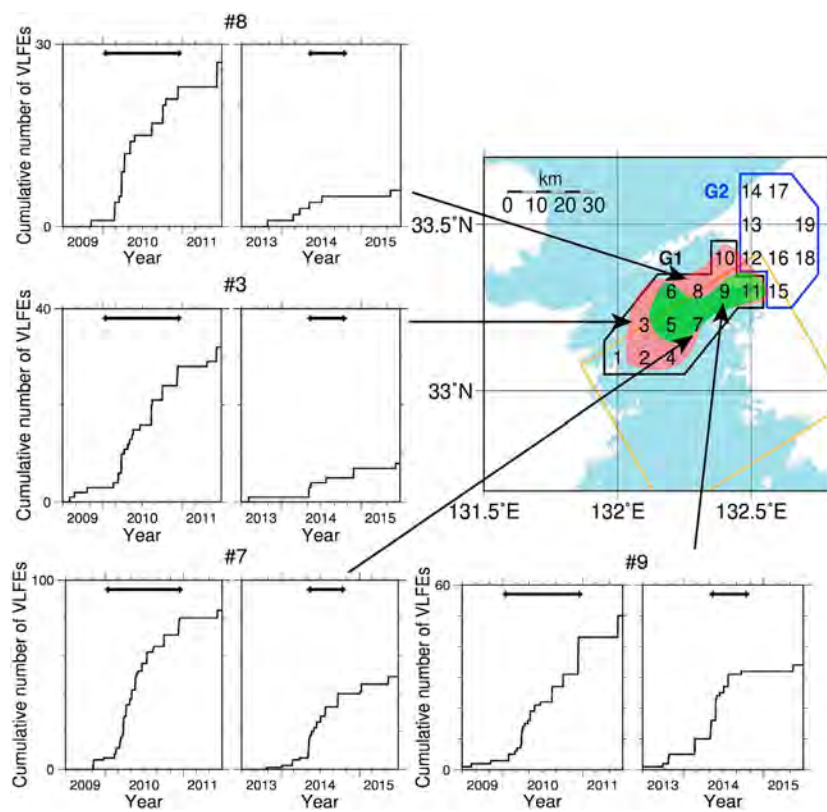


図8 . 2010年の長期SSE、及び、2014年の長期SSE発生時の深部超低周波地震の累積個数を4箇所において示している。また、深部超低周波地震活動が増加した領域を地図中の赤(2010年)と緑(2014年)で示す。黄色い四角が長期SSEの断層面を示しており、2010年の方がより広範囲に深部超低周波地震活動が増加することが分かる (Baba et al. 2018)。

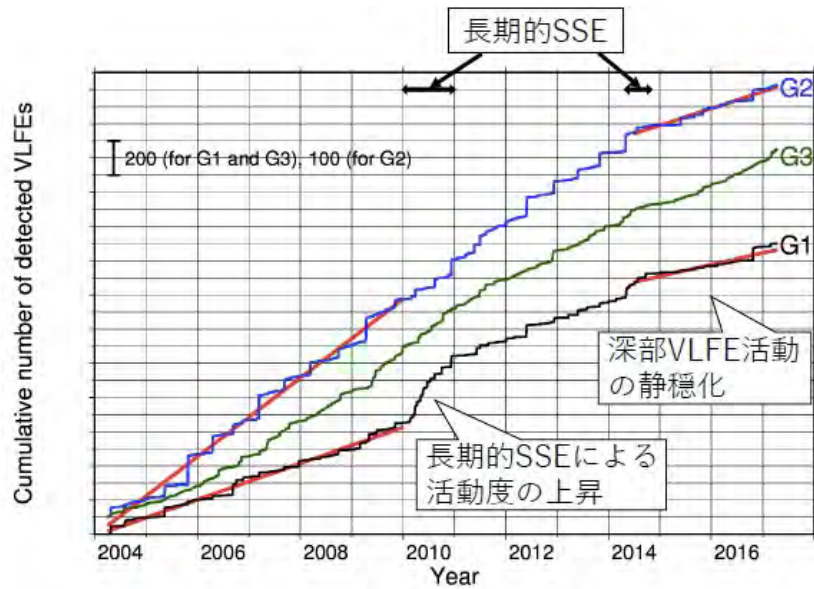


図9. 図8のグループ (G1, G2) 及びより東側に当たる愛媛県中部の G3 における深部超低周波地震の累積個数。黒い矢印は豊後水道の長期的 SSE の発生時期を表し、赤い直線は 2004 年 4 月-2009 年 12 月および 2014 年 7 月-2017 年 3 月の回帰直線を示す。回帰直線の傾きを比較すると、G 1 と G2 で 2014 年後半以降超低周波地震の活動が静穏化していることがわかる (Baba et al. 2018)。

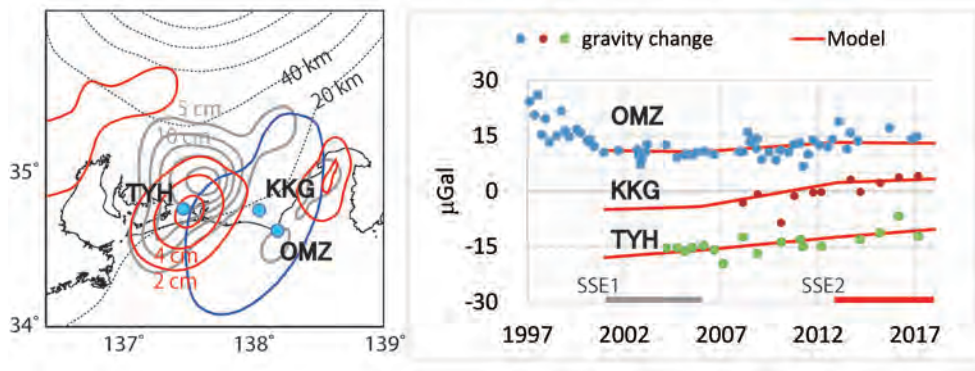


図10. 東海地方で観測された異常な重力変化。左：御前崎、右：菊川の観測結果。縦軸の単位はマイクロガル (1 マイクロガル = 10 億分の 1 G)。地殻上下変動と余効変動の影響は除去しているため、地下の質量変化を表す。

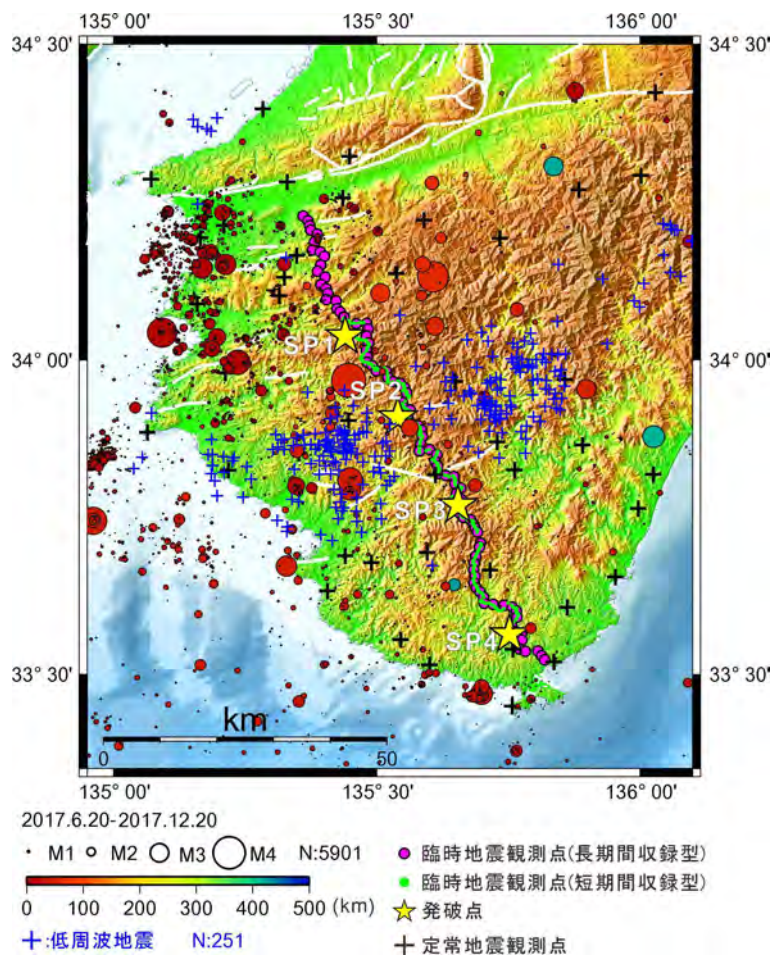


図 11 . 観測点配置図。

印は、観測期間中(2017年6月20日~2017年12月20日)の気象庁一元化処理による震源を示し、その大きさがマグニチュード、色は震源の深さを表す。青色十印は、観測期間中の気象庁一元化処理による低周波地震の震央を示す。

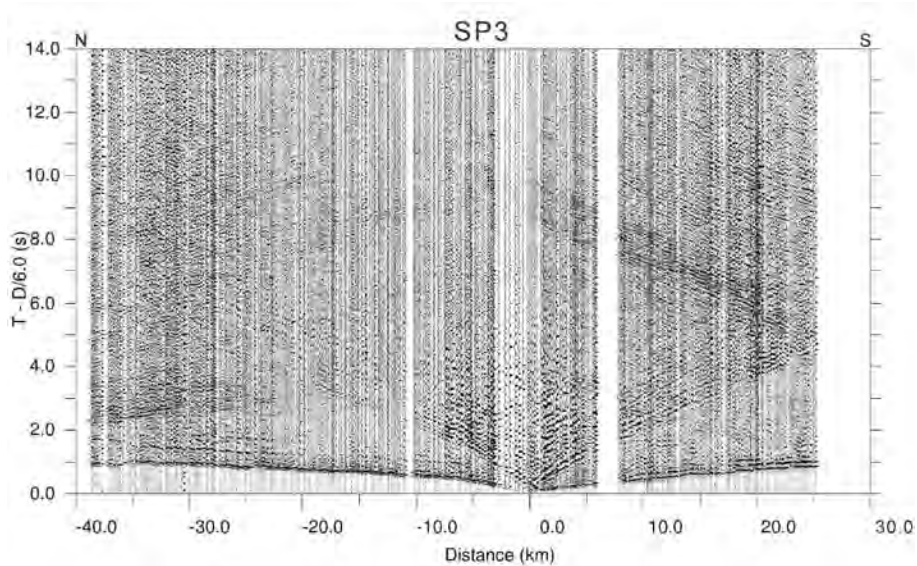


図 12 . 発破 (SP3) を収録した短期間収録型地震観測装置で得られた距離時間軸断面図 (上下動成分)。リダクション速度: 6.0 km/s。Band pass filter: 4-20Hz。

(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：

相似地震再来特性の理解に基づく地殻活動モニタリング手法の構築

(3) 最も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) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(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・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

ウ. 内陸地震と火山噴火

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究計画では、ほぼ同一場所で発生する相似地震を用いて、沈み込みプレート境界における固着状態の時間・空間的变化をモニタする手法を改良・高精度化するとともに、プレート間相似地震以外の地

震や微動によるすべりモニタリングの可能性を検討し、地殻活動および地震発生過程の理解を進める。また、地震の再来を、地震の震源位置、発震機構解、波形の類似性等から総合的に検証するシステムを開発し、日本列島および世界で発生した小・中規模相似地震カタログの構築を行う。さらに、相似地震に見られる再来間隔および規模の揺らぎの原因を、観測データの解析および数値シミュレーションによって明らかにする。異なる規模の地震を比較検討することにより、発生状況の類似性や相違を明確にし、大地震の発生・予測モデルの構築に役立てる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

(a) 相似地震カタログの構築

平成26年度から5ヶ年を通して、日本全国の定常地震観測網で観測された地震波形データを蓄積し、前計画までに各機関で構築された小規模相似地震抽出システムを継続運用する。また、伊豆・小笠原海溝等島嶼部において地震観測を実施し、観測体制を強化する。地震観測網内およびその周辺で発生した地震については、地震の震源再決定、発震機構解の推定および地震のコーナー周波数の推定等を行い、同一場所での地震の再来を確認する基礎資料を作成する。

さらに、日本周辺および世界のプレート境界域で発生した、微小地震から中規模地震までの相似地震カタログを自動構築するシステムを新たに開発する。平成26年度は、データや解析結果等、入出力ファイルの共通化に向けた仕様を策定する。平成27年度は、相似地震抽出法の改良方針を決定し、プログラムの基本部分を開発してテスト運用を行う。平成28年度は、結果の共有化およびモニタリングシステムへの容易な移行を進めるため、地震の震源位置、発震機構解、波形の類似性等のデータベースを構築し、各種データを相互にリンクするシステムを追加開発する。平成29年度は、開発したシステムの実運用を開始し、相似地震カタログの準リアルタイム構築を実施する。また、GPUを用いた高速解析システムの開発を行う。平成30年度は、ホームページを作成し、新たに作成されたカタログに関する情報を発信する。

(b) 断層面固着状態の推定

平成26年度から5ヶ年を通して、日本列島下に沈み込むプレート境界における固着状態のモニタリングを行う。特に、東北地方太平洋沖地震発生前の固着状況変化および地震後の余効変動に着目した解析や、この地震でその重要性が認識されたプレート境界浅部での固着状態の把握を、相似地震による解析の特徴を生かして進める。南西諸島地域の固着状態の推定は、東北日本地域との類似性や違いを意識しながら進める。

また、断層面固着状態の時間・空間変化をモニタする手法を高精度化する。平成26年度は、前計画までに各機関で構築したモニタリング手法を適用する。また、各手法を比較検討し、改善点を調査する。平成27年度は、測地データから推定されるすべりの情報と比較し、さらには統合して解析する手法の開発を行う。平成28年度は、プレート境界周辺で発生する低周波地震・微動等、他の地震活動と比較を行い、相似地震すべりモニタリングの適用範囲を把握し、他の地震活動によるすべりモニタリングへの応用可能性を検討する。また、プレート境界地震を含む周辺の地震の応力降下量の推定や、変換波振幅の時空間変動のモニタリングを通して、プレート境界の固着状態の時間・空間的变化を推定する手法を開発する。平成29年度は、地殻内やスラブ内で発生する地震のすべりが推定可能か検証を行う。平成30年度は、モニタ結果を自動的にアップデートするシステムを構築する。

(c) 地震再来特性の解明

以下に掲げる相似地震活動予測、観測データ解析および数値シミュレーション解析を5ヶ年にわたり実施することにより、相似地震に見られる再来間隔・規模の揺らぎの原因を明らかにする。特に、相似地震の階層性が生じる原因の解明を目指す。また、東北地方太平洋沖地震発生後に多数見られた新たな相似地震群の発生および消滅、既存相似地震群の波形相似性が低下した原因について検討する。観測データからは、釜石沖や東北地方太平洋沖地震震源域等において詳細な震源メカニズムを多数推定し、地震の再来間隔との関係を調べ、近隣でのすべりや応力変化による影響を検討する。また、小地震の地震サイクルが大地震サイクルと共通の特徴を持つかどうか、規模の異なる繰り返し地震の性

質を比較検討する。さらに、統計モデルより相似地震活動の予測を行う。予測性能を統計的に評価し、予測手法の改良を図っていく。観測された地震の再来特性を速度 - 状態依存摩擦法則に基づく数値シミュレーションにより再現し、相似地震発生域で想定される摩擦特性を検討する。特に、巨大地震発生後の応力不均質性による影響、地震発生深さへの依存性、プレート形状の影響等に注目した解析を行う。また、様々な摩擦特性における地震間のすべりの時空間変化を調査し、断層面固着状態の時間変化の推定精度向上を図る。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

(a) 相似地震カタログの構築

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、既存のシステムを継続運用することにより、相似地震活動の検出を行った。また、S-P 時間差の調査や地震の震源再決定を行うことにより、同一場所における地震の再来を確認する基礎資料を作成した。新たに構築する相似地震カタログについては、情報発信の方針について検討した。

伊豆・小笠原島弧における地震観測の空白地域となっている伊豆鳥島での地震観測を継続した。伊豆鳥島は北の青ヶ島から 230 km、南の小笠原父島から 420 km 離れた無人島であり、アクセスや電源、通信手段の入手が非常に難しい。平成 26 年度に開発した新しい衛星電話で送るシステムを 2015 年 9 月に伊豆鳥島に設置し、地震および傾斜変動の連続観測を開始し、今年度も観測を継続した(図 1)。今年度は日程の都合で伊豆鳥島への上陸点検作業は実施できなかったが、機器は正常に動作しており、いくつかの顕著な地震が記録されている。地震波形データは帯域が狭い衛星電話回線のため、顕著な地震波形しかリモートで回収できないが、連続記録は 2 月にアホウドリ調査のために島に渡った研究者に委託して回収することができた(図 2)。

(b) 断層面固着状態の推定

作成した相似地震カタログを用いて、日本列島下に沈み込むプレート境界における固着状態の時空間変化の推定を行った。

Nomura et al. (2017) では、プレート境界に分布する相似地震群に対する点過程モデルを提案し、東北沖の相似地震活動からすべり速度の時空間変動を B-スプライン関数として推定した。ところが、B-スプライン関数によるすべり速度の表現では、空間分解能の限界により、特に相似地震が密集した領域における局所的な空間変化を捉えることが難しい。そこで本年度は、B-スプライン関数に代わり、不均一な点配置に基づくデロネー分割による四面体補間を用いてすべり速度の時空間変化を推定する統計的手法を開発した(図 3)。相似地震の各震源の時空間座標をデロネー分割の点配置として利用することで、相似地震の密集域における微細なすべり速度の変化を提案手法で捉えることが可能となる。

地殻内で発生する相似地震活動を用いたすべりモニタリングの可能性について検討を行った。地殻内では、大地震の余震活動や群発地震活動、定常的に発生する地震活動中に相似地震活動が見つかる。これらの活動を基にすべり量およびすべり速度の推定を行ったところ、Nadeau and Johnson (1998) により提案された、現在沈み込み帯で用いている関係式では値が大きすぎる可能性が示唆された。

(c) 地震再来特性の解明

岩手県沖について、2011 年東北沖地震前後の繰り返し地震の活動を震源再決定により調べた(Hatakeyama et al., 2017)。その結果、複数の場所で、東北沖地震後、繰り返し地震の規模が大きくなるだけでなく、これまでプレート境界で地震が発生していなかった場所で新たに地震が発生していたことを明らかにした(図 4, 図 5)。これらの場所では、東北沖地震後大きな余効すべりが発生していたと考えられており、このような時間変化には、東北沖地震の余効すべりによる載荷レートの増加が関係していると考えられる。すなわち、載荷レートの増加により、それまで非地震的にすべっていた場所が、地震的にすべることがあることを示す。

日本列島周辺域で相似地震活動を含む地震クラスターを抽出し、相似地震活動と規模別頻度分布の b 値との関係を調査した(図 6)。相似地震の発生割合が小さい地震クラスターの b 値は、地震クラスターごとにはばらつきが大きく、場所に依存した特徴は見られなかった。一方、相似地震の発生割合が高

い地震クラスターについて見ると、プレート境界近傍で発生するものは b 値が小さく、内陸で発生するものは b 値が大きい傾向が見られた。これは、相似地震発生域で b 値が大きくなるという、Kawamura and Chen (2017) の結果とは異なるため、今後より詳細な検討が必要と考えられる。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Delbridge, B. G., S. Kita, N. Uchida, C. W. Johnson, T. Matsuzawa, and R. Burgmann, 2017, Temporal variation of intermediate-depth earthquakes around the time of the M 9.0 Tohoku-oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 44(8), 3580-3590, doi:10.1002/2017GL072876.
- Hatakeyama, N., N. Uchida, T. Matsuzawa, and W. Nakamura, 2017, Emergence and disappearance of interplate repeating earthquakes following the 2011 M9.0 Tohoku-oki earthquake: Slip behavior transition between seismic and aseismic depending on the loading rate, *J. Geophys. Res.*, 122(7), 5160-5180, 10.1002/2016JB013914.
- 五十嵐俊博, 2017, 相似地震発生域における b 値の特徴について, 日本地震学会 2017 年秋季大会, S09-P20.
- 五十嵐俊博, 2017, 日本列島周辺の地震クラスター - 検出および時間・空間的特徴 -, *地震 第 2 輯*, 70, 183-194, doi:10.4294/zisin.2017-4.
- Nomura, S., Y. Ogata, N. Uchida, and M. Matsu 'ura, 2017, Spatiotemporal variations of interplate slip rates in northeast Japan inverted from recurrence intervals of repeating earthquakes, *Geophys. J. Int.*, 208(1), 468-481, doi:10.1093/gji/ggw395.
- 田中昌之, 2017, 中規模繰り返し相似地震に対する長期的発生予測の可能性, 日本地震学会 2017 年秋季大会, S14-P01.
- 田中昌之・岡田正実, 2017, 対数正規分布の標準値を用いた相似地震の長期的発生確率予測, 日本地球惑星科学連合 2017 年大会, SSS14-01.
- 田中昌之・岡田正実・内田直希, 2018, 繰り返し回数の少ない繰り返し地震系列に対する長期的地震発生確率予測の成績と検証, *地震 第 2 輯*, 70, 195-213, doi:10.4294/zisin.2016-17.
- 内田直希, 2018, くり返し発生する地震と地震の準備過程, *パリティ*, 33(1), 84-88.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

(a) 相似地震カタログの構築

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、前計画までに各機関で構築された小規模相似地震抽出システムを継続運用する。地震観測網内およびその周辺で発生した相似地震については、震源の再決定を行い、同一場所での地震の再来を確認する基礎資料を作成する。伊豆・小笠原海溝島嶼部においては、平成 27 年度に伊豆鳥島に設置した新しい衛星携帯電話を用いたテレメータ観測装置を用いて、地震観測を継続する。また、現在現地収録している地震データを回収して、相似地震カタログの構築に資する。西南日本での相似地震解析を行い、繰り返し地震の分布を調べ、全国相似地震カタログの構築を行う。新たに整備した相似地震カタログは、論文等で公表の上、ウェブページを作成して情報を発信する。

(b) 断層面固着状態の推定

推定手法の改善を図りながら、沈み込むプレート境界域における固着状態のモニタリングを引き続き行う。特に、西南日本地域のプレート境界における非地震性すべりの推定を重点的に行う。また、本年度に開発したデロネー四面体補間に基づくすべり速度の推定手法を、東北太平洋沖の相似地震カタログおよび米国カリフォルニア州サンアンドレアス断層などの相似地震カタログに適用し、すべり速度の特徴的な変化の抽出と周辺域における大地震との関連性の分析を行う。地殻内やスラブ内で発生する地震活動を用いたすべりモニタリングの可能性を引き続き検討する。プレート境界の固着状態のモニタリングについては、結果を自動的にアップデートするシステムの構築を目指す。

(c) 地震再来特性の解明

観測データ解析および数値シミュレーション解析を実施することにより、相似地震に見られる再来

間隔・規模の揺らぎの原因、相似地震の階層性が生じる原因の解明を目指す。観測データからは、相似地震の発生および消滅、近隣でのすべりや応力変化による地震の再来間隔への影響を検討する。また、統計モデルにより相似地震活動の予測を行う。予測性能を統計的に評価し、予測手法の改良を図っていく。観測された地震の再来特性を速度 - 状態依存摩擦法則に基づくシミュレーションにより再現し、相似地震発生域で想定される摩擦特性を検討する。

(11) 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（五十嵐俊博、加藤愛太郎、加藤尚之）

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（内田直希、松澤暢）、九州大学大学院理学研究院（松島健）、鹿児島大学大学院理工学研究科（後藤和彦、八木原寛）、弘前大学大学院理工学研究科（小菅正裕）、京都大学防災研究所（山下裕亮）、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）、統計数理研究所（尾形良彦、野村俊一）、首都大学東京（大久保寛）、UC Berkeley（Roland Burgmann）、気象研究所（研究連携：田中昌之、勝間田明男）

(12) 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：03-5841-5712

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：五十嵐俊博

所属：東京大学地震研究所

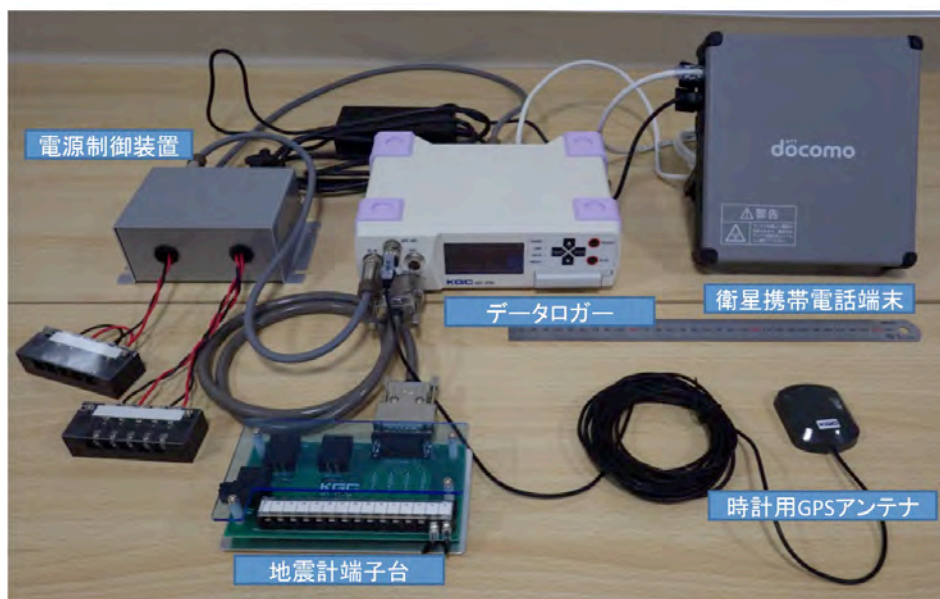


図1 伊豆鳥島に設置した、衛星携帯電話利用のデマンド型テレメータ地震観測装置

伊豆鳥島近海地震 Mj3.5 D130km 2018年1月 5日 12時53分JST

2018-01-05 12:53:33.07 N29.719 E141.341 D130 M3.5V NEAR TORISHIMA IS

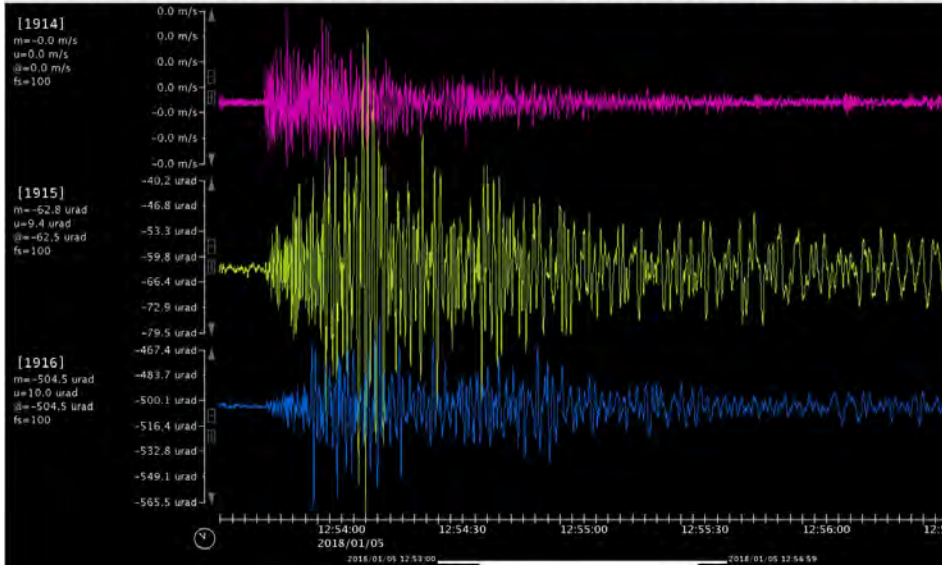


図2 新装置で記録され、衛星電話経由で回収した、伊豆鳥島近海で発生したプレート境界部の深発地震（2018年1月5日）

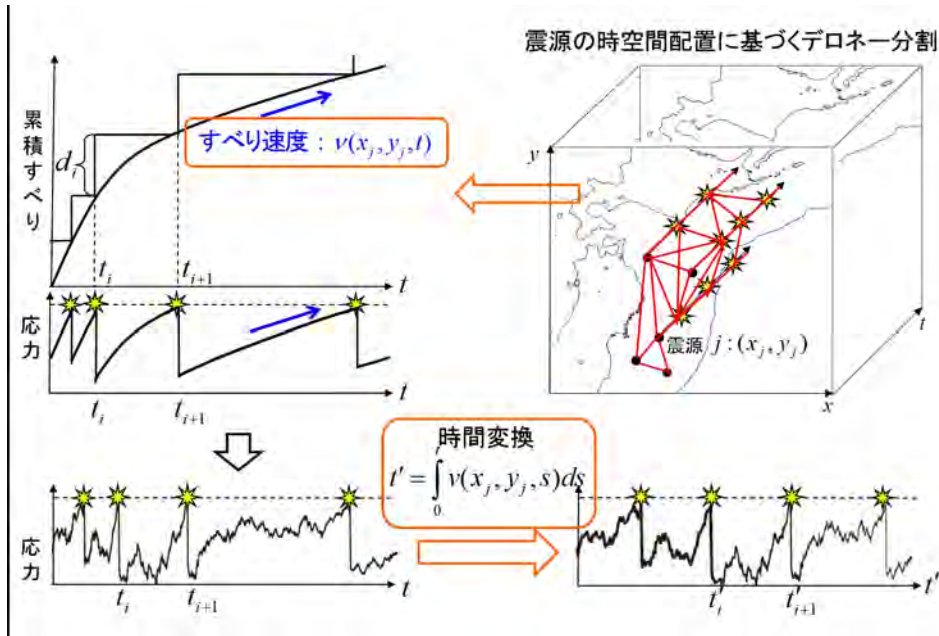


図3 デロネー分割に基づくすべり速度の時空間補間と相似地震の点過程モデル
解析領域を各相似地震の震源時空間座標に基づくデロネー分割四面体により埋め尽くし、各四面体内を線形補間することですべり速度の時空間分布を表現する。各相似地震系列の活動間隔がすべり速度の時間推移に連動するよう点過程を用いてモデル化する。ただし、ブラウン運動による応力かく乱が加わることで、ばらつきを含んだ Brownian Passage Time 分布を活動間隔分布として仮定する。すべり速度に応じた時間変換を施すことにより定常な点過程となるため、パラメータに対する平滑化罰則付き尤度を定義して推定することができる。

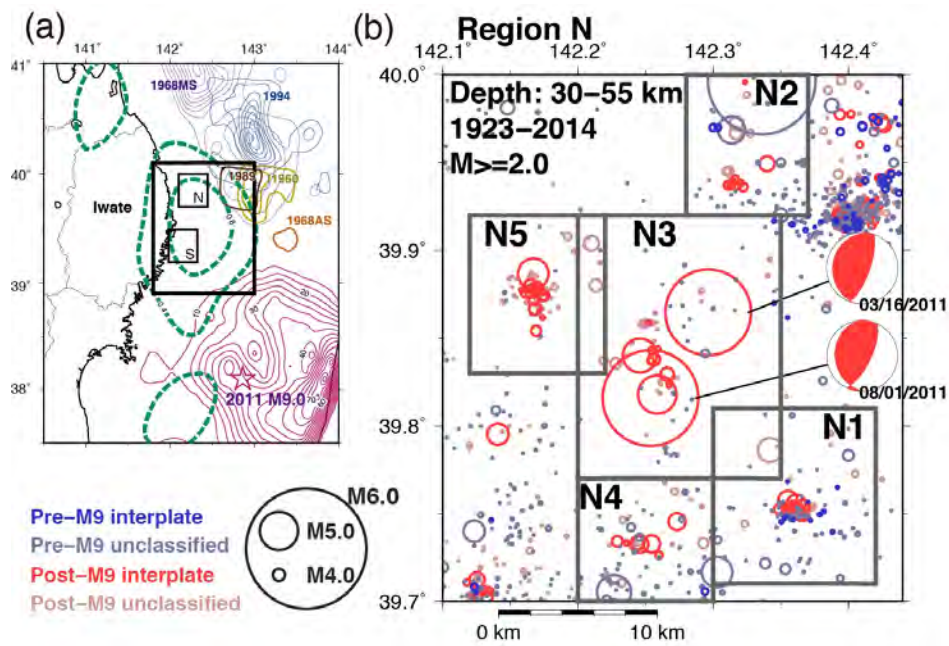


図4 東北沖地震周辺での地震性・非地震性すべり

(a) 研究対象領域 (Hatakeyama et al., 2017) 紫コンター：東北沖地震 (Iinuma et al., 2012) 緑破線コンター：8ヶ月間の余効すべり (Iinuma et al., 2016) 他のコンターは主要な地震のすべり分布 (Yamanaka and Kikuchi, 2004; Nagai et al., 2001) (b) 東北沖地震前後のプレート境界地震の分布。

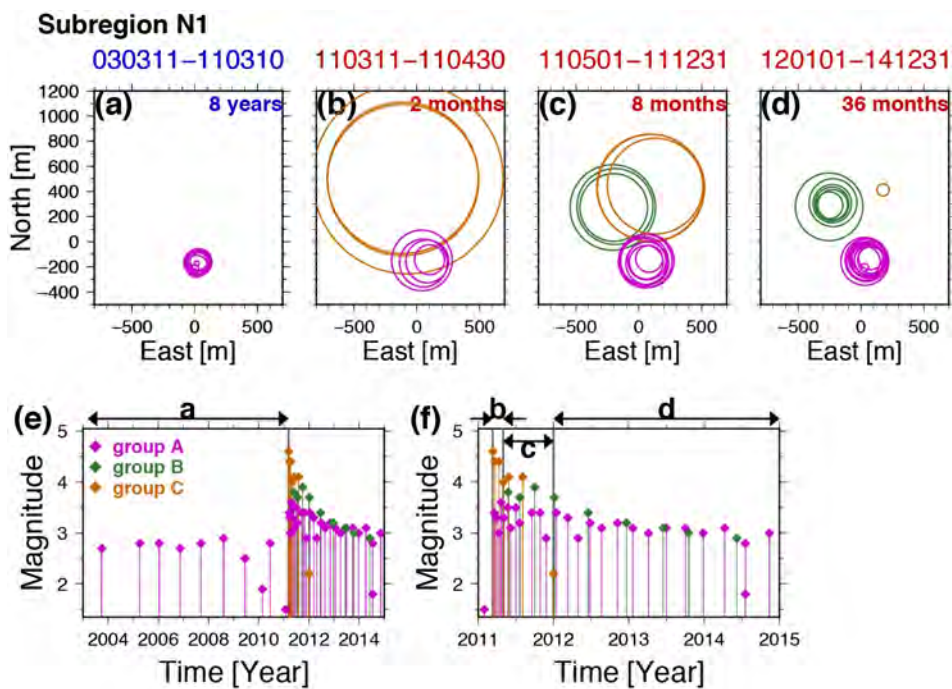


図5 図4の領域 N1 における東北沖地震前後の期間ごとの地震活動変化 (Hatakeyama et al., 2017)

(a-d) の丸はそれぞれの地震によるおおよそのすべり範囲を示す。領域の場所については、図4に示す。色は地震のセントロイドに近いものをグループ化したもの。

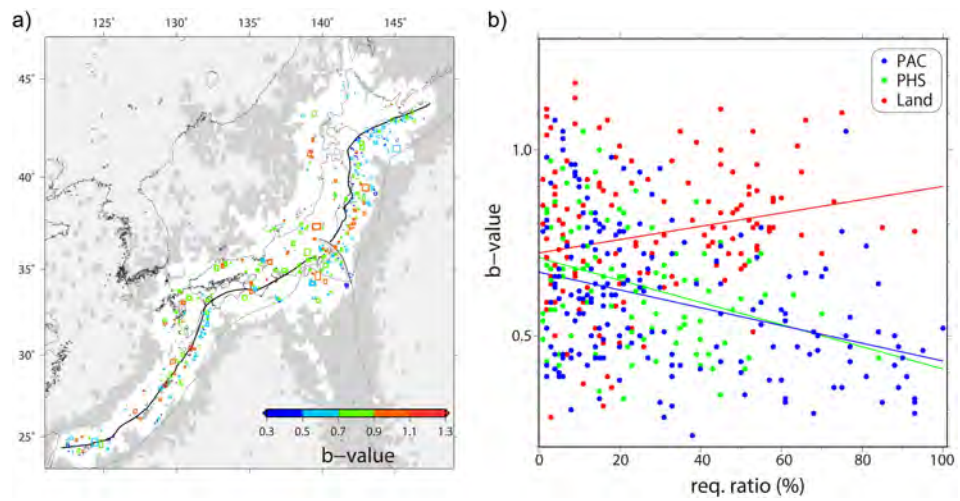


図6 相似地震を含む地震クラスターのb値

(a) 各地震クラスターにおけるb値の空間分布。(b) 各地震クラスターの発生場所における相似地震の発生割合とb値との関係。

(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：

地震活動に基づく地震発生予測検証実験

(3) 最も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) モニタリングによる地震活動予測

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(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活動予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

日本における地震発生予測検証実験を通して、標準あるいは基準となる地震活動予測モデルを開発する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

国際プロジェクトである Collaboratory for the Study for Earthquake Predictability (CSEP) と国際連携をはかり、日本においての地震発生予測検証実験を運用し、日本標準あるいは基準となるような地震活動に基づく地震発生予測モデルの開発を行う。検証実験のための地震カタログ等についてコンプリートネスマグニチュードなどの性能評価を行う。また、地震カタログ生成などのシミュレーション手法等のプロトタイプを開発する。この研究に関する研究集会等を企画する。

評価に必要な基盤ソフトウェアを、CSEP のテストセンターから入手し、アップデートを実施する。地震発生予測検証実験の結果を、論文あるいはパスワードプロテクトされた Web ページにて、関連の研究者に公開する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

CSEP に基づく 3 領域および 4 テストクラスの合計 12 のカテゴリーの地震発生予測検証実験を継続して進めた。2017 年 11 月 1 日から 2 日にかけて、統計数理研究所において、CSEP-Japan に関する研究集会を開催して、トータル 13 の研究発表を通して活発な議論を行った。

3ヶ月テストクラスの AllJapan と Mainland 領域における 20 ラウンドを超える結果について評価を実施した。モデルについてはすべての投稿されたモデルは実施できなかったが、RI10K、HISTETAS5PA、MARFS および MARFSTA の計 4 つのモデルについて実施した。評価は、空間予測および地震数の予測の二つの観点から調査を実施した。AllJapan 領域では、4 つのモデルのパフォーマンスの差は小さかったが、Mainland においては、MARFS と MARFSTA の成績がよくないことがわかった。また、空間予測の情報利得は、Mainland よりも AllJapan がよくなる傾向があり、地震数の予測については、Mainland においては 2 倍程度過大に予測する傾向があった。

複数ラウンドにおいて複数モデルを評価する場合において、これまで CSEP の標準的な N, M, S, L テストであると、モデルからの予測と観測を比較するテストであるため、モデル間の比較を直接できないという欠点があるため、今回は情報利得あるいは対数尤度そのもので比較することが直接的かつ容易であることが明らかとなった。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
Hiroshi Tsuruoka, CSEP Japan results of 3-month and 1-year testing class, SCEC Annual Meeting 2017 in PalmSprings.
Hiroshi Tsuruoka, CSEP-Japan results of 1-day testing class and development of Kanto 3D earthquake forecast model, SCEC Annual Meeting 2017 in PalmSprings.

- (10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

日本における地震活動に基づく地震発生予測検証実験の結果をまとめるとともに、標準地震活動予測モデルを構築する。8 月に CSEP-Japan の研究集会を開催する。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

担当者 : 鶴岡 弘・平田 直(東京大学地震研究所)
他機関との共同研究の有無 : 有
常磐大学(岩田貴樹)

- (12) 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 : 03-5841-5712
e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL :

- (13) 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 地震火山情報センター

(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：

地震活動パラメータと地震発生場の応力の間に成り立つ定量的関係式

(3) 最も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) モニタリングによる地震活動予測

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(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) 地震発生長期評価手法の高度化

(2) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震活動パラメータ群の時空変化を地震発生場の物理量の変化と結びつける定量的な関係式を、室内実験・数値シミュレーションによって確立する。とくに、応力の絶対値およびその時空ダイナミクスと、地震活動の特性を数理的に結びつける。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

地震発生場の物理量の直接測定はごく浅部を除き不可能であるため、実際の地震活動を地震発生場の物理過程から理解すること容易ではない。したがって本課題においては、地震活動と極めて類似した振る舞いを示すいくつかの物理モデルを用いて、地震活動を動力学の観点から理解することを目指す。室内実験で確立・解明された関係式は、実際の地震活動データを用いてその妥当性を検証する。扱う物理モデルは主に以下の 3 つである：I. 粉体の準静的変形実験、II. 粘弾性体シートやアクリル樹脂を使った摩擦実験、III. バネブロックモデルの数値実験。これらの実験に加えて、理論物理的研究も並行して進める。

H26 年度

実験システムの準備と構築を行う。粉体中の音波放出 (AE) 検出システムおよびデータ処理システム構築、およびアクリル樹脂を使った摩擦面可視化システムを準備する。

バネブロックモデル数値実験においては、離散化の度合いが破壊核形成過程のダイナミクスに及ぼす影響を調べる。

H27 - 28 年度

粉体変形実験における AE データ収録。

アクリル樹脂摩擦実験において垂直応力の不均一性を導入し、すべりの停止ダイナミクスを観察する。バネブロックモデル数値実験において離散化の度合いが系の固有地震に及ぼす影響を調べる。

H29 年度

粉体実験における AE の統計性について整理し、応力絶対値と AE 統計パラメーターの関係性を解明する。

アクリル樹脂摩擦実験において垂直応力の不均一性が地震サイクルに及ぼす影響を調べる。

バネブロックモデル数値実験において、摩擦法則を低速でより正しいと思われるものに変更し、統計パラメーターや破壊核形成過程への影響を調べる。

H30 年度

前年度までに得られた定量的成果を、実際の地震活動データなどと比較し、室内実験の妥当性やスケールアップを解明する。

なお、本課題は主として科学研究補助金の事業に基づいた計画である。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

I. 粉体の準静的変形実験

固体粒子群で構成される粉体の「静止(固化)状態」と「流動状態」の遷移の基礎過程に関する実験的研究を行なっている。これらは地震断層面の動的弱化的素過程であるのみならず、地滑り・山体崩壊・雪崩など表層での滑り現象全般において重要な物理素過程である。これら粉体現象の基礎理解を通し、様々な自然災害等の原理の理解を目指している。

29 年度においては、A. 粉体層における低速の摩擦滑り特性、B. 粉体層の振動や衝突による流動化現象、C. 粉体層内での流体の移動について、前年度から引き続き研究を行った。29 年度から開始した新たな試みとして、D. 粉体流の流動化と固化の遷移を幾何学的な条件による制御する手法についての実験的研究も行った。

A. 粉体層における低速の摩擦滑り特性 粉体層からワイヤーを低速で引き抜く際の摩擦抵抗を粉体層の充填率をコントロールした上で計測した。計測した摩擦抵抗は、充填率のわずかな変化で劇的に変化することが明らかとなった。これは粉体層がせん断により固化しているために起こる現象と考え、ジャミング転移などの概念を含めた簡単なモデルによるデータ解析を進めている。また、気流や機械的振動を加えることにより流動化された粉体層の摩擦が劇的に減少することも実験的に確認した。以上の結果を総合すると、摩擦滑りが起こることにより発生する振動(地震動)が近隣の摩擦による固着を弱めるが、振動により充填率が減少(膨張)した層はわずかな滑り(せん断)により急激な固化も経験するということが分かった。これらの複雑な過程が関連しながら天然の断層では滑り状態などが決定されると考えられ、本実験はそれらの基礎課程に関する実験的研究と言える。結果の一部は Furuta et al. 2017 で発表された。

B. 粉体層の振動や衝突による流動化 粉体層の振動による流動化とその結果生じる摩擦の低減については、A. の研究テーマの一部として行われ、その結果については上述した。今年度は濡れた傾斜粉体層へ固体弾を衝突させた際の流動化とそれとともなる地すべり・雪崩現象についての実験的研究も行った。実験結果を精査することにより、地すべりが起こる条件として、衝突により誘起される振動の強さが重要なパラメータとなることが明らかになり、振動誘起振動の伝播の解析などを進めた。本実験は、流体の関与する一般的な粉体層における摩擦特性の基礎研究と位置づけられるが、同時に例えば先般(2018/1/23)草津白根火山で起こった「噴石により誘発される雪崩流」のような現象に関する発生条件の基礎的研究という側面も持つ。また乾燥した粉体で作成したヒープ(砂山)の振動による崩壊、緩和のダイナミクスに関する実験的研究も今年度に行った。本研究テーマは断層滑り、地滑り、雪崩などの様々な滑り現象の背後にある普遍的物理則の解明を目指すものである。

C. 粉体層内での流体移動に関する実験的研究 粉体層内における水などの流体の浸透状態の不安定化についての実験的研究を行い、実験結果の解析等を行った。粉体層内での流体浸透の不安定性は、

粉体層を構成する粒子のサイズや形状に著しく影響されることが実験の結果より明らかとなった。特に水みちと呼ばれる流体の通り道の形成をより現実的に再現するためには、巨大な実験装置が必要であることが簡単な卓上実験の結果から明らかになり、これ以上の研究の推進が難しくなった。

D. 粉体流の流動化と固化の遷移の制御 粉体のサイロ流において、出口の大きさに依存して間欠的目詰まり現象が起こることが知られており、これは間欠的に起こる様々な自然現象のシンプルなプロトタイプモデルとみなすことが出来ると考えられている。本研究ではサイロ内に様々な形状の障害物を配置することにより流れ状態を制御する実験的研究を行った。その結果、流れの固化現象を効率的に下げるためには、流れの中の充填率を比較的小さく保つことが極めて重要であることが明らかとなった。この結果は A. の低速摩擦実験の充填率依存性についての結果と整合的であり、粉体の流動化、固化現象の重要な要素が一連の本研究で明らかになったと言える。結果の一部は Endo et al. 2017 で発表された。

II. 粘弾性体シートやアクリル樹脂を使った摩擦実験

H28 までの研究によって、大域的な応力場や局所的な接触状態がスティックスリップサイクル、とくに巨大イベントを支配していることがわかった。そこで 29 年度は、アスペリティが多数配置されたゲル同士のススティックスリップ摩擦において、画像解析を用いて巨大イベントのすべり素過程（破壊核形成・成長過程）とすべり直前の応力分布との関係を調べた。図 1 に実験系の模式図を示す。実験の結果、初期条件はほぼ同一であるにも関わらず、前駆すべりの履歴によって巨大イベント直前のせん断応力場の違い（図 2(a)(c) 参照）が生まれ、その後の破壊挙動が大きく異なることが分かった。また、破壊伝播速度が S 波速度を大きく上回る supershear rupture が観測された（図 2 (b)(d)）。とくに 2 つ目のイベント（図 2(c)(d)）では、ゆっくりとしたすべりが試料両端（せん断応力が高いところに一致）で始まり、中央に到達した後高速破壊に至る、特徴的な挙動がみられた。

III. バネブロックモデルの数値実験

速度状態依存摩擦則に従うバネブロックモデルが示す余効すべりやスロー地震の数値シミュレーションを行った。前年度までの 1 次元モデルを、今年度は 2 次元モデルへと拡張した。その結果、1 次元の場合と同様、速度状態依存摩擦則を特徴づける a, b パラメータの大小に応じ、三つの滑り様式（高速破壊・余効すべりを伴う高速破壊・スロー地震）が出現することが分かった。加えて、スロースリップ現象を記述する解析的な式を導出し、シミュレーション結果との比較検討を行った。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
- T. Furuta, K. Katou, S. Itoh, K. Tachibana, S. Ishikawa, and H. Katsuragi (2017) Geometry-dependent constitutive law for granular slow frictional drag, *Int. J. Mod. Phys. B* 31, 1742006.
 - K. Endo and H. Katsuragi (2017) Statistical properties of gravity-driven granular discharge flow under the influence of an obstacle, *EPJ Web of Conferences* 140, 03004.
 - K. Endo, K. Anki Reddy, and H. Katsuragi (2017) Obstacle-shape effect in a two-dimensional granular silo flow field, *Phys. Rev. Fluids* 2, 094302.
 - T. Yamaguchi, H. Ohtsubo, Y. Sawae (2018) Critical Scaling and Prediction of Snap-Through Buckling. In: van Meurs P., Kimura M., Notsu H. (eds) *Mathematical Analysis of Continuum Mechanics and Industrial Applications II. CoMFoS 2016. Mathematics for Industry*, 30, 51-57 Springer, Singapore.
 - T. Murakami, S. Yarimitsu, N. Sakai, K. Nakashima, T. Yamaguchi, Y. Sawae, A. Suzuki (2017) Superior lubrication mechanism in poly (vinyl alcohol) hybrid gel as artificial cartilage, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 231, 1160-1170.
 - H. Kawamura, Yushi Ueda, Shingo Kakui, Syouji Morimoto and Takumi Yamamoto (2017) Statistical properties of the one-dimensional Burridge-Knopoff model obeying the date and state dependent friction law, *Phys. Rev. E* 95, 042122.
 - H. Tanaka and T. Hatano (2017) Statistical properties of Olami-Feder-Christensen model on Barabasi-Albert scale-free network, *Eur. Phys. J. B* 90, 248.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

I. 粉体の準静的変形実験

これまで行ってきた粉体層における摩擦特性や静止(固化)状態と流動状態の遷移に関する実験的研究の総理解とまとめを目指す。前年度までに取り組んだ研究トピックの A.、B.、D. については互いに関連性を持ちつつそれぞれの現象の理解が深まってきており、その成果のまとめと必要となる一部追加実験等を行う予定としている。C. については研究実施の中で、システムサイズの制限などから残念ながらこれ以上の進展が難しい状態となってしまったので、A.、B.、D. の研究トピックで得られた結果の解析、議論、学会発表、論文執筆を行う。簡単な卓上粉体実験の結果を物理的に解釈すると同時に、地震や地滑りなどの自然現象解釈への応用の可能性についても検討を進める。

II. 粘弾性体シートやアクリル樹脂を使った摩擦実験

平成 29 年度までの研究によって、多様なすべり挙動を生み出し、かつ観測が容易なアナログ実験系の構築をかなり容易に行えるようになった。平成 30 年度は、応力場形成過程やすべり発生素過程の詳細な解析を行う。同時に、構造物倒壊の高精度発生予測手法を応用する研究にも着手する。構造物倒壊予測の際には、システムの共振周波数をモニタリングすることで発生時期を正確に予測できるが、すべり(不可逆的な応答)を伴う系ではそのまま適用することができない。本アナログ系を用いて、すべり発生予測のための手法の改良・拡張に挑戦する。

III. パネブロックモデルの数値実験

平成 29 年度までの数値的研究により、速度状態異存摩擦則に従う 1 次元及び 2 次元のパネブロックモデルは、非常に単純化されたモデルでありながら、高速破壊、地震先行現象(地震破壊核形成過程) 余効すべりやサイレント地震のスロースリップイベント等の多様な地震性すべりを、単一の枠組みの中で統一的に記述できるモデルであることが判った。これら 29 年度までの、主として均一モデルに対して得られた知見に基づき、最終 30 年度では、沈み込み帯での状況や各種アスペリティ、バリアを模した不均一性の効果、さらには通常の単層のパネブロックモデルでは考慮されていない断層垂直方向の運動の自由度の効果など、モデルをより現実に近い状況に適用する試みを行いたい。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

波多野恭弘、光藤哲也

他機関との共同研究の有無 : 有

桂木洋光(名古屋大環境学研究科) 川村光(大阪大理学研究科) 山口哲生(九州大学工学研究院)

(12) 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 : 03-5841-5712

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 波多野恭弘

所属 : 東京大学地震研究所

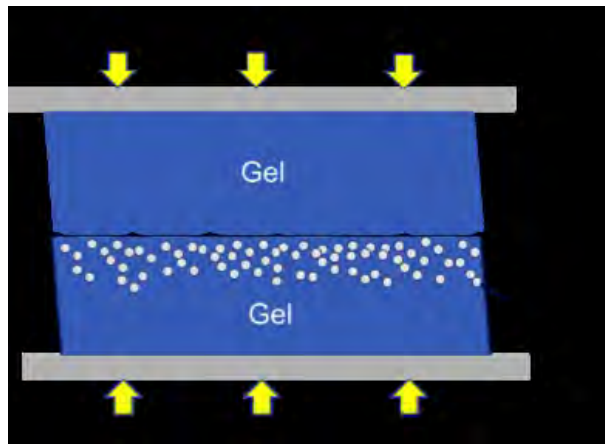


図1 摩擦実験装置の概略

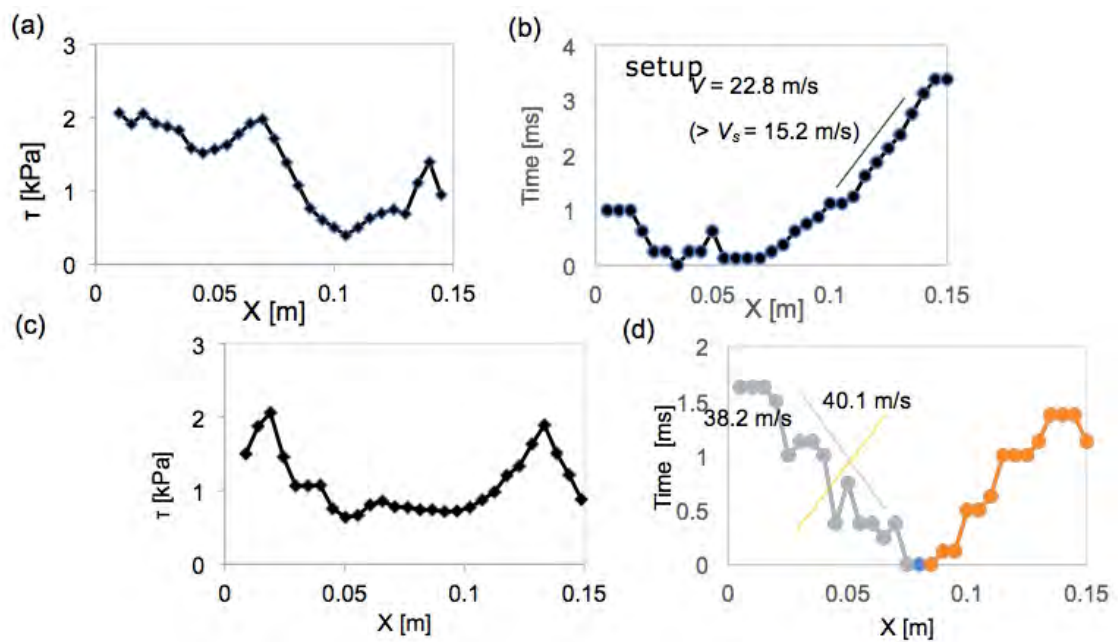


図2 滑りイベント2回分の様子。

(a)(b)が1回目、(c)(d)が2回目。(a)(c)は剪断応力 (b)(d)は滑り先端の位置。

(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：

歴史時代に発生した地震・火山などの災害に関する多角的な研究

(3) 最も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・火山噴火の災害事例の研究

(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整理

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と整理

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

歴史資料などに基づき、歴史時代に発生した地震・津波・火山災害などに関して、当時の人々の対応や教訓などを検討する。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対応や教訓、復興過程などから、今後の防災・減災施策、復興施策などの検討に資する材料の提示を目的とする。また、地震・津波・火山噴火に起因する災害だけではなく、気象災害や火災など半ば人為的な災害についても検討の対象とし、日本列島における自然災害史の全体像の提示を目指す。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

[平成 26・27 年度]

歴史資料などに基づいて、歴史時代に発生した地震・津波・火山災害などについて、当時の人々の対応や教訓、復興過程などについて検討する。特に、首都直下地震の発生が懸念される関東地方の歴史災害を対象として研究を実施する。

[平成 28・29 年度]

歴史資料などに基づいて、歴史時代に発生した地震・津波・火山災害などについて、当時の人々の対応や教訓、復興過程などについて検討する。特に、南海トラフ沿いでの海溝型巨大地震の発生が懸念される東海・南海地方の歴史災害を対象として研究を実施する。

[平成 30 年度]

これまでの研究成果に、新たにデータベース化された史料・考古・地質データを加えて、関東地方や南海トラフで発生した地震・津波・火山噴火などの歴史災害について再検討する。これらの再検討から、自然災害における地震・津波・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材料の提示を目指す。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

安政江戸地震に関する絵画史料の分析と江戸市中での避難状況の研究

安政二年十月二日(1855 年 11 月 11 日) 夜に発生し、関東地方南部に甚大な被害を及ぼした安政江戸地震における江戸市中での被害と復興の様子を描いた絵巻として、薩摩の島津家に伝来した「江戸大地震之図」(島津家文書、東京大学史料編纂所蔵) がある。この絵巻に描かれた内容について、関連する文献史料に記された内容を踏まえて詳細に分析した結果、絵巻にある被災した大名屋敷は薩摩藩芝屋敷であることが判明し、描かれている人物を特定することができた。これによって、「江戸大地震之図」の主題や成立時期が明らかとなり、今後、江戸市中での具体的な地震被害を検討する際に、基本史料として用いることが可能となる。

また、同じく安政江戸地震について、地震発生直後における江戸市中での人々の避難状況や、被災した町人などに対する幕府(町奉行) の救済の様相について、文献史料や絵画史料に基づいて検討した。この結果、地震直後で余震が打ち続く中での町人などの避難方法や避難場所、被災した町人などに対する幕府側の施策、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が明らかになった。

嘉永七年の伊賀上野地震における京都市中での震災対応の研究

伊賀上野地震は、嘉永七年六月十四日(1854 年 7 月 8 日) の深夜～同十五日の朝に発生して、近畿地方中部に多大な被害を及ぼした内陸地震である。京都市中でも六月十三日から有感地震があり、同十五日には大地震が発生して、石燈籠の顛倒、土蔵や土塀の破損といった小規模な被害が生じた。

地震発生直後から、市中の町人たちは路上へ出て夜を明かしたが、数日が経過して余震が減少していくにつれて次第に家の中へ戻っていった。また、24 年前の文政十三年(1830 年) に発生した文政京都地震と比較して市中での被害は格段に軽微であったために、京都町奉行にとってこの地震は緊急に対応すべき災害とはならなかった。それよりもむしろ、同年四月六日～七日に発生した大火で焼失した禁裏御所・仙洞御所の造営準備に追われていたのが実情である。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

杉森玲子, 2017, 島津家文書「江戸大地震之図」および近衛家旧蔵の同図様絵巻の史料的性格について、東京大学史料編纂所附属画像史料解析センター通信, 第 78 号, 2-22.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

歴史資料に基づいて、前近代に発生した地震・津波・火山災害など自然災害における当時の人々の行動や対応、復興過程などについて検討する。この検討結果から、自然災害の中の地震・津波・火山災害における対応や対策の特徴を解明し、今後の防災・減災施策、復興施策などの検討に資する材料の提示を目指す。

(11) 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 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 佐藤孝之・他 5 名

(12) 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 : 03-5841-5712

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

(13) 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：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題(または観測項目)名：

首都圏に被害を及ぼす地震の解明およびその被害の実像

(3) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

首都圏地震観測網 (MeSO-net) による観測を継続し、これらの観測点で得られた地震データを用いて、首都圏直下の速度構造や減衰構造に関する解析を進める。プレートの詳細な構造と地震活動との関係を解明し、将来発生が予想される首都直下地震の地震像を明らかにする。歴史地震の震度分布を理解するために、MeSO-net で得られた観測値とモデル構造で計算した値とで比較することで、首都圏の地盤の揺れの特性を解明する。MeSO-net で得られた観測値を利用して、災害の素因となる地域ごとの揺れの特徴を明らかにする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題は、文部科学省委託研究「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト (平成 24 年～28 年、代表：平田直)」のデータや成果を利用して、研究を進める。

平成 26～27 年度は、MeSO-net で得られた観測データを用いて、首都圏直下の速度構造および減衰構造を詳細に求め、その構造で地震波の伝播をシミュレートする。MeSO-net 観測点の直上で測ったデータをまとめて、地下の地震計と地表の地震計を比較し、伝達関数を求める手法を調査する。

平成 28～29 年度は、地下の地震計と地表の地震計の観測波形を比較して、伝達関数を求める。地震計の観測波形とモデル構造によるシミュレート波形を比較し、モデル構造を高度化する。

平成 30 年度は、伝達関数を利用して、首都圏直下で発生する地震に対して想定される揺れの分布を明らかにする。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

今年度は、地下の地震計と地表の地震計の観測波形を比較して、伝達関数を求める計画であったが、満足なデータを得ることができなかった。ただし、MeSO-net 観測点のひとつにおいて、近傍の地表に観測点を設置し、揺れ方の違いを比較した。それらは約 100 m しか離れていないが、そこで観測された地震波形の振幅は約 2 倍になり、揺れの推定には、細かな地盤構造の違いを考慮する必要があることを確認した。さらに、MeSO-net で得られた観測データは、既存観測点のデータと併せて解析・処理を進めた。それらのデータは、震源決定法・地震波トモグラフィ法等の手法を用いて、震源分布や地震波速度と非弾性定数の三次元的分布等の解析を進めた。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

平成 30 年度も、MeSO-net による観測を継続し、そこで得られた観測データを用いて、首都圏直下の速度構造および減衰構造を精緻化する。MeSO-net 観測点の直上で測ったデータをまとめて、地下の地震計の記録と地表の地震計の記録を比較から伝達関数を求め、首都圏直下で発生する地震に対して想定される揺れの分布を明らかにする。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

酒井慎一、中川茂樹、平田直(東京大学地震研究所)

他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 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 : 03-5841-5712

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

(13) 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) 最も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

(4) 地震現象のモデル化

ア. 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

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震災害に関する災害発生機構を重点的に解明する。特に、強震動が増幅され、人口密度が高い場合が多い堆積平野・堆積盆地などを対象にして、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。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成 26～28 年度においては、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の構築を行う。具体的には、地震動などの地震災害誘因の分析のため、国内外の堆積平野・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・堆積盆地における地震動の増幅などの自然素因への作用を定量化する。また、地震災害誘因の事前評価と即時推定に資する地下構造モデルを構築する。

平成 29～30 年度においては、地震災害誘因の自然素因への作用の解明と、地下構造モデル化手法の国際展開を行う。堆積平野・堆積盆地における地震災害発生機構の解明には、強震記録を用いた地

下構造モデルの検証とチューニングの反復改良が不可欠であるため、災害誘因の自然素因への作用の分析に使用する強震記録を逐次更新追加し、参画機関で共有すると共に、本研究計画におけるデータベースの相互研究推進に資する。また、堆積平野・堆積盆地における地下構造モデル化手法の国際展開を試み、国外の堆積平野・堆積盆地における適用妥当性を実地検証する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

平成 29 年度は、地震災害誘因の自然素因への作用の解明に向けた研究として、堆積平野・堆積盆地における地下構造モデル化手法の適用妥当性の実地検証に着手した。具体的には、2016 年熊本地震の震源域を対象とした。2016 年熊本地震の臨時余震強震観測によって、従来の地下構造モデルでは地震動増幅率が過小となる箇所が多く、より深く、より速度が遅い構造に修正する必要があることが分かった。そのため、震源インバージョンに資する観測点直下の地下構造モデルを、複数の中小地震の全波形 (full-wave) チューニングを活用することにより構築した。これにより、震源インバージョンの浅い部分の解像度が向上し、震源破壊過程と、活断層や地震活動から示唆される断層幾何形状の議論が可能となった。また、堆積平野・堆積盆地の形成過程を踏まえた地下構造モデル化手法の調査を開始すると共に、国内の堆積平野・堆積盆地にする強震記録データベースの整備を行った。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

Viens, L., M. Denolle, H. Miyake, S. Sakai, and S. Nakagawa, 2017, Retrieving impulse response function amplitudes from the ambient seismic field, *Geophys. J. Int.*, 210, 210-222.

Kobayashi, H., K. Koketsu, and H. Miyake, 2017, Rupture processes of the 2016 Kumamoto earthquake sequence: Causes for extreme ground motions, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 6002-6010.

Chimoto, K., H. Yamanaka, S. Tsuno, H. Miyake, and N. Yamada, 2017, Effect of shallow S-wave velocity structure on ground motion characteristics at temporary aftershock observation stations of the 2016 Kumamoto earthquake, *IAG-IASPEI 2017*, S07-P-21.

津野靖士・是永将宏・山中浩明・地元孝輔・岡本京祐・山田伸之・三宅弘恵・松島健, 2017, 熊本平野で展開した臨時地震観測とその地震動特性, 第 45 回地盤震動シンポジウム, 日本建築学会, 24-33.

三宅弘恵・Loic Viens・Marine Denolle, 2017, 地震波干渉法による有限断層の地震動シミュレーション, *JpGU-AGU Joint Meeting 2017*, SCG70-07.

三宅弘恵・纈纈一起・古村孝志・宮川幸治・田中伸一, 2017, 東京大学地震研究所の強震観測網と強震観測データベース, *JpGU-AGU Joint Meeting 2017*, SCG70-P10.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

平成 30 年度は、地震災害誘因の自然素因への作用の解明に向けた研究と、地下構造モデル化手法の展開を継続する。また、国内外の堆積平野・堆積盆地における適用妥当性の実地検証をとりまとめる。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

三宅弘恵・纈纈一起・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・信州大学・福井大学・広島大学・高知大学・独立行政法人建築研究所・ほか

(12) 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 : 03-5841-5712

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

(13) 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

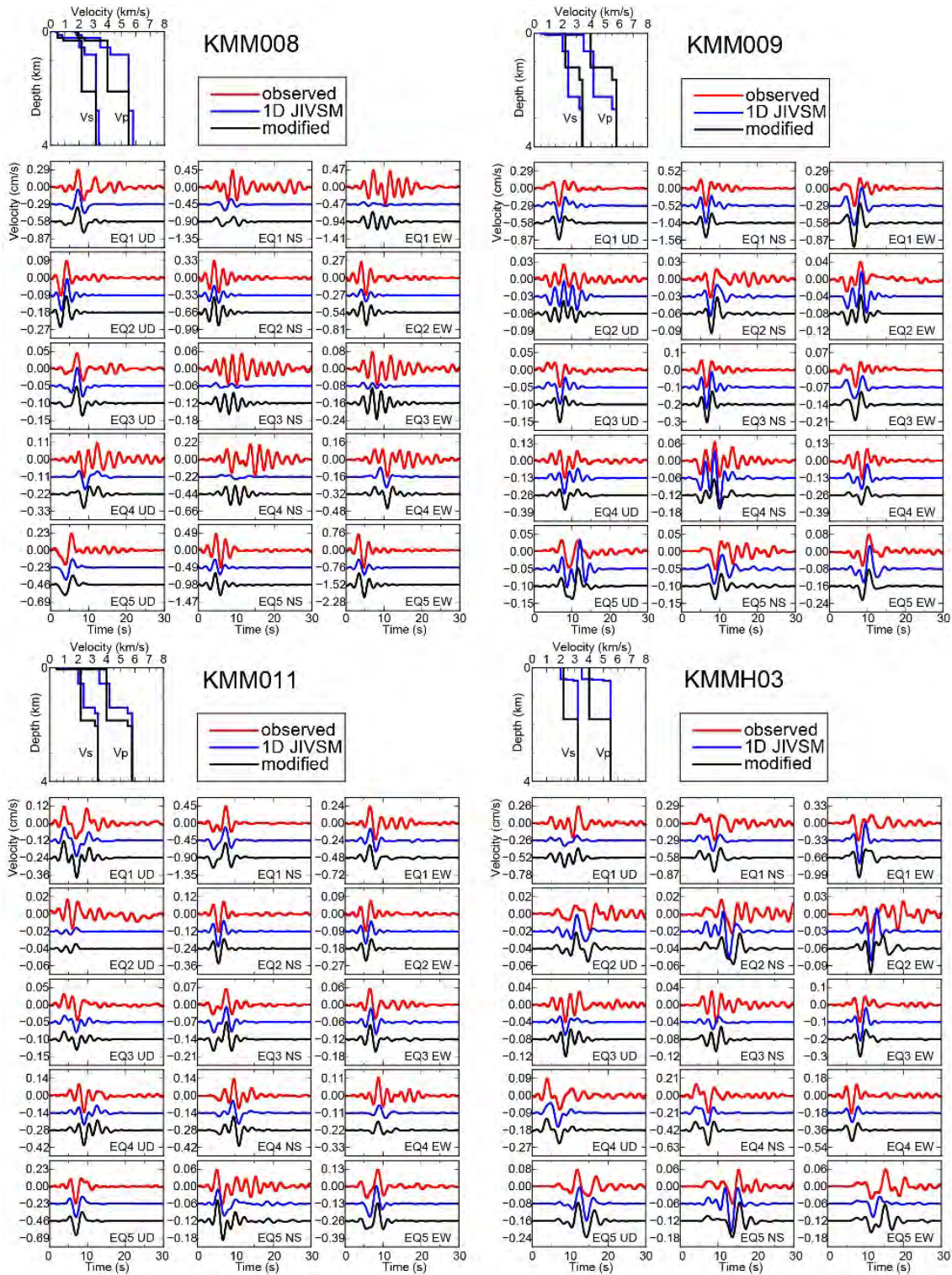


図1. 複数の中小地震の全波形 (full-wave) チューニングにより構築された 2016 年熊本地震の観測点直下の地下構造モデル (Kobayashi et al., 2017)

赤: 観測記録、青: 従来の地下構造モデル、黒: 構築された地下構造モデル

(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：

広帯域・高解像度強震動シミュレーションに基づく大地震の強震動評価の高度化

(3) 最も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の事前評価手法の高度化

(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・火山噴火の災害事例の研究

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

大地震の複雑な断層破壊過程と、不均質な地下構造を適切に組み込んだ地震波伝播シミュレーションを実施し、過去の被害地震の強震動と津波被害発生要因を検証して、将来の想定地震の強震動・長周期地震動と津波の事前予測を行う。K-NET、KiK-net 等の高密度地震観測網データを解析し、強震動と長周期地震動の生成過程の理解を深める。高速スパコンを用いた高精度シミュレーションを実施して、観測データの再現とモデルの検証を行う。短周期～長周期地震動の高精度評価に向けて、シミュレーションモデルの高度化・精緻化をはかり、地震ハザード評価手法の改良を進める。本研究では、工学研究者と社会科学研究者との協働により、現代社会が有する多様な建造物の被害と社会影響に踏み込んだリスク評価へとつなげる。以上の目的解決に向けて、a) 強震動および長周期地震動による地震災害発生要因の研究、b) 強震動および長周期地震動予測の高度化に向けた研究、c) 将来の大地震の被害事前予測の研究、の 3 つを進める。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

(a) 強震動および長周期地震動による地震災害発生要因の研究

東北地方太平洋沖地震の国内外の強震計記録を再解析し、1 G を超える強い加速度を作り出した短周期地震動、超高層ビル等に影響を与える周期数秒程度のやや長周期地震動、および超大型石油備蓄タンクや将来の長大建造物に影響を与える可能性のある長周期地震動(周期 10~20 秒以上)につい

て、それぞれの周期帯毎の震源放射特性、伝播特性、各地の地盤増幅特性を明らかにする【H26・27年度】。特に、関東平野での高密度観測データ（K-NET・KiK-net、首都圏強震総合ネット SK-net、首都直下地震観測網 MeSO-net 等）を統合的に処理し、平野の3次元地下構造と短周期地震動～長周期地震動の伝播特性を詳細に把握する【H28・29年度】。

M9クラスの長巨大地震による長周期地震動の特性を明らかにするために、超巨大地震特有の断層運動として期待される、浅部プレート境界の大滑りと、深部プレート境界のゆっくり滑りが、長周期地震動の生成に与える影響を、シミュレーションに基づき評価する。ここでは、震源の静的特性（深さ・メカニズム等）と動的特性（滑り速度、応力降下量など）の二つの震源パラメータの効果についても検討する【26-30年度】。東北地方太平洋沖地震において、関東平野や大阪平野などで、やや長周期の生成が地震規模に比べ小さかった原因を明確化するとともに、日本海溝～千島海溝および相模トラフ～南海トラフ沿いでのM9地震シナリオに対する長周期地震動の生成特性について検討する【26・27年度】。

震源モデルのパラメータ設定の不確実性や、地震時の断層運動の再現性（不確実性）に伴う、強震動予測の不確実性を、各種震源パラメータを用いたシミュレーションを多数行ない、強震動予測の不確実性とそのバラツキの幅を調査する。具体的には、1）断層破壊方向に生まれる放射指向性（ディレクティビティ）効果が地震波放射指向性と周波数特性に与える影響、2）断層破壊過程の不均質性・揺らぎによるディレクティビティの抑制効果、3）断層破壊の時間差発生による強震動レベルと揺れの継続時間の増長の問題等に着眼した検討を行う【H26-28年度】。地震動評価のバラツキに対する、建物被害・人的影響のバラツキを評価し、予測誤差の拡大（または縮小）の可能性を検討する。バラツキのある強震動予測に対して、被害と社会影響の側から見た巨大地震の「最悪地震シナリオ」とは何か明確化する【H27-29年度】。

b) 強震動および長周期地震動予測の高度化に向けた研究

短周期～長周期の広帯域強震動予測の高度化に向け、地表・海底地形と、堆積層・地殻・マントル内の短波長不均質構造（多層構造で表現できない物性値の揺らぎ）を適切にモデル化し、数Hz以上の高周波数地震動の散乱を適切に評価することのできる高分解能シミュレーション法を整備する【H26・27年度】。短波長不均質構造により地震波散乱が強い減衰を起こす過程、散乱による地震動の継続時間の増長の問題、地震動の空間変動と局所的な増幅（フォーカシング現象）の発生可能性について検討する。こうした、地下構造探査による直接推定が困難な短波長不均質構造の存在が、強震動の予測の不確実性に与える影響を定量的に評価する【H27-29年度】。

震度に強く寄与する短周期地震動の高精度評価の実現に向け、表層地盤（数メートル以浅）における地震動の増幅特性を、全国のK-NET・KiK-net強震観測データ、および自治体震度計データを用いて評価する【H26年度】。地盤応答の非線形性応答を考慮し、強震時（震度5弱～）のサイト増幅特性の変化も調べる。得られたサイト増幅特性を用いて、緊急地震速報の震度予測への適用可能性・有効性を、過去地震の強震記録を用いて検討する【H26-29年度】。

広帯域強震動シミュレーションの実現に向け、高精度かつ安定な吸収境界条件を整備する。複雑な地表地形（空気/固体境界）と海底地形（海水/固体）を差分法（FDM）の直交格子に実装するために、適切な境界条件を整備する。地表付近の強い不均質性構造を組み込むことができる、マルチグリッドFDM（または、境界適合格子FDM）を開発する【H26-29年度】。

c) 将来の大地震の被害事前予測の研究

巨大地震による強震動、地殻変動、津波の複合災害の予測に向けて、地震動シミュレーションから得られた海底隆起・沈降の時空間的変動を適切に活用した、津波高・浸水シミュレーションを実施する【H26-29年度】。また、大地震の断層運動に伴う内陸の地殻応力の動的・静的変化（ただし、地殻は弾性変形を仮定）を評価して、大地震に伴う火山噴火や内陸地震の活発化、誘発地震の発生に与える影響を、関連項目の研究グループとの協働により検討する【H27-30年度】。

複数の地震シナリオに対する各地の強震動を迅速に評価するための仕組みとして、日本海溝、相模・南海トラフ沿いの小断層（10km*10km）毎に、各地の揺れ（グリーン関数）を計算して、地震動デー

データベースを構築する。そして、任意の地震シナリオに対する強震動をグリーン関数の重ねあわせにより合成する強震動合成システムを開発する【H26-28年度】。グリーン関数データベースは、震源インバージョンや地震波形解析のための基礎データとして公開する。これを用いて、大地震発生後すみやかに震源モデルを推定し、観測データのない地点を含む全国各地の強震動を面的に推定する手法を、関連項目の研究グループと共同で開発する【H28-30年度】。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

1. PL 波により運ばれる長周期地震動

大地震の際に平野で強く生成する長周期地震動(周期 3-10 秒程度の)は、浅い震源から放射された表面波が平野に伝播し、これが平野の堆積層で強く増幅されたものであり、S 波の後から始まる「後揺れ」現象として広く理解されている。

ところが、2004 年新潟県中越地震では、震源から関東方向にかけての近地強震記録に、P 波の到達直後から S 波到達までの間に、周期 5-10 秒の大震幅かつ長時間継続する長周期の地震動成分が確認された(図 1)。この波は、Radial 成分と上下動成分に認められ、正分散性を示すことと、Prograde の震動軌跡を持つことから、PL 波と判断された。

PL 波は、表面波の方程式の虚数解に相当する“Leaking mode”であり、Rayleigh 波基本モードに比べて距離減衰が大きい特徴がある。しかしながら、新潟県中越地震で観測された PL 波は、震源距離 100-300 km 以上にわたって大きな振幅を保ちながら伝播し、堆積平野で強く増幅されることで、後続の Rayleigh 波と同程度の強い振幅をもたらすことがわかった。

日本の内陸浅発地震において PL 波が強く生成・伝播する過程を、JIVSM モデル(Koketsuet al., 2012) に基づく 3 次元地震波動伝播シミュレーションから評価した。その結果、浅い震源から放射された P 波が地殻内で広角反射(PmP)を繰り返し、長周期帯で干渉を起こすことで長周期(5-20 秒) PL 波が生成する過程が確認できた。さらに、堆積層の存在により地表面で PP 反射係数が増大し、逆に PS 反射係数が減少することでより強い PL 波が生成する過程も確認できた。また、堆積層により、SmS 波が強い SP 変換波を生成する結果、これも長い PL 波群を形成する原因となることも確認できた(図 2)。PL 波と Rayleigh 波の生成強度は震源の深さに強く依存する。P そして、PL/Rayleigh 震幅比が一定であることを利用して、PL 波から後続の Rayleigh 波の震幅を予測するなど、長周期地震動の早期予測への利用が期待できる。ただし、大振幅かつ継続時間の長い PL 波自体が早い時刻に到着することは、長周期地震動の地震防災上の課題である。

2. W-phase と PL 波の伝播特性と類似性

W-phase(Kanamori, 1993)は、浅い巨大地震($M_w > 8-9$)が起きた際に、遠地(5,000-10,000 km)記録において P 波と S 波の間に見られる超長周期($T=100-500$ s)の波群である。W-phase は、PP, PPP, PS, SS, SSS 波などの複数の波群が干渉して生まれると考えられている。W-phase の CMT インバージョンに基づく震源パラメータの推定と津波警報は、W-phase の早い到着時刻と、巨大地震でも振り切れにくい小さな震幅の特性を生かしたものである。近年、近地強震記録を用いた W-phase インバージョンにより、中規模地震($M_w < 6-7$)への適用が進められている。

W-phase の生成と伝播特性を確認するために、3 次元差分法により 2011 年東北地方太平洋沖地震の遠地地震波動場シミュレーションを行った。P 波、S 波速度構造には ak135 モデルを用い、Earth flat 手法により球殻地球の効果を計算に取り入れた。計算結果から、曲率を持つ地表面と上部マントルの速度勾配により強い PP, PPP 反射波が発生し、これらの長周期帯成分が干渉しあうことで遠地($D > 3000-5000$ km)に W-phase が生成される過程が確認できた(図 3)。W-phase の振幅は、PP、PPP 波が地表に焦点(caustics)を結ぶ、震源距離 3000 km、5000 km 付近で特に大きく、また伝播とともに正分散性を持つ長い波群が形成される様子も良く再現できた。

なお、W-phase は、前節で説明した PL 波と生成・伝播過程が類似の、時空間スケールの異なる現象であることがわかる。すなわち、W-phase は低速度の上部マントル(660 km 厚)を伝わる超長周期($T=100-1,000$ s)の波群であるのに対して、PL 波は低速度の地殻(35 km 厚)を伝わる長周期の波群

($T=5-30$ s)である。近年進められている、近地地震波形の W-phase インバージョンの対象は、実は PL 波として知られた波群であると言える。

3. 関東平野における長周期地震動生成の方位変動

関東平野における長周期地震動の生成・増幅特性には強い方位依存性があり、震源の方位(地震波の入射方位)によって生成強度が大きく変動する。そして、東北方向で発生した地震では、いつも長周期地震動が弱くなることが指摘されている(古村、2014; Furumura, 2014; 植竹、2012; 湯沢・南雲、2012)。同様の現象は、濃尾平野(平井・福和、2016)などでも指摘されている。

長周期地震動増幅の方位変動が生まれる原因として、1)震源から関東平野に向けての表面波の放射指向性の影響、2)堆積平野の3次元構造による複雑な表面波増幅・伝播特性の影響、の2つが考えられる。

本研究では、1)震源からの放射特性の影響を評価するために、2004年新潟県中越地震を対象として、震源断層の走行を変えて波動伝播シミュレーションを行い、都心部での長周期地震動(6~8秒)の速度応答スペクトルの強度を比べた。結果、新潟県中越地震の断層走行では関東平野への Rayleigh 波の放射が強く、長周期地震動レベルが最大となることがわかった。一方、2011年福島県浜通りの地震では、関東平野への Rayleigh 波の放射が弱く、断層モデルの走行を90度回転させたシミュレーションの数分の1しかないことがわかった。また、新潟県中越地震では、断層走行を変えても都心での長周期地震動のレベルの変化は小さいが、福島県浜通りの地震では変動が大きく、震源メカニズムに敏感であることがわかった。

次に、関東平野の3次元堆積層構造と長周期地震動増幅の方位的変動を、2つの地震のシミュレーション結果をもとに検討した。求められた計算波形に対して Particle motion 解析と Wave Gradiometry 解析(Langston, 2007; Maeda, 2016)を行い、平野内を伝わる Rayleigh 波の伝播方向と位相速度の時空間変動を調べた(図4)。結果、新潟県中越地震では、関東平野の北東の熊谷~高崎周辺の深い溝状構造で表面波が焦点を結ぶように集まり強い増幅が起きること、これがゆっくりと都心に向かって伝わると同時に、関東の東側の山地を高速に伝わって都心に屈折した別の表面波とが合流した長い波群を作り出す過程が確認できた。一方、福島県浜通りの地震では、表面波が筑波山付近の浅く緩い堆積層構造を通して平野に入射する際に、高速度構造から周囲の低速度構造に向かって波面が Defocus することで振幅が小さくなること、都心にはその一部のみが伝わるために震幅が小さく、また揺れの継続時間も短くなることが確認できた。こうした特徴は、ここで述べた2つの地震に限らず、同方向で発生する他の地震でも共通に見られる一般的な現象であることも確認した。

以上より、関東平野における長周期地震動増幅の方位依存性は、震源から平野に向けた表面波の放射特性と、平野の3次元堆積層構造における表面波の伝播・増幅特性の相乗効果で起きていると結論づけられた。

4. 西日本の大地震に見られる M_j と M_w との大きな相違の発生原因

気象庁マグニチュード(M_j)は、固有周期5~6秒の変位計で記録される地震波形振幅に対して、震源~観測点距離による地震波の距離減衰を補正して求め、これを観測点間で平均することで得られる値である。

M_j と M_w の差はこれまで多くの研究者らにより検討されてきた(例えば、Takemura, 1990; Furumura and Kennett, 2003)。1995年以降に起きた近年の地震について M_j と M_w (グローバル CMT 解(GCMT)を参照)を比較したところ、 M_j は M_w より 0.1~0.2 程度大きいこと、特に西日本の大地震において M_j が M_w より 0.3~0.7 も大なるものがあることがわかった(図5)。

たとえば、2000年鳥取県西部地震では $M_w=6.7$ に対して $M_j=7.3$ という大きな値を示している。同様に、1997年山口県北西部の地震($M_w=6.6$; $M_j=5.8$)も M_j-M_w 差が大きな地震の一つである。こうした M_j の過大評価は、地震規模と強震被害の議論や、地震規模と地表地震断層の出現の可能性の議論など、地震防災上数々の問題を引き起こす。また、地震活動(b 値)の評価にも大きく影響することが心配される。

西日本の地震で M_j が大きくなりやすい原因の可能性として、まず平野の観測点での変位振幅のサ

イト増幅の影響が考えられる。そこで K-NET, KiK-net 強震記録から各観測点でのサイト増幅係数をインバージョンから求めた(図6)。そして、変位振幅からサイト増幅を補正した後に、2000年鳥取県西部地震のMjの再推定を行った。しかしながら、補正前に比べて、観測点毎のMj推定値のばらつきは減少したものの、震源距離とともに遠地観測点でのMj推定値が増大する傾向がより明瞭となった。これは、変位振幅(すなわち、周期5~6秒程度の表面波)の距離減衰が西日本では小さいことを意味しており、その距離減衰係数として1.02相当の値となることがわかった。これは、Mj推定で用いられる距離減衰係数(1.73)に比べずっと小さい。そして、この距離減衰の違いが、表面波の伝播に寄与する地殻浅部(深さ5km程度)のQ値の違いによるものと考え、西日本と東日本のQ値が3倍程度違う(西日本のQが大きい)ことに対応することが確認できた。

なお、周期5~6秒以上の長周期の地震波を評価しないMjは、震源スペクトルが長周期化する大地震(M>8)で頭打ちすることが良く知られている。これとは逆に、西日本のM6~7規模の地震では、周期5~6秒程度の表面波が良く伝播するために、Mj推定値が大きくなることにも注意が必要である。

5. 地震波干渉法から推定された南西諸島におけるレイリー波群速度

近年、地震波干渉法を用いた地震波速度構造の研究が盛んに行われている。この手法を用いることにより、2地点間を伝播する表面波を抽出することができ、群速度を見積もることができる。これらは群速度トモグラフィや既存の速度モデルの評価に用いられ、モデルの更新に役立てることができる。本研究では、南西諸島で観測された上下動連続地動記録に対して地震波干渉法を適用し、各観測点ペアにおけるレイリー波の群速度を推定した。九州南端および南西諸島に設置されている防災科研のF-netの7観測点について、2013年から2015年の3年間の連続波形記録を使用した。連続波形を20分ずつ切り取り、地震計特性の補正や1-bit化処理などの前処理を施した。前処理を施したデータを用いて21観測点ペアについて相互相関関数を取り、この処理を3年分全てのデータについて行った。求めた相互相関関数をスタックし、間-周波数解析を行い、レイリー波の群速度を推定した。各相互相関関数には明瞭なピークが見られ、全てのペアについて観測点間距離で並べると、レイリー波の伝播が認められた(図7a)。特に観測点間距離の長い鹿児島県の観測点KYK(永田)やTAS(田代)とのペアについて、負のlag timeにおけるピークが卓越することから、これらの観測点の周辺に強い微動源が存在することが示唆された(負のlag timeは北から南への伝播、正の負のlag timeは南から北への伝播を意味する)。各観測点ペアで見積もられたレイリー波の群速度を地図上にプロットした(例えば周期30秒の場合について、図7b)。また、背弧側を通る観測点ペアは群速度が速く、島弧側では遅いことが分かった。このことはこの地域で報告されている地盤や地殻の厚さの分布と概ね調和する。既存のモデルから計算した群速度と比較すると、既存モデルの群速度の方が速い傾向にあることもわかった。

- (9)平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
- Furumura, T. and BLN Kennett, Unusual strong ground motion across Japan from the 680 km deep 30 May 2015 Ogasawara Islands earthquake, *J. Geophys. Res.*, 122, <https://doi.org/10.1002/2017/JB014519>, 2017.
- 河本洋輝、表面波伝播特性の地域性が気象庁マグニチュード推定値に与える影響、東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻修士論文、2018。
- 原田智也・西山昭仁・佐竹健治・古村孝志、応七年六月十一日(1498年6月30日)の日向灘大地震は存在しなかった - 『九州軍記』の被害記述の検討 - , *地震* 2, 70, , 89-107, 2017.
- Kennett, B, Yoshizawa, K & Furumura, T, Interactions of multi-scale heterogeneity in the lithosphere: Australia, *Tectonophysics*, *Tectonophysics*, 717, 193-213, 2017.
- 向井優理恵、関東平野における長周期地震動の特徴的方位依存性とその要因、東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻修士論文、2018。
- Maeda, T., S. Takemura, and T. Furumura, OpenSWPC: An open-source integrated parallel simulation code for modeling seismic wave propagation in 3D heterogeneous viscoelastic media, *Earth Planets Space*,

69, 102, doi:10.1186/s40623-017-0687-2, 2017.

Todoriki, M., T. Furumura, and T. Maeda, Effects of seawater on elongated duration of ground motion as well as variation in its amplitude for offshore earthquakes, *Geophys. J. Int.*, 208, 1, 226-233, 2017.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

- (1) 平成 30 年度に継続し、関東平野等での主要平野における長周期地震動増幅強度の方位性とその成因を、震源の深さや伝播経路の地下構造の観点から詳しく評価するとともに、それぞれの原因を定量化することで、南海トラフ地震等の巨大地震による長周期地震動の予測の高度化に繋げる。
- (2) 長周期地震動による被害軽減に向けて、強震観測データとシミュレーションの同化や、予め計算したグリーン関数等を用いたリアルタイム予測手法の開発に向け、波動伝播解析と効率的な計算手法の開発研究を進める。
- (3) 南西諸島全体のシームレスな減衰トモグラフィーを実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

古村孝志・他(参加人数6名程度)

他機関との共同研究の有無:有

東大情報学環、東大生産技術研究所、岡山大学理学部ほか

(12) 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:03-5841-5712

e-mail:yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL:

(13) 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

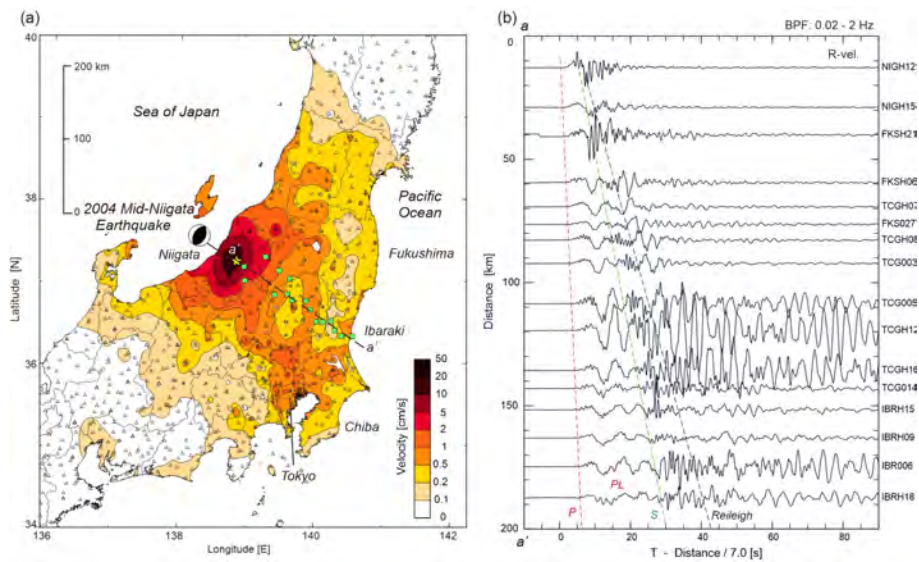


図1 2004年新潟県中越地震の最大速度分布 (PGV) と PL 波の伝播
 2004年新潟県中越地震 (Mw6.6, h=8 km) の最大速度分布 (PGV) K-NET, KiK-net 速度波形記録 (Radial 成分) のP波とS波の間に見られる、大振幅で長周期のPL波。

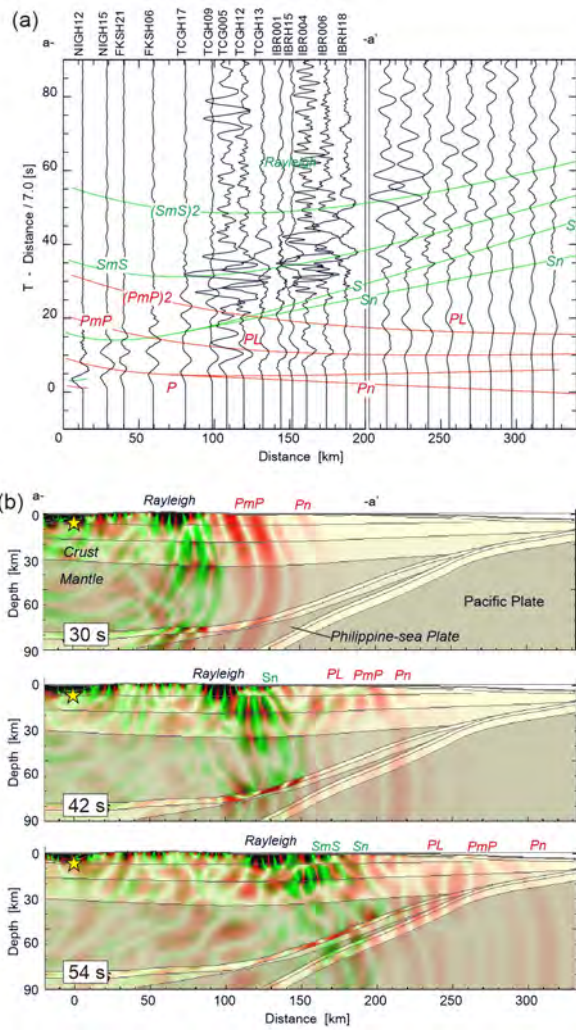


図2 2004年新潟県中越地震の波動伝播の3次元差分法シミュレーション

2004年新潟県中越地震の波動伝播の3次元差分法シミュレーション。(a)地動速度波形 Radial 成分(図1のレコードセクションに対応)、(b)3次元差分法シミュレーションの2次元断面(図1; a-a')の波動伝播のスナップショット(赤がP波、緑がS波を表す)。

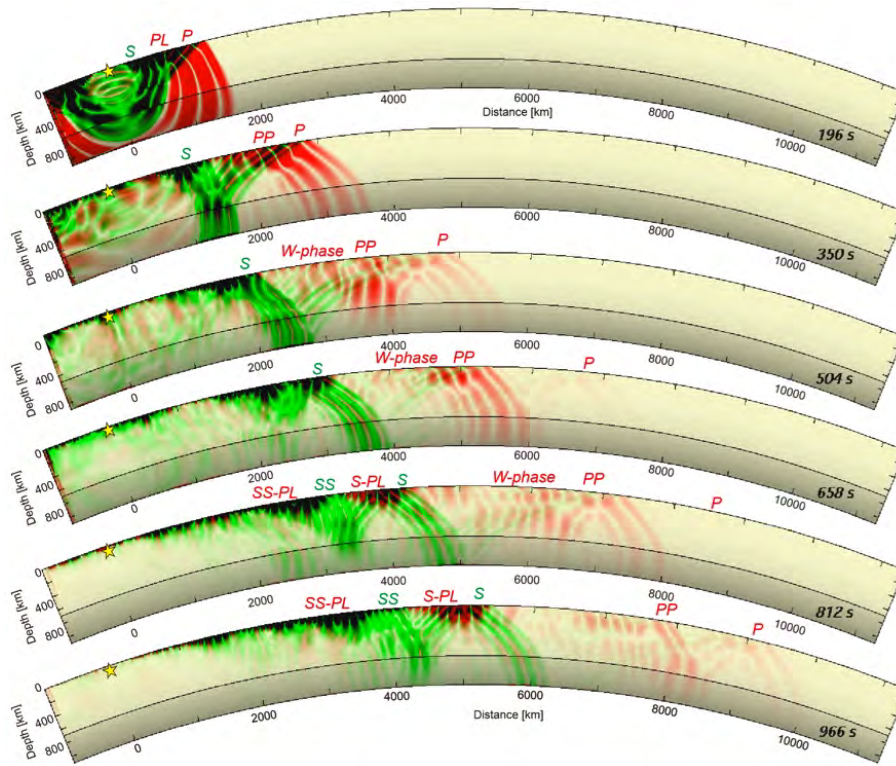


図3 2011年東北地方太平洋沖地震のW-phase伝播シミュレーション
 2011年東北地方太平洋沖地震の遠地地震波伝播シミュレーション。3次元差分法計算のスナップショット2次元断面。地震発生から193秒、350秒、…、966秒後の球殻地球の波動場。

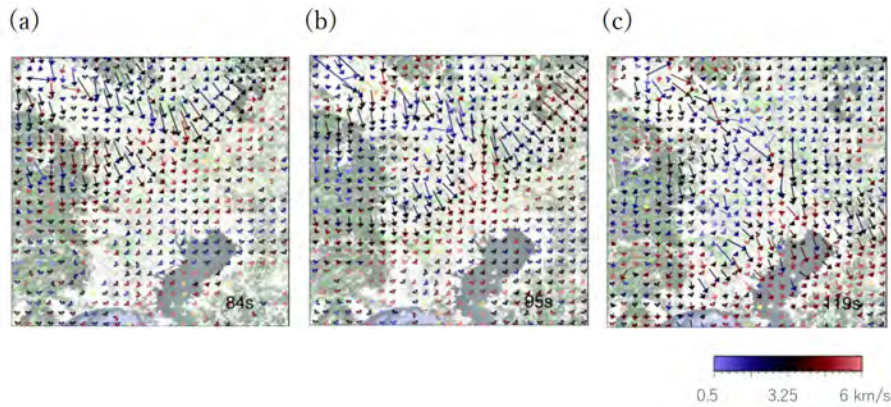


図4 2004年新潟県中越地震のWave Gradiometry解析
 2004年新潟県中越地震の地震波動伝播シミュレーション結果のWave Gradiometry解析結果。地震発生から84秒、95秒、119秒後の関東平野周辺の波動場のスローネスの大きさを色（紫～赤）と矢印の大きさで、また、振動方向を矢印の向きで表す。

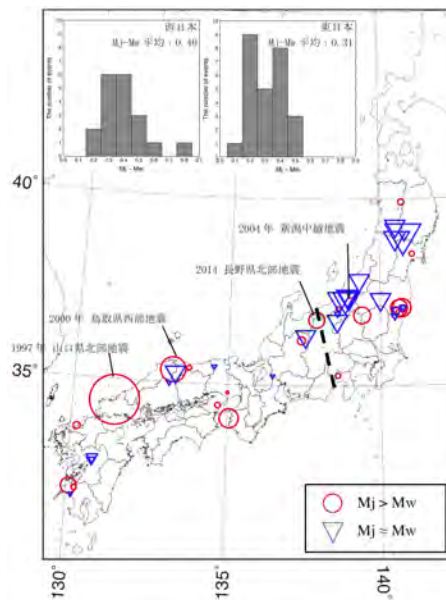


図5 内陸の浅発地震における M_j と M_w 差

内陸の浅い地震 ($h < 40$ km) における M_j と M_w (GCMTによる) のずれ。赤が $M_j > M_w$ の地震、青が $M_j < M_w$ の地震の震央を表わし、記号の大きさが差を表す。

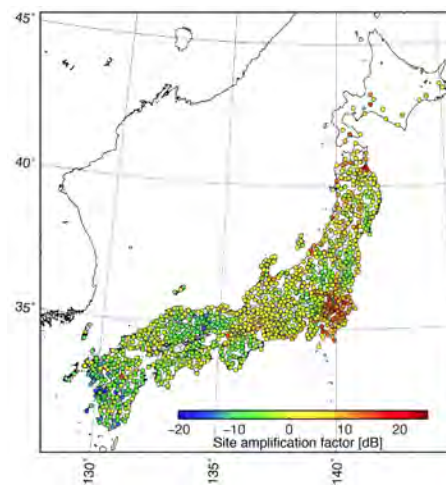
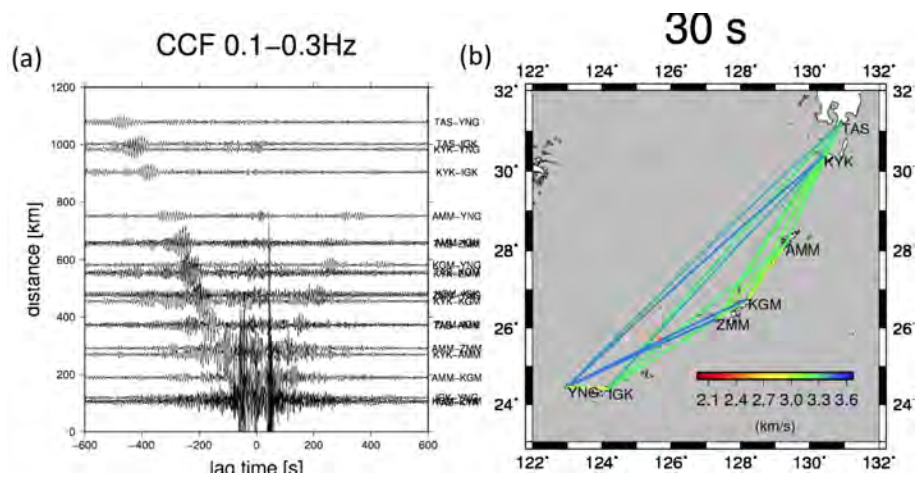


図6 M_j 推定のサイト増幅特性 (dB)

K-NET, KiK-net 観測点における M_j 推定のサイト増幅特性 (dB)。赤がサイト増幅の大きな観測点を、青が小さな観測点を表す。



地震波干渉法から推定された南西諸島におけるレーリー波群速度

(a) 観測点間距離における相互相関関数のペーストアップ。0.1~0.3 Hzのフィルタをかけている。(b) 周期30秒における観測点間の群速度。

(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：

地震動・津波誘因の長期予測情報コミュニケーション

(3) 最も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

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(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・火山噴火の災害発生機構の解明

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(3) 関連研究分野との連携の強化

(5) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震動誘因や津波誘因の不確実な長期予測情報が、災害軽減に有効に役立つためのコミュニケーション手法を確立することにより、長期予測情報の高度化に貢献する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26～28 年度には、サーベイ調査や海外調査などを行って、我が国におけるコミュニケーション手法の問題点を明らかにする。その上で平成 29 30 年度に人文・社会科学分野の方法論などを援用しながら問題点の解決策を検討し、新たなコミュニケーション手法を確立する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

2016～2017 年度に大きな地震があったイタリアやニュージーランド、台湾などにおいて被害やコミュニケーションに関する現地調査を行った。確率論的地震動予測地図を、明治以降の観測震度と比較することにより検証した。また、本年度は、昨年度実施した調査票調査の分析と昨年度の調査を補完する為に、対象範囲を拡大させてさらなる調査票調査を行った。結果として、犯罪に比べて地震の方が人々の経験が多く、また関連する情報に触れる機会が多いこと、よりリスクを感じていることが

明らかになった。さらに、地震や犯罪に関する経験の有無と、それらへのリスク認知のあり方が関係していることがわかった。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
Nakayachi, K., B. B. Johnson and K. Koketsu, 2017. Effects of acknowledging uncertainty about earthquake risk estimates on San Francisco Bay Area residents' beliefs, attitudes, and intentions, *Risk Analysis*, doi: 10.1111/risa.12883, 1-14.
Koketsu, K., A. Cerase, A. Amato, and S. Oki, 2018. Lessons learned from L'Aquila trial for scientists' communication, AOGS-EGU Joint Meeting, F-D1-AM1-BR2-004.
- (10) 平成 30 年度実施計画の概要 :
現地調査や調査票調査、予測の検証など 5 年間の研究成果をとりまとめる。
- (11) 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・災害科学系研究部門
他機関との共同研究の有無 : 有
慶應義塾大学 , 同志社大学 , 東京都市大学 , 東北大学 , 土木研究所など .
- (12) 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 : 03-5841-5712
e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL :
- (13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者
氏名 : 瀧澤 一起
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) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 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. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

全国の陸域および海域に展開された地震・地殻変動・火山等の各種観測網から得られる大容量・多項目のデータを、リアルタイムで効率的に流通させるためのシステムを構築・運用・高度化し、全国の観測研究をデータ流通基盤として支える。

(7) 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 ヶ年を通して、高速広域ネットワークを利用した観測データ流通網 JDXnet の安定的な運用と機能の高度化を行う。その中で特に以下を進める。

- (1) 災害時に強いデータ収集・中継システムの構築。
- (2) 超大容量・多項目データ流通のための効率的な通信方式の開発。
- (3) 観測メタデータの効率的なハンドリングシステムの開発。
- (4) データ蓄積機能を包含するデータ流通システムの開発。
- (5) 接続機関の拡大。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

観測データ流通網 JDXnet の安定的な運用を進めたが、JGN の接続ポイントが減ったこともあり、SINET や JGN におけるネットワーク障害によって、データ流通に問題となる場合が生じる事例があった。

データ蓄積機能を包含するデータ流通システムの開発を行い、安定的運用が可能であることがわかった。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

観測データ流通網 JDXnet の安定的な運用策を検討する。また、接続期間の拡大を進め、リアルタイムでのデータを利用したシステム等の開発を支援する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

鷹野 澄・鶴岡 弘・大湊 隆雄・平田 直(東京大学地震研究所)

中川 茂樹(気象庁地震火山部)

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。

(12) 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 : 03-5841-5712

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

(13) 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 地震火山情報センター

(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：

研究成果共有システムの構築

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(4) その他関連する建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本計画で得られる速度構造モデルやソフトウェアを含む研究成果をデータベース化し、それらを容易に共有できる仕組みを構築する。また、基礎データを自動解析し、解析結果を自動的にアップデートできるシステムを構築する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

1. 研究成果を容易に共有できる仕組みの構築

クラウドサービス等を利用し、Web サーバ等に情報共有・成果共有の仕組みを構築する。震源過程解析結果の可視化ツールを開発する。

2. 速度構造モデル共有に向けてのフォーマット等の作成

コミュニティのなかで標準あるいは基準となるような速度構造モデルを目標に作成する。

3. 応用解析のための基礎データを作成するプログラムの開発

東京大学地震研究所の並列計算機システム (EIC) 上で動作可能な並列化されたプログラム群を開発する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

昨年度から開発を行っている地震活動解析システムの XETAS の Web 版の開発を行った。大規模連続地震波形データ解析システムへのデータ格納を進めた。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

データ公開のためのポリシーの検討を実施し、他機関および継続したデータ共有の仕組みについても検討する。

(11) 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)

中川 茂樹 (気象庁地震火山部)

他機関との共同研究の有無 : 有

山中佳子 (名古屋大) ・ 大見士朗 (京都大学防災研)

(12) 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 : 03-5841-5712

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

(13) 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 地震火山情報センター

(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：

衛星赤外画像による噴火推移の観測と類型化に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 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整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

4. 研究を推進するための体制の整備

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

噴火推移の体系的分析は，噴火事象系統樹の全体像 多様性・タイプ等 の把握に密接に関係すると共に，推移の違いを生む原因を探る上でも重要な鍵となるが，これまで基盤となる適当なデータセットがなく困難であった．衛星を用いた広域観測により噴火推移データの効率的収集ができ，これらを基にすることにより噴火推移の系統的な整理・検討が可能となる．本計画は，この衛星赤外画像データに基づく噴火推移解析を，次世代衛星データの導入と複合的解析方法の開発の両面から高度化し，その多様性の把握と類型化に関する研究を進めることを目的とする．このような研究が進めば，リアルタイム観測の変化から類型を推定し，イベント発生に先行して現れる特徴的な変化パターン - 例えば単純には，爆発的噴火に先行して現れる熱異常の低下等 - を捉えることにより，噴火推移の予測に繋がられる可能性もある．

噴火は，極論すればマグマや高温ガスが地表に噴出する現象と見做すことができ，この熱が地上にもたらす温度変化やその空間的拡がりに関係する情報を高頻度型衛星赤外画像で観測することにより，間接的にマグマやガスの放出状況とその時間変化パターンを捉えることができる．他方，静止衛星による超高頻度観測により爆発的噴火の発生に関する噴煙の発生状況等に関する詳しい情報を得るこ

とができる。両者を組合せることにより、マグマやガス放出状況の時間変化に対して、どのようなタイプ・規模の爆発的噴火がどのようなタイミングで発生しているのか あるいはしていないのか 等を比較分析し、噴火推移の特徴を抽出することが可能となる。これをベースに、独自の複数指標によるパラレルタイムラインチャートによる複合的解析手法の開発と高度化を進め、噴火推移のデータベース化と類型化を行う。観測の結果はリアルタイムで公開し、観測網が乏しい東アジアの基盤的観測の一翼を担えるようにする。

計画期間内の平成 27-28 年度に我が国の 2 つの新衛星 GCOM-C1 と次世代「ひまわり」の運用が開始される予定であり、これらを現在の衛星観測システムに導入することにより、観測能力の各段の向上を図る。GCOM-C1 は JAXA の気候変動観測衛星で、新センサー SGLI が搭載されており、分解能が現在主力の MODIS の 1km から 250m に向上する。SGLI データを観測システムに組込むことで、リアルタイムで火口位置や噴出物分布域等を知ることが可能となる。同時に、Web ベースのシミュレーションツール（溶岩流、火砕流等）を開発し、SGLI の観測結果と同サイトに置くことで、現地・東アジア各地を含む - で、噴火状況に応じて災害域の予測を、直接かつ即時できるようにする。次世代「ひまわり」も赤外バンドが分解能 2km、観測頻度 10 分毎となり、噴煙や爆発的噴火の発生状況等に関する観測精度が格段に向上する。さらに、ALOS-2 等に小型赤外カメラ（CIRC 等）が搭載され、これらの火山観測への応用について JAXA/EORC と共同で検討を進める。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

衛星赤外画像による東アジア活火山リアルタイム観測・情報発信システムを引き続き運用し、噴火データの収集と解析を進めると共に、観測システムの高度化を図る。

研究は以下のように進める。平成 26-27 年度: 新衛星 GCOM-C1/SGLI、次世代「ひまわり」画像解析ルーチンを開発し、システムへの組み込みを実施する。これにより、リアルタイムで細かな噴火情報の収集が可能となる。得られたデータはアーカイブシステムに蓄積する。また、衛星搭載赤外カメラの利用検討を行う。平成 28 年度: 性質の異なる複数のインデックス - 熱異常の強さや規模、噴煙の状況 - をパラレルタイムラインチャートとしてプロットし、時間変化パターンや相互関係から噴火推移を多角的に推定する方法の開発を進める。平成 29-30 年度: Web ベースの火砕流・溶岩流のシミュレーションツールを作成しシステムに組込む。また、アーカイブを含め噴火データをパラレルタイムラインチャート等により解析すると共に、噴火推移の類型化研究を進める。結果は関連データと併せデータベース化し、Web 上で公開する。国内噴火等観測データが豊富な事例を使って、マグマシステムとの関係など推移の違いを生む原因の検討を行う。なお、噴火が発生した場合はデータ収集のため、必要に応じて現地調査を実施する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

平成 29 年度は、以下の研究を行った。

・「GCOM-C SGLI 画像の処理システムおよびその関連システムの開発」

GCOM-C(Global Change Observation Mission ? Climate) は JAXA の気候変動観測衛星「しきさい」で、SGLI(Second Generation Global Imager) と呼ばれるセンサーが搭載されている。SGLI は短波長赤外の 1.6 μm 、熱赤外の 11 μm 、12 μm に分解能 250m のチャンネルをもち、夜間画像の観測頻度が 2-3 日毎で、リアルタイム性も比較的高い。GCOM-C は幾度かの打上げ延期の後、本年度 2017 年 12 月 23 日に種子島から打上げられた。これまでのところ衛星システムに問題はなく、平成 30 年の夏頃から研究者向けの試験的画像の供給が始まる見込みとなっている。

火山の観測には高い空間分解能と高い時間分解能(= 高い観測頻度)が必要となるが、そのような条件を同時に満たす画像データは存在しないため、高い空間分解能と高い時間分解能をもつ画像データを組み合わせて利用することとなる。本研究では、前者として商用画像衛星、後者としてひまわり 8 号の画像データを利用しているが、両者の空間分解能・時間分解能の間には大きな開きがある。GCOM-C SGLI 画像は分解能、観測頻度の点で両者の中間的な特性を有しており、溶岩流や火砕流の分布状況

等を適度な頻度で捉えるのに適したスペックとなっている。現在の観測システムでは、リアルタイム情報はひまわり 8 号の画像（活動レベルの変動）のみで、分布等の空間的情報は得ることができない。SGLI 画像の導入により、リアルタイムで噴火地点や溶岩流・火砕流等の分布状況を知ることができるようになる。この火山観測における SGLI 画像の優位性をより有効に活用するために、Web ベースの火砕流および溶岩流の 2 つのシミュレーションシステムの開発を行った。これらのシステムでは、SGLI 画像からリアルタイムで推定した噴火地点と他の関連パラメータを初期値として入力することにより、リアルタイムで地図上に想定される危険域を描画する。衛星によるリアルタイム観測システムとシミュレーションシステムが、同じ Web サイト上に置かれ、連動して利用できる仕組みとなっている。これによりリアルタイム観測・リアルタイムシミュレーションを実現する。さらに、本システムは Web 上のシステムであるため、我々運用側のみならず、アジア太平洋域のどの地域からも直接アクセスでき、現地の火山研究者・防災担当者が緊急時に自ら避難計画等の策定に利用できる点に特徴がある。

本年度の作業により、SGLI 画像処理システムの開発はほぼ完了した。本システムでは、JAXA のデータ配布サーバに数時間ごとにアクセスし、対象地域の新しい夜間データ（L1B Shortwave IR Thermal IR のデータセット）を地震研究所の SGLI 処理サーバにダウンロードする。その後、輝度補正・幾何補正を行い、火山毎にそれらを含む小領域を切り出す。これらの小領域画像は熱異常の解析に用いられると共に、アーカイブとして保存される。解析結果は、観測結果公開システム（REALVOLC）により Web 上に自動で公開される。この観測結果公開システムは、“MTSAT と MODIS のシステム” から “ひまわり 8 号と SGLI のシステム” への移行を機に、今年度よりシステムを一新した。観測結果公開システムのフロントページから、MODIS、ひまわり 8 号と共に、シミュレーションシステムや SGLI のシステムのフロントページにアクセスできるようになっている。SGLI のフロントページでは、観測領域が 10 の地域に分けられ、地域毎に各火山のデータを閲覧する仕様となっている。各火山について、熱異常の時間変化（1 年スケール）、最新の熱画像等が表示される。シミュレーションシステムはこれまで別目的で開発したものを含め、今年度観測結果公開システムに統合したものである。計算の基礎となる DEM データについても整備を進め、日本国内の火山については国土地理院の 10m メッシュデータを、国外の火山については新たに米国から公開が許可された 1 秒メッシュ（30m）の SRTM データを組入れた。

JAXA により SGLI の機能確認のために撮影されたルソン島南部の 2018 年 1 月 23 日の画像（昼間画像）が公開された。この熱赤外画像には噴火中のマヨン火山の山頂部の溶岩ドームと南東に流れた溶岩流／火砕流が捉えられていた。この画像から 1 月 23 日の時点での火砕流の最大到達距離が 4 km と推定され、翌日の地上観測により 5 km と観測されていることから、この間に 1 km 程最大到達距離が伸びたことがわかった。このように、実際の SGLI 画像により火山噴出物の分布状況を捉えられることを確認することができた。

・「ひまわり 8 号のシステムによる試行観測および関連した開発」

ひまわり 8 号の観測システムについては、基本的な処理システムの開発が平成 28 年度に完了したため、本年度は関連した解析システムの開発として解析結果の公開のため Web システム開発、オフラインで利用する詳細解析ソフトの開発および試行観測を行った。

解析結果の公開のために、アジア太平洋域の 168 火山について、リアルタイムで熱異常の時間変化を示すチャート、最新の熱画像を閲覧できる Web システムを構築した。詳細解析ソフトは、リアルタイムのデータ処理では対応が難しい個別の噴火ケースに特化した処理や、精密な補正等を行うために開発したものである。今年度は大気補正ルーチン、太陽迷光の補正ルーチンを開発した。太陽迷光はひまわり 8 号の 1.6 μm 、2.3 μm の夜間画像で表れ、火山の熱解析を行う上で大きな障害となってきたが、火山近隣の非熱異常域の値をバックグラウンドして、R1.6Mx（1.6 μm 画像において火山近傍で最高の輝度値を示す画素の値）、R2.3Mx（2.3 μm 画像において火山近傍で最高の輝度値を示す画素の値）からそれぞれ差し引くことにより、ほぼ完全に補正できることがわかった。

平成 29 年のひまわり 8 号による試行観測において、アジア太平洋域で、西之島、シナブン、マナム等の 10 を超える火山で比較的大きな活動が見られた。これらの内、ストロンボリ式溶岩噴泉伴う噴出

的噴火（溶岩の粘性が低い）の事例と溶岩ドームや厚い溶岩の噴出を主体とする活動を取り上げ、熱異常の時間変化の特徴を吟味した。この結果、ストロンボリ式溶岩噴泉を伴う噴出的噴火は長時間スケール（1年）では熱異常はきわめて緩やかな変化を、短時間スケール（24時間）でもほぼ一定に近い変化を示すことがわかった。これは溶岩の噴出がきわめてコンスタントで、変動が緩やかであることを示す。一方、溶岩ドームや厚い溶岩の噴出を主体とする粘性の高い溶岩の活動では、長時間スケールでは活動が数ヶ月以上に渡って継続する場合でも、熱異常のばらつきが大きいことが判った。また、短時間スケールの変化では、しばしば特徴的な非対称の急増 - 緩減パターンが見られることが判った。これは、崩落型火砕流の発生時期と重なっていることから、溶岩ドーム等の一部が崩壊し、斜面上に火砕流の堆積に伴う高温域が一時的に拡がり、それが徐々に冷却して行く過程を反映しているものと考えられた。このように、ひまわり8号の短時間スケールの熱異常の時間変化から噴火状況の推定が可能であることがわかってきた。非リアルタイムの詳細な解析として、西之島2017年噴火活動を取り上げ、ランドサットの高分解能赤外画像、プレアデス画像等と組み合わせた検討を行い、噴火推移の概要を明らかにすることができた。

(9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

W. Xu, M. J. Wooster, T. Kaneko, J. He, T. Zhang, D. Fisher (2017): Major advances in geostationary fire radiative power (FRP) retrieval over Asia and Australia stemming from use of Himawari-8 AHI. Remote Sensing of Environment, 193, 138-149.

(10) 平成30年度実施計画の概要：

平成30年度は以下の研究に取り組む。

(1) 観測システムを用いた試行観測

平成29年度はひまわり8号のシステムを用いた試行観測を行ってきたが、平成30年度は年度途中からデータの利用が始まるSGLI画像のシステムの試行観測も併せて行う。この試行観測により、噴火データを収集するとともに、システムの問題点や不具合を洗い出す。

(2) 平成29年度の試行観測で見出された問題点の改修と改良

ひまわり8号のシステム：平成29年度の運用で明らかになった1.6 μm, 2.3 μmの夜間画像での太陽迷光の補正プログラムをリアルタイム処理システムに組込む。

SGLIのシステム：現在のシステムでは画像の投影に緯度・経度座標系を利用している。このため各火山に対応した101 × 101画素, 401画素 × 401画素といった小領域を切り出す際、Webシステムに画像を表示すると高緯度域では等積から大きく外れ、緯度方向に伸びた画像となる。このため地図と対照させて場所の特定を行うことが困難となる。このような事態を避けるため、Web上で疑似的に等積図法に近い形状で画像の表示ができるように改良を加える。

(3) 平成29-30年度のひまわり8号試行観測データを用いた噴火状況の検討

短時間スケールの熱異常の時間変化を用いた噴火状況の解析について、平成29年度に明らかにした噴出的噴火、崩落型火砕流に関係するパターン以外に、どのような噴火とパターンの関係が見られるのかを精査する。とくに、ブルカノ式噴火等の検討を進める。

(4) ひまわり8号、GCOM-C SGLIの噴火画像と高分解能画像による統合的解析

平成30年度より実際にSGLIによる観測が始まる。本年度の試行観測では、新たに得られるようになるSGLIのデータとひまわり8号、高分解能画像を組合せ、中程度の規模の噴火を対象に噴火推移の解析を行う。この中で、SGLI画像導入によりどの程度解析の向上が図れるかを評価する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

担当者：東京大学地震研究所 金子隆之

分担者： " 安田 敦

他機関との共同研究の有無：有

JAXA/EORC (GCOM-C/SGLI , ALOS-2/CIRC データの利用について)
ロンドン大学キングスカレッジ (データ解析について)

(12) 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 : 03-5841-5712

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 金子隆之

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：

海底での地震・地殻変動観測に向けた観測技術の高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 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・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 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、これまでも長期高密度な機
動的地震観測、機動的強震観測、機動的で長期の広帯域地震観測、新方式のケーブルシステムによる
定常的地震観測、などをこの 10 数年で実現させてきた。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、および定
常的な海域観測網の高度化、などを今後の技術開発の課題として取り組む。

これらの観測技術開発を進展させることで、研究基盤の整備を目指す。その結果として、海域での
地震・測地観測の高度化を図り、プレート境界の地震発生帯その場でのモニタリングを可能とさせて、
今後の地震発生の予測へ貢献する。

(7) 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、その実行には不確定要素が多いためである。

機動的観測での主たる開発項目は、

- ・次世代型広帯域海底地震計の自律展開設置・自己浮上回収方式への機能高度化、
- ・超深海域で長期(広帯域)地震観測の実用化、
- ・面的展開が可能な海底面での傾斜観測の実用化、
- ・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。一方、定常的観測としては、

- ・高信頼性を保ちつつ、対費用効果をあげるケーブルシステムと海底孔内観測システムの統合的開発、
- ・研究の進展に伴い観測を高度化できる、また、大規模展開に適したケーブルシステムの開発、
- ・機動的観測を視野に入れたケーブルシステムの開発、
- ・GPS/A 等の地殻変動観測への拡張、

を開発項目とする。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

機動的観測での開発に関しては、昨年度に進めた、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に向けた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)の長期試験観測を2017年4月の研究船航海時に実施した。同航海では、宮城沖の海溝斜面に2015年9月に設置したBBOBST-NX(傾斜観測機能付きBBOBS-NX)も回収し、長期評価のデータを取得した。観測期間の途中から、機器トラブルとは考えがたい大きな傾斜変動が記録されていたが(図2)同時期に近傍で海底水圧計などの記録が無く、その原因を追及することが出来ていない。前者のNX-2Gでは、海底に貫入させたセンサー部を回収時に引き抜くための追加浮力が必要であるため浮力体(ガラス球フロート)を2個使用した(図1)。2016年10月に実地試験した際に、降下中機器の周期的傾斜変動の抑制効果が確認された方法である、チタン球赤道部3箇所から浮力体へのロープ結束を行い投入・設置を行った。着底後および観測状態への移行後、音響通信によりセンサー部の傾斜が充分小さいことが今回の設置でも確認された。これらの経過は小型水中ビデオカメラで記録しており、2018年9月の回収航海時に本体と共に回収する。2017年10月にも同海域での観測航海時に、NX-2Gが正常な動作を継続していることが音響通信で再度確認されてる。2017年9月には、房総沖で長期海底傾斜観測を2015年7月に開始したBBOBST-NXの回収を民間傭船の無人潜水艇(ROV)で試みたが、航海開始と共に始まった黒潮流軸の北上により当該海域の潮流が傭船の定点保持能力を超えてしまい、潜航作業を実施できなかった。早急に回収するべく、機会確保への各種検討を進めている。また、水晶発振方式加速度センサーの評価試験は、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)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。小型広帯域地震計には、固有周期20秒のNanometrics社Trillium Compact Broadband Seismometerを用いた。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、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(図3)。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(図4)。

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た。また、システムの保守および、OBCSTシステム、特に電源システムの改良を実施した。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、今後長期間にわたり安定に運用するためには、波浪の影響で海岸の砂・石が大幅に移動する汀線部から沖側約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。OBCSTシステムの電源は、海底ケーブルにマイナスの電圧、汀線部のアースにプラスの電圧を印加し、運用している。汀線部アースが、海水と同電位になることで、海水が電源の片側経路となる。OBCSTシステムを1年程度運用した結果、システムへの給電電圧の変動が想定以上に大きいことが判明し、その原因は、汀線部陸側に海水面より深く埋設設置してあるアース電極が、降雨等による陸側からの真水に暴露されることで、その接地抵抗が大きく変化するためと推察された。このため、今後の長期安定運用のため、降雨の影響を受けず安定した接地抵抗が得られる沖合の海底に新たな海中アース電極を設置することとした。そこで、2017年度は、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(図5)。保護対策としては、汀線付近のケーブルに鉄製の防護管を取り付け質量を増し、浮き上がりにくくした。また、アースの強化としては沖合数十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(図6)。

海底ケーブルを用いた地震・津波観測の次期システムとして、ICTを用いつつ、さらに信頼性を向上させる技術開発を行っている。これまでのICTを用いたケーブル観測システムは、観測ノードにおける中継再生方式を採用している。ケーブルシステムの場合は、いわゆるネットワーク型の接続が難しく、直列に接続されているので、一つの観測ノードが故障すると、情報がそれより先へは伝わらなくなる恐れがある。これまでに開発・設置したICTを導入したケーブルシステムは、伝送路の冗長化により、この問題に対処していた。一方、接続方式として、観測ノードと陸上局設備が1対1に接続されるP2P(Peer to peer)方式がある。P2P方式は、ICT導入以前の海底ケーブル観測システムでは採用されている実績のある方式であり、1つの観測ノードの通信部の故障が、他の観測ノードに影響を及ぼさない点で優れている。P2P方式は通信路が観測ノードの数だけ必要となるが、その一つ一つに光ファイバーを割り当てることはファイバーの本数から難しいので、一般的には一つのファイバーに複数の観測ノードを接続し、それぞれの観測ノードが違う波長の光を用いることによって、P2P接続することが一般的である(WDM方式)。P2P方式は、これまでに設置された非ICTケーブル観測システムに採用されているが、ICTシステムをP2P方式に導入した例は、海底ケーブル観測システムではこれまでにほとんどない。そこで、P2P方式におけるICTの導入実現可否を明らかにするために、試作システムを構築し、実験を開始した(図7)。また、ICTを導入する場合におけるP2P方式と中継再生方式との性能比較の検討も行っている。

- (9)平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
- T. Sato, S. Hasegawa, A. Kono, H. Shiobara, T. Yagi, T. Yamada, M. Shinohara, and N. Usui, Detection of vertical motion during a Boso slow-slip event by ocean-bottom pressure gauges, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 2710-2715, doi:10.1002/2017GL072838, 2017.
 - T. Tonegawa, Y. Fukao, H. Shiobara, H. Sugioka, A. Ito, and M. Yamashita, Excitation Location and Seasonal Variation of Transoceanic Infragravity Waves Observed at an Absolute Pressure Gauge Array, *J. Geophys. Res. Oceans*, 122, doi:10.1002/2017JC013488, 2017.
 - Sandanbata, O., S. Watada, K. Satake, Y. Fukao, H. Sugioka, A. Ito, and H. Shiobara, Ray tracing for dispersive tsunamis and source amplitude estimation based on Green's law: Application to the 2015 volcanic tsunami earthquake near Torishima, South of Japan, *Pure and Applied Geophys.*, doi.org/10.1007/s00024-

017-1746-0, 2017.

- H. Shiobara, A. Ito, H. Sugioka, Y. Fukao, M. Shinohara, Development of the autonomous BBOBS-NX (NX-2G) : preliminary test report, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張メッセ, 千葉県, 2017年5月24日, SCG71-06.
- H. Shiobara, A. Ito, H. Sugioka, M. Shinohara, Possibility of tilt observation at the seafloor by a mobile ocean bottom seismometer, IAG-IASPEI, Kobe International Conference Center, Kobe, Aug. 3, 2017, J07-P-10.
- H. Shiobara, A. Ito, H. Sugioka, M. Shinohara, First launch of the autonomous BBOBS-NX: NX-2G, IRIS 2017 OBS Symposium, Portland, MA, USA, Sep. 18-19, 2017.
- 塩原肇・篠原雅尚・伊藤亜妃・日野亮太・佐藤利典・杉岡裕子, 海底面での機動的傾斜観測実現に向けた BBOBST-NX での長期試験観測, 日本地震学会 2017 年度秋季大会, 鹿児島市、かごしま県民交流センター, 2017 年 10 月 26 日, S02-07.
- H. Shiobara, A. Ito, H. Sugioka, M. Shinohara, Autonomous BBOBS-NX (NX-2G) for New Era of Ocean Bottom Broadband Seismology, 2017 AGU Fall Meeting, New Orleans, LA, USA, Dec. 11, 2017, S11C-0605.
- Gusman, A. R., K. Satake, M. Shinohara, S. Sakai, and Y. Tanioka, Fault slip distribution of the 2016 Fukushima earthquake estimated from tsunami waveforms, Pure and Applied Geophysics, 174, 8, 2925-2943, DOI:10.1007/s00024-017-1590-2, 2017.
- 篠原雅尚・山田知朗・酒井慎一・塩原肇・金沢 敏彦, ICT を用いたケーブル式海底地震津波観測システムの開発と三陸沖への設置, 第 26 回海洋工学シンポジウム講演集, OES26-A0055, 2017.
- Shinohara, M., T. Yamada, S. Sakai, H. Shiobara, and T. Kanazawa, Development of seafloor cabled seismic and tsunami observation system using ICT and installation in source region of the 2011 Tohoku-oki earthquake, Offshore Geophysical Monitoring of Cascadia for Early Warning and Hazards Research at University of Washington, Seattle (USA), April 3 2017.
- Shinohara, M., T. Yamada, S. Sakai, H. Shiobara and T. Kanazawa, Installation of seafloor cabled seismic and tsunami observation system developed by using ICT, European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2017, Vienna(Austria), EGU2017-4327, 26 Apr 2017.
- Shinohara, M., T. Yamada, S. Sakai, H. Shiobara, and T. Kanazawa, Real-time observation system of pressure gauges and accelerometers on seafloor using ICT through seafloor fiber cable installed in the off-Sanriku region, Japan, IAG-IASPEI 2017, Kobe (Japan), J07-3-03 , August 3rd 2017.
- 篠原雅尚・山田知朗・塩原肇・山下裕亮, 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、日本地震学会 2017 年度秋季大会、S02 地震計測・処理システム、かごしま県民交流センター（鹿児島市） B 会場（2 階中ホール） S02-09、10 月 26 日, 2017.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

機動的観測での開発に関しては、2018 年 9 月に実施予定の観測航海において、今年度、福島県沖の海溝斜面に設置した NX-2G 試験機の回収を行う。これは特別推進研究(代表:日野亮太)の観測研究の一環である。また、未回収となっている房総沖の BBOBST-NX についての回収機会の設定を引き続き早急に進める。NX-2G の開発は科研費(基盤 A、代表:塩原)で 2019 年度まで研究期間があるが、2018 年度中には長期試験観測結果を元に、実用観測へ適用可能な形態への改修作業を進める予定である。また、水晶発振方式加速度センサーの評価試験を東北大で実施し、長周期帯域でのノイズレベルやレスポンスを確認する。

定常的な海域観測網の高度化については、従来から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 年設置の ICT 観測システムの両方を用いた併行観測を継続するとともに、システムの保守および観測システムの改良を実施する。また、新規開発システムについては、さらに信頼性を高めた ICT システムについての評価を実施する。さらに、これまでにない新しい方式での海底ケーブル

式地震・津波観測システムの開発をめざして、調査・検討を行う。

(11) 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
他機関との共同研究の有無：無

(12) 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：03-5841-5712
e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp
URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：塩原 肇
所属：東京大学 地震研究所 海半球観測研究センター

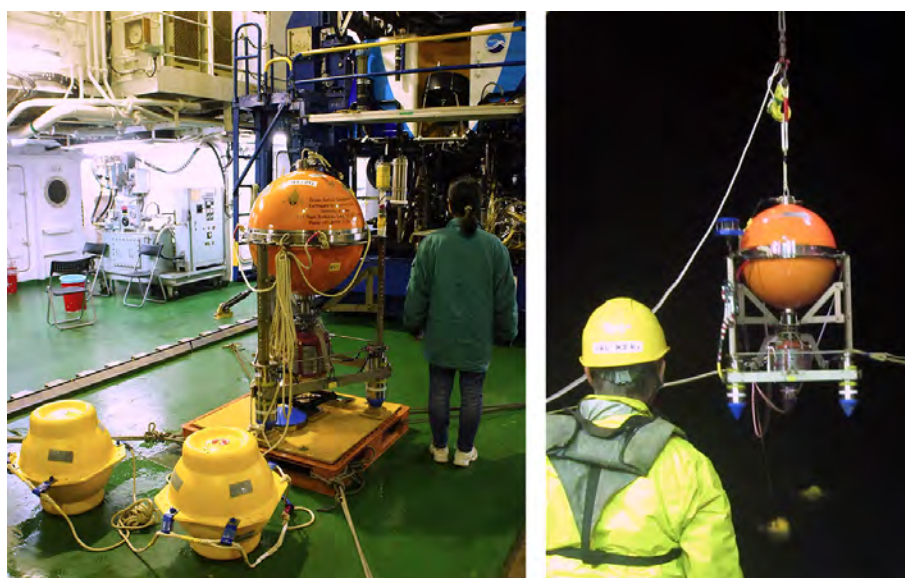


図1 2017年4月に長期試験観測を開始した自律動作方式の次期 BBOBS-NX (NX-2G)

昨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斜面 (地点名：AoA60、水深：4236 m) に設置し、長期試験観測を開始した。同地点は特別推進研究による海底地震計アレイの中心で、通常型の広帯域海底地震計による観測も併行して実施しており、NX-2G システムとのノイズレベルの比較が可能である。左画像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いる。投入の際には右画像の様に、フロートを先に投入し、NX-2G 本体を海面まで降ろしてから、自由落下での降下を開始させる。着底後に行った音響通信の応答から、センサー部はセンサーが動作可能な傾斜範囲に充分収まっており、記録部がセンサー部から分離して観測状態へ無事に移行したことも確認された。

BBOBST-NX @AOA40 : removed step & trend

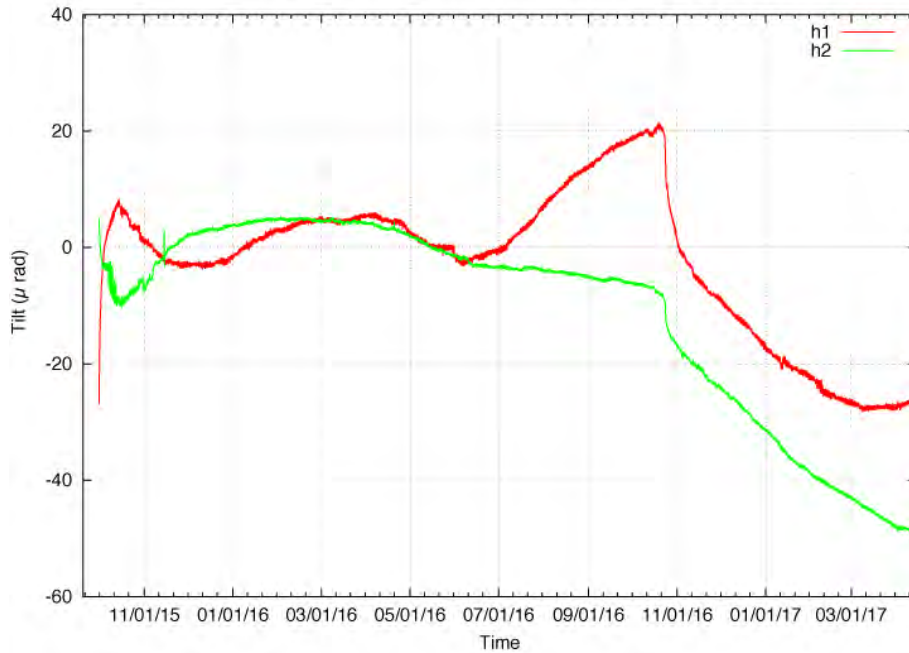


図2 宮城沖海溝斜面で長期試験観測した BBOBST-NX で得た傾斜変動記録

2015年9月から2017年4月までの水平動2成分のマスポジション(加速度)記録から求めた傾斜変動記録。マスのセンタリングなどによるステップ変化を可能な限り連続にした後、経年変化分を関数近似し取り除いた。時間平均を行い、1時間間隔のデータとしてある。2016年7月までは両成分とも安定していたが、その後h1成分のみ+20 μ radへの傾斜変化を示した後、両成分が負の傾斜へ大きく変化し続けた。回収時の海底面には特に異常は見られていない。Ito et al. (2013)で検出されたようなSSEを仮定すれば、陸上観測点で検出されずこのような現象が見られる可能性はあるが、他の観測データが無いため検証は難しい。

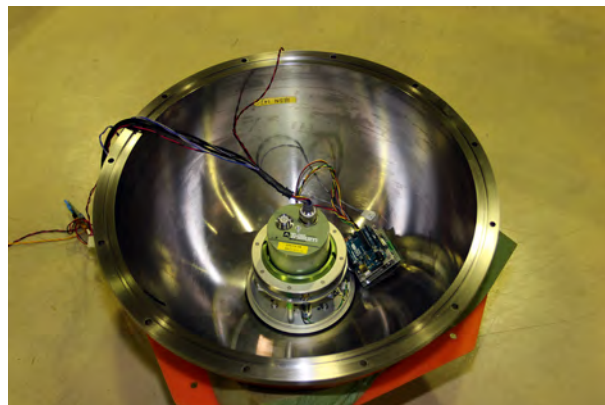


図3 小型広帯域海底地震計の耐圧球内部に設置した小型広帯域地震計レベリングシステム

従来の長期観測型海底地震計には、1Hz地震計ユニットを取り付けるためのプレートが、耐圧球内部の底部に取り付けられている。新規に開発したレベリング装置はそのプレートへそのまま取り付けられるようにした。電気的な接続やレコーダの設定も、従来の1Hz地震計と同じにしたので、組み立て作業やその後のオペレーションも従来と同じである。

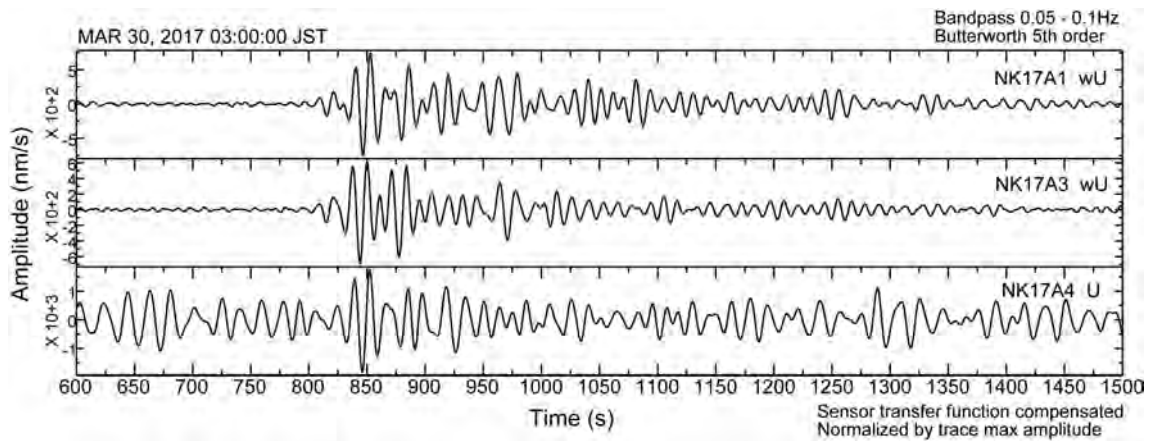


図4 小型広帯域海底地震計により収録された超低周波地震

開発した小型広帯域海底地震計は、2017年2月から7月まで、宮崎県沖の日向灘で試験観測を行った。この試験観測では、レベリング装置付き小型広帯域海底地震計、小型広帯域海底地震計を耐圧球底部に直接取り付けられたもの、従来の1Hz地震計の3つのシステムでの比較を行った。それぞれの海底地震計は約5km間隔で設置されている。図は、2017年3月30日の日本時間午前3時頃に発生した超低周波地震であり、上から、レベリング装置付き広帯域地震計、直接取り付けられた広帯域地震計、1Hz地震計の記録である。20秒から10秒のバンドパスフィルターがかけてあり、1Hz地震計については、特性の補正も行っている。広帯域地震計が、S/N比よく、超低周波地震を記録していることがわかる。

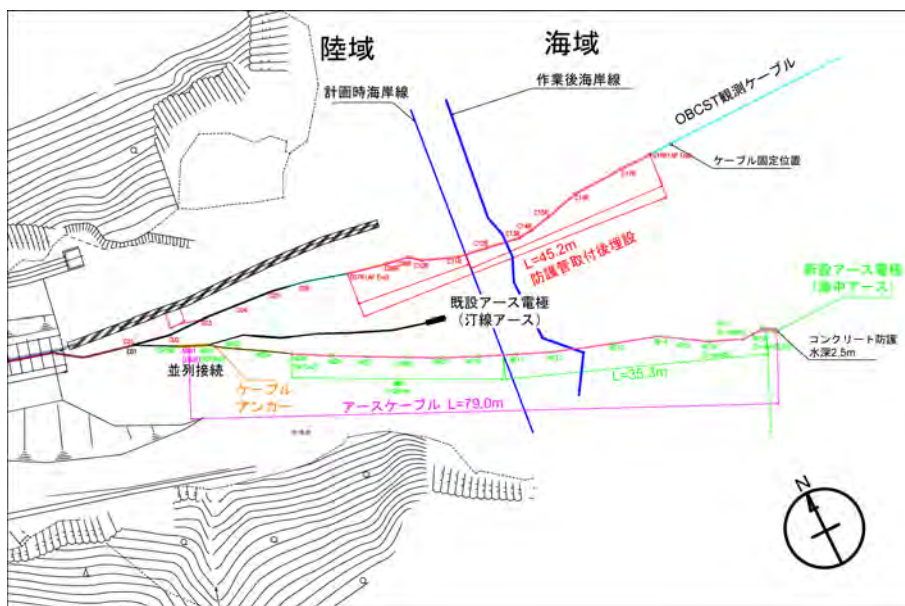


図5 2017年に実施した汀線部工事平面図

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部分（汀線部付近の赤線）と、沖合の海底に新たに設置した海中アース電極およびアースケーブル（緑線）の位置を示している。長期間安定した運用のために、波浪の影響で海岸の砂・石が大幅に移動する汀線部付近の保守を行うことが重要である。

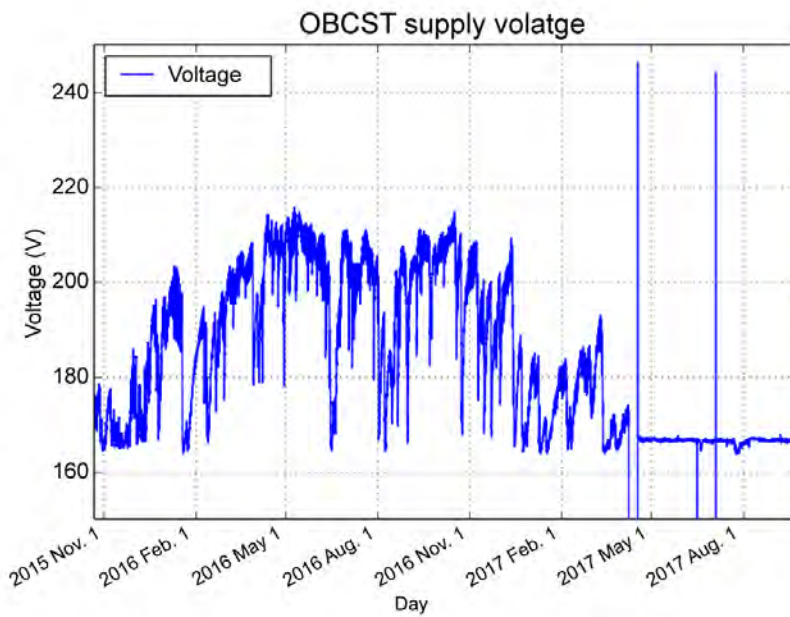


図6 OBCSTシステムの供給電圧の時間変化

海底ケーブル観測システムは、定電流給電を行っており、OBCSTシステムでは、約0.7Aの定電流給電を行っている。そのために、接地抵抗が変化すると供給電圧の変化として現れる。設置した2015年から、海中アースを設置するまでの2017年4月までは、降雨などの影響により、電圧が大きく変化している。海中アース増設後は、電圧は170V弱でほぼ一定となり、抵抗が一定となったことを示している。なお、パルス的な電圧変動は、メンテナンスなどの理由で、システム電源の断続が原因である。

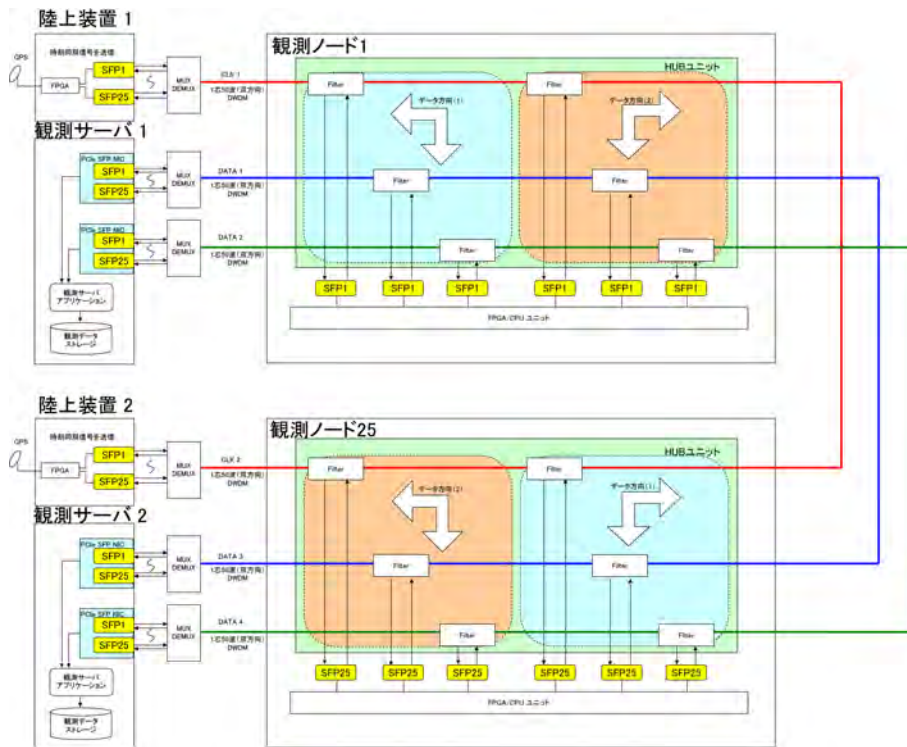


図7 P2P 接続方式での TCP/IP 接続実験のブロックダイアグラム

これまでに開発を行ってきた試作機を用いて、WDM 方式による P2P 接続での TCP/IP 実証試験の接続図。観測ノードには、これまでのシステムではネットワークハブによって信号を取り出していたが、P2P 方式では分波器によって必要な波長を取り出す。電気的な部品でない分波器を用いることにより、信頼性の向上が期待される。

(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：

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

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 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

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 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。地下深部の高温環境においても動作し、地殻活動にともなう地動変位を正確にとらえることのできる方法として、「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」では光技術を利用した広帯域地震計・傾斜計の開発を行った。この技術を高度化し、ボアホール内での試験観測を通じて、大深度における地殻活動の観測技術を確立し、地震の予測を行うための基礎観測データを提供する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」で開発された地震計・傾斜計に歪計・温度計を加え、5 年程度の期間で光ベースの大深度ボアホール用地震地殻変動観測装置の開発を行う。

平成 26 年度においては、現状の高温対応地震計・傾斜計をボアホール型に改良する。

平成 27 年度においては、ボアホール型地震計・傾斜計の高温試験および試験観測を実施する。

平成 28 年度においては、さらに光ファイバー式温度計・歪計を組み込む。

平成 29 年度においては、上記を統合し、光ベースの大深度ボアホール用観測装置を試作する。

平成 30 年度においては、既存の大深度ボアホールを利用し、観測を実施する(1 年程度)。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」において、レーザー技術を利用した広帯域地震計および傾斜計が開発された。変位センサーとしてレーザー干渉計を用いたものを製作し、所期の高い検出性能を確認した。また、これまでに地震計およびレーザー干渉計部分の高温試験を実施し、後者については光学素子の保持部材として高温用バネ材であるインコネルが有効であり 340 においても

レーザー干渉計が機能することが確認されている。今年度はこれらの結果の検討および、光ベースの大深度ボアホール用地震地殻変動観測装置で必要となる光ファイバー長距離伝送の基礎実験を実施した。

300 を超える温度でインコネルを用いた光学部品の保持機構で干渉信号が適正に得られることを示したが、冷却時に光軸ずれが発生した。また加熱の際も常温での干渉計コントラストからの若干の低下が認められた。いずれも光ファイバー保持部の温度サイクルによるずれと考えられ、従来よりも厚いインコネル板を板バネとして使用するとともに、光ファイバー保持部とコリメータを一体として調整できる構造が有効であると判断された。この方針に基づき、振動検知部も含めた高温地震計の設計を進めた。

また、センサー部の評価とともに、装置を大深度ボアホールに設置した場合を想定した、光ファイバーによる信号の長距離伝送の実験を行い、信号劣化等の評価を行った。これは課題 1506 と連携し、東北大学電気通信研究所で開発された通信波長帯の 1550nm 光源を 26km の伝送路で小型絶対重力計に導入し(図 1) 測定値の誤差などを評価した。その結果、重力の計測値は数メートル長の光ファイバー伝送の場合と比べ、少なくとも 7 桁のレベルでは特段の誤差は認められず、通常の地震観測には影響がない誤差のレベルであることがわかった。光アンプを用いた増幅後も劣化はなく、~30km の距離の光ファイバー伝送については大きな問題が伴わないと見込まれた。

光軸ずれ対策等のため当初計画より遅れている。次年度に地震計の試作を行い、特性を測定する予定である。

- (9)平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
新谷昌人、光ファイバーネットワークを用いた地震・津波・地殻変動の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, 23, 202-204, 2017.

- (10)平成 30 年度実施計画の概要：

平成 30 年度においては、光ベースの大深度ボアホール用地震地殻変動観測装置を試作し、試験観測を実施する予定である。

- (11)実施機関の参加者氏名または部署等名：

新谷昌人、高森昭光

他機関との共同研究の有無：有

海洋研究開発機構 荒木英一郎ほか 1 名、宇宙科学研究所 白石浩章ほか 1 名、東北大学 中沢正隆ほか 2 名

- (12)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：03-5841-5712

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

- (13)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：東京大学地震研究所



図1 光伝送実験で用いた 26km の光ファイバー（手前）とレーザー光源（奥）

(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：

素粒子ミュオンを用いた火山透視技術の可用化プロジェクト

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 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) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

低雑音型ミュオン検出器として、すでに実績が上がっているカロリメータ方式の装置の可用性を以下の項目を開発することで、大幅に向上させる。(1) 装置のモジュール化、マニュアル化、(2) 自動解析ハードウェアの開発、(3) 取得したデータの自動解析ソフトウェアおよびイメージャーの開発。“ユーザー”から“プロバイダ”へのフィードバックを促し、火山学者が必要とするミュオン検出器を実用化する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

1年目においてはミュオグラフィ自動解析アルゴリズム、自動画像生成アルゴリズムを完成させる。2年目においてはミュオグラフィ自動解析、自動画像生成ソフトウェアを完成させる。3年目においては活動的火山におけるミュオグラフィ長期観測点へのカロリメータ方式の導入・観測開始を行う。4年目においては火山学者によるミュオグラフィ測定装置の運用開始及び、開発者へのフィードバック。ソフトウェアの改良を行う。5年目においては4年目までの運用実績をもとに、最適化を行い火山学者

による観測を実現し、ミュオグラフィ装置の実用化を実現するとともに、ミュオグラフィデータベースを構築する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

平成 29 年度は、平成 28 年度に桜島ミュオグラフィ長期観測点へ導入・観測開始を行った高解像度軽量カロリメータ方式(第3世代方式)の運用を続けることで得られたデータをベースに分解能が大きく向上していることを確認した(シンチレーション検出器をベースとする第2世代方式の100倍以上)。また、桜島B火口及び昭和火口下の密度構造を第3世代方式を用いて透視可視化することに成功した。その結果B火口直下の低密度領域が昭和火口直下の低密度領域より大きなことを確認することができた。また、ミュオグラフィ自動処理データ閲覧システムをウェブ上で公開した。これにより、所定のウェブサイトにアクセスすることでミュオンイベントの時系列変化やミュオグラフィ画像をリアルタイムに確認できるようになった。ただし、ウェブ上に現在実装されているミュオグラフィ自動処理データ閲覧システムは第2世代をベースとしたものであるために、平成30年度は本システムの第3世代化を行う必要がある。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Laszlo Olah, Hiroyuki K.M. Tanaka, Takao Ohminato, Dezso Varga, High-definition and low-noise muography of the Sakurajima volcano with gaseous tracking detectors, Scientific Reports, 8, 3207 (2018).

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

平成30年度はより統計精度の高い透視画像をより短時間で取得できるよう高解像度軽量カロリメータ方式(第3世代方式)の有感面積を更に拡大する。また、第2世代システムをベースとしたミュオグラフィ自動処理データ閲覧システムの運用実績をもとに、第3世代化を進め、高解像度ミュオグラフィデータベースを構築する。

(11) 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)

他機関との共同研究の有無:有

高エネルギー加速器研究機構(素粒子原子核研究所)

北海道大学(院理・地震火山研究観測センター)

名古屋大学(院理・物理学専攻)

産業技術総合研究所(活断層・火山研究部門)

京都大学(防災研究所)

Hungarian Academy of Sciences (Wigner Research Centre for Physics)

(12) 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:03-5841-5712

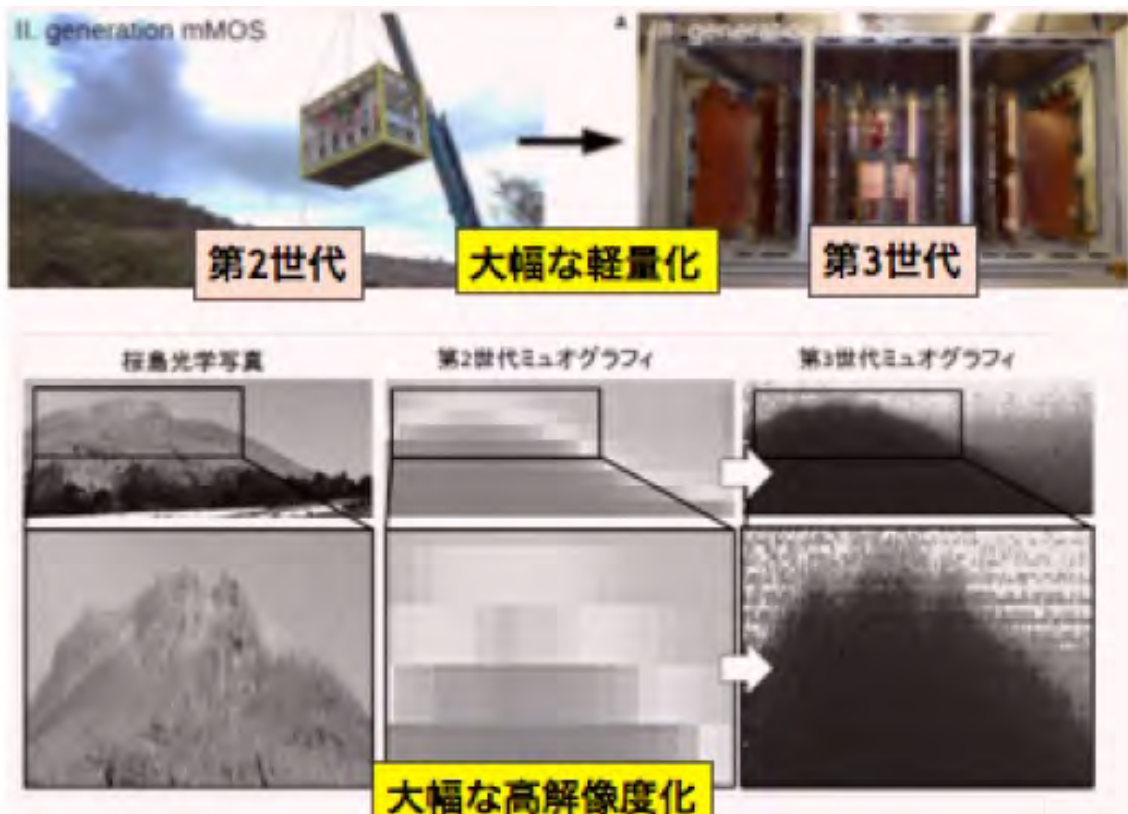
e-mail:yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL:

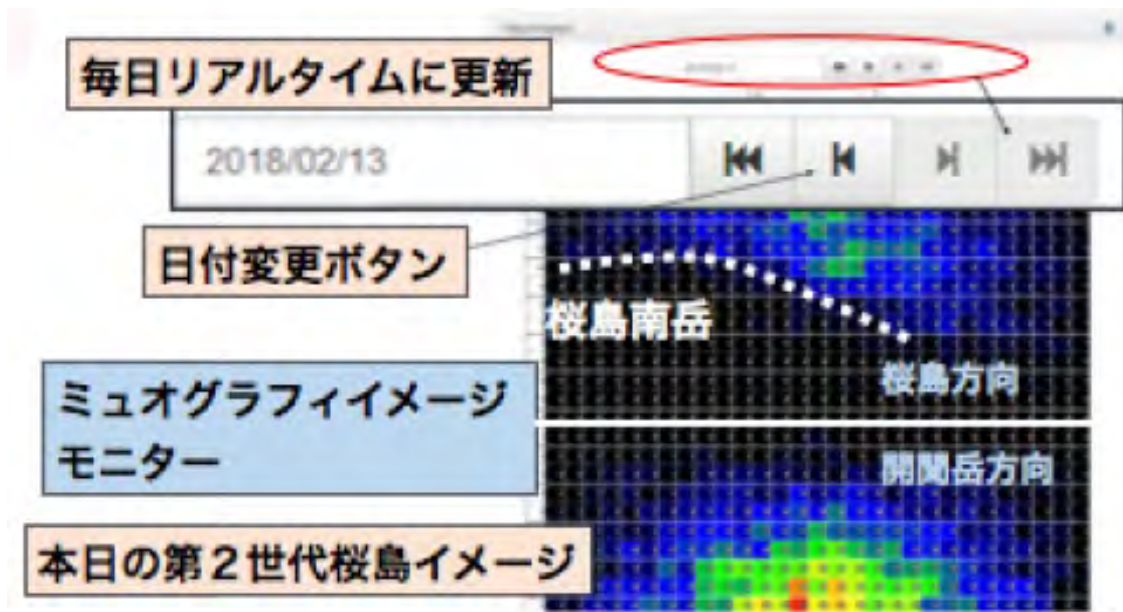
(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名:田中宏幸

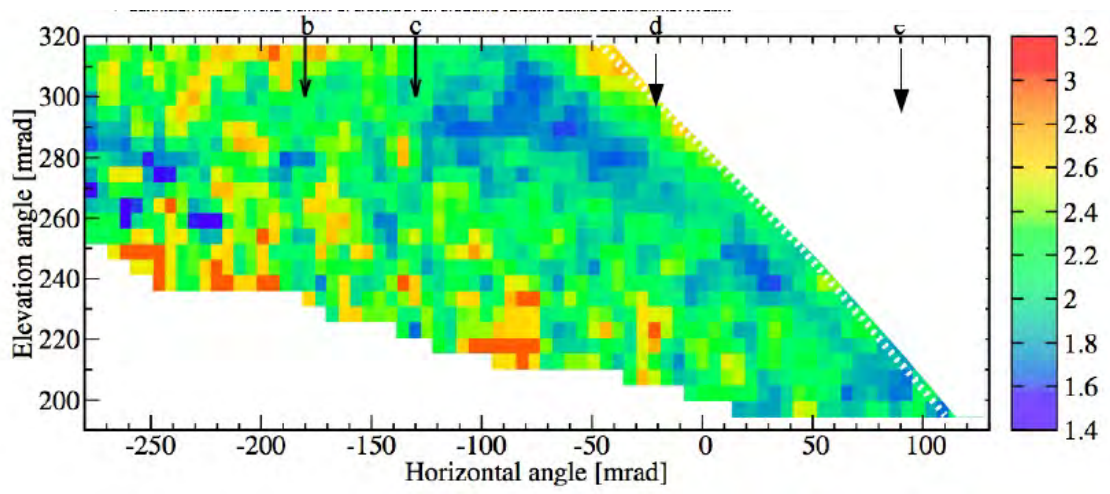
所属:東京大学地震研究所



桜島に導入された高解像度軽量カロリメータシステム



ウェブ上に実装されたミュオグラフィ自動処理データ閲覧システム



桜島 B 火口、昭和火口付近の透視画像。 c-d, d-e がそれぞれ B 火口、昭和火口の位置を示す。

(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：

日・米・NZ 国際協力によるスロースリップでのプレート境界面断層滑りメカニズムの解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(6) 国際共同研究・国際協力

(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・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(4) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

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の事前評価手法の高度化

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

地震活動やスロースリップなど、プレート境界における多様な滑り運動を詳細に把握し、プレート境界の形状や物性などの構造的要因との関係を明らかにすることは、地震発生メカニズムや断層破壊過程の理解に重要な貢献をなす。ニュージーランド北島では陸上地震観測網に加えて、近年 GPS 観測網が整備され、東海岸沖合いのヒクラング沈み込み帯における通常地震活動に加え、プレート間固着強度分布や、スロースリップの発生が明らかとなってきた。特に本研究の対象地域であるヒクラン

ギ沈み込み帯北部では、~2年周期でスロースリップが発生しており、過去にはM7級津波地震による被害も受けている。太平洋プレートの沈み込みが浅いため、地震波構造調査によって海山の沈み込みなど詳細なプレート境界周辺の形状や反射強度が得られており、断層すべり運動とプレート境界の構造的要因との関係について議論を行う上で、世界的に最適な場所である。

海底下深度掘削によって実際にプレート境界面周辺物質までを取得し、沈み込みに伴う脱水反応過程や水の流路、およびその低周波イベントとの関係を明らかにすることを目的とした国際共同研究を計画している。国際共同研究の枠組みの中で、日本の得意とする地震・海底地殻変動観測を、日・ニュージーランド・米の共同で多点展開することによって行い、ヒクラング沈み込み帯で発生するスロースリップ、およびそれに伴う多様な地震活動の推移を詳細に把握する。ここで得られた結果と地震波構造断面と比較することによって、多様な断層滑り現象とプレート境界面周辺の構造的要因との関係を解明する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

ヒクラング沈み込み帯では、~2年周期でスロースリップが発生しているが、このうち~6年に一度程度の周期で大規模なイベントが起こっている。海底地震計や海底圧力計を用いて、海域においてこのスロースリップおよびそれに付随する地震活動をとらえ、プレート境界の性質と運動の関係について解明を目指す。そのために我々は、日・米合わせて10台の海底地震・圧力計、5台の海底地震計および17台の海底圧力計を用いて、大規模なスロースリップの滑り過程の全体像をとらえることを目的とした観測を、2014年5月から1年間に渡り行うことを計画している。この観測で得られたデータについて、日・NZ・米の共同で多面的な解析をし、議論・検証を行う。この3カ国共同観測後にも、複数回のスロースリップを観測することを目的として、本研究計画による海域観測を続け、プレート境界運動の詳細を把握する。

(平成26年度)

- ・日・ニュージーランド・米共同による海底地震観測および海底圧力計を用いた海底上下変動観測を開始する。
- ・東京大学地震研究所では、2012年4月から2013年3月までの期間、同海域で4台の海底地震計を用いたパイロット観測を行った。観測期間中に観測網の南方で発生した比較的大きなスロースリップについて、その滑り過程を国際共同研究者が解析中である。スロースリップと地震活動との関係を把握するために、海底地震観測記録の解析を進める。
- ・2013年3月に設置した東北大学の海底圧力計4台の回収を行う。観測期間中の2013年7月に、少~中規模のスロースリップが発生した。このイベントにおけるプレート境界滑り分布について、解析を始める。

(平成27年度)

- ・日・ニュージーランド・米による海底多点観測網の回収を行い、解析を開始する。
- ・東北大学の海底圧力計については、回収後再設置を行い、引き続き観測を行う。
- ・これまでに得られた海底地震計、および海底圧力計の記録の解析を進める。

(平成28~29年度)

- ・東北大学の海底圧力計の回収・再設置を行い、引き続き観測を行う。
- ・海底地震計のデータと陸上観測網のデータを合わせて解析し、地震活動やスロースリップに付随する低周波イベントの同定、および震源の決定を行う。
- ・震源決定の精度を上げるため、海域下の地震波速度構造モデルの改善を行う。
- ・震源メカニズムの決定を行う。

(平成30年度)

- ・東北大学の海底圧力計の回収を行う。
- ・精度よく決定された地震や低周波イベントの震源および震源メカニズムと地震波反射断面との比較を行い、構造的要因との関係について検討を行う。

・日・ニュージーランド・米共同研究者によるワークショップを行い，結果のとりまとめに向けた検討を行う．

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

2014 年 5 月 10 日から 2015 年 6 月にかけて，ニュージーランド (NZ) 北島ギズボーン沖合にて日・NZ・米 3 か国共同で行った大規模海域地球物理観測 HOBITSS (Hikurangi Ocean Bottom Investigation of Tremor and Slow Slip) では，海底地震計 5 台，海底地震・圧力計 10 台，海底圧力計 17 台を設置し，これらについては全台の回収に成功した．2000 年ころより NZ 北島における GPS 観測網が整備され，それによってギズボーン沖合では約 2 年の決まった周期でスロースリップが発生していることが分かっている．

HOBITSS 観測期間中の 2014 年 9 月から 10 月にかけて観測網直下において，これまでに観測されている中で 2 番目に大きい規模のスロースリップが発生し，このスロースリップの観測に成功した．データに不備のあった海底圧力計，および水深が 100 m に満たない浅海に設置した海底圧力計を除いた 13 台の海底圧力計のデータを調べたところ，このスロースリップに伴う 1.5 ~ 5.4 cm の海底上昇を記録していることがわかった．この海底上昇は陸上の GPS 観測網によってスロースリップが捕らえられる数日前から開始しているように認められ，したがってスロースリップのすべりはプレート境界の浅部から深部へと進行したことが示唆される．もっとも大きなすべりは，海岸線よりも 30 km 離れた海底下で発生し，その海底は 5.4 cm の上昇を記録した．すべり量は海溝軸に向かって小さくなり，海溝軸から 5 ~ 10 km の海底では 1.5 ~ 2 cm の海底上昇が認められた．海溝軸近傍の海底圧力計で記録された海底上昇は，スロースリップによる断層すべりはほぼ海溝軸まで達したことを示唆している．断層すべりの量としては，もっとも大きくすべった 4 ~ 7 km の深さのプレート境界のところで 10 cm 程度と考えられる．ここで得られたスロースリップに伴う断層すべりについて，反射法地震波構造調査によって得られているプレート境界の形状と比較すると，沈み込んだ海山を避けるように分布していることがわかった．この海底圧力計の記録については，潮汐による影響と大気により駆動される海洋モデルによる圧力擾乱を取り除くことによって，さらにその詳細を調べており，小規模なスロースリップの発生の検出に成功している．

海底地震計の記録では，観測期間を通して発生した地震について陸上の地震観測網では捉えられない微小地震を含めて検出を行い，その震源および震源メカニズムの決定に取り組んでいるところである．HOBITSS 観測に先駆けて東京大学地震研究所と GNS Science (NZ) が共同で 2012 年から 2013 年に同海域で行った地震観測 (パイロット観測) の結果では，本海域下での地震活動はまさしく反射法地震探査断面で認められるプレート境界面の凹凸形状や，水の分布に良い対応関係を示していることが明らかとなっている．今回の HOBITSS 観測では，期間中にニュージーランド北島周辺域で発生した 3000 個を越す地震について，その震源の決定をし，現在はその精度について検討を行っている．その結果，得られた震源分布はパイロット観測で観測された地震活動と良い一致を示しており，地震の活発・非活発な領域が定常的であることが確認できた．さらに，観測期間中に発生したスロースリップに伴う地震活動との比較について，検討を進めているところである．

ヒクラング沈み込み帯では，これまでに繰り返しスロースリップの発生は認められてきたが，微動の活動については必ずしも明らかとなっていなかった．HOBITSS 観測で得られた海底地震計の記録を用いて，目視による微動の検出，さらにはエンベロープ相関法による微動の震源決定を進めている．その結果，これまでにスロースリップに伴った微動と考えられる活動が 1 日あたり 0 ~ 12 個程度，特にスロースリップ活動の後半から 2 週間程度の期間に認められ，その震源はスロースリップの断層すべりが及ばない沈み込んだ海山の基底部周辺に集中しているように見える．ヒクラング沈み込み帯では，特にプレート境界が浅く，また地震波減衰も大きいことが知られている．したがって，小さな地震活動は多点での観測が不可能な場合もあり，そのため微小地震の検出や震源決定が困難である．観測点 1 点でも微動活動の検出が可能であり，さらに地震波の到来方向，あるいは 2 点以上の観測記録から震央を推定することを目的として，S 波スプリッティング解析および地震波偏向方向解析を，海

海底地震計連続波形に適用した。まずは、完全な波形記録が得られた地震研究所海底地震計5台の解析を行い、エンベロープ相関法で得られた震源と整合的に、沈み込む海山の沈み込み前縁部に集中して発生していることが示された。一方、エンベロープ相関法では1日0~12個程度しか検出できなかったが、その微動活動がほとんど中断無く2週間程度連続して発生していることが示された。現在、アメリカの海底地震計を設置した他観測点のデータを用いての解析を進めている。

2017年6月には、2015年6月に設置したGPS/A海底地殻変動観測点での観測を行うとともに、前年度に設置した海底圧力計を回収し、新たに5台の海底圧力計を設置し、海底地殻変動の観測を継続している。

2016年9月には、ヒクランギ沈み込み帯北部にてM7.1のTe Araroa地震が、2016年11月にはNZ南島北東部でM7.8のKaikoura地震が発生した。特に、Kaikoura地震では、その発生直後にヒクランギ沈み込み帯全域においてスロースリップの発生が観測された。本地震発生時に観測中であった海底圧力計の記録から、その観測点における、これらの地震による海底面の振動を求めた。その結果、海域における堆積層下では、地震波伝播の数値計算から予想される振動よりもはるかに長い継続時間が観測されており、長時間にわたるダイナミックな応力変動による影響の可能性があることが示された。

2017年11月から2月にかけて、ヒクランギ沈み込み帯全域をカバーする国際共同大規模地震波構造調査を行った。本調査では反射法地震波構造調査に加え、海底地震計および陸上にも地震観測網を展開して屈折法構造調査も行い、良好な記録を取得した。

(9)平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
望月公廣, 2017, 沈み込み帯におけるプレート境界面の不均質と地震活動 日本海溝およびヒクランギ沈み込み帯を例として (総説), Journal of Geography (Chigaku Zasshi), 126(2), 207, DOI:10.5026/jgeography.126.207

Emily Warren-Smith, Bill Fry, Laura M Wallace, Kimihiro Mochizuki, 2017, Near-source detection of near repeating seismicity triggered by shallow slow-slip, Northern Hikurangi, New Zealand, SSS04-24, 日本地球惑星科学連合2017年大会, 幕張, 5月20日 25日

Charles A Williams, Laura M Wallace, Spahr C Webb, Yoshihiro Ito, Kimihiro Mochizuki, Ryota Hino, Stuart Henrys, 2017, Detailed inversion of a shallow slow slip event at the Hikurangi subduction zone, New Zealand, using numerical Green's functions and absolute pressure gauge data, SSS08-03, 日本地球惑星科学連合2017年大会, 幕張, 5月20日 25日

Laura M Wallace, Demian M Saffer, Philip Barnes, Yoshihiro Ito, Kimihiro Mochizuki, Charles A Williams, Spahr Webb, Ryota Hino, Evan Solomon, Patrick Fulton, 2017, Seafloor and subseafloor experiments at the Hikurangi subduction margin to investigate the causes and consequences of slow slip events, U03-06, 日本地球惑星科学連合2017年大会, 幕張, 5月20日 25日

岩? 友理子, 望月 公廣, 石瀬 素子, エリントッド, スーザン シュワルツ, スチュアート ヘンリー, マーサ サベジ, アン シーハン, 伊藤 喜宏, ロウラ ウォレス, スパー ウェブ, 山田 知朗, 篠原 雅尚, 2017, Continuous shear wave signals following 2014 Mw 6.8 SSE in the Hikurangi subduction margin offshore New Zealand, SSS04-22, 日本地球惑星科学連合2017年大会, 幕張, 5月20日 25日

村本 智也, 伊藤 喜宏, 稲津 大祐, Henrys Stuart, Wallace Laura, Bannister Stephen, 望月 公廣, 日野 亮太, 鈴木 秀一, 2017, On the Interpretation of oceanic variations in terms of ocean bottom pressure, SGD03-03, 日本地球惑星科学連合2017年大会, 幕張, 5月20日 25日

Yuriko Iwasaki, Kimihiro Mochizuki, Motoko Ishise, Erin Todd, Susan Schwartz, Stuart Henrys, Martha Savage, Anne Sheehan, Yoshihiro Ito, Laura Wallace, Spahr Webb, Tomoaki Yamada, Masanao Shinohara, 2017, Continuous S-wave signals following 2014 Mw 6.8 SSE in the Hikurangi subduction margin offshore New Zealand, 2017, J06-3-04, IAG-IASPEI, 神戸, 7月30日 8月4日

Tomoya Muramoto, Yoshihiro Ito, Daisuke Inazu, Stuart Henrys, Laura Wallace, Stephen Bannister,

Ryota Hino , Syuichi Suzuki , Kimihiro Mochizuki , 2017 , On the Interpretation of oceanic variations in terms of ocean bottom pressure , J07-2-06 , IAG-IASPEI , 神戸 , 7月30日 8月4日
岩崎 友理子 , 望月 公廣 , 石瀬 素子 , 山田 知朗 , 篠原 雅尚 , Erin K. Todd , Susan Y. Schwartz , , Stuart Henrys , Martha Savage , Hubert Zal , Anne F. Sheehan , 伊藤 喜宏 , Laura M. Wallace , Spahr C. Webb , 2017 , S09-13 , 日本地震学会講演予稿集 2017年度秋季大会 , 鹿児島 , 10月25日?27日
Yoshihiro Ito , Laura M Wallace , Stuart A Henrys , Yoshihiro Kaneko , Spahr C Webb , Tomoya Muramoto , Kazuaki Ohta , Kimihiro Mochizuki , Syuichi Suzuki , Motoyuki Kido , Ryota Hino , 2017 , Seismic waves triggering slow slip event on the pressure gauge records in the Hikurangi subducting margin , S12A-08 , 2017 Fall meeting , AGU , New Orleans , Louis. , 11-15 Dec.
Yuriko Iwasaki , Kimihiro Mochizuki , Motoko Ishise , Erin K Todd , Susan Y Schwartz , Stuart A Henrys , Martha K Savage , Anne Sheehan , Yoshihiro Ito , Laura Wallace , Spahr C Webb , Hubert Jerzy Zal , Tomoaki Yamada , Masanao Shinohara , 2017 , Continuous Shear Wave Signals from around a Subducted Seamount Following 2014 Mw 6.8 Slow-slip Event in the Hikurangi Subduction Margin Offshore New Zealand , S54C-03 , 2017 Fall meeting , AGU , New Orleans , Louis. , 11-15 Dec.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

2018年10月に、ニュージーランドの船舶を用いて GPS/A の観測を行うとともに、海底圧力計の回収・設置を行い、引き続き海底地殻変動観測を継続する。また、海底地震計を5台程度設置し、海域における地震活動の調査を行う。

2018年5月に、ニュージーランドから HOBITSS 観測の関係者を東京大学地震研究所に招聘し、本観測で得られた海底地震計のデータを用いた微小地震活動の検出、およびその震源・震源メカニズムの決定について、これまでの結果を参照しつつ、今後の解析方針の打ち合わせを行う。S波スプリテイング解析による微動活動の検出についても、引き続き解析を進める。

2017年11月から2月にかけて行われた、ヒクランギ沈み込み帯全域をカバーする国際共同大規模地震波構造調査の解析を始める。本調査では反射法地震波構造調査に加え、海底地震計および陸上にも地震観測網を展開して屈折法構造調査も行った。これまでに良好な記録が得られていることが確認されており、ヒクランギ沈み込み帯における構造解析を進める。

(11) 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・山田知朗・塩原肇・小原一成

他機関との共同研究の有無：有

伊藤喜宏(京都大学防災研究所) 日野亮太・木戸元之(東北大学災害科学国際研究所)

Stuart Henrys・Stephen Bannister・Bill Fry・Charles Williams(GNS Science, NZ) Phil Barnes(NIWA, NZ)

Laura Wallace(UTIG, USA)

Susan Schwartz(UCSC, USA)

Spahr Webb(LDEO, USA)

Anne Sheehan(University of Colorado at Boulder, USA)

(12) 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：03-5841-5712

e-mail：yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：

(13) 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 地震予知研究センター

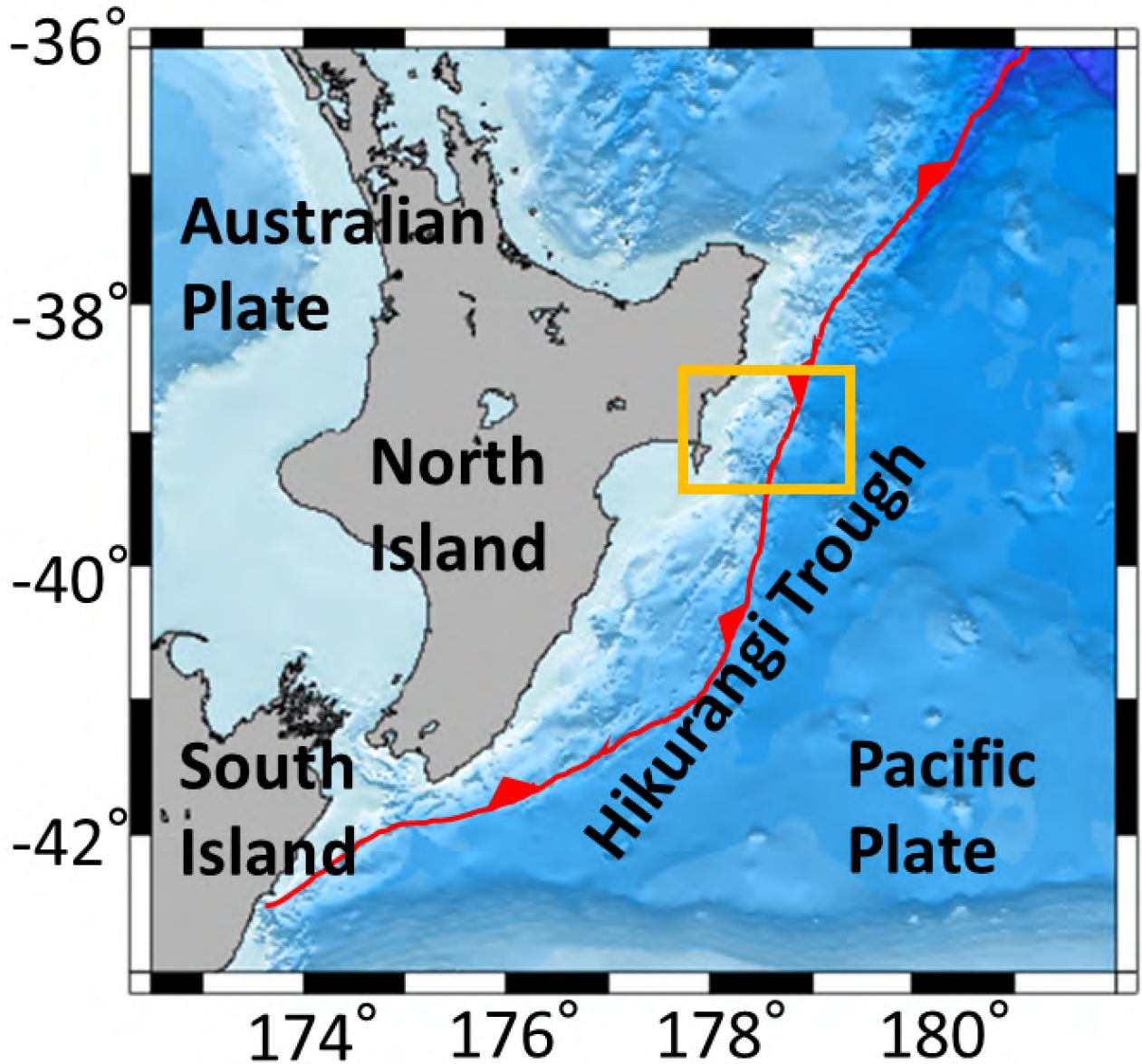


図1 研究対象領域：北部ヒクランギ沈み込み帯

ニュージーランド北島沖合は、太平洋プレートが東から西へオーストラリアプレートで沈み込むヒクランギ沈み込み帯となっている。黄四角で示す海域では、およそ2年の周期でスロースリップが発生しており、本研究の対象領域である。

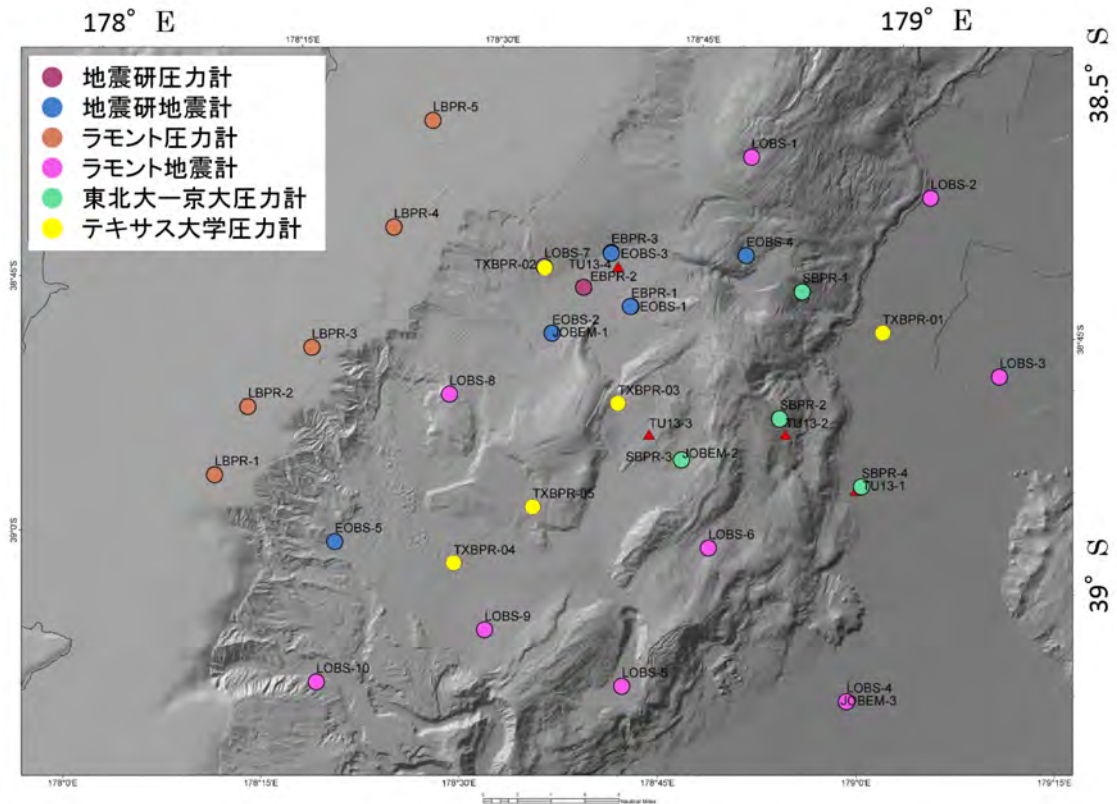


図2 国際共同観測 HOBITSS 観測網

日・NZ・米3か国共同で行った大規模海域地球物理観測 HOBITSS (Hikurangi Ocean Bottom Investigation of Tremor and Slow Slip) では、海底地震計5台、海底地震・圧力計10台、海底圧力計17台を設置し、2014年5月10日から2015年6月にかけてのおよそ1年間海域観測を行った。期間中の2014年9月から10月にかけて、観測網直下において大規模なスロースリップが発生した。

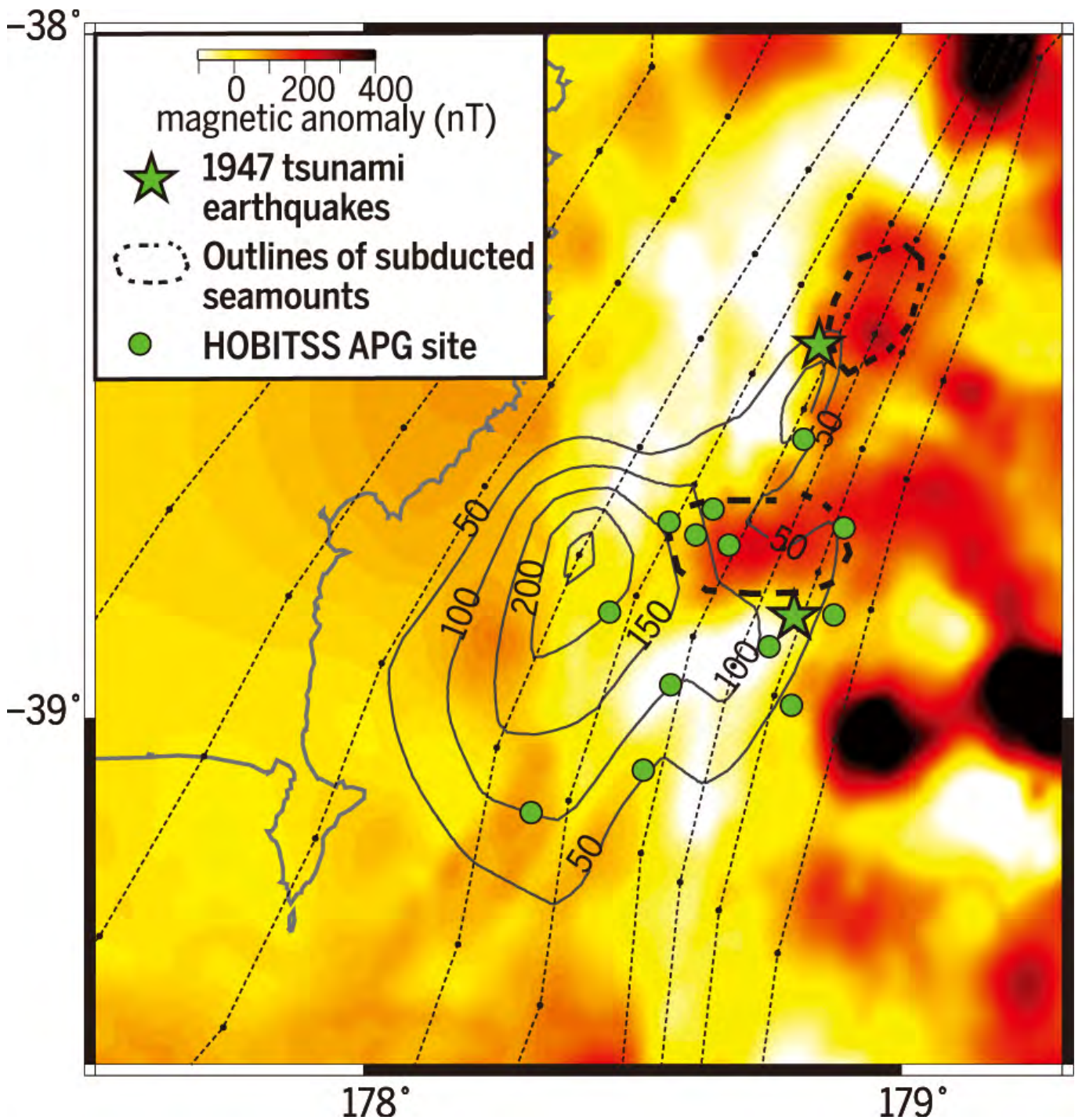


図3 HOBITSS 観測網直下で発生したスロースリップにおけるプレート境界面でのすべり量分布
 黒実線コンターが HOBITSS 観測網直下で発生したスロースリップにおけるプレート境界面でのすべり量分布を示す。背景は地磁気異常を示しており、黒点線で示された沈み込んだ海山など、プレート境界面の形状と良い対応を示す。スロースリップのすべり分布は海山を避けているように見られる。

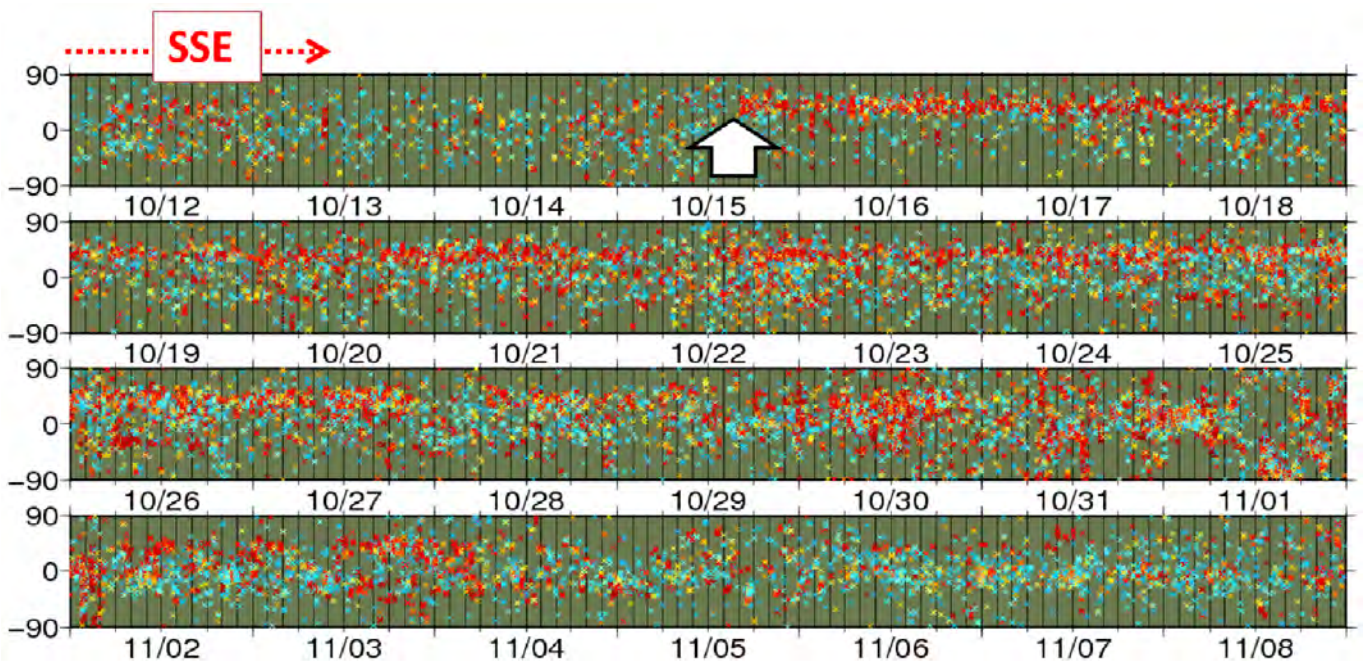


図4 沈み込んだ海山直上の海底地震計1観測点で観測された、水平動成分の偏向異常
 2014年9月から10月にかけて発生したスロースリップの終盤で、沈み込んだ海山上の海底地震計水平動成分において、偏向方向が約2週間の間、ほぼ一定となることが観測された。これは微動の発生によるものと解釈され、微動活動が連続的に発生していたことを示すと考えられる。

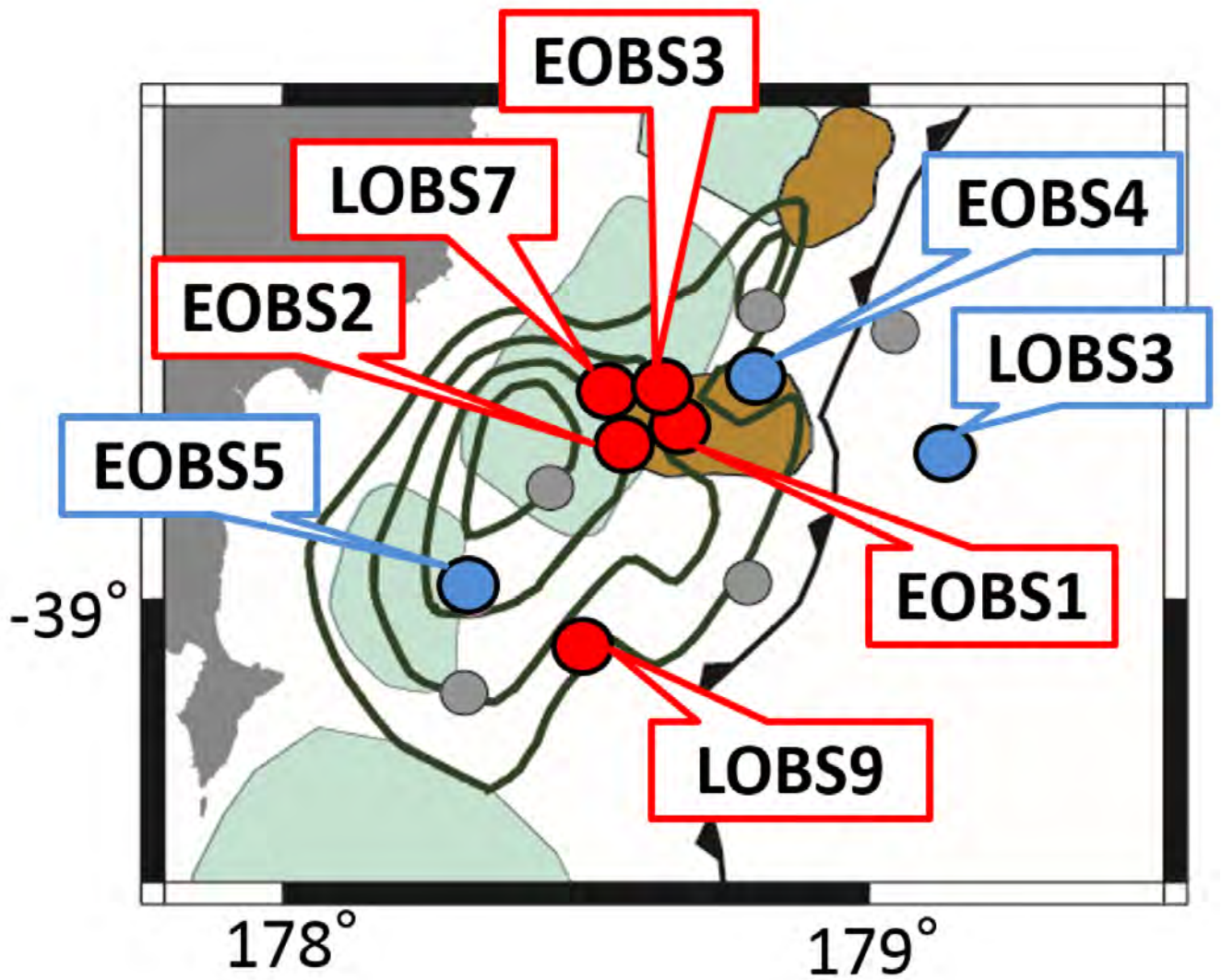


図5 微動が観測された海底地震計観測点分布

HOBITSS 海底地震観測点のうち、赤丸、青丸で示された観測点の連続は計記録を解析し、このうち赤丸で示された観測点でのみ、微動の発生が認められた。これは主として茶色で示される沈み込んだ海山上周辺に分布している。

(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：

水蒸気爆発場の物理・化学状態の把握と火山流体の挙動

(3) 最も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) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

(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

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

水蒸気爆発は、地下浅所に形成された火山ガス溜まりがガス圧に抗しきれなくなった時に発生するものであり、マグマの直接的な関与は必ずしも必要ではない。水蒸気爆発の準備領域では、熱水変質した難透水性の蓋と、その直下に蒸気の卓越した気液二相が共存する熱水流体溜りが存在することが明らかになりつつある。この熱水流体溜りの気相は噴気ガスとして、液相は温泉水や火口湖水として火山体から常時放出されている。熱水流体溜りを構成する変質岩石は、火山体を構成する岩石が噴気ガスや酸性熱水との反応によって生成し、その変質プロセスは物理的・化学的条件に大きく依存する。また、その形状は電磁気観測によってモニターできることから、水蒸気爆発の予測の高度化のためには、爆発場を形成する活動火口下浅部の物理・化学状態の変動を火山性流体の挙動とリンクさせて捉えることが不可欠である。本研究では、火山ガスや湖水・温泉水の地球化学的観測と地震・地殻変動観測による力学的状態や地磁気観測に火口湖の水温や水位の精密観測を加えて、熱的状态を総合的に解釈し、草津白根山での活動火口下浅部の物理・化学状態の変動を捉えることを目指す。本課題は、課題番号 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(代表機関：北海道大学)」と関連しており、1003 で対象となる火山(十勝岳, 吾妻山, 阿蘇および口永良部島)についても、本課題 1602 と同様に地球化学的観測、地磁気観測及び熱観測等を実施する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本研究では、研究期間の 5 年間にわたり、草津白根山湯釜火口周辺に整備された活動火口観測システムによる微小地震、GPS 及び傾斜変動の連続観測および火山ガス、湖水・温泉水などの化学組成などの繰り返し観測を実施する

平成 26 年度においては、草津・湯釜火口湖の水温データを取得し、既存のボーリングコアの変質部分の二次生成鉱物組成について記載する。

平成 27 年度においては、草津・湯釜火口湖の水位データの分解能を向上させ、変質部分の化学組成分析を実施する。

平成 28 年度においては、三次元地下比抵抗構造解析を行い、活動火口周辺の詳細な三次元地下構造モデルを構築する。

平成 29 年度においては、空中赤外観測を実施して地表面放熱量を測定し、平成 24 年度からの増減を明らかにする。得られた地球化学・地球電磁気データから熱水系全体の物質・熱収支の推定を行う。

平成 30 年度には火山性流体の挙動と火山体浅部で発生する諸現象との関係性を解明する。十勝岳などでも空中赤外観測や噴煙画像解析・等を行い、各火山からの地表面放熱量を計測する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

(1) 白根山湯釜火口周辺の観測

2014 年 3 月から湯釜火口周辺では、地震活動が活発となり、山体が膨張し、火山ガス中の H₂S 成分が減少することが同時に観測された。さらに 2 ヶ月後に湯釜火口湖の温度上昇と湯釜直下の熱消磁が観測された。この山体膨張は 2015 年 8 月まで継続し、その後活動が終息した。一連の活動は、MT 探査で明らかになっていた湯釜を取り囲む粘土キヤップへの高温の火山ガス・熱水によるものと解釈された。特に、GPS データの解析から、湯釜直下にシル状に火山ガスあるいは熱水の注入があったと解釈された。今年度の物理的、化学的観測は湯釜火口湖直下の活動が低下したことを示している。

(1 . 1) 地震活動は、2014 年 3 月以前のレベルで低調である。

(1 . 2) 湯釜火口の水温は、2014 年 3 月以前の平年値に戻っている。また空中熱赤外観測を 2017 年 11 月 5 日に実施し詳細な解析を実施中である。

(1 . 3) 地磁気観測は、湯釜周辺の 4 箇所において全磁力の連続観測を行なっているが、2017 年は帯磁傾向が続いており、湯釜周辺の山体は冷却している。

(1 . 2) 地球化学観測では、湯釜火口湖湖水および、北側噴気帯のガス成分を分析した。湯釜湖水の陰イオン成分濃度及び北側噴気帯の噴気ガス組成の変動は、湯釜直下に存在すると考えられる熱水貯留層に対してマグマから供給されているガス成分の組成変化・量的変化を反映していると考えられる。フッ化物イオン濃度と塩化物イオン濃度は 2016 年末まで増加傾向にあったが、2016 年末から減少に転じている。これらの濃度変化は同期しており、F/Cl 比は大きく変化していない。硫酸イオン濃度も 2016 年末から減少に転じているが、全硫酸イオン濃度は 2016 年 7 月から減少に転じている。これは、ポリチオン酸の生成が鈍化したことに起因するものであり、湯釜へ供給されているガス中の SO₂ 濃度が減少していることを示唆する。

湯釜北側噴気帯の噴気ガス成分のうち、H₂S の割合が 2014 年 4 月に大きく減少したが、それ以降、徐々に増加している。ポリチオン酸の生成に H₂S は欠かせないことから、これは湖水中のポリチオン酸の生成が鈍化したことに合致する組成変化である。

これらの結果は、熱水貯留層への HF, HCl, SO₂, H₂S を含む高温の火山ガスの供給量が徐々に減少していることを意味しており、湯釜での火山活動は徐々に静穏化していると言える。また、2017 年末から湯釜の結氷が約 10 年ぶり広範囲に認められており、熱活動の縮退を示唆している。

(2) 本白根山鏡池北火口からの噴火

平成 30 年 1 月 23 日 10 時 02 分に本白根山鏡池北火口からの 1500 年ぶりの噴火が発生し、人的な被害も発生した。このイベントに関する地盤変動観測結果を中心に以下にまとめる。

東京工業大学が湯釜火口周辺 5 カ所に設置していた傾斜計では、23 日 09:58:58 頃から湯釜南方が隆起する傾斜変動が観測され、10:02:08 - 12 前後に反転した。東京工業大学が KSR (レストハウス、新火口列から 1.1 km) に設置した空振計に 10:02:13 頃から顕著な振動が観測されていることから、噴火が開始したのは 10:02:10 頃であり、その前後に、地下浅部での圧力増加に続いて圧力緩和が進行したと考えられる。鉛直クラックを新火口列直下に仮定すれば、火口直下の海拔 1000m (地表面下 1000m)

において約 2 分間で 42.5 万 m³ の体積増加，その後約 8 分間で 30 万 m³ の体積減少が起きたと計算される．ここで，噴火は湯釜火口を取り囲むように設置した本学観測網の外側で発生したために，モデリングの不確定性があることに注意が必要である．

東京工業大学が湯釜火口湖周辺 4 カ所に設置していた GNSS 連続観測点では，2014 年春に認められた湯釜周辺の隆起変動以降，緩やかな沈降が継続していた．2018 年 1 月 23 日の本白根山噴火に先行する地盤変動は不明瞭である．また，日値で見る限り，今回の噴火前後でも変動は認められない．これは，噴火直前に進行した隆起変動は，引き続く沈降変動により大部分が相殺されたと解釈でき，傾斜変動に基づく地盤変動モデルからの示唆に矛盾しない．

東京工業大学が湯釜火口湖周辺 6 カ所に設置していた地震観測網によれば，2017 年は 1 月に数回の割合で震源決定されるイベントがあり，うち，本白根周辺地域に求まるのは月 1-2 個程度である．震源分布の詳細な議論は難しいが，地震活動の中心は 2018 年新火口列よりも北側に約 500m 離れている一方，クラック深度と震源深度はほぼ一致する．

新火口列から南に 2km の場所で行われた地熱探査目的の掘削結果によれば，地殻変動が進行した地表面下 1000m 付近は変質した新第三紀火山岩類で構成され，地中温度は約 150-200℃，変質鉱物としては緑泥石を含む（倉橋，1993）．その下には開口亀裂を含む透水性の高い領域が存在し，これが熱水貯留層に対応すると考えられていることから，この深度付近で噴火発生時に地殻変動が進行したこととの関係を検討中である．

本白根火砕丘では，白根火砕丘・湯釜周辺で観測網が整備されて以降，群発地震活動が年に 2-3 回程度の割合で観測されていた．近年の地質調査でも最新のマグマ噴火が 1500 年前に発生したことが判明していた．これらの観察事実から，わずかな地表面温度異常の有無をも検出する目的で，日射の影響がほとんどない夜間に空中赤外線観測を噴火の 3 か月前（2017 年 11 月 5 日 18 時頃）に実施していた．空間分解能 0.9m/pixel，温度分解能 0.2℃ で作成した赤外線 3D モデルによれば，北鏡池火砕丘周辺の地表面温度に異常は認められない．

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
- Terada A. and T. Hashimoto, 2017, Variety and sustainability of volcanic lakes: Response to subaqueous thermal activity predicted by a numerical model, *J. Geophys. Res.*, doi: 10.1002/2017JB014387.
- 寺田暁彦, 2017, 水蒸気噴火発生場としての草津白根火山．地質学雑誌, 印刷中
- Shinohara, H., N. Geshi, A. Yokoo, T. Ohkura, A. Terada, 2018, Salt shell fallout during the ash eruption at the Nakadake crater, Aso volcano, Japan: evidence of an underground hydrothermal system surrounding the erupting vent, *Earth, Planets Space*, 印刷中
- 橋本武志・寺田暁彦・森 俊哉, 2018, ドローンによる火山観測, *月刊地理*, 63(2), 29-35
- 曾國軒・小川康雄・國友孝洋・深井雅斗・E Bertrand・木下雄介・南拓人, 2018, EM ACROSS experiment at Kusatsu-Shirane volcano, CA 研究会論文集, 印刷中
- 松永 康生、神田 径、高倉 伸一、小山 崇夫、齋藤 全史郎、小川 康雄、関 香織、鈴木 惇史、木下 雄介、木下 貴裕, 2017, 地下比抵抗構造から推定される草津白根火山のマグマ熱水系, 地球惑星科学連合 2017 年大会予稿集
- 桑原知義・寺田暁彦・大場 武・行竹洋平・神田 径・小川康雄, 2017, 湯釜湖水の Cl 濃度・水安定同位体および精密震源分布から推定される草津白根火山の熱水系, 地球惑星科学連合 2017 年大会予稿集
- 水谷紀章・寺田暁彦・野田徹郎, 2017, 火口周辺の土壌から放出される気体水銀量の計測, 地球惑星科学連合 2017 年大会予稿集
- 寺田暁彦・橋本武志, 2017, 火口湖の形成と消滅の物理条件-阿蘇火山・湯だまりの観測に基づく火山活動評価-, 日本火山学会秋季大会予稿集
- 水谷紀章・寺田暁彦・野田徹朗, 2017, 熱水系卓越火山における土壌気体水銀放出率の測定-, 日本火山学会秋季大会予稿集

- 篠原宏志・風早竜之介・下司信夫・横尾亮彦・大倉敬宏・寺田暁彦，2017, 阿蘇中岳の火山ガス組成変化とマグマ-熱水系相互作用-，日本火山学会秋季大会予稿集
- 亀谷伸子・石崎泰男・吉本充宏・寺田暁彦，2017, 草津白根火山の完新世噴履歴，日本火山学会秋季大会予稿集
- 水谷紀章・寺田暁彦・野田徹郎，2017, EMP-2 を用いた活動火口周辺における土壤気体水銀放出率の測定，日本地熱学会平成 29 年学術講演会予稿集
- Shinohara, H., N. Geshi, A. Yokoo, R. Kazahaya, T. Ohkura, A. Terada, 2017, variation of volcanic gas composition and magma-hydrothermal interaction at Nakadake crater, Aso volcano, Japan, IAVCEI, CCVG, workshop on volcanic gases.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

火山性流体の挙動と火山体浅部で発生する諸現象との関係性を解明する。十勝岳などでも空中赤外観測や噴煙画像解析・等を行い、各火山からの地表面放熱量を計測する。
特に、平成 30 年 1 月 23 日に発生した本白根火山の噴火の推移を、地球物理学的および地球化学的手法によってモニタリングする。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

東京工業大学 野上健治

東京工業大学 小川康雄

東京工業大学 神田 径

東京工業大学 寺田暁彦

他機関との共同研究の有無：無

(12) 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：東京工業大学火山流体研究センター

電話：03-5734-2639

e-mail：oga@ksvo.titech.ac.jp

URL：http://www.ksvo.titech.ac.jp/

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：小川康雄

所属：東京工業大学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：

海底火山活動の評価手法開発に関する研究

(3) 最も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) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

海底火山は、その周囲が大量の海水に囲まれていることから、大規模な熱水活動を伴うことが特徴であり、陸上の火山活動とは全く異なった様相を呈する。これらの火山で噴火が起これば、海上・航空交通に多大な影響を与えるだけでなく、場合によっては領土・領海、ひいては EEZ にまで影響が及ぶため、その監視観測や火山活動の評価は我が国の国益に関わる、きわめて重要なミッションであるが、それに資するべき試料の採取装置や分析方法には課題が多く残されている。

本研究課題は、海底火山活動の即時評価に資することを目的とし、危険を伴う海底火山の観測装置の開発に関する研究を行う。同時に、熱水と海水との反応による組成変化の実験を行い、薩摩硫黄島など、天然の熱水系で作成した観測装置を使用して観測を行う。更に、2011 年から大規模な海底火山活動が始まっているカナリア諸島エルイエロ島で繰り返し観測を行う。これ以外に予知計画期間中に海底火山噴火が発生した場合には、その観測も実施し、研究成果の一部とする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度においては、海底火山活動のときに熱水と海水との反応によって発生する変色海水の再現実験を行う。

平成 27 年度においては、海域火山での反応生成物の調査観測及び分析を行う。

平成 28 年度においては、海域火山での調査観測・分析を繰り返し、必要に応じて実験を行う。

平成 29 年度においては、海域火山での調査観測・分析を繰り返し、必要に応じて実験を行う。

平成 30 年度においては、成果のとりまとめを行う。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

海域火山活動の活発化によって火口の直上やその周辺の海面の色が白色～黄褐色に変わる変色海水がある。この現象は、海底火山から放出された Fe・Al・Si などを含む酸性熱水が海水によって中和され、生成した Si-Al-Fe-H₂O 系の低結晶質沈澱物が懸濁したものである。従って、変色海水が発生するまでには、1) 火山体から放出される熱水の生成過程、及び 2) 中和反応による沈澱の生成過程の 2 つの過程が存在する。火山活動によって変色海水の色調が変化するのは、熱水の組成変化を反映していることに他ならない。これまで、酸性溶液?岩石反応実験に基づいて、変色海水の組成変化は議論さ

れてきたが、海底火山での熱水生成には大量に存在する海水の寄与が決して小さくないと考えられる。本年度は、海水に酸を添加して酸性化したものと岩石を反応させ、Fe・Al・Siが岩石から溶脱する過程を検討した。

岩石試料として、伊豆大島1986年噴火で噴出した隠微晶質の玄武岩質溶岩(LC-1)を用いた。試料は5mm径に整形し、超音波洗浄により微粉末を除去し乾燥したのち実験に供した。酸性海水はASTM D1141に基づいて作成した人工海水1Lに対し塩酸を数ml添加して調製した。これらを反応温度200の場合には岩石試料3粒と溶液資料20mlとを入れ、容器内上部の空気を窒素で置換し封をした反応容器を電気炉(KDF S-70)内に放置し、所定の時間反応させた。反応温度50と80の場合には、反応容器に岩石試料6つと溶液試料40mlを入れ、それぞれの温度の恒温槽内で反応させた。いずれの反応温度でも、22時間反応させた。1時間30分の空冷ののち、反応溶液を濾別し、岩石試料を純水で洗った。再び岩石試料を反応容器へ入れ、新たな溶液試料を加えて同様の手順で反応させることを繰り返した。

SiはFe・Al・Siの3成分中で相対的に最も溶脱しにくい。pH2程度の酸性度では200においてAlは相対的に溶出しがたく、pH0.4程度の酸性度で溶出が認められた。これに対して、FeはAlに比べて相対的に溶脱しやすいことが明らかになった。pH0.4海水と岩石との反応ではHematiteは肉眼的に確認されなかったが、pH2ではHematiteが確認された。

これまで行われている酸性溶液?岩石反応実験の結果では、Fe・Al・Siの3成分で比較すると、Siは相対的に最も溶脱しにくい成分で、Alは最も溶脱しやすい成分であった。FeはSiよりは溶脱しやすいけれども、溶脱指数を計算すれば、変質過程で岩石中に相対的に濃縮する成分である。反応溶液を酸性化した海水にした場合には、FeとAlの溶脱挙動が全く異なり、Feは相対的に溶脱しやすく岩石中から抽出されることが明らかになった。すなわち、従来の酸性溶液?岩石反応実験とは大きく異なり、pHのより低い酸性海水と反応させた場合にFeの溶脱が著しく、Alの溶脱は促進されないことが明らかになった。これに対して、pHの高い酸性海水と反応させた場合にはFe、Alの溶脱は促進されず、Siの溶脱が促進する結果が得られた。熱水の酸性度を海底火山活動に置き換えれば、活動が活発なときには相対的にFeを多く含む熱水が生成するのに対して、活動が静穏なときには相対的にSiを多く含む熱水が生成することを示している。

火山活動が極めて活発な状態では、沈澱物の色調が褐色～黄褐色に変化し(写真1)、沈澱物の組成もFeの割合が非常に高くなる。これまでの酸性溶液?岩石反応実験の結果ではこの様なFeの割合の高い、沈澱物の生成を説明することが困難であったが、反応溶液が酸性化した海水の場合には、そのような沈澱が生成することがこの実験で明らかになった。

海底火山から噴出する熱水は単純な酸性溶液ではなく、火山ガス成分であるHCl, SO₂, HFが溶解して酸性化した海水と岩石との反応によって生成したものである。今回の実験は繰り返しバッチ法で行ったが、より天然に近いフロースルー法で同様の実験を行うことや陰イオンの濃度の影響を評価することで、より詳細な変色海水生成過程が明らかになると考えられる。

- (9)平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
川井陽太，2018, 海底火山活動に伴う変色海水生成過程の実験的研究，東京工業大学修士論文佐藤泉・
新村拓郎・野上健治，2018, 西之島火山2017年噴火活動の推移と噴火間隔変化，海洋情報部成果
発表会予稿集

- (10)平成30年度実施計画の概要：

H.30年度も引き続き岩石-海水反応実験を行い、これまでの成果をとりまとめる。

- (11)実施機関の参加者氏名または部署等名：

東京工業大学火山流体研究センター 野上健治
他機関との共同研究の有無：無

(12) 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：東京工業大学火山流体研究センター
電話：0279-88-7715
e-mail：knogami@ksvo.titech.ac.jp
URL：

(13) 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：東京工業大学火山流体研究センター



変色海水

噴火中の西之島と変色海水 2013年11月21日海上保安庁機より撮影

(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

(3) 最も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・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

(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整理

ア. 史料の収集とデータベース化

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究では古文書を読み解き，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を地震毎に面的に整理し，情報量が多く地球物理的データも存在する昭和の南海，東南海地震と比較することによって，南海トラフでの巨大地震を明らかにすることを目的とする．古文書の解釈は人によってかなり異なることから，すでに解読がなされているものも含めて再検討し，南海トラフで発生する巨大地震の特徴を明らかにする．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．近年，防災・減災のために自治体等でも古文書史料の重要性が言われていることから，収集した情報について地域防災に役立てやすいようなフレンドリーなデータベース化を目指す．

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本研究では地震史料から得られる情報と昭和東南海、南海地震の被害状況などを直接比較し、過去の地震がどのような地震であったか、次に起きた場合各地でどのような災害を想定する必要があるかについて理学、工学、文学の研究者で協力しながら検討を行う。地震史料については過去に集められた史料に新たに史料を追加し、これらの史料から地震活動、地盤沈下、津波、人的被害、建物被害の情報を抽出し、地震毎に面的分布を求める。昭和の地震についてはこれまでに出版されている資料を整理、再調査を行い、これまで以上に詳細な被害分布、震度分布を求める。これと過去の地震の特徴を比較することにより、それぞれの地震の相違点を明確化し、それぞれの地震像を検討する。

[年度毎の実施事項]:

平成 26 年度: 史料収集および翻刻を行う。またすでに翻刻された史料の整理、郷土史(神社等の被害、碑など) の調査、神社明細帳の調査、古地図の収集を行う。

平成 27 年度: 引き続き調査、整理を行う。また古文書情報地点場所の推定を行う。

平成 28 年度: 引き続き調査、整理を行う。整理された史料から南海トラフ巨大地震の特徴を抽出する。翻刻史料データベースの検討を行う。

平成 29 年度: 引き続き調査、整理を行う。南海トラフ巨大地震および誘発地震の特徴を面的に検討する。翻刻史料データベースの構築を行う。

平成 30 年度: 引き続き調査、整理を行う。これまでに得られた史料から南海トラフ歴史巨大地震の地震像の推定を行う。

(8) 平成 29 年度の成果の概要:

史料調査としては三重県、和歌山県の地方史を中心とした史料調査、大垣市立図書館での史料調査を行い、南海トラフ地震を中心に地震情報の抽出を行った。三重県では伊賀上野地震についても調査した。また安政東海・南海地震による主要街道沿いの被害状況について記載されている柴田家文書(豊橋市美術博物館蔵)、濃尾地震に関する田中長嶺関連資料 尾濃震災図録(西尾市岩瀬文庫蔵)、安政東海地震に関する津なみ 若林多冲著 安政元年を翻刻した。史料検索システムのうち、地図からの検索システムについて改良を行った。また歴史地震に関する研究の文献リストを作り、これらの検索システムも構築した。

昨年度調査した明治 22 年熊本地震について論文にまとめた。またこれまで 3 年かけて調査した高知県神社明細帳について整理し、検討した。全部で 5486 神社について調査したが、そのうち 96 神社の由緒になんらかの地震に関する被害情報が記載されていた。そのほとんどは高岡郡、幡多郡であった。南海トラフ地震では高知県東部で隆起、西部で沈降の地殻変動が見られるが、単にそれだけでこれだけの違いがでるとは思いがたい。またこれらのほとんどは宝永地震での被害であり、安政地震の被害に関する記載は 5 神社しかなかった。このほか白鳳地震について 6 神社の由緒に記載があった。高知県神社明細帳については現在投稿中である。石川は「地震二付村々倒家人別書上帳」をはじめとする尾張藩小納戸役年貢地懸の安政地震に関する史料(徳川林政史研究所蔵) をすべて翻刻し内容を整理した。また、尾張藩士の小川家文書・石河家文書(名古屋大学附属図書館蔵)、尾張藩領庄屋の岡田家文書・佐藤家文書(同前)、佐屋代官所手代の永田家文書(名古屋大学大学院文学研究科蔵)、今尾(現岐阜県海津市) の庄屋日記である『今尾記』(神社蔵・個人蔵) から安政東海地震の記事を解読した。領内各地の被害に関する情報を抽出するとともに、尾張藩の救済が被災者全員ではなくあくまでの難渋者を対象としていることを明らかにし、論文にまとめた。

概ね計画通りに進んでいるが、誘発地震についての調査はやや遅れ気味である。また昨年度 e-コミマップを導入したが、インストールしたサーバが改ざんにあったため、作業ができなかった。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

山中佳子・新井田倫子, 2017, 明治 22 年熊本地震の詳細震度分布, 地震 2, 70, 233-248.

石川寛, 2018, 安政東海・南海地震の被害と尾張藩の救済 史料学的検討を踏まえて, 愛知県史研究, 22, 1-16

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

引き続き、自治体史や郷土史などの史料調査を行い、南海トラフ地震を中心に地震情報の抽出を行う。
また抽出した情報をデータベース化する。
史料検索システムについてはさらなる改良を行い、地域防災に役立てやすいフレンドリーなシステムにする。また今年度できなかった e-コミマップについては再構築し、これまでに集めた情報の見える化について検討を行う。

(11) 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, 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

(12) 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 : sanchu@seis.nagoya-u.ac.jp
URL : <http://www.seis.nagoya-u.ac.jp>

(13) 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：

名古屋大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地表地震断層および活断層の地表形状・変位量データにもとづく直下型大地震の規模・頻度予測手法の高度化 - LiDAR 等の高解像度 DEM を用いた検討

(3) 最も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) 地震発生長期評価手法の高度化

(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整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本課題は、活断層の平均変位速度分布と地震時のすべり量分布を比較し、地震発生繰り返しのばらつきを評価して、固有地震のみではなく、実態に即した複雑性を有する断層発生モデルを検討する。中越地震などのようなひとまわり小さな地震活動や、断層トレースが並走する場合の断層挙動、あるいは複数の断層の連動・非連動など、従来の固有地震説で説明できない複雑性を考慮した活動モデルの構築が必要である。そのためには航空レーザー測量(LiDAR)等の最新の地形計測技術を用いた詳細な変位地形分布調査と、課題検証のための戦略的なトレンチ調査が必要である。なお、LiDARのデータ整備が全国的に進み、活断層研究に利用できる環境が整っている。

活断層による地震発生予測の高度化を実現することで、内陸地震の地震発生機構の物理モデル確立に必要な活動間隔および規模のゆらぎに関する基礎データを提供する。また、防災・減災にとって内陸地震が引き起こす災害誘因の高精度予測は想定外災害をなくすことに貢献するほか、歴史地震が人々の暮らしに与えた影響についても視野にいれることで災害研究として歴史地震の全体像解明に貢献しうる。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度～28 年度は航空写真判読との比較などから LiDAR データを用いた実体視判読手法の評価をおこないながら、地表地震断層が現れたことがある根尾谷断層を中心に重点的に調査する。具体的には地震断層の詳細地震断層地図の作成、高密度変位量分布図の作成、および活断層の累積変位量分布の解明をまずおこなう。特に平成 27～28 年度は二回前の地震時の活動トレースと変位量分布の解

明を目的とし、トレース毎の活動履歴が解明できるような戦略的なトレンチ掘削調査、ボーリング調査を実施する。

平成 29 年度以降は、根尾谷断層で補完的調査をする一方で、歴史地震を発生させた活断層や前回の地震時の変位量が見積もりやすい活断層を中心に、活断層の累積変位量分布および地震時の変位量分布の解明を目的とする戦略的なトレンチ掘削調査、ボーリング調査を実施する。その間に地表地震断層が出現した場合はその断層調査も実施し、活断層から発生する地震のゆらぎと変位地形の特徴にせまり、活断層地形のタイプわけを目指す。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

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」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なのは明らかで、その際には、5：近年充実しつつある高解像度 DEM を活用することも重要である。

明瞭な地表地震断層を出現させた神城断層地震および熊本地震は、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与えている。こうした観点から平成 29 年度は、熊本地震や神城断層地震といった地表地震断層が出現した地震を活かした調査を継続しながら、高解像度 DEM データの活用手法確立と歴史地震の再検証を行った。

1. DEM データ活用手法確立に関する一連の調査

(1) ドローン空撮画像から作成した超細密 DSM にもとづく断層変位地形の検討 特に最新活動に伴う変位量の解明（愛媛大・広島大ほか）(図 1)

人口集中域でも使用可能な軽量 UAV による空撮画像から SfM-MVS 解析によって地形モデルを作成し、その精度検証を行った。検証を行った場所は愛媛県四国中央市の北流する浦山川と東西走行の畑野断層がほぼ直行し、交差する地点において浦山川の段丘崖が右横ずれしている地点である。その結果、本研究で得られた DSM とオルソ画像を用いて変位量を GIS 上で計測された段丘崖の横ずれ変位量は 6.4 m は、後藤・中田（2000）の計測結果と一致し、十分な精度が得られることが明らかになった。

(2) 海陸を統合した地形データによる沿岸域の変動地形 石垣島を例に（広島大）

沿岸域の変動地形については、陸上地形と海底地形がそれぞれ別の分野で研究され、統合的に検討した研究は少ない。そこで、沿岸海底の地形データについて可能な限り収集して、数値標高モデル（DEM）を生成し、刊行済の陸上の DEM とあわせて、1 枚の画像で海陸を判読できる統合した地形アナグリフを作成し、南西諸島南部の石垣島とその周辺の変動地形を判読した。その結果、石垣島南東沖に北東南西方向の活断層が延びているとされていた地点で、変動地形を読み取ることができた。

2. 地表地震断層を活用した過去の地震像の解明に関する調査

(1) 糸魚川 静岡構造線活断層帯神城断層中北部における断層活動（岡山大・信州大・地震研・法政大・鶴岡高専・名古屋大）

2014 年神城断層地震は白馬村北城～神城の約 9 km に渡って断続的に地表地震断層が出現し、その上下変位量は最大で約 1m に達したが、推定されていた固有地震より一回り小さな地震であった。そこで神城断層の過去の活動履歴と変位が累積した変動地形の情報と合わせて、神城断層による過去の地震像を明らかにし、2014 年地震のような規模の地震が、いわゆる固有地震とどのような関係にあるのか、並走する活断層のトレースにはどのような意味があるのかを議論することをめざしている。本年度は白馬村北城の白馬駅東方地点および蕨平の段丘上において、トレンチ掘削調査を実施した。その結果、白馬駅東方地点のトレンチでは、2014 年の前に二回以上の地震イベントが確認でき、1 回前の

地震発生時期を推定するための年代試料が得られ、結果待ちである。また、蕨平のピットにより、断層上盤側に位置する中位段丘の形成年代が判明することが期待され、神城断層の平均変位速度が見積もられることが期待できる。

(2) 1854年安政東海地震を引き起こした震源断層の再検討(東洋大・広島大・名古屋大)(図2)
従来、安政東海地震は、駿河トラフから富士川河口部の入山瀬断層が引き起こしたとされてきた。しかし、最近、富士川河口部の「地震山」が富士川の中州であり、地震時に隆起した証拠はないという研究が進みつつある。また、海底地形の詳細な検討から、駿河トラフの陸上延長部は入山瀬断層ではなく、由比川付近にあることが示された。さらに、由比川より北方延長部の富士川谷には、複数の左横ずれ活断層が見出されている。これらのことから、安政東海地震は、駿河トラフから連続する由比川周辺の活断層が引き起こした可能性があり、その北方延長に位置する富士川谷の活断層の性状を明らかにすることも重要であると考えられる。本研究では、これらを確認するため、静岡県由比川沿い(入山断層)から北方延長部の活断層(富士川谷の活断層)の調査を実施した。その結果、由比川東方の神沢川河口部では、西側隆起の変動崖が形成されている可能性があることが判明し、駿河トラフの海底活断層の陸上延長部の候補の一つとなりうる。由比川～富士川谷にかけては、左横ずれ活断層が存在する。それらの活動度はB級～A級であると考えられるが、駿河トラフにおけるプレートの収束速度と比較して、上記の活断層の活動度はかなり小さいと思われる。したがって、富士川谷周辺の広い活断層帯を想定し、その全体としての活動度を明らかにして、スリッププレートなどを再評価する必要がある。フィリピン海プレートとユーラシアプレートの境界の位置を確定するためには、上記した神沢川河口部において調査を継続する必要がある。

(3) 高精度アナグリフ画像解析による逆断層に伴う波状変形の抽出と活断層トレースの再検討(鶴岡高専)

DEMを使用することで立体視の上下方向の強調が容易となり、沖積平野等に見られる緩やかで幅広い波状変形の抽出がよりしやすくなった。広範囲の大縮尺立体視画像を利用することで、波状変形全体を概観できることも従来の空中写真判読に比べ有利な点である。本研究では庄内平野東縁断層帯、櫛形山脈断層帯、横手盆地東縁断層帯で試みた。その結果、庄内平野では同断層帯北部の約2～3km西側の沖積低地(おそらく数千年前後)内に、延長約8kmの背斜状変形を認定できた。変形の東西方向の幅は約2kmで、3～4mの膨らみが確認できる。これは庄内平野の伏在活断層(佐藤ほか, 2015)と関連した変形である可能性がある。これは、従来から指摘されている平野の地下1～2kmの東傾斜の低角逆断層による庄内平野東縁断層帯南部の余目背斜とその南部延長の変形と同様の変形と考えられている。櫛形山脈断層帯では「坂町付近の断層」(地震調査研究推進本部, 2006)の北西方約3km(平木田付近)の越後平野を構成する扇状地面上に、減傾斜による平坦化と山地側への逆傾斜が幅2～3km、北東南西方向に延長約4kmにわたり認められる。横手盆地東縁断層帯においては、赤坂断層(澤ほか, 2013)の南北延長および西側の沖積低地上に、走向:南北、東西の幅数km、比高3～4mの背斜状変形を認定できる。

3. 地表地震断層と被害の特性を検証した調査

(1) 益城町市街地の地震断層と建物被害(名古屋大・東洋大・広島大)

熊本地震における益城町市街地内の地震断層を詳細に調査し、地震直上および近傍における建物被害の集中について2016年4月15日と17日に国土地理院により撮影された航空写真を用いて定量的な分析を行った。直下型地震の被害軽減を図る上で、?地震断層直上における断層運動による直接的被害と、?地震断層近傍における強震動による被害、ならびに?誘発された地盤変状による被害をできるだけ正確に定量化することが重要である。その結果、地震断層から120m以内に全壊家屋の95%が集中し、大破以上の家屋率は地震断層に近づくほど増加し、50mで30%、20mでは35%に達すること、地震断層近傍(20m以内)の大破以上のうち22%は昭和50年以降の建物であること、変位量が10cmを超える地震断層直上の家屋はほとんど大破以上の被害を受けていることなどが明らかになった。

(2) 地震断層の形状・変位量・変位様式と甚大な建物被害発生領域との関連(広島大・東洋大・名古屋大)(図3)

2016年熊本地震では、倒壊などの建物の甚大な被害が偏在し、特に地震断層(=活断層)から数百メートル以内の範囲で発生したことが特徴の一つとして挙げられる。本研究では?益城町市街地および南阿蘇村河陽黒川地区、?堂園地区、?三竹-平田地区、?西原村切畑地区、?正断層出現付近などを対象にし、甚大な建物被害が集中する地域と断層の幾何学形状の関連を解明するため、地震断層の分岐・ステップ形状や断層末端部の形状について補完的な現地調査を実施するとともに、これまでに取得したドローン空撮などから作成した詳細DSMを活用し、両者の関連について定性的な検討を行った。その結果、?家屋被害は益城町市街地や南阿蘇村黒川地区などの断層が分岐する地震断層の末端部に特に顕著であった。?堂園地域では、主断層の近傍に比較して100m以上離れた場所での家屋被害が大きく、その原因が特定できていなかったが、新たに地表地震断層のトレースを発見され家屋被害の大きい場所なそれらの延長部にあっており、その末端部で局地的に大きな地震動が発生した可能性がある。?木山川低地の南縁に位置する既知の布田川断層に沿って出現した地震断層は、横ずれが卓越した直線的な断層トレースでは極近傍でも直上を除いて、建物が倒壊した例は殆どなかった。これは、断層破壊がスムーズに伝播したことを暗示している。平田周辺などの地震断層は左ステップして南西方向に屈曲しており、屈曲場所より北西側に倒壊などの家屋被害が集中している。このように、破壊の伝播が阻害されるような場所では建物被害が目立ち、その延長に当たる場所で局地的に地震動が大きくなった可能性がある。?南西から北東に断層破壊伝播はこのステップで阻害され、南西側の断層とトレースの北東延長部に位置している大切畑地区に強い地震動をもたらしたと考えられる。大切畑地区は未固結の斜面堆積物の上に家屋が位置しており、地盤破壊と合間って被害が大きくなったと思われる。?布田川断層と平行する出口断層やその南の三竹-平田の短い正断層が活動し、顕著な地震断層が出現した。しかし、大きな家屋被害は断層直上の変位に伴うものに限られており、家屋倒壊を起こすような強い地震動は断層近傍では起こらなかった。

- (9)平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
後藤秀昭, 2017, 海陸を統合した地形データを用いた変動地形学的研究 石垣島の海成段丘の傾動と海底地形, 日本活断層学会2017年度秋季学術大会, P-16

Hideaki Goto, 2017, Late quaternary slip rates and vectors on the Median Tectonic Line active fault zone in eastern Shikoku, southwest Japan, Quaternary International, <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.12.013>

廣内大助・松多信尚・石山達也・杉戸信彦・竹下欣宏・水谷光太郎・安江健一・藤田奈津子・澤祥・道家涼介・佐藤善輝・堤浩之・越後智雄・池田一貴・鈴木康弘・神城断層調査グループ, 2018, 糸魚川-静岡構造線活断層帯神城断層中北部における断層活動, 2018日本地理学会春季大会

岩佐佳哉・熊原康博・後藤秀昭・中田 高, 2017, 益城町堂園地区における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, 日本活断層学会2017年度秋季学術大会講演予稿集, P-3

Suzuki, Y., Nakata, T., Watanabe, M., 2017, Extremely severe house damage confined to narrow zones along the surface fault ruptures in Mashiki by 2016 Kumamoto earthquake, Japan. AGU Fall Meeting, T43C-0712.

鈴木康弘・渡辺満久・中田 高・田中 圭, 2017, 益城町市街地の地震断層と建物被害, 日本活断層学会2017年度秋季学術大会講演予稿集, O-3

鈴木康弘・渡辺満久・中田 高, 2018, 2016年熊本地震における益城町市街地の地震断層-変動地形学的意義と建物被害への影響-. 活断層研究, 48, 印刷中.

鈴木康弘・渡辺満久・中田高, 2017. 2016年熊本地震を教訓とする活断層防災の課題と提言. 科学, 86, 839-847

高橋直也・石村大輔・遠田晋次・中田 高・渡辺満久, 2017, 布田川断層に並走する正断層の平均変位速度: 熊本県益城町下陳金山川沿いに現れた地震断層露頭, 活断層研究, 46, 27-32.

渡辺満久・中田 高・水本匡起, 2017, 富士川谷に見いだされた断層変位地形と断層露頭, 活断層研究, 45, 9-15.

渡辺満久・中田 高・後藤秀昭, 2017, 変動地形学的特徴にもとづく立川断層南部の存在の再確認, 地

震, 第2輯, 70, 81-87.

渡辺満久・越谷 信, 2017, 北上低地帯北部における変動地形と活断層の再検討, 活断層研究, 46(印刷中).

渡辺満久, 2017, 広い撓曲崖を形成する六ヶ所断層 - 原子力規制委員会による適正な審査のために -, 科学, 88, 72-76.

(10) 平成30年度実施計画の概要:

平成30年度はLiDARやUAVなどの最新技術を活用し, 変動地形学的に認められる活断層の位置・形状・累積変位量分布や, 一回前の地震で現れたであろう変位量分布を比較・検討し, 地震 地表地震断層 活断層地形の関係を再構築することを目指す。また同時に, その成果を災害の軽減にむけて還元することを検討する。具体的には(1)トレースごとの活動履歴が解明できるような戦略的なトレンチ掘削調査を継続実施(2)詳細なDEMデータを用いた地表地震断層および累積変位地形の検出および手法確立(3)地表地震断層などにおける微小変位地形と活動履歴に関する地形地質調査(4)地表地震断層の出現がもたらす被害の特性の検討。などを行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

鈴木康弘(名古屋大学)

他機関との共同研究の有無: 有

広島大学(後藤秀昭・熊原康博・中田 高)・岡山大学(松多信尚)・信州大学(廣内大助)・千葉大学(金田平太郎)・東大地震研(石山達也)・東北大学(石村大輔・岡田真介)・山口大学(楳原京子)・東洋大学(渡辺満久)・法政大学(杉戸信彦)・国立鶴岡工業高等専門学校(澤 祥)等

(12) 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/>

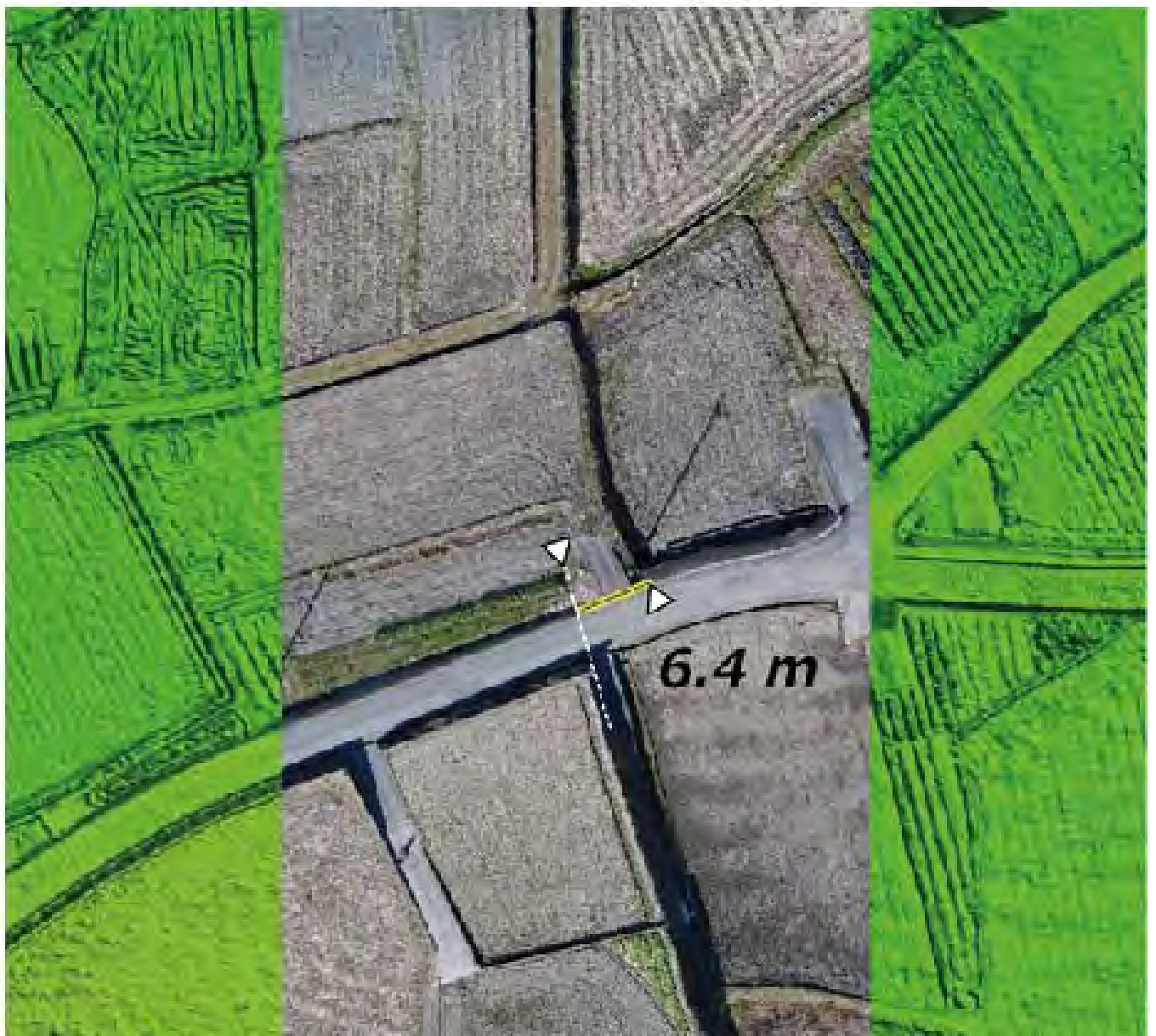
(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

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上 自作の小型マルチコプターにより撮影された画像から作成された地形モデル



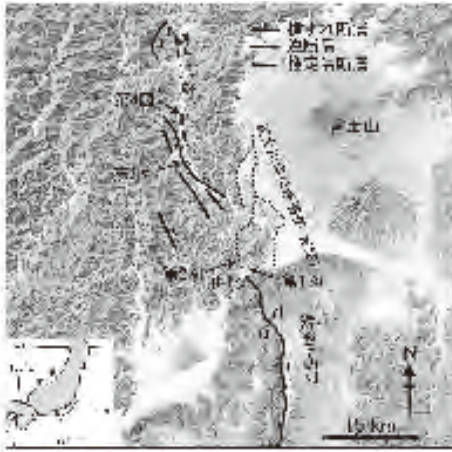


図2上 調査地域の概要と調査地点

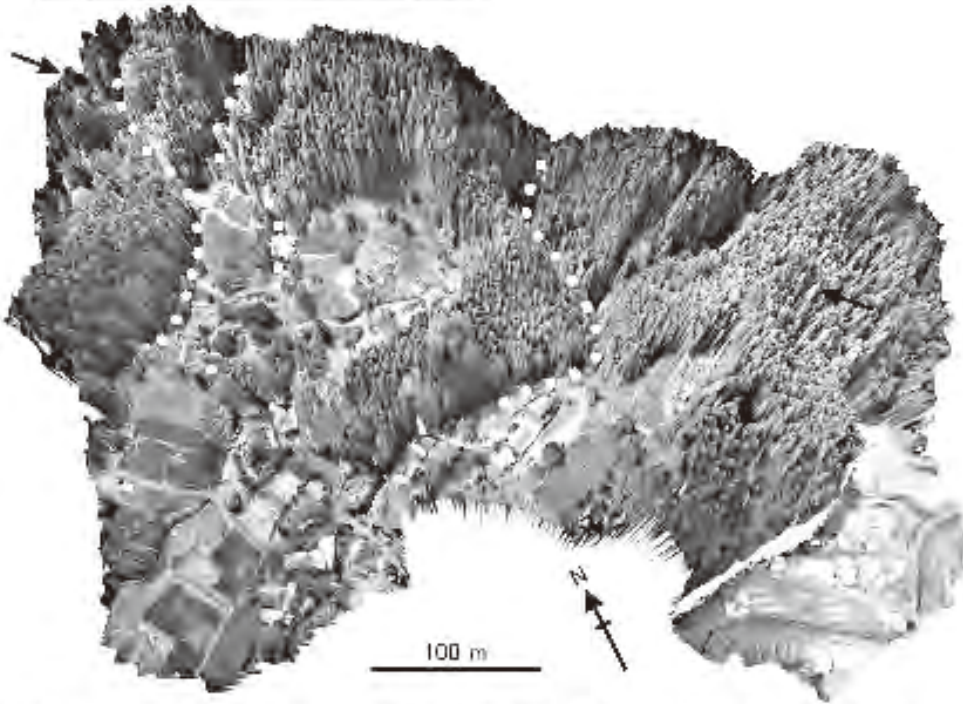


図2下 南部町原戸周辺の左横ずれ断層変位地形 (第2図上中の第4図地点)

ドローンで撮影した写真をもとに3Dモデルを作成した。白色の点線が流路を示している。想定される左横ずれ活断層のトレースは、黒色矢印で図示した。左横ずれ変位量は、最大で100m程度に達している。



図3 地震断層の幾何形状と甚大被害領域の関係

黒線：地震断層 ピンク：被害甚大発生領域 赤星：地震断層地表破壊開始点 矢印：断層破壊伝播の方向

- (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巨大地震断層域の力学・変形特性の把握
- (3) 最も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) モニタリングによる地震活動予測
ア. プレート境界滑りの時空間発展
- (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・火山現象の解明
イ. プレート境界巨大地震
(3) 地震・火山噴火の発生場の解明
ア. プレート境界地震
(4) 地震現象のモデル化
イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築
2. 地震・火山噴火の予測のための研究
(1) 地震発生長期評価手法の高度化
(2) モニタリングによる地震活動予測
イ. 地殻ひずみ・応力の変動
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の事前評価手法の高度化
4. 研究を推進するための体制の整備
(2) 研究基盤の開発・整備
ア. 観測基盤の整備
ウ. 観測・解析技術の開発
(3) 関連研究分野との連携の強化
- (5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：
南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標 :

南海トラフ域を対象として、地震発生予測の基本となる海溝型巨大地震の理解のために本質的に不可欠な (A) プレート境界面の力学的特性の時空間変化の把握と (B) 海底地形やプレート形状も含めた巨大地震断層形状の把握をめざす。そのため、測地学的データなどからプレート間固着の時空間分布を把握し、そのプレート間固着の多様な振る舞いからプレート境界面上の力学特性を明らかにする。陸上のデータのみでなく、GPS/音響方式による海底地殻変動モニタリングを熊野灘沖の南海トラフ軸近傍の 2 ヶ所で実施し、プレート境界浅部におけるプレート間固着の現状把握をめざす。またこれまでに設置した ACROSS 震源の運転を継続するとともに、プレート境界面で変換された地震波や、トラップされた波の解析によるアプローチを試み、合わせてプレート境界の力学特性の時間変化検出をめざす。

格段に詳細な海底地形データ等を新たに取得し、従来の地形データとあわせて、海底活断層の位置形状や活動履歴等を詳しく調べる。歴史地震の発生源や将来の巨大地震の断層モデルに関し、地震学的・測地学的視点とは異なる変動地形学的観点からの方法論を提示するとともに、巨大地震断層面と海底地形との関連を検討する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要 :

本研究課題では (A) プレート境界面の力学的特性の時空間変化の把握と、(B) 巨大地震の断層形状の把握のために以下の 6 項目の研究を実施する :

1) 過去の測地データの活用

平成 26 年度 ~ 平成 28 年度において過去の測地学的データの整理・解析を行い、長期 ~ 中期のプレート固着の時空間分布を推定する。その後モデルの高度化とプレート境界の力学特性を推定する。

2) 陸上での GPS 観測

平成 26 年度 ~ 平成 29 年度で GPS 観測点の整備及びデータ蓄積を行い、GEONET と統合解析を行い、プレート間カップリングや地殻の歪みを推定する。

3) 海底地殻変動観測

期間中継続して、南海トラフ沿いに既に設置している観測点での測定を 1 回 / 年以上の頻度で行い、地殻変動データを蓄積するとともに解析を逐次行う。以前の測定期間も通した観測を総合することにより、高精度の変位速度ベクトルを獲得する。

4) ACROSS による解析

期間を通して ACROSS 震源の連続運転を継続する。並行して過去のデータも統合しながら、震源と周辺の観測点間での各種到達波の走時や反射波振幅の時間変化を監視する。課題の期間中に項目 2) 等などからスロースリップが検出された場合には、それに伴う力学特性の変化の推定を試みる。

5) プレート境界面トラップ波・変換波解析

平成 26 年度にデータ整理を行い、その後の年度で解析を行う。特にプレート境界面の形状や境界面周囲の力学的特性を明らかにすることを目指す。

6) プレート境界周辺海底活断層の変動地形学的・古地震学的調査

平成 26 年度 ~ 平成 27 年度は調査地を選定し、海底地形詳細調査を実施する。

平成 28 年度以降は、それまでの成果に基づき、海底地形詳細調査と堆積物調査等を実施するとともに、変動地形学的・古地震学的データの解析を行う。

期間終盤では、上記の項目の成果を統合しプレート境界の力学特性を把握するとともに、南海トラフ沿いにおける統一モデルの構築を目指す。また海底活断層が引き起こす津波のシミュレーションなどもおこなう。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

本研究課題では、平成 29 年度についてもプレート境界面の力学的特性の時空間変化の把握と、巨大地震の断層形状の把握のために従来の 6 項目の研究を実施した。そのうち陸上および海底の地殻変動

観測は過去の測地データの活用と合わせてプレート協会のカップリング分布に関する解析を行った。

1) 過去の測地データの活用、2) 陸上での GPS 観測、3) 海底地殻変動観測

南海トラフ沿いのプレート間固着を推定するために、GEONET(2006年2009年:862点)高知大学等による銭洲岩礁キャンペーン観測(2005年2010年)名古屋大学(東北大学との共同観測を含む)及び海上保安庁による海底地殻変動観測データ(2004年~2016年:24点)を用いて、以下の条件で解析を行った。

?空間的な推定誤差を最適化した小断層分割を行う(木村・他(2016)の手法)

?ブロック運動モデルを導入する。

解析によって推定されたプレート間固着の空間分布を図1に示す。メッシュの赤色が濃いほど、その領域のプレート間固着が強いことを意味している。大局的に見ると、トラフ軸沿いの深さ0.25km付近までの固着が強い傾向にあることがわかる。しかし、日向灘や室戸岬沖、潮岬沖、熊野灘の一部領域など、部分的に固着が弱い領域が存在する。このことは、海域のプレート間固着が非常に不均質であることを意味している。また、深さ30km以深は固着が弱いこともわかる。Yokota et al. (2016)では、琵琶湖付近の深さ40.50kmの領域に強い固着を推定していたが、ブロックの剛体運動等を考慮した我々の解析では琵琶湖付近の固着は弱いという異なる結果が得られた。

このほか、南海トラフ沿いの滑り遅れの積算分布を推定するため、過去の水準・三角測量・検潮・GNSSデータを用いた予備解析を行った。陸上のGPS観測は、伊勢湾周辺に独自に設置した9箇所の観測点での観測を継続した。海底地殻変動では、熊野灘沖の2観測点でそれぞれ1回の観測を実施した。

4) ACROSSによる解析

本年度は、昨年度に引き続き、岐阜県土岐市・愛知県豊橋市・静岡県森町に設置してある震源装置の稼働を継続して行った。いずれのACROSS震源についても、一年を通じてほぼ連続的に運転を行う事ができた。

前年度は、森町の震源と最も近いHi-net観測点で観測した伝達関数が2004~2017年全期間について徐々に地震波速度が速まる傾向と、2011年東北地方太平洋沖地震の際に地震波速度が遅くなる現象を確認することができた。本年度は、複素領域での解析を考案することで、周辺12点のHi-net観測点において同様な傾向があることが確認出来た。いずれも東北地方太平洋沖地震時には遅れが認められ、それ以外の時期には徐々に地震波速度が速まる傾向にある(図2)。

5) プレート境界面トラップ波・変換波解析

本年度は、昨年度実施した、深発地震の稠密地震観測記録に地震波干渉法を適用した静岡県東部地域のプレートの上部境界および地殻内の構造のイメージングについて、さらに詳細に解析をした。その結果、その結果、プレート上面と考えられる構造境界および地殻内の地質境界と見られる構造境界をより明瞭に検出することができた。

6) プレート境界周辺海底活断層の変動地形学的・古地震学的調査

本年度は、熊野灘において海底地形の高解像度データ(1秒メッシュ)を取得し、得られた詳細な地形イメージに基づいて、海底活断層の位置形状に関する検討を実施した(図3)。また、平成28年度コア取得地点付近において、さらに4本のコアを、平成28年度と同じくピストンコーラーを用いて取得した。計8本のコア試料について、高知大学海洋コア総合研究センター(担当:岩井雅夫教授)にて分析をすすめ、海底活断層の活動履歴に関する検討を行った。

(9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
Mitsuhiro Toya, Aitaro Kato, Takuto Maeda, Kazushige Obara, Tetsuya Takeda, Koshun Yamaoka, Down-dip variations in a subducting low-velocity zone linked to episodic tremor and slip: a new constraint from ScSp waves, Scientific Reports doi:10.1038/s41598-017-03048-6 <http://www.nature.com/articles/s41598-017-03048-6>

(10) 平成30年度実施計画の概要:

平成30年度は、それぞれのサブテーマにおいて以下の研究を実施する。

- 1) 過去の測地データの活用として、ひきつづきプレート間カップリングの時空間変化を推定する。
- 2) 陸上稠密 GNSS 観測では9箇所における観測を継続する。
- 3) 海底地殻変動観測では南海トラフ軸の3観測点と熊野灘の2観測点で各1回の海底地殻変動観測を実施するとともに、過去データを統合した再解析結果の提示を行う。
- 5) 変動地形学的調査においては、コア分析を引き続き実施し、海底活断層の一形状や活動履歴を検討する。
- 6) アクロスにおいては、土岐市・豊橋市・森町の震源の運転を継続し、森町以外の震源を用いた経年変化の有無を調査する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

山岡耕春・鷺谷威・渡辺俊樹・鈴木康弘・田所敬一・橋本千尋・伊藤武男(7名)

他機関との共同研究の有無：有

静岡大学(生田領野), 気象研究所(勝間田明男, 他1), 岡山大学(松多信尚, 他1) 広島大学(後藤秀昭, 他1), 高知大学(徳山英一), 東洋大学(渡辺満久), 法政大学(杉戸信彦), 東海大学(坂本泉), 海上保安庁(泉 紀明), 国立環境研究所(石黒聡士)

(12) 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附属地震火山研究センター

電話：052-789-3046

e-mail：

URL：<http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/>

(13) 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：名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター

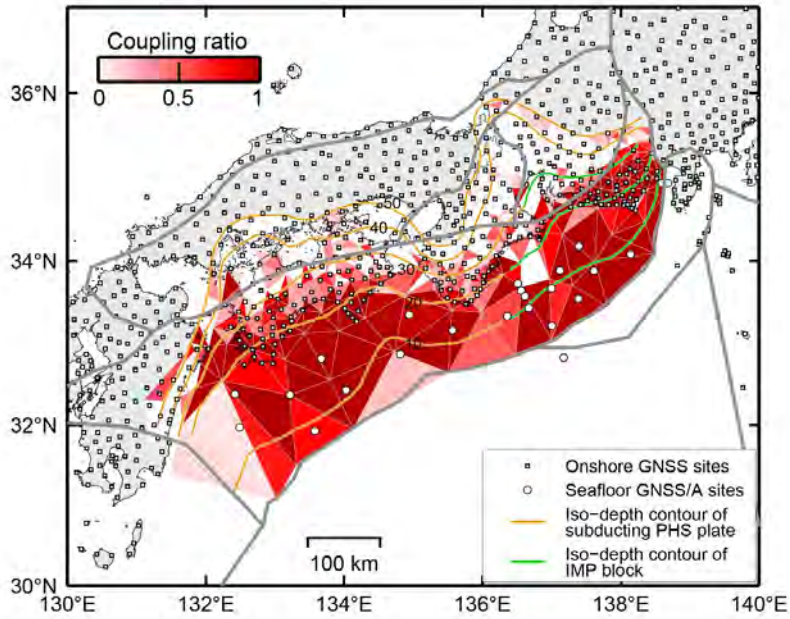


図1 推定されたプレート間固着の空間分布。

プレート境界面の等深線は 10km ごとに示してある。図中に示したブロック略称は、PHS：フィリピン海プレート、IMP：伊豆マイクロプレートである。灰色太線はブロック境界を示す。

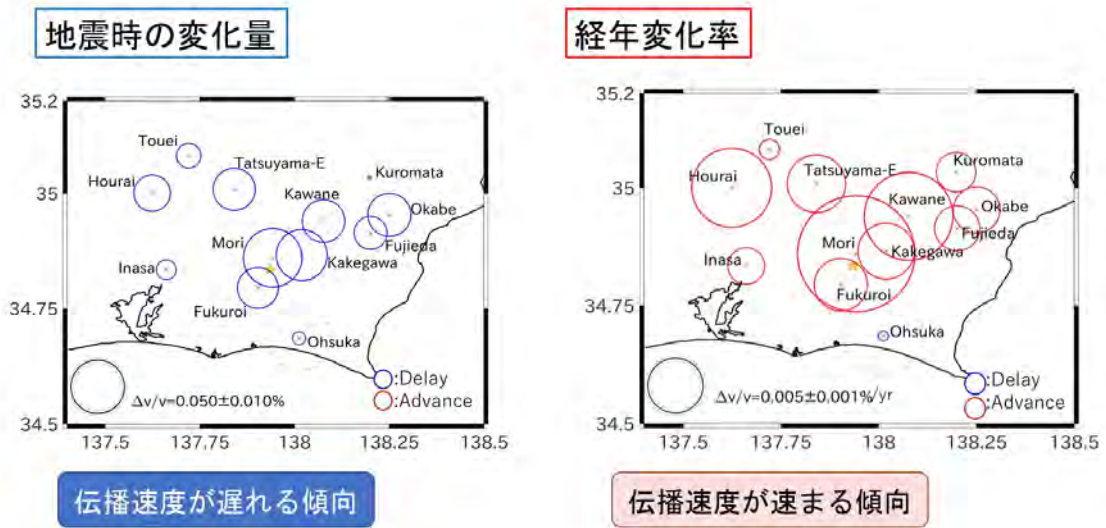


図2 東海地方における地震波速度の変化

地震時には地震波速度が遅れるのに無しい、それ以外の時期には徐々に早くなる傾向が見られた。

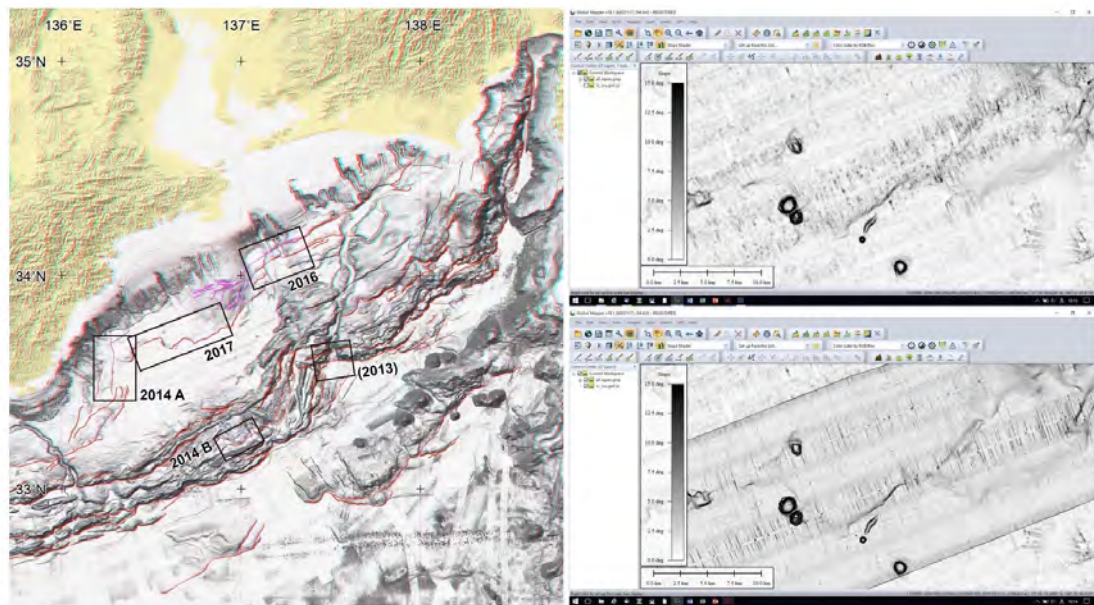


図3 海底活断層の調査

(左) 調査海域 (右) 傾斜区分図(上は従来のDEM、下は今回の1mメッシュDEMに基づく)

(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

(3) 最も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

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

「脆弱性」という概念は、ボトムアップ型コミュニティ防災・減災を考えるための基本的フレームにとって中心的な位置を占める。しかし、「脆弱性」をどう捉えるかに関しては、様々な立場がある。本課題の到達目標は、「脆弱性」概念に関して、概念的整理を行うとともに、東日本大震災の被災地の状況を参照しながら内容を明確化し、最終的に尺度として洗練させることである。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

初年度(2014年度)においては、地震・津波被災地、具体的には東日本大震災の被災地に関して、避難行動等においてコミュニティがどのような防災・減災力を発揮したか/しなかったかを検証し、脆弱性とコミュニティ防災・減災力に関する作業仮説を構築する。

2015年度～2017年度においては、南海トラフ巨大地震で被害が想定される中小都市、沿岸漁村、大都市の3つの空間的・社会的特性の異なる地点を選定し、作業仮説の検証を行う。

最終年度(2018年度)においては、脆弱性尺度をより洗練させ、ボトムアップのコミュニティ防災・減災を考えるための基礎的なフレームの構築に貢献する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

東日本大震災における被害構造に関して総括した上で理論的に導き出された作業仮説に基づいて、(1)空間(土地利用、土地条件、都市計画、都市機能など)、(2)防災意識・災害文化(災害の集合的記憶とその喚起装置、災害への備えなど)、(3)社会的凝集性(地域住民組織、防災組織・NPOやその組織間関係、行政との協働など)、(4)災害対策(防災施設等のハード対策と防災計画等のソフト対策)

の各側面について、過年度に引き続き、それぞれ調査研究を深化させた。それぞれの概要は、以下の通りである。

(1) 土地利用変化と空間に現れる脆弱性

東日本大震災被災地における過去 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した。地理情報システム (GIS) を利用しながら、いわゆる土地利用の都市化が激しかったホットスポットを探し出し、戦前期から昭和 20 年代と昭和 40 年代以降の時期との間で異なる地域的傾向を見出した上で、その背景にある都市間競争とそれにかかわる計画的な都市開発の影響を、いわゆる「地方政府のパラドクス」との関係において考察した。

(2) リスク認知と防災意識および備え

避難にかかわる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と関連しないという、東日本大震災の被害構造の検証から見出された知見に基づいて、そうした防災行動の背後にあるメカニズムを検討した。具体的には、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」があることを明らかにした。防災 NPO や地域組織と連携して、地元住民を対象とした防災シンポジウムを開催し、これらの研究成果の地元社会への還元と防災対策への活用を図った。

また、いわゆる南海トラフ地震にかかわって浸水地域の想定が大きく変わった浜松市において、新想定に伴う行政の防災計画の変化、潜在的な津波リスクと民間企業等の立地移動などにかかわる予備調査を行うとともに、住民の防災意識等に関する質問紙調査の実施に向けた準備を進めた。予察的考察の結果、行政組織や地元地域組織との交渉、地元の地域構造の把握とそれに基づく調査票の設計に時間と労力がかかることがわかり、質問紙調査自体は来年度に行うこととし、さらに精緻な準備を進めることにした。

(3) 自主防災活動に見られる社会的凝集性と地域防災力

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、予察的考察の結果、自主防災活動の目下の課題として、地域の状況と災害リスクに基づいた防災対策の立案や、コミュニティレベルにおける地域組織間の連携の強化を指摘した。自主防災活動の状況については、とりわけ南海トラフ地震で甚大な津波被害が予測されている 6 地域 (静岡県牧之原市 = 大震法適用地域、三重県南伊勢町および徳島県牟岐町・美波町・海陽町 = 昭和時代以降の甚大被災経験のある過疎地域、高知県高知市 = 地方中核都市の市街地) に焦点を置き、その規定因について分析を行った。以下、具体的に述べる。

自主防災活動：大震法の適用地域である牧之原市で自主防災活動が顕著に活発であり、特に活動の頻度に関して他地域との間に大きな差がみられた。他方、過疎地域では自主防災活動が相対的に低調であり、東日本大震災発生後も防災訓練への参加者が必ずしも増えていない現状がみられる。

コミュニティ活動 (社会的凝集性との関連)：コミュニティ活動に関する地域差は自主防災活動ほど顕著ではなかったが、市街化が進んだ高知市で全体的にスコアが低かった (地域活動への住民協力、地域行事の有無、組織間の連携等に関して)。なお、「地域リーダーの数」に関しては、人口減少と高齢化の影響によって地域社会の全般的縮小が問題となっている過疎地域においてスコアが低くなった。

行政の支援 (組織間の垂直的關係)：行政からの「財政補助」と「情報伝達体制」に関して、顕著な地域差がみられた。過疎地域では財政補助を受けている自主防災組織の比率が有意に低くなっている。行政との情報伝達体制に関しては、社会的凝集性の低い市街地においてうまく機能していないことが明らかになった。

災害リスク認知との関連：いずれの調査地も過去に大きな津波被害を経験し、また今後甚大な津波被害が想定されているが、主観的なリスク認知には大きな地域差がみられた。一世代程度の過去 (昭和時代以降) の津波災害の記憶は比較的継承されているが、それ以前の被災経験は継承されにくく、また都市化の進んだ地域でも全般的な風化が指摘される (図 1)。今後の津波災害のリスク認知もこの傾向に対応し、政府や学界等の広報にもかかわらず、牧之原市、高知市では顕著に低くなっている (図 2)。

インプリケーション：以上をまとめると、自主防災活動は大震法の適用地域とその他の地域で顕著な地域差がある。しかし、そういう地域でも、遠い過去の津波災害の記憶が風化し、今後の津波災害の被害想定も過小評価されているきらいがある。都市化が進み、社会的凝集性が弛緩しつつある地域では、行政との情報連絡体制も上手く機能していない上に、過去の被災経験の風化も進み、災害対応の実効性が懸念される。過疎地域の社会的凝集性は比較的高く、津波災害の記憶も継承されているが、縮小社会化によってマンパワーの不足が深刻化している上に、行政の財政補助も不十分である。科学的知識の向上と普及、行政的な防災体制の強化のみならず、こうした地域特性に規定された災害脆弱性に配慮した防災制度の確立が今後の課題である。

(4) コミュニティ防災研究会の開催と先進的取組みの調査

地域防災力の向上に取り組む先進地の経験を調査するために、名古屋大学において定期的に行われてきた「新しい防災の考え方」研究会の知見を総括し、報告書を刊行した。また、引き続き、地区防災計画制度のモデル地区に選ばれた高知市下知地区と名古屋市南区星崎学区の防災リーダーおよび行政職員を講師に招き、コミュニティ防災の現状と課題について議論を行った。この取り組みは来年度も継続し、今年度の音声記録の分析と合わせて報告書にまとめる。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
田中重好・高橋誠・黒田達朗編『新しい防災の考え方を求めて(シリーズ3): コミュニティ防災を考える』名古屋大学大学院環境学研究科、2017年、総198頁、ISBN: 9784904316146

Takahashi, M. and Muroi, K. Eds.: *International Comparative Study on Mega-earthquake Disasters*. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University: Nagoya, 2017, 153p., ISBN: 9784904316153

- (10) 平成 30 年度実施計画の概要：

それぞれに項目について、今年度までの調査研究をさらに深化させる。とりわけ、(1) 名古屋市南区における臨床社会学的調査を継続するとともに、南海トラフ巨大地震によって被害が予想される地方中核都市(静岡県浜松市、その他の対象も検討)において、リスク認知と防災意識等にかかわる質問紙調査を実施し、予察的考察を行う。(2) 先進的コミュニティ防災の取組みにかかわる研究会を継続するとともに、地震学等の理系分野の研究グループとも連携しつつ、行政機関、防災 NPO や自主防災組織等との知識普及にかかる協働を深める。

以上を総括し、土地利用と脆弱性にかかわる空間理論ならびに社会的凝集性とリスク認知にかかわる社会理論と、災害対策(防災施設等のハード対策と防災計画等のソフト対策)にかかわる自治体や自主防災組織等の実践とを統合して本研究をまとめ、学術書や啓蒙書、教科書等の出版をめざして具体的な計画を押し進める。それらを通じて、脆弱性尺度をより洗練させ、ボトムアップのコミュニティ防災・減災を考えるための基礎的なフレームの構築に貢献する。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

室井研二(名古屋大学環境学研究科)
高橋誠(名古屋大学環境学研究科)
堀和明(名古屋大学環境学研究科)
山岡耕春(名古屋大学環境学研究科・地震火山研究センター)
鈴木康弘(名古屋大学減災連携研究センター)
黒田達朗(名古屋大学環境学研究科)
田中重好(名古屋大学名誉教授)
他機関との共同研究の有無：有
黒田由彦(椋山女学園大学文化情報学部)

- (12) 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附属地震火山研究センター
電話：052-789-3034
e-mail：
URL：http://www.seis.nagoya-u.ac.jp

(13) 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：名古屋大学大学院環境学研究科

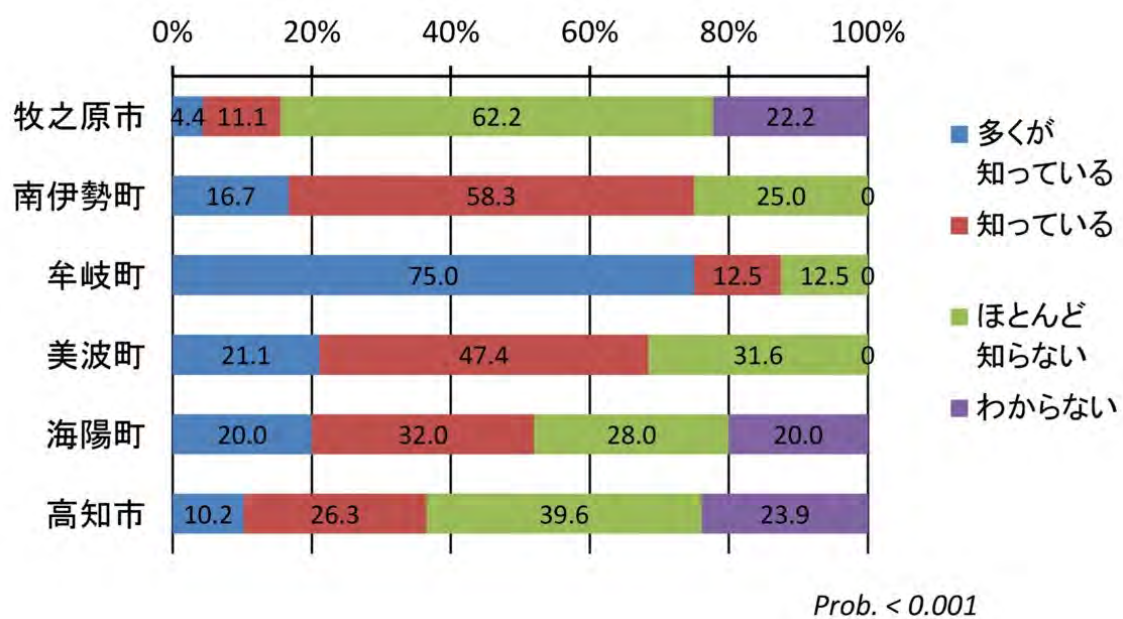
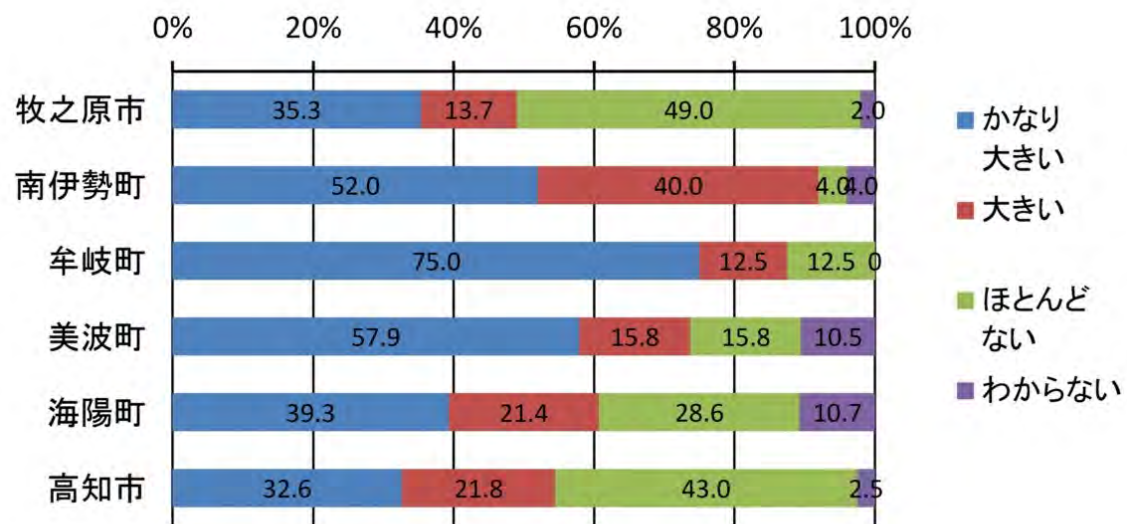


図1 昭和以降の津波災害に関する認知 (%)



Prob. < 0.001

図2 次の津波災害の被害想定(%)

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

精密制御震源システムの標準化と、ポアホール・海域への設置に関する研究

(3) 最も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) 地震現象のモデル化

ア. 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・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

ウ. 内陸地震と火山噴火

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

上記の研究成果の概要において利用したアクロス震源装置の仕様を基本的に見直した第二世代のアクロス震源装置をすでに製作した。本研究では、[1] 第二世代アクロス震源の性能検証に加え、[2] 海底掘削孔内震源の開発を行う。

第二世代アクロス震源装置は、様々な発生力の要求に対応できる柔軟性、故障への対応等メンテナンス性、地盤への設置の迅速性の 3 点を向上させることをめざしている。本課題ではこの 3 点についての性能向上の検証を行い、最終的には比較的低い運用コスト(科研費の基盤 B 程度)で誰にでも利用できることをめざす。また海底掘削孔内に設置するための震源については、5 か年中に陸上のポアホール内で運用できる震源装置の開発をめざす。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

○平成 26 年度:[1] 第二世代震源装置については、前年度(平成 25 年度)中に試験運転実施場所を確定し、平成 26 年度に設置工事を行う。また本体および周囲に加速度計を設置し、本体の振動お

よび地盤との相互作用を解析する。[2]海底掘削孔内震源の開発については、前年度までに作成していたプロトタイプ of 動作試験を引き続き行う。

○平成 27 年度:[1]第二世代震源装置については、長期連続運転試験を行い、耐久性について検証する。[2]海底掘削孔内震源については、平成 26 年度は、プロトタイプを改良し、ボアホールに設置する 1 つ手前の装置を製作する。直径の大型化および長さを 1 m 程度に長くすることにより、おもり落下による発生力を大きくする。

○平成 28 年度:[1]第二世代震源装置については、長期連続運転試験を継続するとともに、耐久性の課題であるベアリングを確認し、場合によってはベアリングの設計変更を行う。[2]海底掘削孔内震源については、前年度の大型化装置の動作実験を行い問題点を洗い出すとともに改良を行う。

○平成 29 年度:[1]第二世代震源装置については、長期連続運転試験を継続する。この年度以降は、実際の観測に用いることも想定する。[2]海底掘削孔内震源については、孔内に設置するための設計・製作を行う。

○平成 30 年度:[1]第二世代震源装置については、長期連続運転試験を継続する。[2]海底掘削孔内震源の開発については、前年度までの試験結果を基に、孔内に設置して動作試験を実施する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

第 2 世代震源装置について、基礎の周辺地盤が損傷して異常振動を起こしていたことから、本格的な補修を行い、補修の効果について計測を実施した。また補修した基礎に、九州大学が第 2 世代震源装置として新たに作成した小出力の震源を設置して動作試験を行った。また、平成 29 年 12 月より、補修した震源を用いた長期間の連続運転を開始した。

基礎の補修 (前年度未実施)

基礎周辺の地盤が損傷による異常振動は、基礎の振動計測により基礎底面と地盤との間付近に滑り面が出来たためと推測された。そのため、基礎の周囲 50cm 程度を新たに掘削し、配筋をするとともに、鉄製の 2m の丸棒 10 本を 1m 地盤に打ち込んで補強をした後コンクリートで固めるという工事を行った。これは出来るだけ広範囲の地盤が一体として振動するようにするためである。工事の様子を図 1 および図 2 に示す。

補修の効果の計測

補修前 (地盤の破壊後) と補修後の計測を比較する (図 3)、基礎上に 3 成分加速度計を 2 台と上下動加速度計 1 台を設置して、基礎の剛体運動に変換した。図 3 の上は、破壊後の並進運動である。Z 方向 (上下方向) に対し、Y 方向 (回転軸と垂直方向) の動きが極端に大きいことがわかる。これは地盤の水平方向の固さが減少したことを示しており、底面に滑り面が出来た可能性がある。15 Hz を越える計測は、基礎の振動が大きくなりすぎるため断念した。補修後は Z 方向と Y 方向の振幅がほぼ一致していることがわかる。20Hz まで問題なく計測できている。なお、低周波側で計測値が乱れているのは、振動計測にノイズが含まれている影響である。

またオリジナルの基礎の破壊前と補修後の基礎との比較を行った (図 4)。その結果、補修後の基礎のほうが振幅が小さくなっている。これは基礎のサイズが大きくなったため、周辺地盤との接触面積が大きくなり、見かけ上の周辺地盤の固さが増したためと考えられる。これ以上の詳細を検討するためには、シミュレーションの計算をする必要がある。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

平成 30 年度は、平成 29 年度末に実施した第 2 世代の震源装置について連続運転試験の結果を整理する。また基礎の設計指針を得るために、基礎に関するシミュレーション計算を行って、計測と比較する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

名古屋大学環境学研究科 山岡耕春、渡辺俊樹、前田裕太

名古屋大学全学技術センター

他機関との共同研究の有無：有

海洋研究開発機構（荒木英一郎）・静岡大学理学部（生田領野）

(12) 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附属地震火山研究センター

電話：052-789-3046

e-mail：

URL：<http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/>

(13) 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：名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター



図1 震源装置の基礎の補修工事。
周辺地盤を掘削して拡張をしている



補修作業概要

1. 周囲を掘削する
 2. 2mの鉄丸棒を1mうちこむ
 3. 配筋を施す
 4. セメントで固める
- 註) 周囲を埋め戻さないで
すべてセメントで埋める

図2 震源装置基礎の補修工事

周辺地盤を掘削して、鉄筋で配筋をするとともに、鉄製の丸棒を地盤に打ち込んだ。

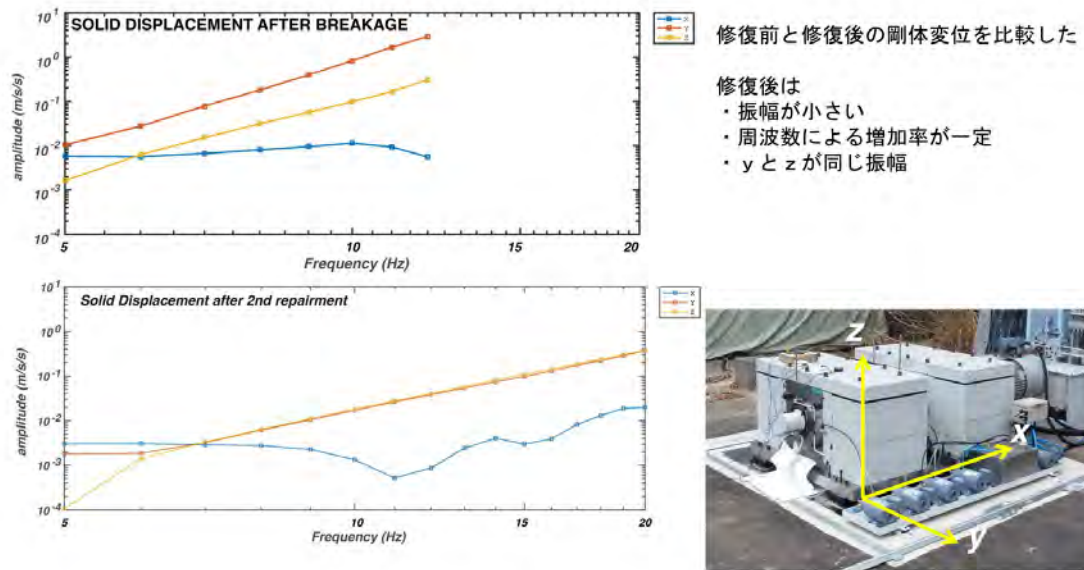


図3 地盤破壊後と、基礎補修後の基礎の剛体運動の比較
 基礎の剛体運動6成分のうち、並進運動3成分を比較した。制限波で加振をした場合の剛体並進加速度の比較を行っている。

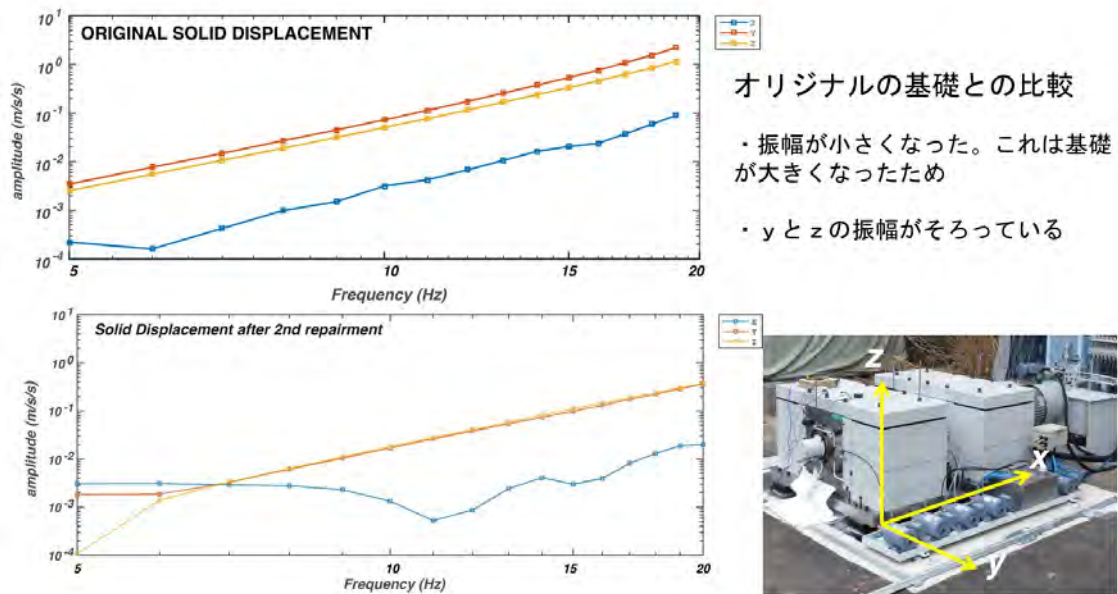


図4 オリジナルの基礎と補修後の基礎の剛体運動の比較
 当初の基礎と、補修後の基礎について、正弦波で加振をした場合の剛体運動について、並進加速度成分の比較を行った。

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

火山災害情報およびその伝達方法のあり方

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(5) 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：

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

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(4) 研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

御嶽山は、1979 年の中規模な噴火をはじめ、1991 年、2007 年にもごく小規模ながら噴火活動があり、"噴火活動を続けている"火山である。また、2014 年の 9 月 11 日からは地震活動がやや活発化していた。ところが、これらの情報が一般向けに十分に浸透しておらず、2014 年 9 月 27 日の噴火に多くの観光客等が巻き込まれた。情報が浸透していなかった一因は、情報の受け手側(今回の噴火では観光客等)にとって有用な形で伝わっていなかったことにある。特に、半月前の地震活動の活発化の情報を手にしていた我々は、この情報が一般に行き渡っておらず、災害を拡大させたという事実から目を背けてはならない。そこで、本研究課題では、地域住民、観光客といった情報の受け手や、自治体職員等の情報伝達の担い手にとって有用な災害情報の内容や伝達方法のあり方について検討・提案を試みる。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本研究課題では、災害情報の受け手の視点に立って以下の項目を実施する：

1) 火山災害情報のあり方についてのアンケート

御嶽山の岐阜県側(高山市)・長野県側(大滝村等)において、住民を対象にアンケートを実施する。質問内容は、低頻度の自然災害である火山災害の発生リスクに対する意識(他の自然災害との比較を含む)、各情報源から出される情報への信頼度、有用な情報源等とする。また、近年噴火した新燃岳周辺住民に対しても同様のアンケートを実施する。3 地域における一連のアンケートを 3 年間で実施し、情報の受け手にとって有用と感じる災害情報について、同一火山における火山との物理的距離や距離感の違い、異なる火山間での回答の違いを整理し、最終年度に火山災害情報およびその伝達方法のあり方を提案する。

2) 地域向けワークショップ

アンケートを実施した各地域において、アンケートの集計・分析が終わった時点でその結果をふまえたワークショップを実施し、火山災害そのものや、災害情報の活用方法等を主として一般住民に伝える。火山においては山岳ガイドが観光客等への災害情報伝達の重要な担い手になりうると考え、これらの方々にも参加を促す。

3) 受け手に有用な情報発信の試行

上記1)および2)の結果をふまえて、最終年度に受け手に有用な火山災害情報およびその伝達方法のあり方を提案するとともに、火山災害情報の発信を試行する。特に、観光客等の情報の受け手側が情報源にアクセスせずとも必要な情報が得られるよう、アナログ情報発信手段である情報ボードの試作を検討する。

(8) 平成29年度の成果の概要:

御嶽山の長野県側(大滝村、木曾町)噴火発生時に登山していた人とその遺族に対しアンケートを実施した。質問内容は、低頻度の自然災害である火山災害の発生リスクに対する意識、各情報源から出される情報への信頼度、噴火の記憶の継承とした。調査の結果、噴火から3年が経過したものの「噴火が今の暮らしに影響を及ぼしている」との回答が最も多かった。また、山麓に備えてほしいものでは、「登山者の意識を高める場所」が指摘されており、改めて地域住民のみならず登山者への働きかけの重要性を示す内容となった。アンケート結果は、2015年に実施した岐阜県側への調査結果と比較検討し、経年変化を含め考察し、今後の火山防災対策改善に向けた方策を検討する。

また、受け手に有用な火山災害情報およびその伝達方法のあり方について検討するために、御嶽山噴火後に噴火を経験した口永良部島、桜島、箱根における一般向けの火山観測情報開示の取り組みについて調査を実施した。いずれも火山を観測している地元の研究機関と密接な関係のもとで情報提供が行われており、研究機関との相互コミュニケーションの重要性が示された。また、情報公開においては、情報に接する人のリテラシー向上を図る必要がある、それをどのように実現するのか今後検討する予定である。

(9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

阪本真由美, 2017, 防災情報としての噴火警戒レベルに関する研究, 日本災害情報学会第19回学会大会予稿集

阪本真由美, 2015年口永良部島噴火に伴う住民の避難・帰還プロセスに関する研究, 日本災害復興学会2017神戸大会予稿集

(10) 平成30年度実施計画の概要:

御嶽山の岐阜県側(小坂町)・長野県側(大滝村・木曾町)において実施したアンケート結果を総括し、情報の受け手にとって有用と感じる災害情報について、火山との物理的距離や距離感の違いを整理するとともに、調査結果に基づき、受け手に有用な火山災害情報およびその伝達方法のあり方を提案する。また、観光客等の情報の受け手側が情報源にアクセスせずとも必要な情報が得られるような情報発信手段を検討し、研究機関と連携した地域管理型のアナログの情報ボード・火山観測モニターの試作を検討する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター 山中 佳子

兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科 阪本 真由美

東北大学災害科学国際研究所 久利 美和

他機関との共同研究の有無: 有

(兵庫県立大学 東北大学)

(12) 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：

(13) 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：

京都大学理学研究科

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震サイクルシミュレーションの高度化

(3) 最も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) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

(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

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

速度状態依存の摩擦 (RSF) 則に基づく地震サイクルシミュレーションにより、過去の地震発生履歴の再現がなされ、地震発生予測に繋げようとする研究が進んできた。しかしながら、現行の地震サイクルシミュレーションの多くは、主として計算上の制約から、

1) 媒質の単純化：均質半無限弾性媒質を仮定

2) 動的破壊過程の単純化：準動的地震サイクルシミュレーション

といった現実とは異なる単純化が行われている。本研究では、こういった単純化に 対する地震サイクルシミュレーションの高度化に関して以下の研究課題を扱う。

本研究課題は 2 次元モデルを用いる基礎的研究であり、1) と 2) を扱う。これにはスペクトル有限要素法 (SEM) を用いる。公開されている動的破壊コード SEM2DPACK(Ampuero,2002) を元に、地震間における準動的過程を実現するようにコードを改良し、速度状態依存摩擦則に従う動的・準動的地震サイクルシミュレーションコードの開発を行なう。これにより、1) と 2) の問題を克服し、沈み込み帯に特有の不均質弾性媒質が動的破壊過程を含む地震サイクルに及ぼす影響の評価を行う。

また、地震サイクルシミュレーションの高度化として、他の課題 (1803) で開発予定のデータ同化手法を用いた摩擦パラメータの推定における準動的地震サイクルシミュレーションの高速化、および周期的外力の地震サイクルに及ぼす影響の評価を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

H26年度においては、ABAQUS 粘弾性地震サイクル1次モデル(簡単な不均質構造で接触解析に重点を置いて開発)を構築する。

- ・重力の与え方の検討
- ・沈み込むプレートの屈曲を扱うプレート相対運動の与え方の検討

H27年度においては、ABAQUS 粘弾性地震サイクル2次モデル(実際の海底地形や弾性・粘弾性構造)を構築し、動的破壊過程組み込みの検討を行う。

H28年度においては、傾斜断層における、動的破壊過程を含む、SEM 2次元地震サイクルコードを開発する。また、準動的地震サイクルシミュレーションにおけるルンゲークッタ法に時間発展解法の改良を試みる。更に、1自由度固着・すべり振動子の周期的外力への応答評価を行う。

H29年度においては、上記項目を継続し、において論文化に着手する。

H30年度においては、上記項目についてのまとめを行う。

(8)平成29年度の成果の概要:

地震サイクルシミュレーションの高度化を目指して以下の取り組みを行った。ただし、断層のすべりをマスタースレーブ法で扱う ABAQUS を用いた粘弾性媒質中での地震サイクルコードの開発は一昨年度の報告で述べたように、現状では困難が多く、開発を諦めている。

1)スペクトル要素法(SEM)による2次元動的・準動的地震サイクルシミュレーションコードの開発

これまで報告してきたように、スペクトル要素法(SEM)を用いた動的破壊シミュレーションコード SEM2DPACK (Ampuero, 2002)を元に、地震間における準動的過程を実現するようにコードを改良し、不均質弾性媒質における、速度状態依存摩擦則に従う動的・準動的地震サイクル(EQC)シミュレーションコードの開発を行ってきた。これまで、傾斜断層での動的破壊、全無限媒質および半無限垂直断層での動的破壊過程を含むEQCシミュレーションコードを開発してきた。昨年度は沈み込み帯への適用を考え、傾斜断層モデルでのEQCシミュレーションに取り組んだが、まだ問題点が解決できていなかった。本年度は、高角の傾斜断層での検証に留まっているという問題は残されているが、下記に記す計算アルゴリズムの改良により、傾斜断層における動的破壊を含むEQCシミュレーションのコードの開発に成功した。

Kaneko et al.(2008, 2011)では、2次元 in-plane 問題での地震サイクルを考えたが、この場合断層面における split-node で垂直な変位成分がなく考慮する必要がなかった。清水(2016)は2次元 anti-plane 問題での地震サイクル計算へと発展させたので、地震間の準動的計算において垂直成分の計算を組み込み、垂直断層ではうまく動いたが、傾斜断層では発散する現象が生じていた。そこで今年度では、split-node 断層面この対策として、以下の点を考えた。清水(2016)では、断層面両側の split-node での変位 u_f^+ , u_f^- を x, y の3成分で計算していた。そこで、来年度は、変位を相対変位 $(u_f^+ - u_f^-)/2$ 、および重心の変位 $(u_f^+ + u_f^-)/2$ に分離し、速度状態依存摩擦則に従う摩擦力とせん断応力のつり合いから断面に沿う傾斜方向の相対変位を計算し、split-node での重心変位は断層以外の媒質のノードの変位に組み込み、断層における相対すべりから媒質ノードにおける変位を求める方式に変更した。これは、実質 Melosh and Raefsky(1981)により提唱された有限要素法における split-node 法と同じ定式化になっている。この改良により、清水(2016)で計算できなかった傾斜断層での動的・準動的地震サイクル計算が可能になった。

現状では、並列化できていないため現実的な領域が扱えないこと、およびメッシュ生成フリーソフトウェア emc2 を使っているため、低角の傾斜断層で計算できるメッシュが生成が来ていない。このため、簡単なモデルで計算アルゴリズムの確認を行った。

まず清水(2016)と比較するため、簡単なモデル(図1左: ±10mに速度弱化、その外側 ±22.5mまでを速度強化領域に、その外側にローディング速度 V_{pl} を、外側の4辺には消波境界条件を与えている)およびパラメータ(図右)を用いて、メッシュサイズを 3.0m, 1.5m, 1.0m, 0.75m 幅のメッシュを使用し計算を行い、0.75mのメッシュの解を正しいものとして変位の L2 ノルムを計算して収束計算の

比較を行った。図2左、右は、それぞれ断層垂直および傾斜方向の変位についてメッシュサイズ依存性を示している。今回のアルゴリズムでは、垂直成分は清水(2016)と同じであるが、傾斜成分は清水(2016)と比べて約3倍の速さの収束性を示し精度が向上しており、アルゴリズムの有効性を示している。

無限媒質、地表を含む媒質、垂直断層、傾斜断層(傾斜角 77°)、均質および bimaterial(断層を挟んで左右で媒質が異なる)場合において、図3のメッシュを用いて地震サイクル計算を行った。一例として、図3に傾斜断層メッシュモデルを示す。地表を自由表面とし、その他の境界には消波境界条件(abc)を課している。縦軸(深さ軸)の $0\sim 45\text{m}$ にローディング速度 V_{pl} を課し、 $+32.5\sim +12.5\text{m}$ に速度弱化域、その他の $+$ 領域を速度強化域としている。図4に bimaterial 媒質(断層を挟んで媒質が異なる)における地震サイクル結果における計算が安定している5サイクル目の累積変位の深さ分@宇を示す。左図は左側(上盤)の V_p, V_s を図1の値より20%減じた場合、右図は逆に右側(下盤)の V_p, V_s を20%減じた bimaterial 媒質に対応している。図4から分かるように、これまでの bimaterial における動的破壊計算で示されているように、震源核の形成場所が低速度の媒質の変位の向き(positive direction)に偏っている。地震サイクル計算はこれまで行われていないので比較はできないが、このモデルでは両者のモデルで、最大滑り・再来間隔がほぼ変化しない。positive direction の速度弱化域が震源核の形成の時点でほぼ滑り出すうえ、地表まで滑らないためと考えられるが、検討を要する課題である。

2) 粘弾性バネ・ダッシュポットでの固着すべり振動子の振る舞い

昨年度は、バネ・ダッシュポットモデルを、弾性バネを標準線形固体(三要素固体)と呼ばれる、バネ(弾性定数 k_1)とマックスウェル粘弾性要素(バネ(弾性定数 k_2)とダッシュポット(粘性係数 η)が直列したもの)を並列に壓げたものに、置き換えて、 $k_1=k_2$ としダッシュポットの粘性係数 η を変えて、マックスウェル緩和時間($T_M=\eta/k_2$)の固着すべり振動子の繰り返し間隔(T_c)への影響を調べた。その際、準動的近似を用いて、すなわち T_M を変化させると T_c が減少し T_M が ~ 1 から5年で最小値を持つことが分かった。しかし、同様なモデルで慣性項を考慮した Mitsui and Hirahara(2001)では、ある T_M より小さい場合は T_c が二つに分岐する bifurcation が起きると報告している。そこで、今年度は、慣性項と準動的計算を切り替える計算で調べてみた。

慣性項には質量が含まれるが、この効果を自由周期 T_b を導入して、安定な解析が可能な $T_b=20$ 秒として計算を行った。動的と準動的を切り替える速度や T_b の値により計算結果が不安定になるため、確定的ではないが、図5に前回の準動的の場合に加えて、今回の動的計算結果を示す。慣性項を考慮した場合には、Mitsui and Hirahara(2001)と同じように、 T_M が200年より小さくなると、計算された繰り返し間隔 T_c が2つに分岐する bifurcation が生じている。このような簡単なモデルで生じた現象が、実際の海溝型地震の地震サイクル計算とどのように結びつくかは不明であるが、このように、弾性媒質から粘弾性媒質における地震サイクルを考えると、粘性率により複雑な繰り返し間隔になる可能性がある。ただし、確かに動的計算では bifurcation が生じることは確認できたが、前述したように T_b や動的と準動的計算を切り替える速度により結果は変わるので、注意が必要である。

- (9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
- Hirahara, K., Synchronization of stick-slip oscillator by periodic external forces -elastic and viscoelastic Cases-, 日本地球惑星科学連合2017年大会, SSS08-15, 幕張2017.
 - Hirahara, K., Synchronization of stick-slip oscillator by periodic external forces -implications for earthquake activity rhythms-, IAG-IASPEI 2017, S98-1-02, Kobe, 2017.
 - Hirahara, K. and M. Ohtani, Viscoelastic earthquake cycle simulation with memory variable method, AGU Fall meeting, S53D - 05, New Orleans, 2017.
 - Ohtani, M. and K. Hirahara, Application of H-matrices method to the calculation of stress field in a viscoelastic medium, AGU Fall meeting, S21C - 0718 New Orleans, 2017.
 - 平原和朗・大谷真紀子, メモリ変数を用いた粘弾性媒質中での地震サイクルシミュレーション, 日本

地震学会 2017 年度秋季大会，S08-32，鹿児島，2017.

大谷真紀子・平原和朗，粘弾性媒質中の応力計算における H 行列法適用，日本地震学会 2017 年度秋季大会，S01-P07，鹿児島，2017.

関淳平・平原和朗，スペクトル要素法による地震サイクルシミュレーション手法の開発，日本地震学会 2017 年度秋季大会，S08-P18，鹿児島，2017.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

当初計画からの変更点も含めて、これまでの研究成果のまとめを行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

京都大学大学院理学研究科：平原和朗・宮崎真一

他機関との共同研究の有無：有

京都大学防災研究所：西村卓也

東京大学地震研究所：亀 伸樹

東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター：太田雄策

(12) 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：京都大学大学院理学研究科

電話：075-753-3946

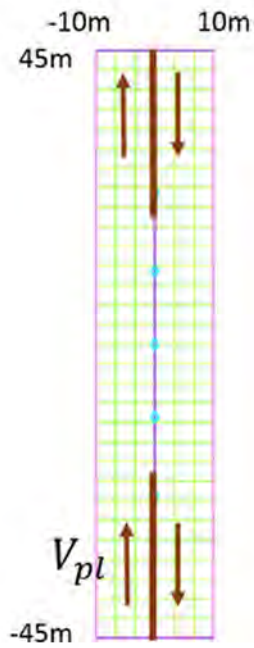
e-mail：hrahara@kugi,kyoto-u.ac.jp

URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：平原和朗

所属：京都大学大学院理学研究科



Parameter	Sign	Value
velocity of plate loading	V_{pl}	2mm/year
initial slip velocity	$\dot{\delta}_{init}$	2mm/year
reference slip velocity	$\dot{\delta}_0$	$10^{-6}m/s$
initial friction coefficient	f_0	0.6
initial normal stress	σ_0	120MPa
characteristic slip distance	L	84 μm
velocity of P wave	V_p	6km/s
velocity of S wave	V_s	3.464km/s
density	ρ	2.667kg/m ³

図1 テスト計算に用いたメッシュ(左)と各種パラメータ(右)

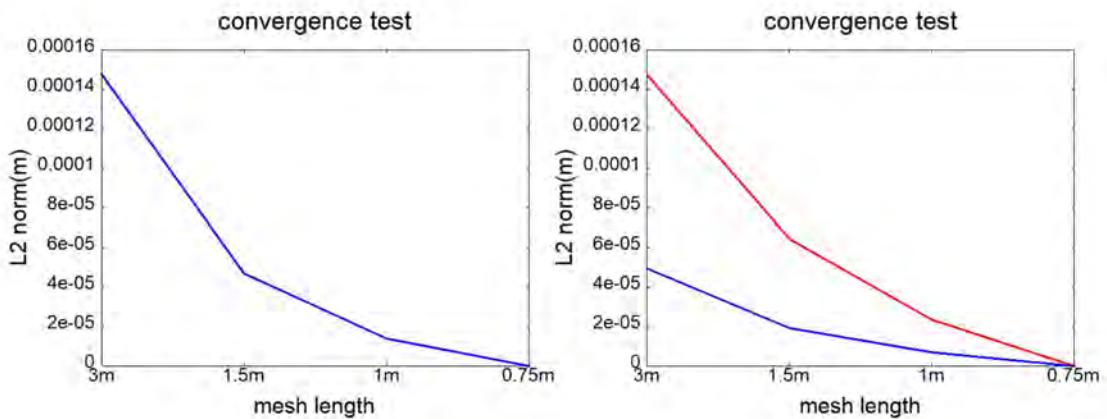


図2 テスト計算におけるメッシュサイズ依存性 断層垂直変位(左)・断層傾斜方向変位(右)

自由表面

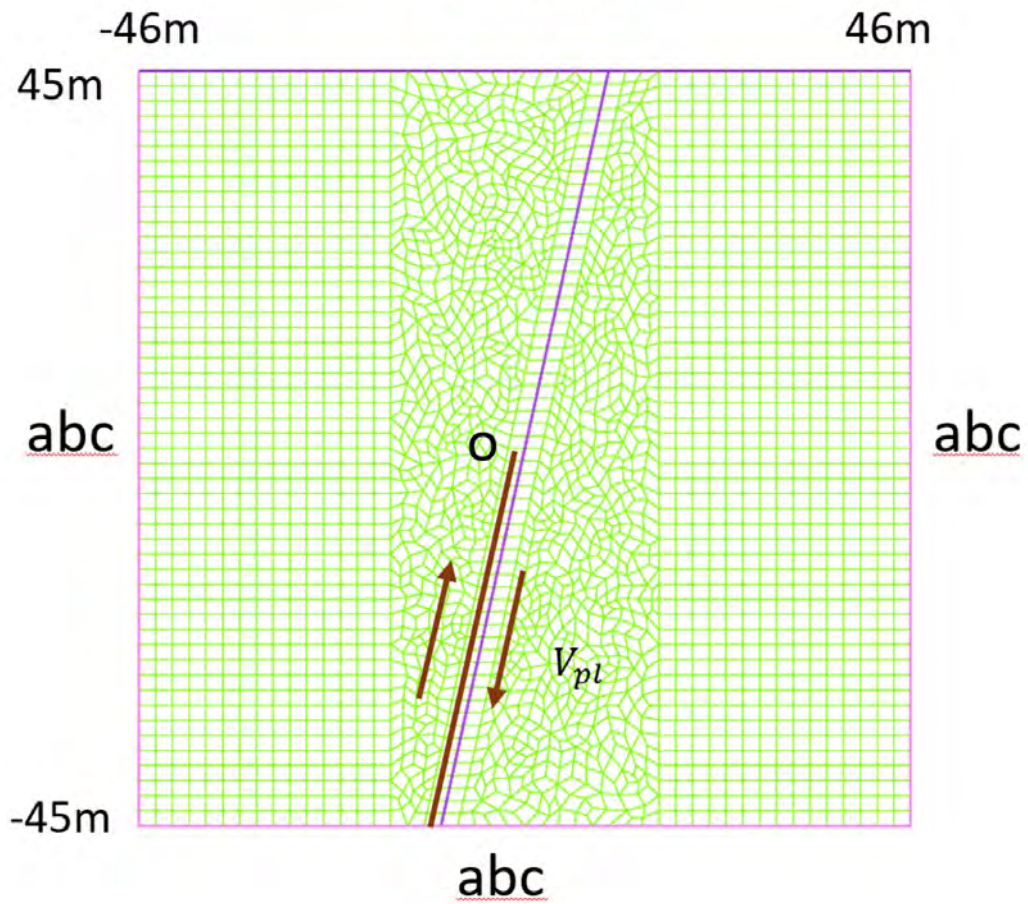


図3 傾斜断層メッシュ図 abcは消波境界条件を表す。

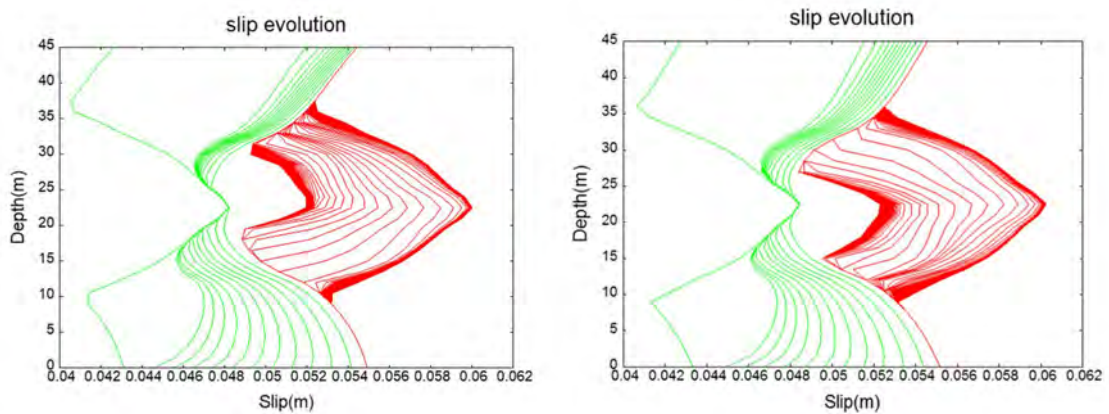


図4 図3の垂直と傾斜断層に対する5回の地震サイクルにおける累積変位(左図,右図)
 + 22.5 ~ + 12.5mの領域を速度弱化域としている。緑および赤いコンターは,それぞれ0.5年および0.001秒間隔
 での変位の累積を表す。

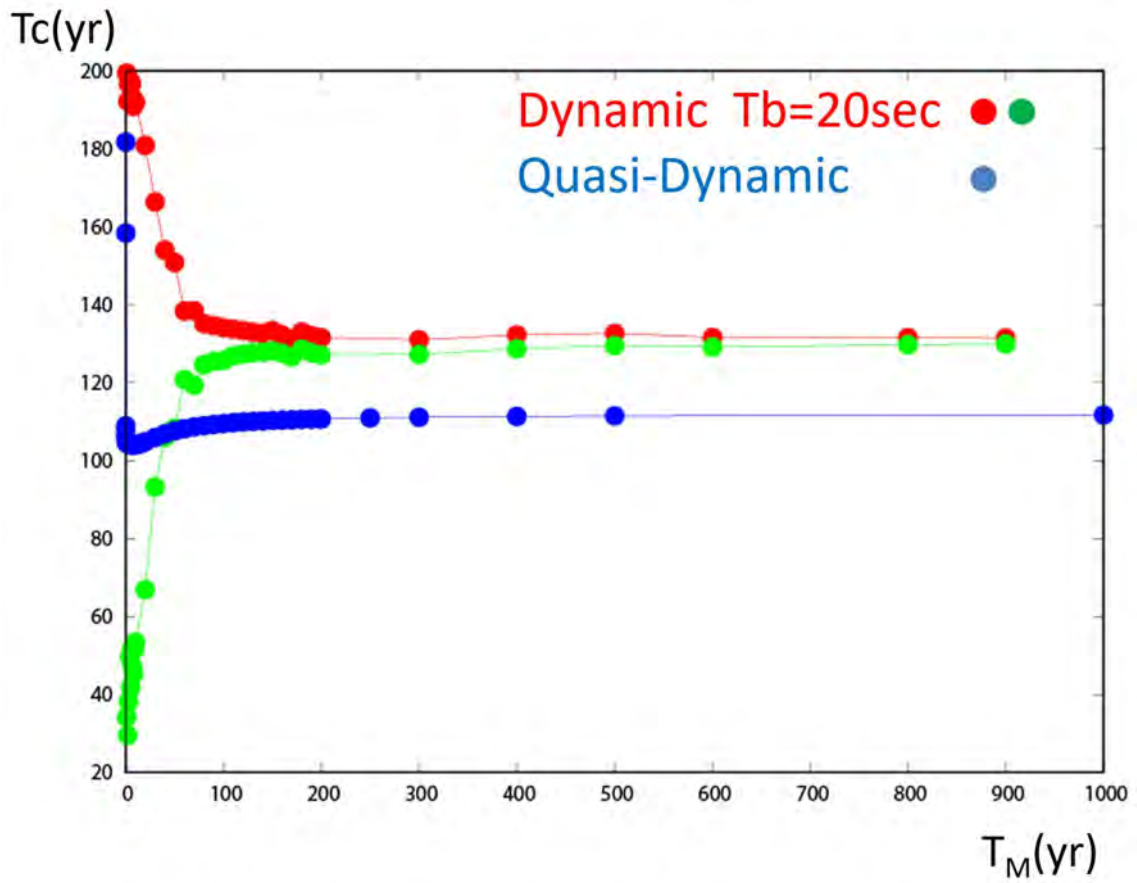


図5 TM に対する TC の依存性

弾性バネ (弾性定数 k) の場合に $T_r (=111.95$ 年) となる固着すべり振動子のバネを三要素固体に変え (図 3-1 : $k_1=k_2=k/2$) , $k/2$ を横軸に、縦軸に計算された来り返し間隔 (T_c) を示した図 昨年度報告した準動的計算 (Quasi-Dynamic) の場合 (青色) に、今年度の動的 (Dynamic $T_b=20$ 秒) 計算結果 (赤緑) を加えている .

(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：

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 -

(3) 最も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) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

(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

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

各火山において地震観測、測地観測、地磁気観測、火山ガス測定を実施し、水蒸気噴火後の過程で発生するさまざまな現象を捉える。そして、これらの観測結果を比較することにより、水蒸気噴火後の活動推移予測の精度を高める。また、水蒸気噴火に至る過程で発生した事象から共通するものを抽出し、水蒸気噴火準備過程のモデルを構築するための基礎材料とする。

阿蘇火山では噴火中でも比較的安全に火口に接近可能であるという地の利を生かし、火口極近傍での電磁気観測や地震観測を実施し、他の火山における遠方での観測手法の有効性を検証するためのテストフィールドとしても活用する。また、同火山は他の二火山に比して水蒸気噴火の頻度が高いことから、火口周辺での地質調査により歴史時代を中心とした噴火発生履歴を明らかにすることで、水蒸気噴火発生場の時間変化を考察し、他二火山の活動度評価に資する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

御嶽火山

2014 年御嶽山の噴火では約 1ヶ月前から地震活動の活発化が見られ、南西山麓の約 20km の水準路線では、噴火時期を含む 2007 年 4 月 - 2014 年 10 月の期間に最大 14? の山頂方向の沈降する地殻変動が観測された。これらの変動を精査するとともに、南西山麓における水準測量や GPS 観測により上下変

動および水平変動を長期にわたり観測する。また、定常観測点における地震観測、傾斜観測を実施する。一方、有人機ヘリによる御嶽山の空中磁気測量を実施し、火山体浅部の熱状態の変化による磁気構造変化を抽出する。また無人機を用いた多成分ガス濃度観測により火山性流体中へのマグマの関与の度合いの時間変化を調べる。

口永良部島火山

2014年の噴火に至る前兆過程で発生した地震、地盤変動、磁力変化、地熱変化などの変化を精査し、前兆過程を細分化し、特に、噴気活動が強くなった2008年以降の地震活動と地盤変動の特性変化の抽出を行なう。また、今後のマグマ性噴火への移行に先行する地盤変動、二酸化硫黄放出量の変化、全磁力変化などをとらえるための観測を実施し、深部から浅部へのマグマ移動の検出を試みる。

阿蘇火山

中岳火口での全磁力観測点をテレメータ化し、地磁気変化検出能力の向上をはかり、マグマ移動の検出を試みる。また、TDM法に基づくACTIVEシステムを用い、高時間分解能の比抵抗モニタリングを行う。一方、ACTIVEの観測に合わせ、火口の西部および北部における短周期地震アレイあるいは火口近傍域における稠密広帯域地震観測を行いアレイ解析による微動の発生源推定をおこなうほか、散乱波解析などによりクラックなどの火道システムにおける浅部地震波速度構造の時間的・空間的变化を抽出する。また、DOASなどを用いた火山ガス観測も随時おこなう。また、中岳周辺域においてテフラ層序に関する調査を行ない、歴史時代を中心とした完新世の水蒸気噴火発生履歴を解明する。

年次進行を以下に示す。

H26年度

- ・リアルタイム空振観測網の構築、ACTIVEソース、レシーバー点の設置（阿蘇）

H27年度

- ・水準測量（全路線）、GPS観測（全基線）、地震波形データ整備および波形解析、比抵抗調査データの再解析、空中磁気測量、ガス調査（御嶽）
- ・空振アレイ整備、磁力計整備、ACTIVE観測、稠密広帯域地震観測、ガス観測、テフラサンプリングと年代測定（阿蘇）
- ・水準測量（全路線）、GPS観測（全基線）、地震波形データ整備および波形解析、二酸化硫黄放出量測定（口永良部島）

H28年度

- ・水準観測（主要路線）、GPS観測（全基線）、地震波形解析、空中磁気測量（御嶽）
- ・ACTIVE観測、地震アレイ観測、テフラサンプリングと年代測定（阿蘇）
- ・水準測量（全路線）、GPS観測（全基線）、地震波形データ整備および波形解析、傾斜計設置、二酸化硫黄放出量測定（口永良部島）

H29年度

- ・水準観測（全路線）、GPS観測（全基線）、地震波形データ整備および波形解析（御嶽）
- ・ACTIVE観測、稠密広帯域地震観測、ガス観測、テフラサンプリングと年代測定（阿蘇）
- ・水準測量（全路線）、GPS観測（全基線）、地震波形データ整備および波形解析、傾斜計観測、二酸化硫黄放出量測定（口永良部島）

H30年度

- ・水準観測（主要路線）、GPS観測（全基線）、地震波形解析（御嶽）
- ・ACTIVE観測、稠密広帯域地震観測、ガス観測（阿蘇）
- ・水準測量（全路線）、GPS観測（全基線）、地震波形データ整備および波形解析、傾斜計観測、二酸化硫黄放出量測定（口永良部島）

（8）平成29年度の成果の概要：

御嶽山では、2017年8月21日に噴火警戒レベルが1に引き下げられた。阿蘇火山でも2017年2月7日以来噴火警戒レベル1（活火山である事に留意）が継続されている。口永良部島火山では、2016年

6月14日以来噴火警戒レベル3(入山規制)が継続されているものの、3火山においては、目立った火山活動は無い。以下に各火山における成果の概要を述べる。

御嶽山

水準測量

2014年御嶽山噴火の収束の過程、および次の活動への準備過程の解明を目的として、2014年の噴火後に御嶽山東山麓の水準測量を繰り返し実施してきた。2014年10月、2015年4月、2016年9月の測量に続き、本年度は2017年4月24日～27日に全路線の測量を実施した。

また、2017年6月25日にM5.6の地震が測量路線直下で発生した。この地震による影響を把握するために、路線の一部(屋敷野路線および木曾温泉路線)での測量を9月10日～11日に実施した。

2016年9月19日～22日と2017年4月24日～27日の測量結果を比較すると、約半年の期間で、上松(BM34)の不動点に対して、御岳ロープウェイ・中の湯路線で約5?の沈降を検出した。最大沈降を示す水準点はBM417であり、値は7?である。

木曾温泉路線および御岳ロープウェイ路線の水準点の時系列(図1-1)より、上下変動は2014年噴火後半年間にわずかに隆起を示したものの、その後変動が停滞し、2016年9月～2017年4月には沈降に転じた。沈降は山頂付近の狭い領域において顕著である。木曾温泉路線の時系列(図1-1a)に見られるように、2014年噴火前(2006年～2013年)には山体の隆起が長期的に継続したが、噴火後の時間変化はこれと異なる。2014年噴火に関連する活動の沈静化を示すものと考えられる。

GPS観測

名古屋大学では、2016年8月および、2017年8月に御嶽山山頂付近にてキャンペーンGNSS観測を行った。キャンペーンGNSS観測ではJavad DELTA GNSS受信機を使用し、1回の観測で1観測点あたり30時間以上の観測を行っている。御嶽山山頂付近でキャンペーンGNSS観測を実施したong2, ong4, ong10の3ヶ所では、2016年と2017年の1年間の変動量は7cmを超えており、明瞭な収縮と考えられる変動が観測された(図1-2)。最も変動が大きかったong2は西南西方向に約10cm変位しており、火口を挟む観測点間では15cm以上の基線間距離の短縮が認められた。大きな地殻変動が観測された3カ所のGNSS観測点に囲まれた、ong3観測点では北西向き約3cm程度の比較的小さな地殻変動が観測されており、マグマの貫入等の方向を決める重要な情報となると考えられる。一方、御嶽山の北側では1cmを越える変動は観測されず、気象庁のGNSS観測によって示唆される、山体全体の収縮は御嶽山山頂付近の局所的な変動であることが確認された。

一方、御嶽山山麓のGNSS連続観測の結果、ciao観測点におけるほぼ南方向に約5mm/yrの変位速度が観測された。また、2017年6月25日の長野県南部地方の地震(Mj 5.6)の地震による地殻変動がmtbrにおいて捉えられている(図1-3)。

口永良部島

口永良部島において2015年噴火後の火山活動の推移を把握するために、新岳において地震観測、GNSSの連続観測および火山ガスを継続した。そして、西麓において水準測量を繰り返した。また、磁力計の再設置も実施した。地盤変動については、水準測量及びGNSS連続観測において顕著な変化が捉えられておらず、新たなマグマの供給はないと判断できた。一方、地震活動は活発化の傾向にあり、二酸化硫黄放出量も100-500トン/日の高いレベルを保っていることから小規模な水蒸気噴火は依然として起こりうる状態であることがわかった。小規模な水蒸気噴火の前兆現象を捕捉するためには火口に近い場所に傾斜計を設置したいが、警戒区域が設定されているので、火口近くに設置するに至らなかった。

阿蘇火山

電磁気

今年度に於いて、阿蘇中岳火口周辺で行われたACTIVE観測の解析手法の高度化に取り組んだ。その一環として、三次元有限要素法を用いたインバージョンコードを開発し、2014年11月のマグマ噴火前後の比抵抗構造の変化を推定した。

一般に地中の電磁応答を用いて地下の電気的な構造を見積もる際には、地形の効果が大きな影響を持つ。中岳周辺のACTIVE観測においては、観測点が火口のごく近傍に位置する為、火口の形状を含め

周辺の地形を正しく考慮しなければならない。本研究のインバージョンコードでは、地下を四面体メッシュに分解し、有限要素法により地形を高精度に表現することが出来る。このコードを用いて、2014年噴火に伴う地下比抵抗の時間変化をインバージョンにより推定した。中岳周辺の地形を3次元四面体メッシュで表現した。本コードで求められた結果を図3-1に示す。火口西縁のA04観測点の地下では、火口底の標高(約1150m)をピークに、高抵抗化している。これは、温度・圧力の上昇による、火口底標高付近の地下水層の消失、また粘土キャップの含水率低下が原因である可能性がある。さらにその下の数百メートル(標高700-1000m)の、クラック状火道の上端標高付近では、微弱ながら、抵抗が低くなった可能性が高い。マグマ活動開始に伴うフレッシュな高温マグマの供給が原因の可能性もある。但し現時点では、ACTIVE観測点が4点と少ないため十分な解像度を持った3次元比抵抗変化モデルを構築するに至っていない。

また今年度、ACTIVE観測点の再構築を行った。2016年10月の噴火では、火口周辺に設置していたACTIVE観測点のすべてが被災し観測継続が困難な状況となった。このため2017年7月から8月にかけてACTIVE観測点の再構築を行った。また、これまで電流送信局は火口北側の1点のみであったが、解像度向上の為に新たに火口南の砂千里内に電流送信局を設置した。また地下比抵抗構造の時間変化を議論するためのリファレンスとなる詳細な比抵抗構造モデルを得る事を目的に、中岳火口周辺でACTIVEのキャンペーン観測を実施した。

地殻変動

GPS観測によるマグマ溜まりをまたぐ基線長の変化と火口からの火山ガス放出量から、マグマ供給量の時間変化を試算した。その結果、マグマ供給量は、静穏期(2004.9-2008.9)で約 $0.7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ 、2014年噴火の直前で $3.78 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ 、2015年9月の噴火直前で $2.20 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ 、2016年10月の噴火直前で $2.95 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ であった。

空振観測

阿蘇山のSfMデータを使用した3次元FDTD法による空振伝播のFW計算を実施した。マグマヘッドより上部の141火孔内空間サイズに依存した振動現象を再現することができた。2014-2015年噴火期間中にみられたモニタリング空振は、噴出する火山ガス、火山灰噴煙の流れに駆動された圧力擾乱やストロンボリ式噴火などによってトリガーされた共鳴現象であると考えられる。

地質

阿蘇火山中岳では2015年~2016年にかけて複数回の水蒸気噴火あるいはマグマ水蒸気噴火が発生した。その初回にあたる2015年9月14日噴火に伴う噴出物について物質科学的な検討を行ったので、本年度はその結果を報告する。

2015年9月14日噴火は本格的なマグマ噴火の後、中岳第1火口内に湯だまり(火口湖)が再生されてから起こった、空振を伴う爆発的なものであった。その噴出物は、噴出形態から弾道堆積物(噴石)、火砕密度流堆積物、降下火砕物の3つに分けられた。

中岳第1火口の南西側縁の 3.5 m^2 の範囲に堆積する全158個の噴石を採取して観察した結果、約半数は新鮮に見える玄武岩質安山岩で、残りは変質した噴石であった。その新鮮な玄武岩質安山岩の岩石薄片を観察した結果、変質していない黒色~褐色ガラスの融合体からなることがわかった(図3-2)。一方、やや変質~かなり変質した噴石は、新鮮な噴石とは異なる岩石学的特徴を有していた(図3-3C、D)。

また、火砕密度流堆積物と降下火山灰の0.125~0.25mm画分の偏光顕微鏡観察を行った結果、ガラス片(約30%)・結晶片(20~30%)・岩片(40~50%)で構成されることが判明した(図3-2A)。ガラス片の大部分はほとんど変質していない淡褐色ガラスであるが、褐色から黒色を呈する新鮮なガラス片も含まれていた。これらの新鮮なガラス片の色調の違いはガラス粒子内の結晶化の程度を反映していることが走査型電子顕微鏡の反射電子像の観察によって明らかとなった。色調の薄い淡褐色ガラス内にはほとんど微結晶が含まれない(図3-3A、B)が、褐色~黒色ガラス内にはマイクロサイズの微結晶だけでなく、さらに小さいナノスケールの微結晶も多数含まれることが観察された(図3-3C~F)。

2015年9月14日中岳噴出物中の新鮮な噴石(約50%)や変質していないガラス粒子(~30%)の存在は、それらが新たに上昇したマグマに由来し、火道内部の溶融した部分と上部や周辺部の固結~半固結化した部分からもたらされた本質物質であることを意味しており、同噴火がマグマ水蒸気噴火であることを示唆している。

- (9)平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
- Hotta, K., Iguchi, M. (2017) Ground deformation source model at Kuchinoerabu-jima volcano during 2006-2014 as revealed by campaign GPS observation, *Earth, Planets and Space*, 69, <https://doi.org/10.1186/s40623-017-0763-7> Iguchi, M., Nakamichi, H., Tameguri, T., Yamamoto, K., Mori, T., Ohminato, T., Saito, E. (2017) Contribution of monitoring data to decision making for evacuation from the 2014 and 2015 eruptions of Kuchinoerabujima Volcano, *Journal of Natural Disaster Science*, 38, 31-47.
- Miyabuchi, Y., Iizuka, Y., Hara, C., Yokoo, A., Ohkura, T. (2018) The September 14, 2015 phreatomagmatic eruption of Nakadake first crater, Aso Volcano, Japan: Eruption sequence inferred from ballistic, pyroclastic density current and fallout deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 351, 41-56.
- Toshiya Mori, Masaaki Morita¹, Masato Iguchi, Fukuoka Regional Headquarters (2017) Sulfur dioxide flux monitoring using a regular service ferry after the 2014 eruption of Kuchinoerabujima Volcano, Japan, *Journal of Natural Disaster Science*, 38, 105-118.
- Nakamichi, H., Iguchi, M., Tameguri, T. and Sonoda, T. (2017) Quantification of seismic and acoustic waves to characterize the 2014 and 2015 eruptions of Kuchinoerabujima Volcano, Japan, *Journal of Natural Disaster Science*, 38, 65-83.
- 日本大学、名古屋大学、九州大学、京都大学、東濃地震科学研究所、気象庁、(2017) 精密水準測量による御嶽山における上下変動(2016年9月~2017年4月) 火山噴火予知連絡会会報、138、受理済み

(10)平成30年度実施計画の概要：

御嶽火山では引き続き、御嶽山東山麓の水準測量、山頂域でのGPSキャンペーン観測を実施する。本年度4月の水準測量で検出された沈降は2014年噴火に関連する活動の沈静化を示すものと考えられるが、来年度も沈降の傾向が継続するかを明らかにする。

阿蘇火山では、地震、空振、GPSの連続観測を実施するとともに、水準測量を実施し、2016年噴火以降の推移を明らかにする。また、ACTIVE観測では、現時点の観測点が4点と少ないため十分な解像度を持った3次元比抵抗変化モデルを構築するに至っていない。そこで、スパース性を仮定したインバージョンなど、インバージョン手法の改良を通してより詳細な時間変化モデル構築を試みる。一方、トレンチ調査による水蒸気噴火の発生履歴解明を実施する。

口永良部島火山ではH29年度と同様に、地震及びGNSSの連続観測と、繰り返し水準測量、火山ガス観測を実施することにより、2015年噴火後の推移を明らかにする。そして、新岳周辺に埋設型傾斜計を設置し、高感度観測により、2015年噴火後の地盤変動の推移を把握するとともに、噴火の前兆現象となる地盤変動の抽出を試みる。

(11)実施機関の参加者氏名または部署等名：

附属地球熱学施設火山研究センター：大倉敬宏・宇津木充・横尾亮彦・鍵山恒臣

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：山中佳子・伊藤武男・寺川寿子・前田裕太

京都大学防災研究所：中道治久・井口正人・味喜大介・山本圭吾・為栗健

北海道大学大学院理学研究院：橋本武志・茂木透・中川光弘・森済

東京大学地震研究所：小山崇夫・加藤愛太郎

東京工業大学火山流体研究センター：野上健治・神田径・寺田暁彦
東北大学大学院理学研究科：山本希
東京大学大学院理学系研究科：森俊哉
九州大学大学院理学研究院：松島健
日本大学文理学部：村瀬雅之
熊本大学教育学部：宮縁育夫
東濃地震科学研究所：木股文昭

(12) 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

電話：096-285-6260

e-mail：

URL：<http://www.aso.vgs.kyoto-u.ac.jp>

(13) 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：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

(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：

実観測データに基づく断層面の摩擦パラメータと地殻活動の状態推定のためのデータ同化手法の構築

(3) 最も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) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(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) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 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をどのように設定するかが重要である。観測データから摩擦パラメータを推定する手法としてはいくつか候補が考えられるが、データ同化の理論やアルゴリズムの実際の問題への適用可能性は、データとモデルの特性に強く依存する。そこで、複数のデータ同化アルゴリズムを用い、設定された物理モデルに対する各アルゴリズムの特性や適用上の問題点を調査するとともに、その結果に基づいてアルゴリズムの改良を行う。

第1の課題として、豊後水道や八重山地域のように繰り返し発生してきたスロースリップを対象に、速度・状態依存摩擦構成則に基づいて断層面上の摩擦パラメータおよびすべりの履歴を推定する手法を確立する。基礎となる手法としてアジョイント法とアンサンブルカルマンフィルタ・粒子フィルタ(特殊な例として SIS を含む)という2つのやや性質の異なるアプローチをとり、それぞれの手法の長所・短所を調査する。それに基づき、摩擦パラメータやすべりの履歴を推定する上で最適と考えられる手法を構築する。また、数値シミュレーションの分野で利用されている階層型行列(H-matrix)をデータ同化にも適用し、計算の高速化を図る。

第2の課題は、余効すべり域の摩擦パラメータ推定の問題である。余効すべりを扱う上では、観測データに含まれる複数のプロセスから余効すべりの成分のみを抽出し、摩擦パラメータの推定に用いることが肝要である。そこで本課題では、速度・状態依存摩擦構成則に従う余効すべりと、地震時のすべり及び余効すべりによる上部マントルの粘弾性応力緩和の双方を取り入れたプレート境界地震の余効変動の物理モデルを構築し、GPSデータを用いてプレート境界の余効すべり域における摩擦パラメータや初期条件、上部マントルの粘性率を推定するためのデータ同化手法を開発する。複数のアルゴリズムを用いた結果に基づいてアルゴリズムの改良を行い、GPSデータを同化し、余効すべり領域の摩擦パラメータと上部マントルの粘性率を推定する。

摩擦パラメータの妥当な値を決めるためには、推定の信頼性や空間分解能を一層高めることが不可欠である。そこで本課題の第3の課題として、地震活動をデータとした摩擦パラメータ推定を行う。解析の枠組みとしては、Dieterich(1994)による摩擦構成則に基づく地震活動度モデルを用い、実際の地震活動度に合うよう摩擦パラメータの推定を行う。計算アルゴリズムとしては、マルコフ連鎖モンテカルロ法が、まず考えられるが、主に計算時間の面でコストが高い。プレート境界のように、地震サイクルシミュレーションの精度向上に寄与出来るような広い領域を扱うには限界があるため、特にこの点を考慮した解析手法の確立を目指す。例えば、「ラプラス近似」など、統計科学で用いられる近似手法の適用を検討し、効率的なアルゴリズムの開発を行う。そして、比較的小さな解析領域を対象とした、人工的に生成したデータに基づく数値実験(いわゆる「双子実験」)から始め、地震サイクルシミュレーション等から得られる結果との整合性を踏まえつつ、実データへの適用を行う。その状況に応じ、パラメトリックモデルの導入なども検討し、最終的には、例えば、2011年東北地方太平洋沖地震の余震データを解析することで、三陸沖全体のような広い領域での解析を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要:

(平成26~28年度)

スロースリップおよび余効すべりの課題では、粒子フィルタ、アンサンブルカルマンフィルタ、マルコフ連鎖モンテカルロ法等の複数のデータ同化アルゴリズムの計算コードを作成する。初めに、これらのアルゴリズムを摩擦パラメータの空間分布が低解像度の比較的小規模なモデルに適用して数値実験を行い、アルゴリズムの特性や適用上の問題点を明らかにする。また、初期条件と摩擦パラメータを同時に推定する方法を数値実験により検討する。この結果を基にパラメータ推定が効率的に行えるようにアルゴリズムの改良を行い、改良されたアルゴリズムを実データに適用する。

地震活動データ同化の課題では、計算コストの軽減化、特に計算速度の短縮に重点を置いたアルゴリズム開発、比較的小さな領域を対象とした数値実験、例えば、2005年宮城県沖地震の余震データを用いるなどした、小領域における実データ解析を行う。

(平成29~30年度)

スロースリップおよび余効すべりの問題では、摩擦パラメータ空間分布が複雑になり、モデルが比較的大規模になった場合の同化アルゴリズムの性能を数値実験により検討する。これらの結果を基に、比較的大規模なモデルにも適用できるように同化アルゴリズムを改良する。改良されたアルゴリズムを実データに対して適用する。

地震活動データ同化の課題では、広い領域を扱うためのアルゴリズム拡張と、それに関連する数値実験、そして、2011年東北地方太平洋沖地震の余震データなど、広い領域に対する実データ解析を行う。

(8) 平成29年度の成果の概要:

1. 琉球海溝南西部で繰り返し発生するSSEの時空間変化の推定

琉球海溝南西部、八重山諸島近傍ではスロースリップイベント(SSE)がおおよそ半年おきで繰り返し発生することが知られている(Heki and Kataoka, 2008; Tu and Heki, 2017)。本課題のデータ同化では断層面のすべり速度をデータとして用いる予定である。そこで昨年度は、国土地理院のGEONET観測点8点と、2010年3月に京都大学が設置した観測点4点(図1)の、GNSSデータを用いて2010年7月~2013年2月のSSEの時空間発展を推定した。断層すべりの推定にはFukuda et al. (2008)で開発された時空間インバージョン手法を用い、解析期間中に発生した全5回(以下ではEvent 1-5と呼ぶ)のSSEを特定した。今年度は、引き続き八重山でのGNSS観測を実施するとともに、昨年度得られた推定結果を基に、5回のSSEの時空間発展を詳細に検討した。図2に5回のSSEの累積すべり分布を示すが、SSEは西表島北西部の深さ40~60kmのプレート境界の同じ場所で、7.9cmの最大すべりで発生していることが分かる。各イベントの時間発展(図3)をみると、Event 1, 2, 4はイベントが発生した後、数日以内に最大モーメントレートに達した後30~40日で終息しているのに対し、Event 3, 5は一か月以上かけてゆるやかにすべりが加速した後、最大モーメントレートに達するため、2ヶ月以上

SSE が継続していることが分かる。また、図 3 に SSE のモーメントレートの時間変化と、低周波地震 (LFE, Nakamura, 2017) ・超低周波地震 (VLFE, Nakamura and Sunagawa, 2015) の活動度の比較を示す。Nakamura and Sunagawa (2015) で報告されている SSE の発生後の VLFE の活発化が Event 3, 5 で見られているものの、その他のイベントでは明瞭でない。このことは、SSE の VLFE の活発化の有無は、VLFE 発生域の応力蓄積レベルに依存していると考えられる。一方、図 4 によると、SSE 発生域は超低周波地震・低周波地震発生域の深部側に相補的に位置しており、琉球海溝南西部では深さに依存して異なる断層すべり現象が発生していると考えられる。

データ同化の手法に関しては、【1801 地震サイクルシミュレーションの高度化】と共同でアンサンブルカルマンフィルタに基づく手法を開発中である。詳細は課題 1801 の報告で述べてあるため割愛するが、観測点数が多い場合の数値実験の結果は概ね良好である。

2. 余効変動の物理モデルのパラメータ推定

昨年度に引き続き、摩擦構成則に従う余効すべりとマンツルの粘弾性応力緩和を組み合わせた余効変動の物理モデルの構築とそのパラメータ推定を行った。このモデルでは地震時の応力変化によって粘弾性緩和と余効すべりが駆動され、余効すべりの時間発展は速度・状態依存摩擦構成則 (定常状態を仮定) に従うと仮定している。従ってこのモデルのパラメータは摩擦パラメータやマンツルの粘性率等であり、初期条件は地震時のすべり分布で決まる。このモデルを東北地方太平洋沖地震の余効変動に適用し、パラメータが余効変動に与える影響を調査した。その結果、地震時のすべり分布、摩擦パラメータの空間分布、プレート境界の固着域の分布、マンツルの粘性率の空間分布、弾性体を仮定した海洋プレート・スラブ・陸側プレートの厚さといった様々なパラメータが余効変動の時空間変化に強い影響を与えることが分かった。この結果は、これらのパラメータを観測データから逆問題として推定できることを示す。しかし、モデルの計算コストが高いため、マルコフ連鎖モンテカルロ法などの多数回のモデル計算を必要とする手法を適用することは困難である。そこで、(1) 教師あり機械学習に基づきフォワードモデルを非線形関数で近似することにより高速化したマルコフ連鎖モンテカルロ法及び (2) アジョイント法の本モデルのパラメータ推定への適用可能性の検討を開始した。

3. 地震活動データと地殻変動データの混合による滑り分布推定

本研究課題における研究テーマの 1 つに、地震サイクルシミュレーションに向けた断層面上 (プレート境界面上) のすべりの履歴推定がある。これには、主に地殻変動データを用いることが考えられるが、海域における空間的分解能は必ずしも高いとは言えず、何らかの改良が重要である。これに向けて、地殻変動データと地震活動データとを組み合わせ、すべり分布を推定する予備的な解析を試みた。

推定の概要は以下の通りである。地震活動については、応力変化と摩擦構成則から地震活動度を得るモデル [Dieterich, JGR, 1994] から期待される地震活動の空間分布が、実際に観測された地震 (余震) 活動と合うよう、必要な応力変化を引き起こす滑り分布を求める。同時に、Okada [1992, BSSA] の式に基づいて、地殻変動についてもモデル計算し、これが観測された地殻変動と合うように滑り分布を求める。実際には、地震活動の空間分布および地殻変動データそれぞれの合い具合を共に対数尤度で表現し、それらを適当な比率で足し合わせたものが極力よく (大きく) なるようなすべり分布を求める。但し、滑りの空間変化が滑らかであるという拘束と、滑りが非負となるような拘束を課す。また、Fukuda et al. [2008, BSSA] に習い、滑りの空間変化の滑らかさの強さも客観的に定めるために同時推定することとした。推定アルゴリズムには、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) を用いた。

テストケースとして 2005 年宮城県沖地震へ適用した例を以下に示す。地殻変動データは、国土地理院の GEONET による F3 解に基づく。本震発生直後の 2015 年 8 月 16 日正午の値から前日 8 月 15 日正午のそれとの差を取ったものを、28 観測点分の水平変動成分について使用した。余震データとしては本震発生後 1 日までに発生した M 2.0 以上のものを用いた (図 5)。また、小断層は 1 つあたりのサイズが 10 x 10 km で、これを 9 x 9 個、本震震源が中心となるように配置した (即ち、全体で 90 x 90 km)。なお、計算負荷軽減の都合上、滑りの方向 (rake) は 87 ° (GCMT 解によるもの) に固定してある。また、地殻変動および地震活動データに対する対数尤度の比率は試行錯誤的に変え、以下では、地殻変動の対数尤度に対し、地震活動の尤度を 3 倍の割合で足し合わせたものを用いている。

図6(a)および(b)に、地殻変動データのみの場合、および地殻変動データに地震活動データを加えた場合それぞれについて推定された滑り分布(事後分布平均)を示す。前者は、滑りの空間分布に対する地殻変動データの空間分解能が低いせい、同心円的な単純な分布となっている。これに対し、地震活動データを加えると、その情報がある程度反映し、多少複雑な空間分布が得られる。なお、地震波データに基づく滑りインバージョンの結果[例えば Yaginuma et al., 2006, EPS]では、dipの深い方向に滑りの大きな領域が存在することが示されており、これと似通った特徴になっている。

但し、上述の通り、滑りの rake を固定していることもあってか、図6に示す通り、推定された滑り分布から期待される地殻変動と、実際のそれとの食い違いが見られる。また、地殻変動データと地震活動データの重み(対数尤度の比率)を恣意的に与えており、今後はこういった点に対する検討・改良が必要である。

この他、微動データからベイズ的手法により地表付近の速度構造を求める手法開発についても研究を行った。

(9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Cho, I., and Iwata, T., 2018, Development and numerical tests of a Bayesian approach to infer shallow velocity structures using microtremor arrays, *Exploration Geophysics*, EG18011 (印刷中) .

Fukuda, J., 2018, Variability of the space-time evolution of slow slip events off the Boso Peninsula, central Japan, from 1996 to 2014, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 123, doi:10.1002/2017JB014709.

福田淳一, 2017, 物理モデルと測地データに基づく地殻変動のモデリング(招待講演), JpGU-AGU Joint Meeting 2017.

Fukuda, J., and K. M. Johnson, 2017, A coupled model of stress-driven frictional afterslip and viscoelastic relaxation following the 2011 Tohoku-oki earthquake, 2017 AGU Fall Meeting.

Kano, M., J. Fukuda, S. Miyazaki and M. Nakamura, 2017, Spatio-temporal evolution of recurrent slow slip events from 2010 to 2013 along the Ryukyu Trench, southwestern Japan, JpGU-AGU 2017, Chiba, Japan, 05/2017.

Kano, M., J. Fukuda, S. Miyazaki and M. Nakamura, 2017, Spatio-temporal evolution of recurrent slow slip events from 2010 to 2013 along the Ryukyu Trench, southwestern Japan, IAG-IASPEI 2017, Kobe, Japan, 08/2017.

(10) 平成30年度実施計画の概要 :

1. 琉球海溝南西部で繰り返し発生するSSEの時空間変化の推定

データ同化に必要なすべり速度分布が得られたので、来年度は、得られた断層すべりに基づいて摩擦特性の推定を行う予定である。手法としては上述したアンサンブルカルマンフィルタとアジョイント法を採用する予定である。

2. 余効変動の物理モデルのパラメータ推定

今年度開始したパラメータ推定手法の検討を継続し、余効変動モデルに対する推定手法を確立する。

3. 地震活動データと地殻変動データの混合による滑り分布推定

地殻変動データと地震活動データの混合から滑り分布を推定する手法の開発、特に両データの客観的な重み付けについて取り組む。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

京都大学大学院理学研究科 : 宮崎真一・平原和朗

他機関との共同研究の有無 : 有

京都大学防災研究所 : 西村卓也

東京大学地震研究所 : 福田淳一・長尾大道

海洋研究開発機構 : 堀高峰・日吉善久

常磐大学コミュニティ振興学部：岩田貴樹

(12) 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：京都大学大学院理学研究科

電話：075-753-3911

e-mail：miyazaki.shinichi.2m@kyoto-u.ac.jp

URL：

(13) 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：京都大学大学院理学研究科

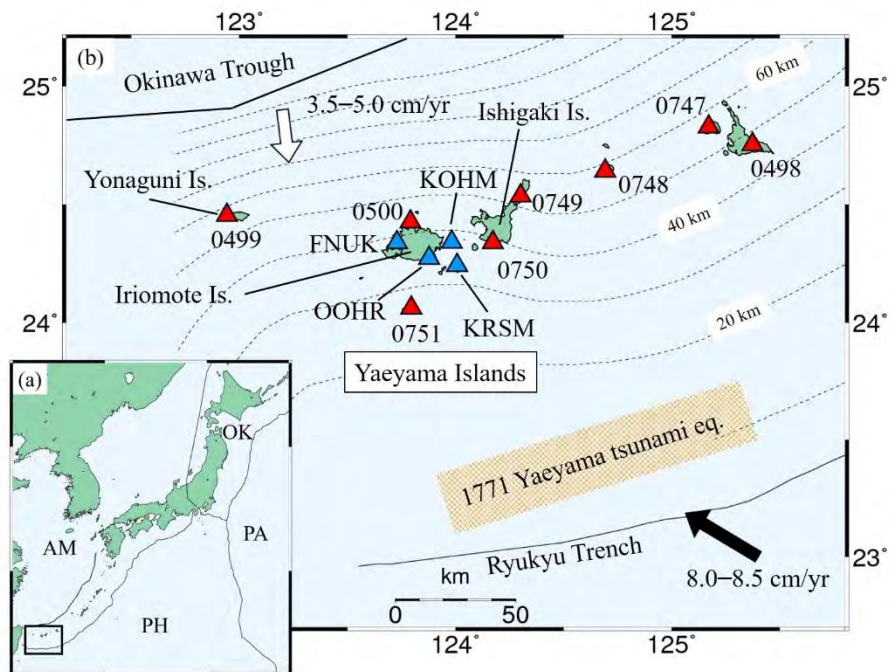


図 1

八重山諸島の観測点配置。赤三角印が国土地理院による GNSS 観測点、青三角印が京都大学による GNSS 観測点を示す。黒矢印・白矢印はアムールプレート（AM）に対するフィリピン海プレートの沈み込み速度 [Sella et al., 2002]、沖縄トラフの拡大速度 [Nishimura et al., 2004] を表す。黒太実線・黒細実線・点線はそれぞれ琉球海溝、沖縄トラフ、フィリピン海プレート上面の等深線 [Hayes et al., 2012] を表す。また、橙色の領域は 1771 年八重山津波地震の震源域 [Nakamura, 2009] を表す。

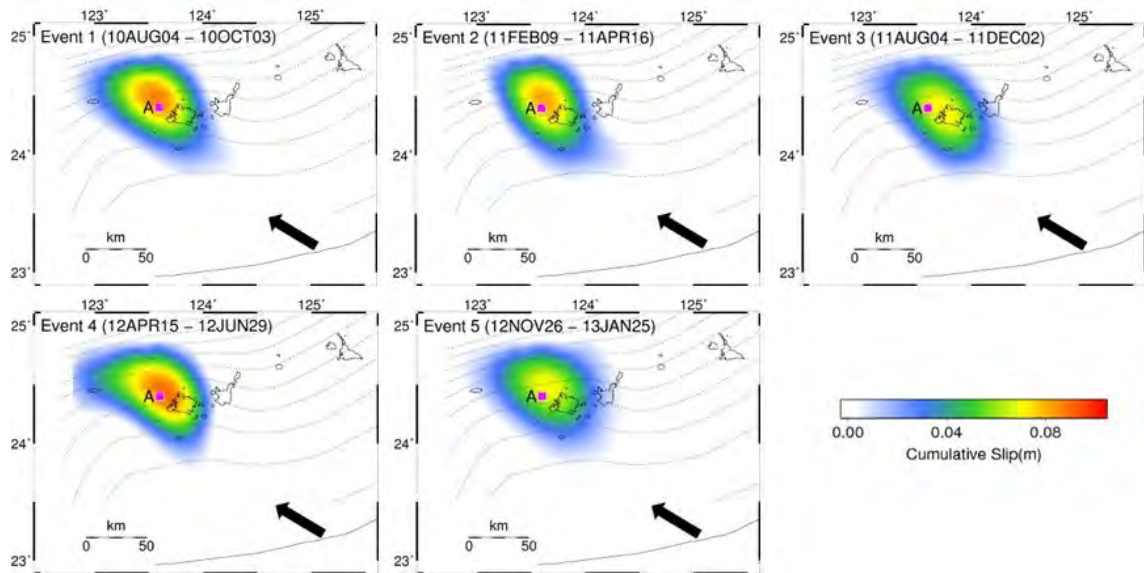


図 2
Event 1-5 の累積すべり分布。

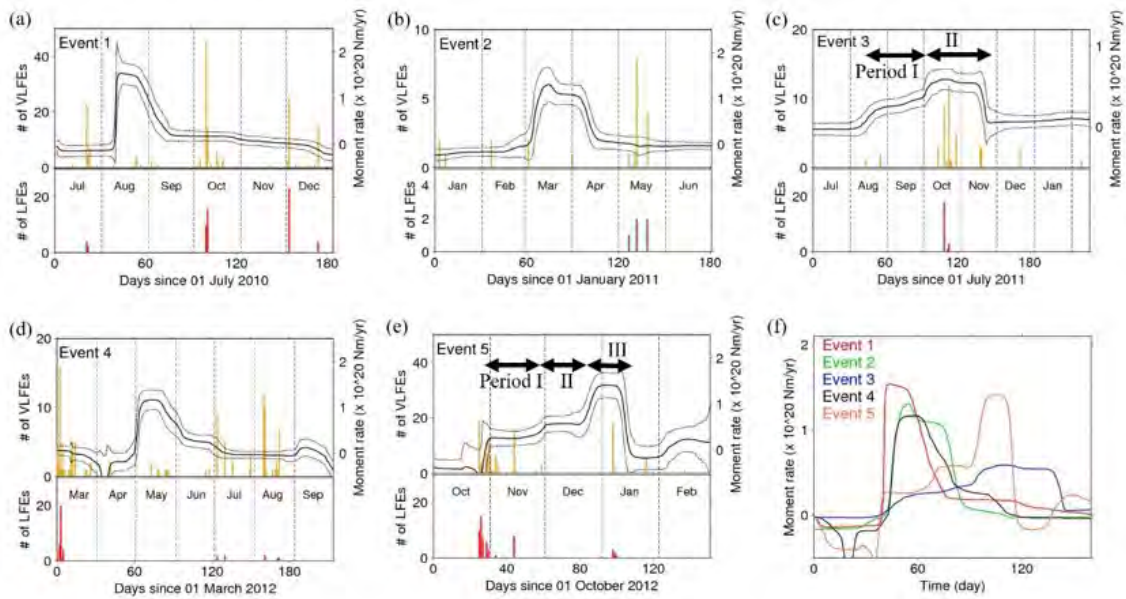


図 3
(a-e) Event 1-5 のモーメントレートの時間変化 (実線) とその 1 推定誤差 (破線)。また、超低周波地震 (VLFE, Nakamura and Sunagawa, 2015) と低周波地震 (LFE, Nakamura, 2017) の発生数を示す。(f) 5 つのイベントのモーメントレートの比較。

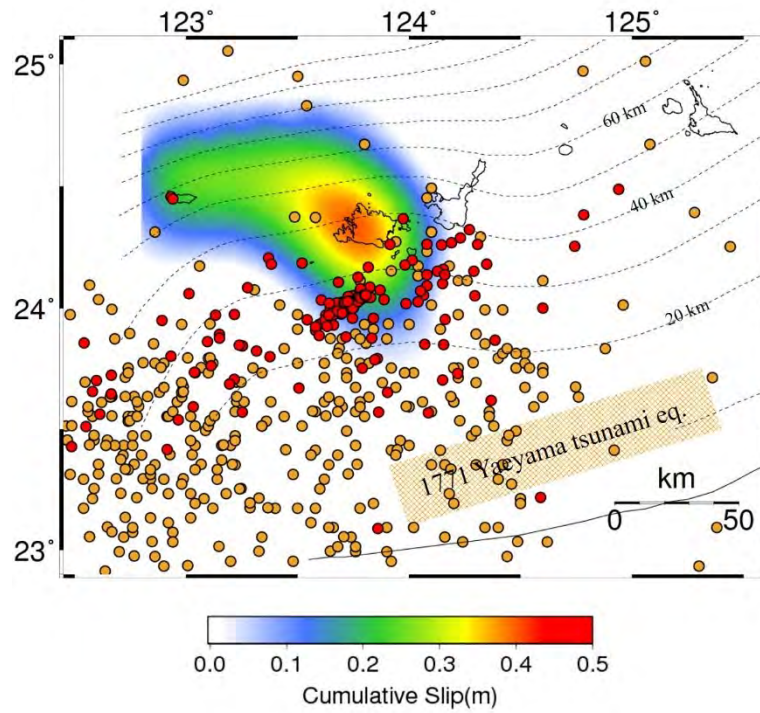


図 4

2010年6月から2013年2月までの累積すべり分布と超低周波地震（橙丸, Nakamura and Sunagawa, 2015）・低周波地震（赤丸, Nakamura, 2017）の発生位置の比較。

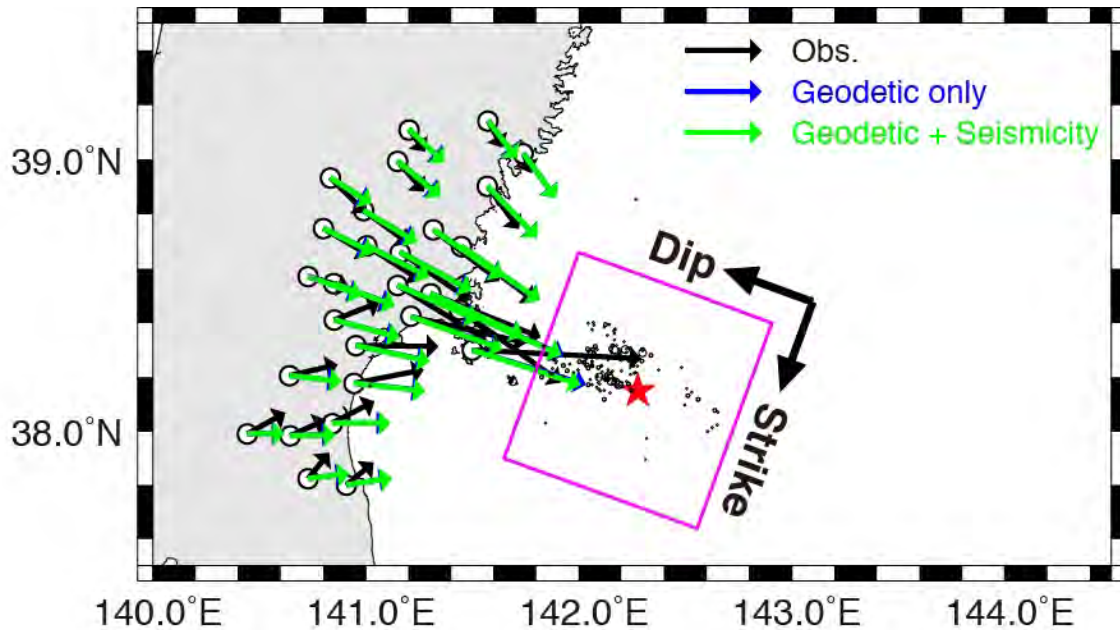


図 5

2005年宮城県沖地震の滑り分布に用いた断層モデル（紫の四角。赤星は気象庁による本震震央）、解析に用いたGNSS観測点と地殻変動データ（黒矢印）および余震の震央分布。青および緑の矢印は推定された滑り分布（図6）から期待される地殻変動。

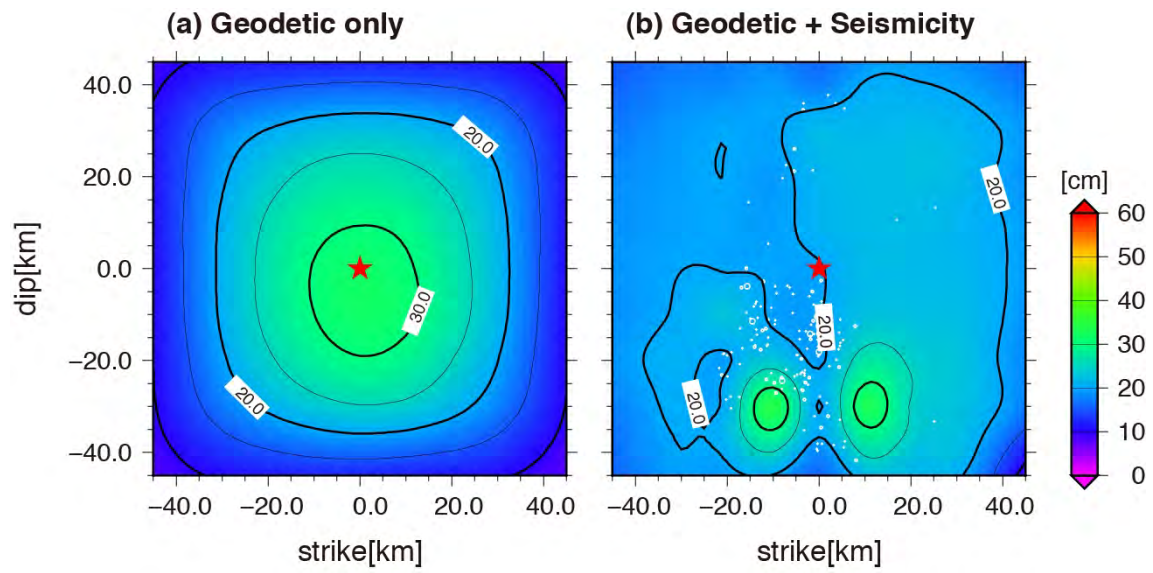


図 6

推定された滑り分布 (MCMC によって得られた事後分布の平均)。(a) 地殻変動データのみの場合、(b) 地殻変動データに地震活動データを加えた場合。赤星は気象庁による本震震央に対応する。

(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：

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

(3) 最も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整理

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・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

4. 研究を推進するための体制の整備

(3) 関連研究分野との連携の強化

(4) 研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震史料の収集、翻刻、解析により、過去の地震および関連する現象についての情報を得る。特に南海トラフの巨大地震にともなう上下地殻変動の解明、および、地震の本震・余震の分離や震源域の確定、地震にともなう災害(強震動、地盤沈下、地すべり、洪水など)の理解を目指す。地震が一定の期間を置いて繰り返す性質があることから、過去の履歴をより詳細にとらえることで防災・減災に貢献する。また、史料には地震そのものだけでなく、これによる被害状況やそれへの対応などの情報も含まれており、研究計画のことばを借りれば「災害誘因」「災害素因」を合わせた情報を得ることにより、地域の防災・減災に貢献できると考えている。

(7) 本課題の5か年計画の概要 :

史料の収集および現地調査、史料の解読をおこない、得られたデータをもとに過去の地震の解析を実施する。斜面崩壊や洪水などの災害、地変など付随する諸現象にも着目する。対象は、史料の収集状況にも依存するが、たとえば南海トラフの巨大地震、内陸の大地震(特に斜面崩壊をともなったもの。たとえば、慶長伏見地震、寛文近江若狭、弘化善光寺地震、安政伊賀上野地震、寛政雲仙噴火、天明浅間噴火)などである。

あわせて、歴史学の専門家の協力を得て、合宿形式等の研究会(翻刻を主とした史料解析の実践)を開催するなどして、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を育成する。

以上の研究については、5年間継続して実施するが、平成26年度~27年度は内陸地震、平成28年度~30年度は南海トラフの巨大地震について調査・解析をおこなうこととする。合宿形式の研究会については毎年実施する。

(8) 平成29年度の成果の概要 :

寛文五年から六年の京都周辺の地震活動について史料の翻刻を実施した。また、内陸地震や南海トラフの巨大地震についても、史料の収集および現地調査と史料の解読や再検討をおこない、得られたデータをもとに過去の地震の解析を実施した。また、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。

これまでなされてきた歴史地震史料の解釈の間違いについて、いくつか指摘した。たとえば、1831年11月14日(天保二年一〇月一日)に佐賀で発生したとされてきた地震被害は、実際には存在せず、1831年11月13日(天保二年一〇月一日)の会津の地震の被害記事を誤って認定したものであることを示した[加納(2017)]。1707年宝永地震と富士山宝永噴火に関して、複数の写本を検討し、より原本に近い史料を特定して未読箇所を翻刻した[服部・中西(2017, 2018)]。また、この地震と噴火について、現在知られているなかで最も完全で、かつ古い時代に書かれた史料を特定し翻刻した[小林ほか(2018)]。これらの史料から、1707年宝永地震の本震と翌日発生した余震の震源域の推定に重要な情報が得られた。

市民参加型のオンライン翻刻プロジェクト「みんなで翻刻」に協力した。

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る。また講演では、古文書解読の背景となる知識を得る。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すものである。研究会で翻刻や史料の扱いを学んだ研究者・学生が、上記のよう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。また、「みんなで翻刻」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。

おおむね計画どおりの進捗である。みんなで翻刻は、計画提出後に具体化したものである。

以下にこれまで解読した、あるいは解読中の史料について、名前、対象とする地震等をしるす。

- ・「信越震漲録」、1847年善光寺地震
- ・「弘化四丁未大地震御届書写」、1847年善光寺地震
- ・「信州大地震前後天災之記事」、1847年善光寺地震
- ・「見聞書写」、1783年浅間山噴火
- ・「浅間の記」、1783年浅間山噴火
- ・「浅間山焼候二付松平讃岐守見分候者届出二書付」、1783年浅間山噴火
- ・「浅間山焼大変記」、1783年浅間山噴火
- ・「浅間山焼一件」、1783年浅間山噴火
- ・「信州浅間山土砂降り所々書上并はなし」、1783年浅間山噴火

- ・「浅間山焼之図」、1783年浅間山噴火
- ・「信州大地震聞書」、1847年善光寺地震
- ・「弘化四未年三月信濃国大地震二付同国在陣御代官届書写」、1847年善光寺地震
- ・「丁未震災録」、1847年善光寺地震
- ・「安政見聞録」、1855年江戸地震
- ・「安政風聞集」、1856年江戸台風
- ・「安政見聞誌」、1855年江戸地震
- ・「安政東南海地震に関する書状」、1854年東南海地震
- ・「元録地震記」、1703年関東地震
- ・「肥前國島原領普賢山大変記」、1792年雲仙噴火
- ・「嘉永七甲寅四月京都大火諸国大地震控」、1854年伊賀上野地震
- ・「嘉永七寅年六月十四日上方筋大地震二付、定飛脚問屋島屋佐右工門、京屋弥兵衛より申出候書付写」、1854年伊賀上野地震
- ・「嘉永七甲寅年上方諸国大地震出火荒増扣」、1854年伊賀上野地震
- ・「五街道江戸大地震出火場所絵巻」(個人蔵)、1855年江戸地震
- ・「日記安政二年より」(稲生家文書14 埼玉県立文書館)、1855年江戸地震
- ・「元禄十六年御普請」(埼玉県立文書館 岩国市岩国藩関係文書28)、1703年関東地震
- ・「申渡」(埼玉県立文書館 船川家1325(CH89))、1855年江戸地震
- ・「乍恐以書付御注進奉申上候」(埼玉県立文書館 船川家1534(CH93))、1855年江戸地震
- ・「[地震二付御触書写]」(埼玉県立文書館 西角井家7747(CH279))、1855年江戸地震
- ・「[善光寺地震に関する書状]」(東京大学地震研究所図書室 文書番号1074)、1847年善光寺地震
- ・「地震考」(早稲田大学図書館古典籍総合データベース)、1830年京都地震
- ・「善光寺地震被害書上」(東京大学地震研究所図書室 文書番号 石本文庫41)、1847年善光寺地震
- ・「弘化四大地震由来全」(東京大学地震研究所図書室 文書番号 石本文庫224)、1847年善光寺地震
- ・「諸国海辺地震津波書」(東京大学地震研究所図書室 文書番号 石本文庫229)、1854年東海地震・南海地震

- (9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
 加納靖之，2017，地震年表や史料集における年月日の取り違え，歴史地震，32，87-93。
 加納靖之，2017，1831年(天保2年)佐賀の地震記録が会津の地震のものである可能性，地震2，70，171-182。
 服部健太郎・中西一郎，2017，1707年宝永地震と富士山宝永噴火に関する一史料??駿河湾北岸域における宝永地震翌朝に感じた大きな余震及び白鳥山の崩壊を記した行方不明史料の発見と既刊史料集に掲載された翻刻文の検討??，地震2，70，41-55。
 服部健太郎・中西一郎，2018，1707年宝永地震と富士山宝永噴火に関する一史料(2)??『浅間文書纂』に掲載された「大地震富士山焼出之事」の底本??，地震2，70，215-220。
 小林昭夫・弘瀬冬樹・堀川晴央・平田賢治・中西一郎，2018，1707年宝永地震と富士山宝永噴火に関する一史料 飯作家「大地震富士山焼出之事覚書」の調査と翻刻，地震2，70，221-231。

(10) 平成30年度実施計画の概要：

平成30年度は、南海トラフの巨大地震を中心に内陸地震(1830年京都地震、1847年善光寺地震、1854年伊賀上野地震など)についても調査・解析をおこなうこととする。火山噴火、気象災害についても史料の解読・調査・解析を実施する。本計画中に得られた成果のまとめをおこなう。
 合宿形式の研究会(翻刻を主とした史料解析の実践)を継続的に実施する。

(11) 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 加納靖之
京都大学大学院理学研究科 中西一郎
他機関との共同研究の有無：有
京都大学総合博物館 五島敏芳
新潟大学 災害・復興科学研究所 福岡浩

(12) 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附属地震予知研究センター

電話：

e-mail：

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

(13) 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：京都大学防災研究所附属地震予知研究センター

(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：

近代観測以降の大噴火時の観測データの整理と低頻度大規模噴火予知に寄与する情報の抽出

(3) 最も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・火山現象の解明

ア. 史料, 考古データ, 地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

(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) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

イ. 熱水系の卓越する火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

近代観測データが得られるようになった噴火事象の中で顕著な国内の噴火について観測データを網羅して整理する。そして、噴火発生前後の地震活動、地盤変動などをから、現在の観測データから低頻度大規模噴火予知に役立つ情報を抽出する。

明治・大正の日本の科学黎明期に発生した大規模噴火として、磐梯山明治噴火と桜島大正噴火を取り上げ、文献事例調査と当時の観測データの再検討をする。

磐梯山明治噴火については、既存の研究結果を検証するために、水蒸気爆発時の地震動の聞き取り調査結果から震度分布から震源位置とメカニズムを評価する。爆発発生源の位置と火山構造探査結果との比較検討を行う。あわせて明治期の限られた火山の知識に基づいて推定された噴火メカニズムを現代の火山学知見にて検証する。

桜島大正噴火については、地震と地盤変動の定常観測データを用いて、桜島におけるひずみ速度と応力変化の構成関係を明らかにする。そして、大正噴火時の地震回数や規模からひずみ速度を推定する。大正噴火に至った時点での積算ひずみ速度を推定して、今後の噴火警戒レベル設定のおおよそ目安(閾値)とする。また、大正噴火の時に発生した桜島地震の再評価を行う。気象庁と連携して、各地の測候所の地震記録を入手して、震源とメカニズムを推定する。

本研究において大噴火の前兆現象の理解を進めることで項目2(4)事象系統樹の高度化による火山噴火予測の研究に寄与できる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題は、地震・噴火予知協議会共同事業に基づいた計画である。

平成26及び27年度においては、磐梯山明治噴火については、水蒸気爆発時の地震動の聞き取り調査結果から加速度分布(震度分布)を精査して、震源位置とメカニズムを評価する。

平成27~29年度においては、桜島大正噴火の地震活動の再評価を行う。現在の観測から得られている地盤変動と地震活動からひずみ速度と応力変化の関係を明らかにして、大正噴火当時の群発地震から地盤変動を推定して評価する。桜島地震については、現存する波形記録を用いて震源決定とメカニズム解推定を行う。また、磐梯山明治噴火については前兆現象についてその物理的背景を検討し、低頻度大規模噴火のメカニズムの知見の向上を目指す。

平成27~30年度においては、前述の調査対象火山について観測データ・資料・論文などを収集して整理する。そして、現在の観測データから低頻度大規模噴火予知に役立つ情報の抽出を行う。

(8) 平成29年度の成果の概要：

計画に示した通り、東京大学文書館に保管されている史料等もとに磐梯山噴火直後に当時お雇い外国人として異分野で活躍した教師が、本来の任務のかたわらで助言者としてわが国の火山学への貢献度を検討した。その結果、目視による噴火現象の定性的記載に終始していたそれまでの状況に加えて、山体崩壊地形を定量的に記載する能力を日本人研究者に教授するなどお雇い外国人が我国の火山学に画期的進歩をもたらしたことを明らかにした。

桜島地震の震源の再々決定を行った。昨年度の10地点のS-P時刻に加え、今年度は徳島測候所のS-P時刻を追加し11地点のデータと鹿児島測候所の震動軌跡から推定した初動到来方向を制約条件としてS-P時刻の残差分布から震源を推定した。その結果、昨年度と同様に鹿児島測候所から南南東方向約6kmの鹿児島市街地沖の極浅部に震源が推定された。

(9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

浜口博之, 2017, 1888年磐梯山水蒸気爆発に関するノート(5) W.K. パルトンの写真についての考察, 火山, 投稿中.

浜口博之, 2017, 1888年磐梯山水蒸気爆発に関するノート(6) 崩壊地形測量へのお雇い外国人 H.S. Palmer の貢献, 火山, 投稿中.

緒方 誠・松田健助・岩田 訓・後藤和彦, 2017, 1914年桜島大正噴火時地震の震源位置再評価(その2), 日本地震学会秋季大会, S09-P10.

(10) 平成30年度実施計画の概要：

桜島大正噴火に前駆した地震のリストとして残っている論文や資料と実際の記象紙に残されている地震には対応していない部分が複数見つかっているので、さらに精査を進めていく。そして、前駆地震活動における地震エネルギーの定量化をする。平成29年度の成果として確定した桜島地震の震源位置を用いて、鹿児島測候所で記録された地震波形を再現するような断層を推定する。

前年度の「お雇い外国人」技術者・教師の我国の火山学黎明期への貢献の在りようをさらに追加検証する。またこれまでシリーズで報告したこれまでの研究成果に基づき、明治期の限られた当時の火山噴火のイメージを集大成し、現在の火山構造探査結果や地震活動等と比較検討し、我国の最大の水蒸気爆発であった磐梯山明治噴火のメカニズムの解明に努める。

(11) 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(京都大学防災研究所附属火山活動研究センター)

他機関との共同研究の有無：有

浜口博之（東北大学大学院理学研究科），後藤和彦（鹿児島大学大学院理工学研究科）

（12）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附属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：

（13）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附属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：

プレート境界巨大地震の広帯域震源過程に関する研究

(3) 最も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・火山噴火の発生場の解明

イ. 海洋プレート内部の地震

(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の事前評価手法の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

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・比較することにより、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。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

2011 年東北地方太平洋沖地震をはじめとして、プレート境界で起きた大地震～巨大地震の震源過程を広帯域地震動生成の観点で分析する。三次元速度構造モデルの利用や強震観測点のサイト評価を行うことによって、近地のグリーン関数の信頼度を上げることにより、波形インバージョンの帯域を短周期帯に拡張し、広帯域でより信頼度の高いすべりの時・空間分布を求め、巨大地震の破壊様式の詳細を解明する。また、過去に発生し既往研究があるイベントに関しては、遠地記録を用いたすべり分布モデル、近地強震記録等を用いた強震動生成モデルをそれぞれ収集し、解析周期帯域と時空間の解像度を確認した上でコンパイルを行う。このようにして得られた複数の震源像を多角的に比較して大地震～巨大地震の発生・破壊進展過程の差異の有無を検討するとともに、将来発生する巨大地震の広帯域震源モデルの構築と、発生様式の詳細を拘束する震源特性やパラメータを探る。

各年度の実施計画は以下を予定する。

平成 26 年度 既往震源モデル(長周期モデル、強震モデル)の収集、震源モデリング

強震記録等の収集、強震観測点サイト特性評価

平成 27 年度 既往震源モデルの収集継続、周期帯別特性抽出、震源モデリング

強震記録等の収集、強震観測点サイト特性評価

平成 28 年度 広帯域震源モデルプロトタイプ提案、既往地震による検証

強震記録等の収集、強震観測点サイト特性評価

平成 29 年度 広帯域震源モデルプロトタイプの改良

発生様式特性分析，強震記録等の収集、強震観測点サイト特性評価

平成 30 年度 広帯域震源モデルの提案

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

プレート境界で起きた大地震～巨大地震の震源過程を広帯域地震動生成の観点で分析し、地殻内地震やスラブ内地震のそれらの特徴と比較しながら、将来発生する巨大地震の広帯域震源モデルの構築と、強震動生成を拘束する震源特性やパラメータを探る。

今年度は、1) 南海トラフ・プレート境界で 2016 年 4 月 1 日に発生した MJMA6.5 の地震の強震動生成域を推定し、他の地域のプレート境界地震のモデルパラメータと比較を行った。2) 2016 年熊本地震で観測された震源近傍強震動記録と、1999 年台湾・集集地震や 2016 年ニュージーランド・カイコウラ地震の地表地震断層近傍での強震動特性を比較検討した。

2016 年 4 月 1 日に熊野灘の南海トラフ・プレート境界で発生した MJMA6.5 の地震の強震動生成域を経験的グリーン関数法 (Irikura, 1986; Miyake et al., 2003) により推定した。震源情報は Wallace et al. (2016) が DONET1 波形データを用いて決定したものを参照し、Global CMT のメカニズム解からプレート境界に対応する走向 230 度、傾斜 18 度の断層面を仮定した。強震動生成域の長さ、幅、ライズタイム、破壊速度、強震動生成域内の相対的な破壊開始点を未知パラメータとし、0.4 ~ 10 Hz の強震動波形モデリングに基づくグリッドサーチにより、最適な震源パラメータを推定した。ただし、強震動生成域の幅は長さに等しいと仮定した。海域の (研) 防災科学技術研究所及び (研) 海洋研究開発機構による DONET1 強震計、(研) 海洋研究開発機構長期孔内観測システム (LTBMS)、陸域の (研) 防災科学技術研究所 F-net 及び京都大学防災研究所の広帯域強震計の記録を使用した。海域及び陸域の強震波形記録を併用することで、必要な断層パラメータを精度よく決定することができた。1,915,200 通りの組み合わせを試した結果、最適解は、強震動生成域の長さ (= 幅) 4.5 km、面積 20.3 km²、ライズタイム 0.32 秒、破壊伝播速度 3.3 km/s であり、浅い側から深い側に向かって北東方向へ伝播する破壊様式が推定された。強震動生成域サイズに基づく応力降下量は 22.1 MPa と推定された。求められた強震動生成域の面積と地震モーメントのスケール関係を、東北日本のプレート境界地震と比較したところ、同規模の東北日本プレート境界地震とは異なり、内陸地殻内地震のスケールに近いことが分かった。このことは、東北日本日本海溝と西南日本南海トラフのプレート境界地震では、震源特性 (強震動生成域の応力降下量、スケール) が異なることを示唆している。ただし、今回の 2016 年熊野灘の地震の震源深さが 11 km と南海トラフ震源域の中でも比較的浅く、既往の東北日本のプレート境界地震に比べて浅いことが、地域による差異の原因である可能性もある。今後、海底観測データを積極的に強震動研究に活用していくことが必要である。

2016 年熊本地震本震では地表地震断層が生じるとともに、その近傍でみかけの周期が約 3 秒の長周期パルス波が観測された。このパルス波は断層走向平行成分に卓越していて、震源断層浅部のすべりに起因する地震動が主たる影響を及ぼしていることが、強震波形を用いた震源断層破壊モデルによってわかった。このような明瞭な地表地震断層が生じた地震の地表地震断層近傍での強震記録は国内では初めてと言えるが、国外では数例の観測記録がある。それらの記録を基線補正して地動速度、地動変位を求めた。1999 年台湾・集集地震の震源近傍強震動には擬似速度応答スペクトルで周期 5 秒が、2016 年ニュージーランド・カイコウラ地震の震源近傍強震動には周期 10 秒が卓越する継続時間の長い震動見られ、地表地震断層近傍地震動の多様性が明らかになった。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等)：

Asano, K., 2017, Analyzing Strong Motion Generation Area of the MJMA 6.5 Earthquake Occurring Off-shore the Kii Peninsula on April 1, 2016, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SCG70-03.

Asano, K., 2017, Source Model of the MJMA 6.5 Plate-Boundary Earthquake at the Nankai Trough, Southwest Japan, on April 1, 2016, Based on Strong Motion Waveform Modeling, AGU 2017 Fall Meeting,

S41B-0758.

岩田知孝，2017，2016年熊本地震本震の震源近傍強震動，日本地震工学会年次大会2017，横断セッションA「2016年熊本地震における震動制御技術の挙動と課題」(招待講演)，2017年11月。

(10) 平成30年度実施計画の概要：

平成26年度より行って来た、プレート境界地震、地殻内地震やスラブ内地震の広帯域地震動生成モデルを比較し、将来発生する巨大地震の広帯域震源モデルの構築と、強震動生成の詳細を拘束する震源特性やパラメータを得る。

(11) 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

(12) 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)

電話：0774-38-4057

e-mail：iwata@egmdpri01.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL：http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp

(13) 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：

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の構造研究

(3) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(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・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) 地震現象のモデル化

ア. 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) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

四国と南九州の下に沈み込むフィリピン海プレートとその周辺の構造をレシーバ関数解析や地震波走時トモグラフィなどの地震学的手法により高精度に推定する。得られた構造をもとに、南海トラフ巨大地震やマグマの発生場であるプレート境界面やマントルウェッジの物性や状態を明らかにする。加えて、地震発生や強震動のシミュレーションに資する地震波速度構造モデルの開発を目指す。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度においては、四国東部において、フィリピン海スラブの傾斜方向とその直交方向に設定された測線上に観測点を約 5km 間隔で配置する地震観測を計画し、観測点候補地の選定と調査を行う。適切と認められた観測点に地震計やデータロガー等を設置し、観測を開始する。四国西部で行われたアレイ観測の既存データを用いて、レシーバ関数解析を行い、地震波速度不連続面の暫定的なイメージを得る。南九州において、前計画から行っている宮崎 阿久根測線と宮崎 桜島測線での同様の観測を継続し、データの蓄積を行うとともに、レシーバ関数解析によりフィリピン海スラブを含む地震波速度不連続面のイメージングを行う。

平成 27 年度においては、四国東部において、地震観測を継続し、地震波形データの蓄積を行う。必要であれば、追加の観測を開始する。前年度に得たデータに対して、レシーバ関数解析を行い、地震波速度不連続面の暫定的なイメージを得る。その際、2002 年～2004 年に行われた臨時観測のデータも再解析し、四国東部から山陰中部までのイメージを作成する。南九州において、観測を継続し、データの蓄積を行うとともに、レシーバ関数解析により地震波速度不連続面のイメージを更新する。地震波の読み取り（外注）を行う。

平成 28 年度においては、四国東部において、地震観測を継続し、地震波形データの蓄積を行う。レシーバ関数解析を行い、地震波速度不連続面のイメージを更新する。四国西部において、観測点候補地の選定と調査を行う。適切と認められた観測点に地震計やデータロガー等に移設し、観測を開始する。南九州において、トモグラフィ解析を行い、3 次元速度構造の暫定版を得る。

平成 29 年度においては、四国西部において、地震観測を継続し、地震波形データの蓄積を行う。必要ならば、追加の観測を開始する。前年度に得たデータに対して、レシーバ関数解析を行い、地震波速度不連続面の暫定的なイメージを得る。地震波の読み取り（外注）を行う。南九州において、トモグラフィ解析を行い、3 次元速度構造を更新する。

平成 30 年度においては、四国東部と西部において、レシーバ関数解析を行い、地震波速度不連続面のイメージを更新する。四国東部と西部のレシーバ関数解析の結果を併せて解釈し、四国下に沈み込むフィリピン海スラブの形状を推定する。地震波の読み取り（外注）を行う。四国において、トモグラフィ解析を行い、3 次元速度構造を更新する。これらと紀伊半島および南九州での結果を併せて、紀伊半島～四国～南九州の広い地域において、南海トラフ巨大地震の震源断層であるフィリピン海プレート境界面近傍の物性や状態を解明する。地震サイクルシミュレーションや強震動予測に資する地震波速度構造モデルを開発する。

（ 8 ）平成 29 年度の成果の概要：

本研究では、リニアアレイ観測、レシーバ関数解析および地震波走時トモグラフィ解析により、南九州、四国および紀伊半島の地下構造を高精度に推定することを目的とする。得られた構造をもとに、南海トラフ巨大地震の発生場であるプレート境界面とフィリピン海スラブ周辺の物性・状態の推定、および地震サイクルシミュレーションや強震動予測に資する地震波速度構造モデルの開発に必要な情報の抽出を目指す。平成 29 年度の成果の概要は以下のとおりである。

紀伊半島では、2004 年 3 月から 2013 年 3 月まで延べ 6 測線においてリニアアレイ観測が行われた。これまで、レシーバ関数解析では、大陸モホ面、フィリピン海スラブ上面、海洋モホ面の 3 次元的形状が推定された。トモグラフィ解析では、近畿地方北部から紀伊半島までのスラブ周辺域の 3 次元地震波速度構造が推定された。

今年度は、速度構造モデルにおける大陸モホ面、スラブ上面および海洋モホ面の形状に関しても、レシーバ関数イメージの再解釈等により改善した。得られた 3 次元速度構造では、フィリピン海スラブの海洋地殻は深部低周波地震の発生域を中心として低速度異常かつ高 V_p/V_s 比を示し、流体の存在が裏付けられた。また、地震活動が活発な和歌山県北部の下部地殻に非常に大きな低速度異常域が存在することが分かった。これも流体が関係する低速度異常と考えられる。下部地殻から供給される流体が、上部地殻においてクラック中の間隙水圧を上昇させ、有効法線応力が減少するので、地震が発生しやすくなるというモデルが考えられる。

南海トラフ巨大地震の震源域の一部である紀伊半島下のプレート境界面付近の流体の分布や、震源域から大阪や京都などの大都市域への地震波の伝播経路に当たる紀伊半島下の地震波速度不連続面の形状および 3 次元地震波速度構造を精度よく推定できたことは、将来の地震の発生予測や強震動予測の高度化に大きく寄与すると考えられる。

南九州では、宮崎 - 阿久根測線と宮崎 - 桜島測線での稠密リニアアレイ観測を継続し、レシーバ関数解析やトモグラフィ解析用の波形データの蓄積を行った。

トモグラフィ解析で使用した観測点を図 1 に、用いた地震の分布を図 2 に示す。速度構造モデルのグ

リッドサイズは $0.1^\circ \times 0.1^\circ \times 10 \text{ km}$ で、初期値には JMA2001 (上野他, 2002) を用いた。不連続面として、大陸モホ面、スラブ上面、海洋モホ面を組み込んだが、これらの形状は、Katsumata (2010) の大陸モホ面モデルと Iwasaki et al. (2015) のプレート境界モデルを参考にして決めた。今回は、111,447 個の P 波走時を解いて、P 波速度の 3 次元構造を求めた。

図 3 に深さ 10 km ごとの P 波速度の不均質分布を示す。深さ 10 km では白三角で示す新燃岳、桜島、開聞岳の近傍に低速度異常が見られる。深さ 20 km では上記の 3 火山の付近に強い低速度異常域が広範囲に広がっている。日向灘の沿岸部付近にも強い低速度異常が見られる。海洋地殻は、深さ 30 km と 40 km では低速度異常を示すが、深さ 50 km と 60 km では高速度異常を示す。図 4 に新燃岳と桜島の近傍を通る東西断面での P 波速度の不均質分布を示す。火山下の地殻内に強い低速度異常が広範囲にみられる。マントルウェッジの先端部の海側にも強い低速度異常域が見られる。海洋地殻は深さ 50 km ~ 60 km でいったん高速度異常を示すが、それより深いところではまた低速度異常に戻るようである。島弧側のマントルは広範囲に低速度異常を示す。これらの低速度異常域は、スラブ起源流体やマグマ等の流体に起因すると考えられる。海洋地殻からの脱水は、マントルウェッジ先端部の海側付近と深さ 80 km 以深の低速度異常域で発生していると思われる。

四国では、平成 29 年 3 月末に、徳島県海陽町から香川県綾川町に至る海陽 - 綾川測線において約 2 年間設置した 7 観測点を、高知県のいの町から愛媛県西予市に至るいの - 西予区間に移設した。平成 27 年 12 月に設置した徳島県上山町から高知県大豊町に至る徳島 - 大豊区間と合わせて、徳島市から西予市に四国を横断するリニアアレイで観測を継続し、レシーバ関数解析やトモグラフィ解析用の波形データの蓄積を行った。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

Shibutani, T. and K. Hirahara, 2017, Characteristics of slab-derived fluids beneath Kii Peninsula, southwestern Japan inferred from seismic tomography, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Makuhari Messe, SIT26-P02, May 2017

Shibutani, T. and K. Hirahara, 2017, 3D seismic velocity structure beneath Kii Peninsula, southwestern Japan derived from receiver function analysis and seismic tomography, IAG-IASPEI 2017, Kobe International Conference Center, J08-P12, August 2017

澁谷拓郎・寺石眞弘・小松信太郎・山崎健一・山下裕亮・大倉敬宏・吉川 慎・井口正人・為栗 健・園田忠臣, 2017, 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, 日本地震学会 2017 年秋季大会 (かがしま県民交流センター, 鹿児島市), S06-P15, 2017 年 10 月 27 日

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

紀伊半島では、速度構造モデルの不連続面形状をさらに改良して、トモグラフィの再解析を行う。

南九州では、レシーバ関数解析では、追加された波形データを解析し、レシーバ関数イメージを更新する。トモグラフィ解析では、走時データを追加して、S 波速度構造も推定する。

四国では、これまでに設置した 14 観測点については、観測を継続し、蓄積されたデータを用いてレシーバ関数解析を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

澁谷拓郎、寺石眞弘、山崎健一 (地震予知研究センター)、井口正人、為栗 健 (火山活動研究センター)

他機関との共同研究の有無 : 有

京都大学理学研究科 : 大倉敬宏

東京大学地震研究所 : 小原一茂、加藤愛太郎

高知大学理学部 : 大久保 慎人

(12) 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/>

(13) 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

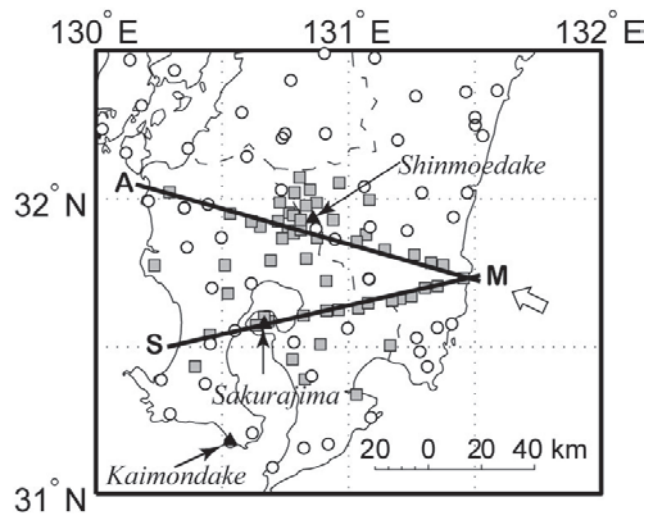


図 1 南九州でのレーザー関数解析とトモグラフィ解析に使用した観測点の分布
 グレーの四角は臨時観測点、白丸は定常観測点。MS と MA は、レーザー関数解析用のリニアアレイで、それぞれ宮崎 - 阿久根測線と宮崎 - 桜島測線。黒三角は火山を示す。

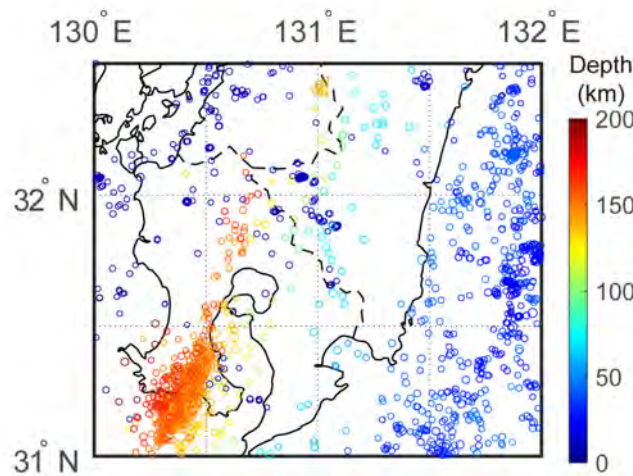


図 2 南九州でのトモグラフィ解析に用いた地震の分布
 丸の色は地震の深さを表す。

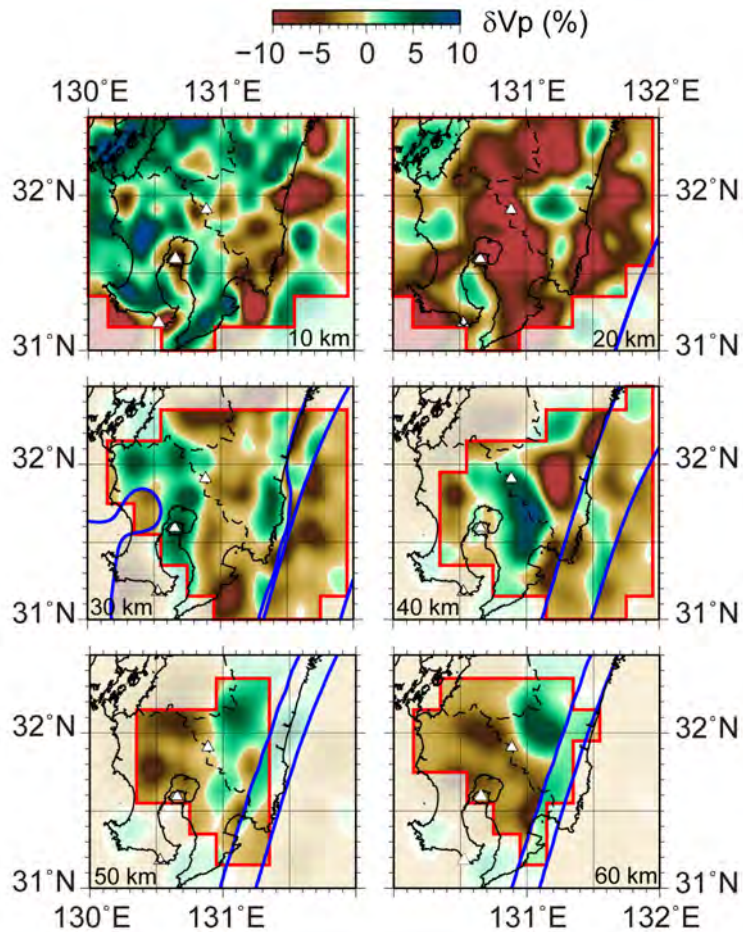


図3 P波速度の不均質分布(深さ断面)

JMA2001からの偏差。深さ10 kmから深さ60 kmまで10 kmごとに示す。赤線の内側はチェッカーボードテストが良好な領域。青線は、大陸モホ面、スラブ上面、海洋モホ面の各深さでの切り口。白三角は火山を示す。

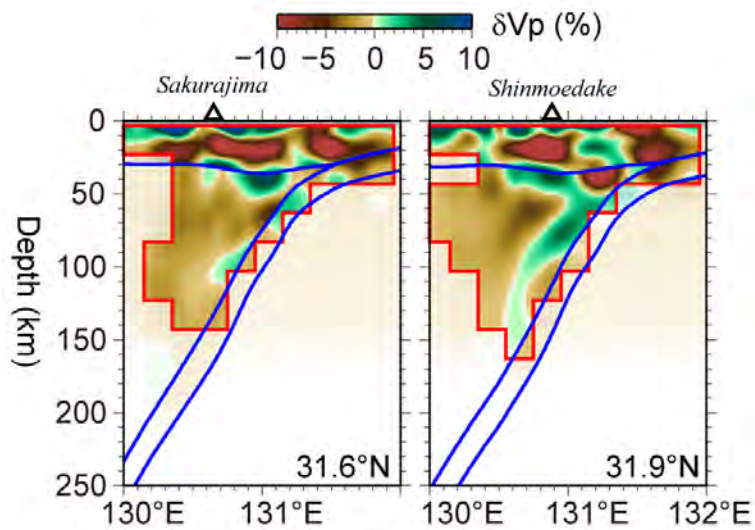


図4 P波速度の不均質分布(東西断面)

JMA2001からの偏差。(左)桜島の近傍を通る断面。(右)新燃岳の近傍を通る断面。赤線の内側はチェッカーボードテストが良好な領域。青線は不連続面を示す。

(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：

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

(3) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(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・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地殻とマントルにおける変動現象の基本場(物質場、温度場、応力場、流動 - 変形場と、その複合場としての地震発生場および流体 - マグマ生成・上昇場)の理解を深化させ、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。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

日本列島の物質場(特に、地殻流体の分布と量) 温度場(地下温度分布、マントルポテンシャル温度) 応力場(絶対応力とその分布) 流動 変形場(島弧地殻の粘弾性変形を含む)の定量的理解を、地震波・電気伝導度に関する実験的および観測データの統合数値解析、火山岩・熱水・鉱脈の地球化学組成解析、稠密地震観測結果の地震学的解析、および地殻変形データのインバージョン解析により進める。それらの結果を統合して、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。H26~H27年度においては、特に有馬型塩水の採取、火山微量元素組成の定量的解析手法の開発、含水岩石の地震波速度および電気伝導度の実験的測定に用いる試料作製、微小地震データの整備、日本列島規模での流動変形場の数値フォワードモデルの構築を目指す。H28~H30年度に

おいては、採取試料の化学・同位体分析とその定量的解析、含水岩石の地震波速度および電気伝導度の実験的測定、微小地震データ解析による広域応力場の推定、数値フォワードモデルのパラメータスタディを行い、物質構造、温度場、応力場、変形場の関係と、統合モデルの構築を目指す。

(8)平成 29 年度の成果の概要 :

流体・火山・物質循環 : 本年度は、四国全域で深部流体、特に塩水の調査・試料採取を行い、現在、化学組成・同位体比分析を進めている。四国には中高構造線に沿って塩水湧出が知られていたが、それ以外の地域でも塩水の湧出あるいは産出が認められ、これらの組成の比較を行っている。マグマ生成場については、島弧接合部およびスラブ端での流体・マグマ生成過程に注目し、島弧火山岩の化学・同位体組成からマンツルのマグマ生成場や地殻流体の発生と移動の制約を試みた (Nakamura et al., 2018)。具体的には、中部日本、東北日本、およびその遷移帯の火山を、これまであまり調査や分析のなされていない群馬 - 新潟 福島にかけての火山 (守門、浅草、枳形、飯土) も含めて、岩石学的・地球化学的研究を行った (図 1)。その結果、(1) 関東北部から東南北部にかけて沈み込んだフィリピン海スラブについて、従来、地震学的制約からその北限とされていた境界よりもさらに北の火山からも、フィリピン海スラブ由来と考えられる流体成分が検出されること、(2) 地震学的に提案される北限境界のすぐ北側の火山で流体量 (太平洋スラブ由来、およびフィリピン海スラブ由来の両方の成分とも) が最大となり、そこから北に向かうにつれて、流体量は減少すること、(3) それに伴って、フィリピン海スラブ由来成分も減少すること、(4) 島弧横断方向については、フロント側に供給される流体が多く、背弧側は通常の島弧セグメントの背弧側よりも少ないこと : 特に、地震学的に提案される北限境界の北側では、火山がなく、流体が供給されていないと考えられること、などが明らかとなった (図 2)。これらのことから、(5) フィリピン海スラブの物質学的北限は、地震学的北限よりも 100 近く北まで伸びていること、(6) (5) の方が、フィリピン海プレート沈み込みの幾何学からはより自然であること、(6) 茨城下付近に存在するマンツル - 太平洋スラブ - フィリピン海スラブの 3 重会合コーナーポイントに向かい、島弧沿いにも、また島弧横断方向にも流体が集中してながれている可能性があること、などが分かった (図 3 , 4)。

応力場 : 本年度は、Yukutake and Iio (2017) により 2000 年鳥取県西部地震域での稠密地震観測 (図 5) データを用いて推定された約 4000 イベントの余震の発震機構解 (メカニズム解) から、本震断層周辺域の応力場の不均質性について評価を行った。ここでは、ある応力場 (主応力軸方向及び応力比) を仮定したときの断層面上での理論的な最大せん断応力方向とメカニズム解の滑り方向 (rake angle) とのなす角で定義される Misfit 角を用いた。Yukutake et al. (2007, JGR) により推定された余震域の応力場 (図 6 上部のダイヤグラム) をもとに各余震メカニズム解節面上の Misfit 角を求めた (図 6)。余震域全体の Misfit 角の頻度分布は図 7 (a) のように求まり、その平均は 21 度となった。Michael (1991, JGR) により平均的な Misfit 角と応力不均質性との関係性が検証されており、その検証結果に基づくと本研究で用いたメカニズム解決定誤差 (標準偏差 6 度) を考慮すると、Misfit 角平均値が 30 度を超えると均質な応力成分に対して不均質応力成分の大きさが相対的に大きくなるといえる。図 7 a の結果は余震域全体でみると空間的に均質な応力場が優勢であることを示唆している。一方で、本震時に大きな滑りを生じた余震域南部では Misfit 角の大きな余震が比較的多く発生しているように見える (図 6)。本震断層南端部 (図 6 矩形領域) に絞ると、Misfit 角の平均値が 36 度となる (図 7 b)。前年度の研究結果により、この領域では本震すべりによる静的応力変化方向と調和的な応力軸の東西方向への回転が応力逆解析法により推定されている。本震断層端での応力集中がこの領域での応力場の不均質性に寄与した可能性が示唆される。

含水岩石物性 : (1) アルミナ多結晶体を用いたクラック・パーコレーションの検証 : 細粒アルミナ焼結体 (クアーズテック社 , サファール) を用いて、どのくらいの量のクラックが存在すると連結経路が形成されるかを調べた。出発試料には空隙がほとんど存在せず、弾性波速度は単結晶弾性定数から理論的に推定される値を示す。アルミナ粒子は結晶軸により異なる線熱膨張率をもつが、この焼結体は非常に細粒 (25 μm) であるため、1000 程度の温度まで加熱しても熱クラックは生じない。そ

のため、1800-1900 の高温で 5-50 時間焼鈍して粒成長させ、熱クラックを生じさせた。平均粒径の大きい試料ほど弾性波速度の大きな低下が見られ、SEM によっても粒界クラックが観察できた。ただし、電気インピーダンス測定からは、連結に必要なだけのクラック量はまだ形成されていないと考えられる。数値実験も実験で得られているクラック量が閾値以下であることを示唆する。さらに多くのクラックを形成して連結の形成を調べる必要がある。(2) 電気伝導度と弾性波速度の同時測定によるクラック連結度の研究：当初はガス浸透率と弾性波速度の同時測定を行うことを計画していたが、測定システムが整わなかったため、従来どおり、電気伝導度と弾性波速度の同時測定によってクラックの連結度を調べることにした。弾性波速度からクラック量、電気伝導度から連結の様子を推定する。花崗岩(庵治, 大島), 蛇紋岩(白馬)について実験を行った。花崗岩は、クラックのパークレーションに関係する大きな電気伝導度変化を示した(図8)。クラックがほぼ閉じるような高封圧下での電気伝導度は、試料によって大きく異なっており、この違いは粒界の微細構造の違い(図9, 10)を反映しているのではないかと考えている。

変形・流動場：島弧リソスフェアの粘弾性変形を含む流動 - 変形場の理解は本研究計画における一つの重要な柱である。粘弾性層を含む系で数値計算を試みると、粘弾性層の名目的な緩和時間(Maxwell 緩和時間；粘性率と剛性率の比で定義される)よりも実際の緩和には遥かに長い時間を要したり(図11) 粘性緩和による変動のセンスが途中で入れ替わったり(図12)など奇妙な振る舞いをする事が知られている。本研究では、その原因を理論的に明らかにした(Fukahata & Matsu'ura, 2017)。表層弾性体 - 下層 Maxwell 粘弾性体の半無限 2 層平行成層という非常にシンプルな系においても、実は粘性緩和は異なる 3 つの時定数の和として解析的に表現される(Matsu'ura et al., 1981)。さらに、それらの緩和時定数は、図13に示される通り、1つを除き波数に依存して大きく変化することが分かった。このように、複数の緩和時間が存在し、それぞれ波数に依存することが、図12に見られる複雑な挙動の原因である。また、図14は、各緩和時定数の重みを波数の関数として表したものである。ここで、緩和時定数の重みが何桁にもわたって変化していることが重要なポイントである。例えば、非常に長波長(数百 km 以上)の水平変位については、 $\tau = 4.6$ 年にも拘わらず、実際には数百年以上もの時間が粘性緩和にかかることを示している(左上・左下図)。垂直変位についても、50 - 100 km の波長の変形が、100 年以上の実効的緩和時間を持つことが分かる(右上図)。これが、図11で示した、実際の緩和には名目的な Maxwell 緩和時間よりもずっと長く時間がかかることの原因である。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
- Nakamura, H., Iwamori, H., Ishizuka, O., Nishizawa, T. (2018) Distribution of slab-derived fluids around the edge of the Philippine Sea Plate from Central to Northeast Japan. *Tectonophysics* 723, 297-308. Doi:10.1016/j.tecto.2017.12.004.
- Ueki, K., Iwamori, H. (2017) Geochemical differentiation processes for arc magma of the Sengan volcanic cluster, Northeastern Japan, constrained from principal component analysis. *Lithos* 290-291, 60-75. 10.1016/j.lithos.2017.08.001.
- Nishizawa, T., H. Nakamura, T. Churikova, B. Gordeychik, O. Ishizuka, S. Haraguchi, T. Miyazaki, B.S. Vaglarov, Q. Chang, M. Hamada, J. Kimura, K. Ueki, C. Toyama, A. Nakao, H. Iwamori (2017) Genesis of ultra-high-Ni olivine in high-Mg andesite lava triggered by seamount subduction, *Scientific Reports*, 7, DOI:10.1038/s41598-017-10276-3.
- Nakagawa, T., and Iwamori, H. (2017) Long-term stability of plate-like behavior caused by hydrous mantle convection and water absorption in the deep mantle. *Journal of Geophysical Research - Solid Earth*, doi: 10.1002/2017JB014052.
- Yukutake Y, Iio Y (2017) Why do aftershocks occur? Relationship between mainshock rupture and aftershock sequence based on highly resolved hypocenter and focal mechanism distributions *Earth, Planets and Space* 69:68 doi:10.1186/s40623-017-0650-2
- Ono, K., Harada, Y., Yoneda, A., Yamamoto, J., Yoshiasa, A., Sugiyama, K., Arima, H., and Watan-

abe, T., 2017, Determination of elastic constants of single-crystal chromian spinel by resonant ultrasound spectroscopy and implications for fluid inclusion geobarometry, Phys. Chem. Minerals, <https://doi.org/10.1007/s00269-017-0912-3>.

Sema, F., and Watanabe, T., 2017, Determination of elastic constants of a single-crystal topaz and their temperature dependence via sphere resonance method, Phys. Earth Planet. Inter., 271, 64-62.

Fukahata, Y. and M. Matsuura, 2017, Characteristics of viscoelastic crustal deformation following a megathrust earthquake: discrepancy between the apparent and intrinsic relaxation time constants, Pure Apply. Geophys., (in press).

Yamazaki, T., T. Kobayashi, T. Wright, and Fukahata, Y., 2018. Viscoelastic crustal deformation by magmatic intrusion: A case study in the Kutcharo caldera, eastern Hokkaido, Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., 349, 128-145.

(10) 平成30年度実施計画の概要：

流体・火山・物質循環：糸魚川 静岡構造線、中央構造線沿いの塩水、深部流体の組成データ解析を進めるとともに、比較のため、および火山噴火現象との関わりを調べるため、火山周辺湧水、基盤岩石、溶岩等の調査・採取・分析を行う。火山岩については、プレートエッジでの流体・マグマ現象を、日本列島スケールでの深部流体・火山（および比較のための海外火山、例えばカムチャッカの火山）の組成に基づき解析すると同時に、沈み込むプレート側の不均質が流体や火山にどのような影響を及ぼすかを解析する。

応力場：鳥取県西部域における Misfit 角の分布についてその空間的特徴をより詳細に推定するとともに、Misfit 角にメカニズム解誤差や応力不均質が与える影響についてより定量的な検証を行う。また、本震すべりによる静的応力変化の空間分布と Misfit 角に基づいた応力場不均質の空間的な特徴との関係についても検証を進め、そこから絶対的な応力場の大きさに関する考察を進める。必要に応じて追加で実施された臨時地震観測データを用いて、より高精度なメカニズム解データの整備を進める。

含水岩石物性：(1) アルミナ多結晶を用いたクラック・パーコレーションの検証：細粒アルミナ焼結体をさらに長時間焼鈍し、粒成長させてクラック量を増加させる。クラック量を弾性波速度から推定し、どの程度までクラック量が増加したときに連結が生じるかを含水試料の電気伝導度から調べ、理論的に推定したパーコレーション閾値と比較する。(2) 浸透率，電気伝導度，弾性波速度の測定によるクラック連結度の研究：含水岩石の電気伝導度と弾性波速度の同時測定，乾燥岩石のガス浸透率と弾性波速度の同時測定により，クラック量とともに連結度がどのように変化するかを調べる。それと併せて，イオンミリングした岩石研磨片の SEM 観察により，空隙の微細構造を調べ，高圧下で連結を維持している空隙を理解する。この結果をもとに，地震波速度構造，比抵抗構造から流体分布を推定するための統一モデルを提案したい。

変形・流動場：昨年度は、衛星測地データによる稠密地殻変動データのインバージョン解析として熊本地震の事例を研究したが、そこで用いた平面断層の近似は観測データの質と比べかなり粗いものである。そこで、平面断層の近似を外したより一般的なインバージョン解析手法を新たに開発することを目指す。また、沈み込むプレートの含水状態や不均質構造が島弧の火成活動や変動ダイナミクスにどのような影響を与えるか、温度場、物質場、流動変形場を統合してモデルを構築・提案する。

(11) 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（飯尾 能久、深畑 幸俊）

他機関との共同研究の有無：有

富山大学（渡辺 了）

神奈川県温泉研究所（行竹 洋平）

東京工業大学・海洋研究開発機構（中村 仁美、岩森 光）

(12) 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：0774-38-3348
 e-mail：
 URL：

(13) 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地震予知研究センター

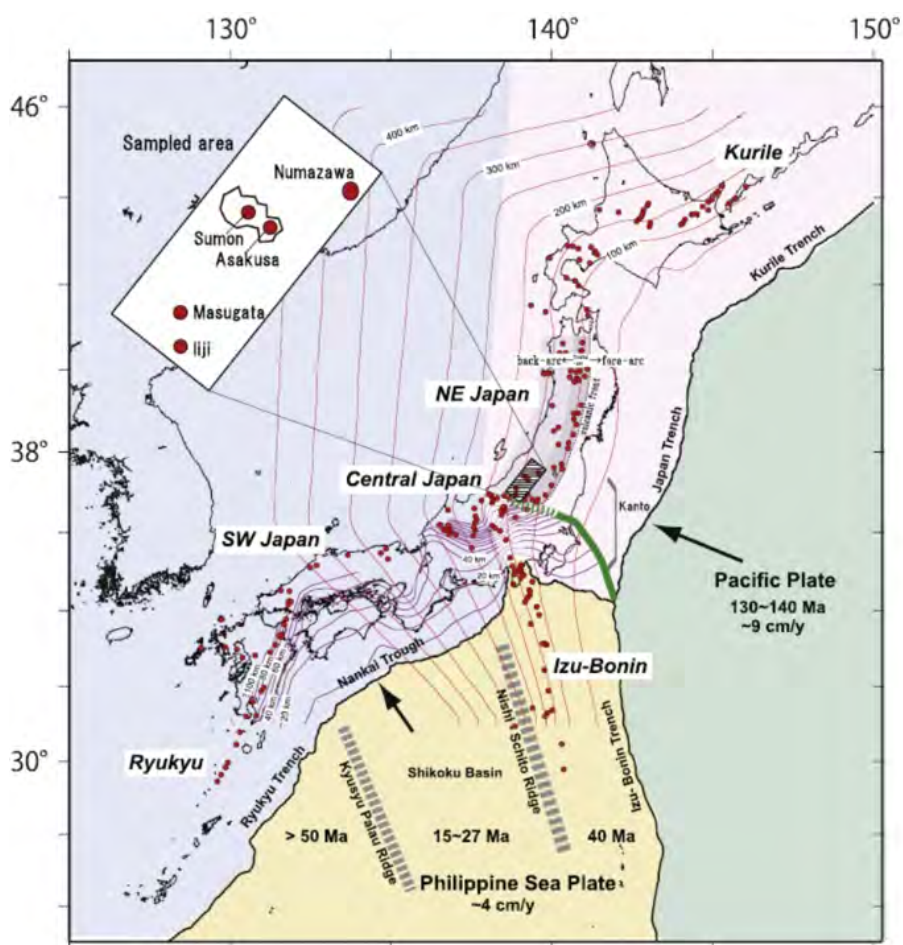
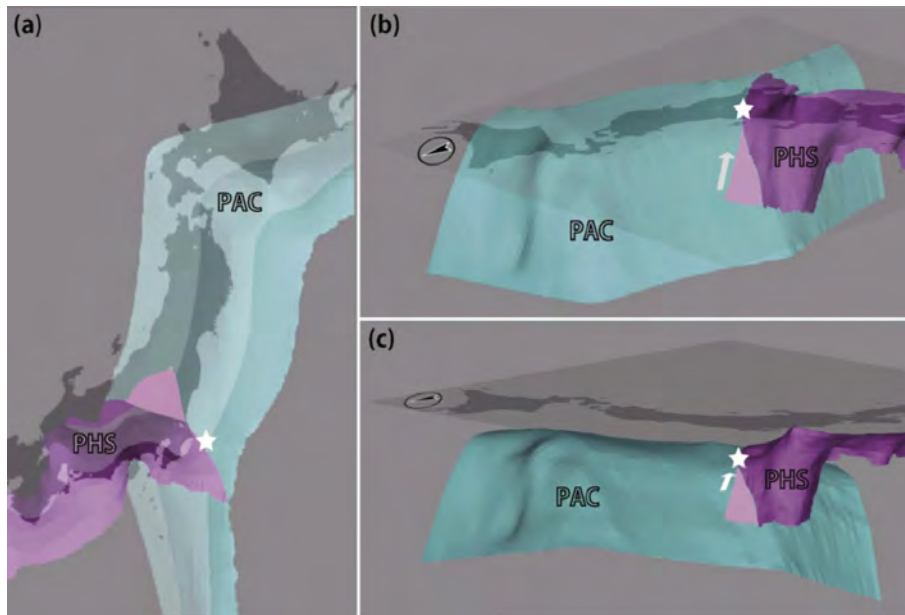


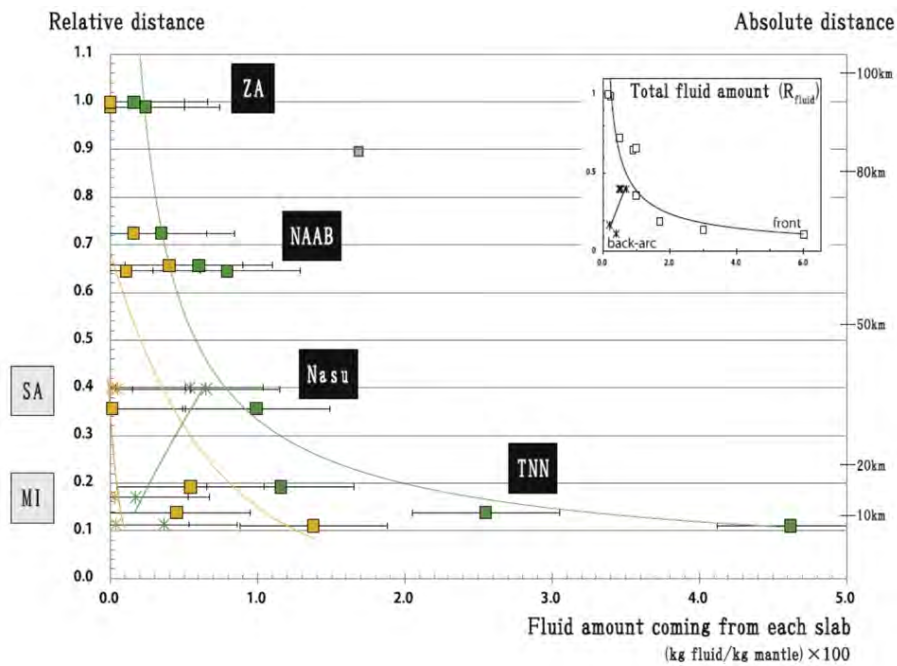
図 1

Tectonic map showing distribution of Quaternary volcanoes (red circles) in Japan, and geometry of the associated plates including the subducting Pacific (PAC) and Philippine Sea (PHS) slabs. The PAC slab subducts from the east with a subduction velocity of 9 cm/year, whereas the PHS slab subducts from the southeast with a shallow dip angle and subduction velocity of 4 cm/year, overlapping the PAC slab beneath Central/Southwest Japan. The red contour lines indicate the depth of the upper surface of the PAC slab (50-300 km depth with 50-km intervals). The purplish solid contours indicate the depth of the PHS slab (10-200 km depth with 10-km intervals) with aseismic parts shown by the dotted line. The green thick solid and partly dotted line indicates the seismically determined edge of the PHS slab (Nakajima and Hasegawa, 2007a, b; Uchida et al., 2010). The inset is an enlargement of the shaded area that includes the five volcanoes investigated in this study. After Nakamura et al. (2018).



☒ 2

Three-dimensional views for the surfaces of two overlapping slabs around the study area. (a) Planform view. The subducting Pacific (PAC) slab is shown in blue, and the Philippine Sea (PHS) slab is indicated in purple. The geometry and spatial extent of the two slabs have been determined seismically (Baba et al., 2002; Hirose et al., 2008a, 2008b, Kita et al., 2010; Nakajima and Hasegawa, 2006, 2007a, 2007b; Nakajima et al., 2009). The pink area indicates the aseismic slab estimated in this geochemical study. The white star indicates the 3D triple junction consisting of PAC, PHS, and the overlying arc crust at the corner of the mantle wedge, towards which slab-derived fluids are focused by suction force (negative pressure gradients). The direction of this suction force towards the wedge corner is roughly from the northwest to the southeast as indicated by the white arrow. Both (b) and (c) show 3D views from the northwest, i.e., the same as the fluid suction direction along the white arrow in (a). (b) is the view from an above-surface point, while (c) is the view from a below-surface point. In (b) and (c), the white star (the 3D wedge corner point) and the estimated aseismic PHS slab surface (pinkish area) are the same as in (a). After Nakamura et al. (2018).



☒ 3

Difference of the fluid influence from the two subducting slabs in terms of the distance from the edge of the Philippine Sea Plate. Yaxis on the left is the relative distance normalized by the Zao volcano, and the y-axis on the right is the absolute distance from the seismic plate edge. The average uncertainties are estimated to be ± 0.005 (kg fluid/kg mantle) for R_{fluid} (Nakamura et al., 2008). (1) The fluid amount from the Philippine Sea Plate (orange) is small compared with that from the Pacific Plate (green) on both the front and backarc sides. (2) On the front arc side, the fluid amount from the Pacific Plate (green square) is considerably larger than on the back-arc side. (3) On the back-arc side of the Pacific Plate, the opposite correlation is observed with distance from the edge, but observed only in places very close to the edge of the Philippine Sea Plate. The equations for Pacific Plate Front (green square), Philippine Sea Plate Front (orange square), Pacific Plate Back-arc (green cross), and Philippine Sea Plate Back-arc (orange cross) are $y = 0.3332x - 0.743$ with $R^2 = 0.8913$, $y = 0.6828e^{-1.518x}$ with $R^2 = 0.6196$, $y = 0.5762x^{0.8274}$ with $R^2 = 0.4943$, and $y = 0.3704e^{-12.89x}$ with $R^2 = 0.1969$, respectively. After Nakamura et al. (2018).

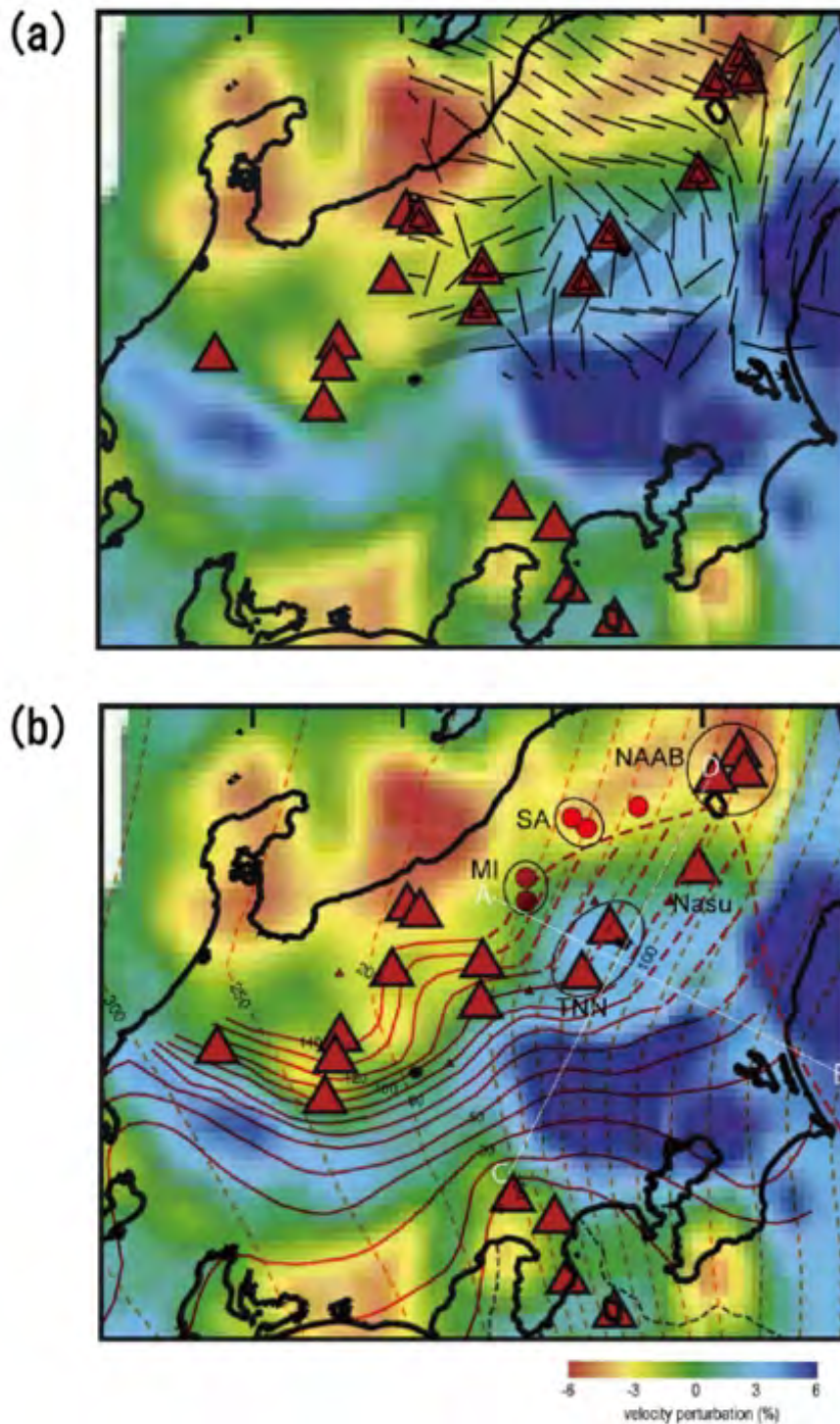


图 4

Seismic tomographic image (Nakajima and Hasegawa, 2007a), shear-wave splitting (Nakajima and Hasegawa, 2006), and the estimated extent of the aseismic Philippine Sea slab beneath the transition zone from Central to Northeast Japan. (a) Seismic tomographic image at 80 km depth (Nakajima and Hasegawa, 2007a) and shear-wave splitting (Nakajima and Hasegawa, 2006). (b) Depth contours for the Philippine Sea slab surface (red thick lines) and the Pacific slab surface (orange dotted lines) based on Nakajima and Hasegawa (2006), Hirose et al. (2008a, 2008b), and Nakajima et al. (2009). The extent of the aseismic Philippine Sea slab estimated in this study is shown by the red thick and dotted lines at its northeastern edge, while the southeastern part is based on Uchida et al. (2010). The boundary between the solid and dotted contours corresponds to the seismically determined edge. Red triangles indicate active volcanoes, while red circles indicate the Iiji, Masugata, Sumon, Asakusa, and Numazawa volcanoes as shown in Fig.1. After Nakamura et al. (2018).

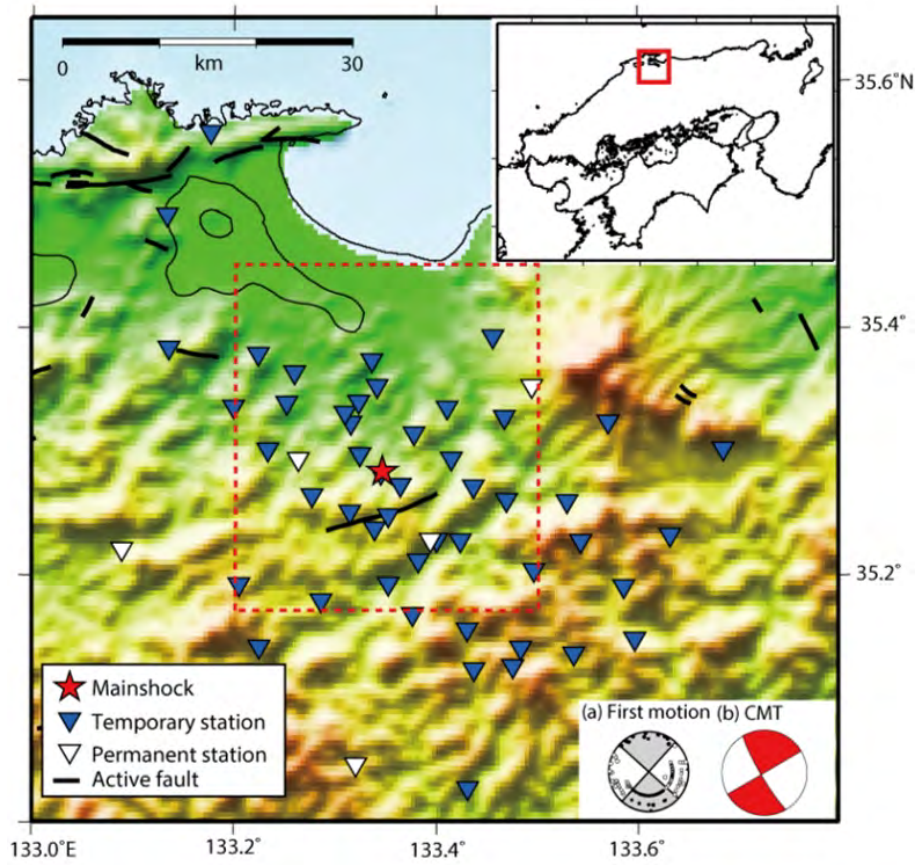


図 5

2000年鳥取県西部地震域での稠密観測点の分布。右下図は本震の初動メカニズム解及びモーメントテンソル解を示す。

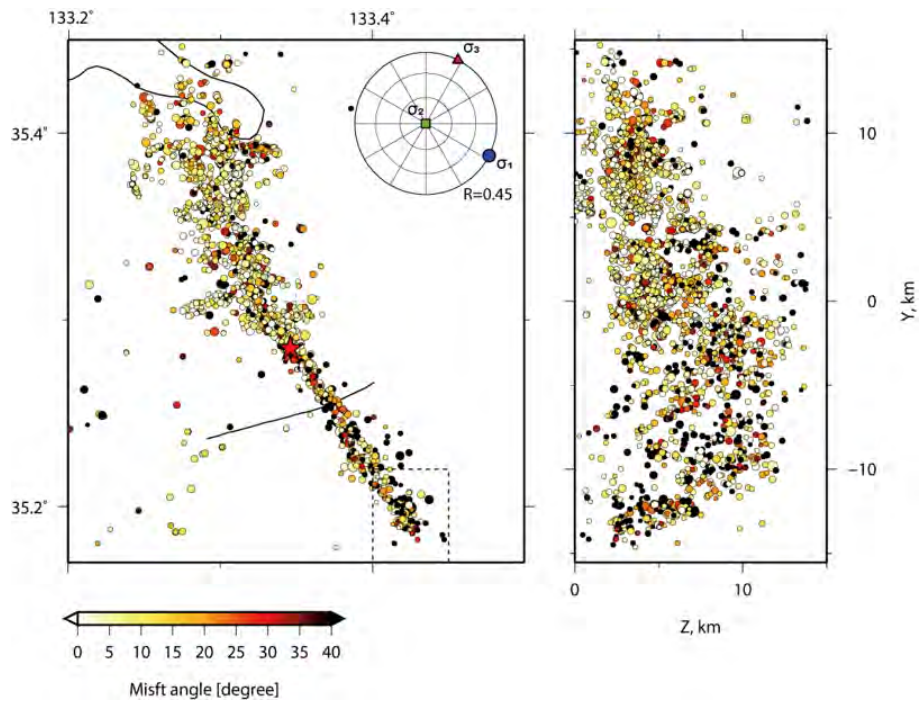


図 6

図上部のダイアグラムに示した応力場を仮定したときの余震メカニズム解の Misfit 角空間分布。(左) 図 1 点線矩形領域内に対応する震央分布図、(右) 南北断面に投影した深さ分布。星印は本震破壊開始点を示す。

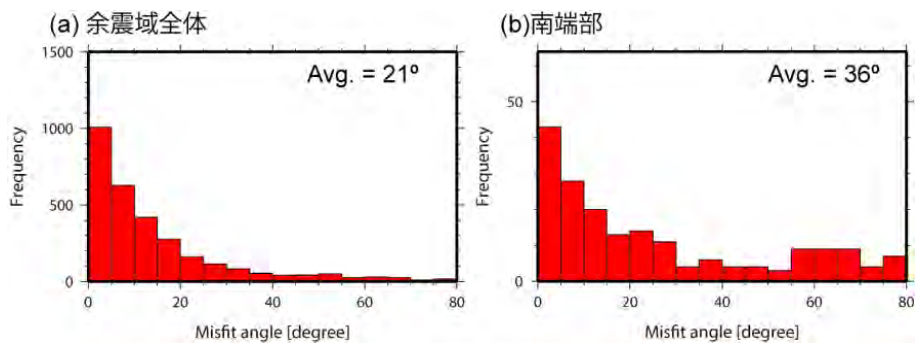


図 7

(a) 余震域全体及び (b) 余震域南端部 (図 2 矩形領域) における余震メカニズム解の Misfit 角の頻度分布及びその平均値。

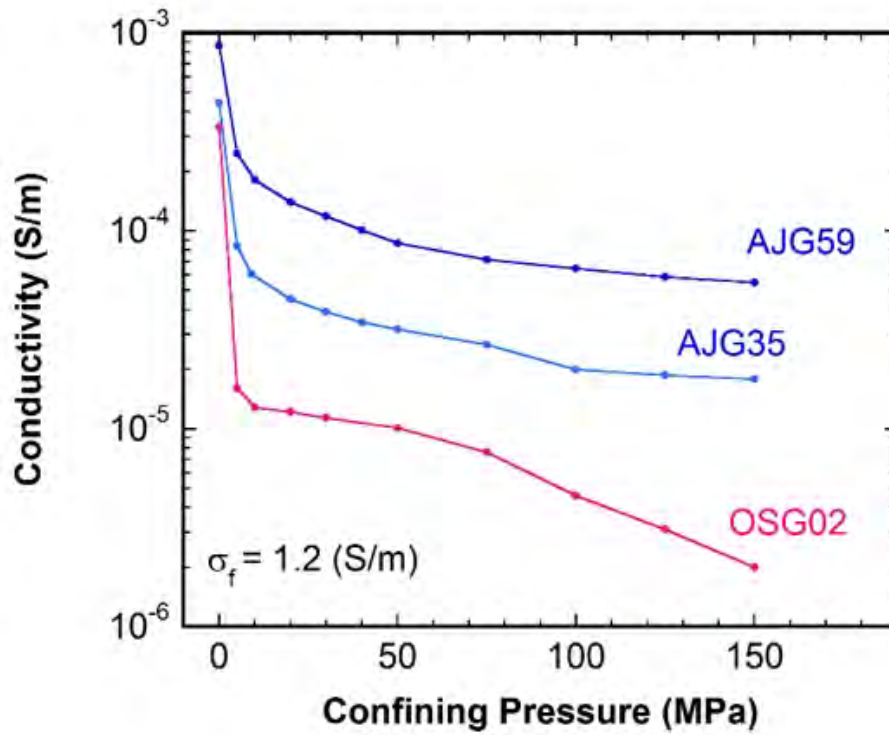


図8 含水した庵治花崗岩 (AJG) および大島花崗岩 (OSG) の電気伝導度の封圧依存性。0.1 mol/L 塩化カリウム水溶液 (電気伝導度 1.2 S/m) を含ませている。

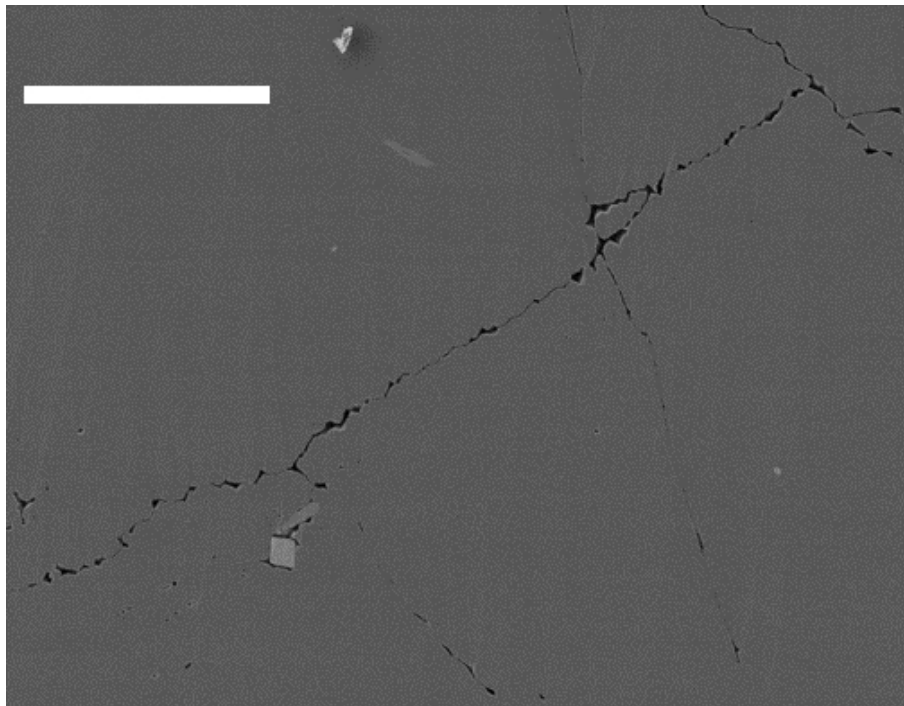


図9 庵治花崗岩の粒界。アルゴン・イオンでイオンミリングした研磨面を SEM で観察。

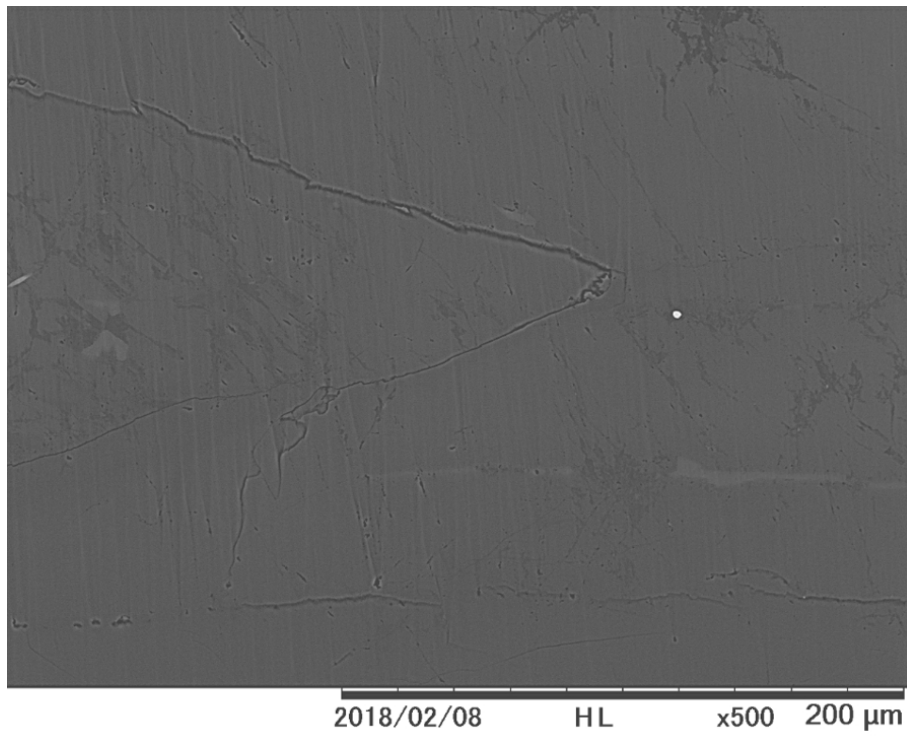


図10

大島花崗岩の粒界。アルゴン・イオンでイオンミリングした研磨面をSEMで観察。庵治花崗岩に比べて粒界の凹凸がない。

海溝型巨大地震後の粘性緩和

注) Maxwell 緩和時間は約4.6年と仮定

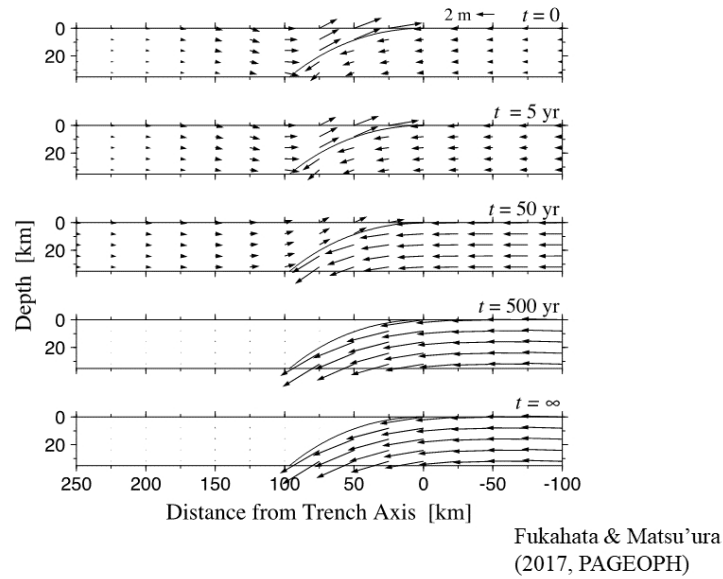


図 1 1

表層弾性，下層粘弾性の2層構造．プレート境界を模した2次元断面に， $t = 0$ で一様に5 mの変位の食い違いを与え、粘性緩和応答を調べた．下層の粘性率を 10^{19} Pa s として，標準的な地震波速度を仮定したら，その Maxwell 緩和時間（粘性率と剛性率の比）は，約4.6年となった．しかし，その10倍の時間（50年）が経っても粘性緩和は活発に続行中である．つまり，この図は、実質的な粘性緩和には，名目的な Maxwell 緩和時間よりも，ずっと長い時間がかかることを示している．

粘性緩和による変位速度の奇妙な振る舞い ~ 変位方向の逆転

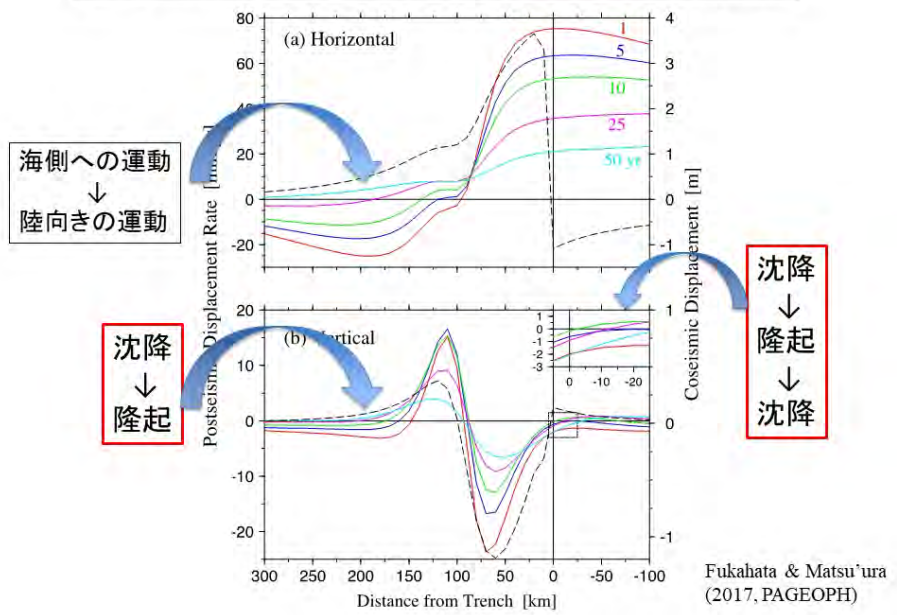


図 1 2

実質的な緩和時間が名目的な緩和時間に比べずっと長いことに加え，粘性緩和による変動の方向が変わることも稀ではない．この図では，内陸部において，粘性緩和により，当初海側へ運動していたのが陸側へと変化したこと（上図）や，沈降運動が隆起へと転じたこと（下図）が読み取れる．さらに，海溝付近の垂直変位は，もっと複雑な挙動を示す．

粘弾性解の緩和
時間と波数の関係

$$u_z(r, \varphi, z, t; d) = \frac{\Delta u}{4\pi} \int_0^\infty e^{-t/d|\xi|} \sum_{k=0}^2 Y_{2k}(z, t, \xi; d) a_k(\varphi) J_k(\xi r) d\xi$$

$$Y_{ik}(z, t, \xi; d) = Y_{ik}^E(z, \xi; d) - \sum_{m=1}^3 a_{ibm}(z, \xi; d) \{1 - \exp(-t/b_m(\xi)\tau)\}$$

3つの異なる緩和時定数(波数ξに依存する)の重ね合わせ

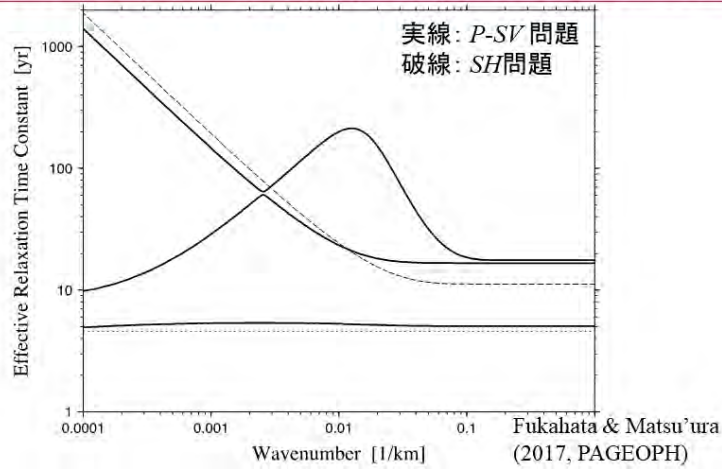


図 1 3

粘弾性解は、解析的に一番上の式のように書ける。ここで、時間依存性は全て Y_{ik} に入っている。 Y_{ik} は 2 番目の式のように書ける。ポイントは、 Y_{ik} が、3つ ($m = 1, 2, 3$) の緩和時定数(それらが全て波数に依存する)の重ね合わせとして表されることである。そして、緩和時定数が そのものではなく、 $b_m(\)$ に modify されてしまっている。図は、実効的な緩和時定数、 $b_m(\)$ の波数依存性を示したもの。 $b_m(\) = 1$ であれば、点線の通り(緩和時間が 4.6 年で波数に依存しない)となるが、実効的な緩和時定数は、1つを除き、波数に依存して大きく変化することがこの図から分かる。このように、複数の緩和時間が存在し、それぞれ波数に依存することが、図 1 2 で見られる複雑な挙動の原因である。

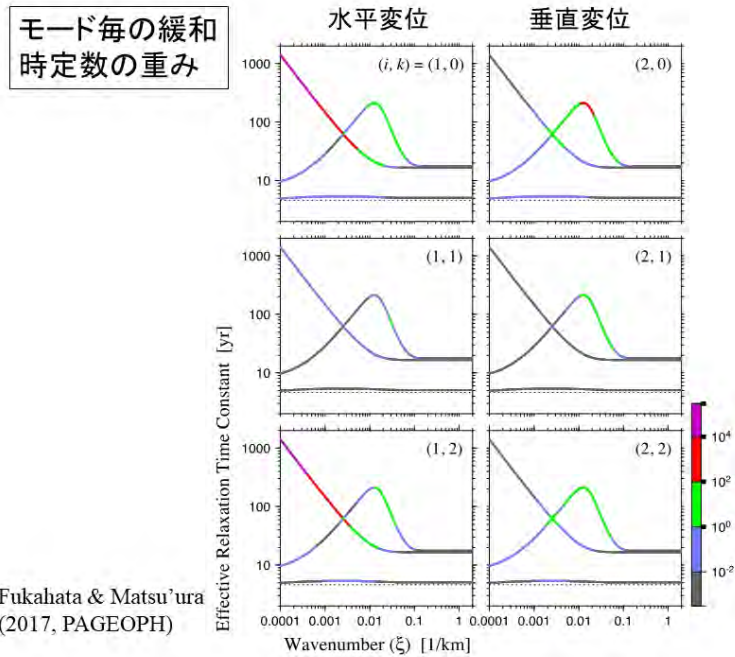


図 1 4

各緩和時定数の重みは、係数 a_{ikm} で表される。この図は、その係数の大きさを示したもの。係数の大きさが桁で変わること（右下のカラーバーがスケール）（紫や赤の部分が、粘性緩和において、主要な役割を果たす）。つまり、非常に長波長（数百 km 以上）の水平変位については、 $\tau = 4.6$ 年にも拘わらず、実際の緩和には数百年以上もの時間がかかることが分かる（左上・左下図）。垂直変位についても、50 ~ 100 km の波長の変形が、100 年以上の緩和時間を持つことが分かる（右上図）。これが、1 枚目のスライドで示した、実際の緩和には名目的な Maxwell 緩和時間よりもずっと長く時間がかかることの原因である。注）なぜ、緩和時定数が 3 つあるのか、またそれらが波数依存するのかという問題については、数学的には非常にクリアだが、物理的に説明することはなかなか難しい。

(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：

注水実験による内陸地震の震源断層の詳細な構造と回復過程の研究

(3) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(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) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

野島断層において第 2 回目の 1800m 深度注水実験を実施する。第 1 回注水実験(2013 年実施)と合わせて、震源断層の透水性構造、および震源断層から分岐断層にいたる詳細な破碎帯(透水性)構造を推定する。震源断層における透水性の経年変化を検出し、野島断層(震源断層)の強度回復過程について検討する。1800m 深度注水に伴う誘発地震を検出し、誘発地震の発生過程および詳細な断層構造と地震発生特性について解明する。野島断層および他の活断層(震源断層)について、断層深部構造(特に走向方向の構造不均質性)と本震時の破壊過程および回復過程に関する特性を抽出する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

野島断層での第 1 回目の 1800m 深度注水実験(2013 年 9 月)について、観測データの解析・モデリングを深化させる。まず、震源断層を深さ約 400m において貫通する 500m 孔での地下水位データについて、注水に伴う微小な変動を抽出し、拡散過程モデリングにより震源断層の透水係数を推定する。800m 孔底における歪み変動、地下水位変動、地表で測定された自然電位データについてもさらにモデル化を進め、野島断層の震源断層から分岐断層にいたる断層帯全体の透水性構造、および注入水の挙動を推定する。これにより、従来の 540m 深度注水に対して行った 800m 孔歪み変動および地下水位変動のモデリング解析(拡散過程モデル)の改善・高度化へのフィードバックを行う。

第 2 回目の 1800m 深度注水実験を 5 年度目(平成 30 年度)に実施する。野島断層の震源断層(最上部)の透水性構造の時間変化を検出し、強度回復過程について検討する。

野島断層上盤側の地表岩盤に設置されたアクロス震源の連続運転を実施する（各年度約2ヶ月間）。これにより、従来検出されていたアクロス震源～800m孔底地震計間の地震波の走時・振幅の経年変化についてさらに検証する。S波偏向異方性の測定も合わせて行い、地震波の走時や振幅変動の要因となる野島断層近傍の構造特性について検討する。

1800m深度注水に伴う誘発地震（極微小地震）の発生を検出する。1800m孔地震計の高速（10kHz）サンプリング波形の解析により、誘発地震の震源過程（震源パラメータおよびそのスケージング、初期破壊過程、等）を推定する。地表に設置する地震観測点も含めて高精度の震源決定を行い、断層トラップ波の解析とも合わせて、断層破碎帯と誘発地震の位置関係を明らかにする。誘発地震および定常地震活動について、800m孔地震波形の相互相関係数等にもとづいて震源精度以上に高い精度の震源分布特性（震源クラスター構造）を明らかにする。これらの結果に基づき、注水誘発地震および定常地震活動について、震源過程および発生特性の違い、およびそれらと断層微細構造との関係を明らかにする。

注水実験によらない地震学的な手法（地震波散乱係数やS波偏向異方性の経年変化）からも地震発生後の震源断層の回復過程を検出できる可能性がある。野島断層および最近発生した内陸地震の震源断層を対象として、断層深部構造（特に走向方向の構造不均質性）、本震時の破壊過程と回復過程の関係を系統的に調べる。

年度毎の計画概要は以下のとおり。

26・27年度：1800m深度注水実験（第1回）データの解析・モデル化、ボアホール連続観測・データ解析（地震、地殻変動、地下水）、アクロス連続運転、野島断層等の深部不均質構造および回復過程の地震学的解析

28・29年度：ボアホール連続観測・データ解析（地震、地殻変動、地下水）、アクロス連続運転、野島断層等の深部不均質構造および回復過程の地震学的解析

30年度：1800m深度注水実験（第2回）の実施および解析・モデル化、地震臨時観測・自然電位観測、アクロス連続運転、ボアホール連続観測・データ解析（地震、地殻変動、地下水）、野島断層等の深部不均質構造・回復過程の取りまとめ

（8）平成29年度の成果の概要：

1．注水実験における自然電位変動を説明するためのアナログ実験

これまでに観測された注水実験時の自然電位変動を説明するためのモデルや自然電位変動の大きさを決める要素についてアナログ実験により検証をめざす。今年度はそのための準備をすすめた。具体的には、1997年から2009年までの注水実験（540m深度）では、注水の開始と停止に対応して注水孔周辺部に負の電位領域が出現することが確認でき、その電位変動の大きさから地下の透水性に関する状況を推定してきたが、注水実験時に注水孔（1800m孔ケーシングパイプ）を電極と見立てた電位測定では逆に正に変動する現象が確認された。この影響する範囲は、測定値から見ると注水孔のごく近傍に限られているが、注水の操作に同期しているため注水に伴い生じた現象であると考えられるが、このような観測を実施していなかった初期の観測に基づく自然電位変動を説明するためのモデルでは説明ができない。また、2013年の注水実験（1800m深度）では、注水に同期した自然電位変動は明瞭ではなかった。これについて昨年度は、2013年の実験で注水深度を変更（540m→約1800m）したことによる影響などについて検討をおこなったが、従来のモデルではやはり説明が困難であった。その際に、注入する水については従来と同じであっても、流出力所周辺の地下水が海水組成の場合には自然電位変動の大きさを決める電位が小さくなる可能性も分かった（図1参照）。

注水時の自然電位変動については、基本的には注入水が周囲の地層中に拡散する際に発生する流動電位として解釈できるが、実際に観測される自然電位変動の中にはまだ理解できていない電位発生メカニズムも存在すると考えられる。そのメカニズムが従来の解釈にどのような影響を与えるのかも含めて、従来のモデルをまず定性的に検証する目的で、図2に示すような簡易なアナログ実験装置を準備した。実験室内での電位変動は小さくS/N比が悪く、再現性にも問題があるため計測機器は電池

駆動とし、電極についても現在は炭素電極を使用しているがインピーダンスの小さな小型の電極を検討している。

2. アクロス連続運転による野島断層近傍の地震波伝播特性の測定

2017年12月27日から2018年2月末までの予定で、野島断層近傍の地表岩盤に設置されたアクロス震源の連続運転を実施している（この報告では2月13日までの記録を解析し取りまとめた）。過去15回の連続運転（1999年6月～2017年1月の期間に各回1～2ヶ月間実施）と同じパラメータで運転し、アクロス震源と800m孔底地震計の間の伝達関数からP波およびS波の走時と振幅の経年変化を推定した。いずれの連続運転においても共通の周波数帯の応答を取り出して比較することにより、1999年～2018年にかけての経年変化を推定した。ただし、昨年度より800m孔地震計の上下動成分に異常な応答が確認されるため、1999年以降の全ての実験に対して水平動成分のみを用いて解析している。

P波およびS波の走時と振幅の経年変化を図3に示す。S波走時は各期間で±1ms程度のばらつきを持つものの、全体として1999年～2018年にかけて約2ms（ $2\text{ms}/500\text{ms} = 4\%$ ）程度、速くなる傾向がある。S波の振動方向による違いは特に見られない。P波走時はばらつきが大きいものの、全期間で約4ms（ $4\text{ms}/250\text{ms} = 1.5\%$ ）程度、速くなっている。振幅には各期間で±10%程度のばらつきがある。2011年以降については、S波走時の変化がほとんどないのに対して、P波走時は概ね速くなる傾向がある。後続波部分についても、上記と同じ伝達関数を用いて走時の経年変化を推定した（図4）。走時のばらつきが大きいものの数%程度、速まる傾向がある。これはP波部分の変動よりは小さい。以上の結果は、長期的には、断層近傍でのクラック密度の減少による地震波速度の増大（強度回復）を示唆している。ただし、1999年から2000年にかけては、特にP波で走時が増大（速度が減少）している。

2011年以降の実験で、S波走時の変化が小さい一方でP波走時が速くなっていることは、例えば、これらの期間ではクラック密度は変化しないままクラックの水飽和率が増加した等、水の動きが関与している可能性が示唆される。

3. その他

その他、1800m孔、800m孔および500m孔における地震、地殻変動、地下水の連続観測を継続するとともに各種の基本的な解析を行った。また、野島断層および他の内陸地震の震源断層や活断層について、深部構造やその不均質性、本震における破壊過程等の検討を行った。平成30年度に実施する第2回目の1800m深度注水実験の準備を行った。

(9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

(10) 平成30年度実施計画の概要：

野島断層での第2回目の1800m深度注水実験を実施する。500m孔地下水、800m孔地下水および歪み、地表自然電位の観測データの解析・モデリングを行い、野島断層の震源断層（最上部）の透水性構造を推定する。第1回目注水実験データとの比較により時間変化についても検討する。

1800m深度注水に伴う誘発地震（極微小地震）の発生を検出する。1800m孔地震計の高速（10kHz）サンプリング波形の解析により、誘発地震の震源過程（震源パラメータおよびそのスケール、初期破壊過程、等）を推定する。地表に設置する地震観測点も含めて高精度の震源決定を行い、断層トラップ波の解析とも合わせて、断層破砕帯と誘発地震の位置関係を明らかにする。誘発地震および定常地震活動について、800m孔地震波形の相互相関係数等にもとづいて震源精度以上に高い精度の震源分布特性（震源クラスター構造）を明らかにする。これらの結果に基づき、注水誘発地震および定常地震活動について、震源過程および発生特性の違い、およびそれらと断層微細構造との関係を明らかにする。

野島断層上盤側の地表岩盤に設置されたアクロス震源の連続運転を実施する（約2ヶ月間）。これにより、従来検出されていたアクロス震源～800m孔底地震計間の地震波の走時・振幅の経年変化についてさらに検証する。S波偏向異方性の測定も合わせて行い、地震波の走時や振幅変動の要因となる野

島断層近傍の構造特性について検討する。

注水実験によらない地震学的な手法を用いて、野島断層および最近発生した内陸地震の震源断層や活断層を対象として、断層深部構造（特に走向方向の構造不均質性）、本震時の破壊過程と回復過程の関係を検討する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

西上欽也・大志万直人・吉村令慧・加納靖之（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

東京大学地震研究所（山野 誠）

名古屋大学環境学研究科（山岡耕春・田所敬一）

静岡大学理学部（生田領野）

金沢大学理工研究域自然システム学系（平松良浩）

高知大学理学部（村上英記）

大阪市立大学理学部（山口 覚）

福山市立大学都市経営学部（向井厚志）

産業技術総合研究所（北川有一）

滋賀県立大学環境科学部（小泉尚嗣）

(12) 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：0774-38-4195

e-mail：nishigami.kinya.3r@kyoto-u.ac.jp

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

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：西上欽也

所属：京都大学防災研究所地震予知研究センター

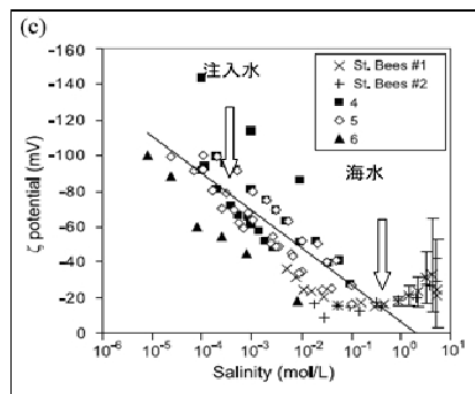


図1 塩分濃度と電位の関係（Jaafar et al., 2009 に加筆）。

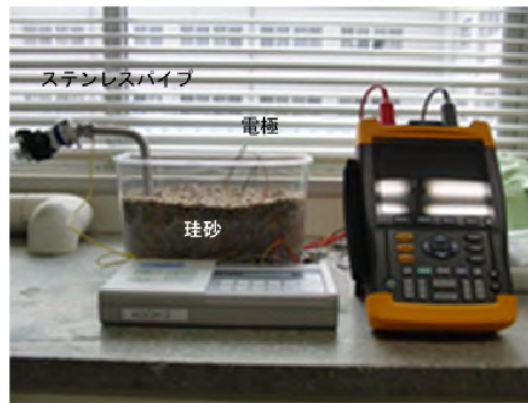


図2 注水に伴う自然電位変動のアナログ実験。

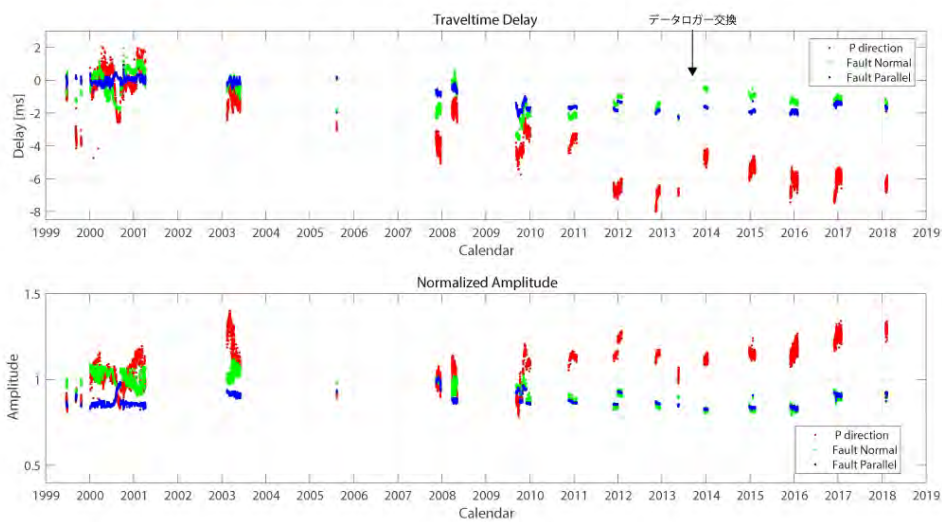


図3 1999年6月～2018年2月にかけてアクロス連続運転により測定された、野島断層近傍における直達波（P波およびS波）の走時（上）および振幅（下）の時間変化。走時の遅れについては2000年1-12月を基準とし、振幅比については2007年11-12月を基準とする。赤、緑、青はそれぞれ、P波、断層に直交するS波、および断層に平行なS波。

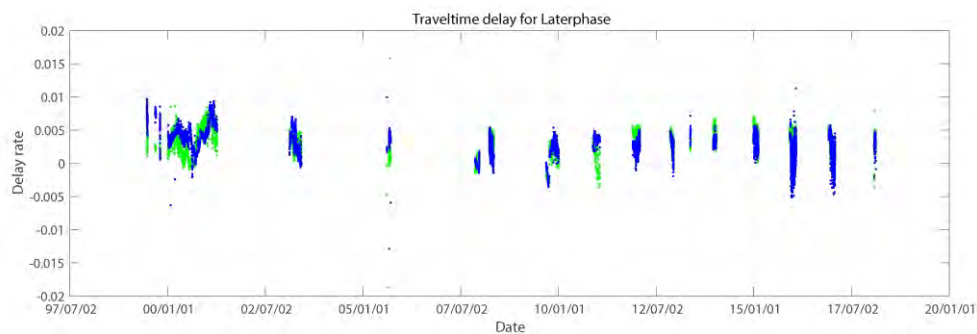


図4 1999年6月～2018年2月にかけてアクロス連続運転により測定された、後続波部分の走時の時間変化。2007年11-12月を基準とした走時遅れの割合を示す。緑と青はそれぞれ、震源方向の水平成分、震源直交方向の水平成分。

(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：

横ずれ型の内陸地震発生の物理モデルの構築

(3) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(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) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

(2) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

4. 研究を推進するための体制の整備

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

横ずれ型の内陸地震を主な対象として、断層への応力集中機構のモデル化、断層の強度低下のメカニズム解明、地震活動変化のメカニズム解明等を行い、長期的な発生予測手法の改善につなげることが本研究全体としての到達目標である。以下に手法毎の到達目標の概要を述べる。

跡津川断層周辺の変形パターンが断層走向方向にどのように変化するかを明らかにして、横ずれ型の活断層のモデル化に反映させる。複数の微小地震活動域において、高精度の地下構造および応力分布を求め、他のデータと合わせて総合的に解析し、内陸地震の発生場の特徴を解明する。比抵抗構造研究により、内陸地震の断層の端の状態を解明し、断層の端に、地震の規模を規定する不均質構造があるのかどうかを検証する。四国地方を中心に基盤的な地殻・マントル上部の比抵抗構造研究を行い、主にフィリピン海スラブ周辺の物性状態の解明、さらには、定量的内陸地震発生モデルの構築等に貢献する。御嶽山周辺域で観測された高密度な地震データから、地震メカニズムトモグラフィ法により三次元間隙流体圧場を推定し、内陸地震の発生における間隙流体の役割を理解する。過去の歴史記

録等から明らかになっている南海トラフ巨大地震前後の西南日本における内陸地震活動の活発化について、現実的なモデルを用いた数値シミュレーションを通して活発化のメカニズムを考察することにより、今後数十年間に内陸地震の発生可能性の高い場所についての検討を行う。近年発生した内陸地震の前後の地震活動と地殻変動データの時間変化を詳細に解析し、地震活動変化のメカニズムを解明するとともに、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。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題においては、地震、地殻変動、電磁気観測・解析、数値シミュレーション、地震活動解析など、色々な手法を活用するとともに、個別に得られた結果を総合することにより、目標の達成を計る。以下に、手法別に5か年計画の概要を述べる。

・地殻変動とモデリング：

跡津川断層周辺を対象としてGPS観測とInSAR解析を実施する。GPS観測から得られた変位場を用いてInSAR干渉画像中の長波長ノイズを軽減することにより、高精度かつ高空間分解能の面的な地殻変動分布を明らかにする。

・比抵抗観測とモデル化：

長野県西部地震震源域の南西端周辺において可聴域MT観測を行い、北東域の既存稠密観測データと統合して、震源断層全体を包括する領域について三次元比抵抗構造を推定する。基盤的比抵抗構造研究として、主に四国地方の比抵抗調査空白域において広帯域MT観測を行い大局的な比抵抗構造の地域特性を解明する。

・地震観測とモデル化：

近畿地方北部、山陰地域、長野県西部地震震源域等において実施中のオフライン臨時観測装置を用いた稠密地震観測を継続し、定常観測網の地震波形データと統合処理して、3次元地震波トモグラフィ、レシーバ関数解析、反射波解析による地殻構造解析を行う。また、極微小地震をも含んだ大量のメカニズム解を決定し、それを基に詳細な応力場を求める。電気比抵抗構造や表層地質等の情報も合わせて、活断層の分布やそれによる内陸大地震、また常時発生す定常的な地震活動の地域差が、どのような物理的要因によって支配されているかを解析・考察する。

・間隙流体圧場の推定：

名古屋大学定常観測等の地震波形データから、詳細な地震の震源分布とメカニズム解を推定しデータを蓄積する。これらのデータから御嶽山周辺域のテクトニック応力場と間隙流体圧場を三次元的に推定し、内陸地震の発生や地震火山相互作用について考察する。

・西南日本活動期のシミュレーション：

計算機上で南海トラフにおける固着と滑りや東北日本と西南日本間の東西圧縮、内陸活断層におけるすべり相互作用を考慮して、大規模計算手法を用いた現実的な数値モデルを構築する。数値モデルを用いて、西南日本内陸における応力場の変化や内陸活断層におけるクーロン応力を計算することによって、南海トラフ巨大地震と西南日本内陸地震の活発化・静穏化の因果関係を解明するとともに、現在の地殻活動の再現と今後の予測を試行する。

・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。北摂・丹波地域における地震活動と大地震との関係や活動変化の原因について、地震メカニズム解や地下構造等の解析により、解明を試みる。さらに、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。

(8) 平成29年度の成果の概要：

・地殻変動とモデリング：

跡津川断層系においてGNSS観測点のデータ回収と保守を行った。また、ALOS衛星が撮像したSAR

画像の長波長ノイズを GNSS データから得た速度場を用いて補正した上で InSAR 時系列解析を行い、地震間地殻変動を非常に高い解像度で検出することに成功した (Takada et al., 2018)。変位勾配は跡津川断層系の主要な断層の一つである牛首断層を挟んで大きな勾配を持つことが明らかになった。このように、InSAR と GNSS を組み合わせることで、歪集中帯内部の歪が不均質であることが明らかになってきた。さらにこの時系列解析の妥当性を検証するために、解析領域をさらに東西方向に広げ、また歪集中域において総変位量が時間とともにどのように増加しているか解析した (図 1)。総変位量は時間に完全に比例するわけではないが時間とともに着実に増加しており、水蒸気に起因する擾乱の影響を取り除ききれていないものの、地殻変動を検出できていることを結論づけた。

2016 年 10 月 22 日に発生した鳥取県中部の地震 (Mj6.6) について地殻変動の解析を行った。この地震は、事前に京大防災研による稠密 GNSS 観測網が設置されていた地域に発生したため、M6 級の内陸地震としては異例とも言える豊富な測地データが利用できる。

地震時及び地震後のすべり分布の推定には、線形インバージョン手法 (Nishimura, 2009) を用いた。地震時すべりのインバージョンデータとして、InSAR、GNSS、強震計による変位データを用い、地震後 7 ヶ月間の余効変動の解析には、地震後の InSAR データの時間分解能が限られていたため、GNSS データのみを用いた。インバージョンの観測変位と計算変位を比較すると全体的な変位パターンは推定されたモデルで良く説明することができる。

図 2 に結果を示した。推定された地震時すべり分布より、すべりの大きな領域は震源の北西側にあり、地表にはすべりは達していないことがわかった。最大すべり量 1.34m であり、すべり分布の誤差は 3-20cm で、浅部で小さくなる傾向がある。強震波形を用いた震源過程解析からは、すべりの大きな領域が 2 つあることが示されている (例えば、Kubo et al., 2017) が、本研究ではすべりの大きな領域は 1 つで単純な分布が推定された。地震モーメントは、剛性率を 30GPa とすると、 $2.34 \times 10^{18} \text{ N}\cdot\text{m}$ (Mw 6.18) と推定され、F-net モメントテンソル解 (Mw 6.2) とほぼ等しい。

地震後 7 ヶ月間の余効すべり分布から、余効すべりは震源断層の地震時すべり域の浅部に発生していることがわかった。余効すべり量は最大 14cm に達し、深さ 6km より深部では有意なすべりは推定されなかった。すべりの推定誤差は 3-10mm である。余効すべりのモーメントは、 $2.54 \times 10^{17} \text{ N}\cdot\text{m}$ (Mw 5.54) と推定され、本震の ~11% に相当する。地震時すべりと余効すべりが相補的な空間分布をしていることは、余効すべりが本震の応力変化によって駆動されたことを示していると考えられる。

・比抵抗観測とモデル化：

2014 年度以降、四国地方の大局的な比抵抗構造の地域特性を解明するために、比抵抗調査空白域において経度及び緯度方向に 10 分毎のメッシュを設定し、基盤的比抵抗構造研究を実施している。2017 年度は、夏期までに土地の現況ならびにノイズ状況に関する予備調査を行い、その結果をふまえ、10 月下旬から 11 月末日にかけて、四国地方中西部ならびに中東部地域 (領家帯 1 地点、三波川帯 2 地点、四万十帯 4 地点) において計 7 地点で、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 3)。広帯域 MT 法観測にはフェニックス社製の測定器 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 成分を測定した。

観測により得られた四国地方の見かけ比抵抗探査曲線ならびに位相差曲線を図 4 に示す。今回も地磁気擾乱現象を記録することができたため、北部地域の観測点では周期数 10 秒より長周期帯域では探査データが得られない地点が存在するが、南部地域では周期 1000 秒超までの広い周期帯にわたりデータを取得することができた。見かけ比抵抗曲線をもとに探査曲線を見ると、既存の観測調査で指摘された特徴、すなわち、南部地域では周期数 10 秒から 100 秒あたりで最小値を示すという傾向が、共通してみられることが再確認された。

これらの新規取得データを加えたとしてもまだ測点密度には地域により偏りがあるが、四国全域にわたる空間的な比抵抗構造の特徴をみるため、新規ならびに既存データを活用・統合して各地点で得られた determinant impedance データに対して 1 次元 Occam inversion を実施し、深度別比抵抗分布図を作成した (図 5)。ここでは、例として 2 つの深度について図示する。まず、深度 2km の比抵抗分布は、四国地方の中央構造線をはじめとする顕著な構造線の走向方向とおおむね調和するように見える。地

質帯ごとの地下構造の特徴が比抵抗構造として反映されているのかもしれない。次に、深度 15km の比抵抗分布図は、中央構造線周辺域を境とする相対的な高/低の比抵抗構造の存在を示唆する。この分布図と深さ 15km 以浅の震央分布との対応をみれば、中央構造線周辺より北側では高比抵抗域と明瞭な対応がみられる。一方、南側では四国地方の中央部を北北東から南南東に抜ける高比抵抗の帯を境として東側で地震活動は発生しているように見えるという興味深い知見を得た。分解能をあげた面的な観測をすることでこの高比抵抗領域の実体を追跡する必要がある。また、気象庁の一元化データを用いて推定された下部地殻深度 18km の P 波速度偏差図(津田、2017)との対応をみれば、低速度域と低比抵抗領域との対応関係が確認された。

最後に、本観測では、共同利用の手続きを経て、東京大学地震研究所ならびに京都大学防災研究所が保有する観測機材を使用した。また、日鉄鉦コンサルタント(株)ならびに 2017 年度鳥取県環境学術研究振興事業より参照点磁場記録の提供を受け、リモートリファレンス処理に用いたことを記す。

・地震観測とモデル化：

2016 年鳥取県中部の地震の発生を受けて、その断層端の特性を解明することなどを目的として、京大、九大および東大地震研により余震観測を行った(新学術領域「地殻ダイナミクス」との共同研究)。図 6 に余震観測点の分布と震源分布を示す。余震観測点は、断層南端をカバーするように、南側に広く展開されている。余震観測点数は合計で 69 点、密なところは約 500m スパンで配置されている。図には、2016 年 10 月 22 日から 12 月 15 日までに発生した、メカニズム解を決定した 9251 個の余震の震源分布を示している。一元化震源に比べて 2km ほど浅い分布が得られている。水色は、国土地理院による SAR および GNSS により推定された矩形断層一様すべりモデルを長さと同幅の 4 方向に 1km ずつ拡張したものである。傾斜角 88 度の西傾斜となっている。すべり量については M_w を変えないように端から 2km において線形の taper をかけた。水平位置は、下記に詳しく述べるように、余震のメカニズム解を説明するために、走向方向に 0.75km 北へ、それと直交方向に 0.25km 西へシフトさせている。

図 7 は、余震域の南端付近における P 軸および T 軸の方位分布を深さ 5km 水平面に投影したものである。面から 0.5km 以内、メカニズム解の精度が Kagan 角で 60 度以内のもののみを示している。P 軸、T 軸とも、推定断層の中央部 ($X=-0.42$ 付近) を境に、その東西で方位にギャップが見られる。T 軸については、その東側では走向が立っているのに対して、西側では横方向に寝ている傾向が見られる。これは、Yukutake et al.(2007) による鳥取県西部地震の南端付近で発見されたものと同様のもので、本震による応力変化と調和的な方位分布となっている。図 8 右の応力変化の主軸表示に示されているように、断層を境に、東側では断層の走向方向に引っ張り、西側では逆に圧縮応力が働くためである。メカニズム解の方位のギャップが見られるところが、当該深さにおける断層の位置になるように、推定断層の位置を調整している。

図 7 左における各 P 軸の丸印の色は P 軸の plunge を示している。推定断層の東側、南端付近に正断層を示す P 軸の plunge の大きな余震が集中して起こっている。図 8 に、上記のすべりモデルから計算される、南端付近における本震のすべりによる応力変化を示した。一部に、sunfault 先端の局所的な応力集中が現れてしまっているが、その領域は限られているため影響は無視出来る。図 8 左は、正断層に対する dCFP であり、正断層の余震が起こっている領域で大きな値となっている。これは、そうなるように断層の水平位置を調整しているためである。このように、P、T 軸の方位分布のギャップおよび正断層型の余震の起こっている領域がすべり分布から計算される応力変化と調和的になるように断層モデルの水平位置を調整したが、図 6 に示したように、余震分布全体とよく調和している。

図 7 右において、T 軸の丸印の色は、最適なメカニズム解の 2 つの節面に対する本震のすべりによる応力変化 (dCFP) の大きい方を示した。断層近傍を中心に dCFP が大きくなっており、この深さでは 88% の余震に対して dCFP がプラスの値となっている(断層の位置を調整することによりさらに大きな % とすることも可能である)。用いたすべり分布では、端から 2km に線形の taper をかけているが、これを 4km にしたものの、またすべり分布を円形断層的にしたものでも同様な傾向が見られており、すべり分布の詳細には依存しない安定した結果となっている。余震域北側では防災科研の解析によりサブ

イベントが推定されておりすべり分布が複雑な可能性があるため、今回は、南端付近のみの結果を示したが、北端付近の余震のメカニズム解も単純なすべり分布で説明が可能である。

これらのことは、鳥取県中部の地震に関しては、単純なすべり分布にも関わらず、余震は、基本的には、本震による応力変化により引き起こされていることを示している。鳥取県西部地震の結果とも調和的である (Yukutake and Iio, 2017)。鳥取県中部の地震に関しては、余震の発生において、間隙水圧による強度低下を考慮しなくても良い可能性を示唆している。

図 8 中は、本震と同じ横ずれ断層に対する dCFF を示している。断層端で大きな値となっているが、図 7 を見ると、それに対応するような横ずれ型の余震は、その付近では起こっていない。図に示した範囲に限らず、余震域ではどこでも、さまざまな方位を持った余震が発生しており、既存の弱面に関して、本震に調和的なものも当然存在すると推定される。それにも関わらず、応力変化の極めて大きな断層端において、応力変化と調和的な余震が発生しないことは、断層端において、本震を起こしたような横ずれ型のせん断応力が断層の強度よりはるかに小さいことを示唆している。その近傍では正断層など他のタイプの余震は起こっていることを考えると、断層端において強度が非常に大きいためではなく、せん断応力が小さいためであると推定される。断層端において、地震前に応力緩和が起こっていたか、あるいは、そもそも応力集中が起こっていなかった可能性が考えられる。いずれにしても、大地震前の応力場の不均一により、来るべき地震のサイズが規定されており、断層端は、せん断応力が小さい特殊な領域である可能性が考えられる。この推定が正しければ、今後、隣接領域で大地震が続いて発生する可能性は極めて低いものと予想される。

近畿地方北部、山陰地域、長野県西部地震震源域等においてオフライン臨時観測装置を用いた稠密地震観測を継続し、定常観測網の地震波形データと統合処理して、地殻構造解析を行っているが、図 9 に、近畿地方北部における S 波の反射法解析結果を示した。この地域では、Aoki et al. (2016) により北落ちの反射面が明瞭にイメージングされたが、その解析手法では、水平な反射面を仮定していた。反射面が傾斜している場合には反射点の位置が異なる可能性があるため、傾斜する反射面を考慮したイメージングを行った。その結果より広い範囲で反射強度の大きな領域を推定することが出来た。図は深さ 30km の水平面における結果を示す。従来は明瞭でなかった花折断層近傍においても、北落ちの反射面が推定されている。また、図は深さ 30km の結果であるが、花折断層および西山断層の近傍で反射強度が大きい傾向が見られる。これは、断層の直下の下部地殻最深部に、地殻流体が集中している可能性を示している。

・間隙流体圧場の推定：

御嶽山周辺地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 (2017 年 1 月 ~ 2017 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、7096 個の地震の震源を決定した (図 10)。H29 年度は 6 月 25 日に御嶽山の南東麓で Mj 5.6 の中規模地震 (長野県南部の地震) が発生したため、1 年間に処理した地震活動の総数は昨年の 1.7 倍以上にも及んだ (6 月 ~ 8 月の地震波形処理には未処理がある)。また、図 10 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 304 個が含まれてる (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ている。

名古屋大学では、長野県南部の地震の発生を受け、本震当日に震源域付近に 2 点の臨時観測点を設置し、地震活動の把握に努めた (図 12)。本震の震源は、緯度 35.8668 度、経度 137.5886 度、深さ 3.4 km と推定された。活発な余震活動は、本震震源の周りに約 3 km の広がりを持って分布していた。本震の P 波初動の押し引き分布を調べたところ、この地震は西北西 - 東南東方向に圧縮軸を持つ逆断層型の地震であった。余震の震源分布から、東傾斜の断層が動いたものと推定される。また、本震発生の約 3 時間前 (6 月 25 日 4 時 19 分ごろ) に、本震震源のほぼ直下で、本震と似たメカニズム解を持つ逆断層の前震 (M 1) が発生していたこともわかった。また本震発生の当日に、M 3 以上の余震が 12 個発生した (図 12a)。これらの地震のメカニズム解は、本震と同じタイプの逆断層運動と、西北西 - 東南東方向に圧縮軸を持つ横ずれ断層運動に分かれる。後者の横ずれ断層運動は、1984 年長野県

西部地震 (Mj 6.8) と調和的であった。また本震発生の翌日から約 1ヶ月間 (2017 年 6 月 26 日 ~ 7 月 31 日) に、震源域で M3 以上の地震が 14 個発生した (図 12b)。メカニズム解のタイプは本震当日の地震と似ているが、横ずれ運動型の地震の割合が相対的に増えたことがわかった。

次に、地震メカニズムトモグラフィー法 (Terakawa et al., 2010, 2014) により、御嶽山周辺域の間隙流体圧分布を調べた。この手法では、応力場に対する地震の断層運動の向きを調べて間隙流体圧場を推定するため、精度の高いメカニズム解と信頼のおける応力場の情報が必要となる。メカニズム解の推定誤差は、基本的にはランダム誤差であり、解析結果に偏りをもたらす原因とはなりにくい。一方、応力場の推定誤差はモデル誤差であり、間隙流体圧分布の推定結果に偏りをもたらす可能性が高い。これまでに、御嶽山周辺域の間隙流体圧分は、日本列島全域を対象とした空間解像度 20 km 程度の広域応力場 (Terakawa & Matsu 'ura, 2010) を基に、名古屋大学の臨時地震観測 (2009 年 8-11 月、2010 年 6 月-11 月、2011 年 6-11 月) 及び定常地震観測 (2012 年 5-8 月) で得られた地震のメカニズム解から推定されている (Terakawa et al., 2013)。しかし、数 km 程度の解像度で間隙流体圧分布を求めるためには、より高解像度の応力場が必要である。

本研究では、名古屋大学の定常地震観測で得られた地震のメカニズム解 (解析期間 1: 2012 年 5 月 ~ 2014 年 7 月、 $M > 1$) から推定された解像度 2-5km 程度 (以後、解像度 5 km と省略する) の地域応力場 (Terakawa et al., 2016) を用いて、Terakawa et al. (2013) と同じデータセットから間隙流体圧場を推定し、参照した応力場の違いによる間隙流体圧場の推定結果への影響を調べた (Terakawa, 2017)。図 13 は本研究により推定された御嶽山周辺域の 3D 間隙流体圧場 (Terakawa, 2017) であり、図 14 は 2 つの解析による間隙流体圧分布の推定結果 (Terakawa et al., 2013; Teakawa, 2017) を比較したものである。また、図 15 は名大定常観測データによる解像度 2 - 5 km の御嶽山周辺域の地域応力場と F-net カタログによる解像度 20km の広域応力場を比較したものである。同じデータを用いた 2 つの解析で有意な違いが生じる原因は、参照した応力場の違いである。地域応力場と広域応力場を比較すると、御嶽山の北麓ではどちらもこの地域の大きな特徴 (北西-南東に最大圧縮軸を持つ横ずれ型の応力場) を推定しているが、御嶽山の東麓 ~ 南麓では主応力軸の向きで平均 50 度程度差がある (図 15a-b)。具体的には、地域応力場では、北麓と同様に北西-南東に最大圧縮軸を持つ横ずれ型の応力場となっているが、広域応力場では北西-南東に最大圧縮軸を持つ逆断層型の応力場となっており、両者の応力テンソルの内積をとって比較すると主応力軸の向きで平均 50 度程度差がある (図 15c)。このため、地震メカニズムトモグラフィー法による 2 つの解析結果は、北麓での間隙流体圧場は安定して推定されているが、応力場の差の大きい御嶽山の東 ~ 南麓では推定値に有意な違いが見られた。御嶽山の東麓 ~ 南東麓では活発な微小地震活動が発生しており、これらのメカニズム解はほとんどが横ずれ断層型である。これらのイベントは、地域応力場の下では最適面でのイベントであるが、広域応力場を参照すると非最適面でのイベントとなる。このため、広域応力場を基にした従来の研究 (Terakawa et al., 2013) では、これらの微小地震データにより系統的に間隙流体圧場を過大評価する傾向があることがわかった。

地震メカニズム法により正しく間隙流体圧分布を推定するためには、応力場の推定誤差を本手法に取り入れた解析を行う必要がある。本研究では、各データ (メカニズム解) に対して、震源域の応力場を推定誤差の範囲で変動させ、そのイベントを引き起こした平均的な間隙流体圧レベルを見積もり、これらをデータとすることで簡易的に応力場の推定誤差を考慮した間隙流体圧分布の推定を行った (図 16)。この結果、御嶽山の北麓に 50?20 MPa 程度 (図 13 の A、図 16b)、東麓に 30?10 MPa 程度 (図 13 の B、図 16c-d) の間隙流体圧場の高まりが存在した可能性があることがわかった (Terakawa, 2017)。

更に、2012 年 9 月 ~ 2014 年 7 月 (解析期間 2) までのデータを用いて、同様の FMT 解析を実施した。この解析期間 2 においても、東麓に 15?5 MPa 程度の間隙流体圧場の高まりがあり、深い領域 (深さ 7.5 km) で明瞭であることが確認された。東麓の間隙流体圧場の高まりは、解析期間 1 に比べてやや南側にシフトしているようにも見える (図 17e)。しかし、北麓の高まりは確認できなかった。本研究の結果、東麓では、少なくとも 5 年間に亘って高圧な間隙流体圧場が維持されていることがわかった。このような高圧流体が活発な微小群発地震活動を継続させる重要な原因になっている可能性がある。また、本研究で比較的安定した間隙流体圧の高まりが推定された位置では、これまで別種のデー

夕と手法による解析・分析からも流体の存在が指摘されてきており、本手法による解析結果の妥当性を指示するものである。

・西南日本活動期のシミュレーション：

計算機上で南海トラフにおける固着と滑りや東北日本と西南日本間の東西圧縮、内陸活断層におけるすべり相互作用を考慮して、西南日本内陸における応力場の変化や内陸活断層におけるクーロン応力を計算することによって、南海トラフ巨大地震と西南日本内陸地震の活発化・静穏化の因果関係を解明することが本研究の目的であるが、すべり相互作用の計算に必要な断層ジオメトリを実データに合うように設定するために、H29年度はブロック断層モデルを用いた地殻変動のモデル化を前年に引き続き行った。本年度の主な改良点としては、ブロック内で一様の非弾性変形を考慮してモデル化を行った点である。

図 18 に結果を示す。推定されたブロック相対運動と内部変形速度（青矢印）を見ると、北陸ブロック (HO)、中部ブロック (CH)、琵琶湖ブロック (BI)、大阪ブロック (OS)、四国ブロック (SH)、九州中部ブロック (CK) で、10nanostarin/yr 以上の顕著な内部変形が生じていることが推定された。これらは、ブロック内部にある活断層や微小地震活動に表されるような変形が、内部一様非弾性変形として推定されていると解釈される。また、ブロック境界における相対変位速度は、内部変形を考慮すると小さくなる傾向があり、中央構造線、濃尾断層帯、糸魚川-静岡構造線断層帯に相当する境界ではそれぞれ、3-9mm/年、1-2mm/年、1-5mm/年と推定された。これらは、地質学的なすべり速度とほぼ一致する。それ以外の活断層に対応するブロック境界では、依然として本研究による測地学的変位速度が地質学的変位速度を上回る場合が多いが、ブロック内部変形を考慮することの重要性が明らかとなった。

・地震活動変化：

昨年度は、1985 年から兵庫県南部地震の直前までの気象庁一元化震源データに非定常 ETAS モデルを当てはめ、常時地震活動度 (background rate) μ 値と余震生産率 (aftershock productivity) K 値の時間変化を求め、兵庫県南部地震の約半年前の群発地震活動に対応する期間で常時地震活動度 μ 値が大きくなったことを示した。今年度は、北摂・丹波地域における地震活動と大地震との関係の解明のために、時空間 ETAS モデルにより地震活動の時空間変化の検討を行った。

内陸大地震の発生前の地震活動変化と GNSS による地殻変動の関係の調査を行った。先行研究により、2004 年新潟県中越地震と 2007 年新潟県中越沖地震の震源域近傍の GNSS データには、これらの地震に先行する変化が指摘されている (Ogata, 2007, 2011)。先行研究では、GNSS の座標値として国土地理院 F2 解が用いられているが、その後国土地理院では GNSS の基線解析手法が更新され、より日々の座標値のばらつきが小さい F3 解が公表されている。また、京大防災研でも精密単独測位法 (PPP) を用いた座標値 (以下、PPP 解と呼ぶ) を GEONET 全点において算出している。そこで、本研究ではこれら最新の座標値を用いて、先行研究が指摘した 2 つの地震前の変化を再検討し、それぞれの解析手法による座標値間に系統的な違いの有無についても検討を行った。

Ogata(2007, 2011) の解析に準じて、まず基線長の時系列の地震前の線形トレンドを除去し、その残差成分の解析を行った。本解析と先行研究の解析の違いは、線形トレンド推定時にアンテナ交換や地震時のステップを同時推定したかどうかという点のみである。Ogata らは、ステップ前後のそれぞれ 31 日間の中央値の差をステップ補正量として用いたが、本解析では最小自乗法で線形トレンドとともにステップ量を補正した。

上記のような補正を行った座標時系列の F2 解、F3 解、PPP 解は、調和的であり、変動の方向は全ての解で一致する。唯一見られた顕著な違いは、観測点 0563 (福島県南会津町) に関連する基線については、2002 年 2 月以降に F2 解、F3 解に対して、PPP 解の短縮が加速しているという点のみである。

2004 年新潟県中越地震、2007 年新潟県中越沖地震の基線長データ解析より、先行研究で指摘されたように、いくつかの基線で長期トレンドからずれが地震の 2 年前から始まっていることが確かめられた。しかし、本解析によるトレンドからのずれは、先行研究よりも大きいものが多く、その空間パターンも明瞭ではなかった。

次に、地震 2 年前からの変化のパターンを解釈するために、観測点 0232 (新潟県佐渡市) に対する

中越地域の相対水平変位速度場を、基準期間(中越地震の場合は1998-2000年、中越沖地震の場合は1998-2004年)とそれぞれの地震前2年間に於いて計算した。速度変化の推定は、線形、年周、半年周の関数をフィッティングした線形成分を用いている。そして、基準期間と地震前2年間の速度の差を計算した結果を図19に示す。図19より、2004年中越沖地震の前の期間に2007年中越沖地震の震源域の近くで西向きの変化が見られる。また、中越沖地震の後には、中越地震と中越沖地震の震源域に集中した短縮が見られる。この結果は、Meneses(2014)にも指摘されている。西向きの変化は、2007年中越沖地震の震源核形成が2004年以前から始まっていたことを示すものであり、非地震性断層すべりがこの地域の変形に重要な役割を果たしていることを示しているのかも知れない。そのような可能性を確かめるためには、定量的なモデル化が必要であるが、来年度以降の課題としたい。

- (9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Iio, Y., Yoneda, I., Sawada, M., Miura, T., Katao, H., Takada, Y., & Horiuchi, S. (2017). Which is heterogeneous, stress or strength? An estimation from high-density seismic observations. *Earth, Planets and Space*, 69(1), 144. <https://doi.org/10.1186/s40623-017-0730-3>
 - Iio, Y., S. Kishimoto, S. Nakao, T. Miura, I. Yoneda, M. Sawada, H. Katao (2017), Extremely weak fault planes: an estimate of focal mechanisms from stationary seismic activity in the San'in district, Japan, *Tectonophysics*, 10.1016/j.tecto.2017.12.007.
 - 飯尾 能久、地震観測システムの小型化・軽量化・低コスト化、*日本地震工学会誌*, 32, 8-12, 2017.
 - 飯尾能久、2016年熊本地震の発生過程について、*防災研究所年報*、60 A, 158-163, 2017.
 - 飯尾能久、米田 格、澤田麻沙代、伊藤喜宏、片尾 浩、富坂和秀、長岡愛理、松本 聡、宮崎真大、酒井慎一、加藤愛太郎、林 能成、山品匡史、大久保慎人、野口竜也、香川敬生、鳥取県西部地域における満点地震観測、*防災研究所年報*、60 B, 382-389, 2017.
 - Nishimura, T., Y. Yokota, K. Tadokoro, and T. Ochi, Strain partitioning and interplate coupling along the northern margin of the Philippine Sea plate, estimated from Global Navigation Satellite System and Global Positioning System? Acoustic data, *Geosphere*, 14, doi:10.1130/GES01529.1, 2018
 - Takada, Y., Sagiya, T., Nishimura, T., Interseismic crustal deformation in and around the Atotsugawa fault system, Central Japan, detected by InSAR and GNSS. *Earth Planets and Space*, accepted.
 - Terakawa, Y. Yamanaka, Y. Maeda, S. Horikawa, and T. Okuda, Monitoring eruption activity using temporal stress changes at Mount Ontake volcano, IASPEI 2017, S01-4-03, Kobe, Japan.
 - 寺川寿子、御嶽山周辺の群発地震発生域の間隙流体圧分布の再評価、*日本地球惑星科学連合2017年大会*, SSS17-P07, 千葉, 2017.5.21.
 - 寺川寿子、CMTデータインバージョン法による応力場の推定と誤差評価: 東北地方太平洋沖地震前後の応力場の解析例、*日本地震学会2017年秋季大会*, S08-14, 鹿児島, 2017.10.25.
 - 堀川信一郎・山中佳子・寺川寿子・前田裕太・奥田隆(名大環)・荻原宏之・柏淵和信・山口充孝・五十嵐竜也・木村高志(株計測技研)、小型軽量地震テレメータ装置の開発 - 長野県南部の地震の余震観測での活用 - , *日本地震学会2017年秋季大会*, S02-P07, 鹿児島, 2017.10.26.

(10) 平成30年度実施計画の概要 :

・地殻変動とモデリング :

Takada et al. (2018) では ALOS 衛星の SAR 画像と GNSS データを用いて、跡津川断層系の歪速度の詳細な構造を捉えることに成功した。本計画では、より解像度の高い ALOS2 データと GNSS データを用いて歪集中帯のより詳細な内部構造を一層明らかにし、東北地方太平洋沖地震の前後での変形様式の違いの有無を明らかにするとともに、解析技術のさらなる高度化を目指す。既存の GNSS 観測点の保守・維持に加えて、山間部の観測点の補強を行う。また GNSS データを用いて、東北沖地震前後の跡津川断層近傍の歪変化と東北地方の歪変化を比較することで、非地震性歪領域の応答特性の環境依存性を調べる。

・比抵抗観測とモデル化：

長野県西部地震震源域の南西端周辺において可聴域 MT 観測を行い、北東域の既存稠密観測データと統合して、震源断層全体を包括する領域について三次元比抵抗構造を推定する。四国地方東部から中央部における基盤的比抵抗構造調査のための広帯域 MT 法観測を実施する。平成 26-27 年度のデータを用いて四国地方東部から中央部における予察的な基盤的比抵抗構造を推定する。

・地震観測とモデル化：

近畿地方北部、山陰地域、長野県西部地震震源域等において実施中のオフライン臨時観測装置を用いた稠密地震観測を継続し、定常観測網の地震波形データと統合処理して、S 波の反射法解析等による地殻構造解析を行う。また、極微小地震をも含んだ大量のメカニズム解を決定し、それを基に詳細な応力場を求める。これらに基づき、活断層の分布や内陸大地震、また定常的な地震活動がどのような物理的要因によって支配されているかを解析・考察するとともに、横ずれ型の内陸地震の 3 次元的なモデル化を行う。

・間隙流体圧場の推定：

定常地震観測観測で得られた地震波形データに WIN システムを利用した手動読み取り処理を適用し、御嶽山周辺域で発生する地震（火山性地震も含む）の震源分布を把握すると共に、P 波初動の押し引き分布及び S/P 振幅比から地震のメカニズム解を推定し、データの蓄積を進める予定である。これらの基礎データから、間隙流体圧場の時間変化による断層強度の時間変化と地震の発生の関係を調べることが本課題の主な目標の 1 つである。精度良く間隙流体圧場を推定するためには、正しい応力場の情報が必要である。H29 年度は簡易的に応力場を推定誤差を考慮した地震メカニズムトモグラフィー解析を実施したが、今後は応力場の推定誤差を理論的に取り入れた定式化を行い、新たな展開を目指したい。また、H29 年度は、期間を分けて地震メカニズムトモグラフィー解析を実施し、間隙流体圧分布の時間変化を捉えることに成功した。今後は、地震メカニズムトモグラフィー法の時間発展解析機能（Terakawa, 2014）を用いて、間隙流体圧場の時間発展の様子を見積もることを目指す。東麓の間隙流体圧の高まりは、最近のデータからは従来よりも南側に推定されており、ちょうどこの領域で 2017 年 6 月 25 日に長野県南部の地震（Mj 5.6）が発生した。この地震前後の地震データを詳細に調べることによって、内陸地震の発生における応力と流体の役割を理解することにつなげることを目指す。

・西南日本活動期のシミュレーション：

ブロック断層モデルに粘弾性変形の影響を考慮してモデル化を行う。南海トラフの固着・すべりと内陸断層深部すべりによる応力載荷を考慮した内陸断層での CFF の計算モデルのプロトタイプ開発に着手する。

・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の検証、および、北摂・丹波地域における地震活動と大地震との関係や活動変化の原因の解明を試みる。特に、GNSS データに見られた 2007 年中越沖地震前の変化について、断層モデルなどを用いたモデル化を行う。

（11）実施機関の参加者氏名または部署等名：

飯尾能久、高田陽一郎、吉村令慧、片尾 浩、宮澤理稔、西村卓也、平原和朗

他機関との共同研究の有無：有

名古屋大学 寺川寿子、山中佳子

鳥取大学 塩崎一郎

九州大学 松本 聡

東京大学 上嶋 誠

（12）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：0774-38-3348

e-mail：

URL：

(13) 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地震予知研究センター

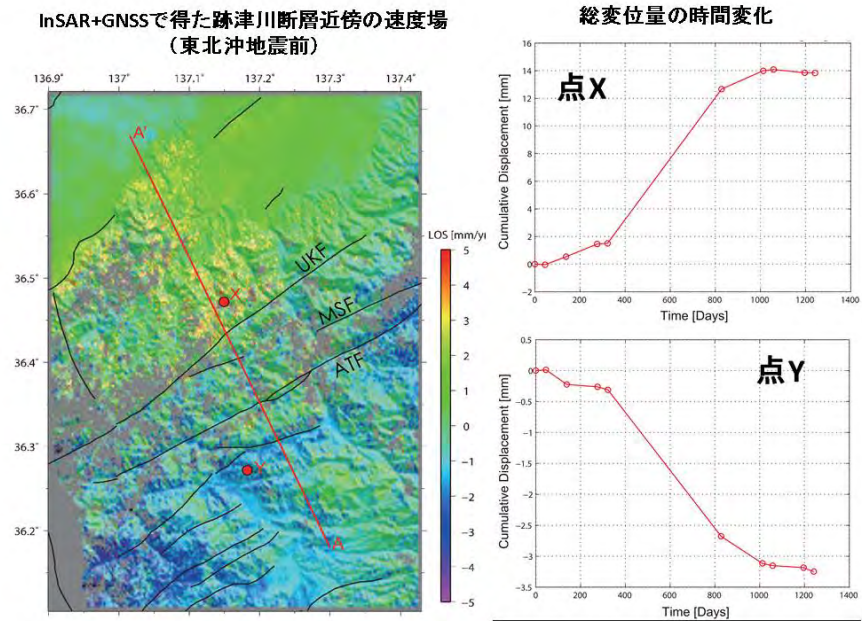


図1 左：InSAR 時系列解析の結果 (GNSS 補正済み)。右上：点 X における総変位の時間変化。右下：点 Y における総変位の時間変化。

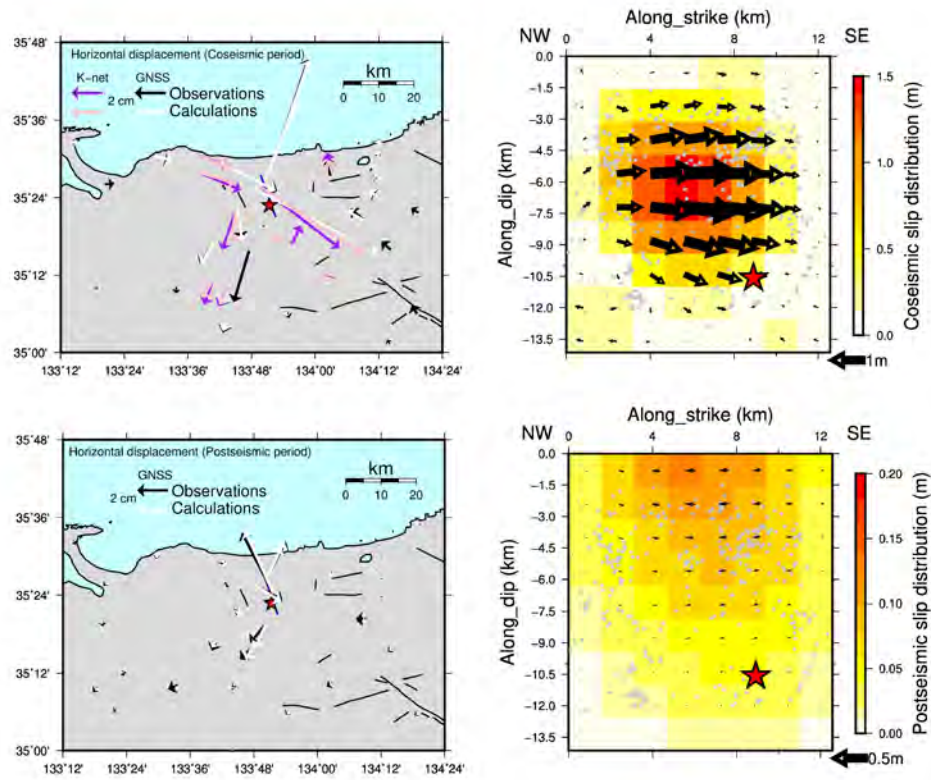


図2 2016年鳥取県中部地震(M6.6)の地震時と地震後の変位分布とすべり分布

左：地震時(上)と地震後(下)の変位分布。黒と紫の矢印は、それぞれGNSSとK-net観測点における観測変位を表し、白とピンクの矢印はそれぞれの計算変位を表す。右：インバージョンから推定された地震時(上)と地震後(下)のすべり分布。灰色の点は、推定断層面(左上、左下に示した青線)から2km以内の余震分布を表す。赤い星は本震の震源を表す。

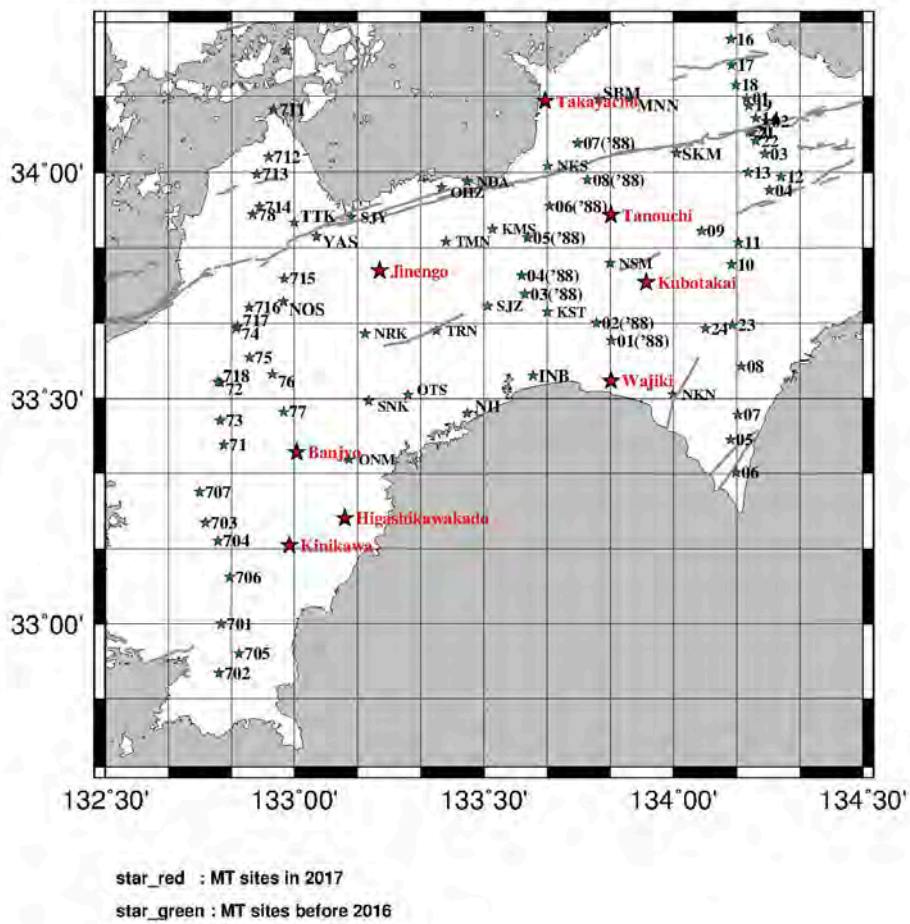


図3 四国地方の2017年度広帯域MT法観測地点分布図

2017年度広帯域MT観測地点を赤色の印で示す。既存測点(黒色の印)ならびに2017年度鳥取県環境学術研究振興事業で取得された磁場参照点(Kubotakai)を併記する。

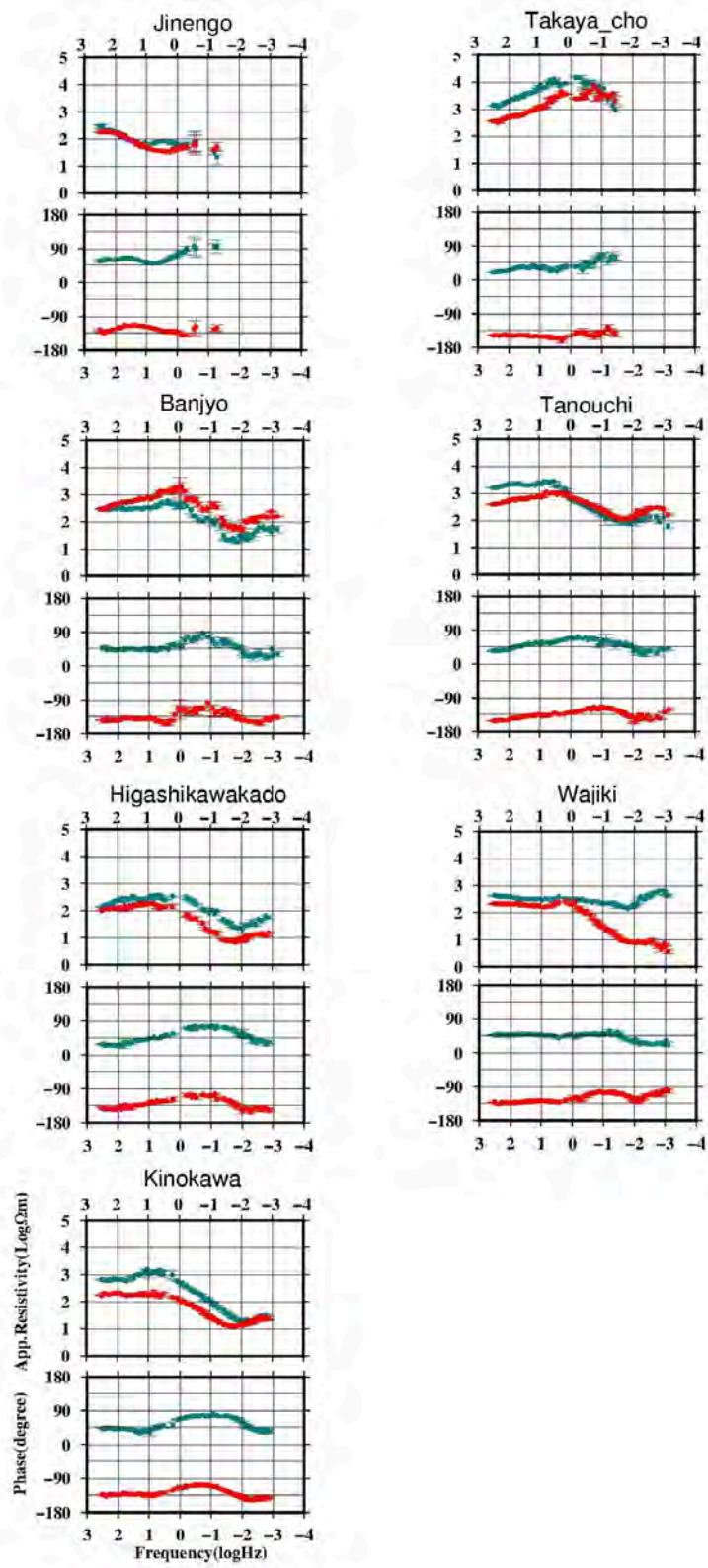


図4 各観測点で得られた見かけ比抵抗ならびに位相差探索曲線

中西部域の4地点のデータを左側、中東部域の3地点のデータを右側に配置する。いずれも北から南へかけて上から下に配置する。南北方向の電場と東西方向の磁場変動から推定された見かけ比抵抗を緑丸で示し、東西方向の電場と南北方向の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(Ω) 横軸は周波数(Hz)を表し、いずれも対数目盛りで表現されている。位相差曲線については、縦軸は位相差(度)を表す。横軸は周波数(Hz)を表す。

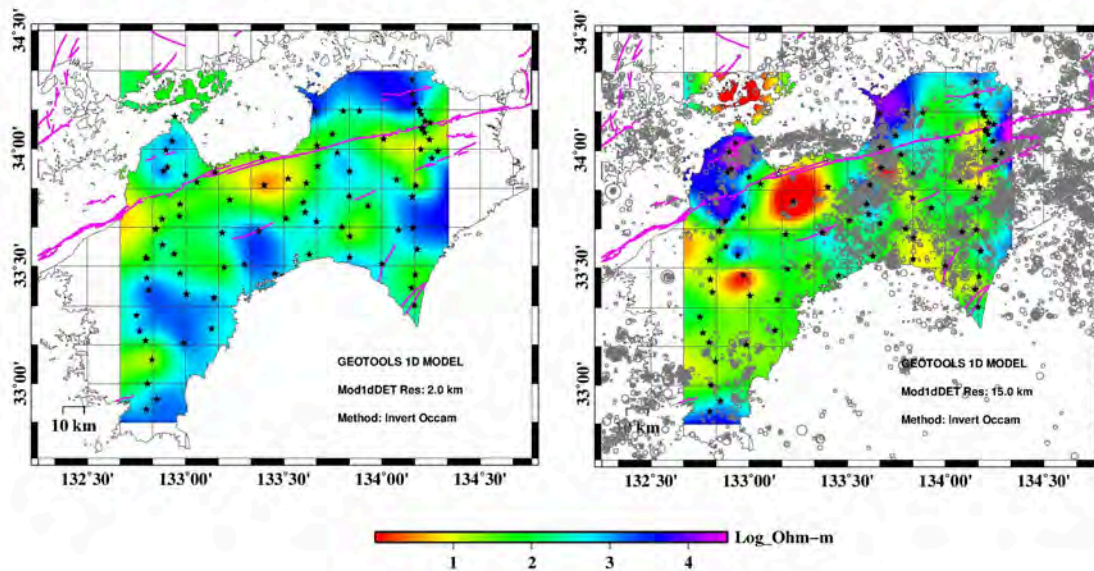


図5 四国地方全域にわたる面的な深度別の比抵抗分布図：2km（左）および15km（右）
 各地点で得られた determinant impedance に対して実施した1次元 Occam インバージョン解析の結果得られた1次元構造モデルをもとにしたもの。深度15kmの図面には気象庁ホームページ「地震月報」より2007年1月～2016年12月の震源データをダウンロードして使用した。図版作成には GMT (Generic Mapping Tool) を使用した。

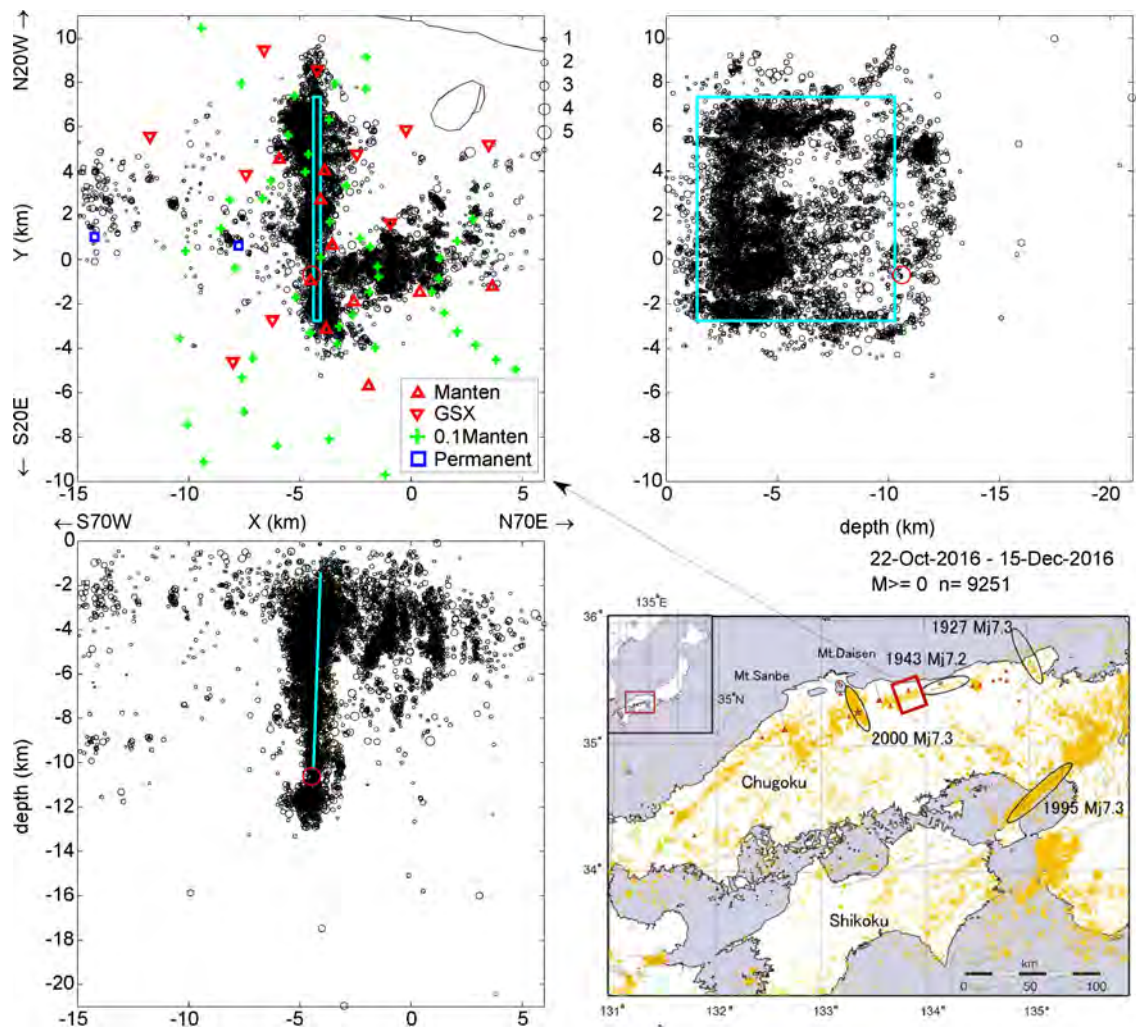


図6 2016年鳥取県中部の地震の余震分布と観測点の分布

2016年10月22日から12月15日までに発生したメカニズム解を決定した余震のみ。Manten: 満点地震計(3成分観測、京大・九大担当)、GSX:(3成分観測、地震研担当)、0.1Manten: 0.1満点地震計、1成分観測、京大・九大担当)、Permanent: 定常観測点。水色四角は推定断層面。赤丸印は一元化震源による本震の震源。

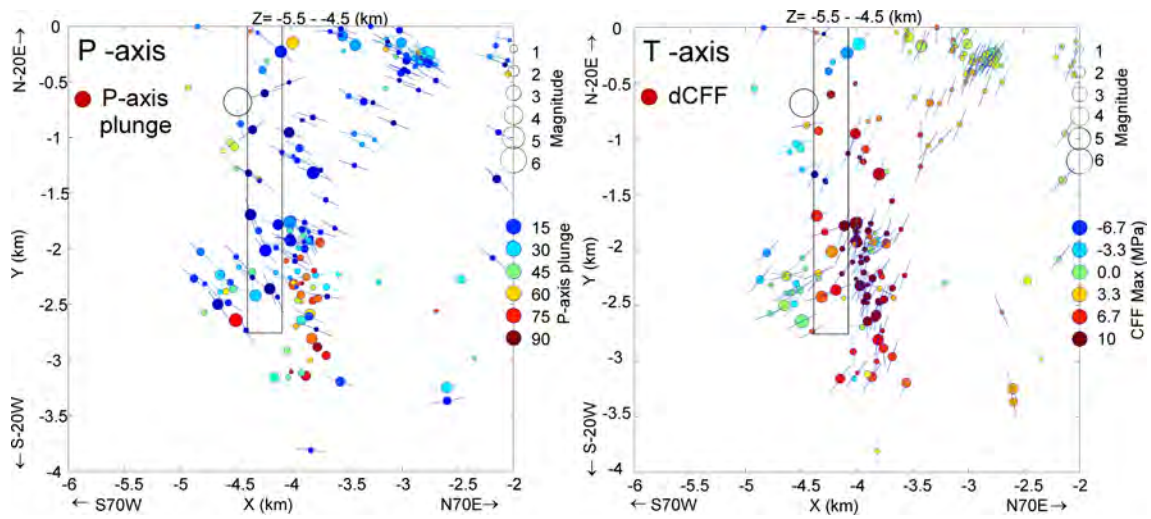


図7 南端付近におけるP軸およびT軸の方位分布

深さ5km水平面から0.5km以内、メカニズム解の精度が比較的高いもののみ(Kagan角で60度以内)のみを示す。P軸の丸印の色はP軸のplunge、T軸の丸印の色は、最適なメカニズム解の2つの節面に対する本震のすべりによる応力変化(dCFF)の大きい方を表している。

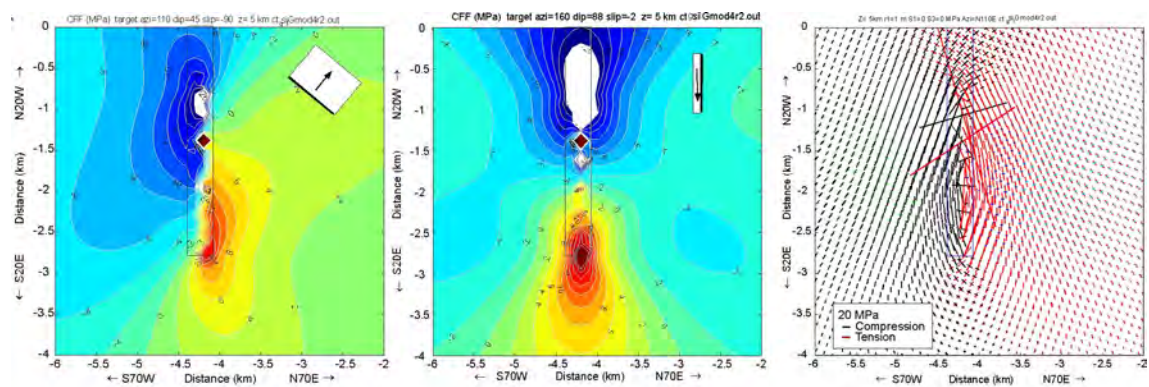


図8 南端付近における本震のすべりによる応力変化

左: 図中に示した正断層(N110°E、傾斜45°、すべり角90°)に対する本震のすべりによる応力変化(dCFF)(赤いほど大きな値となっている) 中: 本震と同じ横ずれ断層に対するdCFF、右: 応力変化の主軸、黒: 圧縮、赤: 引っ張り。

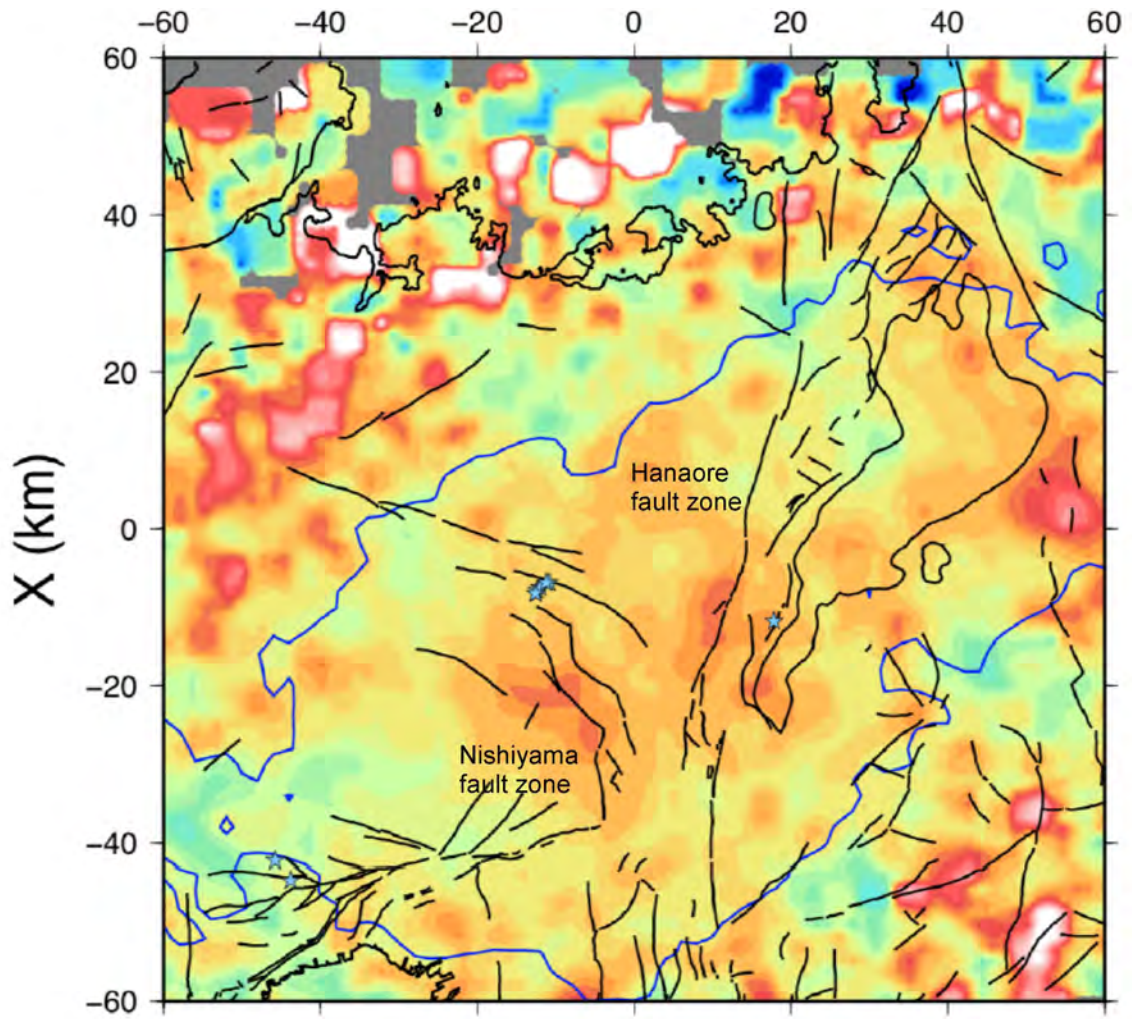


図9 近畿地方北部におけるS波の反射法強度分布
 傾斜する反射面を考慮したイメージングによる深さ30kmの水平面における結果。赤い領域において相対的な反射法強度が大きい。星印は一元化震源による深部低周波地震。

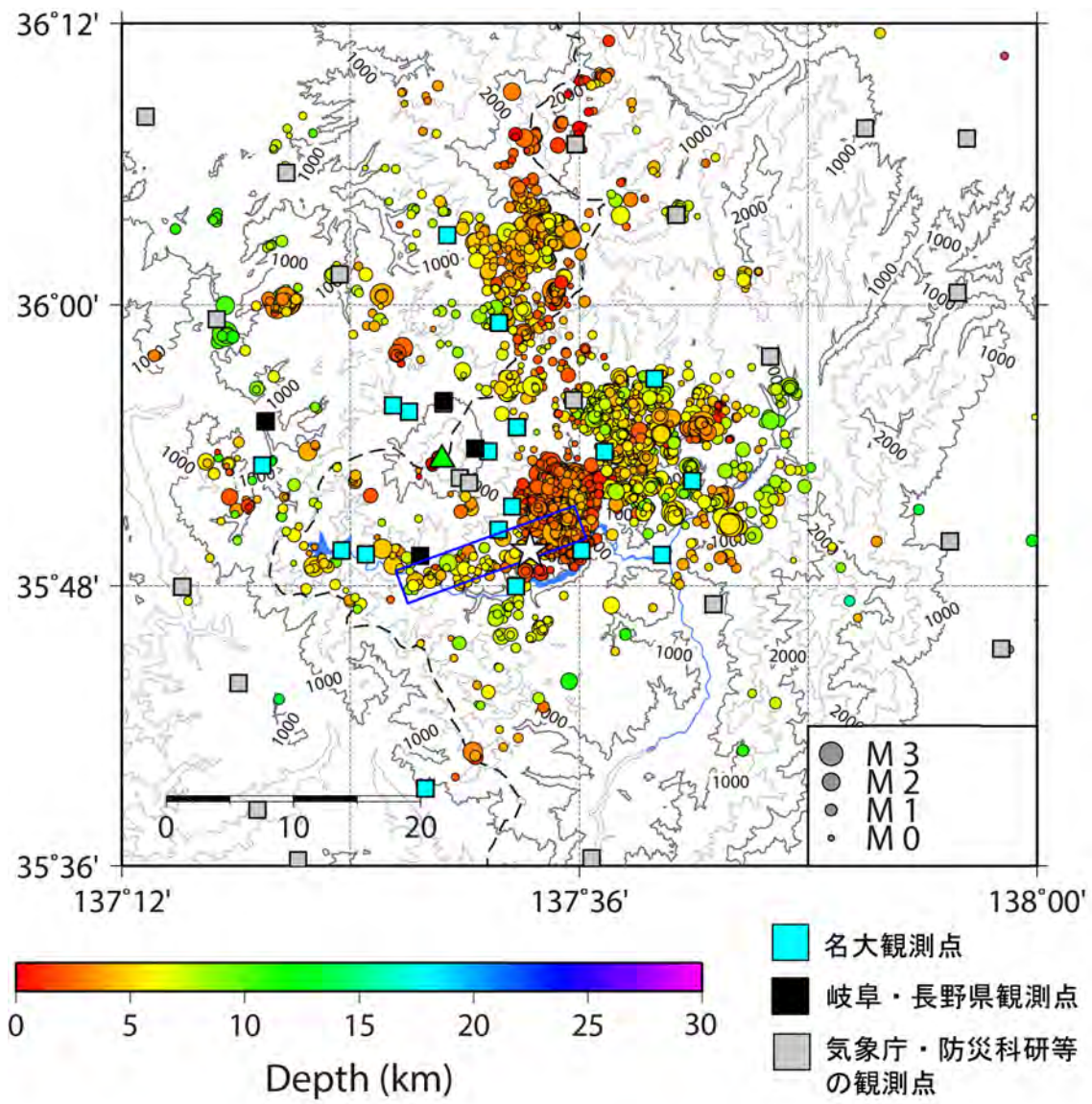


図 10 御嶽山周辺域の地震活動(2017.1-2017.12)と観測点分布
 は御嶽山、 と青線の矩形は 1984 年長野県西部地震の震源と震源断層。

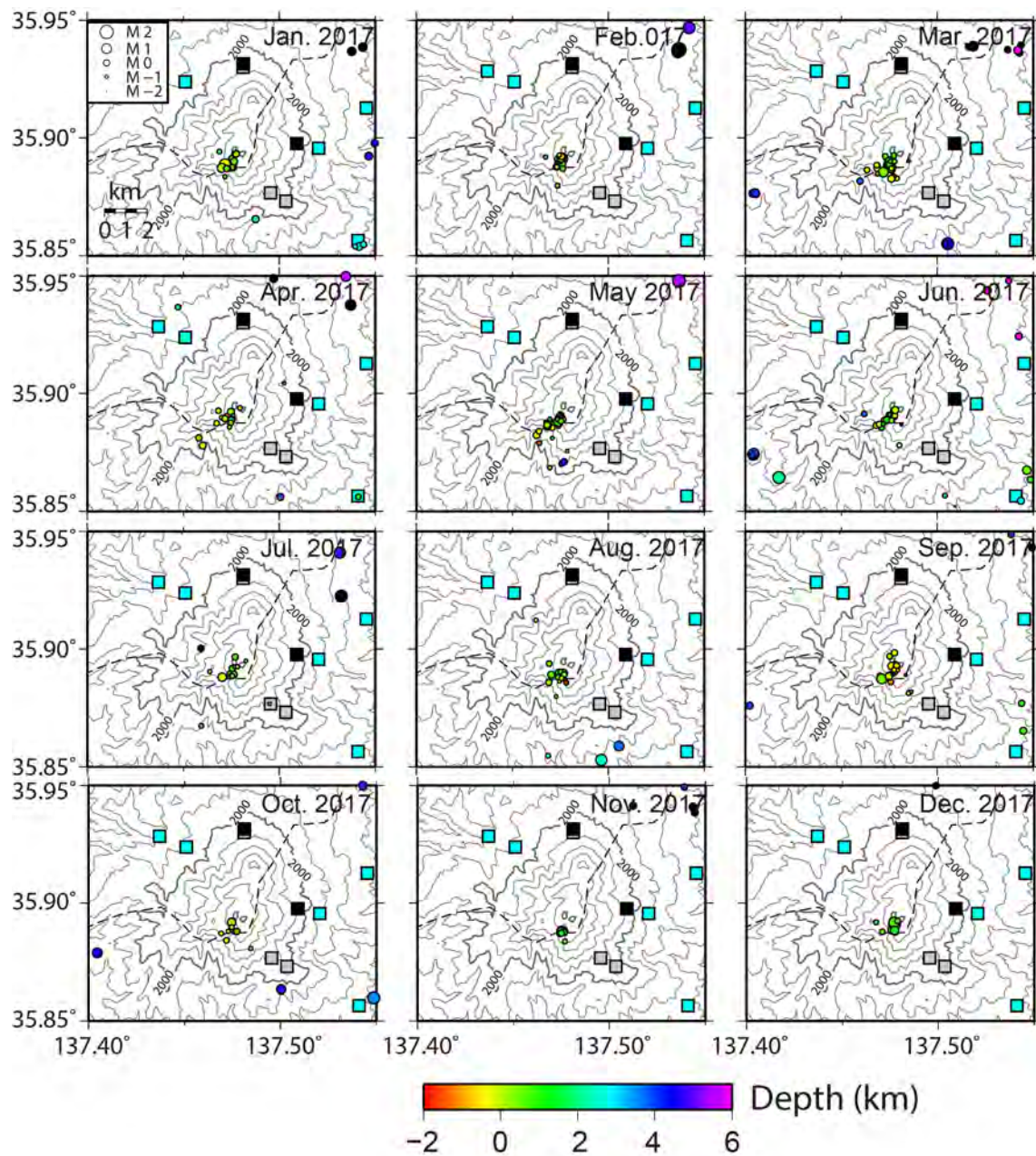


図 11 御嶽山直下で発生した火山性地震の震源分布 (2017 年 1 月 ~ 12 月)
観測点の記号は図 10 と同様。

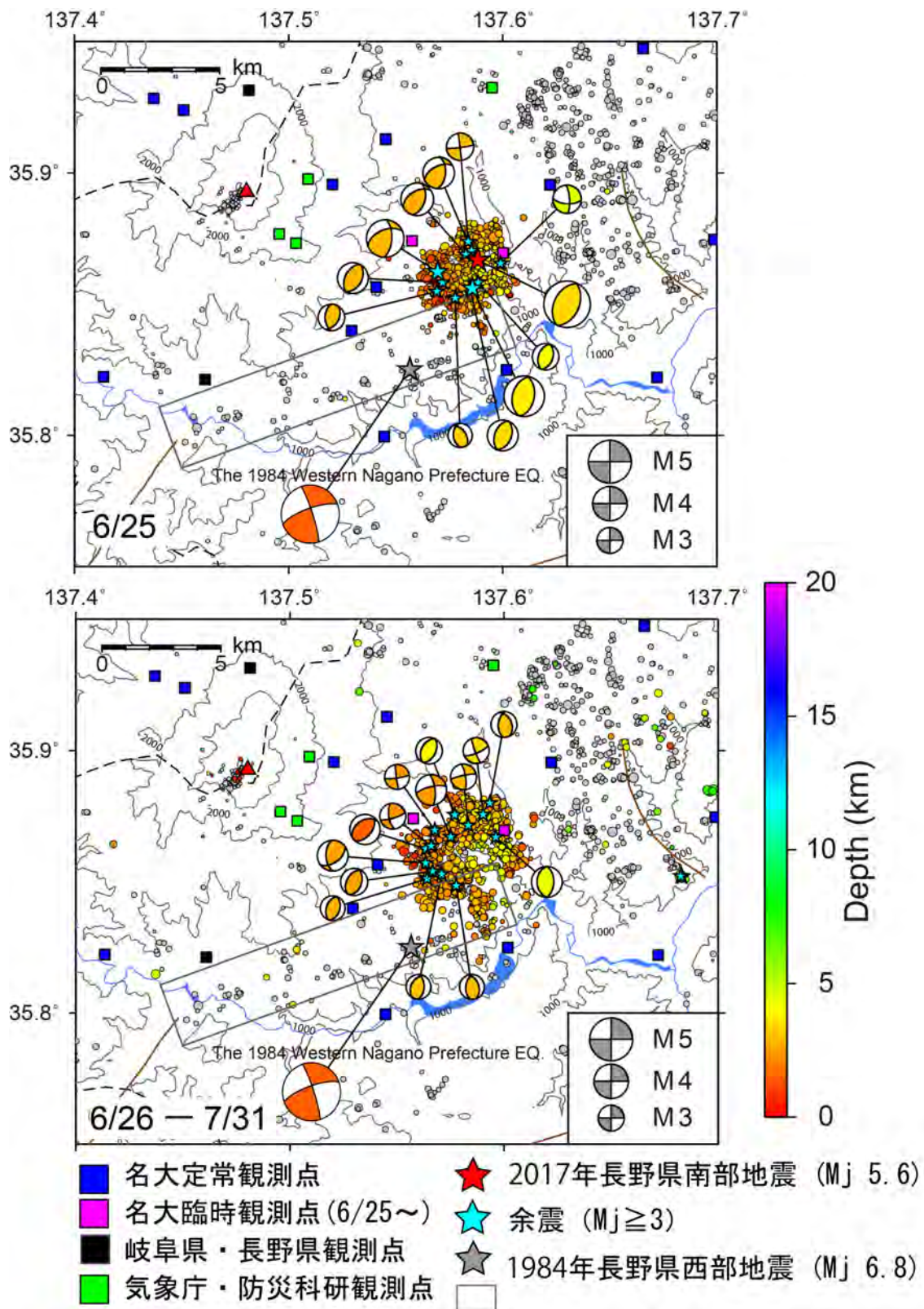


図12 2017年6月25日に発生した長野県南部の地震 (Mj 5.6) と一連の地震活動
 (a) 6月25日に発生した地震。(b) 6月26日~7月31日に発生した地震。震源を で、地震のメカニズム解 (M₃) は下半球投影の震源球で示す。それぞれのカラーは震源深さに対応する。

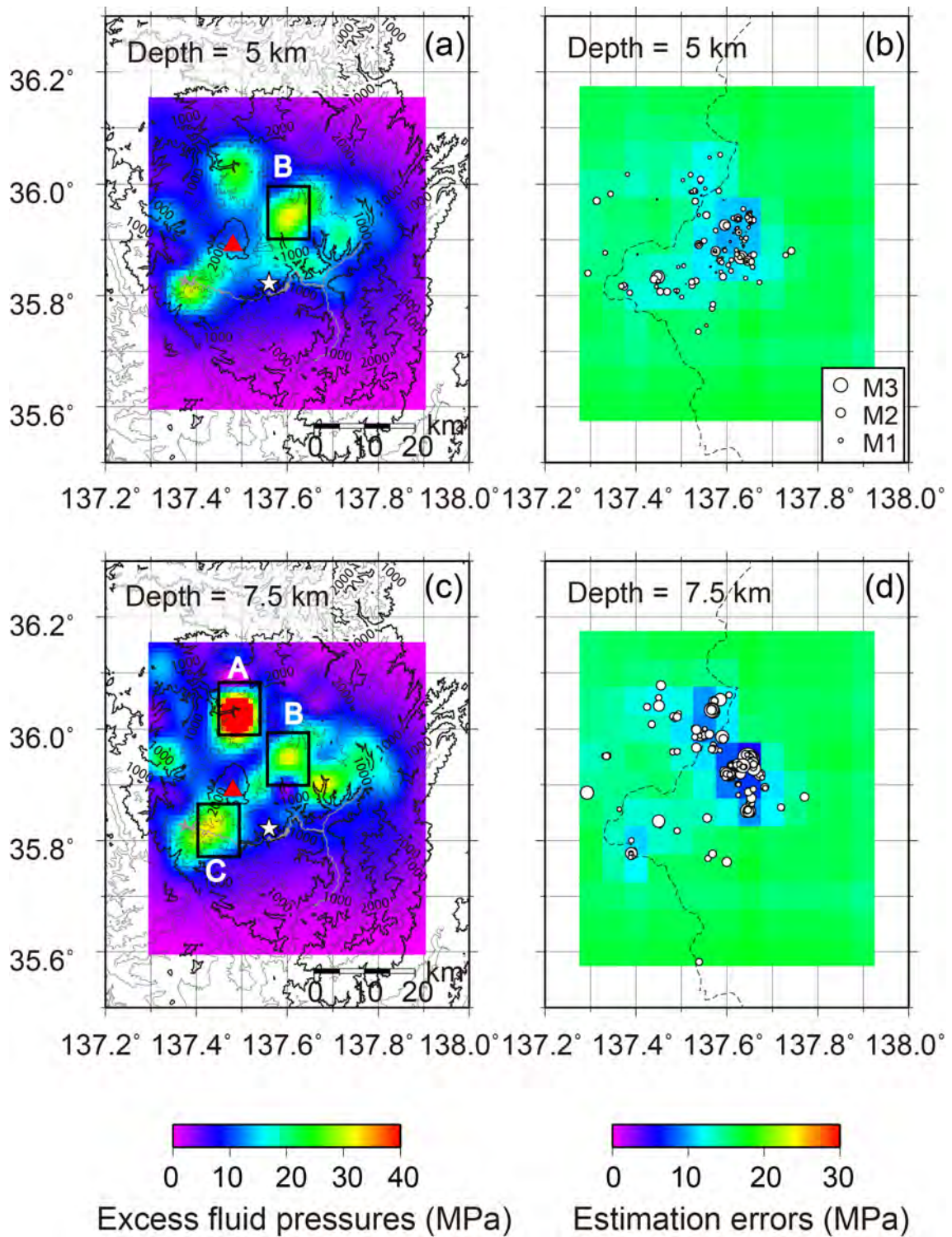


図 13 御嶽山周辺域の 3D 間隙流体圧場 (Terakawa, 2017)

(a) 深さ 5 km での間隙流体場、(b) 深さ 7.5 km での間隙流体場、(c) 深さ 5 km で推定誤差分布、(d) 深さ 7.5 km で推定誤差分布。(c) 及び (d) の白丸は、解析に用いたデータ (各水平面から 1.25 km 以内のもの) を示す。は 1984 年長野県西部地震の震央を示す。矩形 A - C は、解析期間 (2009 年 8 月 ~ 2012 年 8 月) において間隙流体圧場の高まりがあった可能性がある領域を示す。

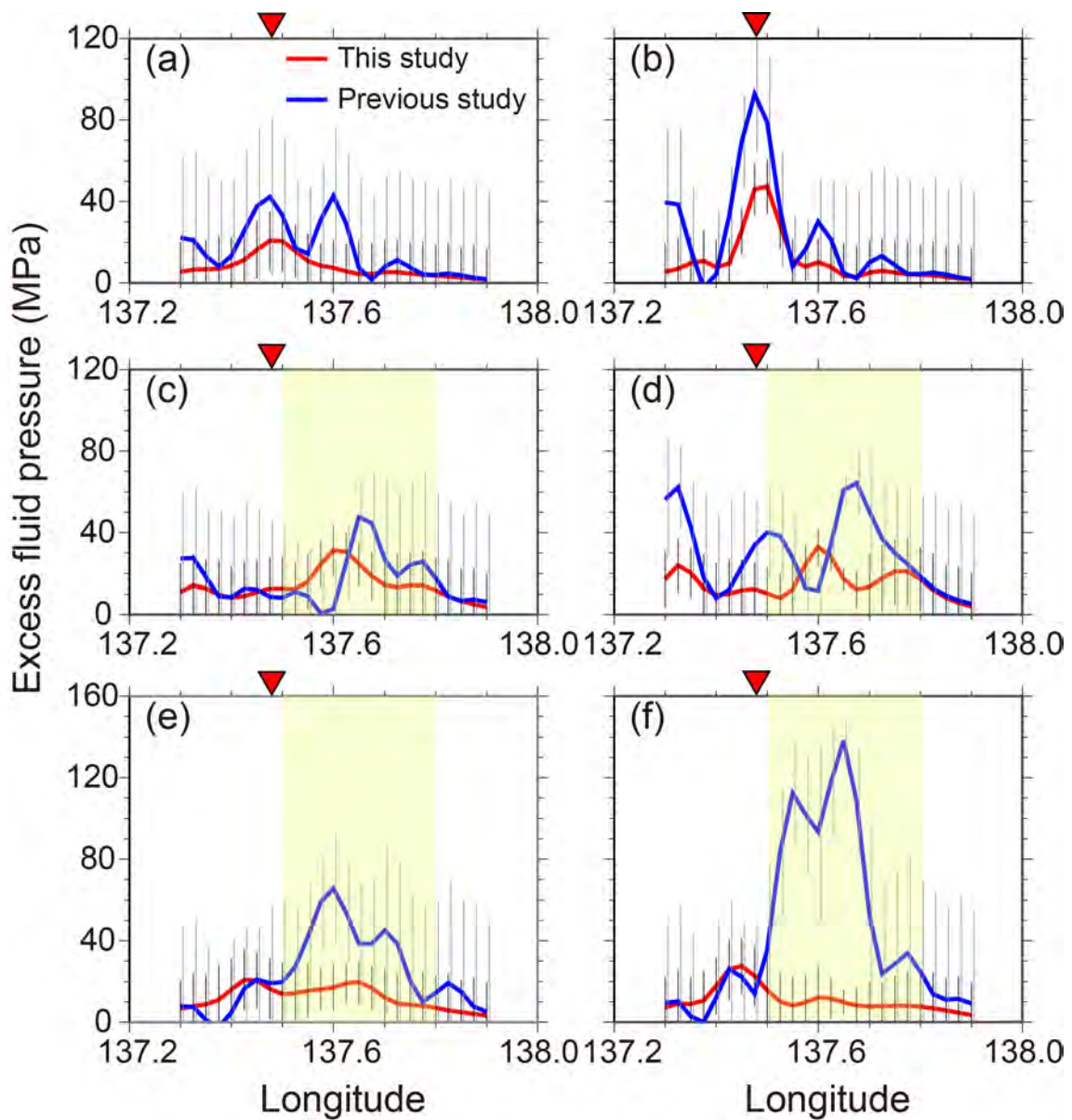


図 14 応力場の不確定性による間隙流体圧場の推定結果への影響

赤線と青線は、それぞれ Terakawa (2017) と Terakawa et al. (2013) の結果である。黒及び灰色の縦線は、68%信頼区間を示す。赤い逆三角形は、御嶽山山頂の経度を表す。緯度 36.05 における (a) 深さ 5 km、(b) 深さ 7.5 km の間隙流体圧分布。緯度 35.95 における (c) 深さ 5 km、(d) 深さ 7.5 km の間隙流体圧分布。緯度 35.85 における (e) 深さ 5 km、(f) 深さ 7.5 km の間隙流体圧分布。黄色い網掛け領域は、Terakawa (2017) と Terakawa et al. (2013) で参照した応力場の違いが大きい領域 (テンソルの内積の平均は 0.56) である。

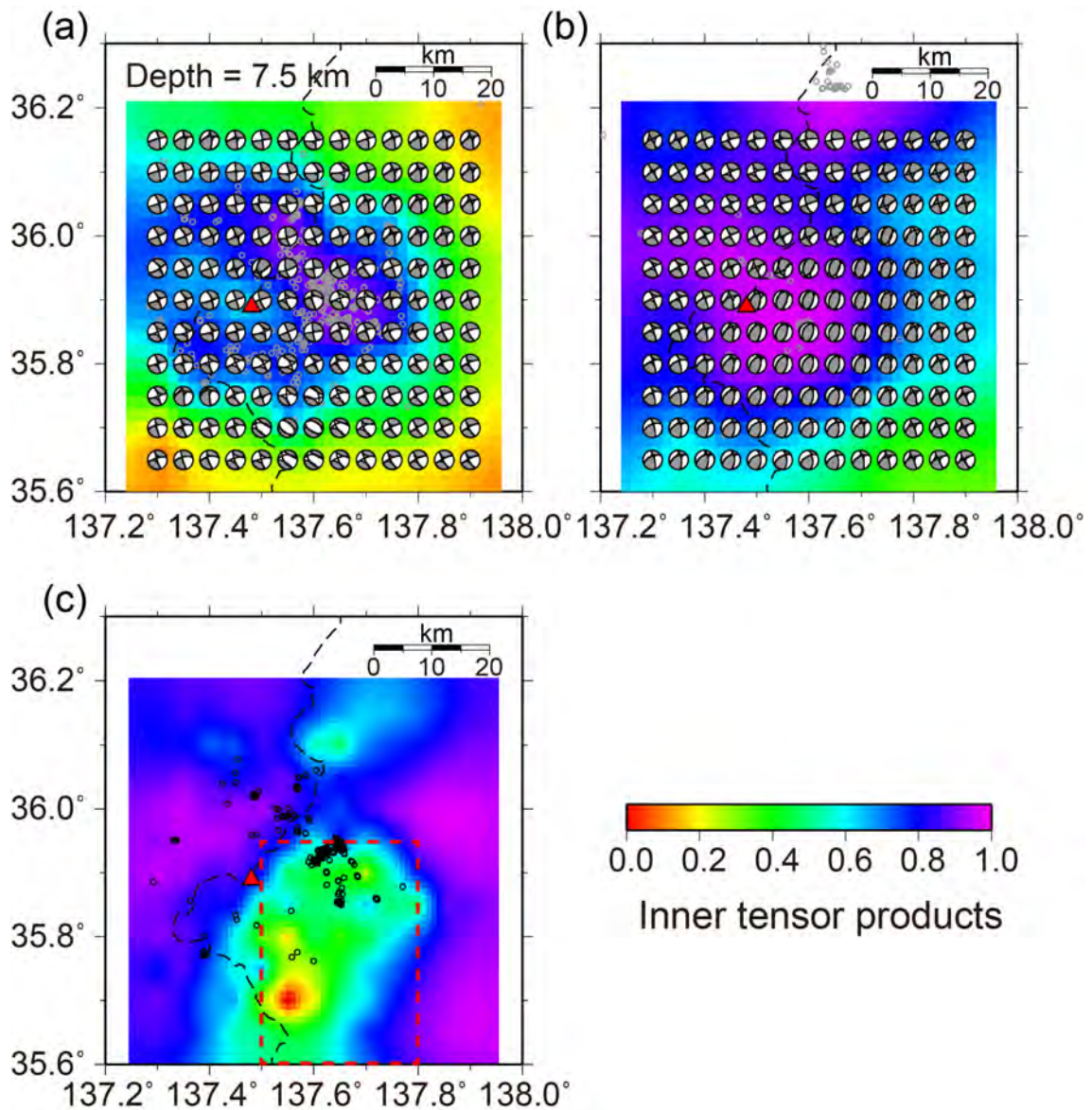


図 15 御嶽山周辺域の地域応力場と広域応力場 (深さ 7.5 km)

(a) 地域応力場 (Terakawa et al., 2016)、(b) 広域応力場 (Terakawa & Matsu'ura, 2010)、(a) と (b) の○はそれぞれの応力場の推定に用いたデータで、深さ 7.5km の水平断面から 1.25 km 以内のイベントを表す。背景のカラースケールは、応力場のパターンの推定誤差をテンソルの内積で表現したものである値が大きいくほど推定精度が高いことを意味する。(c) 2 つの応力場のパターンの違い。応力場の違いは、テンソルの内積で測っており、値が小さいほど違いが大きい。(c) の は、間隙流体圧場の推定解析に用いたデータである。

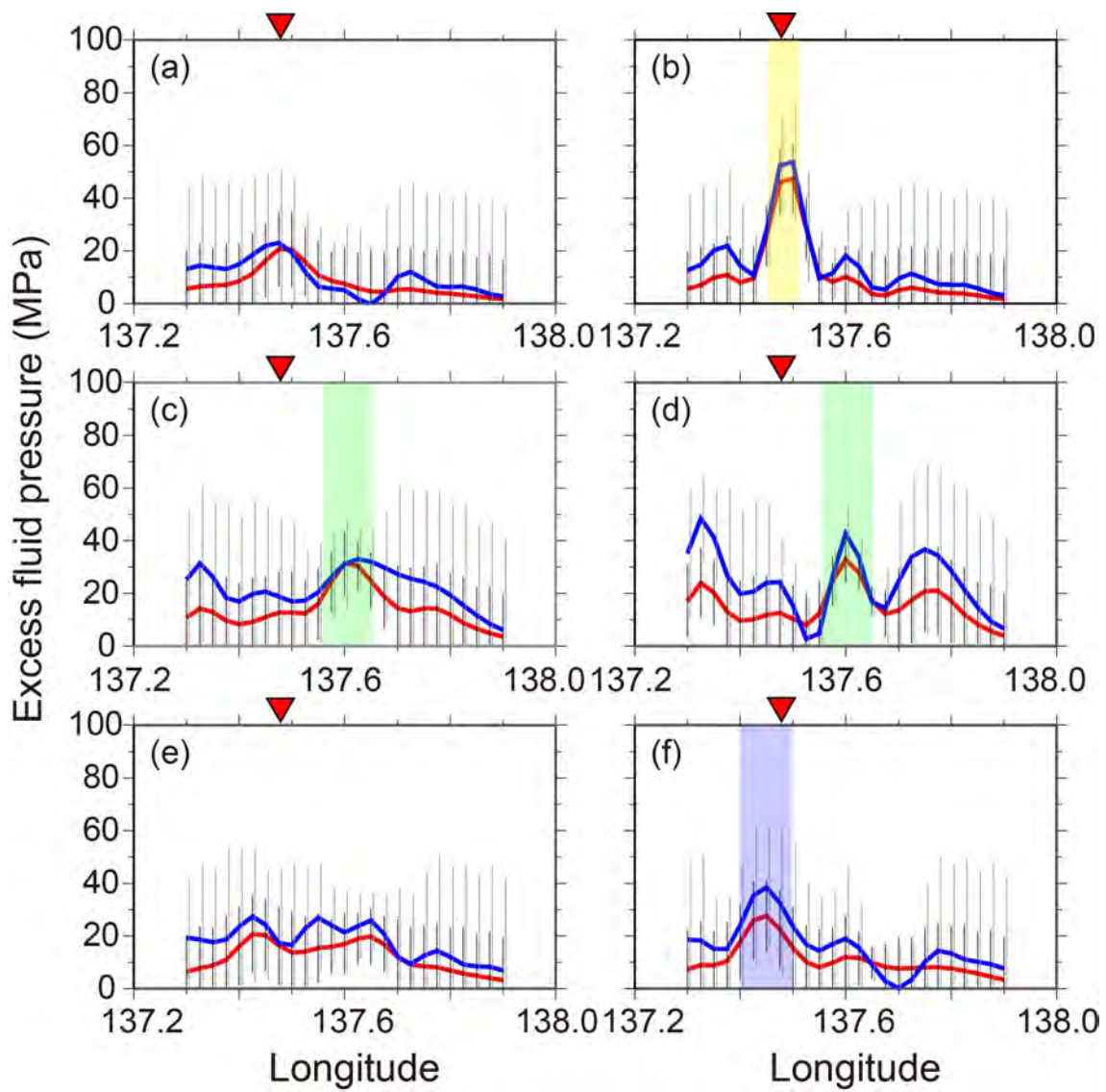


図 16 応力場の推定誤差を考慮しない場合と考慮した場合の間隙流体圧場の推定結果の比較 (Terakawa, 2017)
 赤線は応力場の推定誤差を考慮していない結果 (図 13、 14) で、青線は考慮した結果である。(a) - (f) は、図
 14 と同様な測線に沿った結果である。黄色の網掛け領域、緑の網掛け領域、紫の網掛け領域は、図 13 の矩形領域
 A - C に当たる。

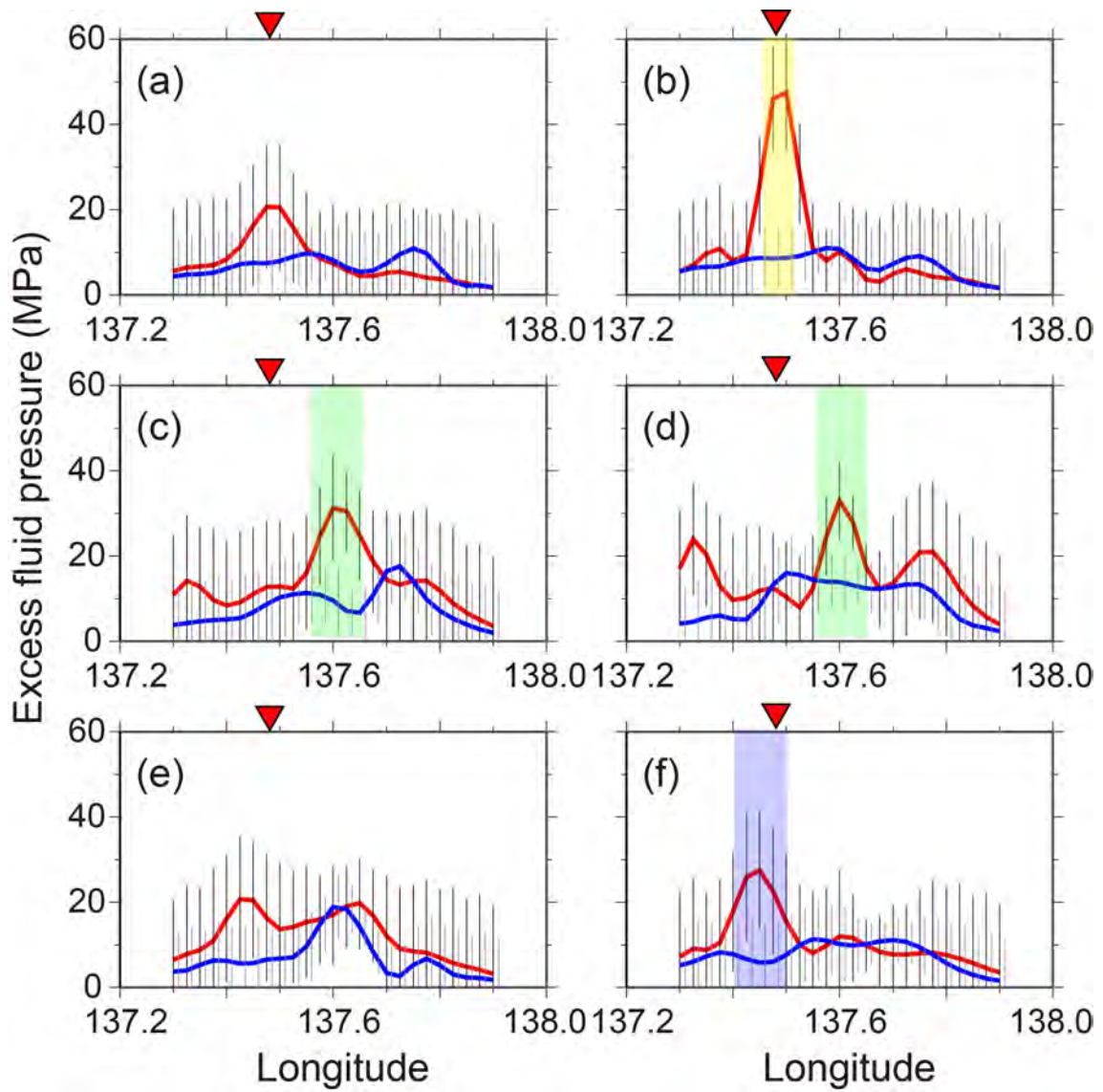


図 17 御嶽山周辺域での間隙流体圧場の時間変化 (Terakawa, 2017)

赤線と青線は、それぞれ 2009 年 8 月～2012 年 8 月まで (図 13、 14) と 2012 年 9 月～2014 年 7 月までのデータによる結果を示す。(a) - (f)、カラーの網掛け領域は図 16 と同様である。

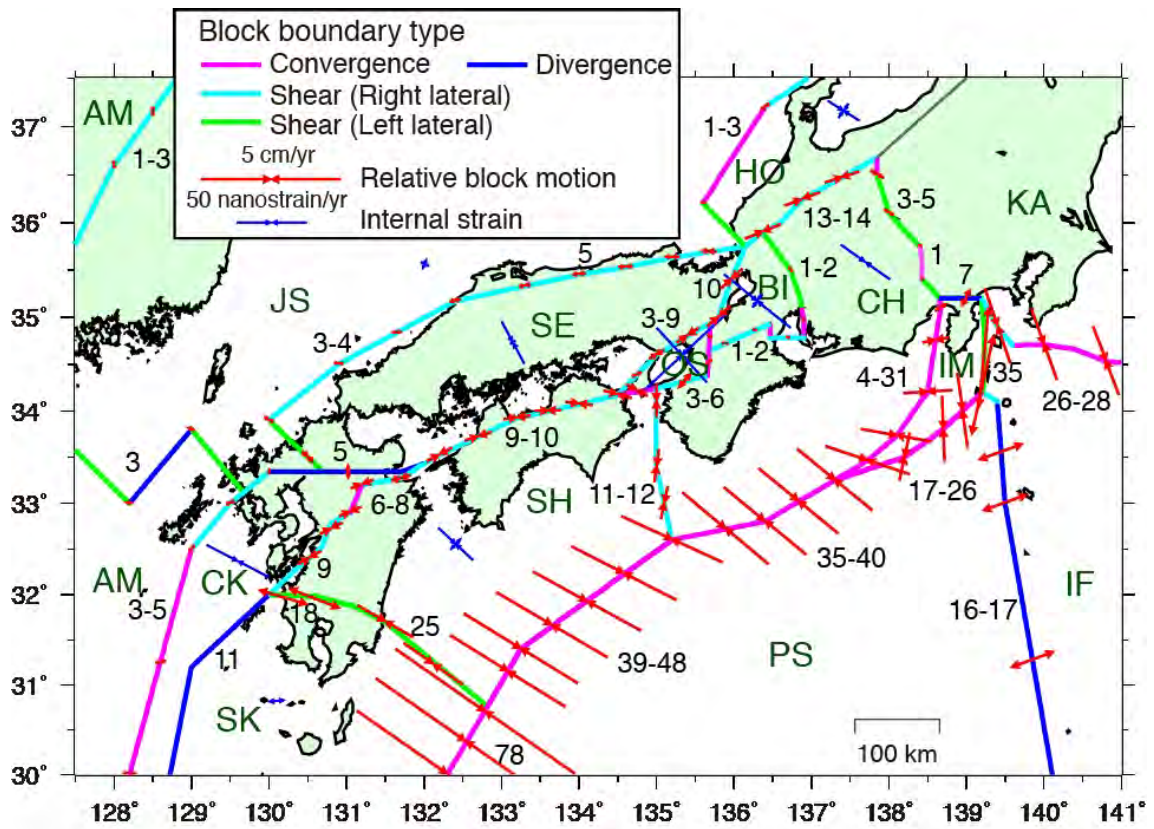


図 18 海陸地殻変動データからブロック断層モデルを用いて推定されたブロック間相対運動
 数字は、相対運動速度 (mm/yr) を表す。

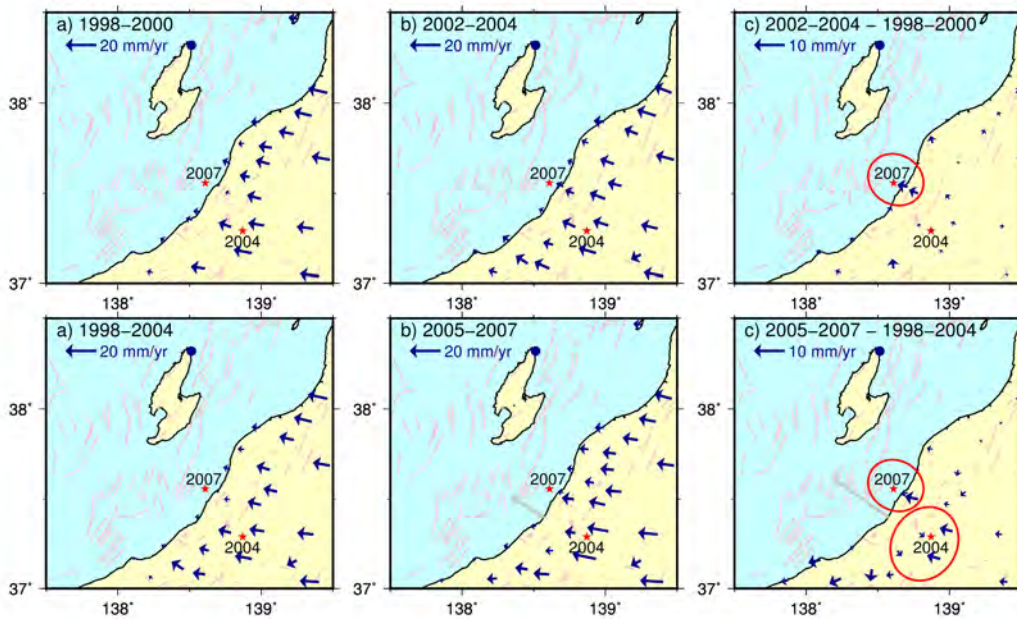


図 19 2004 年新潟県中越地震と 2007 年新潟県中越沖地震の前の水平変位速度場の変化 (PPP 解)
 赤丸で示した領域に変化が見られる。灰色の矢印は、局所的な変動だと考えられるため、本解析では議論しない。

(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：

桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究

(3) 最も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) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

(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) 事象系統樹の高度化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

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

昭和火口における噴火活動過程において、多項目の5年にわたる長期観測に基づいてカルデラ下におけるマグマの蓄積に伴うその量の推移および桜島中央火口丘下へのマグマの移動の過程を把握した上で、火山体構造とその時間変化をあわせ考慮して、桜島のマグマ蓄積・移動・上昇の変化を定量的・定性的に把握することにより、地下のマグマの動態がどのように変化し、今後の活動の活発化に繋がっていくのかをモデル化する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題は、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」事業に基づいた計画である。本研究計画では、爆発が多発し、将来、噴火活動が更に活発化する桜島を対象として、個々の爆発および一連の活動期とそれらに前駆する諸現象を物質科学も取り込んだ最大限の多項目・長期観測により定量化し、両者の間の経験則を確立するとともに、その理論的背景について考察する。さらに、上記(4)その他関連する建議の項目記述した上位項目において直接的に成果を活用する。具体的には、次の5つのテーマに基づいて研究をすすめる。

[1] 爆発現象に前駆する短期的マグマの蓄積過程及びマグマ放出過程の解明

[2] 長期的マグマ蓄積過程・放出過程の解明

[3] 火山体構造の時間変化に基づくマグマ供給系の発展過程の解明

[4] 先行マグマ物質の分析によるマグマ供給系の発展過程の解明

[5] マグマ挙動のモデリング

[1] では、個々の爆発について火山性地震、地盤変動、絶対重力、二酸化硫黄放出量観測、空気振動、火山灰放出量に基づいて、前駆現象と噴火規模を定量化し、噴火に前駆する発生様式や変動パターンと後続する噴火の規模・様式を関連付けて噴火予測の基礎データを構築するとともに、蓄積および放出過程を明らかにする。

[2] では、火山活動の1~2年周期の活発化と縮退のサイクルに注目し、長期的なサイクルを定量化したうえで、浅部および深部の地震活動や地盤変動との関係を明らかにし、長期的な予測の基礎データとする。

[3] では、長期的なサイクルと深部および浅部の地下構造の変化の関係を明らかにする。地下構造の時間変化把握にはMT、人工地震探査、地震波干渉法、地震波トモグラフィー、重力など多様な手法を駆使し、マグマ供給系の発展過程を明らかにする。26年度および28年度に人工地震探査を実施し、「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」実施時からの時間変化を抽出する。

[4] では、火山灰水溶性成分、火山灰・レキ等の噴出物の岩石学的分析、温泉ガス濃度などのマグマ発散物の分析に基づいて、質的变化と長期サイクルとの関係を明らかにし、火道の拡大や開口率などのマグマ供給系の発展過程を明らかにする。

[5] では、上記[1]~[4]で得られる観測量の変化に対してマグマ溜まりや火道内のマグマ挙動を、混相流の基礎方程式や実験などから得られる構成方程式をもとにして、数値計算を行い、マグマ挙動の数値モデルを構築する。

(8) 平成29年度の成果の概要：

2006年に58年ぶりに再開した桜島の昭和火口における噴火活動は2009年後半から2015年前半まで、ブルカノ式噴火が頻発した。2015年8月15日に急速なマグマ貫入があったものの、2015年以降の噴火活動は低下した状態にある。本研究計画では、平成29年度も地震、地盤変動観測、重力測定、火山ガス放出量、噴出物の分析を継続した。ここでは、2017年以降の噴火活動から推定されるマグマ活動の発展過程について述べる。

1. 長期的マグマ蓄積過程・放出過程の解明

2017年の噴火活動は3つのステージに分けられる。第1期：4月後半から7月頃までの昭和火口における噴火活動、第2期：8月11日に始まり9月まで続いた昭和火口の噴火活動、第3期：10月31日に始まる南岳における噴火活動。図1に2015年以降の桜島の地震活動、地盤変動、噴火活動を示す。第1期の噴火活動に先行して4月11日ごろからひずみ記録に山体の膨張が検出された。4月26日から昭和火口において噴火活動が始まり、7月頃まで続いた。4月~7月の地盤変動と火山灰放出量から推定されるマグマ供給量は、30万 m^3 、月平均では7万 m^3 /月であり、2009年後半から2015年前半の噴火活動最盛期に比べて小さい。第2期の噴火活動期に先行して、7月下旬から山体の膨張が検出された。8月~10月のマグマ供給量は、50万 m^3 、月平均では17万 m^3 /月であり、依然として小さい。ただし、8月22日夜から23日の午前中まで続いた溶岩噴泉活動に先行して急激な膨張が検出されており(図2)、一時的にマグマ供給量が増加したものと推定される。第3期の噴火活動は10月31日の南岳の噴火に始まり、多くの噴火は南岳において発生した。2018年1月までのマグマ供給量は、40万 m^3 、月平均では13万 m^3 /月であり、依然として小さいが、第2期の306回の噴火回数に比べ、第2期は21回と少ないので、1回の爆発におけるマグマの移動量は増加している。

桜島島内のひずみ変化は小さくなっており、GNSS連続観測からも同様のことが確かめられる。桜島北部の地盤変動は始良カルデラ下及び北岳下の圧力源の体積変化を反映していると考えられているが(例えば、Hotta et al., 2016)、2015年1月に始まった続いた桜島北部の隆起は2017年2月ごろからは停滞している。2015年~2016年の桜島北部のFUTG観測点における隆起速度は2cm/年であったが、2017年の隆起量は1cmに満たない(図3)。水準測量でも同様の結果が得られている。2017年以降、始良カルデラへのマグマ蓄積速度および北岳下へのマグマ貫入速度は低下していると評価される。

2. 爆発現象に前駆する短期的マグマの蓄積過程及びマグマ放出過程の解明

第1期：2016年7月26日以降，昭和火口において噴火が発生しなかったが，2017年3月25日に南岳において爆発的噴火が発生した．4月26日からは昭和火口において噴火が頻発するようになり，6月中旬まで続いた．この期間の噴火の1~3時間前から小振幅の膨張ひずみ（10ナノストレイン程度）が観測され，噴火に至った．2009年後半から2015年前半の昭和火口における噴火活動期の小規模のものと同様である．

第2期：8月11日から昭和火口における次の噴火活動のステージに入った．第2期の噴火活動は4つのサブステージに分けられる．サブステージ1は8月11日から19日までの噴火活動期であり，火山灰の放出を伴う噴火が昭和火口において頻発した．サブステージ2は最も特徴的な噴火活動は連続的な溶岩噴泉活動であり（図4），8月22日の22時から23日の10時頃まで続いた．溶岩噴泉により連続的に放出された溶岩片は，火口上高さ200mまで到達し，一部の溶岩片は火口縁を超えて，山腹に落下した．膨張ひずみは7月下旬から続いていたが，22日の16時ごろから加速した．溶岩噴泉が始まると収縮ひずみに反転し，溶岩噴泉の停止と同時にひずみの収縮も止まった（図2）．ハルタ山観測坑道（南岳から約2.7km）の傾斜及びひずみ変化量から球状圧力源の深度は5.8km，体積変化量は19万 m^3 と見積もられる．溶岩噴泉活動は12時間続いているので，噴出率としては約40万 m^3 /日となり，雲仙普賢岳や西之島の溶岩噴出率と同程度と考えられる．2015年の前半はブルカノ式噴火が頻発し，昭和火口底に溶岩ドームが現れたが，当時のマグマ噴出率2万 m^3 よりも1桁大きい．サブステージ3は，突発的な爆発の後にchuggingと呼ばれる音波と低周波地震が溶岩片の放出を伴いながら間欠的に繰り返される噴火によって特徴づけられる（図5）．最初のイベントは溶岩噴泉停止直後の23日10:54であるが，夜間になった19:20の爆発的噴火ではこの現象が明瞭に識別できるようになった．この噴火活動ではサブステージ2と同様に溶岩片の放出が主体であり，火山灰は極めて少ない．この噴火活動は25日ごろまで続き，その後，昭和火口における通常のブルカノ式噴火が頻発するようになった（サブステージ4）．サブステージ4の噴火では顕著な火山灰の放出を伴い，第1期の噴火活動に類似している．これまでに発生した噴火と同様の先行過程と収縮過程をもち，2009年以降活発化した昭和火口の爆発の範疇にある．

サブステージ1は，マグマの貫入により第1期の残留噴出物を放出する過程，サブステージ2から4へは，新鮮なマグマが地表に到達した後，脱ガスしながら結晶化が進行した結果，火道上部の閉塞が進み，溶岩噴泉活動からブルカノ式噴火へ移行していったステージと解釈される．なお，産業技術総合研究所によれば，サブステージ1においても発泡度のすすんだ火山灰が混じっていることは，新鮮なマグマが地表に達したサブステージ2を予測するものとして注目に値する．

第3期：10月31日の噴火から噴火活動は昭和火口から南岳山頂火口に移った．その後の噴火は概ね南岳である．第2期に比べ，噴火の発生回数は少ないが，規模が大きい．最大の噴火は11月13日22:07の爆発的噴火であり，火山岩塊は約1?に到達し，噴煙高度は約4?と推定される（課題番号1913を参照）．11月7日から山体の膨張及び中央火口丘側の隆起を示す傾斜変化が捉えられ，11月11日に収縮，火口側沈降に反転した後，13日に爆発的噴火が発生した（図6）．この爆発的噴火の特徴は，地震動及び空振波がインパルスではなく，50秒程度連続的な振動が続いたこと，最初のブルカノ式噴火に続いて，ストロンボリ式噴火が約2時間継続したことにある．ハルタ山観測坑道の傾斜及びひずみ変化量から球状圧力源の深度は5km，体積変化量は30万 m^3 と見積もられ，昭和火口の噴火による放出マグマ量よりも多く，南岳の噴火としても最大クラスにある．傾斜変化に注目してみると，有村及びハルタ山の傾斜ベクトルは南岳火口方向を向くが，高免観測坑道の傾斜ベクトルは北岳北麓を向く（図7）．月単位の長期的なマグマの蓄積及び放出については，北岳下の圧力源が支配的であることは，すでにわかっているが，個々の噴火の大きいものについても，圧力変動が北岳下の圧力源まで波及していることがわかった．

絶対重力観測では，数十マイクロガルの変動振動振幅で，1時間スケールの成分があることがわかった．この変動の極小期は，非爆発的噴火や噴火未遂をうかがわせるような傾斜変動と対応するなど特徴がある．変動は火道内マグマの上昇・下降で定量的に説明可能である．

3. 火山体構造の時間変化に基づくマグマ供給系の発展過程の解明

地震波干渉法による地下構造の変化の抽出を試みた。桜島北部では、2009年のマグマ貫入に相当する時期に加え、2012年にもマグマ貫入に相当すると考えられる速度低下を示す基線が検出できた。検出した速度低下は小さいので、潮汐の年周変化や降雨量など火山活動以外の要因も検討する必要がある。また、2015年8月15日の桜島ダイク貫入に先行する4月～7月に北岳から南岳にかけての領域で地震波散乱特性が徐々に変化した。また、ダイク貫入の直前直後ではダイク周辺で局所的な変化が見られた。

4. 先行マグマ物質の分析によるマグマ供給系の発展過程の解明

2017年噴火活動と噴出物構成粒子の関係を検討した。第1期活動期に相当する3月末～8月上旬の火山灰は濃密緻密粒子が多く、火口内でマグマが滞留して結晶化が進行した後、噴出したことが推定できる。一方、第2期に相当する8月～10月の昭和火口噴火では、発泡粒子が増加した。この傾向は、第3期の南岳山頂火口の噴火でも同様であり、揮発性成分を含んだマグマが比較的大きい減圧速度で噴出したことが推定できる。第2期のサブステージ3から4へ遷移する時期の8月25日の火山灰は、脱ガスしたマグマが地表付近まで到達し結晶化する時間をおかずに噴出していたことを示す。

火山灰付着水溶性成分のClとSO₄のモル比も第1期と第2期噴火活動期で異なる特性を示した。第1期活動期のCl/SO₄モル比は2009年後半から2015年前半の噴火活動期の平均的なレベルにあったが、第2期、特に9月上旬にはCl/SO₄モル比が1を超えるなど、増加が見られた。第3期の活動期では南岳の噴火活動に移ったので、高いCl/SO₄モル比が得られた。火山灰付着水溶性成分からみても第2期、第3期でマグマの貫入による噴火活動の活発化が見られるといえる。

黒神観測井の温泉ガス中の二酸化硫黄ガス濃度は2010年以降では、高いレベルを保った。夏季に降雨量が少なく、温泉ガスが希釈されなかったこともあるが、秋以降も増加傾向にある。一方、水素ガス濃度は2009年に急激に増加した後は指数関数的に減少傾向にある。噴火活動に活発化の傾向が見られるといえ、桜島へのマグマの供給量は少なく、2009年のようなマグマの貫入速度が著しく増加した状態にないといえる。

- (9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
Iguchi, M., 2018, Volcanic activity of Sakurajima monitored using GNSS, Jour. Disast. Res., Vol.13 No.3 (accepted)
中道治久・井口正人・為栗健, 2017, 2015年8月桜島群発地震の振幅を用いた震源推定, 京都大学防災研究所年報, 60B, 396-401.

(10) 平成30年度実施計画の概要：

次の5つのテーマに基づいて研究をすすめるために、地震、地盤変動、重力、熱、噴出物などの観測を継続する。

- [1] 爆発現象に前駆する短期的マグマの蓄積過程及びマグマ放出過程の解明
- [2] 長期的マグマ蓄積過程・放出過程の解明
- [3] 火山体構造の時間変化に基づくマグマ供給系の発展過程の解明
- [4] 先行マグマ物質の分析によるマグマ供給系の発展過程の解明
- [5] マグマ挙動のモデリング

研究集会を開催し、2006年以降の桜島火山のマグマ活動を総括し、今後のマグマ活動の予測について議論する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

井口正人、中道治久、山本圭吾、為栗健、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科(大島弘光、中川光弘)
 秋田大学工学資源学部(筒井智樹)
 東北大学大学院理学研究科(西村太志、太田雄策、小園誠史)
 東京大学地震研究所(大久保修平、及川純)
 東京大学大学院理学系研究科(森俊哉)
 東京工業大学火山流体研究センター(野上健治、神田径)
 常葉大学環境防災学部(嶋野岳人)
 名古屋大学大学院環境学研究科(山中佳子)
 京都大学大学院理学研究科(大倉敬宏、横尾亮彦、宇津木充)
 九州大学大学院理学研究院(清水洋、松島健、相澤広記)
 鹿児島大学理学部(宮町宏樹、中尾茂、八木原寛)

(12) 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：http://www.svo.dpri.kyoto-u.ac.jp/default.html

(13) 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

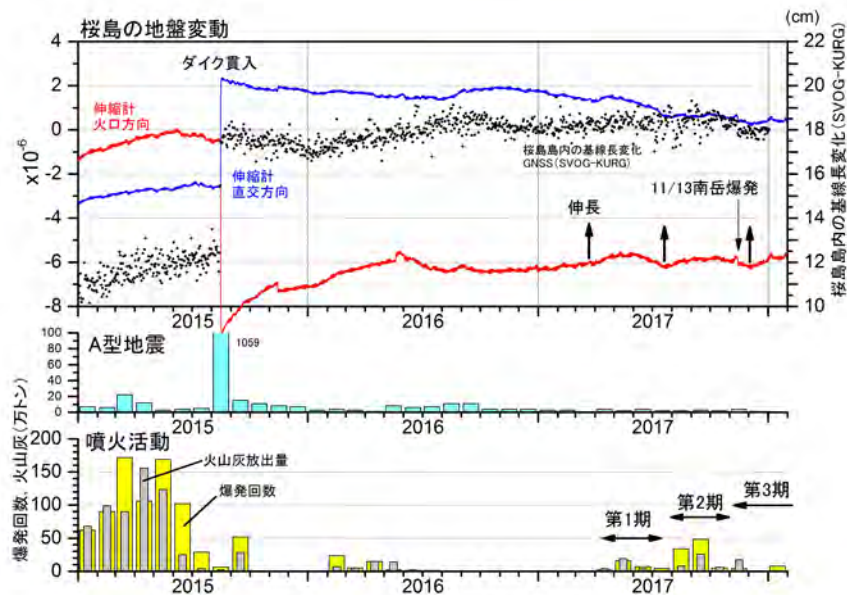


図1 2015年1月～2018年1月の桜島の地震活動，地盤変動，噴火活動

上段：ハルタ山観測坑道におけるひずみ変化(赤：南岳火口方向，青：直交方向)およびGNSS観測による桜島の東西基線(SVOG - KURG)の変化(黒)。中段：A型地震月別発生回数。下段：月別爆発回数(黄)及び火山灰放出量(灰)

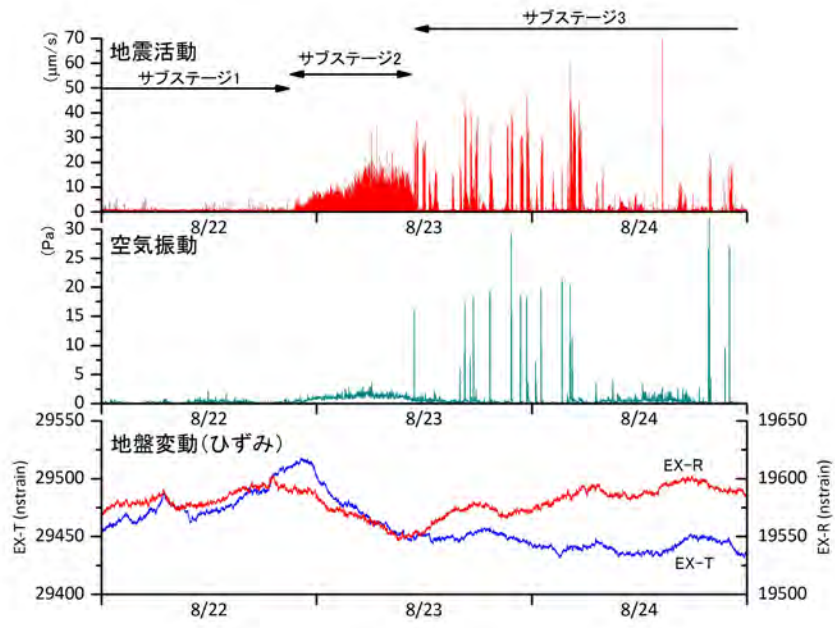


図2 2017年8月22日～24日の噴火活動の推移

上段：地震動振幅の1分毎の最大値，中段：空気振動振幅の1分毎の最大値，下段：ひずみ変化（有村観測坑道におけるひずみ変化，赤：南岳火口方向，青：直交方向）

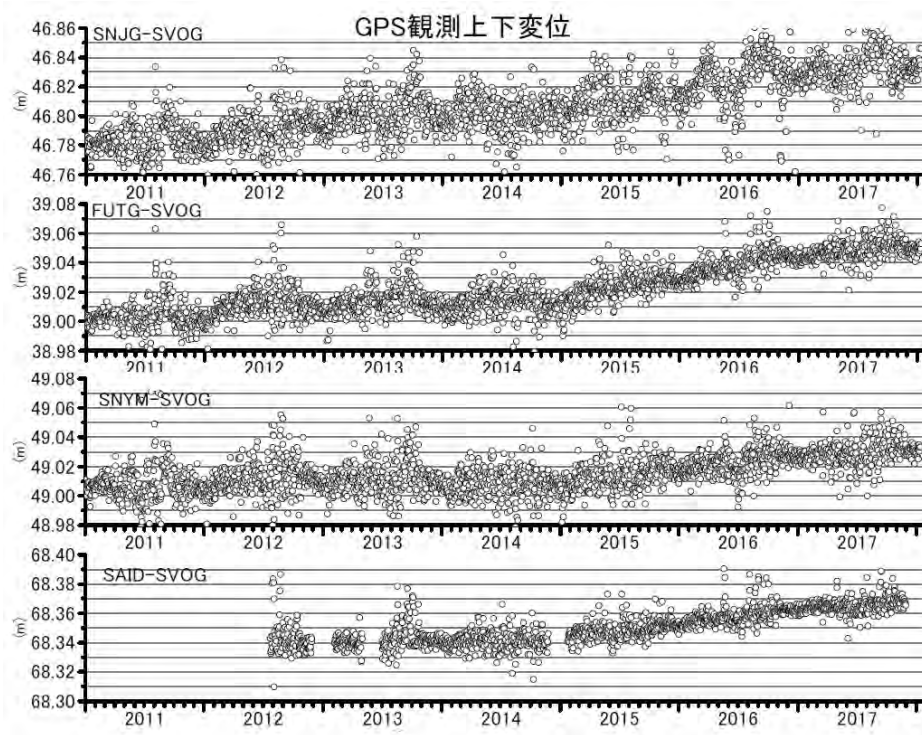


図3 桜島北部のGNSS観測点における上下変動
 桜島西部のSVOGを基準とした。2017年以降、停滞傾向が見られる。



図4 溶岩噴泉活動
 溶岩片は火口上200mに達した。

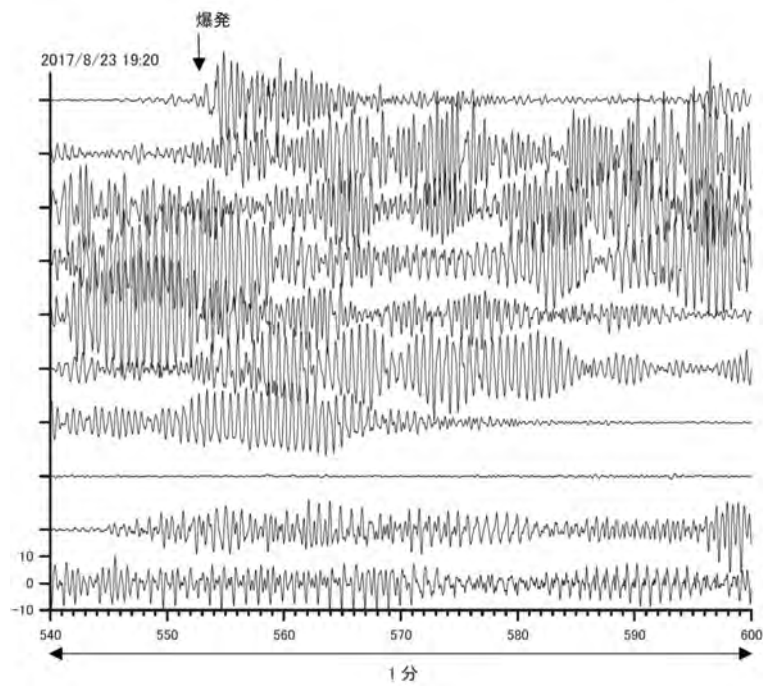


図5 小規模噴火とそれに続く Chugging イベントの地震波形

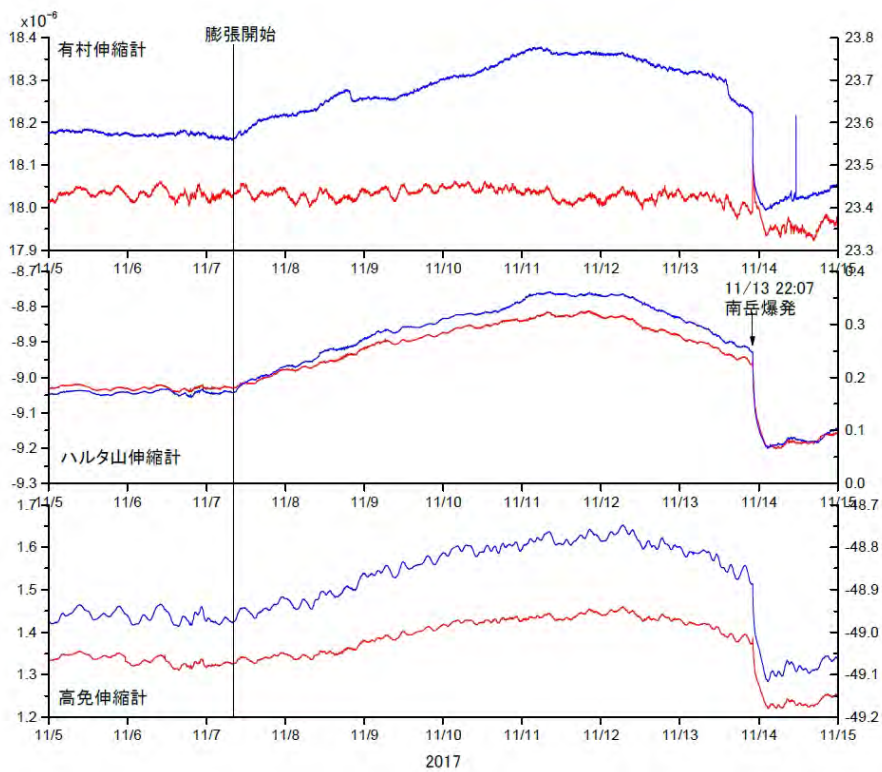


図6 2017年11月13日の爆発に前後するひずみ変化

11月7日から膨張開始，11月12日に収縮に反転，11月13日22：07に爆発発生．

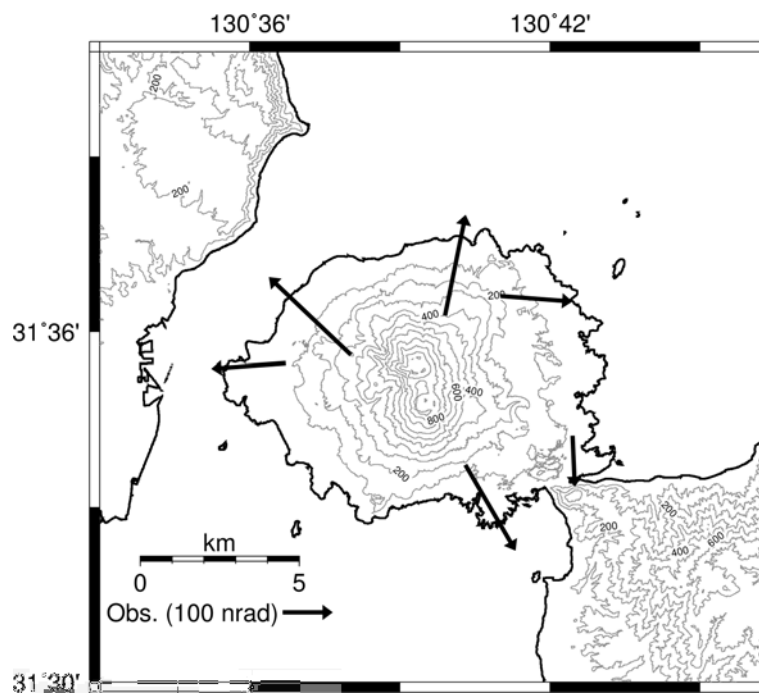


図7 2017年11月13日の爆発に伴う傾斜変化ベクトル
 隆起傾斜方向を示す．中央火口丘側が沈降．ハルタ山，有村，高免の3観測坑道に，気象庁横山，あみだ川，瀬戸の傾斜ベクトルを追加した．

(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：

焼岳火山の噴火準備過程の研究

(3) 最も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) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

(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

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

飛騨山脈の焼岳火山は、東北地方太平洋沖地震の直後に地震活動が非常に活発化するなど、今後の動向を注視する必要がある火山のひとつであると考えられることから、同火山において複数項目の観測を行い、その火山噴火準備過程の理解に資する。本計画では、現状では手薄な地盤変動の観測研究を中心に、すでに実施中の微小地震観測や、他機関によって実施されている赤外熱映像観測等のデータの集約と解析を行い、将来の火山防災に資するための基礎データとすることを目的とする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

焼岳火山においては、大学、気象庁、国交省砂防部局、長野県等が各種観測機器を設置してデータを取得しているが、各データが有機的に集約されているとは言いがたいのが現状である。本計画では、既存データの有機的な集約・統合を試みつつ、既存の観測で取得されていない地盤変動データを集中的に取得することで同火山の噴火準備過程の理解に資する。地盤変動データは、噴火の直前過程において微小地震観測データに先行して変化が現れる可能性があり、基礎データとして平常時のデータを取得しておくことは特に重要である。以下、年度別の計画を記述する。

平成 26 年度：現計画で実施中の焼岳近傍での微小地震観測および解析を継続すると共に山体近傍へ地震計の再設置を含めた観測点配置の再検討を行う。また、山体に傾斜計を設置するための地点選定と、そのための各種許認可手続きを開始する。傾斜計観測点は、山体を囲むように、長野県側に 2 点、岐阜県側に 1 点の計 3 点を計画している。1 点はボアホール型、他の 2 点は気泡型の予定である。平成 26 年度は気泡型傾斜計 1 点の設置まで行う。さらに、現在オフライン方式で継続している長野県側の地震観測点の一部を、携帯電話サービスを使用した簡易的なテレメータ観測点に改造することを試みる。なお、傾斜計本体は別経費で調達する。

平成 27 年度：微小地震観測を継続するとともに、引き続き傾斜計設置のための許認可手続きを行う。また、ボアホール型傾斜計 1 点の設置作業を行う。

平成 28 年度：微小地震観測を継続するとともに、引き続き傾斜計設置のための許認可手続きを行う。また、気泡型傾斜計 1 点の設置作業を行う。

平成 29 年度：微小地震観測およびその解析の継続、さらには傾斜観測データの解析を行う。また、国交省砂防部局が取得している赤外熱映像データの解析手法を開発し、同データを有効利用する手立てを検討する。

平成 30 年度：傾斜観測データの解析から、データの精度チェックおよび 2 年間の地殻変動の評価を行う。微小地震観測および熱映像解析もあわせて行い、本計画の総括を行う。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

平成 26 年度から 27 年度にかけて文部科学省の「火山地域での効率的な機動的集中観測研究システムの構築事業」(以下、機動的集中観測システムという)により構築した観測設備の安定稼働を目標とした調整作業を引き続き実施した。「機動的集中観測システム」では、図 1 に示す上高地下堀沢(DP.SMHZ)、焼岳中尾峠(DP.NKOT)、焼岳山頂(DP.YKEP)の 3 点の観測点を構築した。

これらの観測点により、2017 年 8 月 9 日から 10 日にかけて発生した焼岳・黒谷火口の小噴気発生に伴う諸現象を観測することができた。図 2 に噴気発生に伴って新規観測点においても観測された低周波地震の波形を示す。本事象に関しては噴気発生に伴う低周波地震が観測されたほかは、地殻変動、全磁力、火口周辺の地中温度等には異常は見られなかった。図 3 には、2017 年 1 月から 2018 年 1 月下旬までのこれらの観測項目の時系列を示す。

これらに加え、2017 年 9 月には、焼岳山頂域の熱異常検知の基礎データとするための赤外熱映像調査を山体周辺の数点で行った。予備的な解析によれば、焼岳山頂域全体の放熱量は高々 1MW 程度と考えられ比較的低調な熱活動が見られていることが伺えた。また、山頂の噴気地帯は事前の予想に比較して放熱量が大きくなかったのに対し、焼岳北側斜面の 1962 年噴火時の火口列跡周辺には、噴気は見られない場所にも明瞭な熱異常が見られた。

今回の諸解析には、気象庁の焼岳観測点の空振波形および栃尾観測点のアメダスデータ、国交省北陸地方整備局の微小地震観測データを参照させていただいた。記して謝意を表す。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

大見士朗、2016、飛騨山脈南部脊梁部で発生する地震による震源域近傍での震度について?2014 年 5 月飛騨山脈南部の地震活動の例?、地震 2、69、113-118、DOI:10.4294/zisin.69.113.

大見士朗・井口正人・飯尾能久、2017、飛騨山脈焼岳火山の研究監視観測網の現状、京都大学防災研究所年報、60B、402-407.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

地震および地殻変動観測とそのデータ解析を継続するとともに、厳しい自然条件下での観測設備の安定運用を目標とした調整作業を引き続き実施する。

(11) 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：大見士朗、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附属地球熱学研究施設：横尾亮彦

(12) 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防災研究部門

電話：

e-mail :

URL :

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 大見士朗

所属 : 京都大学防災研究所地震防災研究部門

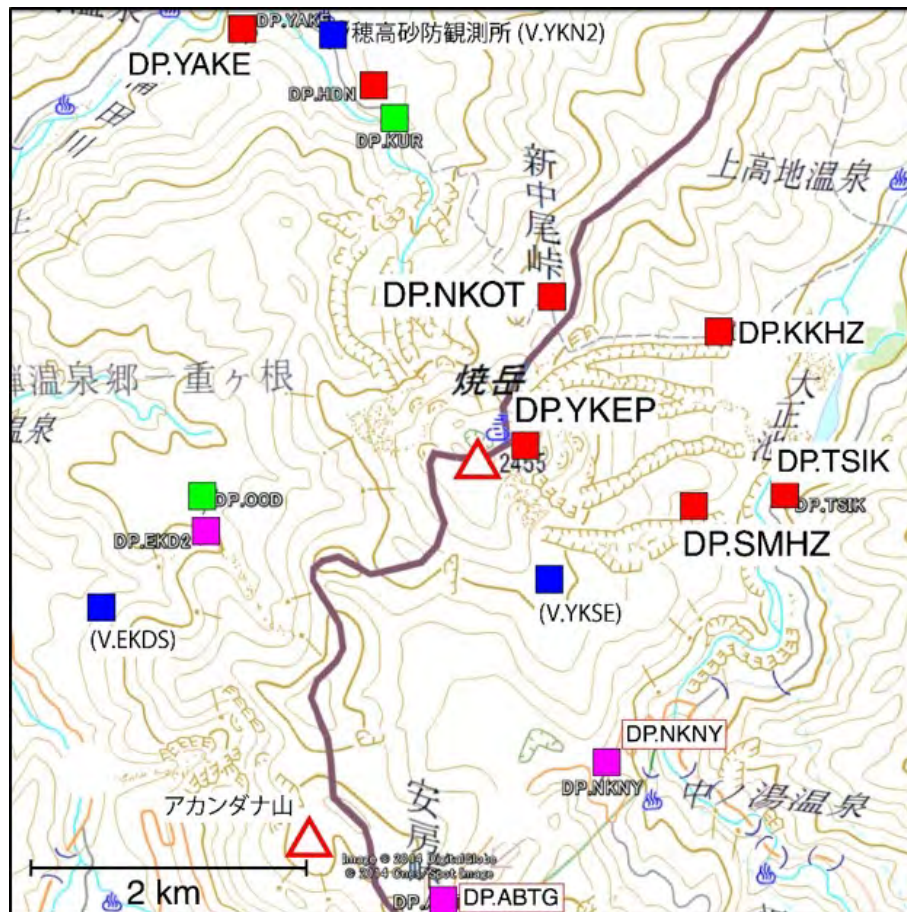


図 1 : 2017 年 4 月現在の焼岳周辺の観測点分布

それぞれ、緑色は北陸地整・神通砂防、青色は気象庁、赤色は京大、マゼンタは京大(オフライン)の観測点を示す。焼岳山頂(DP.YKEP)、焼岳中尾峠(DP.NKOT)、上高地下堀沢(DP.SMHZ)は平成26年度文科省予算で構築された点、上高地峠沢(DP.KKHZ)、上高地防災情報センター(DP.TSIK)は平成25年度から27年度にかけて国交省予算で整備した観測点である。

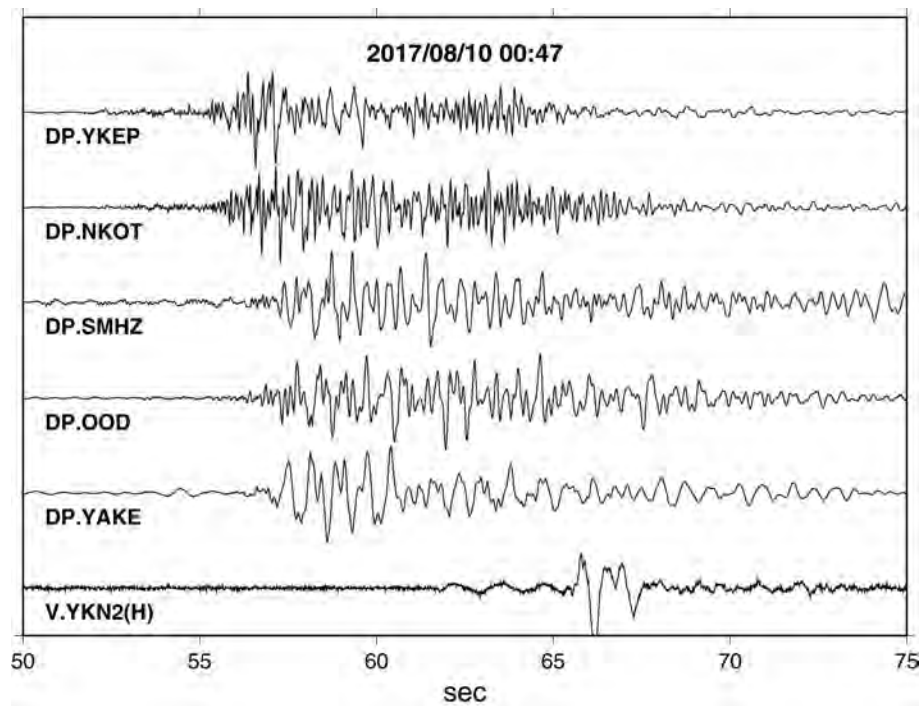


図 2：焼岳黒谷火口での小噴気発生に伴う低周波地震の波形

焼岳黒谷火口での小噴気発生に伴い 8 月 10 日 0 時 47 分に発生したイベントの波形を山頂からの距離の順に並べたもの。最大振幅で規格化している。最下段は気象庁・中尾の空振計記録。山頂付近での走時が最も早いことから山頂付近に振動源があるものと推測される。DP.YKEP での振動波形は周波数 1.5Hz 付近と約 7Hz の 2 つのピークを持つ。DP.YAKE では周波数 1.5Hz 付近の信号が卓越している。山麓観測点で高周波成分の減衰が大きいことから振動源が浅いと考えられる。

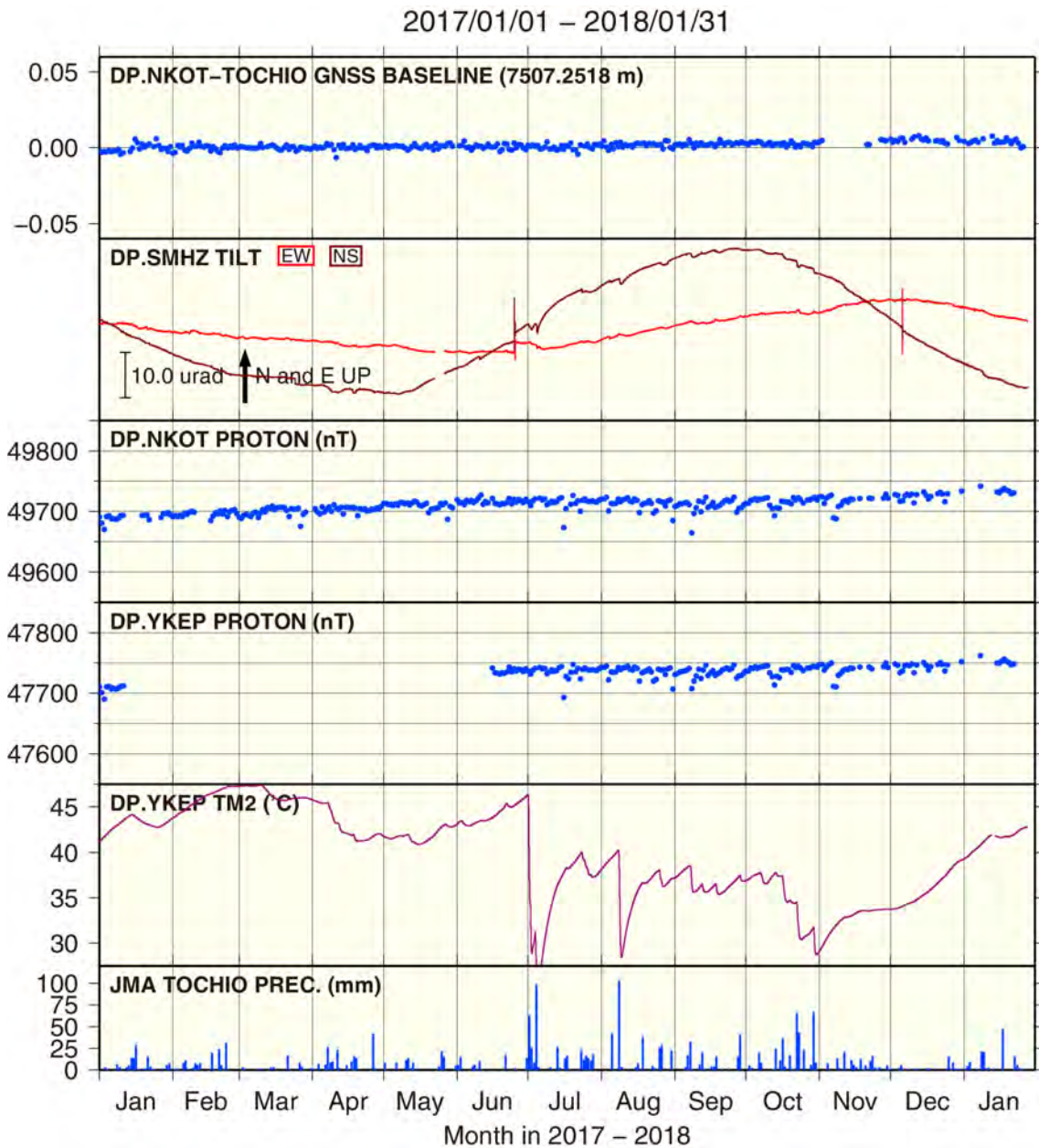
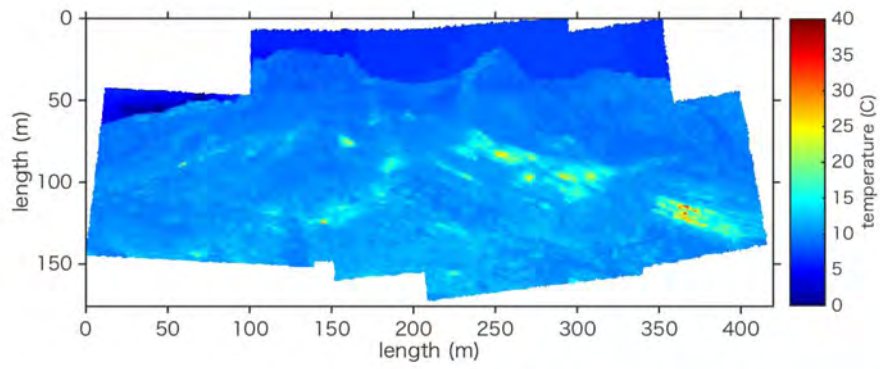


図3：2017年1月1日から2018年1月下旬までの主な観測結果の時系列

上から、DP.NKOT(京大・焼岳中尾峠) - TOCHIO(栃尾、名大・京大の共同運用)のGNSS基線長、DP.SMHZ(京大・上高地下堀沢)の傾斜計、DP.NKOT(京大・焼岳中尾峠)およびDP.YKEP(京大・焼岳山頂)の全磁力(絶対値)、DP.YKEP(京大・焼岳山頂)の精密温度計の各記録。最下段に参考のため気象庁の栃尾観測点のアメダスによる日別降水量の記録を示す。



撮影点	地名	平均距離 (m)	放熱量 (MW)
IR6a	展望台	300	0.35



図4：焼岳北側斜面の熱異常

2017年9月9日に実施した焼岳山頂域での赤外熱映像による熱活動調査の結果の一例。焼岳北側斜面の1962年噴火時の火口列跡に、噴気は見られないものの明瞭な熱異常が認められる。

(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：

短スパン伸縮計等を活用した西南日本における短期的 SSE の観測解析手法の高度化

(3) 最も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) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(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・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

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

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

南海トラフから沈み込むプレート境界深部で発生する短期スロースリップイベント (SSE) を新たな観測と解析手法の高度化によって詳細にモニタリングする手法を構築する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

GNSS (GEONET) データと既存および新設する観測網による地殻変動連続観測データを併合処理して、西南日本に発生する短期的スロースリップイベント (SSE) を時空間的に精度良く検出する手法を開発し、南海トラフ沿いのプレート境界深部における滑りのモニタリングを高度化する。そして、検出された短期的 SSE の発生頻度や規模からプレート境界深部における滑り特性を把握する。さらに、併合処理によって明らかにされる短期的 SSE 発生時の地殻変動の大きさや時定数をふまえて、長期間のデータの蓄積がある地殻変動連続観測データの再解析を行い、過去の短期的 SSE の発生状況を明らかにして南海トラフの巨大地震の発生サイクルの中で SSE の発生が時間変化しているのかどうかを調査する。

短期的 SSE の稠密観測を実現するために、短スパン伸縮計 (基準尺が 50 cm ~ 1.5 m) を開発し、地殻変動観測の新たなツールとする。開発にあたっては、アレイ観測や臨時観測に用いることを念頭とし、ひずみ地震動や火山などでの地盤変形計測にも対応することを目指す。また、従来の横坑式伸縮計の補正や置き替えの可能性についても検討する。

短期的 SSE は、巨大地震発生域に隣接した深部延長領域で数ヶ月に一度発生しており、巨大地震震源域への応力蓄積過程を理解する上で重要な現象である。また、大地震発生サイクルの数値シミュレーションから、地震サイクル中に短期的 SSE の発生頻度が変化することや、短期的 SSE の準静的滑りが巨大地震の動的滑りにまで成長することがあることが予想されており、短期的 SSE と巨大地震の発生は密接に関連していると考えられる。よって本課題は、南海トラフの巨大地震を対象としたプレート境界滑りのモニタリング手法の高度化に資することを目的とする。具体的な実施項目の年次計画は、以下の通り。

平成 26 年度：基準尺 1.5 m の短スパン 3 成分伸縮計の仕様の確定と計器の完成。紀伊半島での稠密アレイ観測を開始。GNSS データを用いた短期的 SSE 推定手法の改良。地殻変動連続観測データにおける短期的 SSE に関連するシグナルの抽出。

平成 27 年度：基準尺 50cm の超短スパン伸縮計開発の開始と紀伊半島における短スパン伸縮計での観測の継続。GNSS データと地殻変動連続観測データの併合処理による短期的 SSE 推定手法の開発。地殻変動観測データの整理 (潮汐・気象擾乱の補正、デジタイズ) 。

平成 28 年度：基準尺 50cm の超短スパン伸縮計開発の完成と紀伊半島における短スパン伸縮計での観測の継続。GNSS データと地殻変動連続観測データの併合処理による短期的 SSE 推定手法の開発。地殻変動観測データの整理 (潮汐・気象擾乱の補正) 。

平成 29 年度：紀伊半島における短・超短スパン伸縮計での観測の継続。過去の地殻変動データを用いた SSE 発生履歴の推定。地殻変動観測データの整理 (潮汐・気象擾乱の補正) 。

平成 30 年度：紀伊半島における短・超短スパン伸縮計での観測の継続。短期的 SSE 発生の発生状況の総括と地震サイクルにおける考察。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

短スパン伸縮計の開発及び観測網の構築に関しては、基準尺 1.5 m の短スパン伸縮計 (3 成分) による紀伊半島での 2 か所の観測を継続した。2017 年夏から秋にかけての大雨により、1 か所の観測点が水没し、観測が中断している。簡易に設置できる伸縮計によってより厳しい環境に設置したためであるが、さらなる改良が必要である。また、個々の短期的 SSE の発生履歴を調査するため、古い地殻変動観測データの解析を継続した。京都大学防災研究所紀州観測点 (三重県熊野市) では、1940 年代から観測がはじまり、1947 年から土地傾斜の観測をはじめている。現在、1948 年以降の横坑傾斜計の記録の存在を確認している。プロマイド記録であり、各用紙に 1 週間程度記録されている。1960 年代の記録紙をデジタル画像化し、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。

短期的 SSE の解析手法の高度化に関しては、GNSS データと傾斜計データを用いた SSE の断層モデル推定手法の開発を行った。図 1 は、開発した推定手法を用いた短期的 SSE の断層モデルの推定例である。矩形断層一様すべりのモデルにおいて、GNSS データと傾斜計データの両者を概ね説明するこ

とは可能であるが、両者のデータの最適の重みや傾斜計のトレンドの補正方法などに課題がある。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
なし。

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

短スパン伸縮計の開発及び観測網の構築に関しては、現状の短スパン伸縮計の観測点の維持及び災害により観測を中断している観測点の復旧を行う。また、紀州観測点の傾斜記録のデジタル画像化と傾斜変化の検討を引き続き行う。

短期的 SSE の解析手法の高度化に関しては、GNSS データと地殻変動連続観測データの併合処理による短期的 SSE 推定手法の開発を継続し、GNSS データと傾斜計データの重みの客観的な決定手法や傾斜計データの補正方法の改良を続ける予定である。

(11) 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、加納靖之、山崎健一、伊藤喜宏
他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 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/>

(13) 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

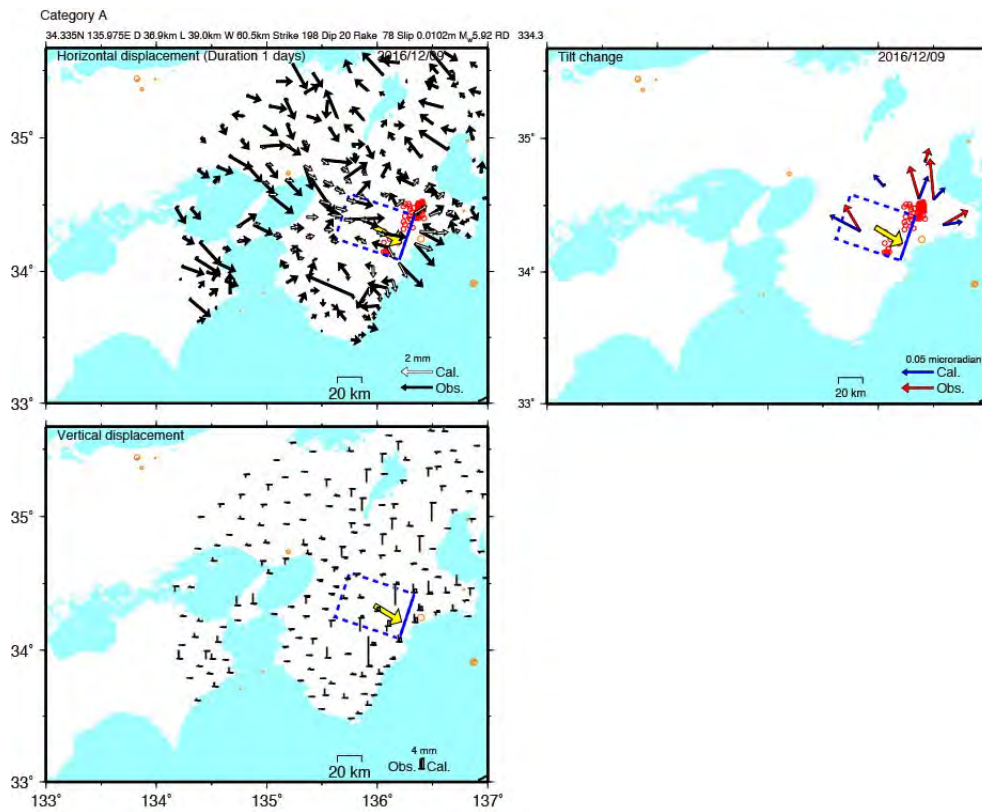


図1 . GNSS データと傾斜計データの統合処理による 2016 年 12 月 9 日頃に紀伊半島で発生した短期的 SSE の断層モデル .
 青四角が矩形断層モデルの位置 , 黄矢印がスリップベクトルの方向を表す .

(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：

プレート境界巨大地震等の広帯域強震動予測に関する研究

(3) 最も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の事前評価手法の高度化

(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・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

ウ. 内陸地震と火山噴火

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

プレート境界巨大地震や内陸地殻内地震等を対象として、広帯域強震動生成のための震源モデル、地殻構造モデルおよび大阪盆地等の堆積盆地構造モデルの高度化を行い、長周期地震動を含む広帯域強震動予測手法の構築を目指す。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

地震災害誘因の事前評価としての広帯域強震動予測を行うために、震源モデル、震源から観測サイトまでの地殻・地盤速度構造モデルの高度化を進める。震源モデルに関しては、担当者らを含むグループがこれまで行ってきた広帯域の震源不均質モデルをベースに、研究課題「プレート境界巨大地震の広帯域震源過程に関する研究」の研究成果も導入する。地殻・地盤速度構造モデルの高度化は、全国一次地下構造モデルのような全国レベルのモデルを含む既往モデルに対して、そのモデルの妥当性の検証を進めることによって問題点を発見し、モデルの修正・高度化を行う。速度構造モデルの妥当性の検証には、各観測網によって得られている中規模地震の波形記録を活用した波形モデリングを行う。また、適切な観測記録が少ない地域においては、微動連続記録の地震波干渉法解析により観測点間グリーン関数を求め、地下構造モデルに基づく理論的グリーン関数と比較する。大阪盆地等の大規模堆積盆地において、地震動特性把握のための臨時的強震観測や微動観測を行い、速度構造のモデリングに利用する。南海トラフ等を震源域とするプレート境界巨大地震の震源域および大阪平野等での地震動評価を行う。

各年度の研究計画を以下に示す。

平成 26 年度 既往広帯域震源モデルの整理と問題点抽出

平成 27 年度	強震記録・連続地震記録等の収集、観測点グリーン関数構築，強震観測 広帯域震源モデル問題点の改良 地下構造モデル妥当性検証、強震観測
平成 28 年度	広帯域強震動予測手法プロトタイプ提案。既往地震による検証。 地下構造モデル妥当性検証継続・モデル改良、強震観測
平成 29 年度	広帯域強震動予測手法プロトタイプの問題点の改良 地下構造モデル妥当性検証・モデル改良継続、強震観測
平成 30 年度	広帯域強震動予測手法の提案 南海トラフ地震等の広帯域シミュレーション、強震観測

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

広帯域強震動予測のための震源モデル、震源から観測サイトまでの地殻・地盤速度構造モデルの高度化を進めている。今年度は、1) 奈良盆地の堆積層の3次元地下速度構造モデルの構築、2) 熊本平野や八代平野における長周期地震動特性を把握するための各観測地震動波形データの分析、及び、3) 地盤震動特性把握のため、関東平野の中川低地帯、京都盆地における地震(強震)観測の継続的な実施、を行った。

奈良盆地は堆積層厚最大約 600m と推定される堆積盆地で、奈良盆地東縁断層帯、生駒断層帯、中央構造線断層帯の金剛山地東縁セグメントなどの活断層に囲まれ、南海トラフ地震の想定断層面からも 50~60km と比較的近い距離にあるなど地震ハザードの高い地域であるが、その3次元地下速度構造のモデル化は十分ではなかった。平成 25~27 年度文部科学省委託研究「中央構造線断層帯(金剛山地東縁一和泉山地南縁)における重点的な調査観測」のもと、奈良盆地堆積層速度構造モデルの構築が進められたが、本課題ではこのモデルをもとに、データの追加、モデル作成方法の改良、モデル検証の追加を行い、奈良盆地堆積層速度構造モデルの改良を進めた。モデルの表現方法については、堆積環境が類似していると考えられる大阪盆地の既往モデル化(堀川ほか, 2003 など)と同様、大阪層群の鍵層深度分布をモデル化し、堆積年代と深さの経験式で物性値構造へ変換するという方法を採用した。重力異常に基づく基盤岩深度データ、表層地質情報、ボーリングの岩着深度、反射法地震探査の基盤岩上面深度、微動水平/上下スペクトル比の卓越周期を用いて基盤岩深度モデルを作り、地質学的分析がなされたボーリングにおける層序モデルから設定した鍵層の深度比を求め、堆積盆地全体に適用して鍵層深度モデルを作った。鍵層深度モデルに、堀川ほか(2003)で当該地域に対して作成された物性値変換式を適用して堆積層速度構造モデルに変換した。得られた3次元堆積層速度構造モデルの妥当性の検討として、微動アレイ観測による表面波位相速度曲線との比較、小地震のシミュレーション波形と観測記録との比較を行った。小地震のシミュレーションでは、盆地内の広い領域で、本研究のモデルは既往の堆積層速度構造モデルに比べて高い地震動再現能力を示した。

熊本県の熊本平野、八代平野は、堆積層厚が数百m以上あると考えられ、大地震発生時に長周期地震動に見舞われる可能性があると考えられる。この地域では、K-NET、KiK-net 強震観測点及び熊本県震度情報観測ネットワークシステムにより、2016 年熊本地震で発生した多数のイベント記録が得られている。これらの波形データを用いて、スペクトルインバージョンにより、震源特性、サイト特性、Q 値を推定した。平野内や、阿蘇カルデラ内の観測点のサイト特性は、周期 1 秒以上の長周期帯域での増幅が顕著であることがわかった。今後、地下速度構造モデル情報を利用して、モデルの観測説明性などを確認する。

堆積盆地構造の地震応答を実測し地盤構造モデルの改良に用いるため、京都盆地および関東平野の中川低地で、既設強震観測点での観測を継続した。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

関口春子・浅野公之・岩田知孝, 2018, 奈良盆地の堆積層構造のモデル化, 平成 29 年度 京都大学防災研究所研究発表講演会, P19.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

これまでの 4 年間で実施した広帯域強震動予測のための震源モデルと地下構造モデルの改良・検証により得られた知見とプロトタイプモデルに基づき、広帯域強震動予測手法の提案をまとめ、南海トラフ地震等の広帯域シミュレーションを実施する。堆積平野・盆地の地震動応答の解明のための強震観測を継続する。

(11) 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

(12) 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社会防災研究部門 (都市防災計画)

電話 : 0774-38-4286

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

URL :

(13) 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：

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

(3) 最も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の事前評価手法の高度化

(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・火山噴火の災害事例の研究

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

斜面の地すべり現象(地すべり・崩壊・土石流を総称)は、地震による最も大きな災害要因の一つであり、山間地とともに都市域の造成地でも発生している。2011 年東北地方太平洋沖地震時には、事前降雨が極めて少なかったため、発生数、発生域ともに限られていたが、近い将来大規模な地震が予測される南海トラフの地震や首都直下地震、およびその他の内陸地震では、それとは比較にならないほど広域かつ甚大であると考えられる。これらの地震による地すべり現象の発生には、地質、地質構造、地下水、地震波の斜面内部での挙動など、様々な要因が関与するが、地震による地すべり発生のメカニズムと発生場についての研究は極めて立ち遅れているのが現状である。本研究では、これらの要因と地震時地すべり現象発生との関連を事例研究および観測研究によって明らかにし、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高度化を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本研究では、地域的多様性を考慮したハザード評価手法の構築と観測・実験・シミュレーションによる災害発生メカニズムの検討(二次災害のハザード評価を含む)の二つのサブテーマをセットとして推進する。

1) 地域的多様性を考慮したハザード評価手法の構築 - 過去の事例の地質・地形的要因の調査・分析とハザードマップ作成手法の構築 -

地すべりと地震との関係を、有史前までさかのぼって野外調査と室内分析によって分析し、地すべり発生事前予測のための指標を明らかにする。特に航空レーザー計測による詳細地形の活用を図る。さらに、地すべりと震源断層との関係、地すべりに先行すると考えられる斜面重力変形地形の特徴、および、地震に弱い岩石の風化帯構造や谷埋め堆積物の構造を解明し、地質・地形的にみた地震時ハザードマップ作成手法を、科学的にも実用的にもレベルの高いものとして構築する。

2) 観測・実験・シミュレーションによる災害発生メカニズムの検討 - 斜面内での地震動の観測、及びそれが引き起こす地下水と斜面変位への影響の解明 -

現在、地震計・強震計の多くは、比較的平坦で堅固な地盤に設置されているため、斜面での地震動の観測は不十分なままである。本研究では、サブテーマ1で抽出した不安定候補斜面と過去に発生した地すべり斜面と堆積物(天然ダムを含む)において、以下の三点を実施する。

1. 斜面内に地震計の多点アレイを設置し、地震波の斜面内の挙動を明らかにする。
2. 斜面内に観測孔を掘削し、地震計、間隙水圧計、傾斜計を設置し、地震動が引き起こす間隙水圧の変化と斜面の変動への影響を明らかにする。
3. 上記の成果を基に、室内実験とシミュレーションを組み合わせ、今後予測される地震の斜面の安定性への影響を評価する方法を構築する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

南海トラフおよび相模トラフの海溝型地震によって発生した大規模崩壊、および、2016年熊本地震によって発生した降下火砕物斜面の崩壊について、航空レーザー計測による地形解析、現地調査、および室内分析によってそれらの特徴を明らかにし、共通する地質・地形的特徴を抽出した。既往の南海トラフおよび相模トラフの海溝型地震による大規模な崩壊は、特に外帯の付加体に発生しており、地質構造的には流れ盤斜面の座屈した地層と曲げトッピングを起こした地層に発生していることが多いこと(図1)、さらに、これらは地形的特徴と概略地質構造によって抽出可能であることが明らかになった。熊本地震による降下火砕物斜面の63か所の崩壊を調査した結果、それらのすべり面が層序的に特定され、最も多いのは約3万年前の草千里ヶ浜軽石、次に約7千300年前の喜界アカホヤ火山灰近傍の暗色土であることがわかった(図2)。これらの層には、層序を反映した化学成分の移動・集積によって粘土鉱物のハロイサイトが生成しており、層序と風化作用の両面から地震時崩壊発生場所予測を行う見通しが得られた。

これまでの観測の継続および拡充、データ解析等をおこなった。地震による地すべりの発生を議論するためには、地すべりブロック内での地震動のばらつきを評価する必要がある。紀伊山地内の重力変形斜面と北海道の海岸地すべり地内において実施した多点地震観測のデータを用いて、地形や斜面内部の不均質構造による地震時の斜面の震動の多様性を推定した(図3)。また、阿津江大規模再活動地すべり地において、稠密微動観測を実施した結果、移動土塊の境界付近において、斜面振動の最大増幅方向はほぼ一緒で、斜面傾斜方向に平行していることと、移動土塊の中心部付近では、地すべり土塊が厚くて不均質であるため、最大増幅の方向はランダムに分布していることが分かった。

次に、前年度開発したアスファルト舗装道路において盛土内の浅い地下水位を推定するための屈折波探査手法を地下水位がわかっている谷埋め盛土において適用した。その結果、沖積低地内では明瞭な地下水面からの屈折波が検出され(図4)、盛土内でも不明瞭ではあるものの屈折波が検出された。

最後に、平成28年熊本地震において、変位領域の背後側に開口亀裂が広範囲に生じた阿蘇谷においてボーリング調査をおこなった。阿蘇谷にはAso-4以降の湖成層が広く分布するが、ボーリング調査の結果、変位領域下は周囲に比べ特に湖成層が厚くなっていることが示唆された。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

千木良雅弘, 笠間友博, 鈴木毅彦, 古木宏和, 2017. 1923年関東地震による震生湖地すべりの地質構造とその意義. 京都大学防災研究所年報, 60B: 417-430.

千木良雅弘, 2017. 南海トラフおよび相模トラフの大地震による深層崩壊 JpGU-AGU Joint Meeting

2017, 幕張, HDS17-05.

土井一生・釜井俊孝・佐藤朗・王功輝・千木良雅弘・小川内良人・川島正照 (2017): 重力変形斜面の地震時挙動の観測 - 新しい加速度センサー・傾斜センサー一体型プローブを用いて -, 応用地質、58, 2, 94-101.

Doi, I., T. Kamai, G. Wang, M. Chigira, Y. Ogawauchi, and M. Kawashima, Characteristics of seismic motions and pore pressure response in the filled slope, Proceedings of 4th Slope Tectonics Conference, 47, 2017.

Doi, I., T. Kamai, S. Goto, R. Azuma, T. Ohkura, H. Murao, and K. Mima (2017): Generation mechanism of large-scale fissures in the Aso valley accompanied with 2016 Kumamoto earthquake - Relationship to subsurface structure -, Workshop on earthquakes and triggered hazards in French-Japanese week on Disaster Risk Reduction, J02-P-05.

土井一生・松浦純生・大澤光・柴崎達也・土佐信一 (2017): Silent Landslide -Waveform Records from a Seismometer Settled on a Moving Landslide Block-, JpGU-AGU Joint Meeting 2017、HDS09-04.

Ning MA, Gonghui WANG, Toshitaka KAMAI, Issei DOI (2017) Insight on co-seismic responses of a deep-seated landslide by monitoring. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Chiba prefecture. Poster presentation, HDS09-P02

Ning MA, Gonghui WANG, Toshitaka KAMAI, Issei DOI (2017) on the co-seismic responses of a deep-seated landslide: Insight by monitoring. 4th Slope Tectonics Conference, Kyoto University. oral presentation, Session 7-P03

佐藤達樹, 千木良雅弘, 松四雄騎, 2017. 平成 28 年熊本地震により発生した軽石層および火山灰土層をすべり面としたテフラ斜面の崩壊, 日本地球惑星科学連合大会 2017, 幕張, HDS17-02

Wang, G., Doi, I., Kamai, T., Goto, S. and Chigira, M., 2017. On the fluidized landsliding phenomena on gentle slopes triggered by the 2016 Kumamoto Earthquake JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Makuhari, pp. HDS09-01.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

既往の南海トラフ大地震による崩壊地の未調査箇所を調査して、それらの地質・地形的特徴と前兆的な地形を明らかにする。これに基づいて、代表的な地質構造の地域を選んで微地形と地質構造を明らかにし、地震時の崩壊発生の可能性を評価する手法を考案する。降下火砕物斜面のすべり面形成層準をとりまとめ、既往の降下火砕物のデータを用いて地震時崩壊発生危険地域を絞り込む方を提案する。

引き続き地震観測と解析を進め、どの周波数の地震波が地すべりの発生にどのように寄与するかを明らかにする。特に、地すべり地内での地震動の増幅やばらつきについてデータ解析の結果をまとめ、その結果を説明するモデルを作成する見通しを得る。また、盛土内の浅部構造や地下水位を明らかにする手法開発をさらに進め、盛土内の材質などと比較し検討をおこないながら、広く分布する多数の谷埋め盛土に適用可能な手法へと修正していく。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

千木良雅弘 (京都大学・防災研究所・教授): 総括、サブテーマ 1 (主査)、サブテーマ 2

釜井俊孝 (京都大学・防災研究所・教授): サブテーマ 1、サブテーマ 2 (主査)

松浦純生 (京都大学・防災研究所・教授): サブテーマ 2

松四雄騎 (京都大学・防災研究所・准教授): サブテーマ 1

王 功輝 (京都大学・防災研究所・准教授): サブテーマ 1、サブテーマ 2

土井一生 (京都大学・防災研究所・助教): サブテーマ 2

他機関との共同研究の有無 : 有

西山賢一 (徳島大学・環境防災研究センター): サブテーマ 1

(12) 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
電話: 0774-38-4097
e-mail:
URL:

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者
氏名: 千木良雅弘
所属: 京都大学防災研究所地盤災害研究部門

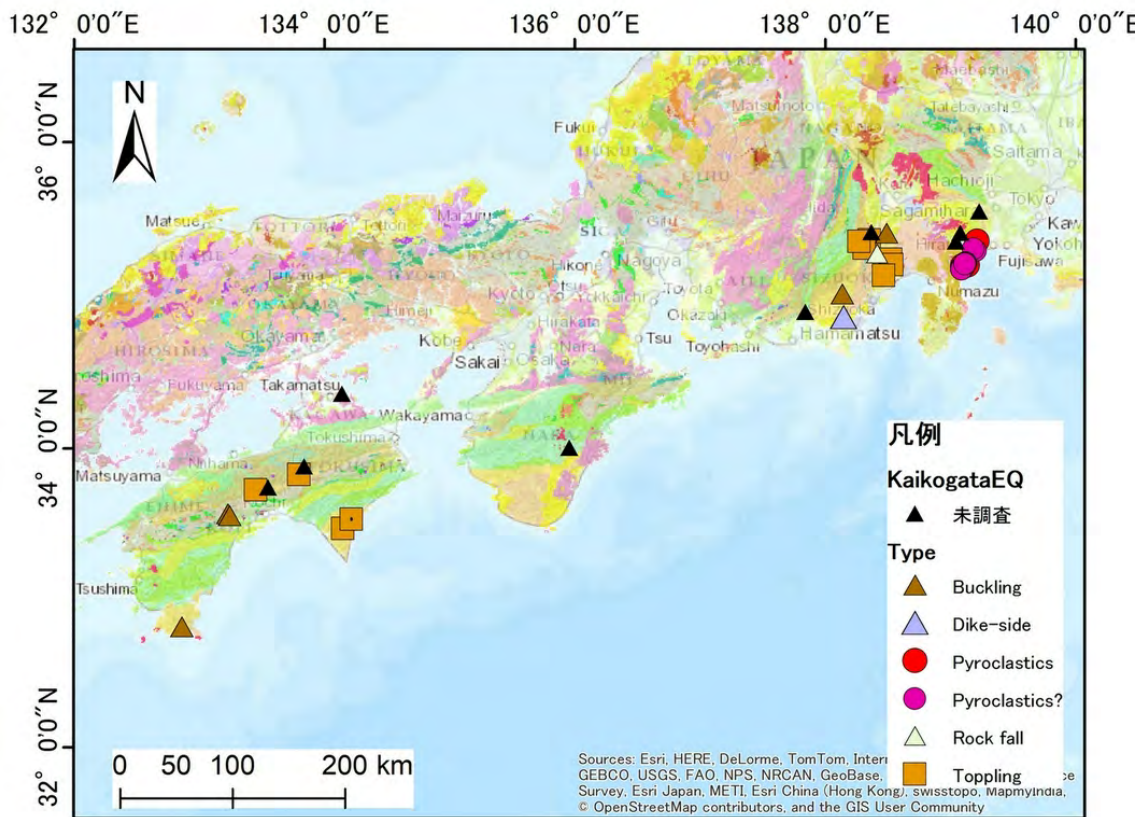


図1 南海トラフおよび相模トラフの既往大地震による大規模崩壊の地質構造

四国と東海地方で座屈 (Buckling) とトッピング (Toppling) の重力変形を被った斜面の崩壊が多い。相模トラフ沿いでは、富士・箱根火山の噴出物の崩壊 (Pyroclastics) が多い。紀伊半島には発生例がほとんど知られていないが、その理由は明確でない。Dike-side は貫入岩に接する岩盤の崩壊。

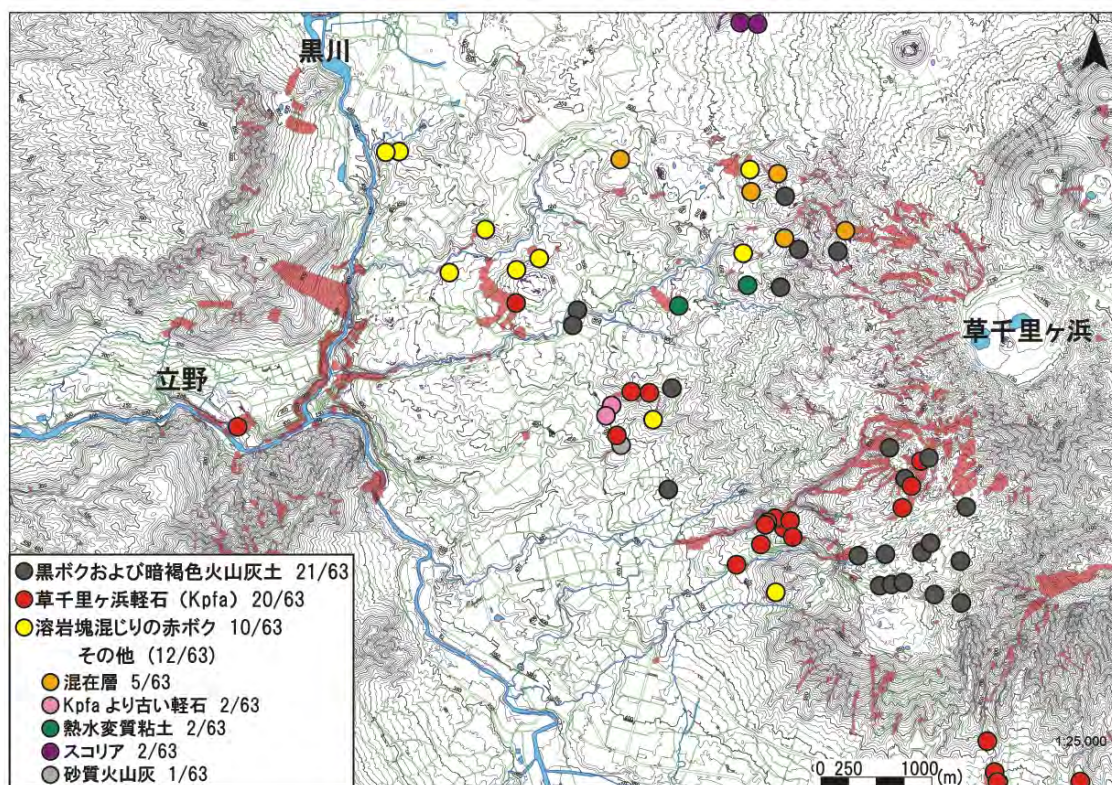


図2 2016年熊本地震によって発生した崩壊のすべり面構成物質による分類
 調査した崩壊の位置にすべり面構成物質の種類がプロットしてある。すべり面は地表から約2mから14mの深さにある地層に形成された。すべり面構成物は、熱水変質粘土を除いて、すべてハロイサイトを含んでいた。中にはハロイサイト粘土が液状化してパイプ状に流動していた箇所もあった。

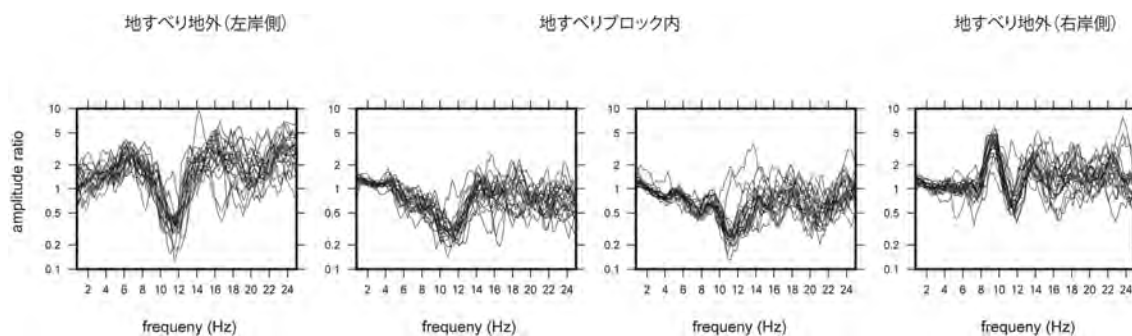


図3: 地すべり地内外の地震観測点における基準観測点(地すべり地内)に対するコーダ波部分のスペクトル振幅比(南北成分)

北海道の海岸地すべりにおいて地すべり地内3点、地外2点に地震計を設置し地震観測をおこなった。観測点間距離は40m以内である。地すべりブロック中央部に設置した観測点を基準とし、23イベントのコーダ波部分に対して振幅スペクトルの比を計算した。扱った地震一つ一つのスペクトル比を細線、それらの平均値を太線で表す。低周波側(5Hz程度以下)では特に地すべりブロック内において振幅スペクトルは同じとなるのに対し、高周波側になると観測点間のスペクトル振幅比のばらつきが大きくなった。

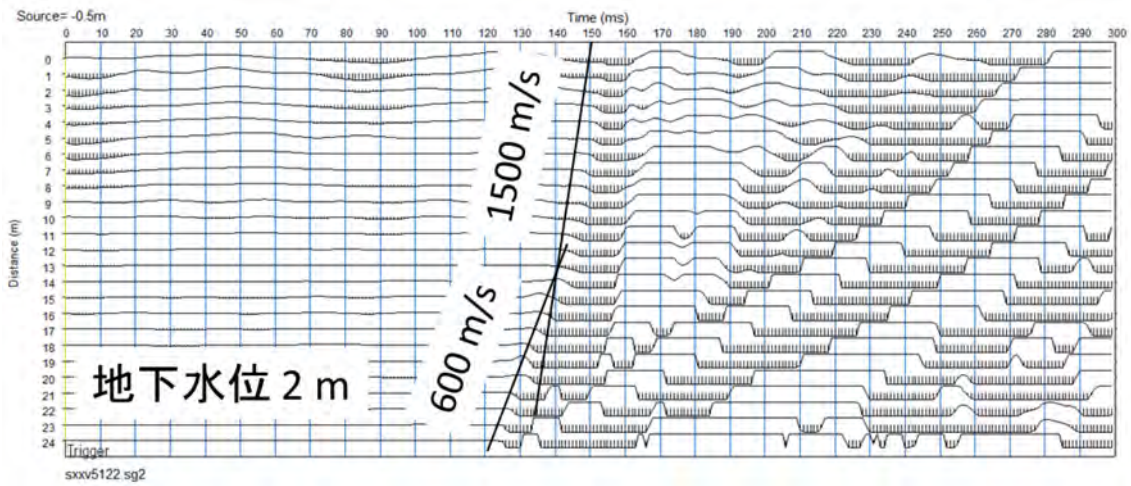


図4 谷埋め盛土下流端に位置する沖積低地でのアスファルトの上から実施した屈折波探査結果
 1mごとに受振器を24個並べその端(図の縦軸24mに相当)でハンマーによる起震をおこなった。直達波として見かけ速度600 m/sの波の伝播が見られるのに対し、震央距離が大きな点においては見かけ速度1500 m/sの波が先行することがわかった。不飽和帯と飽和帯の2層モデルで地下水位を推定したところ地表から深さ2mと得られた。

(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：

桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究 - 火山灰拡散即時予測

(3) 最も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

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(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) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

火山噴火により多量の火山灰が噴煙として大気中を上昇し、浮遊拡散するとともに、火山周辺に多量に降下する。浮遊火山灰は航空機の運航に障害を与え、最悪の場合はジェットエンジンを停止させる。また、降下火山灰は、農林水産業被害、健康被害、地上交通網の停止と噴火活動静穏化後も繰り返される泥流等の土砂災害を引き起こす。本研究では、レーダー、ライダー観測やGNSSを用いて火山灰浮遊推定量をする技術を開発するとともに、シミュレーションを用いて大気中を浮遊拡散する火山灰粒子密度分布と降下する火山灰の堆積分布を予測する。レーダー観測で得られる大気中の噴煙イメージは、噴火して噴煙柱が成長した結果であるので、さらに即時性を高めるために、地盤変動量、噴火微動振幅を用いた火山灰噴出率をリアルタイムで把握する手法とそれに基づくシミュレーション技術を開発する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題は、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」事業に基づいた計画であり、以下の5つのテーマに沿って研究を行う。

[1] 降下火山灰のリアルタイム観測および大気中火山灰粒子密度のその場観測による把握

[2] レーダーおよびライダー観測による噴煙高度等の外形情報の把握、噴煙柱形成、移流・拡散過程の把握およびGNSSによる搬送位相遅延量を用いた大気中火山灰粒子密度のリアルタイム推定手法開発

[3] 火山灰量の地上および大気中実測との照合によるリモートセンシング観測に基づく火山灰量の推定

[4] シミュレーションによる火山灰拡散範囲と粒子密度および降下火山灰堆積量の予測と観測データと予測値の照合による拡散シミュレーションの高度化

[5] 地盤変動、地震観測データに基づく、火山灰噴出率と噴煙高度のリアルタイム評価手法の開発と拡散シミュレーションのさらなる即時化

平成 26 年度はレーダー観測により噴煙柱の形成、移流・拡散過程の把握する。また、GNSS による搬送位相遅延量を用いて大気中火山灰分布をリアルタイムで把握できる手法を開発する。降下火山灰のリアルタイム観測および大気中火山灰粒子密度のその場観測による火山灰粒径分布を明らかにする。

平成 27 年度はライダー観測も含めて、降下および浮遊火山灰量の実測値との照合によってリモートセンシング観測に基づく火山灰量の推定方法を確立する。

平成 28 年度はシミュレーションに基づいて火山灰拡散範囲と粒子密度および降下火山灰堆積量の予測し、観測データと予測値の照合によって拡散シミュレーションのパラメータのチューニングおよびシミュレーション論理の改良を行う。

平成 29 年度は地盤変動、地震観測データに基づいて、火山灰噴出率と噴煙高度のリアルタイム評価手法を開発し、拡散シミュレーションのさらなる即時化を図る。

平成 30 年度は上記の [1]~[5] の結果を検討して最良の即時予測システムを構築する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

2009 年以降、ブルカノ式噴火の発生頻度がきわめて高い桜島を対象に、噴火に伴う噴煙の早期検知と粒子密度の推定を目的とした地上観測を実施した。地上からのリモートセンシング観測で用いた手法は GNSS、X バンド MP レーダー、ライダーであり、この順に波長が短くなる。2015 年後半以降、桜島の噴火活動は低いレベルにある。2016 年および 2017 年の爆発回数は、48 回及び 108 回であり、1000 回近い爆発が発生した 2010 年~2015 年の 1/10 程度である。

1. X バンド MP レーダー

X バンド MP レーダーを霧島、桜島、薩摩硫黄島、口永良部島、諏訪之瀬島を対象に稼働を開始した。このうち、霧島新燃岳および桜島について、レーダーにより噴煙を検出できた。2017 年 10 月 12 日の新燃岳噴火のレーダー画像を図 1 に示す。画像は RHI スキャンによるものであり、方位角 58° ~ 68° 方向について、仰角 7° ~ 35° までスキャンした。強い反射強度が得られた部分は新燃岳直上の海拔高度 3600m までであり、新燃岳の火口上 2200m に達している。気象庁によれば 10 月 12 日の噴煙高度は火口上 2000m であり、レーダーによる強い反射強度の領域は概ね目視できる噴煙高度に一致している。2017 年 10 月 11 日の噴煙高度は 600m であり、この場合、レーダーでは噴煙を検出できなかった。

2. GNSS 観測

2017 年 11 月 13 日に桜島の南岳において発生した爆発は 2017 年に桜島で発生した最大規模の噴火である(課題番号 1908 参照)。山頂に雲がかかっていたので、噴煙高度は発表されていない。GNSS 解析の位相残差 (PPR) を用いて、噴煙柱の解析を行った。火山灰は北東方向に移流したので、桜島北東部の GNSS 観測点において PPR を検出できた。例えば、SNYM 観測点では、爆発発生後の 6 分後に 3 σ の PPR を検出できた(図 2)。3 σ の PPR は 2012 年 7 月に発生した南岳爆発の PPR より小さいが、ノイズレベルを十分超える大きさである。KURG でも同期する PPR の増加を検知できており、SNYM および KURG と GNSS を結ぶ直線の交差点の高度は 4.1 σ となることから高濃度の噴煙は少なくとも 4 σ 以上の高度に到達していたことがわかる。

11 月 13 日の爆発は、22:07 に噴火を開始し、一旦噴出率を低下させたのち、23 時ごろからはストロンボリ式噴火の活動が活発化したことが地震及び空振記録から推定されている(課題番号 1908 参照)。ストロンボリ式噴火の活動が活発化した時間帯には、桜島北部の観測点である FUTG や GSI0719 において、PPR が約 30 分にわたって 2~3 σ の値を保った。噴煙高度については検討を要するが、噴煙の方向が桜島上空では北向きが変わったことが推定できる。このように GNSS の PPR は雲がかかって噴煙が目視できない状態でも、噴煙の拡散状態及びその変化を把握できる可能性がある。

3. ライダー観測

ライダー (Light Detection and Ranging) 装置により得られる大気中に浮遊する微小粒子の大きさを 2 波長比から検討した。使用しているライダーは波長 1064nm と、偏光方向が 90 度異なる 2 種類の 532nm の波長のレーザーを発射するが、2 波長比とは、2 種類の 532nm レーザー光の散乱強度の和に対する 1064nm のレーザー光の比である。2 波長比が大きければ、散乱粒子の粒径が大きいと推測される。爆発的噴火については、時間の経過とともに 2 波長比は減少する。大きい粒子が短時間で落下し、小粒径のものが長時間浮遊している状態であることが推定される。一方、多量の水滴と少量の火山灰粒子で構成されると考えられる白色噴煙では、火口上空から離れ、時間が経過するとともに、2 波長比は増加した。火山灰粒子が水滴よりも大きければ、火口から離れるにつれて水滴の蒸発により、火山灰粒子が残り、2 波長比が増加したのかもしれない。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
日向 洋・井口 正人・鍵山 恒臣, 2017, Backscattering characteristic of volcanic eruptions based on LIDAR observation around Sakurajima Volcano, 2017 年地球惑星科学連合大会, MIS02-P06 .
太田 雄策・井口 正人, 2017, Possibility of real-time volcanic plume monitoring using GNSS phase residual and SNR data, 2017 年地球惑星科学連合大会, MTT38-02 .
田中 博・井口 正人, 2017, 火山灰追跡モデル PUFF の開発と空中濃度推定, 2017 年地球惑星科学連合大会, MIS02-01 .

- (10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

地盤変動、地震観測データに基づいて、火山灰噴出率と噴煙高度のリアルタイム評価手法の拡散シミュレーションへの実装は終わっているので、引き続き、Xバンド MP レーダー観測、ライダー観測、GNSS 観測を継続し、地上降水量や大気中その場観測と照合することにより、反射強度、散乱強度等のリモートセンシングパラメータの高精度化を図る。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

井口正人、吉谷純一、中道治久、味喜大介
他機関との共同研究の有無 : 有
鹿児島大学地域防災教育研究センター 眞木雅之
防災科学技術研究所 藤田英輔
東北大学理学研究科 太田雄策、小園誠史
気象研究所 高木朗充
気象協会 桃谷辰也

- (12) 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火山活動研究センター
電話 : 099-293-2058
e-mail :
URL : <http://www.svo.dpri.kyoto-u.ac.jp/default.html>

- (13) 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

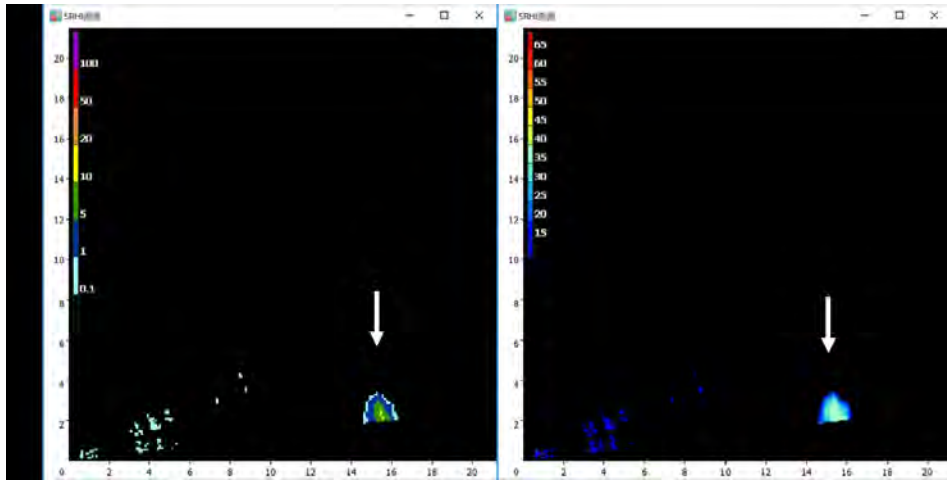


図1 スキャンセクタ RHI モード，新燃岳方向 (N 64 ° E) の鉛直断面
 2017 年 10 月 12 日 11:39 . 縦軸と横軸は高度および距離 (km 単位) . 左 : 雨量換算値 (降水強度) (mm/h) , 右 : 水平偏波レーダー反射因子 (dBZ)

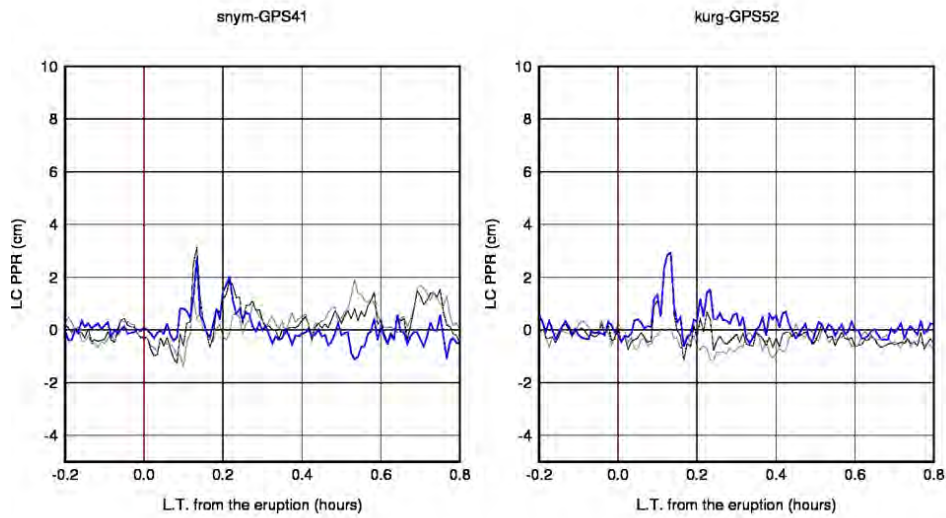


図2 桜島南岳爆発に伴う GNSS 解析の位相残差 (PPR) の時間変化
 桜島南岳において 2017 年 11 月 13 日 22 : 07 に発生した爆発の , SNYM および KURG 観測点における PPR の時間変化 . 時間は爆発発生からの経過時間を示す .

(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：

桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究 - 地域との連携

(3) 最も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

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(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) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化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

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

本研究では、桜島火山をモデルケースとして、地方自治体の防災担当者、一般住民、報道機関など様々な層を対象に、これまでの火山噴火予知研究の成果を知ってもらうためのセミナーを定期的開催する。そのうえで、これまでの予知研究の成果を、自治体の地域防災計画や住民の防災意識へ反映することの可能性を検討するとともに、よりよい地域防災計画策定や危機的状況における住民行動の改善のためにはどのような研究成果や火山活動に関する情報が必要であるか、予知研究の要求調査を行う。さらに、火山現象理解のための研究や噴火規模の即時評価の研究の成果を年次ごとに公表し、防災対策の視点から研究の仕分けを行う、また、必要とされる研究項目を推進するため、フィードバックをかける。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本課題は、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」事業に基づいた計画である。年2回のセミナーと検討会を実施し、火山噴火予知研究の成果を地域における防災対策等に反映することを検討する。検討項目は以下の通りである。

[1] 避難計画における火山噴火予知研究成果の活用

[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

[3] 現状の避難計画の問題点と予知研究による解決の可否の検討

[4] 火山噴火による経済への影響評価と BCP や個人の生活支援策への予知研究成果（噴火活動推移）の活用

平成 26 年度はこれまでの火山噴火予知研究成果をレビューするセミナーを開催するとともに、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。

平成 27 年度は噴火事象系統図にリストアップされる個々の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。

平成 28 年度は火山噴火予知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予知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、どのような予知情報が必要であるかを明らかにしていき、予知研究の課題としての解決策を探る。

平成 29 年度は噴火活動の推移予測と事業継続、生活継続の問題について検討する。

平成 30 年度は以上の検討を踏まえ、火山噴火予知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。

（ 8 ）平成 29 年度の成果の概要：

H28 年度に調査した内容を踏まえた今後の研究の方向性について検討した。H28 年度の大規模火山噴火を想定した事前広域避難計画のための方法論的研究では、事前広域避難を行う住民に焦点を当て、その避難意向を持つ住民がどの程度の時間で避難を完了できるかを中心に検証を行った。これを踏まえ今年度は、根拠を高めるための再検証（アンケート分析や風向きの再設定等）の実施方法や、事前避難を行わずに降灰地域に取り残された住民が晒される危険やその対策に関する検討した。具体的には、降灰による交通網の制限が物資輸送に与える影響や、噴火後の域内避難の必要性等に関しての検証等である。

事前広域避難を行う住民と、避難せず降灰域に残る住民のどちらでもない、噴火中もしくは噴火直後に広域避難する住民に関する検討の必要性がわかった。噴火中の避難行動は多くの危険を伴うために事前避難を検討するという議論ではあるが、そういった住民は出てくると予想されるため、その対応は無視できるものではない。また、降灰の交通網への影響を事例から調査するときは、海外の政府の対応事例は日本に比べ敏感な傾向を持つということを意識すべきである。例えば、1980 年のセントヘレンズの場合では、1.3mm の降灰で自動車道への 5 日間の交通規制を行ったが、鹿児島では一般的に 10mm 以上の降灰があれば、自動車道の交通規制を行うことが判明した。その他、避難のフローとしては熊本地震での住民の行動がとても参考になることや、降灰が交通網に与える影響は、降灰の交通網への影響は降灰量と交通網の状態を確率的に表現するフラジリティカーブの有効性がわかった。

実際に大量降灰が近年発生したインドネシアの火山について避難等の対策について調査した。2010 年メラピ火山噴火では、10 月 26 日の噴火の前日に警報が 4（避難）に引き上げられ、山頂から 10km 圏の住民 7 万人が避難した。11 月 3 日以降の火砕流は 17km の距離まで達したので、警戒区域が 20km に拡大され、41 万人の住民が避難した。2014 年のケルト火山噴火では、噴火発生の 1.5 時間目に 4（避難）に引き上げられ、山頂から 10km 圏の住民 3 万人が避難した。いずれの噴火でも警報は、1 から 2、3、4 に順次引き上げられ、レベルの引き上げのたびに、着実に対策がなされた。例えば、避難場所、避難方法の確認や、家畜の移動などである。また、レベルの引き上げ以前に、sister city と呼ばれる相互受け入れ先が設定されていたことやケルト火山の場合は、直前に避難訓練を行っていたことは、注目に値する。また、いずれの火山でも数年前に避難を要する噴火が発生しており、それを反省材料として避難計画と対策を練り直している。

桜島における避難対策と火山活動や地形学的特性について比較検討した。これらの火山では静穏期にレベルが 1 に据え置かれて、レベルの引き上げがトリガーとなって、対策が順次進められたが、桜島はすでに避難一步手前の噴火警戒レベル 3 であり、レベルの引き上げが避難に直結するので、噴火警戒レベルをトリガーとして避難以前の対策を進めることが難しい。また、これらの火山では、避難路

は山頂から離れる方向に直線状にあるが、海に囲まれた桜島では、陸路による避難路は、島を一周する道路であり、火山から離れることを意味しないなど、海域にある火山の難しさが浮き彫りとなった。

(9)平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

(10)平成 30 年度実施計画の概要:

29 年度の検討結果をもとに、アンケートを実施しなおすとともに、交通網への影響を予測する。その上で、火山噴火予知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。

(11)実施機関の参加者氏名または部署等名:

井口正人，中道治久，多々納裕一
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科(大島弘光，中川光弘)
秋田大学工学資源学部(筒井智樹)
東北大学理学研究科(西村太志)
東京大学地震研究所(大久保修平)
東京大学大学院理学系研究科(森俊哉)
東京工業大学火山流体研究センター(野上健治)
常葉大学環境防災学部(嶋野岳人)
京都大学大学院理学研究科(鍵山恒臣)
九州大学大学院理学研究院(清水洋)
鹿児島大学理学部(宮町宏樹，中尾茂，八木原寛)
鹿児島大学地域防災教育研究センター(眞木雅之)

(12)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火山活動研究センター

電話：099-293-2058

e-mail：

URL：<http://www.svo.dpri.kyoto-u.ac.jp/default.html>

(13)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

(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：

歴史記録の電子化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(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整理

ア. 史料の収集とデータベース化

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

東南海・南海道震前の地震活動や応力状態を知るために、過去の地震データは最も重要な情報の一つである。劣化しつつある歴史地震記録を電子化し、データベースを構築することが本研究の主な目的である。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

京都大学では、阿武山・別府・阿蘇・上賀茂等で記録された一世紀以上におよぶ地震の観測データおよび約半世紀にわたる地殻変動連続観測データを保有している。これらのうち、阿武山観測所のウィヘルト地震計および大震計の大部分と上賀茂観測所の大森式地震計の一部は電子化されているが、それ以外のデータは依然として紙媒体のままであるため、管理および活用に困難を極めているし、データは年々劣化している。これらの貴重な観測記録を電子化し、データベース化をはかり、全世界の地震・火山研究者の利用に供する。加えて、阿武山観測所においては、これらのデータを記録した歴史的な地震計を動態保存し、電子化した記録とともに、サイエンスミュージアムとしてのアウトリーチ活動に活用する。

平成 26～27 年度においては、阿蘇のウィヘルト地震計のデータを電子化する。平成 28 30 年度においては、上賀茂観測所の大森式地震計の未処理分および、別府のウィヘルト地震計のデータを電子化する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

阿武山観測所に保管されている上賀茂観測所の煤書き記録は、記録されてから 100 年近くを経過しており、劣化が激しいため、煤書き記録をスキャンして電子媒体に保存することが必要不可欠である。平成 29 年度は、1936 年～1945 年に記録された 305 枚の記録を矯正・電子化して、ハードディスクに格納した。これまで電子化された全てのデータを閲覧可能な形式で保存し、容易に活用出来るようにした。また、阿武山観測所に保管されていた、1920 年代の気象庁の地震記録をガラス乾板に撮影したものを整理した。

阿武山観測所のサイエンスミュージアム化計画においては、月 3 回の一般見学会と随時受付の団体見学会に加えて、「阿武山満点 tera 小屋」というサイエンスカフェ的な一般向けの参加型の講演会を 2 ヶ月に 1 回ずつ実施した。「阿武山サポーター」は、ボランティアであるが、観測所ツアーガイドとして見学者の対応を行うだけでなく、自らツアープログラムの新規開発等を行うとともに、出前型の地震授業や防災講演会などの観測所外の活動も行っている。平成 29 年度には、これらの所外活動を延べ 8 日間行い、450 名の参加を得た。阿蘇の火山研究センター(2016 年熊本地震により被災)に保管されていた煤書き記録は、H29 年 5 月に仮研究棟図書室へ搬出され、今後の電子化に備える体制が整えられた。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

阿武山観測所に保存されている歴史地震記録を電子化するとともに、
観測所のサイエンスミュージアム化計画を進める。

阿武山

(11) 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・理学研究科
他機関との共同研究の有無：有
地震予知総合研究振興会、松浦律子

(12) 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：0774-38-3348
e-mail：
URL：

(13) 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地震予知研究センター

(1) 実施機関名：

鳥取大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

自治体震度計を用いた地震速報の高度化

(3) 最も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

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(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

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

自治体震度計の波形データは、近年の更新によりリアルタイムにデータを取得できるようになっている。鳥取県を例とすると、現状では事後の震度情報が地震動分布の把握に活用されているのみだが、リアルタイム観測かつ高密度な観測網の利点を活かし、より速く精度良く地震発生を検知し、観測記録を用いて現地地震動を推定する精度を向上する手法を開発する。

気象庁が緊急地震速報に用いている地震計よりも高密度に展開されている利点を活かし、緊急地震速報が間に合わない領域の狭小化、速報の高精度化を図るためのパイロット・システムを開発する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度においては、検討対象地域である鳥取県域の全計測震度観測点を調査し、主に常時微動を用いて震動特性を把握する。県の防災業務に支障を及ぼさず、情報ハイウェイを介して計測震度計から地震発生に関するデータを取得する手法を開発する。

平成 27 年度においては、県内に比較的高密度に展開された観測網を用いて、震源を推定せずに地震発生と各地域の揺れの規模を推定する新たな方法論に基づくシステムを構築する。

平成 28 年度においては、実際の観測記録を用いて揺れの予測を補正して予測パラメータを自動更新し、精度を上げる仕組みを新たに開発する。得られた結果を関係機関に伝達、表示する仕組みについて、気象業務法に配慮しつつ検討する。

平成 29 年度においては、試作したパイロット・システムの運用を通じて課題を抽出し、それらを解決することを通じて信頼性の向上を図る。他地域の自治体における実施可能性を調査し、ネットワークの広域化を検討する。

平成 30 年度においては、パイロット・システムの運用を通じてシステムの信頼性を向上させ、成果と課題をとりまとめる。

(8) 平成 29 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) 鳥取県管理の計測震度計から、1 秒パケットのリアルタイム震度と最大加速度値を、鳥取県情報ハイウェイを介して安定的に受信している。この情報を面的に補間し、気象庁緊急地震速報で導入される PLUM 法を用いて、減災時刻よりも未来の震度伝播を予測・表示するシステムの開発、試作をおこなった。2016 年 10 月 21 日に発生した鳥取県中部の地震のリアルタイム震度を模擬したデータおよび実際に発生した余震データでの検証をおこなっている（下図参照）。

(2) 震度計観測点における震度情報から周辺の非観測点での震度を予測することを想定し、常時微動を用いた地盤震動特性の稠密把握および地下構造モデルの構築を実施した。平成 29 年度は、既往観測点分布が粗な地域のうち、北栄町、湯梨浜町小鹿谷・高辻地区、岩美町および鳥取市鹿野町および吉岡断層周辺部を対象とし、既往データを補間した卓越周期分布および浅層地下構造モデルを得ることができた。

(3) 平成 28 年 10 月 21 に発生した鳥取県中部の地震 (M6.6) の被災域では、常時微動を用いた地盤卓越周期では説明できない、非線形地盤応答による卓越周期の長周期化が見られた。上記 (2) で述べた常時微動による地盤震動特性の稠密把握を強震下での地震防災に役立てるため、非線形地盤応答の実態について検討をおこなった。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等)：

野口竜也・上野太士・西川隼人・吉田昌平・香川敬生，2017，鳥取県鹿野地域の地盤構造および地盤震動特性，土木学会論文集 A1, Vol.72, No.4(地震工学論文集第 36 巻)，I.894-I.906.

Kagawa T, Noguchi T, Yoshida S and Yamamoto S, 2017, Effect of the surface geology on strong ground motions due to the 2016 Central Tottori Earthquake, Japan, Earth, Planets and Space 69:106 DOI 10.1186/s40623-017-0689-0.

香川敬生，2017，2016 年 10 月 21 日鳥取県中部の地震 (M6.6) について，地震ジャーナル，63，地震予知総合研究振興会，14-22.

香川敬生・野口竜也・吉田昌平・山本真二，2017，2016 年鳥取県中部の地震における鳥取大学の強震観測記録 - 鳥取県湯梨浜町高辻の記録 - ，京都大学防災研究所年報，No.60 B, 350-353.

飯尾能久・米田格・澤田麻沙代・伊藤喜宏・片尾浩・富坂和秀・長岡愛理・松本聡・宮崎真大・酒井慎一・加藤愛太郎・林能成・山品匡史・大久保慎人・野口竜也・香川敬生，2017，鳥取県西部地域における満点地震観測，京都大学防災研究所年報，No.60 B, 382-389.

香川敬生・野口竜也，2018，2016 年鳥取県中部の地震の背景と強震動，鳥取大学工学部研究報告，No.48, 91-100.

香川敬生・野口竜也，2017，自治体震度計の観測データをリアルタイム表示する試み - 鳥取県の事例 - ，日本地球惑星科学連合大会 2017 年大会，SCG72-P10.

香川敬生・野口竜也・吉田昌平・上野太士・中井翔・吉見和・有村翔也・山本真二，2017，平成 28 年鳥取県中部の地震で得られた強震観測記録について，日本地球惑星科学連合大会 2017 年大会，SSS15-15.

野口竜也・香川敬生・吉田昌平・中井翔・上野太士・吉見和・有村翔也，2017，2016 年鳥取県中部地震の臨時余震観測および被害地域にいける微動観測，日本地球惑星科学連合大会 2017 年大会，SSS15-P16.

吉田昌平・香川敬生・野口竜也，2017，経験的グリーン関数法を用いた 2016 年鳥取県中部の地震の震源断層のモデル化，日本地球惑星科学連合大会 2017 年大会，SSS15-P03.

香川敬生・野口竜也・吉見和・吉田昌平，2017，2016年鳥取県中部の地震で見られた非線形地盤応答の基礎的検討，日本地震学会 2017年度秋季大会，S15-10.

吉田昌平・香川敬生・野口竜也，2017，経験的グリーン関数法を用いた 2016年鳥取県中部の地震の余震観測点における強震動シミュレーション，日本地震学会 2017年度秋季大会，S15-P24.

野口竜也・西村武・日?大我・吉見和・香川敬生・吉田昌平，2017，鳥取県中部小鹿谷および高辻地区における稠密微動観測，日本地震学会 2017年度秋季大会，S16-P06.

香川敬生，2018，鳥取県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とその課題，平成 29年度東京大学地震研究所協同利用研究集会「地震のリアルタイムモニタリングと予測情報の活用」，講演番号 18.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

自治体震度計からの毎秒パケットから震動分布を即時予測するシステムの試作が完了したので，現在試験的に利用している県内全域の震度増分係数の検証・更新など，上下動最大加速度値による P 波振幅の利活用，PLUM 法とは異なる震度伝播予測の検討をおこない，今後の精度向上を図る。さらに，鳥取県危機管理局での利活用を視野に入れた県との連携を進めたい。

また，常時微動観測を主とした県内の地盤震動特性把握，非線形地盤応答を考慮した場合の地盤増幅について調査を実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 教授 香川敬生
鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 助教 野口竜也
他機関との共同研究の有無：無

(12) 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
電話：0857-31-5183
e-mail：en-syomu@adm.tottori-u.ac.jp（庶務係）
URL：http://www.tottori-u.ac.jp/

(13) 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



鳥取県震度ネットワークを用いたリアルタイム震度表示例
(2016年鳥取県中部の地震の事後評価)

(1) 実施機関名：

高知大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

四国前弧域から中央構造線北方にかけての観測高度化による地震発生場の研究

(3) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(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) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

燧灘の伊吹島、魚島における地震観測を高度化し、地震観測データの充実を図ることで、四国前弧域から中央構造線北方の領域における地震発生場の状態解明を目指す。対象地域における地震波走時データ、発震機構解データを蓄積することで、地震発生場の状態を解明するための資料となる地殻応力状態の分布や地殻構造モデルを構築する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

燧灘の伊吹島、魚島における地震観測は発震機構解析に対して、地理的に非常に重要である。そのため両島の観測点に対して平成 27 年度は、携帯電話回線等を利用したテレメータ機能を付加することにより両観測点データの利便性を向上させる。テレメータについてはリアルタイム・全波形転送のテレメータが望ましいが、回線品質、通信速度を勘案し、最低限観測状況のモニタが可能なシステムの構築を行う。地方自治体や小中学校等、地域コミュニティーへの情報提供もシステム構築の際には考慮する。あわせて、京都大学が実施する四国を縦断する臨時地震観測と連携を図るため、双方の観測点状況について情報の交換を実施する。

平成 28 年度は、燧灘での地震観測を維持・継続し、観測データを蓄積し、四国前弧域から中央構造線北方を対象とした地震の発震機構解の推定を行う。プレート形状に関する課題(京都大学)と研究連携も実施する。

平成 29 年度は引き続き、観測および対象地域における地震の発震機構解の推定を継続し、対象地域における地震波の走時解析により、 V_p/V_s 分布の推定を行う。地震波速度構造推定に関する課題(京都大学)と研究連携も実施する。

平成 30 年度は地震観測を維持・継続しつつ、さらに観測データを蓄積する。対象地域における地震の発震機構解の推定を継続し、応力解析、 V_p/V_s 分布の推定、トモグラフィ解析を行う。京都大学実施する課題（レシーバ関数解析、トモグラフィ解析）との対照・比較を行い、対象地域における応力 - 間隙流体相互作用について考察し、地震発生場の状態を解明する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

燧灘（伊吹島，魚島）における地震動観測を維持・継続し、地震動記録の収集に努めた。あわせて気象庁の一元化震源カタログを基に、燧灘周辺で 2006 年から 2015 年までに発生した発震機構を推定可能な地震についてリスト化した。既存の観測記録と合わせ、P 波走時を S 波走時の検測と初動極性の決定を行い、震源再決定と発震機構解の推定を行なった。速度構造推定を試みたが、解析に利用可能な地震数が十分ではなく、単独で説明可能な結果を得ることはできなかった。研究対象地域のような地震発生数の少ない地域に対応する解析手法の開発が必要であると考えられる。

このような解析手法の候補として、地震毎の P 波地震波走時残差 P_{O-C} と S 波地震波走時残差 S_{O-C} の発震機構解のノード方位依存性が利用できるかもしれない。平成 28 年熊本地震の前震（4 月 14 日発生； $M_W=6.9$ ）と本震（4 月 16 日発生； $M_W=7.3$ ）の際に観測されたそれぞれの P_{O-C} の差に、方位依存性が見られた。平成 28 年熊本地震の前震による本震震源近傍への応力状態の変化や地震波速度構造の変化との関連を明確にすることはできなかったが、地震発生域の状態の時間推移を監視できる可能性がある。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：特になし。

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

平成 30 年度は地震観測を維持・継続し観測データを蓄積する。対象地域における地震の発震機構解の推定を継続し、応力解析、 V_p/V_s 分布の推定、トモグラフィ解析を再度試みる。京都大学実施する課題（レシーバ関数解析、トモグラフィ解析）との対照・比較を行い、対象地域における応力 - 間隙流体相互作用について考察し、地震発生場の状態を解明する。あわせて、今年度、平成 28 年熊本地震の前震（4 月 14 日発生； $M_W=6.9$ ）と本震（4 月 16 日発生； $M_W=7.3$ ）の際に観測されたそれぞれの P 波地震波走時残差 P_{O-C} の差に、方位依存性が見られた。これは前震によって震源域近傍において何らかの状態変化が生じたことが原因と考えることができる。本研究においても、同様の手法を本研究対象地域に適用することで地震発生域近傍の状態を明らかにする。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

大久保慎人、田部井隆雄、山品匡史（高知大学）

他機関との共同研究の有無：有

京都大学防災研究所：澁谷拓郎

(12) 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：高知大学工学部附属 高知地震観測所

電話：

e-mail：

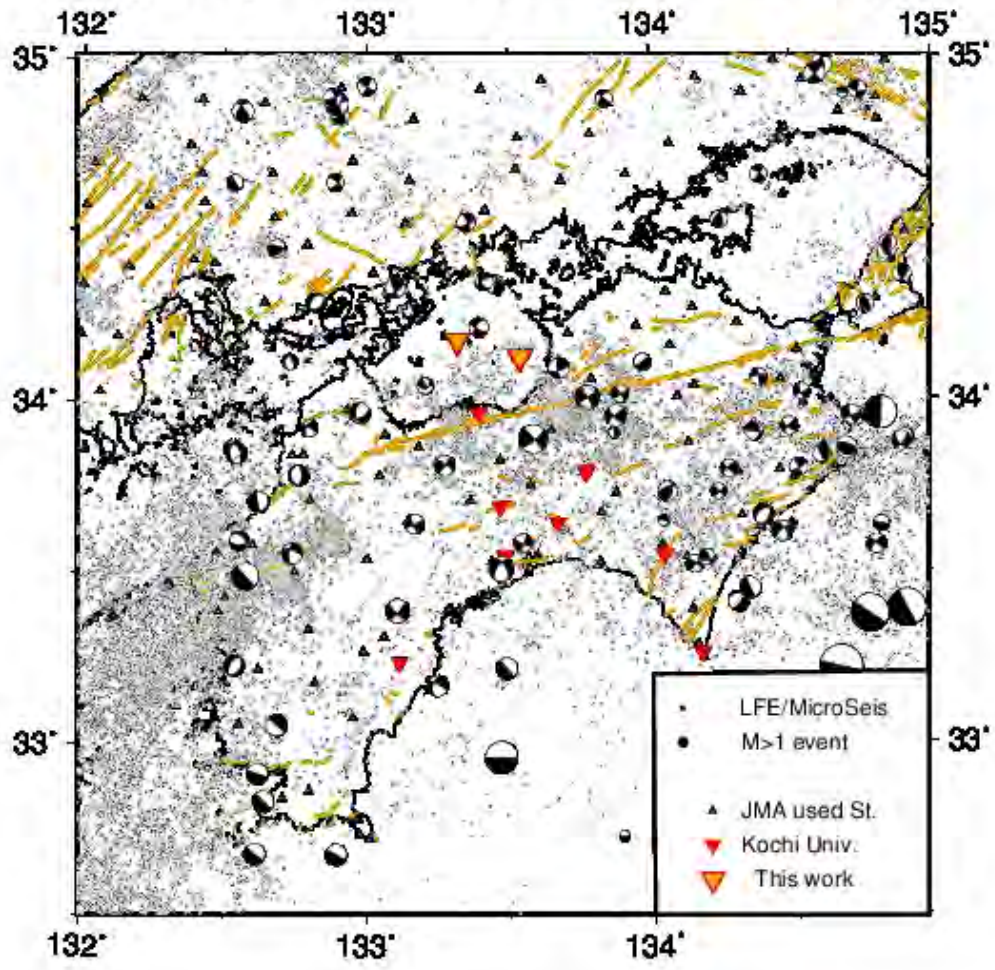
URL：<http://www.kochi-u.ac.jp/>

(13) 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：高知大学工学部附属 高知地震観測所

[2101] Hiuchinada, JMA(2006-2015)



2006年～2015年の燧灘周辺における地震活動

(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・火山噴火発生場解明およびモデル化の研究

(3) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(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・火山現象の解明

ア. 史料, 考古データ, 地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

本課題においては、大きく二つのカテゴリで研究を進める。ただし、相互はデータから解析まで密接な連携を持って進める。

A) 地震発生場と火山の作用

i) 応力・ひずみ速度場のモデル化

・ 応力・ひずみ急変域での 15km 程度の分解能の空間的特性把握(九州地域)

・ 背景構造(速度、減衰、D90 等)の推定(九州地域)

・ 対象領域外からの場の擾乱の検出

・ カルデラを含む活動的火山地帯である北海道東部において GNSS 観測・地殻弾性層厚調査等による地殻不均質場とひずみ集中のモデル化を実施する。

・ 5 年間で九州地域において 15km 程度の分解能を持つ、弾性体としての地殻応答モデル構築と、下部地殻の作用検出を進める。それとともに北海道東部でのモデルとの比較から、伸張場・圧縮場における火山の力学的作用についてモデル化を行う。

ii) 地震活動・間隙流体

・ 九州中部地域において 10km 分解能での比抵抗構造を推定

・ 発震機構解の高精度推定による応力場、間隙水圧の推定

3) 1)、2) で得られる成果と合わせた地震発生様式のモデル化(有限要素法等の数値シミュレーションによる観測データのモデル化)

B) 噴火発生場

前項で得られる背景構造より詳細な、阿蘇、九重、始良、洞爺、屈斜路地域での構造推定。

- ・地殻深部から火山体浅部におけるマグマ供給系モデル化
- ・深部供給系の時間変化抽出可能性の検討(阿蘇)
- ・流体の熱力学的状態と、振動を特徴づける振幅・周波数の関数としての無次元数を用いて、系の不安定性を評価できる「トリガリング・ダイアグラム」の作成

(7) 本課題の5か年計画の概要:

A) 地震発生場と火山の作用

ひずみ集中領域の形状を把握することが、力学的モデル化をするうえで必須である。このため、別府島原地溝帯においてGNSSのオンライン観測を行う。これによって、定常変形(5年のタイムスパンでの)を明らかにできる。また、現在9年周期で起こっている豊後水道スロースリップを適切な配置で観測し、数か月程度の時定数での変動に対する応答特性を検出する。

地殻不均質構造とひずみの集中が見られる北海道東部でGNSS観測を実施し詳細なひずみ場を求めるとともに、地殻熱データ等から弾性層厚を推定し、ひずみが集中するメカニズムのモデル化を試みる。

応力場については、応力・ひずみ急変域での15km程度の分解能の空間的特性把握(九州地域)を行うために、別府島原地溝帯に現在の定常観測網を補完する臨時地震観測点を設置する。さらに、発震機構解を精度良く求めることが重要となるため、規模の大きな地震に対しては機動観測を実施する。これらの観測によって、現在20km程度の分解能の応力場・地震発生層厚分布は別府島原地溝帯で15km程度が実現できる。

比抵抗構造については、鹿児島県、福岡県を除いた九州中心部で広帯域MT観測を行い、空間解像度10kmの比抵抗構造を30kmの深度まで求める。阿蘇-九重周辺域においては、阿蘇周辺の既存のデータを利用しつつ、さらに高密度なMT探査を行い、空間解像度を3kmの比抵抗構造を得る。構造解析においては電場と磁場の測定場所が離れていることを考慮した3次元インバージョンを行う。

以上のひずみ速度場、応力場、地震発生層厚、背景構造を用いて広域のモデル化を進める。これらは次のステップを進める。

1. 地震発生層厚・背景構造を取り入れた弾性体モデルによるひずみ速度場・応力場の再現
2. プレート境界のカップリングを取り入れたモデル化
3. 火山下の異常構造を取り入れた地殻応答のモデル化

基本的には中国・四国・九州全体でのGNSS解析をもとに初期モデルを作り、期待される応力場と比較する。1では定常変形や東北地方太平洋沖地震時の応答再解析データを中心とする。2ではプレート間カップリングが一様でなく、九州へのローディングが一様でないことから、これらを導入して外的な境界条件に拘束をあたえる。3では、豊後水道スロースリップ(過去のデータも併せて)を用いてモデル化する。北海道地域では屈斜路カルデラを中心としたモデル化を行うが、領域は広くないために、1+3を進める。両地域で得られたモデルを比較することで、地震発生場に対する火山の作用の一般的なモデル化につなげる。

B) 噴火発生場:

噴火発生場は有珠火山(洞爺カルデラ)、阿蘇火山(阿蘇カルデラ)、桜島火山(始良カルデラ)を対象とする。レシーバー関数解析あるいは走時トモグラフィにより上部マントルまでの地震波速度構造を明らかにする。求められた地震波速度構造と比抵抗構造から上部地殻および下部地殻における流体の存在範囲およびその存在様式を明らかにする。

噴火発生場については、GNSS観測や水準測量などの地殻変動観測により、マグマ蓄積の位置とマグマ蓄積率の時間変化を把握するとともに、大規模噴火のポテンシャル評価を行なう。さらに、すべてのカルデラの研究結果を比較検討することにより、カルデラにおけるマグマ供給系の理解を深める。

一方、地震による噴火への作用も重要な要因のひとつである。強制力が働いたときの流体の挙動は、その温度圧力条件によって大きく左右されるだけでなく、その振動の振幅と周波数によっても影響さ

れる。そのために、アナログ物質を用いた実験による気泡挙動の基本的理解を行う。すなわち1) 気泡の離脱条件に対する振動の振幅と周波数の影響の定量的理解。2) 発泡を伴うクラック上昇に対する振動の影響の解明。マグマの地表付近の移動と遠地地震の関係についてモデル実験を通して明らかにする。

年次計画としては以下のとおりである

- 平成 26 年度 九州：GNSS 観測点設置
臨時地震観測点設置
広帯域 MT 観測（熊本 大分、九重）
GNSS 観測（阿蘇）・地震観測（阿蘇、加久藤（霧島））
RF 解析@阿蘇、加久藤、始良、北海道：GNSS 等の観測・調査や地殻熱関係データ等
収集を開始
RF のためのデータ収集（屈斜路）
室内実験：アナログ実験装置作成
- 平成 27 年度 GNSS 観測・広域地震観測およびデータ解析（九州）
広帯域 MT 観測（大分 - 熊本 - 宮崎）
GNSS 等の観測・調査や地殻熱関係データ収集を継続（北海道）
RF 解析@阿蘇、屈斜路
RF のためのデータ収集 洞爺（有珠）
各種既存構造資料の収集・整理
室内実験
- 平成 28 年度 広域地震観測およびデータ解析（九州）
GNSS 観測（阿蘇）地震観測（阿蘇、霧島）
広帯域 MT 観測（宮崎 鹿児島）
GNSS 等の観測・調査を継続するほか地殻弾性厚推定等を実施（北海道）
RF 解析@洞爺（有珠）
減衰構造推定
地下構造・力学構造モデル化
室内実験
- 平成 29 年度 広域地震観測およびデータ解析（九州）
GNSS 観測（阿蘇）地震観測（阿蘇、霧島）
RF 解析@阿蘇、始良、加久藤
GNSS・地震等観測・調査およびデータ解析
地下構造・力学構造モデル化
ひずみ・応力・地殻変動場のモデル化
噴火に伴う地震に関するひずみ・応力場の検討
広帯域 MT 観測（長崎 佐賀 福岡、阿蘇）
室内実験：地下流体の熱力学状態についての観測結果の吟味
- 平成 30 年度 GNSS・地震等観測・調査およびデータ解析
広帯域 MT 補完観測およびモデリング
阿蘇水準測量
ひずみ・応力・地殻変動場のモデル化
トリガリング・ダイアグラムの作成

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

熊本地震

2016年4月14日から始り、16日にはM 7.3の最大地震が発生し多くの被害をもたらした、熊本地震の一連の活動について、今年度も全国の大学と協力して観測および解析を進めた。

背景場：

地震波速度トモグラフィ法を用いて、詳細な速度構造(Shito et al., 2017)を得ることができた。地震時のすべり分布との対比から、大きなすべりは比較的高速度領域で起こった。また、D95から見られる地震発生層内ですべりが大きいことが明らかになった。これは今後の地震動予測にとって重要である。

地殻変動：

今年度も2016年熊本地震後に余効変動を観測することを目的に設置した観測点20点においても継続して観測を行った。図1に布田川 日奈久断層帯の南東に設置された観測点の変位を示す。変動の時間変化から、現在も余効変動は継続していると考えられる。

断層形状：

3次元速度構造から再決定された震源分布を用いて、詳細な断層面形状を特定した(図2)。従来得られているものをよりはっきり示すものであるが、1)4月14日M 6.5の地震は東に高角に傾斜する面と西に傾斜する面で構成されている。2)4月16日M 7.3の破壊開始点近傍に面上の震源分布も見える。この地震活動域は深さ13km以深の震源分布から明瞭に読み取られ、日奈久断層から布田川断層へつながる領域である。3)M 7.3は布田川断層と考えられる北北西に約60度で傾斜した面上で発生した。これらの形状のモデルを図1中に示す。これらの複雑な形状は地表活断層との関係が必ずしも明確ではなく、今後の活断層評価にとって重要な知見であると考えられる。

地震時すべりと応力場：

M6.5以前のデータから応力場は地震発生前に不均質な状態であったことが明らかになった。地震前応力場から期待される断層面上のすべり方向は一致する部分が多いことは昨年度してきたが、さらに、本震のすべり面は応力場から期待される最適面と一致しない部分もある。これは、強度が弱い部分であることを示唆している。これは流体の寄与によると考えられ、相澤・他(2017)の指摘する低比抵抗体が関与していると考えられる。このような部分が地震時すべりをより大きくする作用がある可能性を示した(図3)。

地殻変動：2016年熊本地震後8大学共同10部局合同で21点のGNSS連続観測を実施し、余効変動観測を実施している。昨年度の解析を精細にするため、観測を継続してデータを蓄積しつつある。

比抵抗構造：

熊本地震震源域周辺の80点のデータを用いて行った3次元解析では、本震時の大きなすべり域の近傍は高比抵抗が存在することが明らかになった(図4)。また、熊本地震震源域に低比抵抗体がイメージングされた。深さ13kmでは東西10km、南北5kmほどの広がりをもつ低比抵抗領域が推定され、前震、本震の破壊開始点はこの低比抵抗体の北縁に位置している。余震はこの低比抵抗体を避けるように分布している。深さ18kmでは北北東 南南西方向に50kmほど伸びる低比抵抗体が推定され、先に述べた深部震源域の地震はこの低比抵抗体の東縁で発生している。本震発生や日奈久、布田川断層にわたる地震の連動は深部低比抵抗層が強く関与していることを示唆している。また、熊本地震発生後、震源の西側に面上に拡大していった余震群はすべて高比抵抗領域で発生している。より広域的には、阿蘇山直下にも低比抵抗がイメージングされ、これと、熊本地震震源域の2つの低比抵抗体に挟まれた領域で熊本地震本震の破壊が生じたことが示唆された。

地震発生場・噴火発生場

九州の広域地殻変動：

現在の地殻変動状態の長期間にわたる詳細な把握は、応答特性を知る上で重要である。そこで、今年度もGNSSによる観測を継続した。九州全域における変位速度場、ひずみ変化の定常状態を調べるため、豊後水道で発生した2010年2月から10月のスローイベントの影響を除いてこれらを計算した。その結果、大分県付近では最大せん断ひずみが大きいことがわかった。昨年度実施した2011年東北地方太平洋地震の地震時の変位速度分布と比較すると、大分県付近の高い最大せん断ひずみ速度を示す領域が異なることが見出された。これは、地殻の弾性応答が数年スパンの定常変動と異なることを意

味し、今後のモデリングにとって重要な結果が得られた。

九州広域比抵抗構造：

広帯域 MT 観測は、雲仙、霧島山麓、宮崎県の 合計 170 点で実施した。これまでに蓄積してきた広帯域 MT データと併せて九州全域を対象に 1 次元解析した結果、場所によって 4 桁程度、比抵抗値が変化することが明らかになった。1993 年 1 月から 2017 年 12 月までの地震分布と比較すると、顕著な低比抵抗領域では地震の発生頻度は低いが、大崩山花崗岩体など顕著な高比抵抗を示す領域も同様に地震の発生頻度が低いことが明らかになった。

北海道：

屈斜路カルデラ周辺において GNSS 観測を実施し、カルデラ周辺の地殻変動速度・ひずみ場の推定を行った。またこの結果に基づいて今後のモデル化に必要な力源等について検討を行った(図5)。連続および繰り返し GNSS 観測の結果から、カルデラ内の地殻変動は少なくとも 2013 年から 2016 年までは一定の線形的な変動となっていることを確認した。従来のグリッドを用いた手法、および三角網を用いた手法から推定したひずみ速度場は、1993-1995 年の膨張イベントおよびその収縮域と一致するカルデラ中心部において、1ppm/yr を超える収縮を捉えた。また、三角網を利用して速度のデータ補間を行ったもので再推定したひずみ分布からは、カルデラ南西部での北北東-南南西から北東-南西方向に右横ずれの軸を持つ 1ppm/yr 以上の大きな最大せん断ひずみの存在を明らかにした。この地域は過去の M6 クラスの地震を発生させた領域とも一致するため、捉えたせん断ひずみが弾性的に蓄積されているとすれば、この地域が現在も地震発生ポテンシャルを持つ可能性を示唆する。得られたひずみ場から、今後のモデル化には、これまで得られたカルデラ下の不均質構造のもとで、プレート収束に伴う広域の北東-南西方向の短縮に加え、カルデラ内や周辺の火山性の力源の考慮が必要であることを把握することができた。

噴火発生場：

九重火山) 2015 年 9 月初頭から 10 月末日までの期間に、九重火山を中心とした約 30km 四方において 63 観測点で広帯域 MT 観測装置を設置し、約 1 週間の連続観測を実施した。機材は Phenix 社製電磁探査装置 MTU-5A(京大火山研究センター-所有 2 台、京大防災研所有 1 台)、Metoronix 社製電磁探査装置 ADU(東大地震研所有 7 台)、ELOG(九州大学所有 10 台)を用いた。各観測点では機材を 10 日~2 週間程度設置し電磁場の連続観測を実施した。今年度に於いて、これらの観測データを用い 2 次元比抵抗構造解析を行い、地下比抵抗分布を求めた。観測データの解析から、卓越する地下の電磁氣的構造の走行がほぼ東西方向である事が求めたことから、九重硫黄山を通る測線(A-A'測線)及び九重山東麓を通る測線(B-B'測線)の計 2 測線(図6右図)を設定し、その地下の 2 次元比抵抗断面を求めた。この結果求められた比抵抗断面を図7に示す。A-A'測線の解析結果から、硫黄山の直下に非常に低い抵抗値を示す低比抵抗帯が存在することが示された。またその下位には 100 m を超える比較的高い比抵抗値を示す領域が存在し、浅部の低比抵抗帯がこの高抵抗域に沿って南北に広がっていることが示されている。この事から、地下から供給される火山ガスの溶存成分を豊富に含む地下水が九重火山浅部に存在し、これがその下位の緻密な岩体に沿って、天水による希釈を受けながら流下していることが示唆される。この高抵抗岩体の実態は、例えば、過去の火山活動により上昇したマグマが固結する、というプロセスを繰り返し起こしたことで形成された緻密な岩体であるといった事が考えられる。

阿蘇火山) GPS から観測される基線長変化からマグマ供給量を試算することを試みた。阿蘇では水準測量、GPS 観測などの結果から草千里の地下に圧力源が求められており、これが阿蘇火山のマグマだまりであると考えられている。圧力源の位置を草千里地下に固定し、かつ地下媒質の弾性的な性質を仮定すれば、地殻変動データからマグマだまりにおける体積変化を見積もることが出来る。しかしこれは、マグマだまりにおける供給量と、火山ガスの放出などによる減少量との間の差分量であり、供給量を見積もるには火山ガス放出によるマグマの消費量を見積もらなければならない。そこでガス観測の結果からマグマだまりからの H₂O 放出による体積減少を見積もった。

産総研・篠原氏との私信から、阿蘇中岳火口から放出される高温火山ガスの H₂O:SO₂=のモル比は約

50:1、重量比で H₂O は SO₂ の 14 倍である事が示された。この値を仮定すると、阿蘇では気象庁により、中岳火口からの SO₂ 放出質量が定期的に観測されているので、この観測結果から火山ガスにより放出される H₂O の質量が推定できる。さらに Lange (1994) により示されているメルト中での H₂O のモル体積の情報を用いれば、最終的に H₂O 放出によるマグマ体積のおおまかな推定が可能となる。上記の計算を阿蘇の観測データを用いて行った結果、マグマ供給量は、静穏期 (2004.9 ? 2008.9) で約 0.7 x10⁶ m³ / year、2014 年噴火の直前で 3.78 x10⁶ m³ / year、2015 年 9 月の噴火直前で 2.20 x10⁶ m³ / year、2016 年 10 月の噴火直前で 2.95 x10⁶ m³ / year であることが試算された。

地震火山相互作用：

昨年度に引き続き、室内間欠泉における微動のメカニズムの解明に関する研究を行った。気泡生成・離脱・上昇に伴う間欠泉流体系の振動の励起メカニズムを解明するために、液柱の振動とチャンバー内圧の振動の同時観測を実験的に行った。実験結果から、液柱高さのスペクトル変化は、間欠泉噴出の終了から開始までに現れるチャンバー内圧のスペクトルの系統変化と一致すること分かった(図 10)。また、液柱の高さ変動は、チャンバー内圧力の変動と半周期ずれることが明らかになった(図 11)。このチャンバー内圧と液柱高さの相関を説明するモデルを提案し、そのモデルから、これらの振幅比は、チャンバー内流体の実効的体積弾性率と液柱断面積の積をチャンバー体積で割ったものに等しくなることがわかった、このことから噴出の準備期間で現れる周波数の系統的長周期化は、体積弾性率の系統的減少で説明できることがわかった。このことを天然の火山性微動に適用すると火山性流体の実効的体積弾性率すなわちガス量の推定が可能となる。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
- Aizawa K., H. Asaue, K. Koike, S. Takakura, M. Utsugi, H. Inoue, R. Yoshimura, K. Yamazaki, S. Komatsu, M. Uyeshima, T. Koyama, W. Kanda, T. Shiotani, N. Matsushima, M. Hata, T. Yoshinaga; K. Uchida, Y. Tsukashima, A. Shito, S. Fujita, A. Wakabayashi, K. Tsukamoto, T. Matsushima, M. Miyazaki, K. Kondo, K. Takashima, T. Hashimoto, M. Tamura, S. Matsumoto, Y. Yamashita, M. Nakamoto, and H. Shimizu, 2017: Seismicity controlled by resistivity structure: the 2016 Kumamoto earthquakes, Kyushu Island, Japan. *Earth, Planets and Space*, 69(1), 4, doi:10.1186/s40623-016-0590-2.
- Chiba K., 2017: b-values distribution in and around Mt. Tarumae, Japan, AGU 2017 Fall meeting, V23E-0515.
- Chiba, K., H. Ueda, and T. Tanada, 2017: Relationship Between b-value Distribution and the Magma Plumbing System in and around Mt. Tarumae, Japan, *Journal of Disaster Research*, Vol. 12 No. 5, 932-943.
- Fukui, M., Matsushima, T., Yumitori, N., Oikawa, J., Watanabe, A., Okuda, T., Ozawa, T., Kohno, Y. & Miyagi, Y., 2017: Pressure sources of the Miyakejima volcano estimated from crustal deformation studies during 2011 ? 2013, *International Symposium on Geodesy for Earthquake and Natural Hazards (GENAH) - Proceedings of the International Symposium on Geodesy for Earthquake and Natural Hazards (GENAH)*. Springer Verlag, Vol. 145, 117-123.
- Iriyama, Y., A. Toramaru, T. Yamamoto, 2018: Theory for deducing volcanic activity from size distributions in plinian pyroclastic fall deposits, *J. Geophys. Res.* (in press).
- 入山宙, 寅丸敦志, 2017: 粒径分布の層序変化からみた新燃岳 2011 年準プリニー式噴火, *JpGU 2017 MIS02-05*
- 入山 宙, 寅丸敦志, 山本哲生, 2017: 鉛直 1 次元ソース一定モデルの開発と降下火砕堆積物への応用, *日本火山学会 2017 年度秋季大会*, 9 月 22 日発表.
- 鍵山恒臣, 吉川 慎, 宇津木充, 2017: 表層電気伝導度から示唆される阿蘇火山の活動様式と中部九州の活構造, *2017 年度日本火山学会秋季大会*
- 神園めぐみ・他, 2017: 2016 年熊本地震活動域における背景減衰構造と強散乱体の分布, *日本地震学会 2017 年度秋季大会 S22-10* .
- 木下茜, 寅丸敦志, 2017: Guinness で特徴的な気泡粗密波に関する実験的研究, *JpGU 2017 MIS15-06*.

- 小西由利子, 寅丸敦志, 2017: Formation process of plagioclase aggregates of the 1991-1995 eruption at Unzen, JpGU 2017 SVC50-P17.
- 小西由利子, 寅丸敦志, 2017: 雲仙 1991-1995 年噴火の噴出物における集斑状斜長石の形成プロセス, 日本火山学会 2017 年度秋季大会, 9 月 23 日発表.
- 大橋 正俊, 市原 美恵, 武田 志緒里, 桑野 修, 寅丸 敦志, 2017: 硬化過程におけるフォームの変形実験 -Tube Pumice の履歴を探る-, JpGU 2017 SCG74-17.
- 大橋正俊, 市原美恵, 寅丸敦志, 2017: 膨張と合体を考慮した気泡サイズ分布時間発展の数学的な取り扱い, 日本火山学会 2017 年度秋季大会, 9 月 22 日発表.
- Matsumoto, S., Y. Yamashita, M. Nakamoto, M. Miyazaki, S. Sakai, Y. Iio, H. Shimizu, K. Goto, T. Okada, M. Ohzono, T. Terakawa, M. Kosuga, M. Yoshimi, and Y. Asano, 2018: Prestate of stress and fault behavior during the 2016 Kumamoto Earthquake (M7.3), *Geophys. Res. Lett.*, 45, doi: 10.1002/2017GL075725.
- 松本聡・他, 2017: 2016 年熊本地震前後の応力場変化 2, 日本地震学会 2017 年度秋季大会 S22-09 .
- 森田花織・他, 2017: 精密水準測量で検出された霧島・硫黄山の上下変動(2012 年 3 月~2016 年 11 月), JpGU 2017, SVC47-P24.
- 中尾茂・他, 2017: Post-seismic deformation of 2016 Kumamoto Earthquake by continuous GNSS network, JpGU 2017, SSS10-05.
- 大倉敬宏・宇津木充・横尾亮彦・吉川 慎・井上寛之・鍵山恒臣・山本 希・及川 純、2017:阿蘇火山 2014 -2016 年の噴火活動について、2017 年度日本火山学会秋季大会.
- Shimizu H. and Group for urgent joint seismic observation of the 2016 Kumamoto earthquakes, 2017: Complex seismicity and hypocenter distribution of the 2016 Kumamoto earthquakes, Kyushu, Japan, and their relation to the stress field and crustal structure, IAG-IASPEI 2017, invited.
- 清水洋・他, 2017: 稠密地震観測から推定される熊本地震の発生機構, 京都大学防災研究所平成 29 年度一般研究集会「リモートセンシング技術の進展と活断層・内陸地震研究」
- 清水洋, 2017: 平成 28 年熊本地震災害に関する総合調査, 第 54 回自然災害科学総合シンポジウム .
- 清水洋, 2017: 平成 28 年熊本地震と布田川・日奈久断層帯, 日本火山学会第 24 回公開講座 .
- 清水洋, 2017: 2016 年熊本地震とその教訓, 日本地震学会 2017 年度秋季大会一般公開セミナー .
- 清水洋・他, 2017: 九州中部における最近の地震活動と地殻変動, 日本地震学会 2017 年度秋季大会 S22-02 .
- 清水洋・他, 2017: 熊本平野西部における反射法地震探査:熊本 - 宇土測線, 日本地震学会 2017 年度秋季大会 S22-P04
- Shito, A., S. Matsumoto, H. Shimizu, T. Ohkura, H. Takahashi, S. Sakai, T. Okada, H. Miyamachi, M. Kosuga, Y. Maeda, M. Yoshimi, Y. Asano, and M. Okubo, 2017: Seismic velocity structure in the source region of the 2016 Kumamoto earthquake sequence, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 7766 ? 7772, doi: 10.1002/2017GL074593.
- 志藤あずさ・他, 2017: 布田川?日奈久断層帯の地震波速度構造, 日本地震学会 2017 年度秋季大会 S22-11 .
- 志藤あずさ・他, 2017: Seismic wave attenuation and local depth of seismogenic layer in the crust beneath Kyushu, Japan, JpGU 2017, SSS16-P11.
- 高橋浩晃, 大園真子, 一柳昌義, 岡崎紀俊, 鈴木隆広, 秋田藤夫, 2017: 屈斜路 カルデラ周辺の温度構造とひずみ分布, 日本地震学会 2017 年秋季大会, S05-01.
- 高橋浩晃, 大園真子, 岡崎紀俊, 鈴木隆広, 秋田藤夫, 2017: 屈斜路カルデラ?ラ周辺の地温勾配分布, 日本火山学会 2017 年度秋季大会, B2-14
- 竹原瑞樹, 寅丸敦志, 2017: Textural analysis of Blast deposits from the May 18, 1980, eruption of Mount St. Helens, JpGU 2017 SVC50-P22.

- Teshima N, A. Toramaru, 2017: Experimental study on precursory pressure oscillation in the experimental geyser system, JpGU 2017, S-VC45.
- 塚本果織・他, 2017: 霧島硫黄山周辺の 1 次元比抵抗構造と震源再決定, JpGU 2017, SVC47-P23.
- 寅丸敦志, 2017: マグマにおける結晶成長と結晶中の累帯構造, JpGU 2017, MIS11-01 (招待講演)
- 寅丸敦志, 山下俊介, 2017: 巨大噴火の長期予測への戦略, JpGU 2017 SVC50-13.
- Tsuno, S., Korenaga, M., Okamoto, K., Yamanaka, H., Chimoto, K. & Matsushima, T. 2017: Local site effects in Kumamoto City revealed by the 2016 Kumamoto earthquake 2016 Kumamoto earthquake sequence and its impact on earthquake science and hazard assessment, Earth, Planets and Space. 69, 1, 37.
- 宇津木充, 2017: 電磁気学データから見た阿蘇火山 2014 年噴火及びそれ以降の火山活動について、2017 年度日本火山学会秋季大会.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要:

- 地震観測: 現在展開されている臨時観測点の再配置や見直しを行いながら、活動把握を進める。また、応力場、構造解析をさらに行い、モデル化につなげる。
- 比抵抗構造: 予察的な解析により明らかになった注目すべき地域で広帯域 MT の補充観測を行うとともに、これまで得られたデータを総合的に 3 次元解析し、地震活動や地殻変動との対応、解析結果から、内陸地震の発生過程のモデル化を行う。
- GNSS 観測: 2016 年に観測した GNSS データについても解析を行い、各観測点における地殻変動を求める。また、九州で GNSS 観測を継続して行う。2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震に伴う九州での地震時変動より求めたひずみ変化と定常変形についてのモデル化を試みる。
- 北海道: GNSS 等の観測調査を継続するほか弾性層厚を考慮した地殻変動モデリングを行う。
- 阿蘇火山: 阿蘇火山における GPS 観測を継続し、水準測量を実施する。構造推定として、阿蘇カルデラ、加久藤カルデラでの地震波干渉法による表面波トモグラフィや始良、加久藤カルデラでのレシーバー関数解析を行う。
- 噴火発生場: 来年度において、九重火山の広帯域 MT 観測データを用い 3 次元比抵抗構造解析を行う。今年度に 2 次元比抵抗解析結果が得られた。しかし、九重火山における観測では、特に山頂部において稠密な MT 観測が行われているが現状の解析ではこれらのデータを十分に活用できていない。さらに複数の火山体からなる複雑な構造を有する九重火山については、地下の比抵抗構造に対し 2 次元構造を仮定する事は現実的ではなく、構造の単純化により見かけの構造などが現れる可能性が大きい。こうしたことから 3 次元解析を行う事が望ましい。今年度においてはインバージョンソフト ModEM (Kelbert et al., 2014) を用いた構造解析の準備を進めており、次年度に最終的な 3 次元解析結果をまとめ、地下熱水系の分布・状態把握を行う予定である。
- 実験 (地震火山相互作用): 気泡の発生・離脱上昇による増圧と微動との関係を明らかにし、トリガリングダイアグラムの作成を行う。
- 室内間欠泉における噴出量予測 (過飽和度、過飽和領域容積) を行うために、体積弾性率や圧力パルスの振幅と噴出量との関係を明らかにする。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

- 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
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附属地球熱学研究施設火山研究センター
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
鹿児島大学大学院理工学研究科地球環境科学専攻 中尾茂
九州大学大学院理学研究院地球惑星科学専攻 寅丸敦志
北海道立総合研究機構地質研究所 (岡崎紀俊ほか 4 名)

(電磁気観測および噴火発生場観測は全国連携研究)

(12) 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：九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター

電話：0957-62-6621

e-mail：hshimizu@kyudai.jp

URL：www.sevo.kyushu-u.ac.jp

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：松本 聡

所属：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

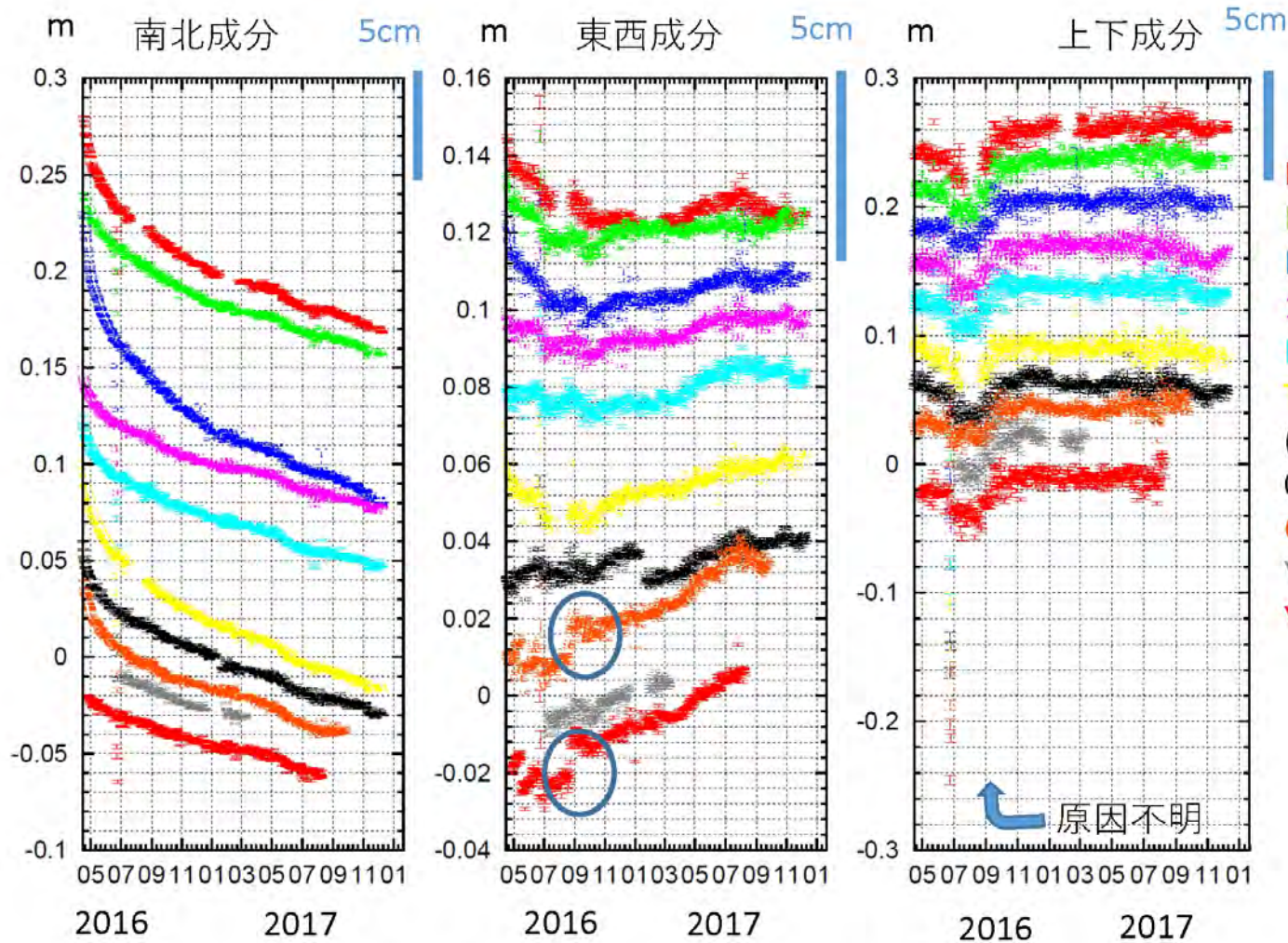


図1. 布田川—日奈久断層帯の南東に設置された観測点の変位。○で囲った変動は原因がわからない。

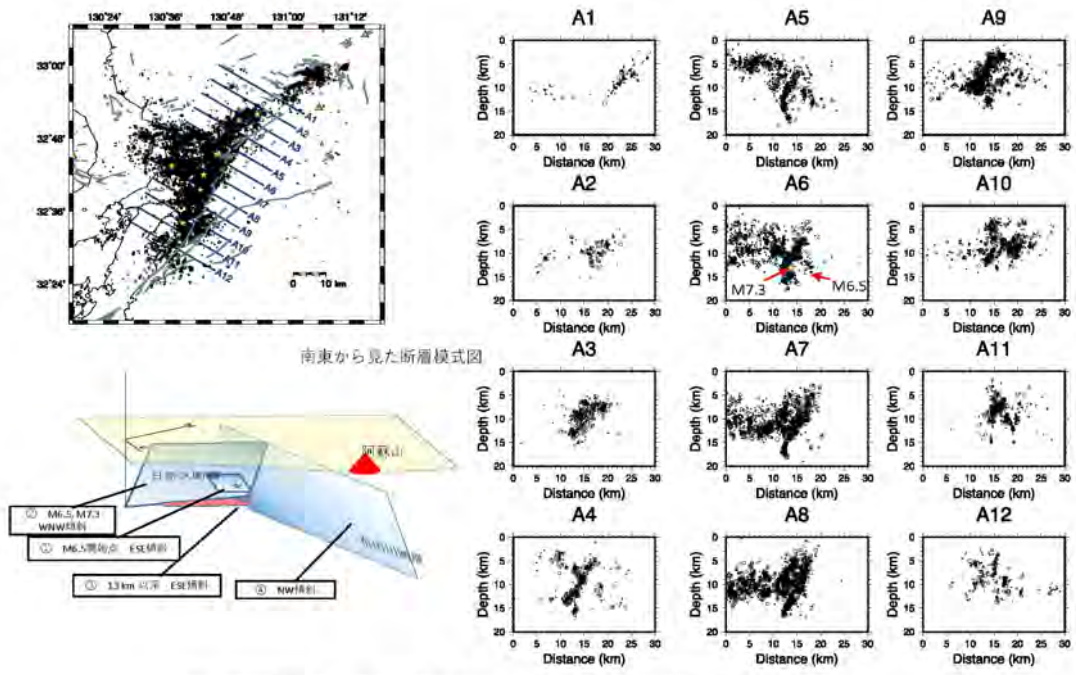
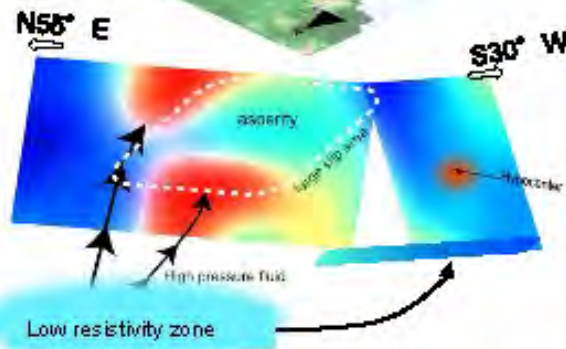
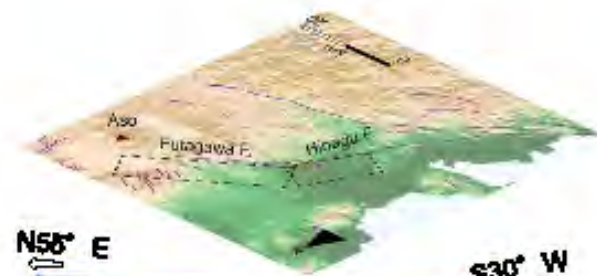
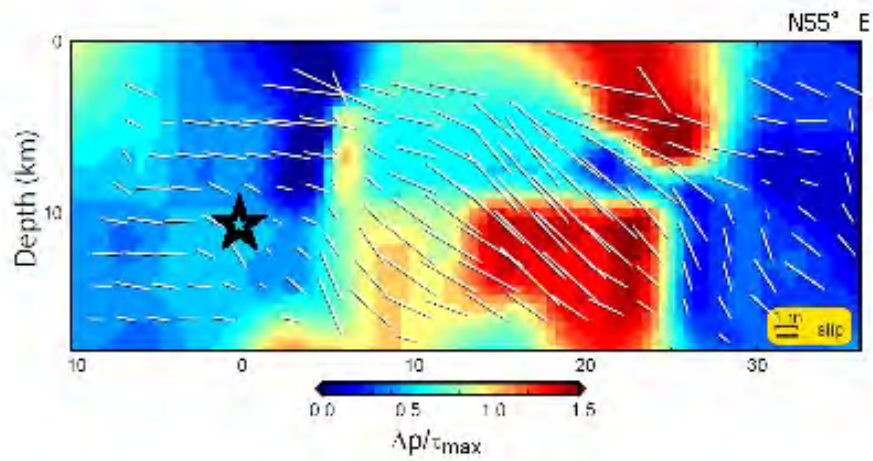


図2. 3次元速度構造で再決定した震央(上)および日奈久断層に直交する鉛直断面(右)。本震、最大前震の断層模式図を左下に記す。



Matsumoto et al., 2018を
改変

図3 上)本震断層沿いでの断層面と応力場最適面の関係。赤いほど面のずれが大きい(最大せん断応力で規格化された間隙流体圧変化として表示)。星は破壊の開始点。下)上図と低比抵抗域の関係を示した模式図。

図 3

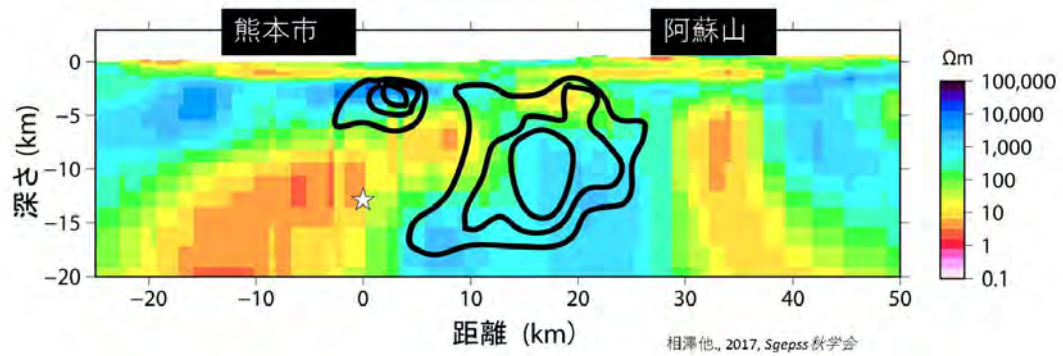


図4. 布田川断層に沿った比抵抗鉛直断面図。図の大線はAsano & Iwata (2016)のすべりが大きい部分を示す、ただし鉛直面に投影されていることに注意。☆は破壊開始点。

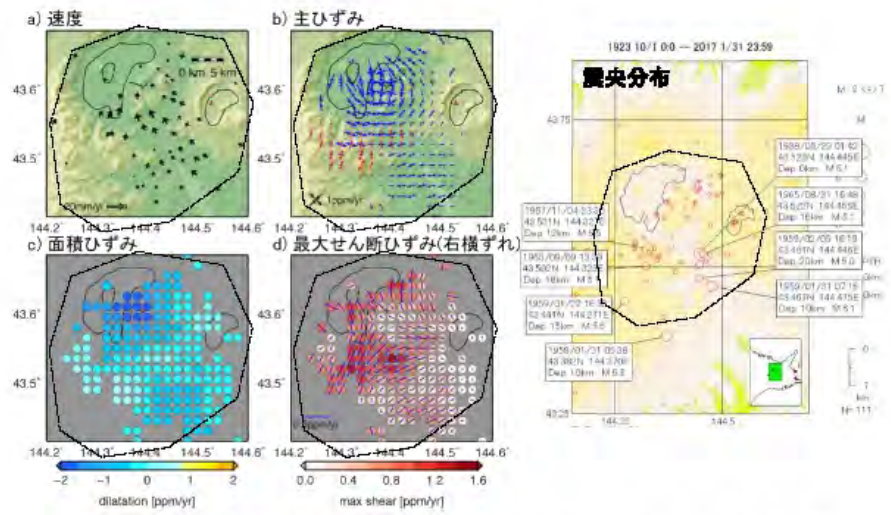


図5. 左図: GNSS観測から推定した地殻変動速度場(a)および各ひずみ速度の分布(b~e). 右図: 地震活動の分布. 破線は屈斜路カルデラの大まかな範囲を示す.

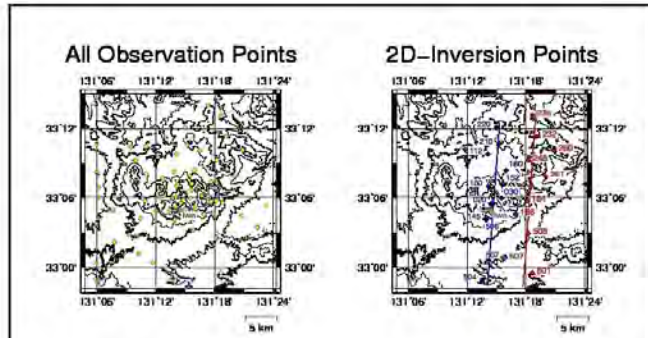


図6 九重火山及びその周辺における広帯域MT観測点(左)及び2次元解析を実施した2測線(右)

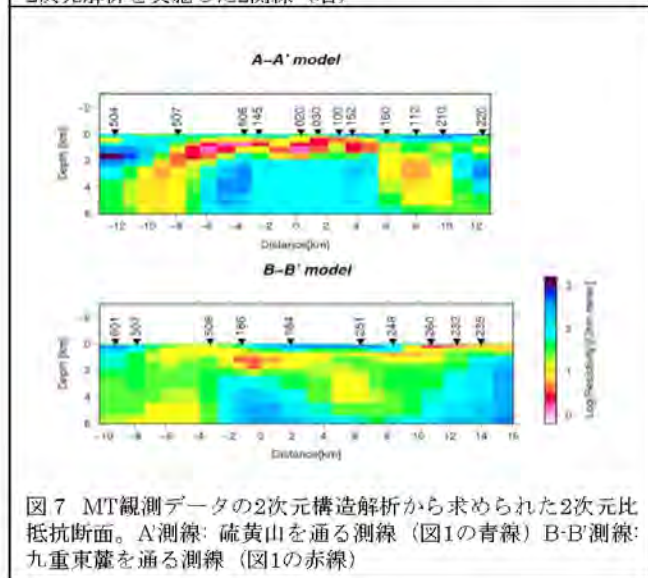


図7 MT観測データの2次元構造解析から求められた2次元比抵抗断面。A測線: 硫黄山を通る測線(図1の青線) B-B測線: 九重東麓を通る測線(図1の赤線)

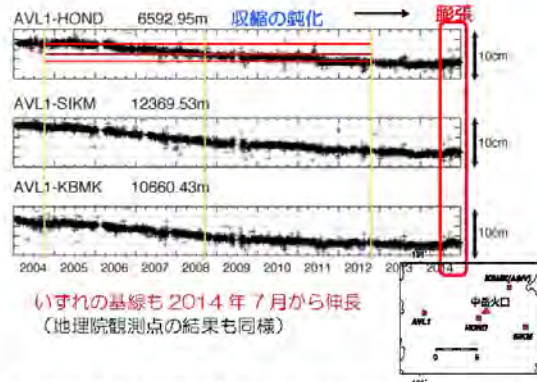
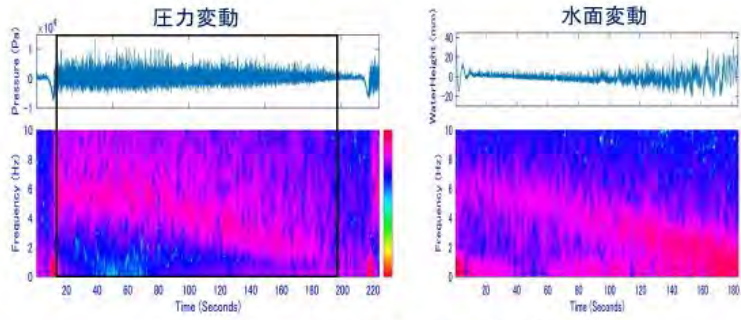


図8 2004年1月1日から2014年12月31日の期間におけるGPS観測による基線長変化(防災科学技術研究所のGPSデータを一部使用)



図9 シル+Mogiソースによる水平ベクトルのフィッティング。観測値:2004年4月~2008年4月。計算値:茂木ソース(3 million m³減)とシル(-0.35m)の両方を仮定いずれもAVL1固定

➤ 圧力変動と水面変動 —周波数変化— (フラスコ底:不均質)



水面変動と圧力変動の卓越周波数が一致

図10 フラスコ中の圧力変動と水面変動の時系列・ランニングスペクトル

気泡の発生がより活発な段階では減衰せず連続的に増減を繰り返す変動が見られた

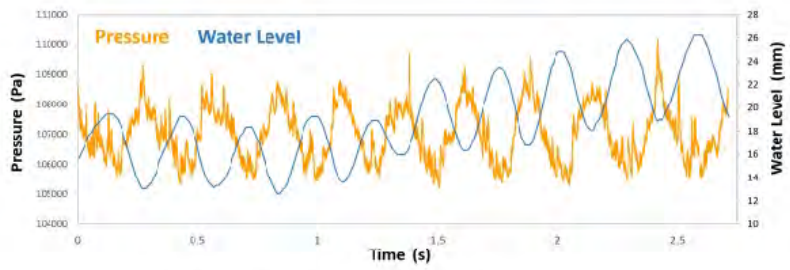


図11 圧力変動と水面変動の拡大図

(1) 実施機関名：

鹿児島大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

海域と島嶼域における地震・地殻変動観測による南西諸島北部のプレート境界域テクトニクスの観測研究

(3) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(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

(4) 地震現象のモデル化

ア. 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) 地震発生長期評価手法の高度化

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

当該領域においては、陸域が海溝軸から 100～200 km 離れた島弧軸に沿って直線状に配列する島嶼に限定されるため、プレート境界付近の微小地震活動等の時間空間的变化の詳細な把握に限界がある他、プレート境界の 3 次元形状も十分には把握できていない。一方で、当該領域のテクトニクスの解明においては、東北日本弧や南海トラフとは異なり、背弧活動(沖縄トラフの拡大)の影響を無視できない。本課題は、精度を向上させて推定するプレート境界の 3 次元形状と沖縄トラフ拡大の寄与を考慮した地殻変動のモデリング、及び繰り返し地震の解析から当該領域のプレート間の固着域、固着率、固着状態の推移を明らかにする。また当該領域では、短期的スロースリップイベントや超長周期地震の発生が最近明らかになったことから、本課題では非火山性微動等も含めたプレート境界周辺域で発生する現象の理解を進める。これらの結果を基に、当該領域のテクトニクスについて考察し、日向灘や南海トラフとの連続性や相違点について比較する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題は、平成 26～30 年度において、海底地震計を同一位置に繰り返し投入し、無人島を含む島嶼域での地震観測点と併せて、島弧軸に直交する方向にも拡がりをもつ継続的な地震観測網を構築する。また、限定された陸域を最大限に活用するために、無人島や未設置の有人島における GNSS 観測を積極的にいき、平成 26 年度から 5 年を通じて地殻変動データを蓄積する。これらの海域及び島嶼域の臨時観測点データ、常設観測点データのデータを併合処理することにより、以下の項目についての観測研究を実施する。

(a) プレート境界の 3 次元形状：平成 26 年度から 5 年において、海域及び島嶼域で得られた地震観測データにトモグラフィ解析を適用し、速度モデルを推定する。平成 26 年度の 1 次元速度モデルの推定から開始し、観測データの蓄積状況に応じて、3 次元速度モデルの推定に拡張する。これらの速度モデルを適用した震源決定に基づき、海溝軸付近における反射法探査による浅部構造の先行研究と比較考察しながら、プレート境界の 3 次元形状について、精度を向上させて推定する。データの蓄積に応じて、速度モデルと 3 次元形状モデルを逐次修正する。

(b) GNSS 観測データの解析：平成 26 年度は、当該領域における剛体としてのプレート運動を求める。平成 27 年度は、観測データからプレート運動を除去することにより、当該領域の弾性変形を解明する。一方、過去に実施された構造探査の結果を用いて、地殻 - マントル境界の形状モデルを生成する。平成 28 年度は、(a) のプレート境界の推定形状をモデルに取り込み、3 次元有限要素モデルを構築する。平成 29～30 年度は、3 次元有限要素法を用いたフォワードモデリングを行い、沖縄トラフ拡大率、フィリピン海プレートの境界面の固着域、固着率を推定する。GNSS 観測データの蓄積による精度向上を図り、かつ (a) の形状モデルの修正に応じてフォワードモデリングを繰り返すことにより、モデルの改善を行う。

(c) 繰り返し地震解析、非火山性微動等の現象の理解：島嶼域及び海域で継続的に得られる地震観測データを用い、平成 26 年度から 5 年を通じて、繰り返し地震の解析から固着域、及び固着率の推定を継続して実施する。この結果を、(b) で得られる固着域、固着率と比較考察する。また、平成 26 年度から 5 年を通じて、非火山性微動等のプレート境界周辺域の現象について、発生位置の推定、活動様式を明らかにし、固着域、固着率との関係、短期的スロースリップイベント、超長周期地震との時間的空間的關係を比較考察する。

平成 30 年度は、以上の (a)～(c) の結果を基にし、当該領域のテクトニクスについて考察する。また、推定された固着の状態、非火山性微動等のプレート境界周辺域における現象の活動様式の視点から、隣接する日向灘や南海トラフとの連続性や相違点について比較考察する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

海域及び島嶼域における観測：平成 29 年度は、2 航海 (4 月、及び 7 月) にわたり、当該海域に平成 28 年度に投入した長期収録型海底地震計 (LOBS) 6 台 (図 1 (a) の L1～L6) を回収するとともに、航海前に予め準備した 6 台の LOBS を同一位置に再投入した。これらの回収・再投入のための作業は、平成 28 年度までと同様に、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された。いずれの LOBS も、データ収録や投入直前・回収直後の時刻較正は正常に完了した。これら 6 観測点のうち 3 観測点 (L2, L3, 及び L6) は、繰り返し観測を平成 26 年度に開始しており、約 3 年間の連続データを取得済である。残りの 3 点は平成 27 年度に追加投入した観測点で、約 1 年 9 ヶ月の連続データを取得済である。

平成 29 年 4 月の航海では、2015 年 11 月に鹿児島県西方の沖縄トラフ北部で発生した M7.1 の浅発地震の余震域付近に追加投入 (平成 28 年 4 月) した 5 台の LOBS (図 1 (a) の T1～T5) の回収も実施した。自動処理震源決定による予備解析の結果、気象庁一元化にあるイベント数に比べ約 2 倍のイベントを検出した。これらのデータについては、今後詳細な解析を行い、余震分布を明らかにすることで、沖縄トラフの拡大の効果を見積もる上で不可欠な震源断層のモデル構築につなげる予定である。

また、平成 29 年度は島嶼域における短周期地震、及び GNSS 観測についても継続した。ただし、無人島のデータ回収及び保守作業予定は気象・海象が適しないこと等による制約で、女島、宇治島、臥蛇島

においては、それぞれ1回ずつの実施にとどまった。これらの無人島での地震及びGNSS観測データの収録は概ね順調であるが、臥蛇島では、前回の保守の約3ヶ月後にGNSSアンテナ内部への降水の浸入による障害が発生した他、気象による制約で渡島を繰り返し延期せざるを得なかったため、GNSS観測データに約1年3カ月の欠測が生じた。

3次元速度モデルの解析とプレート境界面の形状推定：平成29年度は、震源位置の精度向上を目的として平成28年度に行った3次元速度モデルの暫定解析の結果を踏まえ、3次元速度モデルの再解析を行った。再解析で用いた地震は、LOBSを投入した6観測点のデータが揃った2015年7月～2017年4月の期間、かつ、震央が海域、及び島嶼域観測点に囲まれるM3.0以上の308個である。なお、LOBS観測点数が3のみであった2014年4月～2015年7月の期間の地震を除外した。1次元速度モデルの解析結果に基づく3次元速度初期モデルの構築と観測点補正值の取り扱い、緯度・経度方向のグリッドノード間隔(0.5°)は、平成28年度の暫定解析と同じである。緯度、経度方向に0.1°毎に平行移動させた合計25モデルの解析結果を用いて速度モデルの平滑化を図り、得られた速度モデルとした(図1(c))。解析の結果、25モデルのいずれも、ダンピングファクター0.5で安定した収束解が得られた。暫定解析では1.0～1.3であったダンピングファクターが有意に低減し、解像度が向上した解が得られた。観測データのさらなる蓄積が進めば、解像度と地震発生域付近の空間分解能が向上する可能性がある。得られた速度モデル(図1(c))では、海溝軸に平行な速度不均質の構造や、深さ50kmにおいては、沈み込むプレートに対応した高速度領域が南東部に認められる。

2014年4月～2017年4月に収録された3年間のデータについて、観測点網周辺の地震も含めて3次元暫定速度モデルを適用した震源計算を行った結果、578の収束解が得られた(図2)。震央分布では、深さ40km以深で10km程度の深さごとに震央の帯状の分布が認められる。震源分布から推定した深さ40～100kmにおける地震面の等深線を震央分布(図2)に重ねて示した。領域A-BとC-Dの間で、等深線の屈曲(地震面の形状変化)が認められる。この一方で、深さ40km以浅については、震源分布のみからプレート境界面を推定するのは困難である。そこで、M4.0以上、かつ深さ40km以浅の地震を対象に震源メカニズム解析を行い、2枚のnodal planeのうち1枚の走向が海溝軸とほぼ平行な低角逆断層型の地震を抽出した(図2)。これらの地震の震源位置と深さ40kmの地震面の深さ分布から、境界面の深さ20kmの等深線を推定した。地震数が少なく精度が十分ではないが、深さ40km以深の地震面と異なり、領域A-BとC-D間で水平方向の有意なオフセットは無いように見える。また、低角逆断層型のメカニズム解をもつ地震の震源深さは、Arai et al. (2017)の反射法探査断面で示されたプレート境界面の深さとほぼ一致することが分かった。

(c) GNSS解析：国土地理院が運営するGEONET観測点に加えて、鹿児島大学が北部南西諸島に展開するGNSS観測点のデータをBERNESE GNSS Software V.5.2を使って解析した。GPS軌道暦と地球回転パラメータはCODEが解析し公表しているものを使用した。ITRF2008座標系に準拠し、1日ごとの観測点の座標を決定した。MESM、UJIS、KTDMの鹿児島大学の観測点はそれぞれ2014年4月5日から2016年7月4日、2010年9月16日から2016年10月25日、2014年9月10日から2016年5月24日までの期間を解析し、GEONET観測点は2004年1月1日から2016年12月31日までの期間を解析した。得られた座標データを使い、観測点の変位速度を最小二乗法により求めた。このとき、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0)や2015年11月14日に発生した鹿児島県南西沖の地震(M7.1)の地震時変動の大きさや2009年10月30日に発生した奄美大島北東の地震(M6.8)の地震時変動の大きさと余効変動の時定数と振幅、年周変化および半年周変化の振幅と位相を同時に推定した。ここで推定した変位速度はITRF2008座標系によるものである。図3にUJISを固定点としたときのフィリピン海プレートが沈み込む方向(N303°E)に連なる観測点の変位速度ベクトルを示す。MESM観測点とUJIS観測点の間には沖縄トラフがあるが、沖縄トラフを境にMESM観測点と他の観測点で変位速度の方向が異なっていることがわかる。これらの観測点の変位速度をフィリピン海プレートの沈み込む方向(N303°E)に投影した変位速度(N303°Eの方向の変位を負の値とする)を求め、フィリピン海プレートの沈み込む南海トラフからの距離による変化を図3に示した。この図からMESM観測点は相対的に毎年約5?でUJISから離れていることがわかる。このことより、

沖繩トラフは毎年約 5? の速度で拡大していると考えられる。図 3 の南海トラフに近い観測点(種子島や屋久島)の投影変位速度は南海トラフ方向に向かっている。しかし、これは琉球マイクロプレートの運動を取り除いたプレート内部変形ではなく、ITRF2008 座標系によるものである。プレート間カップリングの有無の議論を行うためには、琉球マイクロプレートのオイラーベクトルを正確に求め、内部変形を明らかにする必要がある。しかし、当該地域の島々に GNSS 連続観測点が多数設置されるようになって数年であるため、さらに観測を継続し、オイラーベクトルを精度よく推定できる変位速度を求めていくことが今後重要である。

海域データによる低周波イベントの検出と発生位置の推定：

これまでの島嶼域地震観測点網のデータから、低周波微動が南西諸島北部域でも活発であることが分かってきた。平成 29 年度は、前年度に引き続き、2014 年 4 月～2017 年 4 月の 3 年間に LOBS で取得されたデータを解析し、低周波微動の検出を試みた。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 2Hz 前後)、高周波側の帯域(概ね 10Hz 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することとした。観測点毎に適切な周波数帯域を設定した結果、従来よりも確実に低周波微動を検出出来るようになった。

図 4 に、2014 年 4 月～2017 年 4 月の 3 年間に観測された海溝軸側観測点(L3、L5、及び L6)で検出された低周波微動の日回数を示す。L5 は 2015 年 7 月から観測を開始したため、2014 年 4 月から 2015 年 7 月までの L5 周辺の活動は不明であるが、観測期間中の 3 年間に少なくとも 6 回のエピソードがある事が分かった(2014 年 5～6 月、2014 年 11 月、2015 年 10 月、2016 年 2 月、2017 年 2 月、2017 年 3 月)。このうち、いくつかのエピソードは短期的 SSE の解析ともタイミングが調和的であることが分かっており(西村、私信)南西諸島北部域のプレート境界浅部において深部スロー地震と同様に短期的 SSE と低周波微動が同期発生していることが示唆される。

2017 年 3 月のエピソードは、小繰り返し地震解析において小繰り返し地震の発生数が南西諸島北部域で増えた時期と対応しており、GNSS で検出が難しい南西諸島北部域でも小繰り返し地震の解析からスロー地震活動をモニタリングできる可能性がある。2017 年 3 月の活動は、L3 及び L5 周辺で発生していると考えられるが、同時期には日向灘でも浅部スロー地震活動が観測された。同様の現象は、2014 年 6 月にも見られており、日向灘から南西諸島北部域の広域にわたって同時にスロー地震活動を活発化させるメカニズムの存在が示唆される。

相似地震解析(準静的すべり速度の時空間変化)：

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 5)。喜界島北部(領域 K)を除く 9 領域で、2015 年頃から準静的すべり速度がほぼ同期して変化している。しかしながら、すべり速度の増減は一致しておらず、6 領域が増加しているのに対し、3 領域では減速している。なお、減速した領域である奄美大島北方(領域 J)は、2009 年の M6.8 の影響で、相似地震活動は静穏化しているために、準静的すべり速度減速の定量的な信頼度は高くない。

2014 年頃以前の約 15 年間の期間については、すべての領域で準静的すべり速度の変化は小さい(図 5)ことから、2015 年前後の変化を見るために、2015～2017 年と 2001～2014 年のそれぞれの期間で求められた準静的すべり速度(図 6 の左・中)及びその比(図 6 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。都井岬沖付近の領域で、準静的すべり速度が最も増加した。その他、種子島の南東沖や北東沖、トカラ列島東方域で増加の傾向が認められる。一方、減速したのは屋久島の南東沖であるが、減速の程度は大きくない。

以上のように、準静的すべり速度が、日向灘から奄美大島近海に至る広域でほぼ同時に変化していることが分かった。この変化については平成 28 年度にも報告済であるが、その後 1 年間のデータが加わった結果、より明瞭になった。1993 年以降にプレート境界で発生した M6.4 以上の地震発生時の前後で準静的すべり速度が速くなっており(図 5)、2015 年以降に準静的すべり速度が速くなったこと

は「固着が剥がれ始めた」可能性を示唆する。ただし、準静的すべり速度の変化が広域ではほぼ同時に起こっていることが、固着の剥がれ始めが広域で起こっていることを示す、についての解釈には議論を要する。なお 2015 年の変化は、発生している相似地震の規模が大きくなったのではなく、地震発生数が増加したためである。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Katakami, S., Y. Yamashita, H. Yakiwara, H. Shimizu, Y. Ito, and K. Ohta, 2017, Tidal Response in Shallow tectonic tremors, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 19, doi:10.1002/2017GL074060.
- 片上 智史・山下 裕亮・八木原 寛・清水 洋・伊藤 喜宏・太田 和晃, 2017, Tidal response in shallow micro low-frequency tremors, *JpGU-AGU Joint Meeting 2017*.
- 近藤健太郎・清水 洋・山下裕亮・八木原 寛・馬越孝道・松島 健・平野舟一郎・内田 和也, 2017, 陸上および海陸地震観測データの統合解析による日向灘の 3 次元速度構造の推定, *JpGU-AGU Joint Meeting 2017*.
- Shinohara, M., T. Yamada, H. Shiobara, Y. Yamashita, 2017, Development of compact long-term broadband ocean bottom seismometer for seafloor observation of slow earthquakes, *AGU Fall Meeting 2017*.
- 利根川貴志・山下裕亮・高橋努・篠原雅尚・石原靖・小平秀一・金田義行, 2017, 海底観測記録を用いた日向灘の浅部超低周波地震の震央位置決定, 2017 年日本地震学会秋季大会.
- 八木原寛・平野舟一郎・小林励司・宮町宏樹・中尾茂・後藤和彦・馬越孝道・内田和也・松島健・清水洋・中東和夫・山下裕亮・阿部英二・池澤賢志・諏訪祥士・山田知朗・篠原雅尚, 2017, 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 (4) , 2017 年日本地震学会秋季大会 .
- 山下裕亮・篠原雅尚・八木原寛・山田知朗・渡邊早姫・中東和夫・塩原肇・望月公廣・前田拓人・小原一成, 2017, 長期海底地震観測に基づく日向灘～南西諸島海溝中部域にかけての浅部低周波微動活動の特徴, 2017 年日本地震学会秋季大会.
- Yamashita, Y., M. Shinohara, H. Yakiwara, T. Yamada, K. Nakahigashi, H. Shiobara, K. Mochizuki, T. Maeda, and K. Obara, 2017, Low-frequency tremor activity in the shallow part of Nankai trough and Ryukyu trench revealed by long-term ocean bottom observation, *IAG-IASPEI 2017*.
- Yamashita, Y., M. Shinohara, H. Yakiwara, T. Yamada, S. Watanabe, K. Nakahigashi, H. Shiobara, K. Mochizuki, T. Maeda, and K. Obara, 2017, Shallow slow earthquake activity from the Hyuga-nada to Ryukyu Trench, *AGU Fall Meeting 2017*.
- Watanabe, S., Y. Yamashita, T. Yamada, and M. Shinohara, 2017, Shallow Tremor Activity in the Hyuga-nada region after the 2016 Kumamoto Earthquake Revealed by Ocean Bottom Seismological Observation, *AGU Fall Meeting 2017*.
- 渡邊早姫・山下裕亮・山田知朗・篠原雅尚, 2017, 日向灘における海底地震観測にもとづく 2016 年熊本地震後の浅部低周波微動活動, 2017 年日本地震学会秋季大会.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

(a) トカラ東方海域において観測中の長期観測型海底地震計の回収、及び同一位置への再投入を行うとともに、島嶼域の地震観測を継続する。海域の LOBS 観測点 (6 点) のデータ蓄積が進むことから、3 次元速度モデルの再解析を行う。緯経度方向のグリッド間隔が 0.5 ° のモデルを適用した解析において、解像度が十分に得られると判定される場合は、地震の空間密度が相対的に大きい領域について空間分解能を向上させた解析を検討する。得られた 3 次元速度モデルを用いた震源再計算とプレート境界付近で発生する地震の発震機構解の解析を継続し、低角逆断層型の発震機構解の地震の収集を進め、プレート境界面の形状の修正を行う。3 次元速度モデルを適用して得られた震源分布等を考慮し、概ね深さ 100 km までのプレート境界面モデルを示す。この際、自然地震の観測や解析では情報が不足する、LOBS 観測点より海溝側のプレート境界面の形状については、反射法探査等の先行研究で解明された

浅部構造を参照する。

(b) 島嶼域での GNSS 観測を継続する。これまで求めた南西諸島北部のプレート運動や沖縄トラフ北部の拡大速度を補正した各観測点の変位速度を用い、フィリピン海プレートの固着の領域、固着率を推定する。

(c) 南西諸島海溝北部域における低周波イベントについて、6 観測点の LOBS データ等を用い、引き続き活動状況のモニタリングを行う。平成 26 年からの約 4 年間分の活動を明らかにするとともに活動様式の特徴についてまとめ、北側に隣接する日向灘との活動について比較検討を実施する。また、エンペローブ相関法による震源決定を試みる。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

鹿児島大学大学院理工学研究科 (八木原寛・中尾茂・後藤和彦)

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学地震研究所 (篠原雅尚・望月公廣・塩原肇・山田知朗)

長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科 (馬越孝道)

京都大学防災研究所地震予知研究センター (山下裕亮)

東京海洋大学 (中東和夫)

九州大学大学院理学研究院 (清水洋)

東北大学大学院理学研究科 (日野亮太)

北海道大学大学院理学研究院 (村井芳夫)

千葉大学大学院理学研究科 (佐藤利典)

(12) 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 : 鹿児島大学大学院理工学研究科附属南西島弧地震火山観測所

電話 : 099-244-7411

e-mail : yakiwara@sci.kagoshima-u.ac.jp

URL : <http://leopard.sci.kagoshima-u.ac.jp/noev/home.htm>

(13) 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 : 鹿児島大学大学院理工学研究科

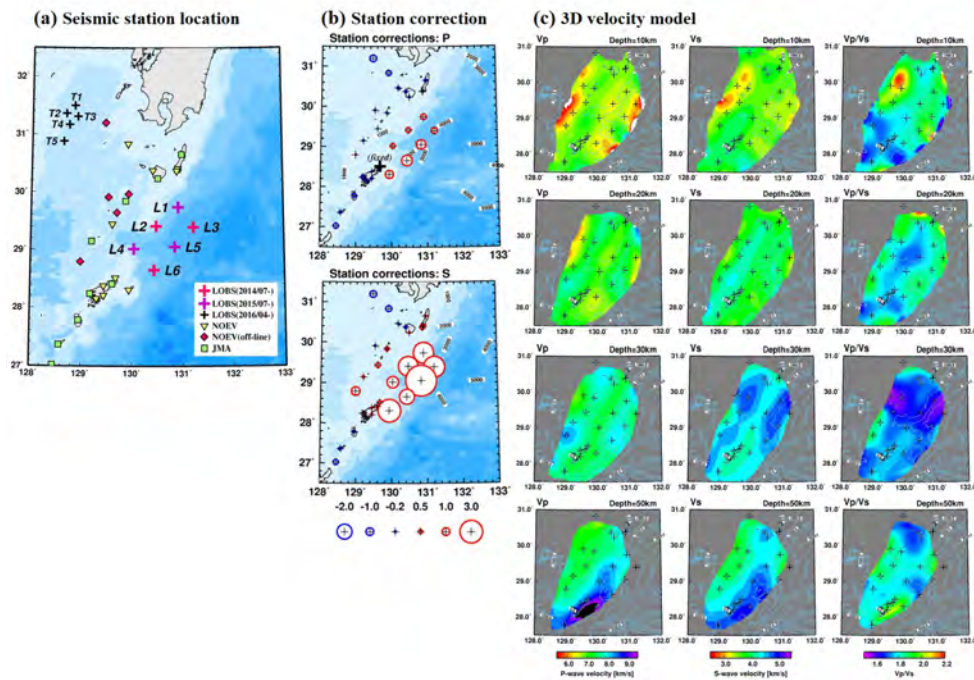


図1 海域及び島嶼域地震観測と推定された3次元速度モデル。

(a) 海域及び島嶼域地震観測点の配置。+印が LOBS の位置を示す。その他のシンボルは島嶼域地震観測点を示す。T1~T5 は、2017年4月に回収された、2015年11月14日のM7.1の余震域付近の LOBS である。(b) 1次元解析で得られた観測点補正值。(c) 得られた3次元速度モデル。緯度・経度方向のグリッドノード間隔を0.5°とし、グリッド空間を緯度方向・経度方向にそれぞれ0.1°毎に移動させて計算した合計25モデルから計算された速度の平均値をプロットした。ただし、Resolution Matrix の対角要素値が0.25以上の位置のみ速度が得られたとした。

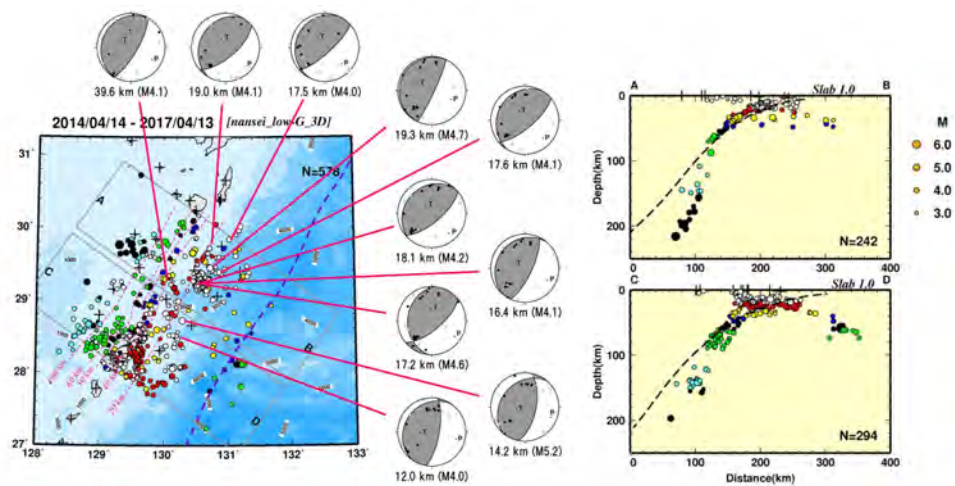


図2 震源分布、及び低角逆断層型のメカニズム解。

震源計算の結果、解が分散や振動せず、収束解が得られた地震のみをプロットした。シンボルの色は震源の深さに対応する。+は地震観測点を示す。矩形領域A-BとC-Dに挟まれた領域が概ねトカラ海峽と一致する。断面図上の点線は、グローバルなプレート形状モデル：Slab 1.0 (Hayes et al., 2012) の輪郭を示す。また震央分布図には、震源分布から推測される地震面の深さ分布(深さ40 km~100 km)を重ね合わせた。さらに、海域及び島嶼域観測網のデータから得られた低角逆断層型の震源メカニズム解(下半球投影)を合わせて示した。震源メカニズム解析の対象のうち、1枚のnodal planeの走向が海溝軸とほぼ平行で傾斜角が低角である地震のみを示した。深さ20 kmの点曲線は、低角逆断層型の解をもつ地震の震央と深さ、及び深さ40 kmの点曲線とを内挿することで推定した。なお、青点曲線は海底地形から推定した海溝軸を示す。

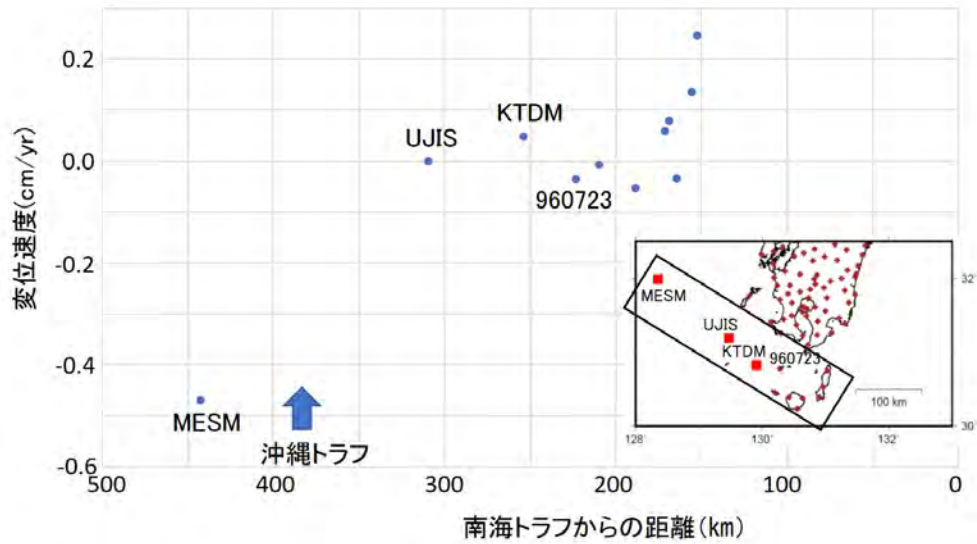


図3 . UJIS を基準としたフィリピン海プレートの沈み込む方向 (N303E) の観測点の変位速度。
横軸は南海トラフからの距離を示す。

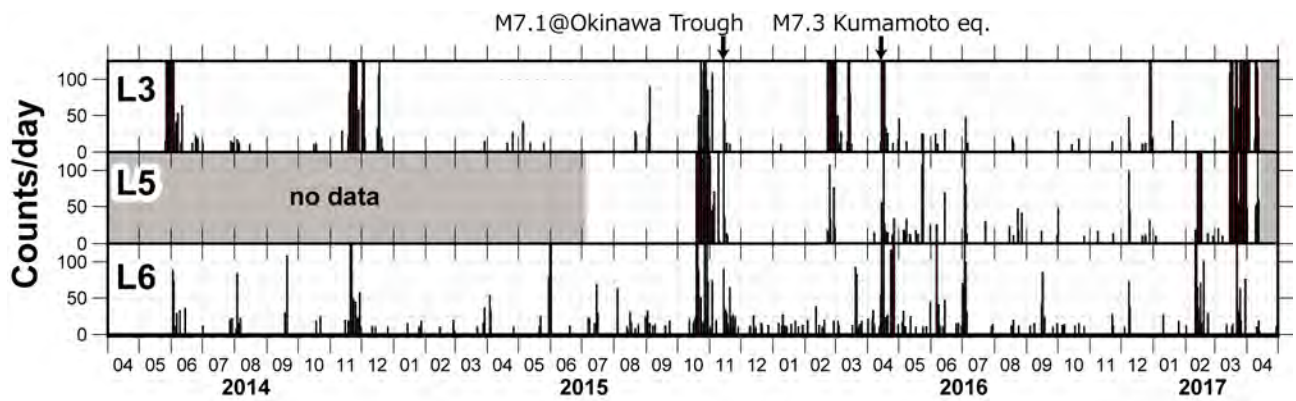


図4 低周波微動の海底観測点における日別検出数 (通常の地震や T-phase も一部含んでいる)
L6 はサイトの影響で見かけ上検出が難しくなっている。

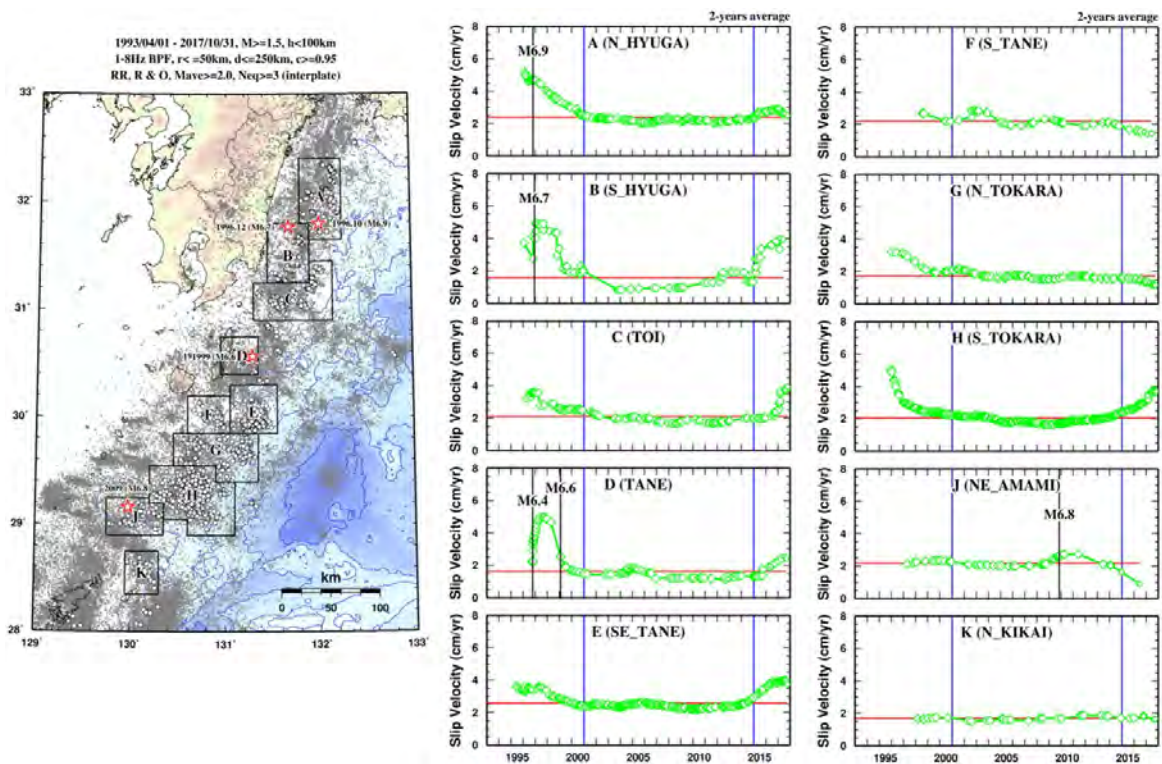


図5 日向灘から奄美大島近海に至る10個の領域での準静的すべり速度の時間変化。各図中の赤線は、準静的すべり速度の平均値を示す。1993年以降に発生したM6.4以上のプレート境界地震の発生時が、該当する図中に縦太線で示されている。なお、図中の青線は図6の解析で使用した期間の境を示す。

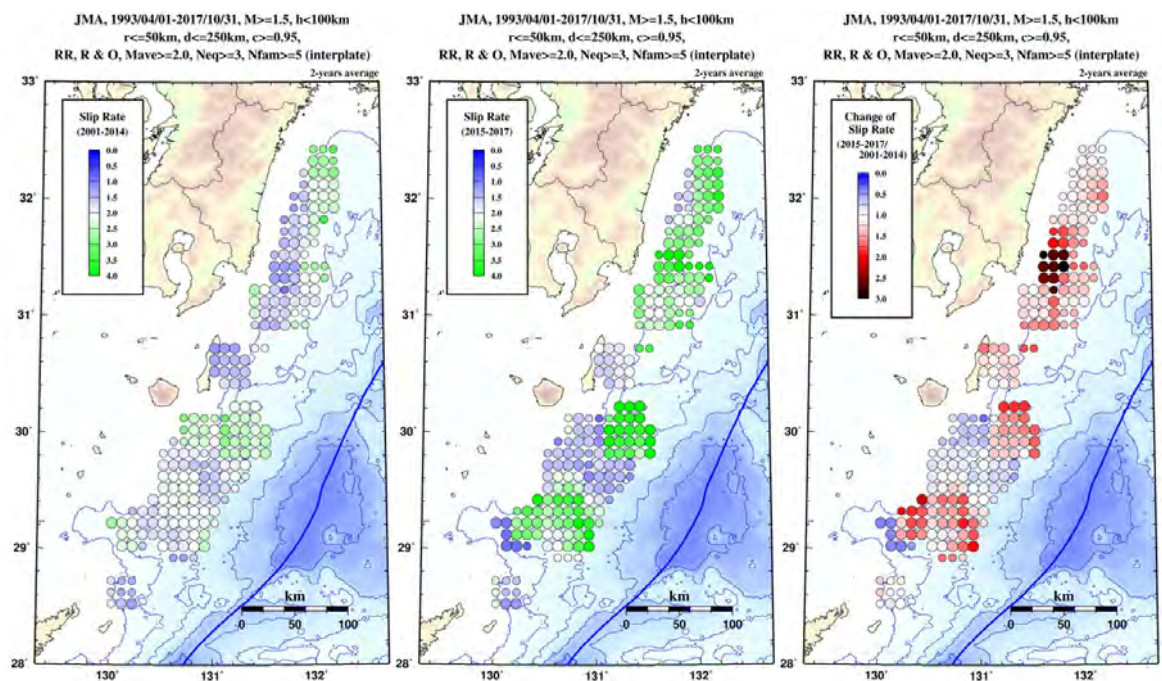


図6 日向灘から奄美大島近海に至る領域における2015年前後の平均的な準静的すべり速度、及び準静的すべり速度の比の分布。左図と中図がそれぞれ、2001~2014年及び2015~2017年の平均的な準静的すべり速度の分布を示す。右図が2015~2017年と2001~2014年の準静的すべり速度の比を示す。解析は、緯度 $0.3^\circ \times$ 経度 0.3° の領域を 0.1° ずつずらして行った。

(1) 実施機関名：

立命館大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

南アフリカ金鉱山の地震発生場における応力・強度・ひずみ変化の現位置計測

(3) 最も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) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

(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・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

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活動予測

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の事前評価手法の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(3) 関連研究分野との連携の強化

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

5 か年の間に、これまでの取り組みを更に進め、地質構造の情報も多い南アフリカ大深度金鉱山の地震発生場において、震源と周囲の応力や強度、歪変化の原位置実測データを増やす。現位置測定結果に基づく較正によって、計算機応力モデリングを高度化し、地震ハザード評価の高度化も目指す。そ

の上で、自然地震の研究で用いられている地震の切迫性の間接推定手法（例えば、空白域、 b 値、潮汐応答敏感性）、あるいは、応力の間接推定手法（地震みかけ応力、モーメントテンソル逆解析など）を、よりよく拘束された応力や強度と比較することによって評価する。

（ 7 ）本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度：これまでに、ドリリングは大型科研費に頼っていたが、2013 年度で終わる。次の大型科研費に申請ができるのは、地球規模課題対応科学技術協力の JST の支援の最終年度（2014 年度）である。このため、2014 年度は、次のステップに進むために非常に重要な年度となる。

これまでの取り組みによって技術移転され、構築された体制によって、年に 2 ~ 3 点の応力測定が、複数の鉱山において鉱山自身によって行えるようになってきている。これらは坑道から十数 m 以内の測定である。また、すでに埋設されている石井式歪計の付近の地震活動がピークを迎える。これらに基づき応力モデリングを較正し始める。

後述する他の大型予算の獲得の成否に関わらず、上記については 5 年間続ける。5 年間の研究期間の後半は、較正された応力モデリングの結果と、応力の間接推定手法や地震の切迫性の間接推定手法と比較し評価する。

平成 27 年度以降、大型予算を獲得することを目指し、もし獲得できた場合は、震源を貫通する、もしくは、きわめて近くを通る、坑道から数十 m のドリリングを行って応力分布を実測する。本課題ではこのような測定が可能な候補地を平成 26 年度 ~ 平成 27 年度に見つけ、準備を進める。

（ 8 ）平成 29 年度の成果の概要：

高いコア回収率で大深度の地震発生場へ掘削することや、そこでの絶対応力を測定することは、これまで困難であった。しかし、高い回収率での地震発生場の掘削が実現し、応力の絶対値の分布の測定実績が大幅に増えた。これらは目標および計画（上記（ 6 ）および（ 7 ））に一致する成果である。

国際陸上科学掘削計画 (ICDP) によって南アフリカ金鉱山の地下大深度から至近距離の M2.0-5.5 の地震発生場を科学掘削するプロジェクト（以下 DSeis 計画）が 2016 年 8 月に採択された。この DSeis 計画は、日本が主導し欧米を含む 8 カ国の研究者と鉱山および関連会社が協力して行われている [Ogasawara et al. (2017)]。掘削対象は、M5.5 の余震発生域、M3.5 の本震破壊域、採掘前線の前方で準静的に数十 m サイズに成長した準静的破壊域などである。M5.5 地震発生場の掘削は、地下 2.9 km における 6 m × 6 m × 6 m の掘削座の発破掘削と支保工事の後、2017 年 6 月から掘削が始まった [Voosen (2017)]。Cooke 4、Savuka、および、Tau Tona 鉱山では閉山のため、DSeis 計画の掘削の一部の断念や、代替地探し等が必要な場合もあった。しかし、2018 年 2 月現在、非常に高いコア回収率で、総延長約 1400 m を掘削し終え、当初の科学掘削計画の 7 ~ 8 割の部分を完了することができている。南アフリカ・インド・イスラエルとの関連する共同研究は日本学術振興会の研究拠点形成事業（B: アジア・アフリカ学術基盤形成型；2017-2019）で推進させた。インドとは ICDP のダム誘発地震帯掘削計画との連携も進めた。本課題では、上記以外の南アフリカでの活動、すなわち、地震発生場の応力場の研究や、地震発生場の構造地質学的な研究を推し進めた。

石田 (2018) は、これまでに地震発生場の掘削で得られていた合計 90 本以上総延長 4.4 km 以上のコアから 276 個を選び、コア変形法 (Diametrical Core Deformation Analysis) [Funato and Ito (2017)] による差応力の絶対値の測定を実施した。この方法は、コアが掘削によって岩盤から切り出されるときの変形を、地上に持ち出されたコアに対して、非破壊で測定することができ、差応力の絶対値を求めることができる。石田 (2018) は、坑内での現場応力解放法の測定結果とも比較し、DCDA 法による応力測定結果の質に影響を与える要因を明らかにし、質を定量的に評価する方法を提案した。Abe (2017) は、DCDA 法、コア変形率変化法、ボアホール・ブレイクアウト (BB) やコア・ディスクング (CD) の解析の結果を統合し、絶対応力値を拘束することができた。彼らによって得られた地震発生場の応力場の知見を、他の重要な成果と合わせて場所ごとに整理すると以下の様になる。

地震発生場研究では、鉱山が採掘を始める前に行っていた地震反射法探査データの再解析を行い、

M5.5 地震断層に対応する高角で北北西-南南東の断層帯が鉱山の下方(地下 3.5~7km)で見つかった [小笠原 (2018)]。また、この断層帯(地下 3.5~7km)が、鉱山の採掘レベルで確認されている北東南西走向の正断層(垂直水平転移 1km 以上)を越えておらず、余震活動もこれらの断層を越えて広がっていないことも確認できた。DSeis 計画による M5.5 地震発生場(地下 3.5~7km)に向けた地下 2.9km からの長さ 817m の掘削からは、孔口から孔底まで非常に高い回収率でコアが得られた。これに対して DCDA 法が行われ、孔軸に直交する面内の最大差応力が得られた。そして、差応力は採掘現場に近い孔口から、採掘現場からの距離と共に一旦減少し、余震発生帯の上端部付近より深い領域では、系統的に差応力が 10~20MPa 上昇することが明らかになった。DCDA 法で測定された差応力は、採掘レベルで現場測定された応力解放法の結果を深さとともに直線的に外挿するだけでは説明できない大きさであった [石田 (2018)]。この地域の金鉱山の誘発地震は、地下 2~3km の採掘レベルの北東南西走向の正断層上で起こるが、M5.5 の地震は通常の誘発地震よりも明かに深く、左横ずれ型であり謎であった。しかし、今年度の取り組みによって、この謎を解くために重要なデータを得ることができた。

M3.5 の地震発生場では鉱山が閉山したため DSeis 計画による高いコア回収率の掘削を行うことはできなかった。しかし、鉱山が行った M3.5 の地震発生場を貫通する 2 本の掘削コアに対して DCDA 法と DRA 法の応力測定を行うことができ、BB や CD の結果も加味して応力分布を詳しく議論することができた [Abe (2017)、石田 (2018)]。Mw2.2 の地震発生場の応力場も同様に検討を深めることができた [Abe(2017)]。これらは、剪断応力が数十 MPa の地震発生場の応力分布を議論できた非常に貴重な事例である。

Cooke 4 鉱山では、DCDA 法の測定結果のばらつきが大きかった。しかし、上述した基準で選別された結果は、Naoi et al.(2015)が多数の非常に小さな繰り返し地震を発見した地質断層と関連があると思われる差応力の系統的な変化を描き出していることがわかった [石田 (2018)]。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Abe, S., 2017, In-situ stress in the close vicinity of source fault in South African deep gold mine, 東北大学理学研究科, 修士論文, pp.158.
 - 石田亮壮, 2018, 南アフリカ金鉱山地域 M2~5.5 級の地震発生域でのコア変形法による応力測定, 立命館大学理工学研究科修士論文.
 - Moyer, P.A., M.S. Boettcher, W.L. Ellsworth, H. Ogasawara, A. Cichowicz, D. Birch, and G. van Aswegen, 2017, Call for models - a test case for the source inversion validation: the 2014 ML 5.5 Orkney, South Africa, earthquake, *Seismol. Res. Lett.*, 88, doi:10.1785/0220160218
 - Ogasawara, H., R.J. Durrheim, Y. Yabe, T. Ito, G. van Aswegen, M. Grobbelaar, A. Funato, A. Ishida, H. Jnr, Ogasawara, S. Mngadi, M.S.D. Manzi, Z. Martin, A. Ward, P. Moyer, M. Boettcher, P. Dight, W. Ellsworth, B. Liebenberg, N. Wechsler, T. Onstott, N. Berset, and the DSeis Team, 2017, Drilling into seismogenic zones of M2.0-M5.5 earthquakes from deep South African gold mines (DSeis): establishment of research sites, *Proc. Afrirock Symposium 2017 (ISRM)*, 30 September - 6 October 2017, Capetown, 237-248.
 - 小笠原宏幸, 2018, 反射法地震探査データを使った 2014 年オークニー M5.5 地震の速度構造および断層構造解析, 立命館大学理工学研究科修士論文, pp.52.
 - Voosen, P., 2017, Deep in a South African gold mine, scientists drill for the heart of an earthquake, *Science*, doi:10.1126/science.aan6905

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

M5.5 の余震発生域に向けた掘削は、2018 年 3 月前後に断層を貫通する見込みである。断層交差部から地下水とガスを自動的に収集するシステムが米国 NSF 計画によって設置される。水圧トランスデューサーも設置され、主に、地球微生物活動と地震活動との関係が明らかにされる予定である。これらの情報は、地震発生場と地下水との関係や、地震の地球化学的研究にも用いられる。この水圧ト

ランスデューサーは我々が連続収録し、地震活動の盛衰と比較したり、スローイベント（地震性高速すべりと性質が異なるイベント）の有無を調べたりする。科研費が採択された場合は、M5.5余震発生帯に掘削された孔内に地震観測網を設置し観測結果を上記と比較する。

本計画では、地震発生場の掘削コアに対する応力測定を推し進める。コアの岩石学的、構造地質学的調査をスイス、南アフリカ、イスラエル、ドイツと協力して進める体制ができている。これらから得られる知見も、本課題で得られる総合解釈に加味する。

アメリカ南カリフォルニア地震センターが支援するワークショップで、M5.5地震の破壊過程の逆解析が進むと期待される。これらに、既に得られている余震のメカニズムに基づく応力逆解析や、余震応力降下量分布の知見も加味し、M5.5の破壊停止機構と、本課題や関連計画で得られる応力や地質と対応をさらに詳しく調べたい。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

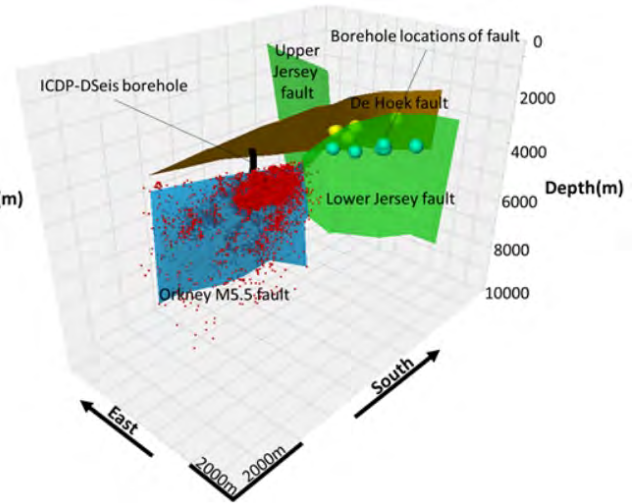
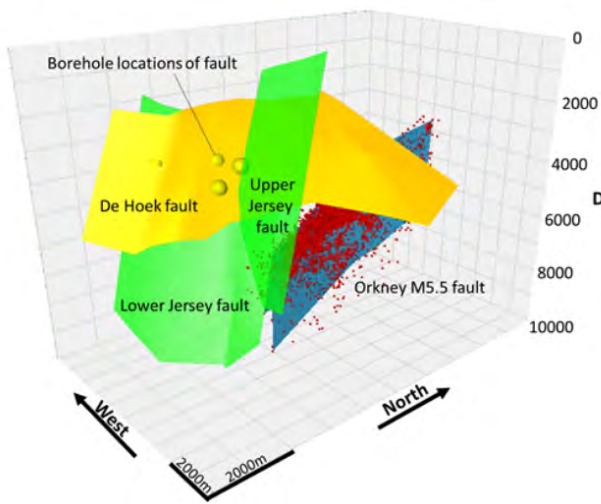
立命館大学・理工学部 小笠原宏
他機関との共同研究の有無：有
東北大学大学院理学研究科 矢部康男
東北大学大学院工学研究科 森谷祐一
東北大学大学院環境科学研究科 坂口清敏
東北大学流体科学研究所 伊藤高敏
(公益社団法人)地震予知総合研究振興会 石井紘
鹿児島大学大学院理工学研究科 中尾茂
京都大学大学院工学研究科 石田毅・直井誠
北海道大学大学院理学研究院 山口照寛
茨城大学理学部 山田卓司
高知大学理学部 大久保慎人
防災科学技術研究所 小村健太郎
産業技術総合研究所 今西和俊
東京大学大学院情報学環 三宅弘恵
東京大学地震研究所 加藤愛太郎
京都大学防災研究所 Jim Mori

(12) 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)PJ管理担当
電話：077-561-2802
e-mail：t-taka-a@st.ritsumei.ac.jp
URL：http://www.ritsumei.ac.jp/research/center/sci_eng/

(13) 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：立命館大学・理工学部



地下2~3kmの採掘レベルで確認されている正断層、M5.5断層およびDSeis科学掘削との位置関係 [小笠原(2018)]
 反射法探査データの再解析で、M5.5地震に対応する断層帯が、採掘レベルよりも下に見つかった。余震活動の南限は、採掘レベルで確認されている正断層の下方延長とほぼ一致した。黄色と青の大きめの球：地表からの探査掘削と正断層との交差点。右図のほぼ中央の黒の短い太線：ICDP DSeis 計画の817m孔。

(1) 実施機関名：

立命館大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

大規模地震・破壊に先行する極微小な前震活動の発生様式の特徴の解明

(3) 最も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活動予測

(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・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

近年、海外のグループや我々(上述)によって、大規模地震に先行する極微小な前震活動が日本を含む世界各地で発見されている。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りうる。高感度連続地震観測のおかげで、日本においてその検出は可能であるが、カタログに記載されないほどの極微小な地震であるため、現段階ではその特徴が把握できるほどには検出事例は多くなく、その発生機構や発生条件も明らかにされていない。

一方で、岩石試験時に観測される極めて小規模(マグニチュード - 8 ~ - 7)の破壊(地震)は、本震に相当する主破壊に先行して数多く観測されている。実験においては、我々の新たな計測技術により、微小破壊の震源特性を調べられるようになったことに加え、実験後に回収された試料の内部観察も可能である。

そこで本課題では、定常地震波観測記録を用いた内陸地震における極微小な前震活動の有無を調べ、検出事例の増加を目指す。また、室内実験から得られる主破壊に先行する微小破壊の特徴を踏まえ、前震の発生様式の解明を目指す。そして、室内実験から推定された前震の発生様式を適宜参照しつつ、これまでに確認されている前震活動を用いて、本震発生前に前震が前震であることを予測できるか否かを検討し、検出モニタリングのアルゴリズムの確立を目指す。

(7) 本課題の5か年計画の概要 :

前項で挙げた、「定常地震波観測記録を用いた内陸地震における極微小な前震活動の検出事例の増加」、「室内実験から先行する微小破壊の特徴の把握」、「前震の発生様式の解明」、「本震発生前に前震が前震であることを予測する手法、検出するためのモニタリング・アルゴリズムの検討」を以下の手順で実施する。

平成 26 年度においては、高感度地震観測網整備後に日本の内陸で発生した中大規模地震のうち、数 km 以内の震央距離に定常観測点が存在するものを対象に、Doi and Kawakata (2013) の手法を用い、カタログには掲載されていないような極微小な前震の検出を試みる。並行して、内陸地震発生層に相当する封圧下において岩石破壊試験を実施し、その際に Kawakata et al. (2011) による技術を応用し、微小破壊の高感度・連続・広帯域・多点観測をおこなう。微小破壊について、前震・本震・余震系列として、その発生形態を見直し、発生パターン、従来の計測波形では正しく解析できていなかった規模別頻度分布、応力パラメタなどを推定する。

平成 27 年度においては、平成 26 年度の成果を参考にしつつ、引き続き前震の検出と室内実験の実施、微小破壊の解析を実施する。必要に応じて、破壊試験だけではなく二軸せん断試験も実施する。

平成 28 年度においては、内陸地震について、前震が検出されるか否か、検出された場合にはその個数について、震央距離や本震のマグニチュードに関する依存性を明らかにする。また、室内実験後に回収された岩石試料の高分解能 X 線 CT スキャン画像を取得し、室内実験の観測波形データを用いた解析結果と併せて検討することによって、前震活動の特徴を明らかにする。封圧や載荷速度などの条件を変更しつつ、岩石破壊試験・せん断試験を継続して実施する。

平成 29 年度においては、自然地震における前震活動の特徴を考慮に入れ、室内実験から推定された前震の発生様式を適宜参照しつつ、前震を自動的に検出できるようにするアルゴリズムを Doi and Kawakata (2013) の方法を応用することにより検討する。また、中大規模な地震発生の前後の期間以外にも解析期間を広げ、本震が発生したという情報を与えずとも、これまでに検出された前震を検出できるように検討を進める。

平成 30 年度においては、データ解析を進めるとともに、研究成果のとりまとめをおこなう。

ただし、平成 27 年度以降の計画については、成果と進捗状況を照らし合わせながら適宜見直しをおこなう。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

防災科学技術研究所 Hi-net などの連続波形記録を利用した極微小な前震の検出アルゴリズムに関し検討を重ねた。テンプレート波形数や観測点・成分数の増加に対応させることを考慮した場合に、1 サンプル毎の相互相関係数のヒストグラムを利用して閾値を設定する平成 28 年度に開発した検出アルゴリズムではボトル・ネックとなる可能性が高いため、より計算量を削減できるアルゴリズムの開発を目指しているが、平成 29 年度時点において新たなものとして確立するまでには至っていない。

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継続した。本試験は、法線応力は 1.33 MPa と高くないものの、断層面積はすべり方向に 1.5 m、すべり直交方向に 0.5 m と大きいという特徴を有するものである。また、試料内に弾性波センサを埋設する、広帯域弾性波センサを利用するといった工夫を加え、稠密多点の弾性波センサのネットワークを形成するとともに高速度 (10 Msps) 連続集録を実施した。本計画において、断層ガウジが残置された条件下では、試料全面がすべる大規模な動的すべりイベント (「本震」) に先行して前震が発生することが確認され、その中に、互いに波形が酷似したリピーター的な前震の発生が平成 28 年度において確認された。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可能性が示された。

リピーター的な前震は、「本震」の破壊準備過程に関する情報を与える重要なものであると考え、リピーター的な前震に関して精査した。具体的には広帯域弾性波センサで記録された波形の最大振幅を利用した相対的な振幅マグニチュードの推定や、P 相と S 相各々に対する最大相関を示すラグ・タイム

を利用した相対震源決定などを実施した。50 回程度の繰り返し「本震」を経験する過程を通じて、リピーター的前震の規模の系統的な変化については認められなかった(図)。また相対震源決定については、特に信号/ノイズ比が必ずしも高くない S 相に関し、最大相関を示す時刻の信頼度が十分とは言えず、リピーター的前震が想定される震源サイズの範囲内で発生しているか否かは確定できず、リピーター的前震が真のリピーターといえるか否かについては今後の課題となった。

また前震の発生環境に関する理解の一助として、ランは異なるが、ひずみ記録を精査することにより「本震」に先行するひずみの時空間変化を調べ、二次元的な破壊の進展に関する新たな知見が得られた。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
辻村優志，川方裕則，福山英一，平野史朗，山下太，徐世慶，溝口一生，滝沢茂，大型岩石試料のスティック・スリップ試験中に発生した繰り返し地震的活動について，日本地震学会 2017 年度秋季大会，S08-26.

福山英一，土田琴世，川方裕則，山下太，溝口一生，徐世慶，2 次元地震破壊伝播の実験室における直接観察，日本地震学会 2017 年度秋季大会，S08-28.

Futoshi Yamashita, Eiichi Fukuyama, Shiqing Xu, Hironori Kawakata, Kazuo Mizoguchi, and Shigeru Takizawa, Two types of foreshock activities observed on meter-scale laboratory faults: Slow-slip-driven and cascade-up, AGU Fall Meeting 2016, S34B-07.

Eiichi Fukuyama, Kotoyo Tsuchida, Hironori Kawakata, Futoshi Yamashita, and Shiqing Xu, Spatiotemporal complexity of 2-D rupture nucleation process observed by direct monitoring during large-scale biaxial rock friction experiments, Tectonophysics, In press.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

平成 30 年度においては、連続波形記録を利用した極微小な前震の検出アルゴリズムを確立させ、適用事例を増加させるとともに、成果を取りまとめる。また、大型せん断試験の結果についても、センサの較正を通じたマグニチュード推定の精緻化、震源再決定の再検討等を進め、リピーター的前震の発生様式に関する成果を取りまとめる。

(11) 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・加納 靖之

防災科学技術研究所 福山 英一・山下 太・徐 世慶・滝沢 茂

電力中央研究所 溝口 一生

(12) 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)PJ管理担当 田中

電話：077-561-2815

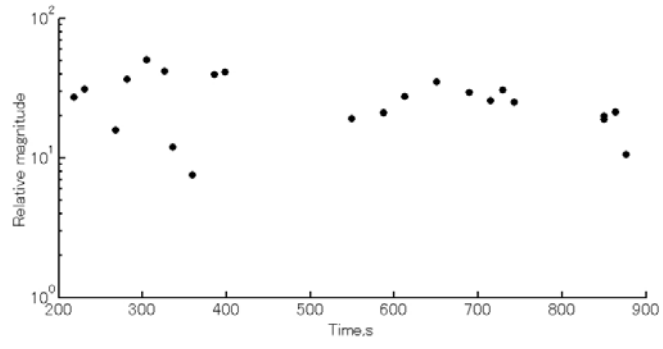
e-mail：t-taka-a@st.ritsumei.ac.jp

URL：http://www.ritsumei.ac.jp/research/center/sci_eng/

(13) 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



図．一つのリピーター的前震群の発生時刻と相対マグニチュードの関係

(1) 実施機関名：

東海大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

電磁気的地震先行現象の観測と統計評価による他種の先行現象との比較

(3) 最も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活動予測

(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) モニタリングによる地震活動予測

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

観測研究では、時間的・空間的相関が極めて高い結果が得られていたが、当時のデジタル計測技術の限界で中断していた VLF 帯パルス電磁波の新たな観測システムを構築し、VLF 帯における先行現象の有無について一定の結論を得る。VHF 帯の観測研究では、既存の観測網を良好に維持し、ケーススタディを積み重ねる。それ以外の DC-ULF 帯等の観測についてもシステムを良好に維持し、先行現象の抽出を試みる。必要に応じて観測点周辺の比抵抗構造を測定し、現象発現の発現・伝搬メカニズムの理解を進める。

先行現象の統計評価に関する研究では、従来の研究で地震発生との時間・空間的相関が示唆されている力学的現象(GPS 地殻変動、地震活動度変化)、電磁気学的現象(電離層全電子数(GPS-TEC)、地磁気・地電位差変化)などについて、統計的評価を強化し、それぞれの先行現象の地震との相関を定量的に評価する。さらに、各々の現象を利用した地震発生予測法の予測能力を定量的に表現・比較できるような指標を開発する。また、異常の抽出や地震発生の予測の手法において客観性を確保し、第三者が評価可能なデータベースのプロトタイプを作成する。このため、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、ギリシャ等の研究者と連携し、既存のデータの発掘・再解析を実施する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成 26 年度は、VLF 帯パルス電磁波の新たな観測装置の試作を行ない、予備観測を開始し最初のデータの取得を行なう。さらに既存の DC-ULF 帯および VHF 帯の観測網を良好な状態で維持する。またこれまで電磁気観測の空白域となっている南海トラフ沿いの地域に、新規複合的電磁気観測点構築を開始する。統計評価に関する研究では、予測マップの形式を定義することから開始し、それを地震カタログと比較して算出される種々の統計量を算出するシステムの構築を開始する。一方で、いくつかの先行現象と目されるものを選定し、試行評価のための予測マップ作成に必要な基礎データとプログラム群を用意する。

平成 27 年度は VLF 帯パルス電磁波の本観測を開始するとともに、それ以外の観測網を良好な状態で維持する。VLF 帯パルス電磁波観測については、先行現象候補と雷放電を判別するためのソフトウェアの開発を開始する。統計評価に関する研究では、試行評価のための予測マップを作成し、さまざまな評価指標を算出する。また東北地方太平洋沖地震の前に観測された GPS-TEC の変動について、観測データの存在する世界中の巨大地震についての解析を終了し、本現象に関する知見をまとめる。

平成 28 年度はすべての観測網を引き続き良好な状態で維持する。VLF 帯パルス電磁波観測については、先行現象候補と雷放電との判別ソフトウェアを完成させる。統計評価に関する研究では、試行評価を複数の現象に対して行い、さまざまな指標の長所・短所を検討する。

平成 29 年度も引き続き観測網を良好な状態で維持するとともに、各々の先行現象から予測マップに変換する作業におけるチューニングによって、さまざまな指標による成績がどのような影響を受けるかを検討する。また、指標値の計算において、地震カタログのデクラスタ等の影響を検討する。

平成 30 年度も引き続き観測網を良好な状態で維持するとともに、本研究で観測・収集・コンパイルされた先行現象のデータベースを作成する。統計評価に関する研究では、統計モデルによる予測との性能比較を行い、成果をとりまとめる。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

VLF 帯パルス電磁波観測

平成 29 年度は新規観測点として 5 月 19 日に群馬大学理工学部屋上に設置し、5 観測点体制とした。

平成 29 年度に観測網近傍で発生した最大の地震は、6 月 25 日に長野県南部で発生したマグニチュード 5.6 (深さ 7 km) の地震であった。今回はこの地震に関する予察的な解析結果を示す。この解析では、波源の推定に電磁波の到着時刻差を用い推定を行った。

電磁波の到着時刻の推定には、地震学でよく用いられている自己回帰 (AR) モデルと赤池情報基準量 (AIC) を用いる方法を使用した。これは電磁波の振幅が小さい場合にはトリガー時刻より前に電磁波が実際には到着しているためである。現時点では、観測された電磁波の振幅が大きい場合には、到達時刻は十分な精度で決定できるが、振幅の小さい電磁波の場合、電磁波到着前の背景ノイズが相対的に大きくなるため、AIC は求まるが、それが最小になった時が電磁波の到着時刻とはならない場合もあり、今後ノイズの性質を解明していく必要がある。

過去の観測から、VLF 帯のパルス電磁波は地震前数日にピークを迎えるという結果が得られており、今回は地震前 5 日から地震発生翌日までをまず解析した。その結果、震央付近から地震発生 2 日前の 6 月 23 日にだけ電磁波が到来している事が判明した (図 2)。なおこの時刻には中部日本で雷活動は発生していなかった事を落雷情報データから確認している。

このことから、1990 年代当時より、現在計測しているトリガーレベルはまだ大きすぎで、十分な数の電磁波が観測できていない可能性が存在する。これは過去 20 年間に VLF 帯でも背景ノイズが増加している可能性を示唆しており、今後データのプリプロセスシステムやデジタルフィルターを適用していく事が必要と思われる。

ULF 帯 3 成分地磁気観測

千葉大学では ULF 帯地磁気 3 成分データの解析を進めた。特に気象庁・柿岡のデータの Molchan Error Diagram (MED) 解析の結果から、ULF 磁場異常は前兆的であることがわかり、予測の観点からは、パラメータは先行時間は 8 日で警告期間が 4 日程度、または先行時間が 13-14 日で警告期間を 1 週

間程度とするとランダム予測より相当程度成績が向上することが判明した。なお、相関解析とMED解析からの短期予測のための最適なパラメータは先行時間は8日で警告期間が1日であることを示した。

VHF帯電波伝播異常観測

群馬大学では見通し内電波伝播異常の観測を継続的に行っているが、2017年度は、新たに静岡県静岡市の東海大学清水キャンパスに新規観測点を設置したほか、主に以下の点について研究をすすめた。

新たな電波伝播異常検出法の開発

従来の伝播異常検出法は、長期間の観測データを統計的に処理することで受信電力の平均値、標準偏差を算出し、そこから逸脱した変動を伝播異常と判定し検出していた(レベル変動検出)。しかし、電波伝播異常の判定を下すためには数年間にわたる継続した観測が必要であった。そこで2017年度は、短期間の観測から電波伝播異常の検出を可能にする方法として、1ヶ月間の観測データの平均値を求めるとして受信強度データの変動分を算出し、その積分値がある閾値を超えた場合を伝播異常と判定する方法(変動値積分法)を開発し、そのための観測データ処理プログラムを作成した。この判定方法を用いた伝播異常検出と地震発生との関連性を統計的に評価したところ、従来法(レベル変動検出法)以上の高確率の結果となった。

伝播異常と地震発生との関連性の統計的検証

今年度は、Molchan Error Diagramを導入し、見通し内電波伝播異常と地震との関連性が95%の有意水準を超えて関連していたことを明らかにした。また、最も関連性が強まる地震の条件を模索した結果、規模がマグニチュード4.5以上、震源の深さ50km以下、震央が電波伝播路から100km以内の領域、で発生した地震との関連性が高くなっていることが判明した。この条件を満たす地震が発生する場合には、変動値積分法によって検出した電波伝播異常が約20%の確率で発生していたことが分かった。

北海道大学では見通し外VHF帯電波伝播異常観測を実施しているが、今年度は、電波伝播異常観測で最大のノイズであるスプラディックE層の影響を電離圏TECによる推定で判定することを試みた。熊本地震発生日の4月14日朝に明瞭な異常電波が観測されたが、それをTECでみたところその時にはEスポの発生は見られないことが確認できた。さらにこの異常電波の到来方向を調べたところ、通常南東から来ている宮崎放送局からのFM電波がこのときはほぼ真東にある震央の方向を向いていることも分かった。今後ともノイズ除去や異常電波の到来方向を調べる観測研究を継続する。

地震直前の電離層電子密度変化の研究

北海道大学では巨大地震直前のGNSS-TEC変化について、さらなる解析を進めた結果、Mwの大きな地震ほど、(1)大きなTEC変化が、(2)広い範囲に、(3)早く生じるという依存性がさらに明白になった。また東北地方太平洋沖地震についてより詳細に解析を行った結果、電子密度の異常は陸域上空を中心に発生している事が判明した。さらにどの程度のマグニチュードの地震までこの現象が確認できるのかをM7クラスの地震についても調査した。その結果、電子密度が高い昼間に発生した地震であれば(換言すれば背景TECが大きければ)、同様の折れ曲がりが見出される事が判明した。さらにこの現象が日本の地磁気共役点となるオーストラリアでも同時に発生している事も確認され、いわば“電気じかけ”(磁力線に沿って電気抵抗がゼロのため、変動が瞬時に伝わる)で駆動されている事が判明した。

統計的評価の研究

複数の先行現象に関する統計的評価の研究では、 $M > 6$ もしくは7に対して統計的に有意であることが示されている様々な予想手法の成績(予知率、適中率、警報分率、ゲイン)を文献情報から逆算してまとめた。ETASによるトリガリング作用(これは大地震の準備過程進行の顕れという意味での物理的な前兆ではない)を考慮するだけで、数百倍のゲインをもつ短期的な予測ができ、さらにETASでは説明できない特徴(多分物理的な前兆と解される)に目をつけた方法では、ゲイン1万倍を超えるような予測手法も報告されている。また、複数の先行現象を組み合わせた方法でもやはり1万倍程度のゲインが可能である。日本のM7地震の平均発生ペースからすると、ゲイン1万倍の予報は、1日あたりの地震発生確率として数%という強い予報である(東大地震研究所)。

また北海道大学では千島から東北、伊豆小笠原弧の地震について、1964年以降のISC地震カタログを用い地震活動静穏化の定量的評価を実施した。Global CMT カタログによると、この期間に研究領域内では Mw7.5 以上、80km 以浅の地震が 10 個発生した。その内、M8 クラスが 3 個、M9 クラスが 1 個含まれている。10 個の内 7 個が警報 ON 領域で発生し、残りの 3 個が警報 OFF 領域で発生した。したがって予知率は $7/10=70\%$ となった。また警報 ON 領域が占める割合、警報分率は 24% であったので、確率利得は $70\%/24%=2.9$ となった。警報分率 24% の場合、10 個中 7 個の地震が偶然警報 ON 領域で発生する確率 P は 0.24% となる。P 値が 1% より十分小さいので、地震活動の静穏化による長期予測は統計的に有意である事が確認された。

静岡県立大学では全地球を対象として、地域ごとに警報を出す b 値に基づくモデルを開発し、性能を評価した。ANSS 地震カタログを用い、b 値の計算に 1960 年以降の地震 (M5 以上) を使用した。開発したモデルの警報ルールは以下通りである。b 値の減少が観測された場合 (今回、7 年間のデータの回帰直線の傾きが -0.025 かそれより急な傾きの場合)、次の年から 5 年間警報を出すことにし (警報 ON)、それ以外は出さないことにした (警報 OFF)。また、地震数が不十分の場合は評価外とした。1980 年以降の M8 以上の 29 地震を予測の対象とした結果、警報分率は 26.1%、予知率は 55.5%、確率利得は 2.13、P は 0.75% となった。M8 以上の地震が発生した次の年から 5 年間は、余震の効果を取り込まないために、評価外とする場合も検討し、同様の結果を得た。このような b 値モデルの予測は統計的に有意である事が確認された。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

論文

韓鵬, 服部克巳, 山口拓人, 廣岡伸治, 吉野千恵, 2011 年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) に関連する地磁気日変化異常の時空間的特徴, 電気学会論文誌 A(基礎・材料・共通部門誌), vol.137, no.2, pp.119-127, 2017. (doi: 10.1541/ieejfms.137.119)

Han, P., Hattori, K., Zhuang, J., Chen, C-H., Liu, J-Y., and Yoshida, S., Evaluation of ULF seismo-magnetic phenomena in Kakioka, Japan by using Molchan 's error diagram, Geophysical Journal International, vol.208, Issue 1, pp.482-490, 2017. (doi: 10.1093/gji/ggw404)

He, L. and K. Heki, Ionospheric anomalies immediately before Mw 7.0-8.0 earthquakes, J. Geophys. Res. Space Phys., 122, 8659-8678, doi:10.1002/2017JA024012, 2017.

日置幸介、地震直前の電離圏変化、パリテイ、Vol.33, No.2, 52-56, 2018.

Kelley, M. C., W. E. Swartz, and K. Heki, Apparent ionospheric total electron content variations prior to major earthquakes due to electric fields created by tectonic stresses, J. Geophys. Res. Space Phys., 122, 6689-6695, doi:10.1002/2016JA023601, 2017.

Liu, J.Y, C.H. Chen, T.Y. Wu, H.C. Chen, K. Hattori, T. Bleier, K. Kappler, I.C. Yang, Y. Xia, W. Chen, Z. Liu, Co-seismic signatures in magnetometer, geophone, and infrasound data during the Meinong Earthquake, Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, Vol.28, No. 5, pp.683-692, 2017. (doi: 10.3319/TAO.2017.03.05.01)

中谷正生、経験則から期待される大地震発生の確率:相場のレビュー、地震予知連絡会会報、第 99 巻、2018。(印刷中)

楠城一嘉、b 値にもとづく全地球規模の大地震発生予測のモデル、第 217 回地震予知連絡会、地震予知連絡会会報、第 99 巻、2018。(印刷中)

谷川廣祐, 本島邦行, 羽賀望, 見通し内 VHF 帯放送波の伝搬異常と地震及び地表面平均風速の統計的関連性, J. of Atmos. Electr., Vol. 37, No. 1, pp.11-24, 2017.

学会発表等

Genzano, N. C. Filizzola, K. Hattori, M. Lisi, R. Paciello, N. Pergola, and V. Tramutoli, Robust Satellite Techniques to support the short-term assessment of the seismic hazard in Japan: an analysis on 11 years (2005-2015) of MTSAT TIR observations, European Geosciences Union General Assembly 2017,

Vienna, Austria, Oral, EGU2017-16056, 2017/4/23-28.

- Han, P., K. Hattori, Q. Huang, On the seismo-magnetic phenomena associated with the 2011 Tohoku earthquake (Mw 9.0): the possible coupling of multiple pre-earthquake phenomena, The 13th China International Geo-electromagnetic Workshop, Wuhan, China, 2017/11/10-11/12.
- Han, P., J. Zhuang, K. Hattori, Assessing the potential earthquake precursory information in ULF magnetic data recorded in Kanto, Japan during 2000-2010, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, MIS04-04, 2017/5/20-25.
- Han, P., J. Zhuang, K. Hattori, Y. Ogata, Earthquake modeling incorporating non-seismic data, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, SSS05-03, 2017/5/20-25.
- Hattori, K. and P. Han, Geomagnetic Diurnal Variations Analysis in Space and Time Associated with the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (Mw9.0), European Geosciences Union General Assembly 2017, Vienna, Austria, EGU2017-12314, 2017/4/23-28.
- 服部克巳、韓鵬、廣岡伸司、Yagmur Mustafa、吉野千恵、小張剛照、劉正彦, 2D and 3D structures of Ionospheric anomalies preceding the large earthquake, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, MIS12-03, 2017/5/20-25.
- Hattori, K. M. Yagmur, S. Hirooka, and J.Y. Liu, Characteristics of Ionospheric Electron Distribution for large Earthquakes around Japan, IAG-IASPEI2017, Kobe International Conference Center, Kobe, Japan, S11-1-03, 2017/7/30-8/4. (招待講演)
- Hattori, K., P. Han, S. Hirooka, M. Yagmur, Chie Yoshino, T. Kobari, A. Honma, and J.Y. Liu, Characteristics of 2D and 3D structures of Ionospheric anomalies preceding the large earthquake, 32nd URSI2017GASS, the Montreal convention center, Montreal, Canada, , GEH3-1, 2017/8/19-8/26. (招待講演)
- Hattori, K., ULF magnetic signals as the potential earthquake precursory information in Japan, 中国地球科学連合学術年会, Beijing International Convention Center, Beijing, China, 2017/10/15-10/18. (招待講演),
- Hattori, K. and P. Han, ULF magnetic signals as the potential earthquake precursory information and assessment for the practical forecast in Japan, 日本地震予知学会 第4回学術講演会, 電気通信大学, 調布市, 東京都, 2017/12/25-12/26.
- Heki, K., L. He, and I. N. Muafiry, Preseismic ionospheric anomalies: Current overview and perspective, 2nd Geo-lab and RISH Joint Workshop on GNSS and SAR Technologies for Atmospheric Sensing, Uji, 7 Mar., 2017. (招待講演)
- Heki, K. and L. He, TEC anomalies preceding large earthquakes: Review and perspective, JpGU 2017 Assembly, Makuhari Messe, Chiba, May 20-25, 2017.(招待講演)
- Heki, K. and L. He, TEC anomalies immediately before large earthquakes: Review and perspective, IAG-IASPEI 2017 Joint Scientific Assembly, Kobe International Conference Center, Kobe, Hyogo, Jul.31-Aug.4, 2017. (招待講演)
- Heki, K., Pre-, co-, and postseismic ionospheric disturbances, Asia Oceania Geoscience Soc., SunTec Convention Center, Singapore, Aug. 7-11, 2017.
- 日置幸介、賀黎明、大地震直前に現れる電離圏異常の物理モデル、日本測地学会秋季講演会、瑞浪市総合文化センター、岐阜、Oct.4-6, 2017.
- 日置幸介、2016年熊本地震直前に現れた非移動性 MSTID、SGEPSS 秋季講演会、京都大学宇治キャンパス、京都、Oct.16-19, 2017. (招待講演)
- Heki, K. and He Liming, Feasibility study of short-term earthquake prediction using ionospheric anomalies immediately before large earthquakes, AGU Fall Meeting, Dec. 11-15, New Orleans, 2017. (招待講演)

- Huang, Q., K. Hu, K. Hattori, Probability tomography and wavelet analysis of self-potential data, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, MIS04-03, 2017/5/20-25.
- Huang, Q., K. Hu, K. Hattori, Probability tomography and wavelet analysis of self-potential data and possible application in landslide monitoring, IAG-IASPEI2017, Kobe International Conference Center, Kobe, Japan, S12-2-03, 2017/7/30-8/4. (招待講演)
- 小林孝央、本島邦行：任意座標における VTEC 推定法、日本大気電気学会、新宿区、2018 年 1 月 6 日.
- Liu, J.Y., K. Hattori, and TIGER (Taiwan Ionospheric Group for Education and Research), Measuring the Seismo-generated Electric Field in the Ionosphere before Large Earthquakes, 32nd URSI2017GASS, the Montreal convention center, Montreal, Canada, GEH3-2, 2017/8/19-8/26. (招待講演)
- Motojima K. and Y. Ogura, Statistical consideration of relationship between occurrences of earthquake and fluctuations in the radio wave propagation, International Workshop on Earthquake Preparation Process 2017, Chiba, May 26-27, 2017.
- 小倉佑哉、本島邦行：Molchan 's Error Diagram による見通し内 VHF 帯放送波の伝搬異常と地震の関連性解析、日本地震予知学会、調布市、2017 年 12 月 25-26 日 .
- 長尾年恭、中谷正生、地震予知が当たっているとは？、日本地震予知学会、調布市、2017 年 12 月 25-26 日 .
- 中谷正生、経験則から期待される大地震発生の確率:相場のレビュー (2017), 第 217 回地震予知連絡会重点検討課題「予測実験の試行」, 東京, 2017 年 11 月 22 日.
- 中谷正生、経験則による大地震の確率予測?相場と意義 (2017), 日本地震学会秋季大会, S21-06, 鹿児島, 2017 年 10 月 26 日.
- 大澤祐輝、本島邦行：モニタリングポストにおける空間線量異常と地震の統計的関連解析、日本地震予知学会、調布市、2017 年 12 月 25 日 .

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

平成 30 年度は、今期 5 ヶ年計画の最終年度であり、次期研究計画に向けて、一部観測点の改廃作業を実施するが、それ以外の各種電磁気観測点を良好な状態で維持する。

「VLF 帯パルス電磁波観測」においては、シグナル検知数をさらに増加させるため、現地でのプリプロセスソフトウェアを開発する。具体的には、トリガーのかかったデータについて東西および南北方向の磁界強度のリサージュ図形から相関係数をリアルタイムで計算するソフトウェアを開発する。また可能なら定常的なノイズ除去のためのフィルターを導入する。

「VHF 帯電波伝播異常観測」では、将来も継続する観測点に対し、従来の FM チューナーを用いた観測から、スペクトル・アナライザーを用いた観測に変更を試み、少なくとも数ヶ月の並行観測を実施し、特性の比較を行なう。

「統計評価による他種の先行現象との比較」では、先行現象データベースの作成を行なうとともに、いくつかの先行現象については、予測マップを作成し実際の評価を行なう。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

- 長尾 年恭、馬場 久紀、佐柳 敬造、原田 靖
 他機関との共同研究の有無：有
 北海道大学（茂木 透、橋本 武志、日置 幸介、勝俣 啓）
 東京大学地震研究所（中谷 正生、鶴岡 弘）
 京都大学防災研究所（西村 卓也）
 九州大学（松島健、相澤 広記）
 東京学芸大学（鴨川 仁）
 千葉大学（服部 克巳）
 中部大学（井筒 潤）
 群馬大学（本島 邦行）

静岡県立大学(楠城 一嘉)

東京海洋大学(末廣 潔)

(12) 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 地震予知・火山津波研究部門

電話：054-334-0411

e-mail：nagao@scc.u-tokai.ac.jp

URL：http://www.sems-tokaiuniv.jp/EPRCJ

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：長尾年恭

所属：東海大学海洋研究所 地震予知・火山津波研究部門

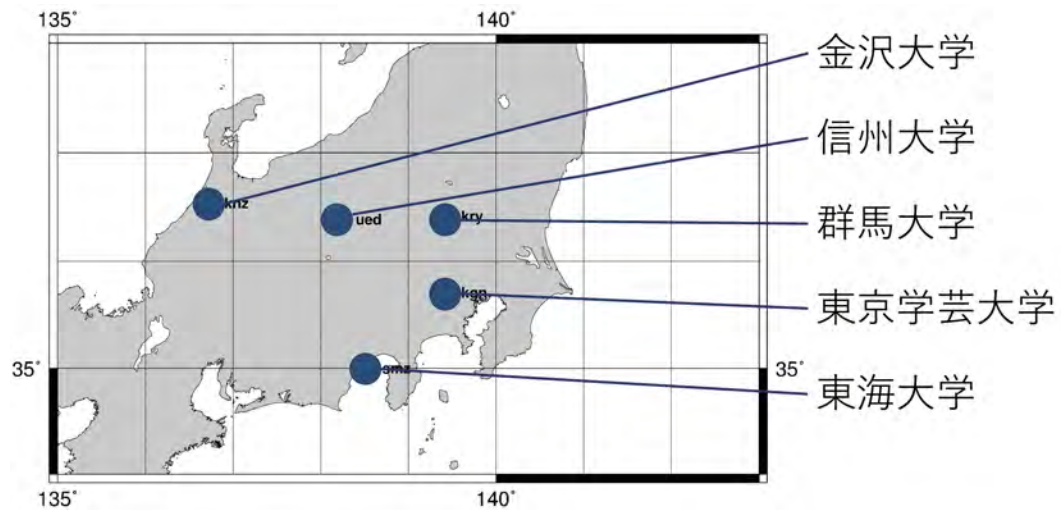


図1 VLF帯パルス電磁波観測点の分布

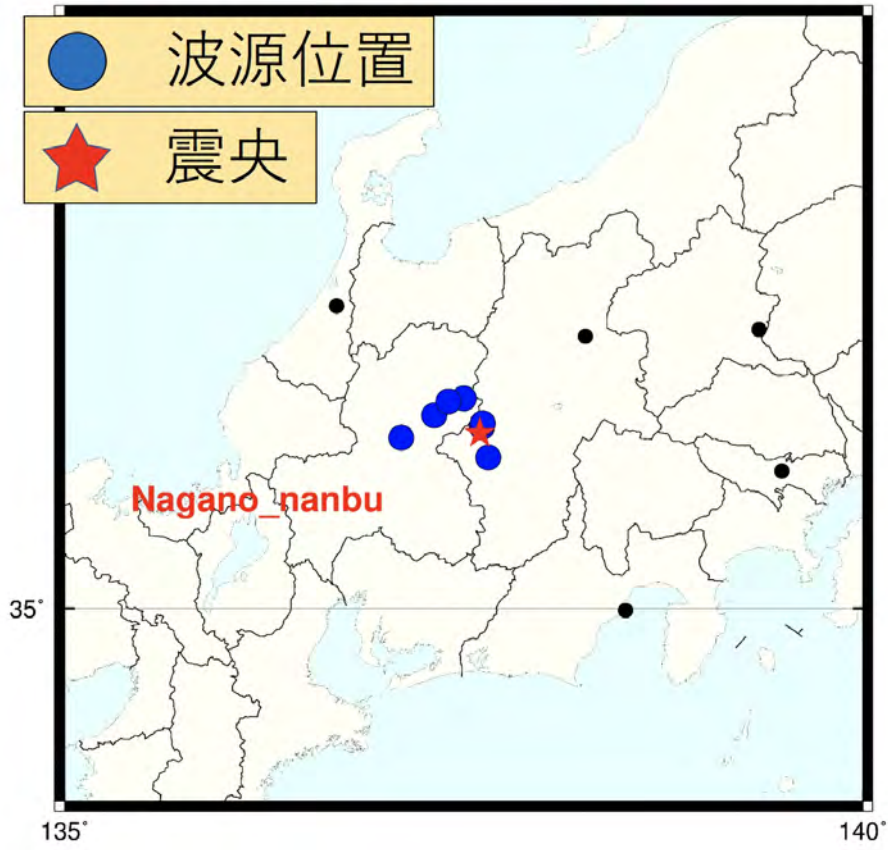


図2 震央付近に波源が求まったのは6月23日の7個のみであった

(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：

文献史料による歴史地震に関する情報の収集とデータベースの構築・公開

(3) 最も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整理

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整理

イ. 考古データの収集・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

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

低頻度大規模地震の実態把握のためには、近代以前の被害地震についての調査・研究が必要である。本研究計画では、近代以前の文献史料を対象にして、過去の被害地震に関する記録を収集し、そのデータベース構築と公開を実施する。

近代以前に日本列島周辺で起きた地震(以下、歴史地震と呼ぶ)に関しては、東京大学地震研究所の編集などによって、既に計 33 冊(約 27,000 頁)に及ぶ地震史料集が刊行されている。しかし、これらの地震史料集は幾度ももの増補を重ねているため、現状では地震研究者・歴史研究者の双方にとって利用しにくい状態にある。本研究計画では、この既刊地震史料集に収録された文献史料を分析して、地震の発生した年月日や場所の情報によって検索可能なデータベースを構築する。また、既刊地震史料集には収録されていない地震関連の新史料の調査・収集を実施し、その成果を情報化して公開する。公開にあたっては東京大学地震研究所と連携する。

上記の取組によって、近代以前に起きた被害地震の規模や震源の推定、低頻度大規模地震による災害の実態を解明し、その将来的な予測に寄与するための基盤的なデータベースの構築が期待できる。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

[平成26年度]

既存の17世紀以前の地震・火山噴火史料データベースを活用して、近代以前の地震史料について総合的に検索できるデータベースの設計を行う。また、『増訂大日本地震史料』(3冊)、『日本地震史料』(1冊)、『新収日本地震史料』(21冊)、『日本の歴史地震史料拾遺』(8冊)に収録された地震史料の編年的整理(網文・出典史料のデータベース化)を実施する。更に、既刊地震史料集に未収録の地震関連史料の調査・収集を行う。

[平成27年度]

『新収日本地震史料』(10冊分)の収録史料の解読と地震に関する時間・空間情報及び被害情報を抽出する。また、既刊地震史料集に未収録の地震関連史料を調査・収集し、成果の情報化を実施する。更に、文献史料から抽出した情報を順次データベースに搭載する。

[平成28年度]

『増訂大日本地震史料』(3冊)、『新収日本地震史料』(11冊分)の収録史料の解読と地震に関する時間・空間情報及び被害情報の抽出を行う。また、既刊地震史料集に未収録の地震関連史料を調査・収集し、成果の情報化を実施する。更に、文献史料から抽出した情報を順次データベースに搭載する。

[平成29年度]

『日本の歴史地震史料拾遺』(8冊)の収録史料の解読と地震に関する時間・空間情報及び被害情報の抽出を行う。また、既刊地震史料集に未収録の地震関連史料を調査・収集し、成果の情報化を実施する。更に、文献史料から抽出した情報を順次データベースに搭載する。

[平成30年度]

平成26～29年度の成果を踏まえ、必要な補充調査を実施するとともに、研究成果をまとめて、近代以前の地震史料に関して総合的に検索できるデータベースを構築する。構築されたデータベースを学界や社会に向けて公開し、データベース活用の研究集会を開催する。

(8)平成29年度の成果の概要:

今年度は昨年度に引き続き、既刊地震史料集に記載されている史料について、XMLデータ化のためのタグ付けおよびXMLデータ化作業を継続して実施した。なお、当初の計画では網文・出典史料のみのデータベース化としていたが、利便性を勘案して平成26年度より史料全文のデータベース化に計画を変更している。そのため史料のデータ化の際に、歴史学的に信頼できる原典史料に遡って、史料記述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ている。既刊地震史料集全33冊(合計約26,800頁)のうち、データベース化の作業に着手しているのは30.9%であり、今年度は史料本文の校訂作業を集中的に実施した。加えて、本研究でXMLデータ化した地震関連史料について、当時の地名を示す箇所に位置情報(緯度・経度)を付与し、試作版地震関連史料データベースに基づく検索結果について、国土地理院の地図上に表示するシステムの改良を行った。

また、昨年度に引き続き、東海地方にあって長期間にわたる日記が現存する三河国田原藩(愛知県田原市)の「田原藩日記」(田原市博物館所蔵)の調査・撮影を実施した。さらに、嘉永七年(1854年)の南海地震関連の史料について、「今中文庫史料」(広島大学中央図書館所蔵)、「津山藩勘定奉行日記」(津山郷土博物館所蔵)、「売用日記」(岡山県倉敷市 竜王会館所蔵)、「矢吹家文書」(岡山県立記録資料館所蔵)の調査を実施した。

(9)平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

(10)平成30年度実施計画の概要:

既刊地震史料集に記載されている史料について、タグ付け作業、XMLデータ化作業、校訂作業を継続して実施する。その際に、地震やその被害に関する位置情報の抽出を行い、XMLデータに適宜位置情報を付与していく。また、既刊地震史料集に未収録の地震関連史料を調査・収集し、新出史料についてもデータ化を実施する。さらに、校訂作業済みの史料について順次データベースに搭載し、その

データベースに基づいた試作版地図表示システムの改良を実施する。

(11) 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 佐藤孝之・他 5 名

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・西山昭仁

京都大学地域研究統合情報センター 原正一郎

(12) 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 : 東京大学史料編纂所

電話 : 03-5841-5997

e-mail :

URL :

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 佐藤孝之

所属 : 東京大学史料編纂所

(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・火山噴火災害関連史料の収集と分析

(3) 最も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整理

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整理

イ. 考古データの収集・集成と分析

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

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歴史資料を調査し，日本海沿岸を中心とした地震・火山噴火に関連する前近代の史料を収集して翻刻を行う。重要な史料については，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る。収集・翻刻した新たな地震・火山噴火災害関連史料については，地震別に整理し，それをさらに藩領等地域別に分類し，活用しやすいように編集し，データベースを構築する。このデータベースを活用し，歴史時代における日本海沿岸地域の地震活動について，地形等の地域の特徴を分析した上で，近代的な観測データとの統合を目指す。日本海沿岸の地震関連の考古データも収集し，分析・検討の材料とする。災害絵図については，絵図に記された文字を読み込みトレース図に文字情報も組み込み，データベースに収める。また，既刊地震・火山噴火災害関連史料集所収史料のうち，総家数・倒壊家屋数・即死者数が記載され，家屋倒壊率・即死者率が導き出すことができ，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，原本調査と校訂作業を行い信頼できる史料を作成し，地震別・地域別に分類してデータベースを構築する。さらに，このデータベースに収められた史料に記載された村の総家数，倒壊家屋数・即死者数を詳細に分

析・検討して、地域別の被害表等を作成する。家屋倒壊率・即死者率は地形によって異なるので、被害率表を作成する際には地形の検討も行う。この検討により、前近代の史料により震源域を特定する方法を確立する。また、データベースに収められた史料から従来明確にされてこなかった「半潰」とはいかなる被害状況を示しているのかを明らかにする等の検討を行うことを通じて、現在の前近代の震度を出す方法を再検討し、あらたな震度を算出する方法を確立する。津波については到達点を史料から導き出し、また、土砂災害については、即死者率から被害地点を特定する方法を構築し、防災・減災に貢献したい。データベースにおさめられた史料、被害絵図の中からさらに防災教育に役立てられるものを選び出し、現代語訳やわかりやすい図に直す工夫も行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成26年度においては、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歴史資料の調査を行い、地震・火山噴火に関連する前近代の史料を収集・翻刻し、地震別・地域別に整理しデータベースを構築する。また、既刊地震・火山噴火史料集所収の史料について原本調査と校訂作業を実施し、地震別・地域別に整理してデータベースを構築する。

平成27・28・29年度においては、地震・火山噴火などに関する新たな歴史資料の調査・収集・翻刻及び、既刊地震・火山噴火史料集所収の史料の校訂作業を継続して実施し、成果のデータベース化を推進する。平成27・28・29年度は、歴史学・考古学共同の研究集会を開催し、データの共有化を計り、活用の方策を検討する。

平成30年度においては、地震・火山噴火などに関する新たな歴史資料の調査・収集・翻刻及び既刊地震・火山噴火史料集所収の史料の校訂作業を継続して実施し、成果のデータベース化を推進する。さらに、データベースに収められた史料の村の総家数、倒壊家屋数・即死者数を詳細に分析・検討して、地域別の被害率表等を作成する。

(8) 平成29年度の成果の概要：

平成29年の主な成果は以下のとおりである。

1. 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歴史資料の調査と、既刊地震・火山噴火史料集所収の史料の原本調査と校訂作業

(1) 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歴史資料の調査と、既刊地震・火山噴火史料集所収の史料の原本調査と校訂作業

東京都立多摩図書館、大阪府中之島図書館、新潟市新津図書館、金沢市玉川図書館近世史料館、鳥取県立博物館、鳥取県立図書館の原本調査と校訂作業をおこなった。

(2) 1833年庄内沖地震：「信濃川御番所舟着場絵図」の検討

新潟市立新津図書館に「信濃川御番所舟着場絵図」として知られる絵図が所蔵されている(本間(小泉)家文書)。図柄は確かに新潟町の信濃川河口部を描いたもので、御番所や多くの船が描かれるが、船は川岸に引き上げられており、冬季の船囲の様子を描いたことが明らかである。

この絵図で注目されるのは、これら多数の船のうち9艘のみに大観丸以下の船名が記されていること、これら9艘が並ぶ場所は「御用船囲場」と明記され区画されていること、そしてこれらの船のうち6ないし7艘分(虫損により確定できない)の檣(帆柱)や橋船が、舳下川より下流部の内陸の田地を中心に散乱していることである。このあたりは新潟町の附洲のうち下島と呼ばれたところである。

こうした図柄の諸要素は、牧野忠雅年譜附録(「ひずみ集中帯プロジェクト古地震・津波等の史料データベース」)の末尾の記載内容と一致する。すなわちこの絵図は、単なる河口部の絵図ではなく、天保4年庄内沖地震津波による被害状況を示した図であり、とりわけ「御廻米御用船」の被害を描いたものなのであった。

長岡藩の幕府宛報告で「御廻米」と記載されることから、これらの船は幕府の御廻米御用に雇われたものと判断できる。五十嵐浜村庄屋の伝聞によれば、下島の田地には八戸藩の手船も打ち上げられたが(矢田2012)、この絵図には記されない。やや年代は下るが、嘉永元~4年(1848~51)の新潟湊では、

毎冬 120~170 艘ほどの船が船囲をしていたとされるが(安宅 2014),この絵図でも、御用船囲場の上流・下流にさらに多数の船が描かれている。これら御用船以外の多数の船の被害状況はこの図には描かれないが、牧野忠雅年譜附録では「諸国廻船一時二散乱」したとされる。また御用船も含め親船は整然と並んだまま描かれているが、少なくともこれらの御用船のうち 7 艘は「水中へ打入、或横向相成、四、五尺程土砂へ埋」ったのだった。さらにまた、前述したようにこの時山ノ下村では家屋被害が出ていたが(原 2012),この絵図ではそのような描写は見られない。このようにこの絵図は、庄内沖地震津波の被害を描いたものだが、被害のすべてではなく、幕府御用船の帆柱と橋船の散乱の様子のみを限定的に描いたものなのであった。

絵図に記された文字から、これら帆柱と橋船の散乱状況をまとめたのが左の表である。ここからわかるように、橋船や帆柱は河岸もしくは船囲場から 250~500 間(約 450~900m)の距離に散乱している。もっとも遠方に打ち上げられた大観丸の橋船は、唯一舳下川の南岸に達している。このことは、舳下川に沿って逆流する津波の流れがあったのではないかとすることを想定させる。このようにこの図は、その内容を詳細に検討することで、具体的な津波の態様を把握することができる非常に有用な史料であるといえることができる。

2 家屋倒壊率の検討:「半潰」という用語について

$[(全潰戸数) + 0.5 \times (半潰戸数)]$ を全戸数で除したものをパーセントで示し、これを家屋被害率とすることは問題である。「潰家」とは 1828 年三条地震の史料によると、潰家とは家が揺れ潰れて家族が家の下敷きになる状態をいう。「潰家」は全壊家屋と見なしてよからう(矢田 2012)。では、半潰とはどのような潰れ方を示すのか。1828 年三条地震の資料から新発田藩中之島組(新潟県長岡市)の死亡者 41 人の内訳をみると、半潰で死者があった事例は 1 件のみである。このとき死亡したのは子どもで間仕切りの壁が揺り落ちたために圧死している。この事例を見る限り「半潰」の家屋で死者が出ることはめったにないと考えられる(矢田 2012)。

死亡者がほとんど発生しない「半潰」家屋は、本当に全潰家屋の 50 パーセントとしてよいのであろうか。

半潰とはどのような潰れ方なのか、多くの事例をもとに検討することが重要である。

半潰の重みを明確にできないのであれば、現段階では家屋倒壊率は家屋全壊率とするのが妥当ではないか。

地震被害報告書には半潰・大破という用語が出てくるが、ともに領主・代官から送られてくる雛形にしたがって被害報告書が書かれる。半潰と大破はどのような被害なのか。1955 年安政江戸地震の時の幸手領平須賀村(埼玉県幸手市)の平須賀村の被害報告には、潰家・半潰・大破という順で被害報告書が作られている(矢田 2017)。この場合、半潰と大破とは被害の程度が異なることがわかる。

では建物被害は潰家・半潰・大破という区分以外はないのか。1855 年安政江戸地震における浅草寺(東京都台東区)の建物被害報告から見てみよう。寺社奉行所に提出したと思われる浅草寺別当代喜見院の浅草寺建物被害報告(『浅草寺日記 第 26 巻』金龍山浅草寺,2006)には、建物被害の等級用語として、破損、少々破損、無難、皆潰、七分通潰がある。屋根、門、堂、社、坊等様々な建物の箇所の被害なので、この被害報告は雛形にもとづくものではなくて、実際の被害状況にしたがって報告したものと思われる。七分通潰というのは 70 パーセントほど潰れたのであろう。潰れたのは喜見院の自坊である。このように、建物は破損、少々破損、無難、皆潰、七分通潰というよう二表現されるさまざまな被害がある。潰家・半潰・大破という被害はあくまでも雛形にもとづいて記された被害であると考えられよう。

次に 1854 年(嘉永七)の東海地震における三島宿(静岡県三島市)の家屋被害について見てみよう。

三島宿が道中奉行に提出した被害報告書(嘉永七年地震二付道中御奉行所江御注進之写(三島市郷土博物館三島問屋場文書,大川裕代 2015)がある。それによると、家数 1078 軒で、家屋被害は皆潰 986 軒、半潰 47 軒、焼失 45 軒とある。同じ三島宿が代官に提出した被害報告書もある。嘉永七年十一月付け勘定所への幕府代官江川太郎左衛門による被害報告書(「相州箱根宿並豆駿州宿村地震津波に付潰家其外見分御届書」『江川坦庵全集』巖南堂書店,1954)には、三島宿ほか 12 宿・村の家数と被害状況が記されている。それによると三島宿の場合、家数 1078 軒のうち潰家 986 軒、大破 47 軒、焼失家 45 軒

とある。大破と半潰の記載の違いはあるが、三島宿が道中奉行に報告した被害数と同じである。なぜ道中奉行に提出した被害報告書には半潰 47 軒とあって、代官に提出した被害報告書には大破 47 軒とあるのか。家数、皆潰数、焼失数は道中奉行に提出した被害数も、代官に提出した被害数も同じなので被害数は同じである。この場合、三島宿の半潰・大破の被害は 47 軒なので同じ被害である。ではなぜ、半潰と大破という用語に分かれたのか。その違いは報告を命じた側の提出報告書の雛形の違いであると思われる。

雛形の実例を示そう。例えば 1955 年安政江戸地震の時に竹垣三左衛門直道が西小松川寄場組合（東京都江戸川区）に出した雛形がある。この雛形にしたがって、笹ヶ崎村（東京都江戸川区）は地震被害報告書を提出した（「安政二卯年十月 地震一件御用留 笹ヶ崎村」所収、須原家文書 7、江戸川区教育委員会、1989 年）。

竹垣直道は雛形によって潰家何軒・半潰家何軒と報告するようにと命じ、笹ヶ崎村は潰家八軒・半潰家十三軒と報告をしたのであった。笹ヶ崎村に大破と表現するような家屋があったのかどうかは不明である。史料では雛形によって潰家・半潰家の家数を報告した。

すでにみたように三島宿の被害報告は、道中奉行宛の被害報告書では、半潰 47 軒、幕府代官宛の被害報告書では大破 47 軒であった。この被害数は同じであり、違いは被害を報告する用語である。道中奉行、幕府代官がことなる雛形によって被害報告書の提出を命じたので、被害の実態は同じであるが用語が異なることになったのである。

半潰・大破は史料により被害程度を区別することは困難である。史料では半潰の重みを明確にできないのであるから、家屋倒壊率は家屋全壊率としなければならない。

3 地形・地質調査

1833 年庄内沖地震による輪島の津波被害：微地形と津波被害の地域的差異

大林（2006）は、輪島崎村の流出家屋の割合が被害家屋の半分近い高率となっていること、その一方で河合町が流失家屋よりも倒壊家屋の割合が高いことの理由として、輪島崎村が輪島港を有する日本海に張り出した地域であること、それに対して河合町は津波と直接接触していないことを指摘している。そして、鳳至町は輪島崎村や海士町よりも内陸に位置し、津波に直接接触する可能性が低いにもかかわらず、流出家屋の被害が大きい理由として、河原田川を遡上して津波が到達したためと指摘している。

輪島の微地形については、二木ほか（2014）が国土地理院の 5m メッシュ DEM データに基づいて議論をしているが、さらに詳細なレベルでの微地形の差異と津波被害との関係を明らかにするべく、GPS を利用した測量を 2015 年 10 月 2～5 日及び 2017 年 9 月 16～18 日に実施した。

GPS 測量による成果値は、良好な精度を得ることができるならば数 cm オーダーのレベルの誤差の範囲の数値を得ることが可能であるが、残念ながら輪島は市街地が輻輳しているため、衛生からの GPS の電波が乱反射することもあり、本来得られる GPS 測量の精度での誤差の標高データを得ることが今回の測量ではできなかった。この点は、再度の測量調査を行い、より正確な値を算出することにし、得られた値を相対的な高低を示すものとして処理し、あわせて現地の観察によって得られた知見と総合することで微地形の特徴を論じる。

まず、河原田川左岸の河合町の中心街路であり、現在、朝市が開催されている大通りである。本町通にむかって、海岸から標高が高くなっていく。これは海岸と平行に存在していることから浜堤列と判断できる。

河合町地区での現地観察によると、河合町の中心街路である本町通は海岸沿いに発達した浜堤上の最も標高の高い所を通過しており、本町通から海岸に向かって緩やかな傾斜をなしている。ゆえに 1833 年の津波は浜堤の最も高い地点までは到達することなく、海岸沿いの相対的に低い地区で被害が大きかったと考えることができる。

大通りの浜堤列よりも内陸側については、善龍寺と蓮江寺という 2 つの寺院の標高が低くなっている。

河合町の東半分、埋め立て地にむかって伸びる幅の広い道路よりも東側についても、海側から浜堤列へと標高が高くなっているが、その度合いは西側よりも緩やかであり、標高の低い地区がより内陸側まで続いている状態となっている。ただし、より内陸側は西半分と異なり標高の落ち込みはみられず、内

陸側が高くなっていく。

河原田川を挟んだ左岸でも、右岸の本町通が通っている浜堤列に連続する形で、東南東から西北西に高まりを確認することができる。

左岸の鳳至地区の海岸沿いは、架橋にともなって盛り土されている河原田川河口の橋付近を例外として、浜堤列に連続するエリアに比して標高が低くなっている。これは右岸の河合町地区の海岸沿いの地盤高が浜堤より低くなっていることと整合的である。

河原田川左岸沿いでは、いろは橋より上流部は標高の低い地区が広がっており、右岸の河合町と類似している。これらの地区は、宝暦以降作成とされる住吉神社所蔵「輪島町絵図」では「御田地」となっている。「輪島町絵図」の作製年代を確定することは困難であるため断案とはならないが、津波はいろは橋を越えて川沿いにも遡上しているため、鳳至町で被害にあった家屋はこのあたりかそれに連続するエリアにも存在していた可能性がある。

河原田川左岸のうち、海士町、輪島崎村といった南北に市街地が展開する地区においては、海岸から鳳至山から続く丘陵に向かって急傾斜をなしており、地形の成因が異なっていると解することができる。よって、浜堤による微高地がみられる地区とは異なった形で津波の影響を受けたと考えるべきであろう。

輪島崎村は北端部分に相対的にまとまっているが標高の低い地区があり、それ以外は丘陵にむかって急激に標高があがっていく地形となっている。海士町も丘陵に向かって急激に標高が上がっているが、輪島崎村に比べれば緩やかであり、1軒あたりの死者数が少なかった理由の一因となっていた可能性がある。

津波高については、GPSによる測量調査の精度が不十分な現段階では最終的な判断は保留とならざるを得ないが、先行研究が示している5m代半ばの数値でおおむね良いように思われる。

4 日本海沿岸地震関連考古データの収集

(1) 晩期縄文越後地震の研究

新潟県下越地方では、液状化をとまなう大規模地震が縄文時代晩期最終末の短期間に頻発した。この地震の回数、年代はほぼ判明しているが、その際に被災地で採られた対応行動は全く明らかになっていない。この問題の解決には、土器型式の整理と細別が有効である。本年度は、晩期縄文越後地震直後にあたる最初期の弥生土器型式を検討することで、次の見通しを得た。a 阿賀野川以北の低地帯では、当該地震直後での活動痕跡が一切みられなくなり、阿賀野川以南で新しく集落が出現する。b 土器型式にして1~2細別型式分の間隔(1世代未満)を挟んで、元々の場所での活動痕跡がみとめられる。

回帰するまでの期間は短く、被災前と同じ場所が再利用されている点が、津波の場合と異なる。方法ならびに作業の過程等詳細は齋藤瑞穂 2017 を参照されたい。

(2) 正徳4年(1714)信濃小谷地震の考古学的研究

千国坪ノ沢に形成された天然ダムについては、鈴木比奈子ほか(2009)・井上公夫ほか(2013)・鈴木比奈子ほか(2013)が天然ダムの規模・水量の復原を行っている。この天然ダムは地震発生の3日後に決壊したと言われているが、文書では決壊によって発生した洪水が下流へ及ぼした影響が明確でない。この問題について、次の結果を得た。

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た。砂層に含まれていた炭化物の年代測定結果ならびに、1911年稗田山崩れの際の記録等を総合した結果、この洪水砂層が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が判明した。したがって、この洪水は、千国坪ノ沢から12km下流の来馬下寺地区でも姫川溪谷全体を覆い尽くすほどの破壊力をもっていたことが明らかになった。

- (9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
矢田俊文,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,「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,9,2017,19-29

齋藤瑞穂, 晩期縄文越後地震の復興と土器型式 新潟平野における弥生集落の出現順序 , 2017 年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集, 2017, 9-14

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

平成 30 年度は, 日本海沿岸地域を中心に、地震・火山噴火などに関する新たな歴史資料の調査・収集・翻刻及び、既刊地震・火山噴火史料集所収の史料の校訂作業を実施し、成果のデータベース化を推進する。また、「半潰」とはいかなる被害状況を示しているのかについて検討を行う。秋には歴史学・地理学共同の研究集会を開催し、データの共有化を計り、活用の方策を検討する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

新潟大学災害・復興科学研究所 矢田俊文・原直史・中村元・小野映介

新潟大学人文学部 堀健彦・齋藤瑞穂

他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 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 : 025-262-7051

e-mail :

URL : <http://www.nhdr.niigata-u.ac.jp>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 矢田俊文

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：

過去の災害事例に基づく減災科学に係る研究

(3) 最も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・火山噴火の災害事例の研究

(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

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

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する。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する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

焼山火山災害、新潟地震、中越地震、中越沖地震等評価・検証し、今後想定される同様の地域における地震災害における多くの国民の財産、豊かな暮らしを守る機能の保全・維持を目指すために、災害事例の研究を実施する。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する

平成 26 年度：新潟地震 50 周年、焼山火山災害 40 周年、新潟中越地震 10 周年を迎える年を契機として、火山・地震災害の被害やその後の復旧状況を評価・検証する。地震・火山噴火に係る知見の発信技術についての調査を実施する。

平成 27 年度：引き続き過去の災害の状況を評価・検証する。地震・火山噴火に係る知見の発信技術についての検討を実施する。

平成 28 年度～平成 29 年度：過去の災害事例に基づく災害発生機構を精査する。災害事例の研究を実施する。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する。

平成 30 年度：さらなる研究の検証、研究のとりまとめと発信を実施する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

成果の概要：過去の災害事例に基づく災害発生機構を精査し、災害事例の研究を実施した。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プロトタイプを検証を実施した。

主な成果

1. 熊本地震における余震情報と避難行動等に関する社会調査の実施

熊本地震では二度にわたる震度7の地震やその余震が被災者の避難や被災地の復旧活動等に大きな影響を与えた。本調査では、余震に関する情報が被災者に適切に伝わっていたのか、余震に関する情報は被災者の避難行動などにどのような影響を及ぼしたのか、余震の情報源に対して被災者はどのような評価をしているのかなどを、地震後の被災者の行動や復旧・復興の様子全体像とあわせて明らかにする目的で、文部科学省研究開発局地震・防災研究課と共同で調査を実施し、分析結果を論文として公表した。

1.1 調査方法・結果

調査名：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

調査方法：質問紙による郵送自記入・郵送返却

調査対象：18歳以上成人男女

抽出方法：選挙名簿もしくは住民基本台帳からの等間隔抽出

抽出数：7000票（熊本市1600票、その他13市町村5400票）

想定回収率25%の場合の標本誤差を5%に押さえることを考えて抽出数を決定

調査時期：サンプリング2016年10月～11月、実査2016年11月28日～12月19日

有効回収数：3272票（有効回収率46.7%）

調査地域：熊本地震で被害が集中した14市町村

1) 本震で震度6強以上、2) 全壊家屋の世帯数における割合が10%以上（政令市の熊本市各区では全壊棟数500棟以上）、3) 半壊

家屋の世帯数における割合が20%以上、4) 最大避難者数の人口における割合が15%以上、以上4条件を1つ以上満たす14市町村（政令市である熊本市は区ごとに検討し東区・南区が該当）

1.2 主な調査結果

<地震発生前のリスク認知>

「あなたのお住まいの地域の活断層によって地震が起きる」と地震発前から思っていたか、と尋ねたところ、「活断層の存在を知らなかった」が69.7%となり、約7割の住者が地域の活断層の存在を知らなかった。次いで、「地震はたぶん起きない」が17.3%、「21世紀中に起きそう」が6.9%、「ここ10年くらいに起きそう」が2.9%、「数年以内には起きそう」が2.3%、無回答が0.9%であった。地震発前から活断層の存在を知っていた約3割の住者についてもその半数が「地震はたぶん起きない」と認識していたことが明らかとなった（図1）。

<前震後に余震が発生する可能性を想起したか>

「この地震の後、あなたは『また、大きな余震が発生するかもしれない』と思いましたか。もっともあてはまるもの1つに○をつけてください。」と尋ねた。前震避難の有無で見たところ（図11）、避難をした人（n=1,655）では、約4割が「今日・明日にでも起きる」（34.3%）、「3日以内には起きる」（3.3%）と余震発生の可能性を高く見積もる一方で、同じく約4割が「当分もう起きない」（28.9%）、「余震のことは考えなかった」（10.5%）と、余震発生の可能性を低く見積もっていたことがわかった。避難をしていなかった人（n=1,517）では、約6割が「当分もう起きない」（37.9%）、「余震のことは考えなかった」（23.3%）と余震発生の可能性を低く見積もっていた（ $\chi^2(5)=208.9, p<.01$ ）（図2）。

2. 被災者生活再建支援業務量シミュレーションツールのプロトタイプ開発

2016年熊本地震と2007年中越沖地震を事例とした時系列分析結果を基にして、複数の地震災害において相関の高い業務を中心に、時間経過とともに発生する業務量を自治体の状況に応じてシミュレーションするためのツールのプロトタイプを開発した。今後、我が国では首都直下地震や南海トラフ巨大地震の発生が想定されており、地震災害の想定による事前の業務見積もり、また、今後の地震研究

の進展により、災害発生後の「リアルタイム被害想定」に基づいた被災者生活再建支援業務量シミュレーションの実現を視野に入れたツールのプロトタイプ開発を行った。

2.1. 業務総量を決定する要素の整理

被災者生活再建支援金のように、支援法において支給要件が定められているものと、被災証明発行のようにその範囲が明確でない業務が含まれる。そこで、業務ごとに業務総量を決定する要素を整理を実施した。

2.2 各種条件に基づく業務量シミュレーションツールのプロトタイプ実装 (図 3)

本ツールでは、ウェブアプリとして利用できるよう、「1) 過去災害の実態について時系列で確認できる」「2) 利用者が入力した条件に基づいて日別の業務量を推定する」「3) 利用者は業務のピーク発生日やピーク量を把握できる」を基本要件として、ツールの開発を進めた。また、利用者より条件を入力されることで、その被害量・自治体の状況を踏まえ、過去の災害モデルに合わせて業務量をシミュレートするため、以下を入力項目として設定した。

- (1) 被害判定別家屋数 (全壊・大規模半壊・半壊・一部損壊)
- (2) 住民世帯数
- (3) 家屋総数
- (4) 災害発生の曜日

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

1. KIMURA, R., OHTOMO, S. and HIRATA, N. "A Study on the 2016 Kumamoto Earthquake: Citizen's Evaluation of Earthquake Information and Their Evacuation and Sheltering Behaviors", Journal of Disaster Research, Vol.12, No.6, pp.1117-1138, 2017.12.
2. OHTOMO, S., KIMURA, R. and HIRATA, N. "The Influences of Residents' Evacuation Patterns in the 2016 Kumamoto Earthquake on Public Risk Perceptions and Trust Toward Authorities", Journal of Disaster Research, Vol.12, No.6, pp.1139-1150, 2017.12.
3. Inoguchi, M., Tamura, K., Hayashi, H., and Shimizu, K. "Time-Series Analysis of Workload for Support in Rebuilding Disaster Victims' Lives? Comparison of the 2016 Kumamoto Earthquake with the 2007 Niigataken Chuetsu-oki", Journal of Disaster Research, Vol.12, No.6, pp.11161-11173, 2017.12.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

平成 30 年度 : 過去の災害事例に基づく災害発生機構を精査し、災害事例の研究を実施する。研究成果を事例とし、さらなる地震・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する。研究のとりまとめと発信を実施する。

(11) 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 (協力) 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 / 大学院環境人間学研究科 准教授 木村玲欧
静岡大学 情報学部 講師 井ノ口宗成

(12) 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@adm.niigata-u.ac.jp
URL :

(13) 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(協力)

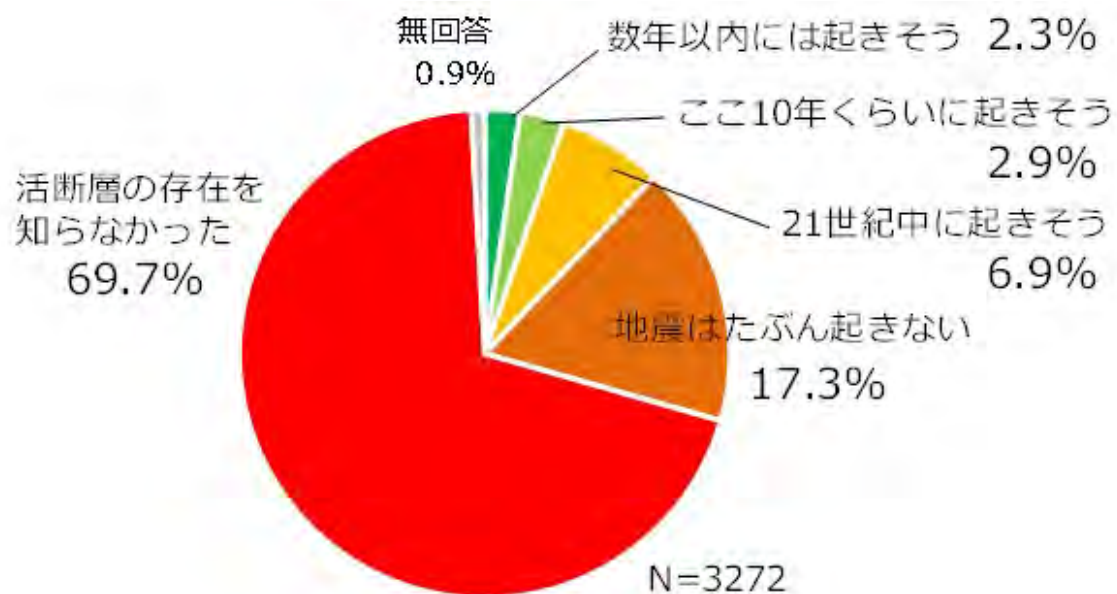


図 1. 活断層の存在の認知

「余震が発生するかもしれない」と思ったか

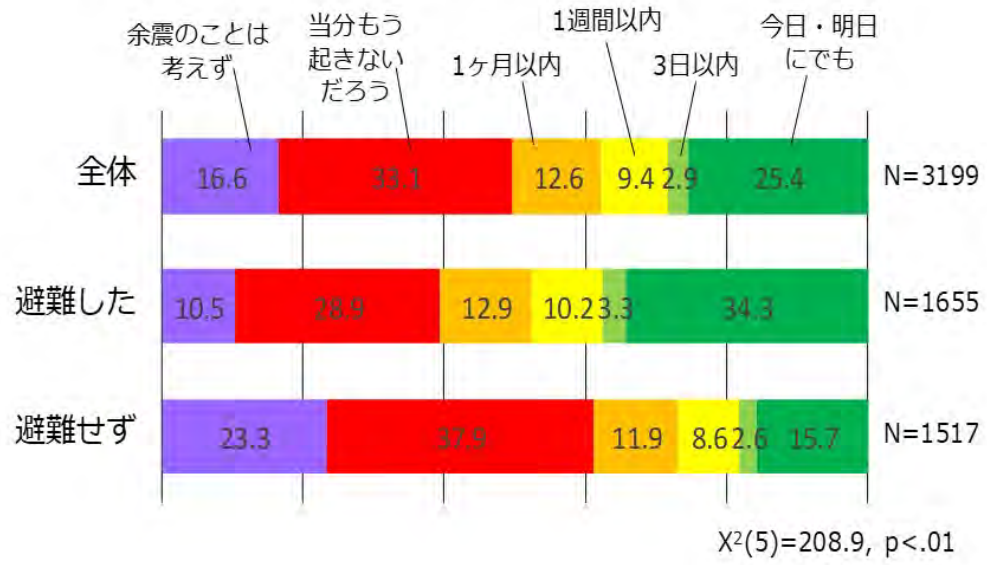


図 2. 前震後の余震発生の想起

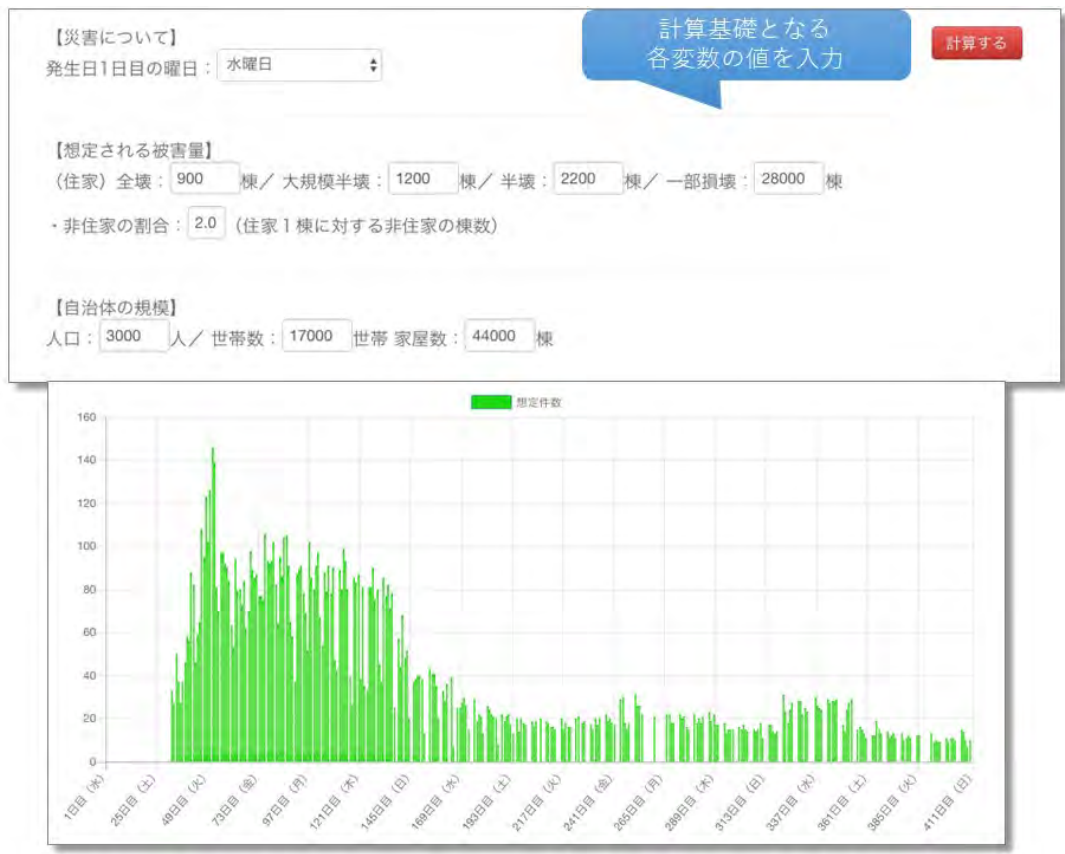


図 3. 業務量シミュレーションツールの画面

(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：

津波地震を励起する浅部プレート境界断層の実態解明と物性変動モニタリング

(3) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(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・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

既存・新規の MCS 探査データおよび ODP/IODP 掘削データを用い、南海トラフで津波地震を励起する巨大分岐断層とデコルマの構造、摩擦特性、間隙水圧などの分布を、空間的に途切れることなく高精度で明らかにする。また、沈み込みインプット (subduction input: 沈み込む堆積物と海洋性地殻) 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、南海トラフに沈み込む直前の四国海盆堆積物と海洋性地殻の 3 次元広域変化を明らかにする。

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。巨大分岐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、巨大分岐断層に沿った間隙水圧変動をモニタリングする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要 :

巨大分岐断層とデコルマを対象とする新規の 2 次元高分解能 MCS データを取得するため、東京大学大気海洋研究所の「可搬式反射法地震探査システム」を搭載した学術研究船「新青丸」を利用する。4 か年間、巨大分岐断層の海底堆積物と直上海水からヘリウムを観測する。

【平成 27 年度】においては、(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。(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 次元形状変化を求め、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 (Seismic Inversion) 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。

【平成 28 年度】においては、(1) 反射係数から間隙水圧を推定する手法を開発する。(2) 巨大分岐断層とデコルマの発達が顕著な熊野沖南海トラフに直交する測線上で稠密 MCS データを取得し、巨大分岐断層とデコルマの反射係数を求める。(3) 既存・新規の MCS データと深海掘削データを用いた構造解釈と物性解析を行い、巨大分岐断層とデコルマの実態 (構造と物性) を明らかにする。(4) 海底地形データと 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。

【平成 29 年度】においては、(1) 既存 MCS データが十分でない四国沖南海トラフに直交する測線上で、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 MCS データを取得する。(2) MCS データと深海掘削データを用いた構造解釈と物性解析を行い、巨大分岐断層とデコルマの実態 (構造と物性) を明らかにする。(3) 海底地形データと 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。(4) 四国海盆 MCS データと深海掘削データとの統合解析 (Seismic Inversion) 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。

【平成 30 年度】においては、(1) 熊野沖南海トラフの稠密 MCS 調査範囲で、平成 28 年度に続く 2 回目の MCS 調査 (time lapse) を行い、巨大分岐断層とデコルマの反射係数を求めることで、間隙水圧の時空間変動を求める。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

東北地方太平洋沖地震の約 1 か月後に宮城沖震源域近くの海底で採取した海水中にマントル起源のヘリウム同位体異常が発見され、巨大地震に伴ってマントルからの高圧流体がプレート境界断層を通じて海溝域近傍に到達し、プレート境界断層から上方へ発達する大規模断層に沿って海底まで移動したことが示唆された (Sano et al., 2014)。しかしながら、流体移動の通路となる、前弧海盆の大規模断層の実態は未だ解明されていない。この大規模断層の実態と流体挙動を解明するため、(1) 既存のマルチチャンネル反射法探査 (MCS) データの再解析、(2) 学術研究船「新青丸」を用いた高分解能地層探査 (サブボトムプロファイラー : SBP) データ解析、(3) マルチプルコアラー採泥によるヘリウム同位体分析、を行った。MCS データと SBP データの解析結果、ヘリウム同位体異常サイト (N3, N2, N1, R) 付近の浅部堆積層と白亜紀地層 (音響基盤) で正断層と逆断層を発見した (図 1)。これらの断層は浅部堆積層は勿論のこと、白亜紀地層の最上部を明瞭に切っており、深部への延長は明瞭ではないものの、ヘリウム同位体異常観測から、おそらくマントルやプレート境界断層までつながっている可能性が高い。

これらの大規模断層は 2011 年の東北地方太平洋沖地震後に活動したことはないので、マントル由来のヘリウムは地殻の中に浸透してゆっくりと上昇し、普段は堆積層でシールされ、堆積層付近に溜ま

る。堆積層付近のマントル由来ヘリウムは、2011年の東北地方太平洋沖地震で再活動した大規模断層を伝わって海底面に露出した可能性が考えられる。2011年のヘリウム同位体異常サイトと同じサイトで2016年にヘリウム同位体を分析した結果、ヘリウム同位体異常は観測されず、これらの大規模断層は既にシールされている可能性が高い。即ち、マントル由来のヘリウムは巨大地震時に再活動する大規模断層に沿って上昇し、海底面まで到達するが、地震後には断層が再びシールされるため、海底面でのヘリウム同位体異常は観測されなくなる。これらの大規模断層は、断層帯に大量の流体が浸透した場合、将来の巨大地震時の再活動で大規模の津波を引き起こす可能性が考えられる。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
Fukuchi, R., Yamaguchi, A., Yamamoto, Y., and Ashi, J., Paleothermal structure of the Nankai inner accretionary wedge estimated from vitrinite reflectance of cuttings, *G-Cubed*, doi: 10.1002/2017GC006928, 2017.
Kameda, J., Okamoto, A., Sato, K., Fujimoto, K., Yamaguchi, A., and Kimura, G., Opal-CT in chert beneath the toe of the Tohoku margin and its influence on the seismic aseismic transition in subduction zones, *Geophysical Research Letters*, 44, 687-693, doi: 10.1002/2016GL071784, 2017.
Tetsuro Tsuru, Jin-Oh Park, Tetsuo No, Yukari Kido, and Kazuo Nakahigashi, Visualization of attenuation structure and faults in incoming oceanic crust of the Nankai Trough using seismic attenuation profiling, *Earth Planets and Space* (in press).
Jin-Oh Park, Tetsuro Tsuru, Gou Fujie, Takanori Kagoshima, and Yuji Sano (2017), Fluid pathways from mantle wedge up to forearc seafloor in the coseismic slip area of the 2011 Tohoku earthquake, Abstract T33B-0707 presented at 2017 AGU Fall Meeting.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

南海トラフの浅部プレート境界断層(デコルマ)の発達過程に影響する沈み込みインプット(subduction input：沈み込む堆積層と海洋性地殻)の実態(構造と物性)を明らかにする。南海トラフに平行する測線上の高分解能 MCS データ(全長約 550 km)と ODP/IODP 深海掘削データを用い、四国海盆堆積層の音響層序解析を行うとともに間隙率や間隙水圧を推定する。また、四国海盆堆積層を対象に MCS データを用いた spectral ratio 解析を行い、沈み込みインプットの減衰特性を調べる。海底地形データと 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。

日本海溝を横切る MCS データを用い、浅部プレート境界断層の構造と物性を調べ、津波地震発生のメカニズムを解明する。

(11) 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
他機関との共同研究の有無：無

(12) 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@ori.u-tokyo.ac.jp
URL：http://www.ori.u-tokyo.ac.jp/

(13) 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

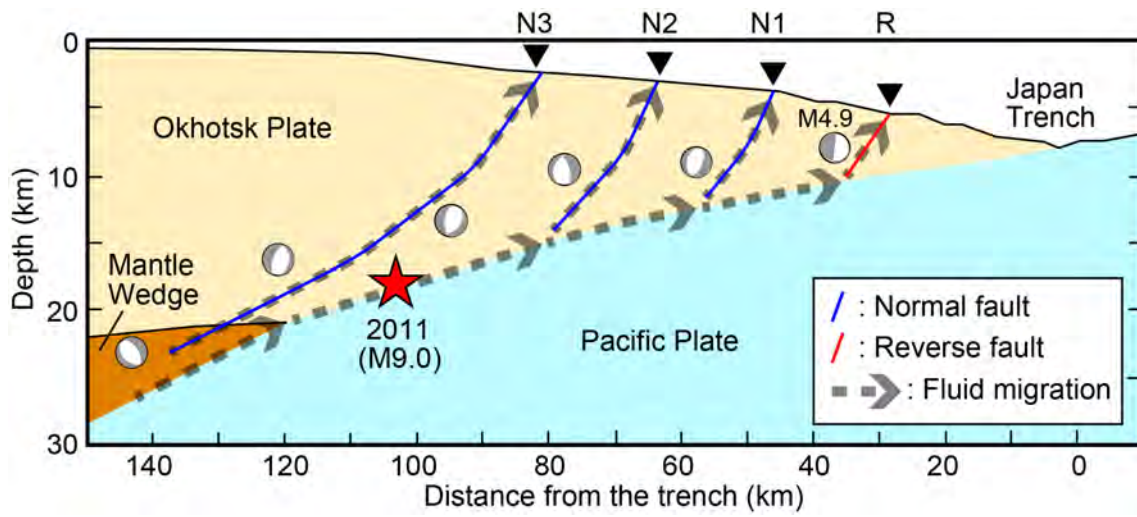


図1 . 東北地方宮城沖の前弧海盆に発達する大規模断層の模式図。

(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) 最も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) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

イ. 熱水系の卓越する火山

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(4) 研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(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整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

4. 研究を推進するための体制の整備

(3) 関連研究分野との連携の強化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

日本近海の鹿児島湾から南西諸島海域の島弧系及び背弧海盆において、継続的に海底火山や海底熱水活動を調査し、火山活動度の変化や新たな熱水活動域を明らかにする。また、海底地形の高まりが火山かどうかを物理的・化学的探査により判別する。具体的には、ヘリウム - 3、二酸化炭素、メタンの濃度及び同位体組成の詳細分布図を作成し、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。活動を休止した火山においては、海底地形や岩石分析、磁気異常の物理探査が有効であり、熱水系の広がりやテクトニックセッティングを調査する。これらの調査を効率的に行なう方法を開発し、若手研究者を育成して、将来持続的に観測できる体制を整える。

(7) 本課題の5か年計画の概要 :

海底火山の活動や噴火の可能性を把握する事は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活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、それらが噴火した際に直上に船舶がいた場合には重大な被害の可能性も懸念される。海底地形のデータからある程度海底火山の場所を推定する事は可能かもしれないが、それが本当に火山であり、どの程度活動的なのかを判断する事は難しい。

そこで我々は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 (pH、濁度、溶存炭素同位体、メタン、マンガンなど) の海水中の三次元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、海底活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。マグマ由来成分の放出は活動的である証拠であり、その成分組成や放出量から火山の特性を把握する事が可能である。海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早期把握に役立てる。本課題では、特に鹿児島湾北部の若尊カルデラや薩摩硫黄島など南西諸島海域において、継続的に海底熱水活動を調査するとともに、未知の熱水活動の発見には音響測深器を用いて効率的な観測を目指す。また現場化学分析計 GAMOS (鉄やマンガンの分析) の係留による熱水の長期継続モニタリングも視野に入れ、その手法や装置の改良を検討する。さらに地球最大の火山が中央海嶺系であることから、日本の火山とはテクトニックセッティングが異なる中央海嶺系火山の物理的・化学的性質を理解することが、日本の火山の性質をより理解することにつながるであろう。そこで観測対象は日本近海だけでなく、中央海嶺系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 27 年度については、奄美大島西方海域における熱水組成の把握を行う。また継続的に調査している海域である鹿児島湾、薩摩硫黄島周辺海域、小宝島周辺海域、奄美大島北方海域において、火山性成分の経時変化が見られるかを検証する。特に口之永良部島に近い薩摩硫黄島周辺海域で重点的に調査を行う。これら調査のために海洋研究開発機構新青丸のシブタイムを既に確保済みである。平成 28 年度以降については、新青丸の航海計画を申請し、観測空白域を埋めるとともに経時変化を把握する。航海以外の期間は、無人島を含む陸上火山の噴気や熱水の分析を行う。最終的に平成 31 年度までに、鹿児島湾から南西諸島にかけての ^3He 、二酸化炭素、メタンの濃度及び同位体組成の詳細分布図を作成し、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。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

平成 29 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海底火山の調査は行えなかった。代わりに別海域において調査を行った。調査対象は南海トラフおよび北太平洋で、深層海水および海底堆積物を採取した。調査した南海トラフでは南海地震が起こるとされる海底巨大断層に着目し、海底火山と同じく深部流体の存在を調査した。同様に 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源地近くで平成 28 年度に試料を採取しており、そのヘリウムの分析を進め、地震後 5 年経った海底環境を調査した。これらの試料採取や分析の手法は海底火山の調査と共通で、その手法の改良などを検討することにより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、調査船を使わなくてもアクセスできる沖縄県竹富島にある海底温泉を調査し、その温泉水の溶存ヘリウムにマグマ性の成分が含まれることを明らかにした。海底温泉の地下にマグマが存在すれば温泉の熱も供給している可能性がある。さらに竹富島にある温泉の帯水層を構成している岩石中のヘリウムを分析し、温泉水と同様の成分が含まれていることがわかった。

陸上火山の調査としては、箱根火山において継続的に噴気ガスを採取し火山の活動を評価した。また 2018 年 1 月に噴火災害の起こった草津白根山の近くの草津温泉において緊急の調査を行った。海底火山と同じように試料のヘリウムの同位体比は火山活動を評価するのに使える有用な指標である。マグマ活動が活発になるとマントル由来の物質が増えヘリウム同位体比は上がる傾向を示す。箱根も草

津も継続的に調査することで火山の活動をモニタリングできる可能性がある。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Lee, H., N. Takahata, Y. Sano, et al., 2017, Incipient rifting accompanied by the release of subcontinental lithospheric mantle volatiles in the Magadi and Natron basin, East Africa. J. Vol. Geotherm. Res., 346, 118-133.

Rouilleau, E., Y. Sano, N. Takahata, et al., 2017, Structural controls on fluid circulation at the Cavihue-Copahue Volcanic Complex (CCVC) geothermal area (Chile-Argentina), revealed by soil CO₂ and temperature, self-potential, and helium isotopes. J. Vol. Geotherm. Res., 341, 104-118.

Toki, T., Y. Sano, N. Takahata, et al., 2017, Formation of gas discharging from Taketomi submarine hot spring off Ishigaki Island in the southern Ryukyu Islands, Japan. J. Vol. Geotherm. Res., 330, 24-35.

Toki, T., N. Takahata, Y. Sano, et al., 2016, Geochemical characteristics of hydrothermal fluids at Hatoma Knoll in the southern Okinawa Trough. Geochem. J., 50, 493-525.

(10) 平成 30 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。また南海トラフ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。

(11) 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

(12) 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/>

(13) 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：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

宏観異常現象の検証 - 漁獲量と地震との関係を中心に -

(3) 最も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活動予測

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

地下水の急激な増減や水の濁り、動物異常行動などのいわゆる宏観異常現象により、地震を予知して災害軽減に役立てようとする動きは日本でも以前からある(例えば、力武, 1998)。しかし、いまだにその試みは成功していない。その理由のひとつとして宏観異常現象とされている様々な出来事が、本当に地震に関連した現象なのかの検証が十分になされていないことが挙げられる。力武(1998)によれば、宏観異常現象として報告された事例には、地震とは無関係な偽シグナルが含まれており、真のシグナルは40~50個に1個程度としている。この割合が常に一定と仮定すれば、地震の前には異常報告数そのものが増えると考えられる。しかし、インターネットが普及した現在においても、地震前だけ異常報告数が増えるという話を地震発生前に聞いたことがない。これは世間一般で宏観異常現象と考えられているもののなかには、地震とは無関係な現象が数多く含まれている可能性があることを示唆している。例えば、2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)の1週間前に、茨城県の鹿島灘に面する海岸でカズハゴンドウ54頭のマス・ストランディング(集団座礁)があり、これを前兆現象とする書き込みがWeb上で広まった。しかし、両者の関係について統計的な有意性は示されなかった(織原・野田, 2015)。また、深海魚の打ち上げ等についても、1992年から2011年東北地方太平洋沖地震までの期間について、地震とは関係ない可能性を示す報告がなされている(織原他, 2014a)。一方、東北地方太平洋沖地震前の漁獲異常については、2003年1月から2011年2月までの期間中に、東日本の太平洋岸にある主要12漁港のうち6漁港でマイワシの漁獲異常が2011年2月にみられた。ただし、同様の異常は地震のない他の期間でもみられたことから、東北地方太平洋沖地震前に限った現象と呼べるものではなかった(織原他, 2014b)。

漁港別の漁獲量については、宮城県が2007年以前の魚種別・月別漁獲量の紙資料を宮城県庁内の県政情報公開室にて一般公開している。この資料は連続する毎年のデータとして1973年まで遡れることから、より多くの地震を対象とした検証が可能となる。そこで、本研究では1973年以降のデータをデジタル化し、宮城県の漁港別・魚種別・月別漁獲量のデータベースを作成する。そして、1973年以降に発生した宮城県沖を中心とする顕著な地震との対応について、統計的な検証を行う。また、深海魚の打ち上げ等については、これまでに作成された深海魚出現カタログをより充実させるために、学術文献や全国各地の水族館等が所有する情報を調査し、さらに期間も1992年以前に遡る形で拡大する。

他の宏観異常現象、例えば地下水位の異常などについては、紙資料しか残されていないデータをデジタル化して、異常内容の分類や時系列及び空間分布についての整理を進める。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

宮城県内の漁港別・魚種別・月別漁獲量のデジタル化は、『水産物水揚統計』に掲載された 11 漁港 34 魚種について、1973 年 1 月から 1989 年 3 月までの 16 年 3ヶ月分が終了した(2018 年 1 月末時点)。

深海魚出現カタログは、全国紙の地方版や地方紙、水族館や博物館、過去の学術文献等の情報から、気象庁一元化震源カタログのある 1923 年以降で最初の深海魚出現日から 3.11 までの期間(1928 年 11 月 26 日~2011 年 3 月 11 日)のカタログを作成した(織原他, 投稿中)。2017 年 5 月に開かれた JpGU-AGU Joint Meeting 2017 では 1992 年 1 月 1 日から 2011 年 3 月 11 日までの期間について、同年 10 月の日本地震学会 2017 年度秋季大会では 1928 年 11 月 26 日から 2011 年 3 月 11 日までの期間について、海域および陸海境界域で発生したマグニチュード 6.0 以上(深さ 100km 以浅、余震は除く)の地震との関連性について発表した。その際、日本周辺のエリアを日本海側(九州~北海道)、東日本太平洋側(北海道~千葉)、神奈川・伊豆~東海~南海~鹿児島、南西諸島(奄美大島~石垣島)、小笠原周辺の 5 つのエリアに分け、深海魚出現日から 30 日後までに同一エリア内で地震が発生したかを調べた。その結果、深海魚出現イベント総数に対する同一エリア内の地震を伴った深海魚出現イベント数の割合は、いずれの期間でも 1 割にも満たなかった。また、地震のマグニチュードと深海魚出現の個体数などとの間に関連性をみいだすこともできなかった。さらに、深海魚出現は 5 つエリアの中で日本海側が最も多かったのに対し、地震は東日本太平洋側が最も多かった。加えて、月別の発生頻度は深海魚出現が夏場に少ないといった季節的な偏りがあったのに対し、地震はランダムに発生していた。このようなことから、深海魚出現が地震に関係している可能性は低いと考えられた。ただし、深海魚が地震の前兆を捉える可能性を完全に否定するものではない。しかし、深海魚出現は防災・減災に有用な直前情報にはなり得ないということ是可以する。なお、JpGU-AGU Joint Meeting 2017 の発表については、東京新聞(7 月 13 日付夕刊)、産経新聞(7 月 31 日付東京紙面朝刊)と地方新聞 10 紙で紹介された。また、日本地震学会 2017 年度秋季大会については、読売新聞(10 月 26 日付夕刊(大阪))と朝日新聞(11 月 30 日付朝刊科学面(全国版))で紹介された。

他の宏観異常現象に関係する紙資料データについては、神奈川県温泉地学研究所報告(観測だより)に掲載された「なまずの会」による井戸水位観測の結果をデジタル化した。このデータは毎日に異常がない場合は白丸、異常がある場合は黒丸で表され、水位の異常上昇または低下がセンチメートル単位で示されている。のべ 234 の個人や団体が参加したデータは、1977 年 2 月 1 日から 1986 年 12 月 31 日までの 10 年 10ヶ月あった。

(8) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

織原義明・鴨川仁, 2017, 熊本市が公開する地下水位データを用いた 2016 年熊本地震の先行的変化の検証, 地震 2 輯, 70, 147-152.

織原義明・鴨川仁・野田洋一・長尾年恭, 2017, 日本周辺における深海魚の目撃と地震との関係, JpGU-AGU Joint Meeting 2017 予稿集, MIS12-01.

織原義明・鴨川仁・野田洋一・長尾年恭, 2017, 日本周辺における深海魚の目撃と地震との関係に関する考察, 日本地震学会講演予稿集 2017 年度秋季大会, S14-02.

織原義明, 2017, 海のなんでだろう 第 90 回 深海魚の出現と地震との関係, 月刊 磯・投げ情報, 25(11), 82.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

織原 義明 東海大学・海洋研究所 特任准教授

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

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 特任准教授

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

多種の地震活動度解析による大地震先行的地震活動変動の検知

(3) 最も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活動予測

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

古くより、様々な手法における地震活動度解析によって先行現象を精査する試みがなされている。近年ではとりわけ、物理学における臨界現象の概念に基づく新しい手法による地震活動解析が複数提案されており、申請代表者らは、ナチュラルタイム (Natural time) という新しい時間概念で臨界現象の時系列解析を行うと、システムが臨界点に達しているか否かを推定できることを報告している。申請者らの平成 26 ~ 28 年公募研究(臨界現象の物理を背景としたナチュラルタイム概念による地震活動度解析)を含めた近年の成果では、長期間の日本の地震活動に関してナチュラルタイム時間軸で得られる指標 τ の分布変動(値)には、1983 年以降の大地震前ではほぼ常に先行的変動があり、特に 2011 年東北地方太平洋沖地震前では最大の変動があることが判明した。これらは米国アカデミー紀要に発表された (Sarlis et al., PNAS, 2013)。さらに、これらの変動の空間的相関についても精査した結果、日本の大地震の前には、震央の付近のみに τ とよばれる指標の分布変動(値)が見られた。この成果も米国アカデミー紀要に発表された (Sarlis et al., PNAS, 2015)。また同地震の臨界状態開始を 2011 年 1 月上旬とすると、ナチュラルタイムの解析によって予測される本震の日時は実際の本震の日時と同じになり、その臨界現象開始時には GPS 地殻変動、他手法による地震活動度解析、地磁気鉛直成分の変動などにも先行現象がみられていることが分かった。このようにナチュラルタイム解析で得られた結果と他観測方法の結果とが整合的であるかの検証が最近の申請者らのひとつの研究指向性である。

本公募研究では、ナチュラルタイム解析のみならず、古典的な b 値変動 (Nanjo et al., GRL, 2012)、ETAS 解析、静穏化・活性化に着目する RTL/RTM 解析 (Nagao et al., EPS, 2011) などの多種多様な地震活動解析を同一の大地震について行い、変動の時系列変化、解析手法ごとの先行現象の検知有無を探る。

本公募研究の、前段階として申請者らは 2016 年熊本地震について、 b 値変動、ETAS 解析、RTM 解析、前震発生密度解析を行い、それぞれの手法において先行現象とみられる変動を検知し、発生時期(検知可能時期)にずれがあることを指摘した (Nanjo et al., EPS, 2016)。今年度は熊本地震に関するナチュラルタイム解析を中心に行う。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

b 値に関する解析

GISによる解析システムの作成

中部大学では日本に多数ある活断層およびフィリピン海プレート境界である南海トラフ、相模トラフをはじめとして、東北地方太平洋沖、青森県東方沖、十勝沖～択捉沖などの太平洋プレートとの境界領域、北海道西方沖から山形県沖の日本海側のプレート境界領域のb値の変化をモニタリングするシステムを作成した。地震断層を1～5 kmごとに区切りそれぞれの領域での地震活動によるb値の変化をモニタリングすることにより、断層内部での応力の変化をモニタリングすることが期待できる。

南海トラフ沿いのb値に関する研究

静岡県立大学では南海トラフ沿いを対象としたb値に基づく解析を、気象庁の一元化震源カタログを用いて実施した。解析の結果、1944年の東南海地震と1946年の南海地震で滑り量の大きい領域ではb値は低く、また、その領域の間ではb値は高いことがわかった。これは、南海トラフ沿いのプレート境界面はセグメント化されており、東北沖(Tormann et al., 2015)とは異なる性質を示している。より詳細に調べると、Yokota et al. (2016)の滑り欠損(slip-deficit rate)とb値に負の相関があることもわかった。b値が差応力と逆相関することが知られているので、カップリング域(滑り欠損が大きい)で差応力が大きいことを示しており、世界の他地域での観測事実とも調和的である。このような結果が得られたという事は、南海トラフ沿いの大地震に先行するかもしれない、b値の前兆的変動の検知に備えた研究体制の整備が可能である事を示唆する。

熊本地震に関するナチュラルタイム解析

東京大学、東京学芸大学および東海大学では、熊本地震について、より詳細なナチュラルタイム解析を実施した。Nanjo et al., 2016, EPS)で、前震発生密度解析で、3年ほど前から将来の震央を中心に“べき状分布”が確認され、地震発生の準備が整ったと推定される結果を得ている。しかしながら、b値解析では、b値そのものの時間変化は明瞭ではなく、将来の震源域で小さなb値となっていたという結果を得ていた。

ここで地震活動度解析で重要なのは、「どのようなエリアを解析対象とするか？」という事である。予測として用いる場合には余震分布は使えない。そこで今回の解析では、事前に判明していたb値が小さな領域での地震活動のみを抽出してナチュラルタイム解析を試行した。

なお使用した地震の領域を図1に示す。この領域は前述のとおりNanjo et al., (2001)で小さなb値が報告された領域である。またGR則から、この地域ではマグニチュード0.5以上ならば十分にコンプライアンスが担保されている事を確認した。

今回は2000年以降の深さ20kmより浅い地震のみを解析対象とした。図2はこの地震を使った臨界を表す κ^{-1} (1)という指標(図中で青の線)と κ^{-1} のばらつきを表すグラフである。なお黒実線は地震を表す。

解析の結果、ナチュラルタイム解析でも地震発生の2年ほど前から κ^{-1} の値が臨界状態の理論値である0.07を前後してふらつくようになり、その段階ですでに臨界状態に近かった可能性が示唆される。そして何度か“破壊未遂”事件を引き起こしていたとも考えられる。b値解析とナチュラルタイム解析および前震発生密度解析といった異なる解析手法を組み合わせる事で、内陸地震についてもその発生時期の予測精度を格段に向上させようと考えている。

- (8)平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
楠城一嘉、吉田明夫、南海トラフ沿いのフィリピン海スラブ内地震活動のb値の時空間変化, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SSS14-P05, 2017年5月20-24日, 幕張メッセ.

- (9)実施機関の参加者氏名または部署等名:

上田誠也 東京大学地震研究所 名誉教授

鴨川仁 東京学芸大学 准教授

長尾年恭 東海大学 教授

井筒潤 中部大学 准教授

楠城一嘉 静岡県立大学 特任准教授

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：090-5798-8440

e-mail：suyeda@st.rim.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：上田 誠也

所属：東京大学地震研究所

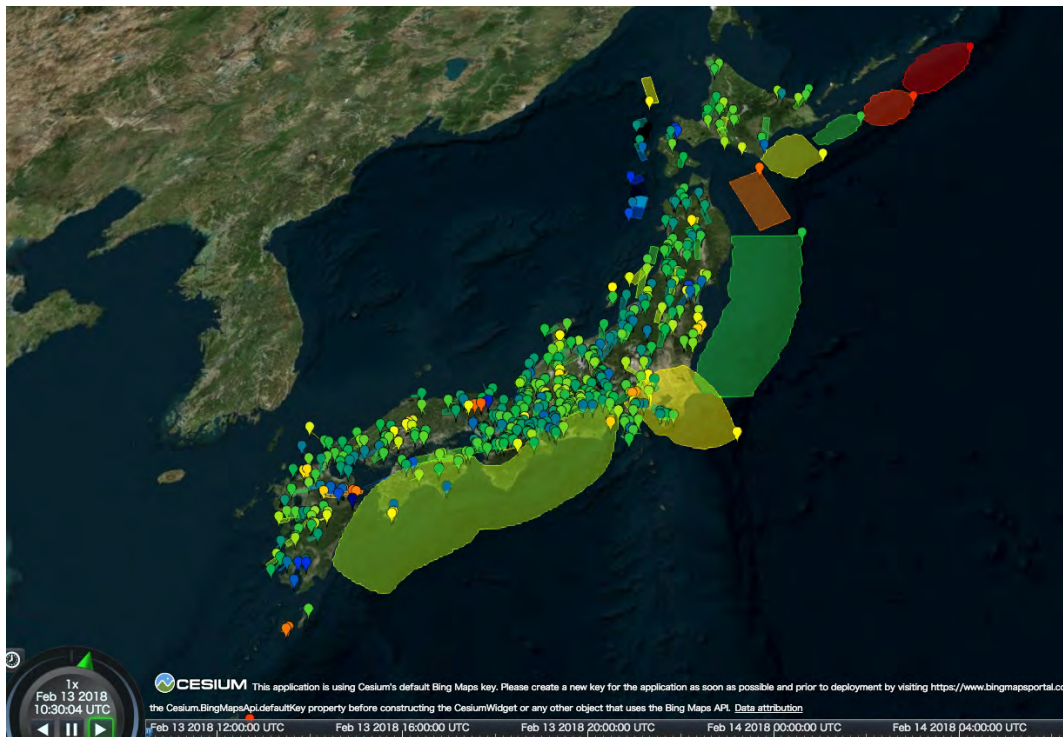


図1 中部大学により開発された GIS モデルの画面

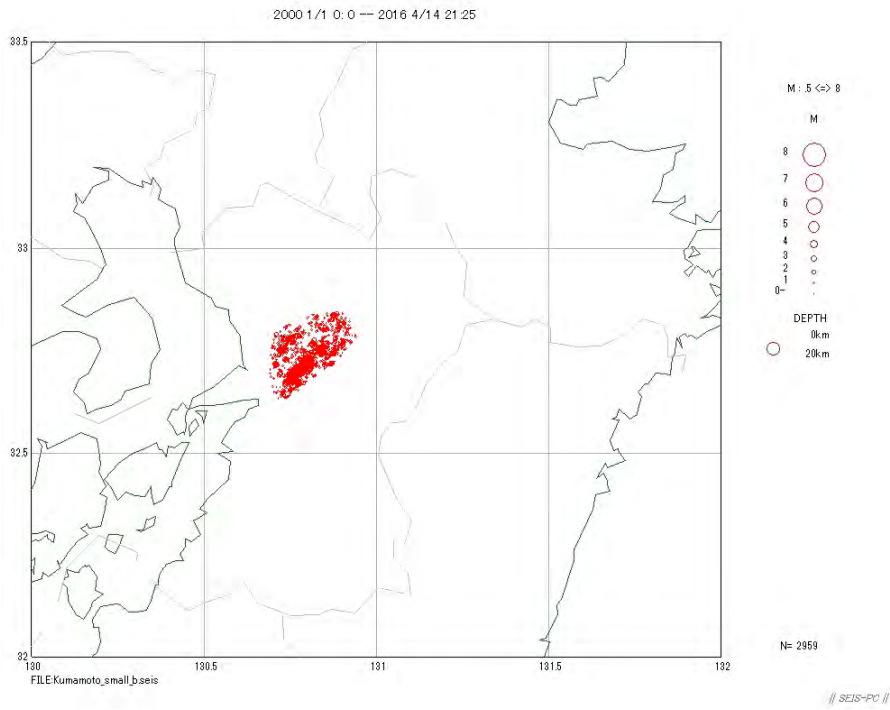


図2 Nanjo et al., (2016) により示された b 値が小さい領域の地震

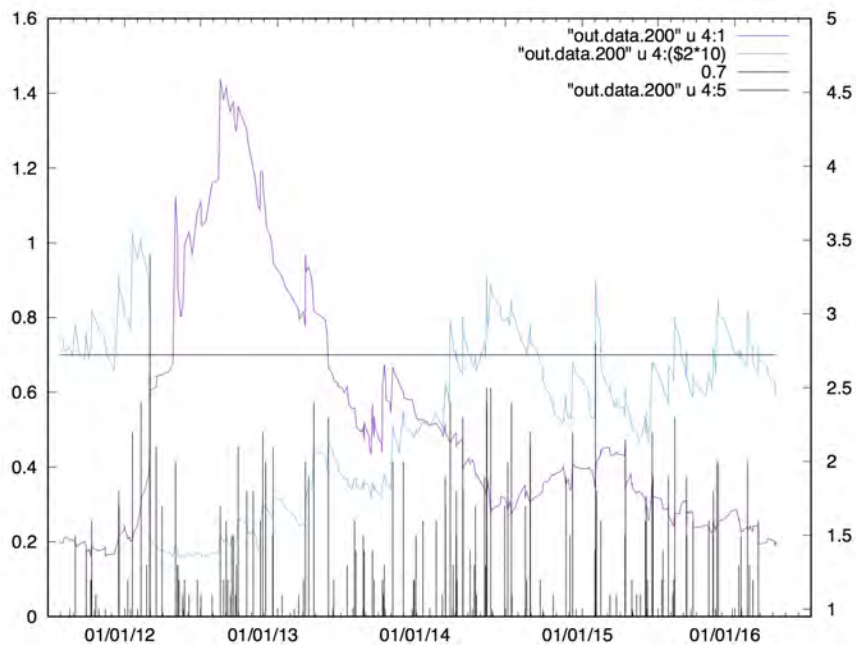


図3 熊本地震震源域のナチュラルタイム解析結果

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

明治前期における自治体からの地震・津波報告の研究 帝国大学理科大学の調査から

(3) 最も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整理

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) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

東京大学地震研究所所蔵「地震学及地理学研究材料 測候所郡役所組合事務所報告」(以下「研究材料報告書」とする。)は明治 26 年(1863) 1 月～ 3 月に各地の郡役所・測候所において調査された地震・津波に関連する調査報告書である。その調査項目については、(甲)「海嘯二関シ口碑又ハ記録等二伝フル各般ノ事項」(乙)「五十年内外依頼海底ノ浅深ニ変遷アリシヤ」とあり、羽鳥(1976)で紹介された静岡県下 26 町村の報告書と同一の調査であったと考えられる。掲載されている報告書の自治体は北海道・岩手県・福島県・千葉県・富山県・三重県・香川県・愛媛県・宮崎県・鹿児島県・沖縄県の 1 道 10 県であり、各地の地震・津波に関する口碑伝承や古文書の記述、海底の地殻変動に関する所見が記されている。本研究では、この「研究材料報告書」を全面的に翻刻し、その内容を把握し、新たな地震・津波情報の有無について確認する。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

1. 岩手県

・ 1856 年安政八戸沖津波の口碑伝承

宮古町・鉾ヶ崎町・重茂町・山田町・船越町・普代町において、1856 年安政八戸沖地震津波に関する口碑伝承の存在が確認された。船越町においては、従来津波による死者は 5 人とされているが、同報告書においては男女 256 名の死者があったと記されている。

2. 福島県

・ 1611 年慶長奥州地震津波の伝承

檜葉郡木戸村山田浜上ノ代は、かつて同郡北田村の脇浜村が慶長年間に津波によって壊滅したため、同地に移住したという古記録が存在すると記す。1611 年慶長奥州地震津波の伝承としては現在確認されているもので最南端となる。

・ 1676 年延宝房総津波について、真言宗蓮乗印の過去帳の記録、江名村永崎の口碑伝承を記している。

・ 1793 年寛政地震津波

標葉郡幾世橋村大字棚塩で家屋転倒の伝承について記されている。

・1835年天保宮城沖地震津波

檜葉郡木戸村山田浜に天保年間の海嘯で宅地浸水の記録あり。従来の記録では仙台の津波のみが記されており、同津波であれば南限を更新することになる。

3、千葉県

同地域では「田中玄蕃所蔵記録」「今津源五郎所蔵ノ記録」など古文書の調査を実施。

・1498年明応地震津波

安房郡新宿・長須賀村附近が隆起したとの伝承を記す。

・1676年延宝房総地震津波

高神村君ヶ浜が延宝・元禄の二度津波に浸水したと記載している。

・1703年元禄地震津波

夷隅郡清海村で「三夜祭」に集まった住民が溺死したという伝承を記載している。

“安政3年8月の海嘯”

行徳町で安政3年8月に海嘯が発生し、堤防の越水・本町への浸水が記されている。同時期の台風による高潮の被害と考えられる。

4、富山県

・1858年安政飛越地震

四方海岸において、同日夜に引き波・津波が発生、船を繋ぎにいった漁師3人が溺死したと記載されている。同地震においてはこれまで津波があったことは確認されていない。

5、三重県

・1858年安政東海地震津波

答志英虞郡鳥羽湊で4尺浸水、大淀村で大洲の崩落、下御糸村八木戸海岸で人家流出と記載されている。

6、愛媛県

“年代不明”

宇和郡内海村須ノ川河口は津波によりせき止められ潟湖になったとの伝承を記している。

7、宮崎県

・1858年安政南海地震津波

美々津村耳川河口の汚濁、南北両川を1里ほど津波が遡上したとの伝承を記す。

8、沖縄県

・1771年八重山津波

『八重山旧記』における明和8年の津波被害が記されているが、従来より把握されている『奇妙変異記』とほぼ同内容である。また、宮古島の宮国・新里・砂川・友利の4集落が津波により島中央に集落移転をしたとの伝承を記している。

(8)平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
蝦名裕一・佐竹健治,2017,帝国大学理科大学の調査資料にみる津波記録・伝承,第34回歴史地震研究会つくば大会

(9)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 准教授

佐竹 健治 東京大学地震研究所 教授

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：東北大学災害科学国際研究所 人間社会対応研究部門 災害文化研究分野

電話：022-752-2146

e-mail：ebin@irides.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 : 蝦名 裕一

所属 : 東北大学災害科学国際研究所 人間社会対応研究部門 災害文化研究分野

(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、五色岳活動期のマグマ進化過程解明に関する研究

(3) 最も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) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

桜島火山噴火

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

テフラ層序と 14C 年代データを組み合わせて、蔵王火山過去約 2 千年間の噴火フェーズの数と各々の年代を確定する。各活動フェーズについて、保存状況の良い露頭を基に観察を詳細に行い、テフラの構成物の観察結果も併せて、各活動フェーズの特徴を明らかにする。また、テフラ層と火口近傍層の対比を行った上で、代表的な活動フェーズに対応する近傍層から採取した試料について、地球物質科学的分析・解析を行い、噴火をもたらしたマグマ供給系の解明を行う。以上によって得られた結果を噴火事象系統樹に反映させることを試みる。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

本研究は、平成 27 年度より 3 か年の計画で行ったものである。平成 29 年度の成果として 3 年間の総括を記す。蔵王山最新の五色岳の活動を対象に、テフラを用いて活動フェーズの回数、各々のフェーズの活動の特徴を解明し、またマグマ組成の変化を検討した。その結果を噴火系統樹へ反映することも試みることも含む。以下に各項目について結果を以下に記す。

< 蔵王山約 2 千年間の活動フェーズ >

テフラ層序を基に五色岳の活動を 9 つのフェーズに分けた。それらは、約 2 千年前からおよそ西暦 8 百年の間の 2 フェーズ (Za-Gs1, 2 テフラに対応) およそ西暦 900 年から 1894 ~ 1897 噴火までの 7 フェーズ (Za-Ok1 7 テフラに対応) である。Za-Ok1 7 は御釜を噴火口とし、Za-Gs1, 2 は御釜よりもやや東に存在した火口からのものと推定される。

古記録と層序関係から Za-Ok7 は 1894 ~ 1897 噴火によるものと推定されている。それ以外のテフラについて、これまで行ってきたテフラ層に挟在される古土壌やテフラ層中に含まれる葉片の 14C 年代測定結果をまとめ直し、また一部新たに測定した結果を合わせると、Za-Gs1 は約 2 千年前 ~ 7 世紀、Za-Gs2 は 9 ~ 11 世紀、Za-Ok1 ~ 4 は 13 ~ 16 世紀、Za-Ok5 は 17 世紀、Za-Ok6 は 18 世紀末 ~ 19 世紀の噴火によるものと推定した。

< 活動フェーズ (テフラ) の特徴 >

Za-Ok1~3, 5, 6は各々の最下部に水蒸気爆発によるテフラ層が認められ、その上にマグマ噴火によるテフラ層が複数累重している。Za-Ok4は上記の場合の最下部の水蒸気爆発によるテフラ層が明瞭に認められない。マグマ噴火によるテフラ層は、ブルカノ式~マグマ水蒸気噴火によるものが主体である。Za-Ok1~3にはサブプリニー式によるものも含まれる。また Za-Ok4 のマグマ噴火によるテフラ層には土壌が混じっていることが多く、Za-Ok6 のマグマ噴火によるテフラ層は古土壌の中に火山砂が混じっているといった産状である。Za-Ok7 は水蒸気爆発によるテフラ層のみから成る。Za-Gs1, 2 共に最下部に水蒸気爆発によるテフラ層が認められ、その上にマグマ噴火によるテフラ層を主体とする層が多数累重している。特に Za-Gs1 については上位の部分は 2 次的な移動などにより層内が複雑に変形している場合が多く詳細を解析するのは難しい。マグマ噴火によるもの他に水蒸気噴火によるものと思われる薄層や、薄い古土壌層も認められる。

< 蔵王山約 2 千年間の各フェーズの物質科学的特徴 >

五色岳形成初期を代表する Za-Gs1、御釜を火口とし水蒸気噴火からマグマ噴火に推移したフェーズを代表する Za-Ok5、水蒸気噴火のみであった Za-Ok7 について、対比される近傍相から試料を採取し、地球物質科学的分析・解析を行った。その結果、マグマ噴火による噴出物については、いずれも浅部低温マグマに深部由来高温マグマが注入・噴出したものであること、浅部マグマ溜りは地下約 5~6km に存在したこと、高温マグマの注入は噴火より 20 年ほど前から断続していたことなどが明らかとなった。また水蒸気噴火噴出物については、主に熱水変質を受けた物質からなるが、本質物質も確実に存在することが明らかとなった。この場合、水蒸気噴火にマグマが直接関与した可能性がある。

< 得られた結果の噴火事象系統樹への反映の試み >

本研究の結果、活動フェーズはその特徴から少なくとも 3 種類、水蒸気噴火からマグマ噴火に移行、マグマ噴火のみ、水蒸気噴火のみ、に分けられることが明らかになった。また、水蒸気噴火においてもマグマが直接関与した可能性が高い、さらに噴火の原動力となった高温マグマの活動タイミングについても知見が得られた。これらの成果を噴火事象系統樹に反映させることを試みた。

- (8) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Sato S, Ban M, Oikawa T, Yamasaki S, Nishi Y (in press) Exploring the Basal of the Volcano: A Case Study of an Active Stratovolcano, Mt. Zao, NE Japan. In: Volcanoes, InTech.
 - 西勇樹、伴雅雄、及川輝樹(2017) 蔵王火山、五色岳旧火山体の形成史 . JPGU, SVC50-P15.
 - Sato S, Ban M, Nishi Y, Oikawa T, Yamasaki S (2017) Temporal change of magma plumbing system in flourish time of Zao volcano, NE Japan. IAVCEI, ME13B-050.
 - 伴雅雄、佐藤真、西勇樹、及川輝樹、山崎誠子(2017) 蔵王山、古熊野岳-中丸山火山体のマグマ供給系の変化 . 日本鉱物科学会 2017 年年会 . R6-01.
 - 伊藤直人、伴雅雄(2017) 蔵王火山、熊野岳山頂溶岩および馬の背溶岩における層序とマグマ供給系の解明. 日本火山学会 2017 年度秋季大会 . P095.
 - 西勇樹、伴雅雄、及川輝樹、山崎誠子(2017) 蔵王火山五色岳形成開始前後のマグマ溜まりの構造について. 日本火山学会 2017 年度秋季大会 . P100.

- (9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

伴 雅雄 山形大学理学部 教授
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 : 023-628-4642
e-mail : ban@sci.kj.yamagata-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 : 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：

短波長不均質構造推定による地震動即時予測高度化へ向けた試験的研究

(3) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

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

(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

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

本年度は、昨年度開発した不均質構造を取り入れられる地震動即時予測プログラムを用いて地震動予測シミュレーションを行い、不均質減衰構造を取り入れる効果についてさらに検証を進めるとともに、より精緻な不均質構造推定に取り組む。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

昨年度に開発した、不均質減衰構造を考慮した地震動即時予測プログラムを用いて、2005 年 3 月に発生した福岡県西方沖の地震 (Mj7.0) について地震動即時予測シミュレーションを行った。結果は熊本地震の場合と同様に、不均質な減衰構造を考慮することによって震度予測精度の RMS 値が約 10~15%改善することが確認できた。福岡県西方沖の地震のシミュレーション結果を検討すると、不均質構造を考慮することにより九州中部などの強減衰領域での予測精度が向上する一方、震源からみてその強減衰領域の影となる地域でやや予測精度が悪化しているようである (図 1)。この結果は 2 次元空間にて行っている地震動予測シミュレーションと実際の 3 次元空間の波動伝播の違いによる可能性があるため、内部減衰と散乱減衰の 3 次元不均質構造推定に取り組むこととした。Eulenfeld and Wegler (2016) と Takeuchi (2016) の定式化を活用して 3 次元不均質構造を推定したところ、解像度の詳細な検討が必要であるものの、九州中部で内部減衰・散乱減衰が共に深さ依存性を持つような結果を得ることができた (図 2)。福岡県西方沖の地震のシミュレーション結果は不均質構造の 3 次元性を考慮する必要性を示している可能性がある。

また、昨年度に実施した熊本地震の震源域周辺の高解像度な速度構造推定結果に関する論文が出版された。3 次元の減衰構造とともに不均質速度構造も考慮することによって、地震動即時予測の精度

がより向上するものと期待できるが、これらの3次元構造を取り込むには3次元の波動場を再構成する必要がある。今後はより精緻な構造推定とともに、その構造を地震動即時予測に取り込むための技術開発に取り組んでいく。

- (8)平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
小木曾 仁・干場充之・志藤あずさ・松本 聡, 2017, 不均質構造を考慮した「揺れの数値予報」: 2016 年熊本地震を例に, JpGU-AGU Joint Meeting, SCG72-13
Ogiso, M., M. Hoshiaba, A. Shito and S. Matsumoto, 2017, Numerical shake prediction incorporating heterogeneous structure: the 2016 Kumamoto Earthquake, IAG-IASPEI Joint Scientific Assembly, J04-P03
小木曾 仁, 2017, 多重散乱の効果を考慮した内部減衰・散乱減衰の同時インバージョンの試み, 日本地震学会 2017 年秋季大会, S01-07
Ogiso, M, 2017, Simultaneous inversion of intrinsic and scattering attenuation parameters incorporating multiple scattering effect, AGU Fall Meeting, S53B-0666
Shito, A., S. Matsumoto, H. Shimizu, T. Ohkura, H. Takahashi, S. Sakai, T. Okada, H. Miyamachi, M. Kosuga, Y. Maeda, M. Yoshimi, Y. Asano and M. Okubo, 2017, Seismic velocity structure in the source region of the 2016 Kumamoto earthquake sequence, Japan, Geophys. Res. Lett., **44**, 7766-7772, doi: 10.1002/2017GL074593
志藤あずさ・松本聡・清水洋・2016 年熊本地震合同地震観測グループ, 2017, 布田川 日奈久断層帯の地震波速度構造, 日本地震学会 2017 年秋季大会, S22-11

(9)実施機関の参加者氏名または部署等名：

志藤あずさ 九州大学 学振特別研究員
松本 聡 九州大学 准教授
干場充之 気象庁気象研究所 室長
小木曾仁 気象庁気象研究所 研究官
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：九州大学大学院理学研究院 地震火山観測研究センター
電話：0957-62-6621
e-mail：azusas@sevo.kyushu-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：松本 聡
所属：九州大学・大学院理学研究院 地震火山観測研究センター

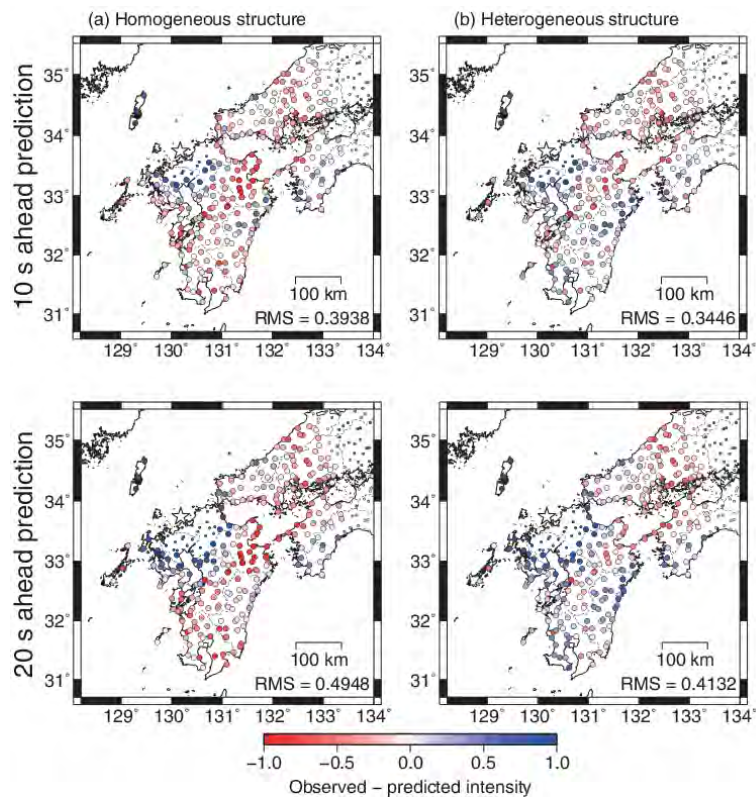


図1 2005年3月の福岡県西方沖の地震 (Mj7.0) について、(a) 均質減衰構造と (b) 不均質減衰構造を用いて地震動即時予測シミュレーションを行った際の予測震度の残差分布。
 上段は10秒後予測、下段は20秒後予測の場合。星印は震央の位置を示す。

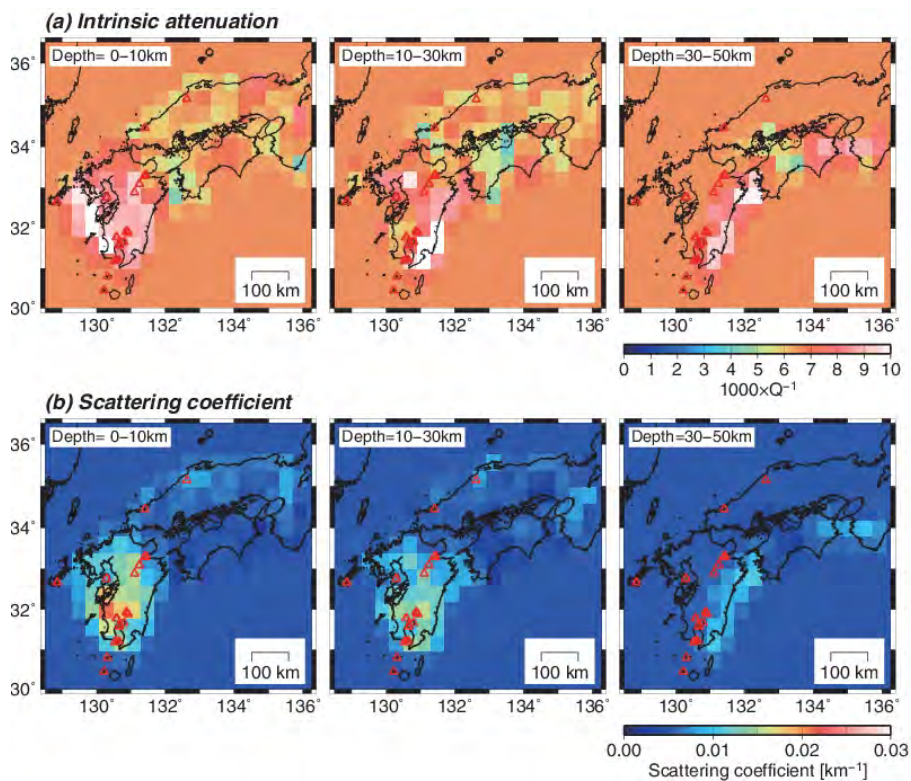


図2 今年度新たに考察した手法を用いて推定した (a) 内部減衰と (b) 散乱係数の3次元空間分布。
 周波数帯は1-2Hzを利用。

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

高頻度爆発的噴火履歴の摩周火山におけるマグマ供給系と噴火過程

(3) 最も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) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

本研究は、プリニー式噴火や火砕流噴火など規模の大きな爆発的噴火を過去 4 万年間の噴火史を通して頻りに繰り返してきた摩周火山(勝井, 1955; Katsui et al., 1975; 隅田, 1990; 岸本他, 2009; 長谷川他, 2009)におけるカルデラ形成の噴火推移とマグマ供給系の変遷を明らかにすることを目的とし、大規模噴火に対する将来的な噴火予測、火山防災・減災の研究に寄与するものである。

平成 29 年度は、平成 28 年度に実施された本研究課題の継続 2 年目にあたり(1)最新期噴火(約 1000 年前)の噴火推移(2)約 7500 年前に起こった摩周カルデラ形成における初期の噴火推移(3)カルデラ形成後のカムイヌプリ火山形成期におけるテフラと溶岩の層序関係を集中して調査し(4)カルデラ形成における噴火の準備過程と中長期的な時間スケールでのマグマ供給系の変遷モデルを構築する。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

今年度、テフラ層序が明瞭に残る露頭を見出し、新たに炭素放射年代測定を行った結果、摩周火山のカルデラ形成期以降の噴火履歴が明らかになった。カルデラ形成期以降の噴火履歴の総合柱状図を図 1 に示す。以下に今年度の新知見を含めた研究成果を報告する。

(1) 最新期噴火(約 1000 年前)の噴火推移について

カムイヌプリ西山麓で新たな露頭を見出し、そこで Ma-b5(降下軽石層)に先行する火砕流堆積物を発見した(図 2, 図 3)。この層を Ma-b7 と新称する。

(2) 約 7500 年前に起こった摩周カルデラ形成における初期の噴火推移

初期の噴火推移については解析がまだ終わっていないが、Ma-i1 ~ Ma-g の一連のプリニー式噴火に先行する Ma-i2 の軽石噴火では、噴出物中の斜長石斑晶コアの An 成分の分布が他と異なり、カルデラ形成噴火時のマグマ供給系と同じなのか、検討を要する。

(3) カルデラ形成後のカムイヌプリ火山形成期におけるテフラと溶岩の層序関係

カルデラ形成期のマグマ組成と後カルデラ期のマグマ組成は系列が明瞭に異なる。後カルデラ期に噴出したマグマは、マグマ系列は同一だが活動期ごとに組成が異なる。

1. 後カルデラ期の噴火開始時期

後カルデラ期の活動開始時期が今年度の研究で明らかとなった。年代を知る鍵層として駒ヶ岳火山の火山灰層 Ko-g を同定することができた (6.3 cal ka, 5500yBP)(図 1)。この Ko-g 層の上位に腐植層を介在して屈斜路アトサプuri火山のリシリ火砕流の co-ignimbrite ash と摩周火山起源の火山灰が混在している層を見出した (6.3 cal ka, 5430yBP)(図 4)。この摩周火山灰を Ma-e3 と新称する (図 1)。Ma-e3 の火山ガラスの化学組成はカムイシュ島溶岩の石基のガラス組成と類似する。従って摩周カルデラの中央部に噴出したカムイシュ島溶岩 ($\text{SiO}_2=73.9\text{wt.}\%$) はこの時期に噴出したと予想され、カルデラ形成 (7.5 cal ka) から 1200 年ほどの休止期を経て後カルデラ期のマグマ噴火が始まったと推測される。

2. 後カルデラ期のテフラ層序と溶岩の噴出時期

Ma-e1 (岸本他 2009 の Ma-e '), Ma-e2 (岸本他 2009 の Ma-e) の時期にカムイヌプリ西側溶岩 ($\text{SiO}_2=54.5, 61.6\text{wt.}\%$) が噴出し, Ma-d2 の時期にカムイヌプリ本体溶岩 ($\text{SiO}_2=68.4\text{wt.}\%$) が噴出してカムイヌプリ火山体の土台を作ったと考えられる (図 1)。これらの溶岩は安山岩質である。その後 Ma-d1 層を堆積させたプリニー式噴火や火砕流噴出を主とする爆発的噴火が繰り返された。その結果カムイヌプリ山頂部に旧火口が形成されたであろう。

Ma-c 層はこれまで Ma-c1 ~ Ma-c4 の 4 層 (岸本他 2009) が認識されていたが, Ma-c4 層よりも下に腐植層を挟んでさらに火山灰層が 2 層確認された (図 4)。これらを Ma-c5, Ma-c6 と新称する。またこれまで Ma-c 層の噴火年代は不明確であったが, 今回 Ma-c2 層と Ma-c4 層の年代がそれぞれ 1.3 cal ka (1440yBP) と 2.2 cal ka (2160yBP) と測定された (図 1)。

カムイヌプリ山頂から北麓に分布する溶岩 (カムイヌプリ山頂溶岩) ($\text{SiO}_2=70.6\text{wt.}\%$) は, Ma-b の噴火時に形成された山頂火口によって南側が分断されている。この溶岩の斜長石斑晶コアの An 量の分布は Ma-b 軽石のそれと類似していることから, この溶岩の噴出時期は Ma-c 層噴出時期 (Ma-c1 が Ma-c2) に対比される (図 1)。

3. カルデラ形成期以降の中長期的な時間スケールでのマグマ供給系

カルデラ形成期以降の噴火履歴がおおよそ明らかになった (図 1)。今後詳細な岩石学的データを駆使してマグマ供給系の変遷モデルが提示できる。

摩周火山ではカルデラが形成されてから 1200 年あまりの休止期を経て噴火活動が再開し, カムイシュ島が生じた (Ma-e3 の時期)。この時以降のマグマ供給系はカルデラ形成期のマグマ供給系とは異なるものであった。後カルデラ期では, 100 年程度から数百年程度の休止期間があり 11 回の噴火期が数えられるが (図 1), そのうち規模の大きな爆発的噴火はおおよそ 4000 年前の Ma-d1 と 1000 年前の Ma-b である。休止期が長く 1000 年あまりに及ぶのは Ma-e の 3 層の間の時期と, Ma-d1 後 Ma-c6 までの 1500 年間である (図 1)。後カルデラ期 7500 年間でも, 1000 年以上の休止期を経た場合にマグマ供給系が変化した可能性がある。

Ma-b の噴出後現在に至るまで 1000 年間の休止期が続いている。この休止期間は後カルデラ期の中では長い。休止期間が長く続いている間はマグマ供給系が変化してマグマが蓄積されている時期なのかもしれない。

- (8) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
- 和田恵治・中塚裕・佐藤鋭一・岡田侑也 (2017) 摩周火山, カルデラ形成期及び後カルデラ期の火山活動とマグマ供給系. 日本地球惑星科学連合 2017 年大会予稿集, SVC50-P01
 - 遠藤優磨・和田恵治・佐藤鋭一 (2017) 雌阿寒岳, 9000 年前の螺湾火砕流堆積物の不均質岩片から推定されるマグマ混合の進行過程. 日本地球惑星科学連合 2017 年大会予稿集, SVC50-P11
 - 佐藤鋭一・和田恵治 (2017) 北海道東部, 雌阿寒岳, 阿寒富士の噴火活動とマグマ供給システム. 日本地球惑星科学連合 2017 年大会予稿集, SVC50-P10
 - 和田恵治・中塚裕・岡田侑也・佐藤鋭一 (2017) 摩周火山カルデラ形成期以降のマグマ供給系の変遷. 日本火山学会 2017 年秋季大会講演予稿集, 126, P006.
 - 後藤芳彦・和田恵治 (2017) 北海道屈斜路カルデラ中島火山の噴火史. 日本火山学会 2017 年秋季大会

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

和田恵治 * 北海道教育大学旭川校 教授
佐藤鋭一 神戸大学・大学教育推進機構 助教
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

溶岩	テフラ層序	堆積物	年代	休止期間(年)
	<i>Ta-a</i>	広域ash	<i>AD1739</i>	現在
	soil			
	<i>Ko-c2</i>	広域ash	<i>AD1694</i>	1000
	soil			
	<i>Ma-b1</i>	pumice fall		Ma-b
	<i>Ma-b2</i>			
	<i>Ma-b3</i>	pumice fall		
	<i>Ma-b4</i>	ash+PDC		
	<i>Ma-b5</i>	pumice fall		
	<i>Ma-b6</i>	ash		
	<i>Ma-b7</i>	PDC+pumice fall	0.9-1.0 cal ka	
	soil			100-200
	<i>B-Tm</i>	広域ash	<i>1.0 cal Ka</i>	
	soil			Ma-c1
カムイヌプリ 山頂溶岩 (山頂・北麓)	<i>Ma-c1</i>	ash		
	soil			
	<i>Ma-c2</i>	ash	1.3 cal ka (1440yBP)	Ma-c2
	soil			200-700
	<i>Ma-c3</i>	ash		Ma-c3
	soil			200-700
	<i>Ma-c4</i>	ash	2.2 cal ka (2160yBP)	Ma-c4
	soil			ca.100
	<i>Ma-c5</i>	ash		Ma-c5
	soil			ca.100
	<i>Ma-c6</i>	ash		Ma-c6
	soil			
	<i>Ta-c</i>	広域ash	<i>2.5 cal ka</i>	ca.1500
	soil			
カムイヌプリ 本体溶岩	<i>Ma-d1</i>	pumice fall+PDC		Ma-d
	<i>Ma-d2</i>	ash	4.0 cal ka*	
	soil			
カムイヌプリ 西側溶岩	<i>Ma-e1</i>	ash	4.4 cal ka (3940yBP)	Ma-e1
	soil			1100
	<i>Ma-e2</i>	ash	5.5 cal Ka*	Ma-e2
	soil			800
カムイシュ島 溶岩	<i>Rishiri</i>	ash		Ma-e3
	<i>Ma-e3</i>	ash	6.3 cal ka (5430yBP)	
	soil			
	<i>Ko-g</i>	広域ash	6.3 cal ka (5500yBP)	1100-1300
	soil			
	<i>Ma-f</i>	PDC	7.4-7.6 cal ka*	Ma-j~Ma-f
	<i>Ma-g</i>	pumice fall		
	<i>Ma-h</i>	pumice fall		
	<i>Ma-i1</i>	pumice fall		
	<i>Ma-i2</i>	ash+pumice fall		
	<i>Ma-j</i>	ash	7.7 cal ka*	
	soil			ca.4500

図1. 摩周カルデラ形成期以降の噴火履歴の総合柱状図
年代の赤字は本研究によるもの。*は岸本ほか(2009)による。

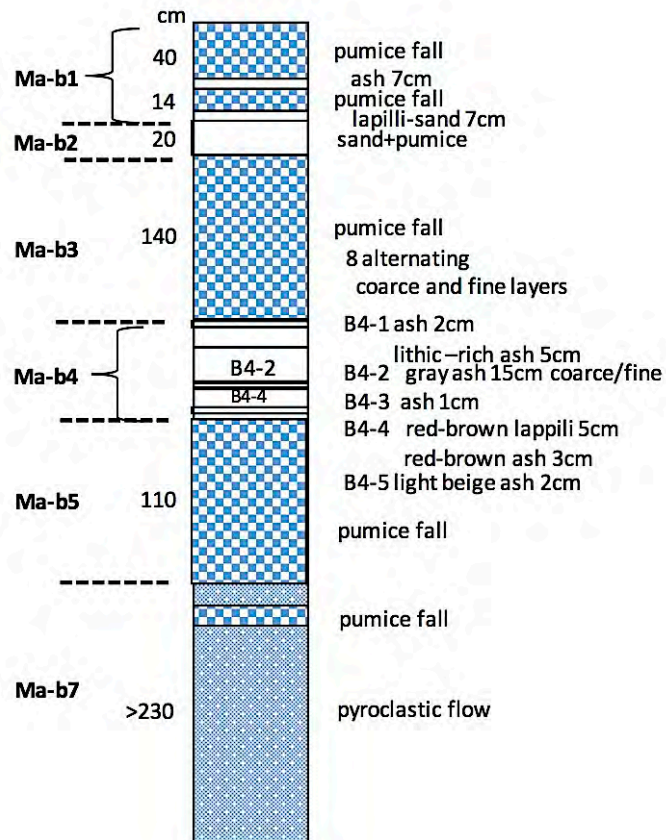


図2 .Ma-b1 ~ Ma-b7 の柱状図
Ma-b7 は本研究による新称。



図3 .一連の Ma-b 噴出物が堆積している露頭 (図2)

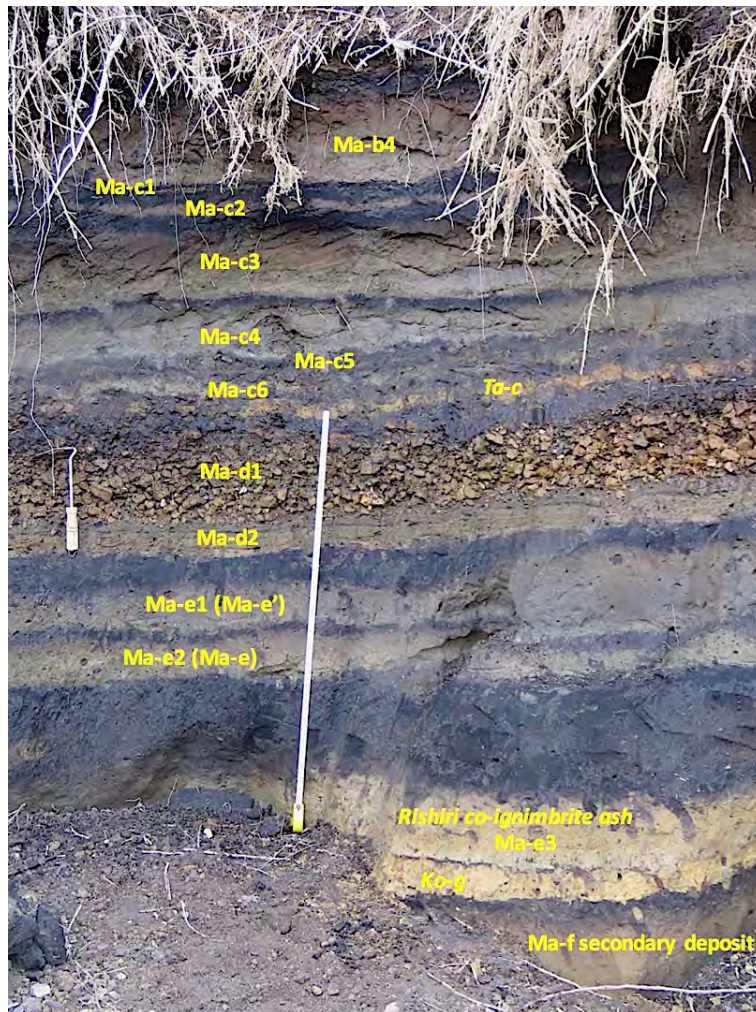


図4. 後カルデラ期のテフラが堆積している露頭写真
Ma-c5, Ma-c6, Ma-e3 は本研究による新称。

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

富山県弥陀ヶ原火山・地獄谷内での高精度地形測量と水準測量による地盤変動と地表および地中温度の計測モニタリング

(3) 最も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) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

(1) 弥陀ヶ原火山・地獄谷内の地殻変動の観測

2007 年から 2010 年にかけて InSAR の解析により、弥陀ヶ原火山・地獄谷で観測された 4cm/yr の膨張性地殻変動は、2015 年には同手法により検出されなくなっている。InSAR の観測では、cm オーダーの変位量は観測可能であるが、mm オーダーの変位の検出は難しい。そこで、2015 年と 2016 年に地獄谷内で水準測量とレーザー・スキャナ測量が実施され、13 mm に達する隆起と 4 mm の沈降が観測された。このような変動が、今度も継続されるのかどうかを監視していくため、引き続き、地獄谷内で水準測量とレーザー・スキャナ測量を実施する。

(2) 弥陀ヶ原火山・地獄谷内の地中温度ならびに噴気・噴泉の温度計測

地獄谷内の地中温度やその連続観測はほとんど行われてきていない。火山活動のモニタリングでは、地中の温度分布やその時間変化は重要な情報であるため、昨年設置の 10 点に 10 点追加設置して計測を実施する。また、噴気や噴泉の温度も直接計測し、地獄谷の活動の変化の有無やトレンドの検出を試みる。

(3) 定点タイムラプスカメラによる噴気孔・噴泉の状況変化の可視画像観測

これまでの地獄谷噴気地帯の目視観察では、硫黄噴気塔の成長と崩壊、噴泉水面の変色・浮遊物発生の有無や水位変化など、熱活動度の盛衰に関連すると推察される変化がしばしば認められてきた。これらを可視画像として定期的に記録し、他の観測項目の特徴と対比させるため、定点タイムラプスカメラによる噴気孔・噴泉の状況変化の可視画像観測を実施する。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

本年度は、図 1 に示される水準点(黄丸)にて水準測量を実施し、地中温度計測(地表面下 50 cm)を赤の四角点にて行った。また今年度より、定点タイムラプスカメラによる噴気孔・噴泉の状況変化の可視画像観測(図中緑色の星印)を実施し、火山ガスの温度計測(図中水色の星印)と噴泉温度の計測(図中白色の星印)も行われた。レーザー・スキャナを用いた高精度地形測量は、水準路線を囲むように実施された。

2015年設置の水準点20点のうち、火山性ガスや流水等により、2016年測量時に9点が劣化、消失していることが判明した。今後、残りの点も消失する可能性を考え、2016年に新しく20点の水準点を設置した。2016年の測量は旧点と新点の双方で行った。なお本地域は、中部山岳国立公園の一部であるため、水準点の設置には環境省と富山県から工作物設置の許可を必要とする。この手続きを踏んだ後、水準点を設置した。今回は、新点での測量結果を示す。地獄谷での水準測量は頻繁に行えるものではないため、季節変動の影響を抑える目的もあり、本年(2017年)の測量も昨年と同じ9月に実施した。図2は、水準点1番(BM1)を不動点としたときの地獄谷内の地盤変動である。この図から、BM8とBM12に顕著な隆起が生じていることが分かる。特にBM12ではその変位量が14mmに達している。昨年の成果(2016-2015年)ではBM8に13mmの隆起がみられたが、今回は5mmの隆起であった。これらの点以外では沈降が観測されており、BM15では最大の7mmの沈降が観測された。今回の水準測量の標準偏差は0.459mmであった。

今回隆起が観測されたBM8付近では、硫黄ドームの形成と崩落の繰り返しが続いており、ガスの噴出も活発である。今回の観測で最も隆起量が大きかったBM12では、地表面の噴気活動が昨年に比べて活発化している。今回の測量結果は噴気活動の変化と関連のある変動と考えられる。観測された変動のパターンから複数の力源が考えられ、地下は力源となるガスの通り道が出来易く、また変化しやすい構造となっているのではないかとと思われる。また、変動の波長が短いことと、現在の地表での噴気活動をあわせると、変動源は、地下浅部にあると考えられる。

2017年と2016年に実施したレーザー・スキャナによる地形測量データでは、水準測量結果と調和的な変動が検出された。すなわち、BM8とBM12付近が隆起地域で、BM15-20付近が沈降地域として観測された。レーザー・スキャナ測量は、地形を面的に計測するため、地獄谷のような変動地域では、変動とその特徴を面的に捉えることができる。

図1中の赤い四角地点で実施された地中温度計測では、T6点の温度が最も高く、75.7℃であった。この点以外ではT19の50℃、T2の49.7℃、T3の40℃であった。他の地点では10℃から30℃の間に分布することが分かった。今年度は、地中温度計測点を10点追加し、20点体制で計測を行った。T19は今年度新設した温度計測点である。T6、T2、T3が高温であることは昨年度と変わらない。なお、白の星印で計測された噴気温度は約92℃であり、標高2300mでの大気圧を考えた場合、ほぼ沸点温度となる。一方、噴気と定点タイムラプスカメラは現在データ取得中である。

今後もこれらの計測を継続し、火山活動の基礎データの蓄積に努める。

(8)平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29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)

楠本成寿 富山大学大学院理工学研究部(理学)准教授

(分担者名)

渡邊 了 富山大学大学院理工学研究部(理学)教授

石崎泰男 富山大学大学院理工学研究部(理学)准教授

早川裕弐 東京大学空間情報研究センター 准教授

丹保俊哉 富山県立山カルデラ砂防博物館 学芸員

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：富山大学大学院理工学研究部(理学)

電話：076-445-6653

e-mail：kusu@sci.u-toyama.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: 楠本 成寿

所属: 富山大学大学院理工学研究部(理学)

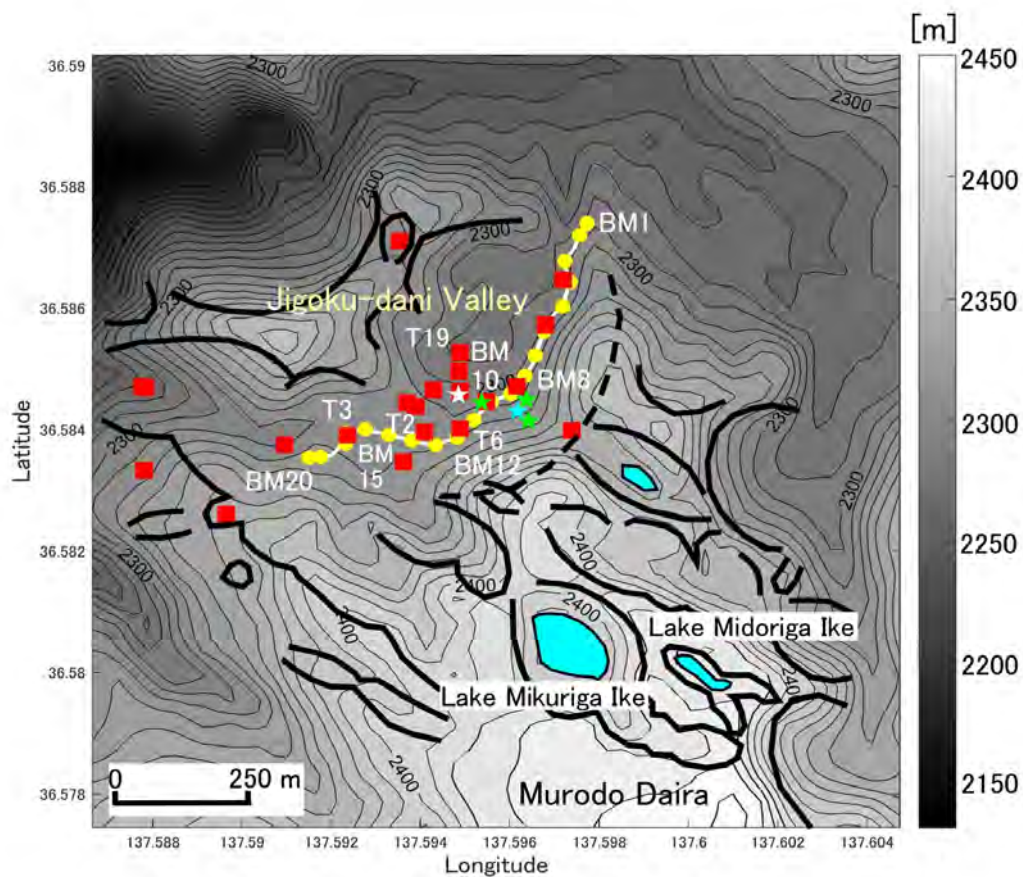


図1 観測点の分布。

黄色の点が水準点であり、白線がこれらをつなぐ水準路線である。赤色の点(四角)は、地下50cmでの地中温度計測点である。緑色の星印は定点タイムラプスカメラによる噴気孔・噴泉の状況変化の可視画像観測点。水色の星印は噴気温度計測点であり、白色の星印は噴泉温度計測点。

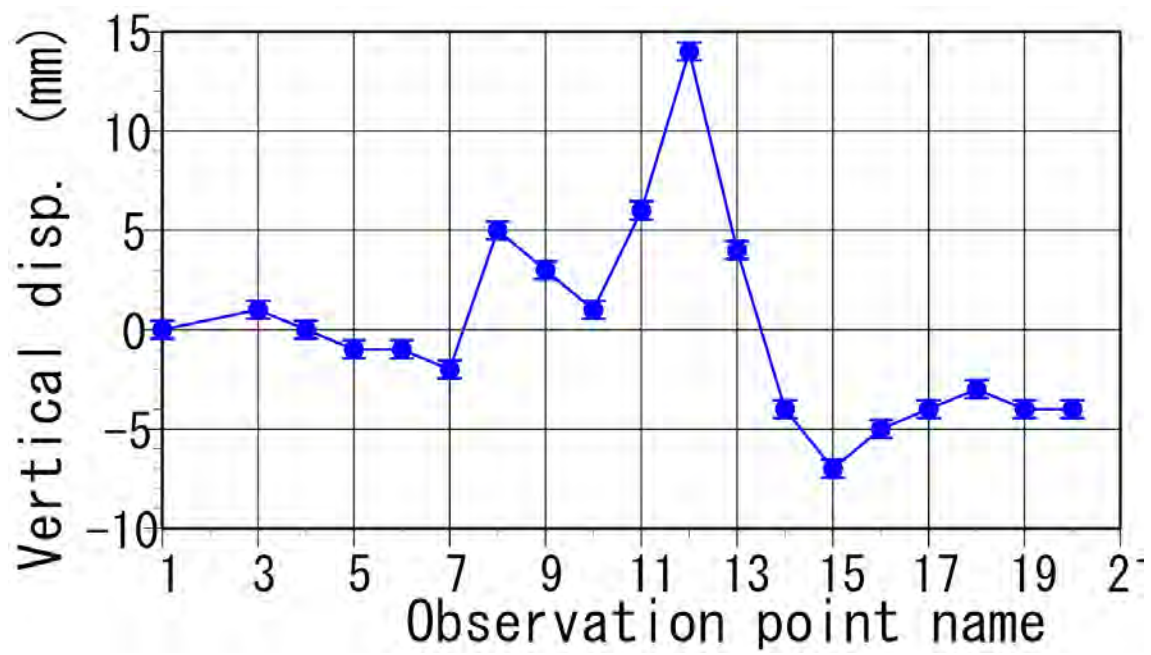


図2 水準点1(BM1)を不動点と仮定したときの水準点の変動。
横軸は水準点番号であり、点と点の間隔は約50mである。縦軸は鉛直変位量であり、単位はmmである。エラー・バーは、2017年測量時の標準偏差0.459mmである。

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

草津白根火山白根火砕丘群の完新世噴火履歴の解明

(3) 最も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) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

白根火砕丘群を中心に、大・小のトレンチ調査を引き続き行い、見落とされがちな極小規模～小規模噴火のテフラの洗い出しを行う。平成 28 年度の大規模トレンチ調査では、大きい噴火のテフラだけではなく、極小規模噴火のテフラも多数認定できたが、掘削地点が湯釜火口近傍の裸地であったためか、テフラの堆積年代の決定に使えるような黒土や材試料を採取できなかった。本研究では、湯釜火口からやや離れ、土壌・植生の発達した地点で大規模トレンチ調査を行い、テフラ中の材やテフラ層間の黒土を採取し、それらの 14C 年代に基づき各テフラの堆積年代を決定する。また、調査で認定した噴火堆積物から噴火様式を把握するため、堆積物の構成物組成を室内で分析する。

平成 25・26 年度「公募研究」では、本白根火砕丘群を構成する各火砕丘が固有の全岩組成をもつマグマを噴出させていることを明らかにした(濁川・他, 2015, 2016)。このような全岩組成の特徴は、本白根火砕丘群のマグマ噴火活動が単独のマグマ貫入イベントによる単成火山群的な活動であることを示唆する。本研究では、現時点で岩石学的解析が十分ではない白根火砕丘群において全岩組成データを充実させ、これまでの「公募研究」で得られている岩石学的データと総合することで、草津白根火山のマグマ供給系の描像を行う。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

(1) 大規模トレンチ調査から得られた成果

湯釜を有する白根火砕丘群の噴火履歴解明のため、湯釜レストハウス裏および白根神社付近の 2 地点で重機を用いた大規模トレンチ調査を実施した。その結果、昨年度の東工大 KSE 観測点でのトレンチ調査で見られた KSE-W (白根火砕丘近傍でも最も層厚が厚い白色火山灰層) と KSE-B (黒色サージ状堆積物) に対比される層が認められた。

レストハウス裏トレンチ調査結果：淡褐色の土石流堆積物を基底とし、その上位に 7 層の噴火堆積物(上位から RH1～7)が確認できた(第 1 図)。層序と岩相から RH7 は KSE-W に、RH6 は KSE-B に対比される。RH7 は層厚約 60 cm で、明白色粘土基質と変質岩片(最大径 10 cm)から構成される。上位の RH6 は暗赤褐色を呈し、急冷割れ目を持つ火山弾を含む。RH6 には灰～白色火山灰からなるサー

ジ状堆積物も挟在しており、火砕サージ堆積物、降下火砕物および弾道放出物が混合した火口近傍相と判断される。

トレンチ断面には、水蒸気噴火に使われた火道とその充填物も見出された（第2図）。火道はじょうご型の形状をもち、淡褐色の火山灰や火道壁由来のブロックにより充填されている。火道口に蓋をするように2もしくは3層の白色火山灰層（RH1.5、RH1.8、RH2）が堆積しており、これらがこの火道から噴出したテフラ層と判断される。トレンチのすぐ脇には、火道壁の走向（N50°E）と同じ向きに配列する火口列が見られることから、今回見出された火道はこの火口列形成時のものと判断される。

白根神社トレンチ調査結果：淡褐色の土石流堆積物を基底とし、その上位に4層の噴火堆積物（上位からSJ1～SJ4）が確認できた。層序と岩相からSJ4はKSE-Wに、SJ2とSJ3はKSE-Bに対比される。SJ4は、明白色粘土基質と変質岩片（最大径30cm）から構成され、層厚約2mにも達することから、白根火砕丘群で過去数千年間に発生した最大級の水蒸気噴火のテフラであると推測される。SJ2とSJ3は全体的に暗灰色を呈し、平滑面で囲まれた火山弾、ラピリおよび粗粒火山灰から構成される。SJ2とSJ3の中央粒径（Md）と淘汰度（ σ ）は、SJ2がMd = -0.9、 σ = 2.55、SJ3がMd = -1.25、 σ = 1.28であり、いずれも $-\text{Md}$ 図（Walker, 1971）ではサージ堆積物の領域にプロットされる（第3図）。

テフラ層の給源と年代：RH6、SJ2、SJ3の火山弾の斑晶鉱物組合せはPl + Cpx + Opx + Ol ± Qtz + Opqである。全岩組成と記載岩石学的特徴が弓池マール火砕物と一致している（第3図）。層厚が弓池に近づくほど厚くなることから、これらのテフラ層は弓池マールの噴火によって形成された可能性が高い。

RH3とSJ4から採取した炭化材とRH2直下から採取した黒土の放射年代測定を行った。RH3中の炭化材から568-641 cal AD、SJ4中の炭化材から1636-1667 cal AD、RH2の直下の黒土から970-1022 cal ADという年代値が得られた。SJ4の年代値は層序と一致しないため、SJ4以降の噴火（おそらく明治噴火）によって炭化した植物根を測定したと考えられる。

（2）岩石学的にみた白根火砕丘群の溶岩の成因

白根火砕丘群の形成史を検討するため、白根火砕丘群の活動初期に噴出した3枚の溶岩流（平兵衛池溶岩、香草溶岩、白根溶岩）の全岩組成分析を行った。いずれの溶岩も露頭では一部が安山岩とデイサイトの縞状溶岩として産する。安山岩の斑晶組合せは、平兵衛池溶岩ではPl + Cpx + Opx + Qtz + Opq、香草溶岩ではPl + Cpx + Opx + Ol ± Hbl + Qtz + Opq、白根溶岩ではPl + Cpx + Opx ± Ol ± Qtz + Opqである。白根溶岩が最もSiO₂に乏しく（57.7 wt.%）、香草溶岩のデイサイトは最もSiO₂に富む（65.9 wt.%）。MgO-SiO₂図において、平兵衛池溶岩と香草溶岩は異なる2本の直線的な組成変化トレンド上にプロットされ、それらがデイサイト組成に収束し、SiO₂の減少に伴い発散する（第4図）。このような岩石学的特徴から、各溶岩の成因にはデイサイト質マグマと苦鉄質マグマの混合が重要な役割を果たしていると考えられる。香草溶岩には特徴的に角閃石斑晶が含まれ、平兵衛池溶岩には全く含まれないことから、マグマ溜りの温度あるいは深度が異なる可能性が考えられる。

（8）平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29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・吉本充宏・寺田暁彦，2017、草津白根火山の完新世噴火履歴、日本火山学会2017年度秋季大会講演予稿集、p150。

（9）実施機関の参加者氏名または部署等名：

（代表者名）石崎 泰男 富山大学大学院理工学研究部（理学）准教授
（分担者名）吉本 充宏 山梨県富士山科学研究所 主任研究員
寺田 暁彦 東京工業大学火山流体研究センター 講師
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：富山大学大学院理工学研究部（理学）

電話：076-445-6656

e-mail：ishizaki@sci.u-toyama.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：石崎 泰男

所属：富山大学大学院理工学研究部（理学）

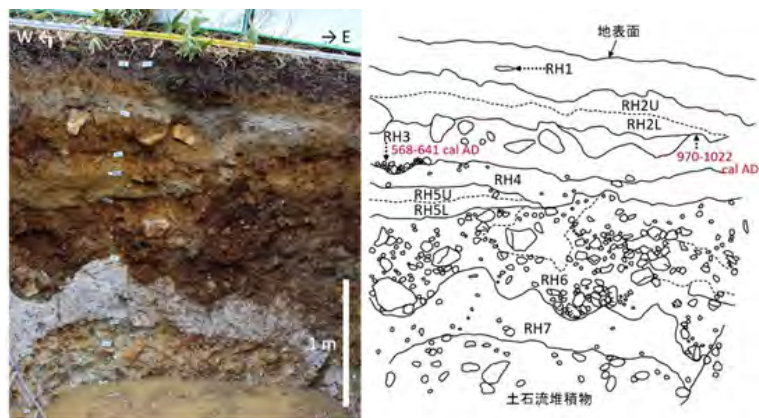


Fig. 1
レストハウス裏トレンチの産状とスケッチ

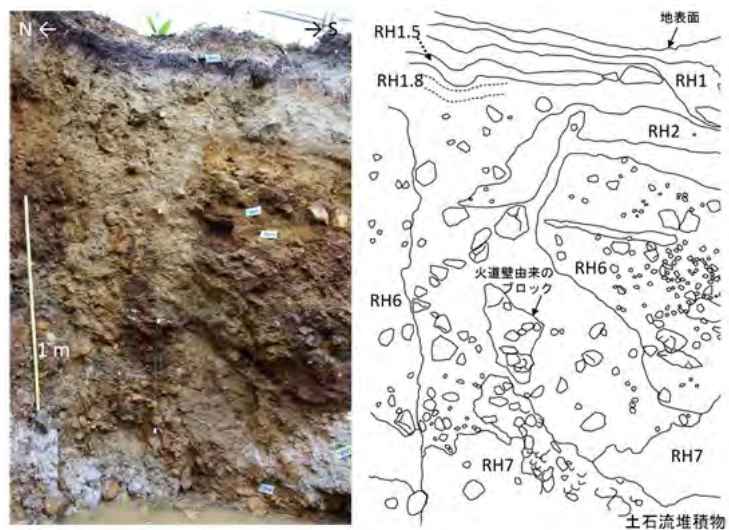


Fig. 2
レストハウス裏トレンチ断面にみられた火口充填物の産状とスケッチ

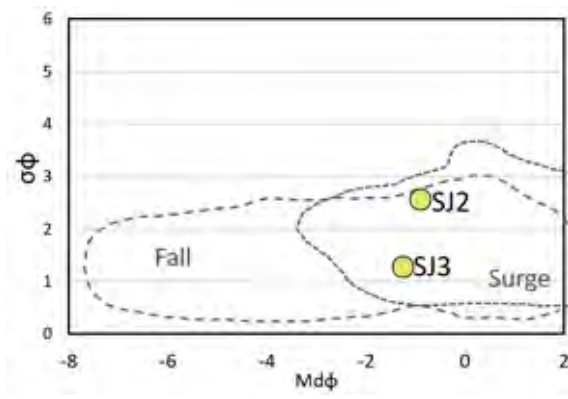


Fig. 3
 SJ2 および SJ3 の $-Md\phi$ 図 (分類境界線は Walker, 1971 を基に作成)

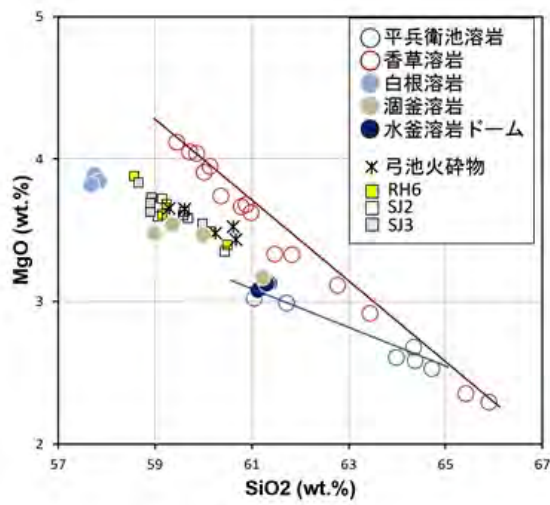


Fig. 4
 白根火砕丘群構成物、弓池火砕物および大規模トレンチ調査で採取した火山弾の MgO-SiO₂ 図

(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統計的評価と発生メカニズムの解明

(3) 最も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活動予測

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

平成 29 年度では、平成 28 年度で得られた成果を論文化に向けて

課題点がないか十分に検討し、必要に応じて再解析や追加解析を行う。

本課題では、スタートの時点では、以下のような、VLF 帯電磁波強度減少時の雷発生の統計的評価、DEMETER の VLF 帯波形データの解析、他の衛星の類似データを用いて解析の 3 つを主軸としている。

VLF 帯電磁波強度減少時の雷発生の統計的評価

Nemec et al (GRL, 2008) の追解析の最終段階として、背景 VLF 帯電磁波強度の減少が対流圏落雷数に依存するかないかを調べ、統計的に D 領域の電子密度の増加が強度減少の原因であることを示す。

DEMETER の VLF 帯波形データの解析

電波強度減少を発生させている D 領域の電離圏変動のサイズおよび電子密度の算出を行う。D 領域内のプラズマ物理量連続測定は、地上観測とロケット観測を組み合わせても不可能であり、人工衛星でも高度が低すぎることから不可能なため、D 領域観測は古くから電離圏研究の大きな課題となっている。本研究では、対流圏で断続的に発生している落雷に着目し、衛星高度で取得できる落雷起因の電磁波、ホイスラーモードを調べる。ホイスラー波には、電離圏内伝搬経路の情報が含まれていることから、VLF 帯波形データのモード解析および地上落雷データから D 領域の電離圏変動のサイズおよび電子密度を見積もれる。DEMETER の VLF 帯データの殆どはスペクトルデータであるが、地震活動が活発な領域だけは波形データが取得されている。これらのデータを使いホイスラー波を調べる。

他の衛星の類似データを用いて解析

磁気圏観測衛星 CLUSTER2 衛星および FREJA 衛星の VLF 帯電場データを用いて、同一手法で解析を行う。ただし、これらの 2 衛星は、軌道高度が変化する楕円軌道であるため現象の高度依存性について検証できる可能性がある。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

28年度の計画のうちバーストデータ(地震活動度が高い地域のみ VLF 帯波形が含まれるハイサンプリングデータ)を用いた事例解析の成果について、論文化に向けた再検討や追加解析、課題列挙を中心に行った。また本課題の初年度で予定していた「他の衛星の類似データを用いて解析」については、いかなる過去データも解析条件を満たさないことがわかったため、我々が得た知見をさらに深めるような新たな衛星の設計に向けたミッションデザインの構築を行った。

1) バーストデータ解析

本テーマは、平成28年度から引き続き行った研究である。成果の記述には平成28年度と重複する部分があるが説明上必要なので一部繰り返し述べる。DEMETER衛星のバーストデータが計測されている期間かつ全球落雷観測データのエネルギー値が得られている期間では先行現象とみられる変動は3事例あったが、それらのうち最大マグニチュードとなるM6.8のスマトラ沖の地震に着目した。事例解析の結果、地震前の震央付近において、エネルギーに対するホイスラー波強度が地震とは関係のない時のホイスラー強度よりも数dB程度小さいことがわかった。それは、震央付近を通過する伝搬経路において吸収された量だと推測される。衛星で計測されるフラクショナルホップホイスラー波の吸収は高度90~200kmで支配的であるため、地震前の震央付近上空においてその高度領域の電子密度が増加することによって通常よりも大きな吸収が引き起こされたと考えられる。さらに高度90~200kmの電子密度を増加させることによる伝搬経路シミュレーション(フォワード計算)では、地震とは関係のない時との吸収量の差異が数dBとなるのは電子密度増加率が10~20パーセントとなることが分かった。この結果を支持するための課題点として残されているのは、検討の結果、少なくとも伝播経路シミュレーション(バックワード計算)であることがわかった。平成29年度では、バックワード計算までは至らず、フォワード計算の結果と観測で得られたポインティングベクトルの向きが整合的な結果であることがわかった。

(8)平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29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)

鴨川仁 東京学芸大学教育学部 准教授

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

新田英智 東京学芸大学大学院・教育学研究科 修士課程2年

富田悠登 東京学芸大学大学院・教育学研究科 修士課程1年(予定。現在学部4年)

岡田朋大 東京学芸大学教育学部 学部4年

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:東京学芸大学・教育学部

電話:042-329-7484

e-mail:kamogawa@u-gakugei.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:東京学芸大学・教育学部

(1) 実施機関名：

公募研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

古地震のウェブを目指して～GIS 機能をもったポータルサイトと翻刻アプリの融合

(3) 最も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整理

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) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

古文書，古地図，絵図，石碑，写真などの歴史的資料のウェブ化が達成できれば，古地震学をはじめとして，歴史学，歴史地理学などに革命が起きることは関係する研究者の誰もが認識するところである．いっぽうで，全国各地に，古文書の翻刻あるいは解読に興味をもち，能力と意欲を備えたグループが多く存在する．彼らの貢献により，史料の解読が飛躍的に進む可能性があるが，実際の翻刻，解読の活動は，近隣の大学等の専門家が協力するなど，例外的に条件が整った場合に限定されている．

この状況は，ウェブで情報発信をしたいという人々が多く存在しながら，それを容易に実現できる一般ユーザが使える技術のなかった「ブログ登場以前の WWW の状況」に似ている．本研究は，古地震およびこれに関する歴史資料のウェブ実現のために，ブログや WEB2.0 にあたる社会的・技術的方式を生み出すことを最終的な目的とする．

研究代表者の林は，長年，史料分析用ツール SMART-GS の開発を続けている．これは，IT 利用の人文学(デジタルヒューマニティ)のためのツールであり「倉富勇三郎日記翻刻プロジェクト」や，歴史学者でもある林の京都学派の思想史研究などの重要な歴史研究プロジェクトで実際に使用され大きな歴史的成果を生み出している．本研究では，これまでのプロジェクトで蓄積した技術とソフトウェアを用い，研究代表者林が構想してきた「古文書のウェブ」を古地震学に応用し，実現することを目指す．

近年，歴史資料の WEB アーカイブが次々と発表されている．古地震学においても，東京大学地震研究所の図書室によって，地震史料集を含む画像アーカイブが公開されている．それぞれの資料を WEB ページととらえれば，これは古文書の WWW とも考えることができる．しかし，現在の WWW とこのような「古文書 WEB」を比較すると，後者には，前者のもつ「検索可能性」と「多数のボランティアな情報提供者の存在」が欠けている．このふたつの特徴を欠いた古文書 WEB が，WWW に匹敵するような意味を人文学や地震学にもたらすとは考えにくい．

もし将来的に古文書，石碑なども容易に検索できるようになれば，研究者のみならず，社会の側でも過去の災害履歴に基づいた災害対策を考える助けになる．その際には，それがどの場所での情報であるかも含めて検索できると効果的である．また，古文書の解読に興味をもつ一般の人々が地震史料の解読に参加できる機会を IT 技術によって用意し，多数の情報提供者を得る．ここで，古文書の解読

に興味を持つ層は、古文書には親しんでいても、必ずしも IT 技術に慣れ親しんでいるわけではないと考えられることから、デジタルヒューマニティを活用したツールの開発が必要になる。

なお、本課題は 27-28 年度に「古地震のウェブを目指して」として申請・採択された研究課題を発展させるものである。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

地図情報を統合した古地震研究ポータルサイトの作成のために、web GIS ソフトウェアの検討をおこなった。

一昨年度作成したポータルサイト (<http://kozisin.info/>) のコンテンツの充実をはかった。

市民参加型のオンライン翻刻プロジェクト「みんなで翻刻」を運用した。このプロジェクトでは、東京大学地震研究所が所蔵する史料のうちデジタル画像が公開されている約 500 点の史料の全文翻刻を目標としている。

おおむね計画どおりの進捗である。

(8) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

加納靖之, 2017, みんなで翻刻 これまでとこれから, リポート笠間, 63, 53-56, 笠間書院.

京都大学古地震研究会・加納靖之, 2017 「みんなで翻刻」 市民参加のオンライン翻刻プロジェクト, 地震本部ニュース, 2017 年夏号, 8-9.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

林 晋* 京都大学大学院文学研究科 教授

橋本雄太 京都大学大学院文学研究科 大学院生

加納靖之 京都大学防災研究所 助教

中西一郎 京都大学大学院理学研究科 教授

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：古地震研究会

電話：

e-mail：

URL：<http://kozisin.info/>

(11) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名：林 晋

所属：京都大学大学院文学研究科

(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における 100m 級断層の強度直接測定

(3) 最も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) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

南アの Savuka 金鉱山(ヨハネスブルクの南西約 70km)では、2016 年 4 月 30 日に、深さ約 3.5km において M3.5 の地震(以下、本震)が発生した。鉱山会社が運用する地震観測網では、本震震源は、北東 南西走行の BV78 ダイクの中に求められ、その余震は、ダイクを斜めに断ち切るように北西に約 65 度で傾斜し、ダイクとほぼ平行に本震から北東に延びる面上に並んでいる。地震の影響で、余震域の中央を横切るように伸びている坑道が閉塞し、採掘域へのアクセスが失われたため、現在、周辺での採掘は休止しており、震源域では地震直後の応力状態が保存されている。坑道の再開通準備として、断層の正確な位置を把握するために鉱山会社が断層を貫通する掘削を行い、コア試料が得られている。コア試料は概ね、長さ数十 cm の短棒状で採取されているが、掘削孔が余震面と交わる付近から得られたコア試料には著しいディスクングがみられる。本震断層は、申請者らの提案に基づいて ICDP が行う、南ア金鉱山での断層貫通掘削(DSeis)の掘削対象になっているので、来年度半ばには、さらに多くのコア試料が採取される見込みである。本研究では、鉱山会社が行った掘削ですでに得られているコア試料、及び、DSeis で得られるコア試料にコア変形法(DCDA)を適用するとともに、ディスクングやボアホールブレイクアウトの解析を行い、M3.5 の震源断層近傍の応力場を明らかにする。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

南アフリカ大深度金鉱山のひとつであるサブカ金鉱山の深さ約 3.5 km のダイク内で発生した M3.5 の地震の震源域で採取された掘削コア試料に DRA と DCDA を適用してそれぞれ孔井軸方向の軸応力と孔井軸に直交する面内の差応力を測定した。前者は矢部が、後者は小笠原が担当した。また、掘削孔内のビデオ映像からボアホールブレイクアウトの発生状況を調査した。DCDA データの解析に際しては、伊藤と船戸がデータ選別基準や解析手順の標準化を行った。伊藤が中心となり、DRA および DCDA の測定結果とボアホールブレイクアウトの発生状況を検討した結果、ダイク内では差応力が大きくなっていること、南ア金鉱山では通常は鉛直応力が最大圧縮方向と考えられているにもかかわらず、この地震の震源域では水平方向の圧縮が卓越していることを見出した。このような応力場の変動は地震時の断層運動に起因していると考えられるが、引き続き検討が必要である。

(8) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Estimate of the stress state in the source region of w 2.2 earthquake in a South African deep gold mine (2017),
Shuhei Abe, Yasuo Yabe, Takatoshi Ito, Masao Nakatani, Gerhard Hofmann, Hiroshi Ogasawara, JpGU-
AGU Joint Meeting 2017, 2017/5/23, Makuhari Messe, Chiba.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

(代表者名)

伊藤高敏 東北大学 教授

船戸明雄 深田地質研究所 主席研究員

小笠原 宏 立命館大学 教授

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：

地球化学的観測手法を用いた箱根山等における熱水系の構造解明, 地震活動評価, および火山ガスの化学的連続観測技術の高度化

(3) 最も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) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

(A) 火山ガスの採取・分析

申請者の谷口・大場・代田は 1 か月に 1 回程度の頻度で箱根山の火山ガスを繰り返し採取して化学組成 (H_2O , CO_2 , H_2S , SO_2 , He, H_2O_2 , N_2 , Ar, CH_4), 安定同位体比 (D/H, $18O/16O$) を分析し, その結果を気象庁および神奈川県温泉地学研究所の既存設備による物理観測の結果(地震数, 地殻変動等)と比較する. 火山ガスの採取には国際的に実績のある Giggenbach and Goguel (1989)6 および小沢 (1968)7 の方法を併用し, 化学組成の分析にはガスクロマトグラフ法, 重量分析法, 微量拡散試験法, 安定同位体比分析にはキャピティリングダウン分光分析法を使用する. この他, 現地では検知管法による CO_2 および H_2S の迅速分析も実施する.

(B) 熱水の採取・分析

板寺・代田は大涌谷に掘削された種々の孔底深度の温泉造成用の蒸気井から凝縮水もしくは熱水を採取し, その化学組成 (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+} , Fe, F^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) および安定同位体比 (D/H, $18O/16O$) を分析する. 化学組成の分析にはイオンクロマトグラフ法および ICP-発光分析法, 安定同位体比分析には安定同位体比質量分析法を使用する.

(C) 蒸気井のボーリングコアの鉱物分析

萬年・原田は, 大涌谷周辺に掘削された蒸気井のボーリングコアの構成鉱物種を深度毎に分析する. 蒸気井のボーリングコアは, 神奈川県温泉地学研究所に保管されているものを用い, 新たに削井する必要はない. 鉱物種の同定には粉末 X 線回折法を使用する.

(D) 多成分火山ガス連続観測装置による火山ガスの組成観測

谷口・高木・福井は (A) と同時に噴気孔周辺の大気に含まれる火山ガスの化学組成 (SO_2 , H_2S , CO_2 , H_2 , H_2O) を可搬型多成分火山ガス連続観測装置で観測する. (A) の分析の結果と比較して装置校正を繰り返し, また最適な運用条件を検討し, 装置の観測値の品質向上を図る.

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

(A) 火山ガスの採取・分析

箱根山の大涌谷および上湯場で計画通り、毎月噴気を採取し、化学組成および安定同位体比の測定を行った。その結果、CO₂/H₂S 比、CO₂/CH₄ 比、He/CH₄ 比について、2017 年の 1～4 月頃に底を打ち、その後年末に向けて緩やかな上昇を示す変化が観測された。これに対応するように、2017 年 5 月～10 月にかけて、やや地震の回数が増えている（気象庁による観測）。これらの変化は、箱根山のマグマ脱ガス活動が 2017 年の前半に最も低下し、その後徐々に活発化し地震回数が増えたと解釈される。箱根山において、火山ガスの変化がマグマ脱ガス活動を敏感に反映することが証明された。

(B) 熱水の採取・分析

大涌谷の蒸気井から採取した凝縮水および造成温泉の安定同位体分析を実施し、現在解析中である。今後、周辺の表流水や 2015 年の噴火活動で形成された火口・噴気孔付近の湧水との比較や溶存成分濃度との関係について検討をおこない、噴気活動に対する火山ガスや火山性熱水の寄与について検討していく予定である。

(C) 蒸気井のボーリングコアの鉱物分析

大涌谷でもっとも深い蒸気井の地質資料について、XRD による構成鉱物の分析を実施し、現在、解析中である。今後、2015 年噴火の噴出物と比較することで、爆発深度に制約を与えていく予定である。

(D) 多成分火山ガス連続観測装置による火山ガスの組成観測

可搬型多成分火山ガス観測装置で観測した箱根山の火山ガスの化学組成を解析した結果、化学分析による組成分析の結果とは隔たりがあることが明らかとなった。今後、装置による観測結果と化学分析による分析結果との比較を続け、装置の運用条件の検討・改善に取り組む予定である。

- (8) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
代田寧・大場武・谷口無我（2017）箱根火山における活動活発化に連動した噴気組成（C/S 比）の変化、神奈川県温泉地学研究所報告，49，29-38。

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

（*代表者名）

大場 武* 東海大学 教授

谷口 無我 気象研究所 研究官

萬年 一剛 神奈川県温泉地学研究所 主任研究員

板寺 一洋 神奈川県温泉地学研究所 主任研究員

代田 寧 神奈川県温泉地学研究所 主任研究員

原田 昌武 神奈川県温泉地学研究所 主任研究員

高木 朗充 気象研究所 室長

福井 敬一 気象研究所 研究官

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：0463-48-1211

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

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

巨大地震のリスク評価の精度向上に関する新パラダイムの構築

(3) 最も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・火山噴火の災害事例の研究

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

(3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 平成 29 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。リスク計算の視点から見れば、各研究分野に対応するそれぞれのモジュールから、知見の数学的表現であるところのモデルを選び、それらのモデルを組み合わせることで1本のリスクカーブが得られる(図1)。一方、現実には各研究分野で様々な知見があることに伴って同じモジュールの中に複数のモデルが併存するので、原理的には、複数の組み合わせによる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、モデルの相違によるばらつきが伴っている可能性がある。

【現状の問題点】地震リスク評価のモデル選択に伴うばらつきを評価し、その妥当性やばらつきを低減させる可能性について、分野を横断して公に議論することはほとんど行われていない。また、ユーザの意見を取り込むこともされていない。

【本研究での課題】これまでに、上記の問題点解消するために系統的な地震リスク評価を可能にするプラットフォームを構築してきた。本研究では、新しいモデルの組み入れに加え、面的な地震リスク評価の可視化について検討する。また、平成28年度までに特定分科研究1で検討された、時系列的なリスク評価手法の適用方法を検討する。さらに、最大値指標を用いた手法から、より詳細なリスク評価が行える時刻歴応答へのシフトについて検討を行う。一方、防災対策立案者・意思決定者の判断に資する情報の創出および提供方法を模索する。

【期待される成果】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することで、参加者募集型統括研究の研究内容(3)を達成できる。また、本統括研究の目標である、現時点でのリスク評価に関する不確実性を評価して公に共有することを実現できる。

(7) 平成 29 年度の成果の概要 :

【震源過程】南海トラフ巨大地震の震源像構築について、一様な断層の滑りモデルから震源モデルの高度化を図るに辺り、強震動生成域を考慮した場合に予測される問題点を整理した。

【深部地盤・伝播経路】西南日本における地震波減衰構造について、最近になって複数のモデルが提出されてきている。これらのモデルの統合の可能性を評価することを目的として、個々のモデルの仕様について調査を始めた。

【浅部地盤構造】公開地盤情報および過去の地震記録を用いて、地盤の強非線形性を厳密に考慮した逐次非線形地盤応答解析を多数実施した。その結果に基づき表層地盤増幅率を算出したところ、加速度やひずみレベルに応じた増幅率の変化に加え、地震中の過剰間隙水圧の上昇程度にも増幅率が大きく影響されることがわかった。今後は、過剰間隙水圧の考慮の有無による増幅率の差について、定量的な検討を進める予定である。

【構造物被害予測】海溝型地震に対する被害予測モデルを作成し、その妥当性について検証した。また被害予測モデルに構造物の地域性を考慮する標準的スキームを提案した。その予測モデルを高知県黒潮町に対する予測強震動に適用し、合計で約 30% の木造構造物が大破・倒壊することを明らかにした。またこの被害予測モデルから人的被害を予測するスキームを開発した。

【リスク評価】特定分科研究 (K-1-2-1) の成果を踏まえ、エクスポージャの将来予測を地震リスク評価に反映させるための基礎的な検討を行った。具体的には、一つの地方自治体に着目し、過去の人口動態と建物動態およびそれらの相関について分析を行い、それらの傾向を明らかにした。

【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、病院建物の損傷による影響評価について地理空間情報を用いて評価するための手法を構築した。

【災害リスク情報】不確実性を含むシミュレーション情報の表示手法、ならびにリスクコミュニケーションの方法についての基礎的な検討を行った。

(8) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

Lee, Seung Han, Kazuyoshi Nishijima, Shinichi Matsushima, Masatoshi Miyazawa, Kimihiro Mochizuki, Takashi Iidaka, Kyohei Ueda, Hiroshi Kawase, and Norio Maki, 2017, Issues and Challenges in Seismic Risk Evaluation and its Uncertainty Reduction for the Nankai Trough Earthquake, DPRI Annuals, No. 60B.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

森田裕一 (代表者) 東京大学地震研究所 教授
川瀬 博 (代表者) 京都大学防災研究所 教授
宮澤理稔 京都大学防災研究所 准教授
飯高 隆 東京大学地震研究所 准教授
望月公廣 東京大学地震研究所 准教授
松島信一 京都大学防災研究所 教授
上田恭平 京都大学防災研究所 助教
西嶋一欽 京都大学防災研究所 准教授
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 : 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 : 森田裕一

所属 : 東京大学地震研究所

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

巨大地震の災害リスク評価のための震源モデルの構築

(3) 最も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・火山噴火の災害事例の研究
- (2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明
- (3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
- (4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
- (5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

特定分化研究(その3)は2年計画で、南海トラフのさまざまな地震を対象に、災害リスク評価の前提となる震源モデルの構築について、理工学から人文・社会科学に至る分野を視野に入れ統合的に研究を進めている。

巨大地震の被害リスク評価の前提となる震源モデルを設定するためには、震源断層の特性について適切に評価することが必要である。そのために、南海トラフのさまざまな地震で想定される震源断層とその破壊過程について、調査観測や実験、シミュレーションによる知見を整理し、地震の多様性や規則性を含めた多面的な評価を進める。さらに、震源モデルの不確実性が強震動評価や津波評価に与える影響、そして災害リスク評価側から求める震源モデルの必要精度について、理工学から人文・社会科学に至る分野を視野に入れ統合的に検討する。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

多様性を反映した南海トラフ地震の震源モデル構築にあたり、各シナリオの重要構成要素として3～4種類のエキスパート・オピニオンを選定してロジックツリーの分岐を作成した。以上のシナリオを、それぞれ単独あるいは等しく重みづけした場合のシナリオを作成し、南海トラフ地震の震源像を検討した。

また、地震動や津波の想定ターゲットを抽出した。地震動については震度と付加体や平野等で発達する長周期地震動、津波については津波高と浸水域といった従来型の地震津波ハザード評価に加え、新たに社会科学的な観点からの災害リスクとして、人口密度分布、産業が密集する太平洋ベルト、原子力および火力発電所分布を評価対象とする際の、定量的な基準を作成した。

- (8) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Nishimura, T, Y. Yokota, K. Tadokoro, and T. Ochi, 2018, Strain partitioning and interplate coupling along the northern margin of the Philippine Sea plate, estimated from GNSS and GPS-A data, *Geosphere*, 14(2), doi:10.1130/GES01529.1.
- Nishimura, T., 2018, A trial of application of geodetic data for assessing activities of inland faults ? Coulomb stress changes estimated from GNSS surface displacements, *Journal of Disaster Research*, in press.
- Todoriki, M., T. Furumura, and T. Maeda, 2017, Effects of seawater on elongated duration of ground motion as well as variation in its amplitude for offshore earthquakes, *Geophysical Journal International*, 208, 226-233.
- 原田智也・西山昭仁・佐竹健治・古村孝志, 2017, 明応七年六月十一日(1498年6月30日)の日向灘大地震は存在しなかった? 『九州軍記』の被害記述の検討?, *地震* 2, 70, 89-107.
- 原田智也・佐竹健治・古村孝志・室谷智子, 2017, 1944年東南海地震(M7.9)の震度分布 発生直後に行われたアンケート調査資料の再検討, *東京大学地震研究所彙報*, 92, 1-30.
- Miyake, H., 2017, Seismic hazard assessment of the 1995 Kobe earthquake: Before and after, *IAG-IASPEI 2017*, S07-2-04.
- Miyake, H., T. Furumura, T. Nishimura, K. Mochizuki, K. Obara, T. Harada, and N. Sekiya, 2017, Variation of earthquake source scenarios along the Nankai Trough for hazard and risk assessment, *IAG-IASPEI 2017*, S13-6-06.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

古村孝志(東京大学地震研究所)教授
西村卓也(京都大学防災研究所)准教授
望月公廣(東京大学地震研究所)准教授
小原一成(東京大学地震研究所)教授
原田智也(東京大学地震研究所)特任助教
関谷直也(東京大学大学院情報学環)特任准教授
三宅弘恵(東京大学大学院情報学環)准教授
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: 古村孝志

所属: 東京大学地震研究所

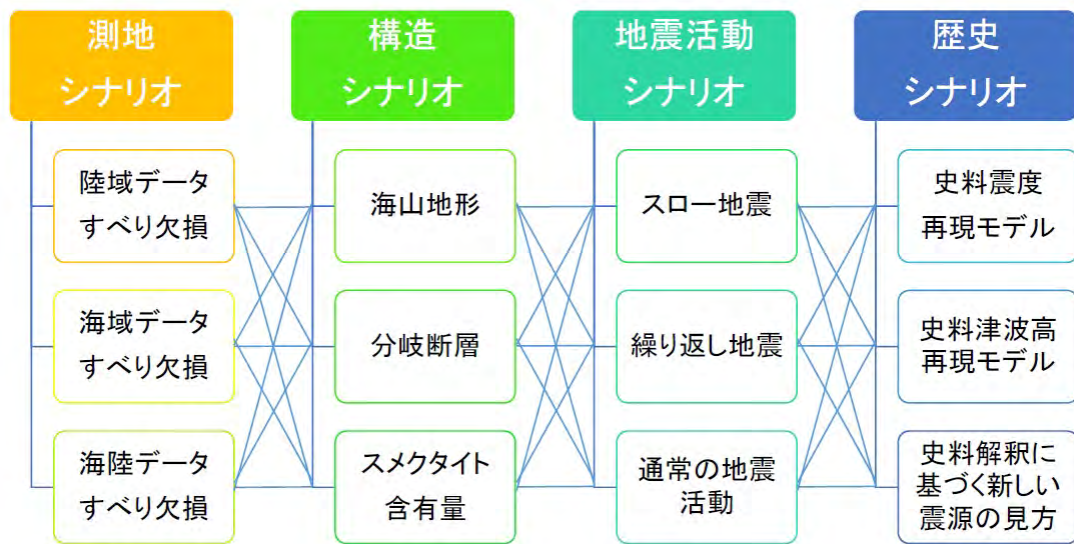


図1 . 本研究で構築したロジックツリーの例

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

構造物の被害予測手法の高度化

(3) 最も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・火山噴火の災害事例の研究
- (2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明
- (3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
- (4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
- (5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

本研究では、昨年度に引き続き、これまで提案されてきている経験的な被害予測モデルを精査するとともに、構造物の非線形応答解析を用いた物理モデルによる被害予測の評価手法に関する研究を行い、特に人的被害に直結した構造物の倒壊・崩壊等の大被害の高精度評価を念頭に、両者を統合した新たな被害予測手法の開発を目指す。そこで本チームでは、

1. 既往の地震被害調査、特に熊本地震での被害調査データを収集・整理する。
2. 熊本地震での被害調査結果と経験的な被害予測モデルとの整合性を検証する。
3. 既往の構造物の非線形応答解析を用いた物理モデルによる被害予測の評価手法を再度整理し、それと 1. および 2. の実際の調査結果および既往の経験的被害予測式と比較する。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

1. 海溝型地震における被害予測モデルの構築

昨年度に引き続き、海溝型地震による木造建物の被害予測モデルをチューニングし、高振動数をカットするフィルターを最適化するとともに、その適切性について検討を加えた。さらに内陸地殻内地震の強震動に対してもそのフィルター定数で大きな変動が生じないことも検証の必要要件とした。その結果カットオフ振動数 1Hz、ロールオフ振動数 2Hz のハイカットフィルターを適用することが最も適切であることを検証した。

2. 熊本地震に対しては被害の最も顕著であった益城町における再現強震動を地盤構造を求めて等価線形解析により計算し、上記被害予測モデルに適用して観測被害率と比較した。その結果、空間的な分布は再現できなかったが全域の平均的被害率は提案モデルで概ね再現できることが示された。

(8)平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 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 :

川瀬 博 (京都大学防災研究所) 教授

秋山充良(早稲田大学創造理工学部社会環境工学科) 教授

境 有紀(筑波大学大学院システム情報工学研究科) 教授

岡田成幸(北海道大学大学院工学研究院建築都市空間デザイン部門) 教授

中嶋唯貴(北海道大学大学院工学研究院建築都市空間デザイン部門) 助教

中村友紀子(千葉大学大学院工学研究科建築・都市科学専攻) 准教授

山崎文雄(千葉大学大学院工学研究科建築・都市科学専攻) 教授

宮腰淳一(清水建設技術研究所原子力技術センター) 主任研究員

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 : 防災研究所社会防災研究部門都市空間安全制御研究分野

電話 : 0774-38-4045

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

URL : zeisei5.dpri.kyoto-u.ac.jp

(11) この研究課題(または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 川瀬 博

所属 : 京都大学防災研究所

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

緊急地震速報を利用した建物地震災害誘因のリアルタイム予測

(3) 最も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の事前評価手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

平成 29 年度は初年度の研究進展を踏まえ、基礎の観測記録から建物応答を予測する精度を向上する手法を模索する。

最大応答推定の確度を実建物の観測データを利用して統計的に評価する。情報の精度とスピードの関係を整理し、減災行動に有効な情報提供方法について技術的な課題を検討する。また加速度計の常時観測とリアルタイム計測処理を含めた試験的なシステムを実際に建物に導入し、提案システムの実用化に関する知見を蓄積する。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

1. 最大応答の推定手法

本研究において、最大応答推定とは地震動収束後に地域の建物群の応答情報を提供することを指し、その対象は構造モニタリングを行う防災拠点建物の周辺建物群とする。提案する手法は、下記の 4 つのステップから構成され、フローと各ステップで得られる情報を Fig.1 に示す。まず、緊急地震速報による震源情報を距離減衰式(以下 GMPE)に用いて応答スペクトルを推定する。次に、防災拠点建物の観測記録を用いて誤差指標を算出し、周辺建物の応答スペクトルを補正する。最後に、建築構造物の限界耐力計算設計法の一部で使用される Capacity Spectrum Method (CSM)¹⁾を用いて周辺建物の最大変形を推定する。

2. 観測記録を用いた提案手法の検証

東京都内の 15 棟の建物と K-NET の観測記録を用いて検証を行う。15 棟には S 造超高層建物と SRC または RC 造の中低層建物が含まれ、一部は建築研究所の建物強震観測網の対象建物²⁾である。Fig.2 に観測点番号および位置関係を示す。用いた観測記録は東北地方太平洋沖地震の本震観測記録である。観測点 No.1 ~ 15 を周辺建物と仮定して、提案手法を適用した結果を Fig.3 に示す。GMPE に用いたマグニチュードは気象庁マグニチュード 8.1 である。また、各建物に対して観測記録を参照するのは、そ

それぞれの建物から最も距離が近い観測点とした。GMPEによる推定値では、変形を危険側に評価する傾向があり、平均的には観測値に対して-60%程度の誤差を持っている。これは気象庁マグニチュード8.1を用いているため断層最短距離を過大評価していることが大きな要因であると考えられる。提案手法による推定では安全側の評価となっているが、No.18までのS造超高層の平均誤差は+30%程度、No.9 15のRC, SRC造中低層の平均誤差は+100%程度である。提案手法による観測値に対する誤差と変形角の観測値の関係をFig.4に示す。S造超高層、RC・SRC造中低層ともに応答が大きいほど精度は高くなる傾向がみられる。特に、変形角の観測値が0.15%以上ではほとんどの例で20%以内の誤差に収まっている。

3. まとめ

緊急地震速報の情報と拠点建物の観測記録を用いて周辺の建物の最大変形角を推定する手法を提案した。15棟分の観測記録を用いて提案手法の精度の検討を進めた結果、提案手法によってGMPEによる推定誤差を改善できた。特に、提案手法の精度は、関係なく応答が大きいほど高くなる傾向が確認できた。今回は最も近傍にある観測点を拠点として検証したが、推定対象となる周辺建物に対し、どのような拠点観測点を選択すべきかについて、さらなる検討が必要である。

参考文献

- 1) Freeman, S.A. 1998: The Capacity Spectrum Method as a Tool for Seismic Design, Proc. 11th European Conf. Earthq. Eng., Paris, France.
- 2) 鹿嶋俊英, 小山信, 大川出: 平成23年(2011年) 東北地方太平洋沖地震における建物の強震観測記録, 建築研究資料 No.135, 独立行政法人建築研究所, 2012年3月

- (8) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
- 和田拓也, 新本翔太, 倉田真宏, 山田真澄, 楠浩一, 柏尚稔: 拠点モニタリングを利用したエリア防災のための建物群地震応答の即時推定, 日本建築学会近畿支部研究報告集. 構造系, 57, pp. 485-488, 2017.6
 - 和田拓也: 拠点モニタリングを利用したエリア防災のための建物群地震応答の即時推定(優秀卒業論文賞推薦理由, 2017年日本建築学会優秀卒業論文賞), 建築雑誌, 1701, pp.113, 2017.8
 - 和田拓也, 新本翔太, 倉田真宏, 山田真澄, 楠浩一, 柏尚稔: 拠点モニタリングを利用したエリア防災のための建物群地震応答の即時推定, 日本建築学会(中国)学術講演梗概集, 構造系, pp. 377-378, 2017.9
 - 和田拓也, 新本翔太, 倉田真宏, 山田真澄, 楠浩一, 柏尚稔, 池田芳樹: 緊急地震速報と建物モニタリング情報を利用した地震災害誘因の同定 建物頂部変形角の推定, 京都大学防災研究所研究発表講演会梗概, 2018.2

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

倉田真宏(代表者) 京都大学防災研究所 准教授
楠浩一 東京大学地震研究所 准教授
山田真澄 京都大学防災研究所 助教
柏尚稔 国立研究開発法人 建築研究所 主任研究員
溜淵功史 気象庁 係員
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: 京都大学防災研究所
電話: 0774-38-4084

e-mail : kurata.masahiro.5c@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 : 倉田真宏

所属 : 京都大学防災研究所

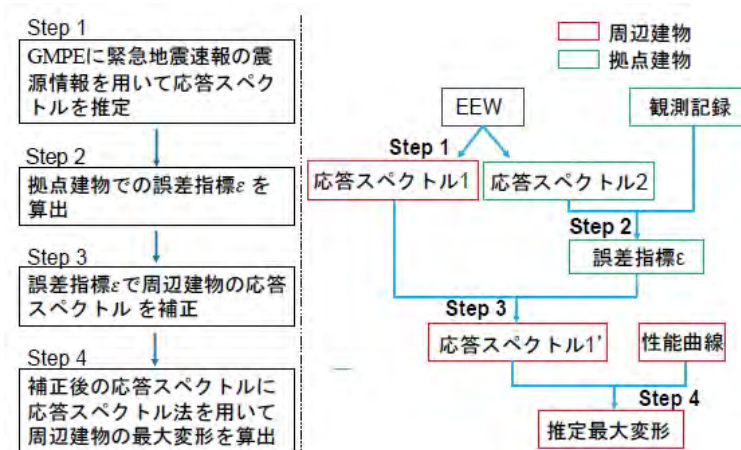


Fig. 1 応答推定のフロー

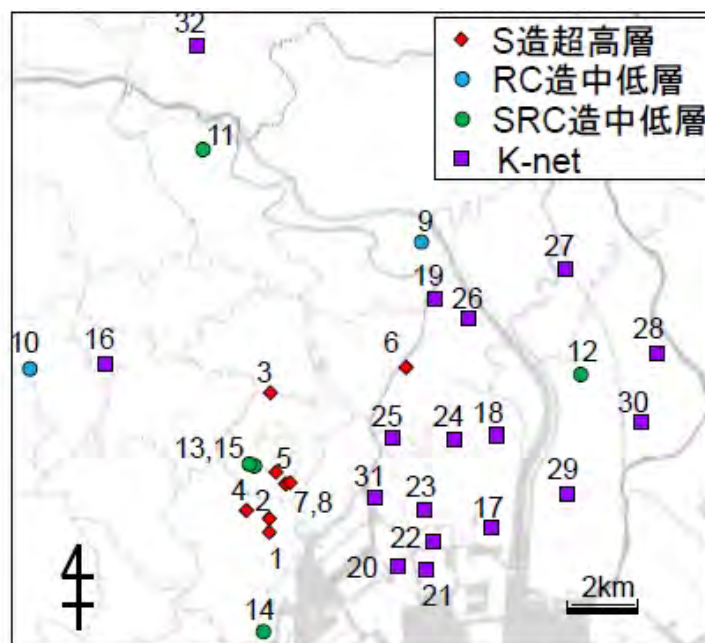


Fig. 2 観測点の位置関係

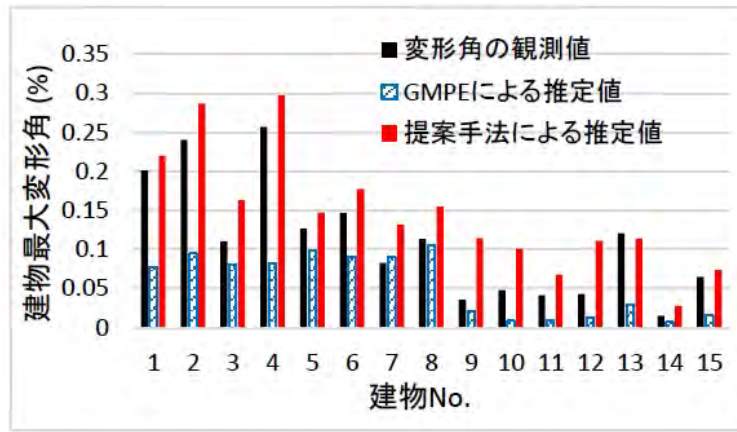


Fig. 3 観測値と推定結果の比較

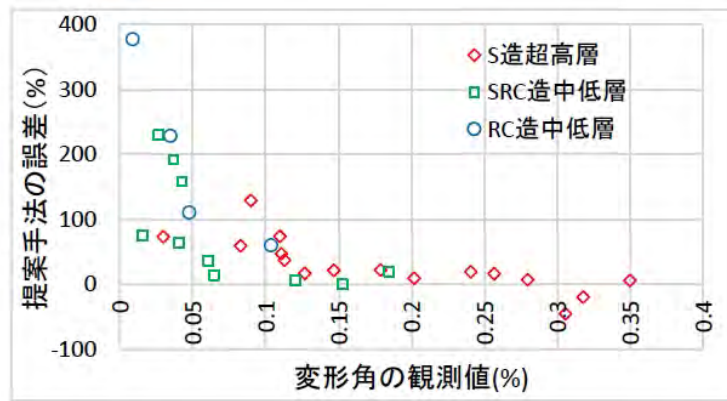


Fig. 4 観測値に対する誤差と観測値の関係

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

巨大災害想定のコミュニケーション戦略に関する研究

(3) 最も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

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

巨大災害想定は、科学的不確実性および不定性を伴いつつも、政府や自治体、企業や団体、また住民がその災害被害について見当をつけ、減災に活かされるために提供されている。阪神・淡路大震災以降、長期予知の研究の成果として地震動の確率計算やその公表が積極的に行われるようになってきた。東日本大震災後は L 1、L 2 という比較的発生頻度が高い津波と最大クラスの津波という考え方が提案され、南海トラフ巨大地震、日本海沿岸部の地震において最大クラスが想定されるようになってきた。また、この考え方は、他の災害想定にも取り入れられ、火山の破局噴火、河川氾濫、高潮についても「最大限」が想定されるようになった。

しかしながら、科学的不確実性および不定性を前提としたこの巨大災害想定は、行政の被害想定や災害対策などの基礎となっているものの、住民心理への影響、社会的影響については知見が非常に乏しいのが現状である。具体的には、災害という再現確率がない「科学的最大限」をどのように理解しているのか(想定をする側としてはどのように理解されるべきと捉えているのか)、災害想定がどのように社会に対してインパクトを与えるか、そもそも科学的には災害想定の情報提供後の望ましい帰結とは何であるのか、などに対する知見が不足しているのが現状である。このため、防災・減災のための巨大災害想定について、どのようなコミュニケーションを行うべきかという戦略が打ち出せない状況にある。

本研究では、首都直下地震、南海トラフ巨大地震、日本海地震、津波を中核に据え、調査は「災害想定」の理解と受容に関する調査を行った。

昨年度、災害想定を受け止め方を分析するにあたり必要な計測項目として、

- ・ 震度の理解
- ・ 確率表現(生起確率、確率年の理解)
- ・ 確率表現の態度変容(認知、感情、行動)への影響
- ・ 「巨大想定」の認知度、理解度、活用度
- ・ 巨大災害という再現確率がない「科学的最大限」をどう理解しているのか
- ・ 確率の概念がどうに理解されているか、どの程度の精度を要求しているか。
- ・ 災害研究の不定性がどの程度理解されているか
- ・ 災害科学・研究へのニーズ

について調査を行った。本年度は得られたデータに基づき、詳細な分析ならびにデータ解析を行うこととした。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

成果の概要として、第一に、上記、質問項目についての県ごとの調査結果が明らかとなった。

第二に、特に、特徴的な結果が得られた地震動予測地図に焦点を絞り、確率表現の理解のされ方、および効果についての分析を詳細に行った。現在の地震動予測地図で用いられている確率表現「30年確率」を、「5年確率」、「1年確率」、平均発生間隔の目安、「確率が高い」と表現を換えた場合、すなわち同じ発生確率を違った表現で示すことで人の捉え方がいかに変化するのか、分析した。

第三に、地震動予測地図を見た結果「有効だと考える」人と、「どうしたらいいかわからない」人の規定因を探る分析を行った。

結果は以下のとおりである。

第一に、全般的な結果として、地震に対する不安感は、9割にのぼる一方、地震動予測地図の普及率はそれほど高くなく、地図を見たことがある人は、4人に1人程度(26.4%)にとどまっていること、地震動予測地図について、約7割の人が関心を持つ一方で3.5割の人は、全く地震対策を行っていないことがわかった。

第二に、現在の地震動予測地図で用いられている確率表現の「30年確率」を「5年確率」、「1年確率」に換算し、「自分自身の対策の必要性」について認識する度合いを比較した。その結果、同じ地震発生確率でも表現手法によって影響は異なること、また人は、大きな地震が「何年以内に起こりうるのか」ということよりも、「どれくらいの確率の高さで起こりうるのか」ということに影響を受ける傾向にあると捉えられた。すなわち、示される確率の数値の高さに応じて「個人的な対策の必要性」を認識するということがわかった。またそれ以外にも、震度7の方が若干対策の必要性への影響力は強くなるものの、震度6弱についても割合や数値の変化の仕方について大きな違いはなく、「年に1回」という表現による影響力は相対的に弱かった。

第三に、地震動予測地図を見た結果、その内容が「有効だと考える」人と、「どうしたらいいかわからない」人を決める要因は何なのかを捉えた。「確率表現」などの、地震動予測地図における表現の他に、「自分の身に起こる被害イメージとこわさを認識できること」が両者を分ける要因として大きく効いていた。また、地震動予測地図や被害想定への「関心」、さまざまな想定があることでよくわからないという被害想定への不信感、引越しできるかななどの前提条件の捉え方が、リスク・コミュニケーションの効果に対する阻害要因になっていると考えられた。

本研究では研究の進展の中で、確率表現について、その理解と効果に絞って考察し、その結果、科学的な知見が人々にそのまま伝わっているわけではないこと、表現の仕方、受け手の意識の違いによって理解のされ方、受け止め方に大きな違いがあることが明らかとなった。科学的確率や科学的に正確な表現のみが重要なのではなく、表現手法のあり様および受け止める人の心理など、諸側面を詳細にみていくことで、より効果的なリスク・コミュニケーションが図れるという結果が示唆された。

(8) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

- ・関谷直也・斎藤さやか・田中淳，2017，地震予知に関する日本海沿岸部と太平洋沿岸部の住民意識 想定周知、表現技法を中心に，第36回自然災害学会学術講演会，2017.09.28，アオーレ長岡：長岡市
- ・斎藤さやか・関谷直也・田中淳，2017，地震予知に関する日本海沿岸部と太平洋沿岸部の住民意識 地震予知、地震動予測地図とリスク認知を中心に，第36回自然災害学会学術講演会，2017.09.28，アオーレ長岡：長岡市
- ・斎藤さやか・関谷直也，2017，地震発生確率とリスク認知 地震動予測地図の確率表現に関する調査研究，地域安全学会論文集30【査読論文】
- ・斎藤さやか・関谷直也，2017，地震発生確率とリスク認知 地震動予測地図の認識に関する基礎的

検討，地域安全学会第40回研究発表大会（春季），2017.06.09，石垣市商工会館：石垣市（地域安全学会優秀発表賞受賞）

- ・齋藤さやか・関谷直也，2017，地震動予測地図をめぐる信頼と構成要素，日本リスク研究学会第30回年次大会，2017年10月29日，滋賀県立大学：滋賀

（9）実施機関の参加者氏名または部署等名：

田中 淳（代表者） 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 センター長・教授
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 特任准教授
定池祐季 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 特任助教
古村孝志 東京大学地震研究所 教授
牧 紀男 京都大学防災研究所 教授
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：東京大学情報学環附属総合防災情報研究センター
電話：03-5841-5924
e-mail：naoya@iii.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：田中 淳
所属：東京大学情報学環附属総合防災情報研究センター

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

詳細地盤構造と活動セグメントの新たな解釈に基づく歴史被害地震の断層モデル構築に関する研究

(3) 最も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・火山噴火の災害事例の研究

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

平成 28 年度に得られた震源断層モデルと詳細地下構造モデルを元に 1896 年陸羽地震の強震動・建物被害シミュレーションを行う。被害予測結果が被害分布と整合するように震源断層モデルを合わせこむことにより、震源破壊過程を推定する。このとき、建物被害シミュレーションに用いる建物モデルを当時の強度に合わせる必要があるため、必要に応じ現地において建物の調査を実施する。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

平成 28 年度に行った地盤構造に関する調査結果から、横手盆地の構造が予想以上に複雑であることが判明したため、1896 年(明治 29 年)陸羽地震(M7.2)の強震動・建物被害シミュレーションを行う前に、地下構造を詳細に把握するための詳細な調査を行った。

横手盆地を東西に横切るような 3 つの測線と、深い構造となっていることが推測される盆地中央部に 2 つのアレイを配置し、常時微動観測を行った(図 1)。北側のアレイ 1 の最大半径サイズのアレイのみ速度計を用い、その他の地点では加速度計を用いて観測を行った。観測によって得られたデータから 40.96 秒の小区間を 50%オーバーラップさせて切り出し、小区間ごとに微動の水平上下スペクトル比(MHVR)を計算してその平均とった。このとき、NS/UD、EW/UD はそれぞれ別々に計算した。また、交通振動などのノイズによる影響を避けるため、振幅の二乗和平均が大きい区間は除外した。各観測点における MHVR を図 2 に示す。Y1-4 と Y1-5 は 0.2~0.3 Hz のピークの幅や立ち上がり方に同じ傾向見られるものの、その他の点では類似性が見られない。Y2-1~Y2-6 ではどの地点も 0.2~0.5 Hz 程にピークがあり、その幅や立ち上がり方に同じ傾向見られる。Y2-8 は平坦な形であるものの、Y2-7 と Y2-9 では 1~2 Hz に大きなピークが見られる。しかし、Y2-10 ではピークの位置や幅に Y2-5 と同じ傾向が見られる。また同じように、Y3-1 や Y3-2 と比べて、Y3-3 では 1~2 Hz に大きなピークが見られ、その幅も大きく異なっている。Y3-4 では平坦な形となるものの、Y3-5~Y3-8 は再びピークが現れており、Y3-9 では 1~4 Hz において、NS/UD と EW/UD でピーク振動数に大きな違いが現れている。したがって、Y2 と Y3 測線では急激な地下構造の変化が複数回起きていることが推測された。一方、アレイ微動により基盤深さは北側のアレイ 1 付近では 1800m 程度、アレイ 2 付近では 2600m 程度であることが推定された。

地盤構造の推定を行う一方で、活断層についての現地調査結果から、1896 年陸羽地震の詳細震源断層モデルの構築についてさらなる検討を行った。

今後は、1896年陸羽地震の強震動シミュレーションを行い、地盤構造の影響に着いて検討を行う。

(8) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
松島信一・吾妻崇・野澤貴・市村強，2017，1847年善光寺地震の震源断層モデルの再構築と強震動シミュレーション，日本自然災害学会 平成29年度学術講演会，?-4-6.

佐藤啓太・松島信一，2018，微動観測記録に基づく横手盆地の速度構造と形状の推定，京都大学防災研究所研究発表講演会，A36.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

松島信一(代表者) 京都大学防災研究所 教授

市村 強 東京大学地震研究所 准教授

吾妻 崇 産業技術総合研究所 主任研究員

野澤 貴 鹿島建設原子力部 担当部長

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：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

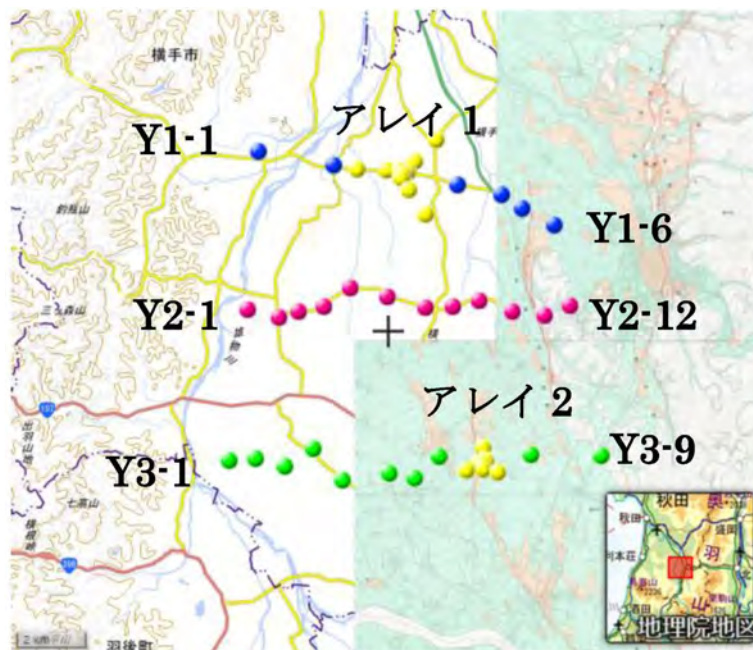
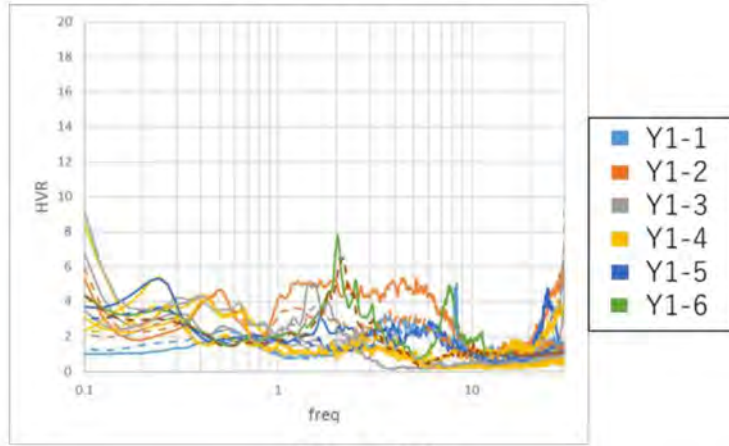
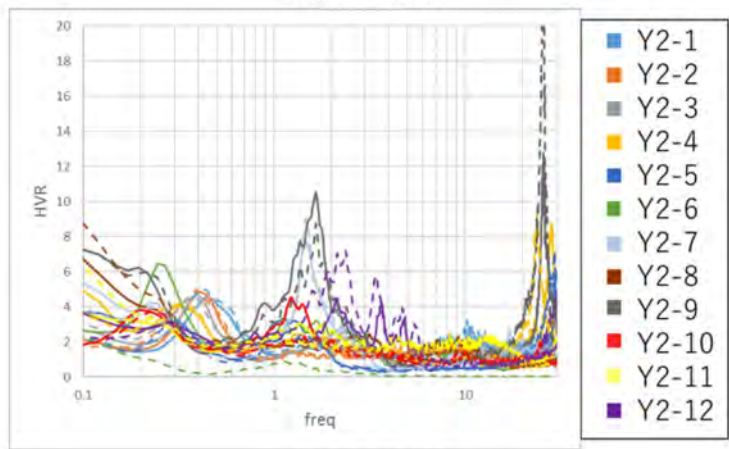


図1 横手盆地における常時微動観測の観測点配置

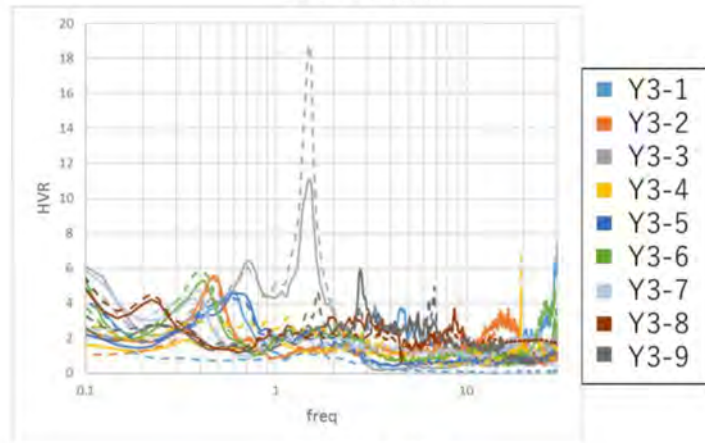
実線：NS/UD 破線：EW/UD



(a) Y1 測線



(b) Y2 測線



(c) Y3 測線

図2 横手盆地で常時微動観測を行った3測線における微動水平上下スペクトル比

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

実践的人材育成のための防災担当者研修プログラムに関する研究

(3) 最も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

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

H28 年度の成果を受けて次年度は、火山防災担当者の異動する春と秋に富士山に関わる火山防災担当者を対象として 2 回の開催を予定する。研修プログラムは、春開催時は 1 年目と同様の内容を、座学時間を短縮し、図上訓練の枠を増加させて、研修の実効性を検証する。また、初めて火山防災を担当する職員への研修前・後にアンケートを実施し、知識の定着度を検証する。一方、秋開催時は「火山防災情報」や「住民等への広報」及び演習として自治体職員の実践力を強化するため、地域住民、観光客・登山者のそれぞれに向けた啓発用資料作成の演習を導入する予定である。

また、火山防災担当者が、火山ハザードマップだけでは分からない、火山災害要因の影響と、それによる災害のイメージを持つための野外研修についても検討することとする。

【研修プログラムの開発・検討】2 年間の実際の研修をとおして、持続可能な防災行政職員の研修プログラムを検討する。開発にあたり、研修内容だけでなく、研修効果を向上させる 1 講座に適した時間、メタ認知を向上させるための「ふりかえり」や「宿題」等のあり方、研修を通じた人的ネットワークの構築方法(研修受講者への資格制度化 等)を実際の研修およびアンケートを通じて検証し、高度化をはかる。さらに防災行政職員向けの噴火を想定した情報演習の開発も合わせて検討する。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

1. 研修プログラムの試作と実施

研修プログラム案を平成 29 年 1 月 10 日の第 1 回実施後のアンケート等をもとに改良し、平成 29 年 11 月 1 日と平成 30 年 1 月 11 日に第 2 回第 3 回の研修会を富士山火山防災会議協議会山梨県コアグループ会議参加機関を主な対象として実施した。実施時間は半日、他の業務と連携して行えるように富士山火山防災会議協議会山梨県コアグループ会議に合わせて開催した。研修会の運営や演習の実施は NPO 法人火山防災推進機構に依頼した。

第 2 回の研修は、前回のアンケート結果で座学の時間が長く、演習時間が短いという意見から、座学を 3 から 2 つに変更し、1 コマの時間も短時間にし、演習時間を増やした。また、年度が替わったことから新たに火山防災担当に移動した職員もいたため、座学?の内容は変更せず、座学?火山噴火や災害の基礎知識「火山と噴火」(35 分) 一方で座学?としては経験の共有が必要とされていたことから、

防災対応事例を盛り込むこととし、座学?火山災害への防災対応「噴火危機時の当面の実行計画の策定ー2017年霧島山噴火を例にー」(35分)(災害対応実務者)を実施した。演習(110分)は、状況予測型訓練として座学?で学習した過去の被害事例を基に、被災者視点に立った状況予測を行い対応目標を決定したうえで、目標に沿った具体の対応方針を決定した。第2回は山梨県の防災担当者31名が参加した。

第3回研修は、年度内2回目であることから、座学?は、火山地域における噴火以外での災害を学習するために「土砂災害に備える街づくり」(45分、火山砂防学者)を実施し、また、座学?では、最近の災害事例として「御嶽山噴火災害」(45分、行政担当者)を実施した。演習は、「災害対応に学ぶ」(90分)と題してケースメソッド形式で座学にて学習した御嶽山噴火対応の事例から「学ぶこと」を整理し、「学ぶこと」から富士山でできることを検討した。第3回は山梨県の防災担当者31名とオブザーバーとして中部甲信越圏の県の火山防災担当者7名が参加した。

演習は、その効果を測るため、状況付与型(第1回)、状況予測型(第2回)、ケースメソッド型(第3回)と演習の方法をかえて実施した。いずれも受講者から好評価を得たが、特に富士山を想定して実施した第1回、第3回の演習が活発に行われ、効果が上がったことが期待できる。

2. 火山防災研修プログラムのあり方

本研修会のアンケートの結果、総じて定期的な火山防災研修を望む声が多く、年に1、2回程度実施し、2回の場合は担当者が新規に入れ替わる4月と秋頃に各1回程度、火山防災協議会開催時と同時期に行うのが望ましいとの情報が得られた。

火山防災研修プログラムとしては、年2回程度の開催で、開催時間は、座学が45分以下、演習が100分程度としたうえで、半日程度が適当であると考えられる。半日での研修構成は、座学2コマと座学を振り返るための演習1コマの組み合わせとし、座学の内容としては「現象」「対策」「経験共有」の3つの分野が必要である。「現象」分野では、火山災害は地震や風水害などの災害と異なる部分が多いため、防災対策等を検討する上で火山現象や災害のそのもの理解や当該火山の特徴を把握することがきわめて重要となる。「対策」分野では、避難計画、国や県の防災対策、降灰対策、観光客対応、具体的な避難訓練(登山者の避難救助)、情報発信等が必要であると考えられる。さらに、火山災害は他の災害に比べ頻度が少ないため実際の対応経験者がきわめて少ない。そこで、噴火対策をより実効的なものにするため「経験共有」として災害対応経験者の対応談、他県の防災体制等の仕組みなどが重要となる。また、野外での火山観察講習を取り入れることも効果的であると考えられる。座学の講師としては、「現象」分野は当該火山の火山防災協議会の専門家が適任であり、「対策」「経験共有」については災害対応経験者や実務者のほか、内閣府火山防災エキスパートなどの活用も有効である。

また、これらの研修会は、演習での自由な意見交換の場をもつことなどで、火山防災協議会での顔の見える関係の構築にも一役買うことができると考えられる。

(8)平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29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:

吉本充宏(代表者)山梨県富士山科学研究所 主任研究員

藤井敏嗣 山梨県富士山科学研究所 所長

中田節也 東京大学地震研究所 教授

井口正人 京都大学防災研究所 教授

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:山梨県富士山科学研究所火山防災研究部

電話:0555-72-6211

e-mail:myoshi@mfri.pref.yamanashi.jp

URL :

- (11) 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火山防災研究部

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

長周期地震動予測のための深部地盤構造モデル化手法の高度化に関する共同研究

(3) 最も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の事前評価手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

2011 年東北地方太平洋沖地震では、関東平野の小田原や品川などのいくつかの狭い地域で長周期地震動が局所的に大きくなり、免震建物や超高層建物に大きな揺れが生じた。これを踏まえて、平成 29 年度は、前年度の共同研究で取得した足柄平野での地震・微動観測データの分析を継続し、さらに、東京都品川周辺地域を対象にした共同観測とそのデータの分析を実施する。共同研究で取得したデータに既往の地下構造調査のデータも加味して、深部地盤構造モデルの推定および東北地方太平洋沖地震の長周期地震動の説明能力の検討を行う。とくに、品川地域では浅部地盤が厚くなっている可能性もあり、長周期地震動への影響も無視できないことから浅部地盤が長周期地震動に及ぼす影響についても検討する。つぎに、推定した地下構造モデルを用いて東北地方太平洋域地震の地震記録の再現を行い、既存のモデルの地震動説明能力を比較する。

以上の 2 年間の共同研究の成果を踏まえて、長周期地震動を予測するための深部地盤構造のモデル化手法の精度や違いについて研究参加者で議論し、現状での到達点と今後の技術開発の方向性を明確にする。さらに、関連学会での成果発表だけでなく、研究参加者が関与している日本建築学会地盤震動小委員会や推進本部の地下構造モデル検討分科会などで成果を紹介することによって共同研究の成果を広く展開することを目指す。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

2011 年東北地方太平洋沖地震時に東京湾西岸部において図 1 に示すような周期 2 ~ 3 秒の長周期地震動が局所的に卓越して観測された。一般に長周期地震動の特徴は、深部地盤の影響に支配されると考えられている。そこで、この長周期地震動の成因を理解することを目的にして、微動の共同観測を実施し、浅部および深部地盤の影響を明らかにした。

東京湾西岸部での共同微動観測では、研究分担者が各自の機器を持ち寄って、図 1 の地点においてアレイ観測および単点観測を実施した。アレイ観測では、1 辺の長さが 2km 程度までの複数のアレイを展開し、微動の上下成分の観測を行い、レイリー波の位相速度を推定した。最もサイズの大きいアレイの記録の解析から図 2 に示すように 3km/s 程度の位相速度が得られた。また、中規模のアレイ(U246)

においても津野ほか (2016) の微動探査に比べて、より低周波数での位相速度が得られている。本研究によって深部地盤のモデル化に有益な情報を取得することができた。

図 3 には、単点観測の結果の一例として F 測線で推定された HV スペクトル比が示されている。多くの観測点で、0.1Hz と 1Hz 程度に顕著なピークが認められる。本研究では、周期 2 ~ 3 秒の地震動に着目していることから、1Hz 程度のピークに注目すると、臨海部の F1 観測点で最も低い周波数 0.7Hz でピークが認められる。内陸部では 1.4Hz 程度で変化はほとんどないが、F12 観測点で再び 1.0Hz 程度と低くなる。他の測線の HV スペクトル比に関しても、0.1Hz 程度と 1Hz 程度に顕著なピークを持っていることは共通していたことから、1Hz 程度のピーク周波数を抽出したものを図 2 に示す。ほとんどの測線で臨海部において 1Hz 以下と低く、内陸に向かって徐々に振動数が高くなる傾向がある。特に、標高との相関は高く、台地ではピーク周波数が高い。また、同じ低地でも、南側ほど低い傾向もみられる。これは、この周期帯域の H/V のピークが浅部地盤によるものであることを示唆している。東北地方太平洋沖地震で周期 2 ~ 3 秒の強震動が特に大きかった JKPM では最も低く、0.5Hz であった(図 1)。したがって、周期 2 ~ 3 秒の成分は、地盤増幅の非線形性も含めて浅部地盤による影響が支配的であると考えられる。しかし、この周期帯域では、深部地盤の影響が無視できるわけでもないと考えられる。現在、上記の微動アレイ観測の結果も検討しており、その結果を踏まえて浅部地盤と深部地盤の影響も検討する必要がある。

現状では、強震動評価では、地盤の影響の評価において浅部地盤と深部地盤を分けて考慮することが多い。しかし、本研究の結果は、周期 2 - 3 秒の長周期地震動の評価には、浅部深部統合地盤モデルが必要であることを示しており、今後の地盤のモデル化での検討課題であると考えられる。

(8) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Viens, L., M. Denolle, H. Miyake, S. Sakai, and S. Nakagawa, 2017, Retrieving impulse response function amplitudes from the ambient seismic field, *Geophys. J. Int.*, 210, 210-222, doi:10.1093/gji/ggx155.

津野靖士, 地元孝輔, 三宅弘恵, 佐藤浩章, 松島信一, 重藤迪子, 高井伸雄, 神野達夫, 瀧藤一起, 山中浩明, 川瀬博, 2017, 足柄平野西部における臨時地震観測と地下構造調査, 第 136 回 学術講演会講演論文集, 299-300 .

地元孝輔, 津野靖士, 是永将宏, 山中浩明, 三宅弘恵, 高井伸雄, 神野達夫, 重藤迪子, 2017, 臨時地震観測による足柄平野西端部から中央部の地盤震動特性の評価, 物理探査学会第 137 回 (平成 29 年度秋季) 学術講演会 225-227.

地元孝輔, 津野靖士, 三宅弘恵, 神野達夫, 重藤迪子, 高井伸雄, 松島信一, 是永将宏, 山中浩明, 佐藤浩章, 川瀬博, 瀧藤一起, 2018, 東京湾西岸部における周期 2 ~ 3 秒の地震動特性の空間変動評価のための微動観測, 京都大学防災研究所, 平成 29 年度研究発表講演会, P06 .

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

山中浩明 (代表者) 東京工業大学 教授

三宅弘恵 東京大学地震研究所 准教授

高井伸雄 北海道大学 准教授

神野達夫 九州大学 教授

地元孝輔 東京工業大学 助教

佐藤浩章 電力中央研究所 上席研究員

津野靖士 鉄道総合技術研究所 副主任研究員

川瀬 博 京都大学防災研究所 教授

松島信一 京都大学防災研究所 教授

瀧藤一起 東京大学地震研究所 教授

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：東京工業大学大学院総合理工学研究科
 電話：045-924-5513
 e-mail：yamanaka@depe.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：東京工業大学大学院総合理工学研究科

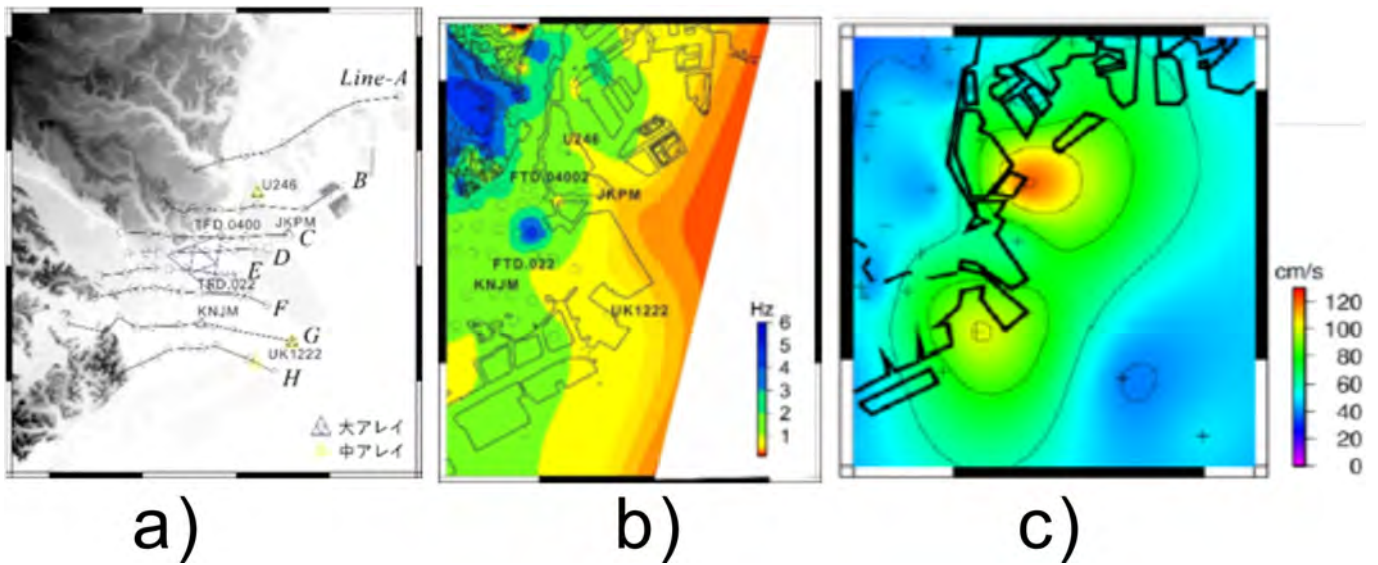


図1
 アレイと単点観測の位置 (a)、H/V ピーク周波数分布 (b)、東北地震の周期 3 秒の速度応答 (c)

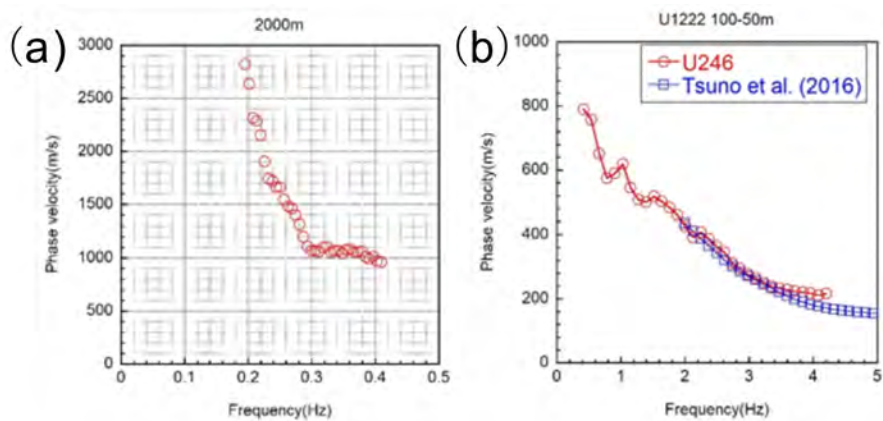


図2
 1 辺 2km の大アレイ (a) および U246 の中アレイ (b) で得られた位相速度

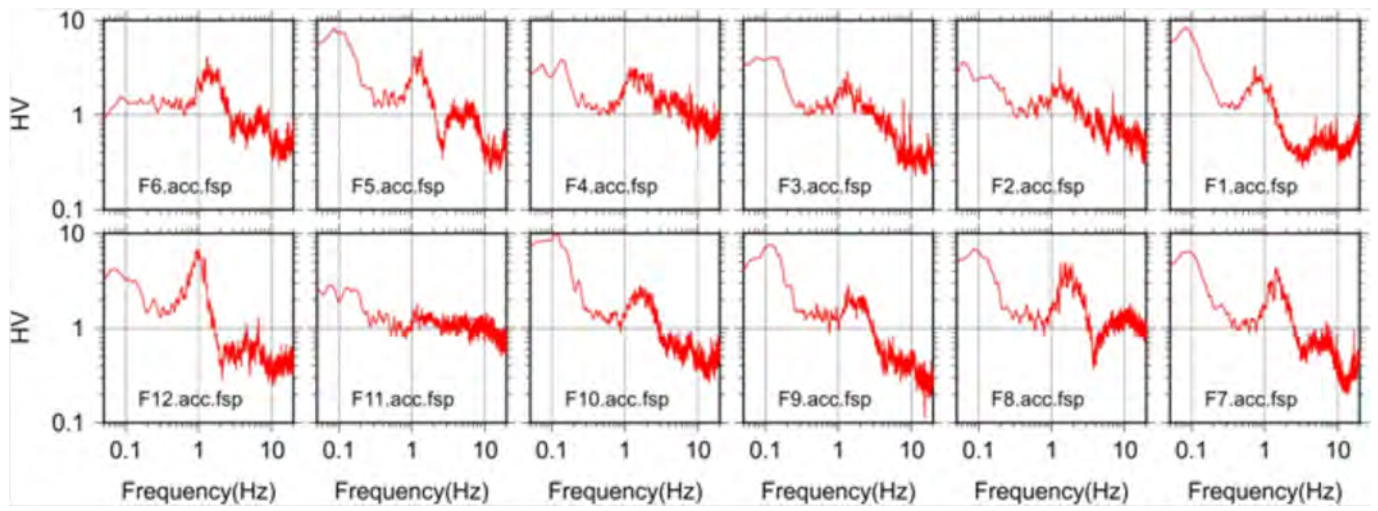


図 3

F 測線で得られた H/V スペクトル

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

巨大地震時における地盤増幅率の予測手法の高精度化

(3) 最も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・火山噴火の災害事例の研究
- (2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明
- (3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
- (4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
- (5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

特定分科研究(その5)では、巨大地震時における土木・建築構造物等の社会インフラ施設の被害リスク評価に供するため、地盤物性の強非線形性やばらつきを考慮することにより、巨大地震に対しても適用可能な浅部地盤増幅率の高精度な評価手法の開発を目指す。2年計画のうち初年度は、以下の項目について検討を行う。

(1) 公表資料と施設建設過程の情報収集に基づく浅部地盤のモデル化手法と地震応答特性の評価精度検討

地震時の被災リスクを適切に評価・軽減するためには、浅部地盤の特性を適切に評価し、地盤増幅率を詳細に求めた上で、適切な構造形式を選定することが望ましい。この点で、既往の地盤リスク評価は、複数地点間のリスクの大小関係を評価するレベルにとどまっており、地盤の固有振動数などの特性を踏まえて、当該地点の施設構造を適切に選定できるような設計上の参考資料のレベルには至っていない。そこで本研究では、既存の公表資料からの浅部地盤のモデル化手法を提案し、提案手法の妥当性を既存の地震観測点の観測記録や液状化等の被災事例との比較により検証する。

また、実際に施設を建設する際には、種々の浅部地盤情報に関するデータを建設過程において収集可能である。これらのデータを浅部地盤モデルの評価手法に取り入れることで、解析精度の向上が期待できる。解析手法としては、等価線形解析法(EXCEL での計算実施が可能な EERA、南カリフォルニア大学) を利用する。

(2) 表層地盤構造のモデル化手法が地盤増幅特性評価のばらつきに与える影響評価

2016年熊本地震の本震を記録した熊本駅と KiK-net 益城において、表面波探査法と微動探査法および電気探査法を実施することで、表層地盤のモデル化手法が地盤増幅特性評価のばらつきに与える影響について検討する。

(3) 地盤の非線形性を考慮した表層地盤増幅率の評価法に関する検討

これまでに提案されている地盤増幅率の評価法は、観測記録に基づくものと数値解析的手法に基づくものに大別でき、いずれにおいても表層地盤の非線形性の影響を考慮に入れる試みがなされている。しかし、そこで考慮されているひずみレベルはそれほど小さくなく、地盤内の過剰間隙水圧の上昇を伴うような強非線形性の領域まで含めた地盤増幅率の検討はほとんど見られない。

そこで本研究では、地盤の強非線形性を厳密に考慮できる構成モデルを用いた逐次非線形解析を多数実施することで、巨大地震に対しても適用可能な浅部地盤増幅率の評価法を提案することを目標とする。まず初年度は、公開されている地盤情報および過去の観測地震動を用いて、水圧の上昇を考慮しない逐次非線形解析および液状化解析（水圧上昇を考慮した逐次非線形解析）を実施することで、地盤増幅率に及ぼす解析手法の影響について考察する。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

(1) 公表資料と施設建設過程の情報収集に基づく浅部地盤のモデル化手法と地震応答特性の評価精度検討

1) 地盤情報に関する既存の公表資料の特徴について

近年、ボーリングデータ等がインターネット等で無料公開されており、住宅購入などの際に参考となる。本研究では、ジオステーション (<http://www.geo-stn.bosai.go.jp/jps/index.html>)、国土地盤情報サイト Kuniziban (<http://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/>) および地盤情報ナビ (<http://www.geonavi.net/georisknavi2/>) の3つのサイトの情報を利用した。これらの公表資料で公開されているボーリングデータは、データの入手元が限られているため、その分布に偏りがあると考えられる。そこで本研究では、公開データの分布特性について、大都市（東京都江戸川区）、大都市近郊（高槻市）、地方都市（徳島市）、田舎（千葉県いすみ市）の4地区を例として、分布状況を検討した。なお、いすみ市の対象範囲内では、公開されているボーリングデータが存在しない。このように、公開情報の多寡は地域により異なり、都市のほうがボーリングデータ多いことがわかる。また、対象とした自治体の人口密度と、公開されているボーリングデータ本数の密度（1km²あたりのデータ本数）の関係（図1）を整理すると、人口密度が増加するほどボーリングデータの本数が増加する傾向にある。しかし、一定以下の人口密度では公開されているボーリングデータの入手が困難であることも示された。今後、他の地区も含めて検討していくことで、どの程度の密度での公開情報の入手が可能なかを整理していくことが、行政サービスの平準化の観点からは必要かもしれない。

また、地盤情報ナビの地盤データ位置図に関して、公共事業に伴うボーリングデータが公開されているデータの多くを占めているため、主要道路沿い、もしくは河川沿いにボーリングデータが偏在している。いすみ市を除く3地区について、ボーリングデータの分布割合を整理すると、徳島市では河川沿いでも主要道路沿いでもない内陸地のボーリングデータの割合が多いが、これらのボーリングデータも直線状に分布しており、道路整備の過程で収集された土質情報である可能性が高い。このように、現況では公表される土質状況の分布状況は、公共事業の有無に大きく影響されていることが分かった。

2) 公表資料に基づく地震応答解析について

公開されているボーリングデータの分布には偏りがあるため、ボーリングデータに基づく地震応答解析ではなく、地質分布等にもとづく地震応答の評価が必要になるケースが多々存在すると考えられる。しかし、公表情報として得られる地質分布が同じであっても、実際に地震応答解析を行った場合の応答特性が異なることは十分に考えられる。

そこで、同一の地質区分に属する地域のボーリングデータを用いた地震応答解析を行い、地震応答特性の差異についての分析を試みた。解析コードとしては、等価線形解析法である EERA (University of Southern California, 2000) を用いることとした。本解析コードは、等価線形の動的解析プログラムである SHAKE の EXCEL 版であり、水平成層地盤を仮定した最も基本的な解析手法である。検討対象には、別プロジェクトでボーリングデータ等を入手できた Myanmar (ミャンマー) 国 Mandalay (マンダレイ) 市を選択した。図2 (a) に、対象としたマンダレイ市の地質区分及び取得した12本のボーリングデータの位置を示す。発展途上国であるため、解析対象とできたボーリングデータの本数も少な

いが、6種類の地質に対して、2つずつのボーリングデータを選択した。入力に用いた地震動波形は、2012年のThabeikkyein Earthquakeにおいてマンダレイ市の観測点(lat 22.0161, long 96.1122)で計測されたEW成分の波形である。気象庁震度で2.9と小さな地震動であるが、そのまま波形振幅を調整して検討に用いることとした。地盤の密度には一般的な値を用いることとし、動的変形特性のひずみ依存性には土木研究所が提案している関係式を用いた。

等価線形解析により得られた地盤の増幅率を図2(b)に示す。ひずみ依存性があるため、入力地震動のレベルに応じて増幅率は変化する。また、同じ地質区分であっても、土層の厚さなどは異なるため、固有振動数も一致しない。ただし、各土質区分ごとで見ると、Alluvialの地質区分では固有振動数のピークが明瞭であり、Clayを含む地質区分(dark clay, clayey silt, clay with minor sand)では比較的フラットな増幅特性となることがわかる。次に、入力地震動のレベルに応じた地震動の増幅特性を求めた(図2(c))。各地質区分で2地点のボーリングデータしか行っていないため、一般的な結論ではないが、地質区分に応じてそれなりに同様な傾向がみられつつもそのばらつきは大きいといえる。今後、各地質区分に応じて多くのボーリングデータを対象とする解析を行うことで、増幅特性のばらつきを評価し、公表資料からの地震危険度の評価制度を検討していく予定である。

(2) 表層地盤構造のモデル化手法が地盤増幅特性評価のばらつきに与える影響

表層地盤のモデル化手法が地盤増幅特性評価のばらつきに与える影響を検討するため、2016年熊本地震の本震を記録した熊本駅とKiK-net益城において、表面波探査法(SW)と微動探査法(MT)および電気探査法を実施した。表面波探査法と微動探査法によりレイリー波の位相速度を推定し(図3(a))、それらの逆解析によって表層地盤のS波速度構造をモデル化し(図3(b))、それによりS波地盤増幅特性を求めた(図3(c))。地盤増幅特性は、モデル化手法によるばらつきがみられる。両探査手法はそれぞれ適用範囲が異なるため、両手法を相補的に用いれば評価のばらつきが小さくなると考えられる。

(3) 地盤の非線形性を考慮した表層地盤増幅率の評価法

地盤の非線形性(特に、大きなひずみレベルにおける強非線形性)が表層地盤増幅率に及ぼす影響を把握するため、2次元の有効応力解析プログラムFLIPを用いて時間領域での逐次非線形解析を実施した。解析では水平成層地盤を仮定して1次元の土柱モデルで地盤をモデル化し、地盤の構成モデルには液状化といった強非線形現象を厳密に考慮できるひずみ空間多重せん断モデル(マルチスプリングモデル)を用いた。対象とした地盤は防災科学技術研究所による公開情報であるK-NETのOSK002(高槻)~OSK010(泉南)の9サイトであり、地盤のモデルパラメータは、N値、有効上載圧、および細粒分含有率(試験値はないため土質区分から推定)に基づき簡易的に設定した。なお、簡易設定法によりダイレイタンスに関するパラメータも設定されるが、水圧の上昇を考慮しない逐次非線形解析(非液状化解析)ではこれらのパラメータは無視され、液状化解析においてのみ使用される。土柱モデルの底面に与えた入力地震動は、1993年釧路沖地震、1995年兵庫県南部地震、2004年新潟中越地震、2011年東北地方太平洋沖地震、2016年熊本地震など、全19種類である。さらに、それぞれの地震動の最大加速度振幅(PBA)を100, 200, 400, 800 galと変化させることで、地盤増幅率に与える振幅レベルの影響を調べることにした。

非液状化解析により得られた表層地盤増幅率を図4(a)に示す。図中の縦軸は地表面の応答加速度の最大振幅(PGA)をPBAで除した増幅率であり、横軸は地盤の固有周期(T_g)を入力地震動の卓越周期(T_b)で除した周期比を表している。ここに、 T_g は地盤の層厚とせん断弾性波速度から1/4波長則を用いて簡便に求めている。一方、 T_b はフーリエ変換により得られた周波数特性から読み取った。PBA=100 galの条件では周期比が0.5付近で増幅率がピークを示しており、それよりも周期比が小さく、もしくは大きくなるにつれて増幅率が低減することがわかる。増幅率に及ぼす入力加速度の影響について考察すると、PBAの増大とともに周期比にかかわらず増幅率の値が小さくなることが明らかとなった。特に、PBA=800 galの条件では、周期比によらず増幅率が0.5程度で一定となっていることが確認できる。

次に、液状化解析により得られた表層地盤増幅率を図4(b)に示す。ここでも、横軸は周期比(T_g/T_b)

により整理をしている。図中には代表例として PBA=100 および 800 gal の結果を示すが、それぞれの PBA の結果について液状化指数 (PL 値) により色分けを行っている。PL 値は液状化の程度を表す指標であり、道路橋示方書に記載の方法に従って算出した。指針により閾値に若干の差はあるが、 $0 < PL < 5$ では液状化の程度はそれほど激しくないのに対し、 $5 < PL < 20$ では中程度の液状化が、 $PL > 20$ では顕著な液状化が生じる地盤と判定される。PL=0 のケースは設計上は液状化が発生しないと判定されるが、実際に図 4 (b) に示す増幅率の傾向は、概ね図 4 (a) の非液状化解析の結果と一致している。他方、PL 値の増加とともに非液状化時の増幅率とはやや異なる傾向を示すものの、増幅率と PL 値の大小関係の間に明瞭な対応は見られない。なお、PL 値は設計においてよく用いられる簡易的な液状化判定法の一つであるため、詳細法に分類される液状化解析により得られた地盤内の過剰間隙水圧の上昇程度と必ずしも一対一に対応するわけではない。この点については、地盤増幅率の分類に PL 値をそのまま用いるのが望ましいかどうかを含め、今後より詳細な検討が必要であると思われる。

- (8) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
Yu Nandar Hlaing, Koji Ichii: Ground Response Analysis and Site Characterization of Mandalay City, Myanmar Engineering Society Annual General Meeting (2017), 13th Annual Seminar on Research and Engineering (19-20 January 2018), Myanmar Engineering Council Building, Yangon, Myanmar.
是永将宏, 津野靖士, 地元孝輔, 山中浩明: 熊本市花岡山近傍で観測された地震動特性とその表層地盤構造, 平成 29 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 2018.
Gautham Adapa, Kaito Sawada, Kyohei Ueda: Evaluation of Amplification Factor Considering Soil Non-Linearity including Liquefaction, 平成 29 年度京都大学防災研究所研究発表講演, 2018.

- (9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

上田恭平 京都大学防災研究所 助教
一井 康二 広島大学大学院工学研究院 准教授
地元 孝輔 東京工業大学 環境・社会理工学院 助教
山中 浩明 東京工業大学 教授
是永 将宏 鉄道総合技術研究所 副主任研究員
松島 信一 京都大学防災研究所 教授
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 : 京都大学 防災研究所
電話 : 0774-38-4092
e-mail : ueda.kyohei.2v@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 : 上田恭平
所属 : 京都大学 防災研究所

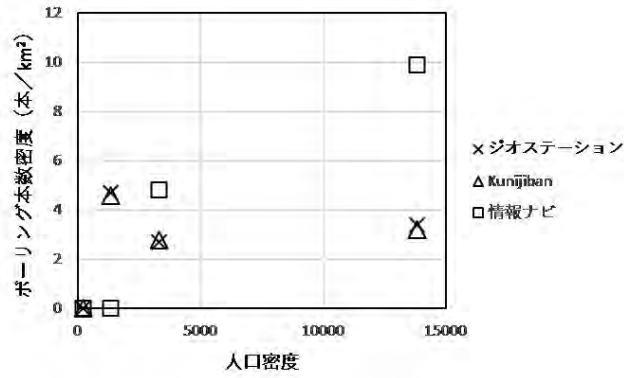


図1 対象とした4地区における人口密度とボーリングデータの関係

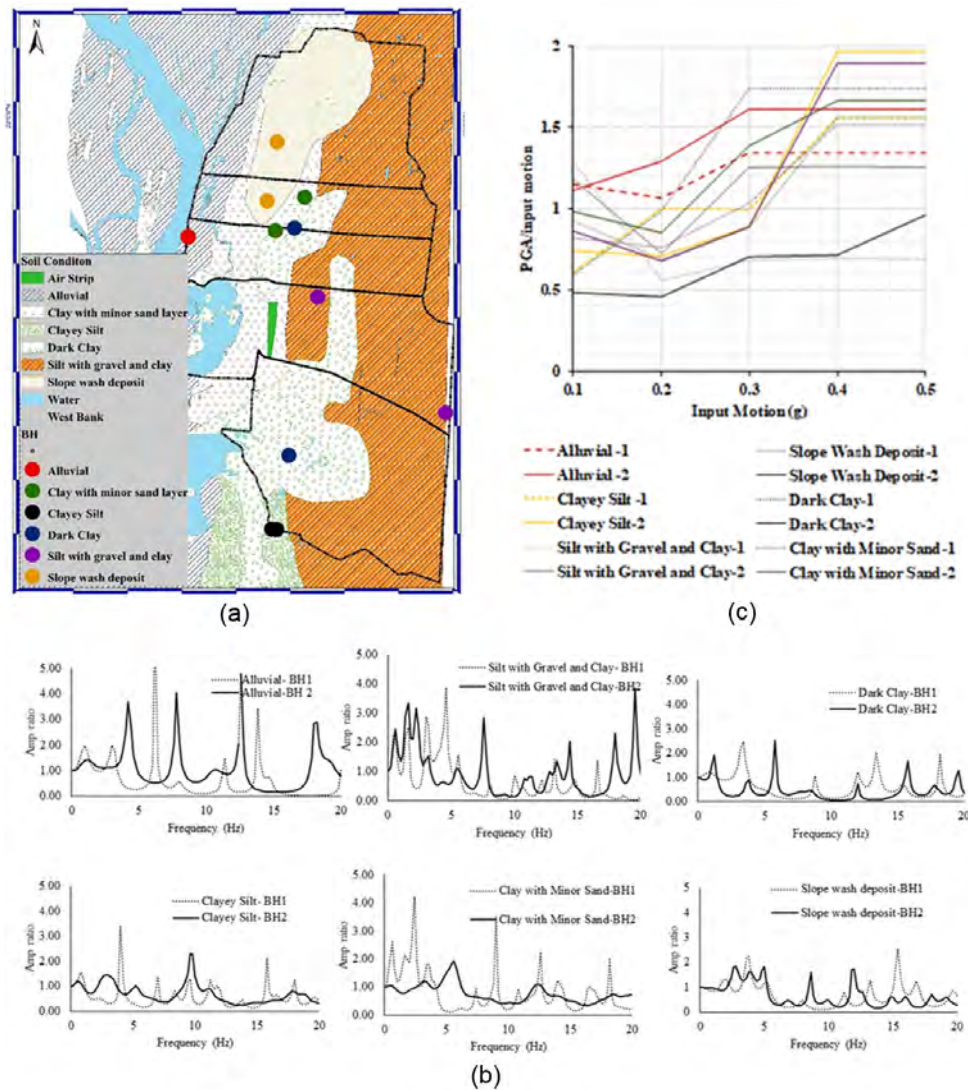


図2 (a) ミャンマー国マンダレイ市の地質区分と解析対象としたボーリングデータ, (b) 各地質区分における増幅特性 (入力地震動の最大振幅 = 0.1 g), (c) 入力地震動のレベルに応じた加速度増幅率

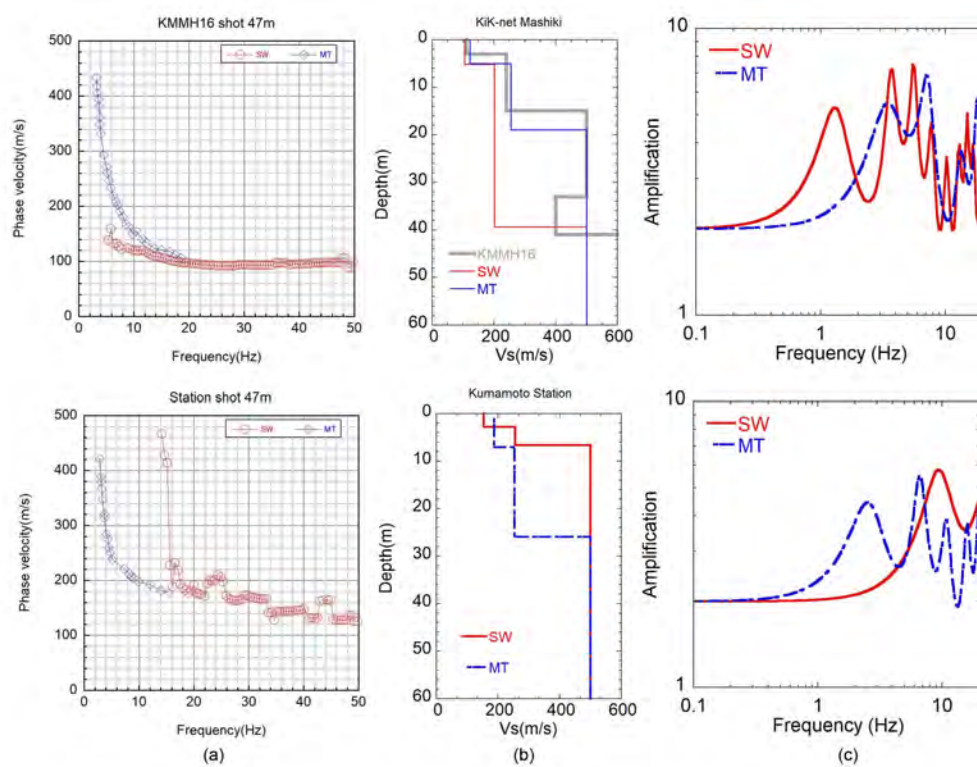


図3 Kik-net 益城（上段）と熊本駅（下段）における (a) レイリー波位相速度，(b) S波速度構造モデル，(c) S波増幅特性

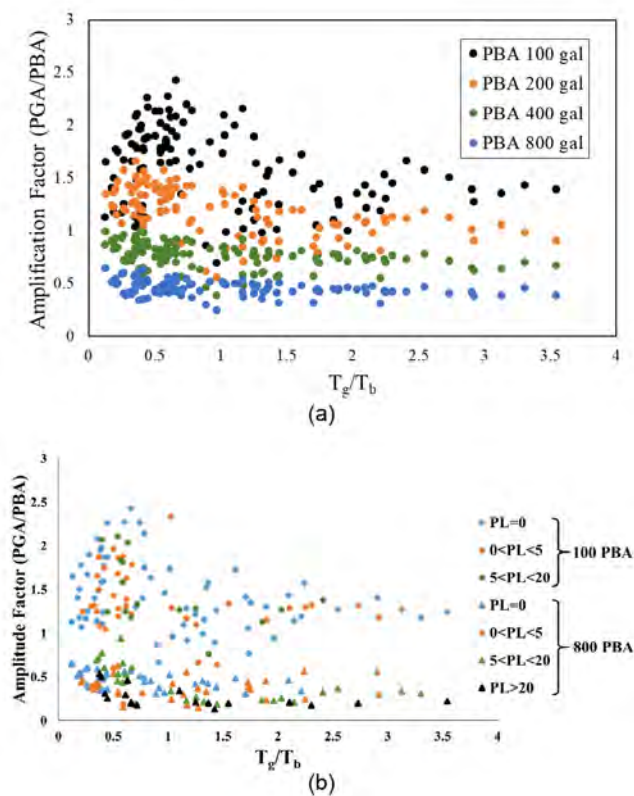


図4 逐次非線形解析により得られた表層地盤増幅率 (a) 非液状化解析，(b) 液状化解析

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

震源モデルに着目した巨大地震に伴う強震動予測の高度化

(3) 最も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・火山噴火の災害事例の研究
- (2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明
- (3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化
- (4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
- (5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

南海トラフ巨大地震の災害リスク評価を行う上で、地震波による揺れの推定を高精度化する必要がある。このためには、強震動を生成するプレート境界断層面上の領域に関する理解を深めることが重要である。この強震動を生成する領域を地球物理学的に事前推定することの可能性や、同領域と観測される強震動との関係等について検討を行い、強震動予測モデルの高度化を目指す。また続発する大地震に伴う強震動評価にも着目し、巨大地震によって誘発される大地震の発生に関する研究も行う。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

・ 強震動生成域に対する距離減衰特性

2003 年十勝沖地震と 2011 年東北地方太平洋沖地震について、強震動生成域に対する、強震動予測式の適用可能性を調べた。解析には防災科学技術研究所による K-NET および KiK-net で記録された波形を用いた。2003 年十勝沖地震については Kamae & Kawabe(2004) による第一番目のアスペリティを、2011 年東北沖地震については Kurahashi & Irikura (2013) の SMGA1, SMGA3 を調査する強震動生成域として用い、それぞれからの PGA および PGV を読み取った。この結果、いずれの場合も強震動生成域とその M_w に対して、司・翠川 (1999) の式を用いて予測した場合、観測値を説明できず相当過小評価することが分かった(図 1, 2)。

・ 測地学的記録に基づくプレート間の状態

強震動生成域とプレート間すべり欠損との関係を調べることを目的に、2003 年十勝沖地震前のプレート間と、南海トラフのプレート間の状態を測地学的記録から推定した。

北海道沖において、GNSS 観測による 1998 年 3 月～2003 年 9 月の平均的な地殻変動速度からプレート間すべり欠損速度を推定した。その結果、強震動データから推定された Yagi (2004) のすべり分布の

うち、深さ 50km にあるアスペリティC にプレート間収束速度と同程度の、震源付近にあるアスペリティA に対応する領域にプレート間収束速度の 2 倍程度のすべり欠損が推定された。ただし、アスペリティA に対応するすべり欠損に関しては解像度不足のため信頼性が劣ると考えられる。一方で Yagi (2004) のアスペリティB や、Honda et al. (2004)、Koketsu et al. (2004) に見られた深さ 35km 程度に存在するアスペリティに対応するすべり欠損速度はプレート間収束速度のおよそ 1/4 から半分程度であった。

南海トラフ巨大地震の発生域であると考えられる東海沖で、1997-2016 年に GNSS によって観測された地殻変動の記録からプレート間の状態を調べたところ、プレート境界の深さ 20-40 km に短期的スロースリップが多数発生していることが認められ、深部低周波微動発生域にほぼ対応していた。この領域では、プレート相対運動のうち一定割合が短期的スロースリップによって賄われていると考えられる。

・巨大地震による誘発地震のハザード評価

南海トラフ巨大地震によって誘発される可能性がある内陸活断層地震のハザードを事前に評価した。過去の南海・東南海・東海地震（1498 年明応、1605 年慶長、1707 年宝永、1854 年安政、1944 年昭和東海ならびに 1946 年南海地震）に対する既往の断層モデルを用いて南海トラフ巨大地震による微小地震活動への影響を調査した。広域的な領域を対象とする場合、応力場の時空間的な不均質性を適切に考慮する必要があるため、JUNEC 初動メカニズム解カタログや近年の稠密観測網により決定されているメカニズム解（F-net メカニズム解等）を受け手側のメカニズム解として用い、南海トラフ巨大地震による応力変化を評価した。

その結果、断層モデル、特に震源域の空間的な拡がりによって相違が見られるものの、以下のような特徴が挙げられる（図 3）。例えば南海セグメントが活動した場合（1946 年南海地震など）には、日向灘や山陰地方の地震帯（南北に近い T 軸を持つ横ずれ型地震）に正の応力変化を受けるレシーバーが多く分布する傾向が見られる。また東南海セグメントが活動した場合（例えば 1944 年東南海地震）には、丹波地域や伊勢湾などに正の応力変化を受けるレシーバーが多く分布する一方で、和歌山県北部のクラスターの活動ではその多くが負の応力変化となる。東海セグメントが活動をする場合（例えば 1498 年明応東海地震）には、伊豆諸島や糸魚川 - 静岡構造線沿いなどに正の応力変化を受けるレシーバーが集中する傾向が見られる。

（ 8 ）平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 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：

宮澤 理稔 京都大学 防災研究所 准教授
石辺 岳男 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解析部 専門研究員
纈纈 一起 東京大学地震研究所
西村 卓也 京都大学防災研究所
伊東 優治 京都大学大学院理学研究科
松浦 律子 公益財団法人地震予知総合研究振興会
古村美津子 公益財団法人地震予知総合研究振興会
岩佐幸治 公益財団法人地震予知総合研究振興会
関根真弓 公益財団法人地震予知総合研究振興会
田力正好 公益財団法人地震予知総合研究振興会
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 : 宮澤 理穂

所属 : 京都大学・防災研究所

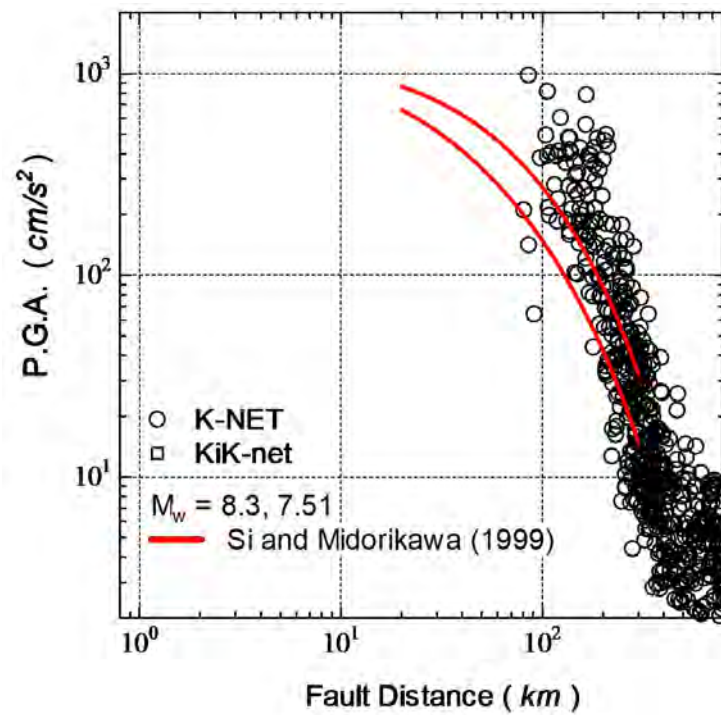


図 1 2003 年十勝沖地震の強震動生成域 (第一アスペリティ) に対する距離減衰

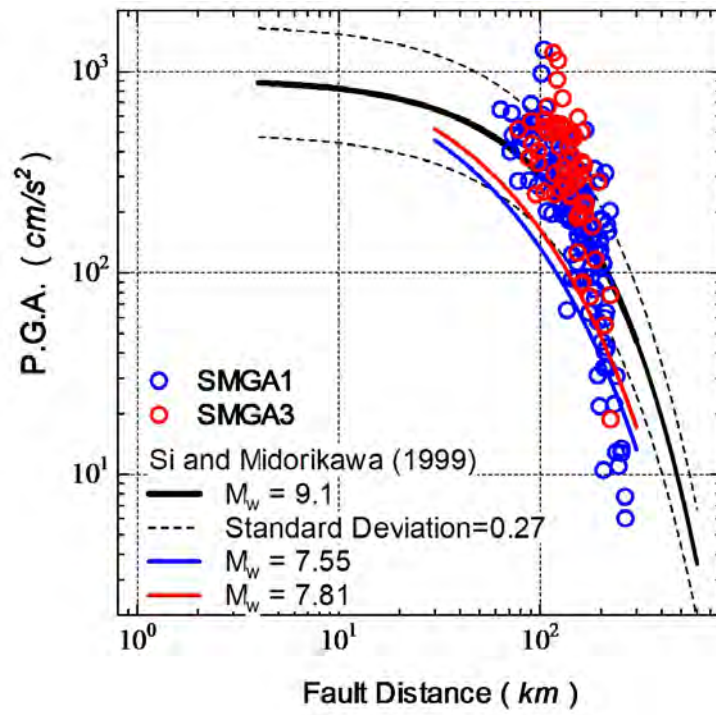


図2 2011年東北沖地震の強震動生成域 (SMGA1, 3) に対する距離減衰

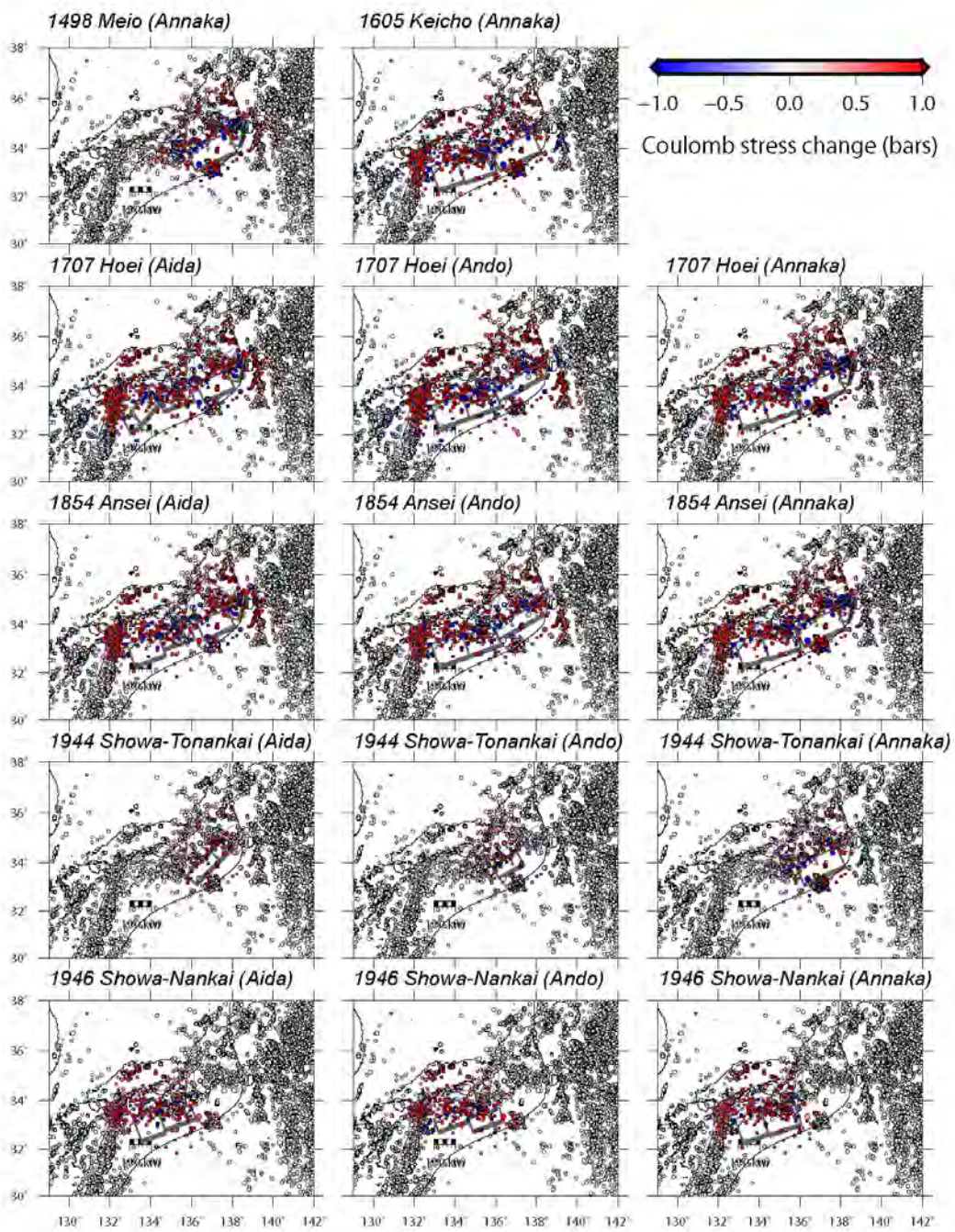


図3 地震のメカニズム解に対する南海トラフ巨大地震時のクーロン破壊応力変化

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

津波堆積物の広域年代対比に基づく北海道における 17 世紀の津波波源の高精度推定

(3) 最も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・火山噴火の災害事例の研究

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

17 世紀頃に北海道太平洋沿岸地域に來襲したとされる複数の津波について、沿岸各地に残された津波堆積物の広域年代対比から波源推定を試みる。分析に用いる試料は、北海道の内浦湾から根室にかけての地域(図 1)で採取済みのものを利用する。それぞれの試料について、高知大学海洋コア総合研究センターで CT 撮影と ITRAX を用いた非破壊元素分析から津波堆積物の認定を行う。その後、津波堆積物上下の泥炭層を用いて 14C 年代測定を実施する。年代測定は層序順にミリメートルオーダーで実施し、測定結果を事前にシミュレーションすることで効率化を図る。そして測定試料や 17 世紀後半に堆積した広域テフラとの層序関係に基づく統計処理から津波堆積物の年代を高精度で推定する。年代測定結果は各年代が持つ尤度も含めた確率密度分布で算出し、それらの結果を基に年代対比を行う。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

北海道太平洋沿岸地域の 11 地点で事前に用意した試料のうち、波源を推定する上で重要な 9 地点を選定して分析を行った。CT 画像で認められる試料の物性や Si, Sr などの海岸砂に特徴的に含まれる元素の含有率を基に津波堆積物の層準を厳密に認定した(図 2)。その後、津波堆積物の直上と直下の有機物試料を用いて 14C 年代測定を行った。また、津波堆積物直上から年代既知の広域テフラまでの層厚を計算し、堆積速度を推定した。以上の情報に基づき 14C 年代の連続測定を実施し、各地で認められる津波堆積物の堆積年代を高精度で推定した(図 3)。

その結果、十勝地方で認められる 17 世紀の津波堆積物は 17 世紀前半に形成した可能性が高いことが判明した。また得られた年代値について確率密度分布を検討すると、十勝地方の津波堆積物は 1640 年に発生した駒ヶ岳の山体崩壊に伴う津波とは対比できない可能性が高い。以上のように短期間に連続して津波が発生した場合でも、形成された津波堆積物の堆積年代を確率密度分布から検討することでどちらの津波に対比されるのかを区別できる可能性がある。このような広域年代対比法は津波堆積物を用いた津波波源の復元に大きく貢献できると考えられる。

(8) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 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：

後藤和久 東北大学災害科学国際研究所 准教授

西村裕一 北海道大学地震火山研究観測センター 准教授
横山祐典 東京大学大気海洋研究所 教授
佐竹健治 東京大学地震研究所 教授
森 信人 京都大学防災研究所 准教授
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：後藤 和久

所属：東北大学・災害科学国際研究所

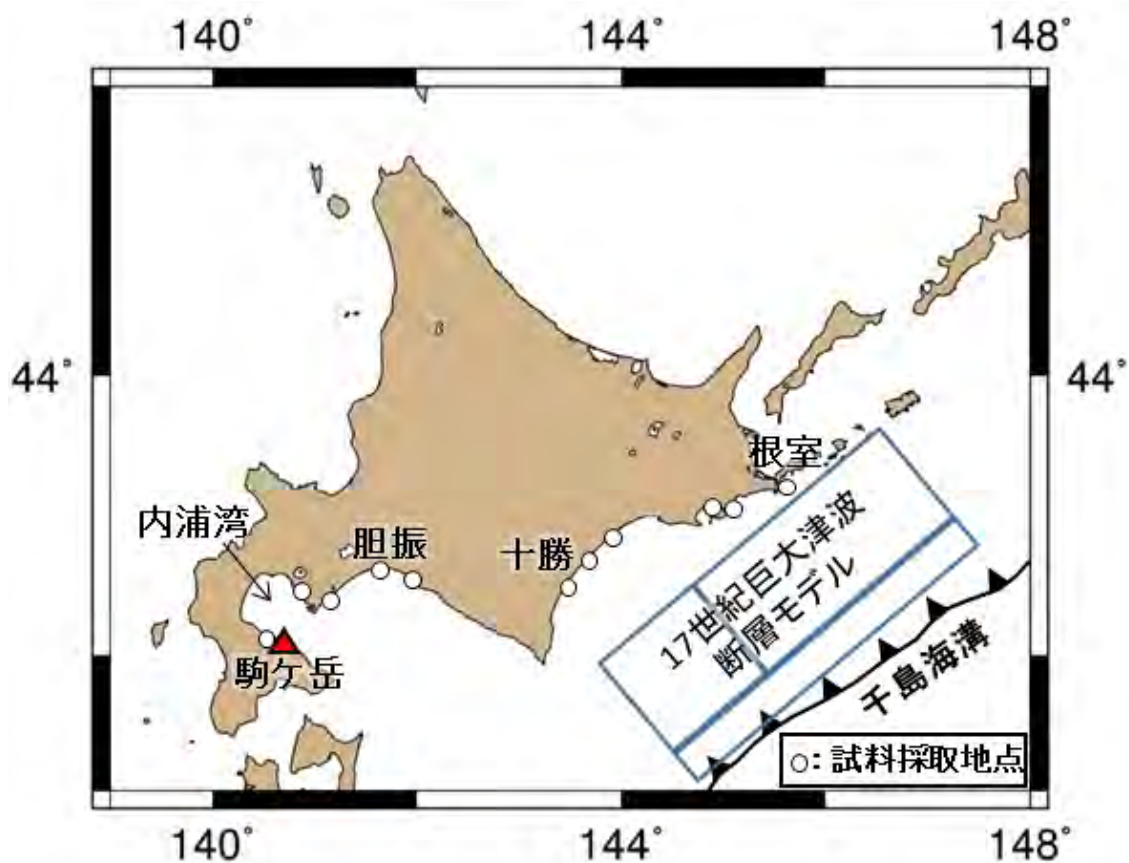


図1 分析試料の採取地点

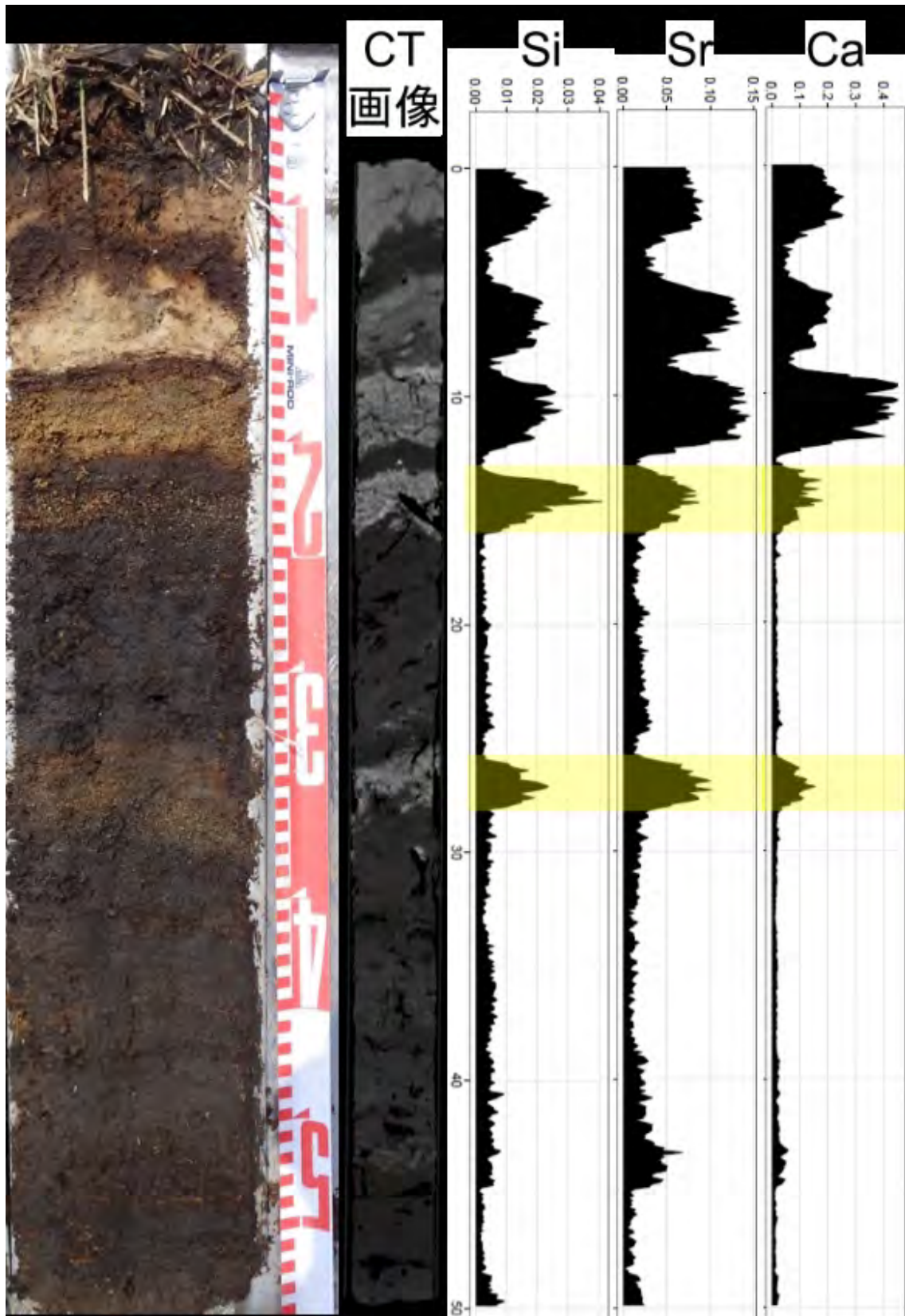


図2 浦幌町豊北における非破壊分析結果と津波堆積物の認定（黄色網掛け部）

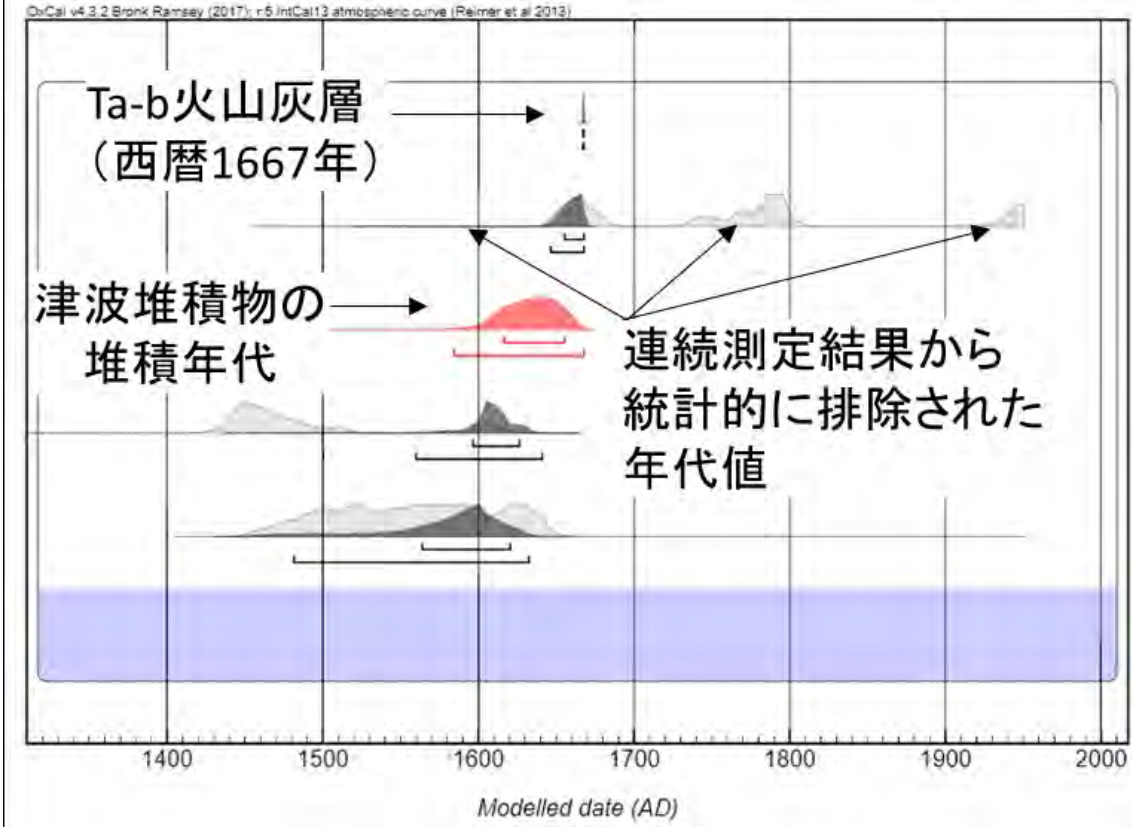


図3 浦幌町豊北における泥炭層の¹⁴C年代連続測定結果

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

被災者の心の復興～精神的苦痛の計量及びその時間推移モデルの構築～

(3) 最も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・火山噴火の災害発生機構の解明

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

被災者の日常性を早期に取り戻すための対策を展開すべく、これまで防災工学的な観点からは見逃されてきた被災者の精神的苦痛(被災したことによる心の痛み)を計量し、その時間的推移をモデル化し、対策シミュレーションにつなげることを目的とし、以下の研究計画を立案した。

(1) 計量尺度の導入：精神疾患医療分野で用いられている K6 尺度(Kessler 's Index)を応用する。

(2) 心の平常時モデル構築：国民生活基礎調査(厚生労働省)において K6 が全国で調査されている。これを平常時の精神状態モデルの基礎資料とする。

(3) 心の災害時モデルの構築：平常時の極値として災害時のモデル化を試みる(極値理論の応用)。

(4) 被災時発生インシデントの重み付け調査：被災時には様々な出来事(インシデント)が被災者を襲う。各種インシデントの重さを一対比較法により被験者より収集する。

(5) 心の時間復旧モデルの構築：上記(2)～(4)は被災直後の精神状態をモデル化するものである。その時間回復を精神疾患医療分野で行われている PTSD 調査結果を参考に、精神回復の数量モデル化を行う。

(6) モデル検証：個人のパーソナリティによる変動域を考慮し、上記の平均モデルを使い種々のインシデントに対するシナリオでシミュレーションを行う。さらに、20 年を経過した兵庫県南部地震の事例(心の復興に関する調査)や近年の地震被害をターゲットに事例調査を行い、モデルを検証する。

(7) シミュレーションによる個人の防災対策の評価：個人が行っている種々の防災対策に、本研究提案の心の復旧モデルを当てはめシミュレーションを行う。これにより、どのような対策が被災者の日常性を早く取り戻せるのかを判断する指標を与える。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

以下の成果を得た。

(1) 計量尺度の導入

精神的苦痛状態の計量尺度として精神疾患医療分野で Kessler らによって提案された K6 指標を採用する。これは 6 項目の質問からなる不安障害を判断する 4 区分測定指数であるが、本研究では定義域 [0,24] の間隔尺度と見做し確率変数として扱う。これを原変数 X とし、どのような確率分布に従うかを検証した。

(2) 心の平常時モデル構築

平常時における日本国民の心理状態を K6 指標を用いて、厚生労働省は昭和 61 年より国民生活基礎調査の中で継続調査している。年変化のないことを確認し、平成 19 年度データを用い指数分布 (CDF) を当てはめ、国民一人の平常時における心理的苦痛状態は K6 尺度を用いるとその状態確率は指数分布に従うことを確認した。

(3) 心の災害時モデル構築

地震被災時の精神的状態を、平時の状態の極限状態ととらえ、上記平常時モデルに極値理論を当てはめ定式化した。本モデルの検証として、2014 年神城断層地震の被災者調査を長野県白馬村において行い (28 事例採取)、検証データに用いた。その結果、本人負傷または家族負傷の際に受ける精神的ダメージを本モデルで説明できることを確認した。

(4) 被災時発生インシデントの重み付け調査

負傷以外のインシデント 10 項目の大きさを同様にモデル化するため、対比較法によるアンケート調査を防災講演会等の出席者 196 名に実施した。回答者全体の平均一対マトリクスを作成し固有値問題で定式化すると、得られた固有ベクトルが各インシデントの影響度として求められる。さらにインシデントの複数組み合わせによるモデル化を行い、被災時のモデルを完成させた。

(5) 心の時間復旧モデルの構築

時間経過に伴う漸次型回復と原因となるインシデント解消による問題解決型回復の 2 種類の回復モデルを考えた。

神城断層地震の調査結果を用いてモデルのパラメータを回帰し、心の回復シミュレーションが可能となった。

(6) モデル検証

阪神淡路大震災発生後 20 年を経過した被災者に対する心の復興度調査 (池埜聡：阪神大震災 20 年遺族の思い、朝日新聞 2015 年) との比較より検証を行った。

(7) シミュレーションによる個人の防災対策の評価

今回対象としたのは神城断層地震の被災者調査によるものであり、そのバラツキ (個人特性の違い) は確率モデルとして評価できたものの、その標準偏差は大きく、精神的被災度及び回復は、個人差が大きいことを意味している。しかし、その全体的傾向はモデル化が可能であり、個人に特化したパラメータを決めることにより、被災者個人の心の動きを特性化する可能性を得たと言えよう。今回の研究期間には間に合わなかったが、個人診断アンケートにより個人特性 (精神的価値観) を固有ベクトル (選好尺度) と固有値 (感度) で特定し、個人の精神被災 - 回復モデルを構築し、対策のためのシミュレーションへの道筋が開けた。

(8) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

- (1) 有吉一葉・岡田成幸・中嶋唯貴 : Kessler の心理的苦痛測定指標 (K6) による被災に伴う精神的被害の計量およびその時間推移モデルの構築 その 2 各種発生事象の K6 評価, 日本建築学会大会 (広島) 梗概集, 2017 年 9 月 3 日 .
- (2) 岡田成幸・中嶋唯貴・有吉一葉・牧紀男・纈纈一起 : 被災者の心の復興 ~ 精神的苦痛の計量及びその時間推移モデルの構築 ~ , 日本地震学会 2017 年度秋季大会予稿集, S15-07, 2017 年 10 月 26 日 .

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

岡田成幸 北海道大学・大学院工学研究院 教授
中嶋唯貴 北海道大学・大学院工学研究院 助教
牧紀男 京都大学・防災研究所 教授
纈纈一起 東京大学・地震研究所 教授
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：北海道大学大学院工学研究院
電話：(011)706-7839
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 大学院工学研究院

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震時の斜面災害軽減を目的とした地震波動伝播シミュレーションの利活用

(3) 最も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

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

地震動で斜面がどのようにして崩壊するかを理解するためには、地震時の斜面における詳細な挙動を把握する必要がある。観測ベースの地震動の理解を引き続き詳細に進めていく一方、地震波モデリングによって数値的・理論的な検証をおこなうことで、斜面における地震動の普遍的な解析手法を実現する方法を模索する。

申請者らが開発してきたコードには、浅部地盤構造研究に適した平面波入射モードやモーメント・実体力震源のどちらにも対応した Green 関数計算モードが実装されている。平成 29 年度は、これらのモードにおいてまず計算領域が数十～数百 m スケールのオーダーかつ高度に不均質な媒質に対しての問題点の洗い出しとチューニングをおこない、ローカルな地盤における波動計算が可能な状態を実現する。そのために、シミュレーション技法開発を得意とする申請者と、観測の解析結果からシミュレーションを利活用しモデリングを目指す申請者が密に連携してコードの微調整をおこない開発研究を実施する。

今年度は地震計によって震動が捉えられた斜面災害が多く発生したため、シミュレーションによる斜面崩壊のプロセスを反映した波動モデリングをテストする良好な地震波形記録が得られている。そのため、これらの記録の解析に焦点を当て、平成 30 年度に予定していた斜面崩壊の地震動の特徴の抽出およびシミュレーションコードを用いた再現を試行錯誤的におこなうことで、平成 29 年度予定のコードの改良を進めることとする。まずは現状の地震波動シミュレーションコードを用いて観測波形の再現をおこない、その類似点、相違点から問題点の洗い出しをおこなう。次に、問題点の原因を探り、コードの改良を模索する。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

1) 観測記録を利用した斜面崩壊による地震動の特徴の抽出

2017 年 5 月 19 日の長野県飯山市における土石流、2017 年 7 月 6 日の大分県日田市における大規模斜面崩壊において、それらの発生域を震源として伝播する地震動が周囲の定常観測網で記録された。本研究においては、斜面崩壊による地震動の特徴を把握するため、a) 観測点間の振幅比を用いた地震動励起源の推定、b) 地震動の特徴の抽出、c) 現地調査から推定される斜面崩壊の特徴との比較をおこ

なった。図には観測地震動記録を用いて地震動励起源を仮定したときの観測点間振幅比の再現誤差の分布を示す。土石流発生域は地震動の励起源として観測点間振幅比の再現誤差が小さくなる領域に位置したことから、観測された地震動が土石流によるものであることがうかがえた。地震動は土石流発生域から半径 70 km 圏内で検出され、100-200 秒の継続時間を持ち、卓越周波数は 0.5-3 Hz であった。同様の解析を大分県日田市の事例に対してもおこなったところ、斜面崩壊発生場所を地震動の励起源としても矛盾しない結果が得られた。また、斜面崩壊が現地調査や他の研究により土石流と地すべり性の運動の 2 回に分けて発生したことが指摘されているのに対して、地震動の記録において、約 30 秒程度の継続時間、1-4 Hz の卓越周波数を持つイベントと 50 秒程度の継続時間、0.5-2 Hz の卓越周波数を持つイベントの 2 つが検出できた。両者の解析結果を通じて、土石流や地すべり性の運動の卓越周波数、継続時間と斜面崩壊の規模との関係が明らかになった。

一方、北海道の海岸地すべりにおいては、20 時間かけて 30 m 程度移動した地すべりブロック上に設置された短周期地震計によって移動中の地震動を記録することに成功した。その記録を解析したところ、継続時間 1 秒以内の短周期イベントが 1 時間に数個以内発生したのを除き、移動に伴う顕著なシグナルは検出されなかった。このようにゆっくりと移動する地すべりは非常に滑らかにすべり、短周期信号を大きく出さないことが分かった。

2) シミュレーションによる再現とコードの改良

ローカルな地盤において申請者らが開発してきたシミュレーションコードの適用を目指すため、コードの改良と予備的な適用をおこなった。本年度はそのターゲットとして、前述した長野県飯山市における土石流による地震動の再現を実施した。観測された地震動は崩壊の継続時間や卓越周波数の情報を持っているが、地震動の伝播過程において地殻内、地球表層付近の不均質によって大きく乱され得る。そのため、地震動シミュレーションをおこなって、どのような力源モデルで地震動が再現されるかを明らかにすることが正確な斜面現象の把握にとって必須である。

既存の地下構造モデルを用いてシミュレーションをおこなったところ、初動付近の走時や地震動の伝播をうまく再現することに成功した。しかしながら、1 Hz 前後に卓越周波数を持つ表面波が観測よりも大きく計算されることが分かった。地下構造モデルなど様々な観点から考察をおこなった結果、地下構造モデルの違いによっては、対象としている周波数帯での計算結果が大きく変わることはないことがわかった。そのため、用いた地形の不均質性について検討をおこなったところ、現実の地形の短波長の揺らぎが過小評価されていることが明らかになった。

- (8) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
土井一生・前田拓人, 2018, 2017 年 5 月 19 日長野県飯山市における斜面崩壊に伴う短周期地震波形の特徴, 東大地震研共同利用「地震波形解剖学の計算科学的新展開」研究集会, 東京, 2018-03-09.
土井一生・前田拓人・釜井俊孝・王功輝, 2018, 「斜面崩壊による地震動波形の特徴と崩壊発生メカニズム - 2017 年の事例 - 」, 京都大学防災研究所研究発表講演会, 宇治, P05, 2018-02-21.
Maeda, T., S. Takemura, and T. Furumura, 2017, OpenSWPC: An open-source integrated parallel simulation code for modeling seismic wave propagation in 3D heterogeneous viscoelastic media, *Earth Planets Space*, 69, 102, doi:10.1186/s40623-017-0687-2.
Todoriki, M., T. Furumura, and T. Maeda, 2017, Effects of seawater on elongated duration of ground motion as well as variation in its amplitude for offshore earthquakes, *Geophys. J. Int.*, 208(1), 226-233, doi: 10.1093/gji/ggw388.
Toya, M., A. Kato, T. Maeda, K. Obara, T. Takeda, and K. Yamaoka, 2017, Down-dip variations in a subducting low-velocity zone linked to episodic tremor and slip: a new constraint from ScSp waves, *Scientific Reports*, 7, 2868, doi:10.1038/s41598-017-03048-6.
Morioka, H., H. Kumagai, and T. Maeda, 2017, Theoretical basis of the amplitude source location method for volcano-seismic signals, *J. Geophys. Res.*, 122, 6538-6551, doi:10.1002/2017JB013997.
土井一生・釜井俊孝・片尾浩・三浦勉, 2017, ごく近傍に設置された地震計によって捉えられた豪雨に

よる斜面崩壊 - 2013 年 9 月京都府京都市山科区における事例 - , 平成 29 年度日本応用地質学会
研究発表会, 岡山, 60, 2017-10-13.

Mukai, Y., T. Furumura and T. Maeda, 2017, Characterizing directional variations in long-period ground
motion amplifications in the Kanto Basin, Japan, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, USA, S31B-
0813, 2017-12-13.

Padhy, S., T. Furumura, and T. Maeda, 2017, Waveform anomaly caused by strong attenuation in the crust and
upper mantle in the Okinawa Trough region, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, USA, T23A-0593,
2017-12-12.

Kanaya, N., T. Maeda, K. Obara, and A. Takeo, 2017, Significant Anomalies in Seismograms for Intra-slab
Earthquakes Observed in Kanto area, Japan, and their Interpretation, AGU Fall Meeting 2017, New
Orleans, USA, S21C-0717, 2017-12-12.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

土井 一生 京都大学防災研究所 助教

前田 拓人 東京大学地震研究所 助教

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 :

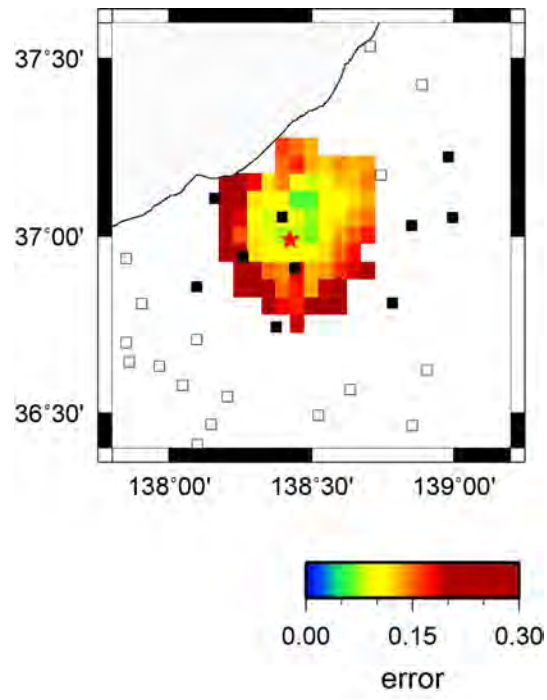
e-mail :

URL :

(11) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 土井 一生

所属 : 京都大学防災研究所



図：観測点間振幅比の再現誤差の分布。
赤色星印が土石流発生地点、黒色四角が解析に用いた観測点を表す。

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

擬似雑音弾性波を用いた火山地下構造のリアルタイム観測方式の研究

(3) 最も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

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

本研究では、桜島火山を対象として、多重化が設定可能な Huffman 系列符号で弾性波を送出し、透過波および反射波の相関出力を求め、伝搬路を推定することによって地下構造をリアルタイムで観測する方式を開発することを目的とした。研究計画は下記の通りである。

1. 装置の構成と動作確認(4月、棚田担当)

符号発生から信号検出までの信号伝送、処理系を構成し、動作を確認する。

2. 装置の性能試験(5月 6月、棚田、山本担当)

桜島火山灰地の表層部で周波数伝搬、距離減衰、伝搬速度の特性を測定する。

3. 岩盤反射実験(7月 - 8月、棚田、中道担当)

溶岩が埋没している地域で水平、斜め深さ方向への反射実験を行う。

4. 島内環境での地殻探査実験(9月 12月、棚田、中道、井口、森田担当)

マグマ、地殻の推定されている地域で深さ方向への弾性波の反射実験を行う。

5. 研究のまとめ(1月 3月、棚田、山本、中道、井口、森田担当)

実験結果を考察、評価し、研究をまとめ、学会口頭発表、論文投稿を行う。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

符号発生器、バイプレータ、地中伝送路、センサ、増幅器、フィルタ、A/D 変換器、パソコンからなる信号伝送、処理系を光ファイバリンクで制御するシステムを構成し、桜島表層部、シラス地で弾性波の伝搬実験を行い、周波数伝搬特性、距離遅延特性、距離伝搬特性を測定し、システムの基本動作を確認した。

測定時間と伝達率を考慮し搬送周波数 200Hz で距離伝搬実験を行った。地中 30cm 付近の表層部で減衰が約 2dB/m、伝搬速度が約 83m/s - 114m/s となっており、雨水の影響を受けることが確認された。そして、埋没溶岩上部数 10cm の地中 5m 付近にポアホールを設置し、距離伝搬実験を行ったところ、約 270m/s の伝搬速度が得られた。これらの実験で、表層部は火山灰土、溶岩上部付近では軽石、シラスが混合した、所謂ボラ土の特性を反映していることが裏付けられた。なお、実験計画の実施中に光ファ

イバの接続故障と、強靱ファイバへの交換に日数を要し、計画が遅れ、島内での反射実験はこれから実施する予定である。研究成果の一部は国内で開催された学会で発表した。

- (8)平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- [1] 棚田嘉博・佐藤公則・井口正人・豊平隆之,2017, 擬似雑音多重弾性波を用いた火山域の地下探査, 第 34 回センシングフォーラム資料,1B2-1,117-122.
 - [2]Tanada,Y,Sato,K,Iguchi,M and Sai,B,2017, Construction of ZCZ Huffman Sequences for Underground Multiplexing Sonar, Proc. IWSDA '17,122-126.
 - [3] 棚田嘉博・井口正人・佐藤公則・豊平隆之・田中幹也,2017, 高減衰媒質中の波動伝搬への Huffman 系列の適用, 平成 29 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会予稿集,R-17-15-09, 1-2.
 - [4] 棚田嘉博・井口正人・山本圭吾・中道治久・森田裕一,2017,Huffman 系列を用いた火山域の弾性波地中探査システム, 平成 29 年度計測自動制御学会九州支部大会予稿集、101A5,11-14.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

(代表者名)

棚田 嘉博 京都大学防災研究所 非常勤研究員

(担当教員名)

山本 圭吾 京都大学防災研究所 助教

中道 治久 京都大学防災研究所 准教授

井口 正人 京都大学防災研究所 教授

森田 裕一 東京大学地震研究所 教授

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 : 京都大学防災研究所

電話 : 099-293-2058

e-mail : tanada.yoshihiro.2m@kyoto-u.ac.jp

URL : <http://www.svo.dpri.kyoto-u.ac.jp/default.html>

(11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 棚田 嘉博

所属 : 京都大学防災研究所

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

南海トラフ巨大地震に対する山地斜面の崩壊危険度予測の高度化と減災のためのハザードマップ作成

(3) 最も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の事前評価手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

申請者は、昨年、[ダム湖に隣接する地すべり土塊の南海トラフ巨大地震に対する危険度評価と斜面の不安定土塊の位置検出法の開発・高度化]によって、詳細数値地形図(1mDEM)を用いた侵食様式・量の時間的変化を把握する方法を開発した。これは、これまで地震後に崩壊・地すべりが生じた箇所の地形的・地質的な特徴を、発生後に定性的な記述を行うのみで、事前に定量的予測をしないこれまでの方法とは大きく異なる。

申請者が開発した手法は、研究対象地域の風屋ダム周辺の、既往の地すべり土塊、写真判読では読み取れない既往の地すべり土塊、また、地質区分によらない圧縮応力によって出現した複数の尾根上に存在する線状の断層構造を容易に抽出・特定することが可能とした。この手法を用いて、2016 熊本地震の阿蘇大橋を破壊した巨大斜面崩壊に適応したところ、斜面崩壊時に移動した土塊は、斜面上の最も高い位置に存在し、これまで豪雨などによって侵食をうけていない谷に存在する不安定土塊であることが判明した。

この手法では、強震動によって斜面に出現した亀裂群、平坦地に出現した地表地震断層も抽出することが可能であることが明らかになっている。熊本地震では、斜面の亀裂は、斜面の支流(Subbasin)の流域界付近に生じていることが判明した。

この研究手法を、南海トラフ巨大地震による強震動が及ぶと考えられる紀伊半島熊野川流域(付加体)に適用して斜面上の不安定土塊を抽出・特定する。研究対象地域は、熊野川中流域の風屋ダム周辺とそのさらに上流の猿谷ダム周辺である。それらが崩壊した場合の被害想定、特に、予測移動範囲を特定する。そして、この不安定土塊の存在位置、被害想定範囲を社会的インフラなどとともにハザードマップに示す。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

キーワード：2016 年熊本地震、詳細数値地形図、斜面崩壊発生位置、斜面不安定土塊、事前検出
2016 年 4 月に発生した熊本地震を対象に、熊本県と国土交通省九州地方整備局より提供された詳細数値地形図を用いて、地震によって崩壊が発生した箇所の範囲・どの部分から崩壊が発生したかなどの検討を行った。これには、申請者が、平成 30 年 1 月 22 日に特許出願した土砂災害予測基本図の手法

を用いた。ある範囲に同じような地振動が加わった場合、たとえば阿蘇の外輪山（阿蘇大橋を破壊した崩壊など）と傾斜の小さい火山灰層を互層として含む地域（京大火山研究所付近）を比較した。一部の報告では、前者は、重力変形をおこしていたこと、後者は、火山灰に含まれる物質によるとされているが、共通の地形的特徴を有することが明らかになった。また、前出手法では、土塊の移動経路を把握する事が可能であった。このことは、崩壊の初期段階で、土塊がどのように運動していたのかを検討することができるという利点を有する。（図1，図2）

また、これらの手法を用いて、南海トラフの巨大地震に対して、崩壊の危険性の大きい箇所の抽出特定を、紀伊半島の四万十帯に位置する風屋ダム周辺で実施した結果、斜面に存在する崩壊危険度の高い箇所を特定することができた。（図3）

図1．巨大崩壊発生後の同手法適用結果 赤枠：崩壊範囲、生じた斜面亀裂 崩壊前後の標高差分から斜面上部の変化が大きく、ここが崩壊の端緒であることがわかる。暖色系：侵食域、寒色系：堆積域

図2．（上）京大火山研究所周辺の地震前の斜面の不安定土塊の位置を抽出、○は、地震での地形変化。（下）同地域の地震後の空中写真をもとに作成した地形変化を示す。

図3．風屋ダム周辺の地質図と危険箇所特定用情報を重ねて示す。

図4．地震による崩壊危険度の高い箇所（矢印で示す）

（8）平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
巨大地震に対する山地斜面の崩壊危険度予測と減災のためのハザードマップ作成、2018、京都大学防災研究所年次講演会、A37

（9）実施機関の参加者氏名または部署等名：

齊藤隆志 京都大学・防災研究所 助教

中屋志津男 白浜試錘 顧問

佐藤比呂志 東京大学・地震研究所 教授

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：齊藤 隆志

所属：京都大学・防災研究所

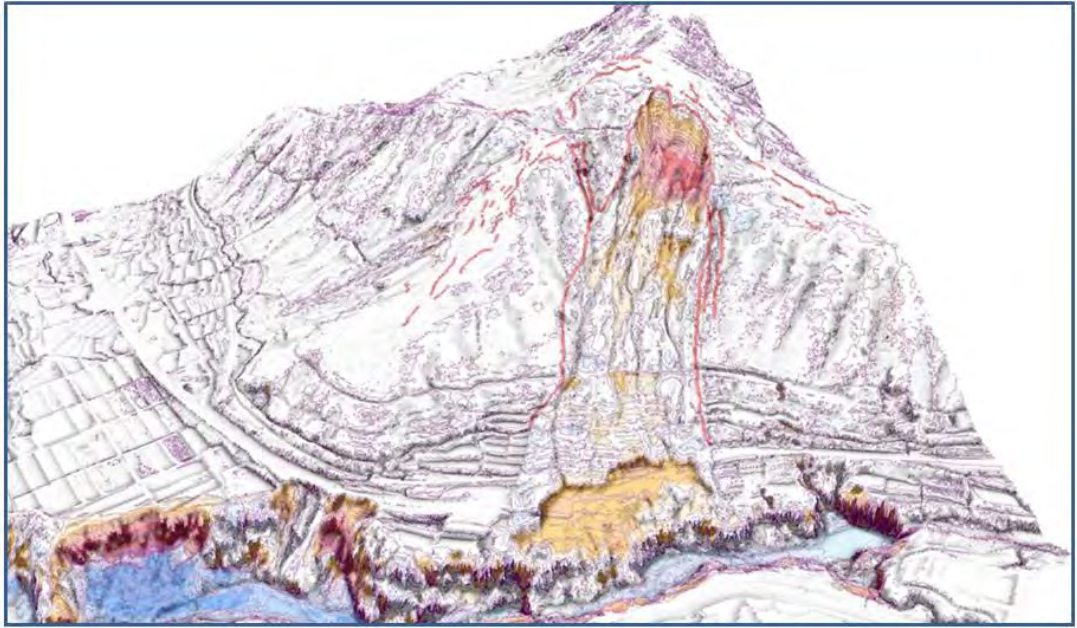


图 1

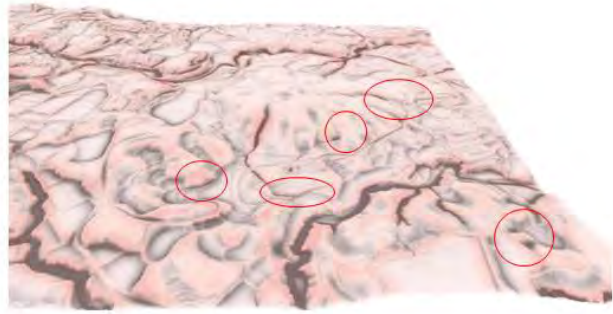


图 2

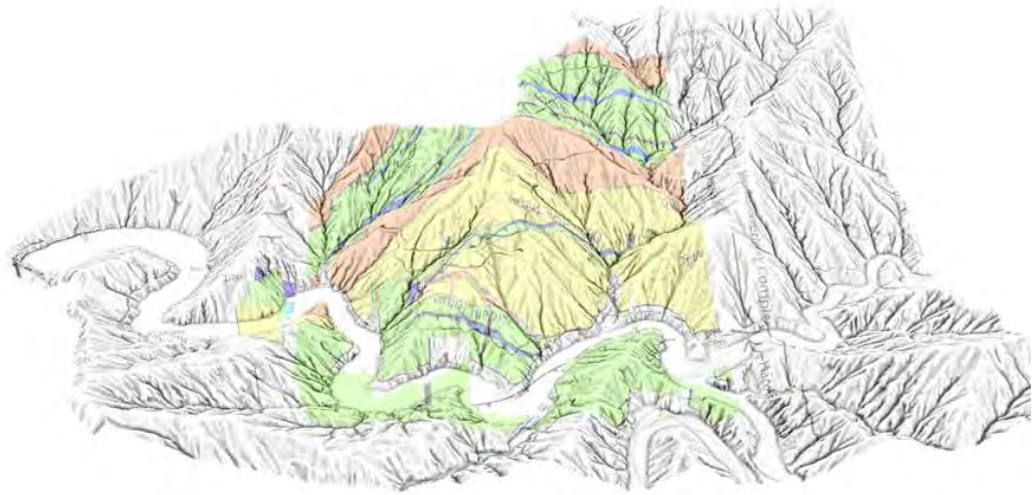


图 3



图 4

(1) 実施機関名：

拠点間連携研究

(2) 研究課題(または観測項目)名：

歴史資料に基づく海岸・河川地形の復元による災害研究手法の構築

(3) 最も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

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 平成 29 年度の計画の概要：

近年、全国で多発する自然災害、2011 年の東日本大震災をはじめ、2015 年 9 月の関東・東北豪雨における茨城県・宮城県での河川氾濫、2016 年 8 月の台風 10 号による岩手県岩泉町での河川氾濫の歳、被災地域の過去の地形や歴史災害への着目される機会が多い。2011 年の東日本大震災をはじめ、2015 年 9 月の関東・東北豪雨における茨城県・宮城県での河川氾濫、2016 年 8 月の台風 10 号による岩手県岩泉町での河川氾濫では、事前の防災計画では把握されていなかった被害、いわゆる想定外の被害が多数発生した。その要因のひとつには、近現代に建築された堤防や防潮堤といった防災設備や、河川改修や護岸工事によって人工改変された地形を前提として防災計画が立案されていたことが考えられる。自然災害時における想定外の被害を減少させるためには、今日の人工改変以前の地形の様子を、各種歴史資料に基づいて復元した歴史地形から分析する必要がある。

本研究では、近年の東日本大震災や豪雨災害などで被害が集中する東北地方において、古地図・古絵図を収集・活用した海岸線・主要河川を中心とする歴史地形の汎用的な復元手法を確立する。

(7) 平成 29 年度の成果の概要：

本研究においては、2016 年 8 月に台風 10 号で多数の死者を出した岩泉村乙茂地区について、当時の災害の様子と古地図からの地形復元を実施した。現地調査で当時の水害を体験した住民に聞き取りをした所、乙茂地区には集落南部を流れる小本川とは反対方向から濁流が押し寄せたと証言している。

地形復元については、まず 2015 年段階の乙茂地区の地形を復元した後(図 1 参照)、陸地測量部が作成した大正 6 年(1917)段階の絵図から当時の地形を復元した(図 2 参照)が、?と?ではほぼ地形の変遷はみられなかった。一方、明治 8 年(1874)に作成された岩手県立図書館所蔵「乙茂村地引絵図」をみると、小本川流域はいくつもの水路に別れていることが確認できる(図 3 参照)。これらのことから、2016 年に発生した豪雨災害について、増水して小本川を溢れた水が、開発以前の自然地形に沿って乙茂集落へと流れ込んだ可能性が指摘できる。

(8) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 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：

蝦名裕一 東北大学災害科学国際研究所 准教授

森口周二 東北大学災害科学国際研究所 准教授
呉修一 富山県立大学工学部 准教授
菅原大助 ふじのくに地球環境史ミュージアム 准教授
岡田真介 東北大学災害科学国際研究所 技術研究員
西山 昭仁 東京大学地震研究所 助教
加納 靖之 京都大学防災研究所 助教
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：

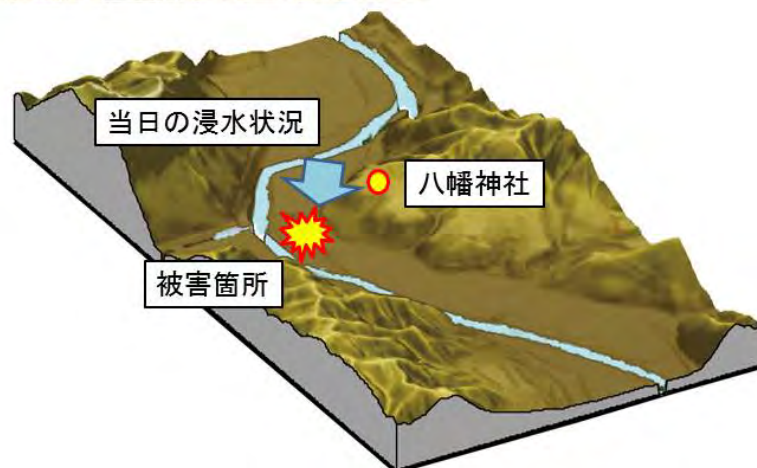
e-mail：

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

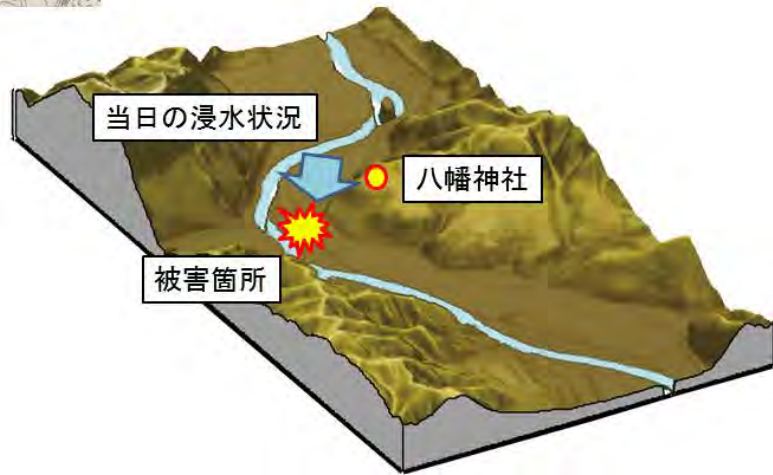
所属：東北大学災害科学国際研究所



2015年段階の乙茂地区の地形



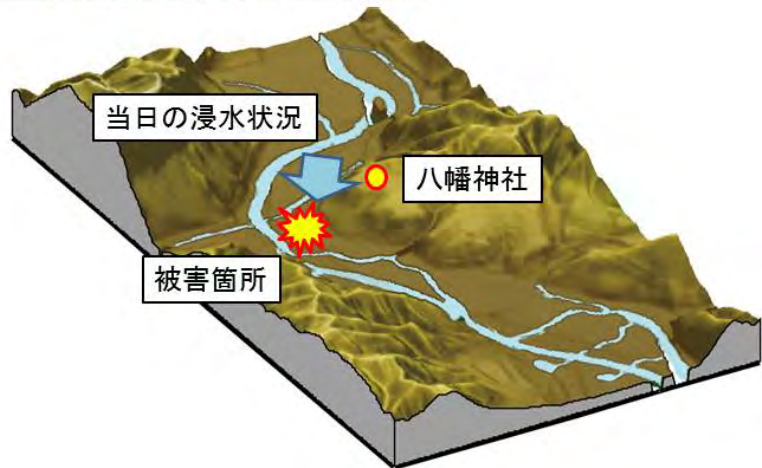
大正6年(1917)
陸地測量部作成
5万分の1地形図



大正6年(1917)段階の乙茂地区の地形



明治8年(1875)
乙茂村地引絵図
(岩手県図書館蔵)



明治8年(1874) 段階の乙茂地区の地形

(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) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(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

(4) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 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。

(7) 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。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

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おこない、発震位置と最終的な地震の規模との関係を調査した。防災科学技術研究所(以下、防災科研)が過去に掘削・回収したボーリングコアのコア形状を計測し、コア変形法を適用して原位置の水平面最大・最小主応力を推定した。

防災科研が所有する大型振動台を利用した岩石摩擦実験の歪みデータを解析し、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た。その結果、載荷速度が大きくなるにつれて震源核の時空間サイズが減少し、より不安定で高速な破壊が励起されることを明らかにした。また、断層が粗くなるにつれ前駆的スロースリップが始まる時間及び場所の再現性が低下していき、断層面の粗さが初期及び主破壊過程に大きく影響することを確認した。さらに、比較的幅の広い(0.5 m)断層面に埋め込んだ歪みゲージデータを解析し、2次元的な核形成を観察することに成功した。この観察により、破壊が始まる位置がその後の成長過程に大きく影響を及ぼすこと、従来の様な断層端での1次元的な測定アレイではその様な2次元的な破壊過程が完全には把握できないことが示された。

海域観測記録を適切に利用し巨大地震による津波発生・伝播シナリオを構築するため、独自の固液複合波動場計算と高解像度浸水計算とを組み合わせる技術開発を行った。また、線形破壊力学に基づく動的シミュレーションを実施し、断層帯周辺に生じる亀裂の生成条件を調査・整理した。この結果を基に実際の野外調査で観察された亀裂分布を解釈することで、過去の地震時の破壊過程を推定できる可能性がある。

運用している SWIFT-TSUNAMI システムの対象地域(インドネシア・フィリピン・チリ)に中南米地域を追加した。巨大地震のマグニチュードと破壊継続時間等のスケーリング則を改良するため、SWIFT-TSUNAMI システムで解析した地震のカタログを基に、地震モーメントと継続時間の関係性を調査した。ボゴタ盆地(コロンビア)の速度構造モデルを構築するため、微動アレイ観測(183箇所)及び単点微動観測(380箇所)を行い、盆地の3次元速度構造の初期モデルを作成した。その結果、盆地の最も深い地震基盤は深さ3~4 kmと推定された。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Fukuyama, E., F. Yamashita, and K. Mizoguchi, 2017, Voids and rock friction at subseismic slip velocity, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-017-1728-2.

Fukuyama, E., K. Tsuchida, H. Kawakata, F. Yamashita, K. Mizoguchi and S. Xu, 2018, Spatiotemporal complexity of 2-D rupture nucleation process observed by direct monitoring during large-scale biaxial rock friction experiments, *Tectonophysics - Special Issue "Physics of Earthquake Rupture Propagation"*, doi:10.1016/j.tecto.2017.12.023.

Noda, A., T. Takahama, T. Kawasato, M. Matsu 'ura, 2018, Interpretation of offshore crustal movements following the 2011 Tohoku-Oki earthquake by the combined effect of afterslip and viscoelastic stress relaxation, *Pure Appl. Geophys.*, doi: 10.1007/s00024-017-1682-z.

Urata, Y., K. Yoshida, E. Fukuyama, and H. Kubo, 2017, 3-D dynamic rupture simulations of the 2016 Kumamoto, Japan, earthquake, *Earth, Planets and Space*, **69**, 150, doi: 10.1186/s40623-017-0733-0.

Urata, Y., F. Yamashita, E. Fukuyama, H. Noda, and K. Mizoguchi, 2017, Apparent dependence of rate- and state-dependent friction parameters on loading velocity and cumulative displacement inferred from large-scale biaxial friction experiments, *Pure Appl. Geophys.*, **174**, 2217-2237, doi:10.1007/s00024-016-1422-9.

Saito T., 2017, Tsunami generation: validity and limitations of conventional theories. *Geophys. J. Int.*, **210**(3), 1888-1900, <https://doi.org/10.1093/gji/ggx275>.

- Xu, S., E. Fukuyama, F. Yamashita, K. Mizoguchi, S. Takizawa and H. Kawakata, 2018, Strain rate effect on fault slip and rupture evolution: Insight from meter-scale rock friction experiments, *Tectonophysics - Special Issue "Physics of Earthquake Rupture Propagation"*, doi:10.1016/j.tecto.2017.11.039.
- Xu, S. and Y. Ben-Zion, 2017, Theoretical constraints on dynamic pulverization of fault zone rocks, *Geophys. J. Int.*, **209**(1), 282-296, doi:10.1093/gji/ggx033.
- Yamashita, F., E. Fukuyama, S. Xu, K. Mizoguchi, H. Kawakata and S. Takizawa, 2018, Rupture preparation process controlled by surface roughness on meter-scale laboratory fault, *Tectonophysics - Special Issue "Physics of Earthquake Rupture Propagation"*, doi:10.1016/j.tecto.2018.01.034.
- Aldam, M., S. Xu, E.A. Brener, Y. Ben-Zion and E. Bouchbinder, 2017, Non-monotonicity of the frictional bimaterial effect, *J. Geophys. Res.*, **122**(10), 8270-8284, doi:10.1002/2017JB014665.
- Emoto, K., T. Saito and K. Shiomi, 2017, Statistical parameters of random heterogeneity estimated by analysing coda waves based on finite difference method. *Geophys. J. Int.*, **211**(3), 1575-1584.
- Heidarzadeh, M., S. Murotani, K. Satake, T. Takagawa, and T. Saito, 2017, Fault size and depth extent of the Ecuador earthquake (Mw 7.8) of 16 April 2016 from teleseismic and tsunami data, *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1002/2017GL072545.
- Kaneko Y., E. Fukuyama and I. J. Hamling, 2017, Slip-weakening distance and energy budget inferred from near-fault ground deformation during the 2016 Mw7.8 Kaikūra earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, **44**, doi:10.1002/2017GL073681.
- Kubota, T., T. Saito, W. Suzuki and R. Hino, 2017, Estimation of seismic centroid moment tensor using ocean bottom pressure gauges as seismometers. *Geophysical Research Letters*, **44**, 10,907-10,915. doi: 10.1002/2017GL075386
- McLaskey, G. and F. Yamashita, 2017, Slow and fast ruptures on a laboratory fault controlled by loading characteristics, *J. Geophys. Res.*, **122**, 3719-3738.
- Riaño A.C., J. C. Reyes, L. E. Yamin, J. S. Montejo, J. L. Bustamante, J. Bielak, N. Pulido, C. E. Molano, and A. Huguett, 2017, Development of a first 3D crustal velocity model for the region of Bogotá, Colombia, *Ingeniería e Investigaciones*, **37** (2), 42-51.
- Takemura, S., K. Shiomi and T. Saito, 2017, Sequence of deep-focus earthquakes beneath the Bonin Islands identified by the NIED nationwide dense seismic networks Hi-net and F-net, *Earth, Planets and Space* **69**: 38. doi:10.1186/s40623-017-0625-3
- Yukutake, Y., R. Honda, M. Harada, R. Doke, T. Saito, T. Ueno, S. Sakai and Y. Morita, 2017, Analyzing the continuous volcanic tremors detected during the 2015 phreatic eruption of the Hakone volcano. *Earth, Planets and Space*, **69**: 1, 164.
- Yoshida, K., T. Saito, Y. Urata, Y. Asano and A. Hasegawa, 2017, Temporal changes in stress drop, frictional strength, and earthquake size distribution in the 2011 Yamagata-Fukushima, NE Japan, earthquake swarm, caused by fluid migration, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, doi:10.1002/2017JB014334.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

拡充された測地データと粘性緩和効果とを取り入れたプレート間固着分布推定手法の開発を進め、南海トラフの応力分布モデルを作成する。過去に採取したボーリングコアを用いてコア変形法による原位置における応力値推定を進める。四国西部で推定された比抵抗構造変化に関し定性モデルの構築に取り組む。長大な岩石試料を用いた摩擦実験を実施し実スケールに近い環境での摩擦パラメータの推定を試みる。大型振動台を用いて既存ガウジ層を含む摩擦実験を実施する。推定した南海トラフ応力分布モデルを基に巨大地震の破壊過程を再現し、基本シナリオを作成する。世界の過去の M7 以上の地震を対象に、SWIFT-TSUNAMI システムを用いて震源メカニズムパラメータ推定及び津波シミュレーションを実施し、統一的なデータベースの構築を進める。ナスカプレートのカップリング等、歴史被害地震の情報などに基づいてコロンビアの大地震シナリオの構築を行い、ボゴタ盆地の強震動予

測を行う。

(11) 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 : 有

立命館大学

名古屋大学

電力中央研究所

インドネシア気象気候地球物理庁

フィリピン地震火山研究所

コロンビア地質調査所

(12) 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

URL : <http://www.bosai.go.jp/index.html>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 山下太

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：

基盤地震観測等データのモニタリングによる地殻活動の理解と予測技術の開発

(3) 最も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) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(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・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

ウ. 内陸地震と火山噴火

(4) 地震現象のモデル化

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

(2) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

ウ. 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活動予測

4. 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 本課題の5か年の到達目標 :

基盤的地震・津波観測網により得られる海陸統合のデータに加えて、海外を含む様々な機関のデータや必要に応じてそれらを補完する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、地震及び津波に係る防災・減災に貢献することを目指す。とくに、基盤的地震・津波観測網等より得られるデータのモニタリング研究より、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。

(7) 本課題の5か年計画の概要 :

基盤的地震・津波観測網および必要に応じて行われる機動的な調査観測、国内外の機関より得られるデータから、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、断層モデルの推定等を行い、その活動状況を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随時作成する。とくに、地震や、低周波地震、スロースリップイベント等のカタログから得られる、プレートの固着や応力の状況、地震発生域周辺における構造等の情報は、地震発生の長期評価に資する可能性が考えられる。そのため、これらのモニタリングおよび解析手法の開発を進めるとともに、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」)とも協力し、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。本課題による成果については、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される。なお、本課題は防災科学技術研究所の中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部として実施される。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

成果の概要としてとくに、南西諸島で発生する超低周波地震、南海トラフで発生するスロースリップイベント、深発地震による地震動、2016年4月1日の三重県南東沖の地震、地震活動と活断層に関する研究成果について以下報告する。

超低周波地震活動が比較的活発とされながらも、観測点密度が疎であるために詳細が明らかではない南西諸島について、新学術領域研究「スロー地震学」との連携によって、南西諸島に臨時の広帯域地震観測点を2点設置した。超低周波地震と通常地震を識別する手法として、スペクトル比を用いて卓越周波数を推定する方法を検討した。超低周波地震の卓越周波数については、広い帯域のデータが利用可能である場合に比較的良好な結果が得られた。

地球潮汐の影響を取り入れたスロースリップイベント(SSE)の数値シミュレーション研究を科研費新学術領域研究「スロー地震学」との連携によって行った。本年度はとくに短期的SSEの繰り返し発生挙動に関する研究を実施した。SSEの数値モデリングにおいては、カットオフ速度を考慮したすべり速度・状態依存摩擦則を仮定し、SSE領域で低い有効法線応力を仮定するなど Matsuzawa et al. (2010, 2013)と同様の方法を採用した。平板モデルおよび四国地域の3次元のプレート沈み込み形状を仮定したモデルともに、周辺域でのすべりが発生した後は、短期的SSEの繰り返し発生が一時的にみられなくなるが、潮汐の導入により早くSSEの繰り返し発生がみられるようになった。潮汐は周辺域のすべりによる応力擾乱に対し、短期的SSEの繰り返し発生を安定化させる役割をもつ可能性を示唆する。また、主要10分潮のうち、数kPa程度の振幅をもつM2分潮だけや、さらに2桁程度小さいMf分潮の場合にも同様な影響がみられ、小さな振幅の擾乱であっても繰り返し挙動の議論には重要となる可能性が示された。

2015年6月23日に連続発生した深発地震の大きさと規模をHi-netを用いた振幅モニタリングにより推定した。2分間にM6クラスの深発地震が3発連続で発生しており、このような場合に、深発地震の波動伝播特性とHi-netで得られた高周波数地震動を用いることが有用であることを示した。

2016年4月1日に三重県南東沖で発生したM6.5の地震について、3次元地下構造を考慮したモーメントテンソルインバージョンを行った。1次元構造を用いたF-net MTカタログやGCMTではメカニズムや深さにより海洋性地殻内の地震と示唆されたが、3次元構造を考慮するとプレート境界付近に

低角逆断層が最適解として推定された。海域の地震では、3次元不均質構造を考慮することが重要であることを示した。

Hi-netによる地震カタログにもとづき、活断層と地震活動の関係性を評価した。地震と活断層の累積断層長はおおむね弱い相関を示すが、対応には地域性がみられた。また、規模の大きい地震(M6.0以上)の地震の位置は、活断層分布と良い相関を示す。

上記以外にも、地殻活動のモニタリングを定常的に行っている。その結果は、地震調査委員会や地震予知連絡会等に随時提供されている。

(9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Takemura, S., K. Shiomi, T. Kimura, and T. Saito (2016), Systematic difference between first-motion and waveform-inversion solutions for shallow offshore earthquakes due to a low-angle dipping slab, Earth Planet Space, 68, 149, doi: 10.1186/s40623-016-0527-9.

防災科学技術研究所(2017), 日本周辺における浅部超低周波地震活動(2016年11月~2017年5月), 地震予知連絡会会報, 98, 5-7.

防災科学技術研究所(2017), 西南日本における深部低周波微動活動(2016年11月~2017年4月), 地震予知連絡会会報, 98, 343-348.

防災科学技術研究所(2017), 西南日本における短期的スロースリップイベント(2016年11月~2017年4月), 地震予知連絡会会報, 98, 354-359.

防災科学技術研究所(2018), 日本周辺における浅部超低周波地震活動(2017年5月~10月), 地震予知連絡会会報, 99, 印刷中.

防災科学技術研究所(2018), 西南日本における深部低周波微動活動(2017年5月~2017年10月), 地震予知連絡会会報, 99, 印刷中.

防災科学技術研究所(2018), 西南日本における短期的スロースリップイベント(2017年5月~2017年10月), 地震予知連絡会会報, 99, 印刷中.

(10) 平成30年度実施計画の概要 :

基盤的地震・津波観測網および必要に応じて行われる機動的な調査観測、国内外の機関より得られるデータから、地震やスロー地震についてその活動状況をモニタリングし、適宜解析を実施することで多様な情報からなる地震カタログを随時作成する。また、これらのモニタリングおよび解析手法の開発を進めるとともに、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。本課題による成果については、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する。

(11) 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

(12) 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 : 029-851-1611
e-mail : toiwase@bosai.go.jp
URL : <http://www.bosai.go.jp/index.html>

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 松澤孝紀
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：

噴火予測システムの開発に関する研究

(3) 最も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) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(4) その他関連する建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 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。

(7) 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計画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。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

1 . 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

阿蘇山を主な対象として研究を進めた。V-net 及び 19 か所の補助観測点等の既存の観測網のデータ、それを補完する機動的な調査観測等のデータを活用し、噴火や地下のマグマの活動等に関連する現象を捉える技術を開発した。

2 . 火山リモートセンシング技術の開発研究

地上設置型レーダー干渉計観測データ自動処理システムへの時系列解析手法の組み込み、ARTS-SE のカメラセンサデータの処理手法の開発 (赤外データの SfM/MVS 技術を開発、火成岩の赤外分光放射率計測)、望遠画像分光装置 (紫外可視域) 装置のセンサ部開発を実施した。

3 . 噴火・災害ポテンシャル評価のためのモデリング研究

阿蘇山を対象に火山灰画像データの取得、阿蘇山と三宅島を対象に火山噴出物の解析、火山泥流の室内実験、阿蘇山を対象とした噴火ポテンシャル評価のための地震・火山噴火連動性評価を進めた。

4 . 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

火山災害に関わるステークホルダー (火山の専門家と非専門家 (住民、自治体、観光客、登山客、マスコミ)) の内、非専門家を対象とした周知啓発活動・アウトリーチ活動を実施した。火山地域における情報発信のあり方について近年発生した噴火を対象に調査を行い、ステークホルダー間で検討を行った。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

1 . 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

引き続き、阿蘇山を主な対象として研究を進める。また、前回の噴火から 3 2 年経過し、噴火が懸念される伊豆大島を主な対象に加え、機動観測を実施し、火山体の地下構造、地下のマグマの活動を捉える技術開発を進める。また、水蒸気噴火発生場のモデル化を進める。

2 . 火山リモートセンシング技術の開発研究

地上設置型レーダー干渉計の解析において、気象観測データに基づいて大気遅延誤差を軽減するアルゴリズムを開発する。ARTS-SE のデータの処理手法の開発 (スキャナ、カメラセンサ融合解析技術開発、火成岩の赤外分光放射率計測) および望遠画像分光装置 (紫外可視域) フィールド用装置開発を行う。

ARTS-SE 試験観測 (箱根) を実施する。

3 . 噴火・災害ポテンシャル評価のためのモデリング研究

伊豆大島を対象として、物質科学分析・実験から噴火過程のモデル化を行う。また、泥流・土石流シミュレーションを開始する。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を設計する。水蒸気噴火の発生メカニズム解明に関する研究に着手する。

4 . 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

火山専門家と火山周辺自治体 (H30 年度は伊豆大島と十勝岳を想定) を対象としたヒアリング調査を実施する。全国の火山周辺自治体を対象とした防災訓練・研修に関する実態調査を実施する。全国で配布されている火山災害・火山防災に係るテキストの情報を収集する。降灰による車の通行への影響評価実験に係る実験計画の策定に着手する。

(11) 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

(12) 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：029-851-1611

e-mail：toiawase@bosai.go.jp

URL：http://www.bosai.go.jp/index.html

(13) 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：防災科学技術研究所 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：

基盤的地震・火山観測網の整備・維持及び超大容量の地震・火山観測データの効率的流通システムの構築

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 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：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

日本列島周辺で発生する地震現象の予測精度を向上させるためには、現在発生している現象を適確に把握し、モデル構築等に有効な観測データを提供することが不可欠である。より詳細な微小地震活動は、全てのモデルの基礎データとなり得るものである。したがって、地震調査研究推進本部の地震調査研究に関する総合基本施策及び調査観測計画を踏まえて、陸域の地震観測網(高感度地震観測網、広帯域地震観測網、強震観測網等)と海域の地震観測網(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))を一元化した海陸の基盤的地震観測網の安定的運用を行うとともに、関連施設の更新を図る。また、「今後の大学等における火山観測研究の当面の進め方について」(平成 20 年 12 月、科学技術・学術審議会測地学分科会火山部会)及び「御嶽山の噴火を踏まえた火山観測研究の課題と対応について」(平成 26 年 11 月、科学技術・学術審議会測地学分科会地震火山部会)に基づき、重点的に強化すべき火山について観測施設の整備・運用を推進する。観測データの

関係機関との共有や利用促進を図り、国内外の関係機関における研究、業務遂行や我が国の地震・津波及び火山に関する調査研究の進展に貢献する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

防災科学技術研究所は、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・津波観測網を安定的に運用するとともに、さらに日本海溝海底地震津波観測網の整備を行う。

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・運用を行う。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する。

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、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する。地震・火山観測網により得られたデータは定期的に蓄積し、波形データベースを構築する。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」を構築する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

防災科学技術研究所(防災科研)は、高感度地震観測網(Hi-net)・広帯域観測網(F-net)・強震観測網(KiK-net, K-NET)の陸域の基盤的地震観測網を安定的に運用している。これらの良質な地震等の観測データの流通を図り、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した。さらに日本海溝海底地震津波観測網(S-net)の日本海溝軸外側の25観測点の試験運用を開始し、気象庁へのデータ配信も開始した。これにより、S-netは全150観測点での試験運用並びに気象庁へのデータ配信が行われることとなった。平成28年度に海洋研究開発機構から移管された地震・津波観測監視システム(DONET)については防災科研つくば本所のデータセンターにて、波形の蓄積、品質確認を行う体制を整えた。観測網の機能を向上させるため昨年度から引き続き残り9点の地震計筐体の埋設作業を実施し、埋設作業を完了させた。データの品質確認を行った後、DONET2の強震計及び広帯域地震計の観測データについても地震観測網データダウンロードページより公開を開始した。これらを併せて、陸海統合地震火山津波観測網(MOWALS)統合処理体制の基盤を構築するとともに、今後の利活用を発展させる準備を整えた。さらに、東京大学地震研究所により整備された首都圏地震観測網(MeSO-net)が平成29年4月1日から防災科研に移管され、運用を開始している。

重点的に観測を強化すべき火山に整備した基盤的火山観測網(V-net)について、故障、老朽化した観測機器の更新を行い安定運用に努め、観測データの大学や気象庁への流通を図り、関係機関の研究や火山監視業務等に貢献した。

これらの防災科研の地震・火山観測網及び大学・気象庁等の関係機関により得られた波形データを定期的に蓄積し、防災科研のホームページから公開している。

海底地震津波観測網であるDONET及びS-netの特性を最大限活かして、海域で発生した地震と地震に伴って発生した津波に関して調査研究を行った。海溝軸外側の25観測点を自動震源決定処理に加えたことにより、宮城県沖の海溝軸外側で発生している地震の震源を自動で決定できること、他の海域においても多くの震源を自動で決定できていることを確認した。

9月8日13時49分(日本時間)にM8.1の地震がメキシコ沖で発生し、S-netとDONETの水圧観測点で津波を捉えた。津波は地震発生からおよそ14.5?16.5時間後に到達し、各観測点で観測された津波高は最大でも2cm程度であった。一方で、水深が異なる広域に敷設されているS-netによって、津波が浅部で増幅される効果が確認できた。

2011年東北地方太平洋沖地震に関連して沖合で発生したMw7.2の地震について、海域に設置された海底圧力計が捉えた地震動に起因する短周期な圧力変動成分を用いてセントロイドの水平位置を精度よく推定した(Kubota et al., 2017)。この研究は、S-netやDONETのような海底圧力計の記録は、津

波計としてだけでなく、「震源域近傍で得られた地震動記録」としても沿岸から遠く離れた沖合の地震の震源過程の解析に活用できることを示している。

DONET2 を用いた震源情報の蓄積が進み、潮岬沖から室戸岬沖にかけての紀伊水道沖の震源分布が明らかになってきた。土佐ばえの下には紀南海山列に属する海山が沈み込んでいることが分かっているが、その海山を囲むように震源が分布し、特に北側の室戸トラフ下は相対的に地震活動が活発である。また、潮岬海底谷周辺では 10² 以下の浅発地震が発生している (Takahashi et al., 2017)。

鉄道の地震防災対策へ活用することを目的とした相互協力協定を関係機関と締結し、11 月より房総沖の海域の S-net データの実配信を開始した。また自治体における S-net 観測データの利活用の検証のため、相互協力協定を締結している千葉県へのデータ配信と可視化を開始した。DONET を用いた即時津波予測システムの構築を海洋研究開発機構と連携して進め、すでに和歌山県、三重県、中部電力、尾鷲市に実装してきた。複雑な地形を持つ瀬戸内海沿岸での即時津波予測システムの有効性を確認し、坂出市を例にしたシステムを香川大学に構築した。

基盤的地震観測網の波形記録と 3 次元地震動シミュレーションの比較から、中国地方の地殻内の数 km 以下の地震波速度の不均質構造と内部減衰を推定した。推定したパラメータを用いることで、地殻内地震の強震動予測精度を向上させることができた (Takemura et al., 2017)。

東北地方太平洋沖地震の余震も含めた日本海や太平洋における沖合の地震について防災科研 F-net のモーメントテンソル解により決められた震源の深さに固定して防災科研 Hi-net の読取値を用いて地震波トモグラフィー解析することにより、日本海・陸域・太平洋に至る継ぎ目のない三次元地震波標準速度構造モデルが得られた (Matsubara et al., 2017a)。この結果を三次元地震波速度構造ビューアと共にホームページを通じて年度内に公開予定である。三次元地震波速度構造ビューアでは、地震波速度構造の水平・鉛直断面を表示できるほか、解析に用いた地震の震源分布も表示可能である。さらに、利用者の震源リストや発震機構解 (走向・傾斜・すべり角) リストを入力することにより、断面における発震機構解や P 軸、T 軸も表示可能である。さらに、断面を三次元的に表示する機能も追加したソフトウェアを年度内に公開予定である。

日本列島下の陸側プレートのモホ面形状モデルを構築した (Matsubara et al., 2017b)。中部日本や東北地域において、日本海拡大時に形成された中絶リフト構造に沿って、浅いモホ面構造が得られた。このモデルについてもホームページを通じて公開した。

2001 年から 2012 年までの防災科研 Hi-net の震源カタログを Double-Difference 法を用いて震源再決定をしたカタログ (Japan Unified hI-resolution relocated Catalog for Earthquakes) (Yano et al., 2017b) を JUICE カタログとしてホームページを通じて公開した。特に断層近傍における震源分布の詳細が明らかになった。

F-net 広帯域地震計の約 20 年におよぶ連続地震波形記録について、記録の品質に関する情報をユーザーに提供することを目的とした web コンテンツを作成した。具体的には、パワースペクトル密度を日々計算するシステムを構築し、周期ごとのその確率密度分布に関する情報を公開した (http://www.fnet.bosai.go.jp/auth/noise_s)。

2017 年 10 月霧島山新燃岳噴火に伴いマグマ溜まりの収縮による微弱な傾斜変動を観測した。この傾斜変動は、マグマ溜まりから新たなマグマが地表へ上昇していることを示す証拠となり、霧島山の基盤的火山観測網 (V-net) のデータが火山活動評価に役立った。2018 年 1 月の草津白根山の噴火の際には、噴火に関連する地震動や傾斜変動を捉えた。防災科研のホームページにクライシスレスポンスサイトを立ち上げ、災害情報の集約報、現地調査や観測データ報告等を掲載した。

地震調査委員会・地震防災対策強化地域判定会・地震予知連絡会、火山噴火予知連絡会へ、「広帯域地震計を用いたモーメントテンソル解析結果」や「関東・東海地域の地震活動」等の資料を提供した。定例の地震活動などの資料に加えて 2017 年 6 月 25 日長野県南部の地震、2017 年 7 月 1 日胆振地方中東部の地震、2017 年 7 月 11 日鹿児島湾の地震、2017 年 9 月 8 日秋田県内陸南部の地震、2017 年 9 月 8 日メキシコ沖で発生した地震、2018 年 1 月 23 日草津白根山の噴火等については別途資料を提出した。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Kubota, T., T. Saito, W. Suzuki, and R. Hino, 2017, Estimation of Seismic Centroid Moment Tensor Using Ocean Bottom Pressure Gauges as Seismometers Geophysical Research Letters, 44, 10907 - 10915, doi: 10.1002/ 2017GL075386.
- Matsubara, M., H. Sato, K. Uehira, M. Mochizuki, and T. Kanazawa, 2017a, Three-dimensional seismic velocity structure beneath Japanese Islands and surroundings based on NIED seismic networks using both inland and offshore events, Journal of Disaster Research, 12, 844-857.
- Matsubara, M., H. Sato, T. Ishiyama and A. D. Van Horne, 2017b, Configuration of the Moho discontinuity beneath the Japanese Islands derived from three-dimensional seismic tomography, Tectonophysics, 710-711, 97-107.
- Miyoshi, T., Masayuki Obayashi, Daniel Peter, Yoko Tono and Seiji Tsuboi, 2017, Adjoint tomography of the crust and upper mantle structure beneath the Kanto region using broadband seismograms, Progress in Earth and Planetary Science, 4, 29, DOI 10.1186/s40645-017-0143-8.
- Shiomi, K., 2017, Dissimilar receiver functions observed at very close stations in the Kii Peninsula, central Japan: features and causes, Earth, Planets and Space, 69, 48-doi:10.1186/s40623-017-0631-5.
- Takahashi, N., K. Imai, M. Ishibashi, K. Sueki, R. Obayashi, T. Tanabe, F. Tamazawa, T. Baba and Y. Kaneda, 2017, Real-time tsunami prediction system using DONET, J. Disaster Research, 12, 4, 766-774.
- Takemura, S., M. Kobayashi and K. Yoshimoto, 2017, High-frequency seismic wave propagation within the heterogeneous crust: Effects of seismic scattering and intrinsic attenuation on ground motion modelling, Geophys. J. Int., 210 (3), 1806-1822, doi:10.1093/gji/ggx269 <https://doi.org/10.1093/gji/ggx269>
- Yano, T. E., T. Takeda, M. Matsubara and K. Shiomi, 2017a, Effect of newly refined hypocenter locations on the seismic activity recorded during the 2016 Kumamoto Earthquake sequence, Earth, Planets and Space, 69, 74.
- Yano, T. E., T. Takeda, M. Matsubara and K. Shiomi, 2017b, Japan unified high-resolution relocated catalog for earthquakes (JUICE): Crustal seismicity beneath the Japanese Islands, Tectonophysics, 702, 19-28, doi:10.1016/j.tecto.2017.02.017.
- Emoto, K., T. Saito and K. Shiomi, 2017, Statistical parameters of random heterogeneity estimated by analysing coda waves based on finite difference method, Geophysical Journal International, 211, 1575-1584-doi: 10.1093/gji/ggx387.
- Ishiyama T., H. Sato, N. Kato, S. Koshiya, S. Abe, K. Shiraishi, and M. Matsubara, 2017, Configuration of the Moho discontinuity beneath the Japanese Islands derived from three-dimensional seismic tomography, Tectonophysics, 710-711, 21-36.
- Kono, A., T. Sato, M. Shinohara, K. Mochizuki, T. Yamada, K. Uehira, T. Shinbo, Y. Machida, R. Hino, R. Azuma, 2017, Geometry and spatial variations of seismic reflection intensity of the upper surface of the Philippine Sea plate off the Boso Peninsula, Japan, Tectonophysics, 709, 44-54.
- Maeda, T., S. Takemura and T. Furumura, 2017, OpenSWPC: An open-source integrated parallel simulation code for modeling seismic wave propagation in 3D heterogeneous viscoelastic media, Earth Planets Space, 69:102, doi:10.1186/s40623-017-0687-2.
- Saade, M., J.P. Montagner, P. Roux, K. Shiomi, B. Enescu, and F. Brenguier, 2017, Monitoring of seismic anisotropy at the time of the 2008 Iwate-Miyagi (Japan) earthquake, Geophysical Journal International, 211, 483-497-doi:10.1093/gji/ggx321.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

防災科学技術研究所は、引き続き、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))・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、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。

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。

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。

地震・火山観測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。

(11) 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

(12) 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 : 029-851-1611
e-mail : toiawase@bosai.go.jp
URL : <http://www.bosai.go.jp/index.html>

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 松原 誠
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：

火山活動把握のためのリモートセンシング観測・解析技術に関する研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(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) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

衛星搭載型 SAR と地上設置型レーダー干渉計による火山活動把握に関する研究

SAR データから火山性地殻変動を mm/yr レベルの精度で求めるため、永続散乱体 SAR 干渉法等に関する高度解析技術を開発する。また、平成 26 年度に打ち上げ予定の「だいち 2 号」(ALOS-2)等の SAR データを用いて、高精度地殻変動情報(3次元地殻変動など)を得るための技術を開発する。また、火山活動の活発化が発生した場合には、これまでに開発した技術を用いて、それに伴う地殻変動を検出する。さらに、火口周辺の地表変動を遠隔地から面的かつ高頻度にモニタリングすることを目的とし、地上設置型レーダー干渉計を用いた観測技術を開発する。

航空機搭載型光学センサーに関する研究

火山ガス・温度等の把握を目的とした航空機搭載型光学センサーの観測・解析技術の開発として、小型単発機に搭載可能なセンサーに関する技術開発を進め、同センサーの実現と同センサーによる火山観測を実現する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 28 年度においては、浅間山に設置した地上設置型レーダー干渉計観測システムの初期性能評価を行うと共に、準リアルタイムで解析を行うシステムを構築する。また、平成 27 年度に単発航空機への搭載許可を取得した改良型 ARTS(ARTS-SE)のカメラセンサデータの処理手法を開発する。

平成 29 年度においては、地上設置型レーダー干渉計のデータ解析における大気遅延誤差軽減手法を開発する。また、ARTS-SE のスキャナセンサデータの処理手法を開発する。

平成 30 年度においては、地上設置型レーダー干渉計観測データの時系列解析手法を開発する。また、ARTS-SE のカメラセンサデータとスキャナセンサデータの融合解析処理手法を開発する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

防災科研においては、新たな地表変動モニタリング技術として、地上設置型レーダー干渉計 (GBRI: Ground-based radar interferometer) の研究を開始した。GBRI は地上に設置したアンテナからレーダー波を照射し、観測対象からの後方散乱波を受信するセンサーである。さらに、得られたレーダー画像の各画素に格納される位相の時間変化から、アンテナと散乱点との距離の変化を面的に検出することが可能である。平成 27 年度に、合成開口レーダー型 (ELLEGI 社製 LiSA mobile k09) と実開口レーダー型 (Gamma Remote Sensing 社製 GPRI2) の 2 台の GBRI から構成される GBRI 観測システムを浅間山の山麓に設置し、平成 28 年度から運用を継続している。平成 29 年度においては、大気遅延ノイズを軽減するための手法開発に着手した。

2017 年 10 月 11 日 (5:34JST 頃) に噴火が発生した新燃岳周辺の地表変動を調査するため、日本のだいち 2 号の SAR (センサー名 : PALSAR-2) および欧州宇宙機関の Sentinel-1 の SAR を用いた SAR 干渉解析を実施した。新燃岳火口内においては、2016 年の夏頃まで、Sentinel-1 の解析から衛星 - 地表間距離が短縮する変化 (隆起が卓越) が求まっていたが、それ以降、衛星 - 地表間距離が伸長する変化 (沈降が卓越) が見られるようになった。その変化は時間と共に減少する傾向にあったが、2017 年 7 月頃から再度大きくなった。さらに、噴火発生直前の地表変動を調査するため、だいち 2 号の 2017 年 6 月 20 日と 2017 年 10 月 11 日 (JST 0:18) の観測画像を解析したところ、新燃岳火口内の東縁付近に衛星 - 地表間距離の短縮変化 (膨張傾向の変化と推測される) が見られた。この地点は、今回の噴火地点とおおよそ同じに見える。Sentinel-1 の 10 月 6 日までの解析結果には同様の変化が見られないことから、10 月 6 日 (18:13JST) から 10 月 11 日 (0:18JST) の期間に生じたと考えられる。

航空機搭載型光学センサーに関する研究においては、防災科学技術研究所の第 4 期中期計画に基づき、平成 27 年度に航空機搭載許可を取得した小型単発機に搭載可能なセンサー : ARTS-SE の試験観測データ (2015/12/5 (箱根山)) を用い、ARTS-SE のカメラ型センサーデータの処理手法の開発 (赤外データの SfM/MVS 技術の開発) を実施し、観測データより箱根山大涌谷付近の DSM を作成した。この DSM について、既存の DEM 等を用いた評価を実施した。数値標高モデル 10m メッシュ (標高) (国土地理院) と SfM で求めた DSM を比較した結果、オルモザイク画像の端 (縦横距離それぞれ 10 ~ 15 % 程度の周縁) 以外は、両標高値の差は 10m 以内であった。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

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技術の研究においては、平成 29 年度に引き続き、時系列解析手法等を用いて大気遅延ノイズを軽減する手法についての開発を進める。また、火山活動の活発化が発生した場合には、これまでに開発した技術を用いて、それに伴う地殻変動を検出する。

航空機搭載型光学センサーに関する研究においては、小型単発機に搭載可能なセンサー : ARTS-SE を用いた火山観測技術開発として、ARTS-SE のカメラ型センサーデータの処理手法の開発 (スキャナ、カメラセンサー融合解析技術の開発) を実施する。

(11) 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

(12) 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>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 小澤拓

所属 : 防災科学技術研究所 火山防災研究部門

(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：

先端的掘削技術を活用した総合海洋掘削科学の推進

(3) 最も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整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(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・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

(第三期中期目標より抜粋)

地球深部探査船「ちきゅう」等による海洋掘削により、これまで人類が到達できなかった海底下深部において得られた知見を最大限に活用し、新たな科学的命題を解決するための研究開発を行い、国際深海科学掘削計画(International Ocean Discovery Program : IODP)の科学プランの達成に重要な役割を果たす。

(7) 本課題の5か年計画の概要 :

本研究課題は当機構の運営費交付金及び受託研究「東北地方太平洋沖で発生する地震・津波の調査観測」等により得られたデータや成果を利用して実施。

(第三期中期計画より関連部分を抜粋)

1) 先端的掘削技術を活用した総合海洋掘削科学の推進

海洋掘削の技術開発は、海底下という未踏のフロンティアへのアプローチを可能なものとし、その結果、多数の研究課題が生まれている。それらを解決するため、国際深海科学掘削計画 (IODP) を推進し、「ちきゅう」等による海洋掘削を行うとともに、地球を構成する物質の直接採取、分析及び現場観測を実施し、数値解析手法やモデリング手法等を用いることで、海洋・地球・生命を関連させた全地球内部ダイナミクスモデルの構築とその理解の推進を図り、多様な探査と地球深部への掘削により掘削科学の新たな可能性を切り拓く。さらに、海洋掘削に関する総合的な知見に基づき、今後需要が増すと見込まれる超深度掘削技術の発展に寄与する。

(イ) 掘削試料・掘削孔を利用した地殻活動及び物質循環の動態解明

スケールの異なる各種試料やデータを高精度・高分解能で分析できる手法を構築するとともに、掘削科学の推進に不可欠な掘削技術・計測技術、大深度掘削を可能とする基盤技術を開発する。また、海底観測や広域地球物理探査等によって得られるデータに、掘削孔内において取得される多様なデータや現場実験結果を加えることにより、海底下の構造や性質を立体的に把握し、それらの変動機構の理解につながる仮説を構築する。さらに、仮説の有効性を確認するために、得られたデータ等を用いた数値シミュレーションを実施する。

(ロ) 海洋・大陸のプレート及びマグマの生成並びにそれらの変遷過程の解明

活動的なプレート境界である日本列島周辺海域等において、プレートが生成されてから地球内部に向けて沈み込むまでの構造及びプレート自体の変遷や挙動、沈み込み帯を中心としたプレートと断層の運動に伴い発生する諸現象及びプレート・地球内部のマグマ生成、マントル対流とプレートとの関連等の解明に貢献する研究開発を IODP 等とも連携しつつ推進する。

(ホ) 掘削科学による新たな地球内部の動態解明

海底掘削試料等の精密化学分析により提唱され始めた新たな地球内部の構造の存在について、マントル・コアの精密な物理・化学・地質探査を実施し、平成 28 年度を目途にその構造の概要を把握する。また、マントル運動及びプレート運動等に与える影響を分析し、観測及び数値シミュレーションを組み合わせることにより、地球表層及びマントルの大規模運動を評価する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

平成 29 年度は以下の調査研究を実施した :

紀伊半島沖南海トラフ地震発生帯掘削 : デコルマ先端部 (C0006) への孔内観測点設置に成功した。これで熊野沖南海トラフ前弧域において、DONET に接続された 3 か所の孔内観測所が完成した。室戸沖南海トラフ付加体先端部断層への掘削で設置した孔内温度計から、ROV「かいこう」による温度データの回収を行った。

スケールの異なるデータの統合解析技術、掘削工学と物質科学の融合による地下把握手法の開発を継続した。

大水深・大深度・硬岩コアを可能にする掘削技術の開発を継続した。

南海掘削コア等分析による、地震歪蓄積域のエネルギーバランス・南海付加体強度を推定した。

マントル掘削に向け、ハワイ沖掘削候補地の事前調査に参加し、海洋地殻・マントル、およびその間のモホ反射面の検出に貢献した。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

木村 学・木下正高・金川久一・金松敏也・芦 寿一郎・斎藤実篤・廣瀬丈洋・山田泰広・荒木英一郎・江口暢久・Sean Toczko, (2017). 南海トラフ地震発生帯掘削がもたらした沈み込み帯の新しい

描像，地質学雑誌，採択済。

- Lin, W., O. Tadai, M. Kinoshita, J. Kameda, W. Tanikawa, T. Hirose, Y. Hamada, and O. Matsubayashi, (2017). Thermal conductivity changes of subducting basalt, Nankai subduction zone, SW Japan: An estimation from laboratory measurements under separate high-pressure and high-temperature conditions, accepted in Geological Society of America Books.
- Toki, T., M. Kinoshita, S. Morita, H. Masuda, H. Rashid, H. Yoshinishi, T. Nakano, and T. Noguchi (2017), The vertical chloride ion profile at the IODP Site C0002, Kumano Basin, off coast of Japan, Tectonophysics, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2016.11.029>.
- Hirono, T., K. Tsuda, W. Tanikawa, J.-P. Ampuero, B. Shibazaki, M. Kinoshita, and J. J. Mori (2016), Near-trench slip potential of megaquakes evaluated from fault properties and conditions, *Sci. Rep.* 6, 28184; doi: 10.1038/srep28184.
- Chiyonobu, S., Yamamoto, Y., Saito, S., (2107): Calcareous nannofossil biostratigraphy and geochronology of Neogene trench-slope cover sediments in the south Boso Peninsula, central Japan: Implications for the development of a shallow accretionary complex, *Tectonophysics* 710?711, 56?68. doi: 10.1016/j.tecto.2016.11.030.
- Hamada, Y., Kitamura, M., Yamada, Y., Sanada, Y., Sugihara, T., Saito, S., Moe, K., Hirose, T., Continuous depth profile of the rock strength in the Nankai accretionary prism based on drilling performance parameters, *Scientific Report*, accepted on 26 Jan., 2018
- Hamahashi, M., Sreaton, E., Tanikawa, W., Hashimoto, Y., Martin, K., Saito, S., Kimura, G., (2017): Normal faulting and mass movement during ridge subduction inferred from porosity transition and zeolitization in the Costa Rica subduction zone. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 18, 2601?2616, doi: 10.1002/2016GC006577.
- Hashimoto, Y., and Ujiie, K., Normal faults at depth with thrust faults in an exhumed accretionary complex, Kayo Formation, Okinawa islands, Japan, *GSA Books*, in press.
- Hashimoto, Y., Abe, S., Tano, H., Hamahashi, M., Saito, S., Kimura, G., Yamaguchi, A., Fukuchi, R., Kameda, J., Hamada, Y., Kitamura, Y., Fujimoto, K., Hina, S., Eida, M. (2017): Acoustic properties of deformed rocks in the Nobeoka thrust, in the Shimanto Belt, Kyushu, Southwest Japan. *Island Arc*. 2017;26:e12198. DOI: 10.1111/iar.12198.
- Ito, Y., Ikari, M., Ujiie, K., Kopf, A., 2017, Coseismic slip propagation on the Tohoku plate boundary fault facilitated by slip-dependent weakening during slow fault slip, *Geophysical Research Letters* 44, 8749?8756, doi:10.1002/2017GL074307.
- Ito, K., Ujiie, K., and Kagi, H., 2017, Detection of increased heating and estimation of coseismic shear stress from Raman spectra of carbonaceous material in pseudotachylyte, *Geophysical Research Letters* 44, 1749?1757, doi:10.1002/2016GL072457.
- 川村喜一郎, 金松敏也, 山田泰広 2017. 海底地すべりと災害-これまでの研究成果と現状の問題点-. *地質学雑誌*. 123(12), 999-1014.
- Kitajima, H., Saffer, D., Sone, H., Tobin, H., and Hirose, T., 2017, In-situ stress and pore pressure in a deep interior of the Nankai accretionary wedge, IODP Site C0002, *Geophys. Res. Lett.*, 44. <https://doi.org/10.1002/2017GL074307>.
- Kitamura, M. and Hirose, T., 2017, Strength determination of rocks by using indentation tests with a spherical indenter, (2017) *Journal of Structural Geology*, 98, 1-11. doi.org/10.1016/j.jsg.2017.03.009.
- 森下知晃・藤江剛・山野誠・中西正男・尾鼻浩一郎・中村恭之・斎藤実篤・小平秀一・木村純一・黒田潤一郎・小野重明 (2017), 古い海洋プレートの沈み込み直前での屈曲断層形成に伴う加水作用解明に向けた海洋掘削計画概要 . *地学雑誌* , 126(2)247-262. doi:10.5026/jgeography.126.247.
- Shiraishi K., G. Fujie, T. Sato, S. Abe, E. Asakawa, and Kodaira, S., 2017, Interferometric OBS imaging for wide-angle seismic data, *GEOPHYSICS*, 2017, 82(5), Q39-Q51. doi:10.1190/geo2016-0482.1.
- Sutherland, R., Dickens, G.R., Blum, P., and the Expedition 371 Scientists, 2018. Expedition 371 Preliminary

Report: Tasman Frontier Subduction Initiation and Paleogene Climate. International Ocean Discovery Program. doi.org/10.14379/iodp.pr.371.2018

Vannucchi, P., Spagnuolo, E., Aretusini, S., Di Toro, G., Ujiie, K., Tsutsumi, A., and Nielsen, S. (2017), Past seismic slip-to-the-trench recorded in Central America megathrust, Nature Geoscience 10, 935-940, <https://doi.org/10.1038/s41561-017-0013-4>.

山田泰広・Jim Mori・氏家恒太郎・林為人・小平秀一. 2018. 東北地方太平洋沖地震後の緊急調査掘削 (IODP 第 343 次航海:J-FAST) の成果. 地質学雑誌. 124(1), 67-76.

Barth, A.P., Tani, K., Meffre, S., Wooden, J.L., Coble, M.A., Arculus, R.J., Ishizuka, O., and Shukle, J.T. (2017). Generation of silicic melts in the early Izu-Bonin arc recorded by detrital zircons in proximal arc volcanoclastic rocks from the Philippine Sea. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, doi: 10.1002/2017GC006948.

Morishita, T, Ghosh, B., Soda, Y., Mizukami, T., Tani, K., Ishizuka, O., Tamura, A., Komaru, C., Arai, S., Yang, H.-C., Chen, W. S. (2018). Petrogenesis of ultramafic rocks and olivine-rich troctolites from the East Taiwan Ophiolite in the Lichi m...ange, Mineralogy and Petrology, <https://doi.org/10.1007/s00710-017-0547-6>

Nakamura, H., Iwamori, H., Ishizuka, O., Nisizawa, T. (2017). Distribution of slab-derived fluids around the edge of the Philippine Sea Plate from Central to Northeast Japan, Tectonophysics, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.>

Umino, S., Kanayama, K., Kitamura, K., Tamura, A., Ishizuka, O., Senda, R., Arai, S. (2017). Did boninite originate from the heterogeneous mantle with recycled ancient slab? Island Arc, DOI:10.1111/iar.12221.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

平成 30 年度は以下の調査研究を実施する :

紀伊半島沖南海トラフ地震発生帯掘削 : 断層固着域 (C0002) への超深度掘削を行う .

室戸沖南海トラフ付加体先端部断層での温度計測を継続するとともに , H29 に回収した温度データ解析を行う

スケールの異なるデータの統合解析技術、掘削工学と物質科学の融合による地下把握手法検討結果を取りまとめる .

大水深・大深度・硬岩コアを可能にする掘削技術の開発のとりまとめを行う .

南海掘削コア等分析による , 地震歪蓄積域のエネルギーバランス・南海付加体強度推定のとりまとめを行う .

マントル掘削に向け , ハワイ沖掘削候補地の事前調査結果の検討を行い , 候補地点を絞り込む .

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東北大学 (大谷 栄治、松澤 暢、日野 亮太、鈴木 昭夫、矢部 康男、武藤 潤、東 龍介) 海洋掘削科学研究開発センター 地震津波海域観測研究開発センター 地球深部ダイナミクス研究分野 地球内部物質循環研究分野 数理科学・先端技術研究分野 高知コア研究所 地球深部探査センター

他機関との共同研究の有無 : 有

(以下、本課題の中心を担う海洋掘削科学研究開発センターの共同研究の相手方機関、代表者等について記載)

・金沢大学 理工研究域自然システム学系 森下 知晃 教授ほか

・神戸大学 大学院理学研究科 巽 好幸 教授

・東京大学地震研究所 波多野 恭弘 准教授

(12) 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 : 研究推進部研究推進第 1 課

電話 : 045-778-5691

e-mail : rsd1-kikan@jamstec.go.jp

URL : <http://www.jamstec.go.jp/ods/j/>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 山田 泰広

所属 : 海洋掘削科学研究開発センター

(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：

海域地震発生帯研究開発

(3) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(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

(4) 地震現象のモデル化

ア. 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) 地震発生長期評価手法の高度化

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

(第三期中期目標より抜粋)

海溝型巨大地震や津波は、人類に甚大な被害をもたらす脅威であることから、海溝型地震発生帯における動的挙動を総合的に調査・分析し、海溝型地震の発生メカニズムや社会・環境に与える影響を理解することにより防災・減災対策を強化することは、我が国にとって喫緊の課題である。このため、機

構は、海域におけるリアルタイム地震・津波観測網を整備するとともに、研究船や海底地震計等を用いた高度な観測技術等を最大限に活用し、南海トラフや日本海溝等を中心とした地震発生帯の精緻な調査観測研究を実施する。また、「地球シミュレータ」等を用いた計算技術等により、海溝型地震の物理モデルを構築し、プレートの沈み込み帯活動の実態を定量化するとともに、より高精度な地震発生モデルやプレート境界モデルを確立する。これらの成果をもとに、地震・津波に起因する災害ポテンシャル等の評価や、我が国の防災・減災対策の強化に資する情報を提供する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

本研究課題は当機構の運営費交付金および補助金により実施している。

(第三期中期計画より関連部分を抜粋)

近年、我が国及び世界各国では、阪神淡路大震災(1995年)、スマトラ沖大津波地震(2004年)、東日本大震災(2011年)のような地震・津波による災害が多発している。機構は地震調査研究推進本部が策定した「新たな地震調査研究の推進について - 地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策 - 」(平成24年9月6日改訂)及び文部科学省 科学技術・学術審議会の建議「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について(平成25年11月8日)」において示されている役割を果たすため、独立行政法人防災科学技術研究所等の関係する研究機関と協力し、再来が危惧されている南海トラフ巨大地震の震源域を始めとする日本列島・西太平洋海域を中心に、地震・火山活動の原因についての科学的知見を蓄積するとともに、精緻な調査観測研究、先進的なシミュレーション研究、モニタリング研究及び解析研究等を統合した海域地震発生帯研究開発を推進する。

これにより、海溝周辺における地震性滑りの時空間分布等の新たなデータに基づき、従来の地震・津波発生モデルを再考し、海溝型巨大地震や津波発生メカニズムの理解を進める。また、主に海域地殻活動や海底変動に起因する災害ポテンシャルの評価とそれに基づく地域への影響評価を行う。

(1) プレート境界域の地震発生帯実態解明研究

地震発生帯の地震・津波像の解明に資するため、地殻構造、地殻活動及び地震発生履歴等について精緻な調査観測研究を実施する。また、地震・津波観測監視システム(Dense Ocean floor Network system for Earthquakes and Tsunamis :DONET)等の海域地震・津波観測システムから得られるデータや関係する研究機関とのデータ相互交換の枠組みを活用し、地震発生、地震動及び津波の予測精度の向上に資する解析研究を行う。さらに、地震発生帯における諸現象のシミュレーション研究等を実施し、海洋科学掘削で得られた研究成果との統合を図ることにより、巨大地震発生帯の実態解明に資する新たな科学的知見を蓄積する。

(2) 地震・津波の総合災害ポテンシャル評価研究

東日本大震災の教訓を踏まえ、現実的な地震・津波像に基づく地震・津波シミュレーション研究を行い、南海トラフ、南西諸島域及び日本海溝等の日本列島周辺海域における地震・津波被害像の評価を進めるとともに、防災・減災対策へ実装するため、平成28年度を目途に各種予測計算等の準備を実施し、日本海や南海トラフ周辺海域等の地震・津波による被害の軽減に向けた情報基盤プラットフォームを構築する。これらを活用し、海域地殻変動や海底変動に起因する災害ポテンシャルの評価とそれに基づく地域への影響評価を行う。

(8) 平成29年度の成果の概要：

・2011年東北沖地震時の地殻変動を把握するため地震後の日本海溝の海底地形データを取得して地形の変化を抽出した。北緯38度から38.5度にかけて顕著な50-70mのすべりに相当する変動を検出し、それ以外の領域の変動は小さいことがわかった。この変動を説明する地震時滑りモデルを提案した。

・日本海溝域の過去の超巨大地震の履歴を把握するため、海底に形成されたタービダイトを精密かつ広範囲な対比のための地磁気永年変化標準曲線を確立した。これによりタービダイトの年代取得が大

深度まで且つ過去7000年前まで可能となった。

・日本海溝の海溝軸から沖合側にかけて超深海型海底地震計を用いた海底観測を実施し、アウトラーイズで起こる正断層型地震の震源断層の実態について調査した。ホルスト・グラベン構造を形成するような正断層が複数存在し、深さ40km付近まで伸びている可能性を示した。

・地表変位速度場の空間勾配とプレート間固着強度の空間変位との対応関係を数値計算テストをおこなって把握することで、プレート間固着強度の時空間変化をモニタリングする手法を開発した。2011年東北沖地震の地表変位速度場のデータに適用したところ、プレート間の固着の弱화가準周期的に発生しつつ、その弱化領域の北限が震源に向けて北上したことが明らかになった。

・南海トラフの掘削坑内での間隙水圧の観測から海溝軸近傍のプレート境界でゆっくり滑りが繰り返して発生していることを明らかにした。

・DONETの広帯域地震記録と水圧計の連続データからプレート境界までのS波構造を推定する手法を開発した。浅部超低周波地震が発生する地域には低速度となるプレート境界層が存在することを見出した。

・スパースモデリングの手法を取り入れてGNSSのデータから、長期的スロースリップのすべり域の上限と内部にすべり量の急変を見出すとともに、すべり域内の詳細な分布も把握することができた。急変域は深部低周波微動の発生域の上限と普通の地震の発生帯の下限と一致する。

(9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Ryoko Nakata, Hideitsu Hino, Tatsu Kuwatani, Shoichi Yoshioka, Masato Okada, and Takane Hori, Discontinuous boundaries of slow slip events beneath the Bungo Channel, southwest Japan, *Scientific Reports*, 2017, 7, doi:10.1038/s41598-017-06185-0

Tonegawa, T., Araki, E., Kimura, T., Nakamura T., Nakano, M., Suzuki, L. (2017) Sporadic low-velocity volumes spatially correlate with shallow very low frequency earthquake clusters, *Nature Communications*, 8:2048, doi:10.1038/s41467-017-02276-8.

Obana, K.; Nakamura, Y.; Fujie, G.; Kodaira, S.; Kaiho, Y.; Yamamoto, Y. & Miura, S. Seismicity in the source areas of the 1896 and 1933 Sanriku earthquakes and implications for large near-trench earthquake faults *Geophys. J. Int.*, 2018, 212, 2061-2072, doi:10.1093/gji/ggx532

Eiichiro Araki, Demian M. Saffer, Achim J. Kopf, Laura M. Wallace, Toshinori Kimura, Yuya Machida, Satoshi Ide, Earl Davis, IODP Expedition 365 shipboard scientists, Recurring and triggered slow-slip events near the trench at the Nankai Trough subduction megathrust, *Science*, 2017: Vol. 356, Issue 6343, pp. 1157-1160 DOI: 10.1126/science.aan3120

Takeshi Iinuma, Monitoring of the spatio-temporal change in the interplate coupling at northeastern Japan subduction zone based on the spatial gradients of surface velocity field: *Geophysical Journal International*, Volume 213, Issue 1, 1 April 2018, Pages 30-47, <https://doi.org/10.1093/gji/ggx527>

FUJIWARA TOSHIYA, dos Santos Ferreira Christian, Bachmann Anna Katharina, Strasser Michael, Wefer Gerold, Sun Tianhaozhe, KANAMATSU TOSHIYA, KODAIRA SHUICHI: Seafloor Displacement after the 2011 Tohoku-oki Earthquake in the Northern Japan Trench Examined by Repeated Bathymetric Surveys: *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, 2017, 44, doi:10.1002/2017GL075839

(10) 平成30年度実施計画の概要 :

本研究課題は当機構の運営費交付金および補助金により実施している。

(第三期中期計画より関連部分を抜粋)

近年、我が国及び世界各国では、阪神淡路大震災(1995年)、スマトラ沖大津波地震(2004年)、東日本大震災(2011年)のような地震・津波による災害が多発している。機構は地震調査研究推進本部が策定した「新たな地震調査研究の推進について - 地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策 - 」(平成24年9月6日改訂)及び文部科学省 科学技術・学術審議会の建

議「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について(平成25年11月8日)」において示されている役割を果たすため、独立行政法人防災科学技術研究所等の関係する研究機関と協力し、再来が危惧されている南海トラフ巨大地震の震源域を始めとする日本列島・西太平洋海域を中心に、地震・火山活動の原因についての科学的知見を蓄積するとともに、精緻な調査観測研究、先進的なシミュレーション研究、モニタリング研究及び解析研究等を統合した海域地震発生帯研究開発を推進する。

これにより、海溝周辺における地震性滑りの時空間分布等の新たなデータに基づき、従来の地震・津波発生モデルを再考し、海溝型巨大地震や津波発生メカニズムの理解を進める。また、主に海域地殻活動や海底変動に起因する災害ポテンシャルの評価とそれに基づく地域への影響評価を行う。

(1) プレート境界域の地震発生帯実態解明研究

地震発生帯の地震・津波像の解明に資するため、地殻構造、地殻活動及び地震発生履歴等について精緻な調査観測研究を実施する。また、地震・津波観測監視システム(Dense Ocean floor Network system for Earthquakes and Tsunamis :DONET)等の海域地震・津波観測システムから得られるデータや関係する研究機関とのデータ相互交換の枠組みを活用し、地震発生、地震動及び津波の予測精度の向上に資する解析研究を行う。さらに、地震発生帯における諸現象のシミュレーション研究等を実施し、海洋科学掘削で得られた研究成果との統合を図ることにより、巨大地震発生帯の実態解明に資する新たな科学的知見を蓄積する。

(2) 地震・津波の総合災害ポテンシャル評価研究

東日本大震災の教訓を踏まえ、現実的な地震・津波像に基づく地震・津波シミュレーション研究を行い、南海トラフ、南西諸島域及び日本海溝等の日本列島周辺海域における地震・津波被害像の評価を進めるとともに、防災・減災対策へ実装するため、平成28年度を目途に各種予測計算等の準備を実施し、日本海や南海トラフ周辺海域等の地震・津波による被害の軽減に向けた情報基盤プラットフォームを構築する。これらを活用し、海域地殻変動や海底変動に起因する災害ポテンシャルの評価とそれに基づく地域への影響評価を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

地震津波海域観測研究開発センター

地球深部ダイナミクス研究分野

数理科学・先端技術研究分野

高知コア研究所

海洋掘削科学研究開発センター

地球情報基盤センター

地球深部探査センター

他機関との共同研究の有無：有

(以下、本課題の中心を担う地震津波海域観測研究開発センターの共同研究の相手方機関、代表者等について記載)

- ・株式会社地球科学総合研究所 新技術推進室 浅川 栄一室長ほか
- ・独立行政法人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海洋地質研究グループ 荒井 晃作グループ長ほか
- ・気象庁地震火山部地震津波監視課松代地震観測所 山崎伸之 技術専門官ほか
- ・和歌山県危機管理局総合防災課 松尾 孝志課長ほか

(12) 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：地震津波海域観測研究開発センター企画調整グループ

電話：045-778-5963

e-mail：kg-kikan@jamstec.go.jp

URL : <http://www.jamstec.go.jp/ceat/j/>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 小平 秀一

所属 : 地震津波海域観測研究開発センター

(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) 最も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整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(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・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

津波堆積物をはじめとした過去の津波に関する痕跡データについて、産総研によって論文公表した調査データを整理し、ウェブのマップ上で各種情報を示せるように整備する。特に 869 年貞観地震に関するデータについて、まず仙台平野について整備し、ウェブ公開する。その後は石巻平野、福島県北部について順次整備の上、公開する。南海トラフ沿いなど、そのほかの地域のデータは内容を検証しながら整備する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度は仙台平野の津波浸水履歴に関する情報を整備し、ウェブ公開する。平成 27 年度は石巻平野、福島県北部について整備の上、順次公開する。平成 28 年度以降は、津波浸水履歴情報の内容を検証しつつ、青森県沿岸や九十九里浜沿岸、南海トラフ沿岸などの地域を候補として情報の整備を行っていく。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

三重県の一部(津市)および高知県の一部(南国市, 四万十町)について、地質柱状図等のデータを整備した。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

平成 29 年度に整備したデータのウェブ公開。日本海溝沿い(おもに福島県沿岸) における推定津波浸水域のデータ整備。

(11) 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

(12) 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/ievq/group/subducteq/index.html>

(13) 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：

活断層データベースの整備

(3) 最も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整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(4) その他関連する建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

首都直下地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

すでに公開中の活断層データベースについて、新規データの入力、既存データの追加、検索・表示機能の強化を行う。また他機関のデータベースも含め、データの共有やリンク表示機能等の連携を強化し、より機能的で使いやすいデータベースに発展させる。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成 26 年度については、最近数年間に実施された活断層調査の成果について、データを体系化し、データベースに収集する。また産総研で刊行している活断層ストリップマップ等を重ねて表示できる機能を追加する。

平成 27 年度以降については、新たに実施された活断層調査の結果を逐次収集・入力するとともに、他機関との連携を図り、データの共有やリンク表示機能を強化する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

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。2017 年度には、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を行った。

背景地図の多様化については、現在のシステムで表示が可能な「Google Maps」「簡易地図」「地理院地図」に加えて、地形陰影図や航空写真等を表示させる機能を追加する作業を行なった。これにより、活断層と地形や地物との関係を認識しやすくなることが期待される。

活断層線および調査地点情報は、これまでオブジェクトとして画面上に表示させてきたが、情報量が増えすぎてしまい、端末上での処理に時間がかかりすぎてしまうことが判明したため、緯度経度情報に基づいてこれらの情報を認識する方法に変更した。具体的には、これまではウェブ画面上のオブジェクトをクリックすることによってそれに関連する情報を表示させていたが、新しいシステムでは活断層線や調査地点情報を画像化して、クリックした位置の緯度経度情報からもっとも近い活断層線あるいは調査地点の情報を表示させることにした。

(9)平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
吾妻 崇, 2017, 講座「地盤に刻まれた巨大地震の痕跡 7. 活断層データベースとその活用」. 地盤工学会誌, 65(9), 2-9.

(10)平成 30 年度実施計画の概要 :

- (1) 背景地図の多様化などの更新を行ったシステムを一般向けに公開する。
- (2) 地震研究推進本部から公表されている「活断層の地域評価」に掲載されている活断層のうち、活断層データベースに未登録の 14 断層について、位置情報、活動履歴、調査地点等に関する情報をデータ化し、データベースに登録・公開する。また、既に登録されているが断層の分布形状が異なるものについて、修正の検討を行う。
- (3) 近年に公表された活断層に関する論文・報告書等を精査し、10~20 件をデータベースに登録する。
- (4) 調査地点情報に、調査時に撮影された写真を収録し、順次公開する。

(11)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 活断層評価研究グループ
他機関との共同研究の有無 : 無

(12)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 活断層評価研究グループ

電話 :

e-mail : af-db-ml@aist.go.jp

URL: <https://unit.aist.go.jp/ievg/group/faulteval/index.html> https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html

(13)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 活断層評価研究グループ

(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：

地質調査に基づく火山活動履歴調査とデータベース整備

(3) 最も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整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(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・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 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、九重、蔵王、伊豆諸島、富士山、恵山など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示した地質図の整備を推進する。また、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。大規模噴火を発生させた火山対象に大規模噴火に至る準備過程の特徴を抽出し、大規模噴火の再来の可能性を検討する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

将来噴火の可能性の高い活動的火山の形成史・噴火履歴を明示した地質図整備を、火山防災のために監視・観測体制の充実が必要な活火山（47 火山）で重点的に行う。このうち九重、蔵王、伊豆諸島、富士山、恵山などでは、噴火履歴調査に基づいて形成史を解明し、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、地質図として整備する。

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。新たに 20 万分の 1 スケールでの全国火山図を作成し、この火山区分に基づいた噴火年代、噴出量、岩石学的分析等を基礎データとしてデータベースに取り込む。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。

十和田やインドネシアを含め、後期更新世から完新世に大規模噴火を発生させた火山において、過去の大規模噴火とそれ以前の噴出物を対象に、ボーリング・トレンチを含めた地質学岩石学的調査を行い、大規模噴火に至る噴火推移の復元とマグマ供給系の変遷を明らかにする。

(8) 平成 29 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、八丈島火山の地質図に関して、陸域と海域を統合する形でとりまとめ印刷中とした。火山地質図作成のため、恵山及び日光白根火山では新たにトレンチ掘削を含めた調査を行い、御嶽火山では引き続き噴火履歴調査を実施した。

日本の火山データベースでは、阿蘇山及び択捉島に関する 1 万年噴火データを公開し、三宅島、岩手及び口永良部島火山に関する詳細データを CD-ROM 版から修正して公開した。また富士火山では斜度図を追加公開した。20 万分の 1 スケールでの全国火山図原稿作成を中部、甲信越及び伊豆箱根地域において実施した。

阿蘇火山・始良火山のカルデラ形成期噴火に至る噴火履歴の詳細化のため、噴出物の分布・層序調査および岩石学的分析を行い、阿蘇カルデラにおいては複数の大規模噴火の間の噴火様式やマグマ組成の変化を解析した。また始良カルデラでは大規模火砕流噴出に至る火道拡大過程の復元を行った。屈斜路カルデラ・摩周カルデラなどの大規模火砕流堆積物の噴出量の再検討を GIS を用いて行なった。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
日本の火山データベース <<https://gbank.gsj.jp/volcano/>>

(10) 平成 30 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、八丈島火山地質図を出版し、恵山、御嶽及び日光白根火山で引き続き調査研究を実施する。また新たに雌阿寒岳火山でトレンチ掘削を含めた調査研究を開始する。日本の火山データベースでは、20 万分の 1 スケールの全国火山図公開のためのビューア開発を行い、北海道及び東北地域で試験公開を進める。

大規模噴火を対象に過去の噴火推移を地質学的手法により明らかにするとともに、記載岩石学的手法・実験岩石学的手法による噴出物の解析とマグマ溜り条件の復元を行う。火砕流堆積物及び広域の降下火山灰の分布の再検討から、後期更新世の大規模火砕流噴火の総噴出量の再検討を実施する。噴出物組織や化学組成、微小領域化学分析手法によるマグマ溜り条件やマグマ上昇・噴出条件の解析を行う。

(11) 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 火山活動研究グループ
他機関との共同研究の有無 : 有
北海道大学、山形大学、電力中央研究所など

(12) 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/>

(13) 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

(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) 最も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・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

・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、過去の履歴と規模を津波堆積物調査等に基づいて復元し、断層モデルの構築を試みる。

・相模トラフ

おもに房総半島沿岸の地形、地質調査のデータから、過去の関東地震の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。特に房総半島南東～東沖の領域の破壊の可能性について検証する。

・南海トラフ

沿岸域において地形、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時期とそれに伴う地殻変動や津波浸水域を解明する。特に最大クラスの地震について、地形、地質に記録された実証データから検証し、規模の上限について評価を試みる。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

・千島-日本海溝

平成 26 年度は青森県および岩手県南部の太平洋沿岸で津波堆積物調査を実施する。平成 27 年度は同地域の補完調査に加え、北海道南部太平洋沿岸に調査範囲を拡大する。平成 28 年度以降は北海道太平洋岸などの津波堆積物調査を行い、それらのデータに基づいて断層モデルについて検討を行う。

・相模トラフ

平成 26～27 年度は、おもに産総研がこれまでに房総半島で取得した詳細地形 (DEM) データについて、地形判読や高度分布の解析を行い、海岸段丘の分布を再評価する。また房総半島沿岸各地で実施した掘削調査による既存のコア試料の分析を行い、海岸段丘の年代を解明する。平成 28 年度以降も上記解析を継続すると共に、九十九里浜平野などで津波堆積物調査を実施する。

・南海トラフ

おもに文部科学省(委託先：海洋研究開発機構)の南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトに参画して津波履歴調査を担い、平成 26 年度はおもに高知県沿岸、平成 27～29 年度は四国・九州から南西

諸島にかけて、平成 30 年度以降は東海～紀伊半島沿岸で、それぞれ津波堆積物調査および隆起痕跡調査を実施する。また期間を通じて地震サイクルシミュレーションなどから規模予測の手法を検討する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

・千島・日本海溝

千島の 17 世紀巨大地震について、北海道東部霧多布湿原の津波堆積物に $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ 法を応用して、より正確な津波浸水域の復元を試みた。このほか同地域で 13 世紀の巨大津波に関する検討のため、過去の海岸線位置復元のための調査を行った。

・相模トラフ

房総半島南部の海岸段丘について、詳細 DEM の解析とボーリングコア試料の解析から段丘の分布パターンと離水年代の再検討を行った。その結果、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

駿河湾奥部において、富士川河口断層帯を挟んだ隆起側と沈降側でボーリングコア試料の解析を進め、入山瀬断層の平均変位速度が従来よりもかなり小さく、蒲原低地が沈降している可能性が示された。このほか徳島県牟岐町、宮崎県日向市で津波堆積物調査を行い、高知県黒潮町のボーリングコア試料について年代測定や珪藻分析を進めた。奄美群島喜界島ではサンゴマイクロアトールの調査から、過去 150 年以上に渡り地殻が安定していることや、16～17 世紀に 25cm 程度の間欠的隆起があったことを発見した。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Komori, J., Shishikura, M., Ando, R., 2017, History of the great Kanto earthquakes inferred from the ages of Holocene marine terraces revealed by a comprehensive drilling survey, Earth Planetary Science Letters, 471, p74-84.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

・千島-日本海溝

千島の 17 世紀巨大地震の断層モデルの再検討。日本海溝南部の津波履歴の検討。

・相模トラフ

房総半島南部の海岸段丘について、掘削調査による試料採取と年代測定データの充実。

・南海トラフ

駿河湾奥沿岸地域の古地震履歴解明のための調査、分析。四国沿岸での津波堆積物調査。南西諸島北部での隆起サンゴ礁調査。

(11) 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

筑波大学、新潟大学、島根大学、法政大学、建築研究所、地域地盤環境研究所

(12) 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>

(13) 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：

地震時変位量に基づく連動型古地震像復元手法の研究

(3) 最も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・火山現象の解明

ア. 史料, 考古データ, 地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

(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整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(4) 研究者, 技術者, 防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

糸魚川-静岡構造線活断層系等の内陸活断層帯において地質学的・古地震学的な調査を実施し、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 カ年で実施する。地震時変位量等を基準としてセグメント境界の連動/非連動を判別することによって連動性を評価し、最近数回の地震サイクルにおける古地震シナリオを構築する。さらに、その古地震シナリオを反映した地震規模予測および長期予測の高度化について検討する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 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。

平成 27 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。

平成 28 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。

平成 29 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。

平成 30 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。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

平成 29 年度は、これまでに産業技術総合研究所で実施した神城断層・大町平地区で実施したジオスライサー調査の再検討，2014 年長野県北部の地震に関する古地震調査の結果をとりまとめた。新規の調査については担当者の状況によって見送り、次年度以降に実施することにした。

神城断層の南端付近に位置する大町平地区では、群列ジオスライサー・ボーリング調査を実施されている。詳細な地形地質断面を作成した結果、約 1 万年前以降の河川性堆積層および湖沼性堆積層に東側隆起の累積的な上下変位と撓曲変形が生じており、ボーリングで地表から深さ約 10m に東傾斜約 20 °の低角逆断層が認められている。従来は、1.1 万年前の扇状地性砂礫層の堆積以降に少なくとも 3 回の古地震イベントが識別されていた。

今回、地形地質断面の地層の対比や年代測定結果を再検討した結果、1.1 万年前の砂礫層以降に 10.0m の累積的な上下変位が生じており、確実な古地震イベント 3 回と不確かなイベント 2 回を識別可能であることが判明した。さらに下位の砂礫層と腐植質シルト層は 1.2 万年の年代測定試料を包含し、12.0 m の累積上下変位を伴うことが明らかとなった。これらの結果、1.2 万年前以降に 4 回もしくは 6 回の古地震イベントが生じたと考えられる。

それぞれの古地震イベントに伴う地震時上下変位量について、イベント回数が 4 回のケースと 6 回のケースのそれぞれについて再検討した。その結果、前者のケースでは新しいイベントからそれぞれ 3.8m、4.7m、1.5m、2.0m の地震時上下変位が生じた可能性がある。一方、後者のケースでは、新しいイベントからそれぞれ 3.1m、0.7m、1.8m、2.9m、1.5m、2.0m の地震時変位が生じた可能性がある。いずれのケースでも最新活動の上下変位は 3 m 以上であり、南隣の松本盆地東縁断層北部・大町借馬地区においても最新活動に伴う上下変位は 2m であることが確認されている。したがって、大町平地区を含む神城断層と大町借馬地区を含む松本盆地東縁断層北部は最新活動に伴い連動したと判断できる。

今後、各イベントの発生時期を再検討して変位履歴の詳細を明らかにし、昨年度までに実施した 2014 年長野県北部の地震で活動した神城断層の変位履歴等と比較検討して、過去のイベントに伴う連動範囲をさらに特定する。

2014 年長野県北部の地震については、地震直後の緊急調査によって明らかにした地表地震断層の分布と変位量、および地表地震断層上の飯森地区で実施したトレンチ調査の結果をとりまとめ学術論文として公表した。それらの結果は以下に要約される。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。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

堤 浩之・近藤久雄(2017) 過去の地震を発掘するー活断層の活動履歴調査ー，講座 地盤に刻まれた巨大地震の痕跡，地盤工学会誌，65-5，51-58 .

勝部亜矢・近藤久雄・谷口 薫・加瀬祐子(2017) 2014 年長野県北部の地震 (Mw6.2) に伴う地表地震断層の分布と変位量，地質学雑誌，123-1，1?21 .

Katsube, A., H. Kondo, and H. Kurosawa (2017), Surface rupturing earthquakes repeated in the 300 years along the ISTL active fault system, central Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 44, doi:10.1002/2017GL073746.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

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。既存の調査研究成果および本研究による成果に基づき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。

(11) 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 活断層評価研究グループ

他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 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 活断層評価研究グループ

電話 :

e-mail :

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

(13) 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 : 活断層・火山研究部門 活断層評価研究グループ

(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：

火山性流体と噴出物の解析に基づく噴火推移過程のモデル化

(3) 最も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) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

(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

(5) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 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。

火山噴出物の岩石学的・地球化学的解析に基づき、マグマ溜まりにおける噴火準備過程および直前過程の定量化を行うとともに、火山灰の解析に基づく噴火特徴把握手法の確立を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

桜島、浅間山など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、噴火発生や火山活動推移に伴う火山ガス組成の特徴と変化を把握し、火山ガス供給過程のモデル化を行う。特に桜島においては、航空機等を用いた観測も併用することにより、噴火により放出される火山ガス組成の特徴把握を目指す。また、噴煙活動を継続している火山において高時間分解能の SO₂ 放出量変動観測を実施し、噴火発生前後における火山ガス放出量変動を定量化し、噴火発生過程のモデル化を行う。伊豆大島において自然電位

の連続観測を実施し、火山活動静穏時における降雨などに対する地下水系の応答をモデル化し、火山活動に伴う変動を抽出する。さらに、想定されるマグマの貫入および火山ガスの供給に対する熱水系の応答を、シミュレーションを用いてモデル化し、発現する地表変動の多様性を評価する。

雌阿寒岳、口永良部島などにおいて、火山ガスの繰り返し観測および放熱分布の把握、自然電位分布測定などを実施し、熱水系の分布および火山ガスの起源を明らかにすると共に、熱水系シミュレーションによるモデル化を実施し、水蒸気爆発の発生に関与している熱水系の実体を明らかにする。

有珠、伊豆大島等マグマ噴火を繰り返す火山において、斑晶の累帯構造、マグマ溜まりの岩石学的特徴、揮発性成分濃度や圧力条件を把握し、噴火直前過程や噴火に至るまでのマグマ供給系の発展を明らかにするとともに、噴火を繰り返すメカニズムを解明する。桜島火山など活発に噴火している火山について、火山灰構成粒子の観察・分析等に基づき噴出物の特徴を把握するとともに、他の観測量や岩石学的解析と比較に基づきマグマ上昇・脱ガス過程をモデル化する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

浅間山、阿蘇において Multi-GAS による火山ガス組成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、噴火推移の評価を行った。阿蘇火山において、2015 年の噴火活動期に放出された塩を主体とする中空の降下物の化学分析を実施し、熱水が噴煙に取り込まれ蒸発して生じたものであることを示し、噴火活動期においても地下には熱水系が存在していることを明らかにした。阿蘇火山の 2014-2015 年の噴火中の火山ガス組成の変化を把握し、噴火中には 0.1-20MPa の範囲の様々な圧力でマグマの脱ガスが生じていること、および噴火の進行とともに熱水系の寄与が増大することなどをあきらかにした。10 月 11 日に噴火した霧島山新燃岳の火山ガス放出状況を把握するために、10 月 12 日にセスナ機を用いた火山ガス組成および放出率の観測を行い、火山ガス組成は把握するとともに SO₂ 放出率が 1 万 t/day を超える大規模な脱ガスが生じていることを明らかにした。

熱水系が卓越すると考えられる雌阿寒岳、十勝岳、霧島硫黄山において火山ガスの繰り返し観測を実施し、噴気活動の変化を把握した。伊豆大島の自然電位の連続観測は顕著な年周変動を記録している。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。このような自然電位の特性は、火山性流体の上昇に敏感であることが示された。

阿蘇火山中岳の 2014 年噴火の噴出物の解析を行い、マグマの岩石学的特徴・揮発性成分濃度を明らかにした。3 月から活動が再開した桜島の噴出物の構成粒子解析を継続して実施し、昭和火口および南岳山頂火口の噴出物は活動が継続するにつれて結晶度が低下し発泡度が増加したことを明らかにした。8 月に顕著な溶岩噴泉活動が発生した昭和火口では、溶岩噴泉活動に先立つ 8 月 11 日ごろから低結晶度の粒子が顕著に増加したことを把握した。また南岳山頂火口の噴出物も 9 月から 11 月にかけて低結晶度の粒子が増加した。これらから、昭和火口・南岳山頂火口へのマグマの上昇が連動していたことを明らかにした。

霧島新燃岳 10 月噴火の噴出物の構成粒子を解析し、マグマの急冷によって形成されたガラス質粒子を検出した一方、多量の熱水変質岩片が含まれることも明らかにし、これらの噴火活動は地下の熱水系の活発化によるマグマ水蒸気噴火であったことを明らかにした。草津白根山 2018 年 1 月噴火では、噴出物の構成粒子が主に既存の火山体を構成する岩片と、深部からもたらされた熱水変質岩片からなることを明らかにし、噴火メカニズムが基本的には水蒸気噴火であったことを明らかにした。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

桜島、阿蘇、浅間山、諏訪之瀬島などにおいて、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

始する。また、自然電位の連続観測網を拡充する。雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、吾妻山、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、火山ガス放出量および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。

伊豆大島、阿蘇火山等の噴出物の解析を行い、マグマの揮発性成分濃度を明らかにする。継続的な噴火の発生する火山において噴出物構成粒子組成や岩石学的特徴の変化等を明らかにし、噴火推移の評価について検討を行うとともに、過去の噴出物に対する同様の検討を行い、噴出物特性と噴火推移との関係を検討する。

(11) 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 マグマ活動研究グループ

他機関との共同研究の有無：有

東京大学地震研究所（武尾実、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（鍵山恒臣、他数名）

(12) 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>

(13) 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：

地下水・地殻変動観測による地震予測精度の向上

(3) 最も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) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(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・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

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活動予測

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 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・地殻変動観測施設を整備する。南海トラフ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滑りの詳細なマッピングを行う。主に測地・測量データを解析して、想定東海地震震源域周辺における 1980 年代以降のプレート間固着の時空間分布を明らかにする。深部低周波微動発生領域における水理特性を推定する。

(7) 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)の新規整備。平成25年度までの整備済みの16観測点と併せ合計20観測点とする。短期的ゆっくり滑りを地下水位・水圧で検出可能な所があれば、臨時観測点を設置して観測網を補完する。この観測網での観測精度向上のため、観測技術の開発を行う。

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、南海トラフの深部低周波微動・短期的ゆっくり滑りの高精度モニタリングを行う。短期的ゆっくり滑りの客観的な検出システムの高度化・地震計アレイによる深部低周波微動の高精度な検出を行う。その他、解析技術の開発を行う。

1946年南海地震前後の上下変動・地下水変化・潮位変動解明のための文献調査及び潮位測定等を行う。想定東海地震震源域周辺のプレート間固着の時間変化推定のため、東海地域の水準測量データ等を解析する。

深部滑り・微動のメカニズム理解のための研究を実施する。深部滑り・微動発生における流体の影響の解析を行い、同発生領域の水理特性の推定を行う。

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引続き行う。

(8) 平成29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より、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。2016年11月~2017年10月の間に27の短期的SSEの断層モデルを決定した。

短期的SSEの検出と断層すべり分布の時空間変化の推定を同時に行う方法を提案した。シュミレーションデータで検出精度を評価した結果、高い精度ですべり開始時点・終了を推定し、また、従来法に比べすべり量の時空間変化の推定精度の改善を確認した。さらに、実際の歪データを用いて推定したすべり開始・終了時点は微動発生期間と一致した。

三重県内の中央構造線断層帯(MTL)の透水係数を産総研が掘削した2本の井戸の水理試験と長期水位観測で求めた。求めた透水係数は、MTLの露頭で断層帯の中央からの距離ごとにサンプリングされた岩石の実験から求めた詳細なMTLの透水構造を示した既往研究と類似した値となり、MTLの複雑な透水構造を反映していることがわかった。

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共催し、プロシーディングスを公開した。

(9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

Araki, T., Ochi, T., Matsumoto, N., and Akaho, S., 2017, Simultaneous estimation of spatio-temporal distribution and duration of slow slip event by switching model, *Journal of Signal Processing*, 21, 297-308.

木口努・松本則夫・北川有一・板場智史・落唯史・佐藤努・武田直人, 2017, 東海・関東・伊豆地域における地下水等観測結果(2016年11月~2017年4月)(55), *地震予知連絡会会報*, 98, 275-281.

木口努・松本則夫・北川有一・板場智史・落唯史・佐藤努・武田直人, 2018, 東海・関東・伊豆地域における地下水等観測結果(2017年5月~2017年10月)(56), *地震予知連絡会会報*, 99, 印刷中

北川有一・板場智史・武田直人・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(2016年11月~2017年4月), *地震予知連絡会会報*, 98, 325-338.

北川有一・板場智史・武田直人・松本則夫・落唯史・木口努, 2018, 紀伊半島~四国の歪・傾斜・地下水観測結果(2017年5月~2017年10月), *地震予知連絡会会報*, 99, 印刷中.

Matsumoto, N., and Shigematsu, N. 2018, In-situ permeability of fault zones estimated by hydraulic tests and continuous groundwater-pressure observations, *Earth, Planets Space*, 70, 13, doi:10.1186/s40623-017-0765-5.

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, 2017, 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(2016年11月~2017年

4月), 地震予知連絡会会報, 98, 263-274.

(10) 平成30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, 既存の地下水井戸の利用および高度化を行ない地下水等総合観測網による短期的ゆっくりすべりの検出能力向上を図る. 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. 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. 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.

(11) 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 地震地下水研究グループ

他機関との共同研究の有無: 有

気象庁、防災科学技術研究所、名古屋大学、京都大学、鳥取大学、神奈川県温泉地学研究所、台湾国立成功大学等

(12) 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-ml@aist.go.jp

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

(13) 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

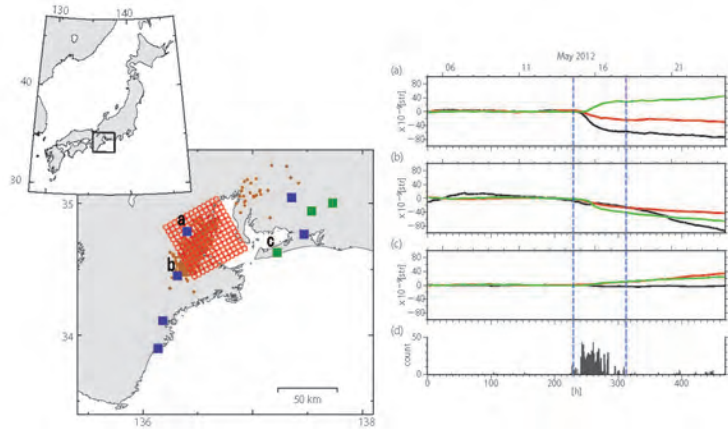


図 1

左上図, 四角: 研究対象領域. 左下図, 青四角: 産総研のひずみ計の位置, 緑四角: 気象庁のひずみ計の位置. 赤丸: 仮定した小断層の位置. オレンジの小丸: 深部低周波微動の震源位置. 右図, (a)(b)(c): 左下図に示した観測点 a, b, c での 2012 年 5 月のひずみデータ (トレンド成分除去済). 青点線: 提案した方法による SSE の開始と終了の推定時刻. (d): この地域で発生した微動の個数. 推定した SSE の開始時刻と終了時刻が微動の発生した期間と一致する

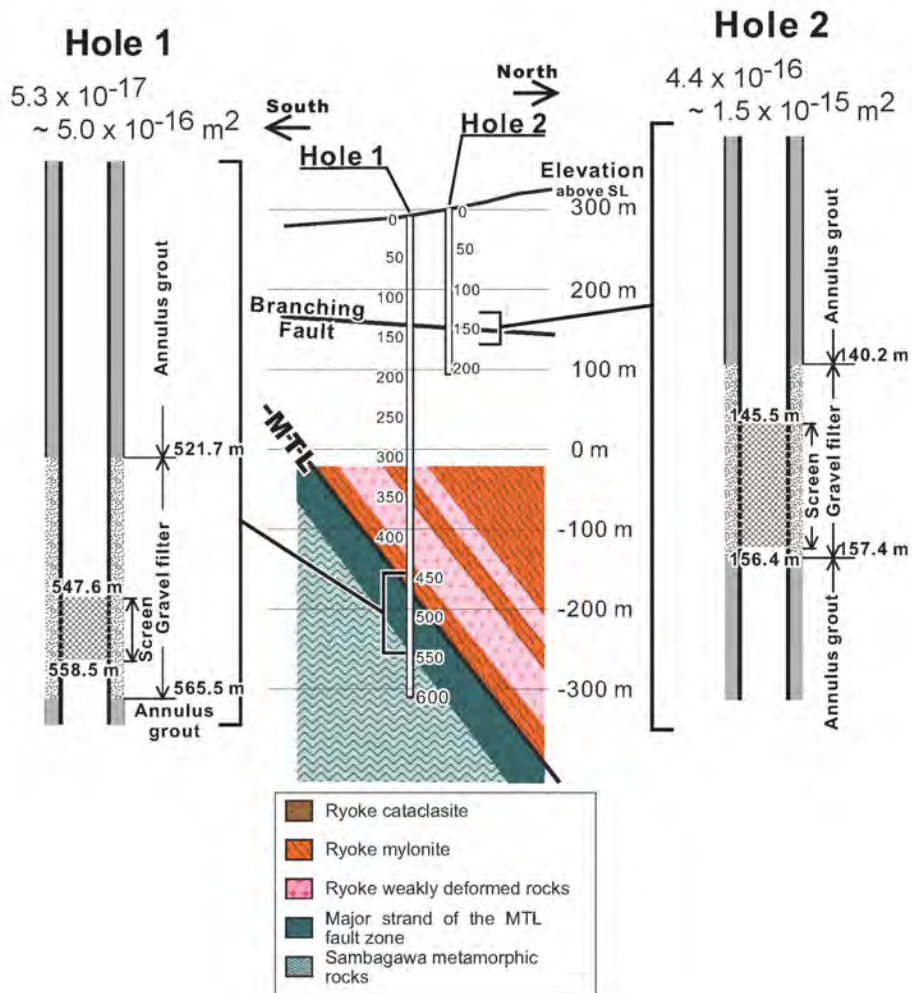


図 2

松阪飯高観測点における中央構造線断層帯の断面図と掘削した 2 本の井戸の構造および水理試験などで求めたそれぞれの井戸の透水係数

(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) 最も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) モニタリングによる地震活動予測

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

(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・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

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の事前評価手法の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

可能な限り小さな地震まで解析に含めることで、高い空間分解能を有する地殻応力図を整備する。さらにこの応力図をもとに、地形・地質情報や地震学的情報も含めて地震発生場の地域性とそのテクトニックな意味を解釈し、将来発生する地震の最大規模や発生様式を評価するための地図（地震テクトニックマップ）を作成する。関東地域の 25km 以浅をケーススタディとして試作を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度と平成 27 年度では、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を進め、関東地域の 25km 以浅における応力場を明らかにする。地震データが不足している地域では臨時観測を実施し、地震データの蓄積と解析を行う。可能な限り小さな地震まで解析に使えるようにするため、ノイズに強い地震検出法、隣接地震の複合処理による発震機構解推定法などの手法開発に取り組む。また、活断層の 3 次元地下構造を推定するため、関東平野における既存の地下構造探査データに対して最新の処理法を用いた再解析を実施する。地震テクトニックマップの有効性と限界を確認するため、過去に発生した地震の震源域の応力状態と本震の規模や発生様式との関係を調査する。

平成 28 年度は引き続き前年度までの解析を行い、地殻応力図を取りまとめる。地震活動が不活発な領域は地殻変動データ、地形地質情報、数値シミュレーション結果などを吟味して補間を行い、応力情報の空白域を無くすことを目指す。応力場のメッシュサイズはデータ量に依存するが、マグニチュード 6 後半の中規模地震であっても最大規模や発生様式の評価に繋がられるよう、最低限 10km を目指す。深さ方向にもデータの状況に応じてメッシュを配置する。結果は地殻応力場データベース (<https://gbank.gsj.jp/crstress/>) において公開する。

平成 29 年度は前年度までの解析で推定した地殻応力図や 3 次元地下構造の結果に加え、活断層分布や重力異常図などの地形・地質情報、 b 値や地震波速度構造などの地震学的情報等も考慮して地震発生場の地域性とそのテクトニックな意味を解釈し、将来発生する地震の最大規模や発生様式を評価するための地図(地震テクトニックマップ)を完成させる。

平成 30 年度では、地震テクトニックマップを基に、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。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

昨年度まで推定してきた関東地域の微小地震の発震機構解に加え、気象庁の発震機構解, Imanishi et al. (2012, GRL), 今西ほか (2013, 地震 2) の発震機構解をコンパイルし、関東地域の応力マップを作成した。応力マップを作成する際には応力テンソルインバージョンを使用することが多いが、今年度は S_{Hmax} 方位と応力場のタイプを簡便に推定する方法を検討した。具体的な手順は以下の通りである。(1) 個々の地震について、 S_{Hmax} 方位と応力場のタイプを推定する。 S_{Hmax} 方位については、Zoback (1992, JGR) に従い、P 軸、T 軸、B 軸の plunge 角から推定した(例えば、正断層型の場合は B 軸が S_{Hmax} になる)。応力場のタイプについては、Shearer et al. (2006, JGR) に従い、すべり角に基づき推定した。推定されるパラメータ (f_{type}) は - 1 ~ 1 の範囲を取り、正断層タイプの時に - 1、横ずれタイプの時に 0、逆断層タイプの時に 1 となる。

(2) 10km メッシュ毎に応力場を推定する。半径 10km 以内の位置にある地震を抽出し、 S_{Hmax} および f_{type} の平均値を計算し、そのメッシュの応力場とする。単独の地震の P 軸、T 軸、B 軸は主応力軸と必ずしも一致しないが、複数の地震の平均値は良い指標になることが知られている。

以上の方法で推定したマップを図 1 に示す。地震の個数が少ないメッシュや S_{Hmax} 、 f_{type} のばらつきが大きいメッシュは応力場を表示させていない。推定された応力分布の特徴は、応力テンソルインバージョンによる結果と調和的である。応力テンソルインバージョン法と比較すると応力比を推定できない欠点があるが、断層面の選択をしなくて済むという大きな利点がある。

活断層の 3 次元地下構造に関しては、南関東地域について既存の深部反射法データから求めた基盤深度を拘束条件として、重力データに基づき基盤深度分布を推定した。その結果、新たに従来の地震動計算用の地盤構造モデルには反映されていない基盤深度の浅い領域の存在が東京都東部に示唆された。

震源域の応力状態とそこで発生する地震の発生様式を明らかにするため、複数の地震について調査を進めた。2014 年長野県北部の地震については、前震活動の震源特性を詳しく調べたところ、通常の地震と異なり、 M_w 1.5 以下で震源パラメータの相似則が崩れることが明らかとなった (Imanishi and Uchide, 2017)。また、適切な応力場と断層形状を与え、動的破壊シミュレーションにより、本震の破壊過程の再現にも成功した (Ando et al., 2017)。茨城県北部・福島県浜通りにおける地震の調査も重点的に行った。震源スペクトル解析によって、微小地震のモーメントマグニチュード (M_w) を精密に決定し、気象庁マグニチュード (M_j) と比較した結果、 M_j が M_w に比べて系統的に小さいことを発見した (Uchide and Imanishi, 2018)。これは、主に地震波形のデジタル変換の際のアンチエイリアシングフィルタに起因することを、シミュレーションによって推定した。これにより、Gutenberg-Richter 則の b 値は、 M_j を用いたときに比べて、 M_w を用いたときの方が大きくなる。さらに、観測事実に基づいて M_j と M_w の変換式を定めた。この研究は、地震活動を用いた地震発生予測等の研究に直接影響を与え、より物理的なパラメータを用いた研究に貢献するものである。2016 年大韓民国慶州 (キョンジュ) 地震については、韓国地質資源院 (KIGAM) と共同研究を実施した (Uchide and Song, GRL, under

review) . 本震 (M_L 5.8) と最大前震 (M_L 5.1) について、強震波形を用いた断層すべりインバージョン解析を行った結果、両者の破壊伝播方向が逆向きであることが推定された。応力降下量も平均で 10 MPa を超える高い値を示した。また、余震分布から、両者が平行な 2 枚の断層でそれぞれ発生したことも明らかになった。これは、雁行配列をした断層における応力集中によって強度の高い断層が破壊された可能性を示唆する。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Ando, R., K. Imanishi, Y. Panayotopoulos and T. Kobayashi (2017), Dynamic rupture propagation on geometrically complex fault with along-strike variation of fault maturity: insights from the 2014 Northern Nagano earthquake, *Earth Planets Space*, 69:130, <https://doi.org/10.1186/s40623-017-0715-2>.
- Imanishi, K., and T. Uchide (2017), Non-self-similar source property for microforeshocks of the 2014 Mw 6.2 Northern Nagano, central Japan, earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 5401?5410, doi: 10.1002/2017GL073018.
- 今西和俊 (2017) , 講座 地盤に刻まれた大地震の痕跡 5. 地震の連鎖, 地盤工学会誌, 65. No.7, 49-56.
- Uchide, T., & Imanishi, K. (2018). Underestimation of microearthquake size by the magnitude scale of the Japan Meteorological Agency: Influence on earthquake statistics. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123. <https://doi.org/10.1002/2017JB014697>.

- (10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

関東地域における複雑な応力場の成因を明らかにするため、地形による応力擾乱や地質構造、地下構造による影響を明らかにする。

活断層の 3 次元地下構造推定に関しては、ボーリングや地震探査データなどの拘束条件をさらに追加し、重力データに基づく基盤深度分布の推定結果の高精度化をはかる。特に、基盤深度分布の短波長成分の確からしさを検討する。

また、引き続き震源域の応力状態と本震の規模や発生様式の間関係を調査するための研究を実施する。茨城県北部においては、2011 年 3 月及び 2016 年 12 月に発生した M6 程度の地震の解析と、それらの発生に至る応力変化を地震学及び測地学による多面的な解析によって定量化する。

- (11) 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
他機関との共同研究の有無：無

- (12) 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 地震テクトニクス研究グループ
電話：029-861-3691
e-mail :
URL : <https://unit.aist.go.jp/ievgroup/seismotec/index.html>

- (13) 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：活断層・火山研究部門 地震テクトニクス研究グループ

(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：

アジア太平洋地域地震・火山ハザード情報整備

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(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整理

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

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

アジア地域の地震及び火山関連情報を CCOP 関連国等と協力の上収集整備する。また、未整備な地域のデータを統一的基準で取りまとめ、「アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システム」として公開する。

ユネスコ、世界地質図委員会 (CGMW) の最新版災害図として「東アジア地域地震火山災害図」を出版する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

CCOP 関連諸国の研究機関等と連携し、一定の基準・精度をもった地震・活断層・津波・火山関連データを東～東南アジア地域において作成し（あるいは作成をサポートし）、各国で共有できるようにする。具体的には、(1) 過去の地震の観測データをデジタル化した上で、震源パラメータを再決定し、統一した広域地震データを整備する、(2) 各国の活断層分布データを収集し、統一的な活断層分布データを整備する、(3) 東南アジア地域の火山について、世界的な統一基準で火山データベースの再検討を行う。以上の情報を元に、「アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システム」の構築と公開を行う。

東アジア地域地震火山災害図 (1:7,500,000) を作成し、ユネスコ、世界地質図委員会 (CGMW) から、最新の地震火山の災害関連情報図として出版する。

GEM(Global Earthquake Model) や GVM(Global Volcano Model) と連携し、アジア地域の地震火山関連データの国際標準化を図る。

CCOP 関連諸国と定期的にワークショップ、会合、技術講習会等を開催し、アジア各国の研究機関との連携、人材教育を推進する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

産総研地質調査総合センターの G-EVER 推進チームでは、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、2016 年に出版を行った (図 1)。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 (図 2)。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。また、ハザード情報システムのモバイル版の試作を行った。

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" を開発し一般公開をおこなった (図 3)。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 50 万件のアクセスがあり、広く利用されている。

東・東南アジア地域の地質調査機関による CCOP (東南アジア地球科学計画調整委員会) の活動として、CCOP 地質情報総合共有プロジェクトにより、フィリピン、インドネシア、パプアニューギニア等の諸国と共に、活断層、地震災害関連情報、火山関連情報の整備・WebGIS による公開を進めている (図 4)。本年度は、地震火山関係では、フィリピンの活断層図、フィリピンやインドネシアの地すべりハザードマップやいくつかの火山のハザードマップの公開を行った。また、国内では、200 万分の 1 日本の火山や火山地質図の公開を行った。

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 (図 5)。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。2017 年では、約 22 万件 (ページビュー) のアクセスがある。本年度は、エナジーコーン高速版 (<http://g-ever1.org/quick/>) の改良を行い、ASTER GDEM の標高データにより全世界中の火山に対して即時に評価ができるようにした。なお、エナジーコーン高速版は、国土地理院、水管理・国土保全局、内閣府による防災アプリケーションに対する審査委員会から防災アプリ賞を受賞している (<http://www.gsi.go.jp/bousaichiri/bousaichiri61013.html>)。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

Takarada, S. (2017) The Volcanic Hazards Assessment Support System for the Online Hazard Assessment and Risk Mitigation of Quaternary Volcanoes in the World. *Front. Earth Sci.* 5:102. doi: 10.3389/feart.2017.00102 .

宝田晋治 (2017) G-EVER 火山災害予測支援システムによる火山重力流と降下テフラのハザード評価. *Proceedings of the International Meeting on Eruption History and Informatics, 2017-1, 44-54.*

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

CCOP 関連諸国の研究機関等と連携し、地震・活断層・津波・火山関連データを東・東南アジア地域において作成し、各国で共有できるようにする。平成 30 年度は、東アジア地域地震火山災害情報図の内容に加え、さらに CCOP 地質情報総合共有プロジェクト等を通じて各国が保有する地震火山関連のデータ整備を進める。これらの地震火山関連の情報を、アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムで順次公開するとともに、GIS 形式のデータ整備を進める。

(11) 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 : 有

CCOP ,GEM ,GVM, PHIVOLCS (Philippine Institute of Volcanology and Seismology), CVGHM(Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation), INGV(Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), CGMW(Commission for the Geological Map of the World)

(12) 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 : 029-861-3656

e-mail : g-ever-ml@aist.go.jp

URL : <http://g-ever.org/>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 宝田晋治

所属 : 活断層・火山研究部門

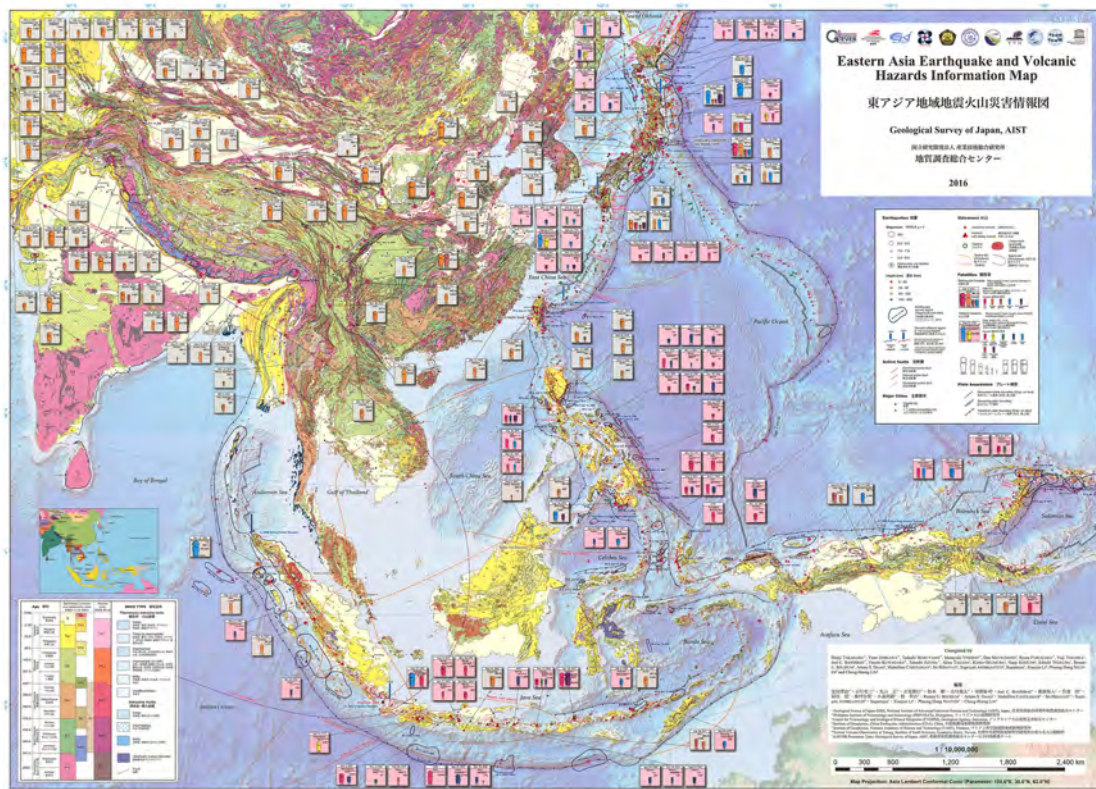


図 1. 東アジア地域地震火山災害情報図
 地質調査総合センターの HP からダウンロードできる (<https://www.gsj.jp/Map/JP/asia-area-geoscience.html>)

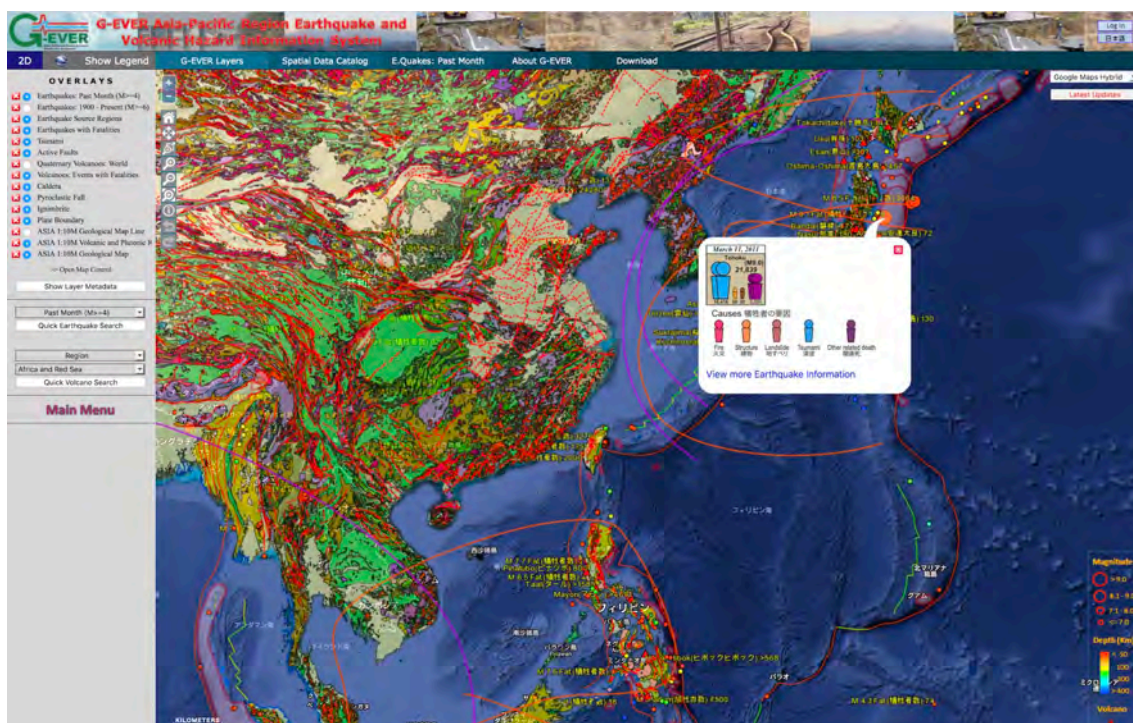


図 2. アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システム
 主なデータは GIS データをダウンロードできる . (<http://ccop-geoinfo.org/G-EVER>)

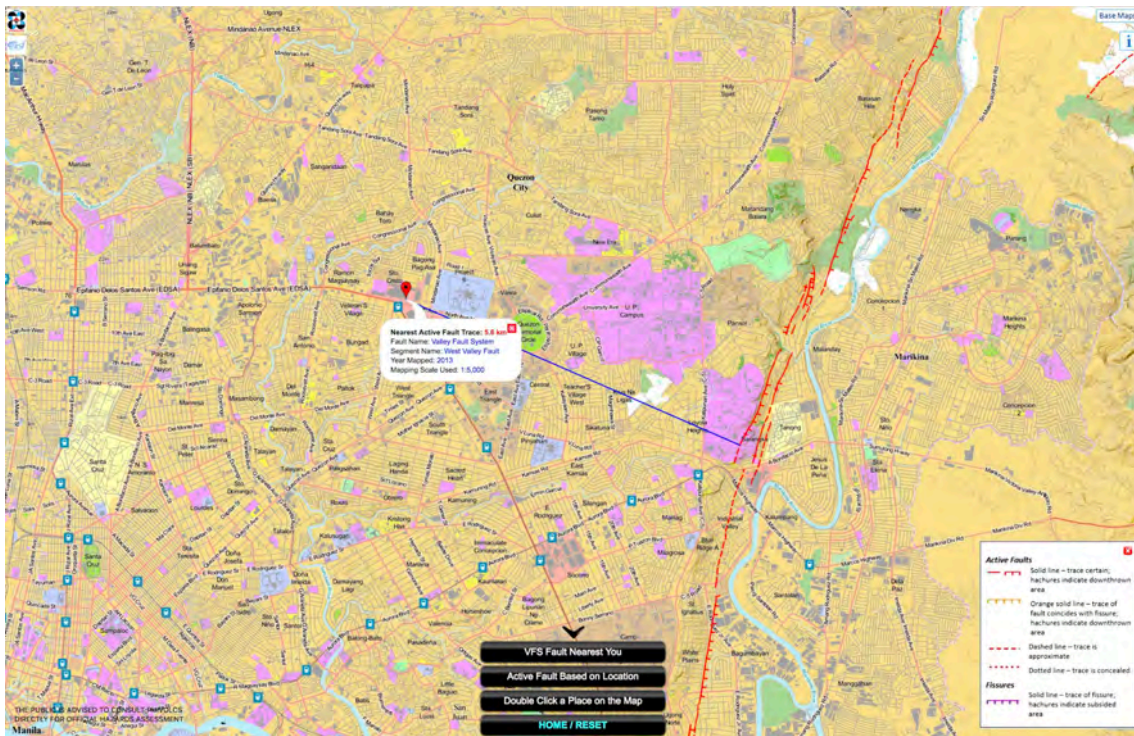


図 3. PHIVOLCS FaultFinder
 (<http://faultfinder.phivolcs.dost.gov.ph>)

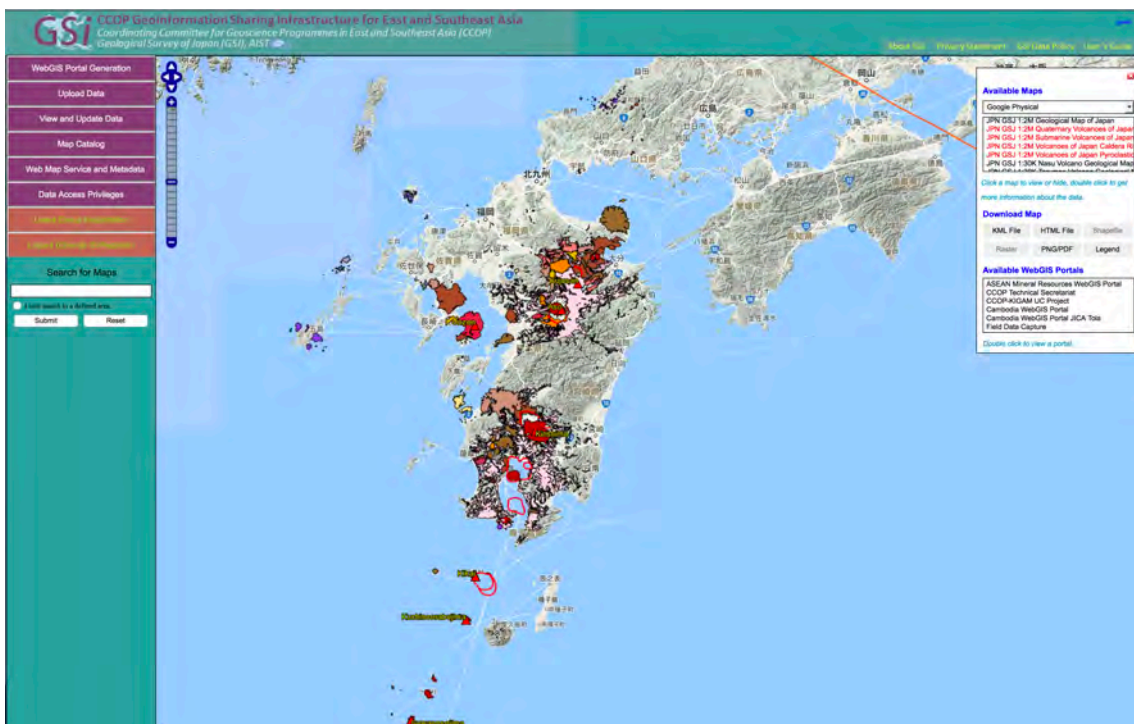


図 4. CCOP 地質情報総合共有システム
 200 万分の 1 日本の火山第 3 版を表示. (<https://ccop-gsi.org/main>)

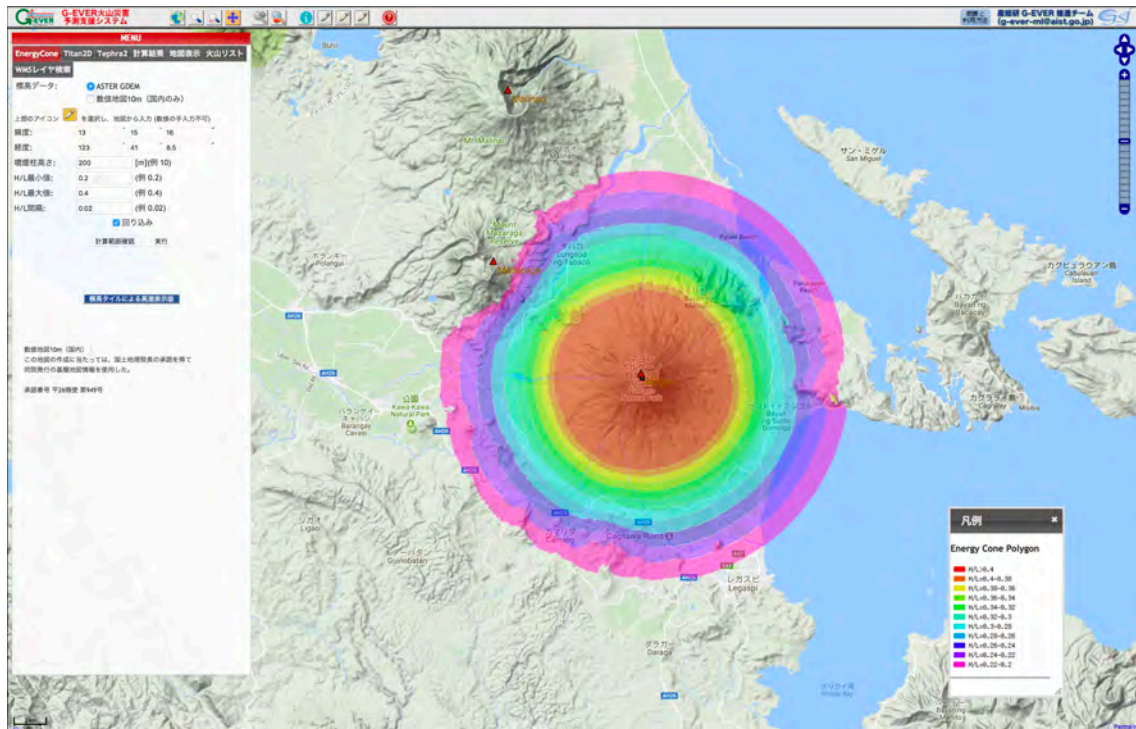


図 5. G-EVER 火山災害予測支援システム
 エナジーコーンモデルによるマヨン火山のシミュレーション結果. (<http://volcano.g-ever1.org/>)

(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) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(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・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

イ. 海洋プレート内部の地震

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

中長期的な地震発生予測の精度向上に資するため、測地学的手法による内陸地震発生域における詳細な地殻変動分布の解明、震源断層モデル推定手法の高度化及び余効変動の時間変化とその発生メカニズムの解明を通して、内陸地震発生域の地殻活動を詳細に理解する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度は、新潟県佐渡市から阿賀町に設置された GNSS 観測点においてキャンペーン観測を実施する。また、これまでの観測結果に基づき、地殻の不均質構造を考慮した地殻変動の再現シミュレーションを実施する。

平成 26 年度～28 年度は、過去に発生したマグニチュード 6～7 クラスの地震について、不均質構造を考慮して震源断層モデルの再解析を実施する。また、長期間継続する余効変動の抽出とその発生メカニズムのモデル化を実施する。

平成 28 年度～30 年度は、時間分解能の高い GNSS 時系列データを用いて過去の内陸地震発生後の初期の余効変動の抽出とその発生メカニズムのモデル化を実施する。そして、地震発生直後の短期間と長期間の余効変動及びその発生メカニズムの比較を行う。

以上は、国土地理院経費のうち技術研究開発推進費に基づいた計画である。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

平成 28 年(2016 年)熊本地震に関して、InSAR 解析から余効変動の抽出、余効変動のモデル化を実施した。2 方向の SAR 干渉データを用いることで、地表の準東西、準上下成分を抽出した(図 1)。布田川断層周辺で西向き及び隆起が、それより西側の宇土区間周辺では東向き及び沈降が検出され、GNSS データで検出された余効変動と概ね一致する結果が得られた。注目すべき点は、地震時に大きく滑った布田川断層を境にして変位の食い違いが見られないことで、断層の南北側とも隆起および西に変位していることが分かった。GNSS データの時系列解析から、余効変動は、地震直後 60 日間程度は急激な変動が続いたが、その後はゆっくりとした変動が続いている。変動速度は小さいものの、2018 年 2 月現在も継続している(図 2)。水平二層構造のモデリングから最適な弾性層の厚さは 25km、粘性率は $2.0 \times 10^{18} \text{Pa} \cdot \text{s}$ と推定された。これらのパラメータで計算された粘性緩和による変動を観測データから取り除いた後に、余効滑りをフォワードモデリングで求めた。余効滑りは布田川断層と日奈久断層帯の境界付近で大きな滑りが求まった(図 3)。余効滑りと粘性緩和のそれぞれのメカニズムの寄与は、震源域近傍(～50km)では余効滑りが、遠方(50km～)では粘性緩和の影響が大きいと考えられる(図 4)。また、粘性緩和による変動は徐々に減衰するものの 10 年後でも年間数 mm の変動が予測されることが分かった。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
Kobayashi, T., Y. Morishita, and H. Yarai, 2017, SAR-revealed slip partitioning on a bending fault plane for the 2014 Northern Nagano earthquake at the northern Itoigawa-Shizuoka tectonic line, Tectonophysics, doi:10.1016/j.tecto.2017.12.001.
水藤 尚・小林知勝・川元智司・森下 遊, 2017, ひずみ集中帯の地殻変動特性に関する研究(第 2 年次), 国土地理院調査研究年報(平成 29 年度), 印刷中。
水藤 尚, 2017, 日本列島下の粘性構造の推定に関する研究(第 1 年次), 国土地理院調査研究年報(平成 29 年度), 印刷中。

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

平成 29 年度に引き続き、佐渡市 - 阿賀町における GNSS 繰り返し観測を行い、この地域の地殻変動詳細分布と時間変化を明らかにする。また、内陸で発生した地震の余効変動のモデル化を試みる。

(11) 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：有
名古屋大学、東北大学、東京大学地震研究所

(12) 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
URL：http://www.gsi.go.jp

(13) 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

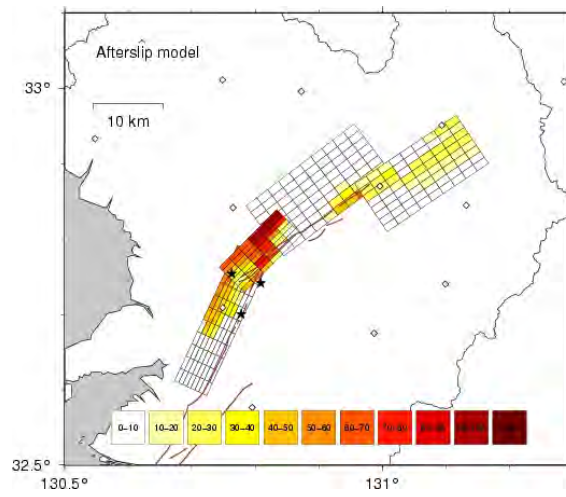


図3 . フォワードモデリングにより求めた余効滑り分布。

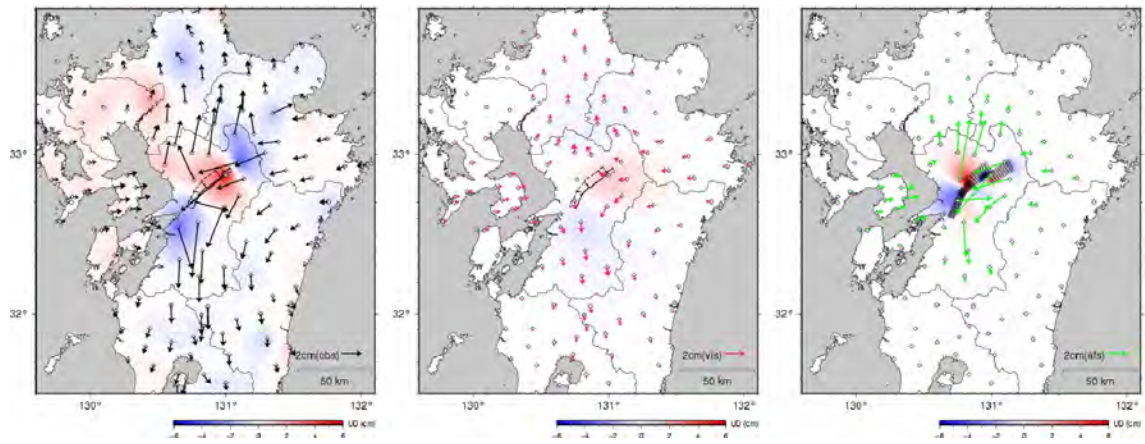


図4 . 熊本地震の1年間の余効変動。
 (左) 観測値。(中央) 粘性緩和による変動。(右) 余効滑りによる変動。

(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) 最も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) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

(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

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 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。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

平成 26 年度においては、伊豆大島、桜島のモデルにシル、ダイク、テクトニックな変形を取り入れられるように解析手法を改良し、過去のイベントも考慮して、地殻変動の観測結果を適切に説明できるモデルを構築する。

平成 27 年度においては、平成 26 年度に開発された解析手法の非線形化を行い、マグマ溜りの膨張・収縮に加えてマグマの移動まで含めた時間変化を推定できるようにし、この開発された解析手法の妥当性の評価を行う。

平成 28～29 年度においては、前年度までに開発された非線形の解析手法を実際のデータに適用して伊豆大島、桜島のマグマ溜り、シル、ダイク、テクトニックな変形のモデリングを行う。また開発された手法を元に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。

平成 30 年度においては、伊豆大島、桜島以外の火山に対象を広げる。

以上は、国土地理院経費のうち技術研究開発推進費に基づいた計画である。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

非線形の時間依存インバージョンを伊豆大島の観測点で作成したシミュレーションデータを用いて精度評価を行い、伊豆大島の観測点配置でも深さ変化をとらえられることを確認した。実際の伊豆大島のデータを使用した解析では、茂木ソースの深さの時間変化は2012年以降殆どないことがわかった。また従来の線形の解析を伊豆大島、桜島に行い茂木ソースの体積変化を調べ、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。SAR及びGNSS観測により、雌阿寒岳から雄阿寒岳にかけての領域、及び雄阿寒岳の山体で膨張性の地殻変動を捉えた。フレベツ岳の北西部を中心に約6cm隆起しながら、東西に伸長する変位を示した。深さ約6kmにおいて、やや北西に傾いたシル状のクラックが約50°開口するモデルで地殻変動は説明された。こうした広域変動に加えて、雄阿寒岳では、山体が東西に伸長する局所的な変動が観測された。

- (9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
 ・小沢 慎三郎, 測地データに基づく余効すべりと地震活動に関する研究(第8年次), 国土地理院調査研究年報(H29年度)・小林 知勝, SARデータによる地殻変動解析および地殻変動データに基づく力学的モデリングに関する研究(第9年次), 国土地理院調査研究年(H30年度)

- (10) 平成30年度実施計画の概要：
 線形、非線形の時間依存インバージョンを各種日本の火山地域に適用する。

- (11) 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

- (12) 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
 URL：http://www.gsi.go.jp

- (13) 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

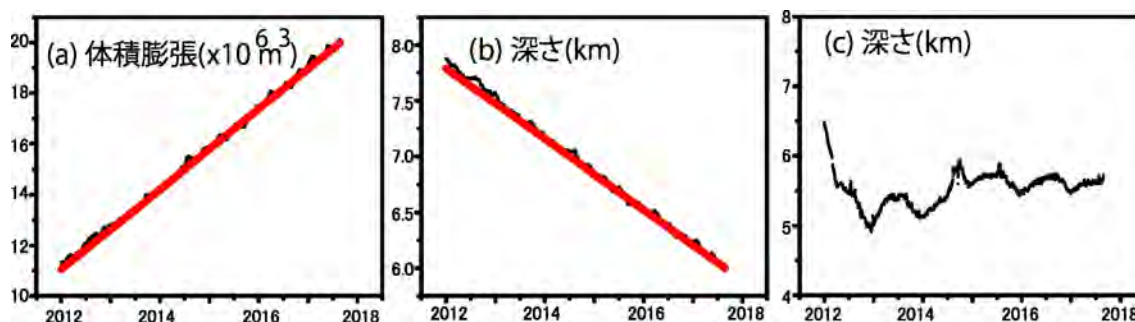


図1
 (a) シミュレーションデータから逆解析した伊豆大島の体積変化(黒)と答え(赤). (b) 推定された深さ変化(黒)と答え(赤). (c) 伊豆大島の実際のデータから推定した深さ変化.

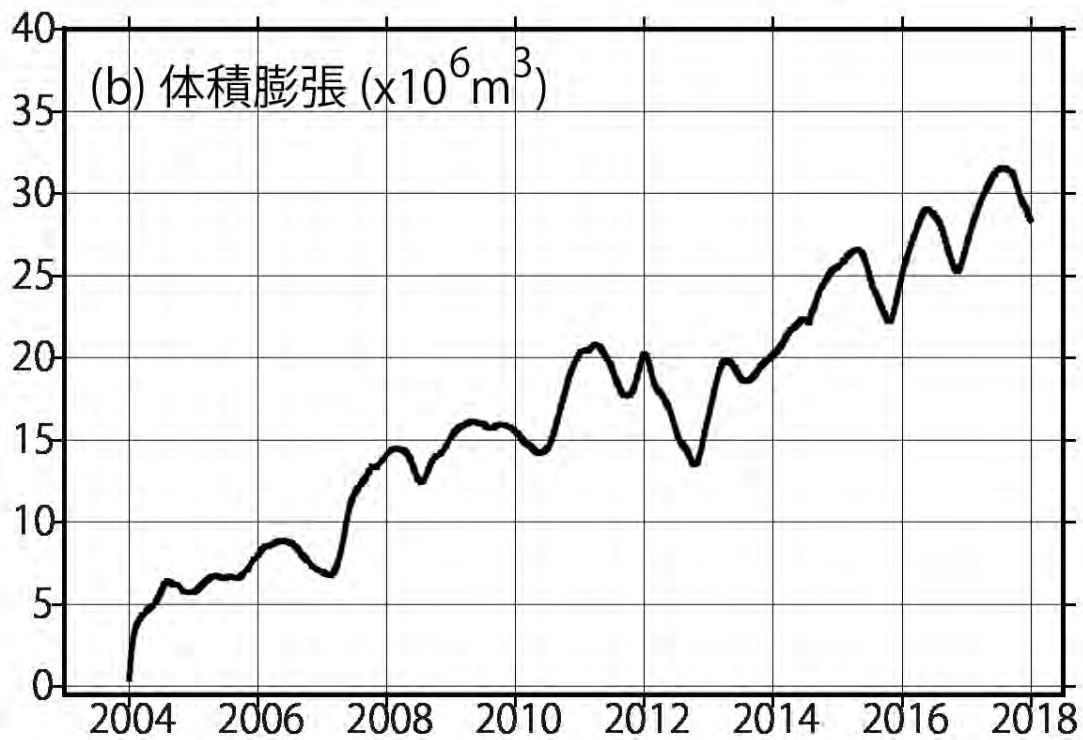
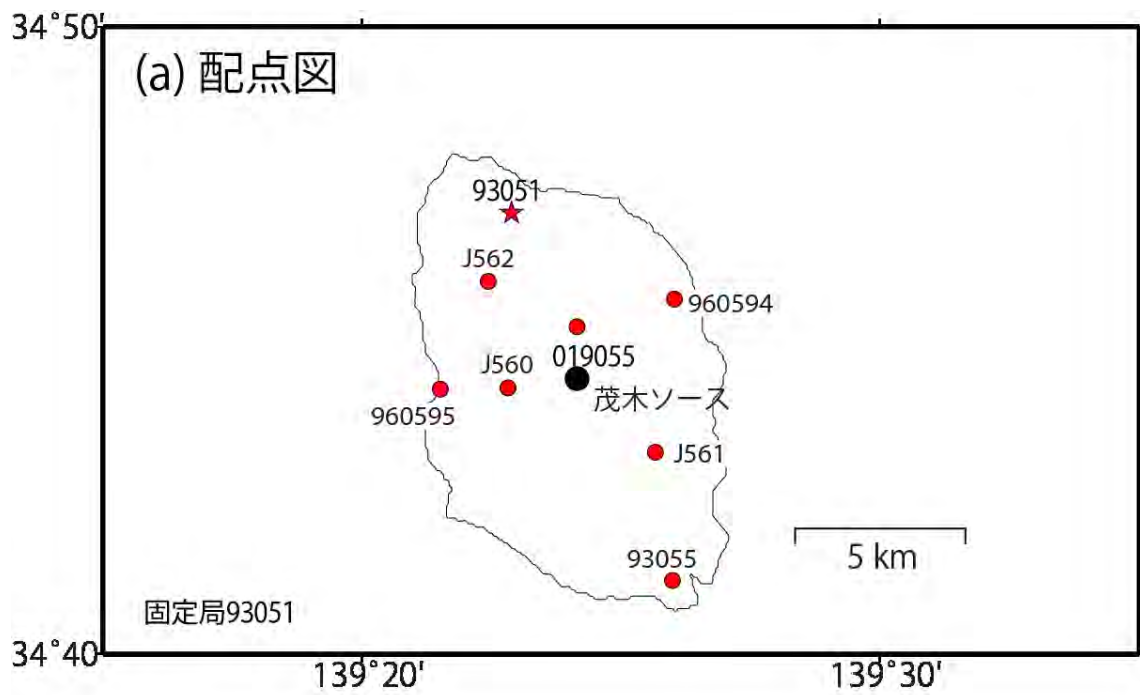


図 2
 (a) 伊豆大島の配点図. (b) 伊豆大島の体積膨張.

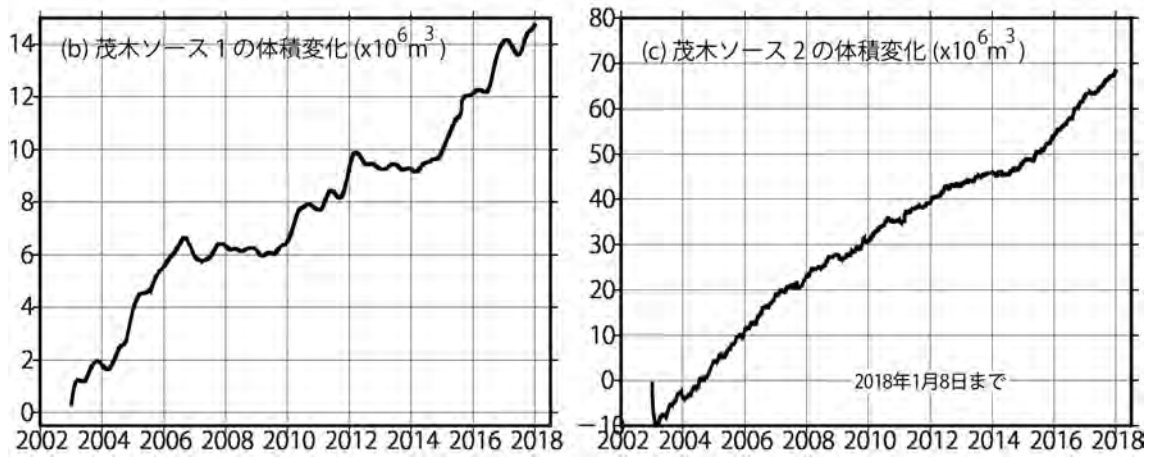
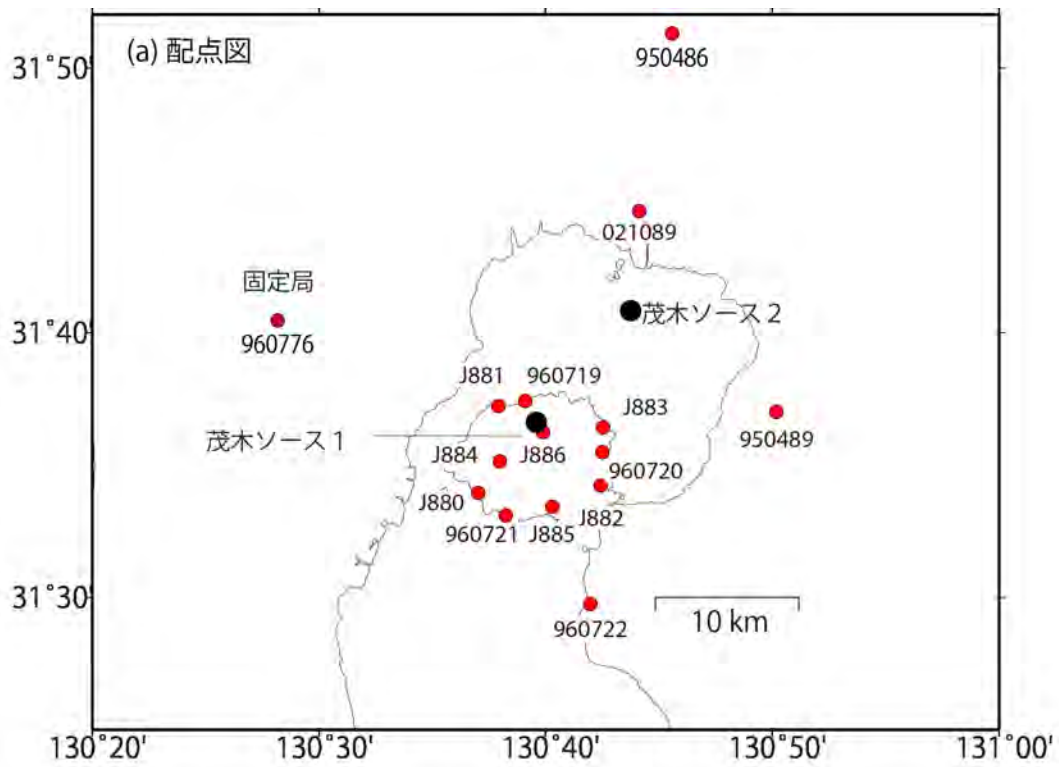


図 3
 (a) 桜島の配点図. (b) 桜島の茂木ソース 1 の体積変化. (c) 桜島茂木ソース 2 の体積変化.

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題(または観測項目)名：

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) 最も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) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(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・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 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開発し、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・滑りの時空間変化を明らかにする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26 年度においては、ブロック断層モデルの形状のモデル化を行い、並行してブロック断層モデルの解析プログラムの開発を行う。また海底地殻変動データの取り入れ手法の開発を行う。

平成 27～28 年度においては、開発されたプログラムを広域の地殻変動データに適用し、日本の主要な領域のプレート境界の滑りの時空間変化について、広域的なモデルを推定を行ない、従来の手法と比較した精度の向上を確認する。さらに、その解析及び監視を半自動で行えるシステムの構築を行う。

平成 29～30 年度においては、開発されたシステムを用いて、日本のプレート境界の固着・滑りの現在の時空間変化を推定し、その地震発生への準備過程における意味を考察する。

以上は、国土地理院経費のうち技術研究開発推進費に基づいた計画である。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

Loveless & Mead (2010)(図 1) の提唱した日本列島のブロックモデルに基づいて、東北地方太平洋沖地震前及び 2014 年以降の日本列島の解析を行った。その結果、東北地方太平洋沖地震前の解析では、先

行研究と調和的な結果が得られた(図2)。2014年以降の解析では、東海のスロースリップ、九州東岸のスロースリップに加え、紀伊半島東岸で固着が2014-2015年に比べて若干小さくなる結果が得られた(図3)。この紀伊半島東岸の固着の弱化は、紀伊半島東岸で2016年4月1日の三重県沖の地震(M5.8)に加え、一連の短期的スロースリップの発生による地殻変動の変化を受けたためであると考えられる。何故2014-2015年に比べて短期的スロースリップの発生に伴う地殻変動がトレンドを変えるほど大きくなったのかは不明であり、今後注視していく必要がある。

- (9)平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
・小沢 慎三郎, 測地データに基づく余効すべりと地震活動に関する研究(第8年次), 国土地理院調査研究年報(H29年度)
- (10)平成30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を、各種提唱されえいるブロック分けの下で行い、日本列島のブロック形状について考察する。
- (11)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
- (12)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
URL：http://www.gsi.go.jp
- (13)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

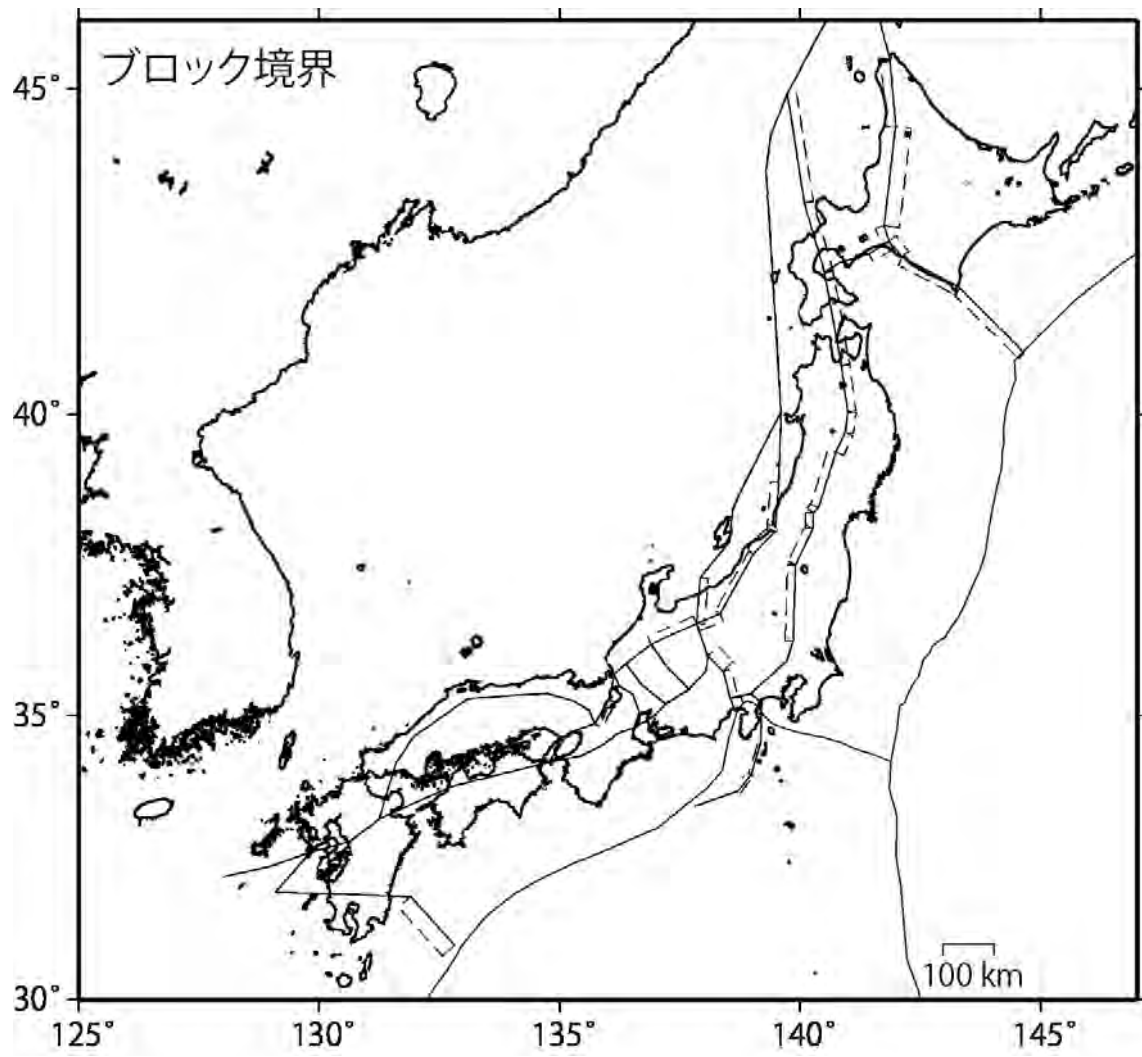


図1
Loveless & Mead(2010) の提唱したブロックモデルの形状

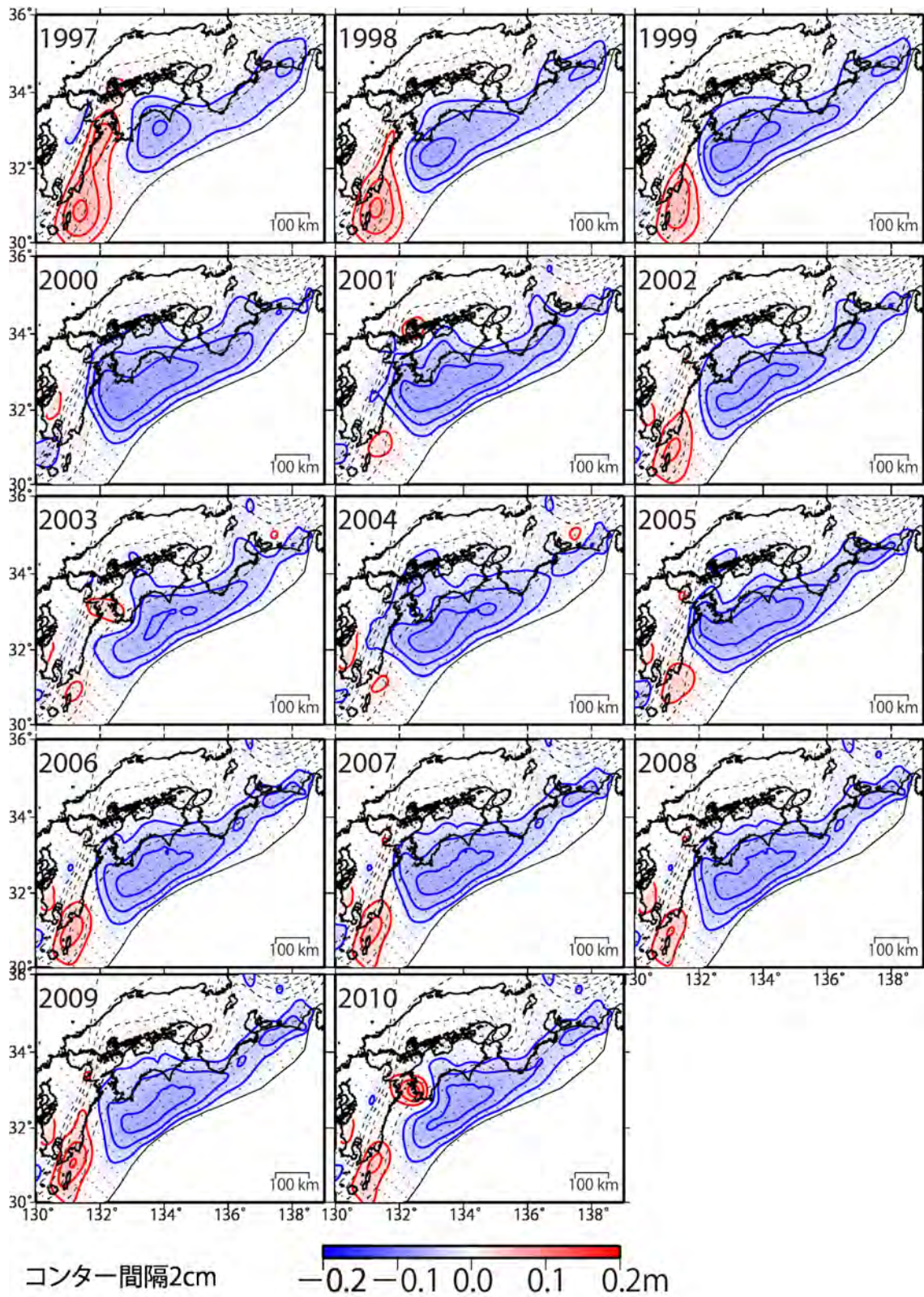
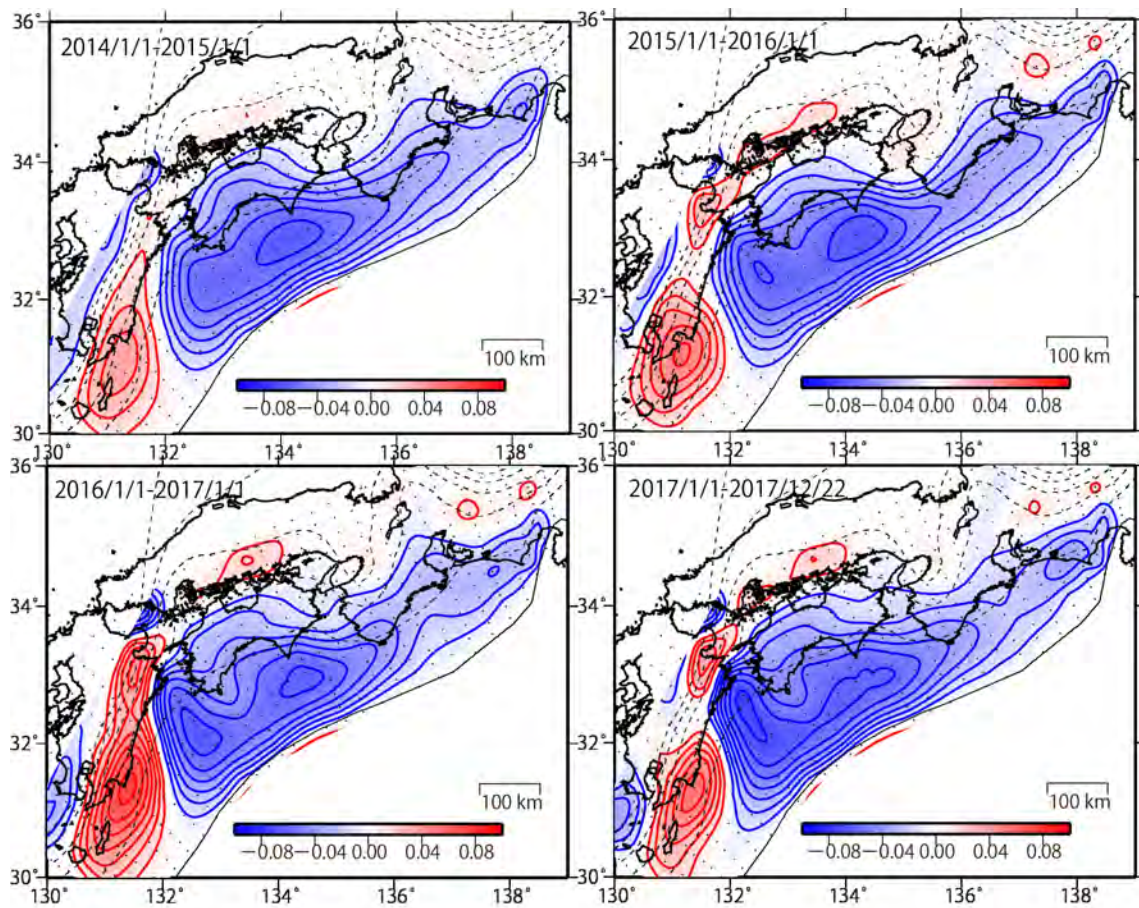


図2
東北地震前の西南日本の固着（青）と滑り（赤）



コンター間隔1cm

図3
2014年以降の西南日本の固着（青）と滑り（赤）

(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 を用いた震源メカニズム即時推定技術の開発

(3) 最も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

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

大地震の際に被害集中域の早期把握及び津波予測の高度化に資することを目指した、GNSS 解析から得られるリアルタイム地殻変動データを用いて震源メカニズムを即時に推定する技術を開発する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

大地震の際に GNSS 解析から得られるリアルタイム地殻変動データを用いて地殻変動の原因である断層の震源メカニズムを即時推定する技術の開発を行う。開発した技術については過去の地震についてシミュレーションデータ等を用いて検証を行い、GEONET リアルタイム解析システムへ組み込むための基礎技術とする。

以上は、国土地理院経費のうち技術研究開発推進費に基づいた計画である。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

平成 29 年度においては、電子基準点リアルタイム解析システムにおいて用いている相対測位法に加え、精密単独測位法を試験的に導入した。精密単独測位法では、相対測位法で用いる固定点が不要で、固定点付近で発生する地震についても正確に地殻変動を観測することが可能となる。これによって、震源断層モデル推定の安定化が見込まれる。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Kawamoto, S., Y. Ohta, Y. Hiyama, M. Todoriki, T. Nishimura, T. Furuya, Y. Sato, T. Yahagi, and K. Miyagawa, 2017, REGARD: A new GNSS-based real-time finite fault modeling system for GEONET, J. Geophys. Res. Solid Earth, 122, 1324-1349, doi:10.1002/2016JB013485.

川元智司, 2017, GNSS の GGOS への貢献と今後の展望, 測地学会誌, 63 (印刷中)

Kawamoto, S., N. Takamatsu, S. Abe, K. Miyagawa, Y. Ohta, M. Todoriki, and T. Nishimura, 2018, Real-time GNSS analysis system REGARD: an overview and recent results, Journal of Disaster Research (in press)

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

平成 29 年度までに開発した震源断層モデルを即時推定する技術の安定性向上に向けた開発、検討を行う。

(11) 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
他機関との共同研究の有無 : 有
東北大学、気象庁気象研究所

(12) 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
URL : <http://www.gsi.go.jp>

(13) 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：

GNSS 連続観測(GEONET)

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 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) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

桜島火山噴火

(6) 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。

(7) 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。

電子基準点の GNSS 化・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。

国際 GNSS 事業(IGS)に参加して国内の IGS 点のデータ提供を継続することにより、GEONET で衛星の位置情報として用いる IGS 精密暦の精度を確保し、地殻変動やプレート運動監視の基準となる ITRF 座標系の構築に貢献する。

(電子基準点課、地殻監視課)

以上は、国土地理院経費のうち地理空間情報整備・活用等推進費に基づいた計画である。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

GEONET による地殻変動連続観測を実施し、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いった。地震については、東北地方太平洋沖地震後の継続的な余効変動、6 月 20 日に豊後水道で発生した地震、6 月 25 日に長野県南部で発生した地震、7 月 1 日に胆振地方中東部で発生した地震、7 月 2 日に熊本県阿蘇地方で発生した地震、7 月 11 日に鹿児島湾で発生した地震、9 月 8 日に秋田県

内陸南部で発生した地震、10月6日に福島県沖で発生した地震に伴う非定常的な地殻変動の有無を確認した。火山についても、硫黄島、桜島周辺等における火山活動に伴う地殻変動を検出する等、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等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。

(地殻監視課)

GNSS 連続観測点で故障等により観測に障害が発生した際には、速やかに復旧作業を実施することで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) に参加し、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。

(電子基準点課)

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
- Naofumi Takamatsu, Satoshi Abe, Norihiko Ishikawa, Kazunori Yamaguchi, Yuki Kamakari, Satoshi Kawamoto, Yuki Hatanaka, Development of New GEONET Analysis Strategy ~ Incorporating GLONASS Observations Data ~, 日本地球惑星科学連合 2017 年大会
- Satoshi Abe, Naofumi Takamatsu, Akira Suzuki, Hiromi Yamao, Norihiko Ishikawa, Kazunori Yamaguchi, Satoshi Kawamoto, The GSI Contribution to the IGS, 日本地球惑星科学連合 2017 年大会
- 阿部聡・高松直史・石川典彦・木村勲・川元智司・畑中雄樹、GEONET 新解析戦略の開発、日本測地学会第 128 回講演会

- (10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

電子基準点の GNSS 化・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とともに、観測の継続のため観測機器の更新を行う。

引き続き国際 GNSS 事業 (IGS) に参加し、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する。

(電子基準点課)

- (11) 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

- (12) 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

URL : <http://www.gsi.go.jp>

- (13) 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：

地形地殻変動観測

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 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) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 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、潮位連続観測を継続すると共に、観測システムの更新やデータの共有化を進める。

地殻変動連続観測を着実に継続して実施することを通じて、東海地域の地殻活動のモニタリングシステムの高度化を更に推進することを目指す。(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。

火山性の地殻変動を詳細に捉えるため、GNSS 火山変動リモート観測装置(REGMOS)及び自動測距測角装置による連続観測を実施し、火山活動が活発化した地域においては、水準測量等による機動観測を実施し、火山観測体制の強化を図る。

(測地基準課、電子基準点課、地殻監視課)

航空機 SAR を利用して、活動的な火山における火口等の地形測量を実施し、形状の情報を蓄積する。(地図情報技術開発室)

(7) 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、GNSS 連続観測点のデータを用いて験潮場の地盤上下変動等を補正し、絶対潮位データを作成することで日本周辺の海面変動トレンドの定量的な評価を行い、これらの験潮場の観測データをホームページ等で公開していく。また、潮位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。

御前崎及び切山においてひずみ計、水管傾斜計、地震計等の地殻変動連続観測を引き続き実施し、地殻変動の監視を行う。得られたデータは、地震予知連絡会、地震防災対策強化地域判定会等の会議に適宜報告する。

以上は、国土地理院経費のうち地理空間情報整備・活用等推進費および災害情報整備推進費に基づいた計画である。(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 2,089 キロメートルを対象に、平成 26 年度においては 1,496 キロメートルの水準測量を実施し、平成 27 年度以降においては対象となる水準路線の中から特定の路線を中心に定常的な観測を実施する。

火山周辺域では、引き続き REGMOS 及び自動測距測角装置による連続観測、水準測量等による観測を実施し、平成 26 年度においては十勝岳（水準）、樽前山（水準、GNSS）において測量を実施する。

以上は、国土地理院経費のうち災害情報整備等推進費に基づいた計画である。

（測地基準課、電子基準点課、地殻監視課）

全国の活動的な火山を航空機 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、地形変化を明らかにする。

平成 26 年度においては、桜島の航空機 SAR による観測を実施し、地形解析を行う。

（地図情報技術開発室）

（ 8 ）平成 29 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の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進めた。

御前崎及び切山において、ひずみ計、水管傾斜計、地震計等の地殻変動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した。また、自動測距測角装置による連続観測を 1 火山（伊豆大島）で実施した。これらの得られたデータは、地震予知連絡会、地震防災対策強化地域判定会等の会議に適宜報告した。

なお、今後の大規模地震の切迫性が高まっている南海トラフ全体において地殻変動の監視に重点を置くため、御前崎及び切山地殻活動観測施設での観測は今年度で終了し、その役割は南海トラフ沿いの地域において機能強化される GNSS 観測による監視に引き継がれる。

（地殻監視課）

機動観測は、火山周辺地域において 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（箱根山撤去、雌阿寒岳設置）で実施した。また、GNSS による機動連続観測を 6 か所で行った。

（電子基準点課）

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 1229.5km（千葉、神奈川、相模、駿河、遠州、御前崎、紀伊北、室戸、足摺地区）を実施した。

（測地基準課）

霧島山、草津白根山及び蔵王山について、航空機 SAR による観測を実施した。

（地図情報技術開発室）

（ 9 ）平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

国土地理院,2017, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報,97,177-221

国土地理院,2017, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報,98,197-241

（ 10 ）平成 30 年度実施計画の概要：

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の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）で実施する。これらの得られたデータは、地震予知連絡会、南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会等の会議に適宜報告する。

（地殻監視課）

機動観測は、火山周辺地域において 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 (雌阿寒岳、樽前山、有珠山、北海道駒ヶ岳、浅間山、富士山、伊豆東部火山群、伊豆大島、硫黄島、霧島山) で実施する。また、GNSS による機動連続観測を、牡鹿 (1 か所) 及び静岡県中西部 (5 か所) において継続実施する。

(電子基準点課)

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 1211.2km (相模、駿河、遠州、御前崎、紀伊北、紀伊南、室戸、足摺地区) を実施する。

(測地基準課)

活動的な火山を航空機 S A R によって観測を実施し、数値標高モデルを用いた変化部分の把握等の地形解析を行う。

(地図情報技術開発室)

(11) 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

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

(12) 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

URL : <http://www.gsi.go.jp>

(13) 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：

物理測地観測

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 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) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

日本重力基準網 2013 (JGSN2013) の構築及び公表。

磁気図 2015.0 年値及び 2015.0 年値磁気偏角一覧図の刊行並及び毎年度の磁気データの提供。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

地震・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、日本列島域を対象とした絶対重力観測及び地磁気の連続観測を実施するとともに、地殻変動に伴う局所的な重力の変化を詳しく捉えるため重力測量を実施する。また、南海トラフ巨大地震の想定震源域において、繰り返し絶対重力観測を実施しその重力変化を把握する。

さらに富士山中腹において、全磁力の連続観測を行う。

以上は、国土地理院経費のうち地理空間情報整備・活用等推進費に基づいた計画である。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

平成 29 年度重力測量については、南海・東南海地域を含む全国で基準重力 1 点の絶対重力観測、一等重力点等 98 点で相対重力観測を実施し、日本重力基準網に準じた重力値を得るとともに、重力値の時間的な変化を把握した。

過去に整備した二等重力データ(約 14,000 点)の日本重力基準網 2016 への整合を図るため、必要な観測や整合手法の検討を実施した。

地磁気測量については、鹿野山測地観測所、水沢測地観測所、江刺観測場及び全国 11 点の地磁気連続観測点で地磁気連続観測を実施した。また、地磁気連続観測点 10 点及び一・二等磁気点 4 点で地磁気絶対観測等を実施し、日本全国の地磁気の時間変化及び地理的分布を把握した。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。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

加藤 知瑛・吉田賢司・平岡喜文・矢萩智裕，石岡測地観測局における絶対重力計の国内比較観測の実施及び日本重力基準網 2016 (JGSN2016) の構築，日本地球惑星科学連合 2017 年大会予稿集 (発表番号：SGD02-05) 。

宮崎隆幸，2017，過去の稠密重力データの日本重力基準網 2016 への整合手法の高度化，日本地球惑星科学連合 2017 年大会予稿集 (発表番号：SGD02-06) 。

矢萩智裕・吉田賢司・平岡喜文・加藤知瑛，2017，石岡測地観測局における絶対重力計の国内比較観測の実施及び日本重力基準網 2016 (JGSN2016) の構築，日本地球惑星科学連合 2017 年大会予稿集 (発表番号：SGD01-P09) 。

K. Yoshida and T. Yahagi, Establishment of the new Japan Gravity Standardization Network(JGSN) 2016, Joint Scientific Assembly of the International Association of Geodesy and the International Association of Seismology and physics of the Earth's Interior(IAG-IASPEI) ,2017 , abstract book, (Program No.G02-P-04).

高橋伸也・菅原安宏・矢萩智裕，2017，偏角 (予測値) 計算手法の構築，2017 年度 CA 研究会論文集

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

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 測位によっていつでも・どこでも・だれでも容易に信頼できる標高が得られる環境を整備することで、地震時の沈降等を踏まえた適切な津波からの避難誘導を可能とし、被害の軽減に資する。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を取得及び提供する。

(11) 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：有

東京大学地震研究所

(12) 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

URL：http://www.gsi.go.jp

(13) 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：

宇宙測地技術による地殻変動監視

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 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：

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

4. 研究を推進するための体制の整備

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

合成開口レーダーを利用した SAR 干渉解析により、日本全国の地殻変動を面的かつ高精度に監視し、火山活動や地震によって生じた地殻変動を把握する。また、地震発生の可能性の高い地域において、地殻変動分布を明らかにする。

GNSS 連続観測により、日本周辺のプレートの広域的な運動及びアジア太平洋地域の地殻変動を把握する。また、国際 VLBI 事業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 ITRF 座標系の構築等に貢献する。

国連地球規模の地理空間情報管理に関するアジア太平洋地域委員会 (UN-GGIM-AP) の下で実施される GNSS キャンペーン観測に参加し、地殻変動監視の基準となるアジア太平洋地域の基準座標系

(APREF) の構築に貢献する。また、APREF 構築のために、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する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要 :

陸域観測技術衛星 2 号 (ALOS-2) 等を利用し、干渉 SAR 時系列解析など最新の SAR 干渉解析手法により全国の地殻変動を高精度に捉える。活動的な火山地域、地震発生の高いプレート境界沿いやひずみ集中帯の地域において、地殻変動の面的分布を高精度に把握する。地震に伴う災害発生時は、緊急的な SAR 干渉解析を実施し、その結果を迅速に提供することにより、災害復旧・復興に資する。

アジア太平洋地域において、次世代の VLBI 仕様に準拠した、アジア・オセアニア VLBI グループによる測地観測への石岡測地局の参画並びに、同地域における GNSS 連続観測を安定的に実施することにより、プレートの広域的な運動及びアジア太平洋地域の地殻変動を高精度に把握するために必要な基準座標系の構築に貢献する。

以上は、国土地理院経費のうち地理空間情報整備・活用等推進費および災害情報整備推進費に基づいた計画である。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

ALOS-2 の SAR データを用いて北方四島を含む国土全域を対象に SAR 干渉解析を行い、国内の火山や海外で発生した地震において変動を検出した。雌阿寒岳・雄阿寒岳では、2016 年 10 月~2017 年 5 月の異なる方向からの SAR 干渉画像と GEONET データを用いて、地下膨張源モデルを作成した。地殻変動は、このモデルにより火山の間の深さ約 6 km において、やや北西に傾いた大きさ 11km × 2km のシル状のクラックが 50cm 開口し、約 1 千万 m³ の膨張が生じたと説明できる (図 1)。霧島山 (新燃岳) では、2014 年秋以降の約 3 年間のデータを用いた干渉 SAR 時系列解析により、火口周囲直径約 2km の範囲で 1 年間当たり最大 5mm 以上の隆起と最大 10mm 以上の水平方向の拡大、及び火口西側斜面で 1 年間当たり最大 10mm 以上の局所的な隆起を捉えた (図 2)。これらの解析結果は、火山噴火予知連絡会で火山活動の評価に活用された。2017 年 11 月 13 日にイラン・イラク国境付近で発生した Mw7.3 (USGS) の地震では、地震前後の SAR データを用いた SAR 干渉解析から、震源域周辺の上下・東西方向の変動分布を明らかにし、SAR 干渉画像をもとに作成した震源断層モデルにより、震央のやや南側を中心とした最大 3m の滑りが推定された (図 3)。

また、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 94 回実施した。そのうち、6 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 データとともに全球的に解析し、観測局位置とその変化を求めた。石岡局は完成して間もないため 2 年半程度の観測データしかないが、水平約 1.3mm、鉛直約 1.8mm 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 25.0mm/年 (方位角 132 ° 方向) であった (図 4)。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成分を含んでいるものと考えられる。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

Kobayashi, T., Y. Morishita and H. Yarai, SAR-revealed slip partitioning on a bending fault plane for the 2014 Northern Nagano earthquake at the northern Itoigawa-Shizuoka tectonic line, Tectonophysics, in press, doi:10.1016/j.tecto.2017.12.001.

Fujiwara, S., Y. Morishita, T. Nakano, T. Kobayashi, and H. Yarai (2017), Non-tectonic liquefaction-induced large surface displacements in the Aso Valley, Japan, caused by the 2016 Kumamoto earthquake, revealed by ALOS-2 SAR, Earth Planet. Sci. Lett., 474, 457-465, doi:10.1016/j.epsl.2017.07.001.

Fujiwara, S., M. Murakami, T. Nishimura, M. Tobita, H. Yarai, and T. Kobayashi (2017), Volcanic deformation of Atosanupuri volcanic complex in the Kussharo caldera, Japan, from 1993 to 2016 revealed by JERS-1, ALOS, and ALOS-2 radar interferometry, Earth Planets Space, 69: 78, doi:10.1186/s40623-

017-0662-y.

Kobayashi, T., H. Yarai, Y. Morishita, S. Kawamoto, S. Fujiwara and T. Nakano (2017), Detailed ground surface displacement and fault ruptures of the 2016 Kumamoto Earthquake Sequence revealed by SAR and GNSS data, in Proc. 11th UJNR 2016, California, 31-32, doi:10.3133/ofr20171133.

Fujiwara, S., H. Yarai, T. Kobayashi, Y. Morishita, T. Nakano, B. Miyahara, H. Nakai, Y. Miura, H. Ueshiba, Y. Kakiage and H. Une, Small (2017) Small displacement surface linear ruptures of the 2016 Kumamoto Earthquake Sequence detected by ALOS-2 SAR interferometry, in Proc. 11th UJNR 2016, California, 33-34, doi:10.3133/ofr20171133.

Kobayashi, T. (2017), Earthquake Rupture Properties of the 2016 Kumamoto Earthquake Foreshocks (Mj 6.5 and Mj 6.4) Revealed by Conventional and Multiple-aperture InSAR, in Proc. 11th UJNR 2016, California, 131-132, doi:10.3133/ofr20171133.

Wakasugi, T., M. Umei, T. Toyoda, M. Ishimoto, R. Kawabata and B. Miyahara, 2017, VGOS Development for Ishioka 13-m Antenna, Proceedings of the 23rd European VLBI Group for Geodesy and Astrometry Working Meeting, 84-87, ISBN: 978-91-88041-10-4.

小林知勝 (2017), だいち2号が捉えた熊本地震の地殻変動, 土木学会地震工学委員会2016年熊本地震被害調査報告書, 2.3節.

仲井博之・三浦優司・山下達也・攪上泰亮・宮原伐折羅・島久実・菅富美男・小林知勝・中埜貴元・宇根寛・吉田一希・飯村元紀, GEONET及びSAR干渉解析による茨城県北部の地震に伴う地殻変動と地表変形, 国土地理院時報, 129, 印刷中.

(10) 平成30年度実施計画の概要:

ALOS-2で観測したSARデータをもとに、日本全国のSAR干渉解析を定期的を実施し、国内陸域の活火山をはじめとした国土全域の変動を監視する。また、地震や火山活動に伴う災害の発生が予想される場合には、緊急的なSAR干渉解析を実施する。VLBIは、引続き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。

(11) 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

(12) 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

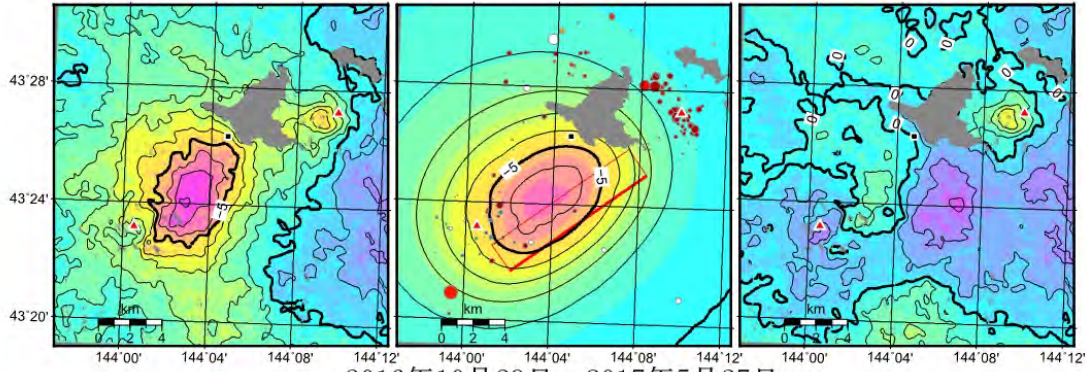
URL: <http://www.gsi.go.jp>

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

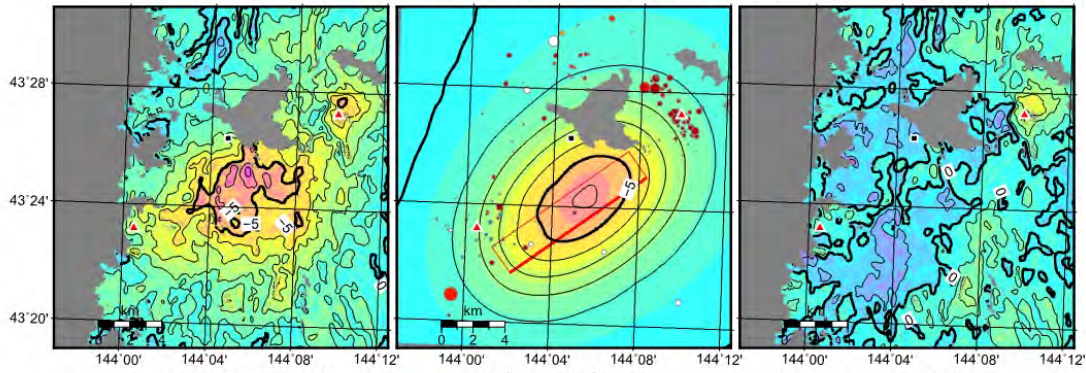
氏名: 矢来博司

所属: 地理地殻活動研究センター 地殻変動研究室

2016年10月31日～2017年5月29日



2016年10月29日～2017年5月27日



干渉SAR観測値

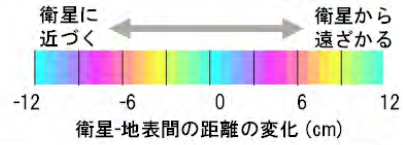
モデル (計算値)

残差

コンター間隔1cm

シルモデル位置 (モデルの上端が太線)

気象庁一元化震源



深さ	長さ	幅	走向角	傾斜角	開口量	体積変化量
5.8km	10.5km	2.1km	233度	18.5度	0.5m	$11.0 \times 10^6 \text{m}^3$

図1 雌阿寒岳 - 雄阿寒岳間の地下膨張源のモデル

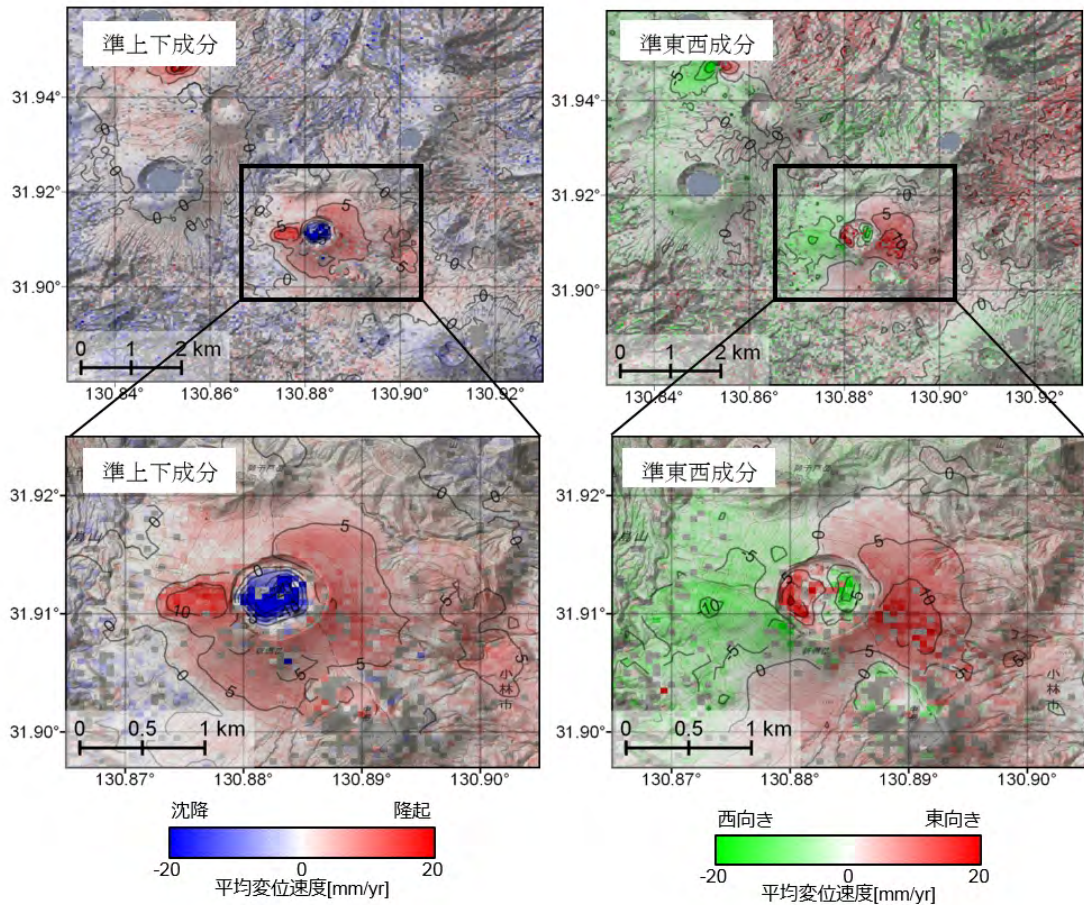


図2 霧島山(新燃岳)における干渉 SAR 時系列解析による準上下・準東西成分の平均変位速度

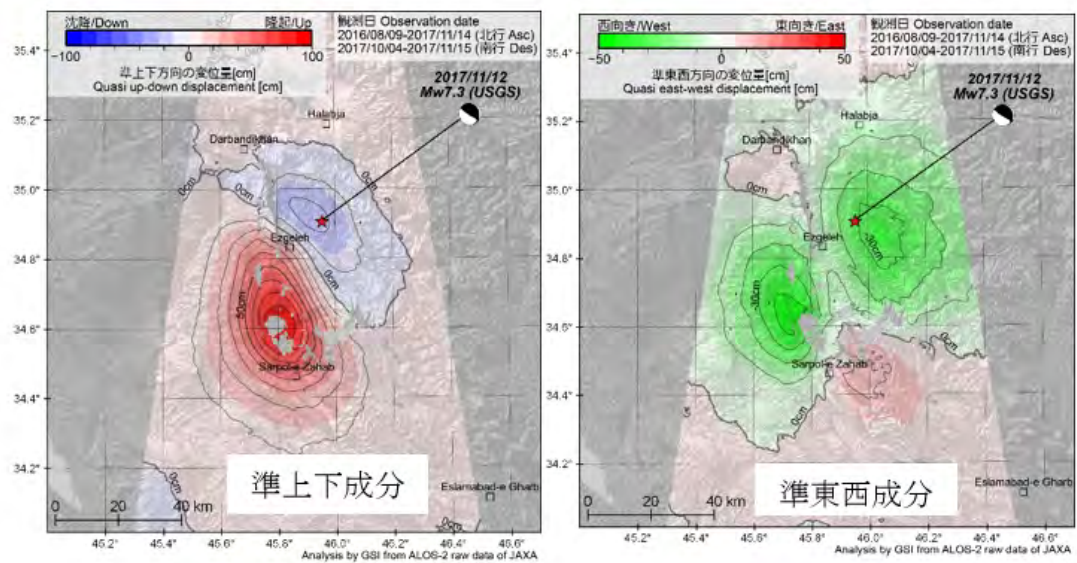


図3 イラン・イラク国境付近の地震に伴う準上下・準東西成分の変動量

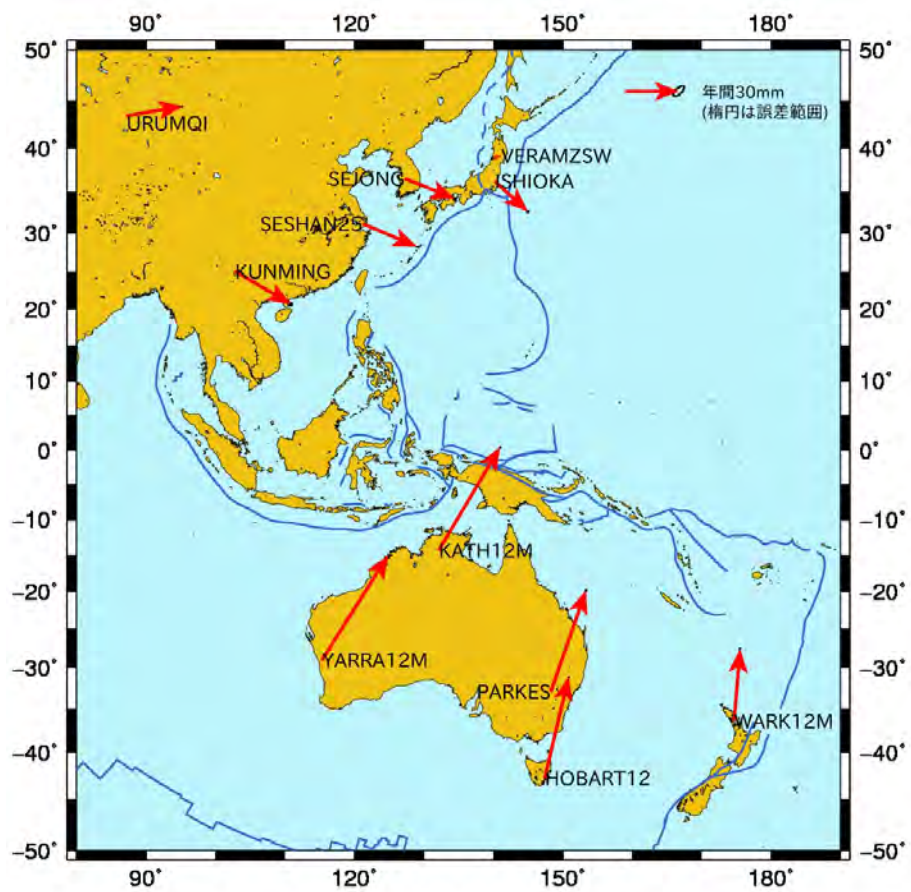


図4 VLBI観測データの解析により得られたアジア・オセアニア地域のVLBI観測局の速度

(1) 実施機関名：

国土地理院

(2) 研究課題(または観測項目)名：

火山基本図・火山土地条件図整備

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(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整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 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 47 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。

(7) 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火山防災地形データとして整備・提供するものである。

平成 26 年度においては、「秋田駒ヶ岳」の火山土地条件調査を実施する。

平成 27～30 年においては、毎年度、1 火山を対象に火山土地条件調査を実施し、火山土地条件図数値データを整備・提供予定。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

平成 28 年度に調査を実施した火山土地条件図「鳥海山(北部)」の数値データの整備及び「鳥海山(南部)」の火山土地条件調査を実施した。

火山基本図「西之島」「弥陀ヶ原」「霧島山」「口永良部島」「鳥海山」「吾妻山」の数値データを整備した。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

火山土地条件図「鳥海山(南部)」の数値データの整備及び「八丈島」の火山土地条件調査を実施予定。

「草津白根山」ほか3火山を対象に火山基本図の整備を予定。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

応用地理部 防災地理課

他機関との共同研究の有無：無

(12) 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

URL：http://www.gsi.go.jp

(13) 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：

都市圏活断層図整備

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(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整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

都市周辺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。

(7) 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。

平成 26 年度においては、砺波平野断層帯、三峠・京都西山断層帯、山崎断層帯、雲仙断層群、人吉盆地南縁断層帯、5 断層帯を 1:25,000 都市圏活断層図として整備。

平成 27～30 年においては、毎年度、3 断層帯を調査する予定。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

平成 28 年度に調査を実施した屏風山恵那山断層帯及び猿投山断層帯とその周辺「中津川」「恵那」、鈴鹿西縁断層帯とその周辺「彦根東部」「御在所山」、別府 - 万年山断層帯とその周辺「豊岡」、布田川・日奈久断層帯とその周辺「阿蘇」「熊本 改訂版」7 面を整備・公開及び、糸魚川 - 静岡構造線断層帯北部、濃尾断層帯、山田断層帯北部、布田川・日奈久断層帯北部、布田川・日奈久断層帯南部の調査を実施した。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

廣内大助・澤 祥・石村大輔・岡田真介・楳原京子・後藤秀昭・杉戸信彦・鈴木康弘・松多信尚(2017)：
1:25,000 都市圏活断層図「白馬岳・大町 一部改訂版」. 国土地理院技術資料 D1-No.765,1p(四六版)
千田昇(2017)：1:25,000 都市圏活断層図 別府-万年山断層帯とその周辺「豊岡」解説書 . 国土地理院技術資料 D1-No.871 , 10p (平成 30 年 1 月現在)

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

平成 29 年度に調査を実施した、糸魚川 - 静岡構造線断層帯北部、濃尾断層帯、山田断層帯北部、布田川・日奈久断層帯北部、布田川・日奈久断層帯南部の 1:25,000 活断層図を整備・公開及び牛首・跡津川断層帯、養老 - 桑名 - 四日市断層帯の調査を実施予定。

平成 29 年 10 月より名称を「1:25,000 都市圏活断層図」から「1:25,000 活断層図」に変更。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

応用地理部 防災地理課

他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 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

電話 : 029-864-5954

e-mail : gsi-eiss@ml.mlit.go.jp

URL : <http://www.gsi.go.jp>

(13) 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：

地殻活動データベース整備・更新

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(4) その他関連する建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

GNSS データクリアリングハウスに登録されている GNSS 連続観測局の所在変更が生じた場合、あるいは、GNSS 連続観測局が追加された場合には、データベースを随時更新する。さらに、現在公開している国土地理院と海上保安庁以外の機関が管理する GNSS 連続観測データの所在情報についても整備を進める。

地殻活動総合解析システムの維持及びデータベースの更新を行う。水準測量、GNSS(GEONET)、潮位観測データにおいては、年度毎に観測結果を追加するとともに、これらの原データの管理部署で進められているエラーデータの排除や観測の再解析結果を反映し、データベースを最新の状態に保つ。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 26～30 年度において、メタデータの更新を適宜実施するとともに、対象を他機関の GPS 連続観測点にも広げることにより、より一層の環境整備を進める。

以上は、国土地理院経費のうち地理空間情報整備・活用等推進費に基づいた計画である。

(電子基準点課)

平成 26～30 年度において、上記の到達目標を実現するため、各年度ごとにシステムの維持及びデータベースの更新を行う。また、システムのユーザーインターフェース改良等を平行して実施する。外部公開用の CD-R 媒体を作成し、希望者に配布する。

以上は、国土地理院経費のうち災害情報整備推進費に基づいた計画である。

(地殻変動研究室)

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

国土地理院が公開する GNSS 連続観測データに関する所在情報を、引き続き国土地理院のホームページから公開した (<http://datahouse1.gsi.go.jp/>)、

(電子基準点課)

最新の地殻変動等の観測結果 (GNSS、水準測量、潮位観測) を地殻活動総合解析システムのデータベースに追加した。また、システムの操作性の向上を図るための地図表示機能の改良等を行った。

(地殻変動研究室)

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

国土地理院が公開する GNSS 連続観測データに関する所在情報を整備し、国土地理院のホームページから引き続き公開する。

地殻活動総合解析システムの維持及びデータベースの更新を引き続き行う。また、システムのユーザーインターフェース改良等を平行して実施する。

(11) 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

(12) 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

URL : <http://www.gsi.go.jp>

(13) 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：

GNSS 観測・解析技術の高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 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

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

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

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

- ・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する。
- ・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する。
- ・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する。

(宇宙測地研究室)

- ・GEONET リアルタイム解析システムについて、全国の電子基準点を対象として安定した運用ができるようシステムの構築を行う。

(電子基準点課)

(7) 本課題の 5 か年計画の概要 :

- ・平成 26 年度において、電子基準点観測データの誤差特性を分析する技術の開発を行う。
- ・平成 26 年度～28 年度において、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する。
- ・平成 26 年度～29 年度においてリアルタイム GNSS 解析の技術を安定化、高精度化を図る技術を開発する。

(宇宙測地研究室)

以上は、国土地理院経費のうち技術研究開発推進費に基づいた計画である。

- ・電子基準点の GNSS 化に伴う解析システムの改良を行うことで、より安定した測位結果の取得を図る。さらに、大規模地震発生時等に解析結果を迅速かつ確実に提供できるよう、システムの冗長化及び必要な改良を実施する。

(電子基準点課)

以上は、国土地理院地経費のうち理空間情報整備・活用等推進費に基づいた計画である。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

- ・精密単独測位法を用いた電子基準点リアルタイム解析のプロトタイプシステムを構築し、安定的に高精度 (水平のばらつきが 2cm 以下) でリアルタイム解析ができることを確認した。また、電子基準点と他機関が保有する GNSS 観測点について、精密単独測位法を用いた後処理キネマティック解析を行うシステムを構築した。

(宇宙測地研究室)

- ・電子基準点リアルタイム解析システムにおいて、異常な結果を判定するツールを導入した。

(電子基準点課)

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

宗包浩志, 2017, 電子基準点精密単独測位キネマティック解析プロトタイプシステムの構築, 国土地理院時報, 129 (印刷中)

宗包浩志, 2018, キネマティック GNSS 時系列に含まれる微小信号の抽出, 測地学会誌 (印刷中)

Munekane, H., 2018, A GNSS Kinematic Analysis System for Japanese GEONET Stations, Journal of Disaster Research (in press)

Kawamoto, S., Y. Ohta, Y. Hiyama, M. Todoriki, T. Nishimura, T. Furuya, Y. Sato, T. Yahagi, and K. Miyagawa, 2017, REGARD: A new GNSS-based real-time finite fault modeling system for GEONET, J. Geophys. Res. Solid Earth, 122, 1324-1349, doi:10.1002/2016JB013485.

川元智司, 2017, GNSS の GGOS への貢献と今後の展望, 測地学会誌, 63 (印刷中)

Kawamoto, S., N. Takamatsu, S. Abe, K. Miyagawa, Y. Ohta, M. Todoriki, and T. Nishimura, 2018, Real-time GNSS analysis system REGARD: an overview and recent results, Journal of Disaster Research (in press)

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

- ・電子基準点データについて迅速 (データ取得後 2 時間程度) に 1 秒間隔でのキネマティック解析を行うシステムを試作する

(宇宙測地研究室)

- ・平成 26～29 年度までの成果をもとに、GEONET リアルタイム解析システムの高精度化に向けた電子基準点毎の誤差要因の分析及び誤差軽減のための手法を開発する。さらに、システムの安定運用に向けた調整を進める。

- ・使用暦の切り替えの導入により、システムの一部統合による効率化を図る。

(電子基準点課)

- (11) 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：有
東北大学、気象庁気象研究所
- (12) 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
URL：http://www.gsi.go.jp
- (13) 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：

SAR 観測・解析技術の高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 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

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

(5) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

・「だいち 2 号」等による衛星 SAR データを用いた地殻変動観測・解析技術の高度化を目指し、干渉 SAR 時系列解析に関する技術の開発・改良を進める。

・GNSS データを利用して SAR 干渉画像内に含まれる、電離圏の影響による誤差を低減する手法の開発を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

・平成 26 年度～30 年度において、干渉 SAR 時系列解析における主要な誤差要因である植生、大気、電離層の影響を、地表の散乱特性の時空間的共通性、数値気象モデル、電離層モデル等を用いて低減する技術の開発・改良を行い、微小な規模で進行する地殻変動の計測精度向上を図る。

(地殻変動研究室)

・平成 26 年度～27 年度において、電子基準点の観測データを利用して SAR 干渉画像内に含まれる、電離圏の影響による誤差を低減する手法を開発する。

(宇宙測地研究室)

以上は、国土地理院経費のうち技術研究開発推進費に基づいた計画である。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

干渉 SAR 時系列解析を GUI 操作で行うソフトウェアの改造を実施し、位相最適化処理や 3 D アンラップ機能等を実装した。また、Range Split-spectrum 法による電離層起因の誤差を低減処理する機能を開発した。さらに、位相最適化処理を組み込んだ干渉 SAR 時系列解析を C バンドデータに適用し、非都市域における効果を確認した (地殻変動研究室)

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

小林知勝、2018、干渉 SAR 時系列解析による国土の地盤変動の時間的推移の面的検出に関する研究 (第 4 年次) 国土地理院調査研究年報 (平成 29 年度) (印刷中)

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

干渉 SAR 時系列解析のソフトウェアの改造を引き続き実施する。

(11) 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、宇宙測地研究室
他機関との共同研究の有無 : 有
宇宙航空研究開発機構 (JAXA)

(12) 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

URL : <http://www.gsi.go.jp>

(13) 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：

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) 最も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整理

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. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(4) 研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

全国の活火山について，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 47 火山については常時観測データの収集を行い，それ以外の火山については現地調査等必要に応じて観測データを収集して，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の発表や火山活動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）や火山年報で取りまとめて公表する．これにより，火山噴火，前兆現象の国際的データファイルの更新にも寄与する．

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

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 47 火山について，全国 4 か所の火山監視・情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、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、地震火山月報（カタログ編）や火山年報等により 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。

（ 8 ）平成 29 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。

平成 29 年度に噴火が発生した草津白根山、霧島山（新燃岳）及び桜島のほか、火山活動の高まりがみられた蔵王山、霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺）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、地震火山月報（カタログ編）や火山年報等により HP により公表した。

（ 9 ）平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 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）2017 年 3 月号～2018 年 2 月号（予定）

地震火山月報（カタログ編）2014 年 4 月号～2016 年 2 月号（予定）

年間の日本の主な火山活動（2017 年）

（ 10 ）平成 30 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）や火山年報等により 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。

（ 11 ）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

（監視に関するデータ提供機関）

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

（ 12 ）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：http://www.jma.go.jp

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 井上 和久

所属 : 気象庁地震火山部火山課火山監視・警報センター

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

自己浮上式海底地震計観測による宮城県沖の地震活動

(3) 最も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・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

想定宮城県沖地震の震源域及びその周辺において自己浮上式海底地震計による地震観測を行い、その海域で発生している地震活動を詳細に把握するとともに、精度の高い震源分布を求める。また、震源決定手法の改良・高度化も行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

宮城県沖において 4 か月(2 か月 2 回) 程度の自己浮上式海底地震計による地震観測を実施し、地震データを蓄積するとともに、検測・解析処理を行う。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

平成 29 年度は、4 月と 10 月の海洋気象観測船の航海で、25 台の海底地震計、8 台の海底水圧計を設置し、12 台の海底地震計、7 台の海底水圧計を回収した。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：特になし。

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

平成 30 年度も引き続き、宮城県沖での自己浮上式海底地震計による地震観測を実施する予定である。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁

他機関との共同研究の有無：有

東北大学

(12) 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：http://www.jma.go.jp

（13）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：尾崎 友亮

所属：気象庁地震火山部管理課

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地殻変動観測による火山活動評価・予測の高度化に関する研究

(3) 最も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) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

(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

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ウ. 内陸地震と火山噴火

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地殻変動データが得られる活動的な火山において、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するとともに、地殻変動源のモデル化とシミュレーションによりマグマ蓄積・挙動の推定手法を高度化する。

噴火に至る多様な地震活動や地殻変動などについて過去事例の整理・解析を通して、事例の少ない火山も含め火山活動の推移の想定を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

伊豆大島等の活動的な火山における GPS、光波測距、傾斜、ひずみ、重力等の各種地殻変動データや地震活動データ、および合成開口レーダー (SAR) データの取得・収集を行い、火山における長期的および短期的な地殻変動の捕捉、解析を行う。また、観測データの S N 比の向上などによる異常検出手法の高度化や、高品位なひずみや傾斜、光波測距、GPS などの観測データを活用した火山活動のリアルタイム・モニタリング手法の高度化を行う。

マグマがどこに存在するか、マグマは周辺にどのような力学的影響を及ぼすかをより正確に把握できるように、力学的な地殻変動源モデルの設定・改良やマグマによる地殻変動・応力場のシミュレーションを通して、地殻変動によるマグマ蓄積状態の時間空間的な推定手法や地震活動、地殻変動によるマグマの挙動の推定手法の高度化を図る。

マグマの移動・上昇など噴火に伴う活動様式は多様であることから、複数の代表的な活動ケースについて、マグマの移動・上昇に伴う地震活動と地殻変動の多様性・共通性を過去事例等で整理・解析する。また、その結果に基づいて、マグマの状況や火道の形態等から噴火に至る地震活動や地殻変動の推移を想定し、確率的な噴火シナリオの作成に貢献する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

伊豆大島において、GNSS、光波測距、多成分ひずみ計による地殻変動観測、および重力の繰り返し観測を引き続き行った。

ボアホール型多成分ひずみ計を 2013 年に伊豆大島南西部に設置し、その後データの蓄積が進んだことから、各成分の中長期的な挙動を調べるため、近隣の GNSS データおよび球状圧力源モデルから推定したひずみとの比較を行った。その結果、多成分ひずみ計の成分によっては、中長期的な地殻変動の把握にも活用できるとの見通しをえた。

伊豆大島での繰り返し重力データの定量的評価に向けて、重力計スケール検定、鉛直勾配測定を実施し、これらの影響の補正方法を検討した。スケールについては、絶対重力点における検定データに基づき、スケール時間変化の素性を明らかにするとともにその補正方法を提示し、繰り返し観測データで認められた見掛け上の重力変化を補正した。また、重力点における鉛直勾配の実測と GNSS データの利用により、観測点の上下変動に伴う重力変化の定量的に評価し、三原山で継続している重力増加は概ね三原山の局所的沈降で説明できることを明らかにした。

また、CG-5 重力計の登山を伴う野外調査時における重力値安定性の基礎調査を行い、運搬による擾乱の大きさやドリフトの挙動は運搬時間の長さに依存しないことがわかった。

吾妻山周辺の GNSS 連続観測データの統合解析システムを構築し、データ解析を行った。気象庁の GNSS 連続観測データに加え、国土地理院の GEONET データを同時に解析処理に組み込むことで、従来法による解析ソフトウェアや解析パラメータ、基準点の取り方の違いによる誤差が解消され、火山の浅部と深部を統一的に評価できるようになった。広域変動場を除去した解析の結果、2014-2015 年に大穴火口付近を中心とする明瞭な隆起・膨張が検出された。この変動源は浅いため、火口直下の浅部の熱水活動との関連が示唆される。

北海道大学、北海道地質研究所等と共同で十勝岳における重力観測を実施し、隆起量では説明できない重力値の低下が継続していることを確認した。

伊豆大島の GNSS 観測により得られた地殻変動データを長期的変動、短期的変動に分離し、短期的変動(膨張、収縮)と伊豆大島周辺で地震が群発した時期を比較したところ、地震は膨張期に群発していること、地震が静穏な時期は収縮期にあたることが多いことがわかった。また、長期的地殻変動(膨張)について、各 GNSS 観測点で得られた上下変位のデータを精査したところ、カルデラ域には山腹部を基準として 0.5cm / 年程度の相対的沈降が存在する可能性があること、山腹・山麓についても球状圧力源から期待される量の半分程度の隆起量しかないことが分かった。

SAR 衛星 ALOS-2 のデータを用いた解析により、全国の活火山周辺の地殻変動検出を行った。うち、雌阿寒岳、霧島山などの 25 火山において火山活動に伴う地殻変動を面的な分布として検出した。雌阿寒岳については、圧力源を仮定し、複数方向からの観測結果を説明するモデルの位置・深さ・体積変化量を推定した。霧島山については、えびの高原(硫黄山)周辺の局所的地殻変動について、その時間変化を調査し、2015 年以降ほぼ一定速度で膨張が継続していることを明らかにした。西之島については、4 月の再噴火に伴う地表変化を検出し、8 月上旬にかけての陸域面積の拡大を明らかにした。また、海外の火山では、イタリアのカンピフレグレイ火山について火山活動に伴う地殻変動を検出し、点圧力源を仮定したモデル推定を行い、地震分布との比較を行った。

また数値気象モデルを用いた補正のために、水平・鉛直方向に均一な大気を仮定した場合の経験的な補正方法の限度についての検証を行った。その結果、大気の状態がほぼ同様と考えられる同季節、特に水蒸気量の少ない冬季のデータでは良好な結果を得たが、季節の異なるデータでは数 cm の残存位相が確認され、大気の空間的不均一による影響が明らかとなった。

マグマ溜り内の気泡の上昇による地殻変動のモデル化を行った。伊豆大島で観測されている短期的な膨張・収縮サイクルと比較した結果、変動の周期や地殻変動量を適切なモデルパラメータを与えることで説明できることを明らかにした。

地震波干渉法を用いて、霧島山の3次元S波速度構造を推定した。その結果、霧島山の真下から北西方向に約10kmにわたって、海拔下5-10kmに低速度異常が存在すること明らかになった。

霧島硫黄山における火山活動に関して、観測データを整理し、活動の推移についてとりまとめを行った。また、4月からの硫黄山浅部の地殻変動及び9月の地殻変動を伴った地震活動について傾斜変動源の推定を行い、霧島硫黄山浅部の活動モデルの推定を行った。

噴火警戒レベルの判定基準の根拠を明示して公表するために気象庁が進めている精査作業に技術的な協力を引き続き行った。各火山監視・警報センターと協力して、過去のデータを改めて精査し、注目すべき現象の整理、判定基準のできるだけの具体化、および必要な見直しを行った上で、平成30年1月までに、15火山の「噴火警戒レベルの判定基準」及び「噴火警戒レベルの判定基準とその解説」を公表した。

(9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Matsushima, N., Y. Nishi, S. Onizawa, S. Takakura, H. Hase, and T. Ishido, 2017, Self-potential characteristics of the dormant period of Izu-Oshima volcano, *Bull. Volcanol.*, **79**:86.

Shinohara, M., M. Ichihara, S. Sakai, T. Yamada, M. Takeo, H. Sugioka, Y. Nagaoka, A. Takagi, T. Morishita, T. Ono and A. Nishizawa, 2017, Continuous seismic monitoring of Nishinoshima volcano, Izu?Ogasawara, by using long-term ocean bottom seismometers. *Earth, Planets and Space*, **69**:159.

安藤忍, 2017, だいち2号により観測された西之島の山体変形. 気象研究所技術報告, **78**, 34-52.

高木朗充, 長岡優, 福井敬一, 安藤忍, 木村一洋, 土山博昭, 2017, 2013-2015年西之島噴火のモニタリングに関する研究, 気象研究所技術報告, **78**, 72pp.

高木朗充, 宮城洋介, 小澤拓, 本多亮, 高橋浩晃, 2018, CG-5重力計の登山を伴う野外調査時における重力値安定性の基礎調査, 北海道大学地球物理学研究報告, **81**. (投稿中)

(10) 平成30年度実施計画の概要 :

- ・伊豆大島においてGPS、光波測距、多成分ひずみ、重力の稠密地殻変動観測を行う。浅間山等においてGPS観測等を行う。

- ・伊豆大島をはじめとする全国の火山を対象として、気象庁総合観測点データの収集を行い、GPS、傾斜データなど地殻変動のデータの解析を行う。

- ・伊豆大島の地殻変動データの解析において、圧力源推定の精度・時間分解能の向上を図るとともに、地下のマグマの状態・挙動の推定を行う。

- ・SARのデータによる地殻変動解析を行う。また、SAR等電磁波を用いた地殻変動観測データについて数値気象モデルを用いた補正手法の改良を進める。

- ・地殻変動が観測された活動的火山について地下の圧力源モデルを推定する。

- ・水蒸気噴火のポテンシャルが高い火山として、草津白根山で光波測距の観測を行う。

- ・地殻変動、地震活動、表面現象異常事例についての内外火山についての事例を収集する。また、地殻変動や地震活動等の比較検討を行う。

- ・火山現象の定量的・確率的な側面を考慮した火山活動シナリオの作成に取り組む。

(11) 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：無

(12) 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：029-853-8536

e-mail：ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL：http://www.mri-jma.go.jp/

(13) 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：気象研究所火山研究部第1研究室

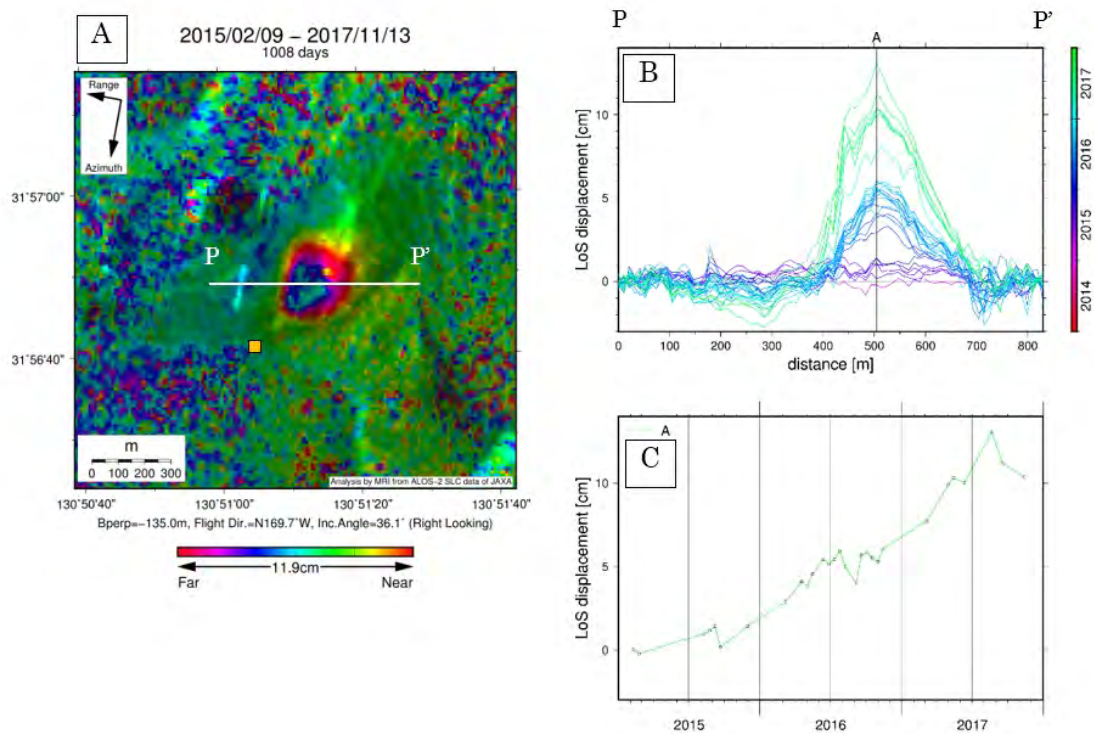


図1 . ALOS-2 データを用いた霧島山えびの高原（硫黄山）における SAR 干渉解析結果

A) 2015年2月～2017年11月の変位マップ。硫黄山付近が隆起したとみられる変動が検出されている。橙の四角印は硫黄山南西傾斜観測点を示す。B) 図A中、P - P'で示した測線上の2015年2月を基準とした変位プロフィール。視線距離短縮を正とする。C) 図B中、Aで示した点の変位時系列。この期間、ほぼ一定の速度で視線距離短縮（隆起に相当）が進行している。

(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) 最も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) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

(4) その他関連する建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(4) 研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 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。これらを進めるにあたり，データ解析技術や活動評価等について職員の能力向上に配慮する。

(7) 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
- ・ ALOS-2 に対応した SAR データ解析環境の構築と地殻変動検出の試み

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

【傾斜データ等のノイズ軽減】

昨年 8 月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。

【GNSS】

昨年 8 月に運用を開始した火山監視情報システムにおいて、GNSS データの解析方法の見直しを行った。

【SAR 解析】

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だいち 2 号 (ALOS-2) の SAR 解析を行った。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
なし

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

平成 30 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 .

(11) 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

(12) 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 : <http://www.jma.go.jp>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 木村 一洋

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監視の高度化

(3) 最も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) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 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り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。全磁力連続データから火山活動に伴う変動を準リアルタイムに抽出することを目指し、補正手法の高度化、異常検知手法の確立を進める。観測点による外部擾乱の影響量の違いを把握するため補足的観測を実施し、火山活動に伴う変動の検知能力の向上を図る。その他、MT 法による比抵抗構造探査を実施し、熱水貯留層の構造などを把握する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

より高度な火山活動監視の実現を目指すため、特に水蒸気爆発型の噴火を起こす火山について重点的に調査を行う。平成 26 年度は雌阿寒岳を重点的に調査するため、全磁力連続観測点を 1 点増設し 3 観測点態勢とし、熱源の推定能力の向上を図る。さらに、雌阿寒岳において MT 法による比抵抗構造探査を実施し、全磁力から推定される熱消磁域と比抵抗構造との関連性について理解を深める。平成 27 年度以降も引き続き雌阿寒岳、草津白根山などにおいて全磁力の連続観測、繰り返し観測を継続し、火山活動との対応関係を調査する。その他、全磁力データの処理技術開発として外部磁場擾乱の補正手法の改良を進め、全磁力による火山監視技術の高度化を図る。

(8) 平成 29 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り返し観測を実施し、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。雌阿寒岳についてはこれまでの全磁力観測結果と 2013 年～2014 年に実施した比抵抗構造探査の結果を解析し、熱消磁・帯磁の発生位置と比抵抗構造の関係性について調べ、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 年度～28 年度に整備した樽前山、吾妻山、御嶽山、霧島山、九重山における全磁力観測結果を分析し火山活動の評価をおこなった。また、これら 5 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。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
Takahashi,K., Takakura,S., Matsushima,N., and Fujii,I.,2018, Relationship between volcanic activity and shallow hydrothermal system at Meakandake volcano, Japan, inferred from geomagnetic and audio-frequency magnetotelluric measurements. J. Volcanol. Geotherm. Res. 349, 351-369.

火山噴火予知連絡会会報第 126 号(雌阿寒岳、草津白根山、伊豆大島)

火山噴火予知連絡会会報第 127 号(雌阿寒岳、草津白根山、伊豆大島、阿蘇山)

火山噴火予知連絡会会報第 128 号(雌阿寒岳、草津白根山、伊豆大島、阿蘇山)

高橋幸祐, 雌阿寒岳 2008 年噴火の前兆現象として観測された地磁気変動, 日本火山学会 2017 年度秋季大会, 熊本大学, 2017 年 9 月

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

より高度な火山活動監視の実現を目指すため、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。また、全磁力データの処理技術開発として外部磁場擾乱の補正手法の改良を進め、全磁力による火山監視技術の高度化を図る。

(11) 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

(12) 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>

(13) 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：

地震活動・地殻変動監視の高度化に関する研究

(3) 最も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) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(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) モニタリングによる地震活動予測

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震活動や地殻変動について、新たな評価手法や監視技術等を導入することにより、より微小な変化を逐次的にとらえる技術を開発する。また、地震発生シミュレーションを通じて、地震・地殻活動の変化と大地震発生との関係に関する評価手法の改善を図る。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

これまで地震発生前の変化が報告されている地震活動に関する指標を逐次的に解析する手法を構築する。長期的な地殻変動の把握を行うとともに、これまでよりも微小な地殻変動を検出できる技術を開発する。地殻変動解析で得られた知見などを地震サイクルシミュレーションモデルに取り込むとともに、前駆すべりの多様性を表現できる大地震発生モデルの構築を目指す。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

・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、南海トラフのプレート等深線 30km 沿いに並べた地点を中心とする一定範囲内の平均を求め、1 週間の傾斜期間を持つランプ関数との相関を取ることで、南海トラフ沿いの短期的スロースリップ(数日から 1 週間程度の継続時間)の客観的な時空間分布を得る手法を開発した。

・やや長期間のひずみデータを用いたスタッキングにより、東海地域の短期的スロースリップの時空間分布を明らかにした。

・GNSS 日値の解析から、2014 年半ばから始まった紀伊水道における長期的ゆっくりすべりの規模が 2017 年 1 月時点で Mw6.7 相当であることを明らかにした。

- ・2013年から発生している東海長期的ゆっくりすべりに関して、スタッキングを用いたすべり場所および規模、すべりの時間変化の推定を行い、2016年以降、活動はほぼ停滞していることを指摘した。
- ・南海トラフ沿いの巨大地震シミュレーションにおいて、巨大地震の発生履歴、比較的よくわかっている昭和東南海・南海地震のすべり分布、最新のすべり欠損レート分布、そして繰り返す長期的スローリップを再現するモデルを構築した。各地震のすべり分布は概ね再現しているが、宝永 安政 昭和の発生順は再現できていない。
- ・SAR衛星ALOS-1のデータを用いた時系列解析により、御前崎、潮岬、足摺岬周辺の定常的な地殻変動の検出を行った。
- ・海底観測システムであるDONETの2015年9月から2016年4月までの連続地震記録を解析し、その結果南海トラフの島弧側において浅部微動活動が発生していることを確認した。微動活動は2015年10月と2016年4月に発生しており、深部の微動活動と同様に地震動によるトリガ現象が確認された。この微動活動はトリガ現象に見られるように応力状態に敏感であり、この周辺の応力状態をモニターする上でも重要な現象とみられる。
- ・東海大学と共同で、駿河湾における海底地震計観測を継続した。
- ・京都大学と共同で、南海トラフ軸付近の海底水圧計の回収および設置を行った。
- ・東日本の太平洋沖で1990年以降に発生したM7.0以上の本震前の規模別頻度分布はG-R則から逸脱し、本震後にG-R則に従う傾向にあることがわかった。この特徴に基づくシンプルな予測モデルを構築した。M7後半～M8前半(M7.6-8.5)の地震を予測対象とした場合、北海道東方沖及び関東東方沖～南東沖に顕著な異常が検出された。
- ・地震発生と潮汐との相関を表すp値について、先行研究において地震前における変化が報告されていたトンガ・ケルマディック海溝沿いのプレート境界地震の潮汐相関について追加調査した結果、p値を用いた地震予測の有効性は低いが、M7.0以上の地震に限ればその発生時が特定の範囲の潮汐位相角の範囲内で発生している場合が有意に多いことがわかった。
- ・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、2017年7月末で予測期間が終了した3年確率予測の予測成績を調べた。中規模の繰り返し相似地震79系列を対象に実施し、平均対数尤度とブライアスコアの指標による結果は、指数分布モデルよりも事前分布を用いたベイズ統計対数正規分布モデルの成績の方が良いことを定量的に確認した。
- ・GNSS日値を用いた全国基線長変化について、この1年間に新たに発生した非定常な現象がないことを確認した。なお、2013年からの東海地域、2014年からの紀伊水道の長期的ゆっくりすべりはいずれも2016年にほぼ終息した。
- ・ひずみ計データのスタッキングにより、短期的ゆっくりすべりの時間的・空間的分布を概観する手法を開発した。
- ・従来のアスペリティモデルと階層アスペリティモデルの2モデルを軸に、東北地方～関東地方の太平洋沖で発生するM7-9の主な地震を再現できるモデルを構築した。メッシュサイズの細密化により、規模の小さな地震発生の再現が可能となった。

- (9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Annoura, S., T. Hashimoto, N. Kamaya, and A. Katsumata, 2017: Shallow episodic tremor near the Nankai trough axis off southeast Mie prefecture, Japan. *Geophysical Research Letters*, 44.
- Kobayashi, A., 2017: Objective detection of long-term slow slip events along the Nankai Trough using GNSS data (1996-2016). *Earth, Planets and Space*, 69, 171.
- 弘瀬冬樹, 前田憲二, 2017: 本震前に現れるG-R則からの逸脱と, その特徴に基づいた地震予測モデルの提案. *地震*, 70, 21-40.
- 気象研究所, 2017: 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*, 98, 313-316.
- 気象研究所, 2017: 海溝と直交する方向の全国の基線長変化. *地震予知連絡会会報*, 98, 24-28.

- 前田憲二・弘瀬冬樹, 2017: 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: 最近の活動事例による検証 (3), 地震予知連絡会会報, 98, 465-469.
- 田中昌之, 2017: 中規模繰り返し相似地震の発生状況と発生確率 (2017). 地震予知連絡会会報, 98, 437-442.
- 田中昌之, 岡田正実, 内田直希, 2018: 繰り返し回数の少ない繰り返し地震系列に対する長期的地震発生確率予測の成績と検証. 地震, 70, 195-213.
- 露木貴裕, 長谷川浩, 近澤心, 木村久夫, 棚田理絵, 沼野あかね, 2017: 新しい地震活動等総合監視システム (EPOS) における地殻変動監視手法の改善. 験震時報 (論文), 81.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要:

- ・干渉 SAR 時系列解析により南海トラフ沿いの岬付近の高精度な地殻変動を推定する。
 - ・GNSS 日値を用いたスロースリップの客観的検出手法の改良と自動処理システムの構築を行う。
 - ・ひずみ計、傾斜計を用いた短期的スロースリップのすべり分布推定手法の開発を行う。
 - ・東海大学・京都大学と共同で、海底地震計・海底水圧計観測を行う。
 - ・南海トラフ沿いの過去の巨大地震の破壊域や発生間隔に加え、近年観測されたすべり欠損を再現するよう数値モデルの改良を進める。
 - ・地震活動と地球潮汐との関係に関する研究のとりまとめを行う。
 - ・規模別頻度分布の係数 (b 値) の空間的・時間的特徴を把握する。
 - ・随時繰り返し相似地震の発生を調査し報告する。
 - ・スタッキング手法によるすべり量推定法の適用データの拡張を行う。
 - ・房総半島の長期的地殻上下変動調査のとりまとめを行う。
 - ・日本海溝沿い数値モデルについて、地震発生履歴の再現性を高めるための改良ととりまとめを行う。
- また、細密化したメッシュを用いた計算のパラメータ調整を行う。

(11) 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

(12) 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: 029-853-8552

e-mail: ngmn11ts@mri-jma.go.jp

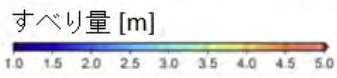
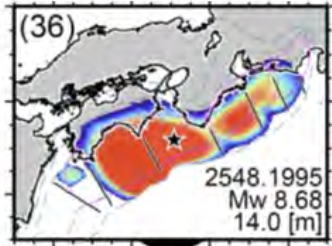
URL: <http://www.mri-jma.go.jp/>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

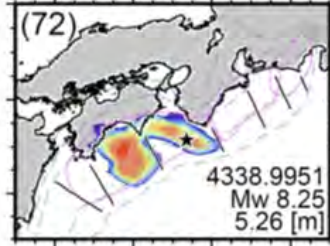
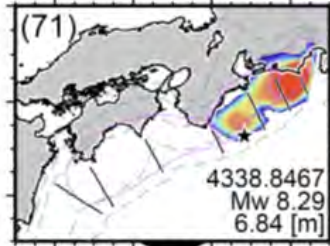
氏名: 小林昭夫

所属: 気象研究所地震津波研究部

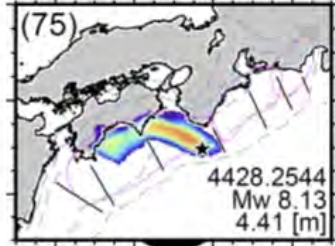
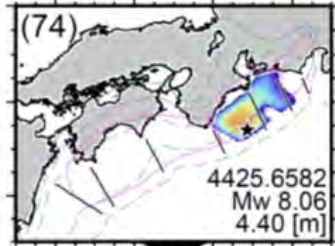
宝永地震タイプ



安政地震タイプ



昭和地震タイプ



南海トラフ沿い地震発生シミュレーション
各地震のすべり分布は概ね再現できている。

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

陸上電磁場観測における津波生成磁場の検知

(3) 最も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

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

近年、津波が電磁場を誘導すること(津波ダイナモ効果)が海洋底や離島での観測から明らかとなった。海洋底や離島では津波ダイナモ効果を検出しやすいが、理論的には陸上の磁場観測においても検知可能と考えられる。観測が比較的簡単にできる陸上で津波ダイナモ効果による磁場を津波到達前に検知できれば、巨大地震発生時の大津波警報に資する可能性がある。本課題では、さまざまな原因による地球磁場変化から津波生成磁場を効果的に検出することを目指し、理論と観測の両面から検討を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題では海岸付近に磁場観測点を一点設置し、もう一点を海岸から数 10km 離れた内陸に設置する。この 2 点で磁場のベクトル観測を行い、2 点間の差ベクトル磁場を求める。外部磁場変化は数 10km の距離ではほぼ同じと考えることができるので、差ベクトル磁場を求めることにより、外部磁場変化を取り除き、海岸付近に生じる津波生成磁場を検出することが期待できる。具体的には海岸付近の観測点として既設の国土地理院の室戸地磁気観測点を利用する。また、内陸の観測点として人工的なノイズレベルの低い高知県馬路村に地磁気 4 成分観測点を設置し、馬路観測点を基準点として、室戸観測点に含まれる津波生成磁場の検知可能性を検討する。

その他、津波ダイナモ効果について過去の事例解析等を行い、津波ダイナモ効果の性質の解明を目指す。

なお、本課題で実施する高知県での観測は科学研究費補助金・挑戦的萌芽研究「陸上地磁気三成分データを用いた津波ダイナモ効果の検出」(H25-26)に基づいた計画である。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

津波生成磁場を陸上の磁場観測で検知することを目的として、2014 年 1 月に高知県馬路村土川地区において 3 成分フラックスゲート磁力計および全磁力計を設置し観測を行っていたが、2016 年 9 月に測器が故障し以降は欠測となっている。

今年度は津波電磁場の解析解についての研究をおこなった。具体的には Tyler(2005) による 2 次元線形長波津波モデルによる津波生成磁場の解析解の改良を試みた。Tyler(2005) の解は津波ダイナモ効果を引き起こす背景主磁場を Z 成分のみとして求めたが、本研究では Z 成分に加えて水平成分の効果も考慮した。また、Tyler(2005) は津波を線形長波で近似しているが、本研究では実際の津波に対する近似度が高い線形分散波を用いた。新しく導出した解析解については三次元シミュレーションと比較し、ほぼ妥当であることを確認した。新しい解は、鉛直分力が非常に小さくなる磁気赤道付近でも津波生成磁場を検出する可能性を示唆するものと考えられる。また、海底下の電氣的構造が津波生成電磁場に与える影響についても解析し、その影響を定量的に評価した。

- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Toh, H., S. Abe, J. Ogi, A. Yamazaki and R. Yoshimura, Real-time tsunami monitoring system by detection of geomagnetic vector difference, IAGA-IAPSO-IAMAS Joint Assembly 2017, Cape Town, August 31, 2017.
- Minami, T., Toh, H., Ichihara, H., & Kawashima, I. (2017). Three-dimensional time domain simulation of tsunami-generated electromagnetic fields: Application to the 2011 Tohoku earthquake tsunami. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 122, 9559-9579.
- (10) 平成 30 年度実施計画の概要 :
- 津波生成磁場について、引き続き研究を進める。また、5 カ年の研究計画の最終年度として研究のとりまとめをおこなう。
- (11) 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
国土地理院 (高橋 伸也)
- (12) 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>
- (13) 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：

緊急地震速報の予測手法の高度化に関する研究

(3) 最も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

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震動の即時予測において、より迅速性・堅牢性を向上させるとともに、広い震源域をもつ巨大地震の場合や、広域に複数の地震が連発する場合であっても、震度の適切な即時予測が可能となる手法を構築する。

また、震度(比較的短周期)の即時予測に加え、長周期まで(おおよそ 10 秒程度まで)の様々な揺れの即時予測に対応できるように拡張・強化する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

従来の地震動即時予測は、震源とマグニチュードの早期決定のみに焦点を当てるアプローチが多かったが、本課題では、観測網からリアルタイムで得られる揺れの実況値を用いる点が特徴である。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。

多点観測網のデータを有効に活用する手法を検討する。観測網からリアルタイムで得られる震度分布の実況値にデータ同化を適用し、時間発展的な波動伝播の計算により未来予測を行い、逐次予測精度を上げていくモデルを導入する。また、震源やマグニチュードが未推定の状態でも、実況値から予測可能な手法をめざす。このことにより迅速性・堅牢性の向上を図る。

さらに、本計画では、上記の震度の即時予測に加えて、長周期地震動まで含む様々な周期での地震動即時予測が行えるように手法を拡張する。それらをリアルタイムで適用できるように計算手法の工夫を図る。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

現在の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て“揺れから揺れを予測する”という考え方で研究を進めている。これにより、H28 年度までに、これまで以上の精度や堅牢性、迅速性が得られる見通しを得ており、H29 年度は速度構造、減衰構造のより詳細な推定方法を進めるとともに、さらなる迅速のために(S波群中の)P波を抽出する方法を開発した。また、強震入力時の海底地震計の挙動の考察を進めている。“揺れから揺れを予測する”という考え方を長周期地震動に対して応用するために、地盤増幅特性による地震動継続時間の予測について考察を進めている。

- (9)平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
Kodera, Y., 2018: Real-time Detection of Rupture Development: Earthquake Early Warning Using P Waves from Growing Ruptures. Geophysical Research Letters, 45, 156-165.
Kodera, Y., Y. Yamada, K. Hirano, K. Tamaribuchi, S. Adachi, N. Hayashimoto, M. Morimoto, M. Nakamura, and M. Hoshiba, 2018: The Propagation of Local Undamped Motion (PLUM) method: a simple and robust seismic wavefield estimation approach for earthquake early warning. Bulletin of Seismological Society of America. (in press)
干場充之, 2017: 海底地震計を用いたモデル計算：地震動即時予測 - "揺れの数値予報"の適用例 - . 地震予知連絡会報, 98, 516-518.

(10)平成 30 年度実施計画の概要：

震度予測精度の向上については、実データへの適用を進め、これまで実施してきた、減衰構造や速度構造の精緻化による予測モデルの構築、得られた地盤増幅特性(観測点補正值)の応用、新たに展開されつつある海域観測網からのデータの有効な活用方策の改良、観測および計算の両面からさらに進める。また、長周期地震動の予測では、震度予測で進めている手法を長周期でも適用可能なように調整し、実データに適用し吟味するなど改良を進める。

(11)実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁気象研究所地震津波第 3 研究室
他機関との共同研究の有無：無

(12)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：気象庁気象研究所企画室
電話：029-853-8536
e-mail：ngmn11ts@mri-jma.go.jp
URL：http://www.mri-jma.go.jp/

(13)この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：干場 充之
所属：気象庁気象研究所地震津波研究部第 3 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：

海溝沿い巨大地震の地震像の即時的把握に関する研究

(3) 最も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

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(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) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

・巨大地震の断層のおよその広がりを地震発生直後 2 ~ 3 分以内に把握する手法を開発する．断層の滑りの大きさや方向の解析について，信頼性向上を図る．余震の震源分布を地震発生後 10 ~ 20 分以内に把握するための震源決定手法を開発する．断層の大まかな滑り分布を震発生後 10 ~ 20 分で求める手法を開発する．

・観測地震データと断層上の滑り分布推定結果に基づいて，さまざまな周波数帯の地震動分布を地震発生後 10 ~ 20 分後に推定する手法を開発する．

・津波地震や海底地すべりの発生を検知し、津波予測に用いるための規模等を推定するための手法を開発する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

・地震動の振幅分布を用いて巨大地震の断層のおよその広がりを地震発生直後 2 ~ 3 分以内に把握する手法を開発する．

・巨大地震の震源分布を地震発生後 10 ~ 20 分以内に自動処理により把握するため，振幅など多面的な情報に基づき地震識別を行える手法を開発する．

・地震波形や GNSS データを用いて，断層の大まかな滑り分布を震発生後 10 ~ 20 分で求める手法を開発する．

- ・巨大地震発生直後の10～20分後を目途に、さまざまな周期帯の地震動分布を推定する手法を開発する。
- ・地震波の短周期成分と長周期成分の信号の特徴から津波地震の判定を行い、津波予測に用いるための長周期成分のみを用いた震源決定と規模推定を行う手法を開発する。また、海底地すべりについては、津波発生ポテンシャルについて評価する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

- ・山体崩壊による津波について、実地形に基づいて土砂の移動を計算しその結果から津波を計算する方法を、1741年渡島大島及び1792年雲仙眉山の事例に適用し、概ね歴史津波観測高と統合的な計算結果を得た。
- ・スロー地震タイプの津波地震の規模を即時かつ適正に推定する手法として、変位を積分した波形の振幅を用いて、地震の規模が推定可能であることを確認した。更に、遠地実体波のスペクトル解析から、スロー地震タイプの地震の特徴抽出を行った。
- ・1998年パプアニューギニアにおける海底地すべりによる津波に関して、以前の調査に加えて地震観測点を追加して地すべりによる地震波の検出されるかどうか検証したが、地すべりによる地震波の相は検出されなかった。
- ・自動震源決定に波形相関を用いた評価法を取り入れて、信頼性の高い余震分布を自動的に得られるよう手法を改良した。
- ・解析結果の公表までに時間を要していた遠地実体波震源過程解析の迅速化のため、自動解析プログラムを改良し、領域端に生ずる見かけ上のすべりがより抑制された解が得られるようにした。また、スケージング則に基づき解析パラメータを設定する同手法を近地震源過程解析に導入し、2016年11月の福島県沖の地震を解析し、適正に解が得られることを確認した。
- ・国内外で発生した規模の大きな地震に伴う地殻変動について干渉SAR解析を行った。このうち、イタリア中部で発生した地震とフィリピンレイテ島で発生した地震については、震源過程解析から得られたすべり分布との比較を行い、矩形断層モデルの推定を行った。
- ・単独観測で得られる地震動データから、津波来襲の可能性の検知が可能であるかどうか調査した。想定したセンサーは安価なMEMS加速度センサーであり、加速度記録を積分して得られる20秒周期の変位を用いた。比較的最近発生したM8クラス以上の地震のデータを用いて、観測点近傍におけるM8クラスの地震の発生が、誤検知はある程度含まれるものの識別可能であることを確認した。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

- Katsumata, A., Y. Hayashi, K. Miyaoka, H. Tsushima, T. Baba, P. A. Catalan, C. Zelaya, F. R. Vasquez, R. Sanchez-Olavarría, and S. Barrientos, 2017: Stand-alone tsunami alarm equipment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17, 685-692.
- 溜淵功史, 2017: 波形相関による自動震源分類の効率化. 験震時報(論文), 81, 6.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

- ・スロー地震について遠地実体波の解析に基づいて特徴解析を進める。
- ・スロー地震の規模推定法の構築を進める。
- ・山体崩壊による津波の再現計算のパラメータ設定に関する検討を行う。
- ・地すべりの地震波による検知の検討を行う。
- ・自動震源決定手法の海底地震計データ適用に関わる問題点の調査を行う。
- ・遠地実体波震源過程解析の自動解析手法の中間点などとりまとめを行うとともに、近地強震波形震源過程解析の手法改良を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

気象庁気象研究所地震津波研究部
他機関との共同研究の有無：有
国土地理院

(12) 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：029-853-8536

e-mail：ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL：http://www.mri-jma.go.jp/

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：勝間田明男

所属：気象庁気象研究所地震津波研究部

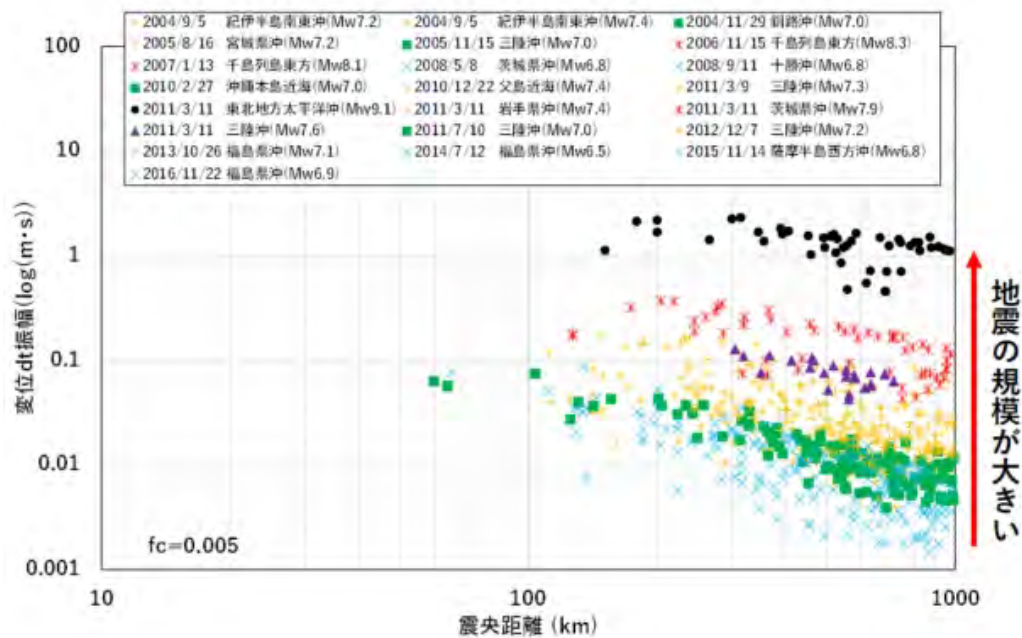


図 スロー地震の即時規模推定手法の検討

スロー地震の規模を適正に推定するため、変位を時間積分した波形の振幅からマグニチュードを推定する手法を開発している。Mw に応じて異なったレベルの振幅値となっており、マグニチュードに換算可能となっている。

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

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

(3) 最も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

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(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

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

気象レーダー等リモートセンシング手法や震動観測等を活用した噴火現象の即時的な把握技術を開発するとともに、噴煙柱及び移流拡散モデルを活用した火山灰等の高精度な予測技術を開発する。さらに、観測値と予測値に基づく火山噴出物データ同化・予測システムを構築し、即時的に把握した噴火現象から高精度な火山灰等の拡散予測を行う。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

活動的な火山である桜島等を対象として、気象レーダーにより噴煙のエコー強度やマルチパラメータ等を観測し、噴煙状態等を速やかに把握する手法を検討するとともに、火山灰検出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研究を行う。また、次期気象衛星で観測される火山灰雲のマルチチャンネルデータ等を、噴火検知や噴煙の高さ、広がり等の噴火規模の即時的な推定に活用するための研究を行う。また、噴火発生直後の地震、空振、地殻変動及び監視カメラによる爆発映像等からも即時的に噴火規模等を把握する手法を検討するとともに、火山岩塊等、防災上重要な火山現象に対する予測技術の高度化を行う。

気象レーダー・衛星等のリモートセンシング観測データの解析結果に基づき、気象庁非静力学モデル等により噴煙・降灰過程の動力学的側面を明らかにし、噴煙柱モデルの改良に資する知見を得る。改良した噴煙柱モデルを初期値に用いて、移流拡散モデルによる火山灰や礫の落下範囲や落下量を即

時的かつ高精度に予測するための技術研究を行う。これらモデルを組み合わせ、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データ同化・予測システムの構築を目指す。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

・引き続き、Xバンド MPレーダー(二重偏波ドップラーレーダー)、二次元ビデオディストロメータ(2DVD)、および1分毎に三次元データを取得可能なKuバンド高速スキャンレーダーによる観測及び解析を行った。

・2016年3月26日の桜島噴火事例について、Kuバンド高速スキャンレーダーによって得られた噴煙の3次元構造の解析を進めた。また、XバンドMPレーダーについても、2016年4月29日など複数の事例で得られた噴煙の鉛直構造の解析を進めており、噴煙内部の二重偏波パラメータの変化傾向が得られている。引き続き、これらのレーダーデータを解析することにより、噴煙内部の物理量(密度や粒径分布など)を推定や供給源モデルが可能となることが期待される。

・2017年10月霧島山(新燃岳)の噴火では、曇天や雨天の影響により、目視(遠望カメラ)で噴煙高度が観測出来ない時間帯があった。そのような時間帯においても、気象レーダー(気象庁一般気象レーダー)によって、噴火現象の推移(消長)を得ることが出来た。解析結果は、火山噴火予知連絡会拡大幹事会に速報として提出し、Webに掲載された。

・2018年1月23日草津白根山の噴火においても、目視(遠望カメラ)によって噴煙高度は得ることが出来なかったが、気象レーダーによる噴煙高度の確率的推定を行った。解析結果は、火山噴火予知連絡会拡大幹事会に速報として提出した。

・噴煙高度推定への活用を目指して、ひまわり8号の30秒観測データを用いて、桜島の爆発噴煙の初期成長過程を解析している。これまでの所、解析可能な事例は数例のみであるが、空間分解能500mのバンド3データで日中に捉えられる噴煙の影を追跡することで、噴煙柱上端の高度、広がりの変化を精度良く抽出することができた。

・2017年5月に噴火活動が再開した西之島において噴火様式の観察を海洋気象観測船上で行った結果、継続する溶岩流の他、1時間に1回程度のブルカノ式噴火と1分に1回程度のストロンボリ式噴火が発生していることを確認した。

・噴火が継続する西之島の火口から約2km地点の噴煙下を海洋気象観測船で繰り返し横断して火山灰の観測を実施し、 $220\text{kg/m}^2/\text{day} \cdot \text{m}$ の降灰強度であることを確認した。この降灰強度は2016年の桜島における同程度の距離の年平均と同程度であった。

・2016年10月8日阿蘇山噴火の降灰予報について引続き検証した。降灰の観測あり/なしに対する領域移流拡散モデルの予測あり/なしのカテゴリー検証結果からは、噴煙高度13.1km(海拔)の場合が最も降灰分布を再現することを示した。また花粉センサーでは同事例の降灰現象は捉えられていなかったことを確認した。

・2017年10月新燃岳噴火について、遠望カメラにより噴煙高度が確認できた11日~14日の降灰予測を領域移流拡散モデルにより実行した。このうち14日08時23分再噴火後の降灰は湿性沈着の影響があることを示した。

・2015年以降、2017年までの気象場の下で、富士山および桜島の大規模噴火を想定した領域移流拡散モデルによる降灰シミュレーションを行い計算結果を蓄積した。

・ひまわり8号による火山灰プロダクトを用いて全球移流拡散モデルの初期値に同化するシステムの開発を進めた。2015年5月29日の口永良部噴火において、火山灰プロダクトを全球移流拡散モデルの初期値に同化することによって、予測精度が向上し、大気中の火山灰濃度予測の可能性を示した。現業者解析を観測値として同化システムを実行するシステムを作成し、気象庁スーパーコンピュータシステムに環境を構築し試験運用を開始した。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Ishii, K., Y. Hayashi, and T. Shimbori, 2018: Using Himawari-8, estimation of SO₂ cloud altitude at Aso

volcano eruption, on October 8, 2016. Earth, Planets and Space, 70:19.
新堀敏基, 2017: 風の影響を受ける火山灰・火山礫. 日本風工学会誌, 42, 261-272.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

- ・可搬型レーダー (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) と二次元ビデオディストロメーターなどによる桜島での噴煙観測を継続すると共に、これまで得られた事例の解析を行う。
- ・可搬型レーダーデータ、既存の気象レーダーデータから噴煙を解析・検知する手法のとりまとめを行う。引き続き、観測データをデータ同化システムに渡すための一次解析データの作成・改良を行う。
- ・ひまわり 8 号等の衛星観測データを収集し、火山灰雲のモデル化、火山活動の規模評価を進める。特に、ひまわり 30 秒観測データも利用し、噴火直後の噴煙の解析を試みる。
- ・気象レーダーや衛星などによる噴煙観測データを移流拡散モデルの初期値に利用するための火山灰データ同化システムについて、過去事例や理想実験などの計算結果のとりまとめを行う。
- ・火山灰データ同化システムの現業化に向けて、試験環境の構築や事例検証について検討・作業を進める。
- ・大規模噴火を想定した領域移流拡散モデルによる降灰シミュレーションの計算結果について、とりまとめを行う。

(11) 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
鹿児島大学、京都大学防災研究所、防災科学技術研究所

(12) 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 : 029-853-8536
e-mail : ngmn11ts@mri-jma.go.jp
URL : <http://www.mri-jma.go.jp/>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 徳本 哲男
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：

津波の予測手法の高度化に関する研究

(3) 最も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

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

稠密な観測データを高度に活用し、津波成分を抽出する手法や現況を面的に把握する手法を開発する。波源推定に基づく予測手法の高度化および波源推定に基づかない新たな予測手法の開発を行う。

遠地津波の後続波および減衰特性のモデル化を行い、遠地津波の継続時間の予測を行うことにより津波警報解除の時期の予測手法を開発する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

沖合における多点の水圧観測データから、津波伝播の状況をリアルタイムで高い空間分解能を持って面的に把握する技術を開発するため、高精度水圧計による実海域観測データや既存の沖合観測データの解析等に基づき津波以外の現象に伴う水圧変化の特性を明らかにし、リアルタイムに津波成分のみを抽出するための技術開発を行うとともに、観測点配置やデータの量および質などを考慮してデータ同化の手法等を用いて即時的に津波の伝播状況を面的に把握する手法を開発する。

これまでの研究成果である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、大量の津波観測データに対しても安定して効率よく動作するようシステムを改良するなどの高度化を行う。また、津波の波高分布の時間発展をデータ同化の手法により逐次予測することにより、津波波源を推定しないで津波予測を行う新しい手法を開発し、精度の高い津波予測が行えるようにすることを目指す。

津波の減衰過程の予測のため、反射波や散乱波などの遠地津波を中心に後続波を精度よく再現できる計算手法を用い、様々な津波発生シナリオについて数値実験を行うことにより、後続波が第一波と同程度あるいは大きい振幅となる条件を経験的に見出すことを目指す。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

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、地下浅部の高角断層に伴う津波のような広がり小さな津波に対しては波源推定の空間分解能が十分でない場合が

あることがわかったため、解析領域全体の広さとの両立を図りつつ、場合によって波源の空間分解能を細かくする解析アルゴリズムを考案し、想定した性能を発揮することを確認した。

津波の減衰過程の予測のため、南米チリ沖及びペルー沖で発生した地震に伴う遠地津波の日本沿岸における観測データについて、第1波到達時、最大波発現時及び継続時間の関係を整理した。第1波到達時からの経過時間で整理すると、約12時間後までの津波振幅変化の特徴はチリ中部沖とチリ北部～ペルー沖の二つに大別されるが、約12時間以降の変化は両者で共通していて、その振幅は地震のマグニチュードと関係していることを明らかにした。

(9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成30年度実施計画の概要 :

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、観測データに様々なタイプのノイズが含まれている状況でも時々刻々得られる津波予測結果の妥当性を提示できるよう、そのリアルタイム指標を開発し、予測手法の高度化についてとりまとめる。

津波波源を推定しないで津波予測を行う手法について、同化手法により面的把握した津波波高分布から予測した沿岸津波高の精度を評価する。

津波の減衰過程の予測について、南米沖に加えてその他の太平洋沿岸を波源とする津波の観測事例から津波振幅の成長・減衰過程を表現するパラメータを推定し、その共通点と相違点を海域ごとに整理して、継続時間の予測可能性を検討する。

(11) 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

(12) 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 : 029-853-8536

e-mail : ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL : <http://www.mri-jma.go.jp/>

(13) 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 : 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：

地震・津波・火山防災情報の改善に係る知見・成果の共有

(3) 最も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

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(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) 事象系統樹の高度化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

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

4. 研究を推進するための体制の整備

(4) 研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

緊急地震速報の高度化

長周期地震動情報の高度化

噴火警報の改善

降灰予報の改善

国際共同研究・国際協力

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

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。

平成 26 年度においても、これまでの取り組みの成果、各種検討部会での議論の結果を踏まえ、継続的に取り組んでいく。平成 27 年度以降についても、引き続き成果の共有を続けていく。

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する。

（ 8 ）平成 29 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
- ・長周期地震動に関する情報検討会の開催
- ・津波予測技術に関する勉強会の開催

また、中央防災会議防災対策実行会議及びその下にある「南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討ワーキンググループ」の報告を受け、新たな防災対応が定められるまでの当面の間、気象庁は「南海トラフ地震に関連する情報」を発表することとし、平成 29 年 11 月 1 日から運用を開始した。

また、当該情報を発表するため、気象庁では、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って、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」（以下「評価検討会」という。）を開催することとした。評価検討会は、従来の東海地域を対象とした地震防災対策強化地域判定会と一体となって検討を行う。

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開始した。

（ 9 ）平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

（ 10 ）平成 30 年度実施計画の概要：

平成 30 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。

（ 11 ）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

火山噴火予知連絡会事務局（気象庁地震火山部火山課）

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

(12) 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：http://www.jma.go.jp

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者
氏名：阿南 恒明
所属：気象庁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：

火山活動の総合判断

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 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：

4. 研究を推進するための体制の整備

(4) 研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 社会との共通理解の醸成と災害教育

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 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．

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

年 3 回開催予定の火山噴火予知連絡会(定例会)において，全国の火山活動の総合的な評価を実施する．また，火山噴火発生等の異常時に開催する臨時の幹事会や連絡会(定例会，臨時会)において，火山噴火の可能性や火山活動の推移の予測等について評価し，火山噴火予知連絡会統一見解等の判断結果については報道発表や気象庁の火山情報で公表する．

防災科学技術研究所等が新規に整備する観測施設など，監視に必要なデータについては，観測データの交換対象に追加する．

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

平成 29 年度は，第 138 回(平成 29 年 6 月 20 日) 第 139 回(平成 29 年 10 月 3 日)の 2 回の火山噴火予知連絡会定例会を開催し，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，平成 29 年 10 月 11 日の新燃岳での噴火発生を受けて，10 月 19 日に鹿児島地方気象台において拡大幹事会を開催し，新燃岳の火山活動について検討を行った。
なお，平成 29 年度第 3 回目となる第 140 回火山噴火予知連絡会定例会は平成 30 年 2 月 14 日に開催する予定である。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 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 121 ~ 125 号、128 号(126 ~ 127 号、129 号も発行予定)

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

年 3 回開催予定の火山噴火予知連絡会(定例会)において、全国の火山活動の総合的な評価を実施する。また、火山噴火発生等の異常時に開催する臨時の幹事会や連絡会(定例会、臨時会)において、火山噴火の可能性や火山活動の推移の予測等について評価し、火山噴火予知連絡会統一見解等の判断結果については報道発表や気象庁の火山情報で公表する。

防災科学技術研究所等が新規に整備する観測施設など、監視に必要なデータについては、観測データの交換対象に追加する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

火山噴火予知連絡会事務局(気象庁地震火山部火山課)

他機関との共同研究の有無 : 有

火山噴火予知連絡会委員

(監視に関するデータ提供機関)

大学 , 研究機関 , 自治体 , 地方整備局等の火山観測実施機関

(12) 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 : <http://www.jma.go.jp>

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 宮村 淳一

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) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 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) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震観測、地殻変動観測の継続

(7) 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．

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

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，関係機関に提供した．

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

一元化処理結果(震源、検測値、発震機構解)，地震・火山月報(カタログ編)，地震・火山月報(防災編)，地震予知連絡会会報

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

平成 30 年度も、引き続き観測を継続するとともに、処理結果を大学、関係機関等に提供する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

気象庁

他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 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 : <http://www.jma.go.jp>

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 尾崎 友亮

所属 : 気象庁地震火山部管理課

- (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) 最も関連の深い建議の項目：
4. 研究を推進するための体制の整備
(2) 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) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：
南海トラフの巨大地震
首都直下地震
- (6) 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。
- (7) 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，障害による欠測を減少させる。
- (8) 平成 29 年度の成果の概要：
観測された潮位データを気象庁に集約し，気象庁 HP 及び国土交通省防災情報提供センター HP で公開（5 分間隔で更新）している。また，気象庁の管理地点は，毎時潮位，月平均潮位（ 平年偏差 ），津波，副振動等のデータも気象庁 HP で公開している。
平成 28 年度までに，気象庁の管理地点について，ランド ライン障害時においても潮位データの伝送が行えるよう伝送の二重化（衛星回線によるバックアップ回線），予備電源による稼働時間の長時間化（72 時間以上），観測機器の雷災対策，ランド ラインのデジタル回線化，離島地点の電源強化を行った。
気象庁の管理地点のほとんどがランドラインにメタル回線を利用しており，ランドライン経由の雷サージによる障害及び欠測を減少させるため，平成 29 年度光回線への変更計画を策定した。
- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので，平成 29 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
- (10) 平成 30 年度実施計画の概要：
気象庁の管理地点のランドラインを光回線化する。
- (11) 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

（12）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：http://www.jma.go.jp

（13）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：中舘 明

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) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 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. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

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、観測データの精度向上及び編集・解析作業の効率化を図りながら数十年～100 年スケールにわたる安定した地磁気観測を実施し、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のために、精密な磁場データを毎日リアルタイムで提供する。また、日本域の全磁力分布を解析するために、全国にわたる全磁力精密観測網を構築する観測点として、いわき、北浦、阿蘇山麓において、データ取得の安定性を図りながら精密連続観測を継続実施する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

日本における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、観測データの精度向上及び編集・解析作業の効率化を図りながら、地殻活動・火山活動を評価するために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。また、日本域の全磁力分布を解析するために、全国にわたる全磁力精密観測網を構築する観測点として、いわき、北浦、阿蘇山麓において、データ取得の安定性を図りながら精密連続観測を継続実施する。

(8) 平成 29 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。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成 30 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。

(11) 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

(12) 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>

(13) 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) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 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) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

桜島火山噴火

(6) 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 47 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)や火山年報で取りまとめて公表する。

(7) 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 47 火山について、全国 4 か所の火山監視・情報センターにおいて、地震計、空振計、GPS 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

全国の火山について、地震観測・GPS 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する。また、三宅島、浅間山、桜島等、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、DOAS 等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。

(8) 平成 29 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、GPS等により、連続的な監視観測を行った。

平成26年の御嶽山噴火を踏まえた観測施設の整備(3カ年計画)に基づき、平成29年度はアトサヌプリ、安達太良山、新潟焼山、薩摩硫黄島に観測施設を整備した(平成30年3月末完了予定)。

平成30年1月に噴火が発生した草津白根山(本白根山)については、臨時に観測機器(地震計、空振計、カメラ)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

全国の火山について、GPS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、阿蘇山、浅間山、桜島等、火口から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した。そのほか、雌阿寒岳、秋田駒ヶ岳、草津白根山等では、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。

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データを公開している。

- (9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29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)2017年3月号~2018年2月号(予定)
地震火山月報(カタログ編)2014年4月号~2016年2月号(予定)

(10) 平成30年度実施計画の概要：

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、GPS等により、連続的な監視観測を行う。

また、平成30年度は47箇所の遠望観測施設(監視カメラ)について、更新・機能強化を実施する。

2) 現地調査・機動観測による繰り返し観測等

全国の火山について、地震観測・GPS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する。また、阿蘇山、浅間山、桜島等、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)等に取りまとめて公表する。

(11) 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

(監視に関するデータ提供機関)

大学，研究機関，自治体，地方整備局等の火山観測実施機関

(12) 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：http://www.jma.go.jp/

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 宮村 淳一

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：

地殻活動・火山活動のための地磁気基準観測、全磁力精密観測のデータベース化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 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、全磁力精密観測の成果のデータベース化を継続する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

柿岡(茨城県)、女満別(北海道)、鹿屋(鹿児島県)、父島(東京都小笠原村)の 4 地点に、祓川(鹿児島県)を加えた 5 観測点における地磁気基準観測データを、継続して地磁気観測所データベースに登録し、迅速に公開するとともに、国際的なデータセンターに提供する。さらに、活動的な火山を対象とした全磁力精密観測データについて、継続してデータベースに登録する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

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、過去の紙媒体による地磁気アナログデータをスキャナでデジタル画像に変換し、それを計算機で利用可能な高時間分解能のデジタルデータに変換し、データベースに登録、公開した。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

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、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、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。さらに、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、継続してデータベースに登録する。

紙媒体による地磁気アナログデータのデジタルデータ変換作業についても、継続して実施する。

(11) 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

(12) 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/

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：平原 秀行

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) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 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。

「高感度地震観測データの処理方法の改善に関する報告書」(平成 26 年 2 月地震調査委員会)を踏まえて、文部科学省と協力して行う地震波形の分析(地震波到達時刻の読取り等)やそれを使った震源の決定等の処理震源決定にかかる処理の改善を行う等、地震カタログを充実する。

過去にさかのぼった震源決定を行うとともに、1976 年以降の大学等の検測値を取り込んで総合的な地震カタログを作成する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題は気象庁の通常予算で行うものである。

各年度において、地震カタログ等を作成し、関係機関等への提供及び一般への公開を実施する。

高感度地震観測処理の改善に関しては、平成 26 年度に「高感度地震観測データの処理方法の改善に関する報告書」に係る業務上必要な事項についての検討を行い、平成 27 年度から運用を開始する。また、海域の地震観測網の拡大に対応するため、平成 26 年度に海底地震計のデータを用いた震源決定手法の改善について調査を行い、後年度に運用を開始する。

震源過程解析に関しては、平成 26 年度に過去の解析結果の再解析を含めた見直しを行う。平成 27 年度にカタログ化に必要なフォーマットの検討を行い、後年度に提供を開始する。

過去震源の改定に関しては、平成 26 年度に 1955・1958・1975 年の震源の再計算を行い公開する。後年度に、1976～1997 年の期間について大学の検測値を取り込んだ総合的な地震カタログを作成する。

その他、適宜、地震カタログに係る解析・処理の改善を図る。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

海域の地震観測網に対応するため、地震調査委員会の「高感度地震観測データの処理方法の改善に関する小委員会」に、海底地震計のデータを用いた震源決定手法の改善に関する資料を提出し、議論を行っている。

平成 28 年(2016 年)熊本地震の一連の地震活動は非常に活発であったため、M1.7 以上の地震について優先的に処理を行っていたが、M1.7 未満の地震については、今般溜淵(2017)の波形相関の方法を用いて効率的に処理し、簡易的な確認を行った上で、一元化震源に登録した。

深部低周波地震の自動決定を行うべく、Matched Filter 法を西南日本の南海トラフ沿いで広範に発生する低周波地震に適用し、MF 法によるイベント検出及び震源決定能力について検討を行った。平成 29 年度末から、MF 法を用いた深部低周波地震の自動震源決定の運用を開始した。

気象庁で解析した国内地震の震源過程解析結果のデジタルデータについて、統一されたフォーマットにて気象庁HPにて公開した。

過去震源の改訂については、1976 年 7 月～12 月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作成した。

(9)平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 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>

田中美穂・迫田浩司・岩切一宏・山内崇彦，2017，気象庁における震源過程解析結果の数値データ公表，日本地震学会予稿集 2017 年度秋季大会，S15-P2。

溜淵功史，2017，波形相関による自動震源分類の効率化，駿震時報，81:6。

森脇 健，2017，Matched Filter 法を用いた西南日本の深部低周波地震の自動検出，駿震時報，81:3。

(10)平成 30 年度実施計画の概要：

海底地震計のデータを用いた震源決定手法の改善に関しては、引き続き調査・検討を行い、地震調査委員会の「高感度地震観測データの処理方法の改善に関する小委員会」に資料を提出し、議論を行う。改善の方針が決定した後、運用を開始する。

過去地震の改訂に関しては、引き続き、1977 年の総合的な地震カタログを作成する。

(11)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

(12)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：<http://www.jma.go.jp>

(13)この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：上野 寛

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：

防災・減災に関する知識の普及啓発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(5) 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) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

桜島火山噴火

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

緊急地震速報の利活用促進

長周期地震動情報の普及・啓発

津波防災に関する普及・啓発

噴火警報、噴火警戒レベルの利活用促進

量的降灰予報の普及・啓発

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

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・啓発を進めることとしている。平成 26 年度においても、これまでの取り組みの成果や各地の取り組み、各種検討部会での議論の結果を踏まえ、継続的或いは発展的な普及啓発の取り組みを進めるよう、対応を進めていく。

なお、普及啓発の対応は息の長い取り組みが必要であることから、平成 27 年度以降についても継続的に取り組んでいく予定。

(8) 平成 29 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

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成 30 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。

(11) 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

(12) 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 : <http://www.jma.go.jp>

(13) この研究課題(または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 阿南 恒明

所属 : 気象庁地震火山部管理課地震津波防災対策室

(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) 最も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・火山現象の解明

イ. プレート境界巨大地震

(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

(2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

ウ. 観測・解析技術の開発

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

地震活動、地震の余効変動、固着回復過程などの詳細を調べ、構造との関係を明らかにするため、GPS - 音響測距結合方式による海底地殻変動観測を継続する。

併せて、観測体制の強化を進め、南海トラフなどのプレート境界の固着状態の把握に努める。また、観測手法の一層の高度化を進め、効率的で長期に安定した計測技術の開発を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

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、海底地殻変動観測を継続するとともに、観測技術の開発・効率化を図り観測の高度化を行う。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

日本海溝沿いにおける観測を継続しており、昨年度までと同様にマントルの粘弾性効果の影響を含んだ余効変動が観測されている。その傾向は、福島沖の観測点などでやや鈍化傾向が見られる(図1)。

南海トラフ沿いにおける観測も継続しており、昨年度までと同様にプレート境界固着の影響による地殻変動が観測されている(図2)。時間的な変化はまだ明瞭には観測されていない。また、Nishimura et al. [2018] では名古屋大学の観測結果(Tadokoro et al., 2012)と合わせるとともにブロック運動の効果を取り込んで、すべり欠損速度分布が推定されている。結果はYokota et al. [2016]において示された分布と大きな不整合はないものの、推定誤差と思われる深部のすべり欠損などが修正されている。ただし、浅部の分解能不足は解消されていない。

- (9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
石川直史，2017，GPS-A 海底地殻変動観測のこれまでの進展と今後の展望，地震予知連絡会会報，98，507-508

海上保安庁，2017，東北地方太平洋沖地震後の海底地殻変動観測結果，地震予知連絡会会報，98，90-94
海上保安庁，2017，東北地方太平洋沖地震後の海底地殻変動観測結果，地震予知連絡会会報，99，印刷中

海上保安庁，2017，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，99，印刷中
Nishimura, T., Y. Yokota, K. Tadokoro & T. Ochi, 2018, Estimation of interplate coupling along the Nankai Trough using land and offshore geodetic data, Geosphere, accepted.

- (10) 平成30年度実施計画の概要：

海溝型地震の発生が想定されている日本海溝沿い，南海トラフ沿いの海域において，継続的な海底地殻変動観測を実施するとともに，観測技術の高度化を図る。

- (11) 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

- (12) 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。

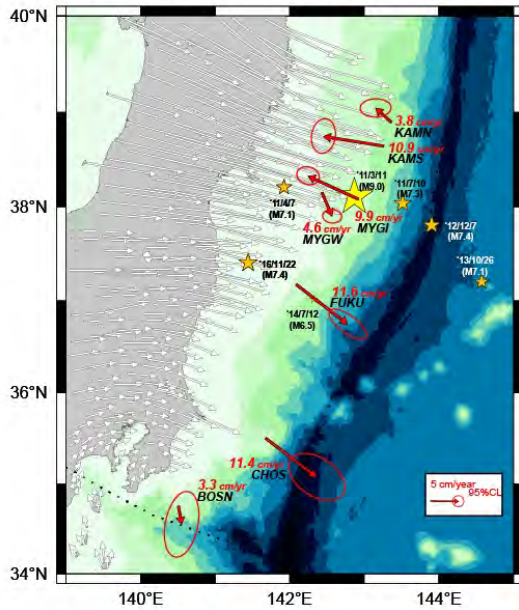
URL：<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

- (13) 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

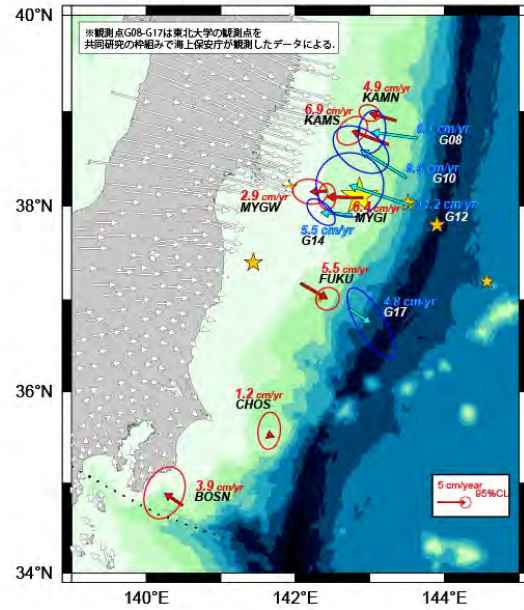
所属：海上保安庁海洋情報部技術・国際課

2011年7月～2014年12月の平均速度



観測点	KAMN	KAMS	MYGI	MYGW	FUKU	CHOS	BOSN	電子基準点
期間	2011/4/3	2011/4/3	2011/3/28	2011/3/21	2011/3/29	2011/4/18	2011/4/19	2011/4/1
2014/8/1	2014/7/31	2014/8/7	2014/6/11	2014/6/8	2014/6/8	2014/8/13	2014/8/13	2014/12/31
水平変位量	3.8 cm/year	10.9 cm/year	9.8 cm/year	4.6 cm/year	11.6 cm/year	11.4 cm/year	3.3 cm/year	

2015年1月～2017年12月の平均速度



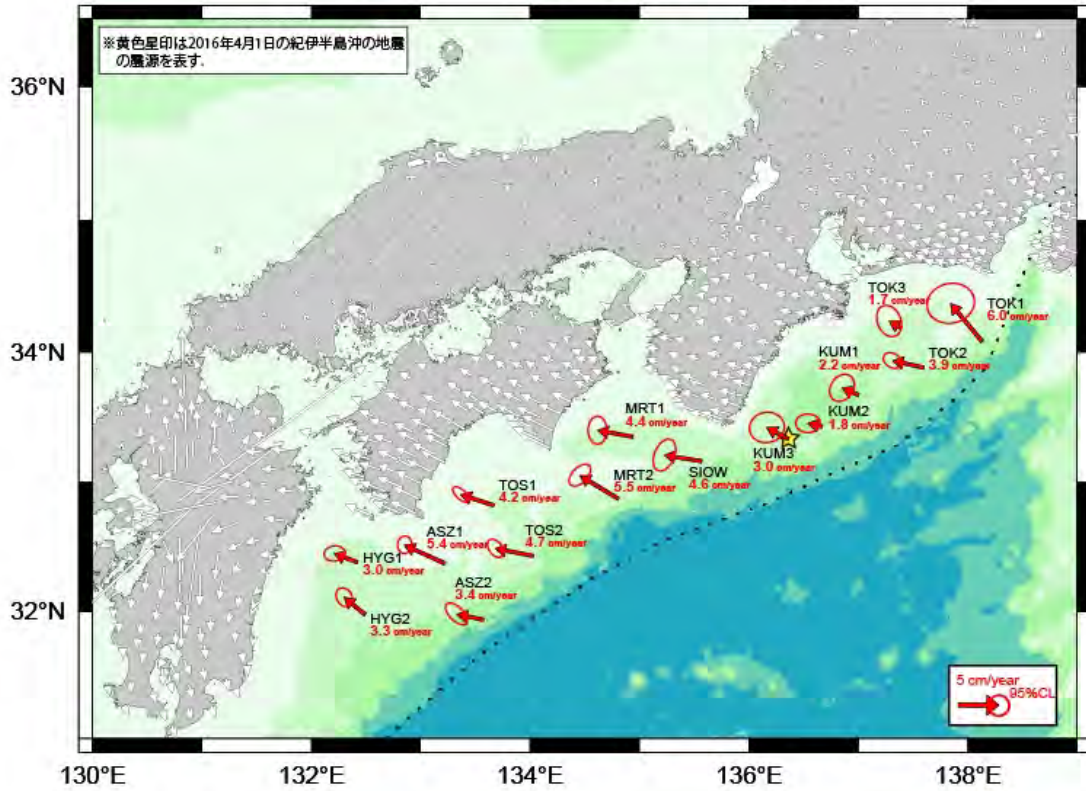
観測点	KAMN	KAMS	MYGI	MYGW	FUKU	CHOS	BOSN	電子基準点
期間	2015/1/28	2015/1/25	2015/1/15	2015/1/17	2015/1/13	2015/4/18	2015/4/17	2015/1/1
2017/12/18	2017/12/18	2017/8/19	2017/12/19	2017/12/20	2017/12/20	2017/12/20	2017/8/24	2017/12/31
水平変位量	4.9 cm/year	6.9 cm/year	6.4 cm/year	2.9 cm/year	5.5 cm/year	1.2 cm/year	3.9 cm/year	

観測点	G08	G10	G12	G14	G17
期間	2015/4/26	2015/4/26	2015/4/27	2015/7/14	2015/4/19
2017/8/20	2017/8/21	2017/8/21	2017/8/22	2017/8/22	2017/8/22
水平変位量	8.1 cm/year	9.5 cm/year	11.2 cm/year	5.5 cm/year	4.8 cm/year

図1：日本海溝沿いの海底の水平地殻変動

GNSS-A 観測で得られた海底の地殻変動速度。陸上の変動ベクトルは GEONET の F3 解による。黄色の星は 2011 年東北地方太平洋沖地震の本震、オレンジの星は海底の観測点において 1cm 以上の地殻変動変動が推定される余震を示す。

2014年1月～2017年12月の平均速度



観測点	TOK1	TOK2	TOK3	KUM1	KUM2	KUM3	SIOW	電子基準点
期間	2014/9/10 2017/11/20	2014/1/25 2017/11/19	2014/4/17 2017/11/19	2014/1/24 2017/11/18	2014/4/19 2017/11/18	2014/9/7 2017/11/17	2014/9/6 2017/11/17	2014/1/1 2017/12/31
水平変位量	6.0 cm/year	3.9 cm/year	1.7 cm/year	2.2 cm/year	1.8 cm/year	3.0 cm/year	4.6 cm/year	
観測点	MRT1	MRT2	TOS1	TOS2	ASZ1	ASZ2	HYG1	HYG2
期間	2014/9/3 2017/11/16	2014/4/21 2017/11/16	2014/1/14 2017/12/11	2014/1/22 2017/11/13	2014/1/16 2017/12/10	2014/1/15 2017/11/14	2014/1/17 2017/12/9	2014/1/18 2017/12/10
水平変位量	4.4 cm/year	5.5 cm/year	4.2 cm/year	4.7 cm/year	5.4 cm/year	3.4 cm/year	3.0 cm/year	3.3 cm/year

図2：南海トラフ沿いの海底の水平地殻変動

GNSS-A 観測で得られた海底の地殻変動速度。陸上の変動ベクトルは GEONET の F3 解による。

(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) 最も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・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(4) その他関連する建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(6) 国際共同研究・国際協力

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 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。

(7) 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。

(8) 平成 29 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、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。2017 年までの下里の座標変化は図 1 の通りとなっている。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

海上保安庁, 2017, 下里水路観測所における SLR 観測, 地震予知連絡会会報, 98, 453-456

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

SLR の国際共同観測を継続し、ITRF の原点決定ならびに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。

(11) 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

(12) 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

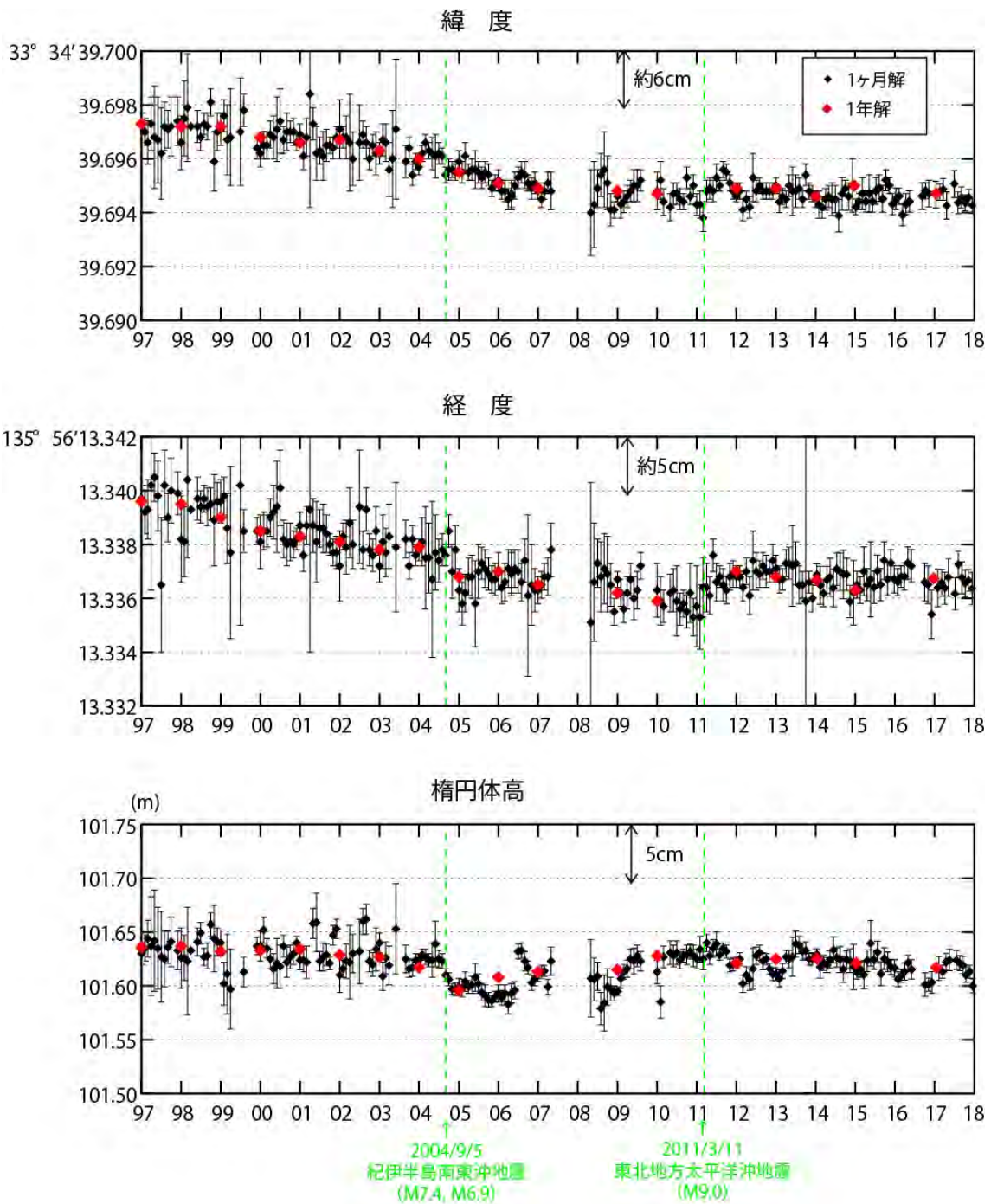
e-mail : 下記 URL の問い合わせフォームから問い合わせてください。

URL : <http://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

(13) 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



※2007年6月～2008年4月は、観測装置の故障のためデータが取得されていない
 ※2008年5月～2009年8月は、試験運用中でデータが少ないため、座標値にばらつきが見られる
 ※2009年9月～11月は、観測装置の更新のため、データが取得されていない
 ※2016年7月～9月は、観測装置の故障のため、データが取得されていない

図1 TRF2000に準拠した下里レーザー不動点の位置座標時系列(1997年～2017年)

(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) 最も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) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 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図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。

(7) 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図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) 平成 29 年度の成果の概要：

海域火山の定期巡回監視を実施した。さらに平成 29 年 3 月の「明神礁」の変色水の確認、4 月の「西之島」の新たな噴火に伴い、調査体制を強化するとともに、継続して調査を実施している。また、海域火山基礎情報図調査を「利島至三宅」、「若尊」で実施した。

これらの調査結果を火山噴火予知連絡会で報告すると共に、海域火山データベースで公表した。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

海上保安庁, 2017, 海域火山の最近の活動, 火山噴火予知連絡会会報, 127

海上保安庁, 2017, 西之島における火山活動の概況, 火山噴火予知連絡会会報, 127

海上保安庁, 2017, 明神礁における火山活動の概況, 火山噴火予知連絡会会報, 127

海上保安庁, 2017, 海域火山の最近の活動, 火山噴火予知連絡会会報, 128

海上保安庁, 2017, 西之島における火山活動の概況, 火山噴火予知連絡会会報, 128

小野智三ほか, 2017, 2013 年～2015 年活動の西之島火山周辺の海底地形変化, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, ポスター発表

佐藤泉ほか，2017，西之島火山の活動に伴う周辺海域の海水組成変化，JpGU-AGU Joint Meeting 2017，
ポスター発表
佐藤泉ほか，2017，西之島周辺海域の海水組成分布とその特徴，日本火山学会 2017 年度秋季大会，ポ
スターセッション
佐藤泉ほか，2017，西之島火山 2017 年噴火活動の推移，海洋調査技術学会第 29 回研究成果発表会，
ポスターセッション

(10) 平成 30 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図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。

(11) 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

(12) 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てください。

URL：http://www1.kaiho.mlit.go.jp/

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：新村 拓郎

所属：海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室



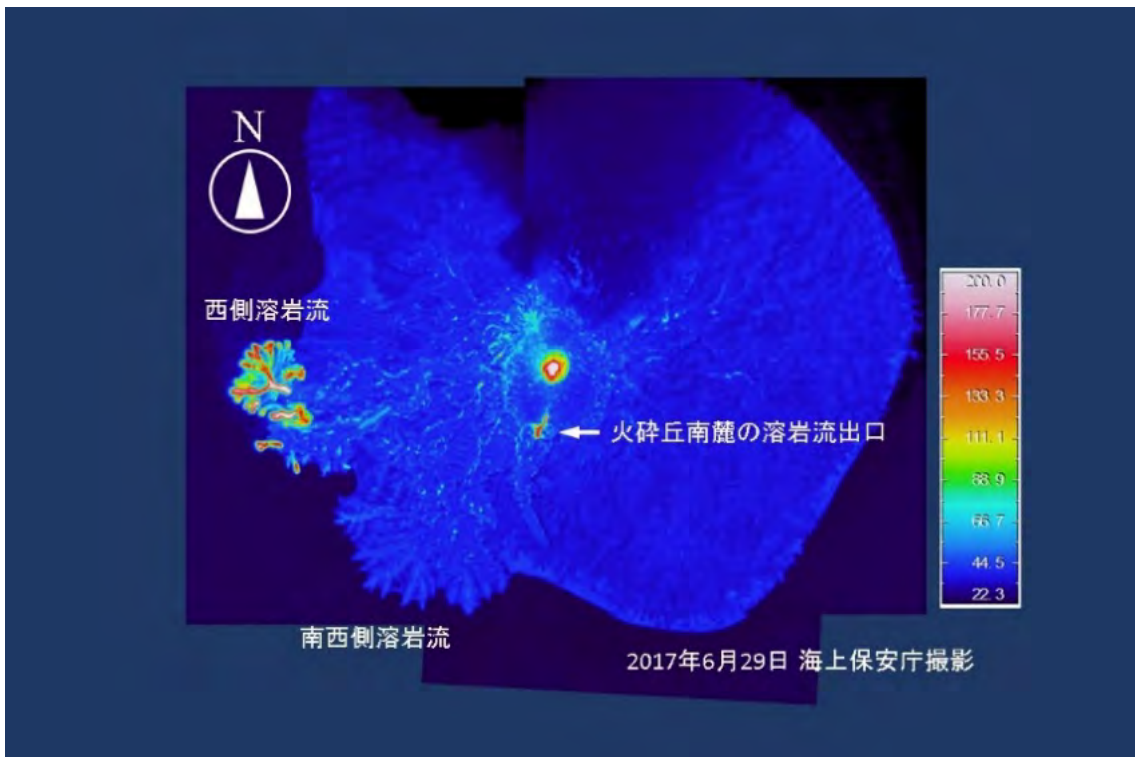
第1図 硫黄島 北ノ鼻の噴気帯と変色水 2017年6月28日 14:12 撮影



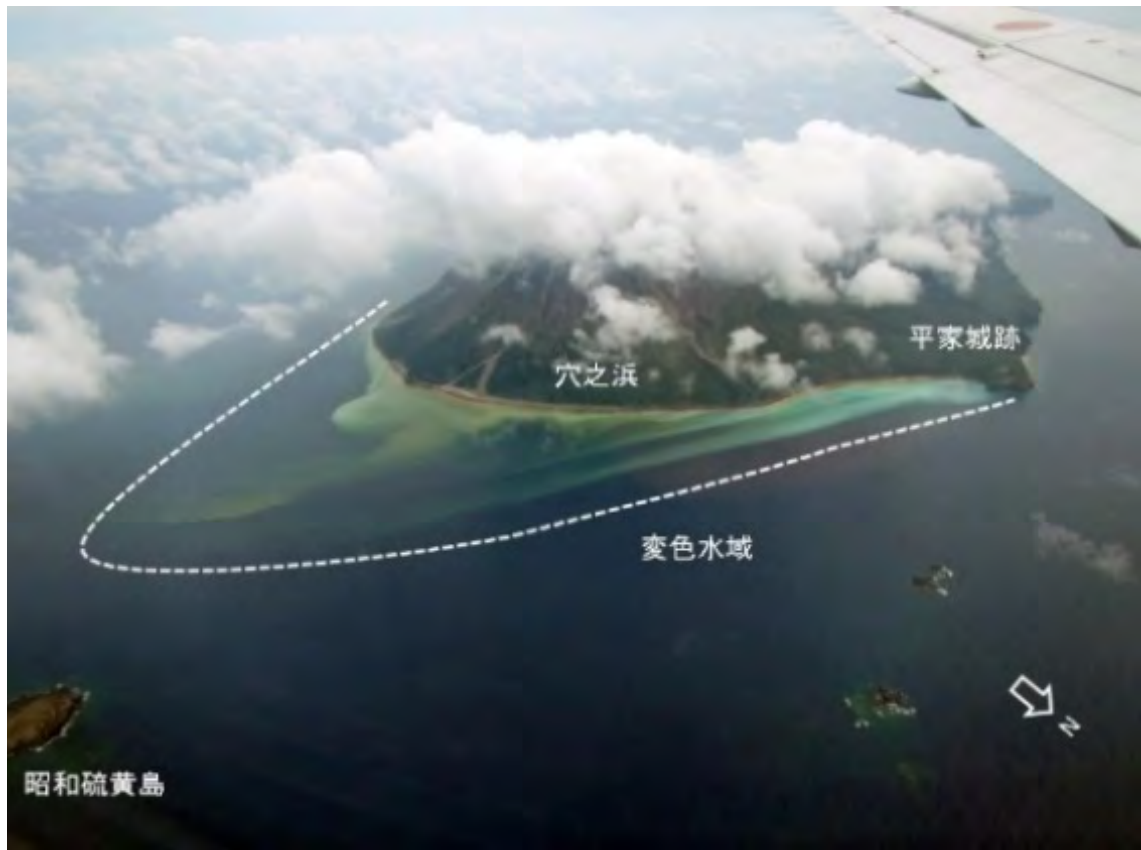
第2図 噴火浅根の変色水域 2017年6月28日 14:38 撮影



第3図 西之島 火砕丘での噴火 2017年6月28日 15:16 撮影



第4図 西之島 熱画像 2017年6月29日撮影



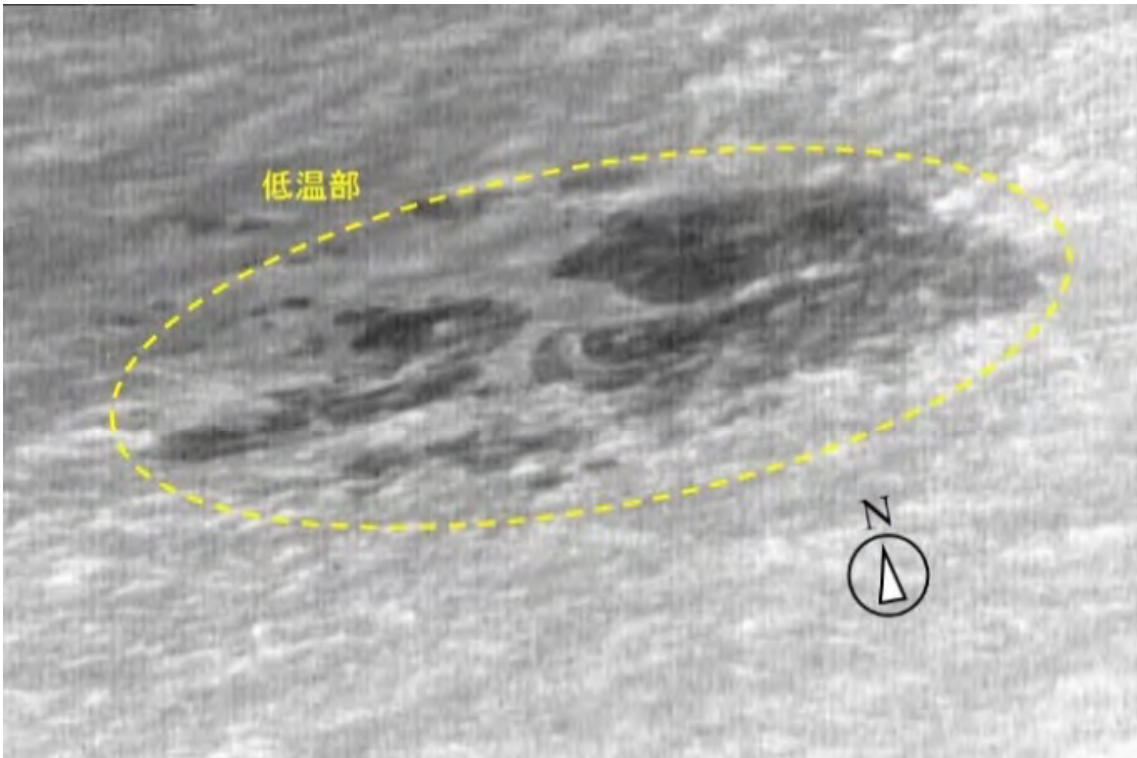
第 5 図 薩摩硫黄島 東岸遠景 2017 年 7 月 12 日 15:09 撮影



第6図 諏訪之瀬島 御岳火口 2017年7月12日 14:22 撮影



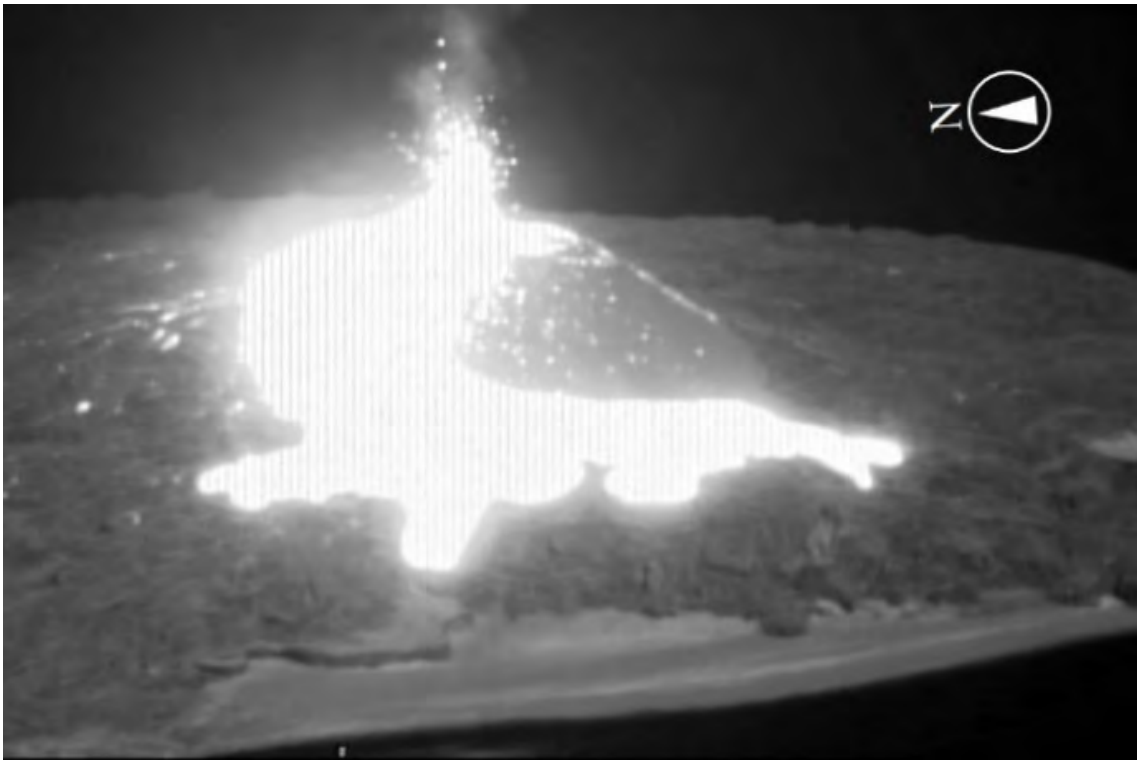
第7図 明神礁の気泡と変色水 2017年5月2日 15:03 撮影



第8図 明神礁 赤外線画像低温部 2017年4月20日



第9図 西之島 火口での噴火 2017年4月20日 14:22 撮影



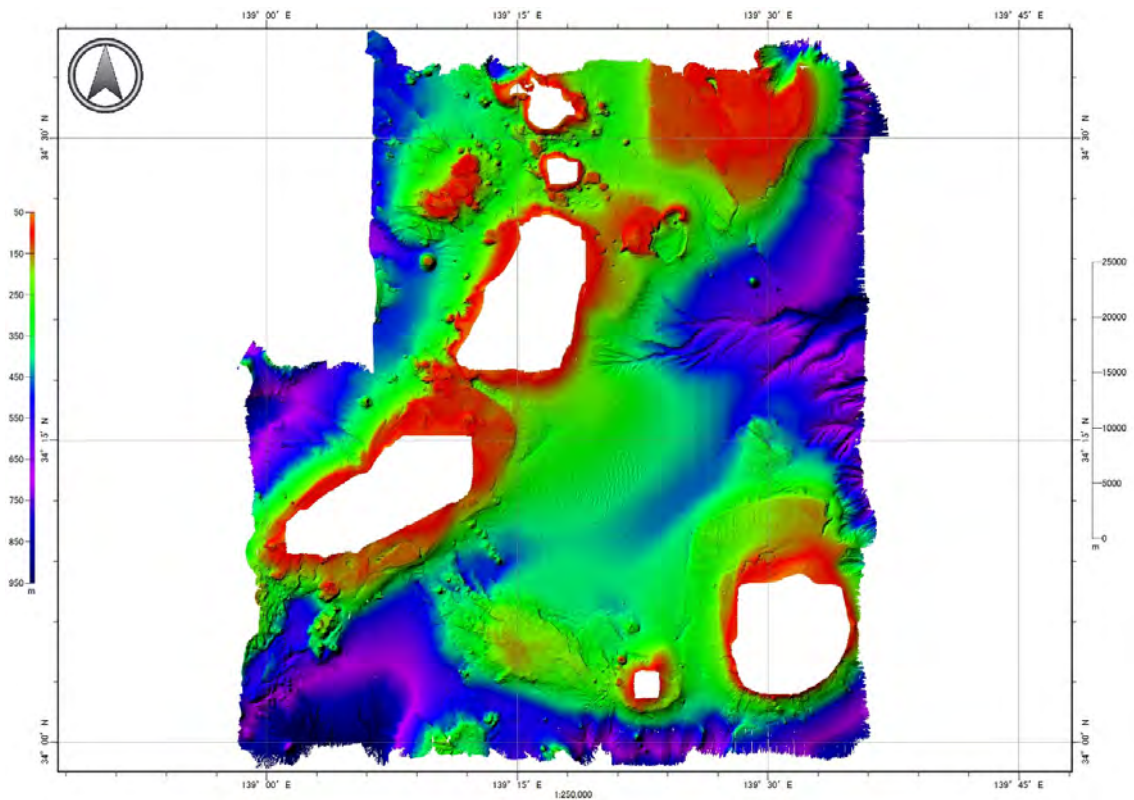
第 10 図 西之島 赤外線画像 噴火と溶岩流 2017 年 4 月 20 日 14:22 撮影



第 11 図 西之島 火砕丘中央から放出される噴煙 2017 年 8 月 2 日 13:52 撮影



第 12 図 西之島 火口内の噴気帯と凹地 2017 年 8 月 24 日 14:03 撮影



第 13 図 利島至三宅島海底地形図 (暫定版)

(1) 実施機関名：

海上保安庁

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地殻変動監視観測

(3) 最も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) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 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) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

東北地方太平洋沖地震

南海トラフの巨大地震

首都直下地震

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

継続的に GNSS 観測による地殻変動の監視観測を実施するとともに、観測データを利用して地震・火山現象に伴う地殻変動を検出する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

伊豆諸島海域において GNSS 連続観測を実施するとともに、DGPS 局のデータを利用して地殻変動を検出する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

海上保安庁の GPS 観測点において通年の観測を実施し、得られた結果について地震調査委員会、地震予知連絡会及び火山噴火予知連絡会に報告した。

GPS 観測点の 1 年間の位置変化を図 1 に示す。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

海上保安庁, 2017, 海上保安庁による GPS による地殻変動監視観測, 地震予知連絡会会報, 98, 19-23

海上保安庁, 2017, 海上保安庁による GPS による地殻変動監視観測, 地震予知連絡会会報, 99, 印

刷中

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

GPS 観測による地殻変動の監視を継続する。

(11) 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

(12) 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てください。

URL : <http://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

(13) 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

DGPS局等の水平変動 - 1年間 -

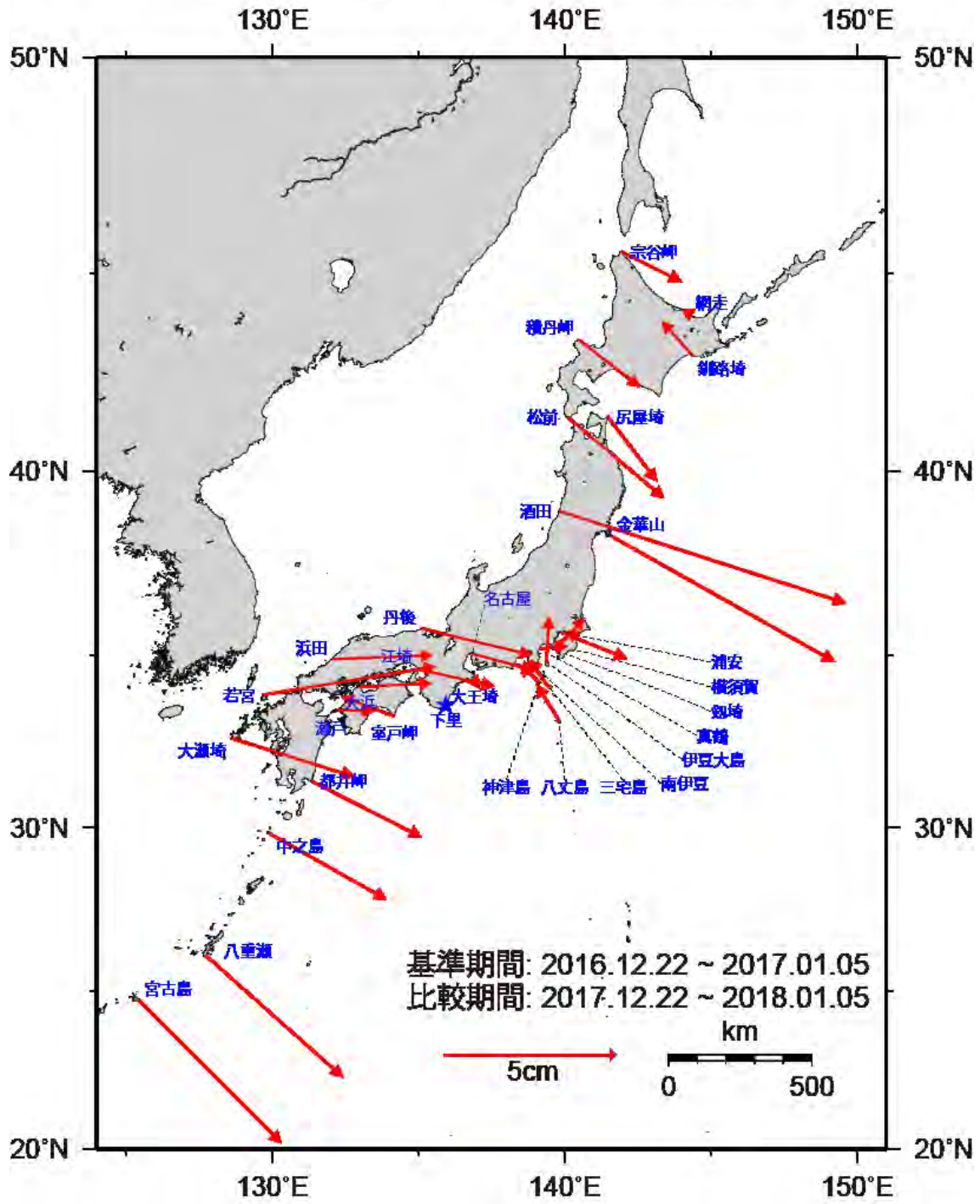


図1 DGPS局等のGPS連続観測から求めた水平変動

(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) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 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) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

潮汐観測の継続実施

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

引き続き、潮汐観測を実施し、全国 20ヶ所の地殻変動監視及び他機関との連携による験潮データのリアルタイム公開を実施する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

海上保安庁は潮汐観測により平均水面を求め、海岸昇降検知センターへ提出し、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、験潮をリアルタイムでインターネットにより公開した。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

なし

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

平成 29 年度と同様に全国 20ヶ所の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

(11) 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

(12) 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てください。

URL：http://www1.kaiho.mlit.go.jp/

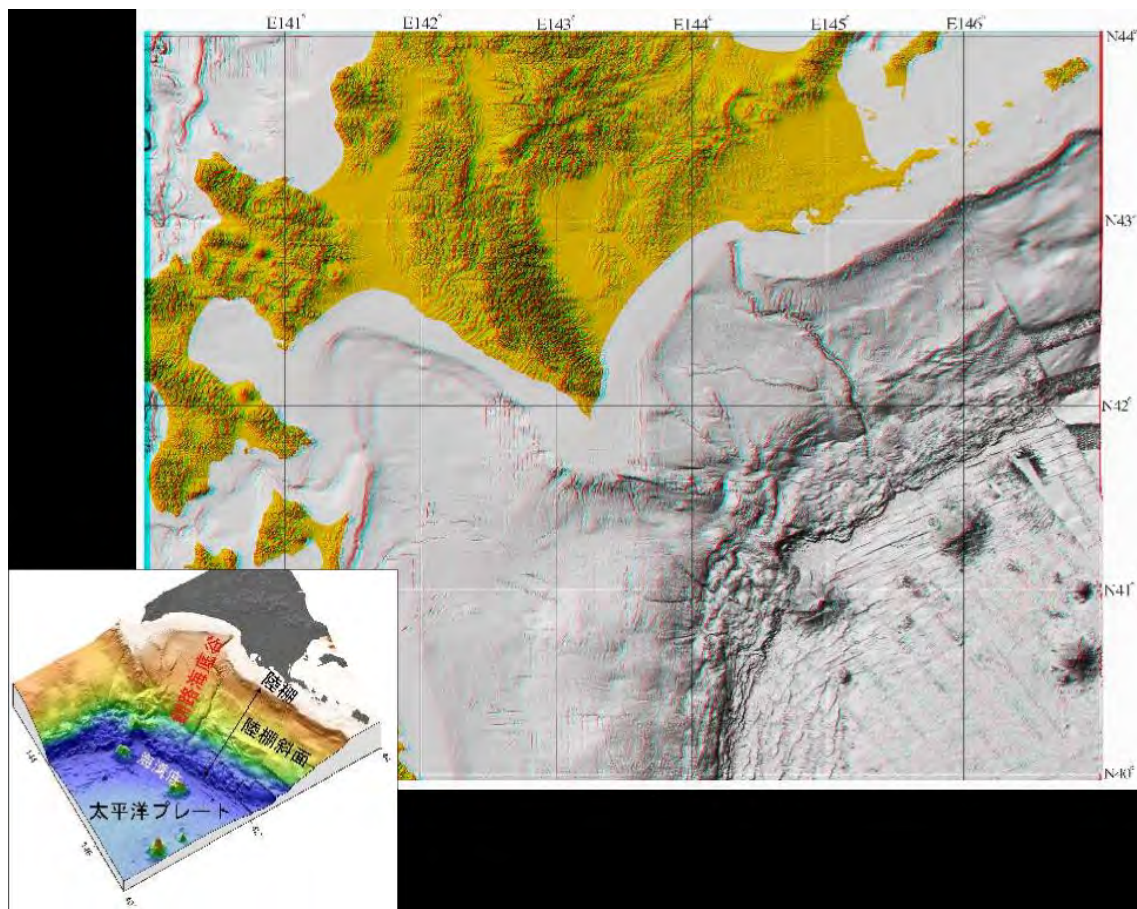
(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

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：
海域における地形・活断層調査
- (3) 最も関連の深い建議の項目：
4. 研究を推進するための体制の整備
(2) 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) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：
- (6) 本課題の 5 か年の到達目標：
- (7) 本課題の 5 か年計画の概要：
巨大地震の発生が懸念されるプレート境界域等において、海底地形等の調査を実施する
- (8) 平成 29 年度の成果の概要：
我が国の沿岸海域において、海底地形の調査を実施した。
- (9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
海上保安庁海洋情報部研究成果発表会ポスターセッション「P12 千島海溝南西周辺海域における 3D 海底地形（アナグリフ）」
- (10) 平成 30 年度実施計画の概要：
平成 30 年度は実施予定なし
- (11) 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
他機関との共同研究の有無：無
- (12) 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
電話：03-3595-3606
e-mail：下記 URL の問い合わせフォームから問い合わせてください。
URL：http://www1.kaiho.mlit.go.jp/
- (13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者
氏名：福山 一郎

所属：海上保安庁海洋情報部海洋調査課



千島海溝南西周辺海域における 3D 海底地形 (アナグリフ)

(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：

考古資料および文献資料から見た過去の地震・火山災害に関する情報の収集とデータベースの構築・公開

(3) 最も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整理

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：

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の5か年の到達目標：

過去の災害を研究する場合、近代的な記録が整備されている時代のみを対象とするのでは不十分である。歴史的な記録類を参照するとともに、文字資料を補完する役割を果たす考古資料についても、発掘調査の場で災害の痕跡を正しく認識することによって、情報を収集・分析する必要がある。また、これらの情報をデータベース化して公開することで、従来よりも長期にわたる、より正確な地震・火山災害に関する情報を提供することが可能となり、災害痕跡の認識に関するレベルの向上を図るとともに、将来的な防災・減災に寄与することが期待される。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

新規研究

考古学の領域では、特に阪神・淡路大震災を契機として、過去の地震や火山噴火などの災害痕跡に関する問題意識が高まり、各地の発掘調査で多くの考古データが蓄積されつつある。しかし、それらを収集・公開する体制は未整備であり、情報が十分に共有されているとはいえない。そこで、そうした災害に関する考古データを全国的に収集・分析し、文字史料とのすり合わせを含めて、どの時代のいかなる災害によるのかを検討する。そして、情報を時代と地域、災害の原因ごとに整理し、データベースとして公開することによって、過去の災害情報の共有化を図るとともに、将来にわたる防災・減災を講じる指針とする。

平成 26 年度：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：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

平成 28 年度：歴史時代を中心としたデータベースの公開、発掘現場での情報収集、データの収集と分析

平成 29 年度：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、研究集会の開催

平成 30 年度：拡張版データベースの公開

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

平成 28 年度に続いて発掘調査報告書からの災害痕跡データの抽出を行い、その結果、沖縄県以外の 46 都道府県について検討した発掘調査地点数が計 37,740 か所、確認した災害痕跡件数が計 16,632 件に達した。さらに、これらデータの入力を進めた。

災害痕跡 GIS データベースシステムについては、データベース構造・検索システムの改良とデータの更新を行った。また、東大史料編纂所の歴史災害史料データベース等と連携して、災害痕跡データベースと相互に検索できるシステム開発を進めた。

このほか、奈良県や山口県を始めとした各地の発掘調査現場において、古墳時代以前のものを含む災害痕跡の地質考古学的調査と試料採取を行い、それらの整理・分析を実施して結果を報告するとともに、災害痕跡の調査・記録方法に関する研究集会を開催した。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Taisuke Murata , 2017 , The Japan GIS database of historical natural disaster and hazard using research data of archaeological excavation,geological survey,and historical documents . IAG-IASPEI symposium , Poster .

村田泰輔 , 2017 , 自然科学分析(平城京朱雀門周辺・朱雀大路・二条大路の調査) , 奈良文化財研究所紀要 2017 , 190-231 .

村田泰輔 , 2017 , 武久川下流域条里遺跡にみられる堆積構造「武久川下流域条里遺跡 2」 , 下関市教育委員会 , 227-236 .

奈良文化財研究所・山口県市町村文化財担当者連絡会議 , 2018.3.9 , 災害痕跡の調査・記録方法についての研究集会 .

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

引き続き全国の発掘調査報告書からの地質考古学的災害痕跡資料・データ収集ならびに、発掘調査現場における地質考古学的災害痕跡の調査・試料採取とそれら資料の整理・分析等を実施し、それぞれのデータ整理・入力を行う。

災害痕跡 GIS データベースシステムでは、東大史料編纂所の歴史災害史料データベースシステム等との連携を確立して、拡張版の歴史災害痕跡 GIS データベースとしての公開を目指す。

このほか平城京跡(奈良市)の発掘調査事例を詳細に検討して、奈良市における災害履歴の復原を試み、それをモデルとして地域における災害履歴復原のための地質考古学的手法について研究する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

津田保行・森本晋・小池伸彦・渡辺晃宏・金田明大・山崎健・脇谷草一郎・星野安治・高田祐一・村田泰輔(奈良文化財研究所)

他機関との共同研究の有無 : 無

(12) 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 : 研究支援推進部総務課

電話 : 0742-30-6733

e-mail : webstaff@nabunken.go.jp

URL : <http://www.nabunken.go.jp/>

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 小池伸彦

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

(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：

日本海沿岸域における過去最大級津波の復元

(3) 最も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整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

(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・火山現象の解明

ア. 史料，考古データ，地質データ及び近代的観測データ等に基づく低頻度大規模地震・火山現象の解明

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

1 . 津波堆積物や古文書記録から 1741 年渡島大島の山体崩壊による津波の浸水域を明らかにするとともに、数値シミュレーションにより浸水域を復元できる山体崩壊の崩壊速度や崩壊体積などを明らかにする。

2 . 津波堆積物調査の結果明らかになった 13 世紀頃の津波について、波源域の推定を進め地震の規模や浸水域の推定を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

本課題は、日本海沿岸域における地震及び火山噴火に伴う低頻度大規模な津波イベントについて地質データを収集するとともに、津波シミュレーションと相互補完的に検証作業を行って確度の高い波源モデル・数値モデル構築や、浸水域の確定を行う。

平成 27 年度は、1741 年渡島大島山体崩壊による津波シミュレーションの高度化、津波堆積物による検証と数値モデルの最適化を行う。

平成 28 年度は、13 世紀頃の津波の波源域の推定、津波シミュレーションと津波堆積物による波源モデルの構築を行う。

平成 29 年度は、檜山沿岸の広域にわたる津波浸水実績のとりまとめ、GIS 化を行う。

平成 30 年度は、講演会等により成果の普及をはかる。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

13 世紀頃の津波波源について、国の「日本海における大規模地震に関する調査検討会」による F17 断層モデルを選定し、津波堆積物の分布と最も調和的な浸水域を示すよう断層長およびすべり量の調整を行った。

1741 年の津波は土塊と水塊を考慮した二層流モデル(地すべり・津波統合モデル: ?澤ほか, 2014) を改良して用い、13 世紀頃の津波では改変した F17 断層モデルを用いて非線形長波近似式による津波浸水計算を行い、浸水実績図とした。

計算結果は津波堆積物調査データ、歴史記録データとともに WEB-GIS から配信した。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

川上源太郎・加瀬善洋・ト部厚志・清水康博・仁科健二, 2017, 日本海東縁の津波とイベント堆積物. 地質学雑誌, 123, 857-877.

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

本研究課題は平成 29 年度で終了であり、新たな実施項目はない。

関連研究課題として、北海道の地域特性を踏まえた津波による最大リスクの評価手法を検討する予定である。

(11) 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、資源環境部 沿岸地質グループ

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 谷岡勇市郎

(12) 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 (代表)

e-mail :

URL : <http://www.hro.or.jp/list/environmental/research/gsh//index.html>

(13) 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：

地球科学的総合調査による火山のモニタリングと熱水系のモデル化

(3) 最も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) 火山現象のモデル化

ア. マグマ噴火を主体とする火山

(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

(5) 火山現象のモデル化

イ. 熱水系の卓越する火山

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

5 火山における地球物理学的・地球化学的モニタリングにより、地殻変動や温泉水・火山ガスの成分変化などの噴火の先行現象やそれに続く火山現象を捉える。

現在、火口域の膨張や、火山性地震の増加、温泉成分の変化といった現象が観測されている十勝岳では、それらの現象のメカニズムを明らかにするため、地球物理的・地球化学的・地質学的調査による多項目観測に基づき、火山体内部構造と熱水流動系のモデル化を行う。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

5 火山においては、噴火の先行現象などの火山活動の変化を捉えるため、継続的に地殻変動や、地温、温泉水・火山ガスの成分・同位体比等の各種モニタリングを行う。

十勝岳では山体の膨張や、火山性地震の増加、温泉成分の変化などが観測されているが、これらのメカニズムが明らかになっていないため、火山活動の現状を評価することが難しかった。そこで、十勝岳における火山災害の防災・減災に向けて火山活動の現状を評価するために、以下の調査を行う。

平成 27～28 年度は、火口域において MT 探査を行い、火口域地下浅部の比抵抗構造を明らかにする。また、重力観測や火山ガス観測、過去の堆積物に対する熱水変質調査を行い、火口域での熱水系について検討する。これらを合わせて火口域における火山体内部構造のモデル化を行う。また、山腹の温泉湧出域では、温泉水の成分や同位体比の観測や、山腹域での MT 探査を行い、十勝岳周辺の熱水流動系についてモデル化を行う。

平成 29 年度は、継続的に行うモニタリングを基に、火山体内部構造と熱水流動系のモデルの検証を行う。

平成 30 年度は、モニタリングに基づいてモデルの検証を行うとともに、そのモデルに基づいて火口域地下浅部を膨張源とする地殻変動のメカニズムや、温泉成分の変化のメカニズムを明らかにする。

これらの観測データや結果については、気象台や大学と共有するとともに、地元自治体等にも情報提供をおこなう。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

当初の計画の通り、北海道内の 5 火山 (雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、有珠山、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。また、十勝岳に関しては、平成 26~28 年度に集中的に行った各種調査の結果の解析を続けるとともに、新たに得られたモニタリングデータを検討することで、火山体内部構造と熱水流動系のモデルの検証を行った。これらの調査・観測の一部は北海道大学や札幌管区気象台と協力して行っており、情報の共有も随時行っている。

5 火山での地球物理学的・地球化学的モニタリング

(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 SO₄ 濃度がここ数年、増加する傾向が続いている。一方、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。GPS 観測では、2016 年 11 月頃から始まった雌阿寒岳北東麓の膨張現象による変化が観測されたが、2017 年月中旬以降は変動が停滞している。

(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 年以降、火口域の膨張を示す変動を捉えており、2017 年もその傾向が続いた。山麓から火口域にかけての精密重力観測を行った結果、火口域では 2017 年もこれまでと同様に重力値の減少傾向が続いていた。吹上温泉地区の温泉では、1988-89 年噴火前と同様の Cl/SO₄ 比の上昇が 2012 年に入り認められるようになったが、2013 年 4 月以降は横ばい~やや低下に変わった。2017 年も同様の傾向が続き、Cl/SO₄ 比の値は 2012 年の上昇前の水準に戻った。大正火口の噴気の温度や、凝縮水の酸素・水素同位体比には大きな変化はなかった。2015 年以降、活動の活発化が認められる振子沢噴気孔群で噴気観測を行ったところ、最高 503 の高温噴気域が確認された。また、その噴気凝縮水の酸素・水素同位体比は島弧のマグマ水と類似した値を示すことがわかった。

(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 510 および約 370 で、高い状態が続いている。A 火口と B 噴気孔群の噴気は 2008 年以降、硫黄化合物の濃度が低下し、2012 年頃からは横ばい傾向となった (図 1)。2017 年もその傾向に変化はなかった。A 火口の噴気凝縮水の酸素・水素同位体比は、観測を開始した 2012 年以降、徐々に重くなる傾向がある。山麓の温泉水の化学成分は 1998 年の観測開始以降、濃度の低下傾向が続いていたが、2011 年頃からは横ばいとなり、2017 年もその傾向が続いた。

(4) 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。山頂の溶岩ドームでは、山体の収縮に伴う重力値の増加が観測されているが、徐々に横ばい傾向になってきている。一方、外輪

山では、2014年以降、重力値はほぼ横ばいで推移しており、2017年もその傾向が続いた。山麓の重力値には変化はなかった。山頂I火口の噴気温度は約390℃でこれまでと大きな変化はなく、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。

(5) 北海道駒ヶ岳

火口域での地温連続観測、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、山麓での地下水位連続観測の結果には大きな変化が認められなかった。

十勝岳における火山体内部構造と熱水流動系のモデルの検証

(1) 火山体内部構造

電磁探査(MT探査)結果の解析や、熱水変質環境の検討から、昨年度に構築した火山体内部構造のモデルについて検証した。MT探査結果については、地形補正などの解析を進め、より詳細な比抵抗分布がわかってきた。MT探査で認められた火口域の地下浅部(深度500~1500m)の低比抵抗域は、浅部熱水系の分布域に対応すると考えられる。熱水変質調査からは、この浅部熱水系は火口域の地下500m以深に分布する大規模火砕流堆積物(美瑛・十勝火砕流堆積物)に胚胎しており、火道周辺ではより浅部に延びていると考えられる。熱水変質鉱物の組み合わせから、この浅部熱水系の温度は200~300℃と推定される。

(2) 熱水流動系

昨年度に構築した熱水流動系のモデルに基づいて、十勝岳周辺での30年以上にわたる温泉水の地球化学的な観測の結果を検証することによって、吹上温泉地域での温泉水の変化が十勝岳の火山活動の変化に対応していることがわかってきた。吹上温泉地域には浅部帯水層由来の熱水(低温・低Cl濃度)、マグマに由来する高NaCl熱水(高温・高NaCl濃度)、および高SO₄熱水が供給されていることが考えられ、それらの供給量の変化によって温泉水の温度やCl濃度の変化を概ね説明できることがわかった(図2)。マグマ噴火に向かって火山活動が活発化していた1988-89年噴火の前は、比較的多量の高NaCl熱水が2年以上の長期間にわたって供給され続けていた。一方、一時的に火山活動が活発化した2012~2013年などは少量の高NaCl熱水が単発的に供給されただけであった。したがって、このモデルに基づくと、今後、マグマ噴火に向かって火山活動が活発化する場合、1988-89年噴火前と同様に多量の高NaCl熱水が継続的に供給されると予測される。

- (9) 平成29年度の成果に関連の深いもので、平成29年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
高橋 良・岡崎紀俊・田村 慎・橋本武志・高橋浩晃・道下剛史・茂木 透・荻野 激・八幡正弘・村山泰司・青山 裕・田中 良・山谷祐介・奥田真央・田利信二郎(2017): 火山体内部構造・熱水流動系のモデル化と火山活動度評価手法の高度化(十勝岳)。北海道地質研究所調査研究報告，第44号，p. 194。
Takahashi, R., Yahata, M. (2018) Effects of subvolcanic hydrothermal systems on edifice collapses and phreatic eruptions at Tokachidake volcano, Japan. J. Volcanol. Geotherm. Res. 352, 117-129.
高橋 良・岡崎紀俊・村山泰司・田村 慎・荻野 激・秋田藤夫(印刷中): 十勝岳における温泉水の温度・化学成分の変化に基づいた火山活動評価。月刊地球。
橋本武志・青山 裕・小山 寛・森井敦司・三嶋 渉・荻野 激・高橋 良・岡崎紀俊(印刷中): 非噴火時における多項目観測の重要性(樽前山の事例)。月刊地球。

(10) 平成30年度実施計画の概要：

雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、有珠山及び北海道駒ヶ岳において、これまでと同様に地殻変動や、地温、温泉水・火山ガスの化学成分・同位体比等の各種モニタリングを行う。また、十勝岳においては、

モニタリングに基づいて火山体内部構造と熱水流動系のモデルの検証を行うとともに、そのモデルに基づいて火口域地下浅部を膨張源とする地殻変動のメカニズムや、温泉成分の変化のメカニズムを明らかにする。

(11) 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：有

北海道大学大学院理学研究院：橋本武志ほか 4 名

(12) 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>

(13) 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

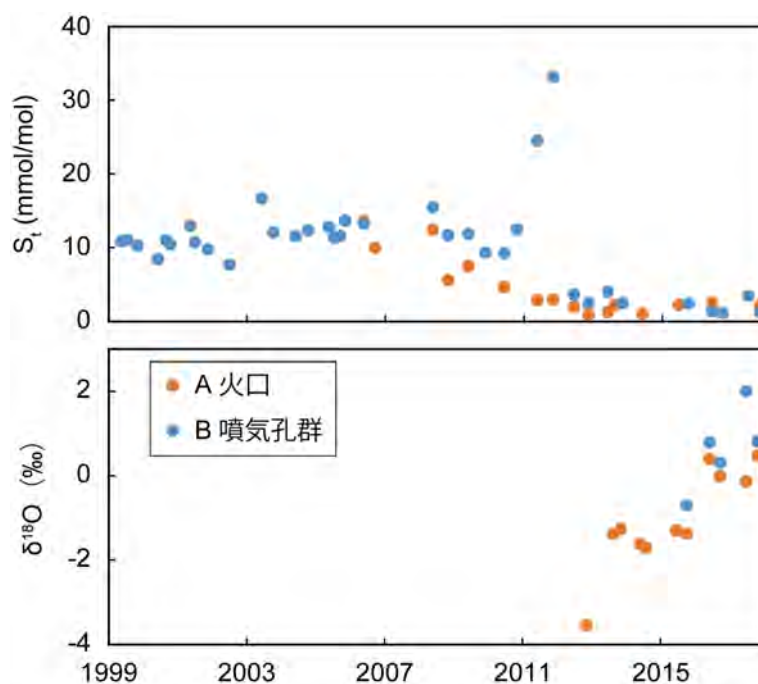


図 1

樽前山 A 火口と B 噴気孔群の噴気の（上）総硫黄量と（下）凝縮水の酸素同位体比の変化

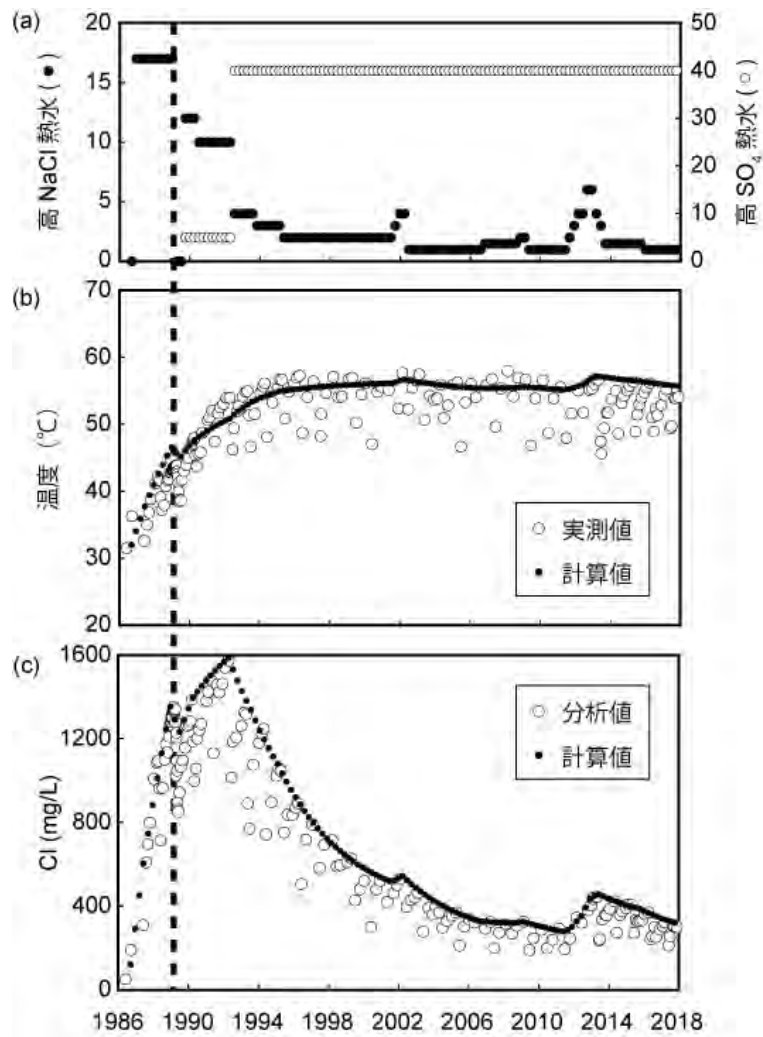


図 2

(a) FTS における温泉水の温度と Cl 濃度の変化を説明するための高 NaCl 熱水と高 SO₄ 熱水の供給率の変化の見積もり。各熱水の供給率は浅部帯水層由来の熱水の供給率を 100 とした場合の相対値。(b) FTS での温度の実測値と計算値。(c) FTS での Cl 濃度の分析値と計算値。(b) (c) の計算値は (a) の各熱水の供給率の変化を基に計算した結果。破線は 1988-89 年噴火を示す。

(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：

富士山における地下水観測

(3) 最も関連の深い建議の項目：

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 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) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

平成 14 年度～18 年度にかけて行った「富士山の火山活動に関する研究」や平成 26 年度から始まった山梨県重点化研究課題「富士山火山防災のための火山学的研究」で、火山噴火予知の研究等に寄与する基礎データを得ることを目的にし、地下水位・水温等の観測点を設け充実化を図っており、観測を行っている。いくつかの火山地帯の地下水位・地下水温および水質の観測の変化が火山活動に関連していることが明らかにされつつあり、噴火の前兆現象および噴火後の推移を予測する上で重要な観測項目とされている。しかし、現在のところ富士山北麓において火山活動との関連で地下水の観測点は限られており、北西麓はカバーできていない。したがって、新規の観測点の増設や既存の温泉井などの活用ができるように、地下水観測体制の強化整備等を図っていく。また、星山期堆積物中の地下水挙動の把握のための研究を同時並行に進め、星山期堆積物や深部地下水の地下水循環系を明らかにする。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

山梨県富士山科学研究所 研究・企画費

噴火タイプや推移に影響を与える可能性のある富士山の地下水体の実情を把握するために星山期堆積物や深部地下水中の地下水挙動、水循環系の把握を行う。また、地下深部へ降水等がどのような浸透過程(浸透ライン)を明らかにする。

平成 27 年度においては、浸透ライン研究として、富士山頂および複数標高の降水試料を収集し、それらについて水素・酸素・塩素の安定同位体比を分析する。また、地下水体の研究として、水理地質踏査と既存ボーリングなどの地下地質資料収集を実施する。

平成 28 年度においては、浸透ライン研究として、富士山北東麓エリアを中心とした複数標高の地下水試料を収集し、それらについて被圧地下水研究の湧水試料と同項目の同位体比分析と水質分析を実施する。地下水体研究として富士山北麓に分布する温泉水の分析を行い、深部地下水の実情を把握する。

平成 29 年度においては、前年度までの研究での不足分について、地下水体の分布等の実態把握や浸透ラインを明らかにするための地下水観測体制の強化を図る。引き続き、浸透ラインおよび地下水体の把握の研究を実施する。

平成 30 年度においては、上記の研究における不足データの補充を実施し、地下水浸透ラインの推測を行う。その結果を用いて被圧地下水の浸透標高を推定し、水理地質構造を加味して、深部地下水も含めて地下水循環系を検討する。

(8) 平成 29 年度の成果の概要：

火山活動の予兆現象として地下水の変動状態を監視することを目的に、富士北麓の 4 箇所に観測点を設けて地下水変動の連続観測を実施している。観測点 4 点は、北東麓忍野観測点、北麓富士吉田観測点、河口湖観測点、北西麓富士ヶ嶺観測点である。この 4 観測点で地下水位、地下水温、電気伝導度を測定している。河口湖観測点と富士ヶ嶺観測点において、2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震とそれに続いて発生した静岡県東部地震では地下水位の変動が見られたが、現在のところ、これ以外の変動は観測されていない。

しかし、現在のところ富士山北麓において火山活動との関連で地下水の観測点は限られており、側火口が揃う北西ラインを全てカバーできていない。したがって、新規の観測点の増設や既存の温泉井などの活用ができるように、地下水観測体制の強化整備等を図った。また、星山期堆積物中の地下水挙動の把握のための研究を同時並行に進め、星山期堆積物や深部地下水の地下水循環系を明らかにするために、既存の水井戸のデータを収集し、解析を行った。火山噴出物の放射性炭素年代が得られている資料が少ないため、既存の試料を探して年代測定を行う必要があった。

この中で北麓の富士吉田観測点については、深度 1.30 m ~ 6.15 m (Lv1)、深度 21.4 ~ 31.0m (Lv2)、深度 33.6 ~ 40 m (Lv3)、深度 49.5 ~ 52.1m (Lv4) に 4 層の玄武岩質溶岩流が見いだされた。火山噴出物の年代を知るために、一部コアやカッティングス采取して、放射性炭素年代測定を行った。

その結果、深度 1.30 m ~ 6.15 m 溶岩は西暦 1000 年前後噴火の剣丸尾第 1 溶岩流として、深度 21.35 m ~ 31.00 m 溶岩は、上限が 8450 ~ 8340 年 (暦年) の年代が得られ、Lv4 溶岩層以深の土壌 (深度 78.0m) 中の炭質物の放射性炭素年代測定を行い、14830 - 14285 年前 (暦年) の年代を得た。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等)：

山本真也・中村高志・内山高，2017，富士山北麓，河口湖で新たに見つかった湖底湧水，日本水文科学会誌，47，49 - 59．内山高・山本真也・笠井明穂・野澤すみれ，2017，富士北東麓における地下水涵養機構と深部地下水流動系の解明，山梨県富士山科学研究所年報，20，29 - 30．内山高・吉本充宏・山本真也・常松佳恵・馬場章・笠井明穂・野澤すみれ，2017，富士山火山防災のための火山学的研究山梨県富士山科学研究所年報，20，31 - 33．

(10) 平成 30 年度実施計画の概要：

- ・浸透ライン研究においては、富士山北東麓エリアを中心とした複数標高の地下水試料を収集し、それらについて被圧地下水研究の湧水試料と同項目の同位体比分析と水質分析を実施する。
- ・地下水体研究においては、富士北麓に分布する温泉水の分析を行い、深部地下水の実情を把握する。

(11) 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 火山防災研究部
内山高、吉本充宏、山本真也、常松佳恵、馬場章
他機関との共同研究の有無：無

(12) 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 火山防災研究部
電話：0555-72-6211 (代表)
e-mail：vulcano@mfri.pref.yamanashi.jp
URL：http://www.mfri.pref.yamanashi.jp/

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 内山 高

所属 : 山梨県富士山科学研究所 火山防災研究部

(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：

富士山の噴火事象系統樹の高精度化のための基礎研究

(3) 最も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) 事象系統樹の高度化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

(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整理

ウ. 地質データ等の収集と整理

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

(5) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

(6) 本課題の 5 か年の到達目標：

富士山における噴火事象系統樹を作成させるために既存データの集約と新たな地質情報をもとに噴火履歴の高精度化をおこない、その結果をもとに噴火事象系統樹を試作する。

(7) 本課題の 5 か年計画の概要：

山梨県富士山科学研究所 研究・企画費

重点化研究 「富士山火山防災のための火山学的研究～噴火履歴とそのシミュレーション～」

富士山研究 「富士山の火山噴出物に関するデータベースの構築」

基盤研究 「富士山の古地磁気を用いた溶岩噴出年代の決定」

噴火事象系統樹を高精度に作成するためには、詳細な噴火履歴と噴火推移が明らかになっている必要がある。富士山では近年、産業技術総合研究所による火山地質図の改訂が行われたが、未解明な点も多い。最近 3200 年間に 100 あまりの噴出物が確認されているが、噴火年代が確定しているものは約 3 割で、噴火推移が明らかになっている噴火は 1 割程度である。本研究では、まず既存研究のデータを集約し、データベースを構築する。その中で年代未詳の噴出物については放射性炭素年代測定を行い、噴火履歴の高精度化を図る。一方、放射性炭素年代測定用の試料の得られない噴出物(溶岩)については、古地磁気学的手法を用いて年代決定を行う。さらに地質調査をもとに個々の噴火の噴火推移を検証する。これらのデータを元に噴火事象系統樹を作成する。

平成 27 年度においては、富士山における既存のデータを集約し、データベースを構築する。その中で年代未詳の噴出物について地質調査を行い、放射性炭素年代測定を行う。一方古地磁気学的手法を

用いた年代測定には、年代既知の溶岩の古地磁気方位のデータベースが重要となる。古地磁気方位のデータベースのための測定を行う。

平成 28 年度においては、平成 27 年度に引き続きデータの集約および年代測定を行い、溶岩の古地磁気測定を行う。また、噴火推移の明らかに成っていない噴火の噴火推移を明らかにするための地質調査を実施する。

平成 29 年度においては、年代未知の溶岩の古地磁気測定を行い、年代を決定する。噴火推移を明らかにするための地質調査を継続する。

平成 30 年度においては、上記で収集したデータを元に噴火事象系統樹の試作を行う。

(8) 平成 29 年度の成果の概要 :

富士山の噴火災害予測を行うためには、噴火事象系統樹を高精度に作成する必要がある、その基礎データを収集するために、詳細な噴火履歴調査の解明が必要である。これらの目的を達成するために、「富士山の火山噴出物に関するデータベースの構築」と「富士山の古地磁気を用いた溶岩噴出年代の決定」の研究調査を実施している。

昨年度に引き続き、平成 29 年度においては富士山における文献調査を行い、既存のデータをデータベース化の作業を実施中である。平成 27 年度実施した本栖湖コア掘削の解析を実施した結果、約 8000 年間の堆積物が採取され、すくなくとも 5 層の降下スコリアと 2 層の広域テフラ (カワゴ平、喜界アカホヤ) を検出した。

古地磁気学的手法を用いた年代測定については、前年度に加え、過去 2200 年間に噴火したと推定されている溶岩・火砕丘計 36 層を採取・測定し、古地磁気方位のデータベース化と地球磁場の永年変化モデルとの整合性から噴出年代を検証した。測定結果の大部分が永年変化モデル (JRFM2K1) と一致しており、古地磁気学的手法は年代推定に有効である (図 1)。これまで年代未詳であった鷹丸尾林道溶岩流は、AD800 頃に噴出したと推定される。

平成 29 年度は、東北麓のテフラの分布を明らかにするために滝沢標高 1600m 付近 (地点 1)、与兵衛流標高 1450m 付近 (地点 2) の 2 地点でトレンチ調査を実施した。地点 1 では、滝沢火砕流 (Sd-Tpf) の下位に降下スコリア 33 層と溶岩流 1 層を確認した (図 2)。地点 1 における忍野スコリア (Osi) の層厚は 120cm あり、調査地点のなかで最も厚く、本スコリアの給源は、山頂付近に求められる。地点 2 では鷹丸尾溶岩流 (Sd-Tam) の下位に火砕流 1 層と溶岩流 1 層を確認した。地点 2 で観察された火砕流と溶岩の噴出年代は古地磁気方位により、各々 AD600-650 年頃、AD550-600 年頃に推定される。

(9) 平成 29 年度の成果に関連の深いもので、平成 29 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

(10) 平成 30 年度実施計画の概要 :

平成 30 年度は、平成 29 年度に引き続きデータの集約および年代測定を実施し、噴火推移の明らかに成っていない噴火の噴火推移を明らかにするための地質調査を実施する。次年度も東北麓においてトレンチ調査を実施する。また、古地磁気学的手法を用いた年代測定に関しては、年代未詳の溶岩の測定に加えて、地磁気測定を広域的に実施する。

(11) 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 火山防災研究部
吉本充宏、馬場章、山本真也、常松佳恵、内山高
他機関との共同研究の有無 : 有
東京大学地震研究所 中田節也 教授

(12) 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 火山防災研究部

電話：0555-72-6211 (代表)
e-mail：vulcano@mfri.pref.yamanashi.jp
URL：http://www.mfri.pref.yamanashi.jp/

(13) 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 火山防災研究部

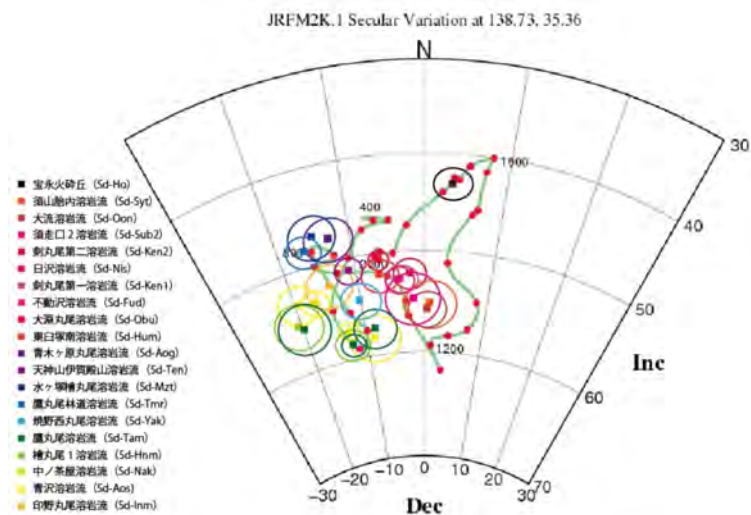


図 1
溶岩および火砕丘 20 層の古地磁気方位の測定結果と永年変化モデル (JRFM2K.1) の比較。



図 2
滝沢標高 1600m 付近 (地点 1) のトレンチ調査の様子。合計 33 層のテフラ層が確認できる。