

( 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 27 年度の成果の概要：

平成 22 年度までに開発を行った 30cm の分解能を有する航空機搭載合成開口レーダ (Pi-SAR2) は、平成 23 年の東日本大震災を経て平成 25 年度までに、データ取得後の処理の高速化、高度化と迅速なデータ提供に向けての研究開発を行ってきた。平成 27 年度は平成 26 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た。また、火山については、平常時の火山の比較データ取得を目的として、Pi-SAR2 による実験観測の中で可能な限りのデータ取得を進めることとしており、平成 27 年 12 月には、11 火山の観測を実施した。これらのデータを含めて、Pi-SAR および Pi-SAR2 のデータ検索システムの公開・運用を進めた。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

- 1) 米澤千夏, 石塚直樹, 梅原 俊彦, "津波被災農地における耕作状況判別のための Pi-SAR2 データの固有値解析", 日本リモートセンシング学会平成 27 年度春季学術講演会, 2015.5 (2T.Maruki, S.Sakai, K.Itoh, T.Aoki, J.Uemoto).  
Radargrammetry Using Airborne SAR Images with Parameter Optimization, Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar(Singapore), pp258-263, 2015.8.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

平成 28 年度は、情報通信研究機構の第 4 期中長期計画に基づき、平成 27 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。

( 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 電磁波計測研究所  
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 : 浦塚清峰

所属 : 情報通信研究機構 電磁波計測研究所

( 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 27 年度の成果の概要：

本年度は九州でのボーリング対象カルデラを鬼界カルデラに絞り、掘削対象（目的）と適地を検討して、薩摩硫黄島でのボーリングを実施した。鬼界カルデラについてはカルデラ形成噴火（鬼界 アカホヤ噴火）および先行噴火について調査を実施し、サンプルを採取して物質科学的な解析を開始した。北海道のカルデラ火山については、支笏カルデラのマグマ系の検討を続ける一方で、摩周カルデラ形成噴火の野外調査を実施した。また大規模山体崩壊現象については、磐梯 1888 年崩壊について古記録収集と地質調査を実施した。火山活動と無関係な事例では、北海道奥尻島の神威山の崩壊について調査を実施した。これらの成果概要について以下にまとめる。

##### 1. 鬼界カルデラ：鬼界 アカホヤ噴火

1) カルデラ形成噴火推移に関する研究：薩摩硫黄島および薩摩半島において、アカホヤ噴火および関連する堆積物の地質調査、物質科学的解析のための試料採取を行った。まず前年度から引き続き、ア

カホヤ噴火時のプリニー式噴火とクライマックスとの時間間隙に注目した調査を行った。薩摩硫黄島ではその痕跡が従来わかりにくかったが、ドローンを用いて海蝕崖などアクセスが困難な場所の調査も並行して行った結果、プリニー式噴火堆積物とクライマックス堆積物の間に明瞭な侵食面があること、これまで認識できていなかった火山灰層が見つかるなど新たな知見が得られた。

2) ボーリング調査：また、ボーリング調査地点の選定のために、竹島と薩摩硫黄島において候補地を探索した。その結果、鬼界 アカホヤ噴火については両島で良好な露出が存在し、露頭での観察と試料採取が可能であることから、掘削対象を先行噴火である長浜溶岩に変更した。そして、その長浜溶岩を噴出した噴火の推移および、その噴火の前後の活動の有無を検討することを目的とした。ボーリング地点については、予算上の制約から現在の長浜溶岩表層からの掘削では溶岩下面に到達することは困難と考え、現在のカルデラ内部の薩摩硫黄島長浜港近くでボーリングを実施している。報告書作成時点では、ボーリング孔壁の状態が悪く、掘削は予定の半分程度の深度となっている。

3) 先行噴火に関する研究：長浜溶岩と鬼界 アカホヤ噴火の噴火年代の差についてはこれまで明らかにはなっていなかった。そこで長浜溶岩に対比されると考えられている、アカホヤ噴火最初期の降下軽石層の下位に存在するテフラについて火山ガラス組成および炭素年代を検討した。今回、模式地において2層の珪長質テフラを確認し(図1)、それぞれの火山ガラス組成を長浜溶岩の石基組成と比較した結果、テフラと長浜溶岩は対比できた。さらにこれらのガラス組成は鬼界 アカホヤ噴出物のガラス組成と同一であることも明らかになった。この結果、鬼界 アカホヤ噴火に先行する噴火は2回あったこと、そしてそのうちのいずれかが長浜溶岩の噴出に対比できることになる。またテフラ層の上下の土壌の年代測定結果は鬼界 アカホヤの噴出年代よりも1000年以上の若い年代が得られた(図1)。年代の絶対値については問題があるが、先行噴火がアカホヤ噴火の千年~数百年前に発生していた可能性が指摘できる。現在、年代値について再測定を行っている。

4) 長浜溶岩およびアカホヤ噴火噴出物の岩石学的研究：

長浜溶岩およびアカホヤ噴火の噴出物の岩石記載、全岩化学組成および斑晶鉱物の化学組成を求めた。アカホヤ噴火ではステージ1ではSiO<sub>2</sub> = 71~74%の流紋岩が、ステージ2では流紋岩に加えてデイサイト~安山岩質な噴出物も認められる。長浜溶岩はSiO<sub>2</sub> ~ 72%の流紋岩であり、その全岩化学組成はアカホヤ噴火の流紋岩と酷似するが、FeO / MgO比では長浜溶岩の方が高い点で区別できる(図2)。これらの噴出物の斑晶鉱物は斜長石、単斜輝石、斜方輝石およびFe-Ti酸化物である。斜長石と斜方輝石斑晶コアの組成は、長浜溶岩およびアカホヤ流紋岩では、平均組成が長浜溶岩の方がよりCaおよびFeに乏しく、さらに組成分布がアカホヤ噴出物の方が広い点が異なっている。ステージ2のデイサイトや安山岩ではAnに富んだ斜長石、そしてMgに富んだ斜方輝石が多く含まれるようになる。これら斑晶鉱物の組成分布を考えると、Saito et al. (2001)の指摘のように、アカホヤ噴火ではマグマ混合プロセスが起こっていると考えられる。

5) 軽石見かけ密度から見たアカホヤ噴火ステージ1の噴火プロセス

カルデラ噴火におけるマグマ溜まりの過剰圧や、火道-火口システムの構造変化を検討するために、噴出物の結晶・発泡組織を解読することを試みた。本年度は、特にカルデラ噴火初期のプリニー式噴火に焦点を当てた。まず堆積物を構成する粒子の粒径や色彩等により、全体を7ユニットに分類した。軽石の見かけ密度は、0.17~0.8g/cm<sup>3</sup>の範囲にあるが、多くのサンプルは0.2~0.6g/cm<sup>3</sup>に集中する。見かけ密度を発泡度になおすと70~90%となる。Maeno and Taniguchi (2007)では、プリニー式噴火期の噴出物全体をA1-A4に大別した。本研究のユニット1がA1、ユニット2がA2、ユニット3下部がA3、ユニット3上部がA4に対応する。Maeno and Taniguchi (2007)のFig.5に示される等層厚線と軽石サイズの等値線データによるとA1に対しA4で噴出率が增大している。仮にこの期間、火道径が一定であれば、火道でのマグマ上昇速度が増加したはずで、そこでは脱ガスが抑制され見かけ密度の低いマグマが噴出されるようになるはずである。しかし実際には、ユニット1とユニット3中位では違いは顕著ではない。Maeno and Taniguchi (2007)は、A3(ユニット3-low)がプリニー式噴火期(ユニットA)の中で最も石質岩片に富むことを記載しており、この時期に火道径に変化があった可能性が指摘できた。

## 2. 支笏カルデラ

カルデラ形成噴火の推移を、地表踏査および別の研究プロジェクトで実施した複数のボーリングコアで検討した。その結果、支笏カルデラ形成噴火に先行する噴火活動は確認できず、1 万年以上の静穏期の後にカルデラ形成噴火が始まったと結論づけられた。本年度はカルデラ形成噴火の本質物について検討した。その結果、従来の研究で指摘されているように、斑晶に乏しい A タイプ軽石 (Aphyric type) と斑晶に富む P タイプ軽石 (Porphyritic type) に大別できることを確認した。しかしながら A タイプ軽石について詳細に検討した結果、全岩化学組成および鉱物化学組成から、A タイプは高 SiO<sub>2</sub> 流紋岩質マグマと低 SiO<sub>2</sub> 流紋岩質マグマが混合して生じたマグマと、それによりマフィックなマグマが混合して生じたマグマからなる、2 段階のマグマ混合を経ていることが明らかになった。P タイプ軽石は、これらの A タイプ軽石とは混合の関係にはない (図 3)。

## 3. 摩周カルデラ

7.5ka の大規模噴火の詳しい噴火推移を検討した。従来の噴火層序は、先行する降下火砕物 (上位から Ma-g ~ Ma-j) とそれを覆う火砕流堆積物 Ma-f からなるとされている。今回火砕流堆積物である Ma-f を、岩相の違いにより新たに 6 層に細分した。この中の Ma-f5 は全体に灰色で、軽石のほかにデイサイト質の溶岩片を大量に含む火砕流堆積物で、下位層を著しく削り込みブロック状に取り込む産状も認められる。この Ma-f5 は、給源から南方に 30 km 以上、西方には標高 500 m 以上の屈斜路カルデラ壁を超えて 30 km 以上離れた地点で発見できる。本層に含まれる中礫 (径 32 mm) 以下の粒子について構成物や粒度分布を分析した結果、下部でより粗粒で溶岩片に富むことが分かった。これらの溶岩片を定方位サンプリングし、段階熱消磁により古地磁気測定を行った結果、初生磁化方位は揃わず、溶岩片が高温で定置した証拠は認められなかった。これらから、Ma-f5 は溶岩からなる山体を破壊しながら発生した、指向性を持つ火砕流で、粒子のふるい分けが起こっていることや、高い障壁を超えて分布していることから、大きな初速を持った高速型火砕流と推定できる。摩周火山のカルデラ噴火は、これまで考えられてきたような、プリニー式から噴煙柱崩壊へと移行する単純な様式ではなく、複雑な推移を経たと考えられる。

## 4. 大規模山体崩壊

### (1) 磐梯山など

磐梯山 1888 噴火での山体崩壊について文書記録の収集と地質調査を行っている。記録としては、崩壊直後の調査研究論文、福島県庁文書、そしてそれらを総括した論文、解説書を検討している。その結果、爆発開始前の異常現象は 1 週間前以降の鳴動・地震程度であったこと、山体崩壊は爆発開始 80 ~ 90 分後に発生したらしいことが明らかになっている。現地調査では岩屑なだれの堆積物の岩石学的記載を行い、岩屑なだれ堆積岩塊の崩壊前の山体への復元を試みている

### (2) 日本海東縁の大規模山体崩壊現象

本年度は南西北海道の奥尻島に神威山の山体崩壊について、その発生時期を明らかにする目的で現地調査と炭素 14 年代測定を行った (図 4)。神威山は後期鮮新世の陸上火山であり、山体の北西斜面が 1.2 X 2km にわたり崩壊し、崩壊物は日本海に流入している。崩壊堆積物は海岸線では岩屑なだれ堆積物の岩相を示し、ここでは神威山岩屑なだれと呼ぶ。下位には土石流堆積物があり、そこには多数の生木を含む。生木からは約 960 年前の年代値が得られた。岩屑なだれ堆積物の上位には、土壌を挟んで北海道駒ヶ岳の 1640 年噴火のテフラ層 (Ko-d 層) が存在する。Ko-d 層については火山ガラスを測定して同定を行った。Ko-d 下位の土壌中には、奥尻島では広範囲で確認されている約 1000 年前の B-Tm 火山灰は見出されなかった。この土壌のうち、神威山岩屑なだれ堆積物直上部について炭素 14 年代測定を行った。その結果、約 390 年前の年代が得られた (図 5)。この結果、神威山岩屑なだれは 960 年前から 390 年前に発生したと考えられる。これは岩屑なだれを B-Tm テフラが覆っていないことと調和的である。

- (9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :  
Hasegawa, T., Nakagawa, M., 2015, Large scale explosive eruptions of Akan volcano, eastern Hokkaido,

Japan: A geological and petrological case study for establishing tephro-stratigraphy and -chronology around a caldera cluster. *Quaternary International*, DOI: 10.1016/j.quaint.2015.07.058

Nakada, S., Zaennudin, A., Maeno, F., Yoshimoto, M., and Hokanishi, N., 2016, Credibility of volcanic ash thicknesses reported by the media and local residents following the 2014 eruption of Kelud volcano, Indonesia. *Jour. Disaster Research*, vol. 11, no. 1, 53-59.

Razzhigaeva, N.G., Matsumoto, A., Nakagawa, M., 2015, Age, source and distribution of Holocene tephra in the southern Kurile Islands: Evaluation of Holocene eruptive activities in the southern Kurile arc. *Quaternary International*, DOI: 10.1016/j.quaint.2015.07.070

Takahashi, R. and Nakagawa, M., 2015, Evolution and eruption processes of a highly porphyritic silicic magma system: Petrology of the historical eruptive stage of Hokkaido-Komagatake volcano, Japan. *Journal of Petrology*, 56, 1089-1112.

塚原えりか・津久井雅志・古川 登・小林哲夫, 2015, 1783 年浅間山天明噴火で噴出した「火山硫黄毛」. *火山*, 60, 483-486.

(10) 平成 28 年度実施計画の概要:

それぞれの研究課題・対象についての平成 28 年度の研究計画は以下のとおりである。

1. カルデラ火山の地質調査およびボーリング調査

鬼界カルデラについてはボーリングの結果および地表踏査により、カルデラ形成噴火と先行噴火のそれぞれの噴火推移の再検討を行う。北海道については特に摩周火山噴出物について地表踏査を実施する。平成 29 年度実施予定のボーリング地点選定も重要な課題として、始良カルデラおよび摩周カルデラを有力候補として比較検討を行う。これらの調査では地表踏査に加えてトレンチ調査も実施する。

2. カルデラ火山の物質科学的検討

今年度は九州の鬼界、始良、阿蘇カルデラ、そして北海道では支笏および屈斜路カルデラについて物質科学的検討を実施する。これらのうち鬼界、支笏および屈斜路ではカルデラ形成噴火のマグマ供給系の構造と噴火推移に伴うマグマ変化を明らかにすることを目的とし、鬼界や阿蘇など先行噴火が認められる場合には、先行マグマ過程の解明にも重点をおく。これらでは鉱物の累帯構造の精密解析を重点的に実施し、噴火先行過程の詳細を検討する。特に鬼界では石基の組織などから火道内でのマグマダイナミクスと、それに付随した諸現象(発泡, 結晶化, 脱ガス, (水冷) 破碎)の特性・噴火ステージによる変化を明らかにし、噴火現象と関連づけて理解する。U-Th 放射非平衡に基づくマグマプロセスへの時間軸の挿入は支笏および鬼界について実施する。

3. 大規模山体崩壊

火山噴火に伴う事例では、磐梯山の検討を続け、これに加えて、雲仙眉山、北海道駒ヶ岳、渡島大島の山体崩壊について文献調査と現地調査を行い、磐梯山と比較をする。非噴火性の事例では北海道中部の増毛地域の事例について検討を開始する。

(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 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



( 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 27 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

北海道太平洋沖の巨大地震の震源域を把握するためには、北方四島での津波堆積物調査が必要となる。今年度は国後島の古釜布周辺、近布内、東沸の湿原でロシアの研究者と共同で津波堆積物の調査を実施した。国後島の湿原には北海道の火山および国後島の火山に由来する火山灰層が多く残されており、津波堆積物の年代推定や対比に有効であることがわかった。近布内で見つかった痕跡の一つは、現在の海岸から数 10m 離れた海拔 4-5m の海岸段丘の上に礫および砂層として残されており、近くの湿原では連続した薄い砂層として 100m 以上内陸まで追跡することができた(図 1)。近布内周辺は 1994 年の北海道東方沖地震津波や 2011 年の東北地震津波も島内で最も高かったことがわかっている。国後島でも先史時代の津波のうち特に大きなものは地層に記録されている可能性が高いことが確認できた。過去の巨大地震の中で 1611 年慶長三陸津波地震が北海道沖で発生した可能性が指摘されていたため、史料データにもとづき解析を実施し、暫定的な震源モデルを明治三陸津波地震の震源モデルを参考に

しながら推定した。そこ結果、明治三陸津波地震よりも南側のプレート境界も破壊している可能性が高いことが分かった。

#### 低頻度大規模地震の発生場の理解

##### 1) 応力降下量分布を把握するために過去のプレート境界地震の理解

昨年度に続き、2004年にプレート境界固着域の下部で発生した2つの根室沖M7地震(11月28日と12月6日)の破壊課程の特徴を強震動波形から解析した。Mw4.6の地震とM4.1の余震の観測波形を経験的グリーン関数とし、2つのM7級地震の破壊過程の特徴を解析したところ、11月の地震の破壊の指向性は見えないが、12月の地震は各観測点から得られる震源時間関数に指向性が確認され、北に8.2km破壊したことが分かった。その結果は遠地の波形解析による先行研究結果と調和的である(図2)。これらの地震は2003年十勝沖地震の余効変動により誘発され、12月の地震では1973年根室沖地震の震源域の破壊には至らなかったため、北に破壊が伝播したと考えられる。

##### 2) ロシア極東でのGSNN観測による発生場の広域理解

ロシア極東域におけるGNSS観測を継続した。2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動が継続していること、これまでの積算余効変動量がコサイミクな変動量を上回りつつあることが確認された。また、千島海溝南西域において日本とロシアの読み取り値を併合して震源の再決定を行った。

##### 3) 釧路沖における海底地下構造探査の実施

平成27年9月に、釧路沖の釧路海底谷をはさんだ海域で地下構造探査を実施した。観測では、(株)オフショア・オペレーション所有の「第七海工丸」を傭船し、東京大学地震研究所所有の25リットルのエアガン3基とハイドロフォン・ストリーマーを使用して、北海道大学、東北大学、気象研究所の海底地震計を計12台設置した(図3の緑丸)。エアガンは図3の赤い測線上を150m間隔で発振した。台風17号接近のため、設置する海底地震計の台数を当初の予定から大幅に減らしたが、エアガンを発振できたのは長さ36kmにとどまった。エアガン発振後、9番を除いて11台の海底地震計を回収した。

##### 4) 根室沖での海底地震観測から得られた地震活動

根室沖では、プレート境界型大地震の発生に伴う微小地震活動の時空間的な変動を捉えることを目的として、文部科学省委託事業によって海洋研究開発機構が東北大学、北海道大学と共同で、1973年根室半島沖地震(M7.4)の本震時にすべりの大きかった領域(アスペリティ)とその周辺に海底地震計10台を設置し、平成20年11月から平成24年5月まで自然地震観測を行った。平成27年度は、平成24年5月に回収されたデータを用いて震源決定を行った。2011年7月13日から2012年2月29日までの震央分布(図4)では、本観測のこれ以前の観測期間と同様に、根室半島沖アスペリティでは活動が静穏であり、地震は主に水深が2000mより浅い陸寄りの海域で発生している。根室半島沖アスペリティの周辺では、2011年11月1日5時59分に、釧路沖の北緯42.83度、東経145.23度、深さ47.7km(気象庁一元化震源では北緯42.75度、東経145.33度、深さ47.1km)で、最大震度3の地震が発生し、その前震と余震活動が見られる。気象庁によるこの地震のCMT解は正断層型で、沈み込む太平洋プレート内の地震と考えられる。

#### プレート境界状態のモニタリング手法開発

微小地震活動の時間変化をモニタリングし、巨大地震の発生を検知する手法の開発を目指し、ISCの地震カタログから1964年1月から2012年6月までに千島海溝沿いに発生した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。その結果を図5に示す。1963年択捉沖地震の震源域では、1964年以降3.8個/年のペースで地震が定期的に発生していたが、1998年5月から2007年2月までは地震がまったく発生しない状態が続いた。2007年2月以降は地震活動が徐々に回復しつつあるが、1998年以前のレートには戻っていない。地震活動がポアソン過程に従ってランダムに変動していると仮定すると、このような静穏化が偶然発生する確率は $10^{-9}$ 程度と非常に小さい。したがって、この静穏化は地震活動度の単なる揺らぎであるとは考えられない。

(9)平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Ioki, K., and Y. Tanioka: Re-estimated fault model of the 17th century great earthquake off Hokkaido using tsunami deposit data, Earth Planet. Sci. Lett., 433, 133-138, 2016.

Takahashi H., M. Ohzono, M. Ichiyaagi, Strain accumulation and slow slip event along Hokkaido-Sakhalin seismic belt, Proceedings in Geodynamic processed and natural hazards, lessons from Neftegorsk, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, 1, 56, 2015.

.....

....., Proceedings in Geodynamic processed and natural hazards, lessons from Neftegorsk, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, 2, 56, 2015.

Ichianagi M., H. Takahashi, V. Mikhaylov, Y. Levin, Seismic activity in Southern Kuril trench by Japan-Russia joint seismic data (2010 - 2012) , Proceedings in Geodynamic processed and natural hazards, lessons from Neftegorsk, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, 1, 46, 2015.

Shigefuji M., Takai N., Sasatani Ts., Ichianagi M., Mikhailov V., Levin Yu., Characteristics of strong motion records from the 2006-2007 great earthquake sequence in the Central Kurile Islands, Proceedings in Geodynamic processed and natural hazards, lessons from Neftegorsk, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, 1, 52-55, 2015.

.....

2, ..... 27(28) 1995  
..... W= 7.0, Proceedings in Geodynamic processed and natural hazards, lessons from Neftegorsk, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, 1, 13-16, 2015.

福原紘太・谷岡勇市郎、史料に基づいた 1611 年慶長三陸地震の津波波源の考察、日本地震学会秋季大会、S17-P06、2015

( 10 ) 平成 28 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

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

これまでに得られたデータを用いて日高衝突帯からその海域延長部に到る P 波および S 波速度構造を推定し発生場の理解につなげる。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。

( 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・山田卓司・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

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 )

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、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 国後島近布内における，津波堆積物の候補．  
段丘の上では円礫と砂，内陸の湿原では砂の層として識別された．

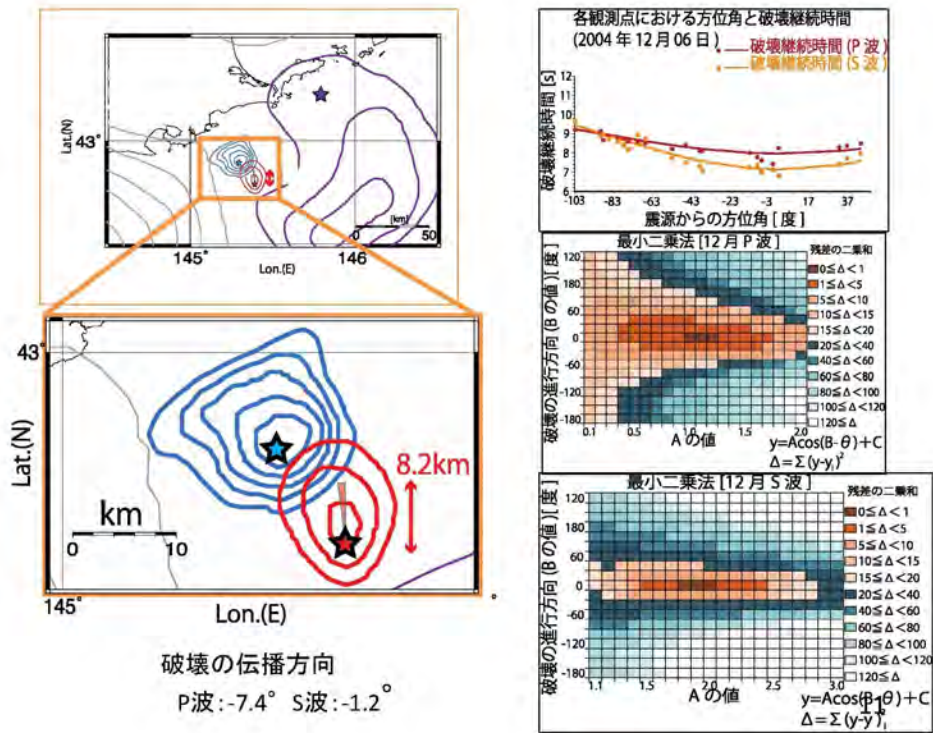


図2 2004年にプレート境界固着域下部で発生した2つの根室沖M7地震の破壊過程の解析結果。右)山中(2004)により解析されたすべり量分布に12月の地震の指向性解析結果を重ねる。ほぼ北方向に破壊が伝播したことを示す。左)12月の地震の指向性解析結果(上)と観測との残差の大きさを示す。茶色ほど残差が少ない。青ほど残差が大きい。

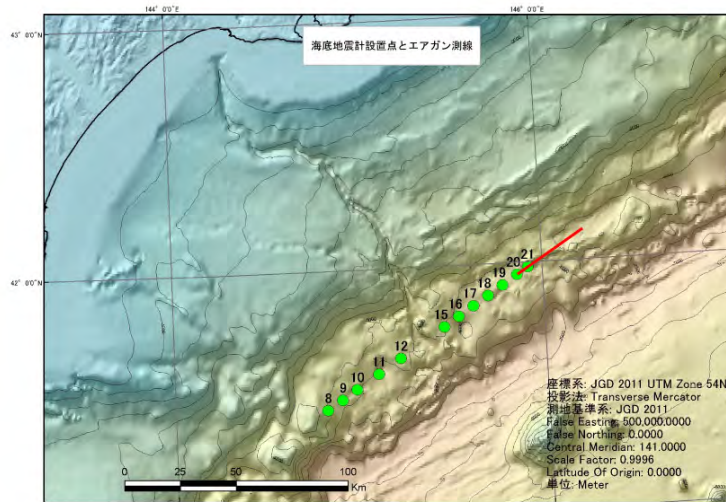


図3 平成27年9月に実施した海底地下構造探査の海底地震計設置点(緑丸)とエアガンを発振した測線(赤線)。

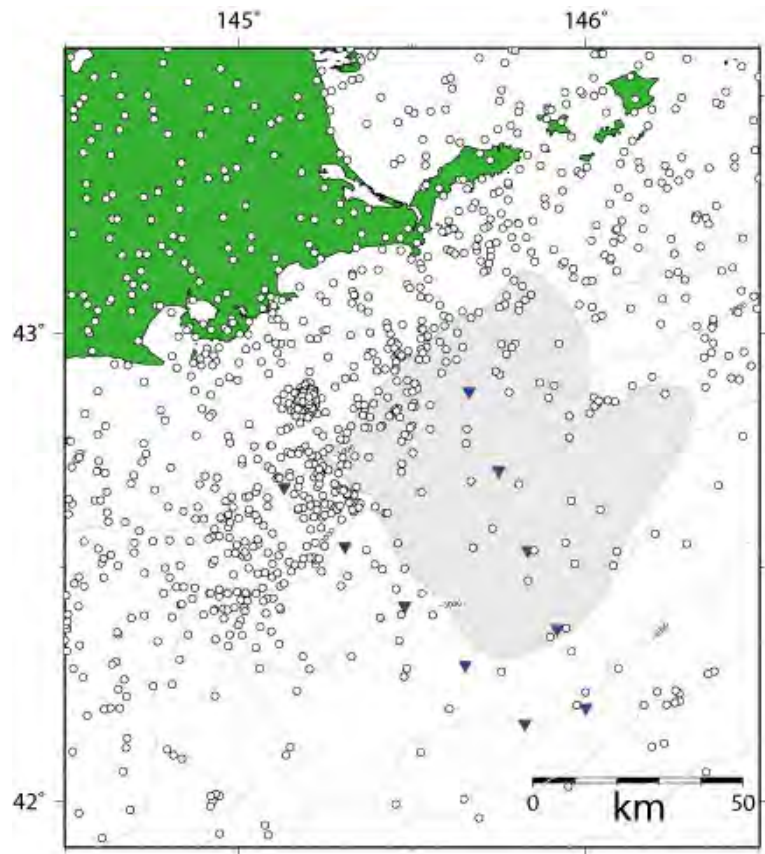


図4 観測点分布(三角)と2011年7月13日から2012年2月29日までの震央分布。灰色の領域は1973年根室半島沖地震の破壊域(Yamanaka and Kikuchi, 2002)。

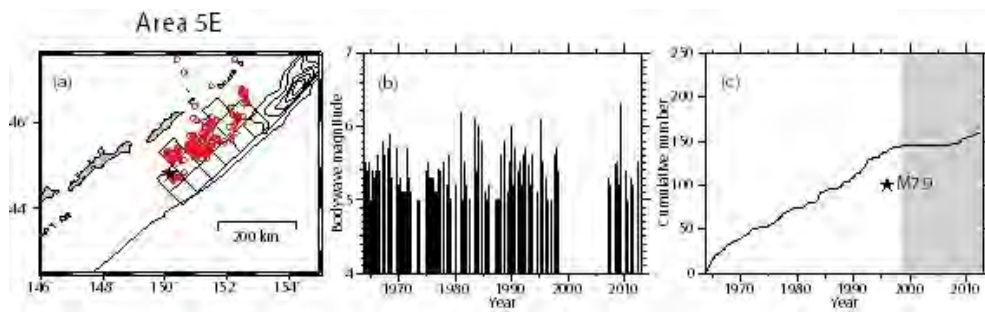


図5 択捉島付近の地震活動静穏化。

(a) 赤丸：静穏化領域内の震央。○：1963年択捉沖地震で0.5m以上滑った小断層(Ioki and Tanioka, 2011)。コンターは2006年中千島の地震の滑り分布(山中, 2006)。★：1995年Mw7.9の地震。(b) (a)で示した赤丸震央のM-T図。(c) (a)で示した赤丸震央の積算度数。陰影部：地震活動静穏化期間。



( 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27年度の成果の概要：

本課題は、研究計画の開始当初、熱水系卓越型火山として5火山(十勝岳・吾妻山・草津白根山・阿蘇山・口永良部島)を主なターゲットとしていた。このうち、阿蘇山と口永良部島については、26年度中に噴火が発生しマグマ性の活動に移行したため、27年度からは課題1804(代表：京大理)にて実施、本課題とは情報共有で連携することとなった。従って、今年度本課題の直接的な調査対象は十勝岳・吾妻山・草津白根山である。これらの対象火山について、ここまでの進捗は上記(7)にほぼ一致している。以下、27年度の実施内容と主な成果を列挙する。

(1) 十勝岳の地震・傾斜・地磁気・熱・ガス観測(北大・東大・東工大)

26年度に整備した広帯域地震計・孔中傾斜計・プロトン磁力計による常時観測を継続した。これまで十勝岳では捉えられていなかった、火山性微動に伴うわずかな傾斜変動などの現象が検知できるようになってきている。これらに加えて、SO<sub>2</sub>ガスの遠隔自動観測(望岳台観測点)を夏季限定で実施

した。望岳台上空で SO<sub>2</sub> が検出されたのは約 100 日の測定のうち約 30 日で、7 月には 500 ppm を超えるカラム濃度、放出率で約 150 t/d が観測された。前年と比べて放出率が增大している。その他、簡易型 MultiGAS による噴気ガス (H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) の臨時観測からは、高い SO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S 比が得られており、遠望写真観測からも噴気量の増大が認められた。高周波微動振幅の増大、浅部の消磁を示唆する磁場変化の加速なども観測されている。これらはすべて、2015 年 5~8 月に起こった 62-2 火口南西外縁部における局所的な地盤膨張や地熱異常域拡大と関連していると思われるが、各種現象の統一的なモデル化や他火山との比較はまだ十分ではない。今年度は、上記の観測とは別に、国交省が実施した低高度稠密空中磁気測量のデータを用いて、3 次元磁化構造解析も行った。

#### (2) 吾妻山の観測基盤整備と臨時観測 (東北大・東大)

大穴火口周辺の浄土平、兎平、酸ガ平の 3 箇所に孔中傾斜計を設置しデータ収録を開始した (兎平及び酸ガ平は別予算注) による)。また、テレメータ式プロトン磁力計を 2 カ所に設置した。これらは、水蒸気噴火の準備過程で起こる長周期地震や微動、熱供給の定量モデル化、および他火山との比較研究への重要な足がかりである。吾妻山では 2014 年 10 月頃から 2015 年 6 月頃にかけて、地殻変動、長周期微動、表層の噴気活動が活発化したが、磁場変動との対応などにはまだ未解明の点が残る。本課題で整備された観測網によって、今後はこうした活動の消長がより詳細に捉えられるであろう。

当初計画では予定していなかったが、別予算<sup>注)</sup>の援助を受けて、熱水系・マグマ供給系を捉えるための広帯域 MT 観測 (大穴火口を含む 20 km 四方の領域に 15 点、解析中) および、土壌 CO<sub>2</sub> 拡散放出率分布の調査を実施した。浄土平付近では火山性の土壌 CO<sub>2</sub> フラックスはみられない一方で、北東側の 3 カ所に、強い H<sub>2</sub>S 臭を伴う高 CO<sub>2</sub> 放出率を示す地点があることがわかった。

<sup>注)</sup>文科省地球観測システム研究開発費補助金 (代表機関：東大震研)

#### (3) 草津白根山の地磁気・熱観測 (東工大)

湯釜火口周辺のプロトン磁力計を 1 カ所テレメータ式に置き換えた。全磁力の連続観測によって 2014 年 5 月に捉えられた湯釜火口直下の消磁について、数値実験を行った。その結果、観測された消磁は、地下浅部への高温流体のパルス的注入で再現できることがわかった。これは、火口地下のシーリングゾーンが一時的に破壊された可能性を示唆するもので、熱水系卓越型火山で非噴火時に起こる活動の定量的理解に向けて一歩前進した。

湯釜火口湖では、従来水温連続観測を継続するとともに、新たな方式で水位観測システムを再構築し、水温・水位変動の詳細を明らかにした。噴気地については、2015 年 11 月に夜間空中赤外観測を実施して、前年よりも温度異常面積がやや拡大したことを示した。また、現地踏査により、2015 年春頃に形成されたと見られる小規模な噴気地を新たに見出した。本白根山においては、1 m 深地中温度観測を行い、周辺よりもやや温度の高い領域が帯状に広がっていることを初めて確認した。草津白根山では、このように各種の熱観測を通じて、火山活動に伴う放熱率変化を高精度で捉える体制が実現しつつある。さらに、今後の空中赤外観測における無人機の活用を念頭に実地試験を行った。ただし、現状では解決すべき技術的問題点も残っている。

#### (4) データ解析基盤の整備

地震波干渉法解析については、気象庁の地動データを用いたルーチン処理を開始し、国内の多数の火山について地震波速度変化と地殻変動との対応を調べた。また、処理結果を随時配信する Web 上のシステムを構築した。ここまでの解析により、吾妻山では 2014 年 10 月頃から 2015 年半ばまでの期間に見られた山体膨張に対応する地震波速度の低下が検出できた。一方、草津白根山や十勝岳については地盤変動に対応する明瞭な速度変化は抽出されなかった (東北大)。なお、北大にも同様の解析サーバーを導入して、大学で取得しているデータも含めて解析できる環境を整えた。レシーバー関数解析については、使用する遠地イベントの選定と阿蘇火山における解析処理を開始した。また、草津白根山では、レシーバー関数解析に用いる広帯域地震計の安定運用のための作業を行った (京大・東工大)。地磁気観測については、分担者間のデータ共有と比較研究を容易にするため、テレメータ式磁力計のデータを自動収録・処理するシステム兼データサーバーを構築した (東北大)。また、草津白根山については、KSVO、V-net、GEONET の GPS データ解析を自動で行なうシステムを草津観測

所に構築し，他の火山との比較項目として加えることを可能にした（京大）。

(5) 地質調査・物質分析（北大・秋田大・茨城大）

本年度はいわゆる「水蒸気噴火」の成因についてレビューを行い体系化するとともに，粒度分析や噴出物の解析手法の精緻化およびルーチン化を進めた。さらに十勝岳，吾妻山および栗駒山の地質調査・サンプル採取を行い，そのうち，十勝岳，御嶽山 2014 年，および栗駒 1944 年噴出物の物質科学的解析を進めた。栗駒山および御嶽山については，当初計画では対象火山としていなかったが，活動の類似性の観点から，本課題での研究に取り入れたものである。

十勝岳：十勝岳では約 5,000 年前以降に，グラウンド火口地域ではマグマ噴火主体，そして南部のヌッカクシ火口地域では熱水活動主体の活動が並行して続いている。本年度はヌッカクシ火口域について地質調査および年代測定を行い，山体崩壊～大規模地すべり堆積物や水蒸気噴火に伴う降下堆積物を確認した（図 3）。この地域では既に斉藤・他（1997）により 2,770 cal.BP 以降，3 層の水蒸気噴火堆積物が認識され，最新のものが約 650 cal.BP と考えられていた。今回の我々の調査により，約 2,800 cal.BP の噴火では山体崩壊を伴ったこと（ヌッカクシ岩屑なだれ），それ以降に 6 回の水蒸気噴火が起こり，最新の堆積物は樽前 a 火山灰層（西暦 1739 年）よりも新しいことがわかった。2,800 年前からのヌッカクシ火口での水蒸気噴火活動は，グラウンド火口で現在まで続くマグマ噴火と同時並行で起こっていることが確認できた。

吾妻山と栗駒山：吾妻火山の核心部は火山活動活発化のため，今年度は現地踏査が事実上不可能であった。そこで，水蒸気爆発を主体にしつつもマグマ噴火も並行して認められ，かつカルクアルカリマグマの活動という点でも吾妻火山と類似性がある栗駒火山の最新期活動による水蒸気爆発堆積物を類例と位置づけ，研究を遂行することとした。そして栗駒火山の数千年前以新の水蒸気爆発及びマグマ噴火堆積物を調査し，その細分と大まかな層序確立を行った。

(6) 研究集会

本課題と課題 1804（代表：京大理）との合同で，平成 27 年 11 月 18-19 日に研究集会を開催した。本課題の全分担機関が参加し，火山の熱水系に関するレビューと課題進捗状況の報告・情報交換を行った。また，主催 2 課題の分担者以外からも多数の参加者を得て，活発な議論が行われた。

(9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので，平成 27 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

Aizawa, K., Sumino, H., Uyeshima, M., Yamaya, Y., Hase, H., Takahashi, A.H., Takahashi, M., Kazahaya, K., Ohno, M., Rung-Arunwan, T., Ogawa, Y., 2016, Gas pathways and remotely triggered earthquakes beneath Mt. Fuji, Japan. *Geology*, 44, 127-130, doi: 10.1130/G37313.1.

橋本武志, 2015, 火山地磁気効果と水蒸気噴火, 2015 年 Conductivity Anomaly 研究会論文集, 75-81.

松永康生・神田 径・小山崇夫・小川康雄, 2015, 草津白根山で観測された火山活動の活発化に伴う地磁気変化について, 2015 年 Conductivity Anomaly 研究会論文集, 67-74.

(10) 平成 28 年度実施計画の概要：

地震・測地・電磁気の観測系については，主要な項目の整備がほぼ完了したので，28 年度は十勝岳・吾妻山・草津白根山で着実にこれらを継続するとともに，火山間の比較を念頭にデータ解析を進める。なお，気象庁による地磁気全磁力の常時監視観測が導入されることになった吾妻山では，今後は気象庁からデータ提供を受ける体制に移行し，大学は気象庁と共同で反復測定を行い変動の面的分布を把握する。熱観測については，リアルタイム湖面放熱量推定の確度向上と湖底噴出流体の時間変動解析に取り組むとともに，有人機または無人機を用いた地表面温度分布観測を実施する。ガス観測については，各火山に応じた適切な自動観測の方法を模索しつつ，現状で可能な臨時観測を継続し，ガス組成や放出率の経時変化を追跡する。

地質調査については，今年度は入山規制のため十分な現地調査ができなかった吾妻山についても，火山活動の状況に留意しつつ，ある程度の現地調査が可能となると期待している。十勝岳についてはテフラ層序がほぼ確立しているが，その確認のための現地調査を実施するとともに，崩壊域や火口の特

定を行う。また、ラマン分光分析装置を用いた鉱物同定方法や試料分析の最適化を更に検討し、噴出物等の解析方法の精緻化を進める。特に十勝岳噴出物を例として、magmatic-hydrothermal eruption 噴出物と hydrothermal eruption 噴出物（浅所由来・深所由来）の違いについて、鉱物学と固体地球化学的方法から検討する。また、適切な噴出物があれば gas eruption 噴出物についても比較検討するために、適切な噴火および噴出物の探索を行う。

( 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

( 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：

( 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。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 27 年度の成果の概要 :

昨年度末に蔵王火山の噴火事象系統樹を作成した。本年度は昨年度に引き続き、浅間山を対象火山として事象系統樹作成を進め、暫定版を完成させた。一方で本年度は十勝岳についてシナリオ作成に必要な、研究のレビューと補充調査を行い、年度末に関係者による研究集会を行う予定である。実施内容と得られた成果の概要は以下のとおりである。

##### 1 . 蔵王

蔵王山は活動が約百万年間に及ぶ。その活動は休止期を境に 6 期に分けられ、各々異なる特徴がある。よって噴火予測を行う場合は、現在に続く最新活動期 ( 約 3.5 万年前以降 ) を事例として検討するのが適切と考えた。

最新期の活動履歴を基に、想定現象をまとめた ( 表 1 )。A は前兆のみで終了、B は水蒸気爆発の発生、C はマグマ ( 水蒸気 ) 噴火、D はマグマ ( 水蒸気 ) 噴火から準プリニー式噴火に推移するもの、E は山体を破壊する水蒸気噴火である。最新期中で、A ~ D は何回も認められているが、E は 1 回のみである。また、B、C は断続的に繰り返された場合が多い。さらに、B から C へと噴火が推移した例も多い。図には各々の場合について、発生場所 ( 噴出中心 )、現象や規模、代表例を記した。

想定現象を基に、噴火事情系統樹を図 1 にまとめた。緑枠内、水色枠内、薄赤枠内に、前兆、水蒸気噴火、マグマ噴火の各段階における噴火の規模や想定発生現象を示した。矢印は時間推移を示しており、履歴を基にその可能性の高低を判断して色分けして示した。図の右には各噴火推移の代表例と発生実績概要も示した。

##### 2 . 浅間

浅間については平成 27 年 2 月に研究集会を行い、噴火史、古記録解析および地質学的調査に基づく大規模噴火の推移、地球物理学的観測から見た活動の変遷、最近の噴火事例の比較などについて議論を行った。その成果を受けて、コアメンバーにより噴火事象系統樹の検討を行っている。特に完新世の活動をまとめると、過去 1 万年間に 3 回の活動期があること、そして活動期での噴火頻度・規模は最近になって増大していることがわかった。そのことを念頭に、特に最近の 1000 年間の噴火活動について、規模に基づいて噴火分類を行い、それぞれの分類単位での噴火様式・推移について共通点・相違点を検討した。それらを基にしてコアメンバー ( 日大・東大・北大 ) で噴火事象系統樹の完成を目指している。浅間火山の場合、大噴火についても古記録や地質調査がよく行われているので、その推

移を事象系統樹に盛り込むことを考えている。実際には中規模噴火までのシナリオとは別に、特に大規模噴火について、特に事象系統樹をより詳しく想定した(図2)。

### 3. 十勝岳

十勝武これまで注目されてこなかった、水蒸気噴火活動が長期にわたり継続しているヌッカクシ火口域(安政火口)については、追加の現地調査を行い、噴火年代と噴出物の分布範囲を再検討した。この調査は課題番号1003「熱水系卓越火山に関する研究」との連携をはかりながら行った。その結果、約2800年前に山体崩壊を伴う比較的規模の大きい水蒸気噴火を起こし、その後最低でも6回の水蒸気噴火を起こしたこと、その中の最新期のものは西暦1739年より新しいことが分かった(図3)。これらの新規の調査結果も含めて、十勝岳については平成28年2月に研究集会を行い、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。そして研究の到達点と問題点を明らかにする。

#### (9) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

伴雅雄, 及川輝樹, 山崎誠子, 2015, 蔵王火山地質図・火山地質図, no. 18, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.

伴雅雄, 及川輝樹, 山崎誠子, 西勇樹, 2015, 活性化する蔵王山. 月刊地理, 60, 50-59.

Shuto, K., Nohara-Imanaka, R., Sato, M., Takahashi, T., Takazawa, E., Kawabata, H., Takanashi, K., Ban, M., Watanabe, N., Fujibayashi, N., 2015, Across-arc variations in geochemistry of Oligocene to Quaternary basalts from the NE Japan arc: Constraints on source composition, mantle melting and slab input composition. *Journal of Petrology*, 56, 2257-2294.

Takahashi, R. and Nakagawa, M., 2015, Evolution and eruption processes of a highly porphyritic silicic magma system: Petrology of the historical eruptive stage of Hokkaido-Komagatake volcano, Japan. *Journal of Petrology*, 56, 1089-1112.

Takebe, Y. and Ban, M., 2015, Evolution of magma feeding system in Kumanodake agglutinate activity, Zao volcano, northeastern Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 304, 62-74.

安井真也, 2015, 降下火砕堆積物からみた浅間前掛火山の大規模噴火. 火山, 60, 211-240.

安井真也, 高橋正樹, 2015, 浅間前掛火山山頂部と黒斑火山崩壊カルデラ壁に記録された火砕噴火による安山岩質溶結火砕丘の形成. 火山, 60, 109-123.

#### (10) 平成28年度実施計画の概要 :

年度初めまでには浅間山について噴火事象系統樹を試作・公表する。十勝岳については、28年度2月に予定されている研究集会の成果をもとに、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。そして年度後半には関係する機関および研究者による、シナリオ作成のための研究集会を開催し、研究の到達点と問題点を議論する。

#### (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

北海道大学 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

## 想定現象一覧

	場所	現象や規模	代表例
A 微動・噴気活発化など 火山ガス・熱水の上昇	御釜	変色(水質変化)→温度上昇・H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> 噴出	1918~1923
	濁川・丸山沢源流部、傾城岩	臭気→湧泉・噴気・局所的地震	1966~1971
B 水蒸気爆発 火山ガス・熱水の上昇	御釜	噴石・降下火砕物・火山泥流(湖水溢流)・火砕サージ VEI:0~1	1895 9/27-28
	御釜以外	小規模降下火砕物 VEI:0 (御釜活発化に連動)	1940 4/16
C マグマ(水蒸気)噴火 マグマの上昇	御釜・五色岳	噴石・降下火砕物・火山泥流(湖水溢流)・火砕サージ(・溶岩流・岩屑なだれ) VEI:1~2	1230年(推定)噴火 何年か断続的継続
D マグマ(水蒸気)噴火→準リニー式噴火 マグマの上昇	馬の背	噴石・降下火砕物・火山泥流・火砕サージ・ (溶岩流・岩屑なだれ) VEI:2	31ka 何年か断続的継続
	カルデラ内	↓ 噴石・降下火砕物・火山泥流・火砕サージ VEI:3	
E 山体を破壊する水蒸気噴火 火山ガス・熱水の上昇	五色岳	噴石・降下火砕物・火山泥流 VEI:2~3	約3千年前

表1. 蔵王火山の最新活動期(35ka以降)の噴火活動履歴を基にした、火山活動想定現象

# 蔵王山の過去の活動から想定される噴火推移

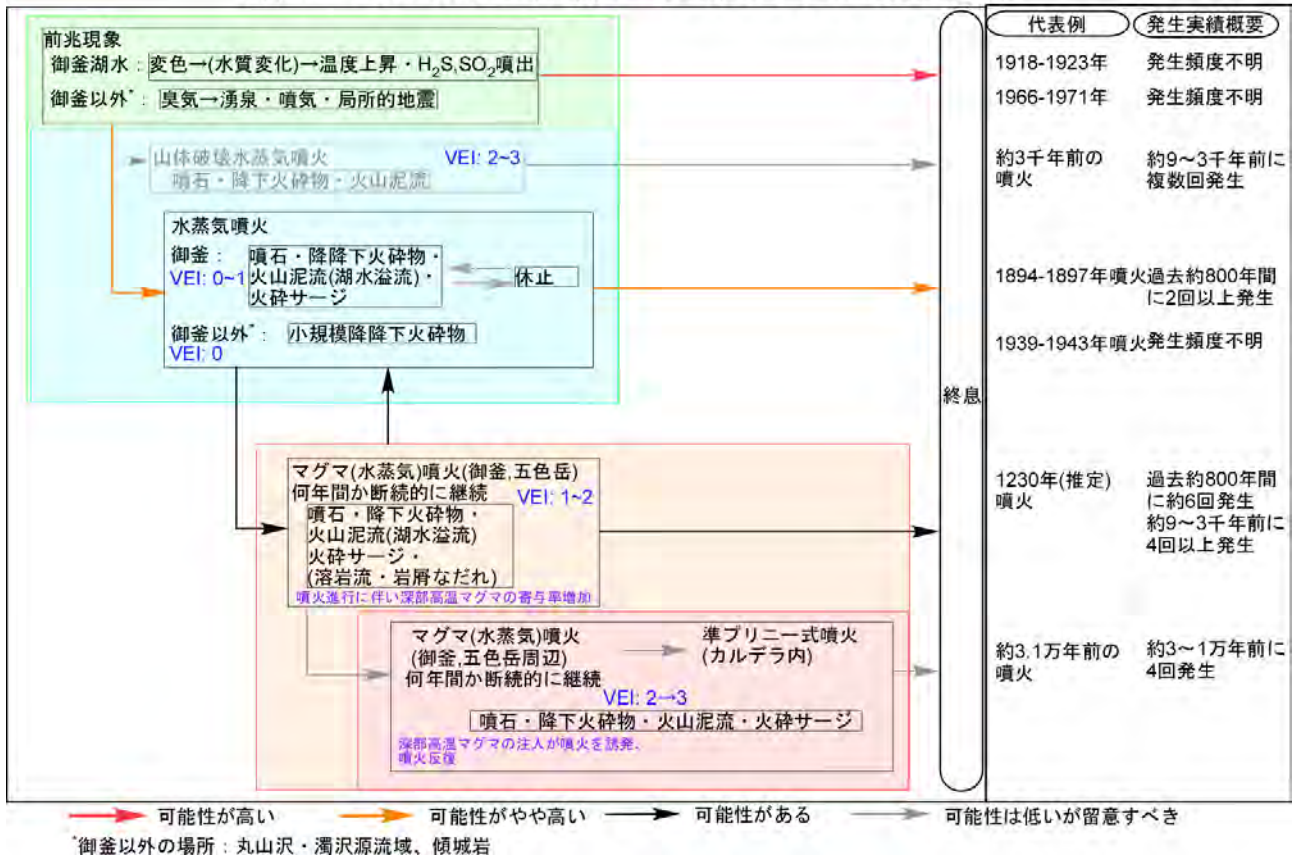


図1. 蔵王火山の噴火事象系統樹(平成27年度版)

## シナリオ2:大噴火のシナリオ

発生頻度	
A: 頻繁に発生	(数10年に一度程度)
B: 時々発生	(500年に一度程度)
C: 稀に発生	(1000年に一度程度)
D: ぎわめて稀	(数万年に1回)

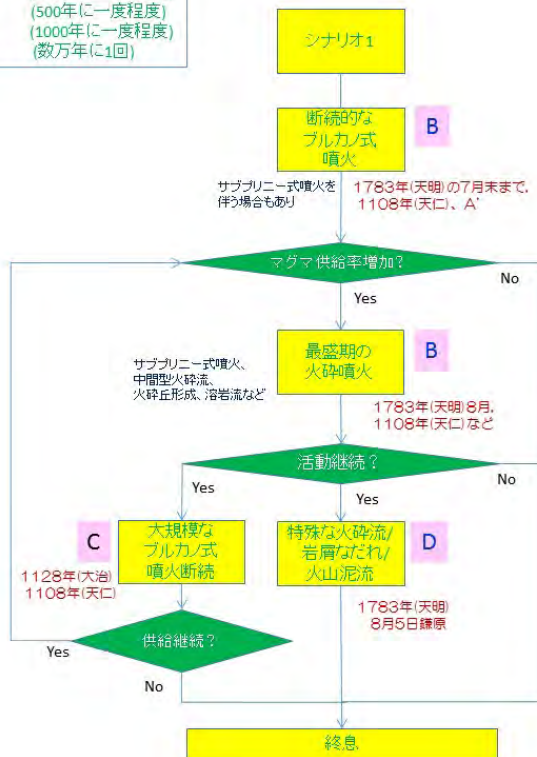


図 2 . 浅間火山の大噴火にいたる場合の噴火事象系統樹 (平成 27 年度暫定版)

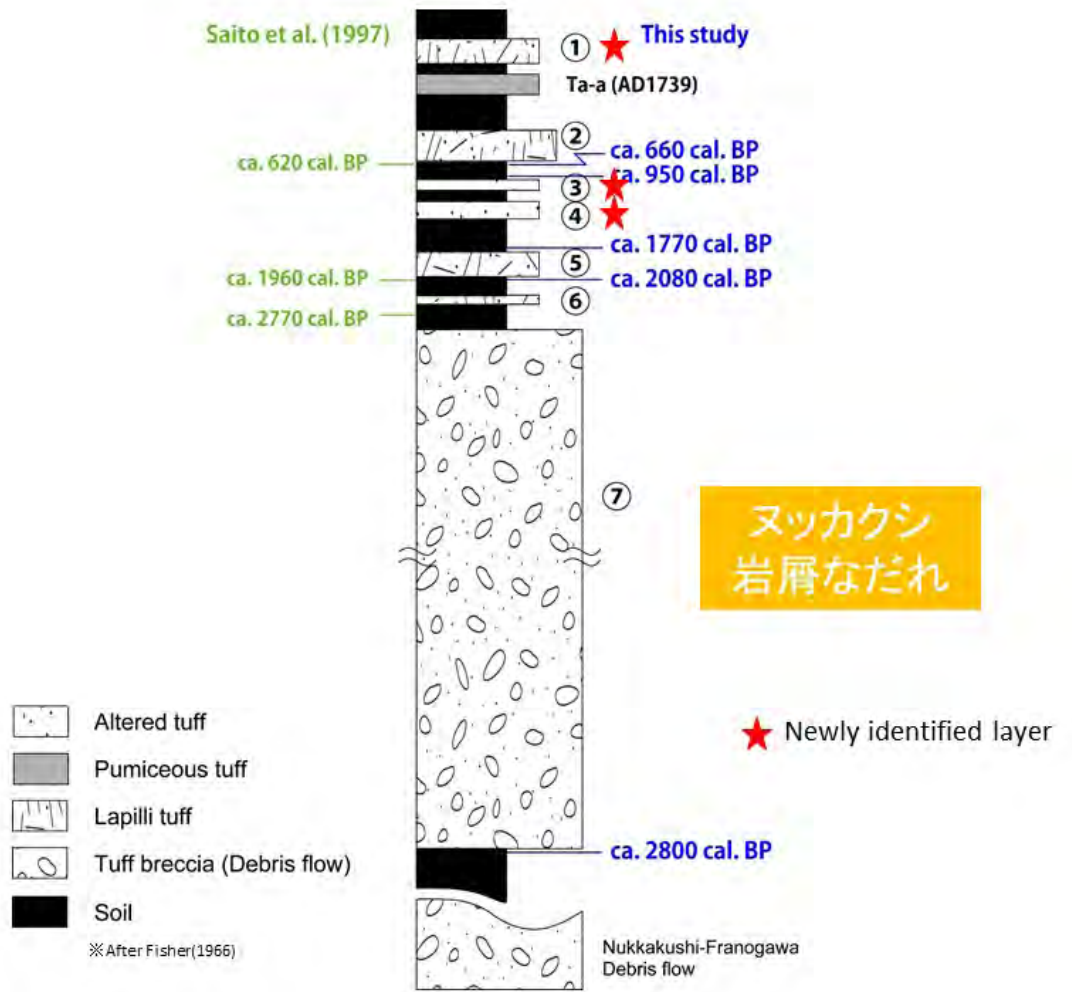


図3. 十勝岳ヌッカクシ火口域でのテフラ模式柱状図.

紺色の年代値が新たに求めたもの. 赤星印で示す層が新たに認められ, 7の堆積物については岩屑なだれ堆積物と判断した.

( 1 ) 実施機関名：

北海道大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

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：

( 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27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

防災科学技術研究所は日本海溝・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)として設置中である。これらの津波計では津波発生域で直接津波を観測できる。現在の津波数値計算は、観測された地震波形から、断層モデルを推定し、地殻変動を計算し、それを初期値として津波数値計算を実行する。または、最近では、津波観測波形から、初期の海面変動を推定し、それを初期値として津波数値計算を実施している(Tsushima et. al., 2012)。しかし、震源域直上近傍にS-Netのように密な海底圧力観測網があれば、地震の震源過程や波源を推定せずとも、直接観測波形データから津波数値計算を開始する新しい手法を開発することが重要と考えられる。ここで問題となるのが、震源域直上の海底圧力計の場合、地震による海底地殻変動により海底圧力計も隆起または沈降するため、実際の海底変動(津波初期波形)が記録できないことにある。そこで、昨年度、本研究では、海底圧力計でも正確に観測できる波高の時間変化( $h(t) - h(t + t)$ )を初期値として津波数値計算を実施する手法を開発した。津波波源域での津波励起が終われば、一般的な線形長波近似の差分法に戻して計算することで沿岸の津波計算につなげることができる。本手法を用いて津波数値計算を実施すれば、津波の数値計算に地震の規模や地震の震源課程を推定する必要なく、線形長波で近似できる波であれば観測波形を初期値として計算することができる。本年度は、開発された即時津波数値計算手法を実際のS-Net程度の観測点間隔に適用して、どの程度津波数値計算が可能であるかを明らかにした。東北地方の沖合で海溝型巨大地震(断層長さ250km、幅150km、傾斜角10度、すべり量10mの低角逆断層型(Mw8.7))が発生したと仮定する。震源継続時間は80秒と仮定した。その断層モデルから海底地殻変動を計算し、それを初期波形として1分格子間隔で通常の線形長波近似を用いた計算式の差分法で津波の伝播を計算する(図1左)。S-Netの観測点は30km間隔でケーブルに観測点が設置されている。また、ケーブル同士の間隔は約50kmである。まず、図1中に示す点(約30km間隔)が観測点だと仮定し、そこでの計算波形を観測波形と考え、各観測波形から40秒間の変化量を観測値と考え、時間ステップ(40秒)ごとに、面的津波波高分布を推定する。推定された面的津波波高分布から津波数値計算を実施する。さらにS-Netの観測点配置から東西方向は30km間隔だが南北方向は約50km間隔(ケーブル同士の間隔)となるため、図1右に示す

観測点分布により同様の津波数値計算を実施した。図1には地震発生10分後の津波波高分布を示す。観測点間隔30kmの場合も東西30km + 南北50kmの場合も短波長の津波により乱されてはいるが、およその津波の面的分布は再現できていることが分かる。図2に図1の黒抜き丸の地点での観測津波波形を比較する。図2を比較してもやはり短波長の津波により乱されてはいるが、長周期の大きな津波は再現できているのが分かる。つまり、S-Netの観測点配置でも十分、即時津波予測に使用できることが明らかになった。

- (9) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Gusman, A.R., Y. Tanioka, Effectiveness of real-time near-field tsunami inundation forecasts for tsunami evacuation in Kushiro city, Hokkaido, Japan, Chapter 11, V. Santiago-Fandino et al. (eds.) Post-Tsunami Hazard, Advances in Natural and Technological Hazards Research 44, 157-177 (2015).

谷岡勇市郎, 津波発生域で観測された津波波形を直接初期条件とする新しい津波数値計算手法 観測波形から直接津波予測を行う手法の開発, 日本地球惑星連合大会(2015)

Tanioka, Y., A new technique for tsunami numerical simulation using tsunami observations in a source region as an input, the 9th ACES Meeting, 2015

谷岡勇市郎, 震源域近傍の海底津波計の観測記録から津波数値計算を開始する手法の開発, 日本地震学会秋季大会, S17-05 (2015)

Tanioka, Y., (Invited) A new approach for tsunami early warning using tsunami observations in a source region, AGU Fall meeting, 2015.

- (10) 平成28年度実施計画の概要：

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。

- (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

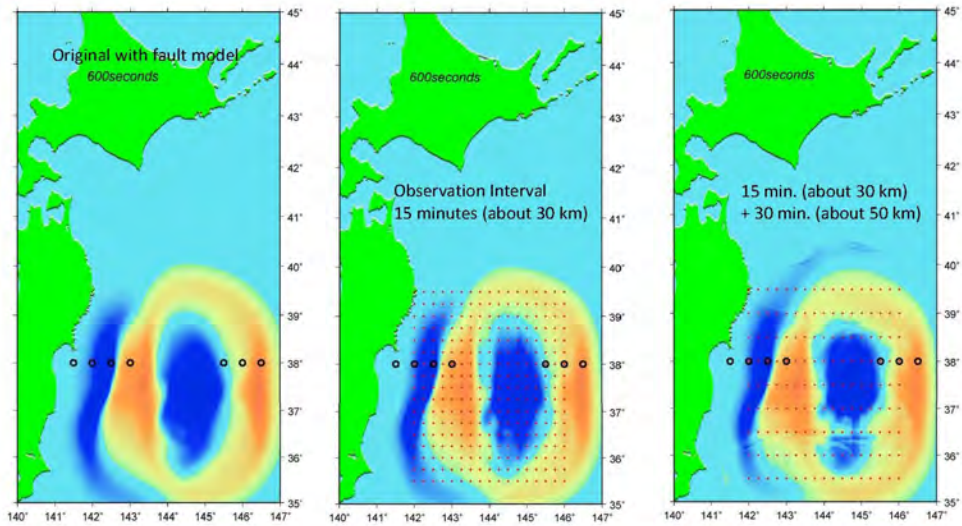


図1 即時津波予測に向けた新しい津波数値計算手法の数値計算実験結果（10分後）。

左）断層モデルから計算された実際の津波数値計算結果，中）30km 間隔の観測点配置の津波波高から予測された津波波高分布，右）東西 30km 間隔 + 南北 50km 間隔の観測点配置の津波波高から予測された津波波高分布。

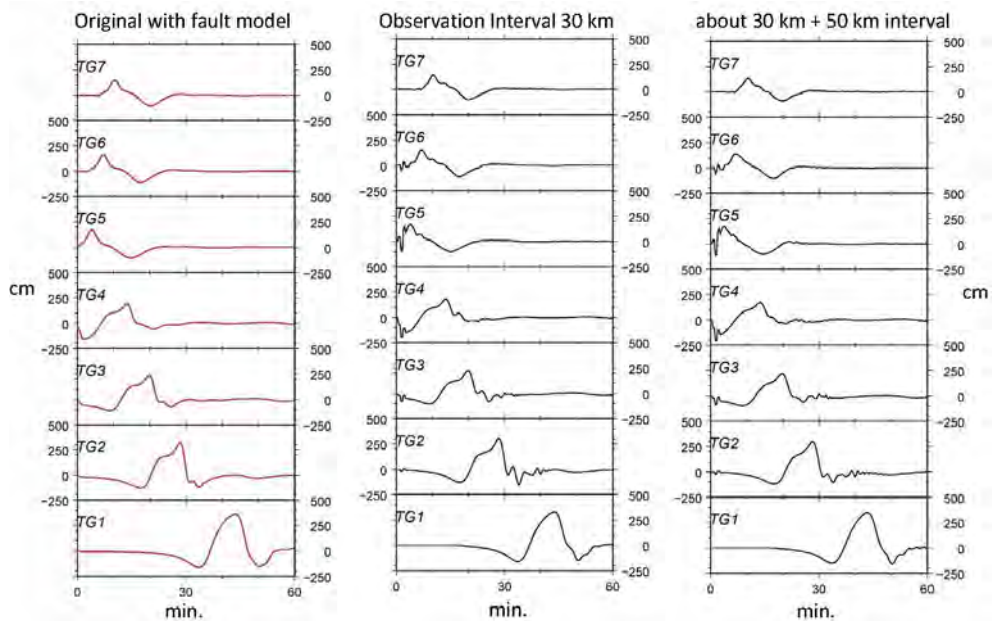


図2 即時津波予測に向けた新しい津波数値計算手法の数値計算実験結果（図1の黒抜き丸で示された位置での波形の比較）。

左）断層モデルから計算された実際の計算津波波形，中）30km 間隔の観測点配置の津波波形から予測された計算津波波形，右）東西 30km 間隔 + 南北 50km 間隔の観測点配置の津波波形から予測された計算津波波形。



( 1 ) 実施機関名：

北海道大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

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：

( 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 27 年度の成果の概要：

平成 26 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。平成 27 年度には、特に衛星測位を利用した津波災害時避難の分析用システムの構築を行った。

また、平成 27 年度には、新たに地域情報(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った。また、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、浸水域人口の推定を行い、市町村別の危険度についての分析を進めた。また、津波浸水想定域人口の多い市町村に関しては、土地利用および人口などのマイクロジオデータを GIS に取り込んで空間データベースの構築を進めた。

さらに、地域防災のための公開講座の開催等により、最も効果的な研究成果の普及手法の検討を行った。

#### ( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

橋本雄一(編), 2016, 「四訂版 GIS と地理空間情報 ArcGIS10.3.1 とダウンロードデータの活用」, 古今書院。橋本雄一(編), 2015, 「QGIS の基本と防災活用」, 古今書院。橋本雄一, 2015, 積雪寒冷都市・札幌における人口の都心回帰, 日野正輝・香川貴志(編)「変わりゆく日本の大都市圏 ポスト成長社会における都市のかたち」, ナカニシヤ出版, 59-75。奥野祐介・橋本雄一, 2015, 積雪寒冷地における疑似的津波避難に関する移動軌跡データ分析, GIS - 理論と応用, 23(1), 11-20。最上龍之介・橋本雄一, 2015, 積雪寒冷地における保育園の津波集団避難 北海道釧路市における認可保育園を事例に, 地理学評論, 88, 571-590。仁平尊明・橋本雄一, 2015, 「釧路市における自主防災組織の活動から見た津波避難の課題」, 地理学論集, 90, 1-14。奥野祐介・塩崎大輔・橋本雄一, 2015, GNSS を用いた津波集団避難実験と移動軌跡データ分析, 地理情報システム学会講演論文集, 24, CD-ROM。川村 壮・橋本雄一, 2015, 都市計画基礎調査を用いた積雪寒冷地の港湾都市における津波災害リスクの空間分析, 地理情報システム学会講演論文集, 24, CD-ROM。塩崎大輔・橋本雄一, 2015, 積雪寒冷地における ICT 及び WebRTC を用いた除排雪車位置情報共有システムの利活用, 地理情報システム学会講演論文集, 24, CD-ROM。三好達也・橋本雄一, 2015, 国勢調査人口メッシュと消防署データを利用した地域分析, 地理情

(10) 平成 28 年度実施計画の概要：

平成 28 年度には、釧路市、函館市、苫小牧市など北海道の津波浸水想定域の人口が多い市町村を事例とし、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。このデータベースを用いて分析を行うことにより、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」に関する考察を行う。なお、考察では積雪期と非積雪期の環境の違いにも注目する。

さらに、引き続き地域防災のための公開講座等を開催することにより、最も効果的な研究成果の普及手法の検討を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

谷岡勇市郎・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・森済・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

( 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 27 年度の成果の概要：

地殻変動連続観測等データの全国流通・公開を継続した。テキスト形式データのマージ機能を拡張し 1Hz 以上サンプリングに対応した。鹿児島大学南西島弧地震火山観測所・鹿児島大学郡元キャンパス・箱根大涌谷観測点データの受信を開始した。また、国立天文台江刺観測点のセンサーキャリブレーションを実施した。

GNSS データの流通公開保存管理を行うシステムの基本設計を継続した。使用策定委員会を開催し、システムのバックボーン、データの流通・格納に必要な各種フォーマット、およびメタデータの検討を実施した。特に、データ生産者のプライオリティを管理できるようなシステムとして設計を行った。具体的には、以下の機能について技術的な検討と仕様案の策定を継続した。ハードウェア仕様・観測点諸元情報管理機能・観測データ管理機能・観測データフォーマット自動変換編集機能・データ品質管理機能・関連データダウンロード機能・リアルタイムデータ受配信解析機能・自動解析機能・解析結果表示機能・時系列データ解析支援機能・クリアリングサーバ連携機能。これらのうち、システム開発を実施するハードウェアについては仕様を確定して機器の設置を行った。また、関係機能を開発するために必要となるバックボーンシステムについても開発に着手した。国土地理院において、長期的な GNSS データ管理や関係フォーマットの考え方について意見交換を実施した。

技術研修関係では、横穴式ひずみ・傾斜計設備について、機器管理メンテナンス等に関する技術の伝承を目的としたメニューを用意することで検討を進めた。特に、実地での研修を行うことが重要であるとの観点から、適当な施設の確保を検討し、北海道大学の天塩中川観測点をその候補とした。この観測点では移転が計画されており、来年度から設計業務を開始し、再来年度にトンネルの掘削と観測機器設置が予定されている。このため、施設整備からセンサー設置まで実地研修をシームレスかつ効果的に実施することが可能な平成 29 年度に一括して実施技術研修を行うこととした。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Takahashi H., Proposal for robust monitoring of catastrophic tsunami using onshore strain and tilt geodetic sensors, Jour. Disaster Res., 10, 770-776, 2015.

大久保慎人・太田雄策・高橋浩晃・山口照寛，地殻変動連続観測を利用する即時地震断層推定手法開発に向けた取り組み，日本測地学会講演予稿集，131-132，2015。

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要：

地殻変動連続観測等多項目データの全国流通・公開を引き続き実施する。GNSS データ流通公開保存管理解析システムの開発を継続する。また、GNSS システムの試験運用を開始し、データの収集・保管を試験的に実施する。データの公開のための流通管理規格を定めるとともに、必要な規約・協定の締結に向けて関係機関との調整を進める。データ解析システムの設計を開始する。

( 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(鷺谷威、伊藤武男)  
京都大学防災研究所附属地震予知研究センター(山崎健一、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

所属：北海道大学大学院理学研究院

( 1 ) 実施機関名：

北海道大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

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27年度の成果の概要:

### 1. 干渉ソフトウェアの整備 RINCの航空機SARへの拡張

本課題では、研究担当者の一人である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, 最新バージョンは0.36)を利用して、干渉解析を実施することにして、今年度は、Pi-SAR-L2のデータをRINCの標準入力フォーマットに変換するフロントエンドプログラムが完成し、研究担当者間で共有した。これにより、通常の衛星データの解析と同様の処理が航空機SARにおいても可能となった。

### 2. 桜島地域の無地殻変動時の航空機SAR干渉処理

2014年の貫入イベント前の桜島のデータとして、2013/9/13および2014/8/7に桜島付近の上空から取得されたデータについてJAXAから提供を受けた。これらは南西から北東方向への飛行航路、または、その逆方向の飛行航路から観測した、それぞれのペアデータである。それらのデータの幾何学的位置関係を地図上にプロットした図が図-1である。

それぞれ対応するペアについて、RINC(Ver0.38)による干渉処理を実施した。北東から南西方向への飛行ペアについては、干渉が成立しなかった。今回は、良好な干渉が得られた南西から北東方向への飛行ペアによる解析を優先する(図-1, 右側の青の四角で囲んだペア)。一般にSARの干渉性は、飛行軌跡間の距離に大きく影響されるが、両方のペアとも航跡間距離は数m以内であり、観測機搭載の航法システムの高い性能と、操縦を担当したパイロットの卓越した技量が確認できた。なお、非干渉ペアにおいて、コヒーレンスが保持されなかった原因については、今後も調査を継続する。

RINCを用い、衛星データと同様の標準的な処理で、第一段階の干渉結果を得た(生干渉図と呼ぶ: 図2A, 但し、レーダー座標であることに注意)。この段階では、航路不一致による位相差(いわゆる軌道縞)、地上の地形に比例した位相差(地形縞)、伝搬媒質中の水蒸気分布不均一性による位相差などが含まれている。航空機干渉SARの場合には、軌道縞や地形縞の構造が、衛星データに比べて複雑であり、これが、地殻変動解析への応用の阻害要因となっている。

今回の干渉データのサンプルサイズは、飛行方向992ピクセル×照射方向886ピクセルである。生干渉図を精査したところ、飛行方向の2本のラインが位相の不連続境界になっていることが確認された(図2Bの右側の矢印参照)。このような不連続性は通常の衛星データには含まれず、航空機SAR特有の性質である。

今年度の第一目標は、軌道縞、地形縞を可能な限り取り除いて、できるだけフラットな位相分布データを作成することであり、今回のデータに関しては、不連続ラインで区分される3つの領域に、干渉データを分割し、それぞれに、二次曲面のフィッティングおよび地形データのフィッティングを実施し、位相変化の長周期トレンド成分と地形相関成分を除去し、最終的に結果を結合した。その結果を図2Bに示す。長周期成分が除去された結果の位相の乱れは、かなり低減されており、大部分の領域で、+

ラジアン(6°程度)に収まっていることが判る。2015年の貫入イベントの地殻変動をALOS2で観測した結果を図3Bに示すが、この程度の変位振幅と空間的広がり地殻変動であれば、pi-sar-l2観測でも捕捉が可能であることが確認できた。

### 3. 有限要素ソフトの実装



桜島では、2014年8月15日に火山性地震の多発とともに貫入イベントが発生し、傾斜計、GNSSおよびALOS2の干渉結果から、地殻変動の発生も確認されている。桜島のような地形の起伏が大きい火山で発生する地殻変動は、地形の影響を受けやすくその解析には起伏の考慮が必要である。特に、圧力源や貫入岩脈の深度が浅い場合には、地形の影響がさらに大きくなることが知られている。現状では、このような解析を実践的に実施する有力な手段の一つとして、有限要素法が知られている。しかし、一般に、商用のソフトウェアパッケージは導入および維持経費が高額であり、技術の普及性を考えると、問題が大きい。一定程度の性能を確保しながら必要経費が低廉な有限要素計算パッケージとして、salome-mecaを採用し、今回、サーバーに実装した。このソフトは、基本性能が高く、複雑な地形を考慮することが可能でありながら、一般の利用のためソフトが公開されており、普遍的に入手が可能なソフトの一つである。現在、十勝岳および御嶽山の地殻変動のモデル化をめざした解析のためのチューニングを実施中である

(9) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成28年度実施計画の概要 :

1. 地殻変動を含むペアの解析

2014年8月の貫入イベント後に、JAXAは桜島のPi-SAR-L2観測を実施している。このデータの提供を受け、既に、GPSやALOS2等の他の観測によって存在が確認されている地殻変動の検出を試みる。

2. 干渉ペアの原因究明

今年度実施した、桜島の2ペアのうち、片方のペアの干渉は不成功であった。軌道間距離は、十分制限値以内であることは確認しており、強度画像の品質も特に問題が無かった。干渉の原因を特定するための解析をさらに継続する。

3. モデル化の高度化

桜島のような火山は地形の起伏が大きく、地殻変動の解析には地形の考慮が必要である。この問題に対処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

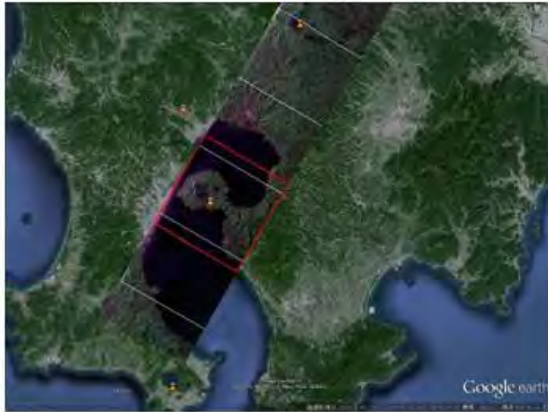
URL: <http://www.sci.hokudai.ac.jp/isv/>

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

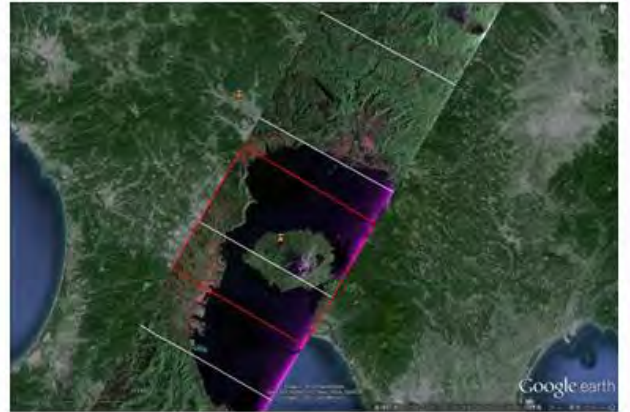
氏名: 村上 亮

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

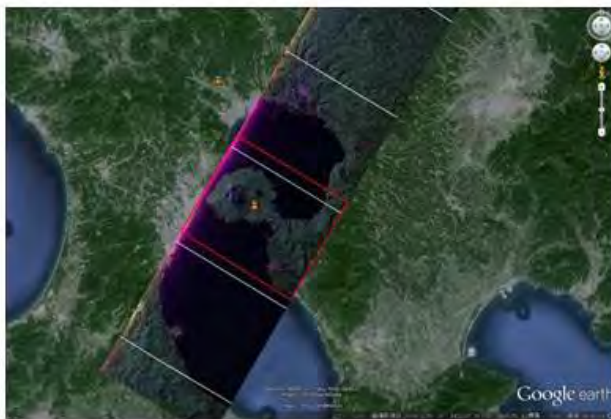
L202906 2013/9/13 (NE to SW)



L202907 2013/9/13 (SW to NE)



L203907 2014/8/7 (NE to SW)



L203906 2014/8/7 (SW to NE)

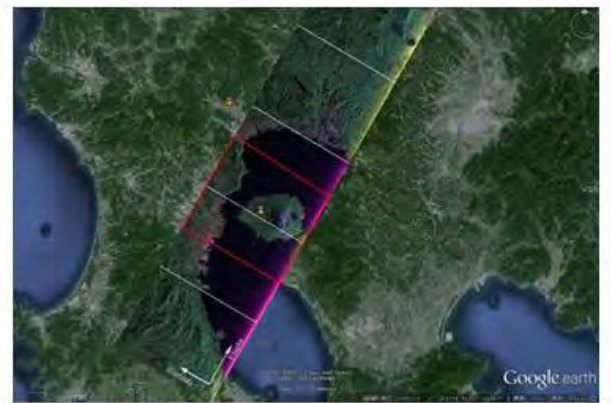
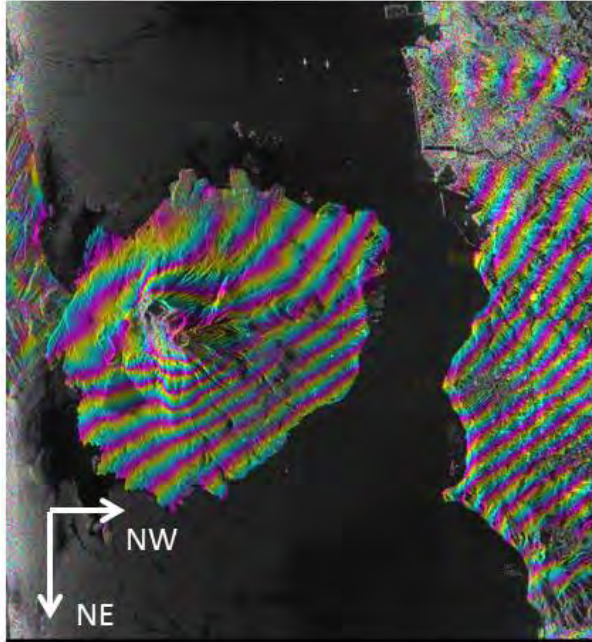


図1 pi-sar-l2 の観測の範囲 .

今回使用した , pi-sar-l2 データの観測範囲を地図上で示す . 右の四角で囲んだペアの干渉性が良好であったため , このデータを高次処理した .

Pi-sar-l2 2015/1/4-2015/8/16

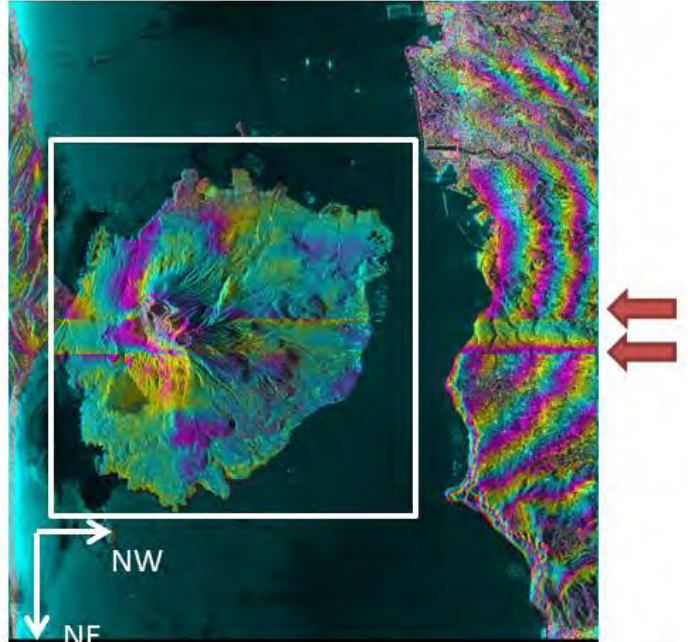
**A**



Raw Interferogram

Pi-sar-l2 2015/1/4-2015/8/16

**B**



After Trend Removal

図2 A:生干渉結果, B:トレンド成分と地形相関成分を除去した結果  
干渉結果をレーダー座標系で示す. Aの生干渉結果には, 軌道縞, 地形縞, 水蒸気による位相偏差などが含まれている. 長周期トレンド成分と地形相関成分を取り除いた結果がBで示す図である. ほぼ $\pm$ ラジアン(6cmに相当)以内に位相が収まっている. 図2Bの右の矢印は, 位相不連続境界を示す. 図2Bの白四角内の領域について, 2次関数の曲面フィッティングによるトレンド除去と地形相関成分除去処理を実施した.

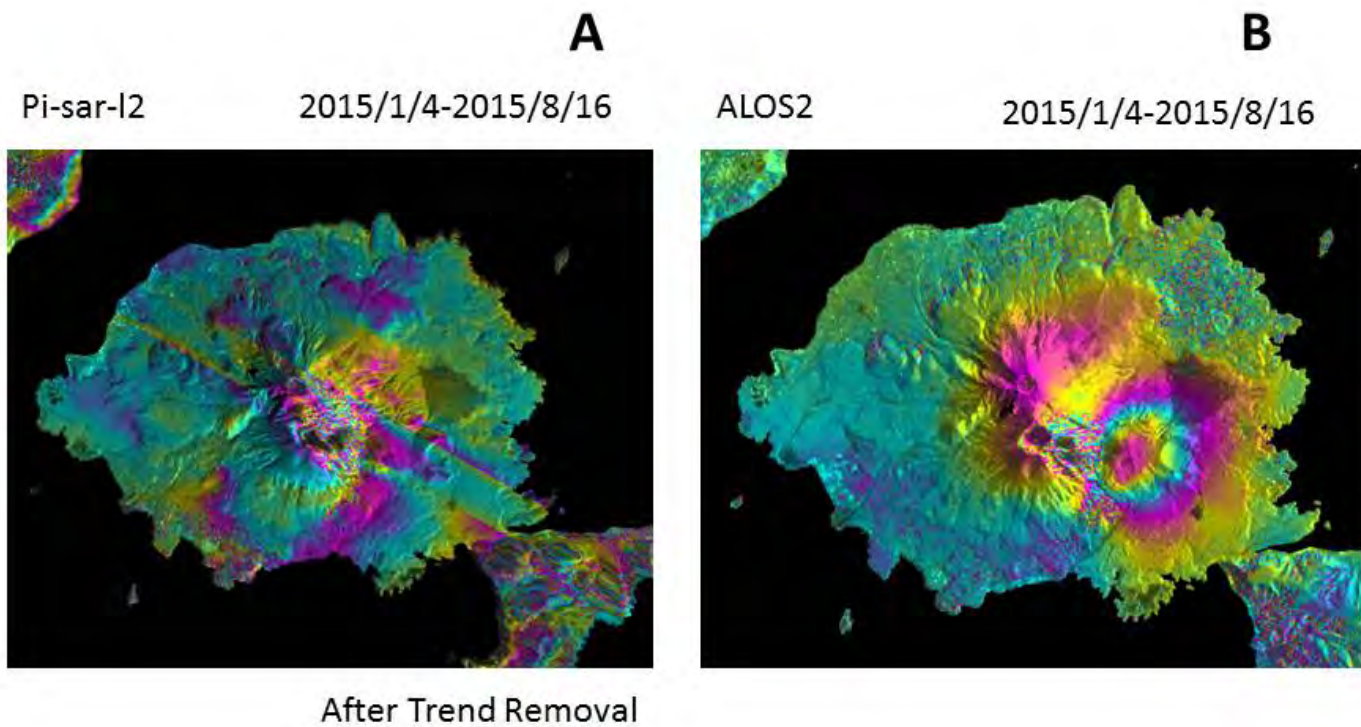


図3 ALOS2 との比較

Aは、図2Bを通常の地図座標系（北が上）に変換し、桜島付近を切り出した位相分布図である。地殻変動がなかった時期であるので、本来フラットであるべきであり、残存している位相は、誤差と考えられる。位相は、ほぼ $\pm\pi$ で収まっている。Bは2015年の貫入イベントに伴うALOS2観測結果である。pi-sar-l2で同じ領域を観測しても、同様の位相変化が得られると予想される。Aで示される程度に観測誤差が収まっていれば、今回の貫入イベント程度の地殻変動は、認識可能と考えられる。

( 1 ) 実施機関名：

北海道大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

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 27 年度の成果の概要：

今年度に配布予定であったプログラムにウインドウが崩れるという不具合が発覚した。その現れ方は PC パワーや OS によって異なり、原因の特定と修正に時間を費やした。原因は不適切なスレッドの実装にあり、その修正はプログラム全体に及んだ。

この修正に際し、まず不要なプログラムコードや冗長なコードの削除と整理を行った。同時に要望の多いリアルタイム地震波形表示のプログラムと、そのためのサーバープログラムの開発を進めた。また 8 月に開かれた研究課題懇談会で指摘を受けた GUI についても改良したほか、印刷機能や取得・表示する情報を追加した。

修正・改良を行った新バージョンで取得・表示できる情報を図 1 にまとめた。また火山に関係した情報の表示画面を図 2 の (B) と (C) に示した。両表示画面中、新たに実装されたものは、地震波形データと長周期データのリアルタイム表示パネル、動作試験中であった V-NET 波形画像と噴火に関する観測報を図化した噴火時系列の表示パネル、及び噴火警戒レベル表などが表示できる掲示板パネルである。

地震波形・長周期データのリアルタイムな取得・表示では、殆どの自治体のネットワークはファイヤーウォールで保護され、データの送・受信に使えるポートは、HTTP で標準的に使われている 80 番 (あるいは 8080 番) に限られた。このため映像や音楽の配信で使われている HTTP/1.1 で規定されたチャック転送方式による配信を試みた。しかし複数のクライアントとのハンドシェイクやセキュリティ対策によってサーバープログラムが巨大化し、不具合の修正や保守に費やす労力が大きくなることが予測された。このためサーバーで 1 チャンネルごとに切り出した最新の 1 分ファイルをダウンロードし、表示する方式に切り替えた。この際、ダウンロードした 1 分ファイルに含まれるデータを 1 秒ごとに順に表示し、記事的にリアルタイム性をもたせた。この方式では生データをハードディスクに保存できるように時間を遡った波形表示がサーバーに負荷をかけずに行える利点がある。その反面、生データが流出するという欠点があり、配信先の管理が必要になる。

GUI の大きな改良点は起動時に表示されるオープニングダイアログ (図 2 A) の実装と選択メニューの表示パネルへの追加である (図 2 D)。これらは研究課題懇談会の指摘を反映した一つの試みである。オープニングダイアログにはパネル配置の雛形アイコン及びパネル配置や表示情報の変更履歴を示すアイコンを配置し、ディスプレイサイズや目的に適したパネル配置を選択できるようにしている。また表示パネルの選択メニューでは、パネルの削除と追加および表示する情報の選択が行なえる。この二つの機能に、取得・表示する情報ごとに用意されている観測点や地域の選択ダイアログ (図 2 D) を合わせると、旧バージョンでは煩雑であった表示情報の追加や変更が簡単・容易に行うことができる。

この他、情報ごとの検索・表示ウインドウ (図 2 E、F) に印刷機能を追加した。但し、印刷はプリンターに依存するため、出力が乱れることや印刷できないこともある。また、住民や旅行者を対象に導入した掲示板には平文テキスト、jpeg などの画像ファイルや pdf ファイルを表示することができるが、使用したライブラリーの不具合により文字化けしたり、表示できないこともある。

現在、協力機関である北海道ほか 1 市 9 町のシステムについては、この修正・改良プログラムへの移行作業を進めている。また倶多楽火山を有する登別市および白老町に、このプログラムを実装したシステムを設置するための作業を行っている。更に、地元自治体と防災情報官庁である管区気象台・地方気象台が観測データレベルで情報共有した際の防災対応に及ぼす効果を把握するために管内に活火山を有する函館、室蘭、旭川および釧路地方気象台にシステムの導入を進めている。

今年度の主な活用事例としては、旧バージョンではあるが、2015 年 7 月 28 日に噴火警戒レベルが 2 に引き上げられた雌阿寒岳の登山道入口にある旅館ロビーに置かれたシステムが宿泊者、旅行者や登山者への情報元となったことが挙げられる。また、高校の地学の授業でも使われたほか、壮瞥町が主宰した子供防災キャンプでは情報提供システムとして模擬避難所の一角に設置された。協力自治体に関しては、庁舎から火山を望むことのできない自治体では「チラ見」による火山の状況確認に使われているが、他の自治体ではシステムの電源を落としたりしたところもあった。これは、地方自治体の担当者が危惧したように、代わり映えしない火山カメラ画像と火山情報や気象関連の情報しか取得・表示できないことが要因の一つと考えられ、リアルタイム地震波形の表示できる新バージョンの使われ方

に注目したい。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

致命的な不具合が顕在化したために実施できなかったサーバー機能を有したシステムに向けてプログラム開発を進める。GUI についても研究課題懇談会の指摘に沿って、情報ウインドウのポップアップ表示を試みる。また修正・改良したプログラムに関する協力自治体からの不具合の報告やシステムに対する提案に対応するほか、活用実績を集約する。

( 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 小泉 岳司

(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

気象庁	防災科学技術研究所
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 気象警報・注意報・情報</li> <li>○ 土砂災害警戒判定メッシュ情報</li> <li>○ 時系列予報( 天気予報 )</li> <li>○ 天気図</li> <li>○ レーダーナウキャスト( 降水、○竜巻、○雷 )</li> <li>○ 気象衛星( ○標準、○高頻度 )</li> <li>○ アメダス( ○表形式、△図形式 )</li> <li>○ 火山カメラ</li> <li>? 噴火速報</li> <li>○ 噴火に関する火山観測報 =&gt; 噴火活動時系列グラフ</li> <li>○ 火山の状況に関する解説情報</li> <li>○ 週間火山概況</li> <li>○ 噴火警報・予報</li> <li>○ 潮位観測情報</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 基盤的火山観測網連続波形画像</li> <li>△ 火山活動連続観測網 <ul style="list-style-type: none"> <li>広帯域地震波形画像</li> <li>スペクトル画像</li> <li>地震振幅画像</li> <li>傾斜変化画像</li> <li>GPS 基線長変化画像</li> </ul> </li> </ul>
	北大有珠火山観測所
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 火山カメラ</li> <li>○ リアルタイム地震波形表示</li> <li>○ リアルタイム長周期データ表示( RMS, 傾斜等 )</li> </ul>
川の防災情報( 国交省 )	道路気象情報( 国交省地方整備局 )
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 降雨量</li> <li>○ 河川水位</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>△ 気温</li> <li>? 雨量、降雪量・積雪深</li> <li>? 風向・風速</li> </ul>

図 1 . 今年度にバージョンアップしたプログラムで取得・表示可能な情報( )と、取得を予定( )および検討( ? )している情報。

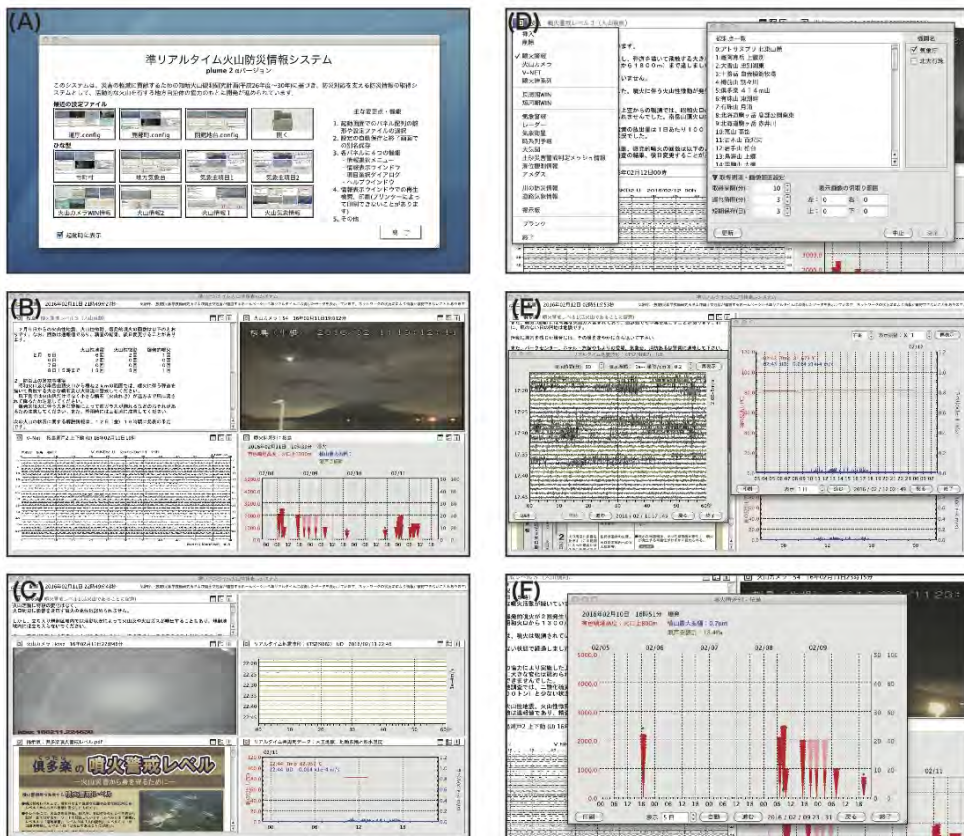


図 2. パネルとウインドウのスナップショット。(A) オープニングダイアログ、(B) 火山関連の情報表示パネル配置 1 (左上: 噴火警報等、左下: V-NET 波形、右上: 火山カメラ、右下: 噴火時系列)、(C) 火山関連の情報表示パネル配置 2 (左上: 噴火警報等、左中: 火山カメラ、左下: 掲示板、右上: ブランク、右中: リアルタイム地震波形、右下: リアルタイム長周期データ)、(D) 情報の選択メニューと観測点・地域等の選択ダイアログ、(E) 地震波形および長周期データの表示・検索ウインドウ、(F) 噴火時系列の表示・検索ウインドウ



( 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の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 27 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

以下は計画(7)に基づいて実施した。

(a-1) 誘発地震の後続波の波形の時間変化

秋田県内における誘発地震発生域の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、散乱体が森吉山の北西約 5 km、深さ 13 km 付近に存在するという結果を得ている。散乱体が流体であれば波形が時間変化する可能性があることから、26 年度には、震源が同一と考えられる地震の後続波の波形の時間変化を 1 点の定常観測点について調べた。その結果、後続波の出現時刻と継続時間の変動があることがわかったので、27 年度にもこの調査を継続して実施した。その結果、後続波の波形の時間変化は、緩やかな場合と比較的急激な( ~ 10 日以内 ) 場合があることが判明したが、それらと震源位置の時間変化は明瞭に対応しているようには見えない。これは散乱源側で散乱特性の変化が生じていることを示唆する。また、後続波が 2 つの波群から構成されている場合があるが、両者の波形の相関は良くないことから、同じ成因で 2 つができているとは言えないこともわかった。

(a-2) 誘発地震発生域の異方性

森吉山地域ではさらに、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から、地殻内異方性について調べた。震源域直上の観測点 ( HR.MRY ) では速い S 波の振動方向 は北西 - 南東方向を向き、速い S 波と遅い S 波の到達時刻差  $t$  は 0.01 秒程度である ( 図の (b) )。それに対して、震源域よりも北側に位置する観測点 ( HR.MAS1 ) では、 $t$  はほぼ南北、 $t$  はほぼ 0 秒である ( 図の (a) )。震源域よりも 10 km 程度西南西に位置する定常観測点 ( N.ANIH ) での  $t$  と  $t$  は震源域よりも北側に位置する観測点とほぼ同じである。このことは、地震波が震源域を下から上に通過する過程で異方性の影響を受けていることを明瞭に示している。震源域直上の観測点での  $t$  は 0.01 秒程度で大きくはないが、図の (a) や (c) の分布とは明確に異なることから、有意な観測結果と考えられる。ただし、震源域直上の観測点での  $t$  はメカニズム解の P 軸方位よりはむしろ T 軸方位と調和的である。

(a-3) 下北半島地域の応力場

2011 年東北地方太平洋沖地震後、東北地方内陸の応力場とその時間変化に注目が集まっている。東北地方北部の下北半島地域の応力場が周辺地域とは異なっている可能性があるが、周囲を海に囲まれていることと観測点密度が高くないことから、メカニズム解を決定できる地震は限られていた。しか

し、公益財団法人地震予知総合研究振興会による高密度地震観測網 AS-net が稼働するようになったことから、そのデータを利用して、2014 年と 2015 年に発生した地震のメカニズム解を決定した。その結果、津軽海峡に近い領域での P 軸方位は南北を向く傾向があることがわかった。下北半島地域においても S 波スプリッティング解析を行い、速い S 波の振動方向は下北半島南部では東西を向くが、津軽海峡付近では南北方向へと回転する傾向が見られた。これは P 軸方位の分布と調和的である。

#### (a-4) 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。27 年度は、気象庁一元化処理震源を用いての深部低周波地震の震源の時空間変化と、深部低周波地震の波形の多様性の把握を行った。東北地方太平洋沖地震後の誘発地震活動には流体の寄与が考えられているが、東北地方太平洋沖地震の発生により、下部地殻から最上部マントルへの流体供給に顕著な変化があったとは考えにくい。ただし、火山活動が活発化した蔵王山では、火山性地震や微動に先行して深部低周波地震発生が活発した時期に、深部から浅部への流体供給が行われた可能性はある。波形の検討は岩木山地域を対象に行った。深部低周波地震の波形の相関係数は震源が近くても一般に高くない。これは、震源での波動放射特性が震源位置によって異なり、また、時間的にも変動していることを示唆する。しかし、後続波の後半部分の波形は経路の構造の影響の方が支配的になると考えられる。

#### (b) 過去の地震の災害事例の検証

これについては計画 (7) には挙げていないが、災害事例に関わる検討である。

日本では気象庁により津波警報システムが整備されているが、それ以外の警報システム、特に警報を出す対象地点周辺のデータを利用してリアルタイムに警報を出すシステムを考えることは有意義である。2011 年東北地方太平洋沖地震について、地殻変動の沈下量と津波高さに強い線形性があるとの先行研究がある。しかしこの研究におけるデータは十分ではないので、より多くのデータを用いて、水平変動も含めた地殻変動と津波高さとの関係を調査した。検討の結果、沈下量と津波高さの関係には線形性が見られたが、例外となる地点も少なくない。その例外は水平変動量を利用すると少なくなった。2003 年十勝沖地震についても調べると、地殻変動量と津波高さの関係は地震に固有であるように見える。従って、ある地震から得られた関係を用いて、一般的な法則として津波高さを推定することは困難と考えられる。地殻変動量と津波高さの関係は数値計算でも確認できるので、これは今後の検討対象となる。

(9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
川村大貴, 2016, 下北半島とその周辺で発生した地震のメカニズム解の時空間分布, 弘前大学理工学部地球環境学科卒業論文。

小菅正裕, 2016, 秋田県森吉山の誘発地震の波形の時間変化 (2), 日本地震学会秋季大会。

野呂康平, 2016, 東北日本で発生した深部低周波地震の震源の時空間分布と波形の多様性, 弘前大学大学院理工学研究科修士論文。

炭田 航, 2016, 地殻変動量と津波高さの関係についての検討, 弘前大学理工学部地球環境学科卒業論文。

小山内大樹, 2016, 東北北部の地殻内異方性の時空間変化, 弘前大学理工学部地球環境学科卒業論文。

(10) 平成 28 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の波形の時間変化については、震源域付近の臨時観測点のデータも含めてより長期間の解析を行い、波形の時間変化が、震源位置、散乱体位置、経路での地震波速度のいずれの変化によるのかを明らかにする。S 波スプリッティングについても、より多点で長期間の解析を行い、異方性が生じている場所の特定と時間変動を検討する。さらに、誘発地震の震源メカニズムを決定し、波形変化、異方性、応力場を総合的に解釈できるようにする。下北半島地域においては震源メカニズム解の決定と S 波スプリッティング解析を引き続き行い、北東北地域における応力場について検討する。低周波地震に関しては森吉山地域のアレイ観測データの解析を行い、低周波地震の後続波の起源

を推定し、低周波地震と浅部の地震活動の関係を調べる。また、波形の多様性については岩木山地域以外での検討を進める。

(b) 過去の地震の災害事例の検証

下北半島地域での微動探査による地盤構造推定を継続して行い、S波速度構造の推定精度を向上させる。また、D90やS波散乱構造から地震発生層や不均質層の厚さの空間変化を推定し、青森県の日本海沿岸と内陸で発生した歴史地震の被害分布と対比する。

(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・有賀義明・片岡俊一・津村浩三（以上弘前大学理工学研究科）

白石睦弥（弘前大学地域社会研究科）

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@cc.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：弘前大学理工学研究科

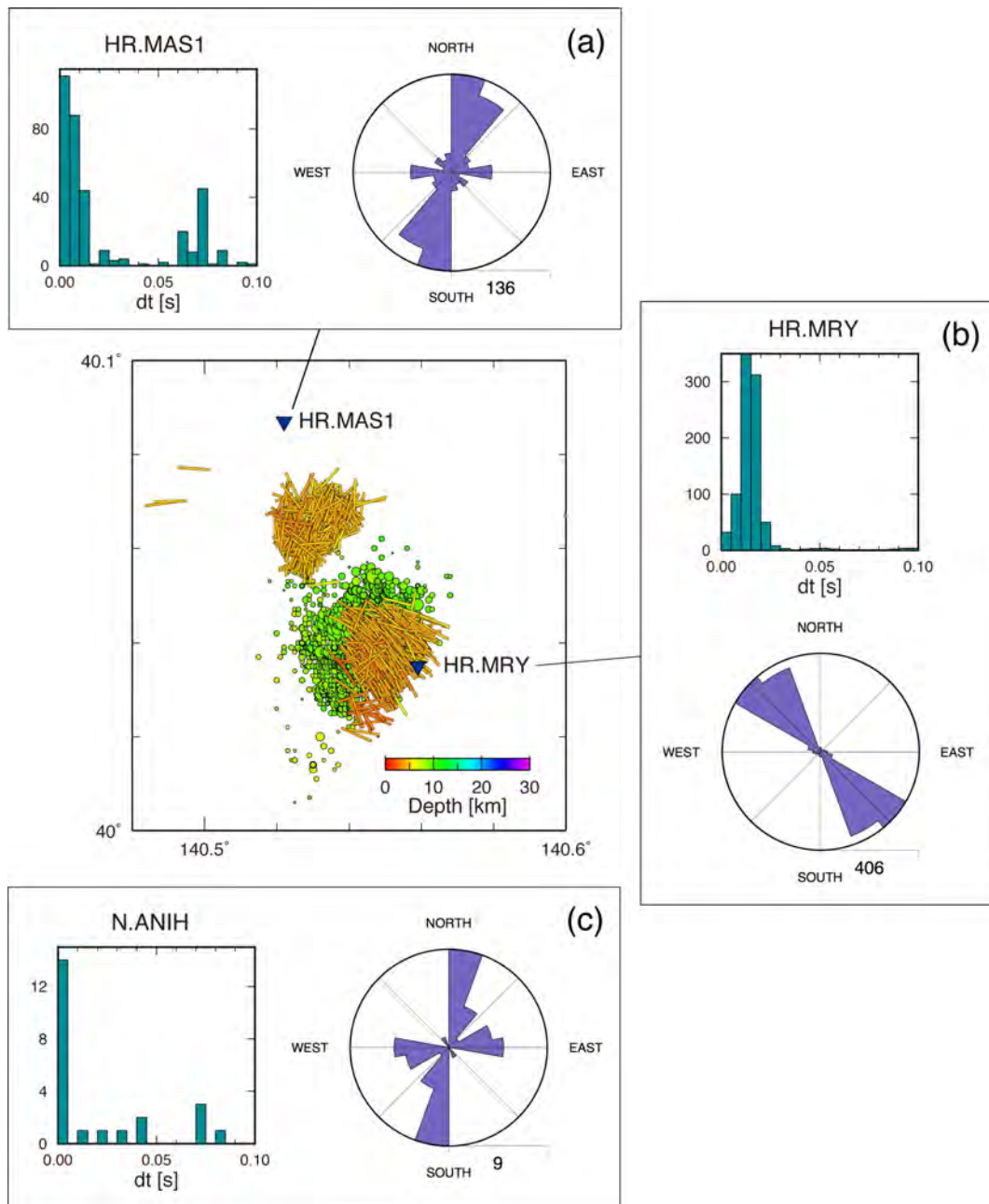


図1. 森吉山地域におけるS波スプリッティング解析。

(a)~(c)は、速いS波と遅いS波の到達時刻差と、速いS波の振動方向の頻度分布。平面図は解析に用いた地震の震央(丸印)と、震源と観測点の中心にプロットしたの分布(棒)。丸と棒の色は深さを表す。(c)の観測点は平面図の範囲外(西南西)に位置する。

( 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 27 年度の成果の概要:

#### 地震波観測

日高山脈西部の観測点で観測される後続波の観測走時を用いて、北海道東部下に沈み込む海洋性地殻の地震波速度を推定した。その結果、深さ 50-100 km の P 波速度は 6.5-7.5 km/s、S 波速度は 3.6-4.2 km/s、 $V_p/V_s$  は 1.80 程度であった。特に深さ 80 km 以浅では地殻を構成する含水鉱物から期待される値よりも遅い P 波・S 波速度が推定された。これらの速度低下は、地殻内部に含水鉱物とともに 1 vol% 程度の流体の水が存在することで説明できる。また、深さ 80-100 km では P 波・S 波速度の増加が観測された。この深さ範囲では、地殻内の地震活動が活発であることから、これらの速度増加は含水鉱物の脱水を伴う相転移の進行とともに、脱水により生じた水が地殻内の地震発生に寄与していることを示唆している。

2003 年 3 月 1 日~2014 年 3 月 30 日(東北地方太平洋沖地震後 6 ヶ月の期間を除く)の期間に発生した東北地方の太平洋沿岸下におけるプレート境界周辺の地震の震源を再決定し、地震活動の詳細を検討した。その結果、スラブ内地震の発生数はプレート境界面の下 4 km 付近から増加し、7 km 付近で最大となることが明らかとなった。この結果は、太平洋スラブ内のモホ面付近に相当する深さ 50-60 km 付近においては地震活動が活発であり、逆に海洋性地殻上部では地震の発生が少ないことを示している。また、東北地方太平洋沖地震後に海洋性モホ面下で地震活動が活発になった地域があることも明らかになった。

2011 年東北沖地震の震源近傍のスラブ内部で 2011 年 7 月 10 日に発生した横ずれ型地震 ( $M_w7.0$ )

について、震源域直上に設置された海底圧力計の記録を用いて震源断層モデルを推定した(図1)。その結果、共役な2枚の断層が同時に横ずれ破壊を起こしたと仮定しても観測波形を説明することが可能であり、このことから海溝軸陸側斜面下において東北沖地震に伴う応力の平衡域の深さの変化はそれほど大きくないことが示唆される。

#### 室内実験

蛇紋岩など様々な含水鉱物で脱水時の力学的な不安定化が確認されてきたが、実験室条件下で比較的簡単に脆性延性遷移および脱水相転移を達成しうる石膏を用いた摩擦実験により、含水鉱物の脱水化学過程の摩擦挙動やレオロジー特性を調べた。石膏の模擬断層ガウジは脱水条件付近と考えられる200 MPa、110 以上では固着すべりの挙動が衰え、歪弱化挙動を示した。脱水後の硬石膏は脱水前の焼石膏よりも強度が大きいため、脱水相転移後の強度低下は、透水性の低い物質中(斑レイ岩のピストン)で発生した異常間隙水圧によるものと考えられ、脱水プロセスと周囲の水理特性がスラブ内地震の分布などの発生様式を左右している可能性を示唆している。これらを踏まえて、含水鉱物の脱水分解や高圧相転移実験に関する国内外の最新の研究成果を精査し、来年度以降の実験内容を再検討した。

#### 温度モデリング

数値シミュレーションを用いて北海道・東北地方下の3次元温度構造を定量化した(図2)。3次元的なマントル対流を考慮してモデル推定した結果、東北地方の温度構造は、2次元モデルの結果と大差ないが、千島・日本海溝会合部の深部延長および北海道ではスラブの斜め沈み込みによる3次元的なマントル対流の影響のために2次元モデルでは推定されない温度構造であることがわかった。

#### (9) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Kubota, T., R. Hino, D. Inazu, Y. Ito, and T. Iinuma, 2015, Complicated rupture process of the Mw 7.0 intraslab strike-slip earthquake in the Tohoku region on 10 July 2011 revealed by near-field pressure records, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 9733-9739, doi: 10.1002/2015GL066101.

Matsukage, K. N., Y. Nishihara, F. Noritake, K. Kawamura, N. Ttsujino, M. Sakurai, J. Nakajima, A. Hasegawa, and E. Takahashi, 2015, Elastic wave velocity anomalies of anorthite in subducting plate: In situ experiments, *Am. Mineral.*, 100, 1856-1865.

Nakajima, J. and G.A. Abers, Subduction Zone: Seismicity and Arc Magmatism, in *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, Springer, in press.

Saita, H., J. Nakajima, T. Shiina, and J-I. Kimura, 2015, Slab-derived fluids, fore-arc hydration, and sub-arc magmatism beneath Kyushu, Japan, *Geophys. Res., Lett.*, 42, 1685-1693.

佐々木勇人・武藤潤・長濱裕幸, 2015, 摩擦不安定生に対する脱水効果 - 石膏を用いたアナログ実験的研究 -, 2015年地球惑星科学連合大会, S-CG60.

Wada, I., J. He, A. Hasegawa, and J. Nakajima, 2015, Mantle wedge flow pattern and thermal structure in northeast Japan: Effects of oblique subduction and 3-D slab geometry, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 426, 76-88.

#### (10) 平成28年度実施計画の概要 :

##### 地震波観測

北海道東部の太平洋スラブ内地震の震源再決定を行い、先行研究で指摘されている三重深発地震面の微細構造を明らかにする。東北地方下の太平洋スラブ内のP波減衰構造を推定し、スラブ内地震との関係を検討する。

##### 室内実験

高圧実験で高圧相転移・脱水に伴う生成物の組織と力学挙動を調べ、沈み込むスラブの力学特性を明らかにする。

##### 温度モデリング



3次元マントル対流モデルから計算された温度構造を用いて水の分布を推定し、温度と水の分布が地震活動域およびマグマ生成域とどのように関連しているか理解を深める。

(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)

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

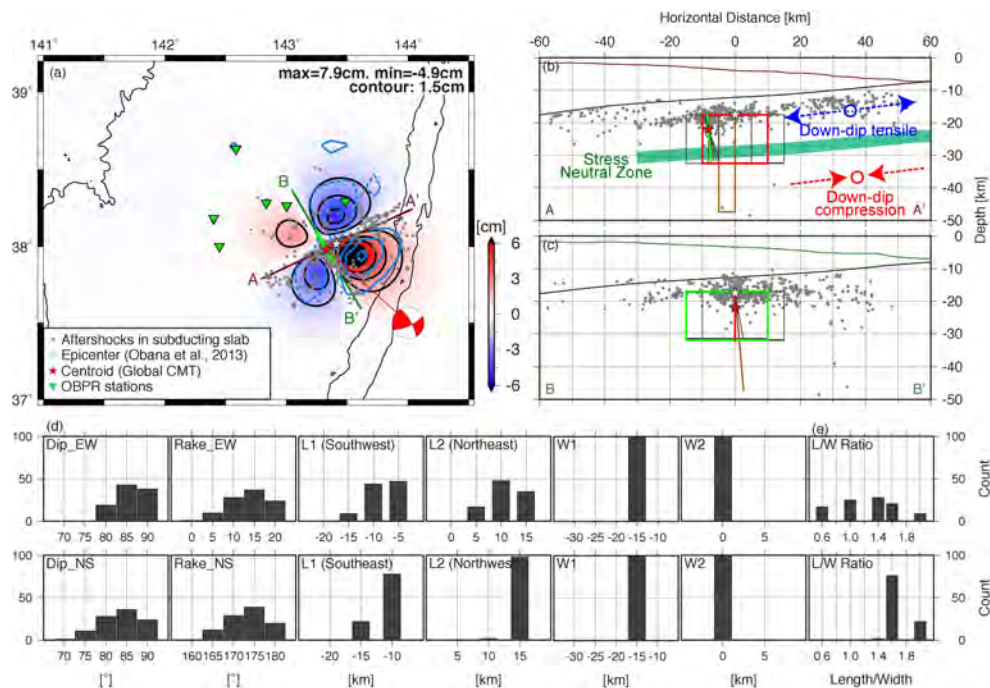


図1 . 2011年7月のスラブ内横ずれ地震(Mw 7.0)について、共役な断層が同時に破壊した仮定のもとグリッドサーチ法により推定された断層モデル(Kubota et al., 2015)。(a)得られたモデルから計算される津波の初期波高分布。青色が沈降域、赤色が隆起域を表す。(b)測線A-A'、および(c)測線B-B'における鉛直断面図。赤および緑色の線が推定された断層の位置を表す。茶色の線は測線A-A'に沿った1枚の断層のみの破壊を仮定した際に得られる断層モデル。2011年東北沖地震以前に推定された応力場の模式図(古賀ほか、2012)を図bに示す。(d)グリッドサーチにより得られた断層モデルの上位100解の断層パラメタのヒストグラム。断層モデルの推定の不確かさを表す。(e)上位100モデルにおける、断層の長さとの比。

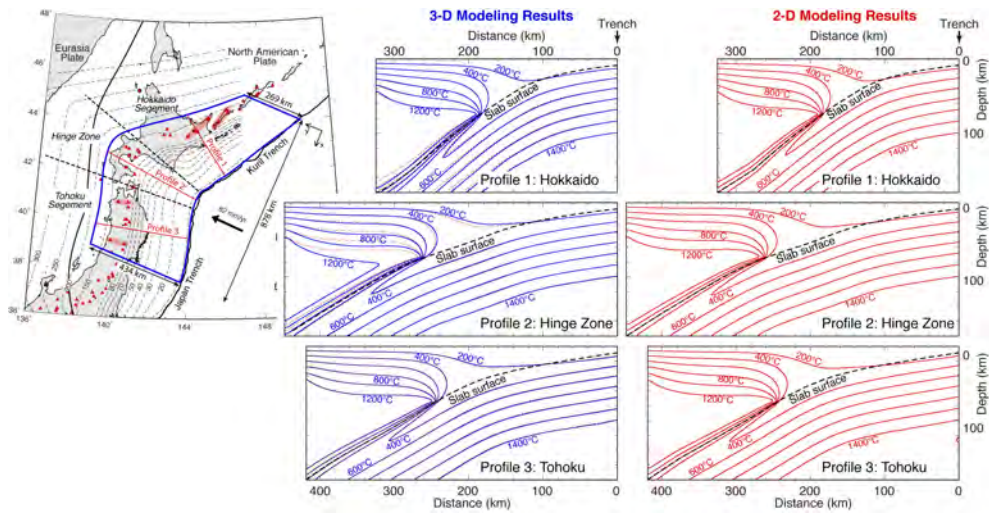


図2 . 東北～北海道下の温度構造シミュレーション ( Wada et al., 2015 )。左 : モデル領域 ( 青枠内 ) および、右図の温度構造鉛直断面の位置 ( 赤線 )。右 : 北海道下、千島 - 日本海溝会合部深部延長、東北地方下の温度構造。青いコンターは3次元マントル対流を考慮したモデル。赤いコンター ( 実線および点線 ) はマントル対流を考慮しないモデル。

( 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 27 年度の成果の概要 :

地震観測：蔵王山直下浅部において長周期地震が引き続き断続的に発生しており、その活動度は、深部低周波地震の活動と時間遅れをともなって相関している可能性があることを示した(図 1)。このような活動は、火山深部から浅部への熱あるいは流体の移動を反映したものととも考えられる。一方で、これまでに発生した長周期地震の卓越周期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。

今年度は、全国の大学と合同で人工地震構造探査を実施した。本探査は、屈折波解析による火山体速度構造の推定及びファン・シューティング解析による熱水分布の推定といった火山活動の理解に必要な基礎データ取得を目的としたものである(図 2)。初期解析の結果から、蔵王山中央部において基盤層の深さが数百 m 程度であること、火口湖御釜から噴気活動域にかけての領域直下に高減衰域が存在することなどが判明した。今後さらに詳細に地下構造を明らかにすることで、火山性地震の震源決定や火山活動推移予測等の信頼性向上を図り、火山災害軽減に資することが期待できる。

稠密地震観測網のデータを用いてトモグラフィ解析を行った結果を図 4 に示す。2011 年以降に発生している深さ約 5 km より浅い地震(青楕円中の点)は、10km 以深に分布する地震波低速度域( $V_p/V_s < 1.7$ )の上に位置する。この低速度域及びその周囲の深さ 20~30km( $V_p/V_s > 1.75$ )には深部低周波地震(赤楕円中の点)が分布している。

GNSS 観測：蔵王山周辺の GEONET 観測点に加え、本課題遂行のために設置した GNSS 観測点で得られたデータを精密単独測位法で解析し、山体変形のモニタリングを実施している。2011 年東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響を関数近似により除去した結果、2015 年 1 月から 5 月までの地殻変動において、御釜北東を中心とする放射状の水平変動及び隆起傾向が見られる(図 5)。球状圧力源を仮定すると深さ約 5km、体積変化量は約  $3 \times 10^6 \text{m}^3$  と推定された。2015 年 4 月 13 日から 6 月 16 日までの期間は、火山性地震が多発したため噴火警報(火口周辺危険)が発表されていたが、この時期は上記の山体膨張傾向が観測された期間に含まれる。なお、同年 6 月以降のデータでは上記の傾向は見られなかった。

地球電磁気観測：2014 年 6 月及び 10 月に実施した繰り返し全磁力観測で得られたデータを用いてグ

リッドサーチにより単双極子モデルを推定した。その結果、消磁源が振り子沢付近の深さ約 1 km 付近に求められた。推定されたモデルに基づく計算によると、御釜を南北に挟む 2 点に設置している連続観測点が、全磁力変化のノーダルライン上にあることが分かった。実際に御釜北側の距離約 300m に設置した観測点の全磁力連続データには顕著な変動が見られない。

重力観測：2015 年 7 月に蔵王山周辺 12 点でハイブリッド重力観測を実施した。2014 年の観測結果を基準とする 1 年間の重力変動を図 6 に示す。御釜を中心に測定精度 10  $\mu$  Gal を超える重力減少が認められた。

噴気温度・その他の観測：丸山沢噴気地熱地帯では、9 月 3 日の調査で噴気温度が最高で 99.2 °C であることが確認された。2014 年の最高温度が 93 °C 前後であったことと比べると有意に高いが、2012、2013 年には 100 °C を越える噴気があったため、必ずしも活発化を示すとは判断できない。10 月 28 日の調査では、ごく小規模な土砂噴出の痕跡が確認されたが、9 月 9 日から 11 日にかけての豪雨で土石流が発生し、埋没した複数の噴気が一ヶ所に集中することで起こった可能性も考えられる。二箇所の噴気地点の温度の連続観測記録を見ると、ともに 90 °C ほどで推移しているが、1 月頃と 5 月から 7 月にかけて、2 °C ほどの低下が起きていた。前者は微動発生、後者は地震活動の活発時期に一致するが、関連性は不明である。噴気量は全体として増えつつあるように見える（図 7）。

1939 年、1966 年の火山活動活発化で高温・高濃度の温泉湧出が起こった、濁川と振り子沢の合流部付近（旧新関温泉）では、9 月 3 日の調査で、複数個所からの温泉の再湧出が確認された。そのうち一箇所で測定された温度、pH、電気伝導度を 9 月 3 日と 10 月 28 日で比べると、32.1 °C、34.1 °C、2.3 S/m、2.0 S/m、0.126 S/m、0.789 S/m と変化し、温度と溶存物質濃度がともに上昇していることを示唆している。1967 年 10 月の測定値（77 °C、0.3、5 S/m 以上；志田，1968）に比べると低いが、過去の活動と同様の経緯を辿りつつある可能性が考えられる。

御釜およびカモシカ温泉周辺域（丸山沢ほか）において、地表調査、水質調査（温度、pH、溶存成分、ヨウ素 129 他）を行った。御釜については、水深の測深を実施した。

（ 9 ）平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

（ 10 ）平成 28 年度実施計画の概要：

- ・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な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。
- ・推定された単双極子モデルでは、データ適合が不十分であり改善が必要である。より複雑な形状として回転楕円体モデルによる熱消磁解析を進めるとともに、熱消磁源を含む領域において繰り返し測量や空中磁気測量等の観測の拡充を行い、次の噴火の火口位置推定の精度を高めことにより災害軽減に貢献する。
- ・GNSS 観測を継続し、地形効果を考慮した逆解析により圧力源モデルを改良する。また、蔵王山周辺においてハイブリッド重力観測を継続する。
- ・御釜及び丸山沢噴気地熱地帯において、温度観測、湧水採取とその化学組成分析等、目視での活動度評価を、旧新関温泉では湧出箇所の増減確認、温度・pH・電気伝導度の測定と湧水採取を行う。これらに加え、新たに丸山沢噴気地熱地帯でのタイムラプス写真撮影と、御釜湖底での温度連続観測を計画している。また、火山監視ロボット等を使ったりリモートでの観測方法も合わせて検討したい。

（ 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

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

( 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

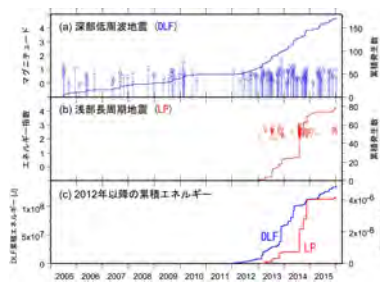


図 1 . 蔵王山における長周期地震・深部低周波地震の活動推移



図 2 . 蔵王山人工地震構造探査の発破・測線配置

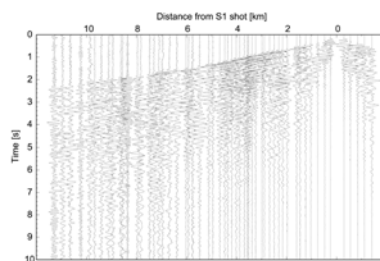


図 3 . 蔵王山人工地震構造探査の東西測線観測波形例

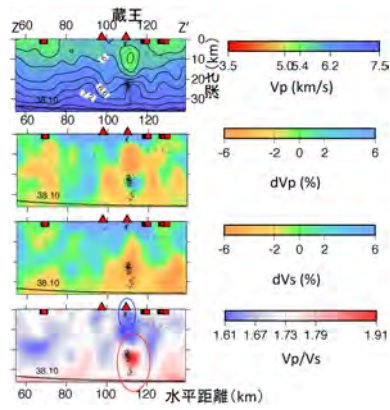


図4. トモグラフィー解析による蔵王山直下の地震波速度構造

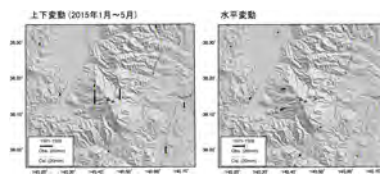


図5. 2015年1月~5月までの5ヶ月間の変位分布. 黒の矢印及び縦棒が観測値を示す. 赤丸は、非線型逆解析により推定された球状圧力源の位置を示す. 深さと体積変化量は、それぞれ5.5 km,  $2.8 \times 10^6 \text{m}^3$  と推定された. 白の矢印及び縦棒は推定された球状圧力源による計算値を示す.

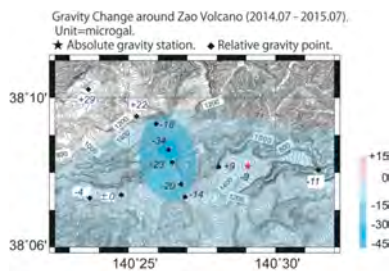


図6. 2014~2015年の1年間の重力変動. 図中の赤星印は絶対重力点(1点), 菱形は相対重力点(11点)を示す.

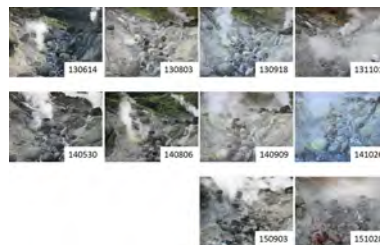


図7. 丸山沢噴気地熱地帯周辺の地表調査写真.

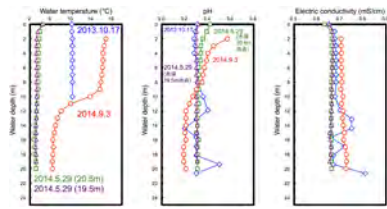


図 8 . 蔵王山火口湖（御釜）の水溫，pH，電気伝導度の深さプロファイル



( 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27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)の後に地震活動・火山活動の活発化が観測された宮城・福島県境付近の地殻内地震波速度構造を推定した(図1)。地殻上部において、長町・利府線断層帯～福島盆地西縁断層帯の上盤側(北西側)は低速度域となっているが、宮城・福島県境付近では高速度となっている。このことは福島盆地西縁断層帯の非連続性を示唆しているが、この断層で大地震が発生した場合には、この高速度域が大すべり域となる可能性を示している。一方、地殻中下部においては、宮城県の火山(蔵王・船形)と福島県の火山(吾妻・安達太良・磐梯)の下に低速度域が分布する。この低速度域は宮城県側と福島県側に分かれて広く分布し、浅部に行くにしたがってそれぞれの火山に向かって分岐していき、長町・利府線断層帯と福島盆地西縁断層帯の境目で高速度となっているように見える。このことは両断層帯がここで切れていることの原因となっている可能性が考えられる。東北沖地震後に地震活動が見られている、宮城県中部や山形・福島県境付近では震源域およびその深部に地震波速度低速度域が存在しており、それらの地震活動への地殻流体の関与を示唆している。

2011年(平成23年)4月11日に発生した福島県浜通り地震の震源域での稠密地震観測網(約60点から構成)の維持を継続するとともに、2011年7月から2014年6月までに発生した地震の震源再決定を行った。連続波形記録から自動震源処理により地震を検出し、初期震源を決定した。その後、近接イベント間の相対走時差データを自動読み取り値と波形相関法から抽出し、両者を用いてDD法により震源再決定を実施した。その結果、約208,000個の高精度な震源が決定された(図2)。地震は大小様々なクラスターに分かれて分布し、多くの場合、傾斜角約45度の面状分布を呈する。断層の長さは、最短なものが約500m、一方、最長は約10?にも及び、桁で変化する。本震源域の中央部付近では、1枚の薄い断層面が良く発達しているが、北部や南部では、共役構造や折れ曲がり構造が多数見られ、領域によって断層の分布が複雑に変わる。このように、本震源域では小断層と大断層の両者が動くことで歪みを解放していると考えられる。

福島県浜通り地震の震源域のいわき市から猪苗代湖にかけての50点の観測点で地震観測を継続し、データを取得した。そのデータの一部を用いてレシーバ関数解析を行い、この地域のモホ面の形状を把握することができた。また、来年度以降に、猪苗代湖から新潟平野にかけての観測点の移設を予定しており、その候補地の調査と許認可作業を進めた。

## 測地観測

東北沖地震発生直後9時間のGNSSデータのキネマティック精密単独測位を行って歪分布を調べた。得られた座標値時系列について主成分分析を行った結果、第1、3、4成分が余効変動を反映していると判断されたため、同成分のみを用いて計算した面積歪と主歪を図3aに示す。岩手県太平洋側の大きな伸張歪は本震直後の余効滑りの影響と考えられるが、それ以外にも脊梁山地沿いや日本海側にも伸張歪が局在しており、Nakajima et al.(2001)による深さ10kmのP波低速度域との対応が見られる。さらに余効滑りの影響が支配的と考えられる第1成分を除き、第3、4成分のみで計算した面積歪分布を図3bに示す。Ozawa and Fujita (2013)は、火山周辺域において地震時に局所的な沈降域を見出し、それが火山直下の低弾性率媒質によるとした。沈降域の極大域と図中の短波長の膨張歪分布が相補的な位置関係にあることが明らかとなった。

2015年5～6月に、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実施した。1年間の重力変動を2013～2014年と、2014～2015年の2つの期間について図4で示す。図中の赤四角は絶対重力点(10点)、黒丸は相対重力点(約50点)、赤の等値線は、Inuma et al.(2012)による東北沖地震時のすべり量(10, 30, 50, 70m)コンターを表す。測定精度10マイクロガルを越える重力減少が、牡鹿半島先端で認められる。ただし、2014～2015年の1年間で減少域は大きく縮小し、それを埋めるように重力増加域が徐々に進出しつつある。増加傾向は、関東地方の絶対重力観測点(筑波山、東京)でも見られている。実際、2011年4月以降2014年5月までの3年間、8～20マイクロガルの有意な重力減少が続いていたのが、2015年5月には変化が下げ止まり乃至増加に転じつつある。これらは、粘弾性効果が徐々に顕著になりつつあることを示していると考えられる。

## 電磁気観測

岩手、秋田南部と山形、宮城全域における長周期 MT 観測により、最上部マントルから下部地殻の大枠を捉え、特に下部地殻の低比抵抗異常が顕著な宮城県北部地震、岩手宮城内陸地震付近では詳細な 3 次元地殻比抵抗構造を推定した。最上部マントルでは奥羽脊梁下に低比抵抗体が南北に縦断していたものが、下部地殻で分岐し月山付近と鳴子・宮城県北部付近に枝分かれする低比抵抗体が見られた（図 5）。これらは流体の分布を示していると推察され、地殻内応力分布に影響を与えていると考えられる。地殻構造探査では、1962, 2003 年宮城県北部震源域において昨年度の 12 点から 54 観測点に大幅にデータを増強した。その結果、深度 5km 以深で 1962 震源域に向かう西下がりの低比抵抗異常が検出され、その延長上の高比抵抗域で余震が発生していることがわかった。2003 年宮城県北部震源域周辺にも孤立した低比抵抗体を検出した。岩手宮城内陸地震 (M 7.2) 震源域周辺では 110 観測点の MT データを解析し、余震は高比抵抗の領域で多く発生していることが分かった。高比抵抗領域が脆性領域と対応しているためであると考えられる。低比抵抗領域はこの地域に存在するカルデラ分布とよく対応する。特に、栗駒山下の火山性流体と考えられる低比抵抗領域から震源域に向かって伸びている低比抵抗領域が見つかり、余震もこの低比抵抗領域を避けるように発生している。この流体が地震発生をトリガーしたものと考えられる。Iinuma et al. (2009) による本震のコサイスマック滑り域は高比抵抗領域と一致しており、ドライなアスペリティーと考えられる。ポストサイスマック滑りの分布は、流体が存在すると考えられる低比抵抗領域と、流体が存在しないと思われる高比抵抗領域のそれぞれに分布していた。Iinuma et al. (2009) ではポストサイスマック滑りは、流体によって引き起こされる場合と、応力場の変化によって引き起こされる場合があることが指摘されており、低比抵抗領域と高比抵抗領域でのポストサイスマック滑りの原因は、流体によるものと応力場変化によるものをそれぞれ反映しているのかもしれない。

新潟県阿賀野市から福島県鮫川村に至る約 150km の測線上の 15 点で、2015 年 11 月の 1 か月間広帯域 MT 観測を実施した。特に会津地方を中心に分布する原因不明の広域的なノイズなどにより、1~数十秒に至る帯域での応答関数のばらつきが大きく、品質が十分でない。霧島硫黄山で実施している広帯域 MT 連続観測データによるファーリモート解析を実施する等、応答関数推定の改善を図っている。

森吉山を通る秋田県を東西に横切る断面での広帯域 MT および AMT データをコンパイルし、第 3 の島弧横断測線での 2 次元ジョイント比抵抗構造解析を行った。東北沖地震後に活発化した森吉山直下の微小地震クラスターは深さ 15 km 迄に存在し、その真下 15 km ~ 30 km に明瞭な低比抵抗体を確認できる。地震観測でも示唆されている地殻深部に存在する流体が東北沖地震以後、上部地殻内のそれほど流体の多くなかった領域に流入したことにより上部地殻のやや高比抵抗域で発生していることが本測線でも示唆された。

## レオロジーモデリング

Iinuma et al. (2015) による余効変動観測データのうち、東北沖地震本震すべりの最大域を通る測線近傍のデータについて、2 次元 FEM で粘弾性緩和解析を行った。海底の西向きの水平変位を粘弾性緩和で説明し、さらに陸域の東向き変位を過大評価しないという拘束条件のもと、2 次元 FEM で、観測を説明するようなレオロジーモデルを構築した（図 6）。鳴子カルデラ付近に東西幅 10 km、上端深さ 10 km の領域に粘性  $3 \times 10^{18}$  Pas 程度の低粘性領域を仮定すると、この付近で観測されている局所的な沈降を再現できる。低粘性領域の形状は、鳴子周辺の稠密地震観測 (Okada et al., 2014) や MT 観測 (Ogawa et al., 2014) から見られる鳴子火山直下に垂直に存在する速度・比抵抗異常帯の形状とも一致し、鳴子火山の火道に存在するマグマなどの低粘性物質を見ている可能性がある。これらを含むレオロジーモデルで粘弾性緩和による地表変位を計算し、インバージョンにより余効すべりを推定した。本震のすべり域では逆断層のすべりが生じていないことが推定され、一方、その深部延長で 0.5m 程度の余効すべりが発生していることが示されており、小繰り返し地震による余効すべり分布の推定結果 (Uchida and Matsuzawa, 2013) と調和的に見える。全体的に残差が小さいため、局所的な不均質や岩石レオロジーに基づくような粘性の深さ依存性などを入れることで水平・垂直変動を矛盾なく説明できると考えられる。

東北地方火山フロント周辺では、東北沖地震後の余効変動において、図7cに示す短縮歪が生じている(Miura et al., 2014)。このような歪異常を、不均質な粘性構造を考慮した有限要素法によるモデル化により再現を試みた。すべり分布は初期の余効すべりも考慮して、図7aに示すように広域に与え、1年後から2年後における面積歪の計算を行った(図7b)。火山地帯で地殻深部における粘性係数が小さくなっている領域に対応して、歪異常が生じている。本結果は、Miura et al. (2014)により観測されている結果と調和的である。

- (9)平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Aizawa, K., H. Sumino, M. Uyeshima, Y. Yamaya, H. Hase, H. Takahashi, M. Takahashi, K. Kazahaya, M. Ohno, T. Rung-Arunwan, and Y. Ogawa, 2016, Gas pathways and remotely triggered earthquakes beneath Mount Fuji, Japan, *Geology*, doi:10.1130/G37313.1.  
Delorey, A.A., K. Chao, K. Obara, and P.A. Johnson, 2015, Cascading elastic perturbation in Japan due to the 2012 Mw 8.6 Indian Ocean earthquake, *Science Advances*, Vol. 1, no. 9, e1500468, doi: 10.1126/sciadv.1500468.  
平田 雄一郎, 2015, キネマティック GNSS データによる 2011 年東北地方太平洋沖地震直後の余効変動に関する研究, 東北大学修士論文, 146pp.  
Ichiki, M., Y. Ogawa, T. Kaida, T. Koyama, M. Uyeshima, T. Demachi, S. Hirahara, Y. Honkura, W. Kanda, T. Kono, M. Matsushima, T. Nakayama, S. Suzuki, and H. Toh, 2015, Electrical image of subduction zone beneath northeastern Japan, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, doi:10.1002/2015JB012028.  
岡田知己・山本希・市來雅啓・三浦哲・松澤暢・長谷川昭・吉田圭佑・東北地方太平洋沖地震合同余震観測グループ, 2015, 東北地方中南部の地震波速度構造と地震活動, 2015 年日本地震学会秋季大会, S06-12.

(10)平成28年度実施計画の概要：

地震観測

秋田県と山形県・福島県に設置した科研費新学術領域「地殻ダイナミクス」による臨時地震観測点、および2011年福島県浜通り地震の震源域における稠密地震観測網を維持し、これまでの臨時観測データと用いて、地震活動の時空間発展や震源域内の不均質構造・応力場等の推定を行う。いわき市から猪苗代湖にかけて設置した50点の観測点の、猪苗代湖から新潟平野にかけてへの移設を始める。

測地観測

臨時GNSS観測を継続し、東北沖地震の余効変動に対する応答を詳細に把握する。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し、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

秋田-岩手と宮城-山形の測線については南北に幅を持った3次元比抵抗構造モデルを提出する。新潟から福島にかけての測線では平成27年度に観測したデータの解析を継続する。また平成27年に実施した測線の北側で平成27年度と同規模の15点からなる観測を実施し、2測線のデータから初期的な3次元構造を推定する。得られた構造と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。

レオロジーモデリング

不均質レオロジーの効果を解明するため、観測量(地震波減衰、電気伝導度など)や沈み込み帯モデリング結果を組み込んだ不均質レオロジーモデルを構築し、観測量との比較を行う。また、不均質レオロジーを考慮し、バックスリップを与えることで東北沖地震前のおよそ100年間にわたる変形過程(歪、上下動)をモデル化する。観測事実と比較することで、固着域や固着率を推定する。

(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・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 観測も山形大学（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

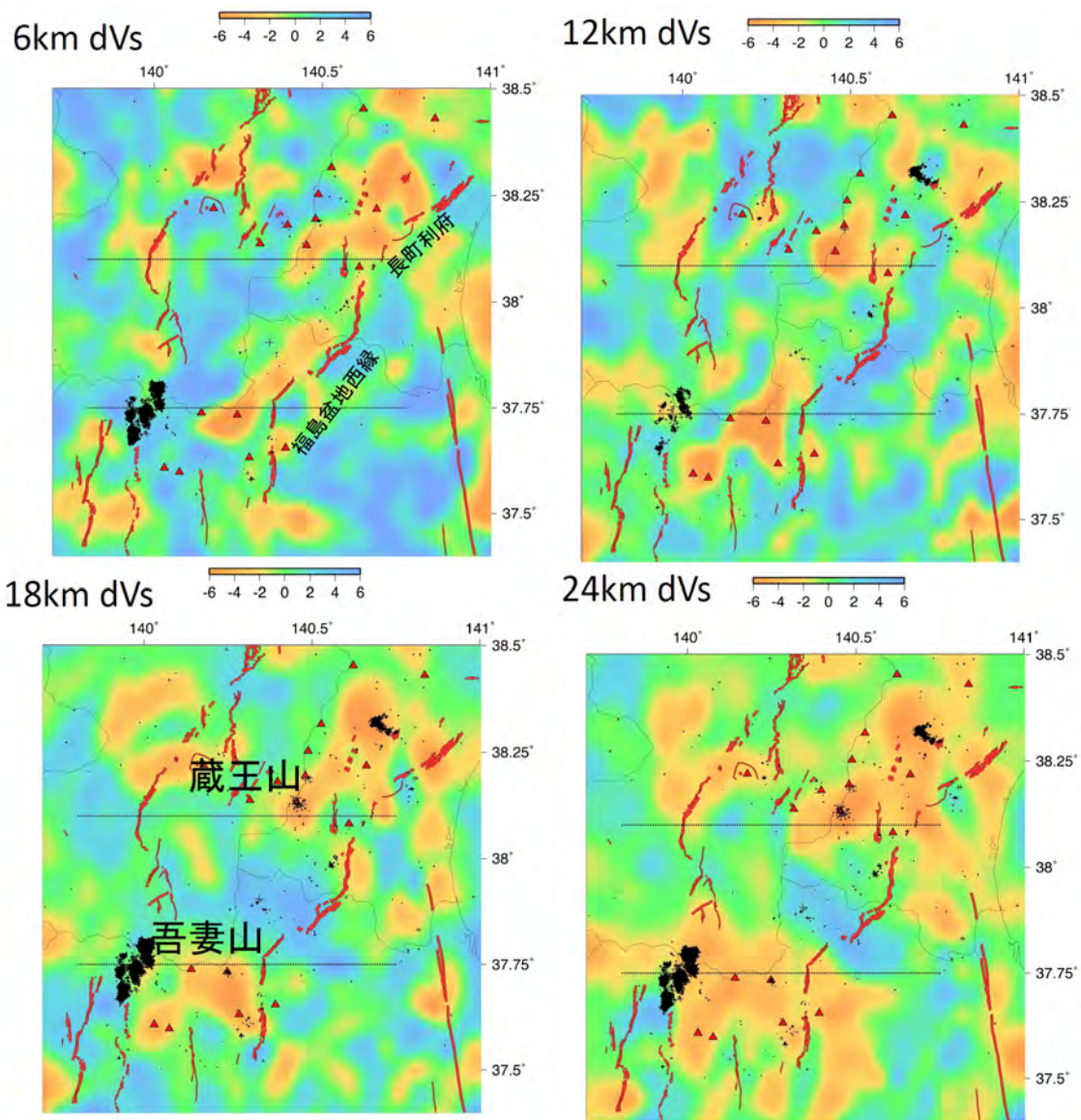


図1 . 地震波トモグラフィによって推定された宮城・福島県境付近の地殻内 S 波速度構造 .

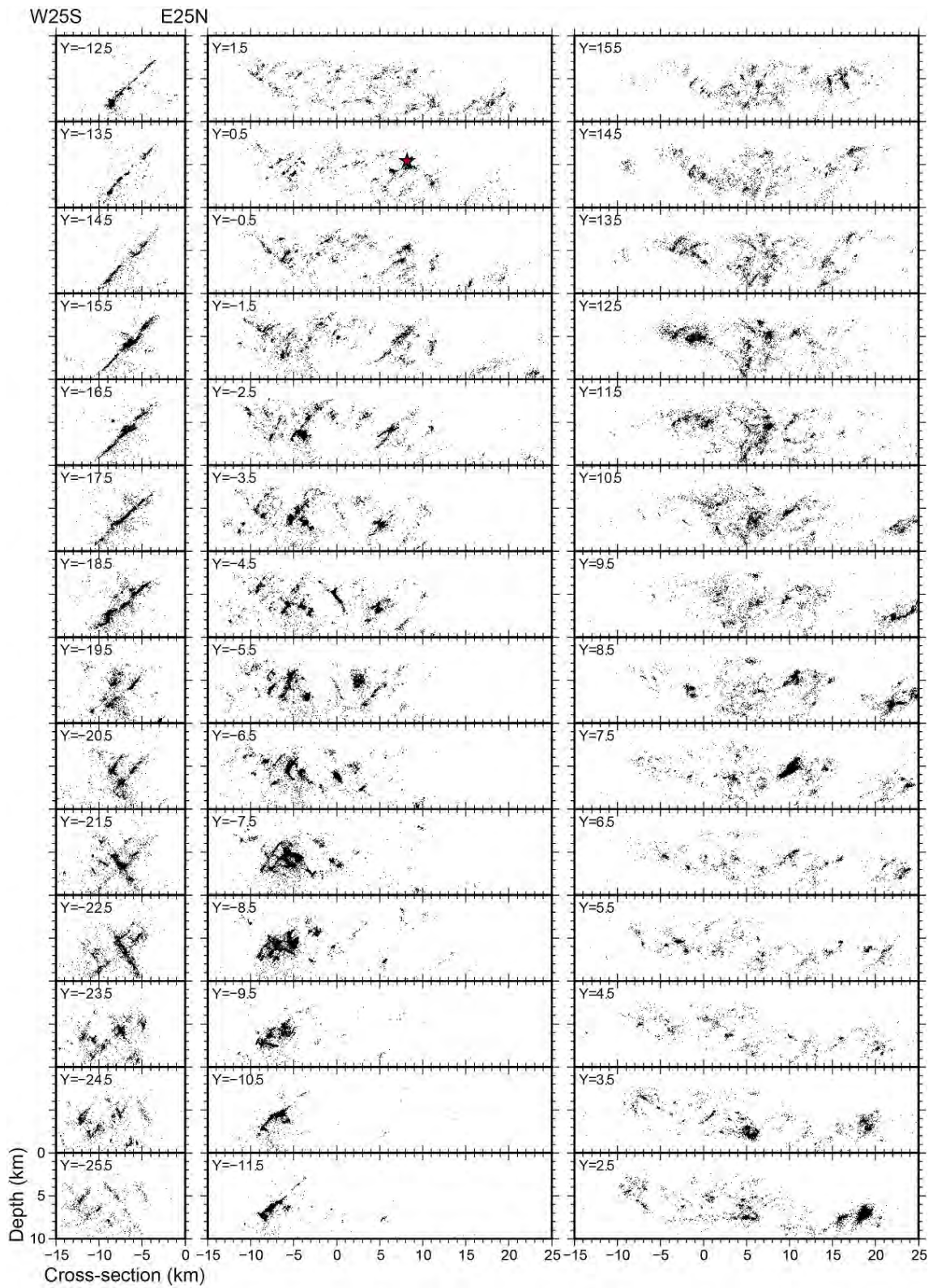


図 2 . 臨時観測のデータと DD 法によって推定された 2011 年福島県浜通り地震震源域付近の震源分布 .



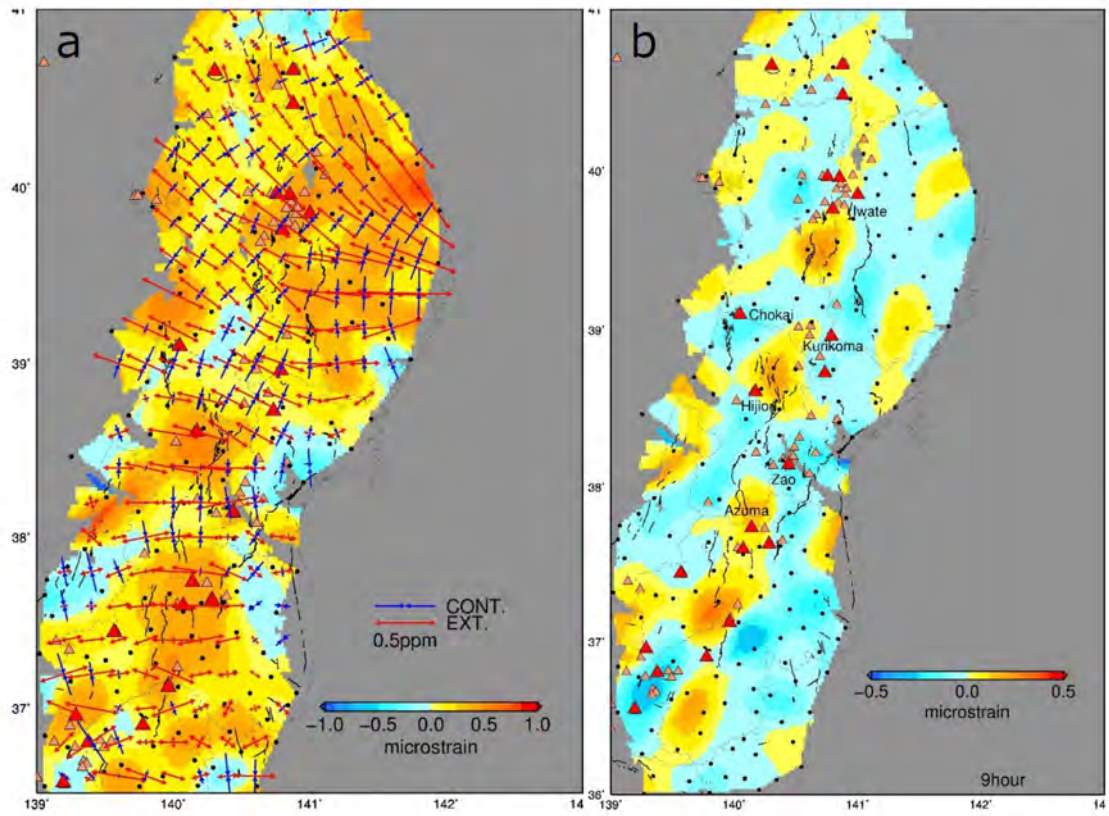


図3．東北沖地震発生直後9時間の歪分布(平田, 2015)。(a)余効変動を反映していると考えられる第1、3、4成分のみを用いて計算した面積歪と主歪の分布。(b)余効滑りの影響が支配的と考えられる第1成分を除き、第3、4成分のみで計算した面積歪分布。

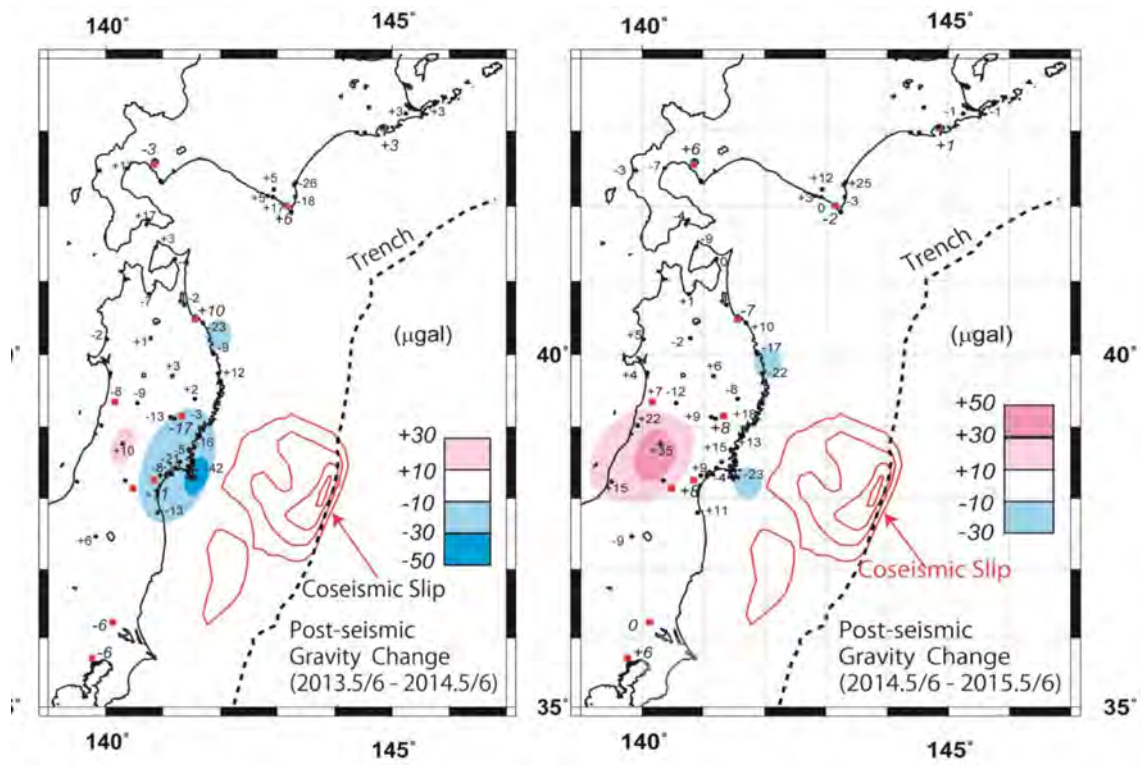


図4 . ハイブリッド重力観測によって推定された1年間の重力変動。  
 左図 : 2013年5/6月-2014年5/6月。右図 : 2014年5/6月-2015年5/6月。

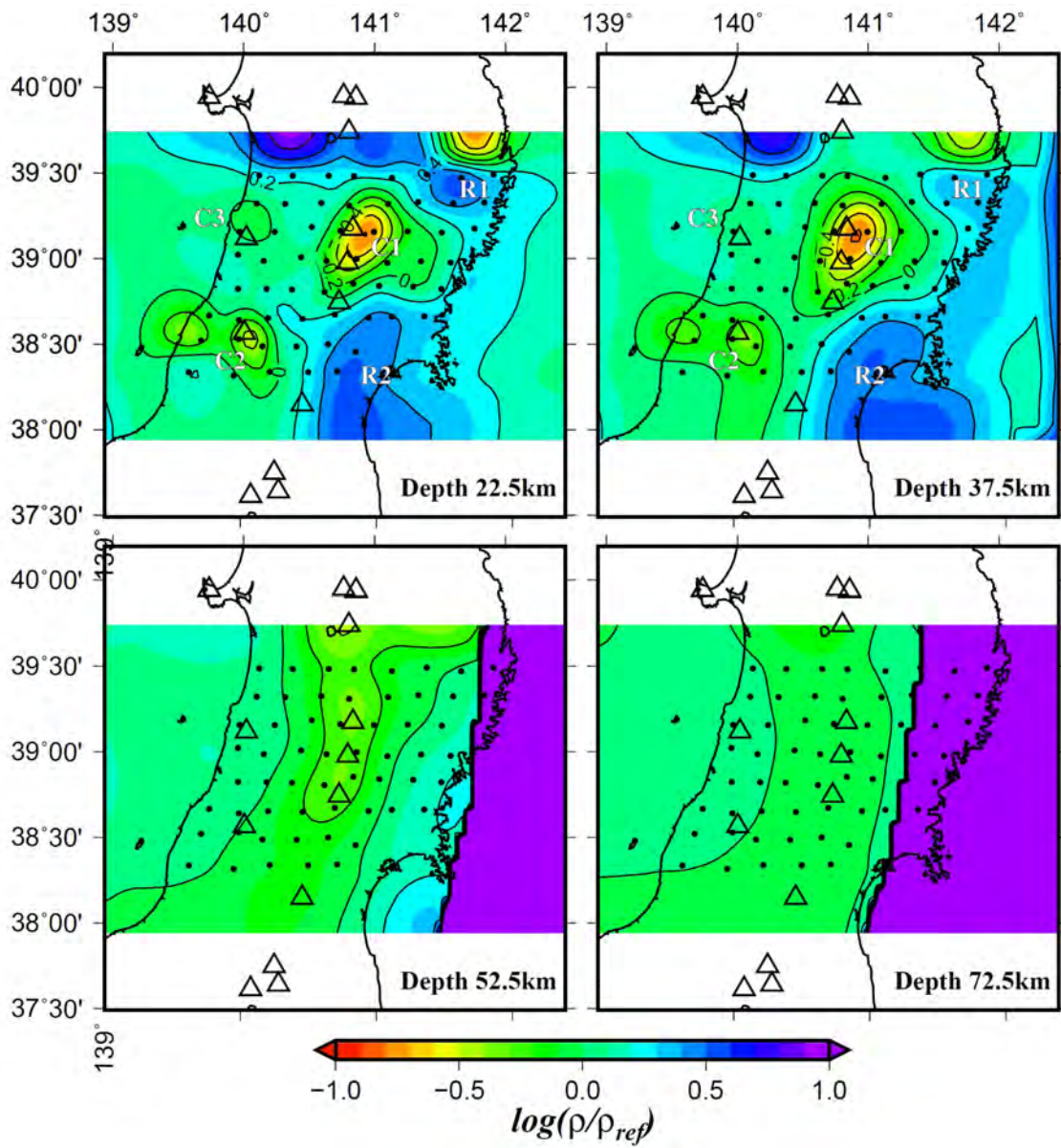


図5 . MT 観測によって推定された東北地方の地殻・上部マントルの比抵抗構造。

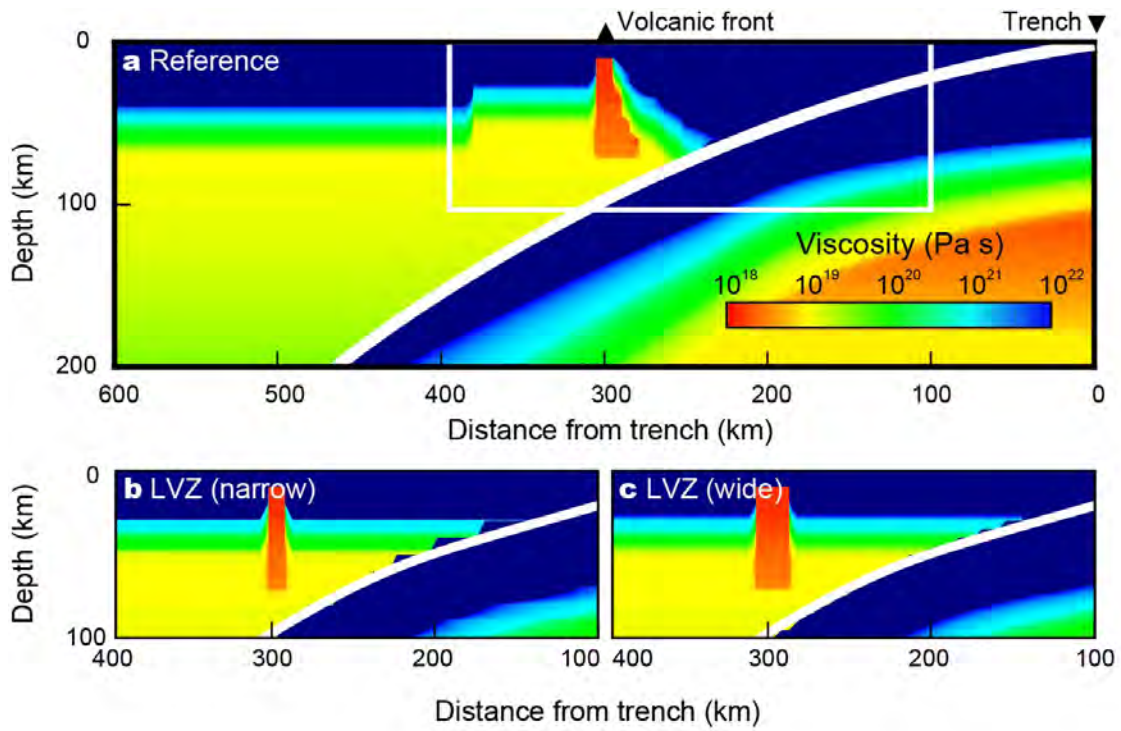


図6．本研究で推定した二次元粘弾性構造モデル。

(a) 最適モデル。(b) 火山直下の低粘性領域が狭いモデル（東西の低粘性領域幅 10km）、(c) 火山直下の低粘性領域が広いモデル（低粘性領域幅 30 km）。(a) の白枠は (b)、(c) の領域を示す。

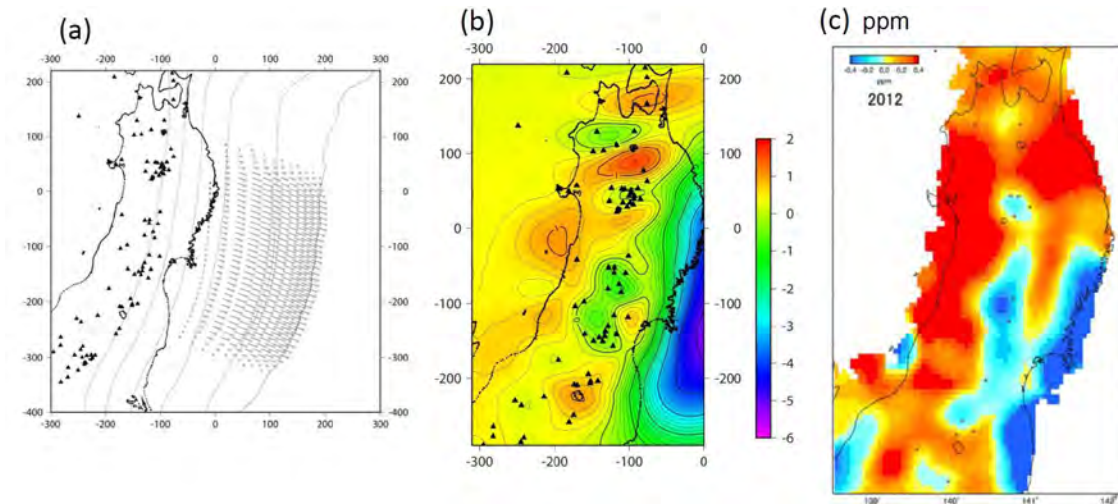


図7．東北沖地震後の内陸の歪異常のモデル化。

(a) 仮定した断層すべり分布。深さ 0-30km では 40m、30-50km では 40 m から 0m に線形に減少させている。ここでは地震時すべりのみならず余効すべりも考慮して広域にすべりを与えている。(b) モデルによって計算された、本震から 1 年後から 2 年後にかけての面積歪。(c) 観測された、2012 年の面積歪 ( Miura et al., 2014 )。

( 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 27 年度の成果の概要：

## 地震観測

常時微動トモグラフィ法により、鳴子火山・鬼首カルデラ付近の S 波浅部構造を推定した ( 図 1 ; Tamura and Okada, 2016 )。推定された地震波速度低速度域およびその周囲には地震活動や地震波反射面 ( 図中太線 ) が分布しており、マグマから分離した高压流体により、形成されたシルが地震波反射面として見られるとともに、地震活動を促進している可能性が考えられる。

## 電磁気観測

分子動力学 ( MD ) シミュレーションによって、塩水 ( NaCl aq ) の高温高压高濃度での電気伝導度の定量的な振る舞いを明らかにした ( 図 2 ; Sakuma and Ichiki, 2016b )。実験データが存在しない高温高压下での塩水の電気伝導度が MD シミュレーションから求められたことにより、地殻の地震発生域や断層帯の電気伝導度構造と今回の MD シミュレーション結果を比較することで、断層帯や地震発生域にどの程度の流体が存在するかを定量的に議論する足掛かりとなると期待される。

## 岩石の変形特性に及ぼす高間激水・フュガシティの効果

昨年度に引き続き、メルトを含まない斜長石 ( 合成アノサイト : 灰長石、地震研 平賀・小泉氏からの提供 ) 多結晶体を使用し、含水条件下での変形実験を行った。昨年度のせん断変形実験では、強度の低下とともに著しい歪局所化が認められたので、今年からは幾何学的に簡単な軸圧縮実験を行った。高密度合成多結晶体をディスク状に整形し、水を試料重さに対して、0.5wt % 滴下して実験を行った。強度を左右する ( 構成則は次スライド ) 水のフュガシティは圧力 ( と温度 ) の関数であるため、封圧 0.8-1.1GPa, 温度 900 , 歪速度  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$  で実験を行った。応力 - 歪曲線 ( 図 3 a ) から、dry 試料 ( 赤点線 ) に比べて、wet 試料 ( 青線 ) は顕著な弱化を示す。また同一試料でひずみ速度を変えた実験 ( Wet 1GPa の最も軸歪量の多い実験 ) では、同一条件にも関わらず変形量または変形時間が多いほど強度が低下した。一定歪速度 (  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$  ) では、ばらつきが大きい、強度は封圧 ( フュガシティ ) と共に下がるように見える ( 図 3 b )。ここでは与えた 0.5wt % の水により実験条件で試料中が水で飽和していると仮定して、水のフュガシティを計算している。本試料の変形機構は拡散クリープ・転位クリープのどちらが卓越するかはまだ不明だが、どちらであっても構成則 ( 黒実線 ) は本実験条件では圧力硬化を予測する。一方、実験結果はいずれの構成則より低い強度を示す。また同一条件でも変形量 ( 時間 ) の増加とともに強度が低下することも観察された。

図 3 b で見られた封圧 ( フュガシティ ) 強度の関係は、構成則における封圧項とフュガシティ項の関係によって決まる。封圧項は圧力の増加とともに、物質が熱活性で移動しにくくなることを示し、フュガシティ項はフュガシティの増加とともに物質が移動しやすくなることを示す。おそらくこの 2 項のバランスで、封圧 強度の関係は決まるが、本実験条件では、フュガシティが理想気体の圧力より大きく逸脱し増加する。ちなみに既存のガス圧試験機を使った実験では、フュガシティがそれほど大きくないため、レオロジー的にはあまり効かない領域を見ていると考えられる。本実験では封圧の増加とともに強度が下がること ( 図 3b ) から、構成則のフュガシティ項による軟化が封圧項による硬化を上回っている可能性を示唆する。

また一方で同一歪速度条件での比較では、実験時間とともに強度が低下することも見られた。これらは異なる封圧での結果も含むが、一定封圧で行われた結果からも、全く同一条件であっても実験時間 ( 変形量 ) が増加するにつれ強度が低下する可能性が示唆される。水と塑性強度の関係は、水が鉱物中に拡散することで、塑性変形を左右する点欠陥の濃度が増加し、塑性変形が促進すると考えられている ( 例えば、Mei and Kohlstedt, 2000 や Karato and Jung, 2003 など ) が、本結果は、実験条件下において、斜長石中への水の拡散は平衡状態に至っていない可能性を示唆する。つまり高压下では斜長石多結晶体中に水はもっと溶け込む可能性がある。

## CT 観察による地殻流体の実態の把握

弾性波速度から東北日本の下部地殻の流体量を見積もるためには、基準となる無水での正確な速度が必要となる。そこで、一ノ目湯産の苦鉄質捕獲岩 ( 下部地殻由来 ) 109 個を岩型分類し、全岩型から 28 試料を選択して構成鉱物比を決定した。岩石学的に推定される地温勾配に沿って、0.4, 0.6, 0.8 GPa での  $V_p$ ,  $V_s$  を Hacker and Abers (2004) に基づき計算した結果を示す。岩型により、 $V_p$  で 0.25-0.3

km/s,  $V_s$  で 0.4 km/s 程度の幅を持つ ( 図 4 )。一方、弾性波速度は、主に輝石と角閃石の量比、つまり輝石と水またはメルトが反応して角閃石を生じる反応の程度により支配されており、広域での系統的変化がなければ、トモグラフィの空間分解能では、岩型による弾性波速度のバラツキは平均化され、不確定性は小さくなる (  $< \sim 0.2$  km/s ) と推察される。

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

岩石中の炭質物の空中反射率 (  $R_a$  ) に基づく断層温度計を開発した。この温度計では温度 (  $T$  ) は  $T ( ) = 5800 R_a - 93$  で求められる ( 図 5 a )。この温度計は、数秒 ~ 数百秒間の被熱に対応可能で、炭質物の熟成の程度や被熱の  $T-t$  経路に依存せず、最高被熱温度のみに依存する。Sakaguchi et al. ( 2011 ) により報告された IODP NanTro SEIZE のコア中のメガスプレー断層とプレート境界断層の炭質物にこの温度計を適用した結果、これらの断層ではそれぞれ 350 と 310 の温度に到達したことが示された ( 図 5 b )。また、久礼メランジュ中のシュードタキライト近傍の炭質物への適用により、シュードタキライトメルトの注入は 1 秒以下の短時間であったと推定された。

チリ北部 Atacama 断層系 Bolfin 断層南端の、方解石と石英で充填された裂かとその周りの熱水変質の解析により、裂か先端の進展方向は北北西であり、その裂か中を浸透した流体の移動方向の側方成分もまた同方向であったことを明らかにした。変質鉱物組成と流体包有物の解析から、裂か中を浸透した流体は  $CaCl_2$  を主とする塩水であり、その温度は 330 程度で流体圧は 69 MPa 程度と見積られた。この条件で浸透流体が 340 から 330 に温度低下した場合に、裂かを方解石と石英で充填するために必要な流体量をシミュレートした結果、1 L の裂かスペースの充填には 86 kg の流体が必要であることが示された。従って、Bolfin 断層中軸部に向けて、膨大な量の流体が移動したことになる。

地熱流体と内陸地熱誘発地震

東北地方のカルデラ分布と地震震源情報ならびに重力探査データをコンパイルし、カルデラ内部での流体移動を意味していると考えられる震源の移動をとらえた。一方、重力データからカルデラ内の隆起帯と陥没帯を識別でき、これと地震震源データおよび MT 探査データとをカップリングすることにより、内陸地震の発生箇所とカルデラ内地形および、メルト上昇域、流体の移動経路との関係を明らかにすることができた。

断層面の不均質性と内陸地震の多様性の起源

封圧下での断層成長実験 ( Otsuki and Dilov, 2005 ) によれば、断層帯の形態は階層的に自己相似で、自己相似性を保って進化する。すなわち、図 6 のように、1、2、3 … と成長し ( 小進化 )、ついには元の 1 と相似だが階層ランクがひとつ上の 4 に至る ( 大進化 )。

断層トレースとすべり分布が良く調べられている世界の純粋な横ずれ地表地震断層 21 個の形態は、図 6 のいずれかに対応付けられることがわかった。しかも、どこに対応付けられるかは断層の長さには全く無関係である。このことは、自然の断層帯も階層的な自己相似性を保って進化していることの証拠である。

- ( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :
- Burenjargal, U., A. Okamoto, N. Tsuchiya, M. Uno, K. Horie, and T. Hokada, 2016, Contrasting geochemical signatures of Devonian and Permian granitoids from the Tseel terrane, SW Mongolia, *J. Geosci.*, accepted.
- Higashino, F., T. Kawakami, N. Tsuchiya, M. Satish-Kumar, M. Ishikawa, G.H. Grantham, S. Sakata, K. Hirata and T. Hirata, 2015, Geochemical behavior of zirconium during Cl-rich fluid or melt infiltration under upper amphibolite facies metamorphism - A case study from Brattnipene, Sor Rondane Mountains, East Antarctica, *J. Mineral. Petrol. Sci.*, 110, 166 -178, doi:10.2465/jmps.150220.
- Ishibashi, T., N. Watanabe, N. Hirano, A. Okamoto and N. Tsuchiya, 2015, Beyond-laboratory-scale prediction for channeling flows through subsurface rock fractures with heterogeneous aperture distributions revealed by laboratory evaluation, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 120, 106 -124, doi:10.1002/2014JB011555.
- Oyanagi, R., A. Okamoto, N. Hirano, and N. Tsuchiya, 2015, Competitive hydration and dehydration at



olivine-quartz boundary revealed by hydrothermal experiments: Implications for silica metasomatism at the crust-mantle boundary, Earth Planet. Sci. Lett., 425, 44-55, doi:10.1016/j.epsl.2015.05.046.

Sakuma, H., and M. Ichiki, 2016a, Density and isothermal compressibility of supercritical H<sub>2</sub>O-NaCl fluid: molecular dynamics study from 673 to 200 K, 0.2 to 2 GPa, and 0 to 22 wt% NaCl concentrations, Geofluids, 16, 89-102, doi:10.1111/gfl.12138.

Sakuma, H., and M. Ichiki, 2016b, Electrical conductivity of NaCl-H<sub>2</sub>O fluid in the crust, J. Geophys. Res. Solid Earth, 121, doi:10.1002/2015JB012219.

Tamura, J., and T. Okada, 2016, Ambient noise tomography in the Naruko/Onikobe volcanic area, NE Japan: implications for geofluids and seismic activity, Earth Planets Space, 68:5, doi:10.1186/s40623-016-0380-x.

土屋範芳, 2015, 大深度地熱貯留層, 配管技術, 57, 11-15.

Tsuchiya, N., R. Yamada, and M. Uno, 2016, Supercritical geothermal reservoir revealed by granite-porphyry system, Geothermics, accepted.

Yamasakia, S., A. Takeda, T. Watanabe, K. Tagami, S. Uchida, H. Takata, Y. Maejima, N. Kihou and N. Tsuchiya, 2015, Bromine and iodine in Japanese soils determined with polarizing energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry, Soil Sci. Plant Nutr., 61, 751-760, doi:10.1080/00380768.2015.1054773.

#### (10) 平成 28 年度実施計画の概要:

##### 地震観測

新学術領域科研費「地殻ダイナミクス」展開した臨時地震観測点によるデータを加えて、東北地方太平洋沖地震後に地震活動が活発化した領域において、震源・応力・地震波速度の時空間分布をさらに詳細に調べる。

##### 電磁気観測

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さらに詳細に推定し、地震活動域における比抵抗構造の特徴を抽出する。

##### 岩石の変形特性に及ぼす高間激水・フュガシティの効果

封圧(フュガシティ)と強度、拡散時間の関係を包括的に調べ、下部地殻レオロジーに対する水の効果をパラメータ化していく。

##### CT 観察による地殻流体の実態の把握

東北日本の下部地殻に関する知見は、一の目湯捕獲岩の長年にわたる研究によるところが大きく、火山性島弧断面の模式地ともなっている。H27 年度に一の目湯の下部地殻捕獲岩から初めてジルコンを発見し、国立科学博物館の谷健一郎博士との共同研究により年代測定を行っており、H28 年度はこれをさらに進める。これにより、捕獲岩の起源と捕獲岩が示す状況が何を意味するのかがより明確にできると期待される。

##### 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

H27 年度に開発した炭質物断層温度計を用いて、過去の地震性断層の摩擦発熱を解析する。H<sub>2</sub>O-NaCl 系流体の高温高圧における見かけの誘電率解析のための実験・分析を行い、誘電率の温度・圧力・塩濃度依存性を明らかにする。

##### 地熱流体と内陸地熱誘発地震

東北地方のカルデラについて、地震震源データ、重力データ、MT データ、温泉分布データ(同位体データを含む) 地温勾配データなどをより詳細に集積して、GIS 上でコンパイルを進めて、内陸地震と流体の関係についてより詳細に検討を進める。

##### 断層面の不均質性と内陸地震の多様性の起源

Otsuki (2007) による表面破壊エネルギーのサイズ依存性と、断層帯の階層的自己相似性に由来する断層長と平均すべり量との非線形関係を統合することを試みる。

( 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・市来雅啓・矢部康男・山本希・高木涼太・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

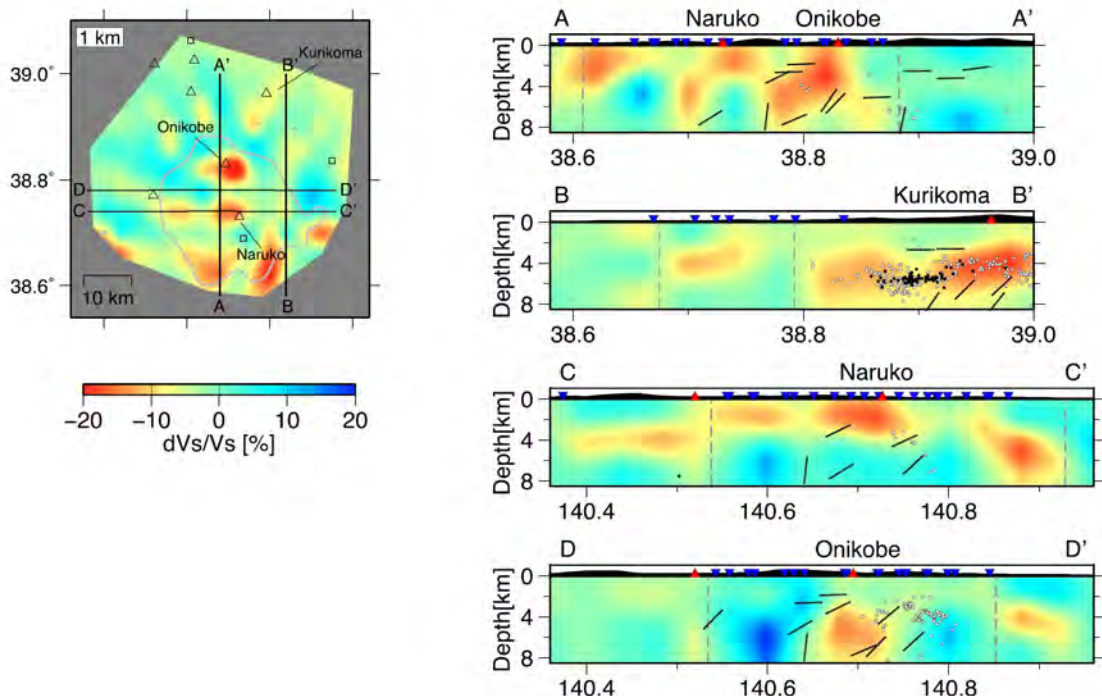


図 1 . 常時微動トモグラフィによって推定された鳴子火山・鬼首カルデラ付近の S 波速度構造 ( Tamura and Okada, 2016 )

黒線は Horii et al. (2004) による S 波反射面を表す。

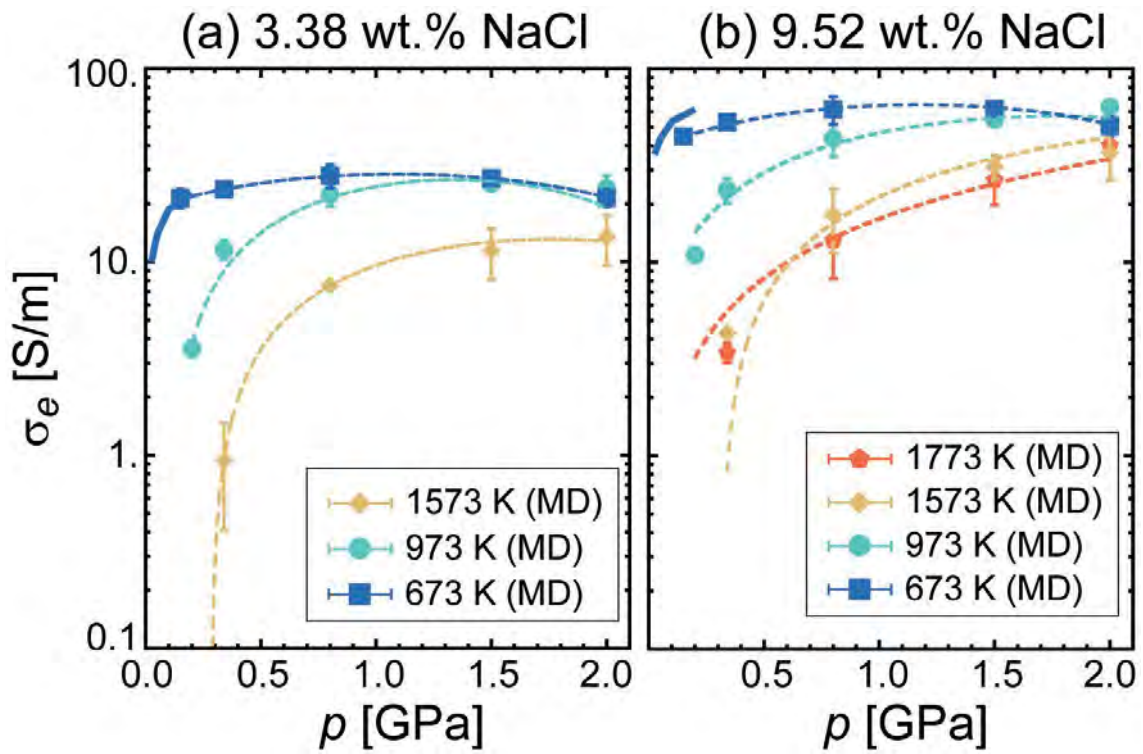


図 2 . 分子動力学 ( MD ) シミュレーションによって推定された、塩水の高温高压高濃度での電気伝導度 ( Sakuma and Ichiki, 2016b )

シンボルと誤差棒はそれぞれ MD シミュレーションによって得られた電気伝導度の平均と標準偏差を表す。このシミュレーションで得られた電気伝導度を経験式でフィッティングした結果と、Bannard ( 1975 ) による実験結果に基づく値を、破線と実線でそれぞれ示す。

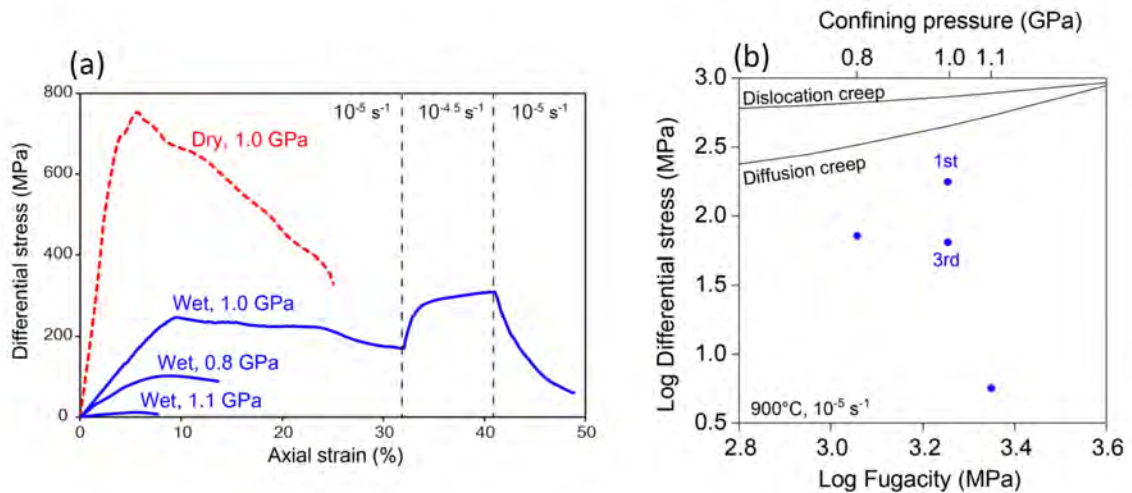


図 3 . 固体圧試験機を用いた下部地殻構成鉱物の含水軸圧縮実験の結果。

試料としてメルトなしアノーサイト多結晶体を用い、Wet 条件では試料に対して 0.5 wt% の水を付加した。(a) 応力-歪曲線。(b) フュガシティ ( 封圧 ) と強度 ( 差応力 ) の関係。黒実線は、Rybacki et al. (2006 ; ガス圧試験機を用いた実験) による wet アノーサイトの变形実験から得られた構成則を用いて計算した強度 - フュガシティ ( 封圧 ) の予測線を示す。図 3b の 1st - 3rd のデータは、図 3 a の Wet, 1.0 GPa の 1st - 3rd の变形に対応する。

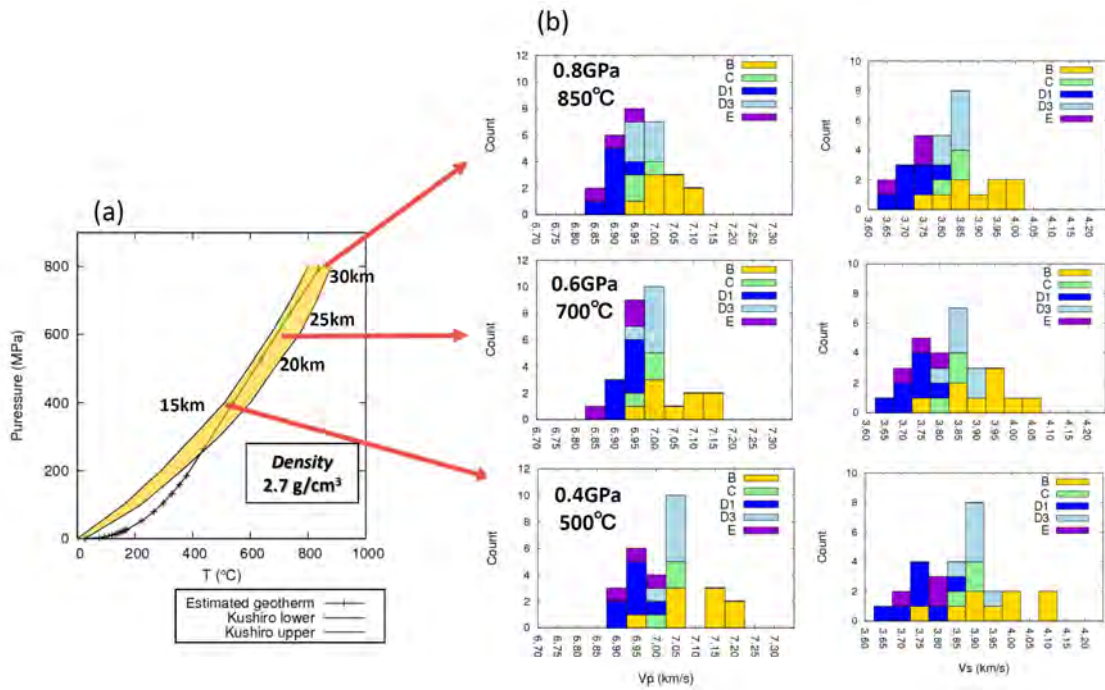


図4．無水岩石の地震波速度の推定。

(a) 用いた地温勾配モデル。深さ 6km までは日本で観測された地温勾配の平均値 (Tanaka et al. 1999) を使用し、それ以深は 20 /km の勾配を仮定している。Kushiro (1987) で提案された岩石学的な地温勾配は温度幅を持っており、ここでは黄色の領域として参考までに示す。(b) Hacker and Abers (2004) を用いて推定された無水の岩石の弾性波速度。斜長石は Ca 端成分、黒雲母は Mg 端成分、輝石は Mg 端成分 (En, Di) として計算し、アパタイトは計算に含めていない。色は鉱物組成による岩の分類を示す ( B=Py+Amph+Plg; C: Amph+Plg; D: Amph+Plg+Ap; E: Amph+Plg+Ap+Zr )

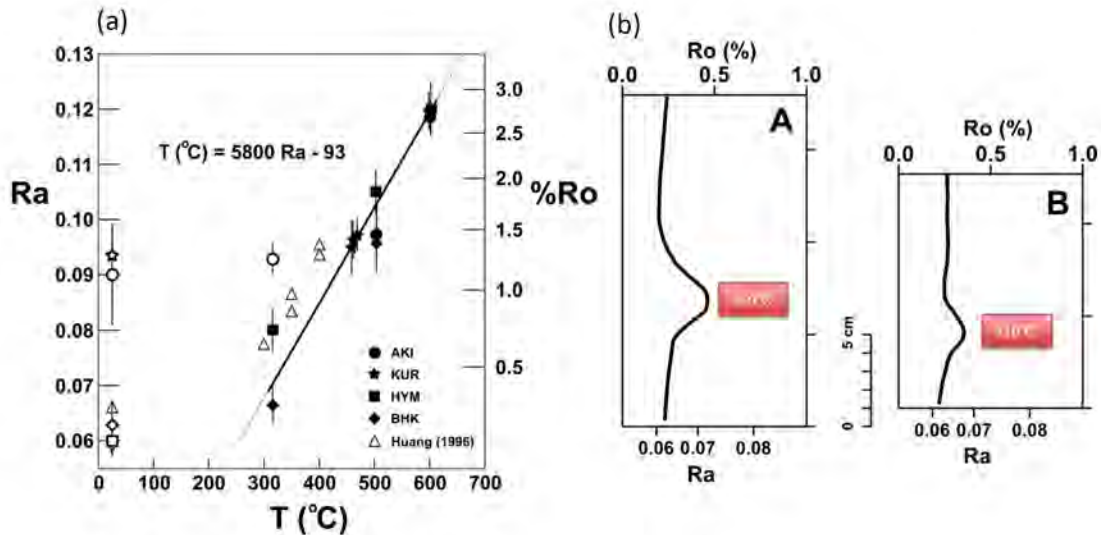


図5．岩石中の炭質物の空中反射率 ( Ra ) に基づく断層温度計とその適用例。

(a) 加熱温度と生成炭質物の空中反射率 ( Ra ) の関係。黒塗りシンボルのデータから推定された回帰直線を実線で示す。(b) Sakaguchi et al. ( 2011 ) により報告された IODP NanTro SEIZE のコア中のメガスプレー断層 (A) とプレート境界断層 (B) でのボーリングコアの Ra の分布。

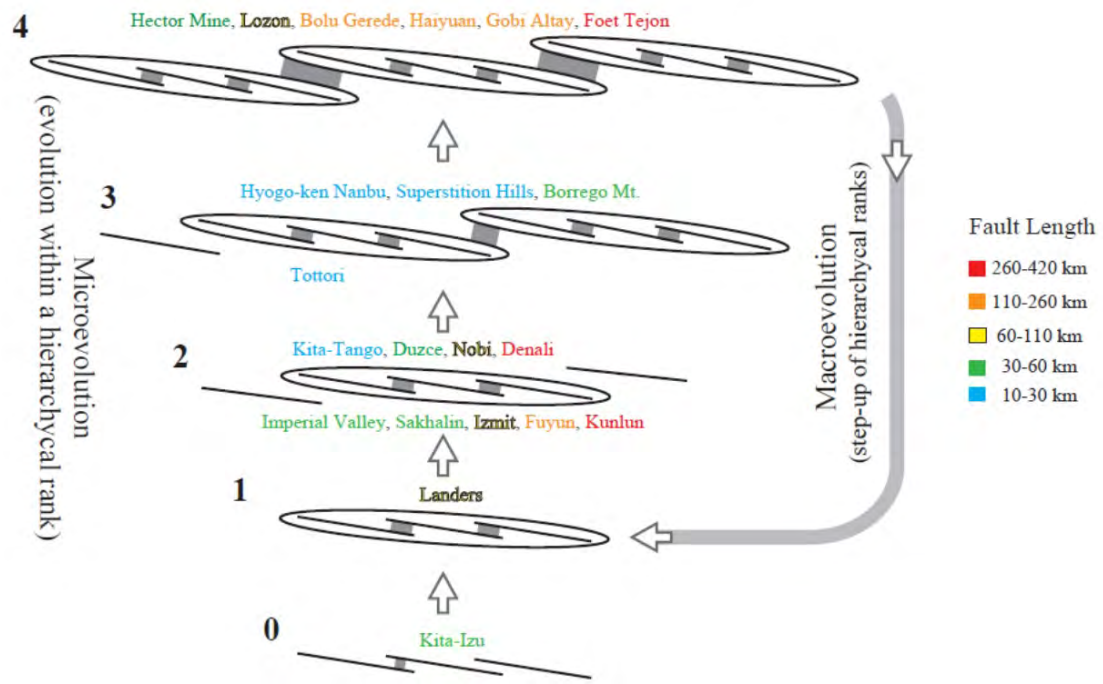


図6 . 断層帯の階層的自己相似性。  
地震断層の名称の色は断層の長さを表す。

( 1 ) 実施機関名：

東北大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

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 27 年度の成果の概要：

目標 1 について、霧島火山新燃岳 2011 年噴火噴出物の研究において、火道浅部での噴火様式の相違に対応して、サブミクロンサイズの石基結晶(ナノライト)の結晶化条件が異なることを H26 年度に見出したが、このような微細な結晶は鉱物学的な記載がほとんどなく、詳しい固溶体組成や結晶系は未解明のままであった。そこで、今年度は、まず高空間分解能での化学組成の半定量分析手法を確立し、また透過型電子顕微鏡により空間群を決定した。その結果、Fe-Ti 酸化物ナノライトの鉱物の鉱物相は磁鉄鉱、と輝石ナノライトはピジョン輝石・普通輝石・サブカルシック普通輝石と決定できた。これにより、ナノライトの結晶作用の物理化学条件がより明確に特徴づけられるようになった(無尽ほか、2015 年 JpGU)。

また記載的な研究と平行して、火道浅部を再現した低压高温下での過冷却メルトの結晶化実験を開始した(河村ほか、2015 年日本火山学会秋季大会)。出発物質として、マイクロライトがほとんど晶出していない安山岩質の桜島大正軽石を用い、シリカガラスチューブ法により、温度 1000℃、水蒸気圧 0~6 MPa、時間 3 min~168 h での実験を行った。その結果、斜長石、単斜輝石、斜方輝石、磁鉄鉱ナノライトの晶出を再現できた。斜長石において、結晶形態の多様性が顕著に見られ、平板状、中空状、H 状、紐状、樹枝状、放射状等の形態が確認できた。またわずか 6 MPa の水蒸気圧の違いで、結晶形態や結晶化度に有意な差が生ずることが見出され、火道浅部条件でのマグマの状態の indicator となる可能性が示された。

目標 2 について、噴出物中に見られるこのようなナノライトの違いを、時間がかかる結晶サイズ分布(CSD)測定を行わずに、より簡便に検出するため、火砕物の帯磁率の利用を検討した(菅谷ほか、2015 年日本火山学会秋季大会)。これにより、火山噴火の物質科学的な準リアルタイム予測に帯磁率を用いることができる可能性が示された。

目標 3 について、メルトフォームの組織緩和実験とそのブルカノ式噴火機構への応用に関する下記(9)の論文が出版された。本論文では、安山岩質発泡マグマの加熱実験を行い、表面張力によるガス浸透性の変化過程を明らかにした(図 1)。実験の結果、形状緩和は数分という短時間で進行し、微視的には気泡の連結性が低下して低浸透性な構造をとるとともに、巨視的には、そのような緩和ユニットの隙間に脱ガス通路が形成された。本研究で得られた発泡組織の進化から、ブルカノ式噴火の火道内増圧過程は次のように進行すると考えられる。はじめ、火道を上昇してきた直後の発泡マグマは流動変形の効果で高浸透性を持つと考えられる。マグマは流動を停止すると、数分のタイムスケールで表面張力によって微小領域で圧密しつつ、圧密ユニット間に脱ガス通路を形成する。その後、重力による圧密で脱ガス通路は数十分~数時間で塞がり、マグマが急激に低浸透性になること(蓋の形成)で火道内増圧が開始し、ブルカノ式爆発に至ると考えられる。

(9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Otsuki, S., M. Nakamura, S. Okumura, and O. Sasaki (2015), Interfacial tension-driven relaxation of magma foam: An experimental study, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, 7403-7424, doi:10.1002/2015JB012391.

(10) 平成 28 年度実施計画の概要：

平成 28 年度は、石基ナノライトの高倍率観察と、低水蒸気圧下での石基結晶化実験に基づく、火道浅部プロセスのモデル化を進める。結晶化実験では、温度・結晶化時間・水蒸気圧などの条件を変えた対照実験を追加し、幅広い噴火事例に応用を可能とする。また帯磁率による迅速な石基結晶度評価法の開発を進める。帯磁率の、火山ごと、噴火ごとの相違、噴火様式による相違やマグマ噴出の時期による変化など、全体像を掴む。

(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  
山形大学理学部地球環境学科 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

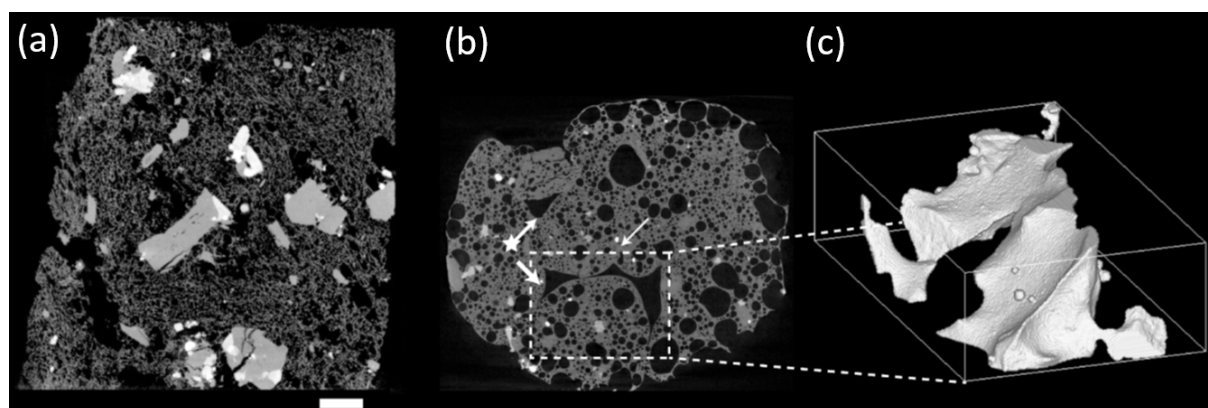


図 1

安山岩質軽石の出発物質 (a) と、水蒸気圧 0.077 MPa, 1000 で 2 時間加熱後の実験産物 (b) の X 線 CT スライス像。出発物質の不均質により複数の緩和ユニットが形成され、その隙間に 3 次的に連結した脱ガス通路が形成される (c)。スケール：1 mm.



( 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27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

2014年長野県北部地震は兵庫県南部地震後に初めて発生した主要活断層沿いの地震であったが、固有地震モデルによる評価よりも顕著に小さいものであった（M6.7, Mw6.2）。同地震では神城断層の約3分の1の区間（9km）が動き、地表での最大上下変位量は90cmであった（Okada et al., 2015; 石村ほか, 2015, 図1a）。この理由を探るため、変動地形の再判読、航空レーザ計測による差分解析、ボーリング・トレンチ調査研究を実施してきた（一部は文部科学省重点調査による）。その結果、神城断層での1つ前の地震は、わずか300年前の1714年小谷地震である可能性が高まった（図1b）。当初考えられていた1500年前後の活動間隔よりも極端に短い。また、糸静線の他の断層の古地震データを見直したところ、活動間隔や破壊長の大きなゆらぎがあることがわかった。本課題の主要目標である「地震活動による地震サイクルの解明」のためには、地震規模や活動間隔の非一様性や地震サイクルの有

無や定義などを、あらためて検討する必要がある。

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を行っている。今年度は、2007年12月に Mponeng 金鉱山内で発生した Mw2.2 の地震の震源域で、その震源断層面上で明瞭な前震活動を捉えることに成功した。地震発生から6ヵ月前から、いくつかのクラスターとして極小地震 (AE) 活動が観測されており、一部のクラスターの活動が本震発生直前に加速的に活発化したことがわかった (図2)。また、Cooke4 鉱山で実施した微小地震観測では、M-4 級のきわめて小さな繰り返し地震が多数見出された。円形クラックモデルを適用して評価した破壊サイズは直径 5 cm 程度ときわめて小さいが、それらの位置は良く重なっている。これらの極小繰り返し地震は、プレート境界で発生している小繰り返し地震と同様に、周囲の非地震性すべりによってアスペリティが載荷され、繰り返し破壊される現象と考えられる。ただしプレート境界で観察されるスケール則 (Nadeau and Johnson, 1998) に比べて、単位クリープ量に比較して発生回数が非常に多いという特徴がある (図3)。内陸活断層等で同様の現象が起こっていれば、このようなきわめてゆっくりとしたクリープを短時間で検知できる可能性があり、活断層のモニタリングに展開できる。

## 2. 地震カタログの整備と余震活動詳細解析

活発な群発地震活動や余震活動中には、大量の地震が同時に発生するため、複数の地震の波形が同時刻に重なって観測点に到達する。そのため、地震活動を正確に把握するためには、テン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。成果事例の1つとして、2014年4月チリ北部 Iquique 地震 (M8.1) の前震活動があげられる。同地震では、2008年から2014年までの波形データと USGS 地震カタログを用いて本震発生までの地震活動解析を実施した。その結果、本震発生から約270日前から、地震活動度、繰り返し地震から推定される非地震性滑り量、ETAS モデル (Epidemic Type Aftershock Sequence model, Ogata, JASA, 1988) の常時地震活動が間欠的に増加し始め、その増分も時間とともに大きくなり本震発生に至ったことが明らかとなった (図4)。また、震源移動現象の発生頻度も本震発生に向かって増加する傾向が見られた。地震性すべりに加えて非地震性すべりもプレート境界面上で進行し、本震破壊領域の端で固着が間欠的に緩み破壊域への応力集中が生じたことで本震の発生が促進されたと考えられる。

一方、地震予測を行うにあたっては結果を客観的に評価することが不可欠であるが、アルゴリズムや予測の経験が発展途上であるため、確率の数値予測を出すことが難しく、多くが警告型の予測 (二値予測) となる。本課題では、これらの警告型予測を評価する手法として、あらたにギャンブルスコア法を開発し、その有用性をとりまとめた (庄・尾形, 2015)。また、ETAS モデルの、推定モデルによる予測データと元のデータを比較し、その外れ度合いをみる残渣解析に重み付け尤度関数を採用し、時空間に適用した。これによって、日本列島の地震活動の特徴的变化を見出した (Zhuang, J., 2015, 図5)。ETAS モデルについては、GUIにより直感的に操作しながら解析できるソフトウェア XETAS を開発した (Tsuruoka and Ogata, 2015)。

## 3. 静穏化検出と地殻変動

巨大地震前の地震活動変化を調べるために、ISC の地震カタログから 1964年1月から2012年6月までに千島海溝、日本海溝および琉球海溝沿いに発生した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 (勝俣, 投稿準備中)。その結果、10年以上継続する長期静穏化が11回観測され、その内3回は地震モーメント  $M_0 = 3.0 \times 10^{21} \text{ Nm}$  (Mw=8.25) 以上の巨大地震に先行する変化であった。特に、2011年東北地方太平洋沖地震では、2002年頃開始した長期的 SSE (Yokota and Koketsu, 2015) と静穏化領域がほぼ同じ場所であることから、両者が密接に関連していると考えられる (図6)。

一方、静穏化検出のためには、余震・群発地震を含めた標準的地震活動の精密化が重要である。そのために、応力変化と摩擦構成則に基づく地震活動モデル (Dieterich, 1994, 以下、Dieterich モデル) を、ETAS モデルのように「全ての地震が余震を引き起こす」という仮定を取り入れられるように改良した (Iwata, 2016)。Dieterich モデルにおいて、各地震による CFF は M にのみ依存すると仮定し、

実際の2つの余震系列(2004年新潟県中越地震および1995年兵庫県南部地震の余震活動)へ適用した。例えば、本震発生時からの累積発生数で見ると、従来からよく用いられている本震のみによるCFFを取り入れたモデル(図7の緑線)に比べて、改良Dieterichモデル(赤線)の方が、現実の余震活動(紫線)に大きく近づいており、フィッティングが改善された。地震活動度(発生レート)で見ても、同様の改善が見られた。さらに、モデルの良し悪しを示すAICに基づく統計的なモデル比較でも、AICが小さくなり、明らかに「改良」の効果が有意となった。しかしながら、未だETASモデルには及ばず、さらなる改善が必要である。現在、この改良DieterichモデルとETASモデルを混合した地震活動モデルの開発を進めている。

真の地震活動の静穏化を検出し、地震発生の物理を理解するためには、地震活動の応力応答を調べる必要がある。石辺ほかは、2004年スマトラ沖地震・2010年チリ地震・2011年東北沖地震にともなう常時地震・余震のメカニズム節面へのクーロン応力変化(CFF)を計算し、それらの時系列変化を調べた(図8)。その結果、3地震ともCFFが正の割合が本震後に増加していること、ならびに本震前にはほぼ0barであったCFFの中央値が、本震後には正の値を示し、時間経過と共に徐々に減衰する傾向にあることを見出した。ただし、減衰速度は地震毎に特徴があり、スマトラ沖・チリ地震が1~2年程度でもとに戻ったのに対し、東北沖地震では5年以上高い状態が継続している。

- (9)平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
- Cattania, C., S. Hainzl, L. Wang, B. Enescu, and F. Roth, 2015, Aftershock triggering by postseismic stresses: a study based on Coulomb-Rate-and-State models, *J. Geophys. Res.*, 120, 4, 2388-2407, doi:10.1002/2014JB011500.
- Chen, S., C. Jiang, and J. Zhuang, 2015, Statistical Evaluation of Efficiency and Possibility of Earthquake Predictions with Gravity Field Variation and its Analytic Signal in Western China, *Pure and Applied Geophysics*, 173, 305-319, doi:10.1007/s00024-015-1114-x.
- Chu, A. and J. Zhuang, 2016, Multiple Linear Regression Analyses on the Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. In *Rock Anisotropy, Fracture and Earthquake Assessment*, edited by Y.-G. Li., 219-237. (In press)
- Enescu, B., T. Shibutani, K. Ito, S. Ohmi, and H. Wada, 2015, Seismic activity and one-dimensional velocity structure along the Atotsugawa fault, from precise hypocenter relocations, *Earth Evolution Sciences*, 9, 5-14.
- Gardonio, B., D. Marsan, O. Lengline, B. Enescu, M. Bouchon, and J.-L. Got, 2015, Changes in seismicity and stress loading on subduction faults in the Kanto region, Japan, 2011 - 2014, *J. Geophys. Res.*, 120, 4, 2616-2626, doi:10.1002/2014JB011798.
- Guo, Y., J. Zhuang, and S. Zhou, 2015, An improved space-time ETAS model for inverting the rupture geometry from seismicity triggering, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120, 3309-3323, doi:10.1002/2015JB011979.
- Guo, Y., J. Zhuang, and S. Zhou, 2015, A hypocentral version of the space-time ETAS model, *Geophysical Journal International*, 203, 366-372, doi:10.1093/gji/ggv319.
- Heidarzadeh, M., S. Murotani, K. Satake, T. Ishibe, A. R. Gusman, 2016, Source model of the 16 September 2015 Illapel, Chile Mw 8.4 earthquake based on teleseismic and tsunami data, *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1002/2015GL067297
- Huang, Q., M. Gestenberger, and J. Zhuang, 2016, Current Challenges in Statistical Seismology, *Pure and Applied Geophysics*, 173, 1-3, doi:10.1007/s00024-015-1222-7.
- Ishibe, T., K. Satake, S. Sakai, K. Shimazaki, H. Tsuruoka, Y. Yokota, S. Nakagawa, and N. Hirata, 2015, Correlation between Coulomb stress imparted by the 2011 Tohoku-Oki earthquake and seismicity rate change in Kanto, Japan, *Geophys. J. Int.*, 201, 112-134, doi:10.1093/gji/ggv001.
- 石村大輔・岡田真介・丹羽雄一・遠田晋次, 2015, 2014年11月22日長野県北部の地震(Mw6.2)に

- よって出現した神城断層沿いの地表地震断層の分布と性状，活断層研究，43，95-107 .
- 岩田貴樹，2015，地球潮汐と地震活動との相関を用いた地震活動予測，統計数理，63，129-144.
- Iwata, T., 2016, A variety of aftershock decays in the Rate- and State-Friction Model Due to the Effect of Secondary Aftershocks: Implications Derived from an Analysis of Real Aftershock Sequences, Pure and Applied Geophysics, 173, 21-33.
- Kato, A., T. Terakawa, Y. Yamanaka, Y. Maeda, S. Horikawa, K. Matsuhira and T. Okuda, 2015, Preparatory and precursory processes leading up to the 2014 phreatic eruption of Mount Ontake, Japan, Earth Planets Space, 67, 111, doi:10.1186/s40623-015-0288-x.
- Moriya, H., M. Naoi, M. Nakatani, G. van Aswegen, O. Murakami, T., Kgarume, A. K. Ward, R. J. Durrheim, J. Philipp, Y. Yabe, H. Kawakata, and H. Ogasawara, 2015, Delineation of large localized damage structures forming ahead of an active mining front by using advanced acoustic emission mapping techniques, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 79, 157-165, doi: 10.1016/j.ijrmms.2015.08.018.
- Naoi, M., M. Nakatani, T. Igarashi, K. Otsuki, Y. Yabe, T., Kgarume, O. Murakami, T. Masakale, L. Ribeiro, A. Ward, H. Moriya, H., Kawakata, S. Nakao, R. Durrheim, H. Ogasawara, 2015, Unexpectedly frequent occurrence of very small repeating earthquakes (5.1 <math>M\_w</math> 3.6) in a South African gold mine: implications for monitoring intraplate faults, J. Geophys. Res., 120, 8478-8493, doi: 10.1002/2015JB012447.
- Okada, S., D. Ishimura, Y. Niwa, and S. Toda, 2015, The first surface-rupturing earthquake in 20 years on a HERP active fault is not 'characteristic.' The 2014  $M_w=6.2$  Nagano event along the northern Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, Seismol. Res. Lett., 86, 1287-1300, doi: 10.1785/0220150052.
- Toda, S., and R. S. Stein, 2015, 2014  $M_w$  6.0 South Napa earthquake triggered exotic seismic clusters near several major faults, Seismol. Res. Lett., doi: 10.1785/0220150102.
- Tsuruoka, H. and Y. Ogata, 2015, Development of Seismicity Analysis software: TSEIS - ETAS module implementation -, Abstract of the 9th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei9) in Potsdam.
- Yabe, Y., M. Nakatani, M. Naoi, J. Philipp, C. Janssen, T. Watanabe, T. Katsura, H. Kawakata, D. Georg, and H. Ogasawara, 2015, Nucleation process of an  $M_2$  earthquake in a deep gold mine in South Africa inferred from on-fault foreshock activity, J. Geophys. Res., 120, 5574-5594, doi:10.1002/2014JB011680.
- Yagi, Y., R. Okuwaki, B. Enescu and Y. Fukahata, 2015, Unusual low-angle normal fault earthquakes after the 2011 Tohoku-oki megathrust earthquake, Earth, Planets and Space, 67:100, doi: 10.1186/s40623-015-0271-6.
- Zhuang, J., 2015, Weighted likelihood estimators for point processes, Spatial Statistics, 14, 166-178, doi: 10.1016/j.spasta.2015.07.009.
- 庄 建倉, 尾形良彦, 2015, 地震予測の評価法について, 統計数理, 63, 29-44.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

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、震源データを統合作業を進める。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。本年度は 2 ヶ月分のデータを用いて極小繰り返し地震の探索を行ったが、平成 28 年度は解析期間を 14 ヶ月分に延ばす。2 ヶ月の場合と同じペースで繰り返し地震が発生していれば、数十回もの繰り返しを観察できる。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施し、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、2014年長野県北部地震の稠密余震観測網(約150点)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。

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、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。また、静穏化検出のための余震・群発地震などの標準的地震活動の精密化を行うため、引き続き摩擦構成則とETASの混合モデルの実データへの適用と改良を進める。さらに、ETASモデルについても、本震と余震のメカニズム解の関係解明に資するため、メカニズム解を考慮したバージョンの開発に取り組む。

(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 Jianchang)、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

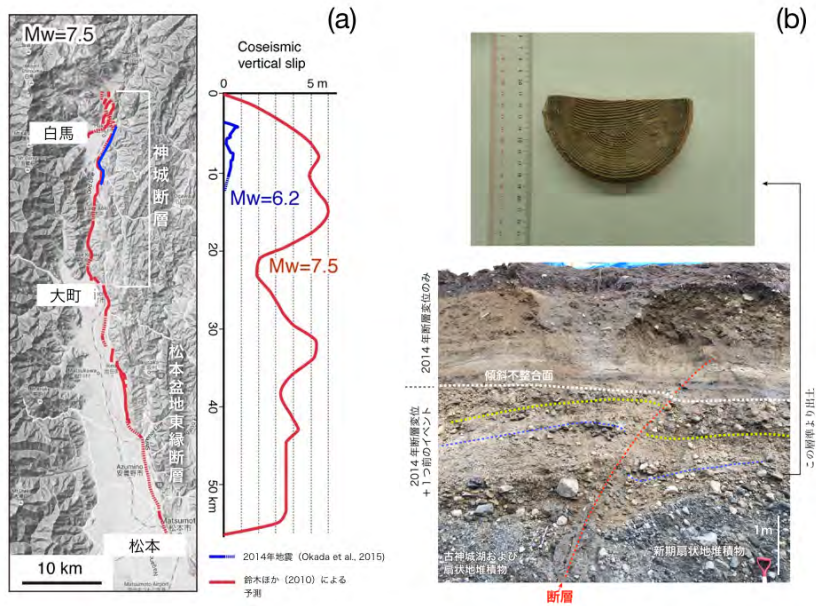


図 1

(a) 2014 年長野県北部の地震の地震断層（青線，Okada et al., 2015）と糸魚川 - 静岡構造線活断層帯北部の神城断層と松本盆地東縁断層（赤線，鈴木ほか，2010）。糸静線北部全域の活動により Mw=7.5 地震が想定されていたが、2014 年地震では、神城断層の一部しか活動しなかった。(b) 2014 年地震に先行する地震イベント層準とイベント層準直下の砂礫層より出土した江戸時代頃の皿の破片。1714 年小谷地震が神城断層の 1 つ前の活動と推定される。

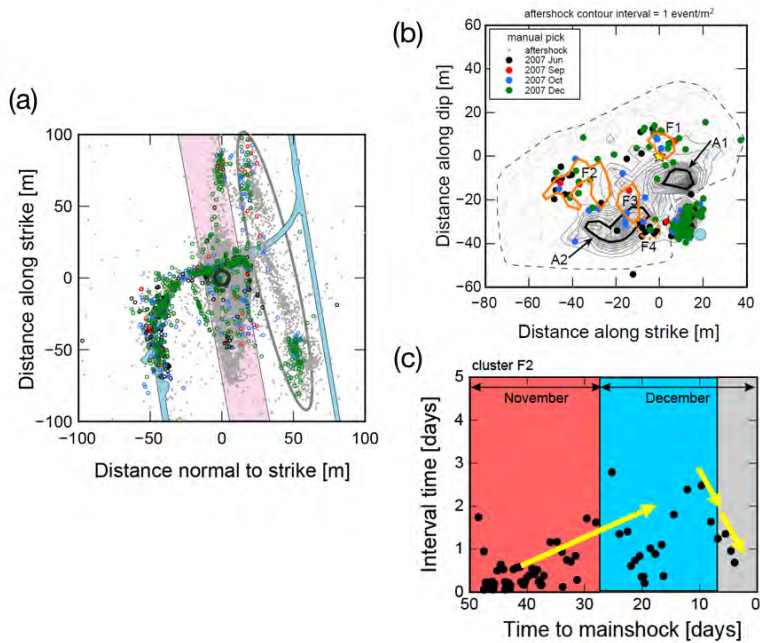


図 2

南アフリカ金鉾山の Mw2.2 地震前に発生した前震活動（Yabe et al., 2015）。(a) 平面図。中央太丸は本震の震央。ピンクはダイク。(b) 本震断層面に投影した前震活動と余震（灰色）。前震活動はラベルを付したいくつかのクラスターに分かれる。(c) クラスタ F2 での前震活動の推移。本震の約 10 日前から活動が活発化した。

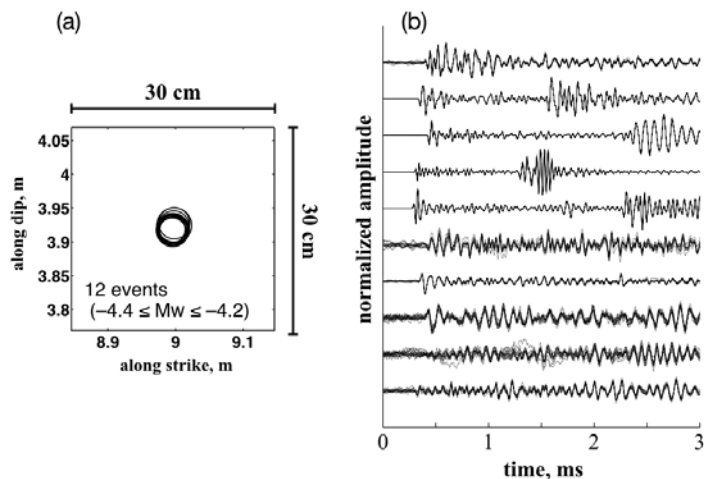


図3 南アフリカ Cooke4 金鉱山の地下 1 km で観測された極微小繰り返し地震 ( Naoi et al. , 2015 ) (a) 12 個の繰り返し地震の震源を断層面に投影。円のサイズは応力降下量 16MPa を仮定して求めた破壊サイズに対応する。(b) いくつかの繰り返し地震の波形。同じ震源からの繰り返し地震の波形をそれぞれ規格化して重ねた。

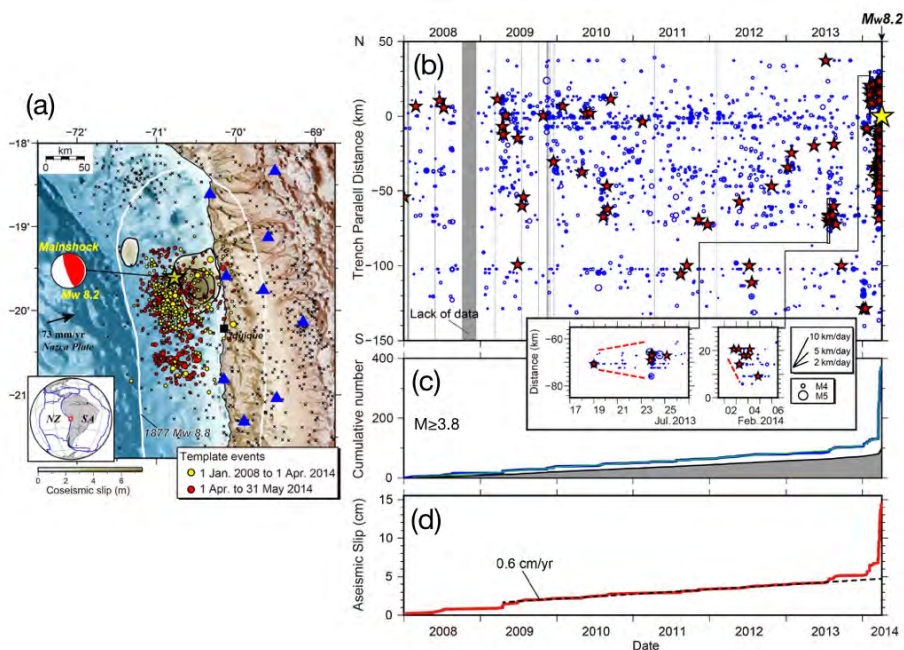


図4 2014 年チリ北部で発生したイキキ地震 ( M8.1 ) に先行する地震活動と非地震性すべりの加速 ( Kato et al., in review ) (a) 同地震の震央とメカニズム解、すべり量分布、テンプレート地震。(b) 地震活動の時空間プロット。赤星は繰り返し地震、青丸はその他の地震を示す。(c) 2008 年からの地震の累積曲線。(d) 繰り返し地震から推定される非地震すべりの積算量。



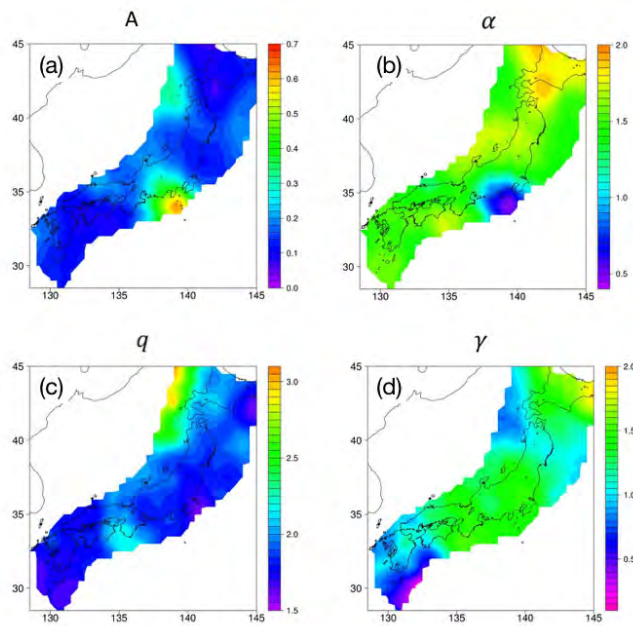


図 5

重み付き最尤推定による ETAS パラメータの空間分布 ( Zhuang, 2015)。 (a) A 値、 (b)  $\alpha$  値、 (c) q 値、 (d)  $\gamma$  値。

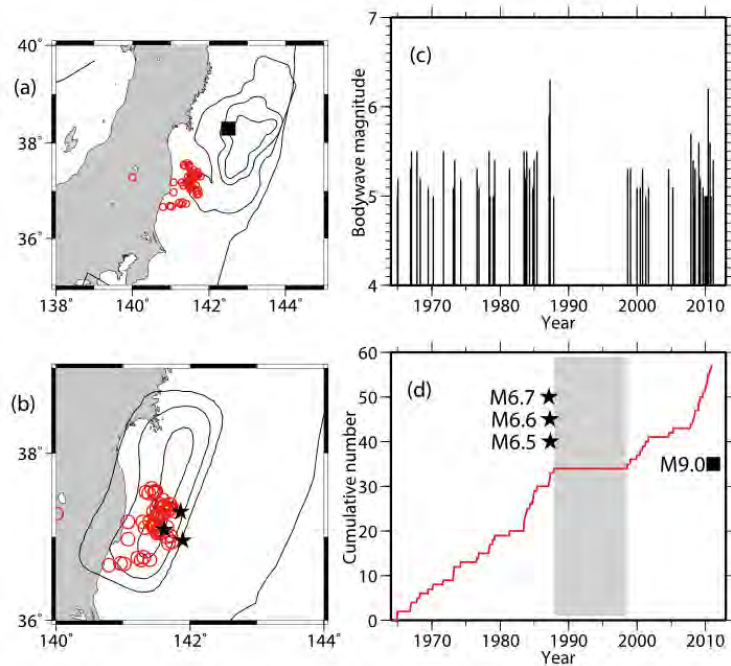


図 6

2011 年東北地方太平洋沖地震 (M9.0) 前の地震活動の長期静穏化 ( 勝俣, 投稿準備中 )。 (a) 赤丸: 静穏化領域内の震央。  $\blacksquare$ : 東北沖地震の本震の震央。コンター: 本震の滑り量 ( 10m 毎 ) (Yokota et al., 2011)。 (b) 赤丸: 静穏化領域内の震央。コンター: 2002 年頃開始した長期的 SSE ( 10cm 毎 ) (Yokota and Koketsu, 2015)。  $\blacksquare$ : 1987 年 2~4 月に発生した M6.5 以上の地震。 (c) (a) の赤丸震央の M-T 図。 (d) (a) の赤丸震央の積算度数。

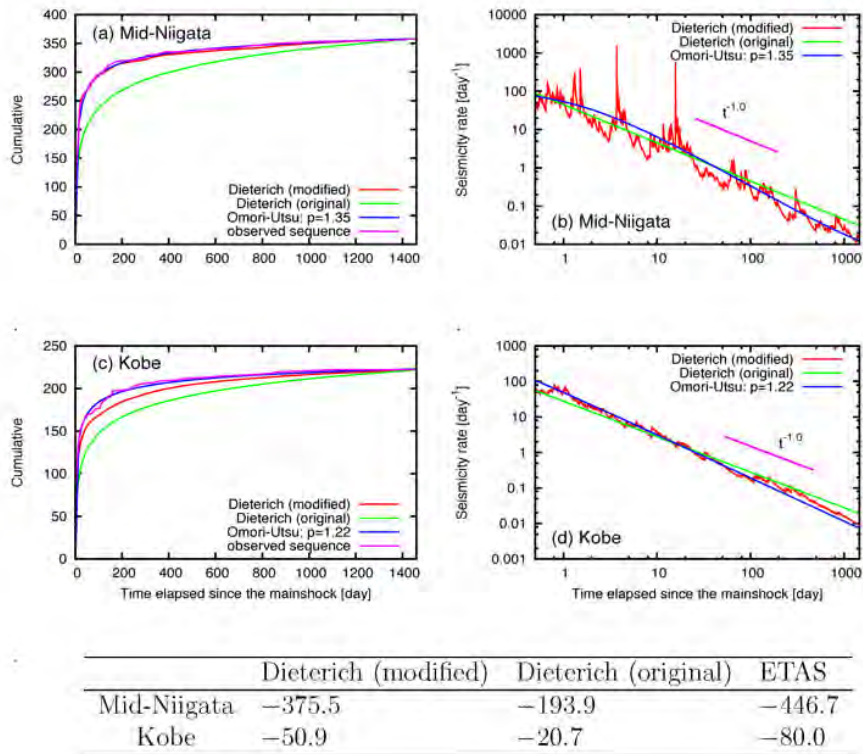


図 7

摩擦構成則に基づく地震活動モデルの改良 (Iwata, 2016)。 (a) 2004 年新潟県中越地震の余震積算曲線、 (b) 同地震の余震減衰の大森ダイアグラム、 (c) 1995 年兵庫県南部地震の余震積算曲線、 (d) 同地震の余震減衰の大森ダイアグラム重み付き最尤推定による ETAS パラメータの空間分布。最下段の表は、各モデル・余震系列に対する AIC の値。

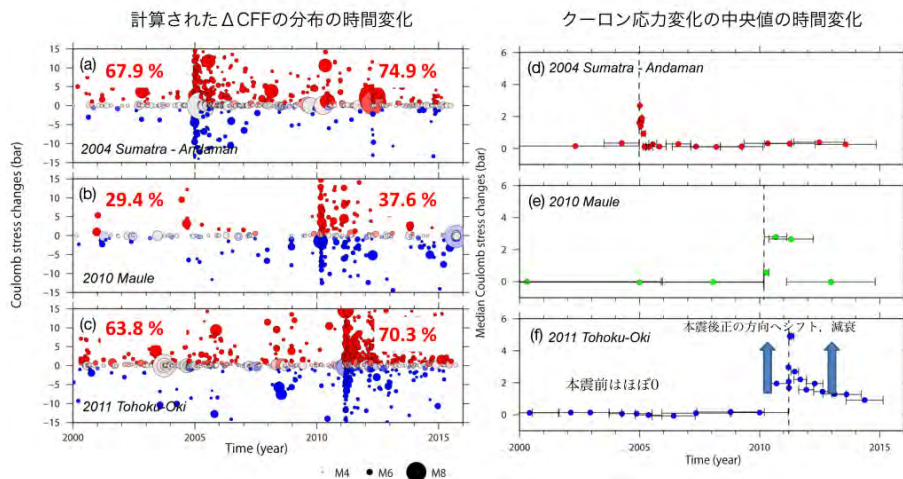


図 8

3つの海溝型巨大地震 (2004年スマトラ沖地震・2010年チリマウレ地震・2011年東北沖地震)において、(a)-(c)メカニズム解節面に解いたクーロン応力変化 (CFF) の時系列と (d)-(f) CFF 中央値の時系列 (石辺ほか, 投稿準備中)。すべての巨大地震で CFF 正の割合が本震後に増加した。

( 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27年度の成果の概要：

1) 全国規模での放射線管理施設のモニタリングネットワークの構築や測定データの解析

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。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し、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・長期間にわたり収集・分析し、気象要因による変動と地震活動と比較した。今年度は、これまでに得られている放射線管理施設の大気中ラドン濃度変動データの解析を進める。札幌医科大学、福島県立医科大学、獨協医科大学、東北薬科大学、慶応大学医学部、東京大学医科学研究所、自然科学研究機構、和歌山県立医科大学、神戸薬科大学などの25事業所の計測データを解析した。学会や論文等で、解析データの公表が可能になった際に、協力事業所名を公表する。また新たに全国の放射線管理施設で長期間の大気中ラドン濃度計測データを持つ協力機関を探し、ネットワーク拡大を行っている。

2) 汎用モニタと高感度モニタの測定比較

汎用モニタと高感度モニタにより同時に空気中のラドン濃度を測定し、比較検討した。高感度モニタ(Aloka排気モニタ及びPMT-TEL)と汎用モニタ(AlphaGUARD)によるラドン濃度測定結果の経時変化を解析した結果、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、汎用モニタを用いて、大気レベル( $15 \text{ Bqm}^{-3}$ )における変動をとらえることは困難と思われる、室内レベル( $25 \text{ Bqm}^{-3}$ )であれば、4時間平均することにより、測定値として有効なデータが得られることが明らかとなった(南ほか, 2016)。

3) 日本における大気中ラドン濃度の年変動について

大気中ラドン濃度および気象要素(気温・風速・放射収支量・雨量)の解析から、毎年1月から12月の各月の平均ラドン濃度日変動は、日中に低く夜間に高くなる傾向を示した。日中において風速は強く放射収支量は正の値となり、また夜間においては日中とは反対に、風速は弱く放射収支量は負の値となった。このことは、大気安定性が大気混合層・安定成層の形成・消失に伴い変動していることを示している。したがって、ラドン濃度の日変動は、大気構造の変化に伴う大気安定性の変動に起因していると考えられる。

アジアモンスーンの影響を強く受けて大気中ラドン濃度は変動しており、大気中ラドン濃度の年変動は露点(気団変動と関係)と逆相関になるとの指摘がある。そこで、Hayashi et al. (2015)では、大気中ラドン濃度変動の正弦回帰と年露点変動データの正弦回帰の比較から、大気中ラドン濃度の年変動は露点と逆相関になることを明らかにした。

地震に関連した大気中ラドン濃度の異常変動は、国内の放射線管理施設で測定された毎時排気監視データから観測される。大気中ラドン濃度は、気象要素に影響をうけることから、その正常なパターンを理解することによって、地震に関連する大気中ラドン濃度の異常変動の抽出が可能になると期待される。5箇所の放射線管理施設(札幌医科大学、福島県立医科大学、東京大学医科学研究所、自然科学研究機構・岡崎、和歌山県立医科大学)での大気中ラドン濃度の日最小値データを用いて、正弦関数がデータ回帰に適合できることを示した。また、大気中のラドン変動が大気乱流とアジアモンスーンのオンショア・オフショアパターンの変動に大きく影響される地域を同定した。さらに、これまでに公表した5都道府県の大気中ラドン濃度変動のデータセットに対して正弦曲線を回帰することによ

て、これらのサイトの平年濃度変動パターンを見積もることができた(図1)。さらに、都道府県の全サイトを含むこれまでの公表データセットに正弦曲線を回帰することによって、日本全国47都道府県のうち、72%に相当する都道府県のデータセットが正弦曲線回帰の要件を満たしていることを明らかにした。大気中ラドン濃度の日最小値のデータは平年変動パターンを利用することにより、これらの県が、地震に関連した大気中ラドン濃度の異常変動を得るのに適した地域であることを明らかにした(Kobayashi et al., 2015)。

#### 4) 夜間大気安定度の指標としてのラドン：理論的アプローチ

大気中ラドンは、大気が安定する夜間に濃度が増加する。これに着目し、ラドンの収支に関するボックスモデルのボックス高(ラドンの増加量と地表におけるラドンフラックスから求められる量)は、単一高度観測における夜間大気安定度の指標として使用されている。しかし、ラドン濃度は気象条件により変化しうが、ボックス高と乱流拡散係数などの気象条件との間の定量的な関係は、まだ十分に確立されていなかった。そこで、これらのパラメータを関連付けるため、下層大気の熱交換プロセスに基づいて、単純なモデルを構築した。以下に示す通り、本モデルは、静的安定性および機械的混合の影響が考慮されている。さらに、本モデルは放射フラックスの発散を無視し、地理的に均質なラドンフラックスを前提としているため、沿岸から十分に離れた観測サイトにおいて低風で移流の影響が十分小さい時にモデルが適用できる。

以上の条件のもと構築したモデルは、大気安定度の指標となるボックス高が、顕熱フラックスと日没後の温位低下量を含む地表面近傍の気象要素から決定されることを示す。さらに、ボックス高は、乱流拡散の強度にも関係している。我々は、単一高度観測におけるラドン観測が夜間大気安定度をモニタリングするのに有用であることを示した(Omori and Nagahama, 2016)。この成果は、地殻変動に起因するラドン濃度変化とは異なる大気中ラドン濃度の日変化を説明する。さらに、上記に示した気象要素を測定してボックス高を求めることにより、ボックスモデルを適用して地表におけるラドンフラックスを推定することができる。ラドンフラックスは、地殻と大気を結び付ける重要なパラメータである。そのため、本モデルは、地殻変動に起因する大気中ラドン濃度変化のメカニズムを解明する有効な手段となりうる。

#### 5) 部分空間法によるラドン濃度の変化検知

これまでに報告してきたラドン濃度変動解析法(Kawada et al., 2007, *Nonlin. Processes Geophys.*, 14, 123-130; Omori et al., 2007, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7, 629-635; Omori et al., 2009, *Radiat. Meas.*, 44, 1045-1050, および平成24年度 - 平成26年度年次報告)では、大気中ラドン濃度変動の解析法は、汎用モニタ(AlphaGUARD)による大気中ラドン濃度測定値を用いた累積和による変化検知(平成24年度年次報告, Kawada et al., 2007; Omori et al., 2007, 2009)や高感度モニタ(Aloka 排気モニタ及びPMT-TEL)による正常時の大気中ラドン濃度の変動からの残差を用いた異常検知(平成25年度 - 平成26年度年次報告; Kobayashi et al., 2015)を行ってきた。しかし、これら解析では、各時刻の観測値は、正常状態、異常状態のそれぞれにおいて、統計的に独立と想定されていた。そのため、個別の観測値の異常値を束ねて変化度にするという操作が必要で、その変化度を検出するためには、観測値の分布についてあらかじめ明示的な知識(たとえば、気象要因など)を持っていることが必要であった。これらの方法は、データ回収後に観測値の分布を解析することで、異常や変化の検知を行うものであるため、モニタリング時の異常や変化の検知には不向きなものであった。そこで、直近の観測データより構成される部分時系列に対して、異常部位を検知する部分空間法(Ide and Inoue, 2005)を行った。以下では、部分空間法を用いた札幌医科大学・福島県立医科大学での大気中ラドン濃度変動の変化検知に関して報告し、これまで行ってきた季節変動・経年変動を仮定した解析との比較を紹介する。

##### 5 - 1) 札幌医科大学における大気中ラドン濃度を用いた部分空間法による変化検知

図2は、(a)部分空間法により推定された異常度、(b)電離電流測定値と平滑化電離電流値、(c)ラドン濃度の残差を示す。赤線1と5はそれぞれ、十勝沖地震(2003年9月26日, Mw 8.0)と東北地方太平洋沖地震(2011年3月11日, Mw 9.0)の発生時刻を示す。なお、異常値は、電離電流測定値より部分空間法を用いて計算したものを表す。異常度 $4 \times 10^{-4}$ 以上を異常イベントとすると、観測データ

(b) からモデルを仮定せず計算した異常度 (a) が、経年変動と季節変動を仮定し計算したラドン濃度残差変動 (c) の異常変動付近で、高い異常値を示している。

#### 5 - 2) 福島県立医科大学における大気中ラドン濃度を用いた部分空間法による変化検知

図 3 は、(a) 部分空間法により推定された異常度、(b) 電離電流測定値と平滑化電離電流値、(c) ラドン濃度の残差を示す。赤線 2~5 は、それぞれ、茨城県沖地震 (2008 年 5 月 8 日, Mw 6.8)、福島県沖地震 (2008 年 7 月 19 日, Mw 6.9)、福島県沖地震 (2010 年 3 月 14 日, Mw 6.5)、東北地方太平洋沖地震 (2011 年 3 月 11 日, Mw 9.0) の発生時刻を示す。なお、異常値は、電離電流測定値より部分空間法を用いて計算したものを表す。異常度  $4 \times 10^{-4}$  以上を異常イベントとすると、電離電流測定値より計算された異常度 (a) がラドン濃度残差 (c) にみられる異常変動の様子を検知している可能性を示している。なお 2005 年のラドン濃度残差値には明確な異常変動は認められないが、部分空間法による異常度のグラフには異常変化も認められたため、今後この異常変動の検証が必要である。

従来の解析手法の通りに、経年変動と季節変動を仮定して推定した大気中ラドン濃度の異常変動に対応する時期に部分空間法によって異常イベントが抽出されたことは、この時期に大気中ラドン濃度の変動に寄与する気象要因以外の環境変化があったことが分かる。異なる時系列データから部分空間法により得られる異常値の時系列を比較することにより、データの背後に存在するシステムの関係を推定することもできる。今回検証した部分空間法による異常検知は上述したとおり、時系列データのモデルを仮定せずにデータ中に異常変動が含まれるか否かを判定する手法である。また、ある時刻の異常値の計算には、直近のデータより構成される部分時系列のみ使うので、異常検知モニタリングとしても応用できることが期待される。

#### (9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

Kobayashi, Y., Yasuoka, Y., Omori, Y., Nagahama, H., Sanada, T., Muto, J., Suzuki, T., Homma, Y., Ihara, H., Kubota, K., Mukai, T. (2015) Annual variation in the atmospheric radon concentration in Japan. *Journal of Environmental Radioactivity*, 146, 110-118.

Hayashi, K., Yasuoka, Y., Nagahama, H., Muto, J., Ishikawa, T., Omori, Y., Suzuki, T., Homma, Y., Mukai, T. (2015) Normal seasonal variations for atmospheric radon concentration: A sinusoidal model. *Journal of Environmental Radioactivity*, 139, 149-153.

Omori, Y., Nagahama, H. (2016) Radon as an indicator of nocturnal atmospheric stability: A simplified theoretical approach. *Boundary-Layer Meteorology*, 158, 351-359.

南のどか, 田中 綾, 安岡由美, 長濱裕幸, 武藤 潤, 飯本武志, 大森康孝, 床次眞司, 向 高弘 (2016) Alpha-GUARD を用いた空気中ラドン濃度測定の検討. 日本薬学会第 136 年会, 2016 年 3 月 28 日.

南のどか, 小林由布香, 安岡由美, 大森康孝, 長濱裕幸, 武藤 潤, 真田哲也, 鈴木俊幸, 本間 好, 井原勇人, 久保田和人, 向高弘 (2015) 日本における大気中ラドン濃度の平年変動について. 日本保健物理学会第 48 回研究発表会, 2015 年 7 月 2 日.

岩田大地, 長濱裕幸, 武藤 潤, 安岡由美, 三浦 哲, 太田雄策 (2015) 地殻変動に起因する大気中ラドン濃度変動. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 2015 年 5 月 27 日.

#### (10) 平成 28 年度実施計画の概要 :

平成 27 年度は、これまでに得られている放射線管理施設の大気中ラドン濃度変動データの解析を進めた。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った。平成 28 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。

#### (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

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

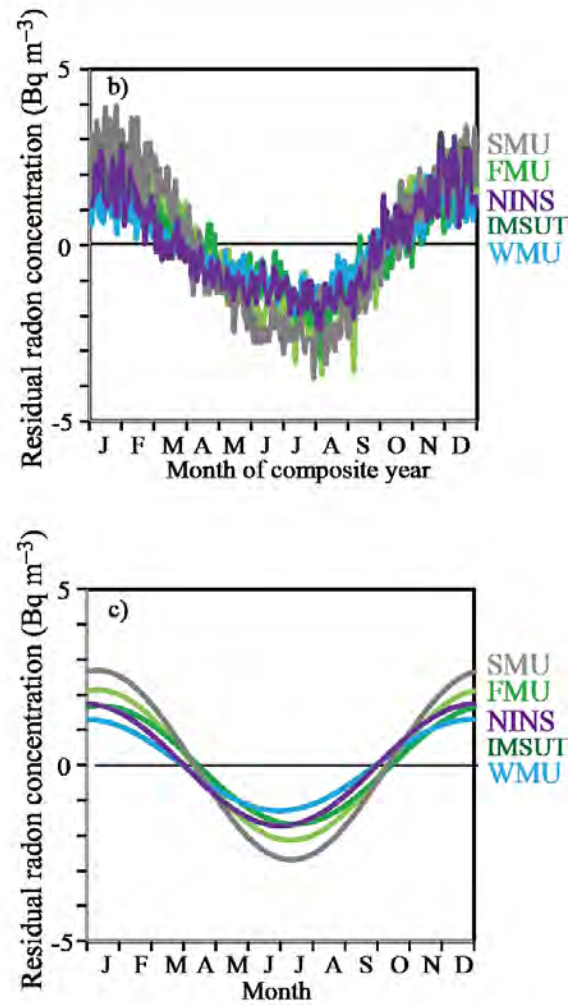
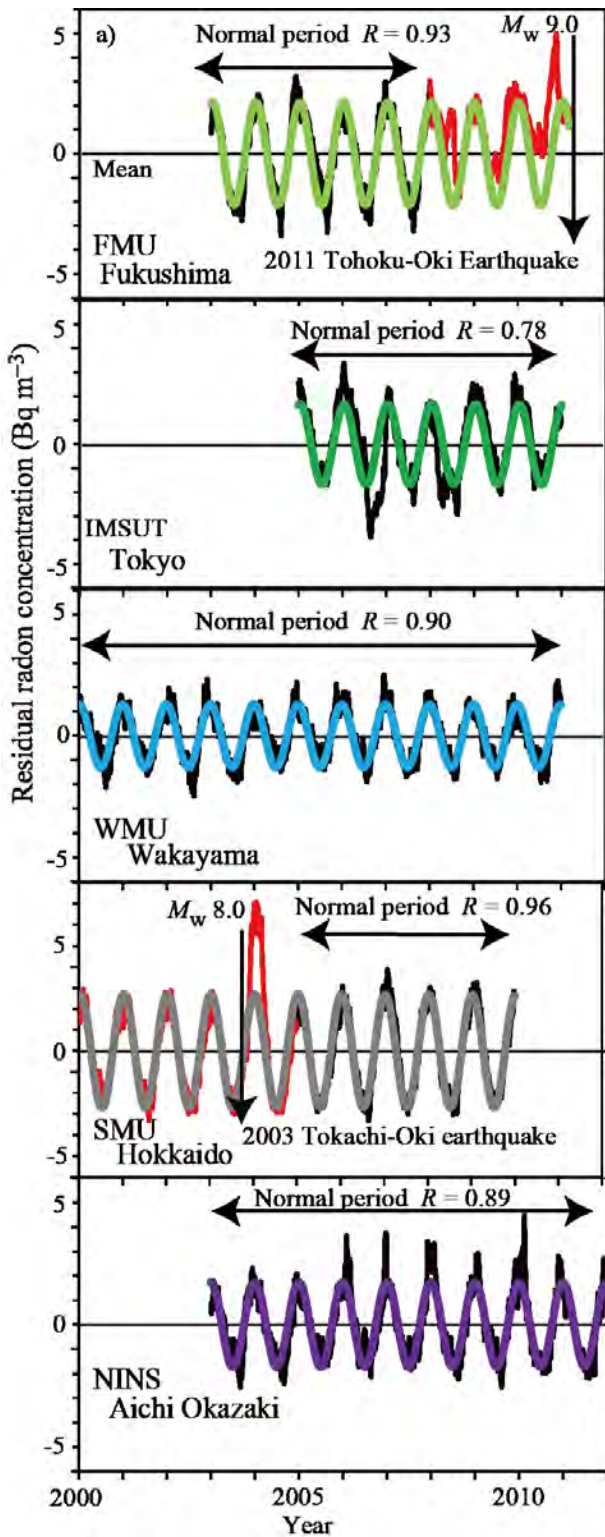


図1. 各サンプリングサイトにおける大気中ラドン濃度の残差変化 (Kobayashi et al., 2015) .

a) 福島県立医科大学 ( FMU ), 東京大学医科学研究所 ( IMSUT ), 和歌山県立医科大学 ( WMU ), 札幌医科大学 ( SMU ), 自然科学研究機構・岡崎 ( NINS ) での大気中ラドン濃度の残差値変動の比較 . 黒線・赤線は , 変動データ . 黄緑色・緑色・青色・灰色・紫色は正弦回帰曲線 , b) 5 つのサイトの平年変動 , c) 各サイトにおける年変動の正弦回帰曲線 .



## Sapporo Medical University (SMU)

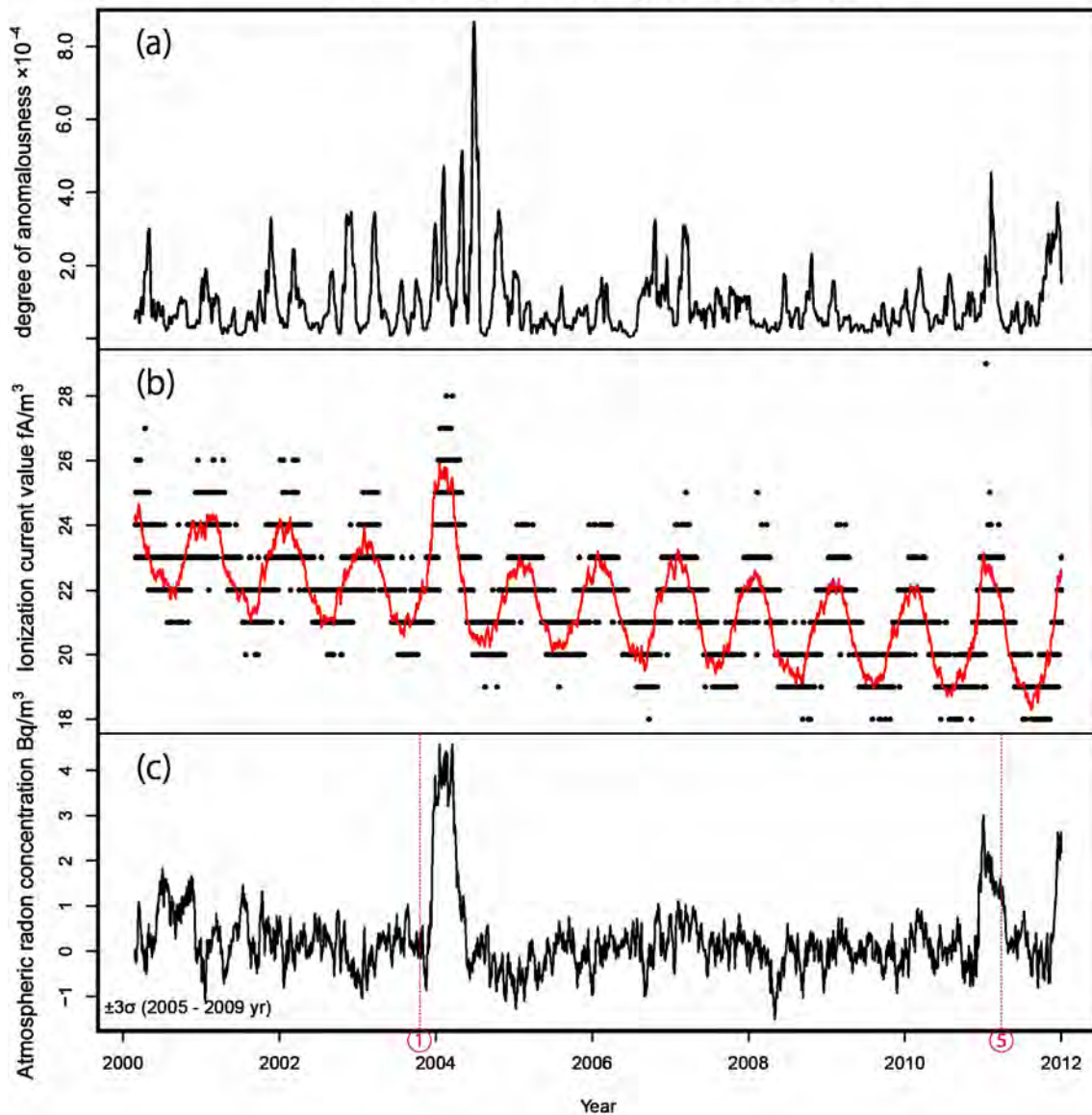


図 2. 札幌医科大学で測定された大気中ラドン濃度を用いた部分空間法による変化検知 .

(a) 異常度, (b) 電離電流測定値 (黒点) と平滑化電離電流値 (赤線), (c) ラドン濃度の残差 . 赤線 1 と 5 はそれぞれ, 十勝沖地震 (2003 年 9 月 26 日, Mw 8.0) と東北地方太平洋沖地震 (2011 年 3 月 11 日, Mw 9.0) の発生時刻を示す .

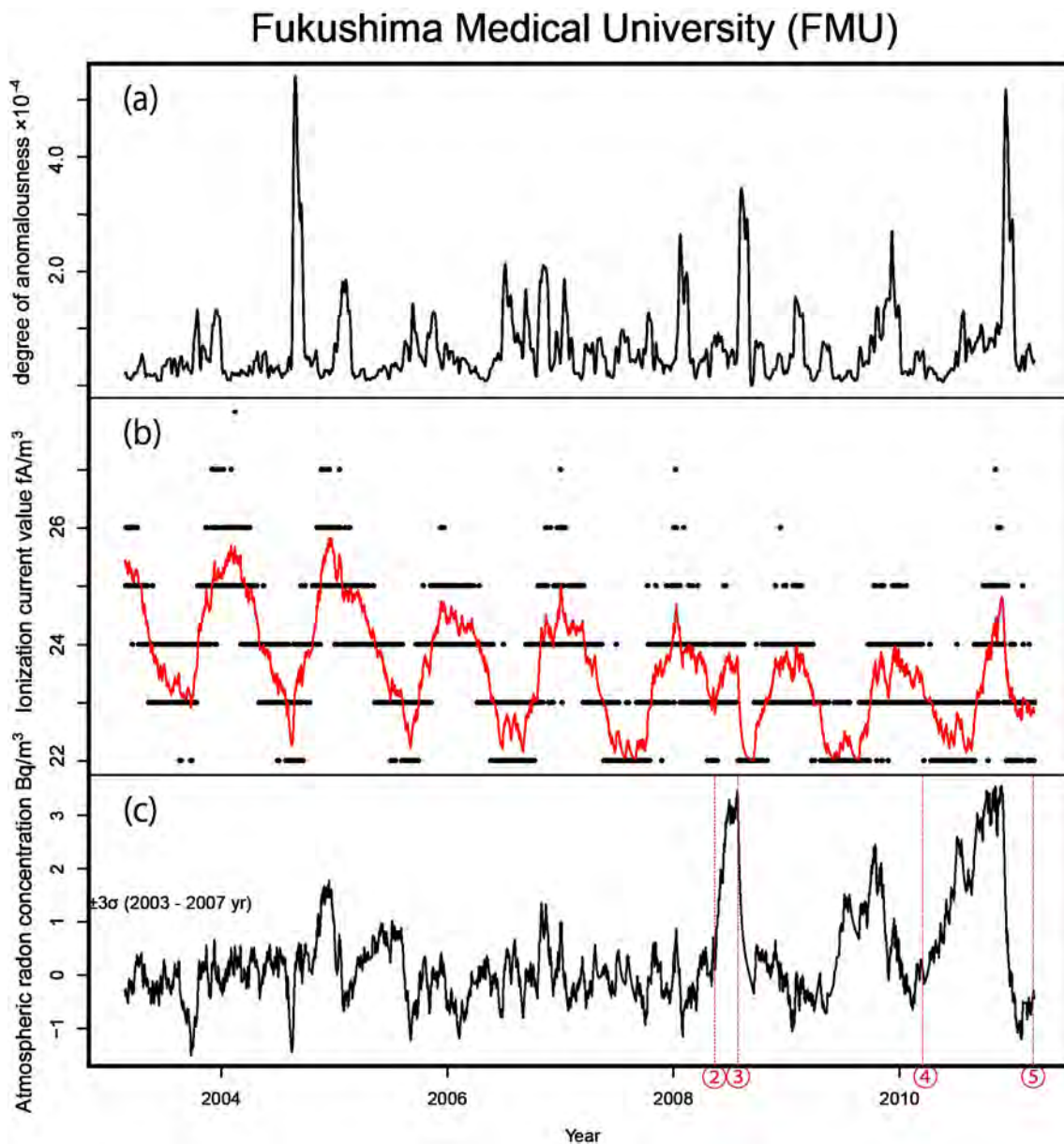


図 3. 福島県立医科大学で測定された大気中ラドン濃度を用いた部分空間法による変化検知.

(a) 異常度, (b) 電離電流測定値 (黒点) と平滑化電離電流値 (赤線), (c) ラドン濃度の残差. 赤線 2~5 は, それぞれ, 茨城県沖地震 (2008 年 5 月 8 日,  $M_w$  6.8), 福島県沖地震 (2008 年 7 月 19 日,  $M_w$  6.9), 福島県沖地震 (2010 年 3 月 14 日,  $M_w$  6.5), 東北地方太平洋沖地震 (2011 年 3 月 11 日,  $M_w$  9.0) の発生時刻を示す.

( 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27年度の成果の概要 :

本年度は、平成26年度に引き続き、項目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。」を継続した。昨年度に対象とした、雲仙岳、モンセラート島(スーフリエール・ヒルズ)、シナブン火山、伊豆大島、三宅島、霧島山新燃岳に加え、最近国内で噴火した御嶽山や口永良部島、また、雌阿寒岳、ストロンボリ火山、エトナ山などについて、調査した。地震・地殻変動観測、電磁気学的観測、火山ガス観測の結果を過去の文献等(論文、報告書など)をもとに、噴火事象・観測量の時系列を作成し、電子ファイルとしてまとめた。それらを検討した結果、以下の特徴が認められた。

1. 爆発的噴火発生前の数ヶ月前から火山ガスに変化がある。

エトナ山、ストロンボリ火山。CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub>比やCO<sub>2</sub>フラックスが2倍程度増加。

ピナツボ山 水蒸気爆発の発生後1ヶ月の間にSO<sub>2</sub>量が増加しプリニー式噴火発生。

2. 全磁力は、数年以上前に低下が発現される例(雌阿寒岳、口永良部島)もある一方、変化のない例もある。噴火発生時やその後に変化する例も少なくない(エトナ山、セントヘレンズ山)。

3. 小規模な水蒸気爆発の発生直前に、急激な山体膨張や微動振幅の増大が起きる(口永良部島、御嶽山)。また、定常的な山頂爆発活動から山腹割れ目の発生や大規模噴火に分岐する直前に、微動振幅の増大が発現する(ストロンボリ火山)。

4. 水蒸気爆発の発生の数週間から数年、あるいはそれ以上の中長期的時間スケールで、火山性地震活動の活発化が認められる(雌阿寒岳、御嶽山、口永良部島)。

昨年度の成果(1. マグマ噴火開始前に中期的な全磁力等の異常、2. 水蒸気爆発からマグマ爆発への分岐前に、山体膨張、地震活動の火山性ガスの活発化、3. 火砕流発生(ドーム崩落)前に、山体膨張、地震活動の活発化、4. 山頂噴火から山腹噴火への分岐前に地震活動の活発化、急激な山体変形)と調和的な結果が得られ、このような観測量のモニタリングが分岐判断に有効であることが確かめられた。一方で、観測項目によっては、噴火直前に変化が起きない例もあることもわかった。

また、重要な分岐現象と噴火予測の判断基準を考えるために、これまで国内外で作成されてきた噴火のイベント・ツリーをレビューした。

- ( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :  
中田節也, 2015, 火山爆発指数 (VEI) から見た噴火の規則性, 火山, 60, 143-150. 中田節也, 2016, 噴火シナリオと確率論的予測, 火山, 61, ( 印刷中 ). 西村太志・高木朗充, 2015, 火山性地震の発生時系列と噴火発生 - 近年の日本の事例から -, 日本火山学会秋季大会 2015 年, 富山市. ?

- ( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

引き続き、噴火事象・観測量の時系列を作成する対象火山を、海外の活火山を含めて増やし、データベース化を進め、分岐前の観測量の特長をより一般的に捉える。同時に、火山関係の研究課題の成果を取り入れ、各火山の時系列の特徴を明らかにし、噴火前の観測量との対比を行い、活動度の評価を試みる。これらをもとに、分岐前に現れる観測量について、事例数や適用範囲、再現性などとともに、実験・理論的な背景について整理する。また、国内外の火山研究者とセミナー等を通じ、火山活動評価指標や分岐判断に関する知見について検討を進める。

?

- ( 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 27 年度の成果の概要：

平成 27 年度は主として3つの研究開発項目を実施した。1つ目がキネマティック精密単独測位法における最適対流圏遅延パラメータ決定に関する研究であり、2つ目が精密可動台を用いたリアルタイム・キネマティック GNSS 解析の包括的精度評価である。また、3つ目が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するための予備的な解析についてである。以下に各項目について、詳細を述べる。

##### (1) キネマティック精密単独測位法 (キネマティック PPP) における最適対流圏遅延パラメータ決定に関する研究

GNSS データを用いて1日以下の地殻変動場を捉える手段の一つとしてキネマティック GNSS 解析が存在するが、その精度は、日毎の座標値などを推定するスタティック解析と比較して低い。これは GNSS 解析において、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るためである。こうした背景のもと、本年はキネマティック GNSS 解析の一解析手法であるキネマティック精密単独測位 (キネマティック PPP) における対流圏遅延に起因する誤差を低減するための研究開発を実施した。具体的にはキネマティック PPP 解析の高精度化のために、対流圏遅延に関する未知パラメータの推定時に使用するハイパーパラメータ (解析時に必要とするカルマンフィルタのプロセスノイズ) の値を客観的に決定する方法の検討と、その精度評価を行った。具体的には座標時系列の擾乱がもっとも小さくなる (標準偏差がもっとも小さくなる) 天頂湿潤大気遅延量とその勾配量を観測点毎にグリッドサーチで探索した。解析の際には、平成 26 年度にその有用性を確認した全球数値気象モデルに基づく大気遅延量の先験情報を用いたキネマティック GNSS 解析手法を適用した。さらに全 GEONET 観測点に共通する最適プロセスノイズパラメータの組み合わせを、得られる時系列の標準偏差が最小となる頻度がもっとも多い組み合わせとした。このようにして得られた最適なプロセスノイズパラメータ

と、通常キネマティック PPP 解析で用いられているプロセスノイズパラメータのそれぞれで東北地方全域においてキネマティック PPP 解析を行い、両者の時系列の標準偏差を比較した。その結果、水平成分の標準偏差で 5.2~6.9%、上下成分の標準偏差で 20.8%、時系列のノイズレベルが低減することが確認できた。これは最適ハイパーパラメータ探索がキネマティック PPP 解析の高精度化に大きなインパクトを与えうることを示す重要な結果である。

(2) 精密可動台を用いたリアルタイム・キネマティック GNSS 解析の包括的精度評価

平成 26 年度に開発した精密可動台のプロトタイプ機を用いたリアルタイム・キネマティック GNSS 時系列の精度評価を行った。具体的にはあらかじめ 10Hz サンプリングで与えた動きを GNSS アンテナに与え、それをリアルタイムで解析し、与えた動きをどの程度再現できるかについて評価を行った。GNSS データの解析では JAXA が提供する MADOCA 暦を用いたリアルタイム PPP (RTKLIB ver. 2.4.2) と、理想的な解析環境である 10m の短基線における基線解析の 2 種類を行った。その結果、比較的短い時間スケール (10 分以下程度) において、10m 基線では可動台に与えた動きを標準偏差で 2.0mm の精度で説明可能であるのに対し、リアルタイム PPP 解析でも 10mm 以下の精度で与えた動きを再現できることが分かった。一方で 10m 基線では見られない長周期成分の残差が確認され、そうした残差が標準偏差の違ひとして現れていることが確認された (図 1)。

(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するための予備的な解析

目標とする火山活動の変化に伴って観測される山体変形の準実時間での把握のために、GNSS 解析時における各 GPS 衛星および GPS 観測点におけるノイズレベルを調査した。具体的には桜島火山における京都大学防災研究所および東北大学における観測点データを用いて、噴火等のイベントが起きていない状態における各 GNSS 衛星と観測点間の視線方向における位相残差を計算した。こうした位相残差の値は、仮に火山が噴火し、水蒸気や火山灰を放出した場合は大きくなり、目的とする火山性の地殻変動の捕捉に影響が出る可能性があり、その定常的な値を知ることは、そのノイズレベルを知る意味で重要である。その結果、各観測点と全 GPS 衛星間の位相残差の平均値は約 1.5cm 程度となった。平成 28 年度以降、こうした火山性地殻変動の検出と、位相残差等にどのような相関があるのかについて検討を進める。

(9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

平田 雄一朗, 2016, キネマティック GNSS データによる 2011 年東北地方太平洋沖地震直後の余効変動に関する研究, 東北大学修士論文, pp. 146.

Ohta, Y. and M. Iguchi, 2015, Advective diffusion of volcanic plume captured by dense GNSS network around Sakurajima volcano: a case study of the vulcanian eruption on July 24, 2012, Earth, Planets and Space, 67(1), 157, doi:10.1186/s40623-015-0324-x.

太田雄策, リアルタイム・キネマティック GNSS データ解析の高度化およびそれにもとづく巨大地震の震源断層即時推定手法に関する研究, 測地学会誌, (受理済, 印刷中)

(10) 平成 28 年度実施計画の概要 :

平成 27 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 27 年度に明らかにした対流圏遅延に関する未知パラメータの推定時に使用するハイパーパラメータの最適値の探索とその影響評価を網羅的に進める。また精密可動台を用いた可動試験をより長時間データに対して適用し、精度評価を進める。また、こうした結果にもとづいて地殻変動を自動検知・推定するアルゴリズム (RAPiD) の高精度化を進める。さらに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

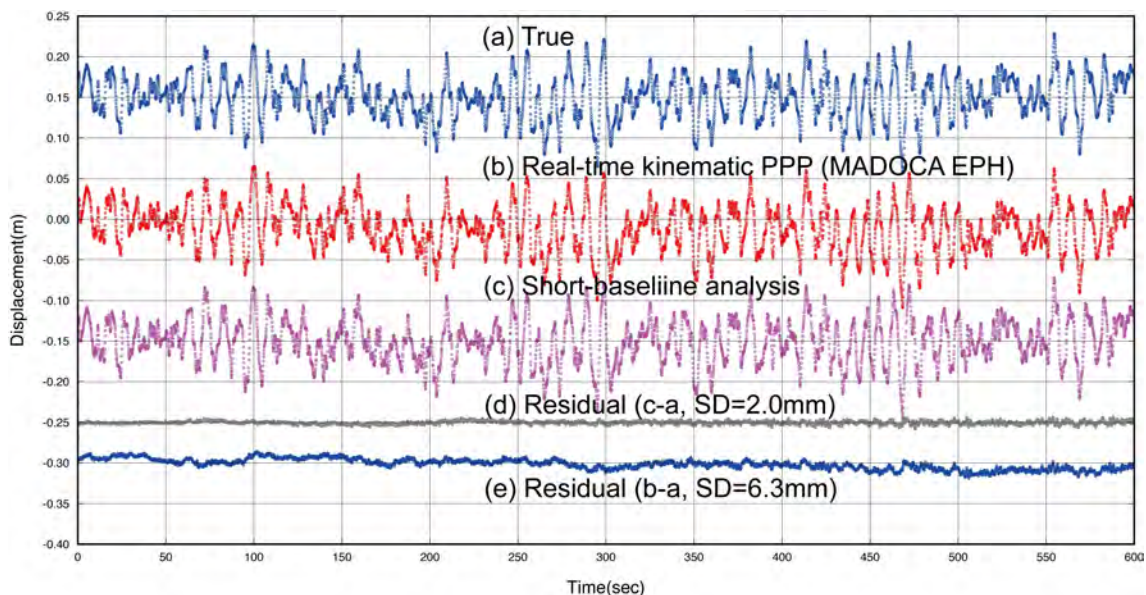


図 1

精密可動台を用いたキネマティック GNSS 時系列の精度評価結果。(a) に可動台に与えた動きを、(b) にリアルタイム PPP 解析結果を、(c) に 10m の短基線解析結果をそれぞれ示す。(d)、(e) にそれぞれ与えた動きとの残差時系列を示す。

( 1 ) 実施機関名：

東北大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

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27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の日本海溝において、2013年の先行観測に引き続き、2014年から2015年にかけて、海溝軸を跨ぐ形での210日間の2回目の海底間音響測距観測を行い、先行研究の結果と比較した。また、新規に開発した機器を用いて、ほぼ同じ箇所で2015年9月より3回目の観測を再開した(図1)。先行観測では、海溝軸を挟んでの明瞭な短縮は見られなかった。一方、2回目の観測では、10kmの基線(ADM1-3)では前回同様短縮は見られなかったが(図2b)、7kmの基線(ADM1-2)に210日で2cm程度の「伸長」が見られる結果となった(図2a)。収束境界であることから、実際に伸長していた可能性は低く、その原因を、設置した機器が局所的な地形の傾斜などによる2-3cmずり落ち、あるいは音速補正のための温度計がADM2には装備されておらず、ADM1-3の外挿で対処したことの補正精度の低下、と解釈した。いずれにしても、プレート収束速度に見合う短縮は見られないという結論を得た。一方で、音速補正についての補助情報を与える海洋物理学的な場として、温度擾乱と底層流(機器の姿勢から推定)には明確な相関は無い一方、底層流は海溝軸を挟んで同じ側ではほぼ同期するというデータが得られた(図3a,b)。また、音響測距自体は、10kmの超長基線でも、観測期間全体を通して安定して通信が行われ、機器の基本性能は十分期待するレベルに達したことを実証できた。想定される誤差要因を低減するため、2015年9月から再開した3回目の観測では、脚部の形態を自在手継による一脚型から、剛体の三脚タイプに変更し(図4)、安定性を確保するとともに、データの冗長性を確保するために設置機器数を3台から5台に増やし(図5)、全機器に温度計を取り付けた。

( 9 ) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :  
日野亮太・山本龍典・長田幸仁・木戸元之・鈴木秀市・太田雄策・久保田達矢・富田史章, 2015, 日本海溝を挟んだ音響測距観測: 長期・長基線・多点観測にむけて, 日本測地学会第124回講演会, 福岡.

( 10 ) 平成28年度実施計画の概要 :

再開した3回目の観測は、2年という長期観測のため、28年度内でのデータ回収は無い。そのため、2回目の観測データの再解析をして誤差要因について更に詰めるとともに、海底間音響測距特有の問題点に関する広い知見を得るために、他の海域を含む音響測距観測データについても、追加観測およびデータの再解析をすすめる。

( 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・本莊千枝・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

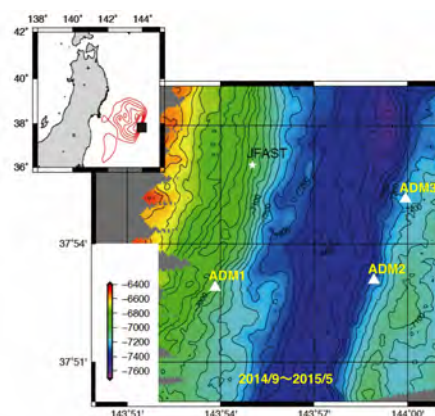


図 1

海溝軸を跨ぐ 2 回目の観測点配置図 . 設置水深 7000-7300m .

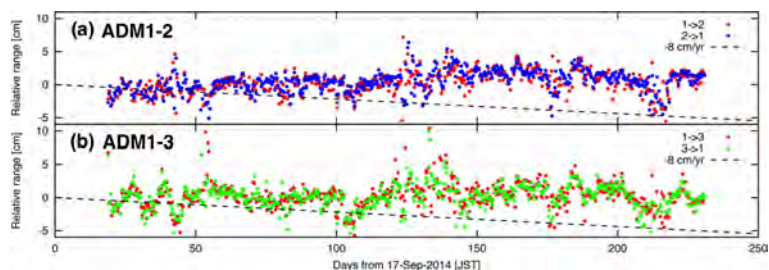


図 2

2 回目の観測 ( 210 日間 ) の見かけ基線変化 . (a) ADM1-2, 基線長 7km . (b) ADM1-3, 基線長 10km . 2 色あるのは , 対の機器がそれぞれ主局となった時の測距を示す . 波線はプレート運動モデルによる年間 8cm の短縮に対応する .

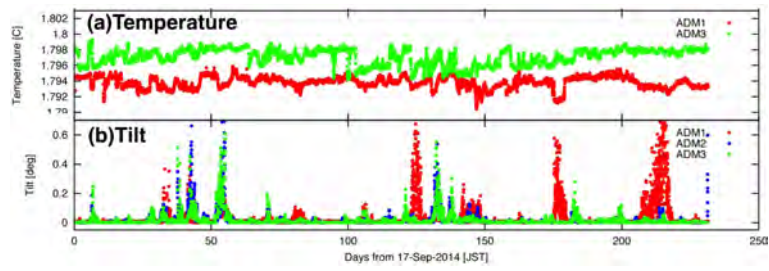


図 3

2 回目の観測時に計測された (a) 水温と (b) 機器の傾き。温度は ADM1 と ADM3 でのみ計測。傾きに関しては、海溝海側の ADM2 と ADM3 は同期して揺れているが、海溝陸側の ADM1 は、それらと同期していない。また、温度変化との同期も明瞭ではない。

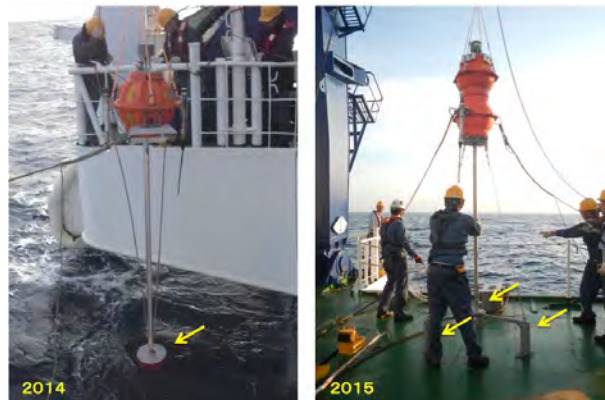


図 4

2 回目と 3 回目の観測で、それぞれ使用した機器の外観。2 回目は底層流に逆らわずに自由に傾けるよう一脚の下端に自在継手を装備。3 回目は底層流に対して不動となるよう、脚の下端を 3 点支持とした。

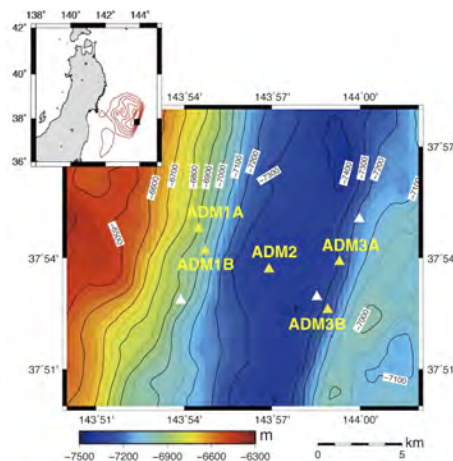


図 5

3 回目の観測で設置した 5 台の機器の配置図 (黄色)。最長基線は 9km で、海溝軸部にも 1 点設けた。2 年間の観測後回収予定。白は 2 回目の設置点。

( 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：

( 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 27 年度の成果の概要 :

地下水溶存ガスのうちヘリウム濃度を高精度で分析するために、第二安定領域で動作する四重極質量分析計の駆動電源を製作し、動作の調整を行った。分析結果の精度を向上させるために、分析管内の残留ガスを除去するシステムの開発を行った。地下水に溶存するガスを効率的かつ大気の混入がないように準連続的に抽出する装置を完成させた。溶存ガス中の大気補正された He-Ar-N<sub>2</sub> 三成分比の連続観測が、マントル・地殻・大気の混合挙動を監視する指標になる可能性を見いだした。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Kuo T. and Tsunomori F. (2014) Estimation of fracture porosity using radon as a tracer. Journal of Petroleum Science and Engineering, 122, 700-704

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

第二安定領域で動作する四重極質量分析計の改良を行うとともに、分析管内の残留ガスを除去するシステムの導入を行い、実験室内でのテストおよび跡津川観測点での実測テストを行う。ここでは、ヘリウム同位体比だけでなく、He-Ar-N<sub>2</sub> 三成分比の連続分析を行い、ホームページ上にデータを公開する。

( 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 27 年度の成果の概要：

東北沖の地震の特徴的発生様式を支配している繰り返し地震について、地震波エネルギーのを推定、その時間空間的な変動を定量化した。まず地震波エネルギーを安定的に推定するための手法を開発し、2011 年東北沖地震を含む約 10 年の地震データに適用した。過去の研究で指摘されていたような地震エネルギーの深さ依存性やサイズ依存性を再確認したうえで、これまで議論されていなかった地震の発生間隔と地震波エネルギーの関係について精査した。すると発生間隔と地震波エネルギーには弱い正の相関が存在し、これは時刻の対数関数として断層の強度が回復するというモデルと調和的であることが判明した。地震の階層性が時間と共に回復していく様子をエネルギーを基準にして観察できる可能性を示唆する。この内容について現在出版準備中である。また沈み込み帯の地震活動の  $a$  値に関連した定常地震発生率について、これまで考えられていなかったプレートの形状の効果を検討した。定常地震発生率は 1 次的にはプレートの相対運動速度に依存するが、さらにプレートが大きく屈曲していると大きくなることが判明した。これは沈み込み前後のプレート内部への水の輸送過程と関係しているとみられる。この成果は Geophysical Research Letters 誌で出版した。

（ 9 ）平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

Nishikawa, T., and S. Ide, Background seismicity rate at subduction zones linked to slab-bending-related hydration, Geophysical Research Letters, 42, 7081-7089, doi:10.1002/2015GL064578, 2015/09.

（ 10 ）平成 28 年度実施計画の概要：

引き続き東北沖の地震のエネルギー研究を進めるとともに、群発地震活動から地震の階層性について

の情報を引き出す手法を開発し、日本周辺の地震活動に適用する。摩擦法則の不均質性と地震の階層性との対応についてシミュレーションを行い、階層性のある場での地震活動を予測するためのモデル開発へとつなげる。

(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：

( 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拳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27年度の成果の概要：

昨年度設計・開発した簡易型トラバース測定装置は2014年11月末以降、口永良部島火山の二酸化硫黄放出率モニタリングに屋久島 口永良部島間のフェリーで使用されてきた。当初は、フェリーの出航時に、開発した簡易型装置の電源を投入の上、船員の方に装置のボックスを甲板に設置してもらっていた。測定終了後には、船員の方に装置の撤収、スマートフォンで装置からデータ回収、クラウドサーバーへのデータ転送を行ってもらっていた。上記のような作業を減らすため、簡易装置のボックス内に3Gルーターを入れることで、観測終了時に観測データを3G回線を使って自動的にクラウドサーバーへアップロードするように測定用ソフトウェアを改良した。その後、さらに測定の簡易化を進め、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ルーターなどを操舵室内に設置し、光ファイバを船外から船内に引き入れることで、測定のたびの設置・撤収を省略できるようにした。現在は、操舵室でスイッチを入れるだけで自動的に観測・データ転送までを行うシステムとなっている。口永良部島でのフェリーを用いた測定は2015年5月29日の噴火後、フェリーの運休により中断していたが、2015年12月のフェリー運航開始とともに再開されている。また、5月29日の噴火後のフェリー運休以降、漁船で二酸化硫黄フラックス測定ができるよう、フェリー観測で初期に使用していた簡易測定装置の改良を行った。

昨年度に引き続き、簡易測定装置をベースにさらに軽量化した装置を御嶽山でのUAV観測に搭載して使用した。2015年6月時点で二酸化硫黄放出率が7t/d以下まで減衰していることを示した。また、6月下旬から7月上旬には海上保安庁の測量船が西之島での調査の際に、船上から簡易測定装置を用いて西之島の二酸化硫黄放出率観測を実施した。

二酸化硫黄可視化モニタリング装置に関しては、天体観測などに使用される小型のCCDカメラを使用した装置を設計し、プロトタイプを作成した。今後フィールドテストを実施し、改良を行っていくことになる。また、ポータブルなガス放出率測定装置に関しては、3Gルーターを使用した連続測定などの問題と想定よりも消費電力の削減が必要と考えられたため、上記の簡易測定装置で使用していたシステムよりさらなる省電力化に取り組んだ。Intel社のシングルボードコンピュータEdisonをベースにし、3G回線を有するOpenBlocks IoT BX1とこれまで使用してきた紫外分光器で測定できることを確認した。どの程度の省電力化が行われたかは今後確認し、これをベースに装置のプロトタイプを作成することになる。

#### (9) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

#### (10) 平成28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、口永良部島の火山ガス測定を、この装置の実用化の例として継続する。また、現在の測定用ソフトウェアは、紫外スペクトルの自動測定とデータの転送のみに特化しており、スペクトル解析は行っていない。必要な場合には現場で二酸化硫黄の状況を確認できる

ように測定用ソフトウェアにスペクトル解析モードを組み込む予定である。

二酸化硫黄可視化モニタリング装置に関しては、現在のプロトタイプの実フィールドテストを実施するとともに、問題点を明確にし、センサー及び光学系の最適化をハードウェアの面で実施するとともに、自動測定に向けたソフトウェアの作成に着手する。ポータブルなガス放出率自動測定装置に関しては、平成 27 年度に選定したシステムをもとにプロトタイプを作成し、年度末までには、フィールドテスト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 :

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](mailto: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

( 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：

( 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27年度の成果の概要：

津波堆積物のデータベース化に向けての準備作業

津波堆積物のデータベース化は、東北大学のプロジェクト研究にメンバーとして参加し、主に北海道の既存資料について整理を進めている。平成27年度はデータ入力とチェックが終了し、既存文献について津波堆積物の認定項目に基づく評価も実施した。成果の一部は本年度中に公表される予定である。

ロシアの沿海州および北方領土で、歴史津波と先史時代の津波痕跡について、ロシアの研究者と共同で調査を実施した。古津波については、沿海州と日本海、北方領土と北海道東部のそれぞれで得られた痕跡を対比させる必要がある。そのための広域火山灰（B-Tmなど）の分布調査と同定方法の確立、歴史時代も含めた年代決定精度の向上に向けた研究も進めている。

古地震に伴う地殻変動の痕跡として貴重な海岸の隆起地形と生物痕跡については、保存と化石化に関する知見を得る必要がある。そこで、平成 27 年 4 月 24 日に北海道の羅臼町幌萌海岸で発生した地すべりに伴う海岸隆起を対象に現地調査を実施した。隆起量は隆起前には海底にあったと推測された礫に付着している海草類から隆起前の水深を推定し、隆起後の標高と足し合わせることで求めた。隆起域は秋の台風で約半分が浸食されて消滅していることも確認した。調査は平成 28 年度以降も継続して行う予定である。

史料に基づく地理情報システムの試作版の作成

前近代に発生した低頻度大規模災害については、近代的な観測機器によるデータが存在しない。そのため、そのような災害の調査・研究を行う際には、歴史学で使用されていると同様の史料を用いて、個々の記述内容から災害の実像を検討する必要がある。その際には、現存する数多くの史料の中から記述内容の信憑性が高い史料を選定し、それに基づいて被害の実態やその発生場所を検討しなければならない。

平成 27 年度は、江戸時代に関東地方で発生した被害地震である安政二年(1855)の安政江戸地震を事例として、江戸やその周辺地域での被害記録ではなく、遠地での有感記録を基にして地理情報システムの試作版を作成した。本研究において使用したのは既刊地震史料集に所収されている史料であり、地震発生当日の十月二日夜に被災地から離れた遠地で記録された史料を選び出し、その中から「夜四ツ時」や「亥刻」と記されている信憑性の高い日記史料のみを選定した。こうして厳選された史料にある遠地での有感記事に基づいて有感場所ごとに震度を推定した。また、有感記事が記された当時の場所について、他の史料や当時の絵図、日本史における研究成果などに基づいて現在地を調査・検討し、その緯度・経度を導き出した。

このようにして得られた史料の有感記述とそれに基づく推定震度、史料が記された場所とそれに基づく現在地の緯度・経度を組み合わせて、安政江戸地震の遠地での有感記録について地理情報システムの試作版を作成した。今後は、この地理情報システムから作成した遠地での有感地震の震度分布図を用いて検討を重ね、安政江戸地震の震源像の解明に取り組む計画である。

- (9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Ganzev, L. A., Razjigaeva, N. G., Nishimura, Y., Grebennikova, T. A., Kaistrenko, V. M., Gorbunov., A. O., Arslanov, K. A., Chernov, S. B., and Naumov, Y. A., 2015, Deposits of Historical and Paleotsunamis on the Coast of Eastern Primorye. Russian Journal of Pacific Geology, 9, 64-79.  
西村裕一・岩崎藍子, 2016, 羅臼町幌萌海岸の地すべり(2015年4月24日)に伴う海岸隆起の産状と隆起量, 北海道地区自然災害科学資料センター報告, 印刷中。  
Satake, K., A. Nishiyama, J. Muragishi, 2015, Historical earthquake studies and document database in Japan, 26th IUGG General Assembly 2015, IUGG-1945 (Solicited, Oral), Prague, Czech Republic, Prague Congress Centre, June 22-July 2, 2015.

- (10) 平成 28 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・分類を進める。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継続して校訂作業を実施し、地理情報システムの新たな試作版を構築する。さらに、文献史料・考古・地質データを統合したデータベースおよび地理情報システムの試作版を構築し、先史時代・歴史時代に発生した大規模地震・津波・火山災害の総合的な調査・研究を目指す。

- (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



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27年度の成果の概要:

首都圏に大きな被害をもたらす可能性がある富士火山について、最近の噴火の火山噴出物の化学組成と組織の分析を行った。富士火山の最新の噴火である宝永噴火(AD1707)では噴火活動の初期に白色パミスの噴出があったが、これをもたらした珪長質マグマ溜まりは噴火前には圧力110-150MPa(深度4-6kmに相当)、温度800程度、含水量4wt%程度で、極めて水の飽和に近い状態に置かれていた(図1)。磁鉄鉱斑晶リムのTiの拡散プロファイル解析(図2)から、深部に由来する高温の玄武岩質マグマが噴火開始の数日前程度にこの珪長質マグマと接触することによって、珪長質マグマ溜まりで発泡が始まり、噴火に到ったものと思われる。また、宝永IIと呼ばれるステージで活動した安山岩質マグマは、珪長質マグマと沈積した結晶と玄武岩質マグマの三者の混合によって生成可能であり、珪長質マグマ溜まりとは独立した安山岩質マグマ溜り、あるいは化学成層したマグマ溜りが富士山直下に存在したことを仮定する必要がないことも示された。

マグマ供給系の時間変化を調べるため、最近3000年間の18枚のテフラについて鉱物の化学組成を行った。全岩化学組成の変化に対応するような明確な時間変化は見いだされていないが、ほとんどの噴火で斜長石斑晶組成がバイモーダルを示すとともに、かんらん石斑晶に逆累帯が観察され、金子・他(2014, 火山)が全岩化学組成の検討から提唱したように、ほぼ普遍的に2種類のマグマが混合して噴火していることが、鉱物の化学組成の観点からも裏付けられた(図3)。このことは、富士山直下にやや分化したマグマを溜めやすい領域が存在することを強く示唆している。飯田(2007, Ph.D. thesis)によって示された貞観噴火(AD864)のマグマの滞留深度(2.5-6.5km)と今回の宝永噴火の珪長質マグマ溜り深度を合わせて考えると、山頂から南東側にかけての深さ数kmの深度に、分化したマグマを溜めやすい構造が広がっていることになる。このことは、将来の噴火においても、深部の低速度層領域から上昇するマグマがこの領域を通過する際には、何らかの明確な変化を捉えられる可能性があることを示している。

(9) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

安田 敦・吉本充宏・藤井敏嗣, 2015, 始良火砕噴火のマグマ溜まり深度, 火山, 60, 381-397.

安田 敦・金子隆之・嶋野岳人・吉本充宏・藤井敏嗣, 2015, 斑晶とメルト包有物の組成および組織が

(10) 平成 28 年度実施計画の概要:

前年度に引き続き, 富士火山噴出物について, 斑晶ガラス包有物が分析可能サイズに満たない場合や, 斑晶ガラス包有物そのものがほとんど含まれない試料についても, マグマの含水量を決定するために, 鉱物と液組成の平衡を用いた熱力学含水量計の適用を試みる. その際, 含水量が実測できた試料を使って熱力学含水量計を適用する手法の検証を行い, 分析精度を高める.

1, 2 年次と同様の手法で伊豆大島の最近数百年間の噴火噴出物について分析を行い, マグマ溜りの含水量とマグマ溜り深度がどのように変化しているかを調べる.

(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

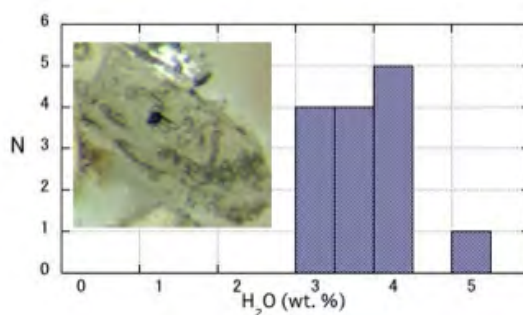


図1 Ho-I 斑晶中のメルトインクルージョンの含水量ヒストグラムと斜長石斑晶写真

含水量は顕微 FT-IR 反射法で測定. 写真の斜長石斑晶は過剰な気泡を持ち, メルトインクルージョンの捕獲が発泡と同時期であったことを示している.

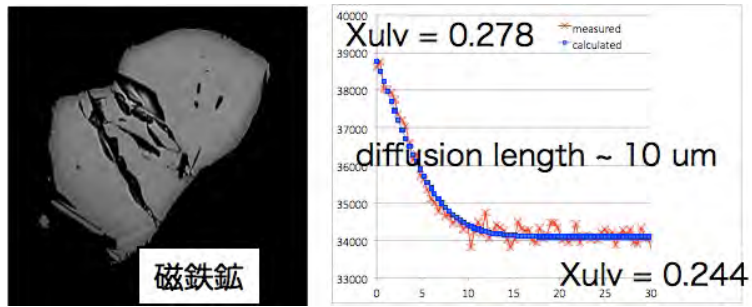


図 2 . 磁鉄鉱リムにおける Ti の拡散プロファイル

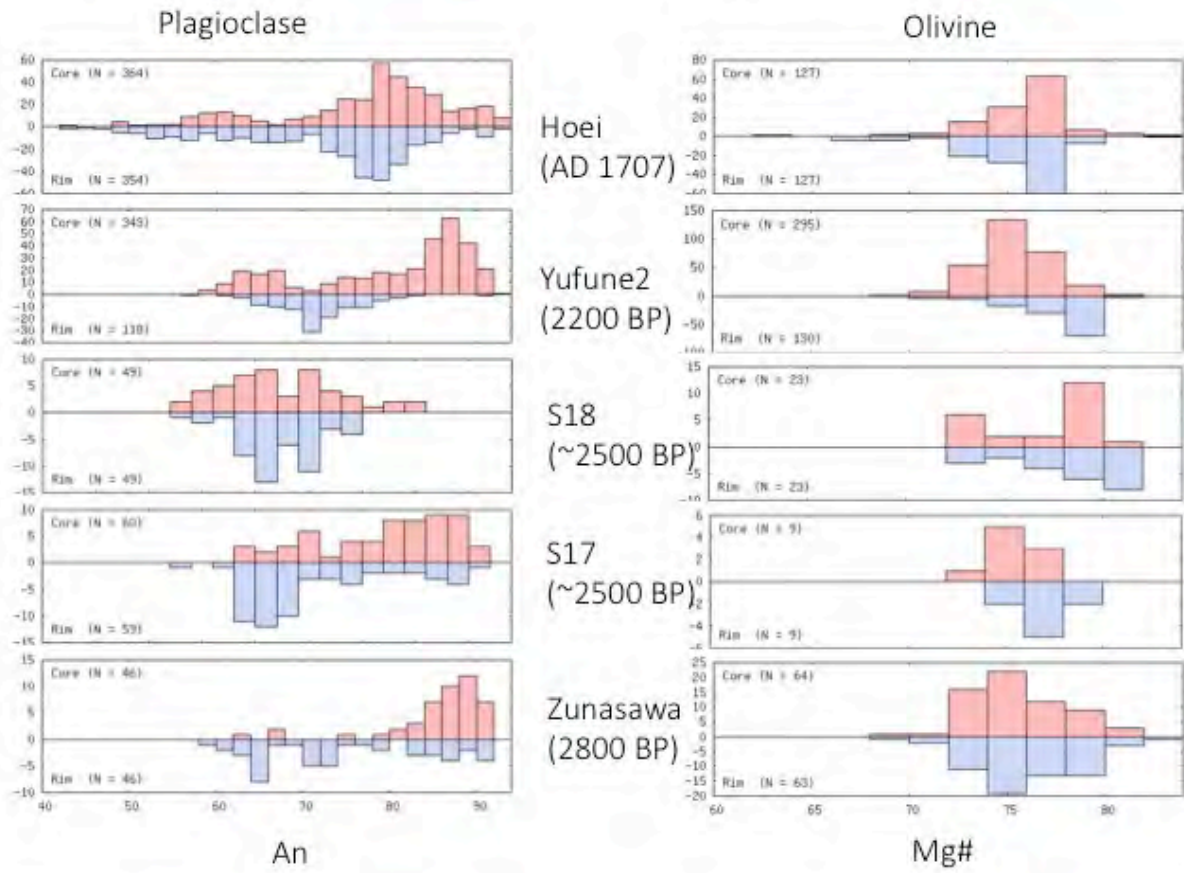


図 3 . 新富士期の幾つかの大規模噴火における斑晶 (かんらん石, 斜長石) の組成頻度図

( 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27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。

本年度は、昨年度回収された東北沖地震の震源域北部における長期観測型海底地震計データの解析を行った。この観測は、東北沖地震発生約3年後の日本海海溝より震源域の地震活動を把握することを目的としている。現在暫定的な震源決定結果(図1)が得られており、地震活動の時空間的な変化が求められる。2014年度から、開始した1Hzセンサー搭載の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、2015年5月と10月に回収および再設置を行い、観測を継続した。また、2015年5月には、岩手県及び青森県沖の日本海溝陸側斜面に、海底地震計の設置を行い、長期海底地震観測を行っている。

2014年10月には、科研費による観測として、宮城県沖の海溝付近に海底地震計アレイが設置された。本研究は、このアレイ観測とも連携して実施しており、2015年5月に海底地震計アレイを回収するとともに、観測を継続するために、アレイの中心位置に長期観測型海底地震計を設置して、観測を継続した。2015年10月には、長期観測型海底地震計の回収作業を行い、海底地震計アレイを再設置して、アレイ観測を再開している。さらに、2014年に回収した海底地震計アレイデータの解析を開始した。AoA1-3の3つのアレイそれぞれについて、アレイに入射する波のコヒーレンスを評価して到来方向の推定を試みたところ、地震の発生時にはそれぞれのアレイでコヒーレントな波の検出ができることを確認した(図2)。到来方向を示す相関係数のピークについてはAoA2の結果が最も安定性が高く、気象庁カタログとの比較においても総合的であった一方、AoA1とAoA3については必ずしも安定な結果が得られていない。この原因にはそれぞれのアレイ近傍での局所的な不均質構造の影響の他、実際に設置されたアレイの幾何形状の差が考えられる(図3)。一般にアレイ内の観測点間隔にばらつきを持たせることでアレイ応答の方向依存性は改善されるが、自由落下によって正確な位置座標に設置することは困難なため、今後はアレイごとの観測点数を増やすことも視野に入れる必要がある。観測期間全体においてAoA1-3すべてで同時に捉えられたシグナルの数はおよそ2500で、近地・遠地の地震性のもや構造探査による外的な要因を含む(図4)。JMAカタログにおけるM3.0以上の近地の地震のおよそ60%をカバーする一方、2015年2月17日に発生したM6.9の地震の余震には取り逃しが



多かった。これはバックグラウンドのノイズレベルの増加が原因であると考えられ、アレイの検出能力のさらなる検証を進めている。

東北沖地震震源域北限付近である北緯 39 度付近の日本海溝陸側斜面下では、東北沖地震発生前には、微小地震活動度の境界があることが知られており、1996 年と 2001 年に、海底地震計とエアガンを用いた構造探査実験が行われている。その結果、微小地震活動が活発な領域では、プレート境界からの地震波反射強度が弱く、非活発な領域では反射強度が強いという結果が得られている (Fujie *et al.*, 2002, Mochizuki *et al.*, 2005)。東北沖地震の発生を受けて、プレート境界の特性変化を抽出する目的で、2013 年に、以前の構造探査実験と同一地点に海底地震計を設置し、同一測線において、エアガン発震を行った。さらに、2014 年には、さらに海側の領域において、同じく海底地震計とエアガンを用いる構造探査実験を行った (図 5)。データは引き続き解析中であるが、東北沖地震前後において、ほぼ同じ記録断面を得ることができており、速度構造に大きな変化がないことが推定される。一方、プレート境界からの反射波からは、プレート境界の特性変化が示唆される結果となった。

房総沖スロースリップ領域において、海底精密水圧計の設置・回収と位置決めを行った。一部の観測点では、時間の制約から位置決めを行わなかった。回収した海底精密水圧計のデータについて解析した結果、水圧計による海底の上下変動は、深さに換算して約 1cm の精度で観測できることが示された。2013 年 12 月から 2014 年 1 月の房総沖スロースリップの発生前後のデータの比較から、観測点ではスロースリップによる有意な変動はないようにみられた (図 6)。

#### 実験・モデリング研究

日本海溝に沈み込む太平洋プレート表層部の想定試料を粉碎したガウジ試料を使用して、IODP 日本海溝緊急掘削により掘削されたプレート境界断層深度 (海底下約 820 m) の圧力 (密度検層から推定)・間隙水圧 (静水圧を仮定)・温度条件 (実測値) において、軸方向の変位速度  $1 \mu\text{ m/s}$  および  $10 \mu\text{ m/s}$  で三軸摩擦実験を行った結果、以下のことが明らかとなった。定常摩擦係数  $\mu_{ss}$  は粘土鉱物総量およびスメクタイト含有量の増加に伴って系統的に低下する傾向が認められ、変位速度  $1 \mu\text{ m/s}$  では粘土鉱物を含まないチャートで約 0.77、粘土鉱物総量を 27.3wt%、スメクタイトを 13.3wt% 含む玄武岩で約 0.67、粘土鉱物総量を 54.8wt%、スメクタイトを 32.6wt% 含む半遠洋性粘土で約 0.40、粘土鉱物総量を 88.7wt%、スメクタイトを 63.2wt% 含む遠洋性粘土で約 0.11 であった (図 7)。 $1 \mu\text{ m/s}$  から  $10 \mu\text{ m/s}$  への変位速度増加に伴い、 $\mu_{ss}$  は玄武岩試料では約 0.67 でほぼ同じであるのに対し、チャート試料では約 0.77 から約 0.62 へと小さくなり、一方、半遠洋性粘土試料では約 0.40 から約 0.42 へ、遠洋性粘土試料では約 0.11 から約 0.17 へと大きくなった (図 1)。このように、日本海溝プレート境界断層浅部の実験条件では、チャートは摩擦強度が大きく速度弱化の挙動を示し、玄武岩は摩擦強度が比較的大きいが変位速度にあまり依存しない挙動を示し、半遠洋性粘土は摩擦強度が比較的小さく速度強化の挙動を示し、遠洋性粘土は摩擦強度が著しく小さく顕著な速度強化の挙動を示す。従って日本海溝に太平洋プレートが沈み込む場合、摩擦強度の最も小さい遠洋性粘土層にプレート境界断層が形成されやすい。遠洋性粘土層に形成されたプレート境界断層は強度が小さく、地震発生に至るような断層運動は起こらないが、チャート層や玄武岩層中に形成されたプレート境界断層は強度が大きく、浅部でも地震発生に至るような断層運動が起こる可能性がある。

沈み込みプレート境界に多量に存在するスメクタイトと石英を様々な割合で混合した模擬物質を用いて、含水条件で変位速度  $30 \mu\text{ m/s} \sim 1.3 \text{ m/s}$  の摩擦実験を行い、各変位速度におけるスメクタイト量比が摩擦挙動に与える影響を調べた結果、中速域 ( $\sim 150 \mu\text{ m/s}$ ) においてスメクタイトの量比を 20% から 50% に増やすと、 $\mu_{ss}$  が 0.6 から 0.1 へと徐々に減少することが明らかとなった (図 8)。一方、高速域 ( $1.3 \text{ m/s}$ ) ではスメクタイトの量比にかかわらず  $\mu_{ss}$  は 0.2 以下の小さな値を示した (図 8)。中速域でスメクタイト量比の増加に伴い  $\mu_{ss}$  が小さくなるのは、剪断圧密に伴う間隙水圧の上昇に起因すると考えられる。この結果は、日本海溝ではスメクタイトが 40% 以上の遠洋性堆積物が沈み込むため、低速でも摩擦強度が小さく地震時に大きな応力降下をもたらさないのに対し、スメクタイトが比較的少ない ( $< 40\%$ ) 半遠洋性堆積物が沈み込む南海トラフでは、大きな応力降下が発生する可能性を示唆している (図 8)。

水飽和したスメクタイト ( Na 型モンモリロナイト ) ガウジを用いて、温度 25 ~ 150 °C、間隙水圧 10 MPa、有効垂直応力 10 ~ 70 MPa、軸変位速度 0.03 ~ 3  $\mu$  m/s の条件下で摩擦実験を行い、 $\mu_{ss}$  とその変位速度依存性 ( a-b 値 ) の温度・圧力依存性を調べた。その結果、 $\mu_{ss}$  は全ての条件下において著しく低いことが明らかとなった (  $\mu_{ss} = 0.06 \sim 0.12$  )。a-b 値は、低温条件 ( < 60 °C ) 下では有効法線応力に対する明瞭な負の依存性が認められたが、高温条件 ( > 90 °C ) 下では有効法線応力に依存しなくなり、わずかに速度強化 ( a-b < 0.001 ) の挙動を示した ( 図 9 )。この結果は、スメクタイトに富むデコルマ帯の摩擦特性が深度によって顕著に変化することを意味する。

2011 年東北地方太平洋沖地震の観測データと物理モデルを用いて、前震、前震余効滑り、本震初期破壊過程の、一連のすべり破壊過程を再現する動的・準動的モデルのプロトタイプを作成し、余効滑り領域に動的破壊が進展する様子を定性的に再現した ( 図 10 )。

また、東北沖における海洋プレートのリソスフェア - アセノスフェア境界における低粘性領域と島弧内陸における不均質レオロジーを考慮した有限要素法により、日本海溝周辺における粘弾性緩和過程による変形過程のモデル構築を行った。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Ando, R., Uchide, T. and Ohta, Y., Rupture dynamics inferred from early stage of the 2011 great Tohoku-oki earthquake, IUGG 2015 General Assembly, IUGG2944, 2015 .

Ando, R., Uchide, T. and Ohta, Y., Mechanically understand foreshock-afterslip- mainshock sequence of 2011 Great Tohoku-oki earthquake, AGU 2015 Fall Meeting, T43C-3026, 2015 .

長谷川晟也・佐藤利典・河野昭博・寺田麻美・森大湧・塩原肇・八木健夫・山田知朗・篠原雅尚・房総沖スローリップ域での海底圧力計を用いた海底上下変動観測、ブルーアース 2016、BE16-P13、2016 .

Hoshino, K. and Kanagawa, K., Frictional properties of subducting oceanic sediments and rocks at a shallow Japan Trench condition and slow slip rates. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, SSS02-P05, 2015 .

水谷知世・平内健一・林為人・澤井みち代, スメクタイトの摩擦特性における温度と圧力の影響. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, SSS29-P15, 2015 .

石原健・望月公廣・山田知朗・篠原雅尚・山下裕亮・東龍介・日野亮太・佐藤利典・村井芳夫・八木原寛, 2011 年東北地方太平洋沖地震震源域北限周辺における人工震源地震波構造調査による P 波速度構造, 日本地震学会 2015 年度秋季大会, S04-08, 2015 .

Oohashi, K., Hirose, T., Takahashi, M. and Tanikawa, W., Dynamic weakening of smectite-bearing faults at intermediate velocities: Implications for subduction zone earthquakes. J. Geophys. Res, 120, 1572-1586, 2015 .

Shibazaki, B., Matsumoto, T., Muto, J. and Inuma, T., Rheological structure of the northeastern Japan arc and its viscoelastic deformation after the 2011 Tohoku-oki earthquake, IUGG 2015 General Assembly, S08bp-080, 2015 .

篠原雅尚・山田知朗・中東和夫・町田祐弥・眞保敬・望月公廣・塩原肇・村井芳夫・日野亮太・伊藤喜宏・佐藤利典・植平賢司・八木原寛・尾鼻浩一郎・小平秀一, 海底地震計を用いた 2011 年東北沖地震震源域における地震活動モニタリング, 日本地球惑星科学連合大会 2015, MIS33-01、2015 .

篠原雅尚, 海底地震計を用いた 2011 年東北沖地震震源域における地震活動モニタリング, 研究集会「日本海溝では何がおこっているのか?」, 2015 .

Tanikawa, W., Ishikawa, T., Honda, G., Hirono, T. and Tadai, O., Trace element anomaly in fault rock induced by coseismic hydrothermal reactions reproduced in laboratory friction experiments. Geophysical Research Letters, 42, 3210-3217, 2015 .

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

海域観測研究

・回収された東北沖地震の震源域北部における長期観測型海底地震計データの解析を引き続き実施し、東北沖地震発生後の地震活動の把握を行う。宮城県沖におけるモニタリング観測は、回収および設置作業を行い、観測を継続する。また岩手県及び青森県沖の設置した海底地震計の設置回収作業を行い、解析を開始する。さらに、宮城県沖の海溝付近における海底地震計アレイ観測を実施すると共に、データ解析を行う。

・東北沖地震震源域北端付近の構造探査実験の解析を引き続き行う。これにより、プレート境界付近の不均質構造を求める。

・房総半島沖に設置してある海底精密水圧計の回収と再設置を行う。データ解析では、精度の向上方法を模索する。

#### 実験・モデリング研究

・太平洋プレート表層部想定試料について、プレート境界断層のより深部(5~10 km)相当の温度・有効圧力条件下で摩擦実験を行い、摩擦強度とその変位速度依存性を調べ、浅部条件の結果と比較する。

・関東周辺に沈み込む伊豆マリアナ弧を構成する岩石の摩擦特性を実験的に調べる。

・層間カチオンの異なるスメクタイトガウジを用いた熱水条件の摩擦実験を行う。

・動的・準動的モデリングに仮定する摩擦パラメタの空間分布をチューニングし、現実に観測された破壊過程をより忠実に再現できるようにモデルの改良を行う。

・観測結果を説明する東北沖地震後の海域における地殻変動のモデル化及びスロースリップのモデル化を行う。

#### (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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

所属：東京大学地震研究所 観測開発基盤センター

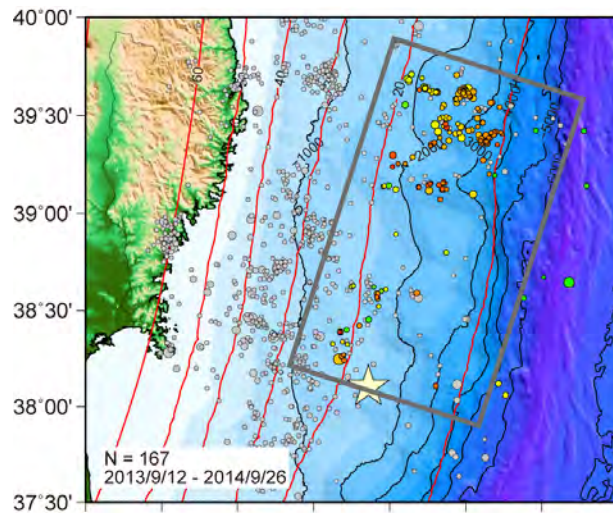


図 1 .

海底地震計観測網による 2013 年 9 月から 2014 年 9 月までの岩手県沖日本海溝陸側斜面における暫定的な震央分布．灰色の四角は研究対象域を示す．色は震源の深さを表す．また，灰色は 2011 年東北地方太平洋沖地震の海底地震計による震央．

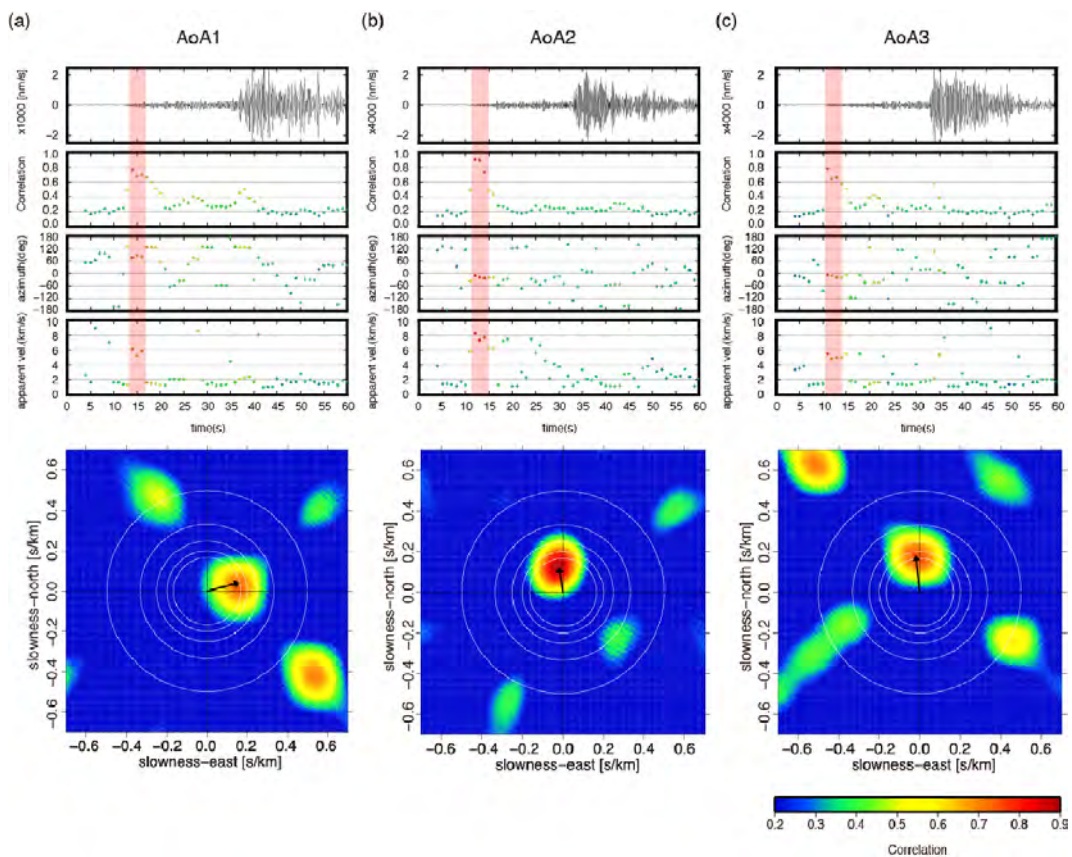


図 2 .

2015 年 2 月 17 日にアレイの北 200km で発生した M4.5 の地震の到来方向解析結果の例．(a) 上：AoA1 における速度波形，相関係数，到来方向（アジマス），見かけ速度の時間変化．下：相関が最大値をとる時間におけるスローネス空間での相関係数の分布．矢印は相関のピークが示す波の到来方向．(b)AoA2 の解析結果．(c)AoA3 の解析結果．

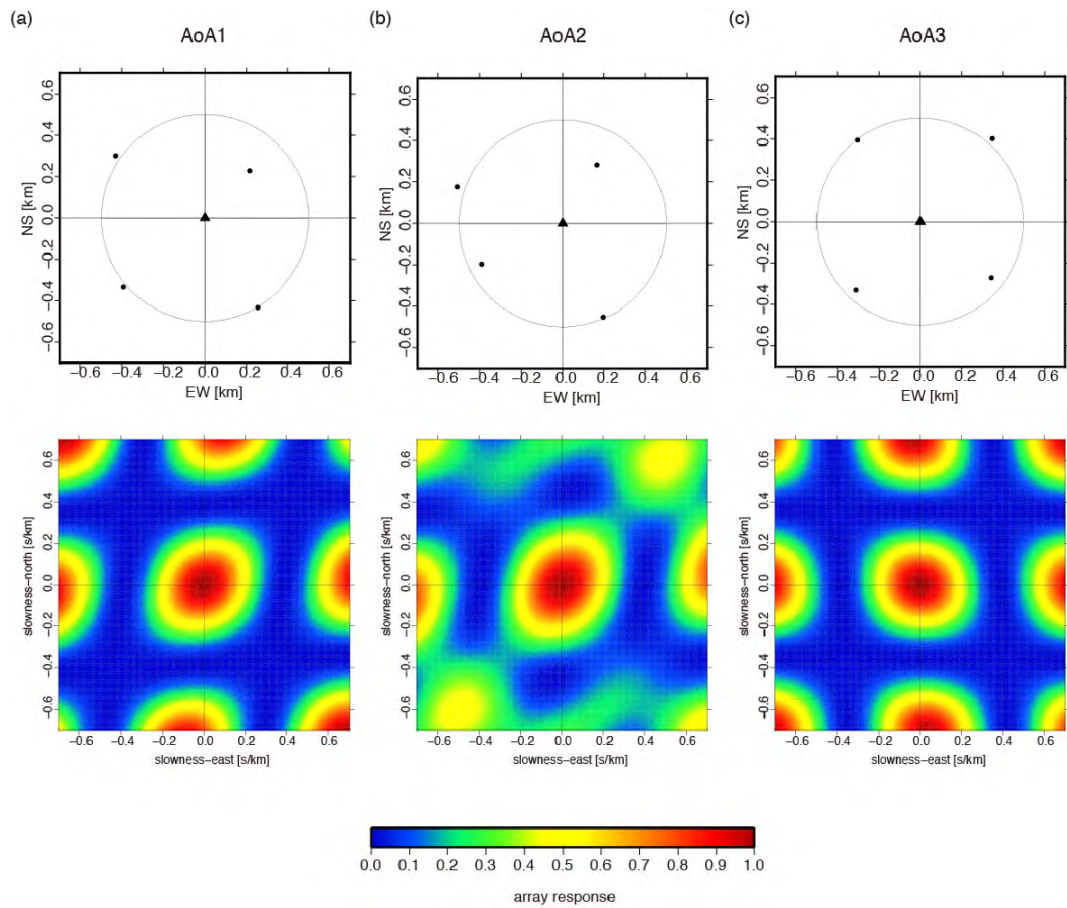


図 3 .

(a) 上: AoA1 アレイのアレイ形状 ( : 中心の広帯域海底地震計, 長期型 1Hz 海底地震計) . 下: 2Hz の波に対するスローネス空間における各アレイのアレイ応答関数 . (b) AoA2 アレイのアレイ形状とアレイ応答関数 . (c) AoA3 アレイのアレイ形状とアレイ応答関数 .

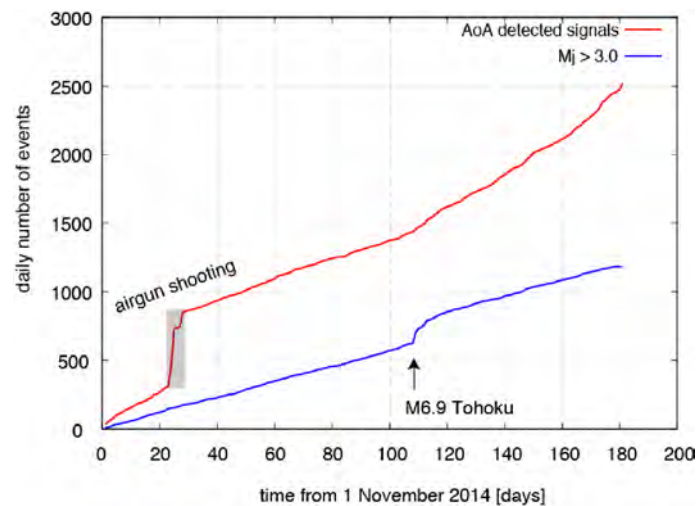


図 4 .

全 AoA アレイで同時検出されたシグナル数 (赤線) と気象庁カタログにおける M3.0 以上の近地地震の発生数 (青線) の時間変化 .

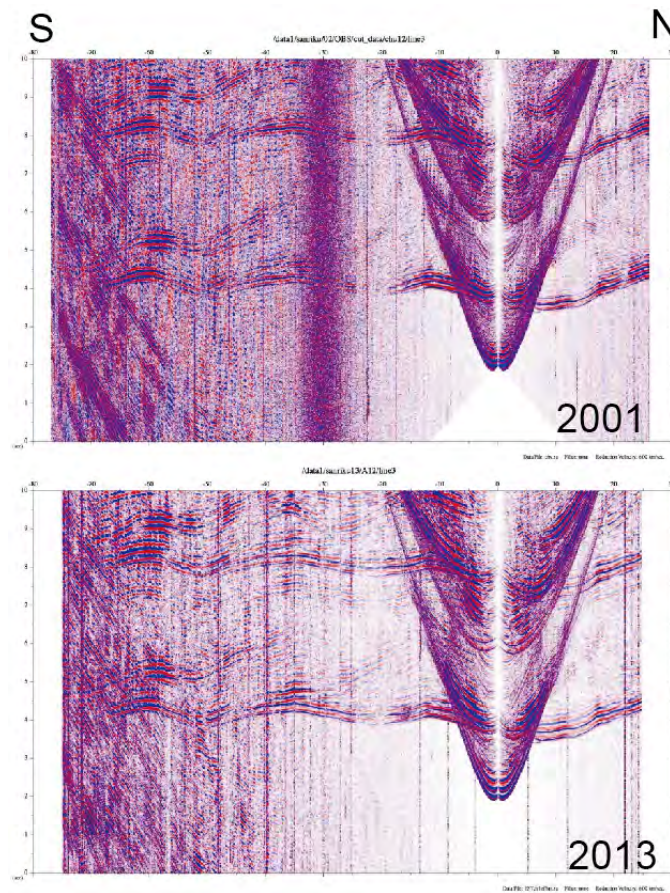


図5 .  
 2001年と2013年に行った構造探査実験のデータ . 同位置に設置された海底地震計について , 2001年と2013年の記録を比較している .

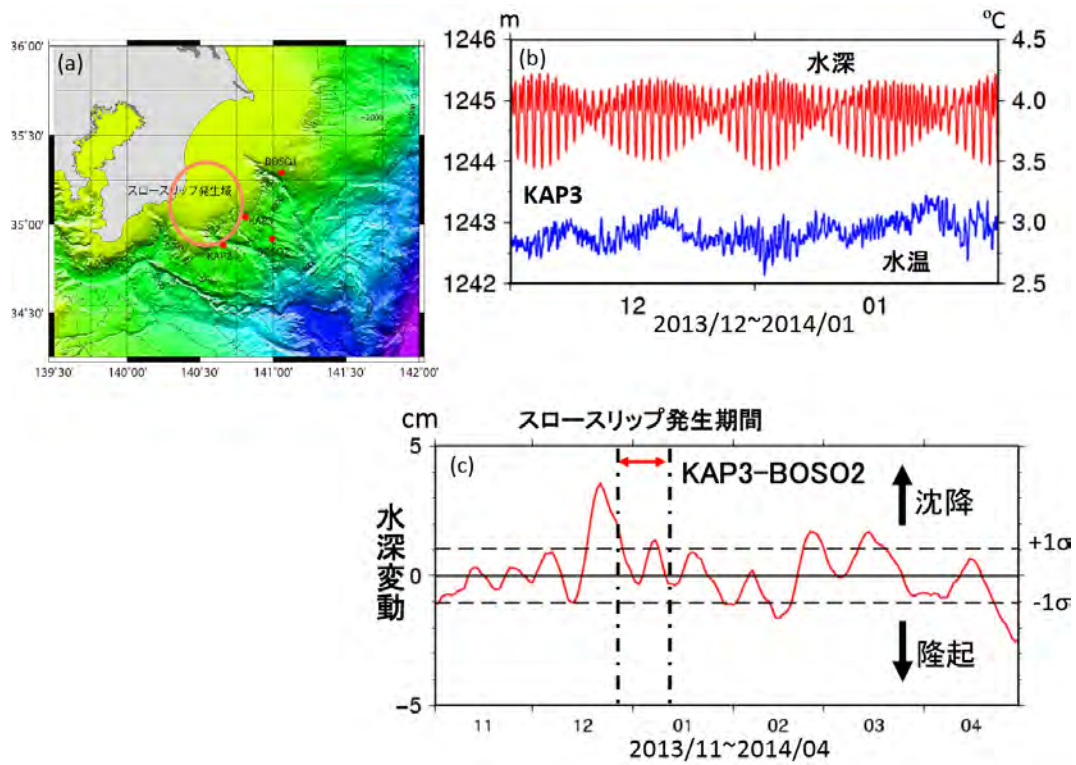


図 6 .  
 房総沖海底精密水圧計観測 . (a) 観測点配置と房総沖スロースリップすべり領域 , (b) 2013/12 ~ 2014/01 の KAP3 の水深と水温 , (c) 2013/11 ~ 2014/04 のデータ処理後の上下変動 ( KAP3-BOSO2 ) . スロースリップ前後で大きな段差は見られない .

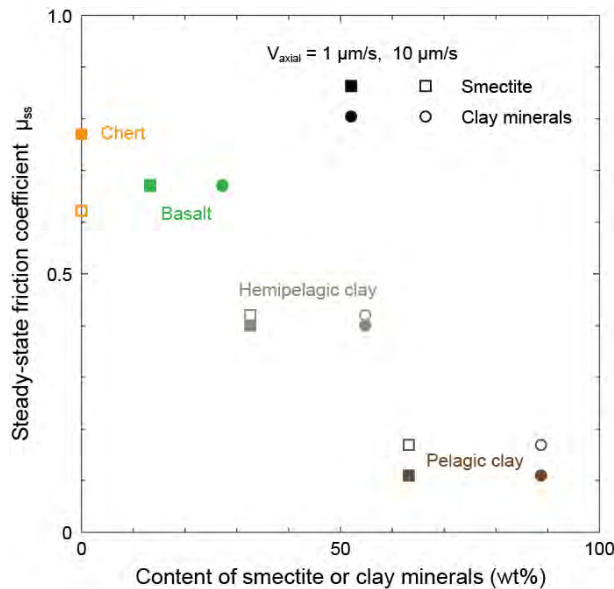


図 7 .  
 太平洋プレート表層部想定試料ガウジの日本海溝プレート境界断層浅部条件 ( 封圧 81MPa , 間隙水圧 76MPa , 温度 27.5 °C ) , 軸方向変位速度 (  $V_{axial}$  ) 1  $\mu$  m/s および 10  $\mu$  m/s における定常摩擦係数 (  $\mu_{ss}$  ) の , スメクタイト含有量および粘土鉱物総量に対する変化 . 玄武岩は紀伊半島沖 ( IODP 掘削地点 C0012 ) フィリピン海プレート海底下 611.5m の試料 , チャートは美濃帯犬山地域の試料 , 半遠洋性粘土および遠洋性粘土は三陸沖 ( DSDP 掘削地点 436 ) の海底下それぞれ 349.7m および 367.3m の試料 .

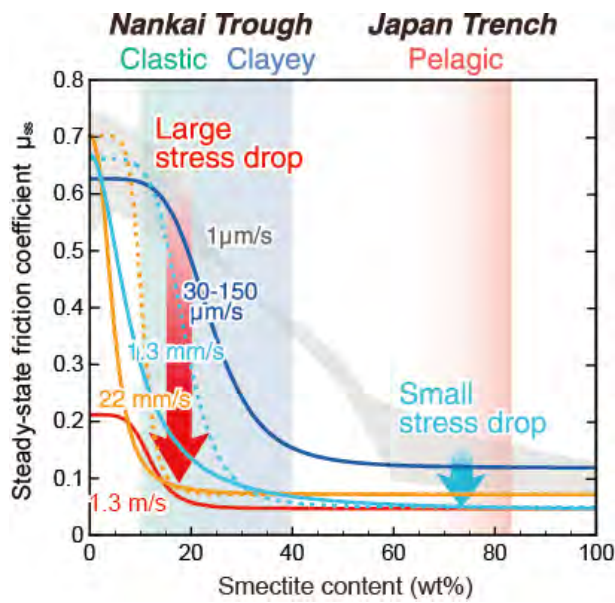


図 8 .

様々な変位速度における，スメクタイト含有量と定常摩擦係数  $\mu_{ss}$  の関係．日本海溝にはスメクタイトに富む遠洋性堆積物が沈み込み，南海トラフにはスメクタイト量が少ない半遠洋性堆積物が沈み込む．実験データは，地震時の応力降下が日本海溝では比較的小さく，南海トラフでは大きくなることを示唆している．

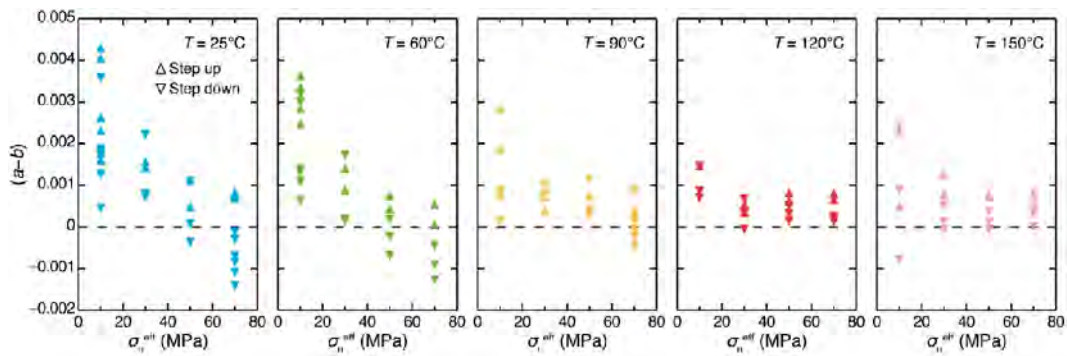


図 9 .

水飽和した Na 型モンモリロナイトガウジの  $a-b$  値と有効法線応力 ( $\sigma_n^{eff}$ ) の関係．



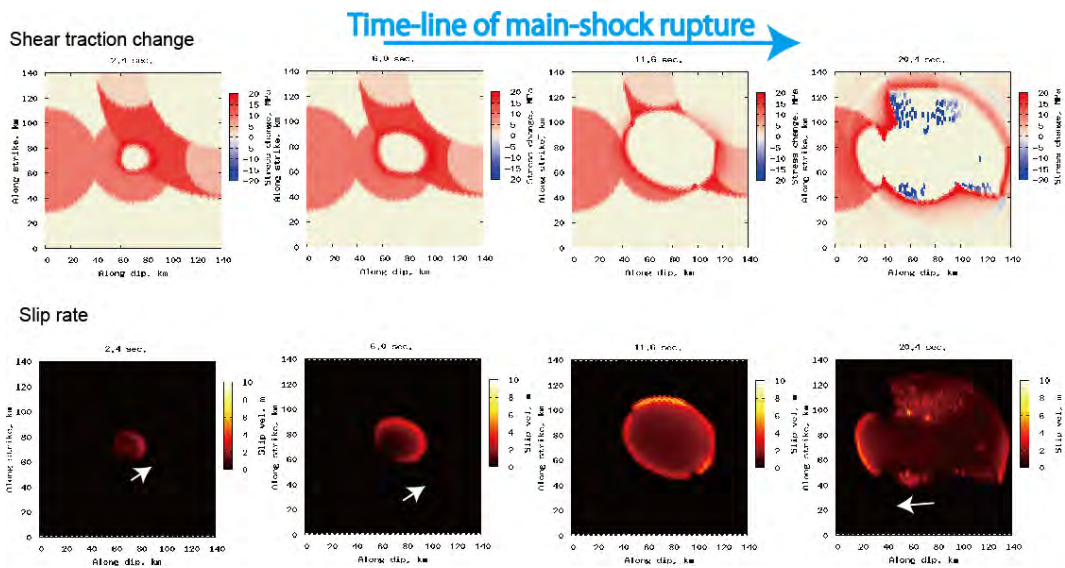


図 10 .

動的破壊伝播シミュレーションで再現した 2011 年東北沖地震の初期の破壊過程．剪断応力変化（上）と滑り速度（下）をスナップショットで示す．白矢印は平均的な破壊伝播方向．

( 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、地殻およびマントルの粘性・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27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。

#### 内陸地震断層の理解とモデル化，

内陸地震発生に関して重要なパラメータの一つである地殻内流体の存在と内陸地震発生に関する研究がすすめられ、岩石の変形特性に及ぼす高間隙水・フュガシティの効果など実験による理解も進んだ。また、CT 観察による地殻流体の実態の把握など地殻の流体量を見積もる研究も進められた。野島断層では、注水実験解析や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などの研究もおこなわれた。

2000 年鳥取県西部地震域での稠密地震観測データを用いた、震源断層周辺で発生した余震約 4000 イベントの発震機構解及びその震源位置の推定が行なわれ、本震時に破壊された断層面とその周辺で発生する発震機構解のタイプは多様であることが分かり、今後さらなる調査が必要であることが分かった。さらに、近畿地方広域での地殻構造のモデル化や御嶽山の地震活動や地下構造の推定、また、間隙流体圧場の推定等を目指し広域応力場の推定が行われ、流体と地震火山現象の関連の解明が重要であることが確認された。

#### 東北地方太平洋沖地震の効果による地殻応答，

2011 年東北地方太平洋沖地震の後に地震活動・火山活動の活発化が観測された宮城・福島県境付近の地殻内地震波速度構造の推定や 2011 年 4 月 11 日に発生した福島県浜通り地震の震源域での稠密地震観測網による膨大な震源データの解析等が行われ、速度構造と震源域の関係の理解が進んだ。また、測地観測による歪分布の調査や重力観測や電磁気観測等、様々な物理パラメータの調査観測が進められている。こうして、東北地方太平洋沖地震の効果による地殻応答に関しては理解と研究が進んでいる。

#### 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

構造探査等や地震波トモグラフィの結果、震源分布をもとにプレート境界の推定が行なわれた。特に海溝から陸域にかけては、既往成果をコンパイルし、プレート上面の位置の推定が行なわれ、レオロジーモデルの構築を目指した岩石の実験等も進められた。このように、レオロジーモデリングに関しても研究が進んだ。

#### 地震発生の場合と火山の作用

地震発生ポテンシャルの評価に向けて、非弾性変形に寄与する地震活動によるひずみの見積もりを行い GNSS によるひずみレートとの比較が行われた。また、阿蘇火山では、2014 年 11 月に約 20 年ぶりとなるマグマ性噴火が発生し、以前に観測された地殻変動データから同火山の噴火ポテンシャルの評価が行われた。秋田県森吉山での誘発地震の後続波の波形の時間変化や深部低周波地震の時空間変化と波形の多様性等の研究もおこなわれ、地殻流体と地震火山相互作用に関する理解も進んだ。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :

( 10 ) 平成 28 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する議論と検討を行う。

( 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27年度の成果の概要：

近年、詳細な地震観測網の整備による高精度震源分布や大規模な制御震源による地殻構造探査や tomography, RF 解析等によって、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が著しく増加した。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対するコミュニティ・モデルの構築とそれらの更新は、日

本列島の活動予測にとって本質的に重要であり、現状を把握し、今後の観測を合理的に進めていくためにも欠かせないものである。本研究は、既往の成果を可能な限り収集・整理し、下記の6つの要素についての基本構造デジタルモデル (grid データ) を構築していくものである。

- (1) 地形・海溝軸モデルの構築
- (2) プレート境界モデルの構築
- (3) 日本列島及びその周辺の震源断層モデルの構築
- (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
- (5) リソスフェア・アセノスフェア境界の構築
- (6) 日本列島下の岩石モデル・レオロジーモデルの構築

#### 1. 地形・海溝軸モデルの構築

国土地理院、水路部の地形・水深データを合わせて、日本列島及びその周辺海域の 500m メッシュの topography data (範囲: N12°-54°, E118°-164°, 図1) を確定し、このデータから千島-日本-伊豆小笠原海溝及び相模トラフ、駿河トラフ-南海トラフ-琉球海溝の位置と水深モデルを作成・確定した。これが、以下のモデリングの基礎となるべきデータである。

#### 2. プレート境界モデル

##### 2.0 モデル構築用 program 群の開発

プレート境界面モデル構築に必要な program 群の開発・修正を行った。具体的には、自然地震震源分布からのプレート境界面近似、3次元 grid data 構築に必要な program 群を構築した。

##### 2.1 自然地震を用いた広域プレート境界モデル

上記のモデル範囲において、気象庁一元化震源・USGS・ISCの震源データをもとに、広域的プレート境界を定義した。まず、各海溝軸に対して異なった角度で交わる 800-1000km の長さの測線を設定し (太平洋プレートで 5314, フィリピン海プレートで 2539), 各測線下の震源分布断面からプレート形状を spline 関数によって fitting した (図2)。次に, fitting されたプレート境界形状から, プレートの等深度点分布を求め, 更にそれを spline 補間して 5-50km 間隔の等深度線を連続関数として定義した。この等深度線データを 3次元的に補間することによって, 太平洋プレートとフィリピン海プレートの 3次元形状を grid データとして構築した。

##### 2.2 海溝軸から陸側斜面下におけるプレート境界モデル

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。そこで、の結果が必要である。そこで、当該範囲における構造探査・tomography 解析等の既往成果 (59 論文) をコンパイルし、プレート上面の位置 (緯度・経度・深さ) のデータを作成した。これらのデータは、日本列島周辺においては、広域モデルに比べてより短波長のプレート形状変化を与えるものである。そこで、この短波長変化を広域モデルに重畳する形でより高精度のプレートモデルを構築中である。日本周辺の太平洋プレート浅部 (20-50km) については、制御震源データから得られるプレート位置は、広域モデルにおけるプレート位置より系統的に浅い傾向にある。この差は、前者が構造境界を表しているのに対し、後者は力学的境界を表している可能性がある。

フィリピン海プレートについても、同様の構築が進行中である。図5は、弘瀬によるモデル (<http://www.mri-jma.go.jp/Dep/sv/2ken/fhirose/ja/PlateData.html>) を、今回作成した広域モデルに重畳したものである。

#### 3. 日本列島及びその周辺の震源断層モデルの構築

日本列島及びその周辺域の Moho 面形状及び脆性・延性境界形状モデル構築のため、tomography 解析及び RF 解析に関する既往論文成果 5 編に対して grid データを作成し、手法による結果の差を調べるとともに共通の特徴抽出等に関する検討を開始した。また、北陸・関東地域の地下構造データを基に、震源断層モデルを構築した。

#### 4. リソスフェア・アセノスフェア境界の構築

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した。2001年から2003年にかけて、日本海大和海盆で実施された広帯域海底地震計による長期地



震観測では、深部構造が求められている。また、2013年から、文部科学省委託研究により、同じく大和海盆で、LABを求めるための長期広帯域海底地震観測が実施されている。本年度は、2014年に大和海盆に設置した長期観測型海底地震計の回収作業が実施された。また、海底地震計の再設置が行われ、大和海盆における観測が継続されている。これまでに回収した海底地震計記録から、大和海盆の深部構造を求める解析が実施中である。

#### 5. 日本列島下の岩石モデル・レオロジーモデルの構築

日本列島下の岩石モデルの構築を目的として、H27年度は特に、西南日本列島下の地殻構成岩石に関する初期モデルを検討した。九州北部の高島と黒瀬には苦鉄質・超苦鉄質捕獲岩が産出しており、これらの岩石の弾性波速度は地下構造を推定する上で有効なデータである。例えば、高島産はんれい岩（シリカ48wt%）と黒瀬産はんれい岩（シリカ48wt%）の弾性波速度は、20・1.0GPaではそれぞれ7.2km/sと7.4km/s、400・1.0GPaで7.1km/sと7.2km/sである。黒瀬産かんらん岩（シリカ43wt%）の弾性波速度は、20・1.0GPaでは8.0km/sである。これらの岩石は高島と九州北部のモホ近傍から噴出した岩石と考えられるが、九州北部の深さ30kmの地震波トモグラフィーは、low-V<sub>p</sub>で特徴付けられており、高島と黒瀬の苦鉄質捕獲岩の弾性波速度と調和的ではない。また、この低速度域は深さ40kmの最上部マントルまで続いている。下部地殻から最上部マントルまでlow-V<sub>p</sub>で特徴付けられる領域は北九州から中国山地までスポット上に連続して分布しており、これらのlow-V<sub>p</sub>領域には、相対的にシリカに富む岩石が下部地殻から最上部マントルに分布していることを反映していると解釈される。

#### 6. 研究集会

このような総合的モデル構築には、関連分野での最先端の研究成果の融合が不可欠である。今後のモデリングを、全国の研究者の協力のもとで進めて行くために、11月25日に日本列島基本構造モデル構築についての小集会を開催し、その時点で作成されていたplate構造を紹介し、その問題点等について、議論を行った。

(9) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

(10) 平成28年度実施計画の概要：

今年度で基本的なデータ作成が終了するプレート構造モデルについては、補間手法等処理programの一層の向上を行い、広く公開するための準備を行う。また、モデリングの中心をプレート境界から島弧に移し、島弧内構造モデルの構築を本格的に実施する。即ち、今年度収集したMoho面及びコンラッド面形状の他に新たな成果を取り入れ、島弧下の3次元的構造モデルの策定を目指す。また、中国・九州地域の地殻内震源断層モデルの構築を行う。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、まず実験および計算から地下深部由来の捕獲岩の弾性波速度を得、次に地殻構造との対比を行う。今年度に引き続き、西南日本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

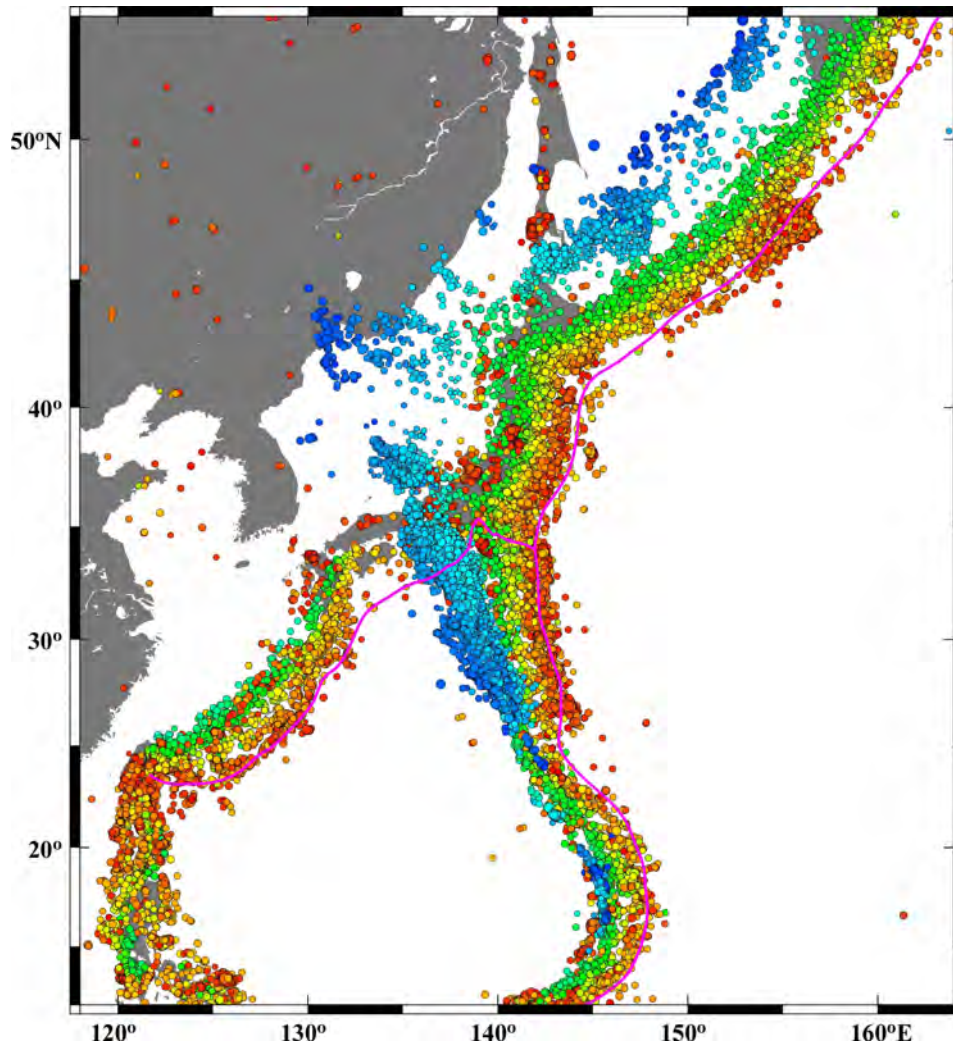


図 1. モデル範囲と広域プレートモデル構築に用いた震源分布 .

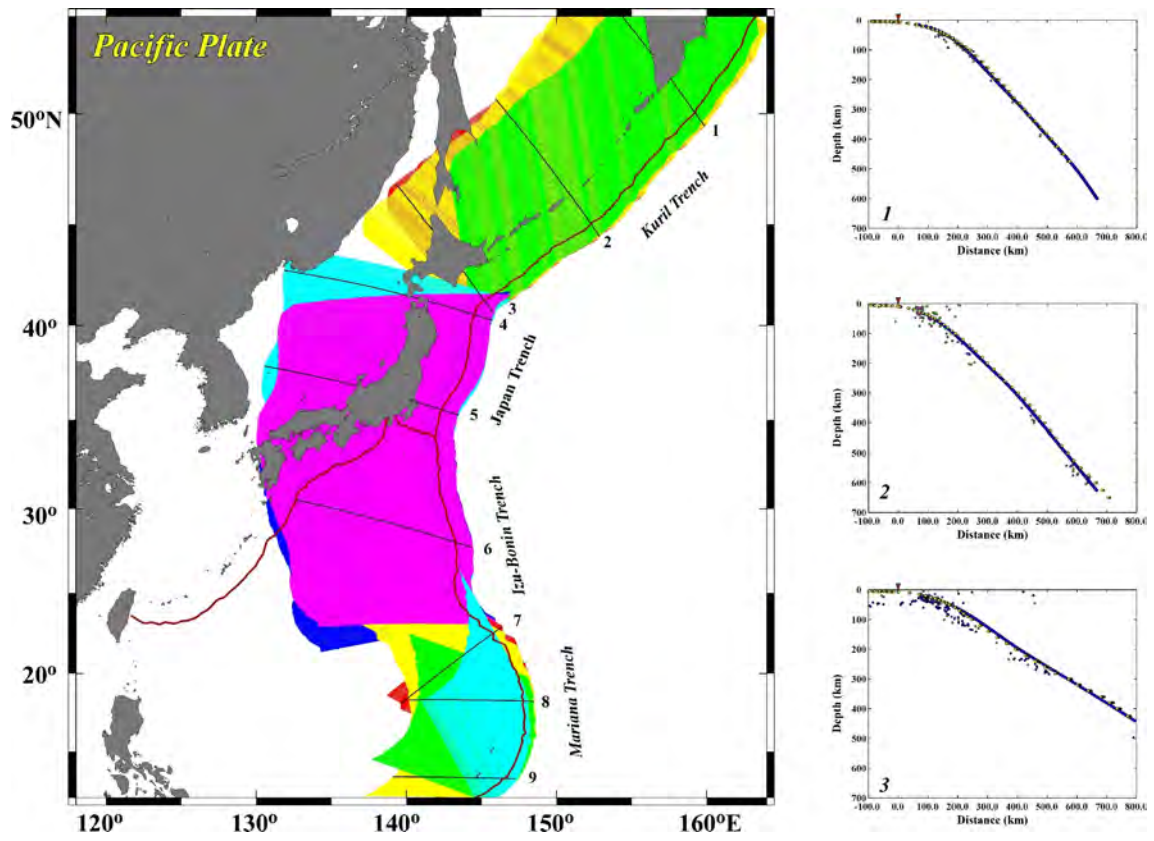


図 2. 太平洋プレート境界構築に用いた 5314 本の profile と地震断面の例 .

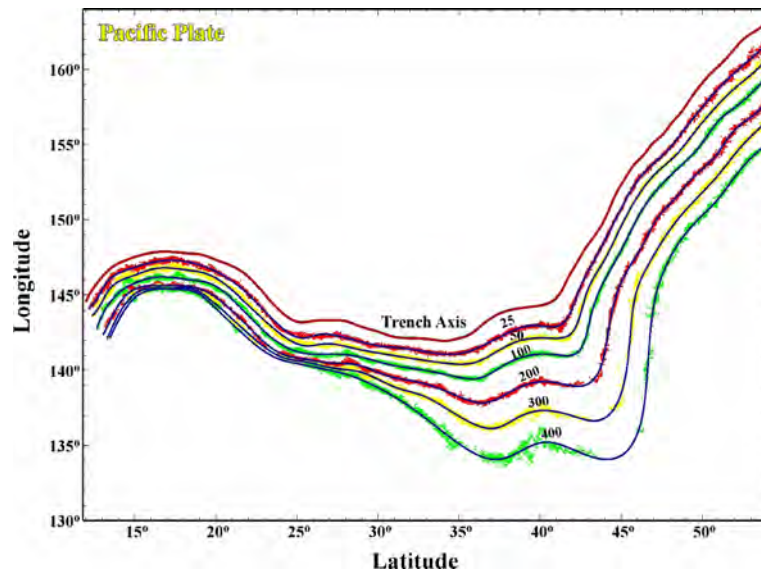


図 3. 震源分布から推定した太平洋プレートの等深度線 .

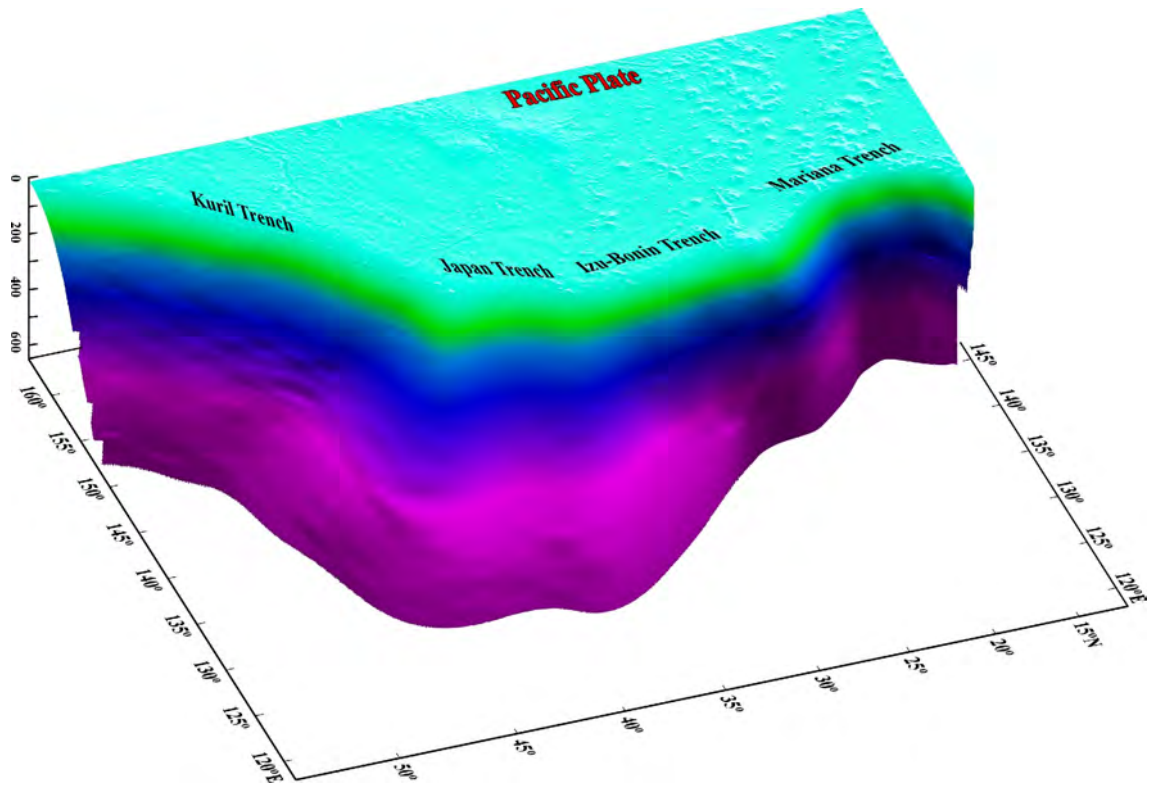


図 4. モデル領域における太平洋プレート形状の鯨観図 .

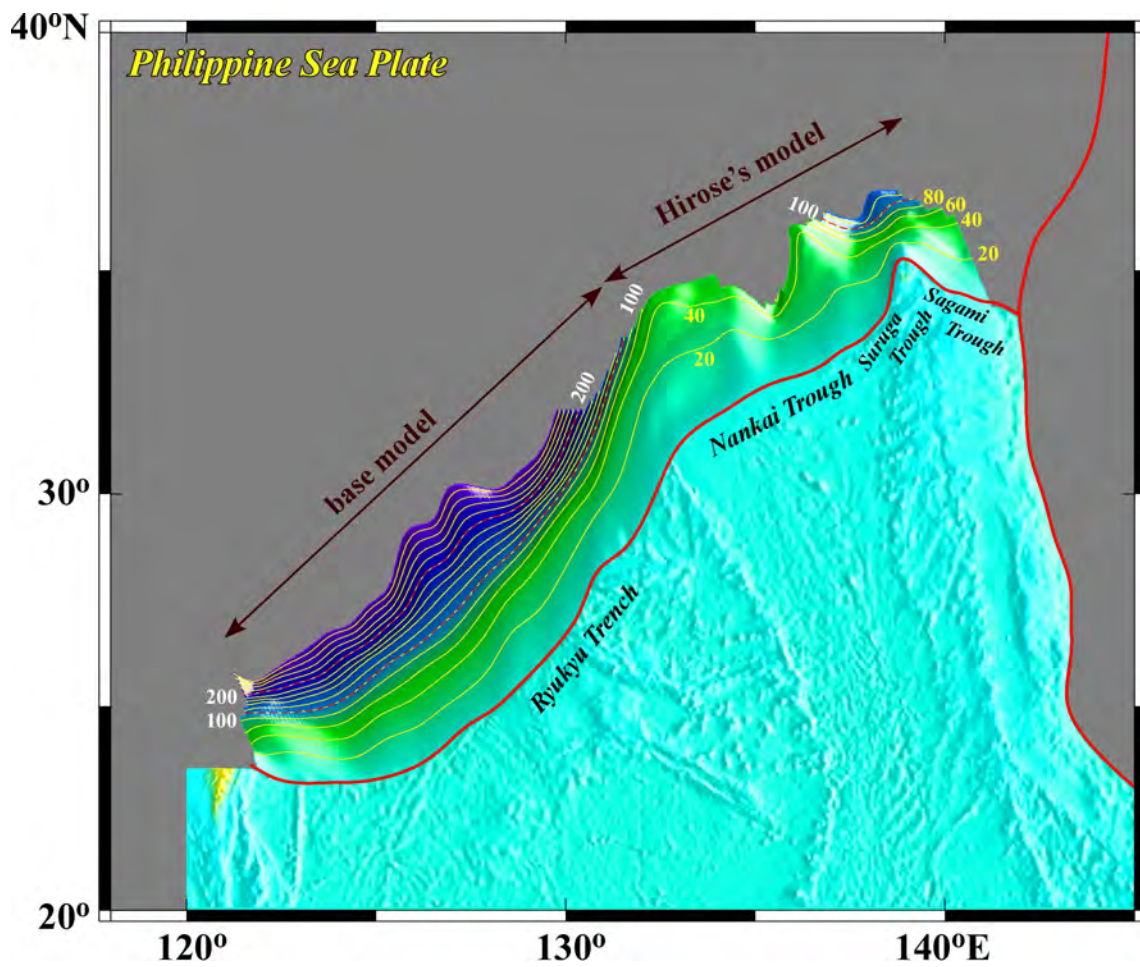


図 5. 弘瀬によるモデル (<http://www.mri-jma.go.jp/Dep/sv/2ken/fhirose/ja/PlateData.html>) を取り入れた、モデル領域におけるフィリピン海プレート平面図。

( 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27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 $\mu$ 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 $\mu$ 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 の落下装置を微小距離投げ上げ装置に替え、桜島(有村観測坑道局舎・国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所)において試験観測を実施した(図1)。微小距離投げ上げ装置(図2)は落体を約3mm 投げ上げ、その往復運動をTAG-1 のレーザー干渉計で計測することにより重力加速度を求める。単純な一方向の落下方式に比べ、対称的な往復運動を計測することにより残留気体抵抗や光速度の有限性に伴う系統誤差を打ち消すことができる。一方、投げ上げ時の反作用によって生じる地面振動の系統誤差があるため、落体とともにカウンターバランスを同時に解放し反作用を打ち消す機構が組み込まれている。観測は2015年11月~12月にかけて行われ、その間火山活動は低調であったが、装置は安定に動作し、地球潮汐が検出できる精度であることが確認できた。また、いくつかの地震がTAG-1 の組み込み加速度計で検出され、所期の動作が確認できた。

このように、基本的な動作・性能が確認されており、実用性を高めた新型プロトタイプの開発をメーカーと共同で進めている。

(9) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27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利用した地震・津波・地殻変動の面的な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, 21, 252-254, 2015.

(10) 平成28年度実施計画の概要:

比較観測などを行い、計測された重力値の系統誤差の評価を継続する。また、新型プロトタイプ(小型光源・落下機構)による試験観測を実施し、性能および実用性を評価する。

(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 微小距離投げ上げ装置を用いた絶対重力観測（桜島・有村観測坑道局舎・国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所）



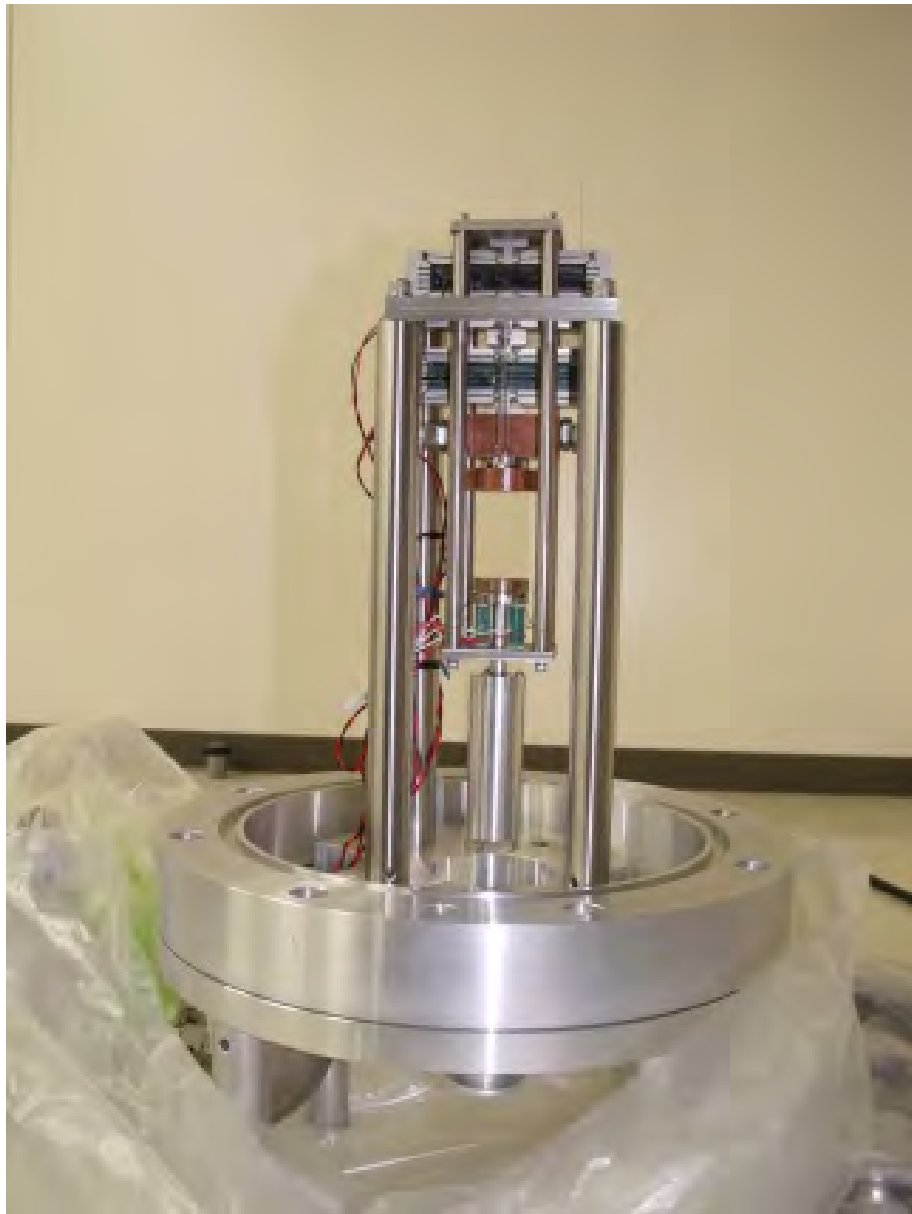


図2 微小距離投げ上げ装置

( 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：

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：

( 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いている。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お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合わせて、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砕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27年度の成果の概要：

プレート境界の強度

白亜紀に沈み込み境界の500程度程度の深度で剪断変形を受けた海洋地殻の珪質堆積物である三波川帯の変成チャートの石英結晶方位を精密にマッピングし、Shimizu (2008) の理論を改良して導出した界面エネルギー効果を含む再結晶粒径差応力計を適用して差応力が30~60 MPaと推定された(図1)。この値は、粒径の温度依存性が考慮されていない差応力計による推定値よりは明らかに高いが、wet 石英の転位クリープから算出される応力値とへ調和的であり(Shimizu & Ueda, 2015a,b)、同じく珪質堆積物が支配的である東北地方の沈み込み帯深部に対するShimizu(2014)の見積りを支持する。他方、温度の高い西南日本の沈み込み帯では、蛇紋岩などの含水鉱物の役割が重要になると考えられる(清水, 2015, 連合大会)。蛇紋岩の脆性-延性挙動を解明するため、固体圧変形実験装置の制御装置を改良して

低速域の試験を可能にした。さらに応力精度を高めるために、改良アセンブリと金属試験片による予備実験を行なった。

一方で、沈み込み境界浅部では、堆積泥の化学的膠結作用を考慮することが必要である。そこで、アナログ物質として普通ポルトランドセメントを硬化させた円柱試料の三軸圧縮試験を行ったところ、30-400MPaという広い封圧範囲にわたって延性変形中の強度が一致しており、大理石や石灰岩などの軟岩の試験でみられる、延性変形しつつも強度が封圧に正の依存性をもつ広い中間領域が存在しない。また、BEI-SEMでの観察でも、試料の大部分を占めるセメント水和物の分子構造変化を示唆する画像明度の変化があり、低い応力でも変形がほぼ全面的に結晶塑性によって賄われることが示唆される (Sakai et al., 2016; 酒井ら, 印刷中)。

天然断層の動摩擦強度の直接計測のために南アフリカ鉱山でおこなっている断層温度の観測については、データ取得を継続している。

#### 速度状態摩擦 (RSF) 則の物理

地震現象のモデルに広く用いられている RSF 型の構成則は、様々な原因で変化する真実接触面積割合  $r$  に反比例する接触部剪断応力  $\tau_c$  に応じた速度の滑りが生じる流動則とみることができる (Nakatani, 2001)。RSF 則には様々な亜種があるが、それは、 $r$  の変化を与える発展則のバリエーションであり、構成則自体はみな同じである。透明なアクリル材を用いて接触面積を光学的に計測しながら摩擦試験を行い、滑り速度が  $\tau_c$  の一価関数になっているかを検証した。図 2 は、定常滑りのあと載荷ピストンを静止させ (a)、300 秒の準静的ヒーリング期間の後 (b)、再び載荷して静摩擦 (e) をへて定常滑り (g) に至る実験の結果である。この実験中の滑り速度  $V$  と  $\tau_c$  の関係を図 3 に示すが、明らかに一価関数でない。再載荷の初期、すなわち滑り弱화가最も卓越する時期に  $\tau_c$  のわりに高い滑り速度が生じ (c)、ピーク応力 (e) に達するより前 (d) に一価関数に戻っている。再載荷の初期は地震準備過程において最も大事な局面であるが、実は、代表的な発展則の一つである aging 則がうまく働かない部分でもある。従来  $V(\tau_c)$  型の構成則のもとでは、再載荷の初期に非常に急峻な接触面積の低下がおこると考えるしかなく、その方向での発展則の改良が試みられてきた (e.g., Perrin et al., 1995; Nagata et al., 2012) が、図 3 は、実は構成則側に大きな間違いがあったことを直接に示している。実際、実測された接触面積は再載荷の初期においてもほぼ線形なエージング則に沿う滑り弱화를示しているだけである (図 2)。そこで構成則の修正を試みた。この実験で音響透過によって計測された接触剛性  $k$  は基本的には接触面積  $r$  に比例しているが、よくみると再載荷の初期には  $r$  のわりに  $k$  が低くなる (図 2 インセット)。そこで、 $q:=k/r$  という量を定義し、接触部の単位面積あたりの強度、すなわち接触の品質を反映する指標であると考えて構成則のパラメタを  $q$  に依存させることで、 $V$  が  $\tau_c$  の非一価関数となるように構成則を改造した。 $q$  が低下すると、接触部の強度が下り、かつより延性的になると仮定 (図 3 インセット) した場合のみ、実験データに近いヒステリシスが得られた (図 3, 黒い点)。

以上の実験からのアプローチとは独立に、摩擦界面での原子論的過程の考察から RSF 則を純理論的に導出し、法則に含まれる経験的パラメタの理論式を得た (Hatano, 2015, IMF)。いくつかは先行研究と整合的であるが、特筆すべきは長さ定数と状態変数の微視的表現を初めて得たことである。これらは各アスペリティのサイズおよび接触時間に関する指数重み平均として与えられる。前者によって、面のトポグラフィ情報から長さ定数を求めることができ、摩擦法則に関するスケール依存性を系統的に説明できるようになった。後者からは、発展法則を系統的に導出することが可能になった。例として aging law と slip law を導出し、成立のための必要条件を明らかにした。

#### RSF 則に基く釜石沖繰り返し地震の予測実験

釜石沖のプレート境界では、2011 年東北地方太平洋沖地が発生する前は M4.9 程度の地震が比較的規則的に発生していたが、東北沖地震後、発生間隔が短くなり、また、マグニチュードが一時的に大きくなって M6 クラスの地震も発生した。このような推移は条件付き安定である大パッチの中に不安定な小パッチが存在するモデルなどで説明できると推察される (Uchida et al., 2014)。そこで、測地観測から求められた釜石沖地震震源域での余効すべり履歴 (Fukuda et al., 2013) を入力として RSF 則を用いたシミュレーションを行い、このシナリオを再現した (Yoshida et al., 2015)。計算された地震の発生

時はある程度観測と一致していた。また、摩擦則によっては、小パッチを仮定しなくても大パッチの一部だけが破壊して同様の現象が起こりうることもわかった。

さらに、吉田・他(2015, 連合大会)では、RSFモデルによる(事後)予測実験を行った。摩擦則としては、従来の摩擦則に比べ実験データをよく再現できる Nagata 則を用いた。摩擦パラメータをある範囲内で変化させた多くのシミュレーション(一例を図4に示す)を並行して走らせ、予測しようとする地震の一つ前までの地震の発生時をある程度再現できた複数個のシミュレーションによる予測発生時刻の平均を予測値とした。M9 後発生した 11 回の繰り返し地震のうち最近の 5 つの発生時を 40-50 日の誤差で予測できた。図5は M9 の約 4 年後に発生した 11 番目の地震の予測結果である。

#### 巨視的な滑りイベントの発生規準に関する新しい理論

地震や SSE は断層上でまとまった滑り領域が拡大/伝播していくイベント的現象であり、断層面上でのローカルな摩擦則と、滑りの空間分布が周囲岩盤中に作り出す弾性応力分布との兼ね合いでその発生や停止が計算できる。滑り域のすぐ外側の剪断応力は、滑り域内での食い違い変位によって一時的に上昇させられるから、これらのイベントを起こすのに必要な断層へ巨視的な載荷力は、静摩擦強度以下でよいことは長く理解されている(e.g., 大中・松浦, 2002)。静摩擦から動摩擦への滑り弱体化に近いものであれば、滑り域先端のエネルギーバランスを考えることで、発生するイベントは、弾性波速度に近い高速で拡大する地震イベントと、その直前の準静的震源核だけであると考えられるが、SSE の発見以降、動摩擦が低速領域では速度弱体化、高速領域では速度強化である場合には、弾性波速度よりずっと低い速度で伝播し低速滑りの段階で終了する SSE のような滑りイベントが発生することが理論的にも知られるようになった(Shibazaki & Shimamoto, 2007; Rubin, 2011)。ここでは、逆に低速域で速度強化、高速域で速度弱体化になる摩擦則の場合の巨視的なイベントの発生条件を数値実験と線形安定性解析で調べた(Suzuki and Matsukawa, 2015, ITC)。断層端を定応力で荷重しつづけた場合、その荷重がある臨界値よりも高ければ、高速で伝播し続ける地震相当のイベントが発生するが、載荷が低い場合には、減速しながら伝播し自発的に停止するイベントが発生し、後者のイベントの滑り量と寿命は載荷レベルとともに増加することを見いだした。ここで仮定したような摩擦が現実の断層面で存在するかは全く未知であるが、ローカルな静止摩擦を全くもたない系でも、地震イベント発生規準となる巨視的な応力レベルが存在し、また、それ以下の場合に、応力レベルに応じた precursor 的イベントが生じるという点で、非常に興味深い振舞いである。

#### 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現している。今年度は、これらの破壊計算法定式化の理論的基礎となる「全無限グリーン関数を用いた任意の有限領域の変形場の表現」の数学的根拠を示した(日下部・亀, 2015)。この変形場の表現は、提案されている断層破壊計算法が、媒質境界の任意の形状に対して有効であることを保証する。

また、摩擦発熱による間隙水圧の上昇は、巨大地震の成長を決定づける可能性が数値計算で示される(e.g., Noda & Lapusta, 2013) など重要性が認識されているが、関係するパラメータが多く、評価が難しい。この問題を解析的なアプローチで系統的に整理した論文(鈴木, 2015)を出版した。

#### 地震発生層底部での大きなプレスリップの可能性の検討

プレート境界型の地震の前数日といった直前期間に大きな地殻変動がおこったと推察されるケースがあり(e.g., 梅田・板場, 2013, 2014)、それがプレスリップによるなら、地殻変動のパターンから地震時滑り域の深部延長でおこったと推定される(Roeloffs, 2006)。例えば Linde and Sacks (2002) は、1946 年昭和南海地震に関して深部に 2 m 程度のプレスリップを推定している。Kato (2003) は、深いところほど低いカットオフ滑り速度  $V_c$  で摩擦が速度弱体化から速度強化に転じると仮定することで、サイクル中数回の SSE と、1 m 近い深部での本震直前プレスリップが生じることを示している。今年度は、高時間分解能で準動的な地震サイクルシミュレーションを行い、プレスリップを観察した。摩擦則としては aging 則を用い、 $V_c$  をとり入れる場合は、深さ 20-35km で  $V_c$  が 10 m/s から 10E-9 m/s へ漸減する遷移域を設定した。比較のために行った  $V_c$  なしのケースでは同じ領域で A-B を負値から正値へ漸

増させた。モデルは傾角 30 度の二次元断層である。臨界滑り距離  $L$  は、6 mm と 9 mm の二つの場合を試した。深さ 20 km 以浅 (便宜上、脆性域と呼ぶ) には一定の負の A-B 値を設定し、その値は地震の繰り返しが約 130 年程度になるように決めた。図 6 に結果を示す。プレスリップは、地震前 1 年間の滑りのうちプレート速度を超えた分として定義した。 $V_c$  なし,  $L = 6$  mm (case1) では、たしかに小さなプレスリップしか生じない (Kato & Hirasawa, 1999) が、 $L = 9$  mm では  $V_c$  なし (case3) でも Dip 方向 20km くらいの範囲で平均 1 m 近い相当大きなプレスリップが生じる (図 6)。これは aging 則での臨界核サイズの理論値 (Ampuero & Rubin, 2008) と合致しており特別なことではない。case3 のプレスリップ域は、脆性域深部だけでなく遷移域浅部までも含むが、それでもプレスリップ主要部での平均サイズミックカップリング率は 7 割近く、また、プレスリップのモーメント成長曲線 (図 7) でも本震にむかって一本調子で加速する典型的な脆性破壊の様相を示している。

一方で  $L = 6$  mm で  $V_c$  を仮定した case2 のプレスリップ域は遷移領域内に限られ (図 6)、この部分の  $\beta$  は 0.17 である。このプレスリップは地震の約 1 日前に深さ 28km 程度ではじまり、各深さでの  $V_c$  で速度を頭うちされつつ地震数秒前に浅部での脆性核形成がはじまるまで遷移域内をアップディップ方向へ伝播する大きな SSE イベントによるものである。地震の約 1 日前から  $V_c$  なしの case1 を大きく上回るモーメント解放をおこしており、地震数秒前までは、 $V_c$  なし  $L = 9$  mm の case3 と同程度のモーメント解放率を維持している (図 7)。最後に、 $L = 9$  mm で  $V_c$  のある case4 では、遷移域と脆性域深部にまたがる、さらに大きなプレスリップが生じている (図 6)。図 7 をみると、このケースでは 2 日前から 17 時間前までの間に大きなスローイベントが生じている。このイベントの前半では、深さ 22km から 27km へ  $V_c$  による頭打ちを受けつつダウンディップ方向へ伝播する大きな SSE がおこり、続いてモーメント解放が一旦減速するが、このイベントで浅部に加わったステップ的な大きな応力増加が浅部の遅れ破壊としての震源核形成を促進し (20km->15km にかけて滑り域が急速に広がった、図 6)、1 日ほどで地震に至った。結果として、地震 1 日前から非常にアラームな状態が出現したわけだが、 $L = 6$  mm でこの現象がおこらず、 $L = 9$  mm でおこったことの原因が理解できておらず、必然性のある現象なのかはわからない。なお、この case4 におけるプレスリップ域の脆性域部分の大きさは、 $V_c$  なしの case3 よりむしろせまく、case2 と同じくプレスリップは  $\beta$  の低い領域で起きている。

- ( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
- Hatano, T., 2015a, Atomistic origin of rate and state friction law, International Meeting on Friction -from atomic to geophysical scales-.
  - Hatano, T., 2015b, Friction laws from dimensional-analysis point of view. Geophys. J. Int., 202, 2159-2162.
  - Hatano, T., C. Narteau, and P. Shebalin, 2015, Common dependence on stress for the statistics of granular avalanches and earthquakes, Scientific Reports, 5, 12280.
  - 日下部哲也・亀伸樹, 2015a, 表現定理とグリーン関数 -全無限グリーン関数による有限領域の弾性変形場の表現-, 地震 (2), 68, 83-89
  - 日下部哲也・亀伸樹, 2015b, 表現定理とグリーン関数 ( 1 ) -全無限グリーン関数による有限領域の弾性変形場の表現-, 日本地震学会秋季大会
  - 桑野修・中谷正生・波多野恭弘・阪口秀, 2015, Friction of granular layer at seismic slip rates - Effect of wall disturbances, 日本地球惑星科学連合大会
  - Sakai, Y., M. Nakatani, A. Takeuchi, Y. Omorai and T. Kishi, 2016, Mechanical behavior of cement paste and alterations of hydrates under high-pressure triaxial testing, J. Advanced Concrete Technology, 14, 1-12
  - 酒井雄也・中谷正生・竹内昭洋・岸利治, 印刷中, 高圧条件下におけるセメントペーストの挙動と変形機構の検討, セメント・コンクリート論文集, 69
  - 鈴木岳人, 2015a, 熱・流体・空隙生成相互作用系に現れる動的地震滑り過程の多様性 ( 研究紹介 ), 表面科学, 36, 230-235
  - Suzuki, T., 2015b (招待講演), Systematic Understanding of the Friction Behavior in terms of the Interaction among Heat, Fluid Pressure and Dilatancy in Natural Fault, International Meeting on Friction -from

atomic to geophysical scales-

Suzuki, T. and H. Matsukawa, 2015, Rupture Velocity and Slip Profile of Precursors Preceding the Macroscopic Sliding with Velocity-Dependent Friction Law, International Tribology Conference

清水 以知子, 2015(招待講演), 沈み込み帯における蛇紋岩の脆性 - 延性転移: 間隙水圧の役割, 日本地球惑星科学連合大会

Shimizu, I. and Ueda, T., 2015a, Grain size evolution in dynamic recrystallization of quartz: Influence of grain boundary energy, Geotectonic Research, 97, Special Issue DRT 2015, 160

Shimizu, I. and Ueda, T., 2015b, Stress states in subduction zones: Extrapolation of flow laws and piezometric relations of quartz to high-P/low-T metamorphic conditions. AGU Fall Meeting

Van, P., N. Mitsui, T. Hatano, 2015, Non-equilibrium thermodynamical framework for rate- and state-dependent friction. Periodica Polytechnica Civil Engineering 59, 583-589

Yoshida, S., N. Kato, and J. Fukuda, 2015, Numerical simulation of the Kamaishi repeating earthquake sequence: Change in magnitude due to the 2011 Tohoku-oki earthquake, Tectonophysics, 651, 44-57

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

脆性・塑性遷移領域におけるプレート境界構成則のために、既存試験機による実験を継続し、高温高圧下の蛇紋岩に対する有効圧法則を検証する。また、石英再結晶粒径による沈み込み帯の差応力の解析を低温部( ~ 300 )に拡張する。摩擦の物理的理解については、実験データ・理論の双方からの検討をさらに進める。大きなプレスリップの可能性についての評価は、地殻変動量を計算するとともに、slip 則の場合も含めて理解を深化させる。数値計算法の開発については、不均質媒質中での破壊計算法を面内変形問題に拡張する。巨視的滑りの規準については、対象とできる微視的摩擦則の範囲を拡げる。

( 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・大谷真紀子

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・野田博之

東邦大学 上原真一

( 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 : 中谷正生

所属 : 東京大学地震研究所

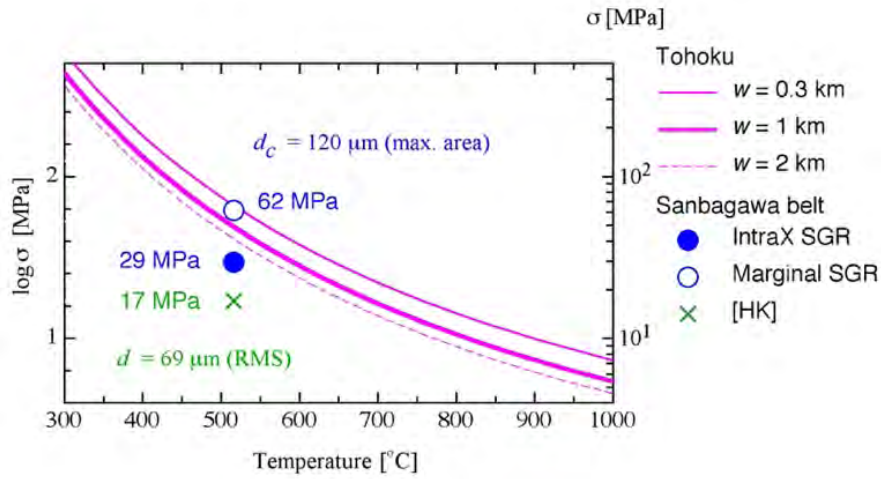


図 1. 石英レオロジーから計算した東北沖プレート境界深部延長の差応力（ピンク）と、改良された再結晶粒径差応力計による三波川変成帯ガーネット帯の差応力推定値。青丸：結晶内部核生成モデル。白丸理論：粒界核生成モデル。緑：Holyoke & Kronenberg (2010) による差応力計。

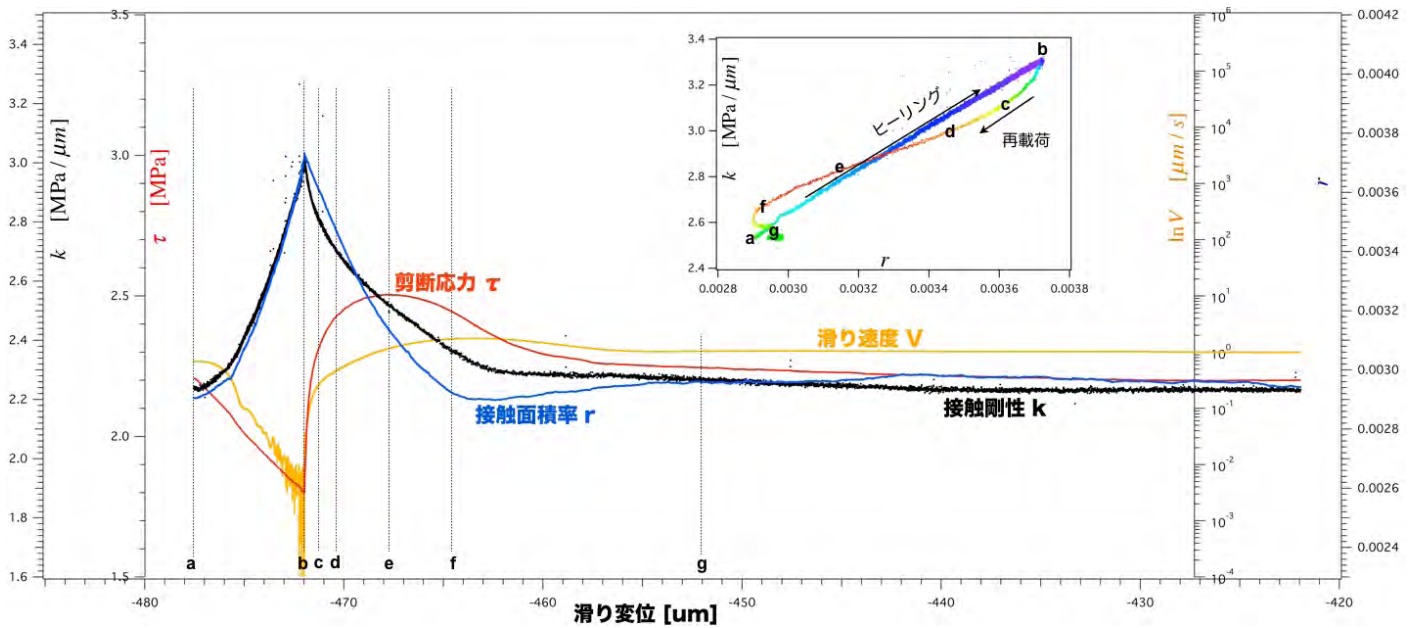


図 2. アクリルを用いたヒーリング-再滑り実験。横軸は滑り変位。法線応力は 2.5MPa。インセットは音響的に測った接触剛性率  $k$  と光学的に測った接触面積  $r$  の関係。時間順にマークした a-g は図 3 および本文と対応。



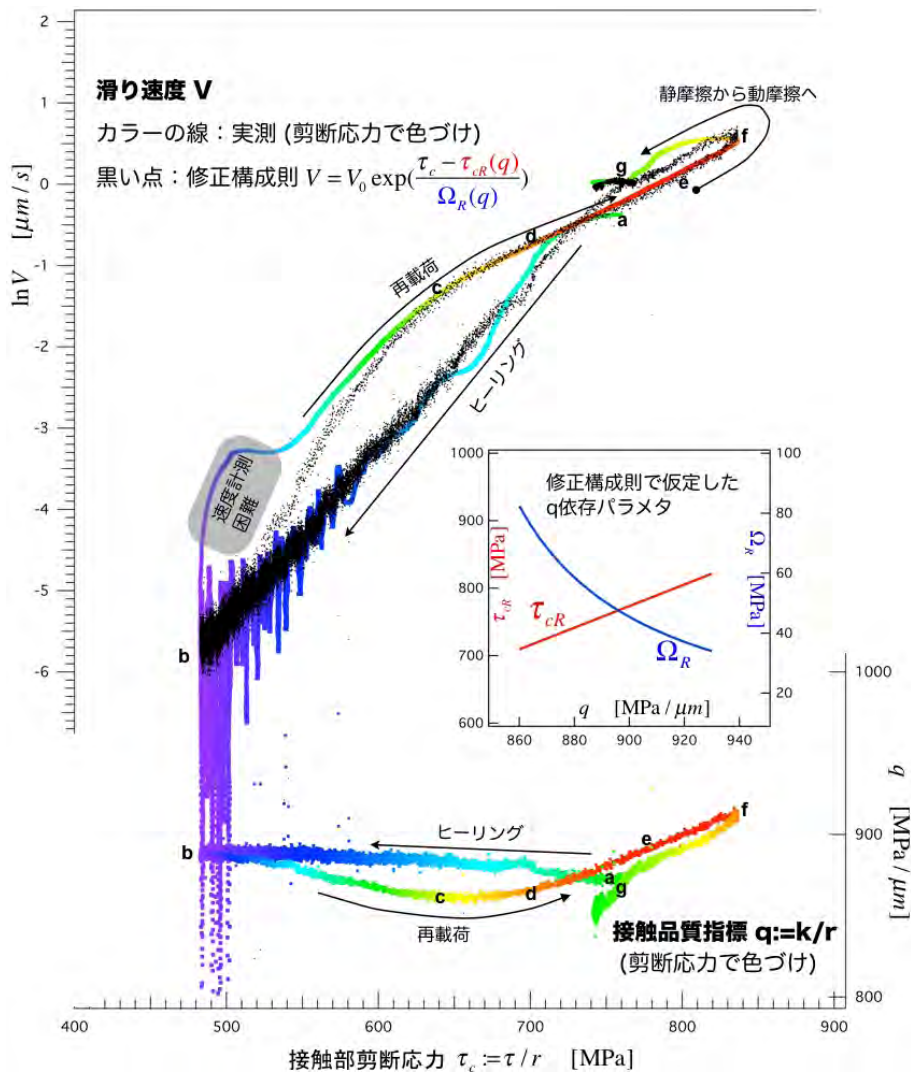


図 3. 図 2 の実験から得られた  $V$  ( 色 ) (上方、左軸) と  $q$  ( 色 ) (下方、右軸)。実験経過がたどれるよう、巨視的剪断応力 で色をつけた (昇順に青、緑、赤)。黒い点は、従来の構成則のパラメタを  $q$  に依存させる (インセット) よう修正した構成則で求めた  $V$  ( 点 ;  $q$ )。時間順にマークした a-g は図 2 および本文と対応。

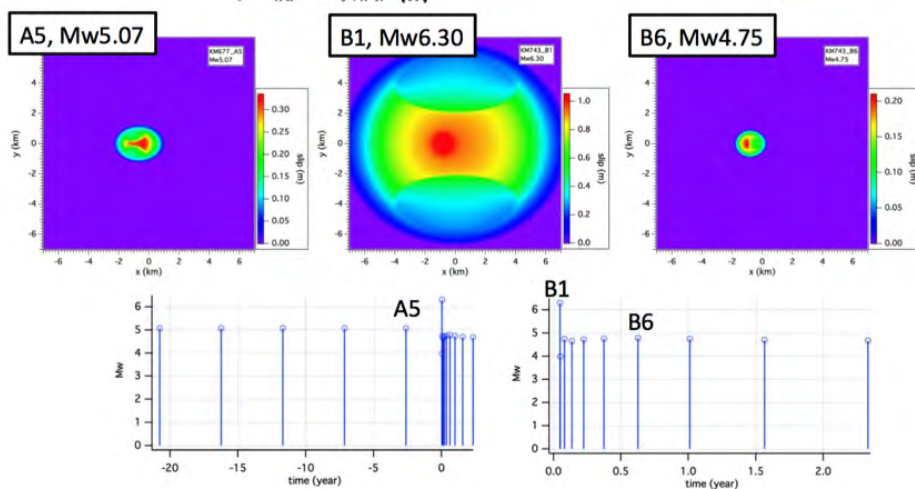


図 4. 2011 年東北地方太平洋沖地震後の釜石沖繰り返し地震の地震サイクルシミュレーションの例。上段) 地震時滑り分布。下段) マグニチュードの時系列。右図は本震後の部分を拡大して示したもの。

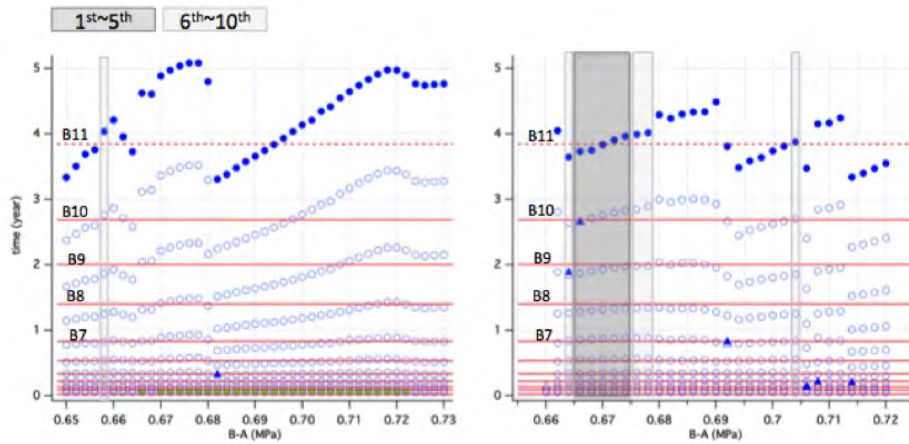


図5. 2011年東北地方太平洋沖地震後11回目の釜石沖繰り返し地震の発生時刻予測実験。小パッチの摩擦パラメータ  $B-A$  を様々に変えた多数のシミュレーションによる発生時をプロットした。横線は実際の発生時を示す。ハッチされている結果は10番目までの地震の再現性が最もよかった5例とその次によかった5例である。左図は小パッチ内の臨界すべり距離  $L$  を2.1mm、右図は4.9mmと仮定したモデル群。

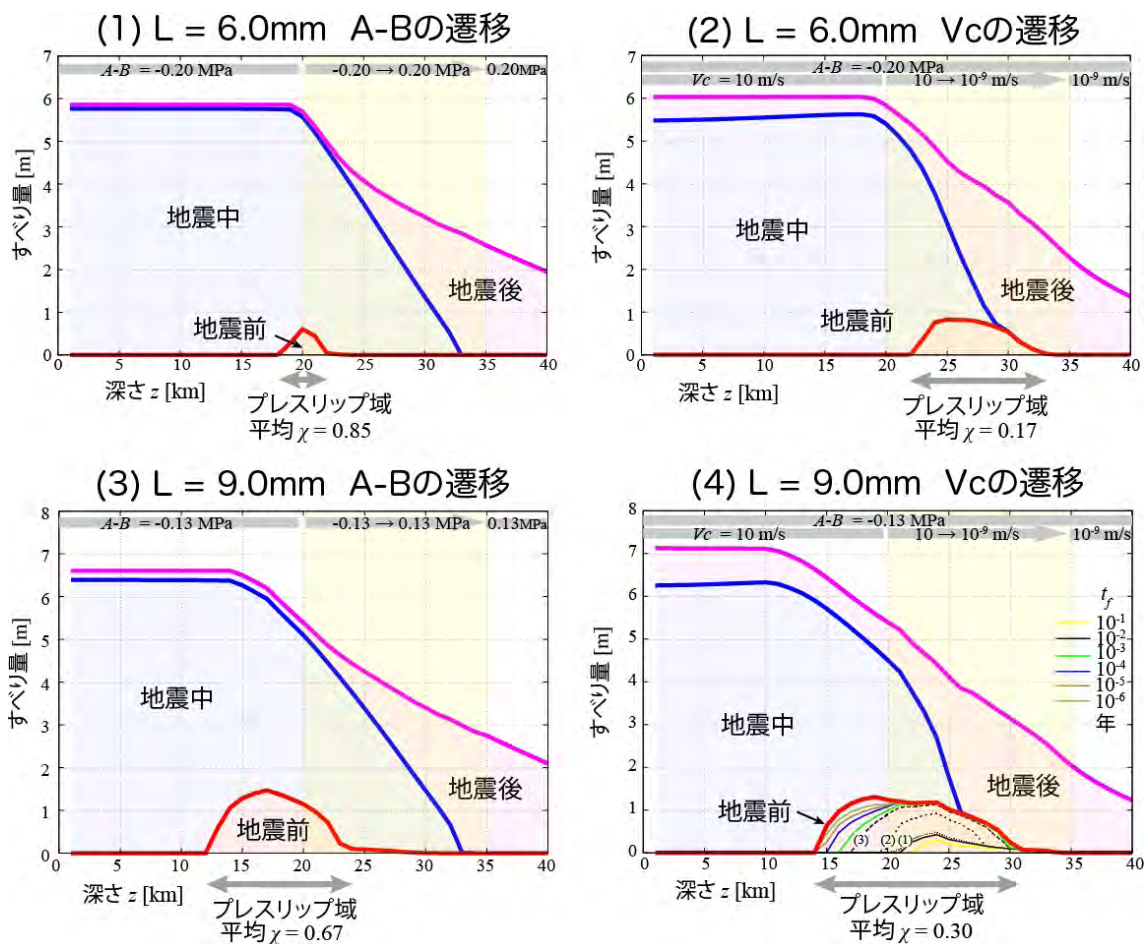


図6. (1)-(4)各ケースの地震発生1年前から5年後までの積算すべり量。0.1 m/s以上で滑っている場所がある期間を地震とする。地震発生前1年間にすべった部分(プレスリップ)を「地震前」、地震中のすべり部分を「地震中」、地震後5年間のすべり部分を「地震後」とした。また、各プレスリップ域の  $\chi$  も記す。(4)については、地震発生  $t_f$  年前・大きなスローイベント発生前後各時間1-3(図7)におけるプレスリップの発展の様子も示した。

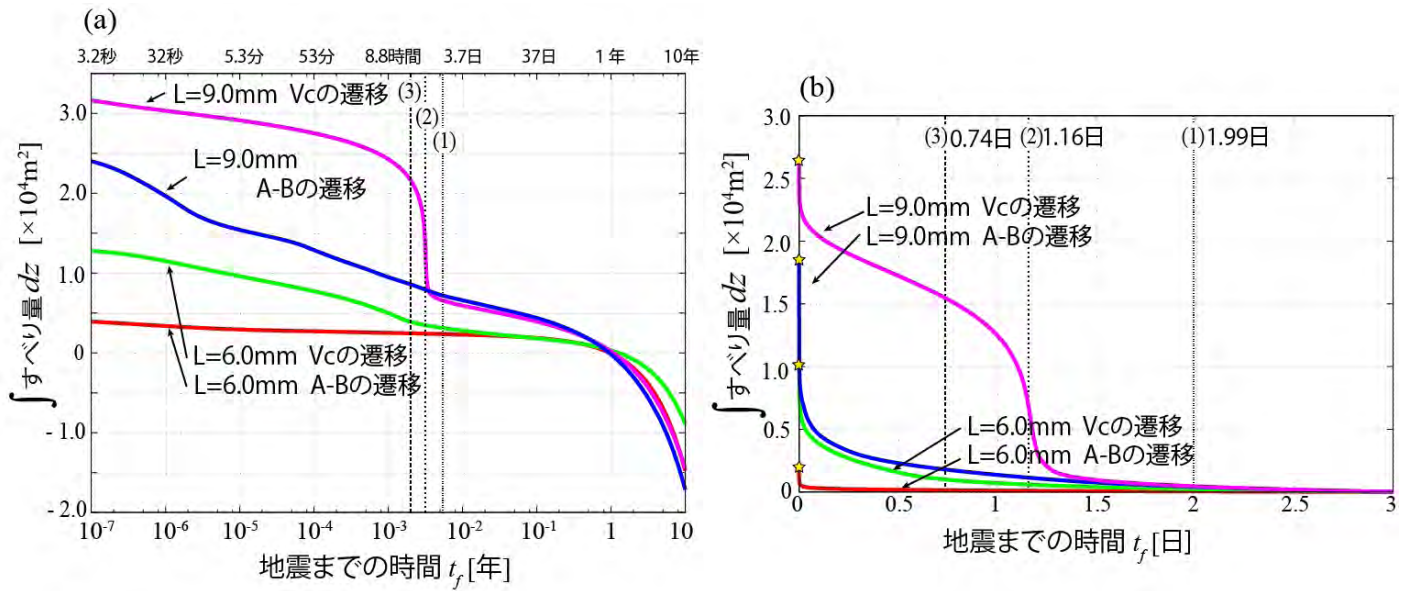


図 7. (a) 地震発生 1 年前および (b) 3 日前を基準とした、図 6 各ケースの全断層積算すべり量。横軸は地震発生までの時間  $t_f$  であり、モーメントが成長する様子を表す。(b) の星印は動的破壊開始時であるが、 $t_f$  を対数表示した (a) 図には含まれない。時刻 1-3(約 2 日-17 時間前) は、case4 で生じた大きな深部 SSE の初期-終期の目安。

( 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 27 年度の成果の概要：

##### マグマ噴火主体火山観測の高度化：

浅間山では 2015 年 6 月の小規模噴火に関して得られた火口近傍の各種データの比較を行った。

諏訪之瀬島においては、観測機器の更新準備を進めた。

口永良部島で噴火が発生したため、地震観測・空中磁気観測・画像撮影等を実施した。4 月と 9 月の 2 回の観測の結果、火山活動の低下が明瞭に捉えられた。

平成 28 年度に予定していた桜島における空中磁気観測および火口近傍への観測装置設置を前倒して実施した。

火山活動のモニタリング手法として、地震波干渉法を国内 20 火山に適用した。気象庁の 2012 年から 2015 年の連続データを解析した結果、2012 年から 2015 年の伊豆大島の地震波速度変化と島内の GNSS 観測点による面積ひずみと良い相関が得られることが明らかとなった( 図 1 )

##### 磁気観測：

霧島新燃岳 2011 年噴火以降、無人ヘリコプターを用いた空中磁気測量を繰り返すことにより新燃岳の全磁力時間変化の検出をおこなっており、これまでに特に火口内溶岩の冷却に伴う帯磁パターンの全磁力変化を検出することに成功した。今年度は 5 度目となる測定を 11 月に実施し、全磁力変化を見積もると、これまで通り順当に冷却していることがわかった。新燃岳火口直下では、火山活動は収束しているものと示唆される( 図 2 )

口永良部島で今年度 2015 年 4 月と 9 月の 2 度、無人ヘリコプターを用いた空中磁気測量を実施した。口永良部島では 2015 年 5 月にマグマ水蒸気噴火が起こっており、その前後での変化を見ることとなる重要な測定となった。データから見積もられた磁化強度は平均 1.8A/m であり、標準的な安山岩の値を示した。4 月と 9 月との全磁力変化に着目すると、新岳火口直下では磁化が弱まり、その周辺では磁化が強まっていることがわかった。このことは新岳火口直下の物質が 5 月の噴火で噴出し、その一部が火口周辺に堆積して磁化を獲得したものと考えられる。

浅間山火口の北方およそ 300m の位置にプロトン全磁力計を設置し、2015 年 6 月より連続観測を開始した。測定は 1 分サンプリング( 冬季は 5 分サンプリング )で行い、測定されたデータは FOMA 携帯電話網を用いて 1 日分が東京に伝送される。現地の事前調査で磁気勾配の小さな場所を選定したこともあり、年周変化の小さい非常に安定したデータが取得できている。今のところ火山性の磁場変動は検出されていない。なお、昨年微小噴火に伴うような変化も観測されなかった。

##### 火山ガス観測：

浅間山山頂部では、これまでの調査により前掛山火口内東側のみで二酸化炭素の土壤拡散放出が見られる。その放出は釜山火口の東側火口リムと前掛山火口東側火口リムを沿うように長楕円のリング状に分布している。これまでの調査は、地震活動や火山ガス放出量が少ない静穏期におこなってきたが、火山ガス放出量が相対的に高い2015年10月に前掛山火口内東側を中心に土壤フラックスの調査を実施した。静穏期のフラックスと比べると、釜山火口リムでは同等か逆に減少している傾向が見られたが、前掛山火口の東側リム上では拡散放出量が大幅に増大していることが明らかとなり、前掛山火口のリムの拡散放出の方が浅間山の活動を反映している可能性が示唆される(図3)

伊豆大島山頂部でも、スペインのグループと共同で二酸化炭素の土壤拡散放出分布の調査を行い、山頂内部の放出分布の状況を明らかにした。

火山の比較研究：

米国のセントヘレンズ山において1980年噴火の噴出物に関する火山調査を実施し、2011年の新燃岳噴火との比較を行った(図4)

ストロンボリ火山噴火の発生機構として考えられている火道内スラグ流モデルにより生じる山体変形を理論的に求め、その特徴を明らかにした。ストロンボリ火山の傾斜データは、モデルから期待される特徴と異なることから、スラグ流とは異なる火道内増圧過程を考える必要があることがわかった。以上のように、概ね計画に合致した成果が得られている。

- (9)平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Kawaguchi, R. and T. Nishimura, 2015, Numerical investigation of temporal changes in volcanic deformation caused by a gas slug ascent in the conduit, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 302, 1-10.  
Morita, M., T. Mori, R. Kazahaya and H. Tsuji, 2016, Diffuse carbon dioxide emissions from hidden subsurface structures at Asama volcano, Japan. *Bull. Volcanol.* (in press)

(10)平成28年度実施計画の概要：

マグマ噴火主体火山観測の高度化：

各火山での高度観測を継続する。諏訪之瀬島においては地殻変動観測点の整備を行う。

磁気観測：

各火山での定常磁気観測を継続するとともに、空中磁気測量も実施する。

火山ガス観測：

赤外分光放射計を用いた火山ガス化学組成の遠隔測定を浅間山を中心に火山ガス噴煙を上げる火山で実施する。また、伊豆大島での土壤拡散放出分布の調査を繰り返すとともに、土壤ガス中二酸化炭素の炭素同位体比の測定も検討する。また、伊豆大島で二酸化炭素土壤拡散放出の連続測定に着手する。

(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)

諏訪之瀬島：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

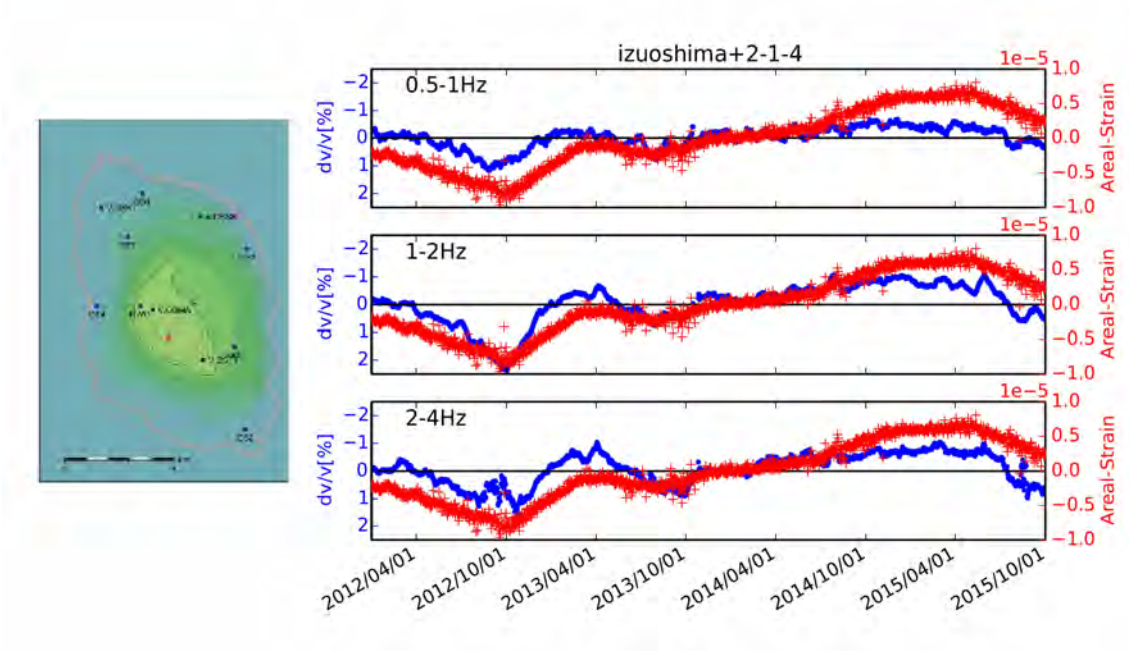


図1 雑微動の地震波干渉法解析（伊豆大島）

気象庁観測点データによる干渉法解析の速度変化量（全観測点ペアの平均値）の中長期変化とGNSSデータに基づく面歪みに高い相関がある。

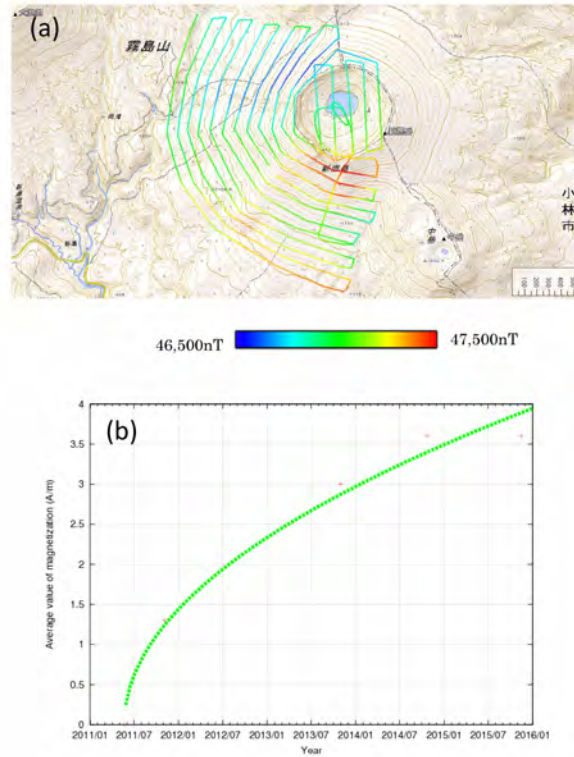


図2 霧島新燃岳における繰り返し空中磁気測量

(a) 霧島新燃岳における空中磁気測量の飛行経路。経路の色分けは全磁力値を表す。

(b) 推定される火口内溶岩磁化強度の時間変化( + が 5 回の測定データから推定された火口内溶岩の磁化強度 )。時間の  $1/2$  乗の曲線( 緑破線 )によく乗ることがわかる。



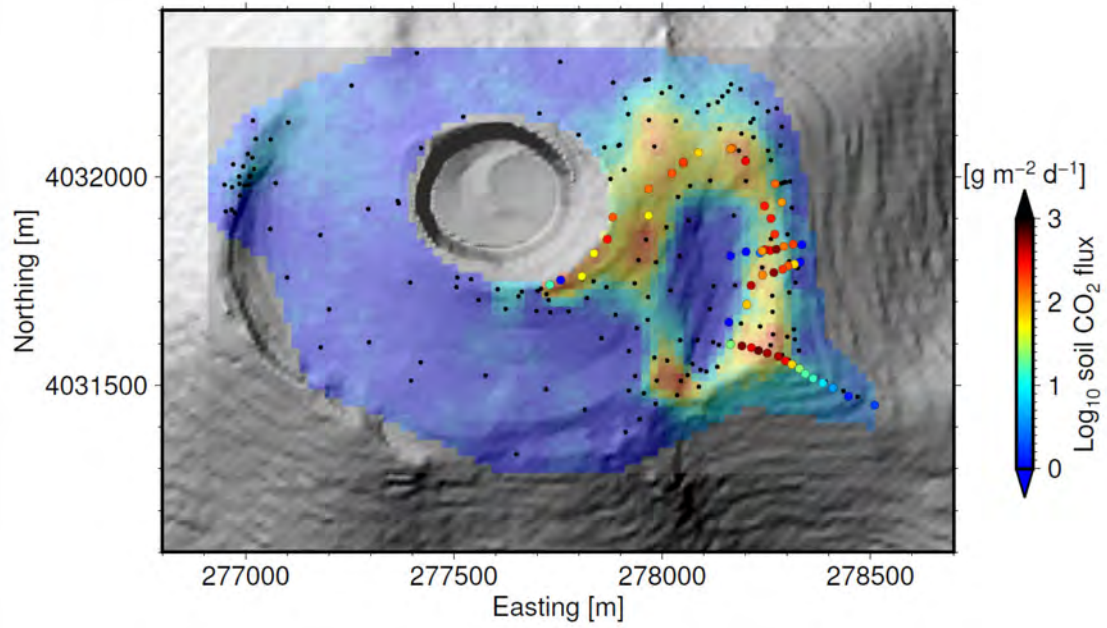


図3 浅間山山頂部の CO<sub>2</sub> 拡散放出

2015年10月29日のCO<sub>2</sub>拡散フラックスのデータを Morita et al. (in press) の静穏期の分布図に加筆してプロットした。

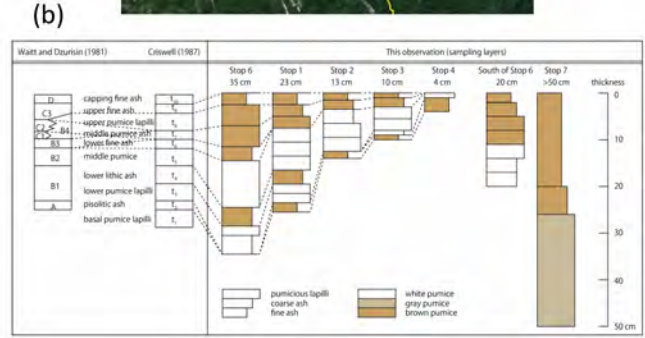
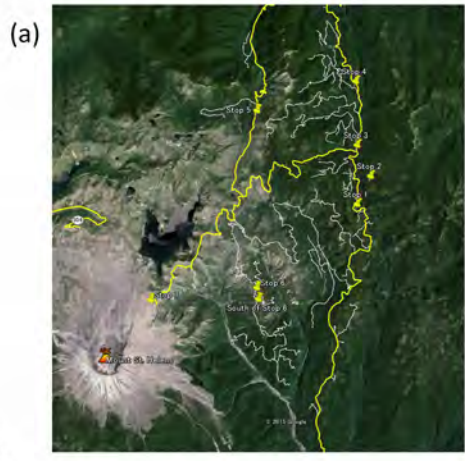


図4 セントヘレンズ火山周辺の噴火堆積物調査  
 1980年のプリニー式噴火による噴火堆積物の露頭調査および文献との対比。  
 (a) サンプル地点 (b) 堆積物の対応関係

( 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：

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 27 年度の成果の概要：

平成 27 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 6 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。

昨年度設置した 5 箇所に加え、今年度は愛媛県伊方町三崎中学校に連続観測点を設置した。また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した。

豊後水道の中間付近にある水ノ子島の観測点は、厳しい電力事情のためテレメータ装置を設置することができず、定期的に現地を訪問してデータ回収するオフライン方式となっており、今年度も 2 回渡島し、無事データを回収できた。

回収されたデータは周囲の 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 6.2 を用いて解析した (図 1、図 2)。

今回解析した 5 か所のデータの精度は、水平成分・上下成分ともに周囲の GEONET 観測点と遜色ない安定性をもっていることがわかった。2014 年 11 月以降は、フィリピン海プレートの沈み込みにもなう通常の地殻変動変位のみ観測されており、この期間では長期的 SSE 変動は発生していないと推定される。

[ 陸域地震観測 ]

豊後水道における深部低周波微動活動は、2014 年に入ってから通常レートよりも高くなり、国土地理院 GNSS 観測でも 2014 年夏ごろから僅かな変位が捉えられ、微小な SSE が発生したことが明らかにされた。それ以降、2015 年に入ってから微動活動及び GNSS に変化は見られないが、6 月に浅部超低周波地震が活発化した。また、2014 年度に観測点選定を行っていた、愛媛県宇和島市内及び高知県四万十市内の 2 か所について広帯域地震計を設置し、6 月に発生した浅部超低周波地震活動の一部を記録することができた。

豊後水道域から四国西部における過去の微動活動を調査したところ、微動域上端側の領域において、2003 年及び 2010 年に発生した豊後水道長期的スロースリップイベント ( SSE ) に伴う微動活動の活発化が、非常にゆっくりした速度 ( 約 25 km/年 ) で豊後水道から内陸方向に伝播したことが明らかになった。さらに、国土地理院 GNSS 観測データを解析したところ、1946 年南海地震の破壊域と微動域とのギャップの領域で、2003 年と 2010 年の豊後水道 SSE 以降の 2 ~ 3 年間に微小な長期的 SSE が発生し、しかも上述の微動活動変化と同様に、SSE のすべり領域が西から東にゆっくり移動した (図 3)。したがって、この SSE がその深部側に位置する微動活動に影響を及ぼしたものと考えられる。ただし、これまで明らかになった 2 回の小規模 SSE の時空間発展の様子は異なり、さらに 1997 年の豊後水道長期的 SSE の後には同様の小規模 SSE が認められないことから、その発生様式は単純ではないことが明らかになった。



## [ 海域観測 ]

平成 27 年度は、昨年度に豊後水道南方の長期的 SSE すべり域南端付近 ( 図 4 ) に再設置した高精度絶対圧力計を搭載した長期観測型広帯域海底地震計での観測を継続し、2016 年 1 月に海洋エンジニアリング株式会社所属の第三開洋丸にて回収した。回収した地震計・圧力計のデータから、観測期間中の 2015 年 5 月から 7 月にかけてプレート境界浅部で活発化した浅部低周波微動と超低周波地震の活動を捉えることができた ( 図 5 )。今年度は、観測を豊後水道の長期的 SSE と同期して発生が期待されるプレート境界浅部の想定 SSE 領域に集中させる方針として、同地点での再設置は行わず、豊後水道南方のプレート境界浅部領域に海底圧力計アレイを構築した。なお、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。

### 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、昨年度から実施していた観測点の増強と受信機/アンテナの更新が完了し、今年度は静岡県内 55 点、愛知県内 5 点の計 60 点で観測を継続している。昨年度の成果発表に引き続き、今年度は 2009 年駿河湾地震 ( Mw6.3 ) を考慮に入れたひずみ変化を算出し、他の結果とともに IUGG2015 において成果を発表した ( Kato et al., 2015 )。

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実施した。本研究は、今次の研究計画に記載されている「長期的 SSE が発生した場合にはその滑りパラメー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。」に対応する研究である。

今年度は GEONET データのみを用い、東海地方及び周辺の 226 点の 2008 年 1 月 1 日から 2015 年 4 月 30 日までのデータを用いた。まず、GIPSY-OASIS II ソフトウェアを用いて日座標値を推定した。続いて、2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響を除去することを試みた。このため、データを地震前と後の期間に分け、地震前のデータに直線と季節変動を最小二乗法を用いてあてはめ、推定された直線的ドリフトを解析期間全体にあてはめて除去した。続いて、地震後の余効変動を除去するため、時系列に関数を当てはめて除去することを試みた。当てはめる関数としては対数関数と指数関数を用い、スローイベント等の影響の小さい地域の観測点を選んで時定数等のパラメータを最小二乗推定によって求めた。推定したパラメータを用いた関数と直線及び季節変動を加えたものを、地震直後から、長期スローイベントが始まる前とされる 2012 年末までのデータにあてはめ、2015 年 4 月末まで外挿した。この結果を元データから差し引いてインバージョン解析の入力データを得た。

インバージョン解析には、Fukuda et al. (2008) によって開発された改良型の時間発展インバージョン手法を用いた。この結果、2013 年 7 月頃より 2015 年 4 月末までにすべり量が最大で 6cm 程度の長期スローイベントが進行しつつあることが検出された。発生個所は前回の 2000~2005 年と同じかやや南側に推定された ( 図 6 )。また、モーメント解放速度をプロットしたところ、速度が大きい期間 ( エピソード ) が 6 回検出された。これは短期スローイベントが発生している期間に対応するものと考えられる ( 図 7 )。なお、この図には長期スローイベントも含まれているはずであるが、短期のエピソード期間を除くと、他の期間には有意なモーメント解放が行われておらず、長期スローイベントは 6 回の短期スローイベントと同時に発生していることが示唆される ( Sakaue, 2015 )。

### 1(3) 房総 SSE と群発地震活動との相互作用の解明

## [ GPS 観測 ]

房総半島沖で繰り返し発生してきたスロースリップイベント ( SSE ) の破壊過程の多様性を明らかにするために、1996、2002、2007、2011、2013-2014 年の SSE におけるすべりの時空間発展を GNSS 時系列データを用いて推定した。2013-2014 年の SSE の解析には、本課題で運用している GNSS 連続観測網と国土地理院 GEONET のデータを併せて用い、その他の SSE の解析には GEONET のデータのみを用いた。これらの GNSS 時系列データに対してインバージョン解析を行い、フィリピン海プレート上面におけるすべりとすべり速度の時空間変化を 1 日毎に推定した。昨年度報告したように、2013-2014 年の SSE では、初期段階ですべりが非常にゆっくりと加速し、その後比較的速いすべりに移行したが、

他の SSE ではそのようなゆっくりとした加速は見られず、すべりは急激に加速したことが分かった(図 8)。図 8 は各 SSE の初期のすべりの伝播方向に平行な直線上におけるすべり速度の時間変化を示しているが、すべりの伝播方向、伝播速度、時間発展は、イベント毎に異なることが分かる。以上の結果は、房総 SSE の破壊過程はイベント毎に大きく異なることを示す。房総 SSE は群発地震活動を伴うが、すべりの伝播と地震活動の間には時空間的に強い相関が見られた(図 8)。

#### [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。今年度はスロースリップに関連すると思われる、顕著な群発地震活動、相似地震活動は見られなかった。このことは、昨年度発見した 2011 年 3 月のスロースリップイベント発生後、2011 年 11 月、2013 年 12 月～2014 年 1 月と、スロースリップの発生間隔が少しずつ延びている傾向が現在も継続していることを示している。

#### 1(4) 西南日本スロー地震活動様式の解明

従来からの深部低周波微動検出手法とは異なり、ノイズレベル以上の振幅を有するひとまとまりの微動活動を微動シーケンスとして先に抽出し、その後微動源と輻射エネルギーを推定する新たな手法を開発し、西南日本における微動活動の再評価を行なった。その結果、四国西部から豊後水道の領域では、従来に比べて大きな微動エネルギーの輻射が認められた。また、微動シーケンスの累積継続時間及びエネルギーレートの空間分布は概ね一致し、帯状の微動域に沿って活動度の高い領域と低い領域とに大別される。深部超低周波地震の分布と比較すると、特にエネルギーレートの分布とよく一致しており、微動パッチ強度とサイズとの関係を議論する上で大変興味深い。

一方、西南日本の微動発生域において、これまで遠地地震表面波によって誘発された微動を調べたところ、誘発微動の発生回数は、自然発生的な微動活動に概ね比例することがわかった。また、さらに、沈み込みプレート境界以外の場所を含めて全国的に遠地地震による誘発微動の検索を行い、内陸活断層に対応する場所でも微動が検出された(図 9)。これらの誘発微動の振幅は、遠地表面波による動的応力変化におおよそ比例する。プレート境界とそれ以外の領域を含めて同様の結果が得られたことは、プレート境界以外で検出された誘発微動の場所でも自然発生的な微動が起きている可能性を示すものである。

#### 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]

昨年度に引き続き、スロースリップや微動に伴う流体移動の検出を目的とした重力観測を実施している。今年度は、2月に絶対・相対重力観測を東海の2点(菊川・豊橋)及び豊後水道の1点(足摺岬)で実施した。図 10 にこれまでに取得された重力データを示す。また、石垣島での超伝導重力計による連続観測も継続している。昨年度から開始した、重力観測データの解釈を補佐するための石垣島・西表島のスロースリップ域における全磁力の観測は現在も継続中であり、4月頃のスロースリップ期間中の磁場変動を捉えることができた。なお、宮崎については観測機器修理のため重力観測は実施せず、代わりに石垣島・西表島に1月から3成分磁力計を増設した。現在、比較的良好な条件での磁場データが蓄積しつつある。微動やスロースリップのモデリングについて2編の論文で発表した(Yabe et al., 2015; Tanaka et al., 2015)。

##### [電磁気観測]

2015年6月11日より、愛媛県内の2観測点(窪野観測点と菊川観測点、図 11 参照)でオフラインの磁場3成分観測を開始した。9月と12月にデータを回収したところ、ノイズの少ない非常に良好なデータが取得できていることが確認できた。平行して、NTT 関連会社とネットワーク MT 観測開始に向けて準備を進めたが、様々な手続きや交渉のために予想外に準備が難航し、観測開始は2016年3月になる予定である。図 11 には、観測開始予定の17交換所エリアと57電極点の分布もあわせて示している。

昨年度に引き続き1999年-2000年にかけて実施していた、NTT メタリック通信回線網を用いたネットワーク MT 観測の長基線地電位差観測データの再編集と磁場参照データのコンパイルを行い、その

当時の広域深部比抵抗構造を求めるための準備を行った。また、ネットワーク MT 法で得られた広域深部比抵抗構造から、岩石実験の情報を参照してメルトや水の分布を推定する手法を開発し、九州で得られていた比抵抗構造に同法の適用を試みた。

#### 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、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。平成 26 年度に設置した機材の 1 台については、自己浮上方式で回収を行うことができなかった。残りの 1 台については回収することができた。

#### 1(7) 余効すべりの物理モデルの構築と摩擦特性の推定

摩擦構成則に基づく余効すべりの物理モデルの構築を継続した。昨年度は媒質として弾性体を用いていたが、今年度は地震時のすべり及び余効すべりによる粘弾性応力緩和を考慮するために、弾性体の表層を持つ半無限粘弾性体をモデルに導入した。また断層面は、昨年は平面断層を仮定していたが、今年度は dip が深さによって変化するような曲面断層を導入した。モデルでは、断層面上に固着域を設定し、それ以外の部分でのすべり速度と応力の時間発展は速度強化の摩擦構成則に従うと仮定した。地震時のすべり分布から断層面上における地震時の応力変化を計算し、これに基づいて初期条件を与え、その後の余効すべりの時間発展を計算するものとした。粘弾性緩和による断層面上での応力変化及び地表での変位は Pollitz (2014) の手法によって計算する。この手法では二次元的な粘弾性構造や Burgers レオロジーを扱うことができ、本研究でもこれらを考慮する。このようにして構築したモデルの性質を調査するために、粘性率や摩擦パラメータ等を変化させて試験的なモデル計算を行った。

### 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

紀伊半島北東部の深部低周波微動活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) 上の 90 か所(観測点間隔: 約 1km) に臨時地震観測点を設置し、稠密自然地震観測を実施した(図 12)。観測は 2015 年 5 月 26 日から 2015 年 12 月 8 日まで実施し、各観測点では、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。気象庁一元化震源カタログによると、観測期間中には、図 12 に示す範囲で 690 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。観測で得た連続記録から、これら地震の震源時刻に従って、イベント毎へのデータ編集を実施した。観測波形の一例を図 13 に示す。明瞭な初動及び後続波が確認できる信号対雑音比の良好な観測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

日向灘から足摺岬沖のプレート境界浅部領域においては、低周波微動や超低周波地震の解析から、SSE が発生しそのすべり域が伝播していることが示唆されている。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、沈み込むフィリピン海プレートの形状を考慮したモデルに適用し、浅部についてもカットオフ速度がやや低く、有効法線応力が低い領域を設定し、数値シミュレーションを行った。この数値計算結果においては、深部の SSE および豊後水道の長期的 SSE の発生だけでなく、浅部の長期的 SSE の発生と伝播を再現することができた。ただし、豊後水道の長期的 SSE との同期発生については、再現が十分でないため、観測結果を考慮しつつ、適切なモデル化のためのチューニングを引き続き行なう必要がある。

- (9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
- Chao, K. and K. Obara, 2016, Triggered tectonic tremor in various types of fault systems of Japan following the 2012 Mw8.6 Sumatra earthquake, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, doi:10.1002/2015JB012566.
- Ghosh, A., E. Uesca-Perez, E. Brodsky, and Y. Ito, 2015, Very low frequency earthquakes (VLFEs) in Cascadia migrate with tremor, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 3228-3232. doi: 10.1002/2015GL063286.
- Hata, M. and M. Uyeshima, 2015, Temperature and melt fraction distributions in a mantle wedge de-

terminated from the electrical conductivity structure: Application to one non-volcanic and two volcanic regions in the Kyushu subduction zone, Japan, *Geophys. Res. Lett.* 42(8), 2709-2717, DOI: 10.1002/2015GL063308.

Ikari, M. J., Y. Ito, K. Ujiie, and A. J. Kopf, 2015, Spectrum of slip behaviour in Tohoku fault zone samples at plate tectonic slip rates, *Nature Geoscience*, 8, 870-874, doi:10.1038/ngeo2547.

Ito, Y., and M. J. Ikari, 2015, Velocity- and slip-dependent weakening in simulated fault gouge: Implications for multi-mode fault slip, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 9247-9254, doi:10.1002/2015GL065829.

Ito, Y., R. Hiino, S. Suzuki, and Y. Kaneda, 2015, Episodic tremor and slip near the Japan Trench prior to the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 1725-1731, doi:10.1002/2014GL062986.

Kato, T., A. Fujita, M. Satomura, R. Ikuta, Y. Harada, G. El-Fiky, 2015, Analysis of detailed crustal strains due to the dense GNSS array in the Tokai region, central Japan, 26th IUGG General Assembly 2015, Prague (Czech Republic), June 22 - July 2, 2015, IUGG-3284.

Sakaue, H., 2016, The slow slip event in the Tokai region, central Japan, since 2013 as seen from GPS data, M. Sc. Dissertation, pp. 60.

Takagi, R., K. Obara, and T. Maeda, 2016, Slow slip event within a gap between tremor and locked zones in the Nankai subduction zone, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2015GL066987.

Tanaka Y., S. Yabe and S. Ide, 2015, An estimate of fluctuating plate subduction velocities caused by tidal modulations and decadal variations in the ocean, *Earth Planets and Space*, 67, 141, DOI 10.1186/s40623-015-0311-2.

Yabe, S., Y. Tanaka, H. Houston, and S. Ide, 2015, Tidal sensitivity of tectonic tremors in Nankai and Cascadia subduction zones, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, 7587-7605, doi:10.1002/2015JB012250.

山下裕亮・篠原雅尚・山田知朗・中東和夫・塩原肇・望月公廣・前田拓人・小原一成, 2015, 日向灘における海底地震・圧力計を用いたプレート境界浅部スロー地震の長期モニタリング, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会予稿集, SCG62-P06.

Yamashita, Y., M. Shinohara, T. Yamada, K. Nakahigashi, H. Shiobara, K. Mochizuki, T. Maeda, K. Obara, 2015, Long-term ocean bottom monitoring for shallow slow earthquakes in the Hyuga-nada, western part of the Nankai Trough, Abstract presented at the 26th IUGG 2015 General Assembly, S01ap-291.

山下裕亮・篠原雅尚・山田知朗・中東和夫・塩原肇・望月公廣・前田拓人・小原一成, 2015, 日向灘における海底地震計・圧力計を用いたプレート境界浅部スロー地震の長期モニタリング(2), 日本地震学会 2015 年秋季大会予稿集, S09-P15.

Yamashita, Y., M. Shinohara, T. Yamada, K. Nakahigashi, H. Shiobara, K. Mochizuki, T. Maeda, K. Obara, Long-term Ocean Bottom Monitoring for Shallow Slow Earthquakes in the Hyuga-nada, Nankai Subduction Zone, Abstract presented at the 2015 AGU Fall Meeting, T51D-2924.

(10) 平成 28 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 ]

周期的には今年度もしくは、来年度に長期的 SSE の発生が予測されるため、さらに機動的 GPS 観測点の設置を検討する。既設の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 ]

機動的広帯域地震計 3 点の設置が完了し、既設の広帯域・高感度地震観測点のデータを合わせて、超低周波地震活動のモニタリングを継続するとともに、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 ]

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 28 年度中に回収・再設置作業を行い、引き続き長期の広帯域海底地震・圧力観測を実施する予定である。また、平成 27 年度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。
- 2 . 長期的 SSE が継続することが期待されるため、この滑りのパラメータの高精度推定を行う。特に、短期的 SSE と長期的 SSE が同時に発生しているとの予察成果が得られていることから、これらの関係性について調査をすすめる。

1(3) 房総 SSE と群発地震活動との相互作用の解明

[ GPS 観測 ]

1996、2002、2007、2011、2013-2014 年の SSE の破壊過程についての調査を継続するとともに、SSE が発生していない期間におけるすべり速度の時間変化について調べる。

[ 地震観測 ]

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う。

1(4) 西南日本スロー地震活動様式の解明

これまでの深部低周波微動カタログには、微動活発時に波形が複雑となり検出されにくいという問題点が存在するため、輻射エネルギーをより正確に推定するという観点から微動活動様式の再評価を行ない、時空間分布などの全体像を明らかにするとともに、微動域のセグメント構造、周期性、移動性、トリガリングなどの微動活動様式の特徴抽出を進める。

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・相対重力観測を実施する。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、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引き続きモデリングする。

[ 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、スロースリップ時のデータを蓄積する。また、長基線地電位差と磁場水平成分間のネットワーク MT 応答関数を求め、広域深部比抵抗構造を推定する。

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 27 年度に設置した 2 台の海底圧力計の回収および新たに 2 台の海底圧力計の設置作業を行う。昨年度と同様に回収される 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し、スロースリップに伴う海底上下変動の検出を目指す。また、海底圧力変化と観測網周辺の地震活動との比較を行い、スロースリップと地震発生との関係を調べる。

1(7) 余効すべりの物理モデルの構築と摩擦特性の推定

モデルの性質を理解するために試験的なモデル計算を継続する。その後、東北沖を模した粘弾性構造とプレート境界面を構築し、東北地方太平洋沖地震の余効すべりのモデルを構築する。

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

「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トルウエッジの詳細な構造を明らかにする。

2(2) スロー地震・巨大地震の相互作用シミュレーション

各種スロー地震間及び巨大地震との相互作用を明らかにするため、今後発生が予想される豊後水道の長期的 SSE や浅部超低周波地震の観測結果、または深部スロー地震の観測結果などを引き続きモデリングパラメタのチューニングを進め、シミュレーションを継続する。

( 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・竹尾明子・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( 東大地震研 )

他機関との共同研究の有無 : 有

松島健( 九大 ) , 田部井隆雄・村上英記( 高知大 ) , 西村卓也・伊藤喜宏( 京大防災研 ) , 廣瀬仁( 神戸大 ) , 日野亮太・三浦哲・高木涼太( 東北大 ) , 津村紀子( 千葉大 ) , 伊藤武男・加藤愛太郎( 名古屋大 ) , 生田領野( 静岡大 ) , 原田靖・長尾年恭( 東海大 ) , 浅野陽一・松澤孝紀・木村尚紀・武田哲也・汐見勝彦( 防災科研 ) , 芝崎文一郎( 建築研 ) , 木下正高・荒木英一郎( 海洋研究開発機構 ) ・塩崎一郎( 鳥取大学 )

( 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 : 小原一成

所属 : 東京大学地震研究所

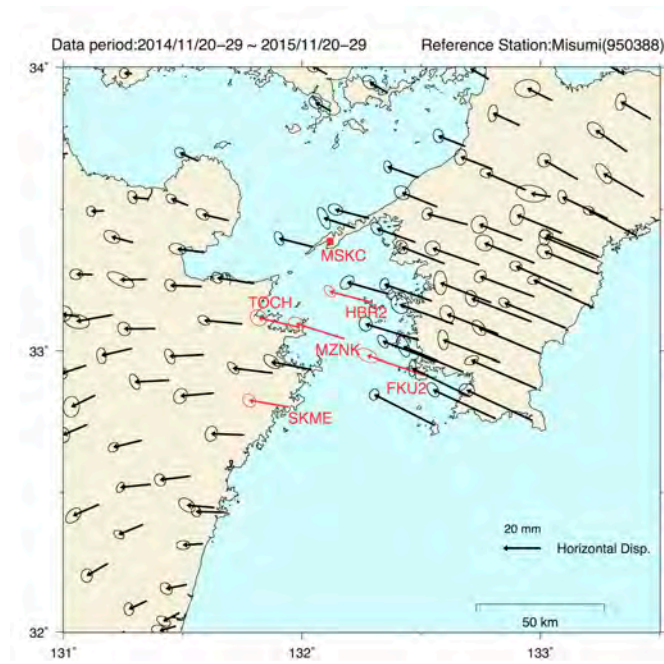


図 1. 豊後水道およびその GPS 観測点で記録された地殻変動。  
楕円が 90%の信頼区間を示す。赤色のベクトル点が、今回新設した GPS 観測点での結果を示す。GEONET 三隅を固定した。

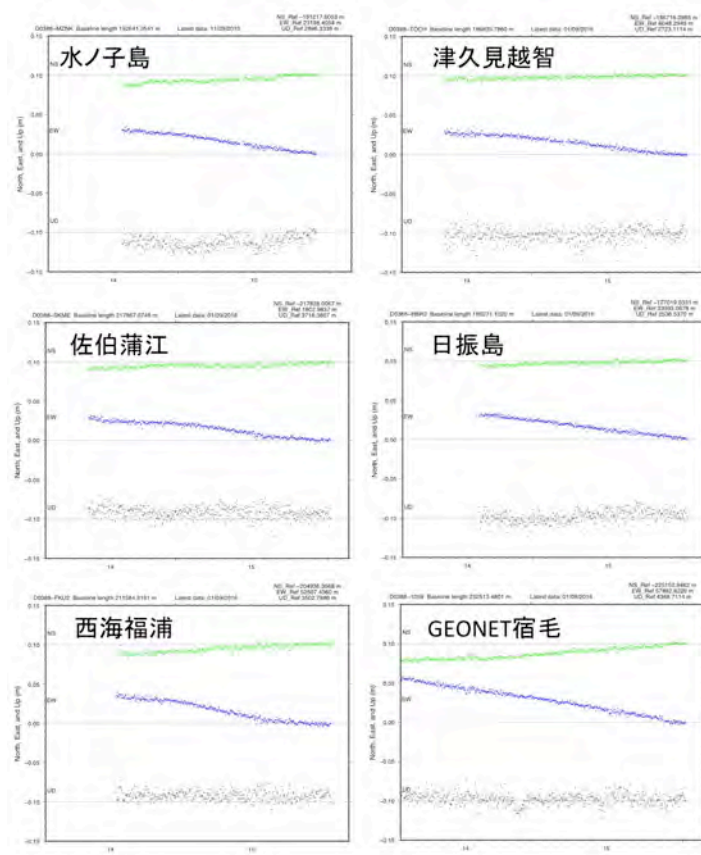


図 2. 求められた日々の座標値のグラフ。  
本研究課題によって設置された GPS 観測点のほかに、GEONET 宿毛で解析結果も示す。

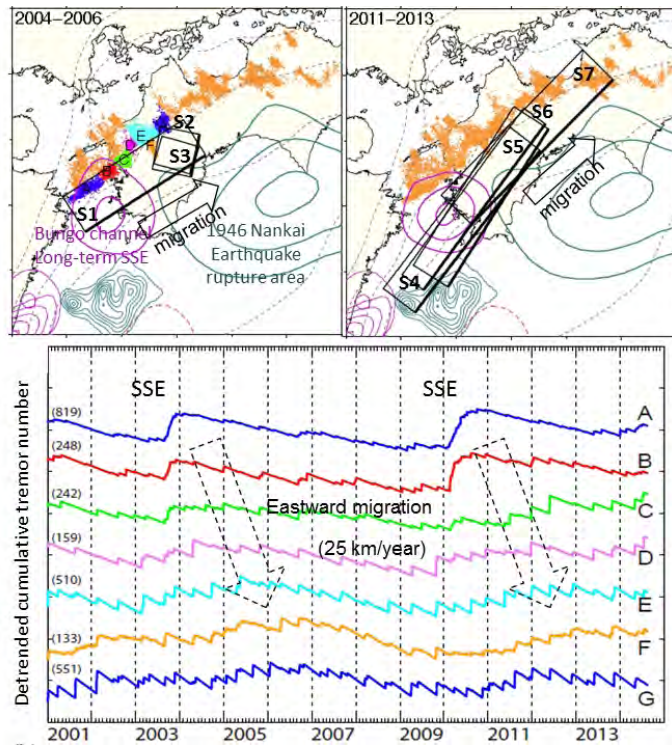


図3. 四国西部の「ギャップ」で発生した小規模な長期的スロースリップイベントと深部低周波微動活動の変化。  
 (左上) 2004~2006年の間に推定された長期的SSEの断層モデル。S1、S2、S3はそれぞれ、2004年4月、2004年10月、2005年4月から1年間のGNSSデータを用いて得られた結果である。図中の色付きのドットは深部低周波微動の分布であり、A~Gは下図の微動活動変化の各領域を示す。  
 (右上) 2011~2013年の間に推定された長期的SSEの断層モデル。S4、S5、S6、S7はそれぞれ、2011年4月、2011年10月、2012年4月、2012年10月から1年間のGNSSデータを用いて得られた結果である。  
 (下) 2001年1月から2014年8月までの深部低周波微動活動変化。A~Gは左上図に示したそれぞれの色付き領域に対応し、それぞれの積算微動発生数から直線トレンドを差し引いてある。

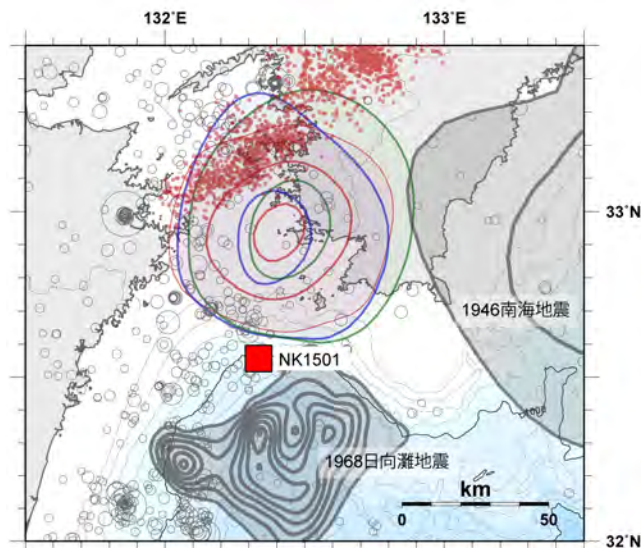


図4. 回収した広帯域海底地震計(赤四角)と、観測期間中に気象庁により決定された地震の震央分布(灰丸)、灰色のコンターは1968年日向灘地震の50cm毎のすべり分布(八木・他, 1998)と1946年南海地震の2m毎のすべり分布(Sagiya and Thatcher, 1999)、緑・青・赤のコンターは1997年・2003年・2009年豊後水道長期的SSEの10cm毎のすべり分布(国土地理院, 2014)、赤丸は深部低周波微動の震源(Obara, 2010)を示す。



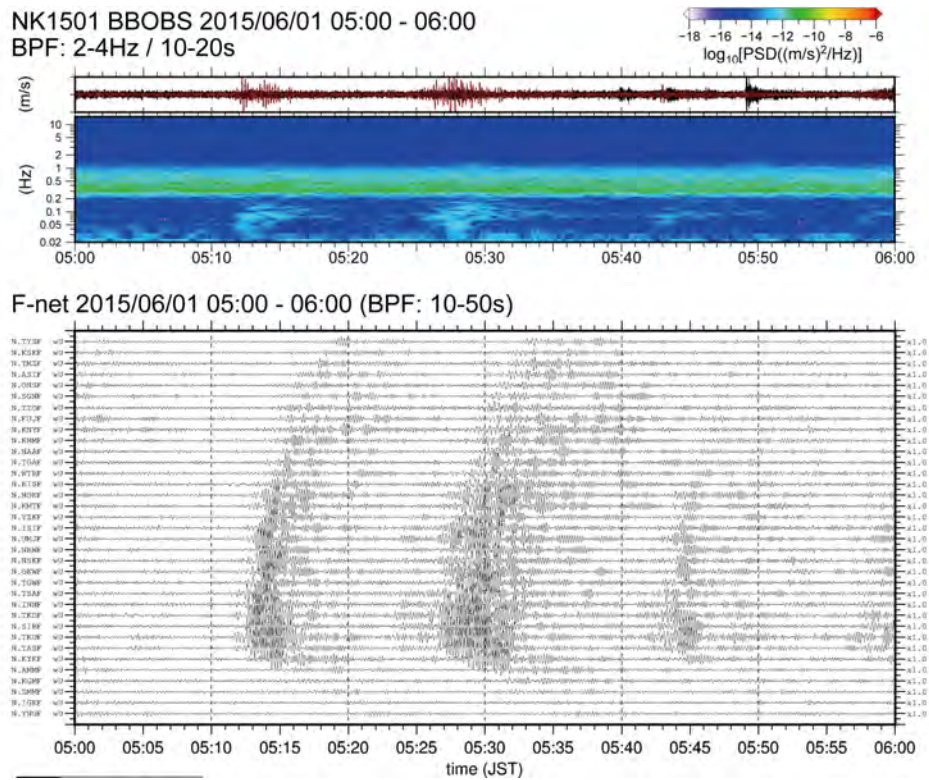


図5. (上図) 広帯域海底地震計で捉えられた、豊後水道南方の日向灘プレート境界浅部で発生した浅部超低周波地震の波形例とランニングスペクトルの例。波形のうち、黒は2-4Hz、赤は10-20秒のバンドパスフィルターをかけた波形。(下図) 陸上のF-net 広帯域地震計(上から東北南部~南西諸島の主に太平洋側の観測点)の同時刻における記録。波形は10~50秒のバンドパスフィルターをかけている。陸上観測網で確認できる浅部超低周波地震のシグナルが海底地震計でも確認できる。

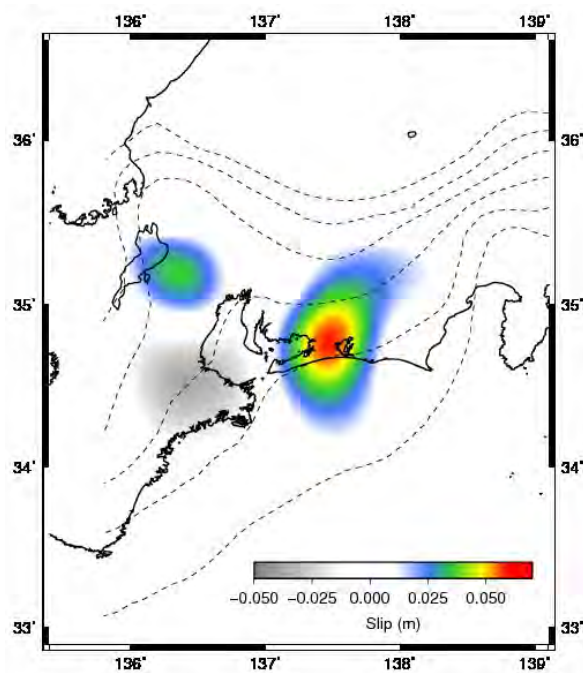


図6. 2013年1月1日~2015年4月30日の期間に推定されたプレート境界面上の積算滑り量分布。

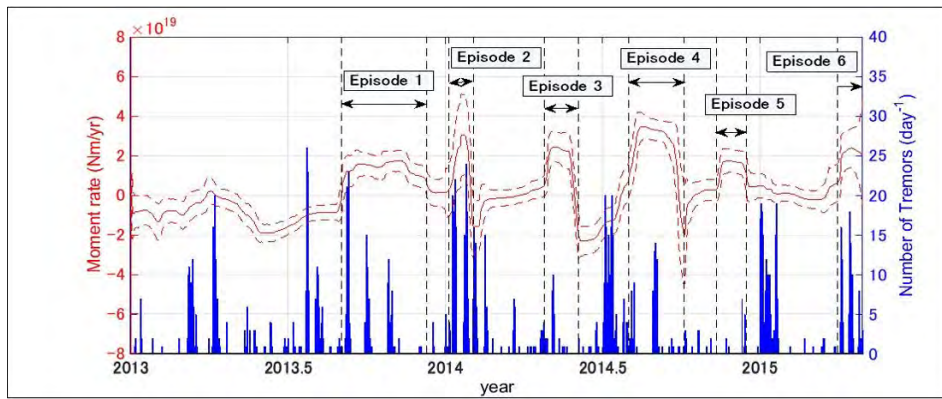


図 7. モデル領域のモーメント解放速度の時間変化と深部低周波微動の日毎の回数 ( Obara et al., 2010 )。速度の急変が推定誤差の 1 ( 破線で表示 ) を超えた期間を Episode として判定。6 回の Episode が検出されている。

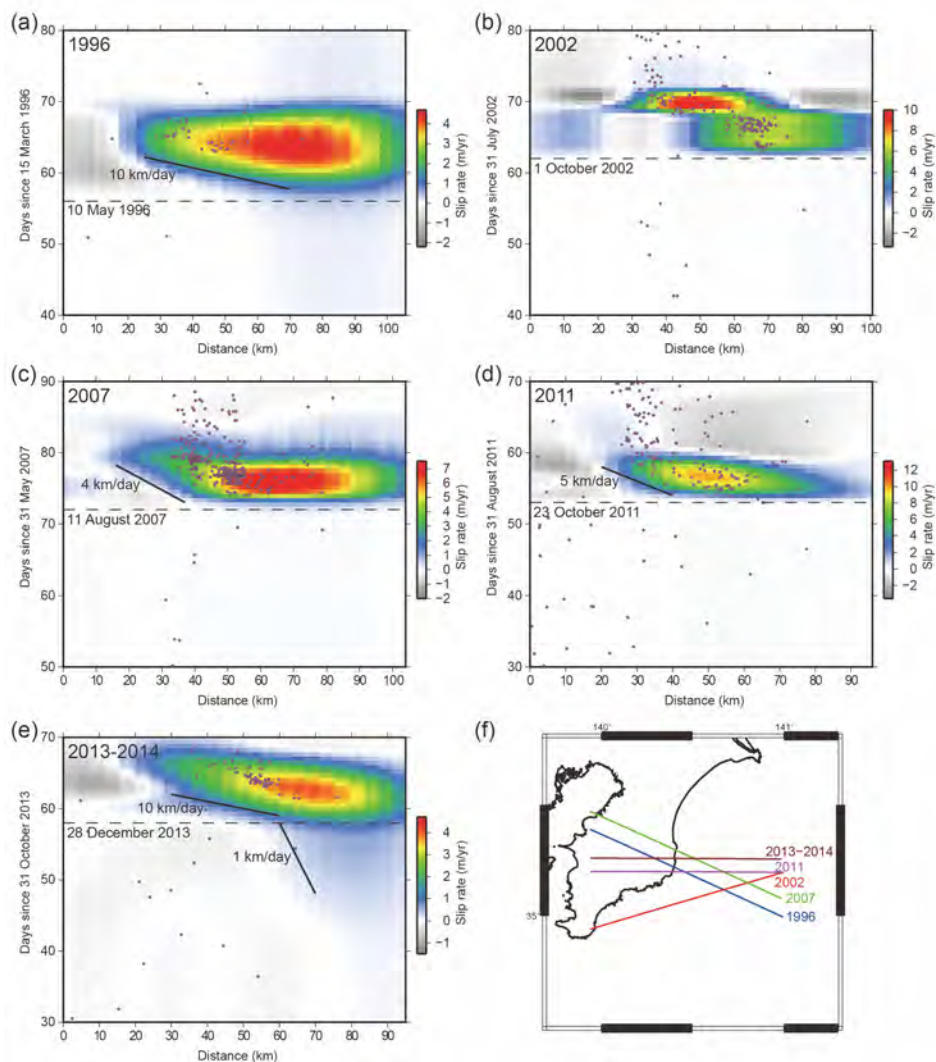


図 8. (a)-(e) 1996、2002、2007、2011、2013-2014 年の房総 SSE におけるすべり速度の時空間変化。カラーは (f) に示した直線上におけるすべり速度の時間変化を示す。横軸は各直線の西端 (または北西・南西端) から東 (または南東・北東) 方向に測った距離を表す。紫色の丸は震央を (f) の各直線上に投影したものを表す。

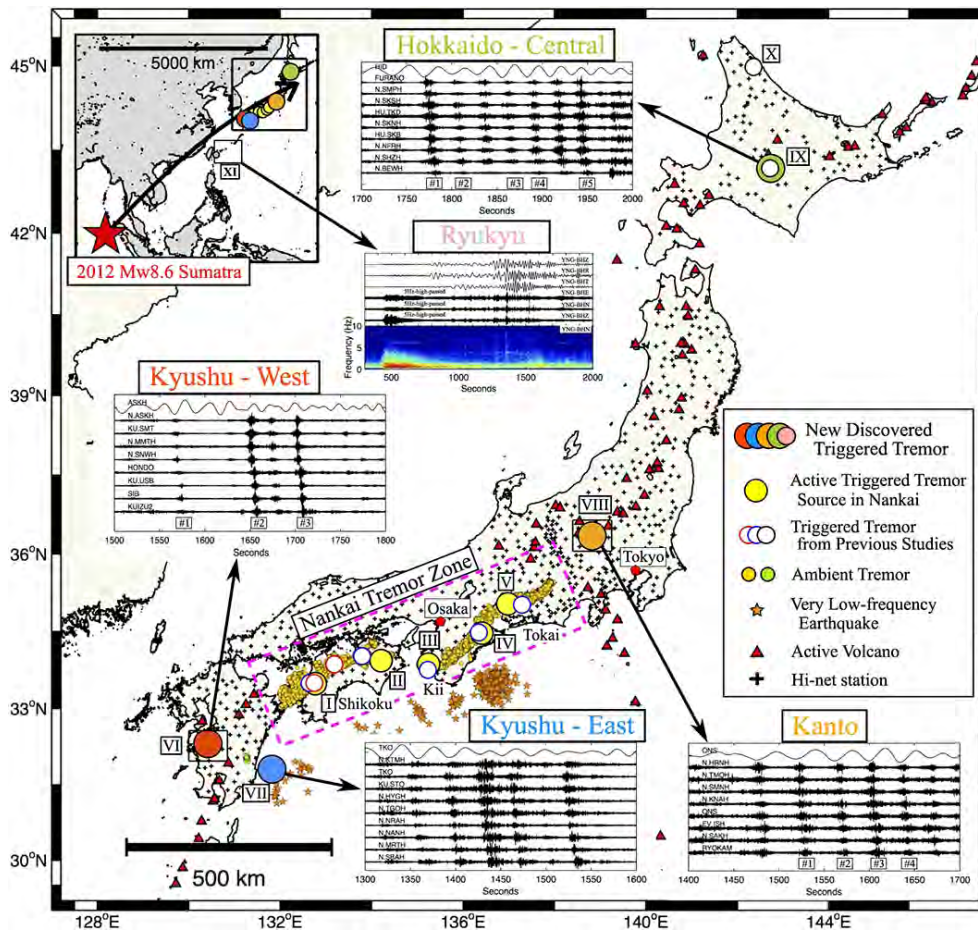


図9. 2012年4月11日に発生したスマトラ地震によって誘発された深部低周波微動。色付きの大きな丸が今回検出された誘発微動で、白抜きの小さな丸は以前の研究で検出されている誘発微動である。各波形はそれぞれの地域における表面波トランスバース成分記録及び水平動成分の2-8 Hzのバンドパスフィルター記録で、時刻ゼロがスマトラ地震の発震時を示す。小さい黄色の丸印は2003年から2012年までの西南日本に発生した深部低周波微動、緑色の丸は宮崎直下の小規模微動、橙色の星印は浅部超低周波地震である。

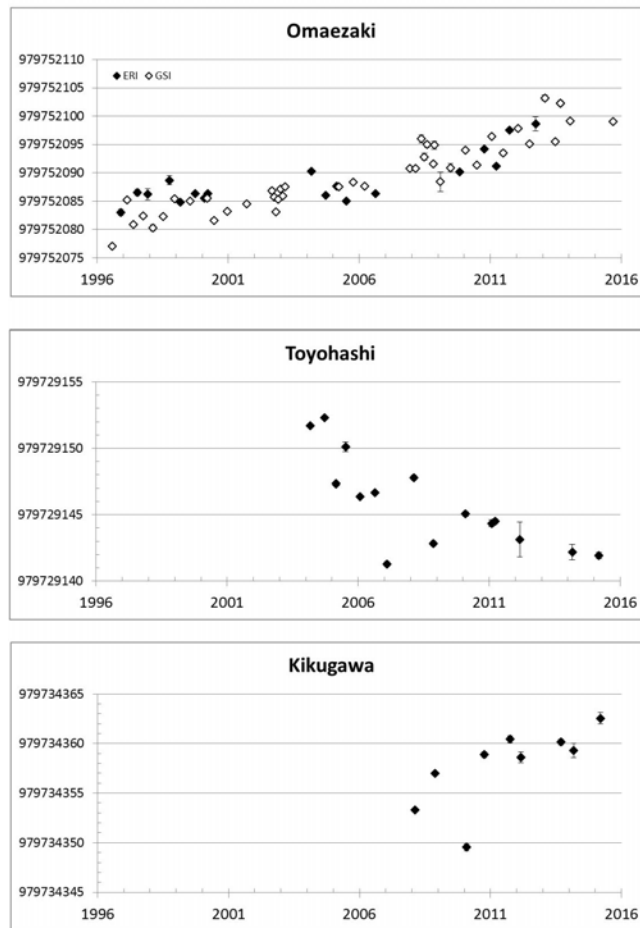


図 10. 重力測定結果。

御前崎（国土地理院地殻活動観測所）菊川・豊橋（名古屋大学地殻変動観測所）におけるこれまでの時系列を示す。縦軸の単位はマイクロガル（1マイクロガル=10億分の1G）。豊橋では2000年東海スロースリップ収束期（2004-2006）に急激な重力の減少が見られる。



図 11. 2016年3月に設置を予定しているNTTメタリック通信回線網を用いたネットワークMT観測点配置。図中の赤二重丸は交換局の位置を示し、そこにデータ収録装置を設置する。小黄色で示した各地点に電極を埋設し、メタリック通信回線を用いて交換局エリア内の電極間の地電位差変化を記録する。一方で、ピンクのブロックで示した2地点に磁力計を設置し、2015年6月11日より3成分磁場観測を実施している。磁場水平成分に対する長基線地電位差変動の周波数応答関数を推定することにより、地域の広域深部構造を推定する。

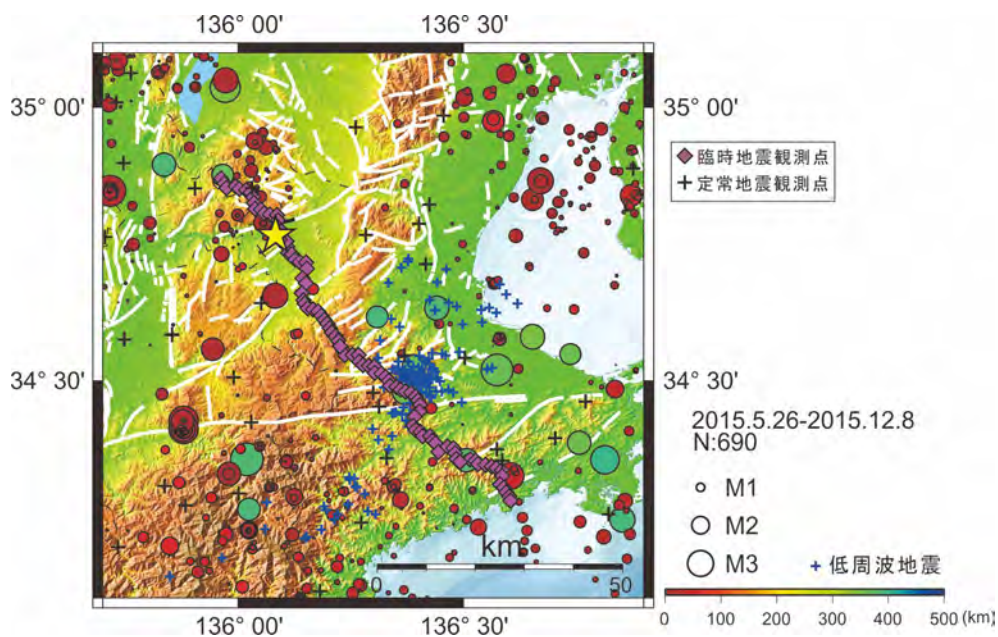


図 12. 臨時地震観測点配置図。

印は、観測期間中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。黄色星印は、観測波形記録(図 13)の震央を示す。

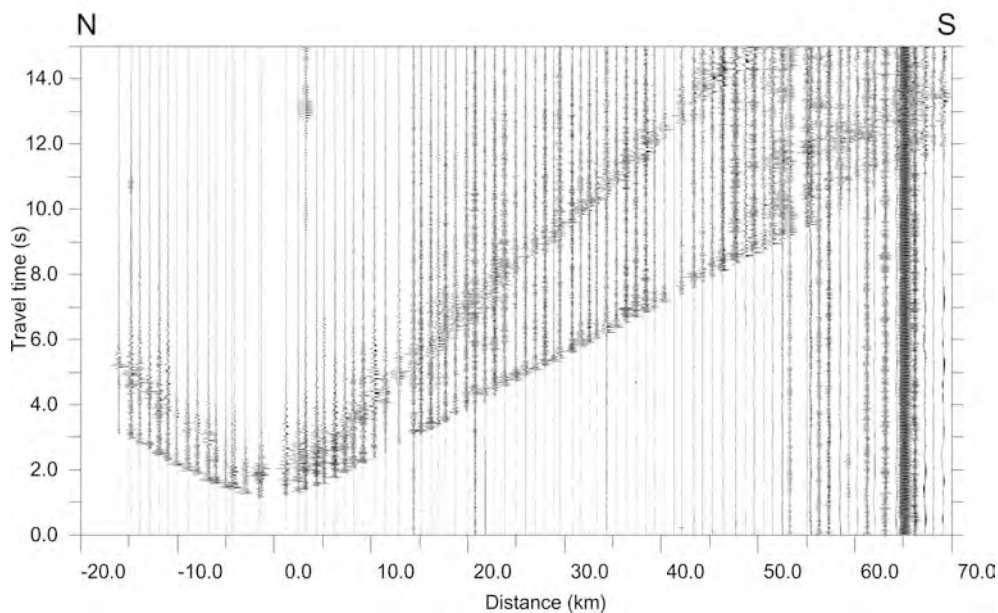


図 13. 観測波形例(上下動成分)

(震源時: 2015/6/22 23:18:2.41, Latitude: 34.766 °N Longitude: 136.08366 °E 7.06 km deep,  $M_{JMA} = 1.0$ )。横軸は震央距離、縦軸の時間は原点が震源時に対応する。振幅はトースごとに最大振幅値で規格化して示してある。波形記録にはフィルター処理を施していない。

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

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 27 年度の成果の概要 :

(a) 相似地震カタログの構築

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するシステムの開発を目指し、1989年9月以降に日本の基盤地震観測網で観測された地震波形を用いて、日本列島周辺および世界で発生した中規模相似地震活動の検出を行った。その結果、プレート境界型地震が発生する多くの地域で相似地震が多数検出された。また、本解析結果から、現在行っている相似地震カタログ作成プログラムの検出限界を検討し、新たに構築するシステムにおける抽出法の改良方針を検討した。さらに、入力・出力するデータや解析結果等のファイル仕様について検討を重ねた。

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島での地震観測の強化を目指した。伊豆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。2002年より上下動地震計によるトリガー観測が行われていたが、衛星携帯電話の変更により 2014年3月から従来の方法での接続ができなかった。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月に伊豆島に設置し、地震および傾斜変動の連続観測を開始した(図 1、図 2)。

(b) 断層面固着状態の推定

北海道～関東地方の沖合のプレート境界断層の広い範囲で、周期的なスロースリップが発生していることを相似地震および地殻変動データから発見した(図 3、図 4)。このスロースリップは、地域によって異なり、1～6年の発生間隔を持つ場所が多かった(図 5)。また、その発生に同期してその地域での M 5 以上の規模の大きな地震の活動が活発化しており、東北地方太平洋沖地震が発生した時期にも、三陸沖ではスリップが発生していた(図 5)。周期的なスロースリップが発生しているときに大地震が起こりやすくなる傾向を活用すれば、それを地震・地殻変動観測で検知することによって、大地震発生時期の予測の高度化に貢献できる可能性がある。

Brownian Passage Time (BPT) 分布更新過程から拡張した時空間更新過程モデル (Nomura et al., 2014) を用いて、2011年東北地方太平洋沖地震までに観測された相似地震カタログからプレート境界上の準静的滑りの時空間的变化を推定した(図 6)。特に、滑り速度変化を表現する 3 次元スプライン関数に対して、局所的な不連続性と集中性を節点配置に取り入れたことにより、解析期間中の大地震による余効滑り等の様子がより詳細に捉えられるようになった。東北太平洋沖では短期的な滑り加速が度々発生しており、本震マグニチュードに比べて余効滑りの規模が比較的大きいもの、マグニチュード 6 以上の地震を伴わない群発的活動など、発生パターンの違いも表れている。

日本列島および世界で発生した小・中規模相似地震活動を用いて、その空間分布・時間変化の特徴および、各プレート境界におけるすべりの特徴を調べた(図 7)。その結果、スマトラ、日本、千島列島で発生したプレート境界型巨大地震発生後、その余震発生域では相似地震の再来間隔が短くなっており、余効すべりの発生が示唆された。一方、その影響がない地域・期間では、数年～十数年の再来間隔を持つ相似地震活動が見られた。多くの領域では、プレート間の相対速度と同じかより小さいすべり速度が推定された一方、背弧拡大域では、プレートの沈み込みから想定される速度よりも速いすべり速度が推定された。相似地震を広い領域で抽出し、活用することにより、世界各地のプレート間固着状態がモニタリング可能となることが期待される。

チリ北部の沈み込み帯域における繰り返し地震の解析を実施し、2014年4月に発生した Iquique 地震 (M8.1) 発生までの非地震性滑りの時空間発展を推定した。その結果、本震発生の約 270 日前から、



非地震性滑りが間欠的に増加し始め、その増分も時間とともに大きくなり、本震発生に至ったことが明らかとなった。前震による地震性すべりに加えて非地震性すべりもプレート境界面上で同時に進行することで、本震破壊領域の端で固着が間欠的に緩み、破壊域への応力集中が生じることで本震の発生が促進されたと考えられる。

(c) 地震再来特性の解明

日本海溝沿いに発生する相似地震について、繰り返し回数が少ないときの発生確率予測の精度検証のため、2008年の確率予測実験で使用した地震カタログを使い、4つの統計モデル(BPT分布モデル、ベイズ統計対数正規分布モデル、小標本論対数正規分布モデルおよび指数分布モデル)で発生確率を計算し、観測結果から求めた平均対数尤度の成績を異なる統計モデルや繰り返し回数で比較した。なお、BPT分布モデルのパラメータには、平均発生間隔は、当該系列の平均値を使用し、変動係数は、地震数5個で求めた変動係数値の中央値( $\approx 0.367$ )を用いた。ベイズ統計対数正規分布モデルの逆ガンマ事前分布のパラメータは、 $\alpha = 0.25$ と $\beta = 0.44$ を使用した。結果はベイズ統計対数正規分布モデルや小標本論対数正規分布モデルよりもBPT分布モデルの成績は劣り、繰り返し回数3回以下ではBPT分布の成績は、予測確率0.5の成績(-0.693)よりも悪い(図8)。

相似地震の発生予測に使用した小標本論対数正規分布モデルは、予測確率が小さい方へ偏る傾向があった。乱数実験でも同様な傾向が認められたので、モデルの改良・修正を試みた。統計学から定まるt分布の自由度を1または2増やすと、予測成績がいくぶん向上する。また、予測確率に応じて、確率値のかさ上げを行うと、平均対数尤度が-0.586から-0.573へ増大し、成績がかなり向上した(図9)。

- (9) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Hu, Y., R. Burgmann, N. Uchida, P. Banerjee, and J. T. Freymueller, 2016, Stress-driven relaxation of heterogeneous upper mantle and time-dependent afterslip following the 2011 Tohoku earthquake, *J. Geophys. Res.*, 121, doi:10.1002/2015JB012508.
- Igarashi, T., 2015, Inter-plate aseismic slip on the subducting plate boundaries estimated from repeating earthquakes, American Geophysical Union Fall Meeting, S53A-2749.
- Kato, A., 2015, Slow slip transients and large earthquakes, The International Statistical Seismology (StatSei) workshop 9.
- Mavrommatis, A., P. Segall, N. Uchida, and K. Johnson, 2015, Long-term acceleration of aseismic slip preceding the Mw 9 Tohoku-oki earthquake: Constraints from repeating earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 9717-9725, doi:10.1002/2015GL066069.
- 野村俊一, 2015, 活断層で繰り返される地震の点過程モデルとその長期確率予測, *統計数理*, 63, 1, 83-104.
- Uchida, N., T. Iinuma, R. M. Nadeau, R. Burgmann, and R. Hino, 2016, Periodic slow slip triggers megathrust zone earthquakes in northeastern Japan, *Science*, 351(6272), 488-492, doi:10.1126/science.aad3108.

(10) 平成28年度実施計画の概要 :

(a) 相似地震カタログの構築

日本全国の定常地震観測網で観測された地震波形データを蓄積し、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。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小・中規模地震の相似地震カタログを自動構築するシステムを構築し、その主要部分の運用を開始する。伊豆・小笠原海溝等島嶼部においては、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、本格的な地震観測を開始する。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。

(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における固着状態のモニタリングを引き続き行う。日本周辺の繰り返し地震の活動について、特に西南日本の活動に重点をおき、その活動の時空間変化の特徴を調べる。平成27年度の成果であるプレート沈み込み帯の準静的滑り分布の推定手法を用

いて、米国カリフォルニア州サンアンドレアス断層をはじめとした東北太平洋沖以外の地域における相似地震カタログを解析し、滑り速度の特徴的な変化および周辺域を含む大地震との関連性を探る。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ため、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し、プレート境界の固着状態の時間・空間変化を推定する手法を開発する。

(c) 地震再来特性の解明

東北地方太平洋沖地震をはじめとする大規模な余効すべり現象について、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、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、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。

(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）、名古屋大学大学院環境学研究科（加藤愛太郎）、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）、東京工業大学（野村俊一）、首都大学東京（大久保寛）、UCBerkeley（Roland Burgmann）、気象研究所（研究連携：田中昌之、勝間田明男、岡田正実）

(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、新開発の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

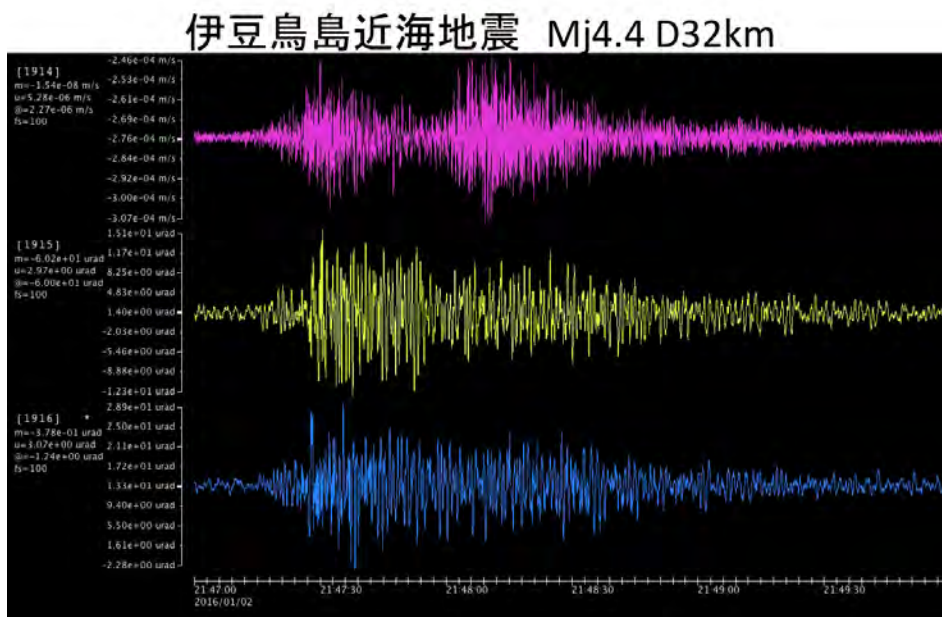


図2 新装置で記録され、衛星電話経由で回収した地震波形  
伊豆鳥島近海で発生したプレート境界部の地震(2016年1月12日)。

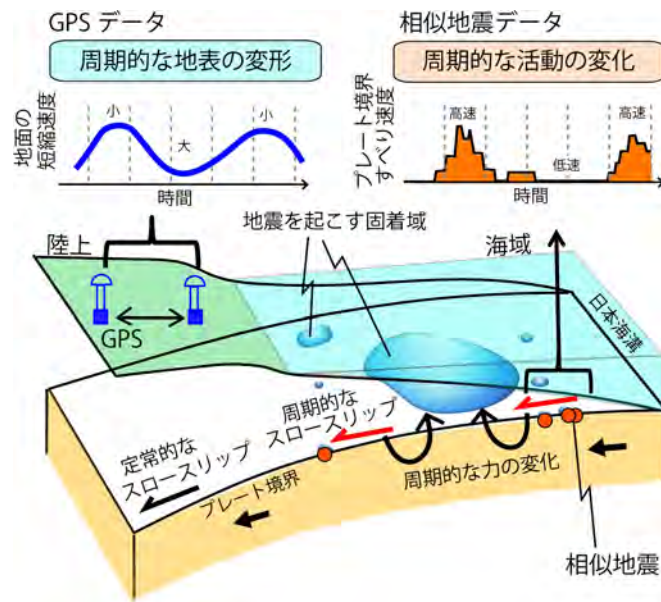


図3 研究に用いた観測データおよび結果と大地震の発生との関係についての模式図  
プレート境界で発生する相似地震を用いて、周期的にプレート境界のすべり速度が変化していることを見出した。また、陸上のGPSデータからも、同様の地面の短縮速度の時間変化を捉えられ、沖合での周期的なスロースリップの存在を証明した。このような周期的なスロースリップは、大規模な地震を起こす固着域に周期的な力の変化をもたらすことで、地震発生数を変調させていると考えられる。

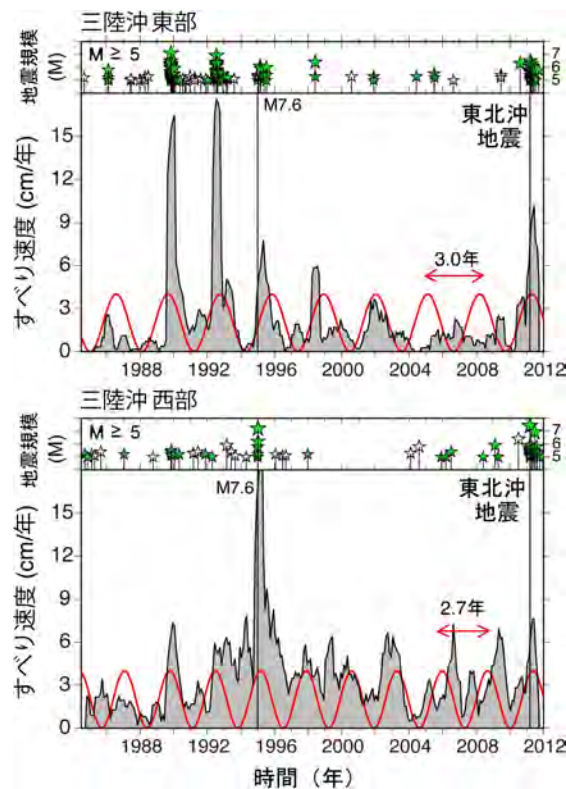
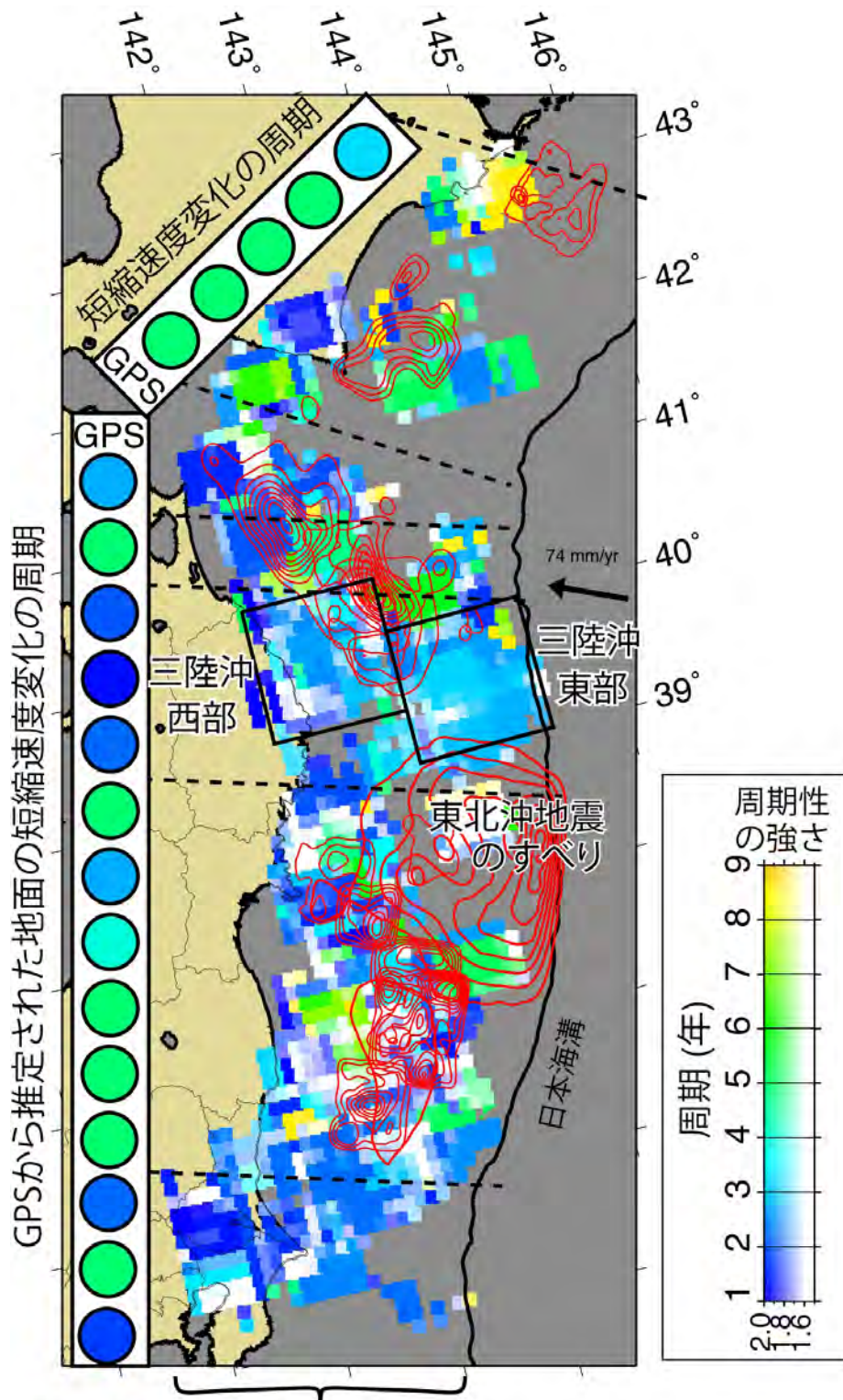


図4 相似地震データから推定した三陸沖東部(上)および西部(下)でのプレート境界でのすべり速度(スロースリップの速度)  
2つの領域の場所は図5に示す。赤線はすべり速度に当てはめた周期関数。それぞれの図上部の星は、マグニチュード5以上の地震の活動を示し、緑はそのうち、周期関数の位相が正(すべり速度が速い時期)に発生したものを示す。



相似地震から推定されたプレート境界でのスロースリップの周期

図5 相似地震から推定されたプレート境界でのスロースリップの周期およびその強さの分布  
 丸は、GPSデータにより推定された沈み込み方向の地面の短縮速度の周期を示す。赤い線は、宮城県から茨城県の沖合にわたる東北地方大太平洋沖地震（東北沖地震）のすべり域および他の大地震のすべり域を示す。短縮速度は、沖合のスロースリップにより変動すると考えられ、実際、相似地震から得られた沖合のスロースリップの周期と陸上のGPSから推定された周期はおおよそ対応している。

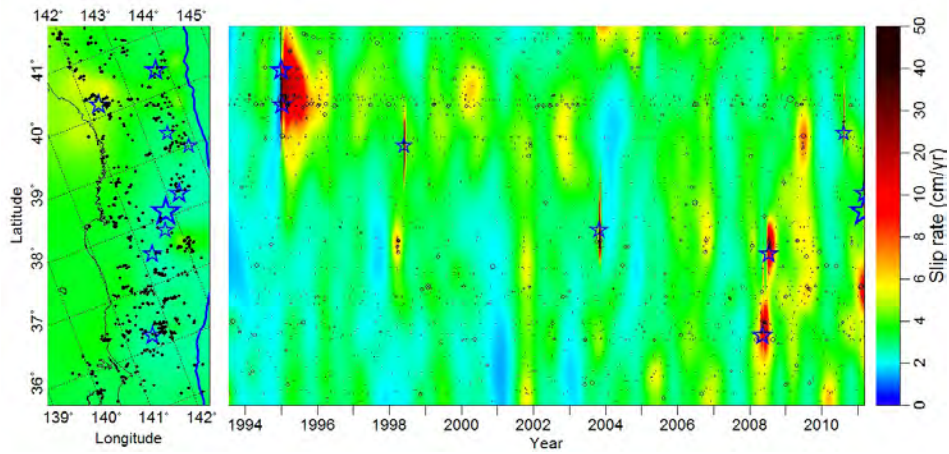


図6 相似地震から推定された1993年から2011年東北地方太平洋沖地震前までの滑り速度の時間推移  
 黒点は相似地震を、青星は相似地震群を余震に持つマグニチュード6以上の本震を示している。青星の本震発生  
 時点でスプライン関数を局所的に分断しており、本震前と本震後の滑り速度の変化を分けて推定している。

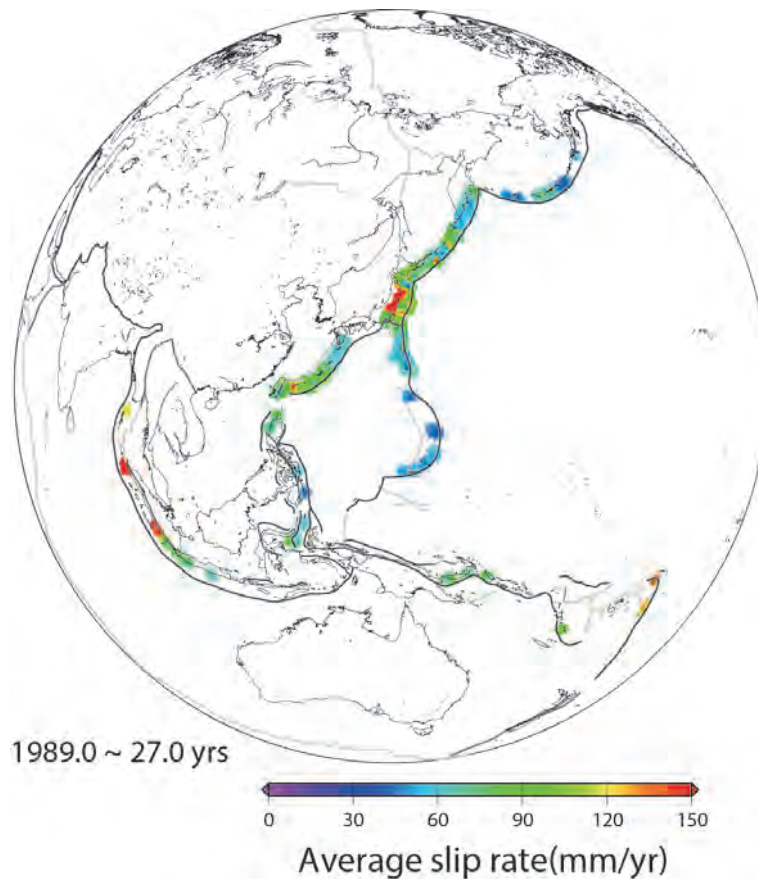


図7 相似地震から推定された1989年9月から2015年10月までの間の平均すべり速度分布

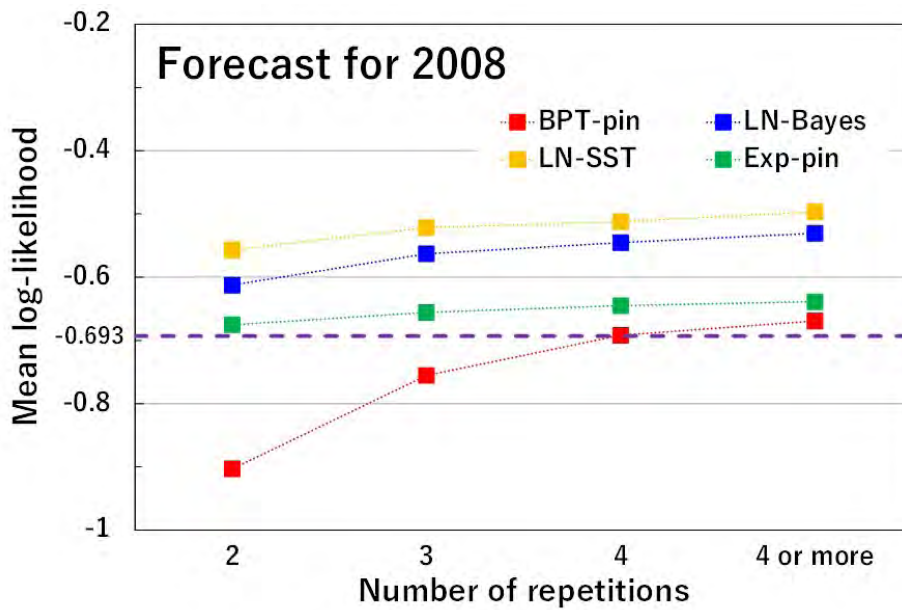


図8 繰り返し回数別で見た、4統計モデルの予測成績(平均対数尤度)  
 予測および観測のデータは、2008年の確率予測実験の地震カタログを使用。BPT-pin、LN-Bayes、LN-SST、Exp-pinは、BPT分布モデル、ベイズ統計対数正規分布モデル、小標本論対数正規分布モデル、指数分布モデルである。この図では上に位置する統計モデルが優れており、BPT分布モデルの成績は劣る。

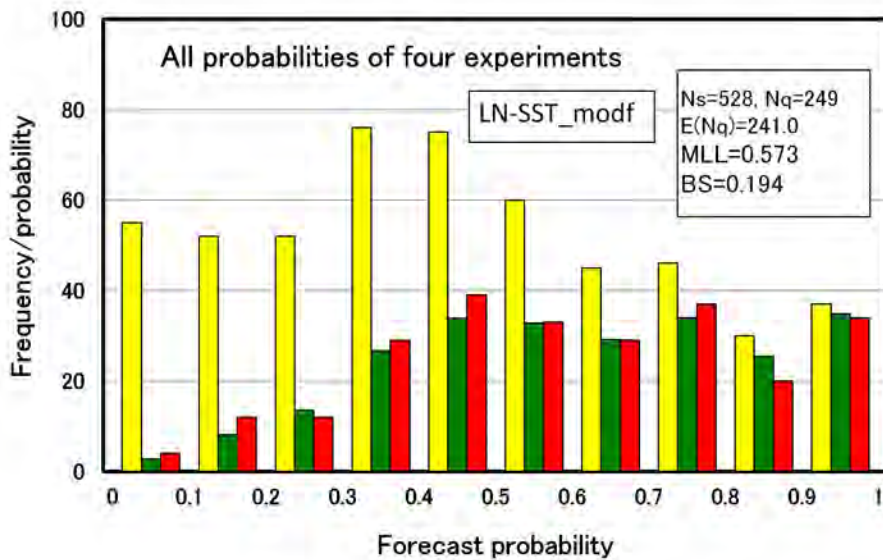


図9 確率値のかさ上げ後の予測確率と観測との比較  
 黄色：予測回数、緑：予測確率の合計。赤：該当地震が発生した事例数。

( 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 27 年度の成果の概要：

CSEP に基づく 3 テストクラス、4 テスト領域の合計 12 のカテゴリーの地震活動予測検証実験を進めるとともに、2015 年 7 月 23 日から 24 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、海外からの発表 5 を含むトータル 20 の研究発表に関して活発な議論を行った。

地震活動予測検証実験の予測結果から、東北地方太平洋沖地震後の 3 ヶ月テストクラス・関東テスト領域については、地震活動予測モデルを地震数の予測と空間分布の予測に分割して予測することによりモデルのパフォーマンスが向上することが明らかとなった。地震数については、図 1 に示すように大森・宇津則を適用するのみで、オリジナルのモデルよりも大森・宇津則を適用した場合のほうがより実際の地震発生数に近づいていることがわかる。定量的な評価は実施していないが、すべてのテスト領域において、3 ヶ月テストクラスでは、東北地方太平洋沖地震後については、地震数を分離した予測によりモデルの向上が期待できることがわかった。



また，AllJapan テスト領域，1 日テストクラスにおいて，2014 年 11 月の長野県北部地震についてはテスト領域を地震発生領域近傍に絞った予測の評価の試みを実施した．各モデル（ERS, ETAS, HISTETAS5PA, HISTETAS5PA1205, ETES）の予測の特徴が示されており（図 2），個々の地震活動を詳細に検討することの重要性も明らかとなった．

（ 9 ）平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
Naoshi Hirata, Hiroshi Tsuruoka, Danijel Schorlemmer, Five-year Japanese earthquake predictability experiment with multiple runs since 2009 including the 2011 Tohoku-oki earthquake, Abstract of the 9th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei9) in Potsdam.

（ 10 ）平成 28 年度実施計画の概要：

CSEP に基づく地震発生予測検証実験を継続して進めるとともに，地震発生予測検証実験に関する研究集会を開催する．テストクラス(1 日，3ヶ月，1 年，3 年)とテスト領域 (AllJapan，Mainland，Kanto) の 12 の組み合わせの結果を総合的にまとめる作業を試みる．

（ 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

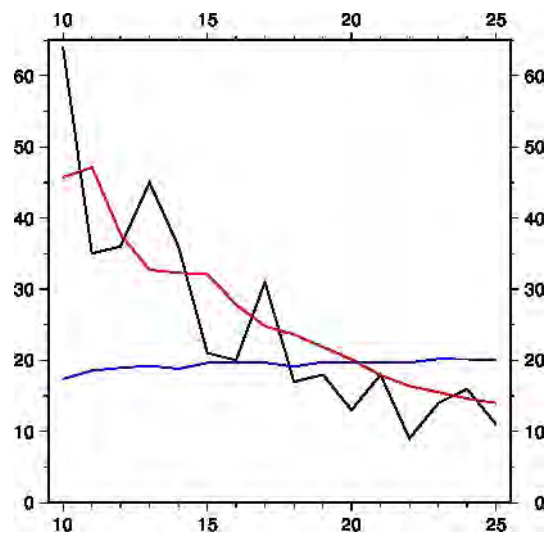


図1 . 3ヶ月関東テスト領域における地震数の予測 .  
 黒 ( 観測 ) , 赤 ( 大森・宇津則による ) , 青 ( モデルオリジナル )

JPnagano 1D 2014-11-23 results

<2014-11-22|2014-11-23|2014-11-24>

MODEL	TEST L	N(under)	N(over)	M	S	S	PG	forecast	obs	fore/obs
	LL/Nobs	gamma	delta1	delta2	kappa	zeta		forecast	obs	fore/obs
ERS	-6.662	0.099	0.141	0.994	0.544	0.607	109.7747	0.147	1	0.15
HISTETAS5PA	-7.033	0.165	0.401	0.912	0.418	0.253	30.2714	0.487	1	0.49
ETES	-7.492	0.972	0.990	0.068	0.549	0.674	110.1843	4.377	1	4.38
ETAS	-8.128	0.719	0.754	0.577	0.450	1.000	8.8514	1.405	1	1.41
HISTETAS5PA1205	-12.966	<b>0.011</b>	0.036	0.999	0.435	0.388	0.9838	0.025	1	0.03

MAPS

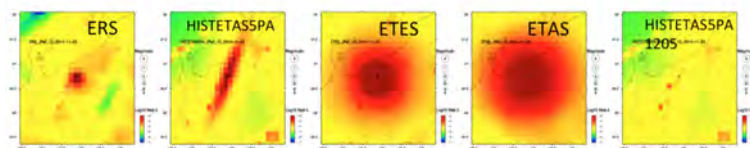


図2 . 2014年11月長野県北部地震の1日予測結果 .

( 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 27 年度の成果の概要 :

### I. 粉体の準静的変形実験

前年度から取り組んでいる「粉体の AE ( Acoustic Emission ) バーストのイベント発生統計則」についての解析の継続と発展的研究を行った。AE バーストの統計については、今年度は特にイベント発生順序に特に注目する Natural time の手法を用いた解析を行った。Natural time は大きな地震の発生に系がどの程度近づいているか ( どの程度臨界状態に近い ) を定量化する可能性のある手法と言われており、本研究ではその手法を、粉体の室内実験で得られた AE イベント系列データに適用することを試みた。その結果、系の臨界性の指標となる Natural time の分散 ( 臨界状態では 0.07 という特別な値をとるとされている ) は、粉体 AE イベントの場合は実験条件に依存して様々な値を取り得ることが分かった。これは、粉体 AE イベントが示す地震現象と類似のべき分布性が常に系の臨界性のみで実現されているわけではないことを示唆する。一方、二つの連続する AE イベントの振幅差の統計が、q-ガウス特性を持つこともデータより明らかになった。この統計的性質は自己組織化臨界現象のモデルで特徴的に見られるものであり、粉体の AE イベントが何らかの自己組織的過程によりべき分布特性を示していることを示唆する。自然界で起こる実際の地震の統計則と実験による粉体 AE イベントの統計則は、実験条件を適切に調整することにより類似する場合があるが、逆に常に同様の性質を持つわけではなく、比較の際には慎重に実験条件等を検討する必要があることが分かった。

### II. 粘弾性体シートやアクリル樹脂を使った摩擦実験

前年度において構築した実験システムを用いて、地震サイクルにおける局所的・大域的な垂直応力の不均一性の影響を調べた。試料表面には、鋳型を用いて形状・配置・密度・高さなどが精密に制御された多数のアスペリティ ( 突起 ) を配置し、かつ断層面に沿って傾き角を与えることで、スティック・スリップ挙動の観察を試みた。実験結果の一例を図 1 に示す。この実験では、図 1 ( 左 ) のように、片面のアスペリティは周期的に配置し、もう片面のアスペリティについて、半分は周期的、もう半分はランダムに配置し、2つの傾き角の条件で実験を行った。すると、図 1 ( 右 ) のすべり距離 - 摩擦力曲線のように、最大摩擦力や最大摩擦力到達後に現れるすべり挙動 ( 負の傾きの部分 ) が大きく変化していくことがわかった。また、ある条件 ( “ 引張 ” ) では、初回のスリップ ( すべり距離 = 約 5mm ) の際に摩擦面全体をすべったのに対し、4 回目のスリップ ( 約 20mm ) では、途中ですべりが停止する様子が観察された。

### III. バネブロックモデルの数値実験

26 年度に引き続き、速度状態依存摩擦則に従う 1 次元バネ - ブロックモデルに対する数値シミュレーションにより地震先行現象としての破壊核形成過程の物理を精査し、最終的に論文として公表した。準静的な初期フェーズから非可逆的な加速フェーズ、そして本震に対応する高速破壊フェーズに至るまでのダイナミクスを、数値的および解析的手法により精査した。特に 27 年度は、逡減摂動法による

解析計算の結果と数値シミュレーションの結果の詳細な比較検討を行い、高速破壊に入るまでの時間領域について良い一致を得るとともに、空間離散性と地震先行過程の関係に関する J. Rice の批判以来の問題を解決した。また 26 年度から継続して、速度状態依存摩擦則に従う 1 次元バネ - ブロックモデルが示す余効すべりやスロー地震等の「スロースリップ」現象の数値シミュレーションを行い、10 月の地震学会（於神戸ポートアイランド）で口頭発表した。速度状態依存摩擦則を特徴づける a,b パラメータの大小で、高速破壊、余効すべりを伴う高速破壊、スロー地震の領域に分かれることを見出した（図 2）。

- ( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
Temporal analysis of acoustic emission from a plunged granular bed D. Tsuji and H. Katsuragi, Phys. Rev. E, Vol. 92 (2015), 042201:1-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevE.92.042201>  
T. Yamaguchi, Y. Himeno and Y. Sawae, Collective behavior of multiple asperities in sliding friction between polymer gels, Proceedings of International Tribology Conference Tokyo (2015).  
T. Yamaguchi, Y. Himeno, Y. Sawae, Stick-slip motions of polymer gels having multiple artificial asperities, Proceedings of Malaysian International Tribology Conference 2015, 78-79 (2015).  
Y. Ueda, S. Morimoto, S. Kakui, T. Yamamoto and H. Kawamura, European Physical Journal B 88, 235-(1-24) (2015).

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要：

I. 粉体の準静的変形実験

平成 28 年度は粉体層中の準静的摩擦挙動の研究を主に実施する。平成 26 年度に行った予備実験データの解析を推し進め、更に新たな実験によるデータ取得やモデルの考察等にも着手する。

前年度までに行った「粉体層中に埋め込んだ針金の引き抜き実験」のデータ取得および解析を引き続き行う。データの解析法に改善を加え、より明確に低速滑り時の粉体摩擦を計測する手法を確立する。これまでの予備的結果より粉体における摩擦特性が系の幾何学に強く依存する可能性が示唆されており、その依存性をより明確化する実験の実施も目指す。同時に単純なモデルによる考察も進め、実験結果の物理的説明に取り組む。粉体における摩擦特性は断層面での滑り特性を解明する上でも重要な情報となり得るが、本実験で得られる低速滑りは、無次元数による表示を通して考察することにより、地下深くの高圧状態と相似的な状態となっている可能性がある。このような無次元数表示による結果の地球科学的意義付けについても同時に考察を進める。また、粉体層に振動等の擾乱を加え、摩擦挙動の応答を観測する実験についても可能であれば行う。粉体の摩擦特性が周囲の振動等によりどのように変化するかは「Acoustic fluidization」と呼ばれる効果でモデル化することが出来るが、この過程は地震等の震動により他の断層の動きが誘起されてより大規模な地震が発生するというようなケースを考える上では、重要な過程となる可能性がある。以上のように、天然の地震活動等の性質を議論する上でも重要な基礎知見となり得、同時に摩擦の物理特性の基礎解明としても重要となる課題に取り組むことにより、地震発生等の物理の基礎に関連する知見を深めることを目指す。

II. 粘弾性体シートやアクリル樹脂を使った摩擦実験

これまでの室内実験によって、モデル断層における局所的・大域的な応力場の不均一性が地震サイクル挙動に大きな影響を与えることを明らかにした。平成 28 年度は、それらを踏まえ、以下のテーマを掲げて研究を行なう。

1) すべりイベント発生条件の特徴付けに関する研究

2) 巨大イベントの際の弾性波放出挙動および地震動に関する研究

1) では、すべりイベント直前の物理的状態（応力分布、アスペリティ接触状態など）を力の測定やその場可視化によって取得し、その後のイベント発生過程との対応を詳細に調べることによって、さまざまな規模のすべりイベントの発生条件がどのように特徴付けられるかを検討する。また、2) のテーマにおいては、巨大すべりイベントに焦点を当てる。巨大イベントが発生するときのすべり挙動

を高速カメラで撮影し、動的すべり過程および断層周辺の媒質変位を詳細に解析することによって、室内実験における巨大地震発生と周辺の地震動との関係を理解する。

### 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一様均一な1次元バネ-ブロックモデルについては、その前駆（破壊核形成）過程、本震の統計的性質、ゆっくり滑り等に関して一定の理解が得られたので、この知見を基に、28年度は、空間的な不均一性が地震イベントにどのような影響を与えるかについての系統的な研究に重点を置きたい。まずは1次元モデルで、かつ速度状態依存摩擦則で地震不安定性を担う役割を果たしている、いわゆるbパラメータを不均一に設定した（例えば系の左右の半分で大小を課す）モデルの性質を、均一系と比較しながら調べる予定である。予備的計算の結果によると、bが小さい部分と大きい部分では大きく地震イベントの性格が大きく異なる異方性が見えており、28年度はその詳細を明らかにしたい。

(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

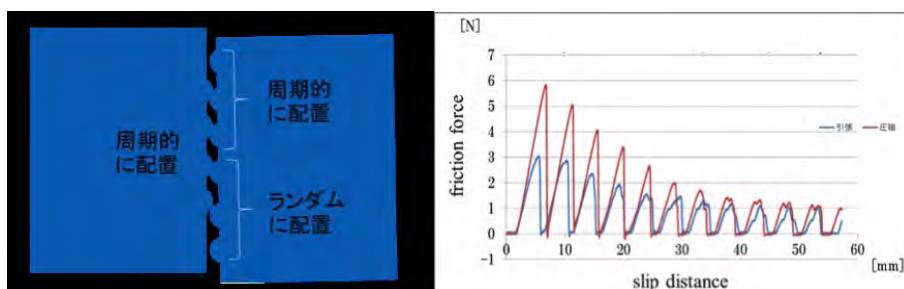


図 1

(左) 実験装置概略。(右) すべり距離 vs 摩擦力。

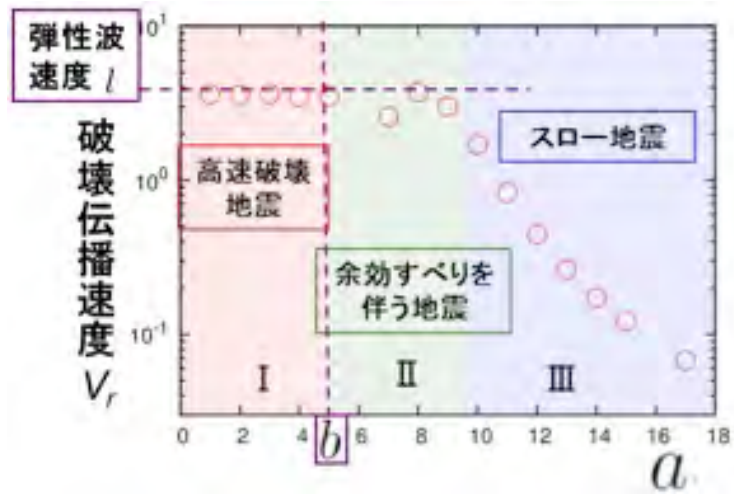


図2  
バネブロックモデルにおける摩擦パラメータと破壊伝播速度の関係。

( 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：

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：

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：

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27年度の成果の概要：

本年度は、江戸時代に関東地方で発生した安政二年(1855)の安政江戸地震における日光東照宮での地震対応について検討した。栃木県日光市山内に位置する日光東照宮は、江戸幕府の初代将軍徳川家康を東照大権現として祀る神社であり、当時の幕府にとって宗教上の重要施設であった。日光東照宮には社家御番所で記された『御番所日記』が伝存しており、その内容は日々の天気や東照宮の様子だけに止まらず、年中行事や祭礼、社殿の修築や造営など多岐におよんでいる。『御番所日記』は日記史料であるためにその記述内容の信憑性は高く、貞享二年(1685)から明治三年(1870)までの186年分が現存している。

『御番所日記』には、十月二日夜に発生した安政江戸地震における日光東照宮での被害や対応が記されている。この地震に際して日光東照宮での被害は軽微であり、石柵や石燈籠が少し破損した程度で、東照宮の本社の建物は無事であった。また、本社の背後の山上に位置する奥社では、門や石柵で破損が生じて、石垣から石が落下しており、本社よりも奥社での被害の方が少し大きかった。

このような東照宮の奥社での被害について、同月十日には人足を用いて地震で破損した石柵を木材で補強し、倒れかかっている石を片付けている。翌十一月二十五日には地震で破損した奥社の石柵で修理が開始されており、十二月十七日には日光奉行が視察していることから、この頃までに修理は完了していたと考える。

安政江戸地震と152年前の元禄地震(1703年)における日光東照宮での被害や対応を比較すると、双方とも被害程度は軽微であり、被害に対する直接的な対応はあまり見受けられない。また、元禄地震の際には、江戸から地震見舞いの使者が日光東照宮へ派遣されていたが、安政江戸地震の際には使者の派遣はなかった。なお、双方に共通する地震対応としては、江戸の幕府からの命令によって実施された天下安穩の祈祷が挙げられる。

(9) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
西山昭仁, 2015, 『御番所日記』にみる日光東照宮での地震対応, 災害・復興と資料, 6, 19-25.

(10) 平成28年度実施計画の概要：

歴史資料などに基づき、歴史時代に発生した地震・津波・火山災害などの自然災害について、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、東海・南海地方の歴史災害について研究を実施する。

(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

(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 27 年度の成果の概要：

今年度は、MeSO-net で得られた観測データを既存観測点のデータと併せて、解析・処理を行った。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た震源分布や地震波速度と非弾性常数の三次元的分布等の解析を進め、予察的な関東地方のプレート構造を求めた。また、MeSO-net の内の3観測点では、地表にも地震計を設置して、地下と同時に連続観測を続けている。この観測データの中からいくつかの有感地震時のデータを選び、伝達関数を求めた。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :  
なし

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

平成 28 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詳細に求める。その構造を用いて、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、地下の地震計の記録と地表の地震計の記録を比較し、顕著な地震波が観測されていない期間のデータを用いて伝達関数を求める手法を調査する。

( 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 27 年度の成果の概要 :

平成 27 年度は、地震動などの地震災害誘因の分析に向けて、堆積平野・堆積盆地における地震災害発生機構の研究を継続した。国内の堆積平野・堆積盆地に関しては、新たな強震記録データベースとして、SMAC 型強震計記録の画像データを追加した。国外の堆積盆地に関しては、ネパール・カトマンズ盆地において岩盤サイト 1 点、盆地内サイト 3 点で連続観測を実施している強震観測点で 2015 年 4 月 25 日に発生したゴルカ地震で本震 (Takai et al., 2016) を含め記録が得られた (Shigefuji et al., 2015)。カトマンズ盆地の岩盤サイトでの本震の記録はこの 1 点のみである。盆地内のサイトを含め、本震で観測された最大加速度は既往の距離減衰式と比較して小さく、一方の長周期成分に関しては、盆地内の各サイトで明瞭な図 1 に示すサイト特性が認められた。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に向けて、地震動の増幅等の自然素因への作用効果が高い南海トラフ海域および首都圏を対象として、数値シミュレーションおよび地震波干渉法による地震動特性の定量化を継続した。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Takai, N., M. Shigefuji, S. Rajaure, S. Bijukchhen, M. Ichiyangi, M. R. Dhital, and T. Sasatani, Strong ground motion in the Kathmandu Valley during the 2015 Gorkha, Nepal, earthquake. *Earth Planets Space*, 68:10, doi:10.1186/s40623-016-0383-7, 2016.

Viens, L., H. H. Miyake, and K. Koketsu, Long-period ground motion simulation of a subduction earthquake using the offshore-onshore ambient seismic field, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 5282-5289, 2015.

Shigefuji, M., N. Takai, T. Sasatani, S. Bijukchhen, M. Ichiyangi, S. Rajaure, and M. R. Dhital, Aftershock records in the Kathmandu Valley of the 2015 Gorkha, Nepal, earthquake, 2015 AGU Fall Meeting, Abstract SS43D-2837, 2015.

Takai, N., M. Shigefuji, S. Rajaure, S. Bijukchhen, M. Ichiyangi, M. R. Dhital, and T. Sasatani, Near fault strong ground motion records in the Kathmandu Valley during the 2015 Gorkha Nepal earthquake, 2015 AGU Fall Meeting, Abstract S43D-2839, 2015.

三宅弘恵・宮川幸治・郭雨佳・Loic Viens・近藤利明・瀧澤一起, 糸魚川 - 静岡構造線断層帯における臨時連続強震観測, 日本地震学会講演予稿集 2015 年度秋季大会, 神戸, S16-P14, 2015.

三宅弘恵・小林広明・司宏俊・宮川幸治・瀧澤一起, 2014 年長野県北部の地震の強震動生成メカニズム, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 千葉, SCG65-09, 2015.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

平成 28 年度は、引き続き国内外の堆積平野・堆積盆地における強震記録データベースを増強すると共に、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。さらに、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。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

三宅弘恵・瀧澤一起・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

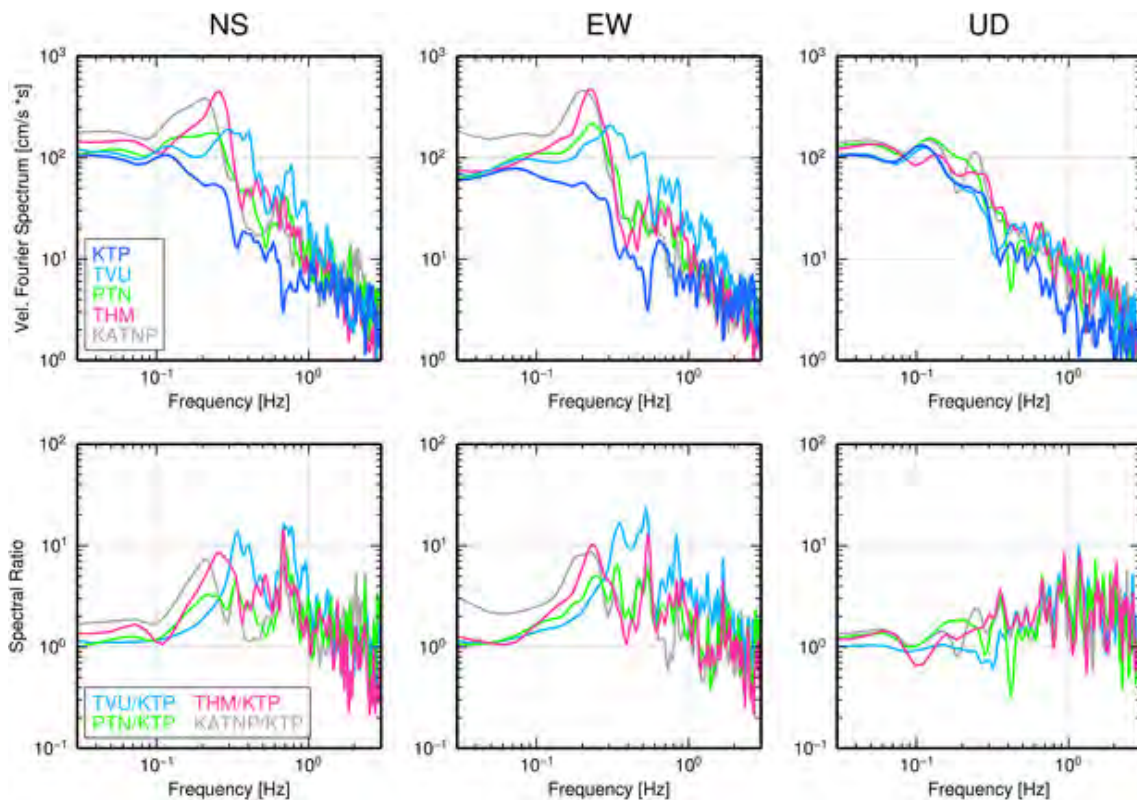


図 1：2015 年ネパール・ゴルカ地震時のカトマンズ盆地のサイト特性 (Takai et al., 2016)

上段：岩盤サイト KTP と他の盆地内の観測点の 2015 年ゴルカ地震の本震の加速度記録に基づく速度フーリエスペクトル ( KATNP 観測点は USGS による記録 )。下段：岩盤サイト KTP を分母としたスペクトル比。上下動では大きなサイトによる増幅が見られないが、水平動においては、0.2 ~ 1 Hz において各サイトで明瞭な増幅が見られる。

( 1 ) 実施機関名：

東京大学地震研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

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かさや、地震時の断層運動の再現性（不確実性）に伴う、強震動予測の不確かさを、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、強震動予測の不確かさ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かさ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 27 年度の成果の概要 :

1. 小笠原西方沖深発地震の波動伝播と震源の深さ

2015 年 5 月 30 日に太平洋スラブ深部で発生した小笠原諸島西方沖の地震は、深さ (  $h=682$  km ) も規模 (  $M_j8.1$  ,  $M_w7.8$  ) も深発地震としては最大級のものであった。この地震により、47 都道府県が有感となり、特に関東～東北～北海道にかけての太平洋岸では、最大震度 5 強の強い揺れを伴う「異常震域」が見られた。気象庁により求められた震源の深さは、この周辺で起きる深発地震の等深度面より 50 km 程度深い、太平洋スラブの下面付近となった。日本列島から遠く離れた地震のため、深さ決定精度には誤差が大きい可能性も残され、実際にはスラブ内で起きた地震か、スラブ外の上層/下部マントル境界付近で起きた地震かについて議論が分かれている。本研究では、観測された地震波形の特徴からこの問題を検討した。

深発地震が起きると、スラブの走行に沿って震度の大きな地域が広がる「異常震域」が必ず見られるが、小笠原西方沖地震の震度分布は、過去の太平洋スラブの深発地震 ( 鳥島近海や、紀伊半島沖の深さ 400km 前後の深発地震など ) で良く見られた東北～北海道に延びたものではなく、比較的同心円状に近いものであった。K-NET, KiK-net 強震観測データを用いて加速度の距離減衰を調べたところ、前弧側 ( 太平洋側 ) 観測点で記録された加速度は予測式 ( Si & Midorikawa, 1999 ) の最大 2 倍程度の範囲に収まっており、背弧側 ( 日本海側 ) 観測点と比べても揺れの差が小さいことがわかった。同じ特徴は、本地震の余震でも確認できた。これは、震央がほぼ等しく、スラブ内で起きた別の地震 ( 2010 年 11 月 30 日、 $M_w6.7$ 、 $h=494$  km ) での前弧側観測点の加速度が、地震動予測式より 10 倍以上大きいことと対照的である。

前弧側の F-net 観測点での地震波形を調べると、震源距離 1000 km 以上の遠地において、見かけ速度の速い ( 6.5 km/s 程度 ) 低周波数 (  $<0.5$  Hz ) の S 波の先行と、大振幅かつ高周波数 (  $>1$  Hz ) の S 波後続層 ( 4.5 km/程度 ) の二つの分離が見られた。こうした特徴は、深さ 500 km 以深の地震のみに見られ、先駆波は減衰が大きな (  $Q_s$  が小さい ) 上部マントル深部を通して遠地観測点に到達したためと解釈できる。

以上、確認された小笠原西方沖地震の地震波形の特徴から震源の位置 ( 深さ ) を確認するために、3 次元差分法に基づく地震波伝播シミュレーションを実施した。計算では、日本列島を覆う 2176 km\*1472 km\*800 km の領域を 0.25 km の格子間隔で離散化し、最大周波数 3.2 Hz の地震波伝播を計算した。太平洋プレートの上面深さは Slab1.0 モデルにより与え、スラブ下面を 100 km 下に設定した。地殻・マントルの速度は ak135 モデルに基づき設定し、スラブ内の P 波・S 波速度は周囲のマントルより 5% 増加させた。減衰 (  $Q_p/Q_s$  ) 構造は、Anderson & Given (1982) の ABModel に基づき設定し、スラブ内には High-Q 値 (  $Q_p=2000$  ,  $Q_s=1000$  ) を与えた。なお、計算は理化学研究所の「京」コンピュータを用いて行った。求められた地動速度分布は、K-NET, KiK-net 強震観測網で記録された速度分布と良く整合し、関東～東北に広がる「緩やかな」異常震域を良く再現した。また、前弧側観測点で記録された、低周波数先駆波と高周波数 S 波の後続相は、それぞれ Low-Q マントルと High-Q スラブを伝わり到達した波であることも確認できた。いっぽう、震源を太平洋スラブの中に置いた場合には、異常震域が広域に表れ、関東～東北の地動が観測の 2 倍以上大きくなるなど観測との一致が悪いほか、先に述べた S 波形の特性が再現できなかった。以上より、本地震はスラブ外 ( スラブ下面 ) で起きた地震である可能性が高いことが裏付けられた。

2. 南海トラフ地震の長周期地震動シミュレーション

2011 年東北地方太平洋沖地震において日本各地で観測された長周期地震動の強度は、固有周期 6 秒

の速度応答で最大 80 cm/s 程度であり、過去の M8 級地震（2003 年十勝沖地震、1944 年東南海地震など）のものと同程度であった（Furumura, 2015）。地震の規模（Mw9.0）に比べて長周期地震動の生成が弱かった原因として、1）太平洋プレートの沈み込みが急角（30-45 度）のため、地震動を放射する場所が比較的深く、表面波の励起が弱いこと、2）日本海溝が剥離型の沈み込み帯であるために、南海トラフのように低速度の堆積層（付加体）型が発達せず、表面波の増幅や海溝軸に沿った表面波のガイド効果が起きにくいこと、3）関東平野においては、非対称の盆地構造において、基盤の傾斜が緩い北東側（福島～宮城方向）から入射する表面波の増幅が小さい、という 3 つの原因が考えられている（古村、2015）。

これに対して、南海トラフ沿いの地震では、緩やかに沈み込むフィリピン海プレートと厚い付加体での表面波の強い増幅と陸地に向けたガイド効果、そして関東平野の急峻な基盤面変化での表面波の強い増幅が考えられ、長周期地震動が強く生成しやすいことが考えられる。本研究では、南海トラフ沿いの地震で生まれる長周期地震動の特性と、東北地方太平洋沖地震との比較から明らかにすることを目的として、東北地方太平洋沖地震の震源モデル（Lee et al., 2012）を南海トラフ沿いに置いた、「仮想 M9 巨大地震」の長周期地震動評価を行った。

文科省の長周期地震動評価モデル（JIVSM）による堆積層、地殻・マントル、及びプレートモデルを設定し、周波数 0.5 Hz 以下（周期 2 秒以下）の地震波伝播を差分法により計算した。仮想震源モデルを、駿河湾～足摺岬の沖合の、フィリピン海プレート上面に置き、各小断層から地震波を放射させた。計算の結果、二つの地震からの震源距離がほぼ等しい都心地点（K-NET 新宿観測点）において、周期 6～10 秒の速度応答において、東北地方太平洋沖地震時の 2 倍程度の大きな長周期地震動が起きることが確認できた。また、南海トラフからの震源距離が短い大阪（KiK-net 此花観測点）地点では、東北地方太平洋沖地震の 5 倍程度以上の大きな長周期地震動が発生する可能性が心配される。

南海トラフ沿いの地震では、トラフ沿いに広がる震源域に沿って陸地が続くために、震源（破壊開始点）と破壊伝播方向の違いにより、各地の長周期地震動の強度が大きく変動する可能性が高い。波長が長い（数十 km）長周期地震動では、破壊伝方向に地震波の重ね合わせと増幅（Directivity 効果）が起きるが、実際の断層運動には不均質性（破壊伝播速度や滑り量の空間変動）が強いことが考えられ、断層面上から順に放射されるインコヒーレントな地震波の重ね合わせでは、Directivity 効果が小さい可能性もある。

本研究では、南海トラフ地震の震源モデルの破壊伝播速度に変動（ゆらぎ）を考えることで、破壊伝播方向への長周期地震波の Directivity 効果と各地の長周期地震動のレベルの変化を調べた。内閣府（2003）による 1707 年宝永地震の震源モデルを対して、破壊開始点（震央）が西端（日向灘沖）、中央（潮岬沖）、東端（駿河湾）の 3 のシナリオに対して長周期地震動を計算し、断層破壊速度に揺らぎがある場合/ない場合での比較を行った。

断層破壊速度が一樣（ $V_r=2.7$  km/s）な場合には、破壊進行方向にコヒーレントな長周期地震波が集まる Directivity 効果が大きく、長周期地震動の増幅が大きく、たとえば震源が南海トラフの西端にあり、断層破壊が関東方向に進行する場合と、これと逆に東側の震源を起点に関東から遠ざかる方向に進行する場合には、都心の地震波速度応答スペクトルで見て 10 倍以上の差が生じることがわかった。これに対して、現実的な断層破壊伝播を考え、標準偏差 5% のランダムな速度変化を与えたところ、Directivity 効果が弱まり、速度応答レベルの変動が 2 倍程度にまで狭まることが確認できた。実際の長周期地震動生成過程では、地下構造の不均質性や地形による地震波の散乱効果も大きいことから、大地震のシナリオの多様性（震央、断層破壊の動的特性）に伴う長周期地震動の想定のパラッキは、さらに小さくなる可能性があり、現実的な地震動評価に向けて、不均質構造を適切にモデル化したシミュレーション手法の高度化が必要である。

### 3. 高周波数地震動の散乱・伝播に寄与する短波長不均質構造の成因と分布

高周波数（ $f>1-2$  Hz）地震波は、地殻・マントル内の短波長（相関距離が数百 m～数 km 以下）の不均質構造（物性速度の揺らぎ）の影響を受けて強い散乱を起こし、長いコーダ波を形成する。特に、スラブ内に発達する互層状態の不均質構造（ラミナ構造）では、高周波数地震動がラミナの間で強い

前方散乱を起こした結果、スラブ内に閉じ込められるように遠地まで弱まらずに伝わる結果、強い震度域（異常震域）を作り出すことが知られている（Furumura and Kennett, 2005）。従って、スラブ内地震の高周波数地震動の予測には、スラブの不均質構造の特性とその起源を調べるのが重要である。

本研究では、沈み込むスラブ内の不均質構造がいつ・どこで生まれたかを調べるために、北太平洋の海嶺～海溝にかけての海域を伝わる高周波数地震波（Po/So波）の伝播特性を、海底地震計の波形解析を用いて評価した。Po/So波はスラブ内地震と同様に、海洋リソスフェアにおける強い前方散乱に加え、海水におけるS-P変換とP波のトラップにより長いP波/S波コーダを持つことが特徴的である。太平洋上のいろいろな伝播経路に沿ってPo/So波の地域性を調べると、プレート年代の古い北西側（日本側）ではPo/So波が強く、海嶺に近くプレート年代が新しい東側（北・南アメリカ側）では弱い傾向が確認できた（Kennett and Furumura, 2014）。すなわち、年代が古い厚いプレートほど高周波数地震動の散乱が強いことが考えられる。

2次元差分法シミュレーションから、リソスフェアが薄い海嶺では、So波の距離減衰が大きく紡錘形を持つ波群に崩れるが、海洋リソスフェアの厚さに比例してPo/So波の長いコーダが強く生成するようになることがわかった。一方、断裂帯のような狭い範囲に見られる構造異常は、散乱波の伝播にほとんど影響しないことも確認できた（Kennett, Furumura, Zhao, 2015）。スラブ内の短波長不均質構造は、海洋プレートが海嶺で生成される過程で既に形作られており、プレート移動に伴って、プレート下面に不均質なアセノスフェアが付加（underplating）することで、不均質層の厚さがプレート年代とともに増すことが考えられる。また、不均質性の強度分布は一様ではなく、リソスフェア下面付近で強く、浅部では弱いことが考えられる（Kennett and Furumura, 2016）。

#### 4. 南西諸島における減衰構造のトモグラフィ推定

日本列島を対象とした3次元地震波減衰構造の推定は、近年盛んに行われている。しかし、九州南端から台湾北東にかけて位置する南西諸島において、減衰構造の研究はこれまでほとんど行われてこなかった。この地域における減衰構造の推定は、地下構造の理解と将来的な大地震の発生と被害を予測する上で重要である。そこで、本研究では南西諸島を対象として、地震波の減衰トモグラフィを実施した。解析に用いたデータは、公開されている防災科学技術研究所、気象庁、鹿児島大学の地震観測網の波形記録（期間2004/06～2014/05, 3.0? Mj? 6.0, イベント総数4,500個）であり、周波数3.0～30.0 Hzの帯域を対象にデータ解析を行った。解析では、南西諸島を3つの地域（先島諸島、沖縄本島周辺、奄美諸島）に分割し、それぞれの地域について（周波数依存の無い） $Q_p$ 、 $Q_s$ のトモグラフィを行い、その結果を繋ぐことで南西諸島全体の $Q_p$ 、 $Q_s$ の分布（暫定結果）を得た。その結果、暫定結果ではあるが、以下の特徴が確認できた：(1) 沈み込むスラブ内は低減衰、(2) マントルウェッジに高減衰領域、(3) 前弧側の地殻内に高減衰領域、(4) 沖縄トラフ内部に高減衰領域、(5) 火山フロントに高減衰領域が存在。ここで、特徴(3)は、付加体や石灰岩の存在が要因として考えられる。また、特徴(5)はスラブ上面から活火山に向かって上昇する高温物質の可能性を示唆していると考えられる。

- (9) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
Kennett, BLN and T. Furumura, Multi-scale seismic heterogeneity in the continental lithosphere, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, accepted, 2016.  
Takemura, S., T. Furumura and T. Maeda, Scattering of high-frequency seismic waves caused by irregular surface topography and small-scale velocity inhomogeneity, *Geophys. J. Int.*, 201, 459-474, 2015.  
Chen, K., T. Furumura, and J. Rubinstein, Near-surface vs. fault zone damage following the 1999 Chi-Chi earthquake: Observation and simulation of repeating earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 140, 4, 2426-2445, 2015.  
Shito, A., D. Suetsugu and T. Furumura, Evolution of the oceanic lithosphere inferred from Po/So waves traveling in the Philippine Sea Plate, *J. Geophys. Res.*, 120, 7, 5238-5247, 2015.  
Kennett, B.L.N, and T. Furumura, Toward the reconciliation of seismological and petrological perspectives on oceanic lithosphere heterogeneity, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 16, 9, 3125-3141, 2015.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

- ( 1 ) 関東平野での長周期地震動増幅強度の方位性と、堆積層の水平不均質構造 ( 基盤構造 ) と表面波の増幅特性の観点から、地震観測データ解析と地震波伝播の差分法シミュレーションに評価し、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 ) 地殻・マントルに存在する長波長～短波長の不均質構造の分布と、これが長周期～短周期地震動の伝播と散乱に与える効果を評価する。地殻・マントルのマルチスケール不均質構造モデルを構築し、広帯域の地震動シミュレーションの実現をはかる。
- ( 3 ) 関東平野の 3 次元地下構造 ( 堆積層構造 ) を考慮して、関東周辺で起きる地震の理論波形 ( グリーン関数 ) を計算してデータベース化する。これを GRID-MT ( Tsuruoka et.al, 2008 ) リアルタイムモーメントテンソルインバージョンに適用し、周期 10 ~ 20 秒程度の短周期地震波形を用いて震源要素を推定するシステムに更新する。
- ( 4 ) H27 年度は、南西諸島を 3 つの地域 ( 先島諸島、沖縄本島周辺、奄美諸島 ) に分割して、予備的な地震波減衰トモグラフィを実施したが、予備調査結果を受け、H28 年度は南西諸島全体のシームレスな減衰トモグラフィを実施する。

( 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

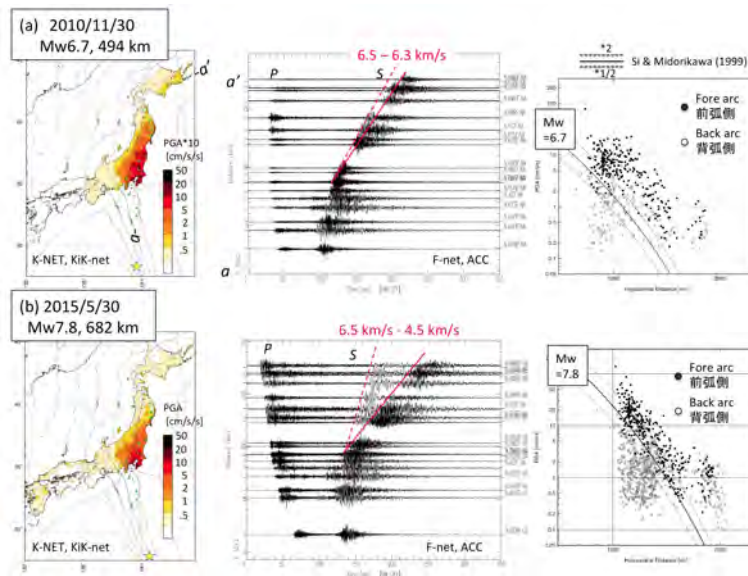


図1 . 2015 年小笠原諸島西方沖の地震による異常震域と地震波伝播特性

(a) 震源が浅い地震 (  $h = 494$  km; 2010 年 11 月 30 日 ) (b) 小笠原諸島西方沖の地震 (  $h=682$  km ), F-net 加速度波形記録と、K-NET、KiK-net 加速度記録の距離減衰特性。Si and Midorikawa (1999) の地震動予測式 ( 黒線 ) とその倍半分 ( 点線 ) を示す。

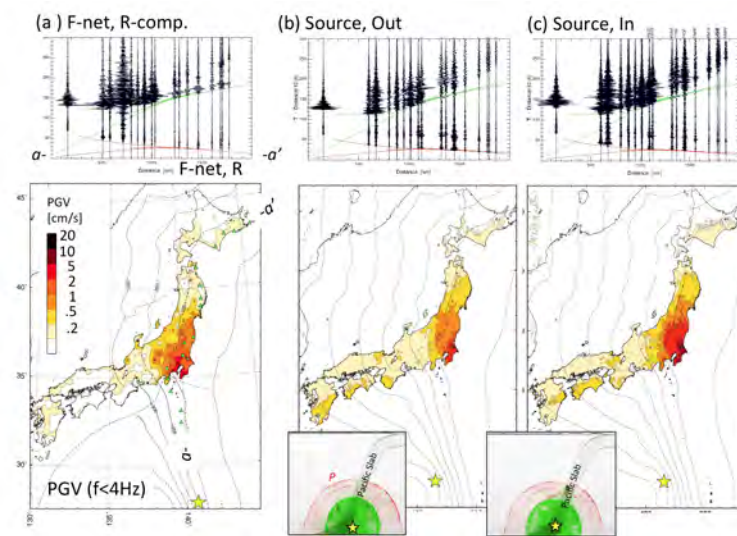


図2 2015 年小笠原諸島西方沖の地震の異常震域の数値シミュレーションと観測との比較

(a) 最大地動分布と F-net 広帯域記録 Radial 成分。(b) 震源を太平洋スラブの下面に置いた場合の計算結果、(c) 震源をスラブ内に置いた場合。

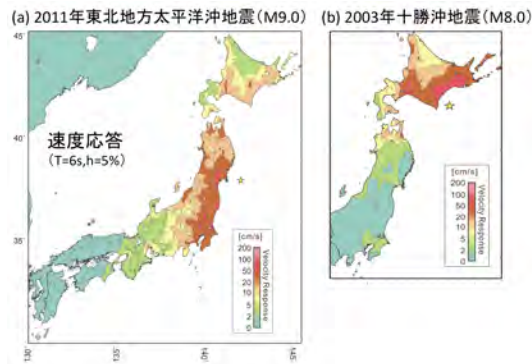


図 3 東北地方太平洋沖地震による長周期地震動

(a)2011 年東北地方太平洋沖地震 ( M9 ) と、(b) 2003 年十勝沖地震 ( M8.0 ) の長周期地震動による速度応答分布 ( 固有周期 = 6 秒、減衰定数 = 5 % ) の比較。

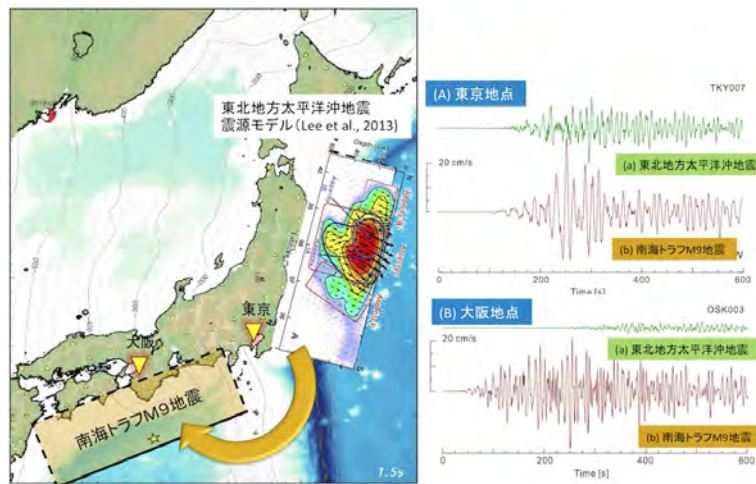


図 4 仮想南海トラフ M9 地震による長周期地震動の評価

( A ) 東京地点、( B ) 大阪地点。それぞれ ( a ) 2011 東北地方太平洋沖地震の震源モデル ( Lee et al., 2013 ) を用いた長周期地震動のシミュレーション波形、( b ) 同じ震源を南海トラフに置いた場合の予測波形。

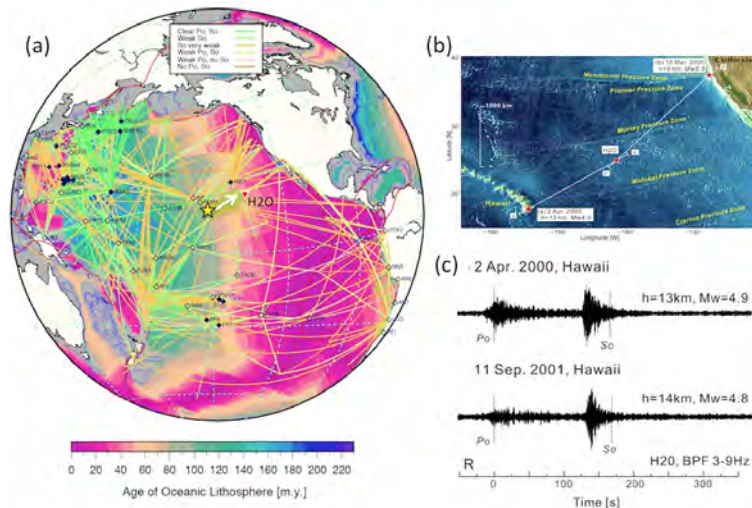


図5 海洋 Po/So 波の伝播特性の地域性

(a) 緑～薄緑線は Po/So 波が明瞭に見られる伝播経路、オレンジ～赤線は Po/So 波の減衰が大きく明瞭に見られない伝播経路を表す。背景はプレートの年代を表す。(b) ハワイと北米の西海岸の間に位置する H2O 海底ケーブル地震観測点、(c) H2O 観測点で記録された、ハワイ付近の地震による Po/So 波の例。

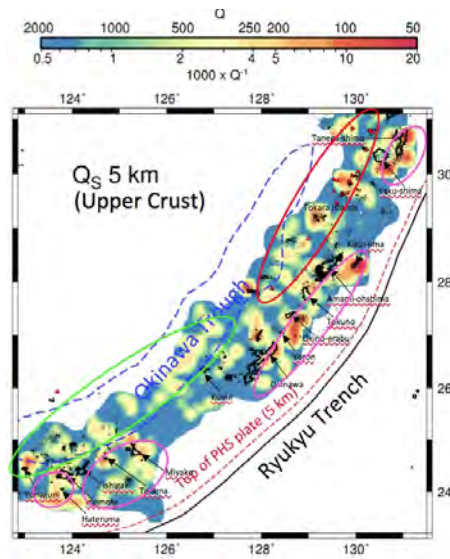


図6 減衰トモグラフィの結果(暫定)

上部地殻(深さ 5 km)における  $Q_s$ 。黒線は琉球海溝、赤い破線はフィリピン海プレートの上面の等深度線を表す。青い破線で囲った領域は沖縄トラフを表す。黒点と赤三角は地震の震央と活火山を表す。赤線、緑線、ピンク色の線で囲った領域は、火山、沖縄トラフ、前弧側における高減衰領域を表す。



( 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：

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：

( 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 27 年度の成果の概要：

26 年度に実施した、地震予測を行う専門家が評価の不確実性を述べることによって住民の地震リスク認知や専門家に対する信頼がどのように変化するかという問題に関する、社会調査の結果の分析を開始した。また、原発事故と長期予測の関連性に関する調査を行い、事故時の津波高さは、それ以前に出されていたすべての長期予測を超える、いわゆる想定外のものであったことを発見した。そのほか、科学コミュニケーション発祥の地であるイギリスや、大きな被害地震があったネパール等に対して、現地調査や今後の地震への影響評価等を行った。

- ( 9 )平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Koketsu, K. and S. Oki. Il processo dell’Aquila: l’incertezza dello studio dei disastri e le responsabilita degli scienziati, in ”Terremoti, comunicazione, diritto”, FrancoAngeli, 63-86, 2015.
- ( 10 )平成 28 年度実施計画の概要：  
地震予測を行う専門家が評価の不確実性を述べることによって住民の地震リスク認知や専門家に対する信頼がどのように変化するかという問題に関する，社会調査の結果の分析を引き続き行う．また，ネパールや台湾等で，現地調査や今後の地震への影響評価等を行う予定である．
- ( 11 )実施機関の参加者氏名または部署等名：  
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 27 年度の成果の概要：

平成 27 年度を通して観測データ流通網 JDXnet を特段の障害なく安定的に運用した。その結果、全国に展開された地震・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、全国の観測研究をデータ流通基盤として支えた。これに加え、災害時に強いデータ収集・中継システムの構築については、2013 年 2 月から運用開始した東西 2 か所の SINET4 データセンタ内データ中継拠点の利用観測点数が平成 27 年度中に 3 点増加して 88 点に達した。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についてはチャンネル情報管理システム CIMS の運用を継続し、地震波形データ等利用系システムの更新に伴い、データベース項目の追加と機能拡張を実施した。データ蓄積機能を包含するデータ流通システムの開発については、容量 1.3 ペタバイトの大規模波形データ解析システムを地震研究所にて運用し、利用に関するルール作りを実施した。このほか、JDXnet に関する情報交換やさらなる利用促進のため、毎年 3 月に「データ流通ワークショップ」を東大地震研究所において開催している。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Kiyoshi Takano, Taku Urabe, Hiroshi Tsuruoka, Shigeki Nakagawa, Japan Data Exchange Network JDXnet and Cloud-type Data Relay Server for Earthquake Observation Data, AGU Fall Meeting 2015,S33D-2807

勝俣 啓,2015, 千島海溝沿い巨大地震に先行した地震活動の長期静穏化, JPGU2015,SSS32-01, 酒井 慎一、蔵下 英司、小原 一成、岩崎 貴哉、高橋 浩晃、松本 聡、神園 めぐみ、岡田 知己,2015, 2014 年長野県北部の地震の複雑な断層, JPGU2015, SCG57-15.

Uchida, N., T. Iinuma, R. M. Nadeau, R. B. Rgmann, and R. Hino, Periodic slow slip triggers megathrust zone earthquakes in northeastern Japan, Science, 351(6272), 488-492, doi:10.1126/science.aad3108, 2016

Hiroaki Takahashi, 2015,Proposal for Robust Monitoring of Catastrophic Tsunami Using Onshore Strain and Tilt Geodetic Sensors, Journal of Disaster Research vol.10 No.sp, 2015, pp770-771.

Katsumata, K., M. Kosuga, H. Katao, T. Yamada, A. Kato and the Research Group for the Joint Seismic Observations at the Nobi Area, 2015, Focal mechanisms and stress field in the Nobi fault area, central Japan, Earth, Planets and Space, 67:99, doi:10.1186/s40623-015-0275-2.

一柳昌義, 高橋浩晃, 山口照寛, 岡田和見, 大園真子, 岡崎紀俊, 2015 年に発生した阿寒湖付近の地震 (MJMA5.0), 2016, 北海道大学地球物理学研究報告, 79, pp1-8.

Kimura, T., H. Murakami, and T. Matsumoto, 2015, Systematic monitoring of instrumentation health in high-density broadband seismic networks, Earth, Planets and Space, 67:55, do:10.1186/s40623-015-0226-y.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

? 引き続き観測データ流通網 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。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

鷹野 澄・鶴岡 弘・中川茂樹・大湊隆雄・平田 直

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 27 年度の成果の概要：

昨年度においては，クラウドサービス等の利用を検討したが，運用コストやシステム構築の柔軟性などを考慮し，地震研究所内に evrrss.eri.u-tokyo.ac.jp の立ち上げを実施した(図 1)．研究成果共有システムの基本機能として，WebDAV プロトコル利用によるファイル共有を Web サーバ上に構築した．通常のデータ送信サービスは，大容量のファイルを送信可能であるが，保存期間に制限等が多い．一

方、本ホストによるファイル共有においては、保存期間の制限がないので、部会等におけるデータや資料等の共有に有効である。

昨年度において引き続き、東京大学地震研究所地震火山情報センターで管理・運用している地震予知・噴火予知のための並列計算機システム上で動作するアプリケーションの開発を行った。昨年度に開発を行った GUI を用いた ETAS 解析ツールの機能強化を実施した。機能強化点としては ( 1 ) 地震活動の予測と観測との比較 ( 2 ) 地震活動度が高い期間の空間領域把握 ( 3 ) 地震活動変化点解析 ( 4 ) ETAS パラメータの誤差がある ( 図 2 ) 。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :  
Hiroshi Tsuruoka and Yoshihiko Ogata , 2015, Development of Seismicity Analysis software: TSEIS - ETAS module implementation -, Abstract of the 9th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei9) in Potsdam.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

研究成果共有システムの稼働ホスト (evrrss.eri) の機能拡張や共有データの選定・公開を進める。また、EIC で動作可能なプログラム群の並列化等の開発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 :

担当者 : 鶴岡 弘・中川茂樹 ( 東京大学地震研究所 )

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



図1. 研究成果共有サーバのトップページ

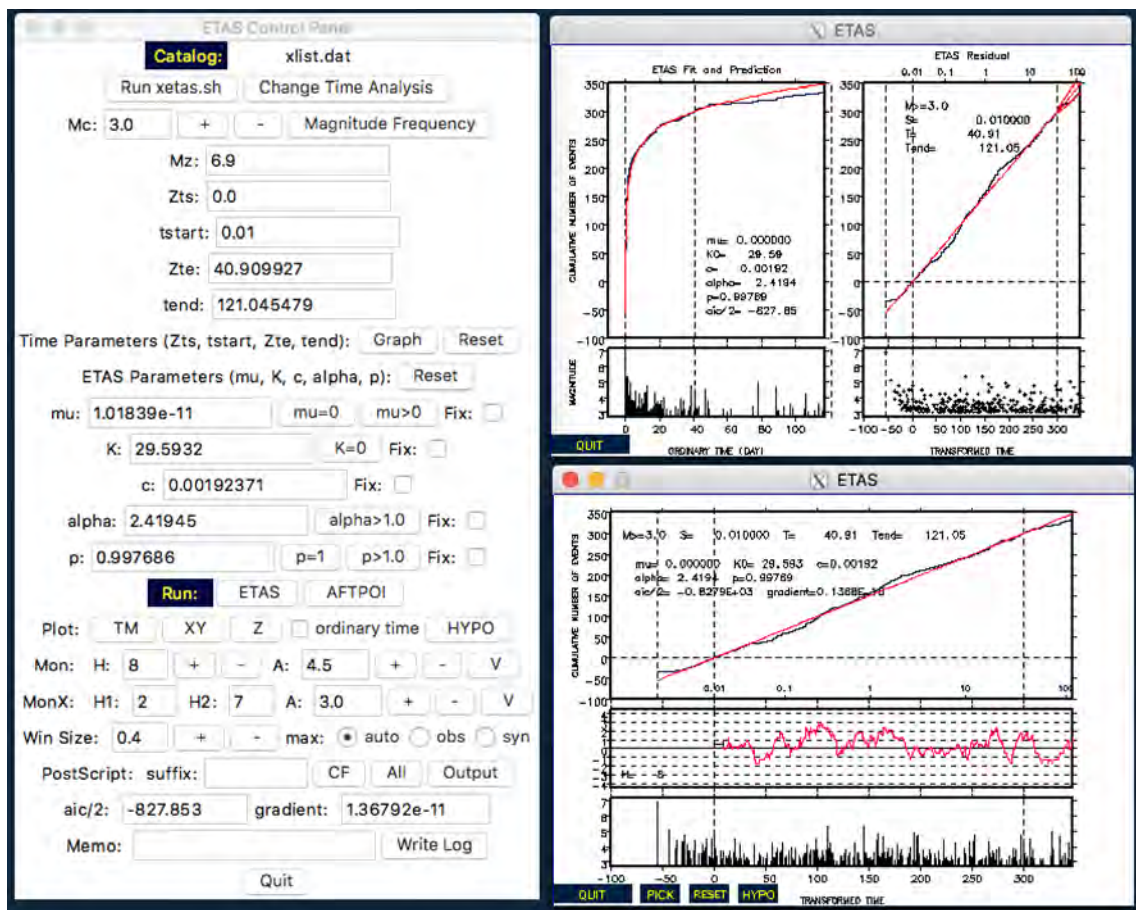


図2. 地震活動解析ソフトウェア XETAS の実行画面.



( 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：

( 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み込むことで、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 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み込む。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 27 年度の成果の概要：

本年度は「ひまわり 8 号の AHI (Advanced Himawari Imager) 画像を利用したリアルタイム観測システムのプロトタイプの開発」および「複数衛星データによるインドネシア、ラング火山 2015 年噴火推移の解析」の 2 つに取り組んだ。

1 「ひまわり 8 号の AHI (Advanced Himawari Imager) 画像を利用したリアルタイム観測システムのプロトタイプの開発」

2014 年 11 月にひまわり 8 号が打ち上げられ、翌年 7 月よりその AHI 画像の公開が始まった。AHI には 1.6 $\mu$ m、2.3 $\mu$ m、3.9 $\mu$ m、11 $\mu$ m、12 $\mu$ m 等火山の赤外観測によく利用される波長域のチャンネルが搭載されている。これらの画像の分解能は 2? と、先代の MTSAT の 4? から大きく改善されている。このため、噴煙の観測だけでなく、噴火規模によっては熱異常の観測にも適用できる。また、観測頻度についても 10 分毎と大幅な向上が図られており、従来にない超高頻度で噴火推移観測を行うことが可能となる。ひまわり 8 号は高度 3 万 6 千 km、東経 140.7 度の赤道上の静止軌道にあり、火山を高高度かつ常に同じ位置から観測をすることができ、火口内熱源等の観測に有利である。火山の噴火推移は短時間でダイナミックに変化する現象を含むことがあり、ひまわり 8 号 AHI による超高頻度赤外観測を実現することで、これまでに見えなかった現象の発見や観測方法の開発に結び付けられる可能性がある。

本年はひまわり 8 号 AHI 画像を 10 分毎に処理し、東アジア 148 活火山のデータをリアルタイム観

測するシステムのプロトタイプの開発を進めた。AHIデータは、通信情報機構(NICT)のNICTサイエンスクラウドから10分毎にダウンロードし、逐次処理を行っている。処理ルーチンでは、輝度補正、幾何補正を行った後、1.6 $\mu$ m, 2.3 $\mu$ m, 3.9 $\mu$ m, 11 $\mu$ m, 12 $\mu$ mの画像について、対象とする火山を中心とする101画素 $\times$ 101画素の領域を切り出し保存する。同時に、この各火山の画像から火口付近で最高値を示す画素を抽出し、その輝度温度の時間変化を示すチャートを作成する。これらの画像、チャートをリアルタイム、アーカイブを含め、Webベースで閲覧、取り出しができる機能を付加した。

## 2 「複数衛星データによるインドネシア、ラング火山2015年噴火推移の解析」

我々はリアルタイム観測システムを、衛星の世代交代や新規衛星の投入に対応して従来の「MODIS」+「ひまわり6号,7号/MTSAT」によるシステムから「GCOM-C/SGLI」+「ひまわり8号/AHI」を中心とするシステムへと移行を進めている。また、噴火推移の解析については後者に「高分解能画像」を加え、空間分解能50 $\mu$ m、時間分解能10分レベルでの観測の実現とその解析方法の高度化に取り組んでいる。2015年6月インドネシアのラウン火山で比較的大きな噴火が発生した(2015年夏期噴火と仮称)。これを例として「ひまわり8号/AHI」+「高分解能画像」+「VIIRS(GCOM-C/SGLIの代替)」を用いた推移解析の可能性の検討を行った。VIIRS, SGLI画像は、中分解能(250m, 380m)、中観測頻度(1-2日毎)で、高分解能画像(空間分解能50 $\mu$ m)とAHIの超高頻度画像(10分毎)の間のギャップを埋めることができ、本システムでは主に溶岩流の拡大状況のモニタリング等に利用することを想定している。

ラウン火山はインドネシア、ジャワ島の東端部に位置する標高3332mの大型成層火山で、山頂部に直径約2 $\mu$ mのカルデラがある。本火山は有史以来50回を超える噴火がある等、インドネシアで最も活発な火山の一つとされている。2015年夏期噴火に先行して、2014年から2015年1月にかけて小規模な活動があった。ラウン火山のカルデラは地形的に三宅島の2000年カルデラに酷似しており、今後の三宅島の活動の特徴を探る上でも重要と考えられる。

本解析では高分解能画像として、Landsat-8/OLI, SPOT6/7, WorldView-1/2/3, GeoEye-1等を利用した。後者2つはパンクロマティックバンドの分解能が50 $\mu$ m程度と極めて高く、航空機による空中写真と同等の分解能をもつ。ラウン火山のカルデラ底の直径は1500mで、噴火前の画像では中心やや東側に基部直径600m、比高50mの火砕丘が認められる。この火砕丘には直径500mの火口があり、2014-15年の活動による溶岩が、この北側から北北西に向かって流れて出ている(噴出は1月と推定される)。2015年夏期噴火は同年6月下旬に始まり、まず地形的に低いカルデラ底南西部に溶岩が流れ込んだ(6月25日Landsat-8/OLI)。溶岩流の流入域は次第に東から北側へと移り、7月8日の画像(SPOT6)では、カルデラ底の2/3程度の領域が溶岩に被覆されているのが確認される。溶岩の噴出と並行して火砕丘も高さを増した。この後、地形的に高い東側にも溶岩が流入すると同時に、溶岩層全体の厚さが増し、部分的に露出していた2015年1月溶岩も完全に新しい溶岩中に埋没した。8月6日の画像では、弓状の皺をもつ溶岩が、新しい溶岩の上を北側に広がると同時に、東側にも回り込み、カルデラ底東部も埋め尽くしたことが確認される。この後、活動は急速に低下し、8月23日には噴煙も含め活動はほとんど見られなくなった。また、8月12日と23日の間に、火砕丘の北側が陥没したことが確認される。これはマグマのドレインバックによると考えられる。ラウン火山2015年夏期噴火は、現地情報及びこれらの画像解析から、ストロンボリ式噴泉を伴う溶岩流噴出中心の活動であったと考えられる。SRTMの地形データとの比較から、総噴出量は $5.3 \times 10^7$  m<sup>3</sup>、平均噴出率は $9.5 \times 10^5$  m<sup>3</sup>/dayと概算できる(平均層厚30m)。この噴出量は西之島の1/3程度であるが、平均噴出率は5倍近くに及ぶ。この噴火で発生した溶岩は基本的にはsimple flowに近く、compound flowは周辺部に限られる。このことは溶岩の粘性に加え、高い噴出率に関係があるのかもしれない。

ひまわり8号AHI画像については、6月1日から8月31日までの3か月間、10分毎の画像(1.6 $\mu$ m, 2.3 $\mu$ m, 3.9 $\mu$ m, 11 $\mu$ m, 12 $\mu$ m)約12,000シーンの解析を行った。解析は各チャンネルで山頂部周辺で最高の輝度温度を示す画素を抽出し、その時間変化を検討した。まず、夜間データを利用して3ヶ月間の長期的変動を見た。この結果、活動は活動低下期を挟んで2つの活動パルス、Pulse1, Pulse2に分けられることがわかった。Pulse1は6月20日から8月1日、Pulse2は8月1日から8月7日まで続く。10

分ごとの AHI データから、Pulse1 の活動は 6 月 20 日の 4 時 30 分 ( UTC ) 頃始まったと推定される。また、Pulse2 の始まりを示す急激な熱異常レベルの上昇は、8 月 1 日の 21 時 10 分頃始まったが、それに 4~5 時間先行して小さな熱異常のイベント ( 噴気活動の活発化? ) が認められる。これは再活発化の予兆として重要と考えられる。Pulse1、Pulse2 を通じて活動は変動が少なく一定レベルの熱異常が長期に渡って続いている。これはマグマが連続的に一定の割合でコンスタントに噴出していることを示すと考えられる。このような特徴はストロンボリ式噴火を伴う溶岩流噴出を中心とした活動に特有の性質かもしれない。

GCOM-C / SGLI の打ち上げは 2016 年末の予定であり、現在はまだその画像を利用することはできない。そのため代替として分解能が近い NPOESS VIIRS のデータを利用して、その機能と役割の確認を進めた。ここでは、カルデラ底で溶岩の被覆域が拡大している期間について、VIIRS 画像で確認を行った ( 本年度は 11 $\mu$ m の画像のみ処理 )。この結果、カルデラ底で発生した熱異常域が毎日少しずつ拡大して行く様子を実際に捉えることができ、その有効性を確認することができた。SGLI の分解能は 250m と VIIRS の 380m に比べて高く、この利用によりより詳しい状況の観察が可能になると期待される。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

H28 年度は、ひまわり 8 号/AHI 画像のシステムの改良を進め、現在のプロトタイプを基に観測結果の一般公開用のシステムを構築する。また、2016 年 12 月頃 GCOM-C が打ち上げが予定されており、この後の SGLI の calibration/validation の期間に、JAXA/EORC と共同でデータ転送ルーチンのチェックを行う。同時に、SGLI のシステムの運用に向けた改良とサーバシステムの運用準備を進める。一方で、ラング火山に加え、東アジア域内の他の噴火事例についても「ひまわり 8 号/AHI」+「高分解能画像」+「GCOM-C/SGLI」を用いた推移解析を重ねると共に、本研究で考案した複数衛星データによる解析アプローチの高度化を進める。

( 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：

( 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27年度の成果の概要:

機動的観測での開発に関しては、(a)海底面での広帯域地震・傾斜同時観測、および(b)次世代型広帯域海底地震計の自律動作への機能高度化、を進めた。(a)は2013~2014年の房総沖での試験観測により、スロースリップイベントを捉えることに成功したが、傾斜計測の長期安定性および環境温度との関連性には確認すべき点が残っていた。これらを評価するため、2015年7月に前回と同じ房総沖の地点(水深1200m)に、加えて9月には宮城沖日本海溝陸側斜面の地点(水深5400m)において各1台のBBOBST-NXを設置し、2年間の試験観測を開始した(図1)。後者は特別推進研究(代表:日野亮太)の観測研究の一環である。これら2台には環境温度を計測するための自記型水中温度計を取り付けている。(b)については、このテーマでの科研費(基盤A)が採択されたことで、今年度から開発研究を本格的に開始した。現在は無人潜水艇(ROV)で運用しているBBOBS-NX(BBOBST-NX)の設置時の展開作業と回収作業を、図2に示すように自律動作させる必要がある。そのための制御を司る2段動作の機械式トランスポンダー装置を開発中である。この装置の基本構造は、2013年に設置した新型超深海用海底地震計(NUDOBS)の開発時に製作したものと同じであり、今年度内には完成する見込みである。また、この数年間に自由落下投入したBBOBS-NXの着底時の傾斜が、使用している広帯域地震センサーの正常動作許容範囲( $\pm 8$ 度)を越える問題が約半数で発生した。これまではROVによって展開作業時に傾斜を補正していたが、自律動作させるには許容範囲内の傾斜で着底するような対策が必要である。その前に知る必要があるのは、この傾斜がどの時点・事由で発生しているのか確認出来ないことで、着底直前の落下姿勢もしくは海底面への貫入時に受ける抵抗の不均質などのどれなのか、ということである。これを観察するため、(a)のBBOBST-NX投入時に一時的に取り付け、ROVでの展開作業時に回収可能なビデオカメラと加速度ロガーを開発し、9月の設置時に観察を実施した(図3)。自由落下での降下速度が毎分92mと速いため、傾斜発生の過程を画像から確認するのは困難であったが、傾斜変化の経過は加速度ロガーにより無事に記録された。図4は貫入前後1分間のBBOBST-NX全体(センサー部と記録部は一体化中)の傾斜変化(水平2軸)で、降下中は $\pm 10$ 度以上の幅で周期的に揺れていること、海底面へ貫入直前の傾斜が着底後に保存されているように見えること、が分かる。NUDOBSの試験観測時(2012年)にも着底までの傾斜変化記録を得ているが、降下中の傾斜変化幅は $\pm 2$ 度程度で周期も長かった。まだ1観察例しか無いが、全体構造の形状や重心位置を見直すことで、降下中の傾斜変化幅を低減し、着底時の傾斜を広帯域地震センサーの許容範囲内に収められる可能性があると考えている。加えて、この傾斜発生への対策とも関連するが、最近開発された水晶共振方式加速度センサーの長周期帯域での性能評価を、広帯域地震センサーとの陸上での比較試験観測により現在実施している。無方位のジオフォンと組み合わせることで、小型化が必須な超深海用(広帯域)海底地震計などへの適用を検討している。

定常的な海域観測網の高度化については、東京大学地震研究所により、1996年に岩手県釜石沖に設

置され、平成 23 年東北地方太平洋沖地震の津波により被災し、観測が中断していた三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システムの復旧を、引き続き行った。この一環として、対象領域での観測継続のために、新規開発したケーブルシステムの敷設を実施した。新規に開発したケーブルシステムは、インターネット技術を用いた通信回線の冗長化による観測の信頼性の向上、最新半導体技術を用いた観測装置の小型化などが特徴である。今回設置した新規開発システムは、観測ノード 3 台が、一本のケーブルで接続されており、ケーブルの一端を既設システムの陸上局に陸揚げした。海底ケーブルの全長は 105km である。観測ノードは 30 km または 40km の間隔に接続されている。観測ノード 3 台のうち、陸側に近い 2 台 (YOB1、YOB2) は、地震計と水圧計を搭載している。先端の 1 台は、地震計と PoE I/F を搭載している (YOB3)。設置の際には、デジタル出力型水圧計を取り付けた (図 5)。観測点配置は、既設システムおよび日本海溝地震津波観測網の観測点位置を考慮して、決定した。設置は、通信用海底ケーブル設置に用いられている海底ケーブル敷設船を利用した。ケーブル敷設船は、まず、釜石市の陸上局に、海底ケーブルの一端を直接陸揚げした後、沖に向かって、ケーブルを敷設した (図 6)。設置完了後から、陸上局へのデータ伝送を開始した。陸上局から VPN 回線により、リアルタイムのデータ伝送を行っている。

- (9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
- H. Shiobara, M. Shinohara, H. Sugioka and A. Ito, NX-2G : autonomous BBOBS-NX for a highly mobile broadband seismic and tilt observation at the seafloor, MTS/IEEE OCEANS' 15, National Harbor, MD, USA, Oct. 22, 2015, 931.
- 塩原肇・篠原雅尚・杉岡裕子・伊藤亜妃、自律動作の高性能広帯域海底地震計開発計画:NX2G、日本地震学会 2015 年度秋季大会、神戸市、神戸国際会議場、2015 年 10 月 26 日、S02-07.
- 篠原雅尚・山田知朗・酒井慎一・塩原肇・金沢敏彦、ICT を用いた新規開発光海底ケーブル式地震津波観測システムの三陸沖への設置、海洋調査技術学会第 27 回研究成果発表会、東京 (日本) 11 月 12 日、3、2015.

(10) 平成 28 年度実施計画の概要 :

機動的観測での開発に関しては、科研費 (基盤 A) で行う BBOBS-NX の自律動作方式への機能高度化を中心として進める。図 2 に示した 3 つの状態を制御する機構を完成させると共に、設置時の降下姿勢を安定化する全体構造を検討し、実海域での動作の実証試験を計画している。また、超深海用海底地震計の実現に向けたセンサーとレコーダーなどの開発も併行して進める。また、今年度 2 地点で開始した BBOBST-NX による 2 年間の長期観測で ROV による回収を平成 29 年度に行うための利用機会確保に向け、関連する研究者と共に検討・申請を行う。

定常的な海域観測網の高度化については、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新規に設置した新規開発観測システムの両方を用いた併行観測を継続し、システムの保守および、観測システム、特に陸上部の改良を実施する。また、新規開発システムについては、得られたデータを用いた観測システムの評価も実施する。

(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

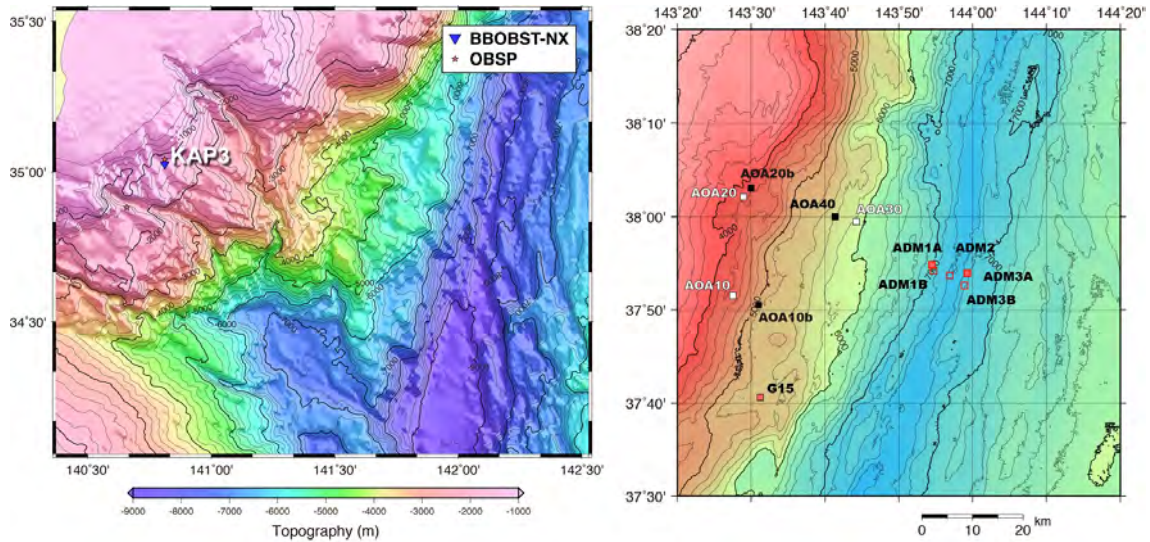


図1 海底面での広帯域地震・傾斜変動同時観測の機器設置位置

(左)2015年7月の「なつしま・ハイパードルフィン」航海で、KAP3地点に新型海底広帯域地震・傾斜計(BBOBST-NX)を設置し、2年間の観測を開始した。(右)2015年9月の「かいいい・かいこう Mk-IV」航海では、AOA40地点にBBOBST-NXを設置すると共に、着底時の傾斜発生の原因調査を実施した。

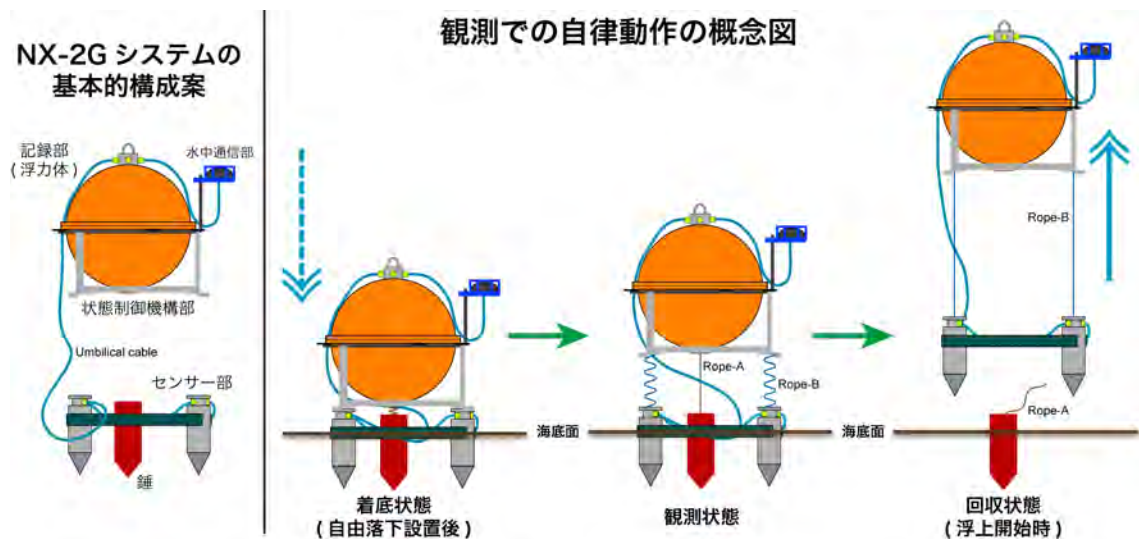


図2 自律動作方式の次期BBOBS-NXの動作概念図

現在のBBOBST-NXでは、自由落下による投入後に、無人潜水艇によって、センサー部上から記録部を展開する作業を行った後に観測状態へと入り、回収作業も無人潜水艇で行っている。自律動作方式にするためには、着底・観測・回収の3つの状態を制御する2段階の遷移動作を必要とする。なお、観測中にセンサー部と他の部分との機械的結合(部品および海底経由)が弱ければ観測記録への影響を生じないことを、2012年の試験観測で確認している。





図3 BBOBST-NXに取り付けたビデオカメラと加速度ロガー  
 BBOBST-NXの着底時に傾斜する原因・時点を観察するため、小型・自記型のビデオカメラと加速度ロガーを独自に開発した。9月のBBOBST-NX設置前の写真を示す。ビデオカメラには小型のアクションカメラ、LEDとリチウム1次電池を内蔵し、5時間程度の連続撮影が可能である。

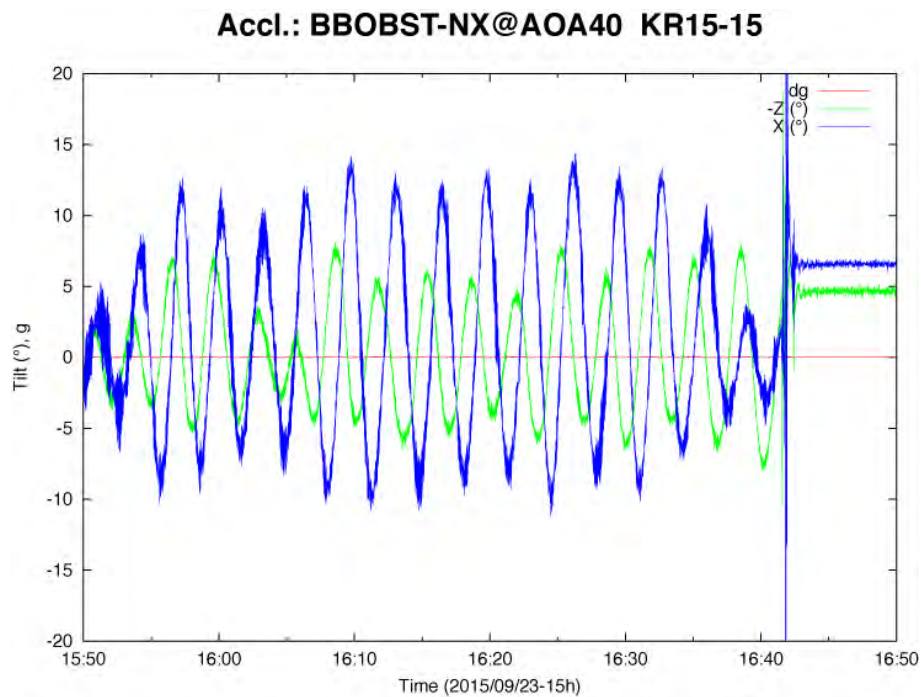


図4 海底面へ貫入する前後1分間のBBOBST-NX全体の傾斜変化  
 加速度ロガーの記録(フルスケール±16g、400Hzサンプリング)から得た、BBOBST-NXの降下中から着底直後まで1分間の水平2軸傾斜変化(青と緑のグラフ)の記録。降下中の±10度を超える約3秒周期の傾斜変化は、海面での投入直後からほぼ一定であった。着底後の傾斜は、海底への貫入直前の姿勢(傾斜)を保存しているように見られる。なお、着底時の最大加速度は2.2g程度であった。

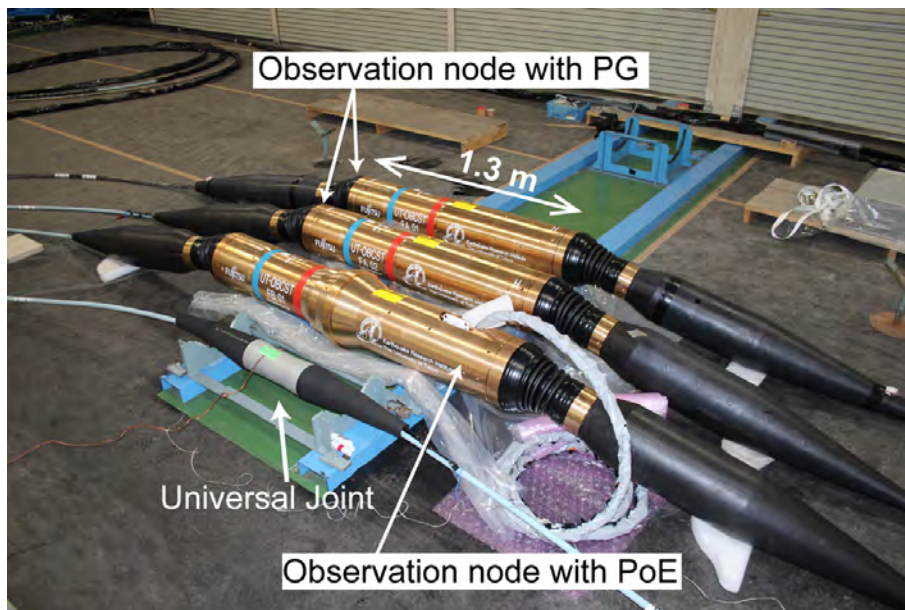


図5 設置したシステムの観測ノード

通信システムで用いられる中継器の耐圧容器を用いた。PoE I/F 搭載型観測ノードは、水中ロボットが、水中脱着コネクタを取り扱えるように、海底での姿勢を安定させるフレームが、耐圧容器の外側に取り付けられる。

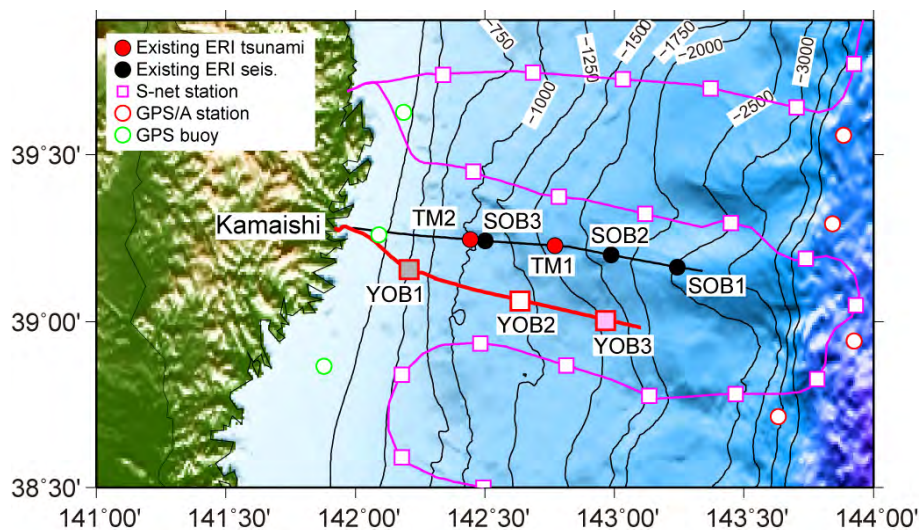


図6 設置した更新システムのルート図

日本海溝地震津波観測網 (紫色) と既存システム (黒線) の観測点配置を考慮して、新規開発ケーブル観測システム (赤線) を設置した。新規開発ケーブル観測システムの陸上局は、既設システムの陸上局と共用である。

( 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 27 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、レーザー干渉計の高温試験を実施し、少なくとも 290 までの高温環境下で使用可能であることがわかった。

前年度の高温用水平動地震計の 200℃ 環境での温度試験の結果を受けて、今年度は高温での安定動作および高精度化を目指し、レーザー干渉計部分のさらなる高温での試験を実施した(図1)。レーザー干渉計の光学素子を保持するバネ材として、「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」での試験ではベリリウム銅を用いており 290℃ 付近で熱変形が発生し干渉縞が消失したが、高温用バネ材であるインコネルに替えて同様の試験を行った(図2)。その結果、試験装置の高温限界である 340℃ においても干渉縞が確認できた(図3)。また、インコネルの熱変形もみられなかった。300℃ 以上の高温環境で干渉計を構成できる見込みが得られ、またこの結果からインコネルは高温用地震計や傾斜計のヒンジ材としても使用できると考えられる。次年度に実際に装置に組み込み温度試験を実施する予定である。

(9)平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
新谷昌人, 共同プロジェクト研究「光ファイバーネットワークを利用した地震・津波・地殻変動の面的な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, 21, 252-254, 2015.

(10)平成 28 年度実施計画の概要：

平成 28 年度においては、高温ボアホール型地震計・傾斜計の開発を継続し、温度計・歪計とともに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 レーザー干渉計の高温試験装置

レーザー光源部分が手前の円筒容器内に、奥の真空槽内に高温部・干渉計が収納され、光ファイバーを通じて光源・干渉信号が導入・導出される

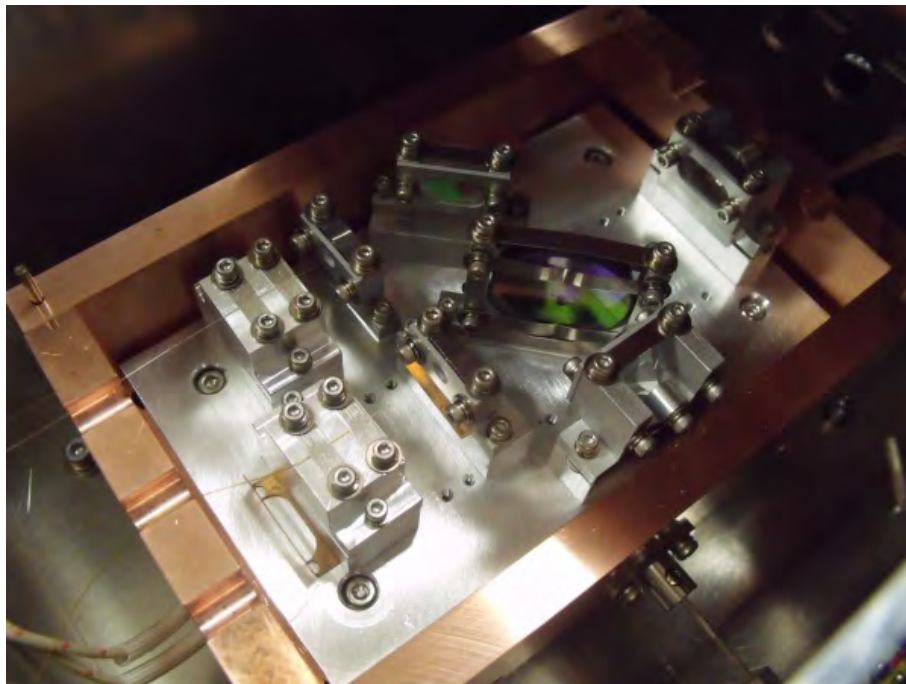


図2 高温用に改良したレーザー干渉計

光学素子を保持するバネ材としてインコネルを用いた

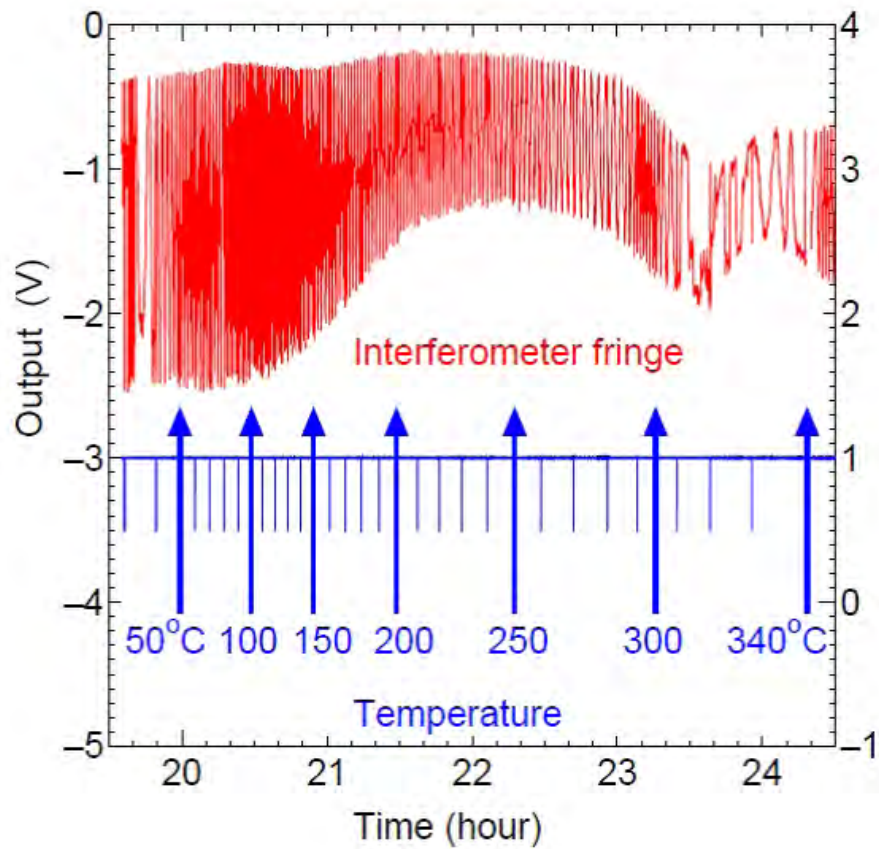


図3 光学素子の保持材としてインコネルを使用したレーザー干渉計の高温試験の結果

温度変化に伴う軸ずれによる干渉振幅の変化が認められるが、試験装置の高温限界である 340 °C まで干渉縞が確認できる

( 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：

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 27 年度の成果の概要 :

下記の項目において、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た。( 1 ) ミュオン飛跡が記録された時刻、検出器内においてミュオンが通過した X Y 座標を CSV 形式のファイルフォーマットで自動的に出力する、ミュオン飛跡情報出力ソフトウェア。( 2 ) トラッキング ( ミュオン飛跡の決定 ) に必要な検出器および反応点数を入力することで、飛跡の直線性判定を行い、あらかじめ定義された方位角、仰角のピン幅の角度空間に、ヒストグラム ( ミュオグラム ) を自動的に生成するソフトウェア。ミュオグラムを Gnu-Plot などのグラフ作成ツールに入力することで画像が生成される。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

T. Kusagaya and H. K. M. Tanaka, Development of the very long-range cosmic-ray muon radiographic imaging technique to explore the internal structure of an erupting volcano, Shinmoe-dake, Japan, Geosci. Instrum. Method. Data Syst., 4, 215-226, 2015.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

平成 28 年度は、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・観測を行い、27 年度までに作成したミュオグラフィ自動解析、自動画像生成ソフトウェアの実証試験を行う。

( 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 )  
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 )

( 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



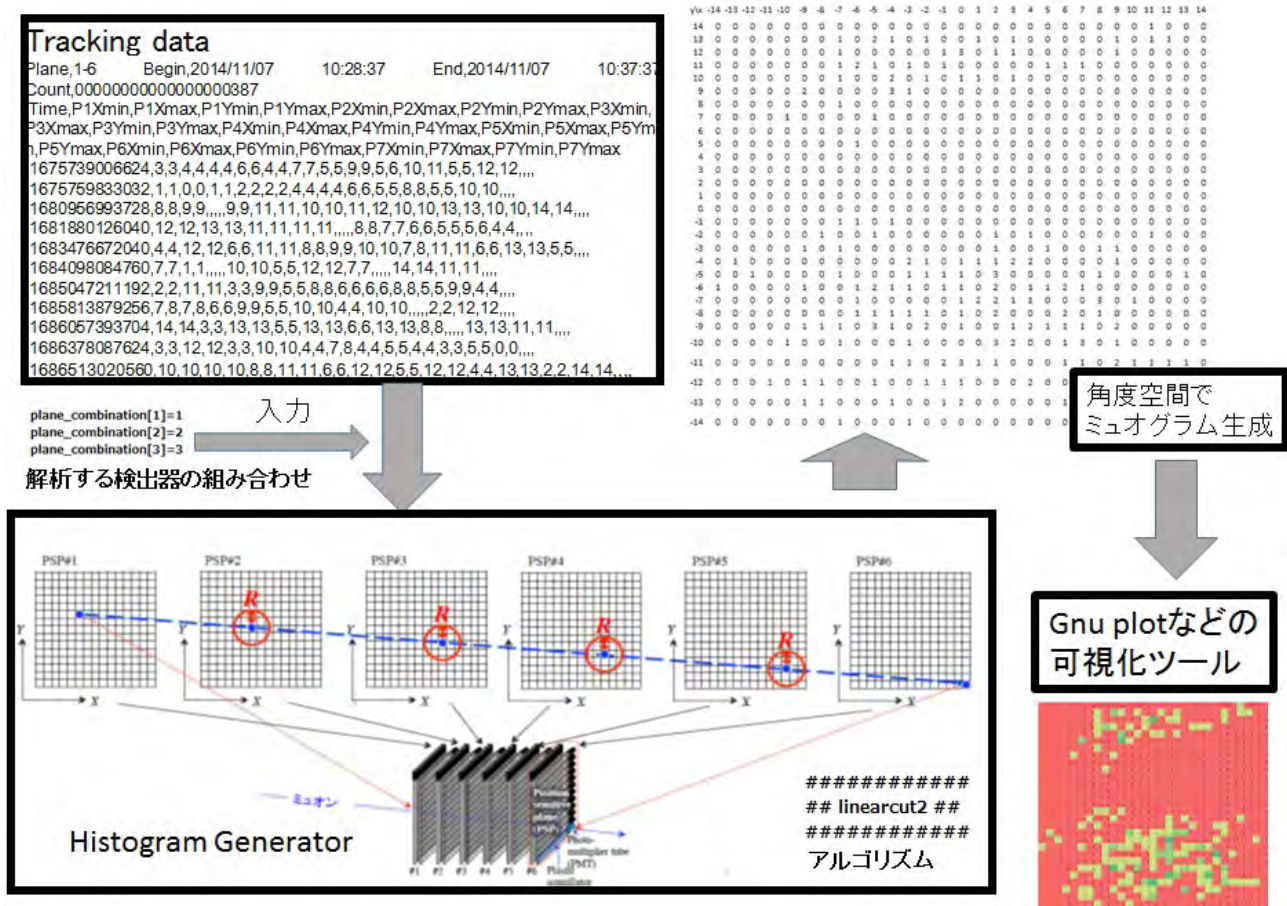


図 1. ミュオグラム自動生成ソフトウェア  
 外部から与えるトリガー条件から自動的に生成されるミュオンの反応点データ (Tracking Data) から、初期条件を入力することにより、自動的に飛跡解析を行い、外部から指定する、方位角、仰角のピン幅で示されたミュオグラム (ミュオンカウントのヒストグラム) を生成する。

( 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：

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 27 年度の成果の概要 :

2014年5月10日から19日にかけて、ニュージーランドの共同研究機関であるNIWA( National Institute of Water and Atmospheric Research )の研究船R/V Tangaroaを用いて、日・NZ・米3か国共同の研究航海を行い、本計画で予定していた通り、ニュージーランド北島Gisborne沖合のヒクランギ沈み込み帯に、海底地球物理観測機器を設置した(図1)。その内訳は、東京大学地震研究所の海底地震計(1 Hz計)5台、海底圧力計3台、東北大学の海底圧力計4台、海洋研究開発機構の海底電位差計3台、ラumont・ドハティエ研究所の広帯域海底地震計10台、海底圧力計5台、およびテキサス大学の海底圧力計5台の総計35台(海底地震計15台、海底圧力計27台、海底電位差計3台)である。1年強の海底での観測の後、2015年6月20日から30日にかけて、スクリップス海洋研究所(アメリカ)の研究船R/V Roger Revelleを用いたRR1509航海において、2014年5月に設置した35台の海底観測機器の回収を行った。海底電位差計1台を除き、それ以外の34台の回収に成功した。これらの回収した観測機器の記録について、直ちに一次評価を行った。その結果、海底圧力計4台についてはセンサーの稼働状況に問題があり、記録の取得に失敗した(図2中、黒丸観測点)。またラumont・ドハティエ研究所の海底地震・圧力計では、地震計に装備されている時計のデータに問題があることが判明し、現在その修正を行っているところである。したがって回収後には、主として海底圧力計の記録について解析を進めてきた。

一方、本航海の期間中には、来年度までの継続観測として海底圧力計4台を再設置するとともに、新たにGPS / 音響測距結合方式による海底地殻変動観測を開始した(図3)。

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Gisborne沖合において約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。本観測期間中の2014年9月から10月にかけて、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(図2右上図)、本海域観測網はこのスロースリップの観測に成功した。現在も詳しい解析を進めているところであるが、暫定的な結果を見ると、スロースリップの滑り領域はほぼ観測網の海側全域を覆うように発生しており、また一部、北東側に飛んだ場所で滑りが起こっている。この境界部分には、これまでに行われている人工震源地震波構造調査で、海山が沈み込んでいることが明らかとなっており(図4)、プレート境界の構造がスロースリップにおけるプレート境界面上の滑り運動に影響を与えている可能性があることがわかった。昨年度までに我々が2012年から2013年に行った海域地震観測から本海域周辺における地震活動分布を得ており(図4)、それと比較すると、本海域下での地震活動はまさしくプレート境界面の凹凸形状に従った分布を示していることが明らかとなっている。これらの結果と地震波反射断面から推測されるプレート境界面の形状や物性との比較検討を進めることによって、境界面上の滑り運動の物理モデル構築に貢献できると期待される。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 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 28 年度実施計画の概要 :

2016年6月にニュージーランドの共同研究機関であるNIWA( National Institute of Water and Atmospheric Research )の研究船R/V Tangaroaを用いて、2015年6月に設置した海底圧力計4台の回収を行う。さらに、新たに開始したGPS / 音響測距結合方式による海底地殻変動観測も継続して行う。

2014年5月から2015年6月にかけて観測された海底地震計のデータ解析については、日・NZ・米3か国共同研究機関で解析を進め、地震活動の推移、スロースリップに伴う地震活動の検出、また地震波異方性速度の変化の検出などを行う。スロースリップに伴うと考えられる低周波微動についても、その検出を試みる。

ニュージーランドの共同研究機関である GNS Science および Victoria Univeresity の研究者が，2016 年 9 月から 3～4 か月の予定で東京大学地震研究所に滞在する．滞在期間中には，これまでに本海域で行ってきた観測について，その解析の途中結果をもちより，今後の解析方針などについて議論を行う．

( 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

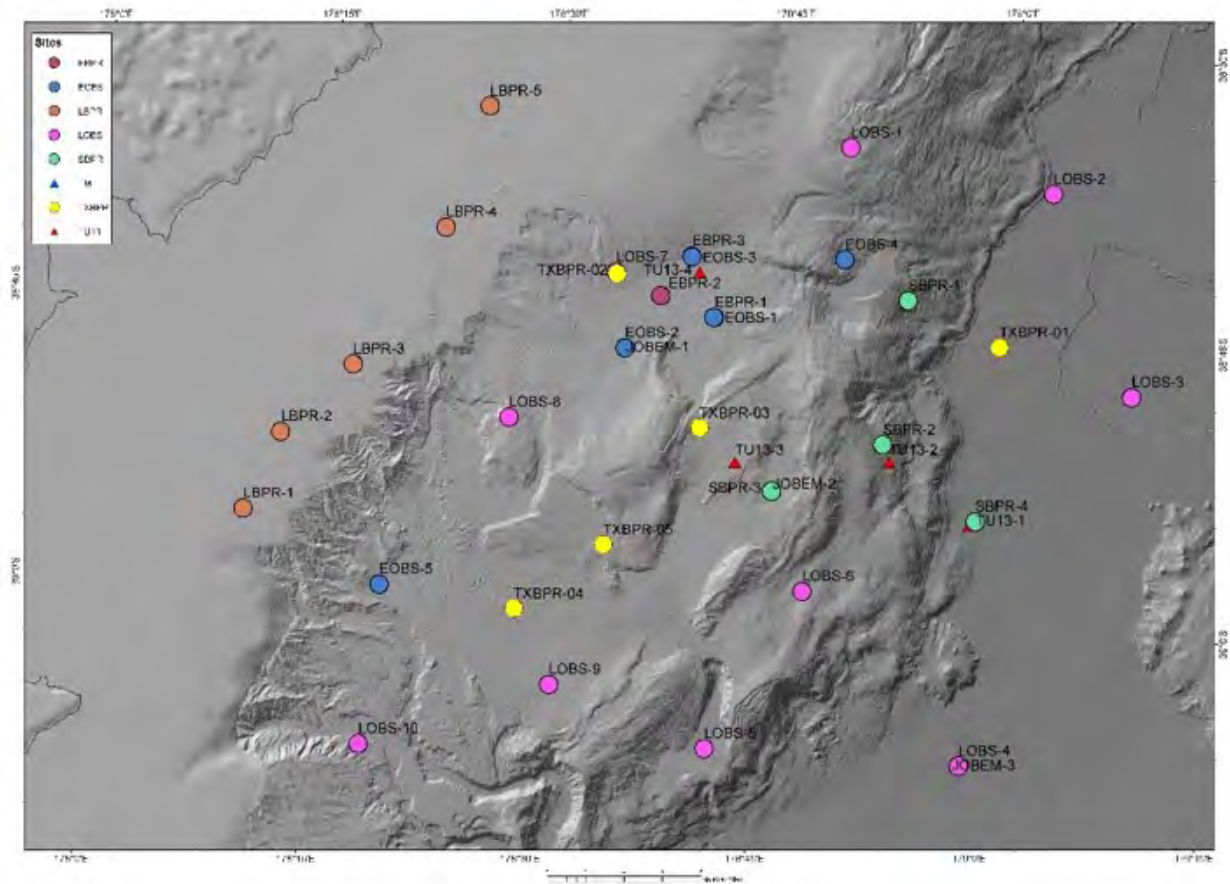


図1 日・NZ・米共同海域観測 (HOBITSS) の観測網

平成 26 年 5 月 10 日～19 日にかけて、NZ の研究機関である NIWA(National Institute of Water and Atmospheric Research) の観測船 R/V Tangaroa を使用して行った研究航海で設置した観測機器の観測点。本航海では東京大学地震研究所の海底地震計 5 台、海底圧力計 3 台、東北大学の海底圧力計 4 台、海洋研究開発機構の海底電位差計 3 台、ラモント・ドハティー研究所の海底地震計 10 台、海底圧力計 5 台、およびテキサス大学の海底圧力計 5 台を設置した。これらの機器は平成 27 年 6 月 20 日から 30 日まで、スクリップス海洋研究所(アメリカ)の観測船 R/V Roger Revelle を用いて回収した。

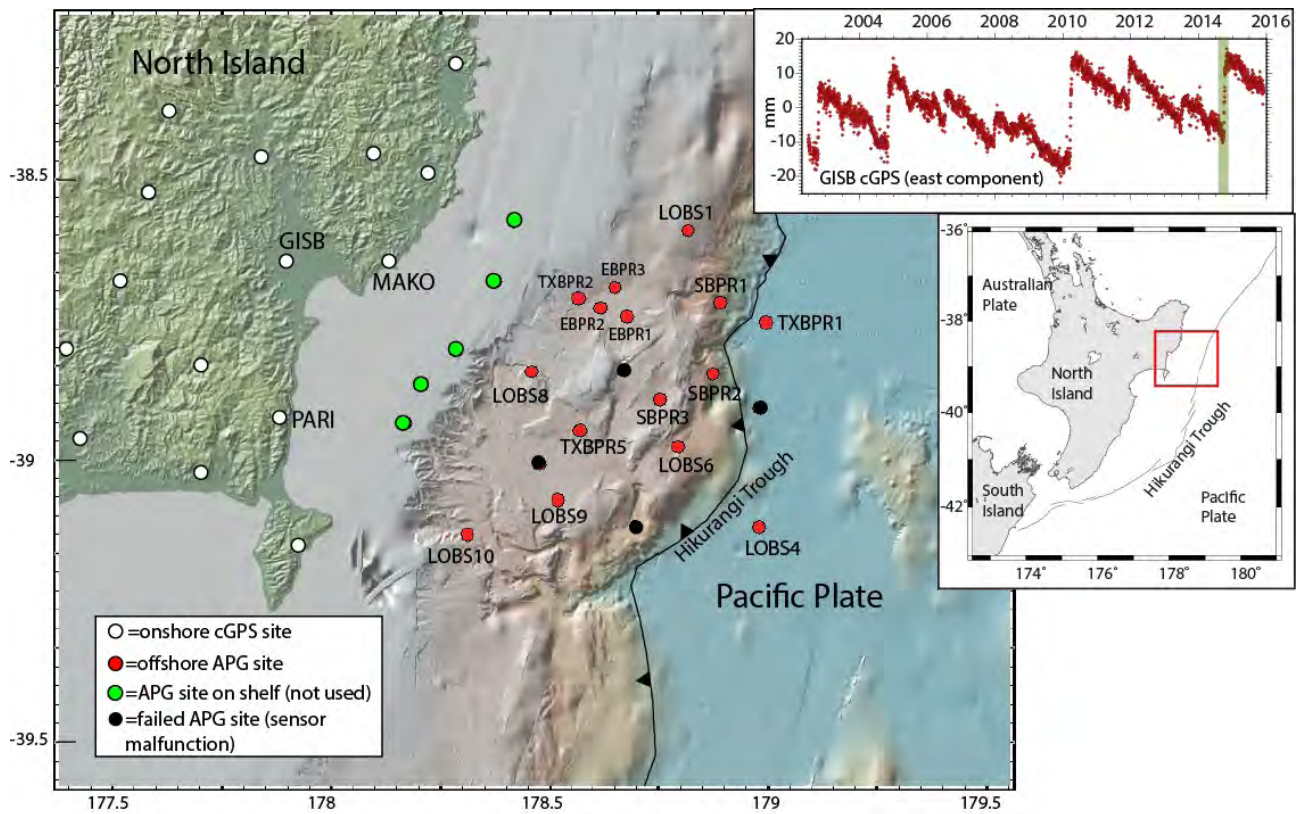


図2 NZ北島沖合ヒクラング沈み込み帯におけるテクトニックセッティングと、本観測研究による海域地球物理観測網。

図中、丸印が海底圧力計観測点を示す。黒丸の観測点は、圧力センサーの稼働状況に問題があった観測点を表し、また緑色の観測点は陸域に近いため、現在のデータ解析には使用していない。右上図は、陸上GPS観測網のギズボーン(GISB)観測点における東西成分(東向きの動きを正)の時系列を現す。緑色で示した部分は、本海域周辺で2014年9月から10月にかけて発生したスロースリップの動きを示す。

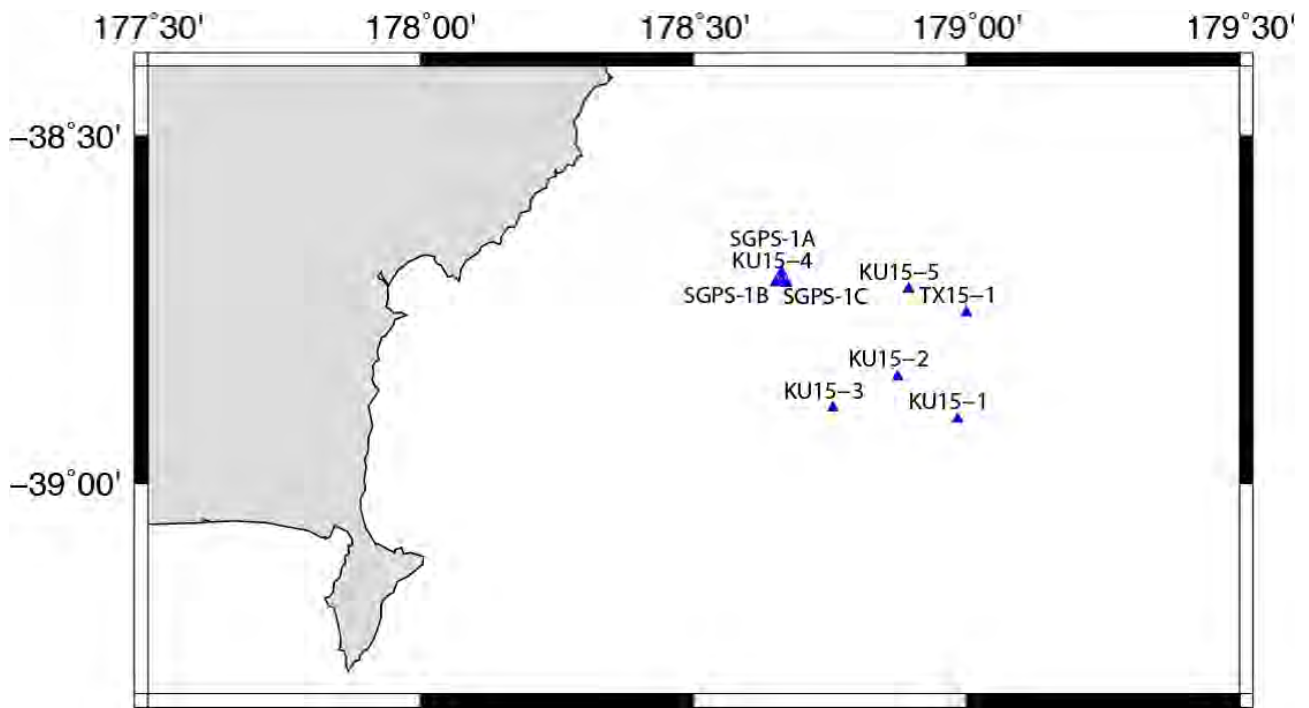


図3 本年度新たに設置した海底圧力計および GPS / 音響測距結合方式海底地殻変動観測点  
 KU15-XX および TX15-1 は本年度再設置した海底圧力計観測点，SGPS-1 は本年度より新たに開始した GPS / 音響測距結合方式海底地殻変動観測点を示す。



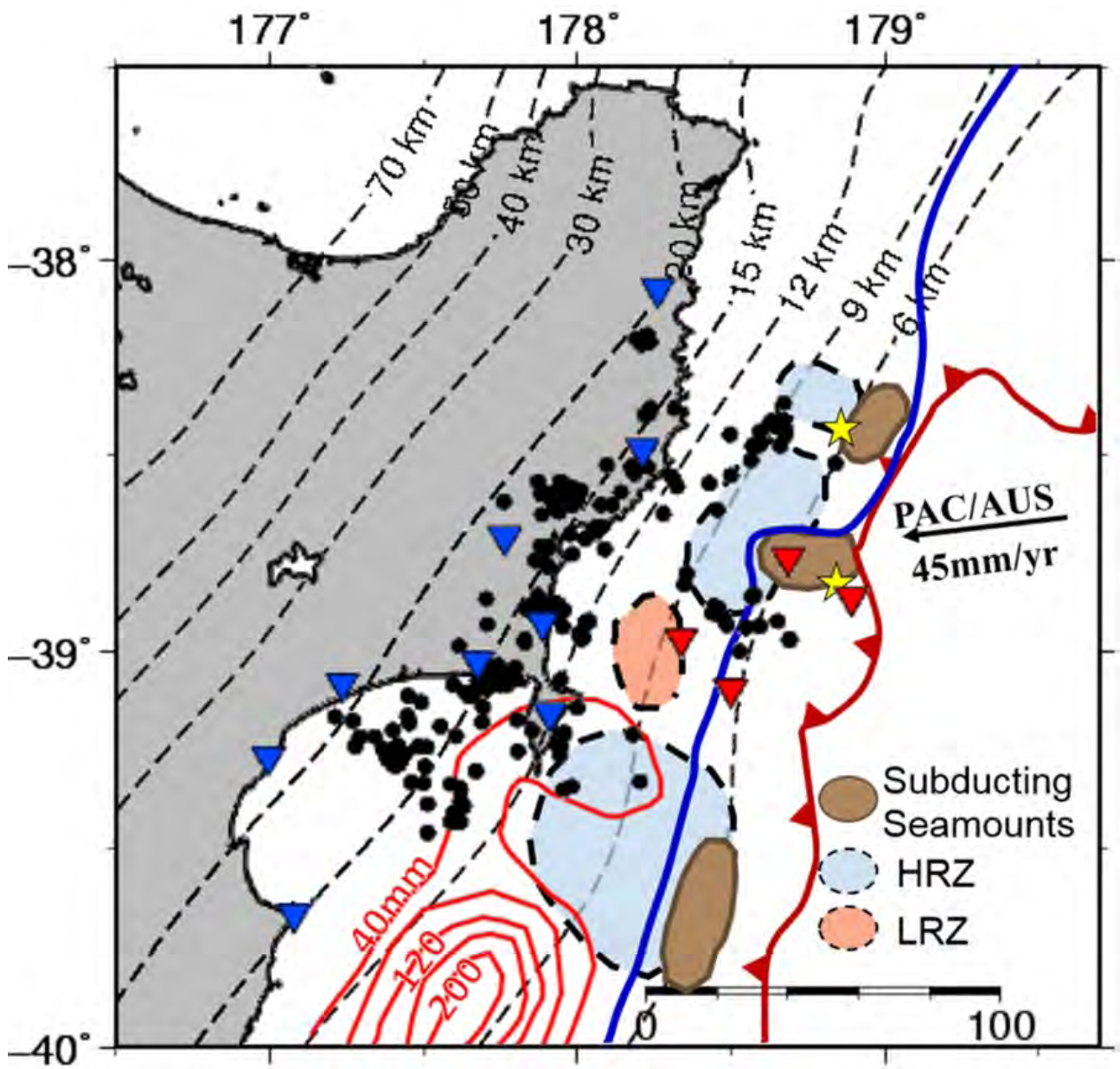


図4 プレート境界面の構造と地震活動分布

水色，オレンジで示された領域は，地震波反射断面から，プレート境界面上に水が豊富にあると推定される場所を示す．黒丸は2012年4月から2013年5月まで行った海域地震観測で得られた，プレート境界面周辺の地震の震央を表す．地震は水が豊富にあると考えられるプレート境界面状の領域の縁辺に集中的に発生していることが分かる．

( 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：

( 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 27 年度の成果の概要 :

大規模な熱水系が発達し、水蒸気爆発発生場である草津白根山では、2014 年 3 月から湯釜火口周辺域で膨張性の地盤変動や噴気ガスの大幅な組成変化、小規模な草津湯釜地下での熱消磁とみられる変化が観測されるなど、高温の火山性流体の供給が示唆されている。湯釜の水温は通年で気温よりも高く、湯釜に対して供給されている熱は現在も高いまま推移している。また、全磁力観測の結果は、湯釜地下は熱的に釣り合っている状態が継続している事を示している。湯釜火口湖水の化学成分、特にフッ化物イオンと塩化物イオン濃度の顕著な上昇が膨張が始まった頃から現在まで継続しており、より高温の火山ガスが関与している火山性流体の供給が現在も継続していることを示唆する。水蒸気爆発はマグマの直接的関与無く、火山力や熱水に起因する現象である。従って、水蒸気爆発の予知には、火山性流体そのものの物質科学的モニタリングが重要である。火山熱水系では、岩石の酸性熱水の反応が常時起こっており、それによって熱水系を構成する岩石と熱水がそれぞれ組成変化を起こす。岩石の酸性変質作用に対する陰イオン組成の変化を検討する為に、フッ化物イオンを加えた塩酸・硫酸の混酸溶液と岩石の反応実験を行った。その結果、長石由来の成分の溶脱は水素イオン濃度に依存し、フッ化物イオン濃度の影響がほぼなかったのに対して、フッ化物イオン濃度が高くなると輝石由来の Fe と Mg の溶脱が促進されることが明らかになった。この結果は、輝石の分解が水素イオン濃度のみならずフッ化物イオン濃度によって促進されることを意味する。この結果は、火山性流体の水素イオン濃度だけでなく、フッ化物イオンが陽イオン成分の溶脱の促進に深く関わっていることを示している。現在の草津白根山の活動に関わる熱水の組成変化を考慮すると、熱水系を構成する岩石の変質が一層進行していると考えられ、今後の湯釜湖水の陽イオン濃度に変化が現れる可能性が高いと推察される。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

( 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 : 0279-88-7715

e-mail : knogami@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 : 野上健治

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 27 年度の成果の概要：

海底火山活動に伴って発生する変色域の規模や色調など、海面上に現れる異変は海域火山活動の把握のために非常に重要なシグナルである。その組成は海底火山から湧出する熱水の組成を反映していることが解っており、今年度は非常に活発なマグマ噴火を続けている西之島の周囲で海水試料を採取し、海水の組成分析を行った。その結果、すべての海水試料で pH は通常の海水よりも酸性側にシフトしていた。陰イオン成分では、塩化物イオン濃度が通常の海水よりも低いものに対して、フッ化物イオンや硫酸イオンは僅かに高い。この結果から、濃厚な弱アルカリ性溶液である海水はそれ自体に緩衝能

があるにもかかわらずその pH を酸性側に下げていること、西之島の周辺の海水は火山ガスもしくは酸性熱水の影響を非常に強く受けていることが判った。熱水中には含まれているけれども海水中には僅かに含まれるか、殆ど含まれない成分であるフッ化物イオン濃度が海底火山活動にともなう熱水活動を捉えるには適していると言える。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

( 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

( 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・建物の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 27 年度の成果の概要:

今年度も昨年度に引き続き名古屋大学所蔵の高木家文書の修復(寛政 6 年~寛政 7 年, 文政 3 年, 弘化 5 年, 嘉永元年)を行った。徳川林政史研究所、蓬左文庫や個人所蔵の新たな史料収集を行い、新しく見つかった史料については順次翻刻を行っている。徳川林政史研究所所蔵の尾張徳川文書を丁寧に調べて見ると、これまで安政地震に関する史料とされていた 2 冊以外に表題の年号をつけ間違ったと思われる 2 冊の史料が見つかり、それらを順番に並べることで尾張全体の被害の状況が初めて明らかになった。高木家文書をはじめとする名古屋大所蔵の文書で新たに見つかった地震関係の文書を翻刻した上で、名古屋大学図書館春季特別展「古文書にみる地震災害」として 2016 年 2 月に一般公開し、展示した文書の写真、翻刻、展示に載っていた地震に関する解説を図録として配布した。神社明細帳については高知県の 4000 あまりの神社について調査を完了した。神社として残るのは津波等で全部が流された場合や土砂崩れで神社が潰れた場合などに限ること、高知では圧倒的に宝永の地震での災害が多く、安政に関する記述はほとんどなかったことが明らかになった。

今回の調査で、安政東海地震の被害を克明に記載している資料が個人宅から発見された。それと尾張徳川家文書と比較してみると、家が潰れて御救金をもらっているのは難民のみで、資産家は御救金をもらっていないこと、添家の被害は公的な史料では対象外となっていることなどがわかってきた。このことから公的な史料から見積もられる被害は全被害を集計した史料ではないことが明らかになった。データベースについては、これまで「新収日本地震史料」および「日本の歴史地震史料」に関しての検索システムを構築してきたが、今年度はこれに「日本地震史料」「増訂大日本地震史料」をデータベースに追加し、これらも合わせて検索できるようにした。現在このシステムは以下のサイトで公開されている。

<http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/HistEQ/>

さらに震央がある程度確定されている地震については地図から検索できるように e コミマップを使ったシステムを構築した。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):  
石川寛, 山中佳子, 他, 名古屋大学附属図書館 2016 年春季特別展図録, P66, 2016.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要:



H27年度に引き続き史料調査，収集，および翻刻を行う．高木家文書についても必要な年代の史料があれば修復を行う．神社明細帳，地方史の調査についても三重県，静岡県，徳島県などについても調査を行う．高知県については市町村毎の調査が進んだことから収集した史料について地図ベースで整理を行う予定である．データベースについては地図を用いた検索システムについては，H27年度にとりあえず基本的なところを作成したので，H28年度ではそれをバージョンアップしていく予定である．

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

山中佳子，溝口常俊（名古屋大学大学院環境学研究科）

石川寛，羽賀祥二（名古屋大学文学部）

武村雅之，都築充雄，福和伸夫，虎谷健司（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



「安政元寅年 地震二付村々倒家人別書上帳」( 徳川林政史研究所所蔵・尾張徳川家文書 )

12月支給								
典拠	管轄範囲	居家 倒家	居家 半倒	添家 倒家	添家 半倒	即死人	怪我人	救金(両)
④	大代官	266	256	1	2	0	0	295.500
③	鳴海代官所	56	130	0	0	0	2	92.750
④③	横須賀代官所	175	423	0	0	0	1	290.875
③	水野代官所	17	26	0	0	0	0	22.500
②	小牧代官所	11	16	0	0	0	0	14.625
④	清須代官所	26	5	1	0	0	1	22.375
④	佐屋代官所	255	352	3	7	0	0	323.250
④③	糖多須代官所	100	102	0	0	0	0	113.250
④③	北方代官所	177	313	0	0	1	5	256.375
③	町奉行	9	9	0	0	2	1	13.625
③	熱田奉行	39	8	0	0	0	0	32.250
	計	1131	1640	5	9	3	10	1477.375

郡別								
	尾張国愛知郡	306	301	1	2	2	3	347.875
	尾張国春日井郡	15	18	0	0	0	0	18.000
	尾張国丹羽郡	10	8	0	0	0	0	10.500
	尾張国栗栗郡	22	54	0	0	0	3	39.750
	尾張国中島郡	59	36	1	0	0	2	59.750
	尾張国海東郡	155	79	0	0	0	0	145.875
	尾張国海西郡	145	289	3	7	0	0	217.125
	尾張国知多郡	222	526	0	0	0	1	364.750
	美濃国厚見郡	1	0	0	0	0	0	0.750
	美濃国羽栗郡	77	166	0	0	1	0	121.250
	美濃国中島郡	18	29	0	0	0	0	24.375
	美濃国石津郡	1	1	0	0	0	0	1.125
	美濃国多芸郡	35	44	0	0	0	0	42.750
	美濃国不破郡	12	37	0	0	0	0	22.875
	美濃国安八郡	48	34	0	0	0	0	48.750
	美濃国大野郡	1	0	0	0	0	0	0.750
	美濃国本巢郡	4	18	0	0	0	1	10.750
	計	1131	1640	5	9	3	10	1477.000

尾張藩の資料による安政地震の被害と救済状況

( 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 27 年度の成果の概要 :

1 ) UAV など最新測量技術を用いた神城地震断層の稠密変位量分布の測定

平成 26 年 11 月に発生した長野県北部の地震 ( 別称長野県神城断層地震 ) は地震調査研究推進本部 ( 地震本部 ) が選んだ 110 の「主要活断層」で発生し、地震断層が出現した初めての地震である。しかし、この地震は地震本部が予測した地震よりも明らかに「ひとまわり小さい地震」であり、活断層評価に再考を促すものであった。

本年度、我々はこの地震断層を活断層と地震断層の対応関係を明らかにする糸口ととらえ重点的な調査を以下の通り行った。

1. 活断層の変位地形から算出した平均変位速度分布 ( 鈴木ほか、2010 ) と UAV をはじめとする最新測量技術を用いた 2014 年神城断層地震の地表地震断層の稠密変位量分布との比較を試みた ( 図 1 )。神城断層地震の地表地震断層の変位量分布は図 1 の通りだが、変位量は北部の塩島 (90cm) や大出 (104cm) で大きく、南へ行くと小さくなる。加えて、変形帯の幅も南へ行くと広くなる傾向が認められる。ただし白馬～飯森 ( ちょうど中間部分 ) の平野部では、明瞭な地表地震断層を確認できず、変位量分布には反映されていない。一方、平均変位速度分布では、白馬～神城間における分布の極大は白馬～飯森付近であり、今回の地表地震断層が不明瞭な区間と一致するため、単純に傾向が一致するかどうかを比較することができなかった。2014 年地表地震断層の変位量が最大となった北部末端では、L1 面から推定される平均変位速度の分布傾向は中部に比べて小さく、北方へのズレ量の減少傾向を示しており、2014 年地震の変位量分布とは一致しない。しかしより若く地震経験回数が少ない L2 面や L3 面の平均変位速度分布を個別にみると、北部末端でその値が大きくなる傾向があり、2014 年地震の変位量分布と一致する。したがって最近発生した何回かの地震は、2014 年地震同様に塩島や大出付近の変位量が大きく、今回の地震と同様な破壊が北方へ連続する傾向を示す地震であった可能性がある。一方 2014 年神城断層地震で地表地震断層の南端となった神城付近の平均変位速度の分布傾向は、2014 年地震と同様にその値が神城の南へ向かって一旦減少する傾向が見られる。このことは断層自体はより南へ連続するが、2014 年地震の南側終端となった神城周辺が、セグメント境界となる可能性を示唆している。しかし地表地震断層の変位量分布と比較して変動地形からの変位量データの測定箇所は少ないため、現段階ではこれ以上の議論は難しく、より稠密な変動地形学的な変位量分布図の作成を検討するべきである。

2. 地震前後の LiDar 測量データがあることから、Lidar 測量から作成された 1 m DEM ( 数値標高モデル ) を用い、1 m DEM における絶対位置の標高の差分をとることで地変を検出し客観的な地表地震断層の抽出を試み非常に明瞭な地変をとらえることに成功した ( 図 2 )。地変は地表踏査や UAV を用いた測量結果の地震断層とほぼ同じ位置に見出されたことで、地震断層の位置の抽出に関して、その有用性が示されただけでなく、蕨平地区などにおいて地震後の地表踏査では発見できなかった地表地震断層を発見することにも成功した。また、短波長の地変を広範囲でとらえることが出来ることから、測量や地表踏査では判断が付きにくかったやや広範囲にわたるマスムーブメントの全体像をとらえることが可能となった。その結果、蕨平以南の姫川右岸の地表踏査では地震断層なのかマスムーブメントなのか区別が付きにくかった地変を、一部に誘発されたマスムーブメントによる変形があるものの地震断層としての変形である可能性が強いと判断することが可能となった。

変位量に関しては、パルス的なノイズが多いので、特定の測線で変位量を測量することは困難である

が、地表断面図から変形パターンの傾向を読み取ることは容易である。その結果、下盤側の変形や長波長の変形を検出するなど、従来は分からなかった変形パターンを多数見出すことに成功した。このように、変位量の比較的小さな地震断層の発見にこの手法が極めて有用であることを見出すことができた。

## 2) 神城地震断層の活動履歴調査(図3)

1. 地震前後の Lidar データの解析によって発見された蕨平の地変について、地形調査を行った。この付近は米軍写真で確認すると水田または河床であり、調査時には管理があまりされていない下草が生い茂る杉林となっていた。今回、下草および低木をすべて刈り取り伐採しこの低位の面を Lc 面と命名し、Lc1 面、Lc2 面に細分化した。鈴木ほか(2015)で地震断層の可能性を指摘された北北東-南南西走向の低崖の確認を行った。その結果、Lc2 面に東側隆起で比高 0.3 - 0.4m の低崖を見出した。次に Lc1 面でトレンチ調査を行った。この目的は 1:断層の有無を確認すること、2:最新イベントが 2014 年であること、3:離水時期がひとつ前の地震より古ければ段丘礫層に 2 回分の変位が期待されることからひとつ前の活動時期を明らかにすることであった。トレンチ掘削の結果、東傾斜を有する明瞭な断層と関連する変形構造が確認され、最上部の水田土壌とその下位の砂層、および段丘構成礫層にほぼ同じ量の変位が認められた。この砂層には炭化物が少なからず含まれており、そのうちの 1 試料の C14 年代は AD1660 年以降-現世と測定されたため、2014 年に先立つ地震はこの C14 年代以前であることがわかった。

2. 地震前後の Lidar データの解析によって発見された蕨平の地変について、地形調査を行った。米軍写真をもとに大きく 5 段に分類し、上位から順に La 面・Lb1 面・Lb2 面・Lc1 面・Lc2 面と命名した。その結果、Lc 1 面や Lc2 面に東側隆起で比高 0.3 - 0.5m の低崖を見出したほか、この低崖の延長部で Lb2 面・Lb1 面・La 面上にそれぞれ比高約 1.1m、1.6m、1.5m の低崖を確認した。これらの低崖直上の杉の木は軒並み西側に傾いており、2014 年の活動による低断層崖の成長によって倒れたものと推察できる。変位の累積性も確認され、地下の断層が繰り返し活動してきたことを示唆している。加えて、それぞれの段丘面を区切る段丘崖は左横ずれ変位を受けていると考えられ、Lc1 面/Lc2 面段丘崖や Lb2 面/Lc1 面段丘崖などで約 1.0m、Lb1 面/Lb2 面段丘崖で約 5.0m、La 面/Lb1 面段丘崖で約 7.5m の左横ずれの変位が認められ、この地域では左横ずれ成分が卓越することがわかった。段丘の形成年代からイベントを推定するために La 面で 2 カ所(隆起側および低下側)、Lb1 面で 1 カ所(隆起側)、Lb2 面で 2 カ所(隆起側および低下側)のピットを掘削し、これらの段丘の離水年代を明らかにするための C14 試料を採取した。その結果、La 面の年代は 2055 - 1900Cal. BP 以前、Lb1 面の年代は 1695 - 1535Cal. BP、Lb2 面の年代は 1530 - 1355Cal. BP であった。その結果、この断層は、AD420 年以降少なくとも 2 回以上の活動があり、AD255 年以降 AD595 年以前までにも少なくとも 1 回の活動があることが認められる。この平均活動間隔は 586-880 年であり、比較的短い間隔で地表地震断層が出現する地震があることが明らかになった。また、この間の平均変位速度を求めると、上下成分が 0.8 m/千年、左横ずれ成分が 3.5m/千年程度と見積もられた。

## 3) 都市部における地形面の長波長変形の抽出(図4)

DEM を用いた長波長の変位地形の抽出として、砺波平野を対象に検討を行った。砺波平野西縁には、石動断層、法林寺断層、砺波平野の東縁の南部には高清水断層が知られている(活断層研究会編、1991 など)。数値標高モデルを用いたステレオ画像により、高岡市街地を横切る変動地形や法林寺断層の北延長の変動地形(岩武背斜)が新たに見出され、詳しく記載された(後藤ほか、2015)。いずれも平野部を横切る長波長の変形であり、空中写真や地形図などの地形資料からは抽出困難な変動地形である。この地域には地下構造探査が行われており(石油公団、1982; 1983) これらの探査記録は上記の変動地形と調和的であり、DEM から作成したステレオ画像によって読み解かれる長波長な変動地形が地下に伏在する活断層の地形表現であることが支持された。

(9)平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):  
廣内大助・松多信尚・杉戸信彦・熊原康博・石黒聡士・金田平太郎・後藤秀昭・楳原京子・中田 高・

鈴木康弘・渡辺満久・澤 祥・宮内崇裕・2014年神城断層地震変動地形調査グループ\*，2015，糸魚川 - 静岡構造線北部に出現した2014年長野県北部の地震(神城断層地震)の地表地震断層，活断層研究，43，149-162。

杉戸信彦・谷口 薫・松多信尚・澤 祥・田力正好・野澤竜二郎・皆黒 剛，2015，白馬村北城新田および大出における神城断層の平均変位速度と活動時期の検討，活断層研究，43，109-118。

後藤秀昭，2015，海陸を統合した広域ステレオ地形画像を用いた変動地形学的研究 - 関東平野南部と南西諸島中部周辺を事例に - 。広島大学大学院文学研究科論集特輯号，75，87p。

Goto, H., 2016, Extensive Area Map of Topographic Anaglyphs Covering Inland and Seafloor from Detailed Digital Elevation Model for Identifying Broad Tectonic Deformation. Kamae, K ed., Earthquakes, Tsunamis and Nuclear Risks: Prediction and Assessment Beyond the Fukushima Accident, 65-74. [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-4-431-55822-4\\_5](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-4-431-55822-4_5)

渡辺満久，2015，地形発達史から活断層を視る，科学，85-10，925-927。

後藤秀昭・岡田真介・楳原京子・杉戸信彦，2015「1:25,000都市圏活断層図砺波平野断層帯とその周辺「高岡」解説書」，国土地理院技術資料D1 - No. 736，22p+付図，。

杉戸信彦，2016，活断層を掘る - 地形学的視点 - ，科学，86-1，17-19。

杉戸信彦・近藤久雄，2015，上町断層帯の最新活動と河内平野の地形環境変化，地学雑誌，124，607-631。

(10) 平成28年度実施計画の概要：

平成27年度は神城地表地震断層の出現により、この地表地震断層の解明を重点的に行った。本年度は「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・累積変位量分布やそのもう一回前の地震で現れたであろう変位の量分布を比較・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」という本研究の当初の目的に立ち返り、(1)引き続き、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神城断層において実施。(2)根尾谷断層系における詳細なDEMデータを用いた様々な変位地形の検出。(3)地震断層である根尾谷断層・温見断層における微小変位地形と活動履歴の関連を地形・地質調査から解明。(4)阿寺断層・跡津川断層などの横ずれ変位地形の稠密抽出。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

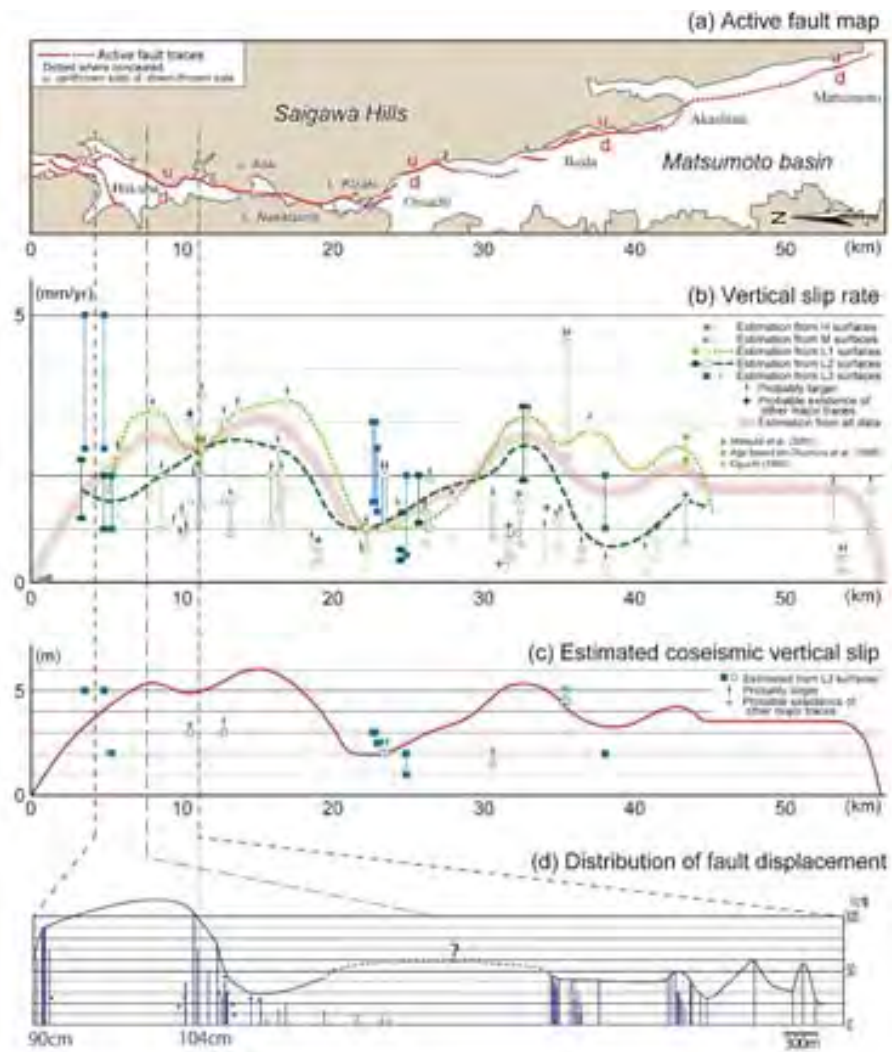


図1 神城断層地震の地表地震断層の変位量分布と変位速度分布との関係



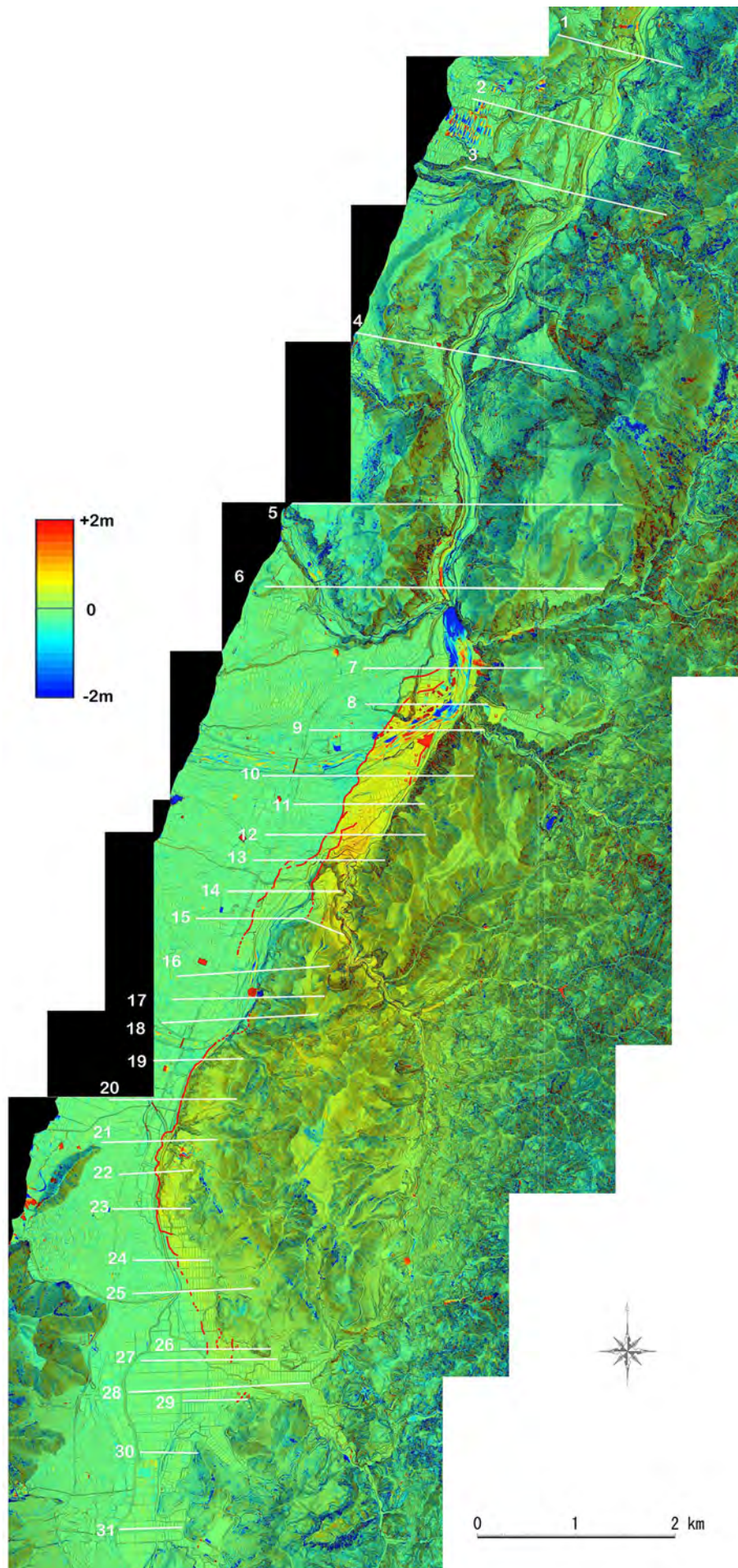


図2 神城断層地震前後のDEMデータの差分から推定される地表地震断層

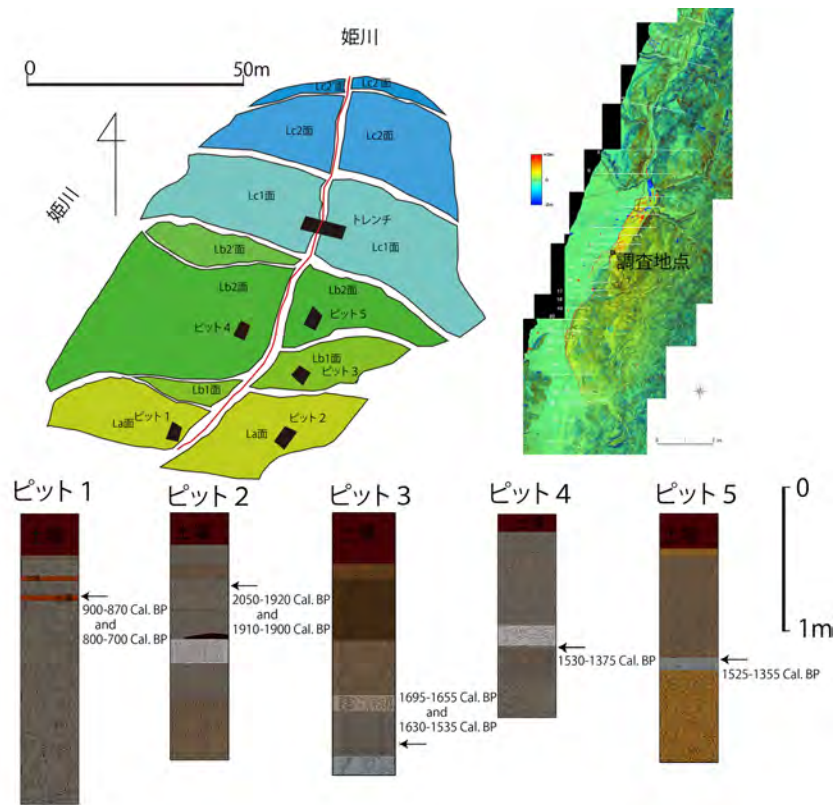


図3 白馬村藤平における神城地震断層と地形分類

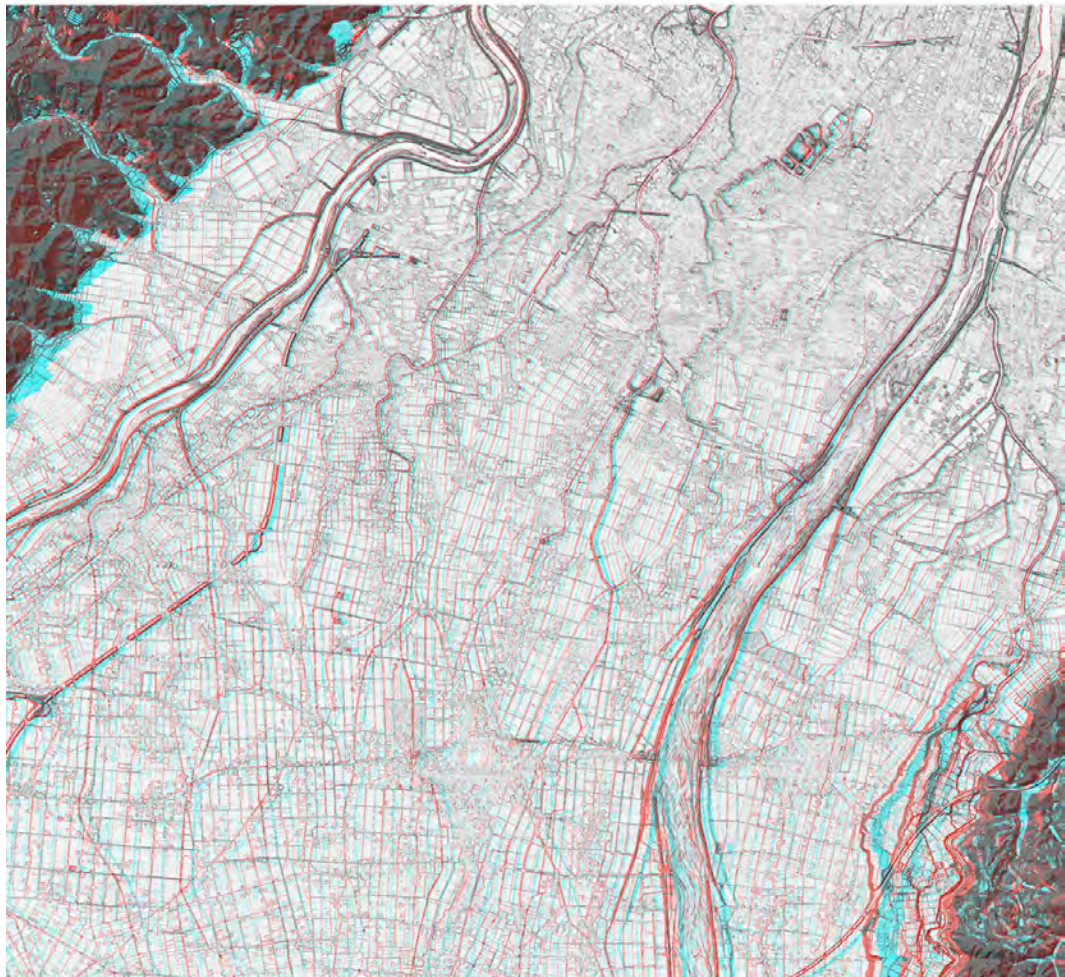
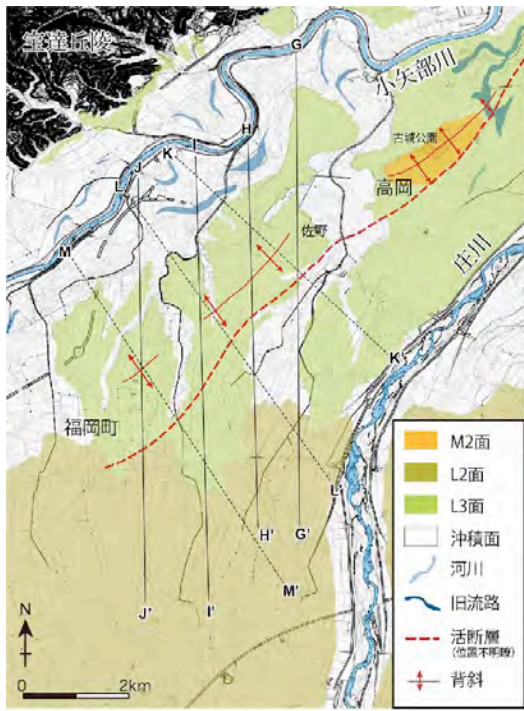


図4 砺波平野の地形分類図(上図)とアナグリフ(下図)

( 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ナ儼粗胆 稜聴

( 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 27 年度の成果の概要 :

本研究課題では、平成 27 年度についても ( 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 項目の研究を実施した :

### 1) 過去の測地データの活用

日本列島周辺領域において、3次元スラブ形状、深さ依存の粘性率、地形、3次元地震波速度構造に基づく弾性パラメータの不均質を考慮した有限要素メッシュを構築し(図1)、昭和の南海・東南海地震の粘弾性応答の時空間変化について検討した。本研究では、1)INHOMOモデル(全てを考慮したモデル)2)VISCO\_UNI(粘性率一定モデル)3)LAYERモデルの3種類の有限要素メッシュを作成した。

各モデルでの粘弾性応答の計算を実施し、特に瀬戸内海地域において、INHOMOモデルの地震直後の約20年間程度では急速な速度変化があるのに対して、VISCO\_UNIモデルでは、顕著な時間変化が見られなかった。また、LAYERモデルでは潮位記録とは逆のセンスの上下変動を示した(図2)。

モデル計算と潮位記録を比較するためには、地震直後の潮位記録が無い期間の変動量を各モデルで推定した上で残差を比較する必要がある。その結果、IN\_HOMOモデルとVISCO\_UNIモデルの間に有為な残差の違いは得られなかった。また、LAYERモデルではそもそもの変動パターンが潮位記録と整合性がないため、LAYERモデルを用いた、粘弾性応答の研究を再考する必要があると考えられる。

### 2) 陸上でのGPS観測

中部地方において、GEONET観測点を補完するように場所を選択し新規の連続GNSS観測点を2013年に1箇所、2014年に5箇所、2015年に1箇所の計7箇所を設置し運用しており、さらに現在、4箇所の新規GNSS観測を来年度の初めに設置を予定している(図3)。

これらの観測網により、低周波深部微動に伴うと考えられる地殻変動が観測されている。一例として三重県北部に位置するtoin観測点において、2014年の8月末から9月初めの数日にかけて約5mmの南方向への変位が観測された(図4)。この直後の9月3日には愛知県において低周波微動が活発になっていることが確認されていることと、南方向の変位であることから、低周波微動に伴う地殻変動である可能性が高い。現在は、中部地方の複数のGEONET観測点を用いて、Bernese 5.2にて同時解析を行っているが、F3解との整合性がない。そのため、今後はF3解を強い拘束条件として解析することで、F3解と整合性のある解析を実施する予定である。

### 3) 海底地殻変動観測

熊野灘に設置した3つの観測点(KMN, KMC, KMS)において、1~3回の観測を行った。合計の観測回数は、KMNが18回、KMCが9回、KMSが22回となった。どの観測点においても、変位速度ベクトルはアムールプレートに対して西北西方向に年間3~4cmである(図5)。

南海トラフ軸近傍の観測点では、黒潮による海中音速の傾斜構造が存在し、海底局位置にバイアスが生じる。海底地殻変動観測では、海底局周りの円周航路上を観測船が周回して音響測距を行う。このとき、海底局位置が正しく求められていれば、波線が音速の速い領域と遅い領域を通る差によって、海底局位置を決定するとき同時に推定する推定音速の時系列は円周航路1周に相当した周期のsinカーブをもつはずである。この点に着目し、傾斜構造が存在する海域で観測したデータの解析について、逆問題を解いて海底局位置を求める際に走時の残差2乗和と推定音速変化率の滑らかさの重み付けに用いるハイパーパラメータの制約方法を新たに確立した。新たな制約は、航路1周に相当した周期で推定音速のパワースペクトル密度が最大となるハイパーパラメータを用いるというものである。この方法を黒潮強流域、反流域での実データに適用したところ、主に海中音速の傾斜方向に一致する南北成分のバイアスが大きく低減した。最も傾斜が大きい海域では、海底局位置の時系列における南北成分の回帰直線からのRMSが1/46になり、傾斜構造を有する海域での海底地殻変動観測の高精度化の目処が付いた。図5には、この制約を適用して解析したTCAおよびTOAでの変位速度ベクトルを示した。

### 4) ACROSSによる解析

本年度も、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た。ただし、森町の震源装置についてはベアリングの破損によって停止しており、本年度中に修理を完了する予定である。土岐市および豊橋市のACROSS震源については、一年を通じてほぼ連続的に運転を行う事ができた。土岐市の震源については、震源を設置してあると右脳鉾山の閉山措置が行われたことに伴い、地下坑道からの地下水くみ上げが停止された。そのため地下水位が徐々に上昇し、そ

の変動が ACROSS 震源装置と近傍（水平距離 90m、上下距離 190m）の地震計との間の伝達関数変化に影響をあたえている。S 波速度が走時にして 4 ミリ秒遅れ、地震波速度にして 2.4% の変化に対応する。この影響は遠地の地震計との間の伝達関数にも表れているため、補正が必要となる。

#### 5) プレート境界面トラップ波・変換波解析

西南日本下に沈み込むフィリピン海プレートの複雑な形状を把握するため、紀伊半島と中部地方南部において 2007 年 8 月から 2015 年 3 月までに発生した M3.5 以上、深さ 26~67 ㎞ の地震 54 個を用いて、低速度の海洋性地殻に捕捉されたトラップ波を解析した。特に、愛知県直下で発生した地震に見られるトラップ波について琵琶湖周辺を通過する複数の波線を調べたところ、波線が南下するにつれてトラップ波が観測できる震央距離の範囲が短くなることが分かった（図 3）。この結果は、沈み込む海洋性地殻と陸側の地殻が琵琶湖周辺で面的に接触しており、かつ琵琶湖下では南に向かうほどフィリピン海プレートの西方向への沈み込み角度が高角になることを意味する。波動伝播数値シミュレーションを行ったところ、琵琶湖周辺下のフィリピン海プレートの上面深度を Hirose et al. (2008) よりも約 1 km 深く設定した方がトラップ波が観測される震央距離の範囲をよく説明できることが分かった。

#### 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、前年度に熊野灘において取得した詳細な海底地形データに基づいて、海底活断層の分布等に関する検討を行った。その結果を図 7 に示す。

(9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

(10) 平成 28 年度実施計画の概要：

平成 28 年度も引き続き以下の 6 項目の研究を実施する：

- 1) 過去の測地データの活用
- 2) 陸上での GPS 観測
- 3) 海底地殻変動観測
- 4) ACROSS による解析
- 5) プレート境界面トラップ波・変換波解析
- 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

特に、1) と 5) との関連性についての考察を進めるとともに、2) 6) の連携を進める。

(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・古本宗充・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）、地震研究所（渡辺俊樹）、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

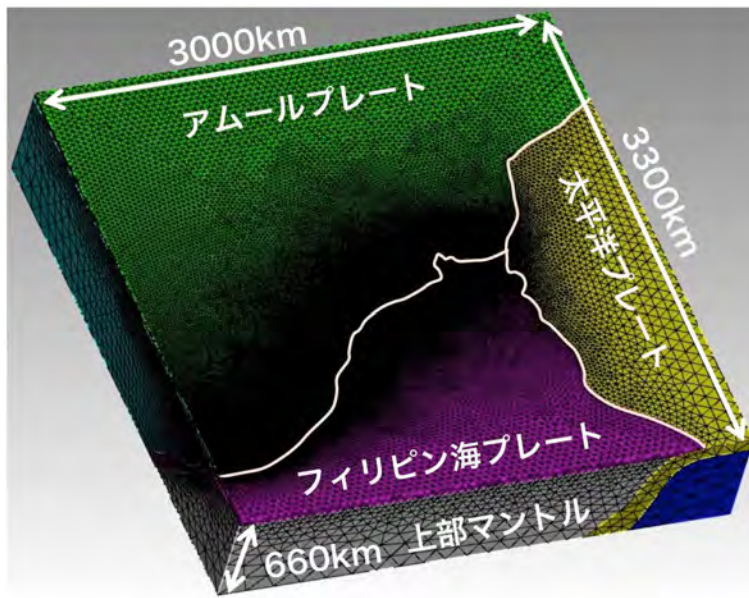


図 1

本研究で作成した有限要素モデル。



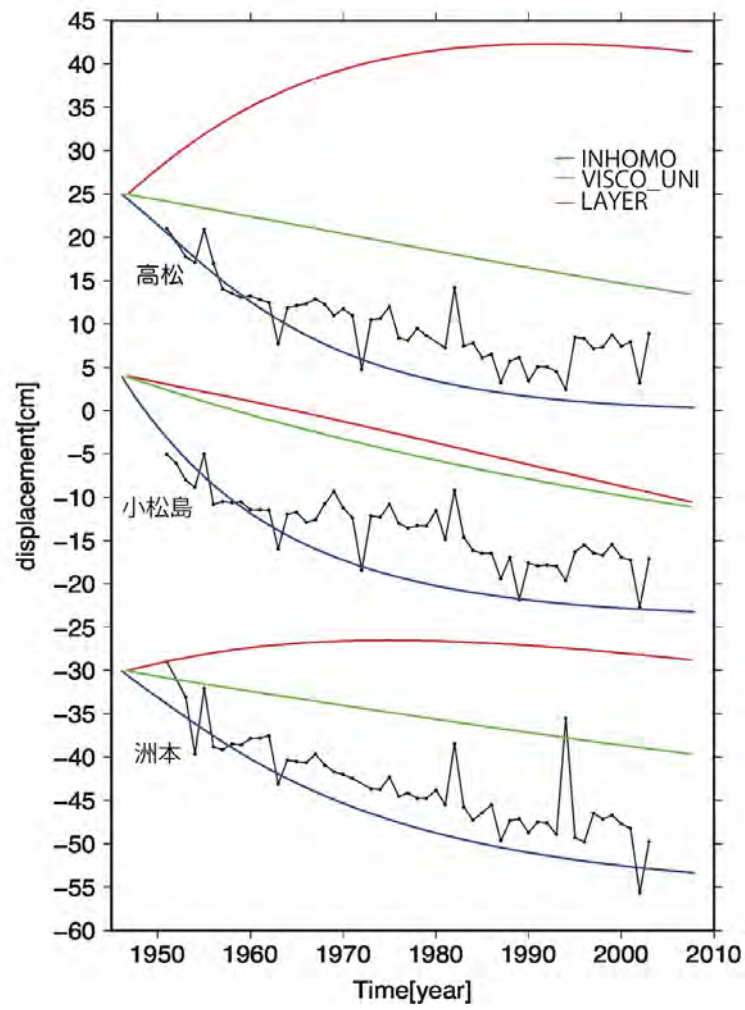


図 2

瀬戸内海の検潮記録と各モデルでの粘弾性応答の比較（検潮記録にはバイアスがあるので，IN\_HOMO モデルに最適化した例）。



図 3

中部地方の GNSS 観測点分布 . 赤 : GEONET 観測点 , N 印 : 設置済 GNSS 観測点 , 黄色 : 来年度設置予定 , 灰色は検討中・交渉中

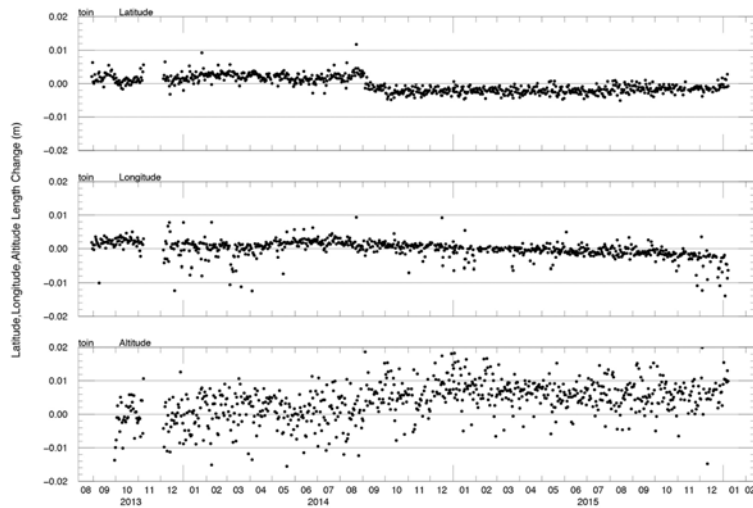


図 4

toin 観測点における地殻変動時系列 . 1 段目 : 南北成分 , 2 段目 : 東西成分 , 3 段目 : 上下成分

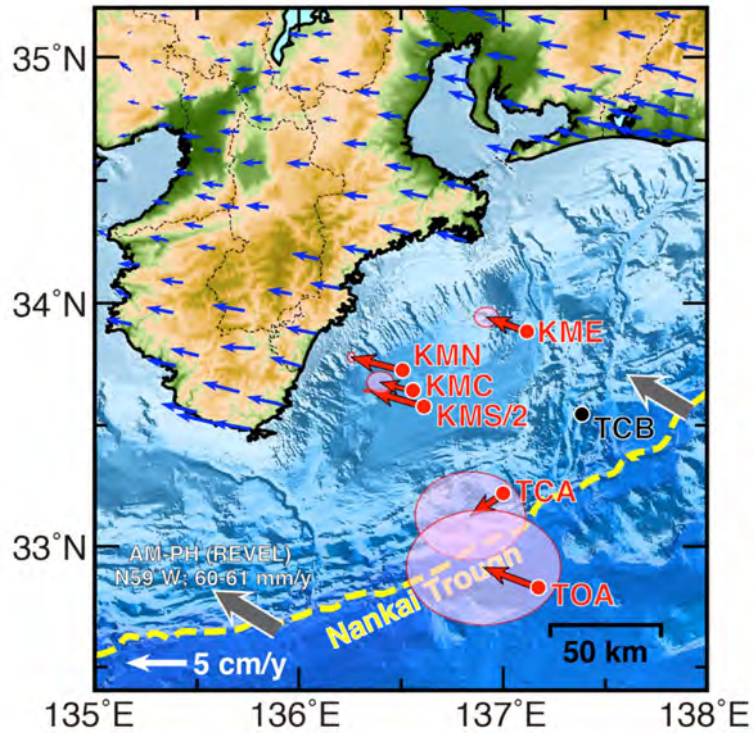


図 5

平成 27 年度までのデータに基づく海底地殻変動観測結果．アムールプレートに対する変位速度ベクトルを示す．陸上の変位速度ベクトルは国土地理院 GEONET による．

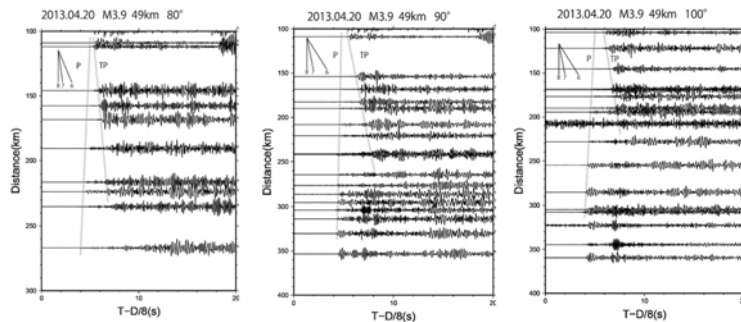


図 6

2013 年 4 月 20 日に愛知県下 49km で発生した M3.9 の地震のペーストアップ．左から N80 °W , N90 °W , N100 °W 方向．TP で示したトラップ波が観測できる震央距離の範囲が角度と共に短くなっている．

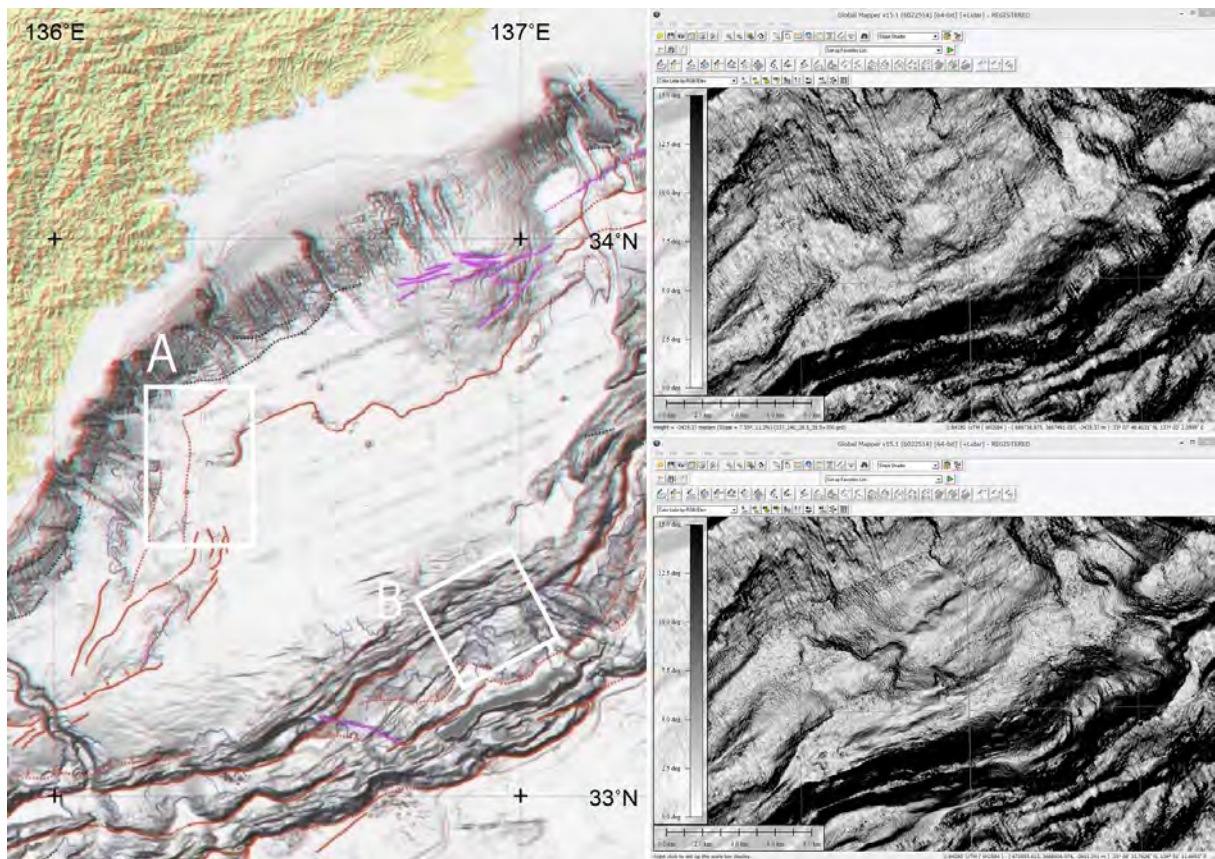


図7 取得した海底地形データ

(左) 調査海域

(右) 海域 B の傾斜区分図 (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：

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 27 年度の成果の概要：

2015年度においても前年度と同様、以下の2つ角度からアプローチした

1. 東日本大震災の被災地を調査対象とする脆弱性

－高橋グループ：空間の形態に現れる脆弱性

－黒田由彦：防災意識・避難行動に現れる脆弱性

2. 南海トラフ巨大地震の被災想定地域における脆弱性とボトムアップ型コミュニティ防災に向けた課題

－黒田由彦・室井研二：名古屋市南区におけるコミュニティ防災の現状と課題

当初の計画では、平成 26 年度中に平成 27 年度以降の南海トラフ巨大地震被災予想地における調査の作業仮説を構築することになっていたが、東日本大震災の被災地における脆弱性に関してまだまだ探求すべき点が残っているという認識に基づき、平成 26 年度に引き続き、1. 東日本大震災の被災地を調査対象とする脆弱性、および 2. 南海トラフ巨大地震の被災想定地域における脆弱性とボトムアップ型コミュニティ防災に向けた課題の 2 つの角度からアプローチした。

- ( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :  
黒田由彦『『ポスト 3.11 の地域社会』の成果と課題』『地域社会学会年報』第 27 集。  
田中重好・高橋誠・黒田達朗編『連続研究会・新しい防災の考え方を求めて( シリーズ 2 )』名古屋大学大学院環境学研究科発行。  
地域防災力診断マニュアル研究会編『地域防災力向上のための自治体向けアンケート調査報告書( 速報版 )』名古屋大学大学院環境学研究科 / 特定非営利活動法人環境防災総合政策研究機構発行。

- ( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

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、それぞれの地域社会のどこに脆弱性があるかに関して作業仮説を構築し、その検証を行う。同時に、それら脆弱性を軽減しうる可能性のあるコミュニティ防災対策を想定し、現実の動きと照応させることによって、それぞれのコミュニティ防災において今後喫緊となる課題の析出を行う。

- ( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

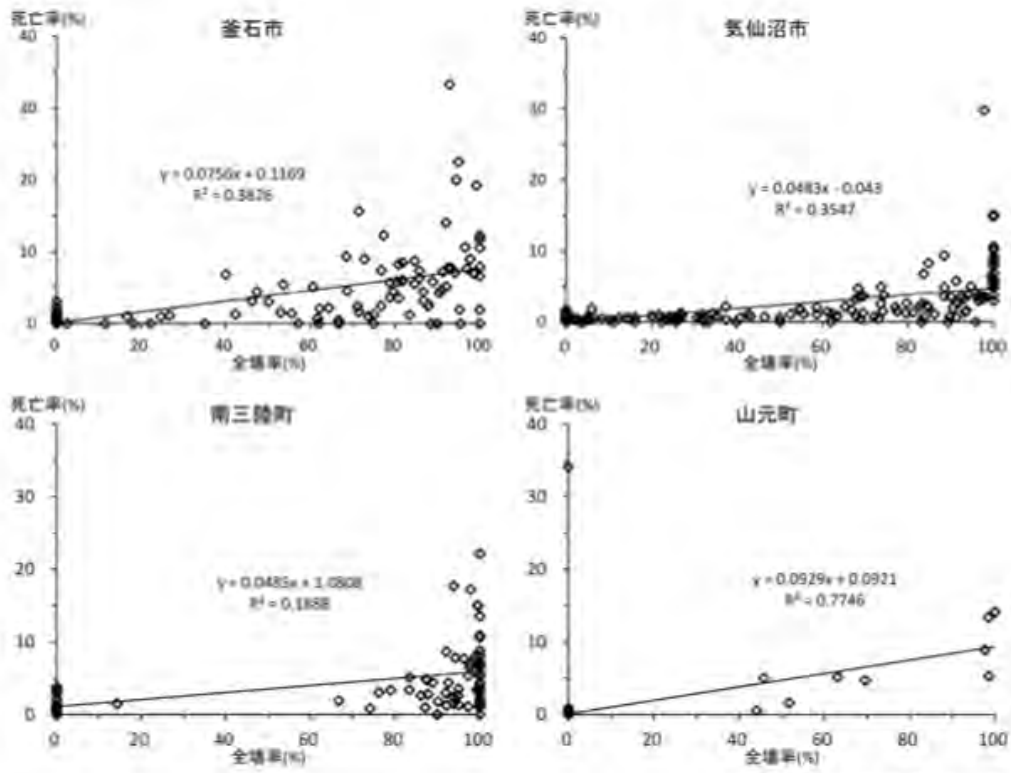
黒田由彦( 名古屋大学環境学研究科 )  
高橋誠( 名古屋大学環境学研究科 )  
田中重好( 名古屋大学環境学研究科 )  
黒田達朗( 名古屋大学環境学研究科 )  
室井研二( 名古屋大学環境学研究科 )  
鈴木康弘( 名古屋大学減災連携研究センター )  
堀和明( 名古屋大学環境学研究科 )  
山岡耕春( 名古屋大学環境学研究科・地震火山研究センター )  
他機関との共同研究の有無 : 無

- ( 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>

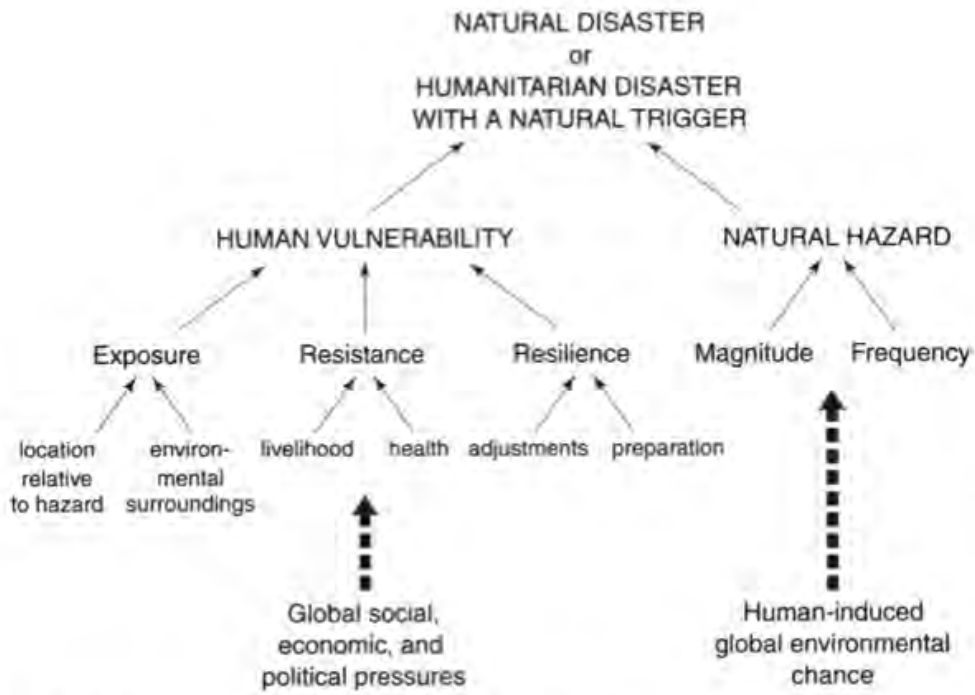
- ( 13 ) この研究課題( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 黒田由彦  
所属 : 名古屋大学大学院環境学研究科



(高橋・松多 2014による)

図1 釜石市・気仙沼市・南三陸町・山元町における全壊率と死亡率の相関



**Figure 9.5:** An integrated view of natural disaster

(M. Palling 2001: 182による)

図2 ハザードと脆弱性に関する新しい考え方の図式



( 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の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 27 年度の成果の概要 :

本年度は、第 2 世代震源装置について、2015 年 12 月 9 日より長期連続運転試験を開始した。中心周波数前年度と同様に 10.0015Hz で  $\pm 5$  Hz として、連続運転を行った。

ところが、震源装置から約 1 メートルの場所に設置した加速度計の振幅が、12 月 11 日午後から次第に大きくなり、同時に高調波成分が増大し始めた。その後、12 月 12 日に震源が停止した。原因は、震源装置本体ではなく、基礎周辺地盤の破壊(剪断すべり)であることが判明した。そのため、基礎周辺地盤に石英砂を充填し、破壊亀裂面に砂が入り込んで自動的に補修できるように補修作業を行った。現在、補修前と補修後の振動記録の解析中である。

また改定掘削孔内震源については、長期連続試験のための機材を調達し、準備を行っているところである。

( 9 )平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Ikeda, T., Tsuji, T., Watanabe, T., Yamaoka, K., Development of surface-wave monitoring system for leaked CO<sub>2</sub> using a continuous and controlled seismic source. International J. Green Gas Control. 45, 94-105, 2016.

( 10 )平成 28 年度実施計画の概要 :

平成 28 年度は、第 2 世代震源については、基礎地盤に負荷がかからない程度の力に制限をし、長期の連続稼働試験を継続する。海底掘削孔震源については、あらためて長期稼働試験を実施する。

( 11 )実施機関の参加者氏名または部署等名 :

名古屋大学環境学研究科 山岡耕春、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)・東京大学地震研究所(渡辺俊樹)・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

( 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 ヶ年で実施し、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27年度の成果の概要:

火山災害情報のあり方についての住民向けアンケートを御嶽山の岐阜県側に位置する下呂市小坂地区(旧小坂町)の全1258世帯を対象に行った。質問内容は、火山噴火に対するリスク認識、災害情報の伝達、火山防災対策の3点について確認する構成とした。アンケートは自治会を通じて平成26年11月に配布し、翌1月に回収した。回収率は66%であった。平成27年度は、この結果整理を行った。

御嶽山における噴火のリスク認識については、噴火を経験している人の中では噴火に対するリスク認識が高い一方、噴火を経験していない人は噴火に対する意識が高いわけではない。また、他の災害と比べても噴火に対するリスク認識はそれほど高くないことが明らかになった。災害情報の伝達については、「噴火に至らない可能性があっても詳細な観測情報などが提供されるとよいと思う」との回答が75%あり、多くの人が噴火に至ることが確実ではなくとも観測データの変化に関する情報提供を求めている事が明らかになった。情報の出所の信頼度については、気象庁・市役所から提供される情報の信頼度が高い傾向にあった。火山防災対策については、災害情報の拡充、登山者の安全確保に対するニーズが高かった。防災教育、特に住民を対象とした防災学習や避難訓練に対しては意識が低いことも示された。この意識の低さは、火山からの距離感が遠いことに起因すると考えられる。

本アンケート結果の地元への還元のため、平成27年11月29日に下呂市小坂「きこりセンター」で説明会を行った。

## (9) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

## (10) 平成28年度実施計画の概要:

火山災害情報のあり方を検討するためには、場所の違い(火山との距離・距離感の違い、異なる火山)噴火からの時間の違いをふまえる必要がある。そこで、平成28年度は、小坂よりも御嶽山に対する距離感が近い長野県木曾町で同様のアンケートを実施する計画である。また、異なる火山との違いを見るため、箱根町でもアンケートを実施するため、現地の動向を調査する予定である。

## (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター 田所敬一

名古屋大学減災連携研究センター 阪本真由美

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:

URL:

( 13 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名 : 田所敬一

所属 : 名古屋大学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) 媒質の簡単化：均質半無限弾性媒質を仮定

2) 動的破壊過程の簡単化：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簡単化が行われている。本研究では、こういった簡単化に 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。これには商用有限要素法ソフトウェア ABAQUS を用いる。工学分野では広く用いられてきた商用ソフトウェアであるが、最近では ABAQUS は理学的な不均質粘弾性媒質中での地殻変動研究にも用いられるようになっている。しかし、ABAQUS の特徴である接触解析機能は、ほとんど用いられていない。

本課題ではこの接触解析機能を用いた RSF 則に基づく、地震サイクルシミュレーションモデルを構築する。1) の媒質の問題について、まず重力場における、沈み込むプレートおよび地殻・マントルウェッジでの不均質粘弾性構造を考慮した 2 次元地震サイクルモデルを構築する。これにより、不均質弾性・粘弾性媒質が地震サイクルに及ぼす影響を評価する。また、2 次元断面としては、2011 年東北地方太平洋沖地震を含む断面とし、特に島弧地殻・マントルウェッジ内に不均質粘弾性構造を導入し、東北

地方太平洋沖地震サイクルそのものおよびサイクル中における島弧変動に及ぼす影響を調べる。これらのモデルは陰解法による ABAQUS\_standard を用いて開発する。

なお、これまでの地震サイクルシミュレーションでは、すべり応答関数を用いた境界要素法によるものが主流であった。ここでは、以下の動的サイクルへの発展性を考えて、有限要素法による領域解法を試みる点が新規性に富む。また、プレートを一定速度で沈み込ませ、プレート境界をマスター・スレーブ法による接触問題として扱い、プレート境界でのすべり発展および上盤側の粘弾性応答を見積もる点が大きな特徴である。ただ、予備的シミュレーションでは、プレートを一定速度で沈み込ませる方法では、一定角度で沈み込むプレートしか扱えず、また安定した接触解析を行う点で問題があり、プレート境界深部例えば 150km 以深でプレート収束速度に対応するすべり速度を与えて、それより以浅を接触解析とする解法への変更を考えている。

上記モデルは、準動的地震サイクルモデルである。ところが最近、平面断層ではあるが、2) の動的破壊過程を含むシミュレーションでは、準動的地震サイクルシミュレーションとは大きく異なる結果が報告され、地震サイクルにおける動的破壊過程の重要性が指摘されている。難しい問題となろうが、2) の問題すなわち波動放射を含む動的破壊過程を、上記不均質モデルに組み込んだ、動的地震サイクルシミュレーションに挑む。この動的破壊過程には、陽解法の ABAQUS\_explicit に切り替えてシミュレーションを行う。

#### ( 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おいて開発 ) 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、動的破壊過程を含む、ABAQUS 2 次元不均質粘弾性東北日本地震サイクルモデルを構築する。また論文化に着手する。

H29 年度においては、論文を出版する。ABAQUS モジュールのマニュアルを作成する。

H30 年度においては、ABAQUS 地震サイクルモデルのまとめを行う。

#### ( 8 ) 平成 27 年度の成果の概要 :

##### 1 ) ABAQUS 地震サイクルシミュレーションコードの開発 :

商用ソフトウェア ABAQUS を用いて 2 次元粘弾性地震サイクルシミュレーションコードの作成を目指して、これまで、重力の与え方に伴うモデルの検討、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を行ったが依然安定した解が得られていない。今年度は、境界要素法で用いられる臨界核形成サイズを考慮した詳細メッシュを作成して検討した。しかし依然として安定した解がえられないため、更に法線応力を詳しく調べたところ、ABAQUS で用いているマスター・スレーブ法ではプレート境界上の節点がすべりに応じてプレートの法線方向にも変位するため、初期条件の段階で初期法線応力もプレート形状の変形により大きく変動するためすべりが不安定になることが分かった。従って、現状では、ABAQUS にはこれを修正する機能がなく開発は難しいということが分かった。5 か年計画の H27 年度計画では動的過程まで含める検討を行うとあるが、難しく変更している。

##### 1-1 ) 詳細メッシュモデル

従来モデル ( 図 1-1 上図 ) から速度状態依存摩擦則に従うプレート境界の境界要素を更に 500m になるように細かくしてモデル ( 図 1-1 下図 ) を作成し、プレート境界要素は、マスターとスレーブ要素を用い、接触解析を行う。それでも安定した解が得られないため、問題点を調べるため、また計算を早くするため、繰り返し間隔が 10 年程度となるように摩擦パラメータを設定して検討した。図 1-2 は、メッシュサイズを変えた時の、地震サイクル中の深さ 40km 付近の節点の積算すべり量比較し



たものである。粗いメッシュ(赤線)に比べ細かいメッシュ(青線)では、ややすべりが滑らかになっており、改善が見られるが依然不安定なすべりを示している。また、1次要素ではなく2次要素も検討したが問題点の解決には至っていない。

#### 1-2) 接触圧(法線応力)の検討

自重による初期応力状態として、プレート境界における接触圧(法線応力)を調べたところ、図1-3のようになった。非常に大きな短波長の凹凸があるモデルとなっているのが分かる。そこで、通常の境界要素法地震サイクルシミュレーションで用いられている間隙流体の加圧を考慮した、例えば Kato and Yoshida(2011)(図1-4上図)の有効法線応力になるように、荷重を調整し、解析を実施した。摩擦パラメータも彼らにならい、また状態変数の発展則を slip law から Composite law に変更した。その結果、図1-4下図を得たが、プレートの傾斜によりせん断応力が働きやはり境界での節点が動き、凹凸のあるものになる。この状態で地震サイクルシミュレーションを実行したがやはり安定した解は得られていない。

マスター・スレーブノード法は接触問題を扱うのに優れている方法で、摩擦を含む接触問題で工学的には ABAQUS がよく用いられている。自重をかけた時の状態を平衡状態として、応力をクリアしその状態からの差分を扱う機能が現在のところ実装されていない。従って、現状では ABAQUS を用いて安定した地震サイクル計算を行うのは困難であるという結論に達した。

以降2) - 4)は年次計画にない新たな取り組みである。

#### 2) スペクトル要素法(SEM)による2次元動的・準動的な地震サイクルシミュレーションコードの開発

次の課題として、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、速度状態依存摩擦則に従う動的・準動的な地震サイクルシミュレーションコードの開発を行なっている。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地震サイクルシミュレーションコードを開発してきた。今年度は沈み込み帯への適用を考え、傾斜断層モデル(図2-1)での地震サイクルシミュレーションに取り組んだ。

速度状態依存摩擦則(摩擦パラメータ分布:図2-2)に従い、断層面上の相対的すべり(スリップ)やすべり速度は計算しているが、少なくとも2回繰り返す収束計算を行っている。これまで全無限や半無限でも垂直断層を扱ってきたので、断層両側での速度分配を1:1としてきたが、傾斜断層の場合地表面の影響では分配が異なる。そこで上盤側と下盤側でつりあいの式を解き(これは断層法線方向には変位の不連続は無く連続であるが変位そのものはありその計算を行うために既に実装済み)、断層面上盤・下盤側での断層に沿った方向の変位を計算し、分配して、収束計算を行った。しかしながら、現在のところ、最初の初期条件のためすべり速度が不安定になる早い段階で、地表面近傍ですべり速度の加速が現れ(図2-3)、準動的と動的計算を繰り返す状態が出現している。アルゴリズムの問題か地表のメッシュの問題かもう少し簡単な問題などを用いて多角的に検討する必要がある。

#### 3) 法線応力変化を考慮した地震サイクルシミュレーション 海山による効果

東北地方太平洋沖地震の破壊開始点近傍でホルストーグラベン構造が観測されている(Kodaira et al., 2012)、また震源域に存在する沈み込む海山の影響で海溝近傍での大きな地震すべりをもたらした可能性が、動的破壊シミュレーションから示唆されている(Duan2012; Fukuyama and Hok, 2013)。動的破壊シミュレーションでは、動的破壊過程は正しくシミュレーションできているが、破壊前の初期条件を設定する必要があり、その設定が、必ずしも地震サイクル中に蓄積された応力状態を設定できているとは限らない。

そこで、こういった沈み込むプレート境界の起伏の影響が地震サイクルにどのように影響するのか、法線応力の変化を考慮した地震サイクルシミュレーションについて報告する(Ohtani, 2015)。図3-1のように、 $a-b < 0$ となる円形速度弱化領域(アスペリティ)内に2種類の形状(球・台形モデル)で海山を模し(凸部高さを $h_s$ 、円の半径を $r_s$ とする)、凸部境界でのすべりに起因する法線応力変化を考慮した地震サイクルを実行した。凸部のないフラットな場合をモデル1、球モデルで $r_s=25\text{km}$ 、 $h_s=2\text{km}$

をモデル 2 ,  $r_s=16.6\text{km}$  ,  $h_s=2\text{km}$  をモデル 3 , 台形モデルで  $r_s=28\text{km}$  ,  $h_s=2\text{km}$  をモデル 4 と呼ぶ . 各モデルについて , 地震サイクルシミュレーションを行なった .

各モデルに対して , 図 3-1 右図の位置 1-6 に対する , サイクル中ですべり速度および積算すべり量の時間変化を , 図 3-2 に示す . モデル 1 - 4 の地震の再来間隔は , それぞれ 96.24 , 93.75 , 86.53 , 77.71 年と異なる . また , 地震サイクル中の地震発生直前と直後のすべり速度と初期応力からの法線応力の変動分布を図 3-3 に示す . フラットモデル 1 では法線応力変化は少ないが , モデル 2 - 4 では凸部のエッジ部に大きな法線応力変化が現れる . アスぺリティ内で地震すべりが発生するとすべり域深部を除き法線応力が上昇する . 一方地震間ではアスぺリティは固着し , 法線応力は逆に浅部で下がり深部で上昇する . フラットモデル 1 でははっきりとこのパターンが現れるが , モデル 2 - 4 では凸部のまわりでやや複雑になる . 図 3-3 に見られるように , 凸部内の浅部と深部では地震サイクルを通じて法線応力が逆のセンスで変動する . 地震発生により凸部内浅部では法線応力が上がり , 深部では下がるが , 地震後の地震間では逆になる . 形状の違いによる法線応力変化について , モデル 2 と 3 は同じ球モデルであるが , 3 の方が曲率が大きいので , 法線応力変化が大きい . 台形モデル 4 では上部と下部のエッジ部分に集中的に変動が現れる . 法線応力が下がると摩擦が下がり弱部となり破壊し易くなるが , 上がると強部となり破壊のバリア部となる . 全てのモデルで法線応力の低下した部分で非地震性すべりが発生し , 地震すべりに発展する . モデル 1 - 4 の順に法線応力低下が増し , 強度が下がり破壊しやすくなり , その結果繰り返し間隔が 96.24 , 93.75 , 86.53 , 77.71 年と短くなる .

海山のような凸部があると破壊のバリアになるという考えがあるが , 上記のように凸部内部の浅部と深部で法線応力が逆の振る舞いを示し , 単純ではないことが分かる . 上記のモデルは凸部が沈み込むことにより圧縮変形を受ける効果は含んでいないが , 地震サイクル程度の時間間隔ではこのシミュレーションで生じた現象が起こりうると思われる . このように , 海山のような幾何学的形状だけでは必ずしもバリアにならない . 海山がバリアになりうると思えば , 凸部が沈み込むことによる圧縮変形 , および海山による浮力や間隙流体圧の減少といった要因を考える必要がある .

#### 4) 固着すべり振動子の周期外力への応答

ゆっくり地震 ( SSE ) や繰り返し地震 , および地震活動には卓越した活動周期が存在すると報告されている . 地震サイクルシミュレーションの高度化の一つとして , こういった地球・海洋潮汐などの周期的外力および単独の繰り返し間隔を持つアスぺリティの相互作用より生じる同期現象として , 地震サイクル計算に組み込むことを考える必要がある .

非線形科学分野で発展してきた同期理論の応用を考えて , まず序論として , 地震発生を模した 1 自由度のバネ・スライダークラスタからなる固着すべり振動子への周期的外力の応答を調べた . 底面に速度状態依存摩擦則に従う摩擦力が働くブロックにバネを付けローディング速度  $V_{pl}$  で引っ張る系に周期的外力が加わる状態 ( 図 4-1 ) を考える . まず , 摩擦条件とバネ定数を調整して , 固着すべり振動子 ( 固着とすべりを繰り返し , すべりの繰り返し間隔が  $T_0$  ( 自然周期 ) となる系を設定する . そこに図 4-1 のように振幅  $E$  で周期  $T_e$  となる外力を加える . 例として ,  $T_0=112$  年 , サイクル中の応力降下 ( 6MPa ) の生じる固着すべり振動子に ,  $1/10E$  の振幅で ,  $T_e$  を 1 年刻みで  $T_0 - 110$  年から  $T_0+125$  年の変化させて周期的外力を加えて , 系の応答すなわち繰り返し間隔  $T_c$  を調べた . 図 4-2 に横軸に  $T_e-T_0$  , 縦軸に  $T_c-T_0$  の平均 ( 丸印 ) とその分散を  $T_c$  ( バー ) をプロットしている .  $T_c:T_e$  が  $m:n$  (  $m,n$  は互いに素の整数 ) となるように系の周期がシフトして同期する現象 ( この場合分散がゼロとある ) ,  $m:n$  同期現象が生じている . この同期は  $1/100E$  の大きさを振幅を持つ外力でも生じる . このことから , 地球・海洋潮汐が引き起こす応力レベルは数  $k$  Pa 程度なので , 数  $10 \sim 100$   $k$  Pa 程度の応力変化を伴う SSE では同期現象が生じる可能性がある .

- ( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) : 国際学会における発表 Shimizu , H. , Y. Kaneko and K. Hirahara , 2D Fully Dynamic SEM Earthquake Cycle Simulation for In-Plane Shear Fault , IUGG General Assembly , IUGG-4807 , Prague , Czech , 2015.

国内学会・シンポジウム等における発表清水宏幸・Kaneko Yoshihiro・平原和朗，スペクトル要素法を用いた動的効果を含む2次元 in-plane 地震サイクルシミュレーション手法の開発，日本地球惑星科学連合 2015 年大会，SSS30-02，2015. 平原和朗，固着すべり振動子の周期外力への応答 - 悪魔の階段 - ，日本地震学会 2015 年秋季大会，S08-33，2015.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要：

SEM2 次元動的・準動的地震サイクルコードの開発を継続する．また周期的外力への応答を考慮した地震サイクルシミュレーション法の開発を行なう．

( 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

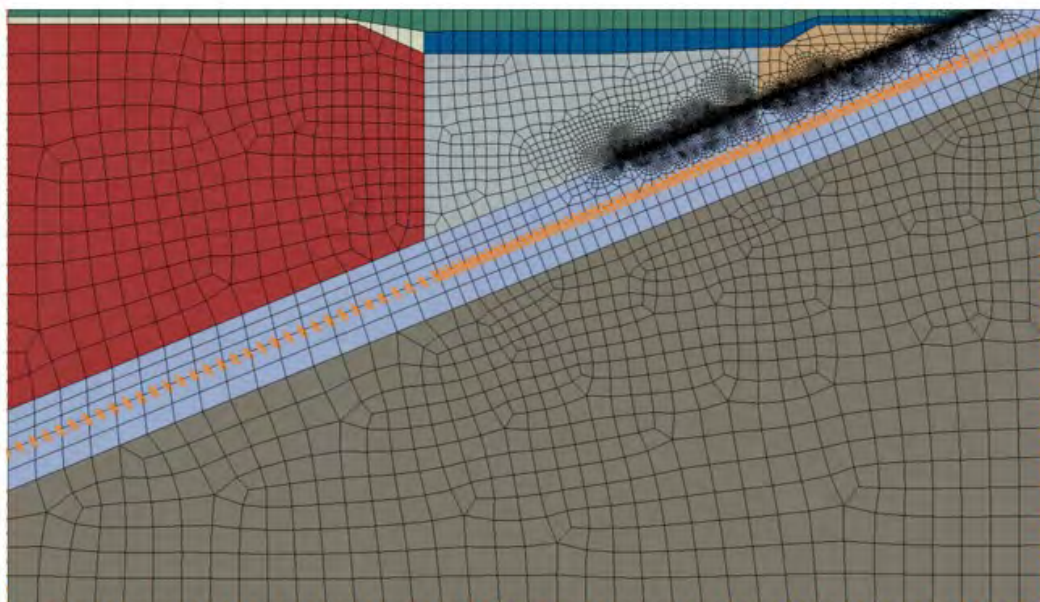
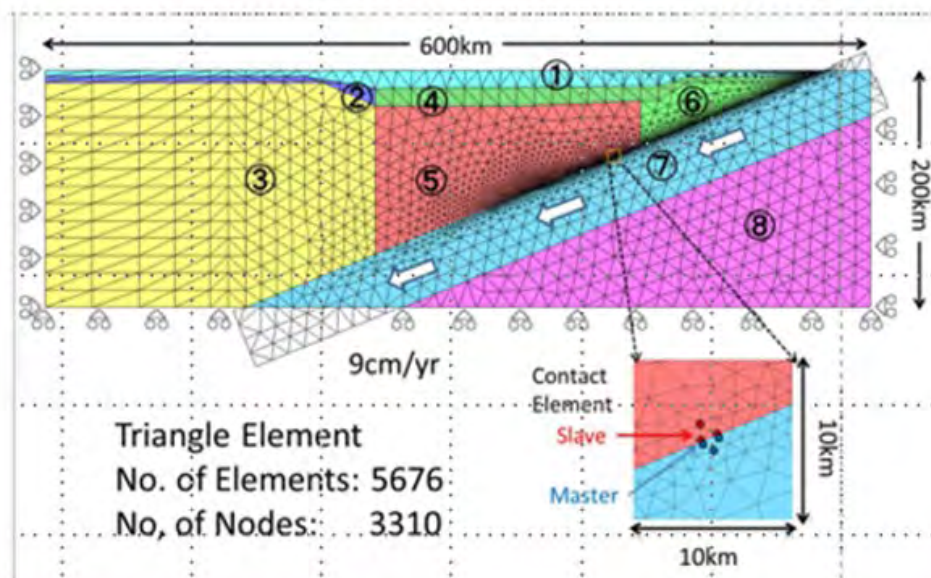


図 1-1

上図：2次元 ABQUS メッシュ図（従来モデル）1 上部地殻，7 太平洋スラブ：弾性，他の領域は粘弾性．プレート境界では，速度状態依存摩擦則に従う摩擦が働き，深さ 5-45km で速度弱化，0-5km および 45-100km で速度強化摩擦特性を与えている．

下図：速度状態依存の摩擦則に従うプレート境界要素を 500m にした詳細モデル

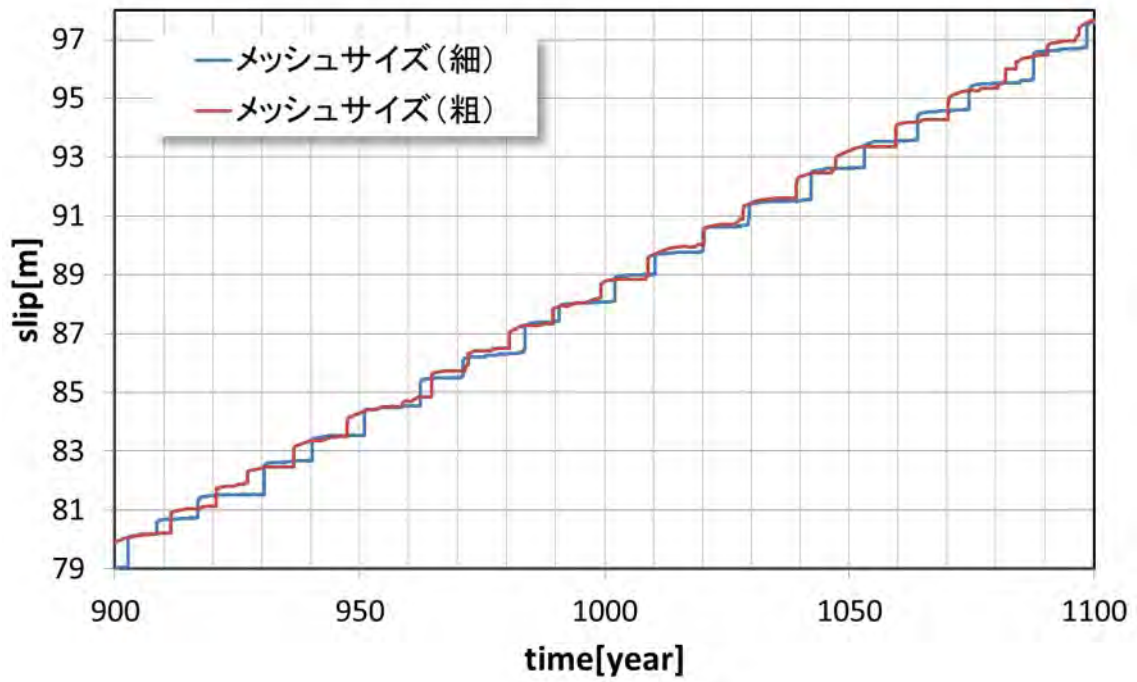


図 1-2  
メッシュサイズを変えたときの、深さ 40km 付近の節点における積算すべり量の比較

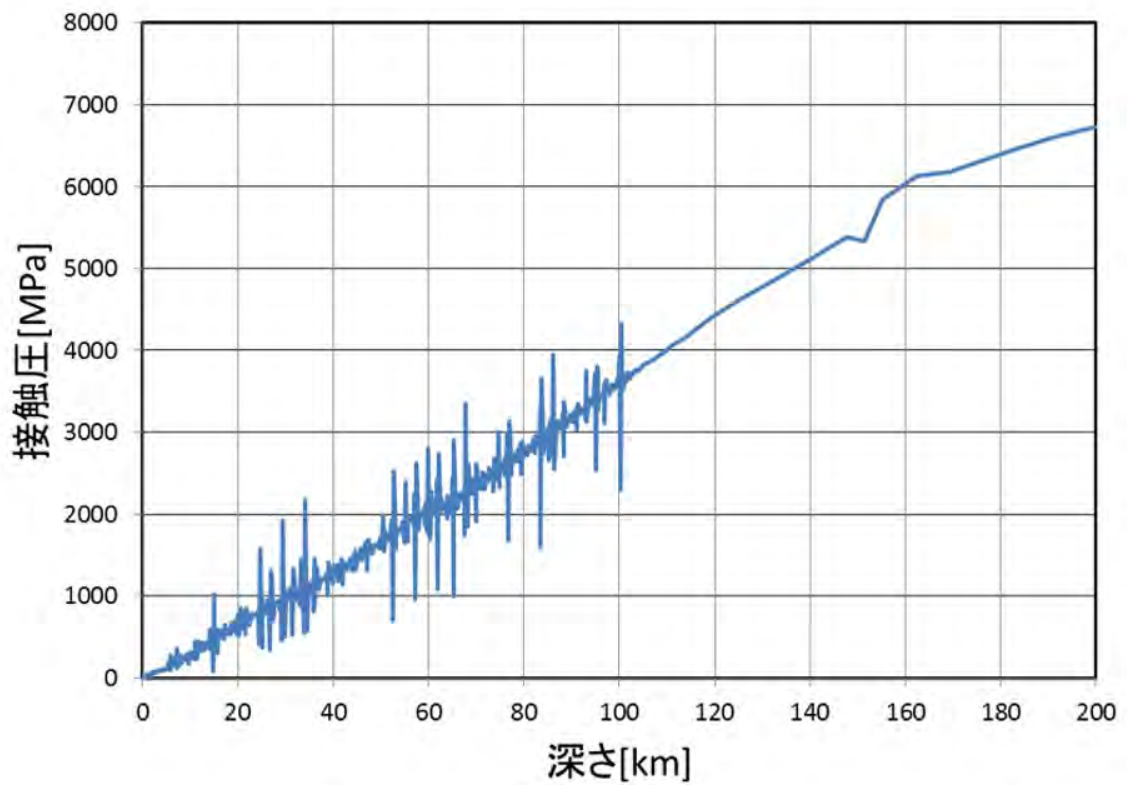


図 1-3  
自重による初期接触圧（法線応力）分布

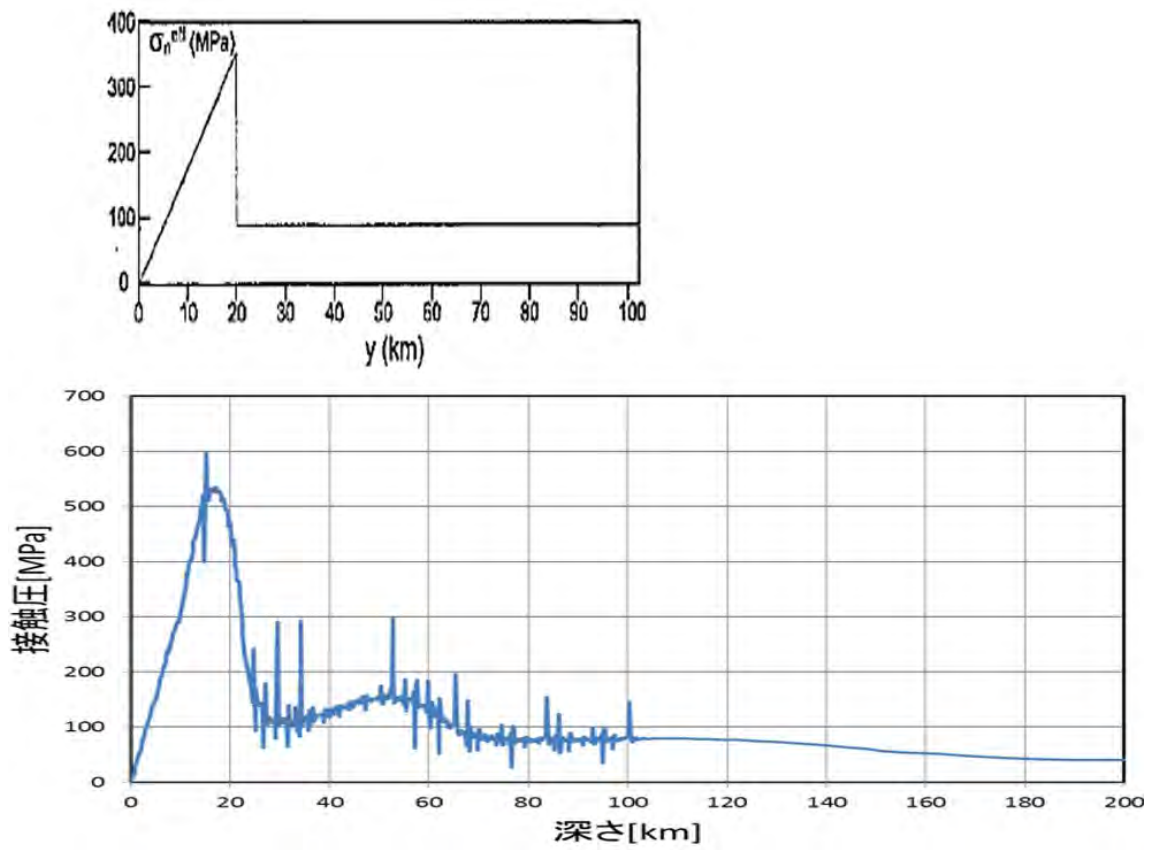


図 1-4  
Kato and Yoshida(2011) による有効法線分布 (上図) と自重を調節して再現した接触圧分布 (下図)

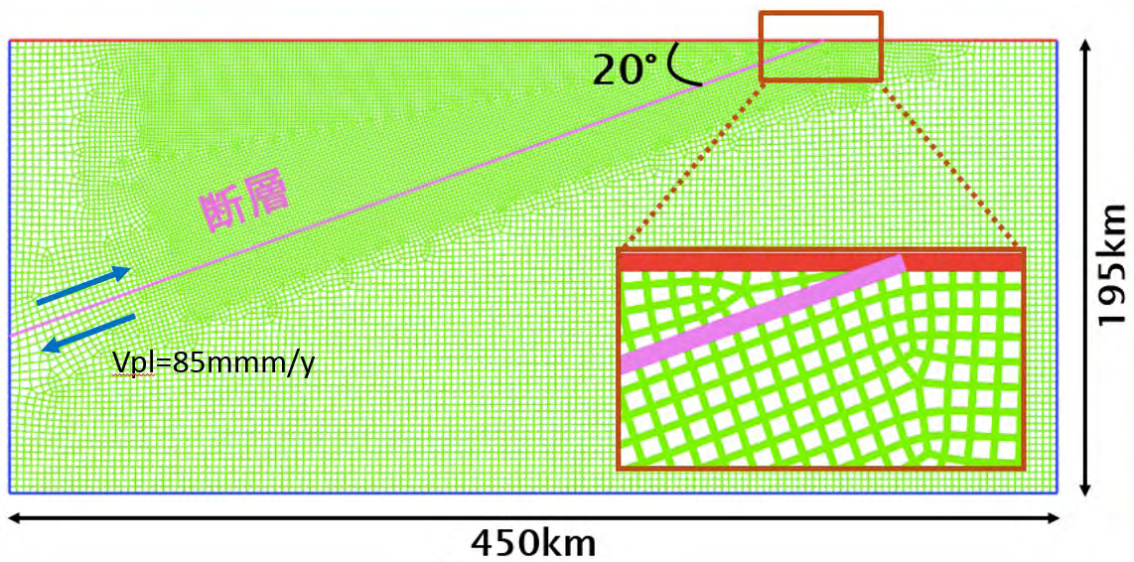


図 2-1  
Kato and Yoshida(2011) による有効法線分布 (上図) と自重を調節して再現した接触圧分布 (下図)

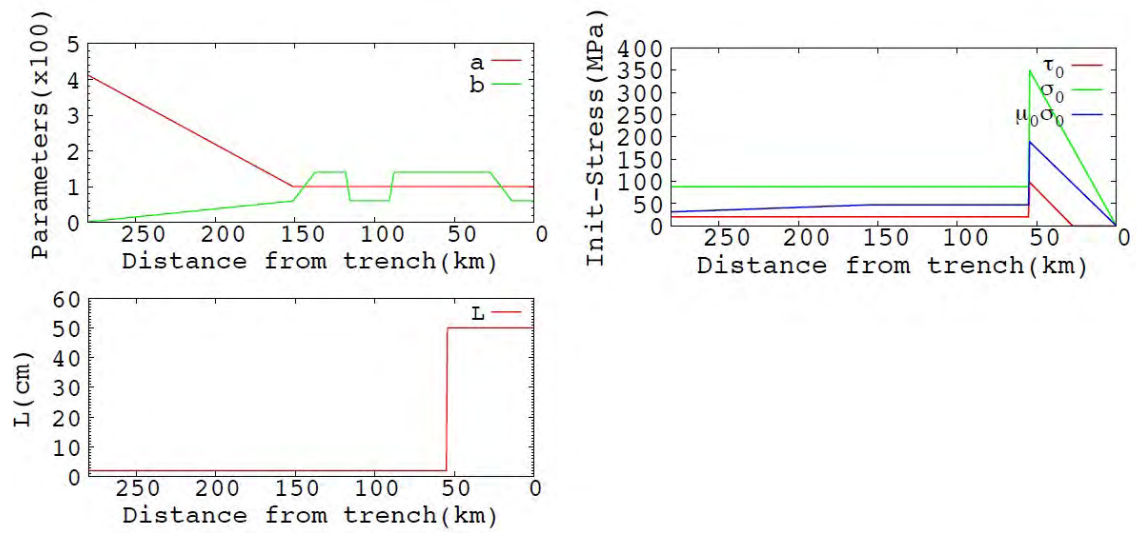


図 2-2

Kato and Yoshida(2011) を参考にして作成した速度状態依存摩擦パラメータ  $a$  ,  $b$  ,  $L$  および初期有効法線応力  $\sigma_0$  他 (Shimizu , 2015)

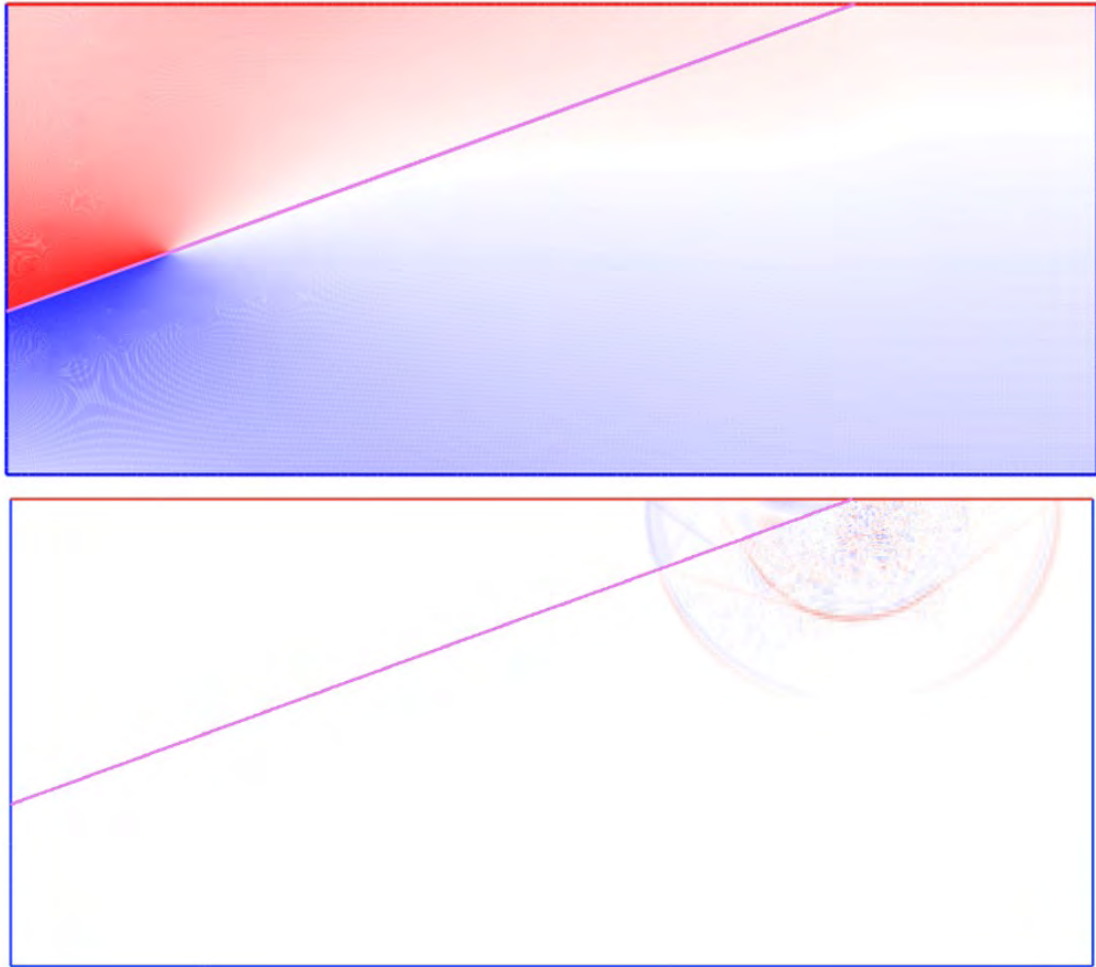


図 2-3

上図：最初の準動的段階の x 方向の変位速度分布

赤は正，青は負の向きの速度，最大値は  $0.5V_{pl}$  .

下図：シミュレーション開始後約 2.5 年後における x 方向の変位速度分布

準動的・動的計算を繰り返し，海溝から発生する振動が見られる



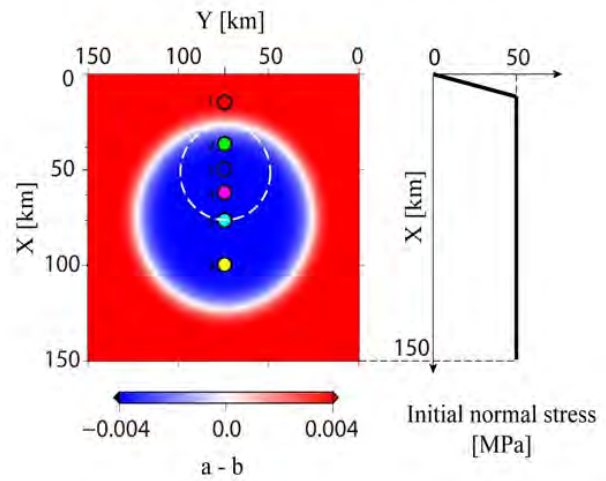
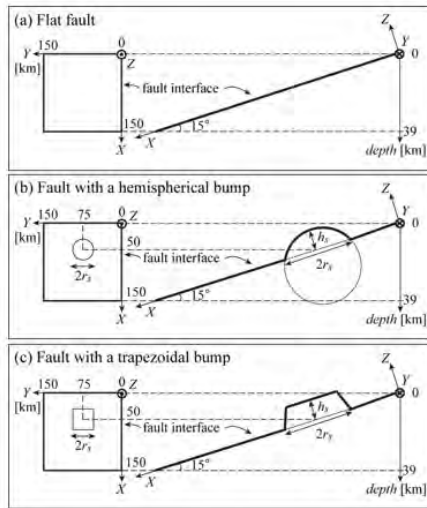


図 3-1

左図：プレート境界形状の表現．(a) フラットなプレート境界，(b) 球状の一部で模した海山 ( c ) 台形の形で模した海山 (b), (c) で凸部高さ  $h_s$ ，円の半径  $r_s$ )

右図：摩擦パラメータ  $a-b$  の分布と初期法線応力の深度分布．1 - 6 の番号のついた色の付いた丸印は，図 3-2 に示す地震サイクル中のすべり速度と積算すべり量を計算した位置を示す．

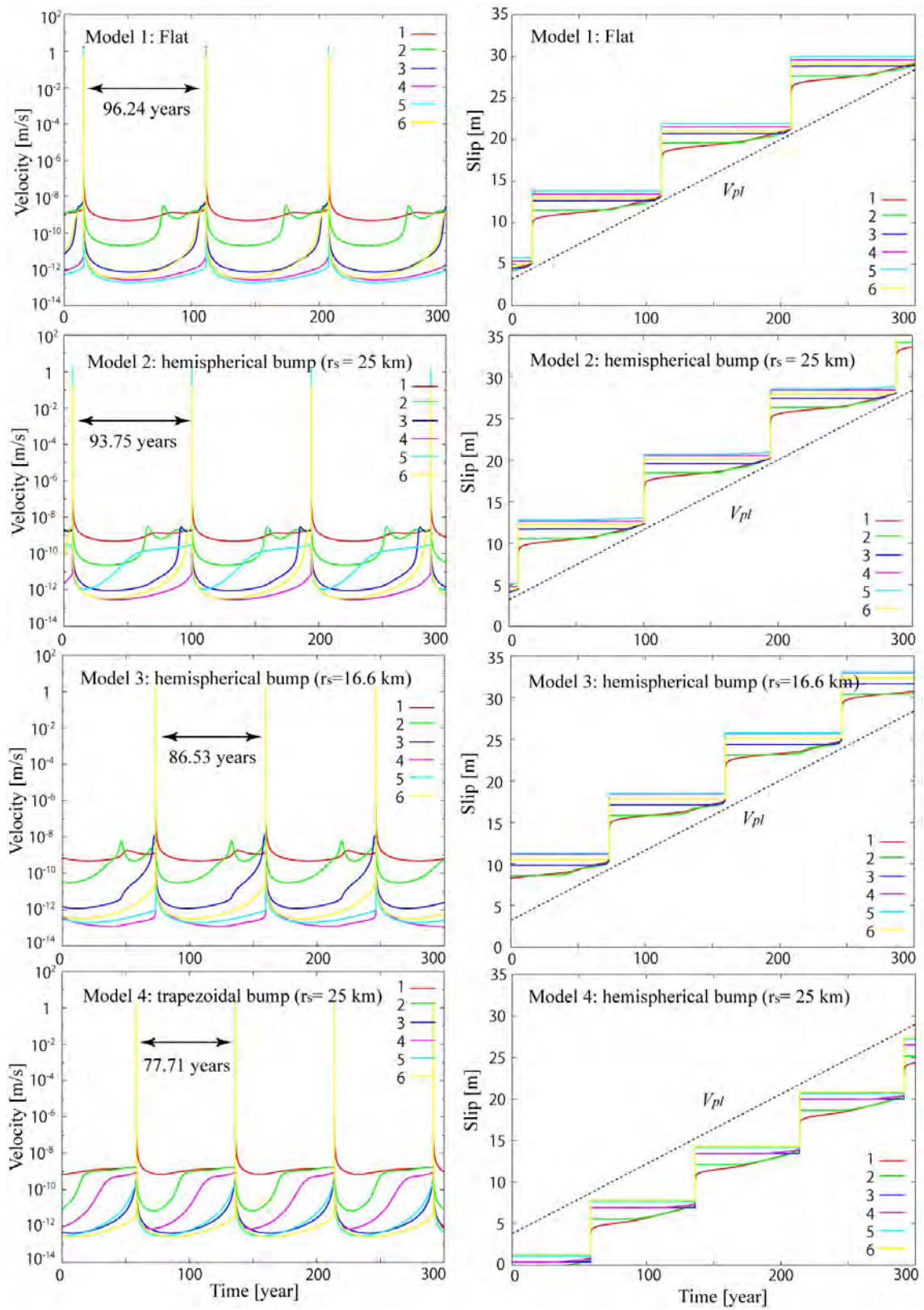


図 3-2

各モデルに対する図 3-1 右図の 1-6 の場所におけるすべり速度と積算すべり量の時間変化 (Ohatani, 2015)

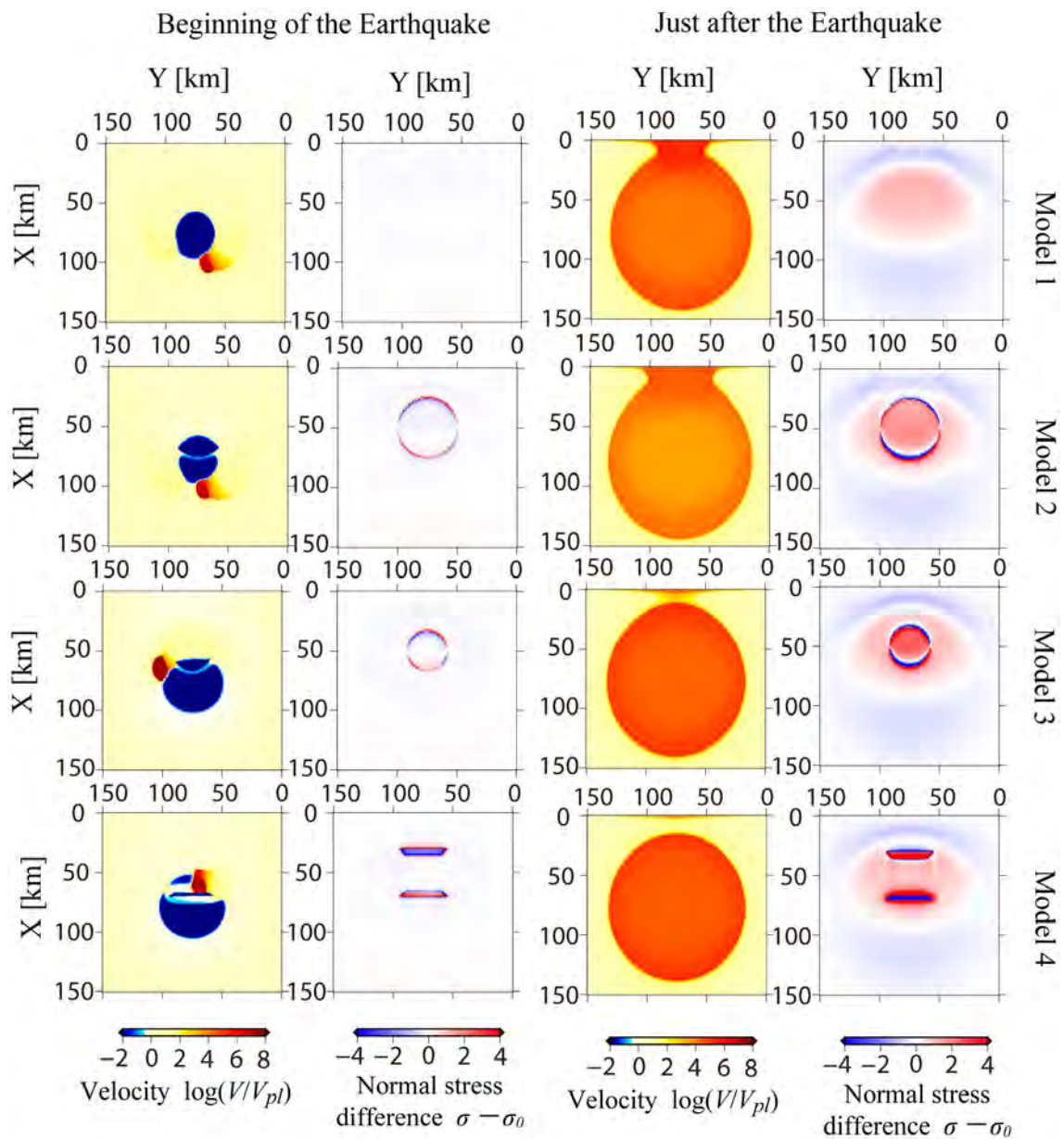


図 3-3

各モデルに対する図 3-1 右図の 1-6 の場所におけるすべり速度と積算すべりり量の時間変化 (Ohatani, 2015)

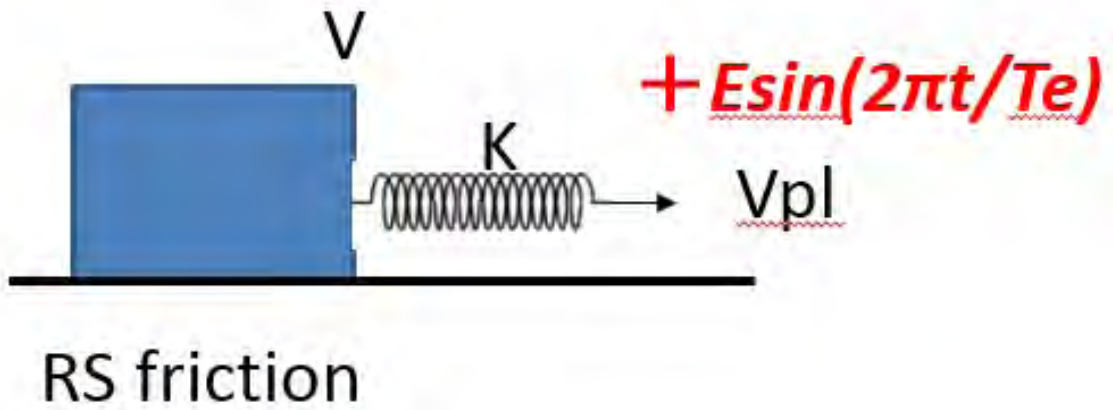


図 4-1

底面に速度状態依存摩擦則 (RSF) が働くバネブロックを速度  $V_{pl}$  で引っ張る系に振幅  $E$  , 周期  $T_e$  の外力を加える .

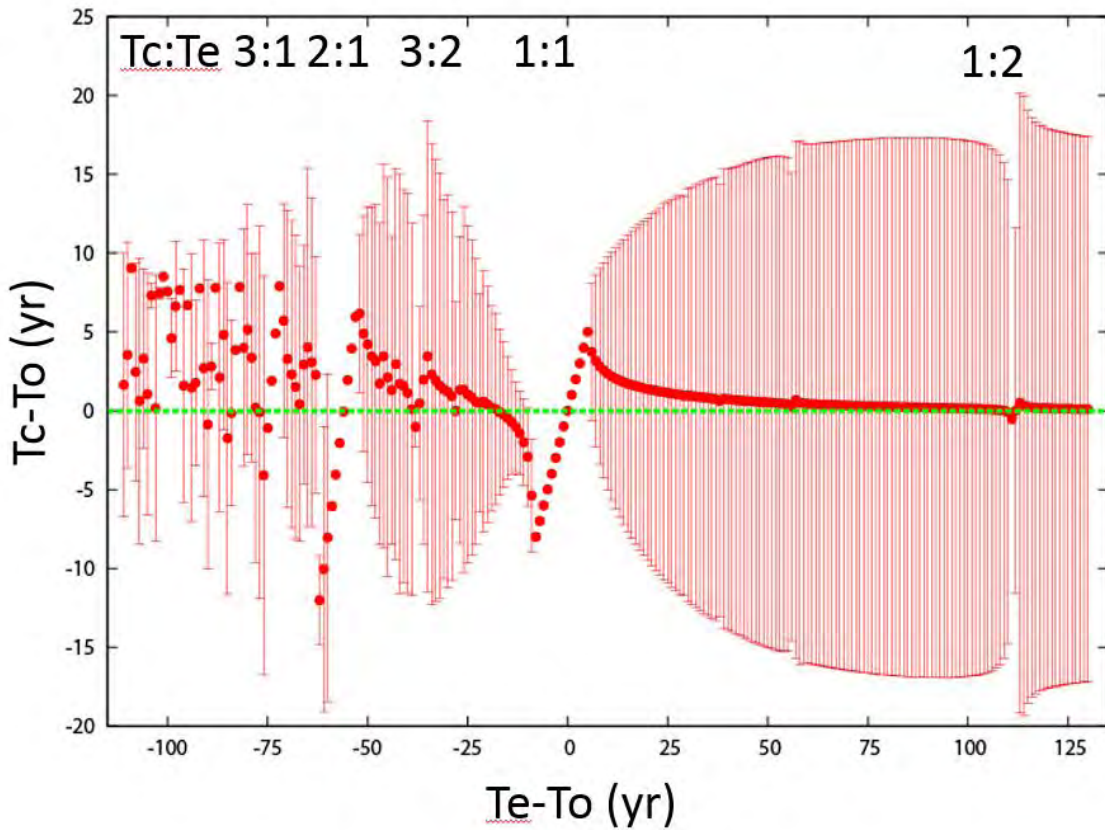


図 4-2

自然周期  $T_0 (=112 \text{ 年})$  となる固着すべり振動子の周期 ( $T_e$ ) を持つ外力を加えた時の計算された繰り返し間隔 ( $T_c$ ) の平均と分散 . 分散のない  $T_c$  は  $T_c:T_e=m:n$  となる  $m:n$  同期を示す .

( 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：

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

(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

( 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、有人機へり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27年度の成果の概要：

2015年5月29日に口永良部島の新岳火口において火山噴火が発生し、我が国の火山において初めての特別警報（噴火警戒レベル5）が発表され、島外への避難が行われた。また、阿蘇火山では2015年9月14日に爆発的な水蒸気噴火が発生し、我が国の火山において初めての噴火速報が発表された。一方御嶽山では、目立った火山活動は無く、平成27年6月26日に噴火警戒レベルが3から2に引き下げられた。以下に各火山における成果の概要を述べる。

#### 御嶽山

2014年噴火後の10月15日～17日に測量した御嶽山東山麓の水準路線を2015年4月21日～24日に再測した。この時の測量は屋敷野路線(16?)、御岳ロープウェイ路線(8?)および木曾温泉路線(7?)である(図1a)。噴火後の半年間における上下変動として、御嶽山山頂南東側約20?の上松を不動点として、御岳ロープウェイ路線・屋敷野路線で約4?の隆起が検出された(図1b)。2014年噴火をはさむ2009-2014年の測量結果が屋敷野路線・木曾温泉路線において約10?の沈降であるのに対し、噴火後半年間では概してわずかな山頂方向の隆起となり、今後の活動推移を予測する上で重要な結果が得られた。

また、2006年～2014年の水準測量データを用い、2014年噴火に至る噴火準備過程の解明を試みた。その結果、2006年以降は山頂方向の隆起を示す変動パターンであることが明らかとなった(図2)。この隆起は2007年の小噴火後も沈降に転ずることはなく、2009年まで継続している。短い区間の測量ではあるが、2013年の測量結果からもこの隆起が2013年まで継続していたことが示唆される。そして、2014年噴火をはさむ2009-2014年の測量では、山頂方向の沈降が検出された。

沈降の期間(2009-2014)と隆起の期間(2006-2009)において、それぞれ圧力源モデルを推定した。2014年噴火をはさむ沈降の期間の圧力源モデルとして、収縮する山頂直下の浅いシル状のクラックが推定された。また噴火前の隆起の期間のモデルとして、山頂直下の浅いシル状クラックと、その下の深いダイク状クラックの開口が推定された。上下変動の時間変化と圧力源モデルから、以下のような火山活動の推移が示唆される。2006年に山頂直下へのマグマ貫入が発生し山頂直下の浅いシルと深いダイク状のクラックが開口し、2007年噴火が発生した。しかし2007年噴火後もマグマ供給は継続し2014年噴火が発生した。2014年噴火後、浅いシル状のクラックは収縮に転じた。

地震活動については、御嶽山2014年噴火を挟む2014年8月31日～9月30日に山頂域で発生した地震について double difference 法による震源再決定を行い、南北に伸びた震源分布(図3)と噴火直前10分間の震源移動を見出した。これらの地震との matched filter 解析により更に多くの地震を検出し、火山構造性地震の活動ピークが9月11日であったこと、これに4日ほど遅れて低周波地震活動が活発化したこと、9月16日頃にかけてb値が上昇したことを明らかにした(図4)。また、噴火開始の25秒前に発生した超長周期地震の波形インバージョン解析を行い、火口直下の深さ600mにおける南北走向クラック解を得た。この走向は震源分布と整合的であり、既存弱面を用いた水蒸気上昇に伴う微小亀裂の開閉イベントの一つと解釈した。

GNSS観測については2014年9月の水蒸気噴火以降、名古屋大学の観測点強化を行った。図5(a)は、2016年2月現在でのオンラインのGNSS観測点(名大:緑色、東濃:黄色、GEONET:青色)を示しており、チャオスキー場(ciao)、飯森高原駅(iimr)、東大木曾天文台(ksao)、御嶽休暇村(ontk)で観測を行っている。これらの観測点では1cmを超えるような顕著な地殻変動時系列の変化は見られない(図5(b))。一方、今年度はオフライン観測として3箇所の連続GNSS観測(マイヤスキー場、三浦、松原スポーツ公園)を開始した。また、2015年7月には7箇所のキャンペーンGNSS観測を約1週間実施した。

御嶽山では2013年12月に国土交通省多治見砂防国道事務所が行っている火山の砂防調査の一環として、GREATEM法による空中探査が行われた。この探査により深度1km位までの1次元比抵抗構造が求められている。その結果によると、今回の噴火地直下の数百mの深さに層状の低比抵抗層が見られた。この層を帯水層と考えれば、その水が深部からの熱で高温になり、水蒸気爆発を引き起こす原因となった可能性が考えられる。

また、噴火後の地下温度状況の時間的変化を把握することを目的に、有人ヘリコプターを用いた繰り返し空中磁気観測を計画した。しかし、同火山の噴火警戒レベルが2以上に維持され、当該地域が飛行規制領域に設定されていたため調査を実施することが出来なかった。また、口永良部では有効だった小型無人ヘリも御嶽山の標高では使用不可能であった。こうした事態を受け、今年度の事業実施内容をドローン搭載用の小型磁場観測システムの構築に変更した。

今回の御嶽火山の場合と同様、噴火直後には安全性の観点から有人の空中観測を行う事は殆どの場合不可能である。そのような状況下で小型無人機(ドローン)を用いた空中磁気観測が可能となれば、

噴火直後の活動域地下の温度状態を明らかにすることが可能となり、噴火活動評価・予測などに対し極めて重要な情報を提供できる。そこで今年度、ドローンに搭載可能な小型且つ軽量の磁力計測システムの開発を行う事とし、現在までに Bartington 社製 Mag566 磁場三成分センサを用いた計測システムを構築した。また計4回のテスト観測から本システムがスタティックな磁気異常を観測するための精度を持つことが保証された。さらに実フィールドでのテスト観測として2016年3月に阿蘇火山の米塚で試験飛行を行う予定である。

口永良部島火山

2015年5月29日噴火前の諸観測

火山ガス

2014年8月3日の噴火直後の二酸化硫黄放出量は300トン/日に増加した(図6)。放出量はそれ以降も徐々に増加し、2014年11月末に急激に増え、1000~3000トン/日の状態が続いた。このレベルの二酸化硫黄放出量はマグマ性噴火が発生している桜島や阿蘇山と同等の噴出率である。その後この放出量は2015年5月に、二酸化硫黄放出量は300~700トン/日に減少し、明らかに2014年12月以降とは異なる状況を示した。この減少は火道上端部の閉塞に対応していた可能性がある。

地盤変動

2014年11月末の二酸化硫黄放出量の増加と同期して屋久島と口永良部島の間 GNSS 観測による基線長の短縮が始まった(国土地理院, 気象庁の連続観測)。また、2015年3月の島内山麓におけるGNSSキャンペーン観測では、新岳を中心とする放射状の変位ベクトルが得られており、屋久島と口永良部島の間基線長の短縮は口永良部島の新岳を中心とする膨張と解釈できる。また、2015年3月に行った新岳西山麓の水準測量では、2014年8月に比べ火山口側隆起の上下変動が検出されたことも口永良部島の山体の隆起・膨張を裏付ける。2014年以前の地盤変動は新岳山頂において極めて大きい。山麓には顕著な変動はなかった。山麓において地盤変動が検出されたのは、1996年に地盤変動観測を開始して初めてのことであった。

地震活動

地盤変動と同期して、徐々に火山性地震発生回数も増加し、2015年1月24日には、最初の有感地震(震度1)が新岳西山麓の深さ5kmで発生した。そして、5月19日ごろからは新岳火山口近傍の地震計に観測されるような極微小地震が増加し、5月23日には新岳西山腹浅部を震源とする有感地震(震度3, M2.3)が発生した。5月23日の地震は1月24日の地震と同様に新岳西山麓に震央をもつが、震源深さが1kmと浅くなっている。

5月23日の有感地震発生以降も地震活動は高い状態が続き、火山構造性地震の多発から低周波地震やモノクロマティック地震への地震活動の推移が見られた。

以上のように、2015年5月29日の噴火は、2014年8月3日の噴火以降に、火山ガス放出量の増加、地盤変動、火山性地震活動の活発化などが段階的に進行する中で発生した。

噴火後の火山活動推移予測のための観測

京都大学防災研究所では、1996年に水準測量路線を島の西山麓に設置し、測量を繰り返してきたが、2015年7月29日および30日に、この路線の北部において水準測量の繰返し観測を実施した(路線南部については立ち入り禁止のため測量不可)。その結果、2015年3月4日・5日~7月29日・30日の期間には明瞭な地盤上下変動がなく、2014年以降に起こった新岳方向の地盤隆起は保持されている状態であることが明らかになった。

5月29日の噴火後の二酸化硫黄放出率の推移をとらえるため、トラバース測定を繰り返し実施した。簡易型トラバース装置を漁船に取り付け、口永良部島の周囲を航行してもらうことで、トラバース測定を実施した。5月29日噴火の直後は、4000トン/日と非常に高い放出率を示していた。噴火後1週間~1か月は800~1700トン/日のレベルで推移したが、噴火後50日以降は500トン/日のレベルに低下、さらに8月末現在では200トン/日レベルになっている。二酸化硫黄放出率は、噴火後着実に減少しており、2014年8月3日噴火前のレベル(数十トン/日)には戻っていないものの、8月3日噴火直後のレベルまで下がっており、現在の状況は、2014年12月から2015年5月の噴火前の火山ガス



放出状況とは大きく異なる。

さらに、東京大学地震研究所は、小型の無人ヘリを用いて新岳火口周辺に地震計を設置した。4月にも同様の計画で設置したが、5月29日の噴火で全点が被災した状態であった。完全なリアルタイムではないものの、携帯電話によりデータが10分以内に取得できるので検知力の上がった火山性地震観測により、火山活動の即時的評価が向上した。

5月29日の噴火後、それよりもやや小さい規模の噴火が6月18日に発生したものの火山活動にはさらに大規模な噴火に発展する兆候はない。GNSS観測や水準測量による地盤変動に大きな変化はなく、有感となるような火山構造性地震は発生していない。現在の火山活動状況を2014年12月から2015年5月29日の噴火が発生する直前1週間の状況と比較すると地盤変動はほぼ停止、火山ガスの放出量は著しく減少した状態にある。また、火山性地震の活動度は明らかに低い。噴火警戒レベルが5に上げられた直後の状態と比較すると、火山性地震は時々多発するものの、地盤変動と火山ガス放出量には変化がない。地盤変動がないことは5月29日以前に貫入したマグマの大半は依然として火山体内にあることを意味するが、それがすぐに噴火に結びつく段階にない。6月18日の噴火の1日前から火山性地震が多発しており、火山性地震観測は有効な火山活動状況の評価材料になりうる。6月18日の噴火では火砕流の痕跡は認められず、爆発地震記録は弾道岩塊を伴うブルカノ式噴火に近い。1931年以降の一連の噴火活動期の終わりに近い1933年12月に発生した七釜集落の災害は弾道岩塊によるものである。

火山性地震は発生し続けているもののその活動状態は2015年5月噴火の直後よりも低く、地盤変動は停止、火山ガスの放出量は減少した状態にあり、さらに大規模な噴火に発展する兆候はないと考えられる。

阿蘇火山

#### 噴出物調査

阿蘇火山中岳における2015年9月14日の爆発的噴火について、噴出物に関する現地調査を実施した。この噴火に伴う噴出物は、噴出形態から弾道堆積物、火砕密度流堆積物、降下火砕物の3つに分けられた。弾道放出された噴石は火口中心から500m程度の範囲に散在していた。噴石の中で最大のものは長径1.6mであったが、大部分は径10cm以下のものであった。火砕密度流堆積物は火口周辺の約2.3km<sup>2</sup>の範囲に広がっていたが、最大層厚は10cm以下と薄く、礫成分をほとんど含まない砂質のものであった。層厚分布から火砕密度流堆積物の量は5.7万トン程度と概算された。降下火砕物は砂～シルト質の淘汰の良い堆積物であり、現地では火口西方8km付近まで明瞭に認められた。降下火砕物の量は約2.7万トンであり、火砕密度流堆積物と合わせると、この噴火による総噴出物量は8.4万トン程度と見積もることができた。

#### 電磁気

2015年9月及び10月に発生したマグマ水蒸気噴火の噴石により地磁気連続観測点のいくつかがダメージを受けた。しかし、火口の北側のN1、西側のC1および南西のW1(N1およびW1は衛星および携帯テレメータ、C1は現地収録)で計測を継続しており、火口の地下を中心とした地磁気変化を捉えられる観測体制を維持している。2015年9月、10月のマグマ水蒸気噴火に先行した顕著な地磁気変化は捉えられなかった。これは2014年11月のマグマ噴火開始前の地磁気変化とは大きく異なるものであり火口直下浅部の状態が噴火形式に影響を及ぼしている可能性もあり、今後の精査が必要であろう。2015年10月の噴火以降、それまで続いていた緩やかな消磁(地下温度上昇)のセンスが、僅かに帯磁(地下温度低下)のセンスに変わっているように見える(図7)。10月の噴火以降、火口底に湯だまりが一部復活したことから少なくとも浅部において地下水が火口の中心まで浸透し温度が低下していることが示唆される。

また今年度、地磁気観測データの解析手法の改良に取り組んだ。従来は、火口近傍のプロトン観測点と、火口から約7km離れた火山研究センターのプロトン磁力計のデータとの単純差により火山活動起因のトレンド的な地磁気変化を抽出していた。より高精度なトレンド抽出のためにFujii and Kanda (2008)の方法を応用した解析方法を用い、この方法を2014年11月の噴火前後のデータに適用した(図8)。

またその結果から等価磁気源解析を行い、磁場変化源(=熱源)の位置の時間的推移を明らかにした。今後この結果とその他の観測・解析結果を総合することで、この期間におけるマグマ移動についての重要な情報がもたらされることが期待される。

ACTIVEによる繰り返し観測については、2015年4月、及び8月に繰り返し観測を行った。この結果から得られたレスポンス曲線(地下の比抵抗分布についての情報を持つデータ1次処理結果)は、昨年度の2015年2月に行われた観測結果と殆ど変わらなかった(図9)。前述のようにこの時期の磁場変動の振幅は緩やかであり、大きな地下の温度状態の変化は認められない。ACTIVE観測の結果は、こうした事と対応するものであると考えられる。また今年度、ACTIVE観測より得られるデータを用いた火口地下比抵抗の時間変化を推定するためのソフトウェア開発をも行った。これにより3次元的なフォワード計算を行う事が可能になった。

#### 熱観測・空振観測

中岳第一火口内放熱量の繰り返し観測結果から、2015年5月に発生した50万m<sup>3</sup>の火口底陥没現象を契機に、火口南壁への熱供給経路の閉塞過程が進行し始めたことが示唆された。2014年11月からのマグマ噴火活動中にも変化の認められなかった南壁での熱活動は(放熱量1-2MW)、陥没現象を契機に、その後の半年間で0.2MWにまで縮退した。空振観測結果から、陥没現象の開始は141火口への土砂流入およびこれによる噴出現象で始まり、現象開始から3分ほど経過すると、火口底南側全体での崩壊現象へと進展し、これは5分ほどで完了したことが推定された。

#### 地震・地殻変動

阿蘇山火口周辺の広帯域地震観測網および短周期地震計アレイの維持を引き続き行い、火山活動に伴う各種の火山性微動の観測を行った。この結果、阿蘇山で断続的に観測されている長周期微動の卓越周期が、地表活動の活発化に従って明瞭に変化することを明らかにした(図10)。このような時間変化は、2014年11月および2015年9月の噴火にやや先行して見られ、1994年の広帯域地震計による観測開始以来では、最大規模の変化であった。また、同時に微動の発生回数や振幅も増大していた。これは浅部火道中の流体の温度・物性が活動に伴い変化し、火道壁における固液2相弾性カップリングによる境界波の伝播特性が変化したためと解釈出来る。このことは、水蒸気噴火・マグマ水蒸気噴火を引き起こす浅部流体のモニタリングを地震学的手法により連続的に行うことが出来、火山災害誘因の把握に有効である可能性を示す。また、長周期微動の周期の変化は、草千里下のマグマ溜まりをはさむGPS基線の変化と対応しており、マグマ溜まりの増圧により、火道へ流れ込む流体の温度・物性の変化が引き起こされていることが示唆される。

#### まとめ

- (9)平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Kato, A., T. Terakawa, Y. Yamanaka, Y. Maeda, S. Horikawa, K. Matsuhira, and T. Okuda, 2015, Preparatory and precursory processes leading up to the 2014 phreatic eruption of Mount Ontake, Japan, Earth Planets Space, 67, 111, doi:10.1186/s40623-015-0288-x. Maeda, Y., A. Kato, T. Terakawa, Y. Yamanaka, S. Horikawa, K. Matsuhira, and T. Okuda, 2015, Source mechanism of a VLP event immediately before the 2014 eruption of Mt. Ontake, Japan, Earth Planets Space, 67, 187, doi:10.1186/s40623-015-0358-0. Terakawa, T., A. Kato, Y. Yamanaka, Y. Maeda, S. Horikawa, K. Matsuhira, and T. Okuda, 2016, Monitoring eruption activity using temporal stress changes at mount ontake volcano, Nat. Commun., 7, 10797, doi:10.1038/ncomms10797. in press Murase, M., F. Kimata, Y. Yamanaka, S. Horikawa, K. Matsuhira, T. Matsushima, H. Mori, T. Ohkura, S. Yoshikawa, R. Miyajima, H. Inoue, T. Mishima, T. Sonoda, K. Uchida, K. Yamamoto, H. Nakamichi (2016), Preparatory process preceding the 2014 eruption of Mount Ontake volcano, Japan: insights from precise leveling measurements, Earth, Planets and Space, 68:9, DOI 10.1186/s40623-016-0386-4 横尾亮彦・宮縁育夫(2015) 口絵写真解説「2014年11月から始まった阿蘇火山中岳第一火口の噴火活動」。火山2, 60, 2 熊本大学教育学部(2016)阿蘇火山中岳2014~2015年噴火に伴う火山灰噴出量。火山噴火予知連絡会会報, 121, 印

刷中.

(10) 平成 28 年度実施計画の概要：

御嶽山では、屋敷野路線(16?)、木曾温泉路線(7?)、御岳ロープウェイ路線(8?)と、2015年4月に新設した御岳ロープウェイ路線3.1?、屋敷野路線1.7?の延長部分の再測量を2016年4月に行う予定である。2014年噴火をはさむ2009-2014年の水準測量結果が屋敷野路線・木曾温泉路線において約10?の収縮であるのに対し、噴火後半年間では概してわずかな山頂方向の隆起を示す結果となっている。2015年4月~2016年4月の変動を明らかにすることにより、2014年水蒸気噴火後のマグマの蓄積過程を議論する。

GNSS観測については、今年度オフライン観測を行っている3箇所の連続GNSS観測点のうちマイヤスキー場、松原スポーツ公園について、携帯電話の通信回線を用いたオンライン化を予定している。また今年度行ったキャンペーン観測を繰り返し行う予定である。

現在の磁場観測システムでは、繰り返し空中磁気観測から火山活動起因の僅少な磁場変化を捉えるには測定精度が不足している。そこで平成28年度は、磁場センサの姿勢制御方法及びデータ補正方法の検討・改良を行い、磁場観測システムの実用化を目指す。

口永良部島火山では、2014年および2015年の噴火により被災し中断している地震観測および全磁力観測の再開を目指すと共に、ポアホール型傾斜計による地盤変動観測を開始する。また、二酸化硫黄放出率のトラバース測定、GNSS観測、水準測量を継続する。

阿蘇火山では、来年度においても電磁気学的な観測を継続して行う。また火山活動状況の変化によらず継続してデータ取得可能な体制の構築を行う。特にACTIVEについて連続観測体制を構築し、テレメータによるデータ取得可能な体制の構築する。得られたデータの3次元インバージョンが可能なコードの開発を行う。磁場データ解析においては、今回用いた方法には解析期間中に比較的大きな変化が生じていなければ正しくトレンド抽出が行えないという問題があり、今年度手法の改良を行いこの問題を解決する事を目指す。

また、地震の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、長周期地震の物理プロセスに関する理論的研究を進めモデルの精緻化を進め、水蒸気噴火後の浅部熱水系の挙動を明らかにする。また、1990年代の水蒸気噴火活動後の広帯域地震観測記録との比較を進め、今後の活動推移の予測を行う。

そして、2015年9月14日噴出物の顕微鏡観察や化学分析など物質科学的な解析を進め、噴火推移等について検討する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

附属地球熱学研究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・加藤愛太郎・伊藤武男

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

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：0967-67-0022

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

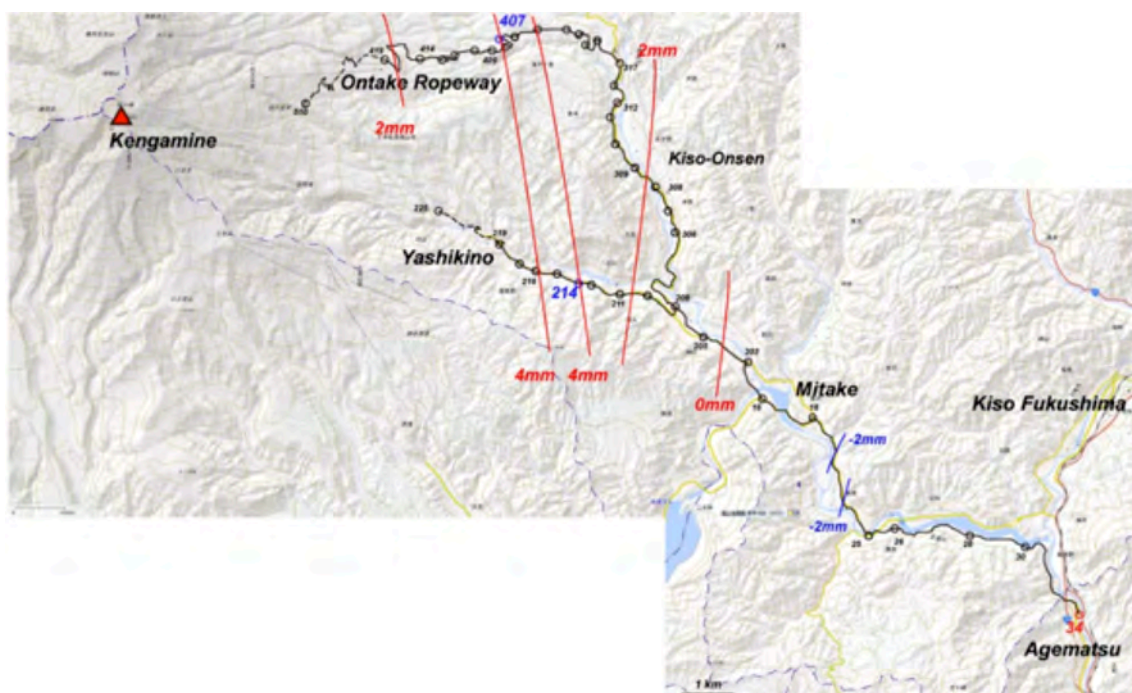


図 1a

御嶽山における水準測量路線

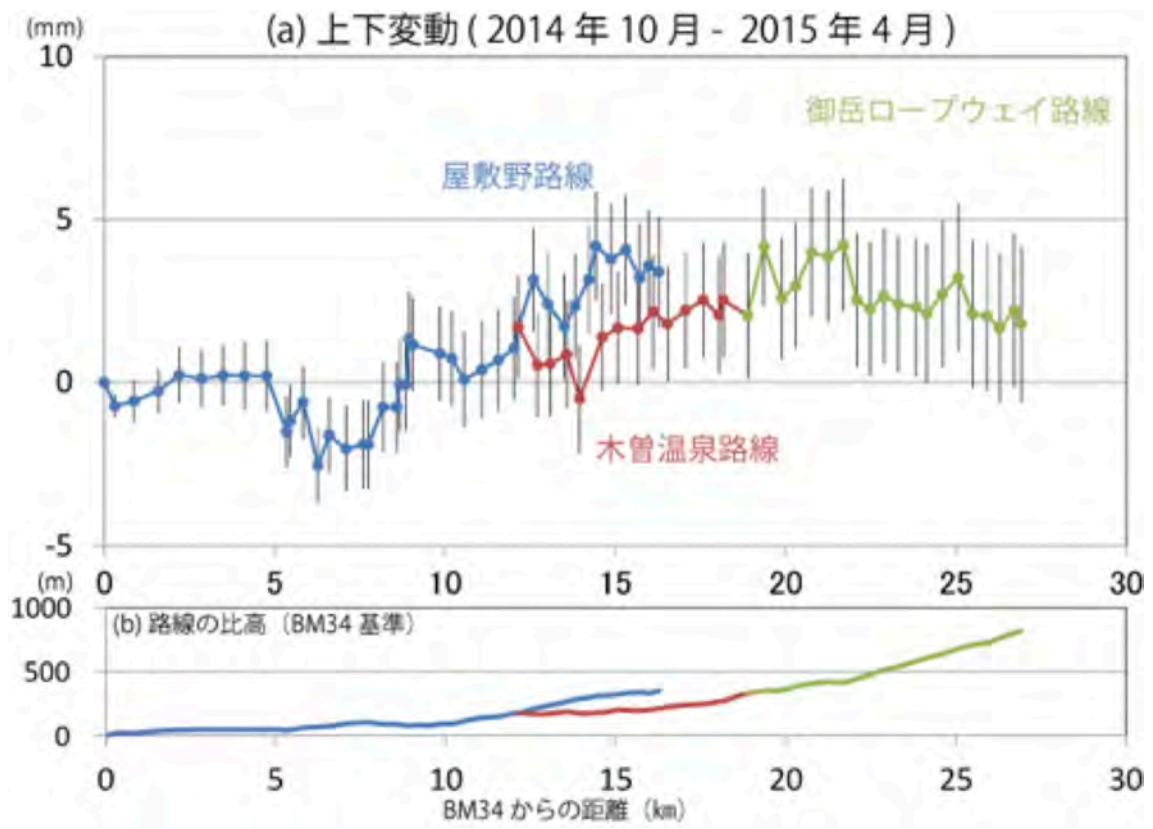


図 1b  
2014年10月 - 2015年4月の上下変動

### 観測期間毎の上下変動

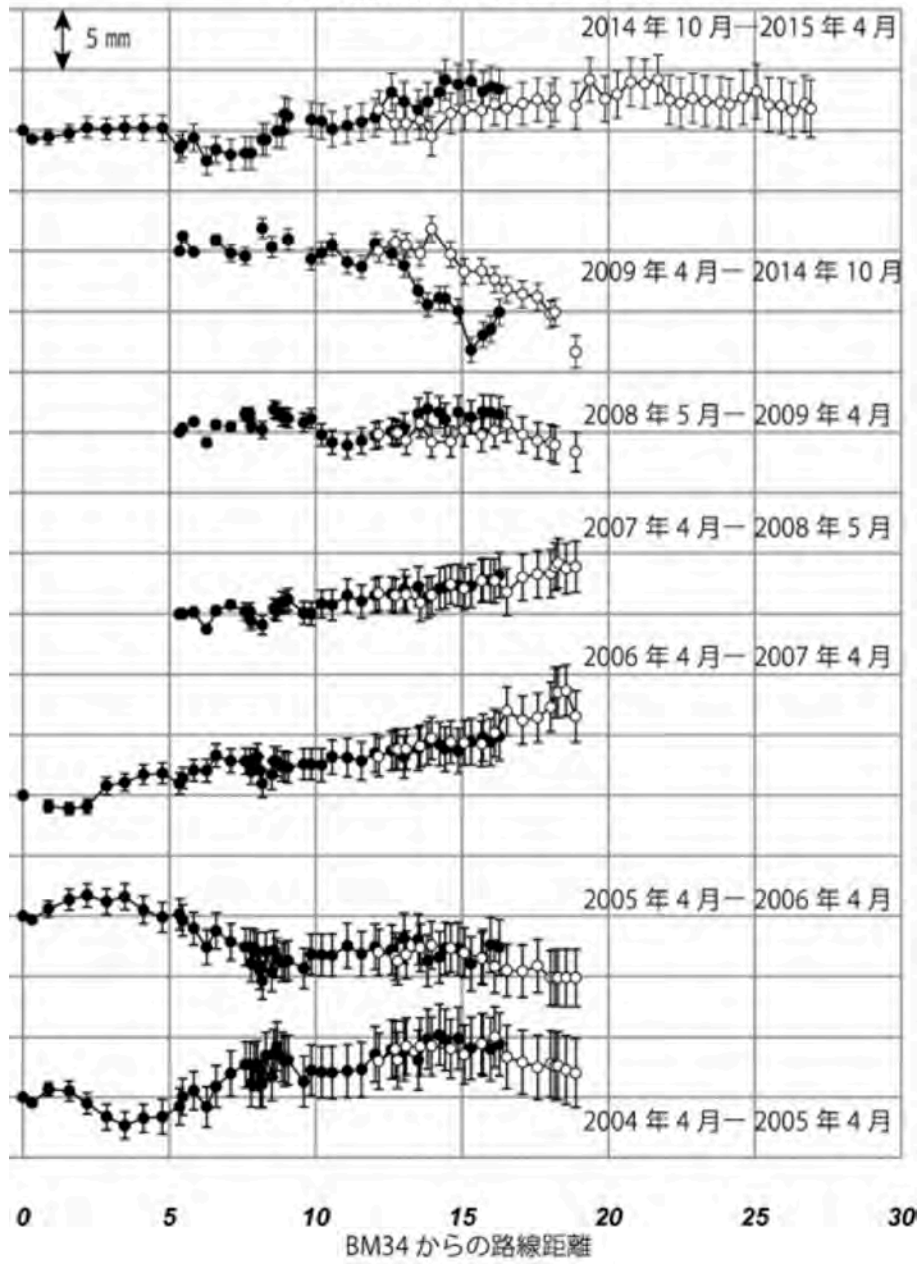


図 2  
2004年以降の観測毎の上下変動図

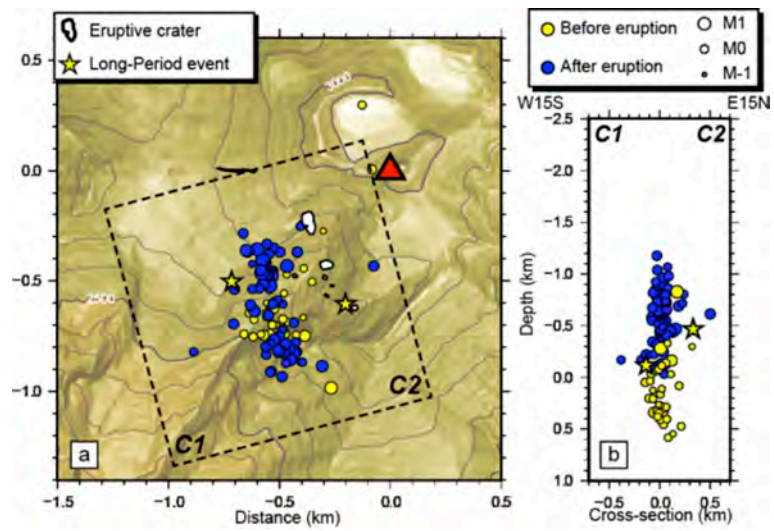


図 3

再決定された地震分布

(a) 震央分布 〇 は山頂，黄色の 〇 は噴火前の地震，青色の 〇 は噴火後の地震、星印は低周波地震を示す．白色に塗りつぶされた領域は火孔列（国土地理院）を示す．(b) 西南西 - 東北東方向の深さ断面

?

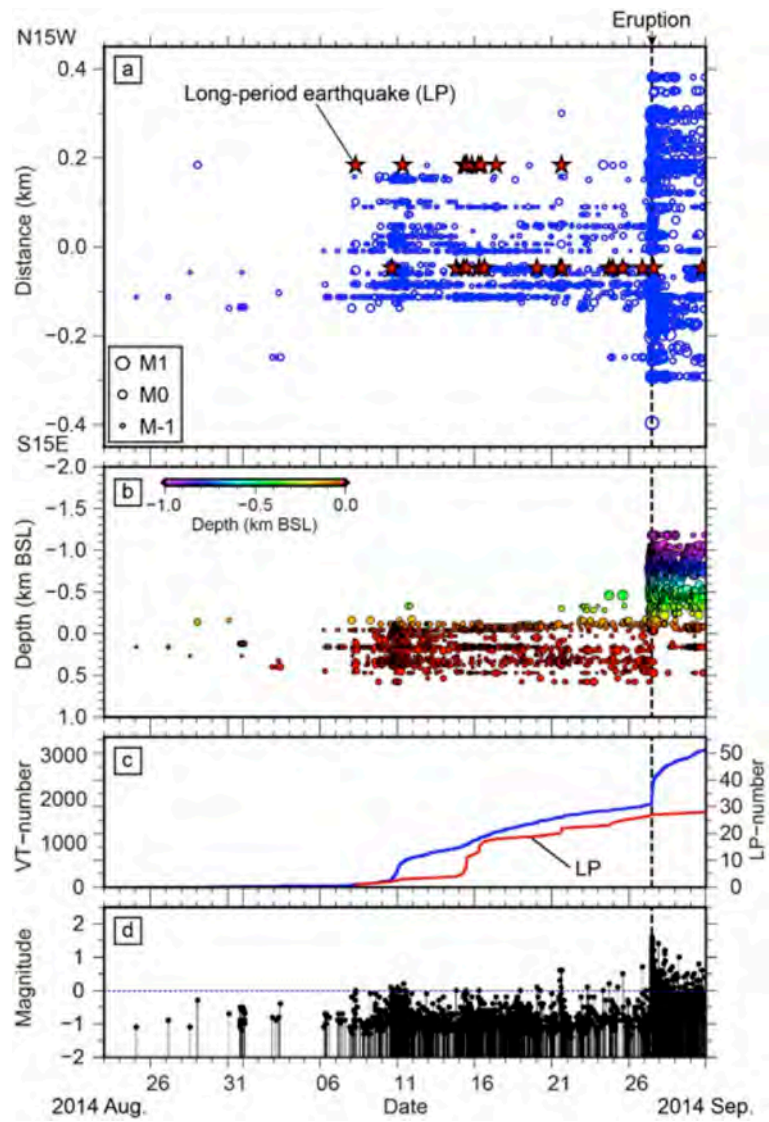


図 4

山体直下の地震の時空間発展図

(a) 北北西 - 南南東方向に投影した地震の時空間発展．縦軸に距離 (km)，横軸に日付を示す． は低周波地震を示す． の大きさはマグニチュードによってスケールされている．波線で噴火時刻を示す．(b) 地震の深さ変化．(c) 地震の積算個数の時間変化．青線と赤線が火山構造成地震と低周波地震に対応．(d) 地震のマグニチュードの時間変化．



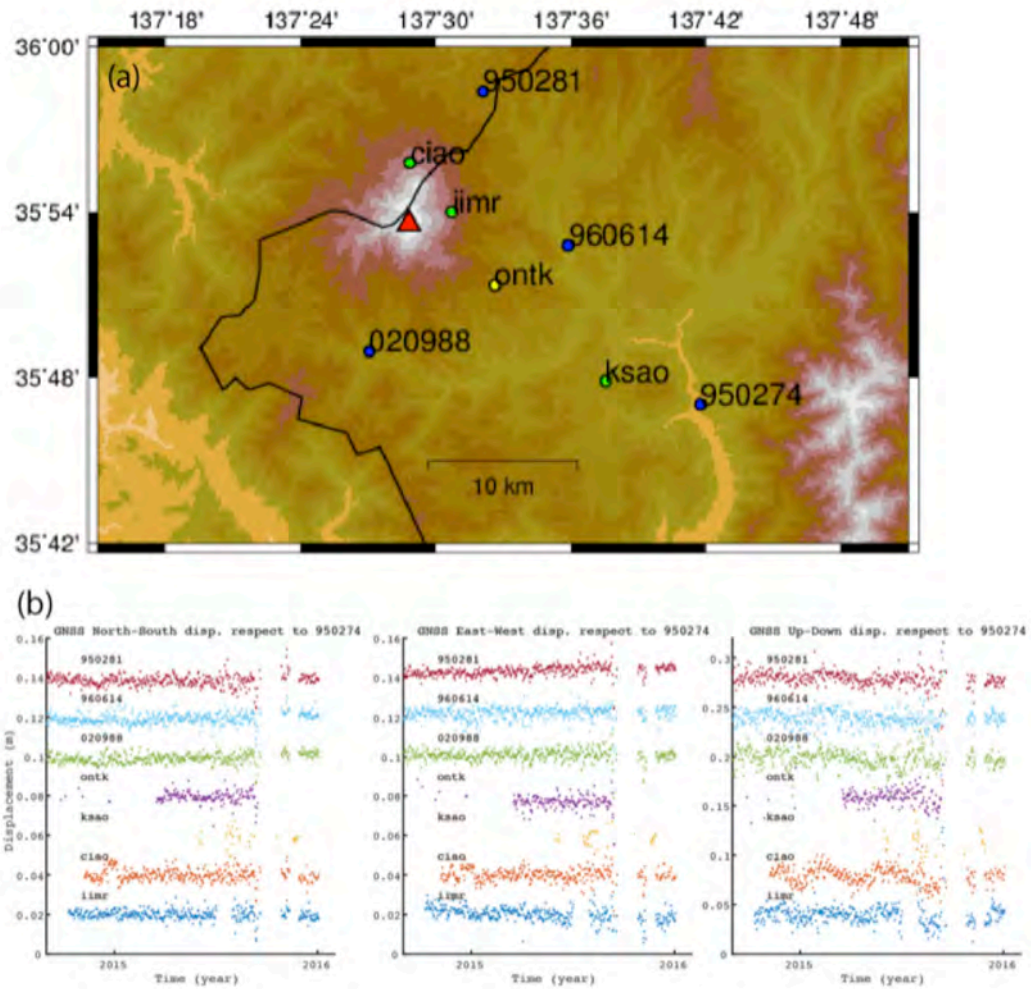


図 5

(a) オンラインの GNSS 観測点マップ．緑色：名大，黄色：東濃地震科学研究所，青色：GEONET (b) それぞれの観測点での地殻変動時系列を示している．基準点は上松 (950274) 観測点

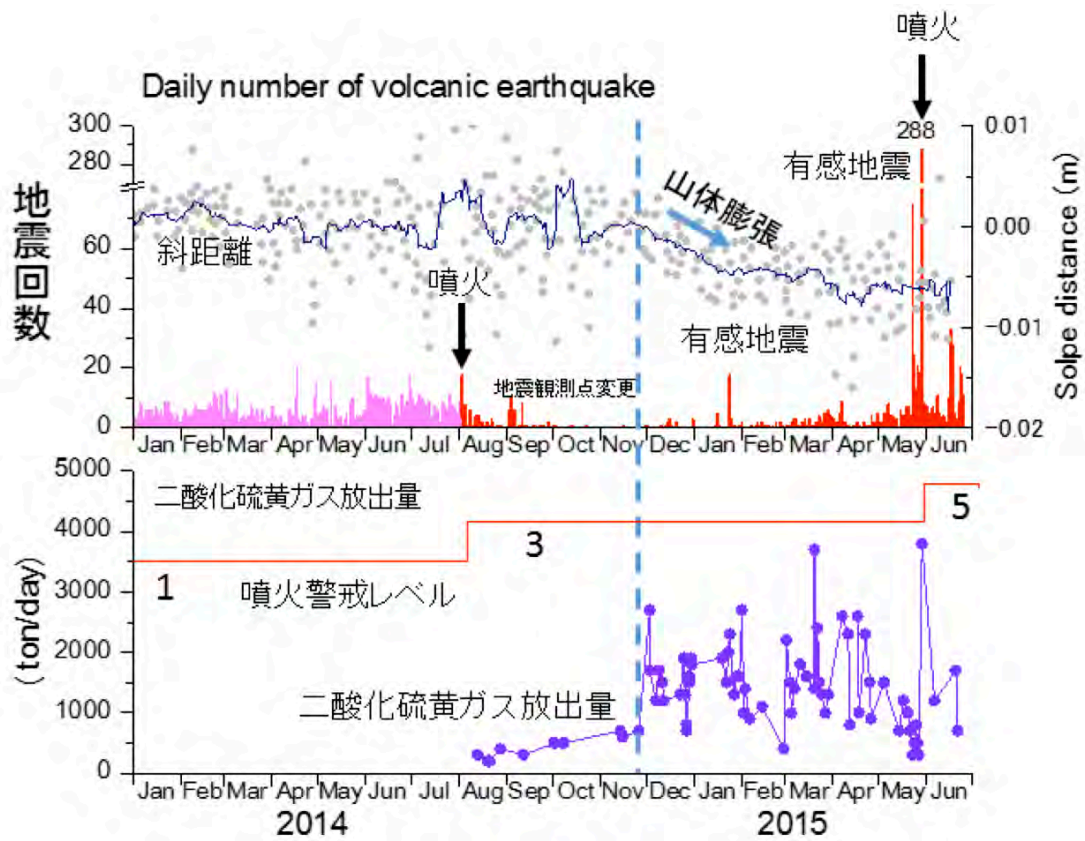


図 6

2014年8月噴火から2015年5月噴火までの火山活動のまとめ。上段:地震回数および地盤変動。2014年8月3日以前の日別地震回数は京都大学,それ以降は気象庁。斜距離は国土地理院の屋久島永田と気象庁口永良部島七釜観測点のGNSS観測による斜距離。下段:東大・京大及び気象庁による二酸化硫黄放出量。

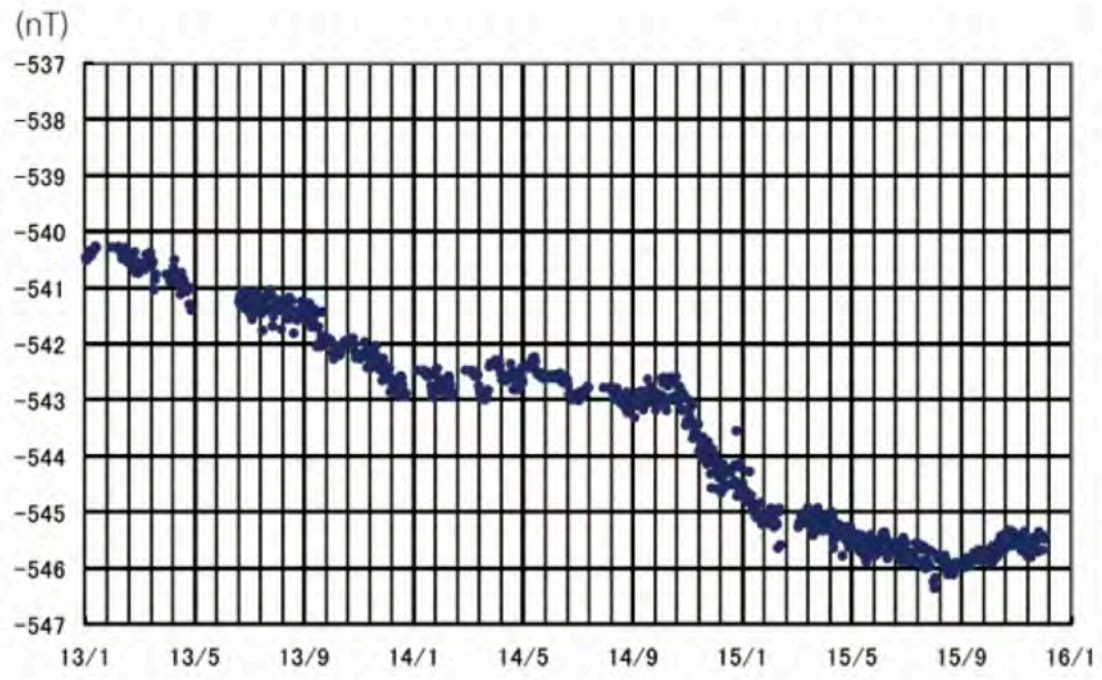


図7  
2013年1月～2015年12月までの地磁気変化(第一火口西のC1観測点)

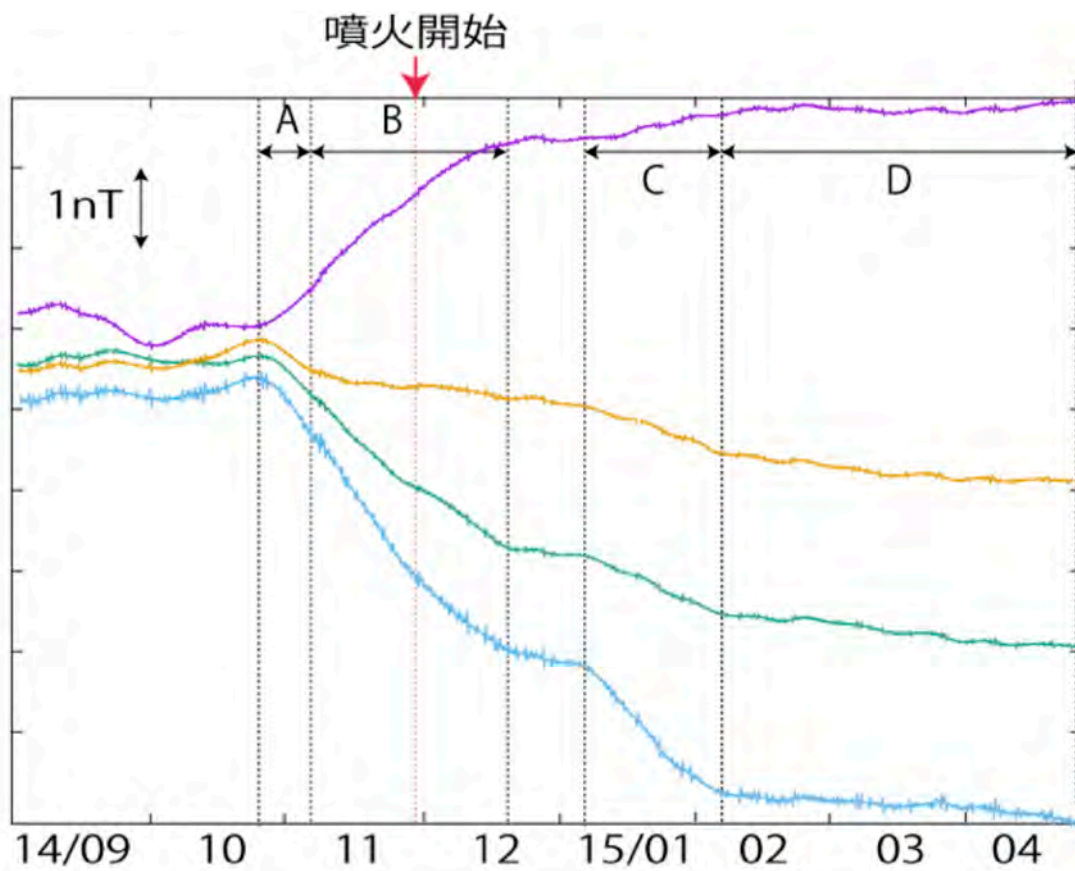


図8  
新たな解析手法から求められた中岳火口周辺の地磁気変化

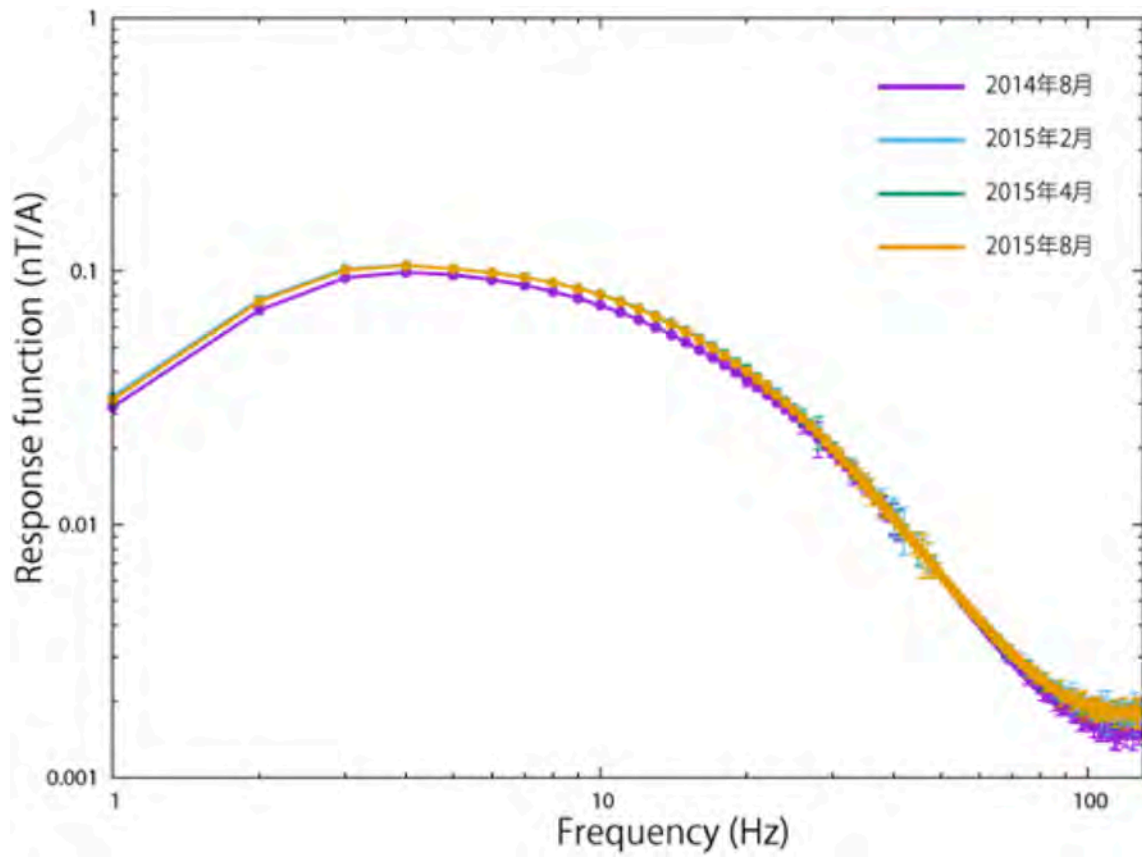


図9  
ACTIVE 観測から得られたレスポンス関数 ( 火口西の観測点 A01 )

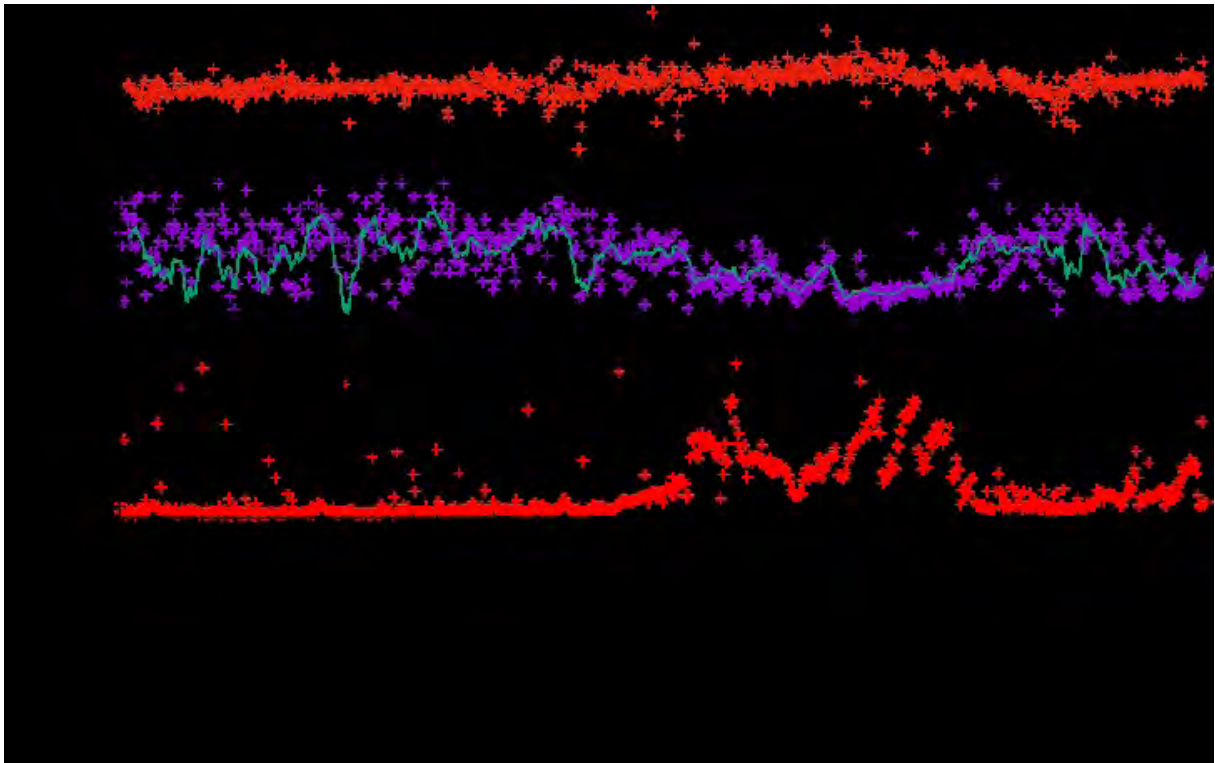


図 10

下から、阿蘇火山における長周期微動の発生回数、平均振幅、基本モードの周期。一番上が GPS 基線長変化 (2013 年 9 月 1 日から 2015 年 10 月 31 日まで)

( 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27年度の成果の概要:

1. 余効すべりに基づく摩擦パラメータの推定手法の実データへの適用

アジョイント法により速度・状態依存摩擦法則に基づく断層すべりのシミュレーションモデルの摩擦パラメータを推定する手法の開発および実データへの適用を行った。昨年度までに開発した推定手法では、摩擦パラメータが空間的に一様であると仮定されていた(Kano et al. 2013)。本年度は、摩擦パラメータが空間的に不均質である場合にも適用可能な手法に拡張し、2003年十勝沖地震後にGNSSで推定された地震後15日間の余効すべり速度に適用した。はじめに、推定の対象となる余効すべり発生域を60-100km四方程度の9つの領域に分割し、各小領域内では摩擦パラメータが一様である断層モデル(coarse-mesh model)を仮定した。このモデルに開発した手法を適用したところ、空間分割の恣意性に伴う不自然なすべり速度分布が推定された。そこで、摩擦パラメータが一様となる領域を30km四方に分割した新たな断層モデル(fine-mesh model)を構築した。この領域サイズはGNSSデータに基づくプレート境界面のすべり速度の空間分解能と同程度と考えられる。新たな断層モデルに対して推定した摩擦パラメータの空間分布を図1に示す。さらに得られた、摩擦パラメータの空間分布を用いて、その後15日間の余効すべりの時空間発展を予測した。予測された時空間発展を、実際に観

測データから推定されたすべり速度と比較すると、同化しない場合に比べて予測精度が向上することが分かった(図2)。また、fine-mesh model を用いた場合のすべり速度の予測が、coarse-mesh model を用いた場合に比べて大幅に改善されていることが分かった。

## 2. 余効すべりに基づく摩擦パラメータと初期条件の同時推定手法の開発

逐次データ同化により速度・状態依存摩擦法則に基づく断層すべりのシミュレーションモデルの摩擦パラメータと初期条件(シミュレーションの変数)を同時推定する手法の開発を昨年度に引き続き行った。昨年度は1自由度モデルの摩擦パラメータと初期条件を推定する手法を開発したが、今年度はこれを拡張し、三次元モデルに対する推定手法を確立することを目的として研究を実施した。この目的のために、まず、速度・状態依存摩擦法則に基づく断層すべりの三次元シミュレーションコードを作成した。次に、三次元モデルに対する摩擦パラメータ・初期条件推定手法の特性や問題点を明らかにするために、模擬観測データを用いた数値実験を行った。推定手法としては、昨年度の研究から適切であると考えられるアンサンブルカルマンフィルタ/スムーザ(EnKF)を用いた。数値実験では、シミュレーションで計算された余効すべりから地表観測点での変位時系列を計算し、これに観測ノイズを加えたものを擬似観測データとした。このデータにEnKFを適用し、すべり速度・状態変数の時間変化と3つの摩擦パラメータを同時推定した。アンサンブルメンバーの初期値をランダムに与えた場合など、初期値と真値の差が大きい場合、EnKFのシミュレーションの部分ですべり速度が極端に大きくなり、計算が不安定になることが分かった。一方、真値に小さな擾乱を与えてアンサンブルメンバーの初期値を作成した場合など、初期値と真値の差が小さい場合は安定してEnKFを実行することができた(図3)。この結果は、初期アンサンブルの作成方法についての検討が必要であることを示す。EnKFを実行できた場合、すべり速度・状態変数の確率分布の平均値は真値を良く再現していたが、摩擦パラメータの確率分布は真値と離れて推定された。この結果は摩擦パラメータとすべり速度・状態変数の間にトレードオフがあることを示唆しており、今後検討が必要である。

## 3. スロースリップイベントに対する摩擦パラメータと物理変数の同時推定手法の開発

前項で用いたアンサンブルカルマンフィルタによる同化手法をスロースリップイベント(SSE)に対して適用することを念頭においた数値実験を実施した。まず図4に示したモデル設定で、あらかじめ決めた摩擦パラメータの真値を用いて三次元のシミュレーションを行った。これを「真の結果」と呼ぶ。得られた結果から、断層面上のすべり速度、地表面のすべり速度を求め、これらを観測値としてデータ同化を実施した。サンプル数は以下のすべての実験において60個としている。

まず観測値として断層面のすべり速度を用い、観測点が断層面に一様にあるとして実験を行った(実験1)。摩擦パラメータは状態ベクトルに含め、ランダムウォークに従い確率論的に時間発展させた。データを同化して更新された状態から次の予測ステップに移ると、前項と同様に数値発散することがある。これを避けるため、予測分布の平均からの距離によってシステムノイズの振幅を小さくするという工夫を行ったところ、数値発散の問題はかなり抑えられた。その結果、図5のように、3回目のSSE発生中に摩擦パラメータが真の値に近づき、4回目のSSE以降もイベント中は真の値に近い推定値が得られた。また、イベント発生中のすべり速度と状態変数も真の結果とよく一致した。その一方、イベント終了後は直後に摩擦パラメータAの分散がやや大きくなることも確認された。次に、断層面上の観測点を、SSE発生域の中心を通り、走向方向に4kmごとに直線状に観測点がある場合に対して同様の実験を行ったところ(実験2)、実験1とほぼ同じ結果が得られた。

そこで次に地表面に、断層直上の範囲で観測点を配置し、そこでの変位速度を観測値として実験を行った(実験3)。その結果、実験1と同様の結果を得るためには8km×10kmごとに合計100点が必要で、かつ、その観測網で3回以上のSSEを観測することが必要であることが分かった。この結果から、豊後水道で発生している長期的SSEに適用できる可能性が示唆された。

## 4. 地震活動データに対するデータ同化手法適用の試み：時変分散を考慮したケーススタディ

本研究課題における計画の1つに、地震活動をデータとした摩擦パラメータ推定がある。その推定において、将来的に粒子フィルタなどによるデータ同化を行なう可能性を見据え、前段階として、逐次データ同化による、地震検知能力の時間変化推定を行った。また、この解析の試みは、ある地震力



タログにおいて、地震が完全に記録されているマグニチュード（いわゆる completeness magnitude）の推定の精密化にもなるため、地震活動データを用いた解析に寄与する。

推定の概要は以下の通りである。まず、Ogata & Katsura [1993, GJI] によって提案された、観測された全ての地震のマグニチュード（ $M$ ）が従う確率分布を考える。この確率分布は Gutenberg-Richter (GR) 則に対応する指数分布に、 $M$  を変数とする地震の検知率関数を掛け合わせたものである。検知率関数には、地震検知率が 50% となる  $M$  に対応するパラメータ  $\mu$  が含まれており、このパラメータの値の大小により、地震検知能力の良し悪しを定量的に表現することが出来る。そして、 $\mu$  の時間変化を、いわゆるベイズ平滑化で推定する。即ち、時間変化が滑らかになる拘束を掛けつつ、与えられたデータに合うようなものを推定結果とする。

ところで、通常のベイズ平滑化においては、滑らかさの拘束の重み（以下、 $w$ ）を時間一定と仮定して扱う（具体的な解析例は Iwata[2008, 2013, GJI] など）。しかし、求めたいパラメータ（ここでは  $\mu$ ）の時間変化が、局所的に急激なものであった場合などは、この仮定が妥当とは言えない。そこで、 $w$  にも時間変化を許し、その時間変化が滑らかになる拘束を掛ける、「時変分散モデル」による解析を行う。合わせて、「 $w$  が時間一定」とした従来手法による解析も行い、それらの結果の比較を行った。

ここでは、余震データに相当する人工地震カタログを用いた数値実験を行った。余震活動は大森・宇津公式に従うと仮定し、GR 則と合わせて、地震（余震）活動の発生時系列と各々の地震の  $M$  を生成する。 $\mu$  の時間変化  $\mu(t)$  は、Ogata & Katsura [2006, GRL] に基づき適当なものを仮定し、これと検知率関数における別のパラメータ  $w$  から計算した、各  $M$  における検知率に応じてランダムに地震を取り除いて（実際の地震カタログにおける欠測に相当）人工地震カタログを作成する。なお、解析期間は  $t=0$  から 10 とした。

300 例の人工地震カタログを作成し、上に述べたように「 $w$  が時間一定」( Model 1 ) と「 $w$  が時間変化」( Model 2、時変分散モデル ) の両方を適用し、 $\mu(t)$  の推定を行った。アルゴリズムには粒子フィルタを用いた。

図 6 上段に  $\mu(t)$  の推定結果を、図 6 下段に推定された  $\mu(t)$  と、人工カタログ生成時に仮定した  $\mu(t)$  ( 即ち、「正解」) との差を示す。Model 1 においては、解析期間全般に渡って、 $\mu(t)$  の推定に偏りが生じている（下段の緑の実線が 0 より大きな値を取り続けている）のに対し、Model 2 では  $t=2$  以降、ほぼ仮定した値に収束しており（下段の緑の実線が、ほぼ 0 より正しい推定が行われていることが示される。また、尤度に基づくモデル比較（図 7）においても、300 例中 295 例において Model 2 の方の尤度が大きく（よく）なっており、このことから、時変分散モデルに基づく推定が有効であることが分かる。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

Kano, M., S. Miyazaki, Y. Ishikawa, Y. Hiyoshi, K. Ito, and K. Hirahara, 2015, Real data assimilation for optimization of frictional parameters and prediction of afterslip in the 2003 Tokachi-oki earthquake inferred from slip velocity by an adjoint method, *Geophysical Journal International*, 203, 646-663, doi: 10.1093/gji/ggv289.

岩田貴樹・金尾政紀, 2015, 南極・昭和基地における遠地地震の検知能力の年周変化 気温による影響を考慮した統計的解析, *月刊地球*, 37(9), 400-406.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要：

1. 余効すべりに基づく摩擦パラメータの推定手法の実データへの適用

パラメータの推定精度や物理的考察、また地表変位データを直接同化した場合の推定結果について検討を行う。

2. 余効すべりに基づく摩擦パラメータと初期条件の同時推定手法の開発

アンサンブルカルマンフィルタを安定して実行できるような初期アンサンブルの作成方法について検討する。その後、三次元モデルに対する数値実験を継続し、手法の特性や問題点を調査する。

### 3. スロースリップイベントに対する摩擦パラメータと初期条件の同時推定手法の開発

数値発散をしないようなシステムノイズの与え方に関して引き続き検討を続けるとともに、摩擦パラメータ分布の空間分布の推定手法に関して検討を開始する。

### 4. 地震活動データに対するデータ同化手法適用の試み

時変分散を考慮した解析手法を元に、地震活動から余効変動を推定する手法の開発・シミュレーションデータへの適用を行う。

#### (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：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

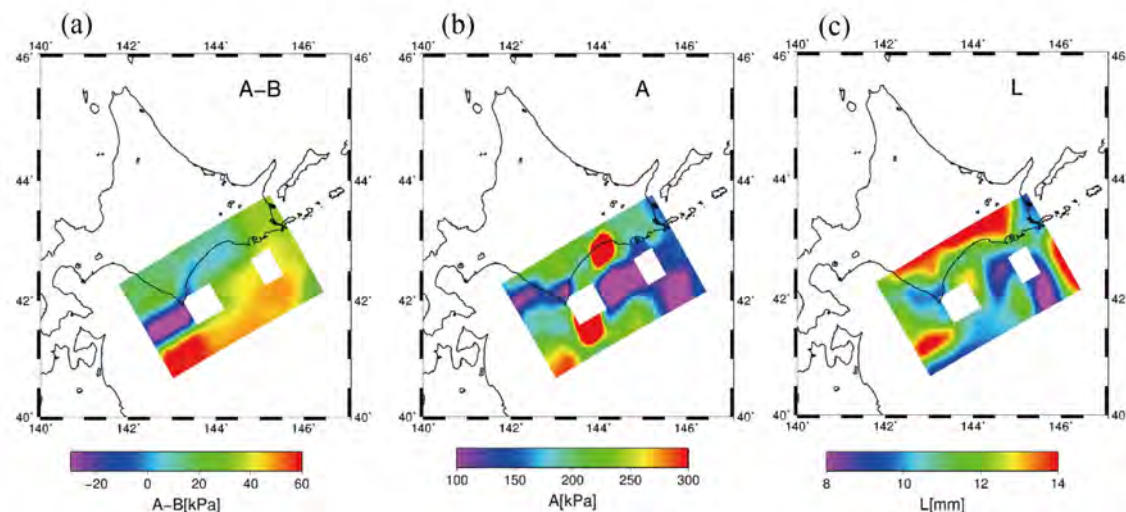


図 1

アジョイント法によって推定された十勝沖地震余効すべり域の摩擦パラメータ分布。(a) A-B、(b) A、(c) L。白抜き部分は地震発生域のため、推定していない。

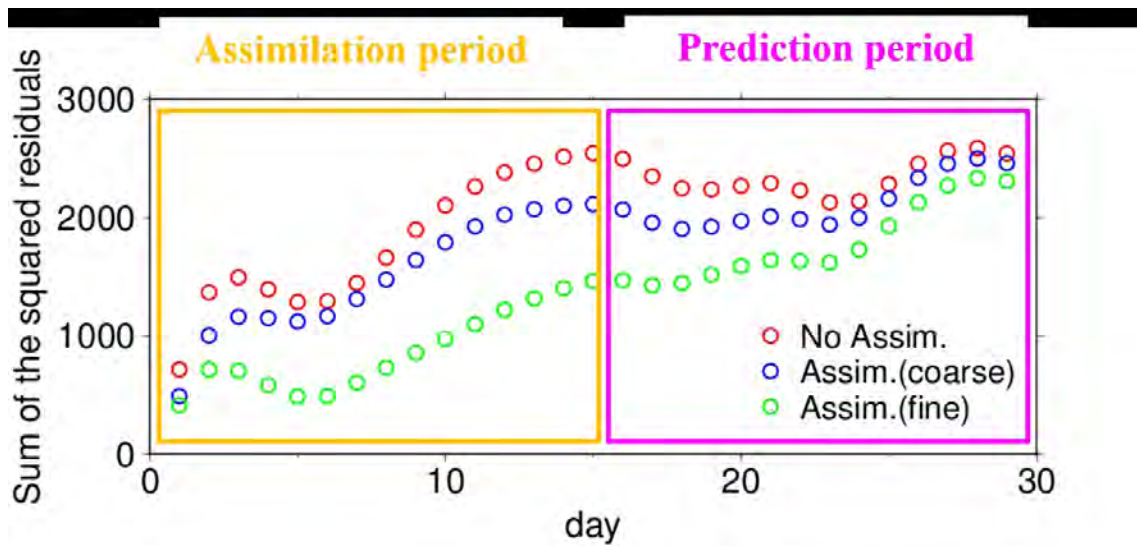


図 2

観測値に対する残差二乗和。赤丸は同化しない場合、青丸は粗い摩擦パラメータの空間分布を与えた場合、緑丸は細かい摩擦パラメータ分布を与えた場合。細かい分布の方がモデルの自由度が高く、観測値をよく再現する結果が得られている。

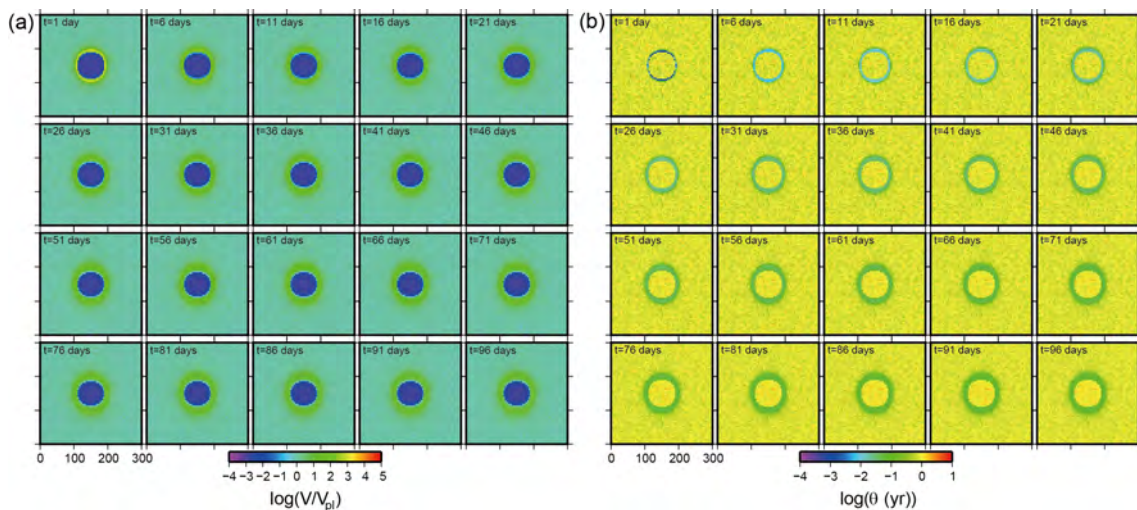


図 3

擬似観測データと速度・状態依存摩擦法則に基づくシミュレーションモデルに基づき、アンサンブルカルマンフィルタ/スムーザで推定された (a) すべり速度と (b) 状態変数の確率分布の平均値。図に示された時刻は、地震からの経過時間を表す。中央の円形部分に地震時にすべり分布を与え、周囲で発生した余効すべりから擬似観測データを作成した。

# モデル設定

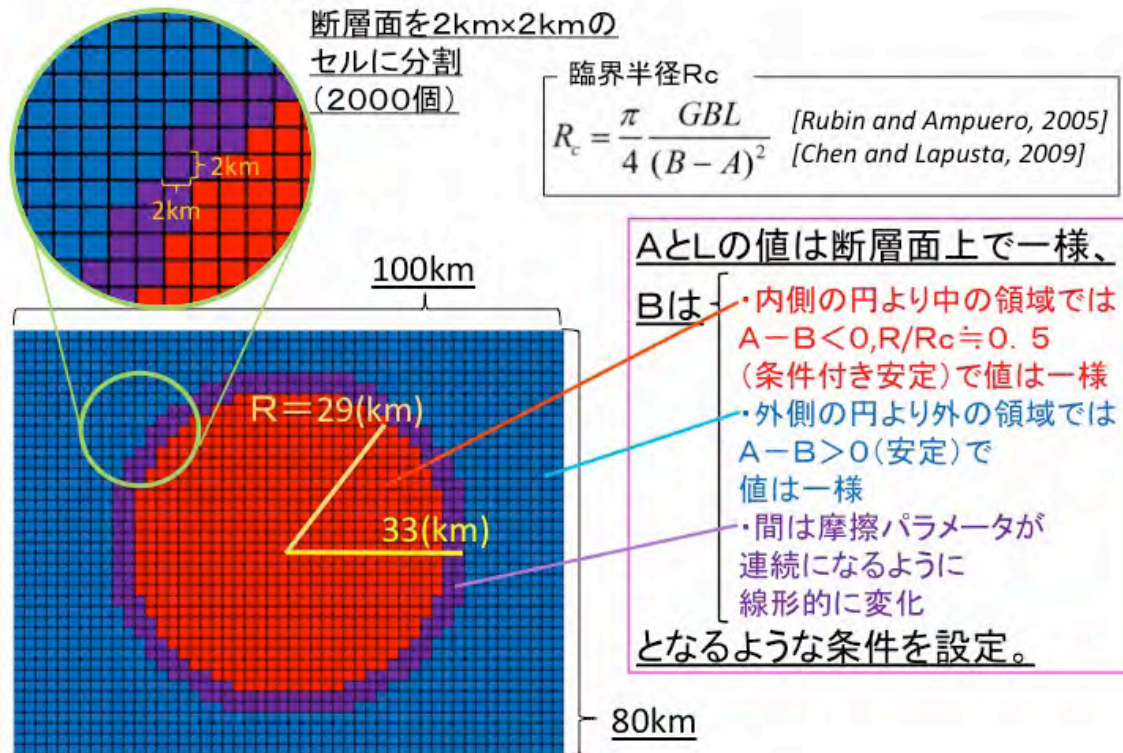


図 4

実施した数値実験のモデル設定。断層面の中央に半径 29km の条件付き不安定領域を設定し、そこから 4km を遷移層、さらにその外を安定領域とした。断層面は 2km 四方の合計 2000 個のセルに分割した。この断層面で、12.5cm/yr の沈み込みを与え、すべりは dip slip のみとして数値実験を行った。

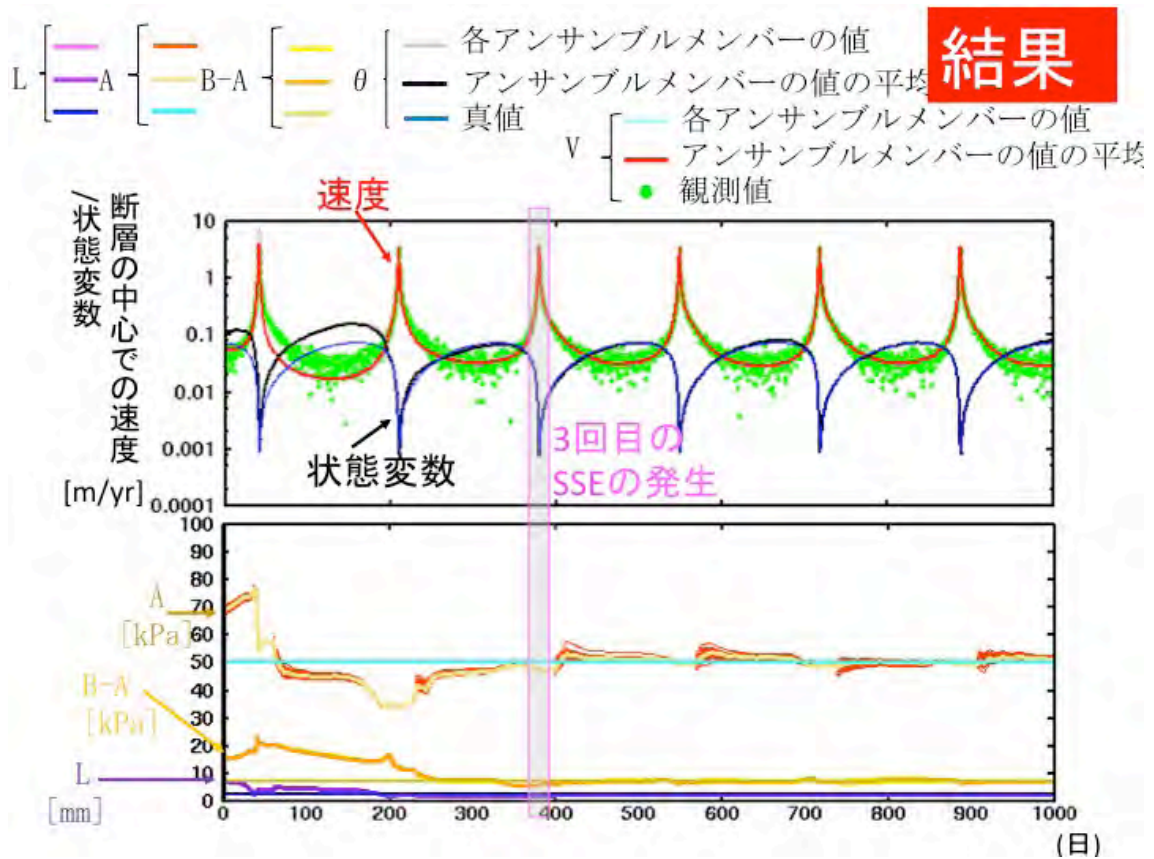


図 5

断層面上ですべり速度を直接観測した場合のデータ同化の結果。上の図は物理変数(すべり速度と状態変数)の、下の図は摩擦パラメータの時間発展を示している。この結果から、3回目のSSE発生中に摩擦パラメータは真値に近づき、それに応じて物理変数も真の結果とよく合っている。3回目のSSE以降は、SSE直後にAの分散が少し大きくなるものの、真の結果をよく再現していることがわかる。

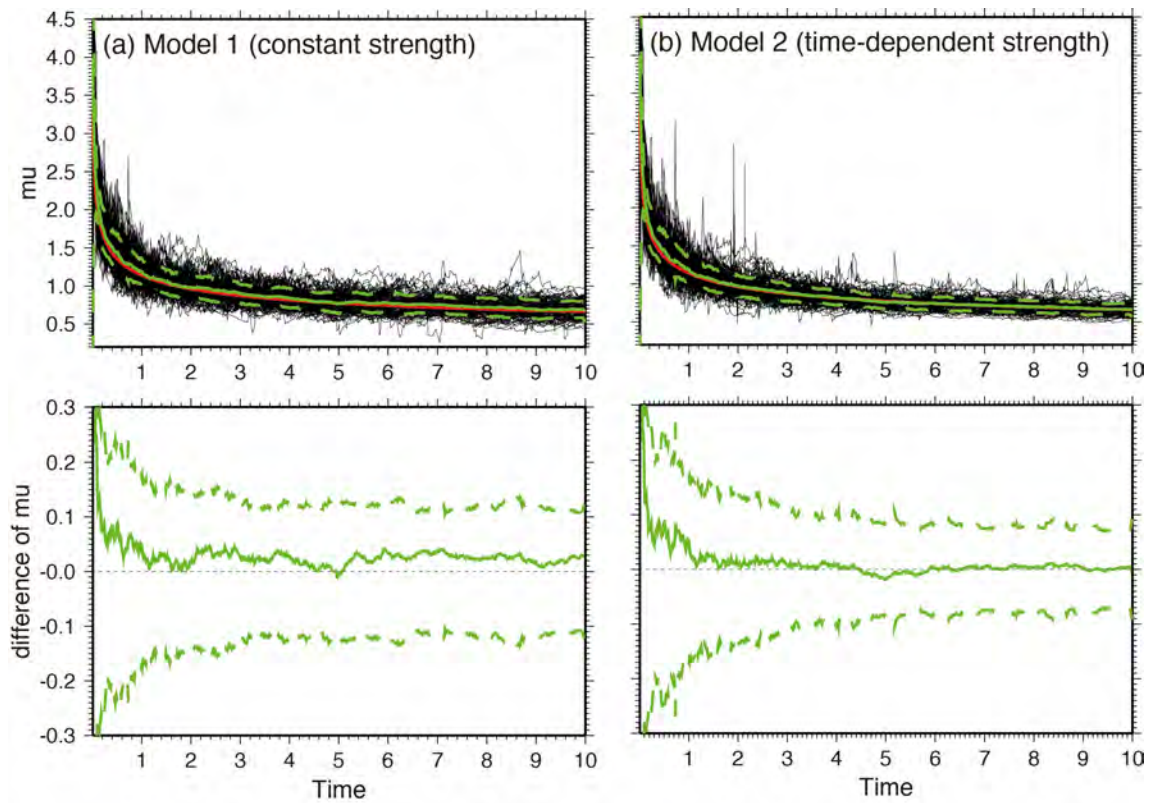


図 6

(a) 「w が時間一定」( Model 1 ) (b) 「w が時間変化」( Model 2、時変分散モデル )とした場合それぞれに対する  $\mu(t)$  の推定結果。( 上段 ) 生成した人工地震カタログ 300 例各々に対する  $\mu(t)$  の推定結果 ( 黒線 ) と、その平均 ( 緑の実線 ) と標準偏差 ( 緑の点線 )、赤線は人工地震カタログ生成時に仮定した  $\mu(t)$ 。( 下段 ) 上段に示した  $\mu(t)$  の推定値の平均 ( 実線 ) および標準偏差 ( 標準偏差 ) と、人工地震カタログ生成時に仮定した  $\mu(t)$  との差の時間変化。

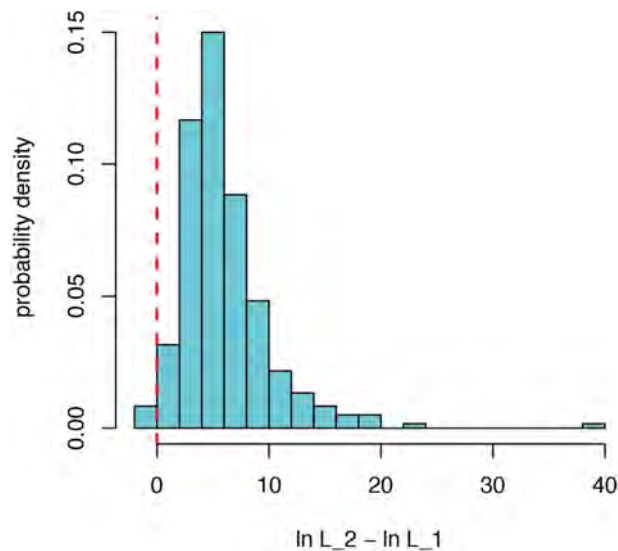


図 7

人工地震カタログ 300 例各々について、「w が時間変化」( Model 2 )とした場合の対数尤度 (  $\ln L_2$  ) から、「w が時間一定」( Model 1 )とした場合の対数尤度 (  $\ln L_1$  ) を引いたもの。この値が正であれば、Model 2 の方が「よいモデル」と示唆される。

( 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：

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27年度の成果の概要 :

内陸地震を中心に、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。具体的には、元禄十六年関東地震弘化四年善光寺地震、嘉永七年伊賀上野地震、安政二年江戸地震、寛政四年雲仙噴火、天明三年浅間噴火、安政三年江戸台風について史料の翻刻を実施した。翻刻の成果の一部はウェブで公開している (<http://kozisin.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/>)

弘瀬・中西(2015, 2016)は、「蕨岡家文書」にある「嘉永七甲寅年大地震記録」の原本コピーにより、安政南海地震時の愛媛県愛南町での地震動の推移、地震に伴って発生したその他の自然現象と被害を詳しく検討した。

坂崎ほか(2015)は、安政三年江戸台風について、「安政風聞集」などに基づく進路の推定をおこなった。

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2回実施した。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た。また講演では、古文書解読の背景となる知識を得た。この研究会は、地震学のバックグラウンドをもちながら史料の解読もできる人材の育成の端緒となっただけでなく、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もなった。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する。

- ・「信越震漲録」、弘化四年善光寺地震
- ・「弘化四丁未大地震御届書写」、弘化四年善光寺地震
- ・「信州大地震前後天災之記事」、弘化四年善光寺地震
- ・「見聞書写」、天明三年浅間山噴火
- ・「浅間の記」、天明三年浅間山噴火
- ・「浅間山焼候二付松平讃岐守見分候者届出二書付」、天明三年浅間山噴火
- ・「浅間山焼大変記」、天明三年浅間山噴火
- ・「浅間山焼一件」、天明三年浅間山噴火
- ・「信州浅間山土砂降り所々書上并はなし」、天明三年浅間山噴火
- ・「浅間山焼之図」、天明三年浅間山噴火
- ・「信州大地震聞書」、弘化四年善光寺地震
- ・「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」、弘化四年善光寺地震
- ・「丁未震災録」、弘化四年善光寺地震
- ・「安政見聞録」、安政二年江戸地震
- ・「安政風聞集」、安政三年江戸台風
- ・「安政見聞誌」、安政二年江戸地震



- ・「安政東南海地震に関する書状」、嘉永七年東南海地震
- ・「元録地震記」、元禄十六年関東地震
- ・「肥前國島原領普賢山大変記」、寛政四年雲仙噴火
- ・「嘉永七甲寅四月京都大火諸国大地震控」、嘉永七年伊賀上野地震
- ・「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」、嘉永七年伊賀上野地震
- ・「嘉永七甲寅年上方諸国大地震出火荒増扣」、嘉永七年伊賀上野地震

- ( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
 坂崎貴俊・加納靖之・大邑潤三・服部健太郎, 2015, 安政江戸台風(1856)の被害と当時の気象場推定  
 (On the Severe Typhoon Attacking Edo Region in 1856), 生存圏研究, 11, 64-70.  
 加納靖之・服部健太郎・中西一郎・安国良一・五島敏芳・渡辺周平・岩間研治・福岡浩, 2015, 京都大  
 学理学部に所蔵されている自然災害史料の解読と画像化, 第 32 回歴史地震研究会(京丹後大会)  
 講演予稿集, 0-25.  
 弘瀬冬樹・中西一郎, 2015, 1854 年安政南海地震による愛媛県最南端(愛南町)での地震動?津波被害?  
 地下水位変化?庄屋史料と藩史料の比較から分かる庄屋史料の有用性と地殻変動推定の可能性?, 地  
 震 2, 68, 107-124, doi: 10.4294/zisin.68.107.  
 弘瀬冬樹・中西一郎, 2016, 訂正: 1854 年安政南海地震による愛媛県最南端(愛南町)での地震動?津  
 波被害?地下水位変化?庄屋史料と藩史料の比較から分かる庄屋史料の有用性と地殻変動推定の可  
 能性?, 地震 2, 68, 147-124, doi: 10.4294/zisin.68.147.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要：

平成 28 年度は、南海トラフの巨大地震を中心に内陸地震(弘化四年善光寺地震、文政十三年京都地  
 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。

合宿形式の研究会(翻刻を主とした史料解析の実践)については継続して実施する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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27年度の成果の概要：

1888年磐梯山水蒸気爆発の噴火シナリオの誤謬に関して考察を行った。調査に従事した関谷と菊池の間には、報告書をまとめる過程で事実認定や解釈上で種々の食い違いがあったことを報告した(浜口・他, 2014)。地震学者の関谷は地震原因論の視点から磐梯山の水蒸気爆発を捉えた。一方、鉱物学者の菊池はマグマの熱力学的特性や地質学的知見に注目し爆発現象を捉えた。学問分野の異なる両研究者は、同じ現場を見ているにもかかわらず噴火開始点や噴火様式等に関して異なったイメージ形成(知覚的想像)をした。しかし最終的には関谷の解釈が共著の英文論文(Sekiya and Kikuchi, 1890)に反映された。

この論文が印刷された後、一見合理的に見える噴火シナリオに関して誤謬や疑義を指摘する論文が数編提出された。このことはSekiya and Kikuchi(1890)の事実認定ないし推論の仕方等を再調査し、指摘された誤謬や疑問点が理に当たっているか否かを再検討すべき事柄が内在していることを強く示唆する。しかし、この重要な問題について後続の研究者は1世紀以上も検討をせずに今日に至っている。今年度はこの点に関して、残された目撃談、写真やスケッチ等の一次資料をもとに目撃証言の1つ1つを相互比較しながら、その内容を注意深く再検討した。得られた結果を以下にまとめる；

(1) 小林(1892)が「破裂眺望圖」の中で描いた3枚のスケッチ(甲, 乙, 丙)は、噴出する水煙が低温状態から高温化して飽和水蒸気の噴出に移行する水の相変化に伴う噴火形態の変化を描写するとともに、その噴出口が旧火口(沼ノ平)であることをと明らかにした。(2) 当時の1次目撃情報等を状況証拠に照らして総合的に判断すると、最初の水煙の噴出位置は旧火口である沼ノ平とその東崖下の日蔭の裂罅近傍にあり、山体が崩壊した小磐梯山ではないと推論した。(3) 小磐梯山の崩壊山体と随伴する北方への岩屑なだれ、並びに枇杷沢を東南方向に流下したプラストは小林のスケッチ(丙)の時期と同時かその直後に起き、(甲)や(乙)に描かれたものと性質の異なる噴火現象であると推論した。

(4) 以上に指摘した誤謬の生まれる背景的要因は関谷の知的与件がHumboldt説に由来していること明らかにした。換言すれば、19世紀の西欧での古い地震・火山原因説に関する文脈が、関谷の磐梯山水蒸気爆発の誤解釈を誘因したものであることを明らかにした。

また、桜島大正噴火中に発生した桜島地震について震源位置の再評価のために、各官署の記録紙からのS-P時刻の収集を行った。その結果、S-P時刻を求めることが出来た場所は20箇所、西日本の観測点に乏しいが、S-P時刻から推定した震央は鹿児島付近に求まった。

(9) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
浜口博之・中道治久, 2015, 1888年磐梯山水蒸気爆発(8)目撃情報から噴火ダイナミクスを探る, 日本火山学会講演予稿集, B1-04.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

調査対象火山について引き続き観測データ・資料・論文などを収集して整理する。桜島大正噴火の地震活動の再評価を行う。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。

( 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 27 年度の成果の概要：

2014 年 11 月 22 日 22 時 8 分に長野県北部の北安曇郡白馬村付近で発生した MJMA6.7 の地震（以下、2014 年長野県北部の地震）の震源過程を、強震波形を用いたインバージョン解析によって求めた。解析には震源域周辺の K-NET、KiK-net、気象庁、長野県の強震観測点から 12 点の波形記録を用いた。加速度記録を速度に積分し、0.05 - 1Hz のバンドパスフィルターを適用した波形記録から、S 波到着 1 秒前より 15 秒間を抽出した波形をインバージョンのためのデータとした。この地域の地下構造は複雑であり、単一の方法構造モデルを用いてグリーン関数を計算することは適切ではないと考え、地震調査研究推進本部の全国 1 次地下構造モデル（Koketsu et al., 2012）から観測点ごとに直下の一次元構造を抽出した速度構造モデルを使用し、離散化波数法（Bouchon, 1981）及び透過・反射係数行列法（Kennett and Kerry, 1979）によりグリーン関数を計算した。

余震分布（例えば、東京大学地震研究所, 2015）及び地表地震断層の分布から断層面が複雑であることが推測されたため、震源断層の北部と南部で傾斜の異なる 4 枚の平面断層を組み合わせたモデルで断層モデルを表現した。南部は走向 25 °、傾斜（浅部）40 °、（深部）65 °、北部は走向 25 °、傾斜（浅部）40 °、（深部）60 °と仮定した。南部の断層面の先端は神城断層の地表トレースに対応するようにしている。全体の断層サイズは長さ 20 km、幅 13 km とし、これを 1 km × 1 km の小断層で分割した。各小断層には時間幅 1 秒の smoothed ramp 関数を 0.5 秒ずらしで 6 個並べて、その小断層でのモーメント時間関数を表現した。インバージョン手法はマルチタイムウィンドウ線形波形インバージョン（Hartzell and Heaton, 1983）を用い、時空間のすべりの平滑化（Sekiguchi et al., 2000）及び第一タイムウィンドウの破壊伝播速度は ABIC 最小規準（Akaike, 1980）により決定した。すべり方向は 45 ° ± 45 ° の範囲に拘束している。

破壊開始点から約 5 km 北のやや深いところにすべり量の大きな領域が推定され、最大すべり量は 1.9 m と推定された。この領域では周辺に比べ余震数が少ない。各機関によるモーメントテンソル解のセントロイドが北側深部に推定されていることとも整合する。また、地表に近いところでも 0.3 ~ 0.5 m 程度のすべりがあり、これらのすべりがあるところは、地表地震断層が観察された領域に対応し、求められたすべり量も同程度であった。全体の地震モーメントは  $3.29 \times 10^{18}$  Nm、モーメントマグニチュードは 6.3 であった。断層面積 260 km<sup>2</sup>、平均すべり量は 0.45 m、 $S_a = 36$  km<sup>2</sup> と求まり、これらの断層パラメータは宮腰・他（2015）で提案されている最新のスケール関係式に対応していた。

2015 年 4 月 25 日に起きたネパール Gorkha 地震（Gorkha earthquake, Mw7.8）では、USGS 及び Takai et al.(2016) によって震源域直上のカトマンズ盆地内で強震記録が得られているが、通常の地震波距離減衰式の観点からは最大加速度、最大速度、ともに小さい記録が観測された。震源断層近傍での強震動記録は数多くはないが、断層メカニズムが似通っている 1999 年台湾・集集地震 (Mw7.6) においては、既往の距離減衰式に整合する記録や、地表地震断層の直近の記録では、地震断層そのものの運動に対応する大変位（及び速度）記録が得られていることから、震源断層近傍強震動の特性がイベント毎にどの程度の差異があるのかに着目して、ここでは震源特性についての比較を行った。

震源特性を比較するにあたって、イベント間の系統的な解析結果の違いを避けるために、USGS の有限断層モデルデータベースにある、震源時間関数の比較を行った。Gorkha 地震の地震モーメントのほぼ倍から半分の地震モーメントに求まっているイベントを選んだところ、17 のイベントが選出された。このうち 11 個は逆断層タイプ、5 個は横ずれ断層タイプ、1 つは正断層タイプの震源メカニズムであった。震源時間関数そのものや、フーリエ振幅スペクトルを比較したところ、Gorkha 地震の震源過程はスムーズであり、周期 10 秒程度より短周期側の震源スペクトルが平均マイナス標準偏差程度に小さいことがわかった。震源スペクトルレベルは震源全体の地震動生成レベルに対応していると考え

えられるため、Gorkha 地震の震源域強震動が小さかったことは、震源特性に起因するものと考えることができる。なお、利用した震源時間関数は遠地記録を用いていることから、周期数秒以上の特性であることから、それより短周期地震動が卓越する震源域強震動との関連の証拠立ては、1999 年集集地震の震源時間関数が今回のデータセットの平均的なものであったということに帰している。マクロな震源特性である震源時間関数と、震源近傍域強震動の関係は注意しながら検討していく必要がある。また、今回のデータセットの集約からは、正断層タイプの震源メカニズムの地震の短周期レベルが他のタイプのものより大きかったが、1 イベントであることから、これも今後分析を継続していく必要がある。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :  
Kubo, H., K. Asano, T. Iwata, and S. Aoi (2016). Development of fully Bayesian multiple-time-window source inversion, *Geophys. J. Int.*, 204, 1601-1619.

浅野公之・岩田知孝 (2015). 震源過程, 2014 年長野県北部の地震に関する調査団報告, 日本地震工学会 2014 年長野県北部の地震に関する調査団, 日本地震工学会, 19-21.

Asano, K. and T. Iwata, Complementary Ruptures of Surface Ruptures and Deep Asperity during the 2014 Northern Nagano, Japan, Earthquake (MW 6.3), AGU fall meeting, S51B-2681, 2015 Dec.

Iwata, T., Source Time Function and Near Source Ground Motion of the 2015 Gorkha, Nepal, Earthquake, AGU fall meeting, S43D-2830, 2015 Dec.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

プレート境界巨大地震の周期別強震動生成過程についての検討を継続する。期間中に発生した被害地震等の震源モデリングを行う。

( 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 27 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 27 年度の成果の概要は以下のとおりである。

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。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した。宮崎 - 阿久根測線のレシーバ関数イメージを図 1 に示す。両測線のレシーバ関数イメージに共通して見られる特徴としては、( 1 ) 島弧の大陸モホ面 ( CM ) が、測線の中～西部では深さ 30～35 km に明瞭にみられるが、東部のウェッジ域では不明瞭になること、( 2 ) 深さ 80～100km まで明瞭にみられるスラブ内の海洋モホ面 ( OM ) が、深さ 60km 付近で折れ曲がること、の 2 つが挙げられる。( 1 ) は、ウェッジ部がスラブ起源流体の影響で低速度化し、モホ面が高速度層上面ではなくなっているためと考えられる。このウェッジ部には流体が存在するか、強度の弱い蛇紋岩に変成していると考えられ、ここに接するプレート境界面は安定すべり域である可能性が高い。一方、( 2 ) は脱水後の海洋地殻が basalt の eclogite 化により重くなったことを示している。また、宮崎 - 阿久根測線において、霧島火山新燃岳直下の低周波地震 ( 白丸 ) の発生域は濃い青のイメージであり、強い低速度層であることがわかる。火山活動に関する流体の存在が示唆される。

四国では、東部における稠密リニアアレイ観測を拡充した ( 図 2 )。昨年度設置した香川県綾川町から徳島県海陽町に至る北北西 - 南南東走向の測線上の 7 点の臨時地震観測点 ( SL01～SL07 ) に加え、今年度は徳島県上山町から高知県大豊町にいたる東北東 - 西南西走向の測線上に 7 点の臨時観測点 ( SL08～SL14 ) を新設した。昨年度設置した 7 観測点では順調にデータが蓄積されている。2014 年 12 月から 2015 年 7 月までの 8 か月間のデータから得られたレシーバ関数波形例を図 3 に示す。観測点ごと、かつ到来方向ごとに特徴ある波形を示している。

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。レシーバ関数解析では全期間のデータが解析され、フィリピン海スラブ上面の3次元形状が推定された。トモグラフィ解析では、2010年途中までの74か月間の読み取りデータの解析からスラブ周辺の3次元地震波速度構造が推定された。(3)スラブ上面の深さ30~40kmあたりの深部低周波イベント(DLFE)発生域とその周辺でP波速度( $V_p$ )とS波速度( $V_s$ )はともに-5%程度の低速度異常を示すこと、(4)和歌山県北部の、上部地殻に微小地震が多発する領域の下の下部地殻に $V_p$ と $V_s$ ともに-10%にも及ぶ非常に強い低速度異常域がやや東西に広がる形で存在すること、がわかった。今年度は2010年以降のデータに対して、未読み取り期間については業者委託による自動読み取りを行い、33か月間のデータを追加した。この結果、トモグラフィ解析で使用できる地震数と走時数が2倍弱となった。この更新されたデータを用いたトモグラフィ解析の結果は、上述の(3)と(4)と同様の特徴を示した。深さ22kmから34kmにおいてチェッカーボードテストに改善が見られた。(3)は海洋地殻内の含水鉱物の脱水分解が進み、流体が放出されたためと考えられる。(4)は、和歌山県北部の下部地殻に存在する流体が浅部の脆性領域に上昇し、岩石中の間隙水圧を上げ、摩擦力を下げるため、この地域で微小地震が多発すると考えられる。和歌山県北部の下部地殻の低速度域での $V_p/V_s$ 比は1.6程度と低く、この領域の流体はシリカに富んでいるのかもしれない。DLFE発生域の低速度域での $V_p/V_s$ 比についても再検討する必要がある。

(9)平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):  
澁谷拓郎, 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(2), 日本自然災害学会平成27年度学術講演会(山口大学, 山口市), II-6-1, 2015

(10)平成28年度実施計画の概要:

南九州では、稠密リニアアレイにおいてデータが十分に蓄積されていない観測点の観測を継続する。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。トモグラフィ解析を行う。

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。徳島-西予測線の西側の観測点調査を行い、観測点候補地を選定する。

紀伊半島では、全期間のデータを用いてトモグラフィの再解析を行う。Ramachandran and Hyndman (2012, Solid Earth)等を参考にして、 $V_p/V_s$ 比を推定する手法を工夫する。

(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

名古屋大学環境学研究科: 加藤愛太郎

(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: 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

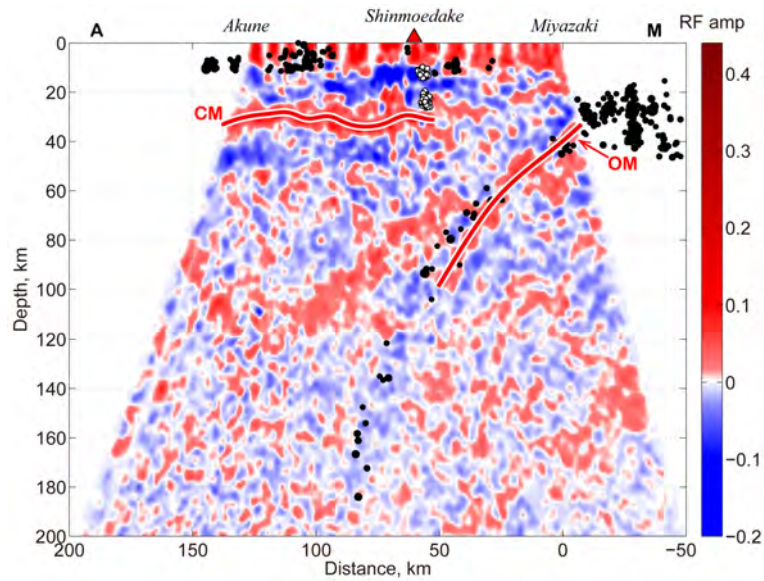


図1 南九州の宮崎 - 阿久根測線におけるレシーバ関数イメージ

レシーバ関数の振幅を共通のP-S変換点で重合したもので、S波速度不連続面を表す。CMとOMを付した赤線は、それぞれ大陸モホ面と海洋モホ面の解釈線である。黒丸と白丸はそれぞれ通常の地震と深部低周波地震を表す。

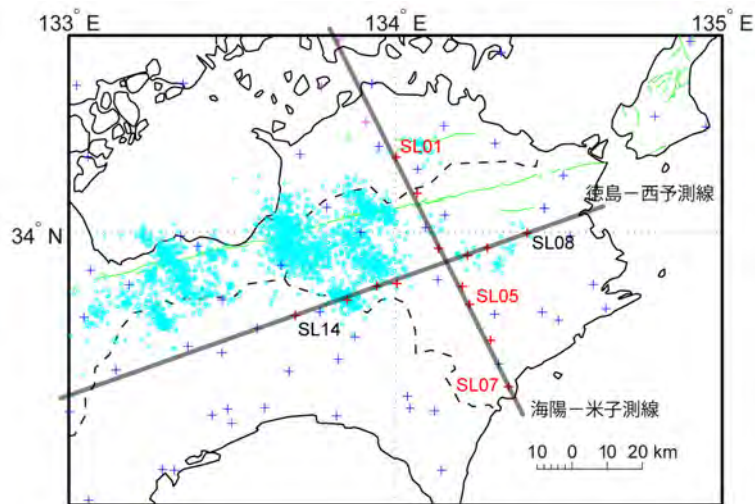


図2 四国東部におけるリニアアレイ観測

四国東部における海陽 - 米子測線と徳島 - 西予測線を示す。昨年度と今年度に展開した臨時観測点を赤+で示す。青+は定常地震観測点、桃+は2002年～2004年に行われた合同観測時の臨時観測点。水色の丸は気象庁による深部低周波地震。緑線は活断層を示す。

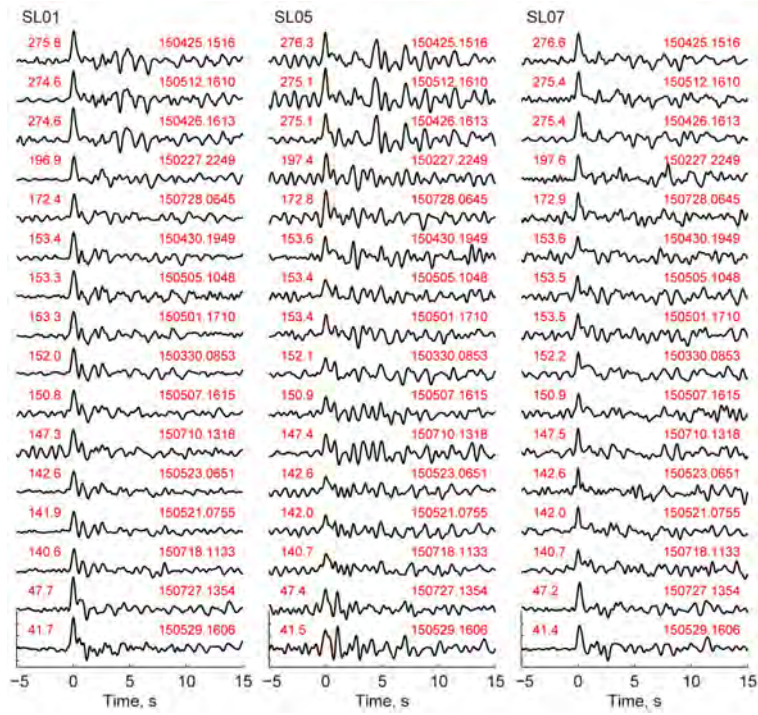


図3 レシーバ関数波形例

海陽 - 米子測線の四国東部の3観測点 ( SL01、SL05、SL07 ) でのレシーバ関数波形例。観測点の位置は図2に示す。各波形の右端の数字はイベントコードを、左端の数値はそのイベントの back azimuth ( ° ) 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：

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・鉍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 27 年度の成果の概要 :

日本列島の物質場・温度場、応力場、流動 変形場に関する下記研究を進めた。いずれもほぼ計画通りに進行したといえる。

物質場・温度場：日本列島下の流体の起源や分布を知る手がかりとして、構造線沿いに湧出する深部由来流体の調査、分析、解析を行った。今年度は、火山岩のシステムティクスとスラブ由来流体の共同が比較的良くわかっている中部日本について、火山のない前弧域（和歌山、三重県、愛知県・静岡県南部、中央構造線および糸魚川静岡構造線南部沿い）の有馬型塩水の調査・サンプリング・分析、および有馬型塩水の模式地である有馬温泉・鉱泉水の分析・解析とともに進めた。有馬型塩水は、非火山地域（マグマの関与やマグマ生成の場のない地域）であるにも関わらず、火山性流体とほぼ同じ高い酸素 水素同位体比をもつ、高塩濃度の流体と定義される。これらの塩水は、しばしば高いヘリウム同位体比を示し、構造線沿いに見られる特徴があり、沈み込むスラブ由来である可能性が指摘されている（Kusuda et al., 2014; Nakamura et al., 2014）。兵庫県有馬、和歌山、三重県の試料については、これまでほとんど分析例がなかった希土類元素（REE）も含めて分析がほぼ終わり、そのデータ解析から以下のことが分かった。従来、有馬型塩水は、深部由来流体（沈み込むスラブ由来の可能性が高い）と天水の 2 成分のみが同定され、その混合で説明が可能と考えられていた。しかし、REE の解析結果から、新たに、( 1 ) 上昇過程で、深さ数百メートル程度の深度において REE を含む鉱物を沈積しかつ CO<sub>2</sub> や He を脱ガス、( 2 ) 脱ガスしたガスがより浅部の天水層に加わり、炭酸酸性泉の生成とその母岩との化学反応の 2 つのプロセスが関与していることが推定された（図 1、Nakamura et al., 2015）。これらの知見は、深部由来流体が地表近く（深さ数百メートル）まで直接的に上昇している可能性を示唆する。

応力場：2000 年鳥取県西部地震域での稠密地震観測データの整備を行い、震源断層周辺で発生した余震約 4000 イベントの発震機構解及びその震源位置を推定した（図 1）。得られた P 軸の分布傾向は、過去の研究で報告されているものと調和的であった。また、発震機構解と震源分布の特徴から、本震時に破壊された断層面との関係を調べたところ、ほとんどの余震が破壊面の周辺で発生し、発震機構解のタイプは非常に多様であることが分かった。この結果は、今後本震破壊断層周辺の詳細な応力場を推定すること、及び余震の発生メカニズムを議論する上で重要となる。また、地震波速度・電気伝導度構造統合インバージョンによる流体分布の推定を目指して、封圧下で含水花崗岩の弾性波速度および電気伝導度測定を行い、クラック閉鎖に伴う弾性波速度、電気伝導度の変化を調べた。BIB-SEM による微細構造観察は、ひとつのクラックが、開口の異なる多数のクラック・セグメントから構成されることを示している。この観察に基づき、開口の分布関数をべき乗の形で与えて、弾性波速度、電気伝導度のモデルを作成した。モデルは弾性波速度の封圧依存性をよく再現したが、電気伝導度の封圧依存性の再現は十分ではなかった（図 3）。電気伝導度の再現には、開口の量的な分布だけでなく、空間的な分布も必要であると考えている。

流動 - 変形場：島弧地殻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課題である。21 世紀に入り、スマトラ地震、東北地方太平洋沖地震など、M 9 クラスの巨大地震が続発している。そこで、巨大地震後の粘性緩和による変形場をより正しく理解するため、シンプルな設定でモデル計算を行いその特徴を調べた。

重力場下にある表層弾性 - 下層 Maxwell 粘弾性の半無限 2 層平行成層モデル内に沈み込み型のプレート境界を設定し、時刻ゼロにリソスフェア内のプレート境界に一樣な断層滑り（変位の食い違い）を与えることにより巨大地震を表現した。計算には、半解析解の形式で得られている粘弾性の応答関数 (Fukahata & Matsu'ura, 2005, 2006) を用いた。

地震時変位および地震後の粘性緩和の累積応答は図 4 に示す通りである。 はアセノスフェアの緩

和時定数であり、アセノスフェアの粘性率と剛性率の比として定義される。粘性率として、 $10^{19}$  Pa s 程度の値を想定すると、 $\tau$  はおよそ5年となる。図4に示される非常に重要なポイントは、粘性緩和完了後には、海洋プレートが単純に沈み込むほぼ完全なブロック運動が実現するという点である。但し、島弧の変形場は完全にはゼロではないため、沈み込みの経過と共に変形が累積していき、それが島弧-海溝系の大地形を作り出す基となる。

粘性緩和過程をより詳しく調べるため、図5ではいくつかの時刻における速度プロファイルを示した。この図の重要なポイントは、当初は海溝向きだった内陸の水平変位速度が、時間と共にその運動方向を逆転させることである。この運動方向の逆転は一見奇妙に感じられるかも知れない。しかし、改めてよく考えてみると、内陸部は地震時に海溝向きに運動しているため、粘性緩和完了後にブロック運動を実現するためには、長期的には地震時の運動を打ち消さねばならない。そのため、内陸部が海溝と反対向きに運動することは必然である。現在は海域でのみ陸向きの変位が観測されているが (Watanabe et al., 2014)、本結果に基づき、いずれ太平洋沿岸部さらには東北内陸まで陸向きにその運動方向を変化させることが予言できる。

図6には、海溝からの距離60 kmごとの地点における、粘性緩和による変位速度の時間変化を示した。この図の重要なポイントは、各地点における変位速度の時間変化が、定数項付きの指数関数で非常によくフィッティングできてしまうことである。但し、その緩和時定数は、場所によって大きく異なる。同じ地点における水平変位と垂直変位との間でも相関は見られない。地震後の測地データを単純に指数関数でフィッティングすることはしばしば見かけるが、物理的な妥当性は特にないということが言える。また、定数項の部分は長期的には当然ゼロとなるため(粘性緩和完了後には、変位速度がゼロとなるから)、図6に示した指数関数フィッティングはある限られた時間範囲でのみ有効である。従って、実際の観測データが指数関数フィッティングから時間と共にずれてきたとしても、それは新たな事象の発生を必ずしも意味しない。

- (9) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Fukahata, Y. and M. Matsu 'ura, 2016, Deformation of island-arc lithosphere due to steady plate subduction, *Geophys. J. Int.*, 204, 825-840, doi: 10.1093/gji/ggv482
- Iida, K., Iwamori, H. and others, 2015, Tectonic reconstruction of batholith formation based on the spatiotemporal distribution of Cretaceous?Paleogene granitic rocks in southwestern Japan, *Island Arc*, DOI: 10.1111/iar.12103
- Iwamori, H. and Nakamura, H., 2015, Isotopic heterogeneity of oceanic, arc and continental basalts and its implications for mantle dynamics. *Gondwana Res.*, doi:10.1016/j.gr.2014.09.003.
- Jiang, G., X. Xu, G. Chen, Y. Liu, Y. Fukahata, H. Wang, G. Yu, X. Tan, and C. Xu, 2015, Geodetic imaging of potential seismogenic asperities on the Xianshuihe Anninghe Zemuhe fault system, southwest China, with a new 3D viscoelastic interseismic coupling model, *J. Geophys. Res.*, 120, 1855-1873, doi: 10.1002/2014JB011492.
- Nakamura H., Chiba K., Chang Q., Nakai S., Kazahaya K. and Iwamori H., 2015, Rare earth elements of the Arima spring waters, southwest Japan: Implications for fluid?crust interaction during ascent of deep brine, *J. Geol. Geosci.*, 4:5.
- Uno, M., Iwamori, H., Toriumi, M., 2015, Transition from dehydration to hydration during exhumation of the Sanbagawa metamorphic belt, Japan, revealed by the continuous P?T path recorded in garnet and amphibole zoning, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 170(3),1-22. doi: 10.1007/s00410-015-1185-9
- Watanabe, T. and A. Higuchi, 2015, Simultaneous measurements of elastic wave velocities and electrical conductivity in a brine-saturated granitic rock under confining pressures and their implication for interpretation of geophysical observations, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 2:37, doi:10.1186/s40645-015-0067-0.
- Yagi, Y., R. Okuwaki, B. Enescu, and Y. Fukahata, 2015, Unusual low-angle normal fault earthquakes after the 2011 Tohoku-oki megathrust earthquake, *Earth Planets Space*, 67:100, doi: 10.1186/s40623-015-

0271-6.

Yamagiwa, S., S. Miyazaki, K. Hirahara, and Y. Fukahata, 2015, Afterslip and viscoelastic relaxation following the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw9.0) inferred from inland GPS and seafloor GPS/Acoustic data. *Geophys. Res. Lett.* 42, 66-73, doi:10.1002/2014gl061735.

(10) 平成 28 年度実施計画の概要：

物質場・温度場：深部由来流体については、有馬、紀伊、中部の補足調査や分析に加え、糸魚川 - 静岡構造線沿いの塩水の調査やサンプリング・分析を進める。また、四国について予備的調査やサンプリングを進める予定である。火山岩については、北海道、東北南部で得られたデータ解析を進めるとともに、北海道に次いでデータの乏しい九州北部～中部の玄武岩質火山岩の調査・サンプリング・分析を行う。

応力場：2011 年東北地方太平洋沖地震後の列島規模の応力場に焦点を当て、観測データの整備及びメカニズム解の決定を行う。また 2000 年鳥取県西部地震域において、震源断層周辺詳細な応力場の空間分布について応力逆解析をもとに明らかにする。クラックや流体分布に関わる物性研究については、下記の 2 点を計画している。

(1) FIB-SEM によるクラックの 3 次元イメージング

電気伝導度モデルを精密化するためには、クラック開口の空間分布を知る必要がある。このため、FIB-SEM による粒界クラックの 3 次元イメージングを行う。

(2) 緻密な岩石試料 (チャート) の弾性波速度・電気伝導度測定

これまでに使用してきた花崗岩は、クラックの量が比較的多く、その連結度も比較的高かった。地殻への応用を考えた場合、クラックの少ない状態での弾性波速度、電気伝導度についての理解も不可欠である。そのため、当初の計画にはなかったが、ほとんどクラックを含まない緻密なチャート試料を用いた測定を行い、地震波速度・電気伝導度の統一モデルの構築を目指す。

流動 - 変形場：昨年度と今年度の成果を受け、地震発生を長期的に規定する沈み込み帯のリソスフェアの変形 (地形発達) について主に比較沈み込み学の見地から研究を進めると共に、弾性歪みと非弾性歪みの分離に向けてインバージョン解析の理論的な準備を進める。

(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 (行武 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



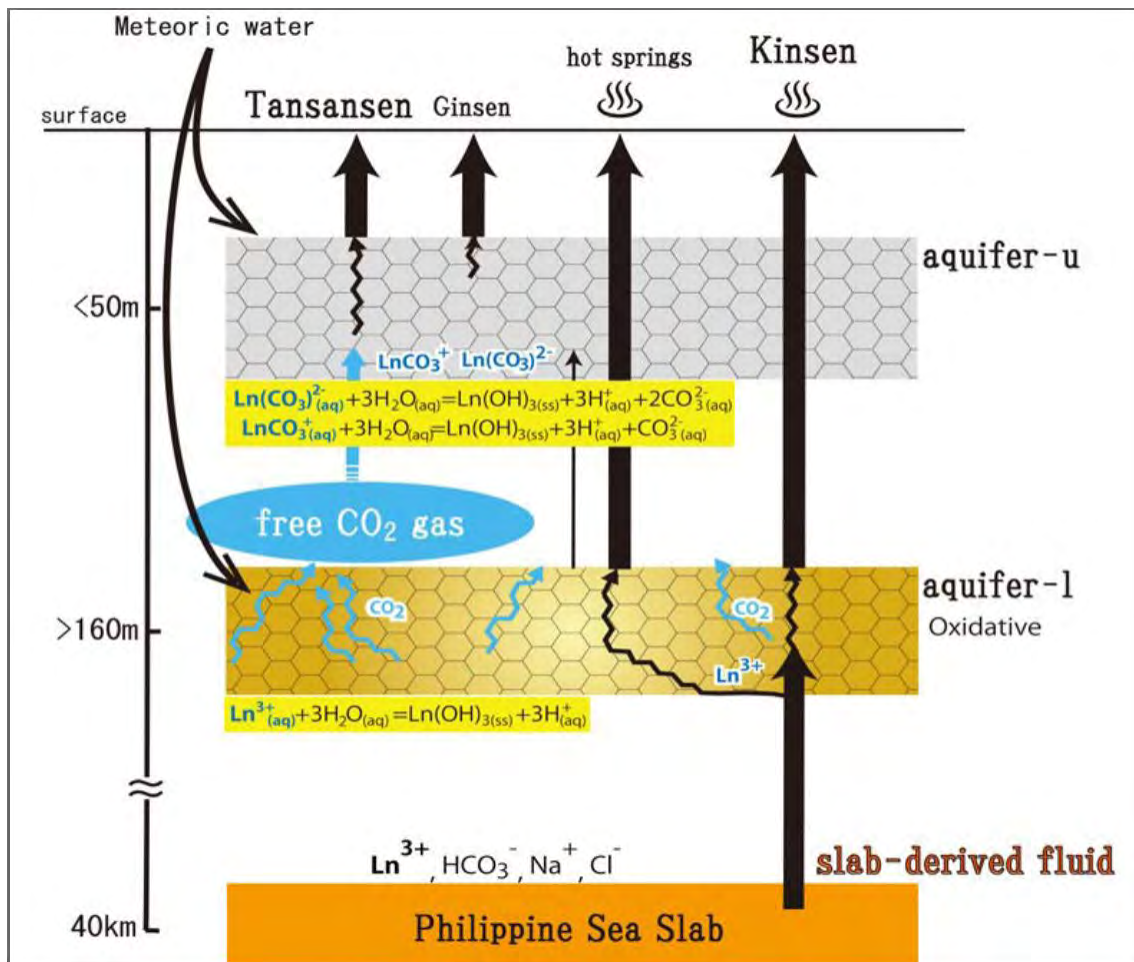


図 1

有馬型塩水の上昇過程を示す模式図 ( Nakamura et al., 2015 )。深部流体 ( この場合、沈み込むフィリピン海プレート由来の塩水 ) が、地下数百メートル程度 ( 有馬地域下では 160m 深度 ) で下部天水層に供給され、鉱物の沈殿や脱ガスを起こすと推定される。脱ガス成分 ( 主に CO<sub>2</sub>。He はマンツルの始原的値をもつ ) は上部天水層に供給され、炭酸泉を生じる。

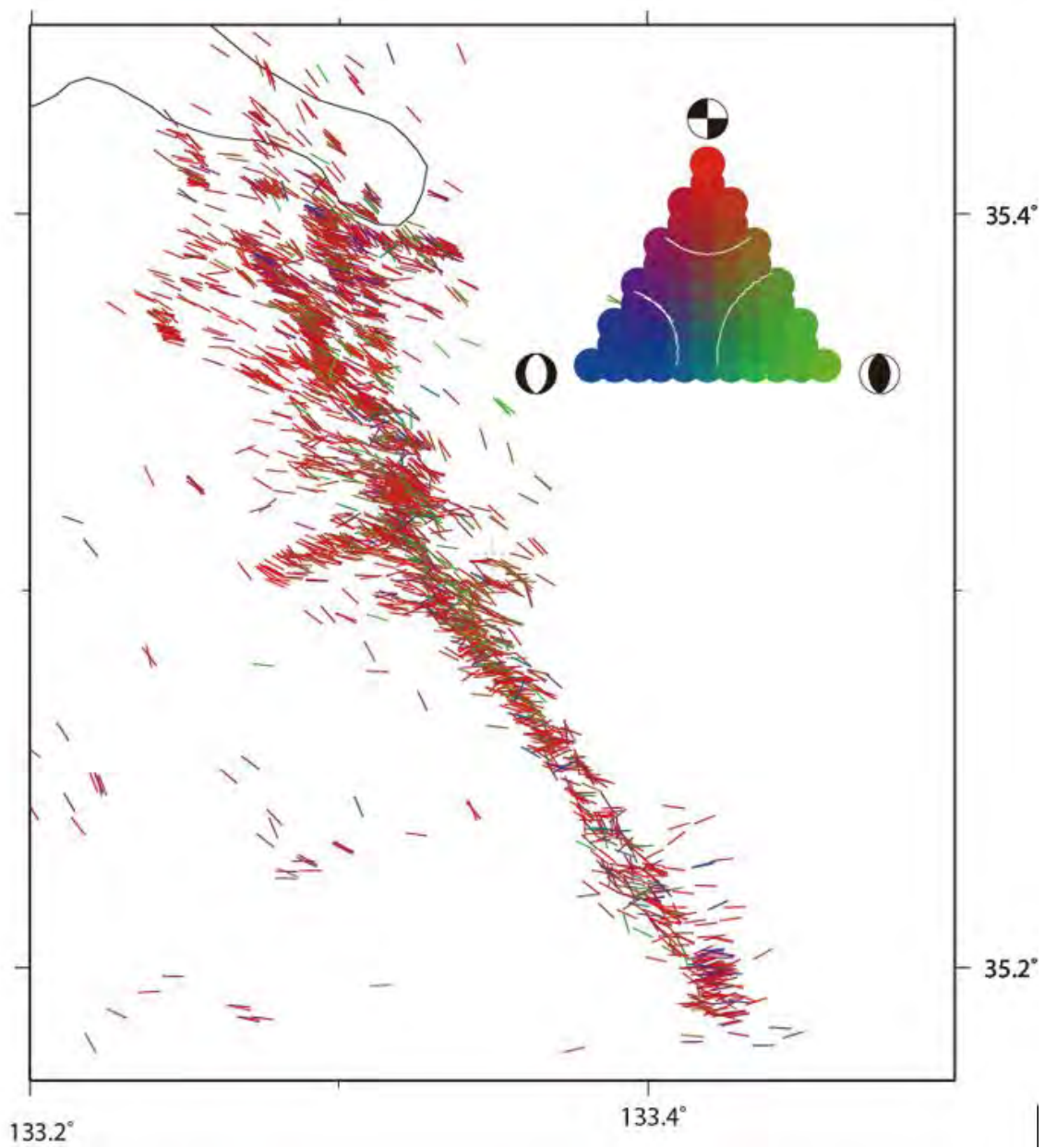


図 2  
鳥取県西部域における発震機構解の P 軸分布。棒の方向は P 軸方位、色はメカニズム解のタイプを表す。

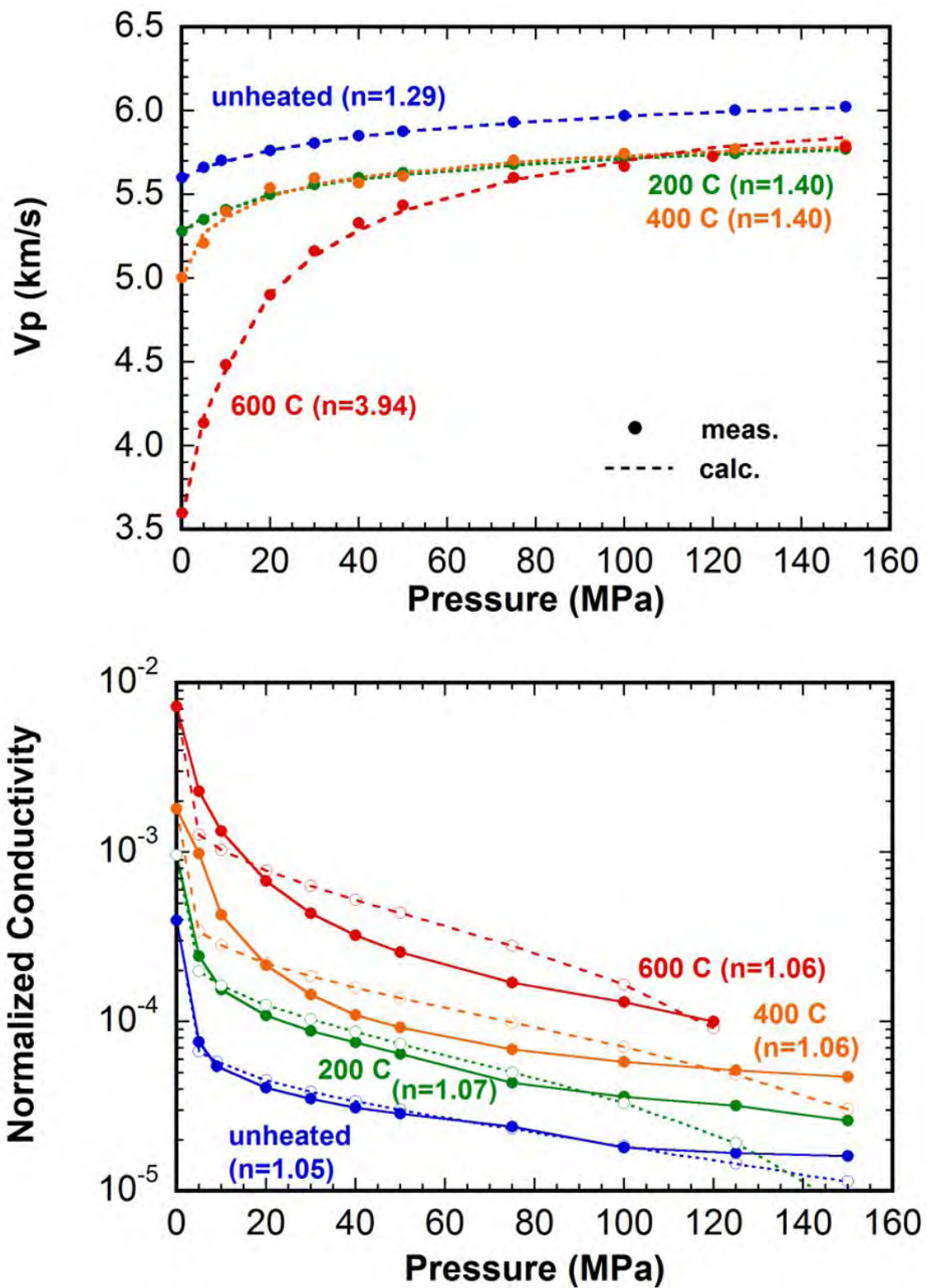


図 3

縦波速度および電気伝導度の封圧依存性。電気伝導度は間隙流体 (0.1M 塩化カリウム水溶液) の伝導度で規格化している。温度はクラック量を増やすために 2 時間加熱した温度である。n は開口の分布関数の指数であり、1 に近いほど狭い開口が多いことを表す。

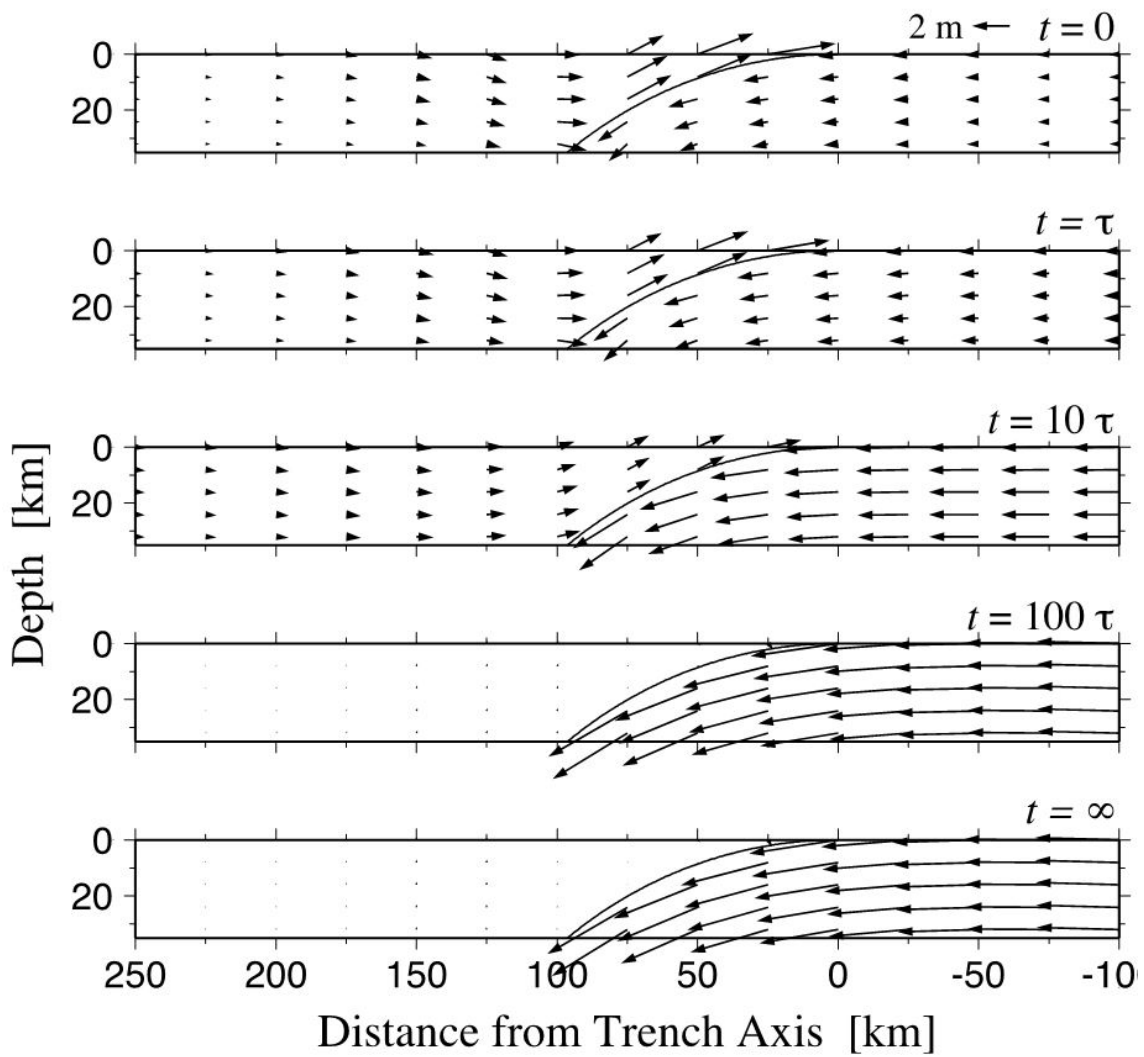


図 4

プレート境界型巨大地震による地震時変位とその後の粘性緩和による変動。二次元下で表層弾性 - 下層粘弾性の半無限 2 層構造を考え、 $t=0$  に表層 ( リソスフェア ) 内のプレート境界全面に一様に 5 m の断層滑りを与えた。はアセノスフェアの緩和時定数。粘性緩和完了後に、ほぼブロック運動が実現することに注意。

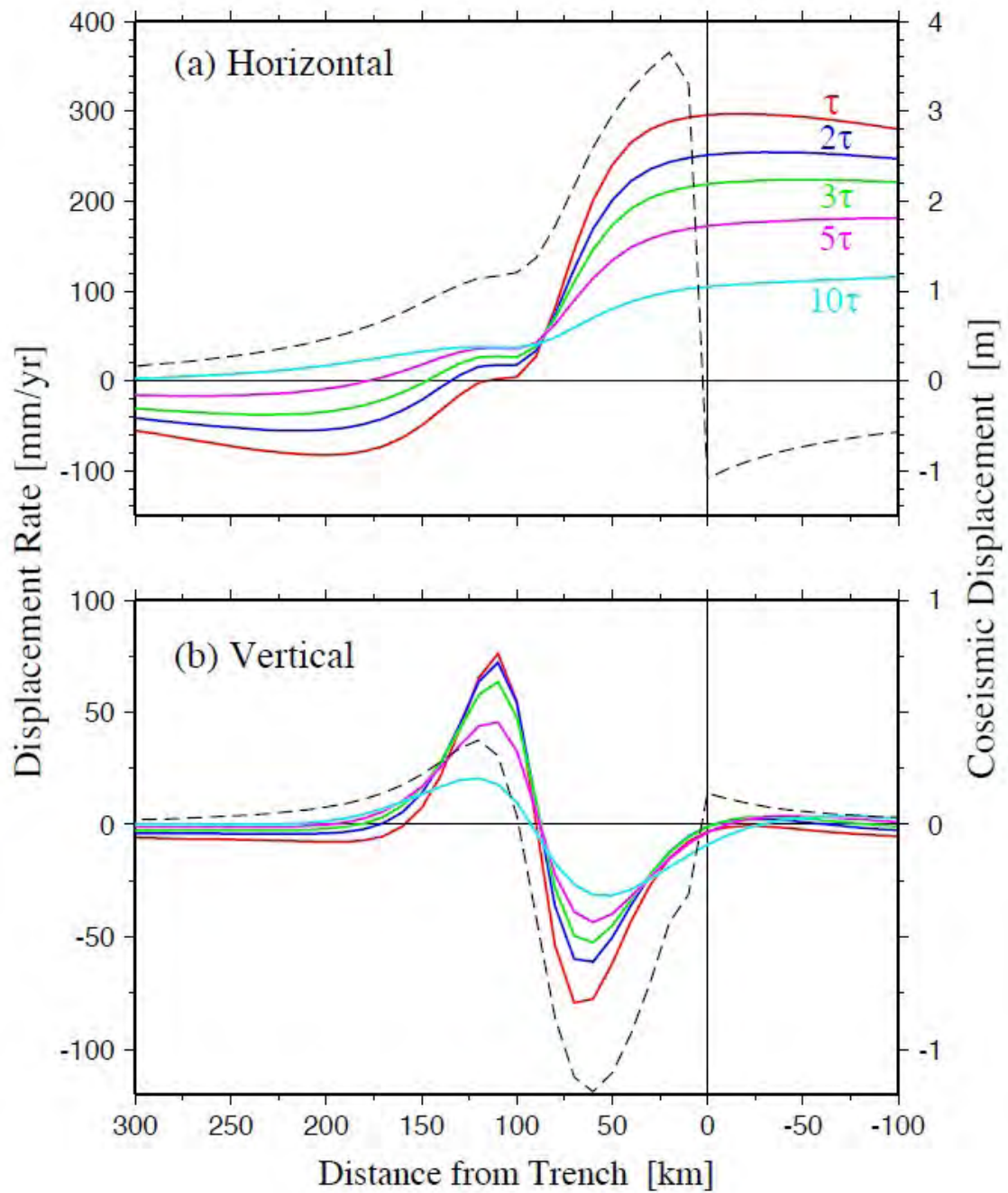


図 5

巨大地震後の水平 (a) および垂直 (b) 変位速度の時間変化。水平変位は内陸向きを正としている。比較のため、正負を入れ換えて地震時変位 (点線) も示している。内陸部では、水平・垂直変位速度共に、運動方向の逆転が生じていることに注意。

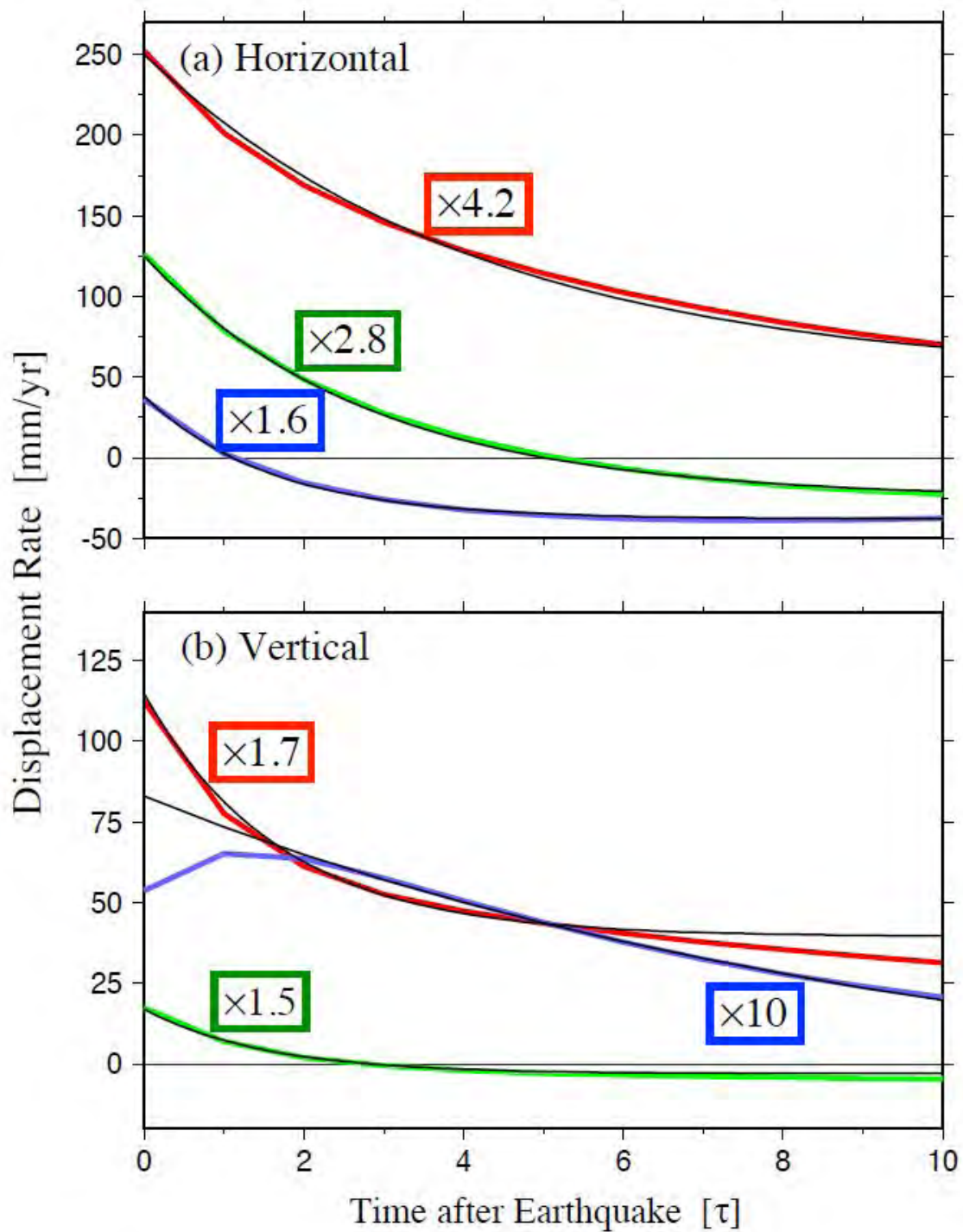


図 6

巨大地震後の粘性緩和による各地点における変位速度の時間変化。海溝からの距離 60 km ごとに表示（赤：60 km, 青：120 km, 緑：180 km）。比較のため、一部プロファイルの正負を入れ換えてある。黒線は、オフセット頂付きの指数関数でフィッティングしたもの。色四角で囲まれた数字は、緩和速度を規定する  $b$  の値を示す。場所毎に  $b$  の値が大きく異なることに注意。

( 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27年度の成果の概要:

##### 1.これまでの注水実験(1800m深度および540m深度)データの解析

一昨年度実施した1800m深度注水実験(2013年9月)において、地表で観測された自然電位変動は明瞭ではなく、一部の電極では従来の540m深度注水実験とは逆センスの変動が観測された。昨年度に引き続き、この自然電位変動についての統一的な理解のため、従来の540m深度注水実験も含めた再検討を行った。1997年、2000年、および2003年の注水実験では、注水に伴う自然電位変動には次の3つの特徴が見られた:1)注水の開始・停止に同期した変動、2)注水孔(1800m孔)周辺では電氣的に負の変動、3)変動の大きさは注水孔からの距離が離れるほど小さくなる。しかし、2004年以降、とりわけ2006年の実験では特徴の2)、3)とは異なる変動が観測されるようになった。すなわち、注水孔から30m～50m離れた電極では変動の極性が逆(電氣的に正)となった。これは、従来の1800m注水孔を線電流源とするモデル(LSM)では説明されないため、昨年度は、正の電荷が注水孔から一定の距離に環状に分布する環状電流源(CSM)をLSMに重ね合わせるモデルを検討した。その結果、正の電位変動を説明可能であることは示せたが、電位分布の空間的な特徴を完全には説明できなかった。とりわけ、注水孔から少し離れた測線(B測線)では正の電位変動が注水実験時には観測されていない。今年度はこれらの課題を解決するために、正の電位変動が観測された近傍にのみ電位変動の原因を考えられないかを検討した。注水孔から30m～50m離れた地点での電位変動の特性を説明するモデルの1つとして、正に変動する電位変動が生じている観測点付近に、注水孔に近い側に負電荷で注水孔から離れた側に正電荷というペアが、注水に同期して発生するモデルを検討した。ただし、B測線では正の電位変動が観測されていないので、比較的浅部で発生する電流量もあまり大きくできないという制約のもとでモデルを作成した。計算例を図1bに示す。2006年の観測例(図1a)に示すよ



うな、20m～50m 付近で LSM モデルに比べて正の電位変動が大きくなる特性を表現できているが、注水孔側でもまだ LSM から外れている。これについては、電流源の位置や大きさを調整することで説明できる可能性がある。このような双極子型の電流源が注水に同期してなぜ現れるのかについては現時点では不明である。構造上の不均質（比抵抗、電位など）を考えることはできるが、浅部の限られた範囲での地下水流動を示すデータはこれまでの注水実験では観測されていない。また、このような電流源が発生したとしても、一昨年度の 1800m 深度注水実験で電位変動が観測されなかったことについてはさらに検討が必要である。

その他、一昨年度実施した 1800m 深度注水実験に関しては、極微小地震の活動変化の再検討、波形相関を用いた極微小地震の震源クラスター構造の解析なども行った。

## 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：

2015 年 11 月 26 日から 2016 年 2 月中旬にかけて、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た（2 月末まで連続運転を継続する予定）。過去 12 回の連続運転（1999 年 6 月～2015 年 2 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 800 m 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～2016 年にかけての経年変化を推定した（図 2）。図 2 を見ると、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～2016 年にかけて約 2 ms（4%）程度速くなる傾向が明瞭となった。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 波走時が次第に速くなる傾向が明瞭となった。振幅については各期間で ± 20% 程度のばらつきがあり、2011 年以降については P 波の振幅が大きくなる傾向が見られる。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 3）。鉛直成分、水平成分ともに走時のばらつきが大きく経年変化を見いだすのは難しい。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加（強度回復）を示唆している。1999 年～2000 年、および 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、8000m 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。

- (9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
村上英記，野島断層注水実験に伴う自然電位変動の再解析，Conductivity Anomaly 研究会，2016 年 1 月 6-7 日（東京大学地震研究所）。

## (10) 平成 28 年度実施計画の概要：

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。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、および 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。

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）

奈良産業大学情報学部（向井厚志）

産業技術総合研究所（北川有一・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/idoi/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

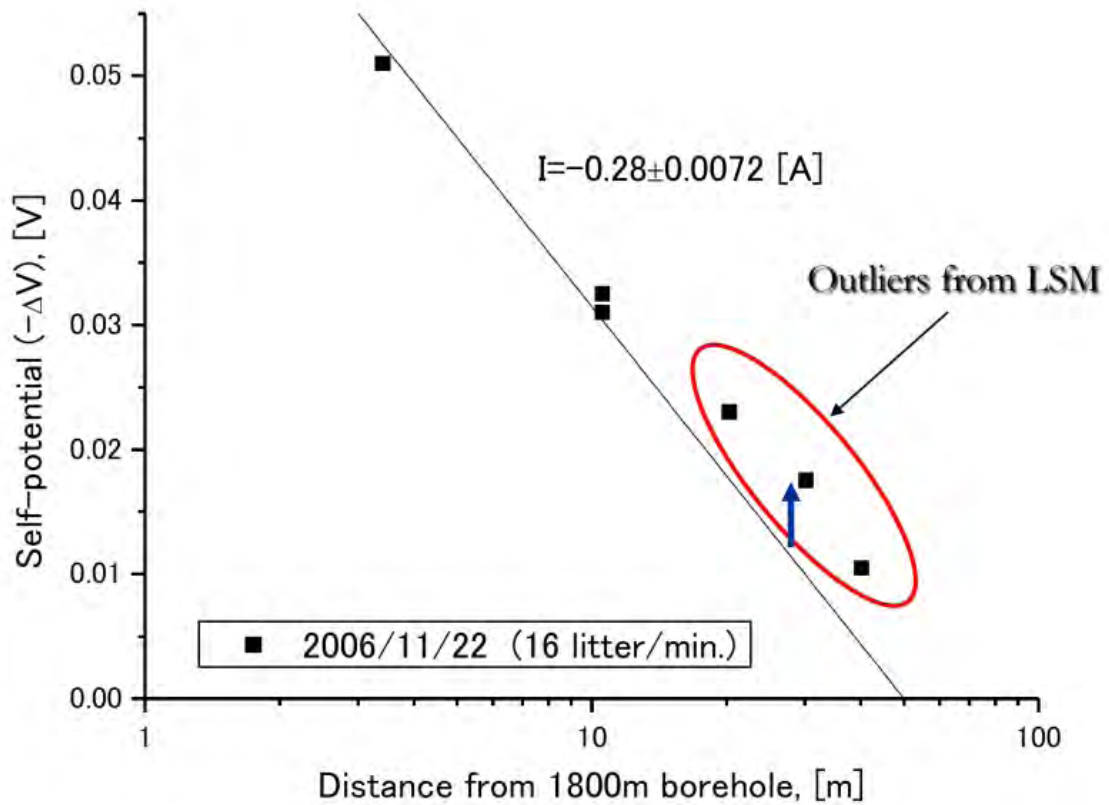


図 1 (a) 2006 年の注水実験時に観測された電位変動分布。電位の基準点を 50m 地点の電極とした場合の観測値 ( ) 実線は観測値と 50m 地点の電位がゼロになるという拘束条件でモデル計算した電位変動の直線。赤丸で囲んだ範囲が LSM モデルから外れている。

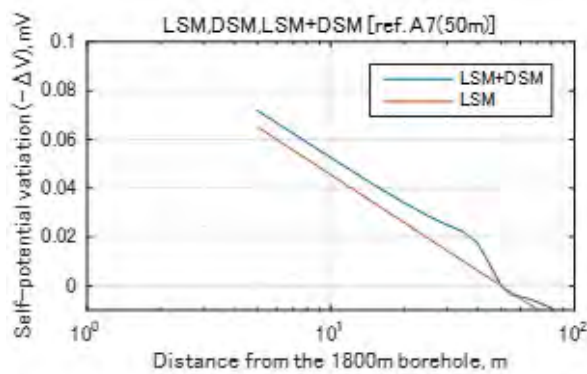


図 1 (b) 双極子型の電流源を考慮したモデルでの電位変動分布。赤の直線は LSM モデルによる電位分布で、青色は LSM モデルに双極子型の電流源の作る電場を加えた電位分布。

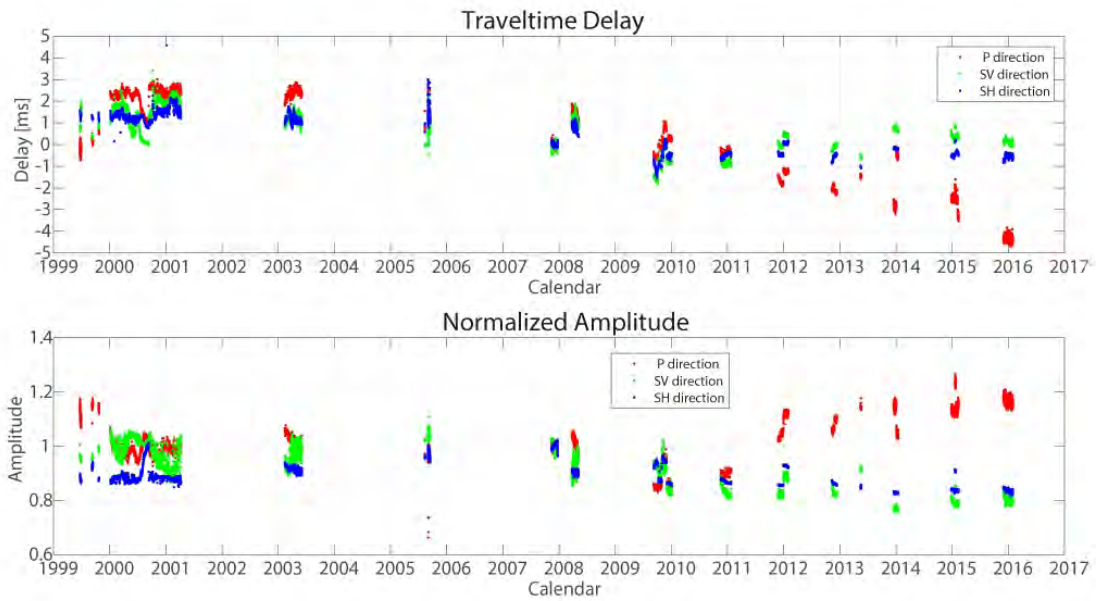


図2 1999年6月～2016年2月にかけてアクロス連続運転により測定された、野島断層近傍における直達波（P波およびS波）の走時（上）および振幅（下）の時間変化。いずれも、2007年11-12月を基準とした走時の遅れと振幅の比を示す。赤、緑、青はそれぞれ、P波、断層に直交するS波、および断層に平行なS波。

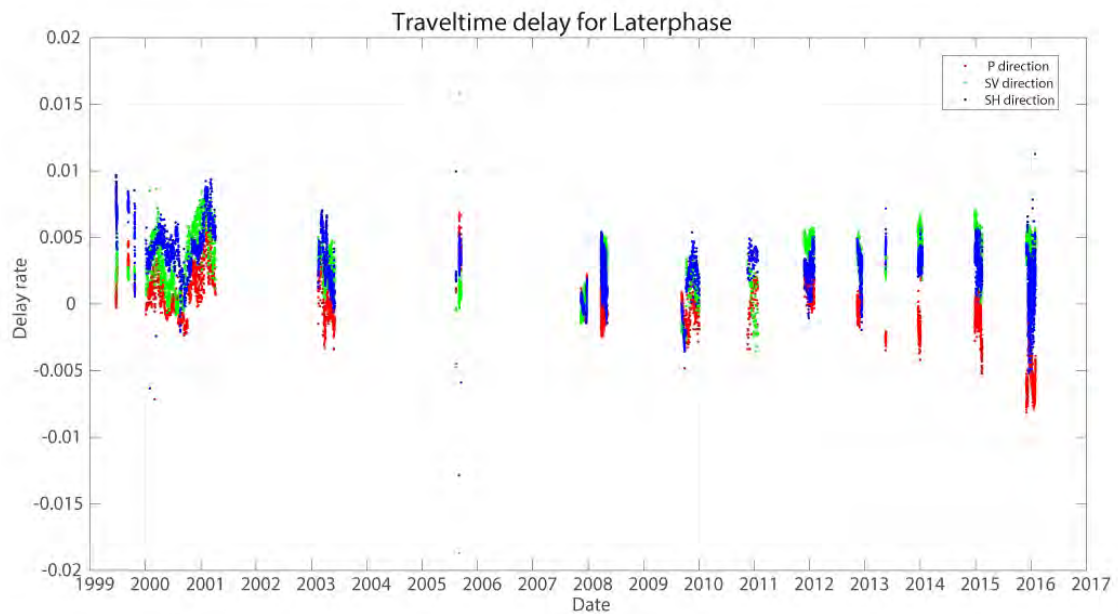


図3 1999年6月～2016年2月にかけてアクロス連続運転により測定された、後続波部分の走時の時間変化。2007年11-12月を基準とした走時遅れの割合を示す。赤、緑、青はそれぞれ、鉛直成分、震源方向の水平成分、および震源直交方向の水平成分。

( 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27年度の成果の概要：

・地殻変動とモデリング：

InSARとGNSS双方のデータを用いて跡津川断層近傍の地殻変動パターンを面的に把握することを試

みている。昨年度までは InSAR 時系列解析の結果として得られる平均速度場を GNSS データで補正した。本年度は各干渉画像を GNSS で補正してから InSAR 時系列解析を行った。その結果、変位速度場は全体的に小さくなったが、依然として跡津川断層系の牛首断層近傍および富山平野との境界付近に変位勾配の大きな領域が見られる。

・比抵抗観測とモデル化：

2014 年度以降、四国地方の比抵抗調査空白域において大局的な比抵抗構造の地域特性を解明するために、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進めている。

2015 年度は 2014 年度に引き続き、2015 年 10 月下旬から 11 月下旬にかけての約 1 ヶ月間にわたり、四国地方中央部の南部地域（4 地点、主に秩父帯上）と北部地域（6 地点、中央構造線を挟む地域）において計 10 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 2）。観測にはフェニックス社製の測定器 MTU-5 及び 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（ただし、測定地点の制約等により、北部地域の SJY では鉛直磁場が、OHZ では磁場 3 成分、そして、NDA では電場 2 成分が未測定成分となっている）。

観測により得られた見かけ比抵抗探査曲線及び位相差曲線を図 3a 及び図 3b に示す。以降、見かけ比抵抗曲線をもとに探査曲線の特徴について述べる。

南部地域の観測点（TRN、NRK、SNK、ONM）では、2014 年度観測でも同様の特徴が示されたところであるが、見かけ比抵抗値の全体的なシフト成分を除けば、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明らかになった。

一方、北部地域の観測では、中央構造線の南側の 2 地点（KMS、TMN）において、上述の傾向が見られない探査曲線となった。また、中央構造線の北側の 3 地点（NKS、OHZ、SJY）では、10 秒程度までの短周期帯でのみデータ処理が出来たところである。これは、北部地域では、中央構造線の北側を平行して運行する JR 予讃線からの漏洩電流ノイズの混入のため、数秒から長周期帯域では探査曲線の推定誤差が大きくなったためと考えている。中央構造線の北側地域の地下構造は、地震性のフィリピン海プレートの沈み込みの北限を考える上で鍵となるため、今後は 10 秒程度より長周期側の探査データの推定誤差の改善を図る必要がある。

・地震観測とモデル化：

近畿地方において、レーザー関数解析により、モホ面の深さの詳細な水平変化を推定した。当地域中北部では、いわゆる「満点地震計」による稠密地震観測が行われている。2008 年 11 月に「ひずみ集中帯」プロジェクトにより 45 点が設置され、2009 年からは「地震・火山噴火予知のための観測研究計画」により順次増強され、現在 88 点が稼働している。本解析では、この観測網、および、紀伊半島で行われた稠密リニアアレイ観測（澁谷ほか、2009）と周辺の定常観測網によって記録された、2004 年 5 月～2014 年 5 月に発生した震央距離  $\theta=30^{\circ}80^{\circ}$ 、 $M_w6.0$  以上の地震波形を使用した。レーザー関数解析では、2 次元の測線に沿ってスタックを行うことが多いが、広域に展開された稠密な観測網の特長を生かして、3 次元のブロック（ $5.0 \times 5.0 \times 3.0$  km）でスタックを行う事により、地震波速度不連続面の詳細な 3 次元的な分布を求めることが出来た。

図 4 に結果を示す。琵琶湖南部を通る 4 つの東西断面における結果を示している。琵琶湖西岸域において、モホ面が 30～40km 付近に明瞭にイメージングされている。上側の 2 つの断面において白線で囲った部分は、右側の Index マップ（深さ 30km のレーザー関数解析結果でもある）で白四角の領域に対応している。琵琶湖付近の堆積層が厚い地域のため、解析結果が乱れていると考えられるため、以下の考察ではこの部分は除外して考えることにする。モホ面は基本的に非常に平らであるが、 $x=0$  付近では、それ以西に比べてやや深くなっており、深さは 35～40km 程度である。

$x=0$  付近より東側では、モホ面は徐々に浅くなっている。これまで、琵琶湖付近においてモホ面は周囲に比べて深くなっていると考えられてきたが（例えば、Hurukawa, 1983）、逆の結果が得られた。琵琶湖西岸断層帯は西傾斜の逆断層であり東側（琵琶湖側）が沈降しているが、その沈降は、琵琶湖の直下においては、モホ面の形状には反映されていないようである。この逆断層運動が、上記の  $X=0$  付近において、それ以西よりモホ面が深くなっていることと対応するという考えもあるが（）、京都盆地東

縁断層帯も含めて、測線付近には大規模な活断層が存在し、地形はそれらの運動を反映しているものとなっているが、ここで推定されたモホ面の形状は非常になめらかなものである。内陸の活断層は下部地殻内に延長部を持っているという仮説があるが(例えば、Iio & Kibayashi, 2002)、ここで得られた知見は、下部延長はモホ面を食い違わせていない可能性を示唆している。地殻の最深部では、変形はより広がっている可能性もあり、この問題については今後さらに詳細に検討する必要がある。

図5は、近畿地方中北部における相対的なS波の反射強度分布を示す。「満点地震計」および定常観測点、合計128点で得られたデータから、Doi and Nishigami(2007)の反射法解析手法により推定されたものである。地震波形データとしては、2009年~2013年に発生したM2.0以上の地震で、八木観測点で反射波が見えるものを用いた。片尾(1983)により有馬高槻断層帯の北側に、北落ちの反射面が推定されていたが、反射波の振幅をスタッキングすることにより、客観的に反射面の3次元的な分布を得ることが出来た。推定された反射面は、低周波地震の震源域から南上がりに、有馬高槻断層帯の直下まで続いている。これは、マントルから上がってきた流体が、低周波地震の震源域から地殻内に侵入し、活断層の深部へ到達していることを示唆している。

S波の反射法解析では、上記の反射面以外に、図6左上において黒太線で囲まれた、花折断層付近に反射強度が相対的に大きな領域が推定された(Aoki et al., 2016)。図6左下は付近の南北断面図である。深さ30km付近に反射強度の大きな領域があり、その近傍に低周波地震の震源が決まっている。図6右には、地震波速度構造および震源分布と強度の大きな領域を比較したものを示す。低周波地震の震源域の付近にある反射強度の大きな領域の上には、S波速度が小さな領域がある。さらに、その直上において、地震分布の下限が20km程度と非常に深くなっていることがわかる。この下限の水平変化は温度構造の不均質によると考えられていたが(例えば、Ito, 1990)、20kmという深部で局所的に温度を下げることは難しいことから、温度が原因ではなく、高間隙水圧により、断層の摩擦強度が局所的に下がったためである可能性が考えられる。

このように稠密観測網のデータを用いたS波の反射法解析により、地殻下部における1.5kmメッシュという高分解能の相対的な反射強度分布を推定することができた。得られた結果は、マントルから上がってきた流体が、低周波地震の震源域付近から地殻内に侵入し、活断層に下部延長付近に達していることを示唆している。また、トモグラフィーにより得られている速度不均質構造は、流体の分布を空間的になめらかにしたのを見ていると解釈できる。

#### ・間隙流体圧場の推定：

御獄山周辺域の定常地震観測の体制に関して、微小群発地震活動震源域の北東麓への拡大を考慮し、既存の定常地震観測網に新たな観測点1点を追加設置した。これにより震源域を取り囲むように定常地震観測網が補強された(図7)。

名古屋大学を含む諸機関の定常地震観測で得られた地震波形データ(2015年1月~2015年12月)に分析に関しては、WINシステムのイベント検出機能を利用した手動波形読み取り処理を行い、3925個の地震の震源を決定した(図7)。これらの中には、御獄山直下で継続して発生中の火山性地震の震源431個が含まれる。また、手動波形読み取り処理によるP波初動の押し引き分布とS/P振幅比をデータとし、Hardebeck & Shearer(2003)の手法による計算コードHASHを用いて2490個の地震のメカニズム解を推定した。ただし、オリジナルのコードでは、観測点の標高が考慮できないことや、海拔0よりも浅い地震の波線を正しく計算できないという問題点があった。この問題は、浅い領域で発生する火山性地震のメカニズム解を推定する上では無視できない。そこで、実際の解析には、本問題点を修正した改良コードを用いた。推定したメカニズム解のうち、火山性地震(VTイベント)のメカニズム解は107個あった。更に、2014年11月~2015年2月の連続波形データを精査し、832個の火山性地震の震源を決定した。

次に、2014年9月の御獄山噴火前後の応力場の変化や、地震メカニズムトモグラフィー法(Terakawa et al., 2010, 2014)により間隙流体圧分布を調べるために、平常時の地震のメカニズム解(2012年5月~2014年7月、 $M>1$ )をCMTデータインバージョン法に適用し、御獄山周辺域の広域応力場を推定した(図8)。この解析により、広域応力場は北西-南東方向に最大圧縮軸を持つ横ずれ断層型の応力



状態で特徴付けられることがわかった。このパターンは、日本列島全域を対象としたより規模の大きな地震 ( $M > 3.5$ ) から推定された広域応力場の結果 (Terakawa & Matsu 'ura, 2010) とも概ね調和的である。しかし、小さなスケールでの空間変動に着目すると、御嶽山東麓～南東麓の微小群発地震の発生域では、両者の応力場のパターンは主応力軸の向きで平均 50 度程度差があることがわかった。来年度以降、数 km 程度の空間解像度で間隙流体圧場を推定するためには、本年度推定した広域応力場の情報が不可欠となる。

また、2014 年 8 月～2015 年 3 月に発生した 94 個の VT イベントのメカニズム解と前述の広域応力場の関係から、2014 年御嶽山噴火前後の山頂直下の局所応力場の時間変化を調べた (Terakawa et al., in press)。山頂直下の局所応力場は、一般に、プレート運動によって形成される広域応力場と、火山活動によって引き起こされる応力変動の重ね合わせとして表現される。数週間から数か月といった中短期的時間スケールでは、広域応力場の変化は無視できるほど小さい。このため、もし、中短期的時間スケールで局所応力場の時間変化が捉えられれば、それは火山活動による応力変動に他ならない。この考えに基づき、観測されたすべりベクトルと広域応力場から期待される理論滑りベクトルの角度差をミスフィット角と定義し、この量を用いて局所応力場の広域応力場からのずれを評価した。ミスフィット角が広域応力場及びメカニズム解の誤差を考慮した閾値 (65 度) を超えた場合は、局所応力場が広域応力場から有意にずれていること、つまり火山活動の活発化による有意な応力変動があったことを意味する。解析の結果、ミスフィット角は 2014 年 9 月の噴火直前約 2 週間は閾値を大きく超える傾向にあったが、噴火後に急激に閾値以下に減少したことがわかった (図 9a)。噴火前に東西伸長の正断層型地震が多く発生したことは、御嶽火山が地殻内に発達した構造を利用して東西方向に大きな膨張を引き起こしたことを反映していると考えられる。また、噴火直後に広域応力場と調和的な東西伸長の逆断層型地震が活発化したことは、山体が広域応力場に支配されて収縮した過程に対応すると考えられる。

一方、御嶽山の火山活動と周辺域の地震活動との相互作用を調べることを目的に、御嶽山南東麓の群発地震活動域の応力場の時間変化 (2014 年 8 月～2015 年 3 月) を調べた。応力場の時間変化の検出は、前述の山頂直下の局所応力場の場合と同様に、対象地域で発生する地震のメカニズム解と広域応力場の関係から、ミスフィット角を指標として評価した。この結果、2014 年の御嶽山噴火の約 1 週間前、群発地震活動域の応力状態が広域応力場からずれている可能性があることがわかった。しかし、ずれの量は閾値を 10 度程度上回るに過ぎないため、今後、長い時間スケールでミスフィット角の時間変化を調べ、火山活動と内陸地震発生の相互作用を理解する必要がある。

#### ・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。今年度は、前年度に引き続きブロック断層モデルを用いて、西南日本の GEONET 速度場を説明する内陸断層のすべり・すべり欠損速度と南海トラフのすべり・すべり欠損速度の同時推定を行った。ブロック分割及び断層ジオメトリの改良により、九州や北陸・中部地方の観測データへのフィッティングが向上した。H26 年度モデルからの具体的な改善点は以下のとおりである。九州においては、別府-阿蘇-日奈久断層にブロック境界を設定。別府-水縄断層-佐世保にも境界を設定、中部と琵琶湖ブロックの境界を柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯から濃尾断層帯へ変更、北陸地方を独立のブロックにしたことである。その結果、濃尾断層系では約 4-6mm/年、北陸沖の断層では約 5mm/年、水縄断層では約 4mm/年程度のブロック相対運動が推定された (図 10)。

#### ・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検証することが本研究の主な一つである。兵庫県南部地震後に北摂・丹波地域の地震活動が活発化したことはよく知られているが、Ogata(2004) は活発化が兵庫県南部地震前に始まっている可能性を見出し、それを直下の水平的な断層のゆっくりすべりにより説明した。今回、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)  $\mu$  値 と余震生産率 (aftershock productivity)  $K$  値の時間変化を求めた (図 11)。その結果、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が変化したことが分かった。この原因は不明であるが、流体貫入のために急激 (不連続的) に常時地震活動度  $\mu$  値が大きくなった可能性が考えられる。一方、兵庫県南部地震の直前の数週間の静穏化が片尾・安藤 (1996) において示唆されているが、これについては詳細に検討する必要があることが分かった。

(9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

飯尾能久、兵庫県南部地震とはどんな地震だったのか?、地震ジャーナル, 59, 1-12, 2015.

飯尾能久、兵庫県南部地震とはどういう地震だったのか?、日本地震学会講演予稿集, S09-05, 2015.

飯尾能久、島弧地殻の変形と内陸地震発生過程、日本地質学会第 122 回学術大会, S1-O-3, 2015.

飯尾能久、水平短縮している堆積盆がなぜ沈降するのか?、地球惑星科学関連学会 2015 年合同大会, SCG57-32, 2015.

飯尾能久、兵庫県南部地震と慶長大地震との関係、地球惑星科学関連学会 2015 年合同大会, SCG65-02, 2015.

Kato, A., T. Terakawa, Y. Yamanaka, Y. Maeda, S. Horikawa, K. Matsuhira, and T. Okuda, Preparatory and precursory processes leading up to the 2014 phreatic eruption of Mount On take, Japan, *Earth, Planets and Space*, 67, 111, doi: 10.1186/s40623-015-0288-x, 2015 (Invited paper).

加藤愛太郎・寺川寿子・山中佳子・前田裕太・堀川信一郎・松廣健二郎・奥田隆、2014 年御嶽山噴火に伴う地震活動の時空間発展、日本地球惑星科学連合 2015 年大会、SVC45-13, 2015.

Maeda, Y., A. Kato, T. Teradata, Y. Yamanaka, S. Horikawa, K. Matsuhira, and T. Okuda, Source mechanism of a VLP event immediately before the 2014 eruption of Mt. On take, Japan, *Earth, Planets and Space* 67, 187, 2015.

前田裕太・加藤愛太郎・寺川寿子・山中佳子・古本宗充・山岡耕春・堀川信一郎・松廣健二郎・奥田隆、地震・傾斜波形解析から推定される御嶽山 2014 年水蒸気噴火の初期過程、日本火山学会 2015 年秋季大会、P-10, 2015.

Nishimura, T. and Y. Takada, The San-in shear zone in southwest Japan revealed by the GEONET data, AGU 2015 Fall Meeting, G13A-1006, 2015.

高田陽一郎、跡津川断層近傍における変形運動と応力蓄積過程、日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 2015.

高田陽一郎、鷲谷威、西村卓也、跡津川断層周辺における地震間地殻変動の特徴、2015 年日本測地学会, 2015

Takada, Y. et al., Stress accumulation process in and around the Atotsugawa fault, Central Japan, estimated from focal mechanism analysis and GNSS data, 2015 IUGG General Assembly, 2015.

Takada, Y., T. Sagiya, and T. Nishimura, Interseismic crustal deformation in and around the Atotsugawa fault system, Central Japan, detected by InSAR and GNSS, 2015 AGU Fall meeting, 2015.

Teradata, T., A. Kato, Y. Yamanaka, Y. Maeda, S. Horikawa, K. Matsuhira, and T. Okuda, Monitoring eruption activity using temporal stress changes at Mount On take volcano, *Nature Communications* (in press).

Teradata, T., N. Deichmann, and S. A. Miller, Evolution of pore fluid pressures in the Basel EGS inferred from earthquake focal mechanisms, 26th IUGG General Assembly 2015, S01c (IUGG-2083), 2015.

Teradata, T., A. Kato, Y. Yamanaka, Y. Maeda, S. Horikawa, K. Matsuhira, and T. Okuda, Monitoring eruption activity from temporal stress changes at Mt. On take volcano, Japan, AGU 2015 Fall Meeting, V14B-04, 2015.

寺川寿子・Nicholas Deichmann, 間隙流体圧場の時間発展解析に基づく地震発生メカニズムの考察、日本地球惑星科学連合 2015 年大会、SCG60-10, 2015.

寺川寿子・加藤愛太郎・山中佳子・前田裕太・堀川信一郎・松廣健二郎・奥田隆，2014年御嶽山噴火に伴う地震メカニズム解の時間変化，日本地球惑星科学連合 2015 年大会，SVC45-14, 2015.  
寺川寿子・加藤愛太郎・山中佳子・前田裕太・堀川信一郎・松廣健二郎・奥田隆，応力場の時間変化に基づく御嶽火山のモニタリング，日本地震学会 2015 年秋季大会，S08-12, 2015  
寺川寿子，応力場の時間変化に基づく御嶽火山のモニタリング（公財）地震予知総合研究振興会・東濃地震科学研究所・平成 27 年度第 2 回地殻活動研究委員会, 2015 .

(10) 平成 28 年度実施計画の概要：

・地殻変動とモデリング：

跡津川断層周辺での GNSS 観測を継続し、GNSS データを用いて 2011 年東北地方太平洋沖地震を挟む跡津川断層周辺の地殻変動様式の時間変化を定量的に明らかにする。また、ALOS(だいち)で明らかにされた東北沖地震前の跡津川断層周辺、特に牛首断層と富山盆地南縁への歪集中が東北沖地震後も継続しているか、ALOS2(だいち 2 号)を用いた InSAR 解析を通して詳細に調べる。

・比抵抗観測とモデル化：

平成 27 年度に引き続きせ郵饗互 貳瑤 蘆罷 瑤砲 韻覺霽彭 翊餽街洪つ敢困里燭阬旅 啞 MT 法観測を実施する 最 戮離如璽燭罍腓鋸算郵饗互 貳瑤 蘆罷 瑤砲 韻覺霽彭 翊餽街洪い鮫だ疑籠蠅垢一' 戮隆兮 罈里燭阬忙郵饗互 症瑤覆猶啞北ぢ 螢 螢 隆兮 簀呂料 世舫縷蠅垢

・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、地震波トモグラフィや反射法解析など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、活断層の分布やそれによる内陸大地震、また常時発生する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：

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する予定である。メカニズム解の推定に関しては、2012 年 5 月～2014 年 7 月までの過去のデータに遡って行い、データベースを構築する。また、御嶽山直下や周辺域の応力場の時間変化のパターンを調べるために、断層強度の変化を考慮して応力場を推定する新しい解析法を開発する予定である。可能ならば、この手法を用いて、山頂直下や群発地震発生域の応力場のパターンの時間変化を推定することを試みる。

・西南日本活動期のシミュレーション：

引き続きブロック断層モデルを用いた内陸活断層とプレート境界におけるすべり速度・すべり欠損速度の推定を行い、九州中部の系統的残差の原因を明らかにする。東北地方太平洋沖地震以降の速度データを用いた解析や余効変動の影響評価、および南海トラフ沿いの海底地殻変動データ（GPS/A）を用いた解析も行う。

・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。

(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

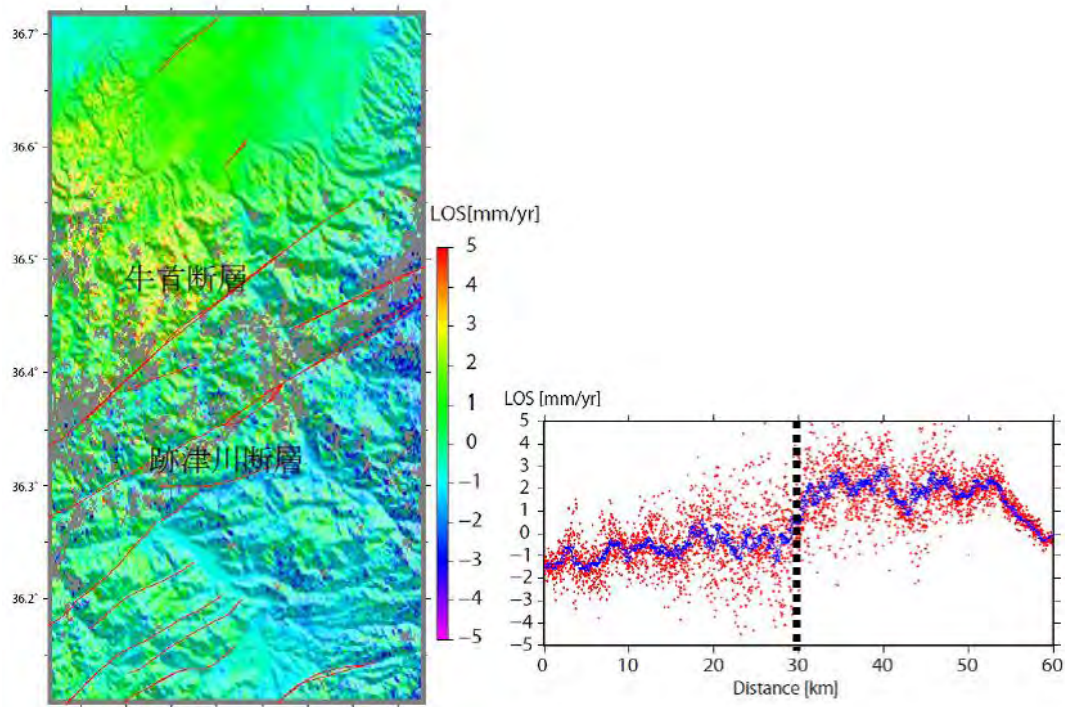


図 1. InSAR 時系列解析による平均速度場 (mm/yr)

左：色は衛星からの距離変化を表し、赤は衛星から遠ざかる変位速度（東向きまたは沈降）、青はその逆を示す。線は活断層を表す。右：断層に直交するプロファイルに沿った衛星視線方向の速度場。点線は牛首断層。

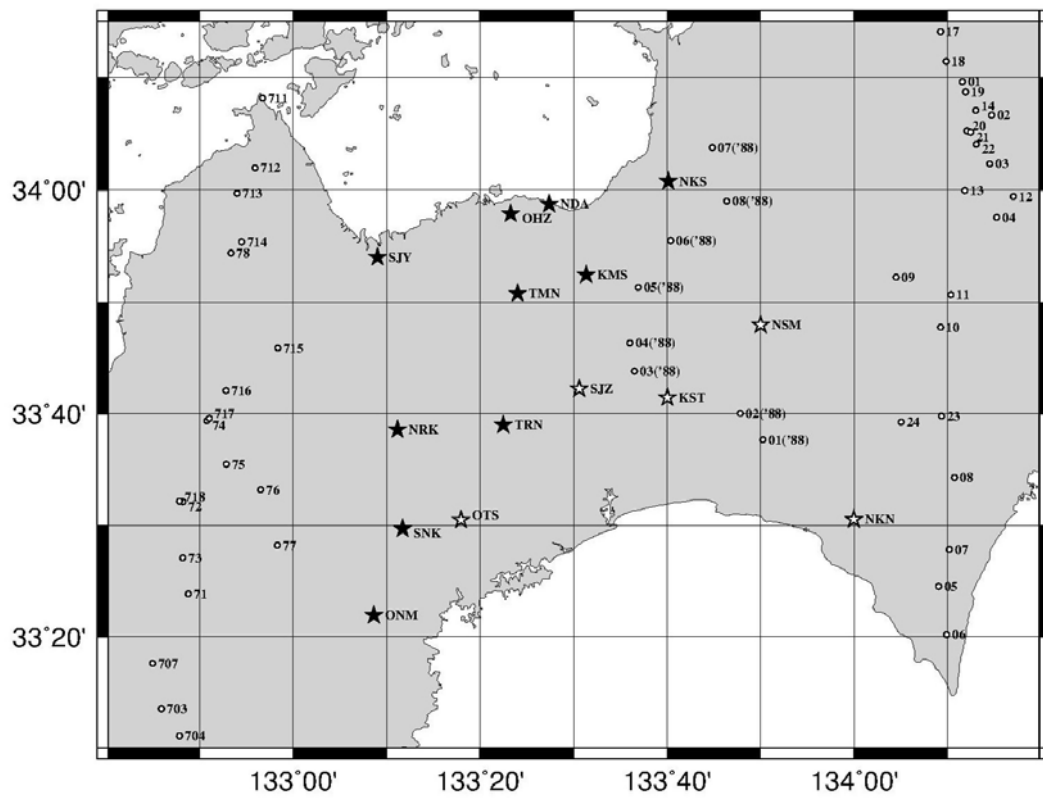


図 2 . 四国地方の 2015 年度広帯域 MT 観測地点 ( 印 ) 分布図  
 既存の測点 ( 2014 年度は 印、2013 年度以前を 印 ) を重ねて描いている。

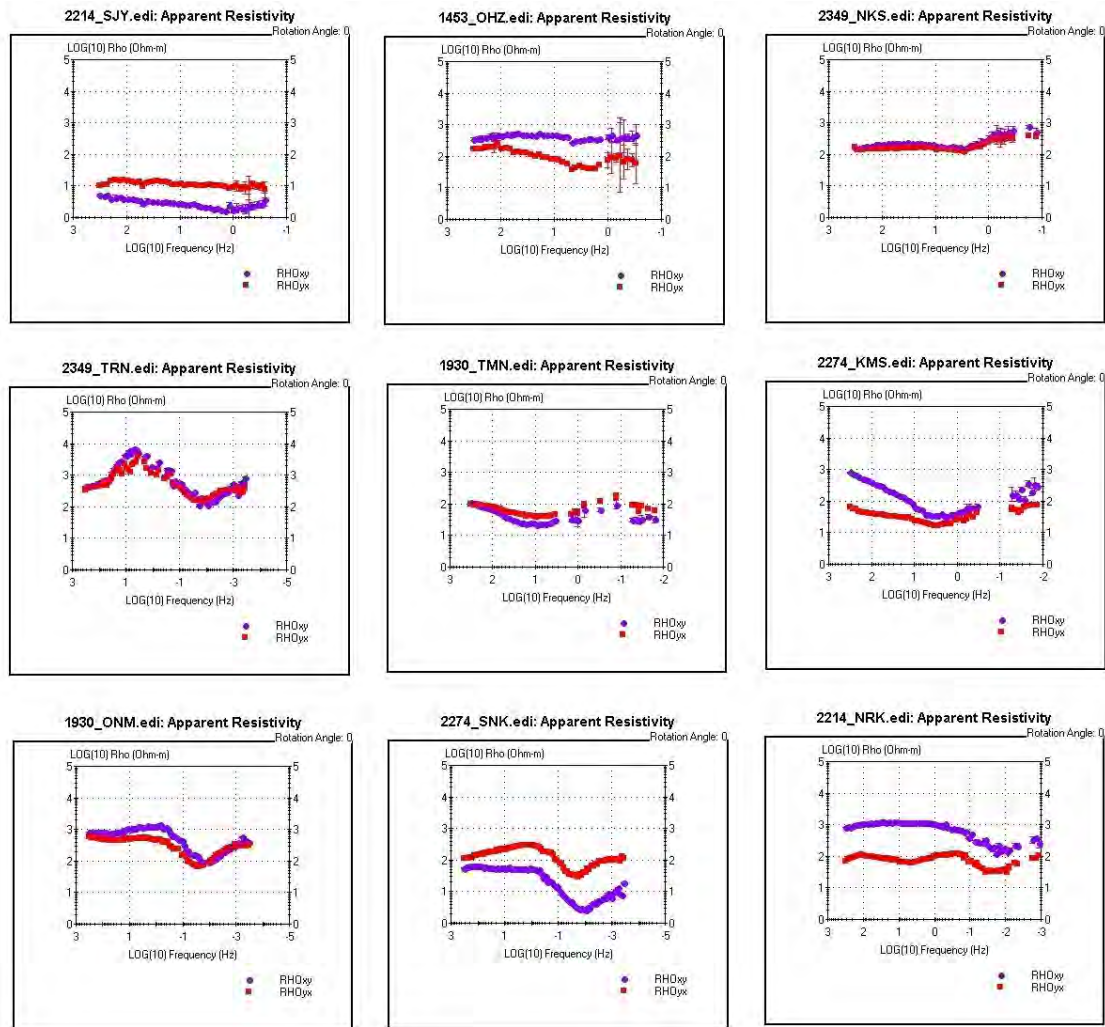


図 3a. 見かけ比抵抗探索曲線

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青丸で示し、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 (  $\Omega \cdot m$  )、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。横軸はサイトにより異なる場合がある。

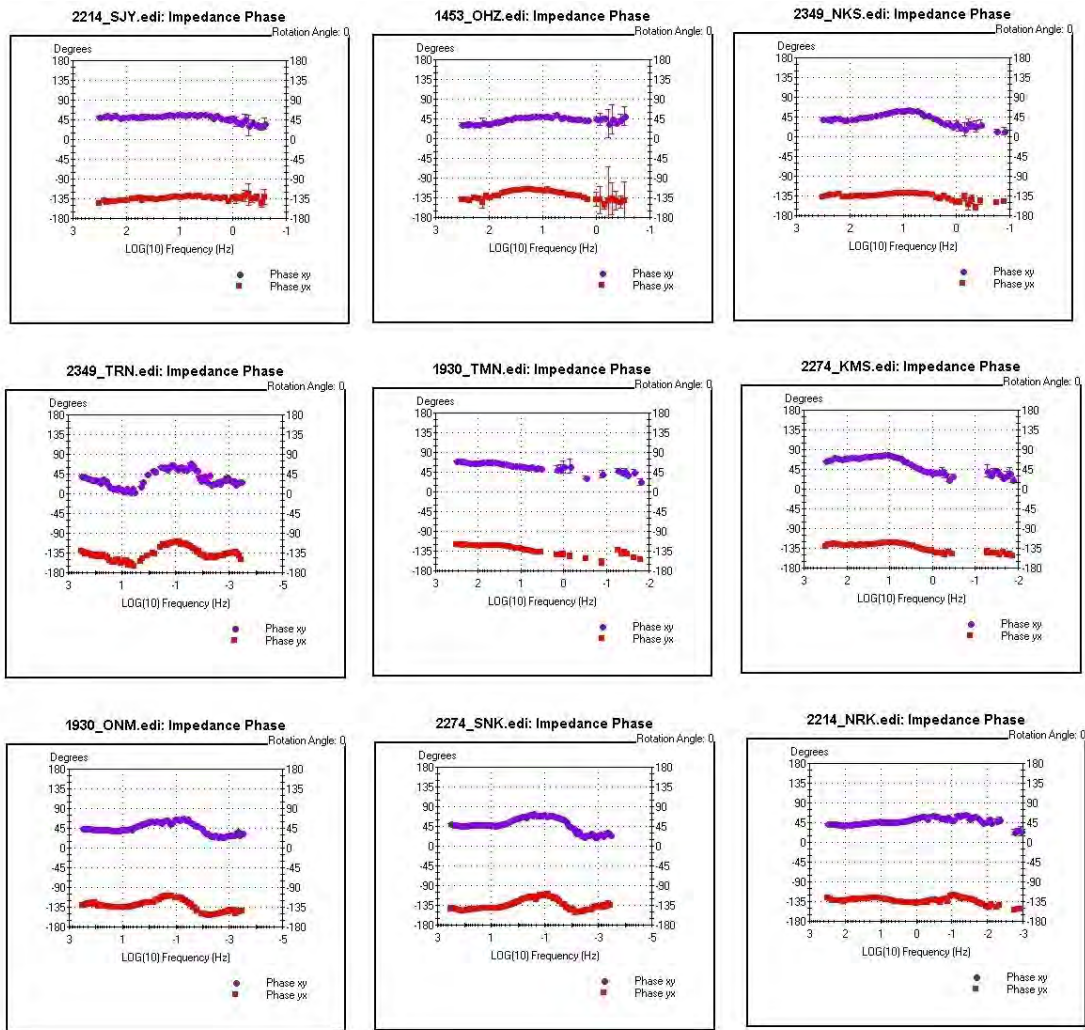


図 3b. 位相差探索曲線

南北方向の電場と東西方向の磁場変動から推定された位相差を青丸で示し、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。縦軸は位相差(度)を表す。横軸は周波数(Hz)を表し、対数目盛りで表現されている。

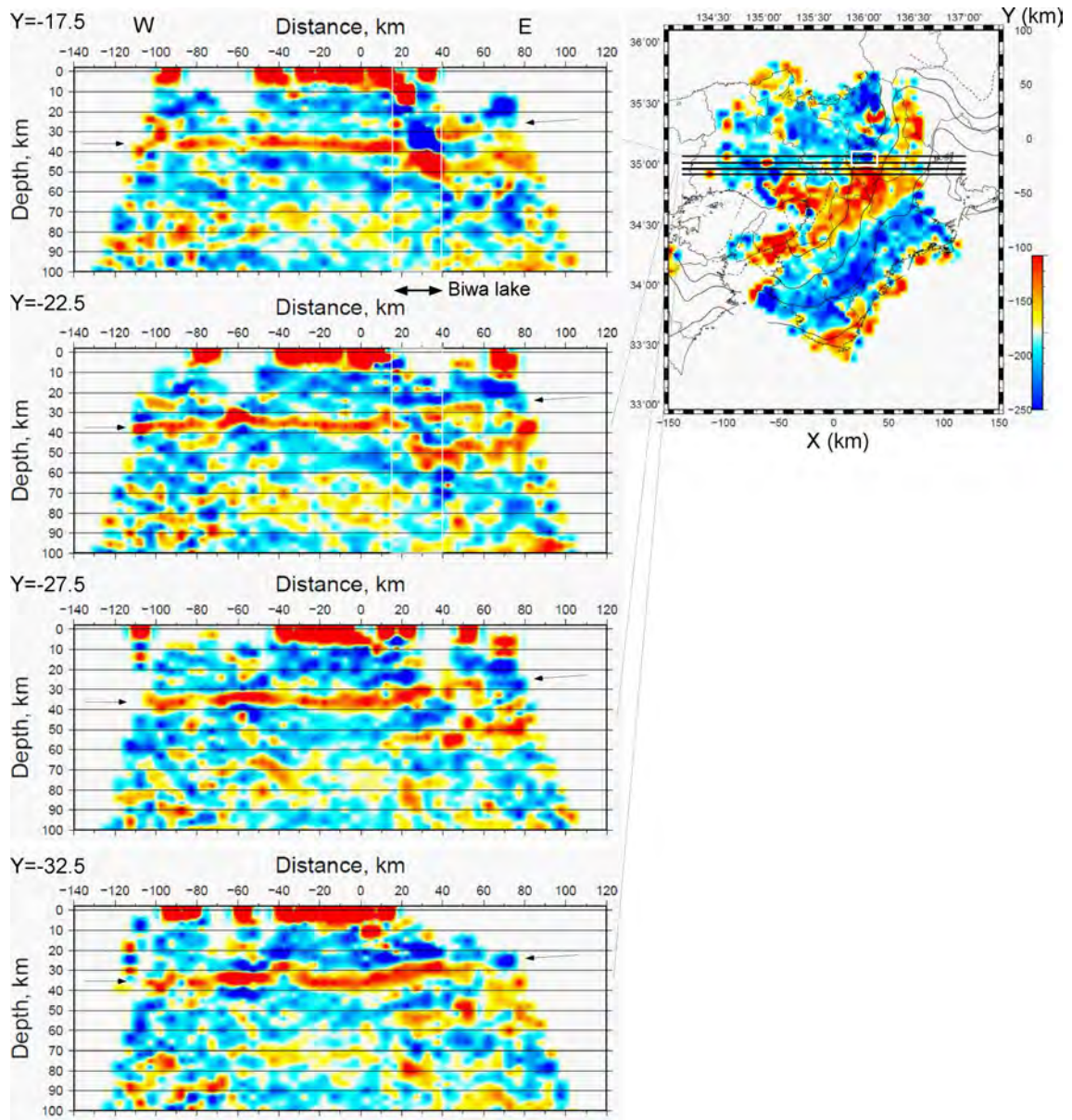


図 4. 近畿地方におけるレーザー関数解析結果

左：琵琶湖南部を通る4つの東西断面における結果。上側の2つの断面において白線で囲った部分は、琵琶湖付近の堆積層が厚い地域のため、結果が乱れていると考えられる。右：深さ30kmのレーザー関数解析結果に各断面の位置を示したもの。



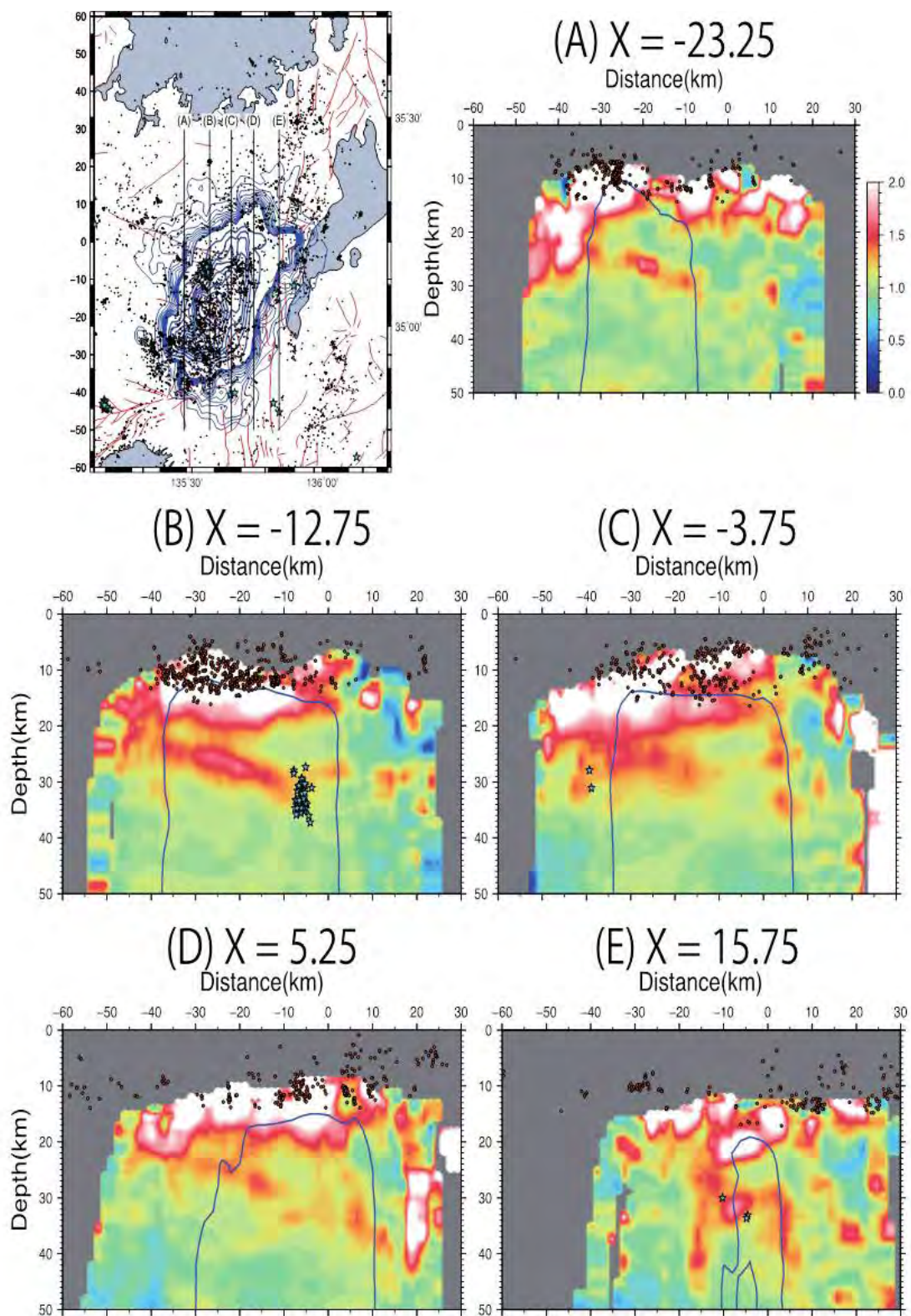


図 5. 近畿地方中北部における相対的な S 波の反射強度分布 (Aoki et al., 2016)

星印：一元化震源による低周波地震の震源。黒丸：稠密観測網により決定された通常の地震の震源。青線：スタックしたデータポイントが 1 万点以上の領域。

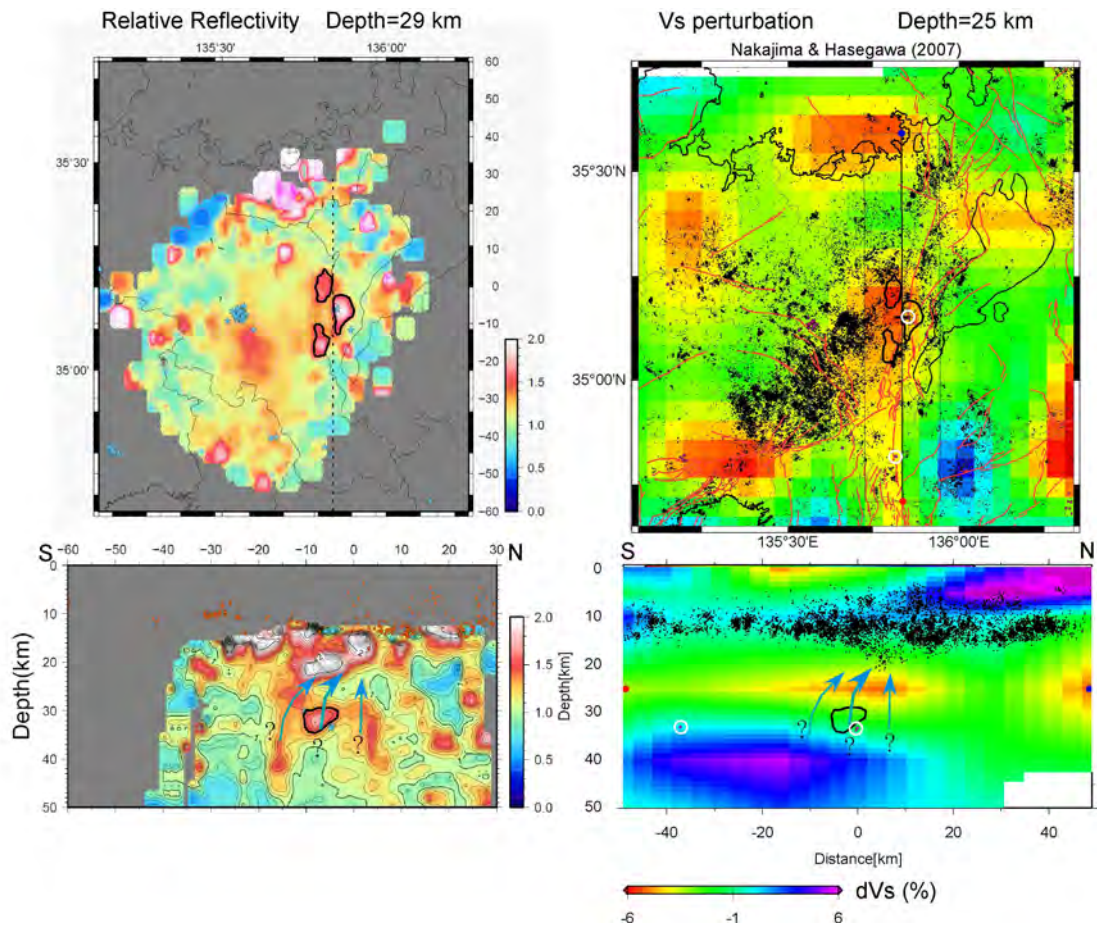


図 6. 花折断層付近の反射強度と地震波速度構造

左上：深さ 29km の S 波の相対的な反射強度分布 (Aoki et al., 2016)。左下：花折断層付近 (左上図の点線の位置) を通る断面における S 波の相対的な反射強度分布 (Aoki et al., 2016)。右上：深さ 25km における S 波の速度偏差と反射強度が強い領域との比較。黒太線の領域は、左上の図で強度の大きな部分を囲んだもの。右下：南北断面における S 波の速度偏差と反射強度が強い領域との比較。黒太線の領域は、左下の図で強度の大きな部分を囲んだもの。S 波の速度偏差は Nakajima & Hasegawa (2007) による。地震の震源は気象庁の一元化震源。右上の黒四角の領域内の震源を投影した。花折断層付近の低周波地震を白丸で囲んでいる。右上・下の図は、産業技術総合研究所地下構造可視化システムにより作成しました。

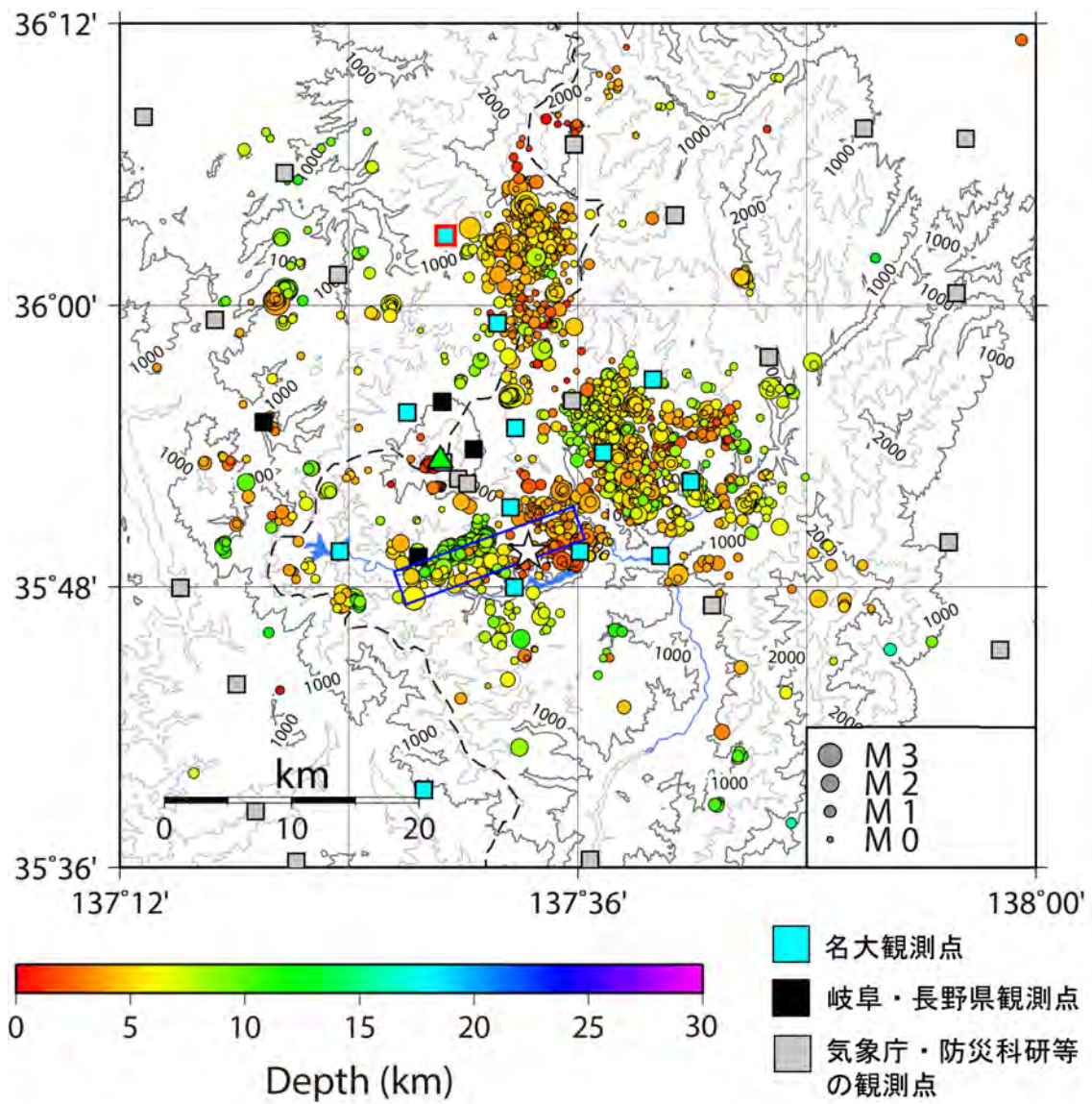


図 7. 御嶽山周辺域の地震活動(2015.1-2015.12)と観測点分布  
 赤線で取り囲んだ水色の四角印が H27 年度に新設した観測点。 は御嶽山、 と青線の矩形は 1984 年長野県西部地震の震源と震源断層。

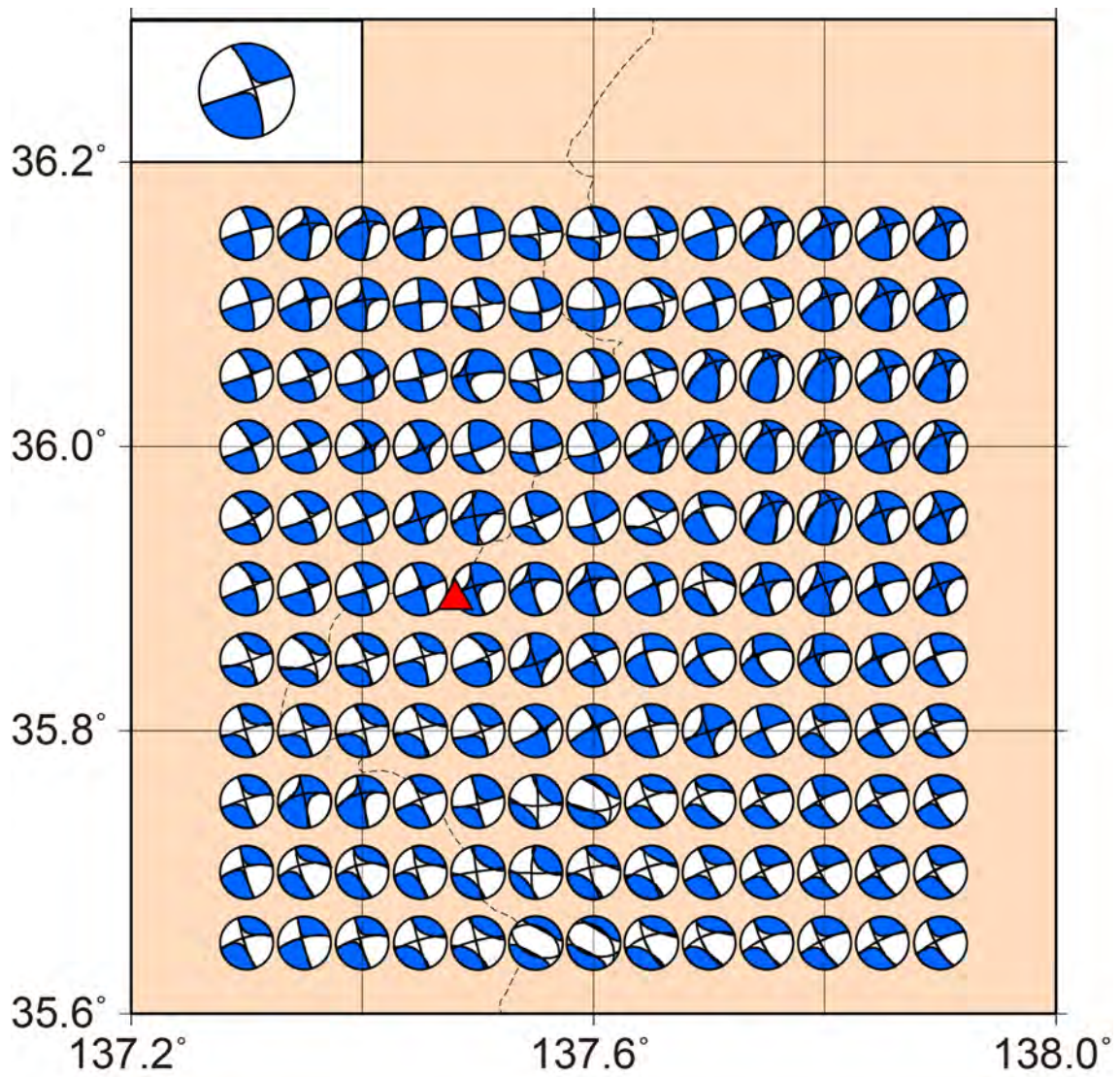


図 8. 御嶽山周辺域の広域応力場 ( Terakawa et al., in press )

は御嶽山。応力場のパターンは下半球投影の震源球を用いて表現され、震源球の 2 つの節面は最大剪断面を示している。左上の震源球は山頂直下の広域応力場のパターンを示す。

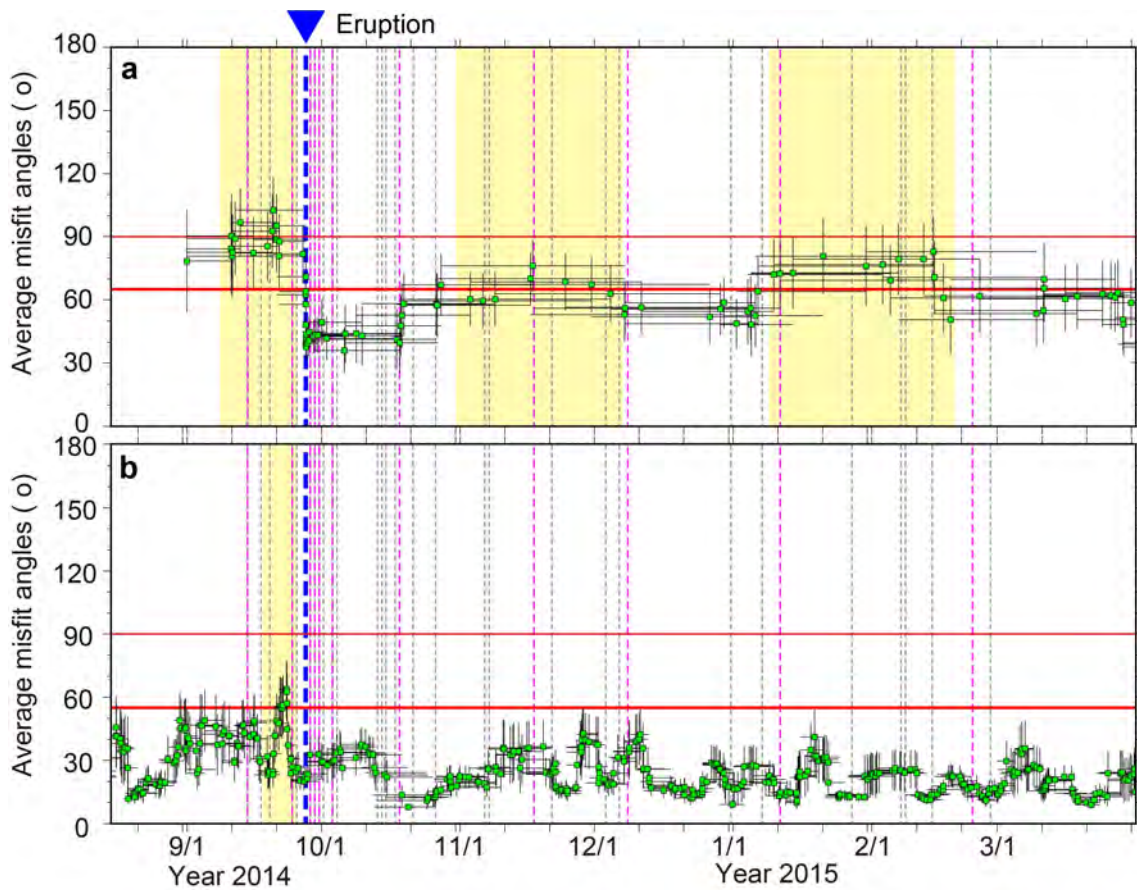


図9. ミスフィット角の時間変化 ( Terakawa et al., in press )

(a) 山頂直下で発生した火山性地震のミスフィット角の時間変化。(b) 群発地震発生領域 ( 緯度 : 35.85°N~35.95°N、経度 : 137.6°E~137.7°E ) の地震のミスフィット角の時間変化。平均ミスフィット角 ( ) は、地震 10 個毎の移動平均として計算されている。黒い横線は平均をとった期間、黒い縦線はミスフィット角の標準誤差を表す。太い赤線は、局所応力場の広域応力場からのずれを検出するための閾値 ( 65 度 ) で、これより大きなミスフィット角は局所応力場のずれが有意であることを示す。細い赤線は、局所応力場のずれが顕著であることを示す目安である。青い太点線は御嶽山の噴火、桃色及び灰色の点線は、気象庁の分析による BL 型及び BH 型地震が観測されたことを表す。

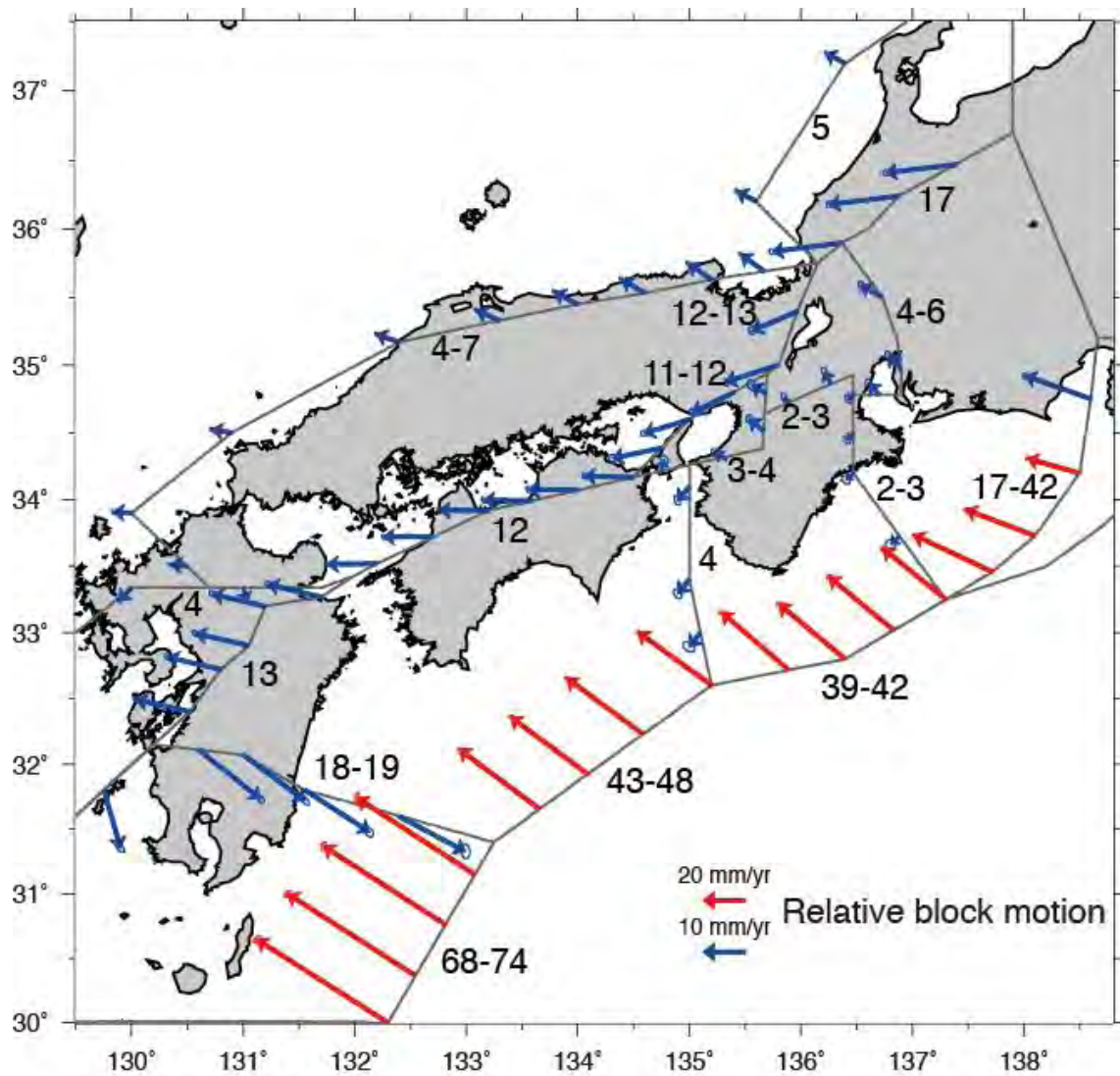


図 10. GEONETデータを用いて推定されたブロック間相対運動  
 地図上の範囲は 11 枚のブロックで構成され、ブロック境界での相対運動速度を矢印で示した。

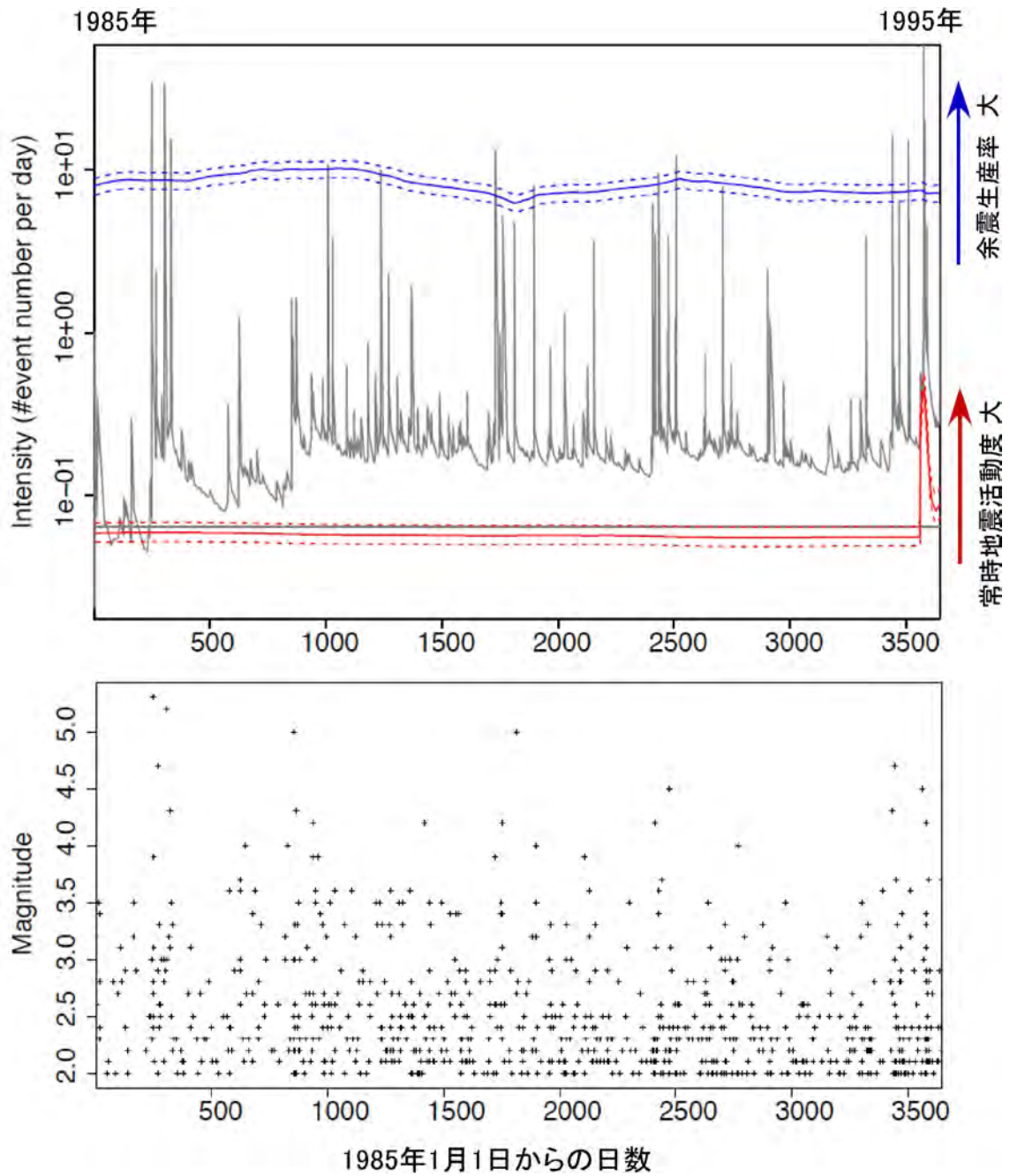


図 11 非定常 ETAS モデルによる兵庫県南部地震の前の常時地震活動度の変化  
震源域とその周辺における気象庁一元化震源データを用いた。上：(赤) 常時地震活動度 (background rate)  $\mu$  値、(青) 余震生産率 (aftershock productivity)  $K$  値、(灰色) 地震活動度。下：地震の MT 図 (一元化震源データによる)

( 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：

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、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27年度の成果の概要：

成果概要

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年後半以降、ブルカノ式噴火活動が活発化している状態が続いている。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するとともに、火山体構造の変化抽出のための解析を行った。一方、2015年8月15日に発生した急速な地盤変動を伴う群発地震活動は、2006年以降の火山活動にはない規模と特性をもち、ダイク貫入によるものと解釈される。2015年8月のマグマ貫入イベントをこれまで繰り返されてきた対比することにより、その特性を明らかにした。

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

昭和火口において発生する個々の爆発についてはブルカノ式噴火および噴煙高度1000m以上に達する非爆発的噴火の約90%について前駆する山体の膨張が捕捉され、噴火に伴って収縮が観測された。昭和火口から2.1km離れた有村観測坑道のひずみ計の記録について噴火発生に先行する伸長時間、伸長量、伸長量と収縮量の比について統計解析を行ったところ、以下のことが明らかになった。(1) 噴火発生に先行する伸長時間は3分から最長29時間に及ぶ。先行伸長時間の頻度分布を10分刻みで調べたところ、20分から30分の時間が最も多かった。頻度分布は20分をピークとする対数正規分布で近似できる。この頻度分布の積算値(図1)は伸長開始からの経過時間に基づく爆発発生確率予測を示す。この積算曲線に基づいて爆発発生確率を示すことが可能であり、時間の経過とともに発生確率の増加を求めることができる。(2) 伸長量のピークは10ナノストレインにある。伸長速度のピークは0.17ナノストレイン/分にある。伸長量および伸長速度の頻度分布は、同様に対数正規分布で近似できる。(3) 伸長量と収縮量の比の対数の頻度分布は0.1をピークとする正規分布となる(図2)。これは、伸長量と収縮量はほぼ同じであることが多いことを示し、伸長量と収縮量比の平均値からのずれを正規分布に基づく確率分布により表すことが可能であることを意味する。爆発に伴う火山灰放出量は、DRE 2600kg/m<sup>3</sup>を密度係数して圧力源の収縮堆積と比例関係にあるので、爆発に先行する膨張量から爆発の規模を確率的に予測することが可能である。

2. 長期的マグマ蓄積過程・放出過程の解明

図3に2007年以降の桜島の地震活動、地盤変動、噴火活動を示す。桜島の地盤は、約1年周期で膨

張と収縮を繰り返しているが、2009年10月～2010年5月および2011年11月～2012年2月の地盤の膨張は、それまでの年周変動的な変動(0.4  $\mu$ ストレイン)をはるかに超え、山頂から2.7km離れたハルタ山観測坑道の山頂方向のひずみ増加は、それぞれ、1.2および1.1  $\mu$ ストレインに達した。この地盤変動はGNSSにより基線長の伸長として検出されるレベルであり、マグマの貫入量が数十万  $m^3$ /月のレベルまで増加したものと考えられている。また、これらの時期には噴火活動が活発化し、火山灰放出量も増加しており、マグマ貫入と同時にマグマ放出が起こる開口型火道系の特徴的な地盤変動と噴火活動を示した。地盤変動は球状圧力源の始良カルデラ下約10km及び北岳下4kmにおける増圧と南岳下約1kmの減圧により説明可能であることが分かっている。

2015年1月1日に始まった地盤の膨張は、2009年及び2011年のマグマ貫入期とほぼ同等の規模のマグマ貫入であった。伸長ひずみは1月1日から観測され始め、6月5日までに1.4  $\mu$ ストレインに達した(南岳火口方向成分ハルタ山観測坑道:昭和火口から2.9km)。同時にGNSS観測によっても桜島の膨張が検知され、桜島を東西に跨ぐ9.5kmの基線は1.7cm伸びた。この山体膨張は、2009年及び2011年のマグマ貫入イベントと同様に球状圧力源の始良カルデラ下約10km及び北岳下4kmにおける増圧と南岳下約1kmの減圧により説明される。南岳下で減圧であるのは、同様に、噴火活動の活発化を伴ったからである。2015年1月1日から6月30日までに701回のブルカノ式噴火が昭和火口において発生し、特に3月の発生回数は172回に達した。また、4月には156万トンの火山灰が放出された。2015年1月～6月の活動は、始良カルデラ下へのマグマの上昇、北岳下への移動、南岳・昭和火口からなる山頂域からのマグマの噴出という、これまでと同様のプロセスをとったと考えられる。

### 3. 2015年8月15日のマグマ貫入イベント

2015年8月15日に発生したマグマ貫入イベントは、2009年、2011年、2015年1月～6月に繰り返されたマグマ貫入イベントとはその地盤変動のパターンと変動速度及びそれに付随する地震活動の活動度において全く異なる。

8月15日に発生したマグマ貫入イベントは、7月以降、噴火活動が低下傾向にある活動状態で起こった。図4に8月15日の地盤変動と地震活動を示す。地震は朝7時ごろから起こり始め、8時ごろには急激に発生回数が増加した。それと同時に急激な地盤変動が始まった。昭和火口における爆発に前駆して傾斜及びひずみ変化が観測されるが、大きくても0.1マイクロラディアンあるいはマイクロストレインである(有村観測坑道の傾斜計及び伸縮計、以下同様)。ところが、今回の地盤変動は、膨張開始からわずか20分で0.1マイクロラディアンを超え、1時間後には、1マイクロラディアンに達した。10時29分にはさらに加速し、1時間に28マイクロラディアンの速度で火口側の隆起が続いた。隆起がほぼ停止した17日の0時までには56マイクロラディアンの傾斜変化量に達した。昭和火口における噴火に伴う地盤変動は傾斜変化で0.1マイクロラディアン以下であるので、8月15日の地盤変動量は通常のブルカノ式噴火の約500倍である。

膨張速度が速い15日の午前中を中心にA型地震が多発し、その発生回数は15日に887回、16日には73回を数えた。その中には4回の有感地震(マグニチュード2～3、桜島火山観測所における震度2～3)を含む。桜島においては年間のA型地震発生回数は100回程度であり、極めて異例の地震活動であり、このレベルの地震活動は47年前の1968年5月まで遡る。A型地震の震源は南岳直下の深さ1?～3?に集中する(図5)。発震機構は浅部において正断層(引張軸方向は特定しがたい)、3?付近において北東-南西引張、北西-南東圧縮の横ずれ断層である(図6)。

地盤変動の空間的なパターンも従来とは異なる。2009年、2011年、2015年1～6月のマグマ貫入イベントでは、全方位に対してほぼ均等に変位していたが、8月15日の変動では山頂から北西と南東方向にあるGNSS観測点ではそれぞれ北西、南東に5?程度変位したが、北東及び南西方向にある観測点はほとんど変位していない(図7)。また、陸域観測技術衛星2号「だいち2号」のレーダー観測から得られた干渉画像からは、南岳の南東及び北西山麓が隆起する変形パターンが浮かび上がってきた(図7)。この変動は、北東-南西方向に走向をもち、上端を海面下1.1?とする長さ0.8?、幅0.5?の鉛直に近い開口割れ目によって説明可能である(図5)。これらのことから南岳直下に薄い板状(ダイク)にマグマが貫入したことが推定できる。また、貫入したマグマの量は約270万立方メートル程度であ

る。ダイクの開口方向は北西-南東方向であり、鹿児島地溝や火山列の方向など南九州の地質学的特徴や北西-南東方向に引張軸をもつ桜島深部の A 型地震の発震機構と整合的である。

桜島のマグマ供給系は、北部海域の始良カルデラの地下 10?の主マグマ溜まりおよび北岳下、南岳下の副マグマ溜まり、および南岳下のマグマ溜まりから火口へつながる火道から構成されていると考えられている。8 月 15 日のマグマ貫入に伴う A 型地震の震源は南岳直下にあり、これまでの南岳下の火道を取り囲む震源分布と重なるが、ダイクの位置は、それから南東方向にずれており、従来知られているマグマ供給系に極めて近いが別のものと考えられる。地盤変動が開口割れ目により説明されることや、ダイク貫入後、噴火活動が著しく低下したことも、独立のマグマ貫入系とする考え方を支持する。A 型地震の発震機構と震源位置から考えて、浅部の地震は、貫入によりダイクより浅部が引張場となったこと、やや深部の地震は北西方向に開口したダイクに圧縮されて南岳火口周辺の破壊強度が小さい部分で発生したものと解釈される。

#### 4. 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

2008 年に桜島において初めて人工地震探査が行われてから、毎年、桜島の東部から北部にかけて反射法探査を繰り返し、地下の構造変化の抽出を試みた。2014 年における反射法探査でも桜島東部における南北測線において 9 か所、北部における東西測線において 5 か所の爆破を行い、約 250 台の固有周期 0.5 秒の地震計により人工地震波を観測した。2014 年探査の解析により、以下のことが明らかとなった。(1) 桜島北東部の深さ 6.2km に地震波反射の変化する場所がある(図 8)。(2)2009 年のマグマ貫入に伴って検出された地震波反射は、その後、30%減少したが、2014 年はわずかに地震波反射が強くなった。地震波反射面は、相対的に低速度・低密度の層の形成と考えると、地震波反射の減少は、低速度層の速度増加を意味する。速度増加は低速度層の温度低下と考えられる。2014 年に反射強度が増加したことは低速度象の温度上昇を反映している可能性がある。

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速度低下を示す基線も検出できた。

#### 5. 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

先に述べた 2009 年 10 月～2010 年 5 月および 2011 年 11 月～2012 年 2 月の 2 回の顕著なマグマ貫入期に先行して、昭和火口の東 4km にある黒神観測井の温泉ガス中の二酸化炭素濃度が増加した。また、火山灰に付着する水溶性成分である塩素イオンと硫酸イオンの比も、2009 年及び 2011 年のマグマ貫入イベントに同期して増加した。2015 年 1 月に始まるマグマ貫入イベントについても同様のことが確かめられた。温泉ガス中二酸化炭素濃度は、2014 年 11 月～12 月に 5 %まで増加した(図 9)。また、火山灰付着水溶性成分の塩素/硫酸イオン比も 2015 年 2 月以降、しばしば 2 以上の高い値を示した(図 10)。

これらの観測に加え、火道内のマグマ上昇プロセスを岩石学的アプローチにより解明するために 2012 年 7 月 24 日に発生した南岳山頂爆発及びそれに前後する昭和火口爆発の噴出物について石基組織・石基ガラス組成を比較解析した。7 月 24 日の南岳爆発による噴出物は、その前後の昭和火口噴出物に比べ、結晶数密度は変わらないもののマイクロライトの晶出量が半分程度と小さい。石基ガラス組成の違いは、マイクロライトの晶出の程度の違いによるものであり、その違いは、7 月 24 日の南岳爆発ではマグマ上昇後すぐに噴火したのに対し、その前後の昭和火口爆発ではマグマ上昇後、浅所にて一定期間停滞した後に噴火したというマグマ上昇プロセスの違いを反映しているものと解釈される。20 世紀に発生した南岳山頂火口からの噴出物も、2006 年以降の昭和火口噴出物と類似した多様性を示すので、石基ガラス組成マグマ上昇プロセスを簡便に評価する有効なツールである。

- (9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Hotta, K., Iguchi, M., Ohkura, T., Yamamoto, K., 2016, Multiple-pressure-source model for ground inflation during the period of high explosivity at Sakurajima volcano, Japan ? Combination analysis of continuous GNSS, tilt and strain data -, Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 310, 12-25.  
Iguchi, M., 2016, Method for real-time evaluation of discharge rate of volcanic ash ? case study on intermit-

tent eruptions at the Sakurajima volcano, Japan ?, Jour. Disast. Res, 11, 4-14.

山本圭吾・吉川 慎・松島 健・大倉敬宏・横尾亮彦・井上寛之・三島壮智・内田和也・園田忠臣・関健次郎・小松信太郎・堀田耕平・藤田詩織, 2015, 水準測量によって測定された桜島火山の地盤上下変動 2014 年 11 月測量の結果 , 京都大学防災研究所年報, 58B, 70-75 .

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

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するとともに, 火山体構造の変化抽出のための反射法人工地震探査を実施する. 2015 年には山頂下浅部にダイクが貫入しており, 人工地震波での検出を試みる .

( 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

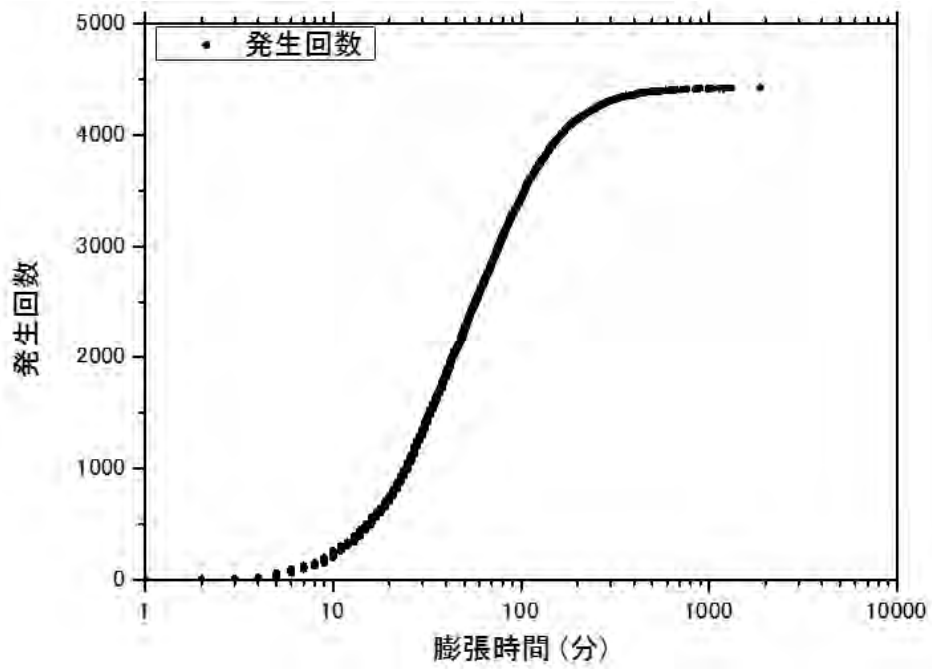


図1 爆発に先行する膨張時間の頻度分布の積算値

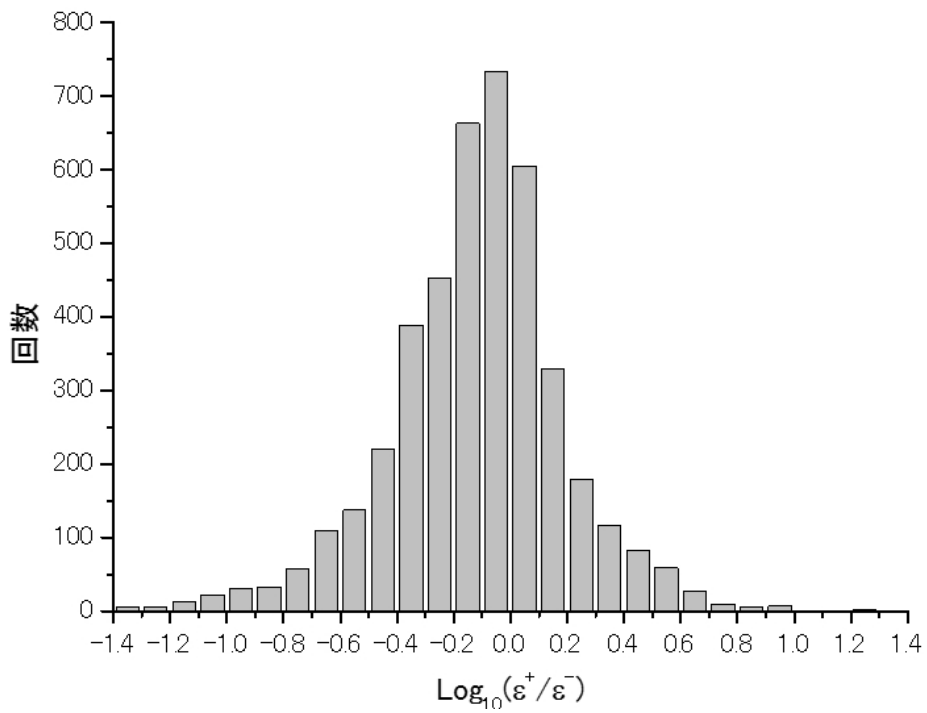


図2 火口と直交方向における爆発に先行する膨張ひずみ量と爆発に伴う収縮ひずみ量の比の頻度分布  
横軸は対数表示であることに注意。

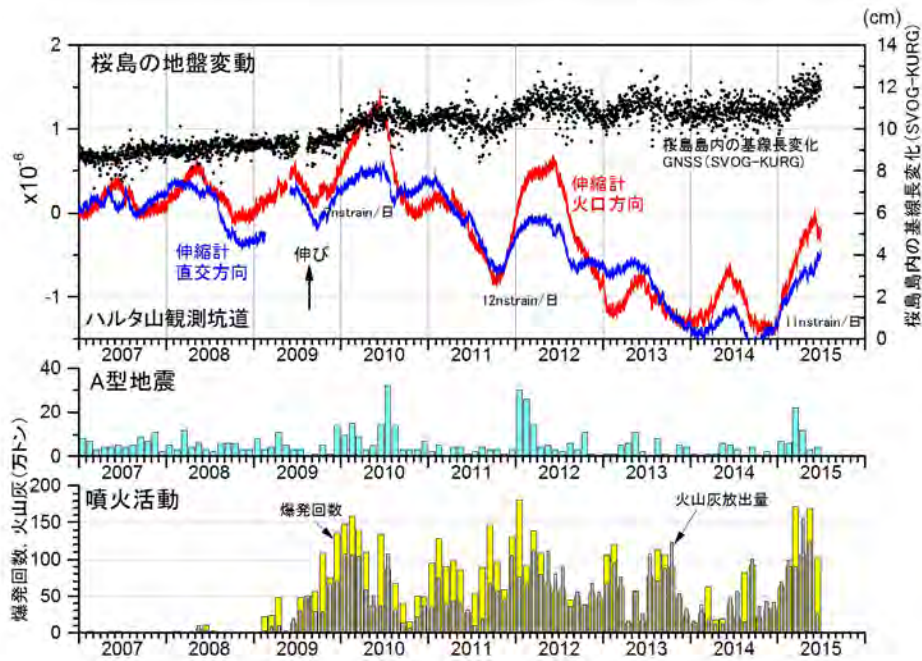


図3 2007年1月～2015年6月の桜島の地震活動，地盤変動，噴火活動

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）

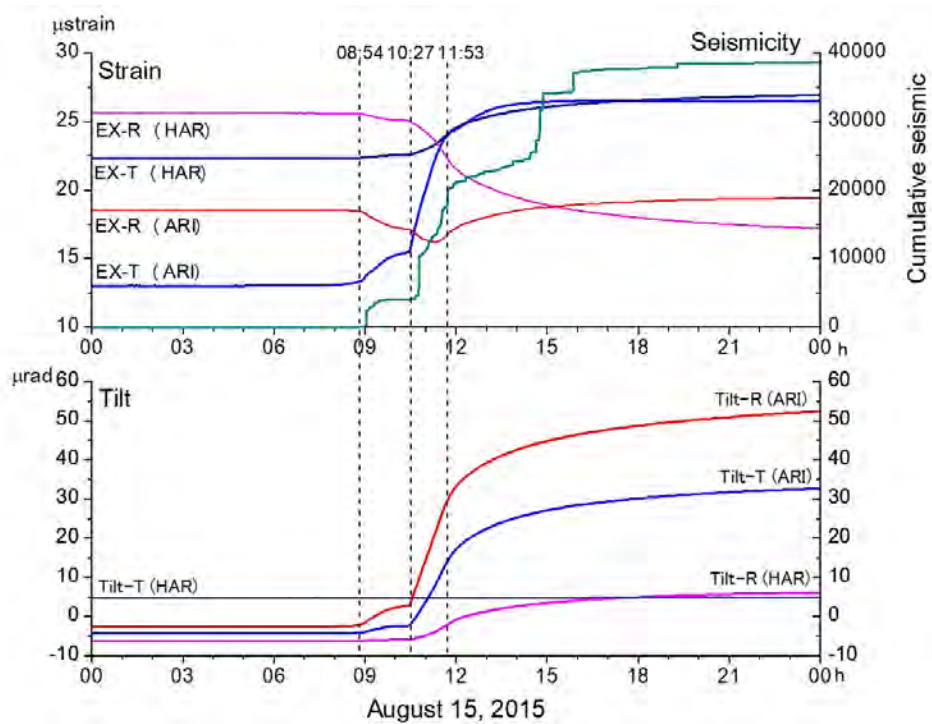


図4 2007年1月～2015年6月の桜島の地震活動，地盤変動，噴火活動

上段：ひずみ変化および地震エネルギー積算値（緑）。下段：傾斜変化。ARI：有村観測坑道（昭和火口の南南東2.1km），HAR：ハルタ山観測坑道（昭和火口の北西2.9km）

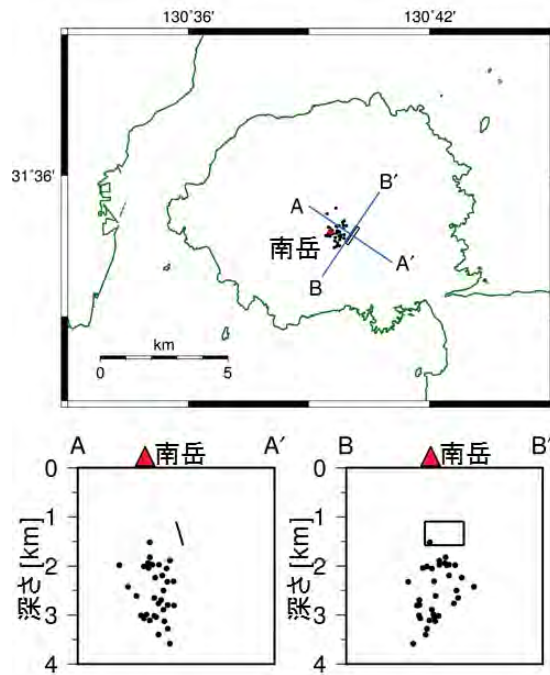


図5 2015年8月15日のA型地震の震源分布  
 長方形は地盤変動観測から求めたダイクを示す。

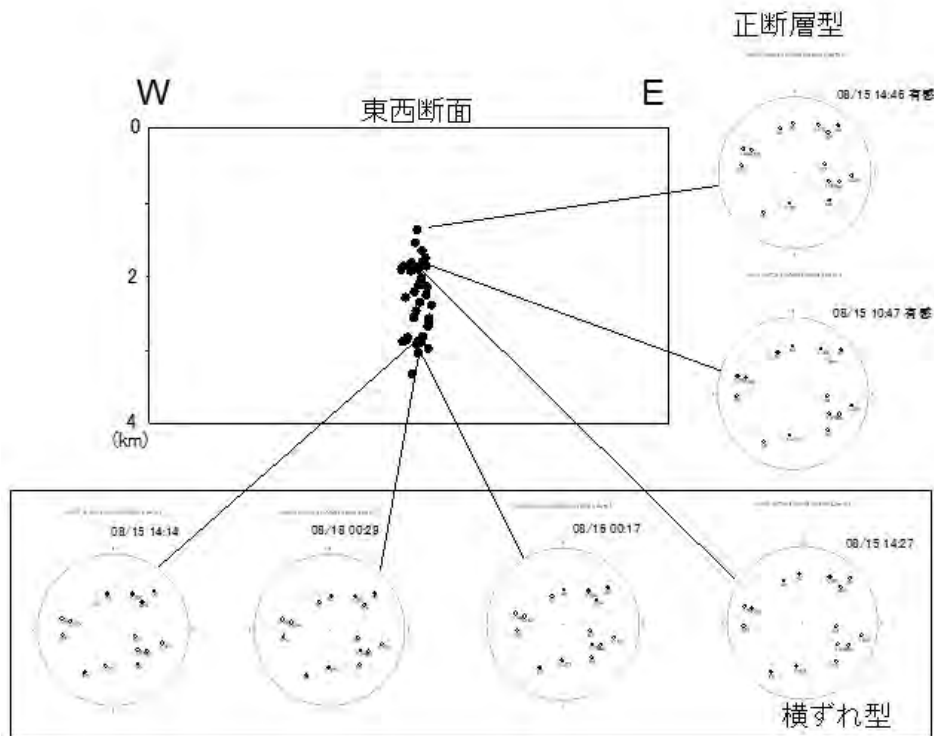


図6 2015年8月15日のA型地震のP波初動押し引き分布

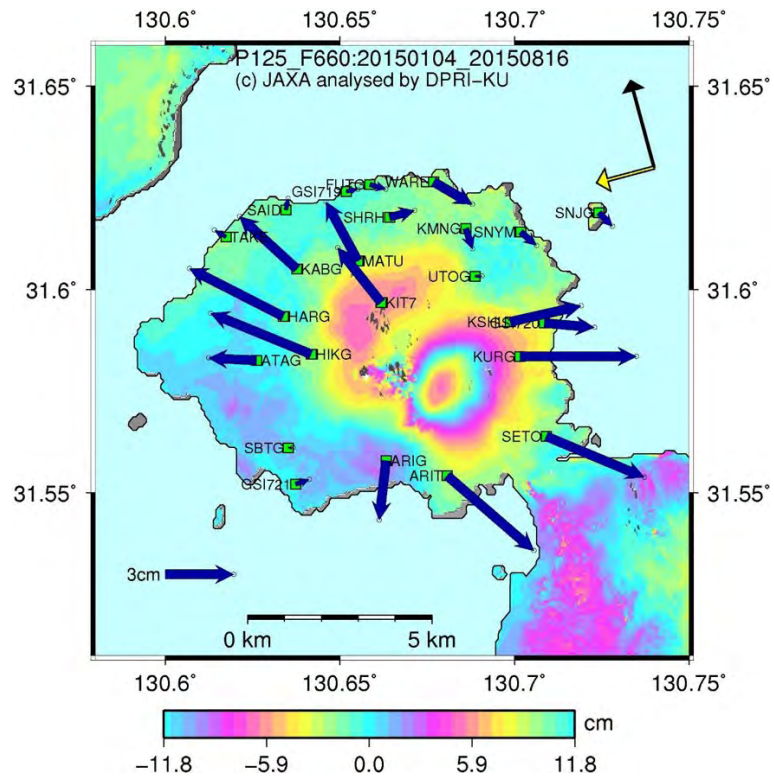


図7 GNSSと干渉SARから求めた2015年8月15日前後の地盤変動  
 矢印はGNSSから求めた水平変位を示す。

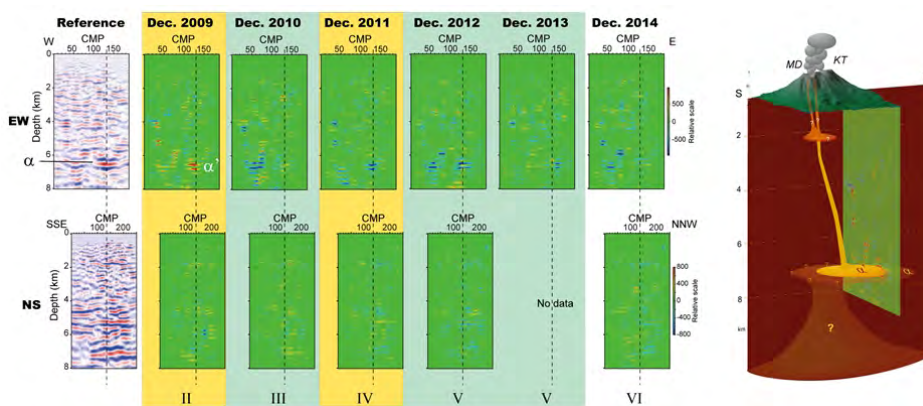


図8 桜島北部の反射断面の時間変化  
 平均的な反射断面(Reference)からの差分で示した。は深さ6.2?にある変化が顕著な部分を示す。



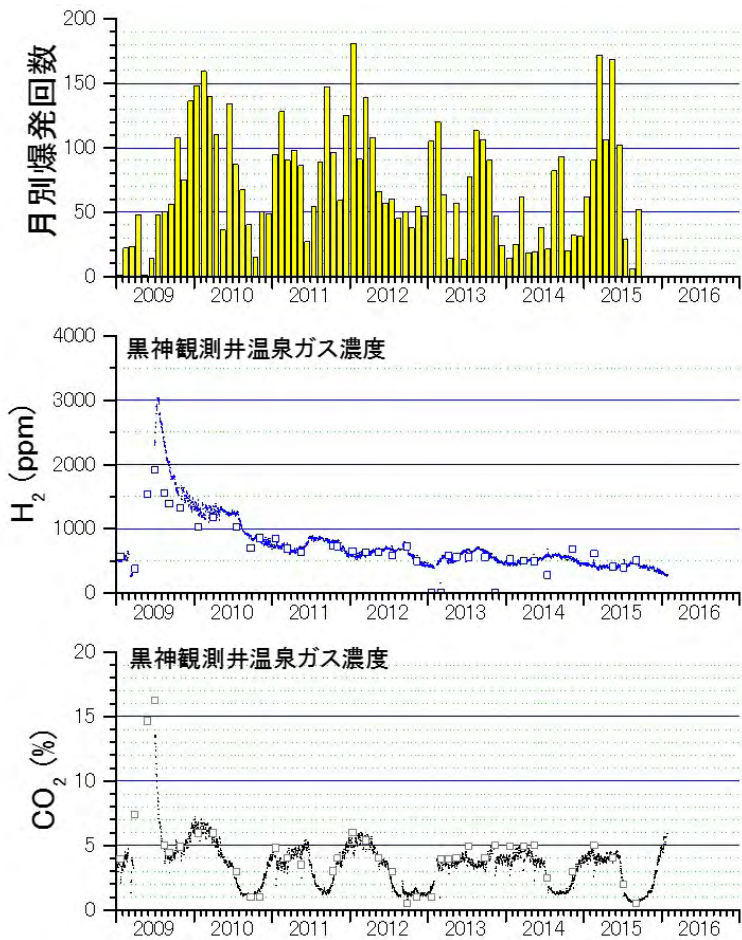


図9 黒神観測井における温泉ガス中の二酸化炭素および水素ガス濃度の時間変化  
 上段：月別爆発回数，中段：水素ガス濃度，下段：二酸化炭素濃度

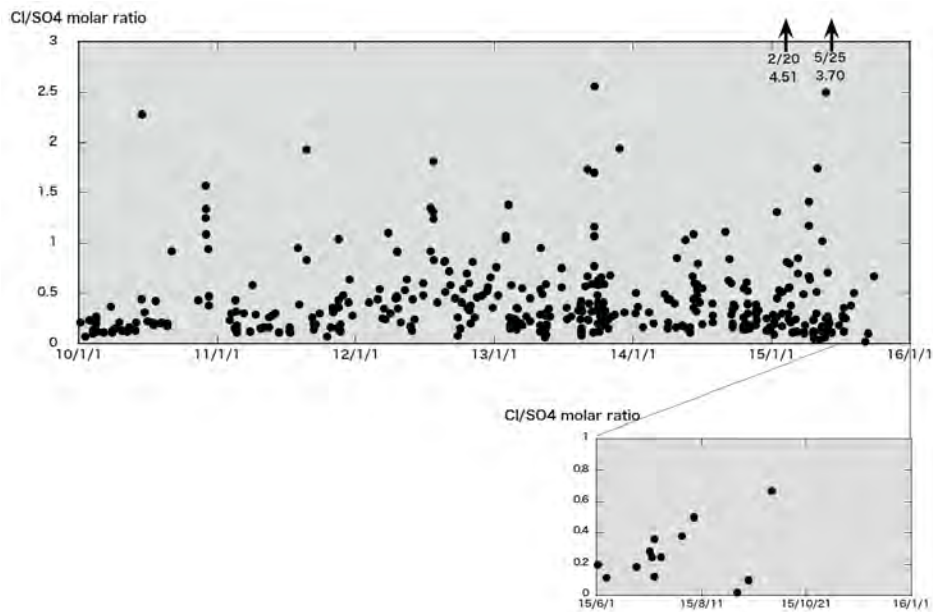


図10 火山灰付着水溶性成分の塩素/硫酸イオン比

( 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 点はポアホール型、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 27 年度の成果の概要：

平成 26 年 9 月の御嶽山噴火に伴い、文部科学省は、火山の水蒸気噴火の予測研究に資するために、平成 26 年度地球観測システム研究開発費補助金により「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)を実施することとなり、京都大学防災研究所は、この事業の一環として、焼岳火山近傍に、地震活動、地殻変動、地磁気変化等を観測するための機器類を新たに設置することとなった。

機動的集中観測システム構築計画の内容は、当課題の目標とも合致することから、平成 27 年度は、本計画を主たる目標として実施した。機動的集中観測システムの構築においては、焼岳火山近傍に 3 点の新規観測点を計画した。それらは、図に示す 3 点で、上高地下堀沢、焼岳中尾峠、焼岳山頂である。これらの点に、地震計、傾斜計、GNSS 受信機等のほか、プロトン磁力計、地中温度計等の機器を設置することを計画した。3 点のうち、上高地下堀沢および焼岳中尾峠の観測点については、平成 27 年度中に完成し、稼動を開始したが、焼岳山頂観測点については、文化財保護法の許認可申請の手続きのため、設置作業が平成 28 年度に持ち越された。

なお、当課題の本来の今年度目標であった「ボアホール型傾斜計設置」は、機動的集中観測システムの構築により実現したため、これに加えて、国交省松本砂防事務所の協力を得て従来より観測を実施中であった、上高地峠沢観測室(DP.KKHZ)に気泡型傾斜計を新規に設置し、連続観測を開始した。なお、DP.TSIK においても、国交省松本砂防事務所との協力により、2011 年より短周期地震観測を継続している。これらのデータは、京都府宇治市の防災研究所にテレメータされており、現在、データ品質の評価を行っている。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

大見士朗、2015、Matched Filter Method による群発地震解析の試み -2013 年飛騨山脈穂高岳付近の地震活動の例-、地震 2、68、1-15.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要：

( 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



焼岳周辺観測点分布

赤丸印が「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」にて構築を計画している観測点。上高地下堀沢と焼岳中尾峠の2点は平成27年度内に稼働を開始した。また、DP.KKHZには平成27年度中に気泡型傾斜計を新規に設置した。図中、DP.KKHZ、DP.TSIK および上高地下堀沢の3観測点は、国交省松本砂防事務所のご協力をいただいて設置運用を行っている。緑色四角は国交省神通川水系砂防事務所によるテレメータ観測点、マゼンタの四角は京都大学によるオフライン観測点を示す。

( 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：

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 27 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。これらの観測点は使わなくなったトンネルを利用している。当初、トンネル内の温度変化の影響が大きかったことから、伸縮計全体を断熱材でおおう、間仕切りを増強するなどの対策をおこなった。そのほか、従来の伸縮計と同じく、降雨の影響も受けている。大塔町のサイトでは商用電源が確保できないことから、燃料電池とソーラーパネルを併用した電源供給システムを構築した。この方式をとると、伸縮計のような電力消費の大きなセンサーであっても、設置場所の制約を受けにくくなる。また、電源に起因するノイズが小さく、基準尺を短くすることにより犠牲にしたひずみについての分解能がいくぶん緩和されることも長所である。これまでの観測により、紀伊半島での低周波地震活動に合わせて生じる  $5 \times 10^{-9}$  程度の伸縮変化を観測している。

短期的 SSE の解析手法の高度化に関しては、GNSS 単独での SSE 検出手法の改良と実データへの適用に引き続き取り組んだ。短期的 SSE の継続時間を推定するために、地殻変動スタッキング手法 ( 宮岡・横田, 2012 ) を応用して時系列データの S/N 比を向上させて、短期的 SSE の継続時間の推定を行っ

た．その結果，南海トラフ沿いの短期的 SSE の継続時間に地域性が見られることがわかった（図 2）．また，従来短期的 SSE が検出されていない千島海溝沿いの沈み込みプレート境界での SSE を対象として，GNSS データを用いた網羅的検出を行った．その結果，SSE と疑われるイベント数は約 20 年間で 2 回だけであった．2007 年 4 月 12 日頃に発生したイベントの例を図 3 に示す．この地域は GNSS によるプレート境界面上でのすべりの検知能力が低いのであるが，ある程度の検知能力がある海岸線付近の領域での発生数を西南日本と比べると，この地域の発生数は極めて少ない．さらに，GNSS データと地殻変動連続観測データの併合処理を行うため，防災科学技術研究所の Hi-net 傾斜計データを用いた予備的な解析を行った．データに対して潮汐及び気圧補正を行い，いくつかの短期的 SSE について GNSS データと同時期に傾斜計データにもシグナルがあることを確認した．

- ( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
- ・加納靖之・細善信・尾上謙介，紀伊半島での伸縮計アレイ観測をめざした短スパン伸縮計の改良，東濃地震科学研究所報告，34
  - ・西村卓也・松澤孝紀・木村武志・小原一成，GNSS データのスタッキング手法を用いた西南日本の短期的 SSE の継続時間推定の試み，東濃地震科学研究所報告，34

( 10 ) 平成 28 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，引き続き，短スパン伸縮計の観測点を増設し，紀伊半島西部において，既存の伸縮計観測点も含め，深部低周波微動の発生域をとり囲むような観測網を構築する．これらのデータから，深部低周波微動にともなって発生する地殻変動の時空間分布を把握し，その発生様式について調べる．さらに簡易性を高めるために，基準尺が 50 cm の超短スパン伸縮計の開発し，その試験観測をおこなう．この大きさであれば，吊り棒は不要となり，固定端と自由端のそれぞれが，基準尺と変位検出装置と一体となる構造とすることができる．これらを同時に埋設することにより，設置および調整を簡単にするなど工夫が可能になると考えられる．

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するとともに，今まで短期的 SSE の網羅的検出が行われていない日本海溝沿いにおいても短期的 SSE の解析を行う．

( 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

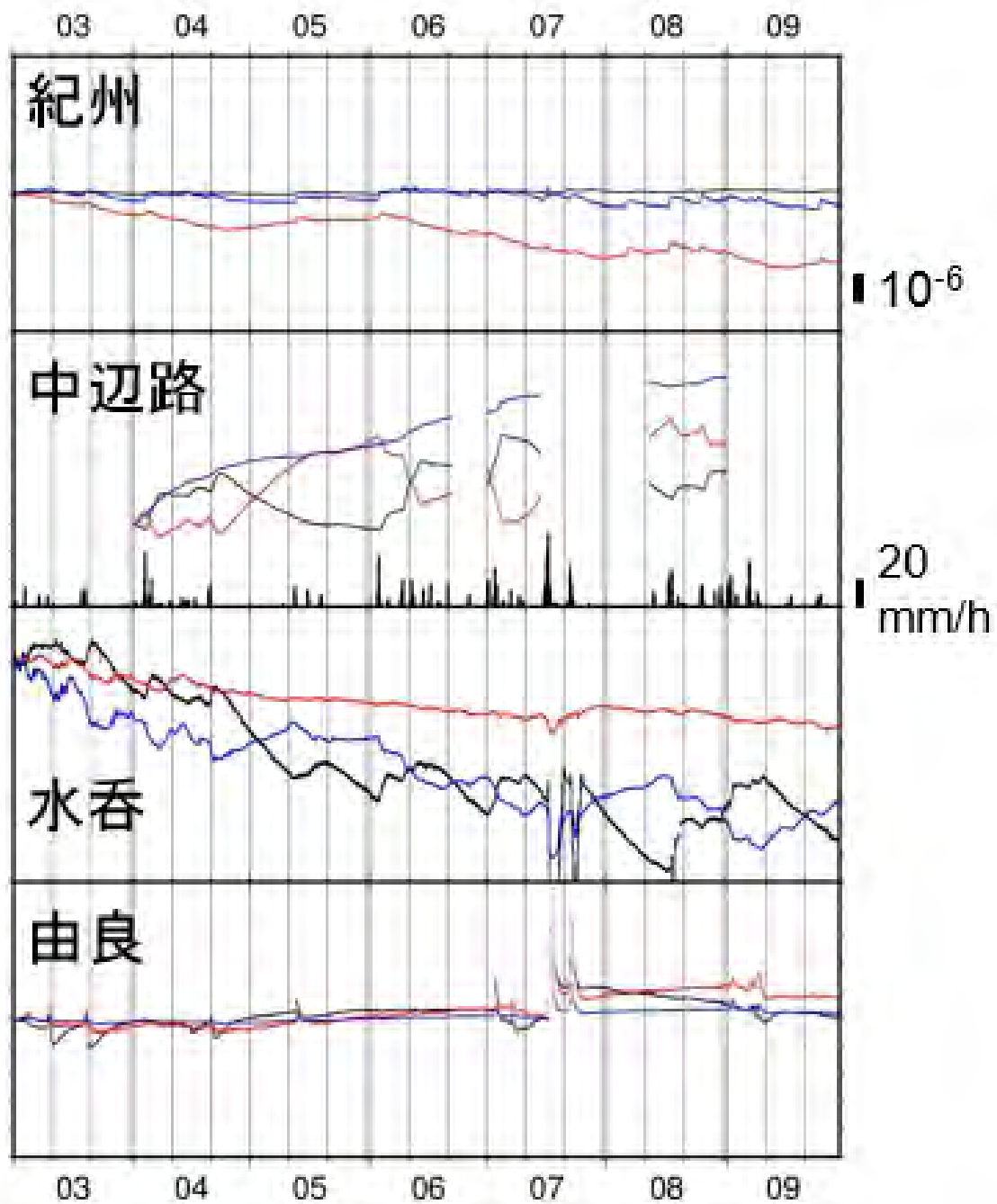


図1 . 2015年3月~9月までの紀伊半島での伸縮計観測データ。  
 上から紀州, 中辺路, 水呑, 由良観測点の3成分の伸縮をしめしている。中辺路と水呑は短スパン伸縮計の観測点, 紀州と由良は従来型の地殻変動観測点である。



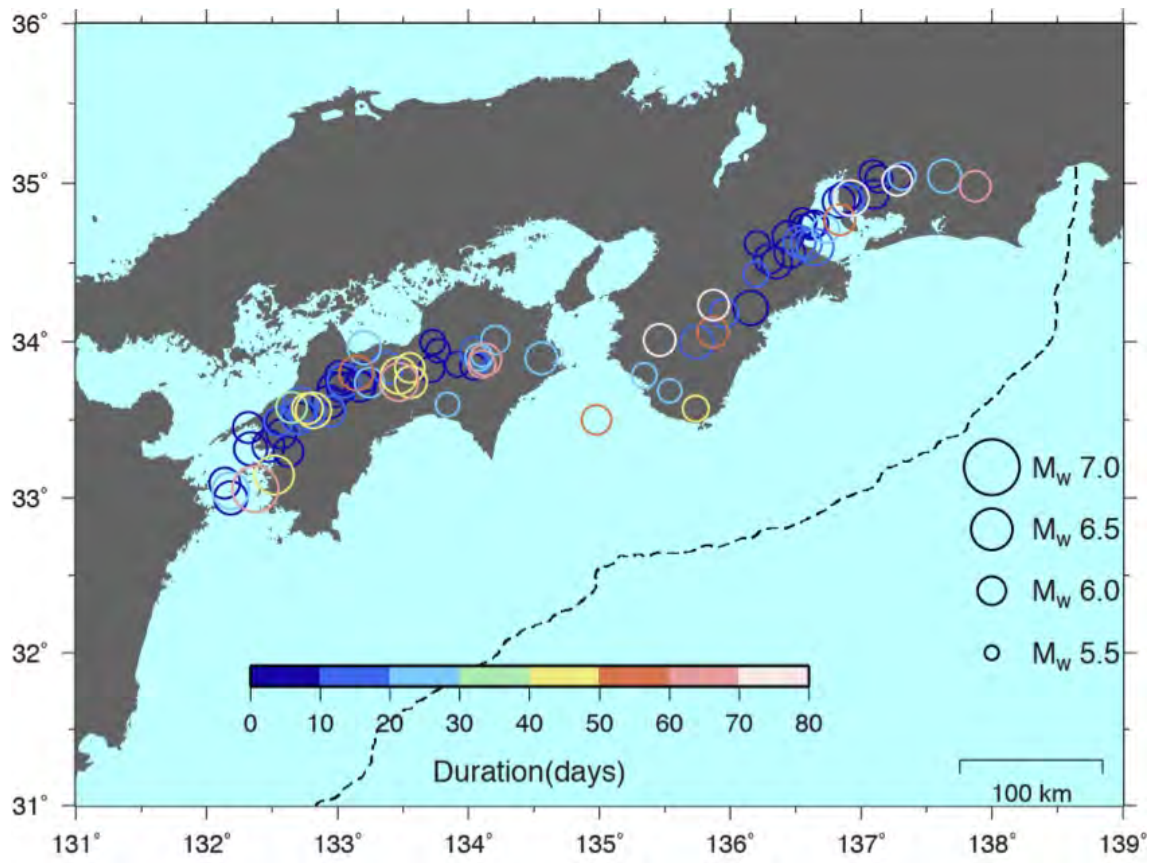


図2 . GNSS データより推定した南海トラフ沿いの短期的 SSE の継続時間 .  
 1996 年 6 月から 2015 年 2 月の間に発生した 91 個の短期的 SSE の継続時間を円の色で表す .

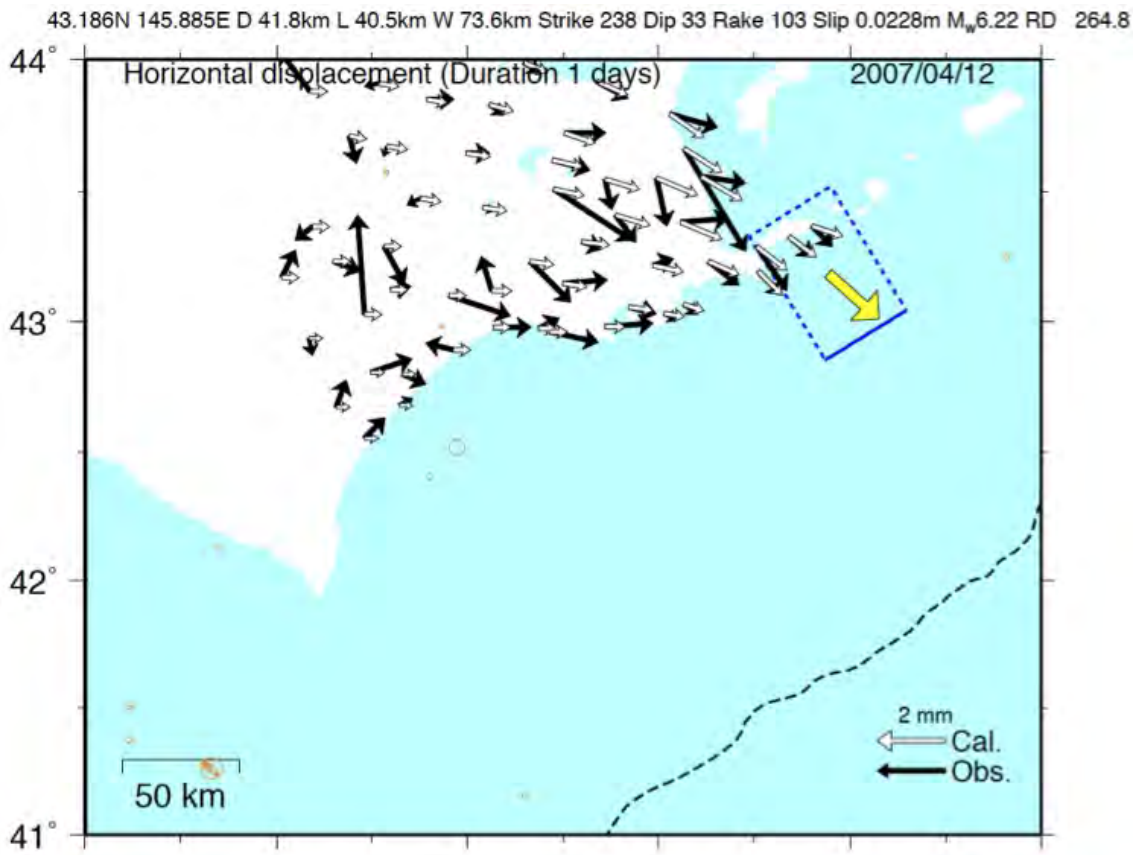


図3 . 千島海溝沿いで 2007 年 4 月 12 日頃に発生した短期的 SSE の可能性がある地殻変動イベント  
 白矢印, 黒矢印, 青四角, 黄矢印が, それぞれ水平変位の計算値と観測値, 断層モデル, スリップベクトルを表す.

( 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

	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
平成 27 年度	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 27 年度の成果の概要：

大阪堆積盆地構造モデルの検証を進めるため、大阪盆地北西部に位置する関西地震観測研究協議会の尼崎観測点での地震記録に現れる特徴的な後続波群についての分析を継続した。この地点では、近傍で起きた M4 程度の地震記録において、直達 S 波の後、約 4 秒間隔で水平動に卓越する繰り返し孤立的な波群が現れるイベントがある。この顕著な波群の震動特性の分析のため、ある時間窓の震動を水平面内の楕円で近似し、その長軸が卓越する時刻を波群として取り出すことを行った。これにより、孤立波群の震動特性と繰り返し間隔（走時差）が数値として評価できるようになった。そこから繰り返し波群は、長軸方向が変化していることや繰り返し間隔が若干違うこと、またその特徴が観測点からの震源方位別に系統的に分けられることがわかった。また震源方位によって、繰り返し回数が違っているように見えることもわかった。

これらの特徴を 3 次元大阪堆積盆地地下構造モデルとダブルカップル点震源モデルを用いた差分法による地震動シミュレーションによって再現を試みた。その結果、これらの波群は地表と堆積層・地震基盤の境界で多重反射 S 波であること、基盤の 3 次元地下構造の影響によって、2 波目、3 波目の長軸が回転すること、方位によって波群が見られる数が違うのは、S 波到達から時間が経つにつれて、盆地境界から 2 次的に生成する表面波が到達するが、方位によって盆地境界から尼崎観測点までの距離が異なり、盆地境界に近い方位で起きたイベントほど、表面波が早く到達するため、この多重反射波が表面波に混ざって顕著でなくなることがわかった。また、地震動シミュレーション結果を尼崎観測点付近で調べると、尼崎観測点は後続波群がよく見える地点であることもわかった。

今回のシミュレーションは周波数 2 Hz までをターゲットとしており、構築した地下構造モデル（関口・他、2013）がこういった周波数帯域まで使用できることを示すことができることがわかるとともに、多重反射波が後になるほど、到着時刻や震動方向の再現が十分でなくなることがわかった。多重反射波は堆積層内を繰り返し反射していることから、こういったシミュレーションによる再現が十分でないことは、モデルのすこしの不備が積み重ねられるからと考えられる。

前課題及び平成 26 年度から継続している大阪堆積盆地における 2013 年淡路島の地震の地震動シミュレーションとそれによる堆積層 Q 値設定方法の検討を継続した。検討の結果、堆積層部分の Q 値は  $Q_0 = 0.3V_s$ （参照周期 5 秒の場合）として与えたときに、最も観測記録を説明することが分かった。また、現状の大阪堆積盆地 3 次元地下構造モデルでは地震動を十分には再現できていない箇所を把握し、今後の高度化のための知見を得た。差分法数値計算コードの検証を追加実施することにより検討結果の信頼性を保証するとともに、これらの成果をとりまとめ、査読論文として公表した（Asano et al., 2016）。

既往広帯域震源モデルの問題点を抽出するため、震源パラメータの不均質分布の与え方についての分析を行った。強震動予測を目的とした震源モデルは、震源像や震源近傍強震動に関する多くの知見を取り入れながら発達してきた。そのような震源モデルを、すべり量や応力降下量の不均質分布の観点で見ると、二つの系統に分けられる。一つは、アスペリティ型モデル、もう一つは、確率的モデルである。これらはすべりや応力降下量分布の短波長成分の分布のさせ方が大きく異なる。さらにこれら二つをハイブリッドしたモデルも見られる。このような震源パラメータの不均質分布の見かけの大きな違いが、地震動にどのように影響を与えるのかについて、今後、検討を行いたい。

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、いくつかの地域で、地震観測を継続している。京都盆地では、既設強震観測点での観測を継続し、周辺の強震観測点等で得られている地震記録の収集を行った。関東平野の中川低地では、既設観測点（平成 26 年度に連続観測システムへの移行を一部行った）の保守と観測継続を行い、データ蓄積を継続している。

- ( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
Asano, K., H. Sekiguchi, T. Iwata, M. Yoshimi, T. Hayashida, H. Saomoto, and H. Horikawa (2016). Modelling of wave propagation and attenuation in the Osaka sedimentary basin, western Japan, during the 2013 Awaji Island earthquake, *Geophys. J. Int.*, 204, 1678-1694.

田中宏樹・岩田知孝・浅野公之, 阪神地域（尼崎～東灘）での地震記録に見られる特徴的な後続波 (2), 日本地震学会 2015 年秋季大会, S16-03, 2015 年 10 月.

関口春子, 不均質震源モデルの違い, 平成 27 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, P09, 2016 年 2 月 10 日 2 月.

- ( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要：

今年度までに構築されてきた広帯域震源モデルの設定方法に基づいて、既往のイベントに対してのモデル化を行い、地震動シミュレーションを行って方法の妥当性検証に着手する。引き続き、観測記録に基づく堆積盆地地盤応答特性の抽出をさらに続け、既往の地下構造モデルの妥当性検証と改良を継続する。引き続き、強震観測を行い、地盤応答特性把握のための記録の取得に努める。

- ( 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27年度の成果の概要:

(7) 項に記述した計画に従って研究を行い、次の成果を得た。

地震によって火山地域で発生した地すべりの代表的な事例で、かつ、従来の調査が十分でなかった1949年今市地震による降下火砕物の崩壊性地すべりの実態を明らかにし、また、1923年関東地震によって発生した地すべりの一部調査を行った。その結果、1949年今市地震では、16個の深層崩壊性地すべり、141個の浅い崩壊性地すべりが発生したことがわかり、また、この地震の前にも40個の深層崩壊性地すべりがあったことが認められた(図1)。これらの地すべりのすべり面の層準は火山灰層序学的に特定された。また、これらの土層の自然含水量が高いため、地震によって地すべり変動現象が発生すると、すべり面附近において高い過剰間隙水圧が発生し、自然排水状態においては発生した水圧が消散しにくい、即ち、高速長距離地すべりになりやすいことが分かった(図1)。関東地震の震生湖地すべりは、神奈川から東京南西部に広く分布する東京軽石層にすべり面が形成されたことがわかった(図2)。これらのことから、降下火砕物の地震による崩壊性地すべりは1度の大地震ですべて発生するのではなく、繰り返す地震によって何度も繰り返すこと、そして、すべり面の形成された特定の層とその上の地層の分布が、将来的にも危険地域であることが示唆される。

昨年度、観測網を展開した多様な地すべり地において、強震計や間隙水圧などの観測項目を拡充し、連続データの取得をおこなった。また、紀伊山地の重力変形斜面の地すべりブロックにおいて掘削したボーリング孔に、新たに加速度計と傾斜計を組み合わせたセンサーを作成し埋設した。さらに、新旧の地形図判読や既存ボーリングデータの活用、現地踏査によって、都市部の潜在的な地震リスクである谷埋め盛土の詳細な空間分布を明らかにした(図3)。得られたデータは対象地の地質や地形、観測地震波形に応じた解析をおこない、以下のことが分かった。谷埋め盛土における地震動の特徴として、震央距離・震源深さ・逆方位が異なるマグニチュード3.5から7.0の35地震全てに対して、5 Hz前後および20-25 Hzの周波数帯において上下動の顕著な増幅がみられた(図3)。これは、盛土内の地下水面や旧河川の沖積層底部といった大きな地震波速度不連続面におけるS波からP波へ変換した波が原因として考えられた。また、山地の地すべり地における増幅の周波数依存性、振動方向依存性について、振幅スペクトルを基盤観測点と比較することによって見積もった。特に、川下地すべりにおいては、尾根の走向と直交する方向の震動が増幅され、尾根の幅のスケールに応じて増幅される周波数が異なる可能性が示唆された(図4)。深層崩壊のすべり残りブロック(赤谷)においては、4年前の深層崩壊で解放されたブロックの位置した方向に大きく増幅されたことがわかった。一方、海岸地すべり(厚岸)においては、平行する多項目の観測から地すべりブロックの主な活動誘因は雨による間隙水圧の上昇であり、最大速度0.5 cm/s程度の地震時においては、地震動と地すべりブロックの

変動との間に明瞭な相関は認められなかった。

- ( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :
- Chigira, M., Suzuki, T., Wang, G., Tobita, T., 2015. Debris avalanches of pyroclastic fall deposits induced by the 1949 Imaichi earthquake, Japan Geosciences Union Meeting 2015, Makuhari.
- 千木良雅弘, 2015. 近年の地震による急激な地すべりから学ぶもの. 日本地すべり学会誌 52, 45-50.
- Doi, I., and T. Kamai, Characteristics of seismic motions and pore pressure response in the filled slope, Proceedings of the 10th Asian Regional Conference of IAEG, Tp1-P08, 2015.
- Doi, I., S. Matsuura, T. Shibasaki, H. Osawa, and H. Sato, Seismic measurement in the mudstone landslide area, Proceedings of the 10th Asian Regional Conference of IAEG, Tp1-P27, 2015.
- Matsuura S. T. Shibasaki, H. Osawa, H. Sato, and I. Doi, Displacement properties of a coastal landslide during winter season, Proceedings of the 10th Asian Regional Conference of IAEG, Tp1-26, 2015.
- 土井一生・王功輝・釜井俊孝・千木良雅弘, 流れ盤の大規模岩盤地すべり地における地震観測, 平成 27 年度日本応用地質学会研究発表会講演予稿集, 81-82, 2015.
- 土井一生・川崎一朗・釜井俊孝, 長野県神城断層地震による堀之内地区の斜面変状, 自然災害科学, 34, 1, 7-14, 2015.
- Doi, I., and T. Kamai, Seismic wave and pore pressure responses in the filled slopes, Proceedings of French-Japanese symposium on earthquakes and triggered hazards, 32-33, 2015.
- Nakano, M., Chigira, M., ChounSian, L., Sumaryono, G., 2015. Geomorphological and geological features of the collapsing landslides induced by the 2009 Padang earthquake., 10th Asian Regional Conference of IAEG, Kyoto, pp. 1-5.
- Doi, I., G. Wang, T. Kamai, and M. Chigira, Seismic observation in a large, incipient rockslide on an anacinal slope, Proceedings of Japan GeoScience Union Meeting 2015, HDS06-08, 2015.
- 土井一生・釜井俊孝, 谷埋め盛土における地震動の特徴, 日本地震学会講演予稿集, S16-05, 2015.
- Kamai, T., and I. Doi, Observations and Seismic Response Analysis of Urban Landslide Induced by the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Engineering Geology for Society and Territory, 5, 805-809, 2015.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

火山地域で地震によって発生する地すべりの発生場の地質・地形的特徴をとりまとめ、ハザードマップ作成の考え方を構築する。特に降下火砕物の崩壊性地すべりは甚大な被害を引き起こすため、そのハザードマップの試案を作成する。非火山地域における地震時地すべりとして、西南日本外帯の既往巨大地震で発生した地すべり( 深層崩壊 ) を中心として地質・地形調査を行い、それらの構造的原因を特定する。

各観測地点における地震や多項目の観測を継続、発展させ、地震時の地下水、地震波の斜面内部での挙動を明らかにする。具体的には、盛土内に加速度と傾斜計を組み合わせたセンサーを、今年度の成果に基づき決定した複数の深度に埋設することによって、盛土内部の地震波の挙動、および、それと斜面変位との関係をより詳細に明らかにする。さらに、山地斜面においても解析を発展させ、多点での地震動増幅特性評価によって地すべりブロック全体の揺れ方を把握する。また、地震時の地すべり現象の発生ポテンシャル評価に向けて、地形や地すべりブロックの形状をコンパイルした地震波動シミュレーションをおこない、地すべり地内の地震動増幅特性の再現を試みる。

( 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・助教 ): 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  
 山崎新太郎 ( 北見工業大学・工学部・社会環境工学科 ): 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

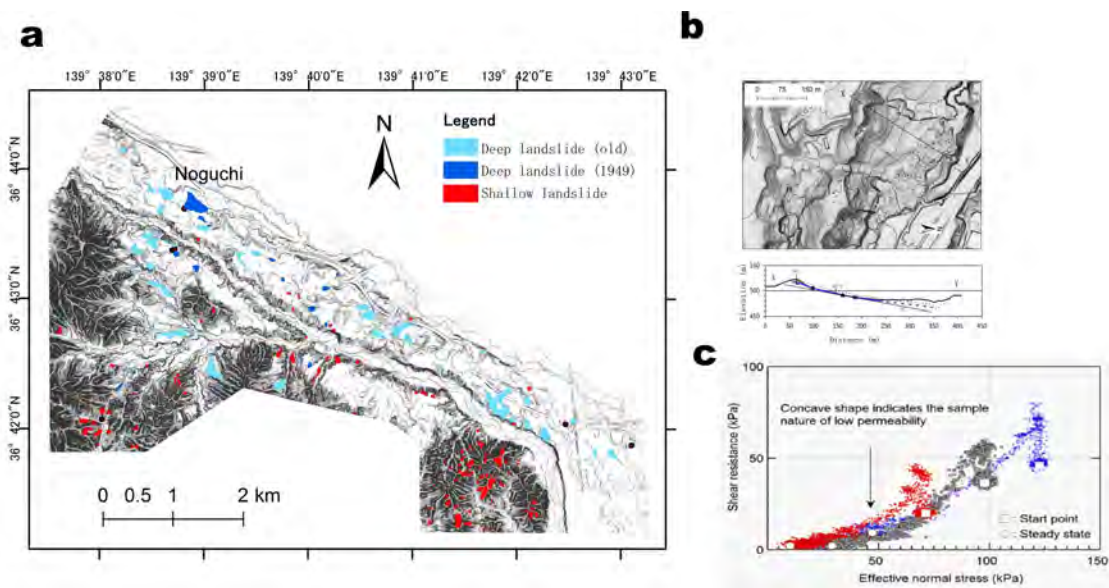


図 1 1949 年今市地震による崩壊性地すべりの分布とせん断試験結果  
 ( a ) 崩壊性地すべりの分布。( b ) 野口の崩壊性地すべりの地形と断面図 ( 青線はすべり面の形成された小川火山礫層 )、( c ) 今市軽石の飽和非排水せん断試験結果。

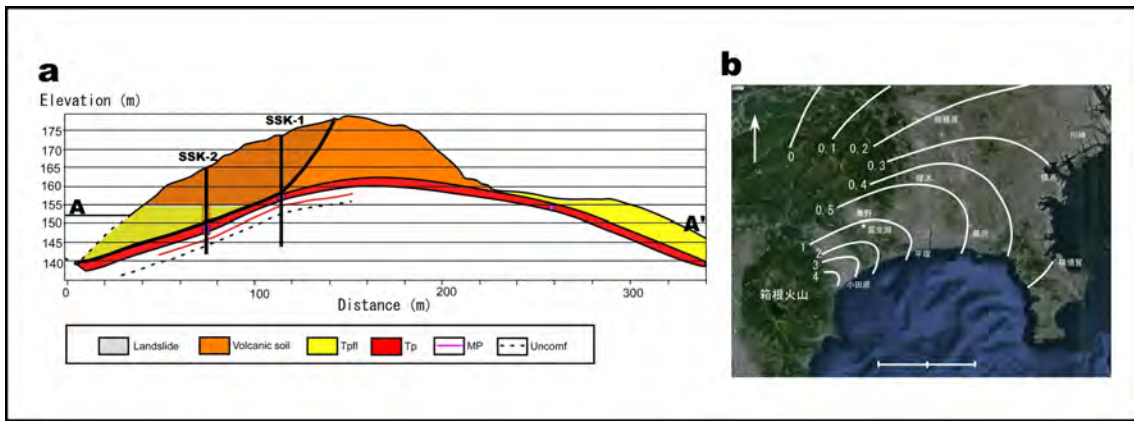


図2 1923年関東地震による震生湖地すべりのボーリング調査結果(a)と東京軽石層の分布(b)。Tp:東京軽石層、Tpf:軽石流、MP:三浦軽石層。bは町田(1968)から作成。

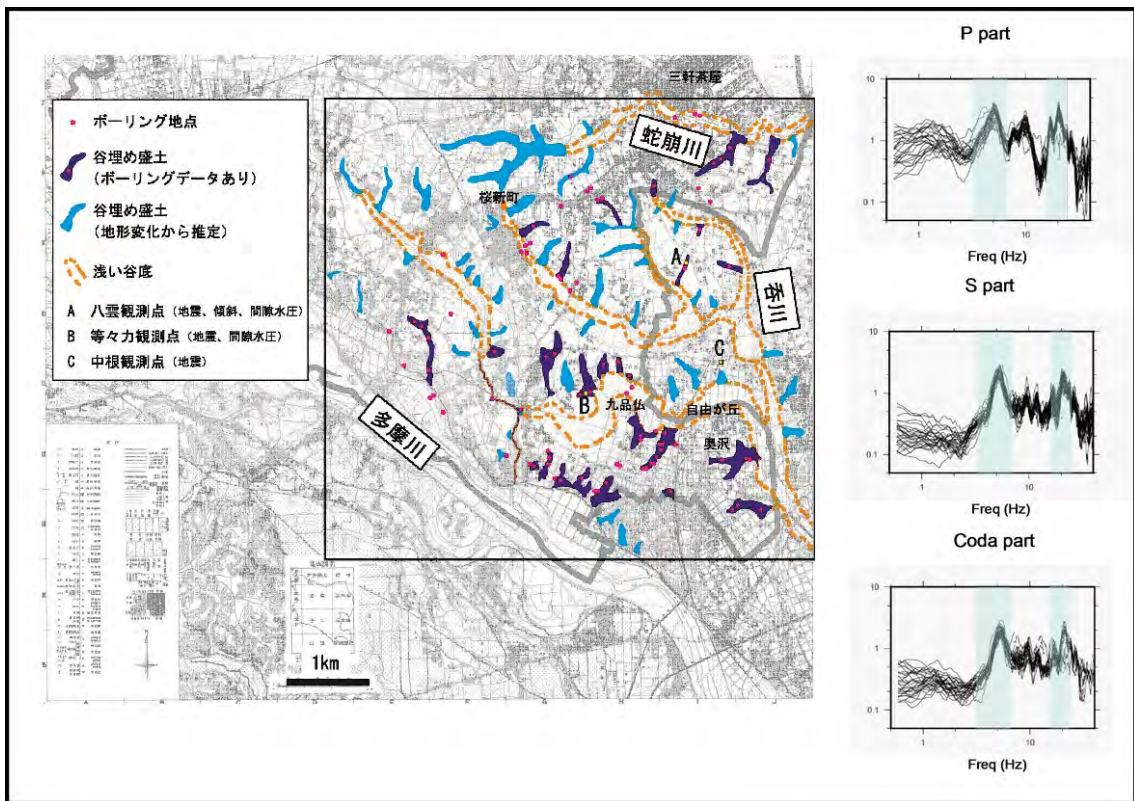


図3 推定された谷埋め盛土の分布と観測地点(八雲)における上下動の水平動に対する振幅スペクトル比。

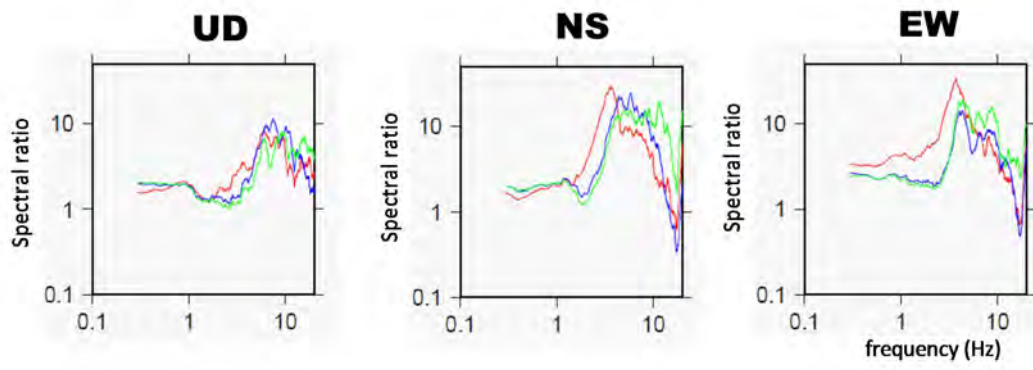


図4 近傍 Hi-net 観測点に対する尾根部 (赤) および地すべりブロック末端部 2 点 (緑・青) の振幅スペクトル比 (川下地すべり)

( 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 27 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。なお、大気中火山灰のその場観測は 2015 年秋以降に予定していたが、9 月 18 日以降爆発が発生していないので、実施しなかった。

##### 1. GNSS 観測

GNSS を用いた噴煙柱モニタリングシステムの構築に向けて、GNSS 解析時の位相残差とその信号強度である SN 比データの比較を桜島での観測データを用いて行った。その結果、位相残差と SN 比データの両者に乖離が確認され、両データに反映される物性が異なる可能性が明らかになった。これらの結果は EPS 誌において出版された。

##### 2. X バンド MP レーダー

噴煙粒子の形状と落下速度の関係を明らかにすることを目的として、桜島で採取した噴煙粒子のサンプルを、防災科学技術研究所の大型降雨実験施設内で自由落下させ、地上に設置した 2 次元ビデオディスクカメラにより測定することで落下速度、形状、落下姿勢などの噴煙パラメータを求めた。得られた粒子の軸比から、噴煙粒子の形状を球状、偏平楕円体、偏長楕円体に分類し、それぞれの粒子の落下速度とアスペクト比を求めた(図 1)。粒径の落下速度は形状と落下姿勢に依存することが確かめられた。アスペクト比も粒子の形状に依存し、1 を越えるものが観測された。これらの情報は噴煙のふり分け効果に伴うレーダー反射強度や反射因子差の水平分布などの時間変化の解釈や降灰のナウキャスト手法の開発に役に立つであろう。

レーダーにより観測された反射因子の時空間分布から火山灰の量的把握を目的として、噴煙高度が 5000m に達した 2013 年 8 月 18 日の桜島爆発のレーダー画像を解析し、降灰量と比較した。雨滴については反射因子(Z)と地上時間雨量(R)の関係式 Z-R 式が得られているがそれに倣って、反射因子の時間積算と地上時間降灰量( $R_A$ )との関係を調べた。その結果、 $R_A = 3.2 \times 10^{-3} Z^{0.172}$  という関係が得られた。また、一例ではあるが、反射因子から降灰量を求めることが可能であることを示した事例であり、今後、解析する爆発の数を増やして関係式の高精度化を図っていく予定である。

2013 年の桜島噴火事例を対象に国土交通省の垂水 X バンドマルチパラメータレーダーの観測データを解析した。図 2 に解析結果の一例で、降雨と噴火が共存する貴重な事例である。噴煙エコーが桜島から図の左斜め上方向に伸び、エコー頂上は約 4500m に達している。一方、降水エコーが画面右から桜島方向に進んでいる。両者の偏波レーダーパラメータを比較したところ、反射因子には大きな違いが認められなかったが、比偏波間位相差( $K_{DP}$ )に大きな違いが見られた。即ち、降水エコーでは

有意な  $K_{DP}$  が観測されたのに対して噴煙エコーではほとんどゼロであった。このことは  $K_{DP}$  が降雨と噴煙を区別するための有力なパラメータの一つであることを示唆している。

### 3. ライダー観測

桜島島内の二カ所にライダーを設置して微小火山灰粒子の検出実験を行った。使用したライダー (Light Detection and Ranging) 装置は 532nm の光を照射し、後方散乱した光を水平・垂直偏波成分ごとに検出する。光を使用するので、爆発時の噴煙の表面しか計測することはできないが、極めて微量な火山灰粒子を検出可能なことから航空機の航路における火山灰検知に有用である。

ライダー装置により、微弱な火山ガス放出時においても南岳火口上において火山ガスが冷却されて形成された水滴および硫酸ミストを検出することができた。散乱強度の空間分布から約 2km 付近まで、微小粒子を追跡可能であり、散乱強度は火口から離れるにつれて低下することがわかった (図 3)。このことは、散乱強度から微小粒子の濃度が推定可能なことを示すものである。また、2015 年 9 月以降、噴火活動が著しく低下したため、例が少ないが、火山灰も検出することもできた。水平及び垂直偏波の強度の比から微小粒子の形状に依存する偏光解消度が評価される。微小粒子が球形であれば、偏光解消度は 0 であるが、扁平になるにつれて偏光解消度は増加する。火口上の水滴及び硫酸ミストの偏光解消度は 0.1 以下となった。これは、水滴から構成される雲にレーザーを照射した際に得られる値と同じである。一方、火山灰に照射した場合、偏光解消度は 0.4~0.45 となり、水滴を主体とする粒子に比べ、明らかに大きい。

#### (9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

Eliasson, J., Weber, K., Vogel, A., P  lsson, T., Yoshitani, J., Miki, D., 2016, Investigation and separation of turbulent fluctuations in airborne measurements of volcanic ash with optical particle counters, Jour. Disast. Res, 11, 72-84.

Eliasson, J., Yoshitani, J., Miki, D., Weber, K., B  lke C., Scharifi, E., 2016, Measurements of particle distribution and ash fluxes in the plume of Sakurajima volcano with optical particle counter, Jour. Disast. Res, 11, 85-95.

Iguchi, M., 2016, Method for real-time evaluation of discharge rate of volcanic ash ? case study on intermittent eruptions at the Sakurajima volcano, Japan ?, Jour. Disast. Res, 11, 4-14.

Maki, M., Iguchi, M., Maesaka, T., Miwa, T., Tanada, T., Kozono, T., Momotani, T., Yamaji, A., Kakimoto, I., 2016, Preliminary results of weather radar observations of Sakurajima volcanic smoke, Jour. Disast. Res, 11, 15-30.

Ohta, Y., Iguchi, M., 2015, Advective diffusion of volcanic plume captured by dense GNSS network around Sakurajima volcano: A case study of the Vulcanian eruption on July 24, 2012, Earth Planets, Space, 67:157, DOI 10.1186/s40623-015-0324-x.

Oishi, S., Iida, M., Muranishi, M., Ogawa, M., Hapsari, R. I., Iguchi, M., 2016, Mechanism of volcanic tephra falling detected by X-band multi-parameter radar, Jour. Disast. Res, 11, 43-52.

Tanaka, H. L., Iguchi, M., Nakada, S., 2016, Numerical simulations of volcanic ash plume dispersal from Kelud volcano in Indonesia on February 13, 2014, Jour. Disast. Res, 11, 31-42.

#### (10) 平成 28 年度実施計画の概要 :

レーダー観測及びライダー観測のその場観測結果との比較

シミュレーションに基づいた予測値と、レーダー及びライダー観測データの照合

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

#### (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

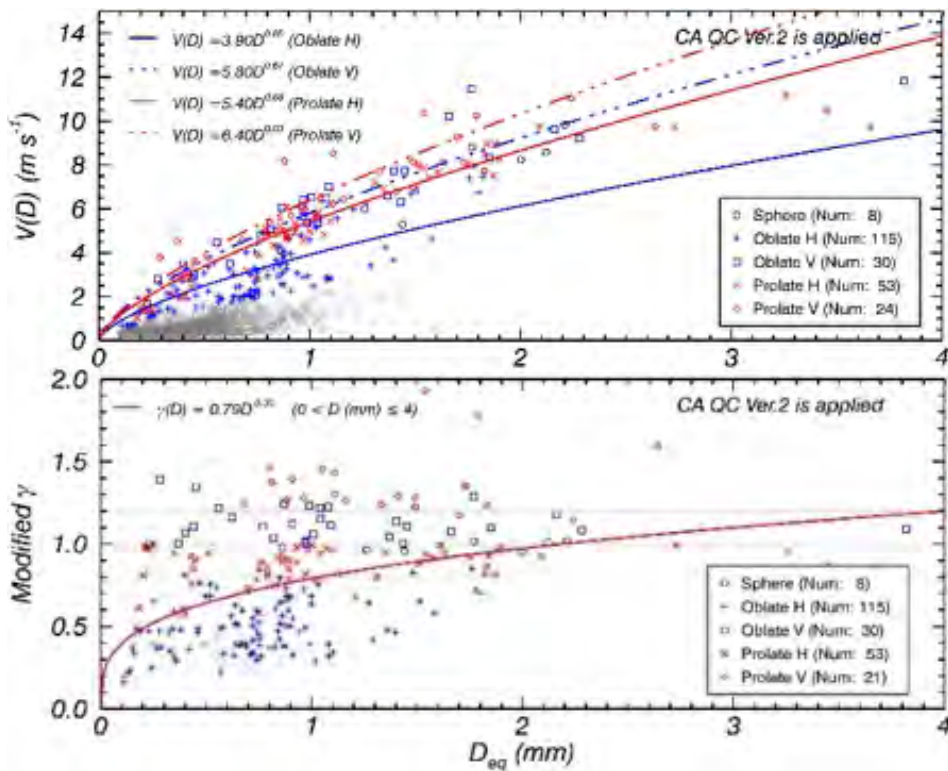


図1 (上) 粒子のタイプ毎の落下速度と球相当直径の関係 (下): 粒子の軸比と球相当直径との関係。HとVは落下姿勢で、それぞれ長軸が水平、垂直方向であることを意味する。

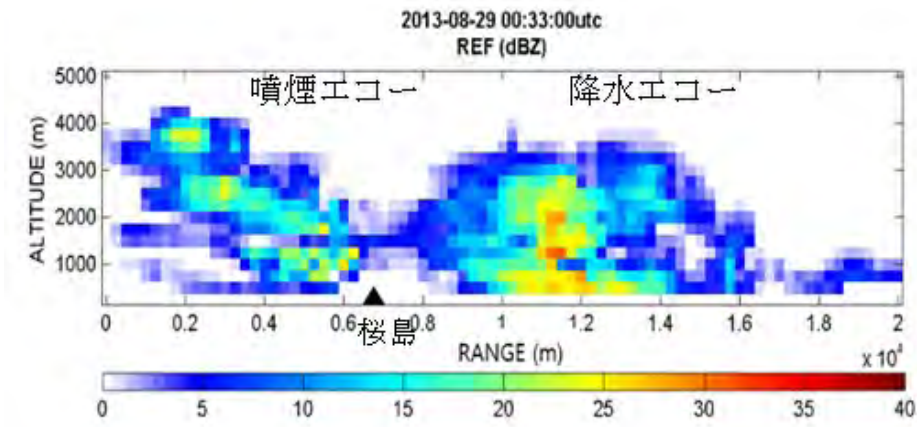


図2 噴煙と降水の射因子(桜島, 2013年8月29日)  
桜島, 2013年8月29日

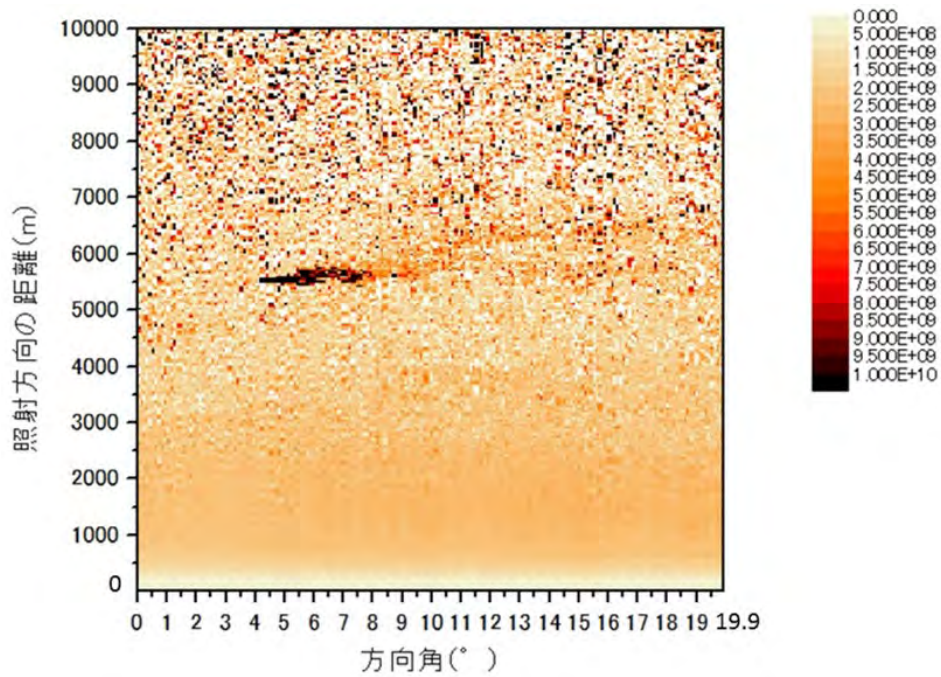


図3 ライダー観測による火山発散物の散乱強度の空間分布



( 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 27 年度の成果の概要：

噴火事象系統図にリストアップされる桜島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した。これまで考えられてきた前兆事象と噴火規模・様式との対応は、地盤変動から推定されるマグマの貫入速度に応じて、 $10^4\text{m}^3/\text{日}$ のオーダーであれば、昭和火口のブルカノ式噴火、 $10^5\text{m}^3/\text{日}$ 程度であれば、南岳の昭和火口のブルカノ式噴火、また、 $10^6\text{m}^3/\text{日}$ のオーダーであれば、昭和 21 年噴火のような溶岩流出、 $10^8\text{m}^3/\text{日}$ を超えれば、大正 3 年のプリニー式噴火とそれに続く溶岩流出を予測するものである。火山性地震の活動については  $10^{14}\text{J}$  に地震エネルギー積算量が達する大正 3 年の噴火に前駆する地震を除けば、地震活動度は低いので、地震エネルギー積算量が前兆事象と噴火規模・様式との対応において判断条件となる。

2015 年 8 月 15 日に発生した極めて速い地盤変動を伴う群発地震活動では、ダイク状のマグマの貫入量は  $2 \times 10^6\text{m}^3$  であるが、ほとんどの地盤変動は 9 時ごろから 12 時ごろに集中しているので、貫入速度としては  $10^7\text{m}^3/\text{日}$ のオーダーと推定される。大正 3 年級の噴火となるためには、さらに 1 桁大きい貫入速度と継続時間が必要となる。また、地震活動については 1955 年以降の南岳活動期においては最大級ではあるものの、有感となる M2~3 の火山性地震の発生は 4 回に過ぎず、地震エネルギーは  $10^9\text{J}$  のオーダーに過ぎない。したがって、時系列に沿った地震活動及び地盤変動と避難範囲の対応関係は図 1 のようにまとめられる。

桜島においては大正噴火級の大規模噴火が発生したときは、桜島島内の住民は避難することが地域防災計画に定められている。一方、鹿児島市街地においては地域防災計画において避難の定めはないが、大正噴火が発生したときは多数の住民が避難している。本課題では、桜島において大規模噴火が発生しうる状況での避難の意向に関するアンケート調査を実施し、避難行動を分析した。アンケート実施方法は、講演会(鹿児島防災シンポジウム：NHK 鹿児島放送局及び南日本放送主催)における直接アンケートと WEB によるアンケートである。アンケートでは、基本データとして住所や世帯構成、家屋の構造等について情報収集したうえで、何も火山活動に関する情報がない場合、大規模火山噴火の発生予測に関する情報が発表された場合、大規模噴火発生後の 3 段階について同様のアンケートを繰り返し、アンケートの回答を進めるにつれ、学習できるように配慮した。特に、避難の方法と経路について詳細なアンケートを行った。アンケートの質問の例を図 1 に示す。

現在アンケート結果の分析中であり、分析結果は後日、報告する。また、鹿児島市党の地方自治体と詳細な結果を共有し、防災対策に活用してもらう予定である。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

火山噴火予知研究から想定される今後の噴火活動予測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 .

( 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

●避難の際の交通手段に関する質問で、「2. 自家用車」を選んだ方に質問です。

12 もし避難に使用する道路が事前に指定されていれば、それに従いますか（例：△△町の住民は国道○号線を使用して避難、など）。また、その理由は何ですか。

1. 従う
2. 従わない
3. わからない

理由：（ ）

12.1 自家用車を使って【降灰堆積厚 30cm 以上の境界線】の外まで避難する場合、どのような経路で避難しますか。お住まいの地域と避難先、その時使用する避難経路を図に描いてください。



図1 アンケートの質問の例

( 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 27 年度の成果の概要 :

京都大学火山研究センター(阿蘇)では、1928年から2000年まで、ウィーヘルト地震計による観測が行なわれている。保管されているウィーヘルト地震計の煤書き記録の中には、80年以上を経過し劣化が激しいものがあるため、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。

阿蘇火山では2014年11月25日に始まったマグマ噴火が2015年5月まで継続し、2015年9月14日に爆発的な水蒸気噴火が発生した。この一連の活動は過去にも繰り返し発生してきたものであり、今後の阿蘇火山の活動推移を予測する上でも、過去の記録を整理し精査することが重要である。

そこで今年度は、観測所において整理・選別した1933年~1940年に記録された煤書き記録2,000枚をスキャンして、ハードディスクに格納することとした(写真1,2)。

これで、昨年度と合わせ、1931~1940年の約3,000枚の煤書き記録がデジタル化されたことになる。

阿武山観測所では耐震改修工事が終了し、サイエンスミュージアム化計画によるアウトリーチ活動を再開した。上賀茂観測所から大森式地震計を移設して一般公開を始めた(写真3)。これにより、地震計の歴史を飾る重要な地震計の多くを阿武山観測所で見ることが出来るようになった。また、上賀茂観測所に残存されていた歴史地震記録を全て、阿武山観測所に新たに整備された記録保管室に移動した。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

飯尾能久、満点計画と阿武山地震観測所サイエンス・ミュージアム化構想、全大教時報, 39, 1, 26-38, 2015.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

平成 28 年度においては、主に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、阿武山観測所のサイエンスミュージアム化計画を進めアウトリーチ活動をより一層強化する。

( 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・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



写真1 1933年7月9日の記録。遠地地震と火山性微動(ウィーヘルト南北動)



写真2 1936年11月3日に発生した宮城県沖地震の記録(ウィーヘルト上下動)



写真3 阿武山観測所における大森式地震計の公開風景

( 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 27 年度の成果の概要：

今年度の実施内容と成果は以下の 4 項目である。

(1) 県の防災業務に支障を及ぼさずに、情報ハイウェイを介して計測震度計からリアルタイム震度と最大加速度値を 1 秒パケットで受信する改良をメーカーに委託し、計測震度計のファームウェア更新の準備が整った。しかし、実働している計測震度計に改良を加えることおよび情報ハイウェイを介して各自治体と接続することについて、気象台、各市町村との調整に時間を要し、現地実装およびその試験は平成 27 年度末までに実施することとなり、鳥取大学側の本格的なシステム開発は平成 28 年度にずれ込むことになった。

当初予定したシステム構築の遅れを補うため、予測精度向上の重要な要因となる震度観測点におけるサイト増幅特性の高度化と、観測点周辺の震度を予測するための広域地盤震動特性の把握を並行しておこなった。その内容が以下の 3 項目である。

(2) 平成 27 年 10 月および 12 月に、鳥取県中部を震源とする群発地震(最大マグニチュード 4.3)が発生し、最大震度 4 を観測した。これらの地震観測記録を用いて、震源域周辺の計測震度計での観測記録を入手し、昨年度実施した常時微動および既往地震観測記録による地盤震動特性との比較検討をおこなった。これら一連の地震で大きな震度を観測した地点は、いずれも地盤増幅の大きい観測点であることが確認された。また、震源域に臨時観測点を設けて地震観測記録を収集し、これらと増幅率の大きい観測点での記録との比較分析をおこなった。

(3) 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 27 年度は、鳥取市、智頭町および鹿野町・青谷町(鳥取市)、泊(湯梨浜町)を対象とした。

(4) 震度計観測点における観測記録のレシーバ関数解析により、常時微動では十分な精度が確保できない深部の地盤境界のモデル化についての検討を始めた。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 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・香川敬生・吉田昌平・西田良平, 2015, 鳥取県内の地震観測点における地盤構造の把握とサイト特性の評価, 土木学会第 35 回地震工学研究発表会, B13-797.

野口竜也・西川隼人・香川敬生・吉田昌平, 2015, 鳥取県内の地震観測点における地盤構造の推定, 物理探査学会第 133 回学術講演会, 講演番号 22.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要：

平成 27 年度末までに自治体震度計からの毎秒パケットを受信できるようになるため、それを利用して当初計画の即時予測システムを作り込む。平成 27 年に県中部で発生した群発的な地震活動による観測記録に基づいてシステムの運用チェックをおこなうとともに、平成 27 年度までに実施した各震度観測点のサイト増幅特性の調査結果を用いて、各サイトの震度増分に関する予測パラメータの精度向上を図る。

( 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

( 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 27 年度の成果の概要：

##### 1 . 地震観測データの継続的な収集

高知大学では四国北部の燧灘にて（図 1）、固有周期 2Hz の 3 成分短周期地震計 KVS-300 と EDR-X7000（ともに株式会社 近計システム製）を組み合わせ、伊吹島（香川県観音寺市）魚島（愛媛県越智郡上島町）の 2 地点で現地収録のみの地震動観測を実施している。平成 27 年度は 8 月（伊吹島、魚島）と 1 月（魚島）にバッテリーの交換と観測記録の回収を実施し、観測データの継続的な収集に努め、観測事例の蓄積を行った。1 月に魚島と合わせて実施できなかった伊吹島の観測点における平成 27 年 8 月以降のデータは 3 月上旬に回収予定。

##### 2 . 地震観測データ充実に向けた問題点の洗い出し

燧灘の地震動観測点では、大容量のバッテリーと超低消費電力型のデータロガーの利用によって、バッテリー交換とデータ回収頻度を 3~6 ヶ月ごとと少なくし観測点維持にかかる労力を少なくしている。課題研究の解析を進めるにあたり、解析に足る十分な観測記録が得られていないことが問題となっていることがわかった。現地収録方式で長期にわたる観測を行う際には、観測期間中に様々な機器トラブルが発生し得、最大数ヶ月に及ぶ観測停止や欠測が起こりうる。これらの障害により観測事例数が減少し、解析のリアルタイム性を欠くことが課題を進めるにあたり障害となることが判明した。燧灘の地震観測点で得られた波形記録は、課題 1904「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（代表者渋谷拓郎）」によるレシーバ関数解析にデータ提供を予定しているため、連続性の良い解析可能な地震波形データの取得は急務である。また、解析におけるデータ利用の利便性を鑑みれば、オフラインの地震観測による長期間よりは、準リアルタイムでの地震動波形取得が望ましい。

長期にわたる欠測を回避し、リアルタイム性を高めるためには、高頻度で観測記録の回収を行うことが望ましいが、これには高知大学から燧灘へのアクセスの不便さが障害となる。伊吹島は香川県の観音寺港よりフェリーによる移動に約 30 分要する場所にある。フェリーは日に 4 往復運航されているが起点が伊吹島となっており、四国本土の観音寺から往復が可能なのは 3 往復である。また、高知大学から観音寺まで高速道路を用いても 2 時間程度を要する。一方、魚島は高知大学から 4 時間弱の高速道路を用いた移動と、広島県の因島土生（はぶ）港からフェリーによる移動、約 1 時間を要する。魚島のフェリー運航スケジュールも伊吹島同様、魚島を起点とする 4 往復のため、土生港からの往復が可能な旅程は日に 3 往復である。したがって、1 観測点の保守のためにそれぞれ 1 日を要することとなり、観測記録回収頻度を上げにくいのが現状である。

したがって、本課題を進めるにあたり、現地収録のみのオフラインにて観測を行っていた地震動観測記録のテレメータ化を含む観測点の高度化が必要であるとわかった。

##### 3 . 地震観測点高度化に向けた技術的な検討

燧灘の地震観測点で得られる観測波形の連続性と観測事例の増大のためには、準リアルタイムでの地震動波形取得が望ましい。そこでテレメータによる準リアルタイム波形伝送と観測点状況のヘルスマニタリングを可能にする、地震観測点の高度化を検討した。準リアルタイムでのデータ取得と観測点状況を把握するためには、通信設備とその動作電力を賄うことができる電源設備は必須である。現状はバッテリーで観測を運用しているため、商用電源を利用しておらず、新たに電源設備を利用できるよう手配する必要がある。魚島の観測点は、上島町立魚島小中学校の敷地内にあり、観測点の側には電源設備を備えた倉庫がある。当該施設には平成 28 年 1 月の観測点保守の際に、電源利用の申し入れを行ない、実施の申請を進めた。一方、伊吹島における現状の観測点は、伊吹島民族資料館・博物館の敷地に設置してあるが、当該施設には常時利用可能な電源設備が備えられておらず、現在の位

置での高度化は難しい。また、観測点の西側は大きな落差を持つ崖になっている上、南側には小高い山と木々があり GPS 時刻情報の取得にも障害が出ることがある。そこで、現在の観測点の約 200 m ほど東側にある観音寺市立伊吹小中学校への観測点移設を検討した。

テレメータに用いる通信回線としては携帯データ通信を検討しており、魚島の観測点及び伊吹島の観測点(移設予定地も含む)において、携帯データ通信が利用できることを確認した。当該施設の利用申請許可が得られ次第、テレメータ化も含めた観測点高度化の実施を予定している。観測の高度化に最低限必要な機能として、観測点のヘルスマonitoringが必要であるとわかった。近年 MVNO と呼ばれる、仮想移動体通信事業者が急速に増え、安価な携帯データ回線が利用できるようになった。これは携帯データ通信回線の利用が多様化、広帯域化している恩恵である。逆に言えば、恒常的に回線を利用する地震波形記録のテレメータのような利用にとっては、利用できる帯域が逼迫する可能性があると言える。一時的にせよ回線が逼迫し、データ伝送が滞れば、データの再送のためにさらに帯域を利用することとなり加速度的に不達のデータが増加する。そのため、常時データを伝送するのではなく、回線帯域に十分な余裕がある時間帯にデータを伝送する準リアルタイム方式が望ましいと言える。

高度化に利用する通信機器については、従来 PC カード型や USB 型のデータモデム端子と有線 LAN を備えたルータを利用したデータテレメータが利用されていた。しかしながら、最近の携帯データ通信で利用できる機器は無線 LAN を介するものがほとんどであり、データモデム(PC カード型、USB 型)の入手も困難である。そのため、IoT (Internet of Things) 技術を利用した通信機器の利用を検討した。IoT 端末(例えば、OpenBlocks IoT EX1、ぷらっとホーム製)は最新技術により消費電力の低減が図られており、汎用入出力や接点入力、センサー追加のために様々なインターフェースを有している。これらのインターフェースを利用することで水濡れ監視やバッテリー電圧監視などの環境計測の機能も容易に構築でき、観測点の高度化を最小限の機器構成で実現できると判断した。

#### 4. 地震観測点高度化に向けた総合的な検討

観測対象である燧灘周辺の地震活動度は高くなく(図1)、観測事例数も多くない。そこで、深部低周波地震といったより小さな規模の地震まで観測下限を下げ、観測事例数を増やす必要があるとわかった。現在観測に用いているデータロガーはテレメータ機能を有していないため、観測点高度化の際には機器の交換が必要である。機器交換の際には、ノイズレベルの低減と最小分解能電圧の低下を図る必要がある。また、地震計は巨大地震や強震動を対象としているわけではないため、ごく低頻度でしか発生しない大振幅事例で観測波形が飽和する事例に対応することよりも、検知能力を高めることで、より小さな地震の観測事例を逃さないようにし、高感度で高出力な地震計を利用する必要があると判断した。

地震観測点を地域の小中学校に設置することで、防災意識向上にむけた取り組みを進めることが必要である。魚島、伊吹島のある瀬戸内・燧灘周辺では有感の地震が少なく、島民の地震動に対する意識が低い。あわせて内海ということで津波も懸念されることが少ない。しかしながら、島嶼ということ立地のため、急傾斜な地形が多く、震動による崖くずれや土砂災害は考慮すべき問題である。したがって、地震とそれに付随する諸災害に対する意識を高めてもらうことが重要であり、そのために身近な場所で行なわれている観測事例を有効に活用することが重要である。

そのためには、観測地域に地震動波形を公開したり観測事例をフィードバックしたりする活動が必要であり、生徒の理科教育の一部として取り入れ、防災意識向上の取り組みを進める活動が必要であるとわかった。

(9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(10) 平成 28 年度実施計画の概要 :

平成 28 年度は、魚島、伊吹島の燧灘での地震観測を維持・継続し、観測データを蓄積する。解析データの充実と解析の利便性向上のため、観測点の高度化事業を実施する。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進め、プレート形状に関する課題(1904, 京都大学)と研究

連携も強化する。

- (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：高知大学理学部附属 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：高知大学理学部附属 高知地震観測所

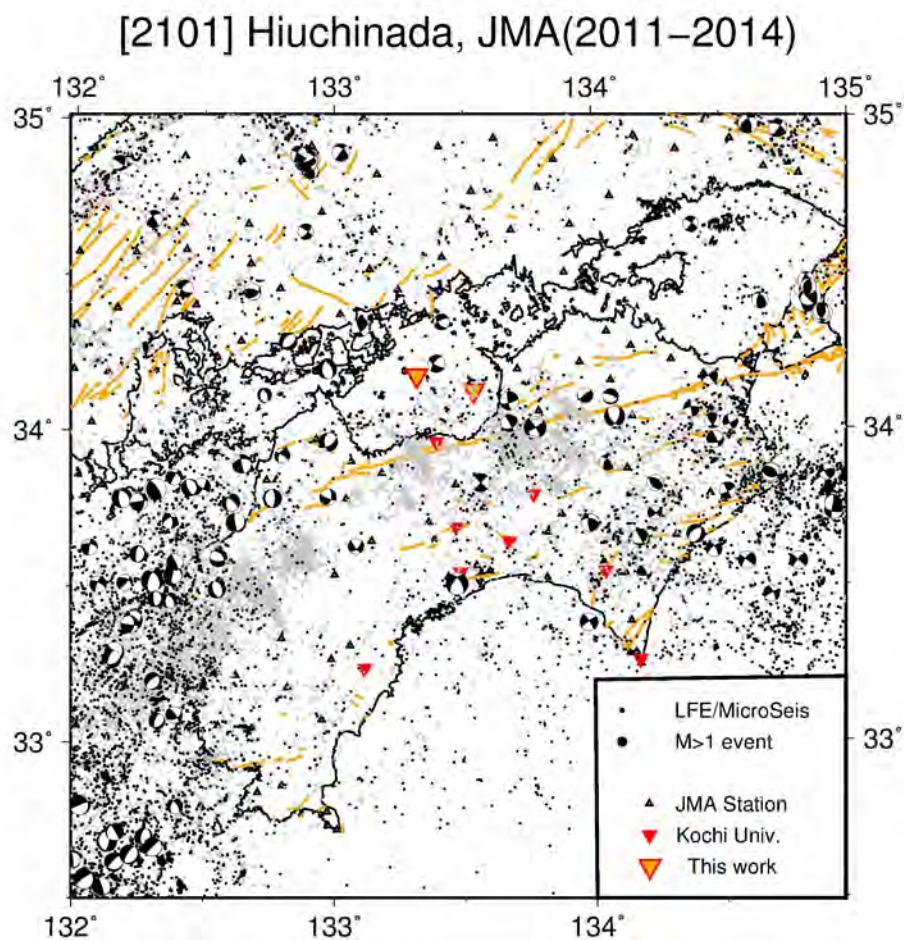


図1 . 高知大学の地震観測網と他機関の観測点，及び周辺地域の地震活動

( 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 27 年度の成果の概要：

地震発生場・噴火発生場

地震発生ポテンシャルの評価に向けて、今年度は発震機構解を用いた評価法の適用を試行した。仮想アスペリティを配置し評価した結果、警固断層では顕著な応力集中は見られなかった(図1)。今後他地域にも適用し、方法を評価するとともに空間ポテンシャルの見積もりを進める。一方、地殻の応力状態を知るために重要な地殻応答のうち、非弾性変形に寄与する地震活動によるひずみの見積もりを行った。これにより、九州内ではひずみレート換算で  $10^{-7}/\text{yr}$  相当地域が別府、熊本などに見られた(図2)。この値はGNSSによるひずみレートと同程度であり、地震活動による変形が無視できない大きさであることを示した。また、不均質構造推定としては地殻の非弾性・散乱構造を推定し、別府-九重地域で強い減衰があることを見出した。さらに、流体の存在による地殻強度低下の構造を見出すため、本年度までに大分県中部-南部地域で合計170点の広帯域MT観測を完了し、得られたデータを領域ごとに3次元比抵抗構造解析した。その結果、大分県南部地域においては、前弧側の深さ10km付近にスポット状の低比抵抗体が存在することが明らかになった(図3)。

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。日本から離れたIGS観測点を基準にして2004年から2014年までのGEONET観測点と本プロジェクトによる観測を行っているGNSS観測点の座標変化を求めた。さらに、書く観測点ごとに年周、半年周の振幅と位相、2011年東北地方太平洋地震の地震時と変位速度を決定した。各観測点の変位速度を使って、佐藤・他(2002)の方法で歪速度を推定した。東西成分の歪速度は歪速度の大きいところは火山の位置に対応しているように見える。また、2011年東北地方太平洋地震の地震時歪変化を求めた。歪変化の不均一があることがわかった(図4)。

北海道においては、GNSS機動観測を実施し詳細な変位・ひずみ場を得るためのデータを蓄積するとともに、データを解析した結果、収縮のひずみ速度は、屈斜路カルデラ内で約1桁大きいことやひずみ速度が最も大きいところは、浅部の低比抵抗域、93-95年の隆起イベント域と対応していることが明らかになった。また、屈斜路カルデラ地域の温泉井温度プロファイルデータをコンパイルし温度勾配を推定した。カルデラ内は8-10 / 100mと高い勾配を示すことが明らかになった。これにより、温度構造と地震発生層の関連が指摘された。さらに、地殻の不均質構造を入れた有限要素法による地殻変動場シミュレーションを実施した(図5)。

阿蘇火山では2014年11月に約20年ぶりとなるマグマ性噴火が発生した。これをうけ、この噴火以前に観測された地殻変動データから同火山の噴火ポテンシャルを評価した。近年の上下変動量から変動源(Mogi)での体積変化量が求められており、AVL14の変動量1cmは  $1.7 \times 10^6 \text{m}^3$  の体積変化に対応する(変動源の位置は不変と仮定)。このモデルによると、2012年のAVL14は1937年に比べて約10cm沈降していることから、現在のマグマの総量は1930年代後半に比べて約  $2 \times 10^7 \text{m}^3$  減少していると推定される。また近年の基線長変化からは、 $10^6 \text{m}^3$  程度しか回復していないと推定される(図6)。

また、九重火山における水蒸気噴火のポテンシャル評価に資するため、GPS観測および地震観測を開始した。九重火山においては、硫黄山の地下に鉛直に伸びる高比抵抗領域が検出されマグマ貫入域もしくは高温ガスの通路と解釈された。

#### 地震火山相互作用

富士山においては2011年東北地方太平洋沖地震発生後に起こったMw6.9の震源域に低比抵抗体があり、流体の通路となっていることが示された。経路の形状とガス分析から、地震時に離脱した気体の上昇による間隙水圧上昇によって地震が発生するモデルを提案した(図7)。また、このような気体の離脱現象を解明するために、アナログ実験を行い、1)気泡の離脱は、気泡のneckingによって起こる。2)離脱気泡のサイズは表面張力の平方根に比例する。3)地下の熱水流体中での気泡の離脱による移流増圧は、表面張力が小さくなる臨界点近傍で起こりやすくなるなどの重要な性質が明らかになった(図8)。

- (9)平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Aizawa, K., Sumino, H., Uyeshima, M., Yamaya, Y., Hase, H., Takahashi, A.H., Takahashi, M., Kazahaya,

K., Ohno, M., Rung-Arunwan, T., Ogawa, Y., 2016, Gas pathways and remotely triggered earthquakes beneath Mt. Fuji, Japan. *Geology*, 44, 127-130, doi: 10.1130/G37313.1.

Matsumoto, S., S. Nakao, T. Ohkura, M. Miyazaki, H. Shimizu, Y. Abe, H. Inoue, M. Nakamoto, S. Yoshikawa and Y. Yamashita, 2015, Spatial heterogeneities in tectonic stress in Kyushu, Japan and their relation to a major shear zone, *Earth, Planets and Space*, 67:172, doi:10.1186/s40623-015-0342-8.

Matsumoto, S., H. Katao, Y. Iio, 2015, Determining change in the state of stress associated with an earthquake via combined focal mechanism and moment tensor analysis: Application to the 2013 Awaji Island earthquake Japan, *Tectonophysics*, 649,58-67.

Miyazaki, M., S. Matsumoto, H. Shimizu, 2015, Triggered tremors beneath the seismogenic zone of an active fault zone, Kyushu, Japan, *Earth, Planets and Space*, 67, 179, DOI 10.1186/s40623-015-0346-4.

塩谷太郎、2016、九重火山周辺における比抵抗構造推定、京都大学修士論文

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

九州では、地震観測の観測点再配置を行い、活動的な位置を重点的に調査することで、応力状態および地殻構造の特性を把握する。また、天草から九州山地において約 100 点の広帯域 MT 観測を行い、非火山性地域の比抵抗構造を明らかにすると共に、前年度に発見された大分県南部の前弧部の低比抵抗帯がより南部の宮崎県側にも存在するかを明らかにする。さらに、九重火山の 3 次元比抵抗構造解析を進める。広域の地殻変動特性を把握するため、GNSS 観測解析及び地殻熱構造調査を継続する。北海道においては、GNSS 観測を継続しひずみの空間分布データを取得する。弾性層厚や地下構造モデルの推定に必要な地温勾配データの収集や構造調査を実施する。

また、現在の活動に鑑み、阿蘇火山においては、GPS 観測の継続、水準測量の実施、阿蘇カルデラ周辺でのレーザー関数解析を進めるとともに、始良、加久藤カルデラでのレーザー関数解析を行い、噴火発生場の特性を把握する。

実験においては、離脱条件の振動数依存性の決定精度のよい実験データを出すとともに、実験データを説明することのできるモデルを検討する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

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

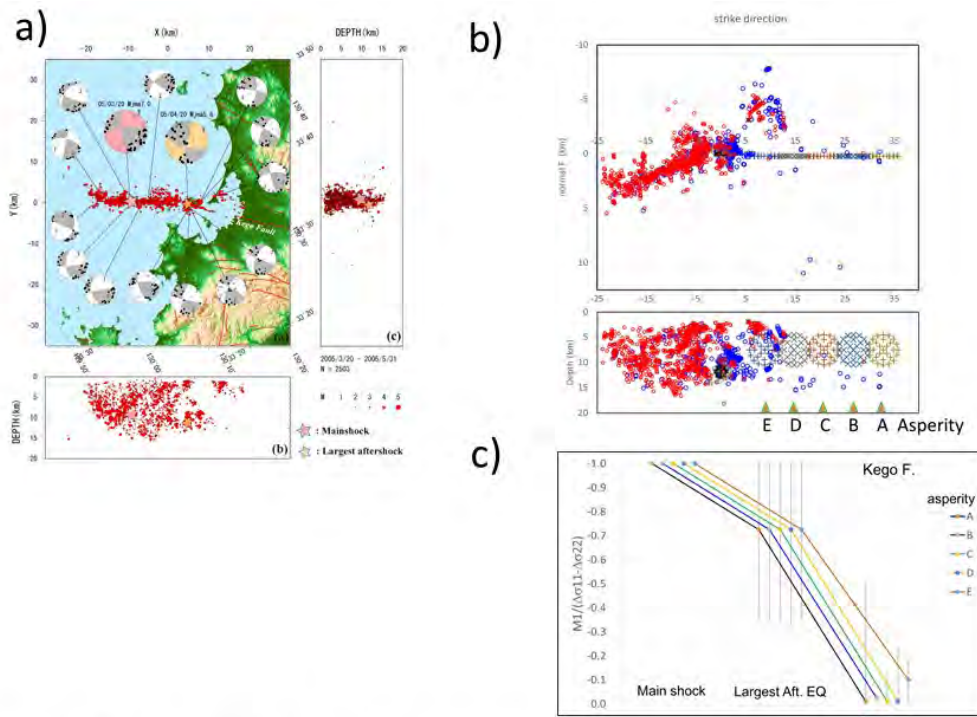


図1. 地震のメカニズム解が応力場に影響を受けることから、断層面の応力集中度を見積もる手法を開発。警固断層に適用した。a)福岡県西方沖地震と警固断層(Uehira et al., 2006). b)解析に用いた地震と仮想的に配置したアスペリティ(A-E). c)得られた応力集中度。各アスペリティごとに折れ線で西方沖地震、最大余震、警固断層の応力集中度を示した。縦線は95%信頼区間。

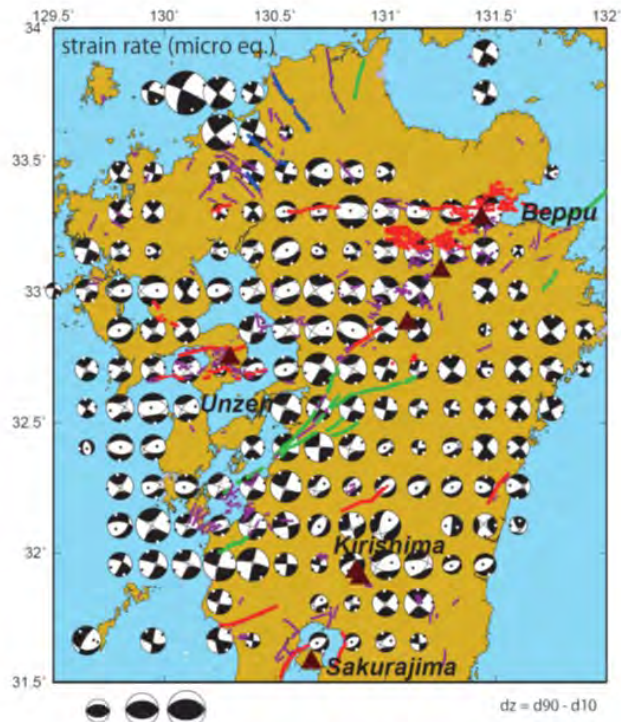


図2. モーメントテンソルの重ねあわせから求めた地震発生層の非弾性ひずみレート。ビーチボールの大きさがひずみレートの大きさ、パターンが方向を示す。図中赤、緑、青、紫線は活断層(正、横ずれ、逆断層、明瞭でないもの)を示す。断層近傍では活断層のタイプと相関が見られる。

### 大分南部 比抵抗構造 (前弧側にも低比抵抗領域)

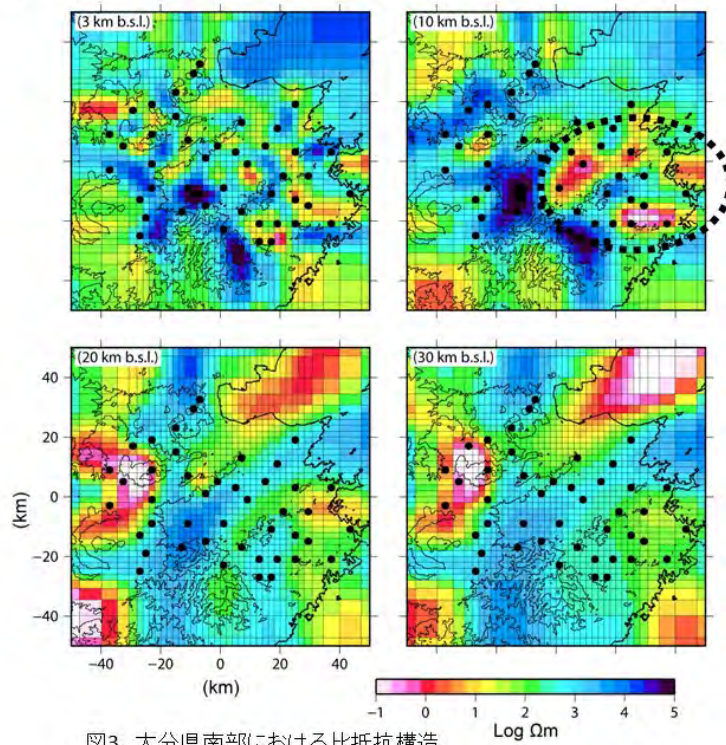


図3. 大分県南部における比抵抗構造

2201.fig3

## 2011年東北地方太平洋地震の地震時歪変化

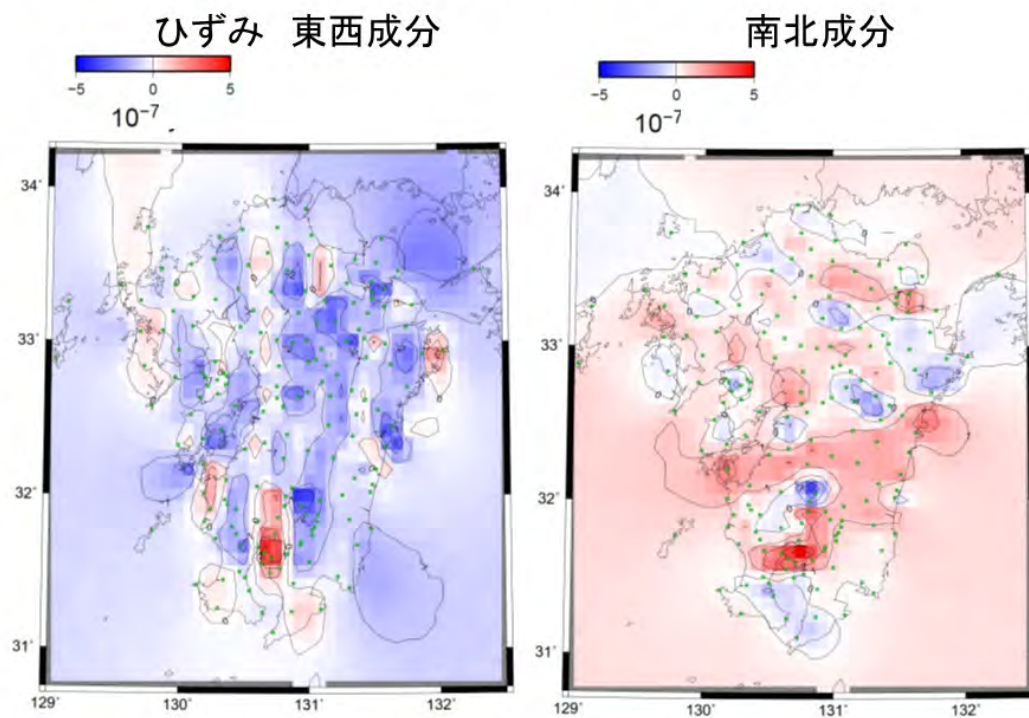


図4. 稠密GNSS観測から得られた2011東北地方太平洋沖地震時のひずみ分布。

2201.fig4

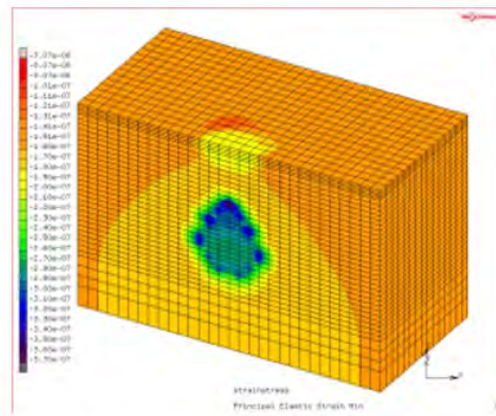


図5. 屈斜路カルデラ地域の温泉井温度プロファイルデータをコンパイルし温度勾配を推定した。地殻の不均質構造を入れた有限要素法による地殻変動場シミュレーションを実施した。GNSS機動観測を実施して詳細な変位・ひずみ場を得るためのデータを蓄積した。



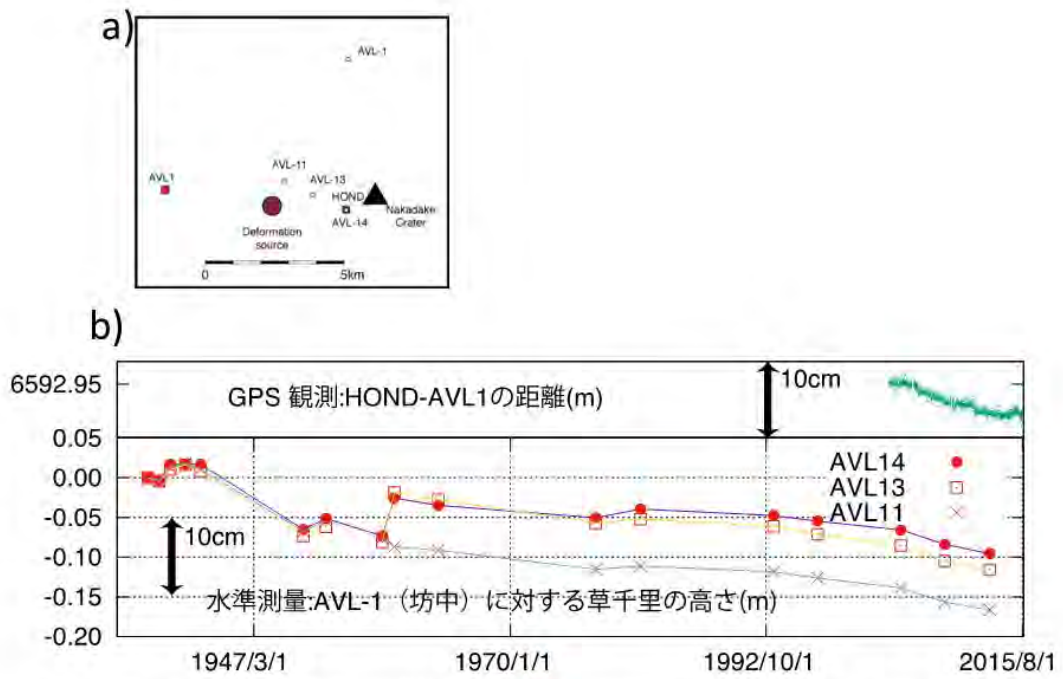


図6. a)阿蘇火山中岳周辺の水準点(□)とGPS観測点(■)の一部。大倉・他(2009、第4回阿蘇火山集中観測報告書)が求めた、1997年から2008年の水準測量結果からこの期間の沈降を説明する変動源(茂木ソース)の位置も示されている(深さは5.1km) b).2004年以降の草千里をはさむ基線長の変化(HOND-AVL1)と水準点AVL-1に対する水準点AVL11,AVL13,AVL14の標高差変化(1937年10月を0mとする)。

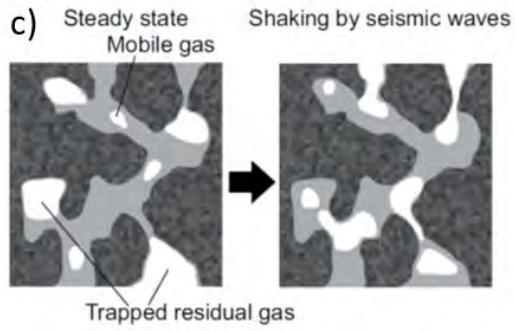
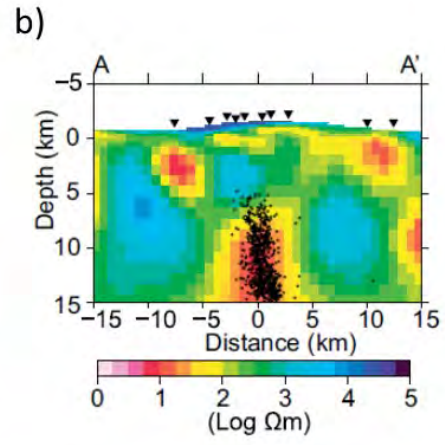
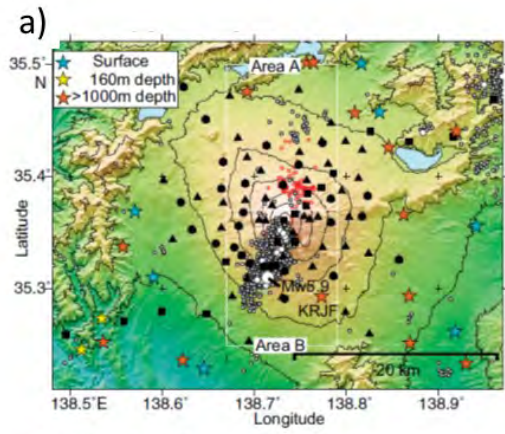
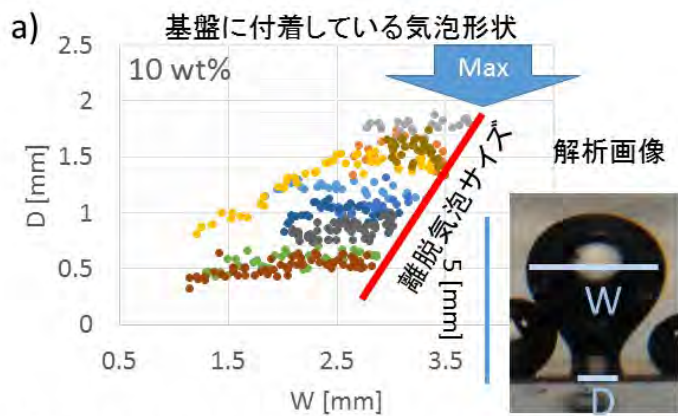


図7a)富士山におけるMT、ガス観測点分布と震源位置。b)震源域を横切る比抵抗断面。c)地震動による流体離脱モデル。  
(Aizawa et al., 2016による)



b) 離脱気泡サイズと表面張力の関係: モデルと実験

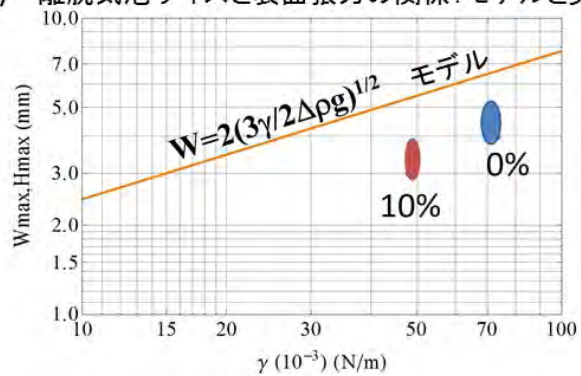


図8. 気泡離脱実験。a)気泡形状と離脱限界。b)気泡サイズと表面張力。

( 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 27 年度の成果の概要：

### 海域及び島嶼域における観測

平成 27 年度は、トカラ東方海域において前年度に投入した 3 台の長期収録型海底地震計 ( LOBS ) を回収するとともに、予め準備した 3 台の LOBS を同一位置に再投入した。これらの回収及び再投入作業は、前年度に引き続き、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く 2 回の航海によって実施された。前年度に投入した 3 台の LOBS は、ともに正常に回収され、1 年間の連続データを取得できた。この結果、現時点における回収済の繰り返し観測データの期間は、平成 26 年 4 月～平成 27 年 7 月の約 1 年 3 ヶ月間である。一方、島嶼域における短周期地震、及び GNSS 観測については、無人島・有人離島における既設の臨時観測を継続して実施し、データ回収及び保守作業を行った。GJYA ( 臥蛇島観測点：図 1 の (d) を参照 ) における機器のトラブルにより生じた地震観測データの約 2 ヶ月半の欠測を除けば、データの収録状況は良好である。なお海域においては、上記の 3 観測点に加え、異なる位置に新たに 3 台の LOBS を投入し、平成 27 年 7 月以降はトカラ東方海域における海底地震観測点数を 6 に強化して、繰り返し観測を実施する体制とした。

### プレート境界面の形状

平成 27 年度は、前年度に引き続き 3 次元速度モデル解析の基礎となる 1 次元速度モデルと観測点補正值を推定し、震源再決定を行った。観測点間隔がやや疎のため、震央が海域及び島嶼域観測点に囲

まれる M3.0 以上の地震を対象とした。前年度の解析で用いた 67 個の地震に、平成 27 年度の LOBS 回収で得られた 1 年間のデータを加えて抽出された合計 275 個の地震の観測データを用いて解析した。速度モデルの解析においては、深さ方向にのみノードが配列する 1 次元のグリッドモデルを適用し、震源要素、観測点補正值と同時に決定した。初期モデルには、角田・他(1991)の 1 次元モデルを基に 9 種類のモデルを仮定して与え、各々解析を行った。最適なモデルの解析結果(図 1)においては、走時インバージョンのステップ毎に走時残差が単調減少し、かつ各地震の深さ方向の変化が収束した。その一方で、初期モデルを違えると有意に異なる速度モデルが得られたことから、解が初期モデルに強く依存することが分かった。観測点網外の地震も加えた 397 個の震源の再計算で得られた震源断面(図 2)では、当該領域の北東側と南西側との間に地震面の形状の相違が認められた。また、震源断面と全地球的なプレート形状モデル：Slab 1.0 (Hayes et al., 2012) の断面との比較では、島嶼域より海溝側及び稍深発地震の領域において、深さ方向に数 10 km の差異が認められる(図 2)。

#### GNSS 解析

平成 27 年度は、南西諸島北部の内部変形を明らかにするため、南西諸島のプレート運動を求めた。2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震の余効変動が広域で起こっており、日本周辺にある IGS 観測点もその影響を受けている。日本から離れた IGS 観測点を基準にするため、CODE 解析センターが作成した正規方程式ファイルを使って九州南部と南西諸島にある観測点について GNSS 解析を行った。こうして求めた観測点座標の時系列より、年周・半年周変化、東北地方太平洋沖地震の地震時変動、GEONET 観測点のアンテナ交換による変動とともに各観測点の変位速度を最小二乗法により求めた。また 2009 年 10 月 30 日 M6.8 の地震時変動と余効変動も震央に近い観測点について推定した。さらに、九州南部から八重山諸島までをひとつのプレートした場合と渡瀬線と慶良間海裂を境として 3 つのプレートに分けた場合のオイラー極を求めた(図 3)。AIC を比較したところ、南西諸島を 3 つに分けた場合の AIC が小さく、南西諸島は 3 プレートで構成されることが示された。なお観測期間の短い KTDM(片泊観測点：図 1 (d) の KURO と同一島内)は、今回のプレート運動の推定には使用しなかった。

#### 小繰り返し地震及び低周波微動の解析

日向灘～奄美大島域における小繰り返し地震の解析を継続して行った。平成 27 年度は、特に小繰り返し地震活動から準静的すべり速度を推定する際などに問題があった相似地震群の抽出方法に変更を加えた。推定された当該領域での準静的すべり速度の空間分布の特徴は、これまでの結果と比較して若干の違いはあるものの、概ね一致している。一方、2009 年に M6.8 が発生した奄美大島北東海域では、本震発生に伴い小繰り返し地震の発生数が減少しており、準静的すべり速度が低下したと報告してきた。しかしながら、小繰り返し地震の発生数の減少について詳細に検討した結果、地震群から推定される準静的すべり速度はあまり変化していないことが明らかになりつつある。

平成 26 年度の成果として、奄美大島域で低周波微動の活動が見出されたことを報告した。平成 27 年度は、種子島～徳之島の島嶼域 12 観測点のデータを用いて南西諸島北部の全域を対象に 2010～2015 年の期間における低周波微動の検出を試みた。その結果、南西諸島北部域での低周波微動活動は活発であることや、比較的定常的に活動しているが稀にバースト的な活動が生じることが分かってきた(図 4)。

- (9)平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
八木原寛・平野舟一郎・小林励司・宮町宏樹・馬越孝道・中東和夫・内田和也・清水洋・山下裕亮・阿部英二・山田知朗・篠原雅尚・中尾茂・後藤和彦，2015，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(2)，日本地震学会 2015 年度秋季大会，S09-P14。  
中尾茂・八木原寛・平野舟一郎・後藤和彦，2015，北部南西諸島域における GNSS による地殻変動観測，日本地震学会 2015 年度秋季大会，S03-17。  
浅野陽一・松澤孝紀・後藤和彦・八木原寛・平野舟一郎・針生義勝・小原一成，2015，南西諸島北部～日向灘における浅部超低周波地震活動の特徴，日本地震学会 2015 年度秋季大会，S09-09。

(10) 平成 28 年度実施計画の概要：

(a) トカラ東方海域で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。海域及び島嶼域地震観測データの蓄積が進むため、1次元速度モデルの最適解を初期モデルとした3次元速度モデルの解析を試みる。1次元モデルと3次元モデルの比較を行ない、より適したモデルを用いた震源再計算を行うとともに、発震機構解の解析によりプレート境界で発生する地震の抽出を行なう他、先行研究(反射法探査等)で解明された浅部構造を参照して、プレート境界面形状の精度を向上させる。

(b) 島嶼におけるGNSS連続観測を継続し、精度の高い変位速度の推定できるようにする。フィリピン海プレートの沈み込む方向に種子島から女島までGNSS連続観測点が構築されているので、この地域の2次元有限要素モデルを構築し、プレート内部変形を説明できるプレートの固着率、固着領域と背弧拡大の速度の初期推定を試みる。

(c) 日向灘～奄美大島域における小繰り返し地震の解析を継続する。2009年にM6.8が発生し、小繰り返し地震の発生数が減少した奄美大島北東海域では、小繰り返し地震の発生数の減少と準静的すべり速度に関する詳細な検討をさらに進める。また、当該領域でほぼ定常的、あるいは時折パースト的に発生する低周波微動について、海底地震計と陸上観測点の統合解析による適切な検出基準等を検討し、イベントの検出とイベントの震源決定を行う。多くのイベントで震源決定ができた場合は、通常の地震や超低周波地震などの既存の情報の時空間分布と比較し、相互の関係性を調査する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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)

神戸大学大学院理学研究科(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)

京都大学防災研究所地震予知研究センター(山下裕亮)

(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

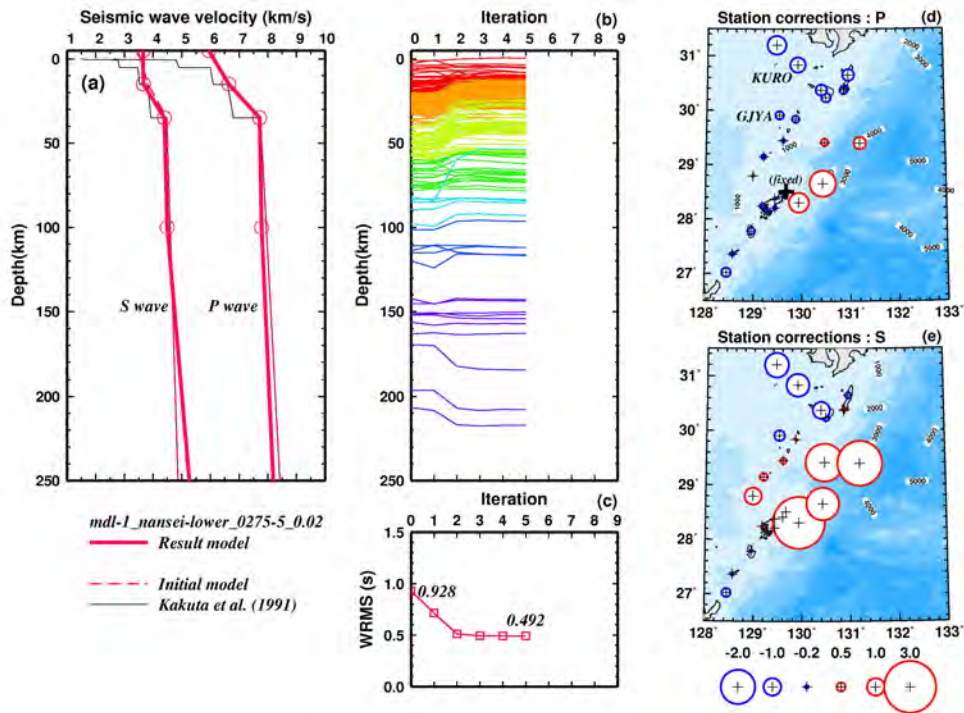


図1 1次元速度インバージョンの解析結果.

9種類のモデルのうちで最適なモデル(速度パラメータ数が最小かつ計算収束後の走時残差RMSが最小のモデル)を示す.(a)は初期速度モデルと得られた速度モデルの比較.(b)と(c)はそれぞれ,速度インバージョンのステップ毎における震源の深さと走時残差RMSの収束過程を示す.得られた各観測点のstation correctionを(d):P波と(e):S波に示す.

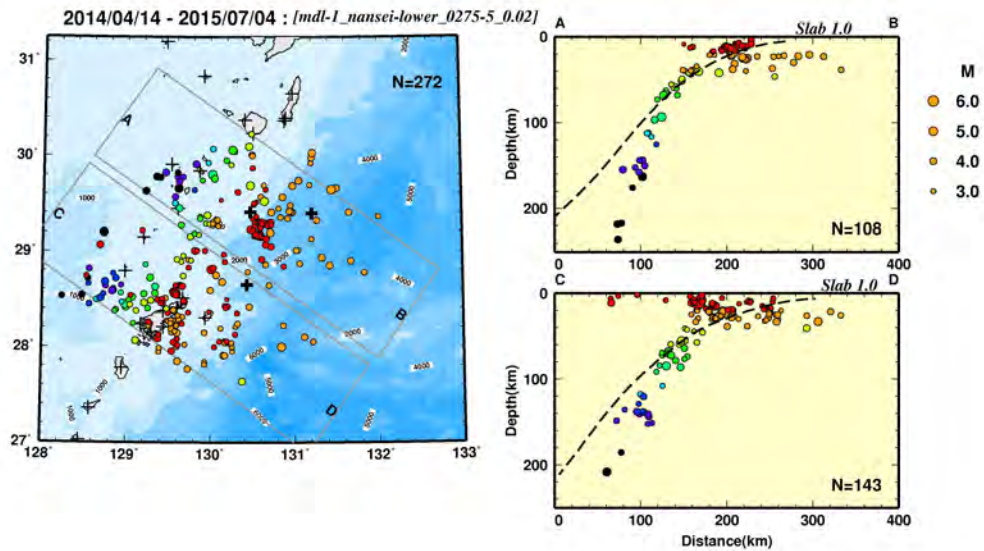


図2 図1のモデルを用いた再計算で得られた震源分布.

シンボルの色は深さに対応する.点線は,スラブ上面の形状モデル:Slab 1.0 (Hayes et al., 2012)の断面を示す.



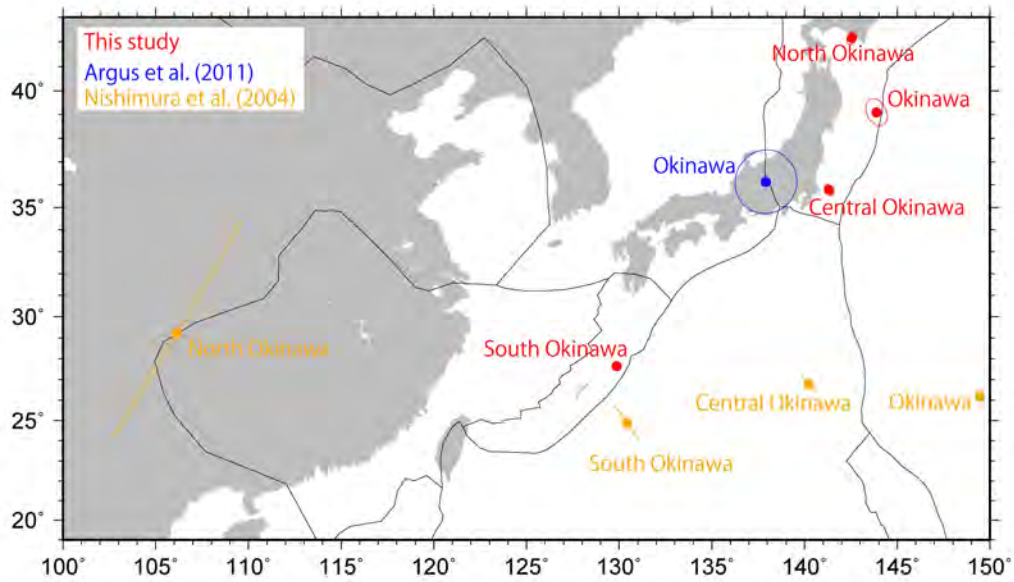


図3 南西諸島がある沖縄プレートのプレート運動のオイラー極の位置 95 赤が本年度成果．青が Argus et al. (2011) ，黄色が Nishimura et al. (2004) による位置．沖縄プレートを渡瀬線，慶良間海裂により北部 (north) ，中部 (central) ，南部 (south) の3つにわけ，それぞれのオイラー極を推定した．3つが同一プレートとしたときのオイラー極の位置は "Okinawa" とした．

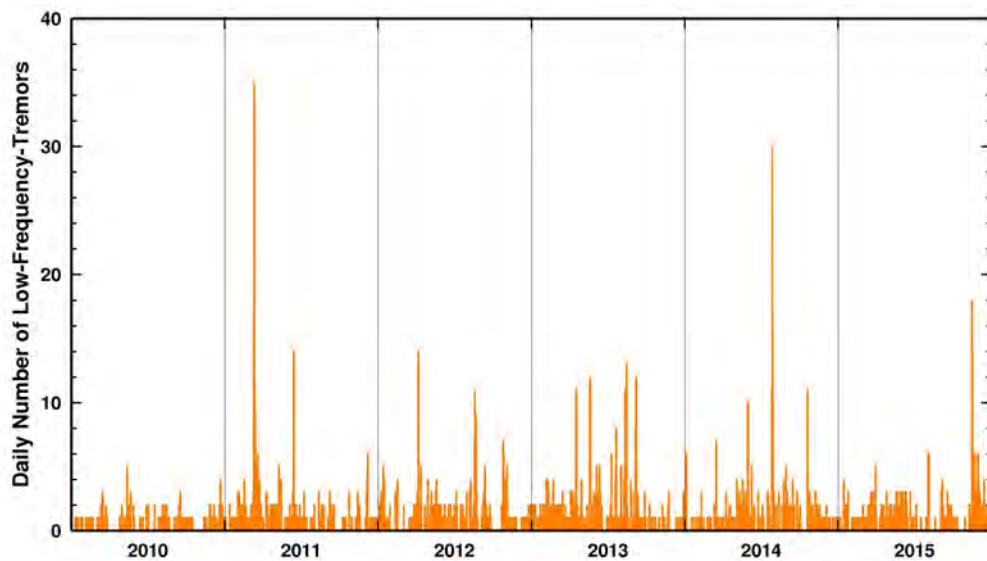


図4 トカラ列島東方沖～徳之島域における低周波微動の日別発生数の時間推移 (2010～2015年)．微動は当該領域の12観測点のうち4観測点でエンベロープ波形に良い相関が見られた場合を検出基準としている．

( 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 27 年度の成果の概要：

本年度の成果は、上述の本課題の 5 か年計画の概要と一致し、本計画にふさわしい候補地について詳細な情報を得ることができた。

研究対象の 1 つは、ある金鉱山の下で発生した M5.5 の震源断層である。この地震は地表の 17 台の強震計（大久保・他 (2015)）や、地下 2.9 km（断層上端の数 100 m 上）に埋設した 3 台の石井式歪計で記録されている。また、断層から数 km 以内の 46 台の坑内地震計によって、現在に至るまで 2 万個を超える余震が記録され続けている [例えば、小笠原・他 (2015ab), Ogasawara et al. (2016)]。もう一つの研究対象は、別の金鉱山の地下約 1 km で準静的に成長した破壊面 [Moriya et al. (2015), Naoi et al. (2015)] で、一部が既に採掘によって掘り出されて応力も抜けているため、破壊面を貫通するコアを回収し、坑内の断層マッピングとの比較が可能である。さらに、同じ鉱山の地下約 1 km で発生した M2.8 の震源では、地震前に高い応力が実測されている。更なる応力測定と微小破壊観測をまず行い、将来の採掘で震源断層が掘り出されるのを待ち、震源断層のマッピングを行う。同時に、高いコア回収率の掘削によって震源域のダメージ蓄積を調べ、微小破壊の分布や断層マッピングのとの比較を行い、地震発生場の地震学的描像と地質学的描像を比較する。

この計画の詳細と、技術的実現可能性を議論すべく、国際陸上科学掘削計画 (ICDP) と立命館大学との共催で、2015 年 10 月 31 日から 4 日間にわたるワークショップを南アフリカで開催した。地震・地質・岩盤工学・地球微生物学の学術研究者のみでなく、金鉱山、岩盤工学や資源開発に伴う誘発地震監視・安全評価業界からも、合計 70 名が 7 ヶ国から集まった（南ア 47, 日 13, 米 3, 独 3, 印 2, スイス 1, 豪 1 名）。更なる参画が AGU 2015 秋季大会においても得られ、これらをまとめた南ア金鉱山地震発生場の掘削計画案を 2016 年 1 月 15 日に ICDP に提案することができた。

この計画が採択されれば、約 40 本、総延長約 4 km の掘削、コアと孔のログ、地震発生場試料回収、応力測定、掘削後の地球物理・地球微生物学・地球化学的な総合モニタリングを実現できる。過去の他の ICDP の断層掘削計画では、せいぜい 1 ~ 2 本の掘削を、震源核から離れた場所で行うことしかできていないが、上記の地震発生場では数多くの掘削により試料を地震発生場そのものから直接採取したり、その場での応力の実測や掘削後のモニタリングをしたりするなど、貴重な試みが可能になると期待される。

坑道から数十 m の上向き掘削で地震発生場に到達できる場合、BX 径円錐孔底ひずみ法によるオー

バーコアリングによる応力連続測定が可能であることが確認されていた。しかし、坑道から下向きに数百mの掘削が必要な、M5.5地震の地震発生場や余震発生域では、このような条件でも効率的に応力情報を多く得るための手法を確立する必要がある。伊藤高敏らのグループは、ダイヤモンドドリリングによって岩盤からコアが切り出される際に、孔軸に垂直なコアの断面が弾性変形によって楕円になり、それを測定することによって岩盤応力を推定できるという方法(コア変形法)[船戸・他(2014, J. MMIJ)]を提案している。阿部・他(2016)は、南アフリカ・ムポネン金鉱山の地下3.3kmで2007年12月に発生したMw2.2の地震発生場から得られた、Mw2.2発生前と後のコアに対してコア変形法を適用した。ここでは、Yabe et al. (2015)などにより地震発生場の応力や前震・余震活動域がよく拘束されており、推定される応力情報が、Mw2.2の発生前後、あるいは、Mw2.2断層および地質構造との位置関係によって、有意に異なることが確認できた。

- (9) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
阿部周平・矢部康男・伊藤高敏・中谷正生・Gerhard Hofmann・小笠原宏, 2016, コア変形法による南アフリカ大深度金鉱山誘発地震震源域の応力状態の推定, 地球惑星科学連合2016大会, 投稿中。  
Moriya, H, M. Naoi, M. Nakatani, G. Van Aswegen, O. Murakami, T. Kgarume, A. K. Ward, R. Durrheim, J. Philipp, Y. Yabe, H. Kawakata, and H. Ogasawara, 2015, Delineation of large localized damage structures forming ahead of an active mining front in the Cooke 4 Mine, South Africa, by using advanced acoustic emission mapping techniques, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, **79**, 157-165, doi: 10.1016/j.ijrmms.2015.08.018.  
Naoi, M., M. Nakatani, T. Igarashi, K. Otsuki, Y. Yabe, T. Kgarume, O. Murakami, T. Masakale, L. Ribeiro, A. Ward, H. Moriya, H. Kawakata, S. Nakao, R. Durrheim, and H. Ogasawara, 2015, Unexpectedly frequent occurrence of very small repeating earthquakes (5.1 < MW < 3.6) in a South African gold mine: implications for monitoring intraplate faults, *J. Geophys. Res.*, **120**, 8478-8493, doi: 10.1002/2015JB012447.  
小笠原宏, 2015a, 南アフリカ金鉱山の深部からマグニチュード2~5の震源を掘削し地震の謎に迫る, *J-DESC ニュースレター* 2015, 12.  
小笠原宏・矢部康男・伊藤高敏・G. ファンアスウェヘン・A. チホビッチ・R. ダーハイム・ICDP準備諸会議参加者, 2015b, 大深度南アフリカ金鉱山のM2-M5.5震源域の科学掘削計画(DSeis), 日本地球惑星科学関連学会連合2015大会予稿集, MIS32-14.  
Ogasawara, H., R. Durrheim, Y. Yabe, T. Ito, G. van Aswegen, A. Cichowicz, T. Onstott, Tom Kieft, M. Boettcher, S. Wiemer, M. Ziegler, C. Janssen, H. Gupta, P. Dight, and the ICDP DSeis Team, 2016, Drilling into seismogenic zones of M2.0 < M < 5.5 earthquakes in deep South African gold mines (DSeis), *EGU*, EGU2016-2057.  
大久保慎人・Artur Cichowicz・Denver Birch・小笠原宏・村上理・堀内茂木, 2015, 2014年オークニー地震(M5.5)の震源破壊過程, 地球惑星科学連合2015大会予稿集, SSS30-27.  
Okubo, M., H. Ogasawara, S. Nakao, O. Murakami, H. Ishii, and A.K. Ward, 2015, Dynamic strain in a South African gold mine produced by the 2011 Tohoku Earthquake, *Proc. Int. Assoc. Geodesy Symp.*, Springer International Publishing, Switzerland, doi: 10.1007/1345\_2015\_207, in press.  
Yabe, Y., M. Nakatani, M. Naoi, J. Philipp, C. Janssen, T. Watanabe, T. Katsura, H. Kawakata, D. Georg, and H. Ogasawara, 2015, Nucleation process of an M2 earthquake in a deep gold mine in South Africa inferred from on-fault foreshock activity, *J. Geophys. Res.*, **120**, 5574-4495, doi: 10.1002/2014JB011680.

(10) 平成28年度実施計画の概要：

基本的に上述の本課題の5か年計画の概要に沿い、本年度の成果を踏まえて計画を進める。科研費あるいはICDP計画が採択された場合は、地震の発生場への掘削を開始する。

( 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 小笠原宏

他機関との共同研究の有無 : 有

東北大学 矢部康男 ( 理学研究科 )・森谷祐一 ( 工学研究科 )・坂口清敏 ( 環境科学研究科 )・伊藤高敏 ( 流体科学研究所 )

( 公益社団法人 ) 地震予知総合研究振興会 石井 紘

高知大学・教育研究部・自然科学系理学部門 大久保慎人

鹿児島大学・理学研究科 中尾 茂

京都大学・工学研究科 石田 毅 , 直井 誠

北海道大学・理学研究院 山口照寛

茨城大学・理学部 山田卓司

( 独 ) 防災科学技術研究所 小村健太郎

( 独 ) 産業技術総合研究所 今西和俊

東京大学・情報学環・総合防災情報研究センター 三宅弘恵

名古屋大学・環境学研究科 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 ) P J 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/](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

( 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 27 年度の成果の概要 :

プレート地震の波形記録との相互相関を活用した極微小地震の検出が盛んにおこなわれるようになり、カタログに掲載されていないような極微小な前震の検出事例も少しずつ増加してきた。この際、プレート地震の波形によく似ている波形をプレート地震の近傍で発生した地震と認定するが、相関値の分布に特徴的なギャップがない限り、閾値をどの値に設定するかによって結果が異なってしまう。多くの地域を対象に前震検出をおこなう場合、できる限り客観的な指標を用いた自動検出が求められるが、その指標が明らかではないのが現状である。そこでまず、連続波形記録に対して 1 サンプルごとに計算される相互相関係数がどのような頻度分布になるか、2011 年長野県中部の地震 (M5.4) を対象として、震源近傍の観測点の連続波形記録を用いて相互相関係数を求めた。その結果、特徴的なノイズを含む観測点の記録を除いては、相互相関係数が 0 を平均とした正規分布に非常に近い分布を示すことが確認された。そのため、検出基準として定数や標準偏差の定数倍といった値を採用した場合に、一定の割合で誤検出される可能性が高いことがわかった。すなわち、極微小な前震の自動検出のためには、複数観測点の記録を併用する、適切な検出基準の設定手法を開発するなどの手順が不可欠であることが示された。

封圧 100MPa 下で実施された三軸圧縮試験の波形解析については、数 TB におよぶ膨大なデータからイベント検出を実施し、震源決定を進めている状況であり、プレート波形の設定、前震の検出に関しては平成 28 年度の実施となる。

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を用いて、断

層全面がすべる大規模な固着すべりイベントに先行した前震の検出及びその震源決定をおこなった。せん断試験は繰り返し実施されたが、前回の試験時に生成されたガウジを除去しておこなった場合には、前震はほとんど検出されなかったのに対し、ガウジを残置しておこなった実験の際には多くの前震による波形(図)が検出された。このことから、前年度に示唆されていたガウジ量と前震発生の関係が実験的に裏付けされた。

(9)平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):  
川方裕則・稲葉秀弘・吉光奈奈・高橋直樹・瀬戸井健一,封圧下でも使用可能な広帯域型の圧電トランスデューサの開発,第20回アコースティック・エミッション総合コンファレンス論文集,81-84.  
豊本大・川方裕則・土井一生,2011年6月30日に長野県中部で発生したM5.4の地震の前震活動,日本地震学会2015年度秋季大会,S09-P05.

(10)平成28年度実施計画の概要:

極微小な前震による波形の自動検出アルゴリズムの開発を引き続き進め、2011年長野県北部の地震など過去に発生した中大規模地震を対象としたケース・スタディーをおこなう。また、封圧100MPa下で実施された三軸圧縮試験および、メートル・サイズの断層を持つ二軸せん断試験の際に取得された連続波形記録を用いて前震検出をおこない、その発生頻度や発生位置に関して、破壊の進展の様子を参照しながら考察を深める。

(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  
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

(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/](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



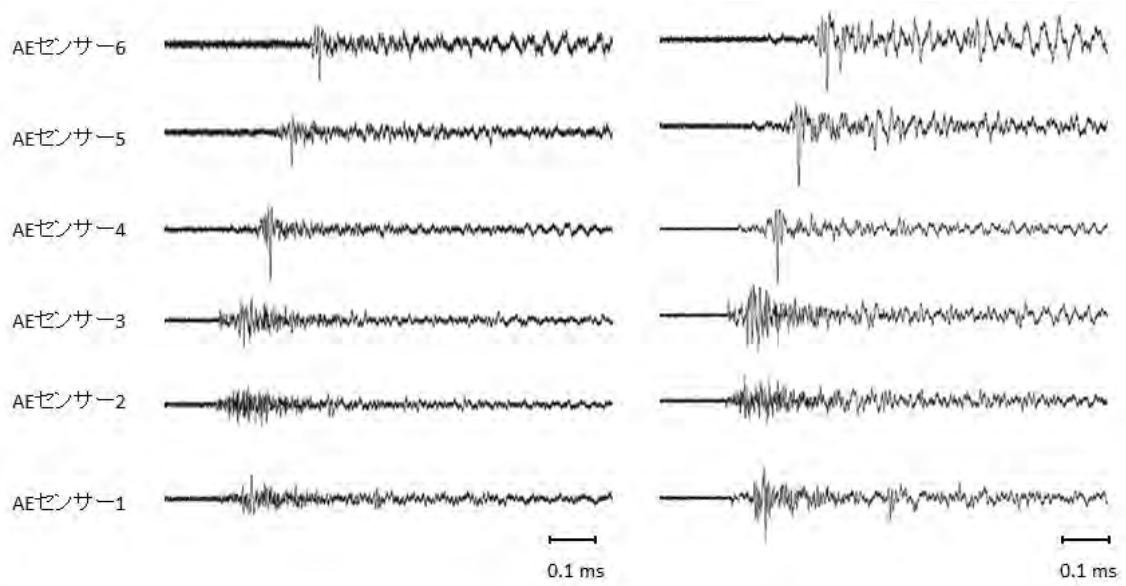


図 . 互いに近接した位置に震源が決定された 2 つの前震の波形の例。

( 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 27 年度の成果の概要 :

##### 新規開発した VLF 帯パルス観測装置による観測

平成 27 年度は 26 年度に試作した 2 台のプロトタイプ観測装置を東海大学清水校舎 (SMZ) 屋上および東京学芸大学小金井 (KGN) 屋上に設置し、本観測を開始した ( 図 1 )。サンプリング周波数は 100MHz で、理論的な 1LSB の空間分解能は 3m となる。さらに 27 年度予算で作成した改良型の試作機を 10 月より金沢大学角間校舎 (KNZ) 屋上に設置し、3 点による同時観測を開始した。まず、雷を用いた本システムのキャリブレーションを実施するとともに ( 図 2-4 ) データ自動転送・予備的な解析を行うシステムを開発した。夏季の雷シーズンでは、1 日に 400GB を超えるデータ ( 1 日あたり 3 万個以上のシグナル ) が観測されたこともあった。このような大量のデータでも対応できるようサーバ環境の整備も行った。現時点ではトリガ前 1ms、トリガ後 9ms の合計 10ms の記録を保存している。

現時点では TOA 法はトリガ時刻を使って波源の位置を決定しているが ( 図 4 )、特に小さな雷の場合はトリガ時刻 ( 換言すればある閾値を超えた時刻 ) に差がある場合があり、今後は波形の相互相関処理等を用いて波源を決定するソフトウェアの開発や、非常に短時間のパルス状のノイズを除去するデジタルフィルタ等の開発を行っていく予定である。

##### 本計画で設置した複合観測点等の良好な維持

平成 26 年度に新規設置した高知県・黒潮町内の 2 箇所の観測点を良好な状態で維持した。今年度はそのうちの 1 箇所に大気電界観測装置を追加した。また伊豆諸島の ULF 帯電磁気観測点、北海道の VHF 帯観測点等を良好な状態で維持し、データの収録に努めた。

##### 先行現象の統計評価に関する研究

##### 宏観異常現象について

昔から動物の異常行動と地震との関係は宏観異常として地震後にメディアに報道される事がしばしばある。特に 2011 年 3 月 4 日に茨城県鹿嶋市の下津海岸で発生したカズハゴンドウクジラが 150 頭

以上座礁した現象(マス・ストラディング)は、1週間後の東北地方太平洋沖地震と関連づけて報道される事となった。鯨類については(財)日本鯨類研究所が1986年以降、詳細なストラディング(海棲哺乳類が生きたまま陸に乗り上げることに代表される現象)レコードを収集しており、鹿島灘に面した海岸で2011年3月以前に発生した鯨類のストラディングと日本周辺で発生した地震との関係を調べた。結論として、鹿島灘における鯨類のストラディングと、地震発生との間に相関は認められなかった(織原・野田、2015)。

#### 地震前の電離層全電子数(GPS-TEC)変化に関する評価

今年度は、当初計画どおり地震前の全電子数変化について2つの時間オーダー(地震前1時間程度と数日前程度)について3種の評価を実施した。

##### 1: M8クラスの地震の前に観測される先行時間1時間程度の現象のケーススタディ

北海道大学の日置は、東北地方太平洋地震の40分前ほどから、東北地方で電離層中の全電子数が相対的に増加していたとの結果を発表した(Heki, 2011, GRL)。今回、Heki and Enomoto (2015)では東北地方太平洋地震のほかにGPSデータが入手できた最近のM8.2以上の地震8個について、AICを用いた解析によって地震直前(25-85分前)にVTEC値の正の折れ曲りが確認できた(図5)。折れ曲りの大きさと先行時間はMに正の依存性をもつ。VTECの似たような折れ曲りは地震のないときでも発生するたいては珍しくもない現象であるが、それでも、複数個の地震において発生直前の短かい時期に異常があったことを、全て偶然の時刻一致とするのは確率的に余りに無理があり、大地震に直前前兆が伴う場合があることを証明できたといつてよい。また、地震時以外の正の折れ曲り異常の多くは太陽起源のものであり移動性があるから、原理的には見分けがつく。

##### 2: Global Ionospheric Map(GIM)を用いた日本で発生した被害地震に関する先行現象の評価

Global Ionospheric Map(GIM)は全世界のGPS観測点のデータを用いて、全電子数(Total Electron Content, TEC)を全地球的に再現できるよう球面調和関数で補完したデータセットであり、経度5度、緯度2.5度の精度で2時間毎のデータで公開されている。今回の解析では、GIM-TEC経験モデル(Kakinami et al., 2009, Annal. Geophys.)を用いて、次の地震についてケーススタディを実施した(2000鳥取県西部(2000.10.6 M7.3)、2003十勝沖(2003.9.26 M8.0)、2004紀伊半島沖(2004.9.5 M7.4)、2004新潟県中越(2004.10.23 M6.8)、2005福岡県西方(2005.3.25 M7.0)、2005宮城沖(2005.8.16 M7.2)、2007能登半島(2007.3.25 M6.9)、2007新潟県中越沖(2007.7.16 M6.8)、2008岩手宮城内陸(2008.6.14 M7.2)、2009駿河湾の地震(2009.8.11 M6.5)、2011東北地方太平洋沖(2011.3.11 M9.0))。解析の結果、2007年能登半島地震でTECの先行的な増加が見られ、2011年東北地方太平洋沖地震では先行的なTECの減少が見られたが、それ以外の地震では顕著な異常は見られなかった。

##### 3: USGSカタログによるGIM-TECを用いた統計的評価(重ね合わせによる評価)

この解析では、1999年1月から2015年3月までのマグニチュード6.0以上、深さ50km以下の地震189個を対象とした。これらの地震についてスーパーインポーズ(重ね合せ)解析を実施した。具体的には地震発生日をゼロとして、それから過去15日間の4分位値(quartile)を超えた場合を異常と判断した。また磁気嵐のあった日およびその前日と後2日については統計解析から除外した。その結果、地震発生前日から15日前にかけて顕著な異常はみられないという結果となった。

#### えりも観測点でのVHF帯電波伝播異常と地震活動との関係についての統計的評価

えりも観測点での見通し外FM放送局(広尾)の受信強度のデータ約9年分に基づいて、時空間を「警報ON(赤)」「警報OFF(黄)」「(データ欠測等による)判定不能(灰)」の三色にぬりわけた地震発生予測マップ(図6)を作成した。目的の半分は、昨年度提案した評価法の試行である。なお、予測対象の空間をえりも観測点から100km以内という1グリッドだけとしたので、この予測マップは、実質、時間だけを引数とする1次元の配列である。6分間隔で取得されている観測データが2サンプル連続

して閾値(全期間の中央値から+3σ)を上回ればその時刻を異常(図6中段の縦黒線)とみなし(Morita & Mogi, 2015, IUGG)、異常の後一定の期間Lの間警報をON(図6赤塗り部)にすることで予測マップを作った。図6はLを4日とした例である。

予測マップの成績は、昨年度に提案したように、実際に発生した地震が警報ONの時空間を嗜好した度合い(Zechar & Jordan, 2008, GJI)で評価した。図6にはM4.5以上の地震の発生時刻を予測マップに重ねて示した。警報ONのところで発生したものは丸印、OFFのところで発生したものは×印、判定不能のところで発生したものは三角(これは評価対象外のデータとなる)で示した。丸印は13個(=  $N_{on}$ )、×印は44(=  $N_{off}$ )個であり、 $s = 13/(13+44) = 22.8\%$ の地震が警報ONの時期に発生したことになる。一方、図6の予測マップで判定不能時期を除いた全領域のうち赤い部分が占める割合(警報分率rと呼ぶ)は17.6%である。警報が全くでたために出されたものだとしても、地震はrの確率で警報ONの領域で発生する。sがrを上回る倍数( $G = s/r$ )が予測マップのスキルを現わすゲインであり、地震が警報ONの領域を嗜好する傾向の強さである。図6のマップでは $G = 0.228/0.176 = 1.30$ 倍であり1より大きい(地震は、警報ONの時期を選び好んで発生した)。しかし、でたために作った予測でも、幸運によって実績値である0.228以上のsが出ることはあり、その確率がp値である。当り確率がr=0.176のくじを(13+44)回引いて、13回以上あたりがでる確率であるから、二項確率で19.0%と計算できる。p値はGが1を超えたという観察がまぐれに過ぎない確率であり、この値が小さいほど地震の先行現象が観測データに含まれていたと強く確信できる。

図7には、Lを変えて(L=1, 2, 3, 4, 8, 11, 14日)作った8種の予測マップの評価結果(Gとp値)をまとめた。それぞれについて、対象とする地震の大きさを変えて4つのケースを検証した。M>6の地震は解析期間内に4個発生したが、そのうち2個が異常の2日以内に発生したので、L=2日で作成したマップがG=4.9という高いゲインを持っている。警報分率rが0.10と低いので、4打数2安打という乏しいデータでもp=5.5%という、まぐれと切り捨てるのは躊躇される成績となった。図7で最も有意性が高いのはL=4日の予測をM>5の地震と比べたケースで、p=3.6%である。ゲインは2.1にとどまっているが、検証に使えた地震が19個あったので、高い有意性が得られた。一方で、M>4.5に対する検証ではやはりL=4日のマップがG, pとも最も良いが、検証地震数が57個もあったのにp=19%とぱっとしない。このケースではGが1.3と、同じマップをM>5を対象に検証した場合から大きく低下しており、4.5<M<5の地震にprecursorのついたケースはかなり稀だったと推察される。

今回の試行は非常に単純な閾値のみで異常を判定しており、先行研究で指摘されているような波形や継続時間の特徴(Moriya et al., 2010, GJI)を用いていない。ノイズ除去の努力も、明らかな観測機器の不調と、スポラディックE層(Eスポ)が明らかに発生していた時期を欠測扱いにしたのみである。p値が数%というのは、「明らかに有意だ」と威張れるような数字ではないが、データのもつ情報のごく一部だけで作成した予測であることを割り引けば、異常抽出法等の若干の改善努力で、VHF伝播異常に地震のprecursorが含まれるていることを高い確度で証明できる可能性は高いと考える。

#### 成績評価の理論について

上記の成績評価では、地震が警報ONの領域を嗜好する傾向の強さとして $G = s/r$ を導入した(e.g., Zechar & Jordan, 2008, GJI)。 $s = N_{on}/(N_{on}+N_{off})$ は地震のうち何割について警報を出せたかという予知率(宇津, 1977, 地震)の定義式でもあり、一方、警報分率rは地震発生が警報のON/OFFと無関係な場合に期待される予知率でもあるから、上記のGは予知率ゲイン(Morita & Mogi, 2015)といってもよい。一方、Aki(1981, Earthquake Prediction)は平均的な地震の発生レート $q_{ave}$ に対する警報ON領域での地震発生レート $q_{on}$ の倍率として、確率ゲイン $G_q = q_{on}/q_{ave}$ を定義している。 $q_{on}$ は警報が虚報にならない確率、すなわち適中率と本質は同じだから、 $G_q$ は適中率の観点からのゲインと解釈できる。しかし、警報ONとOFFの総時間をそれぞれ $T_{on}, T_{off}$ として $q_{on} = N_{on}/T_{on}$ 、 $q_{ave} = (N_{on}+N_{off})/(T_{on}+T_{off})$ であることに注意すると、簡単な計算で $G_q = s/r$ が示される(宇津, 1982, BERI)。すなわち、選好性、予知率、適中率のいずれの観点からみてもゲインは同じで $N_{on}/r(N_{on}+N_{off})$ であり、それに伴うp値も同じである。予知率・適中率は、それぞれ地震の側からみた場合、異常の側からみた場合の地震予測

の性能指標として提案され普及したが、ランダムな予測に比べて有効性を評価すると、どちらの見方から始めても同じ成績になるのである。

なお、宇津 (1977, 1982, BERI) では、時間を一定長の警報有効期間  $L'$  に区切り、1 回の異常は一つの区間の警報状態にだけ影響するという単純化前提の下で議論を進めているが、連続時空間を警報状態で塗りわけるという予測マップのコンセプト下では全く等価な議論が前提なしで完結する。適中率に関しても警報が虚報にならない確率であるから、警報の有効期間  $L'$  内に地震がおこる確率  $1-\exp(-q_{on}L')$  として、異常や警報の回数を定義することなく計算でき、 $q_{on}L' \ll 1$  であれば、 $q_{on}L'$  で近似できる。

以上の検討から、本課題でのアラーム型予測の性能指標としては、 $r, G, p, q_{on}$  の 4 つを表示する方針とする。図 6 の予測マップの  $q_{on}$  は、 $M > 5$  を対象とした場合  $q_{on} = 0.012 / \text{day}$  であった。

#### 電磁現象発現メカニズムに関する一考察

地殻の活動による電磁気現象の代表的なメカニズムとして、岩石中の水流による界面動電現象があり、先行現象の解釈としてもしばしば用いられる。三宅島で 2000 年にカルデラ陥没に先立って火口付近に繰返し発生した時定数 20 秒程度の力学的イベントに伴った時定数 100 秒程度の地電位の変化 (Sasai et al., 2001, Ann. Geophys., 2002, EPSL) については、力学的イベント時に高圧の水が地殻に注入され、界面動電現象がおこったとの定性的解釈が提案されていた。しかし、震源からの水流が電磁気観測点付近に到達するにははるかに長い時間が必要であり、この解釈には無理がある。力学的イベントによって全島にわたってほぼ瞬間的に生じたはずの地殻歪みがひき起こした間隙弾性効果によって、各観測点直下に流れた水流による界面動電現象だと考えてモデリングを行った結果、標準的な水理物性定数と、三宅島の岩石試料で計測された界面動電係数 (Kuвано et al., 2006, GRL) の下で、全島に分布する 8 つの観測点すべての電位変化のタイミング、振幅、継続時間を定量的に説明することができた (Kuвано et al., 2015)。

#### セル・オートマトンモデルの再考察による地震活動静穏化の理論的研究

本研究では、各セルが破壊の閾値を持ち、破壊を起こすと周囲に応力を再分配するというオートマトンモデル (たとえば Rydelek & Sacks, 1996, BSSA) をテクトニック応力で駆動し、全体を壊す固有地震の繰返しサイクルの中でおこる中小地震の活動の変化を調べた。各セルの破壊強度と断層の向きには、小さな空間的ランダムゆらぎを与えてあり、GR 則が再現される。ここで、ダイラタンシーハードニングを模擬して、最も破壊強度に近い応力がかかっている少数のセルでは強度がわずかに増加すると仮定してみると、比較的マグニチュードの大きな地震だけが、ハードニングを仮定しないモデルに比べて有意に減少していた (図 8)。これは、いくつか報告されている静穏化の特徴に一致する。本研究はカーネギー研究所と JAMSTEC 間の研究共同を兼ねて実施されている。

- (9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
- Heki, K. and Y. Enomoto, Mw dependence of the preseismic ionospheric electron enhancements, J. Geophys. Res. Space Phys., DOI: 10.1002/2015JA021353, 2015.
  - Kuвано, O., S. Yoshida, M. Nakatani, and M. Uyeshima, Origin of transient self-potential signals associated with very long period seismic pulses observed during the 2000 activity of Miyakejima volcano, J. Geophys. Res. Solid Earth, 120, 3544-3565, doi: 10.1002/2014JB011740, 2015.
  - 長尾年恭・鴨川 仁・馬場久紀・成嶋友祐・高村直也・櫻田哲生・上原 宏、東海大学方式 VLF 帯パルス電磁波観測装置の開発 -地震先行現象の存在証明にむけて-、東海大学海洋研究所研究報告, 37, 2016 (in press).
  - 織原義明・野田洋一、2011 年東北地方太平洋沖地震前に発生したマス・ストランディング -鹿島灘における鯨類のストランディングと日本周辺の地震との関係-、東海大学海洋研究所研究報告, 36, 39-46, 2015.
  - 織原義明・長尾年恭、『地震前兆現象を科学する』、祥伝社新書、226pp. 2015。(特に 5 章)

- Kanaya T., S. Togo, H. Nitta, Y. Orihara, J. Y. Liu and M. Kamogawa, Ionospheric disturbance possibly related to earthquake from the global data of GPS-TEC observation, International Symposium on GNSS 2015, Kyoto, Japan, November 16-19, 2015.
- 森田笙・茂木透、日高地方における VHF 帯の電波伝播異常と地震活動との関係についての統計的考察、2015 年度日本地球惑星科学連合大会、2015 年 5 月、幕張
- Morita, S., T.Mogi, A Statistical Study for Relationship Between Anomalous Transmission of VHF Band Radio Waves and Impending Earthquakes at Hidaka Area, Hokkaido, Japan, IUGG General Assembly, Prague, 2015.
- Nagao, T. J. Zlotnicki, N. Sarlis, V. Bragin, E. Vorontsova, A. Rybin, P. Varotsos, S. Uyeda, EMSEV - RAS Bishkek Research Station cooperation on electrical and seismic phenomena in Kyrgyzstan: 2011-2014, IUGG General Assembly, Prague, 2015.
- 長尾年恭・茂木透、災害の低減に貢献するための地震火山観測研究における高知地震電磁気複合観測点の設置とその科学的背景、2015 年度地球惑星科学連合大会、2015 年 5 月、幕張
- Nishimura, T., Toward forecasting earthquakes using GNSS data, International Symposium on GNSS 2015, Kyoto, Japan, November 16-19, 2015.
- 織原義明・野田洋一・長尾年恭、鹿島灘における海洋性哺乳類のストランディングと地震との関係、2015 年度地球惑星科学連合大会、2015 年 5 月、幕張
- Orihara, Y., M. Kamogawa, T. Kato and T. Nagao, Crustal Deformation Preceding Earthquakes With Magnitude of More Than 6 in Japan, International Symposium on GNSS 2015, Kyoto, Japan, November 16-19, 2015.
- Suyehiro K., S. Sacks, T. Takanami, P. Rydelek, D. Smith, and T. Hatano, Physical interpretation and detection of anomalies associated with crustal processes leading to large earthquakes, 2015 年度日本地球惑星科学連合大会、2015 年 5 月、幕張
- Suyehiro, K., S. Sacks, T. Takanami, D. Smith, P. Rydelek, and T Hatano, Magnitude dependent seismic quiescence and following short-term precursors as dilatancy strengthening and breakdown before large earthquakes and their detection, IUGG General Assembly, Prague, 2015.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

広帯域電磁現象の観測的研究

**VLF 帯パルス観測**

平成 26、27 年度に試作した観測装置を良好な状態で稼働させるほか、さらに改良した観測装置および解析ソフトウェアの開発を実施する。

**VHF 帯電波伝播異常の観測**

高知県内での観測を良好な状態で維持するとともに、既存の観測点(おもに北海道内)も良好な状態で維持する。

**ULF 帯地電位差・地磁気観測**

新規に設置した高知県内での観測点だけでなく、既存の観測点(北海道, 伊豆諸島等)を良好な状態で維持する。同時にマグネトテルリック法により、観測点直下の電気伝導度構造を求める。

駿河湾内における海底地震観測

東海大学所有の小型観測船を用いて、3ヶ月に1度の割合でOBSのデータ回収を実施し、駿河湾内での微小地震活動を継続的に監視する(気象研究所と東海大学の共同研究の一環)。

統計評価による他種の先行現象との比較に関する研究

検証スキームのコーディングをさらに進め、VHF 帯伝播異常以外の地震活動静穏化等についても評価を開始する。特に平成 27 年度では、空間的な評価地点がえりも 1 地点のみであった事から、2次元

的な評価マップの作成を試みる。

( 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 )

海洋研究開発機構 ( 末廣潔 )

京都産業大学 ( 筒井稔 )

高知工科大学 ( 山本真行、柿並義宏 )

( 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研究センター

電話 : 054-334-0411

e-mail : nagao@scc.u-tokai.ac.jp

URL : <http://www.sems-tokaiuniv.jp/>

( 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研究センター





図 1

VLF 帯パルス観測のセンサー設置例（東海大学清水校舎屋上）。東西および南北方向の磁界を測定している。

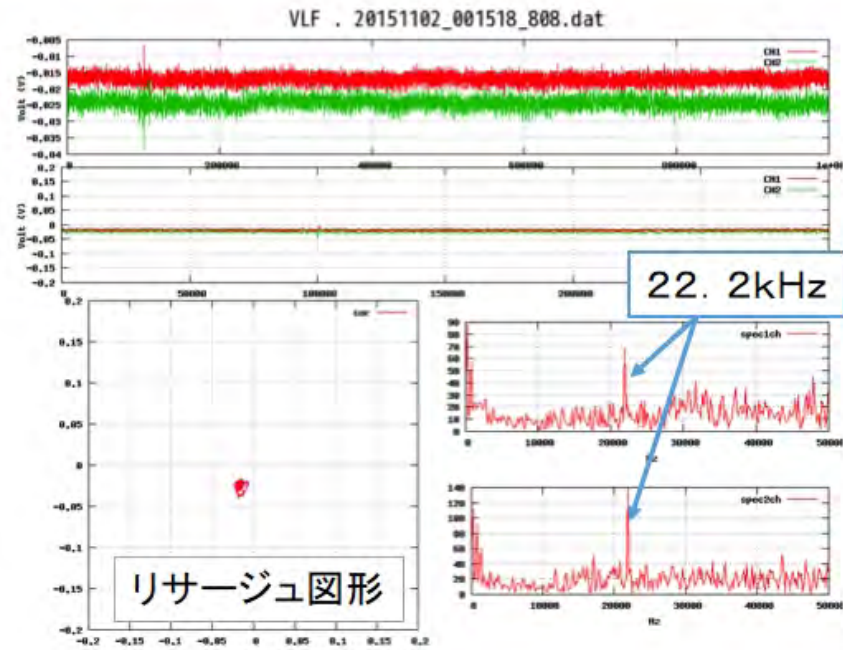


図 2

清水校舎の VLF 帯パルス観測で得られた記録の一例。ここでは自衛隊の潜水艦通信用の 22.2kHz の電波が正しく受信できている事が確認できる事例を示した。このような既知の電波源を用いて装置が安定に動作している事を確認している。

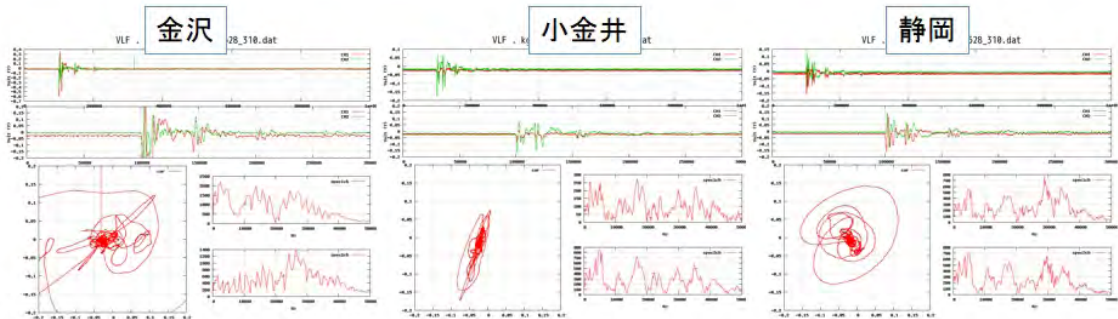


図 3

VLF 帯パルス観測の 3 観測点で同時に観測された雷の波形記録 (2015 年 12 月 18 日 23 時 26 分 28 秒)。上 2 列に時系列データ (上の上: 横軸が 10ms かつ可変レンジ、上の下: 横軸が 3ms で固定レンジで表示) と左下側には東西-南北方向のリサーチ図形 (Particle Motion Diagram), 右下側には 2 チャンネルのパワースペクトルとなっている。この図が 1 イベントにつき 1 枚自動的に作成される。

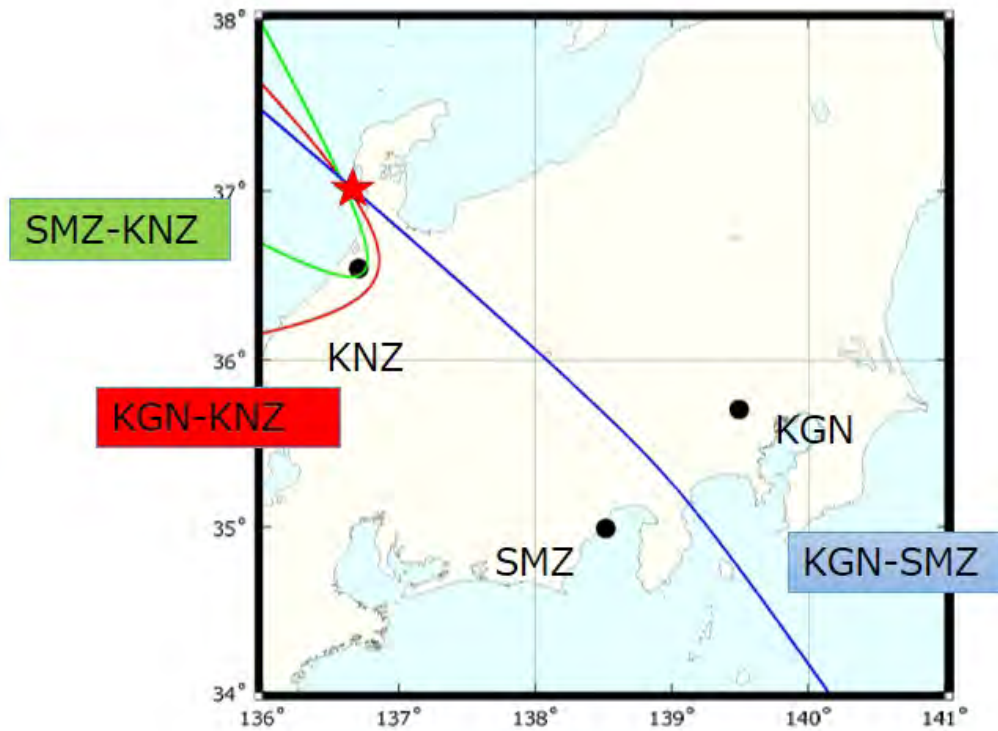


図 4

VLF 帯パルス観測データを用いた Time of Arrival (TOA) 法による落雷位置同定の例

3本の曲線は、2地点からの距離の差が等しくなる点を結んだ双曲線。この場合3本の曲線が1点で交わっており、地震学で言えば初動により震源を推定するのと等価な方法で波源を決定している。また図中の星印は、NTTドコモ社より購入した同時刻の落雷位置を示しており、両者は誤差の範囲で一致している事が確認された。

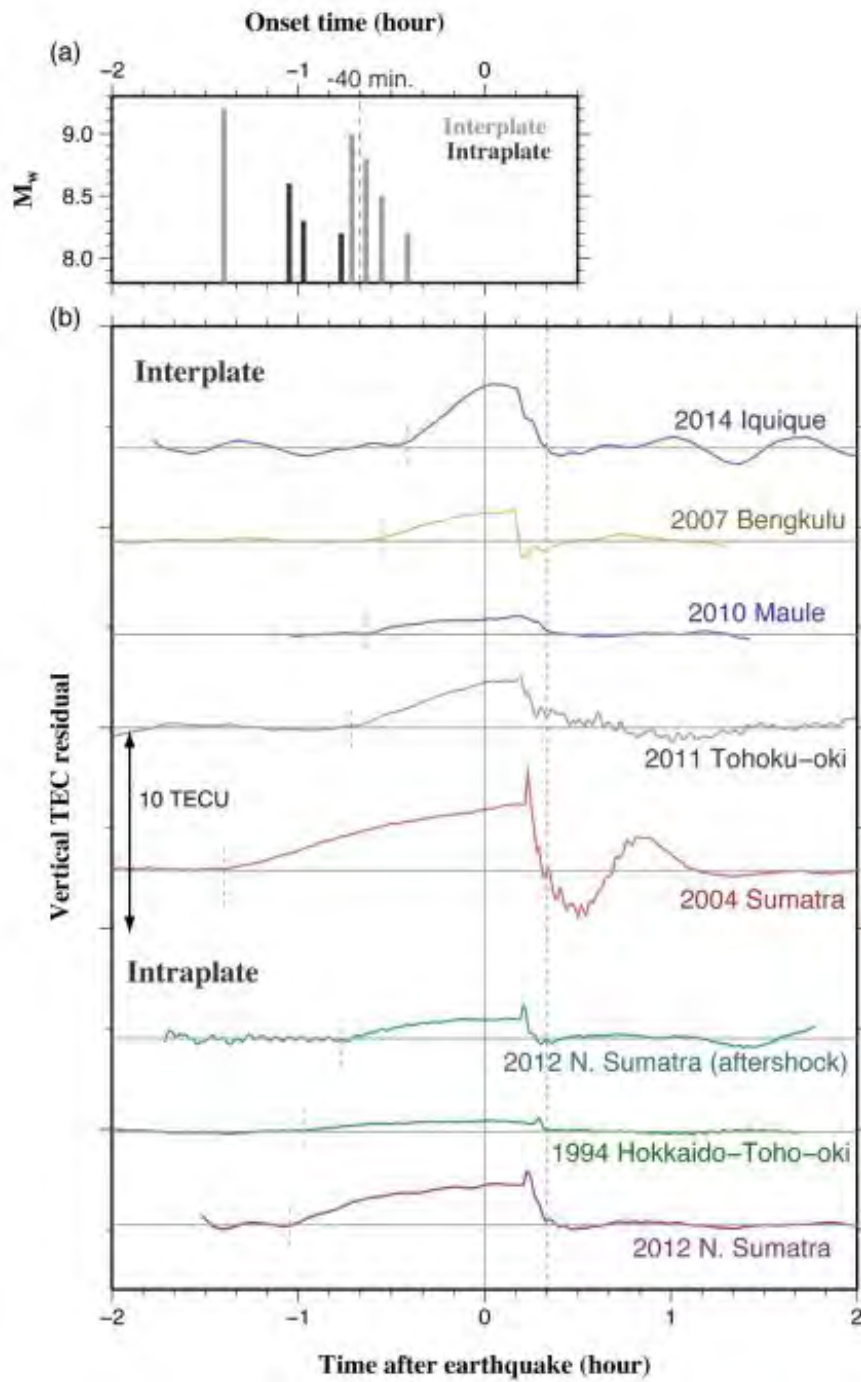


図 5

8 個の地震についての VTEC 直前変動。折れ曲がりの大きさは、地震の規模と背景 VTEC の両方に正の依存性を持つ。(a) 折れ曲がり発生のタイミング。(b) 解析した 8 個の地震の VTEC データ。折れ曲がりには AIC を導入して決定した (Heki & Enomoto, 2015)。

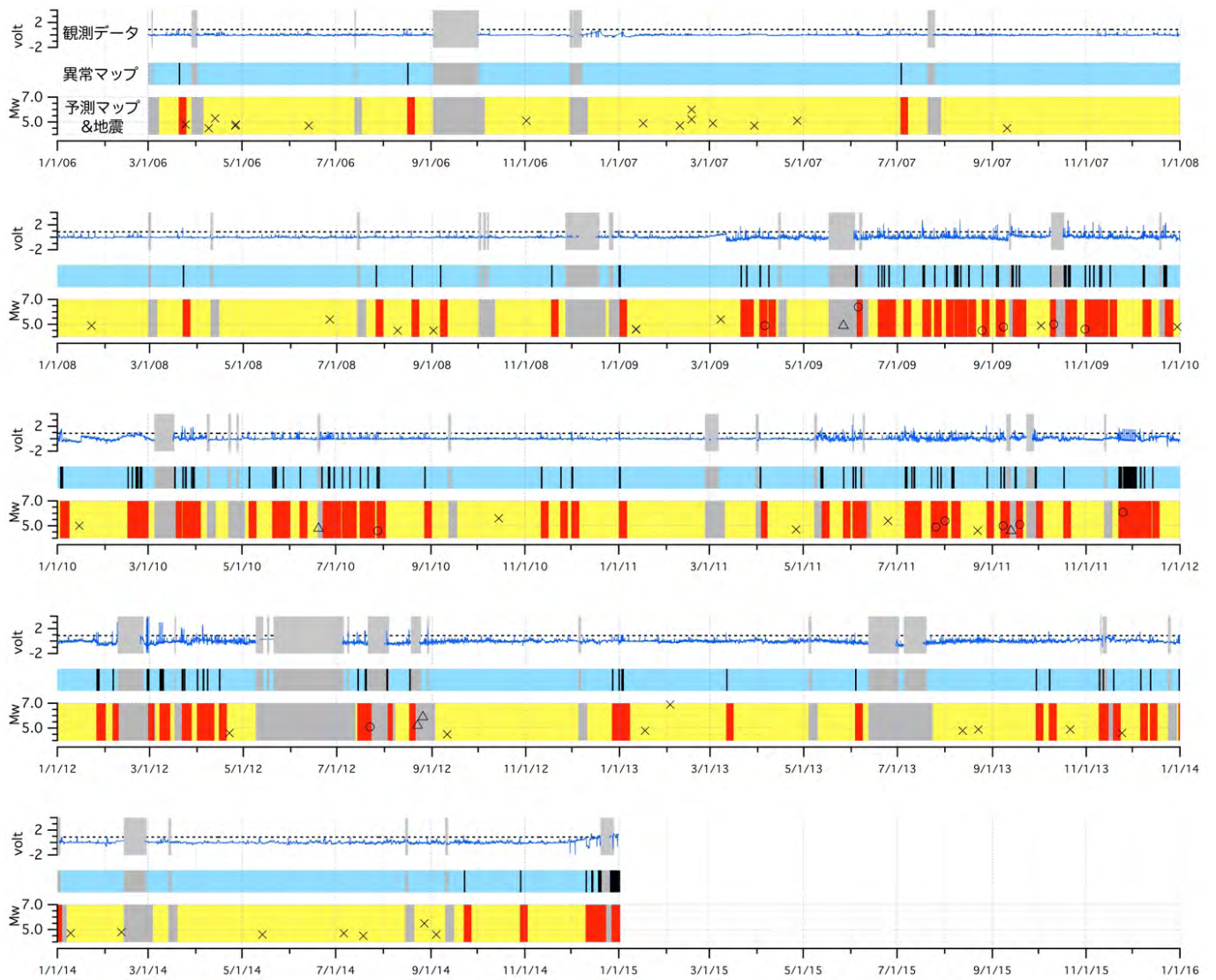


図6

VHF帯伝搬異常にもとづく予測マップの例。2006年3月1日から2014年12月31日までのえりも観測点での見通し外FM放送局(広尾)の受信強度のデータ(上段、青線、6分ごとの平均値)が閾値(上段、黒点線)を2サンプル連続して上回った時点で異常フラグ(中段、黒)をたてた。上段灰色で示す欠測時にはEスポによる広域異常の出現時、明らかな計器の不調も含まれている。下段は、異常の後4日間について警報をON(赤塗り)にするというルールで作成した予測マップ。直前4日に異常がでなければ警報はOFF(黄色)になり、4日以内に異常判定不能時刻(中段灰線)があり、かつ異常フラグがひとつもなければ、予測不能(下段灰塗り)になる。この期間にえりも観測点から100km以内に発生した $M > 4.5$ の地震のMT図を予測マップに重ねた。発生時の警報状態を(ON)、バツ(OFF)、三角(警報判定不能)の印で区別してある。

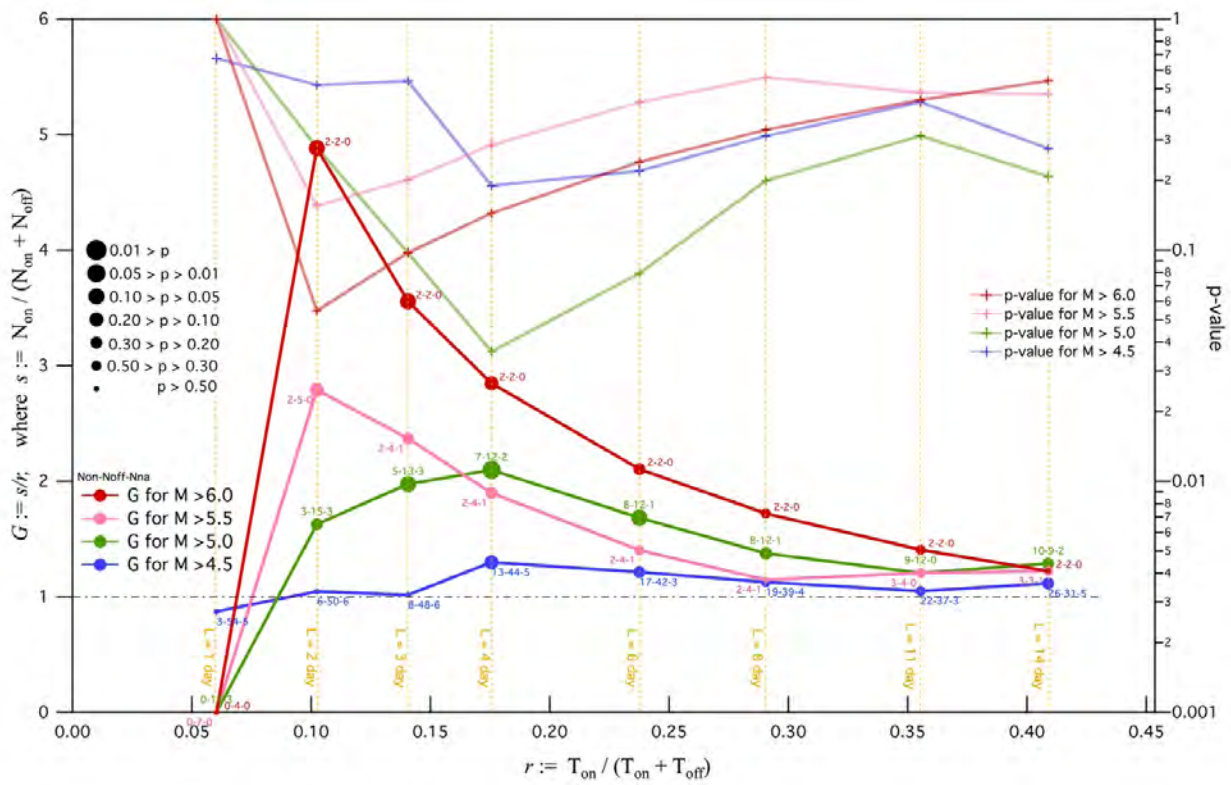


図7

VHF帯伝搬異常にもとづく予測マップの成績評価結果。異常後の予測持続期間 $L$ を1、2、3、4、6、8、11、14日として作成した8つの予測マップの検証結果。丸印がゲイン $G$ (左軸)、プラス印が $p$ 値(右軸)である。また、 $G$ 値の丸印は、 $p$ 値が小さいほど大きく描いた。横軸は、警報分率 $r$ で、警報判定不能時を除く全期間に対する、警報ON時間の総計の比率である。予測マップと比較する対象地震のマグニチュード範囲を4種類に変えた場合の結果を色わけで示した(赤: $M > 6.0$ , 桃: $M > 5.5$ , 緑: $M > 5.0$ , 青: $M > 4.5$ )。 $G$ 値の丸印のわきに小さくかかっている数字は、警報ON期に発生した地震の数-警報OFF期におこった地震の数-警報判定不能期に発生した地震の数である。

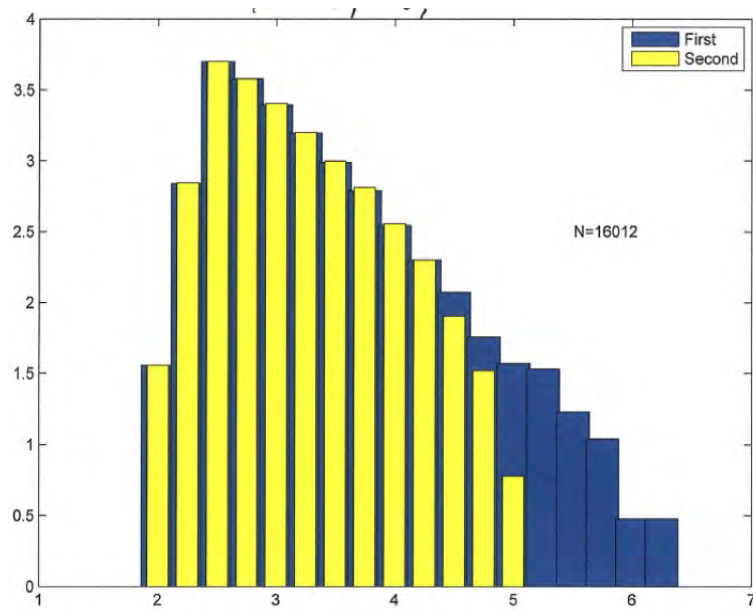


図 8

セルオートマトンによる規模別頻度分布。横軸はマグニチュード、縦軸はイベント数（対数表示）。応力の最も高い2%のセルに対し0.05barのハードニングを仮定した場合（黄色）では、M4.5以上でGR則が成り立たず、静穏化現象が発生する。青はハードニングを仮定しない場合で、固有地震まできれいなGR則が成り立っている。

( 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27年度の成果の概要:

本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及びXMLデータ化作業を継続した。なお、当初計画では網文・出典史料のみのデータベース化としたが、利便性等を勘案して昨年度より史料全文のデータベース化に変更した。そのため史料のデータ化の際に、史料的に信頼できる原典に遡って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、校訂作業を終えたのは8.9%、データベース化の作業に着手しているのは19.9%である。

また、既刊地震史料集に未収録の地震関連史料の収集・翻刻を実施し、今年度は安政東海地震における駿河地域での地震とその被害について記された嘉永七年「恒例関東献上使日記」を翻刻した。このような新出史料についてもXMLデータ化していく計画である。加えて昨年度に引き続き、東海地方にあって長期間にわたる日記が残存する三河国田原藩(愛知県田原市)の「田原藩日記」の調査・撮影も実施した。

(9)平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

榎原雅治,2016,歴史地震資料情報の集約と共有化,人間文化研究情報資源共有化研究会報告集,6,印刷中.

榎原雅治,2016,歴史学における地殻災害の研究の今後について,地殻災害の軽減と学術・教育,205-216.

西山昭仁,2016,歴史地震史料を用いた地理情報システムの構築に向けて,人間文化研究情報資源共有化研究会報告集,6,印刷中.

(10)平成28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、校訂作業を継続する。その際に、地震やその被害に関する時間・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、新出史料のデータ化を実施する。更に、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ていく。

- ( 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：

南海トラフの巨大地震

( 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27年度の成果の概要：

平成27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) 岐阜県歴史資料館、国立公文書館、長岡市立中央図書館文書資料室、新潟市新津図書館小泉蒼軒文庫、愛知県西尾市岩瀬文庫の原本調査と校訂作業をおこなった。

(2) 1858年飛越地震の被害一覧表の作成

一つの文書に広域の村ごとの家数、皆潰数、半潰数、死亡者数が記された史料は、震源域や被害原因を明らかにできるものであり重要である。1858年飛越地震の被災地である飛騨地域にも一つの文書に広域の村ごとの家数・皆潰数・半潰数・死亡者数が記された史料、「飛騨国村々大地震先御届出」がある。本史料はすでに『岐阜県史 資料編 近世八』に全文翻刻されているが、原本で確かめると、本文の翻刻に誤読や脱落の箇所があり、また翻刻の体裁が原本に忠実でなく、抹消部分の記載・未記載などの翻刻基準の不統一があることがわかった。家数や人数など数値の読み誤りは、これをもとに行われた被害分析の信頼度をそこなうことになる。被害数が確定されなければ、家屋被害率は導き出せない。『岐阜県史 資料編 近世八』の翻刻では、被害数を正確に理解することは困難である。そこで、あらためて原本によって翻刻をし直し、1858年飛越地震飛騨国被害一覧(51か村)を作成した。この表によって、正確な家屋被害数、一軒当たり死亡者数が導き出すことができる。

(3) 1828年三条地震における広域情報の集積

文政11年(1828)越後三条地震に関する諸記録の形成のされ方の検討を行なうことにより、各史料の総合的研究により幕府への報告の全体像はほぼ把握が可能になった。その過程で既刊地震史料の翻刻の修正もおこなうことができた。

三条地震の被災地は複数の所領にまたがり、公式の被害調査・報告は所領単位になされたため、その被害の全貌を把握するのは困難である。所領単位で集計された幕府への報告を筆録したと見られる

記録は、前平戸藩主松浦静山による『甲子夜話』、亀山藩士及川家文書中の「地震二付御領所損所死人怪我人御届写」、西尾市岩瀬文庫中の『警余録』等が知られるがいずれも断片的な記録である。しかしこれらを比較対照することによって、幕府に報告された被害の全容を把握した。

(4) DVD『新潟地震とその復興の記録—新潟市立白山小学校に残された8ミリフィルム映像』を制作した。本DVDは、新潟市の小学校において防災教育に活用された。

## 2 家屋倒壊率の検討

$[(全潰戸数) + 0.5 \times (半潰戸数)]$ 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の問題点を明確にした。

(宇佐美ほか1979)の1858年飛騨国地震における家屋倒壊率の理解は、 $[(全潰戸数) + 0.5 \times (半潰戸数)]$ を全戸数で除したものをパーセントで示したものである。この方式は、(宮村撰三1945)の提案が最初である。

この方式について、(宮部直己1946)は、全潰率が大きい場合、全戸数に限りがあるということから必然的に半潰率は小さくなるのから、宮村氏の方式に従うと半潰率の影響の加わり方が小さすぎるのではないかと問題点を指摘した。

それに対し、(宮村1946)は、半潰の重みについてはとにかく便宜的にとったもので、全潰が100%に近いところ以外では、これで大勢に影響がなく、一応のめやすとしてよいのではないかと思う、と答えている。

宮村氏は半潰の重みを全潰の50%としたのは便宜的にとったものだとする。半潰の重みについて、具体的な個別事例を検討したうえでの理解ではない。半潰の重みを全潰の50%とすることについて根拠は示されていない。半潰とはどのような潰れ方をいうのか。

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(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が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)。死者のあまりない「半潰」家屋は本当に全潰家屋の50%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あると考えられる。

## 3 災害絵図の調査と地形・地質調査

(1) 1833年庄内沖地震被害絵図の調査 庄内沖地震の被害絵図が存在する1833年庄内沖地震津波到達点研究のための能登輪島地区のGPS測量調査を行い、同時に、1964年新潟地震津波到達点研究のための佐渡両津地区のGPS測量調査を行った。

(2) 飛越地震被害絵図の自然地理学的調査 1858年飛越地震にともなう山崩れと天然ダム形成に関する自然地理学的調査の成果を取りまとめ、歴史地理学会で発表し、絵図に描かれた災害の様子を自然科学的に検証できた。

(3) 火山噴火調査 片貝家ノ下遺跡(秋田県大館市)において、平安十和田噴火に伴うラハールによって埋没した家屋を対象に行った。

## 4 日本海沿岸地震関連考古データの収集

### (1) 地震痕跡 分布の偏りとその背景

昨年度収集した新潟県の地震関連考古データを、「地震と遺跡 新潟県」として発表した(齋藤2015)。2015年度も引き続き収集を行い、糸魚川市域の例を追加した。「地震と遺跡?新潟県?」のうち、「地震痕跡 分布の偏りとその背景」について以下述べる。

新潟県域で検出されている地震痕跡の多くは、液状化と関わる。そして、そのほとんどは新潟平野でみいだされ、高田平野では一例にとどまる。この偏りは、何に起因するのか。

高田平野は地震の空白域でない。高田地域には活断層が存在し、例えば 1751 年高田地震では高田城下町屋地域の家屋被害率は、全壊率 71 %、全半壊率 85 %にも達した(矢田・ト部 2011)。

高田平野に液状化痕跡が乏しい理由として、段丘化による地下水位の低下を挙げることができる。(1)砂地盤である(地下 2~3 メートルの浅い位置に砂層が存在する)(2)N 値が低い(砂がふんわりと溜まっていて締め固まっていない)(3)緩い砂の層が地下水で満たされている、といった液状化の 3 条件に照らしあわせると(国土交通省北陸地方整備局・地盤工学会北陸支部 2012)、高田平野の大部分が条件(3)を欠く。

高田層は、高田礫層、下部高田層、上部高田層に区分される。このうち上部高田層の層厚は 30 メートル程で、粘土層やシルト層からなり、砂層や礫層を一部に挟む(長谷川 2002)。

このような条件下では、激しい震動が加わり、水圧が高まっても、大規模な液状化は発生しにくい。噴砂となって粘土層を引き裂くことができないため、水平方向の微弱な移動にとどまるからである(例えば、齋藤 2015 の写真 4)。層の堆積と直交する噴砂脈に比べて発見率も低下する。

大規模地震が発生する地域であるにも関わらず、高田平野で液状化痕跡が乏しい理由として、(ア)段丘の発達と(イ)厚い粘土層とが挙げられる。新潟平野であれば液状化するレベルであっても、高田平野では痕跡が残らない可能性は充分にあり得るのである。当然、液状化の「しやすさ」「しにくさ」を弁えず、ただ痕跡の存否のみをもって被災範囲を絞り込むことは適切でない。

日本海沿岸地震関連考古データの収集で実施した収集データの特徴から、噴砂等の液状化痕跡が発生しやすい低地と、そうでない低地があること、また発生年代についての再検討を要するデータがあることが推定され、現在、調査時の写真や現在の土器編年研究に照らし合わせて再検討を進めている。

例えば、愛知県一宮市木曾川町門間沼(かどまぬま)遺跡の 94Ca 区方形土坑 SK51 にみられる噴砂は、14 世紀中頃とされ、これが 1361 年康安南海地震に対応する東海地震発生の可能性を示すものとして取り上げられてきた(服部 1995、1998)。

しかし、この指摘後に刊行された同遺跡の本報告を縦覧する限りでは(愛知県埋蔵文化財センター 1999) 14 世紀を示す確実な証拠は記されていない。このことからすると、1361 年康安南海地震に対応する東海地震発生の可能性を示すものとして門間沼遺跡を位置づけることは保留とすべきであろう。論拠の見直し、編年観の見直しもあわせて行っていく必要がある。

(2) 1828 年三条地震震源域内と考えられる新潟県見附市福順寺境内の試掘調査、墓標調査、史料所蔵調査

試掘調査では、地震の痕跡を示す焼土・灰層やその後の整地層は見いだせなかったが、地震前の本堂が現存する本堂と位置もしくは規模が異なる可能性が出てきた。また墓標調査により、この地震の死者のものとみられる墓標を発見した。史料調査では、同寺の本堂・庫裏が全壊した文書を発見し、翻刻と解説を行った。

「福順寺記録」(文政 11 年~天保 14 年)の全文翻刻を行なっているが、その一部を掲げる。

文政十一戌子年十一月十二日朝五ツ時大地震、御堂・庫裏潰、焼失、住持圓輪在三条、新発意圓融在長岡、惣村潰れ、即死五拾人、此時当寺伝来之宝物不残焼失、祖師聖人御真影、蓮如上人御影、七高祖、教如上人御影、御絵伝、七百代御本尊、当寺開基安入御供、壹貫代御本尊、先住之代他より申受ル、老母焼死、其外御免書・過去帳・記禄類・仏具・法器・家財一種も不残焼失  
御本尊、太子、小体之金仏在灰の中、釣鐘、焼残り給ふ、噫今日如何なる日に哉

[引用文献]

愛知県埋蔵文化財センター、1999、「門間沼遺跡」(愛知県埋蔵文化財センター調査報告書 80)、愛知県埋蔵文化財センター。

国土交通省北陸地方整備局・地盤工学会北陸支部、2012、「新潟県内液状化しやすさマップ」、国土交通省北陸地方整備局・地盤工学会北陸支部。

宇佐美龍夫・東京大学史料編纂所・京都大学防災研究所上宝 地殻変動観測所、1979、飛越地震(安政 5 年 2 月 26 日)と跡津川断層、地震予知連絡会会報、21、115 - 119。

宮村摂三、1945、昭和19年12月7日東南海地方震災調査概報-主トシテ家屋被害ノ分布ヨリ見タル対震国土計画ノ問題ニ就テ-、地震研究所研究速報、4。

宮部直巳、1946、地震による木造家屋の被害度、地震研究所彙報、24、135-141。

宮村摂三、1946、東海道地震の震害分布(その一)、地震研究所彙報、24、99-134。

齋藤瑞穂、2015、地震と遺跡?新潟県?、前近代歴史地震史料研究会(編)「歴史学による前近代歴史地震史料集」、新潟大学人文学部、149-159。

長谷川正、2002、沖積平野の地質、「上越市史 資料編1 自然」、上越市史編さん委員会・上越市。

服部俊之、1995、濃尾平野における歴史時代の地震痕-その3-、「年報 平成6年度」、愛知県埋蔵文化財センター、136-146。

服部俊之、1998、愛知県の地震と遺跡、古代学研究、144、52 - 58

新潟県地盤図編集委員会(編)、2002、「新潟県地盤図」、新潟県地質調査業協会

矢田俊文・ト部厚志、2011、1751年越後高田地震による被害分布と震源域の再検討、資料学研究、8、1-23。

矢田俊文、2012、一八二八年三条地震における民衆と民家の被害、新潟大学人文社会・教育科学系附置環東アジア研究センター(編)「環東アジア地域における社会的結合と災害」、新潟大学人文社会・教育科学系附置環東アジア研究センター、1-27。

(9)平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):  
前近代歴史地震史料研究会(編)、2015、「前近代歴史地震絵図資料集成」、新潟大学・災害復興科学研究所、74p。

齋藤瑞穂、2015、地震と遺跡-新潟県-、前近代歴史地震史料研究会(編)「歴史学による前近代歴史地震史料集」、新潟大学人文学部、149-159。

(10)平成28年度実施計画の概要:

平成28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。秋には歴史学・地理学・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。

(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：

( 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を検証を実施する。

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 27 年度の成果の概要：

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：



( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

( 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

新潟大学 災害・復興科学研究所 助教 井ノ口宗成

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

( 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)

( 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 27 年度の成果の概要 :

浅部プレート境界断層 ( デコルマ ) の発達過程において沈み込む堆積物の影響を解明するため、四国海盆 MCS データと深海掘削データとの統合解析を行い、沈み込む堆積層の 3 次元間隙率を求めた。四国海盆 MCS データとして、2006 年に JAMSTEC ( 国立研究開発法人海洋研究開発機構 ) が熊野沖四国海盆で取得した 3 次元 MCS データ (  $3.5 \times 52 \text{ km}$  ) を使用した。また、IODP 南海トラフ地震発生帯掘削計画のサイト C0006、C0007、C0011、C0012 のコア試料と検層データ ( P 波速度、密度、間隙率 ) を深海掘削データとして用いた。

3 次元 MCS データの処理結果である 3 次元 PSTM データの高分解能を図るため、音響インピーダンス ( Acoustic Impedance ) インバージョンを行った。まず、掘削サイト上の P 波速度と密度データを用いて初期音響インピーダンスプロファイルを作成し、PSTM データから抽出したソースウェーブレットを用いて地震波プロファイル初期モデルを作成した。また、インバージョンの制約条件として 7 層のホライゾンを設定し、それぞれの層面におけるピッキングを行った。地震波プロファイルモデルが MCS 断面と合致するように音響インピーダンスプロファイルを反復計算し、その結果を 3 次元 PSTM データ全体に適用して 3 次元音響インピーダンスデータ ( 図 1 ) を得た。更に、深海掘削データと 3 次元 MCS データを統合し 3 次元間隙率分布を推定するため、マルチアトリビュート解析

( Multi-attribute Transform ) を行った。マルチアトリビュート解析とは、MCS データに含まれる複数の地震波属性 ( Seismic Attribute ) を同時に利用し、深海掘削データとの統合解析を行うことで地殻内部の物性検知を可能とするツールである ( Hampson et al., 2001 )。マルチアトリビュート解析では、推定したい疑似掘削データ ( Target Log ) を設定し、実際掘削データと MCS データとの関連性を用い、3次元 MCS データの全領域で Target Log を推定する。今回のマルチアトリビュート解析では、Target Log として間隙率を設定し、4つの掘削サイト ( C0006、C0007、C0011、C0012 ) 上の間隙率データと3次元 PSTM データを用いた。掘削データ ( 間隙率 ) の時間領域変換には、各々の掘削サイト上の P 波速度を用いた。また、3次元音響インピーダンスデータ ( 図 1 ) を外部アトリビュートとして採用するとともに、地震波属性の最適な組み合わせを決定するため Stepwise Regression 手法を用いた。Stepwise Regression 解析の結果、4つのアトリビュート ( Acoustic Impedance、X-Coordinate、Integrated Absolute Amplitude、Filter 5/10-15/20 ) を採用した。4つの掘削サイトで4つのアトリビュートを用いた Multiple Attribute Regression 解析の結果、間隙率の測定値 ( Actual Porosity ) と推定値 ( Predicted Porosity ) に 0.76 の Cross-correlation が判明した。4つの掘削データ ( 間隙率 ) と MCS データの間で抽出されたマルチアトリビュート関連性を3次元 PSTM データ全体に適用し3次元間隙率データ ( 図 2 ) を得た。

3次元間隙率と岩相層序の解釈の結果、四国海盆の合計7つの層準において間隙率の著しい変化が認められる ( 図 3 )。間隙率は概ね海底面から深度を増すに従い低下する傾向を示すが、一部において間隙率の逆転を伴う間隙率異常域が見られ、この異常域は陸側に向かって発達する傾向を示す。また、サイト C0011 上の間隙率異常域中に見られる低間隙率層と、比抵抗並びに自然ガンマ線の検層値とを対比した結果、榎野埼海丘周辺に限定的に分布するチャネル堆積物が存在する可能性が示唆された。同一層準において、南海トラフに沿った間隙率変化はほぼ認められず、これは3次元 MCS データ領域の狭い幅 ( 約 3.5 km ) との関連性が考えられる。一方、四国海盆から南海トラフに向かって ( トラフに直交方向 ) 間隙率が低下する傾向を示す。間隙率の低下は特に南海トラフで目立つ。

間隙率が陸側に向かって、特に南海トラフで顕著に低下する要因には Loading 効果が考えられる。トラフの最上部に堆積するタービダイトの Loading 効果で、沈み込む四国海盆堆積層の脱水が進行し、間隙率が低下する。更に、最上部タービダイトの直下では上部四国海盆 ( Upper Shikoku Basin ) 堆積層の内部でスラスト断層が発達し、堆積層が厚くスタックすることで、下部四国海盆 ( Lower Shikoku Basin ) 堆積層は Tectonic Loading を受け、脱水が著しく進行し、間隙率がより低下することが考えられる ( 図 3 )。脱水による流体は、透水性の高い砂岩層準に沿って四国海盆側へ移動し、結果的に南海トラフと榎野埼海丘周辺との間隙率コントラストに寄与すると推測される。一方、南海トラフの砂岩層準の一部においては、MCS 断面図上のホライズンの連続性が悪く、間隙率の逆転も認められる。これは、脱水した流体の一部が垂直方向へ移動することを示唆する。陸側の付加体の底部に発達するデコルマは、海底チャネル堆積物で特徴づけられる中部四国海盆 ( Middle Shikoku Basin ) 堆積層で発達する。南海トラフにおける間隙率低下は、中部四国海盆堆積層でも著しく、デコルマの強い剪断強度を招く可能性が高い。中部四国海盆堆積層以深の低間隙率とこれに関連する P 波速度の増加は、熊野沖付加体の底部に発達するデコルマの反射極性 ( 正 ) とも整合的である。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :  
Jin-Oh Park (2015), 3D Porosity Estimation of the Nankai Trough Sediments from Core-log-seismic Integration, Abstract T51A-2856 presented at 2015 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 14-18 Dec.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

反射係数から間隙水圧を推定する手法を開発する。宮城沖日本海溝域で高分解能 MCS データを取得すると共に、海水試料と海底堆積物試料を採取する。海水・堆積物試料に含まれるヘリウムを抽出し、希ガス用質量分析計を用いてヘリウム同位体比を測定する。今回のヘリウム同位体比の分析結果を 2011 年の分析結果と比べ、巨大分岐断層に沿った流体移動の変化を追跡する。南海トラフにおいて既存の 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、浅部プレート境界断層の

実態（構造と物性）を明らかにする。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。

(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

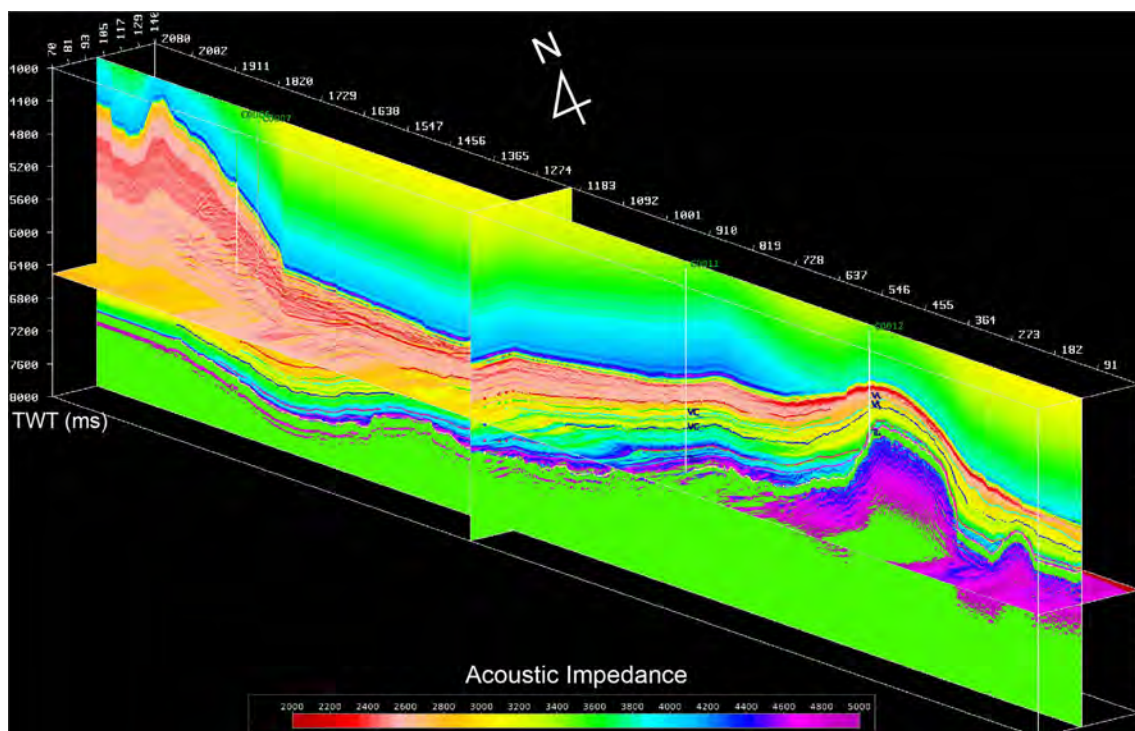


図1 . 熊野沖南海トラフと四国海盆の3次元音響インピーダンス。

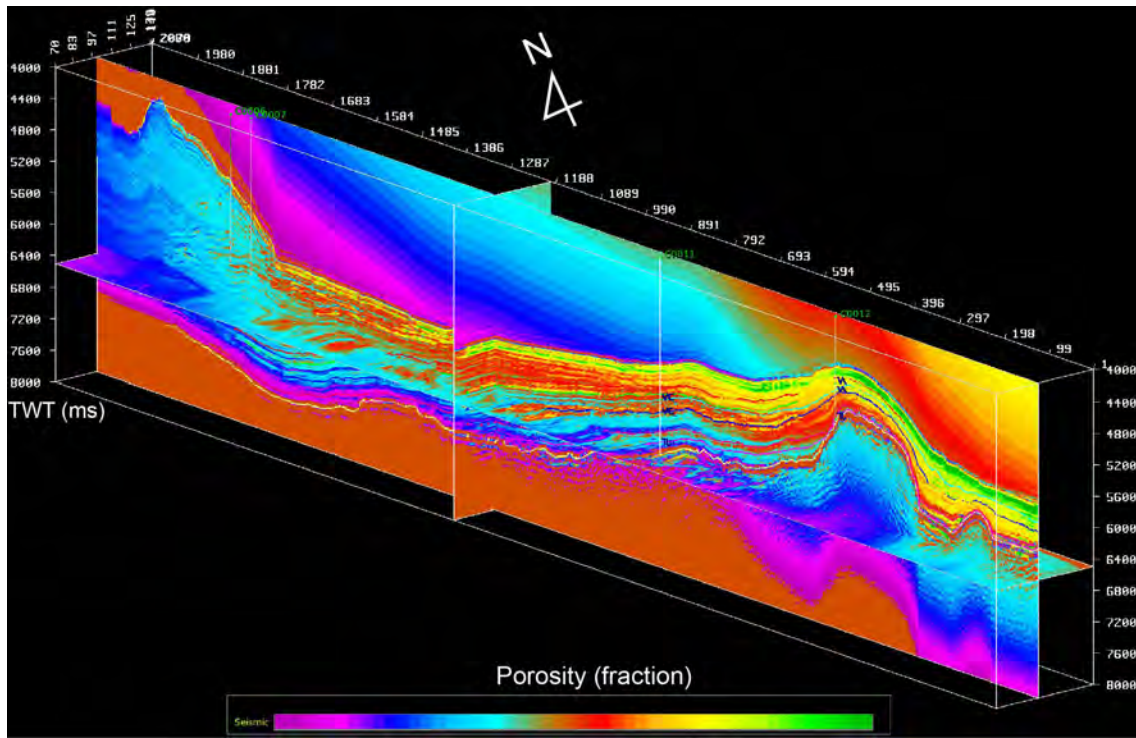


図 2 . 熊野沖南海トラフと四国海盆の 3 次元間隙率。

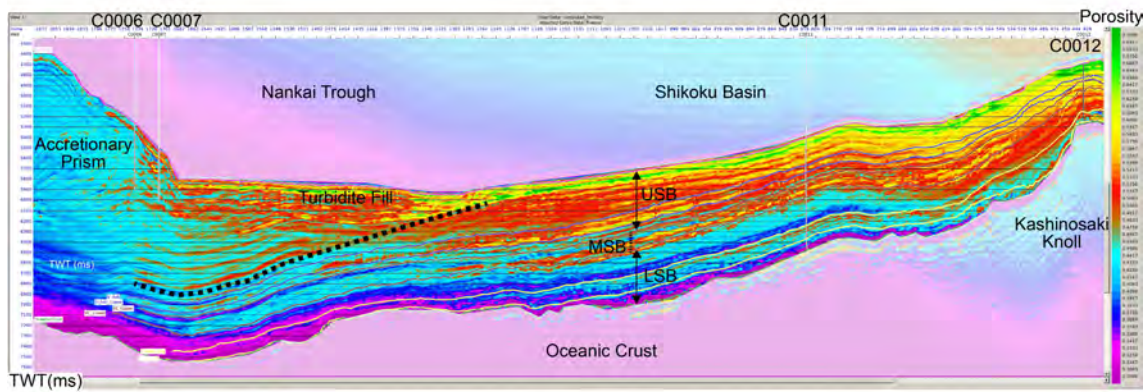


図 3 . 熊野沖南海トラフと四国海盆における 3 次元間隙率の Inline number 95 の断面図。  
 太い点線は上部四国海盆 ( Upper Shikoku Basin ) 堆積層の内部で発達するスラスト断層を示す。USB: Upper Shikoku Basin、MSB: Middle Shikoku Basin、LSB: Lower Shikoku Basin。

( 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  $^3\text{He}$ 、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 27 年度の成果の概要 :

平成 27 年 7 月の新青丸の研究航海 KS-15-7 次航海において鹿児島湾内の海底熱水活動の調査を行った。当初の計画では、薩摩硫黄島や小宝島周辺海域、奄美大島西方海域も調査の対象としていたが、海況の悪化により断念し、鹿児島湾内のみの調査となった。継続して観測している若尊カルデラなどで、ヘリウム分析用の他にメタン分析用の海水も採取した。

平成 27 年 2 月の白鳳丸の研究航海 KH-14-6 次航海でマリアナ海域から採取した深層海水を分析し、海底熱水活動により放出されたと考えられるマグマ性のヘリウムを検出した。ヘリウムの異常が大きいところは、メタン濃度や濁度の異常も見られ、これらが海底熱水に由来するものであることを確認した。得られたデータは、テクトニックセッティングの違う南西諸島海域の海底熱水活動と比較する上で有用なデータとなる。

3 月と 9 月に木曾御岳周辺において温泉水の調査を行った。鉛ガラス製のガラスボトルに水上置換法により遊離ガスを採取し、実験室に持ち帰った後すぐにガス組成やヘリウム、二酸化炭素などの同位体を分析した。また、それまでの 30 年以上にわたるヘリウムの観測結果をまとめ、平成 26 年の噴火に先立ち 10 年前から異常があったことを明らかにし、Scientific Reports 誌に発表した。このことからヘリウムが長期的な火山活動評価に役立つことを示した。また火山活動が活発化した箱根や草津白根の陸上火山も調査を行った。



( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :  
Sano, Y., T. Kagoshima, N. Takahata, Y. Nishio, E. Roulleau, D. L. Pinti and T. P. Fischer, 2015, Ten-year  
helium anomaly prior to the 2014 Mt Ontake eruption. Sci. Rep. 5, 13069; doi: 10.1038/srep13069.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

継続的に調査している鹿児島湾から南西諸島海域において、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、鹿児島湾などこれまでの観測で得られた海水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。

( 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@ori.u-tokyo.ac.jp](mailto: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 : 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：

火山ガス観測による箱根山の熱水系構造解明と群発地震発生予測

( 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

(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 27 年度の計画の概要：

大場は大学院生 2 名を伴い、およそ、一月に一度、東海大湘南キャンパス(平塚市)から箱根山を訪れ、大涌谷地熱地帯の 2 地点において火山ガスを「国際的な標準方法」で採取し、研究室に持ち帰り、化学組成( H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, He, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Ar, CH<sub>4</sub> ) および安定同位体比( D/H, 18O/16O ) の測定を行う。一方で、共同研究者の代田は、検知管を用いた迅速法で、1 月に 1 度よりも高頻度で火山ガスの観測を継続し、CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S 比の時間変化と群発地震の発生の時間的な前後関係を追及する。今年度は、箱根山に加え草津白根山と那須岳を観測対象に加える。草津白根山では 2014 年の初頭から微小地震が頻発し山頂域で山体の膨張が継続している。那須岳は静穏だが、極めて登山客が多い活火山であり、御嶽山と同様に噴気の近くを登山客が通行するので、静穏時の火山ガスの組成を把握し、将来の活発化に備えることを目的とする。

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

【箱根山】

2015 年 4 月から 2016 年 1 月まで箱根山の大涌谷と上湯場の二か所で噴気の採取・分析を繰り返し実施した。その期間内の 2015 年 4 月 26 日から群発地震が発生し 6 月末には小規模な噴火が発生した。この火山活動の直前と同時期に、噴気の化学組成および安定同位体比に大きな変動が観測された。これらの変動は次回の群発地震および水蒸気噴火を予測するための信頼性の高い前兆として利用することができる。しかし単なる経験則に頼ると前兆現象が単に偶然に起きた可能性を否定できず信頼性に乏しい。先ず、2015 年に起きた箱根山における変動を解釈しモデル化する。

図 1 によると大涌谷噴気の CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 比は 2015 年 4 月下旬の群発地震開始と同期して急激な上昇を示している。CO<sub>2</sub> は典型的なマグマ性成分なので、群発地震と同期してマグマ性ガスの放出があったと推定される。一方、噴気の水蒸気の安定同位体比( D ) は群発地震の開始に先立つ 2015 年 2 月から急激な低下を示し、群発地震とほぼ同時に元の値に復帰した( 図 2 )。これらの変動は図 3 に示すモデルのように解釈することができる。2015 年 1 月までは、マグマから放出されるガスは浅部熱水系に供給され、その熱水系から地表に噴気が放出され、両者の流量は均衡していた。しかし、2015 年 2 月からマグマを取り囲むシーリングゾーンが発達し、マグマから放出されるガスはシーリングゾーン内に蓄積し、マグマを圧迫した。ここでシーリングゾーンとは、R.O.Frunier(1999) が提案している概念

で、マグマ性ガスの通路が二次鉱物（明礬石、黄鉄鉱、シリカ、硬石膏など）の沈積により自己閉塞する現象である。一般にマグマ起源の  $D$  は天水起源地下水の  $D$  に比べて高い。シーリングゾーンに阻まれ、2015年2月から4月にかけてマグマ性ガスに含まれる水蒸気の流量が減少し、天水起源地下水との混合の結果生じる噴気の  $D$  減少を招いた（図3の中央）。2015年4月下旬にシーリングゾーンは内部のガス圧増加により破壊し、マグマ性ガスが一気に浅部熱水系に注入された。これが群発地震を引き起こし、小規模な水蒸気噴火の原因となった。この際に注入された余分なマグマ性ガスが地表に抜けてしまえば火山活動は収束する。現に2016年1月現在で箱根山の地震活動は落ち着いた状態にある。2015年の箱根山の火山活動を説明するためにマグマの上昇は必要ない。

図2に見られるように  $D$  の低下は顕著であり、群発地震の前兆現象として利用できる。図4に火山ガスの  $He/N_2$  比の変動を示す。2015年4月末の群発地震に先立ち、顕著な低下が起きている。一般に日本のような島弧の火山でマグマ性ガスの  $He/N_2$  比は  $3.6 \times 10^{-4}$  で、これに対し、空気の  $He/N_2$  比は  $6.7 \times 10^{-6}$  と小さい。群発地震に先立つ  $He/N_2$  比の低下は熱水系に地表から空気が混入したことを意味している（図2中央）。前述した  $D$  と  $He/N_2$  比を合わせて観測することにより、今後、信頼性の高い群発地震予知ができるかも知れない。

#### 【草津白根山】

山頂火口湖の北側山麓に展開する東西方向に帯状に分布する地熱地帯の三か所（西から  $k_1, k_2, k_3$ ）で噴気を採取し分析した。図5に示されるように、 $CO_2/H_2O$  比は2014年から低下傾向にあり、 $k_1 \sim k_3$  で共通している。また  $SO_2/H_2S$  比も同様に低下傾向にある。 $CO_2$  と  $SO_2$  はマグマ起源物質であり、 $CO_2/H_2O$  比と  $SO_2/H_2S$  比の減少はマグマ活動の不活発化を示唆している。

#### 【那須岳】

山頂溶岩ドームの西側の付け根に広がる地熱地帯の三か所、 $n_1, n_2, n_3$  で噴気の採取・分析を行った。これらの噴気の場所はそれぞれ無間地獄、姥が坂、姥が坂下である。噴気の放出量など、見かけの様子は2014年と2015年で大きな変化は感じられなかった。図5に示されるように、 $CO_2/H_2O$  比は2014年と2015年でほとんど変化が見られなかった。 $SO_2/H_2S$  比は三か所の噴気で統一した傾向が見られなかった。那須岳噴気の  $CO_2/H_2O$  比は絶対値が箱根山や草津白根山に比べて低く、変動が少ないことは、マグマ活動が静穏な状態であることを示唆している。

- (8) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
大場武（2015）化学で解き明かす火山噴火のメカニズム - 御嶽山，箱根山に見る火山活動の実態。化学，70(11) p12~16。  
代田寧，大場武，谷口無我，板寺一洋（2015）箱根火山活動の火山ガス観測からのアプローチ 神奈川県温泉地学研究所平成27年度研究成果発表会講演要旨集，p15-16。

- (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  
代田 寧 神奈川県温泉地学研究所 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：東海大学理学部化学科  
電話：0463-58-1211  
e-mail：takeshi\_ohba@tokai-u.jp  
URL：

- (11) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者  
氏名：大場 武

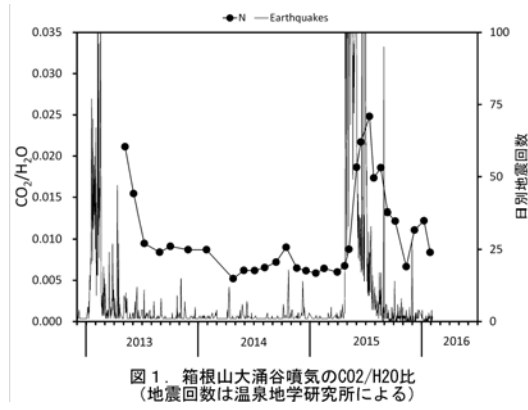


図 1 .

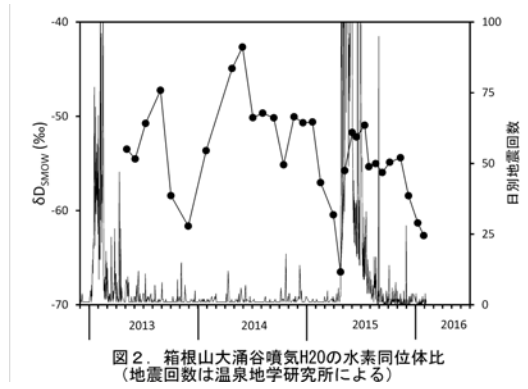


図 2 .

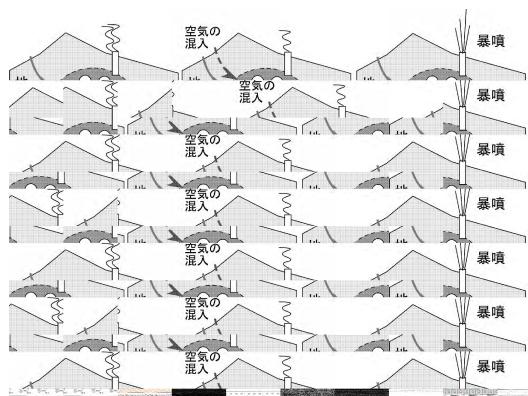


図 3 .

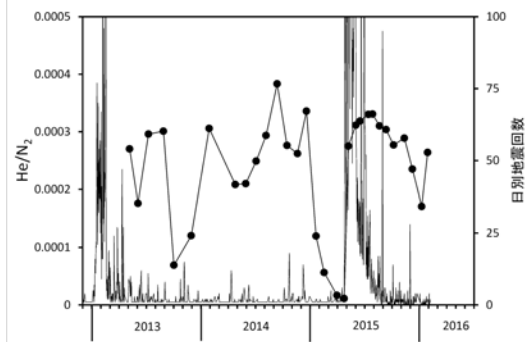


図4. 箱根山大涌谷噴気のHe/N<sub>2</sub>比  
(地震回数は温泉地学研究所による)

図4 .

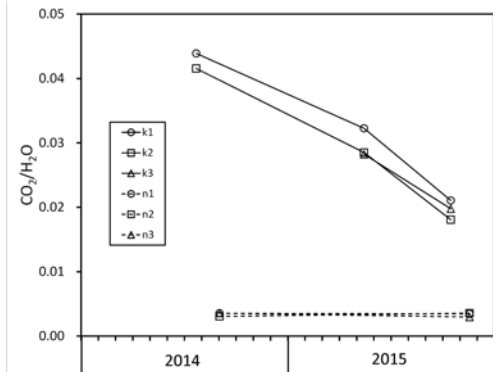


図5. 草津白根山および那須岳の噴気CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O比

図5 .

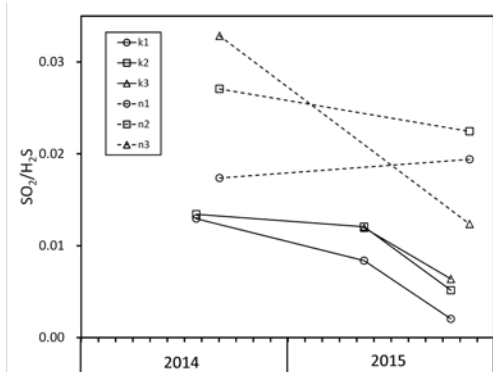


図6. 草津白根山および那須岳の噴気SO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S比

図6 .

( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

十勝岳と雌阿寒岳における噴火推移の高分解能な解析とマグマ供給系

( 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

( 5 ) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

( 6 ) 平成 27 年度の計画の概要：

本研究は平成 26 年度からの継続研究であり，北海道の活火山の中で噴火準備段階にあると推測される十勝岳と雌阿寒岳の両火山におけるマグマ供給系モデルを具体的に構築し，水蒸気爆発に始まる噴火推移とマグマ噴火過程の全体像を理解することを目的とする。

十勝岳では，1962 年噴火と 1988-89 年噴火ではどちらも同質の玄武岩質安山岩マグマによって引き起こされた噴火にもかかわらず，噴火様式がなぜ異なっていたかを見極める．そのために火山噴出物の微細組織を定量的に解析する．今年度は 1962 年噴火の 62-2 火口近傍での地質調査を実施し，噴出物層序の柱状図作成と記載，それら噴出物の岩石組織及び化学組成の分析を進める．1962 年噴火についてはその噴火推移が当時の観測記録や論文・報告書に記載されている．そのため，噴火推移とマグマの噴出過程との関係が一連の噴出物を通して岩石学的アプローチから明らかにできる噴火事例となる．このため，1962 年噴火の火口近傍の露頭での噴出物層序と対比させながら，噴火推移と共にどのようにマグマの噴出過程が変遷していったのかを岩石学的に解析し，十勝岳におけるマグマ供給系のモデルをたてることに研究の主眼をおく．

雌阿寒岳では，平成 27 年度の研究においては，過去 13000 年間の噴出物試料を対象にして定量的な岩石学手法によってマグマ供給系を解明し，短期的な時間スケールでの噴火推移とマグマ上昇・発泡脱ガス・噴火に至る素過程との対応関係を明らかにしたい．そのために雌阿寒岳で最も新しいマグマ噴火と考えられる 1000 年前の火砕噴火による一連の噴出物，さらに阿寒富士玄武岩について XRF 及び EPMA による分析，これまでの岩石学的研究成果を合わせて，マグマ溜り・火道・噴火に至るマグマ・プロセスを明らかにするとともに，気泡組織や石基結晶度及び斑晶の組成変化など微細組織を定量的に解析してマグマ組成及び噴火過程の推移を考察し，雌阿寒岳の具体的なマグマ供給系の解明につなげていく．

(7) 平成 27 年度の成果の概要：

十勝岳 1962 年噴火の推移と岩石学的検討から推定される噴火様式

1962 年噴火で形成した 62-2 火口の東方 700m の露頭において下位から火山灰層 (2 層; C1-C2), 準プリニー式噴火による降下スコリア層 (4 層; G1-G4), 主にストロンボリ式噴火による降下スコリア・火山灰層 (13 層; G5-G17) が重なり, 1962 年噴火による一連の噴出物層序を認識できる (図 1). これら一連の噴出物層序を噴火推移に対比して, 噴出物の気泡組織やマイクロライト 数密度などの岩石組織やガラスの化学組成に基づき, 1962 年噴火の噴火推移を考察した.

各フォールユニットの破片粒子は, 本質破片として高発泡スコリア (SA タイプ)・低発泡スコリア (SB タイプ)・ガラス質岩片 (LG タイプ), そして類質岩片から構成される. SA タイプはマイクロライトの数密度が小さく, LG タイプのそれと同程度であるが SB タイプはその数密度が大きい. 最下位の火山灰層には少量の本質破片が含まれており, 1962 年 6 月 29 日 22 時過ぎに始まった第一回目の噴火 (勝井ほか, 1963; 石川ほか, 1971) は噴火様式としてはマグマ水蒸気爆発であったと考えられる. 第 2 回目の噴火は 30 日 2 時 45 分以降に始まり, 噴煙柱を連続的に高く上げる (高度 12000 m) 準プリニー式となり (対応する噴出物層は G1 ~ G4), 14 時 30 分ころには噴煙高度が低下したが, その後もストロンボリ式噴火を繰り返し, やや衰えながら, 7 月 5 日までマグマ噴火は断続的に続いた (G5 ~ G17 層). 各フォールユニットの破片粒子の割合を調べた結果, G1 層では LG タイプが多く存在し, G2 層では SA タイプが多くを占めた. G3 層では類質岩片が 4 割を占め, G4 層以降では SB タイプが増加している (図 2). 各フォールユニットの本質岩片の石基ガラス組成を分析した結果, G1 層 ~ G3 層よりも G4 層 ~ G17 層のガラス組成の  $\text{SiO}_2$  が高いことが認められた (図 3).

準プリニー式噴火の初期噴出物である G1 層に LG タイプが含まれることは, この破片が発泡脱ガスした試料ではなく, 地下水と接して急冷されたかガス圧の高まりで爆発した産物であることを示す. 62-2 火口が開いたことにより, マグマが発泡し SA タイプの破片が大量に生じ, 脱ガスでマイクロライトが晶出した SB タイプも同時に噴出した準プリニー式噴火が起こったと考えられる (G2 層). その後, 62-3 火口が開いて, その時, 類質岩片の多い G3 層が形成された. 以後噴出率の低下で, 脱ガスした SB タイプ破片を多く含む噴火が断続的に続いたと推定される.

雌阿寒岳, 阿寒富士の活動年代とマグマ供給系

阿寒富士は雌阿寒岳の中で最も新しい火山体で, 約 2,500 年前 ~ 1,000 年前までの 1,500 年間活動したと考えられている. 阿寒富士の噴出物は  $\text{SiO}_2 = 50.56 \text{ wt.}\%$  (多くは  $\text{SiO}_2 = 50.53 \text{ wt.}\%$  の範囲内であるが, これまで 1 試料で  $\text{SiO}_2 = 56 \text{ wt.}\%$  が報告されている) であり, 雌阿寒岳の活動の中で最も未分化なマグマが噴出している. 本研究では, 地質学的な見地から阿寒富士の活動年代と噴火史の再検討, さたに岩石学的な検討によりマグマ供給系について考察を行った.

阿寒富士由来の降下スコリアについて複数地点でサンプリングを行い, 柱状図を対比させた結果, 17 枚の堆積物の層 (Akf-1 ~ Akf-17) が確認できた (図 4). 今年度の調査で Akf-17 の上に数 mm の土壌を介して火山灰層を確認することができた. EPMA によるガラス組成の分析から, 火山灰層は摩周カムイヌプリ 1,000 年前噴火火山灰 (Ma-b) と白頭山 946-947 年噴火火山灰 (B-Tm) が混ざったものであることが分かった (図 5). Akf-1 ~ Akf-3 には時間間隙を示す土壌が確認できるが, 大きな時間ギャップがあったとは考えにくい. したがって, 活動開始の年代は未だ明らかとなっていないが, 従来考えられたようにおよそ 2,500 年前から活動を開始し, 1,000 年前には活動が終了したことが明らかとなった.

阿寒富士の噴出物は主に玄武岩であり, その玄武岩は含まれる斑晶鉱物の特徴から 2 種類に分類できる (Type I と Type II) (表 1). Type I は, 斜方輝石をほとんど含まないが, Type II は斜方輝石を多く含むことが特徴である (表 1). Type I と Type II の鉱物化学組成 (図 6) を比較すると, 斜長石斑晶コアについては, Type I の方が Type II に比べて An のピークが高い. また, Type I の普通輝石には Mg-v. が 75 を越えるものが存在するが, Type II の斜方輝石には高 Mg-v. を示す斑晶は存在しない. おそらく阿寒富士の地下には Type I と Type II を形成する異なるマグマが存在したと考えられる. Type I のマグマは阿寒富士の活動を通して噴出したが, Type II のマグマはステージ 3 の時期に活動したと思

われる。Type I の普通輝石について、コアの Mg-v. が 80 を越えるものとコアの Mg-v. が 70 程度のものはリムで顕著な正累帯構造を示すのは同じであるが、後者についてはコアからリムにかけて逆累帯構造を示している（図 7）。また、カンラン石斑晶が普通輝石に取り込まれることや他形の斜方輝石が普通輝石の内部に取り込まれていることもある。したがって、Type I マグマは 2 種類のマグマの混合によって形成している可能性がある。

- ( 8 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
- ・ Wada,K., Sato,E., Anzai,K. and Baba,H (2015) Geological and petrological evidences for mingling and mixing of magmas in the Me-akan and Taisetsu volcanoes, eastern and central Hokkaido, Japan. Geophysical Research Abstracts, Vol. 17, EGU2015-8767, EGU General Assembly 2015
  - ・ 馬場輝・和田恵治 ( 2015 ) 大雪火山，御蔵沢溶岩のマグマ混合過程と苦鉄質包有物の成因. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会予稿集, SVC47-P15
  - ・ 和田恵治・佐藤鋭一・日向宏伸・中塚裕 (2015) 十勝岳 1962 年噴火と 1988-89 年噴火におけるマグマ活動の変遷. 日本火山学会 2015 年度秋季大会講演要旨集, P61, p159.
  - ・ 佐藤鋭一・和田恵治 ( 2015 ) 大雪火山，御鉢平カルデラ形成期の噴出物と噴火活動. 火山，60，159-166.

- ( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

（代表者名） 和田恵治 北海道教育大学旭川校 教授

（分担研究者）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：

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：和田恵治

所属：北海道教育大学旭川校・地学研究室



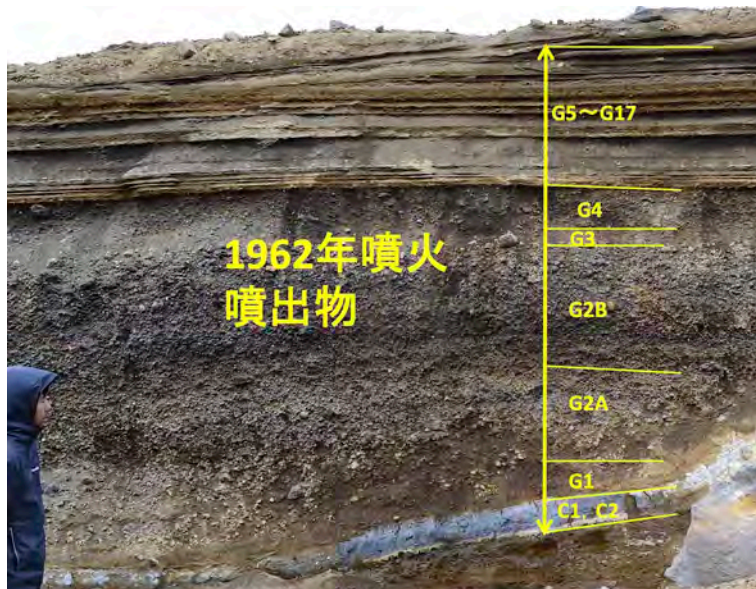


図1 十勝岳 1962年噴火の噴出物

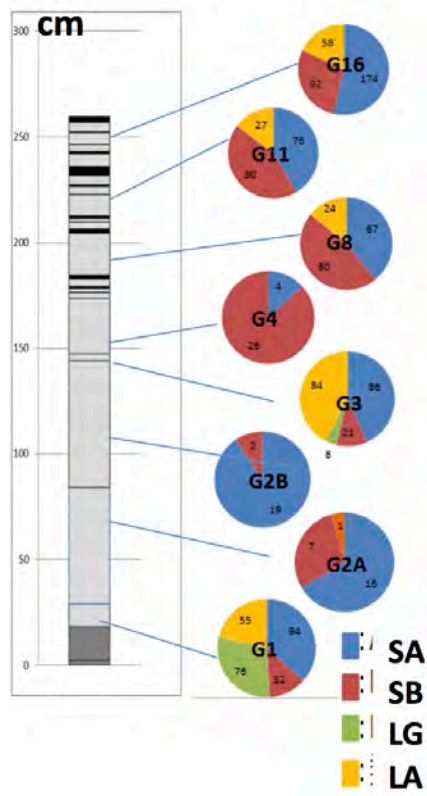


図2 十勝岳 1962 噴火の噴出物層序と各タイプテフラ粒子の割合の変化

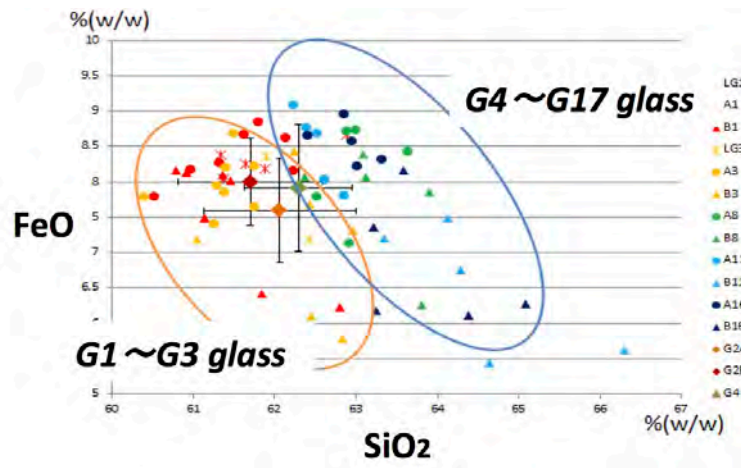


図3 十勝岳 1962 年噴出物中の石基ガラスの組成

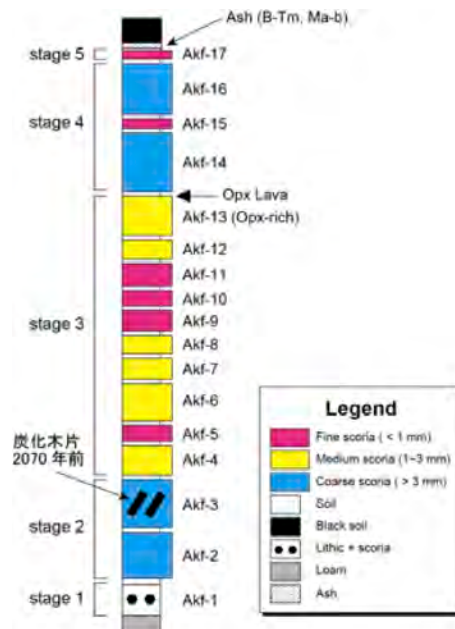


図4 雌阿寒岳山麓における阿寒富士テフラの総合柱状図

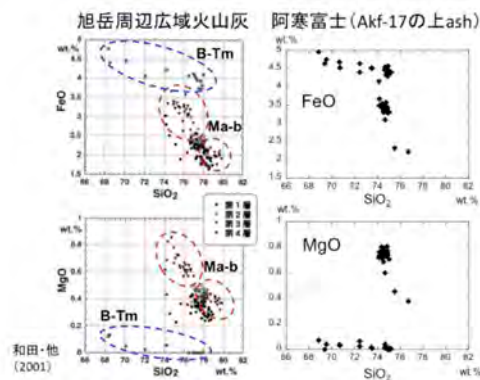


図5 阿寒富士 Akf-17 の上位にある火山灰のガラス組成

表 1. 斑晶鉱物のモード組成 (vol.%)

	Type I	Type II
Pl	20.9	30.6
Ol	8.1	3.5
Cpx	1.0	5.8
Opx	-	13.6
Gdm	70.1	46.5

Pl: 斜長石, Ol: カンラン石, Cpx: 普通輝石  
Opx: 普通輝石, Gdm: 石基

表 1 斑晶鉱物のモード組成

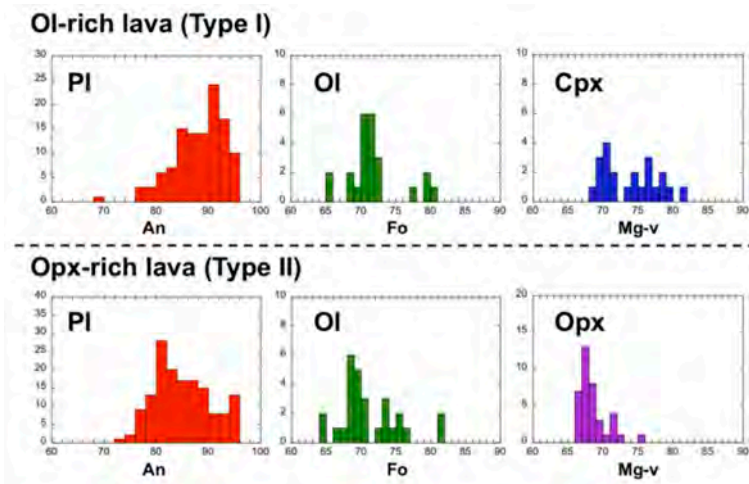


図 6 阿寒富士の噴出物 ( Type 1 と Type 2 ) の斑晶コアの化学組成

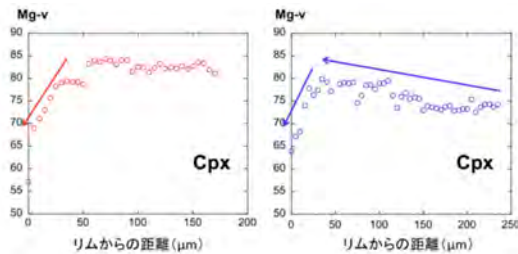


図 7 Type 1 に含まれる普通輝石のラインプロファイル

( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

公的研究機関以外が所有する計測データを用いた地下水の地震先行現象調査

( 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 27 年度の計画の概要：

現時点で東北地方太平洋沖地震に先行する地下水異常が確認されているのは、岩手県大船渡市の五葉温泉源泉と同市正源寺の井戸である。海岸からより遠い被圧地下水の水位が低下した後に、海岸に近い不圧地下水の水位が低下することについては、南海地震に関して小泉(2013)が前兆すべりによる定性的な説明を行っている。正源寺は海岸に近く、五葉温泉はより内陸に位置し、五葉温泉で地震の約3ヶ月前から水位が低下したのに対し、正源寺では約1ヶ月前から水位が低下した。これは小泉(2013)による定性的な説明に合致する。しかし、被圧地下水、不圧地下水ともに1事例ずつしかない。

明治三陸地震や昭和三陸地震では、個人宅の井戸で先行異常があったとの多数の記録が残っている(吉村, 2004)。現在は上水道が全国的に普及しているが、正源寺以外にも東北地方太平洋沖地震が起きるまで、または、今も日常的に井戸水を使用しているところが少数はあると考えられる。正源寺に加え別の場所での先行異常証言が得られれば、東北地方太平洋沖地震前に地下水異常があったことの信頼度が増す。そこで、平成27年度は三陸地方の巨大地震に対する先行現象の再現性をより確かなものにするために、吉村(2004)で異常が報告された地域を中心に、五葉温泉と正源寺以外の地下水異常の事例を探し出す。さらに、同じ沈み込み帯の巨大地震である南海地震についても、過去にあった地下水の先行異常現象について調査・整理し、現在行われている公的研究機関以外による地下水観測等の状況を高知県の沿岸市町村を対象に調査する。

地下水位の計測データについては、前年度の調査で宮城県が一般に公開している地盤沈下観測目的の観測井44本のうち、仙9観測井(深度194mの被圧地下水)と多2観測井(深度60mの被圧地下水)の2本で先行する地下水位低下が認められた。この公開データは月平均であるが、その元となる日平均データが存在することは宮城県とのやり取りでわかっていた。そこで、本年度は情報公開制度を利用して、仙9観測井と多2観測井の日平均データを入手して地下水位変化の詳細を調べる。

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

現在も日常的に井戸水(地下水)を使用している一般家庭は三陸地方にもあるであろうが、一軒一軒で聞き取り調査をすることは現実的ではない。そこで、井戸が現存している可能性が大きい場所として、正源寺の例から寺院を中心に調査することとした。2016年1月までに岩手県大船渡市、陸前高田市、宮城県気仙沼市、南三陸町、女川町、石巻市の寺院82ヶ所、神社2ヶ所、個人宅1ヶ所の計85ヶ所で聞き取り調査を行った。その結果、2011年3月11日までに日常的に井戸水を使用していたとこ

ろは 11ヶ所あった。そのうち、東北地方太平洋沖地震前に異常があったとしたのは、宮城県気仙沼市の満福寺 1ヶ所であった。

満福寺で得られた先行異常の証言は「濁り」であり「湧水（減水）」はなかった（正源寺は湧水で濁りについては不明）。濁りが認められた時期については、記憶が定かではなく明らかにはならなかったが、水の濁りは地震発生後もしばらく続いたとのことであった。なお、この井戸は墓参りの際に使われる約 5 m 深の浅井戸で、これまで大雨の後でも濁りは見られないとのことである。残り 10ヶ所の井戸については、東北地方太平洋沖地震前の異常はなかったものの、地震後に水の濁りまたは湧水が認められたところがそれぞれ 1ヶ所ずつ、残りの 8ヶ所は地震の前後で異常はなかったとのことであった（満福寺を含め井戸水使用が確認された 11ヶ所では、聞き取り調査の結果を研究目的で使用するごとの承諾を書面にて得ている。）

梅田・板場（2014）によれば、四国太平洋沿岸部では 1946 年南海地震前に 18ヶ所の井戸で水位低下が確認されたが、29ヶ所では確認されなかった。このように地下水の先行異常では、それが認められる井戸と認められない井戸があることが、真に先行異常と言えるかについての問題点になっている。今回の調査の結果、東北地方太平洋沖地震に先行する地下水異常は 1ヶ所増えたものの、異常が認められなかった井戸も 10ヶ所増えた。1946 年南海地震の前に水位が低下したのは、大きな河川のない小さな三角州か砂州にある井戸（梅田他，2010），または、本震前の隆起域にある井戸である（梅田・板場，2014）。東北地方太平洋沖地震については、1946 年南海地震に比べまだ事例数が少なすぎるため、先行異常が見られる井戸の特徴を見出すにはさらなる調査が必要である。

高知県の沿岸にある 19 市町村では役所の防災担当部署で、民間による（公的研究機関でない）地震先行現象を捉えることを目的とした地下水観測の有無を伺った。その結果、地下水観測は認められなかったが、民間による観測として、土佐市宇佐町自主防災連絡協議会による潮位観測があるとのことが複数の市町村で聞かれた。なお、この宇佐町自主防災連絡協議会はホームページ（<http://usabousai.com>）上で観測データを公開している。

地下水位計測データについて、仙 9 観測井の日平均データは宮城県から、多 2 観測井は宮城県多賀城市から、それぞれ情報公開制度により入手した。その結果、月平均データで 2011 年 1 月から顕著な水位低下を見せていた仙 9 観測井は、実はコサイスマックな変化であり、月平均の公開データに誤りがある可能性が浮かび上がった（この件については宮城県に問い合わせているが、2016 年 2 月 1 日時点で回答はまだである）。一方、多 2 観測井では東北地方太平洋沖地震の約 3ヶ月前（2010 年 12 月中旬頃）からの水位低下が認められた。これは五葉温泉源泉が水位低下を見せた時期とほぼ一致する。

（ 8 ）平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
織原義明・長尾年恭（著），2015「地震前兆現象を科学する」，祥伝社新書，16-31.

織原義明・鴨川仁・長尾年恭，2015，公的研究機関以外が所有する地下水位データにみられた 2011 年東北地方太平洋沖地震の先行現象，日本地震学会講演予稿集 2015 年度秋季大会，54.

（ 9 ）実施機関の参加者氏名または部署等名：

織原 義明 東京学芸大学教育学部物理科学分野 専門研究員  
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：東京学芸大学教育学部物理科学分野  
電話：  
e-mail：orihara@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：織原義明

所属：東京学芸大学教育学部物理科学分野

## ( 1 ) 実施機関名：

公募研究

## ( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

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

## ( 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 27 年度の計画の概要：

臨界である事の大きな判断要素として、相関距離の増大(長距離相関)がある。このため、より正確な地震発生場所を予測するためには、地震発生における空間的な constraint をどうするかが問題となる。本研究では、地震活動静穏化評価の方法である RTM 法 (Nagao et al., EPS, 2011) をはじめとした他の概念を natural time 解析と組み合わせ、より精度の高い臨界現象検知を目指す。現在、RTM 法との関係以外にも、有望と見られる他の地震活動解析による先行現象検知 Bouchan et al. (Nature Geosci., 2013) や Lippiello et al. (Scientific Reports, 2012) の結果との関係を精査する。

2 年前に、我々がギリシャのグループとは独立に得られた成果を今年度も引き続き論文執筆を続ける。これは、Varotsos らの理論体系を再構築したアンザツ (Ansatz) をもとに、自己組織化臨界現象の例として地震を対象にして解析している。これらの成果は「natural time で解析すると臨界状態がなぜ判別できるのか?」、「地震の順番を変えて natural time 解析を行うと本来の時系列の 1 分布とは異なる結果が得られる。つまり地震の順番は重要な情報である」など、いままで不明瞭であった点を解決するものである。

## ( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

今年度は、ナチュラルタイム解析と b 値の関係の研究を行った。まず、b 値を気象庁の一元化地震カタログを東大地震研のミラーサイトから自動でダウンロードし、最尤法で計算するシステムを構築した。また内陸地震の解析のケーススタディーとして、2014 年 11 月 22 日 22 時 8 分に発生した長野県神城断層地震 (北緯 36.6928 度、東経 137.8910 度、深さ 4.5 km、M6.7) について解析を実施した。震央を中心とした半径 150km の範囲の地震を用いて b 値を求めても、異常な値は観測されなかった。そこで、断層系に沿って、近傍の地震だけを用いて b 値を計算してみると、地震発生 1 年半ほど前から先行的な顕著な b 値の上昇が観測された。これは今後の地震活動度研究において、断層系ごとに解析を行う重要性を示唆しているのかもしれない。今後は本地震についてのナチュラルタイム解析を行う。

## ( 8 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

井筒潤, 長尾年恭, (2016) 地震災害予測のための b 値の空間分布マッピングと時系列変化, 東海大学海洋研究所研究報告, 37 (in press). Seiya Uyeda, (2015) Current affairs in earthquake prediction in Japan, J. Asian Earth Sci. 114, 431-434, doi:10.1016/j.jseaes.2015.07.006.

( 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 助教  
長尾年恭 東海大学 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 :

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 : 上田誠也

所属 : 東京大学・地震研究所



( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

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：

( 6 ) 平成 27 年度の計画の概要：

火山の噴火予測を行うためには、活火山の地質調査・岩石学的研究によって過去の噴火間隔・規模・様式についての規則性や時間的变化を理解し、マグマ溜まりにおけるマグマの分化や混合などのマグマ進化過程を解明する必要がある。特に、各噴火において噴火現象がどのように推移し、それをもたらした地下のマグマ供給系とどのように関連しているか明らかにしておくことは非常に重要である。

本研究では、東北日本火山フロント中部に位置する蔵王火山を対象とし、主に地質調査を基に噴火史を明らかにした上で、マグマ供給系の進化過程を解明する。なお、蔵王山については噴火の古記録も多いので、地質調査によって得られた情報を古記録の情報と合わせて検討し、噴火の実態をより自称際に把握できる可能性がある。また、得られた結果を用いて蔵王山のマグマ噴火発生時における可能性の高い噴火推移の幾つかのパターンを、マグマ供給系の変化も含めて提示し、噴火事象系統樹に反映し、その高度化を図ることを目的とする。

蔵王山の現在の火口は山体中央部に位置する御釜である。本研究では、御釜を胚胎する五色岳が形成され始めた約 2 千年前以降を対象にする。なお、御釜が火口となったのは約 800 年前で、それ以前は御釜のやや東方に火口が存在していたことが推定されている。

本年度は、五色岳の過去約 2 千年間の噴出物について、特にテフラ層を重点的に調査し、テフラ層の識別を行った上で、各テフラ層をもたらした噴火の特徴・噴火時期・規模の概要を明らかにする。

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

本年度は、五色岳の過去約 2 千年間の噴出物について、特にテフラ層を重点的に調査し、テフラ層の識別を行った上で、各テフラ層をもたらした噴火の特徴・噴火時期・規模の概要を明らかにした。噴火時期は、テフラ層に挟在される古土壌を系統的に採取し年代測定を行い、それを基にテフラ層学的に検討して推定した。以下に結果の要点を記す。

1. 過去 2 千年間のテフラ層の認定

地質調査から、五色岳が形成され始めた約 2 千年前以降について火山灰層が 9 枚認められた。テフラ層と近傍相との層位関係から、下位の 2 枚以外は御釜を噴出中心とするものと考えられる。ここでは下位の 2 枚を Za-GS 1-2、その上位の 7 枚を Za-Ok 1-7 と称す。

2. 各テフラ層の特徴

Za-GS 1-2、Za-Ok 1-3, 5-6については、各々の最下部に水蒸気爆発による灰白色の粘土質テフラが認められる。その上位に複数の火山砂層が重なる。火山砂層の間にごく薄いローム層あるいは古土壤層が認められる場合もある。また、Za-Gs 1-2では、各層の下部の他に、層内にも灰白色粘土質層が複数枚認められる。これらは核テフラ層下部のものよりもかなり薄い。Za-Ok 4は最下部の灰白色の粘土質テフラは認められない。スコリア層とスコリア混じり古土壤の互層からなる。下位のZa-Ok 3との間に明瞭な古土壤が見られる露頭もあるが、それが判然としない場合も多い。Za-Ok 7は水蒸気爆発による灰白色の粘土質テフラのみからなる。なお、Za-GS 1-2については、さらに細分が必要であると思われるが、露頭によってテフラ層内を構成する薄層の数や層相が変化するため、それを行うのは非常に難しい。

### 3. 各テフラ層の形成時期

挟在される古土壤の炭素 14 法による年代測定およびテフラ層序学的検討を行った結果、Za-GS 1-2は各々約2千年前～8あるいは9世紀、9世紀～12世紀の噴火によるものと推定された。また、Za-Ok 1-4は13世紀～16世紀、Za-Ok 5は主に17世紀、Za-Ok-6は主に18世紀の噴火によるものと推定された。以上の各テフラは複数の層から構成されているため、複数の噴火によってある程度の時間をかけて形成されたものと考えられる。最上位のZa-Ok-7は記録に残る御釜の最後の噴火である1894～1897年噴火に対応するものと考えられる。

### 4. 各テフラ層の規模

等層厚線図を用いて各テフラ層の体積を推定したところ、Za-Ok 7以外については、およそ $10^6 \sim 10^7 \text{m}^3$ の値が得られた。Za-Ok 7については $10^5 \text{m}^3$ の値が得られた。

- (8) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
伴雅雄，及川輝樹，山崎誠子，2015，蔵王火山地質図．火山地質図，no. 18，産業技術総合研究所地質調査総合センター．

伴雅雄，及川輝樹，山崎誠子，西勇樹，2015，活性化する蔵王山．月刊地理，60，50-59．

Shuto, K., Nohara-Imanaka, R., Sato, M., Takahashi, T., Takazawa, E., Kawabata, H., Takanashi, K., Ban, M., Watanabe, N., Fujibayashi, N., 2015, Across-arc variations in geochemistry of Oligocene to Quaternary basalts from the NE Japan arc: Constraints on source composition, mantle melting and slab input composition. *Journal of Petrology*, 56, 2257-2294.

Takebe, Y. and Ban, M., 2015, Evolution of magma feeding system in Kumanodake agglutinate activity, Zao volcano, northeastern Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 304, 62-74.

- (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：

電話：

e-mail：

URL：

- (11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：伴 雅雄

所属：山形大学理学部

( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

沿岸潟湖の発達史から見た北海道太平洋岸における巨大津波履歴の再検討

( 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 ) 平成 27 年度の計画の概要：

十勝地方の太平洋沿岸域には, 砂州によって外海から閉塞された 5 つの潟湖(せきこ)が存在し, 大規模な津波が来襲した際に, 砂州の破壊や湖への土砂流入が起きていたと推測される。これらの痕跡は, 砂州の堆積構造や湖底堆積物に残されている可能性が高い。本研究は, 現世砂州の掘削調査を実施して発達史を調べ, さらに現在の湖の水循環・物質循環との関係を考察することにより, 古津波の痕跡の新しい調査法を検討した。

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

潟湖の砂州上掘削は, 平成 27 年 6 月 27 日～30 日に生花苗沼の砂州上で移動式掘削機エコプローブ(株)東亜利根ボーリング製, 無水式土壌・地下水調査機)を用いて実施した。掘削中には, 掘削孔にスラグ棒を挿入し現地透水試験も行った。結果として, 砂州上 2 地点で 10 m 長, 14 m 長の砂質コアが採取され, 採取コアに対して層相解析, 粒度分析, 透水試験,  $C^{14}$  年代決定を実施した。このうち砂州中央で採取された 14 m 長コアでは, 7.2～7.4 m 深に逆級化層をもつレキ質の津波堆積物(透水係数 21 cm/s)が見出された。この深さは生花苗沼の湖底レベルと一致し, 沼の水収支から予測された外海への被圧地下水流出の通路と考えられる。なお, この津波堆積物の  $C^{14}$  年代は約 4300 年 BP であり, 七山ほか(2001)による Ts11 層に対応する。また, 10.3～10.8 m 深にはシルト質砂が見出され, この  $C^{14}$  年代は 7010 年 BP であった。このことから, この時期は内湾状態で潟湖はなく, 海水準がさらに低いか, または陸域の降水量が相対的に大きい時代であったと推測される。現在は, 北海道における海水準と降水量の編年を考慮しながら, 津波襲来と砂州の発達過程との関係について, より詳細な検討を行っている。

( 8 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので, 平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

- 1) Chikita, K. A., H. Uyehara, A. A. Mamun, F. De Pascalis, G. Umgiesser, W. Iwasaka, M. M. Hossain, and Y. Sakata, 2015, Water and heat budgets in a coastal lagoon controlled by groundwater outflow to the ocean, *Limnology*, 16, 149-157.
- 2) 前田紳吾・知北和久・西村裕一・阪田義隆, 2015, 沿岸潟湖の水循環に与える津波堆積物の役割, 日本陸水学会第 80 回函館大会講演予稿集, p.95.
- 3) 前田紳吾・

知北和久・西村裕一・阪田義隆，2015, 堆積コアから読み取る十勝海岸潟湖の変遷史と津波堆積物層の役割，陸水物理研究会報，37, 4-5.

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

知北和久 北海道大学 准教授

西村裕一 北海道大学 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：大学院理学研究院

電話：011-706-2764

e-mail：chikita@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL：

( 11 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：知北（ちきた） 和久（かずひさ）

所属：北海道大学大学院理学研究院

( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

サンゴからなる津波石の骨格調査に基づく南西諸島周辺の津波履歴の解明

( 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

(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 ) 平成 27 年度の計画の概要：

本研究では, 研究代表者ら 2 名が鹿児島県喜界島へ行き, サンゴからなる津波石の分布と侵食の特徴を把握する. 骨格の掘削調査に適しているサンゴを数個体選び, 簡易掘削の許可を得て予備調査を実施する. なお, 風化の程度を確認する目的で, 年代測定用の試料を採取する. 持ち持ち帰ったサンゴ骨格の柱状試料は, まず厚さ 5 mm の薄片に整形し, 軟エックス線画像を撮影し骨格構造を確認してから, 密度バンド(年輪)に沿って化学分析用の粉末試料を採取し, 炭酸カルシウム中に含まれる酸素同位体比, 炭素同位体比, 微量元素を予察的に分析する.

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

本研究課題の初年度であった本年度は, 地震や津波に伴う変化を検出する精度の向上と方法の確立を目指し, さらに応用性を検討するため, 鹿児島県喜界島に存在する津波石(化石サンゴ)及び長寿現生サンゴ試料を対象にして調査を進めた. 喜界島に打ち上げられたサンゴからなる津波石の可能生のあるものが確認され, また, 1911 年のチリ沖地震を含む 100 年を越えて生存している塊状サンゴを発見しそれらの予備的試料を得て, 現在, 地球化学的な解析を行っている.

( 8 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので, 平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Saori Ito, Tsuyoshi Watanabe, Atsuko Yamazaki, Teddy Eka Putra, Yuichi Nishimura (2015), Reconstruction of Sumatra earthquakes using skeletal growth rate and stable isotopes in Porites corals from Simeulue Island, Oral Presentation, 2015. 8.23, International Coral Reef Science Symposium, Kagoshima, Japan  
西村 裕一 (2015), 喜界島に刻まれる津波の痕跡, 第二回 サンゴ礁科学セミナー, 鹿児島, 喜界町役場コミュニティホール, 2015 年 4 月 18 日

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

渡辺 剛 北海道大学 講師

西村裕一 北海道大学 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：北海道大学大学院理学研究院

電話：011-706-4637

e-mail：nabe@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL：https://www.sci.hokudai.ac.jp/grp/crees/CREES-web/

( 11 ) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：渡邊 剛

所属：北海道大学大学院理学研究院

( 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

( 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 27 年度の計画の概要：

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

本研究では、まず輻射伝達理論に基づく Multiple Lapse Time Window 法を用いて、九州地方の地殻における散乱減衰と内部減衰とを定量的に分離推定した。その結果、散乱減衰および内部減衰は強い水平不均質を示し、特に火山体周辺で散乱減衰および内部減衰が大きいことが明らかになった。

次に、上記で推定した散乱減衰および内部減衰の不均質構造を使用して、モンテカルロシミュレーションによる地震動エネルギーの伝播の予測を行った。既存の地震データに適用した結果、予測される地震動エネルギーは、均質な散乱減衰および内部減衰を仮定した時よりも実際の地震動エネルギーをよりよく再現することが確かめられ、概ね当初の計画通りの成果が得られた。今後は、リアルタイムでのシミュレーションが行えるよう手法の改良を試みる。

( 8 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Hoshiya, M. and S. Aoki, 2015, Numerical Shake Prediction for Earthquake Early Warning: Data Assimilation, Real-Time Shake Mapping, and Simulation of Wave Propagation, Bull. Seism. Soc. of Am, 105, 1324-1338, doi:10.1785/0120140280

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

志藤あずさ 京都大学 研究機関研究員

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 :  
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 : 志藤 あずさ  
所属 : 京都大学・大学院理学研究科



( 1 ) 実施機関名：

公募研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

岩手県沿岸で発生した地震・津波に関連する歴史情報の収集

( 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 27 年度の計画の概要：

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

本年度は、昨年度の調査で撮影した遠野市博物館所蔵・山奈宗真文書の解読・分析作業および、釜石市唐丹町における災害資料の所在・状況調査を実施した。

山奈宗真文書のうち、従来解読されていなかった「古文書拾集録」の解読を進めた結果、「北九戸郡役所書類抜書」が存在し、明治 25 年(1892)に帝国大学理科大学の調査に対して提出された書類が含まれていることが判明した。さらに、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報告」を調査したところ、山奈本に筆写された史料が当時帝国大学理科大学による歴史津波・地形変化に関する調査報告書として作成されながらも、地震研所蔵本には収録されていない部分である事が判明した。同史料には、安政 3 年(1856)八戸沖地震津波に関する情報が記されており、山奈本・地震研本のふたつの情報を合わせることで、山田町以北の岩手県沿岸の情報を得る事ができる。

釜石市唐丹町の所在・状況確認調査では、旧唐丹村の公文書類の存在を確認した。同史料群は昭和前期、唐丹村が釜石市に合併するまでの史料群であり、特に昭和 8 年(1933)昭和三陸地震津波の際の被災者救助や復旧・復興に関わる財務書類が多数含まれている。今後、これらの史料を整理し、解読・分析を進めることで、昭和三陸地震津波における唐丹村の対応について詳細な部分まで解明できることが期待される。

( 8 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 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 人間・社会対応研究部門 歴史資料保存研究分野  
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

電話：022-752-2146

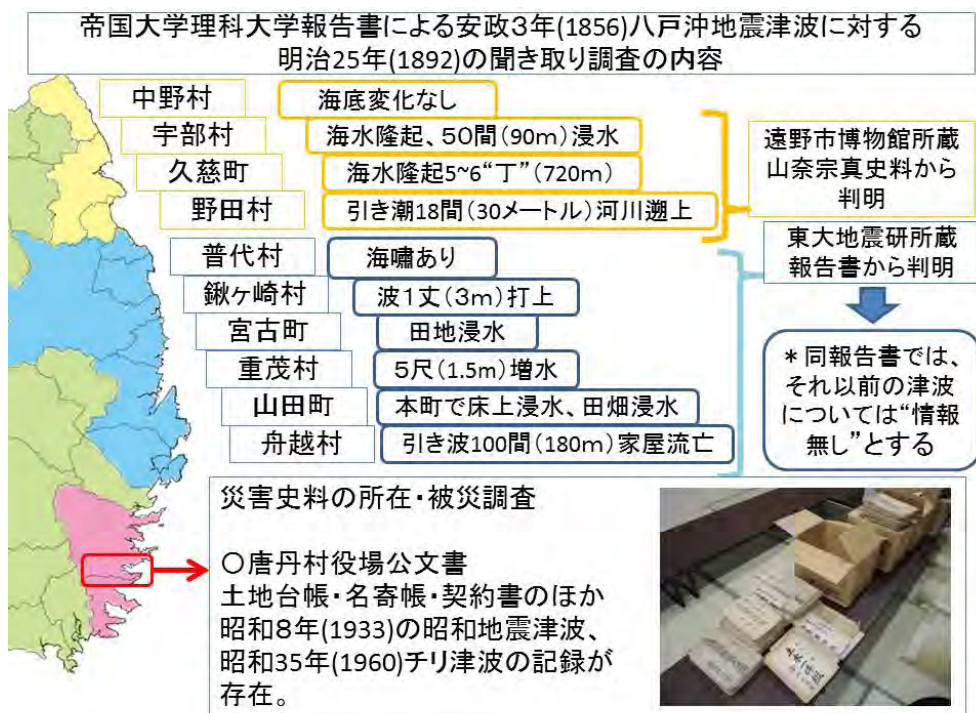
e-mail : ebin@irides.tohoku.ac.jp

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 歴史資料保存研究分野



平成 27 年度の実施調査

( 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

( 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 27 年度の計画の概要：

本研究では、以下の 2 点を具体的な目標とする。

(1) IT 弱者でも無理なく利用できる IT 翻刻の方法の開発

(2) SMART-GS への地図情報の統合

(1) を実現するためには、IT 弱者に「敷居」を意識させないような入力ツールを容易する必要がある。そのために、市民向け古文書解読講座などにおける紙媒体に、できるだけ近いツールからはじめ、徐々に現在既に実用的になっている手書き漢字入力につなげていくという方策をとる。紙媒体に近いツールとは、タブレットとペンで入力するもので、スマートフォンの手書きメモと同じ仕組みのものである。これに慣れたら、IME パッドのような、手書き入力によるコード文字入力に移行する。自分で手書き入力したものに対してソフトが提示する適当な候補のなかから文字を選択するのである。

(2) については、SMART-GS (<https://osdn.jp/projects/smart-gs/>) 上で、史料の記述と地図上の位置を関連づける機能であるが、史料に登場する地名が現在は失われている場合がある。GIS 技術を活用し、単に現在の地図の上に位置情報を表示するだけでなく、古地図( 絵図 ) や比較的地名や地形を保存している明治時代の地図等を重ねて表示し、それぞれ関連づける機能を開発する。

これらのツールは、林研究室の大学院生、橋本雄太が作成している mini SMART-GS などブラウザ上で WEB サービスとして利用可能な JavaScript ツール、京都大学防災研究所で公開している CMS ベースの古文書翻刻公開システム、GoogleEarth 等の GIS 技術、および SMART-GS などのコードを利用して構築する。汎用性を考慮して、すべて JavaScript で開発を行う予定である。開発は橋本が担当する。

以上で説明したシステムは、技術的には既存技術の組み合わせであり、「やればできる」ものである。本研究のポイントは個別技術の開発ではなく、既存の技術を組み合わせ、いかに IT 弱者であっても使ってもらえるサービス、ツールを組み立てるか、ということである。そのため、これらの開発に際しては、常に想定される使用者に実際に使ってもらい、その意見を開発にその都度反映させることとする。加納・中西が京都大学およびその周辺において古地震史料を題材に古文書解読講座をひらき、試用の活動とする。

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

SMART-GS を古地震史料の解読に使用するための改良をおこなった。具体的な機能としては、翻刻のための各画像の右上端を開始地点とすること、行切り出し機能の縦書き文書への対応の改善、縦書きエディタの導入、などである。合わせて、タブレットでの使用に向けた改良を実施した。タッチやスワイプなど、タブレットに独特のユーザーインターフェイスを活用方法について検討した。

古地震研究に関するポータルサイトの構築をおこなった。ここでは、古地震研究の研究成果はもちろんのこと、解読作業や研究会の実際の様子をなるべくわかりやすく伝えることを目指した。そのため、インターネット上にあるツールや既存のデータベースへのリンクのほか、「古地震史料解読の七つ道具」などのコンテンツを作成した。このポータルサイトは、全国各地に眠る新史料の発見にもつながるものである。

( 8 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :  
橋本雄太・加納靖之・大邑潤三, 2015, Text Encoding Initiative ガイドラインに基づく古地震史料のマークアップ, 第 32 回歴史地震研究会( 京丹後大会 ) 講演予稿集, P-13.

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :  
他機関との共同研究の有無 : 無

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名 :  
電話 :  
e-mail :  
URL :

( 11 ) この研究課題( または観測項目 ) の連絡担当者  
氏名 : 林 晋  
所属 : 京都大学大学院文学研究科

( 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：

地震時土砂災害および社会的影響の発生機構と減災に関する研究

( 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

(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 27 年度の計画の概要：

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

( 8 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 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：

福岡 浩(代表者) 新潟大学 教授

田村圭子 新潟大学 教授

渡部直喜 新潟大学 准教授

王 純祥 新潟大学 特任准教授

丸井英明 新潟大学 特任教授

酒井直樹 防災科学技術研究所 主任研究員

岩橋純子 国土地理院 主任研究官

林 春男 京都大学防災研究所 教授

古村孝志 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：福岡 浩

所属：新潟大学 災害・復興科学研究所

( 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：

残存性能モニタリングと広域余震ハザードに基づく被災建物健全性の時間変化予測

( 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

(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 27 年度の計画の概要：

平成 26 年度に実施した A) 建物の残存性能の定量化 ( B ) 巨大地震後の短期的な余震ハザード評価、( C ) 建物健全性の時間変動予測と意思決定、の 3 課題に引き続き取り組むとともに、被災想定地域での災害時のロジスティクスへの活用をシミュレーションする。具体的には、下記の 3 課題に取り組む。建物の残存性能を反映した損傷確率曲線：被災想定地域の防災拠点となる重要施設、一般的な集合住宅やオフィスビルなどを対象に、平成 26 年度に実施した振動台実験など過去の実験結果を参照して、部材レベルで劣化を考慮した解析モデルを構築する。解析モデルを用いて事前に用意した性能曲線と、本震時のセンシング情報を組み合わせ、損傷確率曲線を簡易に更新する手法を提案する。

継続利用判定指標の提案と実証試験：災害時のリスクコミュニケーションを念頭に、継続利用の判定に資する指標を提案する。具体的には、平成 26 年度に検討した建物の損傷確率曲線と確率的余震ハザード解析に基づく信頼性指標について、社会実装において適切なフォーマットを検討する。縮小鋼構造骨組(防災研所有)を用いた振動台試験を再度実施し、巨大地震およびその後の余震動入力時の健全性指標の有効性について検証する。

数値解析テストベットを活用した災害時シミュレーション：被災想定地域の建物群を部分的にモデル化した数値解析テストベットを構築し、被災建物の継続利用判定システムの社会実装に向けた課題や改善点を洗い出す。災害時対応の向上に資する利用法について整理し、提案する枠組みの有効性や適用範囲について検討する。

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

被災建物の残存性能と広域余震観測に基づく確率論的地震ハザード解析により、地震後の建物健全性の時間変動を短期的に予測し、事業再開までの意思決定を支援する情報を提供する手法を構築した。図 1 に提案する枠組みのフローを示す。社会実装において適切なフォーマットとして、地震前に事前に建物継続使用性の判定指標を準備しておき、本震後にモニタリングの情報から速やかに意思決定を支援する枠組みを構築した。事前検討では、まず建物の数値解析モデルから建物の損傷確率曲線を算出する。次に地震の想定をもとに余震ハザードを作成し、損傷確率曲線と組み合わせることで損傷確率を算出した。図 2 は様々な損傷状態について、本震後 30 日間の余震に対する損傷確率を計算したものである。図の縦軸は損傷確率、水平軸は構造物の剛性と耐力の低下度を示す。本震直後にモニタリ

ング情報をもとに同定した余震による損傷確率は、事業が再度中断するリスクを示しており、事業再開にかかるコストと合わせることで意思決定の迅速化につながる。

建物の損傷状態は、この静的解析結果とモニタリングから得られる頂部変形応答を利用して推定する。図3にその手法を示すが、耐力については最大頂部変形応答に対応する低下度を同定し、剛性の低下度は建物の固有振動数を損傷前後で比較して同定する。このとき頂部変形応答に関しては、床加速度応答を2回積分して最大頂部変形を求めるが、計測ノイズを適切に除去する必要がある。最大頂部変形の推定精度を上げる手法について、平成26年度の実験結果に加えて本年度に実施したブレース付縮小鋼骨組の振動台実験の結果に対して検討した。具体的には、ローパスフィルターに加えて、ウェーブレット変換やスプラインフィルターを利用する方法を試みたが、それぞれに利点があり、最適な方法について今後検討を継続する。

数値解析テストベツトを構築し、被災建物の継続利用判定システムの社会実装に向けた課題や改善点を洗い出した。余震リスクは本震後、時間が経過するにつれて減少する。一方で、余震に伴い建物の損傷が進行した場合には、その時点での余震リスクは増加する可能性もある。災害時のリスクコミュニケーションを念頭に、定性的ではあるが検討を進めた結果、このような損傷がモニタリングにより同定された場合には、図4のように随時リスクを再計算することも考えられるとの結論を得た。

- (8) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
新本翔太、倉田真宏、鈴木明子、李小華：余震リスク評価に基づく被災建物継続使用の迅速な意思決定支援，地域安全学会論文集 No.27, 2015.11 (謝辞記載)

倉田真宏・新本翔太・鈴木明子・山田真澄・楠浩一・宮本匠：残存性能モニタリングと広域余震ハザードに基づく被災建物健全性の時間変化予測，京都大学防災研究所年次発表大会梗概，2016.2. (謝辞記載)

Kurata M., Suzuki, A., Li, X., Nishino, H. “ Residual Performance Assessment of Steel Frames through Ambient Strain-Based Model Update: Application to Collapse Test of Steel Frame using Shake Table ”, Proc. Eng. Mech. Inst. Conf., June 16-19, 2015.

- (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  
宮本匠 京都大学防災研究所 特定研究員  
浅井健彦 京都大学防災研究所 JSPS 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：

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：倉田 真宏

所属：京都大学防災研究所

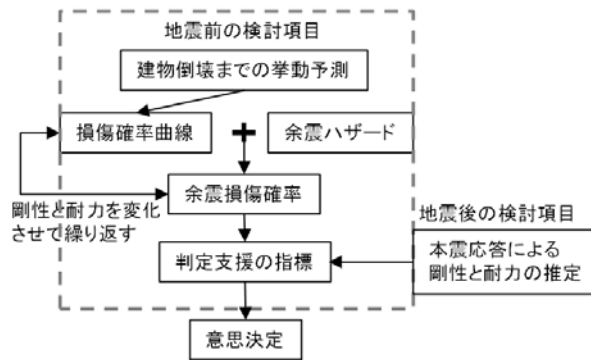


図1 意思決定手法案のフロー

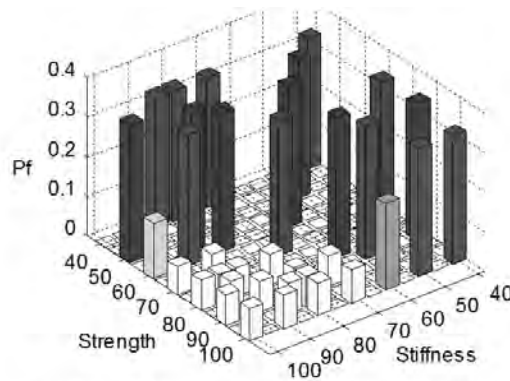


図2 建物継続使用の判定支援の指標

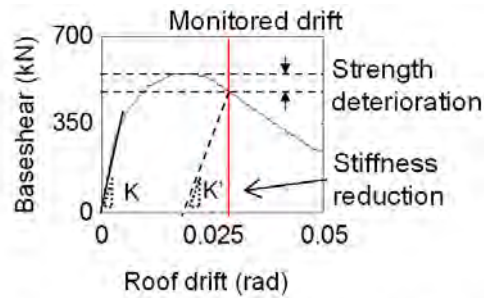


図3 静的増分解析結果と損傷状態の関係

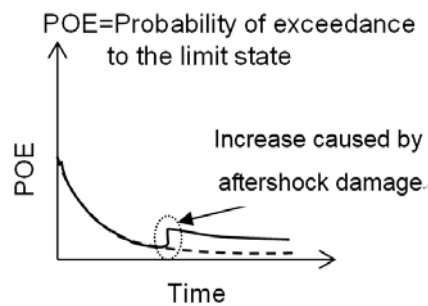


図4 判定指標の推移



( 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：

地震動の空間変動特性評価のための表層地盤の不均質構造のモデル化に関する研究

( 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

(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：

( 6 ) 平成 27 年度の計画の概要：

平成 26 年度には、地表付近で断層変位が認められる東京都立川断層において微動観測、表面波探査、地震探査を実施し、地盤モデル構築のためのデータを取得した。さらに、高密度の地震観測を実施し、地震記録も得た。

平成 27 年度は、昨年度取得した観測データを用いて表層地盤の 2 次元不均質モデルを作成する。得られた地盤観測データを研究参加者が共有し、各自が実績を有する方法でデータの分析を実施し、表層地盤モデルを推定する。それらの結果を相互に比較し、それぞれの調査手法から得られる不均質構造モデルの特徴を明らかにする。必要に応じて、追加の現地観測を実施する予定である。

つぎに、構築した 2 次元地盤モデルを用いて、短周期地震動のシミュレーションを実施し、各モデルを用いて計算される地震動の空間変動特性の差異を評価する。入射波動場や周波数に対する空間変動特性の依存性についても検討する。さらに、初年度に取得した地震記録の分析を行い、地盤モデルで観測される地震記録の特徴がどの程度説明できるかの比較検討を行う。これらの結果から、地震動の空間変動特性の評価のための表層地盤のモデル化に各手法がどの程度有効であるかを検討し、表層地盤での地震動増幅特性に係る各手法の長所と適用限界を明らかにする。

以上の 2 年間の成果を統括し、地震動の空間変動特性評価のための表層地盤構造のモデル化に有効な方法を提案する。

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

昨年度、断層変位が地表付近にあると考えられている東京都西部の立川断層周辺における表層地盤の微動探査、表面波探査および地震観測を実施した。本年度は、昨年度取得したデータの分析を実施し、表層地盤の不均質性が地震動に及ぼす影響について議論した。また、表層地盤での増幅効果に及ぼす表層地盤の影響に関する検討例を増やすために、追加観測として茨城県日立市で微動探査、表面波探査、地震観測を実施した。対象地点は、K-NET 日立観測点であり、東北地方太平洋沖地震で大加速度が観測されている。同観測点での大加速度の成因の耐震工学上の重要性も考慮して追加観測を実施することにした。このデータは現在分析中であり、ここでは、立川断層周辺での検討結果について報告する。

図 1 には、立川断層を横切る測線で実施された微動探査によるレイリー波の位相速度が示されている。位相速度は、測線に沿って 50m 置きに展開した 1 辺 16m のアレイによる上下成分の SPAC 法に

より算出されたものである。断層が存在すると考えられている位置で位相速度に大きな変化があり、地盤構造の急変を示している。とくに、西側で位相速度がより低周波数で小さな値となり、低速度の表層の厚さが変化していると考えられる。図1には、同時に観測された微動の水平上下スペクトル比(H/V)の空間的变化を示している。位相速度が急変する部分で、H/Vも変化しており、速度コントラストの変化を示している。微動探査から得られたS波速度構造の例を示している。同じ測線での表面波探査の結果によるモデルも示されている。さらに、図には、モデル推定のもとになった位相速度も比較されている。両モデルとも断層の西側(E12)では、東側(E19)に比べて位相速度は小さくなり、結果として表層のS波速度が小さくなっている。2つの探査による地盤モデルを比較すると、断層の西側(E12)と東側(E19)では、比較的似た位相速度であり、地盤モデルも類似している。しかし、断層近傍(E15)では、地盤モデルや位相速度の差が大きい。微動探査では1辺16mの三角形アレイ、表面波探査では長さ23mの直線アレイが用いられている。位相速度推定に用いた観測点の配置が地下構造急変地域では位相速度の推定結果に大きな影響を及ぼしていると考えられる。なお、これらの探査データの分析は、独立して行われており、今後、統合した解釈を行い、データの再解析なども必要である。

地震観測では、図1の微動探査と表面波探査の測線の約600mの間の30地点に強震計を設置して約1ヵ月間行われた。断層近傍で観測された加速度記録の例(茨城県南西部の地震、深さ45km、M4.0)は、図3に示すとおりである。断層の東側(E16-20)に比べ、西側(E14-E09)では高周波数成分が卓越し、後続位相も複雑になっていることがわかる。測線沿いの観測点での最大加速度の分布も図には示されており、断層のやや西側の位置で最大値が局所的に大きくなっていることがわかる。断層から十分に離れると、両側での最大値は同程度になっており、断層近傍で地震動が増幅していることがわかる。こうした地震記録の特徴を理解するために、微動探査で得られた地盤モデルを用いて地震波の伝播の2次元計算を実施した。ここでは、地震波の伝播特性の理解のために、図4のように単純化したモデルを用い、鉛直入射のSH波動場を計算した。図4には、計算モデルと地表面での地震動の計算結果が示されている。断層での表層の不均質部分で表面波が生じており、西側では、表層のS波速度が小さいので、後続位相がより顕著になっている。図4には、最大値の分布も示されているが、観測結果ほど断層近傍で大きくなっていない。図2に示すように、微動探査によるモデルでは、深さ1-2mのごく表層の低速度層が存在しておらず、その影響が2次元モデルには含まれていないために、最大値分布が再現されていないと考えられる。微動探査では、表面波探査に比べると、高周波数での位相速度が用いられていない。このことは、微動探査によるごく表層部分の低速度層のモデル化の難しさを意味している。地震動の増幅特性の最大値は、地表と工学的基盤のS波の速度コントラストに依存するので、地盤モデルにおける地表部の低速度層の有無は、増幅倍率の最大値に影響を及ぼす結果になると考えられる。一方、表面波探査では、E19での位相速度の比較のように、低周波数の位相速度が得られていないので、より深い部分に対する分解能が低くなっていると考えられる。したがって、微動探査と表面波探査のデータを統合して、ごく表層から工学的基盤までの表層地盤のモデルを作成することが重要であると考えられる。

- (8)平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):津野靖士、佐口浩一郎、地元孝輔、佐藤浩章、松島信一、重藤迪子、高井伸雄、神野達夫、山中浩明、川瀬博;立川断層近傍における短周期地震動の空間変動特性、地球惑星関連合同大会講演予稿集S-SS25-P16、2015年5月。
- 清田和宏、地元孝輔、佐口浩一郎、津野靖士、山中浩明;立川断層近傍における表層地盤S波速度構造の空間変動評価の稠密微動探査、第132回学術講演会講演論文集、pp.141-143、2015年5月。
- Seiji Tsuno, Kosuke Chimoto, Koichiro Saguchi, Hiroaki Sato, Shinichi Matsushima, Michiko Shige-fuji, Nobuo Takai, Tatsuo Kanno, Hiroaki Yamanaka, and Hiroshi Kawase; Detailed spatial variation of short-period earthquake ground motion in the vicinity of Tachikawa-Fault, Proceedings of 12th SEGJ International Symposium -Geophysical Imaging and Interpretation-, Paper P6, Tokyo, Nov.、

2015.

Kazuhiro Seita、Kosuke Chimoto、Koichiro Saguchi、Seiji Tsuno、Hiroaki Yamanaka; Application of microtremor exploration to shallow dipping layers under the assumption of horizontally stratified structure、Proceedings of 12th SEGJ International Symposium -Geophysical Imaging and Interpretation-、Paper S2-1、Tokyo、Nov.、2015.

( 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  
松島信一 京都大学 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 主任研究員  
津野靖士 鉄道技術総合研究所 主任研究員  
川瀬 博 京都大学防災研究所 教授  
瀧澤 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 :

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 : 山中 浩明

所属 : 東京工業大学・大学院総合理工学研究科

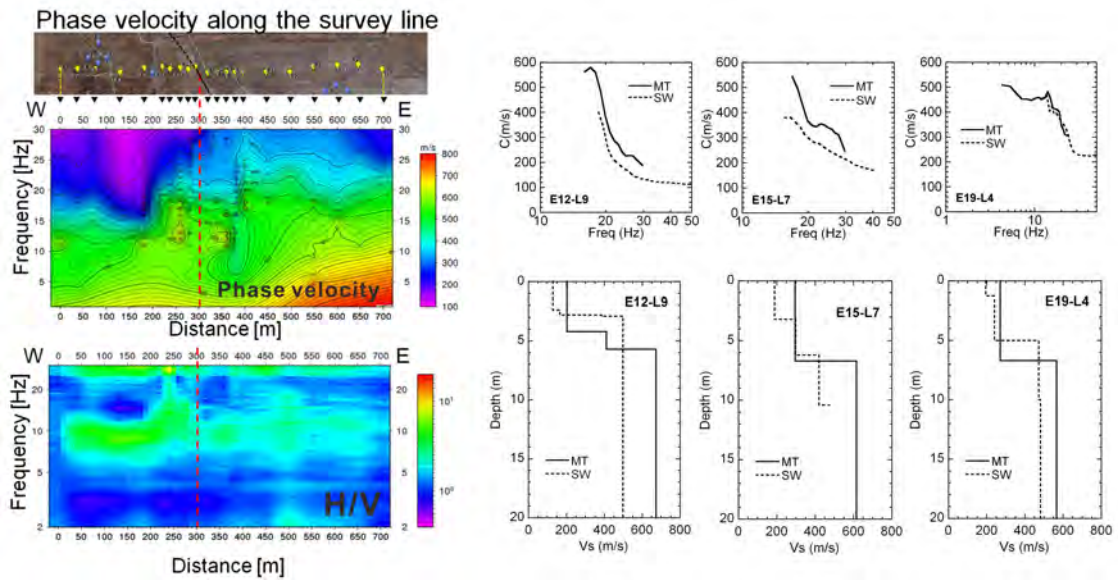


図1 (左): 微動観測によるレイリー波の位相速度 (上) と H/V (下) の空間分布  
 図2 (右): 微動探査と表面波探査による位相速度 (上) と S 波速度構造 (下) の比較

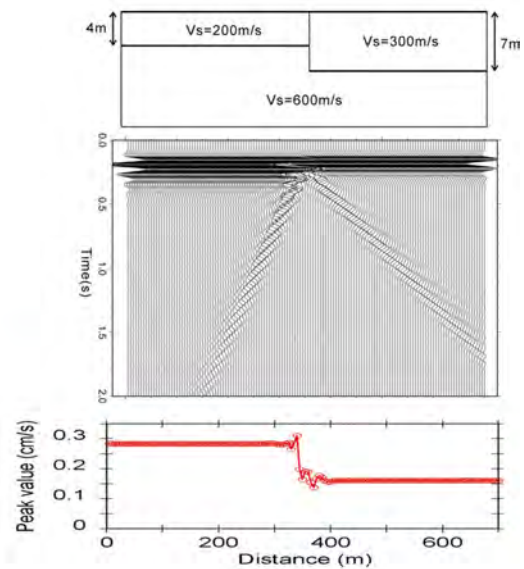
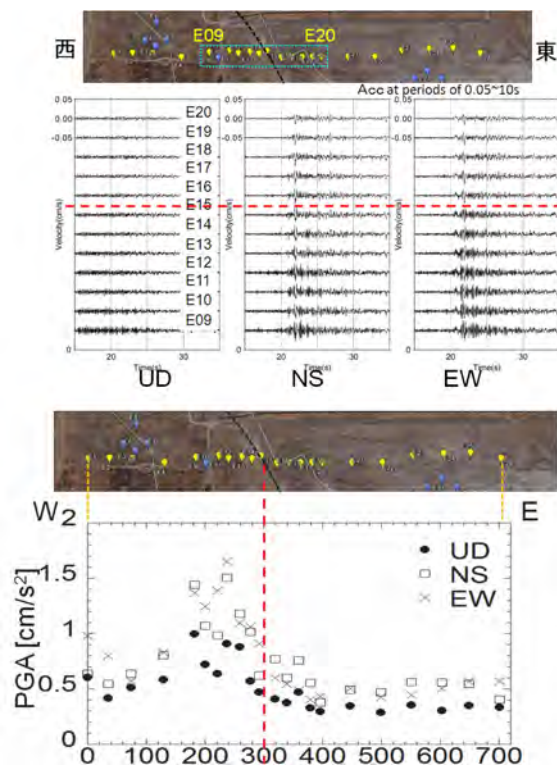


図3 (左): 地震観測記録の例 (上) と加速度最大値の分布 (下)  
 図4 (右): 微動探査の地盤モデル (上) に S 波の増幅特性 (中) と最大値分布 (下)

( 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：

画像データによる降灰情報収集システムの開発

( 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：

( 5 ) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

( 6 ) 平成 27 年度の計画の概要：

降下火山灰をシートの上で受けて、その重量を測り、画像解析を行ってその関係を探ることが、画像データによる降灰情報収集システムの開発の技術的な面での開発になるが、今年度は天然のサンプルを実験室内で人工的に降らせ、粒度とシート状の堆積重量の間にどのような関係があるかを調べた。

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

1. はじめに

爆発的な噴火が起こると火砕物が放出され、特に細かい粒子はさまざまな災害を引き起こす。災害の軽減には火山灰の分布等の情報を迅速に得て、行動計画等を再考することが大切である。火山灰による影響範囲の予測には数値シミュレーションを行うが、その際に使用する数値モデルは実際の噴火データを用いた検証が必要であり、広範囲における堆積粒子の質量や粒度分布を多くの点で収集することが重要である。従来、噴火時に火山灰の厚さや粒度の分布データを取得するには研究者が火山周辺で採取容器を設置してそれを回収し、実験室で篩っていた。この手法では時間と人員を要するため広範囲の調査が難しい。そこで本研究では、火山灰の画像データを解析し、噴出量や粒度分布を迅速に計算できるシステムの開発を目的とする。

本研究では実際の降灰事例として活発な活動を行う桜島の降灰の画像データと実験室においては人工的に降灰の状況を再現し取得した画像データを用いて、火山灰の単位面積当たりの質量や粒度と画像から得られる情報の関係を調べた。

2. 手法

桜島では、噴火発生後風下側に移動し、降灰中の場所にて採取シートを広げてその上に火山灰を採取した。採取シートに火山灰が堆積している状態を真上から写真撮影し、シートの上に堆積した火山灰をサンプル袋に入れて実験室に持ち帰った。実験室においてサンプルの乾燥重量を測定し、乾燥重量と画像から得られる情報の比較を行った。また、採取時にどのような素材のシートが画像採取の背景に向いているかを調べるため、複数の材質・色のシートを使用し、その写真を撮影した。

実験室内では、阿蘇火山の 2014 年噴火の火山灰および富士山の大室山スコリアを用いて、1) 重量ごと、2) 粒度ごとの降灰を人工的にシートの上に再現し、それらの写真を屋外にて撮影し、火山灰の重量や粒度と画像から得られる情報に相関があるかどうか調べた。このような人工的な堆積を再現する

際にはあらかじめ決められた火山灰の重量を測っておき、それを背景となるカットティングマットの上に降下させて画像を撮影した。

面積を図る際にはまず、写真画像の必要部分のみを抜き出し、背景の明るすぎる部分や影の部分を色域選択によって選び、周囲の背景色と調和させる。次にそれを二階調化して、白黒の画像にし、この画像から火山灰の占める面積の割合を調べた。

### 3. 結果と考察

屋外で取得したサンプルの単位堆積辺りの火山灰の重量（実測）と画像解析から求められたシート上の火山灰が占める面積の割合を表したグラフを図3に示す。採取シート上の火山灰の単位面積あたりの質量（Mass/Area）とシート上で火山灰が占める面積の割合（Percentage of Covered Area）の間には相関関係が見られた。図中には屋外での調査中に見つけられた赤色のポストの上に堆積した火山灰の画像とサンプルのポイントも加えた。これについては、過去に起こった噴火による火山灰を含んでいること、雨などを受けて塊状になった火山灰がポストに付着していたことなどから、他のサンプルによって導かれる相関から外れたことが考えられる。

採取シートの素材の違いについては、画用紙は、軽量なため持ち運びは楽ではあるものの、屋外におけるサンプル採取の際には風に飛ばされる、一度水に濡れてしまうと使えなくなるなどの不具合が生じた。一方、カットティングボードについては多少持ち運びの利便性は薄れるが、風に飛ばされることはほとんどないため、屋外でのサンプル採取と写真背景に用いるのに適していると思われる。

採取シートの色については、火山灰は細粒だと画像の中で明るく撮影されるため、細かい粒子には暗い色の背景が、二階調化の際に火山灰と背景を識別しやすいことが分かった。

人工的に火山灰を降下させて解析を行った場合には、ある重量を決めて降下させる実験と、とにかくシートの全面を覆うように火山灰を降下させてその重さをサイズごとに計測する実験の二種類を行った。

全面を覆うように火山灰をシート状に降下させて重量を計測した結果を図3に示す。このように、全面を覆う場合には、粒子の大きさが大きくなるにつれて重量が減る一定の関係が見られた。ここに挙げた火山灰の中では、噴火の違いによる重量の違いはほとんど見られず、粒子の大きさのみに依存しているように見える。図3のような粒度-重量のグラフにほぼ一本のラインに収束するような結果が得られることが予想される。今後様々な噴火の噴出物や様々なマグマの性質の火山灰を用いて実験を行えば、指標となるような、粒度-重量曲線が得られ、画像解析を行い、その画像が主にどのような粒度によって構成されているかが分かれば、その場に堆積した火山灰の単位堆積当りの重量が推測できると予想される。

ただし、この実験はなるべく、粒子をシート状に一層になるようにして火山灰を降下させた。実際に噴火が起きた場合には、一層だけでなく、粒子がシート状に何重にも重なることが考えられる。したがって、実験から求められるこのような曲線は、画像から推測される場合の重量の最小値になることを注意しなくてはならない。

全面を覆わず、部分的にシートを覆うように火山灰が降下する状態を再現するように実験を行った場合には重量および粒度別に解析を行った。しかし、図4に表すように、重さと画像上で火山灰が覆う面積割合の間には明らかな相関は見られなかった。

相関が見られなかった原因は主に人工的に火山灰を降下させたため、シート状の火山灰の分布が不均一であったためと考えられる（図5）。また、画像解析の際にも二値化する前に画像の必要のない部分の削除や、二値化のための閾値判断は人間の目で行った。よって、人間の主観がもたらすエラーも含まれてしまっていると考えられる。

火山灰が降ってくる状況を考えて、均一に火山灰をシート状に降下させるには粒子を降下させる高さや、空気の乱流が必要と考えられる。このような状況を実験室内で作り出すためには、天井の高い実験室内において、送風機等で火山灰を吹き上げ、降下する火山灰をシートに受けるような実験が必要だろう。

今回行った実験では、粒度ごとであれば火山灰の画像解析から火山灰の単位堆積あたりの重量を写

真画像から推測できる可能性が示唆された。ただし、実際の噴火においてはある地点で降下する火山灰のサイズは種類だけではなく、様々なサイズの混合物が堆積する。実際の噴火で得られる画像と実験から得られる指標（画像上の粒子の占める面積割合と単位堆積当りの重量）からそのためには写真を撮影した地点で得られるサンプルがどのような粒度分布を持つのかを知っておく必要がある。よって、各火山において火口からの距離に応じてどのような火山灰の粒度分布が過去に得られたかを調べ、データベースを作成しておき、それを用いておおよその粒度分布を推定し、推定粒度分布と画像から得られる火山灰の占める面積の割合から単位堆積あたりの重量を推測するのが実用的だろうと考えられる。

以上のようなことから次は、指標をより確実なものとするため、火山灰を実験室内で吹き上げて回収するような実験を行うこと、また実際に噴火が起こった際に画像から火山灰の単位堆積当りの重量を推測する際に用いる粒度分布のデータベースの整備を課題として研究を進めていきたい。

実際に噴火が起こった際には、研究者だけに限らず、一般の人に写真を撮影してもらって多くの情報を集めることが有用であると考えてこのような研究を開始した。しかし、一般の人に撮影してもらうには決められた背景で、同様の精度の写真を撮影してもらうための方法をあらかじめ伝えて置かなくてはならず、広範囲に情報を収集するためにはまだ多くの課題が残されている。

( 8 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 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 :

常松佳恵 山梨県富士山科学研究所 研究員  
吉本充宏 山梨県富士山科学研究所 主任研究員  
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 : 火山防災研究部

電話 : 0555-72-6211

e-mail :

URL : <http://www.mfri.pref.yamanashi.jp/>

( 11 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 常松 佳恵

所属 : 山梨県富士山科学研究所火山防災研究部

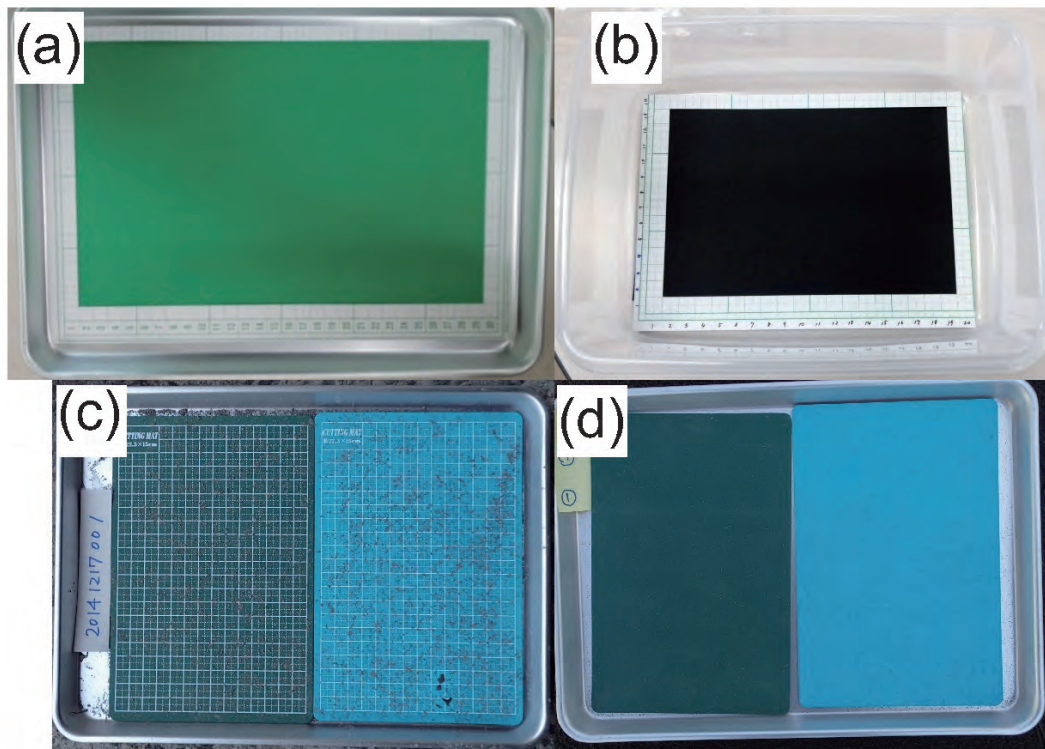


図 1：作成した採取シートの場合

- a) アルミトレーに緑色の画用紙、(b) プラスチックのタッパーウェアに黒色の画用紙、(c) アルミトレーにカッティングマット（表面を上）、(d) アルミトレーにカッティングマット（裏面を上）

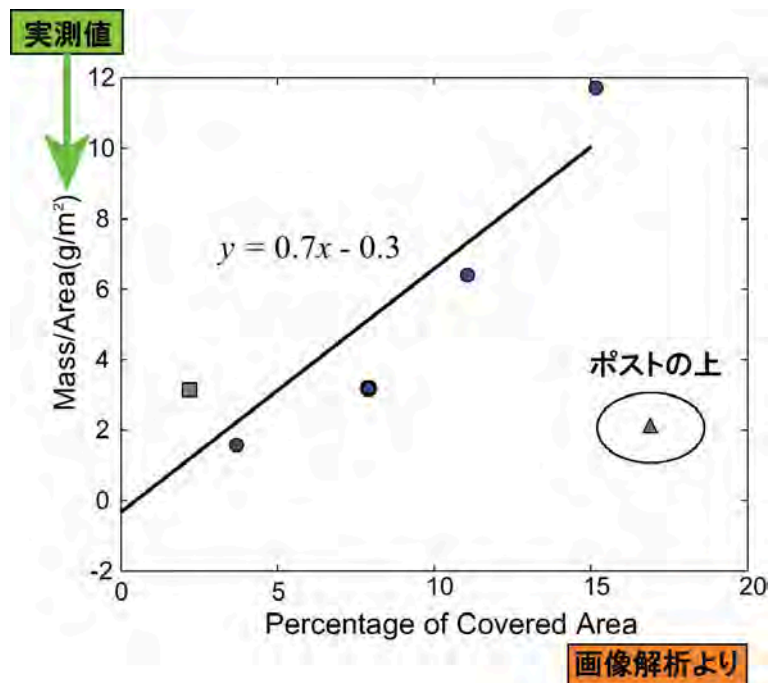


図 2：実測によって求められた Mass/Area(g/m<sup>2</sup>) と画像から求められた火山灰の占める面積の割合

青い丸は新鮮な火山灰をシート状に受けてその場で撮影したもの、シートをピンクの四角は一晩放置して翌朝画像を撮影しサンプルを回収したもの。ピンクの三角はポストの上に積もっていたものから解析を行い、火山灰を収集したもの。



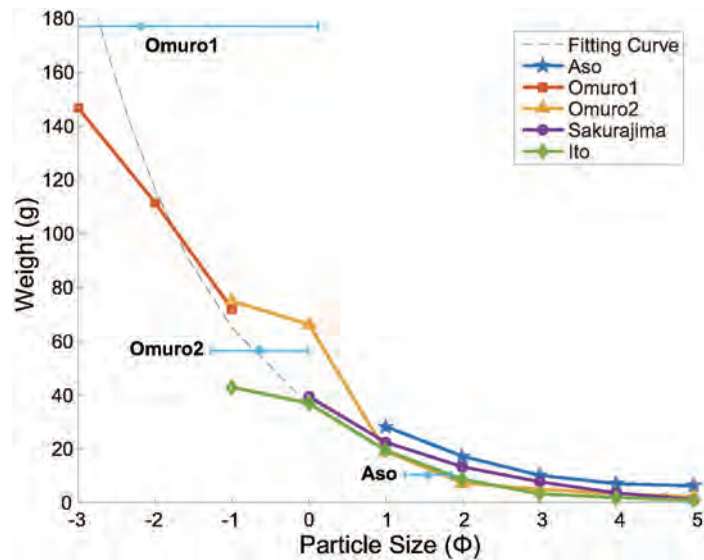


図3：シートの全面を覆うように火山灰を降下させた際の粒度ごとの重量

粒度は単位  $\Phi$  を用いて表され、 $\Phi$  は  $-\log_2 D$  ( $D$  は粒子の直径を mm で表したもの) で定義される。黒の点線はフィッティングした曲線。水色のアスタリスクで、横に幅を示してあるものは、粒度を分けてない天然のサンプルを用いた結果で、平均の粒度を用いてプロットしてある。ただし、粒度にはばらつきがあるため、そのばらつきを標準偏差の幅として横軸方向に表した。

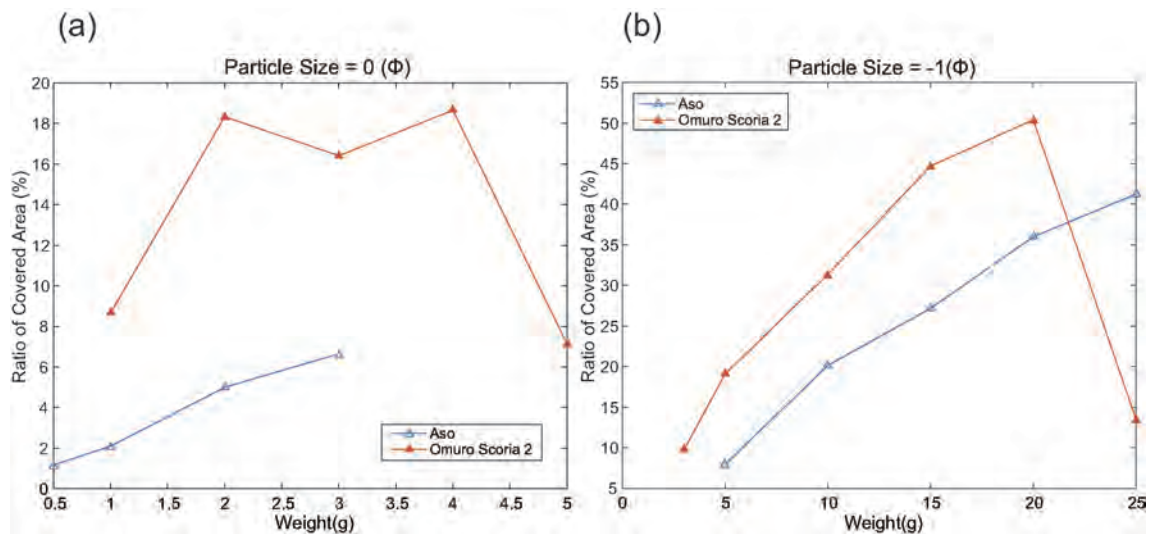


図4：粒度ごとにシート状に決まった重量を降下させてその写真を撮影し、画像上で火山灰の占める割合を求めた場合の火山灰の重量と画像上の面積割合の関係。

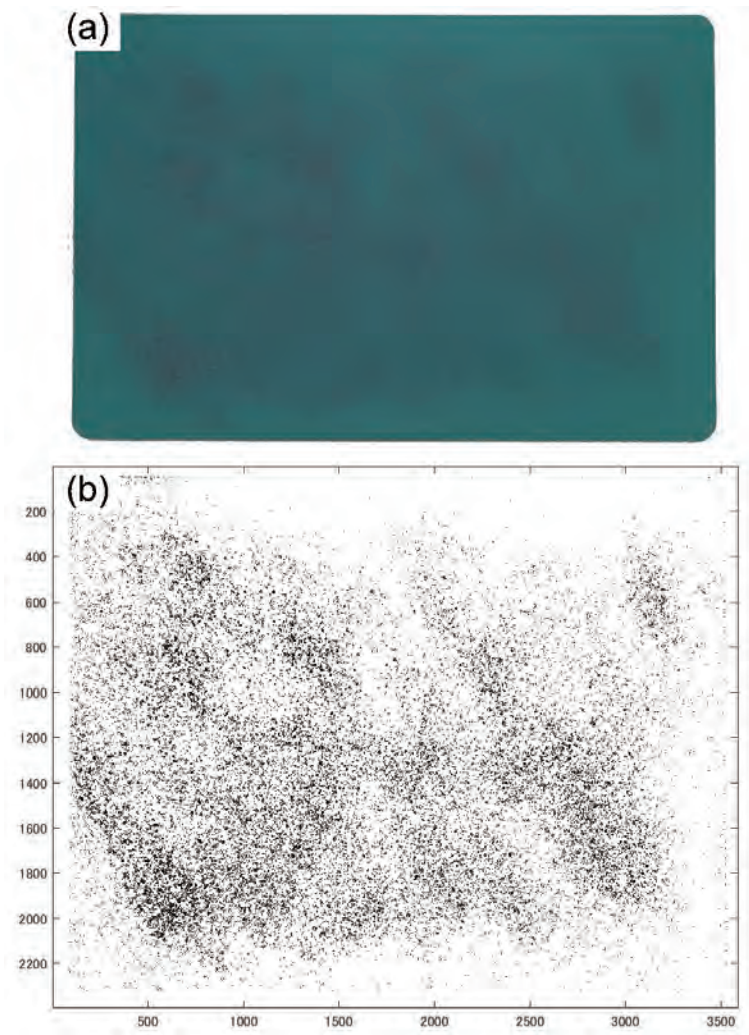


図 5: 人工的にシート状に火山灰を降下させた実験の結果得られた画像  
(a) 写真画像、および (b) それを二値化したもの。手で火山灰を巻いた模様が不均一性となって表れている。

( 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：

地域の生き残りを可能にする事前復興計画策定手法の開発 - 津波シミュレーションの利用と復興モニタリング -

( 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 27 年度の計画の概要：

1) 東日本大震災の復興計画策定における被害シミュレーションの使われ方

計画策定に不可欠には、正しく想定される被害を理解することが不可欠である。本来は幅のある被害想定結果について住民とインタラクティブに議論を行い、正しく被害想定を理解し、計画の前提となる被害について決定することが可能なしくみの検討を行う。事前復興計画策定時に利用可能な、インタラクティブな津波シミュレーションシステムの検討を行う。

2) 復興モニタリング

前年度に設置した東日本大震災の被災地での CCD カメラの観測を継続する。

3) 事前復興計画策定での検証

上記の成果を利用し、紀伊半島、四国等、南海トラフの巨大地震により甚大な被害を受ける可能性がある地域における事前復興計画策定のケーススタディーにおいて利用し、その効果の検証を行う。

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

1) 東日本大震災の復興計画策定における被害シミュレーションの使われ方

和歌山県由良町において 1502 通りの津波シミュレーション結果、ならびに過去の津波、内閣府が実施した津波シミュレーションを多重に表示可能なシステムを持って住民が「まちづくりのための津波浸水域」を自分たちで決定する試みを実施した。1502 通りの津波シミュレーションについて浸水エリアを度数で示した結果を用いて小グループで想定する津波浸水エリアについて議論決定し、最終的に全体投票で津波浸水エリアを決定するという流れで浸水域の検討を行った。投票の結果が大きな差が出なかったために最終決定には至らなかったが、住民主体で「まちづくりのための津波浸水域」を決定するということの可能性、課題についての抽出を行うことができた。

2) 復興モニタリング

前年度に設置した東日本大震災の被災地での CCD カメラの観測を継続するとともに、観測データを利用し、復興プロセスを分かりやすく示すことが可能な動画の作成をおこなった。作成した動画については事前復興計画策定の中で、復興プロセスの例示として示し、復興の流れについて理解するための教材として有用であることが明らかになった。

3) 事前復興計画策定での検証

和歌山県由良町での事前復興計画策定のケーススタディーを実施し、将来のまちづくり像と現実のギャップを埋める活動が事前復興であるという概念整理を行い、さらに事前計画策定のプロセスの検討を行った。計画策定の中で復興モニタリングの画像、インタラクティブな津波シミュレーションシステムを利用し、事前復興計画策定における本研究で開発したツールの有用性、改良点について検討を行った。

( 8 )平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :  
金幌淑、田中傑、牧紀男、岸川英樹、事前復興計画のあり方に関する基礎的な考察 - 第 1 回事前復興  
計画研究会を通して、地域安全学会梗概集、No.36、地域安全学会、pp.115-116、2015

( 9 )実施機関の参加者氏名または部署等名 :

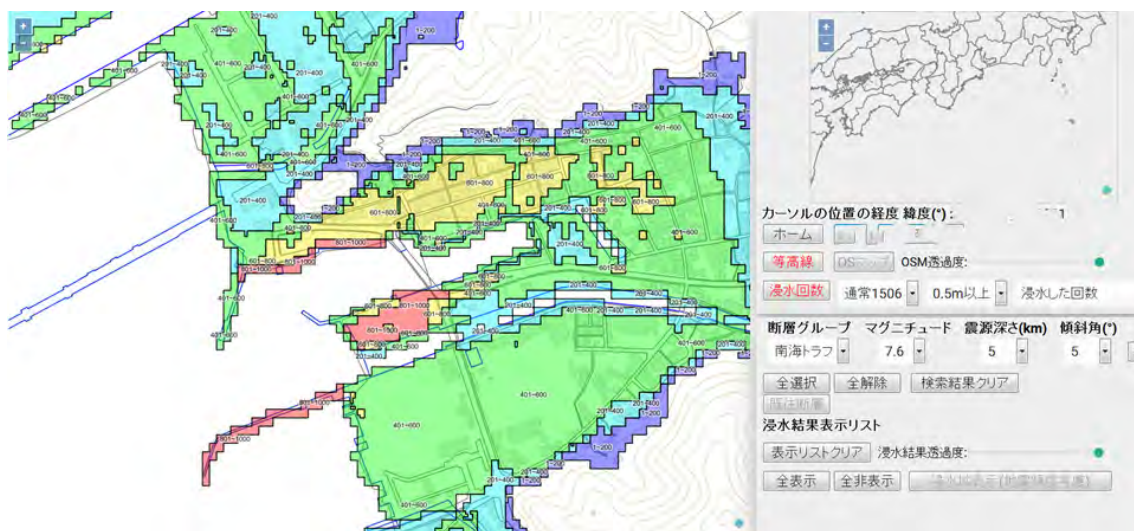
牧 紀男( 代表者 ) 京都大学防災研究所 教授  
松岡昌志 東京工業大学 准教授  
加藤孝明 東京大学生産技術研究所 准教授  
佐藤翔輔 東北大学災害科学国際研究所 助教  
他機関との共同研究の有無 : 無

( 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 : 京都大学防災研究所  
電話 : 0774-38-4285  
e-mail : maki.norio.8v@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 : 牧 紀男  
所属 : 京都大学防災研究所



interactive tsunami simulation



recovery monitoring

( 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：

先駆的研究者のオーラルヒストリーから探る地震・火山分野の人材育成モデル

( 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 27 年度の計画の概要：

昨年度に引き続き島津康男博士、津村建四朗博士へのインタビューを行う。初年度は生い立ちから始めて、時間的な流れにそってインタビューすることを心掛けたが、聞き取りが進んだ今年度は各研究者の重大な転機となったテーマについて時間をかけて掘り下げるインタビューを行う。特に、地球科学の特徴である「広い分野と関係する学際的側面」と「社会的な要請に研究動向が左右される」という2点を踏まえて、(1)教育カリキュラム改革が視野を拡大する可能性、(2)地震予知をはじめとした国家プロジェクト研究の影響という2つの点を重視する。具体的には、島津博士についてはシミュレーション研究から環境アセスメント研究へ研究の興味をシフトするプロセスを、津村博士については防災と密接なかかわりを持つ気象庁幹部職員への転職プロセスを重視する。

聞き取り側の実施体制については、多様な視点から証言を引き出す必要があるため、チーム構成員の専門分野、年齢構成が多様性をもつよう配慮した。本年度を最終年度とするため、並行して進める文献調査の結果も踏まえつつ新分野を開拓した研究者の特徴的行動を整理してまとめる。

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

島津康男博士のインタビューについては4回のインタビューを行って合計20時間あまりの証言を収集した。氏がかかわった環境アセスメントの中でも重要な現場であった「藤前干潟」における現地確認も行った。津村博士については2回(8時間)のインタビューを行った。インタビューはICレコーダーで記録して、順次テープ起しを行ってテキスト化を進めた。

島津博士は旧制大学(東大地球物理)の学部を卒業後、旧制大学院に進学する。その際、戦時中につくられた「大学院特別研究生」を継承した「大学院特別奨学生」(日本育英会)に選ばれている。この制度は旧制の大学院が存続するあいだ続き、東大地球物理では毎年1~3名が採用された。採用された人には竹内均博士の他に、小倉義光博士(気象学)、杉浦正久博士(地球電磁気学)、安芸敬一博士(地震学)など後に世界的に活躍する多くの研究者の名が見られる。

島津博士は「戦中から戦後すぐの頃は大学院給費制度があり恵まれていた。その後、新制大学が多数出来て任期なしのポストもあった。私の年代は稀に見るよき時代だった。」と証言している。

島津博士の研究経歴において、我々が最大の転換点だと考えたのは環境問題への進出である。氏は環境を研究対象にした一番のきっかけは1974年に参加したWISE-SCOPEにあると言う。SCOPEとは国際学術連合会議の中に1969年に作られた環境問題科学委員会で、WISEはSCOPEの下部に組織さ

れた環境影響研究作業班である。1974年1月から2月にかけて45人の専門家をカナダのホテルに集め、約2週間かけて環境影響評価（環境アセスメント）の解説書を作成した。島津博士はその作業部会に参加して、環境問題に計画的にアプローチすることの意義や研究を展開する可能性、社会的重要性を感じたという。日本には環境を本業とする研究者が、まだ、いない時代であり、シミュレーション研究を進めていた島津博士に旧制中学時代の人脈などがいかされて声がかかったという。

日本でも1971年に環境庁が発足し環境問題の重要性が認識されていたが、水俣病など目の前で起こっている「公害」への対応が急を要する重要課題であり、事前の影響評価はあまり注目されていなかった。その点、環境アセスメントのアプローチは事前に影響を評価して、関係者が当事者意識を持って計画策定に参加するという点で、非常に新しかった。また、人類の活動が地球に与える影響という点で、「これは地球科学である」と氏は考えたが、当時の理学部地球科学系研究者の多数派はそのように考えなかった。

島津博士は「縫い目のない地球科学」という思想を語り、多くの若手研究者に影響を与えた。これは地質学・地球物理学といった手法の拘束、地震学・火山学というような研究対象による拘束、さらには研究組織としての「講座」の呪縛を超越することを意味した。氏は「坊ちゃんの道楽でなく、またマスコミ露出型でもなく、本当の意味で科学者の社会責任を希求した」と述べている。

シミュレーションという汎用性の高い技術があっても、それまでと異なる対象を扱う研究に参加して、一定の成果と今後の進展の可能性を掴むことは難しい。島津博士の高い能力があってもなせる業であり、ここから一般の研究者に適応可能な教訓を導き出すことは容易ではないというのが現状のまとめである。まずは、解釈や評価をせずに、氏の証言を記録することに専念する。

- (8) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
林能成・山田俊弘・栗田敬・野内玲、「地球科学における学際的分野への参入過程～島津康男教授・熊沢峰夫教授のオーラルヒストリーから～」、地球惑星科学関連合同学会、幕張メッセ、2015年5月24日。（予稿原稿の謝辞に記載あり）山田俊弘、「拡大された地球科学概念からトランス・サイエンスまで 島津康男教授と1970年代科学史」、地球惑星科学関連合同学会、幕張メッセ、2015年5月24日。山田俊弘、「シームレスな地球科学をめざして 島津康男とディシプリンの越境：1966-1983年」、日本科学史学会、大阪市立大学、2015年5月31日。山田俊弘、「1970年代の科学教育における変容の性格 島津康男の拡大された地球科学、トランス・サイエンス、環境学」、東京大学大学院教育学研究科基礎教育学研究室 研究室紀要、41号、p.183-194、2015年7月。

- (9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

林能成（代表者） 関西大学 准教授  
山田俊弘 東京大学 研究員  
野内玲 名古屋大学 非常勤講師  
山中佳子 名古屋大学 准教授  
秦康範 山梨大学 准教授  
永松伸吾 関西大学 准教授  
森田裕一 東京大学地震研究所 教授  
栗田敬 東京大学地震研究所 教授  
橋本学 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：  
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 : 林 能成

所属 : 関西大学・社会安全学部



( 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：

琵琶湖疏水の耐震性を考える - 琵琶湖西岸断層帯が活動した場合の地殻変動と強震動の影響 -

( 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：

( 6 ) 平成 27 年度の計画の概要：

平成 26 年度に実施した 4 回の研究会（うち 1 回は現地見学会）で得られた知見を踏まえ、平成 27 年度は、より具体的に琵琶湖疏水の耐震性の課題抽出と耐震対策に資する成果を得ることを目的とする。  
断層帯の高詳細な地殻変動モデルの構築

3 次元で高詳細な断層ならびに地殻変動モデルを構築し、想定される活断層による地殻変動を定量的に予測する手法を開発する。

琵琶湖疏水の断水を免れるための方策の検討

模型実験により、断層運動に伴う鉛直変位を受ける管路の許容変位量等を求める。

第 3 琵琶湖疏水建設の実現可能性やその他の水源からの取水可能性の調査・研究を進める。

琵琶湖疏水断水時の影響評価と提言

琵琶湖疏水が長期にわたり断水したときの影響評価を行い、対応策について提言する。特に、疏水の損傷程度に応じた復旧時間と給水可能性について、シナリオを作成する。

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

平成 27 年度は、琵琶湖疎水の耐震性に関して、地盤の調査方法、疎水を構成する構造物の耐震性の検討および補強方法、断層をまたぐ管路の耐震補強法等に関する話題提供をベースに検討した。2 年間の成果をまとめ、琵琶湖疎水の耐震補強に資する資料として、以下のように報告書を取りまとめる予定である。

地震による琵琶湖疎水の断水対策の必要性と方法に関する提言（仮）

1．前書き

2．琵琶湖疎水の上水利用の現状

3．琵琶湖疎水に影響を及ぼすことが危惧される地震とその発生頻度

4．琵琶湖西岸地震が琵琶湖疎水に及ぼす被害想定

4 - 1．強震動による被害

疎水構造物の損壊と疎水構造物周辺の地盤や斜面の損壊による通水途絶

4 - 2．地表地震断層発生に伴う被害

疎水構造物の損壊と、水の自然流下システム機能不全発生による、長期にわたる通水途絶

5．琵琶湖疎水地震対策の方法

6.まとめ

(6)で挙げた模型実験については、実験模型と模型地盤の強度を計測する貫入試験装置の製作の遅れにより、遠心力载荷装置の利用期間申請ができておらず、現時点で実験は実施できていない。ただし、平成28年3月中に実施予定である。

(8)平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):  
特になし。

(9)実施機関の参加者氏名または部署等名:

飛田哲男(代表者) 京都大学防災研究所 准教授

川崎一郎 立命館大学 客員研究員

岡田篤正 立命館大学 客員研究員

岩田知孝 京都大学防災研究所 教授

堀 智晴 京都大学防災研究所 教授

釜井俊孝 京都大学防災研究所 教授

片尾 浩 京都大学防災研究所 准教授

市村 強 東京大学地震研究所 准教授

古川愛子 京都大学工学研究科 准教授

野原大督 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:飛田 哲男

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：

活断層と建物被害の情報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 27 年度の計画の概要：

平成 26 年度に行った既往研究の調査結果に基づき調査対象候補とした 12 地震のうち、善光寺地震を対象に上記検討を行う。断層近傍の地盤構造調査のため、微動観測を行う。事前調査により得られた情報と組み合わせる詳細な表層地盤を考慮した地盤構造モデルを構築し、善光寺地震の震源破壊過程を推定するための強震動・建物被害シミュレーションを行う。さらに、他の調査対象候補地震についても同様の検討を行えるかどうかを調査する。対象とする地震は 1896 年陸羽地震とし、横手盆地東縁断層帯および横手盆地の調査を行う。

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

既往文献および前年度に実施した現地調査の成果を踏まえ、強震動計算に用いる断層モデルを構築した。断層モデルに用いる断層長と地表地震断層の位置は、活断層研究会編(1991)に基づいた。断層長は全体が約 42km になる。断層の一般走向は同文献に示されている地表地震断層の端点同士を結んだ直線( N32 °E )としたが、地表の断層線は東へ突出した弧を描いている。この分布形状にできるだけ合わせるため、断層を北部・中央部・南部に 3 区分し、中央部のみ断層浅部の傾斜角を低角にするモデルを設定した(図 1)。すなわち、長野盆地の堆積盆の基底深度に相当すると思われる深度 6km を境に、それより深部では全区間において断層面の傾斜角を 50 度(西傾斜)とするが、浅部では 30 度(西傾斜)を基本とするものの中央部では 18.7 度(西傾斜)とした。この中央部の傾斜角は、断層面の深部・浅部境界(断層面の傾斜角が変化する点)と中央部の地表地震断層の出現位置を結ぶような面を図面上で設定して、その傾斜角を求めた。強震動を計算する際の断層面の上端深度は 2km とする。アスペリティは北部・中央部・南部のそれぞれ深部(6km 以深)に配置し、総面積に比例して中央部のアスペリティ面積が北部・南部の 3 倍となるように設定した。

地震動計算に用いる地盤モデルについては、初期段階の計算としては、防災科学技術研究所が公表している J-SHIS の地盤モデルを使用する。J-SHIS 地盤モデルの、特に表層部分の高精度化をはかるために善光寺と長野駅の間の地域で微動観測を行った。後に建物被害シミュレーションを実施するために、強震動シミュレーションで対象とする最大周波数の最終目標を 2Hz もしくは 2.5Hz として設定した。J-SHIS モデルに基づき、2Hz までの地震動シミュレーション結果の震度分布を図 2 に示す。断層モデルと地盤構造の関係から、震源直上および善光寺周辺では震度が大きくなるものの東側の盆地側では比較的震度が小さくなった。これは、1847 年善光寺地震の際に被害が山側及び盆地西端に集中し

ていたことと整合する。今後は、地震動シミュレーション結果に基づき建物被害シミュレーションを行い、震源モデルおよび地盤構造モデルのさらなる高精度化を図る。

他の調査対象候補に挙げた 1896 年陸羽地震の震源である横手盆地東縁断層帯の現地調査を実施した。現地調査では、この地震の地表地震断層である千屋断層、太田断層、白岩断層、生保内断層（いずれも東側隆起の逆断層）およびこれらの活断層と同時に活動したとされる川舟断層（西側隆起）の逆断層の断層変位地形を観察した。また、地震による家屋の被害状況と当時の家屋の構造に関する情報を収集した。

- ( 8 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
吾妻 崇・松島信一・市村 強・野澤 貴，2016，活断層と建物被害の情報に基づく歴史被害地震の断層モデル構築に関する研究，京都大学防災研究所 平成 27 年度研究発表講演会，P02。  
松島信一・伊藤光菜 欽，2016，1847 年善光寺地震における地震動と建物被害の関係把握のための表層地盤構造の推定京都大学防災研究所 平成 27 年度研究発表講演会，E21。

- ( 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 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  
市村 強 東京大学地震研究所 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：松島 信一

所属：京都大学防災研究所

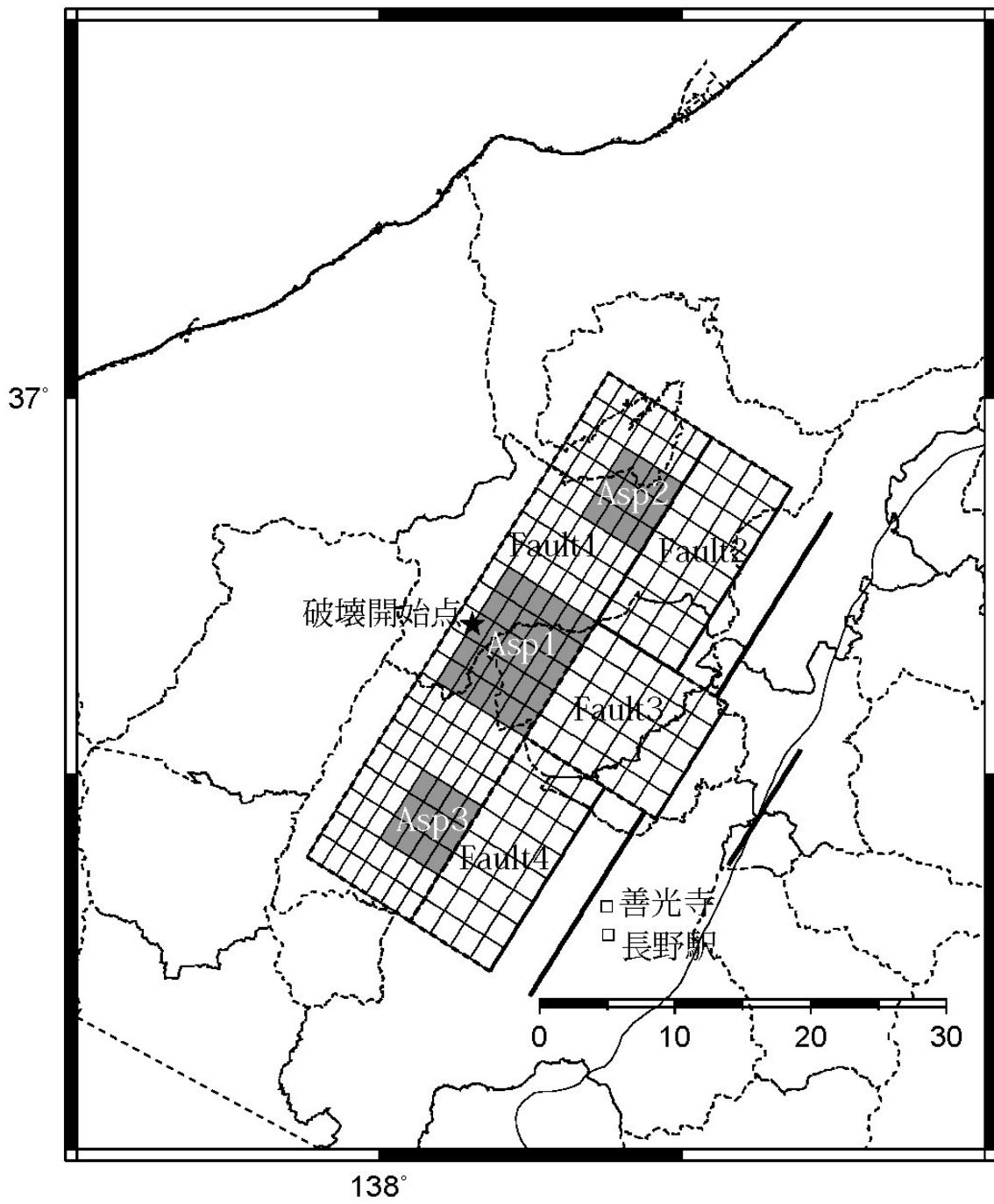


図1 本研究において提案する 1847 年善光寺地震の断層モデル

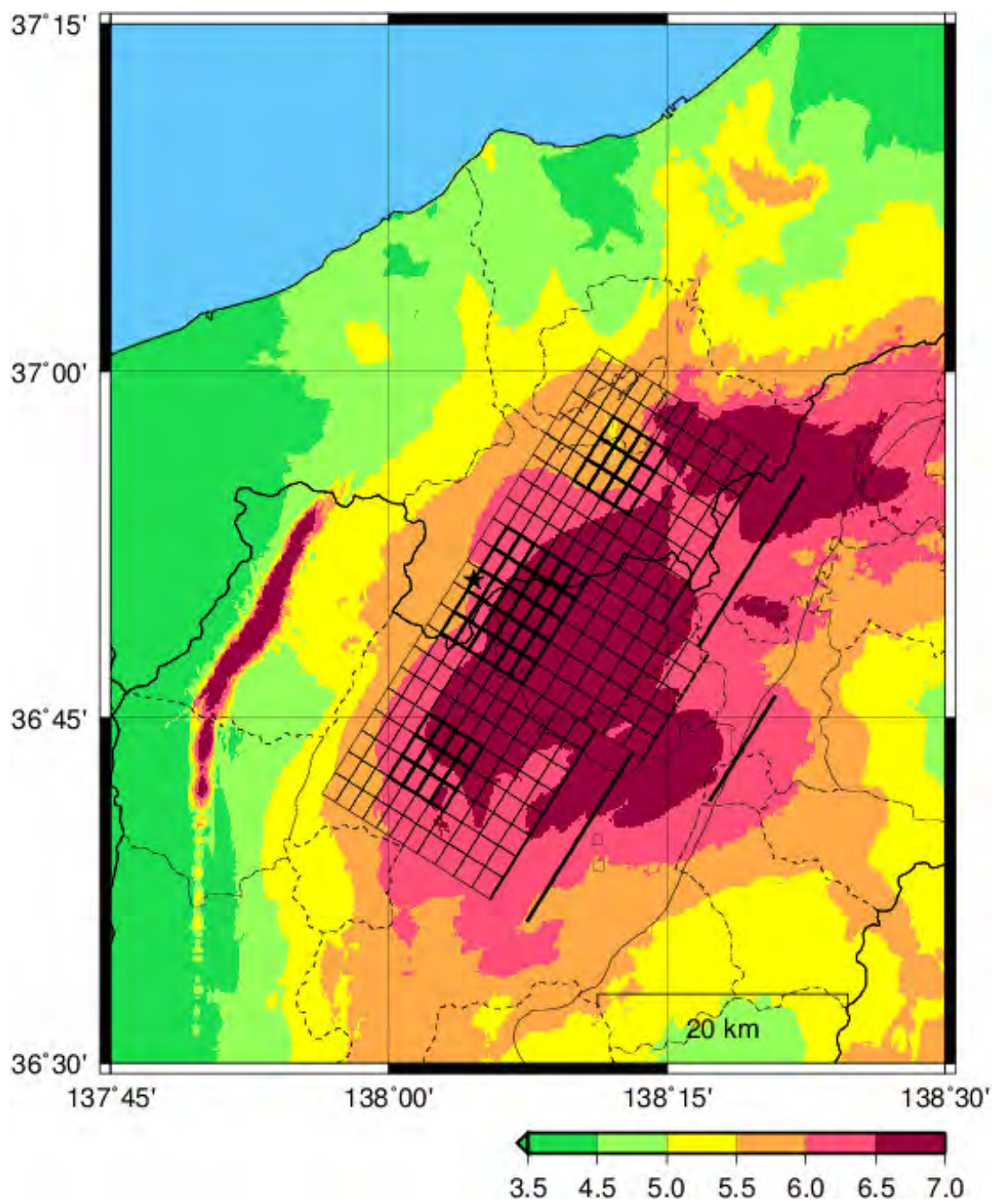


図2 本研究で推定した1847年善光寺地震による震度分布

( 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：

地理情報システムおよび地表面露出年代法を用いた地震火山活動に伴う大規模斜面崩壊の発生場および時空間的発生頻度の評価

( 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：

( 6 ) 平成 27 年度の計画の概要：

本研究では、地理情報システム ( GIS: Geographic Information Systems ) による大規模崩壊あるいは重力変形地形の解析とその発生時期特定のための年代測定を組み合わせ、大起伏付加体堆積岩山地および成層火山体における大規模斜面崩壊の発生場の地理的条件および時間・空間的な発生頻度の評価を行う。

GIS 上での解析では、10 m メッシュの基盤地図情報で広域を俯瞰するとともに、航空レーザー測量によって得られる細密地形モデルを駆使して、崩壊堆積物や重力変形地形の抽出・分析を行う。斜面変動に関するデータベースとしては、防災科学技術研究所の発行する地すべり地形分布図があるが、これは空中写真で判読しうる全ての斜面変動地形を抽出したものであり、ここで対象とする高速で長距離移動する大規模斜面崩壊以外のものも多数含んでしまっている。本研究では、GIS での高精度地形解析により、カタストロフィックな運動様式をもつ斜面崩壊の痕跡、あるいはそれにつながる前兆としての重力変形地形を抽出して、その分布と性状から地域ハザードおよび個別斜面の危険度を評価する。崩壊および重力変形の発生年代は、宇宙線生成核種 ( TCN: Terrestrial Cosmogenic Nuclides ) を用いた地表面露出年代測定によって決定する。この手法は、宇宙線の照射により、地表近傍の造岩鉱物中に蓄積する同位体 ( 例えば石英中の  $^{10}\text{Be}$  ) を加速器質量分析によって定量し、地表面の宇宙線への被爆期間 ( 地形形成後の露出時間 ) を求めるものである。TCN を用いれば、特別な年代試料を必要とすることなく、崩壊堆積物や重力変形により発生した小崖の露出年代を求めることができる。本研究では TCN を用いて、多数の大規模崩壊の堆積地形や重力変形地形の形成年代を求め、歴史記録をはるかに超える数万年の時間スケールで、斜面崩壊の頻度および重力変形の進行過程を明らかにする。年代測定の対象とする具体的な場所は、前述の GIS に基づく解析によって絞り込むが、西南日本外帯山地と中部・東北日本の火山体を中心に数十か所での年代決定を行う計画である。

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

日本の中部山岳全域を対象とし、GIS による崩壊地形の解析、代表的な地点の現地地形・地質踏査、TCN による崩壊発生年代決定のための崩壊堆積物の採集を行った。

GIS 上での解析にあたっては、防災科学技術研究所の発行する地すべり地形分布図を援用して規模や頻度を解析するとともに、個別崩壊地に対して詳細な地形構造の分析を行った。崩壊の力学的モデル

ングでは、河川の下刻による斜面の下部切断とそれに伴う不安定化をカップリングさせ、谷密度や岩盤強度などのパラメータに規定されて岩盤崩壊が発生するモデルを構築し、GISから得られる実際の地形データに照らして妥当性の検証を行った。

TCN年代測定では、崩壊によって露出した岩盤面や、その際に生産された岩屑を分析対象とすることで、その崩壊の発生年代を推定した。崩壊堆積物上の巨礫の頂部あるいは給源である露岩斜面の表面から試料を採取し、化学処理を行って石英を抽出し、その中に含まれる宇宙線由来の $^{10}\text{Be}$ を加速器質量分析によって定量した。試料採取地点の緯度、高度、周囲の地形および積雪による遮蔽を考慮して $^{10}\text{Be}$ の年間生成率を推定し、試料となった岩石の露出年代を算出した。

中部山岳地域には全域にわたって岩盤崩壊の痕跡地形が分布し、その規模・頻度分布曲線はべき関数で近似できる。ただし、崩壊の規模が大きくなるほど頻度の減少が顕著になり、崩壊の規模が斜面長の制約を受けていることを示す。また崩壊によって更新された斜面は、傾斜が30から40°で、少なくとも中腹が一樣勾配となることが多い。この勾配は斜面を構成する岩盤の強度を反映しているものと考えられる。

河川の下刻と斜面の岩盤崩壊をカップリングさせたモデルでは、実際の崩壊地形を説明するためには、小さな岩盤強度を想定する必要があることが明らかとなり、岩盤中に存在する不連続面が岩盤強度を規定していることが示唆された。モデルの出力として得られる斜面勾配の統計的空間分布を、実際の地形データに照らして検証を行ったところ、山岳地形を構成する斜面は、下刻に伴う遷急線の形成と岩盤崩壊による全面更新を繰り返す準動的平衡状態にあると解釈できることが明らかとなった。

中部山岳に遍在する崩壊堆積物のTCN露出年代からは、多くの岩盤崩壊が完新世に発生していることが明らかとなった。このことは岩盤崩壊の引き金として、地震動よりもむしろ降水量の増加や山岳永久凍土の消失などの気候変動の影響が強く働いていることを示唆している。

以上のことから、大起伏山地での岩盤崩壊は、河川の下刻の進行に伴って不安定となった部位を除去し、一樣急勾配の動的平衡斜面を維持する役割を担っており、その作用の強弱は、氷期・間氷期サイクルとともに周期変動しているものと考えられる。

(8) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

松四雄騎 京都大学 防災研究所 准教授

金田平太郎 千葉大学 大学院理学研究科地球科学コース 准教授

吉田英嗣 明治大学文学研究科地理学専攻 講師

松崎浩之 東京大学総合研究博物館 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：0774-38-4101

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

URL：

(11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：松四 雄騎

所属：京都大学・防災研究所



( 1 ) 実施機関名：

拠点間連携研究

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地震及び津波による建物倒壊に伴う人的被害の発生機構解明並びに評価手法の提案

( 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 27 年度の計画の概要：

本研究の対象は、地震動及び津波に伴う災害の内、特に人的被害に焦点を当てる。目的は以下のとおりである。

(1) 地震対策の基本資料となる【想定地震による人的被害(死者と負傷者)】の評価手法を、既往の内閣府の方法の問題点を明らかにしつつその抜本的改良を試行する。

(2) 負傷程度評価に災害医療関係で用いられている ISS 尺度を導入することで評価内容をより豊かに(死・重傷・軽傷の3分類ではなく、負傷内容・症状に踏み込んだ表現が可能)、被災プロセスを詳細に追跡するモデルを導入することで評価単位をより詳細に(市区町村単位ではなく、地域の250mメッシュ区画単位を標準とするが住家棟単位算定も可能)可能とする。

(3) 人的被害発生プロセスを忠実に追跡するモデルを構築しそこにベイジアンアプローチを導入しデータ更新により算定精度の格段の向上を試み、事前及び事後対策の効果評価が可能となる方法論を具体的に提案する。

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

以下の成果を得た。

(1) 人的被害に関する新評価式の構築

主として木造住家倒壊に伴う人的被害を死傷程度 ISS ( Injury Severity Score ; 0【無傷】～8【軽傷】～15【重傷】～24【重篤】～40【瀕死】～75【死亡】) で評価し、その発生確率を建物棟単位(世帯単位)～メッシュ単位(50～500m)～地域単位(小学校区～中学校区)～市町村行政単位等々の種々の算定単位で評価可能とした(上記計画の(1)～(3)に相当)。

(2) 高知県南国市における評価

南海トラフ巨大地震を想定地震とし、南国町の震動による人的被害の発生確率を「世帯単位」及び「字単位」で算出した。

( 8 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

1. 岡田成幸・中嶋唯貴：地震時建物倒壊に伴う人的被害の因果律を踏まえた詳細評価手法 ～建物棟別評価から行政区単位評価まで～，日本建築学会大会(関東)梗概集，2015.

2. 飯田彬斗・岡田成幸・中嶋唯貴：地震時人的被害推定高度化のための建物内部空間被災度関数の再構築，日本建築学会大会（関東）梗概集，2015.
3. 中嶋唯貴・岡田成幸：震動及び津波の複合災害を想定した人的被害推定手法の提案，日本建築学会北海道支部研究報告集，88，101-104，2015 .

( 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・工学研究院 教授  
中嶋唯貴 北海道大学・工学研究院 助教  
川瀬博 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：北海道大学大学院工学研究院都市防災学研究室  
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・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：

絵図史料に基づく歴史地形の復元と歴史災害の分析

( 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 27 年度の計画の概要：

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

本研究では、東日本大震災ほか度々歴史津波の被災地となり、また歴史的な絵図史料が多数存在している岩手県宮古市周辺地域を中心的に取り上げた。宮古市の歴史地形を復元するにあたり「2万5千分の1」(2006)をベースとして、標高モデルを大日本帝国陸地測量部「5万分1地形図」(1916)と合成し、90年前の地形を復元した。また、岩手県図書館所蔵「陸奥国閉伊郡宮古村書上絵図面」(1874)について寺院や街路などを基点に位置合わせをおこない、明治初期の歴史地形を復元した。

これらの復元地形から、宮古市中央を流れる閉伊川の流路の変化および現在の宮古市庁舎が存在する場所がかつては閉伊川河口の中州であったことを明らかにした。また、1611年慶長奥州地震津波の伝承について、復元した人工改変前の歴史地形から河川遡上で説明が可能なことが指摘できる。

( 8 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 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 助教

岡田 真介 東北大学災害科学国際研究所 助教

花岡 和聖 東北大学災害科学国際研究所 助教

今井 健太郎 東北大学災害科学国際研究所 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：東北大学災害科学国際研究所

電話：022-752-2146

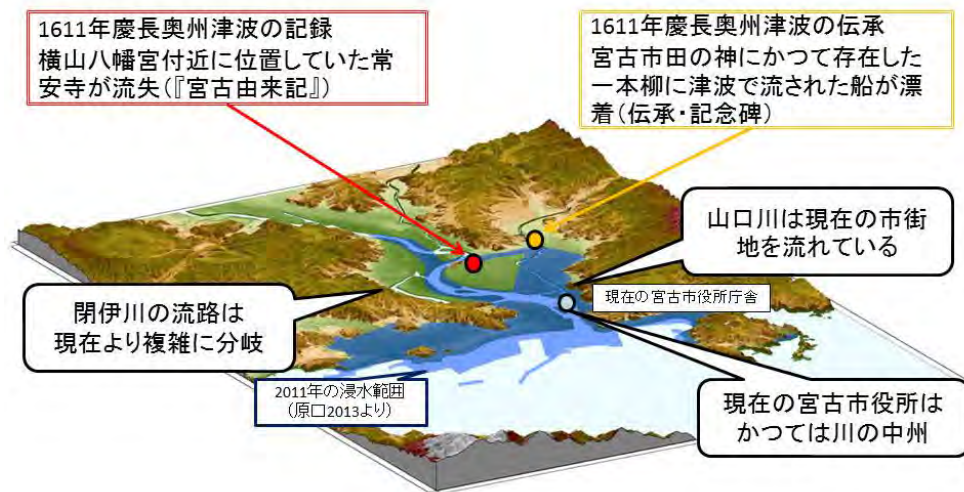
e-mail：ebin@irides.tohoku.ac.jp

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



復元した宮古地形の歴史景観と歴史津波の痕跡

Generic Mapping Tools ( GMT ; <http://gmt.soest.hawaii.edu/> ) を用いて標高データの修正および作図を行った。

( 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：

拡散波動場理論に基づく地下構造探査手法のミャンマーへの応用に関する研究

( 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：

( 5 ) 優先度の高い地震・火山噴火との関連：

( 6 ) 平成 27 年度の計画の概要：

まずサガイン断層が市街地近傍あるいは中央を通るマンダレー市とサガイン市を主要ターゲットに、地盤のボーリング情報を海外研究協力者を通して入手し、情報のある地点近傍での観測を計画する。次にサガイン断層を中心に強震観測点を設置するとともに、微動観測を実施する。用いる観測機器は防災研究所所有のITK データロガーで、センサーは K-NET95 型サーボ加速度計である。連続観測を行う。そして観測された微小地震の S 波部分の水平スペクトルと上下スペクトルの比、いわゆる H/V 比を用いて Kawase et al. (2011, 前出) が提案した拡散波動場理論により、その地点直下の地震基盤から地表までの S 波速度構造を同定する。最後に、得られた構造から求められる微動の H/V 比と観測 H/V 比を比較するとともに、ボーリングデータから得られる推定速度構造と比較し、得られた構造の妥当性を検証する。

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

本研究では、ミャンマー連邦共和国(以後、ミャンマーと表記する。)の主要都市である Yangon、Mandalay、Sagaing、Bago を対象として、強震動予測に必要な工学的基盤以深の S 波速度構造の推定を行った。

Yangon はサガイン断層の西方 30km に位置し、人口約 500 万人を擁するミャンマー最大の都市である。Mandalay はサガイン断層の東方 7km のごく近傍にあり、人口 100 万人強のミャンマー第 2 の都市である。Bago と Sagaing は、ともに市内をサガイン断層が貫いていることで知られている。Bago は Yangon の約 50km 北東に位置し、人口 30 万人で Bago 県の県都である。一方、Sagaing は Mandalay の約 10km 南西にある Sagaing 県の県都で、人口は 8 万人と小規模だが、僧院が多くあり宗教都市として重要である。またサガイン断層の名前の由来となった場所で、市内にはサガイン断層の活動により形成された地形が明瞭に表れている。以上のように、調査対象都市 4 都市はいずれも政治的、経済的または宗教的に重要な都市であり、またサガイン断層の近傍に位置している。これらの都市とサガイン断層との位置関係を図 1 に示す。

このサガイン断層を震源とした地震については、近い将来に発生することが予想されている。古川(2011)は、1918 年以降にサガイン断層近傍において発生したとされてきたミャンマー国内の歴史地震についてその震源を再決定し、分析を行っている。これによると、Yangon の位置する南ミャンマーでは 1929 年から 1930 年にかけて 3 個の空間的に連続して大地震が発生して以来、連続的な大地震が起

きていないことが分かったとされている。また、Mandalay は中央ミャンマーと北ミャンマーとの境界に位置しているが、中央ミャンマーは 1904 年以來 100 年以上大地震が発生していない地域であり、近い将来最大 M7.7 程度の大地震が発生する可能性があることが指摘されている。また、北ミャンマーでは近年 M6.0 クラスの地震が複数発生しており地震活動の活発な時期にあることも分かった。

そこで本研究は、将来発生するサガイン断層沿いの地震によるこれら各都市における強震動予測のために必要となる地盤構造の推定を行う。特に、これまでの研究では十分把握されてきていない工学的基盤から地震基盤にかけての深部地盤構造を主な推定の対象とする。

各調査対象都市につき 1 地点において、Rayleigh 波の位相速度分散曲線を求め地下構造を同定するため、複数の微動計をアレイ配置し常時微動の同時観測を行った。加速度を計測する小サイズアレイを Mandalay、Bago で、速度を計測する大サイズアレイを Yangon、Mandalay、Bago、Sagaing でそれぞれ 1 点ずつ実施した。

常時微動の速度アレイ観測は、微動観測用サーボ型速度計 VSE-11 ( 水平成分 ) および VSE-12 ( 上下成分 ) ( 株式会社東京測振製 )、データ収録装置 Datamark LS8800 ( 白山工業株式会社製 )、電源供給用パワーユニット ( 株式会社東京測振製 ) および AC 電源または外部バッテリーにより構成されたシステム 4 セットを用いて実施した。サンプリング周波数は 200Hz ( 一部の観測で 100Hz )、アンプは 50 倍 ( 一部の観測で 100 倍 ) とし、50Hz のローパスフィルタを用いた。工学的基盤以深の深部地盤構造は常時微動の長周期成分に反映されることから、長周期帯に対する感度の高い速度計を用いた。微動計の配置は SPAC 法を用いるため円形アレイ形状とし、1 点の微動計を中心とした同心円上に 3 点の微動計を設置した。速度アレイ観測のアレイサイズ  $r$  ( 半径 ) については、2Hz 以下の長周期帯が反映されるよう、120m から 800m の中で設定した。図 2 には Bago のアレイ配置を例として示す。

収録したデータは長博士の開発した微動解析ソフト BIDO で解析した。ノイズ除去のあと対象区間データに対して SPAC 法を適用した。詳細は省略するが得られた結果のみ図 3 にまとめて示す。位相速度で見ると Sagaing が明らかに他観測点と比べ速い結果となっていることがわかる。これは断層の活動が活発で堆積層が薄いためと考えられ、別途得た微動水平上下比 (MHVR) の結果とも整合している。またヤンゴン川に近い Yangon 市内 (Yangon 大学グラウンド) の方が同じ Yangon 市内でもより東側の Dagon 地区よりも位相速度が速く、相対的に表層が硬いことを示しているのが興味深い。ただ 0.6Hz より低振動数ではほぼ一致しており、共通の地盤構造に収斂していることを示唆している。また全振動数域において Bago が一番遅い速度となっており、イラワジ川の堆積を反映しているものと推定される。

得られた Rayleigh 波位相速度を Ballard の方法 ( Ballard, 1964 ) により S 波速度構造に換算する。ここで Ballard の方法とは、探査資料に乏しい地域における S 波速度構造逆探査の初期モデル設定を目的として提案された方法で、1/3 波長則で位相速度の 1.1 倍と S 波速度を対応させる方法である。それによって得られた Bago での S 波速度分布を図 4 に示す。500m/s から 2.5km/s 程度まで漸増する構造が得られている。

次に敷設した強震観測網による検討結果について記述する。調査対象都市のうち Sagain については、観測点は敷設し観測は継続中であるが、平成 28 年 1 月末時点ではその観測データをまだ入手できていないので、Bago、Yangon、Mandalay ( Mandalay 以外はそれぞれ 1 地点、Mandalay は 2 地点 ) の 3 都市の地震動観測点の地震動データを入手し解析した。観測された地動の連続時刻歴記録から地震動と思われる区間を抽出し、地震動水平上下スペクトル比 ( 以下地震動 HVRs と表記する ) を算出した。本研究での地震動 HVRs は水平 2 成分の RMS 振幅に対する比として定義する。

継続観測された加速度時刻歴記録の中から、地震動の抽出を行った。抽出方法としてはまず、上下成分の振幅の変化量が多い時間帯、および U.S. Geological Survey により地震発生が報告されている時間帯をトリガーとしてデータを切り出した。いずれの地点も AC 電源による連続観測でセットしているが、停電の影響と見られるデータ欠損が非常に高い頻度で発生している。Bago を例に、U.S. Geological Survey により地震が発生したと報告されている時間帯について、観測期間内のものの発生時刻を調べた結果 2 地震が観測されていることがわかった。抽出した観測地震動の一例を図 6 に示す。

これは 2014 年 11 月 28 日の M4.3 の Sagain 断層中部における内陸地震 (深さ 14km) である。

Bago においては結局得られていたのは 2 の地震だけだったので、その EHVR を求めた。図 7 にそれを示す。この長周期成分に着目すると、0.5Hz ~ 0.7Hz に低めのピークが 1.2Hz あたりに高いピークがそれぞれ見られる。ここから、観測点直下に 2ヶ所のインピーダンスコントラストの大きい箇所があり、特に 2ヶ所のうち浅い方が大きくなっているような地盤構造が想定できる。

まだデータ数が少ないのでこれらの EHVR から速度構造を逆算するのは難しいが、今後もデータ収集を継続し、10 地震程度の地震が得られた段階で、拡散波動場理論により各地点の S 波速度構造を図 4 に示したモデルを初期値に同定したいと考えている。

以上、本研究ではミャンマーを対象に主要 4 都市において、特に深部地下構造に着目して長周期微動観測データと地震観測データを集集し、一次解析を行った。データ収集については極めて成功裏に終わることができたが、地震観測データについては停電による欠測期間が多く、得られたデータ数が十分ではなかったため、微動データと地震動データを同時に説明できる地下構造を得るには至らなかった。今後もデータ収集に努め、強震記録を定量的に説明できる各都市における地下構造モデルの構築を目指したい。

- ( 8 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :  
廣川夕貴・松島信一・川瀬博・Tun Naing・Myo Thant : ミャンマー・ヤンゴン市における常時微動を用いた地盤構造の推定, 日本地震工学会論文集, 第 16 巻, 第 1 号 特集号「第 14 回日本地震工学シンポジウム」その 2, pp.49-58,

- ( 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

松島信一 京都大学防災研究所 准教授

長嶋史明 京都大学防災研究所 博士 3 年

廣川夕貴 京都大学防災研究所 修士 2 年

市村 強 京都大学防災研究所 准教授

他機関との共同研究の有無 : 有

Tun Naing ヤンゴン大学地質学部 講師

Myo Thant ヤンゴン大学地質学部 講師

- ( 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 : 0774-38-4045

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

URL : <http://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



図1 サガイン断層と対象4都市の位置関係



図2 速度計の配置例

(都市：Bago、黄円：300m と 800m アレイの同心円、黄点：速度計設置箇所、右青点線：Yangon-Mandalay High Way、左青点線：Myo Shaung Road )

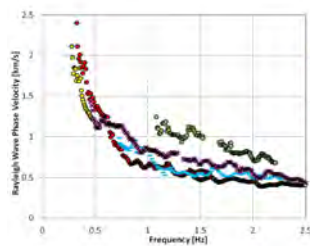


図3 対象都市で得られた Rayleigh 波位相速度の比較



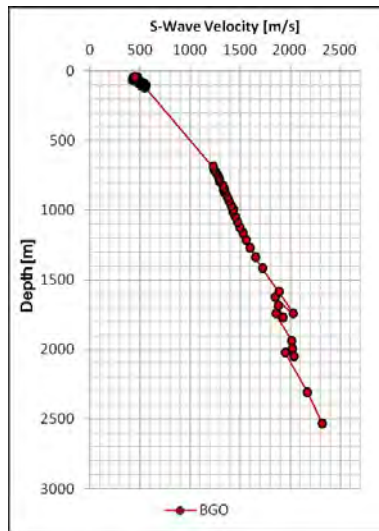


図4 Rayleigh 波位相速度から略算した S 波速度の深さ方向分布推定値

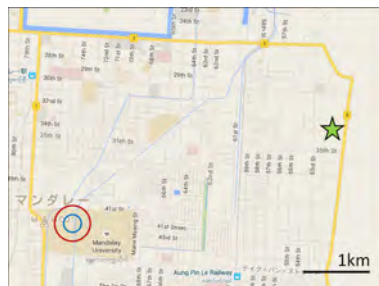


図5 MDYpri 地震動観測点  
(星：地震動観測点、円：微動アレーの位置)

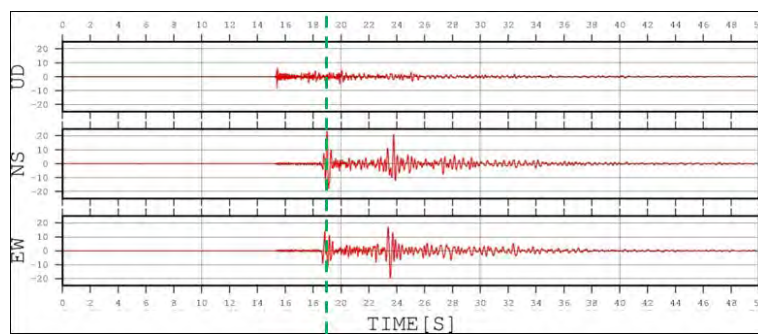


図6 USGS のデータベースから抽出した 2014 年 11 月 28 日の地震波形

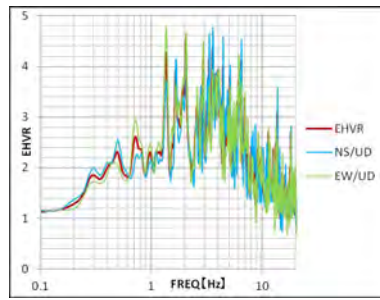


図7 得られた2地震から求めた地震動の水平上下比 (EHVR)

( 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：

( 6 ) 平成 27 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。一方、現実には各研究分野で様々な知見があることに対応し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。

【本研究での課題】上記の問題点解消に資する、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する。具体的には、(i) 互いに関連する研究分野での知見の受け渡し方法を明確にし、(ii) そのソフトウェア的対応であるインターフェースを設計する。さらに、(iii) 設計されたインターフェースを、リスク算出に関するプログラムコードに実装し、系統的に地震リスクを評価できるプラットフォームを構築することで分野ごとのモデル選択のばらつきを定量化する。

【期待される成果】以上の課題を遂行することで、参加者募集型統括研究の研究内容( 2 )を達成できる。また、各研究分野の知見(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、同研究内容( 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 27 年度の成果の概要：

研究を進めるにあたりまず、地震リスク評価に必要な各知見を以下のように整理することとし、それぞれの知見に対応する研究グループを構成した。

- ・震源過程
- ・伝播・深部地盤構造
- ・強震動予測
- ・浅部地盤構造
- ・構造物被害予測
- ・リスク評価

また、これらの知見を統合するためのリスクプラットフォーム構築グループ、リスク情報の利活用に関する研究グループも構成した。次に本年度の研究課題および活動を明確にするために、これらの研究グループが参加するキックオフミーティングを平成27年7月27日に開催した。このキックオフミーティングの結果、今年度は以下の活動を行うことで合意した。

(1) 『簡便な方法』を用いて地震リスク評価を行う際に他グループからの入力として必要な情報および他グループへ提供可能な出力情報に関する一覧表(インプット・アウトプット表)をグループごとに作成し、共有する。

(2) 簡便な方法を用いて地震リスク評価を行う際に必要なモデル群を選定する。

(3) これらのモデル群を用いて、特定の地域および構造物を対象として地震リスクの不確実性評価を行う。

上記の活動計画に基づき、各研究グループでモデルに関する情報の集約・整理を行い、これらの結果はプラットフォーム構築グループへと提供された。プラットフォーム構築グループは、これらのモデル群を統合し、リスク計算を実行できるプラットフォームを構築した。また、このプラットフォームを用いて、リスク計算を行い、地震リスク評価に伴う不確実性の評価を行った。以上により、本年度の目標を達成した。

以下、各研究グループでの活動について報告する。

#### 【震源過程】

南海トラフで発生すると考えられる巨大地震の震源モデルについて、地震調査研究推進本部が確率論的地震動予測地図作成のために公表しているデータを用いて、層破壊領域とそのマグニチュードを提案した。震源モデルには多様性が存在するが、過去に南海トラフで発生した3ケース(宝永、安政、昭和)は繰り返し発生する可能性があると考え、それらのモデルを検討した。また震源モデルの選択における不確実性の果たす役割を評価する目的で、国が想定している最大規模(Mw9.1)のケースについても、実際発生したことは確認されていないが、敢えてモデルに組み込んだ。

#### 【伝播・深部地盤構造】

伝播・深部構造グループは、南海トラフ沿いにおける地震波速度構造について、現在参照できる構造モデルの調査を行った。これまで南海トラフ沿いの陸・海域では、大学および海洋研究開発機構によって、人工震源を用いた地震波構造調査および自然地震観測によるトモグラフィー解析が行われてきた。これにより、およそ水平方向10~20km程度の解像度で地震波速度構造が求められている。また最近になって同様の解像度で大きな振幅を持つS波の減衰構造も明らかとなりつつある。これらをコンパイルすることで、地震時における地盤の揺れの大きさに関する見積もり精度の向上に寄与できる可能性を確認した。

#### 【強震動予測グループ】

南海トラフ震源域で発生する巨大地震は、震源域で発生した地震動や津波が日本列島の広範囲に到達し非常に大きな被害につながることを考えられる。そのため巨大地震のリスク評価においては、震源域による影響、波動の伝播による影響、観測点近傍の構造による影響等について調べる必要がある。その際に、強震動の予測においては、地震波のエネルギーがどのように伝播するかを知ることはひじょうに重要である。今年度は、距離減衰式に注目し調査・研究を行った。ここでは、数多くある距離減衰式の中から以下の7つの論文の式を選出し、評価に用いることをおこなった。

1. Si and Midorikawa (1999)
2. Kanno et al. (2006)

3. Zhao et al. (2006)
4. Uchiyama and Midorikawa (2006)
5. Kataoka et al. (2006)
6. Satoh (2010)
7. Morikawa and Fujiwara (2013)

距離減衰式は、様々な種類のデータのもとに得られたものであるため、その背景を含めて理解する必要がある。ここでは、震源の深さ、地震のタイプ、幾何減衰の深さ依存性、震源の短周期成分、スラブ内地震とプレート境界地震を考慮した事例、M9の地震を考慮した事例等、様々な背景を理解したうえで選出しリスク評価につなげていく。

#### 【浅部地盤構造】

浅部地盤構造分科会では、距離減衰式より得られた最大加速度値に対し、第1段階として簡易的に地盤増幅度を求めるため、全国地震動予測地図(2010)<sup>1)</sup>で採用されている微地形区分に基づく工学的基盤以浅の表層地盤での最大速度増幅率[藤本・翠川(2003)]<sup>2)</sup>の考え方を採用した。この手法は、広域的な増幅率を求めるのに適しているが、その推定精度を上げるためには、サイトに特化した地質情報と数値解析検討を行うことが望ましい。

#### 【構造物被害予測】

構造物被害予測グループでは、地震ハザード解析により得られた地表面でのハザード指標(最大速度、最大加速度など)に対して、建物の被害の程度を予測するモデルに関する調査・研究を行った。ここで、建物の被害の程度は、構造物としての損傷の程度を表すものとして、経済的あるいは人的被害の大きさは区別している。本年度は、被害棟数が多く悉皆調査がされていること、地震動分布について詳細に検討されていること、から1995兵庫県南部地震による建物被害データを元に構築された建物被害関数を対象とすることとした。数ある建物被害関数の中でも、被害想定などに使用される事例が多い、村尾・山崎(2002)<sup>3)</sup>の建物被害関数を採用した。村尾・山崎(2002)では、震災復興都市づくり特別委員会調査データに、自治体の被害調査結果に含まれる構造・建築年・用途などの詳細な建物属性をマッチングさせている。このことで、建物の構造・建築年代などを考慮した詳細な建物被害予測が可能となっている。

#### 【リスク評価】

リスク評価グループでは、構造的な被害と経済的・人的被害との関係について調査研究を行った。これらの調査を通じて、経済的損失を計量する指標の取り方、あるいは経済的損失や人的被害とより相関の高い構造被害程度の定義の必要性など、リスク評価の精度向上に資する課題を明らかにした。また、今年度のリスク評価に資するモデルとして、兵庫県南部地震の際の被害データおよび研究をベースに、構造的被害と経済的被害を関連付けた。

#### 【プラットフォーム構築】

上記のモデルを用いて地震リスク計算を実行するプラットフォームを構築した。具体的には、上記の各分野からのモデル群からモデルを選択するとそれに対応したリスクカーブが計算される。このプラットフォームを用いることで、異なるモデルの組み合わせに対してリスクカーブ群を計算することができ、地震リスク評価に伴う不確実性を評価することができる。

次年度以降、このプラットフォームに、より精緻なモデルを組み込んでいくことで、地震リスクの計算およびその不確実性の評価を実施する予定である。また、それと平行して、どのモデルの不確実性が全体の地震リスク評価のばらつきに効いているのかを定量的に明らかにすることで、リスク評価の精度向上に関する議論を深化させる。

#### 参考文献

- 1) 全国地震動予測地図(2010): 地震調査研究推進本部地震調査委員会 .
- 2) 藤本一雄・翠川三郎(2003): 日本全国を対象とした国土数値情報に基づく平均S波速度分布の推定, 日本地震工学会論文集, Vol.3, No.3, pp.13-27.

3) 村尾 修・山崎文雄 (2002):震災復興都市づくり特別委員会調査データに構造・建築年を付加した兵庫県南部地震の建物被害関数, 日本建築学会構造系論文集, Vol.555, pp.185-192.

( 8 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):  
西嶋一欽, 2016, 地震リスク評価に伴うモデル不確実性の感度解析, 第 22 回信頼性設計技術 WS & 第 35 回最適設計研究会, 岡山大学

Seung Han LEE・Kazuyoshi NISHIJIMA・Shinichi MATSUSHIMA・Masatoshi MIYAZAWA・Kimihiro MOCHIZUKI・Takashi IIDAKA・Tetsuo TOBITA・Hiroshi KAWASE・Norio MAKI, 2016, Investigation of Possibilities to Reduce the Uncertainty of Disaster Risk, 京都大学防災研究所 平成 27 年度研究発表講演会 特別セッション, K01.

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

飯高 隆 東京大学地震研究所

宮澤 理稔 京都大学防災研究所

川瀬 博 京都大学防災研究所

前田 拓人 東京大学地震研究所

牧 紀男 京都大学防災研究所

松島 信一 京都大学防災研究所

西嶋 一欽 京都大学防災研究所

望月 公廣 東京大学地震研究所

飛田 哲男 京都大学防災研究所

他機関との共同研究の有無: 無

( 10 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名:

電話:

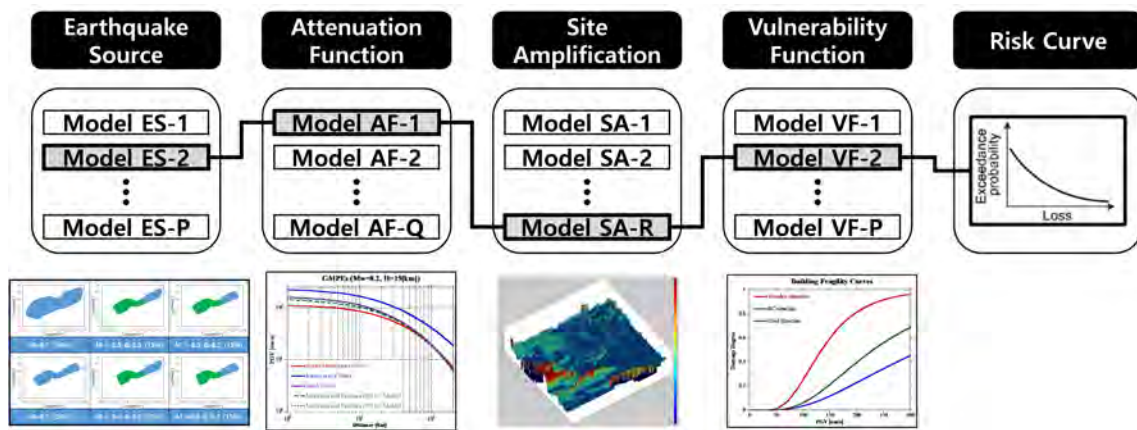
e-mail:

URL:

( 11 ) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 西嶋 一欽

所属: 京都大学・防災研究所



構築したリスク評価プラットフォームと実装されたモデル

( 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：

経時変化を考慮した地震災害リスク評価手法の構築に関する研究

( 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
- (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 27 年度の計画の概要：

現在の地震災害のリスク評価は、時間軸のどの時点の状況を考慮して評価されたかが不明確で、どの時点での評価なのか明示的に示されていない場合がほとんどである。しかしながら、地震時の大きな揺れによって災害が発生するリスクはそこに被害を受ける人や物が存在しているからであって、そこに被害を受けるものがなければ、どんなにハザードが高くても我々にとっては大きな問題とはならない可能性が高い。そこで、本研究では以下のようなことを考える。

1. 現在の人口、社会構造、産業構造、建築基準法、建築工法などの社会・経済・技術的な条件が地震災害リスク評価に与える影響を明確にし、これらの条件を適切に反映する手法の構築について検討を行う。

2. これらの諸条件が現在から地震が発生するまでの間に経時変化することを踏まえ、地震が起こる時点での状況を考慮した地震災害リスクを評価する手法の構築方法を探る。

3. 1. で地震災害リスク評価に与える諸条件が明確になれば、地震による直接被害だけでなく、それらの諸条件に付随する間接被害による影響評価につなげられないか検討する。

( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

本研究を進めるにあたりまず、経時変化を考慮した地震災害リスク評価に関連する研究について調査を行い、建物被害、人的被害、経済被害の3つについて扱うこととした。

( 1 ) 建物被害

地震による建物被害は、(1) 建物被害関数、(2) その被害関数を適用すべきエクスポージャー(建物分布モデル)を組み合わせる予測するのが一般的である。ある評価時点における経時変化は(1)、(2)の両方で考慮すべきである。

(1)の建物被害率は、建物構造のほか、建築基準法の改正や老朽のために、その建築年代によって大きく異なる。このため、例えば1981年の建築基準法の改正前後で被害率の異なる被害関数を用いる場合



が多い(例えば<sup>1)</sup>)。また老朽度は、特に将来時点における評価の際に重要であり、例えばある建築年代の建物でも、現在に比べ経年劣化を考慮した評価を行うことが考えられる。さらには、建物階数ごとの被害関数を提案しているものもある。

一方、(2)のエクスポージャー(建物分布モデル)は、将来における少子高齢化の進展などの社会背景により、現在と建物分布が異なることが予想される。あるいは、人口減少による空き家の増加も予想される。これらのことを念頭に、建物分布モデルを構築しなければならない。

## (2) 人的被害

人的被害の場合も建物被害と同様に、(1)人的被害関数(死亡率・負傷率)例えば<sup>2)3)</sup>、(2)その被害関数を適用すべきエクスポージャー(人口分布モデル)を組み合わせる予測するのが一般的である。特に、将来における(2)エクスポージャー(人口分布)の予測が重要であり、特に死亡・負傷率は年齢により大きく異なるため、その年齢分布の予測も重要となる。また、時間帯による死亡・負傷を評価する場合には、人口移動モデルも必要となる。一方、(1)の死亡・負傷率は、建物被害をパラメータとする場合が多いため、建物被害(特に中程度の被害)の予測精度を上げることも重要である。また、死亡・負傷は、建物被害だけでなく、家財被害などが原因の場合もあることから、それらに応じた評価も行っていく必要がある。

木造建物のみを対象として、南国市における人的被害の時系列評価を岡田・中嶋<sup>4)</sup>の手法により試算した。被害推定の際に、建て替えによる住宅の耐力の向上、時間経過に伴う木造住居の劣化、年齢別人口の増減について考慮し、時間経過に伴う住居の空間分布変化および時間経過に伴う人口分布の変化は考慮しなかった。その結果、2010年と比べ2020年には推定死亡者数が28%減少することがわかった。その差の要因としては、耐震性能の劣化と高齢化による増加分を建て替え・滅失と人口減少による減少分が上回ることが挙げられる。なお、影響度評価は、平成15年から平成25年までの建て替え・滅失水準が2020年まで継続、将来人口は2020年の年齢別人口、耐震性能劣化は50年で1割ほど、という仮定のもとに行った。

## (3) 経済被害

震災がマクロ経済に及ぼす影響の分析と経済の時系列変化を扱いモデルとしては、従来のケインズ経済学モデル例えば<sup>5)</sup>のほか、サプライチェーンや金融制約を織り込んだフォワードルッキング(将来を見据えた予測)の必要性が認識されている。これらでは、地震による建物被害や人的被害などをインプットに、空間的・時系列的な経済への影響波及を評価するとともに、巨大災害の影響を抑える事前の対策とその効果の検証なども行うことができる。

経済被害予測は、復旧に関する費用(直接被害)、機会損失、生産額・GDPの低下(間接損害)等を予測する。この予測手法も様々な仮定が置かれており、また予測結果の精度はそれらに用いられるパラメータの精度にも依存する。例えば直接被害金額予測のパラメータには全壊棟数+半壊棟数×0.5が使われているため全壊棟数などの精度に依存する。また、生産サービスの低下には、建物被害棟数と人的被害による労働力の低下がパラメータとなっている。一方、建物の一部損壊は算入されていないなど、予測手法にも検討の余地がある。

上述の(1)~(3)の各被害について、その予測の際に考慮している要因を把握できれば、それらの要因の将来変化を予測することで、将来時点のリスク評価が可能になる。表1にそれらの要因について、現時点で考えられるものを列挙した(表1)。

本研究は、今後、国内の特定地点を対象に、経時変化を考慮した地震災害リスク評価を試みる予定である。

さらには、建物被害、人的被害、経済被害について、個々の要素の評価精度を高めるとともに、それぞれの要素間のインターフェースがうまく接続するように整備し、全国的な評価へと結びつけることを目標としている。

## 参考文献

1) 村尾修, 山崎文雄: 自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数, 日本建築学会構造系論文集第527号, pp.189-196, 2000.

- 2) 岡田成幸, 中嶋 唯貴: 地震時建物倒壊に伴う人的損傷確率推定手法の提案, その1 内閣府による既往手法の問題点と本手法の新機軸, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造 II, pp.177-178, 2014 .
- 3) 中嶋唯貴, 岡田成幸: 地震時建物倒壊に伴う人的損傷確率推定手法の提案, その2 南海トラフ地震による浜松市の人的被害分布, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造 II, pp.179-180, 2014 .
- 4) 岡田成幸・中嶋唯貴: 地震による家屋倒壊に伴う外傷重傷度指標 (ISS) 别人的被害分布の推定法に関する研究~ 想定南海トラフ巨大地震モデルによる浜松市の検討~, 厚生労働科学研究費補助金(健康安全・危機管理対策総合研究事業)「大規模地震に対する地域保健基盤整備実践研究」分担研究報告書,57-72
- 5) 佐藤主光, 小黒一正: 首都直下地震がマクロ経済に及ぼす影響についての分析, 内閣府経済社会総合研究所「経済分析」184号, pp.120-140, 2011 .

( 8 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 9 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

- 松島信一( 京都大学防災研究所 ) 准教授
- 西嶋一欽( 京都大学防災研究所 ) 准教授
- 倉田真宏( 京都大学防災研究所 ) 准教授
- 指田朝久( 東京海上日動リスクコンサルティング )
- 佐伯琢磨( 防災科学技術研究所 )
- 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 :
- 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 : 松島 信一
- 所属 : 京都大学・防災研究所

被害種別	モデル	要因
建物被害	フラジリティモデル	構造種別、建築年代、建物階数
	エクスポージャーモデル	構造種別、建築年代、建物階数、建物所在地、居住の有無
人的被害	フラジリティモデル	年齢、性別、死傷の原因
	エクスポージャーモデル	年齢、性別、時間帯ごとの居場所
経済被害	入力パラメータ	建物被害や人的被害から導き出される地域GDP損失、直接被害額、税収減 年度ごとの震災関連復興事業の額 サプライチェーン 金融制約

表 1 各被害について予測の際に考慮している要因

( 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：

巨大地震リスク評価のための都市モデルの構築と高分解能の災害・被害予測の試行

( 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

首都直下地震

( 6 ) 平成 27 年度の計画の概要：

10 万・100 万のオーダの建築建物や交通・ライフライン等の大規模社会基盤施設を有する都市に対して、巨大地震がもたらす災害・被害の評価には、経験式を多用せざるを得なかった。しかし、過去の被害データを使った相関関係に基づく経験式には精度に限界があることは否めない。地震動増幅や地震応答の物理過程という因果関係に基づく数値解析は合理性が高く、経験式の代替となることが期待されている。さらに、容量・速度が指数関数的に増加する計算機と、多様なデジタルデータが収集・生成される都市情報を利用することで、従来不可能であった、都市全体の数値解析を行うことは現実味を帯びている。

本研究では、理学・工学・社会科学の各分野で培われた数値解析が適用できるような都市全体の解析モデルを構築し、実際に、数値解析を使って巨大地震がもたらす災害・被害予測を行うことを目的とする。具体的には下記を考えている。

1. 都市モデルの構築：都市モデルの構築は、複数のデジタルデータを統合し、さまざまな数値解析手法の解析モデルを自動構築することになる。すなわち、複数のデータを複数のモデルに変換するのであり、この変換には情報科学の最先端の技術の適用と新たな技術の開発が必要となる。勿論、各々の数値解析手法の特徴の正しい理解が必要であるため、都市モデルの自動構築は防災・減災に関わる理工社会科学と情報科学の境界領域の研究である。

2. 数値解析を用いた災害・被害予測：巨大地震がもたらす災害・被害予測も単なる計算に留まらない。想定すべき地震シナリオは、大小はじめ、単発・連発等、さまざまなものがある。また、地盤構造や建物・社会基盤施設のデータは完全ではなく、都市モデルはこの不確定性を考慮しなければなら

ない。このような不確定性を考慮した、合理的な数値解析の方法論の考案から始めなければならない。また膨大な量の解析結果の評価に関しても、可視化等、新たな方法が必要とされる。

上記の目的の達成のため、平成 27 年度は、本研究に参加する大学に、基盤となる統合地震シミュレーション ( Integrated Earthquake Simulation, IES ) のプログラムを共有することを試みる。共有される IES には、連成した地震動増幅と建築建物地震応答の解析手法が実装されている他、所定のフォーマットの都市情報から都市モデルを自動構築するモジュールが組み込まれている。プログラムの共有は過去にも取り組まれており、マニュアルも整備されている。二つの解析手法や、都市モデルの自動構築モジュールが高度化されている他、IES 自体にもデータ構造やプログラムアーキテクチャーが改良されている。参加大学において、IES の最新版の共有と不具合の修正、実行方法の習得、試行計算を行う。

#### ( 7 ) 平成 27 年度の成果の概要：

東北大学・新潟大学・東京工業大学・山梨大学・神戸大学・香川大学・高知工科大学・九州大学の協力により、仙台・新潟・東京・甲府・神戸・高松・高知・福岡を対象とした IES が移植されている。移植の実体は、IES のシステムの実行ファイルと、対象都市の基本都市モデルを構築するために必要な市販の地理情報システム ( Geographical Information System, GIS ) である。

IES は統合型のシステムであるため、地震動や地震応答、被害対応に関する数値解析プログラムを追加することも可能である。同様に GIS 以外の都市デジタル情報を新たな入力データとして、新しい様式の都市モデルの構築に利用することもできる。この IES の拡張という点では、前述の大学が研究開発の主体である。

##### ( 1 ) 新潟市

想定される地震シナリオに応じて都市の地震被害は異なる。正確な地震被害の評価には表層地盤の局所的な地震動増幅効果の評価も必要である。この点を考慮し、新潟市では KNET の NIG010 ステーションの 21 個の観測された地震動データを想定される地震シナリオとして利用した。また、表層地盤の地震動解析の有無による地震被害の違いも検討した。

IES の都市モデルとして、83 個のボーリングデータを使った 3 次元表層地盤モデルと、新潟市のビルデータセットを使った建物モデル群を構築した。検討の一例として、局所的な地震動増幅効果を考慮した場合と考慮しなかった場合の建物応答を図 1 に示す。図に示された応答は最上階の層間変形角である。

##### ( 2 ) 甲府市

甲府盆地は二つの川が流入しているため地盤構造は複雑である。この結果、地震動はもとより、埋設管に影響する地盤ひずみも特殊な集中をすることが懸念されている。IES に実装されている表層地盤の地震動解析では、3 次元モデルを使うため、地点毎の地盤ひずみを予測することも可能である。高い時空間分解能を利用し、他の手法では難しい埋設管への影響評価が可能である。

上記を背景に、IES を使って甲府市での表層地盤での地震動解析を行い、想定された一様基盤入力地震動が引き起こす地盤ひずみの空間分布を計算した。対象は 5,750m 四方であり 3 層の地盤モデルを構築した。なお、各地層は非線形 ( RO モデル ) としている。この結果、最表層の軟弱な堆積層においてひずみの集中が生じることを明らかにした ( 図 2 参照 ) 。

##### ( 3 ) 仙台市

IES で標準として利用する GIS データは、元データの収集・整備に地域毎に差があるため、必ずしも一様ではない。同一種類の都市デジタル情報でも非一様であることは、IES の都市モデルの自動構築には障害となっている。

仙台市の青葉区・太白区・泉区・若林区・宮城野区を対象に、IES の試行シミュレーションを行う場合、この GIS の非一様性が問題となった。建築建物の形状と高さデータは敢然に整備されているものの、用途がない建物階数は、一部、欠けているからである。一部の区では数割、建物階数のデータが欠けている。

都市デジタル情報の非一様性に対処するため、他のデータを使った推測を行う。建物階数の場合、高

さデータと適当と思われる確率分布を使って建物階数を推定するのである。推定された建物階数を使った建築建物の都市モデルを図3に示す。

上記が、各地域の大学の協力を仰ぎ、国内の複数の都市に IES の移植が進められている現状である。移植は IES の単純なオペレーションではなく、有効利用のための研究開発も必要である。また、シミュレーション結果を防災・減災に結び付けるためには、例えば、自治体等へ予測される災害・被害を提供することも重要となる。IES そのものの開発とともに、このような国内展開を将来課題として位置付けている。

(8) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Tsuyoshi Ichimura, Kohei Fujita, Pher Errol Balde Quinay, Lalith Maddeggedara, Muneo Hori, Seizo Tanaka, Yoshihisa Shizawa, Hiroshi Kobayashi and Kazuo Minami, Implicit Nonlinear Wave Simulation with 1.08T DOF and 0.270T Unstructured Finite Elements to Enhance Comprehensive Earthquake Simulation, *SC15: International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis*, doi: 10.1145/2807591.2807674, 2015.

Kohei Fujita, Tsuyoshi Ichimura, Muneo Hori, Lalith Maddeggedara and Seizo Tanaka, Scalable many-case urban earthquake simulation method for stochastic earthquake disaster estimation, *Procedia Computer Science*, 51, 1483-1493, 2015.

Ryoichiro Agata, Tsuyoshi Ichimura, Kazuro Hirahara, Mamoru Hyodo, Takane Hori, Chihiro Hashimoto and Muneo Hori, Numerical verification criteria for coseismic and postseismic crustal deformation analysis with large-scale high-fidelity model, *Procedia Computer Science*, 51, 1534-1544, 2015.

Leonel Enrique Aguilar Melgar, Wijerathne Maddeggedara Lalith Lakshman, Muneo Hori, Tsuyoshi Ichimura and Seizo Tanaka, On the Development of an MAS Based Evacuation Simulation System: Autonomous Navigation & Collision Avoidance, *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 2015 (in press).

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

堀 宗朗 東京大学・地震研究所 教授・センター長

市村 強 東京大学・地震研究所 准教授

ラリス ウィジャラトネ 東京大学・地震研究所 准教授

他機関との共同研究の有無 : 有

横松 宗太 京都大学・防災研究所 准教授

飯塚 敦 神戸大学・都市安全研究センター 教授・センター長

井料 隆雅 神戸大学・工学部 教授

今村 文彦 東北大学・災害科学国際研究所 教授・所長

寺田 賢二郎 東北大学・災害科学国際研究所 教授

阿部 和久 新潟大学・工学研究科 教授(災害・復興科学研究所所属)

エロール キナイ 新潟大学・災害・復興科学研究所 助教

廣瀬 壮一 東京工業大学・情報理工学研究科 教授(都市地震工学センター所属)

盛川 仁 東京工業大学・総合理工研究科 教授(都市地震工学センター所属)

鈴木 猛康 山梨大・工学研究科 教授(地域防災・マネジメント研究センター長)

宮本 崇 山梨大・工学研究科 助教

張 鋒 名古屋工業大学・工学部 教授(高度防災工学センター長)

甲斐 芳郎 高知工科大学・システム工学群 教授(地域連携センター所属)

清野 純史 京都大学・工学研究科 教授

吉田 秀典 香川大学・工学部 教授

平原 和朗 京都大学・理学研究科 教授

堀 高峰 JAMSTEC 主任研究員

浅井 光輝 九州大学・工学部 准教授

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：

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：堀 宗朗

所属：東京大学・地震研究所

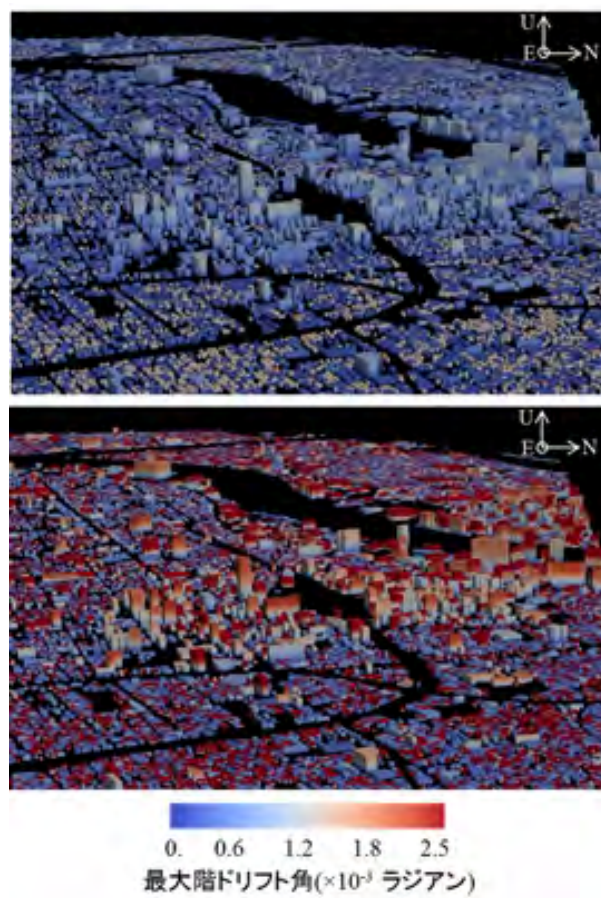


図1. 新潟市での地盤増幅効果の考慮の有無による建物応答の差の例  
上は考慮しない場合，下は考慮した場合．

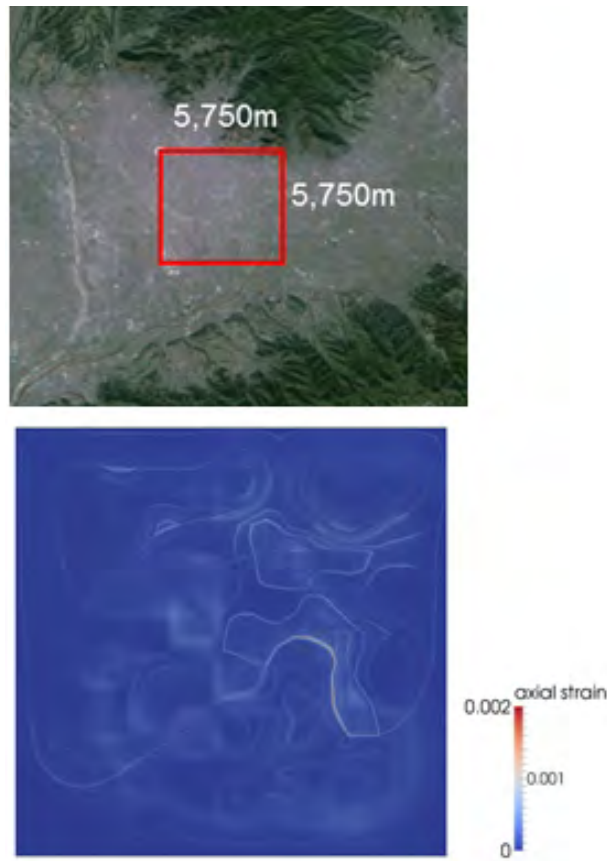


図 2. 甲府市での地盤増幅解析から得られた地盤歪の空間分布  
上は対象地区，下は第 1 主成分の分布 .

( 1 ) 実施機関名：

防災科学技術研究所

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

地殻活動の観測予測技術開発に関する研究

( 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

(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：

海溝型地震の発生メカニズムを解明するため、地震発生の一連の過程を解明するプレート間すべりの物理モデルに基づく大規模シミュレーション、実際の岩石を用いた模擬断層面によるすべり実験、さらにスロー地震・微動発生領域周辺での構造探査を行い、地震発生モデルの高度化を進める。また、構造物に被害を及ぼす強震動の予測技術を高度化するため、波動伝播理論に基づく波形データ解析を行い短周期地震波の生成過程や伝播特性の解明を進める。さらに沈み込み帯に位置するアジア・太平洋地域の観測データの収集を進め、それらを用いたグローバルな比較研究を通して、地震発生メカニズムの解明を進める。

( 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、プロジェクト終了予定の平成 27 年度末までの計画概要を記述する。

シミュレーション研究においては、巨大地震におけるプレート形状と摩擦構成則の相互作用、スロー地震・微動発生における摩擦構成則の検討を行う。実験研究においては、大型二軸試験機による実験、複合計測等を用いた高速すべり実験、ボーリングサンプル物性測定、断層すべり活動履歴解読のための手法開発を行う。また、東海地域での電気伝導度探査、津波の生成・伝播過程の研究、短周期地震



動の伝播過程の研究といった解析研究を行う。さらに、インドネシア・フィリピンでの CMT 解析、中央アンデス・ペルーの巨大地震の震源モデルの研究を通して、プレート境界型地震の比較研究を行う。

( 8 ) 平成 27 年度の成果の概要 :

本研究課題は、シミュレーション・実験・解析・国際比較の 4 つのテーマから構成されており、それぞれのテーマごとに成果を報告する。

【シミュレーション】

海山のような膨らみのあるプレート境界モデルを設定し、Hok and Fukuyama (2011, GJI) の境界積分方程式法を用いた数値シミュレーションを実施した結果、2011 年東北沖地震と同様に海溝付近における大きなすべりが再現された。近年、海溝付近で発生する浅部超低周波地震の活動からプレート境界浅部での SSE の発生が指摘されている (Asano *et al.*, 2015; Yamashita *et al.*, 2015)。これに基づき、南海トラフ全域を対象としたシミュレーションにおいて浅部に有効法線応力とカットオフ速度が低い領域を導入し、浅部の SSE から、深部の短期的 SSE、長期的 SSE、大地震の発生までを包括的に再現した。ただし豊後水道での長期的 SSE に同期した浅部の SSE の発生の再現には至っておらず、モデルおよびパラメータの検討が引き続き必要である。科研費による助成 ( 若手 B: 26800240 ) を受け、南海トラフのモデル化手法を Cascadia 地域の沈み込みプレート形状および観測されているスロー地震の分布を考慮して適用し、同地域における SSE の再現を試みた。その結果、各地域での SSE が実際の観測に近い 1 年程度の間隔で繰り返し発生する様子が再現された。

【実験】

防災科学技術研究所が所有する大型振動台を利用した岩石の二軸摩擦実験を実施した。これまで使用してきた変はんれい岩同土の実験に加え、大理石同土および変はんれい岩と大理石とを組み合わせたバイマテリアルの摩擦実験をおこない、摩擦すべりにともなって生じる条線の形状が岩石によって大きく異なることを確認した。また、大型二軸摩擦試験機で得られた定常すべりの摩擦特性と高速せん断摩擦試験機で得られた摩擦特性との間に違いが見られることについて、両試験機の実験における断層面の粗さや摩擦すべり時の垂直変位等に大きな違いがないことから、摩擦特性の違いはすべりにともなって断層面上で生成・成長する応力の空間的不均質に起因することを確認した。

【解析】

Saito (2013, EPS) の基礎理論を使用した海洋音響波・地震波・津波の連成シミュレーション手法を開発した。また、多様な巨大地震の発生様式とそれによる地震動および津波を予測するため、断層破壊と地震動・津波の連成シミュレーション手法を開発した。四国西部において実施している MT 法連続観測のデータに対し Honkura *et al.* (2013, Nat. commun.) の手法を適用して解析をおこない、地殻比抵抗の時空間変化に起因すると考えられるパラメータの変化を検出した。

【国際比較】

インドネシア・フィリピン・チリ北部地域の地震を対象に実施している SWIFT 解析結果とそれに連動した津波自動予測結果の Web 公開に関して、チリ全域を対象領域に加えた。さらに SWIFT の自動解析結果の精度と解析アルゴリズムの向上のための検討をおこなった。

また、フィリピン地域で発生した地震の SWIFT-CMT 解および gCMT 解を用いて応力テンソルインバージョンをおこなったところ、同地域の主応力軸方向は大局的にはプレート相対運動により説明可能であるものの、フィリピン断層中央部西側 ( ボホール地域 ) にプレート相対運動では説明できない領域が存在することと、その応力場の空間不均質がフィリピン断層の左横ずれすべりにより説明可能であることが明らかとなった。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Fukuyama, E. and Hok, S., 2015, Dynamic overshoot near trench caused by large asperity break at depth, *Pure and Applied Geophys.*, **172**, 2157-2165.

Togo, T., Shimamoto, T. and Yamashita, F., Fukuyama, E., Mizoguchi, K., Urata, Y., 2015, Stick-slip behavior

of Indian gabbro as studied using a NIED large-scale biaxial friction apparatus, Earthquake Science, **28**, 97-118.

Yamashita, F., Fukuyama, E. and Mizoguchi, K., Takizawa, S., Xu, S., Kawakata, H., 2015, Scale dependence of rock friction at high work rate, Nature, **254**, 257-528.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

防災科学技術研究所の第 3 期中期計画期間終了にともない当該研究課題は平成 27 年度で終了する。次年度以降当該研究課題については現時点で詳細について未定であるが次期中期計画に従って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 :

独立行政法人防災科学技術研究所 観測・予測研究領域 地震・火山防災研究ユニット  
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 アウトリーチ・国際研究推進センター  
電話 : 029-851-7611  
e-mail : [toiawase@bosai.go.jp](mailto: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 : 観測・予測研究領域 地震・火山防災研究ユニット

( 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 :

基盤的地震観測網、日本海溝海底地震津波観測網等より得られるデータを逐次的に解析することにより、地震、低周波微動、スロースリップイベント等の活動の現状把握を目指す。これらのモニタリング研究に基づく海溝型地震の切迫性評価に資する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を目指す。基盤的地震観測網等のデータに、これを補完する機動的な調査観測を加えることで、地震等のより詳細な活動状況および周辺域の構造等を明らかにし、その発生と発生場に関する理解を深めることも目指す。

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。そのため、現行の中期計画が終了する平成 27 年度末以降の目標については見直す可能性がある。

( 7 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

基盤的地震観測網、日本海溝地震津波観測網等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。必要に応じて機動的な調査研究を行い、基盤的地震観測網等のデータにこれを併せることで、より詳細な地震等の活動状況および周辺域の構造等を明らかにする。とくに、プレート境界付近で発生する地震や、低周波地震、スロースリップイベント等は、海溝型地震発生域およびその周辺域におけるプレートの固着状態やその時間変化の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(「地殻活動の観測予測技術開発に関する研究」)とも協力し、モニタリング成果を活かしたプレート境界すべりのモデル構築および数値シミュレーション研究を行う。本課題によるモニタリング成果は、地震調査委員会、地震予知連絡会等に随時提供される。

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。そのため、現行の中期計画が終了する平成 27 年度末以降の計画については見直す可能性がある。

( 8 ) 平成 27 年度の成果の概要 :

成果の概要としてとくに、南西諸島および東北地方太平洋沖で発生する超低周波地震、四国地域における地震波減衰構造解析、および地震に伴う地震波速度変化とその回復の解析を行った結果について以下報告する。

南西諸島の超低周波地震については、前年度までに設置した 3 点に加えて、新たに宮古島に 1 点の臨時観測点を設置して広帯域地震観測を継続するとともに、臨時観測開始以降の地震・超低周波地震をテンプレートとして、臨時観測開始以前の防災科研 F-net の記録の再解析を行った。この解析によって、奄美大島沖では 2003 年以降の約 12 年間に 8 回の顕著な超低周波地震活動があり、そのうちの 5 回について南西方向へのマイグレーションが起きていたことが明らかとなった。一方の日向灘では同期間に 6 回の顕著な超低周波地震活動があり、そのうちの 5 回が北東方向へのマイグレーションであった。このように、奄美大島沖と日向灘では超低周波地震活動のマイグレーション方向がそれぞれ概ね揃っていることが分かった。このような振る舞いは、例えば、奄美大島沖と日向灘との間の領域でプレート間すべりが先行し、奄美大島沖および日向灘の超低周波地震発生域では相対的にすべり遅れているような状況下における応力集中によって説明できる可能性がある。

東北地方太平洋沖の領域においても、超低周波地震が発生していることがこれまで防災科研の研究によって明らかにされ (Matsuzawa et al., 2015) , 2013 年までの活動状況が明らかになっていた。本年度はさらに 2014 ~ 2015 年について解析を行った。東北地方太平洋沖の超低周波地震活動は大きく分けて 3 つのクラスター状の領域で発生している。東北地方太平洋沖地震後、大すべり域における活動は引き続き検出されおらず、静穏化が継続している状況とみられる。一方で、福島・茨城沖や岩手沖では、超低周波地震の活動度は全体として徐々に減少しているものの、活動が活発化する時期と比較

的低調な時期がみられる。東北地方太平洋沖地震後は、この活発化が顕著にみられるようになっている。近年の他機関による地殻変動や相似地震の研究結果と同様に、これはスロースリップイベントが発生している可能性を示唆する。

四国地域について、P波の地震波減衰構造の推定を行った。その結果、長期的スロースリップイベントの上盤側の地殻内では、減衰が大きいことが示された。加えて、深部低周波微動活動のセグメント境界付近は、地震波減衰が大きく変化する領域と対応していることが明らかになった。さらに、地表の隆起量との比較を行うと、上盤側の減衰が大きな領域は、隆起量の大きな領域と一致し、地形形成、地殻の減衰構造、プレート境界における微動のセグメント形成が関連している可能性が示唆された。

2014年長野県神代断層地震(MW6.2)に伴い、Hi-net 妙高高原観測点で地震波速度の低下と回復を観測した。Hi-net に併設されている KiK-net 観測点の鉛直アレイ記録と Hi-net の雑微動記録とを併用し、地表から Hi-net 設置深度 150m までの浅部と、150m より深い領域での速度変化を分離して検出することに成功した。本震の 7 日以内では浅部と深部の速度低下率はそれぞれ 3.1% と 1.4% であり、地盤浅部での強震動の増幅による浅部の速度低下が著しいことが明らかとなった。また、本震から 7 日-4 カ月の期間では浅部と深部でそれぞれ 1.9%、1.1% まで回復し、浅部の速度回復がより早いことが分かった。

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 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :  
Takanori Matsuzawa, Yoichi Asano, and Kazushige Obara (2015), Very low frequency earthquakes off the Pacific coast of Tohoku, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 4318-4325, doi:10.1002/2015GL063959.  
防災科学技術研究所 (2015), 日本周辺における浅部超低周波地震活動 (2014 年 11 月~2015 年 5 月), 地震予知連絡会会報, 94, 5-7.  
防災科学技術研究所 (2015), 西南日本における深部低周波微動活動 (2014 年 11 月~2015 年 4 月), 地震予知連絡会会報, 94, 318-323.  
防災科学技術研究所 (2015), 西南日本における短期的スロースリップイベント (2014 年 11 月~2015 年 4 月), 地震予知連絡会会報, 94, 337-343.  
防災科学技術研究所 (2016), 日本周辺における浅部超低周波地震活動 (2015 年 5 月~10 月), 地震予知連絡会会報, 95, 印刷中.  
防災科学技術研究所 (2016), 西南日本における深部低周波微動活動 (2015 年 5 月~2015 年 10 月), 地震予知連絡会会報, 95, 印刷中.  
防災科学技術研究所 (2016), 西南日本における短期的スロースリップイベント (2015 年 5 月~2015 年 10 月), 地震予知連絡会会報, 95, 印刷中.  
防災科学技術研究所 (2016), 東北地方太平洋沖地震前後のスロースリップ地震活動の変化, 地震予知連絡会報, 95, 印刷中.

(10) 平成 28 年度実施計画の概要 :

防災科学技術研究所の第 3 期中期計画期間終了に伴い、当研究課題を実施してきた運営費交付金によるプロジェクト研究は平成 27 年度で終了する。次年度以降当該研究課題については、防災科学技術研究所の次期中期計画が未確定であるため現時点で未定であるが、次期中期計画に従って実施する予定である。また地殻活動のモニタリング成果については、引き続き地震調査委員会、地震予知連絡会等の関係機関に随時提供する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

独立行政法人 防災科学技術研究所  
観測・予測研究領域

地震・火山防災研究ユニット  
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 アウトリーチ・国際研究推進センター

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：松澤孝紀

所属：観測・予測研究領域 地震・火山防災研究ユニット

( 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：

火山の噴火様式や推移予測，火山活動分岐判断のため，基盤的火山観測網によるデータの解析，噴火予測システムの開発，数値シミュレーション技術の開発，及び国際火山データベース WOVOdat の運用により，火山活動分岐判断に資する研究を実施する．

( 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計画に基づいたものである．

平成 26 年度は，噴火予測システムの高度化において，群発火山性地震・微動の震源決定高速化・高精度化，火山性地震の分類，震源決定自動化(火山観測網リアルタイムデータ活用)，WOVOdat のミラーサイト強化を行う．また，噴火メカニズムの解明と噴火・災害予測シミュレーション技術開発において，岩脈貫入シミュレーション，溶岩流シミュレーション，大規模カルデラ噴火評価，掘削コア試料の解析を通し，火山活動分岐判断に関する研究を行う．対象火山は，基盤的火山観測網を整備した火山や桜島などの国内外で活発な火山とする．

平成 27 年度は，噴火予測システムの高度化において地震・地殻変動等データの総合的な異常判定に関する開発を行うとともに，シミュレーション技術を活用した噴火形態評価に関する研究を行う．

平成 28 年度以降についても，防災科学技術研究所の次期中期計画に基づき，火山活動の観測予測技術開発に関する研究を行う．

( 8 ) 平成 27 年度の成果の概要：

基盤的火山観測網で観測された火山性地震の 10～20%は、互いに波形がよく似た相似地震であることを確認し、火山でも相似地震をモニターすることにより応力場の変化をモニターできる可能性を示し

た。さらに震源及び発震機構解を高精度に自動決定する方法を開発した。また、小笠原硫黄島において地質調査による火山活動史の再検討を行い、約 2700 年前以降には 1km<sup>3</sup> を超える噴出物を放出した大規模な噴火活動があり、噴火様式が一連の活動中に複雑に変化したことを明らかにした。

衛星 SAR 解析からは、2011 年新燃岳噴火に伴う地表変動を調査した。深部マグマだまりの膨張・収縮に関する地殻変動モデルを構築した他、1/29～1/31 の期間に 7.7 × 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/day の速度で溶岩が流出したことを明らかにした。さらに、最後の爆発から 2 年以上経過した時点においても、約 100m<sup>3</sup>/day の速度で溶岩流出が継続していることが明らかとなった。

岩脈貫入シミュレーションにおけるマイクロ現象であるクラックの伸展シミュレーション、およびマクロ現象の粒子法による解析を行った。溶岩流シミュレーションにおいて、メッシュサイズ依存性 (10m,50m,100m) 評価を行い、高分解能シミュレーションの必要性を示した。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

開発した相似地震解析による火山性地震のモニタリング手法、地震計アレイデータの解析による火山性微動の解析手法等は、次期中長期計画では、一元化火山観測システムに実装し、事象系統樹の分岐判断技術開発等に資する共に、リモートセンシングによる観測技術開発、シミュレーションを中心とした予測技術開発を統合し、火山災害に関する情報共有システムを通じて火山活動評価や防災対応への活用に資する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

独立行政法人防災科学技術研究所  
観測・予測研究領域 地震・火山防災研究ユニット  
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 アウトリーチ・国際研究推進センター  
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 : 藤田英輔  
所属 : 防災科学技術研究所 観測・予測研究領域 地震・火山防災研究ユニット



( 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：

( 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、日本全国で均質なデータを得るための基盤的地震観測施設(高感度地震観測網、広帯域地震観測網、強震観測網等)の安定的な運用に努めるとともに、既存の観測施設の維持管理及び必要な更新を行う。また、東北地方太平洋沖地震を受けて構築が進められている日本海溝海底地震津波観測網の整備を行う。整備後には、陸域の基盤的地震観測網とともに、日本海溝海底地震津波観測網等を運用することにより、津波の早期検出・予測に資するデータを提供する。

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)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。これにより得られた観測データについては、全国の大学が運用する火山観測網のデータとの共有化を進める。

地震・火山観測網により得られたデータは蓄積し、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。地震・火山観測データを用いた解析結果等については、発災時を含め関係機関へ速やかに提供する。

なお、防災科学技術研究所の中期目標は平成 27 年度末までなので、それ以降の目標については見直す可能性がある。

( 7 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :

防災科学技術研究所は、陸域の基盤的地震観測網について安定的な運用を継続するとともに、日本海溝海底地震津波観測網の整備を行う。高感度地震観測網等の陸域の基盤的地震観測網や海域における日本海溝海底地震津波観測網等を運用することにより、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。特に、日本海溝海底地震津波観測網等のデータを活用した津波の早期検出・予測に資するデータを提供する。

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・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、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。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。

なお、防災科学技術研究所の中期計画は平成 27 年度末までなので、それ以降の計画については見直す可能性がある。

( 8 ) 平成 27 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。日本海溝海底地震津波観測網(S-net)の構築に関して、平成 27 年度については、宮城・岩手沖(岩手県~宮城県)、茨城・福島沖(宮城県~茨城県)の敷設工事を実施した。2016 年 2 月現在、釧路・青森沖(北海道~青森県)の敷設工事を実施中である。

「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)に基づいて整備した阿蘇山など 11 火山 32 箇所の観測データについて、防災科研のホームページから公開を開始した。また、「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、那須岳の既存 3 観測点を基盤的火山観測施設に機能強化するとともに、故障、老朽化した観測機器の更新を行った。

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常的に蓄積し、防災科研のホームページから公開している。

日本全国に展開する広帯域地震観測網 F-net に設置されている観測機器の正常性を網羅的にチェックするシステムの改修を行った。昨年度は広帯域地震計をチェック対象として、遠地地震の観測点記録を近傍の観測点間で相互比較することにより、正常性をチェックするシステムを開発した。このシステムは F-net の観測点密度の高さを生かしたものであったが、観測点密度が疎な離島域などではチェックができなかった。そこで、今年度はシステムを速度型強震計に拡張することにより、(1)速度型強震計の正常性チェック、(2)小笠原(OSW)観測点を除く全観測点の正常性チェック、が可能になった。また、これらのチェック結果と背景ノイズのパワースペクトル密度の変化を比較することにより、地震計の応答特性異常と背景ノイズの関係を明らかにした。

日本列島の三次元地震波速度構造モデルから、鉛直方向の地震波速度勾配を抽出し、地震波速度が7.2km/sの等速度面をモホ面とする新たなモホ面形状を推定した。北海道南東部や関東北東部など、顕著に浅いモホ面が推定されている。また、太平洋プレートの沈み込みに依る圧縮場により日本海拡大時のリフトの形成が中絶してしまった中絶リフトの下では、下部地殻が高速度である一方、モホ面は浅くなっている。

Double-Difference法を用いた日本全国高分解能再決定震源カタログ(JUICE)の第一版を構築した。カタログ構築により詳細かつ明瞭な震源分布のイメージが描き出され、例えば中国地方では既知の活断層がない場所でも明瞭なクラスター状や線状の震源分布を確認することができた。このことは、再決定カタログを用いることによってまだ確認されていない未知の活断層の検出が期待される。詳細な震源分布から試験的にD95(ある深さより上位に地震数の95%が含まれるという指標)を推定した。震源再決定によって深さ方向の震源分布の広がりを抑えることによって、従来用いられるD90よりも微小地震活動のほぼ下限を示すD95を利用することが可能になる。2014年11月22日に長野県神城断層地震(Mjma6.7)が発生した神城断層に沿いでは、D95は南方ではほぼ一定の値を示し北方に向かいやや浅くなる傾向を示す。D95を神代断層地震の前震や余震の震源分布の下限と比較するとほぼ一致しており、活断層評価における地震規模の推定に必要な地震発生層下限の正確な情報を提供できる可能性を示唆する。

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。

- (9)平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Kimura, T., H. Murakami, and T. Matsumoto, 2015, Systematic monitoring of instrumentation health in high-density broadband seismic networks, Earth, Planets and Space, 67:55, do:10.1186/s40623-015-0226-y.

- (10)平成28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について安定的な運用を継続する。日本海溝海底地震津波観測網については、整備とともに、新たに運用も開始し、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」に組み込む減衰構造の推定に着手する。また、前年度に引き続き、JUICE等の震源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。

なお、防災科学技術研究所の中長期計画の変更に伴い、見直す可能性がある。

- (11)実施機関の参加者氏名または部署等名：

防災科学技術研究所

観測・予測研究領域

地震・火山防災研究ユニット

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 アウトリーチ・国際研究推進センター  
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：観測・予測研究領域地震・火山防災研究ユニット

( 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：

リモートセンシング技術は、現地観測では検出困難なほどの高密度情報を得ることが可能である。また、災害発生時などの現地へのアクセスが困難な場合においても、遠隔地からの観測が可能という利点も有している。このようなリモートセンシング技術を用いて、より効率的に火山活動把握に役立つ情報を得る技術を開発することを目標として、以下に示す研究を実施する。

合成開口レーダー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。

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：

火山活動に関する地殻変動・ガス・温度等の把握を目的とし、SAR 解析技術の開発、航空機搭載型光学センサーに関する観測・解析技術の開発を進める。本課題は、防災科学技術研究所の中期計画に基づいた計画である。

平成 26 年度においては、永続散乱体 SAR 干渉解析において、数値気象データからの大気遅延推定手法を併用する技術を開発する。また、ALOS-2 データの解析に向けたソフトウェア開発も進める。航

空機搭載型光学センサーに関する開発においては、現行 ARTS を単発航空機用に搭載するためのインターフェースを完成させる。

平成 27 年度においては、ALOS-2 データ等を用いた 3 次元地殻変動検出を試みる。多観測モード（衛星）のデータから得られた SAR 解析結果を結合する等、永続散乱体 SAR 干渉法に関する高度解析技術に関する研究を進める。また、単発航空機に搭載した装置を改良型 ARTS として修理改造検査を受検し搭載許可を取得する。

平成 28 年度以降についても、防災科学技術研究所の次期計画に基づいて、リモートセンシング観測・解析技術に関する研究を進める。また、活動が活発化した火山に対し、SAR 解析および改良型 ARTS による観測・解析を適宜実施する。

（ 8 ）平成 27 年度の成果の概要：

本課題においては、合成開口レーダー（SAR）干渉解析ツール（RINC）の改良、および SAR 解析による霧島山、桜島、十勝岳等の地表変動研究を行った。また、防災科研が開発した航空機搭載型光学センサー（ARTS）の改良を進めた。以下に、その概要を述べる。

RINC は平成 26 年度に開発した SAR 干渉解析ツールであり、SAR 研究グループ（PIXEL）において公開している。今年度においては処理の高速化を行った他、欧州宇宙機関（ESA）が 2014 年より運用している Sentinel-1A のデータの解析にも対応した。また、帯域が異なるモードで観測された PALSAR-2 データを用いた SAR 干渉解析にも対応した。

新燃岳（霧島山）の火口内においては、前年度までの研究において、膨張変形が継続的に生じていることを明らかにした。平成 27 年度においては、新たに観測された PALSAR-2 や Sentinel-1A のデータを用い、膨張速度は時間と共に減少しつつも、平成 27 年末においてもわずかながら継続していることが確認された。平成 24 年初頭においては約  $300\text{m}^3/\text{日}$  の体積増加率が求まっていたが、平成 27 年末においては  $10\text{m}^3/\text{日}$  以下と求まった。さらに、PALSAR-2 の左・右方向視によって北・南行軌道から観測された画像を解析して得られた衛星 - 地表間距離変化を用い、3 次元地殻変動分布の推定を試みた。推定結果の南北成分にバラつきが大きく、実用的に用いるためには改良が必要と考えられる。

北海道の十勝岳に対して複数の波長を用いた SAR 干渉解析を行った。これまで、十勝岳の山頂近傍においては、2006 年以降、GNSS 連続観測により局所的な地殻変動が継続的に生じていることが知られていた。今年度に観測された X-band SAR 衛星・TanDEM-X と L-band SAR 衛星・ALOS-2/PALSAR-2 のデータを解析したところ、2015 年 5 月から 7 月にかけて、これまで検出されていたよりも大きなレートで地殻変動が生じていたことが明らかとなった。この結果は同時期に行われた GNSS 観測の結果とも一致する。地形を考慮した地殻変動モデリングの結果、山頂近傍の地下約 300m に地殻変動源が位置すると推定された。

2009 年以来、昭和火口から活発な噴火活動を続ける桜島に対して、2010 年より行われている X-band SAR 衛星・COSMO-SkyMed によるモニタリングを継続して行い、さらに L-band SAR 衛星・ALOS-2/PALSAR-2 による観測も行った。その結果、2015 年 8 月に局所的な地殻変動が検出され、昭和火口地下約 1? にダイクの貫入があったことを明らかにした。

航空機搭載型光学センサーに関する研究においては、現行 ARTS を改良した小型の単発航空機（C208）に搭載可能な改良型 ARTS を、ARTS-SE として完成させた。また、ARTS-SE の修理改造検査を受検し、2015 年 6 月に航空機搭載許可を取得した。また、同装置の試験観測を 2015/11/19（名古屋）、2015/11/27（安城市）、2015/11/29（浅間山）、2015/12/5（箱根山）に実施し、今後の火山観測の準備を整えた。

（ 9 ）平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 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 28 年度実施計画の概要：

平成 27 年度までは衛星 SAR および航空機搭載型光学センサーを用いた火山活動把握に関する研究

を進めた。平成 27 年度で防災科学技術研究所の第 3 期中期計画が終了するため、当該研究課題は一旦終了となるが、平成 28 年度以降においても次期中期計画に基づいて、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 :

独立行政法人防災科学技術研究所

観測・予測研究領域 地震・火山防災研究ユニット

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 アウトリーチ・国際研究推進センター

電話 : 029-851-7611

e-mail : [toiawase@bosai.go.jp](mailto: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 : 小澤拓

所属 : 防災科学技術研究所 観測・予測研究領域 地震・火山防災研究ユニット

( 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

海洋の調査研究、開発において各種データ等を取得するための船舶、海洋観測網、観測機器等を高度化することは、広大な海洋空間を総合的に理解する上で必要不可欠であり、我が国の海洋科学技術を推進する上で極めて重要である。このため、未踏のフロンティアへの挑戦、新たな分野の開拓を可能にする先端的基盤技術を開発するとともに、それらを最大限に活用し、組織横断的に取り組む。



具体的には、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で、地球表層及びマントルの大規模運動を評価する。

（8）平成 27 年度の成果の概要：

<1> 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

本項目は3つのテーマに大別され、概要は以下の通りである。

（1）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の構築

（石川）掘削試料を用いた地震断層・地球環境変動・マグマ等諸過程における物質循環・素過程の解析手法の構築を目的として、高精度同位体分析法と高分解能同位体分析法の開発を継続して行った。具体的には、軽金属元素高精度同位体分析の迅速化及び実試料データの取得、重金属元素の超高精度同位体分析法開発の多元素への拡大等の技術開発、岩石・鉱物・微生物試料表面を高空間分解能で元素・同位体分析を行うための各種試料の調整・準備法及び高精度酵素同位体分析法や揮発性元素等の微小領域分析法の開発を行った。

（2）掘削技術・計測技術、大深度掘削を可能とする基盤技術の開発

(CDEX 許) 地球深部探査船「ちきゅう」が所期の研究成果を挙げるために科学掘削等を安全かつ効率的に実施するための運用及び機器・システムに係る技術開発、および船体を含むシステム全体の効率的な維持・管理に資する知見の蓄積を継続して行った。

具体的には超硬岩層や高温域掘削に向けた泥水駆動型高機能コアバーレルの耐久性向上と性能評価を行い、硬岩で 4.5m のフルコア回収に成功したほか、HPCS(ピストン式コアバーレル)をより深い深度まで適用し、コア汚染の少ないコアを採取するために、高強度化したコアバーレルの開発を開始した。また、マントル掘削などに適用を目指し、硬い岩石に対して高耐久性を有するコアビットの開発を行った。その他、大深度ドリルパイプの開発、大水深ライザーシステムの開発を継続して行き、CFRP ライザーの主管の試験体による強度試験の実施と炭素繊維の補助管への適応の検討を行った。

(3) 海底下の構造や性質を重層的に把握するための多種多様データの統合技術の開発

(ODS-Moe) 掘削情報を科学目的に使用するためのデータ加工法の検討を進めるとともに、カッティングス・泥水検層の高度利用法の検討、それらに係わる機器開発を継続して行った。

具体的には、ドリルパイプに関する掘削関連データの取得と強度モニタリングのためのモデル化を行った。また掘削データ解析に関する産業界との共同研究開始のため、既存掘削データ統合に関する研究のまとめを行い、掘削工学的手法を用いたジオメカニクスに関する産業界との共同研究を開始した。「ちきゅう」を使った現場実験を計画するための準備作業を行った。

<2> 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

本項目の概要は以下の通りである。

(1) 島弧進化の総合的理解と大陸地殻成因の解明

(田村 G) 大陸成因に関する新仮説検証のため、IBM 掘削等の試料を採取し、分析・解析を実施した。また沈み込み帯の流体循環解明に向けて、ユーラシア大陸東縁における火成岩試料の採取と解析を行う分析と流体試料の採取を行い、沈み込み帯温度構造と流れ場に制約を与えることができた。

プレートの進化過程解明に向けて様々な場での構造不均質性を明らかにするため、海洋プレートの地震・電磁気学的詳細構造解析を行った。また、プレートの物性や地震・マグマ発生機構を制約するため、それらの支配的パラメーターであるプレート内の温度・水・メルト推定手法の開発を開始した。

(2) プレート構造と変遷等の解明

プレートの進化過程解明に向けて様々な場での構造不均質性を明らかにするため、海洋プレートの地震・電磁気学的詳細構造解析を行った。また、プレートの物性や地震・マグマ発生機構を制約するため、それらの支配的パラメーターであるプレート内の温度・水・メルト推定手法の開発を開始した。日本海溝域、関東南方海域等の掘削提案書(新規・改訂)を提出するため、既往掘削プロジェクトの試料・データ解析の展開による沈み込み帯浅部の地質・物理・化学特性と断層挙動の解明を行った。また、日本海溝域等の新規掘削計画の海域事前調査の実施及びデータ解析・解釈を行った。

陸域アナログ研究により、付加体浅部～深部の地質・物理・化学データを抽出し、南海・コスタリカ・日本海溝掘削及び陸域先行研究で得られた地質・物理・化学特性に関する知見を蓄積した。また、南海掘削により明らかになった、熊野沖南海トラフ付加体浅部の応力場について、これまで得られた知見を取りまとめた。

東北沖地震断層掘削で得られた断層物質の超低速摩擦実験の結果、プレート運動(年間 10cm 程度)という超低速において、摩擦挙動が不安定滑りを起こしていることが測定された。また、房総半島(「ちきゅう」が掘削を推進する南海の陸域アナログ)から、Out-of-Sequence Thrust (OST) を初めて確認した。断層ガウジに摩擦熔融組織が確認され、2011 年東北太平洋沖地震時のような、海底表層付近まで地震破壊が伝播していたことを明らかにした。

<3> 掘削科学による新たな地球内部の動態解明

物質科学および地球物理学の両面から地球内部構造の把握を進め、それらの構造が相互に、またどのようにマントル対流・プレート運動と関連するかを明らかにするために、シミュレーションを介しての解釈を継続して行った。

具体的には、北太平洋海域におけるアウターライズ掘削プレプロポーザルを提出するため、陸域アナログ物質の分析と、超深度掘削候補地点に関する事前研究を継続した。大陸の離合集散を考慮したマントルシミュレーションを提示するため、全マントルトモグラフィデータの収集とCMB異方性解析手法を開発を推進した。東西半球構造の典型的組成代表域または構造境界における組成記載について、火山岩 Sr-Nd-Pb 同位体比に基づく東西半球構造の組成の特徴と相違点が把握されつつある。地球内部水循環素過程を考慮した全球水循環数値プログラムの効率的計算アルゴリズムの構築を薦めた。

(9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Liu, Y.-H., Yang, H.-J., Takazawa, E., Satish-Kumar, M., You, C.-F., 2015. Decoupling of the Lu<sup>176</sup>/Hf<sup>177</sup>, Sm<sup>147</sup>/Nd<sup>143</sup>, and Rb<sup>87</sup>/Sr<sup>86</sup> isotope systems in eclogites and a garnetite from the Sulu ultra-high pressure metamorphic terrane: Causes and implications. *Lithos*, 234-235, 1-14.

Lai, Y.-J., Pogge von Strandmann, P.A.E., Dohmen, R., Takazawa, E., Elliott, T., 2015. The influence of melt infiltration on the Li and Mg isotopic composition of the Horoman Peridotite Massif. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 164, 318-332.

Yoshikawa, M., Python, M., Tamura, A., Arai, S., Takazawa, E., Shibata, T., Ueda, A., Satoh, T., 2015. Melt extraction and metasomatism recorded in basal peridotites above the metamorphic sole of the northern Fijah massif, Oman ophiolite. *Tectonophysics*, 650, 53-64.

Ker, C.-M., Yang, H.-J., Zhang, J., Shau, Y.-H., Chieh, C.-J., Meng, F., Takazawa, E., You, C.-F., 2015. Compositional and Sr<sup>87</sup>/Nd<sup>143</sup>/Hf<sup>177</sup> isotopic variations of Baijingsi eclogites from the North Qilian orogen, China: Causes, protolith origins, and tectonic implications. *Gondwana Research*, 28, 721-734.

Ikari, M. J., Y. Ito, K. Ujiie, and A. J. Kopf (2015), Spectrum of slip behaviour in Tohoku fault zone samples at plate tectonic slip rates, *Nature Geoscience*, 8, 870-874, doi:10.1038/ngeo2547

Lin, W., Byrne, T. B., Kinoshita, M., McNeill, L. C., Chang, C., Lewis, J. C., Yamamoto, Y., Saffer, D. M., Moore, J. C., Wu, H., Tsuji, T., Yamada, Y., Conin, M., Saito, S., Ito, T., Tobin, H. J., Kimura, G., Kanagawa, K., Ashi, J., Underwood, M. B., Kanamatsu, T. (2015), Distribution of stress state in the Nankai subduction zone, southwest Japan and a comparison with Japan Trench. *Tectonophysics*, doi: 10.1016/j.tecto.2015.05.008.

Kinoshita, M., H. Fukase, S. Goto and T. Toki (2015), In situ thermal excursions detected in Nankai Trough forearc slope sediment at IODP NanTroSEIZE Site C0008, *Earth, Planets and Space*, 67, 16, doi: 10.1186/s40623-014-0171-1

Saitoh, Y., Ishikawa, T., Tanimizu, M., Murayama, M., Ujiie, Y., Yamamoto, Y., Ujiie, K., and Kanamatsu, T. (2015), Sr, Nd, and Pb isotope compositions of hemipelagic sediment in the Shikoku Basin: Implications for sediment transport by the Kuroshio and Philippine Sea plate motion in the late Cenozoic. *Earth and Planetary Science Letters*, 421, 47-57, doi:10.1016/j.epsl.2015.04.001.

Miyakawa, A., Nawa, K., Murata, Y., Ito, S., Okuma, S., and Yamada, Y. (2015). Introduction to the Gravity Database (GALILEO) Compiled by the Geological Survey of Japan, AIST. *International Association of Geodesy Symposia*, doi:10.1007/1345\_2015\_112.

Hamada, Y., Sakaguchi, A., Tanikawa, W., Yamaguchi, A., Kameda, J. and Kimura, G.. (2015), Estimation of slip rate and fault displacement during shallow earthquake rupture in the Nankai subduction zone. *Earth Planet and Space*, 67:39, doi:10.1186/s40623-015-0208-0.

Lin W., O. Tadai, M. Takahashi, D. Sato, T. Hirose, W. Tanikawa, Y. Hamada, K. Hatakeda, (2015). An Experimental Study on Measurement Methods of Bulk Density and Porosity of Rock Samples, *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 3, 72-79, DOI: 10.4236/gep.2015.35009

林 為人、斉藤 実篤、モリ ジェームズ、江口 暢久、Sean TOCZKO、2014. 東北地方太平洋沖地震調査掘削 (JFAST) の概要とこれまでの主な成果、応用地質、第 55 巻、第 5 号、241-250, <http://doi.org/10.5110/jjseg.55.241>  
畠田 健太郎、林 為人、後藤 忠徳、廣瀬 丈洋、谷川 亘、濱田 洋平、多田井 修、(2015)、交流インピー

(10) 平成 28 年度実施計画の概要：

(平成 28 事業年度の業務運営に関する計画より関連部分を抜粋)

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にし、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。

<1> 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、それらの変動に関する理解を進める。さらに、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し、地殻変動や物質循環等の変動プロセスに関する理解を深める。

平成 28 年度は、南海掘削における巨大分岐断層掘削時の孔内状況モニタリング・データの統合と解析を実施する。地質評価、温度予測、計測技術調査、プロポーザル作成などを実施する。産業界との共同研究として試料採取と科学計測手法の改善、掘削の原理とその力学、振動の効果、高分解能データ計測に関する研究開発を実施する。

流体岩石相互作用解析のツールとしての軽金属元素高精度同位体分析の評価、重金属元素高精度同位体分析の実試料データ取得等の技術開発を行う。揮発性元素の高空間分解能イメージング法の開発と火山岩・包有物等の実試料データの取得、鉱物粒子の高精度ウラン-鉛同位体測定法等の微小領域観察・分析技術開発を行う。高精度/高分解能分析に基づく断層内過程 (陸上アナログ断層等)、地球深部生命、地球環境変動 (GBR 等)、地球内部循環 (IBM 等)、岩石鉱物形成過程研究を行う。

タービン駆動コアリングシステム (TDCS) の実用化を目指した海上試験を行う。高電圧パルスコアリングシステム概念設計を行う。その他以下の項目に着手する：高強度・極限環境ドリルパイプの課題抽出および改良；データ転送機能付きドリルパイプのプロトタイプ製作；ドリルパイプの強度や挙動モニタリングに向けての計測データ融合シミュレーション手法検討；インテリジェント掘削システム概念設計。超大水深ライザーシステムについて、CFRP ライザーの要素試験、大水深 BOP、デュアルグラジエントシステムの調査検討を行う。

<2> 海洋・大陸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、マンテ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。

平成 28 年度は、貞観～延宝地震域、北陸沖、四国中部南海トラフ、関西～山陰沖などの海域において、MCSOBS 調査観測とデータ解析、構造研究を実施し、比較研究も行う。海洋プレートの進化過程解明に向けて、太平洋プレートなどの海域において MCSOBS 調査等を実施し、データ解析を進め、構造研究と IODP の掘削プロポーザルに向けた準備を行う。環太平洋大航海によって環太平洋西南部～東部の MCSOBS 調査観測を行う。太平洋プレート 3 次元地震波速度構造の解析を開始する。また温度・水・メルト推定手法の開発を継続する。

南海掘削、スマトラ掘削、日本海溝掘削等により新規データを取得し、得られた試料・孔内データの

解析に着手する。関東南方の海底下構造を把握し、掘削事前調査を完了する。陸域アナログ研究をさらに進展させ、沈み込み帯の場と物質の時空発展を描像する。NanTroSEIZE 掘削に参加して新規データを取得する。NanTroSEIZE 掘削航海後研究を継続し、南海沈み込み帯の断層関連物性や応力分布の取りまとめを行う。また陸上アナログ試料等の化学分析により地震時の断層内物理化学過程を評価する。

JR 号による伊豆小笠原弧の掘削コアの分析・解析を完了する。「Return to IBM-3」掘削の実行および得られた掘削コアの分析・解析を開始する。また、「ちきゅう」を用いた大深度掘削実現に向けて、大陸成因研究に関する新仮説を提案する。それを検証するため、無人艇による西之島の溶岩採取に引き続き、初生マグマを採取するため、無人探査機 (ROV) により西之島海底火山の調査・試料採取をおこなう。分析試料の分析・解析を開始する。

島弧横断変化把握のため、東北・西南日本弧の岩石・流体試料、特に前弧域の深部流体採取を実施する。採取岩石・流体試料の包括的地球化学分析・解析を実施する。深部解析のため、共同研究の地震・電磁気観測に基づき、日本列島及び周辺領域の地殻流体・メルト・絶対応力分布マッピングを進める。統合モデル構築に向け、プレート運動、流体発生と移動、元素分別・輸送を組み込んだシミュレーションを実施する。

初期惑星進化研究のため、固体惑星の形成過程のプロダクトランにより、表層の形状変化と熱進化を再現するシミュレーションを実行する。また惑星衝突モデルの高度化を検討する。地球内部ダイナミクスモデリング構築に向け、H27 年に開発したモデルを 3 次元球殻シミュレーションに拡張する。

### <3> 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、その構造の把握に向けた研究開発を実施する。さらに、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評価する。

平成 28 年度は、ハワイ沖掘削候補地の構造探査データ、ヒートフロー等の海底データを取得する。オマーン等オフィオライト岩体や陸上で得られる深部岩試料の研究を進め、過去の海洋プレート構造の描像を予測し、マントル掘削の候補地点との比較検討を行う。マントル掘削候補地点であるコスタリカ沖とメキシコ沖の調査航海の準備を、外国の研究機関と連携して実施する。

地球深部のダイナミクスに関する以下の研究を行う：全マントルトモグラフィー、データ処理；CMB 異方性解析、データ収集；実際の大陸移動を再現するためのマントル構造とトモグラフィーモデルの比較検討；プレート沈み込みによるマントル内の攪拌・混合；構造浸食による大陸地殻の還流がマントル対流に与える影響；惑星サイズが大きい場合に、レイリー数の変化に対する対流構造やプレート形成への影響を調べ、地球の場合と比較する。

地球内部物質循環に関して、オントンジャワ及びチリ海嶺でドレッジを行い、採取試料の主成分、微量元素、同位体組成分析を開始する。マントル組成境界、及び巨大海台の特徴づけを行う。全地球的な火山岩組成データベース構築を継続し、半球構造のキャラクタリゼーション、特に水成分に富む領域の形成年代とその空間分布推定を行う。3 次元の対流、プレート沈み込み及び水輸送モデル構築を開始する。これらを統合し、東西半球構造の組成差の原因を推定する。

#### (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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、生物地球化学研究分野、海洋地球生命史研究分野、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：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：研究推進部研究推進第 1 課  
電話：046-967-9420  
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

( 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

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とともに、地震・津波が生態系に及ぼす影響とその回復過程を把握する。

(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（計 552,175,000 円（平成 26 年度）の内数）に基づき実施しているほか「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」、「HPCI 戦略プログラム分野 3 防災・減災に資する地球変動予測」等により得られたデータや成果を利用して実施している。

○第三期中期計画より関連部分を抜粋

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。さらに、地震・津波が生態系へ及ぼす影響とその回復過程についても評価する。

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 (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 27 年度の成果の概要：

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・津波像の解明に向けて、南西諸島種子島周辺海域と日本海北陸沖西部、日本海溝福島沖海域等の海域において、MCSOBS 調査観測とデータ解析を実施した。また、すべり分布や津波波源域との関係を把握するため、過年度のデータを含めた研究やそれらの比較研究も行い、それぞれの地震発生帯における構造的特徴を抽出した。

・DONET データと陸域観測点を用いて、DONET 周辺域のプレート構造を明らかにした。その結果、沈み込むプレートの厚さは約 30?であることを示した。

・地震発生予測では、ゆっくり地震と大地震の関連性の研究を実施し、東南海地震の超低周波地震活動の仮説を論文発表した (Ariyoshi et al., 2015, SEGJ)。

・逐次データ同化手法の改善を進めて学会発表するとともに、先行現象モデル構築研究に着手した。



- ・プレート境界すべり分布の新たな評価関数を提案し、論文発表した ( Nakata et al., EPS, 2016 )
- ・DONET1 と構築直後の DONET2 で広域かつ直上で浅部超低周波地震をとらえ、その解析速報を EOS に投稿した。

## 2. 地震・津波の総合災害ポテンシャル評価研究

- ・DONET 水圧計データを用いた津波増幅率による津波即時解析システムを開発し、和歌山県や尾鷲市、中部電力に実装した。和歌山県は、当該システムを用いた即時津波予測のための気象業務許可を取得し運用段階に至っている。DONET 観測点を動的に選択する当該システムの高度化をおこない現在実証を進めている。
- ・DONET 設置域周辺の微小地震の震源決定を行い、3 つのクラスターで構成され静穏化が進んでいることを示した。
- ・DONET2 構築に合わせて、DONET1 と 2 の統合運用を進め、既に気象庁での緊急地震速報や津波警報に利用されている DONET1 に DONET2 データも利用できるように準備を進めている。
- ・DONET 水圧計データを用いた津波増幅率による津波即時解析手法の高度化を行った。
- ・地震・津波シナリオでは、南海地震が日向灘地震によって誘発されるシナリオを提案し論文発表する ( Hyodo et al., 2016, EPS ) とともに、地震サイクル大規模計算コードを開発し、論文発表した ( Ando et al., 2015, IJHPCA )
- ・地震動・津波予測では、海溝型大地震の震源域に広がる海洋堆積層が長周期地震動の発達に影響することを実証し、論文発表するとともにプレスリリースを行った ( Nakamura et al., 2015, ScientificReports )
- ・即時解析では、海陸データ統合自動震源決定システムの導入の目処がついた。

- ( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :
- Arai Ryuta and Takaya Iwasaki, Transition from collision to subduction and its relation to slab seismicity and plate coupling, *Earth, Planets and Space* 2015, 67:76 (27 May, 2015)
- Fujie Gou, Shuichi Kodaira, Takeshi Sato, Tsutomu Takahashi, Along trench variations in the seismic structure of the incoming Pacific plate at the outer rise of the northern Japan Trench, *Geophysical Research Letters* Accepted manuscript online: 9 January 2016
- Tonegawa, T., Fukao, Y., Fujie, G., Takemura, S., Takahashi, T., Kodaira, S., Geographical distribution of shear wave anisotropy within marine sediments in the northwestern Pacific, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 2:27, doi:10.1186/s40645-015-0057-2, 2015.
- 高橋成実, 馬場俊孝, 石橋正信, 末木健太郎, 大林涼子, 金田義行, 津波増幅率を用いた即時津波予測システム構築, OES25-040, 日本海洋工学会・日本船舶海洋工学会, 2015.
- Ariyoshi, K. et al., A Trial Extraction of crustal deformation from seafloor hydraulic pressure gauges to estimate interplate coupling for subduction plate boundaries, *Proceedings of the 12th Society of Exploration Geophysicists of Japan International Symposium, 2015*, in press.
- 有吉 慶介・永野 憲・松本 浩幸・長谷川 拓也, 巨大地震震源域の特定に向けた海底観測網の新たな活用, *海洋理工学会誌*, 21 No. 1, 7-15, doi:10.14928/amstec.21.1.7., 2015.
- Ariyoshi, K. and Y. Kaneda, Practicality of monitoring crustal deformation processes in subduction zones by seafloor and inland networks of seismological observations, *Earthquakes and their impact on societies*, Sebastian D 'Amico (Ed.), Springer Berlin Heidelberg, p. 171-192, doi:10.1007/978-3-319-21753-6\_6., 2016.
- Hyodo, M., T. Hori and Y. Kaneda, A possible scenario for earlier occurrence of the next Nankai earthquake due to triggering by an earthquake at Hyuga-nada, off southwest Japan, *Earth, Planets and Space*, 68(1), 1-17., 2016.
- Nakata, R., T. Kuwatani, M. Okada, T. Hori, Geodetic inversion for spatial distribution of slip under smoothness, discontinuity, and sparsity constraints, *Earth, Planets and Space*, 2016, in press.

Nakamura, T., H. Takenaka, T. Okamoto, M. Ohori and S. Tsuboi, Long-period ocean-bottom motions in the source areas of large subduction earthquakes, Scientific Reports 5, 16648, doi:10.1038/srep16648, 2015.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

( 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  
東日本海洋生態系変動解析プロジェクト  
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 27 年度の成果の概要：

平成 27 年度は当初予定の石巻平野、福島県北部に加え、青森県太平洋沿岸の一部における津波堆積物に関する地質柱状図等の情報についてウェブ公開をした。また北海道東部のデータについて、すでに CD-ROM で出版済のデータや論文公表済みのデータをウェブ用に整備を進めた。

- ( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :
- ( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :  
平成 28 年度は引き続き北海道東部の津波堆積物について整備を進め、ウェブ公開をする。このほか静岡県沿岸などの津波浸水履歴情報の整備を進める。
- ( 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 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：

( 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 27 年度の成果の概要：

活断層データベースに収録している活動セグメントの形状やパラメータについて、最新の調査研究の成果に基づいて見直しを行い、28 の活動セグメントを新規追加するとともに、37 の活動セグメントの位置・形状を変更した。また調査地点データを 980 地点について追加した。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

なし

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要：

新規に公表された論文・報告書のデータを入力するとともに、新たな検索・表示機能の追加、セキュリティ対策の強化を行う。

( 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 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> [https://gbank.gsj.jp/activefault/index\\_gmap.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 : 吉岡敏和

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：

( 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 27 年度の成果の概要 :

監視・観測体制の充実が必要な活火山 ( 47 火山 ) の地質図整備では、富士山地域の地質図を解説書付きでとりまとめ、印刷中とした。伊豆諸島、恵山で噴火履歴調査を引き続き実施し、御嶽火山では調査を開始した。

日本の火山データベースでは、蔵王、九重、鳥海山の活火山に関する詳細データをデータベースに公開した。20 万分の 1 スケールでの全国火山図原稿作成を北海道～東北南部において実施した。

十和田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、ボーリング掘削およびテフラのルミネッセンス年代測定を実施し、大規模火砕流噴火に先行する 2 万年程度の低噴出期の存在を確認した。インドネシアの複数のカルデラ火山の現地調査により、カルデラ形成噴火に直前の数千年間で噴出率や噴火様式の変化を見出した。GIS を用いた阿蘇および十和田カルデラの大規模火砕流堆積物の噴出量の再検討を行なった。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 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/>>

Ishizuka, O., Taylor, R. N., Geshi, N., Oikawa, T., Kawanabe, Y. and Ogitsu, I., 2015, Progressive mixed-magma recharging of Izu-Oshima volcano, Japan: A guide to magma chamber volume. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **430**, 19-29.

及川輝樹, 2015, 噴火災害から学ぶ-御嶽山 2014 年噴火. *日本の科学者*, **50**, 230-235.

高田 亮, 2015, 将来を物語る激動の噴火史-宝永噴火後 300 年の富士山 ( 静岡県・山梨県 )-. *地学雑誌*, **124**, 69-78.

山元孝広, 2015, 富士山の噴火史と火山災害. *電気評論*, **100**, 18-21.

( 10 ) 平成 28 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、富士山地域の地質図を出版する。伊豆諸島、恵山、御嶽火山で引き続き調査研究を実施し、日光白根火山で調査を開始する。日本の火山データベースでは、富士山等に関する詳細データを公開し、また適切な更新を行う。十和田、阿蘇、インドネシア等の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、岩石学的手法による噴出物の解析を行う。火砕流堆積物及び降下火山灰の分布の再検討から、阿蘇および始良カルデラなどの大規模火砕流噴火の総噴出量の再検討を実施する。また阿蘇等のマグマ溜りの温度圧力条件を再検討し、マグマ溜りの規模や深度についての情報を整備する。

( 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 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/iev/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 27 年度の成果の概要 :

・千島-日本海溝

平成 27 年度は当初予定の北海道南部太平洋沿岸などに加え、福島県沿岸において津波堆積物調査を行った。

・相模トラフ

平成 27 年度は、当初予定通り房総半島で取得した詳細地形 ( DEM ) データの解析を行い、また掘削調査による既存のコア試料の分析を行って海岸段丘の年代を検討した。また茨城県沿岸や九十九里浜平野などで歴史津波記録と津波堆積物の調査を実施した。

・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加して津波履歴調査を担い、平成 27 年度はおもにこれまでに高知、和歌山、静岡などの現場で得られた掘削コア試料について分析を進めた。また富士川河口断層帯で 1854 年安政東海地震を対象とした歴史記録および地下構造の調査を行った。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

・千島-日本海溝

平成 28 年度は北海道および東北地方太平洋沿岸の津波堆積物調査を継続するとともに、歴史津波の波源断層についての検討を進める。

・相模トラフ

平成 28 年度は、房総半島で取得した詳細地形 ( DEM ) データの解析および掘削調査による既存のコア試料の分析を継続し、海岸段丘の年代と分布に基づいた断層モデルの検討を行う。

・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加して津波履歴調査を担い、平成 28 年度も既存の掘削コア試料について分析を進めるとともに、駿河湾周辺沿岸において隆起痕跡や津波堆積物などを対象とした掘削調査を実施する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

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 27 年度の成果の概要：

平成 27 年度は、これまでに実施した松本盆地東縁断層・大町借馬地区のトレンチ調査や、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。

松本盆地東縁断層北部の大町借馬地区では、トレンチ・ボーリング調査、S 波反射法地震探査を実施した。その結果、西傾斜の明瞭な逆断層構造が明らかとなり、最新活動に伴い約 2 m の上下変位が生じたことが明らかとなった。

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地表地震断層の分布と変位量について明らかにした。その結果、地表地震断層は約 9 km であり神城断層の一部で出現したこと、最大実変位量は約 2 m に達すること、主に活動した区間の南端は飯田付近であり神城盆地内の地表地震断層は副次的であることを明らかにした。これらの骨子を学会発表し、成果の一部を学術雑誌に投稿した。

また、地表地震断層上の飯森地区でトレンチ調査を実施し、2014 年地震最近 3 回の活動時期と地震時変位量を明らかにした。2014 年地震に先行するイベントの発生時期は 17 世紀以降に限定され、同イベントは 1714 年正徳小谷地震である可能性が高い。その際の上下変位量は 0.5m であり、2014 年地震と同程度である。この 300 年の発生間隔は内陸活断層の地表地震断層を伴う地震としては最も短い。その原因は、2014 年地震の震源域西側に蛇紋岩が局所的に分布すること、地震前から指摘されていた震源域周辺の高いひずみ速度 (Sagiya et al., 2004) が関連する可能性がある。さらに、2 つ前の古地震イベントは、約 2000 年前以降に生じ、その際の上下変位量は約 2m 以上である可能性が高い。以上から、神城断層の今回の震源域では、それぞれの地震規模に対応して地震時変位量が増加した可能性が高く、逆に地震時変位量を復元することによって、過去の地震規模や連動範囲をより正確に把握できる可能性が示唆された。これらの骨子を学会発表し、成果の一部を学術雑誌に投稿した。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

近藤久雄・勝部亜矢・黒澤英樹・佐々木亮道・阿部恒平・三輪敦志, 2016, 2014 年長野県北部の地震に伴う緊急トレンチ調査, 活断層研究, 43, i-ii . Katsube, A. et al, 2015, Displacement during the last surface-faulting on the northern termination of the East Matsumoto Basin Faults, Itoigawa- Shizuoka Tectonic Line active fault system -Trenching study at Karuma site, Omachi City, Nagano Prefecture-, XIX INQUA 2015, T19-P10. 近藤久雄, 2015, 2014 年長野県北部の地震と糸魚川 - 静岡構造線断層帯, 日本地質学会第 122 年学術大会 (2015 長野大会) 講演要旨集, R19-O-6 . 杉戸信彦・近藤久雄, 2015, 上町断層帯の最新活動と河内平野の地形環境変化, 地学雑誌, 124, 607-631 .

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要：

これまでの調査研究のとりまとめを引き続き実施し、セグメント境界周辺における地震時変位量を復元するための調査に着手する。

( 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：

( 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、水蒸気爆発発生に關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 SO<sub>2</sub> 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 27 年度の成果の概要 :

口永良部島、桜島、阿蘇、浅間山においてセスナ機を用いた Multi-GAS による火山ガス組成観測を実施し、口永良部島、桜島においては東京大学地震研究所と協力して無人ヘリを用いた Multi-GAS による火山ガス組成観測を実施し、噴火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。桜島火山において高時間分解能の SO<sub>2</sub> 放出率変動観測を実施し、噴火発生前における火山ガス放出率の減少を明らかにした。

雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、吾妻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。伊豆大島にて自然電位の連続観測を継続して実施した。薩摩硫黄島の自然電位分布を再現するような数値シミュレーションを実施し、マグマ - 熱水系の定量的なモデリングを行った。

桜島、阿蘇、口永良部島、箱根の火山灰の観察を行い、構成粒子組成の特徴やその変化を把握し、噴火の特徴を明らかにした。御嶽山噴出物の観察と熱力学的解析を行い、マグマ供給系の特徴を明らかにした。西之島火山 2015 年噴出物、口永良部島新岳 1966 年噴出物、洞爺火砕流の岩石学的解析を行い、マグマの特徴を明らかにした。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

Roulleau, E., Vinet, N., Sano, Y., Takahata, N., Shinohara, H., Ooki M., Takahashi, H. A., Furukawa, R., (2015) Effect of the volcanic front migration on helium, nitrogen, argon, and carbon geochemistry of hydrothermal/magmatic fluids from Hokkaido volcanoes, Japan. *Chem. Geol.*, 414, 42-58, doi: 10.1016/j.chemgeo.2015.08.006.

Kazahaya, R., Aoki, Y., Shinohara, H., (2015) Budget of shallow magma plumbing system at Asama Volcano, Japan, revealed by ground deformation and volcanic gas studies. *J. Geophys. Res., Solid Earth*, 120, 2961-2973, doi:10.1002/2014JB011715.

Shinohara, H., Miyabuchi, Y., Yoshikawa, S., (2015) Degassing Activity of a Volcanic Crater Lake: Volcanic Plume Measurements at the Yudamari Crater Lake, Aso Volcano, Japan. In "Volcanic Lakes (Eds., Rouwet, D., Christenson, B., Tassi, F., Vandemeulebrouck, J.), *Advances in Volcanology*, pp 201-217. doi:10.1007/978-3-642-36833-2\_8.

Shinohara, H., Ohminato, T., Takeo, M., Tsuji, H., Kazahaya, R., (2015) Monitoring of volcanic gas composition at Asama volcano, Japan, during 2004-2014. *J. Volcanol. Geothermal. Res.*, 303, 199-208. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2015.07.022.

Kazahaya, R., Maeda, Y., Mori, T., Shinohara, H., Takeo, M., (2015) Changes to the volcanic outgassing mechanism and very-long-period seismicity from 2007 to 2011 at Mt. Asama, Japan. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 418, 1-10. doi:10.1016/j.epsl.2015.02.034.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

桜島、阿蘇、浅間山において、Multi-GAS による火山ガス組成の連続観測および繰り返し観測を実施



し、火山活動推移に伴う火山ガス組成の変化を把握し、火山ガス供給過程のモデル化を行う。高時間分解能のSO<sub>2</sub>放出量変動観測の改良を行い、浅間山等で試験観測を実施する。火山ガスや熱水流動に伴う変質帯の形成が火山活動に及ぼす影響を評価するために、薩摩硫黄島、口永良部島等を対象として数値シミュレーションによる解析を進める。伊豆大島を対象として火山ガスの流動に伴う自然電位の応答特性を定量化する。

雌阿寒岳、十勝岳、樽前山、吾妻山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。

洞爺カルデラ、阿蘇火山、西之島火山等の噴出物の解析を行い、マグマの岩石学的特徴・揮発性成分濃度等を明らかにする。桜島、阿蘇火山等の火山灰の観察を行い、構成粒子組成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。

(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/ievgroup/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27年度の成果の概要:

産総研・防災科研・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を解析するシステムの運用を継続した。2014年11月~2015年10月に28の短期的ゆっくりすべりの断層モデルを決定した。

中国・四国地方のGNSSデータを解析し、1997年から2010年までのプレート間固着および長期的スロースリップの履歴を明らかにした。その結果、長期的スロースリップにより解放されるプレート間固着はすべり欠損により蓄積した量のたかだか40%程度であり、将来の地震に対する影響は限定的であることがわかった。また、6~7年周期で繰り返す長期的スロースリップから固着状態への回復は1年程度で完了することがわかった。

台湾・国立成功大学との共同研究の一環として開催している水文学的・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のプロシーディングスの過年度分を公開した。

(9) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

木口努・松本則夫・小泉尚嗣・北川有一・板場智史・落唯史・佐藤努, 2014, 東海・関東・伊豆地域における地下水等観測結果(2015年5月~2015年10月)(52), 地震予知連絡会会報, 95, 印刷中.

北川有一・板場智史・小泉尚嗣・高橋誠・松本則夫・武田直人・落唯史, 2015, 紀伊半島~四国の歪・傾斜・地下水観測結果(2014年11月~2015年4月), 地震予知連絡会会報, 94, 301-313.

北川有一・板場智史・小泉尚嗣・松本則夫・武田直人・落唯史, 2016, 紀伊半島~四国の歪・傾斜・地下水観測結果(2015年5月~2015年10月), 地震予知連絡会会報, 95, 印刷中.

北川有一・板場智史・小泉尚嗣・松本則夫・武田直人・落唯史, 2016, 近畿地域の地下水位・歪観測結果(2015年5月~2015年10月), 地震予知連絡会会報, 95, 印刷中.

北川有一・小泉尚嗣・高橋誠・佐藤努・松本則夫・板場智史・落唯史・桑原保人・木口努, 2015, 近畿地域の地下水位・歪観測結果(2014年11月~2015年4月), 地震予知連絡会会報, 94, 314-317.

小泉尚嗣・木口努・高橋誠・松本則夫・北川有一・板場智史・落唯史・佐藤努, 2015, 東海・関東・伊豆地域における地下水等観測結果(2014年11月~2015年4月)(51), 地震予知連絡会会報, 94, 262-268.

Koizumi, N., N. Matsumoto, and C.-L. Shieh eds., 2015, Proceedings of the 13th Japan-Taiwan International Workshop on Hydrological and Geochemical Research for Earthquake Prediction. GSJ Open-file Report, no. 621, 1 CD-ROM, Geol. Surv. Japan, AIST.

Imanishi, K., T. Uchide, and N. Takeda, 2016, Determination of focal mechanisms of nonvolcanic tremor using S wave polarization data corrected for the effects of anisotropy, Geophys. Res. Lett., 43, doi:

10.1002/2015GL067249.

Ochi, T., 2015, Temporal Change in Plate Coupling and Long-term Slow Slip Events in Southwestern Japan, Earth Planet Sci. Lett. 431, 8-14, 118, 4847-4860, doi: 10.1016/j.epsl.2015.09.012.

落唯史・板場智史・小泉尚嗣・北川有一・高橋誠・松本則夫・武田直人・木村尚紀・木村武志・松澤孝紀・汐見勝彦, 2015, 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(2014年11月~2015年4月), 地震予知連絡会会報, 94, 250-261.

落唯史・板場智史・小泉尚嗣・北川有一・松本則夫・武田直人・木村尚紀・木村武志・松澤孝紀・汐見勝彦, 2016, 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(2015年5月~2015年10月), 地震予知連絡会会報, 95, 印刷中.

Shieh, C.-L., N. Koizumi and N. Matsumoto eds., 2015, Proceedings of the 12th Taiwan-Japan International Workshop on Hydrological and Geochemical Research for Earthquake Prediction. GSJ Open-file Report, no. 620, 1 CD-ROM, Geol. Surv. Japan, AIST.

(10) 平成28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、既存の地下水観測点の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>

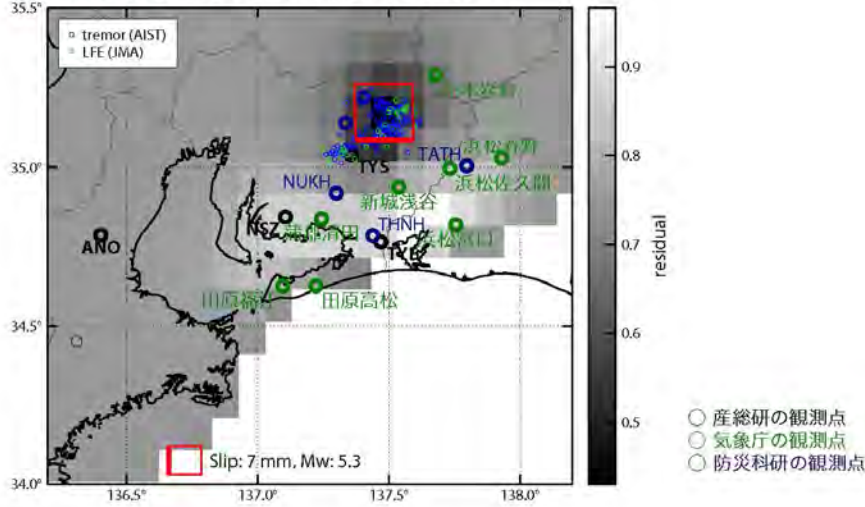
(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 松本則夫

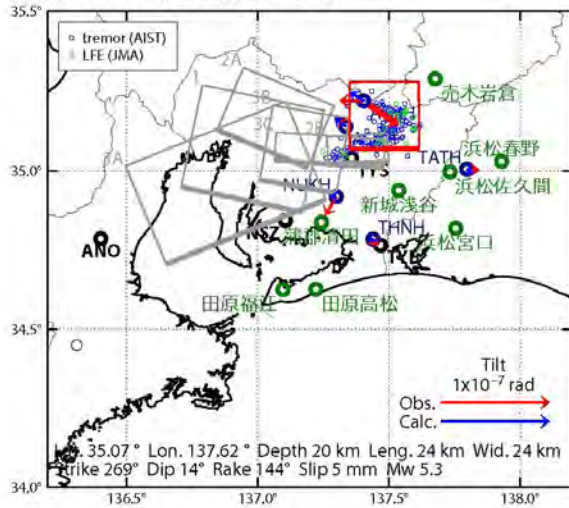
所属: 活断層・火山研究部門

[B3] 2015/4/18

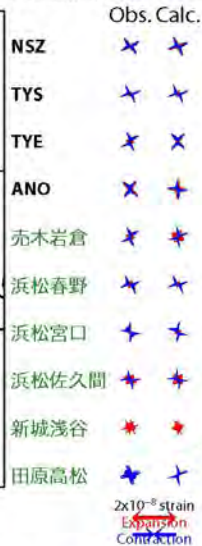
(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



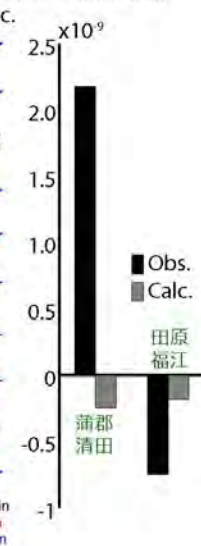
(b1) 推定された断層モデル, 傾斜の比較



(b2) 主歪の比較



(b3) 体積歪の比較



[観測点名] NSZ: 西尾善明, TYS: 豊田神殿, TYE: 豊橋多米, ANO: 津安濃

図1 2015/4/18の歪・傾斜変化を説明する断層モデルと断層パラメータ (落・他, 2015)

矢印は傾斜の観測値と計算値の比較. 灰色矩形は周辺で発生した短期的SSEの推定断層面 (1: 2014/7/27-8/1 (Mw 5.7)、2A: 2015/1/12-14 (Mw 5.6)、2B: 2015/1/15-18 (Mw 5.2)、3A: 2015/4/4-8 (Mw 5.8)、3B: 2015/4/14PM-15 (Mw 5.7)、3C: 2015/4/16-17 (Mw 5.7)) (b2) 主歪の観測値と (b1) に示した断層モデルから求めた計算値との比較. (b3) 体積歪の観測値と (b1) に示した断層モデルから求めた計算値との比較. 小さい青色丸印は産総研による深部低周波微動、緑色丸印は気象庁一元化カタログによる低周波イベントの震央位置を示す. 黒色は産総研の、青色は防災科研 Hi-net の観測点を、緑色は気象庁の観測点名を示す.

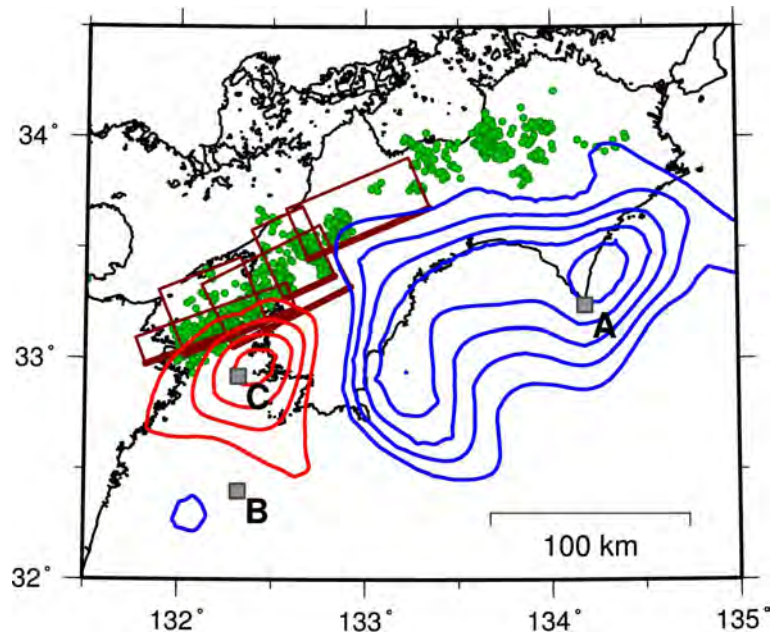


図2 2003年～2004年のプレート間固着（青色コンター）とスロースリップ（赤色コンター）の分布（Ochi, 2015）  
 濃い赤の四角は Sekine et al. (2010) による 2003 年に発生した短期的スロースリップの断層分布で、緑色の点は気象庁による 2003 年の深部低周波地震の震央。プレート境界の地点 A、B、C は第 3 図で積算のプレート間固着を示す。

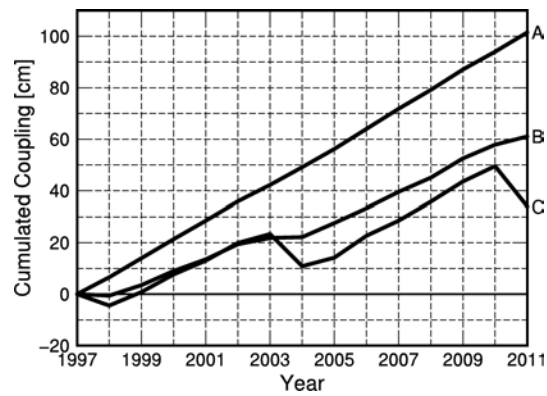


図3 図2で示した地点 A、B、C における 1997 年から 2011 年までの積算のプレート間固着（Ochi, 2015）

( 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：

( 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 27 年度の成果の概要：

昨年度は 2002 年 6 月から 2014 年 8 月に関東地域で発生した M1 以上、深さ 25km 以浅の地震を対象に発震機構解を推定したが、今年度はこれらの解の精査を行い、最終的に 1251 個の解が安定して推定されたと判断した。これら独自に推定した発震機構解に加えて気象庁一元化カタログに含まれる発震機構解を用いて応力テンソルインバージョンを適用し、応力場推定を行った。さらに、Townend and Zoback (2006) による応力テンソルインバージョン結果、原位置応力測定結果(地殻応力場データベース, <https://gbank.gsj.jp/crstress/>)、活褶曲(地質調査総合センター, 1997)のデータをコンパイルし、当該地域の応力マップを作成した。原位置応力測定結果は広域応力場に一致しないケースがしばしば報告されているが、細かい空間スケールで見ると、地震データの結果と調和的な場合が多いことがわかった。活褶曲も含め、地震活動が少ない地域の応力場を埋める上で重要な情報であるといえる。応力場の空間分布の特徴は昨年度の報告と基本的に変わりはなく、数十 km ほどのスケールで応力方位、応力場のタイプともに顕著な地域性を示す。関東平野の大部分は地震活動が低調なため十分な応力情報が得られていないものの、中部から東部にかけて横ずれから正断層場になっていくという特徴が見えてきた。このような応力場を示す領域は下末吉期(約 12 万年前)以降の地殻変動図(貝塚, 1987)の沈降域と良く一致しており、関東造盆地運動との関連が示唆される。応力場が急変する場所の一つである山梨県北東部で行っていた臨時の地震観測は、2015 年 12 月に終了した。臨時観測により、さらに小さな地震の発震機構解の推定が可能になり(内出ほか, 2015)、次年度において応力境界の成因を明らかにするためのデータを取得することができた。

活断層の 3 次元地下構造に関しては、関東平野西部で取得された既存の深部反射法地震探査データに対し、最新知見に基づいて、深部構造把握のために有効なデータ処理法である MDRS 処理を施し、3 次元的基盤構造把握のための南北約 100 km にわたるパネルダイヤグラムを作成した。

震源域の応力状態とそこで発生する地震の発生様式を調査するため、2011 年いわきの地震、2014 年長野県北部の地震、2015 年徳島県南部の地震の解析を行った。2011 年いわきの地震に関しては M 3 級の地震の震源スペクトル解析を高い精度で実施し、2 モデルで説明できない地震が多数発生していることを明らかにした。このような地震が発生する要因の一つとして、破壊過程の複雑性が挙げられる。現在のところ、このような地震が発生する場所の空間的な特徴はつかめていないが、今後、震源断層の性質とその要因を突き止める上で有用な情報になり得ると考えている。2014 年長野県北部の地震に関しては、本震の 4 日前から始まった前震活動を詳細に調べた。不均質速度構造を考慮した震源決定、400 個弱の前震を独自に検出することにより、前震が主に 2 つの断層(北北西に約 60 度で傾斜する断層と北北西-南南東走向の鉛直な断層)で構成されることを明らかにした。前震の発生場所は 5 万分の 1 地質図幅「白馬岳」(地質調査総合センター, 2002)に示されている新第三系の幸田断層と青鬼断層の延長部に位置しており、その走向は前震活動の震源分布と調和的であることがわかった。幸田断層と青鬼断層は活褶曲や小谷-中山断層を切っていることから、比較的最近まで活動していた可能性がある。2015 年徳島県南部の地震(Mj5.1)に関しては、地殻構造探査による地質解釈断面図(佐藤ほか, 2005)と比較し、四万十帯南帯の内部で発生していたことを示した(今西ほか, 2015)。



本震の応力降下量は一般的な地殻地震と比べてやや高めであり、この地域で発生する地震の強震動評価において考慮していく必要がある。

( 9 )平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :  
内出崇彦・今西和俊・松下レイケン, 2015, 山梨県北東部における地殻応力場推定のための臨時地震観測, 活断層・古地震研究報告, 第 15 号, 211-233 .

今西和俊・安藤亮輔・内出崇彦, 2015, 2015 年 2 月 6 日に発生した徳島県南部の地震 ( Mj5.1 ) の特徴とテクトニックな意味, 活断層・古地震研究報告, 第 15 号, 235-261 .

( 10 )平成 28 年度実施計画の概要 :

対象地域の応力情報はほぼ纏められてきたが、まだ関東平野において応力情報が不十分な領域がある。この応力情報の空白域を埋めるため、地殻内の S 波異方性を用いた検討を開始する。さらに、数値シミュレーションや地殻変動の結果なども参照しながら、関東地域の地殻応力図を完成させる。結果は地殻応力場データベース ( <https://gbank.gsj.jp/crstress/> ) に反映させる。

活断層の 3 次元地下構造推定に関しては、引き続き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。

また、2011 年いわきの地震、2014 年長野県北部の地震を対象に、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。特に 2011 年いわきの地震に関しては、茨城県北部において高サンプリングの地震観測を実施する。

( 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 27 年度の成果の概要 :

東・東南アジア地域のフィリピン火山地震研究所、インドネシア火山地震災害防災センター、中国地震局地球物理研究所、ベトナム科学技術院地球物理研究所、台湾中央研究院地球科学研究所等の研究機関と協力の上、最新の地震火山災害情報を取りまとめ、東アジア地域地震火山災害情報図の作成を行った( 図 1 )。東アジア地域地震火山災害情報図では、東アジア地域の地質とテクトニクス、活断層、過去の地震の震央と震源域の分布、主要地震の犠牲者とその要因、津波分布と最大波高、完新世火山の分布、カルデラ・大規模降下火山灰・大規模火砕流の分布、主要火山の犠牲者とその要因について取りまとめた( 図 2 )。本災害情報図は、2016 年 5 月に出版予定である。

アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システム (<http://ccop-geoinfo.org/G-EVER/>) の整備を進め、地震関連情報、火山の主要データベースとの連携機能を強化した。

また、フィリピン火山地震研究所とフィリピン国内の活断層をスマートデバイス上で閲覧できる PHIVOLCS Fault Finder を共同開発するとともに、5 日間のデータベース整備に関する技術研修を実施した。さらに、インドネシア火山地震災害防災センターとインドネシア活火山の噴火履歴、災害履歴、地質図、ハザードマップを閲覧可能なインドネシア火山情報システムの共同開発を行った。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :

宝田晋治・J. Bandibas・O. Prambada, 2015, 日本及び世界の火山データベースの現状と展望・火山, **60**, 125-142.

宝田晋治・G-EVER 推進チーム, 2015, G-EVER 火山災害予測支援システム, アジア太平洋地域地震火山災害情報図プロジェクトによる火山災害軽減・Proceedings of the international Meeting on Eruptive History and Informatics, **2**, 44-47.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

東アジア地域地震火山災害情報図の出版を行い、ユネスコ傘下の世界地質図委員会 (CGMW) から公開を行う。災害情報図の各種データを GIS で整備した上で、順次アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムから配信を行う。また、フィリピン火山地震研究所及びインドネシア火山地震災害防災センターとの共同研究を推進し、地震及び火山関連データの公開を進める。

さらに、東・東南アジアの地質調査機関と連携し、CCOP の新規プロジェクトとして、CCOP 地質情報総合共有システム構築プロジェクトを進める。今後、東・東南アジア地域の地質調査機関が保有する地震、火山関連のデジタルデータの共有化、国際標準化が進む予定である。

( 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

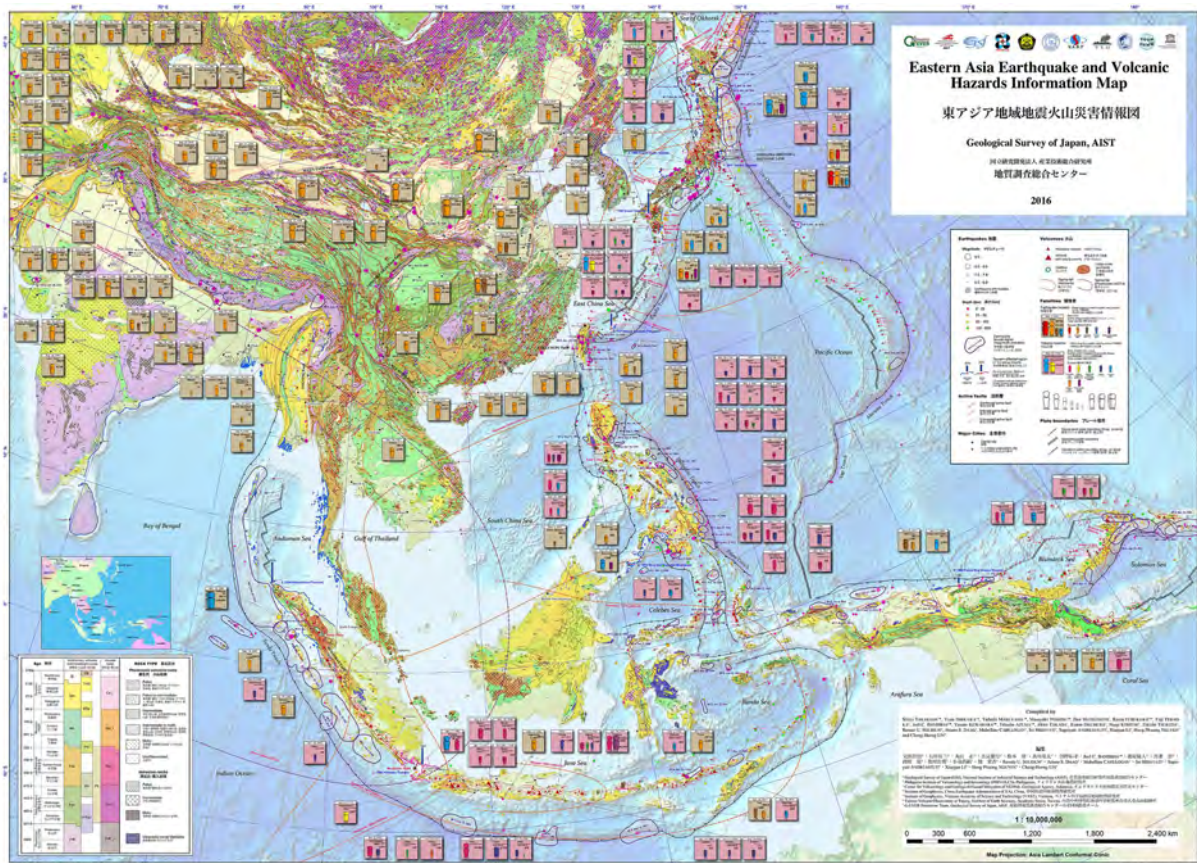


図 1. 東アジア地域地震火山災害情報図

東アジア地域の最新の地震火山関連情報を一元的にとりまとめている。2016年5月出版予定。

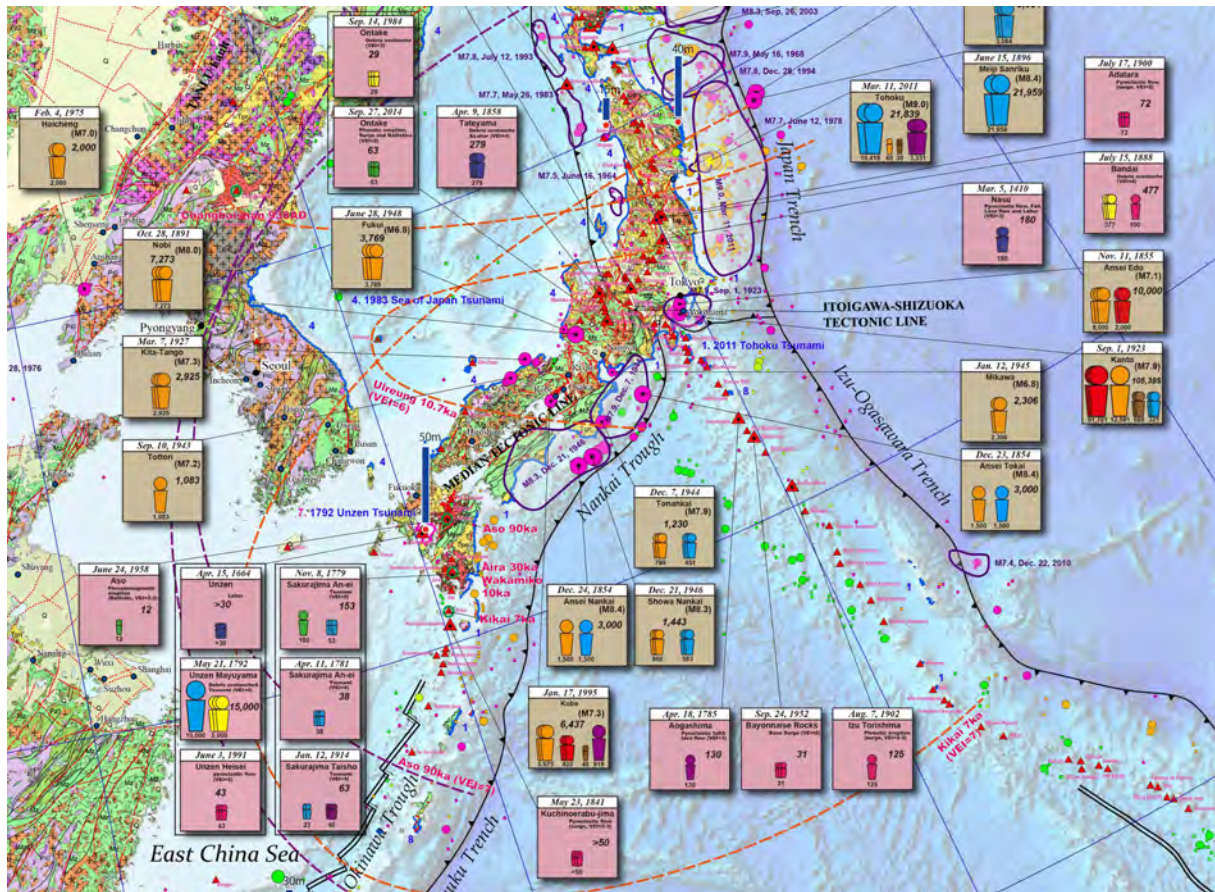


図2. 東アジア地域地震火山災害情報図 日本周辺地域

日本周辺地域の拡大図。地震による犠牲者数とその要因、火山による犠牲者数とその要因、地震の震央と震源域、津波による被災域、完新世火山の分布、カルデラ・大規模噴火の降灰・大規模火砕流の分布を示している。

( 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 27 年度の成果の概要：

平成 27 年 10 月～11 月（一部は 7 月から）に新潟県佐渡市から阿賀町における GNSS 繰り返し観測を実施した。佐渡の観測点 2 点は京大防災研究所と共同で平成 27 年 3 月より連続観測点化した。新潟県周辺では、東北地方太平洋沖地震の余効変動により東西方向の伸張が卓越していたが、時間と共に伸張は小さくなってきている（図 1）。2014 年 10 月から 2015 年 10 月の 1 年間では、一部の場所において北西 - 南東方向の短縮が卓越し、面積歪では短縮になっている場所もあることが分かった。

ALOS-2 衛星による SAR 干渉解析により、2015 年 4 月 25 日にネパールで発生した Mw7.8 の地震に伴う地殻変動を検出した（図 2）。滑り分布モデルの推定の結果、カトマンズの北東 20-30km の領域の直下に、最大 6m 超の滑りが推定された（図 3）。また、最大余震の西隣に極端に滑りが欠損している領域が見られることが分かった。

GNSS 連続観測により、2014 年 11 月 22 日に発生した長野県北部の地震の余効変動を検出した（図 4）。地震時の変動と類似した分布になっていることが分かった。

- ( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
水藤尚・小林知勝・川元智司・森下遊，2016，ひずみ集中帯の地殻変動特性に関する研究（第 1 年次），  
国土地理院調査研究年報（平成 27 年度）（印刷中）。

T.Kobayashi, Y. Morishita, and H. Yarai, 2015, Detailed crustal deformation and fault rupture of the 2015 Gorkha earthquake, Nepal, revealed from ScanSAR-based interferograms of ALOS-2, Earth Planets Space, 67, 201, doi:10.1186/s40623-015-0359-z.

- ( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要：

平成 27 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。この地域で発生した過去の内陸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

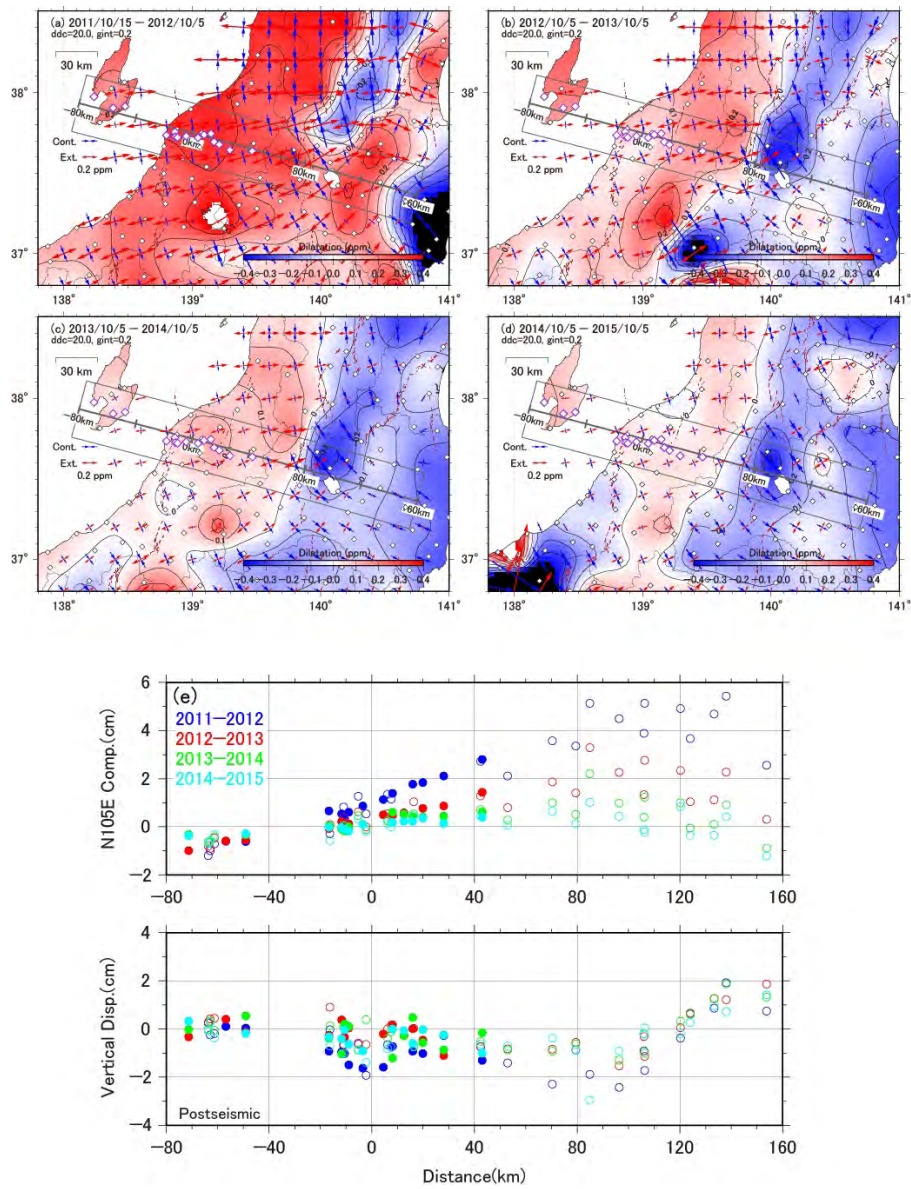


図1 東北地方太平洋沖地震発生後の新潟県周辺のひずみ場

(a)2011年10月～2012年10月。(b)2012年10月～2013年10月。(c)2013年10月～2014年10月。(d)2014年10月～2015年10月。(e)N105<sup>°</sup>E断面のプロファイル。上段はN105<sup>°</sup>E成分、下段は上下成分。白抜きはGEONET観測点、色塗りは繰り返し観測点。プロファイルの位置は(a)～(d)の灰色線。



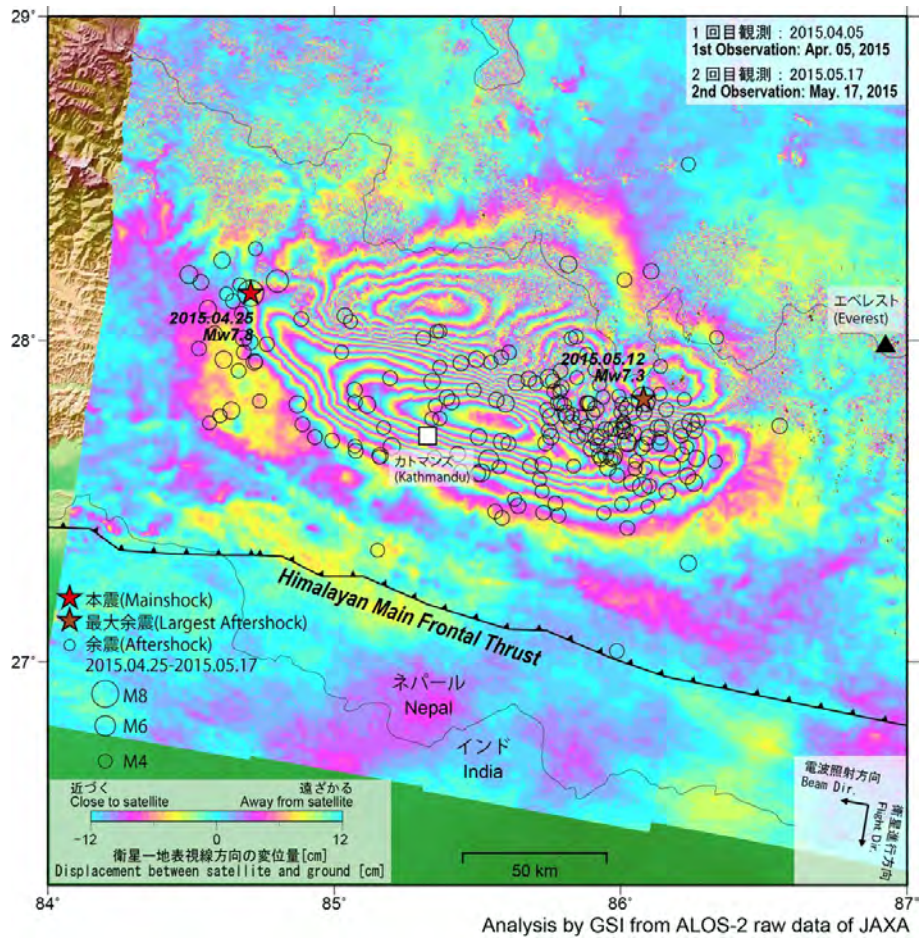


図2 ネパールの地震に伴う地殻変動

ALOS-2により2015年4月5日と5月17日に撮像されたデータによる干渉 SAR 画像。赤い星印は本震及び最大余震の震央位置。丸印は余震の震央。

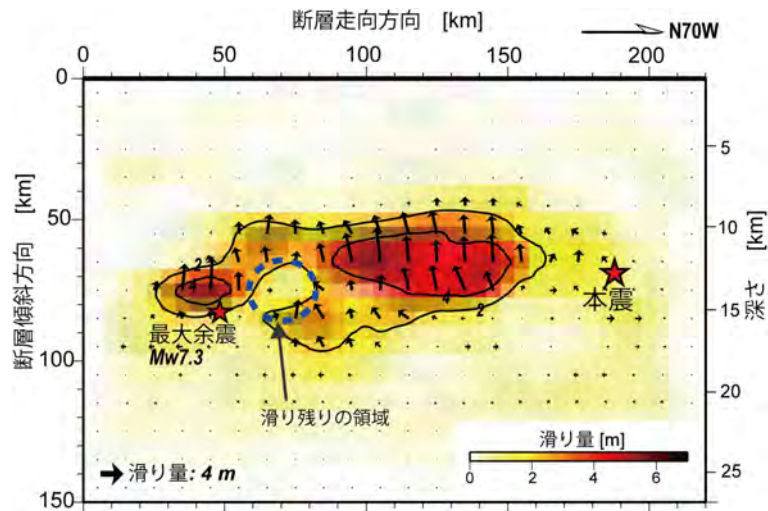


図3 SAR 干渉データから推定された震源断層面上の維新時滑り分布図

矢印は滑りの方向と大きさ。等値線は 2m 間隔。赤い星印は本震及び最大余震の震源断層面への投影位置。

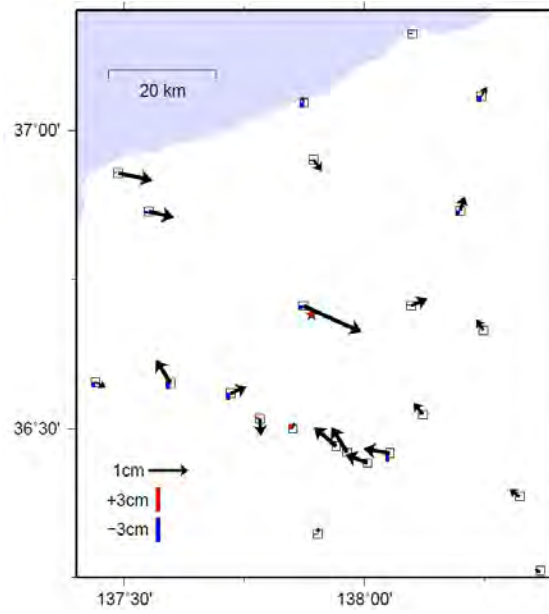


図4 2014年11月22日長野県北部の地震後9ヵ月間(2014年11月23日~2015年7月7日)の水平変動ベクトル図。2013年6月からの1年間の平均変動速度を除去している。

( 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 27 年度の成果の概要：

平成 27 年度においては、平成 26 年度に開発した解析手法の非線形化を引き続き行い、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な改良を行った。具体的には、ダイク、シルといった非線形モデルを推定できるようにした。この解析手法の妥当性は、現在検証中である。

昨年に引き続き、従来手法で伊豆大島、桜島に関して解析を行った。伊豆大島では、深さ 6km に想定したマグマ溜りが 2004 年から膨張・収縮をしながら 2016 年 1 月までに 2500 万 m<sup>3</sup> 膨張していることが推定された。2015 年の初頭から収縮傾向にあったが、2015 年末頃から膨張に転じている（図 1 - 2）。桜島では、桜島直下の深さ 5km に想定したマグマ溜りで長期的に膨張していることが推定された。2015 年 8 月 15 日のダイクの貫入前には桜島直下のマグマ溜りは 2014 年末～2015 年初頭頃から膨張していたことがわかった。また錦江湾の深さ 10km に想定したマグマ溜りでも、2014 年初頭頃からの膨張が推定された（図 3 - 4）。

また、ALOS-2 衛星による SAR 干渉解析により、8 月 15 日に桜島で発生したマグマ貫入に伴う地殻変動を検出し、力源の推定を行った。解析の結果、昭和火口直下の海拔下約 400m に位置するダイクが開口したことが分かった（図 5）。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

国土地理院, 2015, 伊豆大島の茂木ソースの位置と体積変化, 132 回火山噴火予知連絡会伊豆・小笠原諸島資料, 45-46 .

国土地理院, 2015, 桜島の茂木ソースの位置と体積変化, 132 回火山噴火予知連絡会桜島資料, 44-46 .

国土地理院, 2015, 伊豆大島の茂木ソースの位置と体積変化, 133 回火山噴火予知連絡会伊豆・小笠原諸島資料, 38-39 .

国土地理院, 2015, 桜島の茂木ソースの位置と体積変化, 133 回火山噴火予知連絡会桜島資料, 67-69 .

小沢慎三郎, 矢来博司, 2016, 地殻変動データに基づく力源モデルによる火山活動の監視手法の開発に関する研究（第 6 年次）, 国土地理院調査研究年報（平成 27 年度）（印刷中）。

小林知勝, 矢来博司, 2016, 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 6 年次）, 国土地理院調査研究年報（平成 27 年度）（印刷中）。

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要：

ダイク、シルを取り入れた、伊豆大島、桜島等の火山のモデリングを行う予定。またプレート間カップリングも取り入れた解析を桜島等の九州地方の火山で行う予定。

( 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

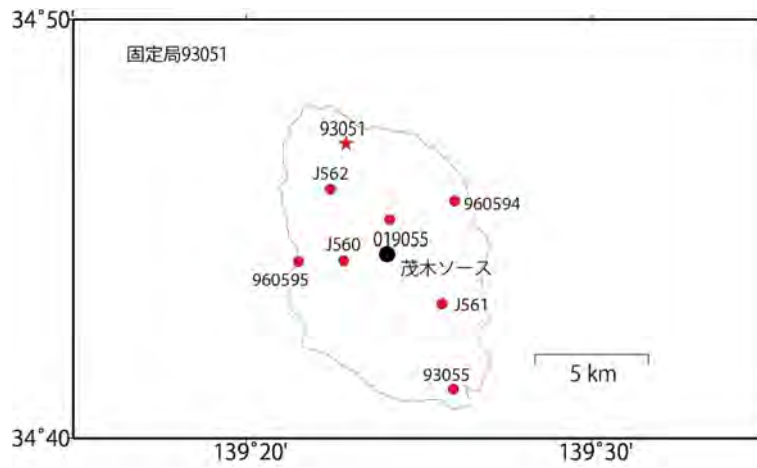


図1 観測点配置と茂木ソースの位置

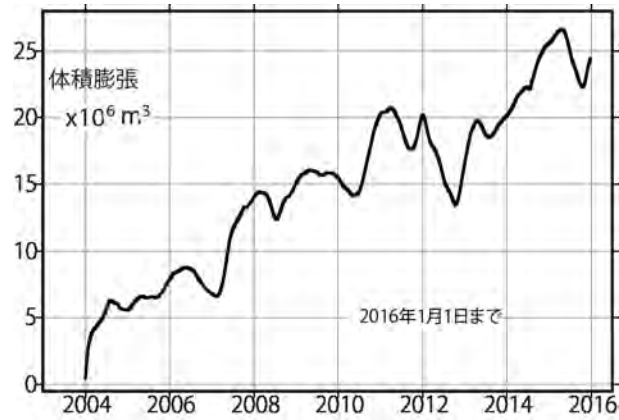


図2 伊豆大島のマグマ溜りの体積変化

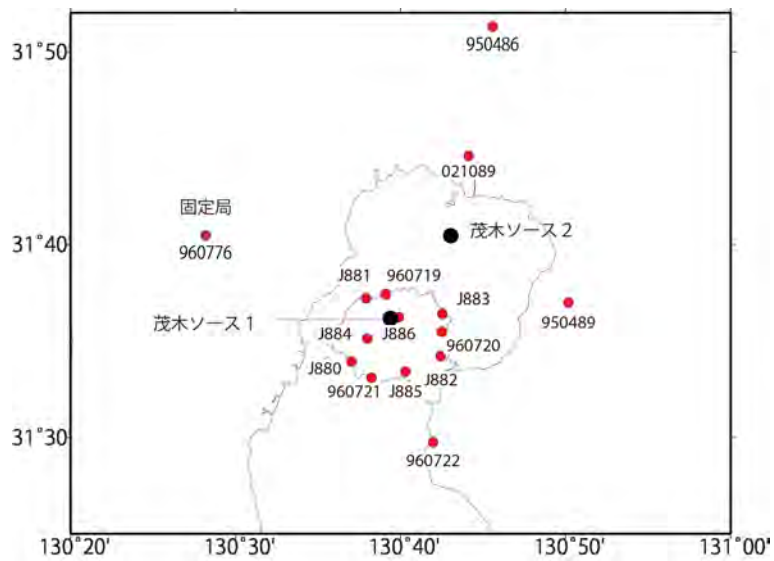


図3 桜島の観測点と茂木ソースの位置

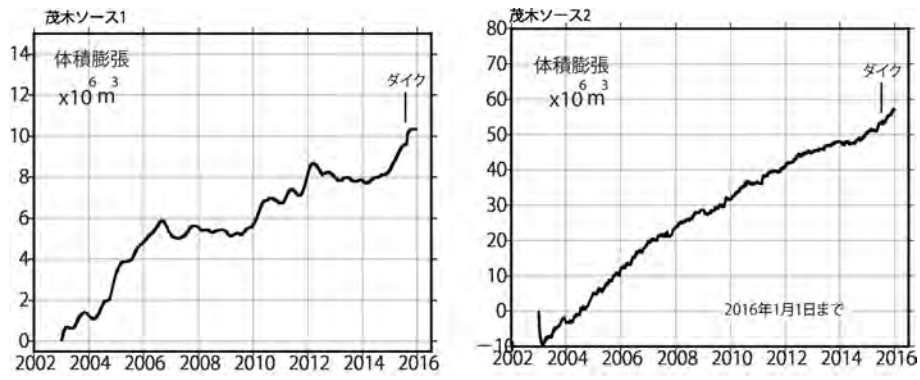


図4 桜島の茂木ソースの体積変化

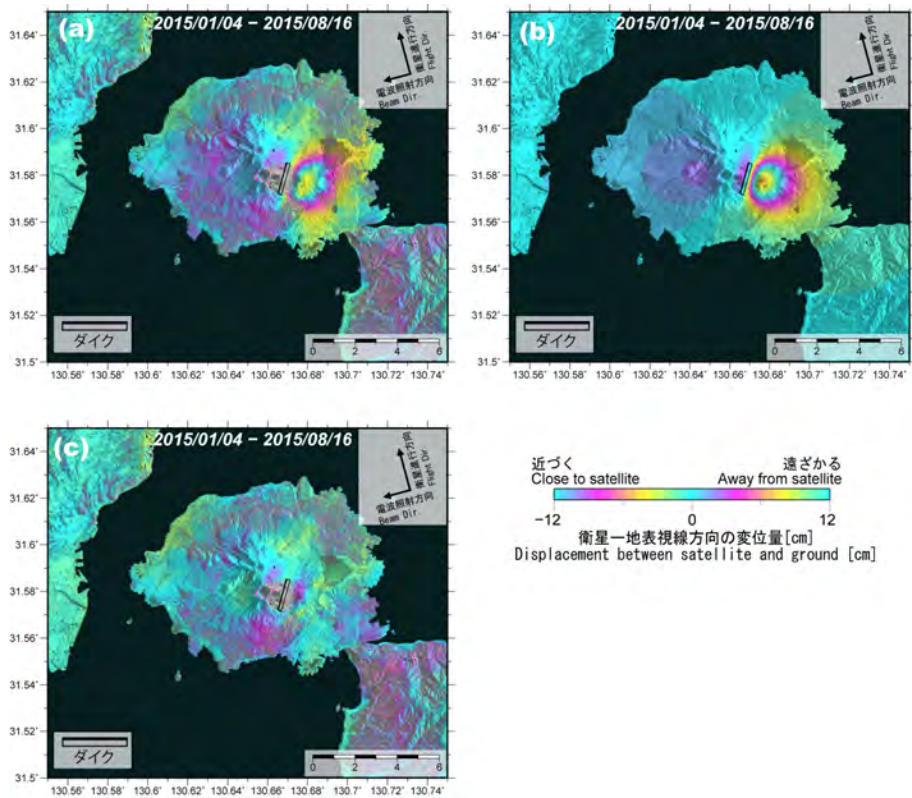


図5 (a)ALOS-2 衛星データの SAR 干渉処理により捉えられた地殻変動 . (b) 推定されたダイクモデルによる計算値 . (c) 観測値と計算値の残差

( 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 27 年度の成果の概要：

昨年度開発した、ブロック断層モデルを組み込んだ時間依存インバージョンのプログラムを用い、西南日本を対象に解析を行った。海底地殻変動データも時間的に内挿して取り入れた。解析データは

1年程度の時間長にとどまるが、東北地方太平洋沖地震以前の時期について解析を行った結果、フィリピン海プレートとアムールプレート間の固着状態の時間変化から豊後水道の長期的スロースリップの検出が可能であることが分かった(図1)。暫定的ではあるが、日本全国を対象としての解析もっており、豊後水道や東海地方の長期的スロースリップも検出できている。この手法では、定常状態を仮定する必要がないため、プレート間の固着状態の監視に適していると考えられる。

また、有限要素法の解析により東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響を評価している。

これらに加え、東海地域、紀伊水道における非定常地殻変動について時間依存インバージョンによる解析を行った。東海地方の浜名湖付近を中心として、2013年から2015年にかけて最大4cm程度のプレート間すべりが発生していると推定された(図2)。紀伊水道では、2014年初頭からほぼ一定速度でプレート間すべりが発生していると推定された。解放されたモーメントは、Mw6.6に相当する(図3-4)。

- (9)平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
国土地理院，2015，東海地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，94巻，227-230  
小沢慎三郎・矢来博司，2016，広域地殻変動データに基づくプレート境界の固着状態及びその変化の推定に関する研究(第2年次)，国土地理院調査研究年報(平成27年度)(印刷中)

- (10)平成28年度実施計画の概要：

東海と紀伊水道のスロースリップの時空間変化の推定を引き続き行っていく。また全国を対象としたブロック断層モデリングを行う。

- (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 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



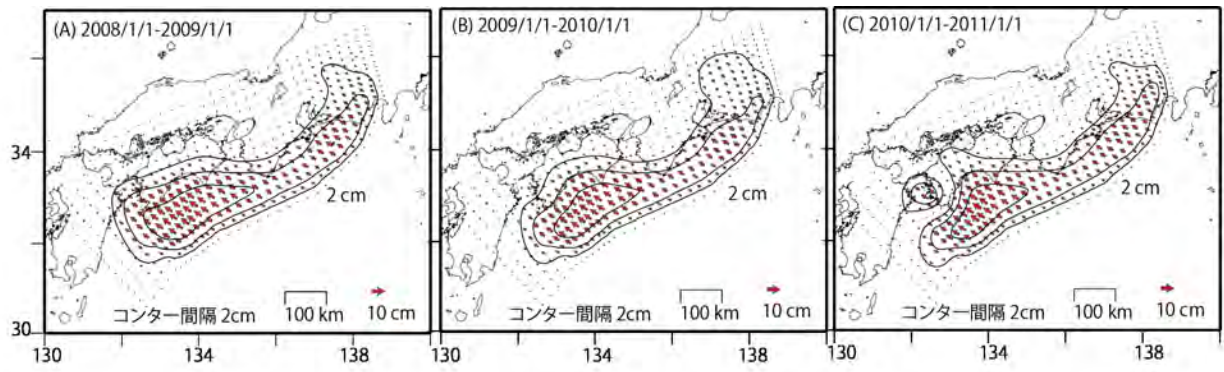


図1 ブロック断層モデルを組み込んだ時間依存インバージョン解析で得られた西南日本のプレート間固着分布。フィリピン海プレート上面のすべり欠損と豊後水道でのスロースリップが推定されている。

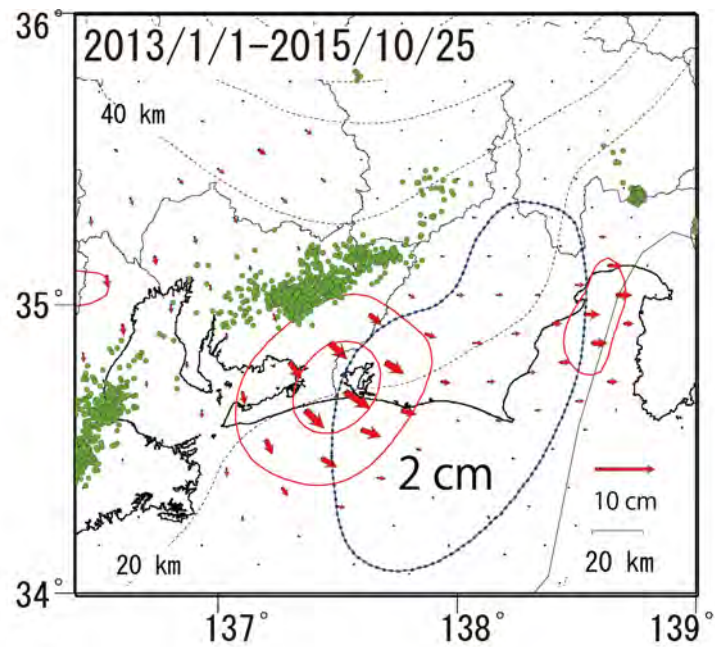


図2 東海地方の推定プレート間すべり。緑点は低周波地震(気象庁一元化震源)。

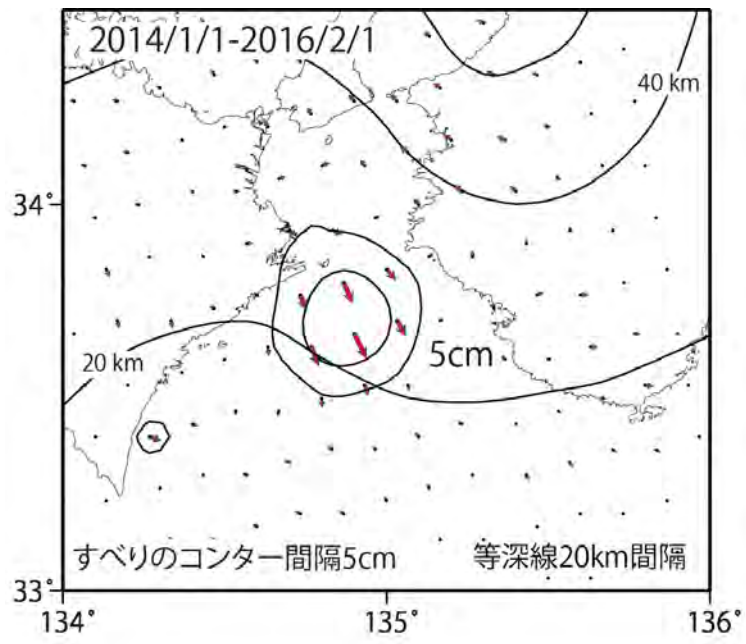


図3 紀伊水道の推定プレート間すべり

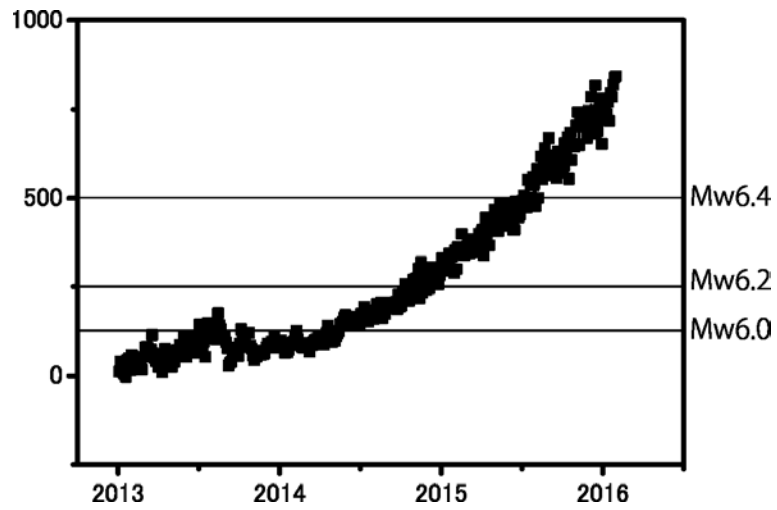


図4 紀伊水道のスロースリップのモーメントの時間変化

( 1 ) 実施機関名：

国土地理院

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

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 27 年度の成果の概要：

平成 27 年度においては、GEONET リアルタイム解析システムの観測点を日本全国に拡張するため、平成 26 年度に開発した矩形断層モデル、プレート境界面状のすべり分布を即時推定する手法の調整を行った。まず、矩形断層モデル推定ルーチンは非線形インバージョンにより断層モデルを推定するため、観測データが増加すると計算時間が飛躍的に増加する。そのため、震源位置からの距離と変位量に応じて観測点を間引いて計算を行う手法を導入した。また、すべり分布モデルの推定には、あらかじめ日本周辺のプレート境界面を 6 つに分割し、震源位置に応じて適切なプレート境界面モデルが選択されるよう調整を行った。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :  
川元智司, 宮川康平, 佐藤雄大, 西村卓也, 太田雄策, 日野亮太, 三浦哲, 等々力賢, 2015, GEONET リアル  
タイム解析システム( REGARD )による地震規模即時推定, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会予  
稿集.

Kawamoto, S., Miyagawa, K., Sato, Y., Nishimura, T., Ohta, Y., Hino, R., Miura, S., and Todoriki, M., 2015,  
Real-time Earthquake Magnitude Estimation by the GEONET real-time analysis system: REGARD,  
The 26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, 2015.

Kawamoto, S., Hiyama, Y., Sato, Y., Furuya, T., Ohta, Y., Nishimura, T., and Todoriki, M., 2016, Real-time  
GNSS positioning system REGARD for rapid earthquake moment estimates, FIG Working Week 2016  
(submitted).

川元智司, 檜山洋平, 古屋智秋, 佐藤雄大, 太田雄策, 西村卓也, 等々力賢, 2016, 電子基準点リアルタイム  
解析システム( REGARD )プロトタイプの開発, 国土地理院時報(印刷中).

川元智司, 2016, リアルタイム GNSS を用いた即時的地震断層モデル構築手法に関する研究(第2年  
次), 国土地理院平成 27 年度調査研究年報(印刷中).

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

平成 27 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](mailto: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。

( 地殻監視課 )

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。

( 衛星測地課 )

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 27 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行った。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、2015 年 5 月 13 日に発生した宮城県沖の地震( M6.8 )、2016 年 1 月 14 日に発生した浦河沖の地震( M6.7 )等に伴う地殻

変動を検出した。また、2014 年半ば頃からの紀伊水道周辺におけるプレート間ゆっくり滑り（スロースリップ）現象に伴う非定常的な地殻変動を検出した。火山についても、硫黄島、箱根山周辺、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。

また、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い、その結果の外部提供を開始した。

（地殻監視課）

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。  
（衛星測地課）

- （9）平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
檜山洋平・矢来博司・木暮弘幸・川島悟・菅富美男・古屋智秋・瀬川秀樹・甲斐玲子，2015 年の箱根山周辺における地殻変動について，日本測地学会第 124 回講演会．  
国土地理院，2015，第 275～286 回地震調査委員会資料．  
国土地理院，2015，第 207～210 回地震予知連絡会資料．  
国土地理院，2015，第 348～359 回地震防災対策強化地域判定会資料．  
国土地理院，2015，第 132～134 回火山噴火予知連絡会資料．

- （10）平成 28 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等を行う。

（地殻監視課）

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。

（衛星測地課）

- （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 地殻監視課、衛星測地課  
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

東北地方太平洋沖地震 (M9.0) 後の地殻変動 (水平) - 累積 -  
 基準期間: 2011/03/12 - 2011/03/12 [F3: 最終解]  
 比較期間: 2016/01/21 - 2016/01/27 [R3: 速報解]

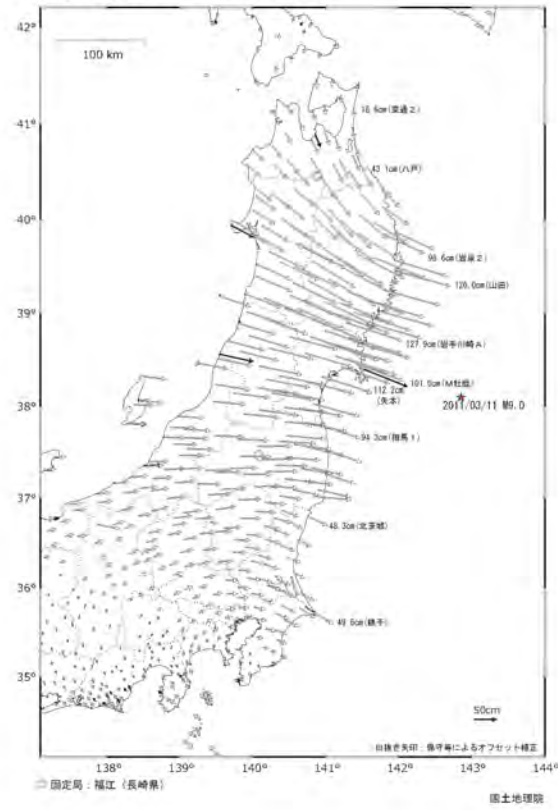


図1 東北地方太平洋沖地震後の余効変動

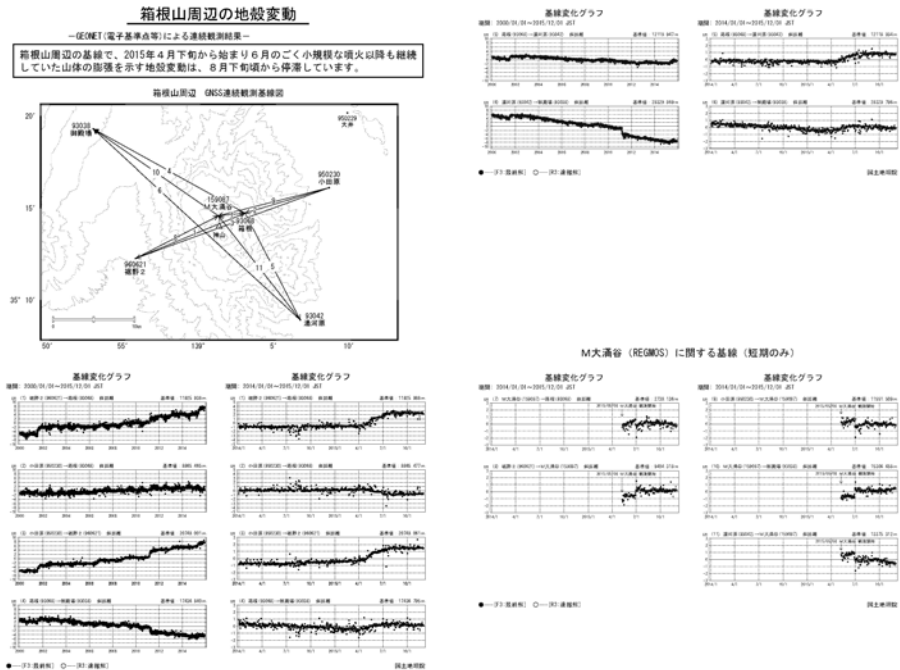


図2 火山活動に伴う地殻変動 (箱根山周辺)

( 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、GNSS、重力、地磁気測量による機動観測を実施し、火山観測体制の強化を図る。

( 機動観測課 )

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、GNSS 測量、水準測量、重力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。

（機動観測課）

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 27 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するとともに、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、これらの成果は計画と一致している。

（地殻監視課）

水準測量は、御前崎周辺で年 2 回の繰り返し観測（延べ 170 キロメートルの水準測量）を実施したほか、千葉、神奈川、相模、伊豆、駿河、遠州、室戸、足摺地域において（延べ 872.4 キロメートル）実施した。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新たに口永良部島及び箱根山を追加し 11 火山、自動測距測角装置による連続観測を 1 火山で実施した。さらに、草津白根山において水準及び GNSS 測量を行った。また、GNSS による機動連続観測を 7 か所で実施するとともに、伊豆半島川奈地域において精密辺長観測を実施した。

これらの得られた観測データは、火山噴火予知連絡会、地震調査委員会等の会議に適宜報告した。

（機動観測課）

活発な火山活動が続いている桜島について、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 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

国土地理院, 2015, 日本全国の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 94, 8-23.

国土地理院, 2015, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 94, 71-88.

国土地理院, 2015, 関東甲信地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 94, 112-125.

国土地理院, 2015, 伊豆地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 94, 145-162.

国土地理院, 2015, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 94, 190-230.

国土地理院, 2015, 中国・四国地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 93, 336-343.

（10）平成 28 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、引き続き定期的な保守および監視を実施するとともに、これらの観測データを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、引き続き関係機関と潮位データの共有化を行う。

御前崎及び切山において、引き続きひずみ計、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するとともに、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。

(地殻監視課)

水準測量は、御前崎周辺で年2回の繰り返し観測(延べ170キロメートル)を実施するほか、神奈川、水戸、東北地方太平洋沿岸地域等(延べ1,160キロメートル)を実施する。

(測地基準課)

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樽前山、有珠山、北海道駒ヶ岳、浅間山、伊豆大島、硫黄島、箱根山、富士山、伊豆東部火山群、霧島山地域の10火山で、自動測距測角装置による連続観測を伊豆大島で継続実施する。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(6か所)において継続実施する。

(機動観測課)

活動的な火山を航空機 SAR 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 地殻監視課  
測地部 機動観測課  
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](mailto: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 27 年度の成果の概要：

平成 27 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 2 点の絶対重力観測、一等重力点等 181 点で相対重力観測を実施し、日本重力基準網の基準となる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。

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 点及び一等磁気点 2 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 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

宮崎隆幸, 吉田賢司, 宮原伐折羅, 2015, 日本重力基準網 2013 ( JGSN2013 ) に準拠した日本国内の重力データの作成, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会予稿集 ( 発表番号: SGD23-06 ) .

- 阿部 聡，宮原伐折羅，小山崇夫，小河勉，2015，主成分分析を用いた地磁気全磁力モデルの開発，日本地球惑星科学連合 2015 年大会予稿集（発表番号：SEM33-09）。
- 阿部 聡，宮原伐折羅，2015，主成分分析を用いた日本周辺の地磁気変化モデルの開発，国土地理院時報 127 集。
- 阿部 聡，宮原伐折羅，2015，日本の磁気図作成における地磁気値の空間補間手法の検証，国土地理院時報 127 集。
- 阿部 聡他，2014，磁気図 2015.0 年値の作成へ向けて，2015 年度 CA 研究会論文集。

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要：

南海・東南海トラフ沿いにおいて絶対重力観測を実施し、日本重力基準網の基準となる重力値を得るとともに重力値の時間的な変化を把握する。

測地観測所及び全国の地磁気連続観測点で地磁気連続観測を実施し、日本全国の地磁気の時間変化及び地理的分布を把握する。さらに、富士山中腹において、全磁力の連続観測を実施する。

( 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 27 年度の成果の概要 :

だいち 2 号の 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、複数の活火山において変動を検出した。箱根山大涌谷周辺では、2015 年 4 月下旬からの火山活動の活発化に伴い、5 月から 9 月まで高頻度に観測されたデータをもとに、大涌谷内の直径 200m 程度の範囲における変動の時間変化を捉えた ( 図 1 )。地上設置型の観測機器では検出することが難しいごく狭い変動域の変化を SAR 干渉解析によって捉えた初のケースとなった。口永良部島では、噴出物の堆積により地表の状態が変化したと考えられる非干渉域を検出した。桜島においても、火山活動が活発化した 2015 年 8 月 15 日を挟む期間で、南岳山頂火口の東側の広い範囲で衛星に近づく変動を検出した。得られた変動量をもとに変動源を推定した ( 図 2 )。これらの解析結果は、火山活動の評価に活用された。

VLBI は、つくば局及び石岡局を用いて国際 VLBI 事業 ( IVS ) の観測計画に添って毎週 1 回程度の割合で国際観測を実施した ( 石岡局については、年度後半から実施 )。また、両局を用いてアジア・オセアニア VLBI グループによる測地観測 ( AOV 観測 ) を実施した。加えて、つくば局と石岡局との相対的な位置関係を求めるための並行観測を実施した。得られたデータを解析することで日本列島及び周辺地域のプレート運動の速さと方向を求めた ( 図 3 )。

南太平洋地域及び東南アジア地域の GNSS 連続観測点 ( 9 点 ) において GNSS 観測を実施し、得られた観測データ及び解析結果を Web で公開した ( 図 4 )。また、アジア太平洋地域測地観測プロジェクト ( APRGP : Asia-Pacific Regional Geodetic Project ) のキャンペーン観測に参加 ( GNSS 連続観測点 10 点 ) した。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

川畑亮二・若杉貴浩, 2015, GSI 's regional stations and AOV activities ( 国土地理院の地方局と AOV における活動 ), 第 22 回欧州 VLBI 事業会議集録, 64.

福崎順洋・和田弘人・川畑亮二・石本正芳・若杉貴浩, 2015, First Geodetic Result of Ishioka VGOS Station ( 石岡 VGOS 観測施設の初測地観測結果 ), 第 22 回欧州 VLBI 事業会議集録, 67.

川畑亮二, 2015, GSI Retires GARNET Gem, Establishes Ishioka as VGOS Jewel ( 国土地理院の地方観測局停止と石岡 VGOS 局の始動 ), IVS Newsletter, 42, 6.

福崎順洋・和田弘人・川畑亮二・石本正芳・若杉貴浩, 2015, First Geodetic Result of Ishioka Antenna ( 石岡アンテナの初測地観測結果 ), IVS NICT Technology Development Center News, 35, 1.

国土地理院, 2015. 平成 27 年 8 月の地殻変動について . <http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2015-goudou0908.html> ( accessed 15 Jan. 2016 ) .

山田晋也・三浦優司・山中雅之・仲井博之・和田弘人「だいち 2 号」を利用した宇宙からの火山活動

の監視，平成 27 年度国土交通省国土技術研究会論文集，248 - 252 ．

山田晋也・三浦優司・和田弘人・仲井博之・山中雅之・攪上泰亮・上芝晴香・矢来博司・小林知勝・森下遊，だいち 2 号 SAR 干渉解析によって検出された箱根山大涌谷周辺の地表変動，国土地理院時報，128，印刷中．

三浦優司・和田弘人・仲井博之・山中雅之・山田晋也・攪上泰亮・上芝晴香・矢来博司・小林知勝・森下遊，2016，だいち 2 号を活用した口永良部島新岳噴火に伴う地表変位の検出，国土地理院時報，128，印刷中．

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要：

だいち 2 号で観測した 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、国内すべての活火山、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の地盤変動を監視する。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、石岡局及びつくば局を用いて国際 VLBI 事業 ( IVS ) の観測計画に添った観測及びアジア・オセアニア VLBI グループによる測地観測 ( AOV 観測 ) を実施する。また、石岡局とつくば局の並行観測を引き続き行う。加えて、つくば局において VLBI と GNSS の位置関係を地上測量によって測るコロケーション測量を実施する。

アジア太平洋地域測地観測プロジェクトに参加し、地殻変動を高精度に把握するための基準座標系の構築に貢献する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

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

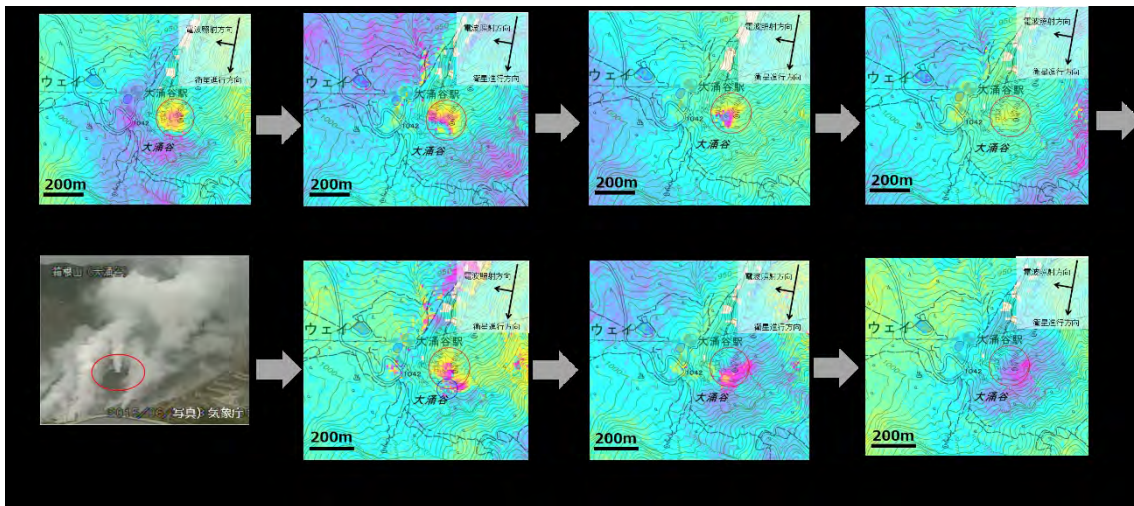


図1 SAR 干渉解析で捉えた大滝谷周辺の地殻変動

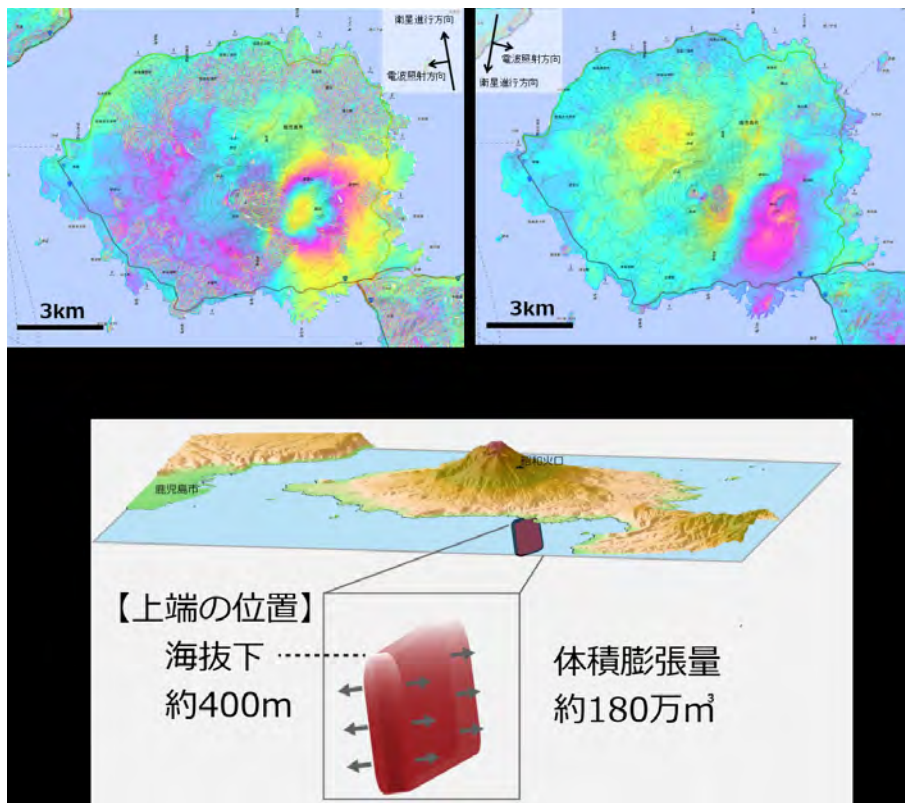


図2 SAR 干渉解析で捉えた桜島の地殻変動と推定されたマグマの変動量





( 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 27 年度の成果の概要：

平成 26 年度に調査を実施した火山土地条件図「秋田駒ヶ岳」の数値データの整備及び「秋田焼山」の火山土地条件調査を実施した。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

1:25,000 火山土地条件図「秋田駒ヶ岳」解説書

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要：

火山土地条件図「秋田焼山」の数値データの整備及び「鳥海山北部」の火山土地条件調査を実施予定。

「新潟焼山ほか 4 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 27 年度の成果の概要：

平成 26 年度に調査を実施した、砺波平野断層帯とその周辺「高岡」、三峠・京都西山断層帯とその周辺「舞鶴」「綾部」、山崎断層帯とその周辺「北条」「高砂」、雲仙断層群とその周辺「雲仙」、人吉盆地南縁断層とその周辺「人吉盆地」7 面の都市圏活断層図を整備・公開及び森本・富樫断層帯、綾瀬川断層、山崎断層帯、菊川断層帯の調査を実施した。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

後藤秀昭・岡田真介・楳原京子・杉戸信彦(2015): 1:25,000 都市圏活断層図 砺波平野断層帯とその周辺「高岡」解説書。国土地理院技術資料 D1-No.736, 22p.

岡田篤正・宮内崇裕(2015): 1:25,000 都市圏活断層図 三峠・京都西山断層帯とその周辺「舞鶴」「綾部」「園部」解説書。国土地理院技術資料 D1-No.737, 27p.

堤浩之(2015): 1:25,000 都市圏活断層図 雲仙断層群とその周辺「雲仙」解説書・国土地理院技術資料 D1-No.739, 13p.

千田昇(2015): 1:25,000 都市圏活断層図 人吉盆地南縁断層とその周辺「人吉盆地」解説書・国土地理院技術資料 D1-No.740, 19p.

(10) 平成 28 年度実施計画の概要:

平成 27 年度に調査を実施した、森本・富樫断層帯、綾瀬川断層、山崎断層帯、菊川断層帯の都市圏活断層図を整備・公開及び別府-万年山断層帯、鈴鹿西縁断層帯ほかの調査を実施予定。

(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

電話: 029-864-5954

e-mail: [gsi-eiss@ml.mlit.go.jp](mailto:gsi-eiss@ml.mlit.go.jp)

URL: <http://www.gsi.go.jp>

(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。

( 衛星測地課 )

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 27 年度の成果の概要：

国土地理院および海上保安庁が公開する GNSS 連続観測データに関する所在情報を整備し、これを国土地理院のホームページから公開した ( <http://datahouse1.gsi.go.jp/> )。所在情報検索システムの利便性を向上させるため、同システムの改修を行った。

( 衛星測地課 )

平成 27 年度に行われた地殻変動の観測結果 ( GNSS、水準、験潮 ) 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、地図表示・操作機能等の改良を行った。

( 地殻変動研究室 )

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

国土地理院および海上保安庁が公開する GNSS 連続観測データに関する所在情報の整備および国土地理院のホームページによる公開を引き続き行う。

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                      衛星測地課  
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](mailto: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。

( 地殻監視課 )



( 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。

( 地殻監視課 )

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 27 年度の成果の概要 :

- ・電子基準点毎に搬送波位相観測値に見られる固有の誤差として位相算差を用いてモデル化・可視化する手法を開発し、全国の電子基準点で最新の位相残差データを整備した。また、それをリアルタイム GNSS 測位へ適用可能なよう、ANTEX 形式の PCV に変換可能なソフトウェアを作成した。
- ・マルチ GNSS に対応した RINEX ファイルのサイクルスリップ修正を行うソフトウェアを開発した。また、マルチ GNSS に対応した GNSS STEC の計算により、電離層遅延量を見積もることも可能とした。なお、これらの成果は計画と一致している。

( 宇宙測地研究室 )

- ・GEONET リアルタイム解析システムについて、結果の検証及びシステムの安定性向上に向けた開発を行った。なお、これらの成果は計画と一致している。

( 地殻監視課 )

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

川元智司・宗包浩志, 2015, 位相残差を用いた GNSS キネマティック解析の誤差低減の試み, 日本測地学会第 124 回講演会.

川元智司, 2015, マルチ GNSS に対応した RINEX 前処理ソフトウェアの開発, 日本測地学会第 124 回講演会.

宗包浩志・及川純・小林知勝, 2015, 三宅島 2000 年噴火のカルデラ形成期に観測された 50 秒パルスの力源の再検討( 2 ) -三軸楕円体モデル-, 日本火山学会秋季大会.

川元智司, 2016, GNSS による地殻変動推定における時間分解能向上のための技術開発( 第 2 年次 ), 国土地理院平成 27 年度調査研究年報( 印刷中 ).

佐藤雄大・宮川康平・川元智司・大島健一・村松弘規・犬飼孝明・太田雄策・出町知嗣・三浦哲・日野亮太・中村康弘・西山真衣・道家友紀, 2015, GEONET リアルタイム解析を用いた地震規模即時推定システム( REGARD )の概要, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

- ・平成 26～27 年度までの成果をもとに、GNSS 解析技術を高度化し、過去の地震や火山活動に関して高分解能の地殻変動情報を抽出する技術を開発する。

( 宇宙測地研究室 )

- ・平成 26～27 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。

( 地殻監視課 )

- ( 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 地殻監視課  
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：

( 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、電離圏の影響を、地表の散乱特性の時空間的共通性、数値気象モデル、電離圏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 27 年度の成果の概要 :

ノンパラメトリック検定を利用したマルチルック処理技術やラップ状態の位相時系列を最尤法により最適化する技術の開発を行った。これにより、位相誤差の大きな DS ( Distributed Scatterers ) 点からも、PS 点のような計測精度の高い点を抽出することが可能となった ( 図 1 )。また、干渉 SAR 時系列解析を GUI 操作で行うソフトウェアの開発を行った。

ALOS-2 衛星から標準的に処理が可能となった ScanSAR モードを用いた SAR 干渉解析により、2015 年 4 月 25 日に発生したネパールの地震 ( Mw7.8 ) ( 図 2 )、同年 9 月 16 日に発生したチリの地震 ( Mw8.3 )、同年 12 月 7 日に発生したタジキスタンの地震 ( Mw7.2 ) に伴う広域の地殻変動を検出することに成功した。

( 地殻変動研究室 )

電子基準点データから得られる電離層情報をもとに、SAR 干渉解析において電離層遅延補正を行うためのソフトウェアの開発を行った。

( 宇宙測地研究室 )

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

T. Kobayashi, Y. Morishita, and H. Yarai, 2015, Detailed crustal deformation and fault rupture of the 2015 Gorkha earthquake, Nepal, revealed from ScanSAR-based interferograms of ALOS-2, Earth Planets Space, 67:201, doi:10.1186/s40623-015-0359-z.

小林知勝, 2016, 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 2 年次 ), 国土地理院調査研究年報 ( 平成 27 年度 ) ( 印刷中 )

宗包浩志, 2016, 衛星干渉 SAR による高度な地盤変動監視のための電離層補正技術に関する研究 ( 第 3 年次 ), 国土地理院調査研究年報 ( 平成 27 年度 ) ( 印刷中 )

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

今年度開発した位相最適化処理の高速化等の技術改良を行う。さらに、干渉 SAR 時系列解析のソフトウェアの改造を実施する。

( 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

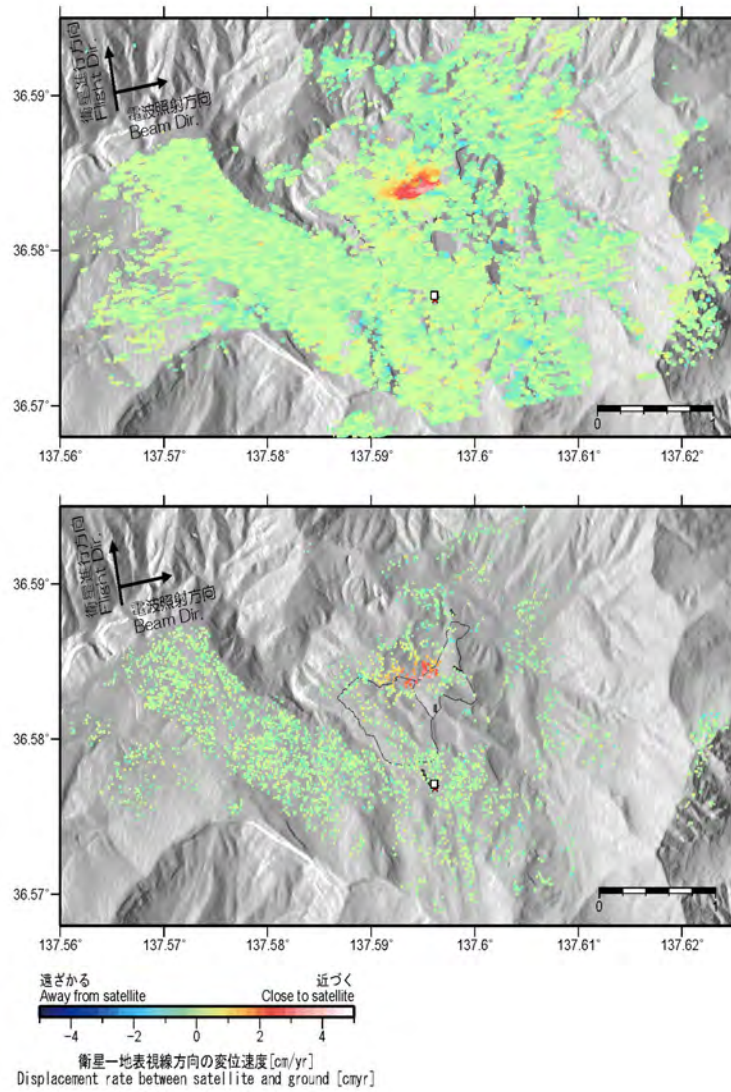


図1 立山・弥陀ヶ原火山の ALOS-1 データによる検証結果

(上) 今年度開発した位相最適化手法。(下) 標準的な PSI 解析。山間部における計測点密度が向上している。

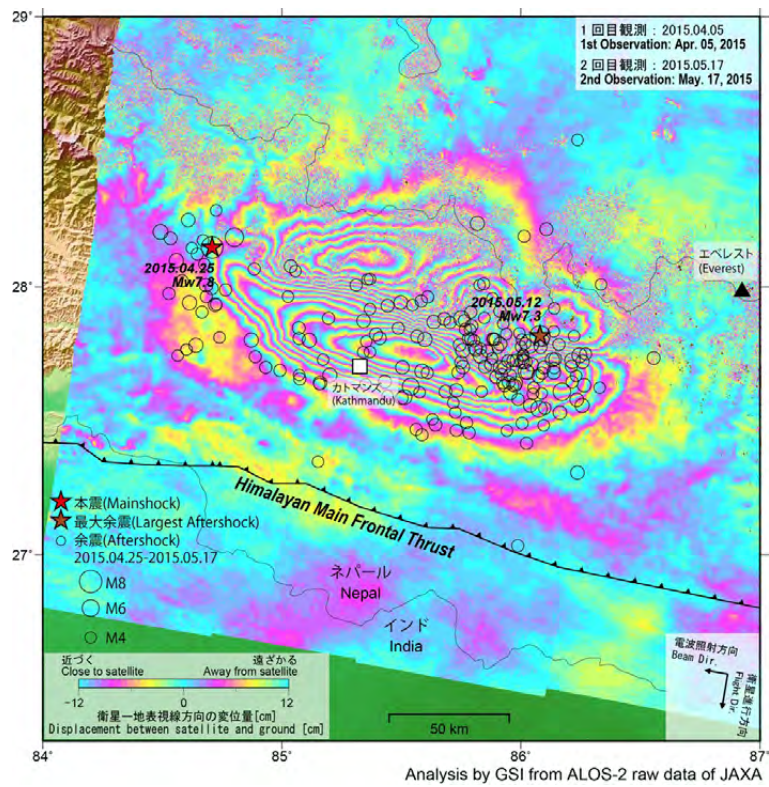


図2 ネパールの地震に伴う地殻変動

ALOS-2により2015年4月5日と5月17日に撮像されたデータによる干渉SAR画像。赤い星印は本震及び最大余震の震央位置。丸印は余震の震央。

( 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27年度の成果の概要:

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27年度に噴火が発生した口永良部島、阿蘇山及び桜島のほか、火山活動の高まりがみられた雌阿寒岳、蔵王山、箱根山、浅間山、霧島山(えびの高原周辺(硫黄山))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、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。また、火山活動の概況を英文でとりまとめてHPにより公表した。

(9) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27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)2015年3月号~2016年2月号(予定含む)

年間の日本の主な火山活動(2015年)

地震火山月報(カタログ編)2014年1月号~4月号(予定含む)

Monthly Volcanic Activity Report(2015年2月号~12月号)(予定含む)

(10) 平成28年度実施計画の概要:

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、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・情報センター

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 : [jmajishin\\_kanrika@met.kishou.go.jp](mailto:jmajishin_kanrika@met.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 : 中村 政道

所属 : 気象庁地震火山部火山課火山監視・情報センター

( 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 27 年度の成果の概要：

平成 27 年度は、5 月と 10 月の海洋気象観測船の航海で、31 台の海底地震計、3 台の海底水圧計を設置し、11 台の海底地震計、3 台の海底水圧計を回収した。

仙台管区气象台では、共同研究機関の東北大学の協力を得て、2012 年、2013 年のデータについて、海底地震計の堆積補正を行い再計算を行なった。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：なし。

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要：

平成 28 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：jmajishin\_kanrika@met.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：中村 浩二  
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 27 年度の成果の概要 :

当初の計画ではマグマ噴火を対象とした研究を行う予定であったが、御嶽山 2014 年噴火以降、水蒸気噴火に関する研究の重要性が認識されたことから、水蒸気噴火も対象に含めて研究を進めている。

##### 御嶽山噴火に関連した研究

2014 年 9 月 27 日に発生した御嶽山噴火に関連する地殻変動の研究を進めた。またそこで有効性が確認された手法を他の火山にも適用した。

モニタリング手法の高度化のとして、タンクモデルを用いた傾斜観測データの降水補正への取り組みを進めた。御嶽山田ノ原の傾斜計については、融雪の影響を除去する試行調査を行った(新潟大学・信州大学と共同で調査)。口永良部島新岳北東山麓の傾斜計については、島内の鹿児島県の降水量観測データが最も補正に有効であることを示し、有感地震のあった 2015 年 5 月 23 日からの山下がりの変化を検出した。箱根山では、神奈川県温泉地学研究所の傾斜計の降水補正に取り組み、幾つかの観測点で降水補正の効果が高いことを確認した。

GNSS 観測データについてもスタッキング解析の研究を通してモニタリング手法の高度化を進めた。御嶽山周辺の基線のスタッキング解析の結果、2014 年噴火に先行する御嶽山の膨張を明瞭にしたほか、2007 年の活動との比較を行ったところ、2014 年噴火の際の深部での体積膨張量は 2007 年より小さいことがわかった。また、2015 年の箱根山の火山活動では、温泉地学研究所との共同研究による解析で、地震活動の活発化に 3 週間あまり先行する 4 月初め頃から地殻変動が始まっていたことが明らかとなった。

御嶽山で発生する火山性地震を、高周波成分の大小に基づいて 2 つのイベントタイプに分類した。2007 年と 2014 年の噴火前後の地震活動については、噴火前に高周波成分の小さい地震が多く、噴火後に高周波成分の大きい地震が多いという傾向がみられた。噴火前に高周波成分が小さい地震が増加することは、噴火と密接に関わる流体の関与を示唆している。

##### 火山活動モニタリング手法の高度化およびマグマ活動の推定

伊豆大島など活動的火山における地殻変動データの取得・収集を通して火山活動モニタリング手法の開発・改良に取り組むとともに、データの解析によって地下のマグマの蓄積などを明らかにした。また、活動的火山を対象として火山活動評価のための研究を行った。

##### [ 伊豆大島等における地殻変動観測と解析 ]

伊豆大島において GNSS、光波測距、ボアホール型多成分ひずみ計による地殻変動観測を引き続き行い、データの蓄積を進めるとともに、解析を行った。GNSS 観測データについては、上下変動を調べると 2012 年を境に隆起速度が加速していることが明らかになり、特に島の中央部の観測点で隆起速度の加速が大きかった。また、2013 年 7 月以降 2015 年 1 月まで伊豆大島全体の膨張が継続し、地下の変動源の体積が年間 100 万  $m^3$  以上の割合で増加したことを推定した。2013 年 2 月に伊豆大島南西部に設置したボアホール型多成分ひずみ計の観測では、長期的な特性をみるために GNSS データとの対比を行い、火山体の膨張・収縮に対応した観測データが得られていることを確認した。

##### [ 衛星 SAR による火山性地殻変動の検出と火山監視手法の高度化 ]

ALOS/PALSAR データを用いた干渉 SAR 時系列解析を、国内の主要火山および海外の活動的火山を対象に行い、火山活動に伴う地殻変動を検出した。南米チリの Laguna del Maule 火山では、マグ

マ貫入を示す地殻変動が検出されたが、近傍で発生した M8.8 の巨大地震前後で地殻変動の速度が変化していることが分かった。

新たに打ち上げられた ALOS-2/PALSAR-2 データを用いた差分干渉解析を、国内の複数の活火山を対象に解析を実施した。その結果、雌阿寒岳、十勝岳、吾妻山、御嶽山、箱根山、西之島、硫黄島、霧島山、桜島、口永良部島において火山活動に伴う地殻変動を検出した。また、西之島については、画像の時系列変化から陸域面積の拡大率を求めた。口永良部島については、相関画像から火砕流等の範囲について明らかにした。

SAR 干渉解析結果で地殻変動が得られた火山については、圧力源推定を行った。十勝岳では、62-2 火口直下標高 1200m 付近に、開口量 3m のシル状圧力源(体積増加量、 $6.8 \times 10^4 \text{m}^3$ )、桜島の 8 月 15 日の地震増加時には、昭和火口直下約 1.6km に開口量 2m のダイク状圧力源(体積増加量  $1.6 \times 10^6 \text{m}^3$ ) で干渉縞が説明できることが分かった。

#### [ 活動的火山における研究 ]

西之島火山で自己浮上式海底地震計による観測を 2015 年 6 月～10 月に実施した。噴火活動に伴うと考えられる震動が記録され、6 月には 1 時間あたり 100 回程度の震動回数は、10 月には 50 回程度に減少しているものの、地震規模はやや大きくなっていることがわかった。

十勝岳 62-2 火口周辺の局所的な山体変動について、地形を考慮した有限要素法による計算で説明できる圧力源について検討を行った。その結果、単純な解析解(茂木モデル)では説明できなかったものが、ある程度まで(2015 年 6 月の前十勝の加速的変動まで)は、説明できることを示した。

水蒸気噴火の潜在力を有する火山として草津白根山で光波測距の、御嶽山で光波測距と GNSS の繰返し観測を実施した。(草津白根山は東京工業大学と、御嶽山は気象庁火山課機動観測班と共同で観測)

火山活動が活発化した箱根山の大涌谷周辺で、全磁力繰返し観測を実施した。その結果、ごく小規模な噴火が発生した後、7 月から 9 月にかけて火口群の地下の帯磁を示唆するわずかな地磁気変化が観測された。(神奈川県温泉地学研究所と共同で観測)

2014 年にやや地震活動が活発化した雲仙岳において繰返し GNSS 観測および光波測距観測を実施した。溶岩ドームや山頂部の収縮が継続していることがわかった。

地殻変動源を精密に推定するためには火山直下の地下構造をより正確に把握する必要があるため地震波速度構造解析を行っている。霧島山周辺について、地震波干渉法によって抽出された走時異常パターンを速度構造に焼き直すため、表面波位相速度トモグラフィーを進めた。

#### 火山活動の推移想定に関する研究

噴火もしくは火山活動が活発化した火山について、近年の火山観測データの整理と再検討を行った。

御嶽山噴火を踏まえた各種提言に沿って、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噴火警戒レベルの判定基準の精査作業に技術的な協力を行った。その中では、火山ごとの活動の特徴を改めて整理するとともに、御嶽山のような水蒸気噴火の可能性も踏まえた着目点の整理等を行った。

- (9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Ogiso, M., H. Matsubayashi and T. Yamamoto, 2015, Descent of tremor source locations before the 2014 phreatic eruption of Ontake volcano, Japan., *Earth, Planets and Space*, **67**, 206.  
安藤忍, SAR 干渉解析による噴火前後の地殻変動, 気象庁技術報告第 135 号(平成 26 年(2014 年)御嶽山噴火調査報告)(編集中).  
木村一洋, 降水補正を行った田の原傾斜計東西成分の噴火前後の変動, 気象庁技術報告第 135 号(平成 26 年(2014 年)御嶽山噴火調査報告)(編集中).  
気象研究所[安藤忍], ALOS/PALSAR 及び ALOS-2/PALSAR-2 データを使った SAR 干渉解析による御嶽山周辺の地殻変動, 火山噴火予知連絡会会報, **119**(印刷中).  
気象研究所[安藤忍], ALOS-2/PALSAR-2 の強度画像による西之島の地表変化, 火山噴火予知連絡会会報, **120**(印刷中).

気象研究所 [ 安藤忍 ], ALOS-2/PALSAR-2 干渉解析による硫黄島の地殻変動, 火山噴火予知連絡会会報, 120 (印刷中).

気象研究所 [ 長岡優 ], 西之島における二酸化硫黄放出量観測, 火山噴火予知連絡会会報, 121 (印刷中).

気象研究所 [ 小木曾仁 ], 高周波地震動の振幅分布から推定した御嶽山噴火前後の火山性微動の震動源, 火山噴火予知連絡会会報, 119 (印刷中).

気象研究所 [ 高山博之・高木朗充 ], 気象庁: 伊豆大島の地殻変動, 火山噴火予知連絡会会報, 118 (印刷中).

宮岡一樹, GNSS スタッキングによる噴火前の地殻変動検出, 気象庁技術報告第 135 号 (平成 26 年 (2014 年) 御嶽山噴火調査報告) (編集集中).

Miyaoka, M. and A. Takagi, Detection of crustal deformation prior to the 2014 Mt. Ontake eruption by stacking method, Japan, Earth, Planets and Space (submitted).

長岡優, 噴火前後における火山性地震のスペクトルの特徴, 気象庁技術報告第 135 号 (平成 26 年 (2014 年) 御嶽山噴火調査報告) (編集集中).

小木曾仁, 御嶽山の噴火前後の火山性微動の震源推定, 気象庁技術報告第 135 号 (平成 26 年 (2014 年) 御嶽山噴火調査報告) (編集集中).

Prudencio, J., T. Taira, Y. Aoki, H. Aoyama and S. Onizawa, Intrinsic and scattering attenuation images of Usu volcano, Japan, Geophys. Res. Lett. (submitted).

高木朗充, 傾斜変動と GNSS 観測による御嶽山の浅部圧力源, 気象庁技術報告第 135 号 (平成 26 年 (2014 年) 御嶽山噴火調査報告) (編集集中).

Takagi, A. and S. Onizawa, Shallow pressure sources associated with the 2007 and the 2014 Ontakesan volcano eruptions, Japan, Earth, Planets and Space (submitted).

(10) 平成 28 年度実施計画の概要:

火山活動モニタリング手法の高度化およびマグマ活動の推定

・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。

火山活動の推移想定に関する研究

・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

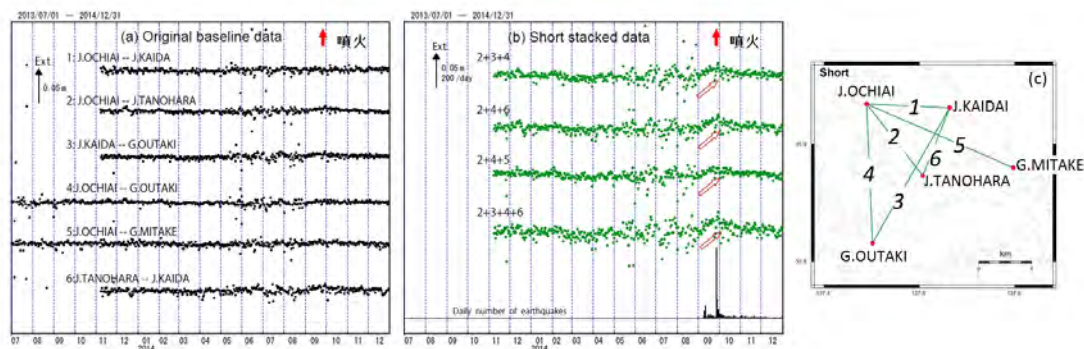


図 1 . 御嶽山周辺の GNSS 基線のスタッキング解析。

(a) 各基線の観測データ。噴火前の基線長の伸びはよくわからない。(b) 複数の基線を組み合わせさせたスタッキング解析の結果。噴火前の基線の伸びが明瞭になった。(c) 解析に用いた御嶽山周辺の GNSS 基線の配置。

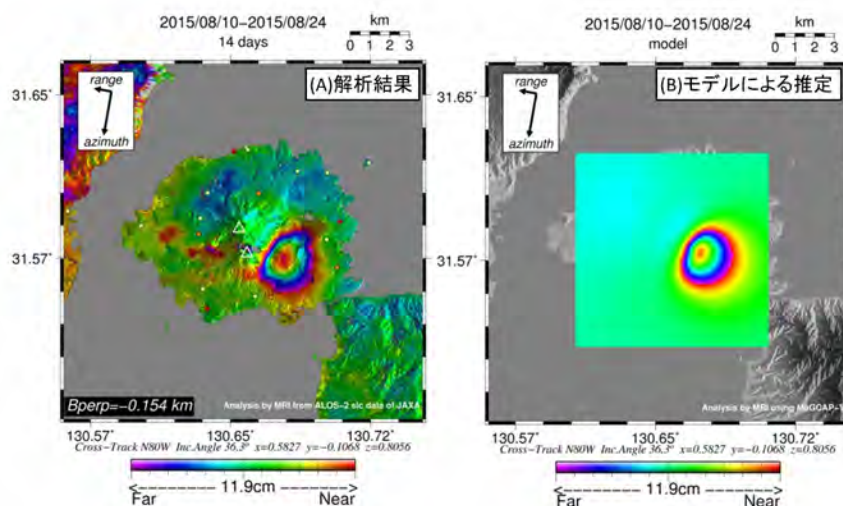


図 2 . 桜島における干渉 SAR 解析。

(A) ALOS-2 データの SAR 干渉解析によって明らかになった 2015 年 8 月 10 日 ~ 24 日の桜島の地殻変動 ( 干渉縞で表示 )、(B) 変動源のモデルとしてダイクを想定した場合に期待される地殻変動 ( 色付きの正方形内について表示 )、ダイク状圧力源は深さ約 1.6km、体積増加約  $1.6 \times 10^6 \text{m}^3$  と推定された。



( 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 27 年度の成果の概要：

【地殻変動観測による監視・評価】

・ 気象庁では，全国の常時観測火山において GNSS，傾斜等の観測を行い，火山活動の監視を行っている。平成 27 年度には，口永良部島や箱根山等で噴火が発生するとともに，桜島におけるマグマ貫入

現象や各火山における山体浅部での膨張などが観測され、噴火警報の発表においても地殻変動データは重要な役割を果たしてきた。これらは他の観測データと併せて各火山の活動評価に資するとともに、適宜、火山噴火予知連絡会や火山活動解説資料等において公表した。

・雌阿寒岳，十勝岳，浅間山，御嶽山，箱根山，桜島において観測されたデータから地殻変動源の推定を行い，活動評価に用いた。

#### 【衛星 SAR】

・火山噴火予知連絡会衛星解析グループ（WG）の事務局として WG 活動の運営に当たり、「だいち 2 号（ALOS-2）」による観測要望や解析結果のとりまとめを行った。本年度は，シナリオ基本観測以外に，噴火警報の発表や火山活動の活発化に伴い 6 火山（雌阿寒岳，十勝岳，浅間山，箱根山，桜島，口永良部島）において緊急観測要望を行い，JAXA により観測が実施された。これらのデータを用いた解析結果は，WG メンバーにより適宜，火山噴火予知連絡会へ報告され，活動評価に用いられた。

・緊急観測においては，箱根山にて定期的な観測を実施し大涌谷の局所的な膨張が成長する過程を捉えるとともに，桜島ではマグマ貫入に伴う変動を面的に捉え，地上連続観測データと併せて，貫入位置・量の見積りが行われた。

・シナリオ基本観測データによって，地上観測を実施していない火山も含めた全国の活火山の変動状況の把握が行われた。

#### 【火山活動に伴う地殻変動】

・年度内に実施された火山噴火予知連絡会において，全国でおよそ 20 の火山において，火山活動に伴う地殻変動が報告された。これらは，マグマ蓄積を示唆する深部の膨張，マグマ貫入による膨張，熱水活動によると考えられる浅部の膨張，噴火による収縮等多岐に渡っている。このうち，熱水活動によると考えられる浅部の膨張は雌阿寒岳，十勝岳，蔵王山，吾妻山，草津白根山，箱根山，霧島山において観測されており，これらの多くの火山においてより深部の活動との関連が示唆される広域的な膨張を伴うという共通性が認められた。また，このうち，蔵王山，吾妻山，霧島山においては，微動を伴う傾斜変動が観測された。

#### 【職員研修】

・気象庁において，本年度新たに「火山活動評価研修」を実施した。この中で，2015 年 8 月 15 日に桜島で発生した貫入現象を題材として，伸縮，傾斜，GNSS，SAR データについて監視・評価の着眼点を学ぶとともに，その火山活動評価への位置付けについて議論を行い，職員の火山活動評価能力の向上に努めた。

(9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 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衛星解析グループ「火山活動の評価及び噴火活動の把握に関する共同研究」平成 27 年度成果報告書（平成 28 年 3 月発行予定）

(10) 平成 28 年度実施計画の概要：

平成 28 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，本年度打ち上げられた ALOS-2 に対応した SAR データ解析環境を構築し，それらの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・情報センター  
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：jmajishin\_kanrika@met.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：鬼澤真也  
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：

( 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 27 年度の成果の概要：

雌阿寒岳、草津白根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。伊豆大島、三宅島においては全磁力連続観測を継続すると共に、2011 年以降休止していた全磁力繰り返し観測を再開した。雌阿寒岳では 2015 年 3 月以降熱消磁が進行しており、その動向が注目された。この熱消磁のソースについては、2015 年 6 月に実施した全磁力繰り返し観測の解析結果、ポンマチネシリ 96-1 火口南斜面の地下約 400 m に求められた。2013 年と 2014 年に雌阿寒岳で実施した AMT 構造探査については比抵抗構造の再解析を行い、構造モデルの精度を高めた。また、比抵抗構造と帯磁・消磁のソースの位置関係を調べ、2008 年噴火時は低比抵抗域内、2013 年～2014 年は低比抵抗域と高比抵抗域の境界部で熱消磁が発生していたことがわかった。草津白根山では、2014 年 5 月から 6 月にかけて湯釜地下で小規模な熱消磁が発生したとみら

れる全磁力変化が観測されたが、それ以降は全磁力はあまり変化しておらず、熱的な平衡状態を保っていると考えられる。その他、伊豆大島では全磁力に見られる年周変化の除去手法の改良をおこなった。

- ( 9 )平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 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第 120 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 121 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 122 号( 雌阿寒岳、草津白根山、伊豆大島 )
  - 高橋幸祐・藤井郁子, 地磁気観測から推定される草津白根山の長期的な熱水活動の再評価, JpGU2015, 幕張メッセ国際会議場、2015 年 5 月
  - 島村哲也・有田真・増子徳道, 雌阿寒岳における全磁力観測, 平成 27 年度 Conductivity Anomaly 研究会, 東京大学地震研究所, 2016 年 1 月
  - 山崎明・西田誠・井智史・平原秀行・中橋正樹・札幌・仙台・福岡火山センター, 気象庁の活火山への全磁力観測点の整備計画について, 平成 27 年度 Conductivity Anomaly 研究会, 東京大学地震研究所, 2016 年 1 月

- ( 10 )平成 28 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、繰り返し観測を継続し、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調査課

電話 : 0299-43-6909

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 27 年度の成果の概要：

・トンガ・ケルマディック海溝沿いプレート境界型地震活動について、地震と潮汐との相関を示す指標  $p$  値の時空間変化を調査した。その結果、この地域では  $p$  値を用いた地震予測は有効ではないことがわかった。

・豊後水道長期的ゆっくりすべり (LSSE) 前後における深部低周波地震 (LFE) の  $p$  値の時空間変化を調査した。その結果、LFE の領域浅部側 (LSSE の北西縁) に顕著な低  $p$  値帯が分布し、LFE の活動度が特に高い領域において、LSSE に関連した  $p$  値の時間的变化が見られた。

・東海地方の深部低周波地震活動について  $p$  値の時空間変化を調査した。その結果、 $p$  値は空間的に不均質を持ち、体積収縮時に LFE が発生する傾向にあることがわかった。また、東海 LSSE との時間的な対応関係は見られなかった。

- ・紀伊半島東部の深部低周波地震活動について p 値の時空間変化を調査した。その結果、p 値は空間的に不均質を持ち、伊勢湾直下で小さいことがわかった。
- ・2014 年 11 月 22 日に発生した長野県北部の地震 (M6.7) の約 4 日前から見られた前震活動に関連し、この地域の過去の地震活動の統計的解析を行い、前震識別の最適パラメータを推定した。その結果、今回のような前震から本震 (M 5.0) に至る割合は 11 % 程度であり、本震のうち前震活動を伴う割合は約 45 % であることを明らかにした。
- ・国内の M7 クラス以上の大地震を対象に地震活動の静穏化・活発化解析手法 (eMAP 法) を適用し、破壊領域 (余震域) と静穏化領域を詳細に比較した結果、地震発生前までに静穏化領域が破壊領域を囲むドーナツパターンが約 8 割の静穏化事例で見られることが分かった。
- ・繰り返し中地震について、相関係数とコヒーレンスを用いて 2015 年度中に 3 個の繰り返し地震の発生を確認した (2015 年 12 月 7 日現在)。事前に 2014 年 8 月 1 日と 2015 年 4 月 1 日を基準日としてベイズ統計対数正規分布モデルを用いて長期的発生確率予測をおこなっており、3 個のうち 2 個は基準日から今後 3 年以内の予測確率が 60 % 以上で、予測通りの時期に発生したことが確認できた。
- ・中規模以上の繰り返し地震は、発生間隔が長く、観測回数が非常に少ないケースが多いことから、繰り返し回数が非常に少ないときの長期的発生確率予測の信頼度について、繰り返し小地震を使って調査し、小標本対数正規分布モデルとベイズ統計対数正規分布では予測手法による成績差はほとんど見られず、繰り返し回数が 4 回以下では、回数が少なくなるにつれて、成績が着実に悪くなることを定量的に確認した。
- ・予測モデルの違いによる予測精度の変動を調べるため、対数正規乱数で発生させた発生間隔からなる疑似地震系列を用いて、繰り返し回数や直前地震から予測日までの経過日数を変化させた実験をおこなった。小標本論対数正規分布モデルとベイズ統計対数正規分布モデルについておこない、繰り返し回数の増加に伴う成績向上は、平均対数尤度とブライアスコアとも繰り返し回数が少ないときほど顕著で、ベイズ統計対数正規分布モデルは小標本論対数正規分布モデルよりも概して優れているものの、ベイズ統計対数正規分布モデルは、繰り返し回数が少なく、直前地震から予測日までの経過日数が長いときに予測確率に明瞭な頭打ちが見られることがわかった。
- ・過去の南海地震について古文書による調査を行い、「蕨岡家文書」にある「嘉永七甲寅年大地震記録」の原本コピーにより、安政南海地震時の愛媛県愛南町での地震動の推移、地震に伴って発生したその他の自然現象と被害を詳しく検討した。この記録を掲載した『新収日本地震史料』には自然現象及び被害描写の欠落や死者数の誤りが認められた。深浦の死者数は 101 人ではなく 1 人であった。さらに、「蕨岡家文書」に記された井戸の水位低下を体積ひずみ変化で定性的に説明した。
- ・体積ひずみ計の降水補正について、2006 年から 2014 年まで 3 年ごとに区切って、観測点設置雨量計、近隣のアメダス、解析雨量の比較を行った。アメダスが 5km 以内であれば、観測点設置雨量計とほぼ同程度の補正が可能であること、アメダスが 10km 以遠の場合は解析雨量の方が良い補正が可能であることを確認した。
- ・大島津倍付の体積ひずみ計の降水補正について、伊豆大島周辺の解析雨量の複数格子を用いた場合を比較し、ひずみ計の位置する格子ではなく大島アメダスの位置する格子を用いた場合に最も良い降水補正になること、東京都の御神火茶屋の雨量計が位置する格子を用いた場合は周辺の格子に比べて降水補正が著しく悪くなることを確認した。
- ・南海トラフ沿いの GNSS 日値を用いた面的監視処理について、東北地震の余効変動を除去したデータを用い、監視範囲を変更し、東海の長期的ゆっくりすべりを検出しやすくした。また、処理の変更に伴い監視の閾値を再調査した。
- ・2015 年 5 月から公開された国土地理院の GNSS 日座標値 R3 解について、基線長や GNSS 面的監視 (1ヶ月 / 3ヶ月) については F3 解と同程度の精度で監視ができることを確認した。
- ・2000 年と 2005 年の銚子付近、千葉市付近の群発地震に伴い、非定常な地殻変動が発生しており、それぞれ本震の場所での非地震性すべりにより説明できることを明らかにした。
- ・GNSS 日値の解析から、2014 年半ばから紀伊水道において小規模な長期的ゆっくりすべりが発生し

ている可能性が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、ひずみデータの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った。

・紀伊半島沖に小アスペリティを置き、東海LSSEが繰り返し発生するモデルの構築を試みた。Hirose & Maeda [2013, JGR]と同様に有効法線応力を局所的に小さくすると、LSSEが繰り返し発生するが、振幅が1 cm/yr程度と低く観測を説明するモデルの構築には至っていない。

・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の主な地震の再現を目指している。これまでのところ、M7-8クラスの地震がそれぞれ単独で発生する様子はどちらのモデルでも概ね再現できているが、M9クラスの地震の破壊域は再現できていない。

- (9) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
- 弘瀬冬樹・中西一郎，2015，1854年安政南海地震による愛媛県最南端(愛南町)での地震動・津波被害・地下水位変化 - 庄屋史料と藩史料の比較から分かる庄屋史料の有用性と地殻変動推定の可能性 - ，地震2，68，107-124．
- 勝間田明男，2015，地震・震度観測，日本地震工学会2014年長野県北部の地震に関する調査団報告，11-16．
- 気象研究所，2015，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，94，30-34．
- 気象研究所，2016，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，95，印刷中．
- 気象研究所，2015，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，94，289-292．
- 気象研究所，2016，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，95，印刷中．
- 熊澤貴雄・尾形良彦・木村一洋・前田憲二・小林昭夫，伊豆東部の群発地震活動の推移の短期予測について，地震予知連絡会会報，94，136-144．
- 前田憲二・弘瀬冬樹，2015，前震活動に基づく地震発生の経験的予測(長野県北中部地域への適用)，地震予知連絡会会報，94，108-111．
- 前田憲二・弘瀬冬樹，2016，前震活動に基づく地震発生の経験的予測，地震予知連絡会会報，95，印刷中．
- 宮岡一樹・木村久夫，2016，ひずみ計によるスタッキング法を用いた長期的ゆっくりすべりの検出，験震時報，79，15-23．
- 田中昌之・岡田正実，2015，中規模繰り返し相似地震の発生状況と発生確率(2015)，地震予知連絡会会報，94，372-376．

(10) 平成28年度実施計画の概要：

- ・地震活動の変化を表すパラメータの定常的変化解析手法を構築する。
- ・気象庁デジタル加速度記録から、随時繰り返し相似地震の発生を調査する。新たに確認した相似地震は、当該相似地震の発生間隔データを用いて、ベイズ統計対数正規分布モデルなどの予測モデルで長期的発生確率予測を行い、次地震発生時に予測結果を比較して、最良なモデルを検討する。
- ・島田川根ひずみ計観測点近隣の河川の水位用いた、ひずみ補正手法の改良を行う。
- ・現在進行中の南海トラフ沿い長期的ゆっくりすべりなどの推移について随時把握する。
- ・水準測量・潮位データによる変動履歴復元を行い、ゆっくりすべり発生有無など長期的地殻上下変動推移について調査する。
- ・南海トラフと日本海溝について、地震発生シミュレーションにより引き続き地震発生間隔や発生域の再現を試みる。
- ・地震発生シミュレーションでより細かなメッシュを用いるため、計算高速化のための処理手法について検討する。



( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

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

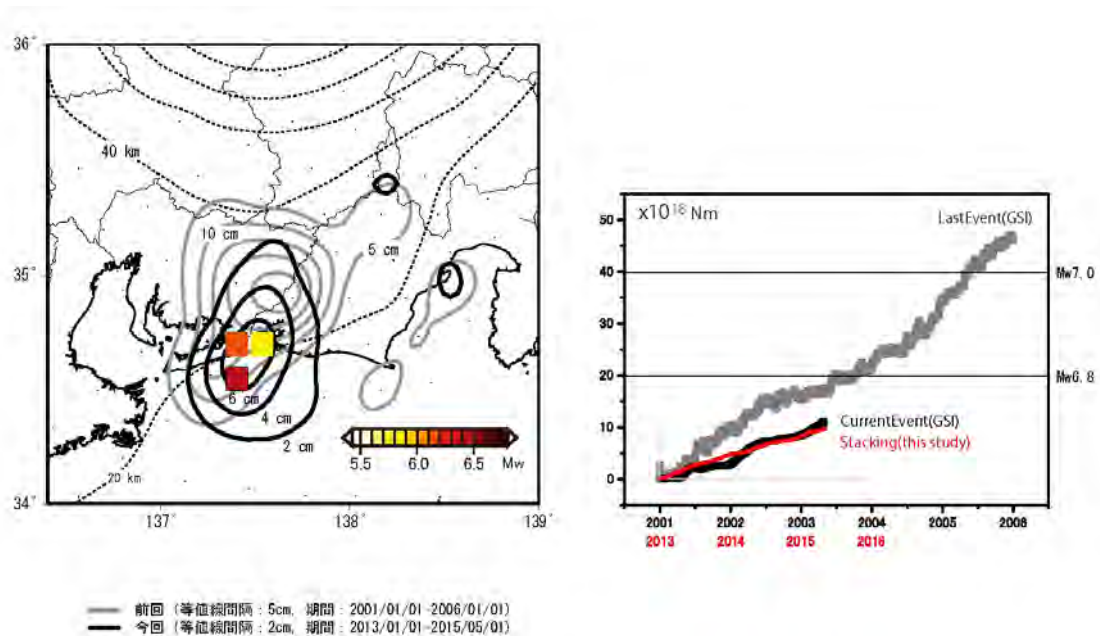
e-mail : ngmn11ts@mri-jma.go.jp

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



ひずみデータのスタッキングによる長期的ゆっくりすべりの領域およびすべりの規模推定  
GNSS データを用いた解析 ( 国土地理院による ) との比較。

( 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：

( 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 27 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、高知県馬路村土川地区において地磁気観測を行っている。2014 年 1 月には 3 成分フラックスゲート磁力計を設置、2014 年 6 月には全磁力観測装置を設置した。その後、2014 年 7 月の台風の影響による長期の停電などによりフラックスゲート磁力計が故障し長期間欠測していたが、2015 年 6 月に復旧させた。2015 年 11 月には全磁力観測装置を交換した。馬路観測点と国土地理院の室戸観測点との磁場のベクトル差には、地下の電気伝導度

の不均質による内部生成磁場の相違、海洋潮汐効果などが含まれ、これらをどのように分離していくかが課題となる。

2011年東北地方太平洋沖地震では父島において津波到達の約20分前に地磁気のZ成分に津波起源と考えられる磁場変動が観測され、津波が海水中に誘導した電流系により発生したものと考えられた。津波が生成する磁場変化を数値シミュレーションを行い確かめたところ、観測値をほぼ説明できる結果が得られた。また、本州など陸域においても津波到達前の磁場変化が検出可能かどうかについて、シミュレーションを用いて検証した。

- (9) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
Hidee Tatehata, Hiroshi Ichihara, Yozo Hamano, Tsunami-induced magnetic fields detected at Chichijima Island before the arrival of the 2011 Tohoku earthquake tsunami, Earth, Planets and Space 2015, 67:185

- (10) 平成28年度実施計画の概要：

高知県馬路村で地磁気観測を継続する。得られた地磁気データと国土地理院の室戸観測点との磁場のベクトル差を求め、津波生成磁場の検出可能性について調査する。津波生成磁場の数値シミュレーションについても研究を継続し、さらに詳しい解析を行う。

- (11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

気象庁地磁気観測所

他機関との共同研究の有無：有

京都大学理学研究科(藤浩明)

京都大学防災研究所(吉村令慧)

国土地理院(阿部聡)

- (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調査課

電話：0299-43-6909

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、実況値から予測が可能なる手法をめざす。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 27 年度の成果の概要：

H27 年度は速度構造、減衰構造をとり入れることによりさらに早い段階で精度よく予測できることを示した。また、強震入力時の海底地震計の挙動とその対策や、地震動の伝播方向をリアルタイムで推定することの考察を進めている。“揺れから揺れを予測する”という考え方は長周期地震動に対しても十分に適用できそうである。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Hoshiya M. and S. Aoki, 2015, Numerical shake prediction for Earthquake Early Warning: Data assimilation, real-time shake mapping, and simulation of wave propagation, Bull. Seism. Soc. Am., 105, 1324-1338, doi: 10.1785/0120140280

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

実データへの適用を進め、未解決の問題を検討するとともに、減衰構造や速度構造の精緻化により予測モデルの改良を行う。新たに得られた地盤増幅特性や、新たに展開されつつある海域観測網からのデータに対しても応用を図る。また、震度予測の迅速化と精度向上を狙って、観測面(アレイ処理技術の改良を目指した構内での観測、など) および計算面(計算速度の向上、より現実に近い仮定での計算、など)の両面からのアプローチをさらに進める。

上記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、実データへの適用を進める。

( 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](mailto: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．

( 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．

( 8 ) 平成 27 年度の成果の概要 :

- ・地震直後に地震の規模や断層の広がりを推定する手法として、国土地理院との共同研究として GNSS データを用いた解析手法の開発を継続して実施し、事例解析を追加し適正な解が得られる条件を明確化した。
- ・地震の規模を推定する手法の一つとして、単独観測点からの規模推定法について検討した。強震動継続時間と最大変位振幅を用いることで、津波を引き起こす可能性のある地震の発生を把握することが可能であることを確認した。
- ・南海トラフ沿いの領域における海底地震計の観測の実施とそのデータ解析を進めた。南海トラフの南方で発生している地震は、トラフ軸から南方 100km までの範囲まで分布しており、南北伸長の応力により発生していることを明らかにした。
- ・遠地実体波を用いた震源過程解析において、各種事前設定パラメータの最適化を行うことで、ほぼ自動的な解析を可能とした。その手法をマグニチュードが 8 を超えるクラスの世界の地震に対して適用し、多くの場合適正に解が得られることを確認した (図 1)。
- ・地震に関わる地殻変動観測手法として、ALOS/PALSAR データを使った差分干渉解析を行った結果、紀伊半島南端付近の沿岸地域において年間 3cm 程度の面的な地殻変動を検出した。
- ・自動震源決定手法として、パーティクルフィルターに基づく震源決定手法、パターンマッチを用いたイベント検出法について評価試験を行い、内陸地震の震源決定において十分な性能があることが確認され、更に沖合の地震についても多くの地震の震源決定が可能であることが確認された。
- ・三次元速度構造震源計算を会話処理や多数の地震の処理に用いるための障害となっている計算時間を短縮するため観測点ごとの走時表を用いた手法を開発し、十分な時間短縮が図れていることを確認するとともにその精度に関する評価を行った。
- ・応答スペクトル比と地盤情報の関連性について調査し、周期 3 秒までは深さ 30 m までの平均 S 波速度との相関が高く、更に長周期については 1 次固有周期との相関が高いことを明らかにした。
- ・データ同化手法を取り入れた地震動の時間履歴推定法について、周期 1 ~ 8 秒の地震動について調べたところ、ほぼ適切に推定できていることが確認された。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

- Hoshiya, M., S. Aoki, 2015, Numerical shake prediction for earthquake early warning: data assimilation, real-time shake mapping, and simulation of wave propagation, Bull. Seismol. Soc. Am., 105, 1324-1338, doi:10.1785/0120140280.
- Katsumata, A., 2015, Fast hypocenter determination in an inhomogeneous velocity structure using a 3D travel-time table, Bull. Seismol. Soc. Am., 105, 3203-3208, doi: 10.1785/0120150122.
- 武藤大介・勝間田明男, 2016, 長周期地震動と地盤構造の関係について, 気象研究所研究報告, 66, 1-14.
- 溜淵功史・森脇健・上野寛・束田進也, 2016, ベイズ推定を用いた一元化震源のための自動震源推定手法, 験震時報, 印刷中.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

- ・過去の研究に関する津波地震の事例調査を進める。スロー地震については、その震源時間関数の特徴について調査を行う。地すべりについては、地震波の励起と津波の発生に関して調査を進める
- ・長周期地震動検出手法の開発を行う。
- ・これまでの震源決定手法の調査を進め、波形関連の情報を取り入れた手法の検討を行う。
- ・すべり分布推定に関する従来手法の問題点の整理を行う。

( 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

(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

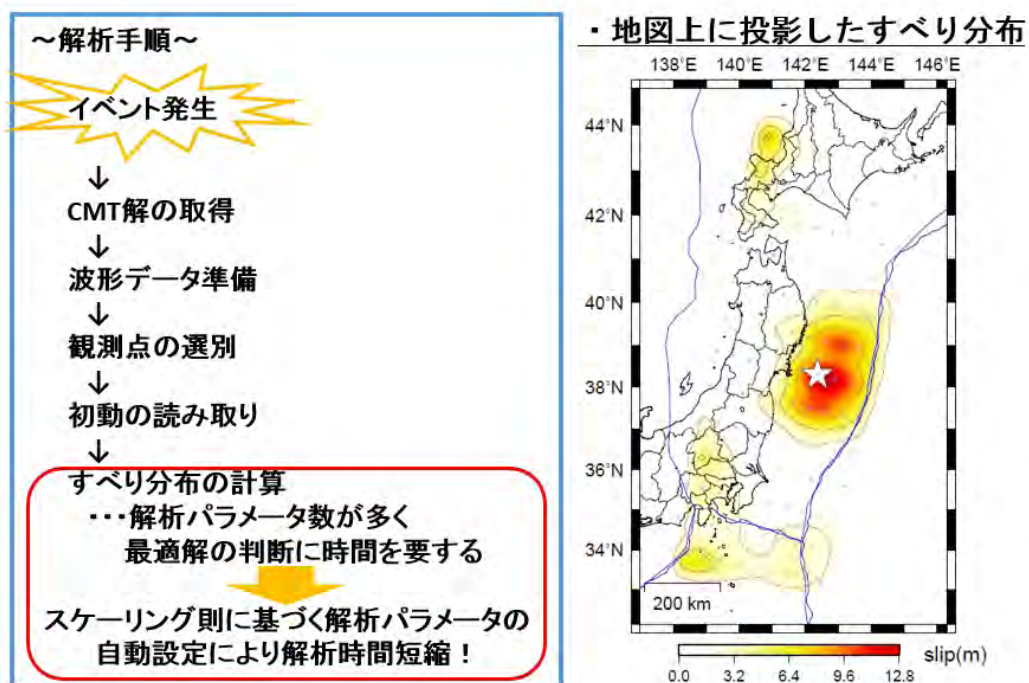


図1 遠地震源過程解析の準自動化。

遠地震源過程解析の準自動化のための開発を行っている。CMT解が得られた段階でスケーリング則に従い、仮定する断層の大きさ、小断層の大きさや数などのパラメータを自動的に設定して解析する手法を開発した。その方法により、図の右に示すように平成23年東北地方太平洋沖地震の最大の特徴である宮城県沖の大すべり域の推定ができた。



( 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

時の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 27 年度の成果の概要 :

口永良部島噴火への対応

2015 年 5 月 29 日口永良部島噴火噴煙の気象庁レーダー観測網データ、ひまわり画像を解析した。レーダーエコー頂高度は海拔約 10km に達し、ひまわり画像から噴煙の移流高度は 8km 付近と推測された。また、レーダーのエコー頂高度の時間推移からこの噴火の噴出物総量は 66 万 ~ 110 万トンと推定された。

2015 年 5 月 29 日と 6 月 18 日口永良部島噴火の降灰予報の検証を行った。5 月 29 日の事例検証では、モートンの式に基づく噴出物量推定のブルカノ式噴火への適用方法の検討、風の影響を考慮した噴煙供給源モデルへの改良が必要であることが分かった。また遠望カメラ、気象レーダー・衛星ともに噴煙高度が不明であった 6 月 18 日の事例検証では、観測された火山礫の落下時間および輸送距離に及ぼす影響を考慮すると、みかけ高度は 4000 ~ 5000m 相当、実際は約 3000m と推測され、降灰予報(定時)で仮定している噴煙の高さは妥当であったことを確認した。

桜島における噴煙観測

X バンド MP レーダー、二次元ビデオディストロメーター、4K ネットワークカメラおよび 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桜島噴煙の観測を平成 28 年 3 月に開始予定である。X バンド MP レーダーは桜島南岳の北西約 11km の鹿児島市吉野町に、Ku バンドレーダーは南岳の東約 4.3km の京都大学黒神観測室に設置する。

桜島における測風ライダーによる観測

当初、本課題では計画していなかったが、特に降礫予測の改善のため、2015 年 3 月 25 ~ 26 日桜島黒神瀬戸観測点において、測風ライダーによる観測を実施し、ライダーで観測された風データと気象庁客観解析 (GPV) の風データとを比較し、上空での火山灰粒子の粒形分布推定のための解析を進めている。

気象庁レーダー観測網による噴煙頂高度推定の検討

気象庁レーダー観測網によって観測された 2014 年 9 月 27 日御嶽山噴火噴煙のエコー頂高度が過大であった問題について課題を整理した。

降灰予測手法の改善

2011 年 1 月 27 日 06 時 JST にひまわり 7 号で観測された霧島山新燃岳 2011 年噴火による火山灰雲に対し、火口上空における火山灰粒子の放出時刻・高度を対応付けることにより、この時刻の火山灰雲が、高度 3km (南端) から 7km 程度 (北端) にかけて緩やかに傾斜していたことが分かった。火山灰雲の再現結果は、初期粒径分布の仮定に対しても依存しており、分散を従来 (2.3) よりも大きく (4.6) することで再現性が向上することが分かった。

日々の気象場の変化が大規模噴火時の降灰予測に与える影響を点検し、降灰ハザードマップの改良等の研究に活用するため、富士山宝永噴火および桜島大正噴火を想定した降灰シミュレーション計算を毎日実行し、結果を図示するリアルタイムコンテンツの仕組みを構築した。2015 年から開始し、計算結果を蓄積している。

衛星データ等を利用した西之島火山の火山活動評価

気象庁観測船啓風丸船上から西之島において SO<sub>2</sub> 放出量観測を行い、2015 年 6 月は約 900 トン/日、2015 年 10 月は約 400 トン/日と求められた。また、箱根山においても 2016 年 11 月に SO<sub>2</sub> 放出量観測を行い、19 トン/日と求められた。

LANDSAT-8 や Terra、EO-1 衛星に搭載された光学センサーの画像から西之島の噴煙活動 (放熱率) の評価を行うとともに、光学センサーや SAR データを用いて抽出した溶岩流出活動との関連について調査を進めた。この結果、新島が確認され、約 2 年経過した 2015 年 10 月時点でも、その活動は噴火当初とほぼ同じ水準で推移もしくは低下していることが分かった。また、ALOS-2/PALSAR-2 の強度

画像を用いて、噴火活動に伴う陸域拡大の時間変化について解析し、陸域の拡大速度が一定ではないこと、主火口（中央火砕丘）の位置が期間を通して移動していないことが分かった。

#### 噴出物データ同化・予測システム開発

火山噴出物データ同化・予測システム構築に向け、レーダー観測や衛星観測のデータから取得される火山灰の密度や粒形分布を全球移流拡散モデルの初期値として即時的に利用するための三次元変分法に基づく火山灰データ同化システムのプロトタイプを作成し、仮想的な観測値を用いて、その動作確認を行った。

- ( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：  
新堀敏基, 2015, 数値シミュレーションによる降灰予測. エアロゾル研究, 30, 168-176. doi:10.11203/jar.30.168  
新堀敏基, 2015, 入門講座 火山噴火と大気環境 - 第 3 講 火山噴出物の大気動態・環境影響 ? 火山灰. 大気環境学会誌, 50, A67-A77.

Ishimoto, H. K. Masuda, K. Fukui, T. Shimbori, T. Inazawa, H. Tuchiya, K. Ishii, T. Sakurai, 2016, Estimation of the refractive index of volcanic ash from satellite infrared sounder data. Remote Sensing of Environment, 174, 165-180, doi:10.1016/j.rse.2015.12.009.

気象研究所 [ 佐藤英一, 新堀敏基, 福井敬一, 石井憲介, 高木朗充 ], 2016, 気象レーダーで観測された 2014 年 9 月 27 日御嶽山噴火に伴う噴煙エコー, 火山噴火予知連絡会会報, 119 ( 印刷準備中 )

気象研究所 [ 福井敬一 ], 2016, 西之島の噴煙活動 ( 2013 年 12 月 ~ 2015 年 2 月 ), 火山噴火予知連絡会会報, 120 ( 印刷準備中 )

- ( 10 ) 平成 28 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 ） 二次元ビデオディストロメーターおよび 4K ビデオカメラによる、桜島噴煙観測を継続する。
- ・可搬型レーダーデータ、既存の気象レーダーデータ等から噴煙の立体構造や粒径、火山灰量を推定するための手法の開発を進める。
- ・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。
- ・気象庁レーダー観測網を利用した噴煙高度推定手法の高度化のための研究を進める。
- ・移流拡散モデルの初期値として、風の影響を考慮した噴煙供給源モデルに改良し、過去事例で降灰・降礫予測検証を進める。
- ・気象レーダーや衛星などによる噴煙観測データを、火山灰移流拡散モデルで利用するための手法開発を進める。

- ( 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、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：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：福井 敬一

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って、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 27 年度の成果の概要：

高速サンプリング高分解能の自己浮上式海底水圧計を用いて平成 26 年度に実施した房総沖での実海域観測で得られた福島県沖の地震 ( M7.0 ) 等の近地地震に伴う海底圧力データの周波数解析を行った結果、既存のノイズ除去手法を適用することで適切に高周波成分を除去できることが確認できた。

波源推定に基づく津波即時予測手法について、予測結果を円滑に活用できるよう、経験ベイズ法等に基づいて予測精度をリアルタイムに評価する指標の開発を進めている。

津波エネルギーの伝達過程を基に組み立てられた、津波の成長過程を含めた全期間の振幅時間変化を説明するための数理モデルを用いた検討を行っている。この数理モデルによれば、減衰定数などのパラメータによって津波の第一波到着から最大波出現までの時間に違いを生じることを確認した。

(9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
平田賢治・山崎明・対馬弘晃, 2015, 新型自己浮上式海底水圧計の開発, 気象研究所技術報告, 74, 1-21.

(10) 平成 28 年度実施計画の概要：

沖合観測データの解析等に基づき、地震発生直後の高周波ノイズが津波成分抽出に与える影響を評価し、その必要に応じて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。沖合における多点の水圧観測データから即時的に津波の伝播状況を面的に把握する手法について、特性化した津波波源モデルを用いた津波伝播計算によって作成した仮想津波観測データに適用する試行などを行い開発を進める。

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、多点の沖合津波観測データの活用が、津波波源の時間歴の把握に有効であるかを検討し、必要に応じて手法の改良を行う。

遠地津波の後続波の出現タイミングや振幅の時間減衰傾向を再現可能な数値計算手法について、津波の成長過程を含めた全期間の振幅時間変化を説明できるよう構築した数理モデルを実際の観測事例と比較することにより、各事例のモデルパラメータを推定する。

(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 27 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各種検討会等を開催し、報道発表等により広く情報共有を図った。主な取り組みは以下のとおり。

- ・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

火山については、昨年度の「火山情報の提供に関する検討会」の最終報告を受けて、以下の見直しを行った。

- ・臨時の「火山の状況等に関する解説資料」の提供開始
- ・噴火警戒レベル 1 及び噴火予報のキーワードを「平常」から「活火山であることに留意」に変更
- ・「噴火速報」の運用開始

（ 9 ）平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

（ 10 ）平成 28 年度実施計画の概要：

平成 28 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：jmajishin\_kanrika@met.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：菅沼 一成

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的幹事会や連絡会(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 27 年度の成果の概要：

平成 27 年度は，第 132 回(平成 27 年 6 月 15 日) 第 133 回(平成 27 年 10 月 21 日) 第 134 回(平成 28 年 2 月 17 日予定)の 3 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．また，平成 27 年 5 月 29 日の口永良部島の噴火については平成 27 年 5 月 30 日に，平成 27 年 8 月 15 日の桜島の急激な地殻変動・地震多発については平成 27 年 8 月 21 日とに火山噴火予知連絡会(拡大幹事会)を開催し，詳細な活動評価を行い，検討結果をとりまとめた．定例会及び拡大幹事会の検討結果は，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。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 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 118 ~ 120 号( 予定 )

( 10 ) 平成 28 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 : jmajishin\_kanrika@met.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 : 小泉 岳司

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 27 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 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 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 28 年度実施計画の概要：

28 年度も，引き続き観測を継続すると共に，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 : [jmajishin\\_kanrika@met.kishou.go.jp](mailto:jmajishin_kanrika@met.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 : 中村 浩二

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：

( 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 27 年度の成果の概要：

気象庁に集約された全国の潮位データを国土交通省防災情報提供センター HP で公開している。さらに，気象庁の管理地点については，毎時潮位，月平均潮位( 平年偏差 )，津波，副振動等のデータを気象庁 HP 上で公開している。

平成 27 年度は，気象庁が管理している観測機器の雷災対策を強化した。またアナログ回線を使用していた一部の地点をデジタル回線に変更し，全ての観測地点をデジタル回線とした。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

鶴岡 睦・鈴木 博樹・九谷 昌治・中舘 明，2015，潮位・津波観測システムについて，測候時報，82，特別号，105-123。 <<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/sokkou-kaiyou/sokkou-kaiyou.html>>

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要：

平成 28 年度は，引き続き気象庁が管理している観測機器の雷災対策を強化するとともに，離島観測施設の電源強化を行い，障害による欠測を減少させる。

( 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：jmajishin\_kanrika@met.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 27 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、阿蘇山麓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強化し、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。しばしば地震の発生との関係が指摘される地磁気ジャークに対応するトレンド急変について1925年以降の毎時値を用いて解析した結果、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の翌年の2012年にトレンドの変化がみられた。また精密観測継続のために、女満別及び父島については絶対観測装置(角度測定器)の磁場検出部を部分更新した。更に父島については絶対観測用携帯型全磁力計を更新した。

(9)平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):

(10)平成28年度実施計画の概要:

日本における地磁気基準点である柿岡、女満別、鹿屋、父島での地磁気4成分観測、及び全国にわたる全磁力精密連続観測網の一環として、いわき、北浦、阿蘇山麓での全磁力観測を、観測データの精度向上及び編集・解析作業の効率化、データ取得の安定性を図りながら、継続実施する。

(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: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調査課

電話:0299-43-6909

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:笹岡雅宏

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 27 年度の成果の概要：

1) 連続的な火山観測

全国の活火山について、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った。

火山観測施設の平成23年度から実施している更新計画に基づき、平成27年度は口永良部島、安達太良山、磐梯山、那須岳、恵山、秋田駒ヶ岳の観測施設を更新した(平成28年3月未完了予定)。また、平成26年の御嶽山の噴火を踏まえた観測施設の整備を実施した(平成28年3月未完了予定)。

平成27年度に噴火が発生した口永良部島と箱根山については、臨時に観測機器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、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した。また、口永良部島のほか、阿蘇山、三宅島、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、COMPASS等による火山ガス放出量の観測を実施した。また、口永良部島や桜島などでは、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された他、地震火山月報(カタログ編)や火山報告等で取りまとめて公表した。また、防災科学技術研究所のホームページで、気象庁の地震計等のデータを公開している。

- (9) 平成27年度の成果に関連の深いもので、平成27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)2015年3月号~2016年2月号(予定) 地震火山月報(カタログ編)2014年11月号~2015年10月号(予定)

## (10) 平成28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(うち、3火山については準備が整ったものから順次)。

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。

また、平成26年の御嶽山の噴火を踏まえた観測施設について、整備が完了したものから連続的な監視観測を行う。

### 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。

## (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・情報センター  
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：jmajishin\_kanrika@met.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：小泉 岳司  
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 27 年度の成果の概要：

柿岡、女満別、鹿屋、父島の 4 地点に、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、引き続き統一的形式に整理し、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、前者 4 地点のデータを国際的なデータセンターに提供した。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した。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

なし

( 10 ) 平成 28 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。

( 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調査課

電話：0299-43-6909

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 貴之

所属：気象庁地磁気観測所調査課

( 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 27 年度の成果の概要：

地震カタログとしての、web 版の地震月報(カタログ編)は 2015 年 7 月分まで公開した(平成 27 年度内の予定含む)。

「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、以下「報告書」)を踏まえた震源の決定等の処理の改善については、これまでのトリガ方式の地震検知に加

えて新たな地震検知手法を取り入れ、自動処理による地震検出結果を検測処理の基本とする作業手順を確立した。新たな作業手順では、自動処理による地震の規模の推定値が、あらかじめ定めた Mth 以上であれば、これまでと同様に人手により精査した結果を地震カタログに登録する。一方、Mth 未満では波形を確認したうえで地震の相・振幅が正しく検出され良好に震源決定されていれば自動処理結果をそのまま、そうでなければ人手による簡易的な検測作業を行った結果を登録する。さらに、震源が決まらない場合も、地震検知の情報は登録する。波形を確認した結果、地震ではないと判定した場合には登録はしない。こうした作業手順により、必要十分な品質を確保しつつ、地震として検出されたイベントはもれなく登録されることになり、地震カタログの充実が図られる。

また、報告書に導入が求められていた観測点高度と海域における堆積層補正值を考慮した震源決定プログラムを開発した。新しい震源決定プログラムでは観測点の高度に応じた走時表を用いて震源計算を行う。平成 27 年度は、震源計算プログラムを開発し、地震観測点に対する具体的な観測点補正值の検討と観測点高度毎の走時表の作成に必要な調査を実施した。

以上、報告書関連の処理の改善は平成 28 年度以降に導入を予定している。

過去震源の改訂に関しては、1976 年 1～6 月を対象とした解析作業を実施している。

震源過程解析については、平成 27 年度に日本国内で発生した 2 つの地震と、海外で発生した 12 の地震について解析し、地震調査委員会及び地震予知連絡会に提出するとともに、気象庁ホームページなどで公開した。また、2010 年 12 月以降に日本およびその周辺で発生した地震について、今後のカタログ化の対象とすることから、過去の解析で用いた手法およびデータの確認等、カタログ化に向けた準備を行った。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) : 気象庁、地震月報( カタログ編 ) , < <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/index.html> > ( 参照 2016-2-1 ) .

The Seismological Bulletin of Japan , < [http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/index\\_e.html](http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/index_e.html) > , ( 参照 2016-2-1 ) .

気象庁、国内で発生した顕著な地震の震源過程解析結果 , < <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/sourceprocess/index.html> > ( 参照 2016-2-1 ) .

気象庁、海外で発生した顕著な地震の解析結果 , < <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/world/index.html> > ( 参照 2016-2-1 ) .

溜淵功史・森脇健・上野寛・東田進也 , 2016 , ベイズ推定を用いた一元化震源のための自動震源推定手法 , 駿震時報 , 79 , 1-14 ( 平成 28 年 3 月発行予定 )

庄司哲也・潟山弘明・溜淵功史・森脇健・橋本徹夫 , 2015 , 気象庁地震カタログの改善 , 日本地球惑星科学連合大会予稿集 , SSS32-05 .

松岡英俊・上田満治・森脇健 , 2015 , 気象庁の震源決定プログラムの改良 , 日本地球惑星科学連合大会予稿集 , STT53-04 .

高濱聡・溜淵功史・森脇健・秋山加奈・山田尚幸・中村雅基・橋本徹夫 , 2015 , 気象庁地震カタログの改善 フォーマットの変更など , 日本地震学会講演予稿集 , S09-11 .

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

地震カタログとして、地震月報( カタログ編 ) を web 公開する。

報告書を踏まえた震源の決定等の処理の改善について、新たな検測作業手順による震源の精度情報を含んだ地震カタログの提供を開始する。また、平成 28 年中に開始できるよう、地震観測点に対する具体的な観測点補正值と観測点高度毎の走時表の作成を行う。

1976 年の再計算を引き続き実施し、地震カタログに反映する。この時代からは大学等の観測データが増加しているので、気象庁の検測値データだけではなく、再現できるデータすべてを用いて網羅的なカタログを作成する。

震源過程解析を行い関係機関等への提供及び一般への公開を実施する。また、カタログ化に向けた準備を引き続き行う。

(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：jmajishin\_kanrika@met.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：高濱 聡

所属：地震火山部地震予知情報課

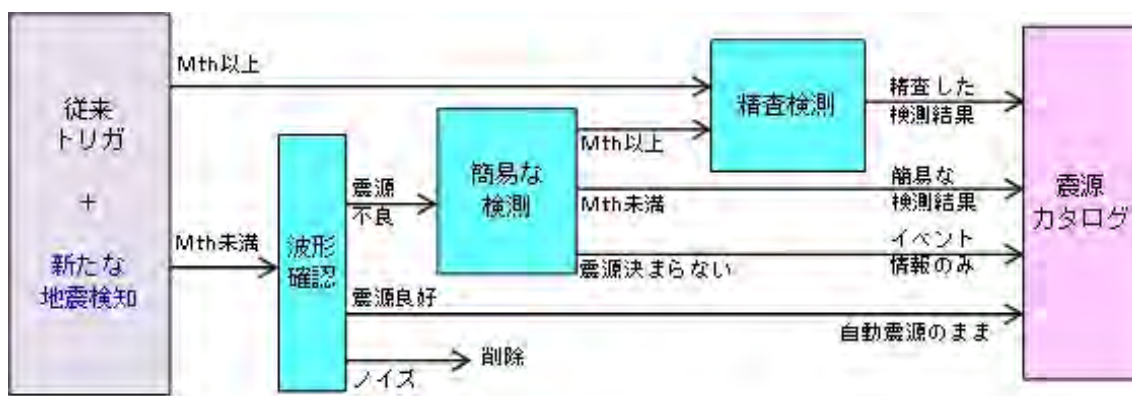


図1．新しい検測作業手順の概要



( 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シロ

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 27 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 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物( 論文・報告書等 ) :

( 10 ) 平成 28 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 : jmajishin\_kanrika@met.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 : 寺川 正之

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 27 年度の成果の概要：

既設の海底基準点において海底地殻変動観測を実施し、観測結果を適宜地震予知連絡会等で報告した。

東北地方太平洋沖地震発生後の平成 23 年 3 月から平成 27 年 8 月までの観測から得られた、電子基準点「福江」に対する累積変位量を、国土地理院の GNSS 観測結果 (F3 解) とともに図 1 に示す。海底基準点において 1 cm 以上の変動が推定される余震も示す。余震による変動の推定には、気象庁一元化震源を使用し Okada (1992) の手法を用いた。東北地方太平洋沖地震により、24 m 東南東へ移動した「宮城沖 1」海底基準点で、62 cm 西北西に移動しているのをはじめとして、東北沖地震の震源域周辺では陸域の GEONET の観測結果とは整合しない複雑な変動を示している。一方で「福島沖」や「銚子沖」など陸域と同様に東南東に向かって移動している観測点もある。

南海トラフ沿いにおいて、平成 27 年 6 月までの観測から得られた、アムールプレートに対する移動速度を、国土地理院の電子基準点の平均移動速度 (平成 19 年 3 月から平成 24 年 2 月までの F3 解を線形回帰したもの) 及び MORVEL モデル (DeMets et al., 2010) によるフィリピン海プレートのアムールプレートへの沈み込み速度とともに図 2 に示す。東北地方太平洋沖地震の観測結果への影響は、Iinuma et al. (2012) 及び Sun and Wang (2015) のモデルを用いて取り除いた。海底基準点は概ね北西方向に移動しており、フィリピン海プレートの沈み込み及び陸域の GEONET の観測結果と整合している。各点の移動速度は「東海沖 1」や「足摺沖 2」において大きな移動速度を示している一方「室戸沖 2」や「日向灘 2」においては小さな移動速度を示している。

相模トラフ沿いにおいて、東北地方太平洋沖地震以前の観測から得られた、ユーラシアプレートに対する移動速度を、国土地理院の電子基準点の平均移動速度 (平成 21 年 1 月から平成 22 年 7 月までの F3 解を線形回帰したもの) とともに図 3 に示す。伊豆前弧にある「房総沖 1」の海底基準点の動きは、MORVEL モデル (DeMets et al., 2010) で与えられたフィリピン海プレートの動きと有意に異なっており、背弧側リフトの影響を考慮した Nishimura (2011) による伊豆前弧ブロックの動きと一致していることが確認された (Watanabe et al., 2015)。

(9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

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第 94 巻)

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第 95 巻)

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第 95 巻)

Watanabe, S., T. Ishikawa and Y. Yokota (2015), *Earth, Planets and Space*, 67, 184, doi:10.1186/s40623-015-0352-6.

Yokota, Y., T. Ishikawa, M. Sato, S. Watanabe, H. Saito, N. Ujihara, Y. Matsumoto, S. Toyama, M. Fujita, T. Yabuki, M. Mochizuki and A. Asada (2015), *Progress in Earth and Planetary Science*, 2, doi:10.1186/s40645-015-0040-y.

(10) 平成 28 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

(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

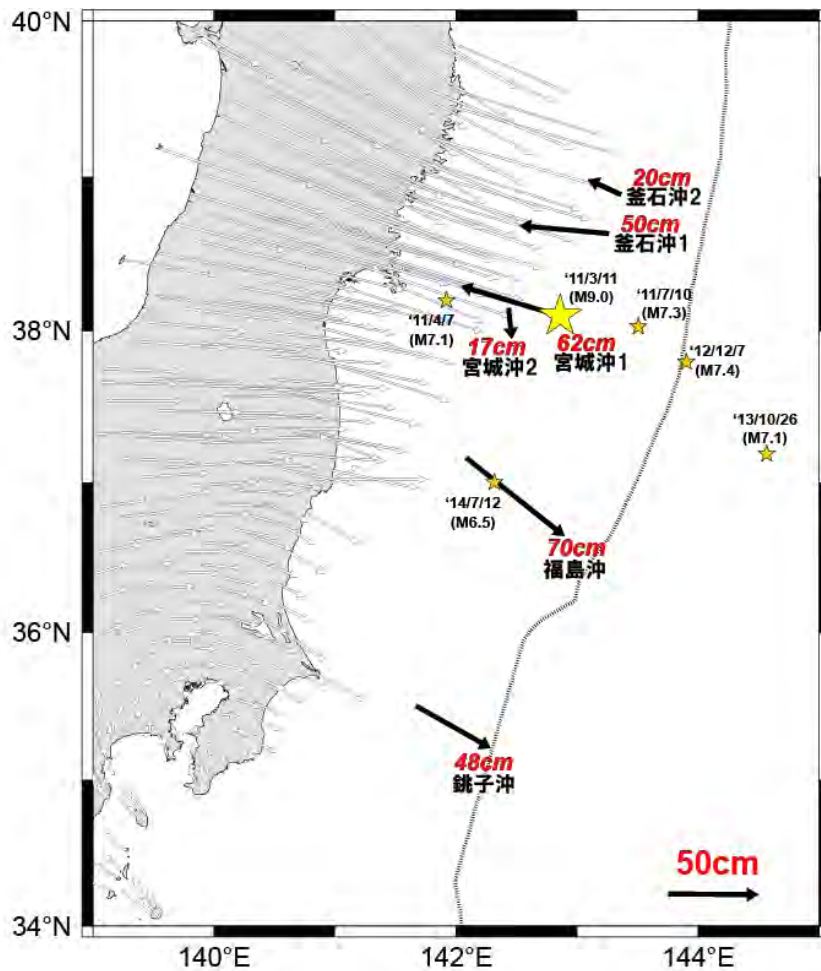
電話 : 03-5500-7147

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。

(13) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

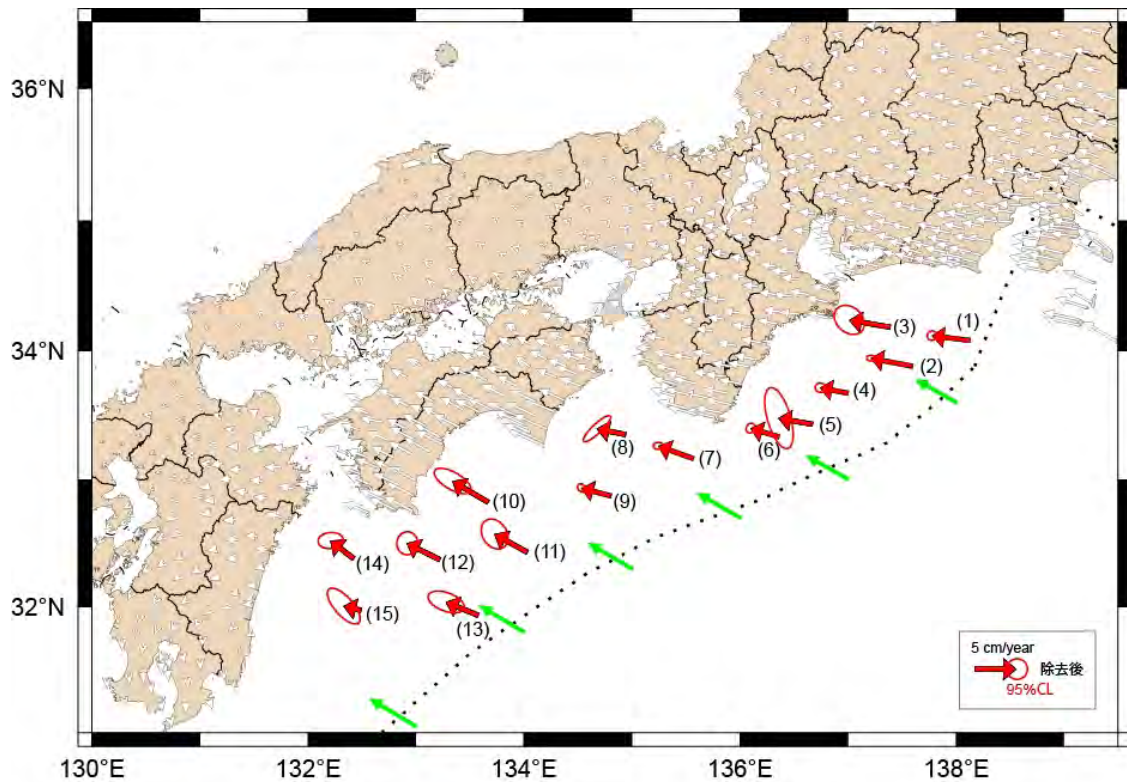
氏名: 石川 直史

所属: 海上保安庁海洋情報部技術・国際課



観測点	KAMN	KAMS	MYGI	MYGW	FUKU	CHOS	電子基準点
基準エポック	2011/4/3	2011/4/5	2011/3/28	2011/3/27	2011/3/29	2011/4/18	2011/3/29-4/4
比較エポック	2015/8/5	2015/8/4	2015/8/12	2015/8/9	2015/8/3	2015/8/15	2015/8/8-8/14
水平変位量	20cm	50cm	62cm	17cm	70cm	48cm	

図1 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動(累積). 黒と白の矢印は, 海底基準点と国土地理院の電子基準点における累積変位ベクトルを示す. 星は, 東北地方太平洋沖地震及び海底基準点において1cm以上の変動が推定される余震を示す.



観測点	(1) TOK1	(2) TOK2	(3) TOK3	(4) KUM1	(5) KUM2	(6) KUM3	(7) SIOW
速度 (cm/year)	4.7	5.2	5.1	3.5	4.2	3.7	4.6
角度	N277.2°E	N281.1°E	N280.2°E	N281.2°E	N280.2°E	N286.8°E	N290.1°E

(8) MRT1	(9) MRT2	(10) TOS1	(11) TOS2	(12) ASZ1	(13) ASZ2	(14) HYG1	(15) HYG2
3.6	3.8	5.1	4.6	4.5	4.3	3.6	2.2
N281.6°E	N285.2°E	N301.0°E	N299.2°E	N296.8°E	N292.7°E	N308.1°E	N283.6°E

図2 西南日本の年平均変位．赤の矢印は東北地方太平洋沖地震の影響を補正した海底基準点の移動速度，白の矢印は東北地方太平洋沖地震前における国土地理院の電子基準点の移動速度，緑の矢印はフィリピン海プレートのアムールプレートへの沈み込み速度 (MORVEL) を示す．楕円は，95 %信頼区間を示す．

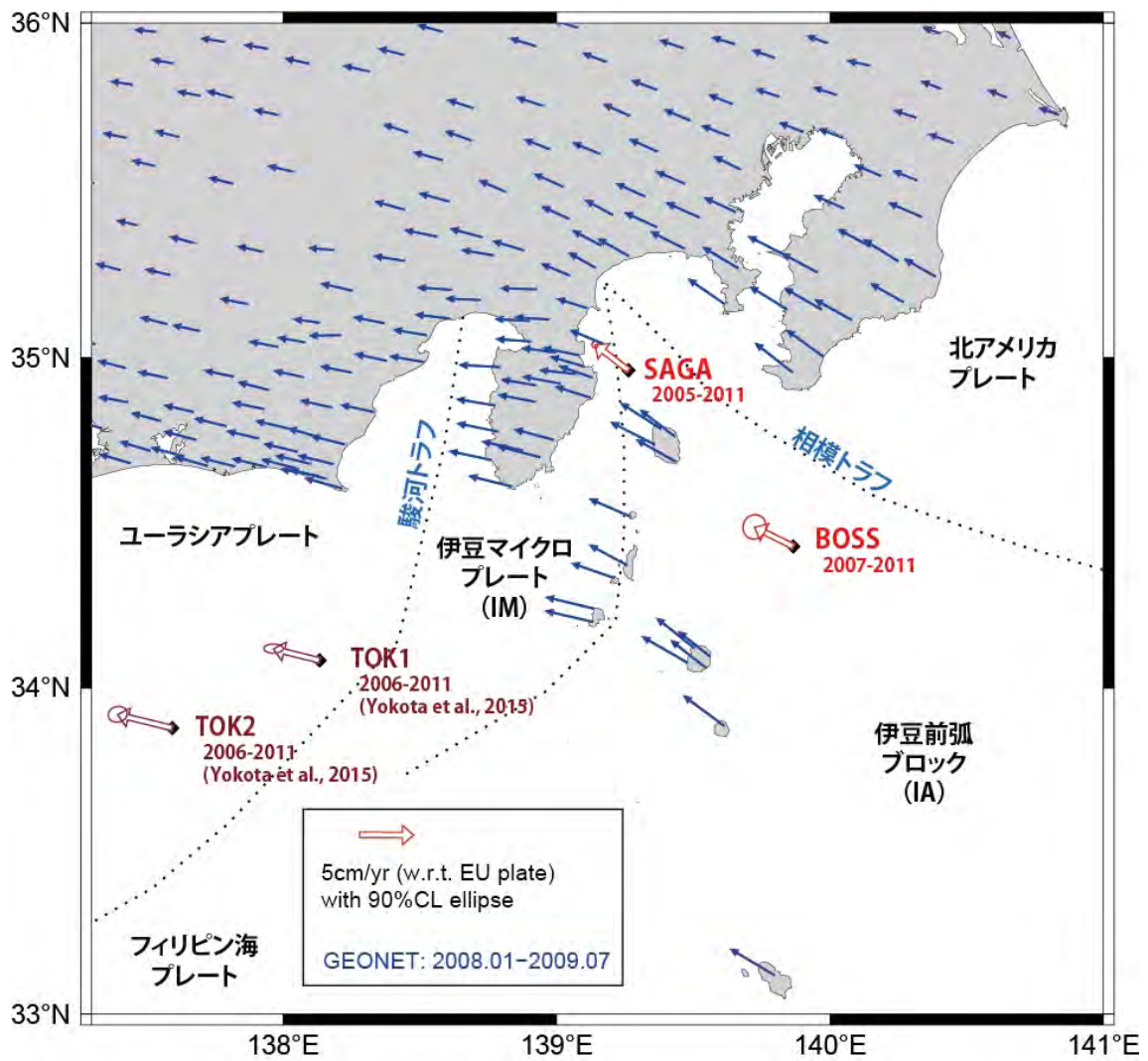


図3 南関東における年平均変位 (Watanabe et al., 2015) . 赤と青の矢印は、海底基準点と国土地理院の電子基準点における移動速度を示す。楕円は、90%信頼区間を示す。

( 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 27 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。2015 年までの下里の座標変化は図 1 の通りとなっている。2015 年も前年と同程度の 1,396 パスの測距データを取得した。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

海上保安庁(2015), 人工衛星レーザー測距観測(2013 年), 海洋情報部観測報告衛星測地編, 28.

海上保安庁(2016), 人工衛星レーザー測距観測(2014 年), 海洋情報部観測報告衛星測地編, 29.

( 10 ) 平成 28 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：03-5500-7147

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：長岡 継

所属：海上保安庁海洋情報部海洋調査課海洋防災調査室

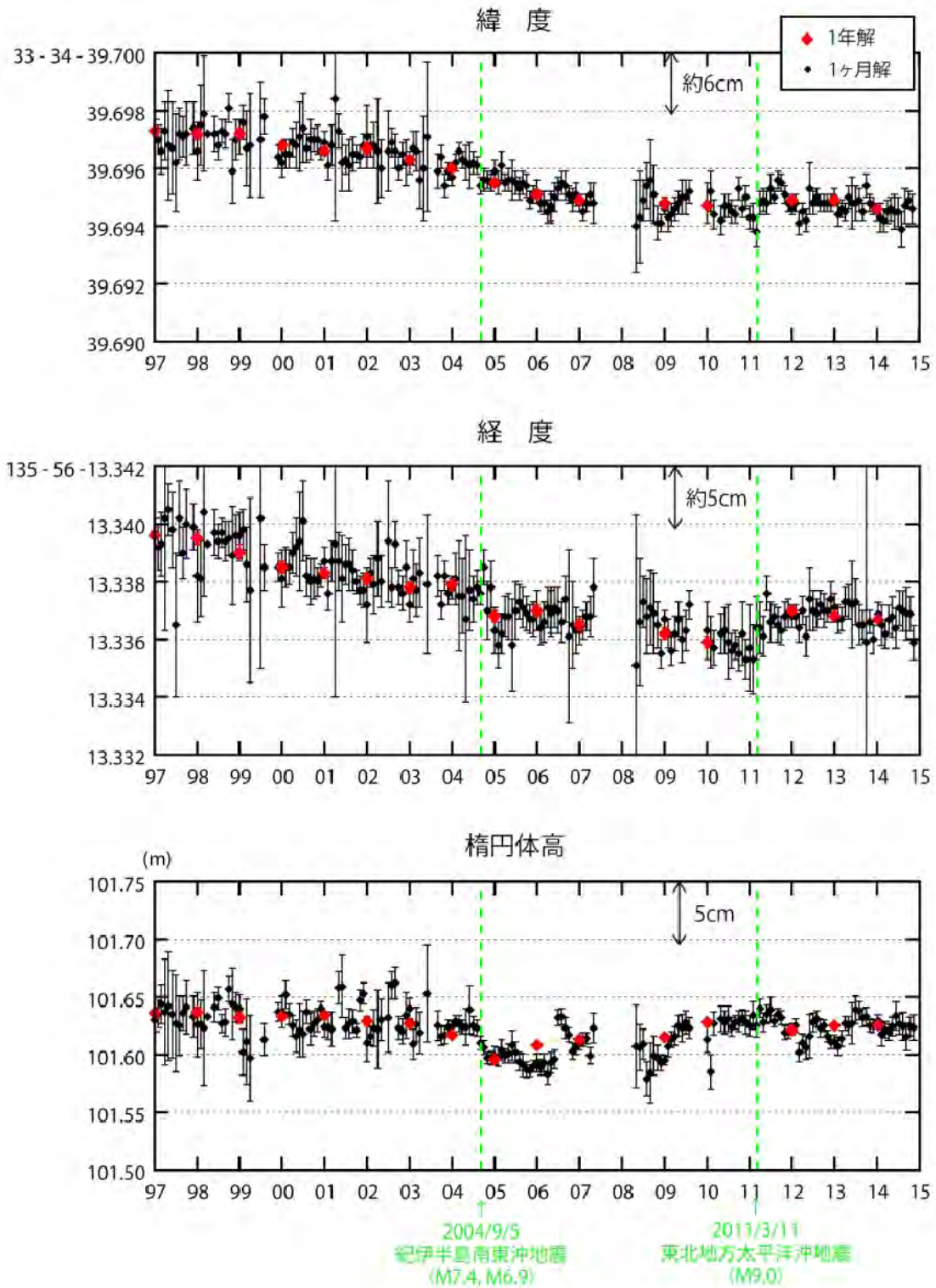


図1 SLR観測により求められた下里の座標変化(1997~2014年)

( 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 27 年度の成果の概要：

海域火山の定期巡回監視を実施した。また「西之島」において海域火山基礎情報図調査を行った。  
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 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

海上保安庁，2015，海域火山の最近の活動，火山噴火予知連絡会会報，120，印刷中

海上保安庁，2015，西之島における噴火の概況，火山噴火予知連絡会会報，120，印刷中

海上保安庁，2015，海域火山の最近の活動，火山噴火予知連絡会会報，121，印刷中

海上保安庁，2015，西之島における噴火の概況，火山噴火予知連絡会会報，121，印刷中

海上保安庁，2015，海域火山の最近の活動，火山噴火予知連絡会会報，122，印刷中

海上保安庁，2015，西之島における噴火の概況，火山噴火予知連絡会会報，122，印刷中

海上保安庁，2015，西之島における海洋調査結果の概況，火山噴火予知連絡会会報，122，印刷中

( 10 ) 平成 28 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：03-5500-7126  
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：小野 智三  
所属：海上保安庁海洋情報部海洋調査課



図1 定期火山監視「硫黄島」



图2 定期火山監視「須美寿島」



图3 定期火山監視「薩摩硫黄島」



图4 定期火山監視「硫黄島」



图5 定期火山監視「西之島」2015年6月18日



圖 6 定期火山監視「西之島」2015 年 11 月 27 日

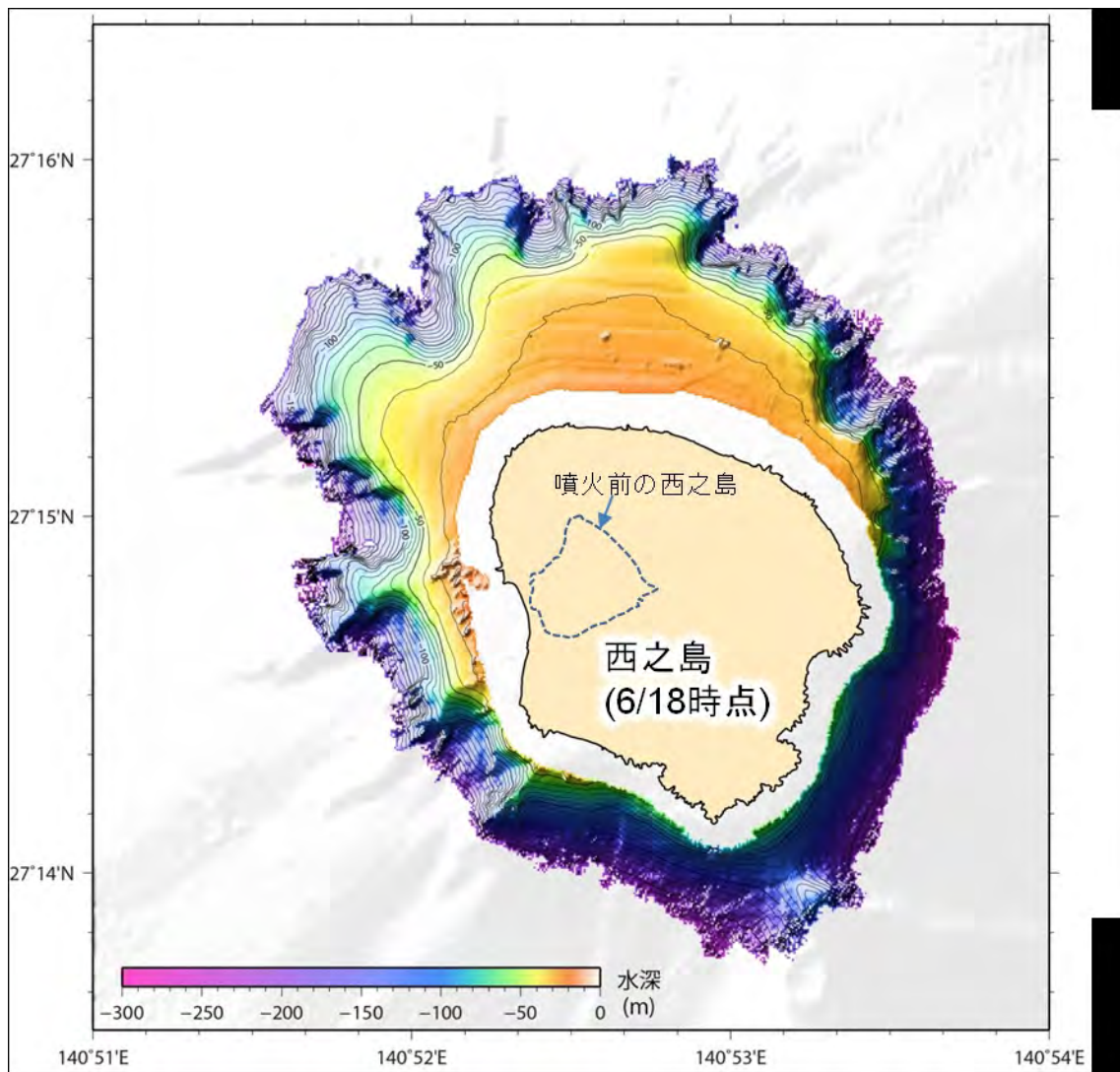


図7 「西之島」海底地形図



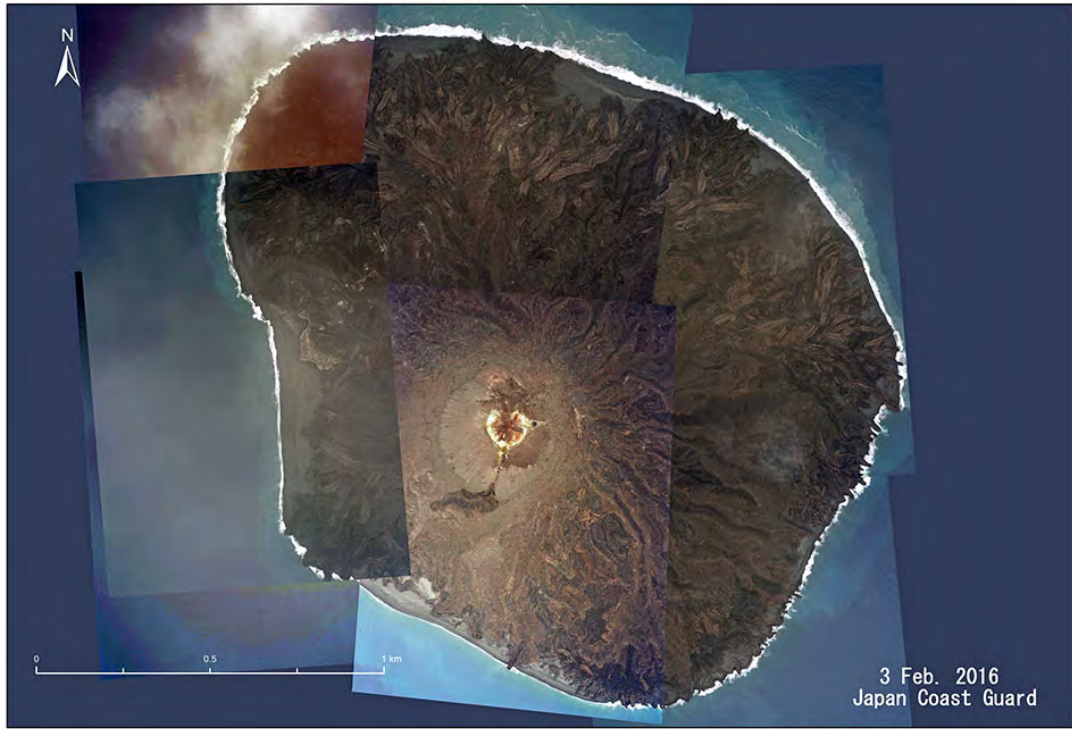


図8 「西之島」空中写真 2016年2月3日調査時点

( 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 27 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 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

海上保安庁, 2015, 海上保安庁による GPS 地殻変動監視観測, 地震予知連絡会会報, 94, 24-29.

海上保安庁, 2015, 海上保安庁による GPS 地殻変動監視観測, 地震予知連絡会会報, 95, 印刷中.

( 10 ) 平成 28 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 : 03-5500-7147

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 : 長岡 継

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 -

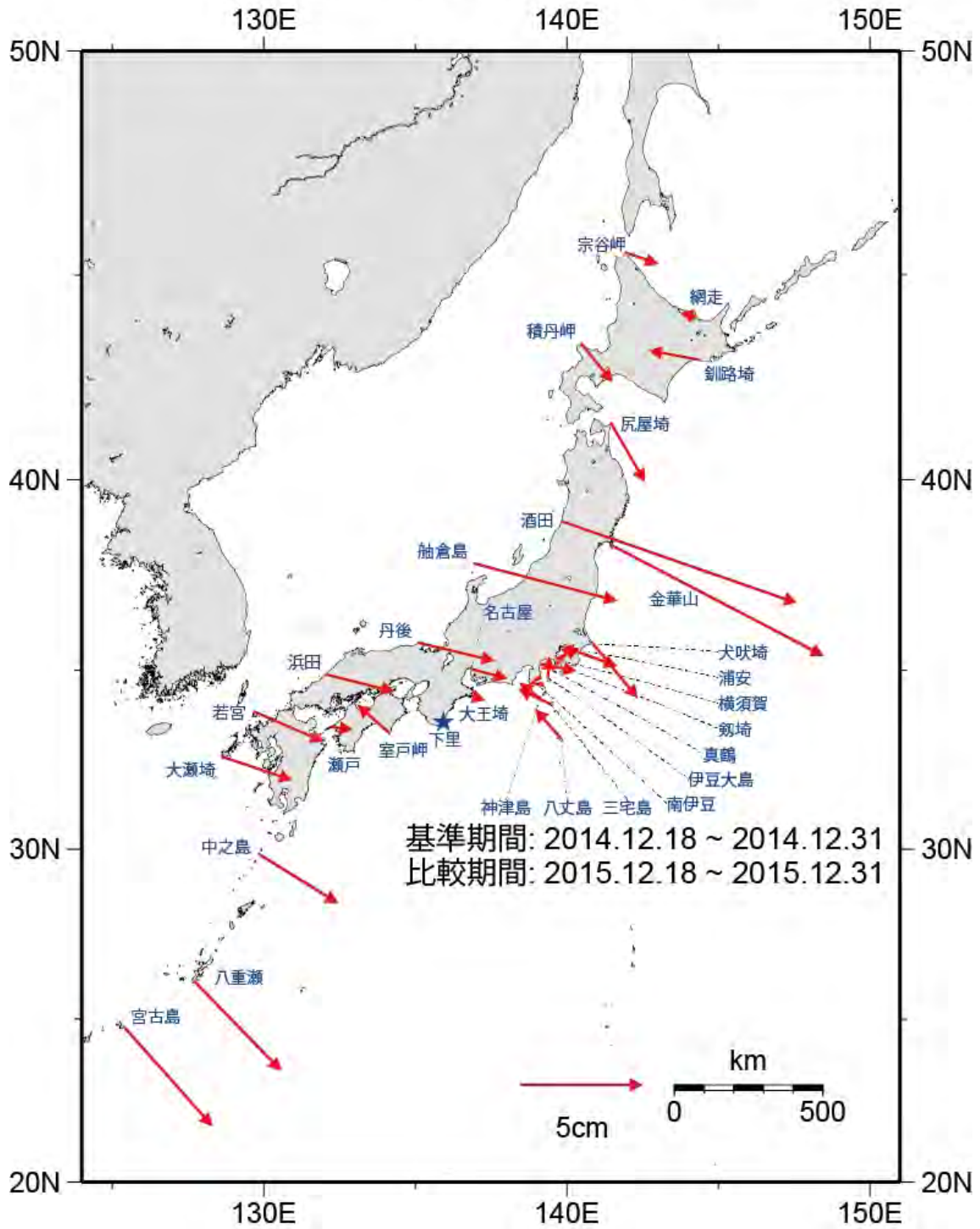


図1 DGPS局等のGPS連続観測から求めた水平変位(下里局固定)

- ( 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：  
験潮観測の継続実施
- ( 7 ) 本課題の 5 か年計画の概要：  
引き続き、験潮観測を実施し、日本全国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 27 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、日本全国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、インターネットによるリアルタイム験潮データで公開を実施した。
- ( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：  
なし
- ( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要：  
平成 27 年度と同様に全国 20カ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、インターネットによるリアルタイム験潮データで公開する。  
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、厳原、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：03-5500-7153

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。

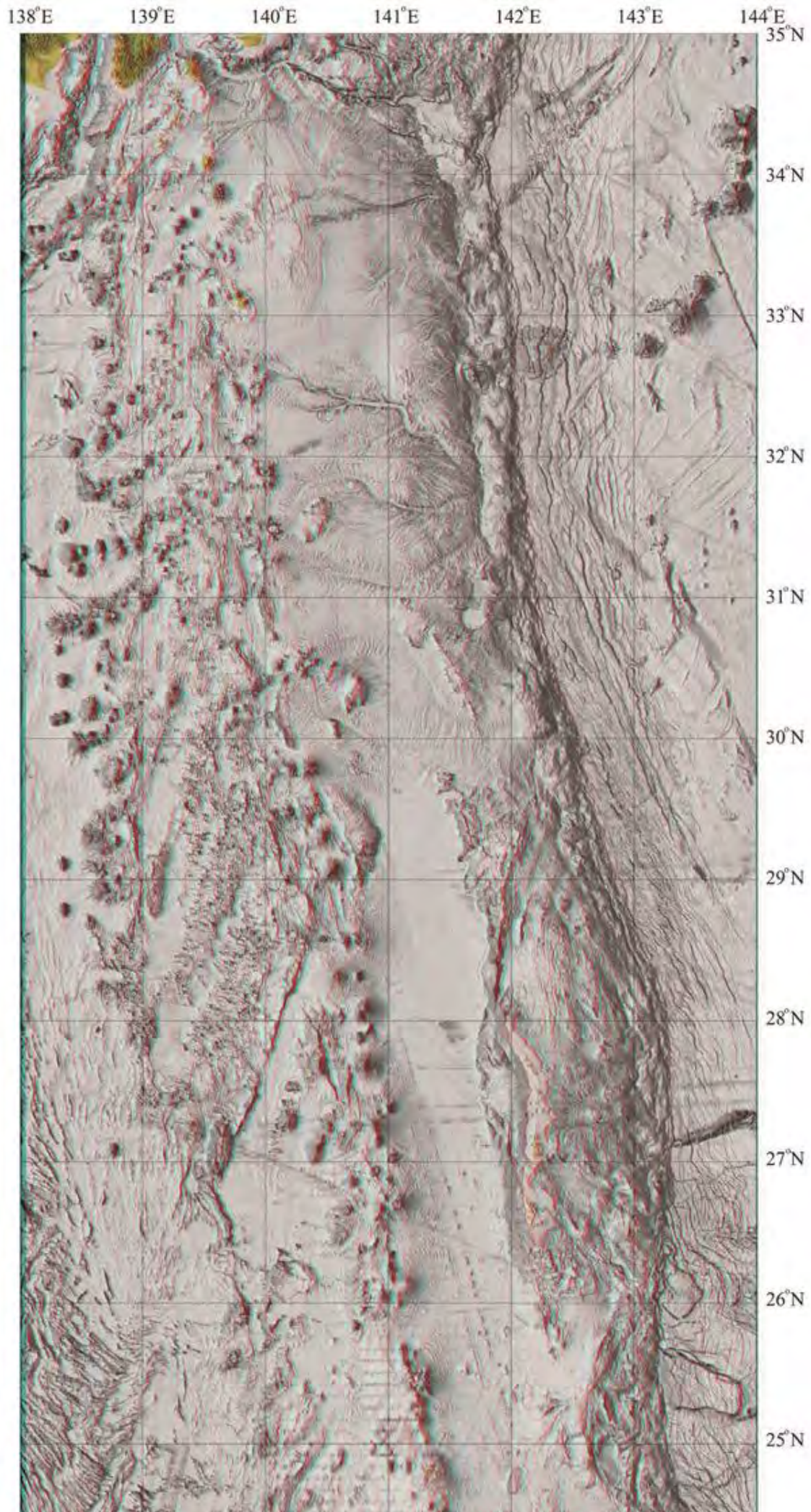
URL：<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/>

( 13 ) この研究課題 ( または観測項目 ) の連絡担当者

氏名：増田 貴仁

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 27 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 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
- ( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要：  
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、海底変動地形等の調査を実施する。
- ( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
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：03-5500-7125  
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：福山 一郎  
所属：海上保安庁海洋情報部海洋調査課





( 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 27 年度の成果の概要 :

北海道と沖縄を除く全都府県の発掘調査報告書から、約 12,000 件の調査地点について精査・分析を行い、災害痕跡に関する地質考古データ約 800 件を抽出・収集、エクセルにデータ(約 12,000 件)入力した。また、発掘調査現場に赴き、液状化痕跡等の土壌サンプル等を収集し、分析・整理した。

G I S データベースシステムの構築に着手した。パイロット版として構築したシステムにエクセルデータの一部を取り込み、動作確認を行うなど運用テストを開始した。

なお、研究集会の開催を予定していたが、今年度はその準備に止まり、地質学や考古学等の専門家に参加を要請するところまで到達した。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

小池伸彦・村田泰輔, 2016.1.31, 考古学における地殻災害研究の今後「学術会議叢書 22」, 日本学術協力財団, 167-202. 村田泰輔, 2016.3. 刊行予定, 考古資料から抽出される災害情報とそのデータ化「人間文化研究情報資源共有化研究会報告集」6, 人間文化研究機構。

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

全国を対象として、発掘調査報告書ならびに発掘調査現場での地質考古的災害痕跡データの収集と分析・整理を継続し、データ入力をさらに進める。

パイロット版 G I S データベースシステムの動作確認を通じて、運用や一般公開に向けた問題点の抽出と改修を行い、その運用を開始する。

地質学、考古学等の専門家による地質考古学的災害痕跡に関する研究集会を開催するとともに、地質考古学的な災害痕跡認定基準の策定を進め、その標準的な認定方法についてのリーフレット等を作成する。

( 11 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

奈良文化財研究所 難波洋三・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  
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 27 年度の成果の概要 :

奥尻島(ワサビヤチ川・赤川の氾濫原)、乙部町(姫川の氾濫原)、江差町(湯ノ沢の氾濫原)の泥炭地において確認した津波砂層のうち、1741年および13世紀頃のものとして推定される2層の砂層の分布を詳細に追跡し、それぞれの津波イベントによる堆積物の分布範囲を決定した(図1)。また泥炭層中に保存されている駒ヶ岳dテフラ(1640年降灰)ならびに白頭山 苫小牧テフラ(10世紀に降灰)の深度分布にもとづいて、各氾濫原における13世紀頃および18世紀初頭時点の地表面標高モデルを作成した。

一方、渡島大島北側の海底地形データ(Satake and Kato, 2001)を用い、1741年の山体崩壊堆積物の分布形状、崩壊前の山体地形の推定、崩壊堆積物の体積の見積もりを行った。これらの見積もりをもとに、地すべり・津波統合モデル(柳澤ほか, 2014)を用いて山体崩壊シミュレーションを行った(図2)。計算により得られた崩壊堆積物の分布と海底地形データから判読した崩壊堆積物の分布は、概ね一致した。しかし詳細を見ると、計算による崩壊堆積物は下流側(北側)にやや長く伸び、堆積中心が末端に偏った。同時に崩壊堆積物の側方(特に西側)への広がりも、判読結果と比較して少ない結果となった。今後、モデルパラメータや崩壊前地形の調整などを行い、改良した地すべりモデルを用いて津波シミュレーション実施するとともに、津波痕跡との比較を早急に行う。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

平成 28 年度は、13 世紀頃と推定される津波の波源域を想定し、津波シミュレーションと津波堆積物による検討を行う。具体的には、国の「日本海における大規模地震に関する調査検討会」で示された日本海域の断層モデルのうち、13 世紀の津波堆積物形成を最もよく説明する断層ならびに断層モデルを抽出し、津波シミュレーションの実施および津波堆積物による検証、波源モデルの最適化を行う。

( 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

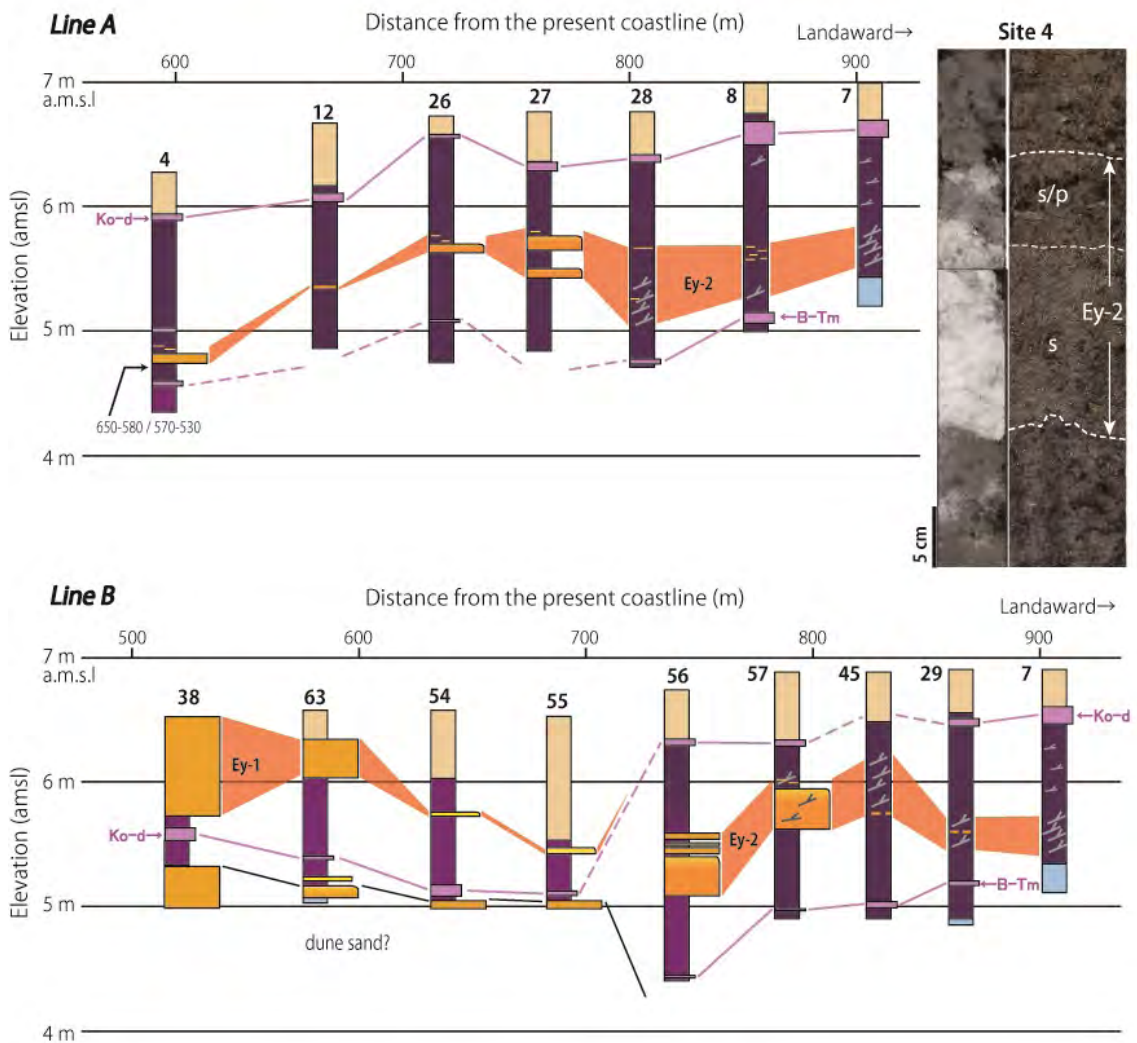
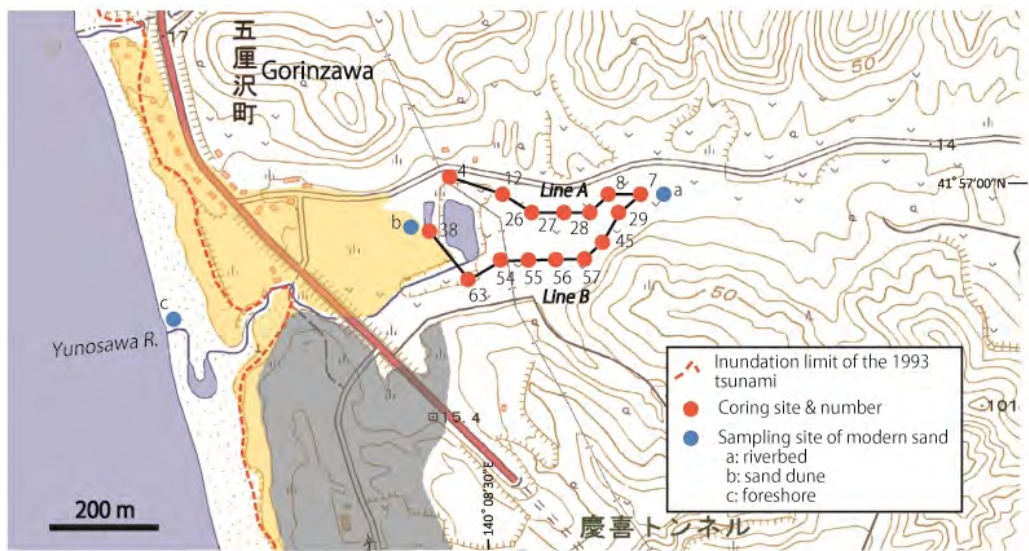


図1 江差町湯ノ沢における津波堆積物の追跡結果

江差町五厘沢の湯ノ沢において、泥炭層中に挟在する2枚の津波堆積物 (Ey-1: 1741年津波砂層、Ey-2: 13世紀頃の津波砂層)、駒ヶ岳 d (ko-d) テフラ、ならびに白頭山 苫小牧 (B-Tm) テフラを追跡した (図は Island Arc 誌に投稿中のもの)。掘削調査はおおよそ 50m 間隔で行い、18 世紀初頭および 13 世紀頃の地形モデルをあわせて作成した。

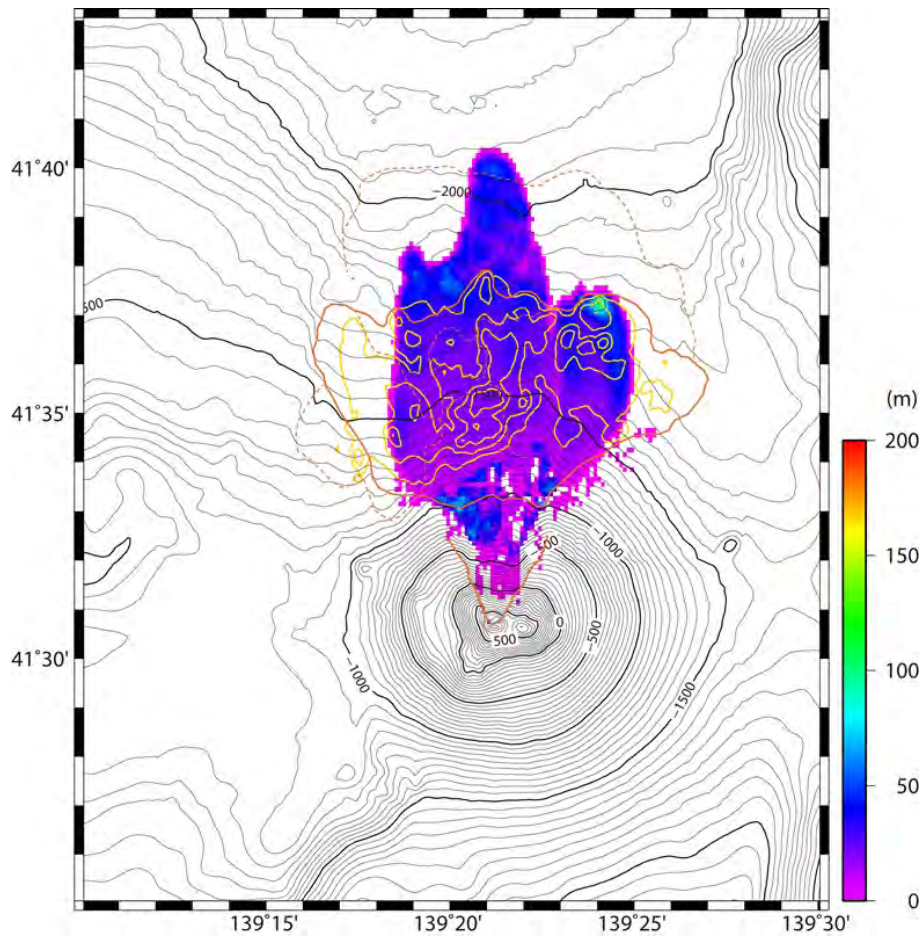


図2 渡島大島山体崩壊シミュレーション結果

Satake and Kato (2001) の海底地形データをもとに、山体崩壊堆積物の分布の再判読（オレンジの線）、堆積物の厚さ分布の見積もり（黄色のコンター：50m 間隔）、山体崩壊前の地形推定を行い、地すべり・津波統合モデル（柳澤ほか，2014）による山体崩壊シミュレーションを実施した。

( 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 27 年度の成果の概要 :

当初の計画の通り、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、十勝岳においては、電磁気( MT )探査や重力観測、熱水変質調査を行い、火口域における火山体内部構造について検討した。これらの調査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、火山ガスおよび温泉水の観測、地下水位連続観測を行った。山頂の火口内や山麓域の温泉水などの化学成分や酸素・水素同位体比に大きな変化はなかった。また、中マチネシリ火口の火山ガス凝縮水の酸素・水素同位体比にも大きな変化はなかった。GPS 観測では、2008 年 11 月の小噴火以降、火口域がわずかに膨張する傾向が観測されていたが、2012 年以降はその傾向が鈍化し、2015 年度も続いた。

##### ( 2 ) 十勝岳

GPS 連続観測と火口域での地温連続観測、火山ガスおよび温泉水の観測、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いる。62-II 火口から西に約 200m の前十勝点では、2015 年 6 月には 1cm/週を超える西向きの変動が観測されたが、7 月中旬からは停滞している( 図 1 )。62-I 火口域の地温は 30 程度だったが 2014 年末から上昇傾向に転じ、2015 年 10 月には 80 以上となった。大正火口の火山ガスの温度や、化学成分、凝縮水の酸素・水素同位体比には大きな変化はなかった。吹上温泉地区の温泉では、1988-89 年噴火前と同様の Cl/SO<sub>4</sub> 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~やや低下に変わり、2015 年は減少傾向で推移した( 図 2 )。

##### 3 ) 樽前山

火口域での地温連続観測と火山ガスおよび温泉水の観測を行った。A 火口と B 噴気帯の噴気温度はそれぞれ 650 以上および約 400 で、高い状態が続いている。A 火口付近の地温に大きな変化はなかった。火山ガス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。山麓の温泉水の成分は、これまでと同様に濃度の低下傾向が続いている。

##### ( 4 ) 有珠山

山頂・山麓での重力観測と火山ガス観測、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た。一方、外輪山では重力値の増加は小さく、山麓では変化がなかった。山頂 I 火口の噴気温度は約 400 でこれまでと変化はなく、火山ガス凝縮水の酸素・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と温泉水の観測、地下水位連続観測を行った。山頂の地温の観測値には大きな変化はなかった。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。

## 十勝岳における調査

### (1) MT 探査

山頂火口域において、AMT 探査を行った。その結果、大正火口およびグラウンド火口の地下 200～500m の位置に低比抵抗域が認められた(図 3)。この深さは GPS 観測で捉えている火口域の膨張の推定膨張源の深度と概ね一致している。また、この低比抵抗域は火口域から南北方向に延びている。一方、これらの低比抵抗域の間には高比抵抗域が認められ、それは表層の噴気域から地下に向かって伸びているように見える。このことから、高比抵抗域は火山ガスの通り道(火道)に対応する可能性がある。また、熱水流動系を把握するために山麓域でも MT 探査を行い、現在解析中である。

### (2) 重力観測

山麓から火口域にかけて、重力観測を行った。2011 年の重力値は 2010 年に比べてほとんど同程度の観測値であるが、その後、大正火口～62-III 火口にかけての重力値は急激に減少し、2015 年には -0.13mGal 程度となっている(図 4)。一方、GPS 観測による高さの変化は、62-II 火口近傍においても 2010 年以降では最大 0.2m 程度の隆起という結果が得られている。このため、重力値の誤差などを考慮しても、隆起から期待される重力値の減少量はブーゲー勾配である場合の 2 倍、フリーエア勾配としても 1.5 倍程度ある。このように、重力値の過剰な減少は隆起のみでは説明が難しいので、今後は地下浅部における密度構造等の変化も考慮して検討する。

### (3) 熱水変質調査

1926 年噴火の中央火口丘の崩壊に伴う岩屑なだれ堆積物や、熱水変質域での熱水変質調査を行った。ほとんどの熱水変質岩は主に明礬石とクリストバライトからなる。岩屑なだれ堆積物は粘土鉱物をほとんど含まないことから、変質の中心部である火道周辺は強酸性だったため、初生鉱物の溶脱と明礬石の晶出が起り、粘土鉱物が生成しにくい環境だったことが考えられる。一方、中央火口の北 800m に位置し、かつて噴気活動や温泉湧出が認められた湯の沢の岩石は岩屑なだれ堆積物と比較してカオリナイトを多く含み、ハロイサイトが認められる場合もある。湯の沢は変質の中心から離れており、火口域と比較して酸性の弱い環境であったため、カオリナイトが晶出したと考えられる。

### (9) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

Takahashi, R. and Nakagawa, M., 2015, Evolution and eruption processes of a highly porphyritic silicic magma system: petrology of the historical eruptive stage of Hokkaido-Komagatake volcano, Japan. *J. Petrol.* 56, 1089-1112.

田村 慎・岡崎紀俊・高橋 良・岡 大輔・秋田藤夫・奥田真央・橋本武志・菅野倅大朗・茂木透・山谷祐介・藤松 淳・長山泰淳・道下剛史, 2015, 北海道有珠山, 十勝岳における MT 探査(序報), Conductivity Anomaly 研究会 2016 年論文集(印刷中)

### (10) 平成 28 年度実施計画の概要 :

5 火山においては、これまでと同様に、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。

十勝岳においては、火口域及び山麓域で MT 探査を行い、火山体内部の構造を検討する。また、重力観測や火山ガス観測、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を行い、MT 探査の結果などをふまえて、十勝岳周辺の熱水流動系についてモデル化を行う。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：  
 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

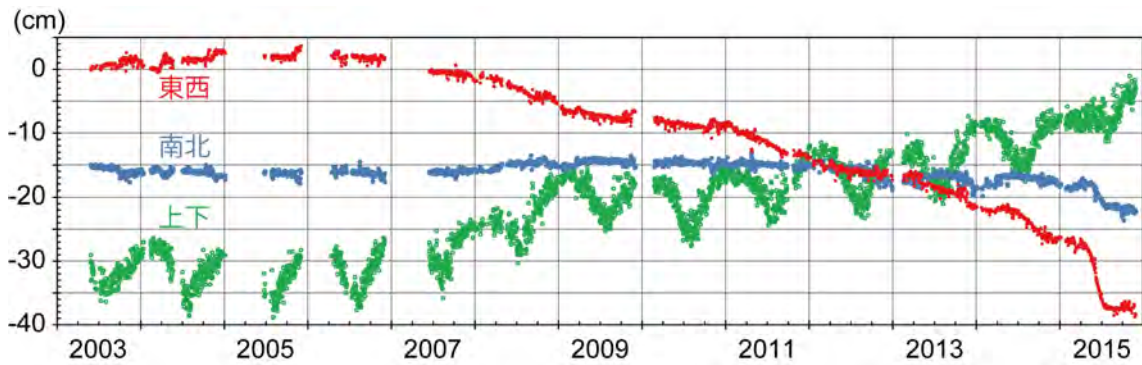


図 1  
 吹上温泉観測点（国土地理院）を基準とした前十勝点の変動（～2015年12月）

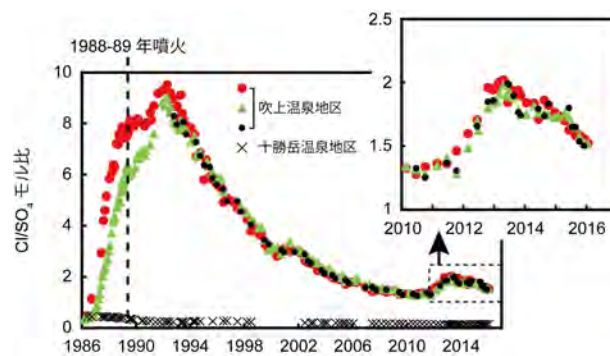


図 2  
 十勝岳周辺の温泉水の Cl/SO<sub>4</sub> 比の変化（～2016年1月）

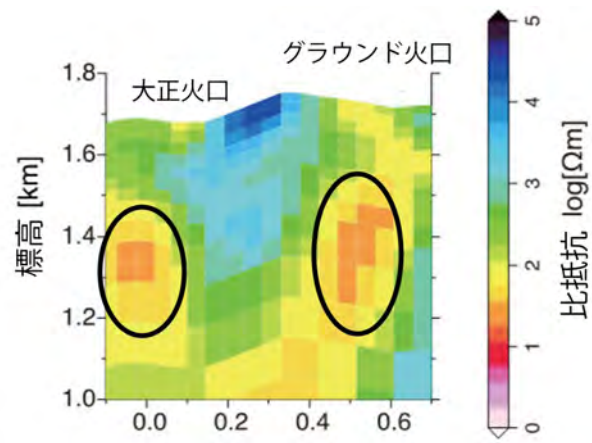


図3  
十勝岳の火口域での AMT 探査結果

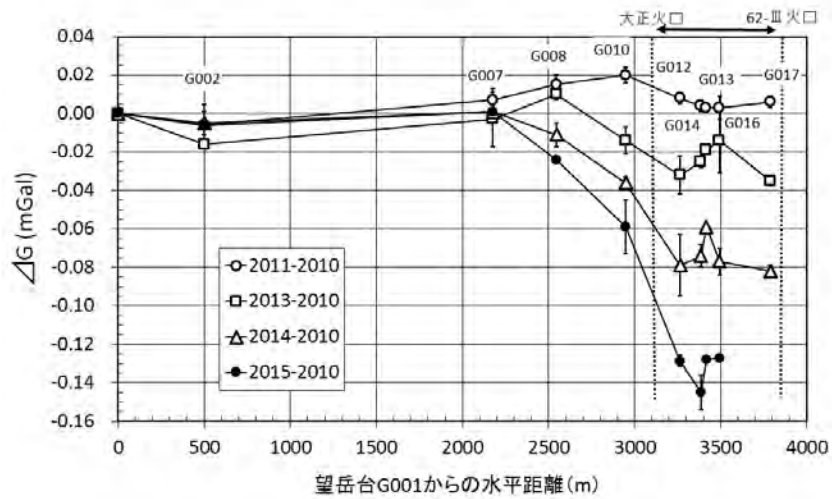


図4  
十勝岳で観測された重力変化

( 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 27 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、観測井をあらたに掘削し、観測点、機器を更新した。そのなかで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を採取して、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 937 年噴火の剣丸尾第 1 溶岩流として、深度 21.35 m ~ 31.00 m 溶岩は、上限が 8405 ~ 8340 年 ( 暦年 ) の年代が得られた。下限については試料の炭素量が少なく測定不能となったため、再測定を行う予定である。あわせて、深度 36.25 m 以深の溶岩についても放射性炭素年代測定を行う予定である。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 )：

( 10 ) 平成 28 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 27 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。

平成 27 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。特に、2014 年に公表された産業技術総合研究所による火山地質図と津屋における火山地質図との相違点の抽出を実施した。その中で、詳細が不明であった富士山北麓の雁穴火口の調査、給源不明のテフラの調査を実施した。特に、雁ノ穴火口においては地表踏査のみでは詳細を明らかにすることが不可能なことから、今後トレンチによる調査を実施して、火口の分布範囲などを明らかにする必要がある。給源不明のテフラの調査についても、調査箇所が数カ所と限定されているため、給源を明らかにすることはできていない。一方、今年度実施予定であった放射性炭素年代測定については、良好な試料が得られなかったため実施しなかった。

古地磁気学的手法を用いた年代測定については、まず富士山における溶岩の古地磁気既存の古地磁気データベースと整合するかどうかの確認が必要である。そこで、放射性炭素年代測定法で年代値が明らかとなっている溶岩の古地磁気方位の測定を実施した。H27 年度は主に富士山北麓に露出する約 2000 年前以降の溶岩を抽出し、その定方位サンプリングを実施した。定方位サンプリングでは、富士山の溶岩は、磁気が強く標準の方位磁石を使用した定方位サンプルが実施できなかったため、太陽の方角から方位を決める方法を採用した。古地磁気測定は、1 溶岩につき 1 箇所複数サンプルを採取し、今年度 11 層準から試料を採取した。測定は、これらの一部について、交流消磁実施後、スピナー磁力計にて岩石磁気を測定した。測定結果を永年変化モデル JRFM2K.1 ( 畠山他, 2012 ) と比較した結果、比較的整合性の良いものと悪いものとに分かれる結果となった ( 図 1 )。モデルとの不整合については、溶岩自体の誤差、溶岩の採取位置による問題、永年変化モデル JRFM2K.1 自体に誤差大きい年代があることが考えられるため、これらを検証するため試料採取箇所を増やすなどして、詳細を明らかにする予定である。

( 9 ) 平成 27 年度の成果に関連の深いもので、平成 27 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

安田 敦・金子隆之・嶋野岳人・吉本充宏・藤井敏嗣, 2015, 斑晶とメルト包有物の組成および組織から推定する富士山宝永噴火の珪長質マグマ溜まりでのマグマプロセス, 火山学会秋季大会予稿集, 163.

( 10 ) 平成 28 年度実施計画の概要 :

平成 28 年度は、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。また、古地磁気学的手法を用いた年代測定に関しては、平成 27 年度に実施した富士山北麓の溶岩について地点数を増やし測定点を増やす。また、新たに南麓側の約 2000 年前までの噴出物について古地磁気の測定を実施する。

- ( 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  
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：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

富士山北麓の代表的な溶岩の測定結果と永年変化モデル JRFM2K.1 ( 畠山他, 2012 ) . 古地磁気の永年変化モデルとよく一致するものとやや外れた傾向を示す溶岩がある .