

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」

平成29年度年次報告

**【成果の概要】**

平成30年10月

科学技術・学術審議会測地学分科会

地震火山部会

## 目 次

### 【平成 29 年度の成果の概要】

1. はじめに	1
2. 顕著な火山噴火及び南海トラフ巨大地震に関して得られた重要な成果	5
2-1. 草津白根山（本白根山）鏡池北火口からの噴火	5
2-2. 霧島山（新燃岳・硫黄山）の火山活動	6
2-3. 南海トラフ巨大地震	9
3. 平成 29 年度の成果の概要	15
3-1. 地震・火山現象の解明のための研究	15
3-2. 地震・火山現象の予測のための研究	23
3-3. 地震・火山噴火の災害誘因子測のための研究	28
3-4. 研究を推進するための体制の整備	30
3-5. 優先して観測研究を推進する対象の地震・火山噴火	33
4. まとめ	35
用語解説	37
災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画 実施機関	43
災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画 平成 29 年度研究課題一覧	44

### 【参考資料】

I. 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（建議）の概要	49
II. 計画推進部会および総合研究グループ等別の成果	55
1 (1) 海溝型地震	57
1 (2) 内陸地震	84
1 (3) 火山	117
1 (4) 地震先行現象・地震活動評価	137
1 (5) 地震動・津波等の事前予測・即時予測	168
1 (6) 地震・火山災害	205
1 (7) 史料・考古	217
1 (8) データベースとデータ流通	227
2 (1) 東北地方太平洋沖地震総合研究	236
2 (2) 南海トラフの巨大地震総合研究	257
2 (3) 首都直下地震総合研究	267
2 (4) 桜島噴火総合研究	270
3 拠点間連携共同研究	274



**[ 平成 29 年度の成果の概要 ]**

## 1. はじめに

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」（以下、「本研究計画」という。）は、科学技術・学術審議会において平成25年に建議され、平成26年度から5か年計画として実施されている。本研究計画は、平成23年の東日本大震災の発生を受け、これまでの「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」の方針を見直し、地震発生・火山噴火の予測を目指す研究を継続しつつも、地震・火山噴火による災害誘因\*の予測の研究も組織的・体系的に進め、国民の生命と暮らしを守る災害科学の一部として、以下の4項目を柱として計画を推進することとなった。

1. 地震・火山現象の解明のための研究
2. 地震・火山噴火の予測のための研究
3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究
4. 研究を推進するための体制の整備

上記項目のうち、1は地震・火山噴火の発生予測や地震・火山噴火に伴う地震動、津波、火山灰\*、溶岩流などによる災害に備えるための基本として重要である地震・火山現象の科学的解明のための研究を行うものであり、次のような中項目に分けられている。

- (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
- (2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明
- (3) 地震・火山噴火の発生場の解明
- (4) 地震現象のモデル化
- (5) 火山現象のモデル化

2は、1で得られた科学的理解に基づき地震と火山噴火の予測を目指した研究を行うものであり、次のような中項目に分けられている。

- (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
- (3) 先行現象\*に基づく地震活動予測
- (4) 事象系統樹\*の高度化による火山噴火予測

3は、地震・火山噴火が引き起こす地震動や津波、火山灰や溶岩流などの災害誘因を予測するための研究を行うとともに、自然・社会の脆弱性である災害素因\*と災害誘因の結びつきを考慮して地震・火山現象による災害事例や災害発生機構を研究し、地震・火山に関する情報を災害軽減に利用するための方策を研究するものであり、次のような中項目に分けられている。

- (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は、計画全体を組織的に推進する体制の整備や、基礎的な観測体制の強化を図るものであり、本研究計画全体に関わる観測・解析技術の開発や、本研究計画で得られるデータや研究成果に関するデータベース等の研究基盤の開発・整備が含まれ、次のような中項目に分けられている。

- (1) 推進体制の整備
- (2) 研究基盤の開発・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) 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

本研究の実施に当たり、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、桜島火山噴火については、多項目に亘る実施計画の遂行が災害科学の発展に著実に貢献できることや、発生した場合の社会への影響の甚大さから、上記4項目を含む総合的な研究として優先して推進することとなっている。

本研究計画は、平成29年度において、国立大学法人等、国立研究開発法人、独立行政法人、政府機関、公設試験研究機関<sup>1</sup>が策定した146の実施計画（個別課題）及び公募による12の実施計画（個別課題）、拠点間連携共同研究<sup>2</sup>としての16の実施計画（個別課題）からなっている。平成29年度の個別課題の成果は、「平成29年度年次報告【機関別】」（文部科学省及び地震・火山噴火予知研究協議会<sup>3</sup>のホームページに掲載）に取りまとめられている。これらの個別課題による成果を基に、本観測研究計画の項目別の成果を取りまとめたものが、本報告書「平成29年度年次報告【成果の概要】」である。

本報告書では、難解な学術用語をなるべく避け、平易な文章で学術的成果を記述することを心がけて作成した。しかし、説明が冗長となることを避けるためにやむを得ず専門用語等を使用する場合には、本報告書付録の「用語解説」<sup>3</sup>のページで当該用語を解説しているので、必要に応じて参照されたい。

また本報告書では、各研究成果が得られた研究課題を「0101」のように課題番号で示している。それぞれの研究実施機関・研究課題名・研究代表者については「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画 平成29年度研究課題一覧」のページを参照されたい。

また、参考資料編には「地震・火山噴火予知研究協議会計画推進部会及び総合研究グループ等別の成果」を添付した。これは上記の中項目別あるいは研究テーマ別に学術報告として成果を取りまとめたもの<sup>4</sup>であり、より詳細な成果が報告されているので参考にされたい。

---

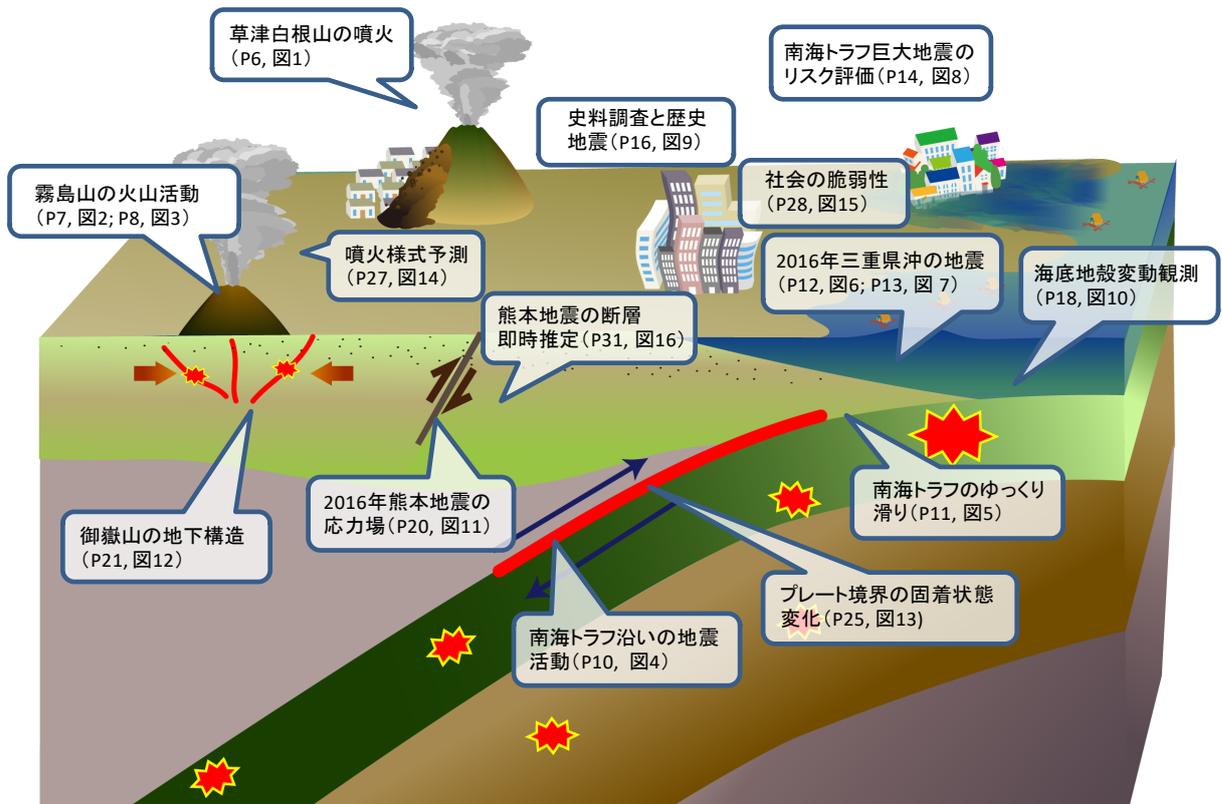
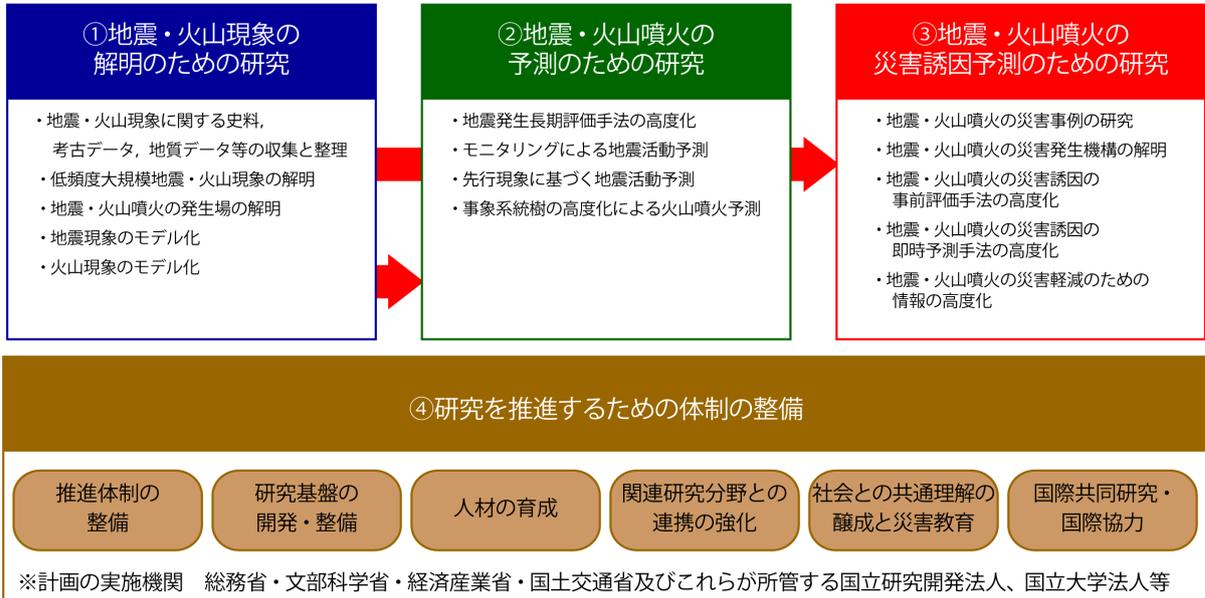
<sup>1</sup>国立大学法人等（北海道大学、弘前大学、東北大学、秋田大学、新潟大学、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、京都大学、鳥取大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、立命館大学、東海大学）、国立研究開発法人（情報通信研究機構、防災科学技術研究所、海洋研究開発機構、産業技術総合研究所）、独立行政法人（国立文化財機構）、政府機関（国土地理院、気象庁、海上保安庁）、公設試験研究機関（北海道立総合研究機構、山梨県富士山科学研究所）

<sup>2</sup>「地震・火山科学の共同利用・共同研究拠点」である東京大学地震研究所と「自然災害に関する総合防災学の共同利用・共同研究拠点」である京都大学防災研究所が連携して進める共同研究。両拠点の研究者が中核となって研究計画を立て全国の研究者の参画を募集する「参加者募集型研究」と、両拠点の呼びかけにより研究課題を公募する「課題募集型研究」からなる。

<sup>3</sup>用語解説に掲載している用語に、下線（点線）と\*を付記している。

<sup>4</sup>東京大学地震研究所には、本研究計画で立案された研究を推進する目的で地震・火山噴火予知研究協議会が設置され、同協議会には研究分野毎に効率的かつ調和的に研究を推進するために、8の計画推進部会と4の総合研究グループが設置されている。参考資料編の「地震・火山噴火予知研究協議会計画推進部会および総合研究グループ等別の成果」は、計画推進部会、総合研究グループ等別に平成29年度の学術的成果を取りまとめたものである。

# 災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究



## 成果の概要概念図

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究平成29年度成果のまとめ  
 災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究の全体像を描き、その主要な成果を吹き出しで記述した。  
 詳しくは吹き出しに記載されたページと図を参照。



## 2. 顕著な火山噴火及び南海トラフ巨大地震に関して得られた重要な成果

### 2-1. 草津白根山（本白根山）鏡池北火口からの噴火

草津白根山（群馬県）は最高所付近に白根山・逢ノ峰・本白根山等の火砕丘群が並び、白根山山頂部付近には湯釜等3つの火口湖がある。2018年1月23日10時02分に本白根山鏡池北火口からの噴火が発生した。この噴火では新火口列を生じると共に人的な被害が発生した。

有史以来の噴火は本白根山ではなく、湯釜火口湖周辺に集中し、本白根山の噴火は3000年前のマグマ噴火しか知られていなかった。そのため、主に湯釜を対象とした各種観測が20年以上にわたって継続されてきたが、それによって2011年に本白根から湯釜への流体の移動を示唆する地殻変動が観測された。その後、本白根山を対象とした地質調査や地球物理学的観測も行われるようになり、近年の地質調査では本白根山の最新のマグマ噴火が1500年前に発生したことが判明するなど、活動史の更新が進められていた<sup>[2942]</sup>。

草津白根山の湯釜火口周辺では、2014年3月から2015年8月にかけて、地震活動の活発化・山体膨張・火山ガス中の $\text{H}_2\text{S}$ （硫化水素）の減少・湯釜火口湖の温度上昇・湯釜直下の熱消磁<sup>\*</sup>が観測され、これらの一連の活動は、熱化学的研究に基づき、湯釜付近に釣り鐘状に存在している透水性の悪い粘土層下への高温の火山ガス・熱水流入が続いたことによるものと解釈された。また、2017年には熱活動の低下に対応する地磁気変化や噴気ガスの成分変化が観測されていた<sup>[1601]</sup>。

草津白根山に関する理解が進む中で、本白根山の噴火が発生した。噴火により観測網の伝送・電源系統が被害を受けたが、2015年度の本研究計画や2016年度の国立大学法人設備整備費補助金等により複数の系統を整備していたため、観測を継続することができた。噴火直後には臨時地震観測点の設置も実施した。これまでの主な注目対象は湯釜であったとはいえ、草津白根山城で多項目の観測を長期間継続的に実施していたことで、この噴火イベントの推移や噴火前の活動状況などの重要な知見を得ることができた。以下に、関連する知見を簡単にまとめる。

湯釜火口周辺5カ所に設置された傾斜計では、噴火直前の1月23日09時58分58秒頃から湯釜南方が隆起する傾斜変動が観測され、10時02分08秒～10時02分12秒の間に反転した（図1）。新火口列から1.1kmのレストハウスに設置した空振<sup>\*</sup>計に10時02分13秒頃から顕著な高周波振動が観測されていることから、噴火開始は10時02分10秒頃であり、噴火直前まで地下浅部で圧力が増加（膨張）し、噴火と共に圧力緩和（収縮）が進行したと考えられる。傾斜変動源を新火口列直下の鉛直クラック<sup>\*</sup>と仮定すれば、火口直下の海拔1000 m（地表面下1000 m）において約2分間で $42.5\text{m}^3$ の体積増加が起き、その後約8分間で $30\text{m}^3$ の体積減少が起きたと計算される。

GNSS<sup>\*</sup>連続観測によると、湯釜周辺で2014年春の隆起変動以降、緩やかな沈降が継続していた。2018年1月23日の本白根山噴火に先行する地殻変動は不明瞭であるが、これは、サンプリング間隔が粗いGNSS観測では捉えられなかったためと考えられる。地震活動については、2017年には本白根周辺地域で月1-2個程度の地震の震源が決定されていた。震源分布の中心は2018年に生成した新火口列の北方約500mに位置し、その深度は地殻変動源の鉛直クラックとほぼ一致する。本白根火砕丘では、群発地震活動が年に2-3回程度の割合で観測されていたが、噴火直前の地震活動の活発化は認められなかった。噴火の3か月前に実施した空中赤外観測でも、北鏡池火砕丘周辺の地表面温度に異常は認められていなかった<sup>[1601]</sup>。

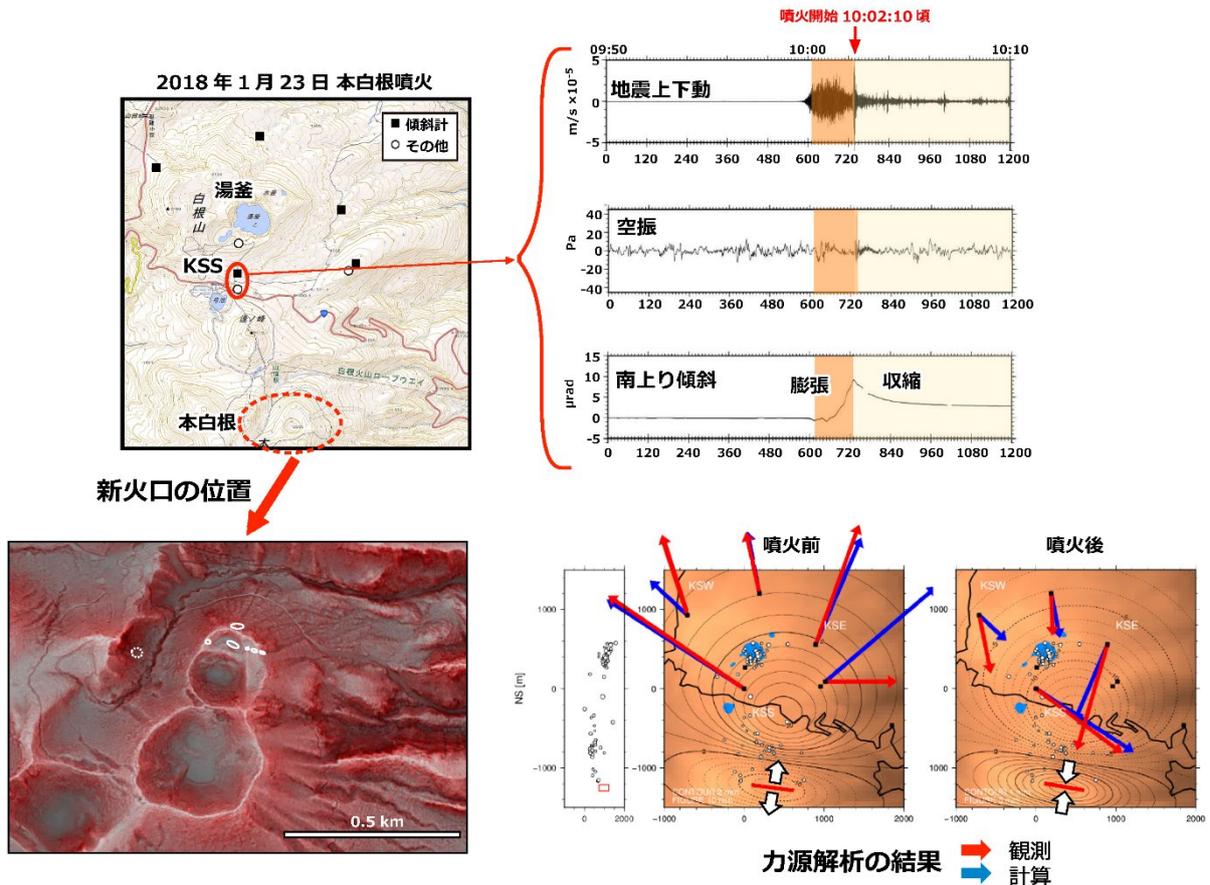


図1. 草津白根山（本白根山）鏡池北火口からの噴火前後の傾斜変動

2018年1月23日10時02分に本白根山鏡池北火口からの噴火が発生し、新火口列を生じると共に人的な被害が発生した。湯釜火口周辺5カ所に設置された傾斜計では、噴火の2分ほど前から湯釜南方が隆起する傾斜変動が観測され、噴火時刻の10:02:10に収縮に転じた。新火口列から1.1 kmのレストハウス付近に設置した地震計には隆起と共に発生した地震が捉えられた。また、空振計では噴火とともに発生した空振による顕著な高周波振動が10:02:13頃から記録された。観測された傾斜を説明する力源の最適解は、新火口列直下の海拔1000 m（地表面下1000 m）に位置する鉛直クラックが約2分間で42.5万 $\text{m}^3$ 膨張し、その後約8分間で30万 $\text{m}^3$ 収縮したことを示した。右下の図には、観測された傾斜と計算された傾斜の方向を示す矢印に加え、地面の上下変動を示す等値線（計算値）、湯釜から本白根にかけて発生する地震の震源分布を示す。また、平面図の赤線と震源分布の南北断面図中の赤四角は鉛直クラックの投影を示す。

## 2-2. 霧島山（新燃岳・硫黄山）の火山活動

霧島山は、宮崎・鹿児島県境に位置し、新燃岳、韓国岳、硫黄山、御鉢、高千穂峰など20を超える火山体から成る。その中で2008年から小規模な噴火が続く新燃岳では、2011年には約300年ぶりの本格的なマグマ噴火が発生し、大量に流出した溶岩は山頂火口を埋めた。この噴火を受けて、新燃岳を含む霧島山周辺の観測体制が強化され、その結果、マグマ供給系や噴火に伴う諸現象の理解が大きく進展した。溶岩の流出に伴い、新燃岳の北西約6 km、深さ約10 km付近で大規模な収縮が観測されたことから、そこが新燃岳へマグマを供給するマグマ溜まりだと考えられている。また、地震波干渉法\*により霧島山の3次元S波速度構造を推定した結果、霧島山の真下から北西方向に約10 kmにわたって、海拔下5-10 kmに低速度異常が存在すること明らかになっている<sup>[7003]</sup>。2017年度後半には、新燃岳で再びマグマ噴火が発生し、新燃岳北西約5 kmに位置する硫黄山

でも活動の活発化が進んだ。これまでの観測研究の成果を踏まえ、活動活発化の推移が詳細に捉えられ、新燃岳噴火発生後は迅速に活動の把握が行われた。その結果を速報として報告する。

硫黄山の活動活発化を受け、まず火山ガスの放出源を明らかにするために二酸化炭素を構成する炭素と酸素の同位体比測定を行った結果、火山ガスは地下水ではなく主にマグマから来ていることが確認された<sup>[1003]</sup>。また航空機SAR\*による観測では、硫黄山付近の膨張を示す地殻変動が明瞭に捉えられた<sup>[1008]</sup>（図2）。火山活動に関する多項目観測データを整理し、活動の推移についてとりまとめを行うとともに、2017年4月からの硫黄山浅部の地殻変動及び2017年9月の地殻変動を伴った地震活動についても解析し、地殻変動と地震活動の時空間関係を明らかにした。陸域観測技術衛星「だいち2号」（ALOS-2）のデータによるSAR解析では、硫黄山付近が2015年以降ほぼ一定速度で膨張していることが明らかになった<sup>[7003]</sup>。

新燃岳は2011年9月の噴火を最後に表面的な活動は停滞していたが、継続的な観測研究により活動の把握が行われていた。無人ヘリを用いた空中磁気測量により火口内容岩の冷却による帯磁\*の進行が観測される一方で、SAR干渉解析結果からは、2016年夏頃までは火口浅部への微量なマグマの供給を示唆する隆起が見られていた。その後、火口内は沈降に転じ、さらにその変化は徐々に減少傾向にあった。また、GNSS観測網のデータを用いた地殻変動解析によると、新燃岳北西のマグマ溜まりの膨張が間欠的に続いていた。

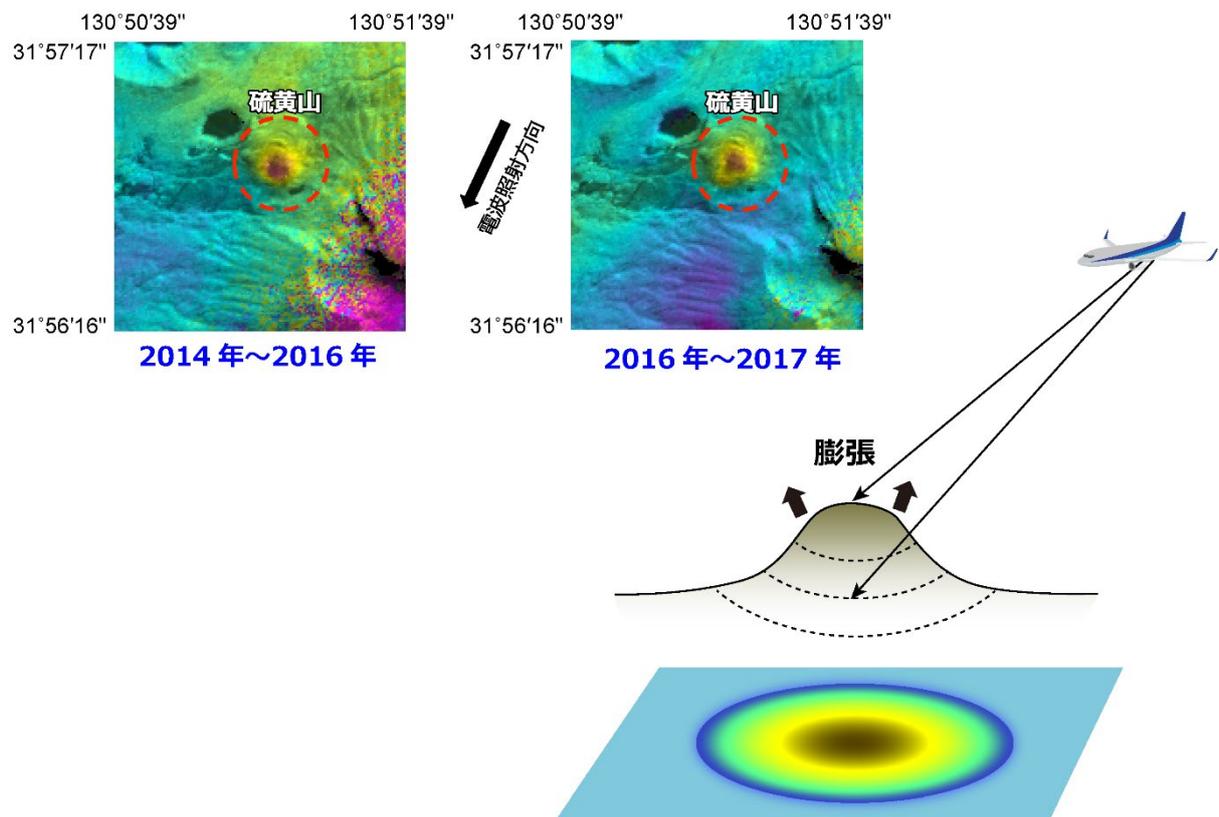


図2. 航空機SARによって捉えられた硫黄山付近の地殻変動

人工衛星を用いた干渉解析手法であるInSAR解析を航空機SARに応用するための手法開発を進めている。衛星と異なり、航空機の場合は風などの影響により飛行軌跡を均一に保つことは難しいため、独特の解析手法の開発が不可欠である。今年度までに手法の開発・改良が進み良好な解析結果が得られるようになったことから、火山活動が高まっている霧島の硫黄山で得たデータを用いて、2014年から2016年の変化と、2016年から2017年の変化を解析したところ、両期間ともに硫黄山付近の膨張を示す地殻変動が明瞭に検出された。航空機SARは人工衛星による観測と比較して多方向からの観測が容易であることを利用し、将来的には地殻変動を3次元的に捉えることを目指している。

2017年2月以降、新燃岳北西のマグマ溜まりの膨張が再び始まり、比較的速い速度で膨張が続く中で、10月9日に、火口直下浅部に流体が移動したことを示す微弱な傾斜変動が微動を伴いながら観測された<sup>[1508]</sup>。そして、2日後の2017年10月11日に噴火が発生した(図3)。その後、新燃岳では小規模噴火が10月17日まで断続的に発生した。マグマ溜まりは2017年10月の噴火直後にわずかに収縮したが、すぐに膨張を再開し、2018年3月1日からの爆発的な噴火活動が始まった。3月6日までに火口内への溶岩流出が始まり、2011年の活動で火口を満たしていた溶岩は新しい溶岩で覆われた。その後も溶岩流出は継続し、3月9日には溶岩が火口から溢れだして北西斜面を200mほど流下した。溶岩流出に伴い、3月6日から7日にかけてマグマ溜まりは一旦収縮したが、再び膨張に転じた。新燃岳火口近傍の広帯域地震観測網のデータを用いた火山性微動活動の解析も行われた。その結果、新燃岳直下を震源とする微動が、振幅と深度を変化させながら、2017年10

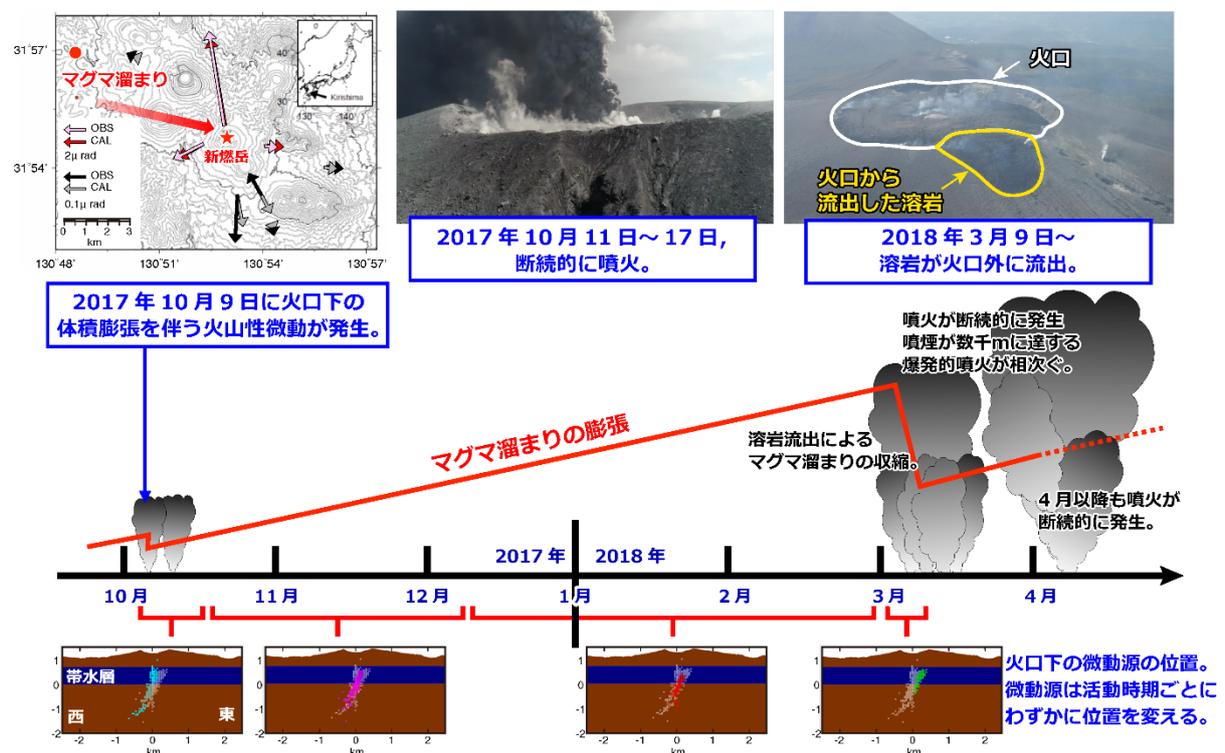


図3. 最近の新燃岳の活動

新燃岳では、2017年2月以降マグマ溜まりの膨張が再び始まり、2017年10月11日に噴火が発生した。噴火の2日前には、火口直下浅部への流体移動を示す傾斜変動が観測されている。マグマ溜まりは2017年10月の噴火直後にわずかに収縮したが、すぐに膨張を再開し、小規模噴火が10月17日まで断続的に発生した。3月1日からは爆発的な噴火活動が始まり、3月9日には火口内へ流出した溶岩が火口北西方向に溢れた。溶岩流出に伴い、3月6日から7日にかけてマグマ溜まりは一旦収縮したが、再び膨張に転じた。

図の一番下には、火口下の微動源の位置を期間毎に色分けして示している。火口直下海拔ゼロメートル付近で発生する微動は、2017年10月11日の噴火後振幅が次第に増加し、発生位置は火口北西の海拔-1.5kmから新燃岳直下浅部の間で何度か移動した。2018年3月1日噴火以降の微動震源は、溶岩が噴出した火口の北東縁直下に移動した。爆発的な噴火が増えた2018年3月10日以降、微動振幅は2017年10月の噴火前の水準に戻った。

2018年3月中は噴煙中の高さが3000mを超える噴火が頻発し、4月以降も月に1回程度の割合で噴火が発生している。

月 11 日の噴火 2 日前から 2018 年 3 月の噴火にかけて継続していたことがわかった。特に、2017 年の噴火後、2018 年の噴火に向けて振幅が次第に増加していた微弱な連続微動を検出できたことは、今後、噴火予測を行う上で有用な成果であると言える。

噴火後の火口内の状況把握を目的として、航空機搭載型 SAR (Pi-SAR2) による観測が行われた<sup>[010]</sup>。また、噴火直前の火口内の地殻変動を捉えるため干渉 SAR 解析が行われた。時間分解能は限られるものの、日本と欧州の人工衛星データを用いた解析をつなぎ合わせると、2017 年 7 月から沈降が加速したこと、2017 年 10 月 11 日の噴火前の数日以内には 10 月 11 日の噴火位置付近である火口内東縁付近で膨張が発生したと考えられることがわかった<sup>[3005]</sup>。2017 年 10 月 11 日の噴火では、セサナ機による火山ガス組成と放出率の観測が行われ、SO<sub>2</sub> 放出率が 1 万 t/日を超える大規模脱ガスが生じていることがわかった。また、噴出物を構成する粒子の解析から、10 月 11 日の噴火は地下の熱水系の活発化によるマグマ水蒸気噴火であったことが明らかになった<sup>[5006]</sup>。2018 年 3 月中は、噴煙柱の高さが 3000 m を超える噴火が頻発し、4 月以降も月に 1 回程度の割合で噴火が発生している。

### 2-3. 南海トラフ巨大地震

南海トラフでは、陸のプレートとフィリピン海プレートとの間（プレート間またはプレート境界と呼ばれるが、両者は同一の意味である）で巨大地震の発生が懸念されている。2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋地震の発生を受けて、南海トラフにおいて発生しうる巨大地震に関する社会の注目度は一層高まっており、2017 年 9 月の中央防災会議幹事会の決定を受け、気象庁は確度の高い地震予測を前提としない「南海トラフ地震に関連する情報」の運用を 2017 年 11 月より開始するなど、日本における南海トラフ沿いの巨大地震に関する防災体制は大きく変化している。学術研究の分野においても、南海トラフ沿いで何が起きているのか、南海トラフ沿いの巨大地震についてどこまでわかっているのかといった視点で、関連する研究成果が社会の注目を集めている。

本計画では、南海トラフ沿いの巨大地震に関連する研究を総合的研究として優先して実施している。今年度は、陸上・海底観測による地震活動やゆっくり滑り\*に関する研究、数値シミュレーションに基づくシナリオ予測の研究等に関する成果が挙げられた。特に、2016 年 4 月 1 日に三重県南東沖のプレート間で発生した M6.5 (Mw5.8) の地震に関する研究が進められた。この地震自体は被害を及ぼすことはなかったが、前回の南海トラフの巨大地震である 1944 年東南海地震・1946 年南海地震の活動以来、約 70 年ぶりに発生した南海トラフでの規模の大きなプレート間地震であり、また発生場所も同東南海・南海地震の震源域に近かったため、より大きなプレート間地震を誘発する可能性が危惧されている。このような事情から、この地震に関しては、南海トラフ巨大地震に関する研究の一環として詳細な研究が進められてきた。これらについて、特筆すべき研究成果を述べる。

・地震活動

南海トラフ沿いの地震活動について、2006 年以降の気象庁一元化震源\*カタログから規模別頻度分布の指標である  $b$  値\*の詳細な空間分布を求めた (図 4)。1944 年東南海地震と 1946 年南海地震で滑り量の大きかった領域では  $b$  値が低く、それら二つの領域の間では  $b$  値が高い事がわかった。 $b$  値が低いところは潜在的に大地震を起こす力が大きいということが知られていることから、南海トラフ巨大地震の破壊過程の詳細解明に繋がる成果であると言える<sup>[2902]</sup>。

- ・ :低周波地震
- ★ : $M \geq 6.5$ 地震

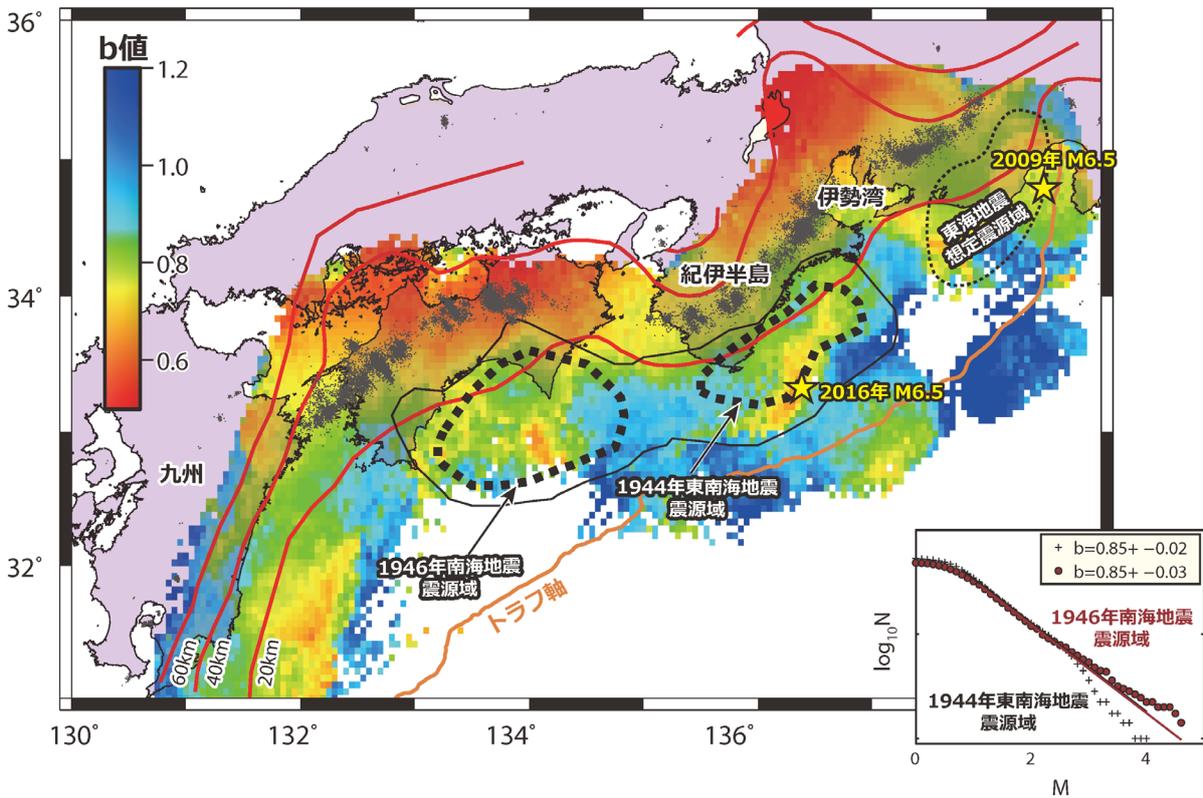


図 4. 南海トラフ沿いで発生する地震の  $b$  値の空間分布

1944 年東南海地震と 1946 年南海地震の震源域 (点線で囲んだ領域) で発生した地震の規模別頻度分布を右下に示す。

・ゆっくり滑りと地殻変動

南海トラフの掘削坑内での間隙水圧\*の観測から、熊野灘のプレート境界でゆっくり滑りが 8~15 か月間隔で繰り返し発生し、海溝軸近傍での低周波微動\*を伴うことが明らかになった (図 5)<sup>[4002]</sup>。陸上の異なる観測網で得られるひずみ・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滑りを解析するシステムの運用を継続した<sup>[5007]</sup>。また、GNSS-音響測距結合方式\*による南海トラフ周辺域での海底地殻変動観測も継続され、プレート間固着の影響による地殻変動が観測された<sup>[8001]</sup>。

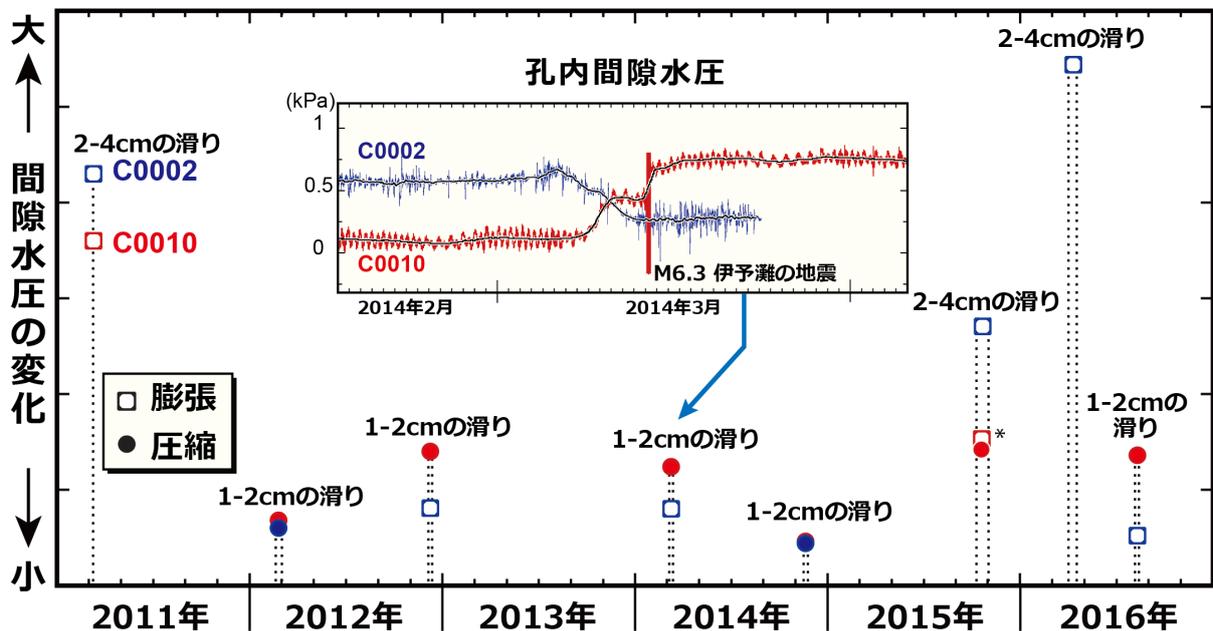
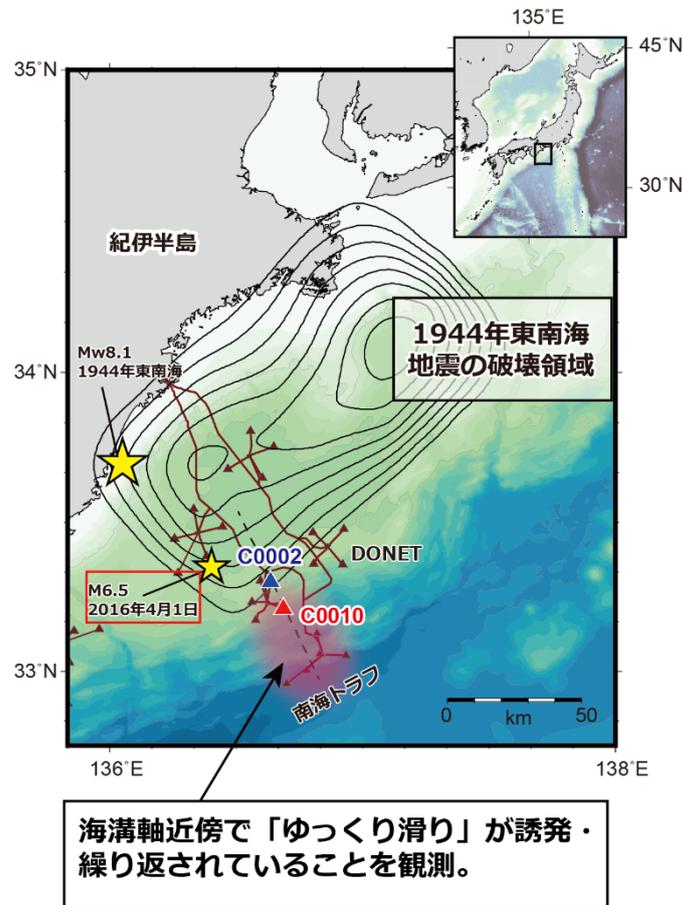


図5. 南海トラフ近傍（熊野灘）の坑内観測システム(C0002 およびC0010 観測点)で計測された、海溝軸近傍で繰り返り起こる「ゆっくり滑り」に伴う間隙水圧の変動イベント

下図には、ゆっくり滑りに伴う間隙水圧の変化の大きさと、その変化がプレート境界での滑りであると仮定した場合の各イベントの滑り量の推定を示した。2016年4月1日に発生した三重県南東沖の地震(M6.5)後に続発した、浅部超低周波地震の活動に連動した大きな滑りが観測されている。図中には、一例として2014年3月のゆっくり滑りに伴う両観測点の間隙水圧の変化を示した。

\*印: 2015年10月のイベントではC0010観測点ではその期間中に圧縮とそれに続く膨張が計測された。

・三重県南東沖の地震

2016年4月1日に、三重県南東沖の熊野灘の下の、フィリピン海プレートと陸のプレートの浅部境界でM6.5の地震が発生した。この地震はケーブル式の地震・津波観測監視システム (DONET) の直下で発生し、様々な記録が得られた。間隙水圧の変化から、この地震に伴うゆっくり滑りと海溝軸近傍での低周波微動の発生とが観測された<sup>[4002]</sup>。圧力波形から、海底地殻変動や断層モデルを精度良く推定する事ができ、震源直上での津波観測網が津波の即時予測に有効であることが明らかになった<sup>[1005]</sup>。また、強震動\*を生成した領域を推定し、その領域内におけるこの地震の応力降下\*の値を調べたところ、東北沖で発生する同規模のプレート間地震よりは値が小さく、従って短周期の波が比較的弱いことがわかった<sup>[1903]</sup> (図6)。今後、海底観測記録等も活用し調査を続けることで、南海トラフで発生する巨大地震による地震動の予測を高精度化するための重要な知見が得られるものと期待される。

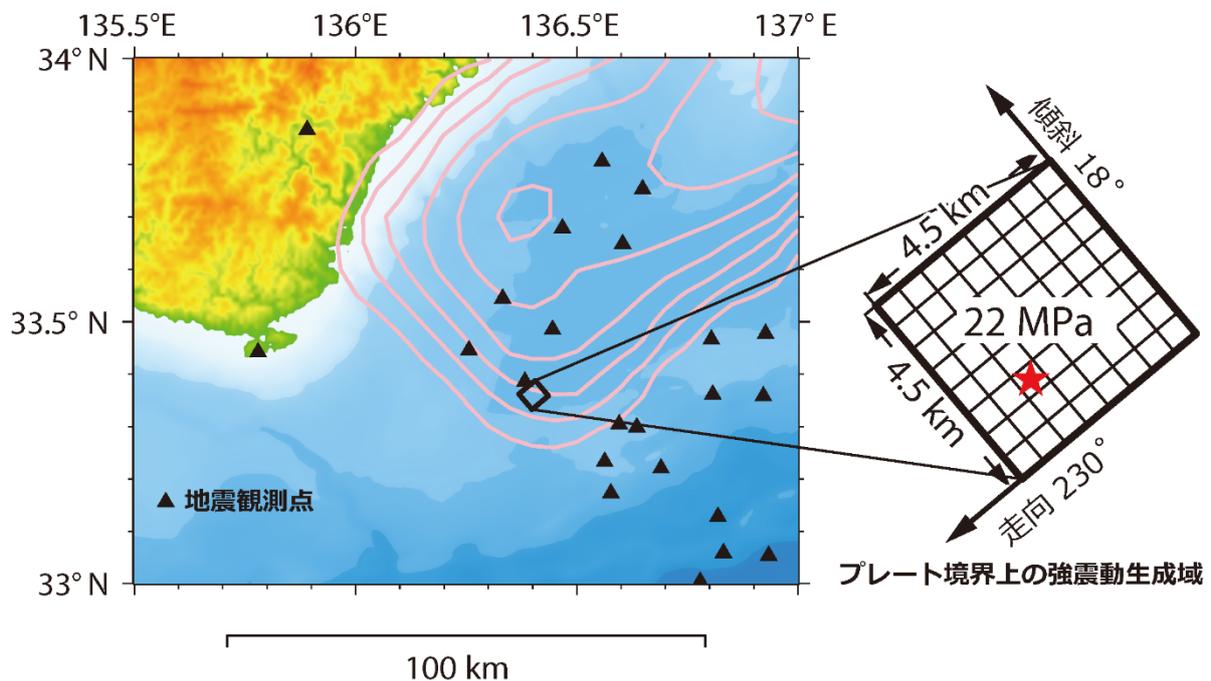


図6. 2016年4月1日三重県南東沖の地震 (M6.5) の強震動生成域

海域及び陸域の地震観測点 (左図) での強震波形記録を併用して求めた強震動生成域 (右図)。4.5 km 四方の強震動生成域に対して、浅い側 (海溝軸側) から深い側 (陸側) に向かう北向きに伝播する破壊様式が推定された。この域内での応力降下の値は 22 MPa であった。左図中の桃色のコンターは、Kikuchi et al. (2003)による1944年東南海地震の滑り分布 (0.5m 間隔)。

数値実験によるシナリオを予測する研究も行われた。今回の地震と同程度の規模の地震と M8 クラスの巨大地震が、繰り返し起こる状況を計算機上で作り出して調べたところ、M6 程度の地震後、余効滑り\*がプレート境界の浅い側（海溝軸側）だけに伝播して収まる場合や、深い側（陸側）にも広がり数年後に M8 クラスの地震に発展する場合等が得られた<sup>[4002]</sup>（図 7）。2016 年 4 月 1 日三重県南東沖の地震の事象では、地震後の滑りが浅い側だけに伝播して収まっており、今のところは前者のシナリオで示された時間経過をたどっていると言える。必ずしも将来の現象予想を約束するものではないが、考えられるシナリオを認識しておくことは、防災上重要である。

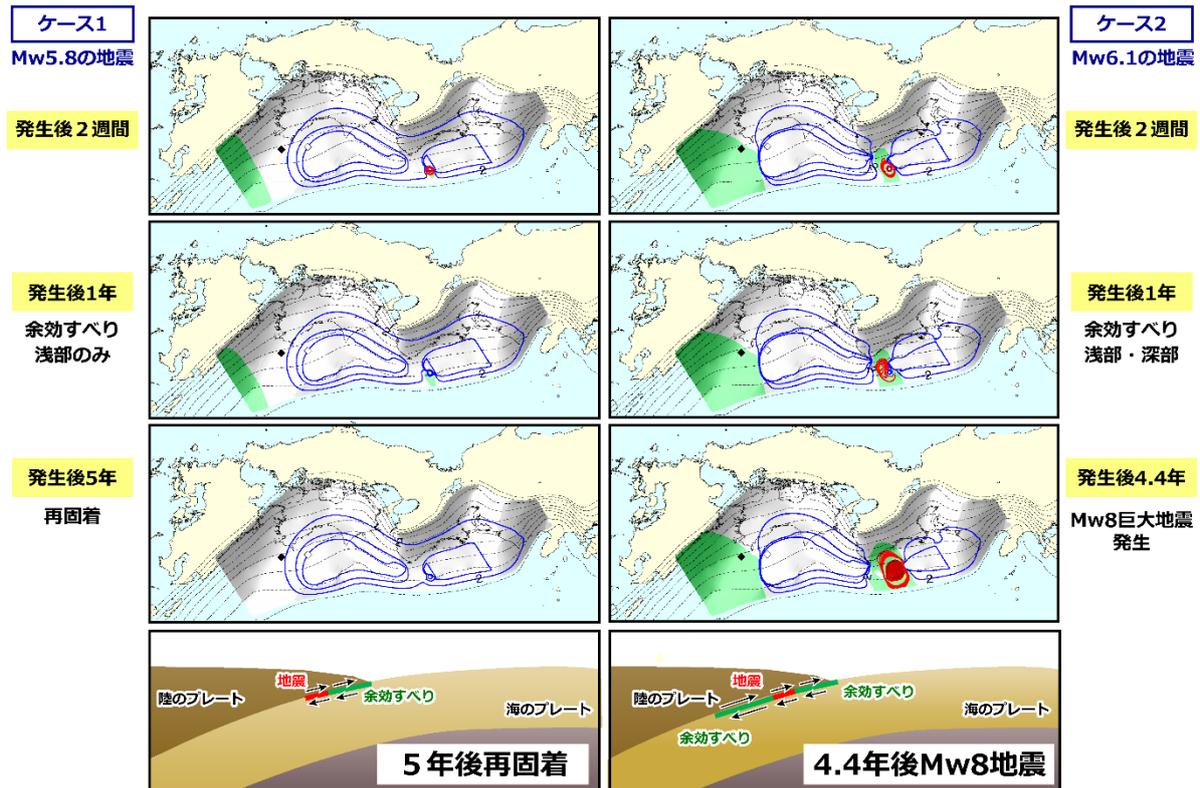


図 7. 地震発生シミュレーションにより検討した、2016 年三重県南東沖の地震による南海トラフ巨大地震への影響。白色、緑色、赤色となるにつれ、プレート境界での滑りが大きいことを示す。左図（ケース 1）：三重県南東沖の地震を模した地震によって余効滑りが浅部にのみ発生した後、再固着するケース。右図（ケース 2）：三重県南東沖の地震を模した地震によって余効滑りが浅部・深部ともに発生し、巨大地震につながるケース。

・その他

この他の研究として、過去の記録から指摘されているような、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、西南日本内陸における応力場の変化や内陸活断層に作用する応力を計算機上でモデル化することにより解明する試みが行われた<sup>[1907]</sup>。また、巨大地震のリスク評価の精度向上のための研究として、リスク評価の不確かさの要因を個別に検討し、これらの知見を統合したリスク評価およびその不確かさに関する検討が行われた<sup>[2975]</sup> (図8)。例えばリスク評価に対して影響の大きな、地盤増幅特性、地震動の距離減衰、時間経過に伴う人口や建物の変化の傾向分析が重点的に検討された。

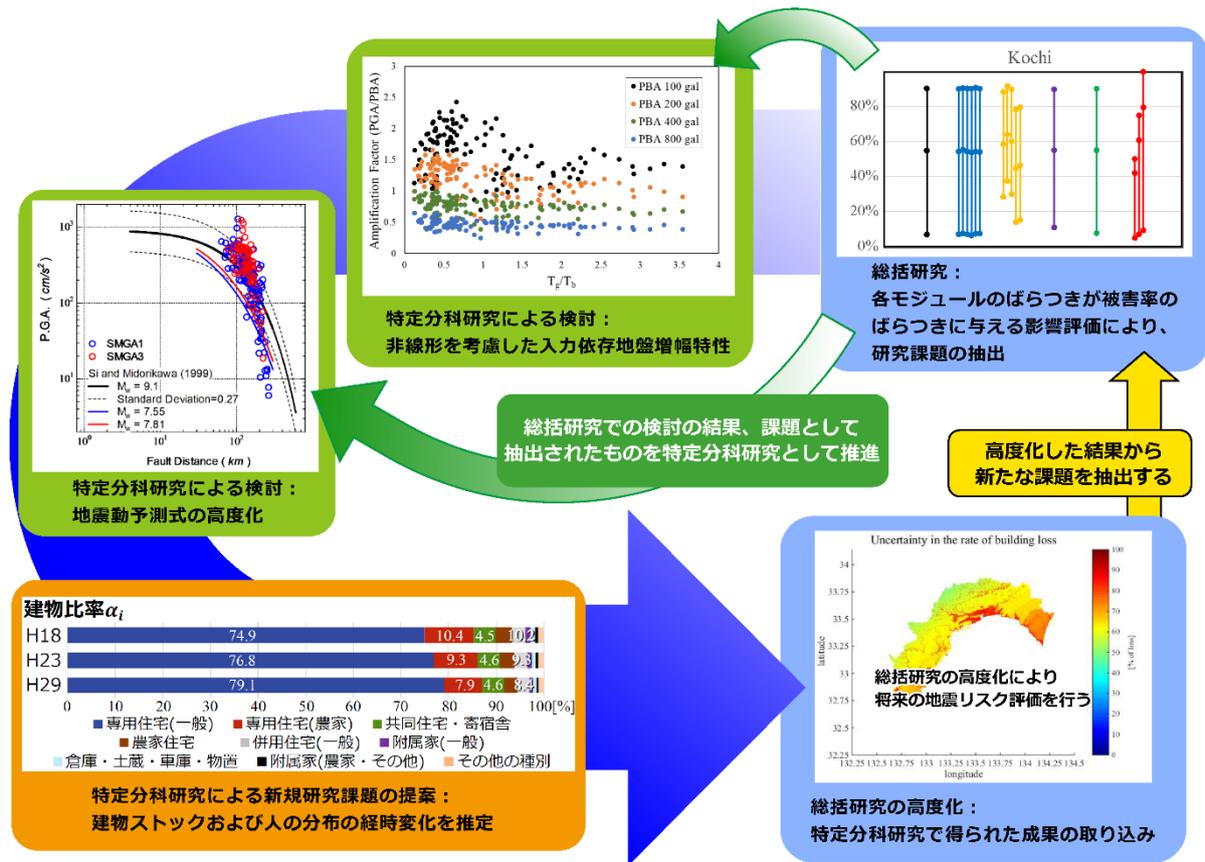


図8. 地震リスク評価およびその不確かさに関する検討の概要図

南海トラフ巨大地震による地震リスク評価の全体研究の結果から、各項目のばらつきが被害予測のばらつきに与える影響評価を行った。影響が大きい項目に関わる研究課題を深掘りして推進し、その結果に基づきリスク評価の高度化を行っていく。

### 3. 平成 29 年度の成果の概要

#### 3-1. 地震・火山現象の解明のための研究

地震や火山噴火が引き起こす災害の予知の基本となる地震・火山現象の科学的理解の深化を目指し、史料・考古・地質データも含めた過去の地震・火山噴火現象に関する研究、地震・火山噴火の発生場と発生過程を理解するための観測・実験に基づく研究を、以下のように実施した。

##### (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

地震・火山噴火とそれに関連する諸現象やそれらによる災害に関する史料、考古データ、地質データの収集と、近代的観測データとの対比・統合を指向したデータベースの構築について、次のような研究を行った。

##### ア. 史料の収集とデータベース化

新たな地震関連史資料について、1854 年安政東海・安政南海地震（1854 年 12 月 23 日・24 日（安政元年 11 月 4 日・5 日））に関する高知県や東海地方を中心とした史料や、その前後の有感地震を含む史料、濃尾地震に関する資料について調査・収集を実施し、明治期以降の地震学史に関連する資料から歴史地震・津波の情報を収集した<sup>[2601][1701][2903]</sup>。

地震・火山噴火史料データベースの構築に向けて、既刊地震史料集に所収されている史料記述について、高度な検索に適したデータ化作業を継続して行い、国土地理院の地図上に地震被害発生場所を表示できるシステムの改良を実施した<sup>[2601]</sup>。

##### イ. 考古データの収集・集成と分析

全国の埋蔵文化財発掘調査報告書に記載されている、災害痕跡に関する地質・考古資料を新たに収集し、発掘調査地点ごとの災害痕跡のデータ整理を実施した。また、災害痕跡 GIS\*データベースシステムについて、データベース構造・検索システムの改良とデータの更新を行い、「日本歴史地震関連史料データベース」（試作版）と連携して相互に検索できるシステムの開発を進めた。この他、奈良県や山口県など各地の埋蔵文化財発掘調査現場において、災害痕跡の地質考古学的調査と試料採取を実施した<sup>[9001]</sup>。

##### ウ. 地質データ等の収集と整理

津波の痕跡が保存される条件を明らかにするため、2011 年東北地方太平洋沖地震津波で青森県三沢市の海岸に形成された津波堆積物を分析した。内陸に向かうにつれて薄層化と細粒化する傾向が確認されたが、堆積物分布の限界はイベント発生後に海側に後退することが明らかになった<sup>[1501]</sup>。

活断層データベースに地形陰影図や航空写真等を表示させる機能を追加し、活断層と地形や構造物などとの関係を認識しやすくした<sup>[5002]</sup>。

浅間山・西之島・諏訪瀬島の岩石試料を分析し、マグマ溜りの深度や状態を検討した。浅間山の 1783 年天明噴火では 3 つのマグマが海拔 0 m 付近で混合し短時間で噴火に至った可能性のあることがわかった<sup>[1502]</sup>。

##### (2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

近代観測データと史料・考古・地質データを総合して、東北地方太平洋沖地震のような低頻度で大規模な地震・火山噴火現象の特徴を抽出し、その理解を目指して次のような研究を行った。

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

南海トラフ沿いの巨大地震である1854年安政東海地震・安政南海地震の前後数年間について、日記史料の調査・撮影を実施し、日記史料から有感地震に関する記録を抽出して、データベースと時空間分布図の作成を実施した。この結果、安政東海地震・安政南海地震の約10ヶ月後から西南日本において有感地震が増加し(図9)、1855年11月7日(安政2年9月28日)に大きな地震が発生して、現在の静岡県で被害の生じた状況が明らかになった<sup>[1501][2601]</sup>。

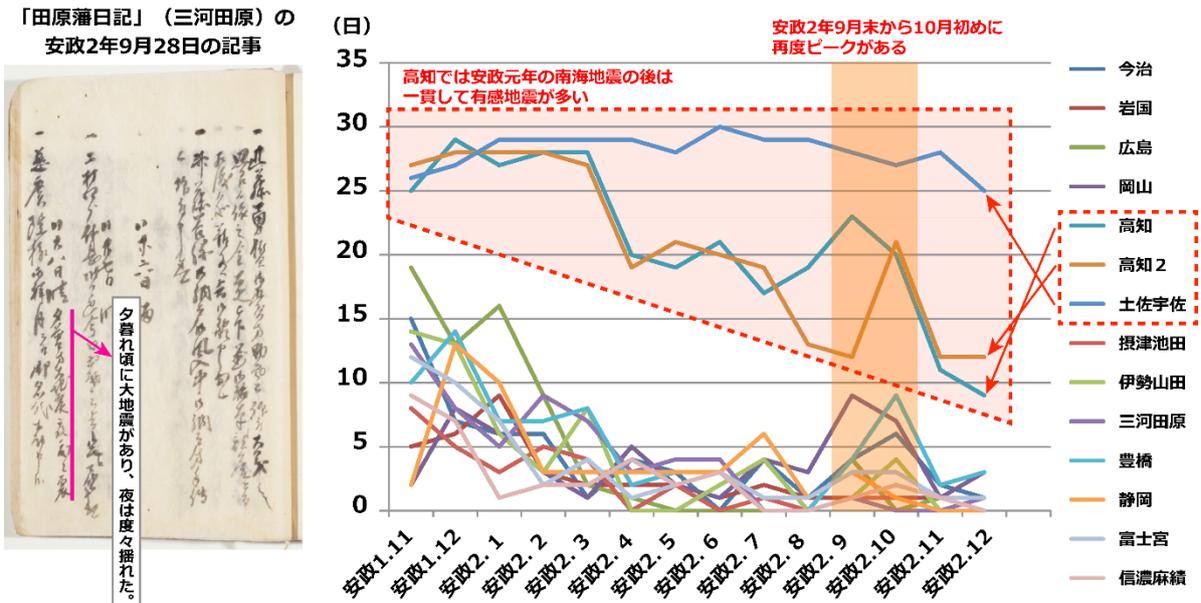


図9. 日記史料に基づく巨大地震後の有感地震の記録日数の推移

日記史料には地震の被害だけでなく、日々の有感地震についても詳細に記録されている。西南日本で記された複数の日記史料からは、安政元年(1854年)11月5日の南海地震の本震以降、頻発する有感地震を記録した日数の推移がわかる。グラフは、安政元年(1854年)11月から安政2年(1855年)12月末までの期間について、有感地震の記録日数を月ごとに示したものである。グラフより、西南日本では9月から再び有感地震の増加している状況がわかる。

1596年文禄豊後地震に関する既存の史料について史料学的な評価を行った結果、既存の学説における問題点を明らかにして、別府湾に津波被害をもたらした文禄豊後地震は1596年9月4日(文禄5年閏7月12日)ではなく、1596年9月1日(文禄5年閏7月9日)に発生したとする新たな地震像を提示できた<sup>[2601]</sup>。

日本海沿岸地域の地震関連史料の検討から、1833年天保庄内沖地震の津波による、信濃川河口での船舶被害や輪島地域での家屋被害の実態を解明した。また、1828年文政越後三条地震に関する史料について史科学的な分析を行い、「潰家」「半壊」「大破」の定義について新たな見解を提示した。さらに、1714年正徳信濃小谷地震の3日後の天然ダム決壊による影響は、天然ダムの12km下流まで及んでいたことがトレンチ調査\*による洪水堆積物の発見によって明らかになった<sup>[2701]</sup>。

1831年11月14日(天保2年10月11日)に佐賀で発生したとされてきた地震被害について、原典史料の確認によって会津地方の地震の誤記であることを指摘した<sup>[1901]</sup>。

日本海溝・千島海溝、相模トラフ、南海トラフ、南西諸島海溝および日本海沿岸で発生した巨大地震の履歴と発生様式を明らかにするため、津波堆積物、地形地質調査などに基づいたデータの収集と整理を行った<sup>[1002][1703][4002][5004][9101]</sup>。

千島海溝沿いの北海道十勝地域において、古津波の堆積物と地殻変動の痕跡を抽出した<sup>[1002]</sup>。十勝南部大樹町での調査では、12世紀と17世紀に発生した地震に伴う津波堆積物に相当すると考えられる砂～泥層が2層認められた。12世紀の地震後はしばらく隆起が継続したが、沈降に転じ17世紀のイベントまで継続した。一方で、17世紀のイベントは規模が大きく、その発生から1667年樽前山噴火までに50～70cm程度隆起したが、その後に沈降に転じる傾向は認められず、12世紀と17世紀のイベントで地震後地殻変動の推移は異なることがわかった。また、日本海溝域の過去の巨大地震の履歴を把握するため、海底に形成された堆積層について、精密かつ広範囲な対比を行うための地磁気永年変化標準曲線を確立し、大深度で得られた地質資料での過去7000年前までの堆積年代推定が可能となった<sup>[4002]</sup>。房総半島南部の海岸段丘では、分布パターンと離水年代を再検討した結果、段丘形成の時間間隔が非常にばらつくことが明らかになった<sup>[5004]</sup>。

断層の形状に関しては、海底と陸上の数値地形データ (DEM) を統合することにより、石垣島南東沖で北東—南西方向に伸びている活断層と推定される変動地形の抽出に成功した。また、平成28年(2016年)熊本地震の被害分布と、地震断層の分岐・ステップ・断層末端部の形状との関係を検討し、地震断層の分岐部や末端部に特に甚大な被害が集中していることを明らかにした<sup>[1702]</sup>。

火山現象に関しては、ボーリング調査\*を含む地質学的・物質科学的研究により、7,300年前の鬼界火山のカルデラ形成噴火とその準備過程の推移が明らかになった<sup>[1001]</sup>。また、摩周火山でも同様の研究を進め、7600年前のカルデラ形成噴火を含む約3.5万年の活動史が明らかになりつつある<sup>[1001][2940]</sup>。

雲仙岳1792年噴火時の眉山崩壊について文献史料の収集・分析をさらに進め、崩壊原因の諸説(火山爆裂説・地震説・地滑り説)について検討を行った。また、当時の島原半島では、地割れ及び断層活動が従来知られているよりも広域に及んでいたことがわかった<sup>[1001]</sup>。

## イ. プレート境界巨大地震

GNSS-音響測距結合方式による海底地殻変動観測から、マンツルの粘弾性効果の影響を含んだ東北地方太平洋沖地震の余効変動\*は継続しているが、2015年以降は福島沖の観測点などで変動速度がやや鈍化する傾向が見られることがわかった<sup>[8001]</sup>(図10)。一方、2012～2016年に海陸で観測された平均変位速度を東北地方太平洋沖地震時の地殻変動と併合して、地震時滑りと地震後滑りの分布を同時に推定したところ、海溝軸近くの地震時滑りは北緯39度程度までしか広がっておらず、津波波源解析の結果が要請する北緯39度以北の津波波源は、プレート境界断層の滑りとは異なる変動によるものである可能性があることがわかった<sup>[1503]</sup>。

海陸の地殻変動観測データを用いた、南海トラフ沿いのプレート境界における固着強度の空間分布の推定を行った。その際、西南日本弧を複数のブロックに分割し、ブロック境界断層とプレート境界断層での滑り欠損\*を同時に推定することにより、ブロックを仮定しない先行研究の結果に見られた深部での不自然な固着が推定されなくなった。トラフ軸沿いの深さ0～25km付近までの固着は強い傾向があるものの、日向灘や室戸岬沖、潮岬沖、熊野灘の一部領域など、部分的に固着が弱い領域が存在していることがわかった。これらの解析結果は、海域のプレート間固着状態が非常に不均質であることを示唆している<sup>[1703]</sup>。プレート間固着状態を把握することは、将来のプレート境界巨大地震の地震像を精度良く推測するために必要不可欠であるが、現状の海底地殻変動観測データを用いても、トラフ軸近傍・プレート境界浅部の滑り分布の推定分解能は十分ではないことから、更なる観測体制の充実が望まれる<sup>[8001]</sup>。

2015年1月～2017年12月の間の平均速度

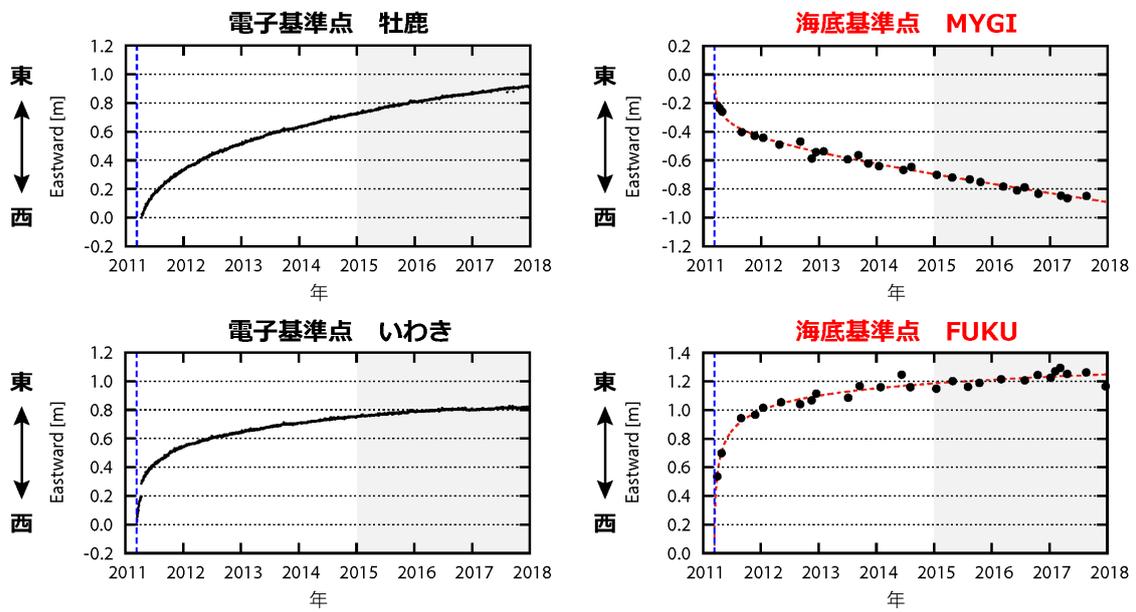
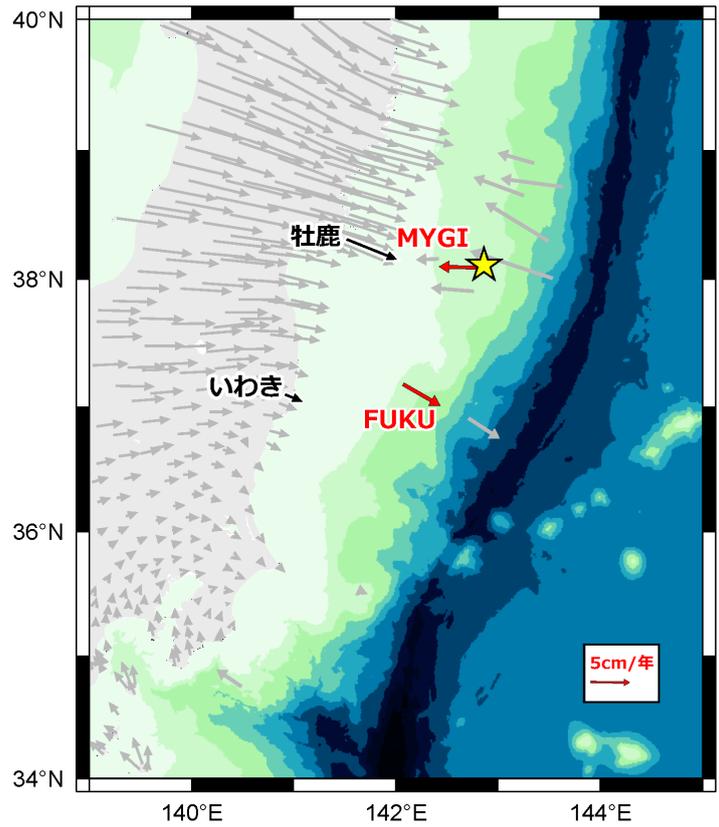


図 10. 2011 年東北地方太平洋沖地震の余効変動

上段：2015 年 1 月から 2017 年 12 月までの平均変位速度。黄星印は東北地方太平洋沖地震の震央。

下段：時系列の例。黒および赤の矢印で速度を示した観測点でのもので、東向きの動きが正。青線は東北地方太平洋沖地震が発生した 2011 年 3 月 11 日。グレーの網掛けをした期間（2015 年 1 月～2017 年 12 月）のデータから平均変位速度を求めている。海底基準点の赤点線は観測データ（●）から求めた近似曲線。

### (3) 地震・火山噴火の発生場の解明

地震・火山噴火の発生場における地下構造や応力場を明らかにし、断層上の摩擦特性や断層周辺の流体分布、地震と火山噴火の相互作用などを明らかにするため、以下のような観測に基づく研究を実施した。

#### ア. プレート境界地震

陸上稠密地震観測と海底地震観測で得られたデータを用いて、千島海溝沿いの日高衝突帯からその海域延長部に到る領域の3次元P波およびS波速度構造を推定した結果、千島弧の下部地殻の深い部分が日高山脈直下で分離（デラミネーション）して、1982年浦河沖地震（M7.1）の震源域直下の太平洋プレート上面の深さにまで達していることが明らかとなった<sup>[1002]</sup>。

房総沖で行われた人工地震探査データを解析し、ゆっくり滑り（スロースリップイベント、SSE）発生領域での反射波強度についての解析を行った<sup>[1509]</sup>。その結果、フィリピン海プレート上面からの反射波強度には顕著な空間不均質があるが、明瞭な反射波が観測できる領域はSSE発生領域と一致することがわかった。

#### イ. 海洋プレート内部の地震

伊豆半島の約100km北方で発生している孤立した42個の地震（深さ40–90km）の震源決定およびメカニズム解<sup>\*</sup>の推定を行ったところ、プレート境界地震と解釈される低角逆断層地震よりも深いところで37個の地震が発生していることが明らかになった。これらの地震は沈み込むフィリピン海スラブ内の地震と考えられるが、その活動の原因には局所的な含水化の可能性が考えられる<sup>[1201]</sup>。

#### ウ. 内陸地震と火山噴火

2016年熊本地震について、臨時地震観測で得られたデータから、詳細な余震活動、地震波速度構造、応力場、震源断層の分布などを明らかにした。最大前震（M6.5）は東南東傾斜の断層から破壊が始まり西傾斜の断層へ広がったこと、本震（M7.3）は深部の東南東傾斜横ずれ断層から破壊が始まり布田川断層と日奈久断層の二つの面で大きな滑りを起こしたことが明らかになった。地震時の滑り方向は応力場によって規定されており、地震前の応力場に対して最適な断層面で大きな滑りが起こったとともに、周辺部にも滑りが及んだことが明らかになった（図11）。また、二つの低比抵抗<sup>\*</sup>体に挟まれた領域で熊本地震本震の破壊が生じたことが示唆された<sup>[2201]</sup>。粘性緩和による地殻変動は徐々に減衰するものの、10年後でも年間数mmの変動が予測されることが明らかにされた<sup>[6001]</sup>。

2011年東北地方太平洋沖地震の約1か月後に発生した福島県浜通りの地震（M7.0）震源域における高密度地震観測網で得られたデータを解析したところ、地震活動域下部に地殻内流体の存在を強く示唆する顕著な二つの反射面群を見出した。このことは、地殻内流体がこの地震活動を引き起こしたことを示している<sup>[1203]</sup>。

西南日本において地殻変動のモデル化を実施し、ブロックの相對運動と内部変形速度を推定した。その結果、ブロック内部で顕著な内部変形が生じていることや、中央構造線や濃尾断層帯で推定された相對変位速度は地質学的な滑り速度とほぼ一致することが明らかになった<sup>[1907]</sup>。

地震のメカニズム解から間隙流体圧<sup>\*</sup>の空間分布を推定する新しい解析法を用いて、御嶽山周辺域の3次元間隙流体圧分布を推定した（図12）。その結果、2009年～2014年の5年間に御嶽山東麓（図12中のB）に高圧な間隙流体圧が維持されていたことが明らかになった。このような高圧流体の存在が、活発な微小群発地震活動を継続させる重要な原因になっている可能性がある<sup>[1907]</sup>。

蔵王山では地震・地殻変動観測、重力観測、地磁気観測などからなる総合観測が実施されており、2018年1月から2月にかけて観測された火山性微動をとまなう地殻変動源は、山体下浅部に位置するクラックの開口であることが明らかになった<sup>[1202]</sup>。

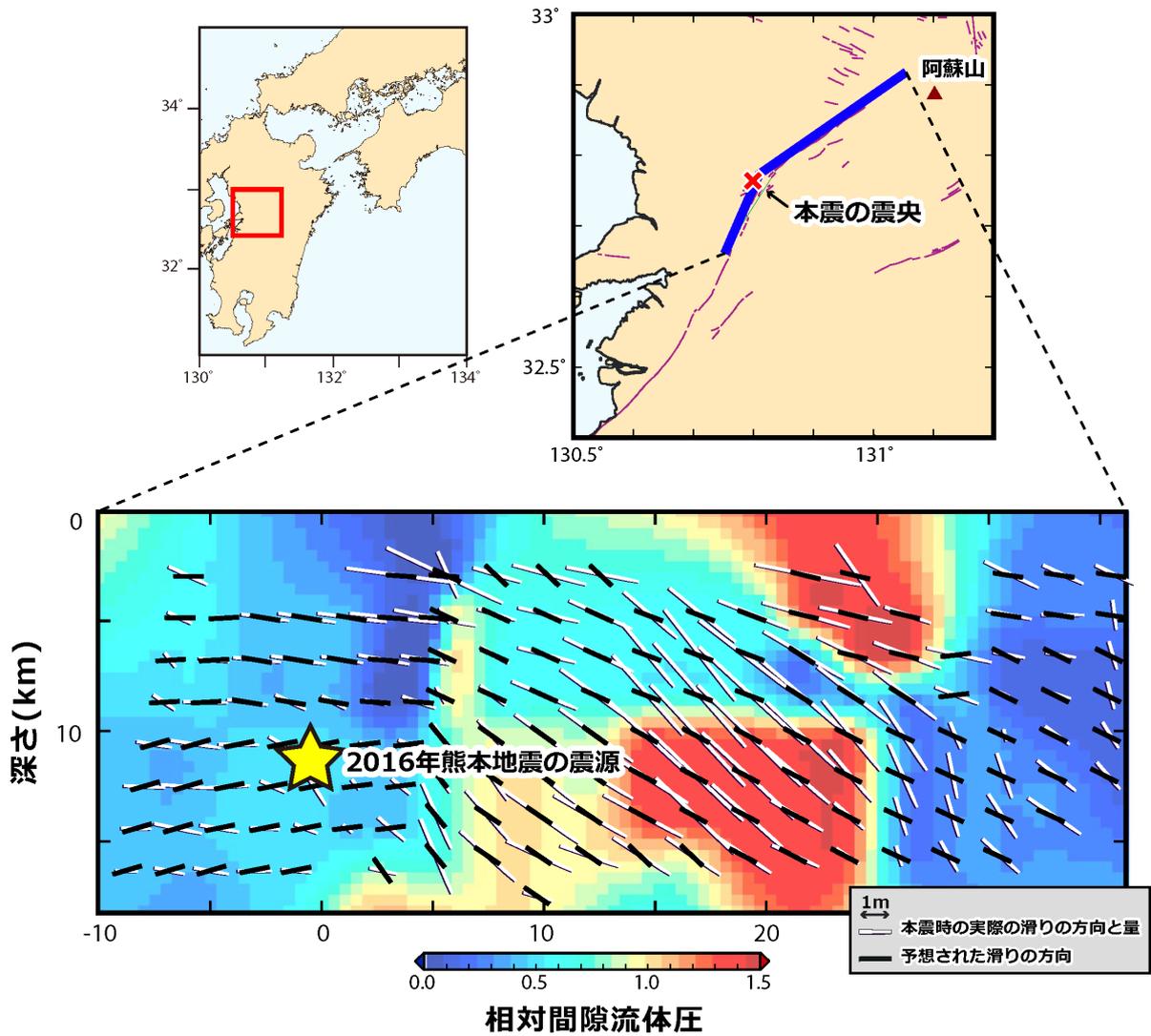


図 11. 2016 年熊本地震の断層滑り方向の予測

2016 年熊本地震発生以前の応力場から、熊本地震断層面で期待される滑り方向の予測（下図の黒の直線）を行った。本震時の実際の滑りの方向（下図の白の直線）とよい一致が見られ、地震時滑り方向は応力場に規定されていることが明らかになった。一方で、断層面に関しては、応力場から期待される最適面と実際の断層面のずれが大きい領域があったが、その原因を間隙流体圧が高く岩盤の強度が弱かったためと考え、両断層面のずれの程度から間隙流体圧の相対的な大きさ（相対間隙流体圧）を推定したものを、下図に青～赤の色で示した。暖色系の色は、間隙流体圧が相対的に高いことを表している。

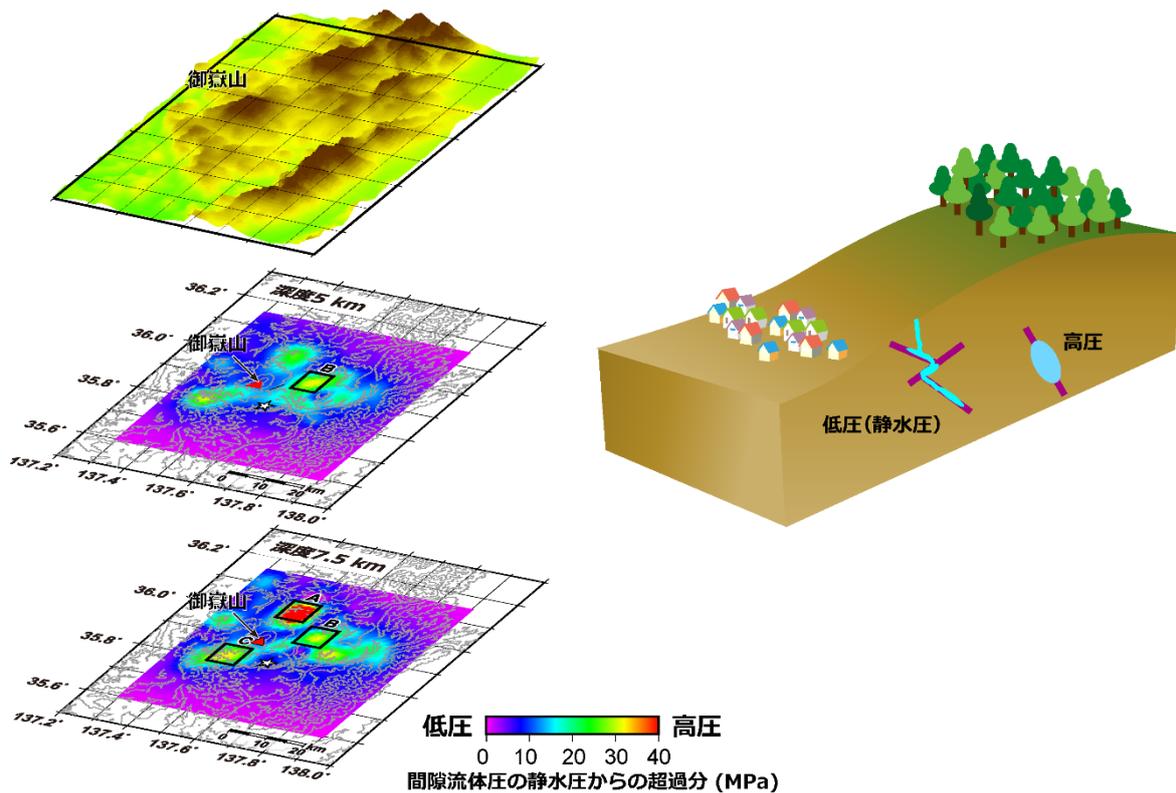


図 12. 地震のメカニズム解から推定された御嶽山周辺域の間隙流体圧の 3 次元分布  
 山麓の地下 5 ～ 8 km あたりに間隙流体圧が高い断層が存在することが推定された(左図中の矩形 A ～ C)。☆は 1984 年長野県西部地震の震央。右図に間隙流体圧が低い(静水圧)断層と高い断層のイメージを示す(水色は間隙流体、茶色は断層)。

#### (4) 地震現象のモデル化

地震やプレート境界での滑り過程のシミュレーションに応用するために、これまでの研究成果に基づく標準的構造モデルを構築するとともに、滑りや破壊過程を記述する断層の物理モデルの高度化を目指して、次のような研究を実施した。

##### ア. 構造共通モデルの構築

前年度まで構築を行った太平洋プレート及びフィリピン海プレートの位置及び形状のモデルについて、データの公開を開始した (<http://evrrss.eri.u-tokyo.ac.jp/database/PLATEmodel/>)。また、フィリピン海プレートと太平洋プレート接合部の形状モデルの検討を行った。関東域における構造探査の結果から、複雑なフィリピン海プレートの形状モデルの再定義を行い、伊豆半島北部から北西方向に複雑な屈曲が見られる可能性が示唆された。中国・四国・近畿地方の震源断層モデルを推定するとともに、モホ面モデルの高度化を実施した<sup>[1505]</sup>。

##### イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

高速せん断中の接触点温度と強度の関係を明らかにするために、高時空間分解能での温度分布の直接測定を行った。2 色温度法という新技術により、局所的瞬間的発熱(フラッシュヒーティング)によって発生した温度の絶対値を正しく捉えることが可能になり、接触点の最高温度は常圧での試料の融点を越え、2500℃程度まで

上昇していることが明らかとなった<sup>[1507]</sup>。

日本海溝沈み込み帯深部に分布すると考えられる、変成作用を受けた岩石を試料として摩擦実験を行ったところ、温度 100~300°C の間で  $a-b$  値\*が負となることが示された。東北地方太平洋沖地震の震源域温度が約 160°C 程度と推測されていることから、この岩石の摩擦特性は震源核形成に関与し得ると考えられることがわかった<sup>[1503]</sup>。さらに、 $a-b$  値が正の温度条件においても、間隙水圧の上昇により  $a-b$  値が負に遷移し、スロー地震\*の発生条件が現れることが示唆された。一方で、大型振動台を利用した岩石摩擦実験の結果からは、載荷速度の増加につれて震源核サイズが減少し高速な破壊が励起されやすくなることや、断層面の粗さが初期及び主破壊過程に大きく影響することが示された<sup>[3001]</sup>。

地球潮汐の影響を取り入れた SSE 発生サイクルの数値シミュレーション研究により、繰り返し発生する短期的 SSE のサイクルに対する外的応力擾乱の影響は、潮汐を考慮した場合、考慮しない場合に比べ早期に繰り返しサイクルが復元することから、潮汐は SSE 発生サイクルを安定化させる役割を持つ可能性が示唆された<sup>[1509][3002]</sup>。

## (5) 火山現象のモデル化

大規模な災害を引き起こす可能性があるマグマ噴火や、噴火規模は小さいものの火口付近での災害を引き起こす可能性が高い水蒸気噴火や火山ガス噴出の予測を目指し、火口近傍や火山周辺における多項目観測や火山噴出物の解析を進め、先行現象とそれに続く噴火現象の把握および諸現象のモデル化を進めた。

### ア. マグマ噴火を主体とする火山

桜島昭和火口では2017年4月以降、噴火の頻発・溶岩噴泉活動・ブルカノ式噴火頻発と噴火様式の変遷が見られた。これは、新鮮なマグマが地表に到達した後に脱ガスとともに結晶化が進行し、火道上部の閉塞が進んだことによると考えられる<sup>[1908][5006]</sup>。2017年4月以降の異なる様式の噴火現象のいずれでも、南岳下のマグマ溜まりの膨張が先行した。2017年8月下旬の溶岩噴泉活動前のマグマ溜まりの膨張速度は40万m<sup>3</sup>/日と見積もられた。これは、桜島で通常見られるブルカノ式噴火に先行する膨張速度の10万m<sup>3</sup>/日以下とは異なることから、膨張速度が噴火様式を支配していることが改めて裏付けられた。2017年10月31日からは噴火活動が昭和火口から南岳山頂火口に移った。噴出物粒子の結晶度の変化から、昭和火口と南岳山頂火口の両火口へのマグマ上昇が連動していたことが明らかになった<sup>[5006]</sup>。広域GNSS観測により、桜島の活動の元となる始良カルデラ下のマグマ溜まりが膨張収縮を繰り返しつつ体積増加が継続していることが明らかになった<sup>[6002]</sup>が、2017年以降はその体積増加率が減少していることが、桜島島内のGNSS観測や水準測量により示された<sup>[1908]</sup>。

噴火発生前の先行現象を検出し解明するためには、長期間の継続観測が不可欠である。浅間山では火山ガス組成の繰り返し観測を継続した<sup>[5006]</sup>。伊豆大島では、地殻変動データに非線形の時間依存インバージョン\*を適用し、圧力源の深さが2012年以降殆ど変化していないことが明らかになった<sup>[6002]</sup>。また、光波測距と多成分ひずみ計による地殻変動観測、繰り返し重力測定も実施している<sup>[7003]</sup>。明神礁や西之島など海域火山の観測も継続されている<sup>[8003]</sup>。

火山噴出物の微細組織観察から噴火過程を推定する手法の開発をさらに進め、顕著な爆発を伴わずにマグマの破碎を発生させる要因が、ナノスケールの微小結晶の生成であることを明らかにした<sup>[1205]</sup>。

### イ. 熱水系の卓越する火山

地震波干渉法を十勝岳・吾妻山・草津白根山・阿蘇山・口永良部島のデータに適用したが、火山活動に対応する速度変化は検出されていない<sup>[1003]</sup>。霧島山新燃岳・御嶽山・阿蘇山・草津白根山・口永良部島での水

蒸気噴火前後の地震動・傾斜変動の比較から、水蒸気噴火のメカニズムに共通性があることが強く示唆された<sup>[1003]</sup>。

十勝岳、吾妻山、安達太良山周辺で比抵抗探査を実施し、詳細な3次元比抵抗構造が得られた<sup>[9102][1003]</sup>。その結果から、吾妻山と安達太良山の熱水・マグマ溜りは一体であると解釈できた。また、吾妻小富士の東側で観測される深部低周波地震\*は高比抵抗領域で発生していることがわかった。

水蒸気噴火堆積物の分析から、十勝岳では浅所の不安定な熱水系に由来する変質物のみが認められ、大規模で安定した熱水系に由来する変質火山灰が認められた御嶽山とは大きく異なっていることがわかった。これは、マグマ貫入頻度が低い御嶽山と、貫入頻度が高い十勝岳における熱水系の発達様式の違いと解釈される<sup>[1003]</sup>。

吾妻火山での地質調査及び試料分析の結果、約5000年前の吾妻小富士形成噴火の詳細な推移および様式の違いによる斑晶量の違いが明らかになった。これは、噴火様式の分岐条件を判断する材料となり得る<sup>[1003]</sup>。

御嶽山ではGNSS観測や水準測量によって活動の沈静化を示す山体収縮が観測された<sup>[1802]</sup>。口永良部島ではGNSS観測や水準測量により火山活動の低下が継続していることが示唆されたが、二酸化硫黄放出量は100-500トン/日の高いレベルを保っており<sup>[1403]</sup>、小規模な水蒸気噴火のポテンシャルは有していると判断された<sup>[1802]</sup>。阿蘇火山では、人工ソースによる比抵抗探査データを解析するための三次元有限要素法\*を用いたインバージョンのプログラムを開発し、2014年11月のマグマ噴火前後に地下水層の消失や粘土キャップ層の含水率低下があったと考えられる比抵抗構造の変化を検出した<sup>[1802]</sup>。これは、噴火様式の予測につながり得る成果である。

焼岳火山の観測網強化により、2017年8月9日から10日にかけて発生した黒谷火口の噴気発生に伴う低周波地震が捉えられた<sup>[1909]</sup>。また、弥陀ヶ原火山・地獄谷において、水準測量、レーザースキャナによる高精度地形測量および地中温度測定により、噴気活動の活発な領域での局地的な隆起が観測された<sup>[2941]</sup>。雌阿寒岳では比抵抗構造探査を実施し、熱消磁域と比抵抗構造との関連性を見いだした<sup>[7005]</sup>。十勝岳周辺での多項目地球物理観測と30年以上にわたる温泉水の地球化学的な観測により、吹上温泉地域での温泉水の変化が十勝岳の火山活動の変化に対応していることが明らかになった<sup>[9102]</sup>。

箱根山の大涌谷と上湯場の二か所での噴気の採取・分析結果から、地震活動とマグマからの脱ガスの対応が示唆された<sup>[2949]</sup>。噴気ガス中のマグマ性揮発性物質の寄与を調べるヘリウム同位体比測定を箱根火山において継続的に行った<sup>[2802]</sup>。海底火山の周辺の海水の変色過程を明らかにするため、酸性海水と岩石の反応実験を行った結果、火山活動が極めて活発な状態においては、火山ガスにより酸性化した海水によって岩石中からFeが溶かし出され、Fe（鉄）の割合が高い黄褐色～褐色の沈殿物が生成されることが明らかになった<sup>[1602]</sup>。

### 3-2. 地震・火山現象の予測のための研究

地震や火山噴火現象の科学的理解に基づき、地震活動や火山活動の予測研究を行った。地震発生予測では、プレート境界地震の長期評価の研究及び先行現象に関する研究を行った。火山活動予測では、火山噴火の規模、推移、様式の予測のために、噴火事象系統樹の高度化に関する研究を進めた。

#### (1) 地震発生長期評価手法の高度化

プレート境界で発生する大地震に対しては、観測データ等から得られたプレート境界の状態を考慮した数値シミュレーションを実施し、新たな地震発生長期評価につながる手法の開発を行った。内陸地震については、

地質データ等と近年の観測データとを統合して得られる地震発生の繰り返し特性の多様性を把握するための調査を実施した。

不均質弾性媒質における速度状態依存摩擦則\*に従う地震サイクルシミュレーションにおいては、鉛直の逆断層への拡張を実現し、傾斜断層での動的破壊、全無限媒質及び半無限垂直断層での動的破壊過程を含むシミュレーションプログラムの開発に成功した<sup>[1801]</sup>。

2014年に長野県北部の地震が発生した神城断層で、過去の地震の多様性を明らかにするためトレンチ調査を実施し、白馬駅東方地点のトレンチでは、2014年の前に二回以上の地震イベントがあったことを確認した<sup>[1702]</sup>。

## (2) モニタリングによる地震活動予測

物理モデルに基づく数値シミュレーションと地震活動や測地データ等の観測データを比較することにより、プレート境界滑りの時空間発展機構を包括的に理解する研究を実施した。さらに、プレート境界滑りを予測する手法の開発を進めた。また、地殻応力の変動を断層滑りや広域応力場を基に推定する手法を開発し、地震活動を評価した。統計的モデルを用いて地震活動の予測実験を行うとともに、その予測性能を評価した。

### ア. プレート境界滑りの時空間発展

GNSSデータを用いた、内陸ブロック運動を考慮したプレート間固着分布の推定により、紀伊半島東岸での固着が2014-2015年に比べて2016年以降では若干小さくなる結果を得た<sup>[6003]</sup>。

地殻変動データに、滑りによる応力変化が引き起こす地震活動データ（余震の空間分布）を加えることで、断層面上滑りの推定の精度を大きく上げる新しい手法を開発し、2005年に発生した宮城県沖の地震に適用して良好な結果を得た<sup>[1803]</sup>。

重力観測によって、長期的ゆっくり滑り（スロースリップ、SSE）の発生時期に重力が小さくなることを発見し、この現象が断層破砕帯内の流体移動で説明可能であるとした<sup>[1509]</sup>。

観測された波形相関を利用した深部超低周波地震\*の自動検出システムを構築し、豊後水道で長期的SSEが発生した時期に深部超低周波地震活動が活性化し、活性化領域の位置や大きさは、長期的SSEの活動範囲や規模の大きさに影響されることがわかった。また、2014年後半以降、豊後水道から愛媛県西部にかけての深部超低周波地震活動が低下しており、プレート間の固着強度が長期的に変化している可能性を示した<sup>[1509]</sup>。

日向灘から奄美大島にかけてのプレート境界において、相似地震\*の発生状況から準静的滑り速度を推定した結果、多くの場所で2015年頃から準静的滑り速度がほぼ同期して増加または減少するという変化をしていることがわかった（図13）。これは、プレート境界での固着の変化を示唆している可能性がある<sup>[2301]</sup>。

短期的SSEの検出と断層滑り分布の時空間変化の推定を同時に行う手法を開発し、シミュレーションデータを用いて検出精度を評価した結果、高精度で滑りの開始・終了を推定でき、滑り量の時空間変化の推定精度も改善された<sup>[5007]</sup>。

速度状態依存摩擦則に従う2次元バネブロックモデルにより、数値シミュレーションを行った結果、三つの滑り様式（高速破壊・余効滑りを伴う高速破壊・スロー地震）が出現することがわかった<sup>[1512]</sup>。

ゲル状物質を用いて模擬地震を発生させる室内実験で、滑り面の画像解析を実施した結果、初期条件はほぼ同じであるにも関わらず、前駆滑りの履歴によって直前のせん断応力場に違いが生まれ、その後の破壊挙動が大きく異なることがわかった<sup>[1512]</sup>。

南海トラフ沿いの巨大地震に関するシミュレーションを行い、巨大地震の発生履歴、昭和東南海・南海地震の滑り分布、滑り欠損レート分布、長期的ゆっくり滑りを再現するモデルを構築した。また、東日本地域についても、東北地方-関東地方の太平洋沖で発生するM7-9の主な地震を再現できるモデルを構築した<sup>[7006]</sup>。

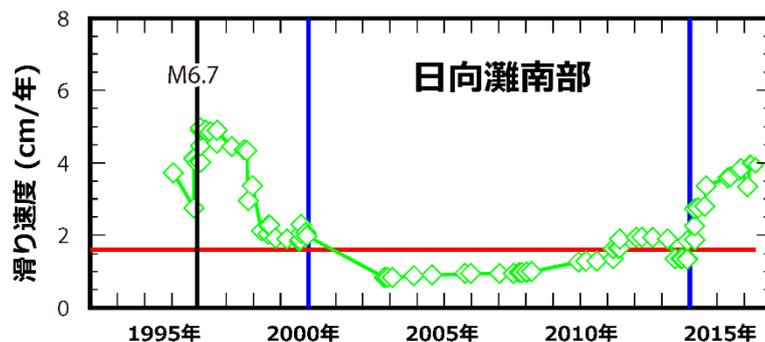
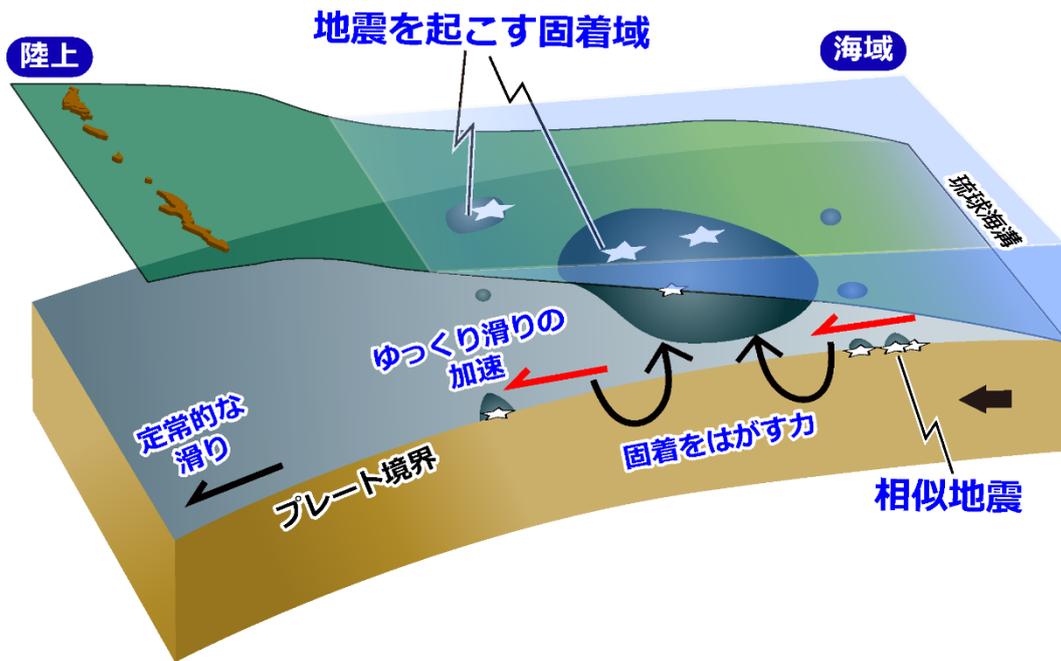


図 13. 相似地震活動の解析から推定された南西諸島海域でのプレート間滑り速度の時間変化  
 (上図) 滑りが加速することで相似地震の活動が活発になると考えられるため、相似地震の活動から滑り速度を推定することができる。滑りが加速すると、大きな地震の震源域での固着をはがそうとする作用が働く可能性がある。(下図) 日向灘南部では、2015 年頃以後、滑り速度が加速していることが捉えられた。青線は地震活動度が変化した時期を示す。

#### イ. 地殻ひずみ・応力の変動

活断層周辺の応力状態の空間分布を、P波の押し引きのデータを用いて推定する手法を開発し、2000年鳥取県西部地震の余震域への適用を試みた。その結果、断層南端において、断層をまたいだ応力状態の変化が確認され、その変化は断層運動から期待される応力場の回転と整合的であった<sup>[1206]</sup>。

南アフリカ大深度鉱山では、M5.5の震源断層域において掘削を実施し、絶対応力測定を行った結果、M5.5の地震の余震域の上端より深い領域では、系統的に差応力が10-20 MPa上昇することを明らかにした<sup>[2401]</sup>。

#### ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

有限断層を考慮に入れた統計的地震活動モデルを用いて、大地震の滑り分布と余震との関係を推定した結果、本震に直接起因する余震は地震時に大きく滑った断層領域近傍に発生するケースが多く、本震による滑りを補完する部分に発生することがわかった。この研究成果は、余震分布を活用することによる本震時滑り

領域推定の高度化や、本震後の短期の余震確率予測に役立つことが期待される<sup>[1206]</sup>。

2011年東北地方太平洋沖地震の地震波によって誘発された西南日本の地震活動を調査した結果、大振幅のラズ波\*到達との相関が良いことがわかった。また、地震波によって誘発された地震\*活動の継続時間は7日間程度であった<sup>[1206]</sup>。

中規模繰り返し地震について、3年間の発生確率予測と実際の発生状況のモニタリングを実施し、予測成績の分析を行った結果、指数分布モデルよりも事前分布を用いて得られる対数正規分布モデルの方が予測の成績が良いことを確認した<sup>[7006]</sup>。

### (3) 先行現象に基づく地震活動予測

地震カタログから定量的に群発地震を検出する手法を開発し、茨城沖の約30年の地震活動に適用し、プレート境界での群発地震活動を客観的かつ定量的に検出できた。特に活発なものは1982年と2008年のM7の地震の前震活動であった<sup>[1402]</sup>。

2016年に発生した鳥取県中部の地震(M6.6)に関して、前震活動が、本震発生の約2ヶ月前から震源域周辺で発生し、不連続な移動を起こしながら本震の破壊開始点へ近づいて行ったことがわかった。複数の断層において前震活動が発生したものと解釈される<sup>[1206]</sup>。

岩石試料を用いた実験において、断層ガウジ\*が残置された条件下で、試料全面がすべる大規模な動的滑りイベントに先行して前震が発生することが確認され、その中には互いに波形が酷似した相似的な前震の発生もあった。それらの相似的前震は「本震」の直前を中心に発生していることがわかった<sup>[2402]</sup>。

地震発生の長期静穏化について、千島から伊豆小笠原にいたる海溝沿いの地域を網羅的に走査し、10.8年以上の静穏化が続けば、半径100 kmの地域に4年間、大地震がおきやすいという予測(警報)を出す、1年更新の予測マップを試作した。警報が出された時空間領域は全対象時空の24 %を占めたが、予測対象となっていたMw7.5の地震10個のうち7個が警報域で発生した。確率利得\*は2.9で、偶然である確率は0.24 %となることから、長期静穏化は有意な地震の前兆であると考えられることができる<sup>[1206][2501]</sup>。

b値の低下について、全世界で、活動度の高い地域を網羅的に走査し、地域のb値が過去7年にわたって-0.025/年よりも顕著に下がっていれば、5年間の警報を出すこととした場合、予測対象となっていたM8以上の地震29個のうち55.5 %が警報ONの時空で発生し、一方、警報分率\*は26.1 %であった。確率利得は2.1、偶然である確率は0.75 %であり、これも有意な地震の前兆であるという肯定的な結果となった<sup>[2501]</sup>。

巨大地震直前のGNSSデータを用いて計測した電離圏全電子数(TEC)変化について、Mw7級の地震まで含めた解析を行い、Mwの大きな地震ほど異常の振幅が大きく、先行時間が長いという傾向を明確に示した。また、観測された程度の電離圏異常を起こすためには、地震破壊域の範囲の地表に0.2 V/m程度の電界異常が発生すればよいことを理論的に示した<sup>[2501]</sup>。

気象庁柿岡観測所の地磁気データから、ノイズの少ない深夜帯だけに着目して異常を網羅的に検出し、周辺100 km以内でおきたM4以上の地震52個と比較した結果、異常が見られてから8-9日後の間に地震が発生すると仮定したときに有意性が高く、警報分率21 %で、45 %の予知率\*を達成でき、偶然である確率はほぼゼロとなった<sup>[2501]</sup>。

### (4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

阿蘇山、桜島、口永良部島、霧島山、十勝岳、吾妻山、草津白根山などについて、観測量やそれに基づくパラメータの時間変化が系統的に整理され、噴火時期が近づくにつれて、多くの項目の観測量に火山活動の活発化を示すシグナルが現れることが見いだされた。特に阿蘇山の2014年噴火では、水蒸気噴火の発生前とは異なる現象が捕捉され、噴火様式を直前現象から予測できる可能性が示された。また、一つの噴火におい

てもマグマ噴出をする火口と水蒸気噴出をする火口で直前の熱活動に違いがあることが見出された<sup>[1208]</sup> (図14)。

十勝岳について、過去100年間の火口域、噴火タイプおよび前兆的な地震活動度を考慮し、噴火に至らないケースを含めた噴火事象系統樹を再構築し、それぞれの分岐に経験的確率を与えることに成功した<sup>[1004]</sup>。桜島については、2017年に発生した溶岩噴泉イベントを含めた過去100年間の噴火事例について、マグマの貫入速度の観点から事象分岐の経験的論理が提案された<sup>[1908]</sup>。

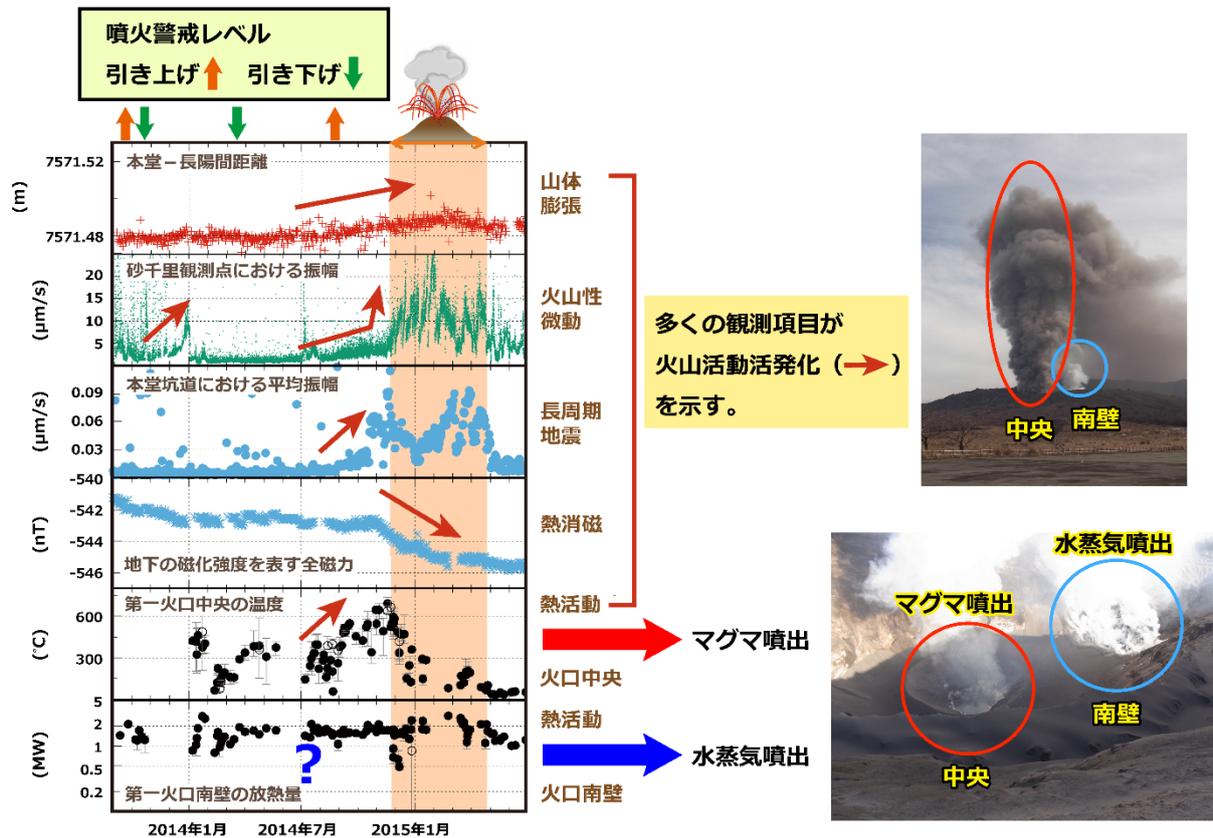


図 14. 阿蘇山における噴火に伴う各種観測の時間変化、および火口中央部と火口南壁の活動様式の違い

阿蘇山においては地球物理学的多項目観測が行なわれている。2013年9月から2017年6月までの各種観測の変化と、2015年から2017年に掛けて発生した噴火との対応を調べたところ、噴火時期が近づくにつれて、地下の体積変化量を示す基線長の伸び、熱的活動の活発化、火山性地震の微動振幅増加、熱消磁を反映する地磁気変化等、多くの観測項目に火山活動の活発化を示すシグナルが現われることが明らかになった(図左)。

火口中央部の温度変化は活動変化に対応しているのに対し、火口南壁の総放熱量変化と活動変化との対応は明瞭でない。これは、火口中央部からは火山灰が放出されるが火口南壁は噴火中でも水蒸気放出が卓越する(図右)という活動様式の違いに関係があると考えられる。即ち、火口中央部はマグマの通り道であるために活動変化が直ちに温度変化として現れるのに対し、火口南壁はマグマの通り道になっておらず、放熱量変化が噴火活動と直接は対応しないため、と考えることができる。

### 3-3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

災害科学の確立に資するため、災害誘因（ハザード）がもたらす「災害」現象の解明に焦点をあてた研究項目である。基礎的な研究から災害軽減への応用が期待できる研究まで、それぞれ進捗があり、研究成果の結実が見られた。

#### (1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

歴史地震研究では、1855年の安政江戸地震を描いた「江戸大地震之図（東大史料編纂所蔵）」の人物から、図中にあるのは薩摩藩芝屋敷であることを特定し、基本史料としての価値を高めた。また、2016年熊本地震の被災地での社会調査から、住民の事前リスク認知について「地震発生前から活断層の存在を知っていた」約3割のうち、半数が「地震はたぶん起きないと認識」していたことが明らかとなり、災害に関わるリテラシー向上の必要性を認識させる結果を導いた。

#### (2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

2016年熊本地震の臨時余震強震観測によって、従来の地下構造モデルでは地震動増幅率が過小に評価される箇所が多く、より深く・速度が遅い構造に修正する必要性を明らかにした。火山災害の広域避難については噴火中／直後の域内避難の検討を行い、避難の制約となる降灰が交通網に与える影響を調べた<sup>[1914]</sup>。

ハザードを災害に顕在化させる「社会の脆弱性」について、「土地利用」「社会的凝集性」「災害対策」「災害文化」の4要素と仮説化し、検証を実施した。東日本大震災の被災地における過去100年間の土地利用調査を空間解析することで、人口増加と相まって「都市」が移動し、「津波襲来により醸成された災害文化」をふまえながらも「街や『まちの形成』や産業の発展が土地利用を規定する」様子を可視化することに成功した（図15）<sup>[1704]</sup>。

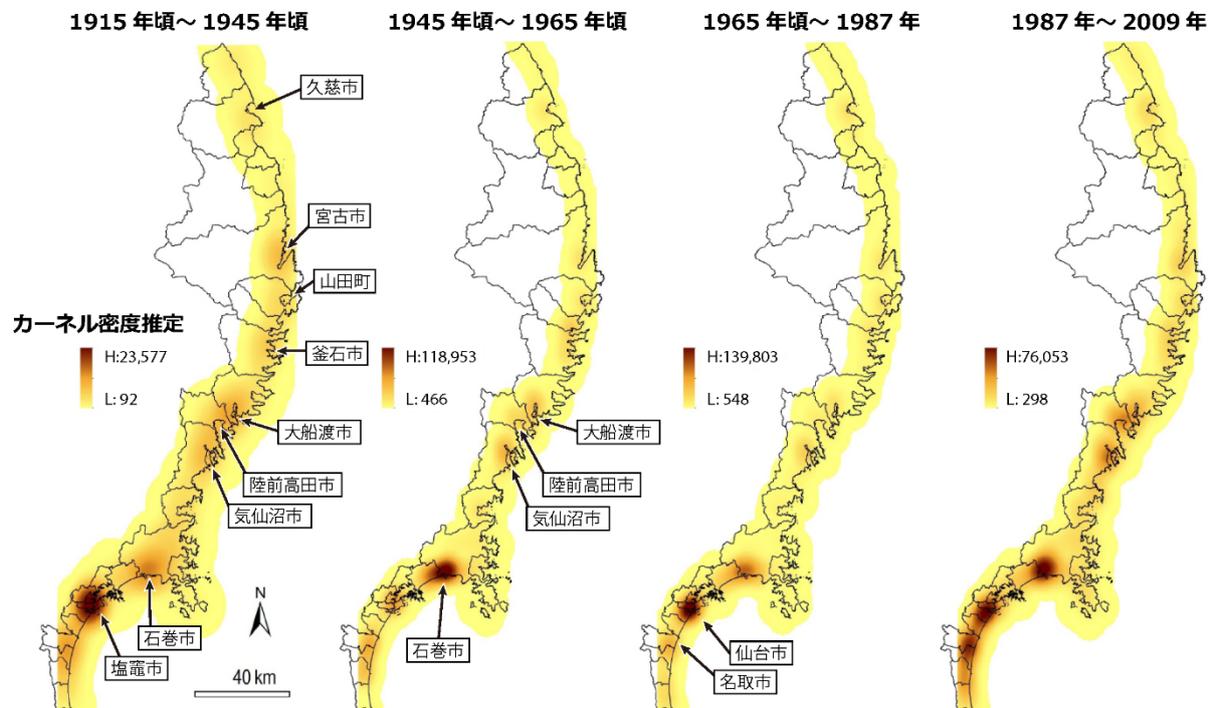


図15. 都市的土地利用に変化した地点のカーネル密度分布

カーネル密度推定は、点分布が与えられたとき、そこから密度を推定する方法のひとつ。ただし、密度の均一分布を仮定せず、計算地点からの距離減衰効果を考慮に入れて推定する。数値の高いところは、都市的土地利用に変化した地点が空間的に集中していることを表す。

### (3) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

地震動の事前評価に関しては、震源・地下構造モデルの高度化と、強震動特性の解析を進めた。2016年熊本地震の本震など、地表地震断層が生じた大地震の震源近くの地震動を調べたところ、約3秒～10秒と様々な周期に卓越する長周期パルス波が発生していたことを確認した<sup>[1903]</sup>。また、関東平野において長周期地震動の増幅が方位に依存することについて、地震動シミュレーションにより調べたところ、その要因は、震源から平野に向かい伝わる表面波\*の放射パターンと、平野の3次元堆積層構造における表面波の伝播・増幅特性との相乗効果であることを明らかにした<sup>[1516]</sup>。更に、熊本平野や八代平野における長周期地震動特性を把握するため、波形データを分析したところ、周期1秒以上の長周期帯域で振幅が顕著に増幅することがわかった<sup>[1911]</sup>。東京湾西岸部では、2011年東北地方太平洋沖地震時、周期2～3秒の長周期地震動が局所的に観測されたが、この地域の浅部および深部地盤の影響を微動観測により調べたところ、この周期帯では浅部深部の影響を分離できないことがわかり、統合的な地盤モデルの必要性が明らかになった<sup>[2988]</sup>。2004年新潟県中越地震について、震源から近く関東方向に位置する強震記録のP波の到達直後からS波到達までの間に、周期5～10秒の大振幅かつ長時間継続するPL波\*が確認された。これは堆積平野で強く増幅されることで後続のレイリー波\*と同程度の大きい振幅をもたらすことがわかった。また個々の地震について、気象庁マグニチュード(M)がモーメントマグニチュード\*(Mw)より大きく、西日本ではその差がより大きいことが知られているが、この原因を探るために周期5～6秒程度の表面波の距離減衰を調べたところ、西日本では東日本と比べると震源から遠く離れた場所でも表面波があまり減衰しないことがわかった。このために気象庁マグニチュードが大きく算出されることがあると考えられる<sup>[1516]</sup>。

山体崩壊\*による津波について、実地形に基づいて土砂の移動を計算し、その結果から津波を計算する方法を1741年の渡島大島及び1792年の雲仙眉山の事例に適用し、概ね歴史津波観測高と整合的な計算結果を得た<sup>[7009]</sup>。

地震動による構造物被害の事前評価に関して、海溝型地震による木造建物の被害予測モデルを、内陸地殻内地震に適合するようチューニングし、2016年熊本地震の益城町の地盤構造を考慮した再現強震動に適用したところ、被害の空間分布は再現できなかったが全域の平均的被害率は概ね再現できた<sup>[2979]</sup>。

地震による地滑りの事前評価に関しては、過去の海溝型地震、および、2016年熊本地震によって発生した地滑りについて、地形解析、現地調査、および室内分析により地質・地形的特徴を抽出した。南海トラフおよび相模トラフの海溝型地震による大規模崩壊は、主に太平洋側の付加体\*で発生していることがわかった。熊本地震による斜面崩壊の滑り面は、約3万年前の草千里ヶ浜軽石や約7300年前の鬼界アカホヤ火山灰近傍の暗色土に多く、これらの層には、粘土鉱物の一種が生成していることがわかった。また、地震による地滑りの発生メカニズムの議論のため、地滑りブロック内での多点地震観測や高密度微動観測を実施し、斜面の地震の多様性を明らかにした<sup>[1912]</sup>。

火山噴火による火山灰や溶岩噴出の事前評価に関しては、2015年5月29日の口永良部噴火において、衛星観測による火山灰分布計測値に合うように全球移流拡散モデル\*の初期値を調整してシミュレーションを行った結果、よりよい精度で大気中の火山灰濃度予測ができる可能性が示された<sup>[7010]</sup>。

### (4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

地震動の即時予測について、“揺れから揺れを予測する”というPLUM法による地震動即時予測の高度化のため、地盤増幅特性による地震動継続時間の予測や、震度観測点周辺の非観測点での予測、非線形地盤応答導入の検討を進めた<sup>[7008][2001]</sup>。

地震による建物応答を即時的に予測するため、近くの防災拠点建物で実際に観測された記録を用いて建物の応答特性を補正する手法を開発し、距離減衰式による応答特性の推定誤差を改善することができた<sup>[2981]</sup>。

津波の即時予測に関し、日本海溝海底地震津波観測網（S-net）の圧力観測波形を利用して津波発生域を即時推定する手法を開発した。北海道太平洋沖で地震が発生した際に、予め計算した圧力波形と観測波形と比較して津波発生域を推定し、地震発生から約 500 秒で津波高等が推定可能となった。更に、津波が非常に大きくなる津波地震について、超長周期地震波形解析とプレート境界地震の規模に関する経験則等から断層モデルを求める手法を開発した。この手法をニカラグア近傍で発生した地震に適用した結果、津波地震を含む海溝型地震による津波を高精度に予測できることを示すことができた<sup>[1005]</sup>。また、スロー地震に似た津波地震の規模を即時かつ適正に推定する手法として、変位を積分した波形の振幅を用いて、地震の規模が推定可能であることを確認した<sup>[7009]</sup>。

震源断層の即時推定に関して、GNSS 搬送波位相データから断層滑りを直接推定する手法（Phase To Slip, 以下 PTS と表記）を 2016 年熊本地震に適用し、日奈久断層および布田川断層に沿うように 2 枚の断層上での滑りの時空間発展の推定を行った（図 16）。他の手法で求められた滑り分布モデルと大局的によく一致する結果が得られ、推定までに時間を要する GNSS 衛星や GNSS 観測点の位置推定をしない、搬送波位相のみを用いたモニタリングの有効性が示された<sup>[1209]</sup>。

火山噴火に伴う降灰等の即時予測に関して、霧島、桜島、薩摩硫黄島、口永良部島、諏訪之瀬島を対象に X バンド MP レーダー\*の稼働を開始した。2017 年 10 月 12 日の新燃岳噴火では、レーダーによる強い反射強度の領域は新燃岳の火口上 2200 m に達し、気象庁による目視の噴煙高度である火口上 2000 m という値と概ね一致した<sup>[1913][7010]</sup>。

#### (5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

無償公開されているソフトウェアの一部を活用して津波浸水に関する時間発展の可視化を実施した。また、御嶽山噴火発生時の登山者とその遺族への調査から「登山者の意識を高める場所の必要性」の要望を明らかにし、他火山における火山観測情報開示の取り組みとの比較を実施した。

### 3-4. 研究を推進するための体制の整備

地震・火山現象に関する研究を推進する体制を構築し、研究成果を災害軽減に活用するため、観測網やデータベースなどの研究基盤の整備・拡充と成果公開、国際的な共同研究の推進、幅広い人材育成、災害軽減に関する教育や理解増進等の取組を組織的に行った。

#### 研究基盤の開発・整備

##### ・地震・火山現象のデータベースとデータ流通

2016 年熊本地震の一連の地震活動は非常に活発であったため、概ね M1.7 以上の地震と思われるものについて優先的に震源・マグニチュードを求めていたが、波形相関解析と簡易的な確認方法を用いることによって、これより小さな規模の地震を多数検出し、一元化震源に追加登録した。

西南日本の南海トラフ沿いで広範に発生する深部低周波地震の検出に関しては、波形相関を利用した手法による検出能力及び震源決定能力を検討した。平成 29 年度末から同手法を用いた深部低周波地震の自動震源決定の運用を開始した結果、深部低周波地震の検出が大幅に増加し、これらは一元化震源に登録された<sup>[7019]</sup>。

コミュニティ・モデル\*の一つであるプレート境界形状モデルに関して、関東地域における人工地震探査等の結果を基に複雑なフィリピン海プレート形状の再定義を試みた<sup>[1506]</sup>。また、海域と陸域を統合した 3 次元地震波速度構造モデルや、再決定された高分解能な地震カタログ、海底地殻変動の時系列データを Web サイトで公開した<sup>[3004][8001]</sup>。

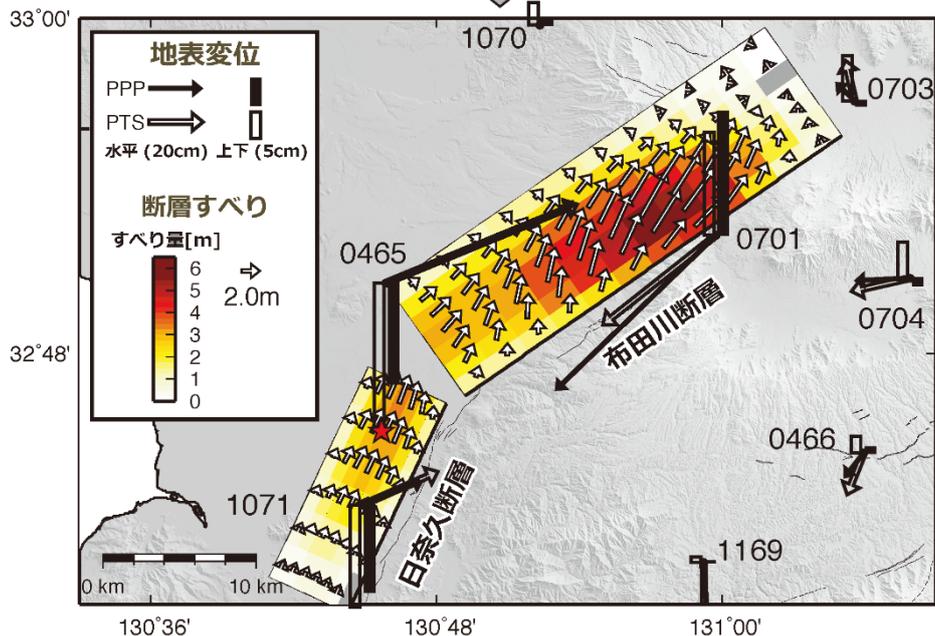
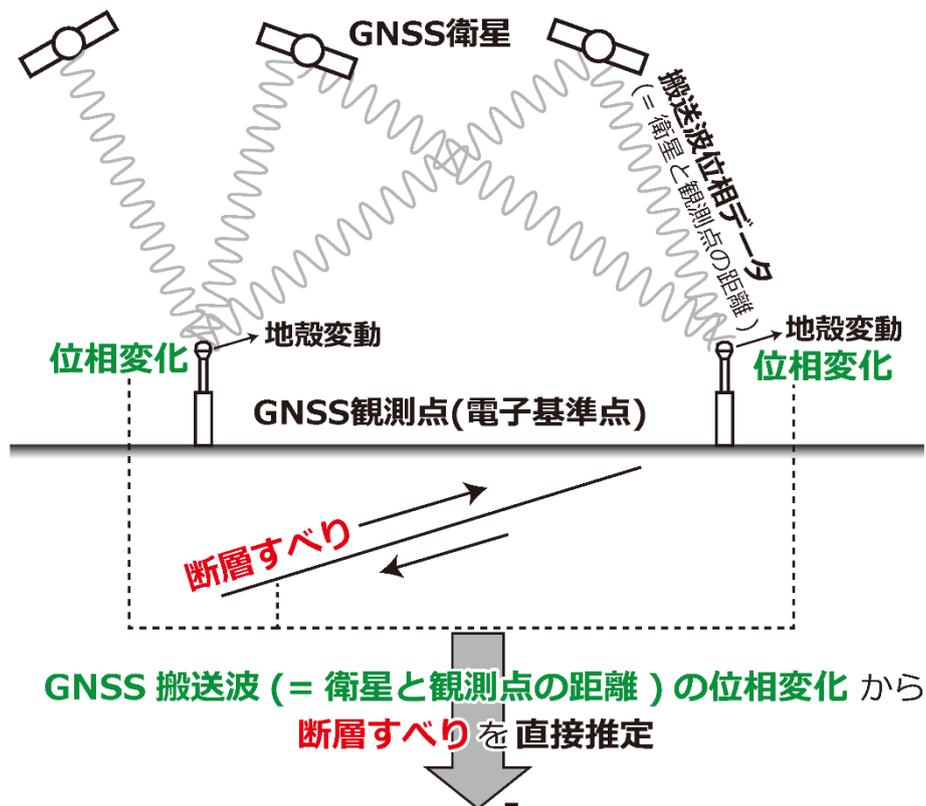


図 16. GNSS 搬送波位相データから断層滑りを直接推定する手法 (PTS) により推定された 2016 年熊本地震本震の滑り分布

(上段) 断層滑りと GNSS 搬送波位相データの模式図。通常の解析と異なり GNSS 観測点の位置を推定しないことで解析が軽量になること、及び、GNSS 衛星の概略位置のみで解析ができることから、解析時の外部情報への依存が少ないことが同手法の利点となる。

(下段) PTS によって推定された断層滑り。黒矢印と棒は、本解析とは独立に、精密単独測位法 (PPP) によって算出された地震に伴う水平および上下変位を示す。同様に PTS によって推定された断層滑りから期待される地表面変位を白抜き矢印と棒で示す。両者はおおむねよく一致している。

データ蓄積機能を包含するデータ流通システムの開発を行い、安定的運用が可能であることを確認するとともに、長期連続データ解析のための大規模解析システムにおいて、過去の地震波形データの保存を進めた<sup>[1518][1519]</sup>。

陸域の基盤的地震・火山観測網の整備・維持を行うとともに、海域の地震・津波観測監視システム（DONET・DONET2）と日本海溝海底地震津波観測網（S-net）も含めた陸海統合地震津波火山観測網（MOWLAS）を構築するとともに、今後の利活用を進展させる準備を整えた<sup>[3004]</sup>。特に、S-netの日本海溝軸外側の25観測点の試験運用を開始し、全150観測点からの気象庁へのデータ配信も始めるとともに、DONET2においては強震計及び広帯域地震計の観測データの公開を始めた。

#### ・観測・解析技術の開発

東北地方太平洋沖地震の最大滑り域付近の日本海溝において、海溝軸を跨ぐ形での海底間音響測距観測の3回目を実施し、観測データの解析を進めた。その結果、平均3 mm/yrの基線長変化の検出精度を達成し、測定精度の範囲内で有意な海溝軸の基線長変化は見られないことを示した<sup>[1210]</sup>。

電子基準点リアルタイム解析システムで用いられている相対測位法に加え、精密単独測位法を試験的に導入した。この手法では、固定点を仮定する必要がなく、且つ、固定点付近で発生する地震についても正確な地殻変動を把握することが可能となるため、今後、震源断層モデル推定の安定化が見込まれる<sup>[6004]</sup>。また、干渉SAR時系列解析時に使用するソフトウェアに改良を加えるとともに、電離層起因の誤差を低減する手法を開発した<sup>[6013]</sup>。

火山測地学的技術の高度化を進めた。地上設置型レーダー干渉計で得られたデータから大気遅延ノイズを軽減するための手法開発をおこなった。小型絶対重力計については、系統誤差の除去・補正手法を確立し、蔵王火山で動作確認を行った<sup>[1506]</sup>。小型単発機に搭載可能な熱赤外カメラによる計測データの処理手法を開発し、10 m以内の精度を持つ箱根山大涌谷付近の数値表層モデルを作成した<sup>[3003][3005]</sup>。火山監視情報システムを更新して、傾斜データに対する降水補正機能の導入、GNSSデータ解析の高品位化、および、だいち2号（ALOS-2）のSAR解析を行うことにより、火山活動監視・評価能力を高度化した<sup>[7004]</sup>。

宇宙線（ミュオン）を利用した高解像度の火山浅部透視技術により、桜島B火口直下の低密度領域が昭和火口直下の低密度領域より大きいことを確認できた<sup>[1523]</sup>。

噴火等、火山の表面活動を把握するための手法開発も進められた。二酸化硫黄簡易測定装置の解析方法を改良し、口永良部島火山の二酸化硫黄放出率の解析結果が福岡管区气象台へ自動的送信されるようにした。また、二酸化硫黄可視化モニタリング装置を一新し、桜島で可視化測定を実施した<sup>[1403]</sup>。2018年度に公開が予定されている気候変動観測衛星「しきさい」の画像データを、火山活動状況の把握や避難計画策定等に活用するためのシステムを開発し、試験公開された噴火中のマヨン火山（フィリピン）を含む地域の画像データを用いて、火砕流の分布状況の把握が可能であることを示した<sup>[1520]</sup>。火山噴出物の分析において、新たに開発した帯磁率計を用いることにより、これまで数日かかっていた粒子構成比分析が試料採取とほぼ同時に行える可能性があることが明らかになった<sup>[1205]</sup>。

#### ・社会との共通理解の醸成と災害教育

地震動や津波の不確実な長期予測情報を、災害軽減に有効に役立つものとするためのコミュニケーション手法を確立することは、長期予測情報の高度化に貢献するため、2016～2017年度に大きな地震があったイタリアやニュージーランド、台湾などにおいて被害やリスクコミュニケーションに関する現地調査を行った<sup>[1517]</sup>。

昨年度から引き続き、災害の人文社会学的研究に関する地理空間情報、GIS、衛星測位の統合的活用方法の

開発を行った。さらに、町内会レベルもしくは個人レベルの避難に関する分析、自治体・住民組織を対象とした災害関係の情報流通に関する分析を行い、防災・減災の対策を、各種避難警報やハザードマップなどを要素とした情報の流通に関して検討した<sup>[1006]</sup>。また、準リアルタイム火山情報表示システム開発に協力をお願いした北海道の他、道内の3市9町の担当者との意見交換会を札幌で開催した<sup>[1009]</sup>。

#### ・国際共同研究・国際協力

ニュージーランドのヒ克蘭ギ沈み込み帯において、日本、ニュージーランド、米国で共同して設置された海底地震計の観測記録の解析を進め、微動の震源決定を行った結果、微動は沈み込んだ海山の基底部周辺に集中することが示された<sup>[1524]</sup>。

### 3-5. 優先して観測研究を推進する対象の地震・火山噴火

以下に挙げるような重要度の高い地震・火山噴火に対しては、多くの研究項目に跨がる総合的な実施計画の遂行が災害科学の発展のために効果的であると考えられるため、総合的な研究として推進している。ここでは、概要のみ記述し、それぞれの地震・火山噴火に関連する個別の研究成果は2-3及び3-1から3-4に記述した。

#### ・東北地方太平洋沖地震

2011年東北地方太平洋沖地震は、日本の観測史上最大の地震であり、我が国に甚大な災害をもたらした。しかし、その地震発生予知はおろか、地震発生ポテンシャルの正しい推定も困難であった。将来の巨大地震による災害の軽減に役立てるために、この地震に関する研究が行われた。例えば、今なお続いている余効変動の推移の把握や、広域の応力場の変化や地殻流体の移動による地震活動への影響、同様な巨大地震の発生による強震動の事前・即時予測や津波即時予測手法の高度化、土地利用調査に基づく災害素因に関する研究が行われた。

#### ・南海トラフの巨大地震

今年度の成果は「2-3 南海トラフ巨大地震」に記載した。

#### ・首都直下地震

地震像が多様で、発生した場合の社会的影響が甚大な首都直下地震について、その災害誘因予測に必要な基盤となる地球物理的観測データ及び史料・地質データの取得と、それらの解析・分析が行われた。房総半島南部の海岸段丘における地形・掘削試料解析から、フィリピン海プレートと陸のプレートの境界付近で発生する大地震の再来間隔が非常にばらつくことが明らかになった。また、関東平野における長周期地震動の生成・増幅特性の方位依存性に関しては、表面波の入射方向と堆積平野の3次元地下構造がその主要因であることが解明された。

#### ・桜島火山噴火

桜島火山では、2006年以降続いていた昭和火口の噴火活動が低下し、2017年10月31日以降は南岳に活動の中心が戻った。2017年8月には昭和火口でこれまでとは異なる噴火様式である溶岩噴泉活動が発生し、それに先行するマグマの貫入速度が見積もられたことは、新たな知見である。

火山灰の即時予測研究に関しては、複数のリモートセンシング手法により、噴煙の高度や拡散状態などを把握できる可能性が示された。

大正噴火級の大規模噴火が発生した場合の広域事前避難に関し、類似の例であるインドネシアのメラピ火山噴火やケルト火山噴火の事例を検討した。いずれの火山においても、過去の噴火を教訓として、避難場所の確保、避難方法の確認、避難訓練等が実施されていたことは注目に値する。

#### 4. まとめ

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の4年度目にあたる平成29年度には、草津白根山（本白根山）において人的被害を伴う噴火災害が発生し、霧島山でも新燃岳の噴火や硫黄山の活発化が見られた。霧島山については、2011年の新燃岳噴火以降進められた観測研究の成果が、今回の噴火活動の即時的な把握に活かされたと言える。一方、草津白根山の噴火では、噴火の予測の難しさが改めて提示された。引き続き、活動度の高い火山を対象に重点的な観測研究を進めるとともに、効率の良い火山監視手法の開発や、火山活動史の解明のための地質学的研究をより一層推進する必要がある。

南海トラフ沿いでは、地殻活動のモニタリングにとって海底観測の重要性が明らかとなった。そのため引き続き陸域観測を含めた観測網を維持・充実し、その記録を利用した研究を遂行することが、巨大地震の発生に対し備える上で欠かせない。また災害軽減に資するためには、何が起きうるかを明らかにすることに加えて、その不確かさに関する研究が重要である。不確かさを大きくする要素を集中的に研究することで、不確かさ自体を軽減し被害予測の精度向上が見込める。更に地震に伴い被害を受けるユーザーが想定外の事象に対応していくためには、災害のおおよその規模だけでなく、その不確かさであるばらつきも新たに認識することが大切である。

本計画は前計画まで中心的役割を果たしていた理学研究分野に留まらず、工学や人文・社会科学分野の研究者の参加による学際的研究の推進を特徴としている。この点に関し、平成29年7月に発表された「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画に関する外部評価報告書」の中では、史料等に基づく前近代の地震・火山噴火研究や、総合的な災害科学の確立を目指した拠点間連携研究が実施される等、災害科学の一部としての一歩を踏み出していると評価されている。一方で、災害の軽減に貢献する事を一層意識した研究を進めることや、研究成果を社会に対して適切に発信すること等も指摘されており、本計画の最終年度である平成30年度における課題であり、引き続き、本計画に参加する研究者間の連携を強化し、地震や火山噴火による災害の軽減に貢献できる観測・調査・研究を推進していかなければならない。



## 用語解説

### 一元化震源

気象庁・防災科学技術研究所・大学等の各機関で管理・運営している地震観測データをリアルタイムで収集し、それらを利用して気象庁が一元的に処理を行うことによって決定された震源。

### インバージョン

ある事象に関して物理モデルが設定されているとき、その事象で観測された測定値を合理的に説明するモデル中の変数を推定するための数学的解析手法。

### 応力降下

地震発生時に、断層滑りによって蓄積されたひずみエネルギーが解放され、断層面にかかる応力が低くなる現象。

### 応力場

岩盤等の物体内部に考えた仮想的な面を通して及ぼされる単位面積当たりの力を応力という。震源域の応力が岩盤の破壊強度より高くなったときに地震が発生すると考えられている。物体内部の応力の向きや大きさの空間的な分布の状態を応力場という。

### 海底間音響測距

海底に設置された複数の音響トランスポンダー（観測点）で、それぞれの観測点間の距離を音波を用いて測定する方法。一定期間、繰り返し測定することによって観測点間の距離の変化がわかり、海底の水平方向の地殻変動を把握することができる。

### 確率利得

無作為に発生していると仮定した場合に予測が的中する確率に対する、実際の予測の的中率。

### 火山灰

火山噴火により噴出した個体のうち、直径2 mm未満の細かい破片。

### 間隙水圧

土や岩石中の粒子間のすきま（間隙）に入り込んだ水などの流体にかかる圧力。

### 間隙流体圧

→間隙水圧を参照。

### 干渉 SAR

同じ場所を撮影した時期の異なる2枚の SAR 画像の差をとる（干渉させる）ことにより地表面の変動を詳細にとらえる手法。

## **強震動**

被害を及ぼすような強い地震動（揺れ）のこと。

## **空振**

空中を音波として伝わる振動のこと。耳に聞こえない低い周波数の音波をさす場合が多い。噴火に伴って火山ガスや噴煙が火口から大気中に放出される際に発生することがよく知られているが、地震、津波、雪崩等の発生時に放出されることもある。

## **クラック**

岩石中の裂け目、ひび割れのこと。

## **警報分率**

対象期間のうち、警報を発している期間の割合。

## **コミュニティ・モデル**

地震や火山噴火を含む多様な地殻活動を定量的に理解することを目的として、これまで蓄積された日本列島の沈み込み構造に関する知見を統一的に集約し、統合的に構築した共通モデル。

## **災害素因**

災害誘因を受けた際に生じる被害・損失の規模、様態を左右する、地形・地盤などの自然環境の脆弱性（自然素因）や、構造物・人間社会の脆弱性（社会素因）のこと。

## **災害誘因**

災害をもたらす原因（加害力、外力）のこと。地震や火山噴火による災害は災害誘因である地震動、津波、火山灰や溶岩の噴出などの外力（ハザード）が災害素因に作用することで引き起こされる。

## **三次元有限要素法**

解析的に解くことが難しい微分方程式の近似解を数値的に得る方法として、構造力学分野で発達し、他の分野でも広く使われている有限要素法を3次元空間に適用したもの。

## **山体崩壊**

山体が地震や火山噴火などによって大きな崩壊を起こす現象。

## **事象系統樹**

火山ごとに、可能性のある複数の噴火現象の時間的推移を網羅的に示したもの。示された複数の噴火推移のうち、どの道筋をたどるかの分かれ目を事象分岐という。

## **地震・火山噴火予知研究協議会**

科学技術・学術審議会（測地学分科会）による建議に基づく地震及び火山噴火の観測研究に関して、関係機関の連携を緊密にして観測研究計画を協議し、研究の有効な推進を図ることを目的とし

て東京大学地震研究所に設置されている組織。

### 地震波干渉法

2つの観測点で記録された地動の波形を処理することで、それらの間を伝わる波を抽出する手法。地震探査と違い、人工震源を使わずに地下構造を探査することができる。

### 地震発生長期評価

主要な活断層で繰り返し発生する地震や海溝型地震を対象に、地震の規模や一定期間内に地震が発生する確率を予測したもの。

### 地震波によって誘発された地震

大地震の震源域から離れている場所において、その地震動で誘発されて発生する地震。

### 消磁

磁鉄鉱などの磁性鉱物を含む岩石の磁化（磁性の強さ）が低下、または失われること。特に、高温化による消磁のことを熱消磁という。マグマが地表へ近づくなどの原因により火山体内の温度が上昇することで、熱消磁が起こることがある。消磁領域の周辺では磁場（磁界）が変化する。

### 滑り欠損

プレート境界の変位を考えた時、プレートの収束運動から期待される量から、実際に生じているずれの大きさを減じた量。欠損が大きいとはプレート間が固着していることを意味する。

### スロー地震

通常の地震のように断層が急激にすべること無く、ゆっくりと滑ることによって蓄積されたひずみエネルギーを解消させる現象。

### 全球移流拡散モデル

全地球表層を対象として、物質や温度などの物理量が流れによって移動する現象と拡散する現象を同時に考慮したモデル。噴火によって噴出された火山灰や噴石の挙動のシミュレーションでも用いられる。

### 先行現象

地震や火山噴火の発生前に震源域や火山の周辺で発生するさまざまな異常現象。土地の隆起・沈降、地震活動の変化、電磁気異常、地下水の変化などがある。前兆現象と呼ばれることもある。

### 相似地震

地震波形が良く似ている地震群のこと。ほぼ同じ断層面で同じような滑りが起きた場合に発生すると考えられる。

### 速度状態依存摩擦則

摩擦係数が、滑り速度と接触面の状態によって規定されるとする法則。

## 帯磁

磁性鉱物を含む岩石が磁化を獲得すること。

## 断層ガウジ

断層運動に伴う破碎によって生じた細粒・未固結の物質からなる断層中心部の層。

## 超低周波地震

短周期成分がほとんど含まれず長周期成分が卓越する地震波を放射する地震で、20～200 秒程度の帯域に卓越した周期を持つもの。ゆっくり滑りや火山活動にもなって生じる。

## 低周波地震

短周期成分がほとんど含まれず長周期成分が卓越する地震波を放射する地震で、2～8 Hz 程度の帯域に卓越した周期を持つもの。ゆっくり滑りや火山活動にもなって生じる。

## 低周波微動

数分から数日の間、断続的に低周波振動を発生する現象。低周波地震の重ね合わせと考えられている。

## トレンチ調査

地質調査法の一つで、地表から溝状に掘り込み、地表では観測できない地層を新たに露出させ、断面を観察する手法。地震分野では過去の断層運動の年代や周囲の環境の調査、火山分野では過去の噴火史を調査するために有力な方法である。

## 比抵抗

比抵抗とは、単位断面積・単位長さ当たりの電気抵抗値のことであり、電気伝導度の逆数である。マグマの周辺では高温や流体の存在によって低い比抵抗値を示すことが多いため、地中の比抵抗の分布（比抵抗構造）を調べることで火山噴火の発生ポテンシャルや地下のマグマの状態を把握する研究が進められている。また、地震の破壊領域と地中の比抵抗構造との関連が注目されている。

## 表面波

地表面に沿って伝わる地震動。地表が波の進行方向に対して直交方向に水平に振動して伝播するラブ波と、地表が上下方向に楕円を描くように伝播するレイリー波とがある。

## 付加体

海洋プレートが海溝で陸側プレート下に沈み込む際に、海洋プレートの表面にある堆積物が剥ぎ取られ、陸側プレートに付加したもの。

## ボーリング調査

地質調査法の一つで、地盤を掘削して円筒状の地質サンプルを取得し、そのサンプルを用いて地盤の詳細な性質を把握する手法。

### メカニズム解

地震時の断層運動を断層面の向き（走向，傾斜角）と相対滑りの向き（滑り角）によって表現したもののことをいう。地震波の放射パターンなどから求められ，震源域の応力場を知る手がかりとなる観測データである。

### モーメントマグニチュード

地震のエネルギーを表す指標で，地震の規模を表す最も基本的な量である，地震断層の面積と滑り量及び剛性率（岩盤の変形のしにくさを表す物性値）の積で計算される地震モーメントから求められる。中規模から大規模な地震に対して用いられる。

### ゆっくり滑り

断層面やプレート境界面で発生する非地震性滑りの一種で，非定常なゆっくりとした滑り。長いものでは継続時間が数年に及ぶものもある。

スロースリップ，スロースリップイベント（SSE）ともいう。

### 余効滑り

地震の後に震源域周辺の断層面で起こる滑り。

### 余効変動

地震の後に震源域あるいはその周囲で生じる長期間に及ぶ地殻変動の総称。代表的な例としては，断層面上で発生する余効滑りや，マンツルの粘弾性緩和による変形などが挙げられる。

### 予知率

発生した地震数に対する，予知された地震数。

### ラブ波

→表面波を参照

### レイリー波

→表面波を参照

### a-b 値

断層面のすべる速度と状態によって摩擦係数を規定する物理定数。a-b 値が負の場合，通常断層は固着しているが，地震時に急激に滑り，地震波を発生する。a-b 値が正の場合，断層はゆっくり滑っており，急激な滑りは発生しない。値が0に近い時は，通常はゆっくり滑っているが滑り速度が速い時には急激な滑りを発生する。

### b 値

地震の規模別頻度を，横軸にマグニチュード，縦軸に地震の発生数の対数を取ってプロットした際の傾きのこと。通常は0.7～1.0程度である。

## GIS

地理情報システム (Geographic Information System) の略語。地理的位置に関する情報を持ったデータ (空間データ) を総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、時間や空間の面から分析できる技術である。

## GNSS

全球測位衛星システム (Global Navigation Satellite System) の略称。位置や時刻同期を目的とした電波を発射する人工衛星群、地上の支援システム及び電波の受信装置の総称。利用者は、受信機で電波を受信することで自分の3次元的な地球上の位置や正確な時刻を計測することができる。アメリカ合衆国が構築したGPSは現在最も実用的なGNSSであるが、他にもロシアのGLONASSや、ヨーロッパ連合 (EU) のGalileoなどのシステムがある。

## GNSS-音響測距結合方式

海底における地殻変動を観測するための手法の一つ。海上の船舶やブイの位置をGNSSによって精度よく決定し、それらと海底に設置された基準点 (観測点) との距離を、海中音波を用いて測定することにより、海底の基準点の位置を推定する。長期にわたり繰り返し測定して、海底の変動を求める。

## PL波

P波の到達後、S波の到達前に現れる、周期5~20秒が卓越するやや長周期の地震波。震源が浅い、大きな地震の際に顕著に見られる。長周期の地震波が、地殻内で広角反射を繰り返すことで形成される。

## SAR

Synthetic Aperture Radar の略。人工衛星や航空機などに搭載されたアンテナが高速で移動することにより、大型アンテナと同等の高い分解能を実現したレーダーシステム。

## XバンドMPレーダー

従来よりも短波長のXバンド (波長約3cm) を用いた高分解能なレーダー。さらに水平偏波と垂直偏波の2種類の電波を同時に送信・受信するマルチパラメータ (MP) 方式によって精度の良い観測が実現される。

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画 実施機関

総務省	国立研究開発法人情報通信研究機構	
文部科学省	国立大学法人等 北海道大学大学院理学研究院 弘前大学大学院理工学研究科 東北大学大学院理学研究科 秋田大学大学院国際資源学研究科 東京大学大学院理学系研究科 東京大学地震研究所（共同利用・共同研究拠点） 東京大学大気海洋研究所 東京大学史料編纂所 東京工業大学火山流体研究センター 新潟大学災害・復興科学研究所 名古屋大学大学院環境学研究科 京都大学大学院理学研究科 京都大学防災研究所（共同利用・共同研究拠点） 鳥取大学大学院工学研究科 高知大学理工学部 九州大学大学院理学研究院 鹿児島大学地震火山地域防災センター 立命館大学総合科学技術研究機構 東海大学海洋研究所	
	国立研究開発法人防災科学技術研究所	
	国立研究開発法人海洋研究開発機構	
	独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所	
	経済産業省	国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター
	国土交通省	国土地理院
		気象庁
海上保安庁		
都道府県	地方独立行政法人北海道立総合研究機構環境・地質研究本部地質研究所	
	山梨県富士山科学研究所	

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画 平成 29 年度研究課題一覧

実施機関名	番号	研究課題名	研究代表者
情報通信研究機構	0101	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	久保田実
北海道大学	1001	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	中川光弘
	1002	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	谷岡勇市郎
	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	橋本武志
	1004	噴火履歴及び観測事例に基づく噴火事象系統樹の試作	中川光弘
	1005	津波浸水域の即時予測手法開発のための研究	谷岡勇市郎
	1006	地理空間情報の総合的活用による災害に対する社会的脆弱性克服のための基礎研究	谷岡勇市郎
	1007	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	高橋浩晃・大園真子・山口照寛
	1008	Lバンド航空機 SAR による革新的火山観測手法の開発	村上亮
	1009	準リアルタイム火山情報表示システムの開発	大島弘光
弘前大学	1101	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	小菅正裕
東北大学	1201	スラブ内地震の発生メカニズムの解明	東龍介
	1202	蔵王山周辺の総合観測	三浦哲
	1203	地殻応答による断層への応力载荷過程の解明と予測	松澤暢
	1204	地震断層すべり物理モデルの構築	松澤暢
	1205	岩石組織に基づく火道浅部プロセスの推定手法の開発	中村美千彦
	1206	地震活動の時空間パターンと断層および地震サイクルとの関係	遠田晋次
	1207	地震に先行する大気中ラドン濃度変動に関する観測	長濱裕幸
	1208	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	西村太志
	1209	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	太田雄策
	1210	海溝軸近傍で観測可能な海底地殻変動観測技術の開発	木戸元之
東京大学理学系研究科	1401	地殻流体の連続化学観測にもとづいた地殻の状態評価システムの開発	角森史昭
	1402	地震発生場の階層性を考慮した地震活動予測	井出哲
	1403	噴火推移モニタリングのための火山ガス観測装置の開発	森俊哉
東京大学地震研究所	1501	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	佐竹健治
	1502	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	安田敦
	1503	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	篠原雅尚
	1504	内陸地震発生の理解と予測に向けて	飯高隆
	1505	日本列島基本構造モデルの構築	岩崎貴哉・佐藤比呂志
	1506	小型絶対重力計を用いた火山監視技術の開発	新谷昌人
	1507	次世代プレート境界地震発生モデル構築のための実験的・理論的研究	中谷正生
	1508	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	大湊隆雄
	1509	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	小原一成
	1510	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	五十嵐俊博
	1511	地震活動に基づく地震発生予測検証実験	鶴岡弘

	1512	地震活動パラメーターと地震発生場の応力間に成り立つ定量的関係式	波多野恭弘
	1513	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	佐竹健治
	1514	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	酒井慎一
	1515	堆積平野・堆積盆地における地震災害発生機構の解明	三宅弘恵
	1516	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	古村孝志
	1517	地震動・津波誘因の長期予測情報コミュニケーション	瀧澤一
	1518	データ流通網の高度化	鶴岡弘
	1519	研究成果共有システムの構築	鶴岡弘
	1520	衛星赤外面像による噴火推移の観測と類型化に関する研究	金子隆之
	1521	海底での地震・地殻変動観測に向けた観測技術の高度化	塩原肇
	1522	光技術を利用した大深度ボアホール用地震地殻変動観測装置の開発	新谷昌人
	1523	素粒子ミューオンを用いた火山透視技術の可用化プロジェクト	田中宏幸
	1524	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	望月公廣
東京工業大学	1601	水蒸気爆発場の物理・化学状態の把握と火山流体の挙動	小川康雄
	1602	海底火山活動の評価手法開発に関する研究	野上健治
名古屋大学	1701	古文書解読による南海トラフ巨大歴史地震像の解明	山中佳子
	1702	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	鈴木康弘
	1703	南海トラフ域における巨大地震断層域の力学・変形特性の把握	山岡耕春
	1704	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	室井研二
	1705	精密制御震源システムの標準化と、ボアホール・海域への設置に関する研究	山岡耕春
	1706	火山災害情報およびその伝達方法のあり方	山中佳子
京都大学理学研究科	1801	地震サイクルシミュレーションの高度化	平原和朗
	1802	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—	大倉敬宏
	1803	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	宮崎真一
京都大学防災研究所	1901	史料の収集・翻刻・解析による過去の大地震および自然災害の調査	加納靖之
	1902	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	中道治久
	1903	プレート境界巨大地震の広帯域震源過程に関する研究	岩田知孝
	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	澁谷拓郎
	1905	日本列島変動の基本場解明:地殻とマントルにおける物性、温度、応力、流動—変形	飯尾能久
	1906	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	西上欽也
	1907	横ずれ型の内陸地震発生物理モデルの構築	飯尾能久
	1908	桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究	井口正人
	1909	焼岳火山の噴火準備過程の研究	大見士朗
	1910	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	西村卓也
	1911	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	関口春子
	1912	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	千木良雅弘
	1913	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	井口正人
	1914	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	井口正人

	1915	歴史記録の電子化	飯尾能久
鳥取大学	2001	自治体震度計を用いた地震速報の高度化	香川敬生
高知大学	2101	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	大久保慎人
九州大学	2201	地震・火山相互作用下の内陸地震・火山噴火発生場解明およびモデル化の研究	松本聡
鹿児島大学	2301	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	八木原寛
立命館大学	2401	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	小笠原宏
	2402	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	川方裕則
東海大学	2501	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	長尾年恭
東京大学 史料編纂所	2601	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	佐藤孝之
新潟大学	2701	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	矢田俊文
	2702	過去の災害事例に基づく減災科学に係る研究	田村圭子
東京大学 大気海洋 研究所	2801	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	朴進午
	2802	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	佐野有司
防災科学 技術研究 所	3001	巨大地震による潜在的ハザードの把握に関する研究	山下太
	3002	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	松澤孝紀
	3003	噴火予測システムの開発に関する研究	藤田英輔
	3004	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	松原誠
	3005	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	小澤拓
海洋研究 開発機構	4001	先端的掘削技術を活用した総合海洋掘削科学の推進	山田泰広
	4002	海域地震発生帯研究開発	小平秀一
産業技術 総合研究 所	5001	津波浸水履歴情報の整備	穴倉正展
	5002	活断層データベースの整備	吾妻崇
	5003	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	石塚吉浩
	5004	海溝型巨大地震の履歴とメカニズム解明	穴倉正展
	5005	地震時変位量に基づく連動型古地震像復元手法の研究	近藤久雄
	5006	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	篠原宏志
	5007	地下水・地殻変動観測による地震予測精度の向上	松本則夫
	5008	高分解能地殻応力場の解明と造構造場の研究	今西和俊
	5009	アジア太平洋地域地震・火山ハザード情報整備	宝田晋治
国土地理 院	6001	内陸の地殻活動の発生・準備過程の解明	矢来博司
	6002	火山地域のマグマ供給系のモデリング	矢来博司
	6003	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	矢来博司
	6004	GNSSを用いた震源メカニズム即時推定技術の開発	矢来博司
	6005	GNSS連続観測(GEONET)	矢来博司
	6006	地形地殻変動観測	矢来博司
	6007	物理測地観測	矢来博司
	6008	宇宙測地技術による地殻変動監視	矢来博司
	6009	火山基本図・火山土地条件図整備	矢来博司
	6010	都市圏活断層図整備	矢来博司
	6011	地殻活動データベース整備・更新	矢来博司
	6012	GNSS観測・解析技術の高度化	矢来博司

	6013	SAR 観測・解析技術の高度化	矢来博司
気象庁	7001	火山現象に関する基礎データの蓄積と活用	井上和久
	7002	自己浮上式海底地震計観測による宮城県沖の地震活動	尾崎友亮
	7003	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	山本哲也
	7004	火山活動に伴う地殻変動の把握及び評価	木村一洋
	7005	地球電磁気学的手法による火山活動監視の高度化	山崎明
	7006	地震活動・地殻変動監視の高度化に関する研究	小林昭夫
	7007	陸上電磁場観測における津波生成磁場の検知	山崎明
	7008	緊急地震速報の予測手法の高度化に関する研究	干場充之
	7009	海溝沿い巨大地震の地震像の即時的把握に関する研究	勝間田明男
	7010	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	徳本哲男
	7011	津波の予測手法の高度化に関する研究	山本剛靖
	7012	地震・津波・火山防災情報の改善に係る知見・成果の共有	阿南恒明
	7013	火山活動の総合判断	宮村淳一
	7014	地震観測、地殻変動観測	尾崎友亮
	7015	潮位観測	中館明
	7016	地磁気精密観測	山際龍太郎
	7017	全国における火山観測の強化	宮村淳一
	7018	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	平原秀行
	7019	全国地震カタログの作成	上野寛
	7020	防災・減災に関する知識の普及啓発	阿南恒明
海上保安庁	8001	海底地殻変動観測	石川直史
	8002	海洋測地の推進	山田裕一
	8003	海域火山観測	新村拓郎
	8004	地殻変動監視観測	山田裕一
	8005	験潮	林王弘道
	8006	海域における地形・活断層調査	福山一郎
奈良文化財研究所	9001	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	小池伸彦
北海道立総合研究機構	9101	日本海沿岸域における過去最大級津波の復元	川上源太郎
	9102	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	高橋良
山梨県富士山科学研究所	9201	富士山における地下水観測	内山高
	9202	富士山の噴火事象系統樹の高精度化のための基礎研究	吉本充宏
公募研究	2932	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	伴雅雄
	2935	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	志藤あずさ
	2940	高頻度爆発的噴火履歴の摩周火山におけるマグマ供給系と噴火過程	和田恵治
	2941	富山県弥陀ヶ原火山・地獄谷内での高精度地形測量と水準測量による地盤変動と地表及び地中温度の計測モニタリング	楠本成寿
	2942	草津白根火山白根火砕丘群の完新世噴火履歴の解明	石崎泰男
	2943	地震先行 VLF 帯電磁波強度減少の統計的評価と発生メカニズムの解明	鴨川仁
	2945	古地震のウェブを目指して～GIS 機能をもったポータルサイトの構築	林晋
	2948	南アフリカ大深度金鉱山における 100m 級断層の強度直接推定	伊藤高敏
	2949	地球化学的観測手法を用いた箱根山等における熱水系の構造解明、地震活動評価、および火山ガスの化学的連続観測技術の高度化	大場武
	2901	宏観異常現象の検証-漁獲量と地震との関係を中心に-	織原義明

	2902	多種の地震活動度解析による大地震先行的地震活動変動の検知	上田誠也
	2903	明治前期における自治体からの地震・津波報告の研究—帝国大学理科大学の調査から—	蝦名裕一
拠点間連携共同研究	2975	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	森田裕一 川瀬博
	2978	巨大地震の災害リスク評価のための震源モデルの構築	古村孝志
	2979	構造物の被害予測手法の高度化	川瀬博
	2981	緊急地震速報を利用した建物地震災害誘因のリアルタイム予測	倉田真宏
	2983	巨大大災害想定のコミュニケーション戦略に関する研究	田中淳
	2985	詳細地盤構造と活動セグメントの新たな解釈に基づく歴史被害地震の断層モデル構築に関する研究	松島信一
	2987	実践的人材育成のための防災担当者研修プログラムに関する研究	吉本充宏
	2988	長周期地震動予測のための深部地盤構造モデル化手法の高度化に関する共同研究	山中浩明
	2990	巨大地震時における地盤増幅率の予測手法の高精度化	上田恭平
	2991	震源モデルに着目した巨大地震に伴う強震動予測の高度化	宮澤理稔
	2992	津波堆積物の広域年代対比に基づく北海道における17世紀の津波波源の高精度推定	後藤和久
	2993	被災者の心の復興 ～精神的苦痛の計量及びその時間推移モデルの構築～	岡田成幸
	2994	地震時の斜面災害軽減を目的とした地震波動伝播シミュレーションの利活用	土井一生
	2995	擬似雑音弾性波を用いた火山地下構造のリアルタイム観測方式の研究	棚田嘉博
	2996	南海トラフ巨大地震に対する山地斜面の崩壊危険度予測の高度化と減災のためのハザードマップ作成	齊藤隆志
2997	歴史資料に基づく海岸・河川地形の復元による災害研究手法の構築	蝦名裕一	

[ 参 考 资 料 ]

## I. 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（建議）の概要

- 地震・火山噴火の現象を理解し、地震と火山噴火の予知を目指すこれまでの方針から、それらに加え、災害を引き起こす地震動・津波・火山灰や溶岩の噴出などの予測にも力を注ぎ、地震・火山災害の発生・推移を総合的に研究することにより、防災・減災に貢献する災害科学の一部として計画を推進する方針に転換。
- 地震予知研究は昭和40年、火山噴火予知研究は昭和49年から、科学技術・学術審議会が建議する計画に沿って、全国の大学や関係機関が協力・連携して推進。平成21年度から両計画を統合して「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」を実施。平成23年東日本大震災を受け、平成24年に計画の見直しを実施。計画が平成25年度末で終了することから、平成24年に実施状況の総括的自己点検及び外部評価を実施。外部評価などの指摘を受けとめ、社会の要請を一層踏まえて計画を策定。
- 低頻度・大規模な地震・火山現象の解明や、地震・火山災害の事例研究、発生機構の解明、地震動、津波、降灰、溶岩流の事前評価と即時予測、体系的な災害情報発表方法の研究を新たに開始。そのため、地震学・火山学を中核に工学、人文・社会科学等を含む総合的かつ学際的に研究計画を推進。

### 一. 現状認識と長期的な方針

#### 1. 地震及び火山噴火予知のための観測研究に関する現状認識

- ・ 我が国は世界有数の地震・火山国であり、これまで地震や火山噴火による災害が度々発生し、多数の被害を経験。
- ・ 東日本大震災（平成23年東北地方太平洋沖地震）について、その震源域でマグニチュード9に達する超巨大地震の発生の可能性を事前に追究できなかったことを反省し、計画の見直しを実施し、平成24年に建議。
- ・ 現行の計画が平成25年度までであることから、平成24年に実施状況について総括的自己点検評価、及び外部評価を実施。外部評価や「東日本大震災を踏まえた今後の科学技術・学術政策の在り方について（建議）」などの指摘を踏まえ、また、これまでの計画の経緯と成果を鑑み、研究計画を策定。
- ・ 従来は、自然現象としての地震・火山噴火の予知に基づいて災害軽減への貢献を追求。今後は、地震・火山噴火による災害の発生を、地震動、津波、火山灰や溶岩の噴出などの外力（災害誘因）の、人の暮らす社会・自然環境の脆弱（ぜいじゃく）性（災害素因）への作用との認識し、地震・火山噴火の発生から、災害発生やその推移までを念頭に災害誘因の予測を行い、地震・火山災害の軽減に貢献する方針に転換。

#### 2. 地震及び火山噴火予知のための観測研究のこれまでの経緯と成果

- ・ 地震予知研究は約50年間、火山噴火予知研究は約40年間、地震・火山噴火の災害軽減に資すべく継続的に実施。平成21年度から、両計画の統合的かつ効率的な進捗を目指して統合。これまでの成果は、以下のとおり。
- ・ プレート境界での滑りの多様性を世界に先駆けて解明し、巨大地震の発生を含むプレート境界での滑り現象のシミュレーションの手掛かりを獲得。プレート境界の繰り返し地震の中で、発生時期・規模の予測が可能な事例を発見。

- ・ 高密度で多項目の観測や火山噴出物の高精度な解析より、噴火に至るまでの現象、マグマの移動、噴火発生や噴火後の過程の理解が進み、火山噴火機構の総合的理解が進展。噴火に先行する多数の観測事象が集積。
- ・ これまでの計画で開発された三陸沖のケーブル式地震・津波計は、平成 23 年の三陸大津波の襲来 20 分前に巨大津波を観測。その技術は、政府が設置を進める津波観測網へ応用。
- ・ これまでの成果に基づいた有珠山や三宅島などでの火山噴火予知の実践を踏まえ、住民の避難計画と連動した噴火警戒レベルを気象庁は順次運用開始。
- ・ 地震の発生予測や火山噴火の規模や様式、活動推移の予測手法は現時点では未確立であるが、予測につながる地震や火山現象に関する理解が一層深化した。

### 3. 観測研究計画の長期的な方針

- ・ 地震や火山噴火による災害の発生を、地震動、津波、降灰、溶岩流などの災害誘因が外力となり、社会・自然環境の脆弱（ぜいじゃく）性である災害素因へ作用することと認識。災害誘因を予測して、それに備えることが地震・火山噴火の災害軽減の基本。
- ・ 災害の根本原因である自然現象である地震や火山噴火の発生から、災害誘因の予測、災害発生とその推移を含めて総合的に理解し、それを防災・減災に生かす災害科学の一部として計画を推進。災害に備えることを念頭に、地震や火山噴火の発生とそれに伴う災害誘因から災害を予め（あらかじめ）知り（災害の予知）、それにより災害軽減に貢献することが目標。
- ・ 発生すると甚大な災害となる低頻度・大規模な地震・火山現象について、過去の事象や海外の事例を取り入れて研究を推進。歴史学・考古学・地質学などとの連携や国際共同研究を強化。
- ・ 成果を社会の防災・減災に効果的に役立てるため、政府の施策、行政機関との連携を強化。

## 二. 本計画の策定の基本的な考えと計画の概要

### 1. 本計画の基本的な考え

- ・ 計画の目的が地震・火山災害の軽減への貢献であることを一層明確にし、地震や火山噴火の発生予測を目指す研究を継続しつつ、災害誘因予測研究を体系的・組織的に始め、国民の生命と暮らしを守る災害科学の一部として研究を推進。
- ・ これまでよりも広い知の結集が必要であることから、地震学や火山学を中核とし、災害や防災に関連する理学、工学、人文・社会科学などの研究者も加わり、専門知を結集し、総合的かつ学際的な研究計画として推進。
- ・ 災害の根源である地震と火山噴火の仕組みを自然科学的に理解する「地震・火山現象の解明のための研究」、地震や火山噴火を科学的に予測する手法を研究する「地震・火山噴火の予測のための研究」、地震動、津波、火山灰や溶岩の噴出など災害の誘因となる自然現象の事前評価・即時予測を研究する「地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究」を実施。長期的な取組で計画を推進し、成果が防災・減災に効果的に活用される仕組みをつくるため「研究を推進するための体制の整備」を実施。
- ・ 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、桜島火山等の優先度の高い地震や火山の研究については、上記の区分を横断して、総合的に実施。

### 2. 本計画の概要

本計画の基本的な考えに沿って、以下の研究を実施。

## 2-1. 地震・火山現象の解明のための研究

地震や火山噴火を科学的に理解するための基礎的な観測研究を推進。特に、低頻度で大規模な現象の理解のため、史料、考古データ、地質データ等も活用。

### 《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》

古い年代の地震・火山噴火に関する史料の解説・解釈、考古学的な発掘痕跡の集約、地質調査データの調査・分析。その成果のデータベース化。

### 《低頻度大規模地震・火山現象の解明》

観測データや史料、考古データ、地形・地質データの解析・分析から地震学・火山学の知見に基づき、低頻度・大規模の地震・火山現象解明の研究を推進。特に、東北地方太平洋沖地震、南海トラフ巨大地震の発生機構に関する観測研究を推進。

### 《地震・火山噴火の発生場の解明》

地震及び火山噴火の発生場の構造、ひずみ・応力の時空間分布と地震・火山活動の関連を研究。特に、東北地方太平洋沖地震とその余効変動による影響に注目。

### 《地震現象のモデル化》

日本列島域の構造モデル、複雑な破壊現象を表現できる断層の物理モデルを構築。両者を利用し、地震発生機構の定量的な理解やプレート境界での多様な滑りを再現する数値シミュレーション実験を推進。

### 《火山現象のモデル化》

多項目観測データや火山噴出物の解析から、噴火先行現象やそれに続く多様な火山現象の物理・化学過程を解明。マグマの発泡・脱ガス・破碎などに関する理論・実験研究の成果も取り入れ、火山現象の物理・化学過程のモデル化を推進。

## 2-2. 地震・火山噴火の予測のための研究

地震や火山噴火現象の科学的理解を踏まえて、地震発生や火山噴火、地震活動や火山活動の予測研究を推進。

### 《地震発生長期評価手法の高度化》

数値シミュレーションなどを利用した地震発生の長期評価手法を開発し、史料、考古・地質データなどから推定された地震の発生履歴に基づき、地震発生の長期評価手法を高度化。

### 《モニタリングによる地震活動予測》

観測データと数値シミュレーションの結果を比較し、地殻内の応力やひずみなどの状態を評価し、地震発生や地殻活動の理解の深化を推進。地震活動の統計的性質に基づく地震活動の予測を行い、その性能を評価。

### 《地震先行現象に基づく地震活動予測》

地震の先行現象の捕捉のための観測を実施。先行現象と地震発生の関係を統計的に評価。統計的に有意な

先行現象は、その発生機構の物理・化学的な根拠を探究。

#### 《事象系統樹の高度化による火山噴火予測》

噴火履歴から、近い将来に噴火が懸念される火山の活動や噴火現象の時系列をまとめた噴火事象系統樹を作成。研究成果を利用して事象系統樹の分岐条件の導出とその判定法を探求し、火山噴火予測を試行。

### 2-3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

防災・減災に貢献するために、地震や火山噴火の発生から災害に至るまでの過程を史料、調査・観測記録から理解し、地震動、津波、降灰などの災害誘因の予測の研究を推進し、災害を予め（あらかじめ）知って対応できる（災害の予知）ことを目指した研究を推進。

#### 《地震・火山噴火の災害事例の研究》

地震・火山噴火による災害の特性を、事例研究に基づいて把握。歴史記録から社会環境の時代的变化に留意して過去の地震・火山災害の特性を知り、地域特性も踏まえ、自然現象としての災害誘因と社会・自然環境としての災害素因を抽出。

#### 《地震・火山噴火の災害発生機構の解明》

地震・火山噴火による災害誘因が、自然・社会環境の脆弱性などの災害素因に与える作用力、波及効果を解明し、災害発生機構を探究。二次災害の抑止、社会混乱の防止などの新たな災害研究の分野を複合学術領域で構築。

#### 《地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化》

地震・火山噴火が引き起こす地震動、津波、地滑り、降灰、山体崩壊などの災害誘因の発生可能性を事前に評価する手法の高度化を目指す研究を推進。

#### 《地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化》

地震・火山噴火が引き起こす災害誘因を、地震・火山噴火発生直後に即時的に高精度に予測するための観測データの利用法や解析手法の高度化を目指す研究を推進。

#### 《地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化》

確率表現の有無、確度の高低など様々な地震・火山噴火予測情報を、それに見合った活用法で災害軽減に役立てる方策を検討。災害啓発情報、災害予測情報、災害情報、災害関連情報などの高度化のための研究を推進。

### 2-4. 研究を推進するための体制の整備

本計画を達成するための体制の整備。

#### 《推進体制の整備》

国民の生命と暮らしを守る災害科学として計画を実施し、成果が効果的に防災・減災に役立つような計画推進体制を構築。地震・火山防災行政の中で、どのように貢献するべきかを踏まえ、地震調査研究推進本部など関連機関との連携を強化。

総合的かつ学際的に研究計画を推進することから、その進捗状況を把握、達成度の評価、問題点と今後の課題の整理などを行う計画推進体制を整備。

#### 《研究基盤の開発・整備》

行政官庁、研究機関、全国の大学が協力し、地震・火山の活動評価や研究に必要な観測基盤、データを効率的に処理・流通するシステムを維持・拡充。

本計画で得られる成果をデータベース化し、研究者間で共有する仕組みを構築。

新たな観測技術の開発、地殻活動モニタリング手法高度化などの研究を推進。

#### 《関連研究分野との連携の強化》

本計画が災害科学に貢献すべきという観点で、過去の地震・火山噴火の事例調査、災害の発生に至る過程の研究の推進のため、理学だけではなく工学、人文・社会科学などの関連研究分野との連携を強化。

#### 《研究者・技術者・防災業務・防災対応に携わる人材の育成》

関連機関が協力して、若手の研究者、技術者、防災・減災に関わる行政・企業・教育機関などで活躍する人材を育成。

#### 《社会との共通理解の醸成と災害教育》

関連機関が協力して、研究成果を社会にわかりやすく伝え、社会との共通理解の醸成のための取組を強化。地震・火山科学が社会に発信する情報を含め、災害情報の在り方について検討。

#### 《国際共同研究・国際協力》

大規模な地震、津波、火山噴火の災害は世界各地で発生し、海外の事例を研究する必要から、国際共同研究を促進する体制を整備。

災害科学の先進国である我が国の責務として、開発途上国における地震・火山噴火災害の防止・軽減に貢献する体制を維持・整備。



## II. 計画推進部会および総合研究グループ等別の成果

「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」(建議)に示された実施内容について、平成 29 年度の成果を計画推進部会および総合研究グループ等別に学術報告として取りまとめた。

この報告は、地震・噴火予知研究協議会<sup>1)</sup>に設置された 8 の計画推進部会と 1 の研究グループ(観測・解析技術の開発)、建議において全ての項目を含む総合的な研究として優先して推進するとされた、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、桜島火山噴火についての 4 の総合研究グループ、及び地震火山観測研究を災害研究に結びつけるための共同研究を実施する東京大学地震研究所と京都大学防災研究所の拠点間連携委員会<sup>2)</sup>の責任で編集したものである。

この報告に基づいて、難解な学術用語をなるべく言い換え、平易な文章で表現して書き直したものが、本編の「平成 29 年度の成果の概要」である。本編の「平成 29 年度の成果の概要」の内容について、さらに詳細を知りたい場合、原著論文を参照したい場合には、以下の報告をご参照いただきたい。

### ○東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会

「海溝型地震」計画推進部会長 小原一成(東京大学地震研究所)

副部会長 西村卓也(京都大学防災研究所)

「内陸地震」計画推進部会長 松本 聡(九州大学大学院理学研究院)

副部会長 上嶋 誠(東京大学地震研究所)

「火山」計画推進部会長 大倉敬宏(京都大学大学院理学研究科)

副部会長 野上健治(東京工業大学火山流体研究センター)

「地震先行現象・地震活動評価」計画推進部会長 中谷正生(東京大学地震研究所)

副部会長 長尾年恭(東海大学海洋研究所)

「地震動・津波等の事前予測・即時予測」

計画推進部会長 香川敬生(鳥取大学大学院工学研究科)

副部会長 太田雄策(東北大学大学院理学研究科)

「地震・火山災害」計画推進部会長 木村玲欧(兵庫県立大学環境人間学部)

副部会長 三宅弘恵(東京大学大学院情報学環)

「史料・考古」計画推進部会長 榎原雅治(東京大学史料編纂所)

副部会長 佐竹健治(東京大学地震研究所)

「データベース・データ流通」計画推進部会長 鶴岡 弘(東京大学地震研究所)

副部会長 大見士郎(京都大学防災研究所)

「観測・解析技術の開発」技術開発担当 渡辺俊樹(名古屋大学大学院環境学研究科)

「東北地方太平洋沖地震」総合研究グループリーダー 松澤 暢(東北大学大学院理学研究科)

「南海トラフ巨大地震」総合研究グループリーダー 澁谷拓郎(京都大学防災研究所)

「首都直下地震」総合研究グループリーダー 酒井慎一(東京大学地震研究所)

「桜島火山噴火」総合研究グループリーダー 井口正人(京都大学防災研究所)

### ○東京大学地震研究所・京都大学防災研究所拠点間連携共同研究委員会

委員長 川瀬 博(京都大学防災研究所)

副委員長 森田裕一(東京大学地震研究所)

- 
- 1) 東京大学地震研究所には、災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画で立案された研究を推進することを目的に設立された地震・火山噴火予知研究協議会がある。ここでは、本観測研究計画に参加する全国の大学等が連携し、研究機関と協力しながら研究を推進している。また、科学技術・学術審議会測地分科会地震火山部会では、大学、研究機関、行政機関が連携して計画の推進を図っている。地震・火山噴火予知研究協議会には、災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の、効率的かつ調和的な実施を推進するために、8の計画推進部会と4の総合研究グループが設置されている。
  - 2) 「地震・火山科学の共同利用・共同研究拠点」である東京大学地震研究所と「自然災害に関する総合防災学の共同利用・共同研究拠点」である京都大学防災研究所は、地震や火山噴火の現象解明・予測の研究成果を災害軽減につなげるための組織的な共同研究を実施するために、拠点間連携共同研究委員会を設置している。

## 1 (1) 海溝型地震

「海溝型地震」計画推進部会長 小原一成（東京大学地震研究所）  
副部会長 西村卓也（京都大学防災研究所）

海溝型地震の発生機構を科学的に解明することは、海溝型地震の発生予測ならびに地震に伴う地震動、津波などによる災害に備えるための基本として重要である。海溝型地震計画推進部会では、主としてプレート境界で発生する海溝型地震を対象に、地震現象に関する過去データの収集と整理、地震現象の解明、地震発生場の解明、地震現象のモデル化、モニタリングによる地震活動予測、先行現象に基づく地震活動予測、及び観測・解析技術の開発を進めてきた。加えて、海洋プレート内部で発生するスラブ内地震についても発生機構の解明に関する研究を行っている。以下では、これらの項目において、本計画の4年目である平成29(2017)年度の成果の概略を述べる。

### 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

##### A. 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

日本海溝・千島海溝、相模トラフ、南海トラフ、南西諸島海溝で発生した巨大地震の履歴と発生様式を明らかにするため、津波堆積物、地形地質調査などに基づいたデータ収集と整理が行われた（北海道大学〔課題番号：1002〕、名古屋大学〔課題番号：1703〕、海洋研究開発機構〔課題番号：4002〕、産業技術総合研究所〔課題番号：5004〕）。

千島海溝沿いの北海道十勝地域において、古津波の堆積物と地殻変動の痕跡を抽出した。当縁川下流域に広がる湿原の17地点においてGPS測量及びジオスライサー掘削を行い、珪藻化石分析などの解析を実施した（北海道大学〔課題番号：1002〕）。テフラ層との対比から過去約1000年間の地層に砂～泥層が2層認められ、上位が17世紀に起こった巨大地震に伴う津波堆積物、下位が12世紀に発生した地震に伴う津波堆積物に相当すると考えられる。珪藻化石の分析から17世紀の巨大地震後に隆起が生じたと考えられ、巨大地震から1667年樽前山噴火によるTa-bテフラの堆積後までの隆起量は少なくとも54～72cm程度と見積もられた。その後現在までの堆積物からは、沈降傾向は認められていない。一方、12世紀の巨大地震による地殻変動は、地震後に隆起した後に沈降に転じ、17世紀のイベントまで沈降が継続したと考えられ、17世紀のイベント前後の地殻変動とは異なっている。また、地震時の地殻変動量は17世紀比べて小さかったことも示唆された。

日本海溝域の過去の超巨大地震の履歴を把握するため、海底に形成されたタービダイトを精密かつ広範囲な対比のための地磁気永年変化標準曲線を確立した（海洋研究開発機構〔課題番号：4002〕）。これによりタービダイトの年代取得が大深度まで且つ過去7000年前まで可能となった。相模トラフ沿いでは、房総半島南部の海岸段丘について、詳細DEMの解析とボーリングコア試料の解析から段丘の分布パターンと離水年代の再検討を行った（産業技術総合研究所〔課題番号：5004〕）。その結果、段丘の区分と年代が更新され、再来間隔が非常にばらつくことが明らかになった。南海トラフ沿いでは、熊野灘において海

底地形の高解像度データ（1秒メッシュ）を取得し、得られた詳細な地形イメージに基づいて、海底活断層の位置形状に関する検討が実施された（名古屋大学〔課題番号：1703〕）。

## イ. プレート境界巨大地震

### （東北沖）

東北沖地震の震源域やその周辺では、主に海底での地震・地殻変動観測から東北沖地震以降の様々な地震活動・地殻変動・地下構造の変化が引き続き捉えられている（東北大学〔課題番号：1210〕，東京大学地震研究所〔課題番号：1503〕，東京大学地震研究所〔課題番号：1510〕，海洋研究開発機構〔課題番号：4002〕，国土地理院〔課題番号：6003〕，海上保安庁〔課題番号：8001〕）。

GNSS-音響測距結合方式（以下，GNSS-A）海底地殻変動観測（海上保安庁〔課題番号：8001〕）により、昨年度までと同様にマンツルの粘弾性効果の影響を含んだ余効変動が継続していることが観測されている（図1）。時間変化に注目すると、2015年以降は福島沖の観測点などで変動速度がやや鈍化する傾向が見られる。2012年から2016年の間に観測された地殻変動と本震発生時の地殻変動と併合して、地震時滑りと地震後滑りを同時に推定したところ（東京大学地震研究所〔課題番号：1503〕），地震時滑り分布は、地震時変動データのみを弾性媒質モデルを使って解析した場合に推定された滑り分布に比べて海溝軸に沿って北側にまで広がった。しかし、津波波源解析の結果が要請するほどの広がりではなく、北緯39度以北の津波波源はプレート境界断層の滑りとは異なる変動によるものである可能性がある。一方、推定された余効滑り分布の大部分は地震時滑り域より深部側プレート境界で見られたが、地震時滑りが及ばなかった北緯37.5度以南の海溝軸に近いプレート境界浅部でも余効滑りが発生していることがわかった。この浅部の余効滑り域では、低地震波速度層がプレート境界面に沿うように広がっていることが明らかとなっており、こうした構造が滑り挙動を規定している可能性がある。また、地震後に大幅に拡張されたGNSS-A海底地殻変動観測網による地震後変位データには地震時滑りが励起した粘弾性緩和による変動成分が含まれることから、こうした地震後データも地震時滑り分布の推定精度向上に資することが明らかとなった。

### （南海トラフ）

GNSS-A海底地殻変動観測により、南海トラフ周辺域での地殻変動観測も継続されており、昨年度までと同様にプレート境界固着の影響による地殻変動が観測されているが、時間的な変化はまだ明瞭には観測されていない（海上保安庁〔課題番号：8001〕）。

海陸の地殻変動観測データから、ブロック断層モデルとブロック境界の断層を空間的な推定誤差を最適化した小断層分割を用いてプレート間固着の空間分布を推定した（名古屋大学〔課題番号：1703〕）。固着分布（図2）を大局的に見ると、トラフ軸沿いの深さ0～25km付近までの固着が強い傾向があるが、日向灘や室戸岬沖、潮岬沖、熊野灘の一部領域など、部分的に固着が弱い領域が存在する。このことは、海域のプレート間固着が非常に不均質であることを意味している。また、深さ30km以深は固着が弱いことが推定された。一方、類似した解析方法を用いた研究（海上保安庁〔課題番号：8001〕，Nishimura et al., 2017）におけるプレート間カップリングの推定結果は、先行研究（Yokota et al., 2016）

において示された分布と概ね調和的であるが、先行研究での推定誤差と思われる深部での不自然な固着が推定されなくなった。しかし、現状の海底地殻変動観測データを用いても、トラフ軸近傍の浅部の分解能不足は解消されていないことがわかった。

南海トラフ巨大地震の想定震源域近傍の岐阜県土岐市・愛知県豊橋市・静岡県森町に設置してある ACROSS 震源装置の稼働を継続して行った（名古屋大学〔課題番号：1703〕）。複素領域での解析を考案することで、森町の震源の周辺 12 点の Hi-net 観測点で観測した伝達関数から 2004～2017 年全期間について徐々に地震波速度が速まる傾向と、2011 年東北地方太平洋沖地震の際に地震波速度が遅くなる現象が確認された（図 3）。

### （3）地震・火山噴火の発生場の解明

#### ア．プレート境界地震

千島海溝沿いの日高衝突帯からその海域延長部に至る領域を地震波トモグラフィー法で解析することによって P 波及び S 波速度構造を推定した（北海道大学〔課題番号：1002〕）。用いたデータは、平成 11～13 年に北海道・日高山脈付近で行われた大学合同の陸上稠密地震観測と、平成 11 年と平成 12 年に北海道南方沖で気象庁と共同で行われた海底地震観測で得られたものである。その結果、千島弧の下部地殻の深い部分が日高山脈直下で分離（デラミネーション）して、1982 年浦河沖地震（M7.1）の震源域直下の太平洋プレート上面の深さまで達しているという結果（図 4）が得られた。このようなデラミネーション構造は、反射法地震探査によって陸域の短い測線で断片的に確認されているものの、陸域で行われた屈折法地震探査や、陸上観測点のデータのみを用いた地震波トモグラフィー法ではイメージングされておらず、陸上のデータのみからはイメージングできないことがわかった。

房総沖で行われた人工地震探査データを解析し、スロースリップイベント（SSE）発生領域での反射波強度についての解析を行った（東京大学地震研究所〔課題番号：1509〕，Kono et al., 2017）。データは、2009 年に白鳳丸を用いて行われ、海底地震計とエアガンを使用した測線長 216km の東西測線（図 5）である。解析の結果、地震波速度約 5 km/s の部分が東にゆるやかに傾斜していて、この部分がフィリピン海プレート上面であることが示された。Travel time mapping 法を用いて反射点を 2 次元断面に投影すると、フィリピン海プレート上面では、反射波が見える部分と見えない部分があり、見える部分は SSE 発生領域と一致することがわかった。

#### イ．海洋プレート内部の地震

伊豆半島の約 100 km 北方で発生している孤立した 42 個の地震（深さ 40-90 km）（図 6）の震源決定及びメカニズム解の推定を行った（東北大学〔課題番号：1201〕，Nakajima, 2018）。その結果、プレート境界地震と解釈される低角逆断層地震よりも深いところで 37 個の地震が発生していることが明らかになった。それらの地震は沈み込むフィリピン海スラブ内の地震と考えられる。地震発生域の温度や応力状態が周囲の非地震的なスラブと大きく異なることは考えにくいことから、この孤立した地震活動はスラブの局所的な含水化が原因であると推測できる。

### （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

### (摩擦実験)

高速せん断中の接触点温度と強度の関係を明らかにするために、高時空間分解能での温度分布の直接測定に取り組み、発熱による発光を高速カメラで撮影し、2色温度法で温度を推定することに成功した（東京大学地震研究所 [課題番号：1507]，Kuвано, 2017; 桑野, 2018）。高速せん断される摩擦面の真実接触点の発熱による発光（図7）を、2つの波長での輝度の比によって温度を推定する（2色法）ことにより、輝度そのものに頼る1色法とは違い、撮影データの分解能の限界からくる平均化効果に邪魔されずに、局所的瞬間的発熱（フラッシュヒーティング）によって発生した温度の絶対値を正しく捉えることができた。接触点の最高温度は常圧での試料の融点を越え、2500°C程度まで上昇していたが、これは真実接触点が数GPa程度の高圧であることを考えれば合理的である。

沈み込む海洋プレートの基盤岩や表層堆積物を用いた摩擦実験が行われ、摩擦係数の速度依存性（ $a-b$  値）の温度依存性や有効圧依存性が求められている（東京大学地震研究所 [課題番号：1503]，東京大学地震研究所 [課題番号：1507]）。日本海溝沈み込み帯深部に分布すると考えられる藍閃石片岩試料についての摩擦実験（東京大学地震研究所 [課題番号：1503]）から、藍閃石片岩は温度100~300°Cの間で $a-b$ 値が負となり、200°Cで最低値をとり、地震を引き起こすポテンシャルを持つことが明らかになった。東北地方太平洋沖地震の震源域温度が約160°C程度と推測されていることから、藍閃石片岩の摩擦特性は震源核形成に関与しうると考えられる。また、 $a-b$ 値が正の温度条件においても、有効圧が低下するにつれて $a-b$ 値が負に遷移する傾向が確認された。この結果は、間隙水圧が上昇（有効圧が低下）すると、 $a-b$ 値が正から負に変化する点でスロー地震が発生する条件が現れることを示唆しており、東北地方太平洋沖地震に先行して発生したスロー地震も間隙水圧の上昇に起因している可能性がある。

防災科研が所有する大型振動台を利用した岩石摩擦実験の歪みデータを解析し、スティックスリップイベント発生時の断層破壊過程を調査した（防災科学技術研究所 [課題番号：3001]，Yamashita et al., 2018）。その結果、载荷速度が大きくなるにつれて震源核の時空間サイズが減少し、より不安定で高速な破壊が励起されることを明らかにした。また、断層が粗くなるにつれ前駆のスロースリップが始まる時間及び場所の再現性が低下していき、断層面の粗さが初期及び主破壊過程に大きく影響することを確認した。

### (シミュレーション)

地球潮汐等の外部擾乱の影響を取り入れたSSE発生サイクルの数値シミュレーション研究を行った（東京大学地震研究所 [課題番号：1509]，防災科学技術研究所 [課題番号：3002]）。短期的SSE領域周辺域で、長期的SSEのような滑りが発生することによる影響については、平板のプレート形状と円形パッチを仮定したモデルにおいては、領域全体の滑りが発生した後、SSEの発生がしばらく見られない状況が発生する。しかし、潮汐の効果を導入した場合には、周辺域での滑り後、より早く短期的SSEの発生が見られるようになった。さらに、四国の形状を考慮したMatsuzawa et al. (2013)と同様のモデルに潮汐による影響を導入したところ、長期的SSEの発生後、潮汐がない場合より早く短期的SSEが繰り返し発生する状況に戻る傾向が見られた。これらの結果より潮汐は、周辺域の滑りによ

る応力擾乱に対し、短期的 SSE の繰り返し発生を安定化させる役割を持つ可能性が示唆される。

不均質弾性媒質における速度状態依存摩擦則に従う動的・準動的地震サイクル (EQC) シミュレーションにおいては、従来鉛直の横ずれ断層のみのシミュレーションが行われていた。本計画においては、これまで鉛直の逆断層への拡張が実現してきたが、今年度実施した計算アルゴリズムの改良により、傾斜断層での動的破壊、全無限媒質及び半無限垂直断層での動的破壊過程を含む EQC シミュレーションコードの開発に成功した (京都大学理学研究科 [課題番号: 1801])。

## 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

##### (日本海溝・千島海溝)

断層面上の滑りの履歴推定には、主に地殻変動データが用いられてきたが、海域における空間的分解能は必ずしも高いとは言えない。この点を改善するために地殻変動データと地震活動データとを組み合わせて、滑り分布を推定する予備的な解析を試みた (京都大学理学研究科 [課題番号: 1803])。地震活動については、応力変化と摩擦構成則から地震活動度を得るモデル (Dieterich, 1994) から期待される地震活動の空間分布が、実際に観測された地震 (余震) 活動と合うよう、必要な応力変化を引き起こすような滑り分布を地殻変動データとともに評価し、2005 年宮城県沖地震へ適用した例を図 8 に示す。地殻変動データのみから推定された滑り分布 (図 8 a) は、同心円的な単純な分布となっているのに対し、地震活動データを加えると、その情報がある程度反映し、地震波データに基づく滑りインバージョンの結果 (Yaginuma et al., 2006) と似通った特徴を持つ複雑な空間分布が得られた (図 8 b)。

##### (南海トラフ)

SSE に伴う流体移動の検出のために、東海地方、豊後水道、宮崎県において重力観測を継続した (東京大学地震研究所 [課題番号: 1509], Tanaka et al., 2018)。東海地方では、2001 年と 2013 年頃から長期的 SSE が発生していることが知られているが、この時期を含む、これまでの約 20 年間の重力観測により、SSE による重力変化を観測することに成功した (図 9)。スロースリップ域の浅部に位置する御前崎、菊川では、スロースリップ中に重力変化が小さく、スロースリップの発生していない時期に重力が増加している。スロースリップ中の重力減少が断層破碎帯内の流体移動で説明しうることを示した。

西南日本で発生するスロー地震のうち、深部超低周波地震のマッチドフィルター法による自動検出システムを構築し、2004-2017 年の活動推移や長期 SSE への応答性を解明した (東京大学地震研究所 [課題番号: 1509], Baba et al. 2018)。豊後水道で長期 SSE が発生した時に豊後水道での深部超低周波地震活動が活性化すること、その活性化領域が 2010 年と 2014 年では異なり、長期 SSE の大きさや活動範囲を反映することなどがわかった (図 10)。また、豊後水道から愛媛県西部にかけて、2014 年後半以降に深部超低周波地震活動が低下しており、プレート間の固着強度が長期的に変化している可能性を示した。

同様の解析を紀伊・東海地方でも行ったが、超低周波地震の検出数自体が少なく、明瞭な活動度の時間変化は見られなかった。

GNSS データを用いたプレート間固着分布の推定では、内陸のブロック運動を考慮したブロック断層モデルを用いて、2014 年以降の解析を行った（国土地理院〔課題番号：6003〕）。東海地方と九州東岸の SSE に加え、紀伊半島東岸での固着が 2014-2015 年に比べて若干小さくなる結果が得られた（図 1 1）。この紀伊半島東岸の固着の弱化は、紀伊半島東岸で 2016 年 4 月 1 日の三重県南東沖の地震（M6.5）に加え、一連の短期的 SSE の発生による地殻変動の変化を受けたためであると考えられる。なぜ、2014-2015 年に比べて短期的 SSE の発生に伴う地殻変動がトレンドを変えるほど大きくなったのかは不明であり、今後注視していく必要がある。

#### （南西諸島海溝）

日向灘から奄美大島にかけてのフィリピン海プレートの沈み込みプレート境界において、相似地震から準静的滑り速度を求めた（図 1 2）（鹿児島大学〔課題番号：2301〕）。喜界島北部（領域 K）を除く 9 領域で、2015 年頃から準静的滑り速度がほぼ同期して変化している。しかしながら、滑り速度の増減は一致しておらず、6 領域が増加しているのに対し、3 領域では減速している。2015 年以降の変化を詳細に見ると都井岬沖付近の領域で、準静的滑り速度が最も増加し、種子島の南東沖や北東沖、トカラ列島東方域でも増加の傾向が認められる。一方、減速したのは屋久島の南東沖であるが、減速の程度は大きくない。1993 年以降にこの地域のプレート境界で発生した M6.4 以上の地震発生時の前後で準静的滑り速度が速くなっており、2015 年以降に準静的滑り速度が速くなったことは「固着が剥がれ始めた」可能性を示唆する。

### 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

#### （海域観測機器）

東北沖地震の最大滑り域付近の日本海溝において、2013 年、2014-2015 年、及び 2015-2016 年にかけての 3 回にわたり、海溝軸を跨ぐ形での海底間音響測距観測を行いプレート境界の収束状態を計測し、3 回目の観測のデータ解析を進めた（東北大学〔課題番号：1210〕）。海溝軸を跨ぐ 151A-153B の基線（基線長：7620 m）では、走時データに、音速を規定する海中温度と海底圧力及び機器の姿勢補正を施した結果、平均 3 mm/yr の基線長変化の検出精度を達成し、精度の範囲内で有意な海溝軸の基線長変化は見られないことを実測により示した（図 1 3）。このことは、太平洋プレート側の観測点も含む広域 GNSS-A 観測結果とも調和的である。また、GPS-A 観測から海溝軸付近での余効滑りが予想されている福島県沖の海溝軸でも、2017 年 3 月から同様の観測を開始し、さらに 2017 年 10 月には、音響パスを確実に通すための中継局を追加設置し、現在も観測中である。

次世代型広帯域海底地震計（BBOBS-NX）において自律展開設置・自己浮上方式を改良した新型機（NX-2G）の長期試験観測を 2017 年 4 月の研究船航海時に実施した（東京大学地震研究所〔課題番号：1521〕）。また、同航海では、宮城沖の海溝斜面に 2015 年 9 月に設置

した BBOBST-NX (傾斜観測機能付き BBOBS-NX) も回収し、海底下での長期間の傾斜データを取得することに成功した。観測期間の途中から、機器トラブルとは考え難い大きな傾斜変動が記録されていたが(図 1 4)、同時期に近傍で海底水圧計などの記録が無く、その原因はいまのところ不明である。

#### (6) 国際共同研究・国際協力

2014年5月10日から2015年6月にかけて、ニュージーランド(NZ)北島ギズボーン沖合にて日・NZ・米3か国共同で行った大規模海域地球物理観測 HOBITSS (Hikurangi Ocean Bottom Investigation of Tremor and Slow Slip) では、海底地震計と圧力計の合計22台を設置し、全台の回収に成功した(東京大学地震研究所[課題番号:1524])。2014年9月から10月にかけて観測網直下において、これまでに観測されている中で2番目に大きい規模のスロースリップが発生し、このスロースリップの観測に成功した。ヒ克蘭ギ沈み込み帯では、これまで微動の活動については必ずしも明らかとなっていなかったため、海底地震計の記録を用いて、目視による微動の検出、さらにはエンベロープ相関法による微動の震源決定を進めたところ、これまでにスロースリップに伴った微動と考えられる活動が1日あたり0~12個程度、特にスロースリップ活動の後半から2週間程度の期間に認められた。その震源はスロースリップの断層滑りが及ばない沈み込んだ海山の基底部周辺に集中しているように見える(図 1 5)。

1906年 Colombia-Ecuador 巨大地震の滑り量分布を津波波形インバージョンにより推定し、同じ場所で発生した1942年・1958年・1979年の大地震のシーケンスとの違いを議論した(北海道大学[課題番号:1002], Yamanaka et al., 2017)。1906年の超巨大地震は1958年や1979年の震源域も破壊しているが、大滑り領域はそれらより北東側に位置していることがわかった(図 1 6)。つまり1906年超巨大地震の破壊域は1958年・1979年の破壊域を含んで広がっているが、大滑り域は1942年・1958年・1979年地震とは違っており、巨大地震の多様性を示す結果となった。

#### これまでの課題と今後の展望

以上の個別の成果に代表されるように、平成29年度における海溝型地震に関する観測研究は、前年度までの成果を踏まえてさらに発展させる研究成果やプレート間の固着や滑りに関するモニタリング結果が得られ、概ね計画通りに着実に成果を挙げたと言える。平成28年度の特筆すべき成果として、海底観測技術の進展により沖合の固着と滑りが検出されるようになったことを記したが、今年度はこれらの観測技術の継続的発展のみならず、沖合の観測データを活かすためのモデリング手法の高度化も実施され、現時点での地殻変動データに基づく南海トラフ沿いや日本海溝沿いの固着と滑り分布が詳細に推定されるようになった。また、相似地震や低周波微動・超低周波地震などのモニタリングの継続的発展とモニタリング手法の高度化も実施され、南海トラフや南西諸島海溝、日本海溝沿いなどでプレート間滑りの時間変化が検出されている。また、過去の実施された地震波構造探査データの再解析も複数の地域で試みられており、最新の解析手法とスロー地震などの近年発見された現象を踏まえた新たな解釈を通じて、地震発生場の理解に貢献している。

これらのプレート間滑りのモニタリングの高度化とシミュレーションや実験を中心とした断層摩擦特性の理解が本部会における研究の両輪と言えるが、シミュレーション研究については、潮汐などの微少な応力擾乱が SSE の発生有無や発生時期に大きく関わる可能性が示されたことや、地震間の応力蓄積過程から地震時のダイナミックな破壊過程までを統一的なスキームで取り扱う研究が行われつつあり、今後の進展が期待される。

また、社会に貢献するという本計画の目標に関しては、主に南海トラフ巨大地震総合研究グループの研究集会に参加する形で部会間や各課題レベルでの連携が行われている。本計画中での組織的な貢献という意味では、まだ発展途上の段階ではあるが、課題担当者や他の研究プロジェクトに関連したものとして、地域での講演会や地方公共団体の防災政策への参画など様々な形で、地震学の社会に対する貢献は行われるようになった。以上のことから、本計画は平成 30 年度で最終年度を迎えるが、地震現象の理解と予測そして地震災害の軽減に貢献するという目標を進めるために、現計画での研究の方向性を保ちながら観測研究を継続することが望ましい。

## 成果リスト

- Aldam, M., S. Xu, E. A. Brener, Y. Ben-Zion, and E. Bouchbinder, 2017, Non-monotonicity of the frictional bimaterial effect, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, 8270-8284, doi:10.1002/2017JB014665.
- Ando, R., K. Imanishi, Y. Panayotopoulos, and Kobayashi, T., 2017, Dynamic rupture propagation on geometrically complex fault with along-strike variation of fault maturity: insights from the 2014 Northern Nagano earthquake, *Earth Planets Space*, 69, 130, doi:10.1186/s40623-017-0715-2.
- Araki, E., D.M. Saffer, A.J. Kopf, L. Wallace, T. Kimura, Y. Machida, S. Ide, E. Davis, and IODP Expedition 365 shipboard scientists, 2017, Recurring and triggered slow-slip events near the trench at the Nankai Trough subduction megathrust, *Science*, 356, , 1157-1160, doi:10.1126/science.aan3120.
- Baba, S., A. Takeo, K. Obara, A. Kato, T. Maeda, and T. Matsuzawa, 2018, Temporal activity modulation of deep very low frequency earthquakes in Shikoku, southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 45, doi:10.1002/2017GL076122.
- Barth, A.P., K. Tani, S. Meffre, J.L. Wooden, M.A. Coble, R.J. Arculus, O. Ishizuka, and J.T. Shukle, 2017, Generation of silicic melts in the early Izu-Bonin arc recorded by detrital zircons in proximal arc volcanoclastic rocks from the Philippine Sea. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, doi:10.1002/2017GC006948.
- Chao, K., Z. Peng, Y.-J. Hsu, K. Obara, C. Wu, K.-E. Ching, S. van der Lee, H.-C. Pu, P.-L. Leu, and A. Wech , 2017, Temporal Variation of Tectonic Tremor Activity in Southern Taiwan Around the 2010 ML6.4 Jiashian Earthquake, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, doi:10.1002/2016JB013925.

- Chiyonobu, S., Y. Yamamoto, and S. Saito, 2107, Calcareous nannofossil biostratigraphy and geochronology of Neogene trench-slope cover sediments in the south Boso Peninsula, central Japan: Implications for the development of a shallow accretionary complex, *Tectonophysics* 710-711, 56-68. doi:10.1016/j.tecto.2016.11.030.
- Cho, I. and T. Iwata, 2018, Development and numerical tests of a Bayesian approach to infer shallow velocity structures using microtremor arrays, *Exploration Geophysics*, doi:10.1071/EG18011.
- Delbridge, B. G., S. Kita, N. Uchida, C. W. Johnson, T. Matsuzawa, and R. Burgmann, 2017, Temporal variation of intermediate-depth earthquakes around the time of the M 9.0 Tohoku-oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 44(8), 3580-3590, doi:10.1002/2017GL072876.
- Emoto, K., T. Saito, and K. Shiomi, 2017, Statistical parameters of random heterogeneity estimated by analysing coda waves based on finite difference method. *Geophys. J. Int.*, 211, 1575-1584.
- Fujiwara T., F. C. dos Santos, A. K. Bachmann, M. Strasser, G. Wefer, T. Sun, T. Kanamatsu, and S. Kodaira, 2017, Seafloor Displacement after the 2011 Tohoku-oki Earthquake in the Northern Japan Trench Examined by Repeated Bathymetric Surveys, *Geophys. Res. Lett.*, 44, doi:10.1002/2017GL075839.
- Fukuchi, R., A. Yamaguchi, Y. Yamamoto, and J. Ashi, 2017, Paleothermal structure of the Nankai inner accretionary wedge estimated from vitrinite reflectance of cuttings, *G-Cubed*, doi:10.1002/2017GC006928.
- Fukuda, J., 2018, Variability of the space-time evolution of slow slip events off the Boso Peninsula, central Japan, from 1996 to 2014, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 123, doi:10.1002/2017JB014709.
- Fukuda, J. and I. Shimizu, 2017, Theoretical derivation of flow laws for quartz dislocation creep: Comparisons with experimental creep data and extrapolation to natural conditions using water fugacity corrections, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, 5956-5971, doi:10.1002/2016JB013798.
- Fukuyama, E., F. Yamashita, and K. Mizoguchi, 2017, Voids and rock friction at subseismic slip velocity, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-017-1728-2.
- Fukuyama, E., K. Tsuchida, H. Kawakata, F. Yamashita, K. Mizoguchi, and S. Xu, 2018, Spatiotemporal complexity of 2-D rupture nucleation process observed by direct monitoring during large-scale biaxial rock friction experiments, *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2017.12.023.
- Hamada, Y., M. Kitamura, Y. Yamada, Y. Sanada, T. Sugihara, S. Saito, K. Moe, and T. Hirose, 2018, Continuous depth profile of the rock strength in the Nankai accretionary prism based on drilling performance parameters, *Scientific Report*, 8, 2622, doi:10.1038/s41598-018-20870-8.

- Hamahashi, M., E. Screenshot, W. Tanikawa, Y. Hashimoto, K. Martin, S. Saito, and G. Kimura, 2017, Normal faulting and mass movement during ridge subduction inferred from porosity transition and zeolitization in the Costa Rica subduction zone. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 18, 2601-2616, doi:10.1002/2016GC006577.
- Hashimoto, Y. and K. Ujiie, Normal faults at depth with thrust faults in an exhumed accretionary complex, Kayo Formation, Okinawa islands, Japan, GSA Books, in press.
- Hashimoto, Y., S. Abe, H. Tano, M. Hamahashi, S. Saito, G. Kimura, A. Yamaguchi, R. Fukuchi, J. Kameda, Y. Hamada, Y. Kitamura, K. Fujimoto, S. Hina, and M. Eida, 2017, Acoustic properties of deformed rocks in the Nobeoka thrust, in the Shimanto Belt, Kyushu, Southwest Japan, *Island Arc.*, 26, e12198, doi:10.1111/iar.12198.
- Hatakeyama, N., N. Uchida, T. Matsuzawa, and W. Nakamura, 2017, Emergence and disappearance of interplate repeating earthquakes following the 2011 M9.0 Tohoku-oki earthquake: Slip behavior transition between seismic and aseismic depending on the loading rate, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122(7), 5160-5180, doi:10.1002/2016JB013914.
- 林 為人・廣瀬丈洋・谷川 亘・濱田洋平, 2017, 科学掘削による地震断層の応力状態・物性・すべりパラメーターの評価, *地学雑誌*, 126, 223-246.
- Heidarzadeh, M., S. Murotani, K. Satake, T. Takagawa, and T. Saito, 2017, Fault size and depth extent of the Ecuador earthquake (Mw 7.8) of 16 April 2016 from teleseismic and tsunami data, *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1002/2017GL072545.
- Hirono, T., K. Tsuda, W. Tanikawa, J.-P. Ampuero, B. Shibasaki, M. Kinoshita, and J. J. Mori, 2016, Near-trench slip potential of megaquakes evaluated from fault properties and conditions, *Scientific Report*, 6, 28184; doi:10.1038/srep28184.
- 廣瀬丈洋, 2017, 実験室から探る南海トラフ地震断層運動, *地盤工学会誌*, 65, 70-77.
- 五十嵐俊博, 2017, 日本列島周辺の地震クラスター—検出および時間・空間的特徴—, *地震* 第2輯, 70, 183-194, doi:10.4294/zisin.2017-4.
- Iinuma, T., 2018, Monitoring of the spatio-temporal change in the interplate coupling at northeastern Japan subduction zone based on the spatial gradients of surface velocity field, *Geophysical J. Int.*, 213, 30-47, doi:10.1093/gji/ggx527
- Ito, K., K. Ujiie, and H. Kagi, 2017, Detection of increased heating and estimation of coseismic shear stress from Raman spectra of carbonaceous material in pseudotachylyte, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 1749-1757, doi:10.1002/2016GL072457.

- 伊藤喜宏, 2018, 講座「南海トラフ巨大地震・津波発生の真実にせまる～強靱な社会の構築に向けて～」5. 南海トラフのスロー地震と断層活動, 地盤工学会誌, 66(1), 54-60.
- Ito, Y., M. J. Ikari, K. Ujiie, and A. J. Kopf, 2017, Coseismic slip propagation on the Tohoku plate boundary fault facilitated by slip-dependent weakening during slow fault slip, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 8749-8756, doi:10.1002/2017GL074307.
- Kameda, J., S. Inoue, W. Tanikawa, A. Yamaguchi, Y. Hamada, Y. Hashimoto, G. Kimura, 2017, Alteration and dehydration of subducting oceanic crust within subduction zones: Implications for décollement step-down and plate boundary seismogenesis, *Earth Planets Space*, 69, 52, doi:10.1186/s40623-017-0635-1.
- Kameda, J., A. Okamoto, K. Sato, K. Fujimoto, A. Yamaguchi, and G. Kimura, 2017, Opal-CT in chert beneath the toe of the Tohoku margin and its influence on the seismic aseismic transition in subduction zones, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 687-693, doi:10.1002/2016GL071784.
- Kaneko Y., E. Fukuyama, and I. J. Hamling, 2017, Slip-weakening distance and energy budget inferred from near-fault ground deformation during the 2016 Mw7.8 Kaikōura earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 44, doi:10.1002/2017GL073681.
- Katakami, S., Y. Yamashita, H. Yakiyama, H. Shimizu, Y. Ito, and K. Ohta, 2017, Tidal Response in Shallow tectonic tremors, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 19, doi:10.1002/2017GL074060.
- 川上源太郎・加瀬善洋・ト部厚志・高清水康博・仁科健二, 2017, 日本海東縁の津波とイベント堆積物. 地質学雑誌, 123, 857-877.
- 川村喜一郎, 金松敏也, 山田泰広, 2017, 海底地すべりと災害-これまでの研究成果と現状の問題点-. 地質学雑誌. 123(12), 999-1014.
- 木村 学・木下正高・金川久一・金松敏也・芦 寿一郎・斎藤実篤・廣瀬文洋・山田泰広・荒木英一郎・江口暢久・Sean Toczko, 2018, 南海トラフ地震発生帯掘削がもたらした沈み込み帯の新しい描像, 地質学雑誌, 124, 47-65.
- Kitajima, H., D. Saffer, H. Sone, H. Tobin, and T. Hirose, 2017, In-situ stress and pore pressure in a deep interior of the Nankai accretionary wedge, IODP Site C0002, *Geophys. Res. Lett.*, 44, doi:10.1002/2017GL075127.
- Kitamura, M. and T. Hirose, 2017, Strength determination of rocks by using indentation tests with a spherical indenter, *Journal of Structural Geology*, 98, 1-11, doi:10.1016/j.jsg.2017.03.009.
- Komori, J., M. Shishikura, R. Ando, Y. Yokoyama, and Y. Miyairi, 2017, History of the great Kanto earthquakes inferred from the ages of Holocene marine terraces revealed by a comprehensive drilling survey, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 471, 74-84.

- Kono, A., T. Sato, M. Shinohara, K. Mochizuki, T. Yamada, K. Uehira, T. Shinbo, Y. Machida, R. Hino, and R. Azuma, 2017, Geometry and spatial variations of seismic reflection intensity of the upper surface of the Philippine Sea plate off the Boso Peninsula, Japan, *Tectonophysics*, 709, 44-54.
- Kubota, T., T. Saito, W. Suzuki, and R. Hino, 2017, Estimation of seismic centroid moment tensor using ocean bottom pressure gauges as seismometers. *Geophys. Res. Lett.*, 44, 10907-10915. doi:10.1002/2017GL075386.
- Kusakabe, T. and N. Kame, 2017, Derivation of 2-D XBIEM kernels and their application to a rupture crossing a bimaterial interface, *Geophys. J. Int.*, 210, 1374-1387, doi:10.1093/gji/ggx240.
- 桑野修, 2018, 高速せん断される摩擦接触面の発熱の可視化, *可視化情報学会誌*, 38(149) (印刷中).
- Lin, W., O. Tadai, M. Kinoshita, J. Kameda, W. Tanikawa, T. Hirose, Y. Hamada, and O. Matsubayashi, 2017, Thermal conductivity changes of subducting basalt, Nankai subduction zone, SW Japan: An estimation from laboratory measurements under separate high-pressure and high-temperature conditions, in *Geology and Tectonics of Subduction Zones: A Tribute to Gaku Kimura*, *Geol. Soc. Am.*, doi:10.1130/2018.2534.
- McLaskey, G. and F. Yamashita, 2017, Slow and fast ruptures on a laboratory fault controlled by loading characteristics, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, 3719-3738.
- Mizutani, T., K. Hirauchi, W. Lin, and M. Sawai, 2017, Depth dependence of the frictional behavior of montmorillonite fault gouge: Implications for seismicity along a décollement zone, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 5383-5390.
- 望月公廣, 2017, 沈み込み帯におけるプレート境界面の不均質と地震活動—日本海溝およびヒクランギ沈み込み帯を例として—(総説), *地学雑誌*, 126(2), 207, DOI:10.5026/jgeography.126.207.
- 森下知晃・藤江剛・山野誠・中西正男・尾鼻浩一郎・中村恭之・斎藤実篤・小平秀一・木村純一・黒田潤一郎・小野重明, 2017, 古い海洋プレートの沈み込み直前での屈曲断層形成に伴う加水作用解明に向けた海洋掘削計画概要. *地学雑誌*, 126(2)247-262. doi:10.5026/jgeography.126.247.
- Morishita, T, B. Ghosh, Y. Soda, T. Mizukami, K. Tani, O. Ishizuka, A. Tamura, C. Komaru, S. Arai, H. C. Yang, and W. S. Chen, 2018, Petrogenesis of ultramafic rocks and olivine-rich troctolites from the East Taiwan Ophiolite in the Lichi mélange, *Mineralogy and Petrology*, doi:10.1007/s00710-017-0547-6.
- Nakajima, J., 2018, Isolated intermediate-depth seismicity north of the Izu peninsula, Japan: implications for subduction of the Philippine Sea Plate, *Earth Planets Space* 70:11, doi:10.1186/s40623-018-0779-7.

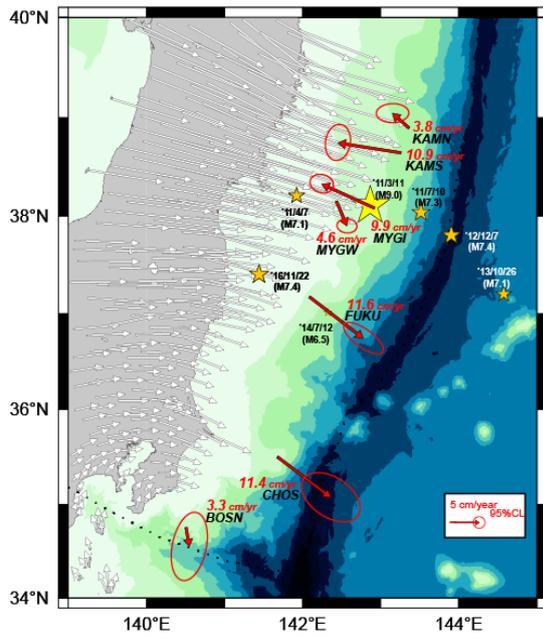
- Nakamura, H., H. Iwamori, O. Ishizuka, and T. Nisizawa, 2017, Distribution of slab-derived fluids around the edge of the Philippine Sea Plate from Central to Northeast Japan, *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2017.12.004.
- Nakata, R., H. Hino, T. Kuwatani, S. Yoshioka, M. Okada, and T. Hori, 2017, Discontinuous boundaries of slow slip events beneath the Bungo Channel, southwest Japan, *Scientific Reports*, 7, doi:10.1038/s41598-017-06185-0.
- Nishimura, T., Y. Yokota, K. Tadokoro, and T. Ochi, 2018, Strain partitioning and interplate coupling along the northern margin of the Philippine Sea plate, estimated from GNSS and GPS-A data, *Geosphere*, 14, doi:10.1130/GES01529.1.
- Noda, A., T. Takahama, T. Kawasato, and M. Matsu'ura, 2018, Interpretation of offshore crustal movements following the 2011 Tohoku-Oki earthquake by the combined effect of afterslip and viscoelastic stress relaxation, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-017-1682-z.
- Noda, H., M. Sawai, and B. Shibazaki, 2017, Earthquake sequence simulations with measured properties for JFAST core samples, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, A375, doi:10.1098/rsta.2016.0003.
- Nomura, S., Y. Ogata, N. Uchida, and M. Matsu'ura, 2017, Spatiotemporal variations of interplate slip rates in northeast Japan inverted from recurrence intervals of repeating earthquakes, *Geophys. J. Int.*, 208, 468-481, doi:10.1093/gji/ggw395.
- Obana, K., Y. Nakamura, G. Fujie, S. Kodaira, Y. Kaiho, Y. Yamamoto, and S. Miura, 2018, Seismicity in the source areas of the 1896 and 1933 Sanriku earthquakes and implications for large near-trench earthquake faults, *Geophys. J. Int.*, 212, 2061-2072, doi:10.1093/gji/ggx532.
- Riaño A.C., J. C. Reyes, L. E. Yamin, J. S. Montejo, J. L. Bustamante, J. Bielak, N. Pulido, C. E. Molano, and A. Huguett, 2017, Development of a first 3D crustal velocity model for the region of Bogotá, Colombia, *Ingeniería e Investigación*, 37, 42-51.
- Saito, T., 2017, Tsunami generation: validity and limitations of conventional theories. *Geophys. J. Int.*, 210, 1888-1900, doi:10.1093/gji/ggx275.
- Sandanbata, O., S. Watada, K. Satake, Y. Fukao, H. Sugioka, A. Ito, and H. Shiobara, 2017, Ray tracing for dispersive tsunamis and source amplitude estimation based on Green's law: Application to the 2015 volcanic tsunami earthquake near Torishima, South of Japan, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-017-1746-0.
- Sato, T., S. Hasegawa, A. Kono, H. Shiobara, T. Yagi, T. Yamada, M. Shinohara, and N. Usui, 2017, Detection of vertical motion during a Boso slow-slip

- event by ocean-bottom pressure gauges, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 2710-2715, doi:10.1002/2017GL072838.
- Sawai, M., A.R. Niemeijer, T. Hirose, and C.J. Spiers, 2017, Frictional properties of JFAST core samples and implications for slow earthquakes at the Tohoku subduction zone, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 8822-8831.
- Shiraishi K., G. Fujie, T. Sato, S. Abe, E. Asakawa, and Kodaira, S., 2017, Interferometric OBS imaging for wide-angle seismic data, *Geophysics*, 2017, 82(5), Q39-Q51. doi:10.1190/geo2016-0482.1.
- Sutherland, R., G. R. Dickens, P. Blum, and the Expedition 371 Scientists, 2018. Expedition 371 Preliminary Report: Tasman Frontier Subduction Initiation and Paleogene Climate, International Ocean Discovery Program, doi:10.14379/iodp.pr.371.2018.
- Suzuki, T., 2017, Emergence and seismological implications of phase transition and universality in a system with interaction between thermal pressurization and dilatancy, *Phys. Rev. E*, 96, 023005, doi:10.1103/PhysRevE.96.023005.
- Takemura, S., K. Shiomi, T. Kimura, and T. Saito, 2016, Systematic difference between first-motion and waveform-inversion solutions for shallow offshore earthquakes due to a low-angle dipping slab, *Earth Planet Space*, 68, 149, doi:10.1186/s40623-016-0527-9.
- Takemura, S., K. Shiomi, and T. Saito, 2017, Sequence of deep-focus earthquakes beneath the Bonin Islands identified by the NIED nationwide dense seismic networks Hi-net and F-net, *Earth Planets Space* 69, 38. doi:10.1186/s40623-017-0625-3
- Tanaka, H. and T. Hatano, 2017, Statistical properties of Olami-Feder-Christensen model on Barabasi-Albert scale-free network, *Eur. Phys. J. B* 90: 248, doi:10.1140/epjb/e2017-80295-0.
- 田中昌之・岡田正実・内田直希, 2018, 繰り返し回数の少ない繰り返し地震系列に対する長期的地震発生確率予測の成績と検証, *地震 第2輯*, 70, 195-213, doi:10.4294/zisin.2016-17.
- Toki, T., M. Kinoshita, S. Morita, H. Masuda, H. Rashid, H. Yoshinishi, T. Nakano, and T. Noguchi, 2017, The vertical chloride ion profile at the IODP Site C0002, Kumano Basin, off coast of Japan, *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2016.11.029.
- Tomita, F., M. Kido, Y. Ohta, T. Iinuma, and R. Hino, 2017, Along-trench variation in seafloor displacements after the 2011 Tohoku earthquake, *Sci. Adv.*, 3, e1700113.
- Tonegawa, T., E. Araki, T. Kimura, T. Nakamura, M. Nakano, and L. Suzuki, 2017, Sporadic low-velocity volumes spatially correlate with shallow very low

- frequency earthquake clusters, *Nature Communications*, 8:2048,  
doi:10.1038/s41467-017-02276-8.
- Tonegawa, T., Y. Fukao, H. Shiobara, H. Sugioka, A. Ito, and M. Yamashita, 2017, Excitation Location and Seasonal Variation of Transoceanic Infragravity Waves Observed at an Absolute Pressure Gauge Array, *J. Geophys. Res. Oceans*, 122, doi:10.1002/2017JC013488.
- Toya, M., A. Kato, T. Maeda, K. Obara, T. Takeda, and K. Yamaoka, 2017, Down-dip variations in a subducting low-velocity zone linked to episodic tremor and slip: a new constraint from ScSp waves, *Scientific Reports* doi:10.1038/s41598-017-03048-6.
- Tsuru T., J. Park, T. No, Y. Kido, and K. Nakahigashi, 2018, Visualization of attenuation structure and faults in incoming oceanic crust of the Nankai Trough using seismic attenuation profiling, *Earth Planets Space*, 70:31, doi:10.1186/s40623-018-0803-y
- 内田直希, 2018, くり返し発生する地震と地震の準備過程, *パリテイ*, 33(1), 84-88.
- Umino, S., K. Kanayama, K. Kitamura, A. Tamura, O. Ishizuka, R. Senda, and S. Arai, 2017, Did boninite originate from the heterogeneous mantle with recycled ancient slab? *Island Arc*, doi:10.1111/iar.12221.
- Urata, Y., K. Yoshida, E. Fukuyama, and H. Kubo, 2017, 3-D dynamic rupture simulations of the 2016 Kumamoto, Japan, earthquake, *Earth Planets Space*, 69, 150, doi:10.1186/s40623-017-0733-0.
- Urata, Y., F. Yamashita, E. Fukuyama, H. Noda, and K. Mizoguchi, 2017, Apparent dependence of rate- and state-dependent friction parameters on loading velocity and cumulative displacement inferred from large-scale biaxial friction experiments, *Pure Appl. Geophys.*, 174, 2217-2237, doi:10.1007/s00024-016-1422-9.
- Vannucchi, P., E. Spagnuolo, S. Aretusini, G. Di Toro, K. Ujiie, A. Tsutsumi, and S. Nielsen, 2017, Past seismic slip-to-the-trench recorded in Central America megathrust, *Nature Geoscience* 10, 935-940, doi:10.1038/s41561-017-0013-4.
- Voropaev P., H. Takahashi, and V. Saltykov, 2018, Statistical Estimation of the Seismicity Level Change around Hokkaido, Northern Japan, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-018-1776-2.
- Xu, S., E. Fukuyama, F. Yamashita, K. Mizoguchi, S. Takizawa, and H. Kawakata, 2018, Strain rate effect on fault slip and rupture evolution: Insight from meter-scale rock friction experiments, *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2017.11.039.
- Xu, S. and Y. Ben-Zion, 2017, Theoretical constraints on dynamic pulverization of fault zone rocks, *Geophys. J. Int.*, 209(1), 282-296, doi:10.1093/gji/ggx033.

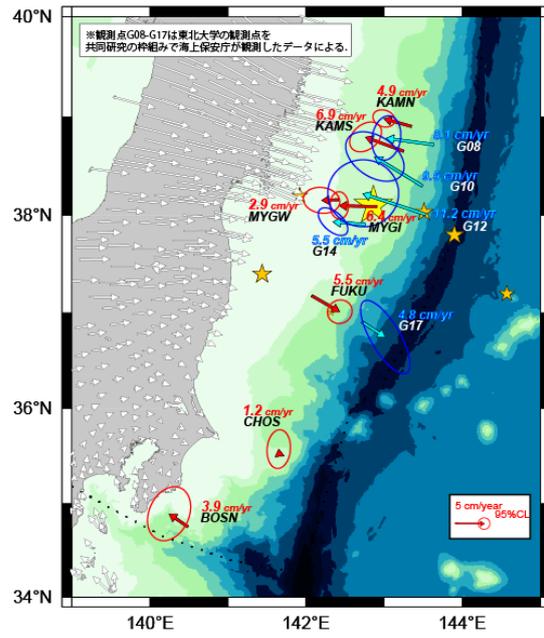
- Yamada, T., Y. Sato, Y. Tanioka, and J. Kawahara, 2017, Spatial pattern in stress drops of moderate-sized earthquakes on the Pacific Plate off south-east of Hokkaido, Japan: implications for the heterogeneity of frictional properties, *Progress in Earth and Planetary Science*, 4:38, doi:10.1186/s40645-017-0152-7.
- 山田泰広・Jim Mori・氏家恒太郎・林為人・小平秀一. 2018. 東北地方太平洋沖地震後の緊急調査掘削(IODP第343次航海:J-FAST)の成果. *地質学雑誌*. 124(1), 67-76.
- Yamanaka, Y., Y. Tanioka, and T. Shina, 2017, A long source area of the 1906 Colombia-Ecuador earthquake estimated from observed tsunami waveforms, *Earth Planets Space*, 69:163, doi:10.1186/s40623-017-0750-z.
- Yamashita, F., E. Fukuyama, S. Xu, K. Mizoguchi, H. Kawakata, and S. Takizawa, 2018, Rupture preparation process controlled by surface roughness on meter-scale laboratory fault, *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2018.01.034.
- Yoshida, K., T. Saito, Y. Urata, Y. Asano, and A. Hasegawa, 2017, Temporal changes in stress drop, frictional strength, and earthquake size distribution in the 2011 Yamagata-Fukushima, NE Japan, earthquake swarm, caused by fluid migration, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, doi:10.1002/2017JB014334.
- Yukutake, Y., R. Honda, M. Harada, R. Doke, T. Saito, T. Ueno, S. Sakai and Y. Morita, 2017, Analyzing the continuous volcanic tremors detected during the 2015 phreatic eruption of the Hakone volcano, *Earth Planets Space*, 69:164, doi:10.1186/s40623-017-0751-y.

2011年7月～2014年12月の平均速度



観測点	KAMN	KAMS	MYGI	MYGW	FUKU	CHOS	BOSN	電子基準点
期間	2011/4/3	2011/4/5	2011/3/28	2011/3/27	2011/3/29	2011/4/18	2011/4/19	2011/4/1
水平変位量	3.8 cm/year	10.9 cm/year	9.9 cm/year	4.6 cm/year	11.6 cm/year	11.4 cm/year	3.3 cm/year	—

2015年1月～2017年12月の平均速度



観測点	KAMN	KAMS	MYGI	MYGW	FUKU	CHOS	BOSN	電子基準点
期間	2015/1/26	2015/1/25	2015/1/15	2015/1/17	2015/1/13	2015/4/18	2015/4/17	2015/1/1
水平変位量	4.9 cm/year	6.9 cm/year	6.4 cm/year	2.9 cm/year	5.5 cm/year	1.2 cm/year	3.9 cm/year	—
観測点	G08	G10	G12	G14	G17	—	—	—
期間	2015/4/28	2015/4/28	2015/4/27	2015/1/14	2015/4/18	—	—	—
水平変位量	8.1 cm/year	9.5 cm/year	11.2 cm/year	5.5 cm/year	4.8 cm/year	—	—	—

図1. 日本海溝沿いの海底の水平地殻変動（海上保安庁〔課題番号：8001〕）。GNSS-A観測で得られた海底の地殻変動速度。陸上の変動ベクトルはGEONETのF3解による。黄色の星は2011年東北地方太平洋沖地震の本震，オレンジの星は海底の観測点において1cm以上の地殻変動変動が推定される余震を示す。

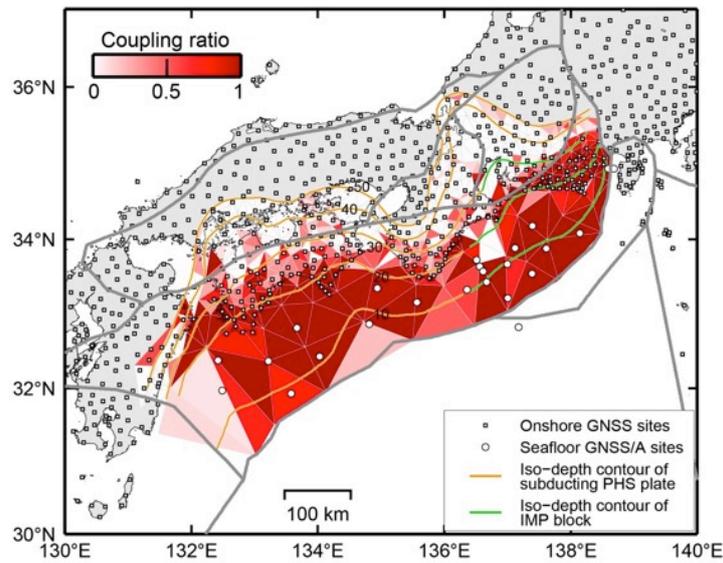
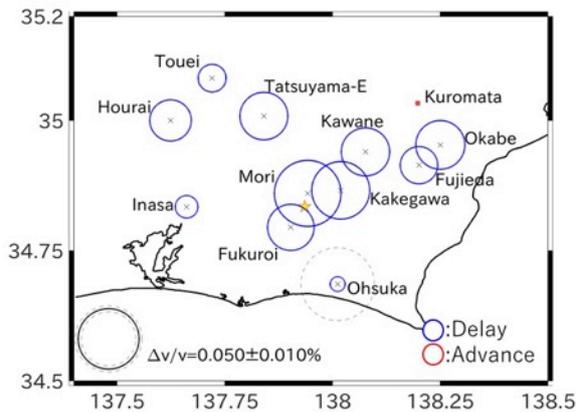


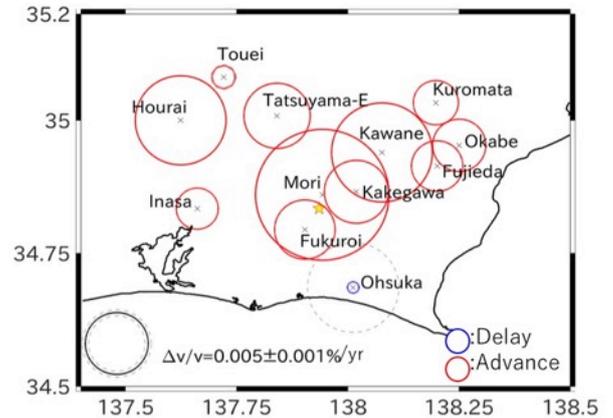
図2. ブロック断層モデルを用いて海陸地殻変動データから推定したプレート間固着の空間分布（名古屋大学 [課題番号：1703]）。プレート境界面の等深線は10kmごとに示してある。図中に示したブロック略称は、PHS：フィリピン海プレート、IMP：伊豆マイクロプレートである。灰色太線はブロック境界を示す。

**地震時の変化量**



伝播速度が遅れる傾向

**経年変化率**



伝播速度が速まる傾向

図3. ACROSS震源を用いた東海地方における地震波速度の変化（名古屋大学 [課題番号：1703]）。

地震時には地震波速度が遅れるのに対し、それ以外の時期には徐々に早くなる傾向が見られた。

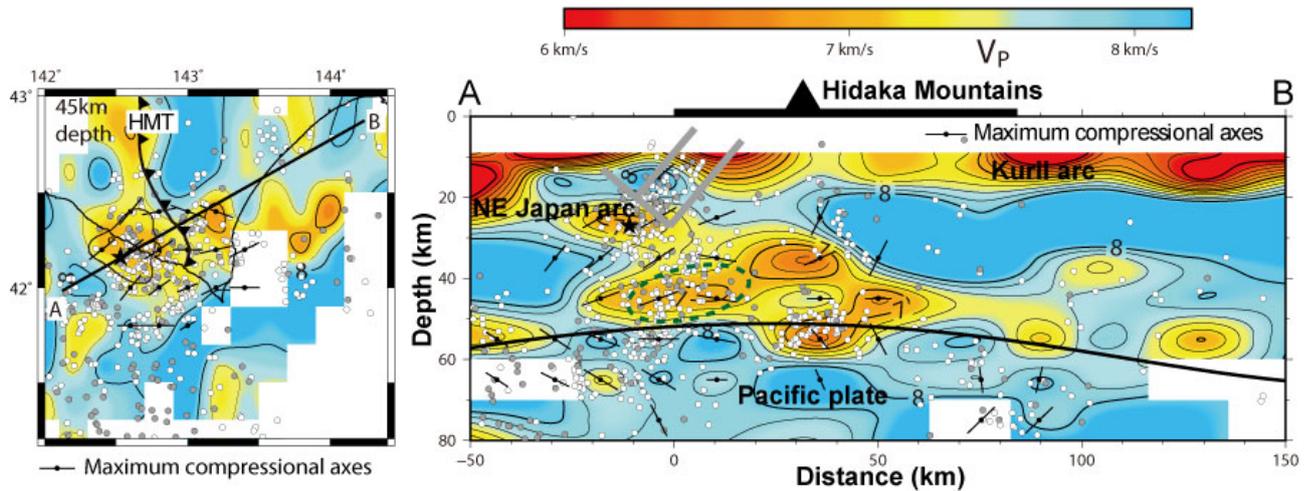


図 4. 海陸データを使用したトモグラフィック解析から得られた北海道南部の P 波速度構造（北海道大学 [課題番号：1002]）。

（左）深さ 45 km での水平断面図。左図中の星印と曲線で囲まれた領域は、1982 年浦河沖地震の鈴木・本谷（1983）による震央と Moriya et al.（1998）による余震域をそれぞれ示す。白と灰色の丸は深さ 40～50 km の微小地震の震央。最大主圧縮軸の向きを示す細い直線は、その向きが水平な場合に欄外の凡例で示した長さになるように射影して示してある。チェッカーボードテストでモデルが復元できた領域の速度のみを示す。（右）左図中の直線 A-B での鉛直断面図。Miyamachi and Moriya（1987）による 1982 年浦河沖地震の余震域を太い直線で、Katsumata et al.（2003）による太平洋プレート上面を黒い曲線でそれぞれ示す。微小地震の震源は、断面の両側それぞれ 10 km の範囲で発生したものが投影されている。緑色の破線の部分の低速度領域が陸上のデータのみからではイメージングされていない。

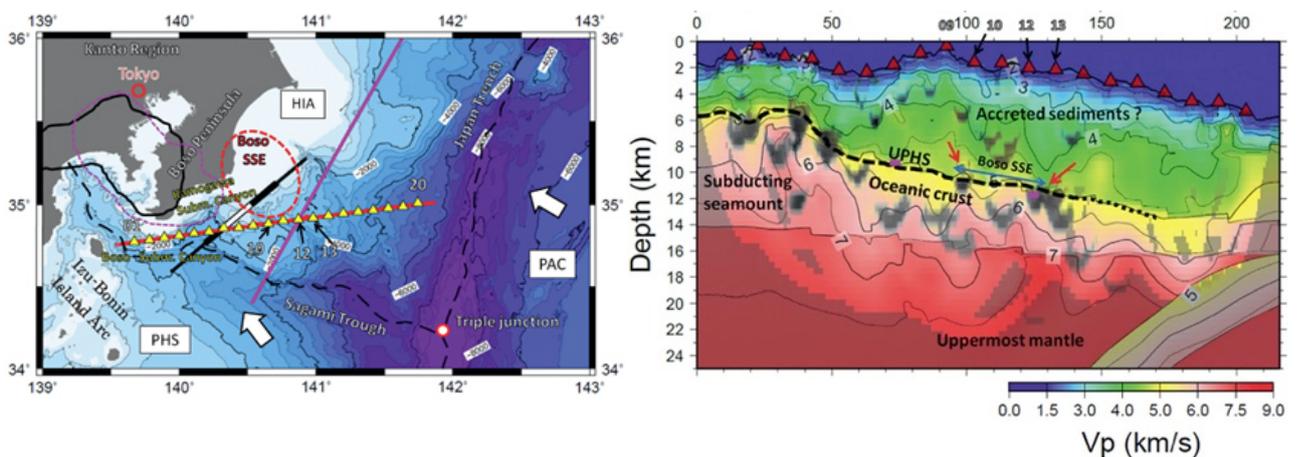


図 5. 房総沖人工地震探査データを用いた反射波強度の解析（東京大学地震研究所 [課題番号：1509]，Kono et al., 2017）。

（左）構造解析に用いた東西測線（赤線）。三角は海底地震計を示す。（右）東西測線下の 2 次元地震波速度構造と Travel time mapping 法による反射点の投影。図中の灰色の部分が見測された強い反射波の反射点を示す。破線はフィリピン海プレート上面。青矢印は房総沖 SSE 領域。赤矢印で示すように領域の両端に反射点があることがわかる。西側のプレート上面での反射は沈み込んだ海山に関係している。

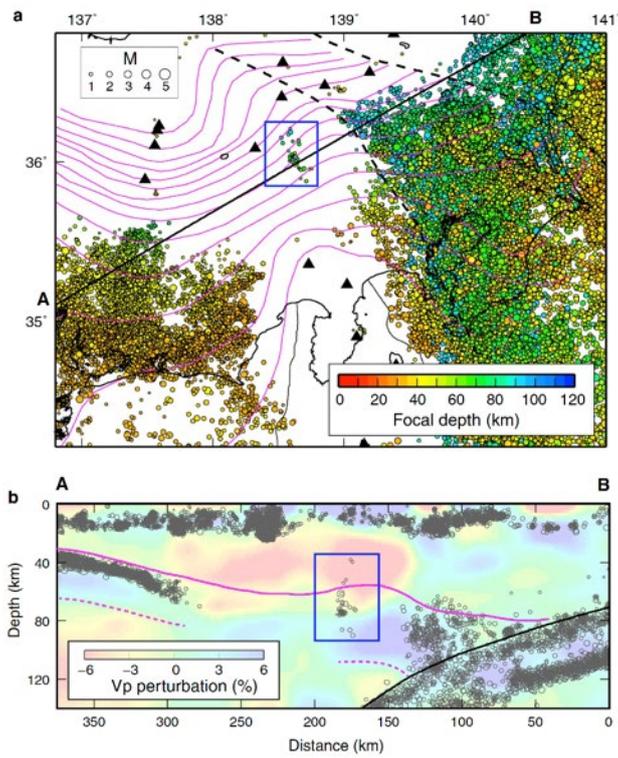


図 6. 伊豆半島北方に発生する孤立した地震活動（東北大学 [課題番号：1201]，Nakajima, 2018）。

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

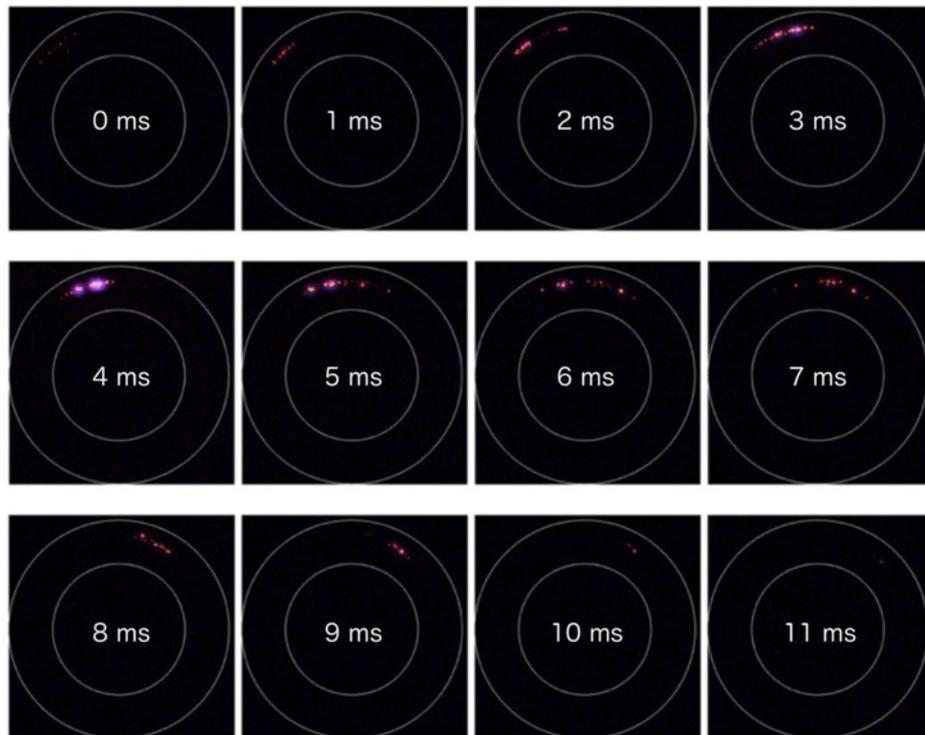


図 7. 高速せん断される摩擦面の可視画像のスナップショット（東京大学地震研究所〔課題番号：1507〕，桑野(2018)を改変）。

カラー高速カメラで1ミリ秒ごとに撮影した。白い線による円輪は試料のみかけの接触面(内径 6mm 外径 10mm)。石英ガラスで作った円筒試料は，サファイアガラスの平板に押しつけられ，時計周りに  $245\text{rad/s}$ (平均  $1\text{m/s}$  の滑りに相当)で回転している。平均法線応力は  $0.3\text{MPa}$  であるが，真実接触点はわずかで， $\text{GPa}$  レベルの法線/剪断応力が作用し，フラッシュヒーティングを起こしている。

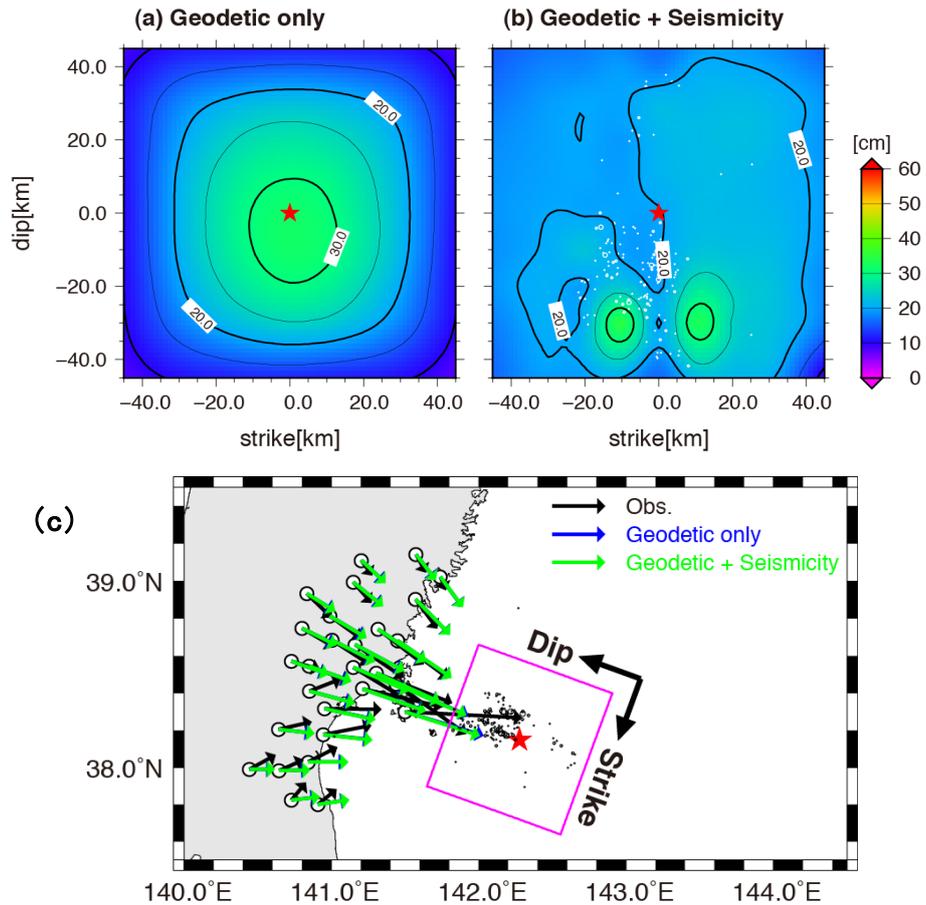


図 8. 地殻変動と地震活動データから推定された 2005 年宮城県沖地震の滑り分布（京都大学理学研究科 [課題番号：1803]）。

(a)地殻変動データのみを用いて推定された滑り分布（MCMC によって得られた事後分布の平均）。(b)地殻変動データに地震活動データを加えた場合。赤星は気象庁による本震震央に対応する。(c) 解析に用いた GNSS 観測点と地殻変動データ（黒矢印）及び余震の震央分布。青及び緑の矢印は推定された滑り分布（図 8）から期待される地殻変動。紫の四角が断層モデルの位置を表す。赤星は気象庁による本震震央。

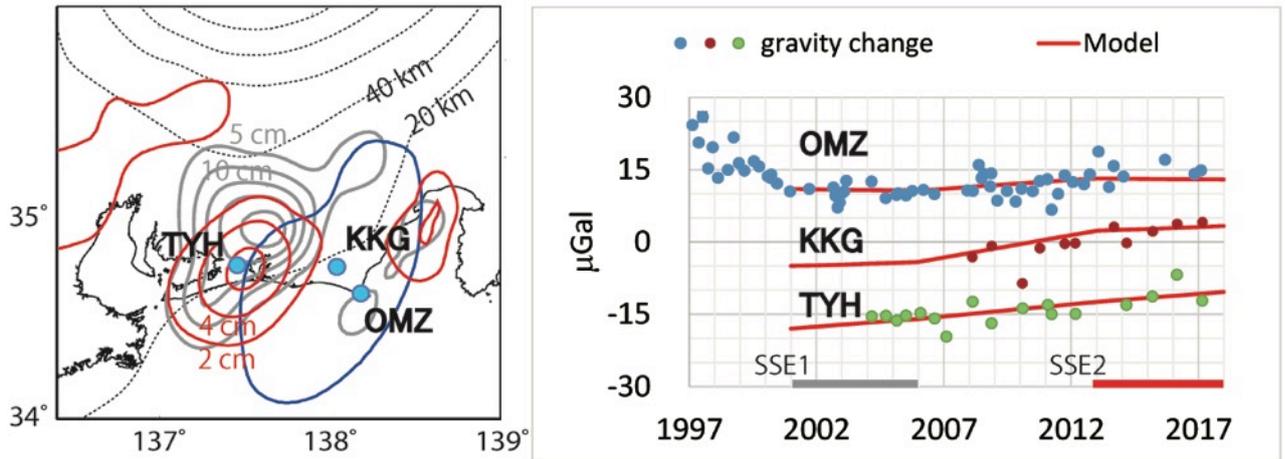


図 9. 東海地方で観測された異常な重力変化（東京大学地震研究所 [課題番号：1507]，Tanaka et al., 2018）。

左：観測点配置，右：観測結果。縦軸の単位はマイクロガル（1マイクロガル=10億分の1G）。地殻上下変動と余効変動の影響は除去しているため，地下の質量変化を表す。

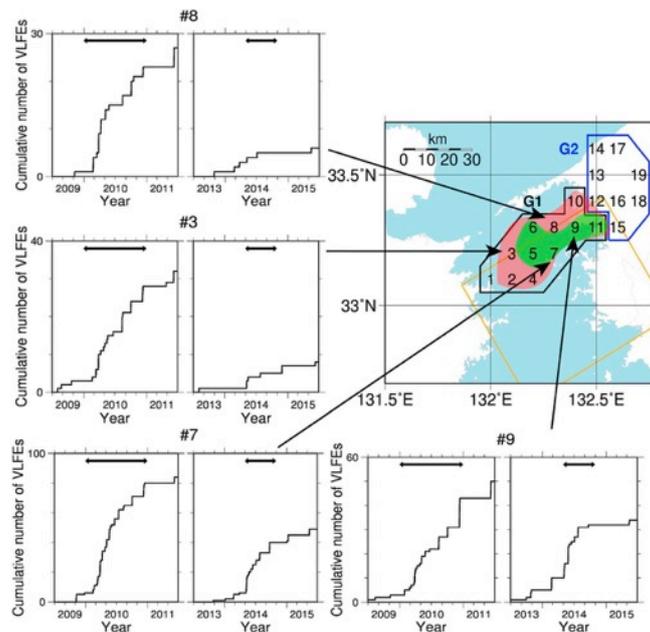


図 10. 豊後水道の各領域における 2010 年の長期 SSE，及び，2014 年の長期 SSE 発生時の深部超低周波地震の累積個数（東京大学地震研究所 [課題番号：1509]，Baba et al. 2018）。

時系列グラフは，図右上の数字で示したグリッドの 4 箇所における地震数を表す。また，深部超低周波地震活動が増加した領域を地図中の赤（2010 年）と緑（2014 年）で示す。黄色い四角が長期 SSE の断層面を示しており，2010 年の方がより広範囲に深部超低周波地震活動が増加することがわかる。

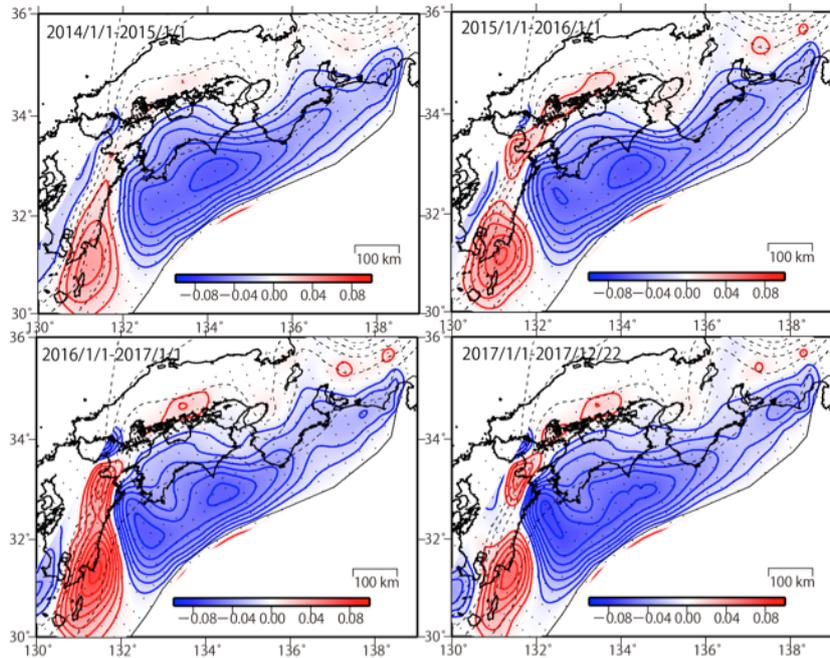


図11. ブロック断層モデルを用いてGNSSデータから推定された2014年以降の西南日本の固着（青）と滑り（赤）（国土地理院 [課題番号：6003]）。コンター間隔は1cm。

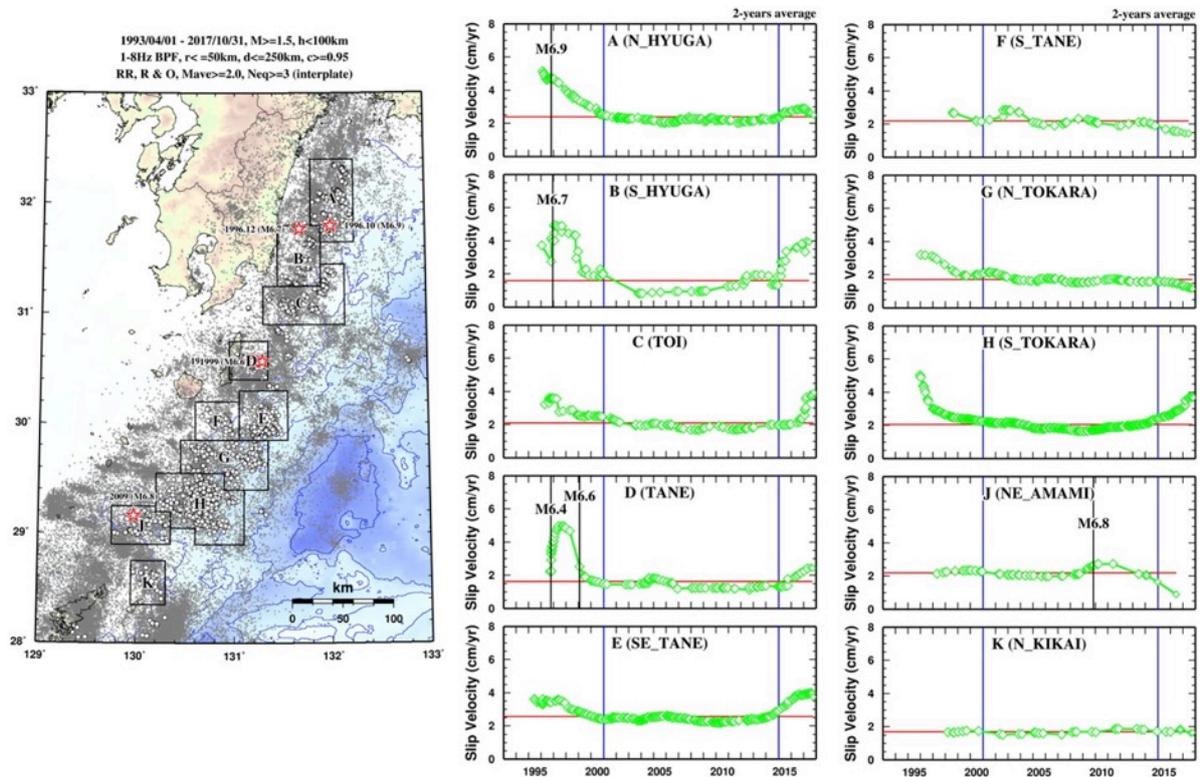


図12. 日向灘から奄美大島近海に至る10個の領域での準静的滑り速度の時間変化（鹿児島大学 [課題番号：2301]）。各図中の赤線は、準静的滑り速度の平均値を示す。1993年以降に発生したM6.4以上のプレート境界地震の発生時が、該当する図中に縦太線で示されている。なお、図中の青線は、2001年と2014年を示し、地震活動度が変化した時期に対応する。

## 解析の例

● 2局間の往復走時は、録音された波形と理論波形の相互相関により検出された。

● 海中音速の換算式は、Chen and Millero (1977) を用いた。

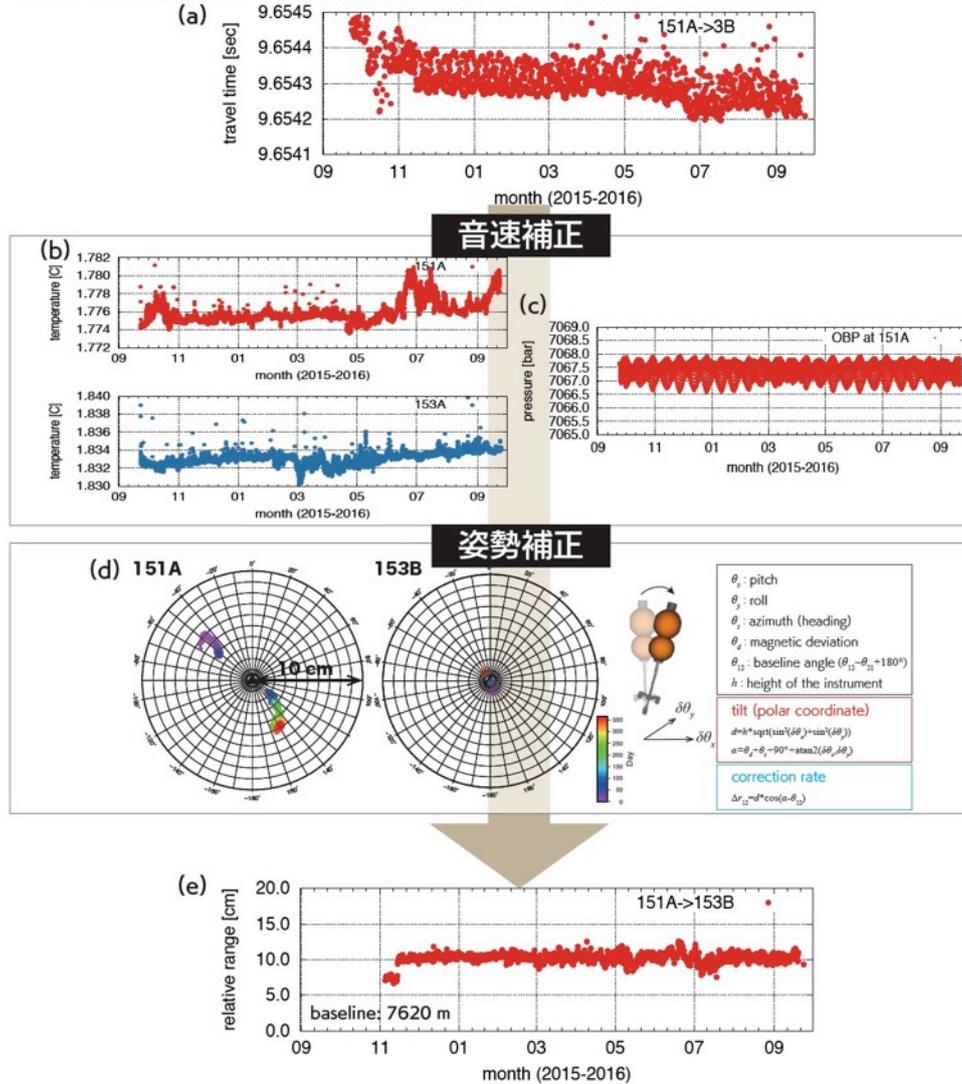


図 13. 宮城県沖の海溝軸を跨ぐ基線 151A-153B を例とした解析の手順（東北大学 [課題番号：1210]）。

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

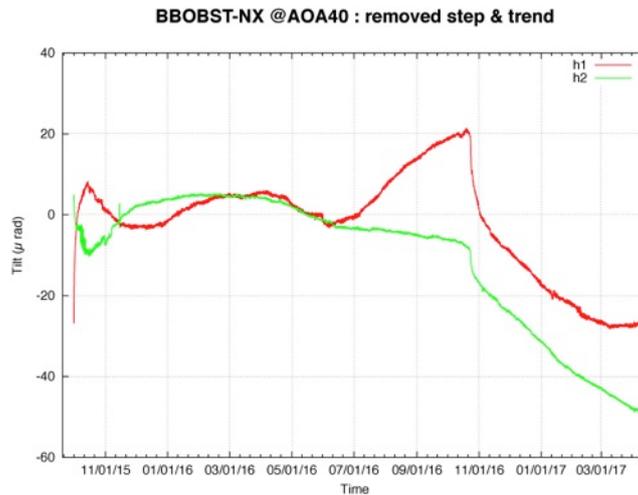


図 14. 宮城沖海溝斜面で長期試験観測した BBOBST-NX で得た傾斜変動記録（東京大学地震研究所 [課題番号：1521]）。

2015 年 9 月から 2017 年 4 月までの水平動 2 成分のマスポジション(加速度)記録から求めた傾斜変動記録。マスのセンタリングなどによるステップ変化を可能な限り連続にした後、経年変化分を関数近似し取り除いた。時間平均を行い、1 時間間隔のデータとしてある。2016 年 7 月までは両成分とも安定していたが、その後 h 1 成分のみ +20 $\mu$ rad への傾斜変化を示した後、両成分が負の傾斜へ大きく変化し続けた。Ito et al. (2013) で検出されたような SSE を仮定すれば、陸上観測点で検出されずこのような現象が見られる可能性はあるが、他の観測データが無いいため検証は難しい。

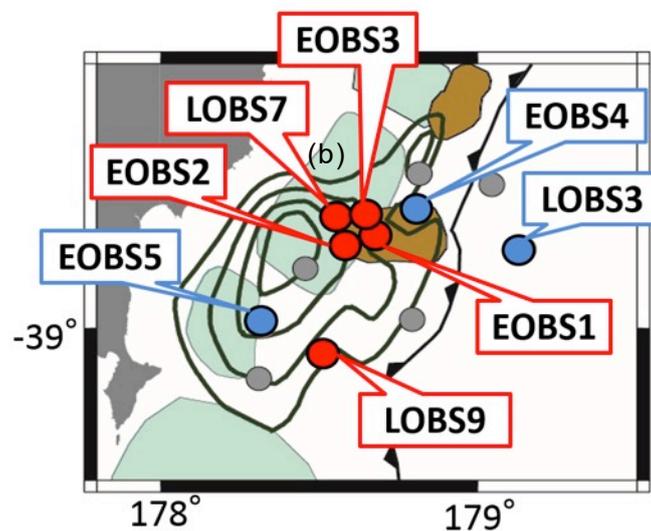


図 15. 微動が観測された海底地震計観測点分布（東京大学地震研究所 [課題番号：1524]）。

ニュージーランド北島東方沖の HOBITSS 海底地震観測点のうち、赤丸、青丸で示された観測点の連続波形記録を解析し、このうち赤丸で示された観測点でのみ、微動の発生が認められた。これは主として茶色で示される沈み込んだ海山の周辺に分布している。

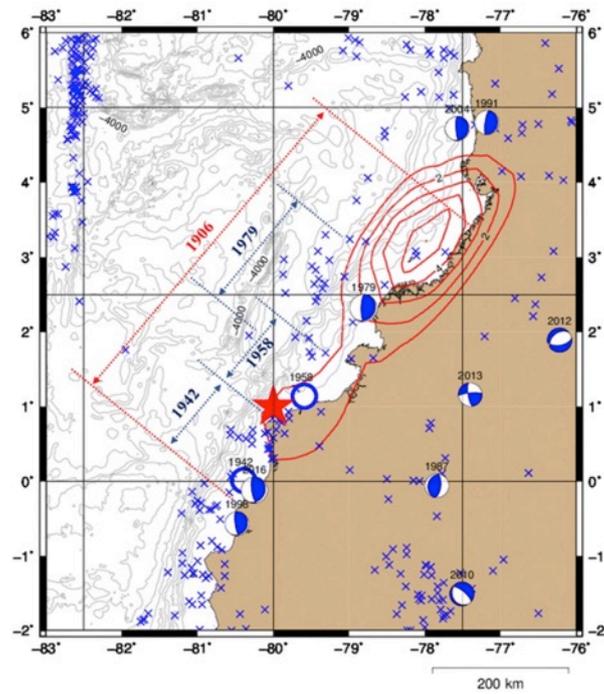


図16. 津波波形インバージョンにより推定された1906年Colombia-Ecuador巨大地震の滑り量分布（赤コンター，1m間隔）と1942年・1958年・1979年巨大地震の震源域の比較（北海道大学 [課題番号：1002]，Yamanaka et al., 2017）。メカニズムはGlobal CMTカタログMw7.0以上。青+はMw4.0以上（1971年から2017年）を示す。

## 1 (2) 内陸地震

「内陸地震」計画推進部会長 松本 聡（九州大学大学院理学研究院）

副部会長 上嶋 誠（東京大学地震研究所）

内陸地震部会では、内陸地震発生のモデル化を進め、災害軽減に貢献するために、内陸地震の発生場と発生機構の解明、およびその発生予測に関する研究を推進している。また、空間的な地震発生ポテンシャルを推定する手法開発をめざした研究を進めている。

内陸地震発生ポテンシャルを評価するための重要なパラメータとして、日本列島内陸にかかる広域的なローディング、それに対する地殻応答、個別の断層へのローディングや断層強度などがあげられる。昨年度初頭に熊本地震が発生したため、その発生メカニズムの解明のための多岐にわたる観測研究が実施されたほか、2011年東北地方太平洋沖地震後の変動場を精密に観測することで、断層へのローディング機構や粘弾性構造などを推定する研究が実施された。その他の全国各地の内陸地震発生域においても、地殻活動の時空間的变化やその変化を担う背景構造の調査が進められた。また、地震発生ポテンシャル評価の確立に向けての試行が開始された。

岩石や間隙流体の物理・化学的特性を明らかにするための室内における実験研究から、流体がレオロジー特性や速度構造・比抵抗構造特性に及ぼす影響についての理解が進んだ。一方、様々な地殻変動モデリングを行う上で基本的な情報となる、日本列島基本構造モデルのコンパイルが進められた。

さらに、関連する研究課題を取りまとめて得られる様々なパラメータを入力情報として、実際に地震活動評価を行い、災害発生予測や災害誘因予測につなげる研究手法の検討が始められた。以下にこれらの成果の概要を記す。

### 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

平成28年度において、背景地図の多様化と活断層線および調査地点情報の検索方法の修正を行っていた。

平成29年度の成果として、背景地図の多様化については、現在のシステムで表示が可能な「Google Maps」, 「簡易地図」, 「地理院地図」に加えて、地形陰影図や航空写真等を表示させる機能を実装した。これにより、活断層と地形や事物との関係の認識がより容易になることが期待される。活断層線および調査地点情報は、改良を加え、緯度経度情報に基づいて情報が得られるように改良した。（産総研[課題番号：5002]）。

#### (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

低頻度大規模地震現象の解明へのひとつのアプローチは、過去の大地震の痕跡を詳細に調査し、位置、規模、頻度などを復元することにある。明瞭な地表地震断層を出現させた神城断層地震および熊本地震の調査は、こうした観点からきわめて重要な意味を持つ。平成29年度には、熊本地震や神城断層

地震の調査を継続しながら、高解像度DEMデータの活用手法の確立と歴史地震の再検証を行った。

DEMデータの活用手法に関しては、人口集中域でも使用可能な軽量 UAV による空撮画像を用い、SfM-MVS 解析による地形モデルの作成を試みた。得られた地形モデルは、地表踏査による計測結果と一致し、十分な精度が達成されていることが明らかになった。海陸を統合した地形データによる沿岸域の変動地形については、沿岸海底の地形データを可能な限り収集して数値標高モデル (DEM) を生成し、陸上の DEM とあわせ、1 枚の画像で海陸を判読できる統合した地形アナグリフを作成した。その方法に基づいて南西諸島南部の石垣島とその周辺の変動地形を解析した結果、石垣島南東沖で北東—南西方向に延びていると推定されていた活断層に調和的な変動地形を抽出することができた。

地表地震断層を活用した過去の地震像の解明に関する調査は、糸魚川—静岡構造線活断層帯神城断層中北部、庄内平野等で進められている。

また、地震断層の形状・変位量・変位様式と、甚大な建物被害が発生した領域との関連性について、調査が進められた。2016 年熊本地震では、倒壊などの建物の甚大な被害が偏在し、特に地震断層 (= 活断層) から数百メートル以内の範囲で発生したことが特徴の一つとして挙げられていた。この甚大被害の集中要因を明らかにするため、地震断層の分岐・ステップ形状、断層末端部の形状について定性的な検討を行った。その結果、断層の分岐部や末端部に特に甚大被害が集中していたことが明らかにされた。一方、表層地質も被害の増大を大きく規定していることが明らかとなった。(名古屋大学[課題番号: 1702])。

### (3) 地震・火山噴火の発生場の解明

#### ウ) 内陸地震と火山噴火

内陸地震発生機構解明のためには、地震発生域に載荷される応力とその領域の強度との関係を把握し、推定された応力・強度分布と地震発生の時空間分布との相関を明らかにする必要があるが、現実的にはなかなか容易に達成されることではない。そこでまず、ある領域の地震発生ポテンシャルの把握に向けた研究の推進が必要である。そのためには、日本列島を取り囲むプレート運動や沈み込みによって形成される広域の応力載荷の状況を明らかにし、その応力載荷に対する内陸地殻の弾性・非弾性応答を把握するための観測やモデル化を行うことで、内陸地殻の応答特性を明らかにすることが求められる。さらに、個々の内陸地震の発生予測のためには、広域の応力載荷に対していかに個別の断層へ応力が集中するか、またどのような条件でそれぞれの断層の強度が低下するかを明らかにする必要がある。

昨年度の熊本地震や 2011 年東北地方太平洋沖地震が発生したことで、日本列島規模の顕著な応力場変化が起きていることは論を待たない。このため、その応力変化が継続しているこの数年間は、現実の観測から、内陸域の応答特性を把握し得る非常に貴重な時期にさしかかっていると考えられる。そのことを念頭において、本年度においても、従来実施してきた複数の地域における構造や地震活動を対比するための観測、およびデータ整理が進められた。また、個別の地域において、発生場の推定、それらのモデル化が試みられた。

本部会では、さらに他部会との連携を重視してきた。その一環として、昨年度、各地域で行われてきた研究結果を整理し、日本列島の内陸地震発生域での地震発生域と地震波速度構造との関係について見いだされた経験則を「(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」へ提供し、その経験則の有効性の検証を開始した(地震研[課題番号: 1504])。

## ・2016年熊本地震

2016年4月14日から発生した熊本地震の一連の活動は、M6.5の最大前震から開始し、16日にM7.3の本震が発生し、その両方の地震をあわせて大きな被害を及ぼした。大学および関係機関は、その前震の発生後に直ちに現地でも観測を開始したため、貴重な観測データを得ることができ、この一連の地震の特性がより明らかにされつつある。

震源分布を詳細に検討した結果、震源断層の形状が求められた。その結果：1) 最大前震 (M6.5) は東南東傾斜の断層から破壊が始まり、西傾斜の断層へ広がった。2) 本震 (M7.3) は深部の東南東傾斜横ずれ断層から開始し、布田川断層走向と日奈久断層走向の二つの面で大きなすべりを起こした。3) 複数の断層面は複雑に分布している。ことなどが明らかになった。また、余震活動や構造、応力場解析からは：1) 地震時のすべり方向は応力場によって規定されている。2) 地震前の応力場に対して、最適な面で大きなすべりが起こったが、周辺域まですべりが及んだ。3) 大きなすべりはD95の範囲内で発生している。4) 地震後、活動は下部に拡大し断層の下部延長の存在が示唆された。5) 低比抵抗層が本震の発生に関連がある可能性が明らかになった。これらの結果(図1)は、強震動予測の高度化が可能であることを示すと同時に、正しいすべり分布の推定のために、応力場の事前把握が重要であることを、適切な断層面形状の設定が必要であることを示す。(九州大[課題番号：2201])。

熊本地震震源域周辺の80点のデータを用いて行った比抵抗構造3次元解析では、本震時の大きなすべり域の近傍には高比抵抗が存在することが明らかになった。また、熊本地震震源域に低比抵抗体がイメージされた。深さ13kmでは東西10km、南北5kmほどの広がりをもつ低比抵抗領域が推定され、前震、本震の破壊開始点はこの低比抵抗体の北縁に位置している。余震はこの低比抵抗体を避けるように分布している。深さ18kmでは北北東—南南西方向に50kmほど伸びる低比抵抗体が推定され、先に述べた深部震源域の地震はこの低比抵抗体の東縁で発生している。本震発生や日奈久、布田川断層にわたる地震の運動は深部低比抵抗層が強く関与していることを示唆している。また、熊本地震発生後、震源の西側に面上に拡大していった余震群はすべて高比抵抗領域で発生している。より広域的には、阿蘇山直下にも低比抵抗がイメージされ、これと、熊本地震震源域の2つの低比抵抗体に挟まれた領域で熊本地震本震の破壊が生じたことが示唆された。(九州大[課題番号：2201])

一方、InSAR解析から余効変動の抽出、余効変動のモデル化を実施した。2方向のSAR干渉データを用いることで、地表の準東西、準上下成分を抽出した。布田川断層周辺で西向き及び隆起が、それより西側の宇土区間周辺では東向き及び沈降が検出した。注目すべき点は、地震時に大きく滑った布田川断層を境にして変位の食い違いが見られないことで、断層の南北側とも隆起および西に変位していることが分かった。GNSSデータの時系列解析から、余効変動は、地震直後60日間程度は急激な変動が続いたが、その後はゆっくりとした変動が続いている。変動速度は小さいものの、2018年2月現在も継続している。水平二層構造のモデリングから粘性緩和による変動を観測データから取り除き、余効滑りをフォワードモデリングで求めた。余効滑りは布田川断層と日奈久断層帯の境界付近で大きな滑りが見出された(図2)。また、粘性緩和による変動は徐々に減衰するものの10年後でも年間数mmの変動が予測されることが分かった。(国土地理院[課題番号：6001])。

## ・東北地方の地殻応答

東北地方太平洋沖地震(以下、東北沖地震)後の地殻変動が継続している今期計画の研究期間は、そ

の現象の詳細を観測によってとらえることで、定常的な地殻変動下では決定しづらいレオロジー構造を推定しえる重要な機会であると考えられる。このことをふまえ、今年度においても、地震・GNSS 観測を実施して変動場の把握を継続する一方で、地震発生直後から現在に至る時間的変動についての議論を展開した。また、現有のデータや物質科学的条件から地殻変動のシミュレーションを行い、不均一なひずみ速度分布を説明するモデルの検討が進められた。

東北沖地震後に活発化した内陸地震群について、震源域での応力場を求めた。その結果、現在は地震活動が低下しているものの、応力場は変化しておらず、東北沖地震の影響が未だに残っていると考えられた(図3)。これは、地殻強度や絶対応力の値、その空間変化を知る上できわめて重要な情報であり、今後も応力場の時間変動を継続的に測定する必要がある。

東北沖地震後の1ヶ月後に発生した福島県浜通りの地震(M7.0)震源域の稠密地震観測網で観測された自然地震波形から地殻内のS波反射面のイメージング解析を行った。地震活動域下部に見つかった顕著な2つの反射面群は低速度・高ポアソン比とされる領域の上端に位置するため、地殻内流体の存在を強く示唆し、地震活動は地殻流体によって引き起こされたと考えられる。これは地殻応答が地域によって異なることを示す。(東北大[課題番号:1203])。

一方、このような地域による地殻応答の違いはGNSS解析によってその領域区分が見出されることが示されている。東北沖地震前の2010年1月1日から2011年3月8日までの期間の北海道のGNSS速度データに対してクラスタ解析を適用した結果、オホーツクプレートの運動を代表とするクラスタと太平洋プレートとのプレート間カップリングによるプレート内変形の影響を強く受けているクラスタが得られ、クラスタ境界は既存断層系や先行研究によるブロック境界と良い一致が見られた。(東北大[課題番号:1203])

また、地殻応答に強く関連している粘性構造についての示唆が重力測定から得られている。東北地方の5点及び北海道太平洋岸の3点、及び関東地方2点で、精度1マイクロガル程度の高精度絶対重力測定を実施した。そのうちの仙台、江刺(岩手県)、筑波山について、2011年~2014年に見られていた隆起と重力減少の対応関係が、2014年以降は消失しており、2014年ごろから粘弾性効果が次第に顕著になったことを強く示唆する。2017年5~7月に、東北全域及び北海道の太平洋岸の約60点で、精度10 $\mu$ ガル程度のハイブリッド重力観測を実施した結果、2014年を境に空間的な重力変動パターンも大きく変わっていることがわかった。(東北大[課題番号:1203])

東北地方における3次元レオロジーモデル構築に向けては、複数の課題(東北大[課題番号:1203,1204]、東大地震研[課題番号:1408]、京都大学[課題番号:1905])が連携して、研究を進めている。

今年度はBarbot et al. (2017)によるプログラムを使用し、Tomita et al. (2017)で報告された2016年までのデータを元に、東北沖地震の余効変動のモデリングを行った。定常粘性の推定のために、Horiuchi and Iwamori (2016)による沈み込み帯のコーナーフローを含む数値計算によって推定された温度構造を用い、カンラン石のべき乗流動則とBurgersレオロジー、および速度強化摩擦則を用いて余効すべりをモデル化した。その結果、本モデルは、水平方向・上下方向ともに余効変動データをよく再現している。

また、不均質レオロジー構造を考慮した地表上下変動のモデル化を通じて、2011年東北沖地震発生前に約100年間続いていた東北日本前弧域の大きな沈降(3-4mm/yr)のメカニズムの解明を試みた。有限要素法を用いて巨大地震サイクルのモデル計算を行った結果、浅部アスペリティの固着が数百年に

わたり継続することで、マントルウェッジ及びプレート境界深部の粘性剪断帯における粘弾性緩和が進行し、プレート境界深部のすべり欠損レートが時間とともに増加するという結果が得られた。これは、前弧域での大きな隆起(0.5-1.5m)が、巨大地震サイクル後半にかけての沈降速度増加、巨大地震後50-100年の地震後の粘性剪断帯における粘弾性緩和に律速される長い時定数の余効すべりによって生じる事を示している。(東北大[課題番号:1203,1204])

#### ・その他の内陸地震活動域での応力場、ひずみ速度場、地震発生場の研究

規模の大きな地震の特性：

##### 鳥取県中部の地震

2016年鳥取県中部の地震の発生を受けて、その断層端の特性を解明することなどを目的として、京大、九大および東大地震研により余震観測を行った(新学術領域「地殻ダイナミクス」との共同研究)。図4は余震域の南端付近におけるP軸およびT軸の方位分布を深さ5km水平面に投影したものである。P軸、T軸とも、推定断層の中央部( $X=-0.42$ 付近)を境に、その東西で方位にギャップが見られる。これは、Yukutake et al. (2007)による鳥取県西部地震の南端付近で発見されたものと同様のもので、本震による応力変化と調和的な方位分布となっている。図4左における各P軸の丸印の色はP軸のplungeを示している。推定断層の東側、南端付近に正断層を示すP軸のplungeの大きな余震が集中して起きている。メカニズム解の2つの節面に対する本震のすべりによる応力変化(dCFF)をみると、多くの余震に対してdCFFがプラスの値となっている。これらのことは、鳥取県中部の地震に関しては、単純なすべり分布にも関わらず、余震は、基本的には、本震による応力変化により引き起こされていることを示している。鳥取県西部地震の結果とも調和的である(Yukutake and Iio, 2017)。鳥取県中部の地震に関しては、余震の発生において、間隙水圧による強度低下を考慮しなくても良い可能性を示唆している。

また、本震と同じ横ずれ断層に対するdCFFをみると、断層端で大きな値となっているが、それに対応するような横ずれ型の余震は、その付近では起こっていない。応力変化の極めて大きな断層端において、応力変化と調和的な余震が発生しないことは、断層端において、本震を起こしたような横ずれ型のせん断応力が断層の強度よりはるかに小さいことを示唆している。これは、断層端において地震前に応力緩和が起こっていたか、あるいは、そもそも応力集中が起こっていなかった可能性が考えられる。いずれにしても、大地震前の応力場の不均一により、来るべき地震のサイズが規定されており、断層端は、せん断応力が小さい特殊な領域である可能性が考えられる。この推定が正しければ、今後、隣接領域で大地震が続いて発生する可能性は極めて低いものと予想される。(京大防災研[課題番号:1907])

鳥取県中部の地震(Mj6.6)について、InSAR, GNSS, 強震計による変位データを用い、地震時及び地震後のすべり分布の推定をおこなった。推定された地震時すべり分布より、すべりの大きな領域は震源の北西側にあり、地表にはすべりが達していないことがわかった。最大すべり量は1.34mであり、地震モーメントはF-net モメントテンソル解(Mw 6.2)とほぼ等しい。

地震後7ヶ月間の余効すべり分布から、余効すべりは震源断層の地震時すべり域の浅部に発生していることがわかった。余効すべり量は最大14cmに達し、深さ6kmより深部では有意なすべりは推定されなかった。余効すべりのモーメントは、 $2.54 \times 10^{17} \text{ N}\cdot\text{m}$  (Mw 5.54)と推定され、本震の~11%に相当する。地震時すべりと余効すべりが相補的な空間分布をしていることは、余効すべりが本震の応力変化

によって駆動されたことを示していると考えられる。(京大防災研[課題番号：1907])。

#### カイコウラ地震：

ニュージーランド南島北部で発生した、2016年カイコウラ地震の本震発生前後で行われた臨時地震観測のデータを使用して、地震の発震機構解から地震前後の応力場や強度を求めた。その結果、本震前後での応力場の主軸方向の変化は大きくなく、日本などで行われた既往研究と比べて差応力が大きい可能性があることがわかった。(東北大[課題番号：1203])。

### 地殻構造と地震発生場

#### 東北日本：

2008年岩手・宮城内陸地震の余震には南北圧縮の発震機構解を持つ地震が、余震域の中心付近で発生しており、しかも東傾斜の面状の震源分布を示している。面の走向・傾斜と発震機構解の節面の走向・傾斜がまったく異なるので、この分布は弱帯の分布を表すと考えて、応力場と  $V_p/V_s$  構造を検討したところ、余震域はほとんどが  $V_p/V_s$  が 1.70 未満の領域となっているのに対して、このような特異な地震は本震による南北圧縮の差応力増加が 8 MPa 以上で、 $V_p/V_s$  が 1.70 程度の場所で発生していることがわかった(図5)。東北地方の上部地殻は石英が多くて基本的に  $V_p/V_s$  が 1.50-1.70 程度であり、水がクラック状に含まれていると 1.70 以上となると解釈される。(東北大[課題番号：1204])

マグマ生成場については、島弧接合部およびスラブ端での流体・マグマ生成過程に注目し、島弧火山岩の化学・同位体組成からマンツルのマグマ生成場や地殻流体の発生と移動の制約を試みた(Nakamura et al., 2018)。具体的には、中部日本、東北日本、およびその遷移帯の火山で岩石学的・地球化学的研究を行った結果、(1) 関東北部から東北南部にかけて沈み込んだフィリピン海スラブについて、従来、地震学的制約からその北限とされていた境界よりもさらに北の火山からも、フィリピン海スラブ由来と考えられる流体成分が検出された。詳細な検討の結果、フィリピン海スラブの物質学的北限が、地震学的北限よりも 100 km 近く北まで伸びていることが示された。(京大防災研 [課題番号：1905])

#### 中四国：

2014年度以降、四国地方の大局的な比抵抗構造の地域特性を解明するために、比抵抗調査空白域において経度及び緯度方向に10分毎のメッシュを設定し、基盤的比抵抗構造研究を実施している。現在までに得られたMT応答関数から、determinant impedanceを計算し、それらに1次元Occam inversionを適用することで深度別比抵抗分布を推定した。その構造的特徴は、深度2kmでは、四国地方の中央構造線をはじめとする顕著な構造線の走向方向とおおむね調和するようにみえる。深度15kmの比抵抗分布は、中央構造線周辺域を境とする相対的な高/低の比抵抗構造の存在を示唆する。深さ15km以浅の震央分布との対応をみれば、中央構造線周辺より北側では高比抵抗域と明瞭な対応がみられる。一方、南側は必ずしもそうではなく、分解能をあげた面的な観測を実施する必要がある。また、気象庁の一元化データを用いて推定された下部地殻深度18kmのP波速度偏差図(津田, 2017)との対応をみれば、低速度域と低比抵抗領域との対応関係が確認された。(京大防災研[課題番号：1907])

#### 九州：

広帯域MT観測を、雲仙、霧島山麓、宮崎県の合計170点で実施した。これまでに蓄積してきた広帯域MTデータと併せて九州全域を対象に1次元解析した結果、場所によって4桁程度、比抵抗値が変化することが明らかになった。1993年1月から2017年12月までの地震分布と比較すると、顕著な低比抵抗領域では地震の発生頻度は低い、大崩山花崗岩体など顕著な高比抵抗を示す領域も同様に地

震の発生頻度が低いことが明らかになった。(九州大[課題番号：2201])

## 応力場

2000年鳥取県西部地震域での稠密地震観測データを用いて推定された約4000イベントの余震の発震機構解(メカニズム解)から、本震断層周辺域の応力場の不均質性についての評価を行った。その結果、余震域全体で見ると空間的に均質な応力場が卓越していた。一方で、本震時に大きな滑りを生じた余震域南部、本震断層南端部では不均質性が大きい。この領域では、応力逆解析法により、本震すべりによる静的応力変化の方向と調和的な応力軸の東西方向への回転が推定された。この領域での応力場の不均質性は、本震断層端での応力集中によってもたらされた可能性がある。(京大防災研[課題番号：1905])。

関東地方において発震機構解をコンパイルし、関東地域の応力マップを作成した。応力マップを作成するには応力テンソルインバージョンを使用することが多いが、今年度はSHmax方位と応力場のタイプを簡便に推定する方法を検討した。同法によって推定された応力分布の特徴は、応力テンソルインバージョンによる結果と調和的であった。同法は、応力テンソルインバージョン法と比較すると、応力比を推定できない欠点はあるが、断層面の選択をしないで解析が行えるという大きな利点がある。

震源域の応力状態とそこで発生する地震の発生様式の関連性を明らかにするため、複数の地震について調査を進めた。2014年長野県北部地震については、前震活動の震源特性を詳しく調べたところ、通常地震と異なり、Mw1.5以下で震源パラメータの相似則が崩れることが明らかとなった(Imanishi and Uchide, 2017)。また、適切な応力場と断層形状を与え、動的破壊シミュレーションにより、本震の破壊過程の再現にも成功した(Ando et al., 2017)。茨城県北部・福島県浜通りにおける地震について、微小地震のモーメントマグニチュード(Mw)と気象庁マグニチュード(Mj)との比較を行った結果、MjがMwに比べて系統的に小さいことが見いだされた(Uchide and Imanishi, 2018)。これは、主に地震波形のデジタル変換におけるアンチエイリアシングフィルタに起因すると考えられ、Gutenberg-Richter則のb値は、Mjを用いたときに比べて、Mwを用いたときの方が大きくなることが示された。さらに、観測事実に基づいて、MjとMwの変換式が定められた。この結果は、地震活動を用いた地震発生予測等の研究に直接影響を与え、より地震の実態に即したパラメータを用いた研究が行えるようになるものである。

2016年大韓民国慶州(キョンジュ)地震については、韓国地質資源院(KIGAM)と共同研究が実施された(Uchide and Song, GRL, under review)。本震(ML 5.8)と最大前震(ML 5.1)について、強震波形を用いた断層すべりインバージョン解析を行った結果、両者の破壊伝播方向が逆向きであったと推定された。また、応力降下量は、平均で10 MPaを超える高い値が示された。さらに、余震分布の解析から、両者が平行な2枚の断層でそれぞれ発生したことも明らかになった。これらの結果は、雁行配列をした断層における応力集中により、強度の高い断層が破壊された可能性を示唆する。(産総研[課題番号：5008])。

## 変形場

### 中部日本：

跡津川断層系において臨時GNSS観測を実施し、ALOS衛星が撮像したSAR画像の長波長ノイズをGNSSデータから得た速度場を用いて補正した上でInSAR時系列解析を行い、地震間地殻変動を非常に高い

解像度で検出することに成功した(Takada et al., 2018)。変位勾配は跡津川断層系の主要な断層の一つである牛首断層を挟んで大きな勾配を持つことが明らかになった。このように、InSAR と GNSS を組み合わせることで、歪集中帯内部の歪が不均質であることが明らかになってきた。さらにこの時系列解析の妥当性を検証するために、解析領域をさらに東西方向に広げ、歪集中域における総変位量が時間とともにどのように増加したかの検討を行った。その結果、総変位量は、多少のゆらぎはあるものの、時間とともに着実に増加していたことが明らかとなった。このことによって、水蒸気に起因する擾乱の影響を完全には除去しきれていない可能性は残されたものの、確かに地殻変動が検出できていることが検証された。(京大防災研[課題番号：1907])。

#### 北海道：

屈斜路カルデラ周辺において GNSS 観測を実施し、カルデラ周辺の地殻変動速度・ひずみ場の推定を行った。またこの結果に基づいて今後のモデル化に必要な力源等について検討を行った。連続および繰り返し GNSS 観測の結果から、カルデラ内の地殻変動が少なくとも 2013 年から 2016 年までは一定の線形的な変動となっていたことが確認された。従来のグリッドを用いた手法、および三角網を用いた手法から推定したひずみ速度場から、1993-1995 年の膨張イベントおよびその収縮域と一致するカルデラ中心部において、1ppm/yr を超える収縮が捉えられた。また、三角網を利用して速度のデータ補間を行うことで再推定したひずみ分布からは、カルデラ南西部での北北東-南南西から北東-南西方向に右横ずれの軸を持つ 1ppm/yr 以上の大きな最大せん断ひずみの存在が明らかとなった。この地域は、過去に M6 クラスの地震を発生させた領域とも重なるため、捉えたせん断ひずみが弾性的に蓄積されているとすれば、この地域が現在も地震発生ポテンシャルを維持している可能性を示唆する。得られたひずみ場から、今後のモデル化には、これまでに得られたカルデラ下の不均質構造のもとで、プレートの沈み込みに伴う広域の北東-南西方向の短縮に加え、カルデラ内や周辺の火山性の力源の考慮が必要であることを把握することができた。(九州大[課題番号：2201])

#### 九州：

現在の地殻変動状態の長期間にわたる詳細な把握は、応答特性を知る上で重要である。そこで、今年度も GNSS による観測を継続した。九州全域における変位速度場、ひずみ変化の定常状態を調べるため、豊後水道で発生した 2010 年 2 月から 10 月のスローイベントの影響を除いてこれらを計算した。その結果、大分県付近に高い最大せん断ひずみ速度域が分布していることがわかった。昨年度に実施した 2011 年東北地方太平洋地震の地震時の変位速度の空間分布と比較すると、前弧域に位置する大分県付近に高い最大せん断ひずみ速度領域が存在する点が異なっていた。これは、地殻の弾性応答が数年スパンの定常変動と異なることを意味し、今後のモデリングにとって重要な意味を持つと考えられる。(九州大[課題番号：2201])

#### 変形・流動場：

島弧リソスフェアの粘弾性変形を含む流動-変形場の理解は本研究計画における一つの重要な柱である。粘弾性層を含む系で数値計算を試みると、粘弾性層の名目的な緩和時間 (Maxwell 緩和時間  $\tau$  ; 粘性率と剛性率の比で定義される) よりも実際の緩和には遥かに長い時間を要したり、粘性緩和による変動のセンスが途中で入れ替わったりなど奇妙な振る舞いをする事が知られている。本研究では、その原因を理論的に明らかにした (Fukahata & Matsu'ura, 2017)。表層弾性体-下層 Maxwell 粘弾性体の半無限 2 層平行成層という非常にシンプルな系においても、実は粘性緩和は異なる 3 つの時定数

の和として解析的に表現される (Matsu'ura et al., 1981)。今年度の研究により、それらの緩和時定数が一部を除き空間波数に依存して大きく変化することが分かった。このように、複数の緩和時間が存在し、そのそれぞれが空間波数に依存することが複雑な挙動の原因である。各緩和時定数の重みを空間波数の関数として表すと (図6)、緩和時定数の重みが何桁にもわたって変化していることが示された。例えば、非常に長波長 (数百 km 以上) の水平変位については、 $\tau = 4.6$  年にも拘わらず、実際には数百年以上もの時間が粘性緩和にかかることを示している (図6, 左上・左下図)。垂直変位についても、50 - 100 km の波長の変形が、100 年以上の実効的緩和時間を持つことが分かる (図6, 右上図)。このことが、実際の緩和時間が名目的な Maxwell 緩和時間  $\tau$  よりもずっと長くなることの原因である。(京大防災研[課題番号: 1905])

#### 断層の詳細構造 :

地震の震源分布からの断層形状の推定について、稠密な地震観測データ、手法の高度化などにより大量のイベントが検出され、より詳細な形状が明らかにされるようになってきた。

2011 年東北沖地震後に山形県と福島県の県境で発生した群発的地震活動域直下では、明瞭な反射面が確認された。このような反射面は、地殻流体の存在を示唆する。高精度の震源再決定によりこの山形-福島県境付近の地震活動には明瞭なマイグレーションが認められ、深部から浅部に向かう地震活動が見出された。震源はさらにいくつもの面上に分布しており、しかも、その面の傾斜・走向は、その面に属する地震の発震機構解の一つの節面の傾斜・走向とよく一致しており、これらの「面」が弱面として使われて地震が発生したことを強く示唆する。さらに東北沖地震直後の 50 日間とそれ以降では、規格化された摩擦係数・応力降下量・ $b$  値・背景の地震発生レート等が大きく異なっており、初期の頃の地震活動は間隙圧の上昇による強度低下によって生じたことが強く示唆される。(東北大[課題番号: 1204])。

#### プレート間相対運動の分配の推定

##### 西南日本活動期のシミュレーション :

本研究では、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機上でモデル化することで、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を目指している。計算にあたっては、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する。そのすべり相互作用の計算に必要な実データに即した断層ジオメトリの設定のために、前年度に引き続き、ブロック断層モデルを用いた地殻変動のモデル化を行った。本年度の主な改良点として、ブロック内での一様な非弾性変形を考慮してモデル化を行った点があげられる。

図7にシミュレーションの結果を示す。推定されたブロック相対運動と内部変形速度 (青矢印) を見ると、北陸ブロック (HO)、中部ブロック (CH)、琵琶湖ブロック (BI)、大阪ブロック (OS)、四国ブロック (SH)、九州中部ブロック (CK) で、10nanostarin/yr 以上の顕著な内部変形が生じていることが推定された。これらは、ブロック内部にある活断層や微小地震活動に表されるような変形が、内部一様非弾性変形として推定されていると解釈される。また、内部変形を考慮すると、ブロック境界における相対変位速度が小さくなる傾向があり、中央構造線、濃尾断層帯、糸魚川-静岡構造線断層帯に相当する境界ではそれぞれ、3-9mm/年、1-2mm/年、1-5mm/年と推定された。これらは、地質学的なすべり速度とほぼ一

致する。それ以外の活断層に対応するブロック境界では、依然として本研究による測地学的変位速度が地質学的変位速度を上回る場合が多いが、ブロック内部変形を考慮することの重要性が明らかとなった。(京大防災研[課題番号：1907])。

#### 間隙流体圧場：

地震メカニズムトモグラフィー法 (Terakawa et al., 2010, 2014) により、御嶽山周辺域の間隙流体圧分布を調べた。これまでに、御嶽山周辺域の間隙流体圧分は、日本列島全域を対象とした空間解像度 20 km 程度の広域応力場 (Terakawa & Matsu'ura, 2010) を基に、名古屋大学の臨時地震観測 (2009 年 8-11 月, 2010 年 6 月-11 月, 2011 年 6-11 月) 及び定常地震観測 (2012 年 5-8 月) で得られた地震のメカニズム解から推定されている (Terakawa et al., 2013)。しかし、数 km 程度の解像度で間隙流体圧分布を求めるためには、より高解像度の応力場が必要である。

本研究では、名古屋大学の定常地震観測で得られた地震のメカニズム解 (解析期間 1：2012 年 5 月～2014 年 7 月,  $M > 1$ ) から推定された解像度 2-5km 程度 (以後、解像度 5 km と省略する) の地域応力場 (Terakawa et al., 2016) を用いて、Terakawa et al. (2013) と同じデータセットから間隙流体圧場を推定し、参照した応力場の違いによる間隙流体圧場の推定結果への影響を調べ、背景応力の推定が推定値に及ぼす重要性を指摘した (Terakawa, 2017)。

図 8 に、推定された御嶽山周辺域の 3D 間隙流体圧場 (Terakawa, 2017) を示す。2009 年 8 月～2012 年 8 月 (解析期間 1) の各メカニズム解に対して、震源域の応力場を推定誤差の範囲で変動させ、そのイベントを引き起こした平均的な間隙流体圧レベルを見積もり、これらをデータとすることで簡易的に応力場の推定誤差を考慮した間隙流体圧分布の推定を行った。この結果、御嶽山の北麓に  $50 \pm 20$  MPa 程度、東麓に  $30 \pm 10$  MPa 程度の間隙流体圧場の高まりが存在した可能性があることがわかった (Terakawa, 2017)。

更に、2012 年 9 月～2014 年 7 月 (解析期間 2) のデータを用いて、同様の FMT 解析を実施した。この解析期間 2 においても、東麓に  $15 \pm 5$  MPa 程度の間隙流体圧場の高まりがあり、深い領域 (深さ 7.5 km) で明瞭であることが確認された。これらを比較すると (図 9)、本研究の結果、東麓では、少なくとも 5 年間に亘って高圧な間隙流体圧場が維持されていることがわかった。このような高圧流体が活発な微小群発地震活動を継続させる重要な原因になっている可能性がある。また、本研究で比較的安定した間隙流体圧の高まりが推定された位置では、これまで別種のデータと手法による解析・分析からも流体の存在が指摘されてきており、本手法による解析結果の妥当性を指示するものである。(京大防災研[課題番号：1907])。

#### 噴火発生場：

##### 九重火山

2015 年 9 月初頭から 10 月末日までの期間におこなった電磁場の連続観測データを用い 2 次元比抵抗構造解析を行い、地下比抵抗分布を求めた。この結果、硫黄山の直下に非常に低い抵抗値を示す低比抵抗帯、またその下位に  $100 \Omega\text{m}$  を超える比較的高い比抵抗値を示す領域が存在し、浅部の低比抵抗帯がこの高抵抗域に沿って南北に広がっていることが示された。これは地下から供給される火山ガスの溶存成分を豊富に含む地下水が九重火山浅部に存在し、これがその下位の緻密な岩体に沿って、天水による希釈を受けながら流下していることが示唆される。

## 阿蘇火山

阿蘇では水準測量、GPS 観測などの結果から草千里の地下に圧力源が求められており、これが阿蘇火山のマグマだまりであると考えられている。地殻変動データの解析によるマグマだまりにおける体積変化と火山ガス放出によるマグマ消費量の見積から、マグマだまりからの H<sub>2</sub>O 放出による体積減少を見積もった。阿蘇中岳火口から放出される高温火山ガスの H<sub>2</sub>O:SO<sub>2</sub>= のモル比は約 50:1、重量比で H<sub>2</sub>O は SO<sub>2</sub> の 14 倍であると仮定すると、気象庁による中岳火口からの SO<sub>2</sub> 放出質量の観測から、火山ガスにより放出される H<sub>2</sub>O の質量が推定できる。そこから H<sub>2</sub>O 放出によるマグマ体積変化のおおまかな推定を行った結果、マグマ供給量は、静穏期(2004.9 - 2008.9)で約 0.7 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> / year, 2014 年噴火の直前で 3.78 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> / year, 2015 年 9 月の噴火直前で 2.20 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> / year, 2016 年 10 月の噴火直前で 2.95 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> / year であると試算された。(九州大[課題番号:2201])

## 地震火山相互作用:

昨年度に引き続き、室内間欠泉における微動のメカニズムの解明に関する研究を行った。気泡生成・離脱・上昇に伴う間欠泉流体系の振動の励起メカニズムを解明するために、液柱の振動とチャンバー内圧の振動の同時観測を実験的に行った。実験結果から、液柱高さのスペクトル変化は、間欠泉噴出の終了から開始までに現れるチャンバー内圧のスペクトルの系統変化と一致すること分かった。また、液柱の高さ変動は、チャンバー内圧力の変動と半周期ずれることが明らかになった。このチャンバー内圧と液柱高さの相関を説明するモデルを提案し、そのモデルから、これらの振幅比は、チャンバー内流体の実効的体積弾性率と液柱断面積の積をチャンバー体積で割ったものに等しくなることがわかった、このことから噴出の準備期間で現れる火山性微動周波数の系統的長周期化は、体積弾性率の系統的減少で説明できることがわかった。このことを天然の火山性微動に適用すると、火山性流体の実効的体積弾性率すなわちガス量の推定が可能となる。(九州大[課題番号:2201])。

### (4) 地震現象のモデル化

#### ア) 構造共通モデルの構築

構造共通モデル(コミュニティモデル)は、シミュレーション研究などでの活用をめざし、従来までに得られているさまざまな情報から作成される統一的な構造モデルである。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デジタルモデル(grid データ)の構築を進めた(地震研[課題番号:1505])。

- (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

以下には、(1)を除く項目について、詳述する。

- (2) プレート境界モデルの構築

日本列島周辺域プレート境界モデル(Regional Model)の修正

日本列島周辺においては、様々な地球物理的観測・解析が行われており、広域モデルより高精度のプレート境界位置が求められている。前年度までの作業を元に、今年度はプレート境界位置の修正及びフィリピン海プレートの、太平洋プレートとの接合部の形状モデルの検討を行った。また、関東域における構造探査を元に、同地域の複雑なフィリピン海プレート形状の再定義を試みた。このモデルでは、伊豆半島北部から北西方向に顕著な屈曲が見られ、今後の詳細な検討が必要である。

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

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

(地震研[課題番号：1505])

### (3) 日本列島及びその周辺の震源断層モデルの構築

中国・四国・近畿地域において、これまで実施された主な反射法地震探査データを収集するとともに、活断層に関する変動地形・第四紀地質学的データを説明する活断層の幾何学的形状を推定した。このような地質学的データ・解析に基づき断層面の傾斜を推定すると共に、Hi-netの地震活動データに基づくD90から求められた地震発生層の厚さや、断層深部の地震活動を用いて、中国・四国・近畿地域の内陸活断層について、震源断層モデルを推定した。(地震研[課題番号：1505])

### (4) 日本列島下のモホ面及び脆性・延性域境界モデルの構築

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

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

(地震研[課題番号：1505])

### (5) リソスフェア・アセノスフェア境界の構築

ベイズ統計に基づくレシーバ関数のインバージョン手法を導入することで、リソスフェア・アセノスフェア境界(LAB)の深さ、およびその誤差を推定することを目指した。F-net観測点へ本手法を試験的に適用した結果、LABを検出できる見込みがあることが分かった。2013年から文部科学省委託研究により、大和海盆において海底地震計を用いた自然地震観測が行われている。同海底地震計のデータにインバージョン手法を適用したところ、深さ70km程度にLABがある可能性が示唆された(地震研[課題番号：1505])

### (6) 日本列島下の岩石モデル・レオロジーモデルの構築

地殻深部に由来する岩石の弾性波速度に基づく日本列島周辺の地殻構成岩石モデルについては、こ

れまでの研究成果を公表論文として整理した。一方で、地殻構成岩石モデルからレオロジーモデルに発展させるためには温度構造を制約する必要がある。地殻深部やマントル由来の岩石の弾性波速度の温度微分係数は、地殻深部～マントルの温度構造のゆらぎを推定する上でも重要である。本年度は、地殻深部～マントルの温度に相当する高温高圧（最大圧力 1.0GPa, 最高温度 800°C）条件で、隠岐捕獲岩のパイロキシナイトの弾性波速度を測定し、その温度微分係数を求めた。これまでの実験結果との比較については今後検討する予定である。（地震研[課題番号：1505]）。

## イ) 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

断層滑りの物理モデル構築のためには断層周辺の応力や強度の振る舞いを知る必要がある。本年度においては、室内実験および観測・観察から、これらの基本的な挙動についての解明が進展した。

## 地殻強度低下メカニズム

地震メカニズムトモグラフィ法 (Terakawa et al., 2010, 2014) により、御嶽山周辺域の間隙流体圧分布を調べた。名古屋大学の定常地震観測で得られた地震のメカニズム解 (2012年5月～2014年7月,  $M > 1$ ) から推定された解像度 2-5km 程度の広域応力場 (Terakawa et al., 2016) を用いて、Terakawa et al. (2013) と同じデータセットから間隙流体圧場を推定した。その結果、間隙流体圧のレベルが静水圧状態を 10-30 MPa 程度上回るという結果が得られた。また、基にした応力場の空間分解能の違いによる間隙流体圧場の推定結果への影響を調べ (Terakawa et al., in prep.), より高解像度の応力場を基にした結果の方が高い信頼性を持つことがわかった。(京大防災研[課題番号：1907])。

地殻流体と地震火山相互作用を考える上で、深部低周波地震は重要な研究対象である。本年度は東北日本の 10 か所を対象に、地震波形のコヒーレンスを用いて地震のグループ化を行い、震源分布との対応を調べた。グループ化の結果、低周波地震の波形には、低周波地震共通のメカニズムによる振動、発源地域の特徴を反映した振動、個々の震源の特徴を反映した振動が重なり合っていることが判明し、流体分布や構造との特徴の把握の重要性が示唆された。(弘前大[課題番号：1101])

## 岩石の変形特性に及ぼす高間激水・フュガシティの効果

これまで、下部地殻を構成する主要構成鉱物である斜長石多結晶体の塑性流動強度に及ぼす水の効果を明らかにすることを目的とした実験を行ってきた。今年度は、これまで歪量が不十分であった封圧 1GPa の追加実験を行い、またこれまでの実験の回収試料について赤外分光法により含水量の測定を行った。含水量と強度の関係を見ると、含水量が増えるほど強度が低下することがわかった。今後は、もっと長い変形時間での含水量と時間の依存性を調べる必要がある。また、フュガシティと強度の関係を調べることによって、既存の構成則 (Rybacki et al., 2006; Rybacki and Dresen, 2000) の予測より弱化していることを昨年度に報告したが、今年度、Kido et al. (2016) の方法で応力補正を行うと、さらに強度が低くなることがわかった。(東北大[課題番号：1204])。

## CT 観察による地殻流体の実態の把握

これまでの一ノ目湯捕獲岩の研究により、水に富む玄武岩 ( $H_2O$  3wt%以上) の下部地殻における結晶分化作用によって、角閃石斑れい岩を主とする沈積岩が生成されていることがわかった。下部地殻相当の圧力下に高含水量のマグマがあれば、 $SiO_2$  の低い角閃石・磁鉄鉱が多く分別して、 $SiO_2$  の高い珪長

質（花崗岩質）マグマが、効率的に生成する（親マグマの 25%）。つまり、下部地殻は平均的には斑れい岩質でも、部分的には石英に富む（20-25vol.%）花崗岩質マグマ溜りが存在してよいことになる。そのようなマグマが固結すると、大量の H<sub>2</sub>O が分離するため、これが下部地殻での低周波地震や上部地殻での地震発生を促進する可能性が考えられる。（東北大[課題番号：1204]）。

#### 地震発生帯における地殻流体の熱力学情報の精密化と実フィールドでの検証

地震発生時には断層面の近傍で破砕が生じ、間隙圧が急減することが期待される。これに伴う水-岩石相互作用で、亀裂が修復されるのか、それともより拡張されるのかを理解することは、地震発生サイクルを理解するうえで重要である。本年度はまず昨年度定式化した 1 m NaCl 溶媒の見かけの比誘電率の式を、4 kb (400 MPa) まで拡張した。これにより深さ 10 数 km の静岩圧下の塩水と鉱物（岩石）の相互作用の解析が可能となった。これを用いて、地震性断層運動などで考えられる急激な亀裂の形成・発達による流体の断熱（等エンタルピー）的な減圧に伴う石英と方解石の沈殿/溶解量をシミュレートした。地温勾配により 200 °C から 450 °C の深さにあった流体の静岩圧から静水圧への断熱減圧では、石英は減圧により沈殿を生じ、温度が高いほど（深部になるほど）沈殿量が多くなる。これに対し、方解石は水では石英と同様の沈殿傾向を示すものの、350-400 °C 付近では減圧により溶解が進むことが分かった。（東北大[課題番号：1204]）。

#### 地熱流体と内陸地熱誘発地震

地殻内に剪断破壊等が発生すると、例えばプルーアパートのような空間が発生する。この空間は、いわば真空状態であり、断層内などに蓄積されていた流体がこの真空空間に噴出し、沸騰する。この現象（Flash Vaporization）は、地殻流体の減圧沸騰-断熱膨張-冷却-熱応力の発生-熱破壊の一連の現象を引き起こす。このことを実験的に明らかにするため、超臨界状態にある岩石の急減圧実験を行い、岩石内の亀裂の形成を引き起こすとともに、実験後の弾性波伝播速度の計測を行った。この結果、急激な減圧により岩石は破壊し、伝播速度はなんと水中の伝播速度（1.45km/s）と同程度となった。すなわち、熱応力破壊により、粒界が開き、弾性波伝播速度の急激な減少を引き起こすとともに、この急減圧を複数回繰り返すことで、亀裂が進展する。この亀裂進展の様子を X 線 CT 画像により確認することができた。すなわちこれは地震による岩石の脆弱化のアナログ実験と考えることができる。（東北大[課題番号：1204]）。

#### 地震断層すべり物理モデルの構築

これまでの研究により、内陸地震発生域の強度は差応力で数十 MPa 程度しかないことが明らかになってきた。特に群発地震では地震活動のマイグレーションが見られることから、この低強度をもたらした原因として、流体による間隙圧の上昇が第一に考えられる。これらの水は下部地殻をこれまで知られていた以上に軟化させる可能性が高いことも明らかになってきたため、下部地殻で局所的に水が多ければ、その上部地殻には応力・歪を集中しやすくなると期待される。マントルから供給された含水量の多いマグマが分化していくなかで SiO<sub>2</sub> が濃集していき、中部地殻付近でマグマから水が分離していく過程も明らかになってきた。さらに、高間隙圧を作り出す地下での石英や方解石の沈殿プロセスも明らかになって来ており、島弧における地震断層すべりの物理モデルが次第に構築されつつある。（東北大[課題番号：1204]）。

### 含水岩石物性（クラック密度とクラック連結度）：

(1) アルミナ多結晶体を用いたクラック・パーコレーションの検証：細粒アルミナ焼結体を用いて、どのくらいの量のクラックが存在すると連結経路が形成されるかを調べた。出発試料には空隙がほとんど存在しないが、1800-1900°Cの高温で5-50時間焼鈍して粒成長させ、熱クラックを生じさせた。平均粒径の大きい試料ほど弾性波速度の大きな低下が見られ、SEMによっても粒界クラックが観察できた。ただし、電気インピーダンス測定からは、連結に必要なだけのクラック量はまだ形成されていないと考えられる。

(2) 電気伝導度と弾性波速度の同時測定によるクラック連結度の研究：電気伝導度と弾性波速度の同時測定によってクラックの連結度を調べた結果、花崗岩はクラックのパーコレーションに関係する大きな電気伝導度変化を示した。クラックがほぼ閉じるような高封圧下での電気伝導度は、試料によって大きく異なっており、この違いは粒界の微細構造の違いを反映しているのではないかと考えている（京大防災研[課題番号：1905]）。

### 断層周辺の流体挙動

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

アクロス震源と800m孔底地震計の間の伝達関数からP波およびS波の走時と振幅の経年変化を推定した。P波およびS波の走時の経年変化は、1999年～2018年にかけて、S波については約2ms ( $2\text{ms} / 500\text{ms} = 4\%$ )程度速くなる傾向があり、P波については約4ms ( $4\text{ms} / 250\text{ms} = 1.5\%$ )程度速くなっていた。この結果は、長期的に、断層近傍でのクラック密度の減少による地震波速度の増大（強度回復）が起こっていたことを示唆している。ただし、観測開始当初の1999年から2000年にかけては、特にP波で走時が増大（速度が減少）していた。

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原因として、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も考えられる。（京大防災研[課題番号：1906]）。

## 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

内陸地震研究を進める中で得られた情報を即時予測手法の高度化にフィードバックすることは、きわめて重要である。まず、昨年度に引き続いて、輻射伝達理論に基づくMultiple Lapse Time Window法によって、九州地方の散乱減衰と内部減衰の同時推定を行った。昨年度に開発した、不均質減衰構造を考慮した地震動即時予測プログラムを用いて、2005年3月に発生した福岡県西方沖の地震(Mj7.0)について地震動即時予測シミュレーションを行った。結果は熊本地震の場合と同様に、不均質な減衰構造を考慮することによって震度予測精度のRMS値が約10~15%改善することが確認できた。福岡県西方沖の地震のシミュレーション結果を検討すると、不均質構造を考慮することにより九州中部などの強減衰領域での予測精度が向上する一方、震源からみてその強減衰領域の影となる地域でやや予測精度が悪化しているようである。この予測精度の悪化は、2次元空間の仮定の下で行っている地震動予測シミュレーションと実際の3次元空間の波動伝播の違いによる可能性があるため、内部減衰と散乱減衰の3次元不均質構造推定に取り組むこととした。Eulenfeld and Wegler (2016)とTakeuchi (2016)

の定式化を活用して 3 次元不均質構造を推定したところ、解像度の詳細な検討が必要であるものの、九州中部で内部減衰・散乱減衰が共に深さ依存性を持つような結果を得ることができた。福岡県西方沖の地震のシミュレーション結果は不均質構造の 3 次元性を考慮する必要性を示している可能性がある。(九州大[課題番号：2935])。

#### 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

###### レーザー技術を用いた大深度ボアホール観測装置：

レーザー技術を利用した変位センサーを製作し、所期の高い検出性能を確認した。また、これまでに地震計およびレーザー干渉計部分の高温試験を実施し、後者については光学素子の保持部材として高温用バネ材であるインコネルが有効であり 340°Cにおいてもレーザー干渉計が機能することが確認されている。今年度はこれらの結果の検討および、光ベースの大深度ボアホール用地震地殻変動観測装置で必要となる光ファイバー長距離伝送の基礎実験を実施した。

300°Cを超える温度で、インコネルを用いた光学部品の保持機構で干渉信号が適正に得られることを示したが、冷却時に光軸ずれが発生した。また加熱の際も常温での干渉計コントラストからの若干の低下が認められた。いずれも光ファイバー保持部の温度サイクルによるずれと考えられたため、その要因を考慮して、振動検知部も含めた高温地震計の設計を進めた。

また、装置を大深度ボアホールに設置した場合を想定した、光ファイバーによる信号の長距離伝送の実験を行い、信号劣化等の評価を行った。これは課題 1506 と連携し、東北大学電気通信研究所で開発された通信波長帯の 1550nm 光源を 26km の伝送路で小型絶対重力計に導入し、測定値の誤差などを評価した。その結果、重力の計測値は数メートル長の光ファイバー伝送の場合と比べ、少なくとも 7 桁のレベルでは特段の誤差は認められず、通常地震観測には影響がない誤差のレベルであることがわかった。光アンプを用いた増幅後も劣化はなく、～30km の距離の光ファイバー伝送については大きな問題が伴わないと見込まれた。(東大地震研 [課題番号：1522])。

###### 精密制御震源システム：

第 2 世代震源装置について、基礎の周辺地盤が損傷して異常振動を起こしていたことが判明したので、本格的な補修を行い、補修の効果を検証した。また補修した基礎に、九州大学が第 2 世代震源装置として新たに作成した小出力の震源を設置して動作試験を行った。また、平成 29 年 12 月より、補修した震源を用いた長期間の連続運転を開始した。補修後は Z 方向と Y 方向の振幅がほぼ一致し、20Hz まで問題なく計測が可能になったことが示された。なお、低周波側で計測値が乱れたが、これは振動計測にノイズが混入したことによるものと考えられる。(名大[課題番号：1705])。

###### 地殻流体の連続化学観測：

29 年度は 28 年度に引き続き、装置の耐久性の確認を実施し、野外における連続運転に関連して発生する問題点を解決した。また、観測データの変動成分について情報を蓄積した。28 年度に見いだされた、溶存ガス中の N<sub>2</sub>-He-Ar 三成分比が、マントル起源ガスと大気起源ガスの混合線上を時間変化する、というデータが、29 年度も引き続き確認できた。この中で、地下水溶存ガスの分離に用いる分離装置

の高度化を図ると共に、溶存ガス濃度および組成の高精度分析を行う方法を確立した。(東大理[課題番号：1401])。

### これまでの課題と今後の展望

これまで、内陸地震による災害軽減に資するために、全国の大学および関係機関は協力して、地震の発生場や発生機構を解明し、発生予測へ向けた観測・研究を順調に進展させた。また、それらの成果を発信し、災害誘因の評価・予測研究への橋渡しするための研究も進められるようになった。

今年度は昨年度に発生した熊本地震に関する詳細かつ多岐にわたる調査から、いくつかの重要な成果が上がるるとともに問題点も投げかけられた。熊本地震を引き起こした断層群は複雑な形状を持ち、地震前の応力場に従って地震時にすべりが発生しており、地震前の応力状態を把握することでより現実に近い強震動予測が可能となることは示されたものの、その発生メカニズムや断層の発達過程については解明が待たれる。特に、M6.5の最大前震とM7.3の本震の連動メカニズムについては全く解明が進んでいない。この点については、速度、比抵抗構造に基づいて断層を取り巻く地殻の物理・化学的狀態を明らかにした上で、強度弱化や応力集中メカニズムをモデル化する必要がある。そこに、断層周辺域の応力载荷プロセスを考慮したシミュレーションをおこなうことによって、初めて予測に資することが可能となるが、現状ではその実現は容易ではない。しかしながら、これらを目指して現在の内陸地震発生域においてそれぞれのパラメータを精度よく推定し、結合していく観測研究をより一層推進する必要がある。

地震発生から6年が経過し、地震活動・応力場などの時間的変化が検出しうる段階に至っている2011年東北地方太平洋沖地震に伴う地殻応答を対象とした研究に対しては、高精度の観測を継続することで、いわゆる“絶対応力問題”の解決に挑む必要がある。また、誘発地震の発生と地殻流体の関係、余効変動場の空間的不均質性への粘弾性構造の影響、震源メカニズムを用いた応力場の時空間特性、などの内陸地震発生に影響を与えるパラメータの推定につながる観測研究やモデル研究を引き続き実施することが必須である。

内陸地震発生域において、下部地殻をも含めた地殻構造や地殻流体との関係を検討するためのデータの整理を開始し、個別の断層の特徴が速度などの構造パラメータによって規定されている結果も得られつつある。今年度は特に流体供給を示唆する構造検出や流体圧の大きさ推定がなされている。これらの結果と実験・シミュレーション研究の融合をさらに推し進め、低地震波速度・低比抵抗領域と流体との関係、流体圧と地震活動の関係を定量的に比較していく必要がある。特に大すべり域や余震、誘発地震域と流体圧の関係を統一的に説明できる物理モデルを構築していくことが重要である。また、断層への応力集中機構に大きな役割を果たす地殻の弾性・非弾性構造の検出やモデル化を進め、様々な条件下での地殻の応答特性の解明を進める必要がある。

地震発生ポテンシャルについて、地震断層のみに着目するのではなく、領域に対するポテンシャルを評価することもひとつのアプローチであると考えられる。GNSSや地震活動、活断層の情報をもとに地域区分を行い、そこでのポテンシャル評価をおこなうのも重要な方向性であろう。そのためにも網羅的な活動監視や均質な構造推定を進める必要がある。さらに、地震のソースフォルト推定の緻密化を目指した研究が必要である。地震波速度、比抵抗構造、重力、地質等のさまざまなデータを統合し、着実にコミュニティモデルの構築を進めることが重要である。

内陸地震研究からは、詳細な地震波速度・減衰構造や比抵抗構造、応力場などのアウトプットが得ら

れつつある。これらのデータを地震発生予測や災害誘因予測研究で活用するために、内陸地震研究から得られる結果を、予測研究で活用できるよう、関連部会との連携体制を継続することが求められる。また、得られたデータや構造を関連研究者が広く活用できる道筋を確立することが急務であろう。

内陸地震発生メカニズムの物理モデル構築には多くの課題が残されているが、それらを解決していく過程で得られたさまざまな情報を整理して発信することが必要である。特に、今年度から進めている、地殻構造と地震活動との関連性に関する研究を深化させるため、統計的手法による地震発生予測研究、災害即時予測研究との連携を強めていくことが必要であろう。

## 成果リスト

- Aizawa K., H. Asaue, K. Koike, S. Takakura, M. Utsugi, H. Inoue, R. Yoshimura, K. Yamazaki, S. Komatsu, M. Uyeshima, T. Koyama, W. Kanda, T. Shiotani, N. Matsushima, M. Hata, T. Yoshinaga, K. Uchida, Y. Tsukashima, A. Shito, S. Fujita, A. Wakabayashi, K. Tsukamoto, T. Matsushima, M. Miyazaki, K. Kondo, K. Takashima, T. Hashimoto, M. Tamura, S. Matsumoto, Y. Yamashita, M. Nakamoto, and H. Shimizu, 2017: Seismicity controlled by resistivity structure: the 2016 Kumamoto earthquakes, Kyushu Island, Japan. *Earth, Planets and Space*, 69(1), 4, doi:10.1186/s40623-016-0590-2.
- 悪原 岳・中東和夫・篠原雅尚・山田知朗・山下裕亮・塩原肇・望月公廣, レシーバ関数による大和海盆下のリソスフェア構造推定, 日本地球惑星科学連合大会 2017, 幕張
- Akuhara, T., Nakahigashi, K., Shinohara, M., Yamada, T., Yamashita, Y., Shiobara, H., and Mochizuki, K., Lithospheric Structure of the Yamato Basin Inferred from Trans-dimensional Inversion of Receiver Functions, 2017 AGU Fall Meeting, New Orleans
- Ando, R., K. Imanishi, Y. Panayotopoulos and T. Kobayashi (2017), Dynamic rupture propagation on geometrically complex fault with along-strike variation of fault maturity: insights from the 2014 Northern Nagano earthquake, *Earth Planets Space*, 69:130, <https://doi.org/10.1186/s40623-017-0715-2>.
- 新谷昌人, 光ファイバーネットワークを用いた地震・津波・地殻変動の計測技術に関する研究, 東北大学電気通信研究所研究活動報告, 23, 202-204, 2017.
- 吾妻 崇, 2017, 講座「地盤に刻まれた巨大地震の痕跡 7. 活断層データベースとその活用」. 地盤工学会誌, 65(9), 2-9.
- Chiba K., 2017: b-values distribution in and around Mt. Tarumae, Japan, AGU 2017 Fall meeting, V23E-0515.
- Chiba, K., H. Ueda, and T. Tanada, 2017: Relationship Between b-value Distribution and the Magma Plumbing System in and around Mt. Tarumae, Japan, *Journal of Disaster Research*, Vol. 12 No. 5, 932-943.
- Fukahata, Y. and M. Matsu' ura, 2017, Characteristics of viscoelastic crustal deformation following a megathrust earthquake: discrepancy between the apparent and intrinsic relaxation time constants, *Pure Apply. Geophys.*, (in press). • Fukuda, J., J. Muto, and H. Nagahama, 2018, Strain localization and fabric development in polycrystalline anorthite + melt by water diffusion in an axial deformation experiment, *Earth Planets Space*, 70, 3, doi:10.1186/s40623-017-0776-2.
- Fukui, M., Matsushima, T., Yumitori, N., Oikawa, J., Watanabe, A., Okuda, T., Ozawa, T., Kohno, Y. & Miyagi, Y., 2017: Pressure sources of the Miyakejima volcano estimated from crustal deformation studies during 2011 - 2013, *International Symposium on Geodesy for Earthquake and Natural Hazards (GENAH) - Proceedings of the International Symposium on Geodesy for Earthquake and Natural Hazards (GENAH)*. Springer Verlag, Vol. 145, 117-123.
- 堀川信一郎・山中佳子・寺川寿子・前田裕太・奥田隆 (名大環)・荻原宏之・柏渕和信・山口充孝・五十嵐竜也・木村高志 (株計測技研), 小型軽量地震テレメータ装置の開発-長野県南部の地震の余震観測での活用-, 日本地震学会 2017 年秋季大会, S02-P07, 鹿児島, 2017.10.26.

- ・後藤秀昭, 2017, 海陸を統合した地形データを用いた変動地形学的研究—石垣島の海成段丘の傾動と海底地形—, 日本活断層学会 2017 年度秋季学術大会, P-16
- ・Goto, H, 2017, Late quaternary slip rates and vectors on the Median Tectonic Line active fault zone in eastern Shikoku, southwest Japan, *Quaternary International*, <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.12.013>
- ・廣内大助・松多信尚・石山達也・杉戸信彦・竹下欣宏・水谷光太郎・安江健一・藤田奈津子・澤 祥・道家涼介・佐藤善輝・堤浩之・越後智雄・池田一貴・鈴木康弘・神城断層調査グループ, 2018, 糸魚川—静岡構造線活断層帯神城断層中北部における断層活動, 2018 日本地理学会春季大会
- ・Iidaka, T., T. Igarashi, A. Hashima, A. Kato, T. Iwasaki, The Research Group for the Joint Seismic Observations at the Nobi Area, Receiver function images of the distorted Philippine Sea Slab contact with the continental crust: implications for generation of the 1891 Nobi earthquake (Mj 8.0), *Tectonophys.*, 717, 41–50, 2017.
- ・Iio, Y., Yoneda, I., Sawada, M., Miura, T., Katao, H., Takada, Y., & Horiuchi, S. (2017). Which is heterogeneous, stress or strength? An estimation from high-density seismic observations. *Earth, Planets and Space*, 69(1), 144. <https://doi.org/10.1186/s40623-017-0730-3>
- ・Iio, Y., S. Kishimoto, S. Nakao, T. Miura, I. Yoneda, M. Sawada, H. Katao (2017), Extremely weak fault planes: an estimate of focal mechanisms from stationary seismic activity in the San'in district, Japan, *Tectonophysics*, 10.1016/j.tecto.2017.12.007.
- ・飯尾 能久, 地震観測システムの小型化・軽量化・低コスト化, 日本地震工学会誌, 32, 8-12, 2017.
- ・飯尾能久, 2016 年熊本地震の発生過程について, 防災研究所年報, 60 A, 158-163, 2017.
- ・飯尾能久, 米田 格, 澤田麻沙代, 伊藤喜宏, 片尾 浩, 富坂和秀, 長岡愛理, 松本 聡, 宮崎真大, 酒井慎一, 加藤愛太郎, 林 能成, 山品匡史, 大久保慎人, 野口竜也, 香川敬生, 鳥取県西部地域における満点地震観測, 防災研究所年報, 60 B, 382-389, 2017.
- ・Imanishi, K., and T. Uchide (2017), Non-self-similar source property for microforeshocks of the 2014 Mw 6.2 Northern Nagano, central Japan, earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 5401-5410, doi:10.1002/2017GL073018
- ・今西和俊 (2017), 講座 地盤に刻まれた大地震の痕跡 5.地震の連鎖, 地盤工学会誌, 65. No.7, 49-56.
- ・Iriyama, Y., A. Toramaru, T. Yamamoto, 2018: Theory for deducing volcanic activity from size distributions in plinian pyroclastic fall deposits, *J. Geophys. Res.* (in press).
- ・入山宙, 寅丸敦志, 2017: 粒径分布の層序変化からみた新燃岳 2011 年準プリニー式噴火, *JpGU 2017 MIS02-05*
- ・入山 宙, 寅丸敦志, 山本哲生, 2017: 鉛直 1 次元ソース一定モデルの開発と降下火砕堆積物への応用, 日本火山学会 2017 年度秋季大会, 9 月 22 日発表.
- ・石川 正弘, 2017, 岩石の弾性波速度に基づく島弧地殻深部及び最上部マンツルの構成岩石の推定: 伊豆弧と東北本州弧. *地質学雑誌*, 123 巻, p. 355-364.
- ・石山 達也・佐藤比呂志・加藤直子・阿部 進, 2017, 反射法地震探査・地質学的データに基づく関東地域の震源断層モデル, 日本地球惑星科学連合 2017 大会, SSS16-09, 日本地球惑星科学連合.
- ・岩佐佳哉・熊原康博・後藤秀昭・中田 高, 2017, 益城町堂園地区における熊本地震の地表地震断層

- の詳細な分布と共役断層の活動履歴, 日本活断層学会 2017 年度秋季学術大会講演予稿集, P-3
- ・岩崎 貴哉・佐藤 比呂志・篠原 雅尚・石山 達也・橋間 昭徳・松原 誠・雨宮 由美, 2017. 日本列島基本構造モデルの構築 -II, 日本地球惑星科学連合 2017 大会, SSS16-01, 日本地球惑星科学連合.
  - ・鍵山恒臣, 吉川 慎, 宇津木充, 2017: 表層電気伝導度から示唆される阿蘇火山の活動様式と中部九州の活構造, 2017 年度日本火山学会秋季大会
  - ・神薗めぐみ・他, 2017: 2016 年熊本地震活動域における背景減衰構造と強散乱体の分布, 日本地震学会 2017 年度秋季大会 S22-10.
  - ・木下茜, 寅丸敦志, 2017: Guinness で特徴的な気泡粗密波に関する実験的研究, JpGU 2017 MIS15-06.
  - ・Kobayashi, T., Y. Morishita, and H. Yarai, 2017, SAR-revealed slip partitioning on a bending fault plane for the 2014 Northern Nagano earthquake at the northern Itoigawa-Shizuoka tectonic line, *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2017.12.001.
  - ・小西由利子, 寅丸敦志, 2017: Formation process of plagioclase aggregates of the 1991-1995 eruption at Unzen, JpGU 2017 SVC50-P17.
  - ・小西由利子, 寅丸敦志, 2017: 雲仙 1991-1995 年噴火の噴出物における集斑状斜長石の形成プロセス, 日本火山学会 2017 年度秋季大会, 9 月 23 日発表.
  - ・小菅正裕・野呂康平・増川和真, 2017, 東北日本で発生する深部低周波地震の震源の時空間分布の特徴と地震波形の多様性, *地震研究所彙報*, 92, 63-80.
  - ・Matsumoto, S., Y. Yamashita, M. Nakamoto, M. Miyazaki, S. Sakai, Y. Iio, H. Shimizu, K. Goto, T. Okada, M. Ohzono, T. Terakawa, M. Kosuga, M. Yoshimi, and Y. Asano, 2018: Prestate of stress and fault behavior during the 2016 Kumamoto Earthquake (M7.3), *Geophys. Res. Lett.*, 45, doi:10.1002/2017GL075725.
  - ・松本聡・他, 2017: 2016 年熊本地震前後の応力場変化 2, 日本地震学会 2017 年度秋季大会 S22-09.
  - ・森田花織・他, 2017: 精密水準測量で検出された霧島・硫黄山の上下変動(2012 年 3 月~2016 年 11 月), JpGU 2017, SVC47-P24.
  - ・Nakagawa, T., and Iwamori, H. (2017) Long-term stability of plate-like behavior caused by hydrous mantle convection and water absorption in the deep mantle. *Journal of Geophysical Research - Solid Earth*, doi: 10.1002/2017JB014052.
  - ・Nakamura, H., Iwamori, H., Ishizuka, O., Nishizawa, T. (2018) Distribution of slab-derived fluids around the edge of the Philippine Sea Plate from Central to Northeast Japan. *Tectonophysics* 723, 297-308. Doi:10.1016/j.tecto.2017.12.004.
  - ・中尾茂・他, 2017: Post-seismic deformation of 2016 Kumamoto Earthquake by continuous GNSS network, JpGU 2017, SSS10-05.
  - ・Nishimura, T., Y. Yokota, K. Tadokoro, and T. Ochi, Strain partitioning and interplate coupling along the northern margin of the Philippine Sea plate, estimated from Global Navigation Satellite System and Global Positioning System-Acoustic data, *Geosphere*, 14, doi:10.1130/GES01529.1, 2018
  - ・Nishizawa, T., H. Nakamura, T. Churikova, B. Gordeychik, O. Ishizuka, S. Haraguchi, T. Miyazaki, B.S. Vaglarov, Q. Chang, M. Hamada, J. Kimura, K. Ueki, C. Toyama, A. Nakao, H.

Iwamori (2017) Genesis of ultra-high-Ni olivine in high-Mg andesite lava triggered by seamount subduction, *Scientific Reports*, 7, DOI:10.1038/s41598-017-10276-3.

・ Ogawa, Y., and M. Ichiki, 2017, On the supercritical fluid under the brittle-ductile boundary imaged by magnetotelluric studies in NE Japan, 39th New Zealand Geothermal Workshop, Rotorua, New Zealand, 2017.11.22-24.

・ 小木曾 仁・干場充之・志藤あずさ・松本 聡, 2017, 不均質構造を考慮した「揺れの数値予報」: 2016年熊本地震を例に, JpGU-AGU Joint Meeting, SCG72-13

・ Ogiso, M., M. Hoshiba, A. Shito and S. Matsumoto, 2017, Numerical shake prediction incorporating heterogeneous structure: the 2016 Kumamoto Earthquake, IAG-IASPEI Joint Scientific Assembly, J04-P03

・ 小木曾 仁, 2017, 多重散乱の効果を考慮した内部減衰・散乱減衰の同時インバージョンの試み, 日本地震学会 2017 年秋季大会, S01-07

・ Ogiso, M., 2017, Simultaneous inversion of intrinsic and scattering attenuation parameters incorporating multiple scattering effect, AGU Fall Meeting, S53B-0666

・ Okamoto, A., H. Shimizu, J. Fukuda, J. Muto, and T. Okudaira, 2017. Reaction-induced grain boundary cracking and anisotropic fluid flow during prograde devolatilization reactions within subduction zones, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 172, 75, doi:10.1007/s00410-017-1393-6.

・ Okubo, S., X. Zhang, Y. Tanaka, Y. Imanishi, S. Miura, S. Ueki, H. Oshima, T. Maekawa, K. Okada, and M. Ando, 2017. Afterslip and viscoelastic components observed in surface gravity change after the 2011 Great Tohoku earthquake, in Joint Scientific Assembly of the International Association of Geodesy and the International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior, pp. J05-P-09, Kobe International Conference Center.

・ Ono, K., Harada, Y., Yoneda, A., Yamamoto, J., Yoshiasa, A., Sugiyama, K., Arima, H., and Watanabe, T., 2017, Determination of elastic constants of single-crystal chromian spinel by resonant ultrasound spectroscopy and implications for fluid inclusion geobarometry, *Phys. Chem. Minerals*, <https://doi.org/10.1007/s00269-017-0912-3>.  
・ 大橋 正俊, 市原 美恵, 武田 志緒里, 桑野 修, 寅丸 敦志, 2017: 硬化過程におけるフォームの変形実験 -Tube Pumice の履歴を探る-, JpGU 2017 SCG74-17.

・ 大橋正俊, 市原美恵, 寅丸敦志, 2017: 膨張と合体を考慮した気泡サイズ分布時間発展の数学的な取り扱い, 日本火山学会 2017 年度秋季大会, 9 月 22 日発表.

・ 大倉敬宏・宇津木充・横尾亮彦・吉川 慎・井上寛之・鍵山恒臣・山本 希・及川 純, 2017:阿蘇火山 2014 -2016 年の噴火活動について, 2017 年度日本火山学会秋季大会.

・ Saishu, H., A. Okamoto, and M. Otsubo, 2017, Silica precipitation potentially controls earthquake recurrence in seismogenic zones. *Sci. Rep.*, 7, 13337, doi:10.1038/s41598-017-13597-5.

・ Saito, Z., Y. Ogawa, M. Ichiki, H. Satoh, Y. Kinoshita, A. Suzuki, and P. Amatyakul, 2017, 3D magnetotelluric imaging of fluid distribution in a seismogenic region, Miyagi, NE Japan, JpGU-AGU joint meeting, Chiba, 2017.5.23.

・ Saito, Z., Y. Ogawa, M. Ichiki, and H. Satoh, 2017, 3d distribution of fluids and their origins in a seismogenic zone, Northern Miyagi, NE Japan, IAG-IASPEI 2017, Kobe, 2017.8.2.

- ・佐藤将, 2017, ニュージーランド南島北部の 2016 年カイコウラ地震震源域およびその周辺における応力場の推定, 東北大学修士論文.
- ・ Sema, F., and Watanabe, T., 2017, Determination of elastic constants of a single-crystal topaz and their temperature dependence via sphere resonance method, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 271, 64-62.
- ・ Shimizu H. and Group for urgent joint seismic observation of the 2016 Kumamoto earthquakes, 2017: Complex seismicity and hypocenter distribution of the 2016 Kumamoto earthquakes, Kyushu, Japan, and their relation to the stress field and crustal structure, IAG-IASPEI 2017, invited.
- ・ 清水洋・他, 2017: 稠密地震観測から推定される熊本地震の発生機構, 京都大学防災研究所平成 29 年度一般研究集会「リモートセンシング技術の進展と活断層・内陸地震研究」
- 清水洋, 2017: 平成 28 年熊本地震災害に関する総合調査, 第 54 回自然災害科学総合シンポジウム.
- ・ 清水洋, 2017: 平成 28 年熊本地震と布田川・日奈久断層帯, 日本火山学会第 24 回公開講座.
- ・ 清水洋, 2017: 2016 年熊本地震とその教訓, 日本地震学会 2017 年度秋季大会一般公開セミナー.
- ・ 清水洋・他, 2017: 九州中部における最近の地震活動と地殻変動, 日本地震学会 2017 年度秋季大会 S22-02.
- ・ 清水洋・他, 2017: 熊本平野西部における反射法地震探査:熊本-宇土測線, 日本地震学会 2017 年度秋季大会 S22-P04
- ・ Shito, A., S. Matsumoto, H. Shimizu, T. Ohkura, H. Takahashi, S. Sakai, T. Okada, H. Miyamachi, M. Kosuga, Y. Maeda, M. Yoshimi, Y. Asano and M. Okubo, 2017, Seismic velocity structure in the source region of the 2016 Kumamoto earthquake sequence, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 7766-7772, doi: 10.1002/2017GL074593
- ・ 志藤あずさ・松本聡・清水洋・2016 年熊本地震合同地震観測グループ, 2017, 布田川-日奈久断層帯の地震波速度構造, 日本地震学会 2017 年秋季大会, S22-11
- ・ 志藤あずさ・他, 2017: Seismic wave attenuation and local depth of seismogenic layer in the crust beneath Kyushu, Japan, *JpGU 2017*, SSS16-P11.
- Suzuki, Y., Nakata, T., Watanabe, M., 2017, Extremely severe house damage confined to narrow zones along the surface fault ruptures in Mashiki by 2016 Kumamoto earthquake, Japan. *AGU Fall Meeting*, T43C-0712.
- ・ 水藤 尚・小林知勝・川元智司・森下 遊, 2017, ひずみ集中帯の地殻変動特性に関する研究 (第 2 年次), 国土地理院調査研究年報 (平成 29 年度), 印刷中.
- ・ 水藤 尚, 2017, 日本列島下の粘性構造の推定に関する研究 (第 1 年次), 国土地理院調査研究年報 (平成 29 年度), 印刷中.
- ・ 鈴木康弘・渡辺満久・中田 高・田中 圭, 2017, 益城町市街地の地震断層と建物被害, 日本活断層学会 2017 年度秋季学術大会講演予稿集, O-3
- ・ 鈴木康弘・渡辺満久・中田 高, 2018, 2016 年熊本地震における益城町市街地の地震断層-変動地形学的意義と建物被害への影響-. *活断層研究*, 48, 印刷中.
- ・ 鈴木康弘・渡辺満久・中田高, 2017. 2016 年熊本地震を教訓とする活断層防災の課題と提言. *科学*, 86, 839-847
- ・ 高橋直也・石村大輔・遠田晋次・中田 高・渡辺満久, 2017, 布田川断層に並走する正断層の平均

変位速度：熊本県益城町下陳金山川沿いに現れた地震断層露頭，活断層研究，46，27-32.

・高橋浩晃，大園真子，一柳昌義，岡崎紀俊，鈴木隆広，秋田藤夫，2017: 屈斜路，カルデラ周辺の温度構造とひずみ分布，日本地震学会 2017 年秋季大会，S05-01.

・高橋浩晃，大園真子，岡崎紀俊，鈴木隆広，秋田藤夫，2017: 屈斜路カルデラ周辺の地温勾配分布，日本火山学会 2017 年度秋季大会，B2-14

・Takada, Y., Sagiya, T., Nishimura, T., Interseismic crustal deformation in and around the Atotsugawa fault system, Central Japan, detected by InSAR and GNSS. *Earth Planets and Space*, accepted.

・竹原瑞樹,寅丸敦志，2017: Textural analysis of Blast deposits from the May 18, 1980, eruption of Mount St. Helens, JpGU 2017 SVC50-P22.

・Terakawa, Y. Yamanaka, Y. Maeda, S. Horikawa, and T. Okuda, Monitoring eruption activity using temporal stress changes at Mount Ontake volcano, IASPEI 2017, S01-4-03, Kobe, Japan.

・Terakawa, T. (2017) Overpressurized fluids drive microseismic swarm activity around Mt. Ontake volcano, Japan, *Earth Planets and Space*, 69, 87.

・寺川寿子，御嶽山周辺の群発地震発生域の間隙流体圧分布の再評価，日本地球惑星科学連合 2017 年大会，SSS17-P07，千葉，2017.5.21.

・寺川寿子，CMT データインバージョン法による応力場の推定と誤差評価：東北地方太平洋沖地震前後の応力場の解析例，日本地震学会 2017 年秋季大会，S08-14，鹿児島，2017.10.25.

・Teshima N, A. Toramaru, 2017: Experimental study on precursory pressure oscillation in the experimental geyser system, JpGU 2017, S-VC45.

・寅丸敦志，2017: マグマにおける結晶成長と結晶中の累帯構造，JpGU 2017, MIS11-01（招待講演）

・寅丸敦志，山下俊介，2017: 巨大噴火の長期予測への戦略，JpGU 2017 SVC50-13.

・土屋範芳，2017，超臨界地熱貯留層の可能性について．*地熱技術* 42, 43-52.

・塚本果織・他，2017: 霧島硫黄山周辺の 1 次元比抵抗構造と震源再決定，JpGU 2017, SVC47-P23.

・Tsuno, S., Korenaga, M., Okamoto, K., Yamanaka, H., Chimoto, K. & Matsushima, T.. 2017: Local site effects in Kumamoto City revealed by the 2016 Kumamoto earthquake 2016 Kumamoto earthquake sequence and its impact on earthquake science and hazard assessment, *Earth, Planets and Space*. 69, 1, 37.

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

・Uchide, T., & Imanishi, K. (2018). Underestimation of microearthquake size by the magnitude scale of the Japan Meteorological Agency: Influence on earthquake statistics. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123. <https://doi.org/10.1002/2017JB014697>.

・Ueki, K., Iwamori, H. (2017) Geochemical differentiation processes for arc magma of the Sengan volcanic cluster, Northeastern Japan, constrained from principal component analysis. *Lithos* 290-291, 60-75. 10.1016/j.lithos.2017.08.001. • Uno, M., A. Okamoto, and N. Tsuchiya, 2017, Excess water generation during reaction-inducing intrusion of granitic melts into ultramafic rocks at crustal P-T conditions in the Sør Rondane Mountains of East Antarctica. *Lithos*, 284–285, 625–641,

doi:10.1016/j.lithos.2017.04.016.

- ・ 臼田 優太, 反射法解析を稠密アレイ自然地震記録に適用した阿武隈山地南部の地殻構造の研究, 東京大学修士論文, 2018 年
- ・ 宇津木充, 2017: 電磁気学データから見た阿蘇火山 2014 年噴火及びそれ以降の火山活動について, 2017 年度日本火山学会秋季大会.
- ・ 渡辺満久・中田 高・水本匡起, 2017, 富士川谷に見いだされた断層変位地形と断層露頭, 活断層研究, 45, 9-15.
- ・ 渡辺満久・中田 高・後藤秀昭, 2017, 変動地形学的特徴にもとづく立川断層南部の存在の再確認, 地震, 第 2 輯, 70, 81-87.
- ・ 渡辺満久・越谷 信, 2017, 北上低地帯北部における変動地形と活断層の再検討, 活断層研究, 46 (印刷中).
- ・ 渡辺満久, 2017, 広い撓曲崖を形成する六ヶ所断層—原子力規制委員会による適正な審査のために—, 科学, 88, 72-76.
- ・ Watanabe, N., T. Numakura, K. Sakaguchi, H. Saishu, A. Okamoto, S. Ingebritsen and N. Tsuchiya, 2017, Potentially exploitable supercritical geothermal resources in the ductile crust, *Nature Geosci.*, 10, 140-144, doi:10.1038/ngeo2879.
- ・ Watanabe, N., M. Egawa, K. Sakaguchi, T. Ishibashi, and N. Tsuchiya, 2017, Hydraulic fracturing and permeability enhancement in granite from subcritical/brittle to supercritical/ductile conditions, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 5468-5475, doi:10.1002/2017GL073898.
- ・ Watanabe, N., T. Kikuchi, T. Ishibashi, and N. Tsuchiya, 2017,  $\nu$ -X-type relative permeability curves for steam-water two-phase flows in fractured geothermal reservoirs, *Geothermics*, 65, 269-279, doi:10.1016/j.geothermics.2016.10.005.
- ・ Yamazaki, T., T. Kobayashi, T. Wright, and Fukahata, Y., 2018. Viscoelastic crustal deformation by magmatic intrusion: A case study in the Kutcharo caldera, eastern Hokkaido, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 349, 128-145.
- ・ Yanagida, Y., M. Nakamura, A. Yasuda, T. Kuritani, M. Nakagawa, and T. Yoshida, 2018, Differentiation of a hydrous arc magma recorded in melt inclusions in deep crustal cumulate xenoliths from Ichinomegata Maar, NE Japan, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, doi:10.1002/2017GC007301, accepted.
- ・ Yukutake Y, Iio Y (2017) Why do aftershocks occur? Relationship between mainshock rupture and aftershock sequence based on highly resolved hypocenter and focal mechanism distributions *Earth, Planets and Space* 69:68 doi:10.1186/s40623-017-0650-2

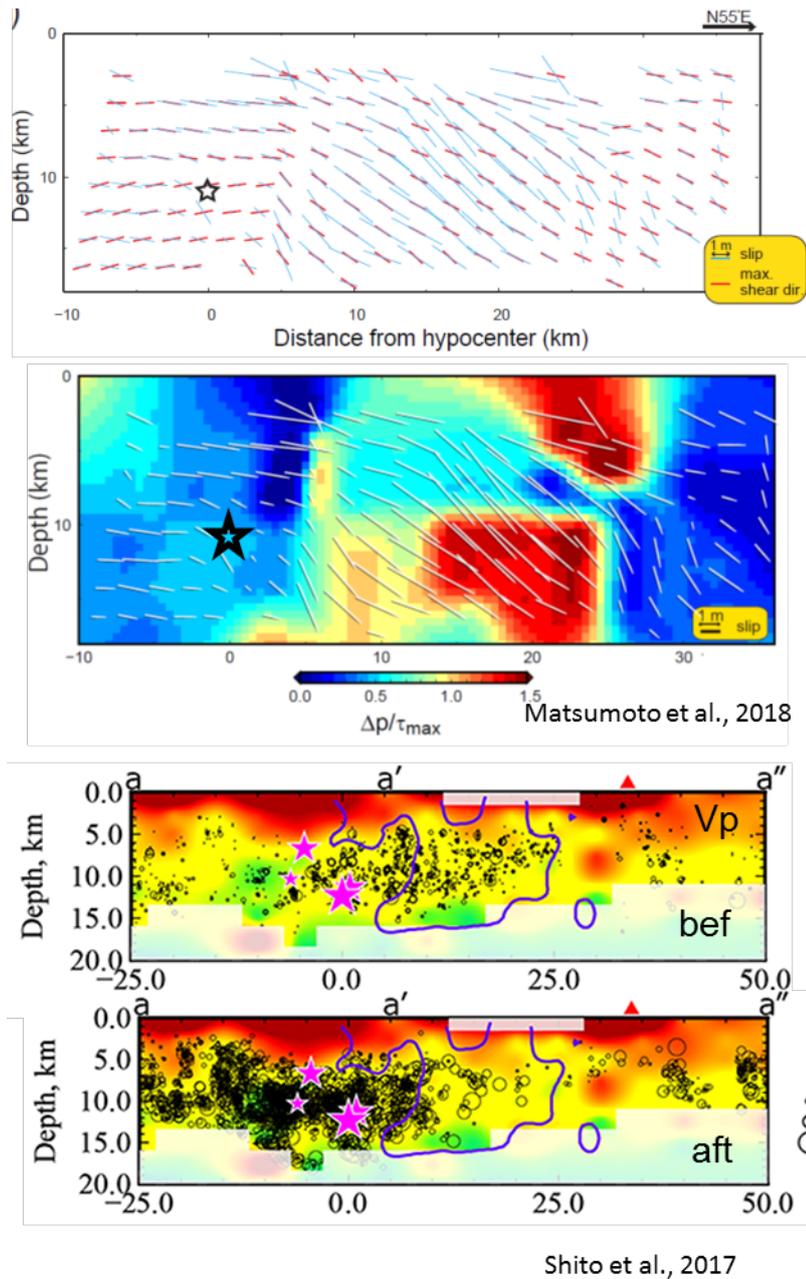


図 1. A) 発震機構解から推定した応力場と本震断層面から求められた、応力場から期待されるすべり方向と Asano & Iwata, (2016)による地震時すべりと、断層面と応力場に対する最適方向のずれを示した図 (赤がずれの大きい部分)。 (B) 断層面沿いの P 波速度構造。プロットしているのは熊本地震前の震源(上) と発生後の震源 (下)。(九州大[課題番号：2201])。

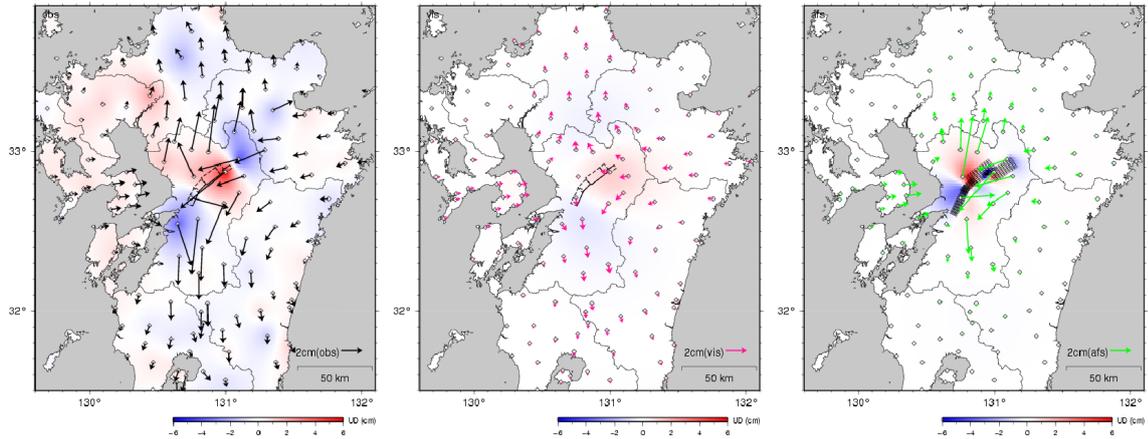


図 2. 熊本地震の 1 年間の余効変動。(左) 観測値。(中央) 粘性緩和による変動。(右) 余効滑りによる変動。(国土地理院[課題番号 : 6001])。

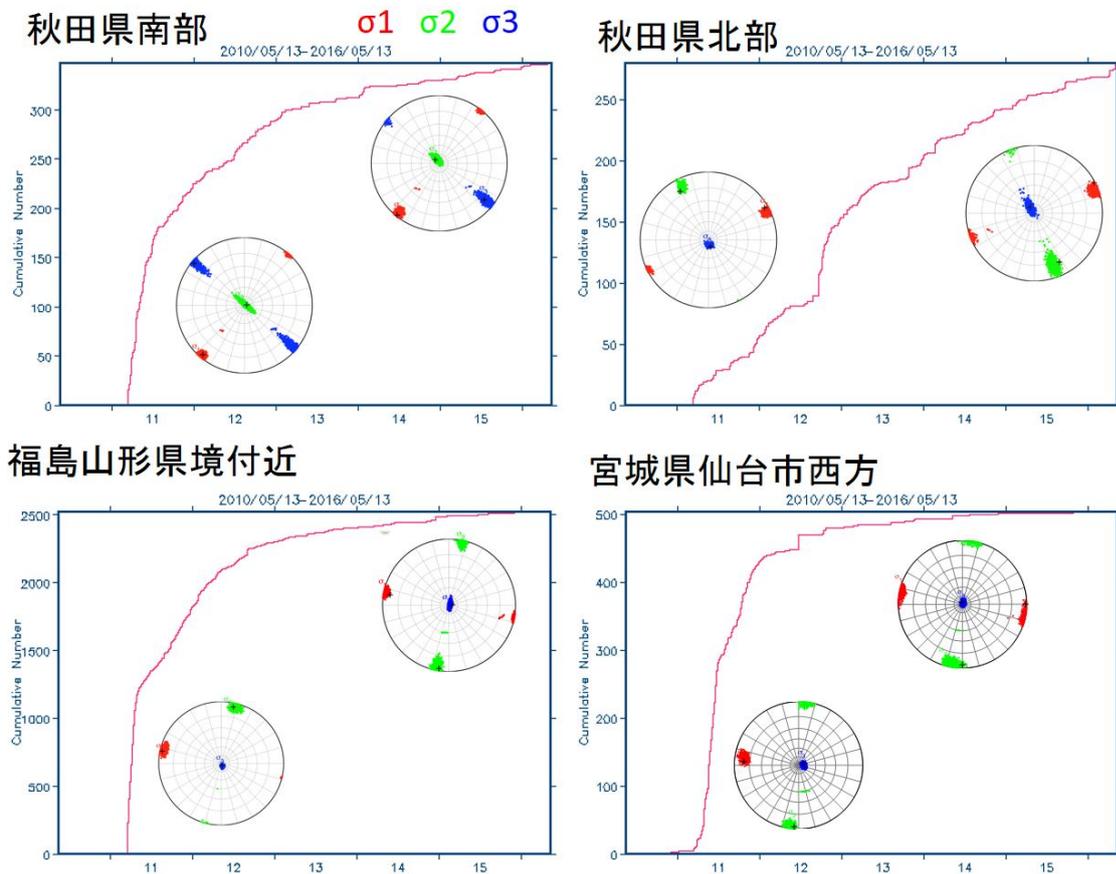


図 3. 東北沖地震後に活発化した内陸群発震源域での応力場。各領域の M2 以上の地震の累積個数と、2011 年 (左)・2016 年 (右) の応力場 (赤 :  $\sigma_1$ , 緑 :  $\sigma_2$ , 青 :  $\sigma_3$ ) の 95% 信頼区間を示す。(東北大[課題番号 : 1203])。

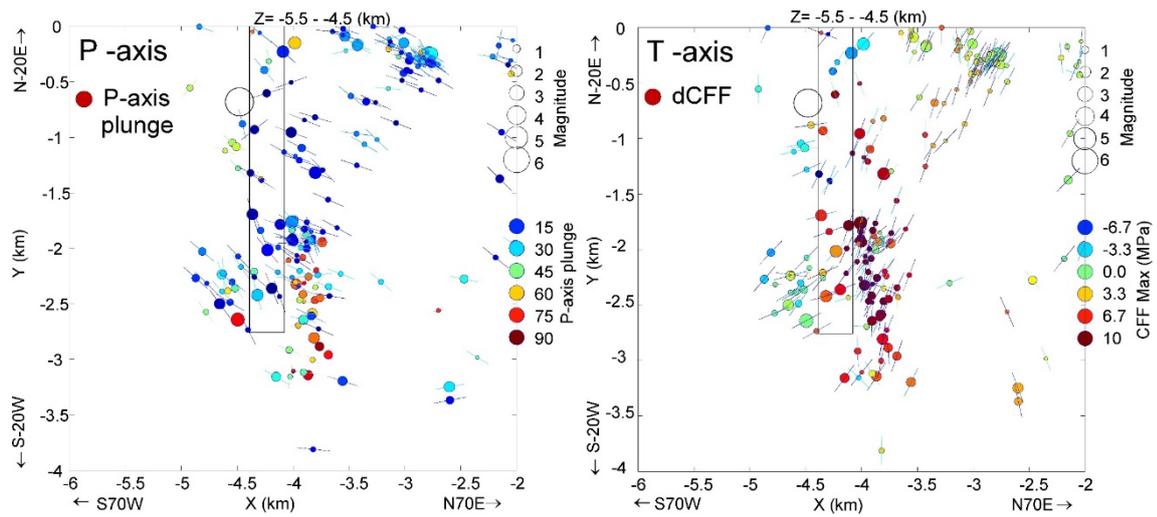


図 4. 2016 年鳥取中部地震の余震域南端付近における P 軸および T 軸の方位分布

深さ 5km 水平面から 0.5km 以内、メカニズム解の精度が比較的高いもののみ(Kagan 角で 60 度以内)のみを示す。P 軸の丸印の色は P 軸の plunge, T 軸の丸印の色は、最適なメカニズム解の 2 つの節面に対する本震のすべりによる応力変化(dCFF)の大きい方を表している。(京大防災研[課題番号:1907])。

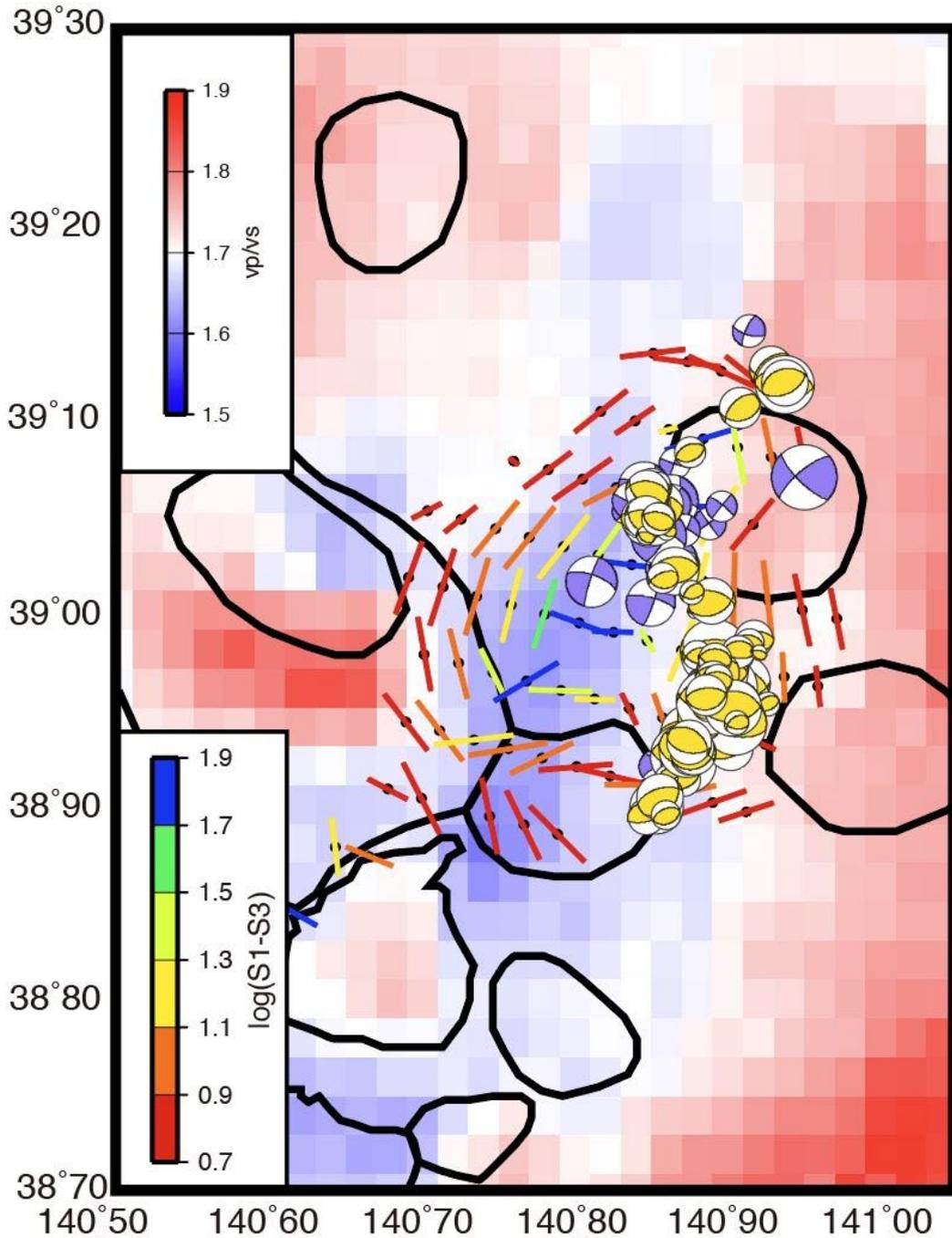
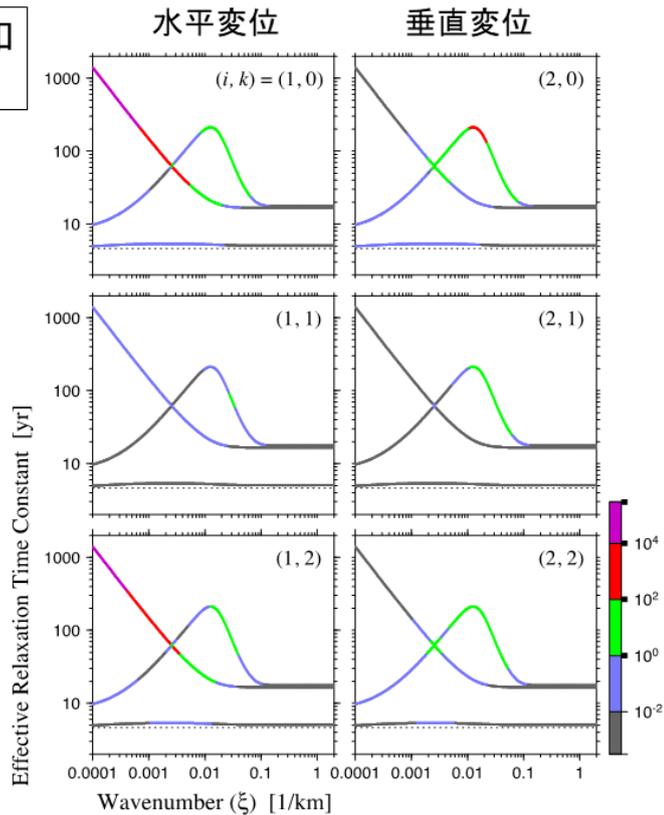


図5. 2008年岩手・宮城内陸地震の特異な余震と応力場と  $V_p/V_s$  比構造の比較。  
 南北圧縮の逆断層型（黄色）と横ずれ断層型（紫色）の余震の発震機構解の分布，Okada et al. (2012) による  $V_p/V_s$  比，Yoshida et al. (2014)による本震後の応力変化の分布を重ねて示す。線分は、差応力変化が 5 MPa 以上の応力変化の分布を表す。 $\sigma_1$  の方向を水平面に正射投影して示し、色が差応力の大きさ (MPa) の常用対数を表す。黒線はカルデラの分布（布原・他，2010）を示す。（東北大[課題番号：1204]）。

モード毎の緩和  
時定数の重み



Fukahata & Matsu'ura  
(2017, PAGEOPH)

図 6. 各緩和時定数の重みは、係数  $a_{ikm}$  で表される。この図は、その係数の大きさの空間波数依存性を示している。係数の大きさが桁で変わること注意到（右下のカラーバーがスケール）。紫や赤の部分が、粘性緩和において主要な役割を果たす。つまり、非常に長波長（数百 km 以上）の水平変位については、 $\tau = 4.6$  年にも拘わらず、実際の緩和には数百年以上もの時間がかかることが分かる（左上・左下図）。垂直変位についても、50～100 km の波長の変形が、100 年以上の緩和時間を持つことが分かる（右上図）。実際の緩和には名目的な Maxwell 緩和時間  $\tau$  よりもずっと長く時間がかかることの原因である。ただし、なぜ緩和時定数が 3 つあるのか、またなぜそれらに波数依存性があるのかという問題については、数学的には非常に明らかであるが、物理的に説明することはなかなか難しい。（京大防災研[課題番号：1905]）。

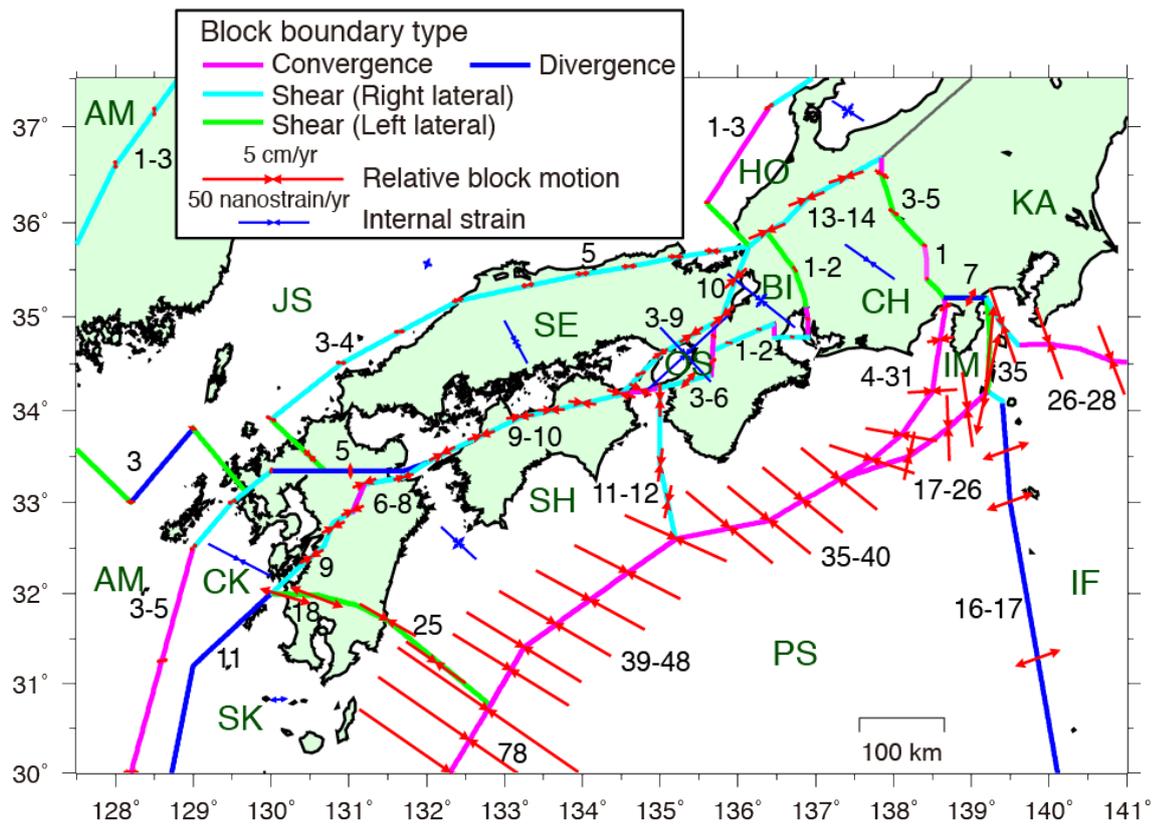


図 7. 海陸地殻変動データからブロック断層モデルを用いて推定されたブロック間相対運動。数字は、相対運動速度 (mm/yr) を表す。(京大防災研[課題番号: 1907])。

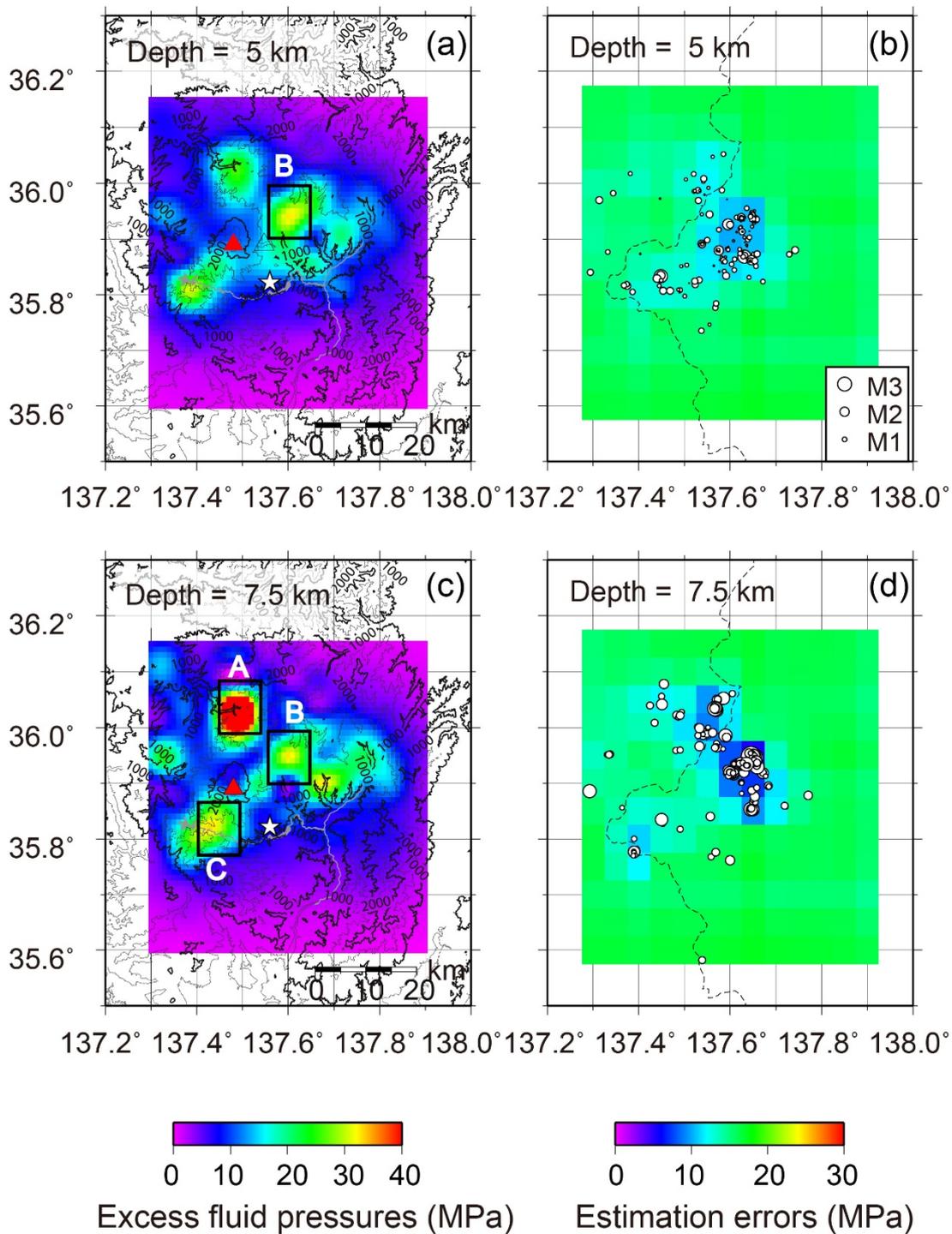


図 8. 御嶽山周辺域の 3D 間隙流体圧場 (Terakawa, 2017)

(a) 深さ 5 km での間隙流体場, (b) 深さ 7.5 km での間隙流体場, (c) 深さ 5 km で推定誤差分布, (d) 深さ 7.5 km で推定誤差分布。(c)及び(d)の白丸は、解析に用いたデータ（各水平面から 1.25 km 以内のもの）を示す。☆は 1984 年長野県西部地震の震央を示す。矩形 A-C は、解析期間（2009 年 8 月～2012 年 8 月）において間隙流体圧場の高まりがあった可能性がある領域を示す。（京大防災研[課題番号：1907]）。

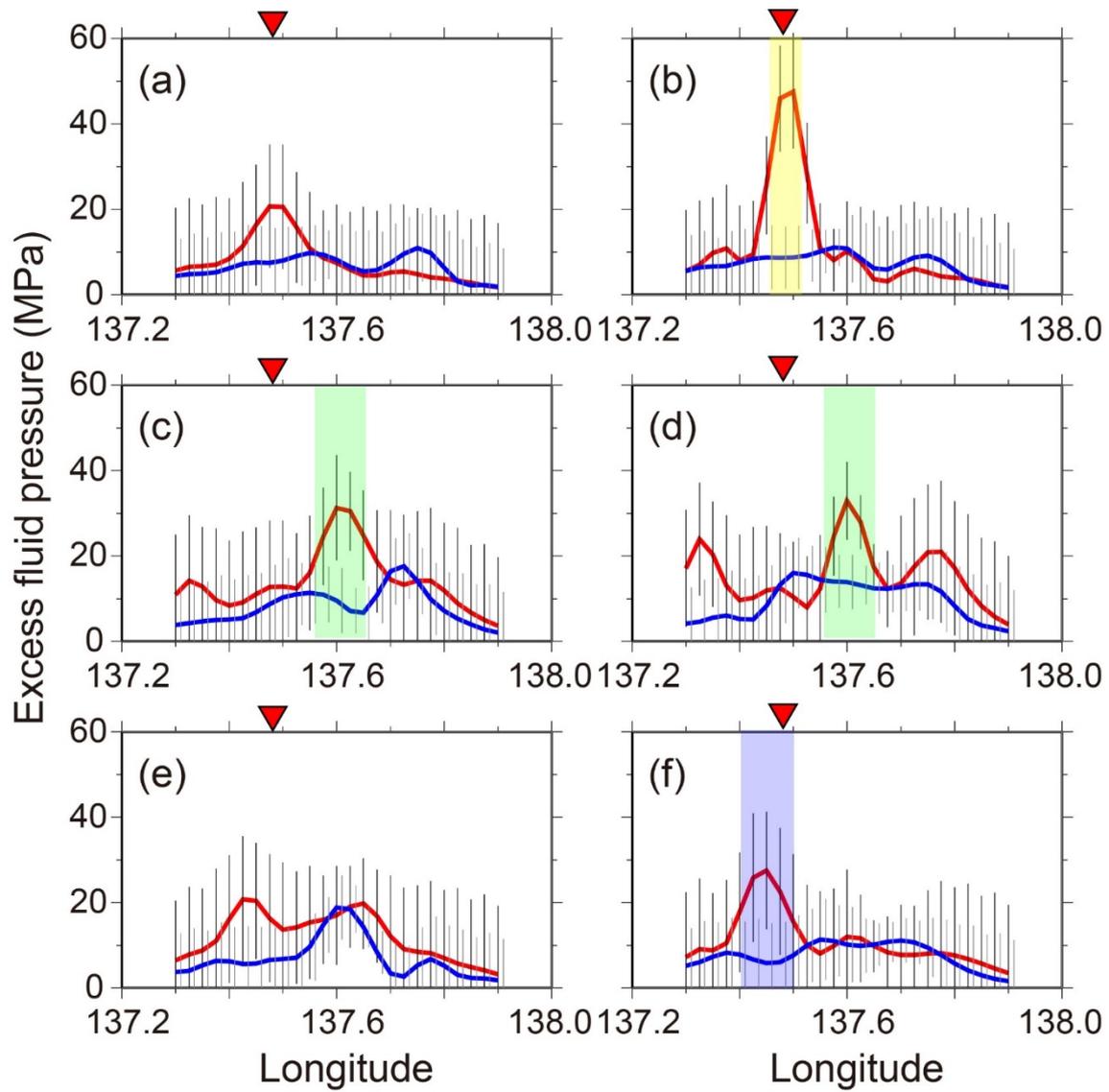


図9. 御嶽山周辺域での間隙流体圧場の時間変化 (Terakawa, 2017)

赤線と青線は、それぞれ2009年8月～2012年8月と2012年9月～2014年7月のデータによる結果を示す。(a)–(f)、カラーの網掛け領域は図16と同様である。(京大防災研[課題番号:1907])。

## 1 (3) 火山

「火山」計画推進部会長 大倉敬宏（京都大学大学院理学研究科）

副部会長 野上健治（東京工業大学理学院）

火山の噴火災害を軽減するためには、火山噴火の発生の場所・規模・時期を予測することおよび火山噴火現象の発展段階に応じた災害の推移を予測することが重要である。またこれらの予測のためには、火山噴火現象の解明もまた非常に重要である。「火山」計画推進部会では、「火山噴火の事象分岐の条件・論理を明らかにし、噴火事象系統樹を高度化することで、発災の原因である火山噴火を予測すること」を上位目標にすえ、低頻度で大規模な現象を含む火山噴火現象の解明、噴火発生場の解明、噴火のモデル化、観測手法の開発および体制の整備に関する研究を推進している。

### 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

火山現象とそれに伴う災害を長い時間スケールにわたって正確に把握するためには、岩石資料や地質調査データなどの分析をおこなうことが重要である。この目的のため、東京大学地震研究所〔課題番号：1502〕は、顕微赤外反射法を用いてマグマ中の揮発性成分量定量分析とメルトの含水量を考慮した鉱物温度圧力計によるマグマ溜まり深度の精密決定を遂行してきた。本年度は、浅間山・西之島・諏訪瀬島の試料分析が実施され、浅間山の1783年天明噴火のマグマに関しては、3つのマグマが関与したことが、マグマの混合が海拔0m付近で起こったことおよび混合から噴火までの時間が短かったことを示唆する結果が得られた。

#### (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

低頻度で大規模な火山現象の発生過程や噴火現象を理解するためには、現在の火山学の知見と対比しながら、近代的観測データの解析、岩石・地質データの分析を行なうことが必要である。火山部会では、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とをターゲットとした研究が実施されている。

鬼界火山のカルデラ形成噴火（K-Ah噴火，7.3 ka）の地質学的・物質科学的研究からは、単純に1回の大規模火砕物密度流が発生したのではなく、プリニー式噴火で始まった噴火が噴煙柱崩壊後にやや静穏化し、その後段階的に火道の形成・拡大が進行して終盤に幸屋火砕流の噴出及びカルデラ崩壊に至ったことが推定された（北海道大学〔課題番号：1001〕）。また、摩周火山でもカルデラ形成噴火（7.6 ka）の地質学的・物質科学的研究（北海道大学〔課題番号：1001〕）とそれに先行する噴火の推移およびマグマ供給系に関する岩石学的な研究北海道教育大（〔課題番号：2940〕）が実施されている。

一方、山体崩壊については、雲仙岳1792年噴火時の眉山崩壊と1888年磐梯山噴火による

山体崩壊に関する資料分析や地質調査が実施された。そのうちの眉山崩壊については、崩壊の原因の諸説のうちの火山爆裂説や地震説を支持する噴出物や資料を新たに見いだす事はできなかった。現時点では、眉山を構成している岩石中の間隙水圧上昇による地すべりが山体崩壊を引き起こしたとする説が有力であるが、決定的な裏付けデータを示すには未だ至っていない（北海道大学〔課題番号：1001〕）。

また、桜島大正噴火時（1914年）における桜島地震の震源要素再決定に関する研究も実施され、この地震の震源は鹿児島測候所から南南東方向約6 kmの鹿児島市街地沖の極浅部に位置することが明らかになった（京都大学防災研究所〔課題番号：1902〕）。

### （3） 地震・火山噴火の発生場の解明

#### ウ． 内陸地震と火山噴火

マグマ溜まりや火道などの構造や物質科学的特性、火山周辺の応力・ひずみの時空間分布を明らかにし、火山噴火現象のモデル化の研究を進めるため、地震・地殻変動観測や電磁気探査などを実施することが重要である。

この目的のため、2011年の東北地方太平洋沖地震以降に活動の活発化がみられる蔵王山周辺において、地震・地殻変動観測、重力観測、地磁気観測などからなる総合観測が実施されている。同火山では2018年1月28日から2月4日にかけて地殻変動をともなう火山性微動が観測され、1月30日には噴火警戒レベルが2に引き上げられた。この地殻変動源は、山体下浅部に位置する開口断層であることが明らかになっている（東北大学〔課題番号：1202〕）。今後は、この断層と長周期地震発生源の関連やこれらと浅部熱水系の関係を明らかにしていくことが、水蒸気噴火の発生場解明のためにも重要である。

### （5） 火山現象のモデル化

大規模な災害を引き起こす可能性があるマグマ噴火を主体とする火山、および噴火規模は小さいものの災害を引き起こす可能性が高い水蒸気噴火を主体とする火山それぞれに対し、火口近傍や火山周辺における多項目の観測や火山噴出物の解析から、先行現象とそれに続く噴火現象を把握し、それら諸現象のモデル化を行なうことを目的とした研究が実施されている。

#### ア． マグマ噴火を主体とする火山

2006年に58年ぶりに噴火が発生した桜島昭和火口では、2009年後半から2015年前半までブルカノ式噴火が頻発した。そして、2015年8月15日にマグマ貫入イベントが発生した後は噴火活動が低下した状態にあった。しかし、2017年4月26日以降同年6月中旬まで昭和火口において噴火が頻発した。また、8月22日夜から23日の午前中まで昭和火口から溶岩噴泉活動が発生し、その後8月28日からはブルカノ式噴火が頻発するようになった。これらの噴火様式の変遷は、新鮮なマグマが地表に到達した後、脱ガスしながら結晶化が進行した結果、火道上部の閉塞が進んだことによると考えられている（京都大学防災研究所〔課題番号：1908〕、産業技術総合研究所〔課題番号：5006〕）。その後2017年10月31日から、噴火活動は昭和火口から南岳山頂火口に移った。2017年4月以降の様式の異なる噴火現象のいずれにも、先行する南岳下のマグマ溜まりでの膨張が捉えられた。桜島火山においては前年度までの研究により、マグマ溜まりの膨張速度（マグマ貫入速度）が噴火様式に

より異なることが明らかになっている。今回の活動で特徴的であった溶岩噴泉活動の前のマグマ貫入レートはこれまでのマグマ貫入速度とは異なり、桜島においてはマグマ貫入レートが噴火様式を支配していることを裏付けている。

また産業技術総合研究所は、桜島の噴出物の構成粒子解析を継続して実施し、昭和火口および南岳山頂火口の噴出物は活動が継続するにつれて結晶度が低下し発泡度が増加したことを明らかにした。8月に顕著な溶岩噴泉活動が発生した昭和火口では、この活動に先立つ8月11日ごろから低結晶度の粒子が顕著に増加したことを把握した。また南岳山頂火口の噴出物も9月から11月にかけて低結晶度の粒子が増加した。これらから、昭和火口・南岳山頂火口へのマグマの上昇が連動していたことが明らかになった（産業技術総合研究所 [課題番号：5006]）。

一方、上述の活動の元となるマグマは始良カルデラ下のマグマ溜まりから桜島北岳下へと移動していると考えられている。国土地理院のGNSS観測による基線長変化の解析から、始良カルデラ下のマグマ溜まりは膨張収縮を繰り返しながらも体積増加が継続していることが明らかになっている（国土地理院 [課題番号：6002]）。しかし、その体積増加率は2017年以降小さくなってきていることが、桜島島内のGNSS観測や水準測量の結果により示された（京都大学防災研究所 [課題番号：1908]）。

マグマ噴火のモデル化のためには、地球物理学、地球化学および岩石学的手法を用いた多項目の観測を桜島以外でも推進し、噴火にともなう諸現象の一般性を抽出することが非常に重要となる。東京大学地震研究所は、霧島新燃岳、浅間山、伊豆大島において多項目高精度観測を継続し、そのうち2017年10月に6年ぶりに噴火の発生した霧島新燃岳では、この噴火に先行して火山性微動を伴う傾斜変動が広帯域地震観測網により捉えられた。この傾斜変動は新燃岳火口直下深さ1km付近における $10^4\text{m}^3$ の膨張源によって良く説明されることから、火山性微動は噴火に先行して流体が新燃岳の浅部に移動したことに伴い発生したと解釈された（東京大学地震研究所 [課題番号：1508]）。また、浅間山では火山ガス組成の変化を把握するためMulti-GASによる火山ガス組成繰り返し観測も実施された（産業技術総合研究所 [課題番号：5006]）。伊豆大島では、非線形の時間依存インバージョンが地殻変動データに適用され、圧力源の深さの時間変化が2012年以降殆どないことが明らかになった（国土地理院 [課題番号：6002]）。また、気象研究所は伊豆大島において、光波測距と多成分歪み計による地殻変動観測、繰り返し重力測定を実施している（気象庁 [課題番号：7003]）。

火山現象・噴火のモデル化を行なう際には、マグマの挙動についての理論的及び実験的研究の成果を取り入れることも重要である。東北大学は、火道浅部での噴火様式の分岐条件を明らかにするため、阿蘇火山中岳の灰噴火火山灰中のナノライト・ウルトラナノライトの記載的研究を実施した。その結果、含水玄武岩質安山岩の低圧下での脱水結晶作用によりメルトフォームが急激に脆性化することが、空振を伴わない灰噴火を引き起こす要因であることが示唆された（東北大学 [課題番号：1205]）。

その他、明神礁や西之島など海域火山の観測も継続されている（海上保安庁 [課題番号：8003]）

## イ. 熱水系の卓越する火山

熱水系の卓越した火山で発生する水蒸気噴火や小規模なマグマ水蒸気噴火の準備過程に関連する先行現象の事例を多数集め、それらの現象の理解を深めるため、十勝岳・吾妻山・草津白根山・阿蘇山・口永良部島を対象とし、地球物理的観測、電磁気や熱観測、地質調査と噴出物分析を調査項目とする全国連携の比較研究が継続されている（北海道大学 [課題番号：1003]）。これら5火山のうち、2014年に噴火が発生した阿蘇山と口永良部島については、H27年度から別課題でも観測研究が実施されている（京都大学理学研究科 [課題番号：1802]）。

前述の全国連携研究では、火山活動に伴う地震波速度の時間変化検出を目的とした地震波干渉法解析が実施されているが、火山活動との明瞭な対応のある速度構造変化は検出されていない。また、霧島山新燃岳（2010年5月27日：気象庁・防災科研データ）・御嶽山（2014年9月27日）・阿蘇山（2015年9月14日）・草津白根山（2018年1月23日）・口永良部島（2014年8月3日）について水蒸気噴火前後の地震動・傾斜変動を比較した。草津白根山では、噴火の3分前から火山性微動と同期した傾斜変動がとらえられており、これは御嶽山と口永良部島での噴火前の傾斜変動と同じ特徴を持つことがわかった（北海道大学 [課題番号：1003]）。これは水蒸気噴火のメカニズムに共通性があることを強く示唆する観測結果である。

十勝岳において、AMT法比抵抗探査データ（北海道立総合研究機構地質研究所 [課題番号：9102] と共同実施）を用いて、火口周辺域の地表から深さ500m程度までについて3次元比抵抗構造解析を行った。その結果、表層の溶岩やスコリアに対応する高比抵抗層の下に噴気変質または熱水に対応する低比抵抗層が火口域に広く分布しており、62火口群や大正火口に向かってその低比抵抗が伸びていることが推定された。また、吾妻山周辺域では広帯域MT観測データから3次元比抵抗構造推定を実施した。その結果、比抵抗構造として以下が新たに分かった（北海道大学 [課題番号：1003]）。(1) 30  $\Omega$  m以下の領域は大穴クレーターの海拔下5 kmを中心に南北25 km、東西15 km、鉛直10 kmの3軸楕円体状に広がっている。(2) 大穴火口と安達太良山の北、土湯峠から箕輪山にかけての2か所には、火道を示唆するような直径2-3 kmの管状の低比抵抗体が上記の楕円体領域から延伸すると推定される。これらが吾妻山と安達太良山への熱水やマグマ経路と仮定すると、吾妻山と安達太良山の熱水・マグマ溜りは一体であると解釈できる。(3) 吾妻小富士より東側の領域は全般的に高比抵抗（300  $\Omega$  m以上）となっている。吾妻小富士の東側に深さ20 kmを上限として深部低周波地震が観測されているが、この地震は高比抵抗領域で発生している。

また、十勝岳の水蒸気噴火堆積物の分析から、同火山では酸性流体により生じたシリカ鉱物やミョウバン石が変質物の主体であり、カオリン鉱物を伴うことが明らかになった。これらの鉱物は著しい溶脱反応を示しつつも不完全な変質であり、火山ガスに由来する酸性流体と既存岩石が短時間反応した結果生じたと解釈できる。大規模で安定した熱水系に由来する変質火山灰が認められた御嶽山とは異なり、十勝岳では浅所の不安定な熱水系に由来する変質物のみが認められる。マグマ貫入頻度が低い御嶽山と、貫入頻度が高い十勝岳における熱水系の発達様式の違いによる相違であると解釈される（北海道大学 [課題番号：1003]）。

吾妻火山での地質調査及び試料分析が実施され、約5000年前の吾妻小富士形成噴火における噴火様式とマグマ組成に関する地質学的検討の結果、この噴火はマグマ水蒸気噴火→ストロンボリ式噴火→ブルカノ式噴火→ストロンボリ式噴火→水蒸気爆発と推移したことが、マグマ水蒸気噴火噴出物はブルカノ式噴火の噴出物と同程度のSiO<sub>2</sub>量（59-61%）をもつが、その斑晶量はブルカノ式噴火よりやや低いことが明らかになった。噴火様式の分岐条件の判断材料となりうる研究成果である（北海道大学〔課題番号：1003〕）。

草津白根山の湯釜火口周辺では、2014年3月から地震活動が活発となり、山体が膨張するとともに、火山ガス中のH<sub>2</sub>S成分が減少した。さらに2ヶ月後に湯釜火口湖の温度上昇と湯釜直下の熱消磁が観測された。この山体膨張は2015年8月まで継続したが、その後活動が終息した。そして、これらの一連の活動は、湯釜を取り囲む粘土キャップへの高温の火山ガス・熱水流入によるものと解釈された。2017年には熱活動の縮退に対応する地磁気変化や噴気ガスの成分変化が観測されていた（東京工業大学〔課題番号：1601〕）。ただし、本白根火砕丘では、近年の地質調査により、最新のマグマ噴火が1500年前に発生したことが判明していた（富山大学〔課題番号：2942〕）。このような状況下で、2018年1月23日10時02分に本白根山鏡池北火口から噴火が発生し、死者1名を含む人的な被害が生じた。東京工業大学が湯釜火口周辺5カ所に設置していた傾斜計では、23日09:58:58頃から湯釜南方が隆起する傾斜変動が観測され、10:02:08 - 12 前後に反転した。GNSS連続観測では、噴火に先行する地盤変動は不明瞭である。本白根火砕丘では、群発地震活動が年に2-3回程度の割合で観測されていたが、噴火直前の地震活動の活発化は認められていない。また、噴火の3か月前に実施した空中赤外観測でも北鏡池火砕丘周辺の地表面温度に異常は認められなかった（東京工業大学〔課題番号：1601〕）。

一方、御嶽山では、GNSS観測や水準測量が実施され、活動の沈静化を示す山体収縮が観測された（京都大学理学研究科〔課題番号：1802〕）。また、口永良部島でもGNSS観測や水準測量が実施され、顕著な地殻変動は観測されず、前年度に観測された火山活動の低下が継続していることが示唆された。ただし、二酸化硫黄放出量は100-500トン/日の高いレベルを保っている（東京大学大学院理学研究科〔課題番号：1403〕）ことから小規模な水蒸気噴火のポテンシャルは有していると判断された（京都大学理学研究科〔課題番号：1802〕）。阿蘇火山では、阿蘇中岳火口周辺で行われたACTIVE観測の解析手法の高度化に取り組み、三次元有限要素法を用いたインバージョンコードを開発し、2014年11月のマグマ噴火前後の比抵抗構造の変化を推定した。その結果、火口底標高付近の地下水層の消失および粘土キャップ層の含水率低下に対応する比抵抗構造の時間変化を検出できることがわかった（京都大学理学研究科〔課題番号：1802〕）。これは噴火様式の予測につながりうる解析結果である。

他の熱水系卓越火山でも観測研究が進められた。京都大学防災研究所は、焼岳火山の観測網を強化し、2017年8月9日から10日にかけて発生した黒谷火口の小噴気発生に伴う低周波地震を捉えた（京都大学防災研究所〔課題番号：1909〕）。また、富山大学は、弥陀ヶ原火山・地獄谷において水準測量、レーザースキャナによる高精度地形測量および地中温度測定を実施した。噴気活動の活発な領域で、2016年9月から1年間で1cmを超える局

地的な隆起が観測された（富山大学 [課題番号：2941]）。気象庁は雌阿寒岳などで全磁力の連続観測および繰返し観測を実施した。そして、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を見いだした（気象庁 [課題番号：7005]）。また、北海道立総合研究機構地質研究所は雌阿寒岳および十勝岳でGPS連続観測と火口域での地温連続観測、噴気および温泉水の地球化学的観測、地下水位連続観測を行った。また、熱水流動系のモデルに基づいて、十勝岳周辺での30年以上にわたる温泉水の地球化学的な観測の結果を検証することによって、吹上温泉地域での温泉水の変化が十勝岳の火山活動の変化に対応していることが明らかになった（北海道立総合研究機構地質研究所 [課題番号：9102]）。

東海大学は箱根山の大涌谷と上湯場の二か所で噴気の採取・分析を一月に一回の割合で実施した。その結果、 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CO}_2/\text{CH}_4$ 、 $\text{He}/\text{CH}_4$ について、2017年の1～4月頃に底を打ち、その後年末に向けて緩やかな上昇を示す変化が観測された。地震活動は2017年5月～10月にかけて、やや活発化しており、地震活動がマグマからの脱ガスと対応している可能性がある（東海大学 [課題番号：2949]）。この箱根火山においては東京大学大気海洋研究所も2ヶ所における継続的に噴気ガスを採取しHeの同位体比を測定している（東京大学大気海洋研究所 [課題番号：2802]）。

海底火山の活動は、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。火山体から放出される熱水の生成過程を明らかにするため、海水に酸を添加して酸性化したものと岩石を反応させ、Fe・Al・Siが岩石から溶脱する過程を実験的に調べたところ、pHのより低い酸性海水と反応させた場合にFeの溶脱が著しく、Alの溶脱は促進されないことが明らかになった。これに対して、pHの高い酸性海水と反応させた場合にはFe、Alの溶脱は促進されず、Siの溶脱が促進する結果が得られた。この実験から、火山活動が極めて活発な状態においてFeの割合が高い沈殿物が生成される原因が明らかになった（東京工業大学 [課題番号：1602]）。

## 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

火山活動の推移を俯瞰的に理解してその予測を目指すためには、史料・考古データ、地質調査、火山噴出物の解析、地球物理観測の研究成果を多角的に取り入れ、可能性のある火山活動や噴火現象を網羅してその時系列を整理した噴火事象系統樹を作成することが重要である。また、作成された噴火事象系統樹も最新の研究成果により更新されていく必要がある。

北海道大学は、十勝岳北西火口群の活動について事象系統樹作成のための噴火履歴の整理と確率の算出を試みた。確率算出にあたっては、完新世の活動、特に過去5,000年間程度の噴火活動履歴から火口域、噴火タイプを、また、過去100年の活動については、噴火未遂も含めた上で熱活動レベルの上昇や火山性地震の増加などの前兆現象がまとめられた。そして、地震活動が活発化したのちに、噴火開始するか噴火未遂でおわるかの確率、噴火開始後水蒸気噴火で終息するかマグマ噴火に至るかの確率、マグマ噴火が起こった後準プリニー式噴火かマール形成噴火に移行する

確率，準プリニー式噴火がそのまま終息するか溶岩流出に移行するかの確率，山体崩壊・岩屑なだれ堆積物の発生確率がそれぞれ算出された（北海道大学〔課題番号：1004〕）。

また，蔵王山では，五色岳の最新活動を対象にテフラを用いた研究が進められ，この活動フェーズは，水蒸気噴火からマグマ噴火に移行，マグマ噴火のみ，水蒸気噴火のみの3種類に分けられることが明らかになった。また，噴火の原動力となった高温マグマの活動タイミングについても知見が得られた。そこで，これらの成果を噴火事象系統樹に反映させることが試みられた（山形大学，〔課題番号：2932〕）。また富士山では，高精度の噴火事象系統樹作成もため，詳細な噴火履歴と噴火推移解明のため，文献調査と既存資料のデータベース化が継続されるとともに，滝沢標高 1600m 付近と与兵衛流標高 1450m 付近の 2ヶ所でトレンチ調査が実施された。与兵衛流でのトレンチで確認された火砕流と溶岩の噴出年代は古地磁気方位により，各々AD600-650年頃，AD550-600年頃であると推定された（山梨県富士山科学研究所〔課題番号：9202〕）。

一方，火山活動の活発化や噴火の発生，噴火発生後の噴火規模や様式の急激な変化の予測を行うためには，これまでの火山学的知見や本計画の成果をもとに，観測データの特徴や火山噴出物の解析などから，事象分岐の条件や論理を導き出すことも不可欠である。

地球物理学的多項目観測が行なわれている阿蘇山，桜島，口永良部島，霧島山，十勝岳，吾妻山，草津白根山において，地震回数や火山性地震の波形特性の時間変化，測地測量にもとづく地下の体積変化量の時空間変化，熱的活動や地磁気変化の各種観測量が詳細に調べられた。噴火が発生した火山に対しては，噴火時期が近づくにつれて，次第に多くの項目の観測量に活発化を示すシグナルが現れることが見いだされた。一方，ひとつの観測指標にもとづく火山活動や噴火活動推移の調査も行われた。世界の地震・噴火のデータベースから，噴火前後に中規模地震の発生頻度が高まることが明らかとなった。また，国内9火山で発生した噴火発生事例に対して，2000年頃から整備されたGNSSの長期データに基づき的中率が調べられた。その結果，約4割が的中，約5割が噴火未遂，残りが空振りとなることがわかった。また，測量の分岐現象と地下火山性流体の活動変化の関係をつなげるモデル化も行われた。山体近傍で発生する火山性地震数の変化から山体膨張／収縮による活動変化を差し引くことで，火山活動に重要な役割を果たす火山性流体による地下の間隙圧上昇を検知する方法が伊豆大島・御嶽山・箱根山に適用され，噴火活動との関係が調べられた（東北大学〔課題番号：1208〕）。

#### 4. 研究を推進するための体制の整備

##### (1) 推進体制の整備

防災・減災に観測研究の成果が役立てられるためには，行政機関等の関連機関との連携の下に，適切な計画推進体制を整備する必要がある。気象庁は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。検討結果は定例会終了後に報道発表し，気象庁の「火山の状況に関する解説情報」で発表するとともに気象庁のホームページでも公表されている。また，草津の本白根山噴火に対応して，火山活動の検討と総合判断，およびそのために必要な観測体制の検討を行うため，火山噴火予知連絡会の下に草津白根山部会を設置した（気象庁〔課題番号：7013〕）。

## (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

#### ウ. 観測・解析技術の開発

長い時間スケールをもつ火山現象の理解とその予測には、その基盤となる観測網の維持・拡充を進めるとともに、データの継続的取得と膨大なデータの効率的利用が重要である。また、海域における観測体制の強化、各種観測を火口近傍で安全に実施する技術の開発、人工衛星を利用したリアルタイム火山観測システムの高度化、航空機搭載型センサーを用いた観測技術の開発も必要である。

山梨県富士山科学研究所では、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継続している（山梨県富士山科学研究所 [課題番号：9201]）。海上保安庁は、海域火山基礎情報図調査を「利島至三宅」、「若尊」で実施した（海上保安庁 [課題番号：8003]）。

東京大学大学院理学研究科は、二酸化硫黄簡易型トラバース測定装置の解析方法の改良を行ない、観測スペクトルのダウンロード、スペクトル解析、解析結果の福岡管区気象台への送付、という作業の自動化を行った。これにより、フェリーでの測定終了から45分以内に解析結果が送信されるようになった。また、二酸化硫黄可視化モニタリング装置の構成を一新し、桜島で可視化測定を実施した（東京大学大学院理学研究科 [課題番号：1403]）。

北海道大学は、Lバンド航空機SARを用いた火山性地殻変動の検出にむけ、火山性地殻変動が実際に進行している火山を対象とした新規の観測を行った。そして、霧島火山硫黄山における地殻変動検出のため、2014年8月7日、2016年8月4日、2017年9月6日に取得した3方向からのデータを用いて、航空機SAR干渉解析を実施した。その結果、飛行速度の不均一さに由来する干渉性悪化の影響を完全には取り除けなかったものの、硫黄山周辺では、期間を通じて膨張を示唆する膨張性の地殻変動が検出された（北海道大学 [課題番号：1008]）。

防災科学技術研究所は地上設置型レーダー干渉計による火山活動把握に関する研究の一環として、浅間山に設置された干渉計で得られたデータから大気遅延ノイズを軽減するための手法開発をおこなった（防災科学技術研究所 [課題番号：3003, 3005]）。また、小型単発機に搭載可能なセンサー：ARTS-SEのカメラ型センサデータの処理手法を開発し、その手法により箱根山大涌谷付近のDSMを作成した。その精度は、地理院の数値標高モデル10mメッシュ（標高）に対して10m以内であった（防災科学技術研究所 [課題番号：3003, 3005]）。

人工衛星を利用した研究では、東京大学地震研究所がひまわり8号と2017年12月23日に打ち上げられたJAXAの気候変動観測衛星「しきさい」の画像データを活用するシステムを開発し、解析結果をWeb上で公開するシステムが完成した（東京大学地震研究所 [課題番号：1520]）。「しきさい」にはSGLI（Second Generation Global Imager）と呼ばれる、短波長赤外の1.6 μm、熱赤外の11 μm、12 μmに分解能250mのチャンネルをもつセンサーが搭載されており、夜間画像の観測頻度が2-3日毎であり、リアルタイム性も比較的高い。こ

のことから、溶岩流や火砕流の分布状況等を適度な頻度で捉えるのに適したスペックとなっており、今後、アジア太平洋域の火山活動状況の把握や避難計画策定等に活用されることが期待される。

また、小型絶対重力計網によるマグマ活動等の火山観測手法を確立を目指して絶対重力値の系統誤差を生み出す原因の究明がなされ、その影響の除去・補正手法の確立がはかられた。また、実際に蔵王火山において観測が実施され、地面震動の影響が設計通りに補正されていることが確認された（東京大学地震研究所 [課題番号：1506]）。

また、火山噴火事象の分岐条件や論理の構築のために分岐前に現れる物理量の変化を検出するための機器開発のみならず、宇宙線（ミュオン）を利用した火山浅部透視技術においては前年度に桜島に設置したカロリメータ方式の観測で得られたデータを用いて、桜島B火口及び昭和火口下の密度構造を第3世代方式を用いて透視可視化することに成功した。その結果B火口直下の低密度領域が昭和火口直下の低密度領域より大きなことを確認することができた（東京大学地震研究所 [課題番号：1523]）。

一方、噴火活動時に噴出物に含まれる結晶量を短時間で簡便に評価し、その時間変化をモニタリングする手法を開発するため、マイクロライト・ナノライトを含む試料の初期帯磁率分析が行なわれた。最小1ccの火山灰で測定できる帯磁率計（Bartington社 MS2B）により、現在、最速でも数日を要している粒子構成比の時間変化の検出が、試料採取とほぼ同時に行えるようになる可能性があることが明らかになった（東北大学 [課題番号：1205]）。

また、気象庁は火山活動監視・評価の高度化に資するために火山監視情報システムを刷新し、傾斜データ降水補正機能の導入、GNSSデータ解析の高品位化、だいち2号（ALOS-2）のSAR解析をおこなった（気象庁 [課題番号：7004]）。

### これまでの課題と今後の展望

「火山」計画推進部会では、火山噴火の事象分岐の条件・論理を明らかにし、事象系統樹の高度化することで、発災の原因である火山噴火を予測する（東北大学 [課題番号：1208]）ことを上位目標にすえ、低頻度で大規模な現象を含む火山噴火現象および発生場の解明、噴火のモデル化、観測手法の開発および体制の整備に関する研究等を推進している。そして本部会では、火口近傍を含む火山体周辺における地震観測、地番変動観測や地球電磁気観測、物質科学的分析により、熱水系の卓越した5火山（十勝岳、吾妻山、草津白根山、阿蘇山、口永良部島）の比較研究（北海道大学 [課題番号：1003]）を全国連携で実施している。このような状況のもと、本課題の対象火山である草津白根山の本白根山で、2018年1月23日に水蒸気噴火が発生し、1名の方が亡くなられ、多数の方々が負傷された。亡くなられた方のご冥福をお祈りするとともに、被災された方々、ご遺族に心よりお見舞い申し上げます。この噴火は、観測網が充実していた湯釜火口以外で発生したとはいえ、水蒸気噴火の予測の困難さを改めて我々に突きつけることとなった。しかし、現状では水蒸気噴火や小規模なマグマ水蒸気噴火の予測は困難であり、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である。本白根山では、噴火の3分前から火山性微動と同期した傾斜変動がとらえられていた。これは2014年の御嶽山噴火と口永良部島での噴火前の傾斜変動と同じ特徴を持つ（北海道大学

[課題番号：1003])。このことは、水蒸気噴火のメカニズムに共通性があることを示唆する観測結果であり、得られたデータをもとに水蒸気噴火のモデル化に関する研究を進めるべきであろう。そうすることにより、噴火の3分～10分前にとらえられた地殻変動や微動に基づき、緊急噴火速報のような情報を発信することも将来的には可能になるかもしれない。一方、口永良部、御嶽山、本白根山の噴火はいずれも気象庁による噴火警戒レベルが1の時期に発生した。これらの火山がどのような準備過程を経て噴火に至ったかを明らかにして、他火山の活動推移予測に役立てることも重要な課題である。

## 成果リスト

- Ahmadi, P., M. R. Ghorbani, M. Coltorti, T. Kuritani, Y. Cai, A. M. Fioretti, E. Braschi, P. P. Giacomoni, F. Aghabazaz, S. Babazadeh, and S. Conticelli, 2018, High-Nb hawaiiite-mugearite and high-Mg calc-alkaline lavas from northeastern Iran: Oligo-Miocene melts from modified mantle wedge. *International Geology Review*, doi:10.1080/00206814.2017.1416502.
- 安藤忍, 2017, だいち2号により観測された西之島の山体変形. 気象研究所技術報告, 78, 34-52.
- 新谷昌人, 2017, 光ファイバーネットワークを用いた地震・津波・地殻変動の計測技術に関する研究, 東北大学電気通信研究所研究活動報告, 23, 202-2
- 代田寧・大場武・谷口無我 (2017) 箱根火山における活動活発化に連動した噴気組成 (C/S 比) の変化, 神奈川県温泉地学研究所報告, 49, 29-38.
- Geshi, N., F. Maeno, S. Nakagawa, H. Naruo, and T. Kobayashi, 2017, Tsunami deposits associated with the 7.3 ka caldera-forming eruption of the Kikai Caldera, insights for tsunami generation during submarine caldera-forming eruptions, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 347, 221-233.
- 長谷川健・中川光弘・宮城磯治 (2017) 北海道東部, アトサヌプリ火山における水蒸気噴火の発生履歴. 地質学雑誌, 123, 269-281. 橋本武志・青山 裕・小山 寛・森井敦司・三嶋 渉・荻野 激・高橋 良・岡崎紀俊, 2018, 非噴火時における多項目観測の重要性 (樽前山の事例), 月刊地球, 月刊地球, 40-3, 163-169
- 橋本武志・寺田曉彦・森 俊哉, 2018, ドローンによる火山観測, 月刊地理, 63(2), 29-35
- Hata M., M. Uyeshima, S. Handa, M. Shimoizumi, Y. Tanaka, T. Hashimoto, T. Kagiya, H. Utada, H. Munekane, M. Ichiki, K. Fuji-ta, 2017, 3-D electrical resistivity structure based on geomagnetic transfer functions exploring the features of arc magmatism beneath Kyushu, Southwest Japan Arc, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, 172-190, DOI:10.1002/2016JB013179.
- 北海道立総合研究機構地質研究所・北海道大学地震火山研究観測センター・札幌管区気象台, 2017, 火山内部構造・熱水流動系のモデル化と火山活動度評価手法の高度化 (十勝岳). 北海道地質研究所調査研究報告, 44, 194pp.
- Hotta, K., Iguchi, M. (2017) Ground deformation source model at Kuchinoerabu-jima volcano during 2006-2014 as revealed by campaign GPS observation, *Earth*,

- Planets and Space, 69, <https://doi.org/10.1186/s40623-017-0763-7>
- Ichihara, M. and S. Matsumoto, 2017, Relative source locations of continuous tremor before and after the subplinian events at Shinmoe-dake, in 2011, *Geophys. Res. Lett.*, 44 (21) doi:10.1002/2017GL075293.
- Iguchi, M., H. Nakamichi, T. Tameguri, K. Yamamoto, T. Mori, T. Ohminato, E. Saito, 2017, Contribution of monitoring data to decision making for evacuation from the 2014 and 2015 eruptions of Kuchinoerabujima Volcano, *Journal of Natural Disaster Science*, 38, 31-47.
- Iguchi, M., 2018, Volcanic activity of Sakurajima monitored using GNSS, *Jour. Disast. Res.*, Vol.13 No.3 (accepted)
- 石毛康介・中川光弘, 2017, 北海道中央部, 大雪火山群旭岳グループの後期更新世~完新世火山活動史. *地質学雑誌*, 123, 73-91.
- Kuvikas, O.B., M. Nakagawa, T. Kuritani, Y. Muravyev, N. Malik, E. Klimenko, M. Amma-Miyasaka, A. Matsumoto, and S. Shimada, 2017, A petrological and geochemical study on time-series samples from Klyuchevskoy volcano, Kamchatka arc. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 172, doi: 10.1007/s00410-017-1347-z
- 海上保安庁, 2017, 海域火山の最近の活動, 火山噴火予知連絡会会報, 127
- 海上保安庁, 2017, 西之島における火山活動の概況, 火山噴火予知連絡会会報, 127
- 海上保安庁, 2017, 明神礁における火山活動の概況, 火山噴火予知連絡会会報, 127
- 海上保安庁, 2017, 海域火山の最近の活動, 火山噴火予知連絡会会報, 128
- 海上保安庁, 2017, 西之島における火山活動の概況, 火山噴火予知連絡会会報, 128
- Kameda, M., M. Ichihara, S. Maruyama, N. Kurokawa, Y. Aoki, S. Okumura, and K. Uesugi, 2017, Advancement of magma fragmentation by inhomogeneous bubble distribution, *Scientific Reports*, 7, doi:10.1038/s41598-017-16941-x.
- 川井陽太, 2018, 海底火山活動に伴う変色海水生成過程の実験的研究, 東京工業大学修士論文
- 小山崇夫・金子隆之・大湊隆雄・渡邊篤志, 2018, 無人ヘリ繰り返し空中磁気測量による磁場時間変化の検出, 2018年 Conductivity Anomaly研究会論文集, 59-66.
- Kuritani, T., T. Sakuyama, N. Kamada, T. Yokoyama, and M. Nakagawa, 2017, Fluid-fluxed melting of mantle versus decompression melting of hydrous mantle plume as the cause of intraplate magmatism over a stagnant slab: implications from Fukue Volcano Group, SW Japan. *Lithos*, 282-283, 98-110.
- Lee, H., N. Takahata, Y. Sano, et al., 2017, Incipient rifting accompanied by the release of subcontinental lithospheric mantle volatiles in the Magadi and Natron basin, East Africa. *J. Vol. Geotherm. Res.*, 346, 118-133.
- Liu, J., Q.-K. Xia, T. Kuritani, E. Hanski, and H.-R. Yu, 2017, Mantle hydration and the role of water in the generation of large igneous provinces. *Nature Communications* 8: 1824, doi:10.1038/s41467-017-01940-3.
- Maeno, F., S. Nakada, M. Yoshimoto, T. Shimano, N. Hokanishi, A. Zaennudin, and

- M. Iguchi, in press, A sequence of a plinian eruption preceded by dome destruction at Kelud volcano, Indonesia, on February 13, 2014, revealed from tephra fallout and pyroclastic density current deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 前野深・中野俊・吉本充宏・大湊隆雄・渡邊篤志・川上和人・千田智基・武尾実 (2017) 新火山島の初上陸調査—西之島 (東京都小笠原村) — (日本の露頭・景観100選) . *地学雑誌*, 126, N1-N13.
- Matsushima, N., Y. Nishi, S. Onizawa, S. Takakura, H. Hase, and T. Ishido, 2017, Self-potential characteristics of the dormant period of Izu-Oshima volcano, *Bull. Volcanol.*, 79:86.
- Miyabuchi, Y., Iizuka, Y., Hara, C., Yokoo, A., Ohkura, T. (2018) The September 14, 2015 phreatomagmatic eruption of Nakadake first crater, Aso Volcano, Japan: Eruption sequence inferred from ballistic, pyroclastic density current and fallout deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 351, 41-56.
- Mori T., M. Morita, M. Iguchi, and Fukuoka Regional Headquarters, 2017, Sulfur dioxide flux monitoring using a public ferry after the 2014 eruption of Kuchinoerabujima Volcano, Japan. *Journal of Natural Disaster Science*, 38, 105-118.
- Mujin, M., M. Nakamura and A. Miyake, 2017, Eruption style and crystal size distributions: Crystallization of groundmass nanolites in the 2011 Shinmoedake eruption, *American Mineralogist*, 102, 2367-2380.
- Nakada, S., A. Zaennudin, M. Yoshimoto, F. Maeno, Y. Suzuki, N. Hokanishi, H. Sasaki, M. Iguchi, T. Ohkura, H. Gunawan, and H. Triastuty, in press, Growth process of the lava dome/flow complex at Sinabung Volcano during 2013-2016. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*.
- Nakamichi, H., Iguchi, M., Tameguri, T. and Sonoda, T. (2017) Quantification of seismic and acoustic waves to characterize the 2014 and 2015 eruptions of Kuchinoerabujima Volcano, Japan, *Journal of Natural Disaster Science*, 38, 65-83.
- 中道治久・井口正人・為栗健, 2017, 2015年8月桜島群発地震の振幅を用いた震源推定, 京都大学防災研究所年報, 60B, 396-401.
- 七山太・中川正二郎・前野深・成尾英仁 (2017) 南九州, 屋久島において記載された過去の巨大地震津波を示唆する幾つかの証拠. *月刊地球号外*, 67, 99-106.
- 日本大学, 名古屋大学, 九州大学, 京都大学, 東濃地震科学研究所, 気象庁, 2017, 精密水準測量による御嶽山における上下変動 (2016年9月~2017年4月), 火山噴火予知連絡会会報, 138
- Nishimura, T., 2017, Triggering volcanic eruptions by large earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 7750-7756, doi: 10.1002/2017GL074579.
- 大見士朗, 2017, 飛騨山脈南部脊梁部で発生する地震による震源域近傍での震度について ~2014年5月飛騨山脈南部の地震活動の例~, *地震* 2, 69, 113-118, DOI:10.4294/zisin.69.113.

- Ohminato, T., T. Kaneko, T. Koyama, A. Watanabe, W. Kanda, T. Tameguri, and R. Kazahaya, 2017, Observations using an unmanned aerial vehicle in an area in danger of volcanic eruptions at Kuchinoerabu-jima Volcano, southern Kyushu, Japan, *Journal of Natural Disaster Science*, 38, 85-104.
- 大湊隆雄・金子隆之・小山崇夫・渡邊篤志・安田敦・武尾実・青木陽介・柳澤孝寿・本多嘉明・梶原康司・神田径・為栗健・風早竜之介・篠原宏志, 2018, 無人ヘリによる火口近傍観測の進展, 2018年 Conductivity Anomaly研究会論文集, 43-58
- Olah, L., H. K. M. Tanaka, T. Ohminato, D., 2018 Varga, High-definition and low-noise muography of the Sakurajima volcano with gaseous tracking detectors, *Scientific Reports*, 8, 3207.
- Rouilleau, E., Y. Sano, N. Takahata, et al., 2017, Structural controls on fluid circulation at the Caviahue-Copahue Volcanic Complex (CCVC) geothermal area (Chile-Argentina), revealed by soil CO<sub>2</sub> and temperature, self-potential, and helium isotopes. *J. Vol. Geotherm. Res.*, 341, 104-118.
- Shinohara, M., M. Ichihara, S. Sakai, T. Yamada, M. Takeo, H. Sugioka, Y. Nagaoka, A. Takagi, T. Morishita, T. Ono and A. Nishizawa, 2017, Continuous seismic monitoring of Nishinoshima volcano, Izu-Ogasawara, by using long-term ocean bottom seismometers. *Earth, Planets and Space*, 69:159.
- 高木朗充, 長岡優, 福井敬一, 安藤忍, 木村一洋, 土山博昭, 2017, 2013-2015年西之島噴火のモニタリングに関する研究, 気象研究所技術報告, 78, 72pp.
- 高木朗充, 宮城洋介, 小澤拓, 本多亮, 高橋浩晃, 2018, CG-5重力計の登山を伴う野外調査時における重力値安定性の基礎調査, 北海道大学地球物理学研究報告, 81., 1-10
- Takahashi, R., Yahata, M. (2018) Effects of subvolcanic hydrothermal systems on edifice collapses and phreatic eruptions at Tokachidake volcano, Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 352, 117-129.
- 高橋 良・岡崎紀俊・村山泰司・田村 慎・荻野 激・秋田藤夫, 2018, 十勝岳における温泉水の温度・化学成分の変化に基づいた火山活動評価, 月刊地球, 40-3, 156-162
- Takano, T., T. Nishimura, H. Nakahara, 2017, Seismic velocity changes concentrated at the shallow structure as inferred from correlation analyses of ambient noise during volcano deformation at Izu-Oshima, Japan. *J. Geophys. Res.*, 122, 6721-6736, DOI: 10.1002/2017JB014340.
- Takano, T., T. Nishimura, H. Nakahara, 2017, Seismic velocity changes concentrated at the shallow structure as inferred from correlation analyses of ambient noise during volcano deformation at Izu-Oshima, Japan. *J. Geophys. Res.*, 122, 6721-6736, DOI: 10.1002/2017JB014340.
- Tanaka, R., T. Hashimoto, N. Matsushima, and T. Ishido, 2017, Permeability-Control on Volcanic Hydrothermal System: Case Study for Mt. Tokachidake, Japan, Based on Numerical Simulation and Field Observation, *Earth, Planets and Space*, 69:39, DOI:10.1186/s40623-017-0623-5.
- Terada A. and T. Hashimoto, 2017, Variety and sustainability of volcanic lakes:

- Response to subaqueous thermal activity predicted by a numerical model, *J. Geophys. Res.*, doi: 10.1002/2017JB014387.
- Toki, T., Y. Sano, N. Takahata, et al., 2017, Formation of gas discharging from Taketomi submarine hot spring off Ishigaki Island in the southern Ryukyu Islands, Japan. *J. Vol. Geotherm. Res.*, 330, 24-35.
- Toki, T., N. Takahata, Y. Sano, et al., 2016, Geochemical characteristics of hydrothermal fluids at Hatoma Knoll in the southern Okinawa Trough. *Geochem. J.*, 50, 493-525.
- 内山高・山本真也・笠井明穂・野澤すみれ, 2017, 富士北東麓における地下水涵養機構と深部地下水流動系の解明, 山梨県富士山科学研究所年報, 20, 29-30.
- 内山高・吉本充宏・山本真也・常松佳恵・馬場章・笠井明穂・野澤すみれ, 2017, 富士山火山防災のための火山学的研究山梨県富士山科学研究所年報, 20, 31-33.
- 上嶋誠・相澤広記・塚本果織・神田径・関香織・木下貴裕・大湊隆雄・渡邊篤志, 2018, 2016熊本地震活動に伴ってえびのにおいて観測された電磁気変動について, 2018年 Conductivity Anomaly研究会論文集, 67-68
- Xu W., M. J. Wooster, T. Kaneko, J. He, T. Zhang, D. Fisher (2017): Major advances in geostationary fire radiative power (FRP) retrieval over Asia and Australia stemming from use of Himawari-8 AHI. *Remote Sensing of Environment*, 193, 138-149.
- 山本真也・中村高志・内山高, 2017, 富士山北麓, 河口湖で新たに見つかった湖底湧水, 日本水文科学会誌, 47, 49-59.
- Yoshimura, S., M. Nakamura, and H. Yurimoto, 2017, Presence of carbonate ions in high-SiO<sub>2</sub> rhyolite observed in fluid-melt equilibrium experiments, *Geochemical Journal*, 51, 251-262.

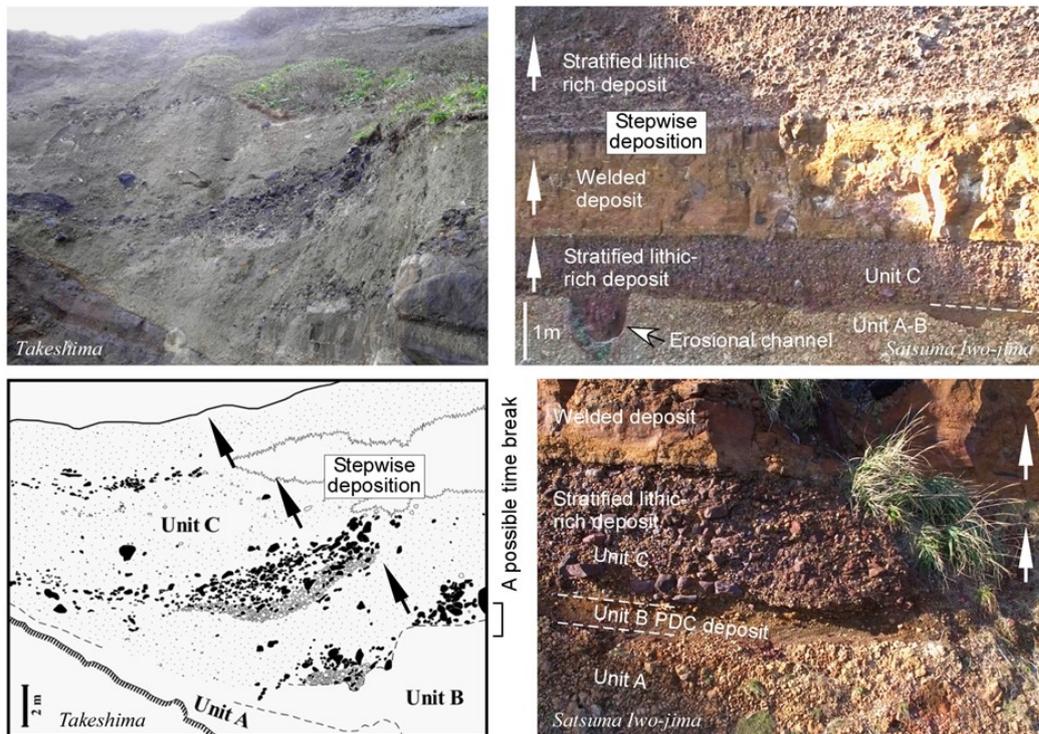


図1. 鬼界アカホヤ噴火噴出源近傍域における堆積物の状況（左：竹島，右：薩摩硫黄島）（北海道大学 [課題番号：1001]）

K-Ah噴火のステージ1（プリニー式噴火：Unit A-B）とステージ2（大規模火砕流：Unit C）の間に存在する時間間隙を示唆する地質痕跡の調査・解析を進めた。地表踏査及びドローンにより，Unit Bの溶結ブロックがUnit C基底部に取り込まれている構造や，非溶結のUnit B上面に発達した明瞭なチャンネル構造など，時間間隙を示す証拠の詳細が明らかになった。一方近傍のUnit Cは，礫質及び軽石質堆積物の互層からなる複数の堆積ユニットに区分でき，最上位の軽石質層が最も厚いことがわかった。このことから，単純に1回の大規模火砕物密度流が発生したわけではなく，段階的に火道の形成・拡大が進行し，その中で最大のものが鹿児島本土や種子島・屋久島に到達したと考えられる。

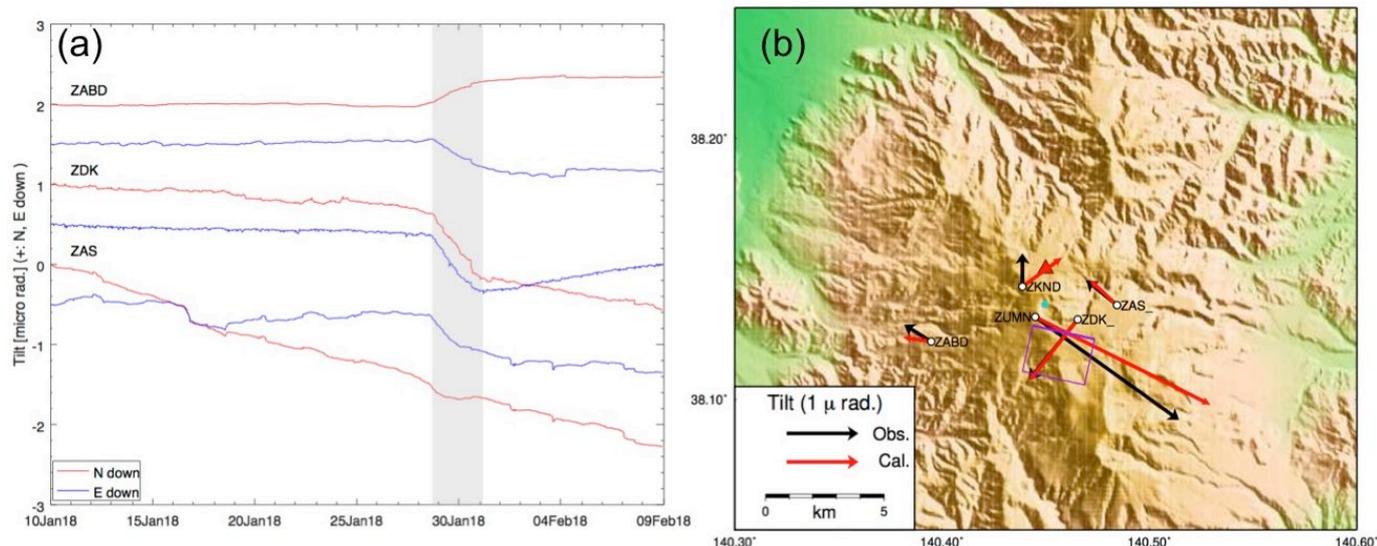


図2. (a) 蔵王山周辺の傾斜観測点における2018年1月10日～2月9日までの傾斜変化。赤が北下がり，青が東下がり成分を示す。(b) 1月28日から1月30日までの期間の傾斜変化（黒矢印）を用いて非線型逆解析によって推定された開口断層モデル（紫矩形，太線が上端）及びモデルから計算された傾斜変化（赤矢印）。開口断層の上端の深さは0.05 km，長さは2.7 km，幅は3.0 km，傾斜角は $49^\circ$ ，開口量は0.14 mと推定された。ただし，推定には開口矩形断層1枚のみを仮定し，地形効果も考慮されておらず，暫定的な結果である。水色の丸印は御釜の位置を示す〔解析には気象庁坊平，熊野岳の傾斜データを使用した〕（東北大学〔課題番号：1202〕）。

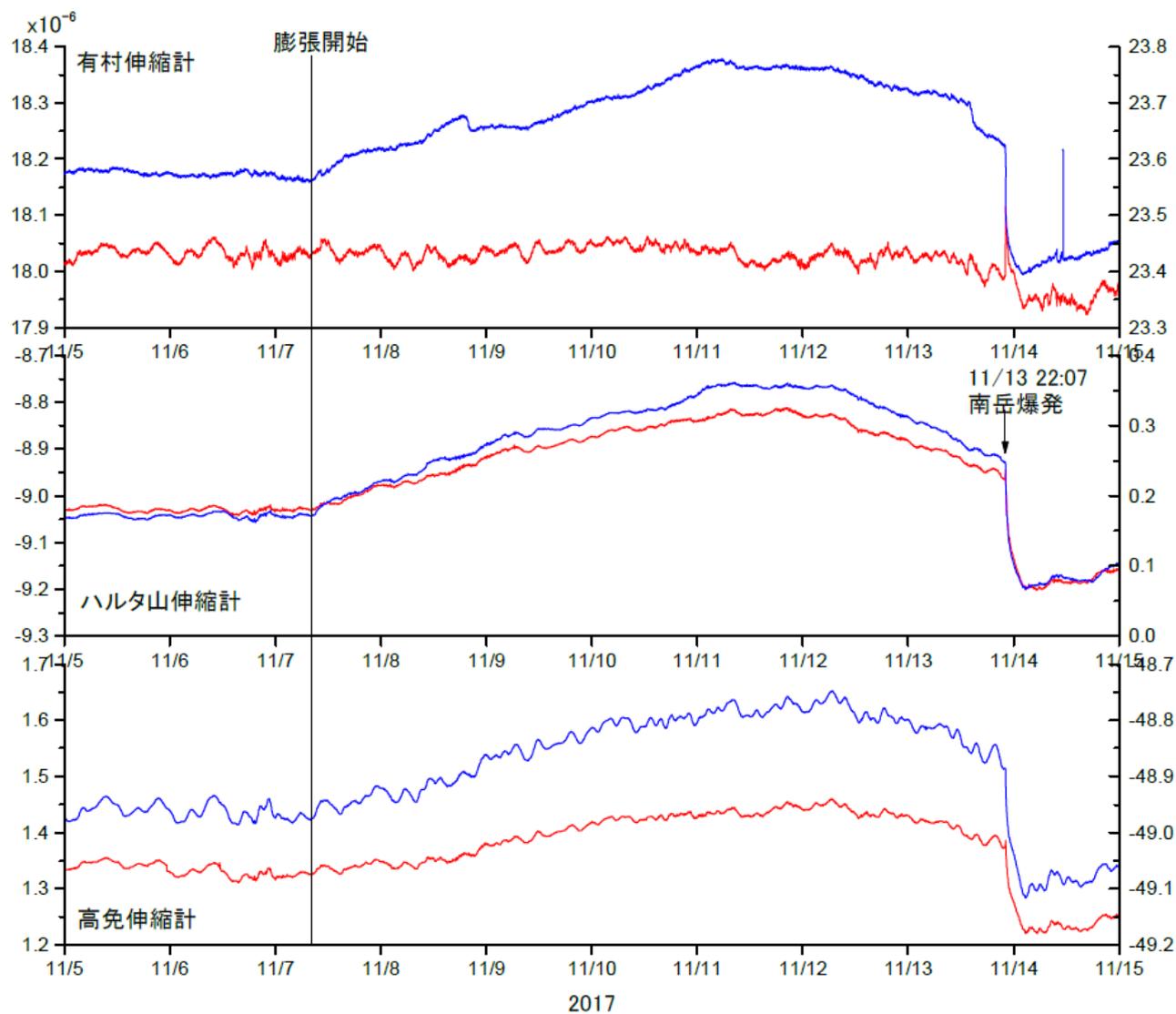


図3. 2017年11月13日の桜島南岳爆発に前後するひずみ変化（京都大学防災研究所 [課題番号：1908]）。

11月7日から膨張が開始し、11月12日に収縮に反転したのち、11月13日22:07に爆発が南岳で発生した。

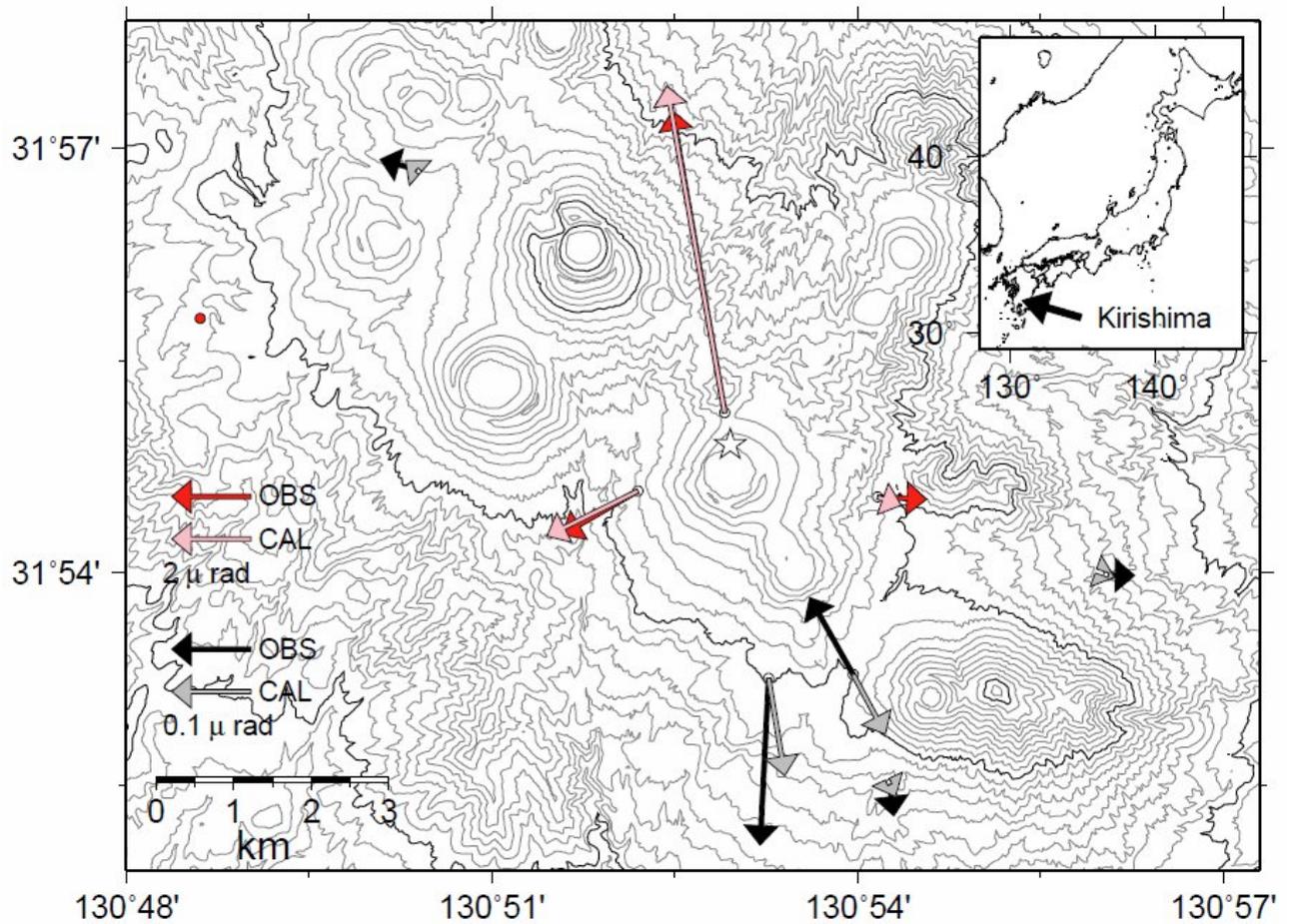


図4. 霧島新燃岳において2017年10月11日噴火に先行して観測された傾斜（東京大学地震研究所 [課題番号：1508]）。

茂木ソースを仮定すると、火口下1kmに置いた $10^4\text{m}^3$ の膨張源が観測値をもっともよく説明する。星印が推定された膨張源の位置を表す。

## 全岩SiO<sub>2</sub> vs 斑晶量

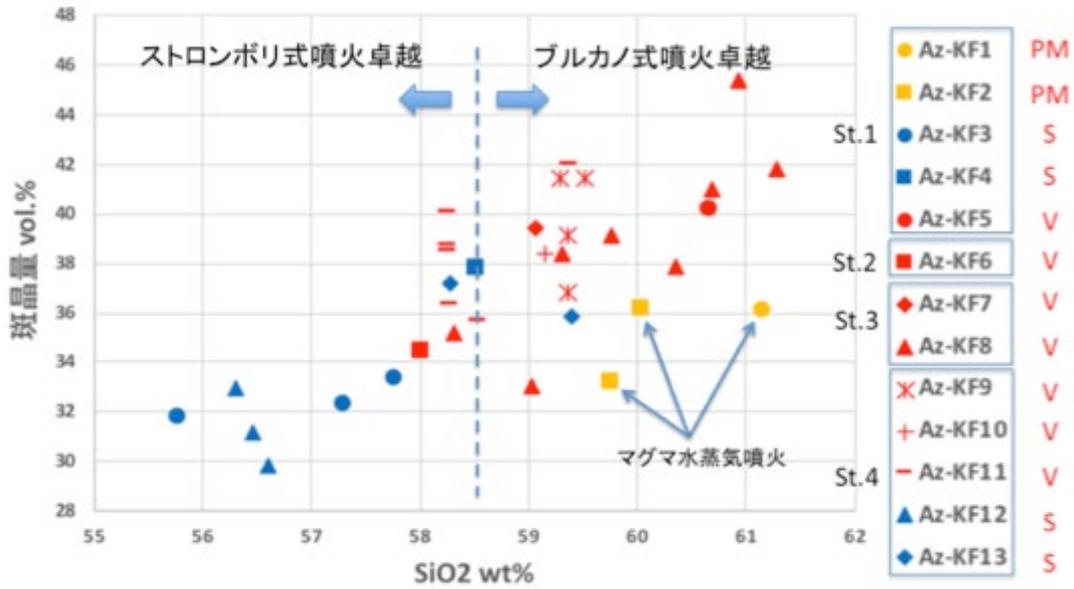


図5. 吾妻小富士形成噴火噴出物のSiO<sub>2</sub>量と斑晶量の関係（北海道大学 [課題番号：1003]）。噴火様式との大まかな対応が認められる。

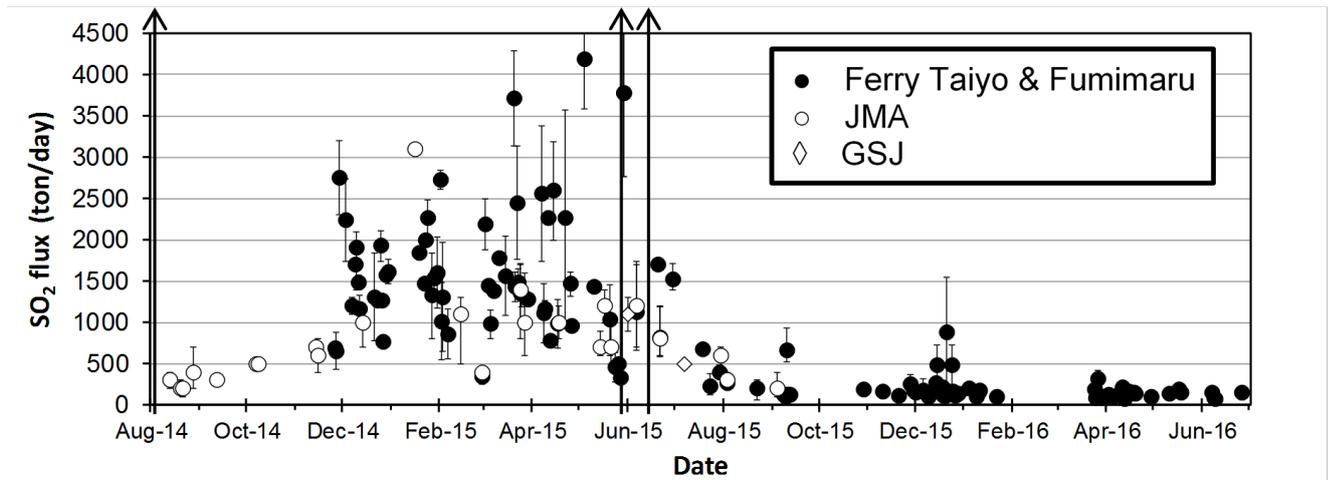


図6. 口永良部島の二酸化硫黄放出率推移(東京大学大学院理学研究科 [課題番号：1403])。

黒丸は、本計画で開発した簡易型トラバース測定装置を屋久島一口永良部島の定期船に乗せて繰り返し測定した値。3つの矢印は左から2014年8月3日、2015年5月29日、2015年6月18日の噴火を示している。

図-6 硫黄山周辺干渉図

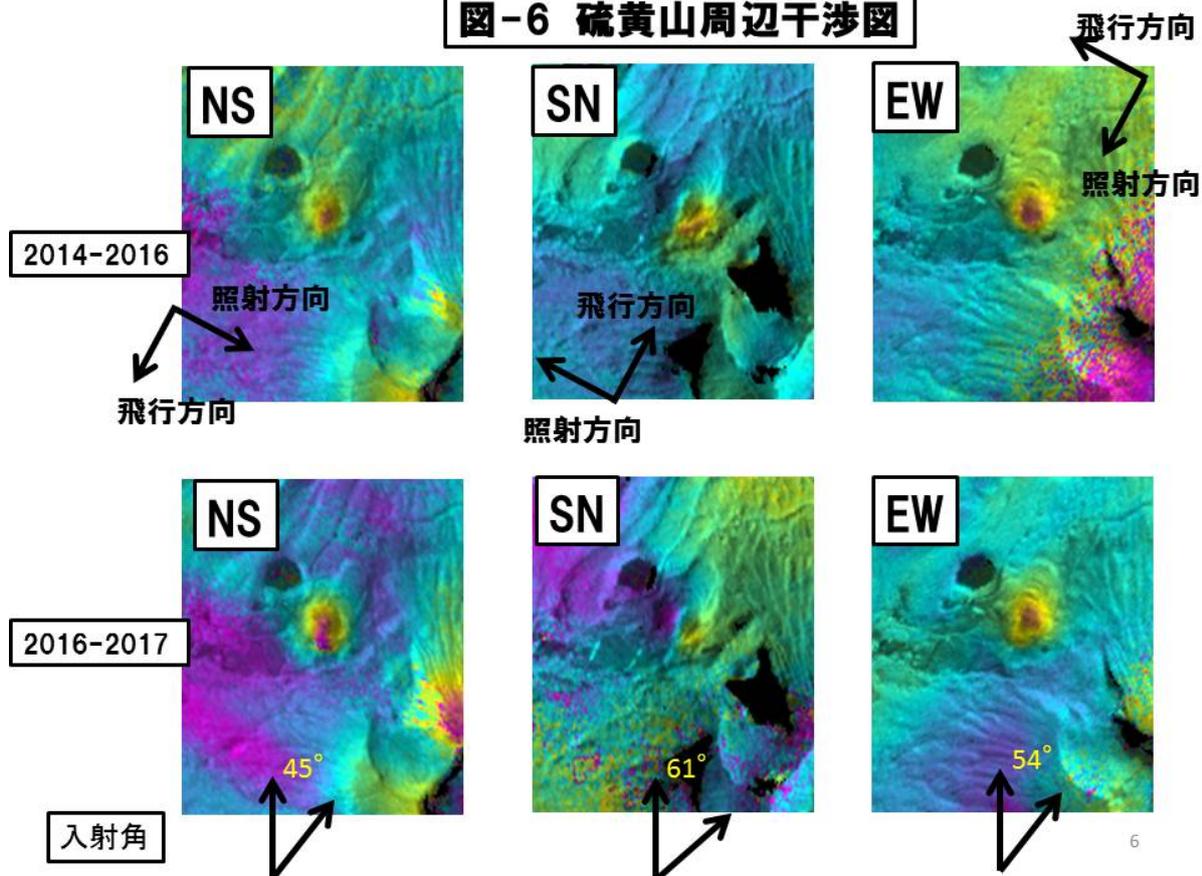


図 7. 航空機 SAR 観測でえられた硫黄山周辺干渉図（北海道大学 [課題番号：1008]）。軌道：NS,SN,EW の三方向，期間：2014-2016, 2016, 2017 の 2 時期）。硫黄山周辺では，期間を通じて膨張を示唆する膨張性の地殻変動が共通して現れている。

## 1 (4) 地震先行現象・地震活動評価

「地震先行現象・地震活動評価」計画推進部会長 中谷正生  
(東京大学地震研究所)

現行計画には地震発生を予測するためのいくつかのアプローチが含まれている。地震先行現象・地震活動評価部会では、種々のモニタリングデータから断層面の滑り・応力等を推定し滑りの物理的予測モデルと対比するための研究、地震発生との因果関係に合意のとれた物理モデルがなくても、経験則として地震発生の予測に役立つ情報があるのかを統計的に吟味する研究、あるいは先行現象と目される事象の地震発生に対する物理的意義を解明するための研究を行っている。

## 2. 地震・火山現象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

活断層周辺の応力状態を推定する手法として、昨年度に続き、P波初動(押し引き)をデータとした応力空間パターン推定手法(いわゆる「応力インバージョン」)の開発を行い、2000年鳥取県西部地震の余震域から得られた実データ(図1)への適用を試みた。手法は「断層面の向きは一様ランダム」という仮定の下に、各余震の断層面の向きを求めることなしに、P波初動の適合性を説明する応力場を直接ベイズ推定するものである。図2(a)および(b)に、2000年鳥取県西部地震の余震域に対して推定された主応力軸および最大主応力軸の方位角(北から時計回り)の空間パターンを示す。断層南端で、断層をまたいで方位角の大きな変化が見られる。この空間的な方位角の変化は、本震発生時の断層運動から期待される応力場の回転(図2(c))と整合的である(東北大学[課題番号:1206])。

一方で、大深度での採掘が行われている南アフリカの鉱山では、実際に地震をおこした断層周辺の応力場を直接測定することが可能であり、ICDPのDSeis計画(Ogasawara et al., 2017; Voosen, 2017)では、M5.5震源断層(地下3.5-7km)の上方延長において非常に高いコア回収率で総延長1400mの掘削を終えた(図3)。DCDA法、現場応力解放法、ボアホール・ブレイクアウト(BB)、コア・ディスクキング(CD)による絶対応力情報と、反射法探査による断層系の再解釈(小笠原, 2018)を行うことで、M5地震の余震発生帯の上端部より深い領域では、系統的に差応力が10-20 MPa上昇することがわかった。差応力レベルは、採掘レベルである2.9km深以浅での応力解放法の結果の外挿では説明できない大きさであった(石田, 2018)。また、別の鉱山でのM3.5の地震発生場を貫通する2本の掘削コアに対してDCDA法とDRA法の応力測定を行い、BBやCDの結果も加味して応力分布を詳しく議論することができた(Abe, 2017; 石田, 2018)(立命館大学[課題番号:2401])。

余震活動を詳細に解析するためにETASモデルの改良を続けている。平成27年度に通常の点震源ETASモデルを拡張して有限断層ETASモデルを開発した(Guo et al., 2015)。今年度は本手法を用いて大地震の破壊幾何形状とすべり分布を推定することを試みた(Guo et al., 2017)。このモデルを気象庁一元化カタログとイタリアのISIDEカタログに適用したところ、本震に直接起因する余震活動はアスペリティの近傍に位置する場合が多く、一次余震は本震によるすべりを補完する部分に発生することがわかった(図4)。本手法は、二

次余震以降の余震活動をより適確に分類できる利点もあり、本震時のすべりインバージョンの高度化や本震後の短期の余震確率予測に役立つと思われる（東北大学 [課題番号：1206]）。

地震誘発作用の観点から、活断層周辺の断層強度や応力状態の情報を得ることも検討した。2011年東北地方太平洋沖地震によって動的に誘発された西南日本の地震活動を防災科学技術研究所の波形データを使って詳細に調べた(Opris et al., 2018, 図5)。その結果、従来指摘されていたレイリー波による影響よりも、大振幅のラブ波到達とより相関が良いことがわかった。また、動的に誘発された地震活動の継続時間は7日間程度であり、長期に継続する静的応力変化による誘発地震活動との違いが浮き彫りになった(図6)。一方、2016年4月16日の熊本地震でも、広域で表面波による誘発地震(動的トリガリング)が発生した余震域3箇所(震源断層域、阿蘇地域、湯布院-別府地域)に大森-宇津則をあてはめてp値を求めたところ、火山・熱水地域である阿蘇、湯布院-別府地域では有意にp値が高いことが分かった(図7)。特に湯布院-別府地域は高い熱流量が推定され、応力緩和の効果によるものと考えられる（東北大学 [課題番号：1206]）。

昨年度までに、札幌医科大学及び福島県立医科大学の大気中ラドン濃度の時系列と周辺地域の地震活動累積モーメント時系列に相関があるようだ指摘していた。本年度は、それぞれに特異スペクトル変換法を適用して異常度の時系列をつくり、動的時間伸縮法(中本ほか, 2003, 人工知能学会論文誌)を用いて類似性を解析したところ、実際に観測された程度以上に両者が類似することが偶然におきる確率は、札幌医科大学で $p=7.6\%$ 、福島県立医科大学で $p=13.4\%$ であるとの結果を得た(図8)。また、大気中および水中のラドン濃度測定手法の開発のために、様々な測定器の性能を評価した(Tanaka et al., 2017; 神代ら, 2017; 藤井ら, 2017; 吉井ら, 2017)（東北大学 [課題番号：1207]）。

水文学的手法による断層モニタリングにおいて、断層周辺の複雑な水理物性の把握は重要な課題である。三重県内の中央構造線断層帯(MTL)の透水係数を産総研が掘削した2本の井戸の水理試験と長期水位観測で求めた(Matsumoto and Shigematsu, 2018, 図9)。求めた透水係数は、MTLの露頭で断層帯の中央からの距離ごとにサンプリングされた岩石の実験から求めた詳細なMTLの透水構造を示した既往研究(Wibberley and Shimamoto, 2003)と類似した値となり、MTLの複雑な透水構造を反映していることがわかった。また、台湾・国立成功大学との共同研究の一環として、水文学的・地球化学的手法による地震予知研究についての日台国際ワークショップを共催し、プロシーディングスを公開した（産業技術総合研究所 [課題番号：5007]）。

粉体層内における水などの流体の浸透状態の不安定化についての実験的研究を行い、粉体層内での流体浸透の不安定性は、粉体層を構成する粒子のサイズや形状に著しく影響されることが明らかとなった(Endo and Katsuragi, 2017)。特に水みちと呼ばれる流体の通り道の形成をより現実的に再現するためには、巨大な実験装置が必要であることがわかった（東京大学地震研究所 [課題番号：1512]）。

神奈川県温泉地学研究所報告(観測日より)に掲載された「なまずの会」による井戸水位観測の結果をデジタル化した。このデータは日毎に異常がない場合は白丸、異常がある場合は黒丸で表され、水位の異常上昇または低下がセンチメートル単位で示されている。のべ234の個人や団体が参加したデータは、1977年2月1日から1986年12月31日までの10年10

ヶ月あった（東海大学〔課題番号：2901〕）。

断層の固着度とb値が関連しているという指摘は、日本海溝付近について以前なされたことがある（Yabe, 2003, BERI）。南海トラフ沿いについて、2006年以降の気象庁一元化カタログからフィリピン海プレート内とプレート境界の地震だけを用いてb値の詳細な空間分布を求めた（図10, 楠城・吉田, 2017）。1944年の東南海地震と1946年の南海地震で滑り量の大きかった領域ではb値が低く、また、その領域の間ではb値が高いことがわかった。南海トラフ沿いのプレート境界面はセグメント化されており、東北沖（Tormann et al., 2015）とは異なる性質を示している。より詳細に調べると、Yokota et al. (2016)の滑り欠損レートとb値に負の相関があることもわかった。b値が差応力と逆相関することが知られているので、カップリング域（滑り欠損が大きい）で差応力が大きいことを示しており、世界の他地域での観測事実とも調和的である。さらに、帯状分布する低周波地震と重なっているかそれより深い側にある四国北部から、伊勢湾北部にかけての30km以深の領域のb値が低いことも注目される。これは、この地域に推定されている高い間隙水圧のために、差応力比が高いことを示唆しているかもしれない。また、日本の太平洋側のプレート境界域に関して、細かいメッシュでb値のモニタリングを行うGISシステムを開発した（東京大学地震研究所〔課題番号：2902〕）。

地殻変動のモニタリングデータは、断層滑りの時空間履歴を計算・予測する物理モデルとあわせて地震発生の予測に使うことが原理的に可能であり、ゆっくりすべりイベント（SSE）などの非地震性すべりのモニターを高度化する努力が行なわれている。産総研と防災科研および気象庁との共同研究により、3機関のひずみ・地下水・傾斜データをリアルタイムで共有して南海トラフ周辺地域の短期的ゆっくりすべり（SSE）を解析するシステムの運用を継続した。2016年11月-2017年10月の間には、27の短期的SSEの断層モデルを決定した。さらに、短期的SSEの検出と断層すべり分布の時空間変化の推定を同時に行う新手法を提案した（Araki et al., 2017）。シミュレーションデータで検出精度を評価した結果、高い精度ですべり開始時点・終了を推定し、また、従来法に比べすべり量の時空間変化の推定精度の改善を確認した。実際の歪データを用いて推定したすべり開始・終了時点は微動発生期間と一致した（図11）（産業技術総合研究所〔課題番号：5007〕）。また、GNSS日値と一週間の傾斜をもつランプ関数の相関をとることで、南海トラフ沿いの短期的スロースリップ（数日から1週間程度の継続時間）の客観的な時空間分布を得る手法を開発し、さらに、ひずみ計データのスタッキングによる方法も開発した（気象庁〔課題番号：7006〕）。

速度状態依存摩擦則に従うバネブロックモデルが示す余効すべりやスロー地震の数値シミュレーションを行った。前年度までの1次元モデルを、今年度は2次元モデルへと拡張した。その結果、1次元の場合と同様、速度状態依存摩擦則を特徴づけるa, bパラメータの大小に応じ、三つの滑り様式（高速破壊・余効すべりを伴う高速破壊・スロー地震）が出現することが分かった。加えて、スロースリップ現象を記述する解析的な式を導出し、シミュレーション結果との比較検討を行った（東京大学地震研究所〔課題番号：1512〕）。

海底観測システムであるDONETの2015年9月から2016年4月までの連続地震記録を解析し、その結果南海トラフの島弧側において浅部微動活動が発生していることを確認した。微動活動は2015年10月と2016年4月に発生しており、深部の微動活動と同様に地震動によ

るトリガ現象が確認された。この微動活動はトリガ現象に見られるように応力状態に敏感であり、この周辺の応力状態をモニターする上でも重要な現象とみられる（気象庁〔課題番号：7006〕）。

滑りモニタリングに基づく予測を行なう上で、断層面の不均質は重要な課題である。アスペリティが多数配置されたゲル同士のスティックスリップ摩擦において、画像解析を用いて巨大イベントのすべりの破壊核形成・成長過程とすべり直前の応力分布との関係を調べた。図12に実験系の模式図を示す。実験の結果、初期条件はほぼ同一であるにも関わらず、前駆すべりの履歴によって巨大イベント直前のせん断応力場の違い(図13 (a) (c)参照)が生まれ、その後の破壊挙動が大きく異なることが分かった。また、破壊伝播速度がS波速度を大きく上回る例が観測された(図13(b) (d))。とくに2つ目のイベント(図13(c) (d))では、ゆっくりとしたすべりが試料両端(せん断応力が高いところに一致)で始まり、中央に到達した後高速破壊に至る、特徴的な挙動がみられた（東京大学地震研究所〔課題番号：1512〕）。

南海トラフ沿いの巨大地震シミュレーションにおいて、巨大地震の発生履歴、比較的よくわかっている昭和東南海・南海地震のすべり分布、最新のすべり欠損レート分布、そして繰り返す長期的スロースリップを再現するモデルを構築した(図14)。各地震のすべり分布は概ね再現しているが、宝永→安政→昭和の発生順は再現できていない。また、東日本地域については、従来のアスペリティモデルと階層アスペリティモデルの2モデルを軸に、東北地方-関東地方の太平洋沖で発生するM7-9の主な地震を再現できるモデルを構築した。メッシュサイズの細密化により、規模の小さな地震発生の再現が可能となった（気象庁〔課題番号：7006〕）。

地震の確率予測を実現する基本的な戦略は、ベースとなる地震活動(定常的な地域性、余震活動のような広く認められる時間変化など)を統計モデルで表現し、それに先行現象で得られるゲインを組み込むことである(e.g., 尾形, 2015)。CSEPはベースとなる統計モデルを確立することを主要な目的としており、今年度は、各カテゴリーの検証実験、研究集会の開催を継続するかたわら、3ヶ月テストクラスのAllJapanとMainland領域における20ラウンドを超える結果について評価を実施した(Tsuruoka, 2017a)。RI10K, HISTETAS5PA, MARFSおよびMARFSTAの計4つのモデルについて、空間予測および地震数の予測の二つの観点から評価を行った。AllJapan領域では4つのモデルのパフォーマンスの差は小さかったが、MainlandにおいてはMARFSとMARFSTAの成績がよくないことがわかった。また、空間予測の情報利得は、MainlandよりもAlljapanがよくなる傾向があり、地震数の予測については、Mainlandにおいては2倍程度過大に予測する傾向があった。さらに、複数ラウンドにおいて複数モデルを評価する場合において、CSEPの標準的なN, M, S, Lテストは、モデルからの予測と観測を比較するテストであるため、モデル間の比較を直接できず、情報利得あるいは対数尤度そのもので比較することが直接的かつ容易であることが明らかとなった（東京大学地震研究所〔課題番号：1511〕）。

中規模繰り返し地震について、発生状況のモニタリングと発生確率予測を行い(田中, 2017; 田中ら, 2018)、2017年7月末で予測期間が終了した3年確率予測の予測成績を調べた。中規模の繰り返し相似地震79系列を対象に実施し、平均対数尤度とブライアスコアの指標による結果は、指数分布モデルよりも事前分布を用いたベイズ統計対数正規分布モデ

ルの成績の方が良いことを定量的に確認した(気象庁 [課題番号: 7006])。

### (3) 先行現象に基づく地震活動予測

断層の破壊エネルギーの空間分布における階層的構造は、地震の可予測性に対して重要な原理的制約となる。北海道東北沖の繰り返し地震グループを用いて、プレート境界に存在する階層的構造の定量的把握を行った。さらに、釧路沖、釜石沖、那珂沖のプレート境界において約15年間に発生したM2-5の地震を対象として、高精度相対震源決定、震源すべりインバージョンを行った。予備的な成果として、M5級の地震ではすべり方向に伸びた領域に固有な破壊が繰り返すものの、破壊伝播の方向性は必ずしも一定でないことがわかった。周辺では小さな地震も発生するので、破壊プロセスが階層性によって制約されていることもわかった(東京大学理学系研究科 [課題番号: 1402])。

代表的な短期的先行現象とされる前震は、本震がおこってみるまでは、現象的には群発活動である。過去数年間開発してきた地震カタログから定量的に群発地震を検出する方法については、手法の詳細の説明と全世界的な応用までをまとめた(Nishikawa and Ide, 2017)。この手法を茨城沖の約30年の地震活動に適用することで、プレート境界に繰り返し発生する群発地震活動を客観的かつ定量的に検出することができた。多くの群発地震活動の中でも特に活発なものは1982年と2008年のM7の地震の前震活動に対応する(東京大学理学系研究科 [課題番号: 1402])。

前震活動などを詳細に調べるために、相対震源決定、MatchedFilter法等を用いたカタログの整備・拡充を行った。2016年熊本地震発生後に展開された高密度な臨時観測点の波形データを用いて、前震から本震発生に至る過程について再度解析を行った。その結果、従来の結果に比べて、断層傾斜方向の前震域の拡大に関してより精確な様子を把握することができた。また、2016年鳥取県中部の地震(M6.5)に関して、長期間にわたる前震活動の時空間変化を明らかにした。本震発生の約2ヶ月前から、震源域周辺において、不連続な移動を起こしながら、前震活動が本震の破壊開始点へ近づいて行ったことが示された(図15)。山陰地方の断層帯の成熟度は相対的に低いため、複数の断層において前震活動が飛び飛びに発生したものと解釈される(東北大学 [課題番号: 1206])。

すべり方向に1.5m、すべり直交方向に0.5mの大きな岩石試料をもちいた模擬断層におけるスティック-スリップ実験において、断層ガウジが残置された条件下では、試料全面がすべる大規模な動的すべりイベント(「本震」)に先行して前震が発生することが確認され、昨年度、その中に、互いに波形が酷似したリピーター的な前震の発生が認識された。リピーター的な直前前震は、1999年イズミット地震でも報告(Bouchon et al., 2011)されており、「本震」の破壊準備過程に関する情報を与える可能性があり、本年度に精査した(辻村ら, 2017)。リピーター的な前震を含む検知された全ての前震イベントの震源決定(図16)を実施した後、広帯域弾性波センサーで記録された波形の最大振幅を利用した相対的な振幅マグニチュードの推定や、P相とS相各々に対する最大相関を示すラグ・タイムを利用した相対震源決定などを実施した。最大のリピーター的な前震のクラスターでは、ランタイム全体を通じて22個の前震が確認された。それらは「本震」の直前を中心に発生しており、20個の「本震」に対して1, 2個ずつの発生であった。また、50回程度の繰り返し「本震」を経験する過程を通じて、これらリピーター的な前震の規模の系統的な変化につい

ては認められなかった(図17)。その他にも、少なくとも13個のリピーター的な前震で構成されるクラスターの存在が確認された。また前震の発生環境に関する理解の一助として、ランは異なるが、ひずみ記録を精査することにより「本震」に先行するひずみの時空間変化を調べ、二次元的な破壊の進展に関する新たな知見が得られた(Yamashita et al., 2017; Fukuyama et al., in press) (立命館大学 [課題番号: 2402])。

粉体層の低速摩擦を調べるために、粉体層からワイヤーを低速で引き抜く際の摩擦抵抗を、粉体層の充填率をコントロールした上で計測した。計測した摩擦抵抗は、充填率のわずかな変化で劇的に変化することが明らかとなった(Furuta et al., 2017)。これは粉体層がせん断により固化しているために起こる現象と考え、ジャミング転移などの概念を含めた簡単なモデルによるデータ解析を進めている。また、気流や機械的振動を加えることにより流動化された粉体層の摩擦が劇的に減少することも実験的に確認した。以上の結果を総合すると、摩擦滑りが起こることにより発生する振動(地震動)が近隣の摩擦による固着を弱めるが、振動により充填率が減少(膨張)した層はわずかな滑り(せん断)により急激な固化も経験するということになる。これらの複雑な過程が関連しながら天然の断層では滑り状態などが決定されると考えられ、本実験はそれらの基礎過程に関する実験的研究と言える(東京大学地震研究所 [課題番号: 1512])。

地震活動の静穏化は、代表的な中期的先行現象と目され、実際ほとんどの大地震の前に静穏化が見つかることが報告されている(e.g., Katsumata, 2016)が、静穏化があっても大きな地震がおこらないことも多く、先行現象としての有意性は確立されていない。そこで、千島から伊豆小笠原にいたる海溝沿いの地域を網羅的に走査し、10.8年以上の静穏化が続けば、半径100kmの地域に4年間、大地震がおきやすいという予測(警報)を出すこととして、1990-2015年まで、1年更新で予測マップを試作した。警報はトータルの対象時空の24%を占め、一方予測対象であったMw7.5以上、80km以浅の地震10個のうち7個が警報域でおきた。確率利得は2.9であり、これが偶然の賜物である確率 $p$ は0.24%となるので、長期静穏化は統計的に有意な地震の前兆であるといえる。静穏化判定の要件を加減して行ったROC解析を図18に示すが、安定した好成績をしめしているといえる。(東北大学 [課題番号: 1206], 東海大学 [課題番号: 2501])。昨年度も同様の試みをMw8.0以上の地震に対して行い、肯定的な結果をえていたが、検証に使える地震が3つしかなかった。

一方、 $b$ 値の長期的低下傾向についても同様の調査を行った(楠城, 印刷中)。全世界で、 $b$ 値が安定して計算できる活動度の高い地域を網羅的に走査し、地域の $b$ 値が過去7年にわたって $-0.025/\text{年}$ よりも顕著に下っていれば、5年間の警報を出すこととした(図19)。予測対象としたM8以上の地震29個のうち55.5%が警報ONの時空で発生し、一方、地域の平均的活動度とGR則から期待されるM8の発生レートで重み付けした上で計算した警報分率は26.1%であった。確率ゲインは2.1、 $p$ 値は0.75%であり、これも肯定的な結果となった(東海大学 [課題番号: 2501])。

熊本地震前における $b$ 値解析では、 $b$ 値そのものの時間変化は明瞭ではなく、将来の震源域で小さな $b$ 値となっていた(Nanjo et al., 2016)。そこで、 $b$ 値の小さかった領域だけに着目してナチュラルタイム解析を行ったところ、地震の1年ほど前から $\kappa$ 1値が臨界状態を示す0.07付近をふらつくようになっていた(東京大学地震研究所 [課題番号: 2902])。

東日本の太平洋沖で1990年以降に発生したM7.0以上の本震前の規模別頻度分布はGR則か

ら逸脱し、本震後にGR則に従う傾向にあることがわかった(弘瀬・前田, 2012)。この特徴に基づくシンプルな予測モデルを構築した。M7後半-M8前半(M7.6-8.5)の地震を予測対象とした場合、北海道東方沖及び関東東方沖~南東沖に顕著な異常が検出された(気象庁 [課題番号: 7006])。

粉体のサイロ流において、出口の大きさに依存して間欠的目詰まり現象が起こることが知られており、これは間欠的に起こる様々な自然現象のシンプルなプロトタイプモデルとみなすことが出来ると考えられている。サイロ内に様々な形状の障害物を配置することにより流れ状態を制御する実験的研究を行った。その結果、流れの固化現象を効率的に下げするためには、流れの中の充填率を比較的小さく保つことが極めて重要であることが明らかとなった(Endo and Katsuragi, 2017; Endo et al., 2017) (東京大学地震研究所 [課題番号: 1512])。

地震発生と潮汐との相関を表すp値について、先行研究において地震前における変化が報告されていたトンガ・ケルマディック海溝沿いのプレート境界地震の潮汐相関を追加調査し、p値を用いた地震予測の有効性は低いが、M7.0以上の地震に限ればその発生時が特定の範囲の潮汐位相角の範囲内で発生している場合が有意に多いことがわかった(気象庁 [課題番号: 7006])。

巨大地震直前のGNSS-TEC(電離圏全電子数)変化について、M7級の地震まで含めた解析を行い(He and Heki, 2017), Mwの大きな地震ほど異常の振幅が大きく、また、異常の先行時間が長いという傾向がますます明確になった。Mw>8.2の巨大地震では、宇宙天気はひどく荒れていて解析不可能であったNias地震以外の10個全てに前兆が現われている。それ以下の地震ではMが下るにつれ、この前兆が確認できないものの割合が増える。また、2011年東北地震に際しては、日本の磁気共役点となるオーストラリア北部でも、同様のTEC異常が捉えられていることがわかり(図20), この異常が「電気仕掛け」であることが確認された(日置, 2018)。また、観測された程度の電離圏異常を起こすためには、地震破壊域程度の範囲にわたって地表に0.2V/m程度の電界異常がおきればよいことを理論的に示した(Kelley et al., 2017) (東海大学 [課題番号: 2501])。

2001-2010年の気象庁柿岡観測所のULF帯地磁気データから、ノイズの少ない深夜帯だけに着目してローカル(鹿屋観測所ではみられない異常ということ)な異常を網羅的に検出し、周辺100km以内でおきたM4以上の地震52個と比較した(Han et al., 2017)。異常がみられてから8-9日後の間に地震がおきると仮定したときに最も有意性が高く、警報分率21%で、45%の予知率を達成でき、p値はほぼゼロとなる。異常定義の閾値を変えてROC解析(図21)をしても、全体的に高い有意性を示す結果がえられている(東海大学 [課題番号: 2501])。

見通し外VHF伝播異常に関しては、観測の最大のノイズであるスプラディックE層の影響を電離圏TECによる推定で判定することを試みた。熊本地震発生日の4月14日朝に明瞭な異常電波が観測されたが、それをTECでみたところその時にはEスポの発生は見られないことが確認できた。さらにこの異常電波の到来方向を調べたところ、通常南東から来ている宮崎放送局からのFM電波がこのときはほぼ真東にある震央の方向を向いていることも分かった(東海大学 [課題番号: 2501])。

見通し内VHF伝播異常(谷川ら, 2017)に関しては、観測点の増設と、異常判定法の改良

を行った。従来のレベル変動法では基礎データとして過去数年のデータが必要であったが、短期間の観測から電波伝搬異常の検出を可能にする方法として、1ヶ月間の観測データの平均値を求めることで受信強度データの変動分を算出し、その積分値がある閾値を超えた場合を伝搬異常と判定する方法(変動値積分法)を開発し、そのための観測データ処理用プログラムを作成した。この判定方法を用いた伝搬異常検出と地震発生との関連性を統計的に評価したところ、従来法(レベル変動検出法)の統計成績(Motojima and Ogura, 2017; 小倉・本島, 2017)を上回る結果となった(東海大学[課題番号:2501])。

VLF帯パルス電磁波の観測点を増設し、中日本に5点とすることで、到着時間差による波源位置標定が改善された。観測点近傍で発生した最大の地震である2017年6月25日の長野県南部M5.6(深さ7km)の前5日と後1日だけを解析して、6月23日にだけパルスが震央付近から到達していることが判明した(図22)。この日に中部日本で雷活動はなかった(東海大学[課題番号:2501])。

大気中ラドン濃度変動に関して、全国25の放射線管理施設からデータを得るネットワークができており、順次解析を進めている。今年度は、鳥取大学と信州大学での観測データに地震に先行するラドン濃度の増加を見いだした(図23, 図24)(東北大学[課題番号:1207])。

地震の前兆ではないかとマスコミ等で話題にされることの多い、深海魚の出現について、全国紙の地方版や地方紙、水族館や博物館、過去の学術文献等の情報から、気象庁一元化震源カタログのある1923年以降で最初の深海魚出現日から3.11までの期間(1928年11月26日-2011年3月11日)のカタログを作成した。日本周辺のエリアを日本海側(九州-北海道)、東日本太平洋側(北海道-千葉)、神奈川・伊豆-東海-南海-鹿児島、南西諸島(奄美大島-石垣島)、小笠原周辺の5つのエリアに分け、深海魚出現日から30日後までに同一エリア内で地震が発生したかを調べた(織原ら2017a, b)。その結果、深海魚出現イベント総数に対する同一エリア内のM6以上の地震を伴った深海魚出現イベント数の割合は、1992年1月1日から2011年3月11日までが8.0%(=8/101)、1928年11月26日から2011年3月11日まで3.6%(=13/366)であった。(東海大学[課題番号:2901])。

純粋に経験則だけに基づいて行う大地震の予測がどの程度のものなのかをみるために、M>6もしくは7に対して統計的に有意であることが示されている様々な予想手法の成績(予知率、適中率、警報分率、ゲイン)を文献情報から逆算してまとめた(中谷, 印刷中)。ETASによるトリガリング作用(これは大地震の準備過程進行の顕れという意味での物理的な前兆ではない)を考慮するだけで、数百倍のゲインをもつ短期的な予測ができ、さらにETASでは説明できない特徴(多分、物理的な前兆だろう)に目をつけた方法では、ゲイン1万倍を超えるような予測手法(Lippiello et al., 2012)も報告されている。また、複数の先行現象を組み合わせた方法でもやはり1万倍程度のゲインが可能である(Ogata, 2017)。日本のM7地震の平均発生ペースからすると、ゲイン1万倍の予報は、1日あたりの地震発生確率として数%という強い予報である(東海大学[課題番号:2501])。

## これまでの課題と今後の展望

先行現象の発生とその後の地震の発生確率の相関を統計的に評価するという目標が様々な現象に対して達成された。また、大地震直前の TEC 変動に関してはそのスケーリングが確かなものとなり、電離圏の変動の様子から固体側でいかなる電気現象が起きているか、かなり納得のいく推察がなされた。今後、地震発生の物理シナリオとこのような現象の関係を明らかにしていく必要がある。特に多方面からの観測的サポートが得られはじめた階層アスペリティ仮説との関係について考えていく必要があるだろう。地震活動の高度な解析によって、断層面の不均質が描きだされるようになっているので、実証的な解明が進んでいきそうである。滑りのモニタリングの技術は格段の進歩をとげ、今後、地震活動の予測に貢献するものであるか検討すべきである。また、現状、強度の強い予測が出うるものは、圧倒的に群発活動(あとからみれば前震)を用いたものであり、この方面では、前震の事前識別技術の追求とともに、予測情報の社会への影響が具体的に検討される必要がある。また、直接の実用価値がみいだせそうにもない、中規模地震を対象とした低ゲインの短期予測をもたらす前兆の有意性も確立した。ゲインは低くても、正味の異常出現率はそれなりに高いので、やはり地震発生のシナリオにおいて何らかのはっきりした役割を持っているはずである。さらに、10年程度の中期前兆でも統計的有意性が示されたものが複数であったことは重要である。中期的な準備過程の存在を示唆するとともに、先行期間が長いものは、ゲインが低くても、実用的価値が考えうる。

## 成果リスト

- Aizawa K., W. Kanda, Y. Ogawa, A. Yokoo, and M. Iguchi, 2009, Shallow resistivity changes of Sakurajima volcano from magnetotelluric continuous observation, CA 研究会2010 年論文集, 80.
- Abe, S., 2017, In-situ stress in the close vicinity of source fault in South African deep gold mine, 東北大学理学研究科, 修士論文, pp.158.
- Annoura, S., T. Hashimoto, N. Kamaya, and A. Katsumata, 2017, Shallow episodic tremor near the Nankai trough axis off southeast Mie prefecture, Japan. *Geophys. Res. Lett.*, 44.
- Araki., T., Ochi, T., Matsumoto, N., and Akaho, S., 2017, Simultaneous estimation of spatio-temporal distribution and duration of slow slip event by switching model, *Journal of Signal Processing*, 21, 297-308.
- Cho, I., and Iwata, T., 2017, The relationship between normalized horizontal-to-vertical spectral ratios (HVSRS) of microtremors and the F distribution, *Exploration Geophysics*, EG17110, doi:10.1071/EG17110.
- Endo, K. and H. Katsuragi, 2017, Statistical properties of gravity-driven granular discharge flow under the influence of an obstacle, *EPJ Web of Conferences* 140, 03004.
- Endo, K., K. Anki Reddy, and H. Katsuragi, 2017, Obstacle-shape effect in a two-dimensional granular silo flow field, *Phys. Rev. Fluids* 2, 094302.
- 藤井さとみ, 新井友里愛, 安岡由美, 飯本武志, 床次眞司, Mirosław Janik, 長濱裕幸,

- 武藤 潤, 向 高弘, 2017, 活性炭型ラドン検出器による屋内ラドン濃度測定の検討. 第67回日本薬学会近畿支部大会, 2017年10月14日, 兵庫医療大学.
- Fukuyama, E., K. Tsuchida, H. Kawakata, F. Yamashita, and S. Xu, 2018, Spatiotemporal complexity of 2-D rupture nucleation process observed by direct monitoring during large-scale biaxial rock friction experiments, *Tectonophys.*, In press.
- 福山英一, 土田琴世, 川方裕則, 山下太, 溝口一生, 徐世慶, 2017, 2次元地震破壊伝播の実験室における直接観察, 日本地震学会 2017 年度秋季大会, S08-28.
- Furuta, T., K. Katou, S. Itoh, K. Tachibana, S. Ishikawa, and H. Katsuragi, 2017, Geometry-dependent constitutive law for granular slow frictional drag, *Int. J. Mod. Phys. B* 31, 1742006.
- Genzano, N. C. Filizzola, K. Hattori, M. Lisi, R. Paciello, N. Pergola, and V. Tramutoli, 2017, Robust Satellite Techniques to support the short-term assessment of the seismic hazard in Japan: an analysis on 11 years (2005-2015) of MTSAT TIR observations, European Geosciences Union General Assembly, Vienna, Austria, Oral, EGU2017-16056, 2017/4/23-28.
- Goto, M., Yasuoka, Y., Nagahama, H., Muto, J., Omori, Y., Ihara, H. and Mukai, T., 2017, Anomalous changes in atmospheric radon concentration before and after the 2011 northern Wakayama Earthquake (Mj 5.5). *Radiation Protection Dosimetry*, 174, 412-418.
- Guo, Y., Zhuang J., Hirata N., Zhou S., 2017, Heterogeneity of direct aftershock productivity of the main shock rupture. *Journal of Geophysical Res., Solid Earth*, 122, doi:10.1002/2017JB014064.
- Han, P., Hattori, K., Zhuang, J., Chen, C-H., Liu, J-Y., and Yoshida, S., 2017, Evaluation of ULF seismo-magnetic phenomena in Kakioka, Japan by using Molchan's error diagram, *Geophys. J. Int.*, vol.208, Issue 1, 482-490, doi: 10.1093/gji/ggw404.
- Han, P., K. Hattori, Q. Huang, 2017, On the seismo-magnetic phenomena associated with the 2011 Tohoku earth- quake (Mw 9.0): the possible coupling of multiple pre-earthquake phenomena, The 13th China Interna- tional Geo-electromagnetic Workshop, Wuhan, China, 2017/11/10-11/12.
- Han, P., J. Zhuang, K. Hattori, 2017, Assessing the potential earthquake precursory information in ULF magnetic data recorded in Kanto, Japan during 2000-2010, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張メッセ, 千葉県 千葉市, MIS04-04, 2017/5/20-25
- Han, P., J. Zhuang, K. Hattori, Y. Ogata, 2017, Earthquake modeling incorporating non-seismic data, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, SSS05-03, 2017/5/20-25.
- 韓鵬, 服部克巳, 山口拓人, 廣岡伸治, 吉野千恵, 2017, 2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0)に関連する地磁気日変化異常の時空間的特徴, 電気学会論文誌A(基礎・材料・

- 共通部門誌), vol.137, no.2, 119-127, doi: 10.1541/ieejfms.137.119.
- Hattori, K., 2017, ULF magnetic signals as the potential earthquake precursory information in Japan, 中国地球科学連合学術年会, Beijing International Convention Center, Beijing, China, 2017/10/15-10/18. (招待講演).
- Hattori, K. and P. Han, 2017, ULF magnetic signals as the potential earthquake precursory information and assessment for the practical forecast in Japan, 日本地震予知学会 第4回学術講演会, 電気通信大学, 調布市, 東京都, 2017/12/25-12/26.
- Hattori, K. and P. Han, 2017, Geomagnetic Diurnal Variations Analysis in Space and Time Associated with the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (Mw9.0), EGU General Assembly 2017, Vienna, Austria, EGU2017-12314, 2017/4/23-28.
- Hattori, K., P. Han, S. Hirooka, M. Yagmur, Chie Yoshino, T. Kobari, A. Honma, and J.Y. Liu, 2017, Characteristics of 2D and 3D structures of Ionospheric anomalies preceding the large earthquake, 32nd URSI2017GASS, the Montreal convention center, Montreal, Canada, GEH3-1, 2017/8/19-8/26. (招待講演)
- Hattori, K. M. Yagmur, S. Hirooka, and J.Y. Liu, 2017, Characteristics of Ionospheric Electron Distribution for large Earthquakes around Japan, IAG-IASPEI2017, Kobe International Conference Center, Kobe, Japan, S11-1-03, 2017/7/30-8/4. (招待講演)
- 服部克巳, 韓鵬, 廣岡伸司, Yagmur Mustafa, 吉野千恵, 小張剛照, 劉正彦, 2017, 2D and 3D structures of Ionospheric anomalies preceding the large earthquake, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, MIS12-03, 2017/5/20-25.
- He, L. and K. Heki, 2017, Ionospheric anomalies immediately before Mw 7.0-8.0 earthquakes, J. Geophys. Res. Space Phys., 122, 8659-8678, doi:10.1002/2017JA024012.
- Heidarzadeh, M., O. Necmioglu, T. Ishibe, and A.C. Yalciner, 2017, Bodrum-Kos (Turkey-Greece) Mw 6.6 earthquake and tsunami of 20 July 2017: a test for the Mediterranean tsunami warning system, Geoscience Letters, 4:31, doi:10.1186/s40562-017-0097-0.
- Heidarzadeh, M., T. Harada, K. Satake, T. Ishibe and T. Takagawa, 2017, Tsunamis from strike-slip earthquakes in the Wharton Basin, northeast Indian Ocean: March 2016 Mw 7.8 event and its relationship with the April 2012 Mw 8.6 event, Geophys. J. Int., doi:10.1093/gji/ggx395.
- Heki, K., 2017, Pre-, co-, and postseismic ionospheric disturbances, Asia Oceania Geoscience Soc., SunTec Convention Center, Singapore, Aug. 7-11, 2017.
- 日置幸介, 2017, 2016年熊本地震直前に現れた非移動性MSTID, SGEPSS秋季講演会, 京都大学宇治キャンパス, 京都, Oct.16-19, 2017. (招待講演)
- 日置幸介, 2018, 地震直前の電離圏変化, パリテイ, Vol.33, No.2, 52-56.

- Heki, K., L. He, and I. N. Muafiry, 2017, Preseismic ionospheric anomalies: Current overview and perspective, 2nd Geo-lab and RISH Joint Workshop on GNSS and SAR Technologies for Atmospheric Sensing, Uji, 7 Mar., 2017. (招待講演)
- Heki, K. and L. He, 2017, TEC anomalies preceding large earthquakes: Review and perspective, JPGU 2017 Assembly, Makuhari Messe, Chiba, May 20-25, 2017. (招待講演)
- Heki, K. and L. He, 2017, TEC anomalies immediately before large earthquakes: Review and perspective, IAG- IASPEI 2017 Joint Scientific Assembly, Kobe International Conference Center, Kobe, Hyogo, Jul.31- Aug.4, 2017. (招待講演)
- Heki, K. and L. He, 2017, Feasibility study of short-term earthquake prediction using ionospheric anomalies immediately before large earthquakes, AGU Fall Meeting, Dec. 11-15, New Orleans. (招待講演)
- 日置幸介, 賀黎明, 2017, 大地震直前に現れる電離圏異常の物理モデル, 日本測地学会秋季講演会, 瑞浪市 総合文化センター, 岐阜, Oct.4-6, 2017.
- 弘瀬冬樹・前田憲二, 2017, 本震前に現れるG-R則からの逸脱と, その特徴に基づいた地震予測モデルの提案. 地震, 70, 21-40.
- Huang, Q., K. Hu, K. Hattori, 2017, Probability tomography and wavelet analysis of self-potential data, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張メッセ, 千葉県千葉市, MIS04-03, 2017/5/20-25.
- Huang, Q., K. Hu, K. Hattori, 2017, Probability tomography and wavelet analysis of self-potential data and possible application in landslide monitoring, IAG- IASPEI2017, Kobe International Conference Center, Kobe, Japan, S12-2-03, 2017/7/30-8/4. (招待講演)
- Ishibe, T., Y. Ogata, H. Tsuruoka, K. Satake, 2017, Testing the Coulomb stress triggering hypothesis for three recent megathrust earthquakes, Geoscience Letters, 4:5, doi:10.1186/s40562-017-0070-y.
- 石田亮壮, 2018, 南アフリカ金鉱山地域 M<sup>2</sup>~5.5 級の地震発生域でのコア変形法による応力測定, 立命館大学理工学研究科修士論文.
- Iwata, D., Nagahama, H., Muto J. and Yasuoka, Y., 2017, Change point in log-periodic power law time series of atmospheric radon concentration. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Makuhari Messe, May 20-25th.
- 神代悠希, 石原万己, 藤井さとみ, 安岡由美, 細田正洋, 岩岡和輝, 床次眞司, Miroslaw Janik, 武藤潤, 長濱裕幸, 向高弘, 2017, バブリング法による水中ラドン濃度測定について, Proceeding of the 18th Workshop on Environmental Radioactivity, 333-33, 高エネルギー加速器研究機構(KEK).
- Kawamura, H., Y. Ueda, S. Kakui, S. Morimoto and T. Yamamoto, 2017, Statistical properties of the one-dimensional Burridge-Knopoff model obeying the rate and state dependent friction law, Phys. Rev. E 95, 042122.
- Kelley, M. C., W. E. Swartz, and K. Heki, 2017, Apparent ionospheric total electron content variations prior to major earthquakes due to electric fields created

- by tectonic stresses, *J. Geophys. Res. Space Phys.*, 122, 6689-6695, doi:10.1002/2016JA023601.
- 気象研究所, 2017a, 内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測. 地震予知連絡会会報, 98, 313-316.
- 気象研究所, 2017b, 海溝と直交する方向の全国の基線長変化. 地震予知連絡会会報, 98, 24-28.
- 北川有一・板場智史・武田直人・松本則夫・落唯史・木口努, 2017, 紀伊半島~四国の歪・傾斜・地下水観測結果(2016年11月~2017年4月), 地震予知連絡会会報, 98, 325-338.
- 北川有一・板場智史・武田直人・松本則夫・落唯史・木口努, 2018, 紀伊半島~四国の歪・傾斜・地下水観測結果(2017年5月~2017年10月), 2018, 地震予知連絡会会報, 99, 印刷中.
- 木口努・松本則夫・北川有一・板場智史・落唯史・佐藤努・武田直人, 2017, 東海・関東・伊豆地域における地下水等観測結果(2016年11月~2017年4月)(55), 地震予知連絡会会報, 98, 275-281.
- 木口努・松本則夫・北川有一・板場智史・落唯史・佐藤努・武田直人, 2018, 東海・関東・伊豆地域における地下水等観測結果(2017年5月~2017年10月)(56), 地震予知連絡会会報, 99, 印刷中.
- Kobayashi, A., 2017, Objective detection of long-term slow slip events along the Nankai Trough using GNSS data (1996-2016). *Earth, Planets and Space*, 69, 171.
- 小林孝央, 本島邦行, 2018, 任意座標におけるVTEC推定法, 日本大気電気学会, 新宿区, 2018年1月6日.
- Liu, J.Y., C.H. Chen, T.Y. Wu, H.C. Chen, K. Hattori, T. Bleier, K. Kappler, I.C. Yang, Y. Xia, W. Chen, Z. Liu, 2017, Co-seismic signatures in magnetometer, geophone, and infrasound data during the Meinong Earthquake, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, Vol.28, No. 5, pp.683-692, doi: 10.3319/TAO.2017.03.05.01.
- Liu, J.Y., K. Hattori, and TIGER (Taiwan Ionospheric Group for Education and Research), 2017, Measuring the Seismo-generated Electric Field in the Ionosphere before Large Earthquakes, 32nd URSI2017GASS, the Montreal convention center, Montreal, Canada, GEH3-2, 2017/8/19-8/26. (招待講演)
- 前田憲二・弘瀬冬樹, 2017, 群発的地震活動を前震活動と仮定して行う本震の発生予測手法: 最近の活動事例による検証(3), 地震予知連絡会会報, 98, 465-469.
- Maeda, S., T. Matsuzawa, S. Toda, K. Yoshida and H. Katao, 2018, Complex microseismic activity and depth-dependent stress field changes in Wakayama, southwestern Japan, *Earth, Planets and Space*, 70:21, doi:10.1186/s40623-018-0788-6.
- Marsan, D., M. Bouchon, B. Gardonio, H. Perfettini, A. Socquet, and B. Enescu, 2017, Change in seismicity along the Japan trench, 1990-2011, and its relationship with seismic coupling, *J. Geophys. Res., Solid Earth*, 122, 4645-4659, doi:10.1002/2016JB013715.

- Matsumoto, N. and Shigematsu, N., 2018, In-situ permeability of fault zones estimated by hydraulic tests and continuous groundwater-pressure observations, *Earth, Planets Space*, 70, 13, doi:10.1186/s40623-017-0765-5.
- Moyer, P.A., M.S. Boettcher, W.L. Ellsworth, H. Ogasawara, A. Cichowicz, D. Birch, and G. van Aswegen, 2017, Call for models - a test case for the source inversion validation: the 2014 ML 5.5 Orkney, South Africa, earthquake, *Seismol. Res. Lett.*, 88, doi:10.1785/0220160218
- Motojima K. and Y. Ogura, 2017, Statistical consideration of relationship between occurrences of earthquake and fluctuations in the radio wave propagation, *International Workshop on Earthquake Preparation Process 2017*, Chiba, May 26-27, 2017.
- Murakami, T., S. Yarimitsu, N. Sakai, K. Nakashima, T. Yamaguchi, Y. Sawae, A. Suzuki, 2017, Superior lubrication mechanism in poly (vinyl alcohol) hybrid gel as artificial cartilage, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 231, 1160-1170.
- 長尾年恭・中谷正生, 2017, 地震予知が当たっているとは?, 日本地震予知学会, 調布市, 2017年12月25-26日.
- 中谷正生, 2017, 経験則による大地震の確率予測-相場と意義, 日本地震学会秋季大会, S21-06, 鹿児島, 2017年10月26日.(招待講演)
- 中谷正生, 経験則から期待される大地震発生の確率:相場のレビュー, 2018, 第217回地震予知連絡会会報, 第99巻, 印刷中.
- 中谷正生, 経験則から期待される大地震発生の確率:相場のレビュー, 2017, 第217回地震予知連絡会重点検討課題「予測実験の試行」, 東京, 2017年11月22日.
- Nanjo, K. Z., A. Yoshida, 2017, A systematic investigation into b values prior to coming large earthquakes (MR42A-02), 2017 AGU Fall Meeting, 2017年12月11-15日, New Orleans (米国).
- 楠城一嘉, 吉田明夫, 2017, 南海トラフ沿いのフィリピン海スラブ内地震活動のb値の時空間変化, *JpGU-AGU Joint Meeting 2017*, SSS14-P05, 2017年5月20-24日, 幕張メッセ.
- 楠城一嘉, 2018, b値にもとづく全地球規模の大地震発生予測のモデル, 2018, 第217回地震予知連絡会, 地震予知連絡会会報, 第99巻, 印刷中.
- Nishikawa, T., and S. Ide, 2017, Detection of earthquake swarms at subduction zones globally: Insights into tectonic controls on swarm activity, *J. Geophys. Res., Solid Earth*, 122(7), 5325-5343, doi: 10.1002/2017JB014188, 2017.
- 落唯史・板場智史・松本則夫・北川有一・武田直人・木口努・木村尚紀・木村武志・松澤孝紀・汐見勝彦, 2017, 東海・紀伊半島・四国における短期的スロースリップイベント(2016年11月~2017年4月), 地震予知連絡会会報, 98, 263-274.
- Ogasawara, H., R.J. Durrheim, Y. Yabe, T. Ito, G. van Aswegen, M. Grobbelaar, A. Funato, A. Ishida, H. Jnr, Ogasawara, S. Mngadi, M.S.D. Manzi, Z. Martin, A. Ward, P. Moyer, M. Boettcher, P. Dight, W. Ellsworth, B. Liebenberg, N.

- Wechsler, T. Onstott, N. Berset, and the DSeis Team, 2017, Drilling into seismogenic zones of M2.0–M5.5 earthquakes from deep South African gold mines (DSeis): establishment of research sites, Proc. Afrirock Symposium 2017 (ISRM), 30 September – 6 October 2017, Capetown, 237–248.
- 小笠原宏幸, 2018, 反射法地震探査データを使った2014年オークニーM5.5地震の速度構造および断層構造解析, 立命館大学理工学研究科修士論文, pp.52.
- 小倉佑哉, 本島邦行, 2017, Molchan's Error Diagram による見通し内VHF帯放送波の伝搬異常と地震の関連性解析, 日本地震予知学会, 調布市, 2017年12月25–26日.
- 大澤祐輝, 本島邦行, 2017, モニタリングポストにおける空間線量異常と地震の統計的関連解析, 日本地震予知学会, 調布市, 2017年12月25日.
- Opris, A., B. Enescu, Y. Yagi and J. Zhuang, 2018, Triggering and decay characteristics of dynamically activated seismicity in Southwest Japan, *Geophys. J. Int.*, 212(2), 1010–1021, doi:10.1093/gji/ggx456.
- 織原義明, 2017, 海のなんでだろう, 第90回 深海魚の出現と地震との関係, 月刊磯・投げ情報, 25(11), 82.
- 織原義明・鴨川仁, 2017, 熊本市が公開する地下水位データを用いた2016年熊本地震の先行的変化の検証, 地震2輯, 70, 147–152.
- 織原義明・鴨川仁・野田洋一・長尾年恭, 2017a, 日本周辺における深海魚の目撃と地震との関係, JpGU-AGU Joint Meeting 2017 予稿集, MIS12-01.
- 織原義明・鴨川仁・野田洋一・長尾年恭, 2017b, 日本周辺における深海魚の目撃と地震との関係に関する考察, 日本地震学会講演予稿集2017年度秋季大会, S14-02.
- Saade, M., J.P. Montagner, P. Roux, K. Shiomi, B. Enescu and F. Brenguier, 2017, Monitoring of seismic anisotropy at the time of the 2008 Iwate-Miyagi (Japan) earthquake, *Geophys. J. Int.*, 211(1), 483–497, doi:10.1093/gji/ggx321.
- 田中昌之, 2017, 中規模繰り返し相似地震の発生状況と発生確率(2017). 地震予知連絡会会報, 98, 437–442.
- 田中昌之, 岡田正実, 内田直希, 2018, 繰り返し回数の少ない繰り返し地震系列に対する長期的地震発生確率予測の成績と検証, 地震, 70, 195–213.
- Tanaka, H. and T. Hatano, 2017, Statistical properties of Olami-Feder-Christensen model on Barabasi-Albert scale-free network, *Eur. Phys. J. B* 90, 248.
- Tanaka, A., Minami, N., Yasuoka, Y., Iimoto, T., Omori, Y., Nagahama, H., Muto, J., Mukai, T., 2017, Accurate measurement of indoor radon concentration using a low-effective volume radon monitor. *Radiation Protection Dosimetry*, 177, 324–330.
- 谷川廣祐, 本島邦行, 羽賀望, 2017, 見通し内VHF帯放送波の伝搬異常と地震及び地表面平均風速の統計的関連性, *J. of Atmos. Electr.*, Vol. 37, No. 1, pp.11–24.
- 辻村優志, 川方裕則, 福山英一, 平野史朗, 山下太, 徐世慶, 溝口一生, 滝沢茂, 2017, 大型岩石試料のスティック・スリップ試験中に発生した繰り返し地震的活動について, 日本地震学会2017年度秋季大会, S08-26.
- Tsuruoka, H., 2017a, CSEP Japan results of 3-month and 1-year testing class, SCEC

- Annual Meeting 2017, PalmSprings.
- Tsuruoka, H., 2017b, CSEP-Japan results of 1-day testing class and development of Kanto 3D earthquake forecast model, SCEC Annual Meeting 2017, PalmSprings.
- 露木貴裕, 長谷川浩, 近澤心, 木村久夫, 棚田理絵, 沼野あかね, 2017, 新しい地震活動等総合監視システム (EPOS) における地殻変動監視手法の改善, 駿震時報(論文), 81.
- Voosen, P., 2017, Deep in a South African gold mine, scientists drill for the heart of an earthquake, *Science*, doi:10.1126/science.aan6905.
- Vuan, A., M. Sagan, G. Amati and A. Kato, 2018, Improving the Detection of Low-Magnitude Seismicity Preceding the Mw=6.3 L' Aquila Earthquake: Development of a Scalable Code Based on the Cross-Correlation of Template Earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 108, 471-480, doi: 10.1785/0120170106.
- Yamaguchi, T., H. Ohtsubo, Y. Sawae, 2018, Critical Scaling and Prediction of Snap-Through Buckling. In: van Meurs P., Kimura M., Notsu H. (eds) *Mathematical Analysis of Continuum Mechanics and Industrial Applications II. CoMFoS 2016. Mathematics for Industry*, 30, 51-57 Springer, Singapore.
- Yamashita, F., E. Fukuyama, S. Xu, H. Kawakata, K. Mizoguchi, and S. Takizawa, 2017, Two types of foreshock activities observed on meter-scale laboratory faults: Slow-slip-driven and cascade-up, AGU Fall Meeting 2017, S34B-07.
- 吉井未来, 石原万己, 南のどか, 安岡由美, 床次眞司, 長濱裕幸, 向高弘, 2018, ラドン濃度測定における管理モニタの校正. 第19回「環境放射能」研究会, 2018年3月13日, 高エネルギー加速器研究機構(KEK).

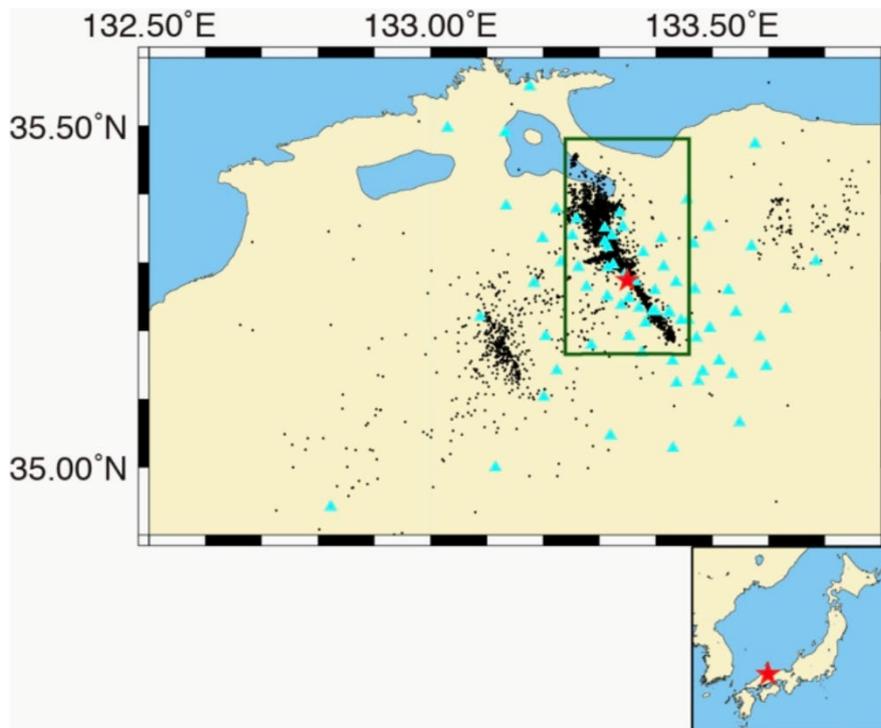


図1. 応力空間パターン推定手法を適用した2000年鳥取県西部地震の余震データとその解析領域(深緑の四角: 東西20km x 南北35km) (東北大学 [課題番号: 1206])  
赤星は本震震央を, 水色三角は稠密観測による臨時観測点をそれぞれ表す。

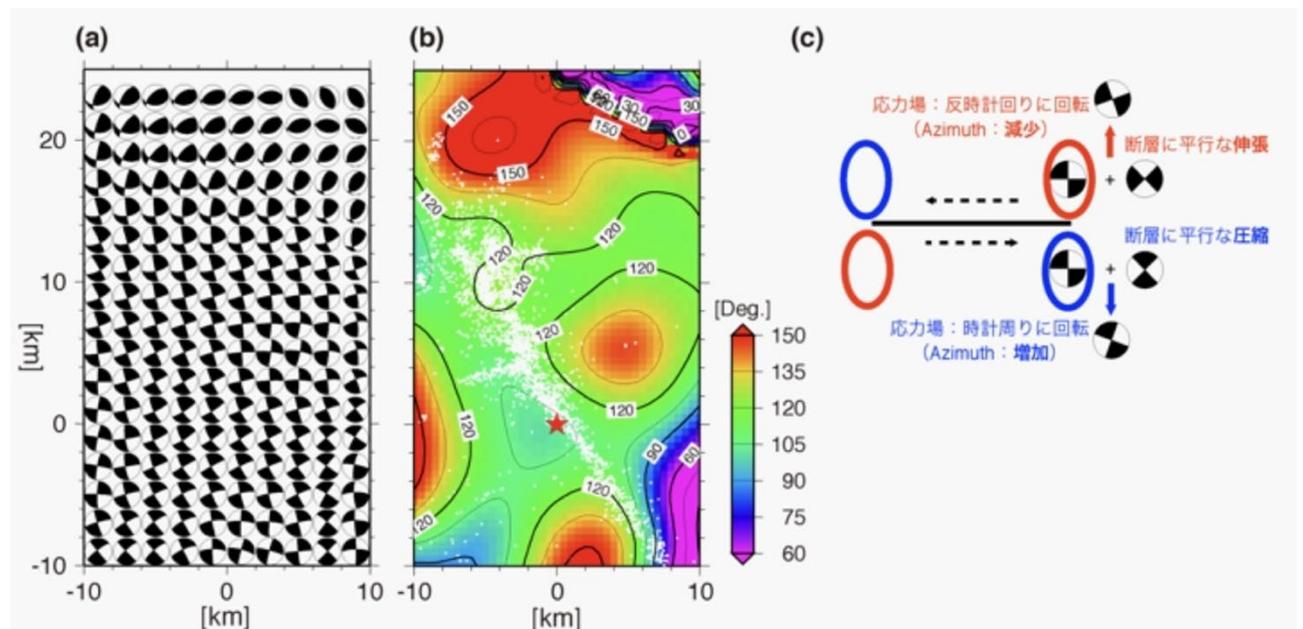


図2. 2000年鳥取県西部地震の余震域に対する推定結果 (東北大学 [課題番号: 1206])  
推定された(a)主応力軸の向き(震源球を用いて表現)および(b)最大主応力軸の方位角(北から時計回り)それぞれの空間パターン。(c)左横ずれ断層において期待される応力場の回転。圧縮/伸張が生じる領域で最大主応力軸がそれぞれ時計/反時計回りに変化する。

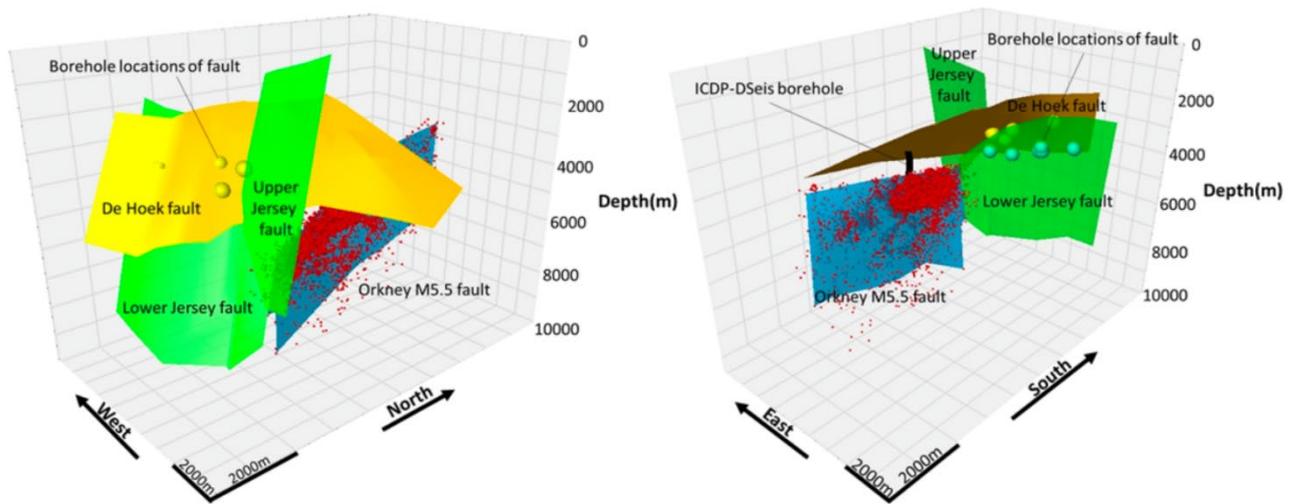


図3. 地下2-3kmの採掘レベルで確認されている正断層, M5.5断層およびDSeis科学掘削との位置関係(小笠原, 2018) (立命館大学 [課題番号: 2401])

反射法探査データの再解析で, M5.5地震に対応する断層帯が, 採掘レベルよりも下に見つかった。余震活動の南限は, 採掘レベルで確認されている正断層の下方延長とほぼ一致した。黄色と青の大きめの球: 地表からの探査掘削と正断層との交差点。右図のほぼ中央の黒の短い太線: ICDP DSeis計画の817m孔。

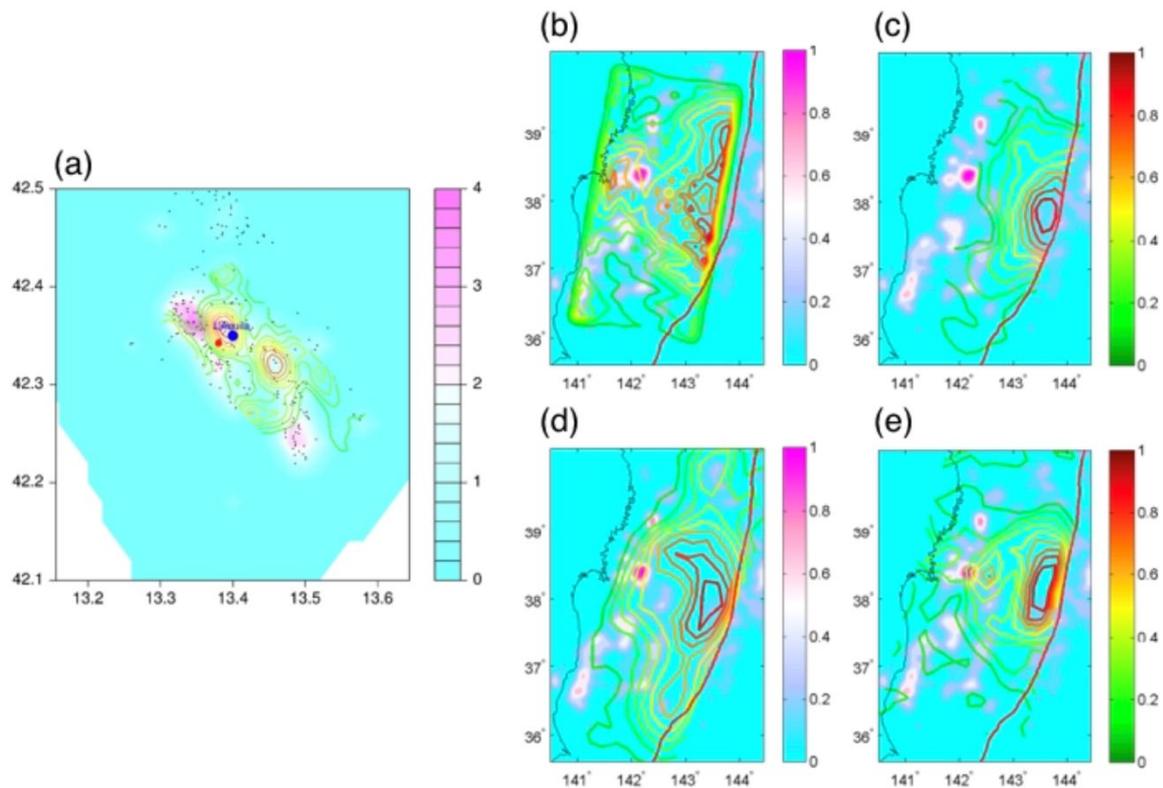


図4. 有限断層ETASモデルによって求められた相対的余震生産性の分布（東北大学〔課題番号：1206〕）

(a)イタリア,ラクイラ地震, (b-e)東北地方太平洋沖地震(震源断層モデルは,それぞれ (b)Ide et al. (2011), (c)Yagi and Fukahata (2011), (d)Wei and Sladen (2011), (e)Hayes (2011))。

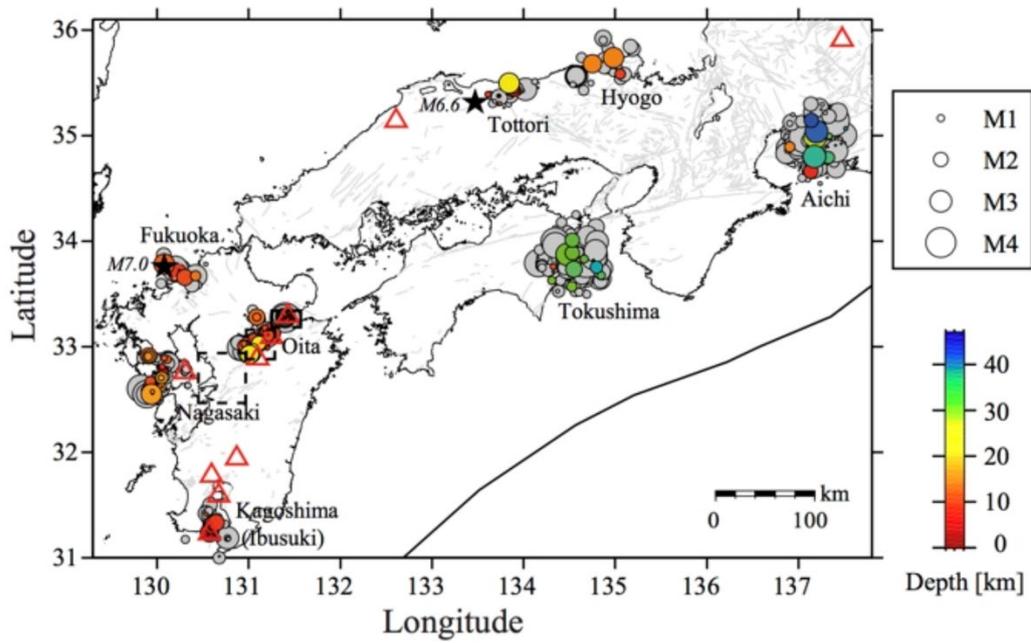


図5. 2011年東北地方太平洋沖地震によって動的誘発地震活動が観測された地域 (Opris et al., 2018) (東北大学 [課題番号: 1206])

灰色の円は最初に誘発地震が検出された地域から半径30km以内の気象庁一元化震源。期間は東北沖地震の前後60日。色付きの円は最初の1週間。黒星印は2000年鳥取県西部地震, 2005年福岡県西方沖地震の震央を示す。九州の破線のボックスは熊本地震の3つの余震域。赤三角は活火山を示す。

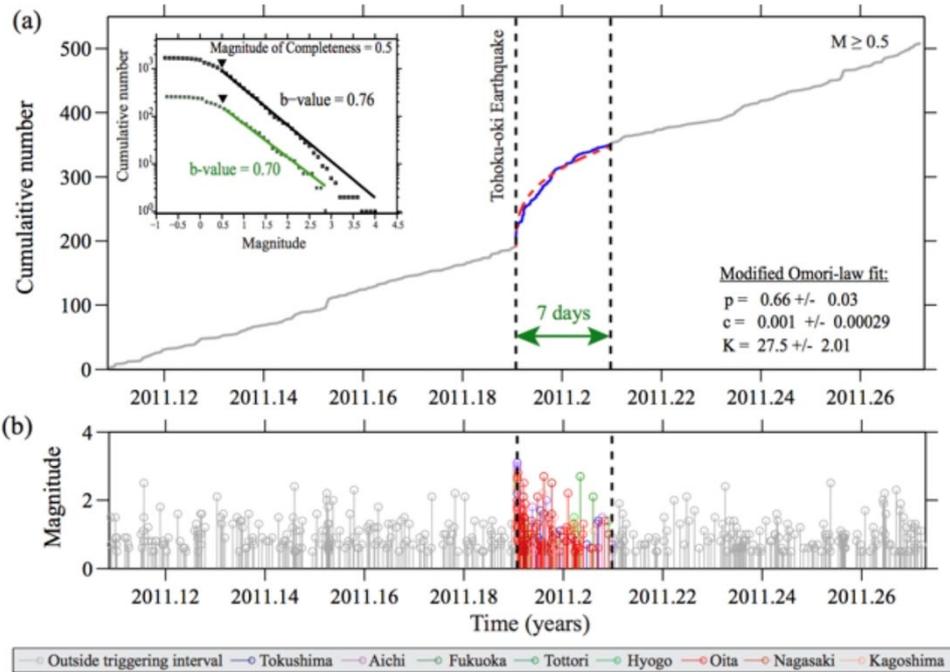


図6. 遠地誘発地震活動がみられた地点での東北地方太平洋沖地震前後の地震活動の時系列(Opris et al., 2018) (東北大学 [課題番号: 1206])  
 (a)すべての地点をスタックした地震活動積算曲線。東北沖地震後の7日間の活動は青線で示す。赤破線は大森-宇津則による理論曲線。左上は前期間のM-頻度分布。(b)同じ期間のMTダイアグラム。東北沖地震後のステムプロットの色は地域毎に変えている。

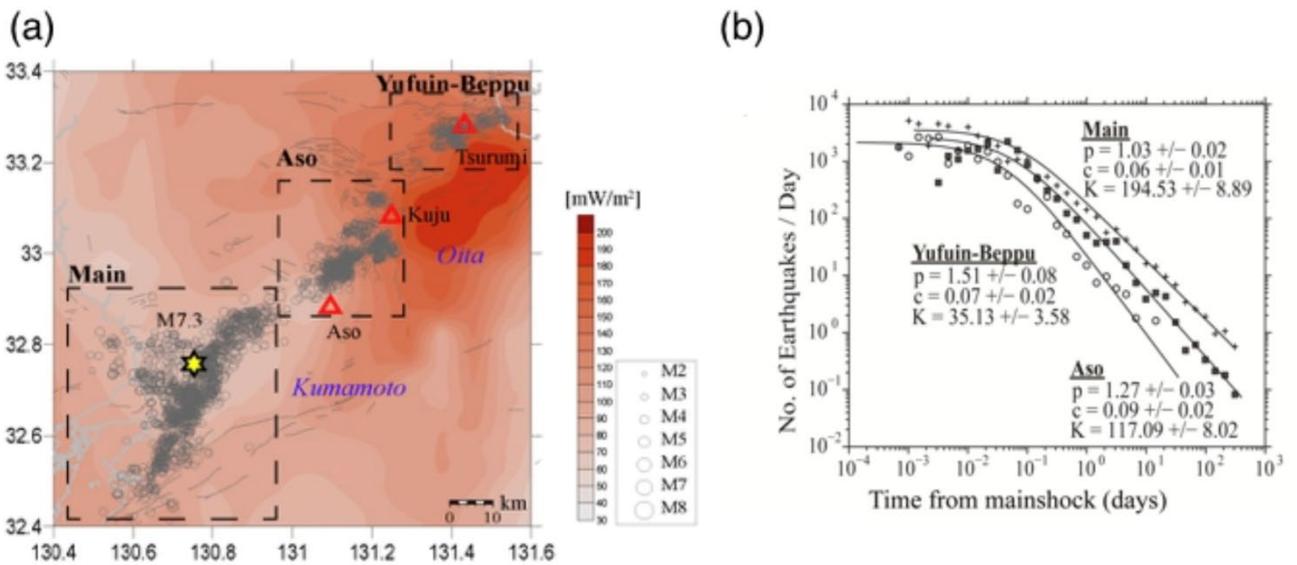


図7. 2016年熊本地震の3つの余震活動域と地殻熱流量, 余震減衰p値との関係(Opris et al., 2018) (東北大学 [課題番号: 1206])  
 (a)熊本地震の余震分布(気象庁一元化データ, 2016年4月16日-2017年2月14日)と地殻熱流量分布 (b)3地域(震源断層域, 阿蘇地域, 湯布院-別府地域)における余震減衰と大森-宇津則の最適パラメータ値。

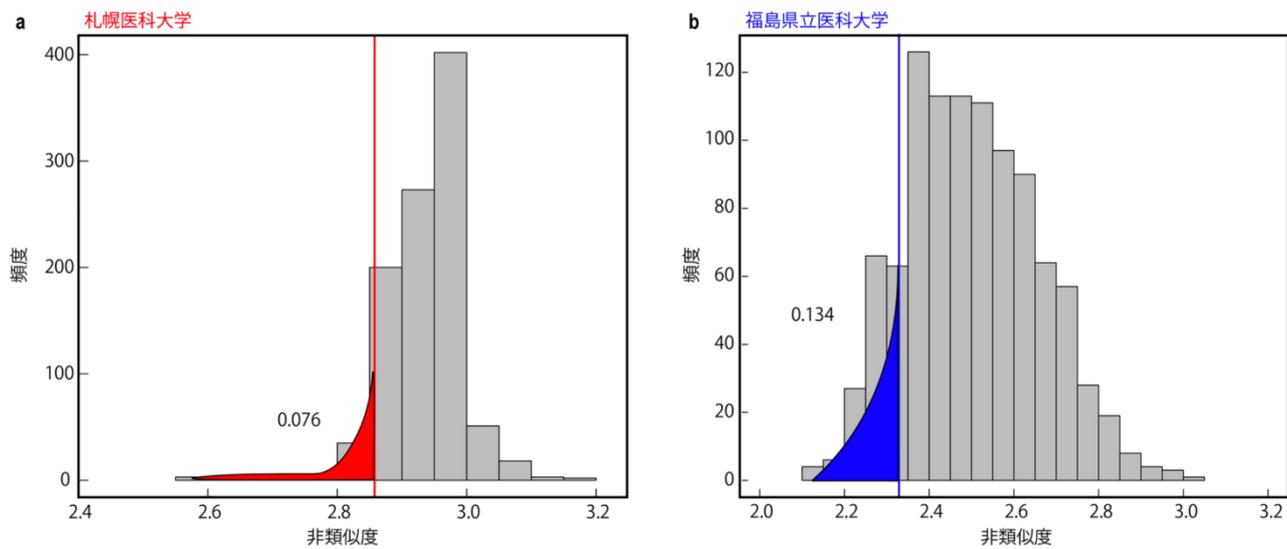


図8. 大気中ラドン濃度変動と地震の非類似性（東北大学 [課題番号：1207]）

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

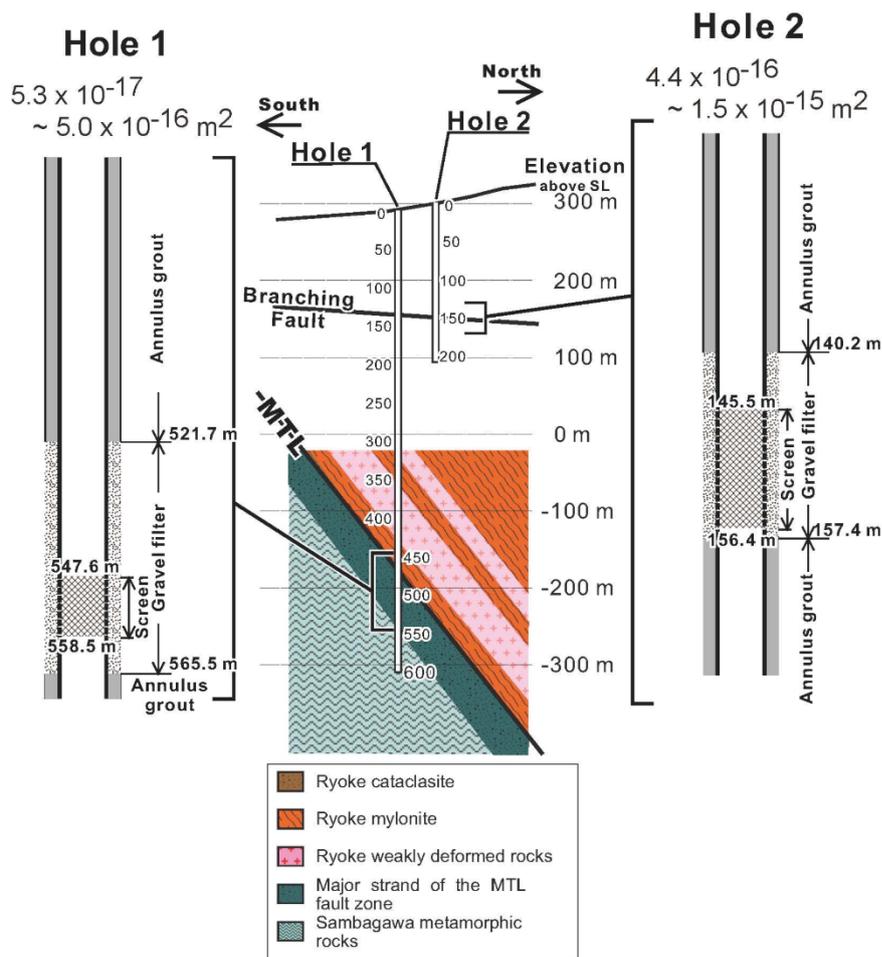


図9. 松阪飯高観測点における中央構造線断層帯の断面図と掘削した2本の井戸の構造および水理試験などで求めたそれぞれの井戸の透水係数(Matsumoto and Shigematsu., 2018) (産業技術総合研究所 [課題番号: 5007])

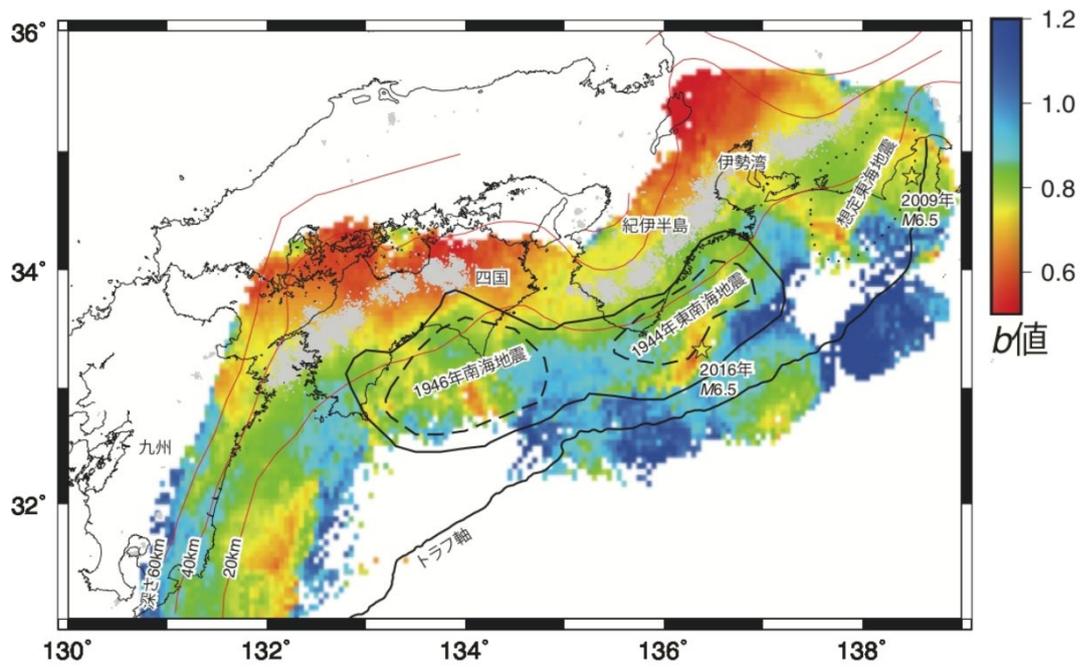


図10. 南海トラフ沿いのb値分布(楠城・吉田, 2017) (東京大学地震研究所 [課題番号 : 2902] )

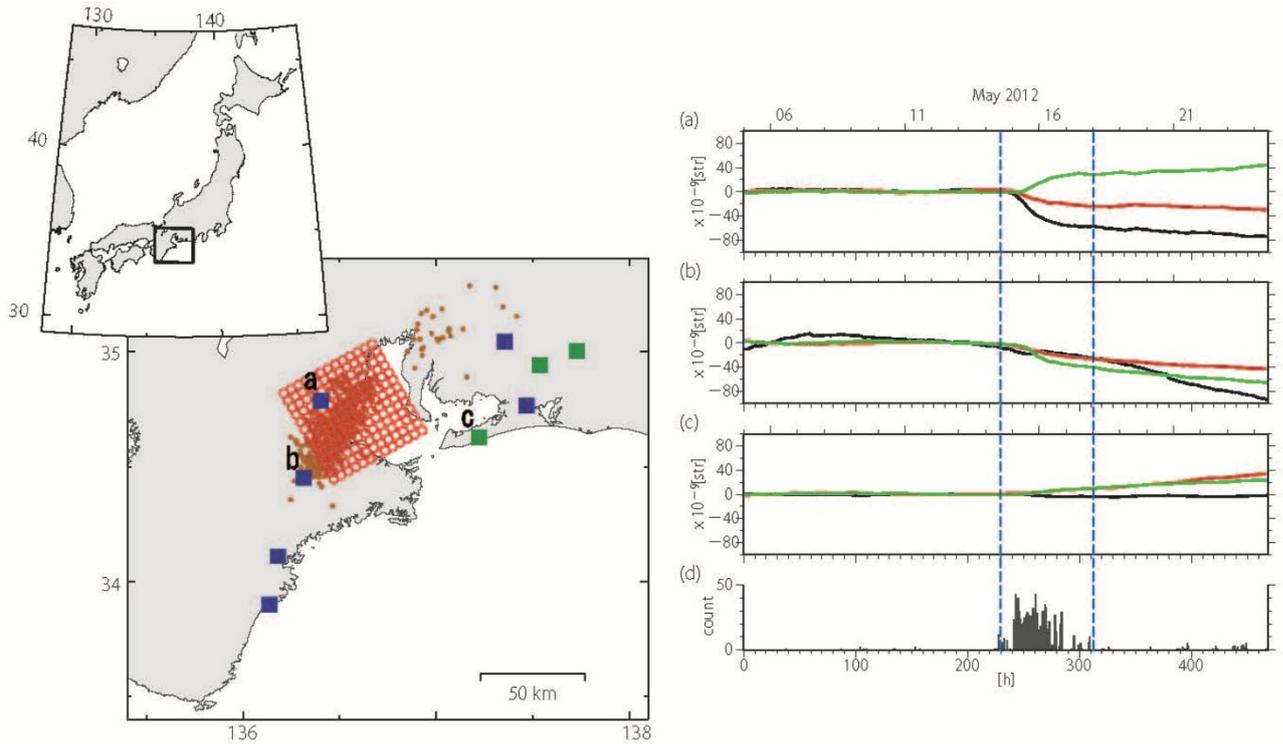


図11. 短期的SSEの検出と断層すべり分布の時空間変化の推定を同時に行う新手法 (Araki et al., 2017) による結果の一例 (産業技術総合研究所 [課題番号 : 5007] )

左上図, 四角: 研究対象領域. 左下図, 青四角: 産総研のひずみ計の位置, 緑四角: 気象庁のひずみ計の位置. 赤丸: 仮定した小断層の位置. オレンジの小丸: 深部低周波微動の震源位置. 右図, (a) (b) (c): 左下図に示した観測点 a, b, c での2012年5月のひずみデータ (トレント成分除去済). 青点線: 提案した方法によるSSEの開始と終了の推定時刻. (d): この地域で発生した微動の個数. 推定したSSEの開始時刻と終了時刻が微動の発生した期間と一致する.

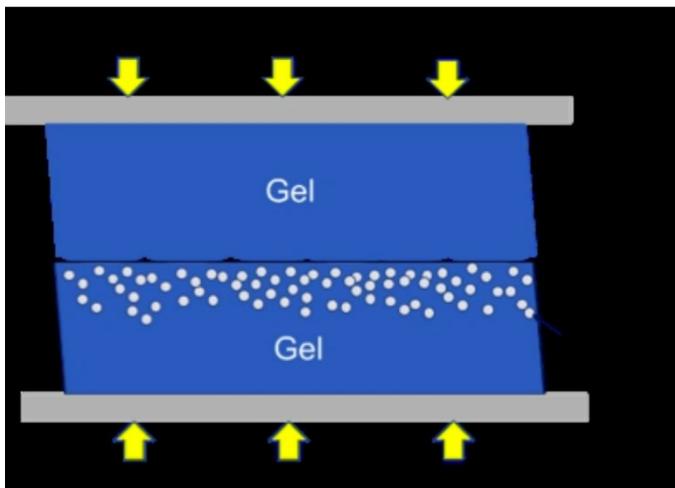


図12. 摩擦実験装置の概略 (東京大学地震研究所 [課題番号 : 1512] )  
面形状によるアスペリティを多数配置した。

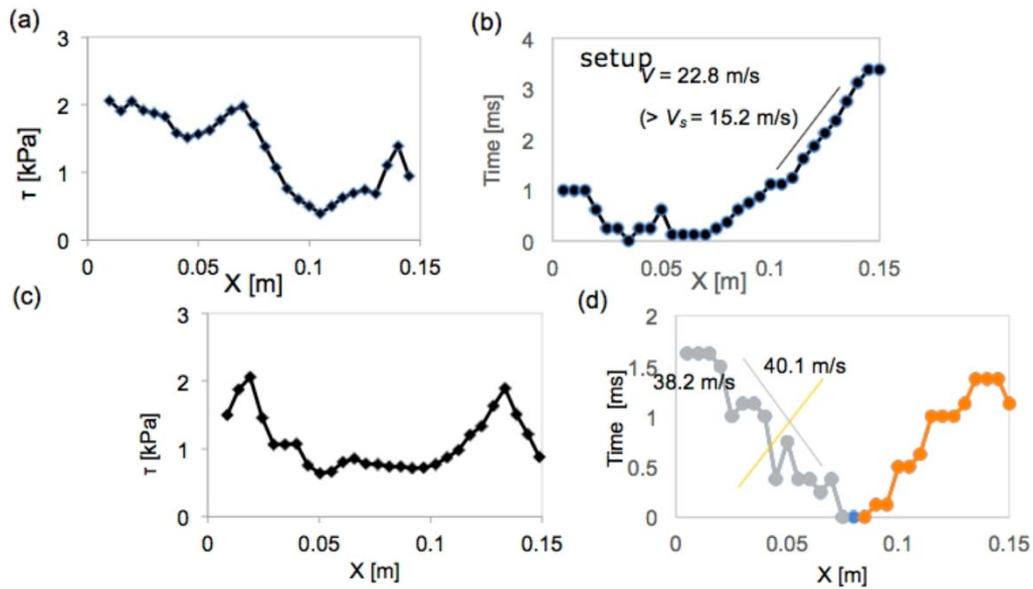


図13. 図12の実験装置での滑りイベント2回分の様子(東京大学地震研究所 [課題番号: 1512] )

(a) (b)が1回目, (c) (d)が2回目. (a) (c)は剪断応力, (b) (d)は滑り先端の位置。

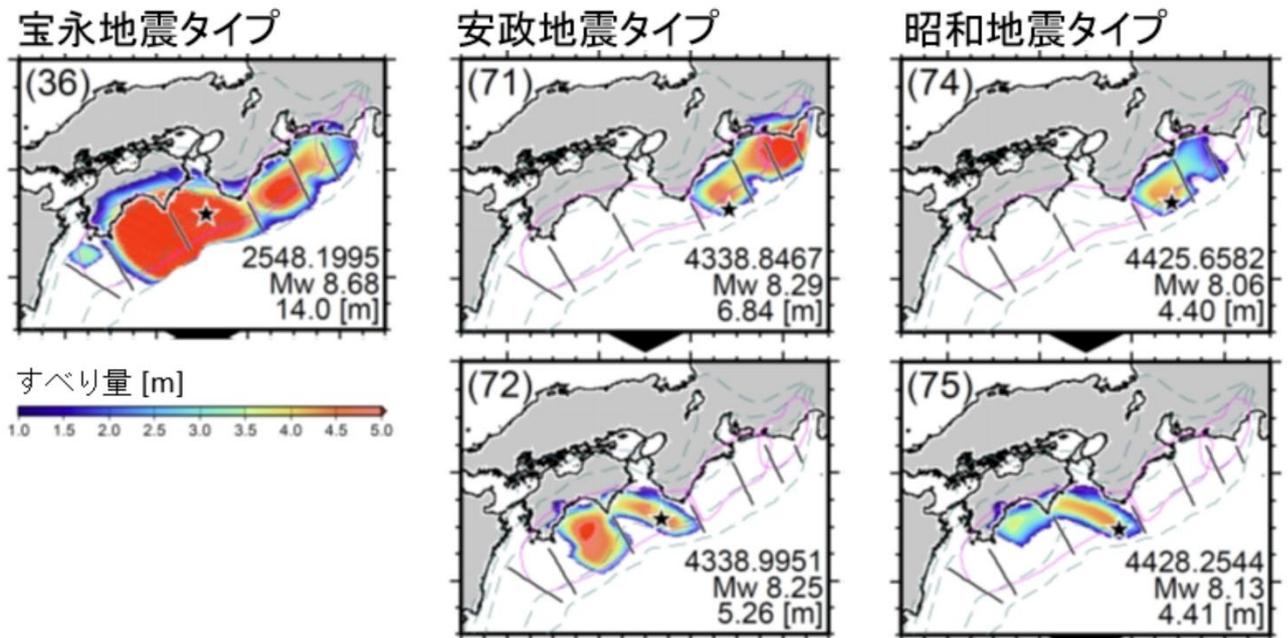


図14. 南海トラフ沿い地震発生シミュレーション (気象庁 [課題番号: 7006] )

各地震のすべり分布は概ね再現できている。

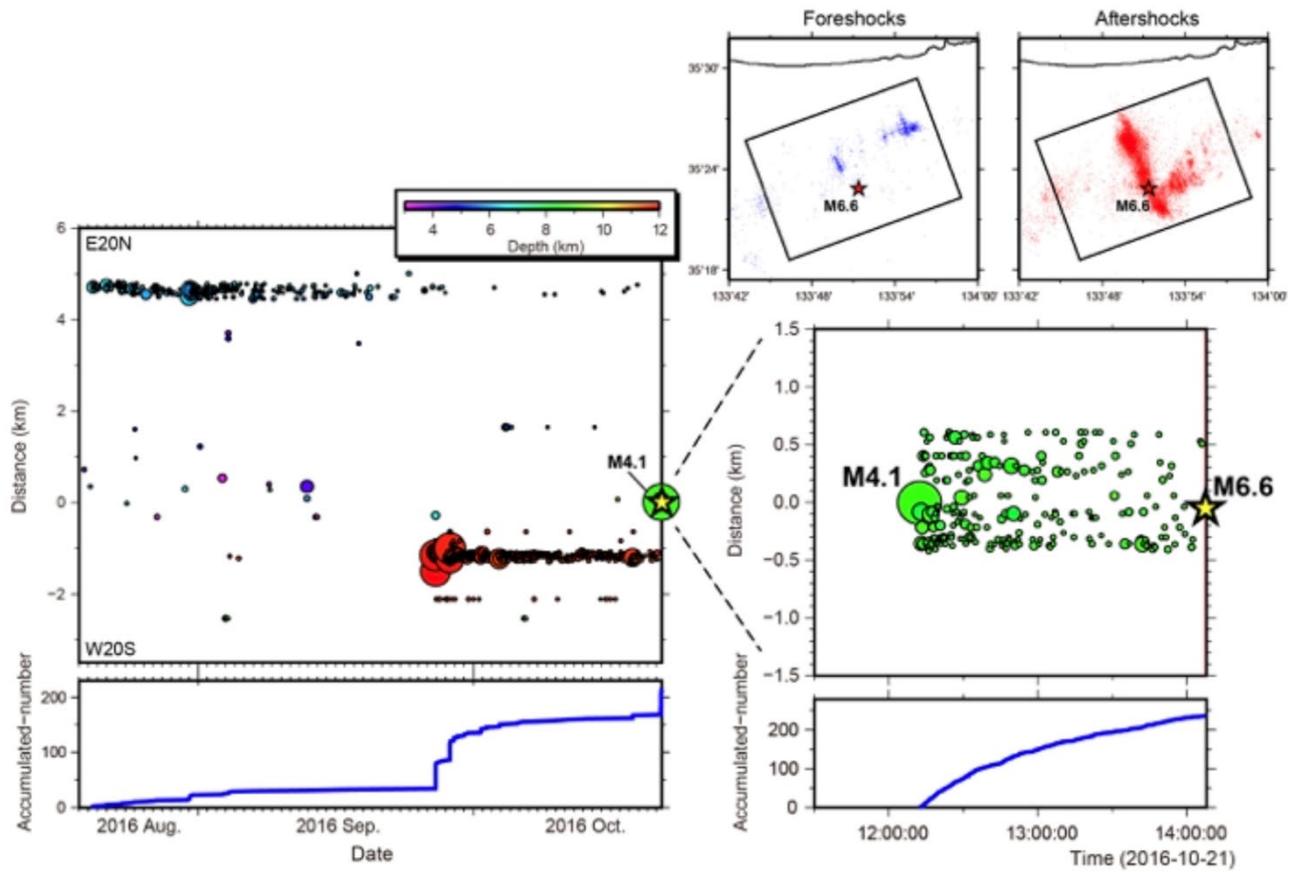


図15. 2016年鳥取県中部地震の発生前に見られた地震活動の時空間発展図（東北大学 [課題番号：1207]）

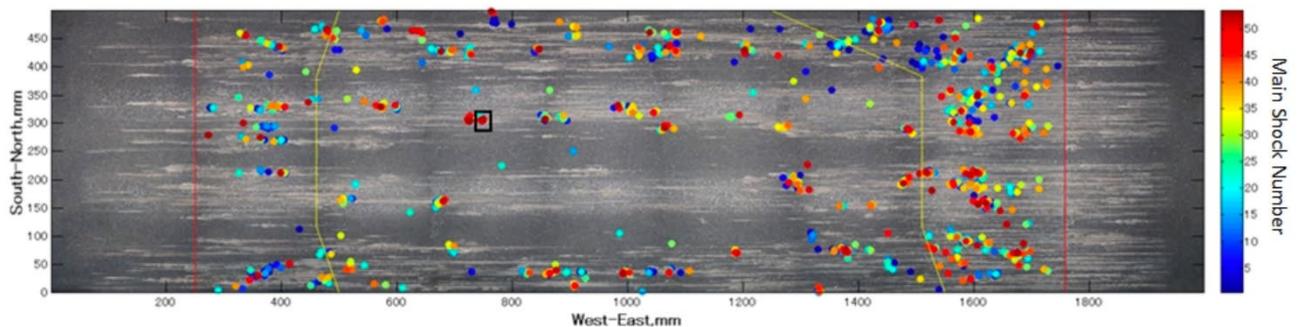


図16. リピーター的な前震を含む検知された全ての前震イベントの震源（立命館大学 [課題番号：2402]）

丸の色は対応する本震番号, 左右の赤線はこのランにおける上側試料の接触部分(断層)の範囲, 左右の黄線は弾性波センサのネットワークの範囲を表している。黒枠内の前震が最大のリピーター的な前震クラスター(図17参照)を構成している。

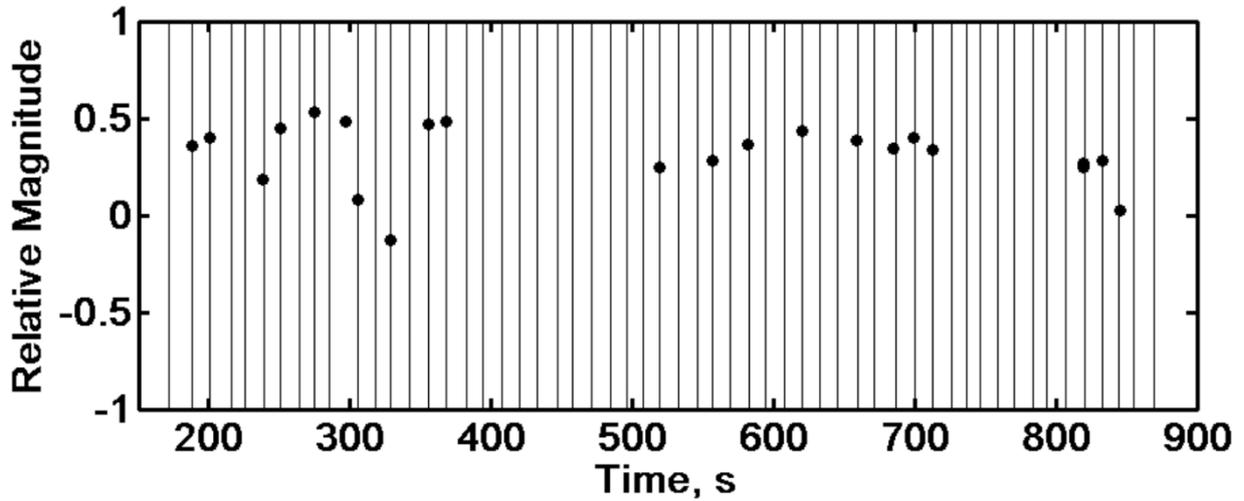


図17. 図16の実験で見いだされた最大のクラスターを構成するリピーターの前震の発生時刻と相対マグニチュードの関係（立命館大学 [課題番号：2402]）  
縦線は「本震」の発生時刻を表す。

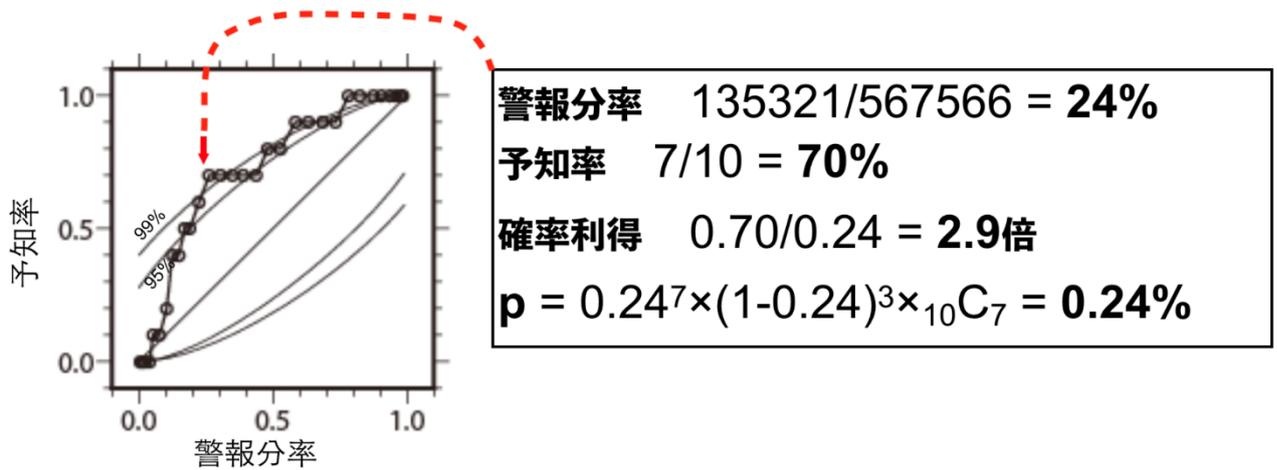


図18. 地震活動静穏化にもとづく予測マップの性能評価（東北大学 [課題番号：1206]，東海大学 [課題番号：2501]）  
静穏化継続の要件を様々に変えて描いたROC曲線。

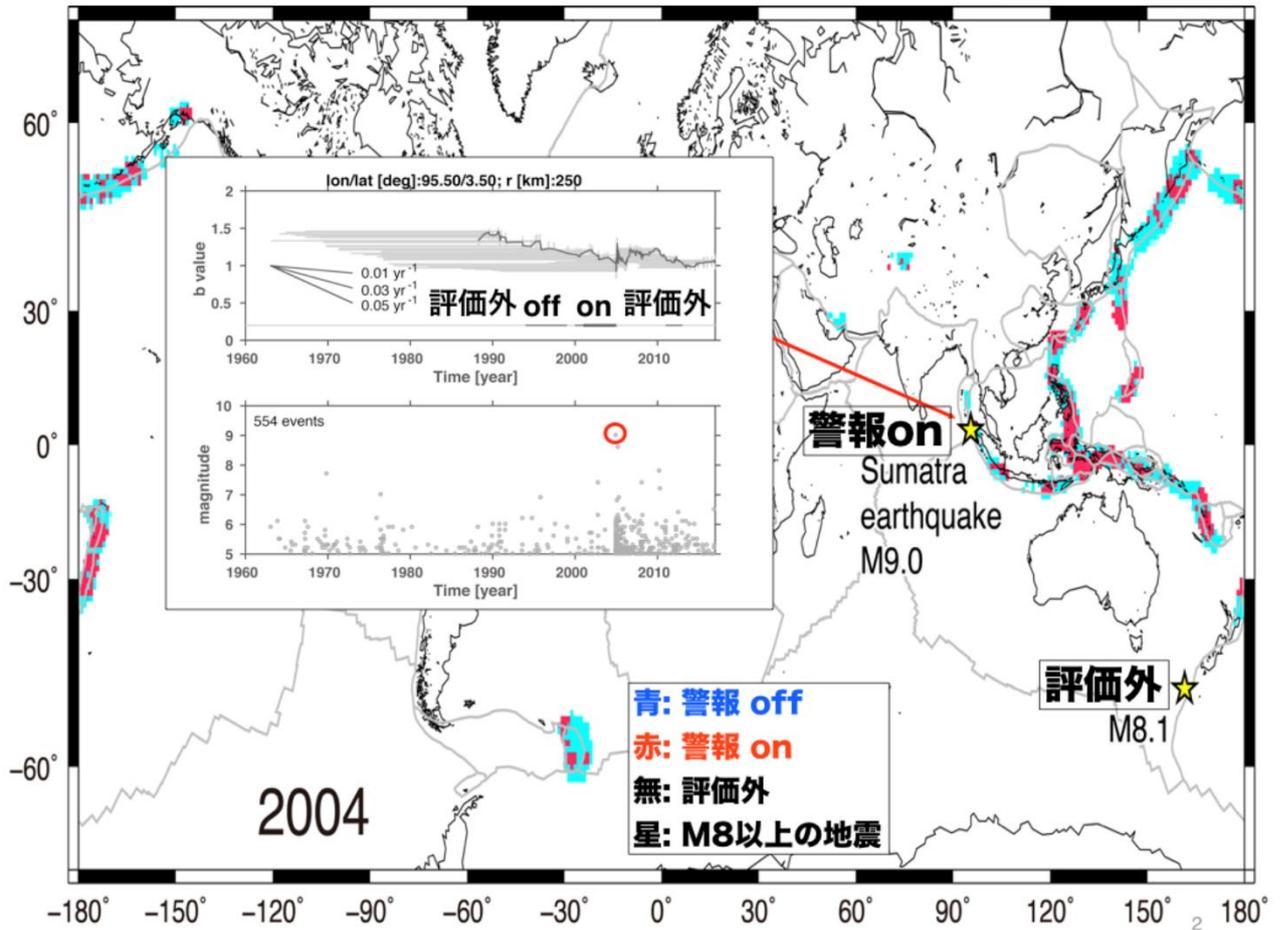


図19. b値解析による2004年のM8クラス地震の予測マップ(楠城, 2018) (東海大学 [課題番号: 2501] )

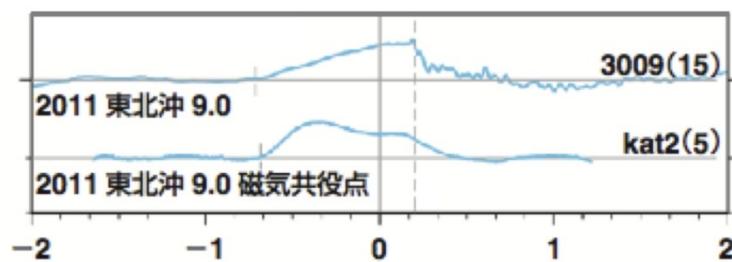


図20. 東北地方太平洋沖地震前後の地磁気共役点近傍のTEC変動(日置, 2018) (東海大学 [課題番号: 2501] )

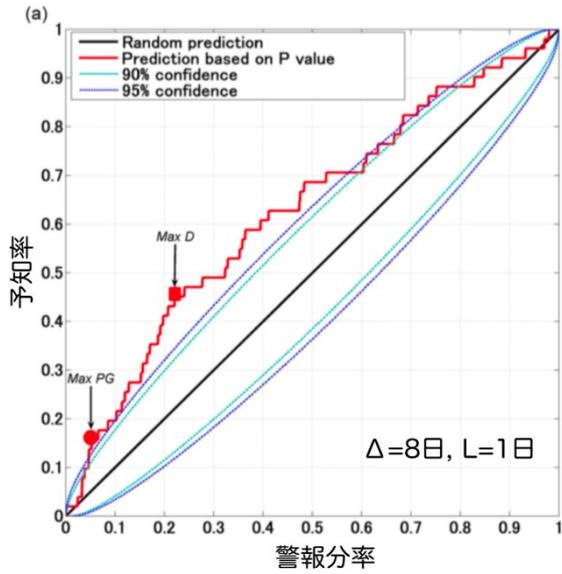


図21. 柿岡地磁気観測所の3成分地磁気データによる予測の成績(Han et al., 2017) (東海大学 [課題番号: 2501])  
異常定義の閾値を様々に変えて描いたROC曲線。



図22. 長野県南部の地震 (M5.6, 深さ7km) の震源付近から2日前に放射されたVLF帯パルス電磁波 (東海大学 [課題番号: 2501])  
黒丸は観測点。

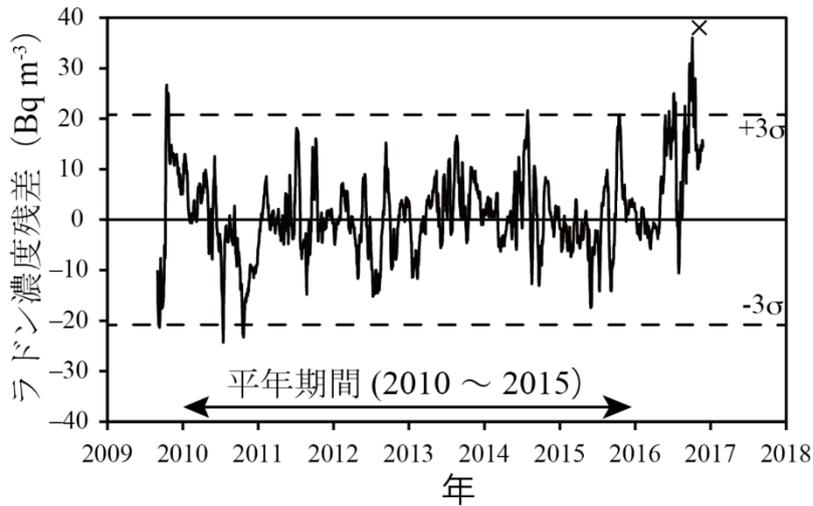


図23. 鳥取大学鳥取地区放射性同位元素施設(鳥取県鳥取市)の排気モニタの計測データによる大気中ラドン濃度変動残差(東北大学 [課題番号: 1207])  
 長期成分(経年変動成分)と季節変動成分を取り除いた残差値。×印は鳥取中部地震(Mj6.6, 深さ10 km)の発生日時(2016年10月21日)。観測点からの震央距離は32.5 km。点線は平年期間のラドン濃度残差値標準偏差の3倍を示す。

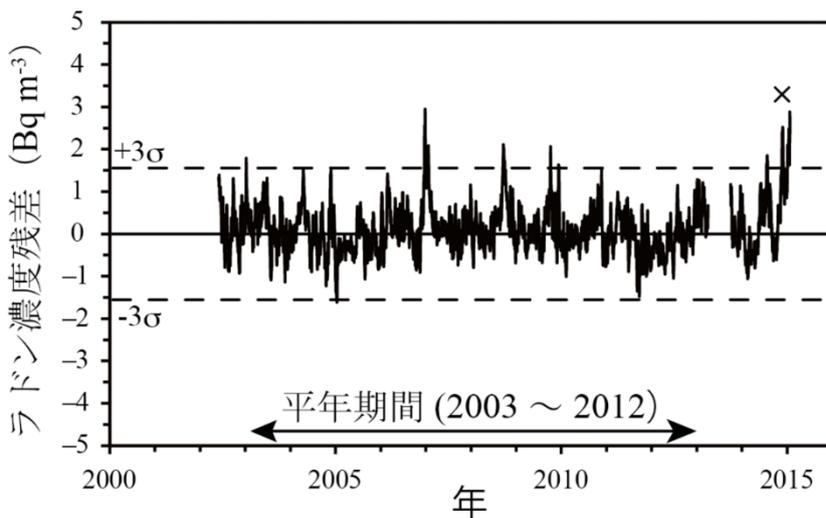


図24. 信州大学松本キャンパスRI実験施設(長野県松本市)の大気中ラドン濃度変動残差(東北大学 [課題番号: 1207])  
 長期成分(経年変動成分と12年周期成分)と季節変動成分を取り除いた残差値。×印は長野県神城断層地震(Mj6.7, 深さ5 km)の発生日時(2014年11月22日)。観測点までの震央距離は50 km。点線は平年期間のラドン濃度残差値標準偏差3倍を示す。

## 1 (5) 地震動・津波等の事前予測・即時予測

「地震動・津波等の事前予測・即時予測」計画推進部会長 香川敬生

(鳥取大学大学院工学研究科)

副部会長 太田雄策

(東北大学大学院理学研究科)

### 1. はじめに

地震、火山噴火に伴う地震動、津波、地すべり、山体崩壊、火山灰や溶岩の噴出などの災害誘因を、その発生前に高精度に評価しておくことは、これらの災害対策に資するために重要である。また、各種観測データの利用法や解析手法を開発、高度化し、地震・火山噴火発生直後に高精度かつ即時的に災害誘因の規模を予測して情報伝達することは、災害および2次災害の軽減にきわめて有効である。そのため本テーマでは、本計画で得られる地震発生や火山噴火の理解や構造モデルなど最新の研究成果を利用して、地震動・津波等の事前予測・即時予測を通じた災害軽減に資する研究を行う。同時に、事前予測・即時予測結果を効果的に社会に還元するため、防災工学や社会科学との連携、および防災に関する現業での活用を指向して研究を進める。

### 2. 平成 29 年度の成果概要

#### (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

##### A. 地震動の事前評価

##### ○震源モデルの高度化

2016年熊本地震本震では地表地震断層が生じるとともに、その近傍でみかけの周期が約3秒の長周期パルス波が観測された。このパルス波は断層走向と平行な成分に卓越しており、震源断層浅部のすべりに起因する地震動が主たる影響を及ぼしていることが、強震波形を用いた震源断層破壊モデルによってわかった。このような明瞭な地表地震断層が生じた地震の地表地震断層近傍での強震記録は国内では初めてと言えるが、国外では数例の観測記録がある。それらの記録を基線補正して地動速度、地動変位を求めた。1999年台湾・集集地震の震源近傍強震動には擬似速度応答スペクトルで周期5秒が、2016年ニュージーランド・カイコウラ地震の震源近傍強震動には周期10秒が卓越する継続時間の長い振動が見られ、地表地震断層近傍地震動の多様性が明らかになった。(京都大学防災研究所[課題番号:1903], 岩田, 2017)

2016年4月1日に熊野灘の南海トラフ・プレート境界で発生した $M_{JMA}6.5$ の地震の強震動生成域を経験的グリーン関数法により推定した(図1)。震源情報はWallace et al. (2016)がDONET1波形データを用いて決定したものを参照し、Global CMTのメカニズム解からプレート境界に対応する走向230度、傾斜18度の断層面を仮定した。強震動生成域の長さ、幅、ライズタイム、破壊速度、強震動生成域内の相対的な破壊開始点を未知パラメータとし、0.4~10 Hzの強震動波形モデリングに基づくグリッドサーチにより、最適な震源パラメータを推定した。ただし、強震動生成域の幅は長さに等しいと仮定した。海域及び陸域の強震波形記録を併用することで、必要な断層パラメータを精度よく決定することがで

きた。1,915,200通りの組み合わせを試した結果、最適解は、強震動生成域の長さ（＝幅）4.5 km、面積 20.3 km<sup>2</sup>、ライズタイム 0.32 秒、破壊伝播速度 3.3 km/s であり、浅い側から深い側に向かって北東方向へ伝播する破壊様式が推定された。強震動生成域サイズに基づく応力降下量は 22.1 MPa と推定された。求められた強震動生成域の面積と地震モーメントのスケーリング関係を、東北日本のプレート境界地震と比較したところ、同規模の東北日本プレート境界地震とは異なり、内陸地殻内地震のスケーリングに近いことが分かった。このことは、東北日本日本海溝と西南日本南海トラフのプレート境界地震では、震源特性（強震動生成域の応力降下量、スケーリング）が異なることを示唆している。ただし、今回の 2016 年熊野灘の地震の震源深さが 11 km と南海トラフ震源域の中でも比較的浅く、既往の東北日本のプレート境界地震に比べて浅いことが、地域による差異の原因である可能性もある。今後、海底観測データを積極的に強震動研究に活用していくことが必要である。（京都大学防災研究所 [課題番号：1903]，Asano, 2017(1, 2)）

測地学的データに基づくすべり欠損の設定、地形・地質・断層構造、地震活動、歴史地震などシナリオの多様性を反映した南海トラフ地震の震源モデル構築にあたり、各シナリオの重要構成要素として 3～4 種類のエキスパート・オピニオンを選定してロジックツリーの分岐を設定し、それぞれを単独あるいは等しく重みづけした場合のシナリオを作成し、南海トラフ地震の震源像を検討している。このような検討を通じて、震度と長周期地震動、津波高と浸水域といった従来型の地震津波ハザード評価に加え、新たに社会科学的な観点からの災害リスクとして、人口密度分布、産業が密集する太平洋ベルト、原子力および火力発電所分布を評価対象とする際の定量的な基準を作成した。（拠点間連携研究 [課題番号：2978]，Nishimura, 2018; Nishimura et al., 2018; 原田・他, 2017(1, 2); Miyake et al., 2017)

### ○地下構造モデルの高度化

関東平野における長周期地震動の生成・増幅特性には強い方位依存性があり、震源の方位（地震波の入射方位）によって生成強度が大きく変動し、東北方向で発生した地震で、いつも長周期地震動が弱くなることが指摘されている。同様の現象は、濃尾平野などでも指摘されている。長周期地震動増幅の方位変動が生まれる原因として、1) 震源から関東平野に向けての表面波の放射指向性の影響、2) 堆積平野の 3 次元構造による複雑な表面波増幅・伝播特性の影響、の 2 つが考えられる。ここでは、1) 震源からの放射特性の影響を評価するために、2004 年新潟県中越地震を対象として震源断層の走向を変えて波動伝播シミュレーションを行い、都心部での長周期地震動（6～8 秒）の速度応答スペクトルの強度を比べた。その結果、新潟県中越地震の断層走向では関東平野へのレーリー波の放射が強く、長周期地震動レベルが最大となる一方、2011 年福島県浜通りの地震では、関東平野へのレーリー波の放射が弱く、断層モデルの走向を 90 度回転させたシミュレーションの数分の 1 しかないことがわかった。また、新潟県中越地震では、断層走行を変えても都心での長周期地震動のレベルの変化は小さいが、福島県浜通りの地震では変動が大きく、震源メカニズムに敏感であることがわかった。次に、関東平野の 3 次元堆積層構造と長周期地震動増幅の方位的変動を、2 つの地震のシミュレーション結果をもとに検討した。求められた計算波形に対して Particle motion 解析と Wave Gradiometry 解析を行い、平野内を伝わるレーリー波の伝播方向と位相速度の時空間変動を調べた（図 2）。結果、新潟県中越地震で

は、関東平野の北東の熊谷～高崎周辺の深い溝状構造で表面波が焦点を結ぶように集まることで強い増幅が起き、これがゆっくりと都心に向かって伝わると同時に、関東の東側の山地を高速に伝わって都心に屈折した別の表面波とが合流した長い波群を作り出す過程が確認できた。一方、福島県浜通りの地震では、表面波が筑波山付近の浅く緩い堆積層構造を通過して平野に入射する際に、高速度構造から周囲の低速度構造に向かって波面がDefocusすることで振幅が小さくなること、都心にはその一部のみが伝わるために振幅が小さく、また揺れの継続時間も短くなることが確認できた。こうした特徴は、同方向で発生する他の地震でも共通に見られる一般的な現象であることも確認した。これらより、関東平野における長周期地震動増幅の方位依存性は、震源から平野に向けた表面波の放射特性と、平野の3次元堆積層構造における表面波の伝播・増幅特性の相乗効果で起きていると結論づけられた。(東大地震研 [課題番号: 1516], 向井, 2018)

近年、地震波干渉法を用いた地震波速度構造の研究が盛んに行われている。この手法を用いることにより、2地点間を伝播する表面波を抽出することができ、群速度を見積もることができる。これらは群速度トモグラフィや既存の速度モデルの評価に用いられ、モデルの更新に役立てることができる。本研究では、南西諸島で観測された上下動連続地動記録に対して地震波干渉法を適用し、各観測点ペアにおけるレイリー波の群速度を推定した。九州南端および南西諸島に設置されている防災科研のF-netの7観測点について、2013年から2015年の3年間の連続波形記録を使用した。連続波形を20分ずつ切り取り、地震計特性の補正や1-bit化処理などの前処理を施した。前処理を施したデータを用いて21観測点ペアについて相互相関関数を取り、この処理を3年分全てのデータについて行った。求めた相互相関関数をスタックし、観測ペア毎に周波数解析を行い、レイリー波の群速度を推定した。各相互相関関数には明瞭なピークが見られ、全てのペアについて観測点間距離で並べると、レイリー波の伝播が認められた(図3(a))。特に観測点間距離の長い鹿児島県の観測点KYK(永田)やTAS(田代)とのペアについて、負のlag timeにおけるピークが卓越することから、これらの観測点の周辺に微動源が存在することが強く示唆された(負のlag timeは北から南への伝播、正は南から北への伝播を意味する)。各観測点ペアで見積もられたレイリー波の群速度を地図上にプロットした(例えば周期30秒の場合について、図3(b))。また、背弧側を通る観測点ペアは群速度が速く、島弧側では遅いことが分かった。このことはこの地域で報告されている地盤や地殻の厚さの分布と概ね調和する。既存のモデルから計算した群速度と比較すると、既存モデルの群速度の方が速い傾向にあることもわかった。(東大地震研 [課題番号: 1516])

広帯域強震動予測のため、震源から観測サイトまでの地殻・地盤速度構造モデルの高度化を進めており、1) 奈良盆地の堆積層の3次元地下速度構造モデルの構築、2) 熊本平野や八代平野における長周期地震動特性を把握するための各観測地震動波形データの分析、及び、3) 地盤震動特性把握のため関東平野の中川低地帯、京都盆地における地震(強震)観測の継続を行った。奈良盆地は堆積層厚最大約600mと推定される堆積盆地で、奈良盆地東縁断層帯、生駒断層帯、中央構造線断層帯の金剛山地東縁セグメントなどの活断層に囲まれ、南海トラフ地震の想定断層面からも50～60kmと比較的近い距離にあるなど地震ハザードの高い地域であるが、その3次元地下速度構造のモデル化は十分ではなかった。平成25～27年度文部科学省委託研究「中央構造線断層帯(金剛山地東縁～和泉山地南縁)における重

点的な調査観測」のもと、奈良盆地堆積層速度構造モデルの構築が進められたが、このモデルをもとにデータの追加、モデル作成方法の改良、モデル検証の追加を行い、奈良盆地堆積層速度構造モデルの改良を進めた。モデルの表現方法については、堆積環境が類似していると考えられる大阪盆地の既往モデル化と同様に大阪層群の鍵層深度分布をモデル化し、堆積年代と深さの経験式で物性値構造へ変換するという方法を採用した。重力異常に基づく基盤岩深度データ、表層地質情報、ボーリングの岩着深度、反射法地震探査の基盤岩上面深度、微動水平/上下スペクトル比の卓越周期を用いて基盤岩深度モデルを作り、地質学的分析がなされたボーリングにおける層序モデルから設定した鍵層の深度比を求め、堆積盆地全体に適用して鍵層深度モデルを作った。鍵層深度モデルに当該地域に対して作成された物性値変換式を適用して堆積層速度構造モデルに変換した(図4)。得られた3次元堆積層速度構造モデルの妥当性の検討として、微動アレイ観測による表面波位相速度曲線との比較、小地震のシミュレーション波形と観測記録との比較を行った。盆地内の広い領域で、得られたモデルは既往の堆積層速度構造モデルに比べて高い地震動再現能力を示すことを確認した。

一方、熊本県の熊本平野、八代平野は、堆積層厚が数百m以上あると考えられ、大地震発生時に長周期地震動に見舞われる可能性があると考えられる。この地域では、K-NET、KiK-net強震観測点及び熊本県震度情報観測ネットワークシステムにより、2016年熊本地震後に発生した多数の余震記録が得られている。これらの波形データを用いて、スペクトルインバージョンにより、震源特性、サイト特性、Q値を推定した。平野内や、阿蘇カルデラ内の観測点のサイト特性は、周期1秒以上の長周期帯域での増幅が顕著であることがわかった。今後、地下速度構造モデル情報を利用して、モデルの観測説明性などを確認する。また、堆積盆地構造の地震応答を実測し地盤構造モデルの改良に用いるため、京都盆地および関東平野の中川低地で既設強震観測点での観測を継続している。(京大防災研[課題番号:1911], 関口・他, 2018)

2011年東北地方太平洋沖地震時に東京湾西岸部で周期2~3秒の長周期地震動が局所的に観測された。微動の共同観測から浅部および深部地盤の影響を明らかにした。この周期帯域は、地盤増幅の非線形性も含めて浅部地盤による影響が支配的であると考えられるが、深部地盤の影響も無視できない。現状での強震動評価では浅部地盤と深部地盤を分けて考慮することが多いが、周期2~3秒の長周期地震動の評価には、浅部深部統合地盤モデルが必要であることを示唆している(図5)。(拠点間連携研究[課題番号:2988], Viens, 2017; 津野, 2017; 地元, 2017, 2018)

巨大地震時における土木・建築構造物等の社会インフラ施設の被害リスク評価に供するため、地盤物性の強非線形性やばらつきを考慮することにより、巨大地震に対しても適用可能な浅部地盤増幅率の高精度な評価手法の開発を目指し、公表資料と施設建設過程の情報収集に基づく浅部地盤のモデル化手法と地震応答特性の評価精度検討、表層地盤構造のモデル化手法が地盤増幅特性評価のばらつきに与える影響評価、地盤の非線形性を考慮した表層地盤増幅率の評価法に関する検討、を実施した。非液状化解析と液状化解析により得られた表層地盤増幅率は良く対応するものの、簡易的な液状化判定指標であるPL値の増加とともに両者がやや異なる傾向を示すことが示された。今後より詳細な検討が必要である。

(拠点間連携研究 [課題番号: 2990], Hlaing and Ichii, 2018; 是永・他, 2018; Adapa et al., 2018)

### ○強震動評価の高度化

大地震の際に平野で強く生成する長周期地震動(周期3-10秒程度の)は、浅い震源から放射された表面波が平野に伝播し、これが平野の堆積層で強く増幅されたものであり、S波の後から始まる「後揺れ」現象として広く理解されている。ところが、2004年新潟県中越地震では、震源から関東方向にかけての近地強震記録に、P波の到達直後からS波到達までの間に、周期5-10秒の大震幅かつ長時間継続する長周期の地震動成分が確認され、Radial成分と上下動成分に認められ正分散性を示すことと、Progradeの震動軌跡を持つことから、PL波と判断された。PL波は、表面波の特性方程式の虚数解に相当する“Leaking mode”であり、レーリー波基本モードに比べて距離減衰が大きい特徴がある。しかしながら、新潟県中越地震で観測されたPL波は震源距離100-300 km以上にわたって大きな振幅を保ちながら伝播し、堆積平野で強く増幅されることで後続のレーリー波と同程度の強い振幅をもたらすことがわかった。日本の内陸浅発地震においてPL波が強く生成・伝播する過程を、JIVSMモデルに基づく3次元地震波動伝播シミュレーションから評価した。その結果、浅い震源から放射されたP波が地殻内で広角反射(PmP)を繰り返し、長周期帯で干渉を起こすことで長周期(5-20秒)PL波が生成する過程、堆積層の存在により地表面でPP反射係数が増大し、逆にPS反射係数が減少することでより強いPL波が生成する過程も確認できた。また、堆積層により、SmS波が強いSP変換波を生成する結果、これも長いPL波群を形成する原因となることも確認できた(図6)。PL波とレーリー波の生成強度は震源の深さに強く依存する。そして、PL/レーリー震幅比が一定であることを利用して、PL波から後続のレーリー波の震幅を予測するなど、長周期地震動の早期予測への利用が期待できる。ただし、大振幅かつ継続時間の長いPL波自体が早い時刻に到着することは、長周期地震動の地震防災上の課題である。

W-phase(Kanamori, 1993)は、浅い巨大地震( $M_w > 8-9$ )が起きた際に、遠地(5,000-10,000 km)記録においてP波とS波の間に見られる超長周期( $T=100-500s$ )の波群である。W-phaseは、PP, PPP, PS, SS, SSS波などの複数の波群が干渉して生まれると考えられている。W-phaseのCMTインバージョンに基づく震源パラメータの推定と津波警報は、W-phaseの早い到着時刻と、巨大地震でも振り切れにくい小さな震幅の特性を生かしたものである。近年、近地強震記録を用いたW-phaseインバージョンにより、中規模地震( $M_w < 6-7$ )への適用が進められている。W-phaseの生成と伝播特性を確認するために、3次元差分法により2011年東北地方太平洋沖地震の遠地地震波動場シミュレーションを行った。P波、S波速度構造にはak135モデルを用い、Earth flat手法により球殻地球の効果を計算に取り入れた。計算結果から、曲率を持つ地表面と上部マントルの速度勾配により強いPP, PPP反射波が発生し、これらの長周期帯成分が干渉しあうことで遠地( $D > 3000-5000$  km)にW-phaseが生成される過程が確認できた(図7)。W-phaseの振幅は、PP, PPP波が地表に焦点(caustics)を結ぶ、震源距離3000 km, 5000 km付近で特に大きく、また伝播とともに正分散性を持つ長い波群が形成される様子も良く再現できた。なお、W-phaseは、先に説明したPL波と生成・伝播過程が類似の、時空間スケールの異なる現象、すなわち、W-phaseは低速度の上部マントル(660 km厚)を伝わる超長周期( $T=100-1,000$  s)の波群であるのに対して、PL波

は低速度の地殻（35 km 厚）を伝わる長周期の波群（ $T=5-30$  s）であることがわかる。近年進められている、近地地震波形の W-phase インバージョンの対象は、実は PL 波として知られた波群であると言える。（東大地震研 [課題番号：1516]，Furumura and Kennett, 2017; Kennett et al., 2017; Maeda et al., 2017; Todoroki et al., 2017）

気象庁マグニチュード（Mj）は固有周期 5～6 秒の変位計で記録される地震波形振幅に対して、震源～観測点距離による地震波の距離減衰を補正して求め、これを観測点間で平均することで得られる値である。Mj と Mw の差についてこれまでも多くの研究者らにより検討されてきたが、1995 年以降に起きた近年の地震について Mj と Mw（グローバル CMT 解（GCMT）を参照）を比較したところ、Mj は Mw より 0.1～0.2 程度大きいこと、特に西日本の大地震において Mj が Mw より 0.3～0.7 も大きい場合があることがわかった（図 8）。2000 年鳥取県西部地震では Mw=6.7 に対して Mj7.3 という大きな値を示し、1997 年山口県北西部の地震（Mw6.6; Mj5.8）も Mj-Mw 差が大きな地震の一つである。こうした Mj の過大評価は、地震規模と強震被害の議論や、地震規模と地表地震断層の出現の可能性の議論など、地震防災上数々の問題を引き起こす。また、地震活動（b 値）の評価にも大きく影響することが心配される。西日本の地震で Mj が大きくなりやすい原因の可能性として、まず平野の観測点での変位振幅のサイト増幅の影響が考えられる。そこで K-NET, KiK-net 強震記録から各観測点でのサイト増幅係数をインバージョンによって求めた。そして、変位振幅からサイト増幅を補正した後に、2000 年鳥取県西部地震の Mj の再推定を行ったが、補正前に比べて観測点毎の Mj 推定値のばらつきは減少したものの、震源距離とともに遠地観測点での Mj 推定値が増大する傾向がより明瞭となった。このことは、変位振幅（周期 5～6 秒程度の表面波）の距離減衰が西日本では小さいことを意味しており、距離減衰係が 1.02 相当の値となることがわかった。これは、Mj 推定で用いられる距離減衰係数（1.73）に比べ有意に小さい。そして、この違いが、表面波伝播に寄与する地殻浅部（深さ 5km 程度）の Q 値によるものと考えると、西日本と東日本の Q 値が 3 倍程度違う（西日本の Q が大きい）ことに対応することが確認できた。なお、周期 5～6 秒以上の長周期の地震波を評価しない Mj は、震源スペクトルが長周期化する大地震（ $M>8$ ）で頭打ちすることが良く知られている。これとは逆に、西日本の M6～7 規模の地震では、周期 5～6 秒程度の表面波が良く伝播するために、Mj 推定値が大きくなることにも注意が必要である。（東大地震研 [課題番号：1516]，河本，20118）

2003 年十勝沖地震と 2011 年東北地方太平洋沖地震について、強震動生成域に対する、強震動予測式の適用可能性を調べた。K-NET, KiK-net で記録された波形のアスペリティ、SMGA からの PGA, PGV を、その強震動生成域の Mw に対して距離減衰式と比較し、過小評価となることを示した。このような強震動を生成する領域を地球物理学的に事前推定することの可能性や、同領域と観測される強震動との関係等について検討を行い、強震動予測モデルの高度化を目指して、巨大地震によって誘発される大地震の発生に関するハザード評価も行う。（拠点間連携研究 [課題番号：2991]）

#### イ．地震動による構造物被害の事前評価

これまで提案されてきている経験的な被害予測モデルを精査するとともに、構造物の非線形応答解析を用いた物理モデルによる被害予測の評価手法に関する研究を行い、特に人的被害に直結した構造物の倒壊・崩壊等の大被害の高精度評価を念頭に、両者を統合した新

たな被害予測手法の開発を目指している。海溝型地震による木造建物の被害予測モデルをチューニングし、高振動数をカットするフィルターを最適化するとともに、その適切性について検討を加えた。さらに内陸地殻内地震の強震動に対してもそのフィルター定数で大きな変動が生じないことも検証の必要要件とした。その結果カットオフ振動数 1Hz、ロールオフ振動数 2Hz のハイカットフィルターを適用することが最も適切であることを検証した。熊本地震に対しては被害の最も顕著であった益城町における再現強震動を地盤構造を求めて等価線形解析により計算し、上記被害予測モデルに適用して観測被害率と比較した。その結果、空間的な分布は再現できなかったが全域の平均的被害率は提案モデルで概ね再現できることが示された。（拠点間連携研究 [課題番号：2979]）

#### ウ. 地震による地すべりの事前評価

南海トラフおよび相模トラフの海溝型地震によって発生した大規模崩壊、および、2016年熊本地震によって発生した降下火砕物斜面の崩壊について、航空レーザー計測による地形解析、現地調査、および室内分析によってそれらの特徴を明らかにし、共通する地質・地形的特徴を抽出した。既往の南海トラフおよび相模トラフの海溝型地震による大規模な崩壊は、特に外帯の付加体に発生しており、地質構造的には流れ盤斜面の座屈した地層と曲げトッピングを起こした地層に発生している場合が多いこと(図9)、さらに、これらは地形的特徴と概略地質構造によって抽出可能であることが明らかになった。熊本地震による降下火砕物斜面の63か所の崩壊を調査した結果、それらのすべり面が層序的に特定され、最も多いのは約3万年前の草千里ヶ浜軽石、次に約7千300年前の喜界アカホヤ火山灰近傍の暗色土であることがわかった(図10)。これらの層には、層序を反映した化学成分の移動・集積によって粘土鉱物のハロイサイトが生成しており、層序と風化作用の両面から地震時崩壊発生場所予測を行う見通しが得られた。

地震による地すべりの発生を議論するためには、地すべりブロック内での地震動のばらつきを評価する必要がある。紀伊山地内の重力変形斜面と北海道の海岸地すべり地内において実施した多点地震観測のデータを用いて、地形や斜面内部の不均質構造による地震時の斜面の震動の多様性を推定した。また、阿津江大規模再活動地すべり地において、稠密微動観測を実施した結果、移動土塊の境界附近において、斜面振動の最大増幅方向はほぼ一緒に、斜面傾斜方向に平行していることと、移動土塊の中心部付近では、地すべり土塊が厚くて不均質であるため、最大増幅の方向はランダムに分布していることが分かった。

また、前年度開発したアスファルト舗装道路において盛土内の浅い地下水位を推定するための屈折波探査手法を、地下水位がわかっている谷埋め盛土において適用した。その結果、沖積低地内では明瞭な地下水面からの屈折波が検出され、盛土内でも不明瞭ではあるものの屈折波が検出された。さらに、2016年熊本地震において、変位領域の背後側に開口亀裂が広範囲に生じた阿蘇谷でボーリング調査をおこなった。阿蘇谷にはAso-4以降の湖成層が広く分布するが、ボーリング調査の結果、変位領域下は周囲に比べ特に湖成層が厚くなっていることが示唆された。（京都大学防災研究所 [課題番号：1912]，千木良，2017；千木良・他，2017；土井・他，2017(1, 2)；Doi et al., 2017(1, 2)；Ma et al., 2017(1, 2)；Wang et al., 2017)

斜面崩壊による地震動の特徴を把握するため、a) 観測点間の振幅比を用いた地震動励起源の推定、b) 地震動の特徴の抽出、c) 現地調査から推定される斜面崩壊の特徴との比較、

をおこなった。その結果、2017年5月19日長野県飯山市の土石流では、その発生域は地震動の励起源として観測点間振幅比の再現誤差が小さくなる領域に位置すること、地震動は土石流発生域から半径70km圏内で検出され、100-200秒の継続時間を持ち、卓越周波数は0.5～3Hzであることがわかった（図11）。同様の解析を大分県日田市の事例に対してもおこなった。また、開発してきたシミュレーション・コードの適用を目指して、長野県飯山市における土石流による地震動の再現を実施した。（拠点間連携研究〔課題番号：2994〕，土井，2017(3)；土井・前田，2018；土井・他，2018；Maeda et al.，2017；Todoroki et al.，2017；Toya et al.，2017；Morioka et al.，2017；Mukai et al.，2017；Padhy et al.，2017；Kanaya et al.，2017）

2016年熊本地震を対象に、詳細数値地形図を用いて、地震によって崩壊が発生した箇所の範囲やどの部分から崩壊が発生したかなどの検討を行った。新たに開発した手法では土塊の移動経路を把握する事が可能となり、崩壊の初期段階で土塊がどのように運動していたのかを検討することができるという利点を有する。また、これらの手法を用いて、南海トラフの巨大地震に対して崩壊の危険性の大きい箇所の抽出特定を、紀伊半島の四万十帯に位置する風屋ダム周辺で実施した。（拠点間連携研究〔課題番号：2996〕，齊藤・他，2018）

## エ．火山灰や溶岩噴出の事前評価

2017年5月に噴火活動が再開した西之島において噴火様式の観察を海洋気象観測船上で行った結果、継続する溶岩流の他、1時間に1回程度のブルカノ式噴火と1分に1回程度のストロンボリ式噴火が発生していることを確認した。噴火が継続する西之島の火口から約2km地点の噴煙下を海洋気象観測船で繰り返し横断して火山灰の観測を実施し、 $220\text{kg}/\text{m}^2/\text{day}\cdot\text{m}$ の降灰強度であることを確認した。この降灰強度は2016年の桜島における同程度の距離の年平均と同程度であった。

2016年10月8日阿蘇山噴火の降灰予報について引続き検証した。降灰の観測あり／なしに対する領域移流拡散モデルの予測あり／なしのカテゴリー検証結果からは、噴煙高度13.1km（海拔）の場合が最も降灰分布を再現することを示した。また花粉センサーでは同事例の降灰現象は捉えられていなかったことを確認した。2017年10月新燃岳噴火について、遠望カメラにより噴煙高度が確認できた11日～14日の降灰予測を領域移流拡散モデルにより実行した。このうち14日8時23分再噴火後の降灰は湿性沈着の影響があることを示した。

2015年以降、2017年までの気象場の下で、富士山および桜島の大規模噴火を想定した領域移流拡散モデルによる降灰シミュレーションを行い、計算結果を蓄積した。ひまわり8号による火山灰プロダクトを用いて全球移流拡散モデルの初期値に同化するシステムの開発を進めた。2015年5月29日の口永良部噴火において、火山灰プロダクトを全球移流拡散モデルの初期値に同化することによって、予測精度が向上し、大気中の火山灰濃度予測の可能性を示した。現業者解析を観測値として同化システムを実行するシステムを作成し、気象庁スーパーコンピュータシステムに環境を構築し試験運用を開始した。（気象庁気象研究所〔課題番号：7010〕，Ishii et al.，2018；新堀，2017）

## (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

### ア．地震動の即時予測

現在の緊急地震速報で用いられている“震源とマグニチュードの早期決定”という考え方に加えて“揺れから揺れを予測する”という考え方で研究を進めている。これにより、

これまで以上の精度や堅牢性、迅速性が得られる見通しを得ており、本年度は速度構造、減衰構造のより詳細な推定方法を進めるとともに、さらなる迅速化のために（S波群中の）P波を抽出する方法を開発した。また、強震動入力時の海底地震計の挙動の考察を進めている。“揺れから揺れを予測する”という考え方を長周期地震動に対して応用するために、地盤増幅特性による地震動継続時間の予測について考察を進めている。（気象庁気象研究所 [課題番号：7008]，Kodera, 2018；Kodera et al., 2018；干場, 2017）

不均質減衰構造を考慮した地震動即時予測プログラムを用いて、2005年3月に発生した福岡県西方沖の地震(Mj7.0)について地震動即時予測シミュレーションを行った。結果は熊本地震の場合と同様に、不均質な減衰構造を考慮することによって震度予測精度のRMS値が約10～15%改善することが確認できた。福岡県西方沖の地震のシミュレーション結果を検討すると、不均質構造を考慮することにより九州中部などの強減衰領域での予測精度が向上する一方、震源からみてその強減衰領域の影となる地域でやや予測精度が悪化しているようである。この結果は2次元空間にて行っている地震動予測シミュレーションと実際の3次元空間の波動伝播の違いによる可能性があるため、内部減衰と散乱減衰の3次元不均質構造推定に取り組むこととした。Eulenfeld and Wegler (2016)とTakeuchi (2016)の定式化を活用して3次元不均質構造を推定したところ、解像度の詳細な検討が必要であるものの、九州中部で内部減衰・散乱減衰が、共に深さ依存性を持つような結果を得ることができた(図12)。福岡県西方沖の地震のシミュレーション結果は、不均質構造の3次元性を考慮する必要性を示している可能性がある。また、熊本地震の震源域周辺の高解像度な速度構造推定結果に関して、3次元の減衰構造とともに不均質速度構造も考慮することによって、地震動即時予測の精度がより向上するものと期待できる。しかし、これらの3次元構造を取り込むには3次元の波動場を再構成する必要がある。今後はより精緻な構造推定とともに、その構造を地震動即時予測に取り込むための技術開発に取り組んでいく。（公募研究 [課題番号：2935]，小木曾, 2017；小木曾・他, 2017；Ogiso, 2017；Ogiso et al., 2017；志藤・他, 2017；Shito et al., 2017）

上記研究のように揺れの実況分布から揺れの伝播を予測するには、観測点密度が重要なため、気象庁観測点よりも高密度で配置されている自治体震度計の利活用を目指した検討を行っている。鳥取県管理の計測震度計34点（県内の気象庁観測点は6点）から、1秒パケットのリアルタイム震度と最大加速度値を鳥取県情報ハイウェイを介して安定的に受信している。この情報を面的に補間し、気象庁緊急地震速報で新たに導入されたPLUM法の概念を用いて、現在時刻より未来の震度伝播を予測・表示するシステムの開発、試作をおこなった。2016年10月21日に発生した鳥取県中部の地震のリアルタイム震度を模擬したデータおよび実際に発生した余震データでの検証をおこなっている(図13)。加えて、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。これまでの調査が粗な地域のうち、北栄町、湯梨浜町小鹿谷・高辻地区、岩美町および鳥取市鹿野町および吉岡断層周辺部を対象とし、既往データを補間した卓越周期分布および浅層地下構造モデルを得ることができた。また、平成28年鳥取県中部の地震(M6.6)の被災域での調査観測には、常時微動を用いた地盤卓越周期では説明できない、非線形地盤応答による卓越周期の長周期化が見られた。常時微動による地盤震動特性の稠密把握を強震下での地震防災に役立て

るため、非線形地盤応答の実態について検討をおこなった。(鳥取大学工学研究科 [課題番号: 2001], Kagawa et al., 2017, 香川, 2017, 2018; 香川・野口, 2017, 2018, 香川・他, 2017(1, 2, 3); 野口・他, 2017(1, 2, 3); 吉田・他, 2017(1, 2))

観測記録を用いて建物応答を予測するための精度向上を検討している。まず、緊急地震速報による震源情報を距離減衰式(以下GMPE)に用いて応答スペクトルを推定する。次に、防災拠点建物の観測記録を用いて誤差指標を算出し、周辺建物の応答スペクトルを補正する。最後に建築構造物の限界耐力計算設計法の一部で使用されるCapacity Spectrum Method(CSM)を用いて周辺建物の最大変形を推定している(図14(左))。東京都内の15棟の建物とK-NETの観測記録を用いて検証を行った。15棟分の観測記録を用いて提案手法の精度の検討を進めた結果、提案手法によってGMPEによる推定誤差を改善できた(図14(右))。特に提案手法の精度は、建物種別に関係なく、応答が大きいほど高くなる傾向が確認できた。(拠点間連携研究 [課題番号: 2981], 和田, 2017; 和田・他, 2017, 2018)

### イ. 津波の即時予測

日本海溝・千島海溝に沿って約150の津波計(圧力計)と地震計がケーブル式ネットワークシステム(S-Net)として設置され、観測が開始された。今年度は、地震発生後500秒の圧力観測波形を利用して津波発生域を推定する手法を開発した。まず、M8クラスのプレート境界型地震が北海道太平洋沖で発生すると仮定し、長さ140km、幅70kmの断層をプレート境界に分布させ、海底地殻変動及び津波を計算し、S-Net観測点での圧力波形(地震発生後500秒)を出力した。それらの波形の特徴から即時に津波発生域(海底隆起域)を推定する手法を開発した。推定手法ではまず、圧力波形を3タイプに分類した(図15(上))。タイプ1は地震発生からすぐ水圧が下がりはじめ、500秒たっても回復しない。タイプ1の観測点は津波発生域(海底隆起域)直上にある。タイプ2は水圧が上昇し、その後下降する。タイプ2の観測点は500秒以内に津波第1波を観測しており、津波発生域近傍に位置する。タイプ3はそれ以外の波形とした。タイプ3の観測点は津波発生域から離れている。これら3タイプの分類から自動的に津波発生域を推定する手法を開発した(図15(下))。この手法によりS-netを用いることで、地震発生から500秒でM8クラスの津波発生域はおおよそ推定可能であることが分かった(図16)。この手法は観測圧力波形の分類だけを用いており、複雑な解析を必要としないのが最大の特徴である。

2016年4月1日ケーブル式津波観測網(DONET)の直下で三重沖地震(M6.5)が発生し、圧力波形は観測網で観測された。観測圧力波形(地震発生後10分)を使用し、インバージョンにより海底地殻変動を推定した(図17)。推定された海底地殻変動は解像度が良く、その海底地殻変動からグリッド断層モデルを推定すると、断層サイズ(14km×7km)、傾斜角9度、走向216度、すべり量29cmとなり、断層位置が精度よく推定され、プレート境界で発生したことが明確に示された。さらに、直上での津波観測網が津波即時予測に有効であることが実際の観測波形により明確になった。

上記のようなケーブル式津波観測網がない地域では、地震波形解析により適切な断層モデルを推定する手法を開発する必要がある。特に明治三陸津波や1992年ニカラグア津波のように津波が非常に大きくなる津波地震に対応できる断層モデルを適切に推定することが重要となる。深さに依存する剛性率を仮定することにより、津波地震による津波浸水予測にも対応できる手法を開発した。まず、W-phaseインバージョンにより断層パラメータを得る。

その結果とBlaser et al. (2010)のスケーリング則により断層長と幅を推定し、さらに剛性率からすべり量を推定することで、断層モデルを決定する。本手法をニカラグア近傍で発生した4つの地震(1992 Nicaragua, 2001 El Salvador, 2004 Astillero, および2012 El Salvador-Nicaragua)に対して適用し、1992年ニカラグア津波地震の津波遡上域を良く説明できるとともに他の津波も適切に説明できた(図18)。これによって、本手法が津波地震を含む海溝型地震による津波を適切に予測できることが示された。(北海道大学[課題番号:1005], Tanioka, 2017(1, 2); Tanioka et al., 2017(1, 2); Nakagaki et al., 2017; Inoue et al., 2017; 井上, 2017)

沖合で観測された津波波形の逆解析に基づく津波の即時予測手法システムについて、地下浅部の高角断層に伴う津波のような広がりの小さな津波に対しては、波源推定の空間分解能が十分でない場合があることがわかった。そのため、解析領域全体の広さとの両立を図りつつ、場合によって波源の空間分解能を細かくする解析アルゴリズムを考案し、想定した性能を発揮することを確認した。津波の減衰過程の予測のため、南米チリ沖及びペルー沖で発生した地震に伴う遠地津波の日本沿岸における観測データについて、第1波到達時、最大波発現時および継続時間の関係を整理した。第1波到達時からの経過時間で整理すると、約12時間後までの津波振幅変化の特徴はチリ中部沖とチリ北部からペルー沖の二つに大別されるが、約12時間以降の変化は両者で共通しており、その振幅は地震のマグニチュードと関係していることを明らかにした。(気象庁気象研究所[課題番号:7011])

山体崩壊による津波について、実地形に基づいて土砂の移動を計算しその結果から津波を計算する方法を、1741年渡島大島及び1792年雲仙眉山の事例に適用し、概ね歴史津波観測高と整合的な計算結果を得た。スロー地震タイプの津波地震の規模を即時かつ適正に推定する手法として、変位を積分した波形の振幅を用いて、地震の規模が推定可能であることを確認した(図19)。さらに、遠地実体波のスペクトル解析から、スロー地震タイプの地震の特徴抽出を行った。1998年パプアニューギニアにおける海底地すべりによる津波に関して、以前の調査に加えて地震観測点を追加して検証したが、地すべりによる地震波は検出されなかった。自動震源決定に波形相関を用いた評価法を取り入れて、信頼性の高い余震分布を自動的に得られるよう手法を改良した。解析結果の公表までに時間を要していた遠地実体波震源過程解析の迅速化のため、自動解析プログラムを改良し、領域端に生じる見かけ上のすべりがより抑制された解が得られるようにした。また、スケーリング則に基づき解析パラメータを設定する同手法を近地震源過程解析に導入し、2016年11月の福島県沖の地震を解析し、適正に解が得られることを確認した。国内外で発生した規模の大きな地震に伴う地殻変動について干渉SAR解析を行った。このうち、イタリア中部で発生した地震とフィリピン・レイテ島で発生した地震については、震源過程解析から得られたすべり分布との比較を行い、矩形断層モデルの推定を行った。単独観測で得られる地震動データから、津波来襲の可能性の検知が可能であるかどうか調査した。安価なMEMS加速度センサーによる加速度記録を想定し、積分して得られる20秒周期の変位を用いた試算をおこなった。比較的最近発生したM8クラス以上の地震のデータを用いて検証したところ、誤検知がある程度含まれるものの、観測点近傍におけるM8クラスの地震の発生が、識別可能であることを確認した。(気象庁[課題番号:7009], Katsumata et al., 2017; 溜渕, 2017)

Tyler (2005)による2次元線形長波津波モデルを線形分散波とし、津波生成磁場の解析解の改良を試みた。新しく導出した解析解は3次元シミュレーションと比較してほぼ妥当であることを確認した。また、海底下の電氣的構造が津波生成電磁場に与える影響についてもその影響を定量的に評価した。(気象庁 [課題番号: 7007], Toh et al., 2017; Minami et al., 2017)

#### ウ. 地殻変動のリアルタイムモニタと震源断層の即時推定

GNSS搬送波位相データから断層すべりを直接推定する手法 (Phase To Slip, 以下PTSと表記) の精度評価結果を受けて、同手法を用いて地震時の断層すべり分布の推定を試みた。ここでは、数日から1日以下程度の時定数を持つ地殻変動場を精密に捉えるためのGNSS解析の高精度化に係る研究開発を主として進めている。特にキネマティックGNSS解析では、対流圏遅延に起因する未知パラメータと座標値との分離が原理的に困難であり、その精度向上を困難にしている。さらに、そのようにして推定されたキネマティックGNSS時系列には、対流圏遅延に起因する誤差がその量の多寡は別として重畳し、最終的に求めたい地震・火山現象 (例えば断層すべりの時間発展) の推定の妨げとなる。このような観点から、本課題では平成28年度にCewrvelli et al. (2002) が提唱したGNSSの搬送波位相データから直接断層すべりを推定する手法であるPTSを2016年熊本地震に適用し、1枚の矩形断層上での横ずれ成分のみを推定を試み、そのすべりの時間発展を捉えることに成功した。その成果を受け、同手法を1枚矩形断層のすべりだけではなく、断層面上におけるすべり分布の推定に拡張することを試みた。対象は2016年熊本地震であり、観測点として震源域近傍のGEONET観測点20点を用いた。また解析期間は本震時刻を中心とした24時間 (2016年4月15日04:25~4月16日03:25 (UTC)) であり、解析間隔は30秒である。すべり分布を推定ためにGNSSやInSARデータの事後解析から推定された3枚の矩形断層から構成されるモデルを参考にし、日奈久断層および布田川断層に沿うように2枚の断層を配置し、それらを小断層に分割し、それらそれぞれの小断層上でのすべりの時空間発展の推定をPTSを用いて行った。PTSにおいては未知パラメータの推定に拡張カルマンフィルタを用いている。したがって、それぞれの未知数に確率過程およびそのプロセスノイズ値を与える必要がある。今回、各小断層におけるすべり量にはホワイトノイズの確率過程を、大気遅延量と各観測点の局所変動にはランダムウォークを、そして搬送波位相の波数不確定性にはホワイトノイズの確率過程をそれぞれ与えた。また小断層のすべり分布の推定においてはラプラシアンによる空間平滑化の条件を導入した。PTSによって得られた本震の地震時すべり分布は布田川断層に沿って置いた断層面上でその最大すべり量が約6mであり、日奈久断層に沿って置いた断層面上では約4mの最大すべり量となった (図20)。これらの結果は他のすべり分布モデルと大局的にはよく一致する結果であり、GNSSデータ解析をしなくても、搬送波位相のみを観測量としてモニタリングすることで地震時すべり分布を推定可能であることを示す結果と考えることができる。

国土地理院と東北大学理学研究科によって2012年9月以降、電子基準点リアルタイム解析システムREGARD (Real-time GEONET Analysis system for Rapid Deformation monitoring) の開発が進められている。同システムは、リアルタイムGNSSによって得られた地殻変動場にもとづいて、2種類の断層モデル (単一矩形断層、プレート境界におけるすべり分布) を即時的に推定している。このうち単一矩形断層の推定ではMatsu' ura and Hasegawa (1987)

の手法を用いて、その断層パラメータを最尤推定している。同手法は非線形問題を解くために予め断層パラメータに初期値を与える必要がある。REGARDでは気象庁緊急地震速報の値やUtsu (2001) によるスケーリング則、Terakawa and Matsu'ura (2009) によって推定された地域毎の典型的な応力場の情報などを用いて初期を与えることで断層モデル推定を行っている。しかし同手法の場合、得られる推定結果が与える初期値に強く依存する。例えば2016年熊本地震の際には、実際の面と共役な断層面を初期値として断層面推定が開始されたために、正解に近い断層面に推定結果が落ち着くまでに多くの時間を要したことが指摘され、推定された断層面が持つ不確実性もその初期値に依存するため、その考慮が難しい。このような背景をもとに、本年度はリアルタイムGNSSデータによって推定される震源断層即時推定における不確実性を定量的に評価することを目標として、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (Markov Chain Monte Carlo methods: 以下, MCMC) の一種であるメトロポリス・ヘイスティング法をもとに一部改良を加えたものを用いて震源断層推定を試みた。適用事例は2011年東北地方太平洋沖地震であり、データはキネマティックGNSS解析から求めた永久変位成分である。未知パラメータは単一矩形断層モデルの断層パラメータ9つ (緯度, 経度, 深さ, 走向, 傾斜角, すべり角, 長さ, 幅, すべり量) であるが, ここではプレート境界型地震であることを考慮し, 断層深さおよび傾斜角をプレート境界面に一致するように両者に拘束をかけた。マルコフ連鎖の総ステップ数は $1 \times 10^7$ として, Burn-inは10%とした。図21に得られた事後確率密度分布を示す。すべり量以外の各パラメータについてはおおむね単一のピークを持つ分布が得られているが, すべり量は複数のピークを持つ複雑な分布を示す。また図22に断層面積とすべり量の相関を示す。この結果を見ると, 断層面積とすべり量は明瞭なトレードオフの関係にあり, 地震規模こそよく求まるものの, 断層面積やすべり量の推定値には大きな不確実性があることが明瞭に把握できる。このような情報は推定された断層モデルに対して誤差の情報を付与し得るものであり, それらはそれら断層モデルから計算される津波予測の結果の誤差と考えることもできる。今後, これら断層モデルが持つ誤差をどのように津波予測の誤差として活用していくかを検討する必要がある。(東北大学 [課題番号1209], Ohta et al., 2018; Kawamoto et al., 2017, 2018)

電子基準点リアルタイム解析システムにおいて用いている相対測位法に加え, 精密単独測位法 (PPP: Precise Point Positioning) を試験的に導入した。精密単独測位法では, 相対測位法で用いる固定点が不要で, 固定点付近で発生する地震についても正確に地殻変動を観測することが可能となる。これによって, 震源断層モデル推定の安定化が見込まれる。

(国土地理院地殻活動研究センター [課題番号: 6004], 川元, 2017; Kawamoto et al., 2017, 2018)

## エ. 火山灰や溶岩噴出の即時予測

2009年以降, ブルカノ式噴火の発生頻度がきわめて高い桜島を対象に, 噴火に伴う噴煙の早期検知と粒子密度の推定を目的とした地上観測を実施した。地上からのリモートセンシング観測で用いた手法はGNSS, XバンドMPレーダー, ライダーであり, この順に波長が短くなる。2015年後半以降, 桜島の噴火活動は低いレベルにある。2016年および2017年の爆発回数は48回及び108回であり, 1000回近い爆発が発生した2010年~2015年の1/10程度である。

霧島, 桜島, 薩摩硫黄島, 口永良部島, 諏訪之瀬島を対象にXバンドMPレーダーの稼働を開始した。このうち霧島新燃岳および桜島について, レーダーにより噴煙を検出できた。

2017年10月12日の新燃岳噴火のレーダー画像を図23に示す。画像はRHIスキャンによるものであり、方位角 $58^{\circ}$ ～ $68^{\circ}$ 方向について、仰角 $7^{\circ}$ ～ $35^{\circ}$ までスキャンした。強い反射強度が得られた部分は新燃岳直上の海拔高度3600mまでであり、新燃岳の火口上2200mに達している。気象庁によれば10月12日の噴煙高度は火口上2000mであり、レーダーによる強い反射強度の領域は概ね目視できる噴煙高度に一致している。2017年10月11日の噴煙高度は600mであり、この場合、レーダーでは噴煙を検出できなかった。

2017年11月13日に桜島の南岳において発生した爆発は2017年に桜島で発生した最大規模の噴火である（課題番号1908参照）。山頂に雲がかかっていたので噴煙高度は発表されていないが、GNSS解析の位相残差（PPR）を用いて噴煙柱の解析を行った。火山灰は北東方向に移流したが、桜島北東部のGNSS観測点においてPPRを検出できた。例えば、SNYM観測点では爆発発生の6分後に3cmのPPRを検出できた（図24）。3cmのPPRは2012年7月に発生した南岳爆発のPPRよりは小さいが、ノイズレベルを十分超える大きさである。KURGでも同期するPPRの増加を検知できており、SNYMおよびKURGとGNSSを結ぶ直線の交差点の高度は4.1kmとなることから、高濃度の噴煙は少なくとも4km以上の高度に到達していたことがわかる。11月13日の爆発は22:07に噴火を開始し、一旦噴出率を低下させたのち23時ごろからはストロンボリ式噴火の活動が活発化したことが地震及び空振記録から推定されている（課題番号1908参照）。ストロンボリ式噴火の活動が活発化した時間帯には、桜島北部の観測点であるFUTGやGSI0719において、PPRが約30分にわたって2～3cmの値を保った。噴煙高度については検討を要するが、噴煙の方向が桜島上空では北向きに変ったことが推定できる。このようにGNSSのPPRは雲がかかって噴煙が目視できない状態でも、噴煙の拡散状態及びその変化を把握できる可能性がある。

ライダー（Light Detection and Ranging）装置により得られる大気中に浮遊する微小粒子の大きさを2波長比から検討した。使用しているライダーは波長1064nmと、偏光方向が90度異なる2種類の532nmの波長のレーザーを発射するが、2種類の532nmレーザー光の散乱強度の和に対する1064nmのレーザー光の比である2波長比が大きければ、散乱粒子の粒径が大きいと推測される。爆発的噴火については、時間の経過とともに2波長比は減少する。大きい粒子が短時間で落下し、小粒径のものが長時間浮遊している状態であることが推定される。一方、多量の水滴と少量の火山灰粒子で構成されると考えられる白色噴煙では、火口上空から離れ時間が経過するとともに2波長比は増加した。火山灰粒子が水滴よりも大きければ、火口から離れるにつれて水滴の蒸発により、火山灰粒子が残り、2波長比が増加したと推察される。（京都大学防災研究所〔課題番号：1913〕、日向・他，2017；太田・井口，2017；田中・井口，2017）

疑似雑音弾性波を用いて火山地下構造のリアルタイム観測をおこなうため、符号発生器、バイブレータ、地中伝送路、センサ、増幅器、フィルタ、A/D変換器、パソコンからなる信号伝送、処理系を光ファイバリンクで制御するシステムを構成し、桜島表層部、シラス地で弾性波の伝搬実験を行い、周波数伝搬特性、距離遅延特性、距離伝搬特性を測定し、システムの基本動作を確認した。測定時間と伝達率を考慮し、搬送周波数200Hzで距離伝搬実験を行った。地中30cm付近の表層部で減衰が約2dB/m、伝搬速度が約83m/s～114m/sとなり、雨水の影響を受けることが確認された。そして、埋没溶岩上部数10cmの地中5m付近にボアホールを設置し、距離伝搬実験を行ったところ、約270m/sの伝搬速度が得られた。これらの実験

で、表層部は火山灰土、溶岩上部付近では軽石、シラスが混合した、いわゆるボラ土の特性を反映していることが裏付けられた。(拠点間研究[課題番号:2995], 棚田・他, 2017(1, 2, 3); Tanada et al., 2017)

XバンドMPレーダー(二重偏波ドップラーレーダー)、二次元ビデオディストロメータ(2DVD)、および1分毎に三次元データを取得可能なKuバンド高速スキャンレーダーによる観測及び解析を行った。2016年3月26日の桜島噴火事例について、Kuバンド高速スキャンレーダーによって得られた噴煙の3次元構造の解析を進めた。また、XバンドMPレーダーについても、2016年4月29日など複数の事例で得られた噴煙の鉛直構造の解析を進めており、噴煙内部の二重偏波パラメータの変化傾向が得られている。引き続き、これらのレーダーデータを解析することにより、噴煙内部の物理量(密度や粒径分布など)や供給源モデルの推定が可能となることが期待される。

2017年10月霧島山(新燃岳)の噴火では、曇天や雨天の影響により、目視(遠望カメラ)で噴煙高度が観測出来ない時間帯があった。そのような時間帯においても、気象レーダー(気象庁一般気象レーダー)によって、噴火現象の推移(消長)を得ることが出来た。2018年1月23日草津白根山の噴火においても、目視(遠望カメラ)によって噴煙高度は得ることが出来なかったが、気象レーダーによる噴煙高度の確率的推定を行った。噴煙高度推定への活用を目指して、ひまわり8号の30秒観測データを用いて、桜島の爆発噴煙の初期成長過程を解析している。これまでのところ、解析可能な事例は数例のみであるが、空間分解能500mのバンド3データで日中に捉えられる噴煙の影を追跡することで、噴煙柱上端の高度、広がり、時間変化を精度良く抽出することができた。(気象庁気象研究所[課題番号:7010], Ishii et al, 2018; 新堀, 2017)

### 3. これまでの課題と今後の展望

研究計画の4年目として、それぞれの研究課題において既往研究成果の高度化が進み、また新たな取り組みに関して成果が継続して蓄積されており、地震・火山噴火の災害誘因の事前評価や即時推定における実務での活用も試みられつつある。さらなる高度化に向け、以下を当面の方針として最終年度の検討をおこなうとともに、今後の継続的発展のための研究計画を策定する。また、これら事前・即時予測に関する情報を効果的に社会に伝達し減災に繋げるため、社会科学と連携した検討を引き続き模索する。

#### (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

震源モデルの高度化については、プレート境界地震、地殻内地震やスラブ内地震の広帯域地震動生成モデルを比較し、将来、発生する巨大地震の広帯域震源モデルの構築と、強震動生成の詳細を拘束する震源特性やパラメータを得る。

地下構造モデルの高度化に関して、これまでに実施した広帯域強震動予測のための震源モデルと地下構造モデルの改良・検証を行ってきた。それにより得られた知見とプロトタイプモデルに基づき、広帯域強震動予測手法の提案をまとめ、南海トラフ地震等の広帯域シミュレーションを実施する。堆積平野・盆地の地震動応答の解明のための強震観測を継続する。あわせて、南西諸島全体のシームレスな減衰トモグラフィーを実施する。

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向け、関東平野等での主要平野における長周期地震動増幅強度の方位性とその成因を、震源の深さや伝播経路の

地下構造の観点から詳しく評価するとともに、それぞれの原因を定量化する。また、長周期地震動による被害軽減に向けて、強震観測データとシミュレーションの同化や、予め計算したグリーン関数等を用いたリアルタイム予測手法の開発に向け、波動伝播解析と効率的な計算手法の開発研究を進める。

地震時地すべりの事前評価に関しては、まず既往の南海トラフ大地震による崩壊地の未調査箇所を調査し、それらの地質・地形的特徴と前兆的な地形を明らかにする。これに基づいて、代表的な地質構造の地域を選んで微地形と地質構造を明らかにし、地震時の崩壊発生の可能性を評価する手法を考案する。降下火砕物斜面のすべり面形成層準をとりまとめ、既往の降下火砕物のデータを用いて地震時崩壊発生危険地域を絞り込む方策を提案する。さらに、地震観測と解析を引き続き進め、どの周波数の地震波が地すべりの発生にどのように寄与するかを明らかにする。特に、地すべり地内での地震動の増幅やばらつきについてデータ解析の結果をまとめ、その結果を説明するモデルを作成する見通しを得る。また、盛土内の浅部構造や地下水位を明らかにする手法開発をさらに進め、盛土内の材質などと比較し検討をおこないながら、広く分布する多数の谷埋め盛土に適用可能な手法へと修正していく。

## (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

地震動の即時予測について、現業場面では実データへの適用を進め、これまで実施してきた減衰構造や速度構造の精緻化による予測モデルの構築、得られた地盤増幅特性（観測点補正值）の応用、新たに展開されつつある海域観測網からのデータの有効な活用方策の改良、観測および計算の両面からさらに進める。また、長周期地震動の即時予測では、震度予測で進めている手法を長周期でも適用可能なように調整し、実データに適用し、吟味するなど改良を進める。また、鳥取県を対象に自治体震度計からの毎秒パケットから震動分布を即時予測するシステムの試作が完了したので、試験的に利用している県内全域の震度増分係数の検証・更新など、を行う。さらに上下動最大加速度値による P 波振幅の利活用、PLUM 法とは異なる震度伝播予測の検討をおこない、精度向上を図り、実務での活用を視野に入れた検討を進める。また、対象地域の地盤震動特性把握、非線形地盤応答を考慮した場合の地盤増幅についても調査を実施する。

津波の即時予測については、リアルタイム津波浸水域予測手法の開発を継続するとともに、これまで提案された手法をとりまとめる。また、津波波源を推定しないで津波予測を行う手法について、同化手法により面的把握した津波波高分布から予測した沿岸津波高の精度を評価する。また現業場面での課題として、沖合で観測された津波波形の逆解析に基づく津波の即時予測手法システムについて、観測データに様々なタイプのノイズが含まれている状況でも時々刻々得られる津波予測結果の妥当性を提示できるよう、そのリアルタイム指標を開発し、予測手法の高度化についてとりまとめる。津波の減衰過程の予測についても、南米沖に加えてその他の太平洋沿岸を波源とする津波の観測事例から津波振幅の成長・減衰過程を表現するパラメータを推定し、その共通点と相違点を海域ごとに整理して、継続時間の予測可能性を検討する。このほか、山体崩壊による津波の再現計算のパラメータ設定に関する検討を行う。

地殻変動データの利活用については、数日から 1 日以下程度の時定数を持つ地殻変動場を精密に捉えるための GNSS 解析の高精度化に係る研究開発を進める。特に、GNSS 搬送波位相

データから断層すべりを直接推定する手法の、数日から1日以下程度の時定数を持つ地殻変動現象への適用可能性についての検討を進める。またリアルタイムGNSSデータによって推定される震源断層即時推定における不確定性の定量的評価を引続き進める。また火山活動の変化に伴って観測される山体変形を準実時間で確実に把握し、その変動源の時空間変化を推定する技術開発を継続する。さらに、こうした結果に基づいて、現業場面では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。

火山灰や溶岩噴出の即時予測について、地盤変動、地震観測データに基づいて火山灰噴出率と噴煙高度のリアルタイム評価手法の拡散シミュレーションへの実装は終了しているので、引き続きXバンドMPレーダー観測、ライダー観測、GNSS観測を継続し、地上降灰量や大気中その場観測と照合することにより、反射強度、散乱強度等のリモートセンシングパラメータの高精度化を図る。また現業場面では、気象レーダーや衛星などによる噴煙観測データを移流拡散モデルの初期値に利用するための火山灰データ同化システムについて、過去事例や理想実験などの計算結果のとりまとめを行うとともに、その現業化に向けて、試験環境の構築や事例検証について検討・作業を進める。

## 成果リスト

- Adapa, G., Sawada, K. and Ueda, K., 2018. Evaluation of Amplification Factor Considering Soil Non-Linearity including Liquefaction, 平成29年度京都大学防災研究所研究発表講演.
- Asano, K., 2017(1). Analyzing Strong Motion Generation Area of the MJMA 6.5 Earthquake Occurring Offshore the Kii Peninsula on April 1, 2016, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SCG70-03.
- Asano, K., 2017(2). Source Model of the MJMA 6.5 Plate-Boundary Earthquake at the Nankai Trough, Southwest Japan, on April 1, 2016, Based on Strong Motion Waveform Modeling, AGU 2017 Fall Meeting, S41B-0758.
- 千木良雅弘, 笠間友博, 鈴木毅彦, 古木宏和, 2017. 1923年関東地震による震生湖地すべりの地質構造とその意義. 京都大学防災研究所年報, 60B: 417-430.
- 千木良雅弘, 2017. 南海トラフおよび相模トラフの大地震による深層崩壊 JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張, HDS17-05.
- 地元孝輔, 津野靖士, 是永将宏, 山中浩明, 三宅弘恵, 高井伸雄, 神野達夫, 重藤迪子, 2017. 臨時地震観測による足柄平野西端部から中央部の地盤震動特性の評価, 物理探査学会第137回(平成29年度秋季)学術講演会 225-227.
- 地元孝輔, 津野靖士, 三宅弘恵, 神野達夫, 重藤迪子, 高井伸雄, 松島信一, 是永将宏, 山中浩明, 佐藤浩章, 川瀬博, 額額一起, 2018. 東京湾西岸部における周期2~3秒の地震動特性の空間変動評価のための微動観測, 京都大学防災研究所, 平成29年度研究発表講演会, P06.
- 土井一生・釜井俊孝・佐藤朗・王功輝・千木良雅弘・小川内良人・川島正照, 2017(1). 重力変形斜面の地震時挙動の観測 -新しい加速度センサー・傾斜センサー一体型プローブを用いて-, 応用地質, 58, 2, 94-101.

- 土井一生・松浦純生・大澤光・柴崎達也・土佐信一, 2017(2). Silent Landslide -Waveform Records from a Seismometer Settled on a Moving Landslide Block-, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, HDS09-04.
- 土井一生・釜井俊孝・片尾浩・三浦勉, 2017(3). ごく近傍に設置された地震計によって捉えられた豪雨による斜面崩壊 -2013年9月京都府京都市山科区における事例-, 平成29年度日本応用地質学会研究発表会, 岡山, 60, 2017-10-13.
- 土井一生・前田拓人, 2018. 2017年5月19日長野県飯山市における斜面崩壊に伴う短周期地震波形の特徴, 東大地震研共同利用「地震波形解剖学の計算科学的新展開」研究集会, 東京, 2018-03-09.
- 土井一生・前田拓人・釜井俊孝・王功輝, 2018. 斜面崩壊による地震動波形の特徴と崩壊発生メカニズム -2017年の事例-, 京都大学防災研究所研究発表講演会, 宇治, P05, 2018-02-21.
- Doi, I., T. Kamai, G. Wang, M. Chigira, Y. Ogawauchi, and M. Kawashima, 2017(1). Characteristics of seismic motions and pore pressure response in the filled slope, Proceedings of 4th Slope Tectonics Conference, 47.
- Doi, I., T. Kamai, S. Goto, R. Azuma, T. Ohkura, H. Murao, and K. Mima, 2017(2). Generation mechanism of large-scale fissures in the Aso valley accompanied with 2016 Kumamoto earthquake - Relationship to subsurface structure -, Workshop on earthquakes and triggered hazards in French-Japanese week on Disaster Risk Reduction, J02-P-05.
- Furumura, T. and BLN Kennett, 2017. Unusual strong ground motion across Japan from the 680 km deep 30 May 2015 Ogasawara Islands earthquake, J. Geophys. Res., 122, <https://doi.org/10.1002/2017/JB014519>.
- 原田智也・西山昭仁・佐竹健治・古村孝志, 2017(1). 明応七年六月十一日(1498年6月30日)の日向灘大地震は存在しなかった -『九州軍記』の被害記述の検討-, 地震2, 70, 89-107.
- 原田智也・佐竹健治・古村孝志・室谷智子, 2017(2). 1944年東南海地震(M7.9)の震度分布 -発生直後に行われたアンケート調査資料の再検討-, 東京大学地震研究所彙報, 92, 1-30.
- Hlaing, Y .N. and Ichii, K., 2018. Ground Response Analysis and Site Characterization of Mandalay City, Myanmar Engineering Society Annual General Meeting (2017), 13th Annual Seminar on Research and Engineering (19-20 January 2018), Myanmar Engineering Council Building, Yangon, Myanmar.
- 干場充之, 2017. 海底地震計を用いたモデル計算: 地震動即時予測 -”揺れの数値予報”の適用例-. 地震予知連絡会報, 98, 516-518.
- 日向 洋・井口正人・鍵山恒臣, 2017. Backscattering characteristic of volcanic eruptions based on LIDAR observation around Sakurajima Volcano, 2017年地球惑星科学連合大会, MIS02-P06.
- Inoue, M., Y. Yamanaka and Y. Tanioka, 2017. Simple method for real-time tsunami source estimation using seafloor pressure sensor network in Japan,

International Tsunami Symposium 2017.

井上真優・谷岡勇市郎・山中悠資, 2017. S-net による水圧観測記録を用いた簡易的な津波波源域推定手法の開発, 2017 日本地震学会秋季大会.

Ishii, K., Y. Hayashi, and T. Shimbori, 2018. Using Himawari-8, estimation of SO2 cloud altitude at Aso volcano eruption, on October 8, 2016. *Earth, Planets and Space*, 70:19.

岩田知孝, 2017. 2016 年熊本地震本震の震源近傍強震動, 日本地震工学会年次大会 2017, 横断セッションA「2016 年熊本地震における震動制御技術の挙動と課題」(招待講演).

Kagawa T, Noguchi T, Yoshida S and Yamamoto S, 2017. Effect of the surface geology on strong ground motions due to the 2016 Central Tottori Earthquake, Japan, *Earth, Planets and Space* 69:106 DOI 10.1186/s40623-017-0689-0.

香川敬生, 2017. 2016 年 10 月 21 日鳥取県中部の地震 (M6.6) について, *地震ジャーナル*, 63, 地震予知総合研究振興会, 14-22.

香川敬生・野口竜也・吉田昌平・山本真二, 2017(1). 2016 年鳥取県中部の地震における鳥取大学の強震観測記録-鳥取県湯梨浜町高辻の記録-, *京都大学防災研究所年報*, No.60 B, 350-353.

香川敬生・野口竜也・吉田昌平・上野太士・中井翔・吉見和・有村翔也・山本真二, 2017(2). 平成 28 年鳥取県中部の地震で得られた強震観測記録について, *日本地球惑星科学連合大会 2017 年大会*, SSS15-15.

香川敬生・野口竜也・吉見和・吉田昌平, 2017(3). 2016 年鳥取県中部の地震で見られた非線形地盤応答の基礎的検討, *日本地震学会 2017 年度秋季大会*, S15-10.

香川敬生・野口竜也, 2017. 自治体震度計の観測データをリアルタイム表示する試み-鳥取県の事例-, *日本地球惑星科学連合大会 2017 年大会*, SCG72-P10.

香川敬生, 2018. 鳥取県震度計ネットワークを用いたリアルタイム震度評価の試みとその課題, 平成 29 年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「地震のリアルタイムモニタリングと予測情報の利活用」, 講演番号 18.

香川敬生・野口竜也, 2018. 2016 年鳥取県中部の地震の背景と強震動, *鳥取大学工学部研究報告*, No. 48, 91-100.

Kanaya, N., T. Maeda, K. Obara, and A. Takeo, 2017. Significant Anomalies in Seismograms for Intra-slab Earthquakes Observed in Kanto area, Japan, and their Interpretation, *AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, USA*, S21C-0717, 2017-12-12.

Katsumata, A., Y. Hayashi, K. Miyaoka, H. Tsushima, T. Baba, P. A. Catalan, C. Zelaya, F. R. Vasquez, R. Sanchez-Olavarría, and S. Barrientos, 2017. Stand-alone tsunami alarm equipment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17, 685-692.

Kawamoto S., N. Takamatsu, S. Abe, K. Miyagawa, Y. Ohta, M. Todoroki, and T. Nishimura, 2018. Real-time GNSS analysis system REGARD: an overview and recent results, *J. Disaster Res.*, in press.

Kawamoto S., Y. Ohta, Y. Hiyama, M. Todoroki, T. Nishimura, T. Furuya, Y. Sato T.

- Yahagi, and K. Miyagawa, 2017. REGARD, A new GNSS based real-time finite fault modeling system on GEONET, *J. Geophys. Res.*, doi: 10.1002/2016JB013485.
- 川元智司, 2017, GNSS の GGOS への貢献と今後の展望, *測地学会誌*, 63 (印刷中) .
- Kennnett, B, Yoshizawa, K & Furumura, T, 2017. Interactions of multi-scale heterogeneity in the lithosphere: Australia, *Tectonophysics*, *Tectonophysics*, 717, 193-213.
- Kodera, Y., 2018. Real-time Detection of Rupture Development: Earthquake Early Warning Using P Waves from Growing Ruptures. *Geophysical Research Letters*, 45, 156-165.
- Kodera, Y., Y. Yamada, K. Hirano, K. Tamaribuchi, S. Adachi, N. Hayashimoto, M. Morimoto, M. Nakamura, and M. Hoshiba, 2018. The Propagation of Local Undamped Motion (PLUM) method: a simple and robust seismic wavefield estimation approach for earthquake early warning. *Bulletin of Seismological Society of America*. (in press)
- 河本洋輝, 2018. 表面波伝播特性の地域性が気象庁マグニチュード推定値に与える影響, 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻修士論文.
- 是永将宏, 津野靖士, 地元孝輔, 山中浩明, 2018. 熊本市花岡山近傍で観測された地震動特性とその表層地盤構造, 平成 29 年度京都大学防災研究所研究発表講演会.
- Ma, N., Wang, G., Kamai, T., and Doi, I., 2017(1). Insight on co-seismic responses of a deep-seated landslide by monitoring. *JpGU-AGU Joint Meeting 2017*, Chiba prefecture. Poster presentation, HDS09-P02.
- Ma, N., Wang, G., Kamai, T., and Doi, I., 2017(2). on the co-seismic responses of a deep-seated landslide: Insight by monitoring. *4th Slope Tectonics Conference*, Kyoto University. oral presentation, Session 7-P03.
- Maeda, T., S. Takemura, and T. Furumura, 2017. OpenSWPC: An open-source integrated parallel simulation code for modeling seismic wave propagation in 3D heterogeneous viscoelastic media, *Earth Planets Space*, 69, 102, doi:10.1186/s40623-017-0687-2.
- Minami, T., Toh, H., Ichihara, H., & Kawashima, I., 2017. Three-dimensional time domain simulation of tsunami-generated electromagnetic fields: Application to the 2011 Tohoku earthquake tsunami. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122, 9559-9579.
- Miyake, H., T. Furumura, T. Nishimura, K. Mochizuki, K. Obara, T. Harada, and N. Sekiya, 2017. Variation of earthquake source scenarios along the Nankai Trough for hazard and risk assessment, *IAG-IASPEI 2017*, S13-6-06.
- Morioka, H., H. Kumagai, and T. Maeda, 2017, Theoretical basis of the amplitude source location method for volcano-seismic signals, *J. Geophys. Res.*, 122, 6538-6551, doi:10.1002/2017JB013997.
- Mukai, Y., T. Furumura and T. Maeda, 2017. Characterizing directional variations in long-period ground motion amplifications in the Kanto Basin, Japan, *AGU*

- Fall Meeting 2017, New Orleans, USA, S31B-0813, 2017-12-13.
- 向井優理恵, 2018. 関東平野における長周期地震動の特徴的方位依存性とその要因, 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻修士論文.
- Nakagaki, T., Y. Tanioka, K. Imai, T. Iinuma and N. Takahashi, 2017. Estimation of source processes of the 2016 Mie-oki earthquake (Mw6.1) using tsunami waveforms observed by dense seafloor pressure sensor network system (DONET) , International Tsunami Symposium 2017.
- Nishimura, T, Y. Yokota, K. Tadokoro, and T. Ochi, 2018. Strain partitioning and interplate coupling along the northern margin of the Philippine Sea plate, estimated from GNSS and GPS-A data, *Geosphere*, 14(2), doi:10.1130/GES01529.1.
- Nishimura, T., 2018. A trial of application of geodetic data for assessing activities of inland faults - Coulomb stress changes estimated from GNSS surface displacements, *Journal of Disaster Research*, in press.
- 野口竜也・上野太士・西川隼人・吉田昌平・香川敬生, 2017(1). 鳥取県鹿野地域の地盤構造および地盤震動特性, 土木学会論文集 A1, Vol.72, No.4(地震工学論文集第36巻), I\_894-I\_906.
- 野口竜也・香川敬生・吉田昌平・中井翔・上野太士・吉見和・有村翔也, 2017(2). 2016年鳥取県中部地震の臨時余震観測および被害地域における微動観測, 日本地球惑星科学連合大会2017年大会, SSS15-P16.
- 野口竜也・西村武・日高大我・吉見和・香川敬生・吉田昌平, 2017(3). 鳥取県中部小鹿谷および高辻地区における稠密微動観測, 日本地震学会2017年度秋季大会, S16-P06.
- Ohta Y., T. Inoue, S. Koshimura, S. Kawamoto, and R. Hino, 2018. Role of real-time GNSS in near-field tsunami forecasting, *J. Disaster Res.*, in press.
- 太田雄策・井口正人, 2017. Possibility of real-time volcanic plume monitoring using GNSS phase residual and SNR data, 2017年地球惑星科学連合大会, MTT38-02.
- 小木曾 仁・干場充之・志藤あずさ・松本 聡, 2017. 不均質構造を考慮した「揺れの数値予報」: 2016年熊本地震を例に, JpGU-AGU Joint Meeting, SCG72-13.
- 小木曾 仁, 2017. 多重散乱の効果を考慮した内部減衰・散乱減衰の同時インバージョンの試み, 日本地震学会2017年秋季大会, S01-07.
- Ogiso, M., M. Hoshihara, A. Shito and S. Matsumoto, 2017. Numerical shake prediction incorporating heterogeneous structure: the 2016 Kumamoto Earthquake, IAG- IASPEI Joint Scientific Assembly, J04-P03.
- Ogiso, M, 2017. Simultaneous inversion of intrinsic and scattering attenuation parameters incorporating multiple scattering effect, AGU Fall Meeting, S53B-0666.
- Padhy, S., T. Furumura, and T. Maeda, 2017. Waveform anomaly caused by strong attenuation in the crust and upper mantle in the Okinawa Trough region, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, USA, T23A-0593, 2017-12-12.
- 齊藤隆志・中屋志津男・中屋志郎・佐藤比呂志, 2018. 巨大地震に対する山地斜面の崩壊危険度予測と減災のためのハザードマップ作成, 京都大学防災研究所年次講演会, A37.

- 佐藤達樹, 千木良雅弘, 松四雄騎, 2017. 平成 28 年熊本地震により発生した軽石層および火山灰土層をすべり面としたテフラ斜面の崩壊, 日本地球惑星科学連合大会 2017, 幕張, HDS17-02
- 新堀敏基, 2017. 風の影響を受ける火山灰・火山礫. 日本風工学会誌, 42, 261-272.
- Shito, A., S. Matsumoto, H. Shimizu, T. Ohkura, H. Takahashi, S. Sakai, T. Okada, H. Miyamachi, M. Kosuga, Y. Maeda, M. Yoshimi, Y. Asano and M. Okubo, 2017, Seismic velocity structure in the source region of the 2016 Kumamoto earthquake sequence, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 7766-7772, doi: 10.1002/2017GL074593.
- 志藤あずさ・松本聡・清水洋・2016 年熊本地震合同地震観測グループ, 2017, 布田川一日奈久断層帯の地震波速度構造, 日本地震学会 2017 年秋季大会, S22-11.
- 関口春子・浅野公之・岩田知孝, 2018. 奈良盆地の堆積層構造のモデル化, 平成 29 年度 京都大学防災研究所研究発表講演会, P19.
- 溜渕功史, 2017. 波形相関による自動震源分類の効率化. 験震時報 (論文), 81, 6.
- 棚田嘉博・佐藤公則・井口正人・豊平隆之, 2017(1). 擬似雑音多重弾性波を用いた火山域の地下探査, 第 34 回センシングフォーラム資料, 1B2-1, 117-122.
- 棚田嘉博・井口正人・佐藤公則・豊平隆之・田中幹也, 2017(2). 高減衰媒質中の波動伝搬への Huffman 系列の適用, 平成 29 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会予稿集, R-17-15-09, 1-2.
- 棚田嘉博・井口正人・山本圭吾・中道治久・森田裕一, 2017(3). Huffman 系列を用いた火山域の弾性波地中探査システム, 平成 29 年度計測自動制御学会九州支部大会予稿集, 101A5, 11-14.
- Tanada, Y, Sato, K, Iguchi, M and Sai, B, 2017. Construction of ZCZ Huffman Sequences for Underground Multiplexing Sonar, *Proc. IWSDA' 17*, 122-126.
- 田中 博・井口正人, 2017. 火山灰追跡モデル PUFF の開発と空中濃度推定, 2017 年地球惑星科学連合大会, MIS02-01.
- Tanioka, Y., 2017(1). Tsunami simulation method assimilating ocean bottom pressure data near a tsunami source region, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-017-1697-5.
- Tanioka, Y., 2017(2). Tsunami simulation method initiated from waveforms observed by ocean bottom pressure sensors for real-time tsunami forecast; Applied for 2011 Tohoku Tsunami EGU meeting 2017 (Highlight presentation)
- Tanioka, Y., G. J. A. Miranda, A. R. Gusman, and Y. Fujii, 2017(1). Method to Determine Appropriate Source Models of Large Earthquakes Including Tsunami Earthquakes for Tsunami Early Warning in Central America, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-017-1630-y.
- Tanioka, Y., Greyving J.A. Miranda, and Aditya R. Gusman, 2017(2). Rapid Determination of Appropriate Source Models for Tsunami Early Warning using a Depth Dependent Rigidity Curve: Method and Numerical Tests, AGU 2017 fall meeting.
- Todoriki, M., T. Furumura, and T. Maeda, 2017. Effects of seawater on elongated

- duration of ground motion as well as variation in its amplitude for offshore earthquakes, *Geophys. J. Int.*, 208, 1, 226-233.
- Toh, H., S. Abe, J. Ogi, A. Yamazaki and R. Yoshimura, 2017. Real-time tsunami monitoring system by detection of geomagnetic vector difference, IAGA-IAPSO-IAMAS Joint Assembly 2017, Cape Town, August 31.
- Toya, M., A. Kato, T. Maeda, K. Obara, T. Takeda, and K. Yamaoka, 2017. Down-dip variations in a subducting low-velocity zone linked to episodic tremor and slip: a new constraint from ScSp waves, *Scientific Reports*, 7, 2868, doi:10.1038/s41598-017-03048-6.
- 津野靖士, 地元孝輔, 三宅弘恵, 佐藤浩章, 松島信一, 重藤迪子, 高井伸雄, 神野達夫, 瀨瀨一起, 山中浩明, 川瀬博, 2017. 足柄平野西部における臨時地震観測と地下構造調査, 物理探査学会第136回学術講演会講演論文集, 299-300.
- Viens, L., M. Denolle, H. Miyake, S. Sakai, and S. Nakagawa, 2017. Retrieving impulse response function amplitudes from the ambient seismic field, *Geophys. J. Int.*, 210, 210-222, doi:10.1093/gji/ggx155.
- 和田 拓也, 2017. 拠点モニタリングを利用したエリア防災のための建物群地震応答の即時推定(優秀卒業論文賞推薦理由, 2017年日本建築学会優秀卒業論文賞), 建築雑誌, 1701, pp. 113.
- 和田拓也, 新本翔太, 倉田真宏, 山田真澄, 楠浩一, 柏尚稔, 2017(1). 拠点モニタリングを利用したエリア防災のための建物群地震応答の即時推定, 日本建築学会(中国)学術講演梗概集, 構造系, pp. 377-378.
- 和田拓也, 新本翔太, 倉田真宏, 山田真澄, 楠浩一, 柏尚稔, 2017(2). 拠点モニタリングを利用したエリア防災のための建物群地震応答の即時推定, 日本建築学会近畿支部研究報告集. 構造系, 57, pp. 485-488.
- 和田拓也, 新本翔太, 倉田真宏, 山田真澄, 楠浩一, 柏尚稔, 池田芳樹, 2018. 緊急地震速報と建物モニタリング情報を利用した地震災害誘因の同定—建物頂部変形角の推定—, 京都大学防災研究所研究発表講演会梗概.
- Wang, G., Doi, I., Kamai, T., Goto, S. and Chigira, M., 2017. On the fluidized landsliding phenomena on gentle slopes triggered by the 2016 Kumamoto Earthquake JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Makuhari, pp. HDS09-01.
- 吉田昌平・香川敬生・野口竜也, 2017(1). 経験的グリーン関数法を用いた2016年鳥取県中部の地震の震源断層のモデル化, 日本地球惑星科学連合大会2017年大会, SSS15-P03.
- 吉田昌平・香川敬生・野口竜也, 2017(2). 経験的グリーン関数法を用いた2016年鳥取県中部の地震の余震観測点における強震動シミュレーション, 日本地震学会2017年度秋季大会, S15-P24.

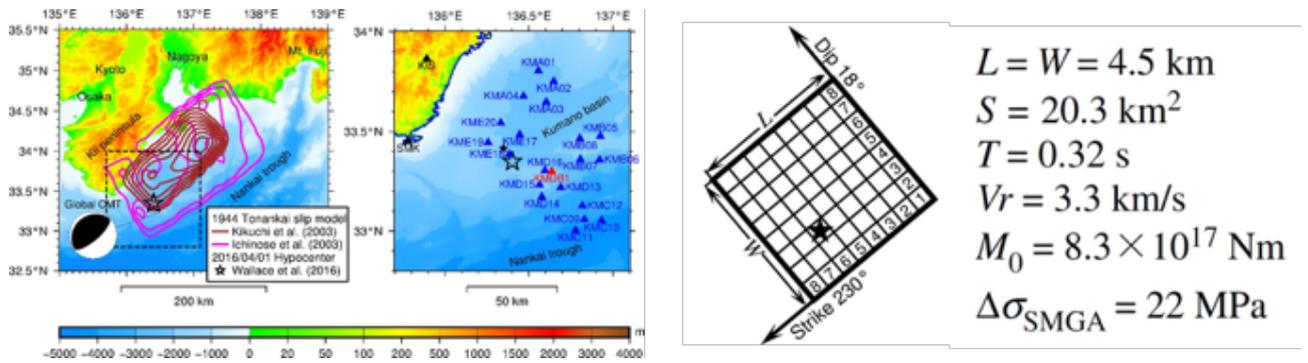


図1. 2016年4月1日熊野灘の地震 ( $M_{JMA}6.5$ ) のSMGAモデルと破壊開始点位置 (京都大学防災研究所 [課題番号: 1903])

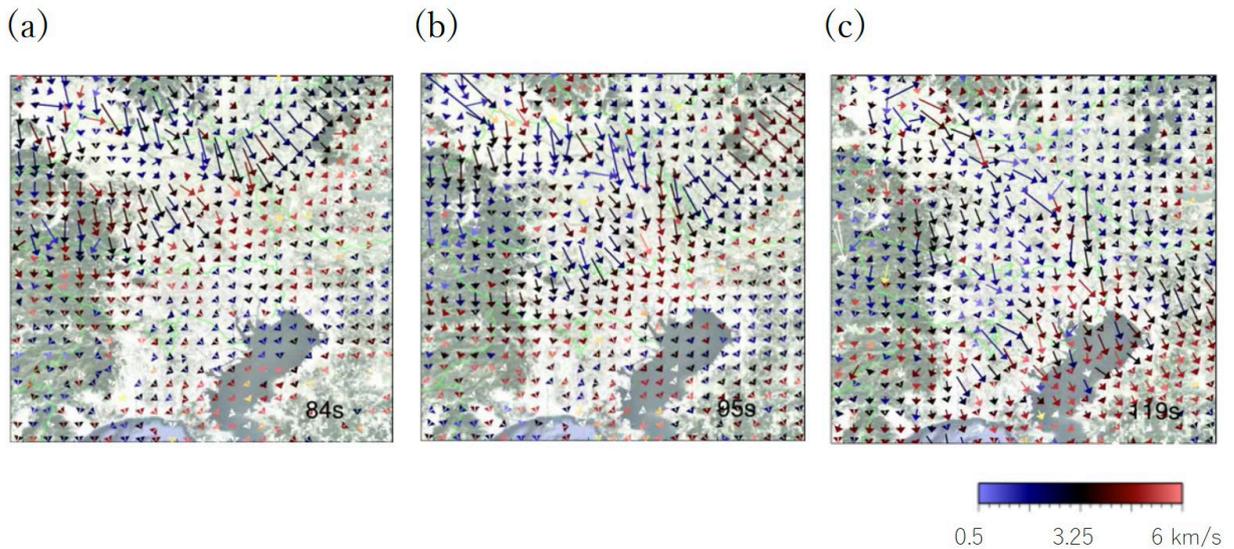


図2. 2004年新潟県中越地震のWave Gradiometry解析

地震発生から84秒, 95秒, 119秒後の関東平野周辺の波動場のスローネスの大きさを色 (紫~赤) と矢印の大きさで, また, 振動方向を矢印の向きで表す。(東京大学地震研究所 [課題番号: 1516])

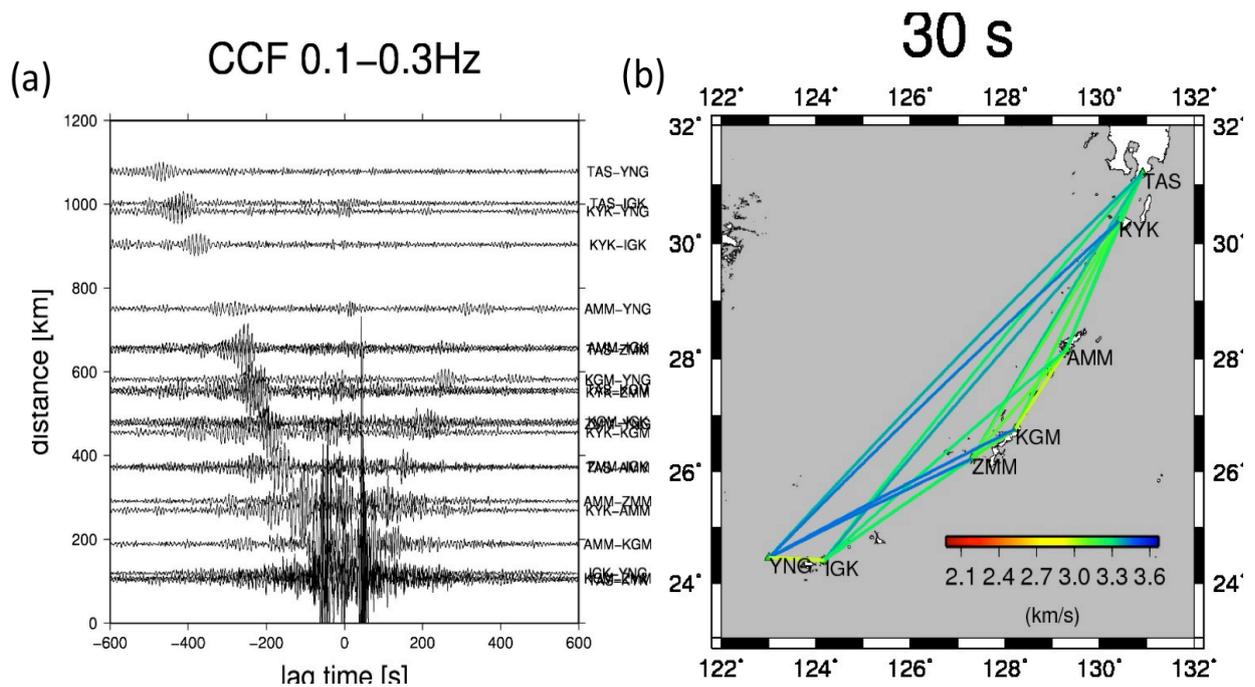


図3. 地震波干渉法から推定された南西諸島におけるレーリー波群速度

- (a) 観測点間距離における相互相関関数のペーストアップ（フィルタ0.1～0.3 Hz）  
 (b) 周期30秒における観測点間の群速度（東京大学地震研究所〔課題番号：1516〕）

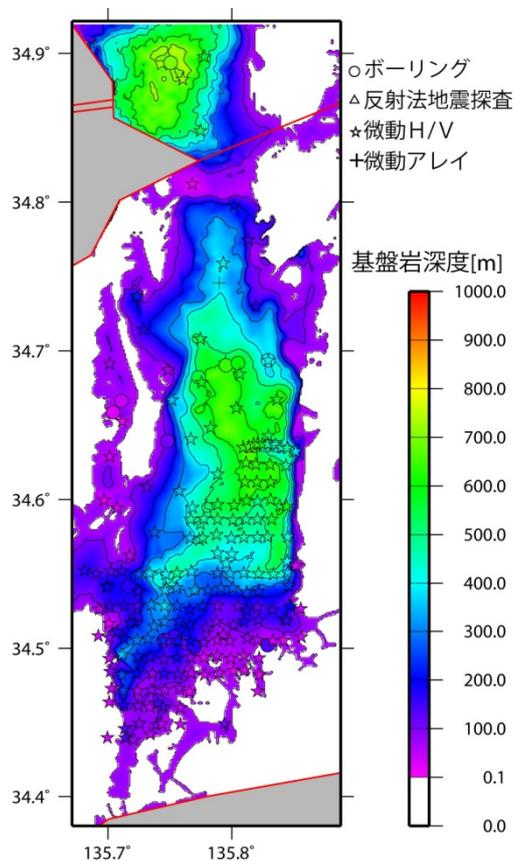


図4. 奈良盆地堆積層速度構造モデルの基盤岩深度分布（京都大学防災研究所〔課題番号：1911〕）

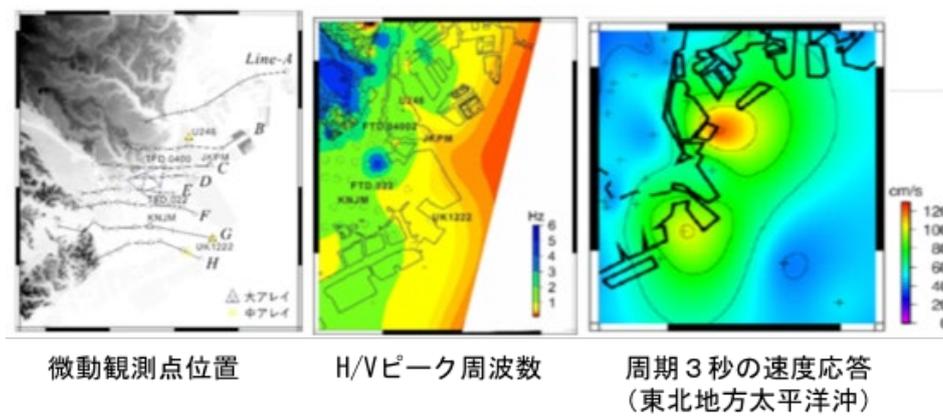


図5. 東京湾西岸部の微動H/V と2011年東北地方太平洋沖地震時に卓越した周期2～3秒の長周期地震動の分布（拠点間連携研究〔課題番号：2988〕）

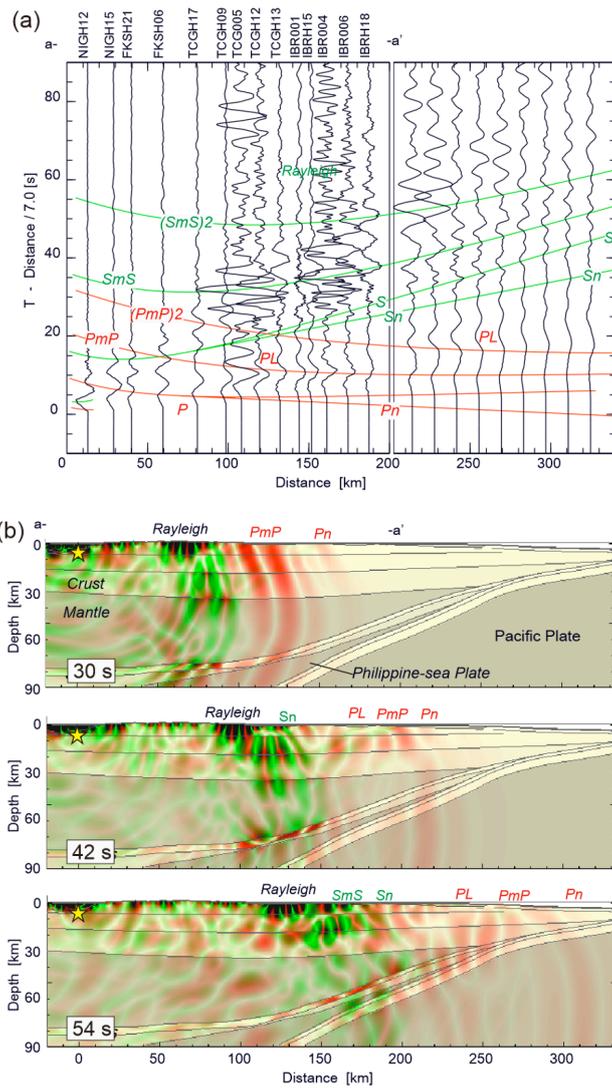


図6. 2004年新潟県中越地震の波動伝播の3次元差分法シミュレーション

(a) 地動速度波形Radial成分, (b) 3次元差分法シミュレーションの2次元断面の波動伝播のスナップショット (赤がP波, 緑がS波を表す)  
 (東京大学地震研究所 [課題番号: 1516])

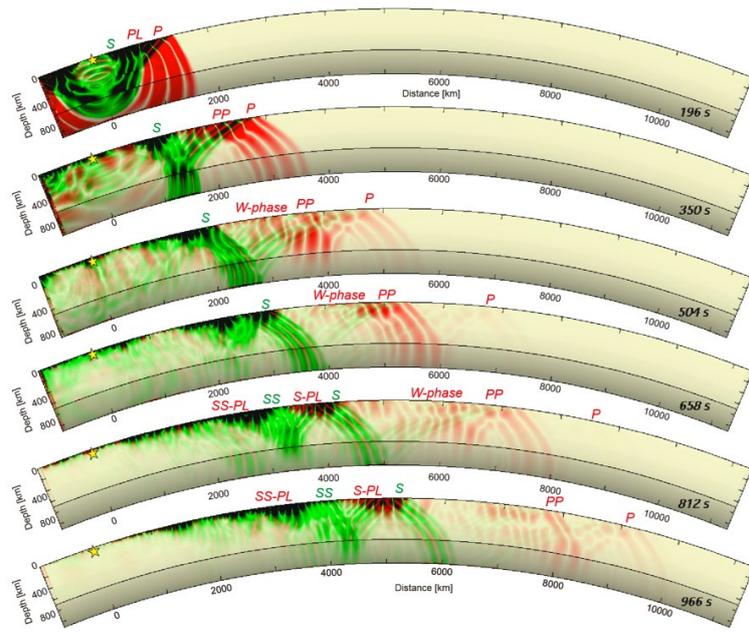


図7. 2011年東北地方太平洋沖地震の遠地地震波伝播シミュレーション  
 3次元差分法計算のスナップショット2次元断面。地震発生から193秒，350秒，  
 ……，966秒後の球殻地球の波動場（東京大学地震研究所 [課題番号：  
 1516]）

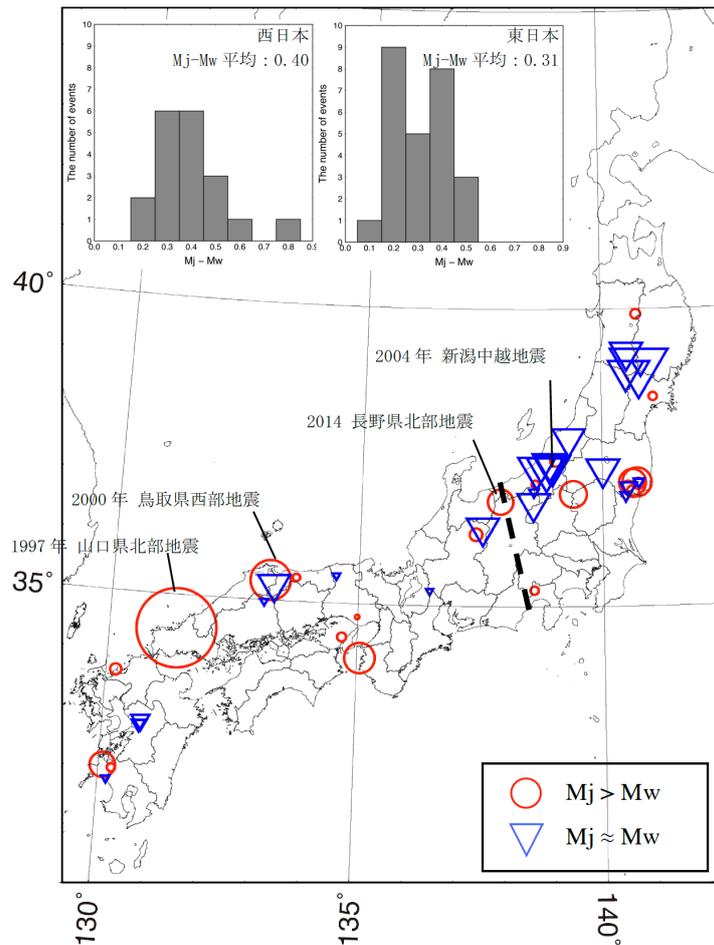


図8. 内陸の浅発地震におけるMjとMw差（東京大学地震研究所 [課題番号：1516]）

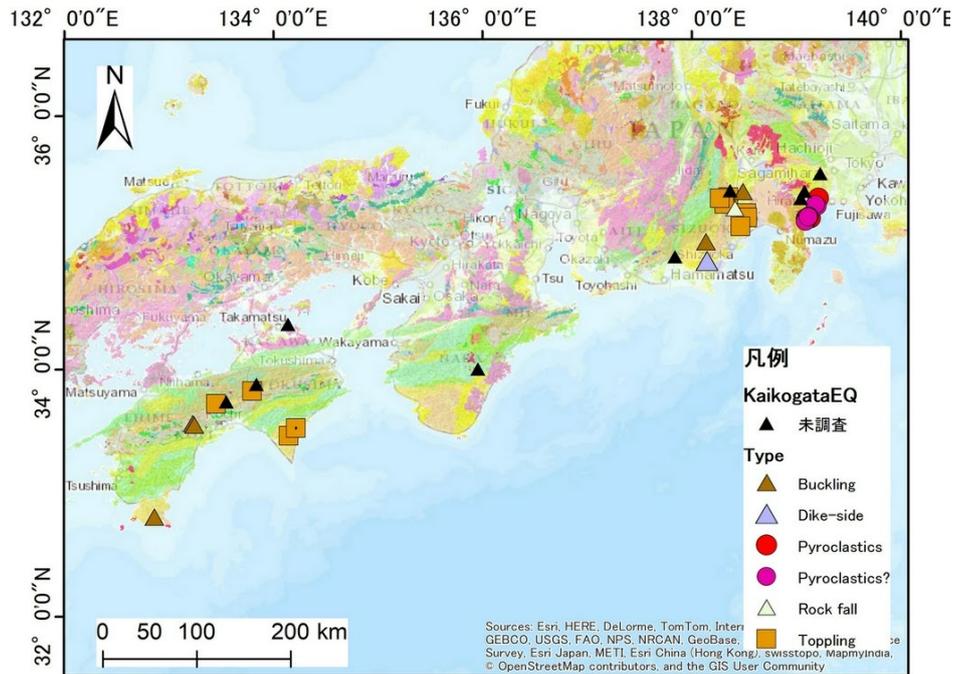


図9. 南海トラフおよび相模トラフの既往大地震による大規模崩壊の地質構造  
 四国と東海地方で座屈（Buckling）とトップリング（Toppling）の重力変形を被った  
 斜面の崩壊が多い。  
 相模トラフ沿いでは、富士・箱根火山の噴出物の崩壊（Pyroclastics）が多い。  
 Dike-sideは貫入岩に接する岩盤の崩壊。（京都大学防災研究所 [課題番号：  
 1912] ）

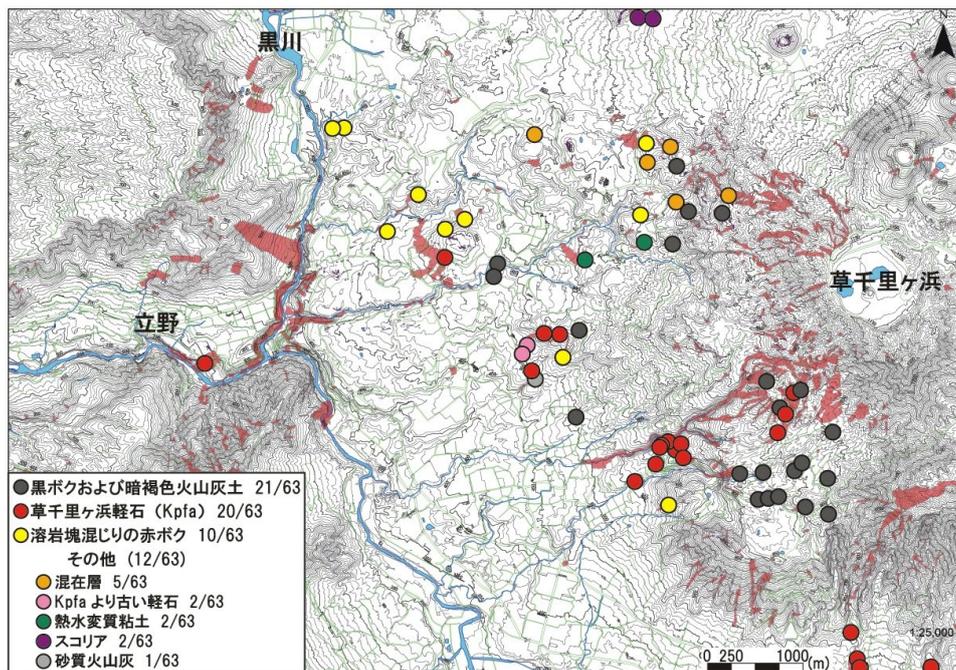


図10. 2016年熊本地震によって発生した崩壊のすべり面構成物質による分類調査した崩壊位置にすべり面構成物質の種類がプロットしてある。すべり面は地表から約2mから14mの深さにある地層に形成された。すべり面構成物は、熱水変質粘土を除いて、すべてハロイサイトを含まれていた。(京都大学防災研究所 [課題番号 : 1912] )

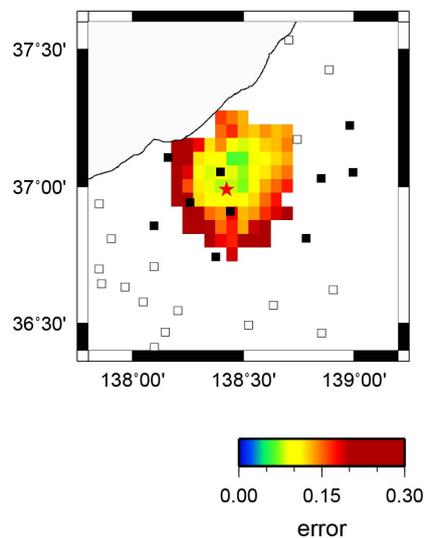


図11. 2017年5月19日長野県飯山市の土石流発生源を推定する観測点間振幅比の再現誤差の分布

赤色星印が土石流発地点，黒色四角が解析に用いた観測点を表す  
(拠点間連携研究 [課題番号 : 2994] )

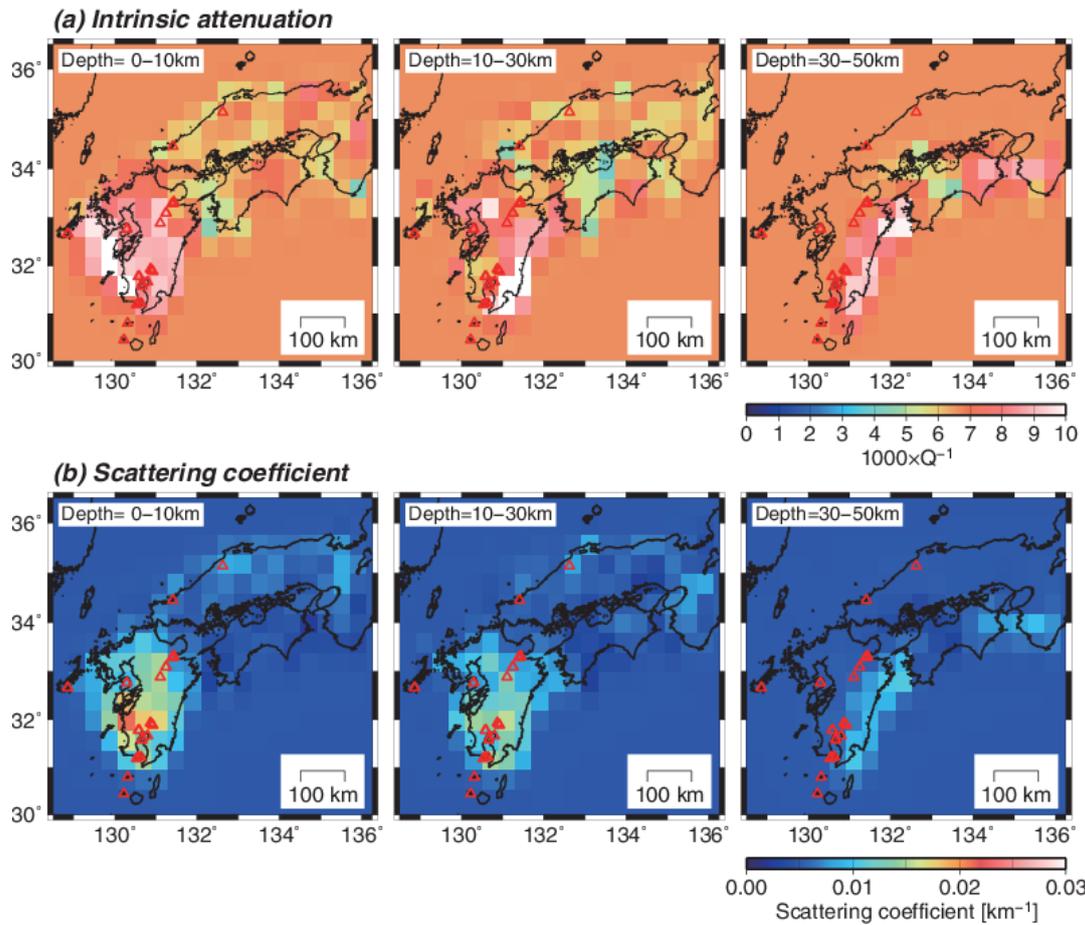


図12. 新たに考察した手法を用いて推定した(a)内部減衰と(b)散乱係数の3次元空間分布 (1-2Hz)

(公募研究 [課題番号 : 2935] )

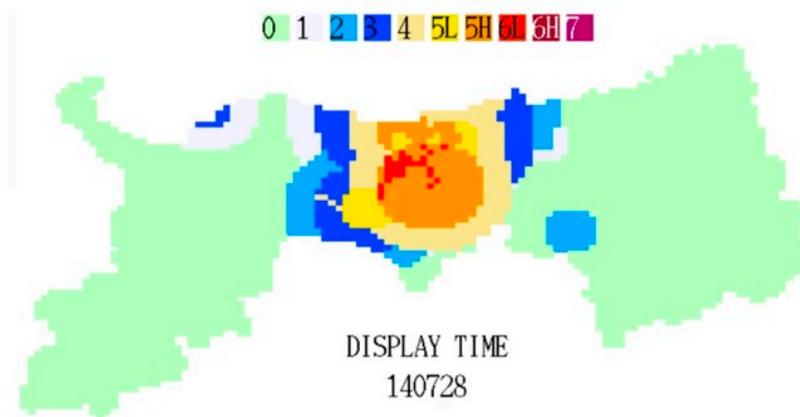


図13. 鳥取県震度ネットワークを用いたリアルタイム震度表示 (2016年鳥取県中部の地震の事後評価)

(鳥取大学工学研究科 [課題番号 : 2001] )

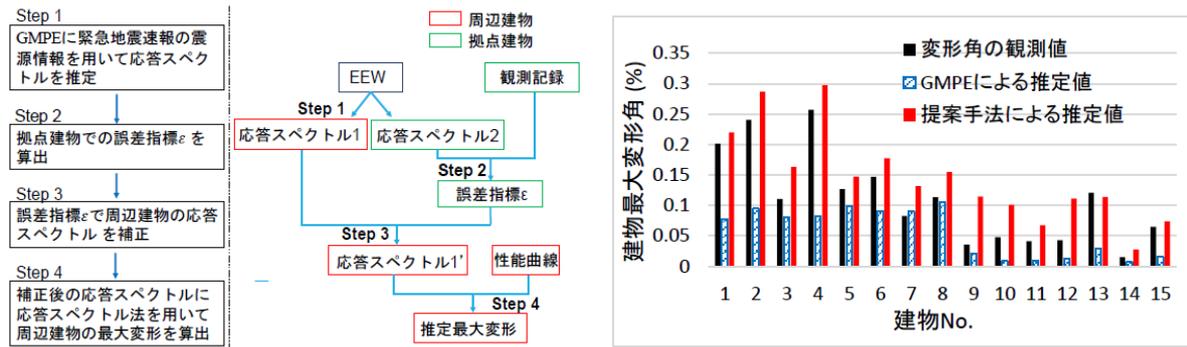


図14. 建物応答推定のフロー(左)と観測と推定結果の比較(右)  
(公募研究 [課題番号: 2981])

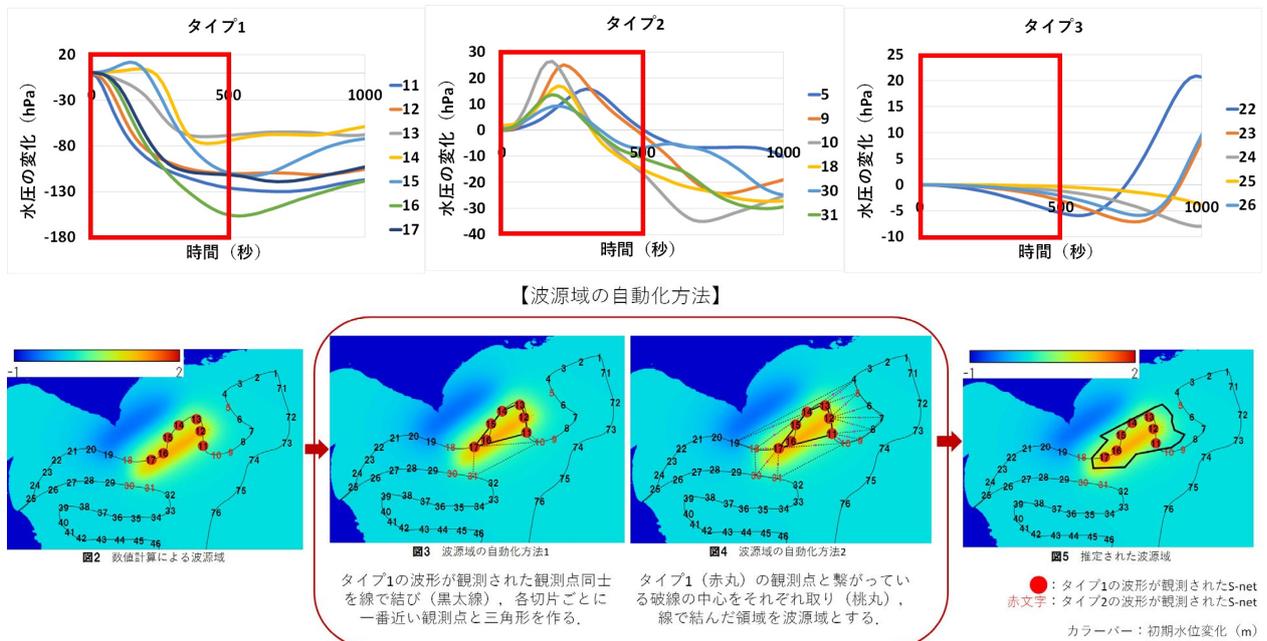


図15. 観測点での圧力波形を3つのタイプ(上)に分類した後, 分類から津波発生域(海底隆起域)を推定する手法(下)  
(北海道大学 [課題番号: 1005])

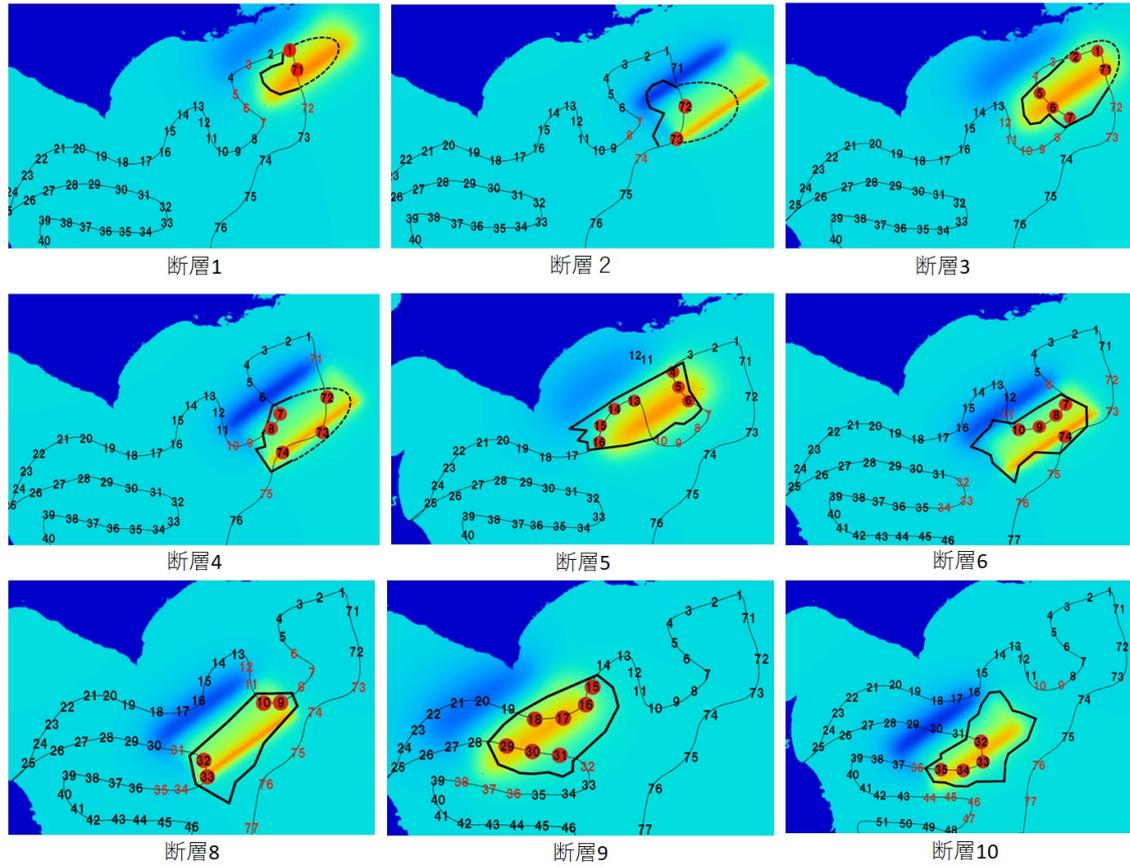


図16. M8クラスの断層モデルから計算される海底地殻変動とS-NET観測点で計算された圧力波形

(地震発生から500秒)の3つのタイプ分類 (●:タイプ1, 赤文字タイプ2, 黒文字:タイプ3)。

タイプについては図15参照。太線は自動的に決められた津波発生域。

(北海道大学 [課題番号: 1005])

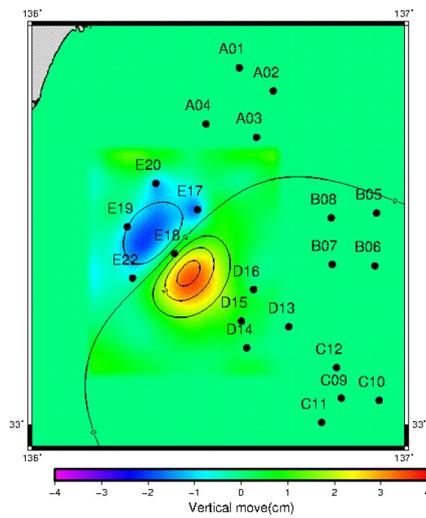


図17. 2016年4月1日三重県沖地震の海底地殻変動評価

カラーがDONET観測点の海底圧力波形からインバージョンによって得られた海底上下変動，コンターは海底上下変動から推定された断層モデルで計算された海底上下変動（北海道大学〔課題番号：1005〕）

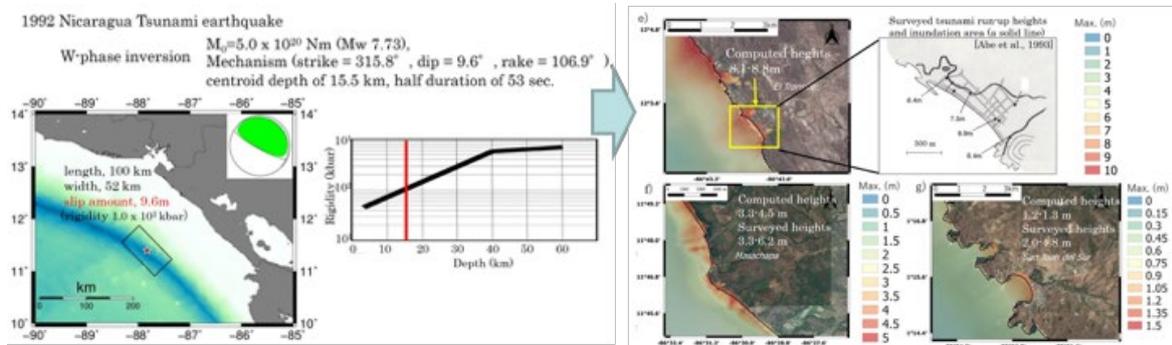


図18. 1992年ニカラガ津波地震に手法を適用し，津波遡上高予測ができることの立証事例

（北海道大学〔課題番号：1005〕）

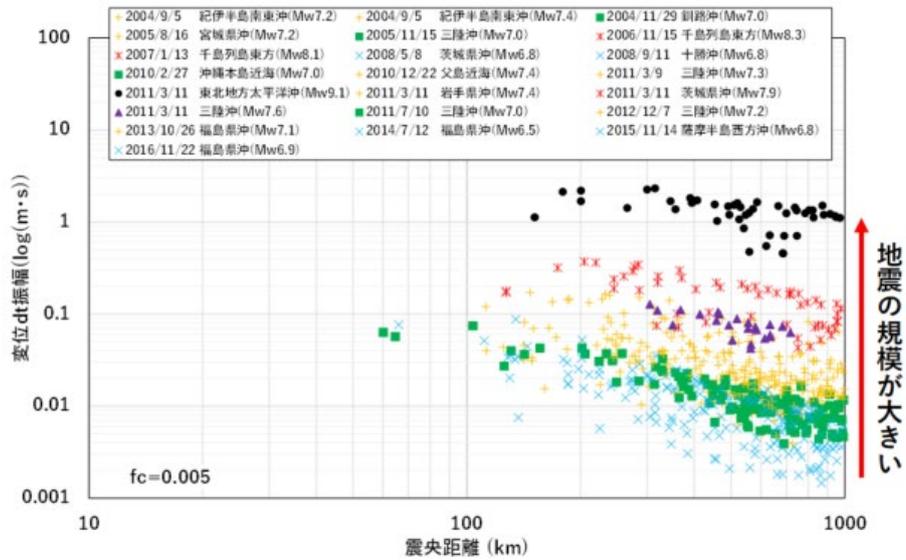


図19. スロー地震の即時規模推定手法の検討

変位を時間積分した波形の振幅からマグニチュードを推定する手法を開発している。

図はMwに応じて異なったレベルの振幅値となっており、マグニチュードに換算可能。

(気象庁 [課題番号 : 7009] )

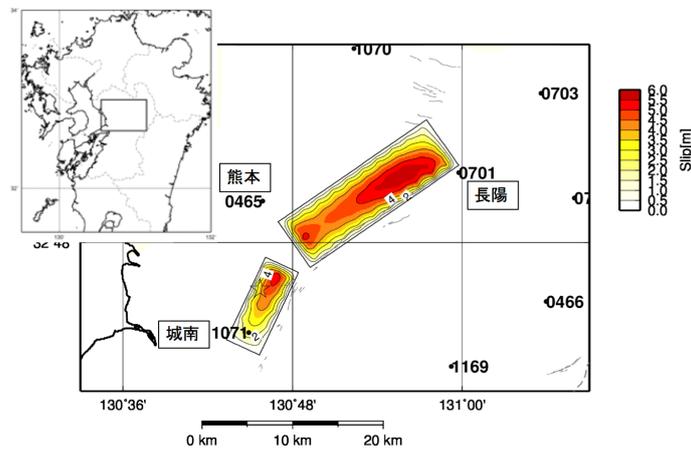


図20. PTSにより推定された2016年熊本地震本震時の地震時すべり分布

(東北大学 [課題番号 : 1209] )

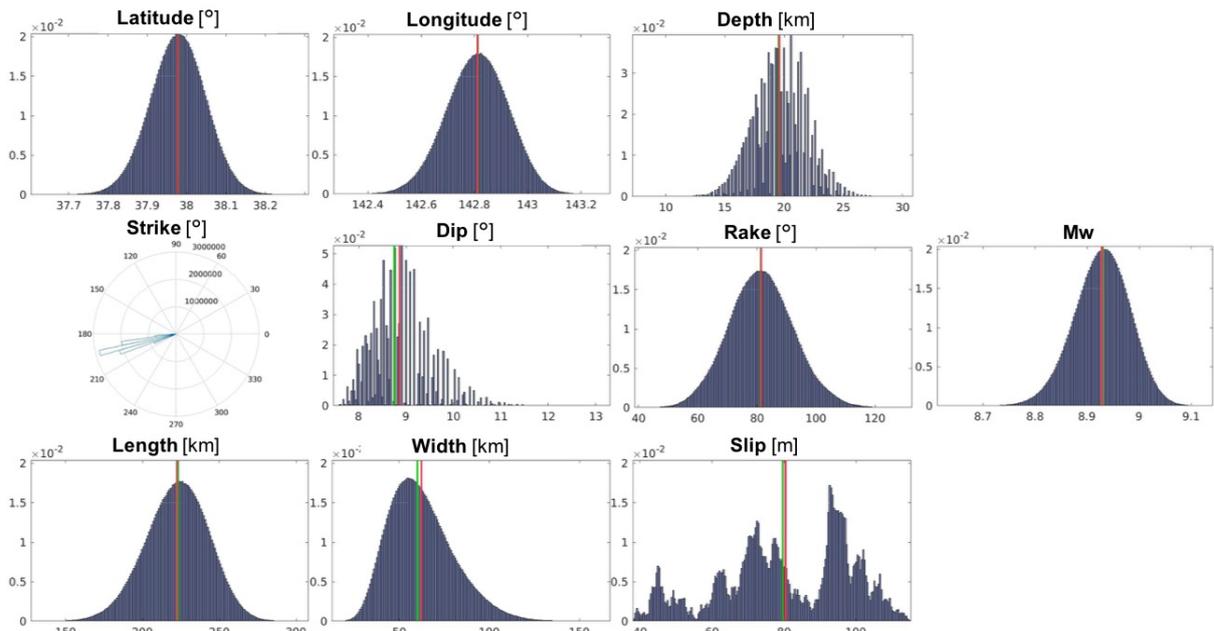


図21. MCMC法によって推定したリアルタイムGNSSによる永久変位データにもとづく地震時単一矩形断層モデルの推定結果を確率密度分布として示す（東北大学 [課題番号：1209]）

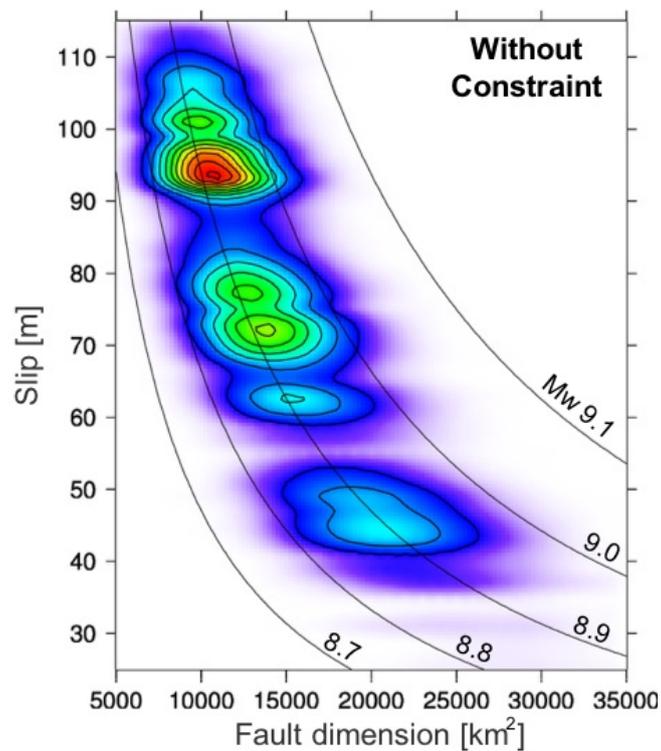


図22. 上図で推定された断層パラメータのうち、断層面積とすべり量の相関を正規化した頻度分布（東北大学 [課題番号：1209]）

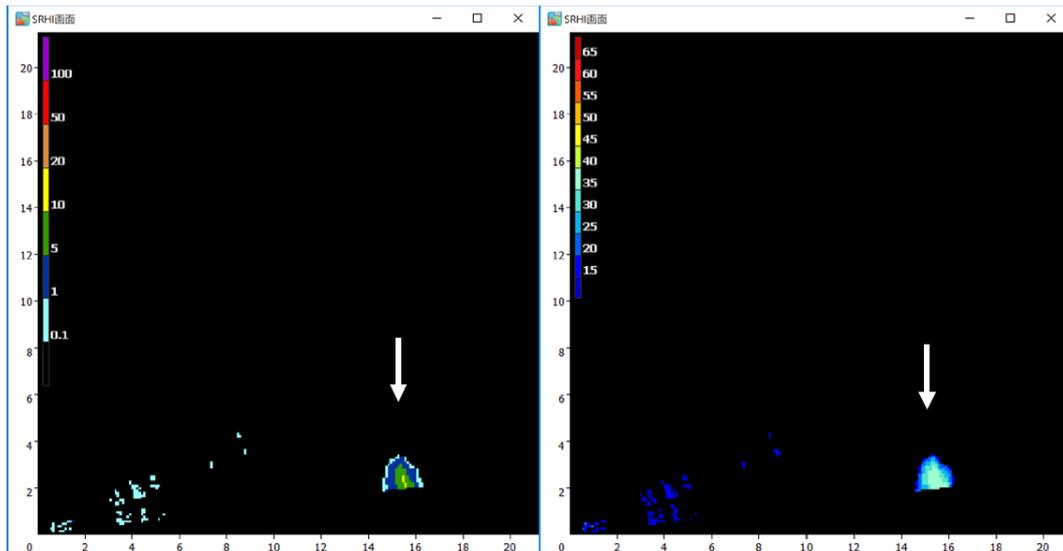


図23. スキャンセクタRHI モード，新燃岳方向（N64° E）の鉛直断面  
 2017年10月12日11:39. 縦軸と横軸は高度および距離（km単位）。  
 左：雨量換算値（降水強度）（mm/h），右：水平偏波レーダー反射因子（dBZ）  
 （京都大学防災研究所〔課題番号：1913〕）

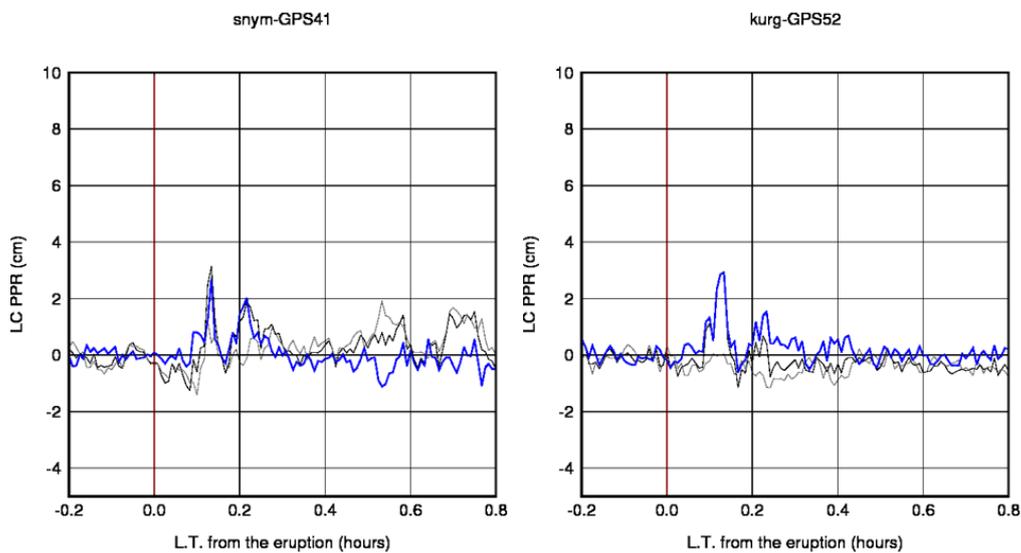


図24. 桜島南岳爆発に伴うGNSS解析の位相残差（PPR）の時間変化  
 桜島南岳において2017年11月13日22:07に発生した爆発の，SNYMおよびKURG観測点  
 におけるPPRの時間変化。時間は爆発発生からの経過時間を示す。  
 （京都大学防災研究所〔課題番号：1913〕）

## 1 (6) 地震・火山災害

「地震・火山災害」計画推進部会長 木村 玲欧

(兵庫県立大学環境人間学部)

副部会長 三宅 弘恵

(東京大学大学院情報学環)

地震・火山災害部会は、平成26年度から始まった『災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画』において、災害科学の確立に資するため「災害」現象の解明に焦点を置く目的で設置された部会である。この部会では、防災・減災に対する社会の要請を意識しながら、理学、工学、人文社会科学などの研究者が連携することによって、地震・火山噴火の災害事例の実証、地震・火山噴火の災害発生機構の解明、地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化、研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成などを目指した研究を行っている。

地震・火山噴火などによる災害は、これらの自然現象に起因する災害誘因（外力：Hazard）だけでなく、地形・地盤などの自然環境や人間の持つ特性や社会の仕組みといった災害素因（脆弱性：Vulnerability）を解明することが必要であり、災害は災害誘因と災害素因との関係のもとにその大きさや特徴が決定すると考えられている。つまり、東日本大震災を踏まえて災害科学の一部として開始した本研究計画では、これまでの長年にわたる研究計画で実施してきた災害誘因としての地震・火山噴火研究に加えて、災害素因との関係を意識して研究計画を推進することが必要であるとして計画が策定された。但し、災害誘因研究から災害素因研究へ移行することを意図しているわけではなく、災害の軽減に貢献するための総合的な災害科学の確立のためには、災害発生の要因である災害誘因・災害素因双方の解明が必要であることを意図している。

現時点における科学的研究成果を鑑みると、災害誘因については、自然現象の発生そのものを抑止することは不可能なため、現象・被害・影響の発生機構の解明や予知・予測といった現象の理解に研究の重きが置かれている。また災害素因については、構造物・ライフライン・情報システムなどのいわゆるハード面や、社会組織体制や人間行動などのいわゆるソフト面から、発生する被害・影響を小さくする（被害抑止）、そして防ぎきれずに発生した被害・影響をそれ以上大きくさせない（被害軽減）ことを目的とした研究が行われている。災害素因の研究については、防災研究もしくは、被害・影響の低減の観点から減災研究とも言われている。これらの研究を総合的な災害科学研究として推進するために、理学だけではなく、防災学・減災学に関連する建築学・土木工学・情報工学・農学などをはじめとする工学、心理学・社会学・福祉学・歴史学・法学・経済学・地理学などをはじめとする人文社会科学などの関連研究分野との連携を図りつつ、計画を推進するものである。

### 1. 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

地震・火山噴火の災害事例の研究について、本年度は史料データベースを解析しながら、安政江戸地震に関する絵画史料の分析と江戸市中での避難状況や、嘉永七年の伊賀上野地震における京都市中での震災対応などについて検討した。特に、安政二年十月二日（1855年11月11日）夜に発生し、関東地方南部に甚大な被害を及ぼした安政江戸地震における江戸市中での被害と復興の様子を描いた絵巻として、薩摩の島津家に伝来した「江戸大地震之図」（島津家文書、東京大学史料編纂所所蔵）に描かれた内容について、関連する文献史料に記された内容を踏まえて詳細に分析した結果、絵巻にある被災した大名屋敷は薩摩藩芝屋敷であることが判明し、描かれている人物を特定することができた。これによって「江戸大地震之図」の主題や成立時期が明らかとなり、今後、江戸市中での具体的な地震被害を検討する際に基本史料として用いることが可能となった。また、安政江戸地震をを対象に、地震発生直後における江戸市中での人々の避難状況や、被災した町人などに対する幕府（町奉行）の救済の様相について、文献史料や絵画史料に基づいて検討し、地震直後で余震が打ち続く中での町人などの避難方法や避難場所、被災した町人などに対する幕府側の施策、余震の発生状況や気象条件に起因する避難状況の変化などを明らかにした（図1）（東京大学地震研究所[課題番号：1513]）。

また過去の災害事例の状況をふまえた地震・火山噴火に関する知識の発信方策についての検討を実施した。特に、2016年熊本地震における余震情報と避難行動等についての社会調査を実施した。熊本地震では二度にわたる震度7の地震やその余震が被災者の避難や被災地の復旧活動等に大きな影響を与えた。本調査では、余震に関する情報が被災者に適切に伝わっていたのか、余震に関する情報は被災者の避難行動などにどのような影響を及ぼしたのか、余震の情報源に対して被災者はどのような評価をしているのかなどを、地震後の被災者の行動や復旧・復興の様子全体像とあわせて明らかにする目的で、文部科学省研究開発局地震・防災研究課と共同で調査を実施し、分析結果を論文として公表した。地震発生前のリスク認知について「あなたのお住まいの地域の活断層によって地震が起きる」と地震発生前から思っていましたか」と尋ねたところ、「活断層の存在を知らなかった」が69.7%、約7割の住人が地域の活断層の存在を知らなかった。次いで「地震はたぶん起きない」が17.3%、「21世紀中に起きそう」が6.9%、「ここ10年くらいに起きそう」が2.9%、「数年以内には起きそう」が2.3%、無回答が0.9%であった。地震発生前から活断層の存在を知っていた約3割の住民についてもその半数が「地震はたぶん起きない」と認識していたことが明らかとなった（図2）。また、「前震後に余震が発生する可能性を想起したか」について、地震後に「また、大きな余震が発生するかもしれないと思いましたか」と尋ねた。前震避難の有無で見たところ、避難をした人(n=1,655)では、約4割が「今日・明日にでも起きる」(34.3%)、「3日以内には起きる」(3.3%)と余震発生の可能性を高く見積もる一方で、同じく約4割が「当分もう起きない」(28.9%)、「余震のことは考えなかった」(10.5%)と、余震発生の可能性を低く見積もっていたことがわかった。避難をしていなかった人(n=1,517)では、約6割が「当分もう起きない」(37.9%)、「余震のことは考えなかった」(23.3%)と余震発生の可能性を低く見積もっていた( $\chi^2(5)=208.9$ ,  $p<.01$ )（図3）（新潟大学[課題番号：2702]）。

## (2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

地震の災害発生機構の解明について、堆積平野・堆積盆地における地震災害発生機構の解明を行うため、本年度は地盤構造（自然素因）の影響評価に向けた研究として、堆積平野・堆積盆地における地下構造のモデル化手法の妥当性の検討に着手した。2016年熊本地震の臨時余震強震観測によって、従来の地下構造モデルでは地震動増幅率が過小となる箇所が多く、より深く、より速度が遅い構造に修正する必要があることが分かった。そのため、震源における断層滑り分布インバージョンの推定に必要な観測点直下の地下構造モデルを、複数の中小地震の全波形(full-wave)チューニングを利用することにより構築した。これにより、震源での浅い部分の滑り分布の解像度が向上し、震源破壊過程と、活断層や地震活動から示唆される断層幾何形状についての議論が可能となった。また、堆積平野・堆積盆地の形成過程を踏まえた地下構造モデル化手法の調査を開始すると共に、国内の堆積平野・堆積盆地にする強震記録データベースの整備を行った(図4)(東京大学地震研究所[課題番号:1515])。

また火山噴火の発生と避難行動の関係を解明するため、昨年度実施した大規模火山噴火を想定した事前広域避難方法に関する調査では、事前広域避難を行う住民に焦点を当て、避難意向を持つ住民がどの程度の時間で避難を完了できるかを中心に調査したが、今年度はこれを踏まえて、その再検証(アンケート分析)や噴火時の風向きを変える等の条件を変えた調査を行い、調査の有効性を高めた。さらに、事前避難を行わずに降灰地域に取り残された住民が晒される危険やその対策に関する検討も行った。具体的には、降灰による交通網の制限が物資輸送に与える影響や、噴火後の域内避難の必要性等に関しての検証等である。事前広域避難を行う住民と、避難せず降灰域に残る住民のどちらでもない、噴火中もしくは噴火直後に広域避難する住民などが居り、それぞれに対する検討の必要性が明らかになった。噴火中の避難行動は多くの危険を伴うために事前避難を前提とするのが適切ではあるが、現実には避難しない住民も出てくると予想されるため、その対応は無視できない。また、降灰の交通網への影響を事例から調査では、海外の政府の対応事例は日本に比べて敏感な傾向を持つということがわかった。例えば1980年のセントヘレンズの例では、1.3mmの降灰で自動車道への5日間の交通規制を行ったが、鹿児島では一般的に10mm以上の降灰で、自動車道の交通規制を行うことが判明した。その他、避難のフローとしては2016年熊本地震での住民の行動を参考にして検討し、降灰が交通網に与える影響について、降灰の交通網への影響は降灰量と交通網の状態を確率的に表現するフラジリティカーブの有効性がわかった(図5)(京都大学防災研究所[課題番号:1914])。

また「脆弱性」という概念について、これまでの研究において東日本大震災における被害構造を総括して理論的に導き出された作業仮説に基づき、(1)空間(土地利用、土地条件、都市計画、都市機能など)、(2)防災意識・災害文化(災害の集合的記憶とその喚起装置、災害への備えなど)、(3)社会的凝集性(地域住民組織、防災組織・NPOやその組織間関係、行政との協働など)、(4)災害対策(防災施設等のハード対策と防災計画等のソフト対策)の各側面について、それぞれ調査研究を進めた。特に(1)土地利用変化と空間に現れる脆弱性については、東日本大震災被災地における過去100年間にわたる土地利用調査から、1970年代以降のその変化において「堤防効果」あるいは「安全開発のパラドクス」と呼ばれる傾向の存在を指摘した。地理情報システム(GIS)を利用しながら、いわゆる土地利用の都市化が激しかったホットスポットを探し出し、戦前期から昭和20年代

と昭和40年代以降の時期との間で異なる地域的傾向を見出した上で、その背景にある都市間競争とそれにかかわる計画的な都市開発の影響を、いわゆる「地方政府のパラドクス」との関係において考察した（図6）（名古屋大学[課題番号：1704]）。

### （3）地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

地震の災害軽減のための情報の高度化について、災害の人文社会学的研究の側面から、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）の統合的活用方法の開発を行っている。今年度は、前年度から引き続き、災害の人文社会学的研究に関する地理空間情報、GIS、衛星測位の統合的活用方法の開発を行った。さらに、町内会レベルもしくは個人レベルの避難に関する分析を行ない、各スケールにおける開発と災害リスクの関係やリスク軽減のための課題などを明らかにした。上記の分析と並行して、自治体・住民組織を対象とした災害関係の情報流通に関する分析を行い、防災・減災の対策を、各種避難警報やハザードマップなどを要素とした情報の流通について検討した。特に、災害リスクを軽減させるために、国、地方自治体、住民組織、住民個人の間で、どのような情報流通を行う必要があるか、自治体、住民などへの聞き取りから明らかにし、オープンソースライブラリを用いた津波浸水に関する時間発展の可視化を行うことで、津波防災に関する災害情報流通の加速化に向けたシステム構築の研究を行った。加えて、地域防災のための公開講座や防災GIS講習会等の開催により、最も効果的な研究成果の普及手法の検討を行った（図7）（北海道大学[課題番号：1006]）。

火山災害情報およびその伝達方法のあり方について、2014年9月27日の御嶽山噴火にとともに、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・提案を行っている。今年度は、御嶽山の長野県側（大滝村、木曾町）、噴火発生時に登山していた人とその遺族に対しアンケートを実施した。質問内容は、低頻度の自然災害である火山災害の発生リスクに対する意識、各情報源から出される情報への信頼度、噴火の記憶の継承とした。調査の結果、噴火から3年が経過したものの「噴火が今の暮らしに影響を及ぼしている」との回答が最も多かった。また、山麓に備えてほしいものでは、「登山者の意識を高める場所」が指摘されており、改めて地域住民のみならず登山者への働きかけの重要性を示す内容となった。また、受け手に有用な火山災害情報およびその伝達方法のあり方について検討するために、御嶽山噴火後に噴火を経験した口永良部島、桜島、箱根における一般向けの火山観測情報の開示の取り組みについて調査した。いずれも火山を観測している地元の研究機関と密接な関係のもとで情報提供が行われており、地元自治体や住民と研究機関の相互コミュニケーションの重要性が示された（図8）（名古屋大学[課題番号：1706]）。

### （4）研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

地震動や津波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ことを目的として、2016～2017年度に大きな地震があったイタリアやニュージーランド、台湾などにおいて被害やリスクコミュニケーションに関する現地調査を行った。また、確率論的地震動予測地図を、明治以降の観測震度と比較することにより、その有効性を検証した（図9）。本年度

は、昨年度実施した調査票調査の分析と昨年度の調査を補完する為に、対象範囲を拡大させてさらなる調査票調査を行った。結果として、平均的な人が体験するのは、犯罪に比べて地震の方が頻度が高く、また関連する情報に触れる機会が多いこと、よりリスクを感じていることなどが明らかになった。さらに、地震や犯罪に関する経験の有無と、それらへのリスク認知のあり方が関係していることがわかった（東京大学地震研究所[課題番号：1517]）。

火山災害軽減のために利用できる簡便な情報端末の普及を目指し、インターネットを介して火山情報などの防災情報と関係機関の各種観測情報を準リアルタイムで収集し、それらを統合して表示するシステムの開発を行っている。今年度は、衛星画像や土砂災害警戒メッシュ情報などへの対応、河川の防災情報の表示やアメダス情報などの設定・観測点選択ダイアログの不具合の修正を行った。また、利用いただいている北海道の自治体から要望があった高解像度レーダー情報の取得・表示を可能にした。さらに、GUIの改善として単独ウインドウによる情報表示や地震波形等WINデータのudp受信機能の実装を進めた。昨年度で当初に計画したクライアントプログラムの開発が完了したことから、システム開発に協力をお願いした北海道庁や道内の3市9町の担当者との意見交換会を2017年7月19日に札幌において開催した（図10）（北海道大学[課題番号：1009]）。

### これまでの課題と今後の展望

現行計画では、災害科学の確立に資するため「災害」現象の解明に焦点をあて、防災・減災に対する社会の要請を意識しながら、全国の大学における理学、工学、人文社会科学の研究者が連携することによって、地震・火山噴火の災害事例の実証、地震・火山噴火の災害発生機構の解明、地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化、研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成などを目指した研究を実施してきた。

具体的には、地震・火山噴火の災害事例の研究において、近代観測開始以前の史料データベースなどを通して被害地震における地震対応についての検討および、過去の災害事例の状況をふまえた地震・火山噴火に係る知見の発信技術プロトタイプについて2016年熊本地震における被災者のリスク認知について明らかにした。地震・火山噴火の災害発生機構の解明において、国内外の堆積平野・堆積盆地における地下構造モデル化手法の適用妥当性の実地検証に着手したり、噴火災害においてとくに対策が未整備である「降灰被害」について事前広域避難の有無における対策の違いについて検討したり、脆弱性という概念的整理について東日本大震災を事例とした人文社会科学的検討を行った。地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化においては、北海道を事例に地理空間情報・GIS・衛星測位を統合的に活用した避難支援システムの構築を行い、住民側の火山災害に対するリスク認知や情報ニーズについても社会調査などで明らかにした。研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成については、住民の地震リスク認知や専門家に対する信頼性についての検討および、GUIに特化した準リアルタイム火山情報の配信システムの構築と使用されるための課題を実証によって明らかにした。

今後は、この4年間の研究成果で明らかになった仮説などを最終年度において検証させていながら、体系化・理論構築を図っていくことが重要である。具体的には、地震・火山噴火の災害事例の研究においては、史料データベースや研究データベースなどの資料に

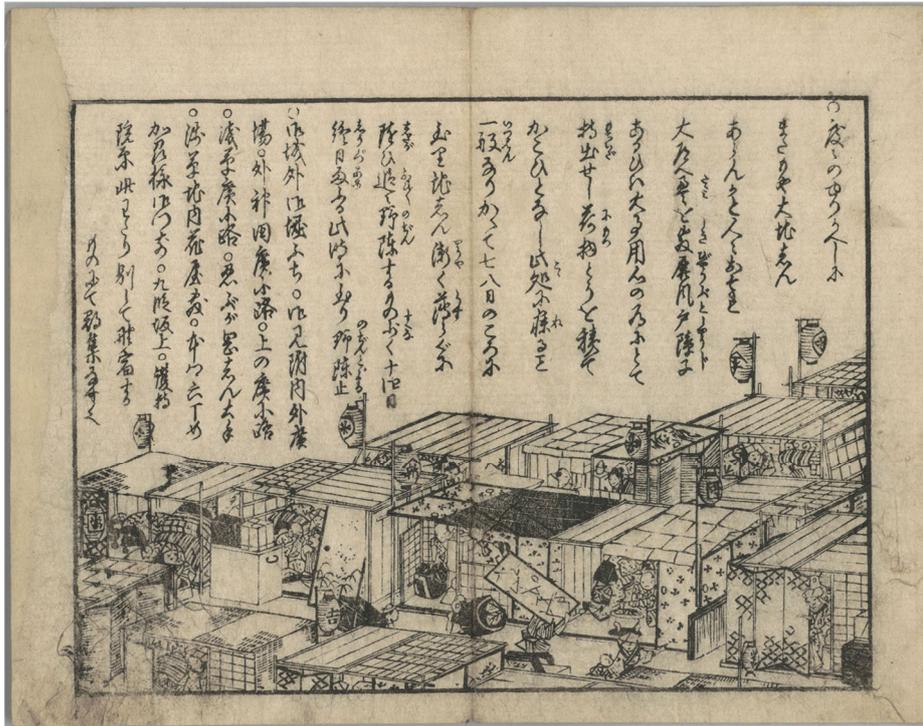
基づき、地震・津波・火山災害などの自然災害の災害事例について更に収集を行い、当時の人々の対応や教訓、復興過程、災害研究の全体像などについて検討を続け、複数災害間についても検討する。地震・火山噴火の災害発生機構の解明においては、国内外の堆積平野・堆積盆地における強震記録データベースをもとに、地震災害誘因の自然素因への作用の解明と地下構造モデル化手法の適用妥当性を検証することや、脆弱性概念の検討についてはこれまでの研究によって明らかになった仮説の検討・検証を、量的調査・質的調査の実施とともに人文科学的観点から検証する。地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化においては、準天頂衛星などによる衛星測位と地理空間情報およびGISの統合的活用法を開発し、積雪寒冷地の地域特性を考慮した災害発生時の避難に関する研究を行い、課題抽出と対策を提言することや、火山災害における住民の火山災害情報の受けとり方について、火山間の比較などを通して総合的な検証をする。研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成については、住民の災害リスク認知や専門家に対する信頼について調査分析を行い、火山情報の配信システムについて自治体等の活用実績をもとに受信者側のニーズについての検証をすることが重要である。

## 成果リスト

- Chimoto, K., H. Yamanaka, S. Tsuno, H. Miyake, and N. Yamada, 2017, Effect of shallow S-wave velocity structure on ground motion characteristics at temporary aftershock observation stations of the 2016 Kumamoto earthquake, IAG-IASPEI 2017, S07-P-21.
- 橋本雄一（編）、2017、「二訂版 QGIS の基本と防災活用」、古今書院。
- 橋本雄一、2017、国土数値情報を利用したハザードマップの作成、地理情報システム学会教育委員会編「地理空間情報を活かす授業のためのGIS教材」、古今書院、86-91.
- 深田秀実・橋本雄一・沖観行、2017、津波避難ビルの階段上昇を含む避難行動シミュレーションー釧路市橋北地区を対象とした基礎的検討ー、地理情報システム学会講演論文集、26、CD-ROM.
- Inoguchi, M., Tamura, K., Hayashi, H., and Shimizu, K., 2017, "Time-Series Analysis of Workload for Support in Rebuilding Disaster Victims' Lives? Comparison of the 2016 Kumamoto Earthquake with the 2007 Niigataken Chuetsu-oki", Journal of Disaster Research, Vol.12, No.6, pp.11161-1173.
- 川村壮・橋本雄一、2017、津波浸水の時間経過を考慮した建物ごとの避難可能性の時空間分析ー北海道苫小牧市を事例としてー、地理情報システム学会講演論文集、26、CD-ROM.
- Kimura, R., Ohtomo, S. and Hirata, N., 2017, "A Study on the 2016 Kumamoto Earthquake: Citizen's Evaluation of Earthquake Information and Their Evacuation and Sheltering Behaviors", Journal of Disaster Research, Vol.12, No.6, pp.1117-1138.
- Kobayashi, H., K. Koketsu, and H. Miyake, 2017, Rupture processes of the 2016 Kumamoto earthquake sequence: Causes for extreme ground motions, Geophys. Res.

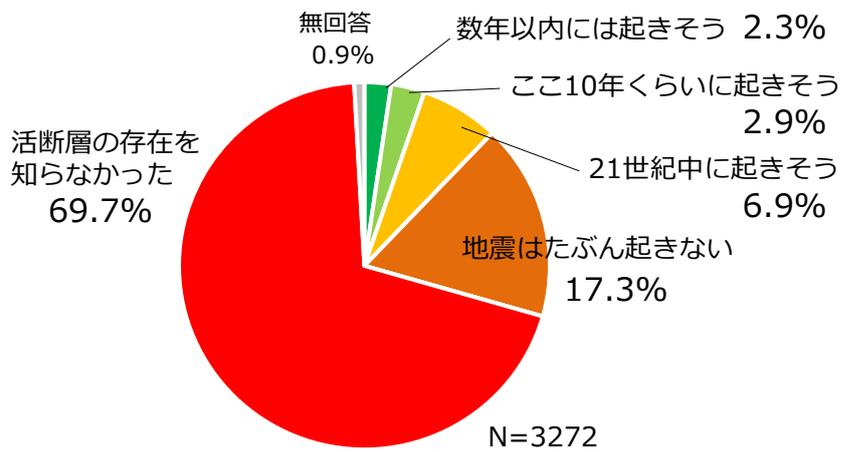
- Let., 44, 6002-6010.
- Koketsu, K., A. Cerase, A. Amato, and S. Oki, 2018. Lessons learned from L'Aquila trial for scientists' communication, AOGS-EGU Joint Meeting, F-D1-AM1-BR2-004.
- 三宅弘恵・Loic Viens・Marine Denolle, 2017, 地震波干渉法による有限断層の地震動シミュレーション, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SCG70-07.
- 三宅弘恵・瀨瀬一起・古村孝志・宮川幸治・田中伸一, 2017, 東京大学地震研究所の強震観測網と強震観測データベース, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SCG70-P10.
- Nakayachi, K., B. B. Johnson and K. Koketsu, 2017. Effects of acknowledging uncertainty about earthquake risk estimates on San Francisco Bay Area residents' beliefs, attitudes, and intentions, Risk Analysis, doi:10.1111/risa.12883, 1-14.
- 大島弘光, 宮村淳一, 棚田俊收, 2017, 準リアルタイム火山防災情報表示システムの開発, 2017 年度日本火山学会講演予稿集, 250.
- Ohtomo, S., Kimura, R. and Hirata, N., 2017, "The Influences of Residents' Evacuation Patterns in the 2016 Kumamoto Earthquake on Public Risk Perceptions and Trust Toward Authorities", Journal of Disaster Research, Vol.12, No.6, pp.1139-1150.
- 奥野祐介・塩崎大輔・橋本雄一, 2017, 観光都市における疑似的津波集団避難に関する移動軌跡データ分析, 地理情報システム学会講演論文集, 26, CD-ROM.
- 阪本真由美, 2017, 防災情報としての噴火警戒レベルに関する研究, 日本災害情報学会第19回学会大会予稿集
- 阪本真由美, 2017, 2015 年口永良部島噴火に伴う住民の避難・帰還プロセスに関する研究, 日本災害復興学会 2017 神戸大会予稿集
- 塩崎大輔・橋本雄一, 2017, オープンソースライブラリによる津波浸水に関する時間発展の可視化と利活用, 情報処理学会研究報告情報システムと社会環境 (IS), 141, 1-6.
- 塩崎大輔・橋本雄一, 2017, オープンソースライブラリを用いた津波浸水に関する時間発展の可視化, 地理情報システム学会講演論文集, 26, CD-ROM.
- 杉森玲子, 2017, 島津家文書「江戸大地震之図」および近衛家旧蔵の同図様絵巻の史的性情格について, 東京大学史料編纂所附属画像史料解析センター通信, 第 78 号, 2-22.
- Takahashi, M. and Muroi, K. Eds., 2017, International Comparative Study on Mega-earthquake Disasters. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University: Nagoya, 153p., ISBN: 9784904316153
- 田中重好・高橋誠・黒田達朗編『新しい防災の考え方を求めて (シリーズ 3) : コミュニティ防災を考える』名古屋大学大学院環境学研究科, 2017 年, 総 198 頁, ISBN: 9784904316146
- 津野靖士・是永将宏・山中浩明・地元孝輔・岡本京祐・山田伸之・三宅弘恵・松島健, 2017, 熊本平野で展開した臨時地震観測とその地震動特性, 第 45 回地盤震動シンポジウム, 日本建築学会, 24-33.
- Viens, L., M. Denolle, H. Miyake, S. Sakai, and S. Nakagawa, 2017, Retrieving impulse response function amplitudes from the ambient seismic field, Geophys. J. Int., 210, 210-222.

●「戸障子を以家根杯拵居り候」⇒ 雨戸や障子で屋根等を作り、そこで過ごした。



度々のゆりかへしに、またもや大地しんあらんか  
 と人々おそれ、大道へ畳を敷、屏風戸障子、ある  
 ひは火事用心の爲にとて、持出せし荷物とうを積  
 てかこひとなし、此処に寐ること一般なり：：

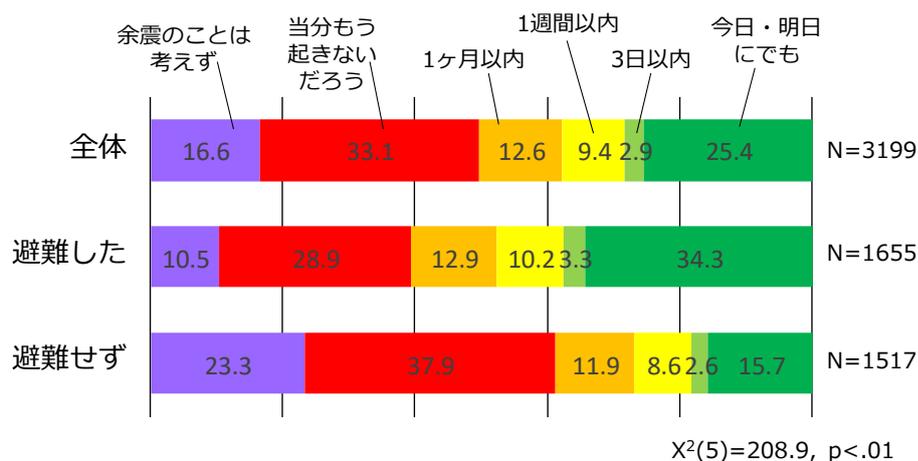
図 1. 『江戸大地震末代噺之種』（東京大学地震研究所所蔵）と安政江戸地震における野宿の様子（東京大学地震研究所[課題番号：1513]）



7割が地域の活断層の存在を知らず、知っていた3割についても、そのうちの半数以上が「地震はたぶん起きない」と認識

図 2. 地震発生前の地域の活断層に対する認知（2016年熊本地震における余震情報と避難行動等に関する社会調査）（新潟大学[課題番号：2702]）

「余震が発生するかもしれない」と思ったか



避難をした人でも、約4割が「当分もう起きない」「余震のことは考えなかった」と考えていたことがわかった。避難をしていなかった人では、約6割が「当分もう起きない」「余震のことは考えなかった」と考えていた

図 3. 2016 年 4 月 14 日の前震後の余震発生可能性の認知（2016 年熊本地震における余震情報と避難行動等に関する社会調査）（新潟大学[課題番号：2702]）

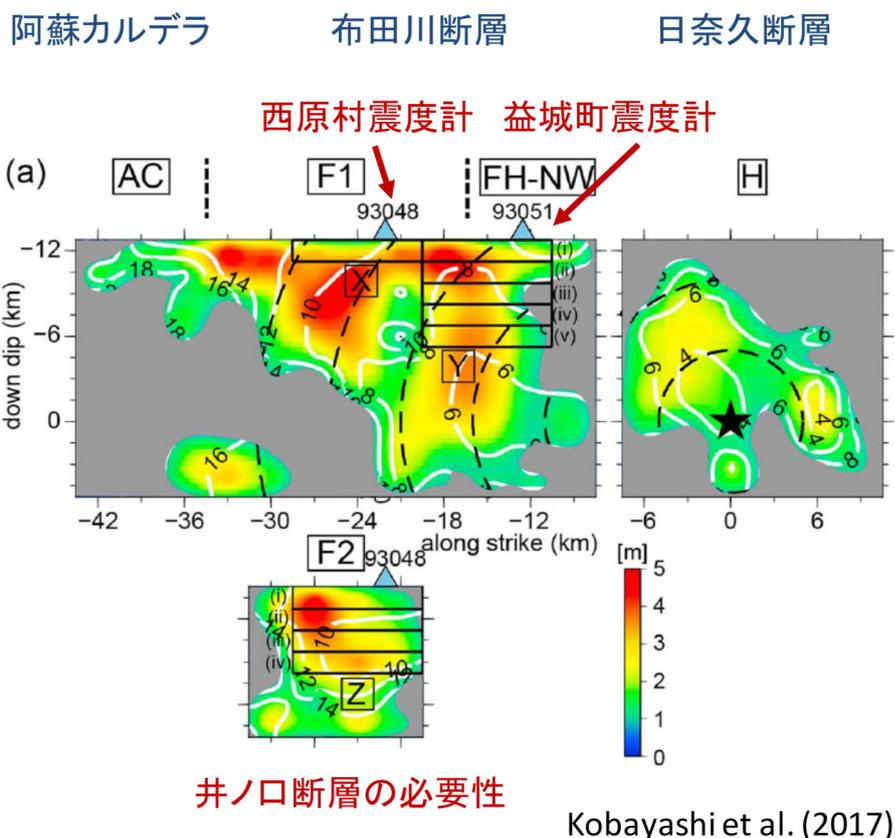
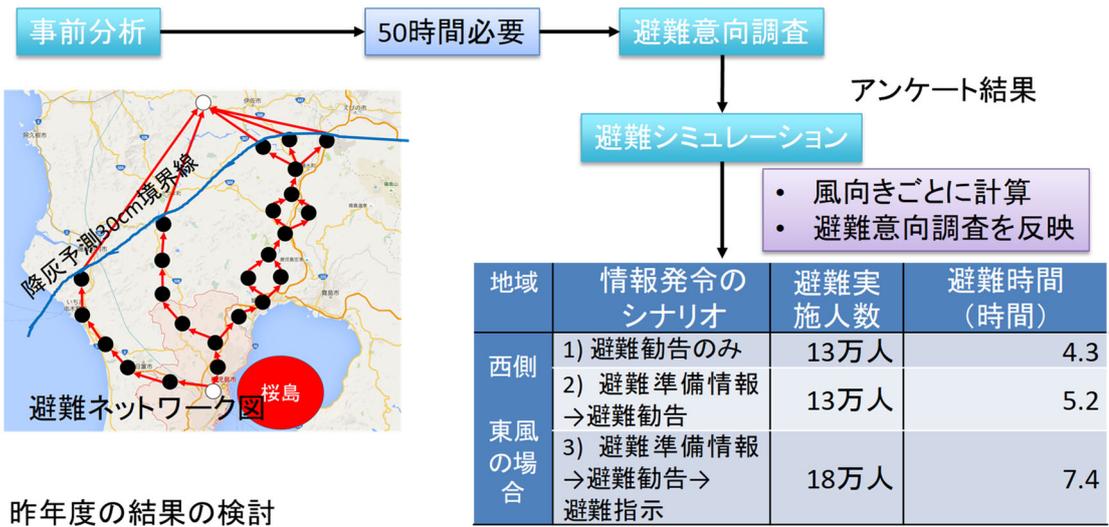


図 4. 地下構造モデル化手法の適用妥当性(2016 年熊本地震)。これにより、震源イメージジョンの浅い部分の解像度が向上し、震源破壊過程と、活断層や地震活動から示唆される断層幾何形状の議論が可能となった。（東京大学地震研究所[課題番号：1515]）



昨年度の結果の検討

再検証(風向きの変更など)の実施方法や、事前避難を行わずに降灰地域に取り残された住民が晒される危険やその対策

- ・噴火中に広域避難する住民に関する検討
- ・降灰量と交通網の状態を確率的に表現するフラジリティカーブによる検討

図 5. 桜島の大规模火山噴火を想定した事前広域避難計画のための方法論 (京都大学防災研究所[課題番号: 1914])

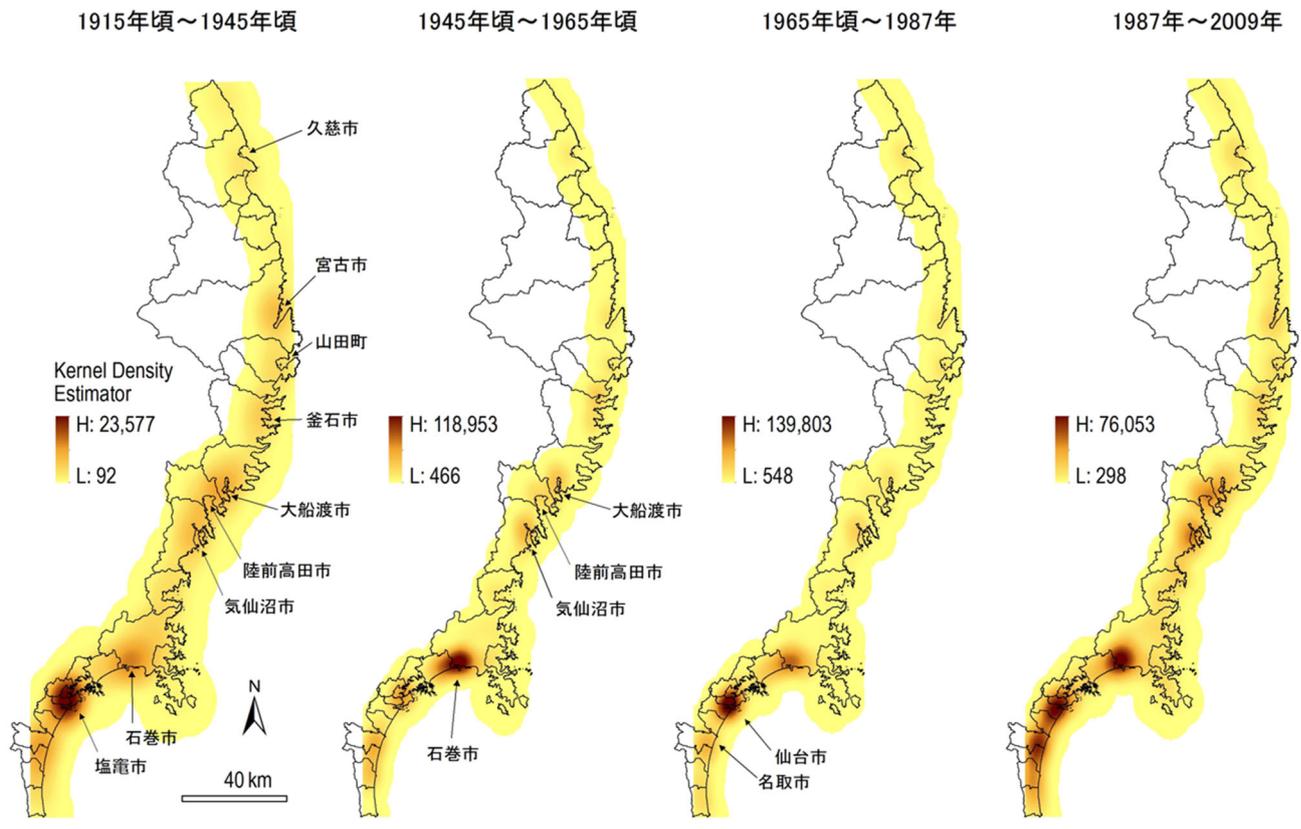


図 6. 東日本大震災の被災地における都市的土地利用への変化 (ホットスポット) (名古屋大学[課題番号: 1704])

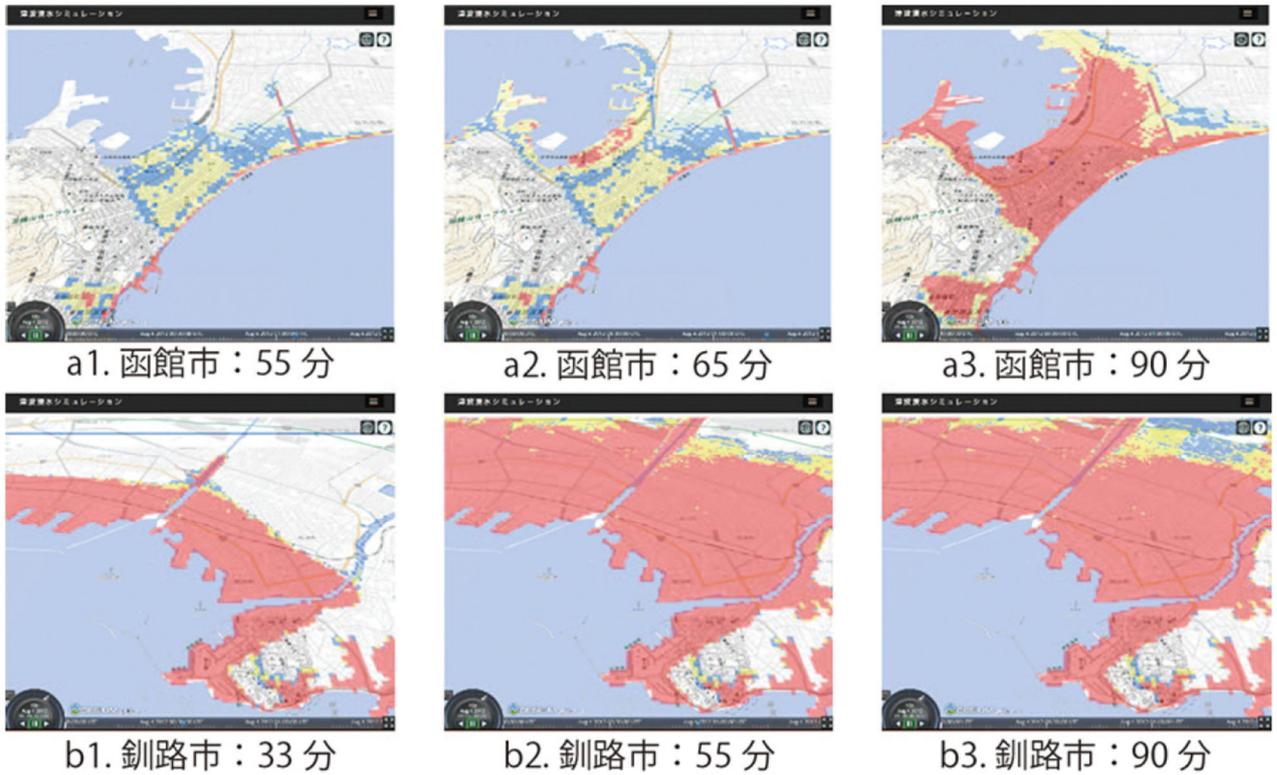


図 7. 函館市および釧路市における津波浸水域の時間発展（北海道総務部危機対策局危機対策課が作成した津波浸水シミュレーションデータと本研究で独自に開発した Web アプリケーションにより作成）（北海道大学[課題番号：1006]）

### 2014年御嶽山噴火に至るタイムライン

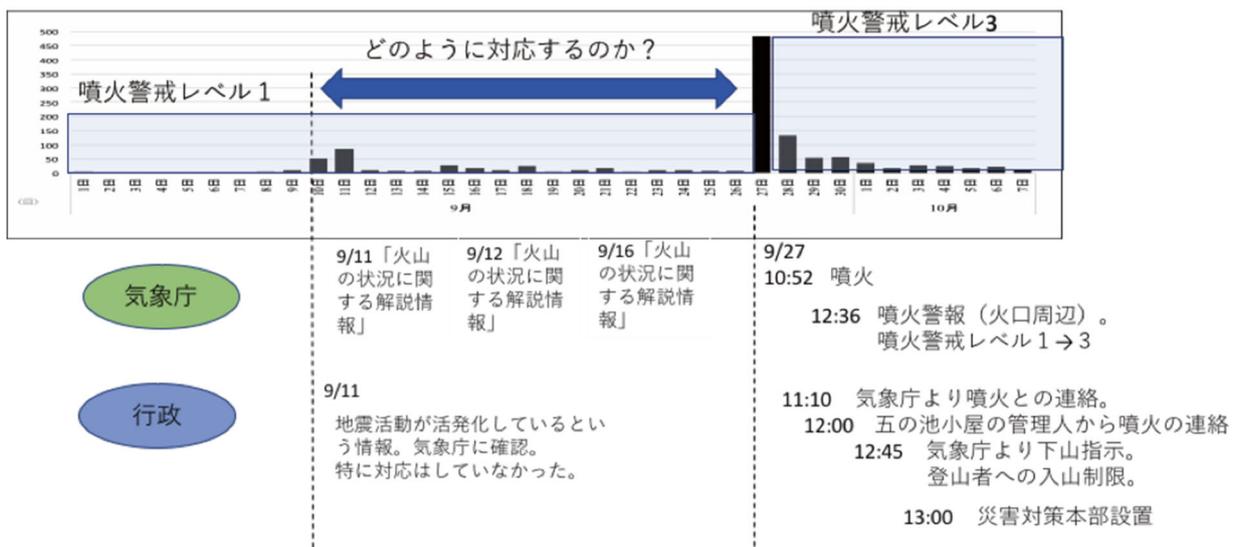


図 8. 2014年御嶽山噴火に至るタイムライン（名古屋大学[課題番号：1706]）

#### (4)-1 確率論的地震動予測地図と明治以降の観測震度との比較結果

##### 【目的】

明治以降の震源データを整理し、30年の区切りで各観測地点の最大震度を求めた観測最大震度地図と、確率論的地震動予測地図を比較し、後者の予測精度を検証する。

##### 【データと計算条件】

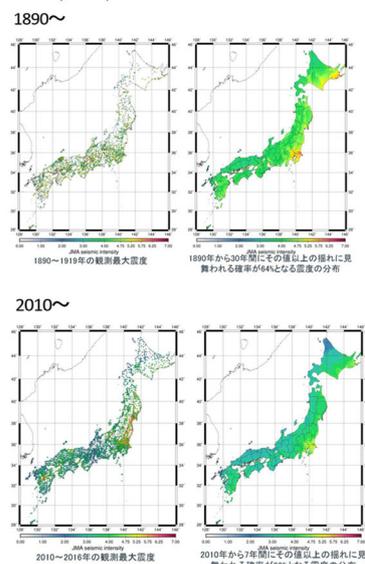
過去の地震	用いた震度データ
1873～1925年に起きた地震	石垣、2007
1923～2016年に起きた地震	気象庁
1923年昭和関東地震	武村、2003
1944年昭和東南海地震	宇佐美、1995
1945年三河地震	原田・他、2016
1946年昭和南海地震	* データを原田博士に提供いただきました。
1948年福井地震	

用いた式、データ	
ハザードカーブ	宮藤・他、2016
表層地盤増幅率	若松・松岡、2013
最大速度から震度への変換	翠川・他、1999 藤本・翠川、2005

\* ハザードカーブの計算結果を宮藤博士に提供いただきました。

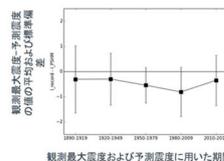
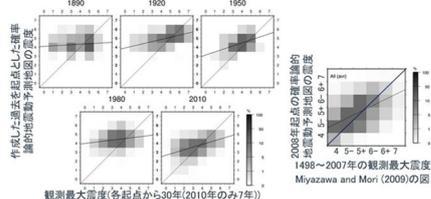
Miyazawa and Mori (2009) および、確率以外の計算条件は「確率論的地震動予測地図 2016 年度版」に準拠し、観測最大震度地図と確率論的地震動予測地図を比較した。

##### 【比較(一部)】



##### 【まとめ】

各地点における観測震度と予測震度の比較をMiyazawa and Mori (2009)の方法で実施した。



・過大評価・過小評価の傾向はMiyazawa and Mori (2009)の結果に比べて著しく、確率論的地震動予測地図では高い予測精度を持たないことを意味する。

・震度4～5側の過大評価は、震源断層をあらかじめ特定しにくい地震の影響と想像できるが、これをなくすと6～7側の過小評価がひどくなるため、なくすことは難しい。

図 9. 確率論的地震動予測地図と明治以降の観測震度との比較結果 (東京大学[課題番号: 1517])

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

図 10. 準リアルタイム火山情報表示システムの配布機関(左図)と取得・表示可能な情報(右図)(北海道大学[課題番号: 1009])

## 1 (7) 史料・考古

「史料・考古」計画推進部会長 榎原雅治  
(東京大学史料編纂所)  
副部会長 佐竹健治  
(東京大学地震研究所)

将来発生する地震や火山噴火について知見を得るためには、現在だけでなく過去に発生した事象についても調査・研究を行う必要がある。地震や火山噴火は日本列島とその周辺域で有史以前から発生しているものの、日本において地震の近代的な機器観測が開始されたのは明治初期以降に過ぎず、全国的な機器観測の実施は100年に満たない。そのため、それ以前に発生した地震や火山噴火について知るためには、歴史学や考古学で用いられている史料や考古資料に基づいた調査・研究が必要になってくる。特に、一度発生すると大規模な被害をもたらす低頻度の大地震・巨大地震や火山噴火については、機器観測が実施されている期間に比べて発生間隔が長いために、機器観測によるデータは少ない。それ故に、史料や考古資料に基づくデータと近代的な観測データとの比較・検討を通して、大地震・巨大地震や火山噴火の再来間隔や、その前後に発生する中・小規模の地震や火山活動等の全体像の把握に努めていく必要がある。

平成26年度より開始された本研究計画ではそれまでの計画とは異なり、地震及び火山噴火における低頻度の大規模災害について、史料や考古資料を用いた研究の必要性が明示されており、当部会はこの新たな研究分野を主体的に推進する立場にある。そこで当部会では、個別の研究課題の成果に基づいて「災害の軽減に貢献する」ことができるような方向性を導き出し、本研究計画が切り拓く文理融合研究の新たな学術的展開に寄与していく必要がある。

### 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

歴史学や考古学において研究の基礎となる史料や考古資料について、地震や火山噴火現象及びそれに起因する災害の研究に活用するためには、地震関連史料集や考古遺跡の発掘調査報告書といった既存の媒体だけでは不十分である。さらなる研究の進展には、これらの史資料のデジタルデータ化とそれに基づく分析が必要であり、不足している部分については新たな史資料の収集も実施しなければならない。平成29年度も引き続き、史資料の調査・収集やデジタルデータ化、データ作成に関する作業方針の検討を実施した。また、個別のデータベースの試作版を基にして、史料・考古の統合データベースの試作版を構築した。

#### ア. 史料の収集とデータベース化

##### ・地震関連史料の調査・収集とデータベースの構築

既刊地震史料集に基づく地震・火山噴火史料データベースの構築を目指し、『増訂大日本地震史料』や『新収日本地震史料』に所収されている史料について、データベース構築

に必要な XML データ化作業を継続して実施した。史料本文をデータ化する際に、史料学的に信頼できる原典史料に遡り、史料記述の間違いの修正や省略部分の補足を行う校訂作業に重点をおいており、史料データの正確性の確保に努めている。既刊地震史料集全 33 冊（合計約 26,800 頁）のうち、データベース化の作業に着手しているのは 30.9% である。また、本研究で XML データ化した地震関連史料について、当時の地名を示す部分に位置情報（緯度・経度）を付与し、試作版の「日本地震関連史料データベース」に基づく検索結果について、国土地理院の地図上に表示するシステムの改良を行った。

加えて、平成 28 年度に引き続き、東海地方にあって長期間にわたる日記史料が現存する三河国田原藩（愛知県田原市）の「田原藩日記」（田原市博物館所蔵）の調査・撮影を実施した。さらに、嘉永七年（安政元年・1854 年）の南海地震関連の史料について、「今中文庫史料」（広島大学中央図書館所蔵）、「津山藩勘定奉行日記」（津山郷土博物館所蔵）、「売用日記」（岡山県倉敷市 竜王会館所蔵）、「矢吹家文書」（岡山県立記録資料館所蔵）の調査を実施した。

なお、調査・収集した史料を用いて、文禄五年（1596 年）の豊後地震に関する既存の史料について史料学的な評価を行い、地震の実態について検討した（東京大学史料編纂所 [課題番号：2601]）。

#### ・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

主に日本海沿岸地域における地震・火山関連史料を収集し分析するために、各地の史料保存機関に所蔵されている史料の原本調査を行った。また、既刊の地震・火山噴火史料集に所収されている史料について、原本調査に基づく校訂作業を実施した。原本調査と校訂作業による史料の分析に現地調査を加えて、次のような成果が得られた。

「本間（小泉）家文書」に所収の「信濃川御番所舟着場絵図」に描かれている船の状態を分析し、天保四年（1833 年）の庄内沖地震の津波による「御廻米御用船」の被害状況を示した絵図であることが特定できた。絵図に描かれている橋船や帆柱は、河岸・船囲場から 250～500 間（約 450～900m）の距離に散乱しており、舳下川に沿って逆流した津波が想定できる。

文政十一年（1828 年）の越後三条地震の史料によると、「潰家」とは家が揺れ潰れ、家内の人々が家の下敷きになって死者が出る状態を示すことから、「潰家」は全壊家屋とみなしてよい。一方で、「半潰」とは家が揺れ潰れず、死者が出ることが殆どない状態である。そのため、現行の（全潰戸数） $+0.5 \times$ （半潰戸数）を全戸数で除した数値をパーセントで示し、家屋倒壊率とすることには問題がある。また、地震被害の報告書にみられる家屋被害の状態については、奉行や代官等から指示された「潰家」「半潰」「大破」といった雛形の用語に従って記述されており、例え用語は同じであっても史料ごとに被害実態が異なっている場合がある。これらのことから、史料に記されている家屋被害で確実なのは「潰家」のみであり、「半潰」「大破」等については被害程度の区別は困難であるため、歴史地震における家屋倒壊率については「潰家」のみに基づいて検討する必要がある。

天保四年の庄内沖地震による能登国（石川県北部）輪島での津波被害について、微地形の調査から津波被害の地域的差異を検討した。輪島市の河井町地区の中心街路である本町通は、海岸沿いに発達した浜堤上の最も標高の高い所を通過しており、本町通から海岸に向

かつては緩やかな傾斜を成している。そのため、天保四年時の津波は浜堤の最も高い地点までは到達することなく、海岸沿いの相対的に低い地区で被害が大きかったと考えられる。また、市内を南北に流れる河原田川左岸のうち、海士町や輪島崎村といった南北に展開する地区においては、西側の鳳至山から続く丘陵に向かって急激に標高が上がっており、一軒あたりの死者数が少ない要因となった可能性がある。

新潟県下越地方では、液状化を伴う大規模な地震が縄文時代晩期最終末の短期間に頻発しており、縄文時代晩期の地震直後に作成された弥生土器の型式を用いると、集落が短期間で回帰し、被災前と同じ場所が再利用されている実態がわかった。また、正徳四年（1714年）の信濃小谷地震の際に現在の長野県北安曇郡小谷村千国坪ノ沢に形成された天然ダムは、地震発生から3日後に決壊したとされているが、文献史料では決壊で発生した洪水が下流へ及ぼした影響は明確でない。そこで、同郡小谷村北小谷下寺でトレンチ調査を実施したところ、最大厚約80cmの洪水砂層を検出し、この砂層に含まれる炭化物の年代測定等を実施した結果、正徳四年の地震時に天然ダムの決壊によって発生した洪水堆積物であることが判明した。この時の洪水は、天然ダムが形成された千国坪ノ沢から約12km下流の同郡小谷村北小谷来馬・下寺でも、姫川溪谷全体を覆い尽くすほどの破壊力を有していた（新潟大学〔課題番号：2701〕）。

#### ・東海地方を中心とする南海トラフ巨大地震関連史資料の収集と分析

現在公開中の地震史料の検索システムについて、地図を用いた検索システムに改良を加え、歴史地震に関する文献リストを作成して新規の検索システムを構築した。

これまで3年間にわたり調査した高知県の神社明細帳の情報を整理したところ、合計5,486ヶ所の神社のうち96ヶ所の神社の明細帳に地震被害の記述があり、その殆どは高岡郡・幡多郡の神社のものであった。歴史時代に発生した南海トラフ地震では高知県東部で隆起、西部で沈降といった地殻変動がみられるが、地殻変動のみで被害に偏りが生じるとは考えがたく、要因は他にあると考える。神社明細帳にある被害記述の殆どは宝永四年（1707年）の宝永地震におけるものであり、嘉永七年の南海地震に関する被害記述は5ヶ所の神社のみであった。他に、天武天皇十三年（684年）の白鳳地震について6ヶ所の神社の明細帳に地震被害の記述があった。

三重県においては嘉永七年（安政元年・1854年）の伊賀上野地震の関連史料について、大垣市立図書館では南海トラフ地震の関連史料を中心に調査を実施し、史料記述から地震情報を抽出した。また、嘉永七年の東海・南海地震による主要街道沿いの被害状況について記載されている「柴田家文書」（豊橋市美術博物館蔵）をはじめとして、明治二十四年（1891年）の濃尾地震に関する田中長嶺関連資料の「尾濃震災図録」（西尾市岩瀬文庫蔵）、嘉永七年の東海地震に関する若林多沖著「津なみ 安政元年」を翻刻した。

一方で、「地震ニ付村々倒家人別書上帳」をはじめとする尾張藩小納戸役年貢地懸の嘉永七年の東海地震に関する史料（徳川林政史研究所蔵）について、全文翻刻して内容を分析した。また、尾張藩士の「小川家文書」「石河家文書」（名古屋大学附属図書館蔵）や、尾張藩領庄屋の「岡田家文書」「佐藤家文書」（同前）、佐屋代官所手代の「永田家文書」（名古屋大学大学院文学研究科蔵）、今尾（現岐阜県海津市）の庄屋日記である「今尾記」（神社蔵・個人蔵）にある同東海地震の記述を抽出し分析した。さらに、尾張藩領

内各地での地震被害に関する記述だけでなく、人々の対応に関する記述も分析して、尾張藩の救済策が生活難民者のみを対象としていた実態を明らかにした（名古屋大学〔課題番号：1701〕）。

#### ・ 明治前期における自治体から帝国大学理科大学への地震・津波報告の分析

明治二十六年（1893年）に帝国大学理科大学は、各地の郡役所・町役場等に歴史地震・津波や海底地形変動に関する情報の提出を求めており、「地震学及地理学研究材料 測候所郡役所組合事務所報告」（東京大学地震研究所所蔵）には各地からの報告がまとめられている。この報告から次のようなことがわかる。

岩手県の宮古町・鉾ヶ崎町・重茂町・山田町・船越町・普代町では、安政三年（1856年）の八戸沖地震による津波に関する伝承が、福島県の檜葉郡木戸村山田浜上ノ代では、同郡北田村の脇浜村が慶長年間に津波によって壊滅し、同地に移住したとする古記録の存在を示す伝承が確認できる。また、天保六年（1835年）の宮城沖地震の際に、福島県の檜葉郡木戸村山田浜の宅地が海嘯で浸水したとする記録の伝承や、元禄十六年（1703年）の元禄地震では、千葉県の夷隅郡清海村で「三夜祭」に集まった住民が溺死したという伝承が記されている。さらに、安政三年八月に千葉県の行徳町では海嘯が発生して、堤防の越水や本町への浸水があり、これは同年に関東地方を襲った台風に伴う高潮の被害と考えられる。

上記の報告の大半は伝承であり、このような種類の情報について、地震学や津波防災においてどのように用いていくかは今後の課題である（公募研究、東北大学災害科学国際研究所〔課題番号：2903〕）。

#### ・ 地震関連史料のデータベース化に関する研究

地図情報を統合した古地震研究ポータルサイトの作成のために、web GIS（Geographic Information System, 地理情報システム）ソフトウェアの仕様の検討を行った。また、平成28年度に作成したGIS機能を有したポータルサイト（<http://kozisin.info/>）のコンテンツの充実を目指して、翻訳機能を持つアプリケーションとの融合を図った。

さらに、平成28年度に引き続き、市民参加型のオンライン翻刻プロジェクト「みんなで翻刻」を運用しており、当該のプロジェクトでは、東京大学地震研究所図書室が所蔵する史料のうち、デジタル画像が公開されている約500点の史料の全文翻刻を目標としている（公募研究、京都大学大学院文学研究科〔課題番号：2945〕）。

### イ. 考古データの収集・集成と分析

#### ・ 考古資料の収集・分析とデータベースの構築

平成28年度に引き続き、全国の埋蔵文化財発掘調査報告書を調査して災害痕跡データの抽出を行い、これらの入力を進めた。その結果、沖縄県以外の46都道府県について、データを抽出し検討した発掘調査地点が計37,740ヶ所、そのうちデータの確認ができた災害痕跡件数は計16,632件に達した。

災害痕跡GISデータベースシステムについては、データベースの構造や検索システムの改良とデータの更新を行った。また、東京大学史料編纂所の「日本歴史地震関連史料デー

データベース」（試作版）と連携して、災害痕跡データベースと相互に検索できるシステム開発を進めた。

この他、奈良県や山口県をはじめとした各地の埋蔵文化財発掘調査現場において、古墳時代以前のものを含む災害痕跡の地質考古学的調査と試料採取を行い、それらの整理・分析を実施して結果を発表するとともに、災害痕跡の調査・記録方法に関する研究集会を開催した（奈良文化財研究所〔課題番号：9001〕）。

## ウ. 地質データ等の収集と整理

### ・津波堆積物の調査及びデータベース化に向けての準備作業

津波堆積物等の地質学的な痕跡を評価する上で、痕跡を残さない事例や、痕跡が形成された後に一部もしくは全部が消失してしまう事例についても調査しておく必要がある。そこで平成28年度に引き続き、津波や地殻変動の痕跡は残るのか、残存した痕跡からどのような情報を抽出できるのか、どのような過程で消失するのかについて知見を得るため、最近の事例の追跡調査を実施した。

青森県の三沢海岸に残された平成23年東北地方太平洋沖地震の際の津波堆積物について、6年後に土壌が表面を覆ってから再調査したところ、部分的に残された堆積物からも内陸薄層化、内陸細粒化といった津波堆積物によくみられる傾向が確認できた。ただし、測線の遡上限界近くまで堆積物が残っていない場合、平均粒径は細粒～極細粒砂まで細かくはなっていない。このような情報を系統的に収集・分析することで、古津波についても、津波堆積物の分布限界が津波の遡上限界の近くにあるのか、あるいはさらに海側にあるのかを評価できると考える。三沢海岸の事例では、津波の遡上限界、津波堆積物が形成された内陸限界、5年後まで残った津波堆積物の内陸分布限界の関係が判明した。なお、三沢海岸では、津波の遡上限界と津波堆積物が形成された内陸限界に大きな差異はみられない。しかしながら、津波堆積物が5年後まで残った内陸限界は、明らかに海側にシフトしたことが確認できた。

また、平成27年4月の形成時から追跡調査を続けている北海道羅臼町での地すべりについては、平成29年5月の調査時には、隆起地帯のほぼ全てが浸食されて消滅していた。平成29年度は、実際の海藻の生息深度を現地調査し、その実測値を基に隆起量を再計算した（東京大学地震研究所〔課題番号：1501〕）。

## (2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

史料や考古資料の分析に基づいて、機器観測の開始以前に発生した低頻度で大規模な地震・火山噴火やそれによる災害を調査・研究することは、今後発生するそれらの現象や災害の様相を予測し、その被害の軽減に貢献できると考えられる。その手法として、歴史時代や先史時代の地震・火山に関する様々な形態の史資料をデジタルデータ化し、同一の地図上に載せて被害分布図等を作成することで、近代的な機器観測に基づく観測データとの比較・検討が可能となる。また、この被害分布図等を用いて過去の災害の実態を解明することは、特定の地域で今後発生する災害の予測に寄与できると考える。

このような学際研究を進める際には、複数の分野からのアプローチが必要である。例えば、地震災害について被害分布図等を作成する場合に、信憑性の高い史料記述に基づいて

被害発生年月日と場所を調査・検討し、考古資料に基づいて先史・歴史時代の被害痕跡の位置と時期を分析するといった方法である。異なる複数の視点からの調査・研究は、研究成果の学術的な妥当性を確保する上でも重要である。

## 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

### ・史料に基づく前近代の地震活動の解明

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

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

本研究では、既存の日記史料だけでなく、新たな日記史料の調査・撮影も実施し、有感地震等の自然現象に関する記録を日記史料から抽出して、一定期間にわたる有感地震データベースを構築した。このデータベースを基にして地理情報システムを作成し、そこから前近代の有感地震に関する時空間分布図の作成を試みた。平成29年度は特に、19世紀中葉に発生した南海トラフ沿いの巨大地震である嘉永七年（1854年）の東海地震・南海地震及び、内陸部の大地震である同年の伊賀上野地震と翌安政二年（1855年）の江戸地震を含む期間について、集中的にデータベース化と時空間分布図の作成を実施した。

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

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

京大 地震研究所 [課題番号：1501])。

#### ・史料の収集と分析による歴史地震の調査

平成 29 年度は、寛文五年～六年（1665～1666 年）の京都周辺での地震活動がわかる日記史料の翻刻を行い、南海トラフ沿いの巨大地震について、史料の収集や現地調査、史料の解読と記述内容の検討を行い、得られたデータを元にして歴史地震の実態を解明した。また、幅広い異分野交流を通じて、新たな視点での歴史地震研究の姿を検討した。

これまでの歴史地震関連史料の解釈における間違いについて指摘した。例えば、天保二年十月十一日（1831 年 11 月 14 日）に佐賀で発生したとされてきた地震被害は実在せず、同年十月十日（同年 11 月 13 日）の会津での地震における被害記事を誤って判断したものであることを示した（加納，2017）。一方で、宝永四年（1707 年）の宝永地震と富士山宝永噴火に関して、複数の写本を比較・検討し、より原本に近い史料を特定して未読部分を翻刻した（服部・中西，2017，2018）。また、この地震と噴火について、現在知られている中で最も完全で、かつ古い時代に記された史料を特定し翻刻した（小林ほか，2018）。これらの史料の分析から、宝永地震の本震と翌日発生した余震の震源域の推定に関する情報を得られる可能性がある。

市民参加型のオンライン翻刻プロジェクト「みんなで翻刻」に協力し、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読解）を実施した（平成 29 年 9 月，平成 30 年 3 月）。この研究会では、歴史学の専門家による指導を受けて史料の翻刻と解釈を実践しており、歴史学に関する講演によって史料解釈に必要な歴史学の基礎知識の獲得を目的としている。この研究会は、地震学のバックグラウンドを持ちながら史料の解読もできる人材の育成だけでなく、歴史学、人文情報学、地理学、地質学、気象学といった幅広い分野の研究者と学生、大学職員、一般市民の交流の場となることを目指すものである。この研究会において翻刻や史料の取り扱いを学んだ研究者や学生が、上記のような研究成果を発表するようになり、人材育成の効果が顕れはじめていえる。なお、上記の「みんなで翻刻」は、この研究会における情報交換によって生み出されたものである（京都大学防災研究所 [課題番号：1901]）。

#### ・日本海沿岸域での過去最大級の津波の復元

13 世紀頃に日本海沿岸で発生した津波の波源について、国土交通省の「日本海における大規模地震に関する調査検討会」による「F17 断層モデル」を選定し、津波堆積物の分布と最も調和的な浸水域を示すように、断層長とすべり量の検討を行った。また、寛保元年（1741 年）の渡島大島の噴火に伴って発生した津波について、土塊と水塊を考慮した二層流モデル（地すべり・津波統合モデル：柳澤ほか，2014）を改良して用い、13 世紀頃に発生した津波では、改変した「F17 断層モデル」を用いて非線形長波近似式による津波浸水計算を行って、浸水実績図とした。計算結果については、津波堆積物調査データ、歴史記録データとともに WEB-GIS から配信した（北海道立総合研究機構地質研究所 [課題番号：9101]）。

これまでの課題と今後の展望

今までの地震火山観測研究計画においては、近代的な観測が開始される以前の歴史時代や先史時代に発生した地震・火山噴火やその災害に関して、主として地球物理学の分野から研究が実施されてきた。近代的な観測記録が皆無の地震や火山噴火を対象とした研究を実施する際には、観測記録の代わりに史料や考古資料を用いる必要がある。そもそも、史料や考古資料については、本来、歴史学や考古学の手法で取り扱われなければ学術的な妥当性を保持できないものであり、理学的な知見のみで取り扱われた場合には、誤った評価を導き出してしまいう危険性を有している。このような理由から、近代観測以前の地震や火山噴火に関する史料や考古資料を用いた理学的な研究には、学術的な手続き上看過できない問題が内在していた。

そのため、平成 26 年度から実施されている「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」においては、近代的な観測記録が存在しない地震や火山噴火について、地震学や火山学といった理学系の分野だけでなく、歴史学や考古学といった人文学系の分野の研究者も組織的に参加して、共同研究が実施されている。当部会では今後、史料や考古資料を主軸に据えた研究を中心に、地震学・火山学や関連諸分野との連携を強化し、他の部会と協力してこの研究計画を推進していく。そして、理学系と人文学系の分野が主体となった新たな文理融合研究分野の創出も視野に入れて、研究の更なる深化と展開を目指していくべきと考える。

また当部会では、文理融合の研究を進める上でデータの共有化が必須と考え、平成 26 年度以降、史料・考古それぞれのデータベース化に向けた研究を実施してきた。史料データは被害発生の時期は明確であるが場所は必ずしも明確ではなく、考古データは被害発生の時期に幅があるものの場所は明確である。平成 29 年度は、このような特徴を持った双方のデータについて、被害発生の時期と場所とを結合して連続したデータを作成し、時代・時間情報と位置情報の両方から検索可能なデータベースの構築に向けて、史料・考古の統合データベースの試作版を作成した。

このような史料・考古の統合データベースの構築に向けた研究とは別に、史料データや考古データを活用した歴史地震・火山噴火及び、それらによる災害の実態解明の研究にも取り組んでいく必要がある。特に、史料データにある地震記録に基づいて、特定期間の広域における有感地震の記録を集中的に分析し、大地震と巨大地震との関係だけではなく、その間に発生した中・小規模地震を含めた地震活動を解明する研究は、現行の地震学における地震活動の研究にとっても有益になると考える。そのため今後は、19 世紀中頃だけでなく 18 世紀初頭の西南日本から関東地方において、幾つかの被害地震（大地震と巨大地震）とその前後の有感地震の史料データを収集・分析し、一定期間の地震活動の推移について検討を試みる計画である。

さらに、史料データに基づいて、地理情報システムを活用した歴史地震の推定震度分布図を作成する研究については、今後、地震学分野の強震動研究との連携を念頭において研究を進めていく予定である。なお、当部会としては、個々の研究課題において歴史地震・火山噴火の事例研究も進めていき、現行の地震学・火山学や災害研究に資する成果を積み重ねていく必要があると考える。

## 成果リスト

- 蝦名裕一，佐竹健治，2017，帝国大学理科大学の調査資料にみる津波記録・伝承，第34回歴史地震研究会（筑波大会）講演要旨集，42.
- 服部健太郎，中西一郎，2017，1707年宝永地震と富士山宝永噴火に関する一史料－駿河湾北岸域における宝永地震翌朝に感じた大きな余震及び白鳥山の崩壊を記した行方不明史料の発見と既刊史料集に掲載された翻刻文の検討－，地震2，70，41-55.
- 服部健太郎，中西一郎，2018，1707年宝永地震と富士山宝永噴火に関する一史料（2）－『浅間文書纂』に掲載された「大地震富士山焼出之事」の底本－，地震2，70，215-220.
- 石川寛，2018，安政東海・南海地震の被害と尾張藩の救済－史料学的検討を踏まえて，愛知県史研究，22，1-16.
- 加納靖之，2017，1831年（天保2年）佐賀の地震記録が会津の地震のものである可能性，地震2，70，171-182.
- 加納靖之，2017，みんなで翻刻－これまでとこれから，レポート笠間（笠間書院），63，53-56.
- 加納靖之，2017，地震年表や史料集における年月日の取り違え，歴史地震，32，87-93.
- 川上源太郎，加瀬善洋，卜部厚志，清水康博，仁科健二，2017，日本海東縁の津波とイベント堆積物，地質学雑誌，123，857-877.
- 小林昭夫，弘瀬冬樹，堀川晴央，平田賢治，中西一郎，2018，1707年宝永地震と富士山宝永噴火に関する一史料－飯作家「大地震富士山焼之事覚書」の調査と翻刻－，地震2，70，221-231.
- 京都大学古地震研究会，加納靖之，2017，「みんなで翻刻」－市民参加のオンライン翻刻プロジェクト－，地震本部ニュース，2017年夏号，8-9.
- 村田泰輔，2017，武久川下流域条里遺跡にみられる堆積構造，武久川下流域条里遺跡2，下関市教育委員会，227-236.
- 村田泰輔，2017，自然科学分析（平城京朱雀門周辺・朱雀大路・二条大路の調査），奈良文化財研究所紀要2017，190-231.
- Murata, T. and N. Koike, 2017, The Japan GIS Database of the Historical Disaster using research data of Archeological excavation, Geological survey and Historical documents, IAG-IASPEI 2017 joint assembly, S04-P-04 (Poster), Kobe, Japan, Kobe International Conference Center, July 30-August 4, 2017.
- 奈良文化財研究所，山口県市町村文化財担当者連絡会議，2018，災害痕跡の調査・記録方法についての研究集会.
- Nishiyama, A., M. Ebara, A. Katagiri, Y. Oishi and K. Satake, 2017, Development of historical earthquake and volcanic activity database using historical diaries, IAG-IASPEI 2017 joint assembly, S04-P-01 (Poster), Kobe, Japan, Kobe International Conference Center, July 30-August 4, 2017.
- 齋藤瑞穂，2017，晩期縄文越後地震の復興と土器型式－新潟平野における弥生集落の出現順序－，2017年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集，9-14.
- 山中佳子，新井田倫子，2017，明治22年熊本地震の詳細震度分布，地震2，70，233-

248.

矢田俊文，2017，1855年安政江戸地震における家屋倒壊率の再検討－武蔵国幸手領・川崎領－，資料学研究，14，1-14.

矢田俊文，原直史，2017，「江戸青山善光寺奥御用所日記」から見た一八四七年善光寺地震，災害・復興と資料，9，19-29.

## 1 (8) データベースとデータ流通

「データベース・データ流通」計画推進部会長 鶴岡 弘（東京大学地震研究所）  
副部会長 大見士郎（京都大学防災研究所）

データベースおよびデータ流通は、本計画を実行して行く上での、多点・多項目の観測データを安定的かつ継続して生産し、それらの連続データをリアルタイムで流通させる研究基盤の運用・維持・管理を実現している。また、観測データ解析アルゴリズムの高度化も継続して実施している。さらに、研究成果をコミュニティで効率的に共有するシステム開発についても平成28年度に引き続いて実施した。

## 2. 平成29年度成果の概観

以下、平成29年度の主な成果について概観する。

### 1. 地震・火山現象の解明のための研究

#### (1) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

気象庁により、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、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蓄積した。平成29年度に噴火が発生した草津白根山、霧島山（新燃岳）及び桜島のほか、火山活動の高まりがみられた蔵王山、霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺）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を行った[課題番号7001]。産業技術総合研究所においては、三重県の一部（津市）、および高知県の一部（南国市、四万十町）について地質柱状図のデータを整備した[課題番号5001]。全国に分布する活断層のうち、大地震の震源となる可能性が高い長さ10km以上の活断層について、これまでの調査情報・研究成果のデータ化とそれぞれの活断層のパラメータに関する情報を整備するとともに、背景地図の多様化と活断層線および調査地点情報の検索方法の修正を行った[課題番号5002]。さらに、監視・観測体制の充実が必要な活火山の地質図整備では、八丈島火山の地質図に関して、陸域と海域を統合する形でとりまとめ印刷中とした。火山地質図作成のため、恵山及び日光白根火山では新たにトレンチ掘削を含めた調査を行い、御嶽火山では引き続き噴火履歴調査を実施した。阿蘇火山・始良火山のカルデラ形成期噴火に至る噴火履歴の詳細化のため、噴出物の分布・層序調査および岩石学的分析を行い、阿蘇カルデラにおいては複数の大規模噴火の間の噴火様式やマグマ組成の変化を解析した。また始良カルデラでは大規模火砕流噴出に至る火道拡大過程の復元を行った。屈斜路カルデラ・摩周カルデラなどの大規模火砕流堆積物の噴出量の再検討をGISを用いて行なった[課題番号5003]。

#### (5) 火山現象のモデル化

海上保安庁においては、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〔課題番号 8004〕（図 1）。

#### 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

気象庁により，全国地震カタログの作成が実施されているが，海域の地震観測網に対応するため，地震調査委員会の「高感度地震観測データの処理方法の改善に関する小委員会」に海底地震計のデータを用いた震源決定手法の改善に関する資料を提出し，議論を行った。平成 28 年（2016 年）熊本地震の一連の地震活動は非常に活発であったため，M1.7 以上の地震について優先的に処理を行っていたが，M1.7 未満の地震については，溜淵（2017）の波形相関の方法を用いて効率的に処理し，簡易的な確認を行った上で，一元化震源に登録した。さらに，深部低周波地震の自動決定を行うべく，Matched Filter(MF)法を西南日本の南海トラフ沿いで広範に発生する低周波地震に適用し，MF 法によるイベント検出及び震源決定能力について検討を行い，平成 29 年度末から MF 法を用いた深部低周波地震の自動震源決定の運用を開始した。気象庁で解析した国内地震の震源過程解析結果のデジタルデータについて，統一されたフォーマットにて気象庁HPにて公開した。また，過去震源の改訂については，1976 年 7 月～12 月について大学等の検測値を取り込んだ総合的な地震カタログを作成した〔課題番号 7019〕。地震観測，地殻変動観測，潮位観測，全国の火山観測が継続的に進められた。潮位データの伝送においては二重化（衛星回線によるバックアップ）や，予備電源による稼働時間の長時間化（72 時間以上）が平成 28 年度までに実施され，平成 29 年度においては光回線への変更計画を策定した〔課題番号 7014，7015，7016，7017〕。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，月毎に地磁気観測所データベースに登録し，公開した。さらに，過去の紙媒体による地磁気アナログデータをスキャナでデジタル画像に変換し，計算機で利用可能な高時間分解能のデジタルデータに変換し，データベースに登録して公開した〔課題番号 7018〕。国土地理院により，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実施した。地震については，東北地方太平洋沖地震後の継続的な余効変動，6 月 20 日に豊後水道で発生した地震，6 月 25 日に長野県南部で発生した地震，7 月 1 日に胆振地方中東部で発生した地震，7 月 2 日に熊本県阿蘇地方で発生した地震，7 月 11 日に鹿児島湾で発生した地震，9 月 8 日に秋田県内陸南部で発生した地震，10 月 6 日に福島県沖で発生した地震に伴う非定常的な地殻変動の有無を確認した。火山についても，硫黄島，桜島周辺等における火山活動に伴う地殻変動を検出する等，防災や地震発生・火山活動のメカニズムに関する研究等に寄与した。また，これらのモニタリング結果は，速やかにホームページ等で公表するとともに，地震調査委員会，火山噴火予知連絡会等に報告した〔課題番号 6005〕。全国 25 験潮場の潮位連続観測を安定的に実施するため，定期的な保守および監視を実施するとともに，これらの観測データを引き続きホームページで公開した。また，防災情報の発信への活用のため，関係機関と潮位データの共有化を進めた〔課題番号 6006〕。国土地理院が公開する GNSS 連続観測データに関する所在情報を，引き続きホームページから公開した。最新の地殻変動等の観測結果（GNSS，準測量，潮位観測）を地殻活動総合解析シス

テムのデータベースに追加した。また、システムの操作性の向上を図るための地図表示機能の改良等を行った[課題番号 6011]。精密単独測位法を用いた電子基準点リアルタイム解析のプロトタイプシステムを構築し、安定的に高精度(水平のばらつきが2cm以下)でリアルタイム解析ができることを確認した。また、電子基準点と他機関が保有するGNSS観測点について、精密単独測位法を用いた後処理キネマティック解析を行うシステムを構築した[課題番号 6012]。また、重力測量については、南海・東南海地域を含む全国で基準重力1点の絶対重力観測、一等重力点等98点で相対重力観測を実施し、日本重力基準網に準じた重力値を得るとともに、重力値の時間的な変化を把握した。過去に整備した二等重力データ(約14,000点)の日本重力基準網2016への整合を図るため、必要な観測や整合手法の検討を実施した。地磁気測量については、鹿野山測地観測所、水沢測地観測所、江刺観測場及び全国11点の地磁気連続観測点で地磁気連続観測を実施した。また、地磁気連続観測点10点及び一・二等磁気点4点で地磁気絶対観測等を実施し、日本全国の地磁気の時間変化及び地理的分布を把握した。さらに、富士山中腹において、全磁力の連続観測を実施した[課題番号 6007]。ALOS-2のSARデータを用いて北方四島を含む国土全域を対象にSAR干渉解析を行い、国内の火山や海外で発生した地震において変動を検出した。雌阿寒岳・雄阿寒岳では、2016年10月～2017年5月の異なる方向からのSAR干渉画像とGEONETデータを用いて、地下膨張源モデルを作成した[課題番号 6008]。干渉SAR時系列解析をGUI操作で行うソフトウェアの改造を実施し、位相最適化処理や3Dアンラップ機能等を実装した。また、Range Split - spectrum法による電離層起因の誤差を低減処理する機能を開発した。さらに、位相最適化処理を組み込んだ干渉SAR時系列解析をCバンドデータに適用し、非都市域における効果を確認した[課題番号 6013]。火山基本図「西之島」「弥陀ヶ原」「霧島山」「口永良部島」「鳥海山」「吾妻山」の数値データを整備した[課題番号 6009]。平成28年度に調査を実施した屏風山恵那山断層帯及び猿投山断層帯とその周辺「中津川」「恵那」、鈴鹿西縁断層帯とその周辺「彦根東部」「御在所山」、別府一万年山断層帯とその周辺「豊岡」、布田川・日奈久断層帯とその周辺「阿蘇」「熊本改訂版」7面を整備・公開及び、糸魚川-静岡構造線断層帯北部、濃尾断層帯、山田断層帯北部、布田川・日奈久断層帯北部、布田川・日奈久断層帯南部の調査を実施した[課題番号 6010]。海上保安庁においては、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の公開を引き続き実施した[課題番号 8005]。また、沿岸海域での海底地形の調査を実施した[課題番号 8006]。防災科学技術研究所においては、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た。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国の地震調査研究の発展に貢献した。さらに日本海溝海底地震津波観測網(S-net)の日本海溝軸外側の25観測点の試験運用を開始し、気象庁へのデータ配信も始めた。これにより、S-netは全150観測点での試験運用並びに気象庁へのデータ配信が行われることとなった。平成28年度に海洋研究開発機構から移管された地震・津波観測監視システム(DONET)については、防災科研つくば本所のデータセンターにて、波形の蓄積、品質確認を行う体制を整えた。観測網の機能を向上させるため昨年度から引き続き残り9点の地震計筐体の埋設作業を実施し、埋設作業を完了させた。データの品質確認を行った後、

DONET2の強震計及び広帯域地震計の観測データについても地震観測網データダウンロードページより公開を開始した。これらを併せて、陸海統合地震火山津波観測網(MOWALS)統合処理体制の基盤を構築するとともに、今後の利活用を進展させる準備を整えた。さらに、東京大学地震研究所により整備された首都圏地震観測網(MeSO-net)が平成29年4月1日から防災科研に移管され、運用を開始した。重点的に観測を強化すべき火山に整備した基盤的火山観測網(V-net)について、故障、老朽化した観測機器の更新を行い安定運用に努め、観測データの大学や気象庁への流通を図り、関係機関の研究や火山監視業務等に貢献した。これらの防災科研の地震・火山観測網及び大学・気象庁等の関係機関により得られた波形データを定常的に蓄積し、防災科研のホームページから公開した[課題番号3004]。産業技術総合研究所は、東アジア地域地震火山災害情報図の作成し、2016年5月より出版している。この災害情報図には、完新世火山の分布、大規模火山噴火(VEI6以上)の噴火による降下テフラ分布域、主要カルデラの位置、大規模火砕流の分布、大規模火山噴火による犠牲者数、M6以上の地震の震源分布、大規模地震の震源域、主要活断層の分布、大規模津波の分布、津波の最大到達高度、地震の犠牲者数やその要因等がまとめられている。平成29年度においては、これらのデータの数值化(GIS化)を進め、アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システム上で閲覧検索ができるように整備を行った[課題番号5009](図2)。

東京大学地震研究所において、データ蓄積機能を包含するデータ流通システムの開発を行い、安定的運用が可能であることを確認した。長期連続データ解析のための大規模解析システムにおいては、過去の地震波形データの保存をさらに進めた[課題番号1518]。研究成果共有サーバにおいて、データ共有のためのオープンプラットフォームのowncloudを実装した[課題番号1519](図3)。北海道大学においては、GNSSデータ流通公開保存管理システムの本体の開発を継続した。平成29年度においては、観測点諸元情報管理機能、観測データ管理機能、リアルタイムデータ受配信蓄積解析機能の実装を行った[課題番号1007](図4)。京都大学防災研究所においては、阿蘇の火山研究センターで保管されているウィーヘルト地震計の1936年～1945年に記録された煤書き記録305枚をスキャンして、ハードディスクに格納した[課題番号1915]。

### これまでの課題と今後の展望

データ・データ流通部会における課題は、(1)各研究機関において蓄積されているそれぞれのデータおよびデータベースを有機的に統合化すること(2)研究成果共有システムの開発(3)安定かつ多点・多項目連続データのリアルタイム集配信システムの基盤整備(4)新たな情報技術等に対応したデータ解析プラットフォームの構築などがある。特に(4)についてはオープンデータ、オープンサイエンスがキーワードとなるが、本計画においては慎重に取り組む必要があると考えられる。特に本計画で取得したデータのデータ公開ポリシーの策定を急ぐ必要がある。また、(3)については、火山のデータ流通を効率的に進めるために必要な体制を強化する点が、今後の課題である。

基礎データベースの構築は着実に進んでいるので、それらを効率的に解析できる情報基盤の整備が今後ますます必要になると考えられる。そのためには、データベースと高速計算機環境が高速のネットワークで結合された研究基盤を構築する必要がある。いずれにし

でもデータベースの構築やデータ流通環境を構築・維持していくためには、時間とコストが必要である。効率化と共有化を図っていくことを様々な側面から検討していくことが今後の展望である。

## 成果リスト

高橋浩晃・日本地殻活動科学連合，地殻変動連続観測／GNSS等のデータ流通の現状と今後，日本測地学会第128回講演予稿集，S3，2017.

Kubota, T., T. Saito, W. Suzuki, and R. Hino, 2017, Estimation of Seismic Centroid Moment Tensor Using Ocean Bottom Pressure Gauges as Seismometers *Geophysical Research Letters*, 44, 10907 - 10915, doi: 10.1002/2017GL075386.

Matsubara, M., H. Sato, K. Uehira, M. Mochizuki, and T. Kanazawa, 2017a, Three-dimensional seismic velocity structure beneath Japanese Islands and surroundings based on NIED seismic networks using both inland and offshore events, *Journal of Disaster Research*, 12, 844-857.

Matsubara, M., H. Sato, T. Ishiyama and A. D. Van Horne, 2017b, Configuration of the Moho discontinuity beneath the Japanese Islands derived from three-dimensional seismic tomography, *Tectonophysics*, 710-711, 97-107.

Miyoshi, T., Masayuki Obayashi, Daniel Peter, Yoko Tono and Seiji Tsuboi, 2017, Adjoint tomography of the crust and upper mantle structure beneath the Kanto region using broadband seismograms, *Progress in Earth and Planetary Science*, 4, 29, DOI 10.1186/s40645-017-0143-8.

Shiomi, K., 2017, Dissimilar receiver functions observed at very close stations in the Kii Peninsula, central Japan: features and causes, *Earth, Planets and Space*, 69, 48- doi:10.1186/s40623-017-0631-5.

Takahashi, N., K. Imai, M. Ishibashi, K. Sueki, R. Obayashi, T. Tanabe, F. Tamazawa, T. Baba and Y. Kaneda, 2017, Real-time tsunami prediction system using DONET, *J. Disaster Research*, 12, 4, 766-774.

Takemura, S., M. Kobayashi and K. Yoshimoto, 2017, High-frequency seismic wave propagation within the heterogeneous crust: Effects of seismic scattering and intrinsic attenuation on ground motion modelling, *Geophys. J. Int.*, 210 (3), 1806-1822, doi:10.1093/gji/ggx269 <https://doi.org/10.1093/gji/ggx269>

Yano, T. E., T. Takeda, M. Matsubara and K. Shiomi, 2017a, Effect of newly refined hypocenter locations on the seismic activity recorded during the 2016 Kumamoto Earthquake sequence, *Earth, Planets and Space*, 69, 74.

Yano, T. E., T. Takeda, M. Matsubara and K. Shiomi, 2017b, Japan unified high-resolution relocated catalog for earthquakes (JUICE): Crustal seismicity beneath the Japanese Islands, *Tectonophysics*, 702, 19-28, doi:10.1016/j.tecto.2017.02.017.

Emoto, K., T. Saito and K. Shiomi, 2017, Statistical parameters of random heterogeneity estimated by analysing coda waves based on finite difference method, *Geophysical Journal International*, 211, 1575-1584-doi: 10.1093/gji/ggx387.

Ishiyama T., H. Sato, N. Kato, S. Koshiya, S. Abe, K. Shiraishi, and M. Matsubara, 2017,

- Configuration of the Moho discontinuity beneath the Japanese Islands derived from three-dimensional seismic tomography, *Tectonophysics*, 710-711, 21-36.
- Kono, A., T. Sato, M. Shinohara, K. Mochizuki, T. Yamada, K. Uehira, T. Shinbo, Y. Machida, R. Hino, R. Azuma, 2017, Geometry and spatial variations of seismic reflection intensity of the upper surface of the Philippine Sea plate off the Boso Peninsula, Japan, *Tectonophysics*, 709, 44-54.
- Maeda, T., S. Takemura and T. Furumura, 2017, OpenSWPC: An open-source integrated parallel simulation code for modeling seismic wave propagation in 3D heterogeneous viscoelastic media, *Earth Planets Space*, 69:102, doi:10.1186/s40623-017-0687-2.
- Saade, M., J.P. Montagner, P. Roux, K. Shiomi, B. Enescu, and F. Brenguier, 2017, Monitoring of seismic anisotropy at the time of the 2008 Iwate-Miyagi (Japan) earthquake, *Geophysical Journal International*, 211, 483-497-doi:10.1093/gji/ggx321.
- 吾妻 崇, 2017, 講座「地盤に刻まれた巨大地震の痕跡 7. 活断層データベースとその活用」. *地盤工学会誌*, 65(9), 2-9.
- Takarada, S. (2017) The Volcanic Hazards Assessment Support System for the Online Hazard Assessment and Risk Mitigation of Quaternary Volcanoes in the World. *Front. Earth Sci.* 5:102. doi: 10.3389/feart.2017.00102.
- 宝田晋治 (2017) G-EVER 火山災害予測支援システムによる火山重力流と降下テフラのハザード評価. *Proceedings of the International Meeting on Eruption History and Informatics*, 2017-1, 44-54.
- 高橋伸也・菅原安宏・矢萩智裕, 2017, 偏角 (予測値) 計算手法の構築, 2017 年度 CA 研究会論文集
- Kobayashi, T., Y. Morishita and H. Yarai, SAR-revealed slip partitioning on a bending fault plane for the 2014 Northern Nagano earthquake at the northern Itoigawa-Shizuoka tectonic line, *Tectonophysics*, in press, doi:10.1016/j.tecto.2017.12.001.
- Fujiwara, S., Y. Morishita, T. Nakano, T. Kobayashi, and H. Yarai (2017), Non-tectonic liquefaction-induced large surface displacements in the Aso Valley, Japan, caused by the 2016 Kumamoto earthquake, revealed by ALOS-2 SAR, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 474, 457-465, doi:10.1016/j.epsl.2017.07.001.
- Fujiwara, S., M. Murakami, T. Nishimura, M. Tobita, H. Yarai, and T. Kobayashi (2017), Volcanic deformation of Atosanupuri volcanic complex in the Kussharo caldera, Japan, from 1993 to 2016 revealed by JERS-1, ALOS, and ALOS-2 radar interferometry, *Earth Planets Space*, 69: 78, doi:10.1186/s40623-017-0662-y.
- Kobayashi, T., H. Yarai, Y. Morishita, S. Kawamoto, S. Fujiwara and T. Nakano (2017), Detailed ground surface displacement and fault ruptures of the 2016 Kumamoto Earthquake Sequence revealed by SAR and GNSS data, in *Proc. 11th UJNR 2016*, California, 31-32, doi:10.3133/ofr20171133.
- Fujiwara, S., H. Yarai, T. Kobayashi, Y. Morishita, T. Nakano, B. Miyahara, H. Nakai, Y. Miura, H. Ueshiba, Y. Kakiage and H. Une, Small (2017) Small displacement surface linear ruptures of the 2016 Kumamoto Earthquake Sequence detected by ALOS-2 SAR interferometry, in

- Proc. 11th UJNR 2016, California, 33-34, doi:10.3133/ofr20171133.
- Kobayashi, T. (2017), Earthquake Rupture Properties of the 2016 Kumamoto Earthquake Foreshocks (Mj 6.5 and Mj 6.4) Revealed by Conventional and Multiple-aperture InSAR, in Proc. 11th UJNR 2016, California, 131-132, doi:10.3133/ofr20171133.
- Wakasugi, T., M. Umei, T. Toyoda, M. Ishimoto, R. Kawabata and B. Miyahara, 2017, VGOS Development for Ishioka 13-m Antenna, Proceedings of the 23rd European VLBI Group for Geodesy and Astrometry Working Meeting, 84-87, ISBN: 978-91-88041-10-4.
- 仲井博之・三浦優司・山下達也・攪上泰亮・宮原伐折羅・島崎久実・菅富美男・小林知勝・中埜貴元・宇根寛・吉田一希・飯村元紀, GEONET 及び SAR 干渉解析による茨城県北部の地震に伴う地殻変動と地表変形, 国土地理院時報, 129, 印刷中.
- 宗包浩志, 2017, 電子基準点精密単独測位キネマティック解析プロトタイプシステムの構築, 国土地理院時報, 129 (印刷中)
- 宗包浩志, 2018, キネマティック GNSS 時系列に含まれる微小信号の抽出, 測地学会誌 (印刷中)
- Munekane, H., 2018, A GNSS Kinematic Analysis System for Japanese GEONET Stations, Journal of Disaster Research (in press)
- Kawamoto, S., Y. Ohta, Y. Hiyama, M. Todoriki, T. Nishimura, T. Furuya, Y. Sato, T. Yahagi, and K. Miyagawa, 2017, REGARD: A new GNSS-based real-time finite fault modeling system for GEONET, J. Geophys. Res. Solid Earth, 122, 1324-1349, doi:10.1002/2016JB013485.
- 川元智司, 2017, GNSS の GGOS への貢献と今後の展望, 測地学会誌, 63 (印刷中)
- Kawamoto, S., N. Takamatsu, S. Abe, K. Miyagawa, Y. Ohta, M. Todoriki, and T. Nishimura, 2018, Real-time GNSS analysis system REGARD: an overview and recent results, Journal of Disaster Research (in press)
- 溜瀧功史, 2017, 波形相関による自動震源分類の効率化, 験震時報, 81:6.
- 森脇 健, 2017, Matched Filter 法を用いた西南日本の深部低周波地震の自動検出, 験震時報, 81:3.



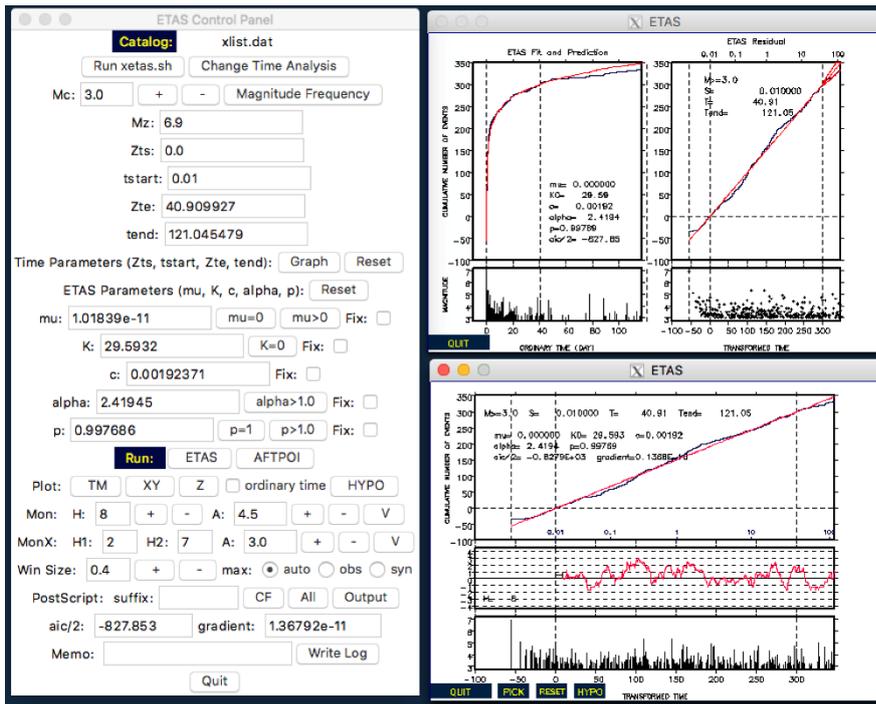


図 3. 地震活動解析アプリ XETAS の実行画面。東京大学地震研究所「課題番号 1519」



図 4. GNSS データ流通公開保存管理システム。北海道大学「課題番号 1007」

## 2 (1) 東北地方太平洋沖地震総合研究

「東北地方太平洋沖地震総合研究」総合研究グループリーダー 松澤 暢  
(東北大学大学院理学研究科)

2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)は、日本の観測史上最大の地震であり、約40万戸の家屋が全半壊し、死者・行方不明者が1万8千人を超えるという東日本大震災をもたらした。震災から6年が経過した2017年3月の時点でも、いまだ2千5百名以上の方々が行方不明のままである。これほどの大規模な地震にもかかわらず、我々はその地震の予知はおろか、その発生ポテンシャルを正しく推定することすらできなかった。今後、同じような失敗を繰り返さないためには、この地震のことを詳しく調べ、将来の巨大地震の際の災害軽減に役立てることが極めて重要である。特に、この地震の発生により、日本列島はこれまで我々の知っている日本列島とは別の状態になっている可能性があり、日本各地の地震や火山に及ぼす影響を詳細に調べる必要がある。

平成26年度から始まった「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」では、地震や火山の災害軽減のために様々な観測研究を実施している。ここでは、この中から、東北地方太平洋沖地震に関係の深い課題の成果を紹介し、それが災害軽減とどのように結びつくのかを論じることとする。

### 1. 災害の予測のための研究

新しい計画では、これまでの地震・火山噴火予知研究計画とは異なり、災害誘因(ハザード)の研究の推進に力を入れており、また、災害誘因の影響を正しく理解するために、災害素因(脆弱性)の研究も進めている。これらの研究においては東京大学地震研究所と京都大学防災研究所の拠点間連携も重要な役割を果たしている。

海溝型巨大地震がもたらす災害・被害予測のために、海溝型地震による木造建物の被害予測モデルをチューニングし、高振動数をカットするフィルターを最適化するとともに、その適切性について検討を加えた。さらに内陸地殻内地震の強震動に対してもそのフィルター定数で大きな変動が生じないことも検証の必要要件とした。その結果カットオフ振動数1Hz、ロールオフ振動数2Hzのハイカットフィルターを適用することが最も適切であることを検証した(拠点間連携[課題番号:2979])。

2011年東北地方太平洋沖地震時に東京湾西岸部において周期2~3秒の長周期地震動が局所的に卓越して観測された。この長周期地震動の成因を理解することを目的にして微動の共同観測を実施した。最もサイズの大きいアレイの記録の解析から3km/s程度の位相速度が得られ、中規模のアレイにおいても既往研究よりも低周波数での位相速度が得られるなど、本研究によって深部地盤のモデル化に有益な情報を取得することができた。また、単点観測の結果では、多くの観測点で、HVスペクトル比に0.1Hzと1Hz程度に顕著なピークが認められた。1Hz程度のピークについては、ほとんどの測線において臨海部で1Hz以下と低く、内陸に向かって徐々に振動数が高くなる傾向がある。特に、標高との相関は高く、台地ではピーク周波数が高い。これらは、この周期帯域のH/Vのピークが浅部地盤によるものであることを示唆している。現状では、強震動評価では、地盤の影響の評価にお

いて浅部地盤と深部地盤を分けて考慮することが多いが、本研究の結果は、周期 2~3 秒の長周期地震動の評価には、浅部深部統合地盤モデルが必要であることを示している（拠点間連携 [課題番号：2988]）。

巨大地震の災害リスク評価を行う上で、地震波による揺れの推定を高精度化する必要があるとの観点から、2003 年十勝沖地震と 2011 年東北地方太平洋沖地震について、強震動生成域に対する強震動予測式の適用可能性を調べた。2003 年十勝沖地震については Kamae and Kawabe (2004)による一番目のアスペリティを、2011 年東北沖地震については Kurahashi and Irikura (2013)の SMGA1, SMGA3 を調査する強震動生成域として用い、それぞれからの PGA 及び PGV を読み取った。この結果、いずれの場合も強震動生成域とその Mw に対して、司・翠川(1999)の式を用いて予測した場合に観測値を説明できず相当過小評価することがわかった（拠点間連携 [課題番号：2991]）。

東日本大震災における被害構造に関して総括した上で理論的に導き出された作業仮説に基づいて、(1)空間、(2)防災意識・災害文化、(3)社会的凝集性、(4)災害対策の各側面について、調査研究を深化させた。東日本大震災被災地における過去 100 年間にわたる土地利用調査から、1970 年代以降のその変化において「堤防効果」あるいは「安全開発のパラドクス」と呼ばれる傾向が見られることがわかった。例えば、三陸沿岸では 1896 年と 1933 年の三陸沖地震及び 1960 年のチリ地震の後、約半世紀にわたって巨大な津波に襲われなかった時期に海岸部の都市的土地利用が進んだことで、津波に対する脆弱性を高めてしまった状況が浮き彫りになった（名古屋大学 [課題番号：1704]）。

大地震によって生じる強震動は、場所によっては地滑りを生じ、これが新たな災害誘因となりうる。東北地方太平洋沖地震でも、実際に大きな地滑りが生じていた。どのような場所で地震時にどのような地滑りが生じやすいのかを明らかにするために、過去の海溝型地震によって発生した大規模崩壊及び 2016 年熊本地震によって発生した降下火砕物斜面の崩壊について、それらの特徴を明らかにし、共通する地質・地形的特徴を抽出した。既往の南海トラフ及び相模トラフの海溝型地震による大規模な崩壊は、特に外帯の付加体に発生しており、地質構造的には流れ盤斜面の座屈した地層と曲げトップリングを起こした地層に発生していることが多いこと、さらに、これらは地形的特徴と概略地質構造によって抽出可能であることが明らかになった。また、熊本地震による降下火砕物斜面の 63 か所の崩壊を調査し、それらの滑り面を層序的に特定したところ、最も多いのは約 3 万年前の草千里ヶ浜軽石、次に約 7 千 3 百年前の喜界アカホヤ火山灰近傍の暗色土であることがわかった。これらの層には、層序を反映した化学成分の移動・集積によって粘土鉱物のハロサイトが生成しており、層序と風化作用の両面から地震時崩壊発生場所予測を行う見通しが得られた（京都大学防災研究所 [課題番号：1912]）。

東北地方太平洋沖地震が発生した際、震源から遠く離れた関東地方でも強い揺れを観測したが、緊急地震速報の従来の手法では、このような震源域の極めて広い地震の場合、強い揺れを精度良く予想することができないため、新たに PLUM (Propagation of Local Undamped Motion) 法を開発し、2018 年 3 月 22 日から運用を開始した。PLUM 法では、地震計で観測された揺れの強さから直接震度を予想するため、予想してから揺れがくるまでの時間的猶予は短時間となるが、広い震源域を持つ巨大地震であっても精度良く震度を予想することができる（気象庁 [課題番号：7014]）。

スロー地震タイプの津波地震の規模を即時かつ適正に推定することは津波災害軽減のために極めて重要である。地震波形の変位を積分すれば地震モーメントに比例することが期待されるため、そのような計算で規模が推定できるかどうか、様々な大地震の波形で検証してみた結果、 $M_w$  が大きな地震ほど変位の積分値が大きくなることが確かめられた(図1)。この手法でスロー地震の規模も正しく評価できるかどうか、今後検証していく予定である(気象庁 [課題番号: 7009])。

防災科学技術研究所が設置を進めてきた日本海溝海底地震津波観測網 (S-net) のうち、最後に設置された海溝軸外側の 25 点についても、2017 年 11 月 16 日より気象庁でデータ活用を開始した。S-net の全 150 点が気象庁で活用されることになり、太平洋沿岸では津波の検知がこれまでより最大約 25 分速くなると期待される(気象庁 [課題番号: 7012])。また、海溝軸外側の地震についても自動処理での震源の決定能力が格段に向上した(防災科学技術研究所 [課題番号: 3004])。

このような沖合で観測された津波波形の逆解析に基づき、津波の即時予測手法システムの構築が進められているが、2016 年 11 月 22 日に福島県沖で発生した  $M7.4$  の地震に伴う津波のように波源の広がり小さい津波では波源推定の空間分解能が十分でない場合があることがわかった。このため、解析領域全体の広さととの両立を図りつつ、場合によって波源の空間分解能を細かくする解析アルゴリズムを考案し、想定した性能を発揮することを確認した(気象庁 [課題番号: 7011])。

電子基準点リアルタイム解析システムにおいて用いている相対測位法に加え、精密単独測位法を用いた電子基準点リアルタイム解析のプロトタイプシステムを構築し、安定的に高精度(水平のばらつきが 2cm 以下)でリアルタイム解析ができることを確認した。精密単独測位法では相対測位法で用いる固定点が不要で、固定点付近で発生する地震についても正確に地殻変動を観測することが可能となるため、震源断層モデル推定の安定化が見込まれる。また、電子基準点と他機関が保有する GNSS 観測点について、精密単独測位法を用いた後処理キネマティック解析を行うシステムを構築した。これにより、定常解析(Q3 解)では困難だった熊本地震の二つの前震(4月14日の  $M6.5$  と 15日の  $M6.4$ )の分離が可能となった(国土地理院 [課題番号: 6004, 6012])。

## 2. 地震・火山噴火の予測

大学及び研究機関の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、地震前や地震時の大気中ラドン濃度変動と地震との間に相関があるかどうかを調べてきた。本年度は、札幌医科大学と福島県立医科大学の観測データに関して、大気中ラドン濃度変動と地震活動の類似性の解析を行った。具体的には特異スペクトル変換法により大気中ラドン濃度と積算地震モーメントの両方の「異常度」を求め、両者の「非類似度」を並べ替え検定により検証した。その結果、札幌医科大学のデータについては 7.6%、福島県立医科大学については 13.4%と「非類似度」となり、二つのデータは「全く似ていないとは言えない」程度の類似度があることがわかった(東北大学 [課題番号: 1207])。

東北地方太平洋沖地震の発生直後には、日本の広い領域で地震活動が一時的に活発化し、それは特に火山地域で顕著であった。その後、このような本震発生直後の地震活動の

活発化は収まってきたものの、蔵王山では、以前と比べて活動度の高い状態が続いているように見えるため、今後の活動の推移予測が重要となっている。2018年1月28日から2月初めにかけて蔵王山周辺では数回の火山性微動が発生し、明瞭な傾斜変化が観測された。変動源を暫定的に推定したところ、蔵王の御釜のすぐ南の、上端の深さが約1km、長さも幅も約2km、開口量約0.1mでほぼ鉛直の開口断層でほぼデータを説明できることがわかった。この傾斜変化は変動量も変動速度も過去最大級であり、今後の活動の推移を注意深く見守る必要がある（東北大学 [課題番号：1202]）。

### 3. 地震・火山現象の理解

#### （プレート境界）

東北地方太平洋沖地震後のGNSS-音響測距結合方式の海底地殻変動観測で得られた結果を見ると、陸に最も近くて、陸上の観測点と同様に東向きの変位を示していたMYGW観測点も、最近では西向きの変動を示しており、福島沖では東向きの変動が継続しているものの、その大きさには鈍化傾向が見られる（図2）。これらは余効滑りよりも粘性緩和の影響が次第に卓越してきていることを示しているものと解釈される（海上保安庁 [課題番号：8001]）。

海陸の地震観測データからプレート境界付近の地震を抽出して規模別頻度分布を作成して、b値の空間変化を調べたところ、東北地方太平洋沖地震前と後で、b値の分布やG-R則からの逸脱の仕方が異なっていることがわかった（図3）。地震カタログのcompleteness magnitude ( $M_c$ ) は既存地震カタログと比較して1以上小さく、地震検出能力の高さを示している。特に、震源域の北・南限域で地震後に低b値またはb値の低下が見られ、破壊に伴う差応力の増加を示しているものと考えられる（東京大学地震研究所 [課題番号：1503]）。

日本全国の定常観測網で観測された地震波形データを蓄積し、また、波形相関のみならずS-P時間差の調査や地震の震源再決定を行うことにより、より信頼度の高い相似地震カタログを作成した。また、相似地震カタログを用いて不均一な点配置に基づくデロネー分割による四面体補間を用いて滑り速度の時空間変化を推定する統計的手法を開発した。相似地震の各震源の時空間座標をデロネー分割の点配置として利用することで、相似地震の密集域における微細な滑り速度の変化を捉えることが可能となった。また、岩手県沖での2011年東北沖地震前後の繰り返し地震の活動を詳細に調べた。その結果、複数の場所で、東北沖地震後、繰り返し地震の規模が大きくなるだけでなく、これまでプレート境界で地震が発生していなかった場所で新たに地震が発生していたことが明らかになった。これは、東北沖地震の余効滑りによる載荷レートの増加により、それまで非地震的に滑っていた場所が、地震的に滑ったためと考えられる（東京大学地震研究所 [課題番号：1510]）。

東北地方における超低周波地震活動は、岩手沖と福島・茨城沖のクラスタについては、2011年の東北地方太平洋沖地震後に活発化して2017年度も活動が見られた。岩手沖では断続的ながらも本震前よりも高い頻度で発生を続けており、一方、福島・茨城沖は本震直後に非常に活発化したのが2012年から活動が低下し始めて現在は本震前と同程度に落ち着きつつあるように見える。一方、本震の大滑り域付近では、本震後については全く検出されずに6年以上が経過している（防災科学技術研究所 [課題番号：3002]）。

様々な条件下で地震発生サイクルのシミュレーションを行ってきたが、本年度は特に、地表に達する傾斜した断層で bimaterial（断層を挟んで左右で媒質が異なる）場合において、地震サイクル計算を行った結果、震源核の形成場所が低速度の媒質の変位の向き（positive direction）に偏っていることがわかった。プレート境界は物質境界であるため bimaterial な状況になっているため、この結果は、震源核の形成しやすい場所が、均質なモデルでの計算位置より positive direction 側に偏っている可能性を示唆している（京都大学理学研究科 [課題番号：1801]）。

2011年東北沖地震時の地殻変動を把握するため、地震後の日本海溝の海底地形データを取得して地形の変化を抽出した。北緯 38.0 度から 38.5 度にかけて顕著な 50-70m の滑りに相当する変動を検出し、それ以外の領域の変動は小さいことがわかった。大きな津波が遅れて生じた可能性が指摘されている岩手県沖についても、測定誤差を上回る変化は検出されなかった。また、日本海溝の海溝軸から沖合側にかけて超深海型海底地震計を用いた海底観測を実施し、アウターライズで起こる正断層型地震の震源断層の実態について調査した結果、ホルスト・グラベン構造を形成するような正断層が複数存在し、深さ 40km 付近まで伸びている可能性が示された（海洋研究開発機構 [課題番号：4002]）。

#### （内陸）

GEONET による地殻変動連続観測データの解析により、東北地方太平洋沖地震の直前から 7 年間の累積上下変位を調べたところ、東北地方太平洋沿岸では地震前に比べてまだ相対的に沈降した状態であり、本震前の状態に戻るには、まだ長い年月が必要であることがわかった。一方、脊梁山地付近では、余効変動のために本震前よりも沈降しており、これが今後どのような形で解消されるのかをよく検討する必要がある（国土地理院 [課題番号：6005]）。

東北地方の 5 点及び北海道太平洋岸の 3 点、関東地方 2 点で、精度 1 マイクロガル程度の高精度絶対重力測定を実施した。そのうちの仙台、江刺（岩手県）、筑波山について、2011 年以降の重力及び楕円体高の時間変化を図 4 に示す。2011 年～2014 年に見られていた隆起と重力減少の対応関係が、2014 年以降は消失していることがわかる。このことは 2014 年頃から粘弾性効果が次第に顕著になったことを強く示唆する（東北大学 [課題番号：1203]）。

不均質レオロジー構造（図 5 a）を考慮した地表上下変動のモデル化を通じて、2011 年東北沖地震前約 100 年間続いていた東北日本前弧域の大きな沈降（3-4mm/yr；図 5 b）のメカニズムの解明を試みた。有限要素法を用いて巨大地震サイクルのモデル計算を行った結果、浅部アスペリティの固着が数百年にわたり継続することで、マントルウェッジ及びプレート境界深部の粘性剪断帯における粘弾性緩和の進行により、プレート境界深部の滑り欠損レートが時間とともに増加するという結果が得られた。それにより前弧域は巨大地震サイクル後半にかけて沈降速度が増加していき、一方、巨大地震後 50-100 年は、地震後の粘性剪断帯における粘弾性緩和に律速される長い時定数の余効滑りが生じることで、前弧域に大きな隆起（0.5-1.5m）が生じることが示された（図 5 c；東北大学 [課題番号：1203]）。

2011年東北地方太平洋沖地震の発生から5年以上が経過しても、東北地方内陸での誘発地震活動は依然として継続しているが、活動には時空間変化がある。これらの現象を東北地方太平洋沖地震発生時の応力変化だけで説明することは困難であり、誘発地震は流体の存在による地殻強度の低下によって発生し、地震活動の時空間変化は流体分布の時間変化を反映するという仮説が、一つの可能性として考えられる。

2011年東北地方太平洋沖地震の後、山形県と福島県の県境で群発的地震活動が発生した。波形の相関を利用した高精度の震源再決定を行ったところ、この山形-福島県境付近の地震活動は明瞭なマイグレーションが認められ、また深部から浅部に向かって地震活動が移動している。図6にこれらの地震クラスタのうちの一つの例を示す。震源はさらにいくつも面状に分布しており、しかも、その面の傾斜・走向は、その面に属する地震の発震機構解の一つの節面の傾斜・走向とよく一致しており、これらの「面」が弱面として使われて地震が発生したことを強く示唆する。さらに東北沖地震直後の50日間とそれ以降では、規格化された摩擦係数・応力降下量・ $b$ 値・背景の地震発生レート等が大きく異なっており、初期の頃の地震活動は間隙圧の上昇による強度低下によって生じたことが強く示唆される（東北大学 [課題番号：1204]）。

秋田県の森吉山地域でも東北地方太平洋地震後に地震活動の活発化が見られている。臨時地震観測波形データについて、クロススペクトルを用いて高分解能の位相差の読み取りを行い、S波スプリッティング解析を実施した。その結果、速いS波と遅いS波の時間差は地震活動度と相関があることが明確となった。速いS波の偏向方向は地震のメカニズム解の節面の方位と調和的であるため、地殻流体の流入によって既存の断層面が開くとともにその周囲での地震活動度が高まり、やがて流体が拡散することで異方性が弱まり地震活動度が低下する、という解釈が考えられる（弘前大学 [課題番号：1101]）。

阿武隈山地南部でも、東北沖地震後の1ヶ月後の4月11日に福島県浜通りの地震（M7.0）が発生した。稠密地震観測網で観測された自然地震波形を用いて、逆VSP（Vertical Seismic Profile）解析による地殻内のS波反射面のイメージング解析を行った。顕著な二つの反射面群のうち、反射面1は深さ15-20 kmの地震活動域下部に求められ、これは先行研究によって低速度・高ポアソン比とされる領域の上端に位置するため、この反射面は地殻内流体の存在を強く示唆し、そのすぐ上に地震活動域が存在することから、これらの地震活動は地殻流体によって引き起こされた可能性が考えられる。一方、反射面2はその深さからモホ面であると考えられる（東北大学 [課題番号：1203]）。

中部日本、東北日本、及びその遷移帯の火山を、これまであまり調査や分析のなされていない群馬-新潟-福島にかけての火山（守門、浅草、柘形、飯士）も含めて、岩石学的・地球化学的研究を行った。その結果、関東北部から東北南部にかけて沈み込んだフィリピン海スラブについて、地震学的に提案されている北限境界よりもさらに北の火山からも、フィリピン海スラブ由来と考えられる流体成分が検出されており、しかもこの北限境界のすぐ北側の火山で流体量（太平洋スラブ由来、及びフィリピン海スラブ由来の両方の成分とも）が最大となり、そこから北に向かうにつれて、流体量は減少することがわかった。これらのことから、フィリピン海スラブの物質学的北限は、地震学的北限よりも100 km近く北まで伸びており、茨城下付近に存在するマンロー太平洋スラブ-フィリピン海

スラブの3重会合コーナーポイントに向かい、島弧沿いにも、また島弧横断方向にも流体が集中して流れている可能性が考えられる（京都大学防災研究所 [課題番号：1905]）。

#### （他の沈み込み帯との比較）

国内で発生する巨大地震の頻度は低いため、巨大地震の研究を進め、減災のうえで何に注意すればよいのかを知るためには、国内の観測研究だけでは限界があり、海外の地震との比較研究が極めて重要となる。

2014年5月10日から2015年6月にかけて、ニュージーランド（NZ）北島ギズボーン沖合にて日・NZ・米3か国共同で大規模海域地球物理観測 HOBITSS（Hikurangi Ocean Bottom Investigation of Tremor and Slow Slip）を行った。ヒ克蘭ギ沈み込み帯では、これまでに繰り返しスロースリップイベント（SSE）の発生は認められてきたが、微動の活動については必ずしも明らかとなっていなかった。HOBITSS観測で得られた海底地震計の記録を用いて、目視による微動の検出とエンベロープ相関法による微動の震源決定を行った結果、SSEに伴った微動と考えられる活動が1日あたり0～12個程度、特にSSE活動の後半から2週間程度の期間に認められ、その震源はSSEの断層滑りが及ばない沈み込んだ海山の基底部周辺に集中しているように見える。S波の地震波偏向方向解析を行った結果、2014年9月下旬-10月上旬のSSEの後、振動方向の揃った微動がほとんど中断なく2週間程度連続して発生していることが明らかになった（東京大学地震研究所 [課題番号：1524]）。

#### （災害軽減の基盤となるデータ・知見の流通・公開）

災害軽減のためには、予測のみならず、過去に起こったことと現在起こっていることをわかりやすく社会に伝えることが重要である。また、災害軽減のための研究を効率よく、かつ多彩な視点から進めるためには、良質のデータが生産され、それが研究者に提供されることが重要である。このような観点から様々な取り組みが多く機関によって行われている。

日本列島周辺においては、様々な地球物理的観測・解析が行われており、上記の広域モデルより高精度のプレート境界位置が求められている。前年度までの作業を元に、今年度はプレート境界位置の修正及びフィリピン海プレートの、太平洋プレートとの接合部の形状モデルの検討を行った。また、関東域における構造探査を元に、同地域の複雑なフィリピン海プレート形状の再定義を試みた。このうち、前年度までに決定した太平洋プレート及びフィリピン海プレートモデルについて、東京大学地震研究所のWebサイトでの公開を開始した。（東京大学地震研究所 [課題番号：1505]）。

海域の地震も活用して、日本海から日本列島、太平洋沖にかけての繋ぎ目のない三次元地震波速度構造モデルを構築し、2018年3月から防災科学技術研究所のWebで公開している。また、Double-Difference法により日本全国の震源を高分解能で再決定した地震カタログも2018年1月から公開している（防災科学技術研究所 [課題番号：3004]）。

海底地殻変動の時系列データも海上保安庁海洋情報部のWebサイトで公開されている（海上保安庁 [課題番号：8001]）。

#### 4. これまでの課題と今後の展望

##### (東北地方太平洋沖地震による地震発生場のさらなる理解)

東北地方太平洋沖地震については様々な情報が得られ、巨大地震に対する我々の視野は大きく拡大した。一方で、数百年と考えられる長い地震発生サイクルのうちの、ほんの一角程度以下の期間しか近代的観測ができていないことを忘れてはならない。この地震の前に我々が抱いていた様々な先入観や誤解がこの地震によって打ち砕かれたのと同様に、今現在も我々は何かを見落とし、何かを誤解していて、それらが今後の余効変動や他の巨大地震の観測研究によって是正される可能性は極めて高い。

特に余効変動について、変位・歪・応力・重力等を長期にわたって追跡し、その結果から粘弾性構造モデルを構築していくことが重要である。これにより、余効滑りの詳細な時空間分布と地震時滑りについての情報も得られ、プレート境界の摩擦パラメータの分布の推定にもつながる。こうして、プレート境界と媒質の詳細な情報が得られることによって、ようやく、巨大地震の地震発生サイクルについて信頼度の高いシミュレーションが行えるようになる。

また、このような研究は内陸の非弾性的性質もモデル化することを意味しており、それは内陸地震の発生機構の解明にも大きく役立つはずである。東北地方太平洋沖地震の発生によって東北地方内陸の東西圧縮の応力はかなり緩和されたはずで、少なくとも東西圧縮の逆断層型の大地震は、当面、東北地方内陸では発生しにくいように見える。しかし、そのような考え方では、1896年6月15日の明治三陸地震の僅か2ヶ月後の8月31日に陸羽地震が発生した事実を説明できない。

東北地方太平洋沖を契機として、断層強度の理解が大きく進み、プレート境界も内陸の断層も、これまで考えられていたよりも強度が1/10程度となっている可能性が高いことがわかってきた。このように強度が低い理由としては、スラブから供給されてきた水によって間隙水圧が上昇しているためというのが最もありそうな仮説ではあるが、これもまだ完全には解明されたわけではなく、今後、さらなるデータの蓄積が必要である。また、スラブから供給された水は断層強度を下げるのみならず前述の粘弾性構造にも大きな意味を持つため、スラブへの水の取り込みと放出過程についても、今後、さらなる研究を進めていく必要がある。

東北地方太平洋沖地震によってこれまで極めて多くの知見が得られ、今後も得られるものと期待されるが、単年度あたりに得られる情報量は、当然のことながら時間とともに減少していく。

一方で、長期的な観測によって初めて得られる情報もあるため、今後、長期にわたって持続可能な観測研究を設計し、継続していくことが重要となっている。1896年の明治三陸地震のあと40年近くたって1933年の昭和三陸地震が発生しているわけで、今後、M8級の最大余震が発生するとしても、何十年もたってからとなる可能性は否定できない。したがって、東北地方の災害軽減のためにも、東北地方における観測研究は、今後も長期にわたって継続する必要がある。

##### (次の巨大地震災害の軽減のために)

日本付近で、次に M9 の巨大地震災害が生じるとしたら、千島海溝か南海トラフ沿いの可能性が高いと考えられる。これらの巨大地震の災害を軽減するためには、東北沖地震前と似た現象が出現していないかどうかの検討と同時に、東北沖との類似点と相違点をよく検討することが必要である。

東北地方太平洋沖地震について知見が増えれば増えるほど、M9 の地震について、新たな先入観が生じてしまうことについて自覚的に対処することが重要である。むしろ、東北沖地震では生じなかったことが、本当に他の場合でも起こらないのか、よく検討する必要がある。たとえば、

- 海溝付近より陸の近くで大きく滑る可能性はないのか？
- 海溝近くから陸の近くまで全部が大きく滑るのでは？
- 巨大な海底地滑りが生じて、さらに大きな津波を起こす可能性は？
- 巨大な分岐断層が動いて、効率よく津波を励起するのでは？
- スラブ内大地震や内陸大地震が連鎖するのではないか？
- 火山噴火が連動するのでは？
- 南海トラフで予想されている「最大規模」を上回る可能性はないのか？

といった検討が必要である。

我々研究者は、過去に起こったことを説明できるモデルや、過去に起こらなかったことを説明できるモデルを探しがちである。しかし、それが「想定外」を生み出すものになっていることを自覚する必要がある。「過去に起こった証拠の無いことは本当に将来も起こらないのか？」という検討こそが、次の巨大地震災害を軽減するうえで、極めて重要と考えられる。

## 成果リスト

Ando, R., K. Imanishi, Y. Panayotopoulos, and T. Kobayashi, 2017, Dynamic rupture propagation on geometrically complex fault with along-strike variation of fault maturity: insights from the 2014 Northern Nagano earthquake, *Earth Planets Space*, 69, 130, doi:10.1186/s40623-017-0715-2.

Barth, A. P., K. Tani, S. Meffre, J. L. Wooden, M. A. Coble, R. J. Arculus, O. Ishizuka, and J. T. Shukle, 2017, Generation of silicic melts in the early Izu-Bonin arc recorded by detrital zircons in proximal arc volcanoclastic rocks from the Philippine Sea, *Geochem. Geophys., Geosys.*, doi:10.1002/2017GC006948.

千木良雅弘・笠間友博・鈴木毅彦・古木宏和, 2017, 1923 年関東地震による震生湖地すべりの地質構造とその意義, *京都大学防災研究所年報*, 60B, 417-430.

Chiyonobu, S., Y. Yamamoto, and S. Saito, 2017, Calcareous nannofossil biostratigraphy and geochronology of Neogene trench-slope cover sediments in the south Boso Peninsula, central Japan: Implications for the development of a shallow accretionary complex, *Tectonophys.*, 710-711, 56-68, doi:10.1016/j.tecto.2016.11.030.

- Cho, I. and T. Iwata, 2018, Development and numerical tests of a Bayesian approach to infer shallow velocity structures using microtremor arrays, *Exploration Geophysics*, doi:10.1071/EG18011.
- Delbridge, B. G., S. Kita, N. Uchida, C. W. Johnson, T. Matsuzawa, and R. Burgmann, 2017, Temporal variation of intermediate-depth earthquakes around the time of the M 9.0 Tohoku-oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 3580-3590, doi:10.1002/2017GL072876.
- 土井一生・釜井俊孝・佐藤朗・王功輝・千木良雅弘・小川内良人・川島正照, 2017, 重力変形斜面の地震時挙動の観測－新しい加速度センサー・傾斜センサー一体型プローブを用いて－, *応用地質*, 58, 94-101.
- Emoto, K., T. Saito, and K. Shiomi, 2017, Statistical parameters of random heterogeneity estimated by analysing coda waves based on finite difference method, *Geophys. J. Int.*, 211, 1575-1584, doi:10.1093/gji/ggx387.
- Fujiwara, T., C. dos Santos Ferreira, A. K. Bachmann, M. Strasser, G. Wefer, T. Sun, T. Kanamatsu, and S. Kodaira, 2017, Seafloor displacement after the 2011 Tohoku-oki earthquake in the northern Japan trench examined by repeated bathymetric surveys, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 11833-11839, doi:10.1002/2017GL075839.
- Fukahata, Y. and M. Matsu'ura, 2017, Characteristics of viscoelastic crustal deformation following a megathrust earthquake: discrepancy between the apparent and intrinsic relaxation time constants, *Pure Apply. Geophys.*, 175, 549-558, doi:10.1007/s00024-017-1735-3.
- Fukuda, J., 2018, Variability of the space-time evolution of slow slip events off the Boso Peninsula, central Japan, from 1996 to 2014, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 123, doi:10.1002/2017JB014709.
- Fukuda, J., J. Muto, and H. Nagahama, 2018, Strain localization and fabric development in polycrystalline anorthite + melt by water diffusion in an axial deformation experiment, *Earth Planets Space*, 70, 3, doi:10.1186/s40623-017-0776-2.
- Goto, M., Y. Yasuoka, H. Nagahama, J. Muto, Y. Omori, H. Ihara, and T. Mukai, 2017, Anomalous changes in atmospheric radon concentration before and after the 2011 northern Wakayama Earthquake (Mj 5.5), *Radiation Protection Dosimetry*, 174, 412-418.
- Hatakeyama, N., N. Uchida, T. Matsuzawa, and W. Nakamura, 2017, Emergence and disappearance of interplate repeating earthquakes following the 2011 M9.0 Tohoku-oki earthquake: Slip behavior transition between seismic and aseismic depending on the loading rate, *J. Geophys. Res.*, 122, 5160-5180, doi:10.1002/2016JB013914.
- 林為人・廣瀬丈洋・谷川亘・濱田洋平, 2017, 科学掘削による地震断層の応力状態・物性・すべりパラメーターの評価, *地学雑誌*, 126, 223-246.

- 五十嵐俊博, 2017, 日本列島周辺の地震クラスター—検出および時間・空間的特徴—, 地震 第2輯, 70, 183-194, doi:10.4294/zisin.2017-4.
- Iinuma, T., 2018, Monitoring of the spatio-temporal change in the interplate coupling at northeastern Japan subduction zone based on the spatial gradients of surface velocity field, *Geophys. J. Int.*, 213, 30-47, doi:10.1093/gji/ggx527.
- 石川正弘, 2017, 岩石の弾性波速度に基づく島弧地殻深部及び最上部マントルの構成岩石の推定: 伊豆弧と東北本州弧, 地質学雑誌, 123, 355-364.
- Ishiyama T., H. Sato, N. Kato, S. Koshiya, S. Abe, K. Shiraishi, and M. Matsubara, 2017, Structures and active tectonics of compressionally reactivated back-arc failed rift across the Toyama trough in the Sea of Japan, revealed by multiscale seismic profiling, *Tectonophys.*, 710-711, 21-36, doi:10.1016/j.tecto.2016.09.029.
- Ito, Y., M. Ikari, K. Ujiie, and A. Kopf, 2017, Coseismic slip propagation on the Tohoku plate boundary fault facilitated by slip-dependent weakening during slow fault slip, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 8749-8756, doi:10.1002/2017GL074307.
- Katsumata, A., Y. Hayashi, K. Miyaoka, H. Tsushima, T. Baba, P. A. Catalan, C. Zelaya, F. R. Vasquez, R. Sanchez-Olavarría, and S. Barrientos, 2017, Stand-alone tsunami alarm equipment, *Nat. Haz. Earth Sys. Sci.*, 17, 685-692, doi:10.5194/nhess-17-685-2017.
- 川元智司, 2018, GNSS の GGOS への貢献と今後の展望, 測地学会誌, 63, 81-94, doi:10.11366/sokuchi.63.81.
- Kawamoto, S., Y. Ohta, Y. Hiyama, M. Todoriki, T. Nishimura, T. Furuya, Y. Sato, T. Yahagi, and K. Miyagawa, 2017, REGARD: A new GNSS-based real-time finite fault modeling system for GEONET, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, 1324-1349, doi:10.1002/2016JB013485.
- Kawamoto, S., N. Takamatsu, S. Abe, K. Miyagawa, Y. Ohta, M. Todoriki, and T. Nishimura, 2018, Real-time GNSS analysis system REGARD: an overview and recent results, *J. Disaster Res.*, 13, 440-452, doi:10.20965/jdr.2018.p0440.
- 川村喜一郎・金松敏也・山田泰広, 2017, 海底地すべりと災害—これまでの研究成果と現状の問題点—, 地質学雑誌, 123, 999-1014, doi:10.5575/geosoc.2017.0031.
- 木村学・木下正高・金川久一・金松敏也・芦寿一郎・斎藤実篤・廣瀬丈洋・山田泰広・荒木英一郎・江口暢久・Sean Toczko, 2018, 南海トラフ地震発生帯掘削がもたらした沈み込み帯の新しい描像, 地質学雑誌, 124, 47-65, doi:10.5575/geosoc.2017.0069.
- Kitamura, M. and T. Hirose, 2017, Strength determination of rocks by using indentation tests with a spherical indenter, *J. Struct. Geol.*, 98, 1-11, doi:10.1016/j.jsg.2017.03.009.
- Komori, J., M. Shishikura, R. Ando, Y. Yokoyama, and Y. Miyairi, 2017, History of the great Kanto earthquakes inferred from the ages of Holocene marine terraces revealed by a comprehensive drilling survey, *Earth Planet. Sci.*

- Lett., 471, 74-84, 74-84, doi:10.1016/j.epsl.20.
- Kono, A., T. Sato, M. Shinohara, K. Mochizuki, T. Yamada, K. Uehira, T. Shinbo, Y. Machida, R. Hino, and R. Azuma, 2017, Geometry and spatial variations of seismic reflection intensity of the upper surface of the Philippine Sea plate off the Boso Peninsula, Japan, *Tectonophys.*, 709, 44-54, doi:10.1016/j.tecto.2017.05.001.
- 小菅正裕・野呂康平・増川和真, 2017, 東北日本で発生する深部低周波地震の震源の時空間分布の特徴と地震波形の多様性, *地震研究所彙報*, 92, 63-80.
- Kubota, T., T. Saito, W. Suzuki, and R. Hino, 2017, Estimation of seismic centroid moment tensor using ocean bottom pressure gauges as seismometers, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 10907-10915, doi:10.1002/2017GL075386.
- Maeda, T., S. Takemura, and T. Furumura, 2017, OpenSWPC: An open-source integrated parallel simulation code for modeling seismic wave propagation in 3D heterogeneous viscoelastic media, *Earth Planets Space*, 69:102, doi:10.1186/s40623-017-0687-2.
- Matsubara, M., H. Sato, K. Uehira, M. Mochizuki, and T. Kanazawa, 2017a, Three-dimensional seismic velocity structure beneath Japanese Islands and surroundings based on NIED seismic networks using both inland and offshore events, *J. Disaster Res.*, 12, 844-857, doi:10.20965/jdr.2017.p0844.
- Matsubara, M., H. Sato, T. Ishiyama, and A. D. Van Horne, 2017b, Configuration of the Moho discontinuity beneath the Japanese Islands derived from three-dimensional seismic tomography, *Tectonophys.*, 710-711, 97-107, doi:10.1016/j.tecto.2016.11.025.
- Miyoshi, T., M. Obayashi, D. Peter, Y. Tono, and S. Tsuboi, 2017, Adjoint tomography of the crust and upper mantle structure beneath the Kanto region using broadband seismograms, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 4:29, doi:10.1186/s40645-017-0143-8.
- Mizutani, T., K. Hirauchi, W. Lin, and M. Sawai, 2017, Depth dependence of the frictional behavior of montmorillonite fault gouge: Implications for seismicity along a décollement zone, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 5383-5390.
- 望月公廣, 2017, 沈み込み帯におけるプレート境界面の不均質と地震活動—日本海溝およびヒクランギ沈み込み帯を例として— (総説), *地学雑誌*, 126, 207, doi:10.5026/jgeography.126.207.
- 森下知晃・藤江剛・山野誠・中西正男・尾鼻浩一郎・中村恭之・斎藤実篤・小平秀一・木村純一・黒田潤一郎・小野重明, 2017, 古い海洋プレートの沈み込み直前での屈曲断層形成に伴う加水作用解明に向けた海洋掘削計画概要, *地学雑誌*, 126, 247-262, doi:10.5026/jgeography.126.247.
- Munekane, H., 2018, A GNSS kinematic analysis system for Japanese GEONET stations, *J. Disaster Res.*, 13, 433-439, doi:10.20965/jdr.2018.p0433.
- 宗包浩志, 2018, キネマティック GNSS 時系列に含まれる微小信号の抽出, *測地学会誌*, 64,

- 1-11, doi:10.11366/sokuchi.64.1.
- Nakagawa, T. and H. Iwamori, 2017, Long-term stability of plate-like behavior caused by hydrous mantle convection and water absorption in the deep mantle, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, doi:10.1002/2017JB014052.
- Nakamura, H., H. Iwamori, O. Ishizuka, and T. Nishizawa, 2018, Distribution of slab-derived fluids around the edge of the Philippine Sea Plate from Central to Northeast Japan, *Tectonophys.*, 723, 297-308, doi:10.1016/j.tecto.2017.12.004.
- Nishikawa, T. and S. Ide, 2017, Detection of earthquake swarms at subduction zones globally: Insights into tectonic controls on swarm activity, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, 5325-5343, doi:10.1002/2017JB014188.
- Nishizawa, T., H. Nakamura, T. Churikova, B. Gordeychik, O. Ishizuka, S. Haraguchi, T. Miyazaki, B.S. Vaglarov, Q. Chang, M. Hamada, J. Kimura, K. Ueki, C. Toyama, A. Nakao, and H. Iwamori, 2017, Genesis of ultra-high-Ni olivine in high-Mg andesite lava triggered by seamount subduction, *Sci. Rep.*, 7, doi:10.1038/s41598-017-10276-3.
- Noda, H., M. Sawai, and B. Shibazaki, 2017, Earthquake sequence simulations with measured properties for JFAST core samples, *Philos. Trans. Royal Soc.*, A375, doi:10.1098/rsta.2016.0003.
- Nomura, S., Y. Ogata, N. Uchida, and M. Matsu'ura, 2017, Spatiotemporal variations of interplate slip rates in northeast Japan inverted from recurrence intervals of repeating earthquakes, *Geophys. J. Int.*, 208, 468-481, doi:10.1093/gji/ggw395.
- Obana, K., Y. Nakamura, G. Fujie, S. Kodaira, Y. Kaiho, Y. Yamamoto, and S. Miura, 2018, Seismicity in the source areas of the 1896 and 1933 Sanriku earthquakes and implications for large near-trench earthquake faults, *Geophys. J. Int.*, 212, 2061-2072, doi:10.1093/gji/ggx532.
- Okamoto, A., H. Shimizu, J. Fukuda, J. Muto, and T. Okudaira, 2017. Reaction-induced grain boundary cracking and anisotropic fluid flow during prograde devolatilization reactions within subduction zones, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 172, 75, doi:10.1007/s00410-017-1393-6.
- Ono, K., Y. Harada, A. Yoneda, J. Yamamoto, A. Yoshiasa, K. Sugiyama, H. Arima, and T. Watanabe, 2017, Determination of elastic constants of single-crystal chromian spinel by resonant ultrasound spectroscopy and implications for fluid inclusion geobarometry, *Phys. Chem. Minerals*, doi:10.1007/s00269-017-0912-3.
- Saade, M., J.P. Montagner, P. Roux, K. Shiomi, B. Enescu, and F. Brenguier, 2017, Monitoring of seismic anisotropy at the time of the 2008 Iwate-Miyagi (Japan) earthquake, *Geophys. J. Int.*, 211, 483-497, doi:10.1093/gji/ggx321.
- Saishu, H., A. Okamoto, and M. Otsubo, 2017, Silica precipitation potentially

- controls earthquake recurrence in seismogenic zones, *Sci. Rep.*, 7, 13337, doi:10.1038/s41598-017-13597-5.
- Sato, T., S. Hasegawa, A. Kono, H. Shiobara, T. Yagi, T. Yamada, M. Shinohara, and N. Usui, 2017, Detection of vertical motion during a slow-slip event off the Boso Peninsula, Japan, by ocean-bottom pressure gauges, *Geophys. Res. Lett.*, 44, doi:10.1002/2017GL072838.
- Sawai, M., A. R. Niemeijer, T. Hirose, and C. J. Spiers, 2017, Frictional properties of JFAST core samples and implications for slow earthquakes at the Tohoku subduction zone, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 8822-8831.
- Sema, F. and T. Watanabe, 2017, Determination of elastic constants of a single-crystal topaz and their temperature dependence via sphere resonance method, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 271, 64-62.
- Shiraishi, K., G. Fujie, T. Sato, S. Abe, E. Asakawa, and S. Kodaira, 2017, Interferometric OBS imaging for wide-angle seismic data, *Geophysics*, 2017, 82, Q39-Q51, doi:10.1190/geo2016-0482.1.
- Takahashi, M. and K. Muroi, Eds, 2017, International Comparative Study on Mega-earthquake Disasters. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University: Nagoya, 153pp., ISBN: 9784904316153
- Takahashi, N., K. Imai, M. Ishibashi, K. Sueki, R. Obayashi, T. Tanabe, F. Tamazawa, T. Baba, and Y. Kaneda, 2017, Real-time tsunami prediction system using DONET, *J. Disaster Res.*, 12, 766-774, doi:10.20965/jdr.2017.p0766.
- Takemura, S., M. Kobayashi, and K. Yoshimoto, 2017, High-frequency seismic wave propagation within the heterogeneous crust: Effects of seismic scattering and intrinsic attenuation on ground motion modelling, *Geophys. J. Int.*, 210, 1806-1822, doi:10.1093/gji/ggx269.
- Tanaka, A., N. Minami, Y. Yasuoka, T. Iimoto, Y. Omori, H. Nagahama, J. Muto, and T. Mukai, 2017, Accurate measurement of indoor radon concentration using a low-effective volume radon monitor, *Radiation Protection Dosimetry*, 177, 324-330.
- 田中昌之・岡田正実・内田直希, 2018, 繰り返し回数の少ない繰り返し地震系列に対する長期的地震発生確率予測の成績と検証, *地震 第2輯*, 70, 195-213, doi:10.4294/zisin.2016-17.
- 田中重好・高橋誠・黒田達朗編, 2017, 『新しい防災の考え方を求めて(シリーズ3): コミュニティ防災を考える』, 名古屋大学大学院環境学研究科, 198pp., ISBN:9784904316146.
- 溜瀧功史, 2017, 波形相関による自動震源分類の効率化, *験震時報*, 81:6, 1-8, [http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/kenshin/vol81\\_6.pdf](http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/kenshin/vol81_6.pdf).
- Tomita, F., M. Kido, Y. Ohta, T. Iinuma, and R. Hino, 2017, Along-trench variation in seafloor displacements after the 2011 Tohoku earthquake, *Sci. Adv.*, 3, e1700113, doi:10.1126/sciadv.1700113.

- Ueki, K., and H. Iwamori, 2017. Geochemical differentiation processes for arc magma of the Sengan volcanic cluster, Northeastern Japan, constrained from principal component analysis. *Lithos*, 290-291, 60-75, doi:10.1016/j.lithos.2017.08.001.
- Umino, S., K. Kanayama, K. Kitamura, A. Tamura, O. Ishizuka, R. Senda, and S. Arai, 2017, Did boninite originate from the heterogeneous mantle with recycled ancient slab? *Island Arc*, 27, e12221, doi:10.1111/iar.12221.
- 白田優太, 2018, 反射法解析を稠密アレイ自然地震記録に適用した阿武隈山地南部の地殻構造の研究, 東京大学修士論文.
- Viens, L., M. Denolle, H. Miyake, S. Sakai, and S. Nakagawa, 2017, Retrieving impulse response function amplitudes from the ambient seismic field, *Geophys. J. Int.*, 210, 210-222, doi:10.1093/gji/ggx155.
- Watanabe, N., M. Egawa, K. Sakaguchi, T. Ishibashi, and N. Tsuchiya, 2017, Hydraulic fracturing and permeability enhancement in granite from subcritical/brittle to supercritical/ductile conditions, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 5468-5475, doi:10.1002/2017GL073898.
- Watanabe, N., T. Kikuchi, T. Ishibashi, and N. Tsuchiya, 2017,  $\nu$ -X-type relative permeability curves for steam-water two-phase flows in fractured geothermal reservoirs, *Geothermics*, 65, 269-279, doi:10.1016/j.geothermics.2016.10.005.
- 山田泰広・Jim Mori・氏家恒太郎・林為人・小平秀一, 2018, 東北地方太平洋沖地震後の緊急調査掘削 (IODP 第 343 次航海: J-FAST) の成果, *地質学雑誌*, 124, 67-76, doi:10.5575/geosoc.2017.0080.
- Yanagida, Y., M. Nakamura, A. Yasuda, T. Kuritani, M. Nakagawa, and T. Yoshida, 2018, Differentiation of a hydrous arc magma recorded in melt inclusions in deep crustal cumulate xenoliths from Ichinomegata Maar, NE Japan, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 19, 838-864, doi:10.1002/2017GC007301.
- Yano, T. E., T. Takeda, M. Matsubara, and K. Shiomi, 2017b Japan unified high-resolution relocated catalog for earthquakes (JUICE): Crustal seismicity beneath the Japanese Islands, *Tectonophysics*, 702, 19-28, doi:10.1016/j.tecto.2017.02.017.
- Yukutake, Y. and Y. Iio, 2017, Why do aftershocks occur? Relationship between mainshock rupture and aftershock sequence based on highly resolved hypocenter and focal mechanism distributions, *Earth Planets Space*, 69:68, doi:10.1186/s40623-017-0650-2.

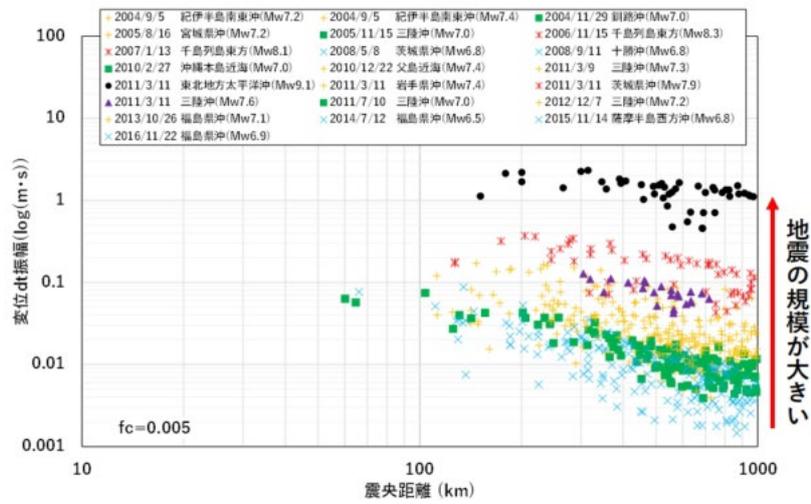
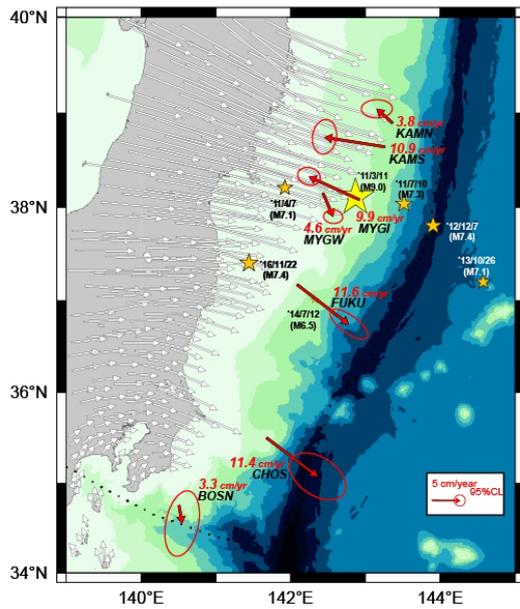


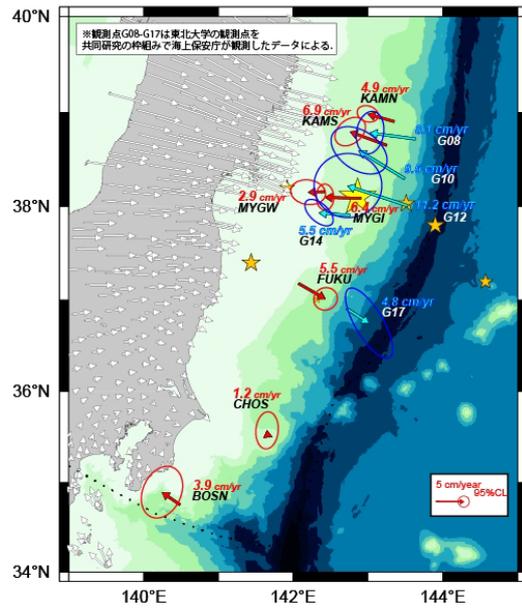
図1. 変位を時間積分した波形の振幅と震央距離の関係（気象庁 [課題番号：7009]）。同じ震央距離で見ると、地震の規模が大きいほど振幅が大きくなっており、このような計算によってスロー地震についても規模が正しく評価できると期待される。

2011年7月～2014年12月の平均速度



観測点	KAMN	KAMS	MYGI	MYGW	FUKU	CHOS	BOSN	電子基準点
期間	2011/4/3	2011/4/5	2011/3/28	2011/3/27	2011/3/29	2011/4/18	2011/4/19	2011/4/1
	2014/3/1	2014/7/31	2014/6/7	2014/6/11	2014/6/2	2014/6/8	2014/6/13	2014/12/31
水平変位量	3.5 cm/year	10.8 cm/year	9.8 cm/year	4.6 cm/year	11.8 cm/year	11.4 cm/year	3.3 cm/year	

2015年1月～2017年12月の平均速度



観測点	KAMN	KAMS	MYGI	MYGW	FUKU	CHOS	BOSN	電子基準点
期間	2015/1/26	2015/1/25	2015/1/15	2015/1/17	2015/1/13	2015/4/18	2015/4/17	2015/1/1
	2017/12/18	2017/12/18	2017/8/19	2017/12/19	2017/12/20	2017/12/20	2017/8/24	2017/12/31
水平変位量	4.9 cm/year	6.9 cm/year	6.4 cm/year	3.8 cm/year	5.5 cm/year	1.2 cm/year	3.8 cm/year	
観測点	G08	G10	G12	G14	G17			
期間	2015/4/26	2015/4/26	2015/4/27	2015/1/14	2015/4/19			
	2017/8/20	2017/8/21	2017/8/21	2017/8/22	2017/8/22			
水平変位量	6.1 cm/year	6.5 cm/year	11.2 cm/year	5.5 cm/year	4.8 cm/year			

図 2. 日本海溝沿いの海底の水平地殻変動（海上保安庁 [課題番号：8001]）。

東北地方太平洋沖地震後の最初の三年半（左図）と最近の三年間（右図）における GNSS-音響測距結合方式観測で得られた海底の地殻変動速度について示す。陸上の変動ベクトルは GEONET の F3 解による。黄色の星は 2011 年東北地方太平洋沖地震の本震，オレンジの星は海底の観測点において 1cm 以上の地殻変動が推定される余震を示す。

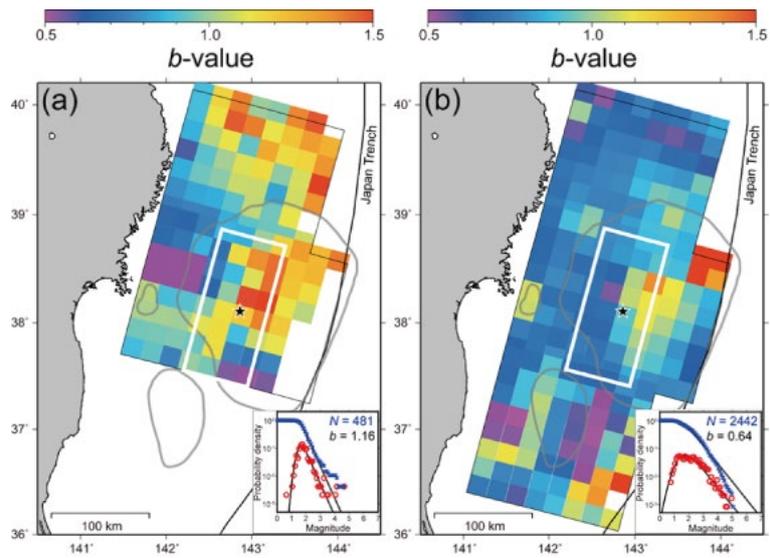


図 3. 海陸観測データから推定した東北沖のプレート境界付近で発生している地震の  $b$  値の分布（東京大学地震研究所 [課題番号：1503]）。

(a) 東北地方太平洋沖地震発生前（2007 年 10 月～2008 年 6 月）。(b) 東北地方太平洋沖地震発生後（2011 年 3 月～6 月）。 $b$  値推定手法は Maximum Curvature 法 (Wiemer and Wyss, 2000) による。星印は東北沖地震の震源，灰色コンターは Iinuma et al. (2012) による本震時滑り分布（10m）を表す。挿入図は，地図上の白色矩形域内で発生した地震（ $N$ ：全地震数）の規模別頻度分布（赤：非累積頻度，青：累積頻度）を示す。ただし，挿入図での  $b$  値は Ogata and Katsura (1993) の最尤推定モデル（黒線）による。

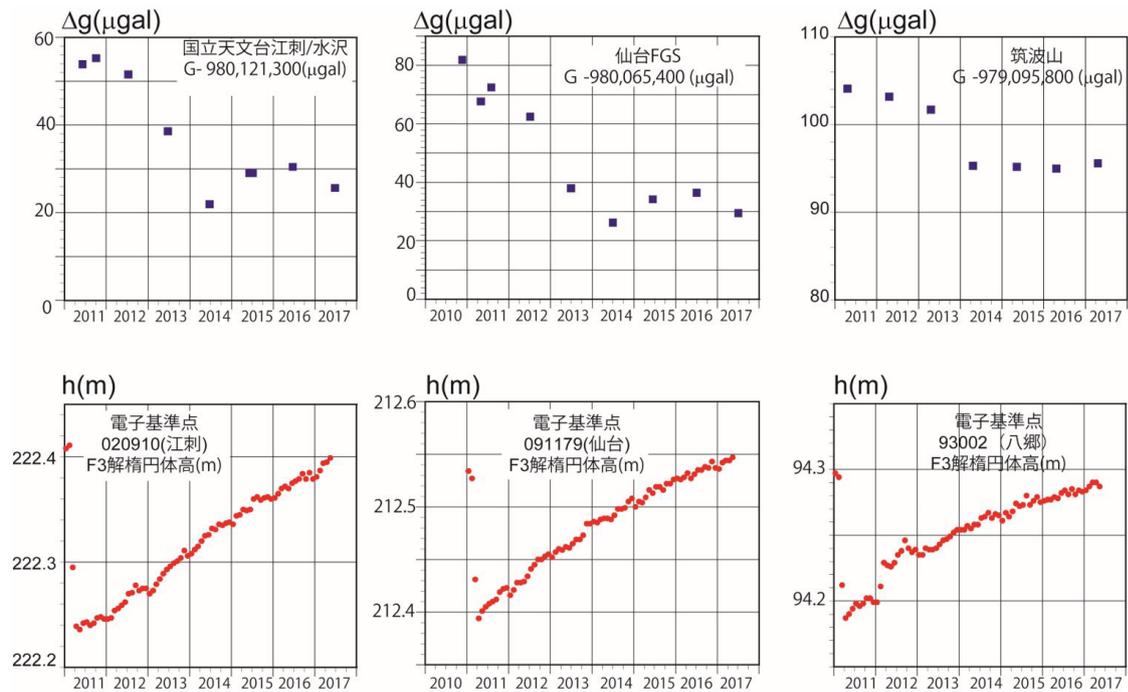


図 4. 江刺，仙台，及び筑波山における，重力変化（上図）と上下変動（下図）（東北大学 [課題番号：1203]）。

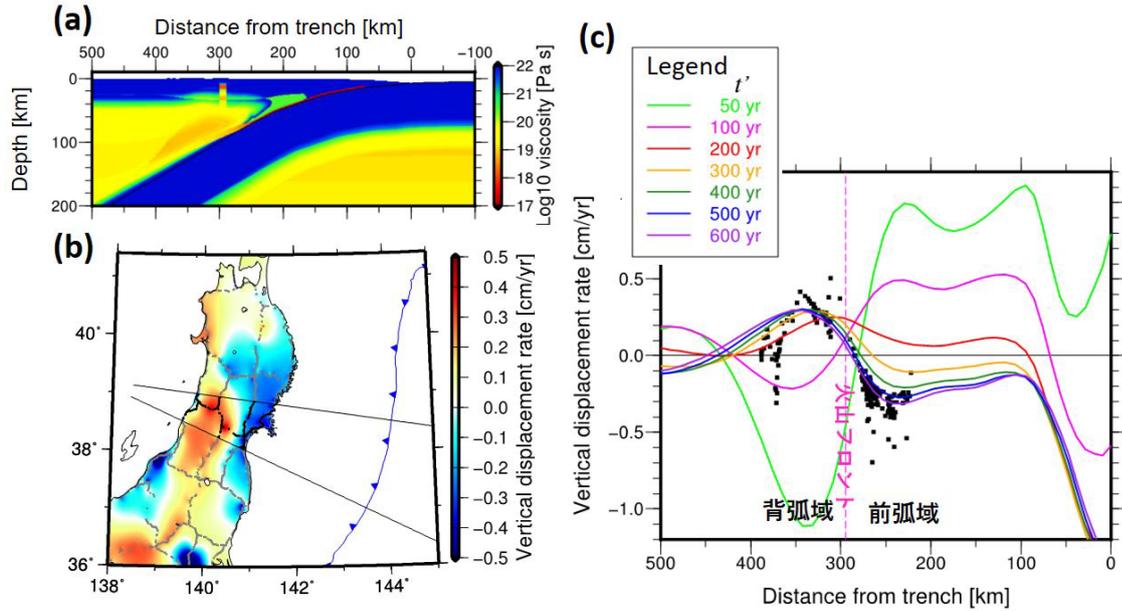


図 5. 東北沖地震前約 100 年間に於ける東北日本島弧内陸に於ける上下変動のモデル化 (東北大学 [課題番号: 1203])。

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

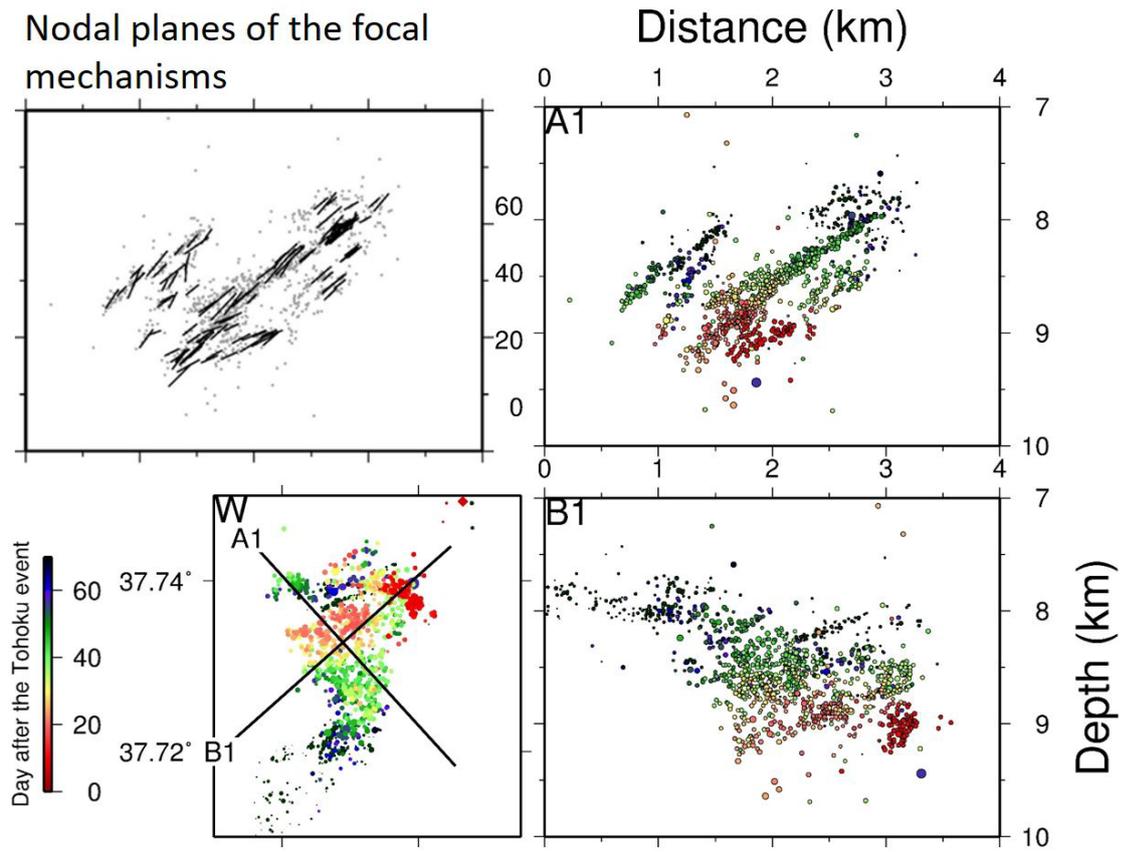


図 6. 山形-福島県境付近の地震クラスタの一つの高精度震源分布（東北大学 [課題番号：1204]）。

（左下）震央分布。色は東北地方太平洋沖地震からの日数を表す。（右）震央分布図の A1 と B1 の測線に沿った鉛直断面図。（左上）発震機構解の節面の分布。A1 断面に投影して示す。

## 2 (2) 南海トラフの巨大地震総合研究

「南海トラフの巨大地震」総合研究グループリーダー 澁谷拓郎  
(京都大学防災研究所)

本研究グループは、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」において、海溝型地震部会、データベース・データ流通部会、地震動・津波等の事前予測・即時予測部会、史料・考古部会、地震・火山災害部会、地震先行現象・地震活動評価部会等で行われている南海トラフの巨大地震に関する研究について部会を横断する形でまとめ、総合的に推進することを目的とする。さらに、東京大学地震研究所と京都大学防災研究所との拠点間連携共同研究における参加者募集型研究として実施される、「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」による南海トラフ巨大地震のリスク評価についての研究とも連携を図って、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」による南海トラフ巨大地震の現象解明、発生予測、災害誘因予測を目指した研究と、拠点間連携共同研究のリスク評価の研究との橋渡しを模索することも、本研究グループの目的である。

本研究グループでは、南海トラフ巨大地震の災害軽減に資する研究のスキームとして、地震の発生、地震波の伝播という事象の時間経過およびそれらに伴う情報の伝達の方向性に従い、「震源・地震像」、「地殻構造・波動伝播」、「強震動・津波予測」、「地盤構造・地すべり」、「被害予測（建築物・構造物）」、「リスク評価」という研究項目が並び、これらを「基盤観測・データ流通・データベース・モニタリング」が支え、各研究項目から情報が社会に向かって発信されるという構図を考え、これをもとに南海トラフの巨大地震に関連する研究課題の成果をまとめた。

### 1. 平成 29 年度の研究成果の概要

平成 29 年度の「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」における研究課題のうち、南海トラフの巨大地震に関する研究であることが自己申告されたもの、および研究成果報告からそう判断されるものは、59 課題であった。部会別には、「海溝型地震」が 14 課題、「データベース・データ流通」が 19 課題、「地震動・津波等の事前予測・即時予測」が 7 課題、「史料・考古」が 5 課題、「地震・火山災害」が 3 課題、「地震先行現象・地震活動評価」が 2 課題、「拠点間連携」が 9 課題であった。さらに、主な成果について、上述のスキームにおける研究項目で整理すると、「震源・地震像」が 19 課題、「地殻構造・波動伝播」が 7 課題、「強震動予測・津波予測」が 4 課題、「地盤構造・地すべり」が 5 課題、「被害予測（建築物・構造物）」が 2 課題、「リスク評価」が 2 課題、「基盤観測・データ流通」が 25 課題、「情報発信」が 3 課題（複数の研究項目に該当する課題あり）であった。以下に、主な研究項目の成果を述べる。

#### (1) 震源・地震像

##### ア. プレート境界面の固着状態

海上保安庁 [課題番号：8001] や名古屋大学 [課題番号：1703] の GPS-音響測距結合方式による海底地殻変動観測のデータと国土地理院 [課題番号：6005] の GEONET による陸域の地殻変動データ等を用い、ブロック運動の効果も取り込んだすべり欠損速度の推定が、Nishimura et al. (2018) や名古屋大学 [課題番号：1703] により行われた。南海トラフ巨大地震の想定震源

域は、全体的に正のすべり欠損速度をもっており固着しているが、日向灘、室戸岬沖、潮岬沖、熊野灘の一部に部分的に固着が弱い領域が存在し、プレート境界面の固着状態が不均質であることが確認された。

東京大学地震研究所〔課題番号：1509〕は、豊後水道周辺における機動的GPS観測を強化・継続し、当該地域で繰り返し発生する長期的SSE (Slow Slip Event) の研究を行っている。2015年12月から開始した長期的SSEは、過去の履歴から予想されたMw (モーメントマグニチュード) の数分の1にしか達してないことが分かった。本格的な長期的SSEは今後発生すると予想している。東海地域においてもGNSS観測データを用いた長期的SSEの解析を行い、2013年から開始した長期的SSEは、2016年1月までに最大すべり量が7cmに達し、Mwも6.6になったという結果を得た (Kato et al., 2017; Sakaue et al., 2017)。産業技術総合研究所〔課題番号：5007〕は、防災科学技術研究所および気象庁との共同研究により、3機関のひずみ・地下水・傾斜データをリアルタイムで共有して南海トラフ周辺地域の短期的SSEを解析し、2016年11月～2017年10月の間に27の短期的SSEの断層モデルを決定した (Araki et al., 2017)。

#### イ. 歴史地震の地震像

史料・考古の研究では、名古屋大学〔課題番号：1701〕は、安政の東海・南海地震の被害、とくに尾張藩の被害について、古文書の翻刻・解読を行った (石川, 2018)。また、高知県神社明細帳にある安政、宝永、白鳳における南海トラフ地震の記載をまとめた。京都大学防災研究所〔課題番号：1901〕は、複数の写本を検討し、より原本に近い史料を特定して未読箇所を翻刻し、1707年宝永地震の本震と翌日発生した余震の震源域の推定に重要な情報を得た (服部・中西, 2017)。東京大学史料編纂所〔課題番号：2601〕は、東海地方にあって長期間にわたる日記が現存する三河国田原藩 (愛知県田原市) の「田原藩日記」 (田原市博物館所蔵) の調査・撮影と、嘉永七年 (1854年) の南海地震関連の史料について、「今中文庫史料」 (広島大学中央図書館所蔵)、「津山藩勘定奉行日記」 (津山郷土博物館所蔵)、「売用日記」 (岡山県倉敷市竜王会館所蔵)、「矢吹家文書」 (岡山県立記録資料館所蔵) の調査を実施した。

産業技術総合研究所〔課題番号：5004〕は、駿河トラフの陸域延長部である富士川河口断層帯を挟んだ隆起側と沈降側でボーリングコア試料の解析を行い、富士川河口断層帯の一部である入山瀬断層の平均変位速度は従来の推定値 (7m/千年) よりもかなり小さい (1~2m/千年) という結果を得た。また、奄美群島喜界島ではサンゴマイクロアトール (小環礁) の調査から、過去150年以上に渡り地殻が安定していることや、16~17世紀に25cm程度の間欠的隆起があったことを発見した。

## (2) 地殻構造・波動伝播

### ア. プレート形状・構造

東京大学地震研究所〔課題番号：1509〕は、四国西部地域における比抵抗構造をネットワークMT応答関数のインバージョンにより求めた (Ueshima et al., 2017)。フィリピン海プレートの上盤側の中部地殻内、約20kmまでの深さに顕著な低比抵抗域が認められた。さらに、それより深部において、沈み込むスラブに沿って最大10km程度の厚さを持つ160 $\Omega$ m程度の (その直上の上盤比抵抗より約2.5倍小さい) 弱い低比抵抗帯が認められた。沈み込むスラブに沿う水の存在が示唆される。

名古屋大学〔課題番号：1703〕は、東海地域において ACROSS 震源を用いた地震波速度の時間変化の解析を行い、2004 年～2017 年において地震波速度が徐々に速まる傾向にあることと、2011 年東北地方太平洋沖地震の際には地震波速度が遅くなったことを見出した。

京都大学防災研究所〔課題番号：1904〕は、南九州地域に設置されている定常観測点と臨時観測点における 2011 年 2 月から 2016 年 3 月までの P 波走時の読み取りデータを用いて、トモグラフィ解析を行った（澁谷・他，2017）。その結果、深さ 10 km では新燃岳、桜島、開聞岳の近傍に低速度異常が見られること、深さ 20 km では上記の 3 火山の付近に強い低速度異常域が広範囲に広がっていること、日向灘の沿岸部付近にも強い低速度異常が見られること、海洋地殻は深さ 30 km と 40 km では低速度異常を示すが、深さ 50 km と 60 km では高速度異常を示し、それ以上深ではまた低速度異常を示すこと、などの特徴を見出した。

鹿児島大学〔課題番号：2301〕は、南西諸島北部域において、長期収録型海底地震計のデータも使用したトモグラフィ解析を行い、当該地域の 3 次元速度構造を推定した（八木原，2017）。さらに、この構造を用いて再決定した震源分布と、40km 以浅の地震で節面の走向が海溝軸とほぼ平行な低角逆断層型の地震の分布を用いて地震面の等深線を求め、プレート境界面の形状を推定した（図 1）。図 1 の右側に示すように、再決定された震源分布は、60～80km 以深においてグローバルなプレート形状モデル Slab1.0（Hayes et al., 2012）より深い方向にずれる。

### （3）強震動予測・津波予測

#### ア．震源メカニズムの即時推定

国土地理院〔課題番号：6004〕は、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った（Kawamoto et al., 2017）。

#### イ．津波予測

防災科学技術研究所〔課題番号：3001〕は、海域観測記録を適切に利用した巨大地震による津波発生・伝播シナリオを構築するため、独自の固液複合波動場計算と高解像度浸水計算とを組み合わせる技術開発を行った。

### （4）地盤構造・地すべり

#### ア．奈良盆地モデルの構築

奈良盆地は堆積層厚最大約 600m と推定される堆積盆地で、奈良盆地東縁断層帯、生駒断層帯、中央構造線断層帯の金剛山地東縁セグメントなどの活断層に囲まれ、南海トラフ地震の想定断層面からも 50～60km と比較的近い距離にあるなど地震ハザードの高い地域である。奈良盆地の堆積層の 3 次元速度構造モデルは、平成 25～27 年度文部科学省委託研究「中央構造線断層帯（金剛山地東縁－和泉山地南縁）における重点的な調査観測」のもとで構築された。京都大学防災研究所〔課題番号：1911〕は、このモデルをもとに、データの追加、モデル作成方法の改良、モデル検証の追加を行い、奈良盆地堆積層速度構造モデルの改良を行った（関口・他，2018）。

#### イ．地すべり発生ポテンシャル評価

京都大学防災研究所〔課題番号：1912〕は、南海トラフおよび相模トラフの海溝型地震によって発生した大規模崩壊について、航空レーザー計測による地形解析、現地調査、および室内分

析によってそれらの特徴を明らかにし、共通する地質・地形的特徴を抽出した。既往の南海トラフおよび相模トラフの海溝型地震による大規模な崩壊は、特に外帯の付加体に発生しており、地質構造的には流れ盤斜面（地層の傾斜方向と斜面の傾斜方向が一致する斜面）の座屈した地層と曲げトップリング（地層が斜面前方に倒れ込む現象）を起こした地層に発生していることが多いこと、さらに、これらは地形的特徴と概略地質構造によって抽出可能であることを明らかにした（千木良，2017）。

## （５）リスク評価

### ア．地域社会の脆弱性測定

名古屋大学〔課題番号：1704〕は、(1)土地利用変化と空間に現れる脆弱性、(2)リスク認知と防災意識および備え、(3)自主防災活動に見られる社会的凝集性と地域防災力という観点から、地域社会の脆弱性に関する研究を行った。

## （６）情報発信

### ア．防災情報の発信と防災知識の普及啓発

気象庁〔課題番号：7012〕は、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、緊急地震速報評価・改善検討会などの検討会等を開催し、報道発表等により広く情報共有を行った。また、気象庁は「南海トラフ地震に関連する情報」を発表することとし、平成29年11月1日からその情報の運用を開始した。この他、気象庁〔課題番号：7020〕は関係機関と連携し、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。

## ２．研究集会

本研究グループの3回目の研究集会を平成29年10月10日に京都大学宇治キャンパスにおいて開催した。テーマは2回目と同じで、南海トラフ巨大地震のもっともらしい地震像と発生予測とし、以下に示す6件の話題提供を受けた。

発表タイトル	発表者	備考
史料地震学でみた南海トラフ巨大地震の発生履歴の問題点	石橋克彦 (元神戸大)	歴史地震
南海トラフ地震の規則性・不規則性とその課題	古村孝志 (東大地震研)	南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト
巨大地震による強震動予測のための強震動生成領域に対する距離減衰式の適用	宮澤理稔 (京大防災研)	拠点間連携共同研究
固着の剥がれ方の多様性と大地震の発生	加藤愛太郎 (東大地震研)	スロー地震

南海トラフ域でのモニタリングと推移予測のための不均質構造モデル構築と解析手法の高度化	堀 高峰 (海洋研究開発機構)	南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト
次の南海トラフ巨大地震発生前・時・後に何が起きるのかをモニタリングする調査観測	平原和朗 (京大理)	モニタリング

南海トラフ巨大地震のもっともらしい地震像については、これまでの発生履歴に学ぶことが必要と考え、歴史地震から1話題、そして、南海トラフ巨大地震の発生予測の観点から、本研究グループと同じ南海トラフ巨大地震をテーマとしている地震調査研究推進本部の委託研究「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」から2話題と地震・火山噴火予知研究協議会の「拠点間連携共同研究」から1話題、スロー地震とモニタリングの話題を取り上げた。

ここでは、堀氏の話題について少し詳しく紹介する。南海トラフ巨大地震の震源域の一部で地震が起きたらその後どうなるか、という問題提起があった。図2に示すように、(1)東海地震(M~8)が起きたら、(2)南海地震(M~8)が起きたら、(3)2011年東北地方太平洋沖地震の前震のようなM~7の地震が起きたら、(4)2016年4月1日三重県南東沖の地震(Mj6.5)のように、M~6の地震が起きたら、その後どうなるかということである。この問いに答えるには、起きた地震の震源域の広がり地震後に起きている変動を把握し、残りの震源域での地震にどう進展するかを推定する必要がある。図3は、(4)の場合のM~6の地震発生後に起こり得る異なるシナリオの例である。左側に示すシナリオでは、2016年4月1日三重県南東沖の地震のように、余効すべりはしばらくすると治まるが、右側のシナリオでは、余効すべりが深い側にも継続し、数年後にM8クラスの地震に発展する。2016年4月1日三重県南東沖の地震の場合は、たまたま震源域の真上に海底水圧計があり、その水圧変化のモニタリング結果から地殻変動が比較的短い時間で収まったことがわかった。起きた地震の震源域の広がり地震後に起きている変動をより正確に把握するためには、面的な広がり密度をもった海底観測の強化が必要である。さらに、3次元不均質構造を考慮した解析が必要であるが、このためには、不均質構造モデルと計算ツールの高度化が必要である。

研究集会の総合討論では、「もっともらしい」地震像に対して、以下のような意見が提起された。

- ・「もっともらしい」には、次にくる地震としてもっともらしいという意味のほかに、防災対応を考える上でターゲットとすべきという意味も考えられる。
- ・防災対応を考える上で「もっともらしい地震」としては、過去の地震規模に対応するM8前半、M8後半、およびM9の3パターンくらいを提示するのが妥当ではないか。南海トラフ地震としてはいろいろの規模があること、また次にくるものが確定できないことを認識してもらうためにも、妥当な範囲で複数挙げるのがよいと思う。

### これまでの課題と今後の展望

冒頭で述べたように、本研究グループの目的は、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」において、部会ごとに推進されている研究成果を、部会を横断する形でまとめ、南海トラフ巨大地震の災害軽減に資する研究を総合的に推進することである。このためには、地震の発生、地震波の伝播という事象の時間経過およびそれらに伴う情報の伝達の方向性に従い設定した「震源・地震

像」, 「地殻構造・波動伝播」, 「強震動・津波予測」, 「地盤構造・地すべり」, 「被害予測(建築物・構造物)」, 「リスク評価」という研究項目において, それぞれの上流と下流でなされている研究や必要とされるアウトプットを認識し, 研究を行うことが必要と考えられる。このため, 研究項目間のコミュニケーションを図ることが重要であり, 現行計画では, 研究集会を通して研究項目間のコミュニケーションの活性化を実施してきた。しかしながら, 年1回開催する研究集会のみでは十分なコミュニケーションを実現することには限界があると思われる。次期計画においては, 関連する研究項目を代表する研究者が本研究グループを構成する体制とするなど, 部会を横断する研究の推進に関する組織面でのサポートが必要であると考えられる。

## 成果リスト

- Araki., T., Ochi, T., Matsumoto, N., and Akaho, S., 2017, Simultaneous estimation of spatio-temporal distribution and duration of slow slip event by switching model, *Journal of Signal Processing*, 21, 297-308.
- 千木良雅弘, 2017. 南海トラフおよび相模トラフの大地震による深層崩壊 JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張, HDS17-05.
- 服部健太郎・中西一郎, 2017, 1707年宝永地震と富士山宝永噴火に関する一史料～駿河湾北岸域における宝永地震翌朝に感じた大きな余震及び白鳥山の崩壊を記した行方不明史料の発見と既刊史料集に掲載された翻刻文の検討～, *地震* 2, 70, 41-55.
- 石川寛, 2018, 安政東海・南海地震の被害と尾張藩の救済—史料学的検討を踏まえて, *愛知県史研究*, 22, 1-16
- Kato, T., H. Sakaue, T. Nishimura, R. Ikuta, and Y. Harada, 2017, Analysis of detailed crustal strains due to the dense GNSS array in the Tokai region, central Japan, J03-P-02, IAG-IASPEI 2017, Kobe, July 30 - August 4.
- Kawamoto, S., Y. Ohta, Y. Hiyama, M. Todoriki, T. Nishimura, T. Furuya, Y. Sato, T. Yahagi, and K. Miya-gawa, 2017, REGARD: A new GNSS-based real-time finite fault modeling system for GEONET, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, 1324-1349, doi:10.1002/2016JB013485.
- Nishimura, T., Y. Yokota, K. Tadokoro & T. Ochi, 2018, Strain partitioning and interplate coupling along the northern margin of the Philippine Sea plate, estimated from Global Navigation Satellite System and Global Positioning System-Acoustic data, *Geosphere*, 14 (2), 535-551, doi: 10.1130/GES01529.1.
- Sakaue, H., T. Nishimura, J. Fukuda and T. Kato, 2017, Estimation of the spatiotemporal evolution of slow slip events in the Tokai region, central Japan, during 1994 - 2016 using GNSS data, S41C-0795, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, 11-15 Dec.
- 関口春子・浅野公之・岩田知孝, 2018, 奈良盆地の堆積層構造のモデル化, 平成29年度 京都大学防災研究所研究発表講演会, P19.
- 澁谷拓郎・寺石眞弘・小松信太郎・山崎健一・山下裕亮・大倉敬宏・吉川慎・井口正人・為栗健・園田忠臣, 2017, 地震学的手法による南九州下のフィリピン海スラブの構造の推定, 日本地震学会2017年秋季大会(かごしま県民交流センター, 鹿児島市), S06-P15, 2017年10月27日

Uyeshima, M., M. Hata, H. Ichihara, R. Yoshimura and K. Aizawa, 2017, Network-MT survey in the vicinity of area with a forthcoming slow slip event in the SW part of Shikoku Island, SW Japan, J06-P-14, IAG-IASPEI 2017, Kobe, July 30- August 4.

八木原寛・平野舟一郎・小林励司・宮町宏樹・中尾茂・後藤和彦・馬越孝道・内田和也・松島健・清水洋・中東和夫・山下裕亮・阿部英二・池澤賢志・諏訪祥士・山田知朗・篠原雅尚, 2017, 南西諸島北部の海域及び島嶼域における地震観測によるプレート境界面形状の推定 (4), 2017 年日本地震学会秋季大会.

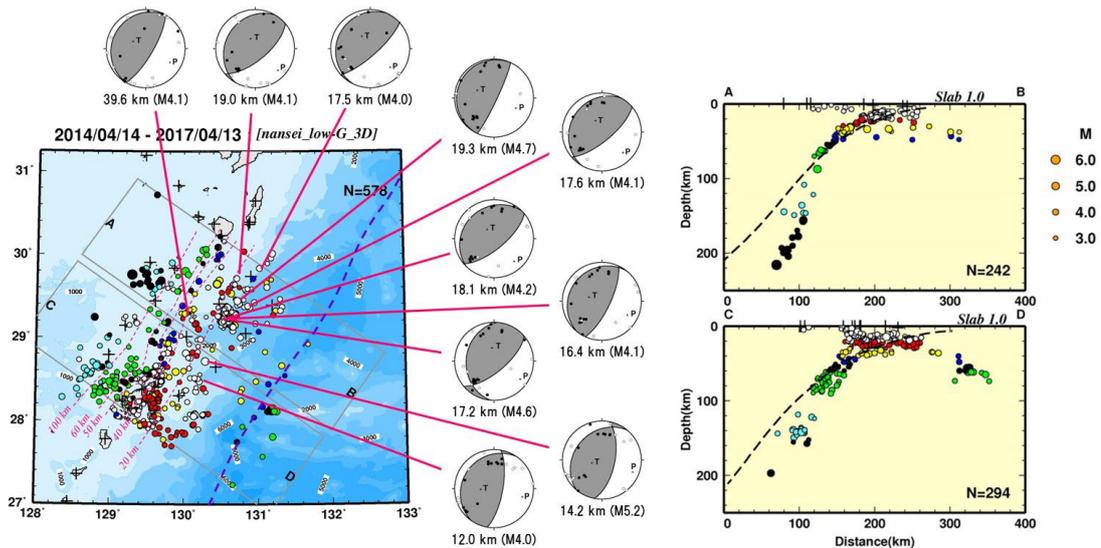


図1. 南西諸島北部域における震源分布、及び低角逆断層型のメカニズム解

震源決定において、収束解が得られた地震のみをプロットした。シンボルの色は震源の深さに対応する。+は地震観測点を示す。矩形領域A-BとC-Dに挟まれた領域が概ねトカラ海峡と一致する。断面図上の点線は、グローバルなプレート形状モデル：Slab 1.0 (Hayes et al., 2012) を示す。震央分布図には、震源分布から推測される地震面の等深度線（マゼンタの点線）を示した。海域及び島嶼域観測網のデータから得られた低角逆断層型の震源メカニズム解（1枚のnodal planeの走向が海溝軸とほぼ平行で傾斜角が低角である地震のみ）を下半球投影で示した。深さ20 kmの等深線は、低角逆断層型の解をもつ地震の震央と深さ、および40 km の等深線とを内挿することで推定した。青点線は海底地形から推定した海溝軸を示す。（鹿児島大学〔課題番号：2301〕）

# 次の地震に備える上で知りたいことの1つ

震源域の一部で地震が起きたらその後どうなるか？



- 起きた地震の震源域の広がりを正確に把握
- 地震後どのような変動が起きているか？
- 残りの震源域での地震にどう進展するか？

図2. 南海トラフ巨大地震の震源域のセグメントと M8 クラス, M7 クラス, M6 クラスの地震の震源域の模式図

黄色は地震性すべり域（強震動発生域）を、緑色は低速すべり域（津波発生域）を、それぞれ示す。南海トラフ巨大地震の震源域の一部で地震が起きたらその後どうなるか、ということは、次の地震に備えるうえで知りたいことの1つである。上から、(1) M~8 の東海地震が起きた場合、(2) M~8 の南海地震が起きた場合、(3) M~7 の地震が起きた場合、(4) M~6 の地震が起きた場合、を示す。(3) の例としては、南海トラフ域ではないが、2011年東北地方太平洋沖地震の2日前に近傍で  $M_w=7.3$  の地震が発生したケースがある。(4) の例としては、2016年4月1日に東南海震源域内で発生した  $M_j=6.5$  ( $M_w=5.8$ ) の地震のケースがある。(堀高峰, 研究集会での発表 PPT)

# 起こり得るシナリオの例（2つの比較）

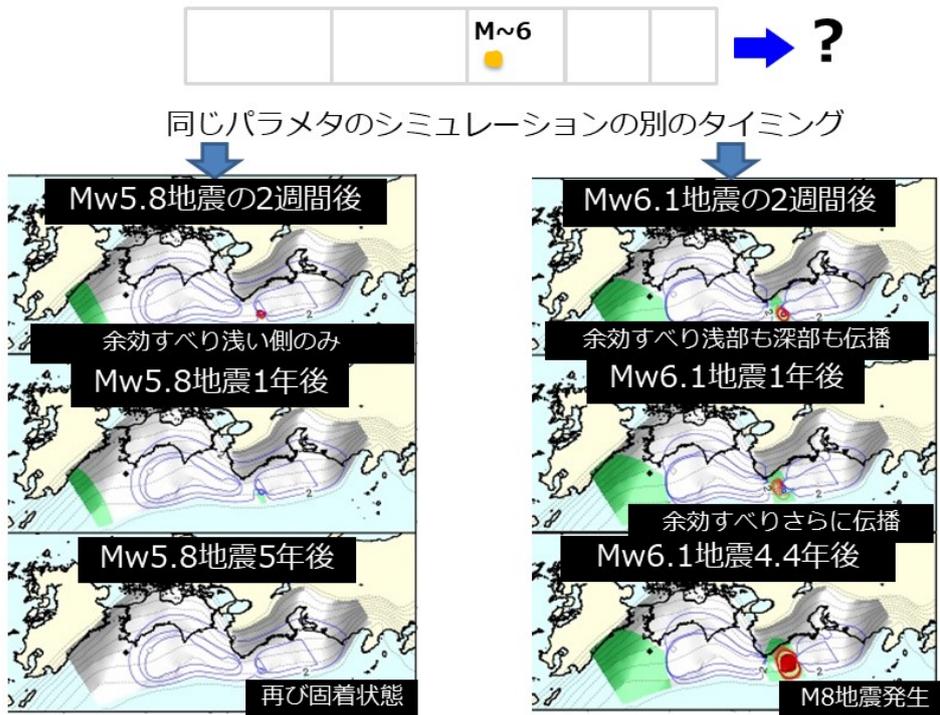


図3. 南海トラフ域での地震発生シミュレーションにおける  $M \sim 6$  の地震発生後に起こり得るシナリオの例

2016年4月1日の三重県南東沖の地震 ( $M_w=5.8$ ) と同程度の地震が起こるように、小規模な摩擦の不均質を与え、同じ摩擦パラメータで繰り返し  $M \sim 6$  の地震と  $M \sim 8$  の地震が起こる状況での2つの異なる結果を示す。左は実際の場合と類似しており、余効すべりは浅い側だけに伝播して、しばらくすると収まる。右は余効すべりが深い側にも広がり、数年後に  $M8$  クラスの地震に発展する。

色の着いているところがプレート収束速度よりも速いすべりが生じているところ。

(堀高峰, 研究集会での発表 PPT)

## 2 (3) 首都直下地震総合研究

「首都直下地震」総合研究グループリーダー 酒井慎一  
(東京大学地震研究所)

### 1. はじめに

首都直下地震については「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（建議）」の中で、災害科学の発展に著実に貢献できることや、発生した場合の社会への影響の甚大さを考慮して、総合的な研究として優先して推進するとされている。そのため、首都直下地震を対象とした研究課題は、地震・火山現象の解明のための研究、地震・火山噴火の予測のための研究、地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究の3分野にまたがって広く存在している。これらの幅広い研究の成果を統合し、社会的にも重要である首都直下型地震による災害の軽減につなげることが本総合研究グループの目標である。

### 2. 平成 29 年度の成果概要

首都直下地震の解明のための研究、首都直下地震の予測のための研究、首都直下地震の災害誘因予測のための研究に必要な基盤となる観測網の維持・拡充を進め、データを継続的に取得すると共に、膨大なデータを効率的に流通させるためのシステムを構築してきた（東大地震研 [課題番号：1518]、国土地理院 [課題番号：6005, 6006, 6012]、気象庁 [課題番号：7012, 7014, 7020]、海上保安庁 [課題番号：8001, 8002, 8004]）。

首都直下地震は、関東地方の平野部に存在する活断層で発生するもの、沈み込むプレートの境界部分で発生するもの、沈み込むプレート内で発生するものが考えられている。プレート境界部分で発生する地震に関しては、地震活動や地殻変動を詳細に観察することによって、プレート間カップリングをモニタリングしようとする試みがなされている。千葉・茨城県内の太平洋沿岸で行われているGNSS連続観測では、今年度は新たなスロースリップイベント（SSE）による地殻変動は見られなかったが、過去の房総SSEに関する論文がまとめられた（Fukuda, 2018）。地震観測からは、銚子沖の地殻内で発生している活動に多数の相似地震が検出され、上盤側プレートの余効変動による長期的な変動が継続していることが推測された（東大地震研 [課題番号：1509, 1510]）。沈み込むプレート内で発生する地震のメカニズムに関する課題では、伊豆半島の約100 km 北方で孤立して発生する地震（深さ40-90 km）の震源決定およびメカニズム解の推定を行い、その多くがプレート内で発生していることを明らかにした。温度や応力状態の特異性ではなく、スラブ内の局所的な含水化が原因であると推測された（東北大 [課題番号：1201]）。

災害誘因予測のための課題として、関東平野における長周期地震動の生成・増幅特性の方位依存性の解明があり、その原因として、震源から関東平野に向けての表面波の放射指向性の影響、堆積平野の3次元構造による複雑な表面波増幅・伝播特性の影響、の2つが考えられた。まず震源からの放射特性の影響を評価するために、2004年新潟県中越地震を対象とした震源断層の走向を変えたシミュレーションを行い、都心部での速度応答スペクトルの強度を比べた。その結果、新潟県中越地震の断層走行では関東平野へのRayleigh波の放射が強く、長周期地震動レベルが最大となることがわかった。一方、2011年福島県浜通りの地震では、関東平野への放射が弱く、断層モデルの走行を90度回

転させたシミュレーションの数分の1しかないことがわかった。また、新潟県中越地震では、断層走行を変えても都心での長周期地震動のレベルの変化は小さいが、福島県浜通りの地震では変動が大きく、震源メカニズムに敏感であることがわかった。次に、関東平野の3次元堆積層構造と長周期地震動増幅の方位的変動を、2つの地震のシミュレーション結果をもとに検討した。平野内を伝わるRayleigh波の伝播方向と位相速度の時空間変動を調べた結果、新潟県中越地震では、関東平野の深い溝状構造で表面波が焦点を結ぶように集まり増幅が起きること、これがゆっくりと都心に向かって伝わりと同時に東側の山地を高速に伝わって都心に屈折した別の表面波とが合流した長い波群を作り出す過程が確認できた。一方、福島県浜通りの地震では、筑波山付近の浅く緩い堆積層構造を通して平野に入射する際に波面が拡散することで振幅が小さくなること、また揺れの継続時間も短くなることが確認できた。こうした特徴は、ここで述べた2つの地震に限らず、同方向で発生する他の地震でも共通に見られる一般的な現象であることも確認した（東大地震研 [課題番号：1516]）。一方、MeSONet観測点のひとつにおいて、近傍の地表に観測点を設置し、揺れ方の違いを比較した。それらは約100mしか離れていないが、観測された地震波形の振幅は約2倍になり、揺れの推定には、より稠密な地盤構造の違いを考慮する必要があることを確認した（東大地震研 [課題番号：1514]）。

歴史資料や地質情報等などに基づくことで、地震計による観測以前の時代に発生した地震災害に関して検討し、現代とは異なる社会状況の下で発生した災害の対応から、今後の防災・減災施策や復興計画などの検討に資する材料を提示することができる。安政江戸地震における江戸市中での被害と復興の様子を描いた絵巻「江戸大地震之図」（島津家文書、東京大学史料編纂所蔵）について詳細に分析した結果、絵巻にある被災した屋敷は薩摩藩芝屋敷であることが判明した。場所や人物等の特定により、今後、江戸市中での具体的な地震被害を検討する際に、基本史料として用いることが可能となった。また、文献史料や絵画史料に基づいて検討し、余震が打ち続く中での町人の避難方法や避難場所、幕府側の施策、余震の発生状況や気象条件に起因する避難状況の変化などを明らかにした。

（東大地震研 [課題番号：1513]）。房総半島南部の海岸段丘について、詳細DEMの解析とボーリングコア試料の解析から段丘の分布パターンと離水年代の再検討を行った。その結果、段丘の区分と年代が更新され、大地震の再来間隔が非常にばらつくことが明らかになった（産総研 [課題番号：5004]）。

### 3. これまでの課題と今後の展望

首都直下地震に対しては統一された地震像がないが、発生した場合には、首都機能や我が国の経済活動全体に深刻なダメージを与える可能性が高いことから、総合的な研究として優先して推進するとされている。プレート境界部分で発生する地震に関しては、地震活動や地殻変動を詳細に観察することによって、プレート間カップリングをモニターしようとする試みがなされてきた。銚子沖の地殻内の多数の相似地震の存在によって、東北地方太平洋沖地震の余効変動による長期的な変動が継続していることが推測されたが、首都圏の他の地域で発生する地震に関しても研究を進め、今後、発生する可能性の高い地震像を明確にする必要がある。首都直下地震の実像が明確でないため、それによる災害やその被害の軽減という視点の研究課題が足りていない。例えば、関東平野における長周期地震動増幅の方位依存性は、震源から平野に向けた表面波の放射特性と、平野の3次元堆積層構造における表面波の伝播・増幅特性の相乗効果で起きていると結論づけられた。このように複雑な地盤構造をもつ関東平野において、高密度な観測データによって地震動がどのような挙動を示し、地表の被害にどの

程度の影響を与えるのか、現実的な地殻構造を用いた大規模数値シミュレーションを行い、高精度な揺れを予測する研究をさらに進める必要がある。

一方、政治・経済の中心としての江戸における文献史料や絵画史料は、今後の防災・減災施策や復興計画などの検討に大いに資するものとなる。例えば、余震が続く中での避難方法や避難場所、幕府側の施策、余震の発生状況や気象条件に起因する避難状況の変化等には、現代の社会でも共通した問題が含まれている。このような歴史資料や地質情報に基づく地震災害の研究は、地震計による地震観測が始まる以前の活地震活動を知ることができ、地震発生サイクルを考える際の重要な情報になりうる、今後も研究の進展が期待される。

いくつかの課題で部分的に進展がみられるが、総合研究としての進捗は、まだ不十分である。首都圏という人口の密集地および政治経済の中心地での大地震発生が、どのような複合的な被害を引き起こしてしまうのか、首都圏が被災するということが、日本全体に対する影響といった視点もスコープに入れるべきであろう。そのような、理学だけでは対応できない様々な研究分野を総合的に推進させるような体制づくりが必要であると思われる。しかし、まずは首都直下地震の地震像を解明する研究、首都直下地震を予測するための研究、首都直下地震による災害誘因の予測のための研究の3つの成果が、連続的に結び付くような課題を推進させるのが良いのではないだろうか。その中に、これまで不十分であった、災害リテラシー高度化に向けた総合的研究等も含めて進めるべきであろう。

## 成果リスト

Fukuda, J., 2018, Variability of the space-time evolution of slow slip events off the Boso Peninsula, central Japan, from 1996 to 2014, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 123, doi:10.1002/2017JB014709.

## 2 (4) 桜島噴火総合研究

「桜島噴火」総合研究グループ 井口正人  
(京都大学防災研究所)

桜島噴火総合研究グループは、桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究を中核として、ミュオンなどの新手法を適用しつつ、火山現象を解明し、低頻度大規模現象の再考も含めた事象分岐論理の構築と火山灰拡散予測研究を行うことにより最終的に火山災害軽減研究を推進する。

2006年に58年ぶりに再開した桜島の昭和火口における噴火活動は2009年後半から2015年前半まで、ブルカノ式噴火が頻発した。2015年8月15日に急速なマグマ貫入があったものの、2015年以降の噴火活動は低下した状態にある。地震、地盤変動観測、重力測定、火山ガス放出量、噴出物の分析などによる桜島のマグマ活動の推移の評価は以下の通りである。

2017年の噴火活動は3つの活動期に分けられる。第1期：4月後半から7月上旬までの昭和火口における噴火活動、第2期：8月11日に始まり9月まで続いた昭和火口の噴火活動、第3期：10月31日に始まる南岳における噴火活動。第1期、第2期の噴火活動に先行してひずみ記録に山体の膨張が検出された。地盤変動から推定されるマグマ供給量は、2009年後半から2015年前半の噴火活動最盛期に比べて小さいが、確実に検出されている（京都大学防災研究所〔課題番号：1908〕）。

噴出物構成粒子には、これらの活動期に対応した変化がみられる。第1期における火山灰は濃色緻密粒子が多く、火口内でマグマが滞留して結晶化が進行した後で噴出したことが推定できる。一方第2期では、発泡粒子が増加した。この傾向は第3期の南岳山頂火口の噴火でも同様であり、揮発性成分を含んだマグマが比較的大きい減圧速度で噴出したことが推定できる。

桜島島内のひずみ変化は小さくなっており、GNSS連続観測からも同様の変化が確かめられる。桜島北部の地盤変動は始良カルデラ下及び北岳下の圧力源の体積変化を反映していると考えられているが、2015年1月に始まり、継続していた桜島北部の隆起は2017年2月ごろからは停滞している。2015年～2016年の桜島北部のFUTG観測点における隆起速度は2cm/年であったが、2017年の隆起量は1cmに満たない。水準測量でも同様の結果が得られている。2017年以降、北岳下へのマグマ貫入速度は低下していると評価される。

2017年の噴火活動では、2つの特徴的な噴火イベントを上げることができる。1つは8月22日の22時から23日の10時頃まで続いた溶岩噴泉活動である。傾斜及びひずみ変化量から球状圧力源の深度は5.8km、体積変化量は19万 $\text{m}^3$ と見積られる。溶岩噴泉活動は12時間続いているので、噴出速度としては約40万 $\text{m}^3$ /日となり、雲仙普賢岳や西之島の溶岩噴出率と同程度と考えられる。溶岩噴泉に先行するマグマ貫入速度もほぼ同じである。これまでも桜島におけるマグマの貫入速度とその後発生する噴火の規模との関係をまとめてきたが、溶岩噴泉に至るマグマ貫入速度が新たな知見として得られたので、図1のように噴火事象のマグマの貫入速度による分岐を改訂できる。

もう1つは、11月13日22:07に南岳火口において発生した爆発的噴火である。10月31日

から噴火活動は昭和火口から南岳山頂火口に移ったが、この噴火は2017年10月31日以降で最大規模である。11月7日から山体の膨張及び中央火口丘側の隆起を示す傾斜変化が捉えられ、11月11日に収縮、火口側沈降に反転した後、13日に爆発的噴火が発生した。ハルタ山観測坑道の傾斜及びひずみ変化量から球状圧力源の深度は5km、体積変化量は30万m<sup>3</sup>と見積もられ、昭和火口の噴火による放出マグマ量よりも多く、南岳の噴火としても最大クラスであった。傾斜変化に注目すると、有村及びハルタ山の傾斜ベクトルは南岳火口方向を向くが、高免観測坑道の傾斜ベクトルは北岳北麓を向く。月単位の長期的なマグマの蓄積及び放出については、北岳下の圧力源が支配的であることは、すでにわかっているが、個々の噴火の大きいものについても、圧力変動が北岳下の圧力源まで波及していること（京都大学防災研究所〔課題番号：1908〕）は注目に値する。

火山灰の即時予測研究（京都大学防災研究所〔課題番号：1913〕）における成果として、噴火活動を目視できない状況での噴煙の検知能力が大きく改善されたことが挙げられる。2017年11月13日22：07の爆発的噴火は地盤変動量からみて最大規模の噴火であるが、噴煙高度は目視により確認できていないが、XバンドMPレーダーやGNSS等のリモートセンシングによる観測手法を用いれば噴煙高度を推定することが確かめられた。南岳の西6kmに設置されたXバンドMPレーダーでは、強い反射強度が南岳北東方向の海拔高度3.5kmまで得られており、南岳の山頂から2.5km上空に対応する。南西20kmに設置したレーダーによるHSQスキャンでは、高度4.2kmにおいて強いエコーが観測されたが、高度6.2kmではエコーが検知できていないので、噴煙は高度5km程度まで上昇したことが推定される。さらに、GNSSの位相残差（PPR）解析でも噴煙によるPPRを桜島北東部の多くの観測点において検出でき、人工衛星とGNSS観測点を結ぶ直線の交差する高度は4.1kmとなることから高濃度の噴煙は少なくとも4km以上の高度に到達していたことが推定された。この結果は、レーダー観測の結果と整合的である。さらに、地盤変動と火山性微動の振幅を利用した噴出率見積りの経験式から噴出率を求め、噴煙高度が噴出率の1/4乗に比例するという理論式を用いると、噴煙高度は4.5kmと推定され、レーダー及びGNSS観測から求められる噴煙高度とほぼ同じである。一方、PUFFモデルから予測される降灰範囲は概ね、現地調査結果に一致してが、北部及び北北西部での降灰と降灰量を予測できていないので、火山体の地形による風の分布などを検討する必要がある。

1914年噴火級の大規模噴火を可能とするマグマはすでに始良カルデラ下に蓄積されていることは地盤変動観測から示されている。この規模の噴火の広域事前避難についてインドネシアの事例から検討した。2010年メラピ火山噴火では、10月26日の噴火の前日に警報が4（避難）に引き上げられ、山頂から10km圏の住民7万人が避難した。11月3日以降の火砕流は17kmの距離まで達したので、警戒区域が20kmに拡大され、41万人の住民が避難した。2014年のケルト火山噴火では、噴火発生から1.5時間後に4（避難）に引き上げられ、山頂から10km圏の住民3万人が避難した。いずれの噴火でも警報は、1から2、3、4に順次引き上げられ、レベルの引き上げのたびに、着実に対策がなされた。例えば、避難場所、避難方法の確認や、家畜の移動などである。また、レベルの引き上げ以前にsister cityと呼ばれる相互受け入れ先が設定されていたことや、ケルト火山において直前に避難訓練が行われていたことは、注目に値する。また、いずれの火山でも数年前に避難を要する噴火が発生しており、それを反省材料として避難計画と対策を練り直している（京都

大学防災研究所〔課題番号：1914〕）。

### これまでの課題と今後の展望

2017年の第3期の活動以降、噴火活動の中心が南岳山頂火口に移行した。ブルカノ式噴火が始まった1955年から2007年までは噴火活動の中心は、南岳山頂火口にあったが、2008年に昭和火口でマグマ性噴火が発生するようになってからは昭和火口に活動の中心が移った。2017年に約10年ぶりに南岳山頂火口に回帰したことになる。南岳はA火口、B火口の2つのベントがあり、昭和火口は中央火口丘を形成する活動を続けたので、南岳山頂域には3つのベントがあることになる。経験的には、定常的な噴火活動が続いた後、静穏化が続くと、その後の噴火活動は異なるベントで発生することが多いが、ベントを切り替えるメカニズムについてはまだよくわかっておらず、火道の閉塞とその後のマグマ貫入について研究を進める必要がある。

昭和火口において噴火活動が活発化した2009年以降、4回の顕著なマグマ貫入があったが、2015年8月のダイク貫入は、顕著な地震活動と地盤変動を伴った貫入速度が極めて大きいイベントであったため、噴火警戒レベルは4に引き上げられ、現実的な防災対応として住民の避難まで行われた。このようなダイク貫入が起こりうる条件とマグマの由来は依然として未解決の問題である。その直前のマグマ貫入である2015年1月～6月の火山活動の特性を再検討しておく必要がある。この活動期については、玄武岩質マグマの関与の高まりや桜島南西部のやや深部で発生する火山構造的な地震の活発化はすでに指摘されているところであるが、地盤変動の時空間特性を再解析し、2015年8月のダイク貫入に至るまでのマグマの移動について再検討する必要がある。

始良カルデラでの地盤の隆起は依然として続いており、1914年噴火時に沈降した地盤は、今後10～20年で噴火直前の状態に回復すると予想される。噴火ポテンシャルとしては既にVEI5級の噴火に相当する値に近づいており、大規模噴火の直前の変化を捉えることが最も重要である。1914年噴火の前には、南九州における地震活動が活発化したとされており、噴火が近づくと、異常現象が把握される範囲が局在化し、強度を増した。始良カルデラから50km程度の範囲の下部地殻・上部マントルの深さまでの地震活動の推移の検討や、桜島北東部および南西部における詳細な地盤変動の観測が必要である。特に、始良カルデラの中央部海域における地盤変動については未着手の課題であり、今後、観測手法についても開発を進めていく必要がある。

### 成果リスト

Fee, D., Izbekov, P., Kim, K., Yokoo, A., Lopez, T., Prata, F., Kazahaya, R., Nakamichi, H., Iguchi, M., 2017, Eruption mass estimation using infrasound waveform inversion and ash and gas measurements: Evaluation at Sakurajima Volcano, Japan, *Earth and Planetary Science Letters*, 480, 42-52.

日向 洋・井口 正人・鍵山 恒臣, 2017, Backscattering characteristic of volcanic eruptions based on LIDAR observation around Sakurajima Volcano, 2017年地球惑星科学連合大会, MIS02-P06.

井口正人, 2017, 始良カルデラのマグマ蓄積モデルの高精度化, 号外地球「総特集 国際火

山噴火史情報研究(2)噴火史とその関連研究-火山と噴火のモデル」, 68, 104-108.

井口正人, 2017, 火山噴火の発生予測 (特集 未来予測), Re : Building maintenance & management 39(2), 32-35.

井口正人, 2017, 九州の火山における噴火活動の動向:特に桜島について, 学会会報, 925, 85-89.

太田 雄策・井口 正人, 2017, Possibility of real-time volcanic plume monitoring using GNSS phase residual and SNR data, 2017 年地球惑星科学連合大会, MTT38-02.

中道治久・井口正人・為栗健, 2017, 2015 年 8 月桜島群発地震の振幅を用いた震源推定, 京都大学防災研究所年報, 60B, 396-401.

田中 博・井口 正人, 2017, 火山灰追跡モデル PUFF の開発と空中濃度推定, 2017 年地球惑星科学連合大会, MIS02-01.

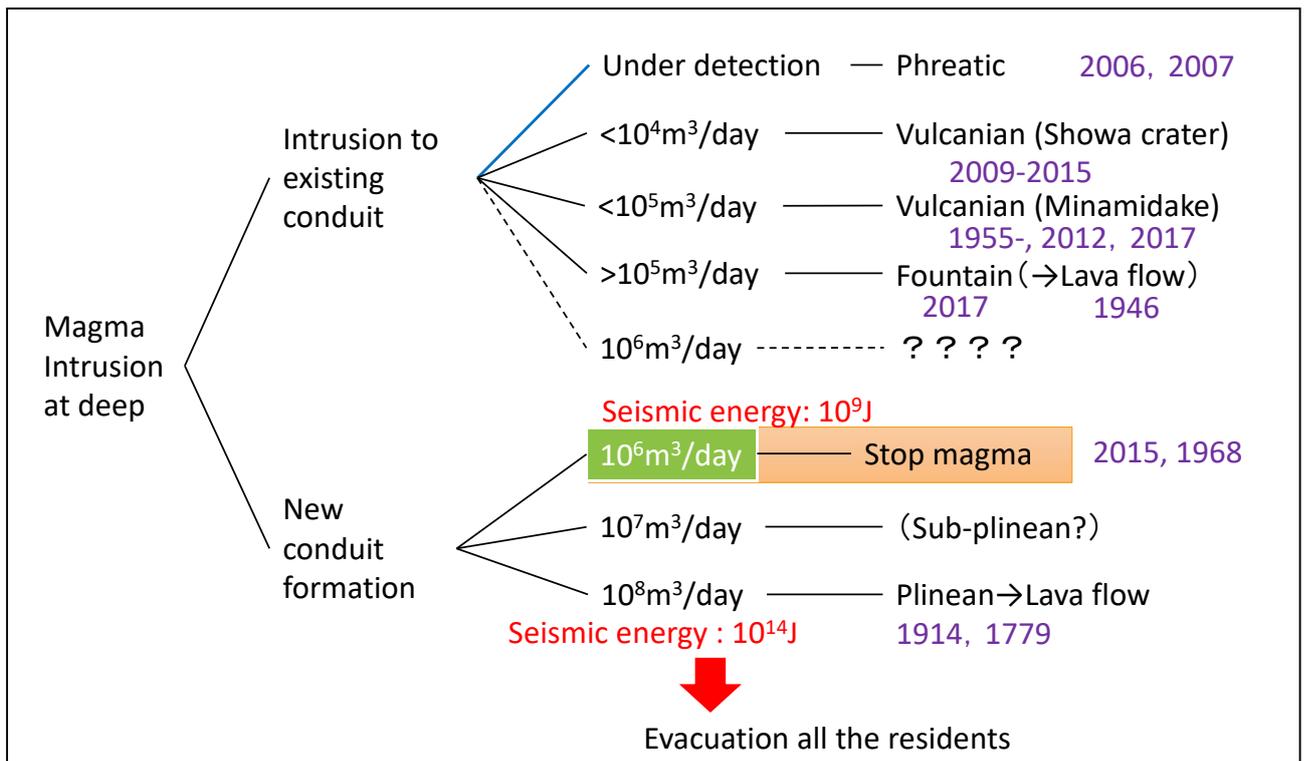


図1. 桜島におけるマグマ貫入速度による噴火事象分岐

### 3 拠点間連携共同研究

東大地震研・京大防災研拠点間連携共同研究委員会

委員長 川瀬 博（京都大学防災研究所）

副委員長 森田裕一（東京大学地震研究所）

これまでの地震・火山観測研究計画では、地震や火山噴火の発生の予測を最大の目標とし、それにより地震や火山噴火による災害の軽減を目指してきた。しかし、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の発生により多くの犠牲者が出たことを踏まえ、地震や火山噴火の科学的な予測が極めて困難であっても、現在の地震学や火山学には災害軽減に役立てられる多くの知見が集積されていることから、平成26年度から開始された「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」（建議）において大きく方針を変更した。即ち、地震や火山噴火の発生予測の実現を重点とした方針から、それらの予測を目指す研究を継続しつつも、地震・火山噴火災害をもたらす誘因の予測研究も組織的・体系的に進める方針に転換した。そのため、地震学や火山学を中核としつつも、災害や防災に関連する理学、工学、人文・社会科学などの分野の研究者が参加して、協働して推進することになった。

これまでの建議に基づく観測研究計画では、自然現象である地震発生や火山噴火現象の理解に基づきそれらの科学的な予測を目指すという考え方から、「地震・火山科学の共同利用・共同研究拠点」である東京大学地震研究所が中核となって計画を推進してきた。しかし、災害や防災に関連する研究者と協働して計画を推進するためには、東京大学地震研究所と「自然災害に関する総合防災学の共同利用・共同研究拠点」である京都大学防災研究所とが連携して、計画を進めることが有効であるとの結論に至り、両研究所が協働し、それぞれの分野の共同利用・共同研究拠点として、連携して共同研究を進めることとなった。具体的には、両拠点の研究者が中核となって、建議に沿ったテーマを決めて具体的な研究計画を立て、全国の研究者の参画を募集して全国規模の共同研究を進める「参加者募集型研究」と両拠点がそれぞれ関連が深い地震火山研究コミュニティと自然災害研究コミュニティの2つの学術コミュニティに呼びかけ建議の主旨を踏まえたボトムアップ研究を公募する「課題募集型研究」を平成26年度から開始した。

#### 1. 参加者募集型研究

参加者募集型研究については、主として両研究所の中堅研究者からなるワーキンググループで議論し、南海トラフで発生が懸念される巨大地震のリスク評価の精度向上を目指した色々な分野の研究を推し進めることに決め、平成26年10月6日～7日に地震研究所で研究集会「地震・火山科学と総合防災学の両共同研究拠点主催シンポジウム 南海トラフ巨大地震の災害リスク評価 ―社会の影響から地震発生まで振り返り、評価の不確実性と影響評価について考える―」を開催した。そこでは、巨大地震の震源過程、震源から居住地域までの深部地下（地殻）構造・波動伝播、強震動、浅部地下構造、津波、構造物等の特性をそれぞれの分野の専門家が議論して、それぞれの部分の想定や評価における精度や不確かさを議論するとともに、それらがどのように関連し、最終的な被害につながるかの科学的なリスク評価方法の確立を目指すことを確認した。さらに、リスク評価に基づき、事前の

災害情報、災害発生後の対応等のあり方など、巨大災害の発生から災害発生後の対応まで、巨大地震に伴い予測される一連の事象に関して、防災・減災に向けて機能するための研究を進展させることを目指すことになった。全体の研究を、(1) 想定される南海トラフ地震の震源過程、(2) 深部地下（地殻）構造とそれが波動伝播に及ぼす影響、(3) 強震動予測手法の高度化、(4) 浅部地下構造が地震動に及ぼす影響、(5) 津波予測モデルと津波被害予測手法、(6) 建造物の被害予測手法の高度化、(7) 災害のリスク評価と意思決定、(8) 災害情報の外部発信とステークホルダの関与、(9) コンピュータシミュレーションを用いた新たな地震リスク評価手法の開発、の9分野に分け、それぞれの分野で研究を深化するとともに、各分野の相互連携を図ることを目指した。

平成27年度は、上記9分野のうち、(7) 災害リスク評価と意思決定および(9) コンピュータシミュレーションを用いた新たな地震リスク評価手法の開発を重点項目とし、それぞれの分野の全国の研究者と協力して研究を進めるとともに、それ以外の分野については総括研究として推進し、定期的に情報交換およびリスク評価手法の構築に努めることとなった。平成28年度は、前述の2分野に加え、(4) 浅部地下構造が地震動に及ぼす影響および(6) 建造物の被害予測手法の高度化も重点項目とした。

平成29年度は、平成28年度の2分野に加え、(1) 想定される南海トラフ地震の震源過程および(3) 強震動予測手法の高度化を重点項目とし、4つの分野について全国の研究者と協力して研究を進めるとともに、総括研究を推進することとなった。

#### (1) 総括研究

総括研究（拠点間連携研究〔課題番号：2975〕）は「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」と題し、平成27年度に引き続き、(1) 震源過程、(2) 伝播・深部地盤構造、(3) 強震動予測、(4) 浅部地盤構造、(5) 建造物被害予測、(6) リスク評価の研究グループに分かれ、それぞれの分野におけるリスク評価の不確かさの要因についての検討を進めるとともに、これらの知見を統合するための(7) プラットフォーム構築グループおよび(8) ステークホルダの参画に関する研究グループにおいて、リスク評価およびその不確かさに関する検討を行った。

震源過程グループでは、南海トラフ巨大地震の震源像構築について、一様な断層の滑りモデルから震源モデルの高度化を図るに辺り、強震動生成域を考慮した場合に予測される問題点を整理した。深部地盤・伝播経路グループでは、最近になって複数のモデルが提出されてきている西南日本における地震波減衰構造について、これらのモデルの統合の可能性を評価することを目的として、個々のモデルの仕様について調査を始めた。浅部地盤構造グループでは、公開地盤情報および過去の地震記録を用いて、地盤の強非線形性を厳密に考慮した逐次非線形地盤応答解析を多数実施した。その結果に基づき表層地盤増幅率を算出したところ、加速度やひずみレベルに応じた増幅率の変化に加え、地震中の過剰間隙水圧の上昇程度にも増幅率が大きく影響されることがわかった。今後は、過剰間隙水圧の考慮の有無による増幅率の差について、定量的な検討を進める予定である。建造物被害予測グループでは、海溝型地震に対する被害予測モデルを作成し、その妥当性について検証した。また被害予測モデルに建造物の地域性を考慮する標準的スキームを提案した。その予測モデルを高知県黒潮町に対する予測強震動に適用し、合計で約30%の木造建造物が大破・

倒壊することを明らかにした。またこの被害予測モデルから人的被害を予測するスキームを開発した。リスク評価グループでは、特定分科研究（K-1-2-1）の成果を踏まえ、エクスポージャの将来予測を地震リスク評価に反映させるための基礎的な検討を行った。具体的には、一つの地方自治体に着目し、過去の人口動態と建物動態およびそれらの相関について分析を行い、それらの傾向を明らかにした。プラットフォーム構築グループでは、地震時の総合的な影響評価にむけて、病院建物の損傷による影響評価について地理空間情報を用いて評価するための手法を構築した（図1）。災害リスク情報グループでは、不確実性を含むシミュレーション情報の表示手法、ならびにリスクコミュニケーションの方法についての基礎的な検討を行った。

## （2）特定分科研究

特定分科研究（その3）「巨大地震の災害リスク評価のための震源モデルの構築」（拠点間連携研究〔課題番号：2978〕）では、多様性を反映した南海トラフ地震の震源モデル構築にあたり、各シナリオの重要構成要素として3～4種類のエキスパート・オピニオンを選定してロジックツリーの分岐を作成した（図2）。以上のシナリオを、それぞれ単独あるいは等しく重みづけした場合のシナリオを作成し、南海トラフ地震の震源像を検討した。また、地震動や津波の想定ターゲットを抽出した。地震動については震度と付加体や平野等で発達する長周期地震動、津波については津波高と浸水域といった従来型の地震津波ハザード評価に加え、新たに社会科学的な観点からの災害リスクとして、人口密度分布、産業が密集する太平洋ベルト、原子力および火力発電所分布を評価対象とする際の、定量的な基準を作成した。

特定分科研究（その4）「構造物の被害予測手法の高度化」（拠点間連携研究〔課題番号：2979〕）では、平成28年度に引き続き、海溝型地震による木造建物の被害予測モデルをチューニングし、高振動数をカットするフィルターを最適化するとともに、その適切性について検討を加えた。さらに内陸地殻内地震の強震動に対してもそのフィルター定数で大きな変動が生じないことも検証の必要要件とした。その結果カットオフ振動数1Hz、ロールオフ振動数2Hzのハイカットフィルターを適用することが最も適切であることを検証した。一方、熊本地震に対しては被害の最も顕著であった益城町における再現強震動を地盤構造を求めて等価線形解析により計算し、上記被害予測モデルに適用して観測被害率と比較した。その結果、空間的な分布は再現できなかったが全域の平均的被害率は提案モデルで概ね再現できることが示された。

特定分科研究（その5）「巨大地震時における地盤増幅率の予測手法の高精度化」（拠点間連携研究〔課題番号：2990〕）では、まず、公開データの分布特性について、大都市（東京都江戸川区）、大都市近郊（高槻市）、地方都市（徳島市）、田舎（千葉県いすみ市）の4地区を例として、分布状況を検討した。なお、いすみ市の対象範囲内では、公開されているボーリングデータが存在しない。このように、公開情報の多寡は地域により異なり、都市のほうがボーリングデータ多いことがわかる。また、対象とした自治体の人口密度と、公開されているボーリングデータ本数の密度（1km<sup>2</sup>あたりのデータ本数）の関係を整理すると、人口密度が増加するほどボーリングデータの本数が増加する傾向にある。しかし、一定以下の人口密度では公開されているボーリングデータの入手が困難であることも示された。今

後、他の地区も含めて検討していくことで、どの程度の密度での公開情報の入手が可能なかを整理していくことが、行政サービスの平準化の観点からは必要かもしれない。

また、表層地盤のモデル化手法が地盤増幅特性評価のばらつきに与える影響を検討するため、2016年熊本地震の本震を記録した熊本駅とKiK-net益城において、表面波探査法(SW)と微動探査法(MT)および電気探査法を実施した。表面波探査法と微動探査法によりレイリー波の位相速度を推定し、それらの逆解析によって表層地盤のS波速度構造をモデル化し、それによりS波地盤増幅特性を求めた。地盤増幅特性は、モデル化手法によるばらつきがみられる。両探査手法はそれぞれ適用範囲が異なるため、両手法を相補的に用いれば評価のばらつきが小さくなると考えられる。

さらに、地盤の非線形性(特に、大きなひずみレベルにおける強非線形性)が表層地盤増幅率に及ぼす影響を把握するため、2次元の有効応力解析プログラムFLIPを用いて時間領域での逐次非線形解析を実施した。解析では水平成層地盤を仮定して1次元の土柱モデルで地盤をモデル化し、地盤の構成モデルには液状化といった強非線形現象を厳密に考慮できるひずみ空間多重せん断モデル(マルチスプリングモデル)を用いた。対象とした地盤は防災科学技術研究所による公開情報であるK-NETのOSK002(高槻)~OSK010(泉南)の9サイトであり、地盤のモデルパラメータは、N値、有効上載圧、および細粒分含有率(試験値はないため土質区分から推定)に基づき簡易的に設定した。非液状化解析により得られた表層地盤増幅率を図3aに示す。図中の縦軸は地表面の応答加速度の最大振幅(PGA)を基盤における入力地震動の最大加速度(PBA)で除した増幅率であり、横軸は地盤の固有周期( $T_g$ )を入力地震動の卓越周期( $T_b$ )で除した周期比を表している。ここに、 $T_g$ は地盤の層厚とせん断弾性波速度から1/4波長則を用いて簡便に求めている。一方、 $T_b$ はフーリエ変換により得られた周波数特性から読み取った。PBA=100 galの条件では周期比が0.5付近で増幅率がピークを示しており、それよりも周期比が小さく、もしくは大きくなるにつれて増幅率が低減することがわかる。増幅率に及ぼす入力加速度の影響について考察すると、PBAの増大とともに周期比にかかわらず増幅率の値が小さくなることが明らかとなった。特に、PBA=800 galの条件では、周期比によらず増幅率が0.5程度で一定となっていることが確認できる。次に、液状化解析により得られた表層地盤増幅率を図3bに示す。ここでも、横軸は周期比( $T_g/T_b$ )により整理をしている。図中には代表例としてPBA=100および800 galの結果を示すが、それぞれのPBAの結果について液状化指数(PL値)により色分けを行っている。PL値は液状化の程度を表す指標であり、道路橋示方書に記載の方法に従って算出した。指針により閾値に若干の差はあるが、0.20では顕著な液状化が生じる地盤と判定される。PL=0のケースは設計上は液状化が発生しないと判定されるが、実際に図3bに示す増幅率の傾向は、概ね図3aの非液状化解析の結果と一致している。他方、PL値の増加とともに非液状化時の増幅率とはやや異なる傾向を示すものの、増幅率とPL値の大小関係の間に明瞭な対応は見られない。なお、PL値は設計においてよく用いられる簡易的な液状化判定法の一つであるため、詳細法に分類される液状化解析により得られた地盤内の過剰間隙水圧の上昇程度と必ずしも一対一に対応するわけではない。この点については、地盤増幅率の分類にPL値をそのまま用いるのが望ましいかどうかを含め、今後より詳細な検討が必要であると思われる。

特定分科研究(その6)「震源モデルに着目した巨大地震に伴う強震動予測の高度化」(拠点間連携研究[課題番号:2991])では、2003年十勝沖地震と2011年東北地方太平洋沖地震

について、強震動生成域に対する、強震動予測式の適用可能性を調べた。解析には防災科学技術研究所によるK-NETおよびKiK-netで記録された波形を用いた。2003年十勝沖地震についてはKamae & Kawabe(2004)による第一番目のアスペリティを、2011年東北沖地震についてはKurahashi & Irikura (2013)のSMGA1, SMGA3を調査する強震動生成域として用い、それぞれからの基盤での最大加速度 (PGA) および最大速度 (PGV) を読み取った。この結果、いずれの場合も強震動生成域とその $M_w$ に対して、司・翠川(1999)の式を用いて予測した場合、観測値を説明できず相当過小評価することが分かった (図4)。

また、強震動生成域とプレート間すべり欠損との関係を調べることを目的に、2003年十勝沖地震前のプレート間と、南海トラフのプレート間の状態を測地学的記録から推定した。南海トラフ巨大地震の発生域と考えられる東海沖で、1997-2016年にGNSSによって観測された地殻変動の記録からプレート間の状態を調べたところ、プレート境界の深さ20-40 kmに短期的スロースリップが多数発生していることが認められ、深部低周波微動発生域にほぼ対応していた。この領域では、プレート相対運動のうち一定割合が短期的スロースリップによって賄われていると考えられる。

さらに、南海トラフ巨大地震によって誘発される可能性がある内陸活断層地震のハザードを事前に評価した。その結果、断層モデル、特に震源域の空間的な広がりによって相違が見られるものの、以下のような特徴が挙げられる。例えば南海セグメントが活動した場合 (1946年南海地震など) には、日向灘や山陰地方の地震帯 (南北に近いT軸を持つ横ずれ型地震) に正の応力変化を受けるレシーバーが多く分布する傾向が見られる。また東南海セグメントが活動した場合 (例えば1944年東南海地震) には、丹波地域や伊勢湾などに正の応力変化を受けるレシーバーが多く分布する一方で、和歌山県北部のクラスターの活動ではその多くが負の応力変化となる。東海セグメントが活動をする場合 (例えば1498年明応東海地震) には、伊豆諸島や糸魚川-静岡構造線沿いなどに正の応力変化を受けるレシーバーが集中する傾向が見られる。

## 2. 課題募集型研究

課題募集型研究では、地震や火山噴火の発生から、それによって引き起こされる災害の発生や推移を総合的に理解し、それを防災・減災に活かすための研究課題を広い視野から募集することとし、以下の分類で公募した。(1)地震・火山噴火の災害事例の研究、(2)地震・火山噴火災害発生機構の解明、(3)地震・火山噴火災害誘因の事前評価手法の高度化、(4)地震・火山噴火災害誘因の即時予測手法の高度化、(5)地震・火山噴火災害軽減のための情報の高度化、(6)地震・火山噴火災害時の災害対応の効率化、(7)実践的人材育成の仕組みに関する研究の7項目である。

平成29年度は、東大地震研・京大防災研拠点間連携共同研究委員会により、6件の新規課題と5件の継続課題が採択された。

### (1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

「津波堆積物の広域年代対比に基づく北海道における17世紀の津波波源の高精度推定」(拠点間連携研究 [課題番号: 2992]) では、北海道太平洋沿岸地域の11地点で事前に用意した試料のうち、波源を推定する上で重要な9地点を選定して分析を行った。CT画像で

認められる試料の物性や Si, Sr などの海岸砂に特徴的に含まれる元素の含有率を基に津波堆積物の層準を厳密に認定した。その後、津波堆積物の直上と直下の有機物試料を用いて 14C 年代測定を行った。また、津波堆積物直上から年代既知の広域テフラまでの層厚を計算し、堆積速度を推定した。以上の情報に基づき 14C 年代の連続測定を実施し、各地で認められる津波堆積物の堆積年代を高精度で推定した（図 5）。その結果、十勝地方で認められる 17 世紀の津波堆積物は 17 世紀前半に形成した可能性が高いことが判明した。また得られた年代値について確率密度分布を検討すると、十勝地方の津波堆積物は 1640 年に発生した駒ヶ岳の山体崩壊に伴う津波とは対比できない可能性が高い。以上のように短期間に連続して津波が発生した場合でも、形成された津波堆積物の堆積年代を確率密度分布から検討することでどちらの津波に対比されるのかを区別できる可能性がある。このような広域年代対比法は津波堆積物を用いた津波波源の復元に大きく貢献できると考えられる。

「詳細地盤構造と活動セグメントの新たな解釈に基づく歴史被害地震の断層モデル構築に関する研究」（拠点間連携研究〔課題番号：2985〕）では、平成 28 年度に行った地盤構造に関する調査結果から、横手盆地の構造が予想以上に複雑であることが判明したため、1896 年（明治 29 年）陸羽地震（M7.2）の強震動・建物被害シミュレーションを行う前に、地下構造を詳細に把握するための詳細な調査を行った。横手盆地を東西に横切るような 3 つの測線と、深い構造となっていることが推測される盆地中央部に 2 つのアレイを配置し、常時微動観測を行った。アレイ微動により基盤深さは北側のアレイ 1 付近では 1800m 程度、アレイ 2 付近では 2600m 程度であることが推定された。地盤構造の推定を行う一方で、活断層についての現地調査結果から、1896 年陸羽地震の詳細震源断層モデルの構築についてさらなる検討を行った。今後は、1896 年陸羽地震の強震動シミュレーションを行い、地盤構造の影響について検討を行う。

## （2）地震・火山噴火の災害発生機構の解明

「被災者の心の復興 ～精神的苦痛の計量及びその時間推移モデルの構築～」（拠点間連携研究〔課題番号：2993〕）では、精神的苦痛状態の計量尺度として精神疾患医療分野で Kessler らによって提案された K6 指標を採用する。これは 6 項目の質問からなる不安障害を判断する 4 区分測定指数であるが、本研究では定義域[0, 24]の間隔尺度と見做し確率変数として扱う。これを原変数  $X$  とし、どのような確率分布に従うかを検証した。平常時における日本国民の心理状態を K6 指標を用いて、厚生労働省は昭和 61 年より国民生活基礎調査の中で継続調査している。年変化のないことを確認し、平成 19 年度データを用い指数分布(CDF)を当てはめ、国民一人の平常時における心理的苦痛状態は K6 尺度を用いるとその状態確率は指数分布に従うことを確認した。地震被災時の精神的状態を、平時の状態の極限状態ととらえ、上記平常時モデルに極値理論を当てはめ定式化した。本モデルの検証として、2014 年神城断層地震の被災者調査を長野県白馬村において行い（28 事例採取）、検証データに用いた。その結果、本人負傷または家族負傷の際に受ける精神的ダメージを本モデルで説明できることを確認した。

負傷以外のインシデント 10 項目の大きさを同様にモデル化するため、一対比較法によるアンケート調査を防災講演会等の出席者 196 名に実施した。回答者全体の平均一対マトリクスを作成し固有値問題で定式化すると、得られた固有ベクトルが各インシデントの影響

度として求められる。さらにインシデントの複数組み合わせによるモデル化を行い、被災時のモデルを完成させた。時間経過に伴う漸次型回復と原因となるインシデント解消による問題解決型回復の2種類の回復モデルを考えた。神城断層地震の調査結果を用いてモデルのパラメータを回帰し、心の回復シミュレーションが可能となった。

阪神淡路大震災発生後20年を経過した被災者に対する心の復興度調査（池埜聡：阪神大震災20年遺族の思い，朝日新聞2015年）との比較より検証を行った。今回対象としたのは神城断層地震の被災者調査によるものであり、そのバラツキ（個人特性の違い）は確率モデルとして評価できたものの、その標準偏差は大きく、精神的被災度及び回復は、個人差が大きいことを意味している。しかし、その全体的傾向はモデル化が可能であり、個人に特化したパラメータを決めることにより、被験者個人の心の動きを特性化する可能性を得たと言えよう。今回の研究期間には間に合わなかったが、個人診断アンケートにより個人特性（精神的価値観）を固有ベクトル（選好尺度）と固有値（感度）で特定し、個人の精神被災-回復モデルを構築し、対策のためのシミュレーションへの道筋が開けた。

### （3）地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

「南海トラフ巨大地震に対する山地斜面の崩壊危険度予測の高度化と減災のためのハザードマップ作成」（拠点間連携研究〔課題番号：2996〕）では、2016年4月に発生した熊本地震を対象に、熊本県と国土交通省九州地方整備局より提供された詳細数値地形図を用いて、地震によって崩壊が発生した箇所・どの部分から崩壊が発生したかなどの検討を行った。これには、平成30年1月22日に特許出願した土砂災害予測基本図の手法を用いた。ある範囲に同じような地震動が加わった場合、たとえば阿蘇の外輪山（阿蘇大橋を破壊した崩壊など）と傾斜の小さい火山灰層を互層として含む地域（京大火山研究所付近）を比較した。一部の報告では、前者は、重力変形をおこしていたこと、後者は、火山灰に含まれる物質によるとされているが、共通の地形的特徴を有することが明らかになった。また、前出手法では、土塊の移動経路を把握する事が可能であった。このことは、崩壊の初期段階で、土塊がどのように運動していたのかを検討することができるという利点を有する。また、これらの手法を用いて、南海トラフの巨大地震に対して、崩壊の危険性の大きい箇所の抽出特定を、紀伊半島の四万十帯に位置する風屋ダム周辺で実施した結果、斜面に存在する崩壊危険度の高い箇所を特定することができた（図6）。

「緊急地震速報を利用した建物地震災害誘因のリアルタイム予測」（拠点間連携研究〔課題番号：2981〕）では、緊急地震速報の情報と拠点建物の観測記録を用いて周辺の建物の最大変形角を推定する手法を提案した。15棟分の観測記録を用いて提案手法の精度の検討を進めた結果、提案手法によって地震動予測式（GMPE）による推定誤差を改善できた。特に、提案手法の精度は、関係なく応答が大きいほど高くなる傾向が確認できた。今回は最も近傍にある観測点を拠点として検証したが、推定対象となる周辺建物に対し、どのような拠点観測点を選択すべきかについて、さらなる検討が必要である。

「長周期地震動予測のための深部地盤構造モデル化手法の高度化に関する共同研究」（拠点間連携研究〔課題番号：2988〕）では、2011年東北地方太平洋沖地震時に東京湾西岸部において周期2～3秒の長周期地震動が局所的に卓越して観測された。一般に長周期地震動の特徴は、深部地盤の影響に支配されると考えられている。そこで、この長周期地震

動の成因を理解することを目的にして、微動の共同観測を実施し、浅部および深部地盤の影響を明らかにした。東京湾西岸部での共同微動観測では、研究分担者が各自の機器を持ち寄って、アレイ観測および単点観測を実施した。アレイ観測では、1辺の長さが2km程度までの複数のアレイを展開し、微動の上下成分の観測を行い、レイリー波の位相速度を推定した。最もサイズの大きいアレイの記録の解析から3km/s程度の位相速度が得られた。また、中規模のアレイ(U246)においても津野ほか(2016)の微動探査に比べて、より低周波数での位相速度が得られている。本研究によって深部地盤のモデル化に有益な情報を取得することができた。

単点観測によるHVスペクトル比は多くの観測点で、0.1Hzと1Hz程度に顕著なピークが認められる。本研究では、周期2～3秒の地震動に着目していることから、1Hz程度のピークに注目すると、臨海部のF1観測点で最も低い周波数0.7Hzでピークが認められる。内陸部では1.4Hz程度で変化はほとんどないが、F12観測点で再び1.0Hz程度と低くなる。他の測線のHVスペクトル比に関しても、0.1Hz程度と1Hz程度に顕著なピークを持っていることは共通していたことから、1Hz程度のピーク周波数を抽出したものを図7に示す。ほとんどの測線で臨海部において1Hz以下と低く、内陸に向かって徐々に振動数が高くなる傾向がある。特に、標高との相関は高く、台地ではピーク周波数が高い。また、同じ低地でも、南側ほど低い傾向もみられる。これは、この周期帯域のH/Vのピークが浅部地盤によるものであることを示唆している。東北地方太平洋沖地震で周期2～3秒の強震動が特に大きかったJKPMでは最も低く、0.5Hzであった。したがって、周期2～3秒の成分は、地盤増幅の非線形性も含めて浅部地盤による影響が支配的であると考えられる。しかし、この周期帯域では、深部地盤の影響が無視できるわけでもないと考えられる。現在、上記の微動アレイ観測の結果も検討しており、その結果を踏まえて浅部地盤と深部地盤の影響も検討する必要がある。

現状では、強震動評価では、地盤の影響の評価において浅部地盤と深部地盤を分けて考慮することが多い。しかし、本研究の結果は、周期2～3秒の長周期地震動の評価には、浅部深部統合地盤モデルが必要であることを示しており、今後の地盤のモデル化での検討課題であると考えられる。

#### (4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

「地震時の斜面災害軽減を目的とした地震波動伝播シミュレーションの利活用」(拠点間連携研究[課題番号:2994])では、斜面崩壊による地震動の特徴を把握するため、2017年5月19日の長野県飯山市における土石流、2017年7月6日の大分県日田市における大規模斜面崩壊において周囲の定常観測網で記録された、それらの発生域を震源として伝播する地震動について、a)観測点間の振幅比を用いた地震動励起源の推定、b)地震動の特徴の抽出、c)現地調査から推定される斜面崩壊の特徴との比較をおこなった。図8には観測地震動記録を用いて地震動励起源を仮定したときの観測点間振幅比の再現誤差の分布を示す。土石流発生域は地震動の励起源として観測点間振幅比の再現誤差が小さくなる領域に位置したことから、観測された地震動が土石流によるものであることがうかがえた。地震動は土石流発生域から半径70km圏内で検出され、100-200秒の継続時間を持ち、卓越周波数は0.5-3Hzであった。同様の解析を大分県日田市の事例に対してもおこなったとこ

ろ、斜面崩壊発生場所を地震動の励起源としても矛盾しない結果が得られた。また、斜面崩壊が現地調査や他の研究により土石流と地すべり性の運動の2回に分けて発生したことが指摘されているのに対して、地震動の記録において、約30秒程度の継続時間、1-4 Hzの卓越周波数を持つイベントと50秒程度の継続時間、0.5-2 Hzの卓越周波数を持つイベントの2つが検出できた。両者の解析結果を通じて、土石流や地すべり性の運動の卓越周波数、継続時間と斜面崩壊の規模との関係が明らかになった。

一方、北海道の海岸地すべりにおいては、20時間かけて30m程度移動した地すべりブロック上に設置された短周期地震計によって移動中の地震動を記録することに成功した。その記録を解析したところ、継続時間1秒以内の短周期イベントが1時間に数個以内発生したのを除き、移動に伴う顕著なシグナルは検出されなかった。このようにゆっくりと移動する地すべりは非常に滑らかにすべり、短周期信号を大きく出さないことが分かった。

「擬似雑音弾性波を用いた火山地下構造のリアルタイム観測方式の研究」（拠点間連携研究[課題番号:2995]）では、桜島火山を対象として、多重化が設定可能な Huffman 系列符号で弾性波を送出し、透過波および反射波の相関出力を求め、伝搬路を推定することによって地下構造をリアルタイムで観測する方式を開発することを目的として、まず、符号発生器、バイブレータ、地中伝送路、センサ、増幅器、フィルタ、A/D変換器、パソコンからなる信号伝送、処理系を光ファイバリンクで制御するシステムを構成し、桜島表層部、シラス地で弾性波の伝搬実験を行い、周波数伝搬特性、距離遅延特性、距離伝搬特性を測定し、システムの基本動作を確認した。次に、測定時間と伝達率を考慮し搬送周波数200Hzで距離伝搬実験を行った結果、地中30cm付近の表層部で減衰が約2dB/m、伝搬速度が約83m/s-114m/sとなっており、雨水の影響を受けることが確認された。そして、埋没溶岩上部数10cmの地中5m付近にボアホールを設置し、距離伝搬実験を行ったところ、約270m/sの伝搬速度が得られた。これらの実験で、表層部は火山灰土、溶岩上部付近では軽石、シラスが混合した、所謂ボラ土の特性を反映していることが裏付けられた。なお、実験計画の実施中に光ファイバの接続故障と、強靱ファイバへの交換に日数を要し、計画が遅れ、島内での反射実験はこれから実施する予定である。

#### (5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

「歴史資料に基づく海岸・河川地形の復元による災害研究手法の構築」（拠点間連携研究[課題番号:2997]）では、2016年8月に台風10号で多数の死者を出した岩泉村乙茂地区について、当時の災害の様子と古地図からの地形復元を実施した。現地調査で当時の水害を体験した住民に聞き取りをした所、乙茂地区には集落南部を流れる小本川とは反対方向から濁流が押し寄せたと証言している。

地形復元については、まず①2015年段階の乙茂地区の地形を復元した後(図9a)、陸地測量部が作成した②大正6年(1917)段階の絵図から当時の地形を復元した(図9b)が、①と②ではほぼ地形の変遷はみられなかった。一方、明治8年(1874)に作成された③岩手県立図書館所蔵「乙茂村地引絵図」をみると、小本川流域はいくつもの水路に別れていることが確認できる(図9c)。これらのことから、2016年に発生した豪雨災害について、増水して小本川を溢れた水が、開発以前の自然地形に沿って乙茂集落へと流れ込んだ可能性が指摘できる。

「巨大災害想定のコミュニケーション戦略に関する研究」（拠点間連携研究〔課題番号：2983〕）では、首都直下地震、南海トラフ巨大地震、日本海地震、津波を中核に据え、「災害想定」の理解と受容に関するアンケート調査を行い、集計結果の分析を行った結果、以下の知見が得られた。

第一に、全般的な結果として、地震に対する不安感は、9割にのぼる一方、地震動予測地図の普及率はそれほど高くなく、地図を見たことがある人は、4人に1人程度（26.4%）にとどまっていること、地震動予測地図について、約7割の人が関心を持つ一方で3.5割の人は、全く地震対策を行っていないことがわかった。第二に、現在の地震動予測地図で用いられている確率表現の「30年確率」を「5年確率」、「1年確率」に換算し、「自分自身の対策の必要性」について認識する度合いを比較した。その結果、同じ地震発生確率でも表現手法によって影響は異なること、また人は、大きな地震が「何年以内に起こりうるのか」ということよりも、「どれくらいの確率の高さで起こりうるのか」ということに影響を受ける傾向にあると捉えられた。すなわち、示される確率の数値の高さに応じて「個人的な対策の必要性」を認識するということがわかった。またそれ以外にも、震度7の方が若干対策の必要性への影響力は強くなるものの、震度6弱についても割合や数値の変化の仕方について大きな違いはなく、「〇年に1回」という表現による影響力は相対的に弱かった。第三に、地震動予測地図を見た結果、その内容が「有効だと考える」人と、「どうしたらいいかわからない」人を決める要因は何なのかを捉えた。「確率表現」などの、地震動予測地図における表現の他に、「自分の身に起こる被害イメージとこわさを認識できること」が両者を分ける要因として大きく効いていた。また、地震動予測地図や被害想定への「関心」、さまざまな想定があることでよくわからないという被害想定への不信感、引越しできるかなどの前提条件の捉え方が、リスク・コミュニケーションの効果に対する阻害要因になっていると考えられた。

本研究では研究の進展の中で、確率表現について、その理解と効果に絞って考察し、その結果、科学的な知見が人々にそのまま伝わっているわけではないこと、表現の仕方、受け手の意識の違いによって理解のされ方、受け止め方に大きな違いがあることが明らかとなった。科学的確率や科学的に正確な表現のみが重要なのではなく、表現手法のあり様および受け止める人の心理など、諸側面を詳細にみていくことで、より効果的なリスク・コミュニケーションが図れるという結果が示唆された。

「実践的人材育成のための防災担当者研修プログラムに関する研究」（拠点間連携研究〔課題番号：2987〕）では、研修プログラム案を平成29年1月10日の第1回実施後のアンケート等をもとに改良し、平成29年11月1日と平成30年1月11日に第2回第3回の研修会を富士山火山防災会議協議会山梨県コアグループ会議参加機関を主な対象として実施した。実施時間は半日、他の業務と連携して行えるように富士山火山防災会議協議会山梨県コアグループ会議に合わせて開催した。研修会の運営や演習の実施はNPO法人火山防災推進機構に依頼した。第2回の研修は、前回のアンケート結果で座学の時間が長く、演習時間が短いという意見から、座学を3から2つに変更し、1コマの時間も短時間にし、演習時間を増やした。また、年度が替わったことから新たに火山防災担当に移動した職員もいたため、座学①の内容は変更せず、座学①火山噴火や災害の基礎知識「火山と噴火」（35分）、一方で座学②としては経験の共有が必要とされていたことから、防災対応事例を盛り

込むこととし、座学②火山災害への防災対応「噴火危機時の当面の実行計画の策定—2017年霧島山噴火を例に一」（35分）（災害対応実務者）を実施した。演習（110分）は、状況予測型訓練として座学②で学習した過去の被害事例を基に、被災者視点に立った状況予測を行い対応目標を決定したうえで、目標に沿った具体の対応方針を決定した。第2回は山梨県の防災担当者31名が参加した。第3回研修は、年度内2回目であることから、座学①は、火山地域における噴火以外での災害を学習するために「土砂災害に備える街づくり」（45分、火山砂防学者）を実施し、また、座学②では、最近の災害事例として「御嶽山噴火災害」（45分、行政担当者）を実施した。演習は、「災害対応に学ぶ」（90分）と題してケースメソッド形式で座学にて学習した御嶽山噴火対応の事例から「学ぶこと」を整理し、「学ぶこと」から富士山でできることを検討した。第3回は山梨県の防災担当者31名とオブザーバーとして中部甲信越圏の県の火山防災担当者7名が参加した。演習は、その効果を測るため、状況付与型（第1回）、状況予測型（第2回）、ケースメソッド型（第3回）と演習の方法をかえて実施した。いずれも受講者から好評価を得たが、特に富士山を想定して実施した第1回、第3回の演習が活発に行われ、効果が上がったことが期待できる。

本研修会のアンケートの結果、総じて定期的な火山防災研修を望む声が多く、年に1、2回程度実施し、2回の場合は担当者が新規に入れ替わる4月と秋頃に各1回程度、火山防災協議会開催時と同時期に行うのが望ましいとの情報が得られた。

火山防災研修プログラムとしては、年2回程度の開催で、開催時間は、座学が45分以下、演習が100分程度としたうえで、半日程度が適当であると考えられる。半日での研修構成は、座学2コマと座学を振り返るための演習1コマの組み合わせとし、座学の内容としては「現象」「対策」「経験共有」の3つの分野が必要である。「現象」分野では、火山災害は地震や風水害などの災害と異なる部分が多いため、防災対策等を検討する上で火山現象や災害のそのもの理解や当該火山の特徴を把握することがきわめて重要となる。「対策」分野では、避難計画、国や県の防災対策、降灰対策、観光客対応、具体的な避難訓練（登山者の避難救助）、情報発信等が必要であると考えられる。さらに、火山災害は他の災害に比べ頻度が少ないため実際の対応経験者がきわめて少ない。そこで、噴火対策をより実効的なものにするため「経験共有」として災害対応経験者の対応談、他県の防災体制等の仕組みなどが重要となる。また、野外での火山観察講習を取り入れることも効果的であると考えられる。座学の講師としては、「現象」分野は当該火山の火山防災協議会の専門家が適任であり、「対策」「経験共有」については災害対応経験者や実務者のほか、内閣府火山防災エキスパートなどの活用も有効である。

また、これらの研修会は、演習での自由な意見交換の場をもつことなどで、火山防災協議会での顔の見える関係の構築にも一役買うことができると考えられる。

## 成果リスト

- Adapa, G., K. Sawada, K. Ueda, 2018, Evaluation of Amplification Factor Considering Soil Non-Linearity including Liquefaction, 平成29年度京都大学防災研究所研究発表講演会, A33.
- 有吉一葉・岡田成幸・中嶋唯貴, 2017, Kesslerの心理的苦痛測定指標(K6)による被震に伴う精神的被害の計量およびその時間推移モデルの構築 その2 各種発生事象のK6評価, 日本建築学会大会(広島)梗概集, B-2, 487-488.
- 土井一生・前田拓人, 2018, 2017年5月19日長野県飯山市における斜面崩壊に伴う短周期地震波形の特徴, 東大地震研共同利用「地震波形解剖学の計算科学的新展開」研究集会, 東京, 2018-03-09.
- 土井一生・前田拓人・釜井俊孝・王功輝, 2018, 「斜面崩壊による地震動波形の特徴と崩壊発生メカニズム -2017年の事例-」, 京都大学防災研究所研究発表講演会, 宇治, P05, 2018-02-21.
- 土井一生・釜井俊孝・片尾浩・三浦勉, 2017, ごく近傍に設置された地震計によって捉えられた豪雨による斜面崩壊 -2013年9月京都府京都市山科区における事例-, 平成29年度日本応用地質学会研究発表会, 岡山, 60, 2017-10-13.
- 原田智也・西山昭仁・佐竹健治・古村孝志, 2017, 明応七年六月十一日(1498年6月30日)の日向灘大地震は存在しなかった -『九州軍記』の被害記述の検討-, 地震2, 70, 89-107.
- 原田智也・佐竹健治・古村孝志・室谷智子, 2017, 1944年東南海地震(M7.9)の震度分布 -発生直後に行われたアンケート調査資料の再検討-, 東京大学地震研究所彙報, 92, 1-30.
- Kanaya, N., T. Maeda, K. Obara, and A. Takeo, 2017, Significant Anomalies in Seismograms for Intra-slab Earthquakes Observed in Kanto area, Japan, and their Interpretation, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, USA, S21C-0717, 2017-12-12.
- 是永将宏・津野靖士・地元孝輔・山中浩明, 2018, 熊本市花岡山近傍で観測された地震動特性とその表層地盤構造, 平成29年度京都大学防災研究所研究発表講演会, P04.
- Lee, S. H., K. Nishijima, S. Matsushima, M. Miyazawa, K. Mochizuki, T. Iidaka, K. Ueda, H. Kawase, and N. Maki, 2017, Issues and Challenges in Seismic Risk Evaluation and its Uncertainty Reduction for the Nankai Trough Earthquake, DPRI Annuals, No. 60B.
- Maeda, T., S. Takemura, and T. Furumura, 2017, OpenSWPC: An open-source integrated parallel simulation code for modeling seismic wave propagation in 3D heterogeneous viscoelastic media, Earth Planets Space, 69, 102, doi:10.1186/s40623-017-0687-2.
- Miyake, H., 2017, Seismic hazard assessment of the 1995 Kobe earthquake: Before and after, IAG-IASPEI 2017, S07-2-04.
- Miyake, H., T. Furumura, T. Nishimura, K. Mochizuki, K. Obara, T. Harada, and N.

- Sekiya, 2017, Variation of earthquake source scenarios along the Nankai Trough for hazard and risk assessment, IAG-IASPEI 2017, S13-6-06.
- Morioka, H., H. Kumagai, and T. Maeda, 2017, Theoretical basis of the amplitude source location method for volcano-seismic signals, *J. Geophys. Res.*, 122, 6538-6551, doi:10.1002/2017JB013997.
- Mukai, Y., T. Furumura and T. Maeda, 2017, Characterizing directional variations in long-period ground motion amplifications in the Kanto Basin, Japan, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, USA, S31B-0813, 2017-12-13.
- Nishimura, T., Y. Yokota, K. Tadokoro, and T. Ochi, 2018, Strain partitioning and interplate coupling along the northern margin of the Philippine Sea plate, estimated from GNSS and GPS-A data, *Geosphere*, 14(2), doi:10.1130/GES01529.1.
- Nishimura, T., 2018, A trial of application of geodetic data for assessing activities of inland faults - Coulomb stress changes estimated from GNSS surface displacements, *Journal of Disaster Research*, in press.
- 岡田成幸・中嶋唯貴・有吉一葉・牧紀男・瀨瀬一起, 2017, 被災者の心の復興 ～精神的苦痛の計量及びその時間推移モデルの構築～, 日本地震学会2017年度秋季大会予稿集, S15-07.
- Padhy, S., T. Furumura, and T. Maeda, 2017, Waveform anomaly caused by strong attenuation in the crust and upper mantle in the Okinawa Trough region, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, USA, T23A-0593, 2017-12-12.
- 斎藤さやか・関谷直也・田中淳, 2017, 地震予知に関する日本海沿岸部と太平洋沿岸部の住民意識—地震予知, 地震動予測地図とリスク認知を中心に, 第36回自然災害学会学術講演会.
- 斎藤さやか・関谷直也, 2017, 地震発生確率とリスク認知—地震動予測地図の確率表現に関する調査研究, 地域安全学会論文集, 30.
- 斎藤さやか・関谷直也, 2017, 地震発生確率とリスク認知—地震動予測地図の認識に関する基礎的検討, 地域安全学会第40回研究発表大会(春季).
- 斎藤さやか・関谷直也, 2017, 地震動予測地図をめぐる信頼と構成要素, 日本リスク研究学会第30回年次大会.
- 関谷直也・斎藤さやか・田中淳, 2017, 地震予知に関する日本海沿岸部と太平洋沿岸部の住民意識—想定外の周知, 表現技法を中心に, 第36回自然災害学会学術講演会.
- 棚田嘉博・佐藤公則・井口正人・豊平隆之, 2017, 擬似雑音多重弾性波を用いた火山域の地下探査, 第34回センシングフォーラム資料, 1B2-1, 117-122.
- Tanada, Y, Sato, K, Iguchi, M and Sai, B, 2017, Construction of ZCZ Huffman Sequences for Underground Multiplexing Sonar, *Proc. IWSDA'17*, 122-126.
- 棚田嘉博・井口正人・佐藤公則・豊平隆之・田中幹也, 2017, 高減衰媒質中の波動伝搬への Huffman 系列の適用, 平成29年度電気・情報関連学会中国支部連合大会予稿集, R-17-15-09, 1-2.
- 棚田嘉博・井口正人・山本圭吾・中道治久・森田裕一, 2017, Huffman 系列を用いた火山域の弾性波地中探査システム, 平成29年度計測自動制御学会九州支部大会予稿集,

101A5, 11-14.

Todoriki, M., T. Furumura, and T. Maeda, 2017, Effects of seawater on elongated duration of ground motion as well as variation in its amplitude for offshore earthquakes, *Geophysical Journal International*, 208, 226-233.

Todoriki, M., T. Furumura, and T. Maeda, 2017, Effects of seawater on elongated duration of ground motion as well as variation in its amplitude for offshore earthquakes, *Geophys. J. Int.*, 208(1), 226-233, doi:10.1093/gji/ggw388.

Toya, M., A. Kato, T. Maeda, K. Obara, T. Takeda, and K. Yamaoka, 2017, Down-dip variations in a subducting low-velocity zone linked to episodic tremor and slip: a new constraint from ScSp waves, *Scientific Reports*, 7, 2868, doi:10.1038/s41598-017-03048-6.

和田拓也・新本翔太・倉田真宏・山田真澄・楠浩一・柏尚稔, 2017, 拠点モニタリングを利用したエリア防災のための建物群地震応答の即時推定, *日本建築学会近畿支部研究報告集構造系*, 57, 485-488.

和田拓也, 2017, 拠点モニタリングを利用したエリア防災のための建物群地震応答の即時推定(優秀卒業論文賞推薦理由, 2017年日本建築学会優秀卒業論文賞), *建築雑誌*, 1701, 113.

和田拓也・新本翔太・倉田真宏・山田真澄・楠浩一・柏尚稔, 2017, 拠点モニタリングを利用したエリア防災のための建物群地震応答の即時推定, *日本建築学会(中国)学術講演梗概集*, 構造系, 377-378.

和田拓也・新本翔太・倉田真宏・山田真澄・楠浩一・柏尚稔・池田芳樹, 2018, 緊急地震速報と建物モニタリング情報を利用した地震災害誘因の同定 —建物頂部変形角の推定—, *京都大学防災研究所研究発表講演会梗概*, A31.

Yu Nandar Hlaing, K. Ichii, 2017, Ground Response Analysis and Site Characterization of Mandalay City, *Myanmar Engineering Society Annual General Meeting (2017), 13th Annual Seminar on Research and Engineering (19-20 January 2018)*, Myanmar Engineering Council Building, Yangon, Myanmar.

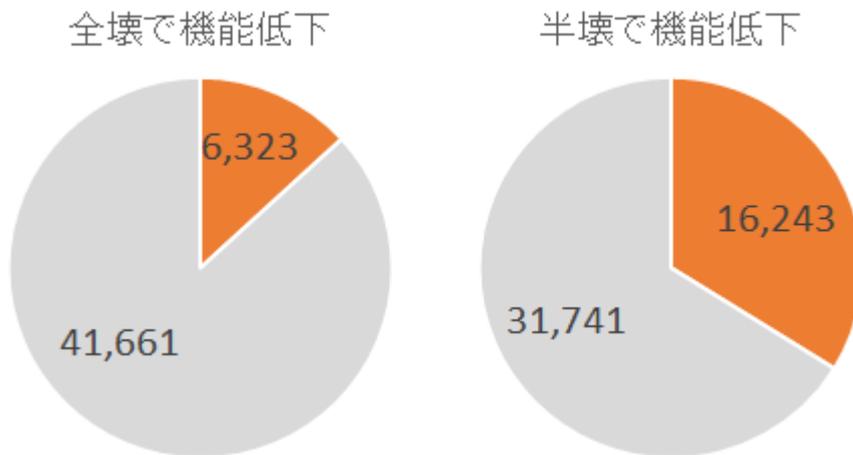


図1. 南海トラフ地震が起きた際に南国市において被災に基づく病院の医療機能の低下の影響を受ける人数の全人口に占める割合(オレンジ部分)(拠点間連携研究[課題番号:2975])

左：全壊で機能低下すると考えた場合

右：半壊で機能低下すると考えた場合

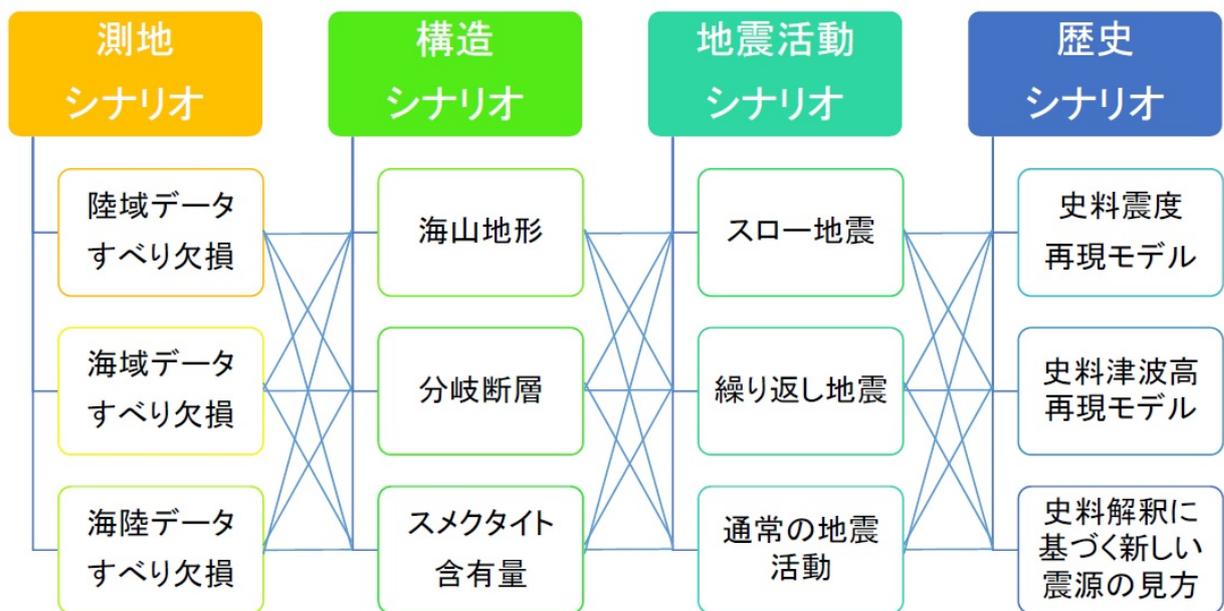


図2. 南海トラフ地震の震源モデル構築のためのロジックツリー(拠点間連携研究[課題番号:2978])

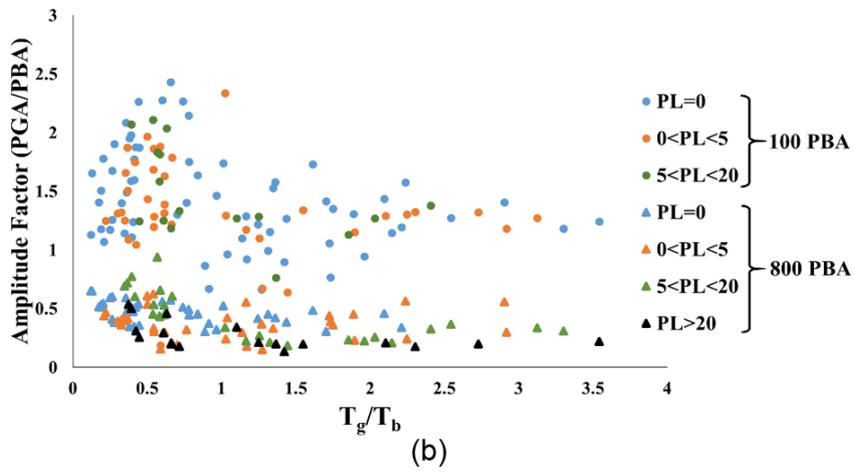
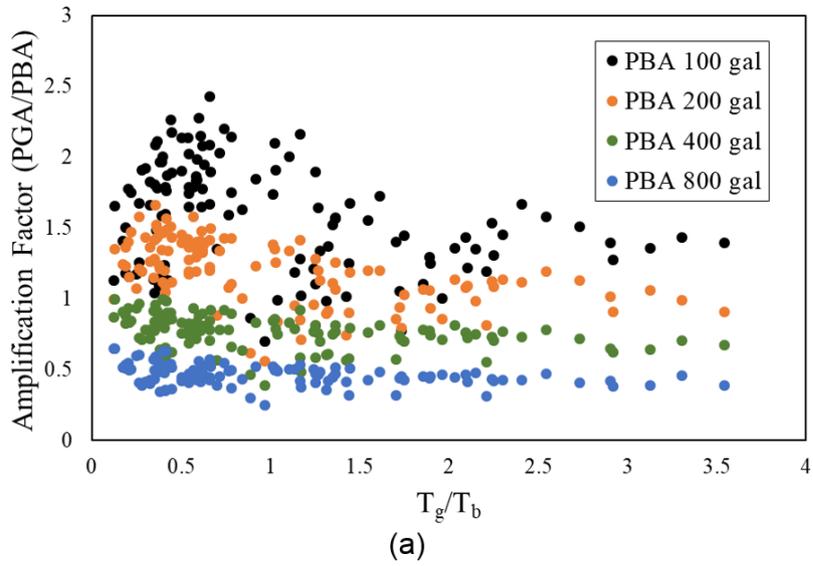


図 3. 逐次非線形解析により得られた表層地盤増幅率 (a) 非液状化解析, (b) 液状化解析 (拠点間連携研究 [課題番号: 2990])

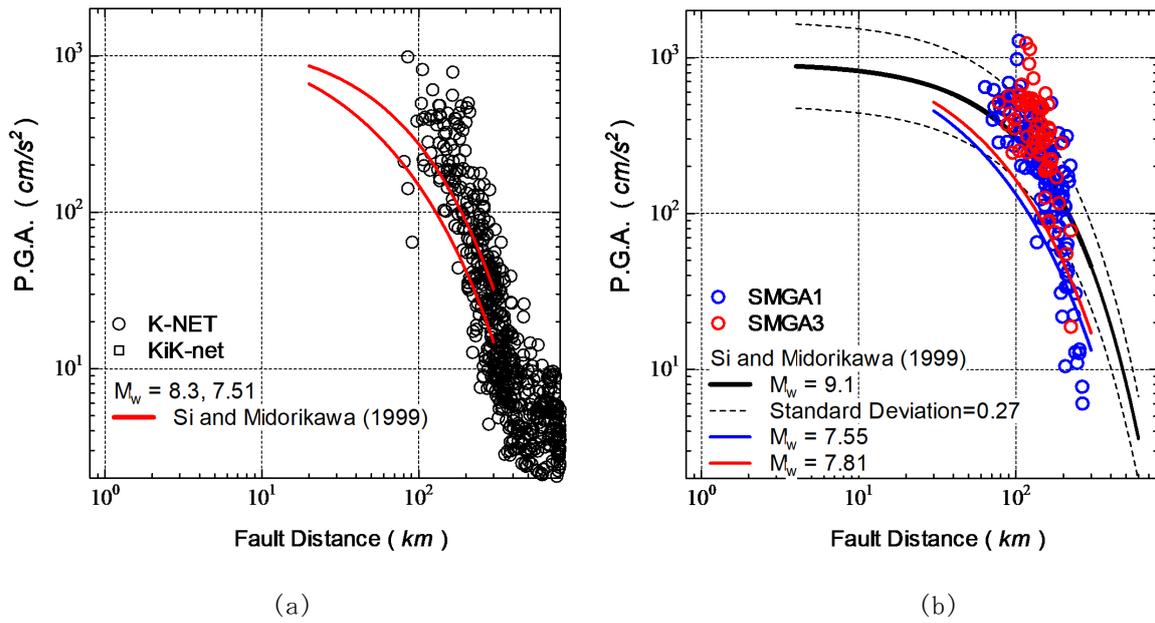


図 4. 強震動生成域に対する距離減衰 (a) 2003 年十勝沖地震の第一アスペリティ, (b) 2011 年東北地方太平洋沖地震の SMGA1, 3 (拠点間連携研究 [課題番号: 2991])

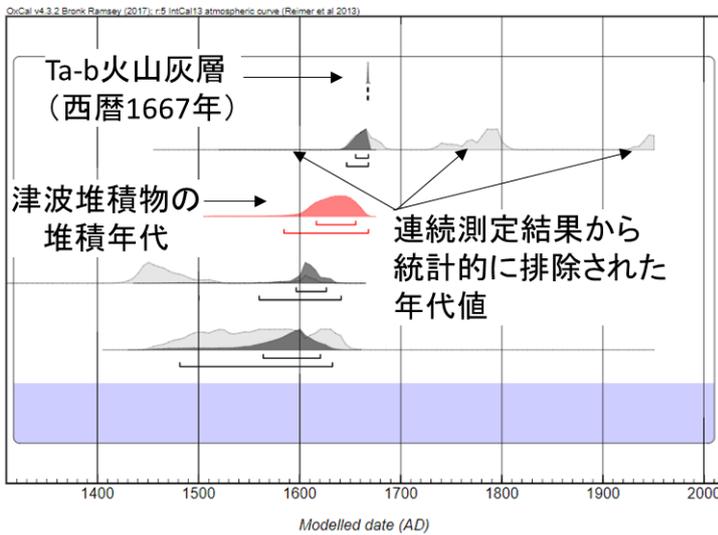


図 5. 浦幌町豊北における泥炭層の 14C 年代連続測定結果 (拠点間連携研究 [課題番号: 2992])

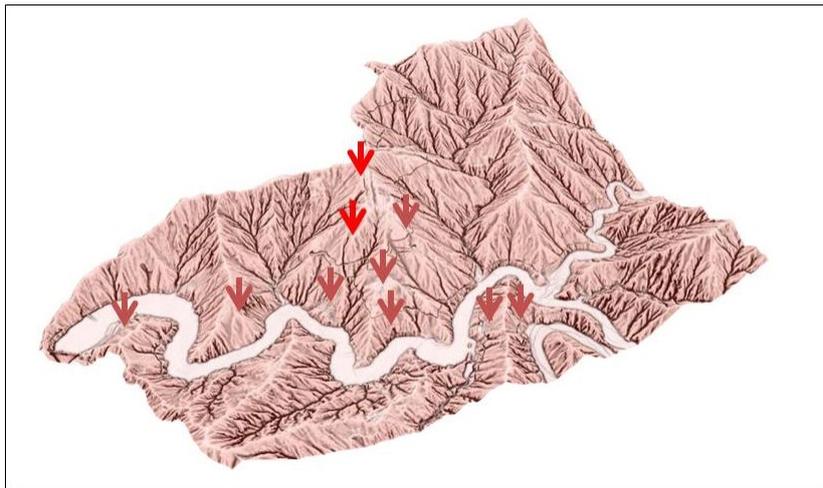


図 6. 地震による崩壊危険度の高い箇所 (矢印で示す) (拠点間連携研究 [課題番号: 2996])

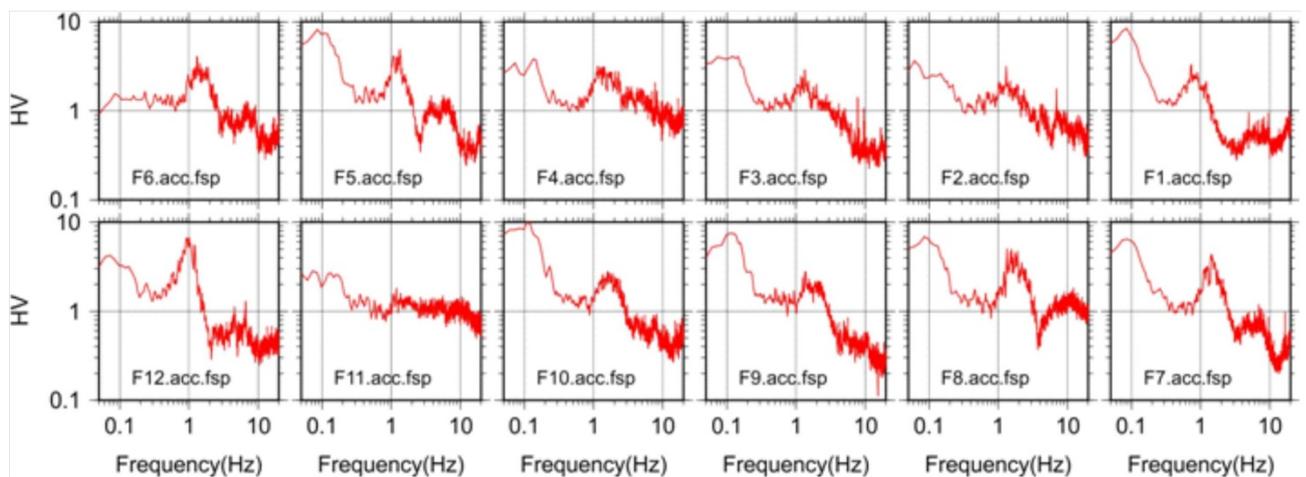


図 7. F 測線で得られた H/V スペクトル (拠点間連携研究 [課題番号: 2988])

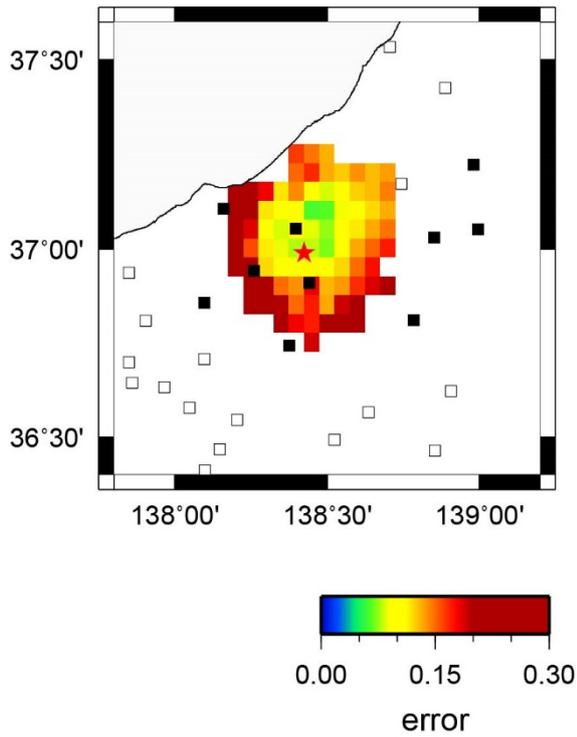


図 8. 観測点間振幅比の再現誤差の分布（赤色星印が土石流発生地点，黒色四角が解析に用いた観測点を表す）（拠点間連携研究 [課題番号：2994]）

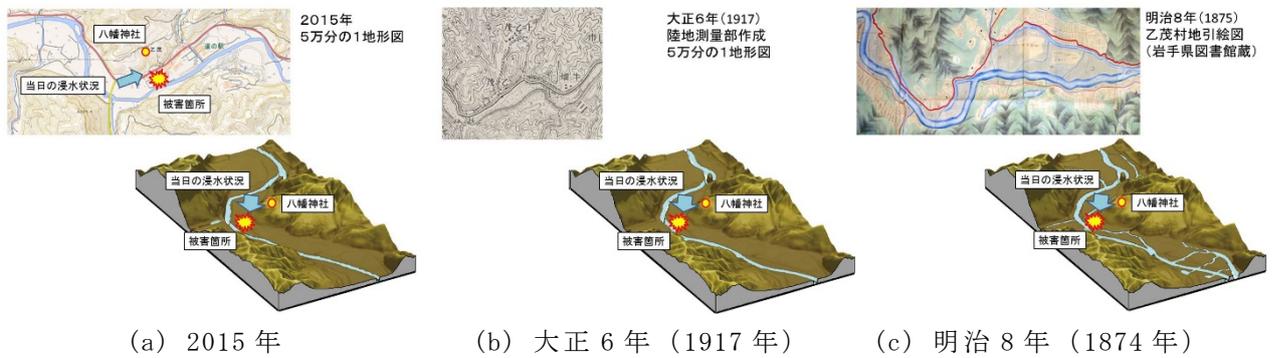


図 9. 乙茂地区の地形の変遷（拠点間連携研究 [課題番号：2997]）

科学技術・学術審議会測地学分科会  
地震火山部会

〒100-8959 東京都千代田区霞が関3-2-2  
文部科学省研究開発局地震・防災研究課

電話：03-6734-4137 FAX：03-6734-4139

[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu6/index.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu6/index.htm)