

「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27年度年次報告

【成果の概要】

平成28年9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27年度の成果の概要】

1. はじめに	1
2. 平成27年度に発生した顕著な火山噴火及び平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に関して得られた重要な成果	3
2-1. 口永良部島・桜島	3
2-2. 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に関する5年目の成果	4
3. 平成27年度の成果の概要	5
3-1. 地震・火山現象の解明のための研究	5
3-2. 地震・火山現象の予測のための研究	9
3-3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究	12
3-4. 研究を推進するための体制の整備	14
4. まとめ	15
用語解説	34

【参考資料】

I. 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	49
1 (1) 海溝型地震	51
1 (2) 内陸地震	74
1 (3) 火山	95
1 (4) 地震先行現象・地震活動評価	114
1 (5) 地震動・津波等の事前予測・即時予測	136
1 (6) 地震・火山災害	153
1 (7) 史料・考古	165
1 (8) データベース・データ流通	172
2 (1) 東北地方太平洋沖地震	181
2 (2) 南海トラフ巨大地震	198
2 (3) 首都直下地震	204
2 (4) 桜島火山噴火	206
3 拠点間連携共同研究	209
II. 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	219
III. 災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の実施機関	224

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27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¹が策定した146の実施計画（個別課題）及び公募による25の実施計画（個別課題）からなっている。平成27年度の個別課題の成果は、「平成27年度年次報告【機関別】」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27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ことがあり、この場合、本報告書付録の「用語解説」²のページで当該用語を解説しているのので、必要に応じて参照されたい。

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³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。

¹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）

²用語解説に掲載している用語に、*を付記している。

³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の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5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及び総合研究グループ別の成果」は、計画推進部会、総合研究グループ等別に平成27年度の学術的成果を取りまとめたものである。

2. 平成 27 年度に発生した顕著な火山活動及び平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震に関して得られた重要な成果

2-1. 口永良部島・桜島

口永良部島では、2014 年と 2015 年に相次いで火山噴火が発生した。2015 年 5 月 29 日の噴火では、火砕流*が火口から 2 km 以上の距離まで到達した。それを受けて、気象庁は運用開始後初めて噴火警戒レベル 5 を発表し、全島民が島外へ避難した。継続的な観測研究によって、この噴火の先行現象が明らかにされ、噴火後には機動的な多項目観測・調査により推移の把握が行われた。一方、桜島では、2006 年に活動が再開して以来、南岳山麓昭和火口を中心とする噴火活動が頻発し、重点的に研究が進められていたところ、2015 年 8 月 15 日には、これまでと全く異なったマグマ*貫入イベント*が発生した。顕著な地震活動や地盤変動があり、噴火警戒レベルが 3 から 4 (避難準備) へ引き上げられ、鹿児島市による避難勧告を受けて 77 名が避難した。両火山において、住民や行政機関等への聞き取り調査等も行われ、火山災害による避難行動や避難計画に活かすべき情報を抽出するため、解析が進められている。

口永良部島について、2014 年と 2015 年の噴火の先行現象を抽出し、これらの比較を行った。一連の噴火活動は、約 15 年前の 1999 年 7 月に発生した火山性地震*活動活発化に始まると考えられる。これ以降、地震活動は新岳火口直下 500m 以浅に集中し、地震活動活発期には火口直下浅部を増圧源とする地盤変動速度が急増した。2001 年頃からは、地下浅部の高温化が全磁力*の変化として検出され、地表面の温度変化や噴気の活発化も徐々に顕著となった。2008 年 10 月以降は、マグマの上昇を示唆する二酸化硫黄放出量も 300 トン/日に達した。2009 年以降は火山性地震活動が活発な状態が続き、山体の膨張も継続していた。2014 年 8 月の噴火の際は、その約 1 時間前からごく浅部を膨張源とする山体膨張が始まり、20 分前に急加速したことが火口ごく近くの傾斜計*で捉えられた。この噴火は、同じく 2014 年に発生し多数の被害者を出した御嶽山噴火と同じ水蒸気噴火*であった。先行現象について比較すると、直前の急激な山体膨張は両火山で類似しているが、御嶽山で観測された約 1 ヶ月からの地震活動の活発化のような中期的な先行現象は、口永良部島では観測点が充実していたにも拘わらず検出されなかった。2014 年の噴火により口永良部島内の定常観測点が機能不全に陥ったため、無人ヘリコプターによる火口近傍への地震計設置や、船舶を利用した二酸化硫黄ガス放出量の観測など、多項目の機動的観測が行われた。2014 年噴火以降、二酸化硫黄放出量が多い状態が続き、2014 年 11 月末の観測では桜島や阿蘇山のマグマ性噴火に伴う放出量レベルにまで増加し、島全体の膨張が検知された。その後も、地震活動や地熱活動の活発化が段階的に進行するなど、2015 年噴火前には 2014 年噴火の場合よりも顕著な中期的な先行現象が見られた (図 1)。2015 年噴火では、噴火直前に高温であったマグマの痕跡が噴出物に見られ、マグマ性の活動に移行したと考えられた。2014 年 8 月の噴火以降に実施された多項目機動的観測は、2015 年噴火前後の諸現象を捉えた科学的意義だけでなく、規制区域の確定や噴火警戒レベルの引き下げの判断にも有効に利用された。

桜島では、2009 年以降、年間 1000 回近くの頻度でブルカノ式噴火*が発生している。1 年強の周期で発生する噴火活動の特に活発な時期に同期して、地盤の隆起・膨張が観測され、増圧源を始良カルデラ中央部の深さ 10 km 付近と、北岳直下の深さ 3~4 km に、また、減圧源を南岳直下の 1 km 以浅に求めることができた。この結果を過去の活動に照らし合わせると、桜島のマグマ供給系は、始良カルデラ中央部の深さ 10 km 付近と北岳直下の深さ 3~6 km に位置するマグマ溜まり*と、南岳直下の 4 km 付近から南岳及び昭和火口へ伸びる火道*からなっていると考えられる (図 2)。昭和火口の噴火活動活発期においては、始良カルデラ及び北岳直下のマグマ溜まりは膨張しているが、火道浅部は活発な噴火活動を反映して収縮していると解釈できる。これは、マグマの貫入と同時に火道最上部までマグマが移動・噴出していることを意味し、開口型火道系の

特徴を示すものである。一方、2015年8月15日に発生した群発地震*活動とそれに伴う地盤変動は、新しい火道を形成するマグマ貫入であると考えられる。火山性地震活動は、15日の午前7時ごろから始まり、1日の内に900回近く発生した。また、地震活動に伴う傾斜及びひずみ*変化は地震活動に同期して加速した。そのひずみ変化量は、通常のブルカノ式噴火に前後して観測される大きさの100倍以上に達しており、変動速度も極めて大きかった。この地盤変動は、GNSS*、干渉SAR*等の解析から、昭和火口下深さ1km程度の北東-南西方向の割れ目に貫入したマグマによるものと推定された。このマグマ貫入イベントを含めた桜島の噴火事象系統樹を作成し、1日当たりのマグマ貫入量と地震活動に注目して想定される避難行動を整理した(図2)。

2-2. 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震に関する5年目の成果

平成23年(2011年)3月11日に発生した平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(以下「東北地方太平洋沖地震」)(マグニチュード*(M)9.0)は、日本の災害史の中でも未曾有の東日本大震災をもたらした。その発生直後には様々な科学的研究が集中的に行われ、東日本大震災の災害誘因のメカニズムについて理解が進められた。一方で5年経った今でも、東北地方太平洋沖地震に伴う余震*・誘発地震*活動や余効変動*等の地殻活動は、東北地方太平洋沖地震直後に比べれば低下しているものの依然として広範囲に亘り続けている。そのため引き続き東北地方太平洋沖地震の震源域やその周辺では、海域・陸域における調査観測と解析が進められ、また室内実験や数値シミュレーションを通じて東北地方太平洋沖地震を引き起こした断層の研究も行われてきた。ここでは東日本大震災以降、継続的な観測や実験、調査等の研究から新たに明らかとなった東北地方太平洋沖地震に関する平成27年度の代表的な研究成果について報告する。

(調査及び観測に基づく研究成果)

相似地震*と陸域の地殻変動*データの解析から、北海道から関東地方の太平洋下にあるプレート*境界の広い範囲で年単位の周期的なゆっくり滑り*が発生していることが発見された。その発生と同期してM5以上の地震活動が活発化していることから、ゆっくり滑りを海陸の地震・地殻変動観測で検知することによって、大地震の発生時期の予測の高度化に貢献できる可能性がある(図3)。

東北地方太平洋沖地震発生後の2011年3月から2015年8月までGNSS-音響測距結合方式*により海底地殻変動を観測した結果、福島県沖や銚子沖では陸域のGNSS観測結果と整合的な東南東向きに移動が見られたのに対し、宮城県沖では陸域観測とは整合しない西北西向きの移動が観測されるなど、複雑な変動が観測された。

東北地方太平洋沖地震発生領域において発生している超低周波地震*の活動を2014~2015年の期間で調べた結果、東北地方太平洋沖地震で大滑りを起こした領域では静穏な状態が続いており、岩手、福島、茨城各県の沖では一時的な活発化が見られ、ゆっくり滑りが発生している可能性があることがわかった。

東北地方太平洋沖地震の発生後の東北地方内陸での変形に関する研究も進められた(3-1(3)ウ参照)。

津波堆積物*調査や古文書調査により、1454年享徳地震は東北地方太平洋沖地震の一つ前の巨大地震である可能性が高いと考えられているが、享徳地震によるものと考えられる津波堆積物が仙台平野などで見つかった。

(室内実験及び数値シミュレーションによる研究成果)

海底掘削で得られた東北地方太平洋沖地震の断層物質の超低速摩擦実験*の結果、年間10cm程度というプレート運動に相当する極めてゆっくりとした相対運動において、断層物質が地震性*の高速滑りを起こすことが測定された。また沈み込むプレート表層部を模した室内実験からは、遠洋性粘土層は摩擦の強度が小さく地震を発生せずに滑るプレート境界断層を形成しやすいが、チャート層*や玄武岩*層中に形成されたプレ

ート境界断層は強度が大きく、海溝付近のような浅部でも地震発生に至るような断層運動を起こす可能性があることが示された。

東北地方太平洋沖地震の震源域を念頭に、海山の様な膨らみのあるプレート境界モデルを設定した数値シミュレーションの結果、東北地方太平洋沖地震と同様に海溝付近における大きな滑りが再現された。また、地震発生サイクル*に及ぼす影響を調べたところ、地震の繰り返し発生間隔が短くなることもわかった。これらの他に、東北地方太平洋沖地震前後の観測を再現する数値シミュレーションを行った(3-2(1)参照)。

(社会の脆弱性に関する研究成果)

東北地方の太平洋沿岸の都市化について詳細な調査を行った結果、農地や未利用地が次第に都市的土地利用へと変化し、1960年チリ地震以降大きな津波被害が無かったこともあって、災害に対する脆弱性と曝露性が増加したことが、東日本大震災で被害を大きくしたことが指摘された。

3. 平成27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・考古データ・地質データも含めた過去の地震・火山噴火現象に関する調査と研究、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・火山噴火現象とその災害に関する史料、考古データ、地質データの収集を行い、近代的観測との対比及び統合しやすいデータベースの構築に向けた研究を行った。

ア. 史料の収集とデータベース化

日本列島の各地域において地震・火山噴火関連史料の収集を進めた。1858年飛越地震の正確な被害一覧表を作成するなど、新たな災害関連史料の整理を進めた。昨年度設計した「日本歴史地震関連史料データベース」の構築に向けて、既刊地震史料集に記載されている史料の修正・校訂及び未収録の史料の調査を進めた。既刊地震史料集の検索システム「歴史地震史料検索システム」を公開した。

イ. 考古データの収集・集成と分析

北海道と沖縄を除く全都府県の発掘調査報告書から災害痕跡に関する地質考古データ約800件を抽出・収集した。発掘調査現場に赴き、液状化*痕跡等の土壌サンプル等を収集し、分析・整理した。さらに、これらのデータをもとにGIS*の構築に着手した。

ウ. 地質データ等の収集と整理

国後島における調査により、先史時代に発生した大規模な津波の痕跡を発見した。また、北海道十勝地方の太平洋沿岸の潟湖底の堆積物調査を行い、約4,000年前の津波による堆積物を得た。

最新の内陸活断層*調査の成果をもとに活断層データベースの更新を進めた。

1707年富士山宝永噴火噴出物の分析から、深度4～6kmに揮発性成分にほぼ飽和したデイサイト*質マグマ溜まりがあり、深部から来た玄武岩質マグマと噴火数日前に接触することで噴火に至ったことを明らかにした(図4)。

(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・考古データ・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・大規模地震・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

1855年安政江戸地震について、既刊地震史料集に所収の信憑性が高い史料から震度とそれが記録された正確な場所を推定し、広範囲に亘る精度の高い震度分布図を試作した。

1611年慶長三陸津波地震について、史料データに基づき暫定的な震源断層モデル*を推定した結果、同地震は1896年明治三陸津波地震よりも南側のプレート境界も破壊している可能性が高いことがわかった。

カルデラ形成噴火*に関しては、薩摩硫黄島でボーリング*調査を行い、約7,300年前の鬼界—アカホヤ噴火の千年から数百年前に2回の噴火があった可能性を示した。一方、約4万年前の支笏カルデラ形成噴火は1万年以上の静穏期後にカルデラ噴火が突然始まったことが明らかになった。また、約7000年前の摩周カルデラ形成噴火は、プリニー式噴火*から噴煙柱*崩壊へと移行する単純な様式ではなく、指向性を持つ高速型火砕流を伴う複雑な推移を経たことがわかった。

その他、磐梯山1888年噴火について、残された目撃談、写真やスケッチ等の一次資料を再検討し、当時の報告書に基づく噴火シナリオの誤謬を指摘した。また、1914年桜島噴火直後に発生した桜島地震(M7.1)について各官署の紙記録地震データを用いて震源再評価を行い、桜島南西方の鹿児島湾内に震央を推定した。

イ. プレート境界巨大地震

日本海溝及び南海トラフ沖沿いで行われている海底地殻変動観測により、両海域における地殻変動場に顕著な空間変化が認められることが示された。南海トラフ沿いでの海底地殻変動観測から、トラフ沿いでの海陸プレート間の固着の程度が空間的に不均一であることが示唆された(図5)。

日本海溝から沈み込む太平洋プレート表層部を構成すると想定される様々な物質をガウジ*試料として摩擦実験を行なった結果、物質ごとに摩擦強度の滑り速度依存性が異なるため、地震性滑りの起こりやすさが異なることが示された。地震の応力*降下量は、主要な粘土鉱物であるスメクタイト*の含有率に依存することが明らかとなり、含有率が低い南海トラフ断層では、含有率が高い日本海溝断層に比べて応力降下量が高いと想定される。

四国海盆で実施された地震探査*と深海掘削データとの統合解析により、プレートの沈み込みに伴って堆積層からの脱水が進行するために間隙率が低下する様子が捉えられた。こうした変化はプレート境界断層浅部の摩擦強度に影響を及ぼしている可能性が高いことがわかった。

(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・実験に基づく研究を実施した。

ア. プレート境界地震

GEONET*に加え、島嶼部や海底における地殻変動観測を補うことにより、南西諸島のプレートは3つのブロックに別れて運動していること、相模トラフの南側の伊豆前弧がフィリピン海プレートとは独立したブロックとして運動していることが確認された。

四国地域において長期的ゆっくり滑りが発生している領域の上盤*側地殻内では、P波*の減衰が大きく、また深部低周波微動*活動のセグメント*構造は減衰構造が空間的に変化している領域と対応していることが明らかになった。さらに、上盤側の減衰が大きな領域では地表での隆起量が大きく、地形の形成、地殻内の地震波減衰構造、プレート境界における深部低周波微動活動の三者に関連があることが示唆された。

房総半島において、プレート境界から分岐した断層の存在が確認され、過去にこの断層に沿って地震時の破壊が海底表層付近にまで及んでいたことを示す痕跡が確認された。

イ. 海洋プレート内部の地震

北海道・東北地方下を対象にして、海洋プレート内部の地震発生を規定する主要な環境要因である温度の3次元的な分布を、数値シミュレーションを用いて推定した。千島・日本海溝会合部の深部延長を含む北海道下では3次元的なマントル対流*のため、単純な2次元モデルでは説明できない温度構造が得られた。

北海道東部下の深さ80~100 kmの範囲において、海洋性地殻*内での顕著な地震波速度の増加と活発な地震活動が認められた。このことから、地殻を構成する含水鉱物の脱水分解*により生じた水が、地殻内の地震発生に寄与していることが示唆された。

東北地方太平洋沖地震が、2011年7月10日にスラブ*内で発生したモーメントマグニチュード(M_w)*7.0の地震に及ぼした影響を検討したところ、スラブ内では応力平衡域の深さを変化させるほどの大きな応力変化は生じていないことが示唆された。

ウ. 内陸地震*と火山噴火

東北地方太平洋沖地震以降に東北地方火山フロント*周辺で短縮ひずみが観測されている。このことを説明するために、不均質粘性構造と初期余効滑り*を考慮した有限要素法*解析を行った結果、火山地帯の地殻深部に低粘性領域の存在が示唆された(図6)。巨大地震後の島弧地殻の一般的な粘性変形場のモデリングから、現在は東北地方の海域のみで見られる陸向きの余効変動の変位は、将来的には東北沿岸部から内陸部に及ぶことが予想された。宮城・福島県境の詳細な地震波速度構造解析から、宮城・福島県境の地殻上部に高速度異常が検出され、福島盆地西縁断層帯の非連続性が示唆された。

九州において地震活動による非弾性変形*の積算レートを見積もったところ、別府や熊本などでひずみ速度に換算して、 10^{-7} /年という大きな値が得られた(図7)。この数値はGNSSにより推定されたひずみ速度と同程度であり、地震活動による変形が無視できない大きさであることを示している。また、非弾性・散乱*構造解析から、別府—九重地域には強い減衰構造が存在することが明らかになった。小地震の発震機構解*を用いた応力場推定に基づいて、地震発生ポテンシャル評価手法の開発を行い、これを警固断層について試験的に適用したところ、そこでは顕著な応力集中は見られないと評価された。

2014年御嶽山噴火前後に山頂直下で発生した地震の記録を用いて応力場の時間変化を調べた結果、噴火直前2週間前より局所応力場が広域応力場*から有意に変化していたこと、噴火後に急速に元の応力場に戻ったことがわかった。この応力場変化は、火山内部の圧力が増減したことを示唆し、火山活動の活発化に伴って、マグマ起源又は熱水系*起源の流体圧が増加したと考えられた(図8)。

全国の大学が合同で蔵王山におい地震探査を実施した。初期解析の結果から、蔵王山中央部の地表からわずか数百 m のところに基盤層*が確認される等、火山性地震の震源決定精度向上のための重要な基礎データが得られ、火山活動の推移把握に資することが期待される。また、電磁気学的観測等の結果も合わせて、水蒸気噴火を引き起こす地下の熱水供給系に対応すると考えられる構造の位置を推定した。

九重山においては、硫黄山の地下に鉛直に伸びる高比抵抗*領域を検出し、過去のマグマ貫入域もしくは高温ガスの通路であると解釈した。

(4) 地震現象のモデル化

地震断層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

日本列島及びその周辺海域を対象として、500m メッシュの地形と震源データに基づいて定義した広域的プレート境界の3次元形状のグリッドデータセットを構築した(図9)。これに詳細なプレート形状の情報を付加するために、構造探査やトモグラフィ*解析等の既往成果をコンパイルし、プレート上面の位置データの作成を進めた。また、トモグラフィ解析及びレシーバ関数解析*の結果に基づいて、日本列島及びその周辺域のモホ面*形状モデル等の構築にも着手した。さらに、北陸・関東地域については、過去に行われた地震探査等によって明らかとなった地殻構造を基に、震源断層モデルを構築した。

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

電磁気探査*で得られる比抵抗構造モデルから、地殻内の地震発生域や断層帯における地下流体の分布様態を定量的に議論するために、室内実験では測定困難な高温高圧下での塩水の電気伝導度*をシミュレーションにより求めた。

野島断層における注水実験やアクロス*連続運転により、平成7年(1995年)兵庫県南部地震後の断層強度回復に伴う地震波速度の変化の様子が明らかとなった。1999年以後、P波速度の増加が認められる一方でS波*速度の変化は少ないことから、クラック*密度が変化しないままクラックの水飽和率が増加するなどの、断層近傍での水の挙動による可能性が考えられる。

(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*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のある水蒸気噴火や火山ガス*の噴出の予測を実現できるよう、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うため、多項目観測及び火山噴出物の解析を進めた。

ア. マグマ噴火を主体とする火山

地球物理学、地球化学、岩石学的手法を用いた多項目観測を、マグマ噴火を主体とする桜島、伊豆大島、浅間山、霧島山のほか、2014年の水蒸気噴火から2015年のマグマ噴火へと移行した口永良部島で行った。無人ヘリを用いた空中磁気測量を霧島山新燃岳及び口永良部島において実施した。霧島山新燃岳における2011年噴火後5回の繰り返し測量のデータ及び口永良部島における2015年噴火を挟む4月と9月の測量データから時間変化を求めることにより、高温物質の上昇や冷却による全磁力の時間変化を捉えることに成功した。また、浅間山と伊豆大島では、二酸化炭素の土壌拡散放出分布の調査を行い、深部からマグマが上昇する際に捉えられる最初の物質科学的信号である二酸化炭素放出の経路の把握を試みた。岩石学的手法においては、2011年霧島山新燃岳噴火噴出物を用いて、噴火様式*の分岐に対応した1ミクロン以下の微小結晶の鉱物組み合わせとその物理化学条件を明らかにした。また、1962年十勝岳噴火の噴出物層序*における岩石組織*や化学組成*を比較することで、噴火様式の推移の検討を行った。その他、特記すべき地球科学的研究成果として、桜島では火山灰に付着した水溶性火山ガスの成分比を分析することにより、マグマ貫入イベントを検知できる可能性が示されたことが挙げられる。

イ. 熱水系の卓越する火山

水蒸気噴火や小規模なマグマ水蒸気噴火*の準備過程*や先行現象の理解を目指し、熱水系が卓越するとされる十勝岳、草津白根山、阿蘇山、御嶽山等の火山で多項目の物理・化学観測や地質・岩石学的調査が実施された。

十勝岳では2014年度に整備した地球物理観測設備により、これまで捉えられていなかった火山性微動*に伴うわずかな傾斜変動が検知できるようになった。また、常時微動振幅や火口浅部の消磁*の消長が捉えられたほか、火口ごとの噴火ガス組成に違いが認められた。これらは2015年5～8月に起こった局所的な地盤膨張や地熱異常域拡大と関連している可能性がある。草津白根山では、全磁力の連続観測によって2014年5月に湯釜火口直下の消磁を捉えた。数値実験により、地下浅部への高温流体のパルス状注入を仮定することにより観測データが再現できることを示した。箱根山大涌谷でも、2015年4月下旬に観測された噴気中の二酸化炭素濃度の急激な上昇が群発地震開始と同期していたことが確認された。これらの結果から、流体通路の目詰まりと部分破壊によって、間欠的に火山性ガスの組成や量変動するという熱水系卓越型火山で起こる活動のイメージが明らかになってきた。阿蘇山では、長周期微動の卓越周期の変化が2014年11月及び2015年9月の噴火に先行して見出され、火道浅部を通過する流体の状態を地震学的手法により連続的にモニターできる可能性が示された。御嶽山で繰り返し実施されてきた水準測量からは、2007年及び2014年噴火を含む長期間の地盤変動が明らかになった。

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。火山噴火の規模、推移、様式の予測のために、噴火事象系統樹の作製や事象分岐の判断指標の構築を進めた。

(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、観測データ等から推定されるプレート固着*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手法の開発を行った。

内陸地震に対しては、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し、地震発生長期評価の高度化に資する結果を得た。

日本海溝域に関しては、東北地方太平洋沖地震の前後の地殻活動の観測結果を再現できる様々なモデルを構築し、将来の活動をシミュレーションした結果、非常に多くのモデルにおいて、次の宮城県沖地震の発生が平均の繰り返し間隔から想定されるよりも早くなることが明らかになった（図10）。

2014年長野県北部の地震(M6.7)について神城断層の地表地震断層*においてトレンチ調査*を実施し、過去の地震活動を調査した。2014年の地震の一つ前の地震は1714年正徳小谷地震である可能性が高く、その規模は2014年の地震と同程度であり、更にもう一つ前の地震は約2000年前以降に生じ、それに伴う上下変位量は1714年や2014年の地震時に比べ4倍以上大きい約2m以上である可能性が高いことがわかった。

(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、地殻ひずみ・応力の変動を、断層滑りや広域応力場を基に推定し、地震・火山

現象に及ぼす影響を評価した。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

世界で発生した小・中規模の相似地震活動の解析の結果、プレート境界型巨大地震発生後の余震域では相似地震の再来間隔が短くなっていることがわかり、余効滑りの発生が示唆された。ほとんどの領域ではプレート間の相対速度以下の滑り速度が推定された一方、背弧拡大域*では大きい滑り速度が推定された。相似地震の抽出と活用により、世界各地のプレート間固着状態がモニタリング可能となることがわかった。

日本のプレート境界の滑りの時空間変化を統一的に解析できる手法を開発し、東北地方太平洋沖地震前の日本列島を対象に解析を行ったところ、平成 15 年（2003 年）十勝沖地震の余効滑り、その南北両側のプレート境界における大きな滑り欠損*、豊後水道や東海地方の長期的なゆっくり滑りなど様々なゆっくり滑り現象が統一的に推定された。

（日本海溝・千島海溝）

千島海溝沿いのプレート境界で、GNSS 記録を用いた短期的ゆっくり滑りの網羅的検出を行ったところ、約 20 年間で 2 回だけ検出され、短期的ゆっくり滑りが観測されている他の場所に比べて著しく低頻度であることが示された。

（南海トラフ）

東海地方で観測されている非定常地殻変動*に関しては、浜名湖付近を中心として 2013 年から 2015 年にかけて最大 4 cm 程度のプレート間ゆっくり滑りが発生していると推定された。また、紀伊水道で観測されている非定常地殻変動では、2014 年初頭からほぼ一定速度でプレート間ゆっくり滑りが発生しており、解放された地震モーメント*は、 M_w 6.6 に相当すると推定された。

中国・四国地方の GNSS 記録を解析し、1997 年から 2010 年までのプレート間固着及び長期的ゆっくり滑りの履歴を明らかにした結果、豊後水道で長期的ゆっくり滑りにより解放されるプレート間固着は、滑り欠損により蓄積した量の 40% 程度であること、6~7 年周期で繰り返す長期的ゆっくり滑りから固着状態への回復は 1 年程度で完了することがわかった。また別の調査からは、2003 年と 2010 年に発生した豊後水道の長期的ゆっくり滑り以降の 2~3 年間に、深部低周波微動発生域と 1946 年南海地震震源域との間の領域で、微小な長期的ゆっくり滑りが発生し、西から東にゆっくり移動したことが明らかになったほか、それに伴う深部低周波微動の活動のゆっくりとした移動も見つかった。

（断層滑りシミュレーションのデータ同化*）

摩擦構成則*に基づく断層滑りのシミュレーションに対して、データ同化法により摩擦パラメータを推定する手法を改良し、平成 15 年（2003 年）十勝沖地震後に GNSS で推定された地震後の余効滑り速度に適用した。推定された摩擦パラメータの空間分布から、その後の余効滑りの時空間発展を予測して実観測からの推定値と比較した結果、データ同化により予測精度が向上することがわかった。

アンサンブルカルマンフィルタ*による同化手法をゆっくり滑りに対し適用するための数値シミュレーションを実施し、ゆっくり滑りの発生中に摩擦パラメータを精度良く推定するために必要な観測条件を検討した。

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

関東地域で発生した地震を対象に発震機構解の精査を行い、応力テンソル逆解析*による応力場推定結果と原位置応力測定結果、活褶曲*のデータをまとめ応力分布図を作成した。原位置応力測定結果は地震データの結果と調和的な場合が多く、地震活動の有無にかかわらず応力分布図を広範囲で推定できる可能性がある

ることがわかった。

2007年に南アフリカ鉱山内で発生した Mw2.2 地震の発生前後に、断層周辺で採取したボーリングコア*の変形から応力値を推定したところ、地震前後で、また断層と地質構造との位置関係によって値が有意に異なることがわかった。

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

活発な前震*活動のあった 2014 年 4 月チリ北部イキケ地震(Mw8.2)について、地震波形の相関を用いて微小地震を検出し地震活動度等を調べた結果、本震*発生の約9ヶ月前から地震性滑りに加えてゆっくり滑りもプレート境界面上で進行し、本震破壊領域の端の固着が間欠的に緩み破壊域への応力集中が生じたことで本震の発生に至ったことがわかった。

地震活動予測手法の比較検証を目的とする CSEP*と連携し、検証に用いる地震活動データベースなどの共通基盤を整備し、異なる予測手法間の比較実験を実施した。東北地方太平洋沖地震後は、どのモデルでも総地震数の予測成績が相当低下し、統計モデルにまだ改善の余地があることが明らかになった。

地震活動度を定量的に評価するために、最適なパラメータ推定法を新たに開発し、日本列島の地震活動の地域性を特徴づけた。余震活動の再現に関して、応力変化と摩擦構成則に基づく物理的なモデルに、全ての地震が余震を引き起こすという仮定を取り入れ改良したところ、経験則に基づく ETAS モデル*には及ばないまでも、大幅な改善が見られた。

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

これまで報告されている地震に先行して発生したとされる現象について、地震発生との関係の有意性を評価した。また、先行現象と地震発生を結び付ける物理過程を明らかにし、先行現象と地震発生の関連を科学的に検証した。また、微小地震活動の時間変化モニタリングから、巨大地震の発生を検知する手法の開発を行った。

2007年に南アフリカ鉱山内で発生した Mw2.2地震の震源域では、地震発生の6ヵ月前から、本震破壊面上に著しく集中した極微小地震が捉えられていたが、詳細な解析によって、一部のクラスター*活動wは本震発生直前に加速的に活発化したことがわかった。また、2014年長野県北部の地震(M6.7)で見られた前震活動に関連し、この地域の過去の地震活動の統計的解析を行った結果、前震活動から M5.0以上の地震に至った割合は約11%、M5.0以上の地震のうち前震活動を伴った割合は約45%であることがわかった。

大型二軸せん断試験*により取得された連続波形記録を用いて、断層全面が滑る大規模なイベントに先行する前震の検出を行った。繰り返し実施されたせん断試験において、実験開始時にガウジを除去した場合には前震はほとんど検出されず、ガウジを残置した際には多くの前震が検出された。

千島海溝、日本海溝及び琉球海溝沿いで発生した M5 以上の地震活動の長期変化を、ISC*の地震カタログに基づき統計学的手法で解析したところ、10年以上継続する地震活動の長期静穏化が11回観測され、うち3回が Mw8.25 以上の巨大地震に先行していた。特に東北地方太平洋沖地震の際には、福島県沖で10年以上の静穏化が見られ、その場所でその後、2002年頃から長期的ゆっくり滑りが始まったことから、両者が関連している可能性があることがわかった。

国内の M7 クラス以上の大地震を対象に地震活動の静穏化・活発化解析手法を適用し、断層破壊領域(余震域)と静穏化領域を詳細に比較した結果、静穏化事例の約8割で、地震発生前までに静穏化領域が破壊領域をドーナツ状に囲むパターンが見られ、これは大地震に先行する特徴的な地震活動の静穏化現象と考えられる。

M8クラス巨大地震の1時間程度前に見られる電離層全電子数*の変化の異常を、時系列解析によって検出する手法を開発した。解析可能なデータのある最近の M8.2以上の地震8個全てについて同様の異常が地震直前

(25-85分前)に検出され、これらの異常の強さと先行時間は、地震の規模に対し正の相関をもつことが見いだされた。

北海道大学えりも観測点において記録されたVHF*帯電波伝播異常を先行現象として、時空間を「警報ON」「警報OFF」「警報判定不能」の三色に分けた地震発生子測マップを作成し地震カタログと比較することで、統計的な有意性の評価を行った。

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

浅間山について、過去1万年程度の信頼性の高い噴火履歴と、20世紀以降の複数の噴火観測事例がそろった恵まれた条件の中で噴火事象系統樹が作成された。特に、最近の地盤変動観測結果をもとに、主たる供給路へのマグマ貫入が観測された後の噴火未遂と噴火発生の分岐確率が示された。

国内外の活動的火山の噴火事象・観測量の時系列データベースを検討した。昨年度に研究対象とした、雲仙岳、モンセラート島(スーフリエール・ヒルズ)、シナブン山、伊豆大島、三宅島、霧島山新燃岳に加え、御嶽山、口永良部島、雌阿寒岳、ストロンボリ山、エトナ山などについて、調査した。その結果、昨年度見出された噴火の規模や様式が大きく遷移する分岐前の山体膨張、地震活動やガス放出の活発化、全磁力の変化などの特徴が、異なる火山においてもしばしば共通して見られることが確認され、このような観測量のモニタリングが分岐判断に有効であることが確かめられた。

また、火山の噴火様式や推移予測、火山活動分岐判断のための基礎研究として、基盤的火山観測網を用いて、相似地震をモニターすることにより応力場の変化をモニターできる可能性を示した。

3-3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

地震・火山噴火による災害誘因の自然素因への作用、社会素因への影響、社会的影響の波及効果を総合的に研究した。地震・火山噴火の災害事例の研究や、地震・火山噴火の災害発生機構の解明、地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法や即時予測手法についての研究を進めた。また、災害軽減のための情報発信についての研究、地震・火山現象や災害の基礎情報の啓発や予測情報の利用方法に関する研究を行った。

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

1703年元禄地震と1855年安政江戸地震における日光東照宮(栃木県日光市)での被害と対応を明らかにした。また、東北地方太平洋沖地震と平成15年(2003年)十勝沖地震について、地殻変動量と津波の高さとの関係性を調べたところ、明らかな相関が認められないことがわかった。

地震・火山災害研究における知見を社会に広く発信するため、本研究計画の研究課題間の関係性を可視化するとともに、新規研究との関連性を自動判別可能にした。

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

地震災害誘因の事前評価と即時推定に資する地下構造モデル*の構築に向けて、南海トラフ海域及び首都圏を対象として、数値シミュレーション及び地震波干渉法*による地震動特性の定量化を継続した。

「脆弱性」という概念について、概念的整理及び東日本大震災の被災地の状況を参照することによる内容の明確化を行った。そのため、被害と長期的土地利用の変化、及び、防災意識・避難行動・ソーシャルキャピタル*に着目し、社会の脆弱性を分析した。

(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、震源断層モデル及び地下構造モデルの高度化と、強震動*の評価手法の高度化を進めた。強震波形を解析することで2014年長野県北部の地震(M6.7)の震源過程*を調べ、断層面積や地震モーメント、アスペリティ*面積が既往のスケーリング関係*式に従うことを確認した。2015年小笠原諸島西方沖の地震(M8.1、深さ約680km)は、この周辺で起きる深発地震*の等深度面より50km程度深く、異常震域*分布の特徴も異なっていたが、3次元地下構造モデル*を用いた地震動シミュレーションによりその特徴を再現することができた。大阪堆積盆地における地震動シミュレーションにより、地表と堆積層・地震基盤の境界での多重反射により特徴的な後続波形が形成されるメカニズムを明らかにし、また、堆積層内の構造パラメータ*設定方法や既存の地下構造モデルが不十分な地域を把握した。立川断層周辺では、表層地盤*の構造探査及び地震観測を集中的に実施し、断層を挟んで東西で急変する不均質地盤構造*や地震動の特徴を明らかにした。南海トラフの巨大地震で生じる長周期地震動*の特性を調べるために、東北地方太平洋沖地震の震源断層モデルを南海トラフ沿いに仮定して長周期地震動評価を行った結果、震源距離がほぼ等しい都心地点で周期6~10秒の長周期地震動が、東北地方太平洋沖地震時の約2倍の速度応答*になることがわかった。異常震域の原因となる沈み込んだ太平洋プレート内の層状不均質構造とその起源を調べた結果、年代が古く厚いほど高周波数地震動の散乱が強いこと、層状構造はプレート年代の増大とともに厚さが増すことがわかった。

南海トラフ巨大地震のリスク評価の精度向上のために、震源過程、地震波伝播・深部地盤構造、強震動予測、浅部地盤構造、構造物被害予測、リスク評価の各項目について、予測モデルの構築・選択とそれらのモデルによるリスク評価の不確かさに関する検討を実施した。また、これらの知見を統合してリスク評価の不確かさの定量的評価方法を提示した(図11)。

地震動による地滑り*の事前評価のため、多様な地滑り地、谷埋め盛土で、地震動や間隙水圧*等の観測を行い、土質や地形に応じた地震動の増幅特性を明らかにした。1949年今市地震による火山地域の崩壊性地滑りの調査を行ったところ、同地震に伴う地滑りのほか、それ以前に発生した地滑りが多数確認された(図12)。また、地滑りの深い滑り面は自然含水量が高い火山礫層に相当し、その付近では地震動によって高過剰間隙水圧が発生することで、高速長距離地滑りになりやすいことがわかった。

降灰予測手法の改善のため、大規模噴火時の降灰予測に気象場の変化が与える影響の検討が始められた。1707年富士山宝永噴火及び1914年桜島大正噴火を想定した降灰シミュレーション計算を2015年1月より毎日、その日の気象場に基づいて実行し、計算結果を蓄積している。

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

地震動の即時予測*高度化に向けて、地震波速度及び減衰の不均質構造の推定を行った。リアルタイムの揺れの実況値から直接揺れの伝播を予測する方法の開発を進め、地震波速度及び減衰の不均質構造を考慮することで、早い段階で精度の高い予測ができることを確認した。高密度で配置されている自治体震度計から防災業務に支障を及ぼさずに、リアルタイム震度と最大加速度値を送信するシステムを作り、動作試験を行った。

津波の即時予測*に関しては、数値シミュレーションと観測を組み合わせた研究が進められた。地震の震源過程や津波波源を推定せず、観測波形データから直接津波数値計算を行う即時津波数値計算手法の実用化に向け、日本海溝・千島海溝沿いの日本海溝海底地震津波観測網(S-net)*程度の観測点間隔の観測網の有効性を調べるため数値シミュレーションを実施した。その結果、おおよその津波の面的分布と津波波形の長周期成分を再現でき、津波の即時予測に十分使用できることが示された。高速サンプリング高分解能の自己浮上式海底水圧計*を用いて房総沖で観測した近地地震に伴う海底圧力データを解析し、データの精度を確認した。波源推定に基づく津波の即時予測手法について、確率論等に基づいて予測精度をリアルタイムに評価す

る指標の開発を進めた。陸上の磁場観測で津波生成磁場*を検知することを目指した研究の一環で、東北地方太平洋沖地震の津波による磁場変化の数値シミュレーションを行い、父島において津波到達の約20分前に観測された磁場変動の観測値をほぼ説明できることを示した。

火山灰の即時予測に関しては、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て、各種電磁波信号(GNSS, XバンドMPレーダー*, ライダー*)を用いた地上からのリモートセンシング*手法の開発を実施した(図13)。これらの手法では、噴煙を透過してきたGNSS衛星からのマイクロ波、あるいは、地上から放射したレーダーの反射波、ライダーの散乱波を計測し、その強度、位相、偏波特性を表すパラメータから上空の水滴や火山灰量を推定する。それぞれの手法において、各パラメータに反映される物性が異なることがわかった。特に、位相と編波特性のパラメータによって降雨や雲の水滴と火山灰粒子を区別する可能性が示された。また、即時予測に向けて、桜島噴火のレーダー画像と降灰量を比較し、レーダーで観測された反射因子の時空間分布から降灰量を定量的に推定する関係式を得た。具体的応用例としては、2015年5月29日の口永良部島噴火噴煙について、レーダー観測網データとひまわり画像より、レーダーエコー頂高度は海拔約10kmに達し、噴煙の移流高度は8km付近、噴出物総量は66万～110万トンと推定された。

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

GNSSを利用した津波災害時避難の分析システムの構築、地域情報(土地利用及び人口等)と被害想定に関する時系列的分析、避難施設と避難圏域に関するデータの収集と分析、住民の避難行動に関するデータの収集と分析を行った(図14)。さらに、北海道全域を対象に、津波浸水想定*データを用いて浸水域人口の推定を行い、市町村別の危険度の分析を進めた。これらの成果について、地域防災のための公開講座の開催等により、最も効果的な研究成果の普及手法を検討した。

2014年御嶽山噴火に伴う災害情報の内容やその伝達方法について、情報の受け手である住民や観光客、情報伝達の担い手である自治体職員等に対してアンケート調査を行い、噴火未経験者のリスク認識の低さや、住民を対象とした防災学習や避難訓練の実施についての意識の低さが明らかになった。この結果を地域へ還元するため、住民説明会を行った。

北海道駒ヶ岳、有珠山、十勝岳、倶多楽火山周辺地域において、火山災害発生時に地方公共団体が現況の総合的把握と的確な防災対応を行うことを支援するため、インターネットを通じた各種観測情報の準リアルタイムな収集と統合表示を行うシステムの構築を行い、既にシステムを設置している道市町に加え、地方気象台等でもシステムの試行を始めた。

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効果的に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に、観測網やデータベースなどの研究基盤の整備・拡充、国際的な共同研究の推進、幅広い人材育成、災害教育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

フィリピン、インドネシア、中国、ベトナム、台湾の研究機関と協力して、東・東南アジア地域において過去に災害を引き起こした大規模な地震、津波、火山噴火に関する情報を1枚の地質図上にまとめた「東アジア地域地震火山災害情報図」を作成した(図15)。主要な地震の震央、活断層、津波の発生源、沿岸に到達した津波の範囲や高さ、活火山やカルデラの位置、大規模な噴火による火山灰の分布、大規模火砕流の分

布等を図示した。

全国地震カタログ*作成のための震源の決定等の処理を改善し、新たな地震検知手法を取り入れ、自動処理による地震検出結果を検測処理の基本とする作業手順を確立した。これまでと同様に人手により精査した震源のほか、あらかじめ定めたマグニチュード未満の地震については波形等を確認した上で良好に震源決定されていれば自動処理結果を使用するなどして、必要十分な品質を確保しつつ、より充実した地震カタログが得られることになった。

・観測・解析技術の開発

2014年から2015年にかけて、東北地方太平洋沖地震時の大滑り域付近の日本海溝において、海溝軸を跨ぐ基線上で210日間の海底間音響測距観測を行った。10 km超の基線でも、観測期間全体を通して安定して通信が行われ、機器の基本性能が十分期待するレベルに達したことを実証できた。観測結果からは、局所的な変形又は音速補正精度の低下が原因と考えられる伸長が観測されたものの、プレート収束速度に見合う短縮は見られなかった(図16)。想定された誤差要因を低減する改良を施し、2015年9月から新たな観測を開始した。

東北地方太平洋沖地震の津波により被災し、観測が中断していた三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システムの復旧の一環として、全長105 kmのケーブルシステムを敷設しデータ伝送を開始した。新規開発したこのケーブルシステムは、インターネット技術を用いた通信回線の複線化による観測の信頼性の向上、最新半導体技術を用いた観測装置の小型化などが特徴である。

広帯域地震計として使用するレーザー干渉計の高温試験を実施し、少なくとも290°Cまでの高温環境下で使用可能であることがわかった。

1日以下の時定数の地殻変動場を捉えるため、キネマティックGNSS解析*の高精度化に関する研究を進め、電波伝播遅延量やプロセスノイズ*の決定法を改善することで、既往の方法に比べ誤差を数〜数十%低減することができた。また、昨年度に開発した精密可動台を用いて、リアルタイム・キネマティックGNSS観測・解析の精度評価を行った。さらに、火山活動の変化に伴って観測される山体変形の準実時間での把握に備え、桜島のGNSS観測点において平常時ノイズレベルを調査した。

・社会との共通理解の醸成と災害教育

地震・火山噴火予知研究協議会では、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」のパンフレットを作成した。これまでのパンフレットでは主に研究成果を説明したが、今回作成したパンフレットは、社会科学研究者の協力により、本研究計画の目的や推進体制などをわかりやすく説明するものとなった。

・国際共同研究・国際協力

カトマンズ盆地における強震動の連続観測を行っていたところ、2015年4月にネパール・ゴルカ地震(Mw7.8)が発生し本震を含めた地震の記録が得られた。通常地震動の距離減衰式*から期待されるよりも地震動が小さいことなどが明らかになった。

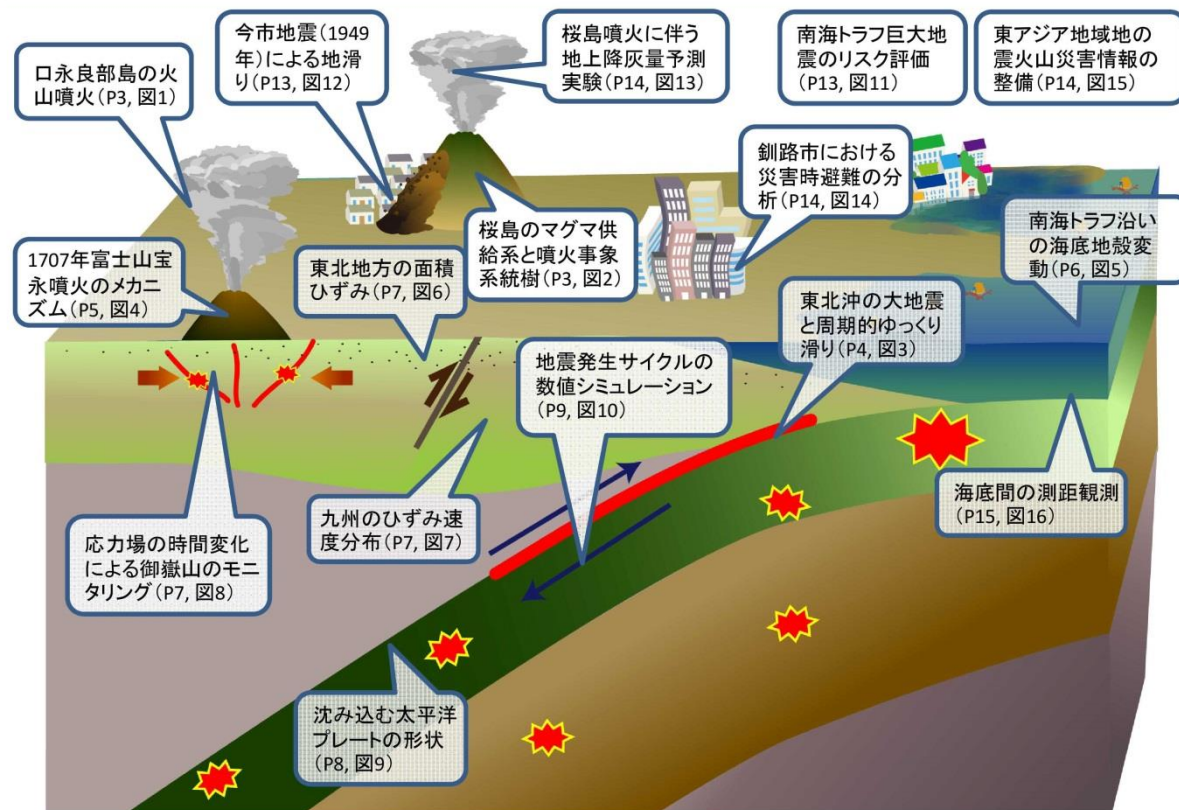
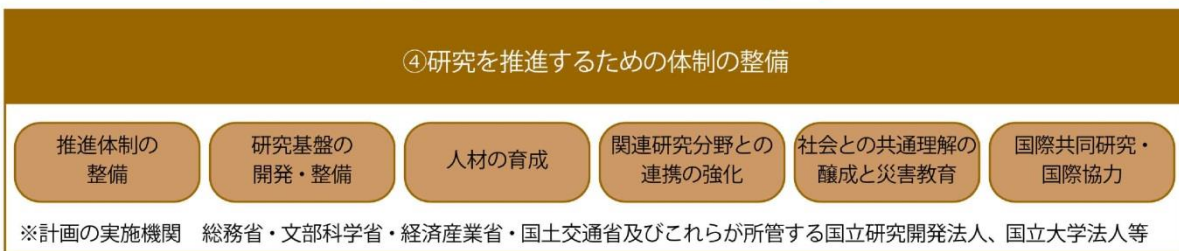
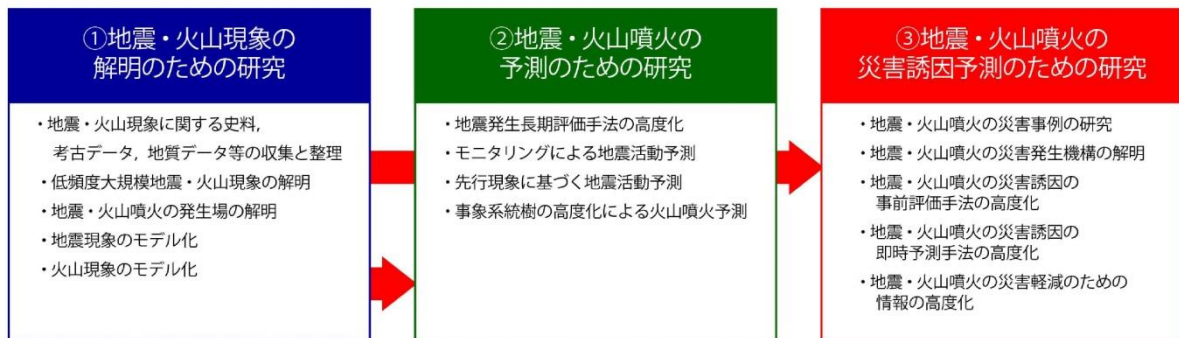
4. まとめ

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の2年目に当たる平成27年度に発生した主な災害として、2015年5月29日の口永良部島における全島民の島外避難を伴う火山噴火災害が挙げられる。口永良部島では2014年の噴火以降継続的な観測が行われていたため、噴火前の島全体の膨張や地震活動・地熱活

動の活発化が観測されるなど、噴火の先行現象を捉えていた科学的意義は大きい。この噴火前後の諸現象の観測により得られた記録は、その後の噴火警戒レベルの引き下げ等にも活用された。この他、災害には至っていないものの、桜島では2015年8月のマグマ貫入イベントに伴い噴火警戒レベル4（避難準備）まで引き上げられるなど活発な火山活動が観測され、今後も継続的な観測研究が求められる。東北地方太平洋沖地震とそれに伴う東日本大震災以降、継続的に行われた観測や実験、調査等により明らかとなった研究成果が数多く挙げられ、それらのうち代表的な成果を冒頭に報告した。今後も同地震に伴う余震活動や余効変動等の地殻活動が継続すると見られるため、引き続き観測研究が必要である。また平成27年度は我が国の災害に限らず、甚大な被害の出た2015年ネパール地震に関して、国際共同研究・国際協力が進められた。以上のような災害誘因に関する理解を深めることが防災力向上の方策の一つであり、防災・減災へ貢献することができる。

本研究計画は、前計画では不足していた工学や人文・社会科学分野の研究者の参加による学際的研究の推進が特徴である。平成27年度には南海トラフ巨大地震に関する総合研究、火山噴火災害史などの学際的研究集会が開催された。また、地震・火山噴火に関連する史料・考古データの収集と整理が進みつつある。近代的観測装置により計測された記録のみならず、このような歴史的な災害情報を危険の想定へ活用していくことが災害軽減のために必要である。

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27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。

口永良部島の火山噴火

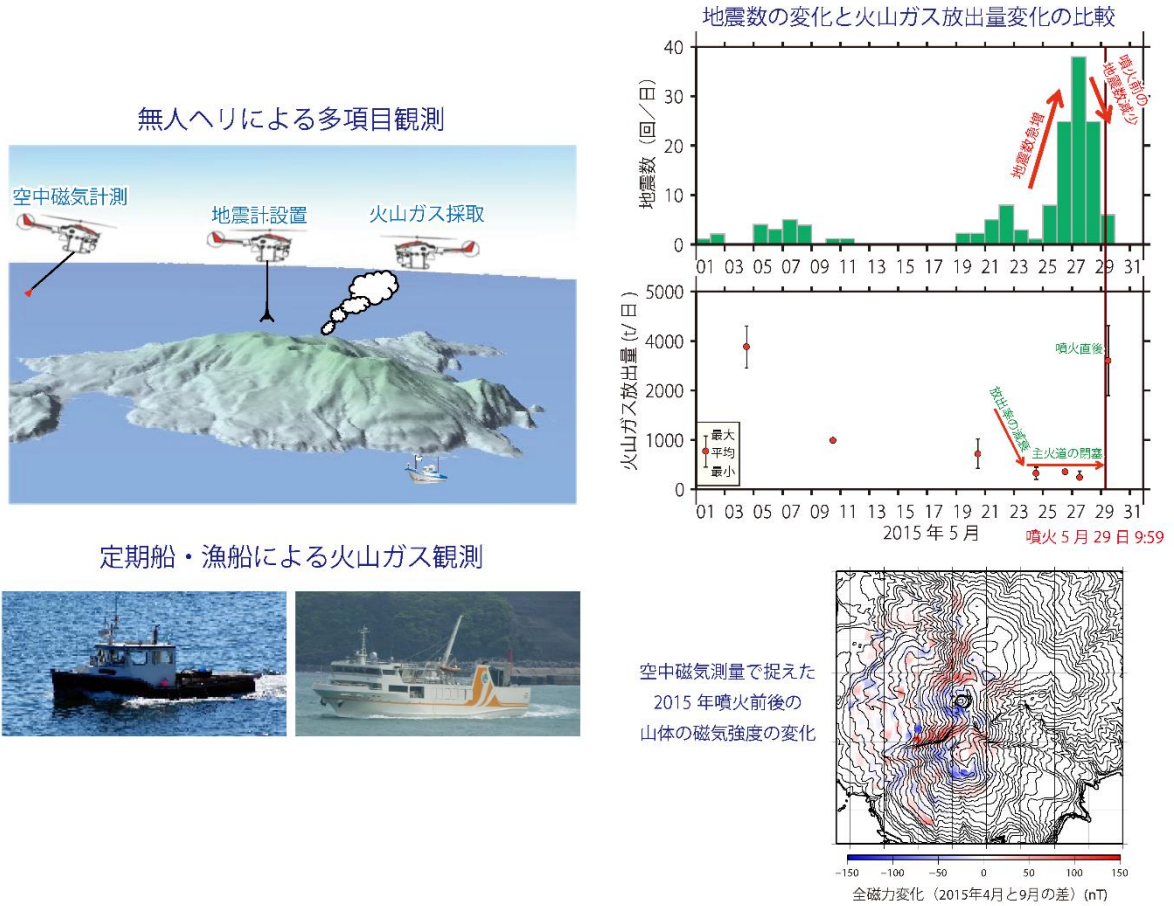


図1 口永良部島の火山噴火に関する観測と結果

口永良部島では、2014年噴火後は火口近傍へ近づくことが困難になり、無人ヘリによる空中磁気計測や火口近傍の地震計設置、船舶を利用した二酸化硫黄ガス放出量の観測など、多項目の機動的観測が行われた。その結果、地震活動の活発化や火道の閉塞等、2015年噴火前の諸現象が捉えられただけでなく、噴火発生後には活動推移を把握し噴火警戒レベルを引き下げる判断にも役立てられた。

桜島のマグマ供給系と噴火事象系統樹

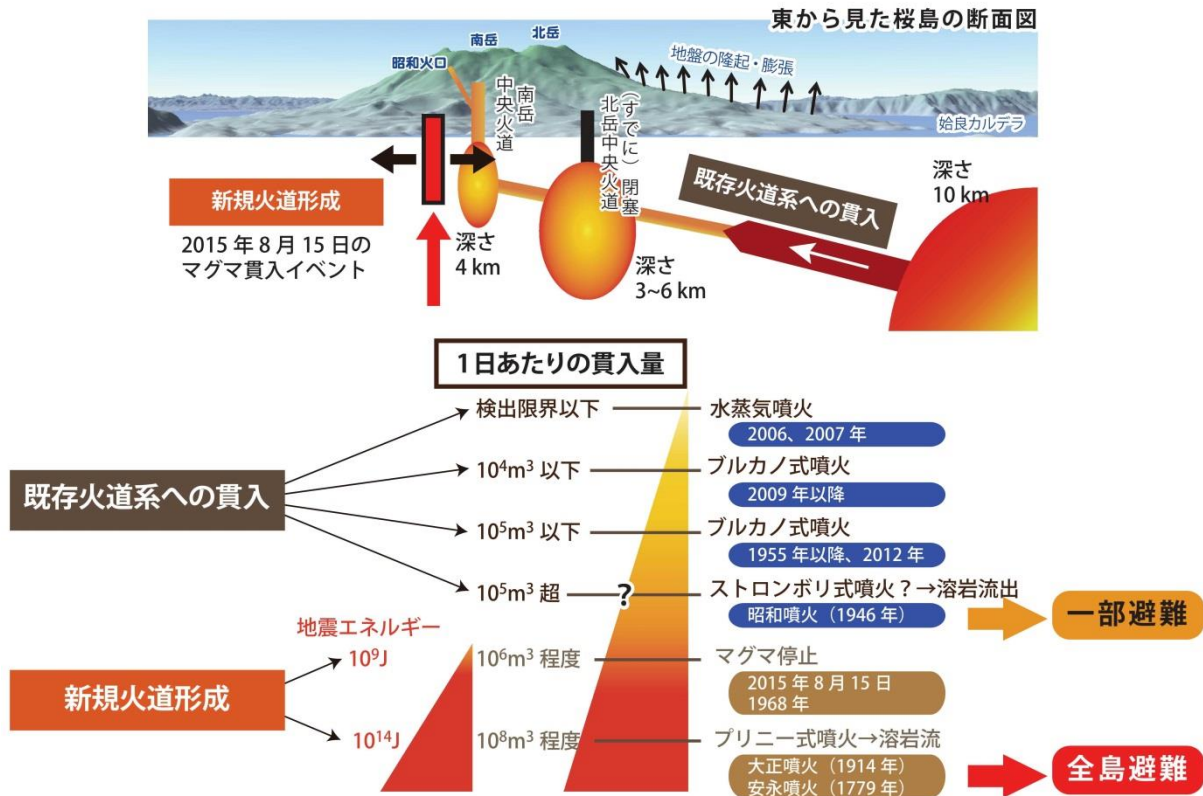


図2 桜島のマグマ供給系と避難行動のモデルを付した噴火事象系統樹

地盤変動観測から推定される桜島島内への1日当たりのマグマ貫入量と、これまでに発生した噴火事例に基づき、とるべき避難行動をまとめている。昭和噴火(1946年)の貫入量の「?」は観測データが乏しく信頼性に欠けることを示す。通常の噴火では、始良カルデラの地下約10kmのマグマ溜まりから既存の火道を使って桜島島内へマグマが供給され、噴火活動が引き起こされている。2015年8月15日には、既存火道以外にマグマが貫入し、新規に火道が形成されたが、噴火には至らなかった。この時の地震活動のエネルギーは、大噴火が発生した大正噴火に比べて小さい。

東北沖の大地震と周期的ゆっくり滑り

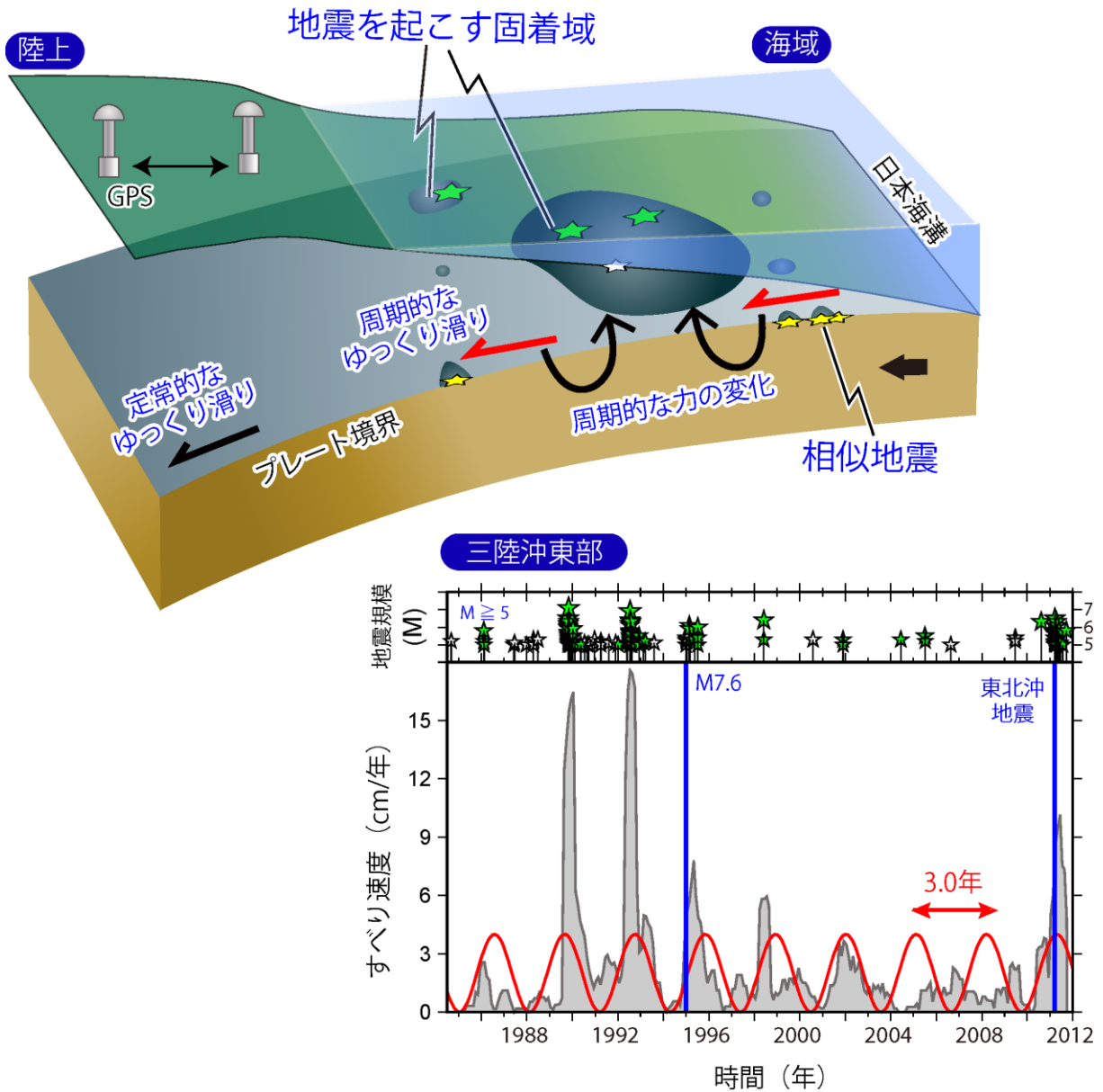


図3 東北沖のプレート境界で発生するゆっくり滑りとM5以上の地震との同期

プレート境界で発生する相似地震と陸上の地殻変動データから、プレート境界の周期的なゆっくり滑りを発見した。大きな滑り速度がゆっくり滑りに対応する。ゆっくり滑りの発生間隔は1~6年程度と地域性があり(例えば三陸沖東部では3年間隔(右下図)), M5以上の地震活動と同期していた。東北地方太平洋沖地震が発生した時期にも、三陸沖ではゆっくり滑りが発生していた。ゆっくり滑りが大規模な地震を起こす固着域に周期的な力の変化をもたらすことで、地震発生数を変調させていると考えられる。

富士山宝永噴火（1707年）のメカニズム

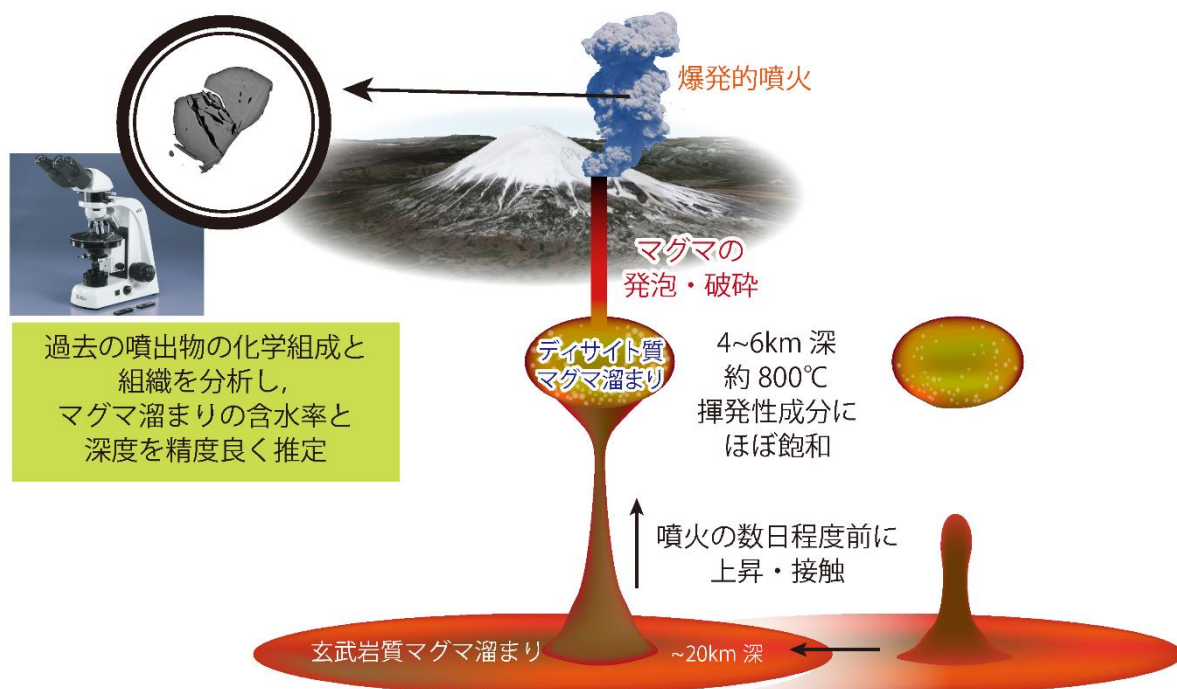


図4 富士山宝永噴火（1707年）噴出物の鉱物組成分析から明らかにされたマグマシステム

深さ 4~6km に揮発性成分にほぼ飽和したデイサイト質マグマ溜まりがあり、そこに噴火の数日前に深部から玄武岩質マグマが上昇・接触した結果、デイサイト質マグマの水分が急激に揮発し、爆発的噴火を引き起こした可能性が高い。最近 3000 年間の噴火でも同様の特徴が見られることから、将来の噴火においても、深部から上昇してきたマグマが浅部マグマと接触する際に何らかの明確な前兆現象が捉えられる可能性がある。

南海トラフ沿いの海底地殻変動

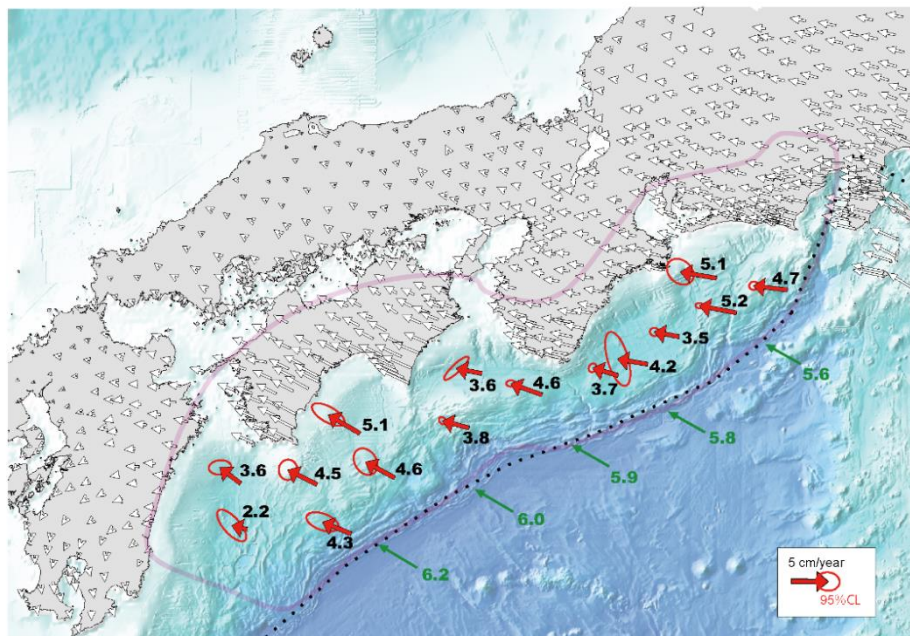
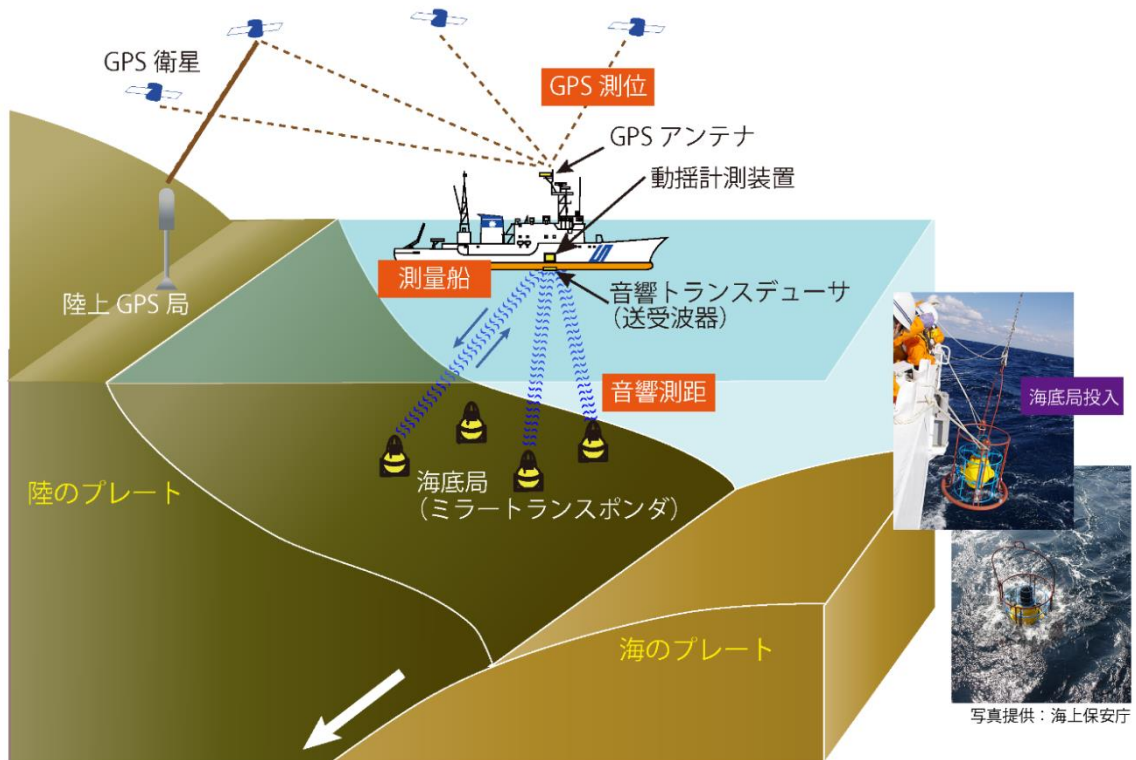


図5 南海トラフ沿いの海底地殻変動

上段：GPS-音響測距結合方式による海底地殻変動観測システムの概念図

下段：西南日本の年平均変位速度。赤の矢印は東北地方太平洋沖地震の影響を補正した海底基準点の移動速度を示し、楕円は95%信頼区間を示す。白の矢印は東北地方太平洋沖地震以前の国土地理院のGNSS連続観測点の移動速度、緑の矢印はフィリピン海プレートのアムールプレートへの沈み込み速度（プレート相対運動モデルMORVELによる）を示す。

東北地方の面積ひずみ

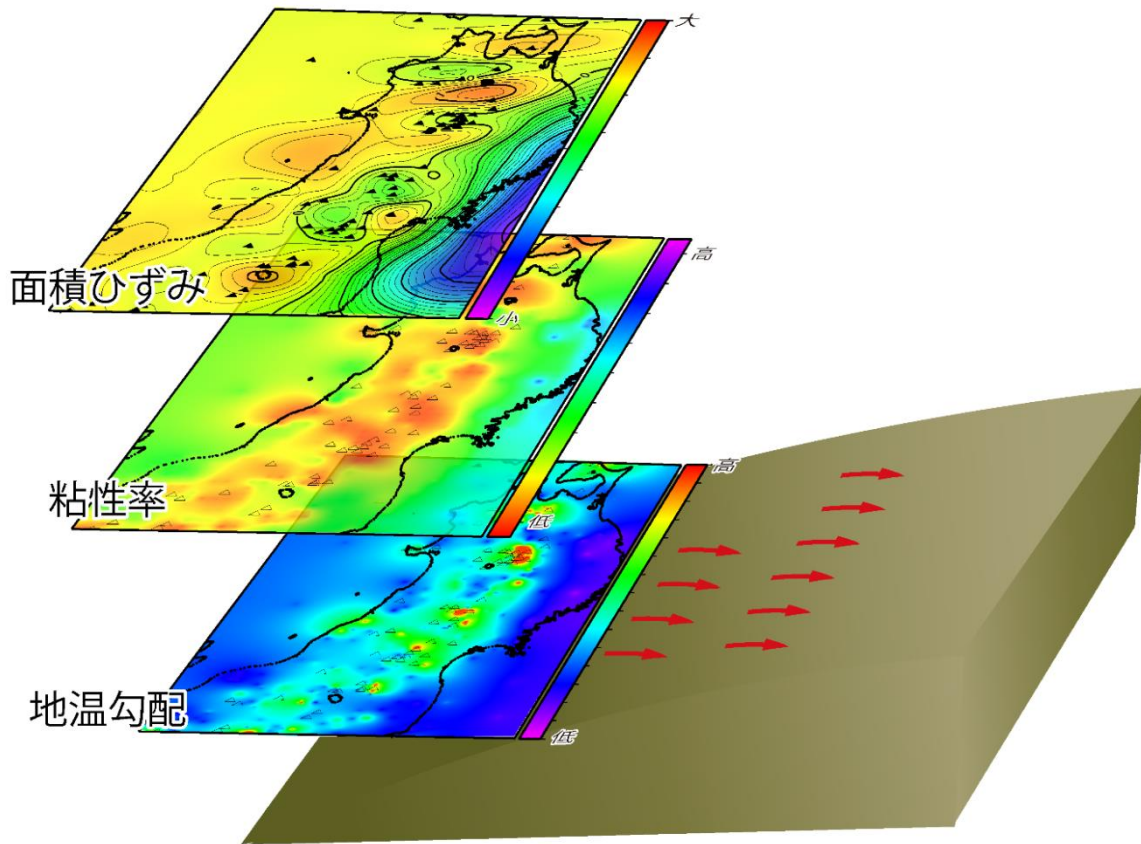


図6 東北地方太平洋沖地震後の東北地方の面積ひずみ

東北地方の地下の温度分布をもとに地殻・マントル内の粘性率の分布を推定して作成した構造モデルを用いた3次元シミュレーションにより求められた東北地方太平洋沖地震後1年後から2年後までの地殻変動。地表面における面積ひずみの大きさを色の違いで示した。実際の観測で得られている地表のひずみの大まかな特徴を再現することに成功した。

九州のひずみ速度分布

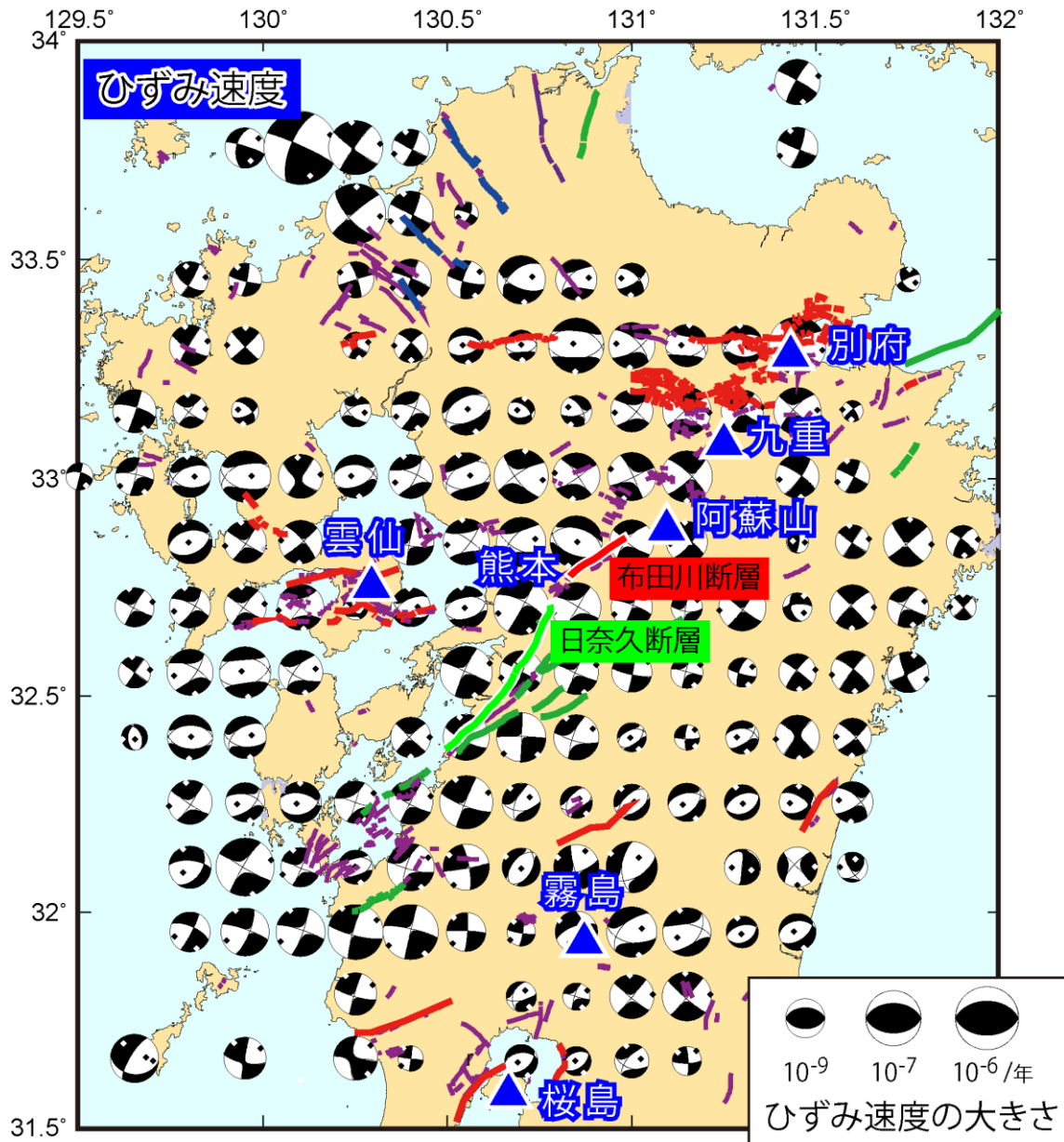


図7 地震活動により推定された九州のひずみ速度分布

熊本から別府にかけての地域では年間 10^{-7} オーダーの大きなひずみが地震活動によって進み、周辺での応力蓄積の可能性が示唆される。特に布田川断層や日奈久断層付近ではその値が大きくなっており、活断層の動きと同じ右横ずれ成分に卓越するひずみ場となっている。1996年1月から2013年7月に観測された深さ30km以浅の地震を解析に使用した。

応力場の時間変化による御嶽山のモニタリング

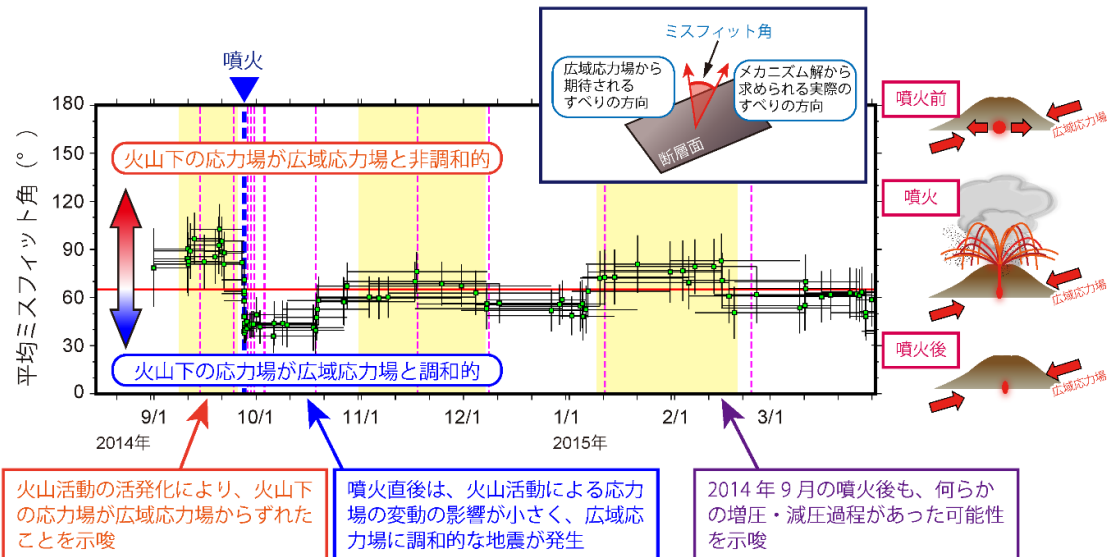


図8 応力場の時間変化による御嶽山のモニタリング

地震のメカニズムから応力場を推定する手法を御嶽山の火山性地震に適用した。噴火前の火山下の応力場は広域応力場からずれており、火山活動の活発化を示している。

沈み込む太平洋プレートの形状

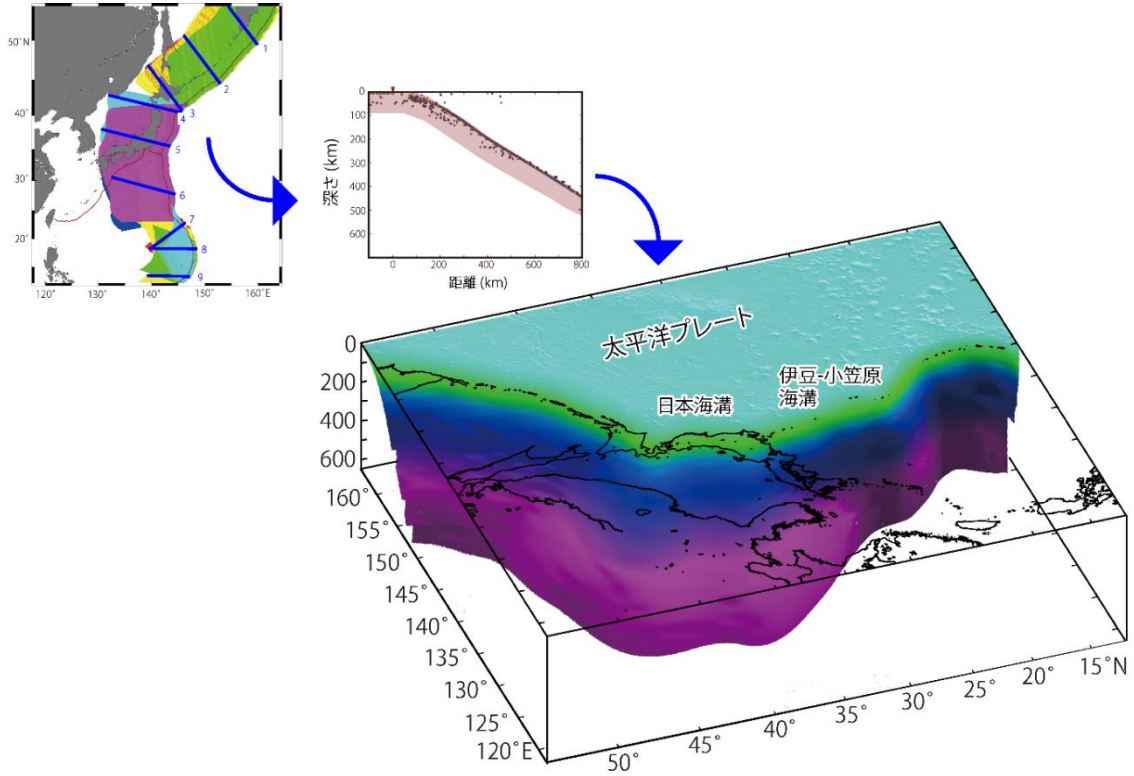
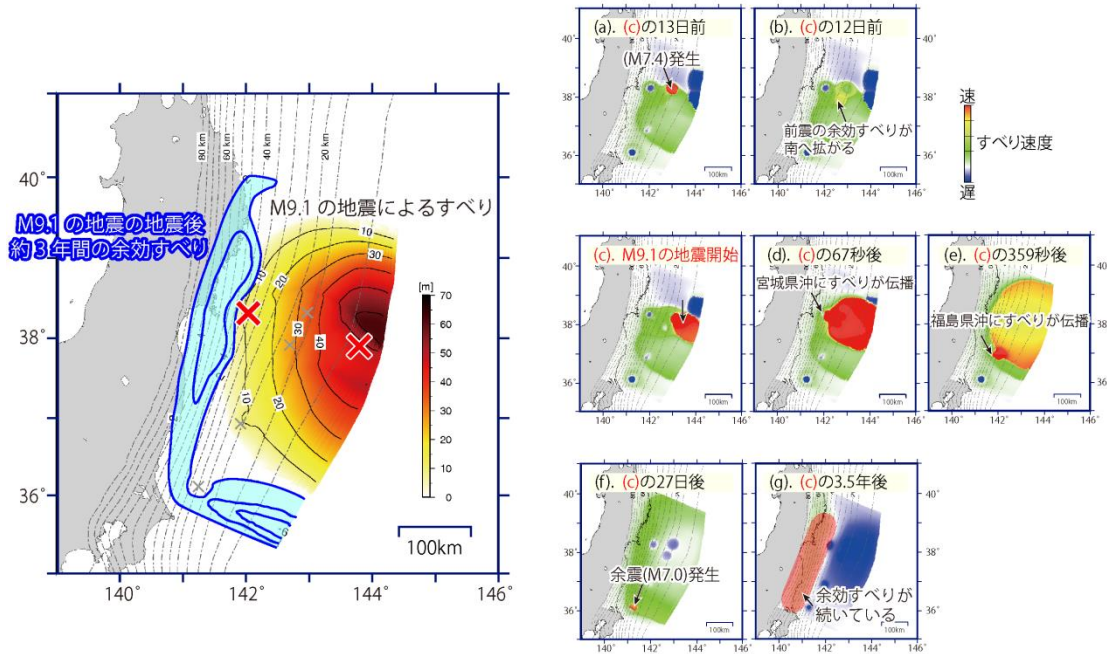


図9 様々なデータを基に推定された沈み込む太平洋プレートの形状

日本周辺に沈み込む太平洋プレートの沈み込み方向にいくつもの断面図をとり（左上図）、その断面図の震源分布、地震波速度構造、構造探査等による形状の情報を集め、その結果から沈み込むプレート上面を推定し（中央上図）、これらの複数の断面図のデータをもとに数値計算による補間手法を用いて、沈み込む太平洋プレートの3次元構造の形状を推定した（右図）。

地震発生サイクルの数値シミュレーション



宮城県沖地震の発生の予測

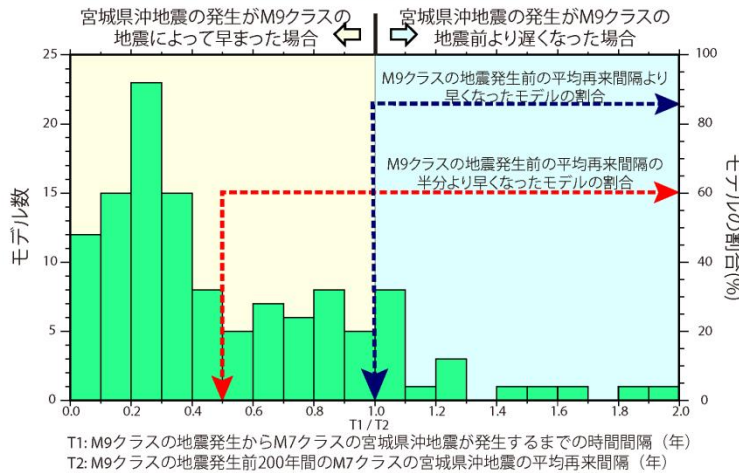


図10 日本海溝域における地震発生サイクルの数値シミュレーション

日本海溝域の巨大地震が想定宮城県沖地震に与える影響を調べるため、巨大地震発生サイクル計算を行い、東北地方太平洋沖地震に相当するM9クラスの地震とその余効滑り（左上図）、またそれ以前の宮城県沖地震に相当するM7クラスの地震や前震、以後の茨城県沖の最大余震等を再現できる様々な摩擦パラメータのモデルを構築した。それらの発生の様子の一例をM9クラスの地震を基準にして時系列で示している（右上図）。同様の現象を再現した76個のモデルによると、M9クラスの地震が発生してから宮城県沖地震が発生するまでの時間間隔は、M9クラスの地震発生前の宮城県沖地震の平均再来間隔の半分より短くなる場合が多くなる可能性があることがわかった（下図）。

南海トラフ巨大地震のリスク評価研究

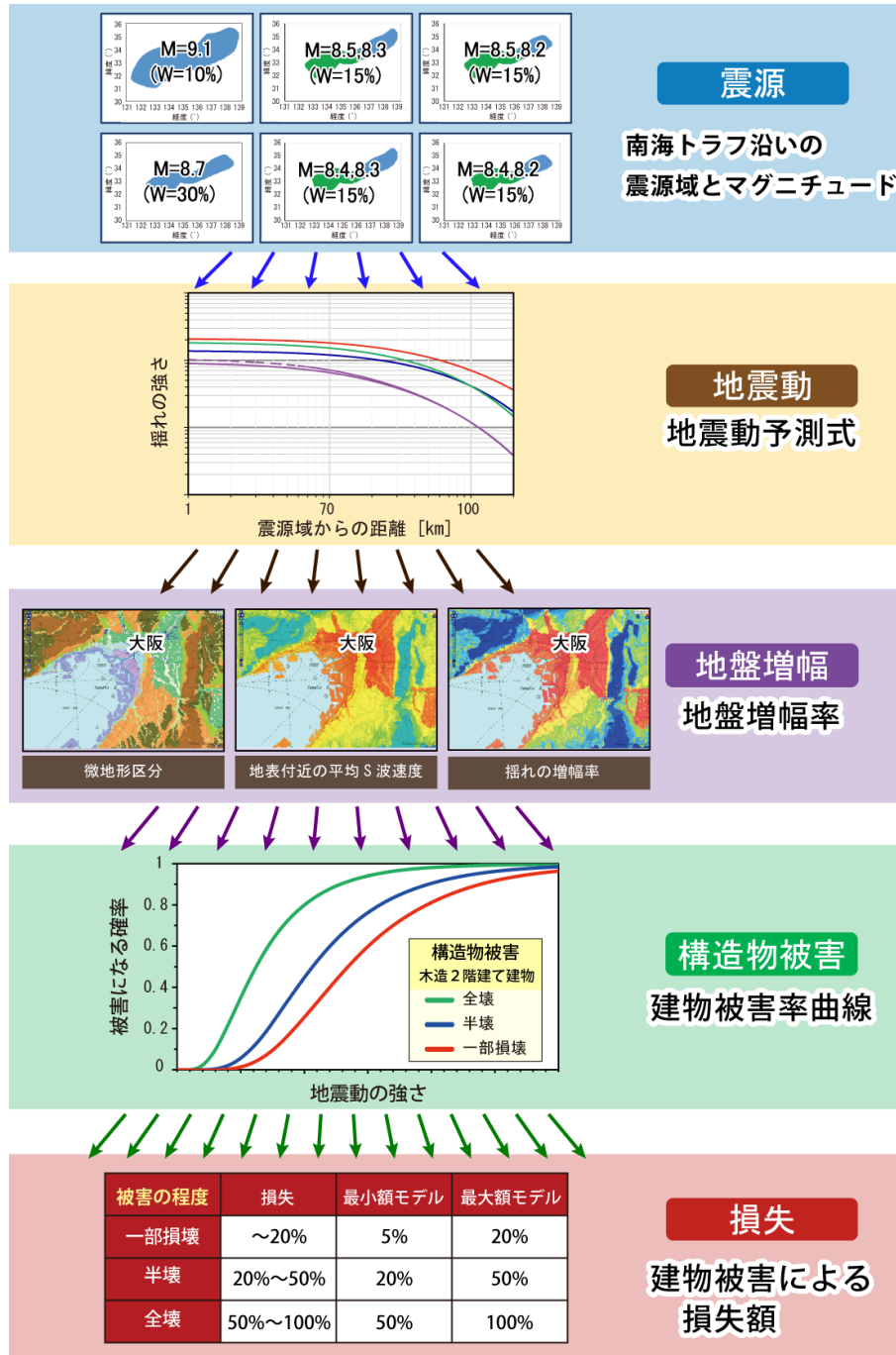


図 11 南海トラフ巨大地震のリスク評価研究

南海トラフ巨大地震によって、大阪の代表地点において予測されるリスクについて、リスクに影響する要因を、震源、地震動、地盤増幅、構造物被害、損失に分け、それぞれの要因について複数のモデルを用いて評価した。これにより、リスク評価に伴う不確かさの程度と、どの要因がそのリスク評価に伴う不確かさに効いているのかを明らかにした。

今市地震（1949年）による地滑り

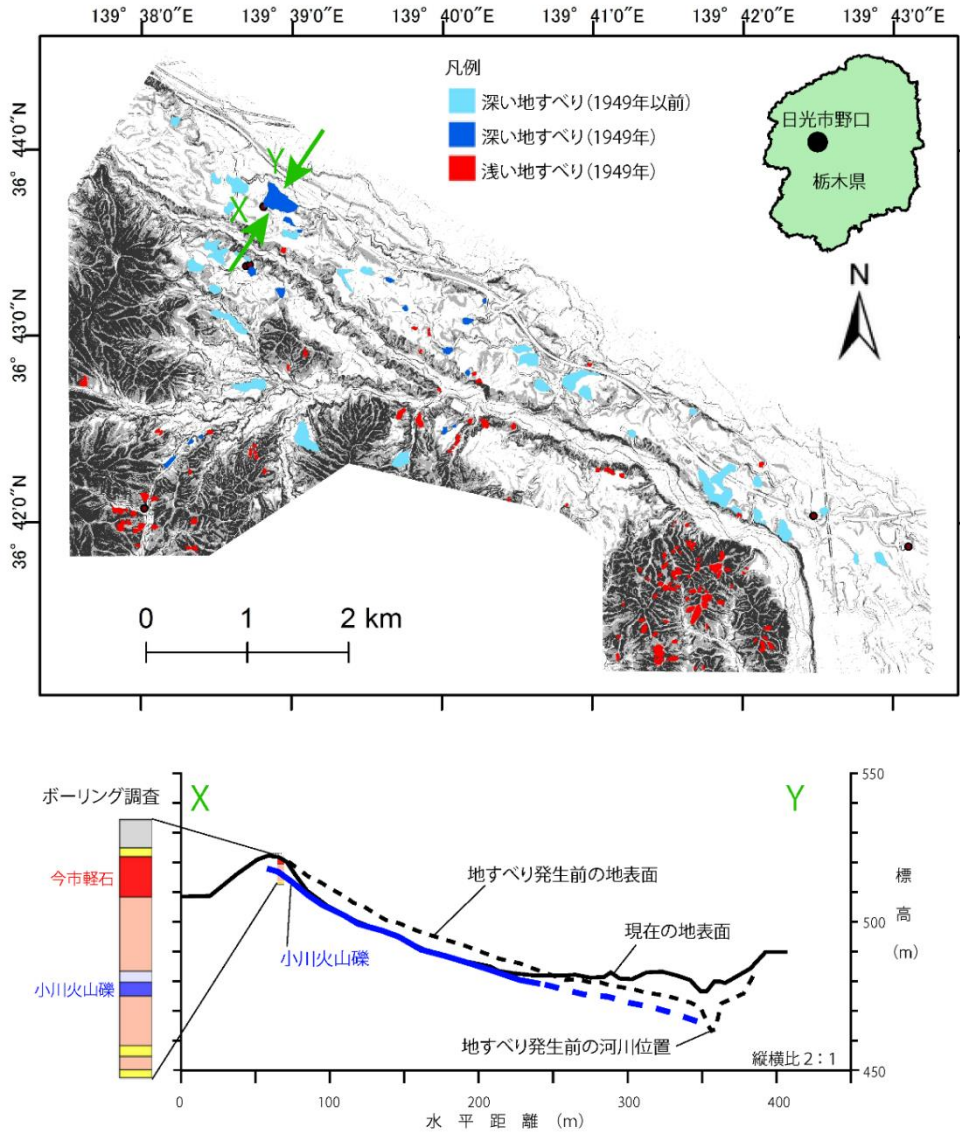


図12 今市地震（1949年）による地滑り

上図：1949年今市地震（M6.4）による降下火砕物の地滑りの分布。この地震が栃木県今市市（現日光市）で引き起こした多数の地滑りを明らかにするために、航空レーザー計測を実施した結果、緩斜面で16箇所、急斜面で141箇所の深い崩壊性地滑り、急斜面で141箇所の浅い崩壊性地滑りが発生したことがわかった。また、この地震以前にも40箇所の深い崩壊性地滑りがあったことが認められ、降下火砕物の地震時地滑りの危険性は容易には減少しないことがわかった。

下図：野口の地滑りの断面図。上図中の緑の矢印の間の地滑りの断面図を示す。緩斜面が滑り、下方の河川を閉塞し、現在でも残存する天然ダムを形成した。ボーリング調査の結果、滑り面は深さ約5mにある小川火山礫層にあることがわかった。リングせん断試験によると、小川火山礫層は容易に破碎・液状化しやすく、高速で流動的な崩壊性地滑りの原因となったことがわかった。

桜島噴火に伴う地上降灰量予測実験



2013年8月18日 16:32～17:12 積算値
 反射因子強度から求めた地上降灰量

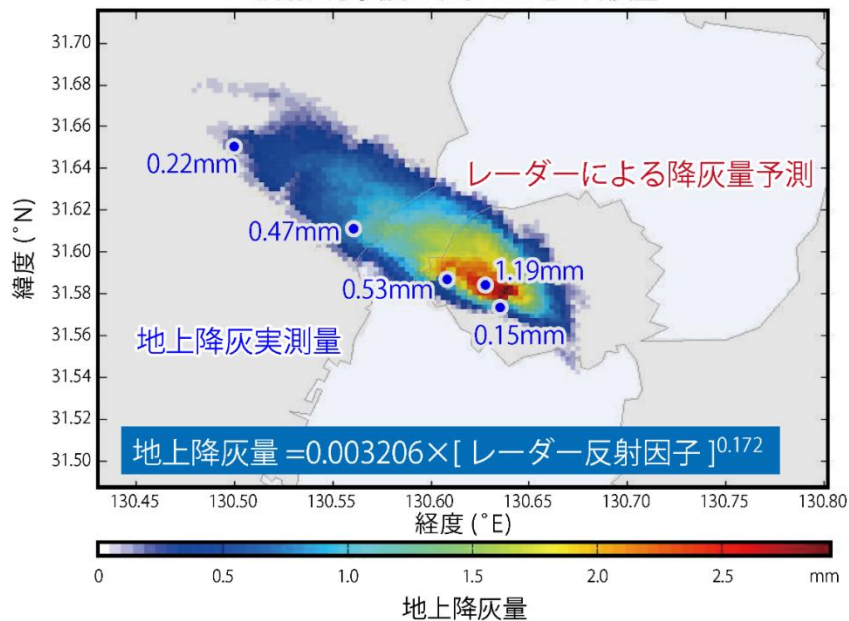


図 13 XバンドMP レーダーを用いた桜島噴火に伴う地上降灰量予測実験

桜島島内から鹿児島市内で降灰があった2013年8月18日に発生した爆発的噴火（噴煙高度5000m）のXバンドMPレーダー画像を解析し、レーダー反射因子時間積算と地上時間降灰量が関係式で表現できることを明らかにした。今後、事例を増やして関係式の高精度化を図ることにより、レーダー画像から高い空間密度で即時的に降灰量の予測を行うことが可能となる（写真提供：気象庁）。

釧路市における災害時避難の分析

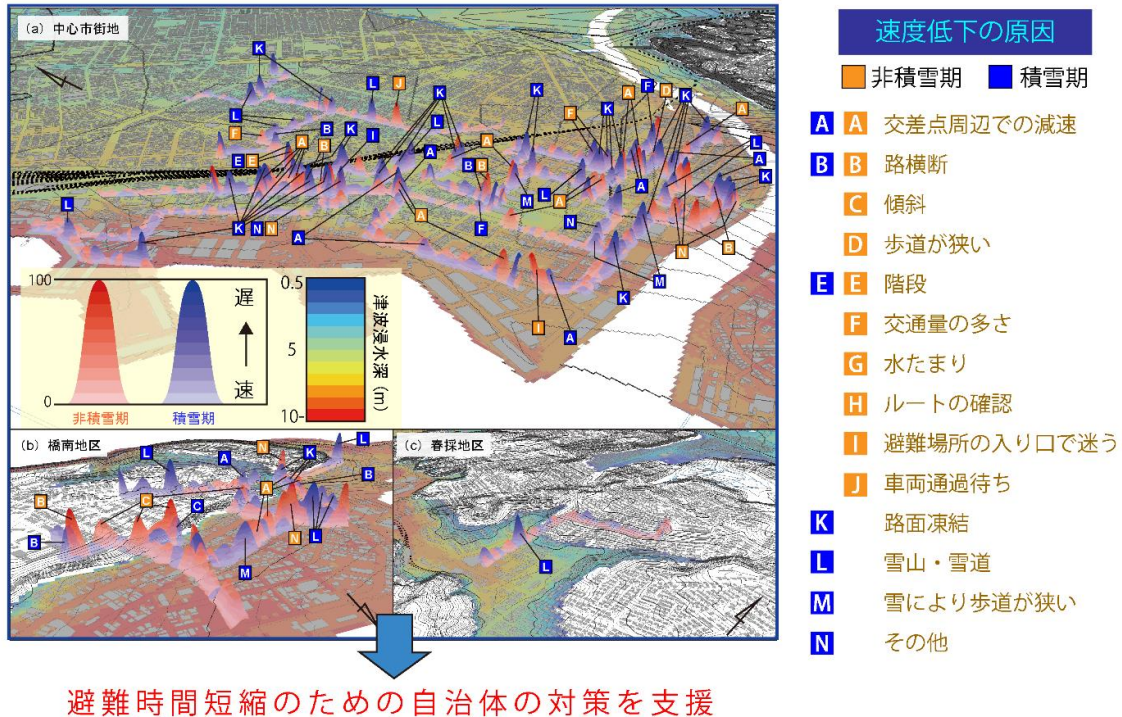


図 14 釧路市における災害時避難の分析

釧路市にて積雪期と非積雪期に津波からの避難経路に沿った避難訓練を実施し、その時の避難速度低下の場所とその原因を示す。GPS 追跡及び動画撮影によりその速度と速度低下の原因を調査する実験を実施した。積雪期（青）には非積雪期（赤）とは違った場所・原因（記号）による避難速度低下があることを示す。

東アジア地域の地震火山災害情報の整備

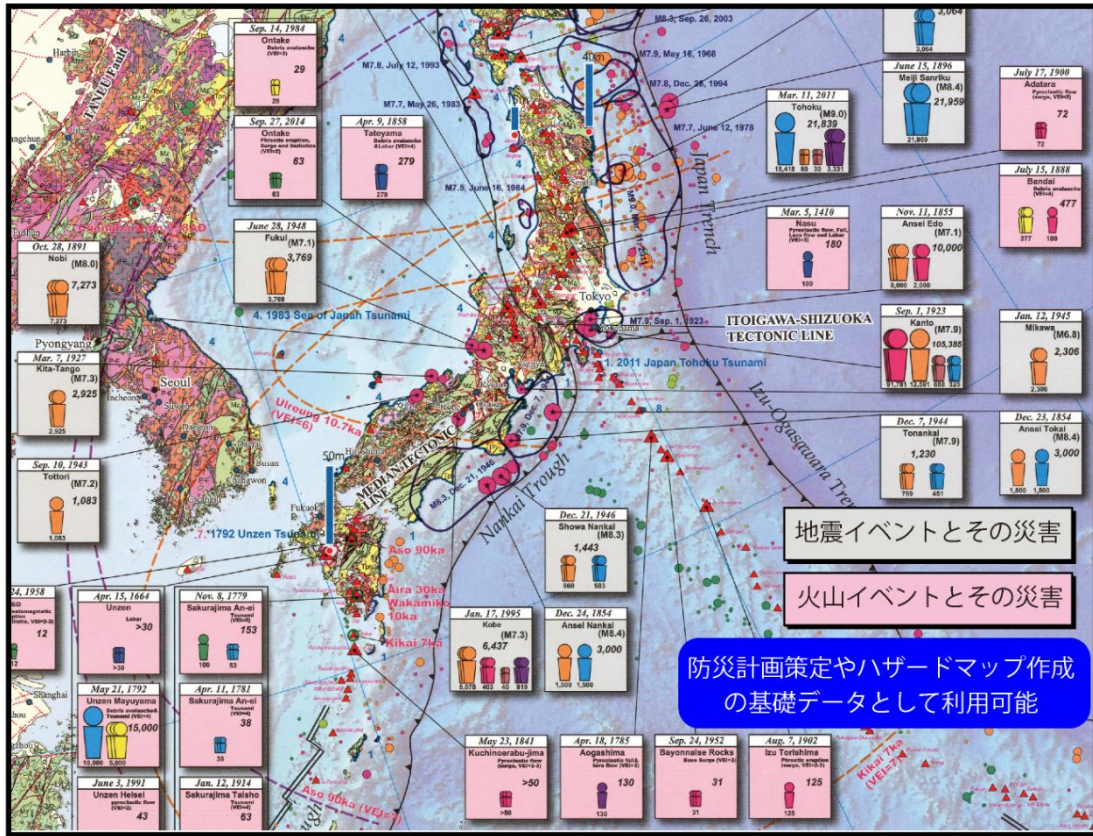


図 15 東アジア地域地震火山災害情報図の日本付近の拡大図

東アジア地域の地質、活断層、地震の震央と震源域の分布、主要地震の犠牲者とその要因、津波災害、火山の分布、カルデラ、降下火山灰と大規模火砕流、主要火山イベントの犠牲者と要因をまとめた。産業技術総合研究所のウェブサイトでは、図と説明書をダウンロードできる。

(<https://unit.aist.go.jp/ievg/press/20160520/index.html>)

海底間の測距観測

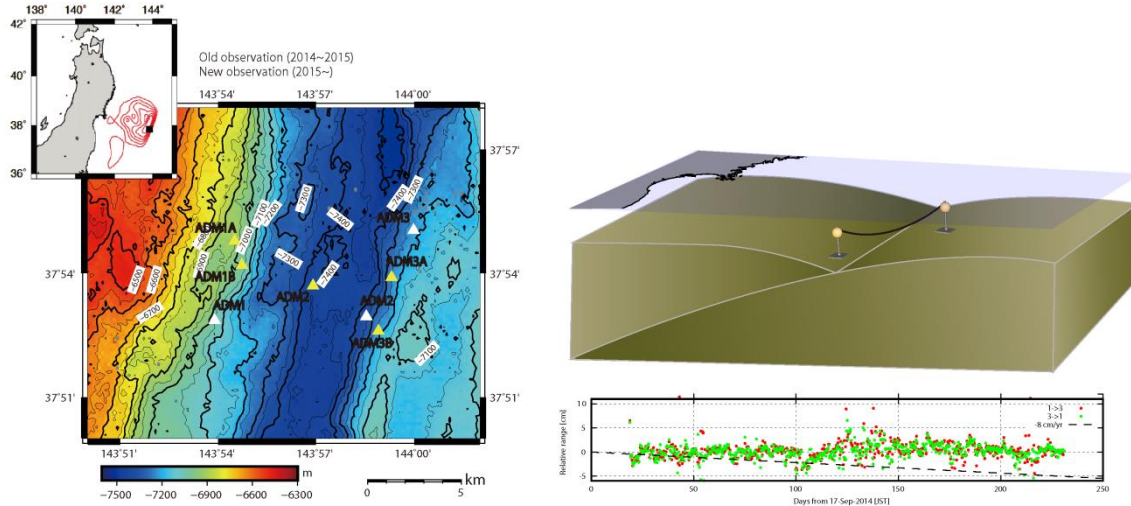


図 16 日本海溝軸を跨いだ基線上の海底間音響測距観測

東北地方太平洋沖地震で大きな滑りが生じた日本海溝付近で行った海底間音響測距観測の結果を示す。2014年9月から2015年にかけての約7ヶ月間にわたって、海溝軸の太平洋プレート側と日本列島側に置いた装置間の精密な距離を連続測定したところ、距離の変化はほとんど見られなかった。このことは、上記の期間、海溝近傍のプレート境界断層浅部に沿って顕著な滑りが生じていないことを示唆する。

用語解説

アクロス

アクロス (ACROSS) は、Accurately Controlled, Routinely Operated Signal System の略。日本語では「精密制御定常信号システム」と呼ばれる。アクロスには、地震波(弾性波)を用いたものと電磁波を用いたものがある。前者の弾性波アクロスは偏心した錘(おもり)を精密に回転させることで、数ヘルツから数十ヘルツの周波数の振動を発生させる。観測点では、長時間のデータを足し合わせることで、微弱な信号を検出する。この信号の伝わり方の時間変化を調べることで、プレート境界の状態や断層の状態を監視しようというもの。

アスペリティ

プレート境界や断層面の固着が特に大きい領域のこと。この領域が地震時に滑ると、滑り量が周りよりも大きくなり、大振幅の地震波を放出する。アスペリティがどのように連動して滑るかによって地震の大きさが変化する。いろいろな大きさのアスペリティが混在する場合には、それらの相互作用が地震サイクルに大きく影響すると考えられている。

アンサンブルカルマンフィルタ

シミュレーションモデルの変数やパラメータの確率分布の時間変化を観測データから近似的に推定する手法。逐次型データ同化手法の一つであり、非線形のシミュレーションモデルに対しても線形化を行うことなく適用できる。

異常震域

震度が地震の規模や震源直上からの距離(震央距離)に比して著しく高くなる地域。震源の深さが深い地震(深発地震)の際に出現することが多い。原因は主に海洋プレート内を伝わってくる地震波の減衰が小さいためと考えられている。

上盤

地殻内部にかかる力の状態は複雑で、その状況によって様々な型の断層運動が生じる。断層面が傾いている場合、断層面を挟んで浅い側を「上盤」、深い側を「下盤」と呼ぶ。断層面を境として両側の岩盤が上下方向に動くときを「縦ずれ断層」と呼び、このうち、上盤側がずり下がる場合を「正断層」、のし上がる場合は「逆断層」と呼ぶ。

液状化

地下水を含む地盤が地震動で揺すられることにより急激に流動化すること。

応力

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。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。3次元の物質中の応力状態は互いに直交する3つの軸方向の圧縮と引っ張りで表すことができるが、こ

の3つの軸を応力の主軸と呼ぶ。

応力テンソル逆解析

色々な方向を持つ複数の面上で滑りが発生すると考えたとき、実際に観測される複数の発震機構解をもっともよく説明できる広域応力を求める手法。

海洋性地殻

海洋性プレート上の地殻。海底面からモホ面までの厚さは約6～10kmで、大陸地殻に比べて薄い。

ガウジ

断層運動にともなう破碎によって生じた細粒・未固結の物質からなる層。

化学組成

ある物質を構成する元素や化合物などの化学成分が、それぞれどのくらいの比率で含まれているかを示したもの。

火砕流

噴火によって火口から噴出した高温の火山噴出物が、高温の火山ガスや取り込んだ空気とともに高速で火山体斜面を流下する現象。規模や状況によって、熱雲、軽石流（浮石流）、スコリア流、火山灰流などとも呼ばれる。

火山ガス

地下のマグマに溶けている揮発性成分が、圧力低下などにより発泡して地表に放出されたもの。火山ガスの主成分は水蒸気であり、その他に、二酸化炭素、二酸化硫黄、硫化水素、塩化水素、フッ化水素、水素などの成分が含まれる。

火山性地震

マグマの動きや熱水の活動等に関連して、火山体の中やその周辺で発生する地震。火山が噴火する際だけでなく、噴火していないときも発生する。

火山性微動

マグマや熱水の移動等に関連して発生する地面の連続した震動。火山性地震とは異なり震動が数十秒から数分、時には何時間も継続する。マグマ溜りや火道内でのマグマや火山ガスの振動、マグマが亀裂の中を移動する際に起こす振動等が原因と考えられている。

火山灰

火山の噴出物の一種で直径2mm以下の細かい破片のこと。

火山フロント

火山は、沈み込んだプレートの深さが 100～150km に達したところの直上の地表に、海溝軸にほぼ平行に分布する。この帯状の火山分布の、海溝に近い側の境界を結ぶライン。

活褶曲

第四紀後期（数十万年前～現在）に入ってから活動が続いている褶曲のこと。おもに活断層の活動に伴う。

活断層

地質時代でいう第四紀後期（数十万年前～現在）に繰り返し地震を発生させ、地表近傍まで食い違い変位を生じさせてきた断層。今後も同様の地震を発生させると考えられる。

火道

地下のマグマ溜まりから地表へ至るまでのマグマの上昇経路のこと。

カルデラ形成噴火

輪郭が円形またはそれに近い大きな陥没地を形成する噴火様式。

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の圧力。間隙流体圧ともいう。

干渉 SAR

SAR は Synthetic Aperture Radar（合成開口レーダー）の略。人工衛星や航空機などに搭載されたアンテナを移動させることにより、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。干渉 SAR (Interferometric SAR, InSAR) は、同じ場所を撮影した時期の異なる 2 回の画像の差をとる（干渉させる）ことにより地表面の変動を詳細に捉える手法である。

含水鉱物の脱水分解

水を結晶構造中に含む鉱物が温度・圧力の上昇により分解して鉱物内の水を解放する現象のこと。

岩石組織

岩石の構成鉱物の大きさ、形、かみ合わさりかた、配列のこと。

キネマティック GNSS 解析

GNSS (Global Navigation Satellite System / 全球測位衛星システム) は、GPS 等の衛星を用いた測位システムの総称で、GNSS 観測から観測点の時々刻々の位置を高精度に求める解析手法。

基盤層

地震動が地盤の影響を大きく受けない深さの層のこと。一般的に、これより上の堆積層では地震動が増幅される。

強震動

被害を及ぼすような強い地震動（揺れ）のこと。

距離減衰式

地震の揺れの強さと断層面からの距離との関係を式に表したもの。過去に発生した数多くの地震の観測データを統計的に処理して作成された経験的な式である。地震動予測式とも呼ばれる。

クラスター

一般には集団や群れのことであるが、ここでは地震がある特定の場所に数多く集まっている状態、またはそのような地震の集合体のことを意味する。

クラック

岩石中の裂け目，ひび割れのこと。

群発地震

本震や余震という区別がなく，ある期間に比較的狭い地域で集中的に発生する地震。

傾斜計

地表面の勾配の変化を測定する計器。

玄武岩

マグマが地表および地下の浅いところで冷却・固結して生じた，二酸化ケイ素の含有率が45～52重量%である火山岩。

広域応力場

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い，その広域的な特徴のこと。

構造パラメータ

地球内部構造を構成する物質のP波，S波速度や密度，減衰などの様々な物性値のこと。

散乱

波動や粒子線が物体や微粒子と衝突して色々な方向に広がっていく現象。地震学では，地震波が不均質な地下構造を伝わる際に，均質な構造の場合とは異なり，エネルギーの一部が色々な方向に広がっていく現象のことを指す。

自己浮上式海底水圧計

自己浮上式海底地震計と同様の機構により、一定期間の観測終了後に浮上させ、回収可能な水圧計のこと。オンラインではないが、沖合において津波や地殻変動の高精度な観測が可能である。

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、噴火の推移を示す系統樹。

地震・火山噴火予知研究協議会

地震及び火山噴火予知研究を行っている全国の大学、研究機関、行政機関等が、本計画で立案された研究を、連携と協力関係を強化して推進するために設置された組織。

地震性

地震波を出すような現象の性質。また、そのような現象を伴う滑りの事を「地震性滑り」という。

地震探査

火薬やパイプロサイスなどの人工震源を用いて地震波を発生させ、これをいろいろな地点で観測して、地震波の伝播速度や減衰などを調べることにより地下の構造を明らかにする手法。構造探査の手法のひとつ。

地震動の即時予測

地震の発生直後に、地震の揺れを感知した地震計のデータを用いて、まだ揺れの到達していない場所での地震動を可能な限り素早く予測する技術のこと。

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索することができる。

地震発生サイクル

地震発生後、断層面の強度が回復するとともに、プレート運動などによる広域応力により再びひずみエネルギーが蓄積され、次の地震が発生するまでの一連の過程。

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。

地震モーメント

地震の規模を表す最も基本的な量。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。

地滑り

斜面の一部あるいは全部が地下水等の影響と重力によって移動する現象。

準備過程

火山噴火は、火口から溶岩や火山ガスが急激に地表に放出される現象である。噴火に至るまでには、地下深部で発生したマグマが、長い時間をかけてマントルや地殻内を上昇し、地殻浅部にマグマ溜まりとして蓄積される。さらに、内部の圧力が高まる等の理由で、マグマが地表へ移動できる条件が整い噴火に至る。このような噴火に至る前の一連のプロセスを準備過程と呼ぶ。

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。

震源過程

地震は震源域において断層面が滑ることによって生じるが、この滑り過程のことを震源過程という。

震源断層モデル

断層面上における滑り量の分布や滑り方向を表すモデルのこと。

深発地震

地下深いところで発生する地震で、明確な定義はないが、およそ 200km 以深で発生する地震のことをいう。

深部低周波微動

深さ 30 km 程度の沈み込む海洋プレート周辺で発生する低周波（数 Hz）成分に富んだ波を放射する現象。

水蒸気噴火

マグマなどの熱によって火山体内部または地表付近の水が気化されて体積が膨張することで、水蒸気が急激に噴出する現象のこと。噴火口付近の岩石が砕け、火山岩塊や細粒火山灰が飛散する。

スケーリング関係

大きさを表す量の一つを与えれば、それ以外の大きさを表すパラメータも決めることができる関係性をもっていること。

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。

スメクタイト

膨潤性（水を含むことにより膨張しやすい性質）をもつ粘土鉱物の総称。

スラブ

海洋プレートがマントル中に沈み込んだ部分。

セグメント

断層で地震が起こる場合には、断層全体が一度に動くとは限らず、幾つかの区分に分かれた振る舞いをすることがある。このように、まとまった振る舞いをする区分をセグメントと呼び、それらの境界のことをセグメント境界という。

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。

全国地震カタログ

国内で発生した地震の発生時刻、場所および規模（マグニチュード）を記したリスト。

全磁力

ある場所における地球磁場の大きさ。磁場の観測量として、その長期的安定性が最も高い。磁気を帯びた鉱物の磁化（磁性の強さ）は、温度や応力によって変化するので、全磁力の変化は地下の温度、応力状態の変動を示唆する。

前震

本震の近傍で本震発生前に起きる地震のこと。

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。

ソーシャルキャピタル

人々の協調行動を活発にすることによって社会的信頼、規範、ネットワークといった社会組織の重要性を説く概念のこと。

速度応答

地表面の揺れによって、高層建造物等がどのように応じるかを揺れの速度で表したもの。

地殻変動

地震などの断層運動や火山活動などの地下の活動によって地表に生じた変位やひずみ、傾斜の変化。

地下構造モデル

地震波（P波、S波）速度や密度、減衰など構造パラメータの空間分布を記述したモデルのこと

地表地震断層

地震時に連続的に現れる地表のずれのこと。

チャート層

主に石英からなり、放散虫の化石を多く含むことが多い層のこと。

長周期地震動

規模の大きな地震が発生した場合に生じる、ゆっくりとした揺れのこと。高層ビルは固有周期が長く長周期地震動により影響を受けやすい。

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のこと。ゆっくり滑りや火山活動にともなって生じる。

津波浸水想定

津波があった場合に想定される浸水の区域及び水深。

津波生成磁場

津波により海水が大きく動き、電磁誘導によって海水中に電流が流れ、さらにその電流によって、二次的に生成される磁場のこと。

津波堆積物

津波によって運ばれた砂や礫などが堆積したもの。これを調べることにより、過去の津波の発生年代や浸水規模を推定することができる。

津波の即時予測

地震の発生直後に、沿岸部に到達する津波の高さを可能な限り素早く予測する技術。

デイサイト

→マグマ（珪長質マグマ）

データ同化

複雑な現象の高精度予測のために、数値シミュレーションの結果として得られる物理量が観測データをなるべく再現できるように、適切な初期値や境界値、各種パラメータを推定する手法。

電気伝導度

物質の電気の伝わりやすさを表す物性値。電気伝導率、導電率ともいう。

電磁気探査

電気伝導度など地下の電氣的性質を調査すること。その一つに MT 法などがある。地下構造探査の手法のひとつ。

電離層全電子数

電離層（圏）の電子密度の総数を表す量のこと。単位面積を持つ鉛直の仮想的な柱状領域内の電子の総数を表す。TEC（Total Electron Content）とも呼ばれる。

統計的モデル

過去の多数の観測データに基づき、ある現象の発生確率等を記述したモデルのこと。

トモグラフィ

多数の観測点の地震波形記録等から地下の 2 次元または 3 次元構造を推定する手法。地震波速度や減衰構造の推定によく用いられる。医学の分野において、X 線や超音波で体の 2 次元断面を求めるための手法が、地球物理学に応用されたもの。

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る手法。過去の断層運動の跡を調査する活断層や火山の噴火史を調査するために有力な方法。

内陸地震

陸側プレート内の地殻で発生する地震。

二軸せん断試験

岩石試料を二つ重ね合わせることで、その境界に模擬断層を作り、模擬断層上で地震現象の一つである固着滑りを発生させる試験。試料の境界面に対して垂直な力と平行な力を制御することから「二軸」と呼ばれる。

日本海溝海底地震津波観測網（S-net）

地震計と津波計が一体となった観測装置を光海底ケーブルで接続した観測網で、防災科学

技術研究所が東日本の太平洋沖合や日本海溝沿いの海底に設置したもの。24 時間連続で観測データをリアルタイムに取得できる。観測装置は 150 カ所、ケーブル総全長は約 5700km である。

熱水系

マグマから分離上昇した高温の火山ガスが地下で凝縮したり、地下水と接触したりして生じる熱水が分布する領域、移動経路などを指す。

背弧拡大域

大陸が伸張し、海洋底拡大が進行する領域のこと。日本海などがある。

発震機構解

地震波の放射パターンなどから求められる共役な二つの断層面の走向、傾斜、滑り角を指す。断層に働いていた力の方向を知る手がかりとなる。地震の発震機構解が断層型で表せるとき、その震源は大きさが等しくたがいに直交する圧縮力と伸張力の組み合わせによって表わせる。このうち圧縮力の方向を主圧力軸、伸張力の方向を主張力軸という。

ひずみ

岩盤（プレート）などが変形する際の、変形の大きさをひずみという。単位長さ当たりの変位で定義される。

非弾性変形

物体に外力が作用すると変形するが、外力を除去した場合に可逆的に原形に復帰する変形は弾性変形であるが、可逆的でない場合をいう。

比抵抗

単位断面積、単位長さ当たりの電気抵抗値。電気伝導度の逆数。

非定常地殻変動

プレート境界面での固着によって陸側プレートが引きずりこまれることによる定常的な地殻変動とは異なる地殻変動のこと。

表層地盤

地表面近くに堆積した地層のこと。

不均質地盤構造

基盤層以浅の物性定数が、空間的に均質でない状態（構造）。例えば、組成の違いや空隙率の分布状態、流体の含有などによって、物性定数が変化する。応力場も不均一になり、特定の場所に応力集中が生じる可能性がある。

プリニー式噴火

→噴火様式

ブルカノ式噴火

→噴火様式

プレート(境界)

地球表面は、地殻と十分に冷却して固くなっている最上部マントルとを合わせた、厚さ 100km 程度の複数の固い岩石の層で覆われている。この岩石層がプレートとよばれ、それらの境界がプレート境界である。プレート境界においてはしばしば大きな地震が発生する。

プレート固着

プレート境界面が密着し、ずれ運動がない状態のこと。

プロセスノイズ

モデルが不完全であったとしても、観測データをよりよく説明するように付け加える乱数のことをいう。

噴煙柱

火口から噴出した火砕物と火山ガスの混合物が、大気を取り込み浮力を得て、大気中を上昇するものを噴煙柱という。

噴火様式

噴火時にマグマが地表に噴出する場合、噴火の様子はマグマの性質や破碎の程度などによって異なり、いくつかのタイプに識別される。その異なる噴火の様子を噴火様式という。

・ストロンボリ式噴火

比較的粘性の低いマグマによる間欠的な小噴火。火口からは数分～数十分間隔でマグマのしぶき、半ば固結した溶岩片、火山弾などが吹き上げられる。

・ブルカノ式噴火

やや粘性の高いマグマによる爆発的な噴火で継続時間は短い。噴煙高度が 10km 近くに達することもある。爆発によって 1m 径の岩塊が数 km も飛ばされることがある。火山弾はパン皮状のものが多く、火口底にあった古い岩塊も放出される。火砕流も同時に発生することがある。桜島や浅間山などでしばしば発生する。

・プリニー式噴火

比較的粘性の高いマグマによる爆発的な噴火。一般的にブルカノ式噴火よりも規模が大きく、継続時間が長い。大量の軽石や火山灰が火口から空高く噴出され、噴煙柱を形成する。噴煙高度は 20km から 30km にまで達することがある。しばしば規模の大きい火砕流が発生する。やや規模の小さい噴火を準プリニー式噴火と呼ぶ。

噴出物層序

層序とは、地層の重なっている順序のこと。この場合は火山噴火による噴出物が地表に堆積し重なっている順序のことを指す。それを解析することにより、噴火の様式や規模の変化を明らかにすることができる。

ボーリング（コア）

ボーリング掘削により柱状試料を採取する手法で、トレンチ調査に比べ深い深度まで地質試料を入手することができ、より長い期間の地質現象を探ることが出来る。ボーリングにより採取されたサンプルのこと。

本震、余震

比較的大きな地震が発生すると、その近くで最初の地震より小さな地震が直後から続発する。この最初の大きな地震のことを本震、その後が続発する地震を余震という。

マグニチュード（M）

地震の規模の指標。

マグマ

岩石物質の高温溶融体。噴火によってマグマが地表に出たものを溶岩という。マグマが地殻内で結晶化したり、地殻物質を溶かしこんだりして、多様な組成のマグマができることを、マグマの分化という。それにより、二酸化ケイ素含有量の少ない組成のマグマから、より二酸化ケイ素含有量に富む組成のマグマが生成されていく。マグマの分化によって、一般に粘性が大きくなる。

マグマ貫入イベント

地下のマグマが岩盤に割れ目をつくりながら移動する現象を貫入と呼び、これによって群発地震や地殻変動が引き起こされる活動をマグマ貫入イベントと呼ぶ。

マグマ水蒸気噴火

水蒸気噴火とマグマ噴火の中間的な噴火で、噴出物中にマグマ物質が含まれるものをいう。

マグマ溜まり

火山活動の源であるマグマが蓄積されているところ。その存在位置、形状、内部構造、内容物の特性などの情報は、噴火現象の理解に欠かせないが、それらが明らかになっていない火山も多い。

マグマ噴火

噴出物のほとんどがマグマ物質からなる噴火のことで、ストロンブリー式噴火、プリニー式噴火、溶岩流の噴火などがこれにあたる。

摩擦構成則

岩石の破壊強度や断層面上の摩擦を滑り変位や滑り速度などの関数として記述したもの。

摩擦特性

速度依存性やすべり量依存性などの摩擦の性質。とくに、地震性滑りになりやすい摩擦の性質と非地震性滑りになりやすい摩擦の性質は重要。

摩擦実験

岩石などにずれ変形を与えて行う実験のこと。室内における地震の模擬的な実験として考えられている。

マントル対流

マントルを構成する物質（岩石）は固体であるが、温度が高いために流動する。マントル内に温度差があるため、マントルは長い時間をかけて、ゆっくりと対流運動を起こしていると考えられている。

モホ面

モホロビッチ不連続面の略称。地球の地殻とマントルとの境界であり、そこでは地震波速度が不連続となっている。

モーメントマグニチュード (Mw)

地震モーメントの大きさから一意に算出されるマグニチュード。比較的短い周期の地震波から簡便に決定できるマグニチュードは、大規模な地震でその値が飽和してしまうという問題があった。この問題を解消するために導入された。

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のひとつ。構造力学分野で発達し、他の分野でも広く使われている手法。

誘発地震

大地震の震源域から離れていても、大地震によって誘発されて発生する地震。

ゆっくり滑り

地震波を放射しない、断層面やプレート境界面でのゆっくりとした滑り。ここでは、継続時間が数か月以上のものを長期的ゆっくりすべり、それ以下のものを短期的ゆっくりすべりと呼ぶ。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

地震の後に震源域あるいはその周囲の断層面で発生するゆっくり滑り。

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。

余震

→本震，余震

ライダー

LIDAR (Light Detection and Ranging の略)。遠方の大気や物体にレーザー光を照射してその物理的な特性を計測する装置や技術。

リモートセンシング

遠隔観測手法の総称。様々な波長の電波や光を用いて、対象物の形状、温度、物質などを測定する。人工衛星や航空機から測定することによって広い範囲を迅速に測定できる。

レシーバ関数解析

一つの観測点において異なる成分で記録された地震波形を処理した関数。「レシーバ関数解析」とは、直達 P 波と Ps 変換波（境界面で P 波から S 波に変わる波）等の到達時刻差を用いて、波の変換が起こるような面（例えばプレート境界面）の深さを推定する手法。

3次元地下構造モデル

通常深さによって P 波・S 波速度等が変化する 1 次元構造モデルが用いられるが、水平方向にも 3 次元的に P 波・S 波速度等が変化するモデルのこと。

CSEP

Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability の略。客観的かつ透明性のある地震予測検証実験を実行できる研究基盤環境を作り、その過程において地震の予測可能性を探るための国際研究計画。

ETAS モデル

Epidemic Type Aftershock Sequence の略。すべての地震が余震を持つと考え、地震活動を数個のパラメータで定量化する統計的地震活動モデル。

GEONET

GNSS 連続観測システム (GNSS Earth Observation Network System) の略称で、国土地理院が運用している。日本全国約 1300 点の観測点（電子基準点等）とデータ管理・解析処理を行う GEONET 中央局からなり、地殻変動監視と測定の基準点の役割を持つ。

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によって精密に決定し，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。

ISC

International Seismological Centre。国際地震センター。所在地はイギリス。世界中の地震データ等を収集し，管理している組織。

P波

Primary wave（第一波）またはPressure wave（圧力波）の略。進行方向に平行に振動する弾性波。固体・液体・気体を伝わることができる。

S波

Secondary wave（第二波）またはShear wave（ねじれ波，たわみ波もしくはせん断波）の略。進行方向と直交に振動する弾性波。固体のみを伝わるすることができる。

VHF

30～300 MHzまでの周波数の電磁波のこと。VHFは，Very High Frequencyの略。

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よい観測が実現される。

I. 計画推進部会及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27年度の成果を計画推進部会及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¹⁾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²⁾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27年度の成果の概要」である。本編の「平成27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

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

部会長 松本聡(九州大学大学院理学研究院)

副部会長 高橋浩晃(北海道大学大学院理学研究院)

「火山」計画推進部会

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

部会長 中谷正生(東京大学地震研究所)

「地震動・津波等の事前予測・即時予測」計画推進部会

部会長 香川敬生(鳥取大学大学院工学研究科)

副部会長 関口春子(京都大学防災研究所)

「地震・火山災害」計画推進部会

部会長 林春男(防災科学技術研究所)

副部会長 木村玲欧(兵庫県立大学環境人間学部)

「史料・考古」計画推進部会

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

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)

「東北地方太平洋沖地震」総合研究グループ

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

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

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

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実施内容を、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。
 - 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 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、それらの発生予測やそれに伴う地震動、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。2011年東北地方太平洋沖地震(以下、東北沖地震)は、プレート境界が摩擦特性の固有な空間分布を有するという単純なアスペリティモデルの限界を露呈し、アスペリティの多様性、階層性、相互作用、摩擦特性の動的変化を考慮する必要性を示した。また、海溝軸近傍における滑りの挙動が沿岸地域を襲う津波災害を考える上で極めて重要であることも示した。それらを踏まえ、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。さらに、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きた。以下では、これらの項目において、平成27(2015)年度の成果の概略と今後の展望について述べる。

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

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

千島・日本海溝、相模トラフ、南海トラフ、琉球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、地形地質調査等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]、公募研究[課題番号:2933]、公募研究[課題番号:2934]、産業技術総合研究所[課題番号:5004])。

千島海溝沿いの巨大地震の震源域を把握するためには、北方四島での津波堆積物調査が重要である。ロシアの研究者と共同で、国後島の湿原における津波堆積物の調査が実施され、津波の痕跡と考えられる連続した薄い砂層として100m以上内陸まで追跡できるものが見つかった。これは、先史時代の津波のうち特に大きなものは地層に記録されている可能性が高いことを示す。また、北海道沖で発生した可能性が指摘されている1611年慶長三陸津波地震について、史料データに基づき解析を実施し、暫定的な震源モデルを明治三陸津波地震の震源モデルを参考にしながら推定した。その結果、慶長三陸津波地震は明治三陸津波地震よりも南側のプレート境界も破壊している可能性が高いことがわかった(北海道大学[課題番号:1002])。

陸水学的な調査手法により、巨大地震・津波の痕跡を調査する試みも行われている。北海道十勝地方の太平洋沿岸域には、砂州によって外海から閉塞された潟湖(せきこ)が存在し、大規模な津波が来襲した際に、砂州の破壊や湖への土砂流入が起きていたと推測される。潟湖の1つである生花苗沼の砂州中央で採取された14m長コアでは、7.2~7.4m深に逆級化層をもつレキ質の津波堆積物(C¹⁴年代は約4300年BP)が見出され、先行研究で指摘された津波堆積層に対応することがわかった(北海道大学[課題番号:2933])。

イ. プレート境界巨大地震

(東北沖)

東北地方太平洋沖地震の震源域その周辺では、海底や陸上における地震・地殻変動観測、海底掘削から得られた断層物質試料やプレート境界断層での温度・圧力条件などを模した摩擦実験により断層の摩擦特性が明らかになった。

東北地方太平洋沖地震発生後の平成23年3月から平成27年8月までのGPS音響結合方式による海底地殻変動観測結果（図1）によると、東北沖地震により24 m 東南東へ移動した「宮城沖1」海底基準点で62cm西北西に移動しているのをはじめとして、東北沖地震の震源域周辺では陸域のGNSS観測結果とは整合しない複雑な変動を示している。一方、「福島沖」や「銚子沖」など陸域と同様に東南東に向かって移動している観測点もある（海上保安庁〔課題番号：8001〕）。

東北地方太平洋沖地震断層掘削で得られた断層物質の超低速摩擦実験の結果、プレート運動（年間10cm程度）という超低速において、摩擦挙動が不安定滑りを起こしていることが測定された（海洋研究開発機構〔課題番号：4001〕, Ikari et al., 2015）。日本海溝に沈み込む太平洋プレート表層部の想定試料を粉碎したガウジ試料（チャート, 玄武岩, 半遠洋性粘土, 遠洋性粘土層）を使用して, IODP日本海溝緊急掘削により掘削されたプレート境界断層深度（海底下約820 m）の圧力・間隙水圧・温度条件における摩擦実験を行った。その結果, 遠洋性粘土層が摩擦強度が最も小さいため, プレート境界断層が形成されやすく, 地震発生に至るような断層運動は起こらないと考えられるが, チャート層や玄武岩層中に形成されたプレート境界断層は強度が大きく, 浅部でも地震発生に至るような断層運動が起こる可能性があることが示された（東京大学地震研究所〔課題番号：1503〕）。

（南海トラフ）

GPS音響結合方式による海底地殻変動観測から, 東北沖地震の地震時及び余効変動の影響を除去し, アムールプレートに対する変位速度を推定した（図2）。海底基準点は概ね北西方向に移動しており, フィリピン海プレートの沈み込み及び陸域のGEONET の観測結果と整合している。各点の移動速度は, 「東海沖1」や「足摺沖2」において大きな移動速度を示している一方, 「室戸沖2」や「日向灘2」においては小さな移動速度を示しており, プレート間カップリングが不均一であることが示唆された（海上保安庁〔課題番号：8001〕）。また, 熊野灘に設置した3つの観測点（KMN, KMC, KMS）においては, 1～3回の観測を行い, 合計の観測回数は, KMNが18回, KMCが9回, KMSが22回となった。どの観測点においても, 変位速度ベクトルはアムールプレートに対して西北西方向に年間3～4 cmである。南海トラフ軸近傍の観測点では, 黒潮による海中音速の傾斜構造が存在し, 海底局位置にバイアスが生じる。そのような場合でも逆問題を解いて海底局位置を求める際に, 走時の残差二乗和と推定音速変化率の滑らかさの重み付けに用いるハイパーパラメータの制約方法を新たに確立し, 傾斜構造を有する海域での海底地殻変動観測の高精度化の目処が付いた（名古屋大学〔課題番号：1703〕）。

浅部プレート境界断層（デコルマ）の発達過程において沈み込む堆積物の影響を解明するため, 海洋研究開発機構が取得した四国海盆マルチチャンネル反射法地震探査（MCS）データとIODP南海トラフ地震発生帯掘削計画の深海掘削データとの統合解析を行い, 沈み込む堆積層の3次元間隙率を求めた。3次元間隙率と岩相層序の解釈の結果, 四国海盆の合計7つの層準において間隙率の著しい変化が認められた（図3）。間隙率は概ね海底面から深度を増すにしたがい低下する傾向を示すが, 一部において間隙率の逆転を伴う間隙率異常域が見られ, この異常域は陸側に向かって発達する傾向を示す。また, 南海トラフに直交する測線に沿って四国海盆から南海トラフに近づくにしたがい間隙率が低下する傾向を示し, その傾向は南海トラフ近傍で特に顕著である。間隙率が陸側に向かって低下する要因としては, トラフの最上部に堆積するタービダイトの荷重効果により, 沈み込む四国海盆堆積層の脱水が進行し, 間隙率が低下することが考えられる。このような間隙率の低下により, 南海トラフ近傍においてデコルマの剪断強度が強くなっている可能性が高い（東京大学大気海洋研究所〔課題番号：2801〕）。

また, 摩擦構成則を用いた数値シミュレーションに基づき, 南海地震が日向灘の地震によって誘発されるシナリオを提案した（海洋研究開発機構〔課題番号：4002〕, Hyodo et al., 2016）。

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(プレート間相対運動)

南西諸島北部の内部変形を明らかにするため、島嶼部に独自に設置したGNSS観測点と国土地理院GEONETのデータから、南西諸島のプレート運動を求めた。観測点日座標値の時系列より、年周・半年周変化、東北沖地震の地震時変動、GEONET観測点のアンテナ交換による変動とともに各観測点の変位速度を最小二乗法により求めた。九州南部から八重山諸島までを一つのプレートした場合と渡瀬線と慶良間海裂を境として3つのプレートに分けた場合でオイラー極を求めて(図4)、AICを比較したところ、3つに分けた場合のAICが小さく、南西諸島は3プレートで構成されることが示された(鹿児島大学[課題番号:2301])。

また、相模トラフ沿いにおいて、GPS音響結合方式とGEONETから得られた東北沖地震以前の変位速度からは、相模トラフの南側の伊豆前弧にある海底基準点の動きは、フィリピン海プレートの動きとは有意に異なっており、背弧側リフトの影響を考慮したNishimura(2011)による伊豆前弧ブロックの動きと一致していることが確認された(海上保安庁[課題番号:8001], Watanabe et al., 2015)。

(プレート境界滑り現象を規定する構造的特徴)

西南日本下に沈み込むフィリピン海プレートの複雑な形状を把握するため、紀伊半島と中部地方南部において2007年8月から2015年3月までに発生したM3.5以上、深さ26~67 kmの地震54個を用いて、低速度の海洋性地殻に捕捉されたトラップ波を解析した。特に、愛知県直下で発生した地震に見られるトラップ波について琵琶湖周辺を通過する複数の波線を調べたところ、波線が南下するにつれてトラップ波が観測できる震央距離の範囲が短くなることがわかった(図5)。この結果は、沈み込む海洋性地殻と陸側の地殻が琵琶湖周辺で面的に接触しており、かつ琵琶湖下では南に向かうほどフィリピン海プレートの西方向への沈み込み角度が高角になることを意味する。波動伝播数値シミュレーションを行ったところ、琵琶湖周辺下のフィリピン海プレートの上面深度をHirose et al.(2008)よりも約1km深く設定した方がトラップ波が観測される震央距離の範囲をよく説明できることがわかった(名古屋大学[課題番号:1703])。

四国地域について、P波の地震波減衰構造の推定を行った。その結果、長期的ゆっくり滑りの上盤側の地殻内では、減衰が大きいことが示された。加えて、深部低周波微動活動のセグメント境界付近は、地震波減衰が大きく変化する領域と対応していることが明らかになった。さらに、地表の隆起量との比較を行うと、上盤側の減衰が大きな領域は、隆起量の大きな領域と一致し、地形形成、地殻の減衰構造、プレート境界における微動のセグメント形成が関連している可能性が示唆された(防災科学技術研究所[課題番号:4001])。

レシーバ関数解析やトモグラフィ解析のために、南九州、四国及び紀伊半島においてリニアアレイ観測を継続・拡充した。南九州の宮崎-阿久根測線と宮崎-桜島測線のレシーバ関数イメージに共通して見られる特徴としては、(1)島弧の大陸モホ面が、測線の中~西部では深さ30~35 kmに明瞭に見られるが、東部のウェッジ域では不明瞭になること、(2)深さ80~100kmまで明瞭に見られるスラブ内の海洋モホ面が、深さ60 km付近で折れ曲がること、の2つが挙げられる。(1)は、ウェッジ部がスラブ起源流体の影響で低速度化し、モホ面が高速度層上面ではなくなっているためと考えられる。このウェッジ部には流体が存在するか、強度の弱い蛇紋岩に変成していると考えられ、ここに接するプレート境界面は安定滑り域である可能性が高い。一方、(2)は脱水後の海洋地殻がbasaltのeclogite化により重くなったことを示している。また、宮崎-阿久根測線において、霧島山新燃岳直下の低周波地震発生域は強い低速度層となっており、火山活動に関係する流体の存在が示唆される(京都大学防災研究所[課題番号:1904])。

南海トラフ沿いに設置された地震・津波観測監視システム網(DONET)を用いて、観測網周辺の構造や地震活

動に関する調査研究が行われ、沈み込むプレートの厚さは約30 kmであることや、DONET設置域周辺の微小地震が3つのクラスターで構成され静穏化が進んでいることがわかった(海洋研究開発機構[課題番号:4002])。

(プレート境界浅部での滑り)

房総半島において、Out-of-Sequence Thrust (OST)を初めて確認した。断層ガウジに摩擦熔融組織が確認され、東北沖地震時のように海底表層付近まで地震破壊が伝播していたことが明らかになった(海洋研究開発機構[課題番号:4001])。

イ. 海洋プレート内部の地震

海洋プレート内部の温度は、鉍物の脱水反応などを支配し、プレート内の地震の発生と密接に関係していると考えられる。そのため、数値シミュレーションを用いて北海道・東北地方下の3次元温度構造を定量化した(図6)。3次元的なマントル対流を考慮してモデル推定した結果、東北地方の温度構造は、2次元モデルの結果と大差ないが、千島・日本海溝会合部の深部延長及び北海道ではスラブの斜め沈み込みによる3次元的なマントル対流の影響のために2次元モデルでは推定されない温度構造であることがわかった(東北大学[課題番号:1201], Wada et al., 2015)。

日高山脈西部の観測点で観測される後続波の観測走時を用いて、北海道東部下に沈み込む海洋性地殻の地震波速度を推定した。その結果、深さ50-100 kmのP波速度は6.5-7.5 km/s, S波速度は3.6-4.2 km/s, V_p/V_s は1.80程度であった。特に深さ80 km以浅では地殻を構成する含水鉍物から期待される値よりも遅いP波・S波速度が推定された。これらの速度低下は、地殻内部に含水鉍物とともに1vol%程度の流体の水が存在することで説明できる。また、深さ80-100 kmではP波・S波速度の増加が観測された。この深さ範囲では、地殻内の地震活動が活発であることから、これらの速度増加は含水鉍物の脱水を伴う相転移の進行とともに、脱水により生じた水が地殻内の地震発生に寄与していることを示唆している(東北大学[課題番号:1201])。

2011年東北沖地震の震源近傍のスラブ内部で2011年7月10日に発生した横ずれ型地震(M_w 7.0)について、震源域直上に設置された海底圧力計の記録を用いて震源断層モデルを推定した。その結果、共役な2枚の断層が同時に横ずれ破壊を起こしたと仮定しても観測波形を説明することが可能であり、このことから海溝軸陸側斜面下において東北沖地震に伴う応力の平衡域の深さの変化はさほど大きくないことが示唆される(東北大学[課題番号:1201], Kubota et al., 2015)。

(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

室内実験により断層物質の摩擦特性を解明することが重要である。

沈み込みプレート境界に多量に存在するスメクタイトと石英を様々な割合で混合した模擬物質を用いて、含水条件で変位速度 $30 \mu\text{m/s} \sim 1.3 \text{ m/s}$ の摩擦実験を行い、各変位速度におけるスメクタイト量比が摩擦挙動に与える影響を調べた結果、中速域($\sim 150 \mu\text{m/s}$)においてスメクタイトの量比を20%から50%に増やすと、定常摩擦係数 μ_{ss} が0.6から0.1へと徐々に減少することが明らかとなった(図7)。一方、高速域(1.3m/s)ではスメクタイトの量比にかかわらず μ_{ss} は0.2以下の小さな値を示した。この結果は、日本海溝ではスメクタイトが40%以上の遠洋性堆積物が沈み込むため、低速でも摩擦強度が小さく地震時に大きな応力降下をもたらさないのに対し、スメクタイトが40%未満と比較的少ない半遠洋性堆積物が沈み込む南海トラフでは、大きな応力降下が発生する可能性を示唆している(東京大学地震研究所[課題番号:1503], Oohashi et al., 2015)。

防災科学技術研究所が所有する大型振動台を利用した岩石の二軸摩擦実験を実施した。これまで使用して

きた変はんれい岩同士の実験に加え、大理石同士及び変はんれい岩と大理石とを組み合わせたバイマテリアルの摩擦実験を行い、摩擦滑りにともなって生じる条線の形状が岩石によって大きく異なることを確認した。また、大型二軸摩擦試験機で得られた定常滑りの摩擦特性と高速せん断摩擦試験機で得られた摩擦特性との間に違いが見られることについて、両試験機の実験における断層面の粗さや摩擦滑り時の垂直変位等に大きな違いがないことから、摩擦特性の違いは滑りにともなって断層面上で生成・成長する応力の空間的不均質に起因することを確認した（防災科学技術研究所 [課題番号：3001]，Yamashita et al., 2015）。

沈み込むプレート境界の起伏の影響が地震サイクルにどのように影響するのか、法線応力の変化を考慮した地震サイクルシミュレーションを行った。A-B<0となる円形速度弱化領域（アスペリティ）内に2種類の形状（球・台形モデル）で海山を模し、凸部境界での滑りに起因する法線応力変化を考慮した地震サイクルを実行した。境界に凸部を設けると法線応力が低下し、強度が下がって破壊しやすくなり、地震の繰り返し間隔が短くなることがわかった。海山のような凸部があると破壊のバリアになるという考えがあるが、凸部内部の浅部と深部で法線応力が逆の振る舞いを示し、単純ではない。よって、海山のような幾何学的形状だけでは必ずしもバリアにならず、海山がバリアになりうるとすれば、凸部が沈み込むことによる圧縮変形、及び海山による浮力や間隙流体圧の減少といった要因を考える必要があることがわかった（京都大学 [課題番号：1801]）。一方、東北沖地震の震源域を念頭に凸部のあるプレート境界モデルを設定し、Hok and Fukuyama (2011)の境界積分方程式法を用いた数値シミュレーションを実施した結果、2011年東北沖地震と同様に海溝付近における大きな滑りが再現された（防災科学技術研究所 [課題番号：3001]，Fukuyama and Hok, 2015）。

ゆっくり滑りや繰り返し地震、及び地震活動には卓越した活動周期が存在することが報告されており、地球・海洋潮汐などの周期的外力及び単独の繰り返し間隔を持つアスペリティの相互作用より生じる同期現象である可能性がある。そこで、最も単純な場合として、1自由度のバネ・スライダールからなる固着滑り振動子への周期的外力の応答を数値シミュレーションにより調べた。底面に速度状態依存摩擦則にしたがう摩擦力が働くブロックにバネを付けローディング速度 V_{pl} で引っ張る系に周期的外力（振幅E，周期 T_e ）が加わる状態を考える。外力がない場合の滑りの繰り返し間隔を T_0 （自然周期）とし、サイクル中の応力降下（6MPa）の1/10の振幅（E）の外力を加え、 T_e を変化させて、滑りの繰り返し間隔 T_c を調べた（図8）。 $T_c:T_e$ が $m:n$ （ m, n は互いに素の整数）となる場合には、系の周期がシフトして同期する現象（ $m:n$ 同期現象）が生じている。この同期はサイクル中の応力降下量の1/100の大きさの振幅（E）を持つ外力でも生じる。このことから、地球・海洋潮汐が引き起こす応力レベルは数kPa程度なので、数10～100kPa程度の応力変化を伴うゆっくり滑りでは同期現象が生じる可能性がある（京都大学 [課題番号：1801]）。

プレート境界型地震の発生数日前といった直前期間に大きな地殻変動が起こったと推察されるケースがあり、それがプレスリップによるなら、地殻変動のパターンから地震時滑り域の深部延長で起こったと推定される。プレスリップの挙動を詳しく調べるために、高時間分解能で準動的地震サイクルシミュレーションを行った。摩擦則としてはaging則を用い、モデルは傾斜角30度の2次元断層である。深さ20km以浅（便宜上、脆性域と呼ぶ）には一定の負のA-B値を設定し、地震の繰り返しが130年程度になるようにした。摩擦が速度弱化から速度強化に転じるカットオフ滑り速度 V_c の有無と臨界滑り距離 L を6mmと9mmの合計4つの場合を試した結果を図9に示す。プレスリップは、地震前1年間の滑りのうちプレート速度を超えた分として定義した。 V_c なし、 $L=6$ mm (case1)では、たしかに小さなプレスリップしか生じない（Kato and Hirasawa, 1999）が、 $L=9$ mmでは V_c なし (case3)でも20 kmくらいの範囲で平均1m近い相当大きなプレスリップが生じる（図12）。これはaging則での臨界核サイズの理論値（Ampuero and Rubin, 2008）と合致している。case3のプレスリップ域は、脆性域深部だけでなく遷移域浅部までも含むが、それでもプレスリップ主要部での平均サイズミックカップリング率 χ は7割近く、また、プレスリップのモーメント成長も、本震にむかって一本調子で加速する典型的な脆性破壊の様相を示している。一方、 $L=6$ mmで V_c を仮定したcase2のプレスリップ域は遷移領域内に限られ、

この部分の χ は0.17である。L=9mmで V_c のあるcase4では、遷移域と脆性域深部にまたがる、さらに大きなプレスリップが生じている。このケースでは2日前から17時間前までの間に大きなスローイベントが生じて、浅部での震源核形成を促進し、1日ほどで地震に至った。このようなプレスリップの挙動の違いが、臨界滑り距離によることの理由が判明せず、必然性のある現象なのかはわからないため、今後も引き続き研究を続ける予定である（東京大学地震研究所〔課題番号：1507〕）。

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生長期評価手法の高度化
- (2) モニタリングによる地震活動予測

ア. プレート境界滑りの時空間発展

（日本海溝・千島海溝）

北海道～関東地方の沖合のプレート境界断層の広い範囲で、周期的なゆっくり滑りが発生していることを相似地震及び地殻変動データから発見した（図10, 11）。このゆっくり滑りは、地域によって異なり、1～6年の発生間隔を持つ場所が多かった。また、その発生に同期してその地域でのM5以上の規模の大きな地震の活動が活発化しており、東北地方太平洋沖地震が発生した時期にも、三陸沖ではゆっくり滑りが発生していた（図11）。周期的なゆっくり滑りが発生しているときに大地震が起こりやすくなる傾向を活用すれば、それを地震・地殻変動観測で検知することによって、大地震発生時期の予測の高度化に貢献できる可能性がある（東京大学地震研究所〔課題番号：1510〕, Uchida et al., 2016）。

従来短期的ゆっくり滑りが検出されていない千島海溝沿いの沈み込みプレート境界での短期的ゆっくり滑りを対象として、GEONETのGNSSデータを用いた網羅的検出を行った。その結果、ゆっくり滑りと疑われるイベント数は約20年間で2回だけであり、その1つは2007年4月12日頃に発生した。この地域はGNSSによるプレート境界面上での滑りの検知能力が低いと考えられるが、M6程度の検知能力がある海岸線付近の領域では、短期的ゆっくり滑りの発生は珍しい現象であると考えられる（京都大学防災研究所〔課題番号：1910〕）。

東北地方太平洋沖地震の領域においても、超低周波地震が発生していることがこれまで防災科研の研究によって明らかにされていたが（Matsuzawa et al., 2015）、従来の解析期間に加えて2014～2015年について解析を行った。東北地方太平洋沖の超低周波地震活動は大きく分けて3つのクラスター状の領域で発生している。東北沖地震後、大滑り域における活動は引き続き検出されておらず、静穏化が継続している状況と見られる。一方で、福島・茨城県沖や岩手県沖では、超低周波地震の活動度は全体として徐々に減少しているものの、活動が活発化する時期と比較的低調な時期が見られる。東北地方太平洋沖地震後は、この活発化が顕著に見られるようになっており、ゆっくり滑りが発生している可能性を示唆する（防災科学技術研究所〔課題番号：3002〕）。

（南海トラフ）

豊後水道域から四国西部における過去の微動活動を調査したところ、微動域上端側の領域において、2003年及び2010年に発生した豊後水道長期的ゆっくり滑りに伴う微動活動の活発化が、非常にゆっくりした速度（約25km/年）で豊後水道から内陸方向に伝播したことが明らかになった。さらに、GNSSデータを解析したところ、1946年南海地震の破壊域と微動域とのギャップの領域で、2003年と2010年の豊後水道ゆっくり滑り以降の2～3年間に微小な長期的ゆっくり滑りが発生し、しかも上述の微動活動変化と同様に、ゆっくり滑りの滑り領域が西から東にゆっくり移動した（図12）。したがって、このゆっくり滑りがその深部側に位置する微動活動に影響を及ぼしたものと考えられる。ただし、これまで明らかになった2回の小規模ゆっくり滑りの時空間発展の様子は異なり、さらに1997年の豊後水道長期的ゆっくり滑りの後には同様の小規模ゆっくり滑り

が認められないことから、その発生様式は単純ではないことが明らかになった（東京大学地震研究所 [課題番号：1509], Takagi et al., 2016）。

GNSSデータにより観測されている東海地域、紀伊水道における非定常地殻変動について、時間依存インバージョンによる解析を行った。東海地方の浜名湖付近を中心として、2013年から2015年にかけて最大4 cm程度のプレート間滑りが発生していると推定された。紀伊水道では、2014年初頭からほぼ一定速度でプレート間滑りが発生していると推定された。解放されたモーメントは、 M_w 6.6に相当する（国土地理院 [課題番号：6003]）。

（日本列島及びその周辺）

日本列島及び世界で発生した小・中規模相似地震活動を用いて、その空間分布・時間変化の特徴及び、各プレート境界における滑りの特徴を調べた(図13)。その結果、スマトラ、日本、千島列島で発生したプレート境界型巨大地震発生後、その余震発生域では相似地震の再来間隔が短くなっており、余効滑りの発生が示唆された。一方、その影響がない地域・期間では、数年～十数年の再来間隔を持つ相似地震活動が見られた。多くの領域では、プレート間の相対速度と同じかより小さい滑り速度が推定された一方、背弧拡大域では、プレートの沈み込みから想定される速度よりも速い滑り速度が推定された。相似地震を広い領域で抽出し、活用することにより、世界各地のプレート間固着状態がモニタリング可能となることが期待される（東京大学地震研究所 [課題番号：1510]）。

（誘発微動）

西南日本の微動発生域において、これまで遠地地震表面波によって誘発された微動を調べたところ、誘発微動の発生回数は、自然発生的な微動活動に概ね比例することがわかった。また、沈み込みプレート境界以外の場所を含めて全国的に遠地地震による誘発微動の検索を行い、内陸活断層に対応する場所でも微動が検出された(図14)。これらの誘発微動の振幅は、遠地表面波による動的応力変化におおよそ比例する。プレート境界とそれ以外の領域を含めて同様の結果が得られたことは、プレート境界以外で検出された誘発微動の場所でも自然発生的な微動が起きている可能性を示すものである（東京大学地震研究所 [課題番号：1509], Chao and Obara, 2016）。

（断層滑りシミュレーションのデータ同化）

大地震の発生予測へとつながる地震サイクルシミュレーションを行うにあたっては、摩擦構成則中の摩擦パラメータをどのように設定するかが重要である。観測データから摩擦パラメータを推定するために、複数のデータ同化アルゴリズムを用い、設定された物理モデルに対する各アルゴリズムの特性や適用上の問題点を調査するとともに、その結果に基づいてアルゴリズムの改良が行われた。

速度状態依存摩擦法則に基づく断層滑りのシミュレーションにおいて、アジョイント法を用いて摩擦パラメータを推定する手法を、摩擦パラメータが空間的に不均質である場合にも適用可能な手法に拡張し、2003年十勝沖地震後にGNSSで推定された地震後15日間の余効滑り速度に適用した。はじめに、推定の対象となる余効滑り発生域を60-100 km四方程度の9つの領域に分割し、各小領域内では摩擦パラメータが一樣である断層モデル (coarse-mesh model) を仮定した。このモデルに開発した手法を適用したところ、空間分割の恣意性に伴う不自然な滑り速度分布が推定された。そこで、摩擦パラメータが一樣となる領域を30 km四方に分割した新たな断層モデル (fine-mesh model) を構築した。この領域サイズはGNSSデータに基づくプレート境界面の滑り速度の空間分解能と同程度と考えられる。新たな断層モデルに対して推定した摩擦パラメータの空間分布を図15に示す。さらに得られた、摩擦パラメータの空間分布を用いて、その後15日間の余効滑りの時

空間発展を予測した。予測された時空間発展を、実際に観測データから推定された滑り速度と比較すると、同化しない場合に比べて予測精度が向上し、fine-mesh modelを用いた場合の滑り速度の予測が、coarse-mesh modelを用いた場合に比べて大幅に改善されていることがわかった(京都大学[課題番号:1803], Kano et al., 2015)。

一方、摩擦パラメータと初期条件を同時推定する手法として、アンサンブルカルマンフィルタによる同化手法をゆっくり滑りに対して適用することを念頭においた数値実験を実施した。断層面に円形の条件付き不安定領域、遷移域、その外側を安定領域となるような摩擦特性と12.5 cm/年の沈み込みを与え、繰り返しゆっくり滑りが発生するようなモデルを設定して、数値実験を行った。まず観測値として断層面の滑り速度を用い、観測点が断層面に一様にあるとして実験を行った。摩擦パラメータは状態ベクトルに含め、ランダムウォークにしたがい確率論的に時間発展させた。データを同化して更新された状態から次の予測ステップに移る際の数値発散を避けるため、予測分布の平均からの距離によってシステムノイズの振幅を小さくするという工夫を行った。その結果、3回目のゆっくり滑りに摩擦パラメータが真の値に近づき、4回目のゆっくり滑り以降もイベント中は真の値に近い推定値が得られた。また、イベント発生中の滑り速度と状態変数も真の結果とよく一致した。その一方、イベント終了後は直後に摩擦パラメータAの分散がやや大きくなることも確認された。次に、地表面に、断層直上の範囲で観測点を配置し、そこでの変位速度を観測値として実験を行った。その結果、断層面の滑り速度を観測値としたときと同様の結果を得るためには8km×10 kmごとに合計100点で3回以上のゆっくり滑りを観測することが必要であることがわかった。この結果から、豊後水道で発生している長期的ゆっくり滑りに適用できる可能性が示唆された(京都大学[課題番号:1803])。

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

微小地震活動の時間変化をモニタリングし、巨大地震の発生を検知する手法の開発を目指し、ISCの地震カタログから1964年1月から2012年6月までに千島海溝沿いに発生した実体波マグニチュード5.0以上、深さ60 km以浅の地震を選択し、デクラスタリング処理した後、ZMAPで地震活動の長期変化を解析した。1963年択捉沖地震の震源域では、1964年以降3.8個/年のペースで地震が定常的に発生していたが、1998年5月から2007年2月までは地震がまったく発生しない状態が続いた。2007年2月以降は地震活動が徐々に回復しつつあるが、1998年以前のレートには戻っていない。地震活動がポアソン過程にしたがってランダムに変動していると仮定すると、このような静穏化が偶然発生する確率は、 10^{-9} 程度と非常に小さい。したがって、この静穏化は地震活動度の単なる揺らぎであるとは考えられないことがわかった(北海道大学[課題番号:1002])。

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

表層地盤の地震波の増幅特性を検討するために、地表と地下の両方に地震計が設置されているMeSO-netの3観測点における連続観測データの中から、いくつかの有感地震時のデータを選び、伝達関数を求めた。(東京大学地震研究所[課題番号:1514])。

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)

2014年から2015年にかけて、東北地方太平洋沖地震時の大滑り域付近の日本海溝において、海溝軸を跨ぐ形で210日間の海底間音響測距観測が行われた(図16)。10kmの基線(ADM1-3)では前年度の先行観測と同

様短縮は見られなかったが、7kmの基線(ADM1-2)に210日で2cm程度の「伸長」が見られる結果となった(図17)。また、新規に開発した機器を用いて、ほぼ同じ箇所で2015年9月より3回目の観測を再開した。収束境界であることから、実際に伸長していた可能性は低く、局所的な変形か音速補正精度の低下が原因と考えられ、プレート収束速度に見合う短縮は見られないという結論を得た。音響測距自体は、10 kmの超長基線でも、観測期間全体を通して安定して通信が行われ、機器の基本性能は十分期待するレベルに達したことを実証できた(東北大学[課題番号:1210])。

東北沖地震の津波により被災し、観測が中断していた三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システムの復旧の一環として、対象領域での観測継続のために、新規開発したケーブルシステム(図18)の敷設を実施し、データ伝送を開始した。新規に開発したケーブルシステムは、インターネット技術を用いた通信回線の冗長化による観測の信頼性の向上、最新半導体技術を用いた観測装置の小型化などが特徴である。今回設置した新規開発システムは、観測ノード3台が一本のケーブルで接続されており、ケーブルの一端を既設システムの陸上局に陸揚げした。海底ケーブルの全長は105 kmである。観測ノードは30kmまたは40kmの間隔に接続されている。観測ノード3台のうち、陸側に近い2台(YOB1, YOB2)は、地震計と水圧計を搭載しており、先端の1台は、地震計と拡張ポートを搭載している(YOB3)(東京大学地震研究所[課題番号:1521])。

(6) 国際共同研究・国際協力

2014年5月に日・NZ・米の共同研究により、ニュージーランド北島のGisborne沖合のヒ克蘭ギ沈み込み帯に海底観測機器を設置し、2015年6月に回収した。2014年9月から10月にかけて、これまでに観測されている中で2番目に大きい規模のゆっくり滑りが発生し、設置された海底観測網により、このゆっくり滑りの観測に成功した。速報的な解析によると、ゆっくり滑りの滑り領域はほぼ観測網の海側全域を覆うように発生しており、また一部、北東側に飛んだ場所で滑りが起こっている。この境界部分には、これまでに行われている人工震源地震波構造調査で、海山が沈み込んでいることが明らかとなっており、プレート境界の構造がゆっくり滑りにおけるプレート境界面上の滑り運動に影響を与えている可能性があることがわかった(東京大学地震研究所[課題番号:1524])。

インドネシア・フィリピン・チリ北部地域の地震を対象に実施しているSWIFT解析結果とそれに連動した津波自動予測結果のWeb公開に関して、チリ全域が対象領域に加わった(防災科学技術研究所[課題番号:3001])。

これまでの課題と今後の展望

本観測研究計画の2年目である平成27年度においては、東北沖地震が我々に突きつけた大きな課題のうち、プレート境界浅部の滑り特性に関して、海底観測の充実によりプレート境界浅部の滑りと固着について、多くの成果が得られた。GPS音響測距結合方式地殻変動観測からは、南海トラフ沿いのプレート間固着にかなりの不均質があることが示唆されており、沈み込む海山などの構造との関連性も指摘されている。また、プレート境界浅部における構造探査からこの地域の間隙率の推定が行われたり、海底掘削による断層物質を用いたり、プレート境界での温度・圧力条件を模した室内実験によってプレート境界浅部の摩擦特性が明らかになりつつある。DONETの完成や日本海溝海底地震津波観測網(S-net)の整備に加え、繰り返し観測型の地震計による地震観測や水圧計、GPS音響測距結合方式による海底地殻変動観測を今後も継続・増強することにより、海底観測のデータは飛躍的に増加し、プレート境界浅部の滑りに関して大きく理解が深まることが期待できる。

ゆっくり滑りや超低周波地震・微動などのスロー地震に関しても前年度に引き続き多くの成果が得られている。日本海溝・千島海溝沿いにおいては、ゆっくり滑りが周期的に発生していることが示され、プレート境界の固着が周期的な揺らいでいることがわかった。摩擦構成則を用いた数値シミュレーション

ンやデータ同化においても、実際の余効滑りやゆっくり滑りを対象にした研究や周期的な外力を与えた研究が成果を挙げており、今後も実際の現象を説明し、予測していくために、さらなる研究をすすめる必要がある。

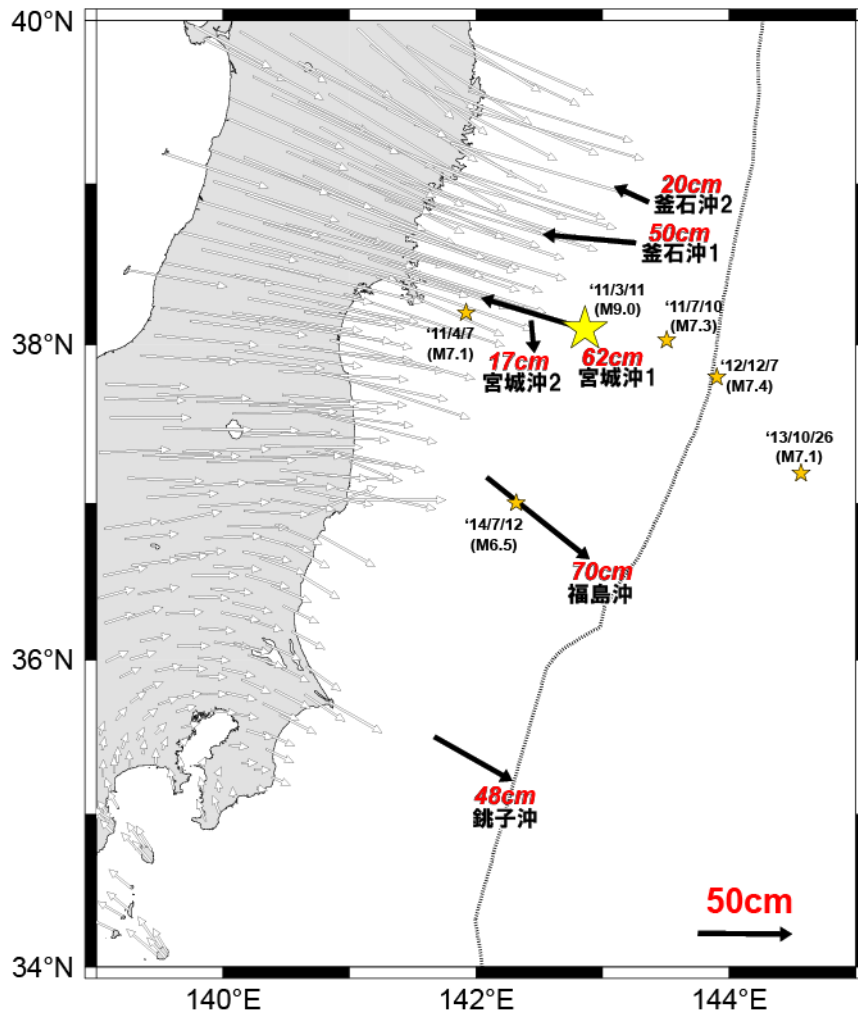
本計画は、地震現象の理解や発生予測にとどまらず、災害誘因の予測研究につなげることを目的としている。本部会を構成している課題だけでは十分に災害誘因の研究を行うことは難しいが、分野横断型のグループである東北沖地震や南海トラフ巨大地震の総合研究グループとの連携を促進するとともに、地震動・津波等の事前予測・即時予測部会や地震・火山災害部会との交流も深めて、災害軽減のために必要な本部会としての成果を整理していくことが今後必要になると思われる。

南海トラフ沿いにおいては、現在、東海地方、紀伊水道での長期的ゆっくり滑りに加えて、2015年12月より豊後水道においても長期的ゆっくり滑りが開始したことがGNSSデータにより示されている。このようなゆっくり滑りと大地震の関係性についてはシミュレーションや摩擦実験を通じた研究が進められており、必ずしも単純な関係は得られていないが、大地震の発生にも何らかの影響を与えることは否定できない。例えば、今年度の成果として日向灘の地震が南海トラフ地震の発生を促進し西側から破壊が伝播するシナリオが提案されているが、現状のモニタリング状況を反映した多様なシナリオを想定しておくことは、大地震が発生した場合の推移予測や災害軽減に有効であり、今後部会でも進めていきたい。

成果リスト

- Chao, K. and K. Obara, 2016, Triggered tectonic tremor in various types of fault systems of Japan following the 2012 Mw8.6 Sumatra earthquake, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, doi:10.1002/2015JB012566.
- Fukuyama, E. and Hok, S., 2015, Dynamic overshoot near trench caused by large asperity break at depth, *Pure Appl. Geophys.*, 172, 2157–2165.
- Hyodo, M., T. Hori and Y. Kaneda, 2016, A possible scenario for earlier occurrence of the next Nankai earthquake due to triggering by an earthquake at Hyuga-nada, off southwest Japan, *Earth Planets Space*, 68(1), 1–17.
- Ikari, M. J., Y. Ito, K. Ujiie, and A. J. Kopf, 2015, Spectrum of slip behaviour in Tohoku fault zone samples at plate tectonic slip rates, *Nature Geoscience*, 8, 870–874, doi:10.1038/ngeo2547.
- Kano, M., S. Miyazaki, Y. Ishikawa, Y. Hiyoshi, K. Ito, and K. Hirahara, 2015, Real data assimilation for optimization of frictional parameters and prediction of afterslip in the 2003 Tokachi-oki earthquake inferred from slip velocity by an adjoint method, *Geophys. J. Int.*, 203, 646–663, doi:10.1093/gji/ggv289.
- Kubota, T., R. Hino, D. Inazu, Y. Ito, and T. Iinuma, 2015, Complicated rupture process of the Mw 7.0 intraslab strike-slip earthquake in the Tohoku region on 10 July 2011 revealed by near-field pressure records, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 9733–9739, doi: 10.1002/2015GL066101.
- Matsuzawa, T., Y. Asano, and K. Obara, 2015, Very low frequency earthquakes off the Pacific coast of Tohoku, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 4318–4325, doi:10.1002/2015GL063959.
- Oohashi, K., T. Hirose, M. Takahashi, and W. Tanikawa, 2015, Dynamic weakening of smectite-bearing faults at intermediate velocities: Implications for subduction zone

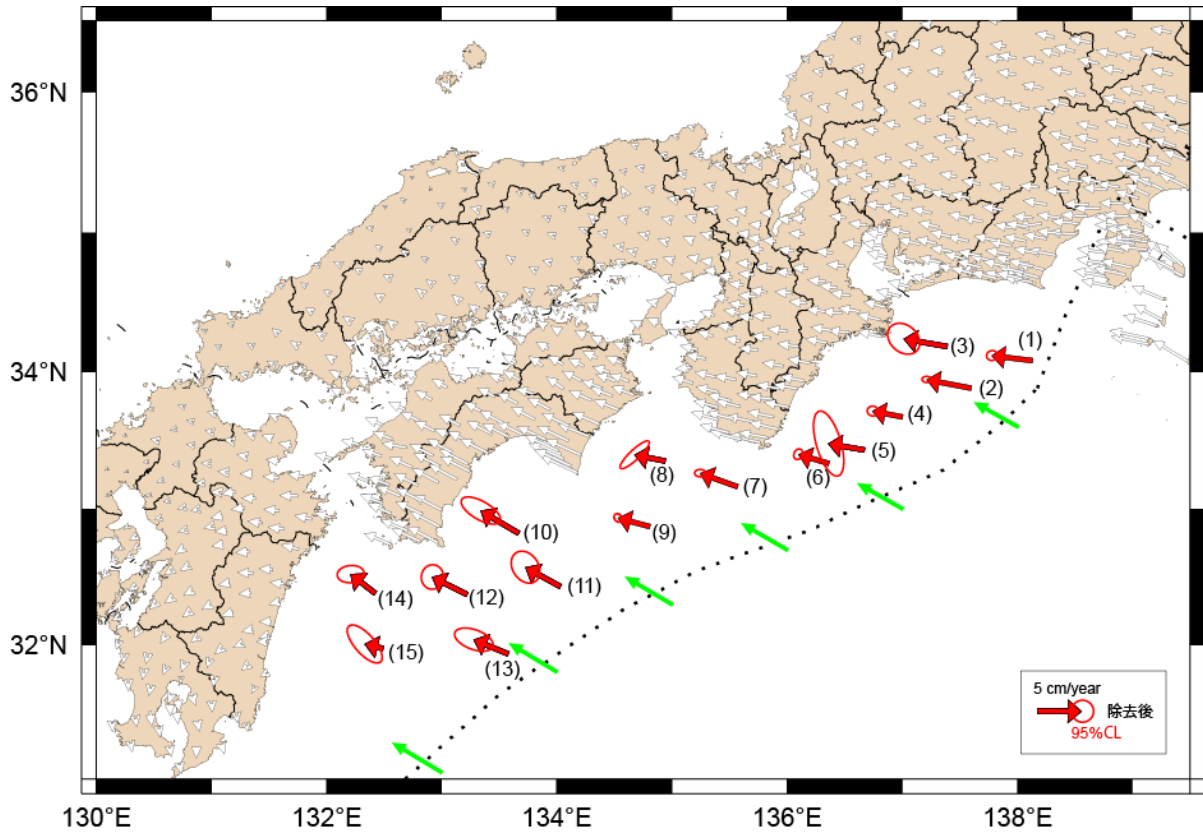
- earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 120, 1572–1586.
- Takagi, R., K. Obara, and T. Maeda, 2016, Slow slip event within a gap between tremor and locked zones in the Nankai subduction zone, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2015GL066987.
- Uchida, N., T. Iinuma, R. M. Nadeau, R. Bürgmann, and R. Hino, 2016, Periodic slow slip triggers megathrust zone earthquakes in northeastern Japan, *Science*, 351(6272), 488–492, doi:10.1126/science.aad3108.
- Yamashita, F., Fukuyama, E. and Mizoguchi, K., Takizawa, S., Xu, S., Kawakata, H., 2015, Scale dependence of rock friction at high work rate, *Nature*, 254, 257–528.
- Yokota, Y., T. Ishikawa, M. Sato, S. Watanabe, H. Saito, N. Ujihara, Y. Matsumoto, S. Toyama, M. Fujita, T. Yabuki, M. Mochizuki and A. Asada, 2015, Heterogeneous interplate coupling along the Nankai Trough, Japan, detected by GPS-acoustic seafloor geodetic observation, *Progress Earth Planet. Sci.*, 2, doi:10.1186/s40645-015-0040-y.
- Wada, I., J. He, A. Hasegawa, and J. Nakajima, 2015, Mantle wedge flow pattern and thermal structure in northeast Japan: Effects of oblique subduction and 3-D slab geometry, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 426, 76–88.
- Watanabe, S., T. Ishikawa and Y. Yokota, 2015, Non-volcanic crustal movements of the northernmost Philippine Sea plate detected by the GPS-acoustic seafloor positioning, *Earth Planets Space*, 67, 184, doi:10.1186/s40623-015-0352-6.



観測点	KAMN	KAMS	MYGI	MYGW	FUKU	CHOS	電子基準点
基準エポック	2011/4/3	2011/4/5	2011/3/28	2011/3/27	2011/3/29	2011/4/18	2011/3/29-4/4
比較エポック	2015/8/5	2015/8/4	2015/8/12	2015/8/9	2015/8/3	2015/8/15	2015/8/8-8/14
水平変位量	20cm	50cm	62cm	17cm	70cm	48cm	

図1. 東北地方太平洋沖地震後の累積変位分布（海上保安庁〔課題番号：8001〕）

黒と白の矢印は、海底基準点と国土地理院の電子基準点における累積変位ベクトルを示す。星は、東北地方太平洋沖地震及び海底基準点において1cm以上の変動が推定される余震を示す。



観測点	(1) TOK1	(2) TOK2	(3) TOK3	(4) KUM1	(5) KUM2	(6) KUM3	(7) SIOW
速度 (cm/year)	4.7	5.2	5.1	3.5	4.2	3.7	4.6
角度	N277.2°E	N281.1°E	N280.2°E	N281.2°E	N280.2°E	N286.8°E	N290.1°E

(8) MRT1	(9) MRT2	(10) TOS1	(11) TOS2	(12) ASZ1	(13) ASZ2	(14) HYG1	(15) HYG2
3.6	3.8	5.1	4.6	4.5	4.3	3.6	2.2
N281.6°E	N285.2°E	N301.0°E	N299.2°E	N296.8°E	N292.7°E	N308.1°E	N283.6°E

図2. 西南日本の年平均変位速度分布 (海上保安庁 [課題番号: 8001])

赤の矢印は, Iinuma et al. (2012) 及び Sun and Wang (2015) のモデルを用いて東北地方太平洋沖地震の影響を補正した海底基準点の移動速度, 白の矢印は2006年3月から2011年2月までの期間における国土地理院の電子基準点の変位速度, 緑の矢印はフィリピン海プレートのアムールプレートへの沈み込み速度 (MORVEL) を示す。楕円は, 95%信頼区間を示す。

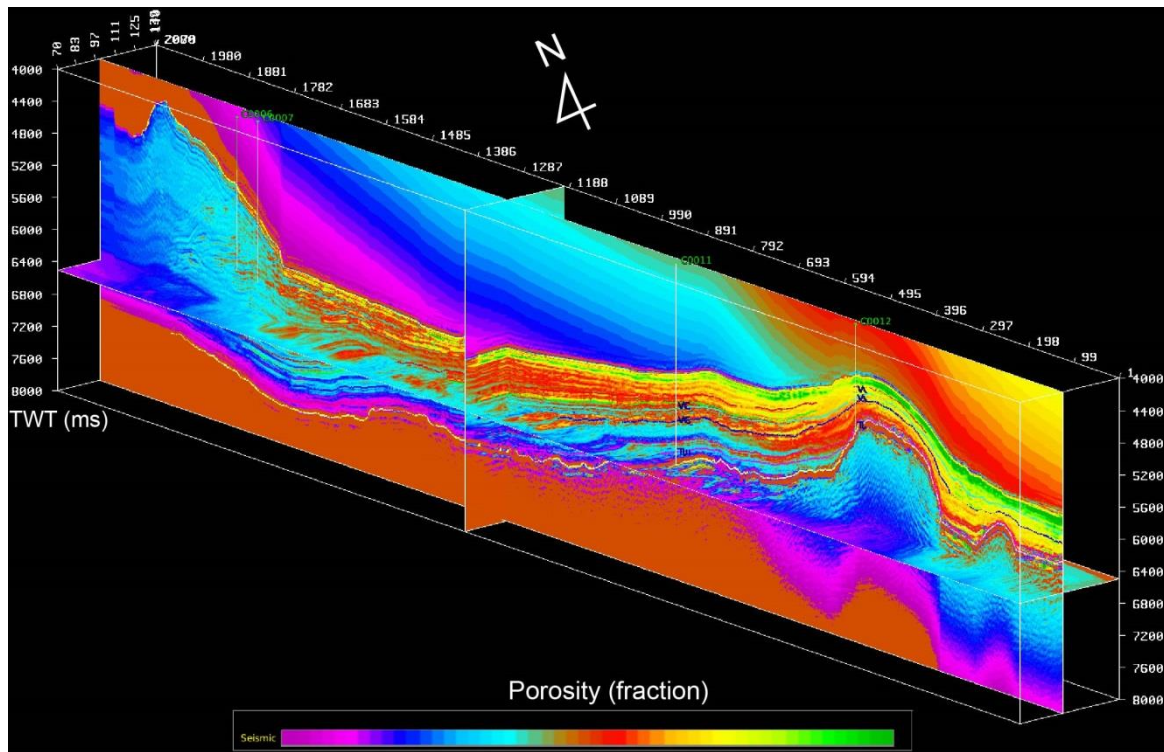


図3. 熊野冲南海トラフと四国海盆の3次元間隙率（東京大学大気海洋研究所 [課題番号：2801]） 陸側斜面から南海トラフを横断し、四国海盆にかけての断面を示す。

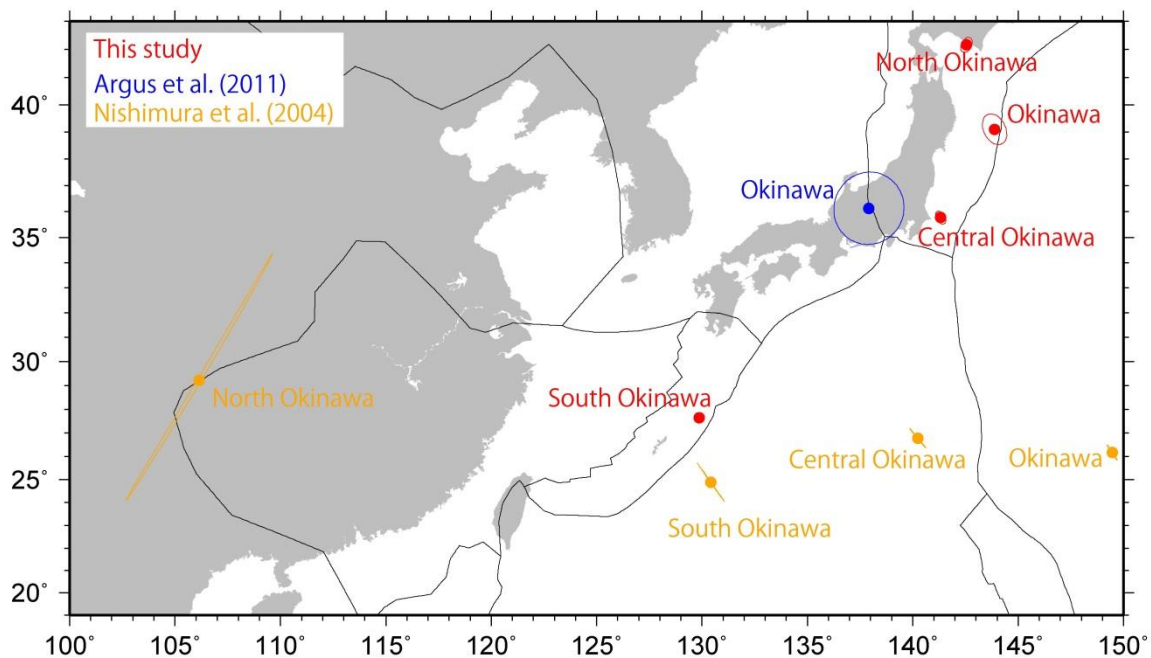


図4. 南西諸島がある沖縄プレートのオイラー極の推定結果（鹿児島大学 [課題番号：2301]） 赤が本研究の成果で誤差楕円は95%信頼区間を表す。青がArgus et al. (2011), 黄色がNishimura et al. (2004) による位置。沖縄プレートを渡瀬線、慶良間海裂により北部(north), 中部(central), 南部(south)の3つに分け、それぞれのオイラー極を推定した。3つが同一プレートとしたときのオイラー極の位置は”Okinawa”とした。

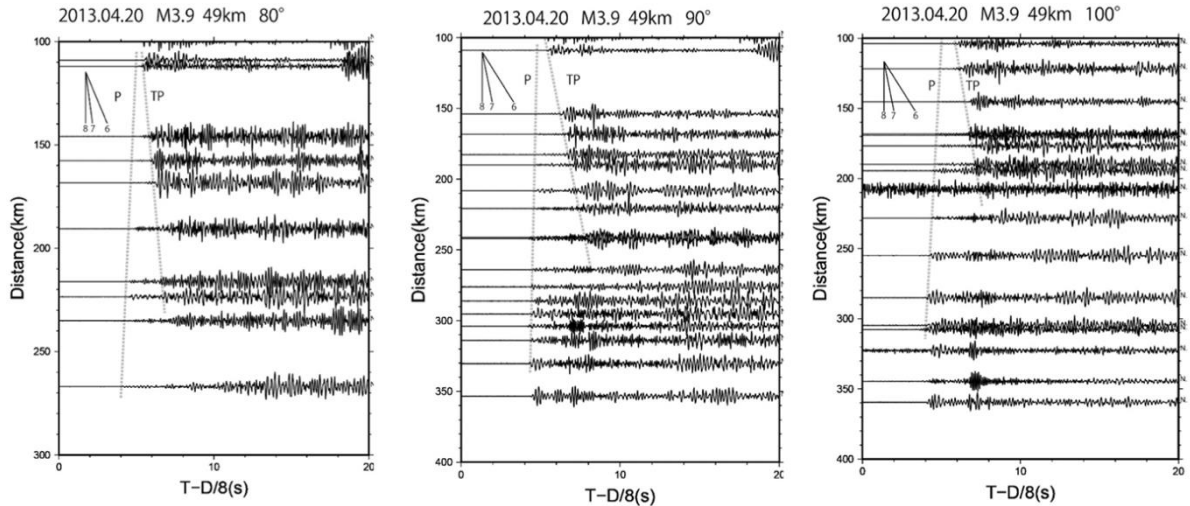


図5. 2013年4月20日に愛知県下49 kmで発生したM3.9の地震のペーストアップ (名古屋大学 [課題番号: 1703])

左からN80°W, N90°W, N100°W方向。TPで示したトラップ波が観測できる震央距離の範囲が角度と共に短くなっている。

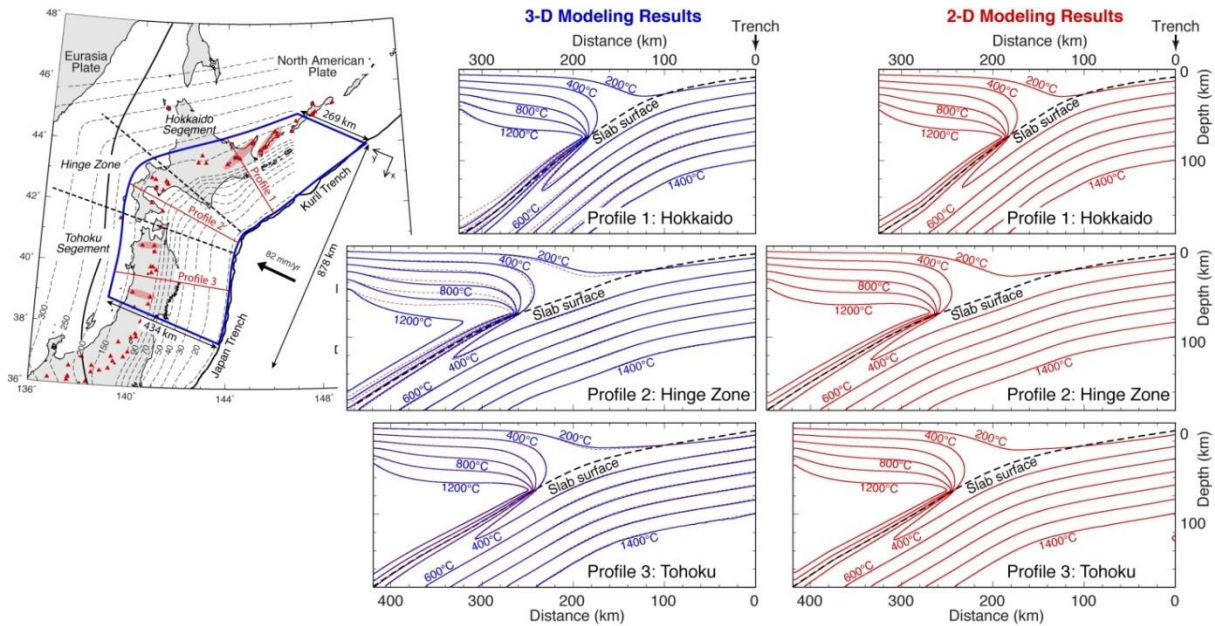


図6. 東北～北海道下の温度構造シミュレーション (東北大学 [課題番号: 1201] , Wada et al., 2015)

左: モデル領域 (青枠内) 及び、右図の温度構造鉛直断面の位置 (赤線)。右: 北海道下, 千島-日本海溝会合部深部延長, 東北地方下の温度構造。青いコンターは3次元マントル対流を考慮したモデル。赤いコンター (実線及び点線) はマントル対流を考慮しないモデル。

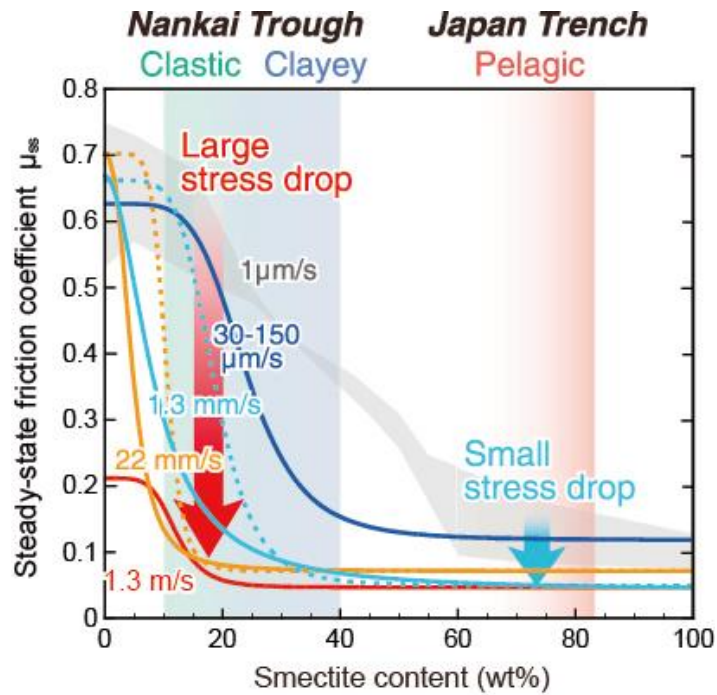


図7. 様々な変位速度におけるスメクタイト含有量と定常摩擦係数 μ_{ss} の関係（東京大学地震研究所 [課題番号: 1503], Oohashi et al., 2015)

日本海溝にはスメクタイトに富む遠洋性堆積物が沈み込み、南海トラフにはスメクタイト量比が少ない半遠洋性堆積物が沈み込む。実験データは、地震時の応力降下が日本海溝では比較的小さく、南海トラフでは大きくなることを示唆している。

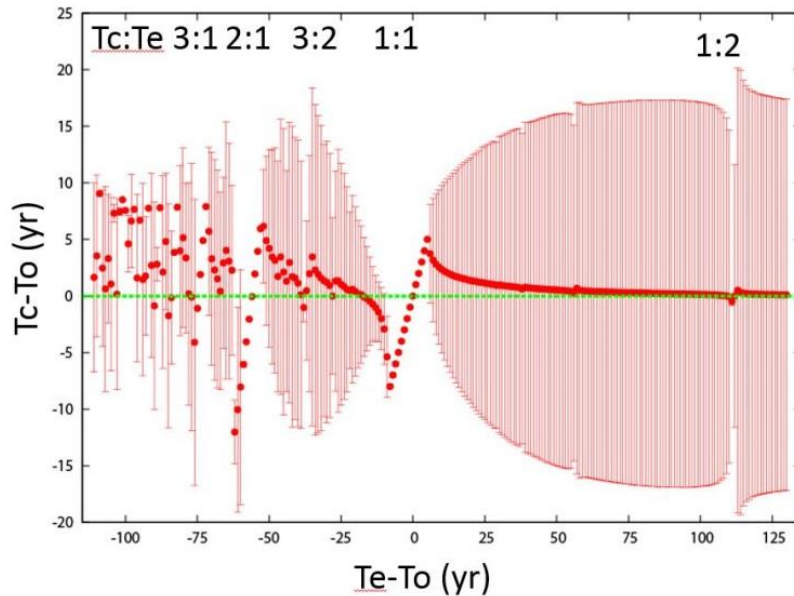


図8. 自然周期 T_0 (=112年)となる固着滑り振動子に周期 (T_e) を持つ外力を加えた時の繰り返し間隔 (T_c) の平均と標準偏差（京都大学 [課題番号: 1801])

誤差バーは T_c の標準偏差を表し、標準偏差が0となる T_c は $T_c:T_e=m:n$ となる $m:n$ 同期を示す。

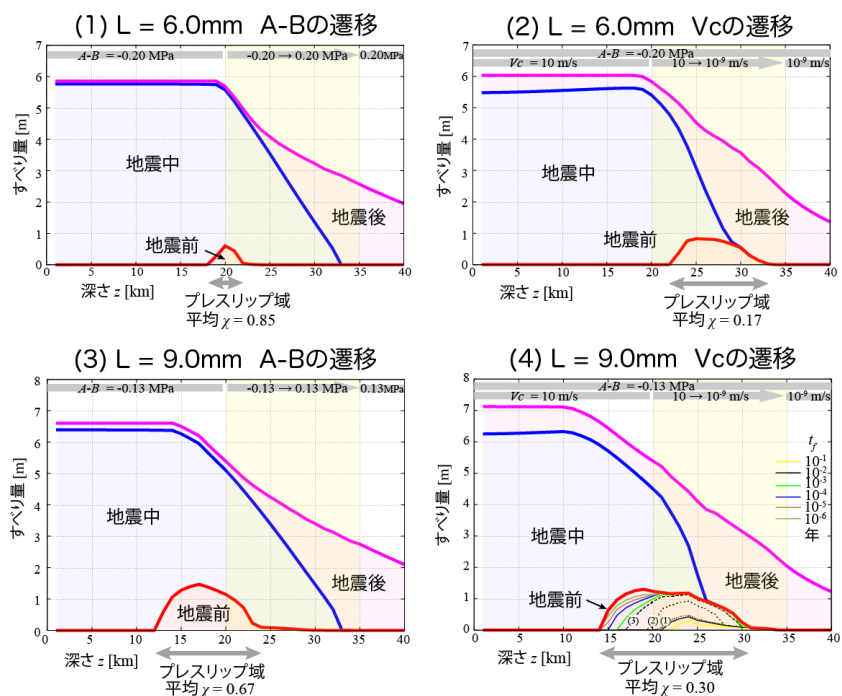


図9. 地震サイクルシミュレーションにおける地震発生1年前から5年後までの積算滑り量(東京大学地震研究所[課題番号: 1507])

(1)と(3)はカットオフ滑り速度 V_c を導入した場合, (2)と(4)は導入しない場合. 0.1 m/s 以上で滑っている場所がある期間を地震とする. 地震発生前1年間にすべった部分(プレスリップ)を「地震前」, 地震中の滑り部分を「地震中」, 地震後5年間の滑り部分を「地震後」とした. また, 各プレスリップ域の地震カップリング率 χ を記した.

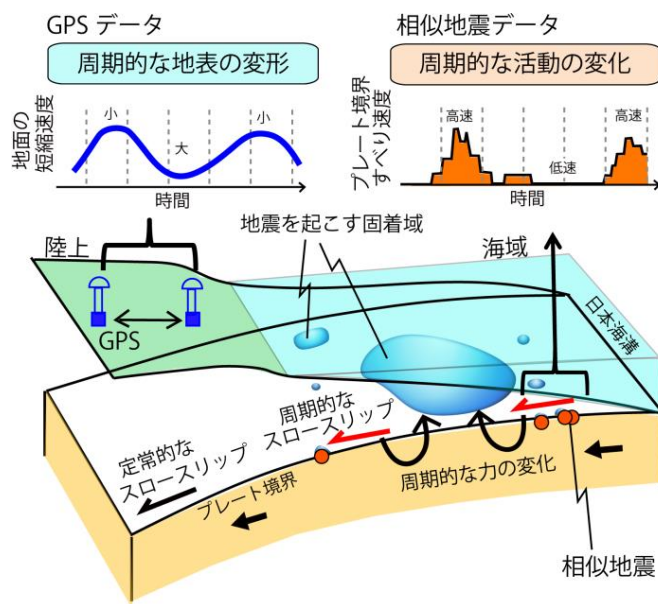


図10. 観測データによって示されたプレート境界での滑り速度の周期的ゆらぎと大地震の発生との関係についての模式図(東京大学地震研究所[課題番号: 1510], Uchida et al., 2016)

プレート境界で発生する相似地震と陸上のGNSS(GPS)データから, 周期的にプレート境界の滑り速度が変化し

ていることを見出した。このような周期的ゆっくり滑りは、大規模な地震を起こす固着域に周期的な力の変化をもたらすことで、地震発生数を変調させていると考えられる。

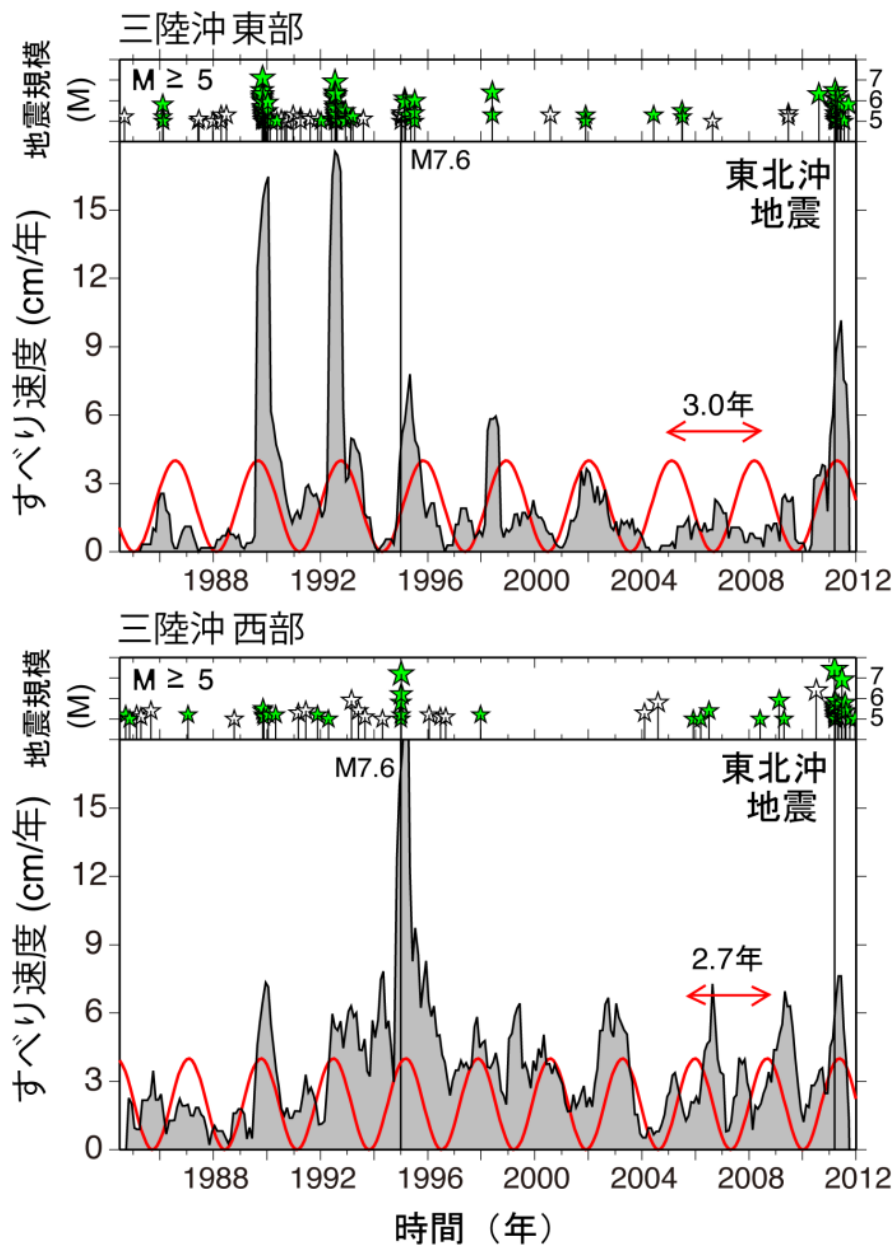


図11. 相似地震データから推定した三陸沖東部（上）及び西部（下）でのプレート境界での滑り速度（ゆっくり滑りの速度）（東京大学地震研究所 [課題番号：1510], Uchida et al., 2016）
赤線は滑り速度に当てはめた周期関数。それぞれの図上部の星は、マグニチュード5以上の地震の活動を示し、緑はそのうち、周期関数の位相が正（滑り速度が速い時期）に発生したものを示す。

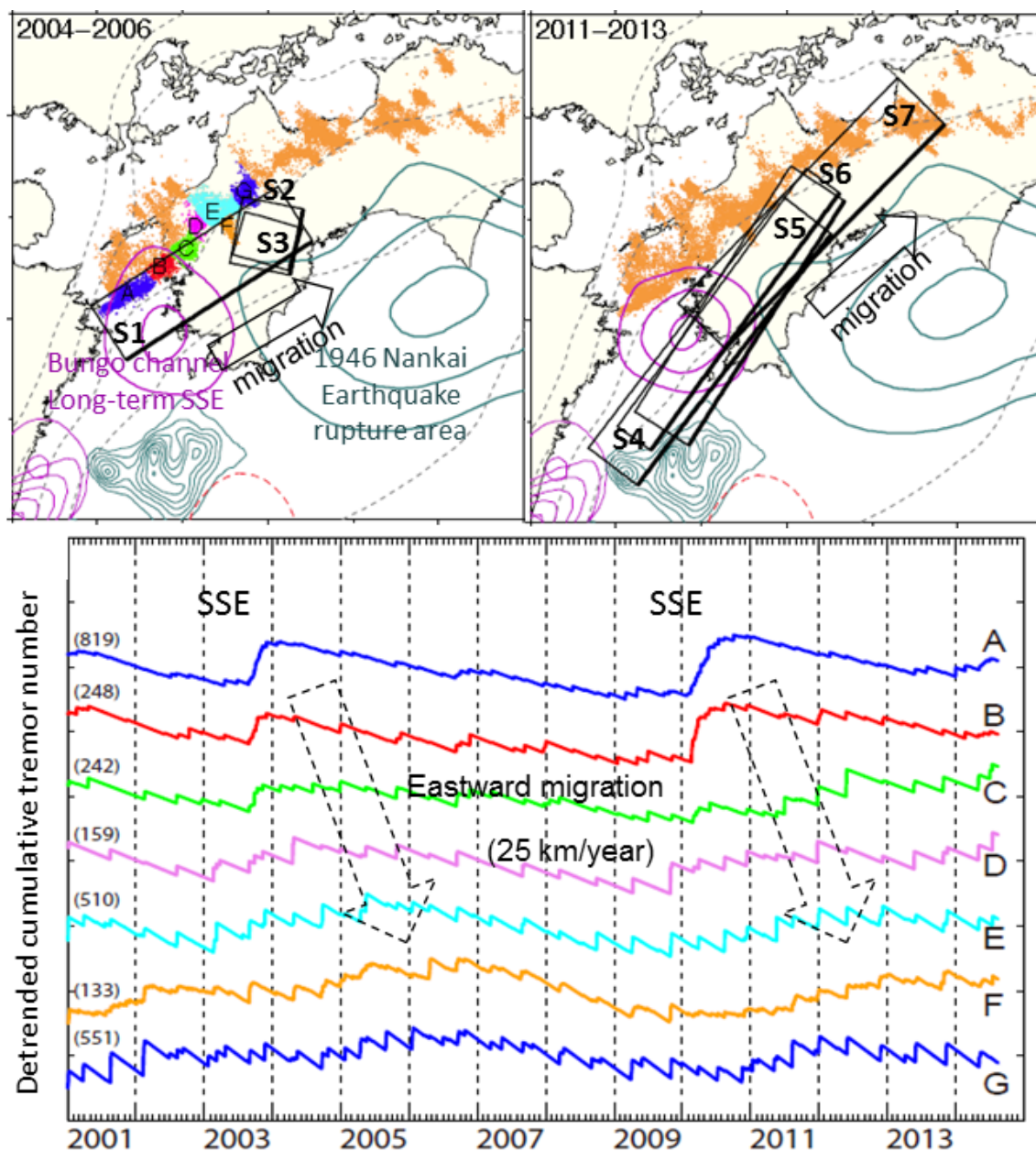


図12. 四国西部の「ギャップ」で発生した小規模な長期的ゆっくり滑りと深部低周波微動活動の変化 (東京大学地震研究所 [課題番号: 1509], Takagi et al., 2016)

(左上) 2004～2006年の間に推定された長期的ゆっくり滑り(SSE)の断層モデル。S1, S2, S3はそれぞれ、2004年4月、2004年10月、2005年4月から1年間のGNSSデータを用いて得られた結果である。図中の色付きのドットは深部低周波微動の分布であり、A～Gは下図の微動活動変化の各領域を示す。

(右上) 2011～2013年の間に推定された長期的ゆっくり滑りの断層モデル。S4, S5, S6, S7はそれぞれ、2011年4月、2011年10月、2012年4月、2012年10月から1年間のGNSSデータを用いて得られた結果である。

(下) 2001年1月から2014年8月までの深部低周波微動活動変化。A～Gは左上図に示したそれぞれの色付き領域に対応し、それぞれの積算微動発生数から直線トレンドを差し引いてある。

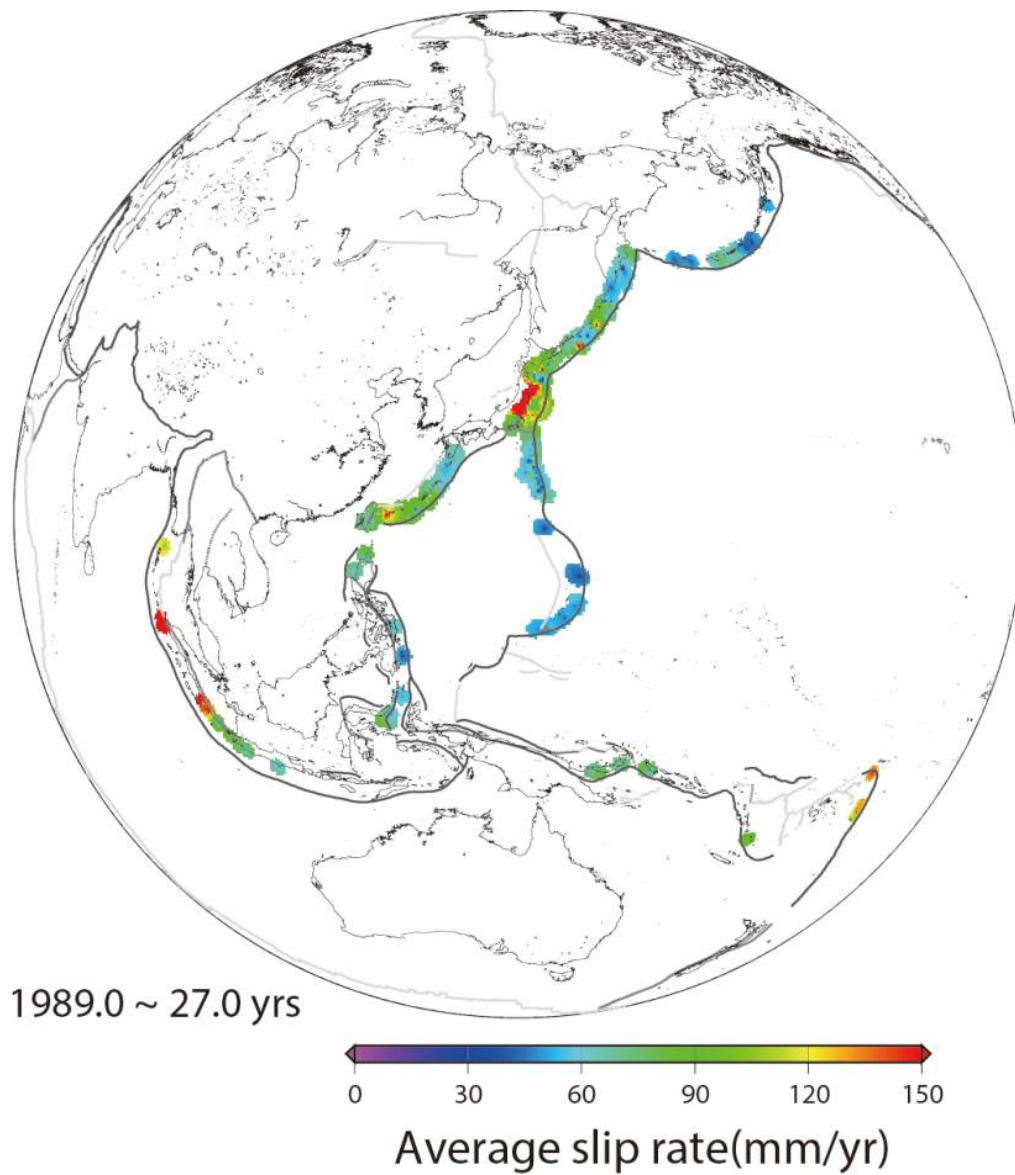


図13. 相似地震から推定された1989年9月から2015年10月までの間の平均滑り速度分布（東京大学地震研究所 [課題番号：1510]）

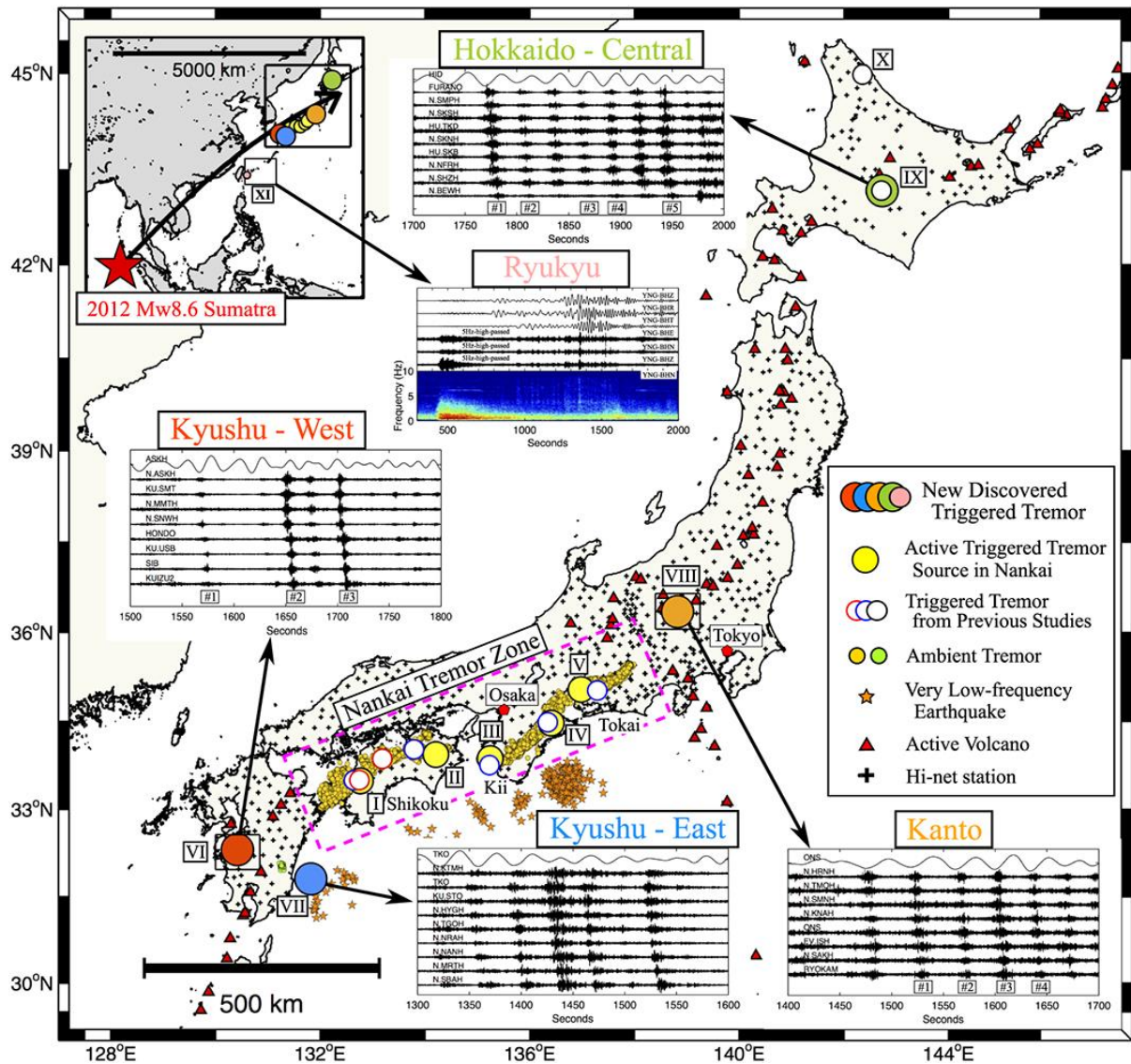


図14. 2012年4月11日に発生したスマトラ地震によって誘発された深部低周波微動(東京大学地震研究所[課題番号:1509], Chao and Obara, 2016)

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

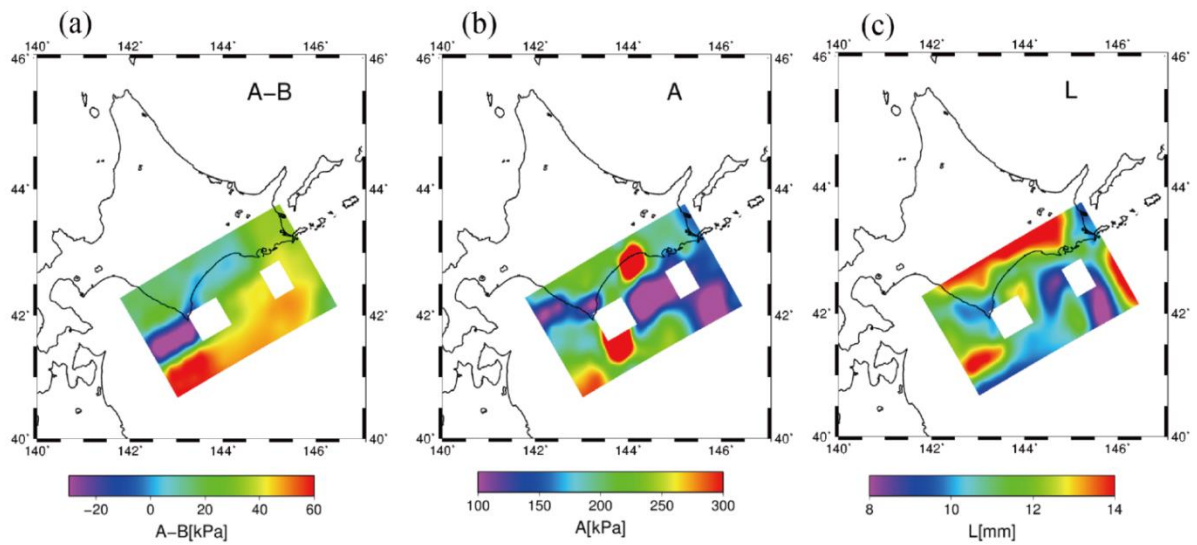


図15. アジョイント法によって推定された十勝沖地震余効滑り域の摩擦パラメータ分布（京都大学 [課題番号：1801]，Kano et al., 2015）

(a) A-B, (b) A, (c) L. 白抜き部分は地震発生域のため、推定していない。

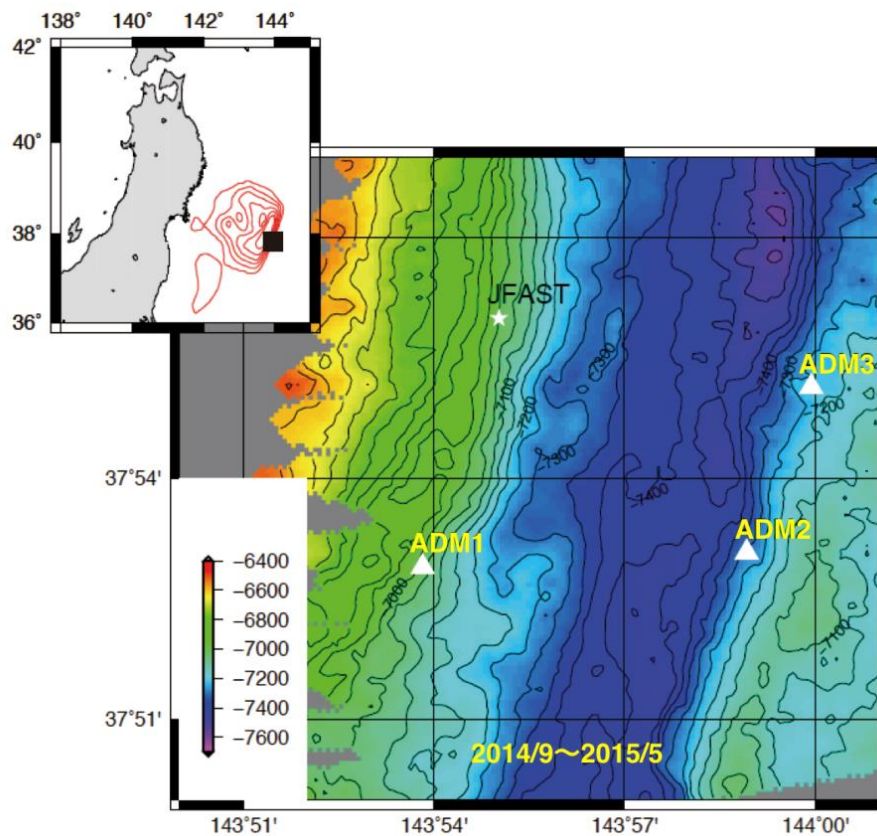


図16. 日本海溝軸を跨ぐ海底間音響測距の観測点配置図。（東北大学 [課題番号：1210]）
設置水深は7000-7300mである。

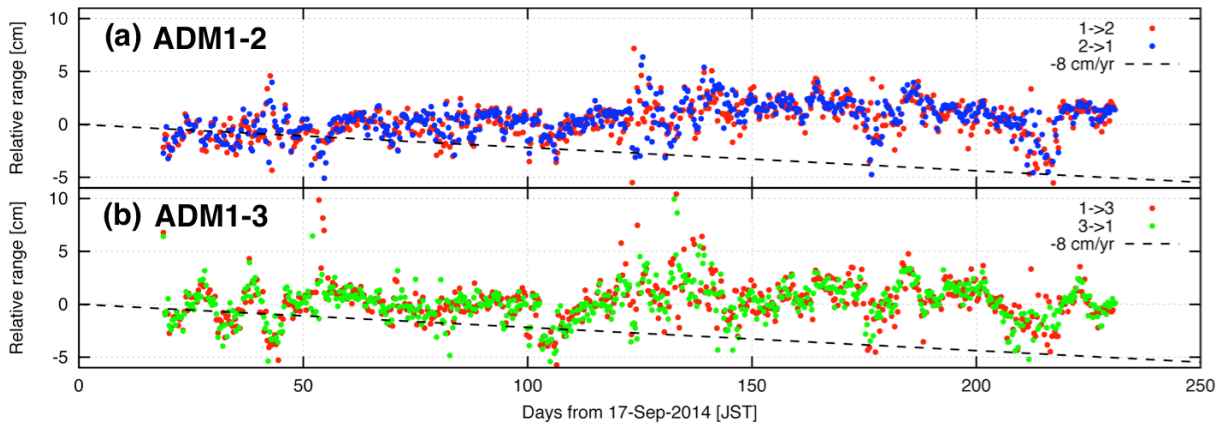


図17. 海底間音響測距観測（210日間）の見かけ基線長変化（東北大学 [課題番号：1210]）

(a) ADM1-2, 基線長7 km。(b) ADM1-3, 基線長10km。2色あるのは、対の機器がそれぞれ大局となった時の測距を示す。破線はプレート運動モデルによる年間8cmの短縮に対応する。

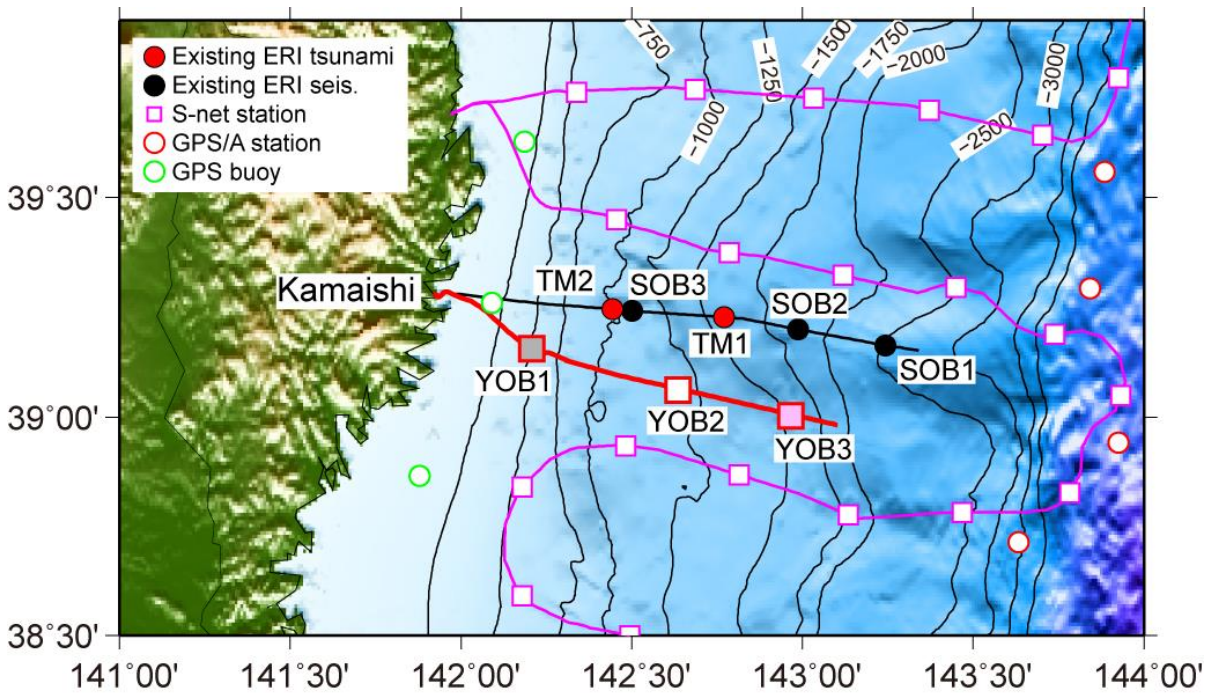


図18. 三陸沖海底光ケーブル式津波観測システムのルート図（東京大学地震研究所 [課題番号：1521]）

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

1(2) 内陸地震

「内陸地震」計画推進部会 部会長 松本 聡（九州大学大学院理学研究院）

副部会長 高橋 浩晃（北海道大学大学院理学研究院）

内陸地震部会では内陸地震発生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、及び発生予測に関する研究を推進した。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へ着手した。

内陸地震の発生ポテンシャル評価には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、個別の断層への応力集中と断層強度が重要なパラメータとなる。今年度は2011年東北地方太平洋沖地震後の変動場を精密に測定することで、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活発に行われた。同様に、全国各地において地殻活動の時空間変化や地震発生場の構造に関する調査が進められた。また、地震発生ポテンシャル評価の試行も開始された。物質科学的研究により、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役割に関する検討も進んだ。一方、本部会からの情報発信として重要な役割を担う日本列島基本構造モデルのコンパイルが着実に実行されるとともに、関連する研究課題を取りまとめて得られるパラメータを地震活動評価実験などへ利用する手法を検討することで、地震発生予測や災害誘因予測研究への道筋を探求した。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

活断層データベースに収録している活動セグメントの形状やパラメータについて、最新の調査研究の成果に基づいて見直しを行い、28の活動セグメントを新規追加するとともに、37の活動セグメントの位置・形状を変更した。また調査地点データを980地点について追加した（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一つのアプローチは、過去の大地震の痕跡を詳細に調査し、復元することである。特に、個別断層が連動した活動は大規模地震へ直接つながるものであり、連動の条件を知ることが重要である。

平成26年11月に長野県で発生した2014年神城断層地震は、地震調査研究推進本部（地震本部）が選定した110の「主要活断層」で起きたものの、予測した地震規模よりも小さい規模の地震であったことから、この地震断層と活断層の対応関係を明らかにする調査研究が実施された。直後に行われた緊急調査データを詳細に解析した結果、地表地震断層の長さは約9kmであり神城断層の一部で出現したこと、最大実変位量は約2mに達すること、主に活動した区間の南端は飯田付近であり神城盆地内の地表地震断層は副次的であることを明らかにした。また、先行するイベントの発生時期は17世紀以降に限定され、同イベントは1714年正徳小谷地震である可能性が高い。その際の上下変位量は0.5mであり、2014年地震と同程度である。この300年という発生間隔は内陸活断層の地表地震断層を伴う地震としては最も短い。その原因は、2014年地震の震源域西側に蛇紋岩が局所的に分布すること、地震前から指摘されていた震源域周辺の高いひずみ速度（Sagiya et al., 2004）が関連する可能性がある。さらに、2つ前の古地震イベントは、約2000年前以降に生じ、その際の上下変位量は約2m以上である可能性が高い（産総研[課題番号：5005]）。活断層の変位地形から算出した平均変位速度分布と、UAVをはじめとする最新測量技術を用いた2014年地震の地表地震断層の稠密変位量分布との比

較を行ったところ、過去の活動において破壊域にはばらつきがあること、新たなセグメント境界が存在する可能性があることが指摘された。しかしながら、変位量データの測定箇所が限定されるため、系統的に議論するには変動地形学的な変位量分布図の作成が必要である。また、LiDar測量データは、変位量の比較的小さな地震断層の発見に有用であることも示された（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

内陸地震発生場の解明のためには、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载荷とそれに対する内陸地殻の弾性・非弾性応答を観測・モデル化し、その特性を明らかにすることが求められる。また、地震発生に大きく寄与する、広域の応力载荷に対する個別の断層への応力集中メカニズムや断層強度低下メカニズムも解明する必要がある。特に東北地方においては、東北地方太平洋沖地震の地震時や余効変動に対する地殻変形の応答を観測できることから、応答特性を知りうる重要な機会である。本年度は従来得られている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及びデータ整理を進めた。また、個別の地域における発生場の推定、それらのモデル化の試みが行われた。

本部会ではさらに他部会との連携を重視している。その一環として、昨年度、それぞれの内陸地震発生域で遂行されてきた研究結果を統括・整理し、内陸地震発生域と地震波速度構造との対応関係についての検証をおこなった。この結果を「(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子測・検証実験」へ提供し、その効果の検討を開始した（地震研[課題番号：1504]）。

・地震・噴火発生ポテンシャル評価の試み

地震発生ポテンシャルの評価に向けて、今年度は発震機構解を用いた評価法の開発を行い、福岡県に位置する警固断層域において試行した。仮想アスペリティを配置し、応力集中を評価した結果、警固断層では顕著な応力集中は見られなかった。今後他地域にも同様の手法を適用するとともに、地震発生ポテンシャルの推定を進める予定である。

阿蘇火山では、2014年11月に約20年ぶりとなるマグマ性噴火が発生した。これを受けて、この噴火以前に観測された地殻変動データから同火山の噴火ポテンシャルを評価した。近年の上下変動量から変動源(Mogi)での体積変化量が推定されており、観測点AVL14における1.0 cmの変動量は $1.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ の体積変化に対応することがわかっている。この経験的な関係から、2012年のマグマ総量が1930年代後半にくらべて約 $2 \times 10^7 \text{ m}^3$ 減少したことが示された。

・東北地方の地殻応答

東北地方太平洋沖地震及びその後も変動が進行している今期計画の研究期間は、これらの現象を観測によりとらえて、定常的な活動下では検出できないレオロジー構造を推定する重要な機会である。今年度も地震、GNSS 観測点の展開を進める一方、現有のデータから地殻変動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レオロジーモデルの検討が進められた。

Iinuma et al. (2015) による余効変動観測データのうち、東北地方太平洋沖地震の最大滑り域を東西に横切る測線近傍のデータについて、2次元有限要素法で粘弾性緩和解析を行った。海底の西向き水平変位を粘弾性緩和で説明し、さらに陸域の東向き変位を過大評価しないという拘束条件のもと、有限要素法で観測データを概ね説明できるレオロジーモデルを構築した(図1)。鳴子カルデラ付近に東西幅10 km、上端深さ10 kmの領域に粘性 $3 \times 10^{18} \text{ Pas}$ 程度の低粘性領域を仮定とすると、この付近で観測されている局所的な沈降を再現できる。低粘性領域の形状は、鳴子周辺の稠密地震観測(Okada et

al., 2014) や MT 観測 (Ogawa et al., 2014) でイメージされている鳴子火山直下に垂直に存在する速度・比抵抗異常帯の形状とも一致し、鳴子火山の火道に存在するマグマなどの低粘性物質を見ている可能性がある。また、鳴子火山も含めた東北地方火山フロント周辺では、東北沖地震後の余効変動として短縮ひずみが観測されている (Miura et al., 2014)。このようなひずみ異常を説明するために、初期の余効滑りを考慮しながら不均質な粘性構造を取り入れた有限要素法を用いてモデル化を試みた。その結果、火山地帯の地殻深部において低粘性領域が存在することが示された (東北大[課題番号: 1203])。

島弧地殻の粘弾性変形を含む流動-変形場の理解は本研究計画における一つの重要な課題である。そこで、巨大地震後の粘性緩和による変形場をより正しく理解するため、単純な設定でモデル計算を行いその特徴を調べた。その結果、大地震発生後の粘性緩和完了後には、海洋プレートが単純に沈み込むほぼ完全なブロック運動が実現するということが示された。この過程において当初は海溝向きだった内陸の水平変位速度が、時間と共にその運動方向が逆転することが報告された。現在は海域でのみ陸向きの変位が観測されているが (Watanabe et al., 2014), 本結果に基づき、いずれ太平洋沿岸部さらには東北内陸まで陸向きにその運動方向を変化させると推察される。(京大防災研[課題番号: 1905])

平成 27 年 10 月～11 月 (一部は 7 月から) に新潟県佐渡市から阿賀町における GNSS 繰り返し観測を実施した。佐渡の観測点 2 点は平成 27 年 3 月より連続観測点化した。新潟県周辺では、東北地方太平洋沖地震の余効変動により東西方向の伸張が卓越していたが、時間と共に伸張は小さくなってきている。2014 年 10 月から 2015 年 10 月の 1 年間では、一部の場所において北西-南東方向の短縮が卓越し、面積ひずみでは短縮になっている場所もあることがわかった (国土地理院[課題番号: 6001])。

・応力場・ひずみ速度場等, 場の研究 (地殻構造と地震発生場)

地殻構造の不均質と地震発生場について、昨年度は各地域の構造をコンパイルし、その特徴を抽出した。今年度はさらに詳細な構造と活断層分布を対比することで、地震時大滑り域や断層セグメントの位置を推定できる可能性を見出した。

2011 年東北地方太平洋沖地震の後に地震活動・火山活動の活発化が観測された宮城・福島県境付近の地殻内地震波速度構造を推定した (図 2)。地殻上部において、長町・利府線断層帯～福島盆地西縁断層帯の上盤側 (北西側) は低速度域となっているが、宮城・福島県境付近では高速度となっている。このことは福島盆地西縁断層帯の非連続性を示唆しているが、この断層で大地震が発生した場合には、この高速度域が大滑り域となる可能性を示している。一方、地殻中下部においては、宮城県の火山 (蔵王・船形) と福島県の火山 (吾妻・安達太良・磐梯) の下に低速度域が分布する。この低速度域は宮城県側と福島県側に分かれて広く分布し、浅部に行くにしたがってそれぞれの火山に向かって分岐していき、長町・利府線断層帯と福島盆地西縁断層帯の境目で高速度となっているように見える。このことは両断層帯がここで切れていることの要因になっている可能性が考えられる (東北大[課題番号: 1203])。

流体の存在や応力集中メカニズムを検討するうえでその重要性が指摘されている比抵抗構造について、地殻深部～上部マントルまでにいたる広域な構造が推定された。岩手、秋田南部と山形、宮城全域における長周期 MT 観測により、最上部マントルから下部地殻の大枠を捉えるとともに、特に下部地殻の低比抵抗異常が顕著な宮城県北部地震の震源域、岩手宮城内陸地震の震源域では詳細な 3 次元地殻比抵抗構造を推定した。最上部マントルの深さでは、低比抵抗帯が奥羽脊梁下に南北に縦断して分

布するものの、下部地殻の深さでは、低比抵抗体は分岐し月山付近と鳴子・宮城県北部付近へと延びる。これらは流体の分布を示していると推察され、地殻内の応力場に影響を与えていると考えられる。また、1962、2003年宮城県北部地震の震源域において、観測点数を昨年度の12点から54点へと大幅に増やした。その結果、深度5km以深で1962年の震源域に向かう西下がりの低比抵抗異常が検出され、その延長上の高比抵抗域で余震活動が起きていたことが示された。このことから、高比抵抗領域が脆性領域に対応すると推察される。また、低比抵抗領域はこの地域に存在するカルデラ分布と良い対応を示す。特に栗駒山下の火山性流体と考えられる低比抵抗領域から震源域に向かって伸びる低比抵抗領域が見つかり、余震もこの低比抵抗領域を避けるように発生している。Iinuma et al. (2009)による本震の地震時滑り域は高比抵抗領域と一致しており、脆性的なアスペリティを意味すると考えられる。余効滑りの分布は、流体が存在すると考えられる低比抵抗領域と、流体が存在しないと思われる高比抵抗領域のそれぞれに分布する。Iinuma et al. (2009)では余効滑りは、流体によって引き起こされる場合と、応力場の変化によって引き起こされる場合があることが指摘されており、低比抵抗領域と高比抵抗領域で余効滑りが進行したことは、流体と応力変化のそれぞれに起因しているのかもしれない(東北大[課題番号:1203])。

余震が高比抵抗域で発生していることは余震が起きている場所が脆性領域であることを示唆する一方、余震の駆動力として流体が重要な役割を担っている場合もある。これは応力、流体の分布形態と物性値との関係でどちらにも取れる可能性が考えられ、この問題自体が地震発生メカニズムを知る上で重要な点であることから、時空間的な分布形態変化や物性の定量的なモデル化を検討する必要がある。余効滑りについても同様な検討が必要である。

東北沖地震後に活発化した森吉山地域では、臨時地震観測データを用いたS波スプリッティング解析から地殻内の異方性に関する調査が進んだ(弘前大[課題番号:1101])。また、森吉山を東西に横切る断面での比抵抗構造解析を行った結果、活発化した地震クラスター直下の深さ15km~30kmに、明瞭な低比抵抗体の存在が確かめられた(東北大[課題番号:1203])。

九州においては地殻流体の分布を推定するために、本年度までに大分県中部-南部地域で合計170点の広帯域MT観測を完了し、得られたデータを領域ごとに分割し3次元比抵抗構造解析を実施した。その結果、大分県南部地域においては、前弧側の深さ10km付近にスポット状の低比抵抗体が存在することが明らかになった(九大[課題番号:2201])。この地域は必ずしも地震活動が活発でない地域に対応することから、流体の存在と地震発生を関連付ける上で重要な情報が得られた。

(応力場)

応力場は時空間的変動を求めることで载荷機構や絶対応力推定について重要な情報を与え得る。まず、2014年御獄山噴火前後の山頂直下の局所応力場の時間変化について新たな知見が得られた

(Terakawa et al., 2016)。山頂直下の局所応力場は、一般に、プレート運動によって形成される広域応力場と、火山活動によって引き起こされる応力変動の重ね合わせとして表現される。解析の結果、2014年9月の噴火直前約2週間は局所応力場が広域応力場から有意にずれていること、つまり火山活動の活発化による有意な応力変動があり、噴火後に急激に元の状態に戻ったことがわかった(図4)(京大防災研[課題番号:1907])。このように、東北地方太平洋沖地震のような巨大地震による広域的な変化だけでなく、応力場に時間的擾動をもたらす火山体などの周辺における局所的な研究は重要である。

2000年鳥取県西部地震域での稠密地震観測データの整備を行い、震源断層周辺で発生した余震約4000個の発震機構解及びその震源位置を推定した。発震機構解と震源分布の特徴から、本震時に破壊

された断層面との関係を調べたところ、ほとんどの余震が破壊面の周辺で発生し、発震機構解のタイプは非常に多様であることがわかった（京大防災研[課題番号：1905]）。

関東地域で発生したM1以上、深さ25 km以浅の地震を対象に応力テンソルインバージョンを適用し応力場推定を行った。そして、応力テンソルインバージョン結果に加え、既存の原位置応力測定結果（地殻応力場データベース、<https://gbank.gsj.jp/crstress/>）、活褶曲（地質調査総合センター, 1997）のデータをコンパイルし、当該地域の応力マップを作成した。原位置応力測定結果は広域応力場に一致しないケースがしばしば報告されているが、細かい空間スケールで見ると、地震データの結果と調和的な場合が多いことがわかった。活褶曲も含め、地震活動が少ない地域の応力場を補間する上で重要な情報であるといえる（産総研[課題番号：5008]）。

（断層の詳細構造）

東北地方太平洋沖地震直後に地震活動が活発化した茨城県北部域からいわき地域にかけて、2011年7月から2014年6月までに発生した地震の震源再決定を行った。連続波形記録から自動震源処理により地震を検出し初期震源を決定した。その後、近接イベント間の相対走時差データを自動読み取り値と波形相関法から抽出し、両者を用いてDD法により震源再決定を実施した。その結果、約208,000個の高精度な震源が決定された。地震は大小様々なクラスターに分かれて分布し、多くの場合、傾斜角約45度の面状分布を呈する。断層の長さは、最短なもの約500m、一方、最長は約10kmにも及び、桁で変化する。本震源域の中央部付近では、1枚の薄い断層面が良く発達しているが、北部や南部では、共役構造や折れ曲がり構造が多数見られ、領域によって断層の分布が複雑に変わる。このように、本震源域では小断層と大断層の両者が動くことでひずみを解放していると考えられる（東北大[課題番号：1203]）。これらは大量のイベントを検出することで断層の複雑な形態を浮き上がらせることができることを示した重要な結果である。

（地震発生場のモデル化）

地殻変形の時空間発展は地殻内の脆性-塑性領域の応答を反映していることから、地震発生場のモデル化をする上で重要である。今年度は、地殻内の不均質構造との対応関係についての知見が各地で得られた。東北沖地震発生直後9時間のGNSSデータのキネマティック精密単独測位を行ってひずみ分布を調べた。得られた座標値時系列について主成分分析を用いることで本震直後の余効滑りの影響、脊梁山地沿いや日本海側での伸張ひずみの局在を見出すことができた。伸張ひずみが局在する場所は、Nakajima et al. (2001)による深さ10 kmにおけるP波速度の低速度域と良く対応する。さらに、Ozawa and Fujita (2013)によって見出された火山周辺域における地震時の局所的な沈降域は、上記の解析によって得られた伸張ひずみ域と相補的な位置関係にあることが明らかとなった（東北大[課題番号：1203]）。

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滑り相互作用を考慮して、南海トラフ巨大地震と西南日本内陸地震の活発化・静穏化の因果関係をモデル化するために、前年度に引き続きブロック断層モデルを用いて、西南日本のGEONET速度場を説明する内陸断層の滑り・滑り欠損速度と南海トラフの滑り・滑り欠損速度の同時推定を行った。ブロック分割及び断層ジオメトリの改良により、九州や北陸・中部地方の観測データへのフィッティングが向上した。平成26年度モデルからの具体的な改善点は以下のとおりである。九州においては、別府-阿蘇-日奈久断層にブロック境界を設定、別府-水縄断層-佐世保にも境界を設定、中部と琵琶湖ブロックの境界を柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯から濃尾断層帯へ変更、北陸地方を独立のブロックにしたことである。その結果、濃尾断層系では約4-6 mm/年、北陸沖の断層では約5mm/年、水縄断層では約4mm/年程度のブ

ロック相対運動が推定された（京大防災研[課題番号：1907]）。一方、モデル化に重要な地殻応答のうち、非弾性変形に寄与する地震活動によるひずみの見積もりを行った。これにより、九州内ではひずみレート換算で $10^{-7}/\text{yr}$ 相当地域が別府、熊本などに見られた。この値はGNSSによるひずみレートと同程度であり、地震活動による変形が無視できない大きさであることを示した。また、非弾性・散乱構造解析から、別府―九重地域には強い減衰構造が存在することを見出し、地殻変形のモデル化のための要素を提供した（九大[課題番号：2201]）。さらに、断層近傍の変形場はInSARとGNSS双方のデータを用いて地殻変動パターンを面的に把握することを試みられた。例えば、跡津川断層系の牛首断層近傍及び富山平野との境界付近に変位勾配の大きな領域が見られた（京大防災研[課題番号：1907]）。

顕著な不均質構造推定から得られた知見を基にしたモデル化のアプローチも進められた。近畿地方中北部では、いわゆる「満点地震計」による稠密地震観測が行われている。広域に展開された稠密な観測網の特長を生かして、地震波速度不連続面の面的な分布を求めることが出来た。ここで推定されたモホ面の形状は非常になめらかなものである。内陸の活断層は下部地殻内に延長部を持っているという仮説があるが（例えば、Iio & Kibayashi, 2002）、ここで得られた知見は、下部延長はモホ面を食い違わせていない可能性を示唆している。地殻の最深部では、変形はより広範囲に広がっている可能性が指摘でき、地震発生層の断層に対する応力载荷メカニズムを考える上で重要な結果である。また、S波の反射法解析では深さ30 km付近に反射強度の大きな領域があり、その近傍に低周波地震の震源が決まっている（図3）。低周波地震の震源域の付近にある反射強度の大きな領域の上には、S波速度が小さな領域がある。さらに、その直上において、地震分布の下限が20 km程度と非常に深くなっていることがわかる。この下限の水平変化は温度構造の不均質によると考えられていたが（例えば、Ito, 1990）、深さ20 kmという深い領域で温度を局所的に下げることが難しいことから、温度が原因ではなく、高間隙水圧により、断層の摩擦強度が局所的に下がったためである可能性が考えられる（京大防災研[課題番号：1907]）。このように複数の方法によって推定された構造不均質をモデル化に有機的に取り込めるようになってきた。

（地震火山相互作用）

御嶽山の火山活動と周辺域の地震活動との相互作用を調べることを目的に、御嶽山南東麓の群発地震活動域の応力場の時間変化（2014年8月～2015年3月）を調べた。応力場の時間変化の検出は、前述の山頂直下の局所応力場の場合と同様に、対象地域で発生する地震のメカニズム解と広域応力場の関係から、ミスフィット角を指標として評価した（図4）。この結果、2014年御嶽山噴火の約1週間前、群発地震活動域の応力状態が広域応力場からずれている可能性があることがわかった。しかし、ずれの量は閾値を10度程度上回るに過ぎないため、今後、長い時間スケールでミスフィット角の時間変化を調べ、火山活動と内陸地震発生の相互作用を理解する必要がある（京大防災研[課題番号：1907]）。

富士山においては2011年東北地方太平洋沖地震発生後に起こったMw5.9の地震の震源域には、低抵抗体が存在し流体の通路となっていることが示された。通路の形状とガス分析から、地震時に離脱した気体の上昇による間隙水圧上昇によって地震が発生したモデルを提案した（図5）。また、このような気体の離脱現象を解明するために、アナログ実験を行い、1) 気泡の離脱は、気泡のneckingによって起こる。2) 離脱気泡のサイズは表面張力の平方根に比例する。3) 地下の熱水流体中での気泡の離脱による移流増圧は、表面張力が小さくなる臨界点近傍で起こりやすくなる、などの重要な性質が明らかになった（九大[課題番号：2201]）。

(地殻強度低下メカニズム)

地殻の強度低下は主に地震発生域における流体の挙動によって引き起こされると考えられる。流体の関与を示す地震活動や構造については上記述べたとおりであるが、直接的な証拠として、中央構造線沿いに湧出する深部由来流体の調査、分析、解析を行った。従来の解析法に加えて、レアアースエレメントを詳細に調べることで、流体の上昇や物質混合についての知見が深まった。それによると、深部由来流体が地表近く（深さ数百メートル）まで直接上昇している可能性を示唆する（京大防災研[課題番号：1905]）。

(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

1. 地形・海溝軸モデルの構築

国土地理院、水路部の地形・水深データを合わせて、日本列島及びその周辺海域の500m メッシュの topography data (範囲：N12° -54° , E118° -164°)を確定し、このデータから千島-日本-伊豆小笠原海溝及び相模トラフ、駿河トラフ-南海トラフ-琉球海溝の位置と水深モデルを作成・確定した(地震研[課題番号：1505])。

2. プレート境界モデル

2.1 自然地震を用いた広域プレート境界モデル

上記のモデル範囲において、気象庁一元化震源・USGS・ISCの震源データをもとに、広域的プレート境界を定義した。震源分布からプレート形状を spline 関数によって補間し、太平洋プレート(図6)とフィリピン海プレートの3次元形状を grid データとして構築した(地震研[課題番号：1505])。

2.2 海溝軸から陸側斜面下におけるプレート境界モデル

日本列島周辺においては、構造探査・tomography 解析等の既往成果をコンパイルし、プレート上面の位置(緯度・経度・深さ)のデータを作成した。これらのデータは、日本列島周辺においては広域モデルに比べてより短波長のプレート形状変化を与えるものである。この短波長変化を広域モデルに重畳する形でより高精度のプレートモデルを構築中である。フィリピン海プレートについても、同様の構築が進行中である(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

日本列島及びその周辺域の Moho 面形状及び脆性・延性境界形状モデル構築のため、tomography 解析及びレシーバ関数解析に関する既往論文成果 5 編に対して grid データを作成し、手法による結果の差違を調べるとともに共通の特徴抽出等に関する検討を開始した。また、北陸・関東地域の地下構造データを基に、震源断層モデルを構築した（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。本年度は、実験及び観測・観察においてこれらの基本的な挙動の解明が進展した。

(電気伝導度と物性等の関係解明)

分子動力学 (MD) シミュレーションによって、塩水 (NaCl aq) の高温高压高濃度での電気伝導度の定量的な振る舞いを明らかにした (Sakuma and Ichiki, 2016b)。実験データが存在しない高温高压下での塩水の電気伝導度が MD シミュレーションから求められたことにより、地殻の地震発生域や断層帯の電気伝導度構造と今回の MD シミュレーション結果を比較することで、断層帯や地震発生域にどの程度の流体が存在するかを定量的に議論する足掛かりとなると期待される (東北大[課題番号：1204])。また、地震波速度・電気伝導度構造統合インバージョンによる流体分布の推定を目指して、封圧下で含水花崗岩の弾性波速度及び電気伝導度測定を行い、クラック閉鎖に伴う弾性波速度、電気伝導度の変化を調べた。BIB-SEM による微細構造観察は、一つのクラックが、開口の異なる多数のクラック・セグメントから構成されることを示している。この観察に基づき、弾性波速度、電気伝導度のモデルを作成した。モデルは弾性波速度の封圧依存性をよく再現したが、電気伝導度の封圧依存性の再現は十分ではなかった。電気伝導度の再現には、開口の量的な分布だけでなく、空間的な分布も必要であると考えられる (京大防災研[課題番号：1905])。

(岩石の変形特性に及ぼす高間激水・フュガシティの効果)

昨年度に引き続き、メルトを含まない斜長石多結晶体を使用し、含水条件下での変形実験を行った。昨年度のせん断変形実験では、強度の低下とともに著しいひずみ局所化が認められたので、今年からは幾何学的に簡単な軸圧縮実験を行った。得られた応力-ひずみ曲線 (図 7) から、dry 試料 (赤点線) に比べて、wet 試料 (青線) は顕著な強度弱を示す。また同一試料でひずみ速度を変えた実験 (Wet 1GPa の最も軸ひずみ量の多い実験) では、同一条件にも関わらず変形量または変形時間が長いほど強度が低下した。一定ひずみ速度 (10^{-5} s^{-1}) では、データのばらつきが大きいものの、強度は封圧 (フュガシティ) と共に下がるように見える (図 7b)。本試料の変形機構は拡散クリープ・転位クリープのどちらが卓越するかはまだ不明だが、どちらであっても構成則 (黒実線) の振る舞いとしては、本実験条件下では圧力硬化が予測される。実験結果はいずれの構成則より低い強度を示す。また同一条件でも変形量 (時間) の増加とともに強度が低下することも観察された。また、同一ひずみ速度条件での比較では、実験時間とともに強度が低下する現象も見られた (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)

岩石中の炭質物の空中反射率 (Ra) に基づく断層温度計を開発した。この温度計では温度 (T) は $T (^{\circ}\text{C}) = 5800 \text{ Ra} - 93$ の関係式で推定される。この温度計は、数秒~数百秒間の被熱に対応可能で、炭質物の熟成の程度や被熱の T-t 経路に依存せず、最高被熱温度のみに依存する。IODP NanTro SEIZE のコア中のメガスプレー断層とプレート境界断層の炭質物にこの温度計を適用した結果、これらの断層

ではそれぞれ 350°C と 310°C の温度に到達したことが示された。また、久礼メランジュ中のシュードタキライト近傍の炭質物への適用により、シュードタキライトメルトの注入は 1 秒以下の短時間で起きたことが推察された。

チリ北部 Atacama 断層系 Bolfin 断層南端の、方解石と石英で充填された亀裂とその周辺の熱水変質の解析により、亀裂先端の進展方向は北北西であり、その亀裂中を浸透した流体の移動方向の側方成分もまた同方向であったことを明らかにした。変質鉱物組成と流体包有物の解析から、亀裂中を浸透した流体は CaCl_2 を主とする塩水であり、その温度は 330°C 程度で流体圧は 69 MPa 程度と見積られた。この条件で浸透流体が 340°C から 330°C に温度低下した場合に、亀裂を方解石と石英で充填するために必要な流体量をシミュレートした結果、1 L の亀裂スペースの充填には 86 kg の流体が必要であることが示された。したがって、Bolfin 断層中軸部に向けて、膨大な量の流体が移動したことが考えられる（東北大[課題番号：1204]）。

（断層面の不均質性と内陸地震の多様性の起源）

封圧下での断層成長実験 (Otsuki and Dilov, 2005) によれば、断層帯の形態は階層的に自己相似で、自己相似性を保って進化する。そこで、断層トレースと地震時滑り量分布が良く調査されている世界の純粋な横ずれ地表地震断層 21 個の形態を調べ、発達様式をまとめた結果、自然の断層帯も階層的な自己相似性を保って進化している証拠が得られた（東北大[課題番号：1204]）。

（断層周辺の流体挙動）

野島断層におけるこれまでの注水実験（1800m 深度及び 540m 深度）やアクロス連続運転データの解析を進め、断層近傍でのクラック密度の減少による長期的な地震波速度の増加（強度回復）を示唆する結果が得られ、1999 年～2000 年、及び 2011 年以降の注水実験で、S 波走時の変化が小さい一方、P 波走時が速くなっており、これらの期間ではクラック密度は変化しないままクラックの水飽和率が増加した等、水の動きが関与している可能性が示唆される（京大防災研[課題番号：1906]）。

2. 地震・火山噴火発生の予測のための研究

（1）地震発生長期評価手法の高度化

2014 年 11 月に発生した長野県北部の地震の平均変位速度分布と最新測量技術を用いた稠密変位量分布との比較を試みた。最近発生した何回かの地震は、2014 年地震同様に塩島や大出付近の変位量が大きく、今回の地震と同様な破壊が北方へ連続する傾向を示す地震であった可能性がある。Lidar データの解析により発見された地変の地形調査から、平均活動間隔は 586–880 年であり、比較的短い間隔で地表地震断層が出現する地震があることが明らかになった（名古屋大学 [課題番号：1702]）。この地震の地表地震断層上でトレンチ調査を実施し、先行するイベントは 1714 年正徳小谷地震である可能性が高く、この 300 年の発生間隔は内陸活断層の地表地震断層を伴う地震としては最も短いことが明らかになった。2 つ前の古地震イベントは、約 2000 年前以降に生じ、その際の上下変位量は約 2m 以上である可能性が高いことから、神城断層では、それぞれの地震規模に対応して地震時変位量に変化した可能性が高い（産総研 [課題番号：5005]）。

（2）モニタリングによる地震活動予測

関東地域で発生した地震を対象に発震機構解の精査を行い、応力テンソルインバージョンによる応力場推定結果と原位置応力測定結果、活褶曲のデータをコンパイルし応力マップを作成した。原位置

応力測定結果は、細かい空間スケールで見ると地震データの結果と調和的な場合が多いことがわかった。これは、地震活動、応力測定、活構造によるデータが互いに相補的であり、地震活動の有無にかかわらず応力マップを広範囲で推定できることを意味し、重要な結果である。内陸地震震源域の地震発生様式を調査するため、2011年いわきの地震の詳細な解析を行い、 ω_2 モデルで説明できない地震が多数発生していることが見出され、破壊過程の複雑性を示唆している。2014年長野県北部の地震の本震4日前から始まった前震活動を詳細に調べ、前震が主に2つの断層で構成されていることを明らかにした（産総研〔課題番号：5008〕）。

3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

日本では気象庁により津波警報システムが整備されているが、それ以外の警報システム、特に警報を出す対象地点周辺のデータを利用してリアルタイムに警報を出すシステムを考えることは有意義である。2011年東北地方太平洋沖地震について、地殻変動の沈下量と津波高さに強い線形性があるとの先行研究がある。しかしこの研究におけるデータは十分ではないので、より多くのデータを用いて、水平変動も含めた地殻変動と津波高さとの関係を調査した。検討の結果、沈下量と津波高さの関係には線形性が見られたが、例外となる地点も少なくない。その例外は水平変動量を利用すると少なくなった。2003年十勝沖地震についても調べると、地殻変動量と津波高さの関係は地震に固有であるように見える。したがって、ある地震から得られた関係を用いて、一般的な法則として津波高さを推定することは困難と考えられる。地殻変動量と津波高さの関係は数値計算でも確認できるので、これは今後の検討対象となる（弘前大〔課題番号：1101〕）。

(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極めて重要である。輻射伝達理論を用いて、九州地方の地殻における散乱減衰と内部減衰とを定量的に分離推定した。その結果、散乱減衰及び内部減衰は強い水平不均質を示し、特に火山体周辺で散乱減衰及び内部減衰が大きいことが明らかになった。ここで推定した散乱減衰及び内部減衰の不均質構造を使用して、モンテカルロシミュレーションによる地震動エネルギーの伝播の予測を行った。既存の地震データに適用した結果、予測される地震動エネルギーは、均質な散乱減衰及び内部減衰を仮定した時よりも実際の地震動エネルギーをよりよく再現することが確かめられ、即時予測手法の高度化に詳細な不均質構造推定が貢献することを実証した（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

「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」において、レーザー技術を利用した広帯域地震計及び傾斜計が開発された。変位センサーとしてレーザー干渉計を用いたものを製作し、所期の高い検出性能を確認した。また、レーザー干渉計の高温試験を実施し、少なくとも290℃までの高温環境下で使用可能であることがわかった（東大地震研〔課題番号：1522〕）。

第2世代の制御震源装置について、2015年12月9日より長期連続運転試験を開始した。中心周波数は前年度と同様に10.0015Hzで±5Hzとして、連続運転を行った。ところが、震源装置から約1メートルの場所に設置した加速度計の振幅が、12月11日午後から次第に大きくなり、同時に高調波成分が増

大し始めた。その後、12月12日に震源が停止した。原因は、震源装置本体ではなく、基礎周辺地盤の破壊(剪断滑り)であることが判明した。そのため、基礎周辺地盤に石英砂を充填し、破壊亀裂面に砂が入り込んで自動的に補修できるように補修作業を行った。現在、補修前と補修後の振動記録の解析中である。また海底掘削孔内震源については、長期連続試験のための機材を調達し、準備を行っているところである(名大[課題番号:1705])。

地下水溶存ガスのうちヘリウム濃度を高精度で分析するために、第二安定領域で動作する四重極質量分析計の駆動電源を製作し、動作の調整を行った。分析結果の精度を向上させるために、分析管内の残留ガスを除去するシステムの開発を行った。地下水に溶存するガスを効率的かつ大気の混入がないように準連続的に抽出する装置を完成させた。溶存ガス中の大気補正されたHe-Ar-N₂三成分比の連続観測が、マントル・地殻・大気の混合挙動を監視する指標になる可能性を見出した(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、全国の大学及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、それらの成果を災害誘因の評価・予測研究への橋渡しするための研究にも着手した。

今後も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高精度の観測を継続し、断層強度の時間変化や応力集中機構のモデル化に資するデータを着実に取得することが重要である。特に、誘発地震の発生と地殻流体の関係、粘弾性構造による余効変動場の空間的不均質性、震源メカニズムによる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整理を行ったところ、地震波速度構造や比抵抗構造などの構造パラメータが個別の断層運動の特徴を規定する場合があることが示された。しかしながら、その解釈は定性的なものに過ぎない。低地震波速度・低比抵抗領域と流体との関係、流体圧と地震活動との関係を定量的に比較していく必要がある。特に、大滑り域や余震、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。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・非弾性構造のモデル化を進め、観測・実験・シミュレーション研究等を有機的に結合して様々な条件下における地殻の応答特性の解明が期待される。

地震発生ポテンシャルを考える上で重要な地震活動のリニアメントや活断層との空間的、力学的関連性について、地震のソースフォルト推定の緻密化を含めた研究が必要である。その際には、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必要がある。

内陸地震研究からは、詳細な地震波速度・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成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、データや構造モデルなどのコミュニティー内での利用促進への道筋が十分でないことから、情報発信を効率的に進める体制整備が必須である。

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成果を発信することを目指す。特に、今年度から進めている地震活動と地殻構造との対応関係を手掛かりに、統計的手法による地震発生予測研究や災害即時予測研究との連

携を強めていく方針である。

成果リスト

- Aizawa, K., Sumino, H., Uyeshima, M., Yamaya, Y., Hase, H., Takahashi, A.H., Takahashi, M., Kazahaya, K., Ohno, M., Rung-Arunwan, T., Ogawa, Y., 2016, Gas pathways and remotely triggered earthquakes beneath Mt. Fuji, Japan. *Geology*, 44, 127-130, doi: 10.1130/G37313.1.
- Burenjargal, U., A. Okamoto, N. Tsuchiya, M. Uno, K. Horie, and T. Hokada, 2016, Contrasting geochemical signatures of Devonian and Permian granitoids from the Tseel terrane, SW Mongolia, *J. Geosci.*, accepted.
- Delorey, A.A., K. Chao, K. Obara, and P.A. Johnson, 2015, Cascading elastic perturbation in Japan due to the 2012 Mw 8.6 Indian Ocean earthquake, *Science Advances*, Vol. 1, no. 9, e1500468, doi:10.1126/sciadv.1500468.
- Fukahata, Y. and M. Matsu'ura, 2016, Deformation of island-arc lithosphere due to steady plate subduction, *Geophys. J. Int.*, 204, 825-840, doi: 10.1093/gji/ggv482.
- 後藤秀昭, 2015, 海陸を統合した広域ステレオ地形画像を用いた変動地形学的研究—関東平野南部と南西諸島中部周辺を事例に—。広島大学大学院文学研究科論集特輯号, 75, 87p.
- 後藤秀昭・岡田真介・楮原京子・杉戸信彦, 2015, 「1:25, 000 都市圏活断層図砺波平野断層帯とその周辺「高岡」解説書」, 国土地理院技術資料 D1—No. 736, 22p+付図.
- Goto, H., 2016, Extensive Area Map of Topographic Anaglyphs Covering Inland and Seafloor from Detailed Digital Elevation Model for Identifying Broad Tectonic Deformation. Kamae, K ed., *Earthquakes, Tsunamis and Nuclear Risks: Prediction and Assessment Beyond the Fukushima Accident*, 65-74. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-4-431-55822-4_5.
- Higashino, F., T. Kawakami, N. Tsuchiya, M. Satish-Kumar, M. Ishikawa, G.H. Grantham, S. Sakata, K. Hirata and T. Hirata, 2015, Geochemical behavior of zirconium during Cl-rich fluid or melt infiltration under upper amphibolite facies metamorphism – A case study from Brattnipene, Sor Rondane Mountains, East Antarctica, *J. Mineral. Petrol. Sci.*, 110, 166-178, doi:10.2465/jmps.150220.
- 平田 雄一郎, 2015, キネマティック GNSS データによる 2011 年東北地方太平洋沖地震直後の余効変動に関する研究, 東北大学修士論文, 146pp.
- 廣内大助・松多信尚・杉戸信彦・熊原康博・石黒聡士・金田平太郎・後藤秀昭・楮原京子・中田 高・鈴木康弘・渡辺満久・澤 祥・宮内崇裕・2014 年神城断層地震変動地形調査グループ*, 2015, 糸魚川—静岡構造線北部に出現した 2014 年長野県北部の地震 (神城断層地震) の地表地震断層, *活断層研究*, 43, 149-162.
- Hoshiya, M. and S. Aoki, 2015, Numerical Shake Prediction for Earthquake Early Warning: Data Assimilation, Real-Time Shake Mapping, and Simulation of Wave Propagation, *Bull. Seism. Soc. of Am*, 105, 1324-1338, doi:10.1785/0120140280.
- Ichiki, M., Y. Ogawa, T. Kaida, T. Koyama, M. Uyeshima, T. Demachi, S. Hirahara, Y. Honkura, W. Kanda, T. Kono, M. Matsushima, T. Nakayama, S. Suzuki, and H. Toh, 2015, Electrical image of subduction zone beneath northeastern Japan, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, doi:10.1002/2015JB012028.

- Iida, K., Iwamori, H. and others, 2015, Tectonic reconstruction of batholith formation based on the spatiotemporal distribution of Cretaceous-Paleogene granitic rocks in southwestern Japan, Island Arc, DOI: 10.1111/iar.12103.
- 飯尾能久, 兵庫県南部地震とはどんな地震だったのか?, 地震ジャーナル, 59, 1-12, 2015.
- 飯尾能久, 兵庫県南部地震とはどういう地震だったのか?, 日本地震学会講演予稿集, S09-05, 2015.
- 飯尾能久, 島弧地殻の変形と内陸地震発生過程, 日本地質学会第 122 回学術大会, S1-0-3, 2015.
- 飯尾能久, 水平短縮している堆積盆がなぜ沈降するのか?, 地球惑星科学関連学会 2015 年合同大会, SCG57-32, 2015.
- 飯尾能久, 兵庫県南部地震と慶長大地震との関係, 地球惑星科学関連学会 2015 年合同大会, SCG65-02, 2015.
- Ikeda, T., Tsuji, T., Watanabe, T., Yamaoka, K., Development of surface-wave monitoring system for leaked CO₂ using a continuous and controlled seismic source. International J. Green Gas Control. 45, 94-105, 2016.
- 今西和俊・安藤亮輔・内出崇彦, 2015, 2015 年 2 月 6 日に発生した徳島県南部の地震 (Mj5.1) の特徴とテクトニックな意味, 活断層・古地震研究報告, 第 15 号, 235-261.
- Ishibashi, T., N. Watanabe, N. Hirano, A. Okamoto and N. Tsuchiya, 2015, Beyond-laboratory-scale prediction for channeling flows through subsurface rock fractures with heterogeneous aperture distributions revealed by laboratory evaluation, J. Geophys. Res.: Solid Earth, 120, 106-124, doi:10.1002/2014JB011555.
- Iwamori, H. and Nakamura, H., 2015, Isotopic heterogeneity of oceanic, arc and continental basalts and its implications for mantle dynamics. Gondwana Res., doi:10.1016/j.gr.2014.09.003.
- Jiang, G., X. Xu, G. Chen, Y. Liu, Y. Fukahata, H. Wang, G. Yu, X. Tan, and C. Xu, 2015, Geodetic imaging of potential seismogenic asperities on the Xianshuihe Anninghe Zemuhe fault system, southwest China, with a new 3D viscoelastic interseismic coupling model, J. Geophys. Res., 120, 1855-1873, doi: 10.1002/2014JB011492.
- Kato, A., T. Terakawa, Y. Yamanaka, Y. Maeda, S. Horikawa, K. Matsuhiro, and T. Okuda, Preparatory and precursory processes leading up to the 2014 phreatic eruption of Mount Ontake, Japan, Earth, Planets and Space, 67, 111, doi: 10.1186/s40623-015-0288-x, 2015 (Invited paper).
- 加藤愛太郎・寺川寿子・山中佳子・前田裕太・堀川信一郎・松廣健二郎・奥田隆, 2014 年御嶽山噴火に伴う地震活動の時空間発展, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, SVC45-13, 2015.
- 川村大貴, 2016, 下北半島とその周辺で発生した地震のメカニズム解の時空間分布, 弘前大学工学部地球環境学科卒業論文.
- Katsube, A. et al, 2015, Displacement during the last surface-faulting on the northern termination of the East Matsumoto Basin Faults, Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line active fault system -Trenching study at Karuma site, Omachi City, Nagano Prefecture-, XIX INQUA 2015, T19-P10.
- Kobayashi, T, Y. Morishita, and H. Yarai, 2015, Detailed crustal deformation and fault rupture of the 2015 Gorkha earthquake, Nepal, revealed from ScanSAR-based interferograms of ALOS-2, Earth Planets Space, 67, 201, doi:10.1186/s40623-015-0359-z.
- 近藤久雄, 2015, 2014 年長野県北部の地震と糸魚川-静岡構造線断層帯, 日本地質学会第 122 年学術大会 (2015 長野大会) 講演要旨集, R19-0-6.
- 近藤久雄・勝部亜矢・黒澤英樹・佐々木亮道・阿部恒平・三輪敦志, 2016, 2014 年長野県北部の地震に伴う緊急トレンチ調査, 活断層研究, 43, i-ii.

- 小菅正裕, 2016, 秋田県森吉山の誘発地震の波形の時間変化 (2), 日本地震学会秋季大会.
- Kuo T. and Tsunomori F., 2014, Estimation of fracture porosity using radon as a tracer. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 122, 700–704.
- Maeda, Y., A. Kato, T. Terakawa, Y. Yamanaka, S. Horikawar, K. Matsuhira, and T. Okuda, Source mechanism of a VLP event immediately before the 2014 eruption of Mt. Ontake, Japan, *Earth, Planets and Space* 67, 187, 2015.
- 前田裕太・加藤愛太郎・寺川寿子・山中佳子・古本宗充・山岡耕春・堀川信一郎・松廣健二郎・奥田隆, 地震・傾斜波形解析から推定される御嶽山 2014 年水蒸気噴火の初期過程, 日本火山学会 2015 年秋季大会, P-10, 2015.
- Matsumoto, S., S. Nakao, T. Ohkura, M. Miyazaki, H. Shimizu, Y. Abe, H. Inoue, M. Nakamoto, S. Yoshikawa and Y. Yamashita, 2015, Spatial heterogeneities in tectonic stress in Kyushu, Japan and their relation to a major shear zone, *Earth, Planets and Space*, 67:172, doi:10.1186/s40623-015-0342-8.
- Matsumoto, S., H. Katao, Y. Iio, 2015, Determining change in the state of stress associated with an earthquake via combined focal mechanism and moment tensor analysis: Application to the 2013 Awaji Island earthquake Japan, *Tectonophysics*, 649, 58–67.
- Miyazaki, M., S. Matsumoto, H. Shimizu, 2015, Triggered tremors beneath the seismogenic zone of an active fault zone, Kyushu, Japan, *Earth, Planets and Space*, 67, 179, DOI 10.1186/s40623-015-0346-4.
- Nakamura H., Chiba K., Chang Q., Nakai S., Kazahaya K. and Iwamori H., 2015, Rare earth elements of the Arima spring waters, southwest Japan: Implications for fluid-crust interaction during ascent of deep brine, *J. Geol. Geosci.*, 4:5.
- Nishimura, T. and Y. Takada, The San-in shear zone in southwest Japan revealed by the GEONET data, AGU 2015 Fall Meeting, G13A-1006, 2015.
- 野呂康平, 2016, 東北日本で発生した深部低周波地震の震源の時空間分布と波形の多様性, 弘前大学大学院理工学研究科修士論文.
- 岡田知己・山本希・市來雅啓・三浦哲・松澤暢・長谷川昭・吉田圭佑・東北地方太平洋沖地震合同余震観測グループ, 2015, 東北地方中南部の地震波速度構造と地震活動, 2015 年日本地震学会秋季大会, S06-12.
- 小山内大樹, 2016, 東北北部の地殻内異方性の時空間変化, 弘前大学理工学部地球環境学科卒業論文.
- Oyanagi, R., A. Okamoto, N. Hirano, and N. Tsuchiya, 2015, Competitive hydration and dehydration at olivine-quartz boundary revealed by hydrothermal experiments: Implications for silica metasomatism at the crust-mantle boundary, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 425, 44–55, doi:10.1016/j.epsl.2015.05.046.
- Sakuma, H., and M. Ichiki, 2016a, Density and isothermal compressibility of supercritical H₂O–NaCl fluid: molecular dynamics study from 673 to 200 K, 0.2 to 2 GPa, and 0 to 22 wt% NaCl concentrations, *Geofluids*, 16, 89–102, doi:10.1111/gfl.12138.
- Sakuma, H., and M. Ichiki, 2016b, Electrical conductivity of NaCl–H₂O fluid in the crust, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, doi:10.1002/2015JB012219.
- 塩谷太郎, 2016, 九重火山周辺における比抵抗構造推定, 京都大学修士論文.
- 杉戸信彦・近藤久雄, 2015, 上町断層帯の最新活動と河内平野の地形環境変化, *地学雑誌*, 124, 607–631.
- 杉戸信彦・谷口 薫・松多信尚・澤 祥・田力正好・野澤竜二郎・皆黒 剛, 2015, 白馬村北城新田および大出における神城断層の平均変位速度と活動時期の検討, *活断層研究*, 43, 109–118.

- 杉戸信彦, 2016, 活断層を掘る—地形学的視点—, 科学, 86-1, 17-19.
- 水藤尚・小林知勝・川元智司・森下遊, 2016, ひずみ集中帯の地殻変動特性に関する研究 (第1年次), 国土地理院調査研究年報 (平成27年度) (印刷中).
- 炭田 航, 2016, 地殻変動量と津波高さの関係についての検討, 弘前大学理工学部地球環境学科卒業論文.
- 高田陽一郎, 跡津川断層近傍における変形運動と応力蓄積過程, 日本地球惑星科学連合2015年大会, 2015.
- 高田陽一郎, 鷲谷威, 西村卓也, 跡津川断層周辺における地震間地殻変動の特徴, 2015年日本測地学会, 2015.
- Takada, Y. et al., Stress accumulation process in and around the Atotsugawa fault, Central Japan, estimated from focal mechanism analysis and GNSS data, 2015 IUGG General Assembly, 2015.
- Takada, Y., T. Sagiya, and T. Nishimura, Interseismic crustal deformation in and around the Atotsugawa fault system, Central Japan, detected by InSAR and GNSS, 2015 AGU Fall meeting, 2015.
- Tamura, J., and T. Okada, 2016, Ambient noise tomography in the Naruko/Onikobe volcanic area, NE Japan: implications for geofluids and seismic activity, Earth Planets Space, 68:5, doi:10.1186/s40623-016-0380-x.
- Terakawa, T., A. Kato, Y. Yamanaka, Y. Maeda, S. Horikawa, K. Matsuhira, and T. Okuda, Monitoring eruption activity using temporal stress changes at Mount On take volcano, Nature Communications (in press).
- Terakawa, T., N. Deichmann, and S. A. Miller, Evolution of pore fluid pressures in the Basel EGS inferred from earthquake focal mechanisms, 26th IUGG General Assembly 2015, S01c (IUGG-2083), 2015.
- Terakawa, T., A. Kato, Y. Yamanaka, Y. Maeda, S. Horikawa, K. Matsuhira, and T. Okuda, Monitoring eruption activity from temporal stress changes at Mt. On take volcano, Japan, AGU 2015 Fall Meeting, V14B-04, 2015.
- 寺川寿子・Nicholas Deichmann, 間隙流体圧場の時間発展解析に基づく地震発生メカニズムの考察, 日本地球惑星科学連合2015年大会, SCG60-10, 2015.
- 寺川寿子・加藤愛太郎・山中佳子・前田裕太・堀川信一郎・松廣健二郎・奥田隆, 2014年御獄山噴火に伴う地震メカニズム解の時間変化, 日本地球惑星科学連合2015年大会, SVC45-14, 2015.
- 寺川寿子・加藤愛太郎・山中佳子・前田裕太・堀川信一郎・松廣健二郎・奥田隆, 応力場の時間変化に基づく御獄火山のモニタリング, 日本地震学会2015年秋季大会, S08-12, 2015.
- 寺川寿子, 応力場の時間変化に基づく御獄火山のモニタリング, (公財)地震予知総合研究振興会・東濃地震科学研究所・平成27年度第2回地殻活動研究委員会, 2015.
- 土屋範芳, 2015, 大深度地熱貯留層, 配管技術, 57, 11-15.
- Tsuchiya, N., R. Yamada, and M. Uno, 2016, Supercritical geothermal reservoir revealed by granite-porphyry system, Geothermics, accepted.
- 内出崇彦・今西和俊・松下レイケン, 2015, 山梨県北東部における地殻応力場推定のための臨時地震観測, 活断層・古地震研究報告, 第15号, 211-233.
- Uno, M., Iwamori, H., Toriumi, M., 2015, Transition from dehydration to hydration during exhumation of the Sanbagawa metamorphic belt, Japan, revealed by the continuous P-T path recorded in garnet and amphibole zoning, Contrib. Mineral. Petrol., 170(3), 1-22. doi: 10.1007/s00410-015-1185-9.
- Watanabe, T. and A. Higuchi, 2015, Simultaneous measurements of elastic wave velocities and electrical conductivity in a brine-saturated granitic rock under confining pressures and their implication

for interpretation of geophysical observations, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 2:37,
doi:10.1186/s40645-015-0067-0.

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

Yagi, Y., R. Okuwaki, B. Enescu, and Y. Fukahata, 2015, Unusual low-angle normal fault earthquakes after the 2011 Tohoku-oki megathrust earthquake, *Earth Planets Space*, 67:100, doi: 10.1186/s40623-015-0271-6.

Yamagiwa, S., S. Miyazaki, K. Hirahara, and Y. Fukahata, 2015, Afterslip and viscoelastic relaxation following the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw9.0) inferred from inland GPS and seafloor GPS/Acoustic data. *Geophys. Res. Let.* 42, 66-73, doi:10.1002/2014gl061735.

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

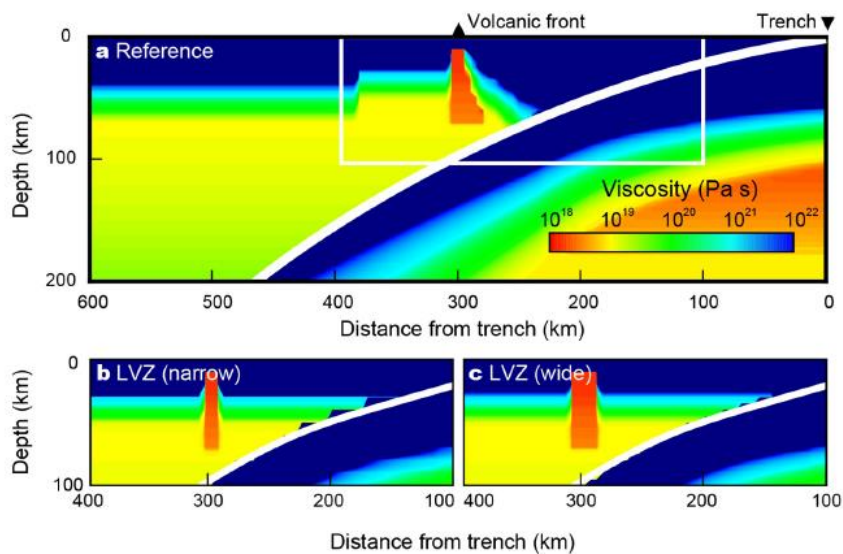


図1. 2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動から推定した東北日本弧の不均質なレオロジーモデル
 (東北大[課題番号: 1203])
 カラースケールは粘性率を表す。

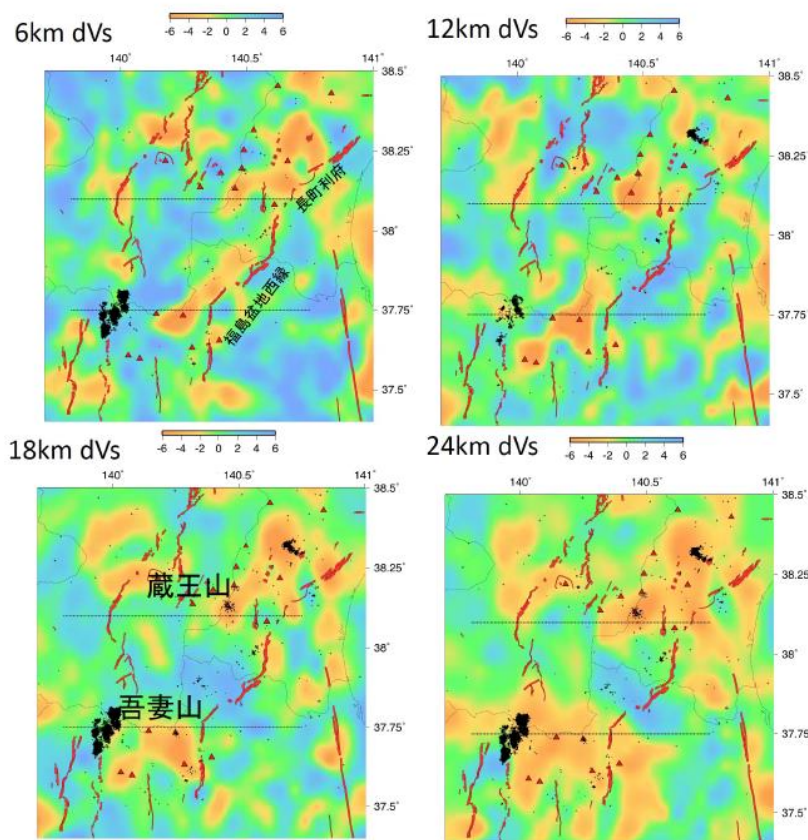


図2. 地震波トモグラフィによって推定された宮城・福島県境付近の地殻内S波速度構造の水平分布図
 (東北大[課題番号: 1203])
 深さ 6 km, 12 km, 18 km, 24 km の結果を示す。

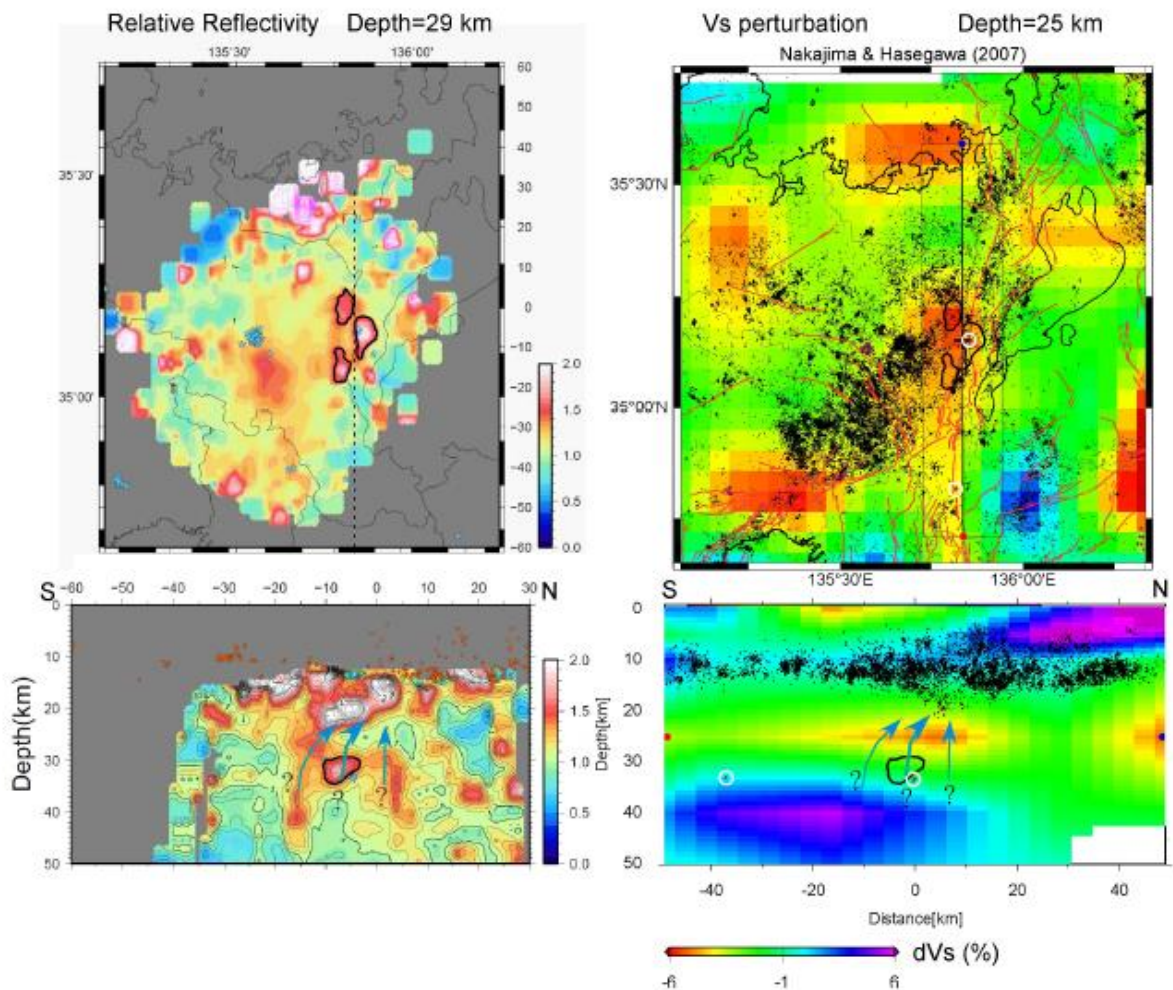


図3. 花折断層付近の反射強度と地震波速度構造 (京大防災研[課題番号: 1907])

左上: 深さ 29km の S 波の相対的な反射強度分布 (Aoki et al., 2016)。左下: 花折断層付近 (左上図の点線の位置) を通る断面における S 波の相対的な反射強度分布 (Aoki et al., 2016)。右上: 深さ 25km における S 波の速度偏差と反射強度が強い領域との比較。黒太線の領域は、左上の図で強度の大きな部分を囲んだもの。右下: 南北断面における S 波の速度偏差と反射強度が強い領域との比較。黒太線の領域は、左下の図で強度の大きな部分を囲んだもの。S 波の速度偏差は Nakajima & Hasegawa (2007) による。地震の震源は気象庁の一元化処理震源。右上の黒四角の領域内の震源を投影した。花折断層付近の低周波地震を白丸で囲んでいる。右上・下の図は、産業技術総合研究所地下構造可視化システムにより作成した。

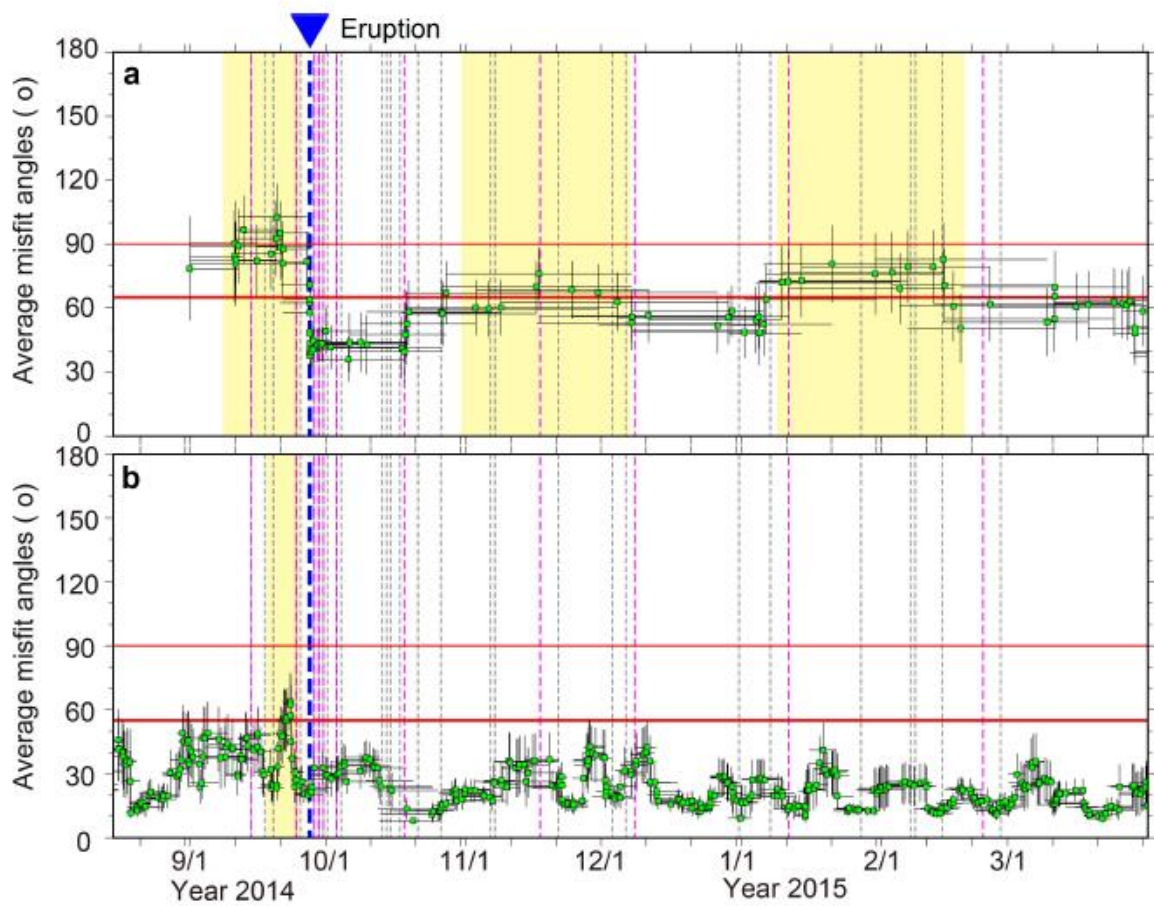


図4. 御嶽山近傍で発生した地震の滑り方向と広域応力場から期待される滑り方向とのミスフィット角時間変化（京大防災研[課題番号：19076]）

(a) 山頂直下で発生した火山性地震のミスフィット角の時間変化。(b) 群発地震発生領域（緯度：35.85N-35.95N，経度：137.6E-137.7E）の地震のミスフィット角の時間変化。平均ミスフィット角（■）は、地震10個毎の移動平均として計算されている。黒い横線は平均をとった期間，黒い縦線はミスフィット角の標準誤差を表す。太い赤線は，局所応力場の広域応力場からのずれを検出するための閾値（65度）で，これより大きなミスフィット角は局所応力場のずれが有意であることを示す。細い赤線は，局所応力場のずれが顕著であることを示す目安である。青い太点線は御嶽山の噴火，桃色及び灰色の点線は，気象庁の分析によるBL型及びBH型地震が観測されたことを表す（Terakawa et al., 2016）。

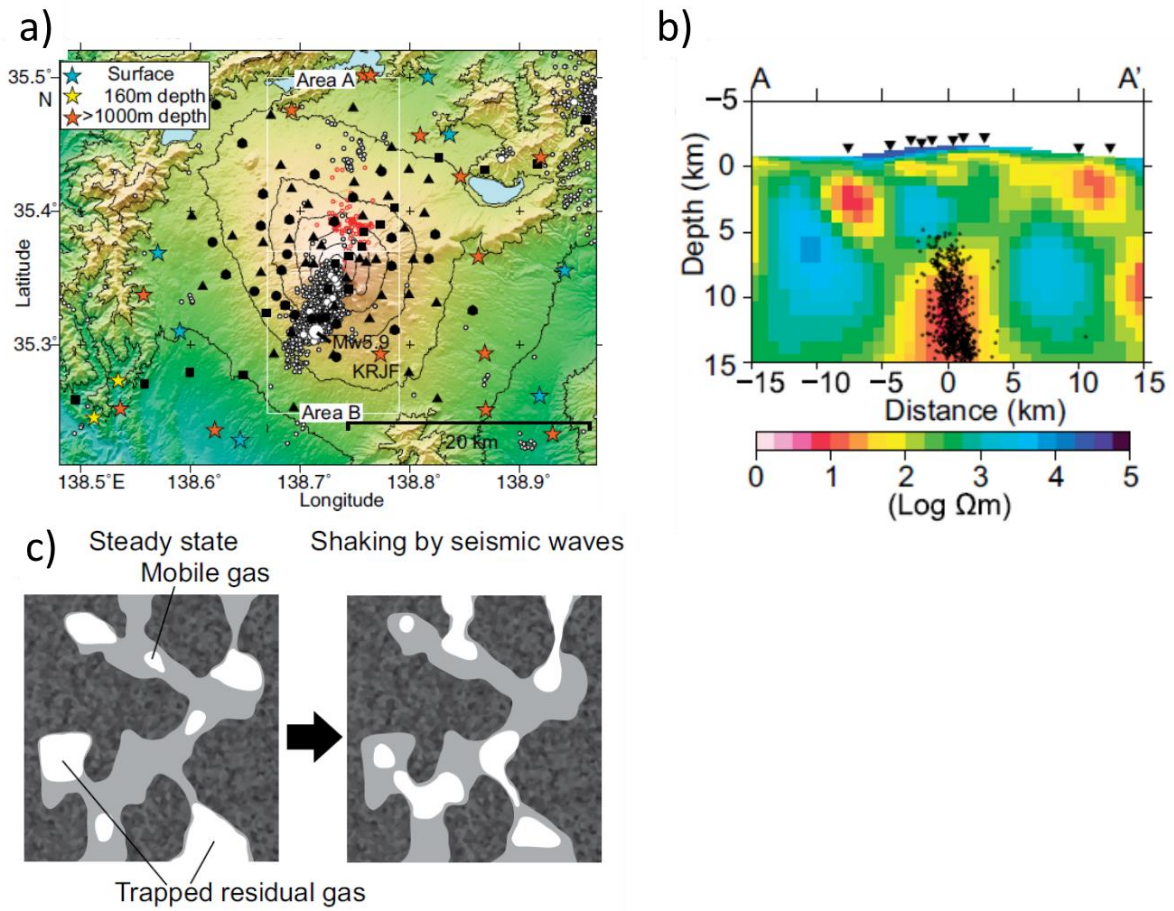


図5. 富士山におけるMT観測点の分布 (九大[課題番号: 2201])

ガス観測点の分布と震源位置。b) 震源域を横切る比抵抗構造の深度断面図。c) 地震動による流体離脱モデル (Aizawa et al., 2016)。

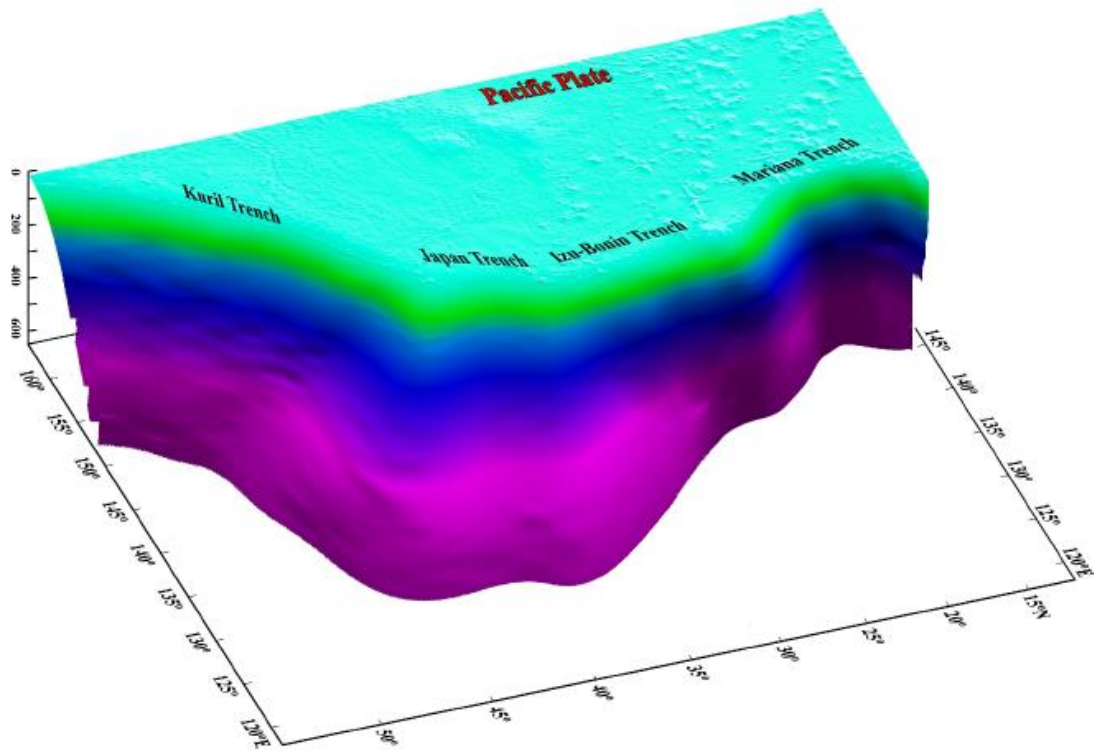


図6. 太平洋プレート境界モデル（地震研[課題番号：1505]）。

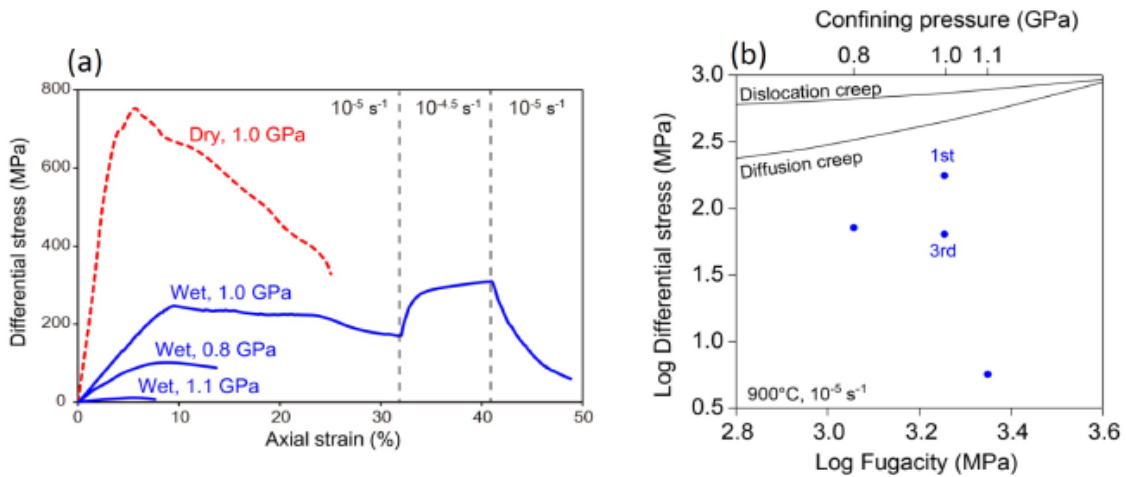


図7. 固体圧試験機を用いた下部地殻構成鉱物の含水軸圧縮実験の結果（東北大[課題番号：1204]）
 試料としてメルトなしアノーサイト多結晶体を用い、Wet条件では試料に対して0.5 wt%の水を付加した。(a) 応力-ひずみ曲線。(b) フュガシティ（封圧）と強度（差応力）の関係。黒実線は、Rybacki et al. (2006；ガス圧試験機を用いた実験）によるwetアノーサイトの变形実験から得られた構成則を用いて計算した強度-フュガシティ（封圧）の予測線を示す。図7bの1st-3rd のデータは、図7aのWet 1.0 GPa条件下の1st-3rd の变形実験に対応する。

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（東京工業大学火山流体研究センター）

火山噴火による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及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のみならず、火山噴火現象自体を解明することが重要である。

「火山」計画推進部会では、発災の原因である火山噴火を科学的理解に基づき予測する手法の開発をすすめるとともに、火山噴火予測の基礎となる火山噴火の仕組みを自然科学的に解明する研究を推進している。そして、これらの研究を支える観測手法の開発及び体制の整備も主たる推進内容の一つである。

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

ア. 史料の収集とデータベース化

火山現象のより深い理解のためには、中長期的な時間スケールで火山活動を常時観測すると同時に、緊急時に現地調査等を実施して発現する火山現象をデータベース化し、火山監視体制の強化に資する必要がある。本研究計画では、火山噴火予知連絡会で中長期的に観測体制の充実が必要とされた47火山について地震計、空振計、GNSS等の観測データを常時収集するとともに、全国の火山で機動観測により得られた観測データを解析し、データベース化した。また、各種監視・観測で得られた成果は、地震火山月報（カタログ編）や火山年報等によりHPにより公表した（気象庁 [課題番号：7001]）。また、日本の火山データベースでは、蔵王、九重、鳥海山の活火山に関する詳細データをデータベースに公開し、20万分の1スケールでの全国火山図原稿作成を北海道～東南北部において実施した（産業技術総合研究所 [課題番号：5003]）。

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、噴火確率の高い火山や、大規模災害を引き起こす可能性のある火山の火山噴出物について地質調査や科学的分析をおこなうことが重要である。

本年度は、首都圏に大きな被害をもたらす可能性がある富士火山について、最近の噴火の火山噴出物の化学組成と組織の分析を行った。富士火山の最新の噴火である宝永噴火(AD 1707)では、噴火活動の初期に白色パミスの噴出をもたらした珪長質マグマ溜まりは噴火前には深度4-6kmで極めて水の飽和に近い状態に置かれていたことが明らかになった。また、深部由来の玄武岩質マグマは、噴火開始の数日前程度にこの珪長質マグマと接触することで珪長質マグマ溜まりで発泡が始まり、噴火に到ったものと思われる。最近3000年間の18枚のテフラについて全岩化学組成を調べた結果、ほとんどの噴火ではほぼ普遍的に珪長質と玄武岩質のマグマが混合して噴火していることが見出された（東京大学地震研究所 [課題番号：1502]）（図1）。また、監視・観測体制の充実が必要な活火山（47火山）のうち、富士山地域の地質図を解説書付きで取りまとめた（産業技術総合研究所 [課題番号：5003]）。

(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

有史に発生した、低頻度ではあるが大規模な火山現象の発生過程や噴火現象の理解のためには、火山噴出物の岩石・地質データの分析や、文献調査、観測データの再解析を現在の火山学の知見と対比しながら行なうことが必要である。

薩摩硫黄島においてボーリング調査を行った結果、鬼界 - アカホヤ噴火に先行する噴火は2回あったこと、先行噴火がアカホヤ噴火の千年～数百年前に発生していた可能性があることを明らかにした。これに対して、支笏カルデラ形成噴火に先行する噴火活動は確認できず、1 万年以上の静穏期の後にカルデラ形成噴火が始まったと結論づけられた。摩周火山のカルデラ噴火では、溶岩からなる山体を破壊しながら発生した、指向性を持つ大きな初速を持った高速型火砕流が発生していることが明らかになった。これまで考えられてきたような、プリニー式から噴煙柱崩壊へと移行する単純な様式ではなく、複雑な推移を経たと言える。（北海道大学 [課題番号：1001]）。

今年度、1888 年磐梯山噴火の調査報告の事実認定ないし推論の仕方等を残された目撃談、写真やスケッチ等の一次資料に基づいて再調査した。その結果、噴出する水煙が低温状態から高温化して飽和水蒸気の噴出へと噴火形態が変化し、その噴出口は旧火口（沼ノ平）であることを明らかにした。小磐梯山の崩壊山体と随伴する北方への岩屑なだれ、並びに枇杷沢を東南方向に流下したブラストは旧火口での噴火とは性質の異なる噴火現象であると推論した。また、桜島大正噴火中に発生した桜島地震について震源位置の再評価を行った。各官署の記録紙から S-P 時刻を求めることが出来た場所は 20 箇所、西日本の観測点に乏しいが、S-P 時刻から推定した震央は鹿児島付近に求まった（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には、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。

近年、活動が活発化している蔵王山周辺では、地震・地殻変動観測、重力観測や地磁気観測の総合観測を実施している。今年度は、屈折波解析による火山体速度構造の推定及びファン・シューティング解析による熱水分布の推定のための人工地震構造探査を全国の大学と合同で実施した。初期解析の結果から、蔵王山中央部において基盤層の深さが数百 m 程度であること、火口湖御釜から噴気活動域にかけての領域直下に高減衰域が存在することなどが判明した（東北大学 [課題番号：1202]）。

阿蘇山において観測された地殻変動データから同火山の噴火ポテンシャルを評価した。現在のマグマの総量は 1930 年代後半にくらべて約 $2 \times 10^7 \text{ m}^3$ 減少しており、近年の基線長変化からは、 10^6 m^3 程度しか回復していないと推定される。また、九重火山における水蒸気噴火のポテンシャル評価に資するため、GNSS 観測及び地震観測を開始した。九重火山においては、硫黄山の地下に鉛直に伸びる高比抵抗領域が検出されマグマ貫入域もしくは高温ガスの通路と解釈された（九州大学 [課題番号：2201]）。

(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、及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

桜島昭和火口における噴火活動は 2009 年後半以降、ブルカノ式噴火活動が活発化している状態が続いている。地震、地盤変動観測、重力測定、火山ガス放出量、噴出物の分析を継続するとともに、火山体構造の変化抽出のための解析を行った。

有村観測坑道のひずみ計の記録について、伸長量と収縮量はほぼ同じであることが多いことを示した。これは短期的には爆発に先行する膨張量から爆発の規模を確率的に予測することが可能であることを意味する。桜島の地盤は、約 1 年周期で膨張と収縮を繰り返しているが、2009 年 10 月～2010 年 5 月及び 2011 年 11 月～2012 年 2 月の地盤の膨張は、それまでの年周変化的な変動をはるかに超えており、マグマの貫入量が数十万 m³/月のレベルまで増加したものと考えられる。これらの時期には噴火活動が活発化し、火山灰放出量も増加しており、マグマ貫入と同時にマグマ放出が起こる開口型火道系の特徴的な地盤変動と噴火活動を示している。また、火山灰に付着する水溶性成分である塩素イオンと硫酸イオンの比も、2009 年及び 2011 年のマグマ貫入イベントに同期して増加した。2015 年 1 月に始まるマグマ貫入イベントの際も同様に上昇しており、火山灰水溶性成分の化学分析は短期的なマグマ貫入イベントを検知できるツールである（京都大学防災研究所 [課題番号：1908]）。

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。東北大学では火山噴出物の組織に基づく火道浅部プロセスの推定手法に関する研究を行い、霧島山新燃岳 2011 年の噴火様式の分岐に対応した噴火噴出物のナノライトの鉱物組み合わせの相違を発見している。Fe-Ti 酸化物ナノライトの鉱物の鉱物相は磁鉄鉱、輝石ナノライトはピジョン輝石・普通輝石・サブカルシック普通輝石と決定でき、これによりナノライトの結晶作用の物理化学条件がより明確に特徴づけられるようになった（東北大学、[課題番号：1205]）（図 2）。

北海道教育大（[課題番号：2925]）は、十勝岳 1962 年噴火の噴出物の発泡度や気泡組織、マイクロライト数密度などの岩石組織やガラスの化学組成の解析から、噴火様式の推移を考察している。このほか、桜島、阿蘇、口永良部島、箱根の火山灰構成粒子組成の特徴やその変化に関する研究も実施されている（産業技術総合研究所 [課題番号：5006]）。

マグマ噴火のモデル化のためには地球物理学的観測だけでなく、地球化学や岩石学的手法を用いた多項目の観測が必要である。伊豆大島、霧島山、有珠山、浅間山においても地球電磁気学、多項目観測による比較研究が行なわれている（東京大学地震研究所 [課題番号：1508]）（図 3）。産業技術総合研究所は口永良部島、桜島、阿蘇山、浅間山においてセスナ機・無人ヘリを用いた Multi-GAS による火山ガス組成観測を実施し、噴火活動推移に伴う火山ガス組成の変化から噴火推移の評価を行った。更に、桜島火山において高時間分解能の SO₂ 放出率変動観測を実施し、噴火発生前における火山ガス放出率の減少を明らかにした（[課題番号：5006]）。

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た全国連携の比較研究が開始された。このうち、阿蘇山と口永良部島については、26 年度中に噴火が発生しマグマ性の活動に移行したため、27 年度からは課題 1802（代表：京大理）にて実施、本課題とは情報共有で連携することとなった（北海道大学 [課題番号：1003]）。

十勝岳では、26年度に整備した広帯域地震計・孔中傾斜計・プロトン磁力計による常時観測を継続した。これまで捉えられていなかった、火山性微動に伴うわずかな傾斜変動などの現象が検知可能になった。また、SO₂ガスの遠隔自動観測（望岳台観測点）を夏季限定で実施した結果、前年と比べて放出率が150 t/dに増大していた。簡易型MultiGASによる噴気ガス（H₂S、SO₂、CO₂）の観測からは、高いSO₂/H₂S比が得られており、遠望写真観測からも噴気量の増大が認められた。高周波微動振幅の増大、浅部の消磁を示唆する磁場変化の加速なども観測されている。これらはすべて、2015年5～8月に起こった62-2火口南西外縁部における局所的な地盤膨張や地熱異常域拡大と関連していると思われるが、各種現象の統一的なモデル化や他火山との比較はまだ十分ではない。

吾妻山大穴火口周辺では、浄土平、兎平、酸ガ平の3箇所に孔中傾斜計を設置しデータ収録を開始した（兎平及び酸ガ平は別予算による）。また、テレメータ式プロトン磁力計を2カ所に設置した。吾妻山では2014年10月頃から2015年6月頃にかけて、地殻変動、長周期微動、表層の噴気活動が活発化した。磁場変動との対応などにはまだ未解明の点が残る。別予算によって、広帯域MT観測及び、土壌CO₂拡散放出率分布の調査を実施した。浄土平付近では火山性の土壌CO₂フラックスは見られない一方で、北東側の3カ所に、強いH₂S臭を伴う高CO₂放出率を示す地点があることがわかった。

草津白根山では、2014年3月から湯釜火口周辺域で膨張性の地盤変動が始まり、4月に噴気ガスのH₂S濃度の大幅な減少、5月に地震活動が活発化、5月から6月にかけて小規模ながら湯釜地下での熱消磁と見られる変化が観測されるなど、高温の火山性流体の供給が示唆される状態が継続している（気象庁〔課題番号：7005〕）。

湯釜火口周辺のプロトン磁力計を1カ所テレメータ式に置き換え、連続観測を強化した。全磁力の連続観測によって2014年5月に捉えられた湯釜火口直下の消磁について、数値実験を行った。その結果、観測された消磁は、地下浅部への高温流体のパルス的注入で再現できることがわかった。これは、火口地下のシーリングゾーンが一時的に破壊された可能性を示唆するもので、熱水系卓越型火山で非噴火時に起こる活動の定量的理解に向けて一歩前進した。湯釜火口湖水の化学成分、特にフッ化物イオンと塩化物イオン濃度の顕著な上昇は、膨張が始まった2014年から現在まで継続しており、より高温の火山ガスが関与している火山性流体が現在も地下浅所の熱水系から供給され続けていることが明らかになった。火山熱水系では岩石と酸性熱水との反応が常に起こっているが、陽イオン組成に陰イオン組成の変化が及ぼす影響は考慮されていなかった。フッ化物イオンを加えた塩酸-硫酸の混酸溶液と岩石の反応実験を行った結果、火山性流体の水素イオン濃度だけではなく、フッ化物イオンが岩石からの陽イオン成分の溶脱の促進に深く関わっていることが明らかになった（東京工業大学〔課題番号：1601〕）。

焼岳山近傍では、地震計、傾斜計、GNSS受信機等のほか、プロトン磁力計、地中温度計等の機器を設置する観測システムの構築を行い、上高地下堀沢及び焼岳中尾峠の観測点については、データの取得が始まっている（京都大学防災研究所〔課題番号：1909〕）。

箱根山の大涌谷では、2015年4月26日から群発地震が発生し、6月末には小規模な噴火が発生した。大涌谷噴気のCO₂/H₂O比は2015年4月下旬の群発地震開始と同期して急激な上昇を示している。CO₂は典型的なマグマ性成分なので、群発地震と同期してマグマ性ガスの放出があったと推定される（東海大学〔課題番号：2922〕）。

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。非常に活発なマグマ噴火を続けている西之島の周囲で海水試料を採取し、海水の組成分析を行った。その結果、すべての海水試料でpHは通常の海水よりも酸

性側にシフトしており、塩化物イオン濃度が通常の海水よりも低いのにに対して、フッ化物イオンや硫酸イオンは僅かに高い。この結果から、西之島の周辺の海水は火山ガスもしくは酸性熱水の影響を非常に強く受けており、熱水中には含まれているけれども海水中には微量にしか含まれない成分であるフッ化物イオン濃度が海底火山活動にともなう熱水活動を捉えるには適していると言える（東京工業大学〔課題番号：1602〕）。一方、南西諸島海域の島弧系及び背弧海盆において火山活動に起因するヘリウム、pH、濁度、溶存炭素同位体、メタン、マンガンなどの海水中の3次元分布とその時系列変化を明らかにするために、鹿児島湾北部の若尊カルデラから放出される海底熱水活動を継続して観測している（東京大学大気海洋研究所〔課題番号：2802〕）。

研究計画の開始当初、熱水系卓越型火山としてターゲットだった5火山（十勝岳・吾妻山・草津白根山・阿蘇山・口永良部島）のうち、阿蘇山・口永良部島については2014年に噴火が発生し、マグマ性の活動に移行した。2014年には御嶽山でも噴火が発生したことから、これらの3火山については27年度からは別課題で地震観測、測地観測、地磁気観測、火山ガス測定を実施し、水蒸気噴火後の過程で発生するさまざまな現象を捉え、これらの観測結果を比較することとした。水蒸気噴火後の活動推移予測の精度を高め、水蒸気噴火に至る過程で発生した事象から共通するものを抽出し、水蒸気噴火準備過程のモデルを構築するための基礎材料とすることもこの課題の目標である（京都大学理学研究科、〔課題番号：1802〕）。

阿蘇山火口周辺では、広帯域地震観測網及び短周期地震計アレイの維持を引き続き行い、火山活動に伴う各種の火山性微動の観測を行った。この結果、阿蘇山で断続的に観測されている長周期微動の卓越周期が、地表活動の活発化にしたがって明瞭に変化することが明らかになった。このような時間変化は、2014年11月及び2015年9月の噴火にやや先行して見られ、1994年の広帯域地震計による観測開始以来では、最大規模の変化であった。また、同時に微動の発生回数や振幅も増大していた。これは浅部火道中の流体の温度・物性が活動に伴い変化し、火道壁における固液2相弾性カップリングによる境界波の伝播特性が変化したためと解釈出来る。このことは、水蒸気噴火・マグマ水蒸気噴火を引き起こす浅部流体のモニタリングを地震学的手法により連続的に行うことができ、火山災害誘因の把握に有効である可能性を示す。また、長周期微動の周期の変化は、草千里下のマグマ溜まりをはさむGPS基線の変化と対応しており、マグマ溜まりの増圧により、火道へ流れ込む流体の温度・物性の変化が引き起こされていることが示唆される。

2015年9月、10月のマグマ水蒸気噴火に先行した顕著な地磁気変化は捉えられなかった。これは2014年11月のマグマ噴火開始前の地磁気変化（図4）とは大きく異なっていたことから火口直下浅部の状態が噴火形式に影響を及ぼしている可能性もあり、今後の精査が必要であろう。2015年10月の噴火以降、それまで続いていた緩やかな消磁（地下温度上昇）のセンスが、僅かに帯磁（地下温度低下）のセンスに変わっているように見える。10月の噴火以降、火口底に湯だまりが一部復活したことから少なくとも浅部において地下水が火口の中心まで浸透し温度が低下していることが示唆される。また今年度、地磁気観測データの解析手法の改良に取り組んだ。より高精度な火山活動起因のトレンド抽出のために Fujii and Kanda (2008) の方法を応用した解析方法を用いて等価磁気源解析を行い、磁場変化源（＝熱源）の位置の時間的推移を明らかにした（図4）。今後この結果とその他の観測・解析結果を総合することで、この期間におけるマグマ移動についての重要な情報がもたらされることが期待される。

口永良部島では2014年8月3日の噴火直後の二酸化硫黄放出量は300トン/日に増加した。放出量はそれ以降も徐々に増加し、2014年11月末に急激に増え、1000～3000トン/日の状態が続いた。このレベルの二酸化硫黄放出量はマグマ性噴火が発生している桜島や阿蘇山に匹敵する噴出率である。その後この放出量は2015年5月に、二酸化硫黄放出量は300～700トン/日に減少し、明らかに2014年12月以降とは異なる状況を示した。この減少は火道上端部の閉塞に対応していた可能性がある。2014年11月末の二酸化硫黄放出量

の増加と同期して屋久島と口永良部島間のGNSS観測による基線長の短縮が始まった(国土地理院, 気象庁の連続観測)。また, 2015年3月の島内山麓におけるGNSSキャンペーン観測では, 新岳を中心とする放射状の変位ベクトルが得られており, 屋久島と口永良部島間の基線長の短縮は口永良部島の新岳を中心とする膨張と解釈できる(図5)。

2015年3月に行った新岳西山麓の水準測量では, 2014年8月に比べ火口側隆起の上下変動が検出されたことも口永良部島の山体の隆起・膨張を裏付ける。2014年以前の地盤変動は新岳山頂において極めて大きい, 山麓には顕著な変動はなかった。山麓において地盤変動が検出されたのは, 1996年に地盤変動観測を開始して初めてのことであった。地盤変動と同期して, 徐々に火山性地震発生回数も増加し, 2015年1月24日には, 最初の有感地震(震度1)が新岳西山麓の深さ5kmで発生した。そして, 5月19日ごろからは新岳火口近傍の地震計に観測されるような極微小地震が増加し, 5月23日には新岳西山腹浅部を震源とする有感地震(震度3, M2.3)が発生した。5月23日の地震は1月24日の地震と同様に新岳西山麓に震央をもつが, 震源深さが1kmと浅くなっている。

5月23日の有感地震発生以降も地震活動は高い状態が続き, 火山構造成地震の多発から低周波地震やモノクロマティック地震への地震活動の推移が見られた。以上のように, 2015年5月29日の噴火は, 2014年8月3日の噴火以降に, 火山ガス放出量の増加, 地盤変動, 火山性地震活動の活発化などが段階的に進行する中で発生した。

御嶽山では, 噴火前から繰り返し実施されてきた水準測量データを用いて, 2014年噴火に至る噴火準備過程の解明を試みた。その結果, 2006年以降は山頂方向の隆起を示す変動パターンであることが明らかとなった。この隆起は2007年の小噴火後も沈降に転ずることはなく, 2009年まで継続している。2013年の測量結果からもこの隆起が2013年まで継続していたことが示唆される。2009-2014年の測量結果は約10mmの沈降を示しているのに対して, 噴火後半年間では概してわずかな山頂方向の隆起に転じており, 今後の活動推移を予測する上で重要な結果が得られた。圧力源としては隆起の期間(2006-2009)には山頂直下の浅いシル状クラックと, その下の深いダイク状クラックの開口が, 沈降の期間(2009-2014)には収縮する山頂直下の浅いシル状のクラックが推定された。上下変動の時間変化と圧力源モデルから, 2006年に山頂直下へマグマが貫入し, 山頂直下の浅いシルと深いダイク状のクラックが開口して2007年噴火が発生したこと, 2007年噴火後もマグマ供給は継続したが2014年噴火後に浅いシル状のクラックは収縮に転じていることを示唆する。

地震活動については, 御嶽山2014年噴火を挟む2014年8月31日~9月30日に山頂域で発生した地震についてdouble difference法による震源再決定を行った(図6)。震源分布は, 南北に伸びた震源分布と噴火直前10分間の震源移動を見出した。これらの地震とのmatched filter解析により更に多くの地震を検出し, 火山構造成地震の活動ピークが9月11日であったこと, これに4日ほど遅れて低周波地震活動が活発化したこと, 9月16日頃にかけてb値が上昇したことを明らかにした。また, 噴火開始の25秒前に発生した超長周期地震の波形インバージョン解析を行い, 火口直下の深さ600mにおける南北走向クラック解を得た。この走向は震源分布と整合的であり, 既存弱面を用いた水蒸気上昇に伴う微小亀裂の開閉イベントの一つと解釈した。

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

噴火事象系統樹の高精度化には, 詳細な噴火履歴と噴火推移が明らかになっている必要がある。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。

今年度は、浅間山を対象火山として事象系統樹作成を進め、暫定版を完成させた（北海道大学〔課題番号：1004〕）。噴火史、古記録解析及び地質学的調査に基づく大規模噴火の推移、地球物理学的観測から見た活動の変遷、最近の噴火事例の比較などについて整理を進め、過去1万年間に3回の活動期があること、そして活動期での噴火頻度・規模は最近になって増大していることがわかった。今後、最近の1000年間の噴火活動について、規模に基づいて噴火分類を行い、それぞれの分類単位での噴火様式・推移について共通点・相違点を検討して噴火事象系統樹の完成を目指す。

十勝岳ヌッカクシ火口域（安政火口）については、追加の現地調査を行い、噴火年代と噴出物の分布範囲を再検討した。この調査は課題番号1003「熱水系卓越火山に関する研究」との連携しながら行った。その結果、約2800年前に山体崩壊を伴う比較的規模の大きい水蒸気噴火を起こし、その後に最低でも6回の水蒸気噴火を起こしたこと、その中の最新期のは西暦1739年より新しいことがわかった。

昨年度緊急的に作成した蔵王山の噴火事象系統樹を高度化するために、本年度は、五色岳の過去約2千年間の噴出物について、特にテフラ層を重点的に調査し、テフラ層の識別を行った上で、各テフラ層をもたらし噴火の特徴・噴火時期・規模の概要を明らかにした。噴火時期は、テフラ層に挟在される古土壌を系統的に採取し年代測定を行い、それを基にテフラ層序学的に検討して推定した（山形大学、〔課題番号：2932〕）。

富士山では文献調査を行い、既存のデータをデータベース化の作業を実施した。更に、富士山における溶岩の古地磁気既存の古地磁気データベースと整合するかどうかの確認のために、放射性炭素年代測定法で年代値が明らかとなっている溶岩の古地磁気方位の測定を実施した（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、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。この目的のため、多項目観測が中長期に実施されている、雲仙岳、モンセラート島（スープリエール・ヒルズ）、シナブン火山、伊豆大島、三宅島、霧島山新燃岳に加え、最近国内で噴火した御嶽山や口永良部島、また、雌阿寒岳、ストロンボリ火山、エトナ山などについて、噴火事象と観測量を時系列化し、噴火現象の分岐前に共通して現れる観測量をまとめた。昨年度の成果（1. マグマ噴火開始前に中期的な全磁力等の異常、2. 水蒸気爆発からマグマ爆発への分岐前に、山体膨張、地震活動の火山性ガスの活発化、3. 火砕流発生（ドーム崩落）前に、山体膨張、地震活動の活発化、4. 山頂噴火から山腹噴火への分岐前に地震活動の活発化、急激な山体変形）と調和的な結果が得られ、このような観測量のモニタリングが分岐判断に有効であることが確かめられた。一方で、観測項目によっては、噴火直前に変化が起きない例もあることもわかった。

3. 地震・火山噴火の災害要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

火山噴火のメカニズムの基礎研究や噴火事象の観測研究を防災・減災へ結びつけ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及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に加えて災害要因を即時的に把握する観測研究が必要である。

京都大学防災研究所では、ブルカノ式噴火の発生頻度が高い桜島を対象に、噴火に伴う噴煙の早期検知と粒子密度の推定を行った（京都大学防災研究所〔課題番号：1913〕）。ブルカノ式噴火によって多量の火山灰が噴煙として大気中を上昇し、浮遊拡散するとともに、火山周辺に多量に降下する。浮遊火山灰は航空機の運航に障害を与え、降下火山灰は、農林水産業被害、健康被害、地上交通網の停止と噴火活動静穏化後も繰り返される泥流等の土砂災害を引き起こす。発災原因である噴煙に伴う火山灰浮遊推定量をする技術を開発するとともに、シミュレーションを用いて大気中を浮遊拡散する火山灰粒子密度分布と降下する火山灰の堆

積分布を予測する。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GNSS、XバンドMPレーダー、ライダーを用いて行った。GNSSの位相残差とSN比データの両者に乖離が確認され、両データに反映される物性が異なる可能性が明らかになった。桜島で採取した噴煙粒子のサンプルを、防災科学技術研究所の大型降雨実験施設内で自由落下させ、落下速度、形状、落下姿勢などの噴煙パラメータを求めた結果、粒径の落下速度は形状と落下姿勢に依存することが確かめられた。これらの情報は噴煙のふり分け効果に伴うXバンドMPレーダー反射強度や反射因子差の水平分布などの時間変化の解釈や降灰のノウキャスト手法の開発に役に立つであろう。XバンドMPレーダーにより観測された反射因子の時空間分布から火山灰の量的把握を目的として、噴煙高度が5000mに達した2013年8月18日の桜島爆発のレーダー画像を解析し、降灰量と比較した。その結果、反射因子から降灰量を求めることが可能であることが明らかになった。桜島島内の二カ所にライダーを設置して微小火山灰粒子の検出実験を行った。使用したライダー装置は極めて微量な火山灰粒子を検出可能なことから航空機の航路における火山灰検知に有用である。散乱強度の空間分布から約2km付近まで、微小粒子を追跡可能であり、散乱強度は火口から離れるにつれて低下することがわかった。このことは、散乱強度から微小粒子の濃度が推定可能なことを示す結果である。

気象庁では、活動的な火山である桜島等を対象として、気象レーダーにより噴煙のエコー強度やマルチパラメータ等を観測し、噴煙状態等を速やかに把握する手法の検討を行った（気象庁〔課題番号：7010〕）。

2015年5月29日口永良部島噴火噴煙の気象庁レーダー観測網データ、ひまわり画像を解析した。レーダーのエコー頂高度の時間推移からこの噴火の噴出物総量は66万～110万トンと推定された。2015年5月29日と6月18日口永良部島噴火の降灰予報の検証を行った。5月29日の事例検証では、モートンの式に基づく噴出物量推定のブルカノ式噴火への適用方法の検討、風の影響を考慮した噴煙供給源モデルへの改良が必要であることがわかった。また遠望カメラ、気象レーダー・衛星ともに噴煙高度が不明であった6月18日の事例検証で降灰予報（定時）で仮定している噴煙の高さは妥当であったことを確認した。

2011年1月27日06時JSTにひまわり7号で観測された霧島山新燃岳2011年噴火による火山灰雲に対し、火口上空における火山灰粒子の放出時刻・高度を対応付けることにより、この時刻の火山灰雲が、高度3km（南端）から7km程度（北端）にかけて緩やかに傾斜していたことがわかった。火山灰雲の再現結果は、初期粒径分布の仮定に対しても依存しており、分散を従来よりも大きくすることで再現性が向上することがわかった。また、日々の気象場の変化が大規模噴火時の降灰予測に与える影響を点検し、降灰ハザードマップの改良等の研究に活用するため、富士山宝永噴火及び桜島大正噴火を想定した降灰シミュレーション計算を毎日実行し、結果を図示するリアルタイムコンテンツの仕組みを構築した。2015年から開始し、計算結果を蓄積している。

LANDSAT-8やTerra、EO-1衛星に搭載された光学センサーの画像から西之島の噴煙活動（放熱率）の評価を行うとともに、光学センサーやSARデータを用いて抽出した溶岩流出活動との関連について調査を進めた。この結果、新島が確認され、約2年経過した2015年10月時点でも、その活動は噴火当初とほぼ同じ水準で推移もしくは低下していることがわかった。

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

火山噴火の発生の場所・規模・時期を予測すること及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、それに基づく住民に対する信頼できる情報発信は避難行動に寄与する。

噴火事象系統図にリストアップされる桜島の噴火の規模と様式について、前駆活動及び火山噴火推移の事象の発現に沿った避難計画策定の可能性について検討した（京都大学防災研究所〔課題番号：1914〕）。これ

まで考えられてきた前兆事象と噴火規模・様式は、地盤変動から推定されるマグマの貫入速度によって昭和火口のブルカノ式噴火、南岳の昭和火口のブルカノ式噴火、昭和21年噴火のような溶岩流出、大正3年のプリニー式噴火とそれに続く溶岩流出を予測するものである。火山性地震の活動度は低いので、地震エネルギー積算量が前兆事象と噴火規模・様式との対応において判断条件となる。今年度、桜島において大規模噴火が発生しうる状況での避難の意向に関するアンケート調査を実施し、避難行動を分析した。アンケートでは、基本データとして住所や世帯構成、家屋の構造等について情報収集したうえで、特に、避難の方法と経路について、何も火山活動に関する情報がない場合、大規模火山噴火の発生予測に関する情報が発表された場合、大規模火発生後の3段階について同様のアンケートを繰り返し、アンケートの回答を進めるにつれ、学習できるように配慮した。鹿児島市党の地方自治体と詳細な結果を共有し、防災対策に活用してもらう予定である。

気象庁は、火山活動の情報提供について、臨時の「火山の状況等に関する解説資料」の提供開始し、噴火速報の運用を開始し2015年9月14日に阿蘇山で発生したマグマ水蒸気噴火の際に初めての速報が提供された。また、噴火警戒レベル1及び噴火予報のキーワードを「平常」から「活火山であることに留意」に変更し、活火山に対する注意喚起を行った（気象庁〔課題番号：7012〕）。

4. 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

観測研究の成果が防災・減災に効果的に役立つためには、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。そのために気象庁は、3回の火山噴火予知連絡会（定例会）し、火山活動の評価・検討が行われ、その検討結果はHPなどで公表されている（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

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・拡充を進めることは重要である。全国の活火山について、全国4か所の火山監視・情報センターにおいて、地震計、空振計、GPS等により、連続的な監視観測を行った（気象庁〔課題番号：7017〕）。平成23年度から実施している火山観測施設の更新計画に基づき観測施設を更新と整備を行った平成27年度に噴火が発生した口永良部島と箱根山については、臨時に観測機器を設置して観測強化を行った。全国の火山について、地震観測、GPS繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測を計画的に実施した。各種監視・観測で得られた成果は、噴火警報、火山の状況に関する解説情報、火山活動解説資料等の防災目的の情報や資料として公表された他、地震火山月報（カタログ編）や火山報告等で取りまとめて公表した。

山梨県富士山科学研究所では、富士北麓の北東麓忍野、北麓富士吉田、河口湖、北西麓富士ヶ嶺の4観測点で地下水位、地下水温、電気伝導度を測定している。富士吉田観測点については、観測井をあらたに掘削し、観測点、機器を更新した。河口湖観測点と富士ヶ嶺観測点において、2011年3月の東北地方太平洋沖地震とそれに続いて発生した静岡県東部地震では地下水位の変動が見られたが、現在のところ、これ以外の変動は観測されていない。現在のところ富士山北麓において火山活動との関連で地下水の観測点は限られており、側火口が揃う北西ラインを全てカバーできていない。したがって、新規の観測点の増設や既存の温泉井などの活用ができるように、地下水観測体制の強化整備等を図った（山梨県富士山科学研究所〔課題番号：9201〕）。

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

全国の監視・観測網で得られた膨大なデータの効率的利用と継続的取得は、長い時間スケールをもつ火山現象の理解とその予測にとって重要である。柿岡、女満別、鹿屋、父島、祓川の5観測点における地磁気4成分連続観測データを、引き続き統一的な形式に整理した。これらのデータを月毎に地磁気観測所データベースに登録・公開するとともに、前者4地点のデータを国際的なデータセンターに提供し、活動的な火山を対象とする全磁力精密観測データについて、継続してデータベースに登録した(気象庁[課題番号:7018])。

海上保安庁海域火山の定期巡回監視及び海域火山基礎情報図整備を継続して実施する。海域火山データベースの整備及び公表を継続して行う。また、西之島の火山活動の航空機による定期的な目視観測及び熱計測を行い、さらに衛星画像を活用した監視観測を継続している(海上保安庁[課題番号:8003])(図7)。

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。

東京大学大学院理学研究科([課題番号:1403])は、昨年度設計・開発した簡易型トラバース測定装置に簡易装置のボックス内に3Gルーターを入れることで、観測終了時に観測データを3G回線を使って自動的にクラウドサーバーへアップロードするように測定用ソフトウェアを改良した。その後、さらに測定の簡易化を進め、現在はスイッチを入れるだけで自動的に観測・データ転送までを行うシステムとなっている。その他、Lバンド航空機SARに火山観測のためのプログラム開発(北海道大学[課題番号:1008])、航空機搭載型光学センサーの改良及び合成開口レーダー(SAR)干渉解析ツール(RINC)の改良と霧島山、桜島、十勝岳等の地表変動研究(防災科学技術研究所[課題番号:3005])、ひまわり8号のAHI画像を利用したリアルタイム観測システムのプロトタイプの開発と複数衛星データによるインドネシア、ラング火山2015年噴火推移の解析(東京大学地震研究所[課題番号:1520])、開発した絶対重力計プロトタイプTAG-1を改造及び実用性を高めた新型プロトタイプの開発(東京大学地震研究所[課題番号:1506])が行われている。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自動画像生成ソフトウェアの開発によって活動中の火山体内部構造の解析の即時性の向上が図られている(東京大学地震研究所[課題番号:1523])。

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及び発生場の解明、噴火のモデル化、観測手法の開発及び体制の整備に関する研究等を推進している。

熱水系の卓越した火山の比較研究でターゲットだった5火山のうち、口永良部島では2014年8月3日にマグマ水蒸気噴火が、阿蘇山でも1993年以来のマグマ噴火が2014年11月25日に発生した。この間の9月27日には熱水系の卓越した火山としての研究対象には含まれていなかった御嶽山で水蒸気爆発が発生し、多数の死傷者を出す大きな火山災害となった。そこで本部会内の課題を整理し、口永良部島、御

嶽山, 阿蘇山の3火山を研究対象とした新規課題”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”を2015年度から立ち上げた。各火山において地震観測, 測地観測, 地磁気観測, 火山ガス測定を実施し, 水蒸気噴火後の過程で発生するさまざまな現象を捉え, これらの観測結果を比較することにより, 水蒸気噴火後の活動推移予測の精度を高める研究を開始した。水蒸気噴火に至る過程で発生した事象から共通するものを抽出し, 水蒸気噴火準備過程のモデルを構築するための基礎材料とすることもこの課題の目的である。

口永良部島では, 2014年8月3日の噴火後から二酸化硫黄放出量の増加, 口永良部島の新岳を中心とする膨張, 山麓での火口側隆起の地盤変動, 火山性地震の多発, 有感地震の発生, と段階的に進行し, 2015年5月29日の噴火発生に至った。この噴火で我が国の火山において初めての特別警報(噴火警戒レベル5)が発表され, 島外への避難が行われた。6月18日にもやや小さい規模の噴火は発生したが, それ以降に噴火は発生していない。この噴火の1日前から火山性地震が多発しており, 火山性地震観測は有効な火山活動状況の評価材料になりうる。その後の観測で, 二酸化硫黄放出量の著しい減少, 地盤変動はほぼ停止, 火山性地震は発生し続けているもののその活動状態は2015年5月の噴火の直後よりも低く, 段階的に火山活動は沈静化している。

口永良部島で噴火直前に観測されたガスの放出率の変化と地盤変動は変化は, 火道・火山体浅部に熱水系を有する火山に共通する可能性が高く, 御嶽山, 阿蘇山のみならず他火山との比較を通じて検証していく必要がある。また, マグマ噴火を主体とする火山においても同様の変化が期待されるので, 多項目観測による事例を積み上げる必要がある。多くの火山で火口近傍の観測が徐々にではあるが強化されており, 様々なデータセットを使い, 噴火までの準備過程と噴火の分岐条件を明らかにすることは非常に重要である。いずれの火山においても, 観測機器が被災しても安全に観測実施可能な手法を同時に開発していくことも重要である。

成果リスト

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

新谷昌人 (2015), 光ファイバーネットワークを利用した地震・津波・地殻変動の面的な計測技術に関する研究, 東北大学電気通信研究所研究活動報告, **21**, 252-254.

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

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

Eliasson, J., Weber, K., Vogel, A., Pálsson, T., Yoshitani, J., Miki, D. (2016), Investigation and separation of turbulent fluctuations in airborne measurements of volcanic ash with optical particle counters, *J. Disast. Res.*, **11**, 72-84.

Eliasson, J., Yoshitani, J., Miki, D., Weber, K., Bölke C., Scharifi, E. (2016), Measurements of particle distribution and ash fluxes in the plume of Sakurajima volcano with optical particle counter, *J. Disast. Res.*, **11**, 85-95.

Hasegawa, T., and Nakagawa, M. (2015), Large scale explosive eruptions of Akan volcano, eastern Hokkaido, Japan: A geological and petrological case study for establishing tephro-stratigraphy and -chronology around a caldera cluster. *Quater. Int.*, doi: 10.1016/j.quaint.2015.07.058.

- Hotta, K., Iguchi, M., Ohkura, T., Yamamoto, K. (2016), Multiple-pressure-source model for ground inflation during the period of high explosivity at Sakurajima volcano, Japan - Combination analysis of continuous GNSS, tilt and strain data -, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **310**, 12-25.
- Iguchi, M. (2016), Method for real-time evaluation of discharge rate of volcanic ash - case study on intermittent eruptions at the Sakurajima volcano, Japan -, *J. Disast. Res.*, **11**, 4-14.
- Ishimoto, H., Masuda, K., Fukui, K., Shimbori, T., Inazawa, T., Tuchiya, H., Ishii, K., Sakurai, T. (2016), Estimation of the refractive index of volcanic ash from satellite infrared sounder data. *Remote Sens. Environ.*, **174**, 165-180.
- Ishizuka, O., Taylor, R. N., Geshi, N., Oikawa, T., Kawanabe, Y., and Ogitsu, I. (2015), Progressive mixed-magma recharging of Izu-Oshima volcano, Japan: A guide to magma chamber volume, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **430**, 19-29.
- Kato, A., Terakawa, T., Yamanaka, Y., Maeda, Y., Horikawa, S., Matsuhira, K., and Okuda, T. (2015), Preparatory and precursory processes leading up to the 2014 phreatic eruption of Mount Ontake, Japan, *Earth Planet. Space*, **67**, 111.
- Kazahaya, R., Aoki, Y., Shinohara, H. (2015) Budget of shallow magma plumbing system at Asama Volcano, Japan, revealed by ground deformation and volcanic gas studies. *J. Geophys. Res., Solid Earth*, **120**, 2961-2973.
- Kazahaya, R., Maeda, Y., Mori, T., Shinohara, H., Takeo, M. (2015), Changes to the volcanic outgassing mechanism and very-long-period seismicity from 2007 to 2011 at Mt. Asama, Japan. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, **418**, 1-10.
- Kawaguchi, R. and Nishimura, T. (2015), Numerical investigation of temporal changes in volcanic deformation caused by a gas slug ascent in the conduit, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **302**, 1-10.
- Kusagawa, T., and Tanaka, H. K. M. (2015), Development of the very long-range cosmic-ray muon radiographic imaging technique to explore the internal structure of an erupting volcano, Shinmoe-dake, Japan, *Geosci. Instrum. Method. Data Syst.*, **4**, 215-226.
- Maeda, Y., Kato, A., Terakawa, T., Yamanaka, Y., Horikawa, S., Matsuhira, K., and Okuda, T. (2015), Source mechanism of a VLP event immediately before the 2014 eruption of Mt. Ontake, Japan, *Earth Planet. Space*, **67**, 187.
- Maki, M., Iguchi, M., Maesaka, T., Miwa, T., Tanada, T., Kozono, T., Momotani, T., Yamaji, A., Kakimoto, I. (2016), Preliminary results of weather radar observations of Sakurajima volcanic smoke, *J. Disast. Res.*, **11**, 15-30.
- Matsumoto, S., Katao, H., Iio, Y. (2015), Determining change in the state of stress associated with an earthquake via combined focal mechanism and moment tensor analysis: Application to the 2013 Awaji Island earthquake Japan, *Tectonophysics*, **649**, 58-67.
- Matsumoto, S., Nakao, S., Ohkura, T., Miyazaki, M., Shimizu, H., Abe, Y., Inoue, H., Nakamoto, M., Yoshikawa, S., and Yamashita, Y. (2015), Spatial heterogeneities in tectonic stress in Kyushu, Japan and their relation to a major shear zone, *Earth, Planet. Space*, **67**, 172.
- Miyazaki, M., Matsumoto, S., Shimizu, H. (2015), Triggered tremors beneath the seismogenic zone of an active fault zone, Kyushu, Japan, *Earth, Planets and Space*, **67**, 179.
- Mori, T., Hashimoto, T., Terada, A., Yoshimoto, M., Kazahaya, R., Shinohara, H., and Tanaka, R. (2016), Volcanic plume measurements using a UAV for the 2014 Mt. Ontake eruption, *Earth Planet. Space*,

68, 49.

- Morita, M., T. Mori, R. Kazahaya and H. Tsuji (2016), Diffuse carbon dioxide emissions from hidden subsurface structures at Asama volcano, Japan. *Bull. Volcanol.*, **78**, 17.
- Murase, M., Kimata, F., Yamanaka, Y., Horikawa, S., Matsuhira, K., Matsushima, T., Mori, H., Ohkura, T., Yoshikawa, S., Miyajima, R., Inoue, H., Mishima, T., Sonoda, T., Uchida, K., Yamamoto, K., Nakamichi, H. (2016), Preparatory process preceding the 2014 eruption of Mount Ontake volcano, Japan: insights from precise leveling measurements, *Earth Planet. Space*, **68**, 9.
- Nakada, S., Zaennudin, A., Maeno, F., Yoshimoto, M., and Hokanishi, N. (2016), Credibility of volcanic ash thicknesses reported by the media and local residents following the 2014 eruption of Kelud volcano, Indonesia. *J. Disaster Res.*, **11**, 53–59.
- 大場武 (2015), 化学で解き明かす火山噴火のメカニズム—御嶽山, 箱根山に見る火山活動の実態, *化学*, **70**, 12–16.
- 及川輝樹 (2015), 噴火災害から学ぶ—御嶽山 2014 年噴火, *日本の科学者*, **50**, 230–235.
- Ohta, Y., Iguchi, M. (2015), Advective diffusion of volcanic plume captured by dense GNSS network around Sakurajima volcano: A case study of the Vulcanian eruption on July 24, 2012, *Earth Planet. Space*, **67**, 157.
- Oishi, S., Iida, M., Muranishi, M., Ogawa, M., Hapsari, R. I., Iguchi, M. (2016), Mechanism of volcanic tephra falling detected by X-band multi-parameter radar, *J. Disast. Res.*, **11**, 43–52.
- Otsuki, S., Nakamura, M., Okumura, S., and Sasaki, O. (2015), Interfacial tension-driven relaxation of magma foam: An experimental study, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, **120**, 7403–7424.
- Razzhigaeva, N. G., Matsumoto, A., Nakagawa, M. (2015), Age, source and distribution of Holocene tephra in the southern Kurile Islands: Evaluation of Holocene eruptive activities in the southern Kurile arc. *Quater. Int.*, doi: 10.1016/j.quaint.2015.07.070.
- Rouilleau, E., Vinet, N., Sano, Y., Takahata, N., Shinohara, H., Ooki M., Takahashi, H. A., Furukawa, R., (2015) Effect of the volcanic front migration on helium, nitrogen, argon, and carbon geochemistry of hydrothermal/magmatic fluids from Hokkaido volcanoes, Japan. *Chem. Geol.*, **414**, 42–58.
- Sano, Y., Kagoshima, T., Takahata, N., Nishio, Y., Rouilleau, E., Pinti, D. L., and Fischer, T. P. (2015), Ten-year helium anomaly prior to the 2014 Mt Ontake eruption. *Sci. Rep.* 5, 13069.
- 佐藤鋭一・和田恵治 (2015) 大雪火山, 御鉢平カルデラ形成期の噴出物と噴火活動. *火山*, **60**, 159–166.
- 新堀敏基 (2015), 数値シミュレーションによる降灰予測, *エアロゾル研究*, **30**, 168–176.
- 新堀敏基 (2015), 入門講座 火山噴火と大気環境—第 3 講 火山噴出物の大気動態・環境影響 1. 火山灰. *大気環境学会誌*, **50**, A67–A77.
- Shinohara, H., Miyabuchi, Y., Yoshikawa, S. (2015), Degassing Activity of a Volcanic Crater Lake: Volcanic Plume Measurements at the Yudamari Crater Lake, Aso Volcano, Japan. In "Volcanic Lakes (Eds., Rouwet, D., Christenson, B., Tassi, F., Vandemeulebrouck, J.), *Advances in Volcanology*, pp 201–217.
- Shinohara, H., Ohminato, T., Takeo, M., Tsuji, H., Kazahaya, R., (2015) Monitoring of volcanic gas composition at Asama volcano, Japan, during 2004–2014. *J. Volcanol. Geothermal. Res.*, **303**, 199–208.
- Shuto, K., Nohara-Imanaka, R., Sato, M., Takahashi, T., Takazawa, E., Kawabata, H., Takanashi, K.,

- Ban, M., Watanabe, N., and Fujibayashi, N. (2015), Across-arc variations in geochemistry of Oligocene to Quaternary basalts from the NE Japan arc: Constraints on source composition, mantle melting and slab input composition. *J. Petrol.*, **56**, 2257-2294.
- 高田亮 (2015), 将来を物語る激動の噴火史-宝永噴火後 300 年の富士山 (静岡県・山梨県), *地学雑誌*, **124**, 69-78,
- Takahashi, R. and Nakagawa, M. (2015), Evolution and eruption processes of a highly porphyritic silicic magma system: Petrology of the historical eruptive stage of Hokkaido-Komagatake volcano, Japan. *J. Petrol.*, **56**, 1089-1112.
- Takebe, Y. and Ban, M., 2015, Evolution of magma feeding system in Kumanodake agglutinate activity, Zao volcano, northeastern Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **304**, 62-74.
- Tanaka, H. L., Iguchi, M., Nakada, S. (2016), Numerical simulations of volcanic ash plume dispersal from Kelud volcano in Indonesia on February 13, 2014, *J. Disast. Res.*, **11**, 31-42.
- Terakawa, T., Kato, A., Yamanaka, Y., Maeda, Y., Horikawa, S., Matsuhira, K., and Okuda, T. (2016), Monitoring eruption activity using temporal stress changes at mount Ontake volcano, *Nat. Comm.*, **7**, 10797.
- 塚原えりか・津久井雅志・古川 登・小林哲夫 (2015), 1783 年浅間山天明噴火で噴出した「火山硫黄毛」, *火山*, **60**, 483-486.
- 山本圭吾・吉川 慎・松島 健・大倉敬宏・横尾亮彦・井上寛之・三島壮智・内田和也・園田忠臣・関健次郎・小松信太郎・堀田耕平・藤田詩織 (2015), 水準測量によって測定された桜島火山の地盤上下変動 —2014 年 11 月測量の結果—, *京都大学防災研究所年報*, **58B**, 70-75.
- 山本孝広 (2015), 富士山の噴火史と自然災害, *電気評論*, **100**, 18-21.
- 安田敦・吉本充宏・藤井敏嗣 (2015), 始良火砕噴火のマグマだまり深度, *火山*, **60**, 381-397.
- 安井真也 (2015), 降下火砕堆積物からみた浅間前掛火山の大規模噴火, *火山*, **60**, 211-240.
- 安井真也, 高橋正樹 (2015), 浅間前掛火山山頂部と黒斑火山崩壊カルデラ壁に記録された火砕噴火による安山岩質溶結火砕丘の形成, *火山*, **60**, 109-123.

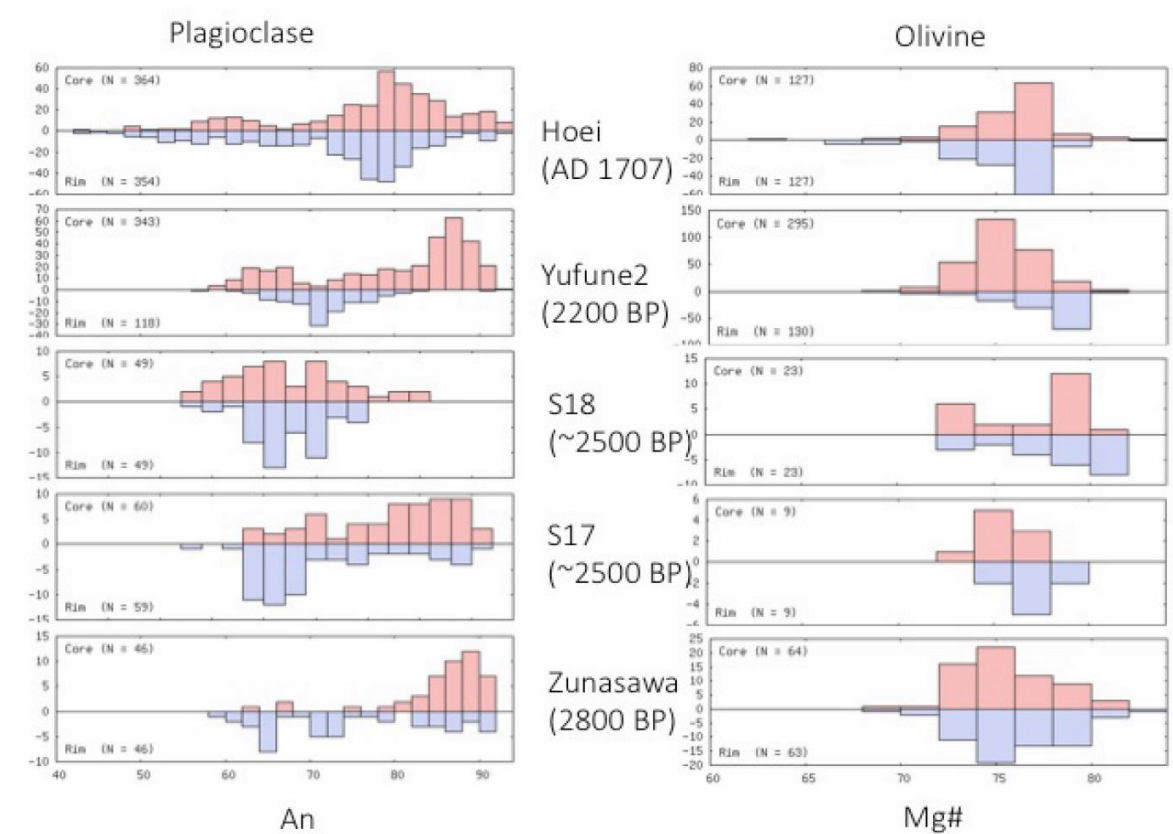


図1. 新富士期のいくつかの大規模噴火における班晶（かんらん石・斜長石）の組成頻度図

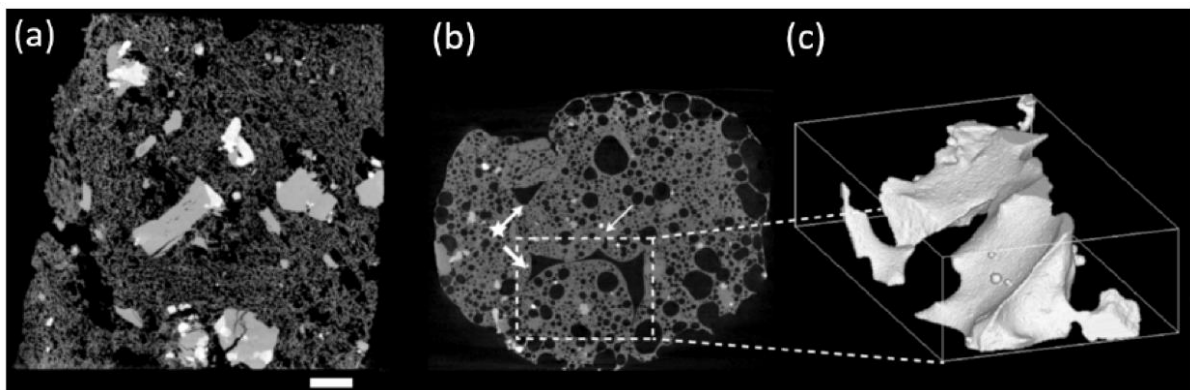


図2. (a) 安山岩質軽石の出発物質, (b) 水蒸気圧 0.077 MPa, 1000°Cで2時間加熱後の実験産物のX線CTスライス像。出発物質の不均質により複数の緩和ユニットが形成され、その隙間に3次元的に連結した脱ガス通路が形成される。(c) (b)を拡大したもの。(a)右下のスケール: 1 mm。

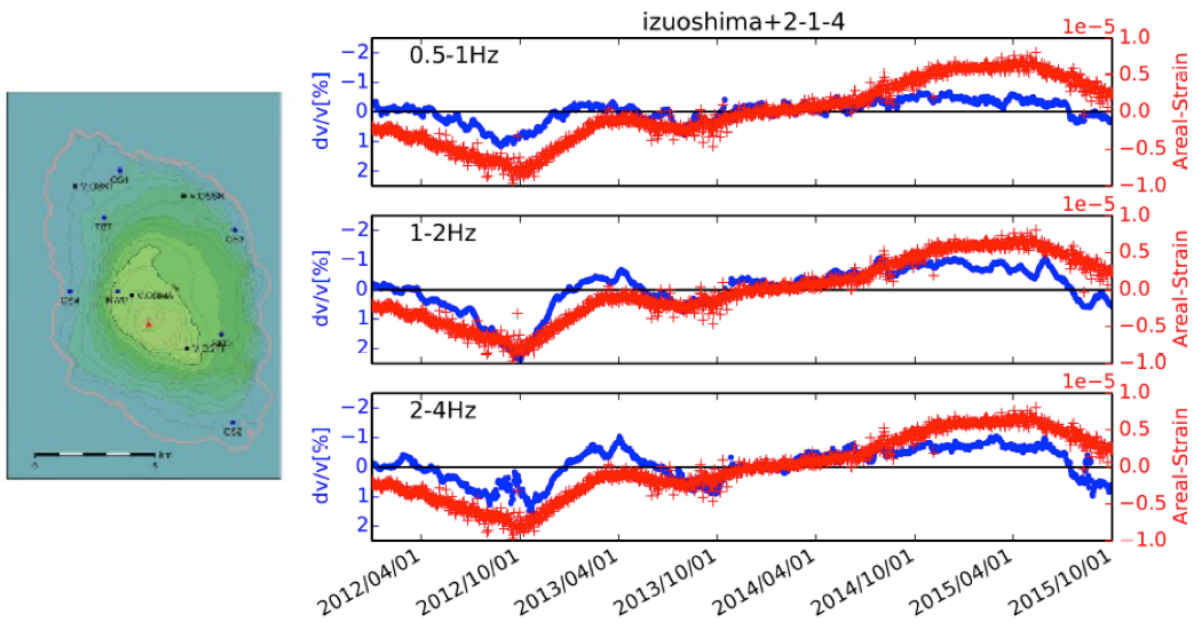


図 3. 雑微動の地震波干渉法解析 (伊豆大島)

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

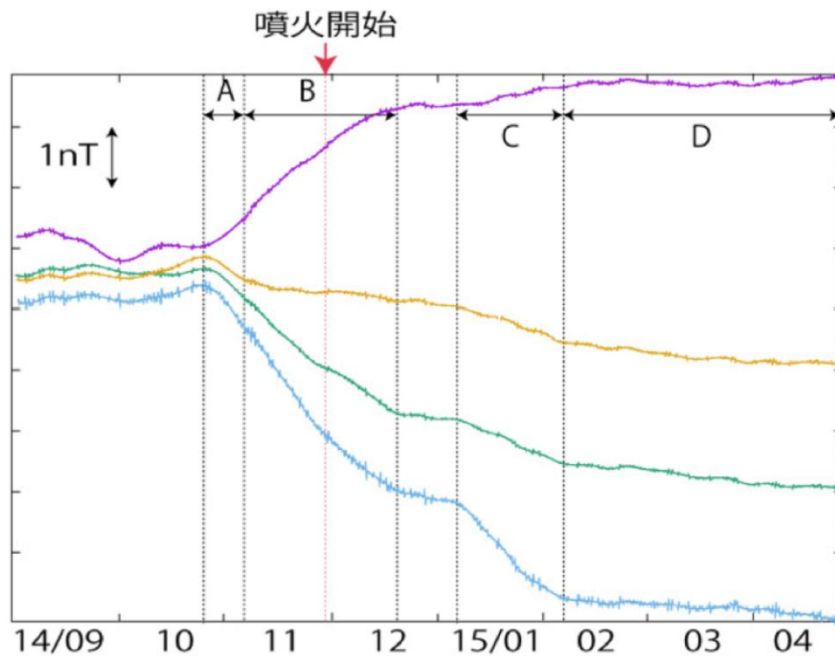


図 4. 新たな解析手法から求められた阿蘇山中岳火口周辺の地磁気変化(2014 年 9 月~2015 年 4 月)

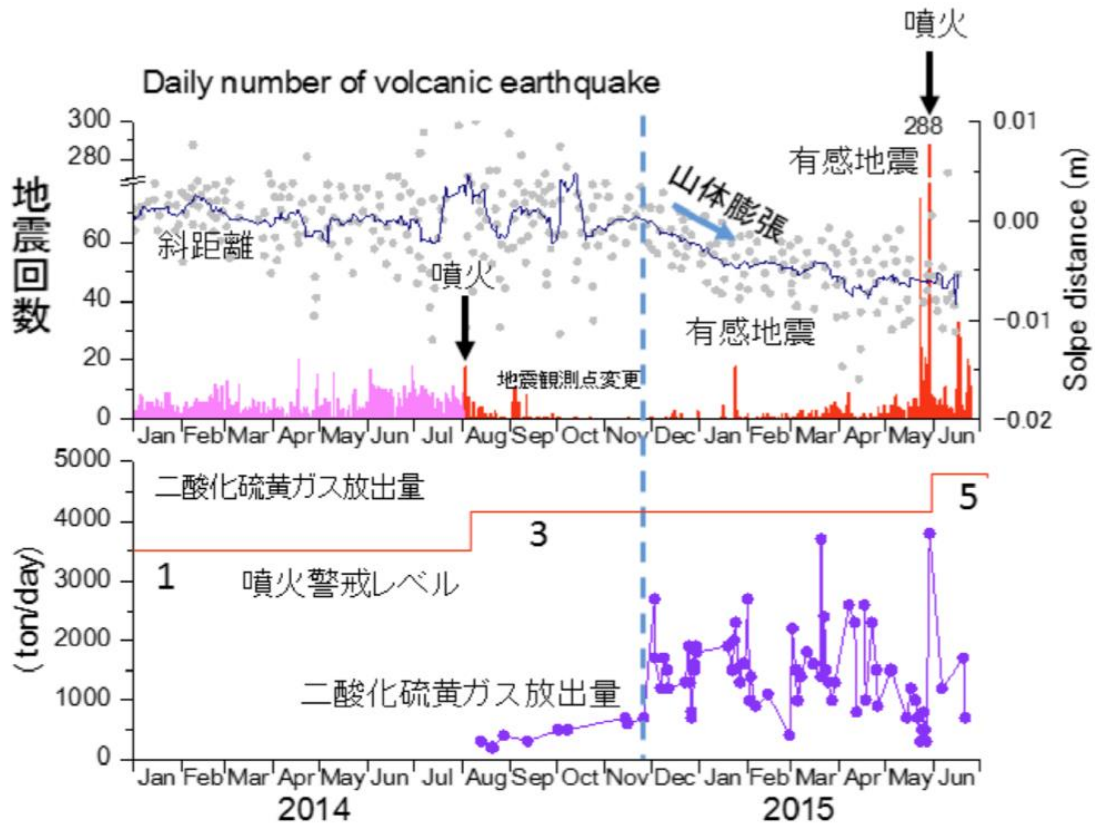


図5. 口永良部島 2014年8月噴火から2015年5月噴火までの火山活動のまとめ
 上段：地震回数及び地盤変動。2014年8月3日以前の日別地震回数は京都大学，それ以降は気象庁による。
 斜距離は国土地理院の屋久島永田と気象庁口永良部島七釜観測点のGNSS観測間のもの。下段：東大・京大
 及び気象庁による二酸化硫黄放出量。

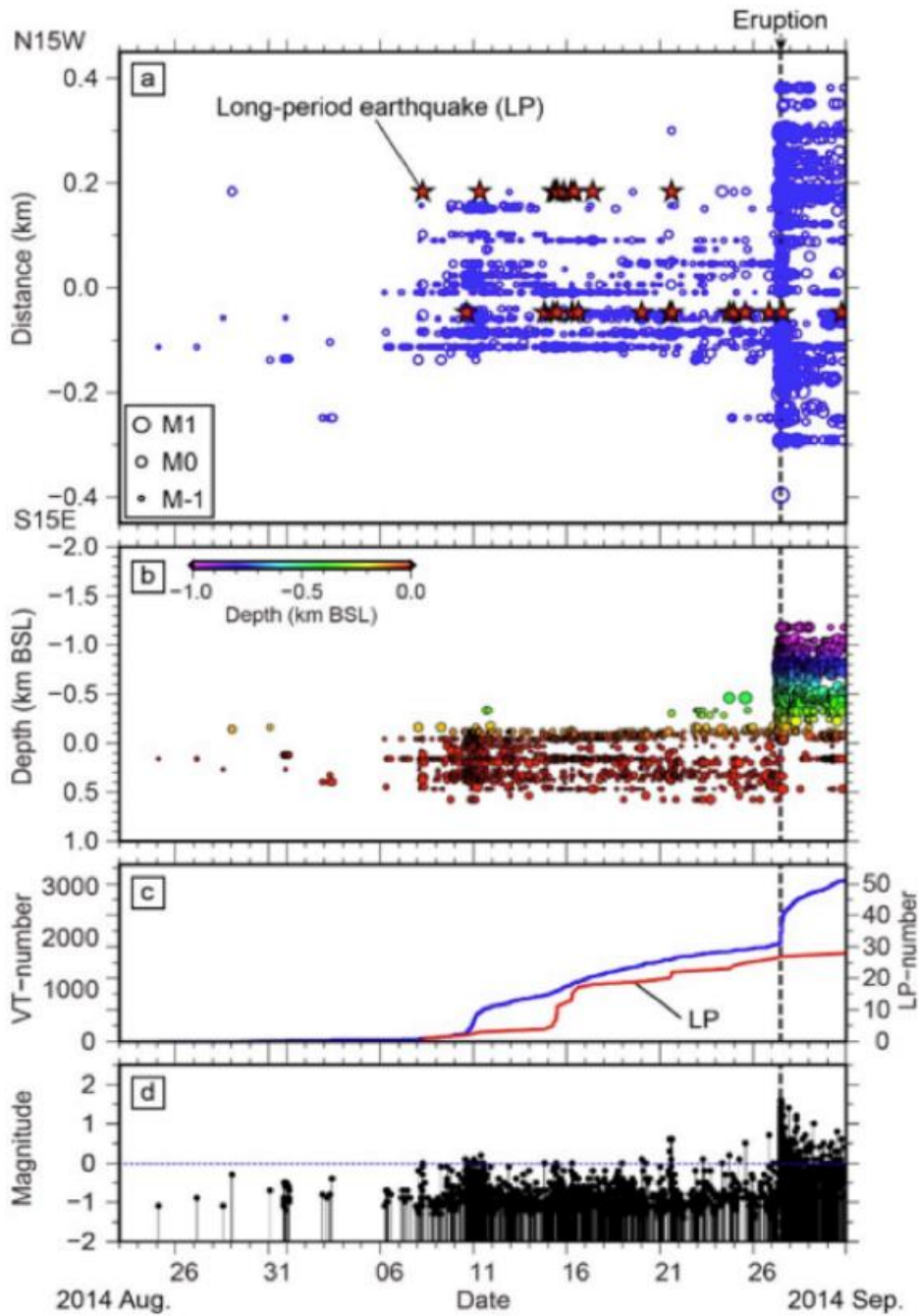


図 6. 2014 年御嶽山噴火前後の山頂直下の地震の時空間発展図

(a) 北北西-南南東方向に投影した地震の時空間発展。縦軸に距離 (km), 横軸に日付を示す。赤星は低周波地震を示す。丸の大きさはマグニチュードによってスケールされている。破線で噴火時刻を示す。(b) 地震の深さ変化。(c) 地震の積算個数の時間変化。青線と赤線が火山構造成地震と低周波地震に対応する。(d) 地震のマグニチュードの時間変化。

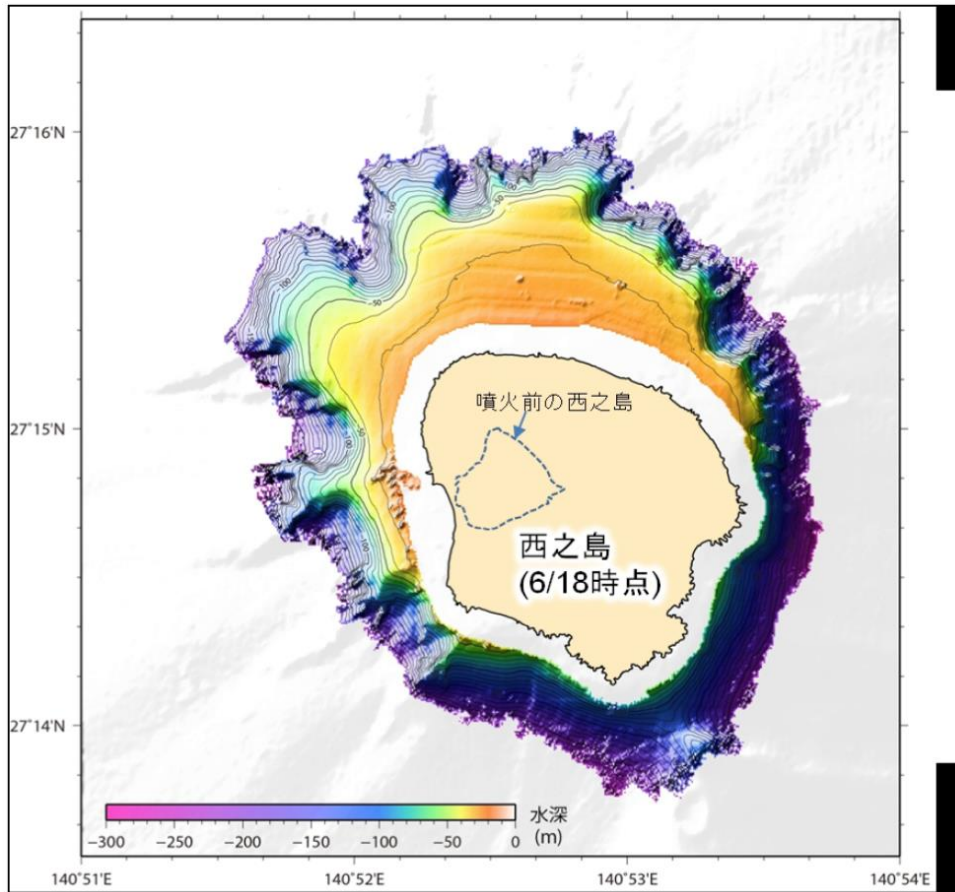


図7. 2016年6月18日現在の西之島の海底地形図

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

大気中ラドン濃度変化には、地震に短期的に先行した例を含め、地殻活動と関連した変化が指摘されている(岩田ら, 2015, JPGU)。大気中ラドン濃度は、一般に放射線管理施設の排気監視モニタデータにバックグラウンドとして計測されており、医薬系の施設を中心にデータ収集のネットワークを構築し、そのデータを解析している。本年度は、25事業所のデータを解析し、データから大気変動による要因を取り除く手法の改善に努めた。排気監視モニタを大気測定用の高感度ラドンモニタと比較検討した結果、排気監視モニタは大気測定用の高感度ラドンモニタとほぼ同じ精度での測定が可能であることを確認した(南ほか, 2016)。大気中ラドン濃度と露点変化の比較から、季節変動は気団変動が主因であり、正弦回帰曲線を季節変動除去に用いることができる(図1)。さらに、都道府県の全サイトを含むこれまでの公表データセットを調べ、日本全国47都道府県のうち72%に相当する都道府県のデータセットが正弦曲線回帰の要件を満たしていることを明らかにした(Kobasyashi et al, 2015)。また、日変化の主因である大気安定度に関して下層大気の熱交換に基づく物理モデル(Omori and Nagahama, 2016)をつくり、測定した気象要素を用いて地表のラドンフラックスを求められるようにした。一方で、リアルタイムでの異常検出にむけて、モデルを仮定せずに直近のデータから異常部位を検知する部分空間法(Ide and Inoue, 2005)を試行し(図2)、従来の方法とある程度対応する結果をえた(東北大学 [課題番号: 1207])。

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、ゆっくり滑りなどの非地震性の滑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 [課題番号: 5007], 気象庁 [課題番号: 7006])。産業技術総合研究所・防災科学技術研究所・気象庁の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滑りを解析するシステムの運用を継続し、2014年11月-2015年10月の短期的ゆっくり滑り28個の断層モデルを決定した(図3, 落ら, 2015, 2016)。また、中国・四国地方のGNSSデータを解析し、1997年から2010年までのプレート間固着および長期的ゆっくり滑りの履歴を明らかにした(図4, Ochi, 2015)。その結果、長期的ゆっくり滑りにより解放されるプレート間固着は滑り欠損により蓄積した量のたかだか40%程度であり、将来の地震に対する影響は限定的であることがわかった。また、6-7年周期で繰り返す長期的ゆっくり滑りから固着状態への回復は1年程度で完了することがわかった。(産総研 [課題番号: 5007])。一方、GNSS日値を用いた気象庁による南海トラフ沿いの面的監視処理では、東北地方太平洋沖地震の余効変動を除去したデータを用い、監視範囲を変更して、東海の長期的ゆっくり滑りを検出しやすくした。また、体積ひずみ計の降水補正について、観測点から5km以内のアメダスデータなら観測点設置の雨量計と同程度の補正が可能であるが、10km以遠では解析雨量を用いた方が良いことがわかった。2013年から発生している東海長期的ゆっくり滑りについてはひずみデータのスタッキングを用いてGNSSによるものと調和的な推定(図5)が得

られた(宮岡・木村, 2016)。また、高知県の古文書「蕨岡家文書」の再解読から得られた安政南海地震後の井戸の水位低下(弘瀬・中西, 2015)が断層モデルから期待される体積ひずみと調和的であることを見出した(気象庁 [課題番号: 7006])。

非地震性滑りをより高い分解能で推定するために、小繰り返し地震の活動度が用いられるが、観測例はほぼプレート境界に限られている。南アフリカCooke4鉱山内の地質断層上で、M-4級のきわめて小さな繰り返し相似地震が多数発見され(図6)、単位クリープ量当たりの発生レートが、プレート境界でおこる繰り返し地震のスケーリング則(Nadeau and Johnson, 1998)から期待されるより何桁も高いことがわかった(東北大学 [課題番号: 1206], Naoi et. al, 2015)。これは、内陸断層の低速のクリープがモニターできる可能性を示唆する。

活発な前震活動のあった2014年4月チリ北部Iquique地震(M8.2)について、連続波形記録から類似のイベントを検出するテンプレート法を用いた解析を行った(図7, Kato et al., under review)。本震発生の約270日前から、地震活動度、繰り返し地震から推定される非地震性滑り量、ETASモデルの非誘起性地震活動項が間欠的に増加し始め、その増分も時間とともに大きくなり本震発生に至ったことが明らかとなった。また、震源移動現象の発生頻度も本震発生に向かって増加する傾向が見られた。地震性すべりに加えて非地震性すべりもプレート境界面上で進行し、本震破壊領域の端で固着が間欠的に緩み破壊域への応力集中が生じたことで本震の発生が促進されたと考えられる(東北大学 [課題番号: 1206])。また、2000年と2005年の銚子付近、千葉市付近の群発地震に伴って発生した非正常な地殻変動は、それぞれ本震の場所での非地震性すべりにより説明できることがわかった(気象庁 [課題番号: 7006])。

プレスリップなどの準備過程、特に短期・直前のものについて、その大きさと本震の大きさの関係は非常に不確定なように見える。断層のアスペリティの階層的な構造に着目することが提案されており、具体的にアスペリティを配置した数値モデルをつくり、東海ゆっくり滑りや、日本海溝におけるM7-9の地震の共存を再現する試みをはじめた(気象庁 [課題番号: 7006])。また、模擬断層上に複数の突起を人為的に配置して行った固着-滑り実験(図8, 地震研 [課題番号: 1512], Yamaguchi et al., 2015)では、滑りイベントが断層全体に及ぶ場合と途中で停止する場合の両方を起こすことができた。また、強い不均質性のある系の複雑な挙動を表現できる可能性のある離散ブロッカーバネモデルにおける震源核の発展について詳細な理論的解析を行った(地震研 [課題番号: 1512], Ueda et al., 2015)。一方、東北沖の地震の特徴的発生様式を支配している繰り返し地震について、地震波エネルギーを安定的に推定するための手法を開発し、その時間空間的な変動を定量化した。発生間隔と地震波エネルギーには弱い正の相関が存在し、これは時刻の対数関数として断層の強度が回復するというモデルと調和的であり、地震の階層性が時間と共に回復していく様子をエネルギーを基準にして観察できる可能性がでてきた(東京大学理学系研究科 [課題番号: 1402])。

地震の定常的活動度は、例えば沈み込み帯同士でも地域性があり、それを理解することは、地震活動のもつ物理的情報を得るための基礎として重要である。今年度は、世界の沈み込み帯の定常地震発生率について、これまで考えられていなかったプレートの形状の効果を検討した。定常地震発生率は一次的にはプレートの相対運動速度に依存するが、さらにプレートが大きく屈曲していると大きくなることが判明した。これは沈み込み前後のプレート内部への水の輸送過程と関係していると見られる(東京大学理学系研究科 [課題番号: 1402], Nishikawa and Ide, 2015)。

地震活動度を定量計測するためにETASモデルで余震の影響を取り除くことが、さまざまな解析で標準的に使われるようになってきているが、そのモデルパラメータの時空間的な変化を妥当に推定することは難しい問題であった。新たに重み付け尤度関数を採用した残差解析によるパラメータ推定法を開発し、日本列島の地震活動の地域性を特徴づけた(図9, 東北大学 [課題番号: 1206], Zhuang, 2015)。また、GUIにより直感的に操作しながらETAS解析ができるソフトウェアXETASを開発した(東北大学 [課題番号: 1206], Tsuruoka and Ogata,

2015)。

地震の確率予測を実現する代表的な道筋は、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)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。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, CSEP-Japanでは本年度も3テストクラス, 4テスト領域の合計12のカテゴリーの地震活動予測検証実験を進め, 2015年7月には, 統計数理研究所において国際研究集会を開催した。東北地方太平洋沖地震から4年の結果が蓄積できたのでその総括を行った。CSEPでは, 時間・空間をそれぞれ複数のグリッドに区切った地震数の予測を提出することになっているが, 東北地方太平洋沖地震後は, どのモデルでも総地震数の予測成績が相当低下した。しかし, 対象地域全体の実際の地震数の推移は, 東北地方太平洋沖地震を起点とした大森-宇津則で良好にフィットできるものであり, 時空間の関数としての地震確率を与える統計モデルにはまだ大幅な改善の余地があると考えられる(東京大学地震研究所 [課題番号: 1511], Hirata et al., 2015)。

CSEPでの時間依存モデルのほとんどが, ETASのように余震的な地震間のトリガー効果を取りこんだ経験的な統計モデルである。余震に関しては, 応力変化と摩擦構成則に基づく物理的なモデル(Dieterich, 1994)があるが, 実際の地震活動へのフィッティングにおいては, ETASに及ばないと指摘されている。Dieterichモデルを, ETASモデルのように「全ての地震が余震を引き起こす」という仮定を取り入れられるように改良したところ, ETASモデルには及ばないまでも, 大幅な改善がみられた(図10, 東北大学 [課題番号: 1206], Iwata, 2016)。Dieterichモデルの基本的な考えは, 地震時断層変位によって生じた周囲の応力場の変化により, 多数の小断層が破壊条件に近付くというものであり, その影響は受け手の断層の向きによって全く違ってくる。受け手断層の向きを適当に仮定しての解析が一般的だが, 実際におこった個々の余震の断層の向きでの応力変化をみるのがより本質的と考えられる(Ishibe et al., 2015)。今年度は, 先行研究(Miao and Zhu, 2012)で静的応力変化のパターンが余震活動と一致しないと指摘されていた最近の3つの巨大地震(2004年スマトラ沖地震・2010年チリマウレ地震・2011年東北地方太平洋沖地震)について, 常時地震・余震のメカニズム節面へのクーロン応力変化(ΔCFF)を計算し, それらの時系列変化を調べた(図11, 石辺ほか, 投稿準備中)。その結果, 3地震とも ΔCFF が正の地震の割合が本震後に増加, 本震前にはほぼ0であった ΔCFF の中央値が本震後には正の値を示し, 時間経過と共に徐々に減衰することを見出した。なお, 減衰速度は地震毎に特徴があり, スマトラ沖・チリマウレ地震が1-2年程度でもとに戻ったのに対し, 東北沖地震では5年以上高い状態が継続している(東北大学 [課題番号: 1206])。

南アフリカ鉱山地下でおこなっていた微小破壊観測から示唆される準静的に成長した損傷ゾーン(Moriya et al., 2015)や, 地下2.9kmでのひずみ・及び地震のモニター点近くまで破壊面が到達したM5.5(大久保ら, 2015, JPGU)の断層面などの掘削を含む計画(小笠原, 2015)を議論する国際ワークショップ(2015年10月31日-11月3日)をICDPと共催し, 2016年1月にICDPへ掘削計画案を提出した(立命館大学 [課題番号: 2401])。また, 南アフリカMponeng鉱山でおこったMw2.2地震の発生前後に断層周辺で採取したボーリングコアを新しい応力測定法(船戸ら, 2014)で解析し, 地震前後あるいは, 断層及び地質構造との位置関係によって有意に異なる応力値が得られた(立命館大学 [課題番号: 2401])。

地震活動のモニタによる統計モデルとは違った視点から, ベースとなる地震発生レートを推定する手法として, 断層の個々のセグメントでおこる最大地震(固有地震)の平均的な発生間隔を基礎とする方法が用いられている。しかし, 推定に用いることのできる過去の地震の繰り返しの数は, ほとんどの場合において非常に少なく, そのようなデータを最も有効に活用する方法を, 中規模, 小規模の繰り返し地震を用いた予測実験などを通して模索している(気象庁 [課題番号: 7006], 田中・岡田, 2015)。2014年長野県北部地震(Mw6.2)のおこった神城断層では, 過去の断層活動履歴の調査から, 糸静線北部全域が滑るMw7.5の固有地震が推定され, 活動間隔は1500年と評価されていたが, 今回の地震は神城断層の一部9km程度だけが滑ったもので, 断層

の再調査(図12)によって、1つ前の地震は1714年小谷地震である可能性が高まった。糸静線の他の断層の古地震データからは、活動間隔や破壊長の大きなゆらぎが示唆され、地震規模や活動間隔の非一様性や地震サイクルの有無や定義などについての再考が必要であろう(東北大学 [課題番号: 1206], 石村ほか, 2015, Okada et al., 2015)。

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

本震直前に本震破壊開始点近傍でおこる前震活動は、本震破壊の準静的な始まりともいえるような狭義の震源核によるものであるという解釈が可能であり、様々な研究が行われている。2007年12月に南アフリカMponeng金鉱山内で発生したMw2.2の地震の震源域では、地震発生の6ヵ月前から、本震破壊面上に強く集中した極微小地震(AE)が捉えられていたが、さらに詳細な解析(図13)によって、活動がいくつかのクラスターにわかれており、一部のクラスターの活動は本震発生直前に加速的に活発化したことがわかった(東北大学 [課題番号: 1206], Yabe et al., 2015)。また、2014年11月22日に発生した長野県北部の地震(M6.7)の約4日前から見られた前震活動に関連し、この地域の過去の地震活動の統計的解析を行い、前震識別の最適パラメータを推定した。その結果、今回のような前震から本震($M \geq 5.0$)に至る割合は11%程度であり、本震のうち前震活動を伴う割合は約45%であることを明らかにした(気象庁 [課題番号: 7006], 前田・弘瀬, 2015)。大地震の直前に顕著な前震がある場合もない場合もあるのは周知の事実であるが、その差が生じる原因はわかっていない。防災科研の試験機による大型二軸せん断試験の際に取得された連続波形記録を用いて、断層全面がすべる大規模な固着すべりイベントに先行した前震の検出及びその震源決定をおこなった。繰り返し実施されたせん断試験において、前回の試験時に生成されたガウジを除去しておこなった場合には前震はほとんど検出されず、ガウジを残置しておこなった実験の際には多くの前震が検出された(立命館大学 [課題番号: 2402])。近年、普通のカタログにはのらないような小さな繰り返し地震からなる直前前震活動が報告されるようになった。本年度は、2011年長野県中部の地震(M5.4)でそのような例をみつけた(豊本ら, 2015)が、客観的な検出基準の設定法を検討するため相関係数の分布を調べると、かなりきれいな正規分布になっており、これといった閾値設定の手掛かりがえられなかった(立命館大学 [課題番号: 2402])。

大地震に先行する中期的な変化としてよくとりあげられるものに、地震活動の静穏化がある。この現象を系統的に評価するために、ISCの地震カタログから1964年1月から2012年6月までに千島海溝、日本海溝および琉球海溝沿いに発生した実体波マグニチュード5.0以上、深さ60km以浅の地震を選択しZhuang et al. (2002)の方法でデクラスタリングしたあとZMAPで地震活動の長期変化を解析した(勝俣, 投稿準備中)。10年以上継続する長期静穏化は11回観測され、うち3回はMw8.25以上の巨大地震に先行した。特に、2011年東北地方太平洋沖地震では、2002年頃開始した長期的ゆっくり滑り(Yokota and Koketsu, 2015)と静穏化領域がほぼ同じ場所である(図14)ことから、両者が密接に関連していると考えられる(東北大学 [課題番号: 1206])。国内のM7クラス以上の大地震を対象に地震活動の静穏化・活発化解析手法(eMAP法)を適用し、破壊領域(余震域)と静穏化領域を詳細に比較した結果、静穏化事例の約8割で、地震発生前までに静穏化領域が破壊領域を囲むドーナツパターンが見られた(気象庁 [課題番号: 7006])。静穏化時に地震数が減少するのはある程度以上の大きさの中規模地震であるという指摘(e.g., Smith and Sacks, 2013, AGU)がある。破壊強度がわりふられた個々のセルが破壊を起こすと周囲に応力を再分配するというオートマトンモデル(e.g., Rydelek and Sacks, 1996)を用いた地震サイクルのシミュレーションにおいて、ダイラタンシーハードニングを模擬して最も破壊強度に近い応力がかかっている小数のセルで強度をわずかに増加させるとこの現象が再現されることを見いだした(図15, 東海大学 [課題番号: 2501], Suyehiro et al., 2015)。

地震活動には、GR則に代表されるように自己組織化臨界現象らしき特徴があり、さまざまな規模のイベントの発生順序をみるナチュラルタイム解析によって大地震の切迫が検出できるという報告もある(e.g.,

Salris et al., 2015)。粉体層に金属球を押し込んだときにバースト的に発生する弾性波放射イベント(AE)がGR則にしたがうことに着目し、そのナチュラルタイム解析を行った。一般に臨界状態ではナチュラルタイムが0.07に近付くとされているが、AEバーストの実験では様々な値がみられ、GR則が成り立つからといって系が臨界状態にあるとは限らないことが示唆された。一方で、二つの連続するAEの振幅差が、自己組織化臨界現象に特徴的な q -ガウス分布にしたがうことも見出されたが、粉体AEバーストを地震活動のアナログとして用いるには、実験条件等の慎重な検討が必要である(地震研[課題番号:1512], Tsuji and Katsuragi, 2015)。GR則の b 値変化も、地震に先行する変化がしばしば報告される統計量である。2014年長野県北部地震(Mw6.2)の震央から半径150km以内の地震全体に対して求めた b 値には特段の先行変化はなかったが、断層系にそって近傍の地震だけを用いて求めた b 値は、地震の1年半ほど前から顕著に上昇しており、断層系ごとに地震活動をみることの重要性が示唆される(地震研[課題番号:2931], 井筒・長尾, 2015)。

大地震が切迫している時期には地震活動と潮汐の相関が高まる傾向が指摘されているが、色々な例をみてみると、事態は単純ではない(岩田, 2015)。本年度は、トンガ・ケルマデック海溝沿いのプレート境界型地震活動について潮汐相関を調査したが、はっきりした傾向は認められなかった。一方、深部低周波地震(LFE)の潮汐相関を、豊後水道、東海地方、紀伊半島東部で調べ、相関の程度はそれぞれの地域内で空間的に不均質であることがわかった。豊後水道ではLFE活動の特に高い領域において、その潮汐相関の程度が長期的ゆっくり滑りに関連した時間変化を示したが、東海地方では長期的ゆっくり滑りに関連した時間変化はなく、体積収縮時にLFEが発生する傾向があった(気象庁[課題番号:7006])。

先行時間の短さから、本震破壊の開始への密接な関与が推察される現象の一つに、M8クラス巨大地震の1時間程度前に見られる電離層全電子数(TEC)の変化がある。東北地方太平洋沖地震のときに初めて報告された(Heki, 2011)この現象は、リファレンスラインの決定に津波の影響を受けた地震後データも使われていることによるアーティファクトにすぎないとの反論(Kamogawa and Kakinami, 2013; Masci et al., 2015)を受けたが、地震後のデータを用いない手法による客観的な時系列解析によってもやはり同様の異常が検出できることが示された。解析可能なデータのある最近のM8.2以上の地震8個(2005年Nias地震(M8.6)は、磁気嵐が激しく解析不能)全てについて同様の異常が、地震直前(25-85分前)に検出されている。同程度の異常は、太陽活動によっても頻繁におこっているが、その頻度(20時間に1回程度)を考えると、8個の直前異常の大多数は地震の前兆であったと考えられる。さらに、これらの異常の強さと先行時間は、地震の規模に正の相関をもつことが見出された(図16, 東海大学[課題番号:2501], Heki and Enomoto, 2015)。

これほどの直前現象でなくても、中規模以上の地震の前数日間に電離層状態の異常出現頻度が増加する傾向が指摘されている(e.g., Liu et al., 2006)。全世界のGNSS観測点のデータを用いてTECを経度5度、緯度2.5度、2時間毎のグリッドで与えるGIM(Kakinami et al., 2009)を用い、2000年以降の日本で発生した被害地震12個(M6.5 - 9.0)に先行する期間での異常を探した。2007年能登半島地震(M6.9)でTECの先行的な増加、2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)で先行的な減少が見られたが、それ以外の地震では顕著な異常は見られなかった。さらに、1999年1月から2015年3月までの全世界のマグニチュード6.0以上、深さ50km以下の地震1989個の直前15日間のGIM時系列を重ね合わせてみたが顕著な異常は見られなかった(東海大学[課題番号:2501])。

短期的先行現象であることが主張されているVHF帯伝播異常(e.g., Moriya et al., 2010)を試行例として、時空間を「警報ON」「警報OFF」「(データ欠測等による)警報判定不能」の三色にぬりわけた地震発生予測マップを作成し、地震カタログと比較してゲインと p 値(偶然によって実績値以上のゲインが得られる確率、この値が0に近いほど相関があることを強く確信できる。)による成績評価を行った(図17)。異常の時系列を予測マップへ変換することによって、定義の曖昧な「異常(あるいは警報)の回数」が「警報ONの時間」におきかえられ、評価段階での恣意性が回避される。さらに、四分表では異常(あるいは警報)の「回数」を使って定義していた適中率に対応する情報が、警報ONの時期における地震発生レートであること、観測データと地

震が無相関である場合との比較であるゲインは、適中率による比較でも予知率による比較でも同じになることを確認した。試行評価に用いた予測マップは、北大えりも観測点での見通し外FM放送局(広尾)の受信強度データ約9年分(2006年3月1日-2014年12月31日)から、6分平均値が2連続で閾値(全期間の中央値から $+3\sigma$)を上回ればその時刻を異常とみなし(Morita and Mogi, 2015, IUGG), その後一定の期間Lは警報をONにするというルールで作成した。最も低いp値(3.6%)が得られたのは、L=4日で作成した予測マップをM5の地震と比較した場合で、警報ONの期間の割合が17%に対して、19個の地震のうち7個(37%)が警報ON期間におこっており、2.1倍のゲインが得られた。最も高いゲイン(4.9)がえられたのは、L=2日で作成した予測マップを、M6の地震と比較した場合であるが、地震数が4しかないため、p値は5.5%にとどまった(東海大学 [課題番号: 2501])。

VHF帯伝播異常とDC-ULF帯の電磁気観測については、昨年度に新規設置した高知の観測点に大気電界観測装置を追加するとともに、北海道・伊豆諸島の観測を維持した。また、昨年度開発したVLF帯パルス観測装置を静岡県清水市、東京都小金井市、石川県金沢市に設置し、雷を用いてパルス源の位置評定ができることを確認した(東海大学 [課題番号: 2501])。一方、電磁気先行現象のメカニズムとしてしばしばとりあげられる岩石中の水流による界面動電現象について、三宅島で2000年にカルデラ陥没に先立って火口付近に繰返し発生した時定数20秒程度の力学的イベントに伴い、全島で観測された時定数100秒程度のコサイスマックな地電位の変化(Sasai et al., 2001, 2002)が、コサイスマックなひずみによる間隙弾性効果による水流がおこした界面動電現象であるとして定量的に説明できることを示した(東海大学 [課題番号: 2501], Kuwano et al., 2015)。

先行現象に基づく予測が、上述のVHF帯伝播異常の例のように系統的に出されている場合はゲインとp値によって成績が評価できるが、そのような条件がみとされない場合も多い。そのようなケースを扱える評価法として開発したギャンブルスコア法(Zhuang, 2010)の有用性を取りまとめた。この手法では、地震発生のベースレートにしたがって個々の予測に公正なオッズをつけることで、対象マグニチュード等が一定でなくても一元的に比較できる成績をつけることができる点も重要である(東北大学 [課題番号: 1206], 庄・尾形, 2015)。

東北地方太平洋沖地震の一週間前に鹿嶋市でカズハゴンドウクジラの大量座礁があったため、(財)日本鯨類研究所が1986年から収集している鯨類の座礁の記録を用いて地震発生との関係を調べたが、鹿島灘で2011年3月以前に発生した座礁と日本周辺の地震発生の間に相関は認められなかった(東海大学 [課題番号: 2501], 織原・野田, 2015)。

三陸地方では、1933年の大地震時に数ヶ月ほど先行して多くの井戸で水位低下と混濁がみとめられている(吉村, 2004)。昨年度、海岸から遠い被圧地下水である五葉温泉が3ヶ月前から、海岸に近い不圧地下水である正源寺で1ヶ月前から、異常を示したことを報告したが、これは南海地震に関して提案されたプレスリップによる定性的な説明(小泉, 2013)にあっている。今年度は、さらに116カ所で聞き取り調査を行ったが、日常的に井戸水を使用していた16カ所のうち先行する異常があったのは、気仙沼紙の満幅寺(5mの浅井戸)のみであった。地震後に濁りと濁水の生じたところが1カ所ずつあったが、残りの13カ所では、地震後にも異常はなかった。また、宮城県のホームページ上で月平均データを公開している地盤沈下監視目的の観測井44本のうち先行する水位低下があったもの2本について、日平均データを入手した。多賀城市の多2観測井では3ヶ月前からの水位低下が確認できたが、もう一本の井戸については、月平均データとの齟齬がみつきり、追加調査中である。(東京学芸大学 [課題番号: 2930], 織原・長尾, 2015, 織原ら, 2015)。台湾・国立成功大学との共同研究の一環として開催している水文学的・地球化学的手法による地震予知研究についての日台国際ワークショップのプロシーディングスの過年度分を公開した。(産総研 [課題番号: 5007], Shieh et al., 2015)

これまでの課題と今後の展望

確率表現を用いて地震予測を定量化することは世界的な流れであり、本計画でも強く意識されている。今年度、非常に様々な先行現象候補が検討され、多くの課題で観測事象と地震発生の関係が、否定的な結果も含めて数字で表現された。対象時空間を警報 ON と OFF にめりわけて行う系統だった検証はまだ一部に限られ、今後対象を拡げてゆくことが大事である。そのためには、地震を起点に後ろを振り返って異常を探すのではなく、地震を参照せずに prospective なデータ処理で時空間を走査し異常検出を行う必要があるが、現象の性質によってはその方法が自明でなく、そのような方法の開発に挑んでいる課題もある。また、モニタリングの技術ということに関しては、ゆっくり滑りの検出技術が自動監視の実現に大きく近づいている。さらに、長期ゆっくり滑りの繰り返しに伴う固着度の時空間変化が精度よく推定できたことによって、地震サイクルにおける応力蓄積への寄与という重要な問題に一応の解答が与えられた。他部会において中規模以上の地震がゆっくり滑りの時期に集中する傾向(Uchida et al., 2015)が発見されたことをみても、地震発生確率の時間変動の予測にゆっくり滑りの監視はある程度のゲインをもたらすと考えられる。

確率予測のベースとなるべき統計モデルについては、CSEP の国際的なプロトコルに則って日本でも予測実験が繰返される中で、地震発生の様々な状況が経験され、モデルの具体的な弱点等が見いだされるなど所期の進捗が達成されている。また、新しいアイデアに基づく確率予測モデルや、パラメータ推定の技術も出てきており、順調に発展している。上述したように、先行現象に関しても確率論の枠組みでの評価が浸透してきており、地震予測を確率化するという方向性は、研究コミュニティに根付いたといえるだろう。情報の社会的価値を冷静に議論するためにも、予測の定量化、及び予測成績の定量的な評価を充実していく必要がある。

類似の変動パターンがほぼ毎回地震発生に先行するような再現性の高い現象は、短期的なものについてはこれまで知られておらず、それは地震発生の準備過程、特に最終的な破壊規模が決定される道筋の多様性を反映しているというのが大方の解釈であった。しかし、超巨大地震に高い再現性をもって1時間程度先行した電離層擾乱について、今年度、その多くが地震の前兆であっただろうことが説得力をもって示された。動的破壊の直前に何らかの共通の物理プロセスを経た可能性が示唆される。確率予測で暗に期待している「地震のおこりやすい状態」をはるかにこえて、かつて決定論的地震予知が志向された時代に希望された「本震が静かに始まっている」タイプの準備過程が、実は相当の普遍性をもって存在する可能性を考慮にいれて、メカニズムの解明を目指して様々な角度から追求する価値があるだろう。

成果リスト

- Cattania, C., S. Hainzl, L. Wang, B. Enescu, and F. Roth, 2015, Aftershock triggering by postseismic stresses: a study based on Coulomb-rate-and-state models, *J. Geophys. Res.*, 120, 4, 2388-2407, doi:10.1002/2014JB011500.
- Chen, S., C. Jiang, and J. Zhuang, 2015, Statistical evaluation of efficiency and possibility of earthquake predictions with gravity field variation and its analytic signal in Western China, *Pure and Applied Geophysics*, 173, 305-319, doi:10.1007/s00024-015-1114-x.
- Chu, A. and J. Zhuang, in press, Multiple linear regression analyses on the relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. In *Rock Anisotropy, Fracture and Earthquake Assessment*, edited by Y.-G. Li., 219-237.

- Enescu, B., T. Shibutani, K. Ito, S. Ohmi, and H. Wada, 2015, Seismic activity and one-dimensional velocity structure along the Atotsugawa fault, from precise hypocenter relocations, *Earth Evolution Sciences*, 9, 5-14.
- Gardonio, B., D. Marsan, O. Lengline, B. Enescu, M. Bouchon, and J.-L. Got, 2015, Changes in seismicity and stress loading on subduction faults in the Kanto region, Japan, 2011 - 2014, *J. Geophys. Res.*, 120, 4, 2616-2626, doi:10.1002/2014JB011798.
- Guo, Y., J. Zhuang, and S. Zhou, 2015, An improved space-time ETAS model for inverting the rupture geometry from seismicity triggering, *J. Geophys. Res.*, 120, 3309-3323, doi:10.1002/2015JB011979.
- Guo, Y., J. Zhuang, and S. Zhou, 2015, A hypocentral version of the space-time ETAS model, *Geoph. J. Int.*, 203, 366-372, doi:10.1093/gji/ggv319.
- Heidarzadeh, M., S. Murotani, K. Satake, T. Ishibe, A. R. Gusman, 2016, Source model of the 16 September 2015 Illapel, Chile Mw 8.4 earthquake based on teleseismic and tsunami data, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 634-650, doi:10.1002/2015GL067297.
- Heki, K. and Y. Enomoto, 2015, Mw dependence of the preseismic ionospheric electron enhancements, *J. Geophys. Res. Space Phys.*, DOI: 10.1002/2015JA021353.
- Hirata, N., H. Tsuruoka, and D. Schorlemmer, 2015, Five-year Japanese earthquake predictability experiment with multiple runs since 2009 including the 2011 Tohoku-oki earthquake, Abstract of the 9th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei9) in Potsdam.
- 弘瀬冬樹・中西一郎, 2015, 1854年安政南海地震による愛媛県最南端(愛南町)での地震動・津波被害・地下水位変化-庄屋史料と藩史料の比較から分かる庄屋史料の有用性と地殻変動推定の可能性-, *地震* 2, 68, 107-124.
- Huang, Q., M. Gestenberger, and J. Zhuang, 2016, Current challenges in statistical seismology, *Pure and Applied Geophysics*, 173, 1-3, doi:10.1007/s00024-015-1222-7.
- Imanishi, K., T. Uchide, and N. Takeda, 2016, Determination of focal mechanisms of nonvolcanic tremor using S wave polarization data corrected for the effects of anisotropy, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2015GL067249.
- Ishibe, T., K. Satake, S. Sakai, K. Shimazaki, H. Tsuruoka, Y. Yokota, S. Nakagawa, and N. Hirata, 2015, Correlation between Coulomb stress imparted by the 2011 Tohoku-Oki earthquake and seismicity rate change in Kanto, Japan, *Geophys. J. Int.*, 201, 112-134, doi: 10.1093/gji/ggv001.
- 石村大輔・岡田真介・丹羽雄一・遠田晋次, 2015, 2014年11月22日長野県北部の地震(Mw6.2)によって出現した神城断層沿いの地表地震断層の分布と性状, *活断層研究*, 43, 95-107.
- 岩田貴樹, 2015, 地球潮汐と地震活動との相関を用いた地震活動予測, *統計数理*, 63, 129-144.
- Iwata, T., 2016, A variety of aftershock decays in the rate- and state-friction model due to the effect of secondary aftershocks: Implications derived from an analysis of real aftershock sequences, *Pure and Applied Geophysics*, 173, 21-33.
- 岩田大地・長濱裕幸・武藤潤・安岡由美・三浦哲・太田雄策, 2015, 地殻変動に起因する大気中ラドン濃度変動, 日本地球惑星科学連合2015年大会, 2015年5月27日.
- 井筒潤・長尾年恭, 2016, 地震災害予測のためのb値の空間分布マッピングと時系列変化, *東海大学海洋研究所研究報告*, 37, 21-28.
- Kato, A., T. Terakawa, Y. Yamanaka, Y. Maeda, S. Horikawa, K. Matsuhiro and T. Okuda, 2015, Preparatory

- and precursory processes leading up to the 2014 phreatic eruption of Mount Ontake, Japan, *Earth Planets Space*, 67, 111, doi:10.1186/s40623-015-0288-x.
- 勝間田明男, 2015, 地震・震度観測, 日本地震工学会2014年長野県北部の地震に関する調査団報告, 11-16.
- 川方裕則・稲葉秀弘・吉光奈奈・高橋直樹・瀬戸井健一, 2015, 封圧下でも使用可能な広帯域型の圧電トランスデューサの開発, 第20回アコースティック・エミッション総合コンファレンス論文集, 81-84.
- 木口努・松本則夫・小泉尚嗣・北川有一・板場智史・落唯史・佐藤努, 2016, 東海・関東・伊豆地域における地下水等観測結果(2015年5月-2015年10月)(52), 地震予知連絡会会報, 95, 印刷中.
- 北川有一・板場智史・小泉尚嗣・高橋誠・松本則夫・武田直人・落唯史, 2015, 紀伊半島-四国の歪・傾斜・地下水観測結果(2014年11月-2015年4月), 地震予知連絡会会報, 94, 301-313.
- 北川有一・板場智史・小泉尚嗣・松本則夫・武田直人・落唯史, 2016, 紀伊半島-四国の歪・傾斜・地下水観測結果(2015年5月-2015年10月), 地震予知連絡会会報, 95, 印刷中.
- 北川有一・板場智史・小泉尚嗣・松本則夫・武田直人・落唯史, 2016, 近畿地域の地下水位・歪観測結果(2015年5月-2015年10月), 地震予知連絡会会報, 95, 印刷中.
- 北川有一・小泉尚嗣・高橋誠・佐藤努・松本則夫・板場智史・落唯史・桑原保人・木口努, 2015, 近畿地域の地下水位・歪観測結果(2014年11月-2015年4月), 地震予知連絡会会報, 94, 314-317.
- 気象研究所, 2015, 海溝と直交する方向の全国の基線長変化, 地震予知連絡会会報, 94, 30-34.
- 気象研究所, 2016, 海溝と直交する方向の全国の基線長変化, 地震予知連絡会会報, 95, 印刷中.
- 気象研究所, 2015, 内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測, 地震予知連絡会会報, 94, 289-292.
- 気象研究所, 2016, 内陸部の地震空白域における地殻変動連続観測, 地震予知連絡会会報, 95, 印刷中.
- Kobayashi, Y., Yasuoka, Y., Omori, Y., Nagahama, H., Sanada, T., Muto, J., Suzuki, T., Homma, Y., Ihara, H., Kubota, K., Mukai, T., 2015, Annual variation in the atmospheric radon concentration in Japan, *Journal of Environmental Radioactivity*, 146, 110-118.
- 小泉尚嗣・木口努・高橋誠・松本則夫・北川有一・板場智史・落唯史・佐藤努, 2015, 東海・関東・伊豆地域における地下水等観測結果(2014年11月-2015年4月)(51), 地震予知連絡会会報, 94, 262-268.
- Koizumi, N., N. Matsumoto, and C.-L. Shieh eds., 2015, Proceedings of the 13th Japan-Taiwan International Workshop on Hydrological and Geochemical Research for Earthquake Prediction. GSJ Open-file Report, no. 621, 1 CD-ROM, Geol. Surv. Japan, AIST.
- 熊澤貴雄・尾形良彦・木村一洋・前田憲二・小林昭夫, 2015, 伊豆東部の群発地震活動の推移の短期予測について, 地震予知連絡会会報, 94, 136-144.
- Kuwano, O., S. Yoshida, M. Nakatani, and M. Uyeshima, 2015, Origin of transient self-potential signals associated with very long period seismic pulses observed during the 2000 activity of Miyakejima volcano, *J. Geophys. Res.*, 120, 3544-3565, doi: 10.1002/2014JB011740.
- 南のどか・田中 綾・安岡由美・長濱裕幸・武藤 潤・飯本武志・大森康孝・床次眞司・向 高弘, 2016, Alpha-GUARDを用いた空気中ラドン濃度測定の検討, 日本薬学会第136年会, 2016年3月28日.
- 前田憲二・弘瀬冬樹, 2015, 前震活動に基づく地震発生の経験的予測(長野県北中部地域への適用), 地震予知連絡会会報, 94, 108-111.
- 前田憲二・弘瀬冬樹, 2016, 前震活動に基づく地震発生の経験的予測, 地震予知連絡会会報, 95, 印刷中.
- Morita, S., T. Mogi, 2015, A statistical study for relationship between anomalous transmission of VHF band radio waves and impending earthquakes at Hidaka area, Hokkaido, Japan, IUGG General Assembly, Prague.
- Moriya, H., M. Naoi, M. Nakatani, G. van Aswegen, O. Murakami, T., Kgarume, A. K. Ward, R. J. Durrheim,

- J. Philipp, Y. Yabe, H. Kawakata, and H. Ogasawara, 2015, Delineation of large localized damage structures forming ahead of an active mining front by using advanced acoustic emission mapping techniques, *Int. J. of Rock Mech. Min. Sci.*, 79, 157-165, doi: 10.1016/j.ijrmms.2015.08.018.
- 長尾年恭・茂木 透, 2015, 災害の低減に貢献するための地震火山観測研究における高知地震電磁気複合観測点の設置とその科学的背景, 2015年度地球惑星科学連合大会.
- 長尾年恭・鴨川 仁・馬場久紀・成瀧友祐・高村直也・櫻田哲生・上原 宏, 2016, 東海大学方式VLF帯パルス電磁波観測装置の開発 -地震先行現象の存在証明にむけて-, 東海大学海洋研究所研究報告, 37, 29-36.
- Naoui, M., M. Nakatani, T. Igarashi, K. Otsuki, Y. Yabe, T., Kgarume, O. Murakami, T. Masakale, L. Ribeiro, A. Ward, H. Moriya, H., Kawakata, S. Nakao, R. Durrheim, H. Ogasawara, 2015, Unexpectedly frequent occurrence of very small repeating earthquakes ($-5.1 < M_w < -3.6$) in a South African gold mine: implications for monitoring intraplate faults, *J. Geophys. Res.*, 120, 8478-8493, doi: 10.1002/2015JB012447.
- Nishikawa, T., and S. Ide, 2015, Background seismicity rate at subduction zones linked to slab-bending-related hydration, *Geophysical Res. Lett.*, 42, 7081-7089, doi:10.1002/2015GL064578.
- Ochi, T., 2015, Temporal change in plate coupling and long-term slow slip events in southwestern Japan, *Earth Planet Sci. Lett.* 431, 8-14, 118, 4847-4860, doi: 10.1016/j.epsl.2015.09.012.
- 落唯史・板場智史・小泉尚嗣・北川有一・高橋誠・松本則夫・武田直人・木村尚紀・木村武志・松澤孝紀・汐見勝彦, 2015, 東海・紀伊半島・四国における短期的スロースリップイベント(2014年11月-2015年4月), 地震予知連絡会会報, 94, 250-261.
- 落唯史・板場智史・小泉尚嗣・北川有一・松本則夫・武田直人・木村尚紀・木村武志・松澤孝紀・汐見勝彦, 2016, 東海・紀伊半島・四国における短期的スロースリップイベント(2015年5月-2015年10月), 地震予知連絡会会報, 95, 印刷中.
- 小笠原 宏, 2015, 南アフリカ金鉱山の大深度からマグニチュード2-5の震源を掘削し地震の謎に迫る, *J-DESCニュースレター*2015, 12.
- 小笠原 宏・矢部康男・伊藤高敏・G. ファンアスウェヘン・A. チホビッチ・R. ダーハイム・ICDP 準備諸会議参加者, 2015, 大深度南アフリカ金鉱山のM2-M5.5震源域の科学掘削計画(DSeis), 日本地球惑星科学関連学会連合2015大会予稿集, MIS32-14.
- Okada, S., D. Ishimura, Y. Niwa, and S. Toda, 2015, The first surface-rupturing earthquake in 20 years on a HERP active fault is not 'characteristic:' The 2014 $M_w=6.2$ Nagano event along the northern Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, *Seismol. Res. Lett.*, 86, 1287-1300, doi: 10.1785/0220150052.
- 大久保慎人・A. Cichowicz・D. Birch・小笠原宏・村上理・堀内茂木, 2015, 2014年オークニー地震($M_L5.5$)の震源破壊過程, 地球惑星科学連合2015大会予稿集, SSS30-27.
- Okubo, M., H. Ogasawara, S. Nakao, O. Murakami, H. Ishii, and A.K. Ward, in press, Dynamic strain in a South African gold mine produced by the 2011 Tohoku Earthquake, *Proc. Int. Assoc. Geodesy Symp.*, Springer International Publishing, Switzerland, doi: 10.1007/1345_2015_207.
- Omori, Y. and Nagahama, H., 2016, Radon as an indicator of nocturnal atmospheric stability: A simplified theoretical approach. *Boundary-Layer Meteorology*, 158, 351-359.
- 織原義明・長尾年恭, 2015, 『地震前兆現象を科学する』, 祥伝社新書, 226pp.
- 織原義明・鴨川仁・長尾年恭, 2015, 公的研究機関以外が所有する地下水位データにみられた2011年東北地方太平洋沖地震の先行現象, 2015年度日本地震学会秋季大会講演予稿集, 54.

- 織原義明・野田洋一, 2015, 2011年東北地方太平洋沖地震前に発生したマス・ストランディング -鹿島灘における鯨類のストランディングと日本周辺の地震との関係-, 東海大学海洋研究所研究報告, 36, 39-46.
- Shieh, C.-L., N. Koizumi, and N. Matsumoto eds., 2015, Proceedings of the 12th Taiwan-Japan International Workshop on Hydrological and Geochemical Research for Earthquake Prediction. GSJ Open-file Report, no. 620, 1 CD-ROM, Geol. Surv. Japan, AIST.
- Suyehiro, K., S. Sacks, T. Takanami, D. Smith, P. Rydelek, and T. Hatano, 2015, Magnitude dependent seismic quiescence and following short-term precursors as dilatancy strengthening and breakdown before large earthquakes and their detection, IUGG General Assembly.
- 田中昌之・岡田正実, 2015, 中規模繰り返し相似地震の発生状況と発生確率(2015), 地震予知連絡会会報, 94, 372-376.
- Toda, S., and R. S. Stein, 2015, 2014 Mw 6.0 South Napa earthquake triggered exotic seismic clusters near several major faults, *Seismol. Res. Lett.*, 86, doi: 10.1785/0220150102.
- 豊本 大・川方裕則・土井一生, 2015, 2011年6月30日に長野県中部で発生したM5.4の地震の前震活動, 日本地震学会2015年度秋季大会, S09-P05.
- Tsuji, D. and H. Katsuragi, 2015, Temporal analysis of acoustic emission from a plunged granular bed, *Phys. Rev.E*, 92, 042201:1-10. DOI:/10.1103/PhysRevE.92.042201.
- Tsuruoka, H. and Y. Ogata, 2015, Development of Seismicity Analysis software: TSEIS - ETAS module implementation -, Abstract of the 9th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei9) in Potsdam.
- Ueda, Y., S. Morimoto, S. Kakui, T. Yamamoto, and H. Kawamura, 2015, Dynamics of earthquake nucleation process represented by the Burridge-Knopoff model, *European Physical Journal B.*, 88:235, 1-24.
- Uyeda, S., 2015, Current affairs in earthquake prediction in Japan, *J. Asian Earth Sci.* 114, 431-434, doi:10.1016/j.jseaes.2015.07.006.
- Yabe, Y., M. Nakatani, M. Naoi, J. Philipp, C. Janssen, T. Watanabe, T. Katsura, H. Kawakata, D. Georg, and H. Ogasawara, 2015, Nucleation process of an M2 earthquake in a deep gold mine in South Africa inferred from on-fault foreshock activity, *J. Geophys. Res.*, 120, 5574-5594, doi:10.1002/2014JB011680.
- Yagi, Y., R. Okuwaki, B. Enescu and Y. Fukahata, 2015, Unusual low-angle normal fault earthquakes after the 2011 Tohoku-oki megathrust earthquake, *Earth, Planets and Space*, 67:100, doi: 10.1186/s40623-015-0271-6.
- Yamaguchi, T., Y. Himeno, and Y. Sawae, 2015, Collective behavior of multiple asperities in sliding friction between polymer gels, *Proceedings of International Tribology Conference Tokyo*.
- Yamaguchi, T., Y. Himeno, and Y. Sawae, 2015, Stick-slip motions of polymer gels having multiple artificial asperities, *Proceedings of Malaysian International Tribology Conference 2015*, 78-79.
- Zhuang, J., 2015, Weighted likelihood estimators for point processes, *Spatial Statistics*, 14, 166-178, doi: 10.1016/j.spasta.2015.07.009.
- 庄 建倉, 尾形良彦, 2015, 地震予測の評価法について, *統計数理*, 63, 29-44.

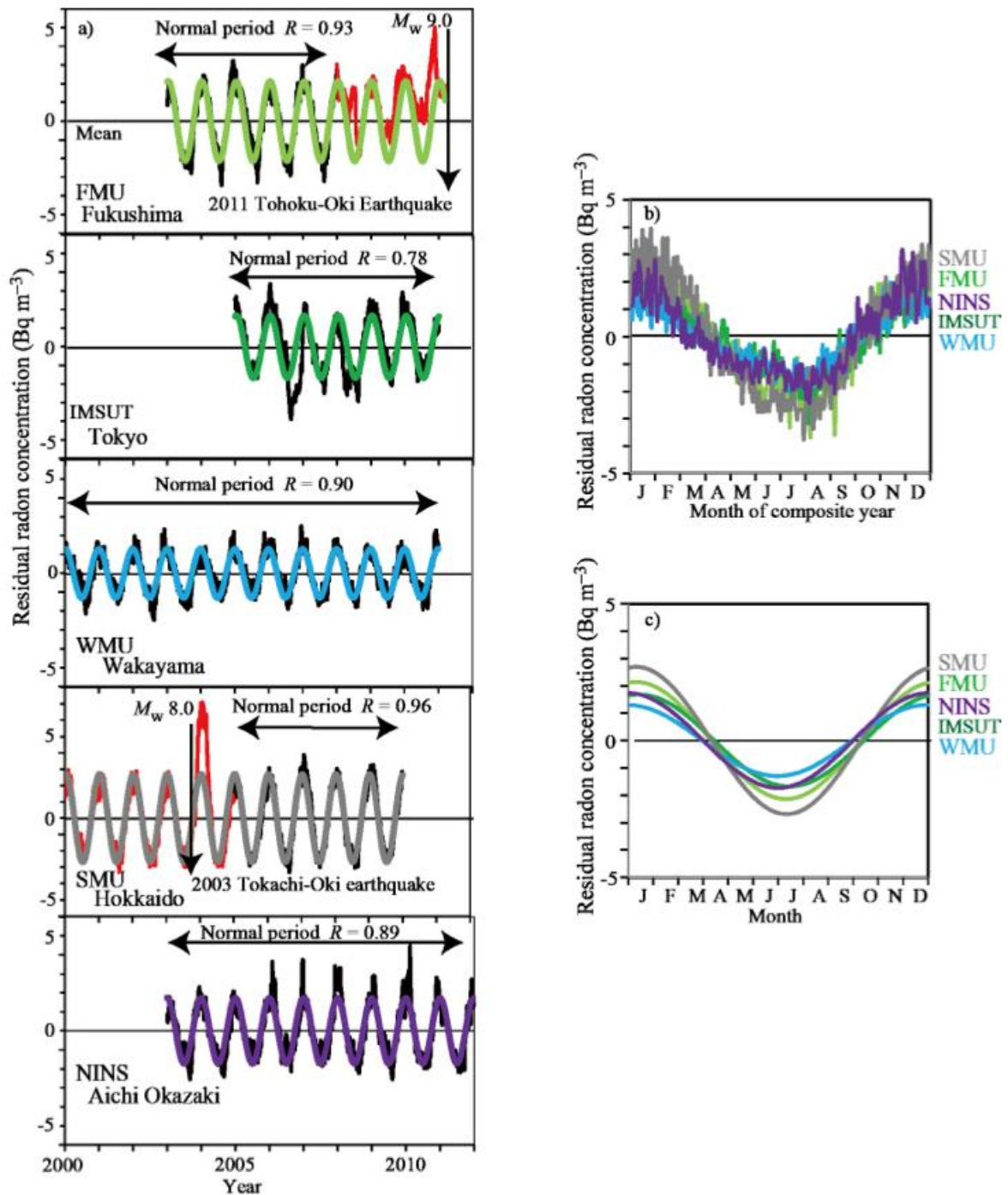


図1. 大気中ラドン濃度の季節変動(東北大学 [課題番号:1207], Kobayashi et al., 2015)

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

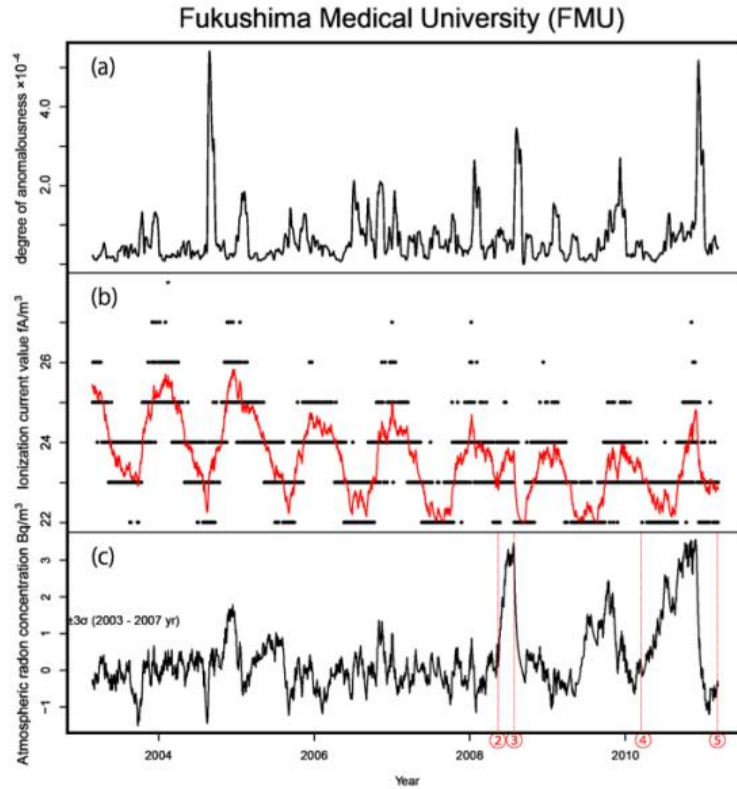
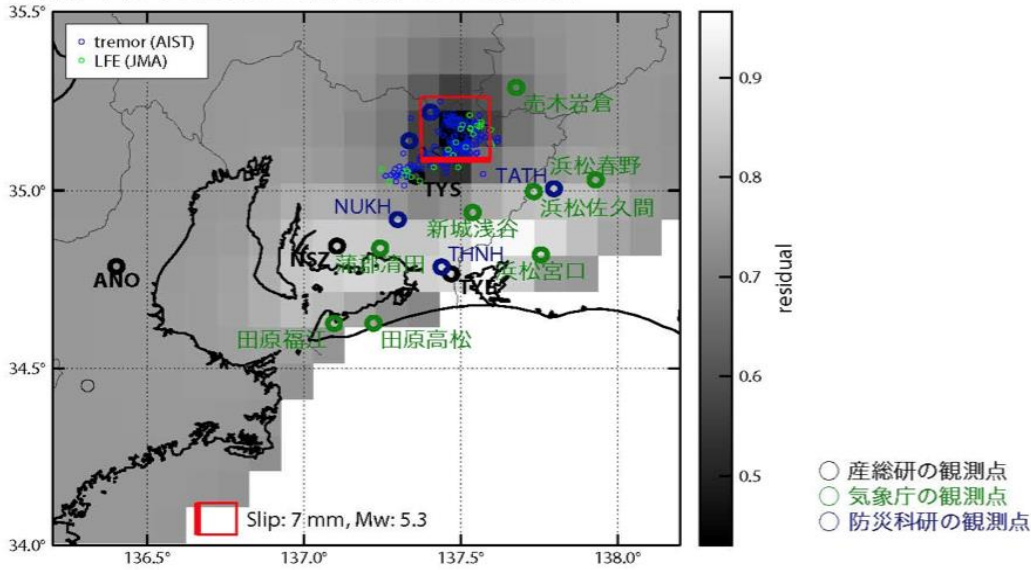


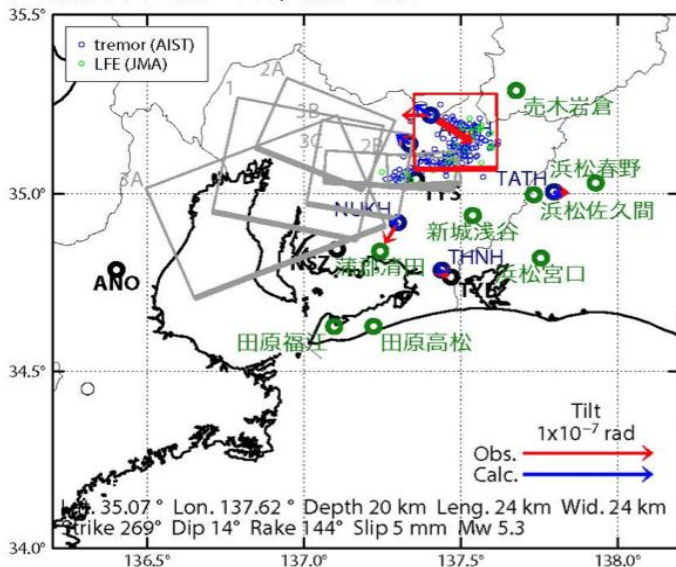
図2. 福島県立医科大学で測定された大気中ラドン濃度を用いた部分空間法による変化検知(東北大学 [課題番号: 1207])

(a) 異常度。(b) 電離電流測定値(黒点)と平滑化電離電流値(赤線)。(c) ラドン濃度の残差。赤線2-5は、それぞれ、茨城県沖地震(2008年5月8日, Mw6.8), 福島県沖地震(2008年7月19日, Mw 6.9), 福島県沖地震(2010年3月14日, Mw6.5), 東北地方太平洋沖地震(2011年3月11日, Mw 9.0)の発生時刻を示す。

(a) 断層の大きさを固定した場合の断層モデルと残差分布



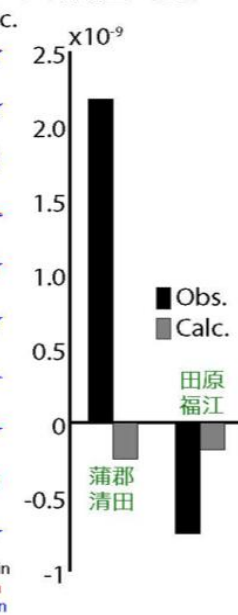
(b1) 推定された断層モデル, 傾斜の比較



(b2) 主歪の比較



(b3) 体積歪の比較



【観測点名】 NSZ: 西尾善明, YYS: 豊田神殿, TYE: 豊橋多米, ANO: 津安濃

図3. 気象庁・産総研・防災科研のデータ共有による短期的ゆっくり滑り解析(産総研 [課題番号: 5007], 落ら, 2015)

(a) 2015/4/18のひずみ・傾斜変化を説明する断層モデルと断層パラメータ。(b1) 矢印は傾斜の観測値と計算値の比較。灰色矩形は周辺で発生した短期的ゆっくり滑りの推定断層面(1:2014/7/27-8/1 (Mw 5.7), 2A:2015/1/12-14 (Mw5.6), 2B:2015/1/15-18 (Mw5.2), 3A:2015/4/4-8 (Mw5.8), 3B: 2015/4/14PM-15 (Mw 5.7), 3C:2015/4/16-17 (Mw5.7))。(b2) 主ひずみの観測値と(b1)に示した断層モデルから求めた計算値との比較。(b3) 体積ひずみの観測値と(b1)に示した断層モデルから求めた計算値との比較。小さい青色丸印は産総研による深部低周波微動, 緑色丸印は気象庁一元化カタログによる低周波イベントの震央位置を示す。黒色は産総研の, 青色は防災科研Hi-netの観測点を, 緑色は気象庁の観測点名を示す。

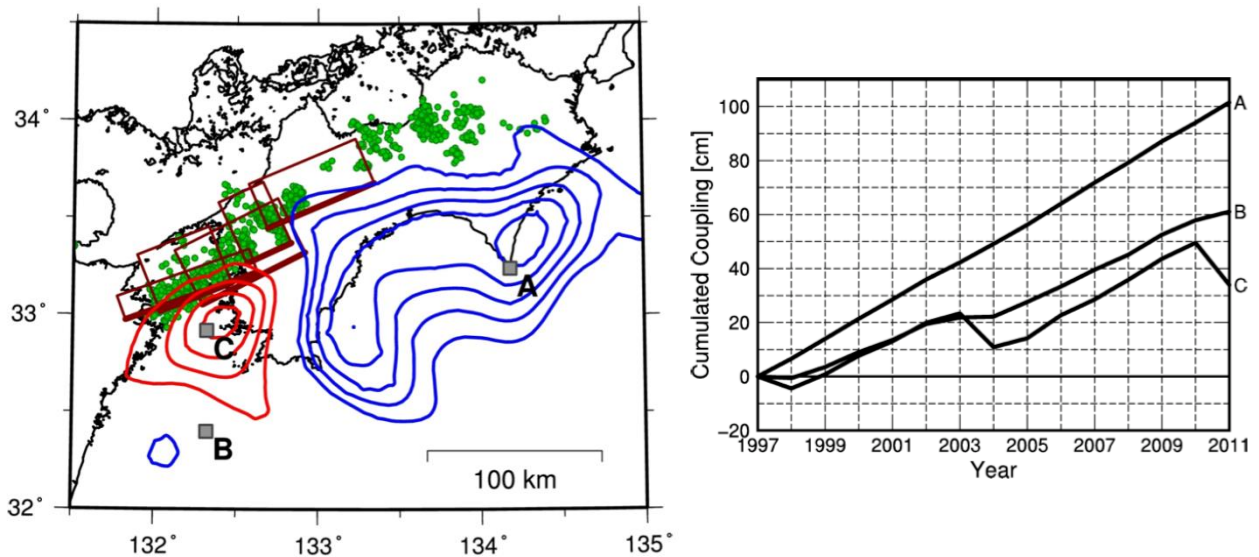


図4. 中国・四国地方のGNSSデータから推定した1997年から2010年までのプレート間固着および長期的ゆっくり滑りの履歴(産総研 [課題番号: 5007], Ochi, 2015)
 (左) 2003-2004年のプレート間固着(青色コンター)とゆっくり滑り(赤色コンター)の分布。濃い赤の四角は Sekine et al. (2010) による 2003年に発生した短期的ゆっくり滑りの断層分布, 緑色の点は気象庁による 2003年の深部低周波地震の震央。(右)左図の地点A, B, Cにおける1997年から2011年までの積算のプレート間固着。

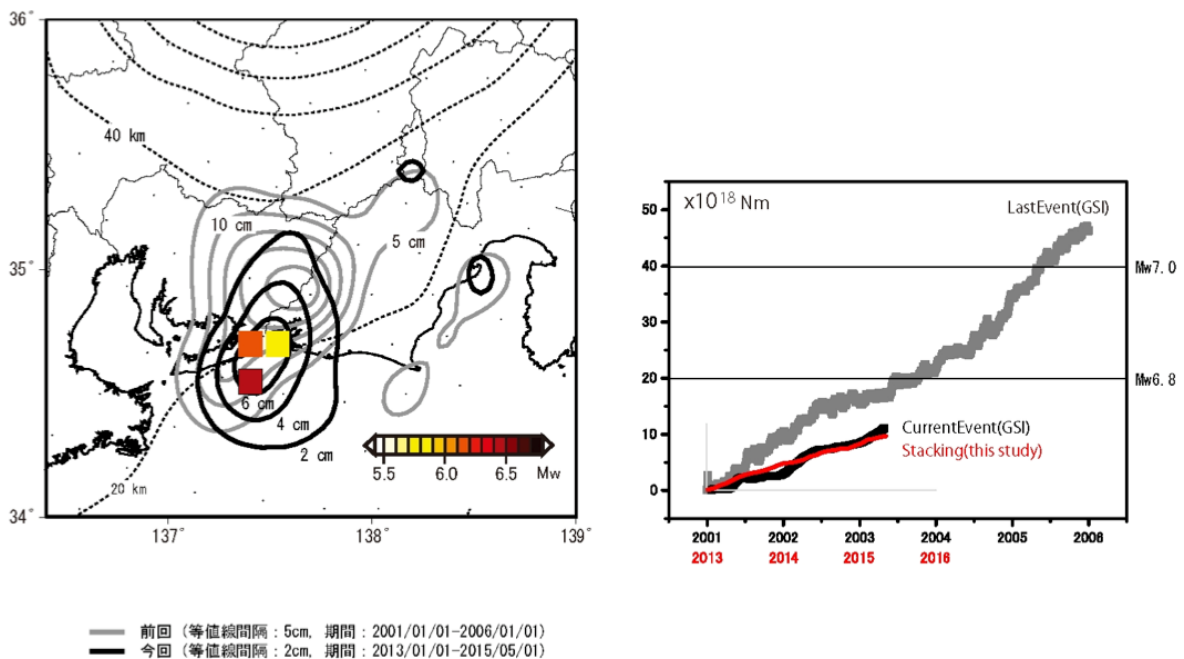


図5. 歪データのスタッキングによる長期的ゆっくり滑りの推定(気象庁 [課題番号: 7006])
 (左) 領域および滑りの規模推定。(右)GNSSデータを用いた解析(国土地理院による)との比較。

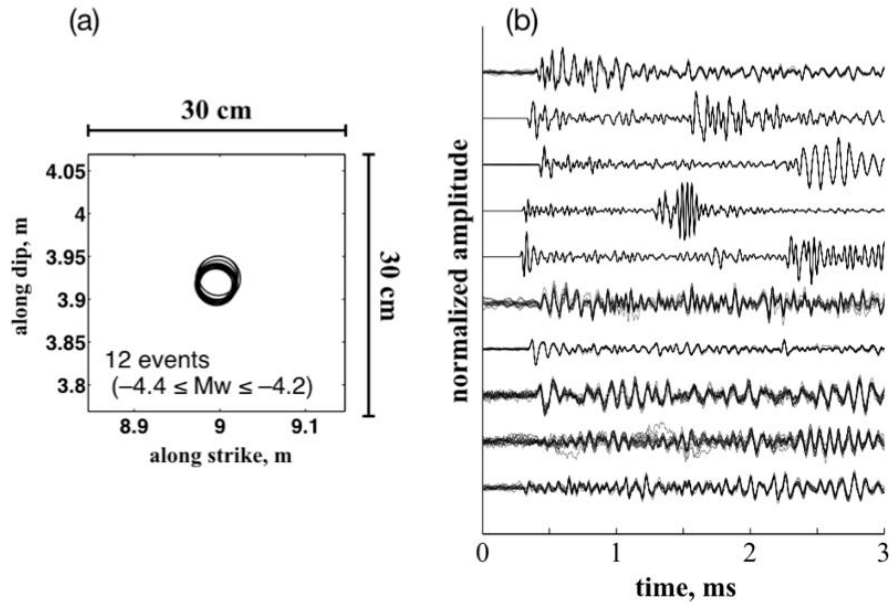


図6. 南アフリカCooke4金鉱山内の地質断層上で見つかった極微小繰り返し地震(東北大学[課題番号:1206], Naoi et al., 2015)。

(a) 12個の繰り返し地震の震源を断層面に投影。円のサイズは応力降下量16MPaを仮定して求めた破壊サイズに対応する。(b) 同じ震源からの繰り返し地震の波形を観測点ごとに規格化して重ねた。

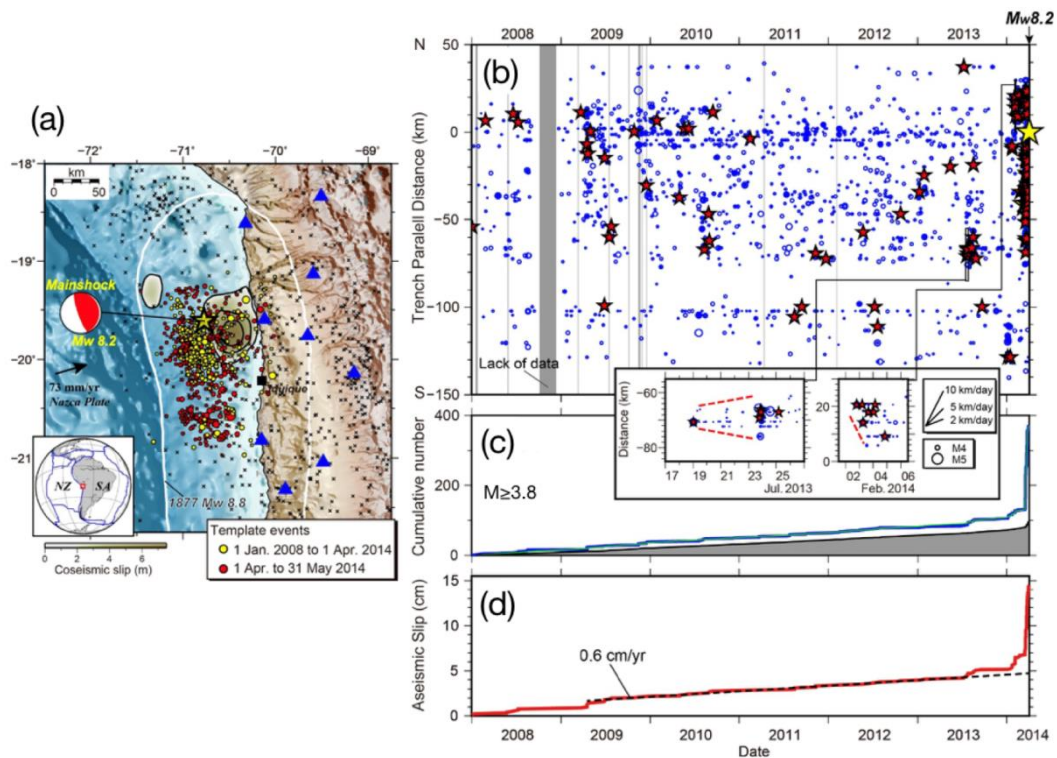


図7. 2014年チリ北部で発生したIquique地震(M8.2)に先行する地震活動と非地震性滑りの加速(東北大学[課題番号:1206], Kato et al., under review)。

(a) 同地震の震央とメカニズム解, 滑り量分布, テンプレート地震。(b) 地震活動の時空間プロット。赤星は繰り返し地震, 青丸はその他の地震を示す。(c) 2008年からの累積地震数。(d) 繰り返し地震から推定される非地震性滑りの積算量。

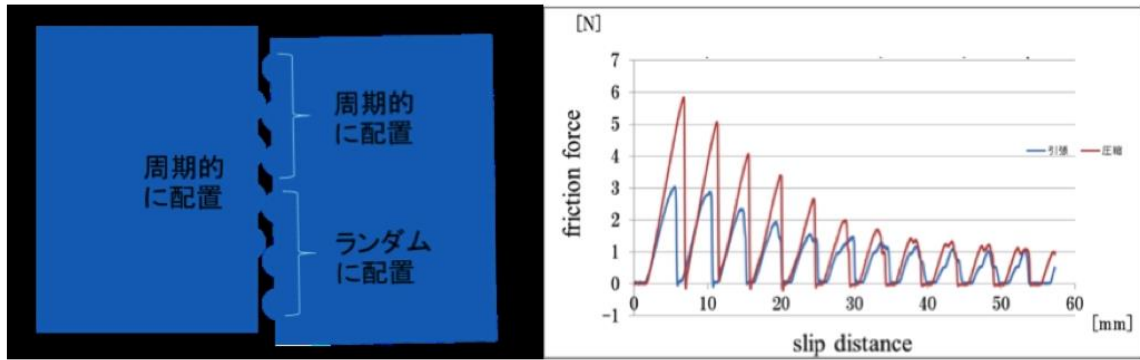


図8. 人工的に突起を配置した模擬断層の滑り実験(地震研 [課題番号: 1512])

(左) 試料形状。試料の剛性率は約0.1MPa, 密度は約1000kg/m³。半径1mmの突起を, 周期的な領域では間隔5mmで設置。ランダムな領域では周期的配置を基準に各突起を±2mmの範囲内で一様分布にしたがってずらして配置した。左右のブロックをやや非平行にセットして滑らせた。(右) 観察された固着滑り。青線は左の試料を相対的に上方へ滑らせた場合で, 実験の進行とともに接触するアスペリティのうち周期的なもの割合が増加する。赤線は左の試料を相対的に下方へ滑らせた場合で, 逆のことがおこる。前者の実験では初回のスリップでは摩擦面全体が滑ったが, 4回目のスリップでは途中で滑りが停止した。

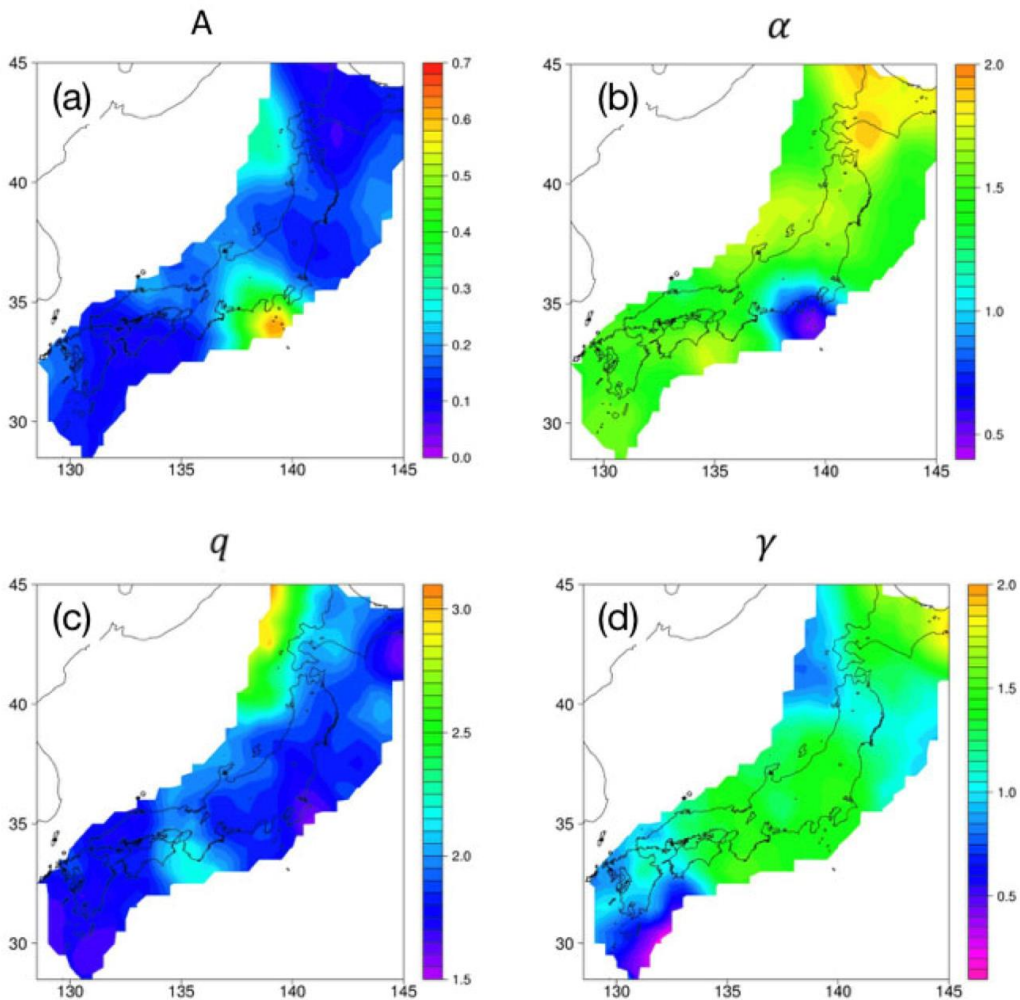


図9. 重み付き最尤推定によるETASパラメータの空間分布(東北大学 [課題番号: 1206], Zhuang, 2015)。

(a) A値。(b) α 値。(c) q値。(d) γ 値。

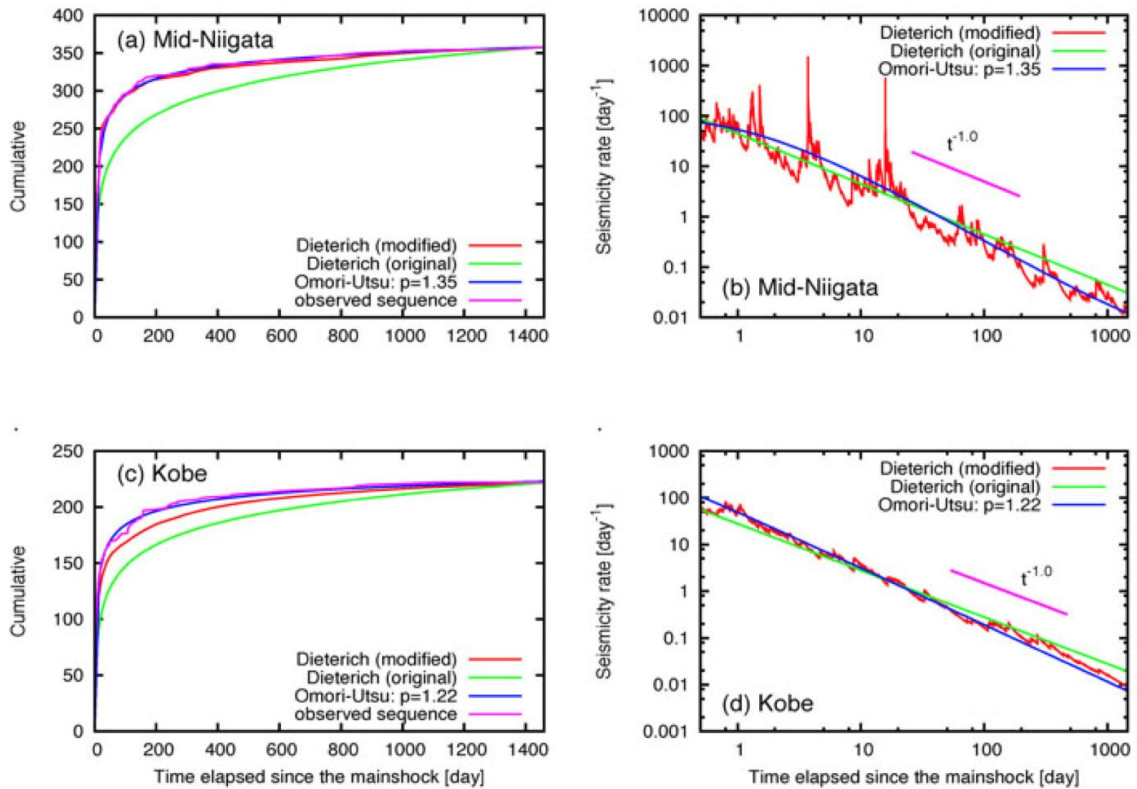


図10. 摩擦構成則に基づく地震活動モデルの改良(東北大学 [課題番号: 1206], Iwata, 2016)
 (a) 2004年新潟県中越地震の余震積算曲線。(b) 同地震の余震減衰の大森ダイアグラム。(c) 1995年兵庫県南部地震の余震積算曲線。(d) 同地震の余震減衰の大森ダイアグラム。

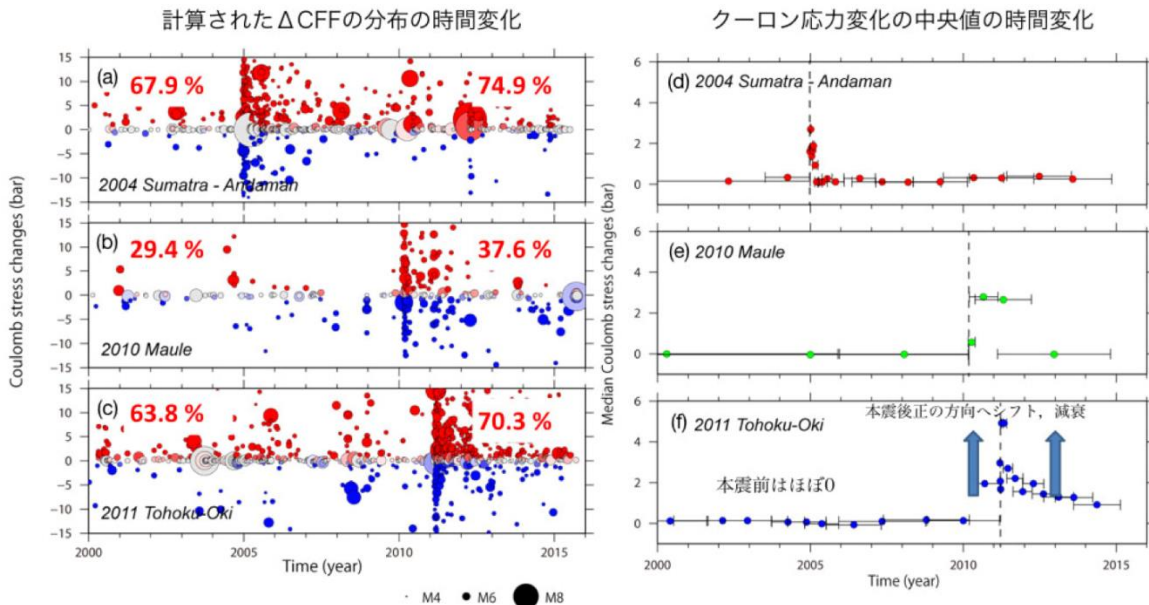


図11. 3つの海溝型巨大地震(2004年スマトラ沖地震・2010年チリマウレ地震・2011年東北地方太平洋沖地震)の余震に見られる静的応力変化の効果(東北大学 [課題番号: 1206], 石辺ほか, 投稿準備中)
 (a)-(c) 受け手のメカニズム解節面に解いたクーロン応力変化(ΔCFF)の時系列 (d)-(f) ΔCFF 中央値の時系列。すべての巨大地震で ΔCFF 正の地震の割合が本震後に増加した。

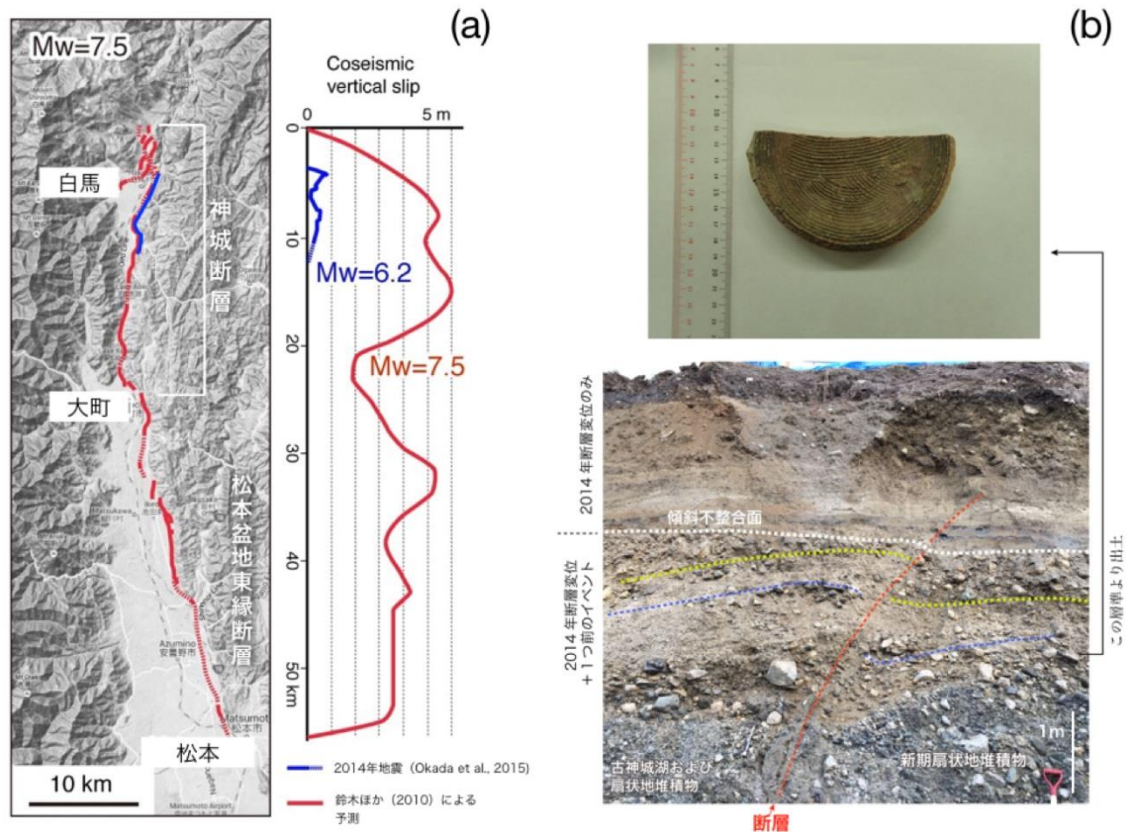


図12. 2014年長野県北部地震をうけて行われた神城断層の調査(東北大学 [課題番号: 1206])
 (a) 2014年長野県北部の地震の地震断層(青線, Okada et al., 2015)と糸魚川-静岡構造線活断層帯北部の神城断層と松本盆地東縁断層(赤線, 鈴木ほか, 2010)。糸静線北部全域の活動による Mw=7.5 地震が想定されていたが, 2014年地震では, 神城断層の一部しか活動しなかった。(b) 2014年地震に先行する地震イベント層準とイベント層準直下の砂礫層より出土した江戸時代頃の皿の破片。1714年小谷地震が神城断層の1つ前の活動と推定される。

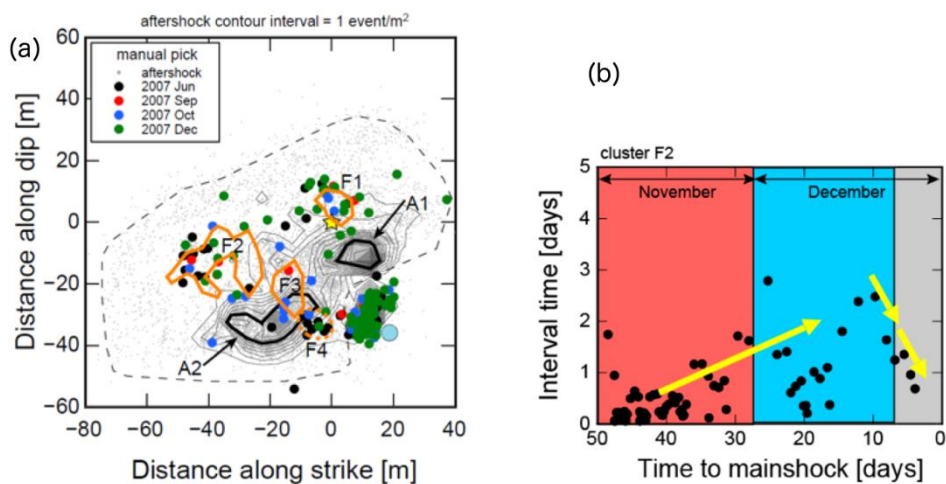


図13. 南アフリカMponeng鉱山のMw2.2地震の本震破壊面上でおこった前震活動(東北大学[課題番号:1206], Yabe et al., 2015)。
 (a) 前震活動と余震(灰色)。前震活動はクラスター(F1-F4)に分かれる。(b) クラスターF2での前震地震発生前隔の推移。本震の約10日前から加速し続けた。

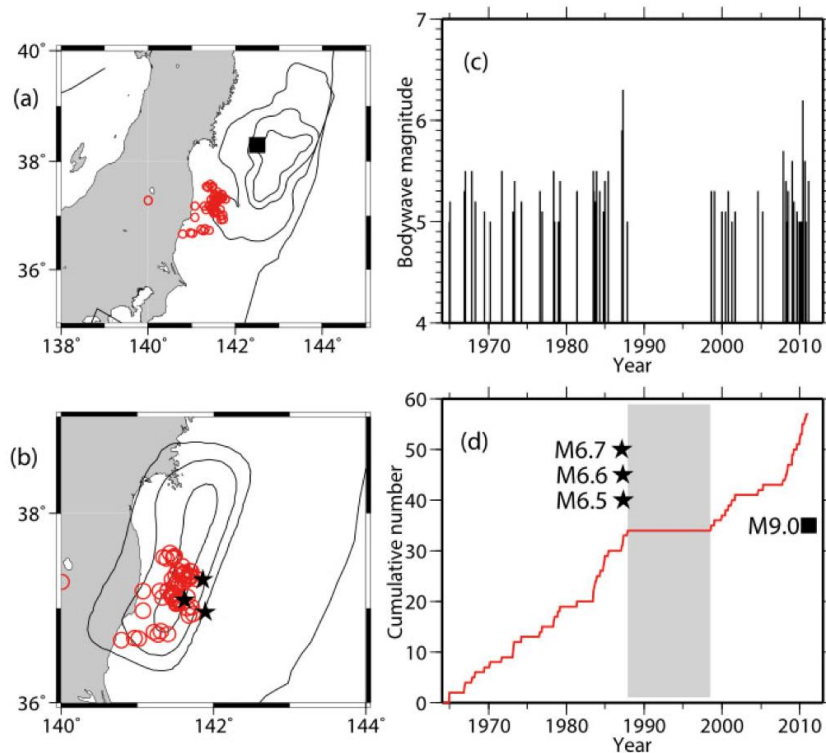


図14. 2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)前の地震活動の長期静穏化と長期的ゆっくり滑り (東北大学[課題番号: 1206, 勝俣, 投稿準備中])

(a) 赤丸: 静穏化領域内の震央。■: 東北地方太平洋沖地震の本震の震央。コンター: 本震の滑り量(10m毎) (Yokota et al., 2011)。 (b) 赤丸: 静穏化領域内の震央。コンター: 2002年頃開始した長期的ゆっくり滑り(10cm毎) (Yokota and Koketsu, 2015)。★: 1987年2-4月に発生した M6.5 以上の地震。 (c) (a) の赤丸震央のM-T 図。 (d) (a) の赤丸震央の積算度数。

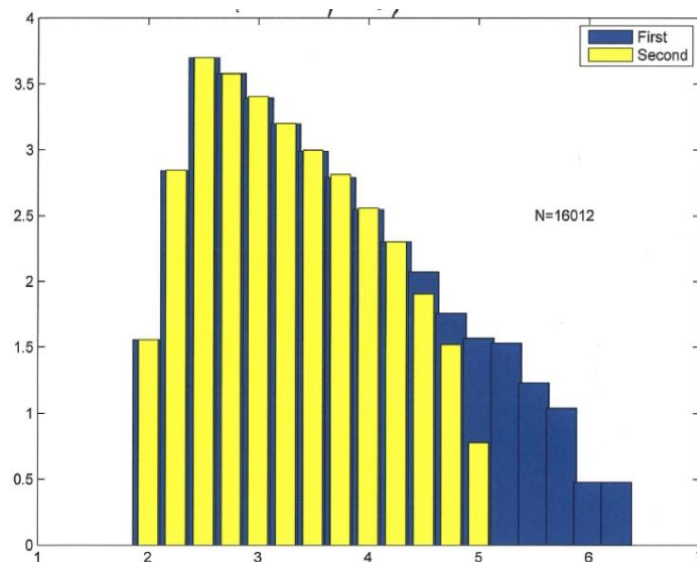


図15. セルオートマトンによる規模別頻度分布(東海大学 [課題番号: 2501])

横軸はマグニチュード, 縦軸はイベント数(対数表示)。応力の最も高い2%のセルに対し0.05barのハードニングを仮定した場合(黄色)では, M4.5以上でGR則が成り立たず, 静穏化現象が発生する。青はハードニングを仮定しない場合で, 固有地震まできれいなGR則が成り立っている。

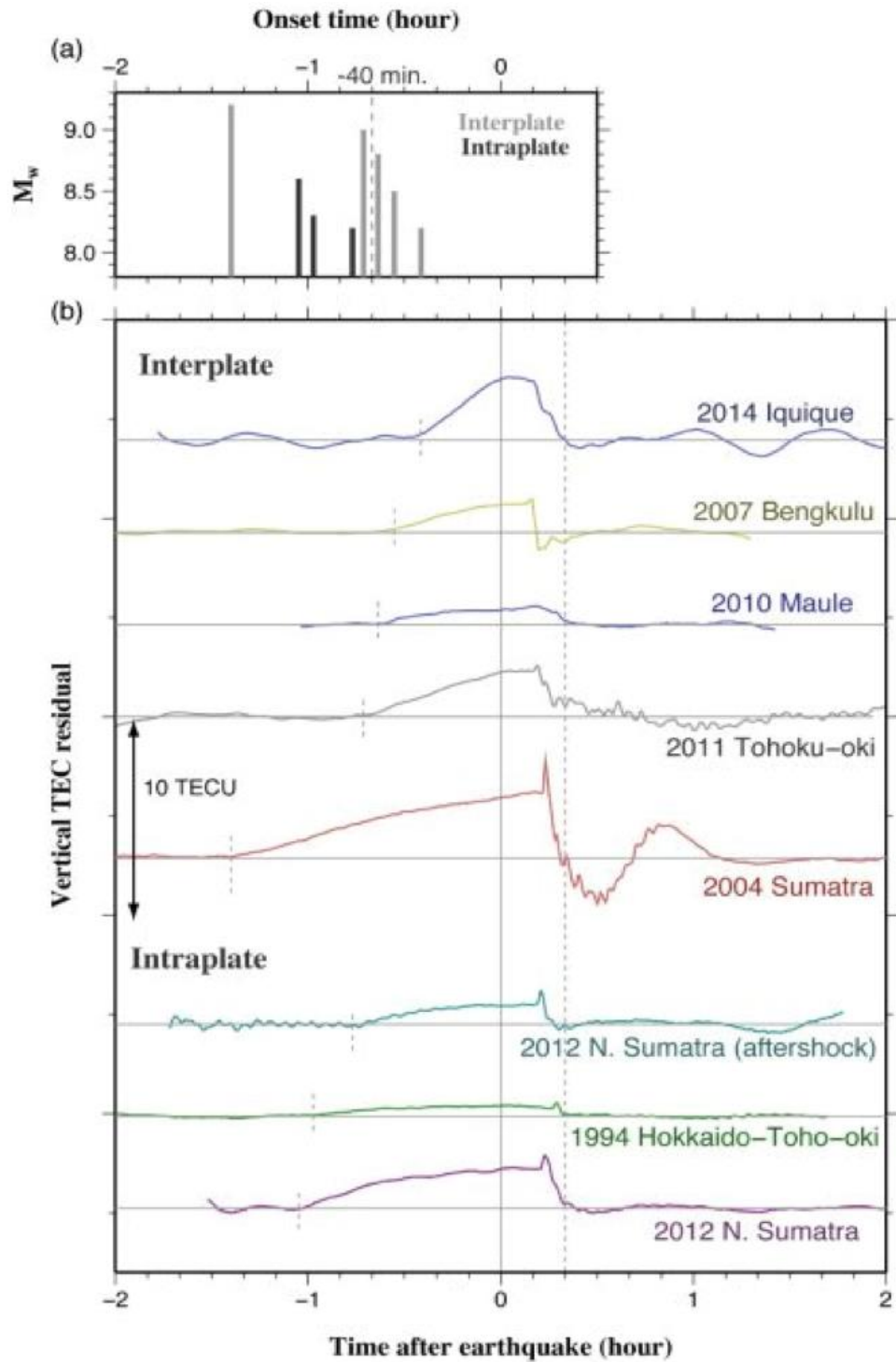


図16. 8個の地震についてのVTEC直前変動(東海大学 [課題番号: 2501], Heki & Enomoto, 2015) 折れ曲がりの大きさは、地震の規模と背景VTECの両方に正の依存性を持つ。(a)折れ曲がり発生のタイミング。(b)解析した8個の地震のVTECデータ。折れ曲がりにはAICを導入して決定した。

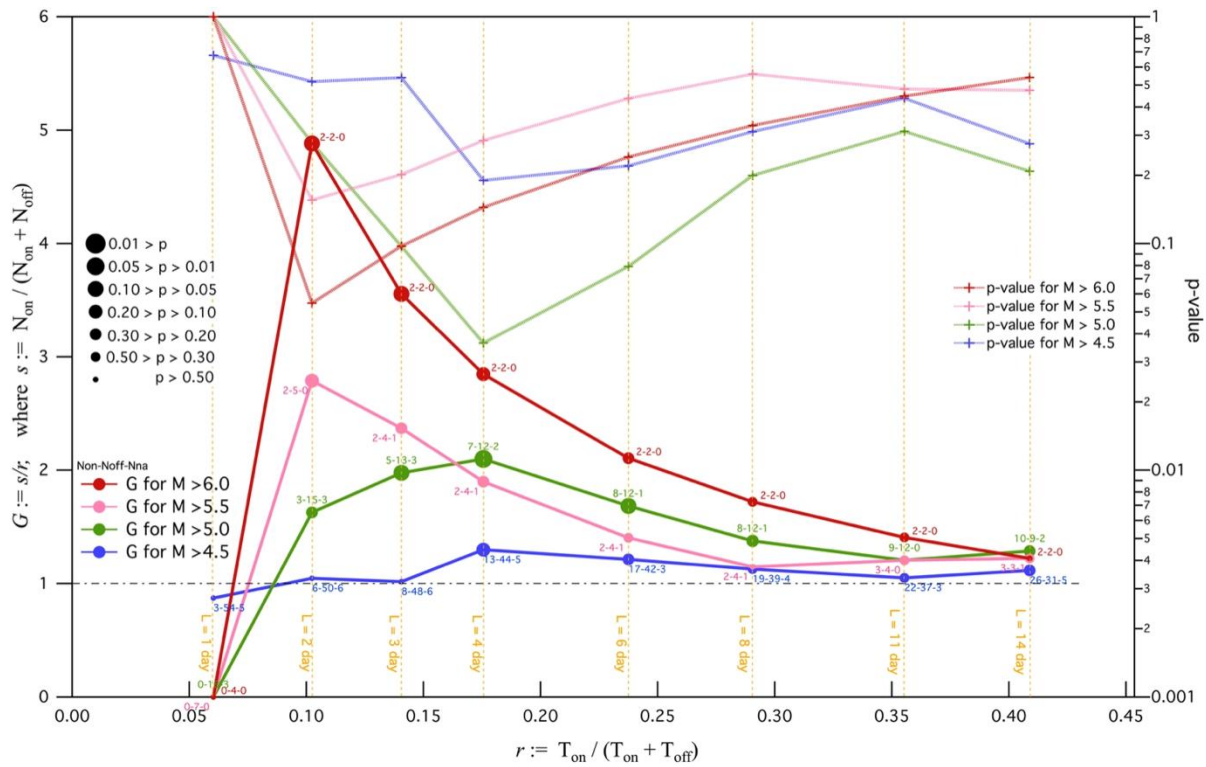


図17. VHF帯伝搬異常にもとづく予測マップの成績評価結果(東海大学 [課題番号: 2501])

異常後の警報ON期間 L を1, 2, 3, 4, 6, 8, 11, 14日として作成した8つの予測マップの検証結果。丸印がゲイン G (左軸), プラス印が p 値(右軸)である。 G 値の丸印は, p 値が小さいほど大きく描いた。横軸は警報分率 r で, 警報判定不能時を除く全期間に対する警報ON時間の総計の比率である。検証対象地震のマグニチュード範囲を4種類に変えた場合の結果を色わけで示した(赤: $M > 6.0$, 桃: $M > 5.5$, 緑: $M > 5.0$, 青: $M > 4.5$)。 G 値の丸印のわきに小さくかかっている数字は, 警報ON期に発生した地震の数-警報OFF期におこった地震の数-警報判定不能期に発生した地震の数である。

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 関口春子（京都大学防災研究所）

1. はじめに

地震、火山噴火に伴う地震動、津波、地滑り、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、災害及び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、及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 27 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

ア. 地震動の事前評価

(震源モデルの高度化)

2014年11月22日22時8分に長野県北部の北安曇郡白馬村付近で発生した地震 ($M_{\text{JMA}}6.7$) の震源過程を、強震波形を用いたマルチタイムウィンドウ線形波形インバージョン解析によって求めた (図1)。破壊開始点から約5km北のやや深いところに滑り量の大きな領域 (最大滑り量は1.9m) が推定されたが、これは各機関によるモーメントテンソル解のセントロイドが北側深部に推定されていることとも整合する。また、地表に近いところでも0.3~0.5 m程度の滑りがあり、その場所は、地表地震断層が観察された領域に対応し、求められた滑り量も同程度であった。全体の地震モーメントは 3.29×10^{18} Nm、断層面積は260 km²、平均滑り量は0.45 m、アスペリティサイズは36 km²と求まり、これらの値は宮腰・他(2015)で提案されている最新のスケーリング関係式と整合的であった。2015年4月25日に起きたネパールGorkha地震 (Gorkha earthquake, Mw7.8) では、震源域直上のカトマンズ盆地内で強震記録が得られているが、最大加速度、最大速度ともに、経験的な地震波距離減衰式から導かれる値に比べ小さい値が観測された。震源特性の特異性の有無を調べるため、同規模の17地震と有限断層モデルの震源時間関数を比較したところ、Gorkha地震の震源時間関数はスムーズで、周期10秒程度以下の震源スペクトルが平均よりも標準偏差幅程度小さいことがわかった。震源スペクトルレベルは震源断層全体の地震動生成レベルに対応するため、Gorkha地震の震源域強震動が同規模の地震に比べ小さかったことは、震源特性に起因するものと考えられる。(京大防災研 [課題番号:1903], 浅野・岩田, 2015; Iwata, 2015)

(地下構造モデルの高度化)

2015年5月30日に小笠原諸島西方沖の太平洋スラブ深部で深発地震が発生した。気象庁により求められた震源の深さ(682 km)は、この周辺で起きる深発地震の等深度面より50 km程度深い、太平洋スラブの下面付近となったが、震源が陸域から離れているため深さ決定精度に誤差が大きい可能性があり、スラブ内で起きた地震か、スラブ外(スラブ下面付近)で起きた地震かについて議論が分かれていた。観測地震波形には深さ500 km以深の地震にのみ見られる特徴が見られ、観測地震動分布には比較的同心円状に近い「異常震域」が

見られるなど、過去の深さ400km前後の太平洋スラブ内深発地震とは違う様相が見られた。地震波形の特徴から震源の位置（深さ）を確認するために、3次元差分法に基づく地震波伝播シミュレーションを実施した。気象庁決定の深さに震源を置いた場合、計算された地動速度分布は強震観測網で記録された速度分布と良く整合し、関東～東北に広がる「緩やかな」異常震域を良く再現した。また、前弧側観測点で記録された、低周波数先駆波と高周波数S波の後続相は、それぞれLow-QマントルとHigh-Qスラブを伝わり到達した波であることも確認できた。これにより、本地震がスラブ外（スラブ下面）で起きた地震である可能性が高いことが裏付けられた。（東大地震研 [課題番号：1516]

南海トラフ地震の影響を受ける大阪堆積盆地の地下構造モデルについて、中小地震の観測波形をターゲットとした地震動シミュレーションによる検証を行った。盆地北西部に位置する尼崎観測点（関西地震観測研究協議会）では、多くの地震で、直達S波の後、水平動に卓越する孤立的な後続波群が約4秒間隔で繰り返し現れる。この後続波群は震動卓越方向が変化し波群間隔も少しずつ変化するが、その変化の様子が震源方位によっても系統的に変化することがわかった。このような地震動をターゲットに既往の3次元大阪堆積盆地地下構造モデルを用いて差分法による2Hzまでの地震動シミュレーションを行った結果、後続波群は地表と堆積層／地震基盤の境界の間の多重反射S波であること、基盤の3次元的な形状の影響によって2波目、3波目の震動卓越方向が変化すること、震源方位によって波の伝播経路が変わるため変化の仕方も変わることがわかった。また、大阪堆積盆地における2013年淡路島の地震の地震動シミュレーションと、その結果に基づく堆積層Q値設定方法の検討を継続して実施し、最も観測記録を説明するようなQ値パラメータを得た。さらに、現状の地下構造モデルでは地震動を十分には再現できていない箇所を把握し、今後の高度化のための知見を得た。

（京大防災研 [課題番号：1911]，田中・他，2015；Asano et al., 2016）

立川断層を横切る測線で、昨年度実施した表層地盤の微動探査、表面波探査及び地震観測のデータ分析を実施し、表層地盤の不均質性が地震動に及ぼす影響について議論した。微動アレイ探査データのSPAC解析で得られた位相速度と、表面波探査で得られたレイリー波位相速度には、断層が存在すると考えられている位置で大きな変化が見られ、地下構造の急変が示された。特に、西側で位相速度がより低周波数で小さな値となり、低速度の表層の厚さが変化していると考えられる。微動のH/Vも同じ位置での地盤構造の急変を示した。また、断層のごく近傍では、異なる種類の探査で得られた地盤構造モデルの間の差が大きいが、これは地下構造急変の影響と考えられる。地震観測は、同側線で、30地点/600 mの高密度で、約1ヶ月間実施された。茨城県南西部の地震（深さ45 km, M4.0）の観測波形では、断層の東側に比べ西側で高周波数成分が卓越し、後続位相も複雑になっていること、断層のやや西側の位置で最大値が局所的に大きくなり、断層から十分に離れると両側での振幅が同程度になる様子が見られた。微動探査で推定された地盤モデルを単純化して作られたモデルで地震波伝播の2次元計算を実施したところ、断層の不均質部分で表面波が生じ、表層のS波速度が小さい断層の西側で、後続位相がより顕著になる様子が示された。また、地盤増幅に及ぼす表層地盤の影響に関する検討例を増やすために、追加観測として茨城県日立市で微動探査、表面波探査、地震観測を実施した。（拠点間連携研究 [課題番号：2954]，津野・他，2015；清田・他，2015；Tsuno et al., 2015）

（強震動評価の高度化）

南海トラフ沿いの地震では、緩やかに沈み込むフィリピン海プレートと厚い付加体での表面波の強い増幅と陸地に向けたガイド効果、そして関東平野では急峻な形状の基盤上面による表面波の強い増幅が考えられ、長周期地震動が強く生成することが考えられる。南海トラフ沿いの地震で生じる長周期地震動の特性を、2011年東北地方太平洋沖地震との比較から明らかにすることを目的として、東北地方太平洋沖地震の震源モデル（Lee et al., 2012）を南海トラフ沿い（駿河湾～足摺岬の沖合）に置いた「仮想M9巨大地震」により長周期地震動評価を行った（図2）。文部科学省の長周期地震動評価モデル（JIVSM）による堆積層、地殻・マン

トル、及びプレートモデルを設定し、周波数 0.5 Hz 以下（周期 2 秒以下）の地震波伝播を差分法により計算した。東北地方太平洋沖地震と南海トラフ「仮想 M9 巨大地震」からの震源距離がほぼ等しい都心地点（K-NET 新宿観測点）の周期 6～10 秒の速度応答において、東北地方太平洋沖地震時の 2 倍程度の大きな長周期地震動が起きることを確認した。

南海トラフ地震を対象に、震源モデルの破壊伝播速度の変動（ゆらぎ）による、長周期地震波に生じる破壊の Directivity 効果への影響を調べた。断層破壊速度が一様な場合には、Directivity 効果が大きく、破壊進行方向で長周期地震動の増幅が大きくなり、例えば震源が南海トラフの西端にあり断層破壊が関東方向に進行する場合と、逆に東側の震源を起点に関東から遠ざかる方向に進行する場合には、都心の地震波速度応答スペクトルで見て 10 倍以上の差が生じることがわかった。これに対して、標準偏差 5% のランダムな速度変化を与えた場合は、Directivity 効果が弱まり、速度応答レベルの差が 2 倍程度にまで狭まることが確認できた。

スラブ内に発達する互層状態の不均質構造（ラミナ構造）では、高周波数地震動がラミナの間で強い前方散乱を起こすために、スラブ内に閉じ込められるように遠地まで伝わり、異常震域を作り出すことが知られている。したがって、スラブ内地震の高周波数地震動の予測には、スラブの不均質構造の特性とその起源を調べることが重要である。太平洋上のいろいろな伝播経路に沿って、海洋リソスフェアを伝播すると考えられている高周波数地震波 Po/So 波の現れ方を調べると、プレート年代の古い北西側（日本側）では Po/So 波が強く、海嶺に近くプレート年代が新しい東側（北・南アメリカ側）では弱い傾向が確認できた。すなわち、年代が古い厚いプレートほど高周波数地震動の散乱が強いことが考えられる。2 次元差分法シミュレーションでも、海洋リソスフェアの厚さに比例して Po/So 波の長いコダが強く生成することが確認された。また、スラブ内の短波長不均質構造は、海洋プレートが海嶺で生成される過程で既に形作られているが、プレート移動に伴ってプレート下面に不均質なアセノスフェアが付加し、不均質層の厚さがプレート年代とともに増すこと、不均質性の強度はリソスフェア下面付近で強く、浅部では弱いことが考えられる。

九州南端から台湾北東にかけて位置する南西諸島において、地下構造の理解、及び、将来的な大地震の発生と被害の予測に資するため、地震波の減衰トモグラフィを開始し、3 次元地震波減衰構造の暫定結果を得た。沈み込むスラブ内は低減衰、一方、マントルウェッジ、前弧側の地殻内、沖縄トラフ内部、火山フロントに高減衰領域が存在するという特徴が確認できた。（東大地震研 [課題番号：1516]、Kennett and Furumura, 2015；Takemura et al., 2015；Shito et al., 2015；Kennett and Furumura, 2016）

イ. 地震動による構造物被害の事前評価

十万・百万のオーダーの建築建物や交通・ライフライン等の大規模社会基盤施設を有する都市に対して、巨大地震がもたらす災害・被害の評価のため、理学・工学・社会科学の各分野で培われた数値解析手法が適用できるような都市全体の解析モデルを構築し、実際に、巨大地震がもたらす災害・被害予測を行うことを目的とした研究を進めている。仙台・新潟・東京・甲府・神戸・高松・高知・福岡を対象とした統合地震シミュレーション（Integrated Earthquake Simulation, IES）プログラムを、それぞれ、東北大学・新潟大学・東京工業大学・山梨大学・神戸大学・香川大学・高知工科大学・九州大学に移植し、各大学で都市モデルの拡張や、想定地震シナリオによる災害・被害予測を実施した。（拠点間連携研究 [課題番号：2977]、Ichimura et al., 2015；Fujita et al., 2015；Melgar et al., 2015）

琵琶湖疎水の耐震性に関する課題抽出と耐震対策に資するため、琵琶湖疎水に影響を及ぼすことが危惧される地震とその発生頻度、強震動及び地表地震断層による被害の想定を取りまとめた。（拠点間連携研究 [課題番号：2961]）

ウ. 地震による地滑りの事前評価

地震によって火山地域で発生した地滑りの代表的な事例で、かつ、従来の調査が十分でなかった1949年今市地震による降下火砕物の崩壊性地滑りの調査を行い、16個の深層崩壊性地滑り、141個の浅い崩壊性地滑りが発生していたことを確認した。この地震以前に40個の深層崩壊性地滑りがあったことも確認した(図3)。これらの地滑りの滑り面の層準を火山灰層序学的に特定した。これらの土層は自然含水量が高いため、地震によって地滑り変動現象が発生すると、滑り面付近に高い過剰間隙水圧が発生し、高速長距離地滑りになりやすいことがわかった。また、1923年関東地震によって発生した震生湖地滑りは、神奈川から東京南西部に広く分布する東京軽石層に滑り面が形成されたことがわかった。これら火山地域の地滑りの調査から、降下火砕物の地震による崩壊性地滑りは1度の大地震ですべて発生するのではなく、繰り返す地震によって何度も発生すること、そして、滑り面が形成された特定の層及びその上の地層と同じ地層の分布地域が、将来的にも危険地域であることが示唆された。

昨年度、観測網を展開した多様な地滑り地において、強震計や間隙水圧などの観測項目を拡充し、連続データの取得をおこなった。また、地形図判読や既存ボーリングデータの活用、現地踏査によって、都市部の潜在的な地震リスクである谷埋め盛土の詳細な空間分布を明らかにした。取得したデータに基づき、それぞれの地滑り地、谷埋め盛土の地震動応答特性を調べた。谷埋め盛土では、観測された震源の位置や規模が異なる全ての地震に対して、5Hz前後及び20-25 Hzの周波数帯において上下動の顕著な増幅がみられた。これは、盛土内の地下水面や旧河川の沖積層底部といった大きな地震波速度不連続面におけるS波からP波へ変換した波が原因として考えられた。また、山地の地滑り地のうち、川下地滑りにおいては、尾根の走向と直交する方向の震動が増幅され、尾根の幅のスケールに応じて増幅される周波数が異なる可能性が示唆された。深層崩壊の滑り残りブロック(赤谷)においては、4年前の深層崩壊で解放されたブロックの位置した方向に大きく増幅されたことがわかった。一方、海岸地滑り(厚岸)においては、地滑りブロックの主な活動誘因は雨による間隙水圧の上昇であり、最大速度 0.5 cm/s 程度の地震動では、地震動と地滑りブロックの変動との間に明瞭な相関は認められなかった。(京大防災研[課題番号:1912], Chigira et al., 2015; Doi and Kamai, 2015; Matsuura et al., 2015; 土井・他, 2015; 土井・釜井, 2015)

エ. 火山灰や溶岩噴出の事前評価

日々の気象場の変化が大規模噴火時の降灰予測に与える影響を点検し、降灰ハザードマップの改良等の研究に活用するため、富士山宝永噴火及び桜島大正噴火を想定した降灰シミュレーション計算を毎日、その日の気象場に基づいて実行し、計算結果を蓄積している。(気象庁気象研究所[課題番号:7010], 新堀・他, 2015)

(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

地震動の即時予測の新たな方法として、震源とマグニチュードの推定を介さず、リアルタイムの揺れの実況値から直接揺れの伝播を予測する方法の開発を進めている。この方法は、現在の緊急地震速報で取られている、震源とマグニチュードを決定し、震源を設定して震度の空間分布を推定する方法に比べ、安定した予測が可能になる。昨年度までにその有効性を示してきたが、地震波速度及び減衰の不均質構造をとり入れることによりさらに早い段階で精度よく予測できることを確認した(図4)。また、強震入力時の海底地震計の挙動とその対策や、地震動の伝播方向をリアルタイムで推定することの考察を進めた。(気象庁気象研究所[課題番号:7008], Hoshihara and Aoki, 2015)

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。鳥取県内の自治体震度計を対象に、県の防災業務に支障を及ぼさず、情報ハイウェイを介してリアルタイム震度と最大加速度値を1秒パケットで送信するようシステムを改良し、その動作試験を実施した。また、震度値のリアルタイム補正に供する震度観測点のサイト増幅特性を高精度化するため、平成27年10月及び12月の鳥取県中部を震源とする群発地震（最大マグニチュード4.3）の記録を用いて、昨年度、常時微動及び既往地震観測記録により推定した地盤震動特性との比較検討をおこなった。さらに、震度計観測点における震度情報から震度の観測を実施していない周辺地点の震度を予測することを想定し、鳥取市、智頭町及び湯梨浜町で、常時微動を用いた地盤震動特性の稠密把握及び地下構造モデルの構築を実施した。常時微動では十分な精度が確保できない深部の地盤境界のモデル化については、震度計観測点における観測記録のレーバ関数解析による検討を始めた。（鳥取大学〔課題番号：2001〕，野口・他，2015）

地震動即時予測高度化に向けて地殻の短波長不均質構造推定の研究を実施した。輻射伝達理論に基づく Multiple Lapse Time Window法を用いて、九州地方の地殻における散乱減衰と内部減衰とを定量的に分離推定した結果、散乱減衰及び内部減衰は強い水平不均質を示し、特に火山体周辺で散乱減衰及び内部減衰が大きいことが明らかになった。推定された散乱減衰及び内部減衰の不均質構造を使用して、モンテカルロシミュレーションによる地震動エネルギーの伝播の予測を行い、観測地震記録と比較したところ、均質な散乱減衰及び内部減衰を仮定した時よりも実際の地震動エネルギーをより良く再現することが確かめられた。（公募研究〔課題番号：2935〕，Hoshiba and Aoki, 2015）

イ．津波の即時予測

プレート境界地震の震源域直上の津波観測網のデータを用いて、地震の震源過程や波源を推定せず、直接観測波形データから津波数値計算を行う即時津波数値計算手法の開発を継続した。現在設置が進められている日本海溝・千島海溝沿いのケーブル式津波観測網（S-Net）（防災科学技術研究所）と同程度の観測点間隔の観測網で、昨年度開発した計算手法によりどの程度の計算が可能であるかを数値実験により明らかにした（図5）。東北地方の沖合で海溝型巨大地震（Mw8.7）が発生したと仮定してまず通常の方法で疑似津波波形を生成し、次にS-Net同様の観測点配置における疑似津波観測波形を用いて、直接、即時津波数値計算を実施したところ、おおよその津波の面的分布と津波波形の長周期成分を再現できることがわかり、S-Netの観測点配置でも十分、即時津波予測に使用できることが示された。（北海道大学〔課題番号：1005〕，Gusman and Tanioka, 2015；谷岡，2015）

高速サンプリング高分解能の自己浮上式海底水圧計を用いて、昨年度、房総沖で観測した近地地震に伴う海底圧力データについて周波数解析を行った結果、既存のノイズ除去手法を適用することで適切に高周波成分を除去できることが確認できた。また、波源推定に基づく津波即時予測手法について、経験ベイズ法等に基づいて予測精度をリアルタイムに評価する指標の開発を進めた。さらに、津波の成長過程を含めた全期間の振幅時間変化を説明するため、津波エネルギーの伝達過程を基に組み立てられた数理モデルを用いた検討を行った。（気象庁気象研究所〔課題番号：7011〕，平田・他，2015）

津波が電磁場を誘導することが近年の観測から明らかになっている。陸上の磁場観測で津波生成磁場を検知し即時予測に資するため、様々な原因による地球磁場変化の中から津波生成磁場を効果的に検出することを目指した研究を行っている。また、津波生成磁場の検知を目的として、高知県馬路村において地磁気観測を行っている。2011年東北地方太平洋沖地震の際父島において津波到達の約20分前に地磁気のZ成分に観測された磁場変動について、津波が海水中に誘導した電流系により発生したものと考えて磁場変化の数値シミュレーションを行い、観測値をほぼ説明できることを示した。また、本州などにおいても津波到達前の磁場変化が検出可能かどうかについて、シミュレーションを用いて検証した。（気象庁〔課題番号：7007〕，Tatehata

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データを用いて1日以下の地殻変動場を捉える手段の一つに、キネマティックGNSS解析があるが、その一解析手法であるキネマティック精密単独測位（キネマティックPPP）における対流圏遅延に起因する誤差を低減するための研究開発を継続実施した。キネマティックPPP解析で対流圏遅延に関する未知パラメータの推定に使用するハイパーパラメータ値をより精度良く決めるため、天頂湿潤大気遅延量とその勾配量を、観測点毎に、座標時系列の擾乱がもっとも小さくなる（標準偏差がもっとも小さくなる）ようにグリッドサーチで探索した。さらに、全GEONET観測点に共通する最適プロセスノイズパラメータの組み合わせを、得られる座標時系列の標準偏差が最小となる頻度がもっとも高くなるよう選択した。このようにして得られた最適なプロセスノイズパラメータによるキネマティックPPP解析の結果は、通常用いられているプロセスノイズパラメータによる解析結果に比べ、座標時系列のノイズレベルが水平成分の標準偏差で5.2~6.9%、上下成分の標準偏差で20.8%低減することが確認できた。また、昨年度に開発した精密可動台のプロトタイプ機を用いたリアルタイム・キネマティックGNSS時系列の精度評価を行った（図6）。あらかじめ10 Hzサンプリングで設定した動きをGNSSアンテナに与え、それを、JAXAが提供するMADCOA暦を用いたリアルタイム精密単独測位（リアルタイムPPP）（RTKLIB ver. 2.4.2）で解析した結果、比較的短い時間スケール（10分以下程度）において10 mm以下の精度で動きを再現できる一方、長周期成分の残差が確認され、それが標準偏差の違いとして現れていることが確認された。さらに、火山活動の変化に伴って観測される山体変形の準実時間での把握のために、桜島火山にある京都大学防災研究所及び東北大学のGNSS観測点において、噴火等のイベントが起きていない平常時のノイズレベルを調査した。各観測点と全GPS衛星間の位相残差の平均値は約1.5 cm程度となった。（東北大学〔課題番号1209〕，平田，2016；Ohta and Iguchi，2015；太田，印刷中）

GEONETリアルタイム解析システムの観測点を日本全国に拡張するため、昨年度に開発した、地殻内地震・スラブ内地震については矩形断層モデルを、プレート境界についてはプレート境界面上の滑り分布を即時推定する手法の調整を行った。矩形断層モデル推定に非線形インバージョンを用いているため、観測データが増加すると計算時間が飛躍的に増加するが、計算時間を抑えるため、震源位置からの距離と変位量に応じて観測点を間引く手法を導入した。プレート境界面上の滑り分布モデルの推定には、あらかじめ日本周辺のプレート境界面を6つに分割し、震源位置に応じて適切なプレート境界面モデルが選択されるよう調整を行った。（国土地理院地殻活動研究センター〔課題番号：6004〕，川元・他，2015；Kawamoto et al.，2015；川元・他，2016；川元，2016）

地震直後に規模や断層の広がりやを推定する手法として、GNSS データを用いた解析手法の開発を継続して実施し、事例解析を追加して適正な解が得られる条件を明確化した。また、地震に関わる地殻変動観測手法として、ALOS/PALSAR データを使った差分干渉解析を行った結果、紀伊半島南端付近の沿岸地域において年間3cm程度の面的な地殻変動を検出した。さらに、地震波形データを用いた、震源位置、地震規模等の即時推定に関して、震源距離や地震規模に応じた様々な手法を検討・開発している。地震の規模を推定する手法の一つとして、単独観測点からの規模推定法について検討したところ、強震動継続時間と最大変位振幅を用いることで、津波を引き起こす可能性のある地震の発生を把握することが可能であることを確認した。遠地実体波を用いた震源過程解析において、各種事前設定パラメータの最適化を行うことで、ほぼ自動的な解析を可能にした。そして、その手法をマグニチュードが8を超えるクラスの世界の地震に対して適用し、多くの場合適正に解が得られることを確認した。自動震源決定手法として、パーティクルフィルターに基づく震源決定手法、パターンマッチを用いたイベント検出法について評価試験を行い、内陸地震の震源決定において十分な性能があることが確認され、更に沖合の地震についても多くの地震の震源決定が可能であることが確認

された。(気象庁気象研究所 [課題番号: 7009], Katsumata, 2015; 溜渕・他, 2016)

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火山を対象に、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(GNSS, XバンドMPレーダー, ライダー)と即時予測手法の開発を実施した。GNSSを用いた噴煙柱モニタリングシステムの構築に向けて、GNSS解析時の位相残差とその信号強度であるSN比データを比較したところ、これらのデータには水蒸気や火山灰にそれぞれ特有の異なる物性が現れている可能性が明らかになった。噴煙粒子の形状と落下速度の関係を明らかにすることを目的として、桜島で採取した噴煙粒子のサンプルを、防災科学技術研究所の大型降雨実験施設内で自由落下させ、地上に設置した2次元ビデオディストロメータにより測定することで落下速度、形状、落下姿勢などの噴煙パラメータを求めた。落下速度は形状と落下姿勢に依存することが確かめられた。レーダーにより観測された反射因子の時間空間分布から火山灰の量的に把握することを目指して、噴煙高度が5000 mに達した2013年8月18日の桜島爆発のレーダー画像を解析し、降灰量と比較することにより、反射因子の時間積算と地上時間降灰量との間の経験的關係式を得た。2013年の桜島噴火事例を対象に国土交通省の垂水Xバンドマルチパラメータレーダーの観測データを解析した(図7)。降雨と噴煙が共存する貴重な事例で両者の偏波レーダーパラメータを比較したところ、反射因子には大きな違いが認められなかったが、比偏波間位相差(KDP)に大きな違いが見られ、KDPが降雨と噴煙を区別するための有力なパラメータの一つであるという示唆が得られた。ライダーは、光を使用するので爆発時の噴煙の表面しか計測することはできないが、極めて微量な火山灰粒子を検出可能なことから航空機の航路における火山灰検知に有用である。桜島島内の二カ所にライダー装置を設置して微小火山灰粒子の検出実験を行ったところ、火山灰のみならず、微弱な火山ガス放出時において火山ガスが冷却されて形成された水滴及び硫酸ミストを検出することができた。微小粒子は距離約2kmまで追跡可能であった。散乱強度は火口から離れるにつれて低下しており、散乱強度から微小粒子の濃度が推定可能なことが示された。水平及び垂直偏波の強度の比から微小粒子の形状に依存する偏光解消度(粒子が球形であれば0で、扁平になるにつれて増加)が評価されるが、火口上の水滴及び硫酸ミストの偏光解消度は0.1以下、一方、火山灰の偏光解消度は0.4~0.45となり、明らかな差が見られた。(京大防災研 [課題番号: 1913], Iguchi, 2016; Maki et al., 2016; Oishi et al., 2016)

2015年5月29日口永良部島噴火噴煙について、気象庁レーダー観測網データ、ひまわり画像を解析した。レーダーエコー頂高度は海拔約10kmに達し、噴煙の移流高度は約8km、噴出物総量は66万~110万トンと推定された。

西之島火山については、気象庁観測船啓風丸船上からSO₂放出量観測を行い、2015年6月は約900トン/日、2015年10月は約400トン/日と求められた。衛星に搭載された光学センサーの画像による西之島の噴煙活動(放熱率)の評価と、光学センサーやSARデータを用いて抽出した溶岩流出活動の調査から、新島が確認され、約2年経過した2015年10月時点で、その活動は噴火当初とほぼ同じ水準で推移もしくは低下していることがわかった。また、ALOS-2/PALSAR-2の強度画像を用いて、陸域拡大の時間変化について解析し、陸域の拡大速度が一定ではないこと、主火口の位置が期間を通して移動していないことがわかった。また、過去の様々な火山における噴火事例に基づき、降灰予測の検証や予測手法の改良を行った。(気象庁気象研究所 [課題番号: 7010], Ishimoto et al., 2016; 気象研究所, 2016a, b)

火山灰の降灰予測シミュレーションに使用する数値モデルには、実際の噴火データを用いた検証が必要であり、広範囲における堆積粒子の質量や粒度分布を多くの点で収集することが重要である。そこで、実際に噴火が起こった際、研究者に限らず、広く一般の人に写真を撮影してもらい多くの情報を集めることを念頭に、火山灰の画像データを解析し、噴出量や粒度分布を迅速に計算できるシステムの開発を行っている。活

発な活動を行う桜島の降灰の画像データと、実験室で人工的に降灰の状況を再現し取得した画像データを用いて、火山灰の単位面積当たりの質量や粒度と画像から得られる情報の関係を調べたところ、粒度がわかっているならば、降下した火山灰の画像解析から火山灰の単位堆積当たりの重量を写真画像から推測できる可能性があるという示唆が得られた。(拠点間連携研究 [課題番号: 2958])

3. これまでの課題と今後の展望

研究計画の2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、また新たな取組に関して成果が蓄積されており、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用化に近づきつつある。実用化に向け、残る課題を追求するため、以下を当面の方針として次年度以降の検討を行う。

(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、2011年東北地方太平洋沖地震のプレート境界巨大地震の周期別強震動生成過程についての検討を継続し、また、期間中に発生した被害地震等の震源モデリングを行う。今年度までに構築されてきた広帯域震源モデルの設定方法に基づいて、既往のイベントに対してのモデル化を行い、地震動シミュレーションを行って方法の妥当性検証に着手する。

地下構造モデルの高度化に関して、関東平野や大阪盆地等において、地震観測データ解析による盆地構造の応答特性の抽出や、差分法等数値シミュレーションによる地下構造モデルの評価を行い、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つなげる。必要に応じて強震観測を行い、地盤応答特性把握のための記録の取得に努める。また、地殻・マントルに存在する長波長～短波長の不均質構造の分布と、これが地震動の伝播と散乱に与える効果を評価する。地殻・マントルのマルチスケール不均質構造モデルを構築し、広帯域の地震動シミュレーションの実現をはかる。関東平野の3次元地下構造(堆積層構造)を考慮して、周辺で起きる地震の理論波形(グリーン関数)を計算してデータベース化し、GRID-MT (Tsuruoka et. al, 2008)リアルタイムモーメントテンソルインバージョンに適用して震源要素を推定するシステムを構築する。今年度に予備的な地震波減衰トモグラフィを実施した南西諸島について、領域全体のシームレスな減衰トモグラフィを実施する。

地震時地滑りの事前評価に関して、火山地域で地震によって発生する地滑り発生場の地質・地形的特徴を取りまとめ、ハザードマップ作成の考え方を構築する。特に降下火砕物の崩壊性地滑りは甚大な被害を引き起こすため、そのハザードマップの試案を作成する。西南日本外帯の既往巨大地震で発生した非火山地域における地滑り(深層崩壊)を中心として地質・地形調査を行い、それらの構造的原因を特定する。地滑り地における多項目の観測を継続、発展させ、地震時の地下水と地震波の地盤内部での挙動を明らかにする。また、地震時地滑り現象の発生ポテンシャル評価に向けて、地形や地滑りブロックの形状を考慮した地震波動シミュレーションをおこない、地滑り地内の地震動増幅特性の再現を試みる。

(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、揺れの伝播を予測する手法の、実データへの適用を進め、未解決の問題を検討するとともに、減衰構造や速度構造の精緻化、長周期へ適用するための調整により予測モデルの改良を行う。新たに得られた地盤増幅特性や、新たに展開されつつある海域観測網からのデータに対しても適用を図る。鳥取県地域において自治体震度計からのデータを取り込んだ即時予測システムを作り込み、過去の地震観測記録を使ってシステムの運用チェックをおこなう。また、各震度観測

点のサイト増幅特性の調査結果に基づき、各サイトの震度増分に関する予測パラメータの精度向上を図る。

津波の即時予測については、津波観測波形から直接津波数値計算を行う方法の開発を継続しながら、日本海孔海底地震津波観測網（防災科学技術研究所）のうち設置が完了した海底圧力計のデータを利用して、さらに津波浸水範囲予測手法の開発を行う。また、沖合の海底津波観測データの解析等に基づき、地震発生直後の高周波ノイズが津波成分抽出に与える影響を評価し、必要に応じてリアルタイムに津波成分のみを抽出するための技術開発を行う。一方、観測津波波形の逆解析に基づく津波の即時予測手法システムについて、多点の沖合津波観測データの活用の有効性を検討し、必要に応じて手法の改良を行う。スロー地震の震源時間関数の特徴や、地滑りによる地震波の励起と津波の発生に関しても調査を進める。さらに、津波生成磁場の検知を目指し、高知県馬路村で地磁気観測を継続する。得られた地磁気データと国土地理院の室戸観測点との磁場のベクトル差を求め、津波生成磁場の検出可能性について調査する。津波生成磁場の数値シミュレーションも継続する。

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引き続き進める。特に対流圏遅延に関する未知パラメータの推定時に使用するハイパーパラメータの最適値の探索とその影響評価を網羅的に進める。また精密可動台を用いた可動試験をより長時間データに対して適用し、精度評価を進める。また、こうした結果に基づいて地殻変動を自動検知・推定するアルゴリズム(RAPiD)の高精度化を進める。さらに火山活動の変化に伴って観測される山体変形を準実時間で確実に把握し、その変動源の時空間変化を推定する技術開発を継続する。

震源の即時推定についても継続して手法の開発を行い、特に、波形関連情報を取り入れた改良を試みる。

火山灰や溶岩噴出の即時予測について、XバンドMPレーダー及びKuバンド高速スキャンレーダー観測、ライダー観測、ビデオカメラ観測、大気中における火山灰粒子密度のその場測定、及び地上における連続測定を実施し、観測事例を増やすことにより、より定量的な議論に向けてデータを蓄積する。また、上記観測データに加え、気象レーダーや衛星データも利用し、噴煙推定手法や火山灰移流拡散シミュレーションの改良を行う。

成果リスト

Agata, R., T. Ichimura, K. Hirahara, M. Hyodo, T. Hori, C. Hashimoto and M. Hori, Numerical verification criteria for coseismic and postseismic crustal deformation analysis with large-scale high-fidelity model, *Procedia Computer Science*, 51, 1534-1544, 2015.

浅野公之・岩田知孝 (2015). 震源過程, 2014年長野県北部の地震に関する調査団報告, 日本地震工学会 2014年長野県北部の地震に関する調査団, 日本地震工学会, 19-21.

Asano, K. and T. Iwata, Complementary Ruptures of Surface Ruptures and Deep Asperity during the 2014 Northern Nagano, Japan, Earthquake (MW 6.3), AGU fall meeting, S51B-2681, 2015 Dec.

Asano, K., H. Sekiguchi, T. Iwata, M. Yoshimi, T. Hayashida, H. Saomoto, and H. Horikawa (2016). Modelling of wave propagation and attenuation in the Osaka sedimentary basin, western Japan, during the 2013 Awaji Island earthquake, *Geophys. J. Int.*, 204, 1678-1694.

Chen, K., T. Furumura, and J. Rubinstein, Near-surface vs. fault zone damage following the 1999 Chi-Chi earthquake: Observation and simulation of repeating earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 140, 4, 2426-2445, 2015.

- Chigira, M., Suzuki, T., Wang, G., Tobita, T., 2015. Debris avalanches of pyroclastic fall deposits induced by the 1949 Imaichi earthquake, Japan Geosciences Union Meeting 2015, Makuhari.
- 千木良雅弘, 2015. 近年の地震による急激な地すべりから学ぶもの. 日本地すべり学会誌 52, 45-50.
- Doi, I., and T. Kamai, Characteristics of seismic motions and pore pressure response in the filled slope, Proceedings of the 10th Asian Regional Conference of IAEG, Tp1-P08, 2015.
- Doi, I., S. Matsuura, T. Shibasaki, H. Osawa, and H. Sato, Seismic measurement in the mudstone landslide area, Proceedings of the 10th Asian Regional Conference of IAEG, Tp1-P27, 2015.
- 土井一生・王功輝・釜井俊孝・千木良雅弘, 流れ盤の大規模岩盤地すべり地における地震観測, 平成27年度日本応用地質学会研究発表会講演予稿集, 81-82, 2015.
- 土井一生・川崎一朗・釜井俊孝, 長野県神城断層地震による堀之内地区の斜面変状, 自然災害科学, 34, 1, 7-14, 2015.
- Doi, I., and T. Kamai, Seismic wave and pore pressure responses in the filled slopes, Proceedings of French-Japanese symposium on earthquakes and triggered hazards, 32-33, 2015.
- Doi, I., G. Wang, T. Kamai, and M. Chigira, Seismic observation in a large, incipient rockslide on an anacinal slope, Proceedings of Japan GeoScience Union Meeting 2015, HDS06-08, 2015.
- 土井一生・釜井俊孝, 谷埋め盛土における地震動の特徴, 日本地震学会講演予稿集, S16-05, 2015.
- Eliasson, J., Weber, K., Vogel, A., Pålsson, T., Yoshitani, J., Miki, D., 2016, Investigation and separation of turbulent fluctuations in airborne measurements of volcanic ash with optical particle counters, Jour. Disast. Res, 11, 72-84.
- Eliasson, J., Yoshitani, J., Miki, D., Weber, K., Bölke C., Scharifi, E., 2016, Measurements of particle distribution and ash fluxes in the plume of Sakurajima volcano with optical particle counter, Jour. Disast. Res, 11, 85-95.
- Fujita, K., T. Ichimura, M. Hori, L. Maddegadara and S. Tanaka, Scalable many-case urban earthquake simulation method for stochastic earthquake disaster estimation, Procedia Computer Science, 51, 1483-1493, 2015.
- Gusman, A. R., Y. Tanioka, Effectiveness of real-time near-field tsunami inundation forecasts for tsunami evacuation in Kushiro city, Hokkaido, Japan, Chapter 11, V. Santiago-Fandino et al. (eds.) Post-Tsunami Hazard, Advances in Natural and Technological Hazards Research 44, 157-177 (2015).
- 平田賢治・山崎明・対馬弘晃, 2015, 新型自己浮上式海底水圧計の開発, 気象研究所技術報告, 74, 1-21.
- 平田 雄一朗, 2016, キネマティック GNSS データによる 2011 年東北地方太平洋沖地震直後の余効変動に関する研究, 東北大学修士論文, pp. 146.
- Hoshiba M. and S. Aoki, 2015, Numerical shake prediction for Earthquake Early Warning: Data assimilation, real-time shake mapping, and simulation of wave propagation, Bull. Seism. Soc. Am., 105, 1324-1338, doi: 10.1785/0120140280
- Ichimura, T., K. Fujita, P. E. B. Quinary, L. Maddegadara, M. Hori, S. Tanaka, Y. Shizawa, H. Kobayashi and K. Minami, Implicit Nonlinear Wave Simulation with 1.08T DOF and 0.270T Unstructured Finite Elements to Enhance Comprehensive Earthquake Simulation, SC15:

- International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, doi: 10.1145/2807591.2807674, 2015.
- Iguchi, M., 2016, Method for real-time evaluation of discharge rate of volcanic ash - case study on intermittent eruptions at the Sakurajima volcano, Japan -, Jour. Disast. Res, 11, 4-14.
- Ishimoto, H. K. Masuda, K. Fukui, T. Shimbori, T. Inazawa, H. Tuchiya, K. Ishii, T. Sakurai, 2016, Estimation of the refractive index of volcanic ash from satellite infrared sounder data. Remote Sensing of Environment, 174, 165-180, doi:10.1016/j.rse.2015.12.009.
- Iwata, T., Source Time Function and Near Source Ground Motion of the 2015 Gorkha, Nepal, Earthquake, AGU fall meeting, S43D-2830, 2015 Dec.
- Kamai, T., and I. Doi, Observations and Seismic Response Analysis of Urban Landslide Induced by the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Engineering Geology for Society and Territory, 5, 805-809, 2015.
- 川元智司, 宮川康平, 佐藤雄大, 西村卓也, 太田雄策, 日野亮太, 三浦哲, 等々力賢, 2015, GEONET リアルタイム解析システム (REGARD) による地震規模即時推定, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会予稿集.
- Kawamoto, S., Miyagawa, K., Sato, Y., Nishimura, T., Ohta, Y., Hino, R., Miura, S., and Todoriki, M., 2015, Real-time Earthquake Magnitude Estimation by the GEONET real-time analysis system: REGARD, The 26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, 2015.
- Kawamoto, S., Hiyama, Y., Sato, Y., Furuya, T., Ohta, Y., Nishimura, T., and Todoriki, M., 2016, Real-time GNSS positioning system REGARD for rapid earthquake moment estimates, FIG Working Week 2016 (submitted).
- 川元智司, 檜山洋平, 古屋智秋, 佐藤雄大, 太田雄策, 西村卓也, 等々力賢, 2016, 電子基準点リアルタイム解析システム (REGARD) プロトタイプの開発, 国土地理院時報 (印刷中) .
- 川元智司, 2016, リアルタイム GNSS を用いた即時的地震断層モデル構築手法に関する研究 (第 2 年次), 国土地理院平成 27 年度調査研究年報 (印刷中) .
- Kennett, B. L. N., and T. Furumura, Toward the reconciliation of seismological and petrological perspectives on oceanic lithosphere heterogeneity, Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 16, 9, 3125-3141, 2015.
- Kennett, BLN and T. Furumura, Multi-scale seismic heterogeneity in the continental lithosphere, Geochemistry, Geophysics, Geosystems, accepted, 2016.
- Kubo, H., K. Asano, T. Iwata, and S. Aoi (2016). Development of fully Bayesian multiple-time-window source inversion, Geophys. J. Int., 204, 1601-1619.
- Maki, M., Iguchi, M., Maesaka, T., Miwa, T., Tanada, T., Kozono, T., Momotani, T., Yamaji, A., Kakimoto, I., 2016, Preliminary results of weather radar observations of Sakurajima volcanic smoke, Jour. Disast. Res, 11, 15-30.
- Matsuura S. T. Shibasaki, H. Osawa, H. Sato, and I. Doi, Displacement properties of a coastal landslide during winter season, Proceedings of the 10th Asian Regional Conference of IAEG, Tp1-26, 2015.
- Melgar, L. E. A., W. M. L. Lakshman, M. Hori, T. Ichimura and S. Tanaka, On the Development of an MAS Based Evacuation Simulation System: Autonomous Navigation & Collision Avoidance, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 2015 (in press).

- Nakano, M., Chigira, M., ChounSian, L., Sumaryono, G., 2015. Geomorphological and geological features of the collapsing landslides induced by the 2009 Padang earthquake., 10th Asian Regional Conference of IAEG, Kyoto, pp. 1-5.
- 野口竜也・上野太士・香川敬生・吉田昌平・西田良平, 2015, 鳥取県内の地震観測点における地盤構造の把握とサイト特性の評価, 土木学会第35回地震工学研究発表会, B13-797.
- 野口竜也・西川隼人・香川敬生・吉田昌平, 2015, 鳥取県内の地震観測点における地盤構造の推定, 物理探査学会第133回学術講演会, 講演番号22.
- Ohta, Y. and M. Iguchi, 2015, Advective diffusion of volcanic plume captured by dense GNSS network around Sakurajima volcano: a case study of the vulcanian eruption on July 24, 2012, Earth, Planets and Space, 67(1), 157, doi:10.1186/s40623-015-0324-x.
- 太田雄策, リアルタイム・キネマティック GNSS データ解析の高度化およびそれにもとづく巨大地震の震源断層即時推定手法に関する研究, 測地学会誌, (受理済, 印刷中)
- Oishi, S., Iida, M., Muranishi, M., Ogawa, M., Hapsari, R. I., Iguchi, M., 2016, Mechanism of volcanic tephra falling detected by X-band multi-parameter radar, Jour. Disast. Res, 11, 43-52.
- 清田和宏, 地元孝輔, 佐口浩一郎, 津野靖士, 山中浩明; 立川断層近傍における表層地盤 S 波速度構造の空間変動評価の稠密微動探査, 第132回学術講演会講演論文集, pp.141-143, 2015年5月.
- Seita, K., K. Chimoto, K. Saguchi, S. Tsuno and H. Yamanaka, Application of microtremor exploration to shallow dipping layers under the assumption of horizontally stratified structure, Proceedings of 12th SEGJ International Symposium -Geophysical Imaging and Interpretation-, Paper S2-1, Tokyo, Nov., 2015.
- 関口春子, 不均質震源モデルの違い, 平成 27 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, P09, 2016 年 2 月 10 日 2 月.
- 新堀敏基, 石井憲介, 佐藤英一, 福井敬一, 横山博文, 2015, 大規模噴火を想定した降灰に関する準リアルタイム・コンテンツの作成. 日本地球惑星科学連合大会, SVC46-P18.
- Shito, A., D. Suetsugu and T. Furumura, Evolution of the oceanic lithosphere inferred from Po/So waves traveling in the Philippine Sea Plate, J. Geophys. Res., 120, 7, 5238-5247, 2015.
- Takemura, S., T. Furumura and T. Maeda, Scattering of high-frequency seismic waves caused by irregular surface topography and small-scale velocity inhomogeneity, Geophys. J. Int., 201, 459-474, 2015.
- 田中宏樹・岩田知孝・浅野公之, 阪神地域(尼崎~東灘)での地震記録に見られる特徴的な後続波(2), 日本地震学会 2015 年秋季大会, S16-03, 2015 年 10 月.
- Tanaka, H. L., Iguchi, M., Nakada, S., 2016, Numerical simulations of volcanic ash plume dispersal from Kelud volcano in Indonesia on February 13, 2014, Jour. Disast. Res, 11, 31-42.
- 谷岡勇市郎, 津波発生域で観測された津波波形を直接初期条件とする新しい津波数値計算手法—観測波形から直接津波予測を行う手法の開発—, 日本地球惑星科学連合大会 (2015)
- Tanioka, Y., A new technique for tsunami numerical simulation using tsunami observations in a source region as an input, the 9th ACES Meeting, 2015
- 谷岡勇市郎, 震源域近傍の海底津波計の観測記録から津波数値計算を開始する手法の開発, 日本地震学会秋季大会, S17-05 (2015)
- Tanioka, Y., (Invited) A new approach for tsunami early warning using tsunami observations in

a source region, AGU Fall meeting, 2015.

Tatehata, H., H. Ichihara, Y. Hamano, Tsunami-induced magnetic fields detected at Chichijima Island before the arrival of the 2011 Tohoku earthquake tsunami, *Earth, Planets and Space* 2015, 67:185

津野靖士, 佐口浩一郎, 地元孝輔, 佐藤 浩章, 松島信一, 重 藤迪子, 高井伸雄, 神 野達夫, 山中浩明, 川 瀬博; 立 川断層近傍における短周期地震動の空間変動特性, 地球惑星関連合同大会講演予稿集 S-SS25-P16, 2015 年 5 月.

Tsuno, S., K. Chimoto, K. Saguchi, H. Sato, S. Matsushima, M. Shigefuji, N. Takai, T. Kanno, H. Yamanaka and H. Kawase, Detailed spatial variation of short-period earthquake ground motion in the vicinity of Tachikawa-Fault, *Proceedings of 12th SEGJ International Symposium -Geophysical Imaging and Interpretation-*, Paper P6, Tokyo, Nov., 2015.

気象研究所 [佐藤英一, 新堀敏基, 福井敬一, 石井憲介, 高木朗充], 2016a, 気象レーダーで観測された 2014 年 9 月 27 日御嶽山噴火に伴う噴煙エコー, 火山噴火予知連絡会会報, 119.

気象研究所 [福井敬一], 2016b, 西之島の噴煙活動 (2013 年 12 月~2015 年 2 月), 火山噴火予知連絡会会報, 120.

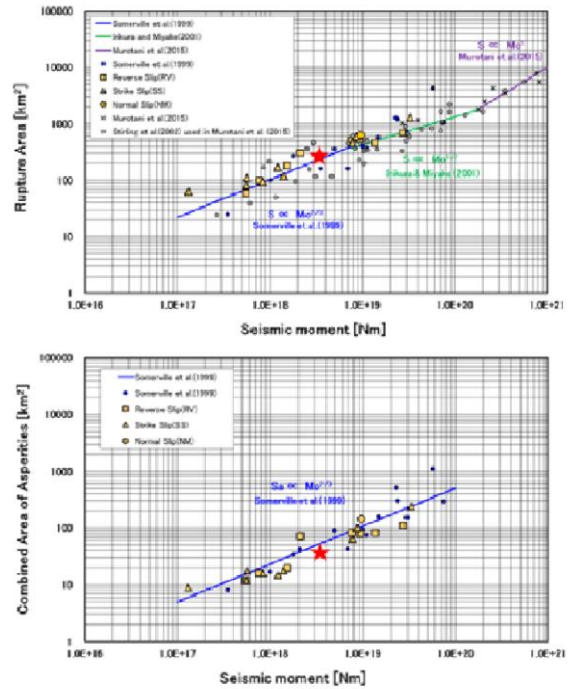
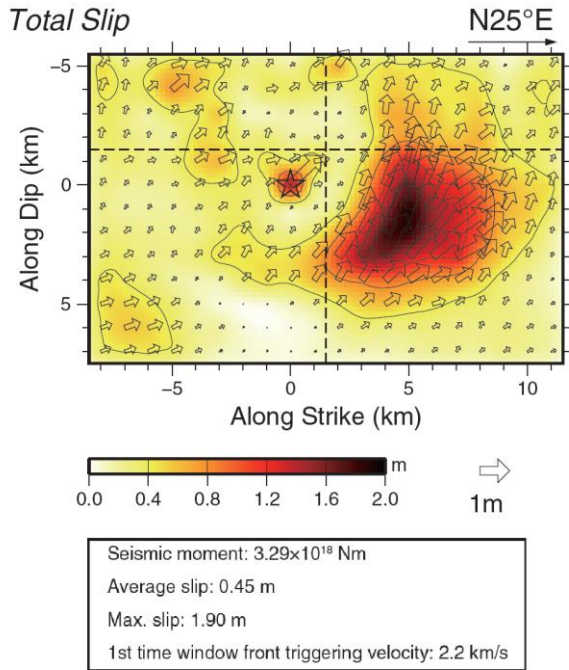


図1. 2014年長野県北部地震 ($M_{\text{JMA}}6.7$) の震源過程解析 (京大防災研 [課題番号: 1903])

(左) マルチタイムウィンドウ波形インバージョンによる滑り分布
 (右) 得られた断層パラメータの経験則 (宮腰・他, 2015) との比較

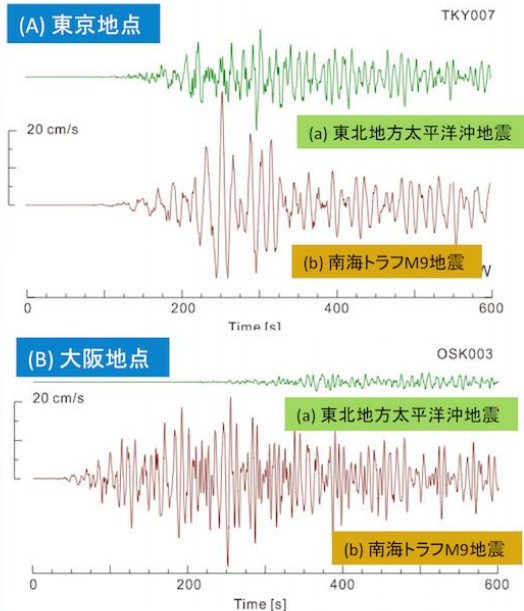
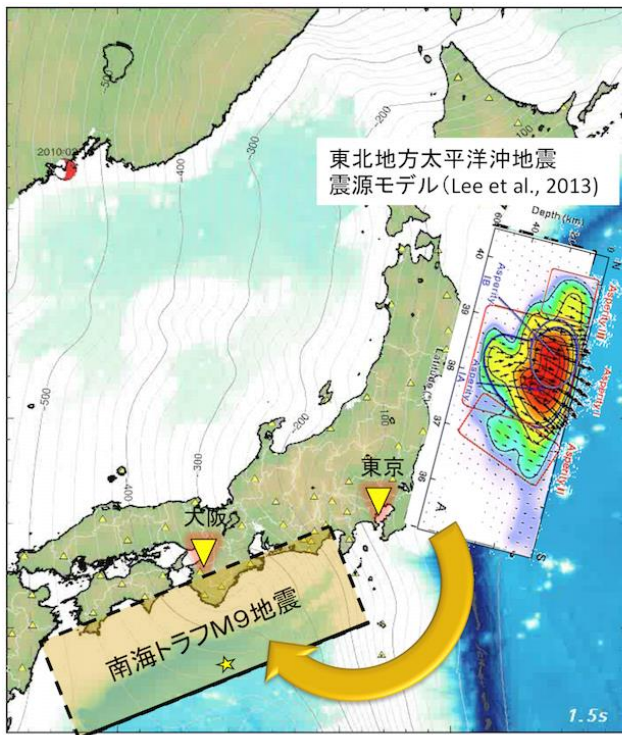


図2. 仮想南海トラフM9地震による長周期地震動の評価 (東大地震研 [課題番号: 1516])

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

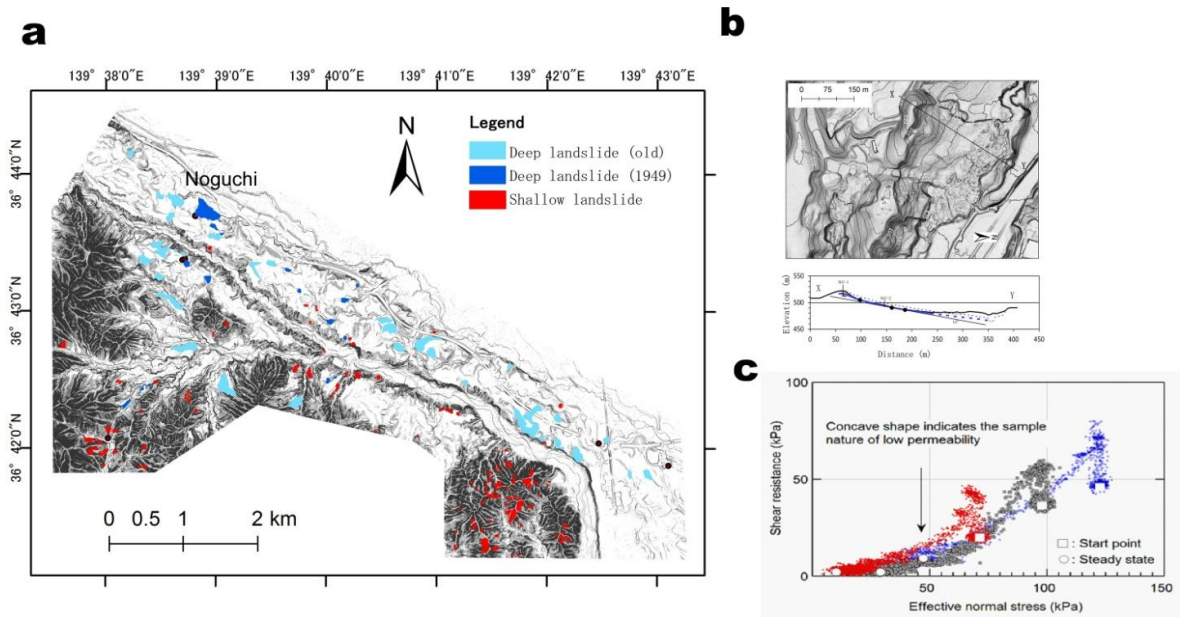


図3. 1949年今市地震による崩壊性地滑りの分布とせん断試験結果（京大防災研 [課題番号：1912]）
 (a) 崩壊性地滑りの分布。(b) 野口の崩壊性地滑りの地形と断面図（青線は滑り面の形成された小川火山礫層）。(c) 今市軽石の飽和非排水せん断試験結果。

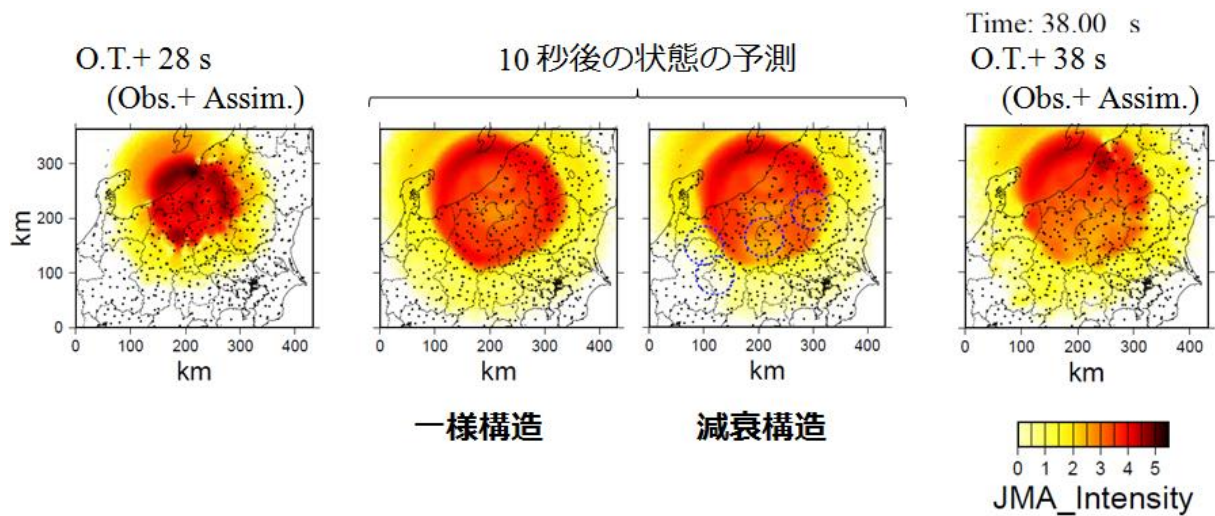


図4. 揺れの実況値を用いた地震動の即時予測を2004年新潟県中越地震の最大余震（M6.5）に適用した例（気象庁気象研究所 [課題番号：7008]）

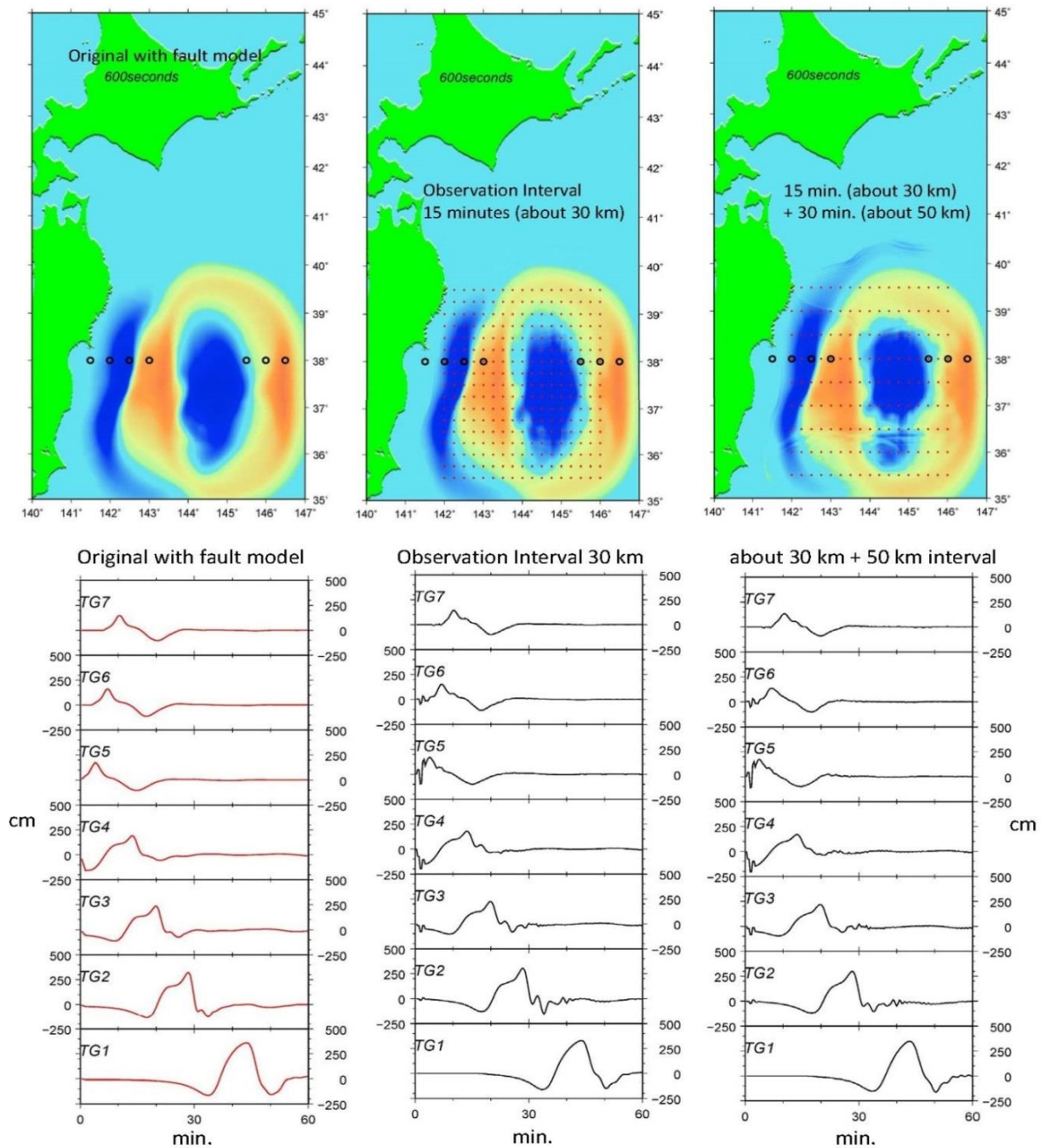


図5. 即時津波予測に向けた新しい津波数値計算手法の数値計算実験。(北海道大学 [課題番号: 1005])

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

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

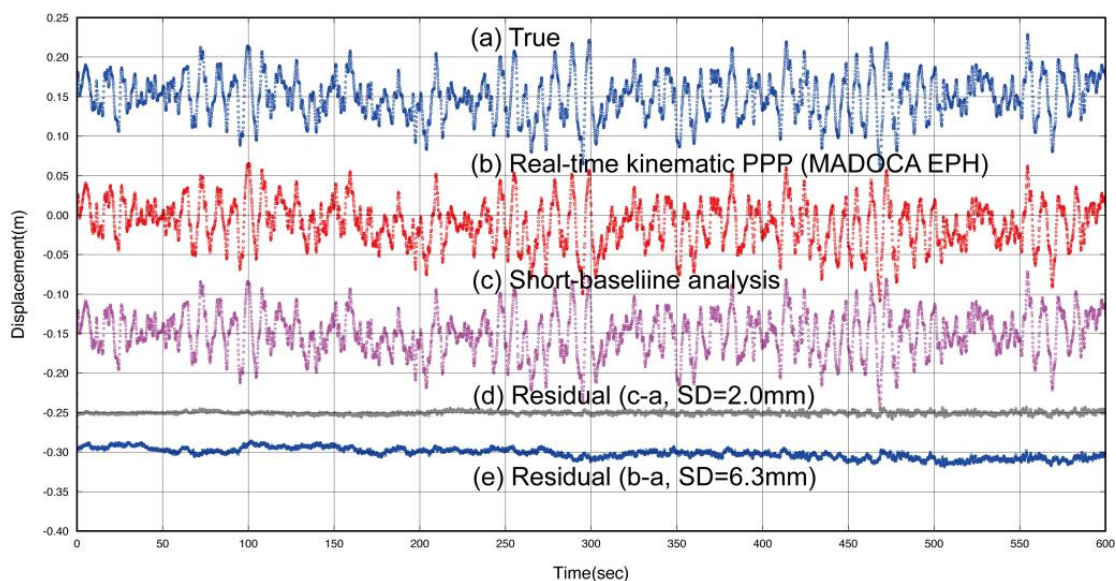
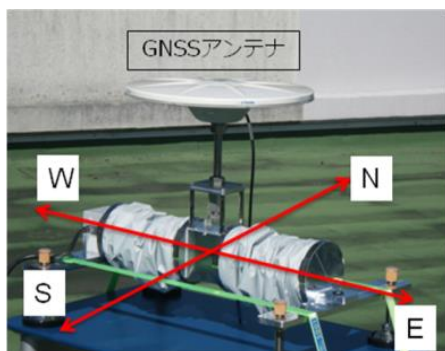


図6. 精密可動台を用いたキネマティックGNSS時系列の精度評価（東北大学 [課題番号：1209]）
 (左) 試験状況。(右) (a)に可動台に与えた動きを、(b)にリアルタイムPPP解析結果を、(c)に10mの短基線解析結果をそれぞれ示す。(d)、(e)にそれぞれ与えた動きとの残差時系列を示す。

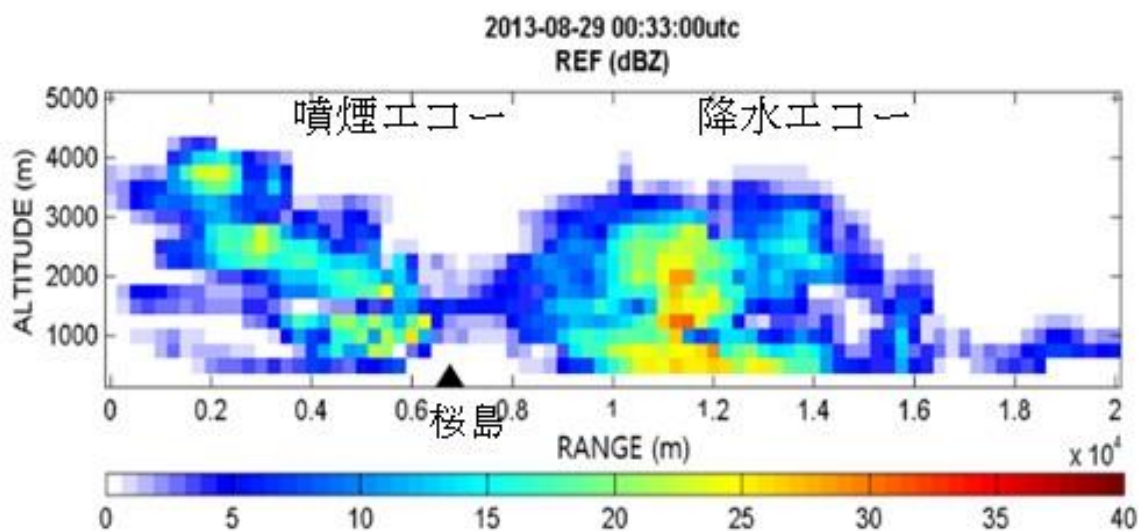


図7. レーダーパラメーターを用いた火山灰雲と雨雲の分離（京大防災研 [課題番号：1913]）
 2013年8月29日桜島噴火事例における、国土交通省の垂水Xバンドマルチパラメータレーダーデータの比偏波間位相差 (KDP) 分布

1(6) 地震・火山災害

「地震・火山災害」計画推進部会長 林 春男（防災科学技術研究所）
副部会長 木村玲欧（兵庫県立大学環境人間学部）

地震・火山災害部会は、災害科学の確立に資するため「災害」現象の解明に焦点がおかれた部会で、本計画『災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画』において初めて設置された部会である。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検証、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うものである。

本研究計画を推進するにあたっては、地震・火山噴火など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る。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からである。

本研究計画を災害科学の一部として捉えた場合、これま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となる。これは地震火山研究計画を、災害誘因の研究から災害素因の研究へと移行させ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を目指して、災害発生の要因である災害誘因と災害素因の双方の解明を進めることを目指している。

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、自然現象そのものをなくすことは不可能なため、現象・被害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。特に災害素因の研究は、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・情報工学の工学や農学、心理学・社会学・福祉学・歴史学・法学・経済学・地理学などの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、昨年度に引き続き、栃木県日光市山内に位置する日光東照宮について、江戸時代の被害地震における地震対応について検討した。日光東照宮は、江戸幕府の初代将軍徳川家康を東照大権現として祀る神社である。そのため、当時の幕府にとって日光東照宮は、徳川家の菩提寺である江戸の上野寛永寺や芝増上寺とならぶ宗教上の重要施設であった。『御番所日記』には、社家御番所で記されたもので、その内容は日々の天気や東照宮の様子だけに止まらず、年中行事や祭礼、社殿の修築や造営など多岐に及んでいる。『御番所日記』は日記史料であるためにその記述内容の信憑性は高く、貞享二年（1685）から明治三年（1870）までの186年分が現存している。安政江戸地震（安政二年（1855））とその152年前に発生した元禄地震（元禄十六年（1703））における日光東照宮での被害や対応を比較すると、双方とも被害程度は軽微であり、被害に対する直接的な対応はあまり

見受けられない。また、元禄地震の際には、江戸から地震見舞いの使者が日光東照宮へ派遣されていたが、安政江戸地震の際には使者の派遣はなかった。なお、双方に共通する地震対応としては、江戸の幕府からの命令によって実施された天下安穩の祈祷が挙げられことがわかった(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見の発信技術についての検討を行った。東日本大震災以降、地震・火山災害に関連する研究の知見や成果を社会に広くかつ効果的に発信するための技術開発が求められており、この社会的要請に応えるための基礎調査を実施した。具体的には、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」で実施されている138研究課題が相互にどのような関係性にあるかを可視化することを試みた。これは、地震・火山ならびに防災の専門家からなる研究者チームで参画型ワークショップを開催し、既存の社会科学的手法(連関図法・系統図法)を用いて、すべての研究課題の相互関連を調査したものである。このような研究内容の意味ネットワーク(相互関係)の解明を効率化・自動化することを目指し「デジタル支援ツール」の開発を試みた。支援ツールがあれば、①関連のある研究が全体の計画の中でどのあたりにあるかの見当がつく、②新規の研究課題が発生したときに、総当たりせずとも関連の高いグループを効率的に見つけて配置できるからである。方法としては、形態素解析を活用し、名詞における近接度合いを指標化することで、専門家によるワークショップ形式と近似となるような成果の導出を目指し、支援ツールのモデル化を検討した(図2)(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は、本年度も継続して堆積平野・堆積盆地における地震災害発生機構の解明に関する研究を行った。国内の堆積平野・堆積盆地については、新たな強震記録データベースとして、SMAC型強震計記録の画像データを追加した。国外の堆積盆地に関しては、ネパール・カトマンズ盆地において、岩盤サイト1点、盆地内サイト3点で連続観測を実施している強震観測点で2015年4月25日に発生したゴルカ地震で本震(Takai et al., 2016)を含め記録を取得した(Shigefuji et al., 2015)。カトマンズ盆地の岩盤サイトでの本震の記録はこの1点のみである。盆地内のサイトを含め、本震で観測された最大加速度は、既往の距離減衰式から推定された値と比べて小さい。また、長周期成分に関しては、盆地内の各サイトで明瞭なサイト特性が認められた(図3)。さらに、地震災害誘因の事前評価と即時推定に必要な地下構造モデルを構築を目指して、地震動の増幅等の影響が大きい南海トラフ海域及び首都圏を対象として、数値シミュレーション及び地震波干渉法による地震動特性の定量化を継続した(東京大学地震研究所[課題番号:1515])。

火山噴火による災害発生機構の解明については、噴火事象系統図で想定されている桜島の噴火の規模と様式について、前駆活動及び火山噴火推移の事象の発現に沿った避難計画策定の可能性を検討した。これまでの現象を参考にすれば、前兆事象と噴火規模・様式は、地盤変動から推定されるマグマの貫入速度を基準として分別できる可能性がある。例えば、貫入速度が $10^4\text{m}^3/\text{日}$ のオーダーであれば、昭和火口のブルカノ式噴火。 $10^5\text{m}^3/\text{日}$ 程度であれば、南岳のブルカノ式噴火。また、 $10^6\text{m}^3/\text{日}$ のオーダーであれば、昭和21年噴火のような溶岩流出。 $10^8\text{m}^3/\text{日}$ を超えれば、大正3年のプリニー式噴火とそれに続く溶岩流出となることを予測できるとするものである。更に、火山性地震の活動を基準に加えれば、地震エネルギー積算量が 10^{14}J に達した大正3年の噴火に前駆する地震を除けば、他の噴火の際の地震活動度は低いので、噴火規模・様式の判断を補強できる可能性がある。2015年8月15日に発生した極めて速い地盤変動を伴う群発地震活動では、ダイク状のマグマの貫入量は $2 \times 10^6\text{m}^3$ であるが、ほとんどの地盤変動は9時ごろから12時ごろに集中しているので、貫入速度としては $10^7\text{m}^3/\text{日}$ のオーダーと推定される。しかし、大正3年級の噴火となるためには、さらに1桁大きい貫入速度と継続時間が必要となる。また、この時の地震活動については1955年以降の南岳活動期以降の最大級ではあるものの、有感となるM2~3の火山性地震の発生は4回に過ぎず、地震エネルギーは 10^9J のオーダー

に過ぎない。これらをもとに、時系列に沿った地震活動及び地盤変動と避難範囲の対応関係を図4のように整理した（京都大学防災研究所[課題番号：1914]）。

また「脆弱性」の概念を、東日本大震災の被災地の状況を参照しながら内容を整理して明確化し、最終的にその尺度を求められるようにすることを念頭に、ボトムアップ型コミュニティー防災・減災を考えるための基本的フレームに資することを目指して検討を行った。今年度も引き続き、東日本大震災の被災地を調査対象とする脆弱性について、長期的土地利用の変化と被害から明らかとなる脆弱性及び、女川町における防災意識・避難行動・Social Capitalから見えてくる脆弱性について分析を継続した。特に、土地利用の変化パターン（暴露性の高まり）と土地利用の変化メカニズム（脆弱性の進展）に着目し、農村的土地利用の都市的土地利用への転換（都市化）、未利用地の都市的土地利用への転換（高度化）、津波リスクと都市開発、元々の土地キャパシティの資源量と経路依存性について考察を行った（図5）（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は、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。前年度から引き続き、高精度避難ナビゲーションシステムを含む防災・減災のための情報システム構築とその活用方法の開発を継続するとともに、特に今年度は、衛星測位を利用した津波災害時避難の分析システムを構築した。また、新たに地域情報（土地利用及び人口等）と被害想定に関する時系列的分析、避難施設と避難圏域に関するデータの収集と分析、住民の避難行動に関するデータの収集と分析などを行った。さらに、北海道全域を対象に、現在、北海道危機対策課が整備を続けている津波浸水想定データを用いて、浸水域人口の推定を行い、市町村別の危険度についての分析を進めた。なかでも、津波浸水想定域人口の多い市町村に関しては、土地利用及び人口などのマイクロジオデータをGISに取り込んで空間データベースの構築を進めた。また今年度においても、これらの成果について、地域防災のための公開講座の開催等を実施して研究成果の普及させるとともに、最も効果的な研究成果の普及手法の検討を行った（図6）（北海道大学[課題番号：1006]）。

火山の災害軽減のための情報の高度化については、火山情報などの防災情報とインターネットで入手可能な関連する各種観測情報を関係機関から準リアルタイムで収集し、統合表示するシステムを開発している。これを用いて、北海道内の地方公共団体が現況を総合的に把握し、的確な防災対応を行うための支援システムの構築を目指している。今年度は、既知の不具合を修正し、要望の多いリアルタイム地震波形表示のプログラムと、そのためのサーバープログラムの開発を進めた。またGUIについても改良したほか、印刷機能や取得・表示する情報を追加した（図7）。協力機関である北海道ほか1市9町（森町、鹿部町、七飯町（北海道駒ヶ岳）、壮瞥町、洞爺湖町、伊達市（有珠山）、美瑛町、上富良野町、新得町（十勝岳））のシステムについては、この修正・改良プログラムへの移行作業を進めている。また倶多楽火山を有する登別市及び白老町に、このプログラムを実装したシステムを設置するための作業を行った。更に、地元自治体と防災情報官庁である管区气象台・地方气象台が観測データレベルで情報共有した際の防災対応に及ぼす効果を把握するために管内に活火山を有する函館、室蘭、旭川及び釧路地方气象台にシステムの導入を進めた（北海道大学[課題番号：1009]）。

火山災害情報及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もない、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、火山災害情報のあり方についての住民向けアンケートを御嶽山の岐阜県側に位置する下呂市小坂地区（旧小坂町）の全1258世帯を対象に行った。アンケートは自治会を通じて平成26年11月に配布し翌年の1月に回収した。回収率は66%であった。質問内容は、火山噴火

に対するリスク認識、災害情報の伝達、火山防災対策の3点であり、この結果を分析し、噴火の未経験者のリスク認識が低いこと、また気象庁や役所からの情報提供を求める一方で、住民を対象とした防災学習や避難訓練の実施についての意識が低いことが明らかになった(図8)。また本調査結果を地域へ還元するため、住民説明会を行った(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

地震予測を行う専門家が評価の不確実性を述べることによって、住民の地震リスク認知や専門家に対する信頼がどのように変化するか。この問題を実証的に検討するため社会調査の分析を行った(図9)。対象は調査会社にモニター登録する名古屋市内在住の一般市民である。調査対象者に架空の地震予測を提示し、その際、予測するうえで回避できない科学の不確実性を専門家自身が明示する条件と、そのような発言がない条件とを設け、地震リスク認知、地震研究の専門家に対する信頼、地震への備え、地震対応政策への支持、等への影響がわかるようにした。また原発事故と長期予測の関連性に関する調査を行い、事故時の津波高さはそれ以前に出されていたすべての長期予測を超える、いわゆる想定外のものであったことを明らかにした。そのほか、科学コミュニケーション発祥の地であるイギリスや、大きな被害地震があったネパール等に対して、現地調査や今後の地震への影響評価等を行った(東京大学地震研究所[課題番号:1517])。

また、2006年に昭和火口で噴火活動再開以降、2009年からは活動が激化している桜島においては、大正噴火級の大規模噴火が発生したときは、桜島島内の住民は避難することが地域防災計画に定められている。一方、鹿児島市街地においては地域防災計画において避難の定めはないが、大正噴火が発生したときは多数の住民が避難した。このような背景のもと、もし桜島において大正噴火級の大規模噴火が発生しうる状況が発現した際を想定して、住民の避難の意向に関するアンケート調査を実施し、避難行動を分析した。アンケート実施方法は、講演会(鹿児島防災シンポジウム:NHK鹿児島放送局及び南日本放送主催)における直接アンケートとWEBによるアンケートである。アンケートでは、基本データとして住所や世帯構成、家屋の構造等について情報収集したうえで、何も火山活動に関する情報がない場合、大規模火山噴火の発生予測に関する情報が発表された場合、大規模火発生後の3段階について同様のアンケートを繰り返し、アンケートの回答を進めるにつれ学習できるように配慮した。特に、避難の方法と経路について詳細なアンケートを行った(図10)(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

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は、近代観測開始以前の史料データベースなどを通して江戸時代の被害地震における地震対応についての検討を行った。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見の発信技術について研究内容の意味ネットワークに着目したデジタル支援ツールの開発も行った。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の増強をはかり、噴火災害における前駆活動及び火山噴火推移の事象の発現に沿った避難計画策定の可能性について検討し、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及び、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を行った。また、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及び、桜島の火山避難計画・避難行動についての分析を行った。

今後は、この2年間の研究成果をさらに深化させながら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開始する。地震・火山噴火の災害発生機構の解明においては、引き続き国内外の堆積平野・堆積盆地における強震記録データベースを増強し、地震災害誘因の事前評価と即時推定に資する地下構造モデルを構築することや、脆弱性概念の検討については、過去の災害経験（特に東日本大震災）及び災害研究の成果をもとに、脆弱性を測定する尺度を検討・開発する。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、整備を続けている地理空間情報データ等をもとに、GISに取り込んで空間データベースを構築し、マクロな視点による津波被害分析等を行うことや、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続けていく。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、噴火事象系統図で想定されている噴火の規模と様式について、前駆活動及び火山噴火推移の事象の発現に沿った避難計画策定・避難訓練・防災教育等の可能性について検討を行っていくことが重要である。

成果リスト

Kouki ABE, Munenari INOBUCHI, Keiko TAMURA and Reo Kimura, 2015, Proposing Automated Recall Method of Relationship Structure among Research Topics -A Case of Earthquake and Volcano Observation Study Workshop-, World Engineering Conference and Convention 2015.

橋本雄一（編），2016，「四訂版 GISと地理空間情報—ArcGIS10.3.1とダウンロードデータの活用—」，古今書院。

橋本雄一（編），2015，「QGISの基本と防災活用」，古今書院。

橋本雄一，2015，積雪寒冷都市・札幌における人口の都心回帰，日野正輝・香川貴志（編）「変わりゆく日本の大都市圏 ポスト成長社会における都市のかたち」，ナカニシヤ出版，59-75。

川村 壮・橋本雄一，2015，都市計画基礎調査を用いた積雪寒冷地の港湾都市における津波災害リスクの空間分析，地理情報システム学会講演論文集，24，CD-ROM。

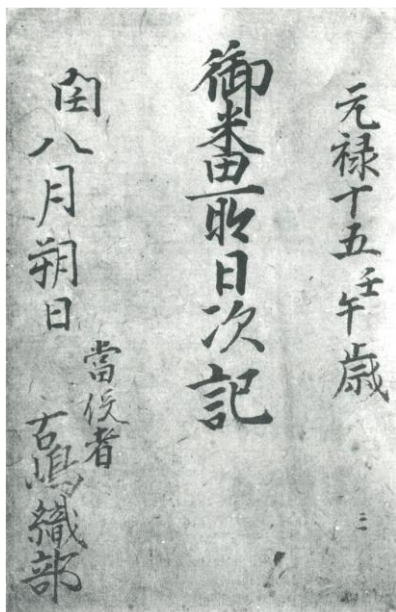
Koketsu, K. and S. Oki. Il processo dell'Aquila: l'incertezza dello studio dei disastri e le responsabilita degli scienziati, in "Terremoti, comunicazione, diritto", FrancoAngeli, 63-86, 2015.

黒田由彦，「『ポスト3.11の地域社会』の成果と課題」『地域社会学会年報』第27集。

三宅弘恵・宮川幸治・郭雨佳・Loic Viens・近藤利明・瀨瀬一起，糸魚川—静岡構造線断層帯における臨時連続強震観測，日本地震学会講演予稿集2015年度秋季大会，神戸，S16-P14，2015。

三宅弘恵・小林広明・司宏俊・宮川幸治・瀨瀬一起，2014年長野県北部の地震の強震動生成メカニズム，日本地球惑星科学連合2015年大会，千葉，SCG65-09，2015。

- 三好 達也・橋本雄一, 2015, 国勢調査人口メッシュと消防署データを利用した地域分析, 地理情報システム学会講演論文集, 24 , CD-ROM.
- 最上龍之介・橋本雄一, 2015, 積雪寒冷地における保育園の津波集団避難—北海道釧路市における認可保育園を事例に—, 地理学評論, 88 , 571-590.
- 仁平尊明・橋本雄一, 2015, 「釧路市における自主防災組織の活動から見た津波避難の課題」, 地理学論集, 90, 1-14.
- 西山昭仁, 2015, 『御番所日記』にみる日光東照宮での地震対応, 災害・復興と資料, 6, 19-25.
- 奥野祐介・橋本雄一, 2015, 積雪寒冷地における疑似的津波避難に関する移動軌跡データ分析, GIS—理論と応用, 23 (1) , 11-20.
- 奥野祐介・塩崎 大輔・橋本雄一, 2015, GNSSを用いた津波集団避難実験と移動軌跡データ分析, 地理情報システム学会講演論文集, 24 , CD-ROM.
- Shigefuji, M., N. Takai, T. Sasatani, S. Bijukchhen, M. Ichiyanagi, S. Rajaure, and M. R. Dhital, Aftershock records in the Kathmandu Valley of the 2015 Gorkha, Nepal, earthquake, 2015 AGU Fall Meeting, Abstract SS43D-2837, 2015.
- 塩崎 大輔・橋本雄一, 2015, 積雪寒冷地におけるICT及びWebRTCを用いた除排雪車位置情報共有システムの利活用, 地理情報システム学会講演論文集, 24 , CD-ROM.
- Takai, N., M. Shigefuji, S. Rajaure, S. Bijukchhen, M. Ichiyanagi, M. R. Dhital, and T. Sasatani, Strong ground motion in the Kathmandu Valley during the 2015 Gorkha, Nepal, earthquake. Earth Planets Space, 68:10, doi:10.1186/s40623-016-0383-7, 2016.
- Takai, N., M. Shigefuji, S. Rajaure, S. Bijukchhen, M. Ichiyanagi, M. R. Dhital, and T. Sasatani, Near fault strong ground motion records in the Kathmandu Valley during the 2015 Gorkha Nepal earthquake, 2015 AGU Fall Meeting, Abstract S43D-2839, 2015.
- 田中重好・高橋誠・黒田達朗編, 『連続研究会・新しい防災の考え方を求めて(シリーズ2)』名古屋大学大学院環境学研究科発行.
- 地域防災力診断マニュアル研究会編, 『地域防災力向上のための自治体向けアンケート調査報告書(速報版)』名古屋大学大学院環境学研究科／特定非営利活動法人環境防災総合政策研究機構発行.
- Viens, L., H. H. Miyake, and K. Koketsu, Long-period ground motion simulation of a subduction earthquake using the offshore-onshore ambient seismic field, Geophys. Res. Lett., 42, 5282-5289, 2015.



1855年安政江戸地震発生時における日光東照宮での対応

- 10月2日午後9～11時頃 地震発生
東照宮境内を巡検，本社で小被害を確認。
- 10月3日午前
東照宮の本社や奥社で詳細な被害を確認。
- 10月10日
地震で破損した奥社の石柵を補強。
- 10月15日
地震祈禱が開始され11月7日に終了。
- 11月25日
奥院の石柵の修復工事が開始されて12月17日に完了。

日光東照宮での対応については、日光奉行が実施している。

- 非常事態発生に際して江戸の幕府からの指示はみられない。
- 日光奉行の支配体制は、18世紀末に日光山目代の権限を吸収して強化されており、日光東照宮での諸事については日光奉行が取り仕切っていたために、江戸の幕府から使者の派遣はなかったと考える。
- cf. 1703年の元禄関東地震発生時は、日光奉行が設置(元禄十三年<1700>)された直後であり、非常事態発生に際して江戸の幕府から指示が必要であった。

図1. 『御番所日記』（『日光叢書』第一巻）と安政江戸地震発生時における日光東照宮における地震対応（東京大学地震研究所[課題番号：1513]）

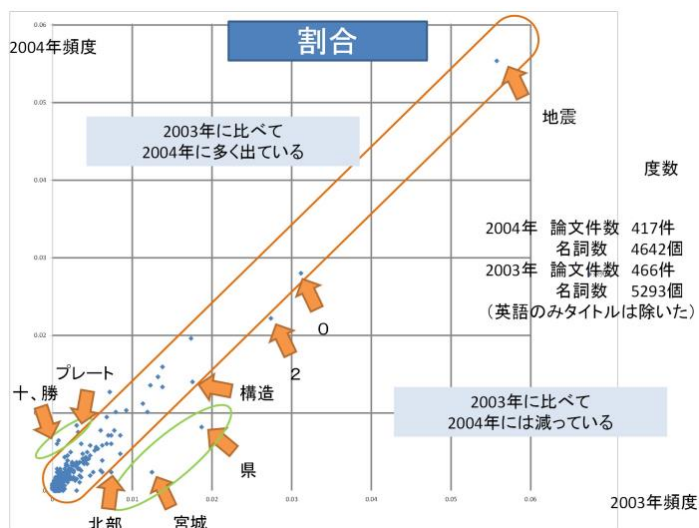
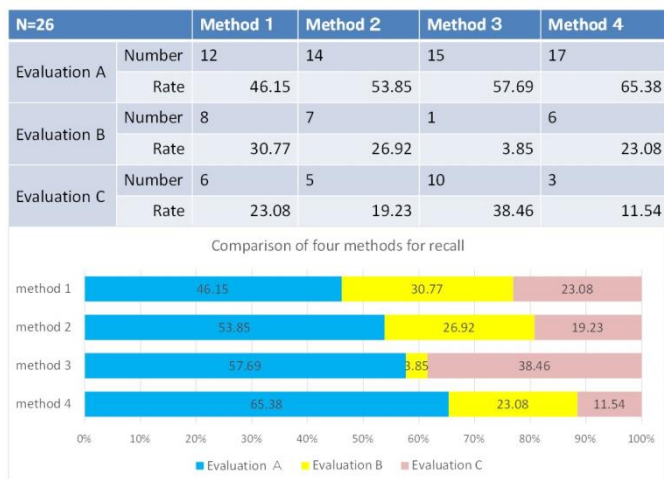


図2. 研究内容の意味ネットワークの解明を目指したデジタル支援ツールによるモデル化の評価結果（上）と、日本地震学会論文キーワードをもとにした支援ツールの検証（下）（新潟大学[課題番号：2702]）

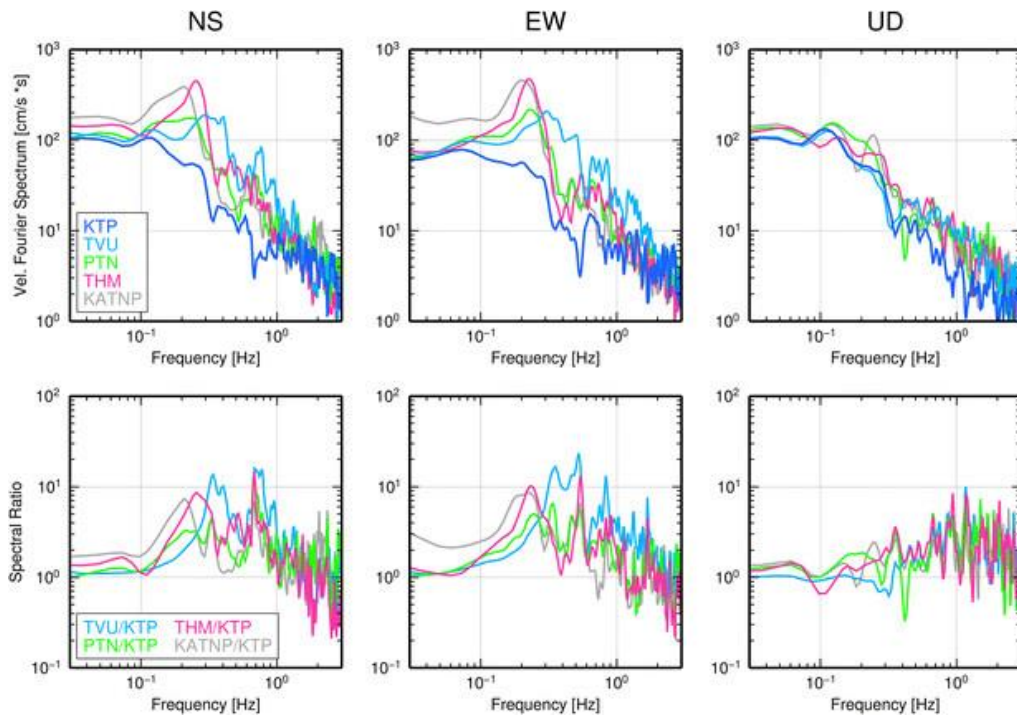


図3. 2015年ネパール・ゴルカ地震時のカトマンズ盆地のサイト特性(東京大学地震研究所[課題番号: 1515], Takai et al., 2016)

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

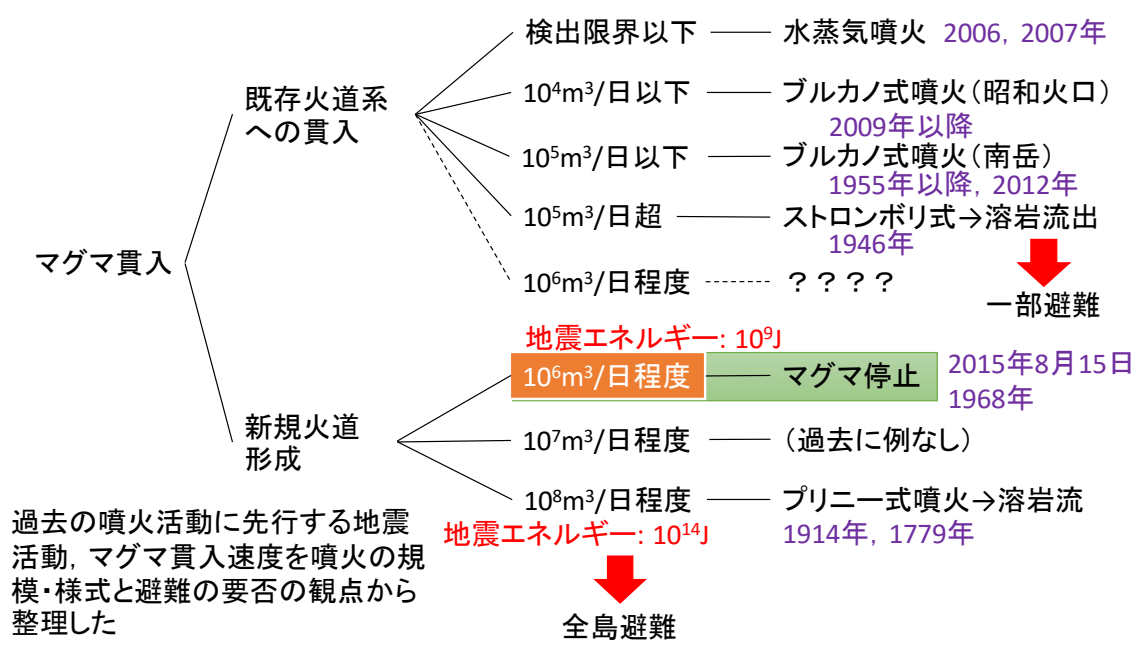


図4. 桜島におけるマグマ貫入速度と噴火規模・様式・避難(京都大学防災研究所[課題番号: 1914])

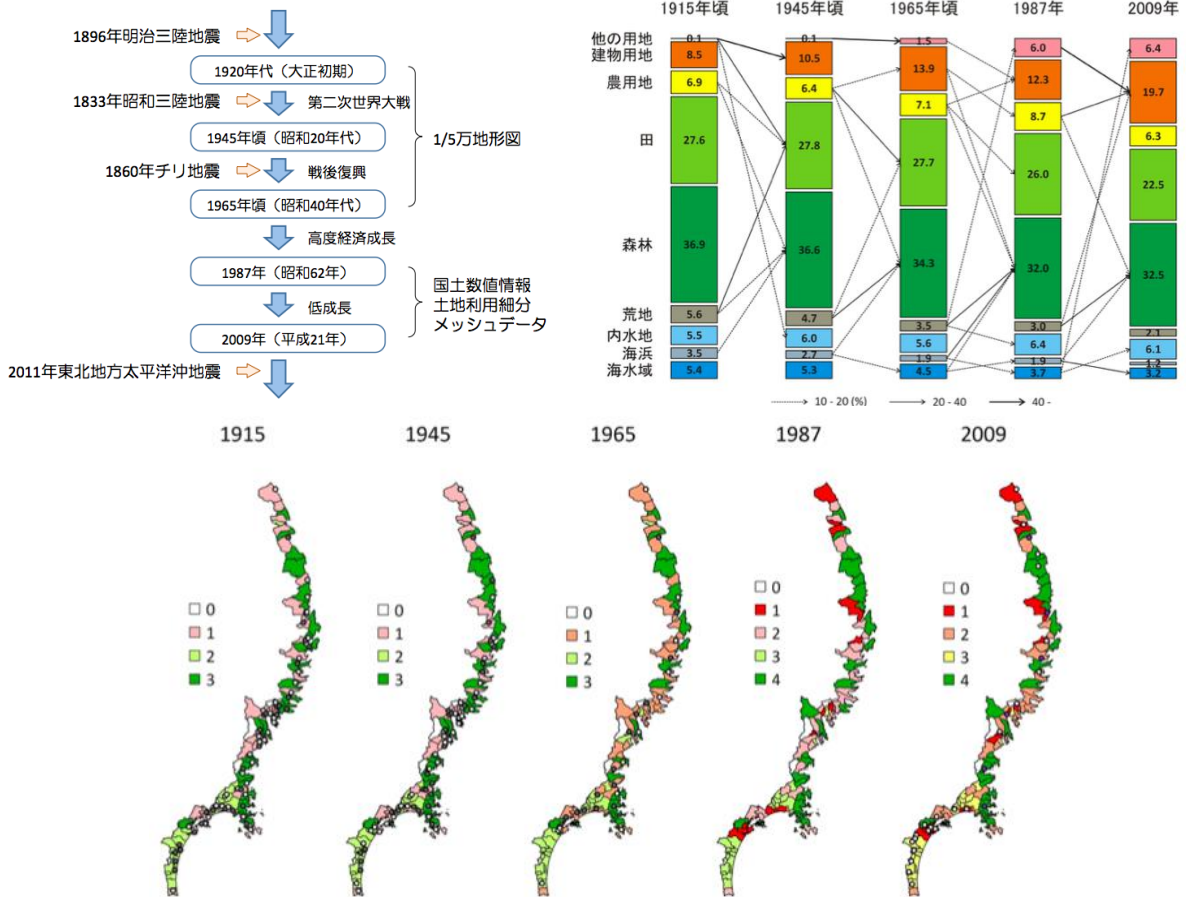


図5. 東日本大震災の被災地における空間形態に現れる脆弱性の解明 (名古屋大学[課題番号: 1704])

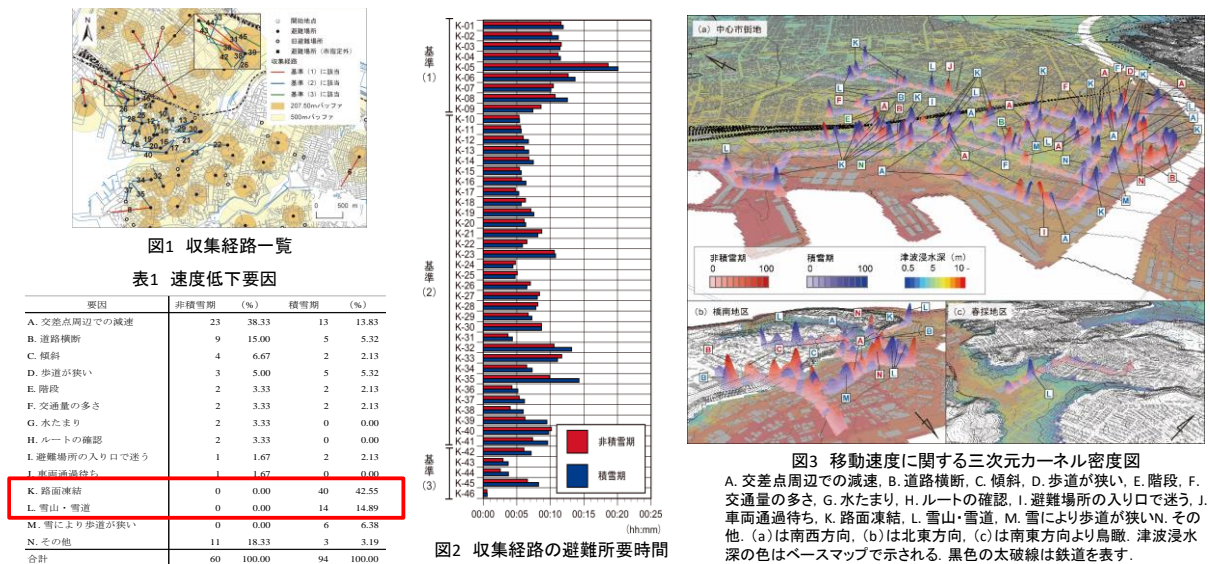


図6. 衛星測位を利用した避難行動の障害に関する空間分析方法の開発 (北海道大学[課題番号: 1006])

気象庁	防災科学技術研究所
<ul style="list-style-type: none"> ○ 気象警報・注意報・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) ○ 気象衛星 (○標準、○高頻度) ○ アメダス (○表形式、△図形式) ○ 火山カメラ ? 噴火速報 ○ 噴火に関する火山観測報 => 噴火活動時系列グラフ ○ 火山の状況に関する解説情報 ○ 週間火山概況 ○ 噴火警報・予報 ○ 潮位観測情報 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 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
川の防災情報 (国交省)	北大有珠火山観測所
<ul style="list-style-type: none"> ○ 降雨量 ○ 河川水位 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 火山カメラ ○ リアルタイム地震波形表示 ○ リアルタイム長周期データ表示 (RMS, 傾斜等)
	道路気象情報 (国交省地方整備局)
	<ul style="list-style-type: none"> △ 気温 ? 雨量、降雪量・積雪深 ? 風向・風速

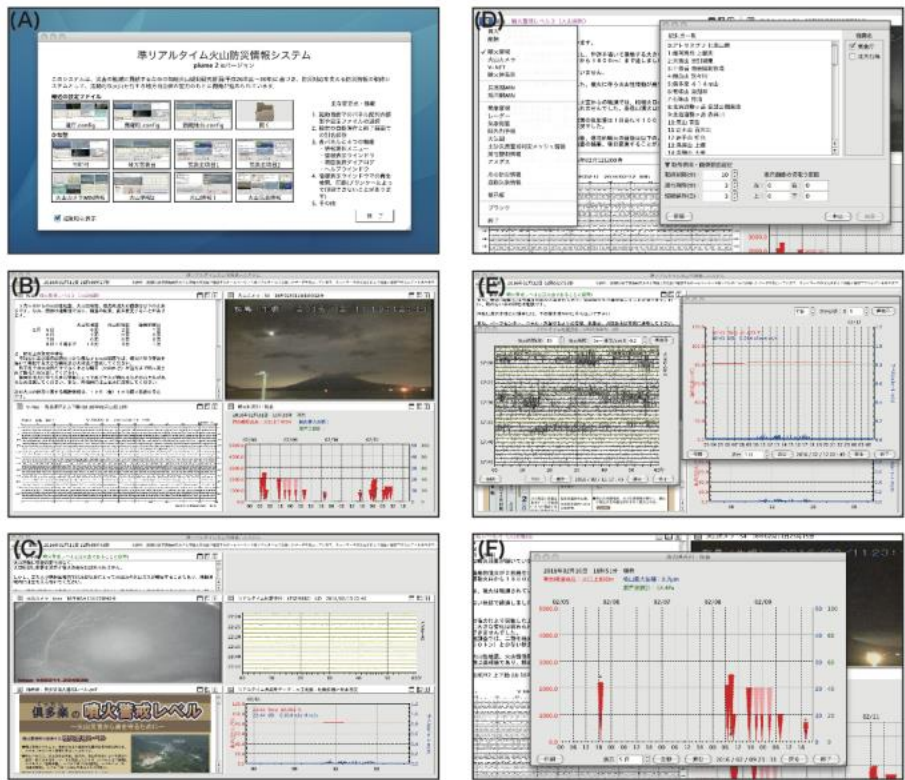


図 7. 準リアルタイム火山情報表示システム。

左：今年度にバージョンアップしたプログラムで取得・表示可能な情報 (○) と，取得を予定 (△) 及び検討 (?) している情報。右：パネルとウインドウのスナップショット。(A) オープニングダイアログ，(B) 火山関連の情報表示パネル配置 1 (左上：噴火警報等，左下：V-NET 波形，右上：火山カメラ，右下：噴火時系列)，(C) 火山関連の情報表示パネル配置 2 (左上：噴火警報等，左中：火山カメラ，左下：掲示板，右上：空白，右中：リアルタイム地震波形，右下：リアルタイム長周期データ)，(D) 情報の選択メニューと観測点・地域等の選択ダイアログ，(E) 地震波形及び長周期データの表示・検索ウインドウ，(F) 噴火時系列の表示・検索ウインドウ (北海道大学 [課題番号：1009])

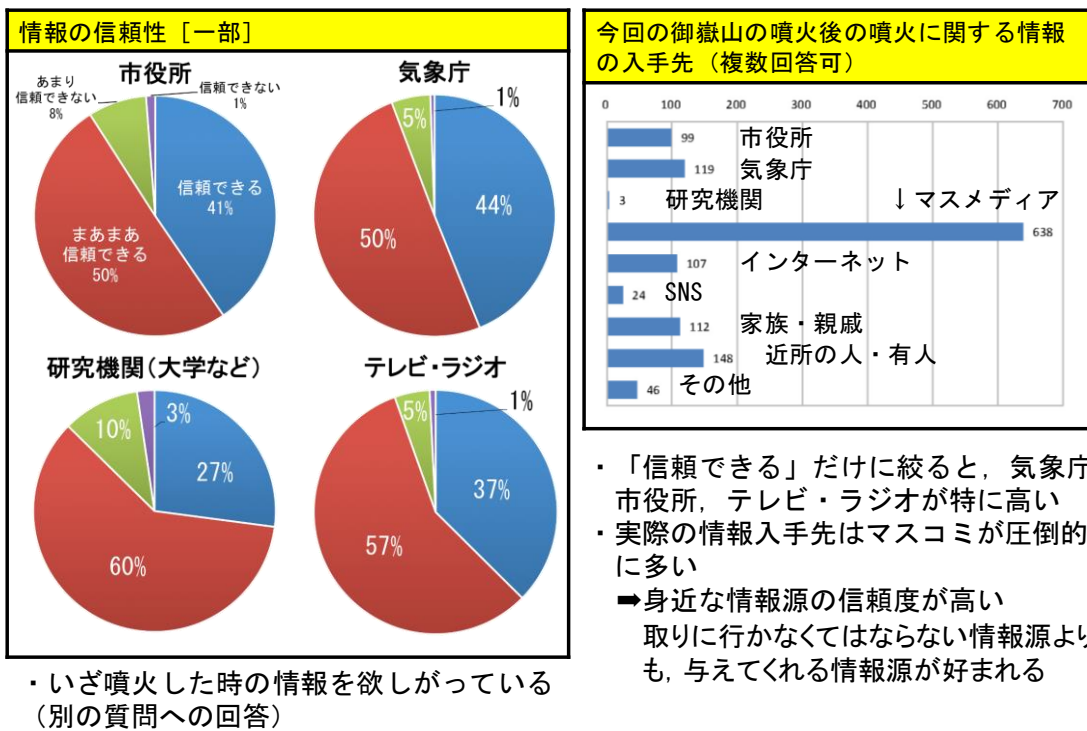


図8. 火山に関する災害情報伝達に関する住民の意識調査結果 (名古屋大学[課題番号: 1706])

<調査目的>

- ・災害のリスク評価に不確実性があることを情報の送り手である専門家が公表した場合、人々のリスク認知やリスク管理への信頼、さらには災害軽減のための政策に対する支持にどのような影響があるのかを、日米で社会調査を実施して明らかにする。

<調査方法>

- ・名古屋市を含む愛知県西部地域におけるM8クラスの地震発生に関して、仮想的な長期評価を複数用意して、それらを専門家が、評価の不確実性に言及する評価文で公表した場合と、言及しない評価文で公表した場合に対する印象を、調査用ウェブサイトを用意して回答してもらう。
- ・回答者は、調査会社の募集に応じた、名古屋市内の成人780名。回答者は上記の調査用ウェブサイトを知らされて、自身のインターネット環境を用いてそこにアクセスし回答する。

<中間結果>

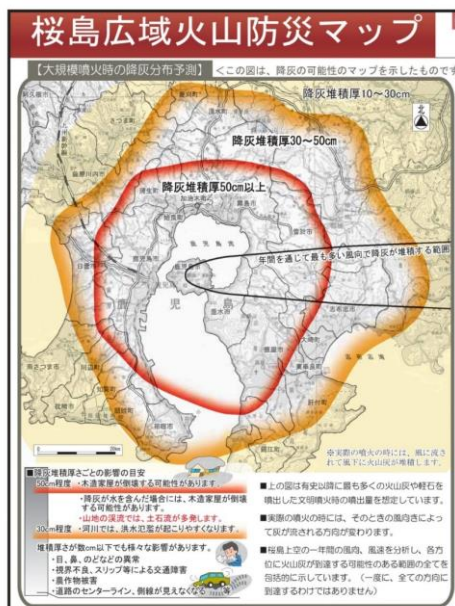
- ・地震の専門家が長期評価における不確実性を認め、それを公表しても、一般の人びとからの信頼が低下したり、地震によるリスクが高く認知されるようになったり、地震対策としての政策支持を低下させたりすることはないことが示された。つまり、不確実性表明が何らかのネガティブな帰結をもたらす様子は確認されなかった。
- ・ただし、これらの結果は、不確実性を表明する条件としない条件との間で、操作チェック項目の評定値の差が小さかったこと、つまり、専門家が不確実性を表明しているという操作そのものが弱かったためという可能性がある。
- ・また、名古屋市を含む愛知県西部地域におけるM8クラスの地震発生という設定にリアリティが欠けていた可能性がある。

図9. 住民の地震リスク認知や専門家に対する信頼に関する社会調査 (東京大学地震研究所[課題番号: 1517])

- 実施場所：
「鹿児島防災シンポジウム」にて配布
- 日時：2016年2月6日（土）
- 配布290部・回収146部
（回収率 50.3%）

鹿児島市街地を対象
（桜島島内の避難は防災計画に組み込み済み）

- 桜島の大正噴火の認知
- 大噴火の危険性の認知
- 噴火前の火山情報に対する避難行動
（交通手段、避難先など）
- 噴火前の火山解説情報（噴火予知情報）
を知っている場合の避難行動
- 噴火後風上にいる場合の避難行動
- 噴火後風下にいる場合の避難行動
- 避難を決断してから開始するまでの時間
- 噴火への備えの有無
- 自宅に留まる場合の懸念事項
- 自宅に留まる危険性を意識した場合の
避難行動



国土交通省のハザードマップ
桜島から20kmまでの風下で
50cm以上の降灰が予想される

図 10. 桜島の大規模噴火の際の避難意向に関する社会調査（京都大学防災研究所[課題番号：1914]）

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）

将来発生する地震について知見を得るためには、過去に発生した地震について調査・研究を実施する必要がある。地震は日本列島とその周辺域で有史以前から発生しているが、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約 140 年前に過ぎず、全国的な機器観測は約 90 年間実施されているに過ぎない。そのため、それ以前に発生した地震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などに基づいた調査と研究が重要になってくる。特に、発生すると甚大な被害をもたらす低頻度大規模の巨大地震については、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観測データは多くない。そこで史料や考古資料など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、巨大地震の再来間隔やその前後に発生する中・小地震など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提示されている。当部会はこのような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新たな学術的展開に寄与していく必要があると考える。

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ける研究の基礎となってい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など既存の媒体だけでは不十分である。そこでこれらの既存の史資料のデジタルデータ化による活用効率の向上とその内容の分析が必要である。さらに、不足している部分については新たな史資料の収集や分析も実施しなければならない。今年度は昨年度に引き続き、主に史資料の調査・収集及び、デジタルデータ化に関する作業方針の検討や史資料のデジタルデータ化を実施した。また、史料・考古統合データベースの試作版の構築に向けて、個別のデータベースの試作版などを作成した。

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)

地震・火山噴火史料データベースの構築に向けて、本年度は昨年度に引き続き、『増訂大日本地震史料』や『新収日本地震史料』といった既刊地震史料集に記載されている史料について、XML データ化のためのタグ付け及び XML データ化作業を継続して実施した。本年度からは史料を XML データ化する際に、信頼できる原典に遡って間違いの修正や省略部分の補足を行う校訂作業を実施している。既刊地震史料集全 33 冊（合計約 26,800 頁）のうち、校訂作業を終えたものは約 8.9%、史料の XML データ化を含めたテキストデータベース化の作業に着手しているものは約 19.9% である。今後は、昨年度構築した「日本歴史地震関連史料データベース」（試作版）に新たな史料の XML データを順次組み込んでいき、末尾で述べる統合データベースの構築のために改良を加えていく予定である。

また、既刊地震史料集に未収録の地震関連史料の調査・収集及び翻刻を実施し、今年度は 1854 年

(嘉永七年・安政元年) 安政東海地震における駿河(現静岡県東部) 地域での地震とその被害について記された、嘉永七年「恒例関東献上使日記」を翻刻した。このような新出史料についても今後 XML データ化していく計画である。加えて、東海地方で長期間にわたる日記史料が残存する三河国田原藩(愛知県田原市) について、昨年度に引き続き「田原藩日記」の調査・撮影を実施した。昨年度は 36 冊、本年度は 43 冊の撮影が完了している(東京大学史料編纂所[課題番号: 2601])。

(日本海沿岸地域とその周辺での地震・火山噴火関連史資料の収集と分析)

主に 19 世紀の日本海沿岸地域における地震・火山関連史資料を収集するために、新潟県内及び周辺地域の史料保存機関に所蔵されている史資料の調査を行った。また、既刊地震・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と校訂作業を実施した。1858 年(安政五年) 飛越地震の被災地である飛騨(現岐阜県北部) 地域の史料には、単一の古文書の中に広域の村ごとに家数・皆潰数・半潰数・死亡者数が記された「飛騨国村々大地震先御届出」が現存している。この史料の原本に基づいて翻刻し、被害一覧表を作成して正確な家屋被害数や一軒当たりの死亡者数を導き出すことができた。また、1828 年(文政十一年) 越後三条地震における被害について記された諸史料を比較・検討し、江戸の幕府へ報告された被害の全容を把握した。一方で、DVD『新潟地震とその復興の記録—新潟市立白山小学校に残された 8 ミリフィルム映像』を制作し、当該の DVD は新潟市内の小学校において防災教育に活用された。

従来、歴史地震における家屋倒潰率については、 $(全潰戸数) + 0.5 \times (半潰戸数)$ を全戸数で除したものが百分率(%) で示されていた。これを家屋倒潰率とした場合、半潰の定義が様でないために、その家屋倒潰率は被害実態を反映したものではなくなるという問題点を明確にし、現段階では家屋倒潰率として家屋全潰率を用いるのが妥当であるという結論に至った。

また、1833 年(天保四年) 庄内沖地震津波の被害絵図を調査し、石川県の能登半島の輪島地区にて津波による被災範囲の GPS 測量調査を行った。同様に、1964 年新潟地震における津波の到達点について、新潟県の佐渡市両津地区にて GPS 測量調査を行った(新潟大学[課題番号: 2701])。

(東海地方を中心とする地震関連史資料の収集と分析)

今年度も昨年度に引き続き、1854 年安政東海地震に関連する名古屋大学所蔵「高木家文書」の修復(1794~95 年〈寛政六~寛政七年〉・1820 年〈文政三年〉・1848 年〈弘化五年・嘉永元年〉分)を行った。また、徳川林政史研究所・名古屋市蓬左文庫や個人の史料所蔵者を訪問して新たな史料を収集し順次翻刻を行っている。「高木家文書」など名古屋大学所蔵の史料の中から新たに発見された地震関連史料を翻刻して解説を付し、名古屋大学図書館春季特別展「古文書にみる地震災害」として平成 28 年 2 月に一般公開を行った。この特別展示に際して史料写真・翻刻文・解説を掲載した図録を作成・配布した。

江戸時代における南海トラフ沿いの巨大地震で被災した地域の「神社明細帳」について、高知県内で約 4,000 余の神社に関する調査を完了した。この調査結果の検討から、「神社明細帳」に記載のある明治時代に残っている神社は、歴史時代における津波等で社殿が全部流された場合や、土砂崩れで潰された場合などに限られることが明らかになった。また、高知県では 1707 年(宝永四年) 宝永地震による被害が圧倒的に多く、1854 年安政南海地震に関する記述はほとんど見られないことが明らかになった。

一方で、昨年度に構築した既刊地震史料集に記載されている年月日・史料名・被災場所・史料所蔵先などを検索できるシステムについて、本年度は史料集から新たなデータを追加した。なお、このシ

システムは次のサイトで公開されている (<http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/HistEQ/>)。これに加えて、既往研究で震央位置がある程度確定されている歴史上の被害地震について、地図から検索できるように e コミマップを使ったシステムを構築した (名古屋大学 [課題番号: 1701])。

(岩手県沿岸で発生した地震・津波に関連する歴史情報の収集)

本年度は、昨年度の調査で撮影した岩手県の遠野市博物館所蔵「山奈宗真文書」の解読・分析作業と、同釜石市唐丹町における災害資料の所在・状況調査を実施した。「山奈宗真文書」のうち、従来解読されていなかった「古文書拾集録」の解読を進めた結果、「北九戸郡役所書類抜書」が存在し、1892年(明治25年)に帝国大学理科大学の調査に対して提出された書類が含まれていることが判明した。また、東京大学地震研究所所蔵「地震学及地理学研究材料測候所郡役所組合事務報告」を調査した結果、山奈本に筆写された資料が、当時の帝国大学理科大学による歴史津波・地形変化に関する調査報告書として作成されながらも、地震研所蔵本には収録されていない部分である事実が判明した。同史料には、1856年(安政三年)八戸沖地震津波に関する情報が記されており、山奈本・地震研本の二つの情報を合わせることで、山田町以北の岩手県沿岸の被災情報を得ることができる。

釜石市唐丹町における所在・状況調査では、旧唐丹村の公文書類の存在を確認した。同史料群は昭和前期、唐丹村が釜石市に合併するまでの史料群であり、特に1933年(昭和8年)昭和三陸地震津波の際の被災者救助や、復旧・復興に関わる財務書類が多数含まれている。今後、これらの史料を整理し解読・分析を進めることで、昭和三陸地震津波における唐丹村の対応について詳細な部分まで解明できることが期待される(公募研究 [課題番号: 2936])。

(地震関連史料のデータベース化に関する研究)

史料解読に使用するために SMART-GS の改良を行った。具体的な機能としては、史料翻刻に用いる各画像の右上端を開始地点とすること、行の切り出し機能の縦書き文書への対応の改善、縦書きエディタの導入などである。併せて、タブレット端末での使用に向けた改良を実施した。タッチやスワイプなどタブレット端末に独特のユーザーインターフェイスを活用する方法についても検討した。また、歴史地震の研究に関するポータルサイトの構築を実施した(公募研究 [課題番号: 2937])。

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)

北海道と沖縄県を除く全都府県の発掘調査報告書から、約12,000件の調査地点について精査・分析及びデータ入力を行い、災害痕跡に関する地質・考古データ約800件を抽出・収集した。また、発掘調査現場に赴き液状化痕跡等の土壌サンプル等を収集し分析・整理した。加えて、GIS データベースシステムの構築に着手し、パイロット版として構築したシステムに地質考古データの一部を取り込み、動作確認を行い運用テストを開始した(奈良文化財研究所 [課題番号: 9001])。

日本海沿岸での地震関連の考古データについて分析を行い、新潟県域で検出される地震痕跡の多くは液状化に関係しており、そのほとんどは中部の新潟平野で見出され、西部の高田平野では一例に止まっていることが明らかになった。高田平野に液状化痕跡が乏しい理由として、段丘化による地下水位の低下を挙げることができる。また、1828年越後三条地震で被災したと考えられる新潟県見附市の福順寺境内にて試掘調査を実施したが、地震の痕跡を示す焼土・灰層やその後の整地層は見出せなかった(新潟大学 [課題番号: 2701])。

ウ. 地質データ等の収集と整理

(津波堆積物のデータベース化に向けての準備作業)

津波堆積物に関するデータベースの構築については、東北大学のプロジェクト研究にメンバーとして参加し、主に北海道の既存資料について整理を進めている。本年度はデータ入力とチェックが終了し、既存文献について津波堆積物の認定項目に基づく評価も実施した。成果の一部は本年度中に公表される予定である。また、昨年度に引き続き、ロシアの沿海州と北方領土で、歴史津波と先史時代の津波痕跡についてロシアの研究者と共同で調査を実施した。古津波については、沿海州と日本海、北方領土と北海道東部のそれぞれで得られた痕跡を対比させる必要がある。そのための広域火山灰(B-Tm等)の分布調査と同定方法の確立、歴史時代も含めた年代決定精度の向上に向けた研究も進めている。

古地震に伴う地殻変動の痕跡として貴重な海岸の隆起地形と生物痕跡については、保存と化石化に関する知見を得る必要がある。そこで、平成27年4月24日に北海道の羅臼町幌萌海岸で発生した地滑りに伴う海岸隆起を対象に現地調査を実施した。隆起量は隆起前には海底にあったと推測された礫に付着している海草類から隆起前の水深を推定し、隆起後の標高と足し合わせることで求めた。隆起域は秋の台風で約半分が浸食されて消滅していることも確認した。調査は来年度以降も継続して行う予定である(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。歴史時代や先史時代の地震・火山による大規模災害について、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などを作成することによって、近代的な機器観測に基づく観測データとの比較・検討が可能になる。この被害分布図など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。また、このような学際研究を進める上で、例えば地震災害について被害分布図などを作成する場合、信憑性の高い史料記述に基づいて被害発生場所を調査・検討し、考古資料に基づいて先史・歴史時代の被害痕跡の時期を分析するなど、複数の分野からのアプローチが必要である。様々な視点からの調査・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

(史料に基づく地理情報システムの試作版の作成)

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

本年度は、江戸時代に関東地方で発生した被害地震である1855年(安政二年)安政江戸地震を事例として、江戸やその周辺地域での被害記録ではなく、遠地での有感記録を基にして地理情報システムの試作版を作成した。本研究において使用したのは既刊地震史料集に所収されている史料のうち、記述内容の信憑性が高い日記史料のみであり、被害記録はなく有感記録があるものに限定している。日記史料のうちで、被災地から離れた遠地で地震発生当日の十月二日夜に有感地震が記録されているも

のを選び出し、更に地震発生について「夜四ツ時」や「亥刻」と記されているものを選定した。こうして厳選された日記史料にある遠地での有感記録に基づいて有感場所ごとに震度を推定した。また、有感記録が記された当時の場所について、他の史料や当時の絵図、日本史における研究成果などに基づいて現在地を調査・検討しその緯度・経度を導き出した。

このようにして得られた史料の有感記述とそれに基づく推定震度、史料が記された場所とそれに基づく現在地の緯度・経度を組み合わせて、安政江戸地震の遠地での有感記録について地理情報システムの試作版を作成した。この地理情報システムから作成した遠地での有感地震の震度分布図を用いて検討を重ね、安政江戸地震の地震像の解明に寄与できればと考える（東京大学地震研究所〔課題番号：1501〕）。

（文献史料の収集と分析による歴史災害の調査）

内陸地震や南海トラフ沿いの巨大地震について、文献史料の収集及び現地調査と史料の解説を行い、史料データを基にして過去の被害地震の分析を実施した。1703年（元禄十六年）元禄関東地震、1847年（弘化四年）善光寺地震、1854年伊賀上野地震、1855年安政江戸地震、1792年（寛政四年）雲仙噴火、1783年（天明三年）浅間噴火、1856年（安政三年）江戸台風について史料の翻刻を実施した。翻刻文の一部はウェブで公開されている（<http://kozisin.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/>）。また、弘瀬・中西（2015, 2016）は、「蔵岡家文書」にある「嘉永七甲寅年大地震記録」の原本コピーに基づいて、1854年安政南海地震における愛媛県愛南町での地震動の推移、地震に伴って発生した自然現象と被害を詳しく検討した。坂崎ほか（2015）は、1856年江戸台風について「安政風聞集」などに基づいて進路の推定を行った（京都大学防災研究所〔課題番号：1901〕）。

これまでの課題と今後の展望

これ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ついて、主に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。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う危険性もある。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。

昨年度から開始されている「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おり、史料や考古資料を用いた研究が共同で実施されている。このような文理融合の研究は他にあまり類例がなく、学際的な研究としても特筆すべき研究計画である。当部会では今後、地震・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とともに、新たな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。

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、昨年度と本年度については史料・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。これらの成果を踏まえた今後の課題としては、地震・火山噴火に関する文献史料に基づく史料データと、考古遺跡の発掘調査で確認された災害痕跡に基づく考古データとを組み合わせて、統合データベースを構築する必要がある。史料データは

被害発生 の 時期 は 明確 である が 場所 は 必ず し も 明確 で は なく , 考 古 デー タ は 被害 発生 の 時期 は 不明 確 である が 場所 は 明確 である 。 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 と 位置 情報 の 両 方 から 検索 可能 な デー タ ベース の 構築 を 目指 し て い く 。

成果リスト

- 榎原雅治, 2016, 歴史学における地殻災害の研究の今後について, 地殻災害の軽減と学術・教育, 日本学術協力財団, 205-215.
- 榎原雅治, 2016, 歴史地震資料情報の集約と共有化, 人間文化研究情報資源共有化研究会報告集, 6, 29-40.
- Ganzev, L. A., N. G. Razjigaeva, Y. Nishimura, T. A. Grebennikova, V. M. Kaistrenko, A. O. Gorbunov, K. A. Arslanov, S. B. Chernov, and Y. A. Naumov, 2015, Deposits of Historical and Paleotsunamis on the Coast of Eastern Primorye. *Russian Journal of Pacific Geology*, 9, 64-79.
- 橋本雄太, 加納靖之, 大邑潤三, 2015, Text Encoding Initiative ガイドラインに基づく古地震史料のマークアップ, 第 32 回歴史地震研究会 (京丹後大会) 講演予稿集, 27.
- 弘瀬冬樹, 中西一郎, 2015, 1854 年安政南海地震による愛媛県最南端 (愛南町) での地震動・津波被害・地下水位変化ー庄屋史料と藩史料の比較から分かる庄屋史料の有用性と地殻変動推定の可能性ー, 地震 2, 68, 107-124, doi:10.4294/zisin.68.107.
- 弘瀬冬樹, 中西一郎, 2016, 訂正 : 1854 年安政南海地震による愛媛県最南端 (愛南町) での地震動・津波被害・地下水位変化ー庄屋史料と藩史料の比較から分かる庄屋史料の有用性と地殻変動推定の可能性ー, 地震 2, 68, 147-150, doi:10.4294/zisin.68.147.
- 石川寛, 山中佳子, 他, 2016, 名古屋大学附属図書館 2016 年春季特別展図録, 66pp.
- 加納靖之, 服部健太郎, 中西一郎, 安国良一, 五島敏芳, 渡辺周平, 岩間研治, 福岡浩, 2015, 京都大学理学部に所蔵されている自然災害史料の解説と画像化, 第 32 回歴史地震研究会 (京丹後大会) 講演予稿集, 39.
- 小池伸彦, 村田泰輔, 2016, 考古学における地殻災害研究の今後, 地殻災害の軽減と学術・教育, 日本学術協力財団, 169-204.
- 村田泰輔, 2016, 考古資料から抽出される災害情報とそのデータ化, 人間文化研究情報資源共有化研究会報告集, 6, 41-77.
- 西山昭仁, 2016, 歴史地震史料を用いた地理情報システムの構築に向けて, 人間文化研究情報資源共有化研究会報告集, 6, 79-82.
- 西村裕一, 岩崎藍子, 2016, 羅臼町幌萌海岸の地すべり (2015 年 4 月 24 日) に伴う海岸隆起の産状と隆起量, 北海道地区自然災害科学資料センター報告, 印刷中.
- 齋藤瑞穂, 2015, 地震と遺跡ー新潟県ー, 前近代歴史地震史料研究会 (編) 「歴史学による前近代歴史地震史料集」, 新潟大学人文学部, 149-159.
- 坂崎貴俊, 加納靖之, 大邑潤三, 服部健太郎, 2015, 安政江戸台風 (1856) の被害と当時の気象場推定 (On the Severe Typhoon Attacking Edo Region in 1856) , 生存圏研究, 11, 64-70.
- Satake, K., A. Nishiyama, and J. Muragishi, 2015, Historical earthquake studies and document database in Japan, 26th IUGG General Assembly 2015, IUGG-1945(Solicited, Oral), Prague, Czech Republic, Prague Congress Centre, June 22-July 2, 2015.

前近代歴史地震史料研究会（編）, 2015, 前近代歴史地震絵図資料集成, 新潟大学・災害復興科学研究所, 74pp.

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）

データベース及びデータ流通は、本計画を実行して行く上での、多項目の観測データを安定的かつ継続して生産し、かつ、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ーで効率的に共有する仕組みの構築の実現を引き続き検討した。

2. 平成 27 年度成果の概観

以下、平成 27 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

火山噴火予知連絡会で中長期的に観測体制の充実が必要とされた47火山について、地震計、空振計、GNSS等の観測データを蓄積した。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27年度に噴火が発生した口永良部島や阿蘇山及び桜島のほか、火山活動の高まりがみられた雌阿寒岳、蔵王山、箱根山、浅間山、霧島山（えびの高原（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。これらのデータの蓄積にあたって、今後の活火山総覧の改訂に活用できるようにデータベース化した（気象庁[課題番号7001]）。石巻平野、福島県北部に加え、青森県太平洋沿岸の一部における津波堆積物に関する地質柱状図等の情報についてウェブ公開をした（産業技術総合研究所[課題番号 5001]）。活断層データベースに収録している活動セグメントの形状やパラメータについて、最新の調査研究の成果に基づいて見直しを行い、28の活動セグメントを新規追加するとともに、37の活動セグメントの位置・形状を変更した（産業技術総合研究所[課題番号 5002]）。さらに、火山防災のために監視・観測体制の充実が必要な活火山（47火山）の地質図整備では、富士山地域の地質図を解説書付きで取りまとめ、印刷中とした。伊豆諸島、恵山で噴火履歴調査を引き続き実施し、御嶽山では調査を開始した（産業技術総合研究所[課題番号 5003]）。

(5) 火山現象のモデル化

全国の主な海岸部 27 点で運用している GPS 観測点において通年の観測を実施し、得られた成果（図 1）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（海上保安庁[課題番号 8004]）。

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

全国地震カタログの作成において、「高感度地震観測データの処理方法の改善に関する報告書」（平成26年2月地震調査委員会、以下「報告書」）を踏まえた震源の決定等の処理の改善については、これまでのトリガー方式の地震検知に加えて新たな地震検知手法を取り入れ、自動処理による地震検出結果を検出処理の基本とする作業手順を確立した。新たな作業手順（図2）では、まず、自動処理による地震の規模の推定値が、

あらかじめ定めたMth以上であれば、これまでと同様に人手により精査した結果を地震カタログに登録する。一方、Mth未満では波形を確認したうえで地震の相・振幅が正しく検出され良好に震源決定されていれば自動処理結果をそのまま、そうでなければ人手による簡易的な検出作業を行った結果を登録する。さらに、震源が決まらない場合も、地震検知の情報は登録する。波形を確認した結果、地震ではないと判定した場合には登録はしない。こうした作業手順により、必要十分な品質を確保しつつ、地震として検出されたイベントはもれなく登録されることになり、地震カタログの充実が今後図られる（気象庁[課題番号 7019]）。

地震観測、地殻変動観測、潮位観測、全国の火山観測を継続的に進め、観測機器の雷災対策や回線のデジタル回線化が進めた（気象庁「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、引き続き統一的形式に整理し、月毎に地磁気観測所データベースに登録、公開するとともに、国際的なデータセンターに提供した。さらに、活動的な火山を対象とする全磁力精密観測データについて、継続してデータベースに登録した（気象庁[課題番号 7018]）。

全国のGNSS連続観測点網（GEONET）による地殻変動連続観測が実施し、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進めた。地震については、東北地方太平洋沖地震後の継続的な余効変動、2015年5月13日に発生した宮城県沖の地震（M6.8）、2016年1月14日に発生した浦河沖の地震（M6.7）等に伴う地殻変動を検出した。また、2014年半ば頃からの紀伊水道周辺におけるプレート間ゆっくり滑り（スロースリップ）現象に伴う非定常的な地殻変動を検出した。火山についても、硫黄島、箱根山周辺（図3）、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（国土地理院[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し、観測データをホームページで公開した（国土地理院[課題番号 6006]）。地殻変動の観測結果（GNSS、水準、験潮）を地殻活動総合解析システムのデータベースに追加した（国土地理院[課題番号 6011]）。

電子基準点毎の固有の誤差について、搬送波位相観測値に見られる位相残差を用いてモデル化・可視化する手法を開発し、全国の電子基準点で最新の位相残差データを整備した（国土地理院[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2点の絶対重力観測、一等重力点等181点で相対重力観測を実施し、日本重力基準網の基準となる重力値を得るとともに、重力値の時間的な変化を把握した。地磁気測量については、鹿野山測地観測所、水沢測地観測所、江刺観測場及び全国11点の地磁気連続観測点で地磁気連続観測を実施した。また、地磁気連続観測点10点及び一等磁気点2点で地磁気絶対観測等を実施し、日本全国の地磁気の時間変化及び地理的分布を把握した。さらに、富士山中腹において、全磁力の連続観測を実施した（国土地理院 [課題番号 6007]）。

だいち2号のSARデータを用いて、北方四島を含む国土全域を対象にSAR干渉解析を行い、複数の活火山において変動を検出した。箱根山大涌谷周辺では、2015年4月下旬からの火山活動の活発化に伴い、5月から9月まで高頻度に観測されたデータをもとに、大涌谷内の直径200m程度の範囲における変動の時間変化を捉えた（図4）（国土地理院[課題番号 6008]）。だいち2号から標準的に処理が可能となったScanSARモードを用いたSAR干渉解析により、2015年4月25日に発生したネパールの地震（Mw7.8）、同年9月16日に発生したチリの地震（Mw8.3）、同年12月7日に発生したタジキスタンの地震（Mw7.2）に伴う広域の地殻変動を検出することに成功した（図5）（国土地理院[課題番号 6013]）。

火山土地条件図「秋田駒ヶ岳」の数値データの整備及び「秋田焼山」の火山土地条件調査を実施した（国土地理院[課題番号 6009]）。また、砺波平野断層帯とその周辺「高岡」、三峠・京都西山断層帯とその周辺「舞鶴」「綾部」、山崎断層帯とその周辺「北条」「高砂」、雲仙断層群とその周辺「雲仙」、人吉盆地南縁断層とその周辺「人吉盆地」7面の都市圏活断層図を整備・公開するとともに、森本・富樫断層帯、綾瀬川断層、山崎断層帯、菊川断層帯の調査を実施した（国土地理院[課題番号 6010]）。

海上保安庁, 国土交通省水管理・国土保全局及び港湾局, 国土地理院, 気象庁が連携し, 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実施した[課題番号 8005], 沿岸海域での海底地形の調査を実施した(図6)(海上保安庁[課題番号 8006])。

Hi-Net, F-net, Kik-net など基盤的地震観測施設を安定的に運用した。日本海溝海底地震津波観測網(S-net)の構築に関して, 宮城・岩手沖システム(岩手県～宮城県), 茨城・福島沖システム(宮城県～茨城県)の敷設工事を実施した。2016年2月現在, 釧路・青森沖システム(北海道～青森県)の敷設工事を実施中である。また, Double-Difference法を用いた日本全国高分解能再決定震源カタログ(JUICE)の第一版を構築した(防災科学技術研究所[課題番号 3004])。

東アジア地域を対象として, 地質とテクトニクス, 活断層, 過去の地震の震央と震源域の分布, 主要地震の犠牲者とその要因, 津波分布と最大波高, 完新世火山の分布, カルデラ・大規模降下火山灰・大規模火砕流の分布, 主要火山の犠牲者とその要因について取りまとめた(図7)(産業技術総合研究所[課題番号 5009])。

長期連続データ解析のための大規模解析システムを構築し, 利用に関するルールを策定した(東京大学地震研究所[課題番号 1518])。研究成果共有システム構築にむけてウェブサイトを立ち上げた(<http://evrrs.eri.u-tokyo.ac.jp>) (図8)。また, ETAS 解析ツールにおいて, 1) 地震活動の予測と観測との比較, 2) 地震活動度が高い期間の空間領域把握, 3) 地震活動変化点解析, 4) ETAS パラメータの誤差評価の4点について機能強化を実施した(東京大学地震研究所[課題番号 1519])。多項目データの全国リアルタイム中通一元化解析の環境整備として, 地殻変動連続観測等データの全国流通・公開を継続した(北海道大学[課題番号 1009])。また, 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1933年～1940年に記録された煤書き記録2,000枚をスキャンして, ハードディスクに格納した(図9)(京都大学防災研究所[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これまでの課題は, 各研究機関において蓄積されているそれぞれのデータ及びデータベースを有機的に統合化することである。前計画においては, 関連機関が構築しているデータ・データベースの所在情報をまとめたポータルサイトを構築し, 一定の成果が得られた。さらに, 本計画においては, 研究成果共有システムの開発・構築も着実に進める必要がある。ただし, データベースの統合化や研究成果共有システムの構築はなかなか捗っていないのが現状である。この要因の一つとして, データベース構築そのものが研究成果と同様の評価がしにくいこともあげられるのではないかと考えている。また統合データベースの構築のためには, 複数の基礎データベースの高度な理解が必要であり, 課題担当者レベルの枠を超えているともいえるのではないかと考えている。

一方, 基礎データベース可視化システム, 解析ソフトウェアの整備・解析基盤の開発, 史料・考古のデータベースにおけるGISへの導入などは, 着実に進められる項目であるので, 今後はこれらの課題へ積極的に取り組むべきであろう。さらに日本海溝海底地震津波観測網(S-net)が稼働をはじめたり, それらのデータを効率的に全国流通させる次世代流通システムの開発も必要であろう。

成果リスト

Ishizuka, O., R. N. Taylor, N. Geshi, T. Oikawa, Y. Kawanabe, and I. Ogitsu, 2015, Progressive mixed-magma recharging of Izu-Oshima volcano, Japan: A guide to magma chamber volume. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **430**, 19-29.

及川輝樹, 2015, 噴火災害から学ぶ-御嶽山2014年噴火. *日本の科学者*, **50**, 230-235.

- 高田亮, 2015, 将来を物語る激動の噴火史-宝永噴火後300年の富士山(静岡県・山梨県) -. 地学雑誌, **124**, 69-78.
- 山元孝広, 2015, 富士山の噴火史と火山災害. 電気評論, **100**, 18-21.
- 溜淵功史, 森脇健, 上野寛, 束田進也, 2016, ベイズ推定を用いた一元化震源のための自動震源推定手法, 験震時報, **79**, 1-14.
- 気象庁, 地震月報(カタログ編)
- 鶴岡睦, 鈴木博樹, 九谷昌治, 中館明, 2015, 潮位・津波観測システムについて, 測候時報, **82**, 特別号, 105-123.
- 阿部聡, 宮原伐折羅, 2015, 主成分分析を用いた日本周辺の地磁気変化モデルの開発, 国土地理院時報127集.
- 阿部聡, 宮原伐折羅, 2015, 日本の磁気図作成における地磁気値の空間補間手法の検証, 国土地理院時報127集.
- 山田晋也, 三浦優司, 山中雅之, 仲井博之, 和田弘人, 2015, 「だいち2号」を利用した宇宙からの火山活動の監視, 平成27年度国土交通省国土技術研究会論文集, 248 - 252.
- 山田晋也, 三浦優司, 和田弘人, 仲井博之, 山中雅之, 攪上泰亮, 上芝晴香, 矢来博司, 小林知勝, 森下遊, 2016, だいち2号SAR干渉解析によって検出された箱根山大涌谷周辺の地表変動, 国土地理院時報, 128.
- 三浦優司, 和田弘人, 仲井博之, 山中雅之, 山田晋也, 攪上泰亮, 上芝晴香, 矢来博司, 小林知勝, 森下遊, 2016, だいち2号を活用した口永良部島新岳噴火に伴う地表変位の検出, 国土地理院時報, 128
- Kobayashi, T., Y. Morishita, and H. Yarai, 2015, Detailed crustal deformation and fault rupture of the 2015 Gorkha earthquake, Nepal, revealed from ScanSAR-based interferograms of ALOS-2, Earth Planets Space, 67:201, doi:10.1186/s40623-015-0359-z.
- Kimura, T., H. Murakami, and T. Matsumoto, 2015, Systematic monitoring of instrumentation health in high-density broadband seismic networks, Earth, Planets and Space, 67:55, do:10.1186/s40623-015-0226-y.
- 宝田晋治, J. Bandibas, and O. Prambada, 2015, 日本及び世界の火山データベースの現状と展望. 火山, **60**, 125-142.
- 宝田晋治, G-EVER推進チーム, 2015, G-EVER火山災害予測支援システム, アジア太平洋地域地震火山災害情報図プロジェクトによる火山災害軽減. Proceedings of the international Meeting on Eruptive History and Informatics, **2**, 44-47.
- Takahashi, H., 2015, Proposal for robust monitoring of catastrophic tsunami using onshore strain and tilt geodetic sensors, Jour. Disaster Res., 10, 770-776.

DGPS局等の水平変動 - 1年間 -

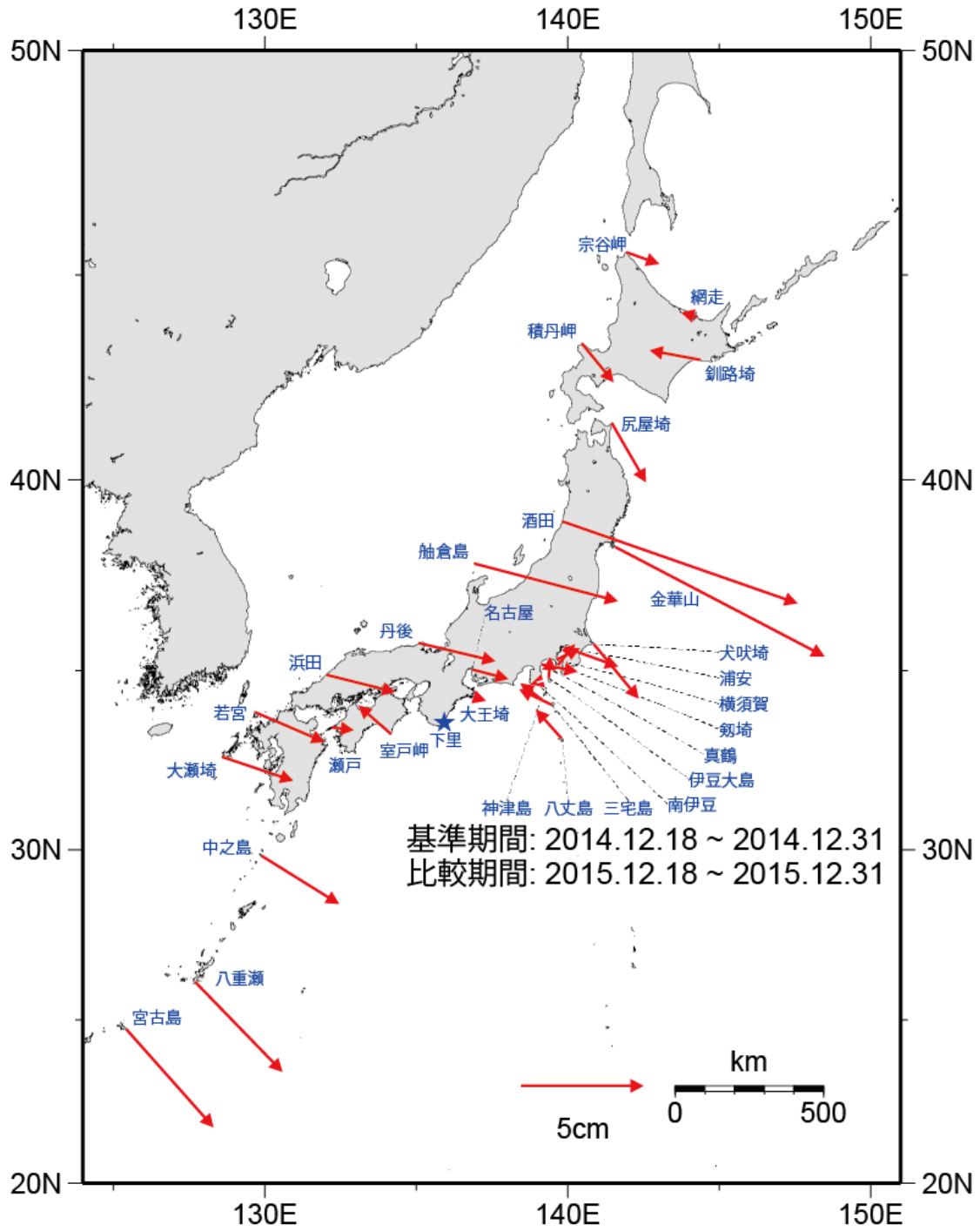


図1. DGPS局等のGPS連続観測から求めた水平変位(下里局固定) (海上保安庁[課題番号8004])

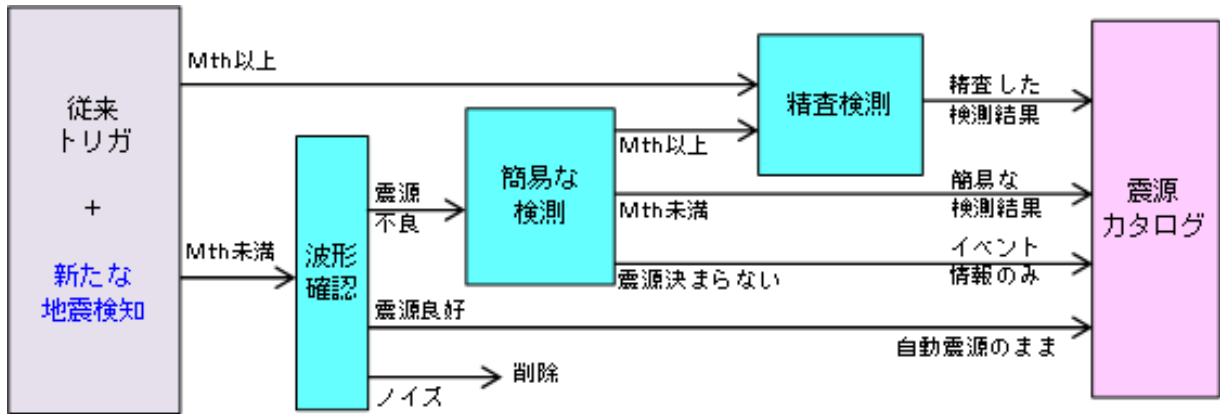


図2. 新しい検測作業手順の概要（気象庁[課題番号 7019]）

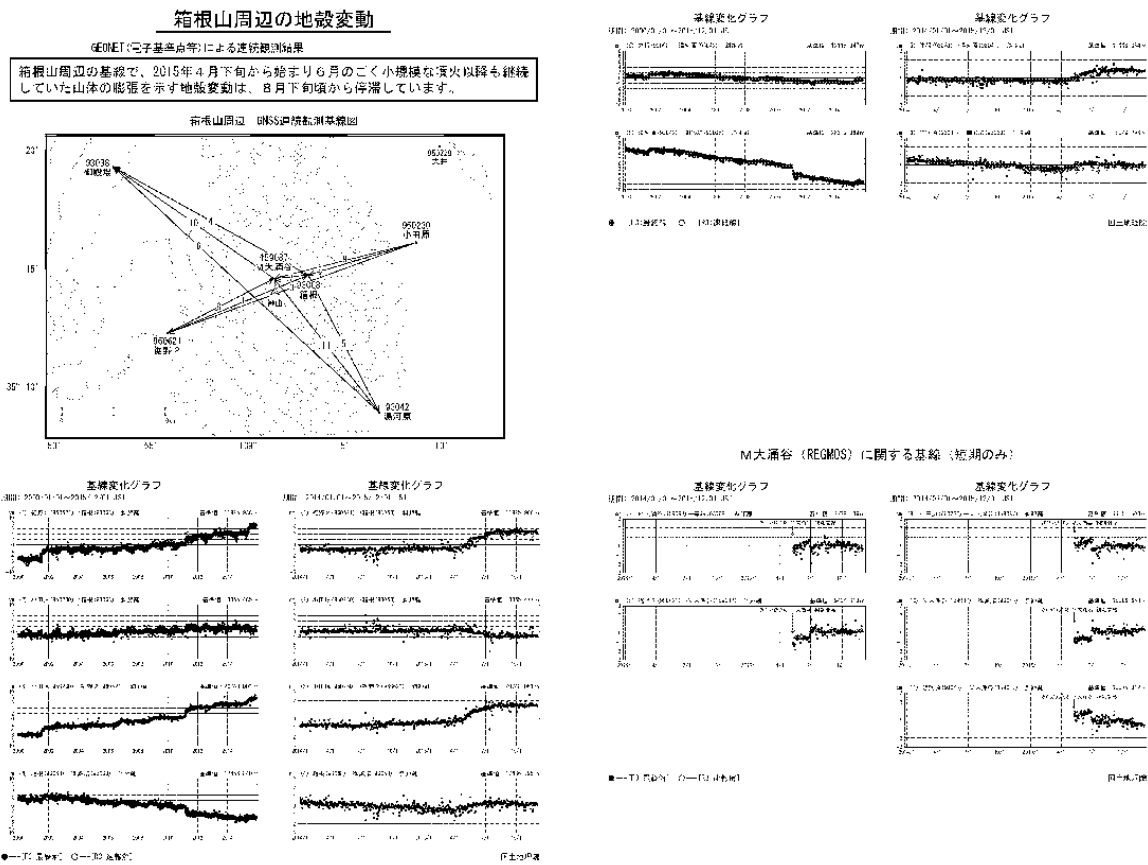


図3. 火山活動に伴う地殻変動（箱根山周辺）（国土地理院[課題番号 6005]）

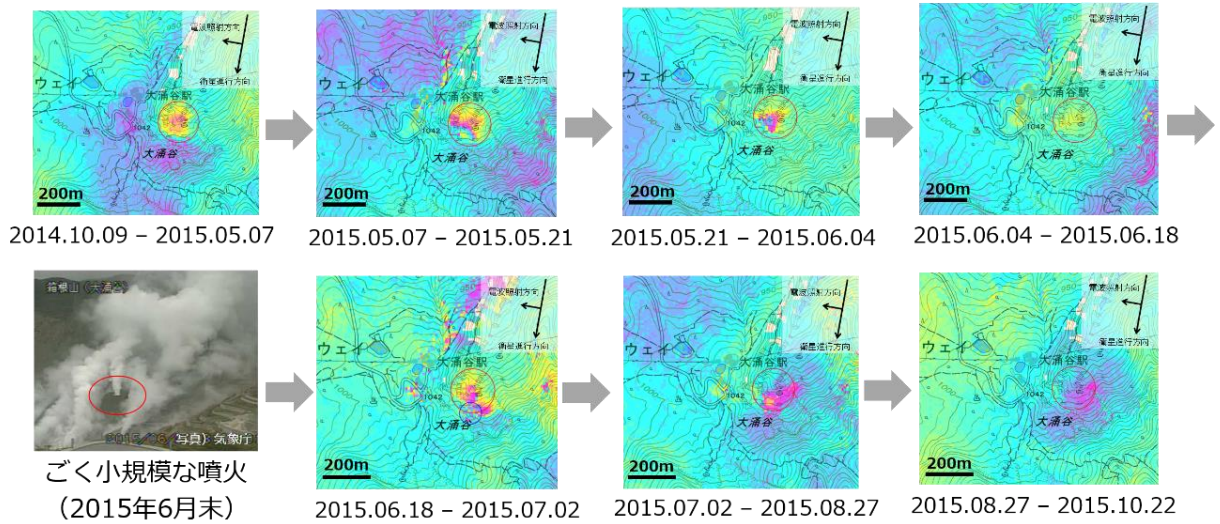


図4. SAR 干渉解析で捉えた大涌谷周辺の地殻変動 (国土地理院[課題番号 6008])

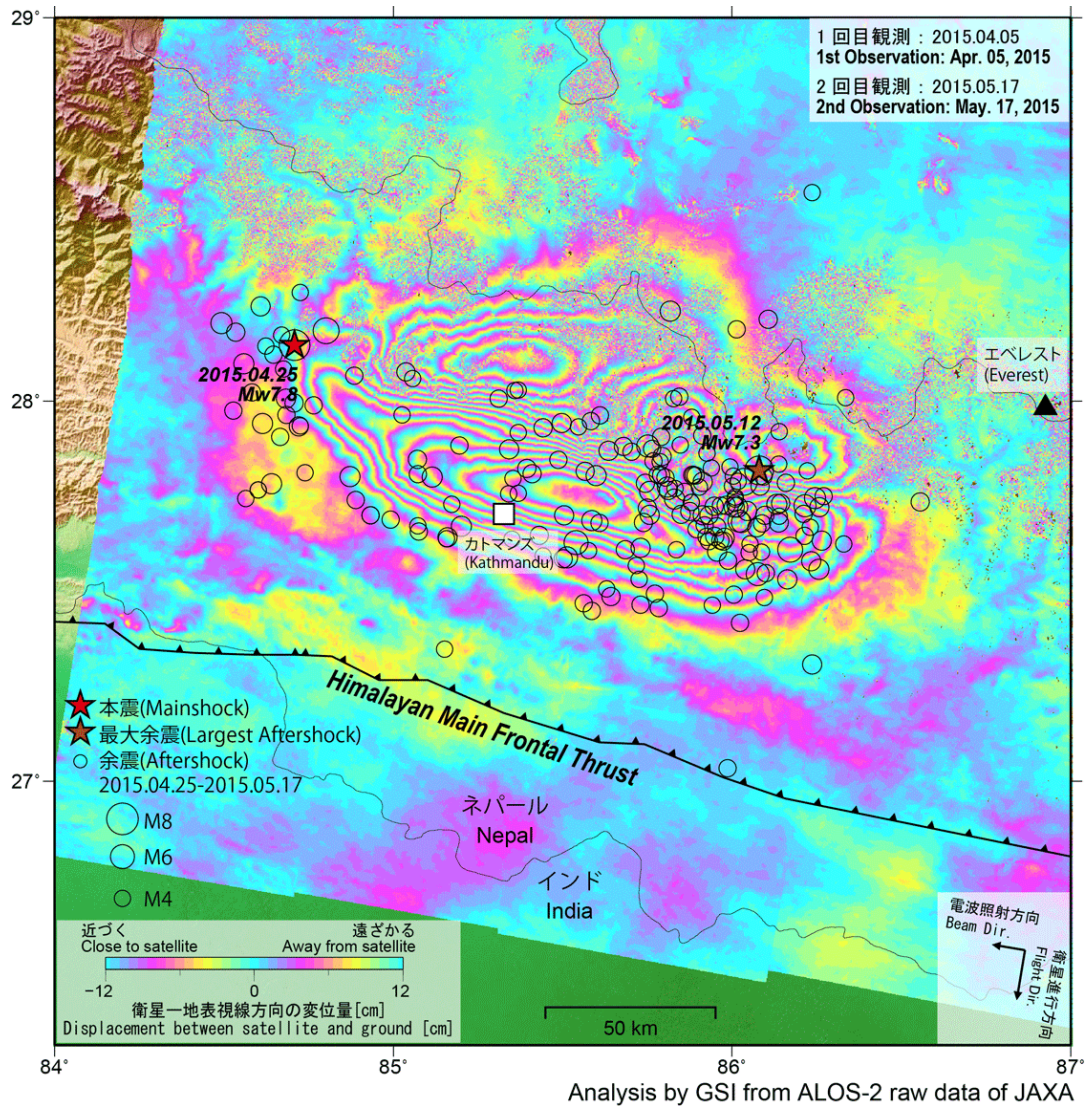


図5. SAR 干渉解析で捉えたネパールの地震に伴う地殻変動。 (国土地理院[課題番号 6013])

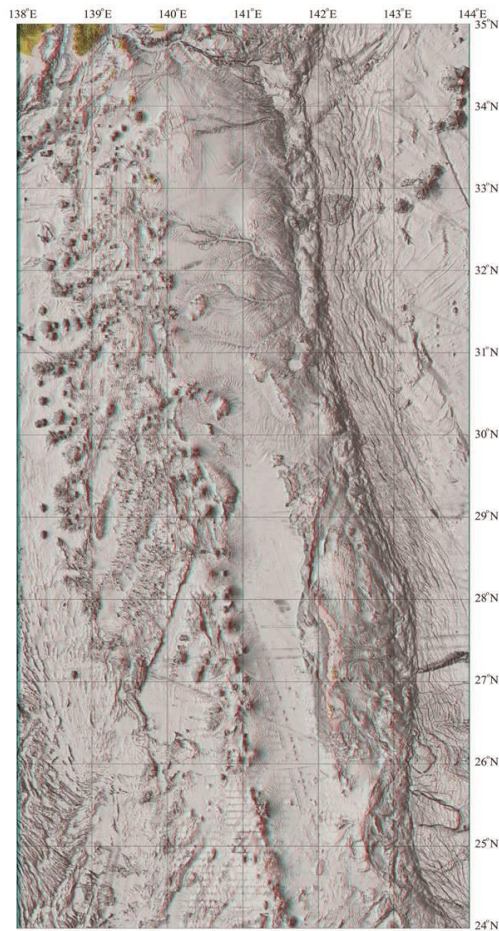


図 6. 伊豆小笠原海溝周辺の海底地形のアナグリフ表現 (海上保安庁[課題番号 8006])

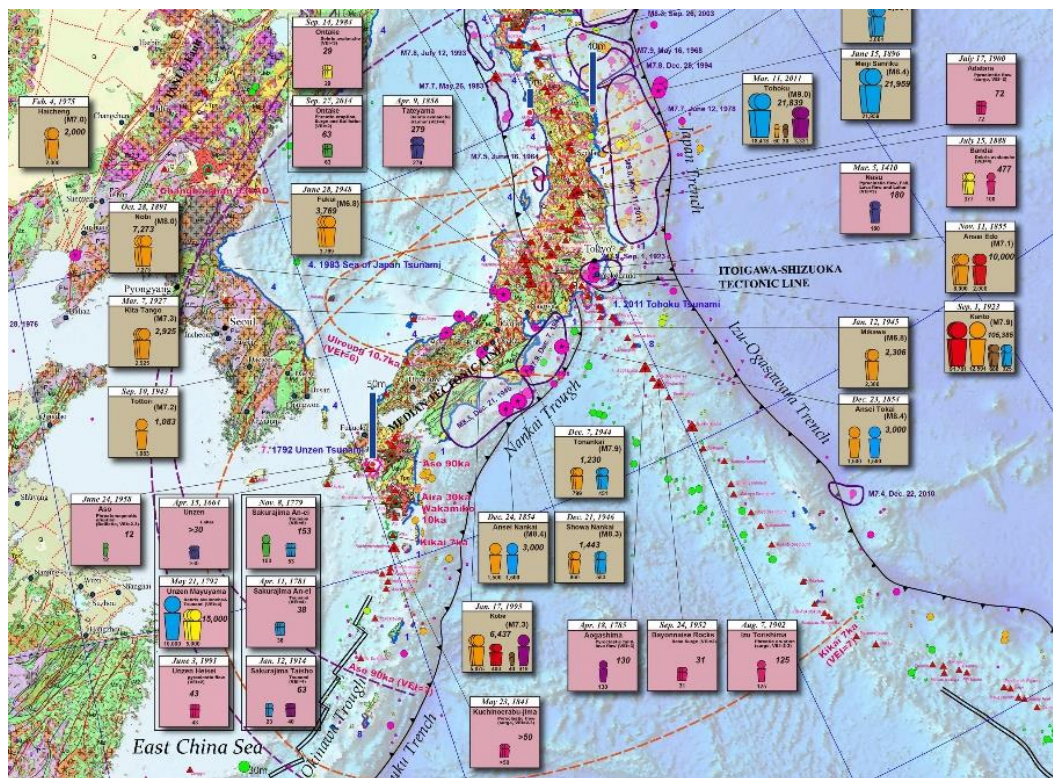


図 7. 東アジア地域地震火山災害情報図 日本周辺地域 (産業技術総合研究所[課題番号 5009])



図 8. 研究成果共有サーバのトップページ（東京大地震研究所[課題番号 1519]）

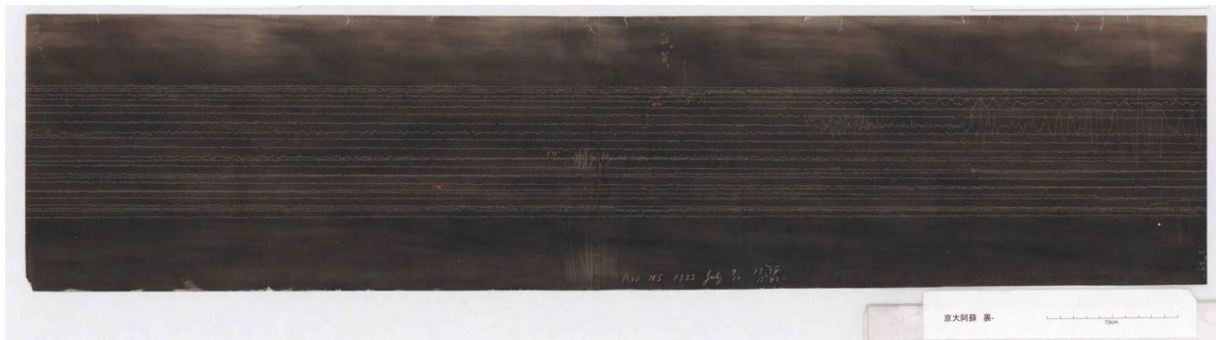


図 9. ウィーヘルト地震計による 1933 年 7 月 9 日の記録。遠地地震と火山性微動（南北動）が捉えられている。（京都大学防災研究所[課題番号 1915]）

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」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・行方不明者は1万8千人を超え、震災から5年以上が経過した2016年6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が実施されている。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にする。

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、災害誘因の研究の推進に力を入れている。今回の地震はM9.0と特に巨大であったため、その災害誘因（ハザード）も、近代日本が経験したことのない規模となり、今後の災害軽減を考えるうえで、極めて重要と事例となる。

この地震の災害誘因としての、地震動や津波の特徴については、すでに数多くの研究がなされてきたが、本計画ではさらに災害誘因としての地滑りについても研究を進めている。この地震によって、非常に高速で流動的な崩壊が福島南部から栃木の北部で合計10か所程度発生した。このような崩壊の性質を調べるために1949年今市地震による降下火砕物の崩壊性地滑り等を詳細に調べた結果、特定の土層の自然含水量が多いために高速長距離地滑りを起こしやすいこと、このような崩壊性地滑りは、同じ場所でも大地震のたびに繰り返されること（京都大学防災研究所〔課題番号：1912〕、図1）が明らかになった。

大地震発生直後のハザードの推定は、災害軽減に極めて重要であり、様々な機関で開発が進められている。巨大地震の規模や震源断層の広がり、滑り分布及び地震動分布を把握するため、震源情報に頼らない早期の解析から地震波形を使った詳細解析までの様々な段階での解析手法の開発が進められている。

具体的には、まず、規模の推定には、強震度域の広がりや、周期100秒までの様々な帯域での地震波形の最大振幅、100秒以上の長周期地震波のモニタリング等の手法を開発している（気象庁〔課題番号：7009〕）。断層の広がりや滑り分布の推定においては、長周期波形のバックプロジェクション解析や、遠地実体波を用いた準自動的震源解析解析ができるようになった（気象庁〔課題番号：7009〕）。また、1HzのGNSSデータを用いた規模とメカニズム解及び断層面形状の推定の技術開発が進められている（気象庁〔課題番号：7009〕、国土地理院〔課題番号：6004〕、東北大学〔課題番号：1209〕）。

一方、津波の予測の信頼度を向上させるために、沖合の津波観測データから、海岸における津波波形を高精度で予測する手法の開発も進められている（気象庁〔課題番号：7011〕、東北大学〔課題番号：

1209])。本年度は、海底変動の時間発展を考慮することにより、東北地方太平洋沖地震時の岩手県海溝近くが遅れて変位して三陸海岸に高い津波をもたらした (Satake et al., 2013) ことを再現するモデルが構築され、これまでより高信頼度の津波波高予測ができる可能性が見えてきた (気象庁 [課題番号: 7011])。さらに、これらの緊急地震速報や津波警報の高度化のみならず、長周期地震情報、噴火警報や降灰予報等の高度化も進められている (気象庁 [課題番号: 7012])。

本計画では、災害誘因までは研究対象としているが、災害素因については、基本的に対象としない。ただし、災害誘因の研究を有効に社会に生かすためには、脆弱性についての知見は重要である。このような観点からいくつかの研究も行われている。前述の地震に伴う地滑りは、災害誘因でもあり、自然の中に潜む脆弱性でもある。社会の脆弱性の研究の一環として、東北地方の太平洋沿岸の都市化について詳細な調査が行われた。その結果、農地や未利用地が次第に都市的土地利用へと変化し、特に1960年のチリ地震以降、大きな津波が無かったこともあって土地利用の変化が進み、脆弱性と曝露性が増加したことが被害を大きくしたことが指摘された (名古屋大学 [課題番号: 1704])。

2. 地震・火山噴火の予測

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 (Hirose et al., 2011)。この現象の一つの解釈としては、大振幅の地震波動によってマグマや深部高压水が強制的に振動させられたために、地震が起りやすくなったということが考えられる。特に東北地方の脊梁の火山周辺では、本震後に沈降が見られたり (Takada and Fukushima, 2013)、地震波速度の低下が見られたりしており (Brenquier et al., 2014)、東北地方太平洋沖地震の発生により、火山活動が活発化する可能性も考えられる。2004年スマトラ地震の後には火山活動が活発化しており (Walter and Amelung, 2007)、同様の火山噴火の発生の可能性を見極めることは極めて重要である。

蔵王山では、2012年頃から深部低周波地震が活発化し、2013年には浅部長周期地震が発生し始めるなど、火山活動がこのところ活発化している。火山体地震波速度構造及び熱水分布の推定といった火山活動の理解に必要な基礎データ取得を目的として、全国の大学と合同で人工地震構造探査を本年度実施した。初期解析の結果から、蔵王山中央部において基盤層の深さが数百m程度であること、火口湖御釜から噴気活動域にかけての領域直下に高減衰域が存在することなどが判明した (東北大学 [課題番号: 1202])。

一方、蔵王山周辺に臨時GNSS観測点を設置し、周辺のGEONET観測点とあわせて解析した結果、2015年1月から5月までの地殻変動において、御釜北東を中心とする放射状の水平変動及び隆起傾向が見られた。球状圧力源を仮定すると深さ約5km、体積変化量は約 $3 \times 10^6 \text{m}^3$ と推定された。この山体膨張傾向が見られた期間内の2015年4月13日から6月16日までの間、火山性地震が多発したため噴火警報 (火口周辺危険) が発表された。なお、同年6月以降のデータでは上記の膨張傾向は見られなかった (東北大学 [課題番号: 1202])。2014年6月及び10月に実施した繰り返し全磁力観測で得られたデータを用いて単双極子モデルを推定した結果、消磁源が振り子沢付近の深さ約1km付近に求められた。2014年度に引き続き2015年度も蔵王山周辺でハイブリッド重力観測を実施した結果、2014年度とはセンスの異なる観測結果が得られたが、広域の重力場がこの間に変化しているため、今後慎重な解析が必要である。1960年代活動時に温泉湧出が見られた領域 (濁川と振り子沢の合流地点近傍) において、2015年夏頃から温泉の再湧出が始まったことが明らかになった。温度も溶存物質濃度も1960年代に比べるとまだ低いが、丸山沢噴気地熱地帯でも噴気量が全体的に増えつつあるように見えるため、今後、継続的なモニタリングが重要である (東北大学 [課題番号: 1202])。

大地震の前に地下水中や大気中のラドン濃度が増加するという報告が古くからある。ラドンは半減期が短いため、地下水中の場合にはごく近傍の地下から放出されたものを見ていることになるが、大

気であれば遠くから流入してくるので、広い地域のモニタリングに使える可能性がある。広域な大気中ラドン濃度変動を把握することを目的として、大学及び研究機関の放射線管理施設のモニタリングネットワークが構築されて、ラドンガスと地殻活動との関係が調べられている。地殻活動に関連する大気中ラドン濃度の異常変動を抽出するためには、その正常なパターンを理解し、気象要素との関連を明らかにする必要がある。このような観点から様々な解析が行われた。一方、異常値を検知するためにはデータの統計的性質や気象要素との関係が既知であることが必要であるが、そのような知見なしに異常値を検出できる手法として、部分空間法 (Ide and Inoue, 2005) を採用し、これとこれまでの検知方法との比較を行った。この手法は異常値検出に有効だけでなく、データの背後にあるシステムの推定にも有効であることから、今後、異常値の発生原因の推定にも役立つと期待される (東北大学 [課題番号: 1207])。

3. 地震・火山現象の理解

(プレート境界)

北海道～関東地方の沖合のプレート境界断層の広い範囲で、周期的なゆっくり滑りが発生していることを相似地震及び地殻変動データから発見した (図 2)。このゆっくり滑りは、地域によって異なり、1～6年の発生間隔を持つ場所が多かった。また、その発生に同期してその地域での M5 以上の規模の大きな地震の活動が活発化しており、東北地方太平洋沖地震が発生した時期にも、三陸沖ではゆっくり滑りが発生していた。周期的なゆっくり滑りが発生しているときに大地震が起こりやすくなる傾向を活用すれば、それを地震・地殻変動観測で検知することによって、大地震発生時期の予測の高度化に貢献できる可能性がある (東京大学地震研究所 [課題番号: 1510] , Uchida et al., 2016) 。

東北地方太平洋沖の領域において、超低周波地震が発生していることがこれまでの研究によって明らかになっている (Matsuzawa et al., 2015)。本年度はさらに 2014～2015 年について解析を行った。東北地方太平洋沖の超低周波地震活動は大きく分けて 3 つのクラスター状の領域で発生している。東北地方太平洋沖地震後、大滑り域における活動は引き続き検出されておらず、静穏化が継続している状況と見られる。一方で、福島・茨城沖や岩手沖では、超低周波地震の活動度は全体として徐々に減少しているものの、活動が活発化する時期と比較的低調な時期が見られる。東北地方太平洋沖地震後は、この活発化が顕著に見られるようになっている。前述の地殻変動や相似地震の研究結果と同様に、このような超低周波地震の活動もゆっくり滑りの発生を示している可能性がある (防災科学技術研究所 [課題番号: 3002]) 。

東北沖の地震の特徴的発生様式を支配している繰り返し地震について、地震波エネルギーを推定し、その時空間的な変動を定量化して、これまで議論されていなかった地震の発生間隔と地震波エネルギーの関係について精査したところ、発生間隔と地震波エネルギーには弱い正の相関が存在することがわかった。これは時刻の対数関数として断層の強度が回復するというモデルと調和的であり、地震の階層性が時間と共に回復していく様子をエネルギーを基準にして観察できる可能性を示している (東京大学理学系研究科 [課題番号: 1402]) 。

Brownian Passage Time (BPT) 分布更新過程から拡張した時空間更新過程モデル (Nomura et al., 2014) を用いて、2011 年東北地方太平洋沖地震までに観測された相似地震カタログからプレート境界上の準静的滑りの時空間的变化を推定した結果、東北太平洋沖では短期的な滑り加速が度々発生しており、本震マグニチュードに比べて余効滑りの規模が大きい場合や、マグニチュード 6 以上の地震を伴わない群発的活動時に滑り加速が見られる場合があるなど、場所による発生パターンの違いが見えつつあり、摩擦特性の時空間変化の解明に役立つと期待される (東京大学地震研究所 [課題番号:

1510])。

日本海溝沿いに発生する相似地震について、繰り返し回数が少ないときの発生確率予測の精度検証のため、2008年の確率予測実験で使用した地震カタログを使い、4つの統計モデル(BPT分布モデル、ベイズ統計対数正規分布モデル、小標本論対数正規分布モデル及び指数分布モデル)で発生確率を計算し、観測結果から求めた平均対数尤度の成績を異なる統計モデルや繰り返し回数で比較した結果、BPT分布モデルの成績は他のモデルより劣ることがわかった(東京大学地震研究所[課題番号:1510])。

海底下の地震活動と地震波速度構造の推定には、陸の観測だけでは限界があるため、東北地方太平洋沖地震の震源域において海底地震観測が行われ、高精度の震源分布と地震波速度構造の推定が行われた(東京大学地震研究所[課題番号:1503]、気象庁[課題番号:7002])。

日本海溝陸側斜面下では、北緯39度付近を境にして微小地震活動が急変することが、東北地方太平洋沖地震が発生する前は知られていて、微小地震活動が活発な領域ではプレート境界からの地震波反射強度が弱く、非活発な領域では反射強度が強いという結果が得られていた(Fujie et al., 2002, Mochizuki et al., 2005)。東北地方太平洋沖地震の発生を受けて、以前の構造探査実験と同一地点に海底地震計を設置し、同一測線においてエアガン発震を行った。これまでの解析の結果、東北地方太平洋沖地震前後において観測走時に差が無いことから、速度構造に大きな変化はないと推定されるが、プレート境界からの反射波の振幅が変化しており、プレート境界の特性変化が示唆される結果となった(東京大学地震研究所[課題番号:1503])。

これらのプレート境界の滑りを理解するためには、広域の地殻の動きを把握する必要がある。このような目的のもと、GNSS観測(国土地理院[課題番号:6005, 6008])、海上保安庁[課題番号:8004])とその改良(国土地理院[課題番号:6012])、測量・潮位観測(国土地理院[課題番号:6006])、合成開口レーダー(SAR)(国土地理院[課題番号:6008])、VLBI(国土地理院[課題番号:6008])、人工衛星レーザー測距(SLR)観測(海上保安庁[課題番号:8002])、海底地殻変動観測(海上保安庁[課題番号:8001])等が行われている。

東北地方太平洋沖地震発生後の平成23年3月から平成27年8月までの観測から得られた、電子基準点「福江」に対する累積変位量を、国土地理院のGNSS観測結果(F3解)とともに図3に示す。東北地方太平洋沖地震により、24m 東南東へ移動した「宮城沖1」海底基準点で、地震後に62cm 西北西に移動しているのをはじめとして、東北地方太平洋沖地震の主破壊域周辺では陸域のGEONETの観測結果とは整合しない複雑な変動を示しており、後述のとおり余効変動において粘性緩和が重大な寄与をなしていることがわかる。一方で、「福島沖」や「銚子沖」など震源域南部の海底基準点は、陸域と同様に東南東に向かって移動している(海上保安庁[課題番号:8001])。

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、2013年の先行観測に引き続き、2014年から2015年にかけて海溝軸を跨ぐ形での210日間の2回目の海底間音響測距観測を行い、先行研究の結果と比較した結果、先行観測と同様に、プレート収束速度に見合うような海溝軸を挟んでの明瞭な短縮は見られなかった(図4; 東北大学[課題番号:1210])。このことは、少なくとも海溝軸近傍では、この時期には余効滑りは生じておらず、プレート境界の固着が回復していることを示唆する。

日本海溝に沈み込む太平洋プレート表層部の想定試料を粉碎したガウジ試料を使用して、IODP日本海溝緊急掘削により掘削されたプレート境界断層浅部の圧力・温度条件において、静水圧の間隙圧を仮定して三軸摩擦実験を行った。その結果、日本海溝に太平洋プレートが沈み込む場合、摩擦強度の最も小さい遠洋性粘土層にプレート境界断層が形成されやすいが地震発生に至るような断層運動は起こらないと考えられるのに対して、チャート層や玄武岩層中に形成されたプレート境界断層は強度が大きく、浅部でも地震発生に至るような断層運動が起こる可能性があることがわかった(東京大学地震

研究所〔課題番号：1503〕）。

東北地方太平洋沖地震断層掘削で得られた断層物質の超低速摩擦実験の結果、プレート運動(年間8.5cm)という超低速において、不安定滑りを起こしていることが測定された。これは、この場所でゆっくり滑りが発生するというを示している。これまでに同試料を用いた別の室内実験により東北地方太平洋沖地震時の高速滑りが再現されていた(Ujiie et al., 2013)が、同じ場所でゆっくり滑りを起こしうることが明らかになったことは、東北地方太平洋沖地震発生直前にゆっくり滑りが発生した場所が地震時にも大きく滑った(Ito et al., 2012)ことを説明する重要な成果である(海洋研究開発機構〔課題番号：4001〕, Ikari et al., 2015)。

房総半島において、過去に活動したOut-of-Sequence Thrust (OST)を初めて確認した。断層ガウジに摩擦熔融組織が確認され、2011年東北地方太平洋沖地震時のような、海底表層付近まで地震破壊が伝播していたことを明らかにした(海洋研究開発機構〔課題番号：4001〕)。

沈み込みプレート境界に存在するスメクタイトを用いた実験結果により、日本海溝ではスメクタイトが40%以上の遠洋性堆積物が沈み込むため、低速でも摩擦強度が小さく地震時に大きな応力降下をもたらさないのに対し、スメクタイトが比較的少ない(<40%)半遠洋性堆積物が沈み込む南海トラフでは、大きな応力降下が発生する可能性が示唆された。また、スメクタイトに富むデコルマ帯の摩擦特性が深度によって顕著に変化している可能性があることも明らかになった(東京大学地震研究所〔課題番号：1503〕)。

東北地方太平洋沖地震の前の地震について、津波堆積物調査や古文書調査を継続してきた。2011年の一つ前のイベントとしては、1454年の享徳地震である可能性が高いと考えられる(行谷・矢田, 2014)。仙台平野などでは1454年享徳地震と考えられる津波堆積物が見つかり、Sawai et al. (2012)が貞観地震を説明するために提案したモデル(Mw8.4)で、享徳地震の津波堆積物の分布も説明できることがわかった(産業技術総合研究所〔課題番号：5004〕, Sawai et al., 2015)。

震源域に存在する沈み込む海山の影響で海溝近傍での大きな地震滑りをもたらした可能性が、動的破壊シミュレーションから示唆されている(Duan, 2012, Fukuyama and Hok, 2015)。そこで、こういった沈み込むプレート境界の起伏の影響が地震サイクルにどのように影響するのかを検証するために、円形速度弱化領域(アスペリティ)内に2種類の形状(球・台形モデル)で海山を模した地震サイクルシミュレーションを行った(Ohtani, 2015)。フラットのモデルでは法線応力変化は少ないが、海山を模したモデルでは凸部のエッジ部に大きな法線応力変化が現れる。アスペリティ内で地震滑りが発生すると滑り域深部を除き法線応力が上昇するが、地震間ではアスペリティは固着し法線応力は逆に浅部で下がり深部で上昇する。フラットなモデルでははっきりとこのパターンが現れるが、海山を模したモデルでは凸部のまわりでやや複雑で、凸部内の浅部と深部では地震サイクルを通じて法線応力が逆のセンスで変動する。地震発生により凸部内浅部では法線応力が上がり、深部では下がるが、地震間では逆になる。法線応力が下がると摩擦が下がり弱部となり破壊し易くなるが、上がると強部となり破壊のバリア部となる。全てのモデルで法線応力の低下した部分で非地震性滑りが発生し、地震滑りに発展する。凸部を置いたモデルのほうが法線応力低下が顕著とり、強度が下がり破壊しやすくなり、その結果繰り返し間隔が短くなる。海山のような凸部があると破壊のバリアになるという考えがあるが、上記のように凸部内部の浅部と深部で法線応力が逆の振る舞いを示し、単純ではない。このように、海山のような幾何学的形状だけでは必ずしもバリアにならず、海山がバリアになりうるならば、凸部が沈み込むことによる圧縮変形、及び海山による浮力や間隙流体圧の減少といった要因を考える必要があることがわかった(京都大学理学研究科〔課題番号：1801〕)。

ゆっくり滑りや小繰り返し地震、及び地震活動には卓越した活動周期が存在すると報告されている。

地球・海洋潮汐などの周期的外力が単独の繰り返し間隔を持つアスペリティの破壊に及ぼす影響について調べるため、1自由度のバネ・スライダーからなる固着滑り振動子への周期的外力の応答を調べた。その結果、滑りの繰り返し間隔 T_0 （自然周期）となる系に周期 T_e となる外力を加えたときの系の繰り返し間隔を T_c とすると、 $T_c:T_e$ が $m:n$ （ m, n は互いに素の整数）となるように系の周期がシフトして同期する現象（ $m:n$ 同期現象）が生じることがわかった。このことから、地球・海洋潮汐が引き起こす応力レベルでも、数 $10\sim 100\text{kPa}$ 程度の応力変化を伴うゆっくり滑りでは同期現象が生じる可能性があることがわかった（京都大学理学研究科〔課題番号：1801〕）。

（内陸）

平成27年10月～11月（一部は7月から）に新潟県佐渡市から阿賀町におけるGNSS繰り返し観測を実施した。新潟県周辺では、東北地方太平洋沖地震の余効変動により東西方向の伸張が卓越していたが、時間と共に伸張は小さくなってきており、2014年10月から2015年10月の1年間では、一部の場所において北西－南東方向の短縮が卓越し、面積ひずみでは短縮になっている場所もあることがわかった（国土地理院〔課題番号：6001〕）。

東北地方太平洋沖地震の余効変動を明らかにするために、2013年から毎年東北全域及び北海道の太平洋岸の約60点でハイブリッド重力観測を実施している。2014～2015年の観測により、測定精度10マイクロガルを越える重力減少が、牡鹿半島先端で認められる。ただし、2014～2015年の1年間で減少域は大きく縮小し、それを埋めるように重力増加域が徐々に進出しつつある。増加傾向は、関東地方の絶対重力観測点（筑波山、東京）でも見られている。実際、2011年4月以降2014年5月までの3年間、8～20マイクロガルの有意な重力減少が続いていたのが、2015年5月には変化が下げ止まり乃至増加に転じつつある。これらは、粘弾性効果が徐々に顕著になりつつあることを示していると考えられる（東北大学〔課題番号：1203〕）。

東北地方太平洋沖地震発生直後9時間のGNSSデータのキネマティック精密単独測位を行って本震直後のひずみの時空間分布を調べた（平田，2015）。得られた座標値時系列について主成分分析を行った結果、第1，3，4成分が余効変動を反映していると判断された。岩手県太平洋側の大きな伸張ひずみは本震直後の余効滑りの影響と考えられるが、それ以外にも脊梁山地沿いや日本海側にも伸張ひずみが局在しており、Nakajima et al. (2001)による深さ10 kmのP波低速度域との対応が見られる。さらに余効滑りの影響が支配的と考えられる第1成分を除き、第3，4成分のみで計算した面積ひずみ分布を求めたところ、Ozawa and Fujita (2013)が見出した火山周辺域における地震時に局所的な沈降域の極大域と本研究で求めた短波長の膨張ひずみ分布が相補的な位置関係にあることが明らかとなった（東北大学〔課題番号：1203〕）。

岩手・秋田の両県南部と山形・宮城の両県全域における長周期MT観測により、最上部マントルから下部地殻の大局的比抵抗構造を明らかにし、さらに下部地殻の低比抵抗異常が顕著な宮城県北部地震、岩手宮城内陸地震付近では詳細な3次元地殻比抵抗構造を推定した。最上部マントルでは奥羽脊梁下に低比抵抗体が南北に縦断していたものが、下部地殻で分岐し月山付近と鳴子・宮城県北部付近に枝分かれする低比抵抗体が見られた。これらは流体の分布を示していると推察され、地殻内応力分布に影響を与えていると考えられる（東北大学〔課題番号：1203〕）。

2011年（平成23年）4月11日に発生した福島県浜通り地震の震源域での稠密地震観測網による2011年7月から2014年6月までに発生した地震の震源再決定を行った結果、約208,000個の高精度な震源が決定された。地震は大小様々なクラスターに分かれて分布し、多くの場合、傾斜角約45度の面状分布を呈する。断層の長さは、最短なものが約500m、一方、最長は約10kmにも及び、桁で変化する。本

震源域の中央部付近では、1枚の薄い断層面が良く発達しているが、北部や南部では、共役構造や折れ曲がり構造が多数見られ、領域によって断層の分布が複雑に変わる。このように、本震源域では小断層と大断層の両者が動くことでひずみを解放していると考えられる(東北大学[課題番号:1203])。

島弧地殻の粘弾性変形を含む流動-変形場の理解は本研究計画における一つの重要な課題である。巨大地震後の粘性緩和による変形場をより正しく理解するため、重力場下にある表層弾性-下層 Maxwell 粘弾性の半無限 2 層平行成層モデル内に沈み込み型のプレート境界を設定し、時刻ゼロにリソスフェア内のプレート境界に一樣な断層滑り(変位の食い違い)を与えることにより巨大地震を表現した。計算には、半解析解の形式で得られている粘弾性の応答関数(Fukahata & Matsu'ura, 2005, 2006)を用いた。地震時変位及び地震後の粘性緩和の累積応答粘性緩和を調べたところ、粘性緩和完了後には、海洋プレートが単純に沈み込むほぼ完全なブロック運動が実現することがわかった。ただし、島弧の変形場は完全にはゼロではないため、沈み込みの経過と共に変形が累積していき、それが島弧-海溝系の大地形を作り出す基となる。ほぼ完全なブロック運動が実現するため、緩和時間の10倍程度の時間が経過すると、内陸では、地震時と地震直後の海溝向きの動きを打ち消すように、水平方向の速度が反転することがわかった。この時期は、粘性緩和による変位とプレート間固着による変位が同じセンスとなるため、両者の分離が重要な課題となる。また、各地点の変位の時間変化は定数項付きの指数関数でよく表すことができるものの、その見かけの緩和時間は場所によって異なり、また水平方向と上下方向でも異なることがわかった。さらに、定数項は長期的にはゼロにならざるを得ないため、特に新たな事象が発生しなくても、簡単な定数項付きの指数関数だけでは長期的な時間変化を表現できないことになる。このことは、地表の変形から将来を予測する際の関数フィッティングに際して注意する必要がある(京都大学防災研究所[課題番号:1905])。

東北地方太平洋沖地震本震滑りの最大域を通る測線近傍の余効変動観測データを説明するようなレオロジーモデルを2次元FEMで構築した。鳴子カルデラ付近に東西幅10km、上端深さ10kmの領域に粘性 3×10^{18} Pas程度の低粘性領域を仮定とすると、この付近で観測されている局所的な沈降を再現できる。低粘性領域の形状は、鳴子周辺の稠密地震観測(Okada et al., 2014)やMT観測(Ogawa et al., 2014)から見られる鳴子火山直下に垂直に存在する速度・比抵抗異常帯の形状とも一致し、鳴子火山の火道に存在するマグマなどの低粘性物質を見ている可能性がある。これらを含むレオロジーモデルで粘弾性緩和による地表変位を計算し、インバージョンにより余効滑りを推定した。本震の滑り域では逆断層の滑りが生じていないことが推定され、一方、その深部延長で0.5m程度の余効滑りが発生していることが示されており、小繰り返し地震による余効滑り分布の推定結果(Uchida and Matsuzawa, 2013)と整合的な結果が得られた。

東北地方太平洋沖地震後の余効変動について、不均質な粘性構造を考慮した有限要素法によるモデル化により再現を試みた。滑り分布は初期の余効滑りも考慮して、図5aに示すように広域に与え、1年後から2年後における面積ひずみの計算を行った(図5b)。火山地帯で地殻深部における粘性係数が小さくなっている領域に対応して、ひずみ異常が生じており、Miura et al. (2014)により観測されているひずみ分布(図5c)をよく説明している(東北大学[課題番号:1203])。

(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。

日本列島及び世界で発生した小・中規模の繰り返し地震(相似地震)活動を用いて、その空間分布・

時間変化の特徴及び、各プレート境界における滑りの特徴を調べた結果、スマトラ、日本、千島列島で発生したプレート境界型巨大地震発生後、その余震発生域では繰り返し地震の再来間隔が短くなっており、余効滑りの発生が示唆された。一方、その影響がない地域・期間では、数年～数十年の再来間隔を持つ繰り返し地震活動が見られた。多くの領域では、プレート間の相対速度と同じかより小さい滑り速度が推定された一方、背弧拡大域では、プレートの沈み込みから想定される速度よりも速い滑り速度が推定された。このように繰り返し地震を広い領域で抽出し、活用することにより、世界各地のプレート間固着状態がモニタリング可能となることが期待される（東京大学地震研究所〔課題番号：1510〕）。

チリ北部の沈み込み帯域における繰り返し地震の解析を実施し、2014年4月に発生した Iquique 地震(M8.1) 発生までの非地震性滑りの時空間発展を推定した結果、本震発生の約270日前から、非地震性滑りが間欠的に増加し始め、その増分も時間とともに大きくなり、本震発生に至ったことが明らかとなった。前震による地震性滑りに加えて非地震性滑りもプレート境界面上で同時に進行することで、本震破壊領域の端で固着が間欠的に緩み、破壊域への応力集中が生じることで本震の発生が促進されたと考えられる（東京大学地震研究所〔課題番号：1510〕）。

ALOS-2 衛星による SAR 干渉解析により、2015年4月25日にネパールで発生した Mw7.8 の地震に伴う地殻変動を検出した。滑り分布モデルの推定の結果、カトマンズの北東20-30kmの領域の直下に、最大6m超の滑りが推定された。また、最大余震の西隣に極端に滑りが欠損している領域が見られることがわかった（国土地理院〔課題番号：6001〕）。

沈み込み帯の地震活動の a 値に関連した定常地震発生率について、これまで考えられていなかったプレートの形状の効果を検討した。定常地震発生率は一次的にはプレートの相対運動速度に依存するが、さらにプレートが大きく屈曲していると地震発生率も大きくなることが判明した。これは沈み込み前後のプレート内部への水の輸送過程と関係していると思われる（東京大学理学系研究科〔課題番号：1402〕, Nishikawa and Ide, 2015）。

日・NZ・米の三カ国の共同研究として、ニュージーランド北島 Gisborne 沖合のヒ克蘭ギ沈み込み帯において、海底地球物理観測を2014年から2015年にかけて実施した。ニュージーランドでは、Gisborne 沖合において約2年の周期でゆっくり滑りが発生していることが知られていたが、本観測期間中の2014年9月から10月にかけて、これまでに観測されている中で2番目に大きい規模のゆっくり滑りが発生し、本海域観測網はこのゆっくり滑りの観測に成功した。暫定的な結果を見ると、ゆっくり滑りの滑り領域はほぼ観測網の海側全域を覆うように発生しており、また一部、北東側に飛んだ場所で滑りが起こっている。この境界部分には、これまでに行われている人工震源地震波構造調査で、海山が沈み込んでいることが明らかとなっており、プレート境界の構造がゆっくり滑りにおけるプレート境界面上の滑り運動に影響を与えている可能性があることがわかった。また海域地震観測から得られた2012年から2013年の期間の地震活動分布と比較すると、本海域下での地震活動はまさしくプレート境界面の凹凸形状にしたがった分布を示していることが明らかとなった。これらの結果と地震波反射断面から推測されるプレート境界面の形状や物性との比較検討を進めることによって、境界面上の滑り運動の物理モデル構築に貢献できると期待される（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。そのような取組が様々な機関で進められている（気象庁〔課題番号：7020〕）。

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り、そのような取組も行われている（気象庁〔課題番号：7014〕、国土地理院〔課題番号：6005, 6006, 6008〕、防災科学技術研究所〔課題番号：3004〕、東京大学地震研究所〔課題番号：1518〕）。特に平成23年度から構築を進めている日本海溝海底地震津波観測網(S-net)が完成すれば、地震や津波の即時予測の迅速化と高度化ができ、さらに日本海溝沿いの地震・津波活動について重要な情報を提供してくれるものと期待される（防災科学技術研究所〔課題番号：3004〕）。

このような観測の一次データだけでなく、ある程度、成熟した研究領域については、一次データを加工して得られた二次データについても共有したほうが研究の進展を促すと期待される。例えば、東北地方太平洋沖地震後の日本列島の挙動の理解にむけた研究を推進するためには、日本列島の基本構造モデルが共有されていることが望ましく、そのような観点からのモデルの構築が進められている（東京大学地震研究所〔課題番号：1505〕）。

4. これまでの課題と今後の展望

（「想定外」を無くすために）

東北地方太平洋沖地震を研究者が事前に予見できなかったために、防災対策の上でいくつもの「想定外」が生まれてしまった。この地震が予見できなかった理由はいくつもあるが、「思い込み」が研究者の中にあっただということが一番の原因であり、その「思い込み」が生まれた背景には、「単純なモデルでもかなりのことが説明できる」ということがあった。

地球科学の世界は複雑であり、単純なモデルで80%のことが説明できれば、基本的にそれをベースにして論理を組み立て、細かい違いが不均質性やパラメータの時間変化で説明可能な場合、そのような「例外」は考慮の対象外としがちである。サイエンスとしてはシンプルなモデルほど美しいが、80%しか説明できないモデルでは、残りの20%は忘れ去られがちで、それが防災対策上の「想定外」を生み出してしまふ。理学者としてシンプルで美しいモデルを探求しつつ、一方で、複雑で美しくないモデルあっても、それが99%の現象を説明できるようなら、それを探求していくことが、災害軽減のために必要であることを忘れてはならない。

例えば、東北地方太平洋沖地震の前に海溝側でゆっくり滑りが発生していて、しかもそこが本震時には大きな地震性滑りを起こしたことが明らかになっている（Ito et al., 2012）。東北地方太平洋沖地震の前までは、ゆっくり滑りの発生域と地震性滑り域は「棲み分け」と考えられていたので、仮に2011年2月の段階で、あの場所でゆっくり滑りが発生したことがただちに検知されていたとしても、そこが大きな地震性滑りをも起こすとは考えられなかったであろう。今回、同じ場所で得られた試料を用いた実験により、この場所では、高速滑りのみならずゆっくり滑りが発生しうることが明らかになった（海洋研究開発機構〔課題番号：4001〕、Ikari et al., 2015）ことは、このような極めて低速な滑りの実験の重要性を示すとともに、思い込みを排して実験で確認することの大切さを示している。

一方、「起こりうる」ことの証明はできても「起こり得ない」ということの証明は容易ではない。また、証明はされていないにもかかわらず「当たり前」と考えられていることについては、それを検証するために莫大な予算と労力がかかる場合、その検証の研究計画を提案することも容易ではない。それでも、「当たり前」と思われていたことが、本当に証明されていることなのか、単なる「思い込み」なのかどうか常に注意し、証明されていない場合には、あくまでも「当面の仮説」として取り扱い、その検証に努力することが必要である。

今後、S-net のデータが入ってくれば、海域下の詳細な震源分布と地震波速度構造が得られ、また圧力計のデータにより、ゆっくり滑りがどこでどのくらいの頻度で発生しているのかが明らかになり、それと地震活動（特に小繰り返し地震の活動）との関係も明らかになると期待される。これまで「思い込み」や「当面の仮説」で済ませてきたものを、一つ一つ検証していくことが重要である。

（今後の超巨大地震災害の軽減のために）

自然科学の研究者がもっとも減災に貢献できる、まず第一のことは、住民や防災関係者がどのような災害誘因（ハザード）に備えるべきかについて、情報を提供することであろう。それが過小評価になれば逆に害悪となりうることに留意しつつ、それでも、それぞれの場所で起こりうる災害誘因をなるべく的確に把握できるように努力することが我々には求められている。そのためには、まず、超巨大地震が起こる可能性のある地域の同定が必要となる。このような同定を行うためには、過去の地震や津波の痕跡を探る研究や全世界の巨大地震の比較研究等が重要となる。これまでもこれらの研究は実施されてきて大きな成果を上げているが、国際協力のもと、さらに進める必要がある。

超巨大地震の起こりうる場所や地震像が特定できたならば、その地震の発生時期の中期・短期予知が次に重要となる。東北地方太平洋沖地震の場合、直前にゆっくり滑りが生じていたことが明らかになり、そこで本震時にも大きな滑りを生じたことが明らかになり、今回、その摩擦特性が確認された。これまでは、大地震の震源域となりうる場所の同定や、大地震をトリガーしうるゆっくり滑りを起こしうる場所の同定が重要であったが、今後は、場合によってはどちらにもなりうるという視点で、危険度の高い場所を同定し、ゆっくり滑りが起こった場合には、それによってトリガーされうる大地震の震源域を見誤らないようにする必要がある。

（東北地方太平洋沖地震の後に控えている災害の軽減のために）

東北地方太平洋沖地震はあまりにも巨大であったため、その影響は広域・長期にわたると予想される。今後起こりうるハザードとしてどのようなものがあり、それがどこでどのくらいの規模で起こりうるのか、研究を進め、社会に説明することが必要である。

地震については、今回の震源域の北と南、及び海溝の外側で、最大余震が発生することが心配されている。すでに震災から5年が経過しているが、未だM8級の余震が発生しておらず、その発生は数十年後になることもありうるという前提のもと、長期的な展望のもとに研究を進める必要がある。特に、北側で大きな余震が生じた場合、それは、北海道の沖合の400-500年間隔で起こっていた超巨大地震の再来につながる危険性もあり、その観点からの検討も進める必要がある。

また、内陸の地震についても活動が活発化しており、それについても研究と社会への発信が必要である。今回の地震の余効変動は北海道から中部地域までの広域に観測されており、それだけ広い範囲で地震活動が変化する可能性があり、それらの活動についての予測研究を推進する必要がある。また、このようなひずみ変化の激しい時期の内陸の活動の変化を調べることにより、内陸での地震発生過程の解明とそれに基づく地震発生予測の研究の推進に役立つと期待される。

過去の超巨大地震の事例では、火山活動が活発になった例は多くある。東北地方太平洋沖地震の後も、吾妻山や蔵王山の活動が活発化し、また、遠く離れた御嶽山や箱根山の活動の活発化についても、東北地方太平洋沖地震との関係が疑われている。どのような火山が東北地方太平洋沖地震の影響を受けて活発化する可能性があるのか、基礎的な研究を進めると同時に、もし、活発化した場合に何が今後起こりうるのか、社会に対して適切に説明をしていくことが必要である。

今回の地震で、東北地方の太平洋沿岸は最大 1m 程度沈降し、その後の余効変動で、本震前のレベルに戻りつつあるものの、本震の数十年前のレベルまでは戻りそうもないというのが現状である。これがいつ、どのように戻るのか、というのは被災地の復興のために重要な情報であり、その見通しを研究者が調べて社会に伝える必要がある。また、三陸海岸は、地質学的には少なくとも北部は隆起で南部も隆起ないしニュートラルと考えられており、もしこのまま戻らないのなら、将来、海岸線を隆起させるイベントが生じることを意味する。それが災害をもたらすような激しいイベントなのか、それともゆっくりとした変形となるのか、それを見極める研究の推進も必要である。

成果リスト

- Aizawa, K., H. Sumino, M. Uyeshima, Y. Yamaya, H. Hase, H. Takahashi, M. Takahashi, K. Kazahaya, M. Ohno, T. Rung-Arunwan, and Y. Ogawa, 2016, Gas pathways and remotely triggered earthquakes beneath Mount Fuji, Japan, *Geology*, doi:10.1130/G37313.1.
- 千木良雅弘, 2015, 近年の地震による急激な地すべりから学ぶもの, *日本地すべり学会誌*, 52, 45-50.
- 土井一生・川崎一朗・釜井俊孝, 2015, 長野県神城断層地震による堀之内地区の斜面変状, *自然災害科学*, 34-1, 7-14.
- Delorey, A. A., K. Chao, K. Obara, and P. A. Johnson, 2015, Cascading elastic perturbation in Japan due to the 2012 Mw 8.6 Indian Ocean earthquake, *Science Advances*, 1, 9, e1500468, doi:10.1126/sciadv.1500468.
- Fukahata, Y. and M. Matsu'ura, 2016, Deformation of island-arc lithosphere due to steady plate subduction, *Geophys. J. Int.*, 204, 825-840, doi:10.1093/gji/ggv482.
- Gou, F., S. Kodaira, T. Sato, T. Takahashi, 2016, Along-trench variations in the seismic structure of the incoming Pacific plate at the outer rise of the northern Japan Trench, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 666-673, doi:10.1002/2015GL067363.
- Hayashi, K., Y. Yasuoka, H. Nagahama, J. Muto, T. Ishikawa, Y. Omori, T. Suzuki, Y. Homma, and T. Mukai, 2015, Normal seasonal variations for atmospheric radon concentration: A sinusoidal model, *J. Environ. Radioact.*, 139, 149-153.
- 平田賢治・山崎明・対馬弘晃, 2015, 新型自己浮上式海底水圧計の開発, *気象研究所技術報告*, 74, 1-21.
- Hoshiya, M., S. Aoki, 2015, Numerical shake prediction for earthquake early warning: data assimilation, real-time shake mapping, and simulation of wave propagation, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 105, 1324-1338, doi:10.1785/0120140280.
- Hu, Y., R. Burgmann, N. Uchida, P. Banerjee, and J. T. Freymueller, 2016, Stress-driven relaxation of heterogeneous upper mantle and time-dependent afterslip following the 2011 Tohoku earthquake, *J. Geophys. Res.*, 121, doi:10.1002/2015JB012508.
- Ichiki, M., Y. Ogawa, T. Kaida, T. Koyama, M. Uyeshima, T. Demachi, S. Hirahara, Y. Honkura, W. Kanda, T. Kono, M. Matsushima, T. Nakayama, S. Suzuki, and H. Toh, 2015, Electrical image of subduction zone beneath northeastern Japan, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, doi:10.1002/2015JB012028.
- Ikari, M. J., Y. Ito, K. Ujiie, and A. J. Kopf, 2015, Spectrum of slip behaviour in Tohoku fault zone samples at plate tectonic slip rates, *Nature Geoscience*, 8, 870-874,

doi:10.1038/ngeo2547

- Kamai, T., and I. Doi, 2015, Observations and seismic response analysis of urban landslide induced by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, in "Engineering Geology for Society and Territory - Vol. 5", ed. by G. Lollino, A. Manconi, F. Guzzetti, M. Culshaw, P. Bobrowsky, and F. Luino, Springer, 805-809.
- Katsumata, A., 2015, Fast hypocenter determination in an inhomogeneous velocity structure using a 3D travel-time table, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 105, 3203-3208, doi: 10.1785/0120150122.
- Kobayashi, T., Y. Morishita, and H. Yarai, 2015, Detailed crustal deformation and fault rupture of the 2015 Gorkha earthquake, Nepal, revealed from ScanSAR-based interferograms of ALOS-2, *Earth Planets Space*, 67, 201, doi:10.1186/s40623-015-0359-z.
- Kobayashi, Y., Y. Yasuoka, Y. Omori, H. Nagahama, T. Sanada, J. Muto, T. Suzuki, Y. Homma, H. Ihara, K. Kubota, and T. Mukai, 2015, Annual variation in the atmospheric radon concentration in Japan, *J. Environ. Radioact.*, 146, 110-118.
- 林為人・斉藤実篤・モリジェームズ・江口暢久・Sean TOCZKO, 2014, 東北地方太平洋沖地震調査掘削 (JFAST) の概要とこれまでの主な成果, *応用地質*, 55, 5, 241-250, doi:10.5110/jjseg.55.241.
- Matsuzawa, T., Y. Asano, and K. Obara, 2015, Very low frequency earthquakes off the Pacific coast of Tohoku, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 4318-4325, doi:10.1002/2015GL063959.
- Mavrommatis, A., P. Segall, N. Uchida, and K. Johnson, 2015, Long-term acceleration of aseismic slip preceding the Mw 9 Tohoku-oki earthquake: Constraints from repeating earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 9717-9725, doi:10.1002/2015GL066069.
- 武藤大介・勝間田明男, 2016, 長周期地震動と地盤構造の関係について, *気象研究所研究報告*, 66, 1-14.
- Nishikawa, T., and S. Ide, 2015, Background seismicity rate at subduction zones linked to slab-bending-related hydration, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 7081-7089, doi:10.1002/2015GL064578.
- 野村俊一, 2015, 活断層で繰り返される地震の点過程モデルとその長期確率予測, *統計数理*, 63, 1, 83-104.
- Oohashi, K., T. Hirose, M. Takahashi, and W. Tanikawa, 2015, Dynamic weakening of smectite-bearing faults at intermediate velocities: Implications for subduction zone earthquakes. *J. Geophys. Res.*, 120, 1572-1586.
- Omori, Y., and H. Nagahama, 2016, Radon as an indicator of nocturnal atmospheric stability: A simplified theoretical approach, *Bound.-Layer Meteor.*, 158, 351-359.
- Sawai, Y., Y. Namegaya, T. Tamura, R. Nakashima, and K. Tanigawa, 2015, Shorter intervals between great earthquakes near Sendai: Scour ponds and a sand layer attributable to A.D. 1454 overwash, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 4795-4800, doi:10.1002/2015GL064167.
- 田中重好・高橋誠・黒田達朗編, 2015, 「連続研究会・新しい防災の考え方を求めて (シリーズ2)」, 名古屋大学大学院環境学研究科, 105pp.
- Tanikawa, W., T. Ishikawa, G. Honda, T. Hirono, and O. Tadai, 2015, Trace element anomaly in fault rock induced by coseismic hydrothermal reactions reproduced in laboratory friction experiments. *Geophys. Res. Lett.*, 42, 3210-3217.
- 溜渕功史・森脇健・上野寛・東田進也, 2016, ベイズ推定を用いた一元化震源のための自動震源推定

手法, 験震時報, 79, 1-13.

Tonegawa, T., Y. Fukao, G. Fujie, S. Takemura, T. Takahashi, and S. Kodaira, 2015, Geographical distribution of shear wave anisotropy within marine sediments in the northwestern Pacific, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 2:27, doi:10.1186/s40645-015-0057-2.

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

Yagi, Y., R. Okuwaki, B. Enescu, and Y. Fukahata, 2015, Unusual low-angle normal fault earthquakes after the 2011 Tohoku-oki megathrust earthquake, *Earth Planets Space*, 67:100, doi:10.1186/s40623-015-0271-6.

Yamagiwa, S., S. Miyazaki, K. Hirahara, and Y. Fukahata, 2015, Afterslip and viscoelastic relaxation following the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw9.0) inferred from inland GPS and seafloor GPS/Acoustic data. *Geophys. Res. Lett.* 42, 66-73, doi:10.1002/2014gl061735.

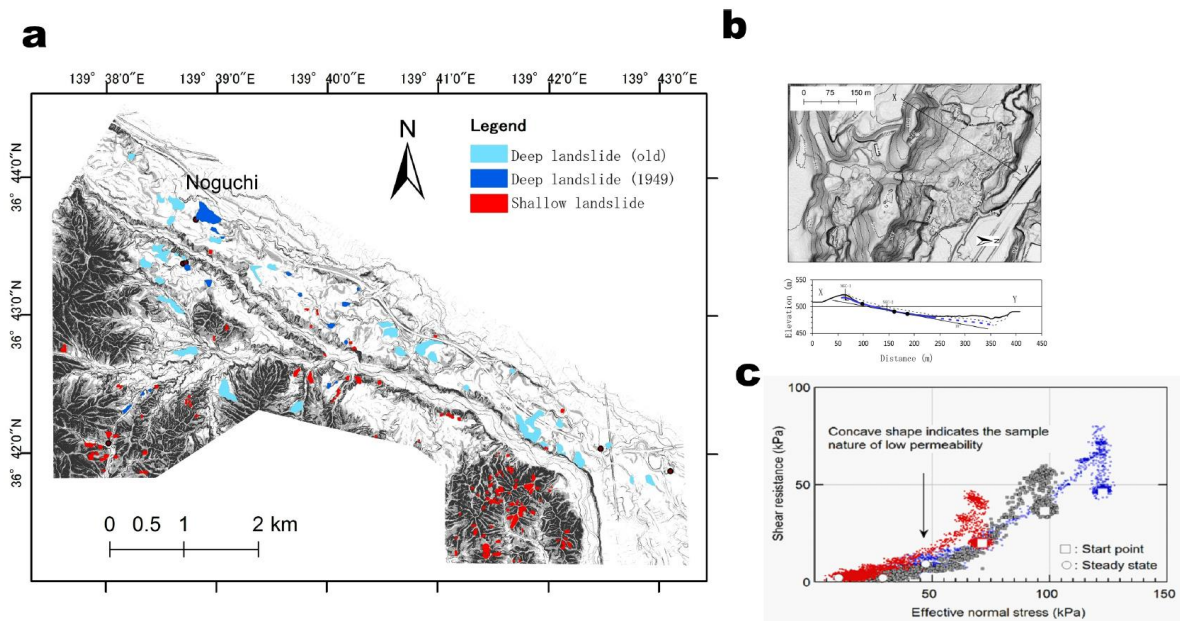


図1. 1949年今市地震による崩壊性地滑りの分布とせん断試験結果(京都大学防災研究所[課題番号: 1912])。

(a) 崩壊性地滑りの分布。(b) 野口の崩壊性地滑りの地形と断面図(青線は滑り面の形成された小川火山礫層)。(c) 今市軽石の飽和非排水せん断試験結果。

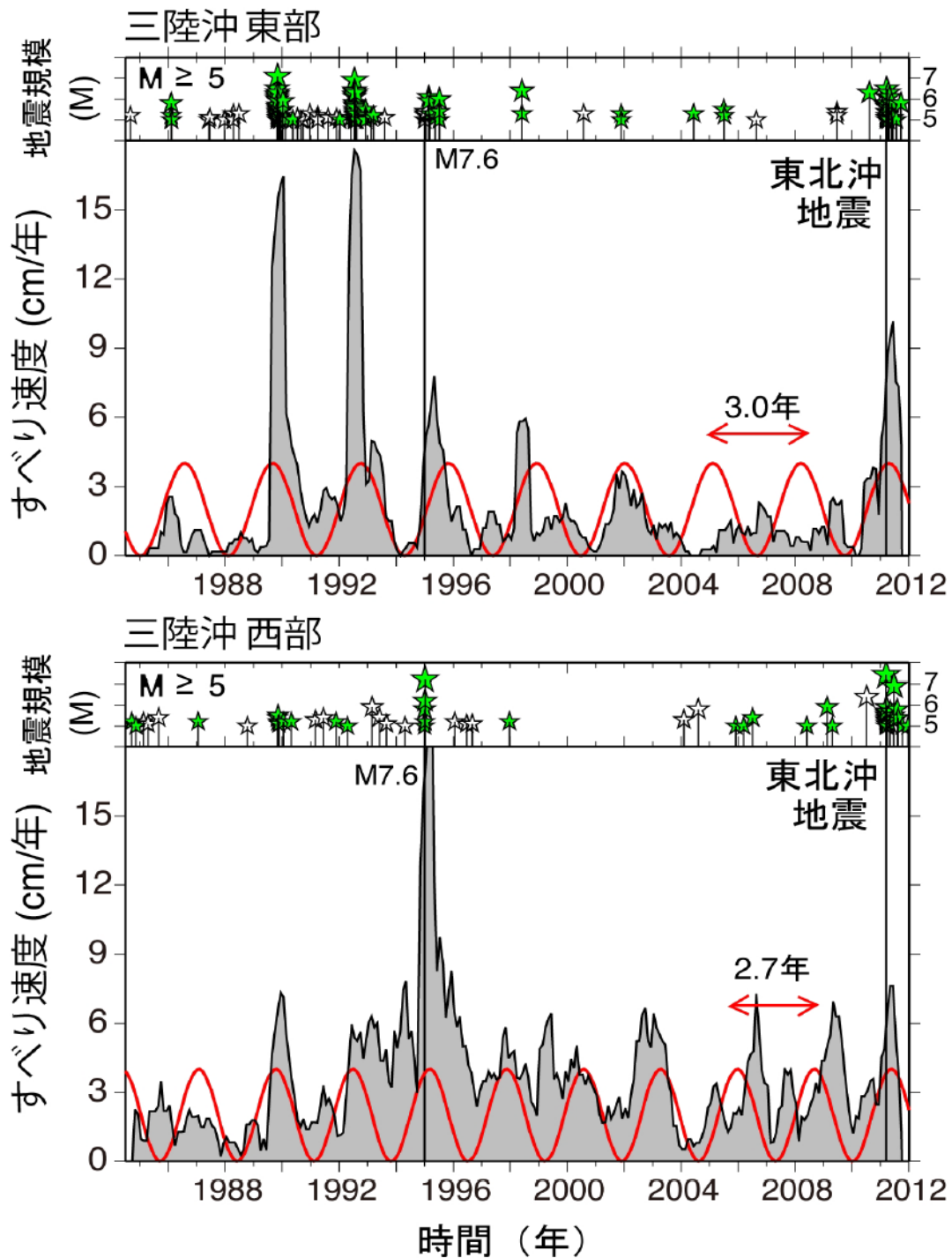
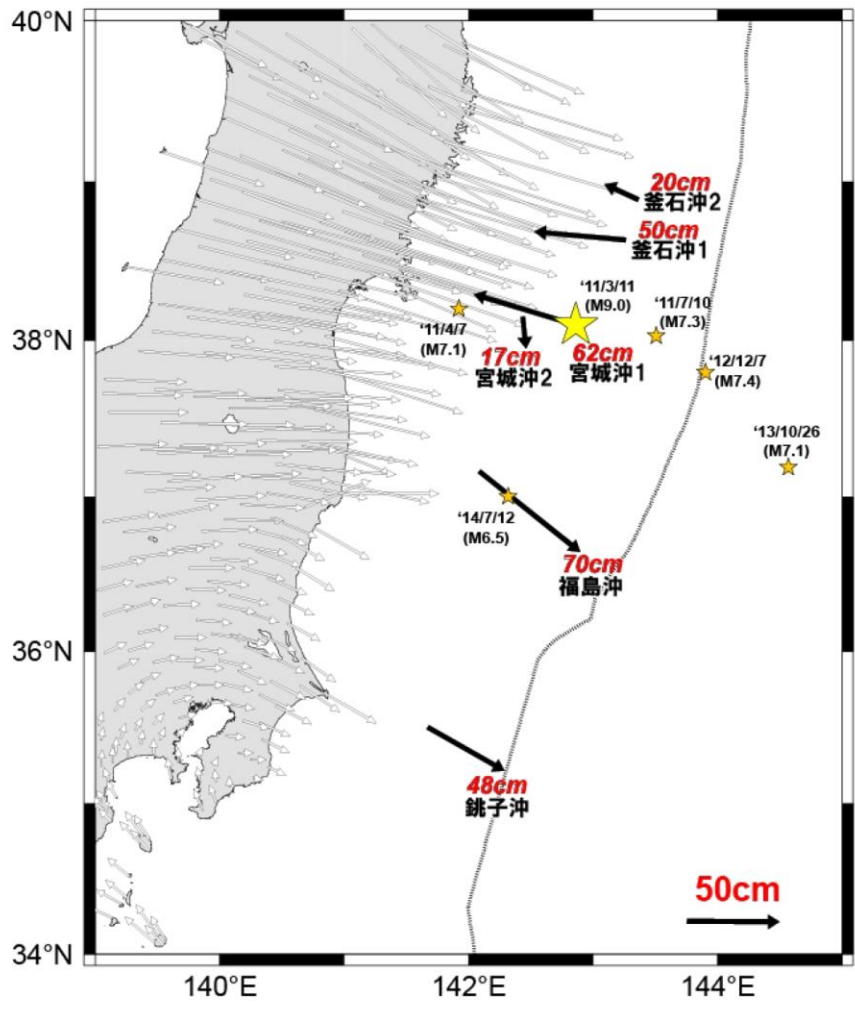


図2. 相似地震データから推定した三陸沖東部(上)及び西部(下)でのプレート境界での滑り速度(ゆっくり滑りの速度) (東京大学地震研究所 [課題番号: 1510] ; Uchida et al., 2016)。赤線は滑り速度に当てはめた周期関数。それぞれの図上部の星は、マグニチュード5以上の地震の活動を示し、緑はそのうち、周期関数の位相が正(滑り速度が速い時期)に発生したものを示す。



観測点	KAMN	KAMS	MYGI	MYGW	FUKU	CHOS	電子基準点
基準エポック	2011/4/3	2011/4/5	2011/3/28	2011/3/27	2011/3/29	2011/4/18	2011/3/29-4/4
比較エポック	2015/8/5	2015/8/4	2015/8/12	2015/8/9	2015/8/3	2015/8/15	2015/8/8-8/14
水平変位量	20cm	50cm	62cm	17cm	70cm	48cm	

図3. 東北地方太平洋沖地震後の累積地殻変動（海上保安庁〔課題番号：8001〕）。東北地方太平洋沖地震発生後の平成23年3月から平成27年8月までの観測から得られた、電子基準点「福江」に対する海底基準点の累積変位量を、国土地理院のGNSS観測結果（F3解）とともに示す。星は、東北地方太平洋沖地震及び海底基準点において1cm以上の変動が推定される余震を示す。

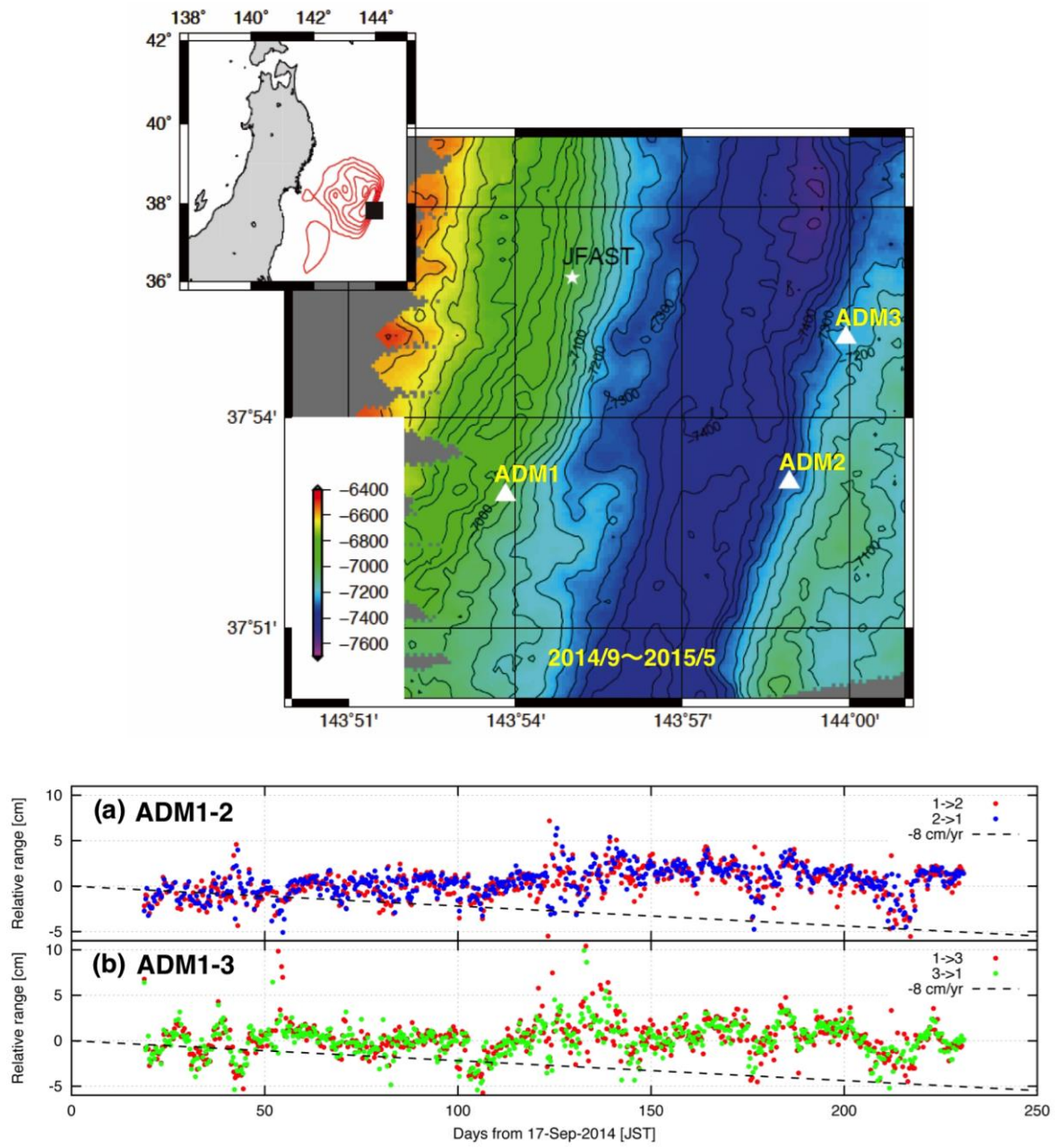


図4. 2014年から2015年にかけて海溝軸を跨いで実施された210日間の海底間音響測距観測（東北大学〔課題番号：1210〕）。

上図：観測点配置図。設置水深7000-7300m。

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

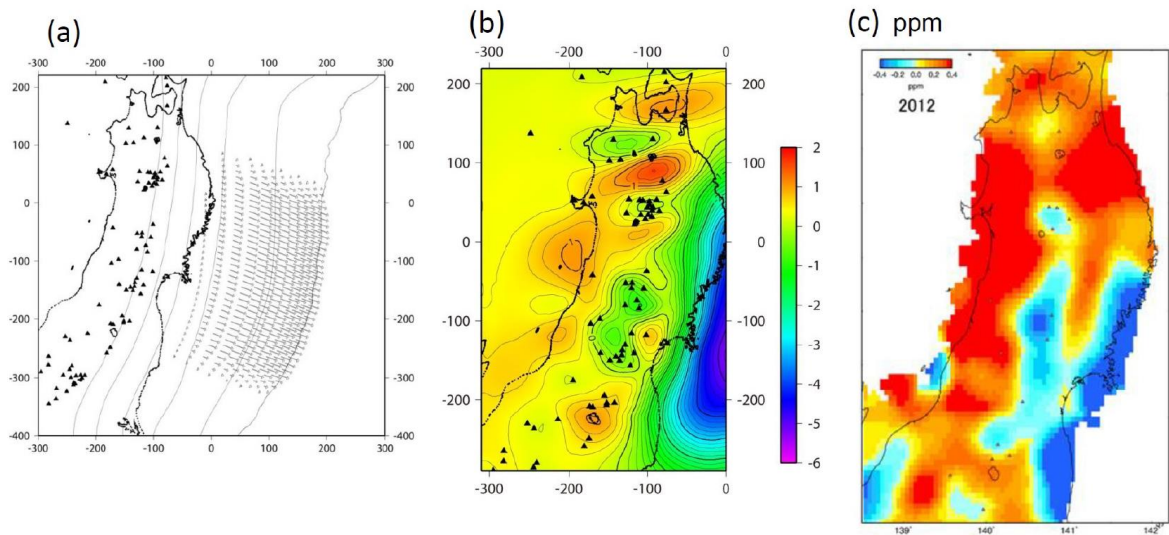


図5. 東北地方太平洋沖地震後の内陸のひずみ異常のモデル化（東北大学 [課題番号：1203]）。

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

2(2) 南海トラフ巨大地震総合研究

「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）

南海トラフ巨大地震総合研究グループは、「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、地震・火山災害部会、史料・考古部会、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巨大地震に関する研究を、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の拠点間での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関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。

南海トラフ巨大地震という課題に対して、本研究グループの取組の最終的な目標は、以下のような問いに答えることであると考え。 (Q1) どんな地震像が想定されるか。発生時期は？地震規模は？ (Q2) 地震災害、津波災害、地盤災害等において、どんな被害が予想されるか。 (Q3) 災害軽減のために、どんな情報を発信できるか。

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」と拠点関連携共同研究の「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」がともに目指す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は、図1のようなものが考えられる。すなわち、研究の流れとしての上流から下流に向かって、「震源」、「地殻構造・波動伝播」、「強震動・津波予測」、「地盤構造・地滑り」、「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」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である。以下では、このようなスキームを念頭において、平成27年度の本研究グループの活動や南海トラフ巨大地震に関する研究成果をまとめる。

1. 研究集会

本研究グループの研究集会を平成27年5月19日に京都大学宇治キャンパスにおいて開催した。「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」から9件の研究課題の成果報告と拠点関連携共同研究「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」から2件の話題提供がなされた。

総合討論では、「強震動予測」から他の研究項目に対する以下のような質問が取り上げられた。(Q1) 時間的に安定した固着域は存在するか。地震時以外に固着し続ける場所は存在するか。過去の地震の強震動生成域は固着し続けているか。(Q2) 固着の強弱を10 km程度の分解能で知ることはできるか。

(Q3) プレート境界面において、とてもよく引っかかっているところが事前にわかるか。これらは、強震動生成域が応力が集中した固着域に対応するという考えに基づき、固着度やプレート境界面の状態から強震動生成域を精度よく推定できるかもしれない、という期待の裏付けを求めた質問である。「震源」やプレート構造の研究課題がある「地殻構造・波動伝播」の研究項目にとっては、このような質問の答えを模索することが、研究の方向性を調整、あるいは立案する際の選択肢になり得る。研究項目間でのこのような質問と回答のキャッチボールをすることにより、上流あるいは下流の研究は何をしているのか、何を欲しているのか、を認識することが重要であるということが研究集会参加者間で共有された。

2. 平成 27 年度の研究成果の概要

平成 27 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、及び研究成果報告からそう判断されるものは、51 課題ある。部会別には、「海溝型地震」が 21 課題、「データベース・データ流通」が 8 課題、「地震動・津波等の事前予測・即時予測」が 7 課題、「地震・火山災害」が 5 課題、「史料・考古」が 4 課題、「地震先行現象・地震活動評価」と「内陸地震」が 3 課題ずつとなる。さらに、主な成果について、図 1 のスキームにおける研究項目で整理すると、「震源」が 19 課題、「地殻構造・波動伝播」が 8 課題、「強震動予測・津波予測」が 3 課題、「地盤構造・地滑り」が 2 課題、「被害予測」が 1 課題、「リスク評価」が 2 課題、「基盤観測・データ流通」が 7 課題、「情報発信」が 4 課題となる。以下に重要と思われる成果を研究項目ごとに報告する。

(1) 震源

ア. プレート境界面の固着状態

海上保安庁〔課題番号：8001〕は、GPS-音響測距結合方式による海底地殻変動観測から、2011年東北地方太平洋沖地震の影響を取り除き、海底基準点のアムールプレートに対する移動速度を推定した(Yokota et al., 2015)。図2を見ると、海底基準点は概ね北西方向に移動していて、フィリピン海プレートの沈み込みや陸域のGEONETの観測結果と整合しているが、「東海沖1」や「足摺沖2」は大きな移動速度を示している一方、「室戸沖2」や「日向灘2」は小さな移動速度となっている。この結果から、東海沖と足摺沖に強い固着域があり、室戸沖の固着は弱いことが示唆される。海底地殻変動観測により固着状態を議論できる範囲がトラフ軸付近まで広がったことは重要である。

東京大学気象海洋研究所〔課題番号：2801〕は、熊野灘から四国海盆に至る一測線に対して、海洋研究開発機構が取得したマルチチャンネル反射法データとIODP南海トラフ地震発生帯掘削計画の深海掘削データとの統合解析を行い、沈み込みに伴う堆積層の間隙率の空間変化を推定した(Park, 2015)。その結果、間隙率は測線方向においてトラフ軸付近で減少することがわかった。これは、トラフ最上部に堆積するタービダイトのLoadingとスラスト断層によるTectonic Loadingにより脱水が進行するためと考えられる。このような間隙率が低下する領域では、デコルマが強い剪断強度をもつ可能性がある。さらに、デコルマの反射極性はNormalとなる。逆に言うと、デコルマの反射極性がNormalな領域は固着が強いといえる。これまでの観測によるトラフ軸方向のデコルマの反射極性の不均質から紀伊半島の東側と西側に固着の強い領域が示唆される。

(2) 地殻構造・波動伝播

ア. プレート境界面の形状

名古屋大学〔課題番号：1703〕は、愛知県下で発生した地震に見られるプレート境界面トラップ波について、琵琶湖周辺を通過する複数の波線を調べた結果、南側の波線ほどトラップ波が観測できる震央距離の範囲が短くなることを見出した。この結果は、沈み込む海洋地殻と陸側の下部地殻が琵琶湖周辺で面的に接触しており、かつ南に向かうほどフィリピン海プレートの西方向への沈み込み角度が高角になることを意味する。

京都大学防災研究所〔課題番号：1904〕は、近畿地方に展開されている定常及び臨時の地震観測点で得られた多数のレシーバ関数を用いて、3次元スタッキングによるS波速度不連続面のイメージングを行った(青木・他, 2016)。図3から大陸モホ面が、京都府中南部下では深さ36 kmにあるが、琵琶湖西岸域では39 km, 東岸域では42 kmと深くなり、南東から沈み込んでくるフィリピン海プレートの海洋モホ面とほぼ同じ深さに

なるのが見て取れる。すなわち、琵琶湖東岸域で陸側の下部地殻と海洋地殻が接することになる。

イ. 震源モデルの不均質性が長周期地震波のDirectivity効果に及ぼす影響

東京大学地震研究所〔課題番号：1516〕は、1707年宝永地震の震源モデルに対して、破壊開始点を日向灘に置く場合と駿河湾に置く場合について長周期地震動を計算し、都心の地震波速度応答スペクトルを比較した。断層破壊速度が一定の場合には、破壊進行方向にコヒーレントな長周期地震波が集まるDirectivity効果により長周期地震動が増幅されるので、破壊開始点が日向灘にあり、断層破壊が関東方向に進行する場合と、破壊開始点が駿河湾にあり、断層破壊が関東から遠ざかる方向に進行する場合とでは、10倍以上の差が生じた。これに対して、現実的な断層破壊伝播を考え、断層破壊速度に標準偏差5%のランダムな速度変化を与えたところ、Directivity効果が弱まり、速度応答レベルの変動が2倍程度にまで狭まることが確認できた（Takemura et al, 2015）。このことは、現実的な地震動評価に向けて、不均質構造を適切にモデル化したシミュレーション手法の高度化が必要であることを示している。

(3) 地盤構造・地滑り

ア. 大阪堆積盆地モデルの検証

尼崎観測点では、近傍で起きたM4程度の地震記録において、直達S波の後、約4秒間隔で水平動に卓越する孤立的な波群が繰り返すという特徴的な後続波が観測されることがある。京都大学防災研究所〔課題番号：1911〕は、3次元大阪堆積盆地地下構造モデルとダブルカップル点震源モデルを用いた差分法による地震動シミュレーションによって、この後続波が地表と堆積層・地震基盤の境界での多重反射S波であることを明らかにした（田中・他, 2015）。この結果は、3次元大阪堆積盆地地下構造モデルが2Hz程度の地震波まで適用可能であることを示している。

(4) 情報発信

ア. 津波即時解析システムの運用

海洋研究開発機構〔課題番号：4002〕は、DONET 水圧計データを用いた津波増幅率による津波即時解析システムを開発し、和歌山県や尾鷲市、中部電力に実装した（高橋・他, 2015）。和歌山県は、当該システムを用いた即時津波予測のための気象業務許可を取得し運用段階に至っている。

これまでの課題と今後の展望

平成27年度初頭に開催した本研究グループの研究集会では、南海トラフ巨大地震の災害軽減に資する研究を図1のようなスキームで考える際、「震源」～「リスク評価」の各研究項目が、それぞれの上流と下流の研究項目でどのような研究がなされていて、どんなアウトプットを必要としているかを認識することの重要性が共有された。例として紹介した「強震動予測」から投げかけられたプレート境界面の固着状態に関する質問に対して、海上保安庁〔課題番号：8001〕や東京大学大気海洋研究所〔課題番号：2801〕による研究成果は、回答を投げ返したものと考えることができる。

今後は、拠点間連携共同研究との連携もいっそう密にして、図1のスキームの実践を試みたい。そのためには、研究項目間での質問と回答のキャッチボールによりコミュニケーションを深め、より適切なアウトプットを模索する必要がある。

成果リスト

- Yokota Y., T. Ishikawa, M. Sato, S. Watanabe, H. Saito, N. Ujihara, Y. Matsumoto, S. Toyama, M. Fujita, T. Yabuki, M. Mochizuki, and A. Asada, 2015, Heterogeneous interplate coupling along the Nankai Trough, Japan, detected by GPS-acoustic seafloor geodetic observation, *Progress in Earth and Planetary Science*, 2, doi:10.1186/s40645-015-0040-y.
- Park J., 2015, 3D Porosity Estimation of the Nankai Trough Sediments from Core-log-seismic Integration, AGU 2016 Fall Meeting, T51A-2856, San Francisco.
- 青木将・飯尾能久・片尾浩・澁谷拓郎・三浦勉・米田格・澤田麻沙代, 2016, 稠密地震観測網のデータを用いた下部地殻及び最上部マントルのイメージング, 平成27年度京都大学防災研究所研究発表講演会, A10.
- Takemura S., T. Furumura and T. Maeda, 2015, Scattering of high-frequency seismic waves caused by irregular surface topography and small-scale velocity inhomogeneity, *Geophys. J. Int.*, 201, 459-474.
- 田中宏樹・岩田知孝・浅野公之, 2015, 阪神地域(尼崎～東灘)での地震記録に見られる特徴的な後続波(2), 日本地震学会2015年秋季大会, S16-03, 神戸市.
- 高橋成実, 馬場俊孝, 石橋正信, 末木健太朗, 大林涼子, 金田義行, 2015, 津波増幅率を用いた即時津波予測システム構築, 日本海洋工学会・日本船舶海洋工学会, OES25-040.

南海トラフ巨大地震の災害軽減

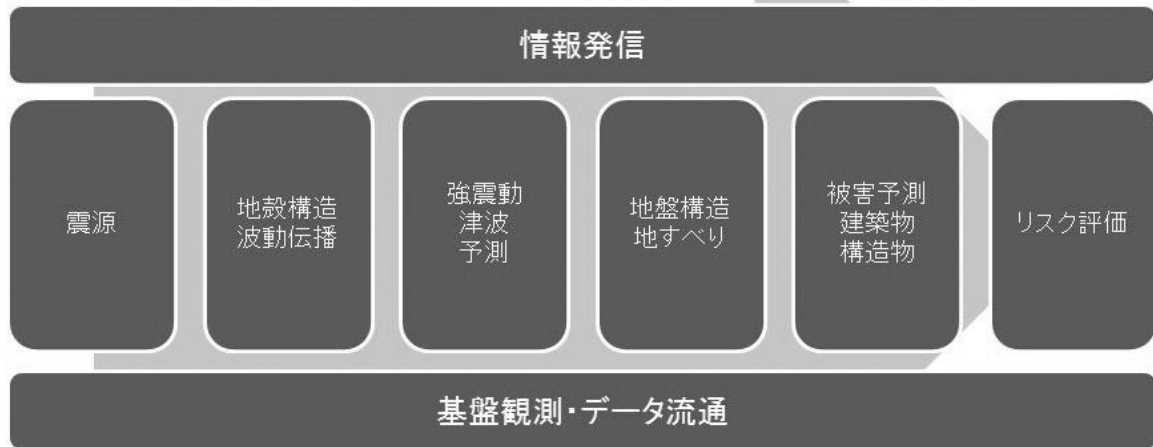


図1. 南海トラフ巨大地震の災害軽減に資する研究のスキーム

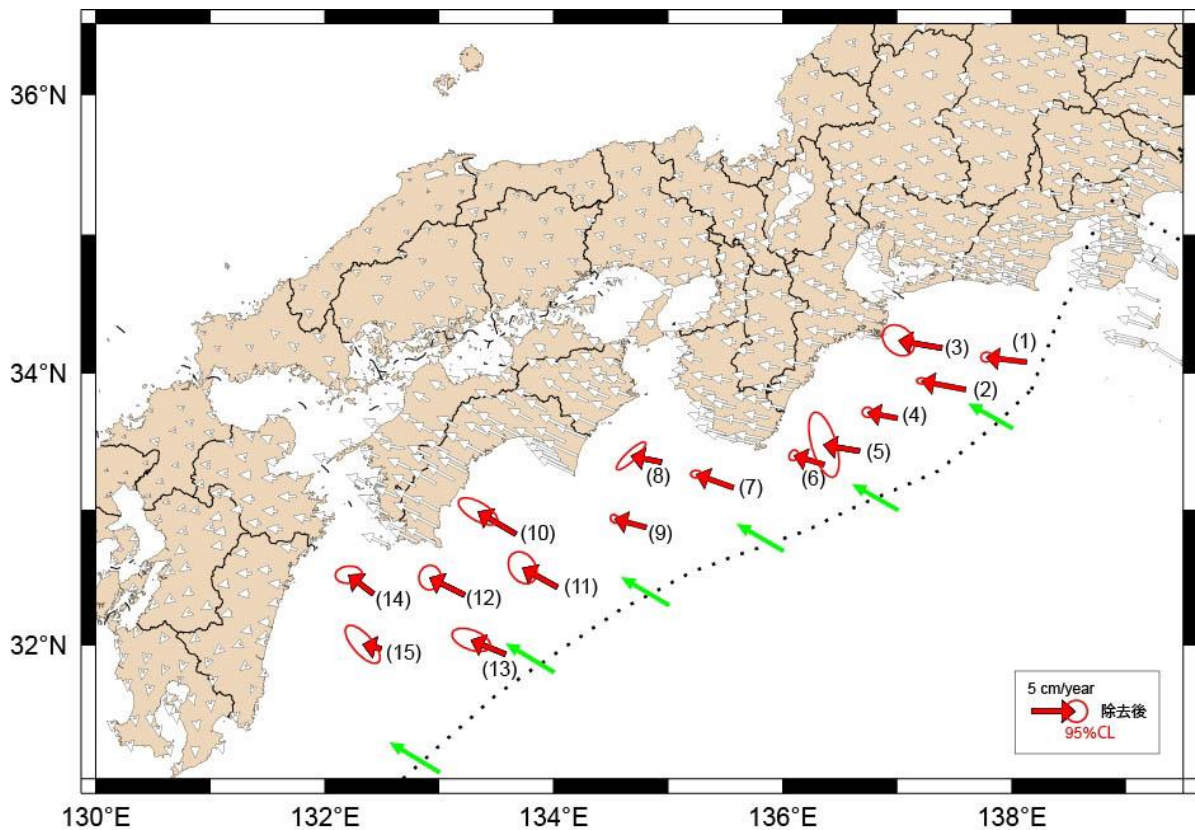


図2. 西南日本の年平均変位（海上保安庁〔課題番号：8001〕）

赤の矢印は東北地方太平洋沖地震の影響を補正した海底基準点の移動速度，白の矢印は東北地方太平洋沖地震前における国土地理院の電子基準点の移動速度，緑の矢印はフィリピン海プレートのアムールプレートへ

の沈み込み速度を示す。楕円は95%信頼区間を示す。

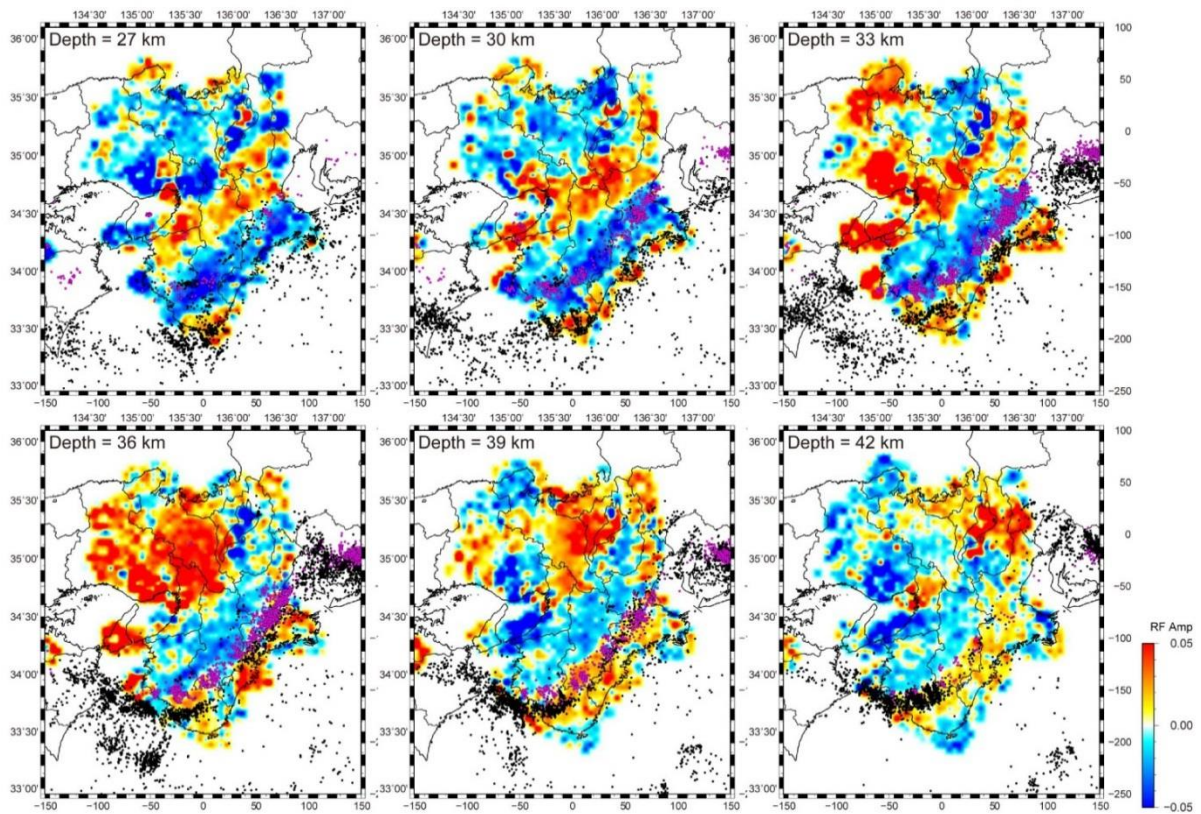


図3. 近畿地方におけるレイシーバ関数イメージ（京都大学防災研究所 [課題番号：1904]）

上段左から深さ27 km, 30 km, 33 km, 下段左から深さ36 km, 39 km, 42 kmでの重ねられたレイシーバ関数の振幅を示す。赤色は正の振幅で高速度層の上面, 青色は負の振幅で低速度層の上面を表す。紫の丸は深部低周波地震, 黒の丸は通常地震を示す。いずれも気象庁のカタログによる。

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、災害科学の発展に着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27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, 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解析することによって、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。2013年～2014年に房総半島東方沖で起こったゆっくり滑りに対し、GNSS時系列データのインバージョン解析を行い、フィリピン海プレート上面における滑りと滑り速度の時空間分布を1日ごとに推定した。この場所では過去にも繰り返すゆっくり滑りが発生しているが、過去のゆっくり滑りについても同様の解析を行い、今回との比較から、ゆっくり滑りの規模や破壊過程はイベントごとに大きく異なることが示された（東大地震研 [課題番号：1509]）。

災害誘因予測のための研究として、将来発生が予測されている首都直下地震による強震動や長周期地震動の事前予測の高度化を図った。首都圏を擁する関東平野の地震動予測の高度化のため、数値シミュレーション及び地震波干渉法による地震動特性の定量化や、既往地下構造モデルの検証作業を行った（東大地震研 [課題番号：1515, 1516]）。首都圏は丘陵地帯の造成地にある谷埋め盛土では、地震観測により特定の周波数帯における上下動の顕著な増幅が明らかになった。これは、盛土内の地下水面や旧河川の沖積層底部といった不連続面における変換波が原因として考えられる。大地震の震動による地滑り現象は大きな災害誘因の一つである。大正関東地震の時に地滑りが発生した地域の調査を行い、一回の地震ですべての地滑りが生成されたのではなく、繰り返す地震によって何度も発生していることがわかった。そのような地域では、今後も地滑りが起こる危険性があることが示唆された（京大防災研 [課題番号：1912]）。

歴史資料などにに基づき、歴史時代に発生した地震災害に関して調査し、現代とは異なる社会状況の下で発生した災害への対応を読み解くことにより、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。例えば、日光東照宮の「御番所日記」には、元禄関東地震（1703年）と安政江戸地震（1855年）の発生時の幕府の対応や日光の被害状況などが記述されており、時代とともに災害対応が変化した様子が読み取れる。（東大地震研 [課題番号：1513]）。房総半島で取得された詳細地形データ及びコア資料

から海岸段丘の年代の検討が進められ、過去の関東地震の履歴と隆起パターンなどを復元し、関東地震の多様性を評価した。(産総研 [課題番号:5004])。

3. これまでの課題と今後の展望

首都直下地震はその地震像が統一されていないが、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解析することによって、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。房総半島沖ゆっくり滑りは、東北地方太平洋沖地震の発生以降、その間隔に乱れが生じ、今後の地震発生サイクルを考える上で重要な問題が指摘された。ただ、首都直下地震として想定される震源域は、房総半島沖だけではない。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、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。首都圏を擁する関東平野の堆積層構造やその地震動応答についての研究は着実に積み上げられているが、具体的に首都直下地震を想定した地震動評価の研究は行われておらず、今後の課題である。また、丘陵地の谷埋め盛土の地震動応答など、規模の小さい地下構造に注目した研究も進んだが、関東平野には河川沿いの低地や海岸近傍の埋め立て地など、様々な形態の軟弱地盤が存在する。様々な地盤構造をもつ関東平野において、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、さらに研究を進める必要がある。

一方、首都圏は、政治・経済の中心地として、江戸時代から400年以上の歴史があるため、地震災害に関する史料が数多く残されている。それらを検討し、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。史料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。

いくつかの課題で部分的に進展が見られるが、総合研究としての進捗は不十分である。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つを統合して推進するための課題を作る必要がある。その中で、これまでに成果を上げつつある課題を進展させると共に、不十分な研究分野を拡充する課題を提案し、理学だけでなく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ろう。

成果リスト

千木良雅弘, 2015. 近年の地震による急激な地すべりから学ぶもの. 日本地すべり学会誌 52, 45-50.

Doi, I., and T. Kamai, Characteristics of seismic motions and pore pressure response in the filled slope, Proceedings of the 10th Asian Regional Conference of IAEG, Tp1-P08, 2015.

土井一生・釜井俊孝, 谷埋め盛土における地震動の特徴, 日本地震学会講演予稿集, S16-05, 2015.

西山昭仁, 2015, 『御番所日記』にみる日光東照宮での地震対応, 災害・復興と資料, 6, 19-25.

2(4) 桜島噴火・総合研究グループ

「桜島火山噴火」総合研究グループリーダー 京都大学防災研究所 井口正人

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、ミュー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。

火山現象の解明のための研究では、桜島における詳細なマグマの貫入過程と放出過程が明らかとなった。2015年1月から始まった膨張性地盤変動は、2009年、2011年のマグマ貫入イベント同様に、始良カルデラから桜島へのマグマの供給系における始良カルデラ下と北岳下の圧力源の等方的膨張と南岳下の圧力源の等方的収縮により近似され、同時に噴火活動が活発化した。一方、2015年8月15日に発生したマグマ貫入イベントは、これまでのマグマ貫入イベントとはその地盤変動のパターンと変動速度及びそれに付随する地震活動の活動度において異なる。地盤変動速度は約300倍速く、昭和火口直下の深さ1kmの開口割れ目によって説明される（京都大学防災研究所〔課題番号：1908〕）。火山性地震の震源も山頂下に集中したが、M2-3級の有感地震を含む火山性地震が1日に1000回近く発生し、これまでよりもはるかに活動度が高かった。また、物質科学的研究からは、ブルカノ式噴火直前の火道浅部の浸透率の低下など、噴火前駆過程の理解が進んだ（東北大学〔課題番号：1205〕）。さらに、ミューオン、アクロス、UAVによる観測により、火山内部構造等に関する新たな知見が蓄積されつつある（東京大学地震研究所〔課題番号：1523〕、名古屋大学〔課題番号：1705〕）。

XバンドMPレーダーを利用した火山灰の即時把握手法の開発に向けて、室内において噴煙粒子の落下実験を行い、そのアスペクト比と落下速度を測定した。噴煙高度が5000mに達した2013年8月18日の桜島爆発のレーダー画像を解析し、反射因子の強度と降灰量の関係式を暫定的に決定した。また、レーダーパラメータから火山灰と雨滴の識別方法が検討された。ライダー観測においても偏光解消度を用いることで火山灰と水滴の識別の可能性が示された（京都大学防災研究所〔課題番号：1913〕）。

噴火事象系統図に配置された桜島の噴火の規模と様式について、前駆地震活動と地盤変動速度から事象分岐、さらに避難の要否を検討した。マグマの貫入速度のオーダーから事象分岐の判断が可能であることが示された。既存の火道系の外にマグマが貫入した場合、地震活動度は高く、大正3年噴火に前駆する地震エネルギー積算量は 10^{14} Jに達したが、2015年8月15日に発生した群発地震活動のエネルギーは 10^9 Jのオーダーに過ぎない（京都大学防災研究所〔課題番号：1902〕）。これらのデータに基づき、時系列に沿った地震活動及び地盤変動と避難範囲の対応関係を整理した。

事象分岐判断の提示や火山灰量の即時的な評価は、避難や復旧計画に徐々に考慮されつつある。鹿児島市街地に被害が及ぶ大規模噴火が発生しうる状況での避難の意向調査を実施し、避難行動を分析した。分析結果は鹿児島市など自治体の避難計画に活用することが可能である（京都大学防災研究所〔課題番号：1914〕）。

成果リスト

Elíasson, J., Weber, K., Vogel, A., Pálsson, T., Yoshitani, J., Miki, D., 2016, Investigation and separation of turbulent fluctuations in airborne measurements of volcanic ash with optical particle counters, Jour. Disast. Res, 11, 72-84.

Elíasson, J., Yoshitani, J., Miki, D., Weber, K., Bölke C., Scharifi, E., 2016, Measurements of particle distribution and ash fluxes in the plume of Sakurajima volcano with optical

- particle counter, Jour. Disast. Res, 11, 85-95.
- Hotta, K., Iguchi, M., Ohkura, T., Yamamoto, K., 2016, Multiple-pressure-source model for ground inflation during the period of high explosivity at Sakurajima volcano, Japan - Combination analysis of continuous GNSS, tilt and strain data -, Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 310, 12-25.
- Iguchi, M., 2016, Method for real-time evaluation of discharge rate of volcanic ash - case study on intermittent eruptions at the Sakurajima volcano, Japan -, Jour. Disast. Res, 11, 4-14.
- Maki, M., Iguchi, M., Maesaka, T., Miwa, T., Tanada, T., Kozono, T., Momotani, T., Yamaji, A., Kakimoto, I., 2016, Preliminary results of weather radar observations of Sakurajima volcanic smoke, Jour. Disast. Res, 11, 15-30.
- Ohta, Y., Iguchi, M., 2015, Advective diffusion of volcanic plume captured by dense GNSS network around Sakurajima volcano: A case study of the Vulcanian eruption on July 24, 2012, Earth Planets, Space, 67:157, DOI 10.1186/s40623-015-0324-x.
- Oishi, S., Iida, M., Muranishi, M., Ogawa, M., Hapsari, R. I., Iguchi, M., 2016, Mechanism of volcanic tephra falling detected by X-band multi-parameter radar, Jour. Disast. Res, 11, 43-52.
- Tanaka, H. L., Iguchi, M., Nakada, S., 2016, Numerical simulations of volcanic ash plume dispersal from Kelud volcano in Indonesia on February 13, 2014, Jour. Disast. Res, 11, 31-42.
- 山本圭吾・吉川 慎・松島 健・大倉敬宏・横尾亮彦・井上寛之・三島壮智・内田和也・園田忠臣・関健次郎・小松信太郎・堀田耕平・藤田詩織, 2015, 水準測量によって測定された桜島火山の地盤上下変動 —2014年11月測定の結果—, 京都大学防災研究所年報, 58B, 70-75.

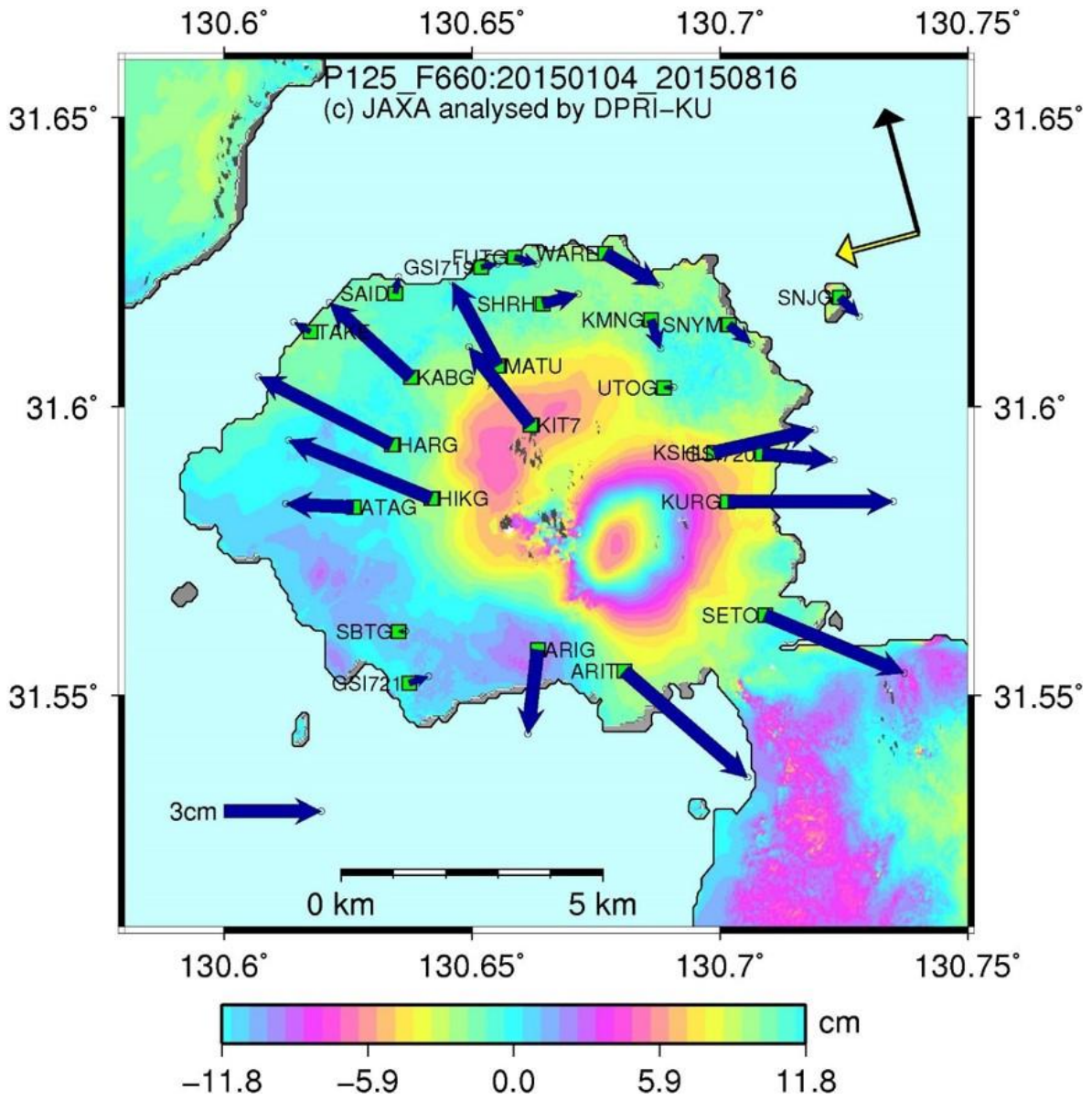


図1. 2015年8月15日のマグマ貫入に伴う地盤変動
桜島島内のGNSSによる水平変動と干渉SARによる地盤の隆起。

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・体系的に進める方向に転換した。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、両研究所が協議し、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になった。具体的には、両研究所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建て、全国の研究者の参加を募集して全国規模の共同研究を進める「参加者募集型共同研究」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「課題募集型共同研究」を平成26年度から開始した。

1. 参加者募集型共同研究

参加者募集型共同研究については、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6～7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、震源から住居地域までの地下構造・波動伝播、強震動、地盤、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共に、それらがどのように伝播し、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。更に、リスク評価に基づき、災害情報、災害発生後の対応等のあり方など、巨大地震の発生から災害発生後の対応まで、巨大地震にともない予想される一連の事象に関して、防災・減災にむけて機能するための研究に発展させることを目指すことになった。全体の研究を、(1)南海トラフ地震の想定される震源過程、(2)地殻構造とそれが波動伝播に及ぼす影響、(3)強震動予測高度化への課題、(4)地下浅部の地盤構造と地震動の関係、(5)津波予測と津波被害、(6)構造物の被害予測モデル、(7)災害のリスク評価と意思決定、(8)災害情報の外部発信、(9)コンピューター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と(9) コンピューター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、それぞれの分野を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、適宜研究集会を開催して情報交換に努めることとなった。

「災害リスク評価と意思決定」では、さまざまな社会要因が時代と共に変化することを念頭にそれが災害にどのような影響を与えるかについて分析を目指す「経時変化を考慮した地震災害リスク評価手法の構築に関する研究」(課題番号2976)が実施された。災害の大きさは災害誘因である地震動の大きさだけでなく、対象地域の人口、社会構造、産業構造、建築基準法の改定、建築工法などの暴露量や脆弱性により大きく差異が生じる。しかも、これらの要因は時代とともに変化してゆくことを念頭に、巨大地震が発生した時点で、暴露量、脆弱性がどのように寄与するかについて、その要因を表1のようにまとめた。

「コンピューター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」では、多くの住民が生活し、多数の建築物や交通・ライフラインを有し、複雑な構造を持つ都市部における地震災害予測をコンピューターシミュレーションの手法を用いてにより高い精度で評価することを目指した「巨大地震リスク評価のための都市モデルの構築と高分解能の災害・被害予測の試行」(課題番号2977)が実施された。コンピューターシミュレーションには都市モデルが必要であり、全国の大学の研究者と協力し、いくつかの都市のデジタルモデルについて、複数のデジタルデータを統合し、自動構築する手法の開発を進めた。このようにして新潟市と甲府市の都市モデルが作成された。これらを用いて、地震動による建築物の応答や水道管等の地下埋設物に大きな影響を与えるひずみの計算が可能となった。図1は新潟市における建物応答の計算例である。信濃川の河口に立地し、軟弱な地盤の上に都市が形成されている新潟市では、地盤増幅効果を考慮しない場合(図1上)と考慮した場合(図1下)で、建物応答に大きな差が出るのが明瞭に示されている。各地域の大学と連携し、色々な都市を対象に、都市モデルを作成し、地震リスク評価の基盤となる統合地震シミュレーション・システムを各大学と共有してシミュレーションを行い、当該都市における地震リスク評価が始められている。将来的には、防災・減災に結び付けるため、各地の地元自治体等に対し、シミュレーションから予測される災害・被害の評価結果を提供することも念頭に入れている。

総括研究は「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」(課題番号2975)で、(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) 構造物被害予測、(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た。また、これらの知見を統合するためのリスクプラットフォーム構築グループ、リスク情報の利活用に関する研究グループも構成した。また、これらの研究グループが参加するキックオフミーティングを平成27年7月27日に開催し、それぞれの研究グループで解決すべき課題を明らかにした。震源過程では、地震調査研究推進本部が公表しているデータを用い、破壊領域とそのマグニチュードの不確かさを検討することとなった。伝播・深部地盤構造では、現在明らかになっている地震波速度構造、減衰構造を用いて、地震時の地盤の揺れの大きさの推定精度の向上に寄与できる可能性を検討した。強震動予測では、強震予測に用いられる数多くある距離減衰式の個々の特徴や差異について検討した。浅部地盤構造では、全国地震動予測地区で採用されている微地形区分に基づく工学的基盤で浅の表層地盤での最大速度増幅率を採用した場合の問題点について検討した。構造物被害予測では、最大地動速度、最大地動加速度から建物の被害の程度を予測するモデルの調査・研究を行った。リスク評価では、構造的な被害と経済的・人的被害との関係について調査研究を行った。上記の各分野における不確かさを取り入れた地震リスク評価を行うプラットフォームを構築した。今後は、それぞれの分野のモデルをより精緻化し、地震リスク評価の高度化及びその不確かさ評価を実施する予定である。また、地震リスク評価の不確かさに最も効いているの要因を定量的に明らかにすること

で、リスク評価の精度向上を目指している。

2. 課題募集型共同研究

課題募集型共同研究では、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・減災に生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27年度は公募に対して、昨年度から継続を希望する8件の課題と11件の新規の応募があった。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、8件の継続課題と4件の新規課題の採択を決定した。平成27年度の成果の一部を以下に掲げる。

地震・火山噴火災害の事例研究については、「活断層と建物被害の情報に基づく歴史被害地震の断層モデル構築に関する研究」(課題番号2962)では、1847年善光寺地震について、すでに提案されている震源モデル、地表に現れている断層のトレースに加え、微動観測により推定された表層地盤を考慮した地盤モデルを用いて、震度分布の推定を行った(図2)。その結果、震源直上及び善光寺周辺では震度が大きくなるものの、東側の盆地側では震度が比較的小さくなった。この結果は、1847年善光寺地震の際に被害が山側及び盆地西端に集中していたことと整合している。また、「絵図史料に基づく歴史地形の復元と歴史災害の分析」(課題番号2965)では、岩手県図書館所蔵「陸奥国閉伊郡宮古村書上絵図面」(1874)に描かれた寺院や街路などの位置合わせをおこない、明治初期の地形を復元した。この人工改変前の復元地形から、1611年慶長奥州地震津波の伝承が津波の河川遡上で説明が可能ながことが明らかになった(図3)。

地震・火山噴火災害発生機構の解明研究については、「地震時土砂災害及び社会的影響の発生機構と減災に関する研究」(課題番号2952)では、地震時地滑り発生過程に関する研究が進められた。これまでの地震時地滑りの変位量推定式に、地盤の液状化で考えられる過剰間隙水圧状態を考慮に含める拡張を加えた手法を開発した。東北地方太平洋沖地震の時の塩釜の地震記録を入力にして、シミュレーションを行うと、斜面傾斜14度を越えると、地滑りが発生すると推定される(図4)。東北地方太平洋沖地震の際には、多くの谷埋め盛土が崩壊したがその斜面傾斜は10~20度でも多く見られたことから、モデルは概ね矛盾のないものと言える。また、「地震及び津波による建物倒壊に伴う人的被害の発生機構解明並びに評価手法の提案」(課題番号2964)で、被災プロセスを詳細に追跡できる人的被害の評価方法について新たな基準を提案した。これは、災害の事前及び事後対応に活用できる。この基準を南海トラフ巨大地震を想定地震として適用し、南国町の震動による人的被害の発生確率を「世帯単位」及び「字単位」で算出した。更に、「残存性能モニタリングと広域余震ハザードに基づく被災建物健全性の時間変化予測」(課題番号2953)では、大きな地震により損傷を受けた建物が、余震により倒壊する危険がどれ位変化するかについて評価し、継続使用の判定を支援する手法を開発した。具体的には、事前に建物に使用されている部材も考慮した損傷確率曲線を求めておき、本震による建物の強度低下及び剛性低下を屋根のゆがみから算出し(図5)、それらの値によって本震後30日間に発生する余震により倒壊する可能性を考慮した建物の継続使用の判定を支援するものである(図6)。2016年熊本地震のように余震が多い内陸地震の場合には、本震で損傷を受けた家屋が継続使用できるか否かの判定が科学的に実施できれば、その手法の利用価値は社会的に大きい。「地域の生き残りを可能にする事前復興計画策定手法の開発ー津波シミュレーションの利用と復興モニタリングー」(課題番号2959)では、色々なケースで想定される津波浸水域を住民と共有し、新たなまちづくりに活用するもので、災害に強いまちづくりを住民参加で決定するための手法開発の試みである。

地震・火山噴火災害誘因の事前評価手法の高度化研究については、「地震動の空間変動特性評価のための表層地盤の不均質構造のモデル化に関する研究」（課題番号2954）において、立川断層を横切る測線の浅部地盤構造を微動と表面波探査から推定し（図7）、断層を境に東西で速度構造が大きく変わっていることを明らかにした。この構造の差異を反映し、茨城県南西部で発生したM4.0の地震波形を立川断層を挟んで比較すると、断層付近で地震波の振幅が局所的（断層から200m程度）に3倍程度大きくなっている（図8）。このことは、断層近傍では地震波の増幅が起こることを観測データで明瞭に示している。また、「地理情報システムおよび地表面露出年代法を用いた地震火山活動に伴う大規模斜面崩壊の発生場および時空間的発生頻度の評価」（課題番号2963）では、10 mメッシュの基盤地図や航空レーザー測量によって得られる細密地形モデルから斜面崩壊を見つけ出し、宇宙線生成核種を用いた地表面露出年代測定により、斜面崩壊が発生した時期を推定する方法を用いて、地震や火山噴火に伴う斜面崩壊を見つけ出す試みを行っている。斜面崩壊は地震や火山現象以外の大雨によっても発生するため、個々の斜面崩壊の原因を判別することが、今後の課題である。更に、「拡散波動場理論に基づく地下構造探査手法のミャンマーへの応用に関する研究」（課題番号2966）では、開発途上国で簡便な微動観測により地下構造モデルの推定を行った。開発途上国に対し、地震災害の軽減において強震動予測に資する地下構造モデルを推定し、普及する意義は大きい。「琵琶湖疏水の耐震性を考える－琵琶湖西岸断層帯が活動した場合の地殻変動と強震動の影響－」（課題番号2961）は、京都市内の飲料水の90%をまかなう琵琶湖疏水が、琵琶湖西岸断層帯の地震による地殻変動により機能を失うリスクについて多方面から研究を進めている。一つの給水システムに大きく依存している京都市にとっては、きわめて重要な課題であり、同様の状況は全国にも多数あることが予想される。このように都市機能の命運を担っている機能の地震・火山災害リスクを評価する取組は行政等と連携して、今後一層推進すべき課題と思われる。

地震・火山噴火災害誘因の即時予測手法の高度化については、「画像データによる降灰情報収集システムの開発」（課題番号2958）において、降灰量を即時的に把握する目的で画像データから降灰量の推定を試みる実験を行っている。地震・火山噴火災害軽減のための情報の高度化については、「先駆的研究者のオーラルヒストリーから探る地震・火山分野の人材育成モデル」（課題番号2960）において、先駆的な地震火山研究者の研究人生を聞き取り、それから人材育成のヒントを得ようとする研究が行われており、これまでの地震火山観測研究になかった異色の研究である。

上記のように、これまで理学を中心として進めてきた地震火山観測研究に、工学・人文社会科学の研究者が加わることにより、これまで気づけなかった地震火山研究の需要が明確に示され、この研究計画の将来の方向性を定める大きなヒントを与えてくれると思われる。

成果リスト

吾妻崇, 松島信一, 市村 強, 野澤 貴, 2016, 活断層と建物被害の情報に基づく歴史被害地震の断層モデル構築に関する研究, 京都大学防災研究所 平成27年度研究発表講演会, P02.

新本翔太, 倉田真宏, 鈴木明子, 李小華, 2015, 余震リスク評価に基づく被災建物継続使用の迅速な意思決定支援, 地域安全学会論文集No.27.

Fujita, K., T. Ichimura, M. Hori, L. Maddegadara and S. Tanaka, Scalable many-case urban earthquake simulation method for stochastic earthquake disaster estimation, *Procedia Computer Science*, 51, 1483-1493, 2015.

林能成, 山田俊弘, 栗田敬, 野内玲, 2015, 地球科学における学際的分野への参入過程～島津康男教授・熊沢峰夫教授のオーラルヒストリーから～, 地球惑星科学関連合同学会, 幕張メッセ.

廣川夕貴, 松島信一, 川瀬博, T. Naing, M. Thant, 2016, ミャンマー・ヤンゴン市における常時微動を用い

た地盤構造の推定, 日本地震工学会論文集, 第16 卷, 第1号特集号「第14回日本地震工学シンポジウム」その2, 49-58.

Ichimura, T., K. Fujita, P. E. B. Quinay, L. Madgededara, M. Hori, S. Tanaka, Y. Shizawa, H. Kobayashi and K. Minami, 2015, Implicit Nonlinear Wave Simulation with 1.08T DOF and 0.270T Unstructured Finite Elements to Enhance Comprehensive Earthquake Simulation, SC15: International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, doi: 10.1145/2807591.2807674.

飯田彬斗, 岡田成幸, 中嶋唯貴, 地震時人的被害推定高度化のための建物内部空間被災度関数の再構築, 日本建築学会大会(関東)梗概集, 2015.

金幌淑, 田中傑, 牧紀男, 岸川英樹, 事前復興計画のあり方に関する基礎的な考察—第1回事前復興計画研究会を通して, 地域安全学会梗概集, No.36, 地域安全学会, 115-116, 2015

倉田真宏, 新本翔太, 鈴木明子, 山田真澄, 楠浩一, 宮本匠, 残存性能モニタリングと広域余震ハザードに基づく被災建物健全性の時間変化予測, 京都大学防災研究所年次発表大会梗概, 2016.

Kurata M., Suzuki, A., Li, X., Nishino, H., Residual Performance Assessment of Steel Frames through Ambient Strain-Based Model Update: Application to Collapse Test of Steel Frame using Shake Table, Proc. Eng. Mech. Inst. Conf., June 16-19, 2015.

Lee, S.H., K. Nishijima, S. Matsushima, M. Miyazawa, K. Mochizuki, T. Idaka, T. Tobita, H. Kawase, N. Maki, Investigation of Possibilities to Reduce the Uncertainty of Disaster Risk, 京都大学防災研究所平成27年度研究発表講演会特別セッション, K01, 2016.

松島信一, 伊藤光菜, 2016, 1847年善光寺地震における地震動と建物被害の関係把握のための表層地盤構造の推定 京都大学防災研究所 平成27 年度研究発表講演会, E21.

Melgar, L. E. A., W. M. L. Lakshman, M. Hori, T. Ichimura and S. Tanaka, 2015, On the Development of an MAS Based Evacuation Simulation System: Autonomous Navigation & Collision Avoidance, Lecture Notes in Artificial Intelligence (in press).

中嶋唯貴, 岡田成幸, 2015, 震動及び津波の複合災害を想定した人的被害推定手法の提案, 日本建築学会北海道支部研究報告集, 88, 101-104.

西嶋一欽, 2016, 地震リスク評価に伴うモデル不確実性の感度解析, 第22回信頼性設計技術WS&第35回最適設計研究会, 岡山大学.

岡田成幸, 中嶋唯貴, 2015, 地震時建物倒壊に伴う人的被害の因果律を踏まえた詳細評価手法～建物棟別評価から行政区単位評価まで～, 日本建築学会大会(関東)梗概集.

Ryoichiro Agata, Tsuyoshi Ichimura, Kazuro Hirahara, Mamoru Hyodo, Takane Hori, Chihiro Hashimoto and Muneo Hori, 2015, Numerical verification criteria for coseismic and postseismic crustal deformation analysis with large-scale high-fidelity model, Procedia Computer Science, 51, 1534-1544.

清田和宏, 地元孝輔, 佐口浩一郎, 津野靖士, 山中浩明, 2015, 立川断層近傍における表層地盤S波速度構造の空間変動評価の稠密微動探査, 第132 回学術講演会講演論文集, 141-143.

Seita, K., K. Chimoto, K. Saguchi, S. Tsuno, H. Yamanaka, 2015, Application of microtremor exploration to shallow dipping layers under the assumption of horizontally stratified structure, Proceedings of 12th SEGJ International Symposium -Geophysical Imaging and Interpretation-, S2-1, Tokyo, Nov. 2015.

Tsuno, S., K. Chimoto, K. Saguchi, H. Sato, S. Matsushima, M. Shigefuji, N. Takai, T. Kanno, H. Yamanaka and H. Kawase, 2015, Detailed spatial variation of short-period earthquake ground motion in the vicinity of Tachikawa-Fault, Proceedings of 12th SEGJ International Symposium -Geophysical Imaging and Interpretation-, P6, Tokyo, Nov. 2015.

津野靖士, 佐口浩一郎, 地元孝輔, 佐藤浩章, 松島信一, 重藤迪子, 高井伸雄, 神野達夫, 山中浩明, 川瀬博, 2015, 立川断層近傍における短周期地震動の空間変動特性, 地球惑星関連合同大会講演予稿集 S-SS25-P16.

山田俊弘, 2015, 拡大された地球科学概念からトランス・サイエンスまで—島津康男教授と1970年代科学史—, 地球惑星科学関連合同学会, 幕張メッセ.

山田俊弘, 2015, シームレスな地球科学をめざして—島津康男とディシプリンの越境: 1966-1983年, 日本科学史学会, 大阪市立大学.

山田俊弘, 2015, 1970年代の科学教育における変容の性格—島津康男の拡大された地球科学, トランス・サイエンス, 環境学—, 東京大学大学院教育学研究科基礎教育学研究室研究室紀要, 41号, 183-194.

表1 各被害について予測の際に考慮している要因

被害種別	モデル	要因
建物被害	フラジリティモデル	構造種別、建築年代、建物階数
	エクスポージャーモデル	構造種別、建築年代、建物階数、建物所在地、居住の有無
人的被害	フラジリティモデル	年齢、性別、死傷の原因
	エクスポージャーモデル	年齢、性別、時間帯ごとの居場所
経済被害	入力パラメータ	建物被害や人的被害から導き出される地域GDP損失、直接被害額、税収減 年度ごとの震災関連復興事業の額 サプライチェーン 金融制約

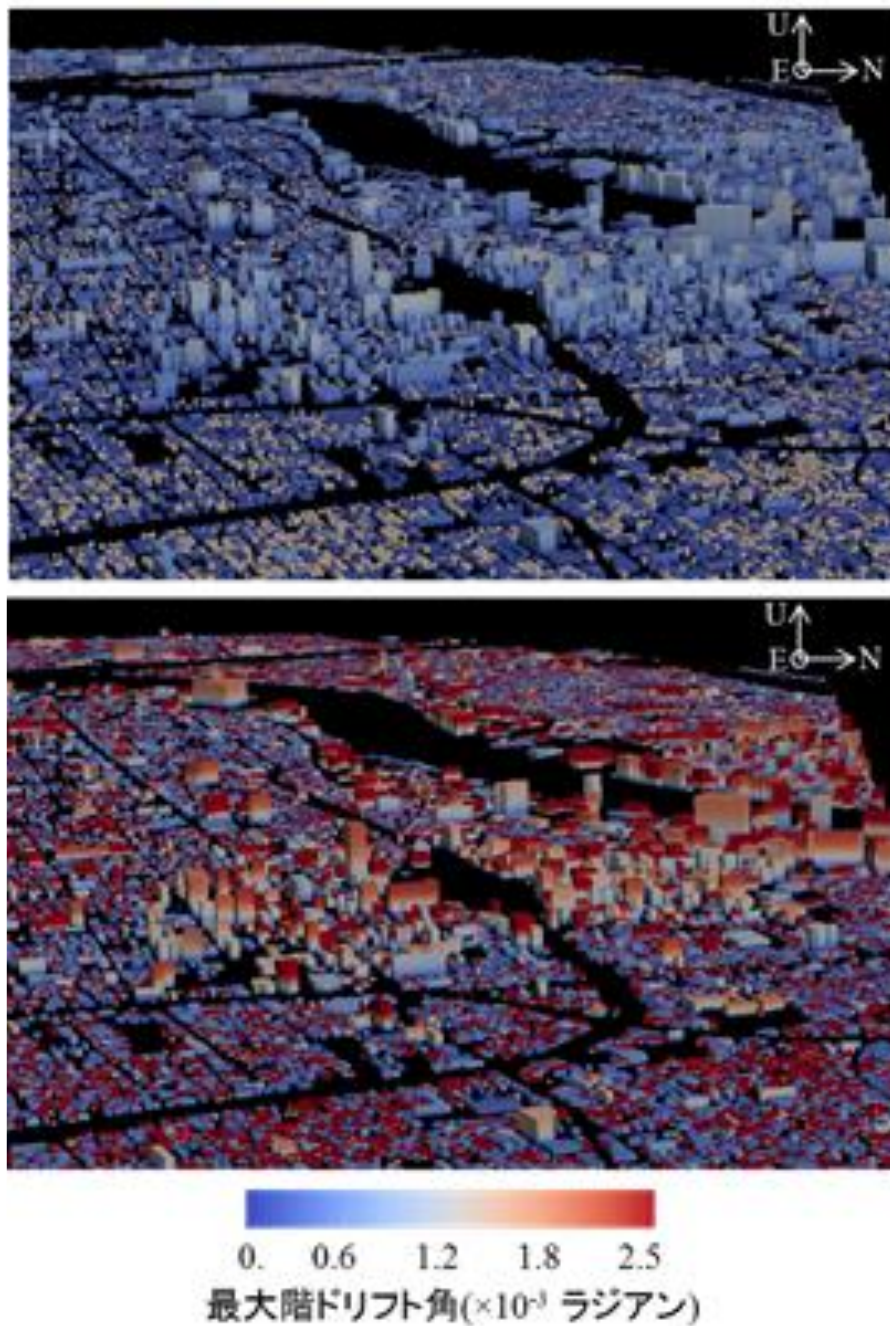


図1. 新潟市での地盤増幅効果の考慮の有無による建物応答の差の例
上は考慮しない場合、下は考慮した場合。

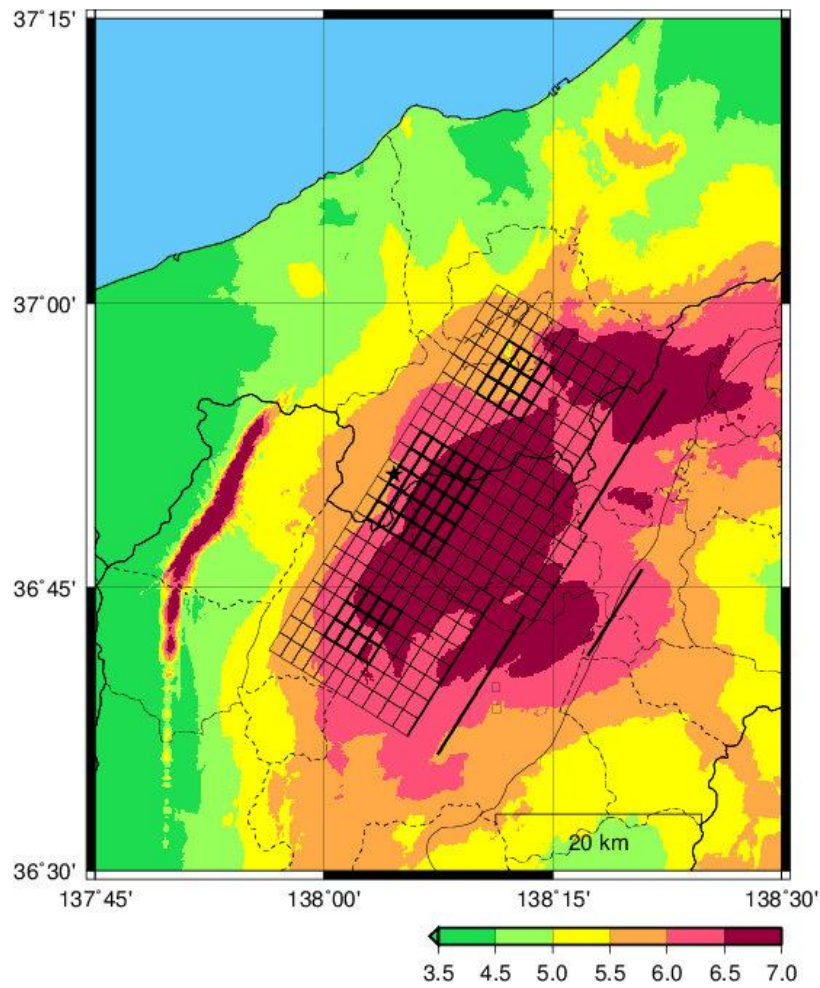


図2. 1847年善光寺地震による震度推定値の分布



図3. 復元した宮古地形の歴史景観と歴史津波の痕跡

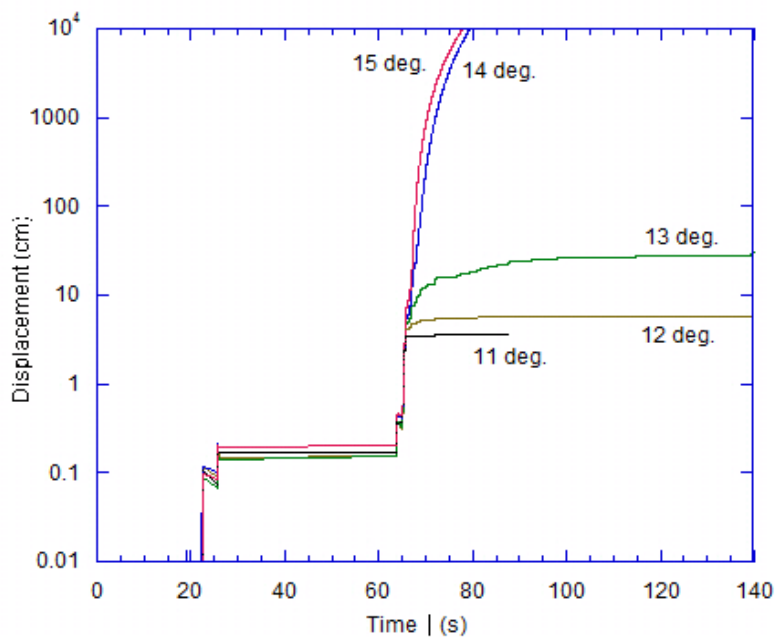


図4. マサ土地滑りの滑り面液状化時の変位推定

USGS で開発されたNewmark 法に実験で得た滑り面液状化発生過程におけるせん断抵抗の減少を考慮した手法で東日本大震災における塩竈の加速度波形を用いて計算した累積変位。完全飽和非排水時には、斜面傾斜14度以上で長距離運動（地滑り）が発生し得る。

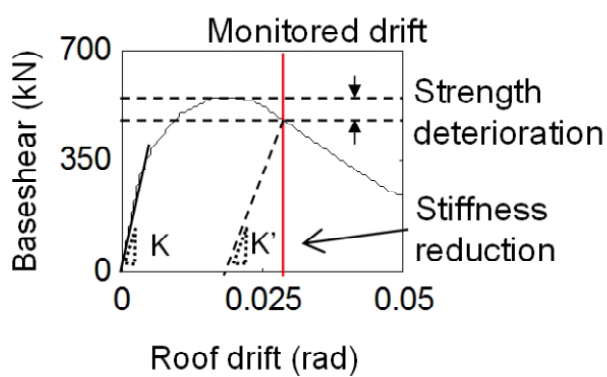


図5. 建物の静的特性と損傷状態の関係

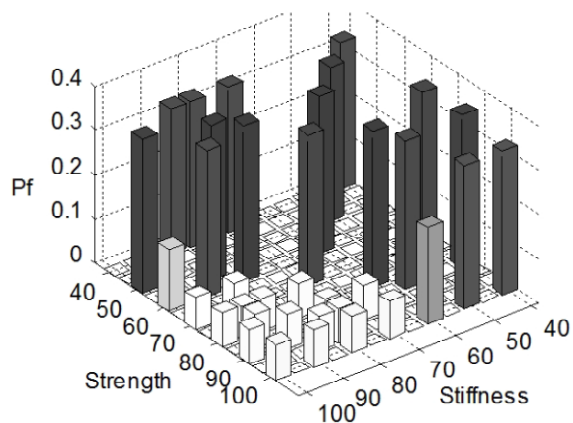


図6. 本震後の建物継続使用判定指標例

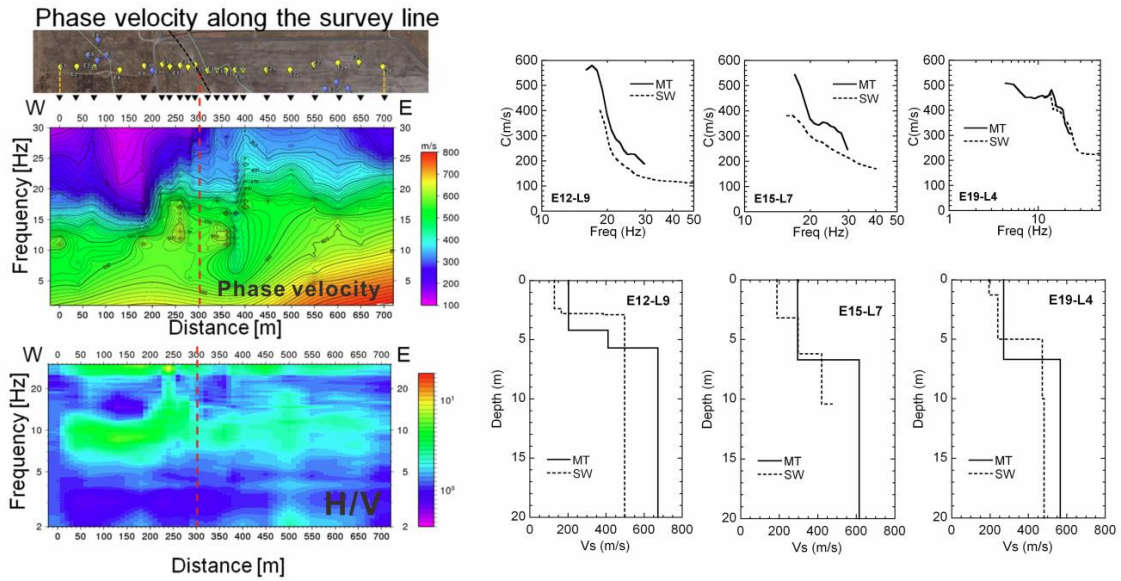


図7. 立川断層をはさむ地域での地下構造

左上：微動観測によるレイリー波の位相速度，左下：H/V（下）の空間分布，右：微動探査と表面波探査による位相速度（上）とS波速度構造（下）の比較

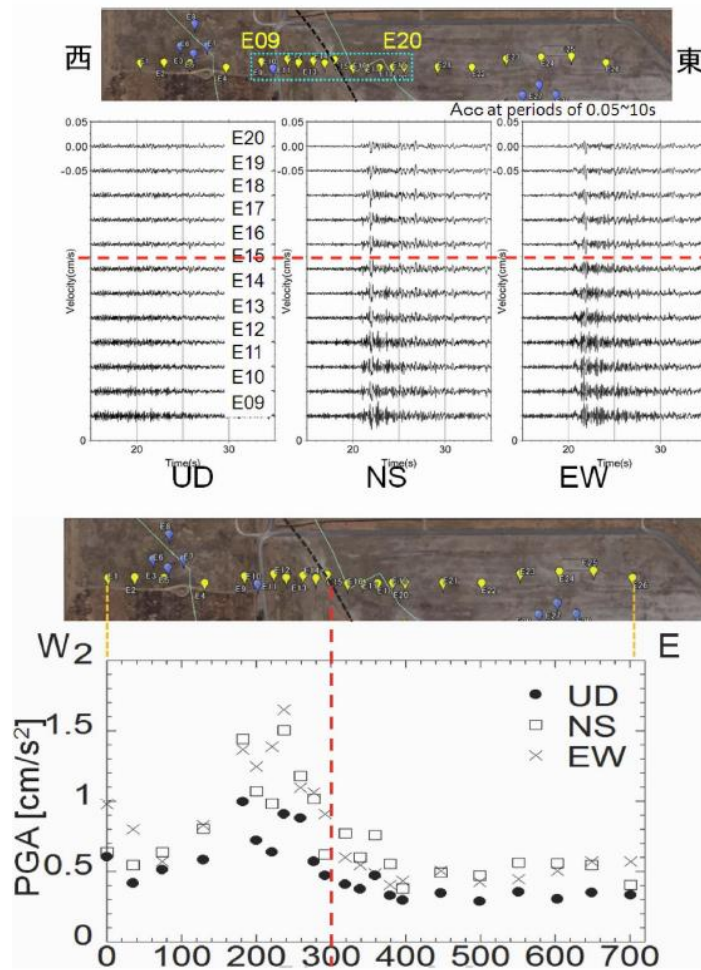


図8. 立川断層をはさむ地域で観測された地震波形

地震観測記録の例（上）と最大加速度値の分布（下）。断層近傍西側で加速度が増幅されている。

Ⅱ. 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）が、人の暮らし社会・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の作用と認識。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読・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索し、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。

Ⅲ. 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 秋田大学大学院工学資源学研究科 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 高知大学理学部 九州大学大学院理学研究院 鹿児島大学大学院理工学研究科 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