

「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26年度年次報告

【成果の概要】

平成27年10月

科学技術・学術審議会測地学分科会

地震火山部会

目次

【平成26年度の成果の概要】

1. はじめに	1
2. 平成26年に発生した顕著な地震と火山噴火	3
2-1. 平成26年9月27日御嶽山噴火	3
2-2. 平成26年11月22日長野県北部の地震	4
3. 平成26年度の成果の概要	4
3-1. 地震・火山現象の解明のための研究	4
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	13
3-4. 研究を推進するための体制の整備	15
3-5. 優先度の高い地震・火山噴火	16
4. まとめ	17
用語解説	28

【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	46
1 (1) 海溝型地震	48
1 (2) 内陸地震	80
1 (3) 火山	99
1 (4) 地震先行現象・地震活動評価	112
1 (5) 地震動・津波等の事前予測・即時予測	127
1 (6) 地震・火山災害	141
1 (7) 史料・考古	151
1 (8) データベース・データ流通	156
2 観測・解析技術の開発	169
3 (1) 東北地方太平洋沖地震総合研究	179
3 (2) 南海トラフ巨大地震総合研究	193
3 (3) 首都直下地震総合研究	199
3 (4) 桜島火山噴火総合研究	202
4 拠点間連携共同研究	208
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	214
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	219

[平成26年度の成果の概要]

1. はじめに

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

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

上記項目のうち、1 は地震・火山噴火の発生予測や地震・火山噴火に伴う地震動、津波、火山灰、溶岩の噴出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、火山灰や溶岩の噴出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

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という）、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、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、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¹が策定した 138 の実施計画（個別課題）及び公募による 23 の実施計画（個別課題）からなっている。平成 26 年度の個別課題の成果は、「平成 26 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 26 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、専門用語を使用しなければ説明が冗長となる場合があるため、必要に応じて本報告書の後の「用語解説」²のページで解説した。

また、参考資料編には「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。これは研究分野等の分野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）

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。また，東京大学地震研究所と京都大学防災研究所は，地震・火山学の成果を防災研究に活用する目的で拠点間連携共同研究委員会を設置した。参考資料編の「計画推進部会およ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，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共同研究別に平成 26 年度の学術的成果を取りまとめたものである。

2. 平成26年度に発生した顕著な地震と火山噴火

2-1. 平成26年9月27日御嶽山噴火

平成26年(2014年)9月27日の御嶽山噴火は、火山噴火の規模としてはそれほど大きなものではなかったものの、紅葉期の週末昼で火口付近に多くの観光客がいた中突然発生したこともあり、戦後最大の犠牲者を出した。このような痛ましい火山災害の軽減に生かせるように、今回発生した水蒸気爆発*の科学的な理解と予測技術の開発を進めてきた。

これまでのデータ解析によると、いくつかの噴火の先行現象*が検知されている。火口から約3kmにある気象庁の傾斜計データに降水補正*等を行うことにより、半月ほど前から火口方向隆起の傾斜変動が検出された。この山体変形の発現は火山性地震*活動の活発化とほぼ同期しており、火口浅部に圧力が蓄積され始めたことが示唆された。噴火開始の約11分前には火山性微動*が観測された(図1)。さらに、約7分前から、火口が隆起するような急激な傾斜変動が起こり、噴火直前までに火口直下浅部で最大38万m³の体積膨張が起きたと推定された。この傾斜変動の発現とほぼ同時に、火山性地震の発生日域が若干浅部へ移動したことが、高精度震源決定の結果から明らかとなった。一方、噴火直前の火山性微動は、その振幅の空間分布から、震源が深くなる方向に移動している可能性がある。このように、地震、地殻変動に、噴火に先行する現象が捉えられていた。しかしながら、傾斜計記録は山麓の1点に限られ山体変形も微小であったこと、噴火前の地震活動がこれまでにしばしば使われるモデルと必ずしも一致していなかったこと、また、噴気活動など表面現象に特段の変化がなかったこと、などから、半月ほど前からの火山活動から噴火発生の危険性を予見できなかった。

今回の御嶽山の噴火は、山麓で採取した火山灰*のほぼすべてが変質岩片からなり、マグマ物質*を含まないことから、水蒸気爆発であったと考えられる。映像解析などから、火砕流*は、山体西および南側へ流下し、南側の地獄谷沿いにはその長さが約2kmとなったことがわかった。また、噴煙の高度は海拔7-8kmと推定された。気象レーダーを用いた噴煙高度の解析や、その結果を基にした降灰域予測を試み、現地調査データや花粉センサーネットワーク*時系列データと比較した。また、ひまわりによる画像から、噴煙上部は火山灰よりも水蒸気が多く含まれていたと推察された。

噴火に伴う火山浅部の活動も調べられた。火山性地震の震源は、火口列の分布とよく一致する北北西-南南東方向に約500m、鉛直方向に約1kmに広がる面上に分布した。また、噴火前は東西方向に主張力軸*を持つ正断層型地震*が卓越する一方、噴火後は東西方向に主圧縮軸*を持つ逆断層型地震*が卓越することがわかった。人工衛星によるSAR干渉画像解析*から、噴火を挟む8月18日から10月13日の期間に、地獄谷の噴火口付近に10cmを超える隆起あるいは西進があり、火口直下の極浅部にある鉛直クラックの開口で説明できる可能性があることがわかった。また、航空機を使ったSARやレーザによる反射強度画像等から、新たに形成された噴火口の推定が行われた。

以上のように、御嶽山の噴火は、水蒸気爆発という小規模な噴火ではあったものの、いくつかの噴火先行現象を検知することができた。噴火前に噴火警報を出すには至らなかったものの、高感度の地盤変動観測点を複数設置することなどを始め、各種観測の稠密化や迅速なデータ解析技術開発を行うことにより、災害軽減に資する事前情報発信ができる可能性があることがわかった。

2-2. 平成26年11月22日長野県北部の地震

2014年11月22日22時08分、長野県北部を震源とするマグニチュード* (M) 6.7 (モーメントマグニチュード*Mw6.2) の地震が発生した。白馬村では、この地震発生から4日前から、M3を最大規模とする小さな群発地震*活動があったため、本震*発生から2日前から震源域直上に臨時観測点を設置していた。そのため、本震や余震*分布を精度良く決定することが可能であった。本震前の地震活動は、本震破壊開始点のやや北で始まり、約7時間でその主な活動は終了した。その後も若干の地震活動があり、その震源は徐々に南下していき、その近くで本震が発生した。余震分布はおおむね東傾斜である。この東傾斜の断層面上の余震だけを抜き出すと、その分布には粗密が見られる。本震直下には、3×10kmの広がりを持つ、余震のほとんど起きていない領域があるが、これは強震動*を引き起こした破壊領域にほぼ一致する(図2)。この地震により多数の家屋の倒壊等の被害があったが、迅速な救助などにより死者はなかった。

だいち2号*のデータを用いたSAR干渉画像解析により、白馬村を中心とする東西約30km、南北約30kmの地域において、この地震に伴う地殻変動が検出された。GEONET*による地殻変動*データも用いて震源断層モデル*の構築を行ったところ、東に傾き下がる断層面上で、左横ずれ*を含む逆断層運動が推定された。本震破壊域は、水平方向に約20km、深さ方向に約10kmであった。

この地震の発生に伴い、長さ約9kmにわたって地表地震断層*が出現した。これは、余震分布の東傾斜の面を地表へ外挿する位置に対応している。この地震は南北方向に走る東傾斜の逆断層である神城断層が活動したもので、神城断層は変動地形学*的な手法によって詳細活断層図が作成されていた。地表地震断層の位置、変位様式、変位量を現地調査し、既存活断層線との関係を考察したところ、地表地震断層の多くは東上がりの成分を持ち、既存の活断層の位置と概ねよく一致していた。糸魚川-静岡構造線断層帯北部では、断層変位地形*から算出された平均変位速度*分布に基づいて、同区間が一括して活動した場合のMwは約7.5と推定されているが、今回の地震は、このような大規模地震よりも規模の小さな地震がより短い区間で発生したものである。発生が想定される大規模地震と実際に発生したより中小規模地震との関係を検討する必要がある。長大な活断層について、活動履歴以外の情報に基づいて地震を起こす領域を分割する方法を検討する必要がある。

この地震は、既知の活断層の一部が活動したものであり、本震に先行して群発地震活動が発生した。地震の長期的予測を改善するためには、長大な断層の一部が破壊される地震の評価を行う手法の開発、短期予測のためには地震活動評価手法の改善が必要であることをあらためて示した。

3. 平成26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

過去の地震や火山噴火の事例、地震や火山噴火を引き起こす構造や応力場などの研究を進め、地震・火山現象の物理・化学過程を理解する。特に、発生すると甚大な被害をもたらす低頻度大規模の地震・火山現象は、発生間隔が長いことから史料・考古・地質データ等の収集から始め、

近代的な観測データを統合して、その全体像を把握する。また、地震や火山噴火の予測に利用するため、地震や火山噴火の発生場、地震発生過程、火山活動、火山噴火過程のモデル化を進める。

(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

地震・火山噴火とそれに関連する諸現象とそれによる災害に関する史料、考古データ、地質データの収集と、近代的観測との対比・統合しやすいデータベースの構築に向けて、次のような研究を行った。

ア. 史料の収集とデータベース化

史料から特定した1855年安政江戸地震による被害の発生場所を「江戸大絵図」の図上に表示し、地震やその後の火災などの被害の要因や傾向の分析を可能にした。既刊地震史料集に収録されている史料を中心に、多角的な検索機能を有し、史料本文全体も検索の対象とする「日本歴史地震関連史料データベース」を設計した。東アジアの地震関連史料のデータベース化を始め、代表的な地震カタログの一つである「世界の被害地震の表」にある東アジアの地震について、根拠となった文献史料を調査し、史料本文にある被害記述の検討を行った。

イ. 考古データの収集・集成と分析

新潟県を中心に発掘調査事例を検討し、地震・火山噴火に関する災害痕跡を抽出し、データベースを構成する項目の選定など、データベースの構築に着手した。平城京跡地の発掘現場での災害痕跡調査では、異なる時期に発生した複数の噴砂*痕跡が見つかった(図3)。これは南海トラフにおける過去の巨大地震によるものである可能性があり、今後さらに調査を進める必要がある。

ウ. 地質データ等の収集と整理

ロシア沿海州での津波堆積物*調査から歴史記録がない古津波に関する知見が得られた。

約3万年前に発生した始良カルデラ噴火の初期噴出物(大隅降下軽石と妻屋火砕流堆積物)を分析した結果、これらの噴出物が、従来考えられているマグマ溜まり*の深さ(7-10 km)よりも浅い深さ(4-5 km)の状態を記録していることが分かった。

(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

北海道東部太平洋側では、巨大津波が過去約3,000年間に5回発生しており、こうした津波は根室海峡を越えて、北海道別海町や国後島南部でも遡上した痕跡が見つかった。また、1611年慶長三陸地震もしくは1454年享徳地震と1896年明治三陸沖地震とともに、869年貞観地震による津波堆積物が岩手県沿岸北部で見つかり、これらの地震による津波が東北地方北部にも達していたことが示された。下北半島で見つけられた17世紀の巨大津波の痕跡は、千島弧沿いの巨大地震か1611年慶長三陸地震に対応する可能性が高い。これら2つの巨大地震は同一の地震であった可

能性もある。

南海トラフ巨大地震に関連する史料として神社明細帳の調査などを行った。また、静岡県および高知県で実施した津波堆積物調査から、過去の津波によると思われる複数枚の砂層を検出した。また、房総半島九十九里浜における津波堆積物調査からは、これまで歴史上知られていない津波の痕跡が見いだされたほか、相模トラフ沿いの海岸の過去の隆起パターンから関東地震の多様性が検証された。

糸魚川-静岡構造線断層帯北部の神城断層と松本盆地東縁断層北部のセグメント境界*付近で古地震調査を実施し、同地点の最新活動に伴う地震時変位量が約2 mであることを明らかにした。一方、糸魚川-静岡構造線断層帯中部の諏訪湖周辺では、約1,200年前の最新活動時はこのセグメント境界での連動破壊*は発生していないが、約3,000年前の活動においては連動破壊があったことが明らかとなった。

低頻度大規模現象であるカルデラ形成噴火*に関しては、始良カルデラでの約10万年間の噴出物の化学組成と岩石学的特徴を整理した結果、マグマ組成の異なる3つのサイクルから成ることがわかった。

渡島大島の寛保噴火によって生じた山体崩壊とマグマ活動について、全国の文書館/図書館などの史料保存機関で関連史料を収集・検討した結果、1741年以降、微量の火山灰噴火が約50年にわたり間欠的に複数回観測されるなど、渡島大島起源と考えられる小規模の降灰や臭気が頻繁に発生していたとする観測記録が新たに見つかった。

イ. プレート境界*巨大地震

東北地方太平洋沖地震後の余効変動*の観測とその解析が進められた(図4)。プレート形状など地下の不均質性を考慮した粘弾性構造モデル*により、粘性緩和*の強い影響下にある余効変動場の特徴を説明可能なモデルが提案された。一方、プレート境界上の余効滑り*の時空間分布が小繰り返し地震*の活動に基づき推定され、東北地方太平洋沖地震震源域周辺のプレート境界での滑り速度は着実に減少してきていることがわかった。しかし、その減衰率は当初考えていたよりも遅く、単純な対数関数的な余効滑りの変化ではないようにも見えるので、測地観測データのみならず小繰り返し地震のデータも含めて、余効滑りと粘性緩和の影響を分離していくことが重要となっている。また、震源域北側で実施した人工地震探査からは、プレート境界面の状態が地震発生前後で異なっている可能性が示された。

日本海溝における科学掘削*によりプレート境界断層から回収された試料を用いた室内実験により、断層に存在する遠洋性粘土*の摩擦強度と破壊エネルギーが著しく小さいことが示された。また、実験から導かれた断層構成物質の摩擦特性*を仮定したシミュレーションにより、浅部ゆっくり滑り*の発生が再現された。海洋性地殻*を構成する岩石の物性に基いて東北地方太平洋沖地震震源域での破壊強度の深さ分布を推定し、日本海溝沿いでM7級の地震とM9級の地震の双方が発生する原因を考察した。

2014年にチリ北部のイキケ沖で発生したM8.2の地震の震源過程*の解析から、断層深部側は短周期地震波の放射が卓越する一方、浅部側は長周期地震波の励起が卓越する特徴が示された。これは、東北地方太平洋沖地震のほか、2010年チリ地震(M8.8)や2007年ペルー地震(M8.0)および東北地方太平洋沖地震の最大余震の特徴と共通することから、プレート境界巨大地震の地震波輻射特性*に共通性がある可能性が示された。

四国沖の南海トラフでは、海底面におけるプレート境界断層の位置が、内閣府が海底地形に基

づいて想定した巨大地震震源域上限とほぼ一致することが示された。東海地域南部では、1707年宝永地震時に活動した可能性がある伏在断層の位置に、高電気伝導度の領域が存在することが判明した。

(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

プレート境界断層もしくは沈み込む海洋性プレート*の形状に関する新しい知見が、南西諸島、南九州、伊勢湾周辺で得られた。南九州では上盤側プレート*最前縁部にくさび形領域の地震波の低速度異常が見つかり、その直下のプレート境界が安定滑り特性をもつ可能性があることがわかった。紀伊半島の深部低周波微動*発生域とその周辺では、地震波の低速度異常と高 V_p/V_s 比*異常が認められ、海洋地殻内の含水鉱物の脱水分解*に伴う流体の放出が示唆された。南海トラフにおける科学掘削の結果から地震性滑りによる摩擦発熱があったことが明らかとなった巨大分岐断層*の断層構成物質の分析を進め、地震発生時の断層内部流体*の到達温度が推定された。

イ. 海洋プレート内部の地震

海洋プレート内地震の発生場である、北海道東部下に沈み込む海洋性地殻の地震波速度構造を推定したところ、期待されるよりも低いP波速度を示す領域が見いだされ、そこでは含水鉱物*と水が共存している可能性が考えられる。東北・北海道と関東におけるスラブ形状を取り入れた3次元シミュレーションにより、海洋性プレートの脱水過程と密接に関連する上盤プレート*内でのマンテル対流*パターンと温度構造の推定を行ない、火山配列やS波異方性*パターンと対応する対流パターンが再現された。関東下のP波減衰構造を推定し、フィリピン海スラブのマンテル東端部に地震波高減衰域が見いだされた。この高減衰域の広がりには蛇紋岩化*していると解釈されている地震波低速度域とほぼ一致するが、その西縁で1921年と1987年に発生した2つのスラブ内地震*（それぞれ、M7.1とM6.7）が発生していることから、スラブ内地震の発生には構造の不均質が密接に関係していることが示唆された。

ウ. 内陸地震*と火山噴火

東北日本の地温勾配*データから推定した3次元粘弾性構造モデルを用いて応力緩和*過程の数値シミュレーションを行ない、東北地方太平洋沖地震後の余効変動が火山フロント*域で局所的に大きいのは、その直下で進行する粘性流動が主な原因である可能性が示された。東北地方太平洋沖地震後の誘発地震*は上部地殻*の高地震波速度・高比抵抗域*内で発生し、その周囲は低地震波速度・低比抵抗異常域に囲まれていることが明らかとなった。これは、地殻深部に存在する流体が上部地殻の流体が少なかった領域に流入することで、地震が誘発されたと解釈された。また、誘発地震の活動域は時間とともに拡大する傾向を示し、これを水の拡散によるものと仮定すると、 10^{-15} m^2 程度の浸透率*で現象が説明できることがわかった。

余効変動により広域的には伸張ひずみ*が卓越する東北日本の中で、越後平野周辺では短縮変形が進行しており、ひずみ集中は遠方の外力に関係なく進行していると解釈される。また、過去の

内陸大地震の余効変動の影響を数値シミュレーションにより評価したところ、過去の大地震による粘弾性変形がひずみ集中の主成因とは考えにくいことがわかった。

発震機構解*から日本列島規模の広域応力場*を推定した結果、応力場は第四紀以降のテクトニクス*と整合的で、ほとんどの活断層*は現在の応力場に対して滑り易い方向に形成されていることがわかった。しかし、山陰・九州・関東地方といった地域スケールでの解析からは、地殻内の大規模な不均質構造の近傍で応力場の局所的な擾乱が認められ、応力場の空間不均質性は強く、地殻応力の絶対値は大きくないことが示唆された。2008年岩手・宮城内陸地震の震源域では、間隙水圧*が比較的高い場所で地震時の滑り量が大きい傾向にあることが示された。

西南日本のひずみ集中帯*である山陰地方の地震帯の、活断層と内陸地震および定常地震活動の地域性を支配する要因を検討した結果、以下のことが明らかとなった。最近地震を起こした断層は、その両端を上部地殻の低地震波速度域ではさまれ、断層直下の下部地殻*には低比抵抗異常が認められる。断層周辺では、下部地殻*における断層面上での定常的な滑りが上部地殻*に応力集中を生み出し、主圧縮軸の回転が見られる(図5)。一方、低地震波速度異常域での主圧縮軸の回転は、そこでの応力緩和を示唆し、大地震の破壊が上部地殻の低速度域に侵入できない原因と推察される。

西南日本における地殻変動データを解析した結果、山陰や南九州に明瞭なブロック運動の境界が見いだされるものの、それに対応する断層帯はみられないことがわかった。このことから、西南日本のひずみ集中帯は若く累積変位量が小さいことが示唆された。

(4) 地震現象のモデル化

地震やプレート境界での滑りのシミュレーション等で利用するために、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

構造共通モデルの構築の一環として、北緯 12° - 54° 、東経 118° - 164° の範囲で地形、地質、重力異常*の500mメッシュデータを作成した。また、下部地殻・最上部マントルを構成すると考えられる岩石のP波速度を鉱物化学組成と構成鉱物等に基づき計算し、西南日本のP波速度構造と比較することにより、西南日本列島下の地殻構成岩石に関する初期モデルの構築を試みた。

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

野島断層で実施されたこれまでの注水実験やアクロス*連続運転データを解析した結果、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を示す結果が得られ、これは断層での強度回復を示唆する。

下部地殻の主要構成鉱物についてせん断変形実験*を行い、その変形挙動が水の量に応じて変化することが明らかとなった。また、岩塩の粉末を模擬断層ガウジ*とした固着滑り実験から、断層に加わる応力の増加による岩石の変形様式の変化が断層の滑り挙動に大きな影響を与えることが示された。

地震サイクル*におけるプレート境界の固着の程度の変化を、プレート境界面からの弾性反射波の観測から検知できるか理論的検討を行った。地震サイクルシミュレーションの結果によると、

地震発生前の滑り加速期に固着の程度が低下するが、これに伴う地震波の反射率の増加は少なくとも5%、大きい場合は50%程度となり(図6)、反射法地震探査により検知可能な変化であると予測された。

(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爆発や火山ガス*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、多項目観測およ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

地球物理学的、地球化学的、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、霧島、十勝岳等の火山で行った。桜島では、マグマ供給系が、始良カルデラ下約10 km、北岳下4 km、南岳下1 kmのマグマ溜まりと、それらをつなぐ径路および火道*でモデル化されている。噴火活動期であった2009年10月～2010年5月および2011年11月～2012年2月にかけて、これらのマグマ溜まりへのマグマ供給や移動、そして、地表へのマグマ放出過程が定量化されるとともに、同時期に、マグマ貫入径路付近の北岳北東部深さ5 kmの地震波反射面の強度が増大したことがわかった。また、個々の爆発的噴火に伴う山体収縮現象は、これらのマグマ溜まりからのマグマ放出に伴う圧力変化モデルで説明された。2011年新燃岳噴火の噴出物の岩石の組織解析から、噴出物の結晶*のサイズ分布はプリニー式*やブルカノ式*といった噴火様式*によって異なり(図7)、これはマグマ溜まりから火道浅部、地表へ上昇するマグマの減圧過程の違いによる可能性が高いことがわかった。

イ. 熱水系*の卓越する火山

水蒸気爆発など、比較的小規模な噴火の準備過程*および先行現象の把握、およびそのモデル化を図るため、熱水系の卓越する火山で多項目観測や噴出物調査に基づく研究が進められた。口永良部島2014年8月の噴火では約1時間前から、御嶽山2014年9月の噴火では数分前から急速に山体が膨張した(図8)。また、2014年11月に約20年ぶりとなる噴火をした阿蘇山では、約1年前から二酸化硫黄の放出量が増加し、4ヶ月前に火口直下の膨張変動が観測された。約1ヶ月前からは火口極浅部の消磁*や長周期微動活発化などの現象が検知された。このように比較的小規模な噴火ではこれまでほとんど得られなかった、噴火に先行する浅部マグマ/熱水挙動のモデル化のための基礎データを取得することができた。

十勝岳や草津白根山では、多項目観測のデータ解析が実施され、浅部熱水系による消磁や地震活動などが調べられた。また、これまでに報告のない小規模な水蒸気爆発による噴火堆積物が発見されるなど、過去の詳細な噴火活動が明らかとなった。箱根山の大涌谷では、CO₂濃度の上昇と火山性地震の増加に相関があることがわかった。

3-2. 地震・火山現象の予測のための研究

地震発生予測では、近年プレート境界の固着状況が明らかになり、観測と数値シミュレーションとの対比が可能になりつつあるプレート境界地震の長期評価に研究に重点を置く。中・短期的

な予測を目指すため、観測データと数値シミュレーションの比較や統計学的な地震活動評価手法を開発する。また、地震に先行して発生した現象のうち、十分な精度を持つ観測から得られたものを統計的に評価し、その物理・化学過程の理解を進める。火山噴火予測では、幾つかの活動的な火山において、噴火履歴に基づいて、噴火事象系統樹を作成する。さらに、噴火規模・その推移の予測を目指して、観測や理論研究に基づき噴火事象の分岐過程と観測データとの関係を明らかにし、事象分岐論理の構築を進めて、火山噴火の規模、推移、様式の予測を目指す。

(1) 地震発生長期評価手法の高度化

地質データ等と近年の観測データとを統合して、同じ場所で繰り返し発生する地震の規模や発生間隔の不規則性の理解を深め、地震発生長期評価*の高度化のための研究を実施した。

阿寺断層においてマルチコプター*による空中写真撮影と3次元計測技術を用いることにより、変動地形学的議論に耐えうる3次元地表データの取得が可能であることを明らかにした。

(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データ等の観測データを比較することにより、プレート境界滑りの時空間発展機構の包括的理解を目指す。さらに、プレート境界滑りを予測する手法を開発する。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する。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する。

ア. プレート境界滑りの時空間発展

(釜石沖繰り返し地震*)

釜石沖の繰り返し地震が、東北地方太平洋沖地震後から頻発し、発生間隔のみならず規模や震源域の空間分布も揺らぐ現象について、摩擦構成則*に基づく数値シミュレーションによって再現できることを示した。このモデルでは、通常発生している繰り返し地震は、不安定滑りが発生し得る摩擦特性の領域の中心付近のみを部分破壊しており、太平洋沖地震直後の応力変化が大きいときには、その全域が破壊し大きな地震になる。

(相似地震*)

東北地方太平洋沖地震発生前の相似地震カタログから東北沖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、福島県沖における2008年からの長期的ゆっくり滑りの滑り分布とその時間推移、東北地方太平洋沖地震の半年程前から震源より北側で発生した滑りの加速と、それが南へと伝播していく様子が捉えられた。

(余効滑り)

逐次データ同化*により、摩擦構成則に基づく断層滑りのシミュレーションモデルの摩擦パラメータと滑り速度等の初期値を同時推定する手法を開発した。模擬観測データを用いた数値実験を行ったところ、余効滑りのみからモデルの全てのパラメータと初期値を拘束することは困難であることが分かった。

(豊後水道ゆっくり滑り)

豊後水道における次の長期的ゆっくり滑りの発生は2016年と予想されていたが、2014年に入ってから深部低周波微動の活動度が通常よりも高くなり、微小なゆっくり滑りが発生したと考えられる。GNSS*観測でもMw6.6程度のエネルギーが放出されたと推定された。微動活動度や地殻変動

量は 2003 年や 2010 年のゆっくり滑りに比べると小さいが、2006 年後半の現象に比べるとやや大きい。

(房総ゆっくり滑り)

2013 年 12 月から 2014 年 1 月にかけて房総半島沖で発生したゆっくり滑りとそれに伴う群発地震活動の関係を知るために、フィリピン海プレート上面における滑りの時空間発展を時間依存インバージョン解析*により推定するとともに、地震波形の相関を利用した解析手法により地震の検出を行った。その結果、滑り速度と地震の発生個数及び滑りの伝播と震源の移動の間には強い相関が見られ、群発地震活動がゆっくり滑りによる応力変化によってトリガーされたことを示唆する。さらに、同様の手法により、東北地方太平洋沖地震直後の房総 SSE 発生域での地震の検出を行ったところ、東北地方太平洋沖地震発生の翌日から群発的な地震活動が始まり、地震活動域の移動と小繰り返し地震も検出された。このことから、GNSS データからは検出されていなかったが、房総半島沖では東北地方太平洋沖地震の直後にゆっくり滑りが発生していたと考えられる。2007 年、2011 年 11 月、2014 年の 3 つのゆっくり滑り発生期間中の地震活動についても同様の手法で再解析を行い、地震活動度・滑り量を比較した結果、2011 年 3 月の房総ゆっくり滑りの規模は 2014 年のイベントと同程度もしくはそれよりも小さいと推定される。房総半島ではこれまで群発地震を伴うゆっくり滑りが約 6 年間隔で発生してきたが、太平洋沖地震以降、2011 年 3 月、同年 11 月、2014 年 1 月にゆっくり滑りが発生したと考えられ、その発生間隔は少しずつ延びており、この地域の準静的滑り速度の時間変化を示唆する (図 9)。

(九州～南西諸島短期的ゆっくり滑り)

GNSS データ単独での短期的ゆっくり滑りの断層モデル推定手法の改良を行い、九州から南西諸島での発生状況を初めて系統的に明らかにした (図 10)。この結果、次のような地域的特徴がみられた。九州では四国の SSE 発生域の南西部延長 (深さ 30～40km) で発生しているが、その数は南西ほど少なくなる。琉球海溝沿いでは、種子島沖、喜界島沖、沖縄本島南部沖、八重山諸島において短期的ゆっくり滑りの活発な領域が見られ、八重山諸島を除いた 3 領域の発生深度は 10～30km と浅い。

(地震サイクルのシミュレーション)

東北地方太平洋沖地震に関しては、高速滑り時の間隙流体圧上昇による摩擦強度低下などを考慮した数値シミュレーションを行い、普段は浅部でゆっくり滑りが生じていて、M9 地震のときには大滑りが生じるという結果を得た。また、東北地方太平洋沖地震発生前の M7 の地震活動をほぼ再現できるような数値シミュレーションを行い、次の 1978 年型の「宮城県沖地震」の発生時期について検討した。

南海トラフ全域について、地震サイクル間におけるゆっくり滑りの発生を再現する数値シミュレーションを行った結果、地震サイクル前半から中盤にかけては短期的ゆっくり滑りの発生間隔が減少するが、サイクル後半では、長期的ゆっくり滑り発生のために短期的ゆっくり滑りの発生間隔は大きな擾乱をうける結果が得られた。

(南海トラフ～南西諸島超低周波地震)

広帯域地震観測網 F-net*で得られた約 11 年分の記録を地震波形の相関を利用した手法で解析し、南海トラフおよび南西諸島海溝の近傍で発生する浅部の超低周波地震 (VLF)*を検出した。その結果、浅部 VLF 活動の発生頻度は紀伊半島沖～四国沖では低く、日向灘・南西諸島と南西に向かうにしたがって高くなることが分かった。この傾向は、相似地震から推定される準静的滑り速度の地域性と良い相関があり、大きな滑り速度が浅部 VLF 活動を活発化させている可能性がある。

る。

イ. 地殻ひずみ・応力の変動

地震活動予測は対象地域の地殻構造と応力・強度状態とその時間発展を把握することが重要である。高い空間分解能を有する地殻応力図を整備することを目指し、関東地方の詳細な地殻応力推定・活断層 3 次元構造解析を進めた。その結果、関東地方で応力方位の変化する境界は地質構造線と対応を示すことが明らかになった。また、微小地震の発震機構解に基づき上町断層帯周辺における詳細な応力場推定を行った。推定された応力場と断層深部形状をもとに活動性評価を行ったところ、断層帯北部の活動性が低いことが示された。

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

地震の規模別頻度分布の b 値*は応力の指標と考えられており、 b 値が小さいことは高応力に対応し、また、大地震発生前に b 値が変化すると報告がある。全世界の沈み込み帯において b 値の分布を調査したところ、スラブの浮力が高い地域ほど b 値が小さいという傾向が認められた。また、各地域において、余震期間と平常時でほぼ同程度の b 値が得られることが判明した。さらに、日本海溝から沈み込む太平洋プレート沿いに関しては深さ 200km 程度までの b 値分布が求められ、大局的なテクトニクスを反映した結果が得られたが、それによって巨大地震の発生領域を事前に特定することは困難である。また、東北地方太平洋沖地震の滑り域の活動の時間変化をみると、地震後しばらく高くなっていた b 値がほぼ平常値に近いレベルまで戻っている。

地震活動の統計モデルの予測性能を系統的に調べる研究を進めている。地震活動の特徴から前震*である可能性の高いものを選別する手法を群発活動が特徴的な伊豆地域に事後適用し、予測性能について検討した。また、繰り返し性が明確である小繰り返し地震に対しての予測可能性を調査し、2010 年までに限れば良好な予測成績が得られることが確認された。

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

日高地方の地震に先行して発生する傾向が指摘されている VHF 帯電波伝搬異常現象について、遠方の FM 放送局からのえりも観測点での観測データを系統的に調べた。受信電波強度の時系列から、単純な閾値による異常判定を行い、それから一定期間内に地震が起こったかどうか調べたところ、対象を M4.5 以上の地震に絞れば、地震がランダムに発生すると仮定した場合に比べて約 2.5 倍地震が発生しやすいという結果が得られた。今後対象時空間で予測マップを作成し有意性の評価を実施する必要がある。

地震活動の変化を定量的に解析する手法を国内の M7 クラス以上の地震を対象に適用したところ、静穏化域の位置、大きさ、先行時間と地震規模の間に相関がみられた。また、別の地震活動解析手法を 2004 年スマトラ地震 (M9.1) 発生域の M5 以上の地震に適用したところ、この地震発生の 13 年前から地震活動が静穏化していたことがわかった。この静穏化の原因は、本震震源域の深部延長が先行的に長期的ゆっくり滑りを起こしていたと考えると解釈できる。さらに、千島海溝沿いに発生した M5 以上の地震を選択し同様の解析を行い、1994 年北海道東方沖地震 (Mw8.3) では 13 年間、2003 年十勝沖地震 (Mw8.3) では 10 年間、静穏化領域が本震震源域に見つかった。2006 年中千島地震 (Mw8.3) でも、10 年間地震活動が静穏化していることが分かった。

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

噴火史、古記録解析および地質学的調査に基づいて主に蔵王山を対象火山として事象系統樹*作成を進めた。その結果、以下のことがわかった。蔵王山の最近の活動では、火口湖である御釜を中心として熱・熱水活動が長期にわたり断続的に継続する。熱水活動後に、中小規模（VEI*=1～3）の水蒸気爆発ないしマグマ水蒸気爆発に移行する。その際には火山泥流*を伴うことが多い。また、数千年程度の時間軸で見れば、より規模の大きいマグマ噴火（VEI=3～4）や山体崩壊が発生している。

火山噴火に至る重要な事象の分岐点における観測データの変化を、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、霧島山新燃岳を対象としてこれまでの観測事例を再検討した結果、分岐には新たなマグマ供給が強く関与していることが明らかとなった。例えば、マグマ噴火開始前には中期的な全磁力*等の異常、水蒸気爆発からマグマ噴火への分岐前には山体膨張および地震活動や火山ガスの活発化、火砕流発生（ドーム崩落*）前には山体膨張および地震活動の活発化、山頂噴火から山腹噴火の前には地震活動の活発化および急激な山体変形、など重要な分岐事象において観測量の変化があることがわかった。

3-3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

地震・火山噴火という自然現象が引き起こす地震動、津波、火山灰や溶岩*の噴出などの「災害誘因」が、自然・社会の「災害素因」に働きかけ、その作用・影響が顕在化して災害が発生するという視点から、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する。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を進めるとともに、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も研究を進める。災害情報の高度化のために、関連する多くの研究分野の研究者や行政機関と連携し、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う。

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

史料データベースを解析しながら、江戸時代における地震対応について検討を開始した。

新潟地震50周年、焼山火山災害40周年、新潟県中越地震10周年を迎える年を契機として、地域における火山・地震災害の被害やその後の復旧状況を評価・検証した。特に中越地震については、10年間の復興の取組を総括し、企業の活動、地域の活動、日常生活等が時間とともにどのように復旧したかを比較した。

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

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開始した。地震被害と関連が深い周期1～2秒の地震波の卓越事例として諏訪盆地の観測記録の整理を行うと共に、地震波の増幅特性*について検討を開始し、盆地の内部と外側にある近接距離のペア観測点の記録が地震動増幅特性の把握に効果的であることが分かった。国外においては、カトマンズ盆地（ネパール）において、マグニチュード5程度の地震の地震動記録を収集・解析し、既往の距離減衰式*と調和的であること、盆地内サイトでのS波部分では岩盤サイトに対して最大で10倍程度の振幅を持ち明瞭なサイト特性を有することを確認した。

2011年霧島新燃岳噴火による火山灰の堆積の影響による交通量の初期低下率を把握するために、降灰量と道路における通行規制の有無の関係を機能的フラジリティ曲線*で近似し、降灰量に対す

る通行規制の確率分布を求めた（図 11）。これをもとに、地域の早期復旧を目指した最適な交通ネットワークの復旧分析を行った。

（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は、地震動の構成要素としての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。東北地方太平洋沖地震で指摘されている地震波放射特性の空間的な「棲み分け」に関して、強震動記録の周期帯別解析により、同じ場所での 2 回の破壊で震源特性が異なるなど「棲み分け」が単純ではないことがわかった。地下構造モデルの高度化では、同じ規模の地震が新潟県中越地方で発生した場合と福島県東部で発生した場合について地震波伝播の数値シミュレーションを行い、関東地域のやや長周期地震動*生成は地震波の入射方向による違いがあることが示された（図 12）。

大地震の震動による地滑り*現象は大きな災害要因の一つであるが、首都圏では丘陵地帯を切り拓いて作った造成地に多くの住居があり、そのような地域の増幅特性を見積もった。人工的に改変された盛土では、S波の上下動成分の 10Hz 前後に顕著な増幅が見られ、揺れの大きさは地山に比べて約 3 倍に増幅することがわかった。地震による火山地域での地滑り被害研究のレビューを行い、最も甚大な被害は降下火砕物の崩落地滑りによるものであることがわかった。すべった物質の地質調査から、広域に被害を及ぼす火山地域での地滑り領域を抽出できる可能性が示された。

火山灰や溶岩噴出の事前評価として、1914 年の桜島大正噴火について気象場を考慮した移流拡散モデル*に基づいた火山灰拡散・降灰の評価を行い、東北地方や北海道まで降灰が予測されることを確認した。気象条件による降灰地域の変化や成層圏内での火山灰の輸送過程評価の課題を整理した。

（4） 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

地震動の即時予測に関して、現在の緊急地震速報*で用いられている震源とマグニチュードの早期決定に基づく地震動評価に加えて、揺れの伝播を予測する方法を考案し、東北地方太平洋沖地震や 2014 年 11 月 22 日に発生した長野県北部の地震の実記録へ適用して予測精度等を検討した。近い未来の予測ならば概ね震度差 1 以内に収まる精度で行えること、また、実時間に比べてそれほど遅くない程度に計算が可能であること、ただし予測精度には観測点密度が重要であることが確認された。

数日以内程度の時定数を持つ地殻変動場を精密にとらえるため、GNSS 解析の高精度化に関する研究開発を進め、全球数値気象モデル*を電波伝搬遅延*量の推定に利用することにより精度向上することがわかった。GNSS リアルタイム地殻変動データ*を用いた地震発生後の断層モデル早期推定手法を遠地地震記録に適用し、自動化のためのパラメータ設定の最適化を行い、多くの地震が適正に解析可能であることを確認した。

津波の即時予測に関しては、津波浸水予測*を実施する地域に対して、あらかじめ多くの場合について数値計算した浸水域や浸水高のデータベースを利用するとともに、GNSS リアルタイム地殻変動データを用いて即時的に推定される震源モデルを利用して、リアルタイム浸水予測手法を高度化した。

桜島を対象火山として、噴火に伴う噴煙の早期検知を目的とした火山灰粒子密度推定等を行った。火山灰による電波の反射・散乱は、GNSS 衛星からの電波では伝搬遅延として表れるが、搬送

波位相残差を衛星と観測点の組み合わせに注目してみると、位相残差の大きい伝搬経路から火山灰粒子密度の推定が可能である。2012年7月24日に桜島南岳において発生したブルカノ式噴火について、火山灰粒子密度の時空間変動を推定し噴煙が移動する様子を把握することができた(図13)。

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

基盤地図情報^{*}、国土数値情報^{*}、国勢調査(小地域)データなどをベースとし、自治体が整備した津波浸水想定^{*}、避難場所、都市計画基礎調査^{*}などを統合した、現地調査用の携帯型地理情報システムをタブレット型PCに構築し、運用テストを行った。また、避難行動の移動履歴データなどをGIS^{*}で分析する方法を開発した。このシステムを活用することにより避難訓練の行動情報を数値化しての保存することが可能になり、災害発生時等における情報提供のあり方を考察するためのツールとして使用が期待できる。

3-4. 研究を推進するための体制の整備

地震・火山現象の解明と予測の研究のためには、観測で得られる膨大なデータや解析結果等を効率的に利用するための、データ流通システムやデータベースが必要であり、また、これまで得られなかったデータを取得し研究を進展させるために観測技術等の開発が重要である。地震火山現象に関する研究成果を災害軽減に活用するためには、研究者、技術者だけでなく、防災業務・防災対応に携わる人材の育成や、災害教育にも力を入れる。さらに、観測事例を増やすために国際的な共同研究を推進するとともに、開発途上国等における地震・火山災害の軽減に貢献する。

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

平成26年度に噴火が発生した口永良部島や御嶽山のほか火山活動の高まりがみられた十勝岳、吾妻山、草津白根山、霧島山において、緊急観測により収集した火山活動の詳細なデータを解析し、データベース化した。仙台平野における津波堆積物の情報およびそれに基づいた869年貞観地震の津波浸水シミュレーション結果をデータベース化し公開した。また、これまでに日本列島沿岸各地で実施した津波堆積物調査の実施地点の情報も併せて整備した。

これまでに作成された全国地震カタログ^{*}では震源の位置精度が不十分であった1955、1958、1975年について、再解析により震源の質・量が大幅に改善されたものがカタログに反映された。

・観測・解析技術の開発

底層流^{*}の影響を受けにくい自己埋設型の次世代型広帯域海底地震計を利用した広帯域地震・傾斜同時観測システムによる観測を房総沖で開始し、2014年1月のゆっくり滑りを含むほぼ1年間の傾斜変動記録を取得した。

GNSS観測・解析技術については、電子基準点観測データの誤差特性を分析し、GEONET定常解析で計算される電子基準点の座標時系列の誤差の有無について判断を支援する電子基準点^{*}誤差分析システムを構築した。また、電子基準点固有の誤差をモデル化し、位相残差マップとして整備するとともに、これを用いてGNSS観測データを補正するツールを開発した。衛星赤外線画像^{*}を用

いた噴火推移の観測については、2016 年秋に打ち上げ予定である宇宙航空研究開発機構の次世代衛星 GCOM-C*の画像データの処理解析システムの開発を進めた結果、画像から溶岩の噴出開始や火砕流堆積域、溶岩の噴出率変化の検出が可能であることが分かった。

レーザ技術を利用した広帯域地震計・傾斜計を観測井において設置可能にする改良を行い、200 度の高温環境下での実証実験を行い、低周波 (0.2-10Hz) においては良好な特性を示すことが示された。素粒子ミュオン*を用いた火山透視技術については、カロリメータ方式によって霧島新燃岳の山頂から 5km 南において観測した結果、山頂火口付近において低密度領域が観測され、これまで観測が困難であった遠方 (2km 以上) の火山のミュオグラフィ観測*が可能となった。また、装置のモジュール化を進めたことで機動性が格段に向上した。口永良部島、御嶽山の噴火に対応するため、二酸化硫黄簡易型測定装置の改良と高度化および解析ソフトの改良を行い、屋久島町営フェリーに実装され、口永良部島火山の二酸化硫黄放出率モニタリングに活用された。2014 年 8 月 3 日以降のガス放出量増加がとらえられ、マグマ噴火への移行を判断する観測量として活用されている。

・ 社会との共通理解の醸成と災害教育

火山噴火予知研究についての一般向けセミナーを鹿児島市内において開催するとともに、研究成果が現状の避難計画を含めた防災対策にどのように活用できるかを検討した。また、100 年前の桜島大正噴火にまつわる証言から大正噴火に至る過程を考察し、それに基づいたシナリオに沿って鹿児島県、鹿児島市など自治体の机上防災訓練*が行われた (図 14)。

・ 国際共同研究・国際協力

ニュージーランドのヒ克蘭ギ沈み込み帯における地殻活動解明のために、日本、ニュージーランド、米国が共同で海底観測機器を設置した。これまでに得られたデータの解析から、この地域で発生したゆっくり滑りと関係する地震活動を検知することができた。

3-5. 優先度の高い地震・火山噴火

本計画実施期間に災害科学の発展に著実に貢献できることや、発生した場合の社会への影響の甚大さを考慮して、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、研究項目を横断する総合的な研究として推進している。ここでは、総合的な取り組みについてのみ記述し、それぞれの地震・火山噴火に関連する個別の研究成果は 3-1 から 3-4 に記述した。

・ 東北地方太平洋沖地震

東北地方太平洋沖地震については、地震発生の予知はおろか、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。この地震を詳しく調べ、将来の巨大地震による災害軽減に役立てるとともに、この地震の発生により広域な場の変化が日本各地の地震や火山に及ぼす影響を詳細に調べる。この地震の余効変動の解明や浅部の大滑りの原因の研究が進展しており、これまでの成果を利用したモデルにより地震発生予測に関する研究も行われた。

・ 南海トラフの巨大地震

南海トラフ域では、昭和の東南海・南海地震から70年が経過し、次の巨大地震は着実に近づいている。南海トラフ巨大地震のリスク評価の精度向上ために、震源、地殻構造・波動伝播、強震動予測、地盤構造、被害予測（地震動・津波）等の各要素の不確定さの研究を、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として開始した。

・首都直下地震

様々なタイプの地震の発生が想定され、発生した場合の社会的影響が大きい首都直下地震のために、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。このようなデータを利用して、この地域の構造とスラブ内地震の関係や、ゆっくり滑りの発生パターンの変化などの成果が得られた。

・桜島火山噴火

桜島火山では、近年、火山活動活発化の傾向が続いていると同時に、始良カルデラ下ではマグマの蓄積が進行しており、マグマの100年間の蓄積量からみて、1914年大正噴火と同等の規模の噴火の発生が懸念されている。最近の観測データから、桜島火山のマグマ供給や移動などのモデル化が進んでいるほか、火山研究から明らかになった過去の噴火事例などに基づき防災訓練が行われた。

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」の初年度である平成26年度には、地震や火山噴火による災害を考える上で重要な地震と火山噴火が発生した。平成26年9月27日御嶽山噴火は噴火の規模としては特別に大きなものではなかったが、火口付近に多くの観光客がいたために、戦後最大の火山噴火災害となった。これは、火山現象の規模と災害の規模が単純に比例するわけではないことを示し、災害に結びつく様々な要素を考慮した上で地震・火山現象の研究を行うことの重要性をあらためて認識することとなった。一方、御嶽山の噴火は規模が小さいものではあったが、災害軽減に結びつけられる可能性のあるいくつかの先行現象を捉えることができた。このような現象を確実に観測し、適切に評価して噴火予測につなげるための研究はますます重要になっている。平成26年11月22日に発生した長野県北部の地震は、これまでに知られていた活断層の一部が活動したものであり、本震発生の4日前から群発地震活動が観測され、本震発生前に震源域に臨時観測点を設置していた。これらは、地震の予測可能性を示す結果といえるが、その信頼性や確実性などの評価には至っていない。活断層の一部を破壊するような地震の長期的な予測の手法や、前震活動の評価手法など、地震発生予測を実現するための課題は多い。

本計画では、地震・火山現象の解明と予測のための研究を行ってきた理学研究者に加え、史料や考古データに基づく近代観測以前の地震・火山噴火の解明や、地震・火山に関する研究成果を災害軽減に活用するために、工学や人文・社会科学の研究者も参加し、総合的、学際的な研究を推進する。平成26年度には、複数の研究分野が合同で研究集会を行うなど、具体的な取り組みがいくつか始まっている。歴史地震に関するデータベースの構築の開始や、南海トラフ巨大地震のリスク評価に関する取り組みなどは、本計画のような枠組みではじめて実現可能になったものである。今後、これら研究分野の研究者の協力をより強固なものとして、地震や火山噴火による災害の軽減に貢献できる研究を推進していかなければならない。

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究

①地震・火山現象の解明のための研究

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

②地震・火山噴火の予測のための研究

- 地震発生長期評価手法の高度化
- 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
- 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

③地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

- 地震・火山噴火の災害事例の研究
- 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の高度化
- 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化
- 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

④研究を推進するための体制の整備

推進体制の整備

研究基盤の開発・整備

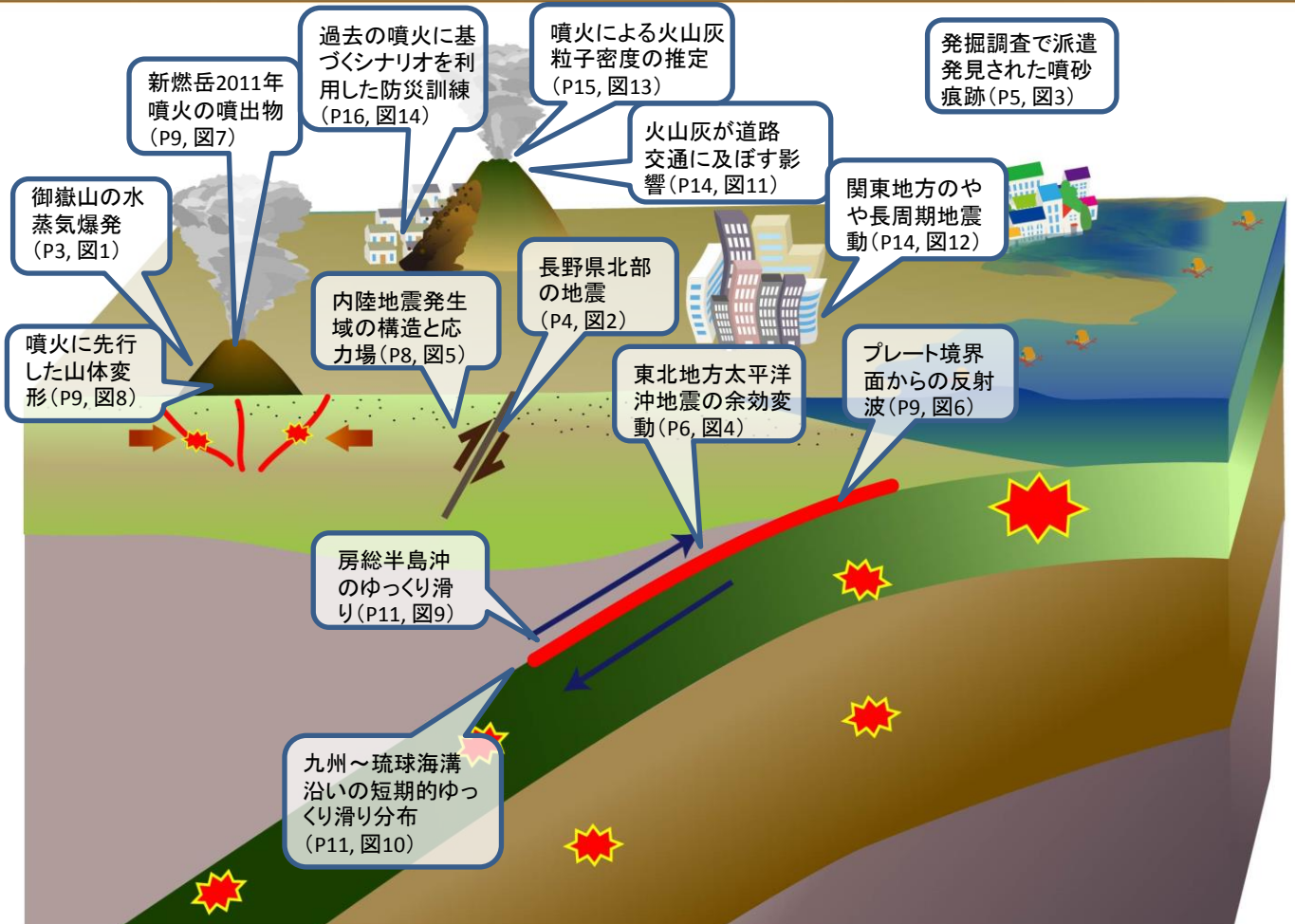
人材の育成

関連研究分野との連携の強化

社会との共通理解の醸成と災害教育

国際共同研究・国際協力

※計画の実施機関 総務省・文部科学省・経済産業省・国土交通省及びこれらが所管する国立研究開発法人、国立大学法人等



御嶽山噴火の先行現象

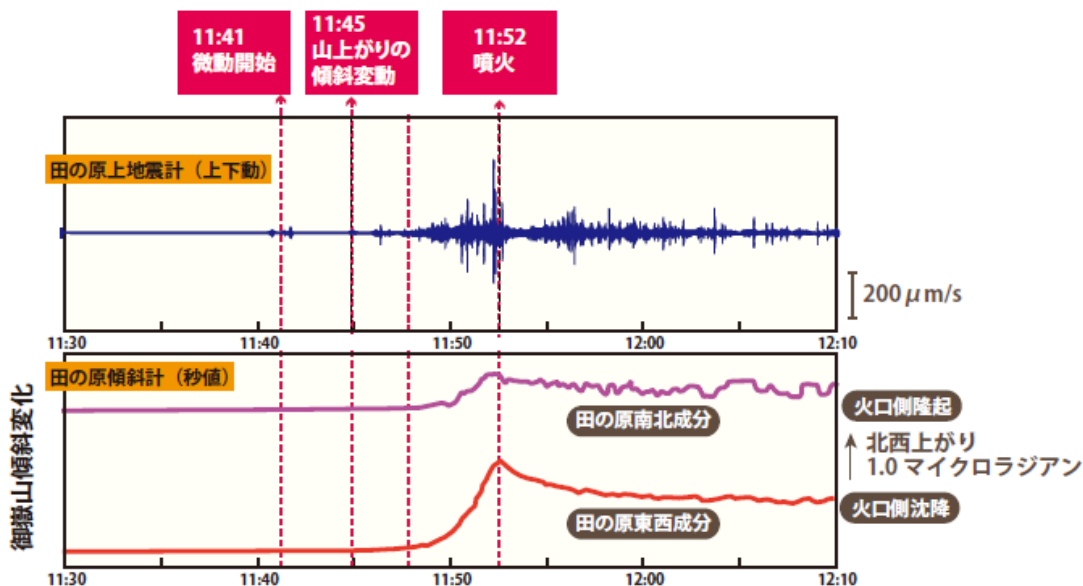


図1 御嶽山の水蒸気爆発に先行して記録された地震と傾斜変動

水蒸気爆発の発生 11 分前より火山性微動が観測された。その 4 分後には、山体膨張を示す火口方向上がりの傾斜変動が火口から南東約 3km の観測点で検知された。

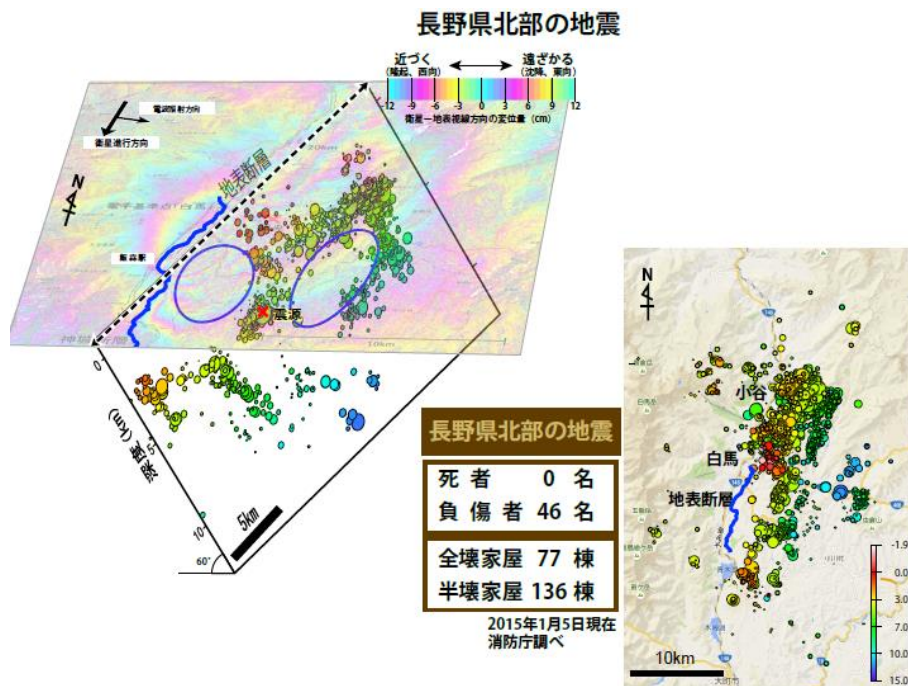


図2 長野県北部の地震

(左上) 本震の地震断層沿いに発生した余震分布と SAR 干渉画像解析による地殻変動。この断層面の浅部延長では、神城断層に対応する地表変動が見られる。浅い地震が発生していない領域の延長には地表地震断層が存在する。深さ 5km 付近の青い楕円で示された領域では余震がほとんど発生していない。この領域は強震動を生成した領域に対応すると考えられる。SAR 干渉画像では、縞縞の間隔が狭いと、その領域の地殻変動が大きいことを示している。(右下) 長野県北部の地震発生後約 1 ヶ月間の余震分布。丸の大きさは地震の規模を、丸の色は地震の深さを表わしている。地表地震断層が見られた地域では、浅い地震が発生していない。

発掘調査で発見された噴砂痕跡

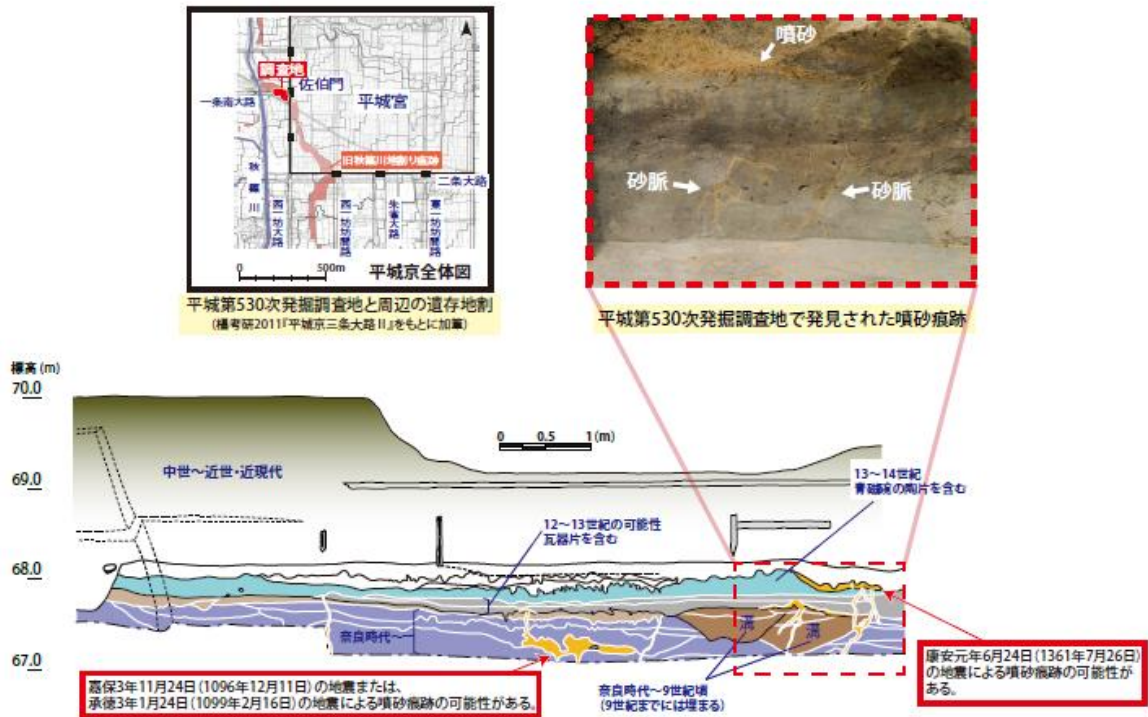


図3 平城宮跡地に隣接する旧秋篠川の流路で、11世紀末頃および14世紀中頃に発生した地震による可能性のある噴砂痕跡が発見された。これらの噴砂痕跡については、特定の歴史地震によるものとして限定される考古学的証拠は認められていない。

東北地方太平洋沖地震の余効変動と粘弾性モデル

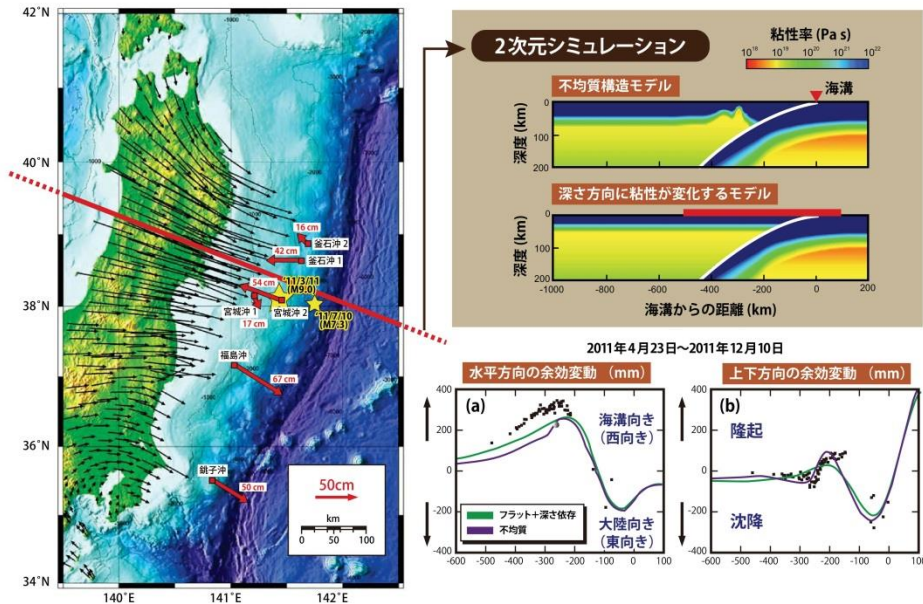


図4 (左) GNSS (陸上) 及びGPS-音響測距結合方式*(海底)により観測された東北地方太平洋沖地震後の地殻変動。赤と黒の矢印は、それぞれ、海底観測点(基準点)と国土地理院の電子基準点における累積変位ベクトルを示す。赤線に沿う断面を対象に2次元シミュレーションを行った。(右上) 余効変動のシミュレーションのための2次元粘弾性構造モデル。上は、境界面の形状と粘性率に不均質性を与えたモデル。下は、基本的に深さ方向にだけ粘性が変化する。白い線はプレート境界面。(右下) 2つの粘弾性構造モデルに対して2次元シミュレーションで得られた余効変動。左は水平方向、右は上下方向の変位。観測データはGNSSによる。右上図の赤線の領域の地殻変動を示す。

内陸地震発生域の構造と応力場

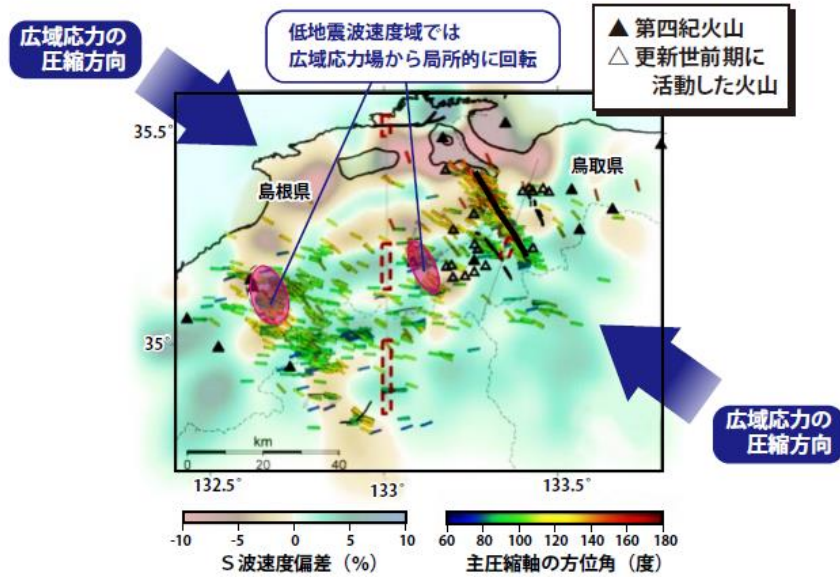


図5 山陰地方の地震帯における地震波速度分布と応力状態との関係。稠密地震観測データを用いて推定された地下4 kmでの地震波(S波)の速度と小地震の震源における圧縮方向の分布。暖色系の色で示される低地震波速度の領域では、広域応力場とは異なる圧縮方向を示す小地震が発生している、局所的に応力場が回転していることが示唆される。赤色破線の矩形は地下深部の高電気伝導度域、実線は活断層、三角印は火山を示す。

プレート境界面からの反射波の変化

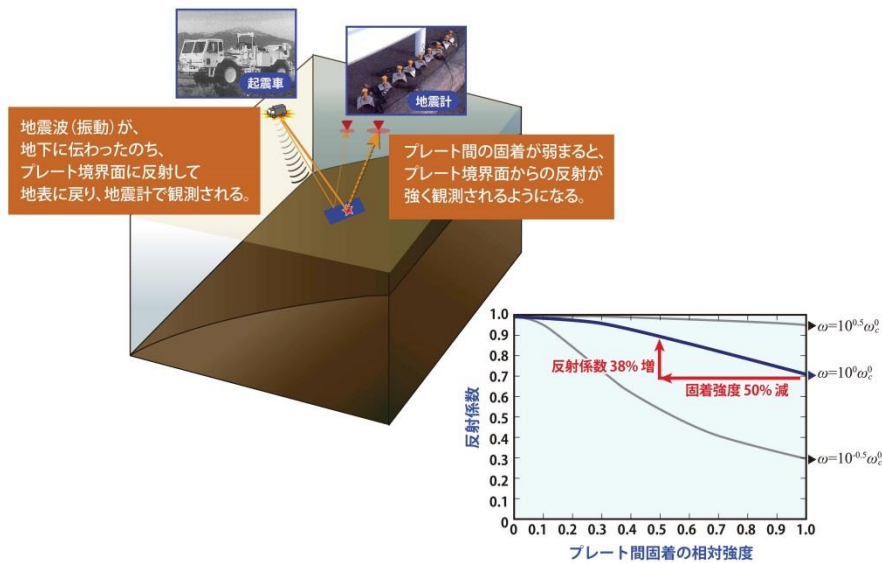


図6 地震発生前に非地震性滑り*の発生により断層面での固着が弱まると、断層面での地震波反射率が上昇することが示された。(右下) 現実の断層面状態と地震探査で使用される地震波の周波数を想定した数値シミュレーションで得られた断層面の固着の程度と地震波の反射係数の関係。地震発生前に50%程度の固着の低下が予測されるが、それに伴って反射率が38%増加する。 ω は入力する地震波の周波数で、 ω_0 は断層面の接触状態から理論的に計算される特性周波数。(左上) これを実際のプレート境界断層に適用すれば、地震探査を繰り返すことによって断層からの反射波を観測し、地震発生前に固着の変化を検知できる可能性がある。

新燃岳 2011 年噴火の噴出物の結晶サイズ分布の特長

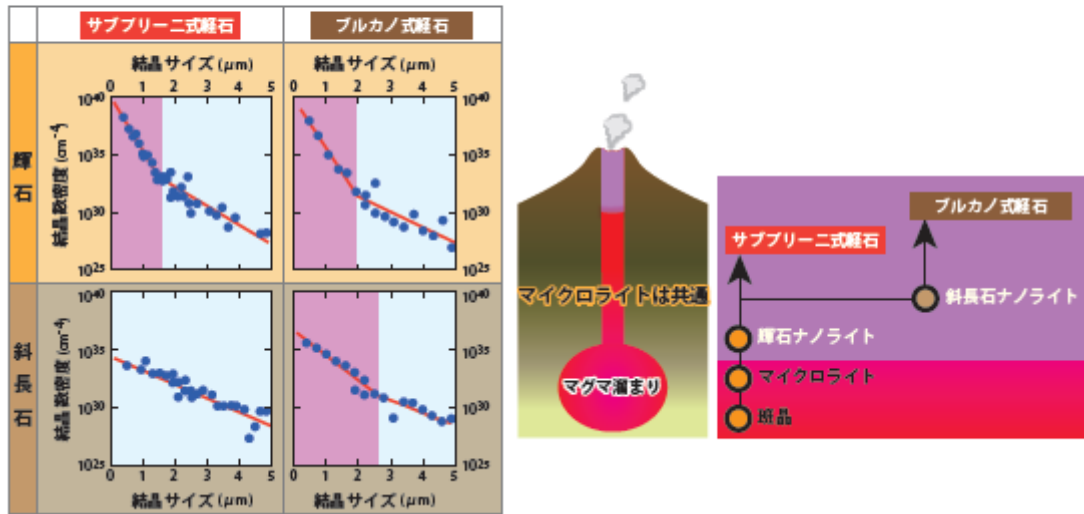


図7 マイクロライト（ミクロナスケールの結晶）のサイズ領域では、輝石・斜長石ともブルカノ式かサブプリニー式の噴火様式による違いは見られない。一方、ナノライト（サブミクロナスケールの結晶）の領域（概ね2マイクロメートル以下）は、ブルカノ式の斜長石にはマイクロライトとの傾きの違いが顕著に認められるのに対し、サブプリニー式の斜長石には認められないという違いがある。火道浅部のマグマが受ける減圧過程の相違が表れていると考えられる。左図中、紫色の背景色は、マイクロライトの傾きと顕著な違いが認められるナノライトの領域を示す。

噴火に先行した地殻変動

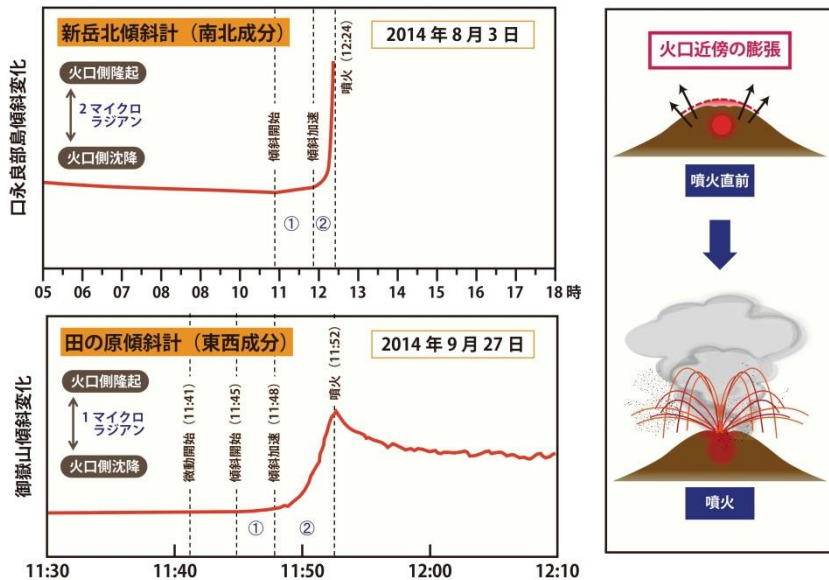


図8 2014年8月3日、口永良部島新岳火口で爆発的噴火が発生した。新岳火口の北東約200mの傾斜計により噴火直前の変動が記録された。①噴火の約1時間半前から火口側の隆起が始まり、②約30分前から急加速した。2014年9月27日に御嶽山で発生した水蒸気爆発では、火口から南東約3kmの傾斜計で噴火直前の変動が記録された。①噴火の約7分前から火口側の隆起が始まり、②約4分前から急加速した。

房総半島沖のゆっくり滑りと地震活動

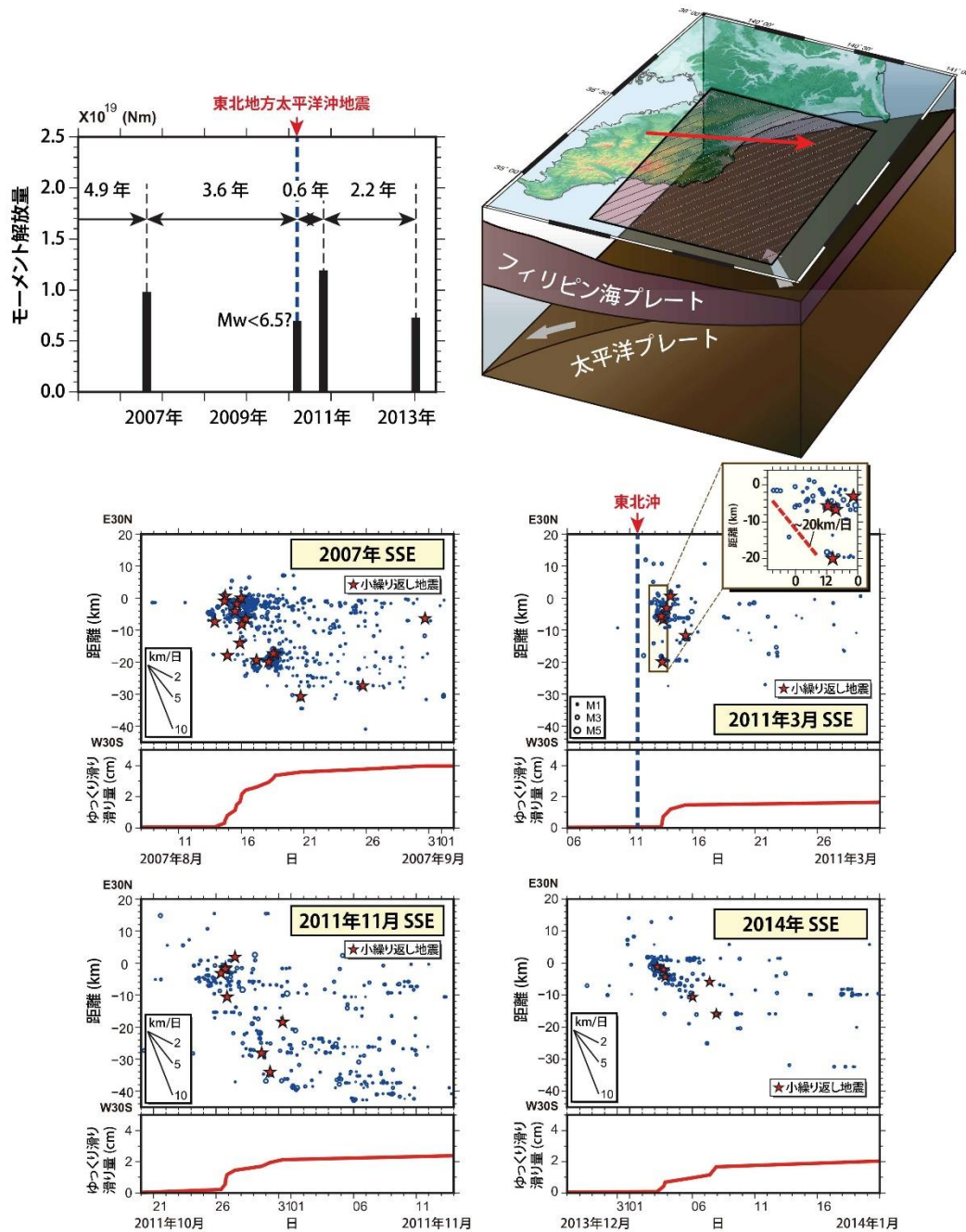


図9 (上左) 房総半島沖ゆっくり滑りの発生履歴。(上右) 房総半島におけるプレート沈み込みの模式図。長方形領域の地震を解析した。赤矢印は、下図で震央を投影した方向。(下) 2007年8月、2011年3月、2011年11月、2014年1月のゆっくり滑り(SSE)期間に発生した群発的地震活動の時空間発展。青点は地震波形の相関を利用した解析により検出された地震、赤星は小繰り返地震。横軸は時間経過、縦軸 E30° N-W30° S の測線に投影した震央位置を表す。赤線は累積滑り量の時間変化。2011年3月の図中の赤破線は地震の移動フロントのおおよその位置を表す。

九州～琉球海溝沿いの短期的ゆっくり滑り分布

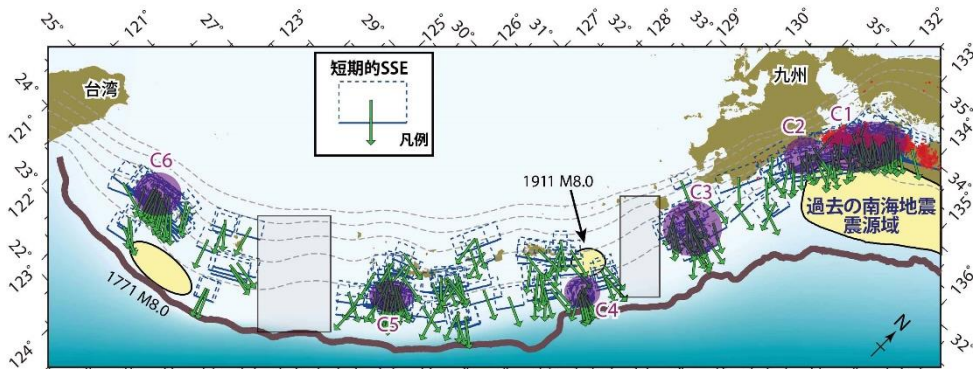


図10 GNSS データから系統的に推定された南海トラフ西部～琉球海溝沿いで発生した短期的ゆっくり滑り。青の矩形領域及び矢印は、短期的ゆっくり滑りの断層モデルの位置と滑りの方向を表す。網掛けの領域はGNSS データの解像度がなため、短期的ゆっくり滑りの検出を行わなかった領域。C1～C6は顕著な短期的ゆっくり滑りのクラスター*の領域、黄色い領域は過去の大地震の震源域。

火山灰が道路交通に及ぼす影響

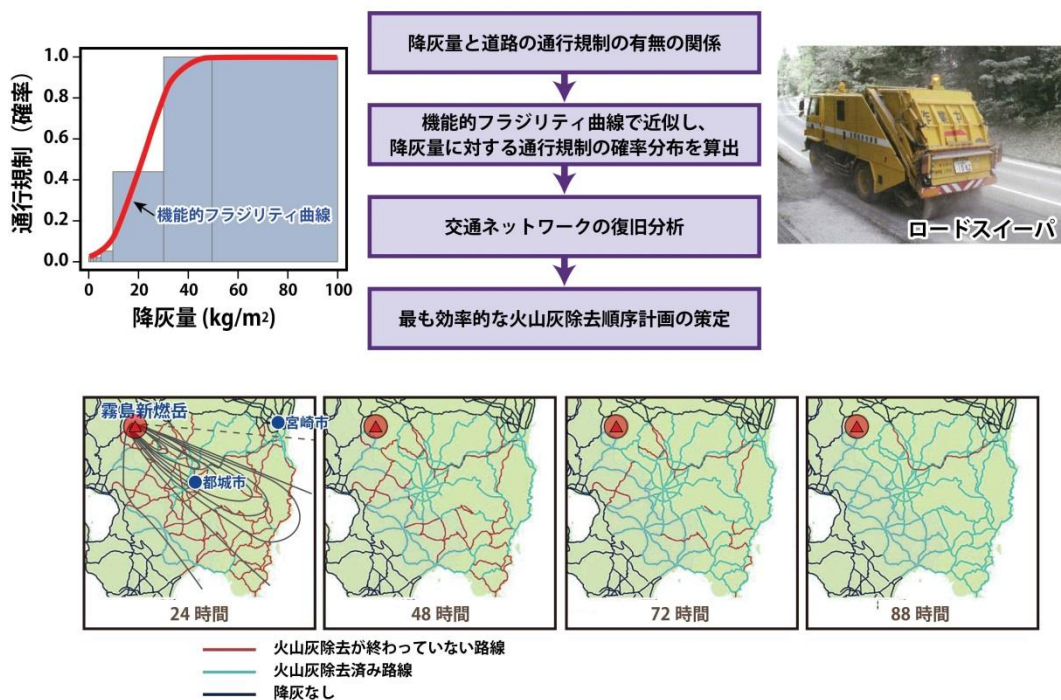


図11 2011年霧島新燃岳噴火による火山灰の堆積が道路交通に及ぼす影響と道路清掃による道路交通の回復。(上)降灰量に対する通行規制の確率分布。(下)道路清掃による道路の清掃時間、交通量、交通量の低下率を考慮して求めた最も効率的な火山灰除去順序。

関東地方のやや長周期地震動

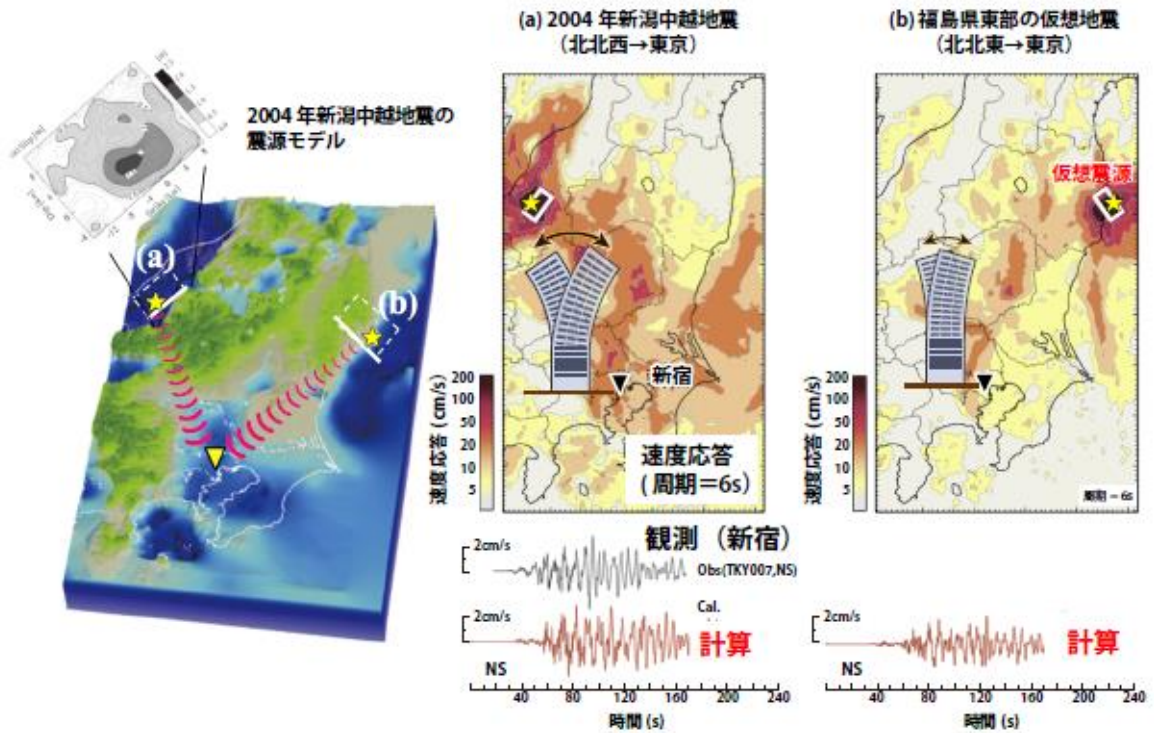


図1.2 実際に発生した2004年新潟県中越地震(中)及び同じ規模の地震が福島県東部で起きた場合(右)の関東平野におけるやや長周期地震動分布の数値シミュレーション。シミュレーションでは地震調査研究推進本部*の取り組みで作られてきた、J-SHIS地下構造モデル* (左)を用いた。コンターは周期6秒の速度応答値*を示す。これは固有周期*6秒の建物の最上階の(速度の)揺れの最大値を示している。

噴火による火山灰粒子密度の推定

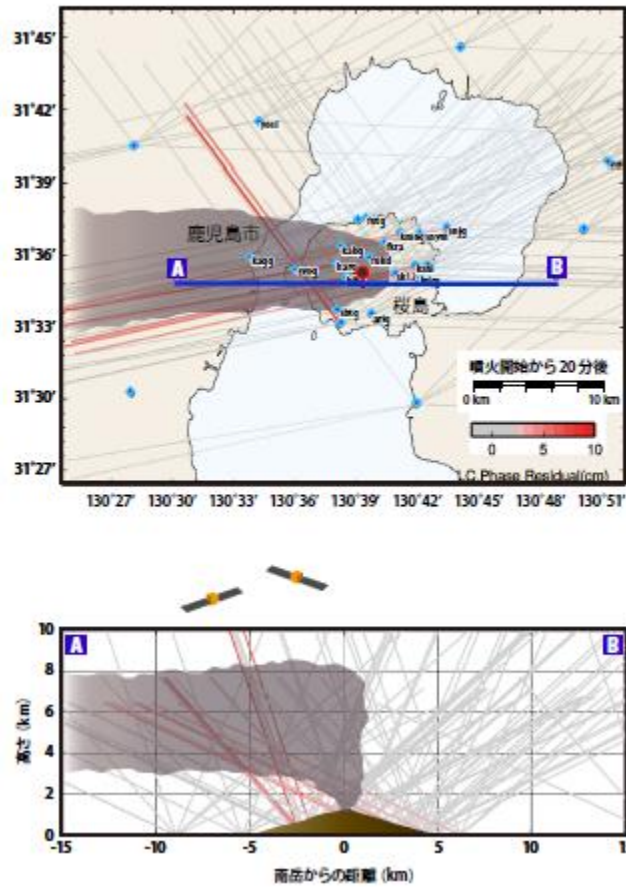


図1-3 2012年7月24日に桜島南岳において発生した爆発によって放出された火山灰の影響で、GNSS衛星からの電波に遅延が生じた伝搬経路。赤の線が遅れを示す。火山灰が広がる領域で、多くの赤色の線が交差している。(上)平面図。(下)上図のA-Bに対応する東西断面図。

過去の噴火に基づくシナリオを利用した防災訓練の実施



図1-4 桜島大正噴火(1914年)に至る前駆現象の考察に基づく新たな避難訓練シナリオを作成し、机上防災訓練を行った。

用語解説

アクロス

精密に制御された地震波信号を連続的に発信する人工震源システム。

移流拡散モデル

物質や温度などの物理量が流れによって移動する現象と拡散を同時に考慮したモデル。

インバージョン解析

観測データから、それを生じさせる原因となる現象や物質の性質等を推定する解析手法。

上盤プレート

沈み込むプレートよりも上側に位置するプレートのこと。

衛星赤外画像

衛星で取得される赤外画像。赤外画像は地球の地表面の温度によって変化する。

江戸大絵図

江戸の古地図のこと。ここでは、現在の地図と比較しやすい天保十四年（1843）に出版された「天保改正御江戸大絵図」を用いた。

遠洋性粘土

陸地から離れた遠洋性の海域で堆積した粘土。

応力緩和

一時的に蓄えられた応力が減少（緩和）すること。

海洋性地殻

海底下の地殻。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。

火砕流

空気や火山ガスからなる流体と火山砕屑物からなる固体が混合して、主に重力によって駆動されて高速で地表を流れ下る現象。

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したもの。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。

火山碎屑物

火山弾、軽石、火山灰など、破碎されて火口から噴出される固形物の総称

火山性地震

火山体またはそのごく近傍で発生し、震源の深さが 10 km 程度よりも浅い地震。

火山泥流

火山地域に生じる泥流のこと。火口から泥状物質が噴出され流れ下るもの、火山噴出物が堆積し多量の降雨により流れ下るもの、積雪地域で噴火が起こり多量の氷雪が溶けるために生じるものなど、成因は複数考えられる。

火山灰

粒径 2 mm 以下の細かい破片からなる火山噴出物で固結していないもの。

火山フロント

島弧に沿う火山分布域の海溝寄りの縁のこと、このフロントよりも海溝側には現在活動している火山は存在しない。

火山性微動

火山で生じる振動波形のうち、地震には属さないものの総称。火山体内のマグマ、熱水、火山ガスなどの振動や移動によって生じると考えられている。

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。火道でのマグマの脱ガスや上昇の仕方が噴火の様式を左右する。

上部地殻・下部地殻

地球の固体部分を構成する大きな成層構造のうち，一番外側の層が地殻である。地殻の浅い部分を上部地殻，深い部分を下部地殻と呼ぶ。

花粉センサーネットワーク

NTT ドコモが整備した環境センサーネットワークによって記録されている花粉データのこと。花粉以外にも，気温，湿度，風向風速，雨量，雷，紫外線を観測している。

カルデラ形成噴火

輪郭が円形またはそれに近い火山性の大きな陥没地を形成する噴火様式。噴火規模は巨大噴火に分類される。

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。この流体の圧力を間隙流体圧または間隙水圧という。

SAR 干渉画像解析

人工衛星や航空機などに搭載されたレーダーにより、同じ地点で撮影された時期の異なる 2 枚の画像の差をとる（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。InSAR とも呼ばれる。SAR は Synthetic Aperture Radar（合成開口レーダー）の略であり、大型アンテナと等価な高い分解能を実現したレーダーシステムである。

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。

机上防災訓練

災害時にとるべき行動を，地図等を用いて図上（机上）で行う防災訓練のこと。

機能的フラジリティ曲線

被害の発生確率を何らかの量の関数として表したもので，災害等に対する脆弱性の評価に用いる。

基盤地図情報

地理空間情報のうち、電子地図上における地理空間情報の位置を定めるための基準となる測量の基準点、海岸線、公共施設の境界線、行政区画その他の国土交通省令で定めるものの位置情報（国土交通省令で定める基準に適合するものに限る。）であって電磁的方式により記録されたものをいう。

逆断層型地震

水平方向の圧縮力が作用している状態で、断層よりも上盤側（断層面の上側の地塊）が下盤側に対してのし上げるように斜め上へ運動する地震のこと。

強震記録

被害を及ぼす強い揺れの地震波形を、振り切れることなく記録できる強震計で構成された観測網。これらの観測網のデータ等は、地震ハザード・被害リスク評価などに役立てられている。防災科学技術研究所の K-NET, KiK-net は全国規模の強震地震観測網であり、それぞれ約 1,000, 約 700 の観測点からなる。

強震動

被害を及ぼす様な強い揺れのこと。

距離減衰式

地震の揺れの強さと震源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実際の地震のデータを統計的に処理して作成されている経験的な式である。

緊急地震速報

地震の発生直後に、各地での強い揺れの到達時刻や震度を予想し、可能な限り素早く知らせる情報のこと。

クラスター

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。

繰り返し地震

同じ場所で、繰り返し発生する地震のこと。発生の時間間隔はほぼ一定となることが多い。ここでは特に、地震波形が毎回ほぼ同一となることから、同じ場所で繰り返し発生していると推定された小さな繰り返し地震（小繰り返し地震）を指

す。

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一連の地震活動。

減圧結晶作用

圧力が低下する過程で結晶化が進むこと。

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。

降水補正

降雨による影響を補正すること。

広帯域地震観測網 F-net

主として周期約 100 秒から 0.1 秒までの地面の振動を観測できる周波数帯域の広い広帯域地震計で構成された地震観測網のこと。全国約 80 か所に設置されている。地震の発震機構解の推定や地下構造の推定，沈み込み帯で発生する超低周波地震，火山周辺で発生する長周期振動，火山性微動の解析等に用いられている。

国土数値情報

国土に関する基礎的な空間データセット。

固有周期

構造物が振動しやすい周期のこと。固有周期で構造物を揺らすと「共振」という現象が起きて，他の周期で揺らした場合に比べて大きく揺れるという特徴がある。

サブプリニー式

→噴火様式

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分岐させて作成した，噴火の推移を示す系統樹。

地震サイクル

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

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

地震波輻射特性

放射される地震波の特徴。

地震調査研究推進本部

地震調査研究推進本部は行政施策に直結すべき地震に関する調査研究の責任体制を明らかにし、これを政府として一元的に推進するため、地震防災対策特別措置法に基づき政府の特別の機関として1995年7月に総理府（現在の所管は文部科学省）に設置された。地震調査委員会は、地震調査研究推進本部の下に設置され、関係行政機関（気象庁、国土地理院など）や大学等の調査結果を収集、整理、分析し、これに基づき地震活動に関して総合的な評価を行う。

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。

蛇紋岩化

上部マントルの主要な構成鉱物であるかんらん石が水と反応することで蛇紋石に変化し、上部マントルの岩石が蛇紋岩となること。

主圧縮軸

地震は押す力（圧縮）と引く力（張力）の二組の直交する力によって引き起こされており、その圧縮方向を表す。

重力異常

重力の実測値とその緯度の標準重力の差のこと。たとえば、地下に高密度の岩石があると、重力値は標準重力値よりも大きくなり、低密度の岩石がある場合は小さくなる。これらに基づき重力値の測定から地下構造を推定することが可能である。

主張力軸

地震は押す力（圧縮）と引く力（張力）の二組の直交する力によって引き起こされており、その張力方向を表す。

準静的滑り

→非地震性滑り

小繰り返し地震

→繰り返し地震

消磁

火山活動の活発化の際にマグマが地表へ近づくなどの原因で火山体内の温度が上昇することで、火山体の岩石の磁力が消去されること。

下部地殻

→上部地殻・下部地殻

科学掘削

深海底を掘削して海底下の地質資料と観測データを取得すること。巨大地震の発生メカニズムや海底資源の成因解明、過去の地球環境変動や地下生命圏の理解を目的とし、日米欧など世界 26 か国（2015 年 9 月末時点）が参加する国際深海科学掘削計画（IODP）の下で、世界中の海洋底の掘削が行われている。

震源過程

地震は震源域において断層面がすべることで生じるが、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。

浸透率

岩石など多孔質物体における流体の流れやすさの指標のこと。

深部低周波微動

沈み込む海洋プレートの走向と平行に深さ 30 km 程度で発生することが知られて

いる低周波成分に富んだ波を長時間にわたって励起する自然現象。

水蒸気爆発

マグマにより熱せられた熱水が急激に気化・膨張することで爆発的に噴出する噴火のこと。水蒸気と岩・火山灰が火口から激しく放出される。水蒸気爆発では噴出物にマグマは含まれないが、引き続いてマグマを含む噴火に移行することがある。

スラブ内地震

沈み込んだ海洋プレート（スラブ）内部で発生する地震。海溝軸の近くや、プレート境界地震が起こらないような深い場所で規模の大きな地震が起こる場合がある。

正断層型地震

水平方向に引っ張り力が作用している状態で、断層面よりも上盤側（断層面の上側の地塊）が下盤側に対して斜め下へ滑り落ちるような運動をする地震のこと。

セグメント境界

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、断層運動する際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言う。

全球数値気象モデル

地球全体を対象とした気象の数値予測モデルのこと。

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と発生場所を記したリスト。

全磁力

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

帯びた鉱物の帯磁は、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活動のこと。

せん断変形実験

岩石などにずれ変形を与えておこなう実験のこと。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。

相似地震

地震波形がとても良く似ている地震ペアのこと。ほぼ同じ断層面で同じような滑りが起きたと考えられる。

増幅特性

表層地盤の影響で地震波が増幅される特性のこと。

素粒子ミュオン

宇宙線が大気中の原子核と反応して生成される二次宇宙線の一つで、地上に絶え間なく降り注いでいる素粒子。透過する物質の密度によって宇宙線ミュオンの減衰が異なることを利用して、X線の透視撮影のように地殻内部の密度分布を調べる試みがなされている。

断層ガウジ

断層運動が激しく起こると、断層面にある岩石が摩擦などによって破壊され粉々になって粘土状になることがあり、これをガウジという。ガウジが断層境界面に層状に存在する場合、これをガウジ層という。

断層内部流体

断層に捕捉されている水などの流体。

断層変位地形

断層運動を繰り返すことで形成された地形。

地温勾配

深さに対して温度が増加する割合のこと。

地殻変動

地震や火山噴火，及びそれを引き起こす地殻変動など，地殻内で発生する現象全般の総称。

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。

超低周波地震（VLF）

短周期成分がほとんど含まれず長周期成分に卓越する地震波を放射する地震のこと。ゆっくり滑りの発生にともなって生じることが観測されている。

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。

津波浸水予測

津波によって浸水する範囲と水深を予測すること。

津波堆積物

津波によって海底あるいは海岸の堆積物（砂泥や石など）が削り取られ，それが津波とともに陸上へ運ばれて別の場所に堆積したもの。

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。

底層流

海洋の底付近の水の流れ。

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。

テクトニクス

地質学における固体地球の大規模な動き（運動）のこと。

電子基準点

GNSS 連続観測点。

電波伝搬遅延

電波は大気中を伝搬するとき、空気の屈折で速度や経路が変化して遅延する。この大気による遅延を大気伝搬遅延という。伝搬速度は、気温や湿度など気象条件により変動する。

ドーム崩落

地下から上がってきたマグマが地表で固まることで形成された溶岩ドームが崩壊する現象。

都市計画基礎調査

土地利用・建築物の現況や都市施設・市街地整備の状況等を調査するもので、都市計画の基礎資料として活用される。

内陸地震

陸側プレート内の地殻浅部で発生する地震。

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の分布・移動経路などを指す。

粘性緩和

マントルや下部地殻などは、地震等によって外部から応力・歪みの変化が与えられると、短い時間の尺度では弾性体として振る舞い、一方、長い時間の尺度では粘性流体として振る舞う。粘性流体として変形することで、応力・弾性歪みを解放する過程のこと。

粘弾性構造モデル

弾性体と粘性流体との中間的な性質をもつ構造モデルのこと。

発震機構解

断層面の向きと傾きに加えて、断層がどのように動いたかを表すもの。また、断層に働いていた力の状態を知る手がかりになる。地震波の放射パターンなどから

求められる。

非地震性滑り

断層やプレート境界における，地震波を放出しないゆっくりとした滑り。その滑り量や滑り速度を指すこともある。

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言う。単位長さ当たりの変位で定義される，変形の度合いを表す物理量。

ひずみ集中帯

地殻変動観測や地質学的調査から推定される地殻ひずみが大きい領域。新潟－神戸ひずみ集中帯など。

左横ずれ

断層面に沿って主として水平方向にずれた断層。断層を挟んで他方の岩盤を見たときに，右向きにずれていれば右横ずれ断層，左向きにずれていれば左横ずれ断層という。

比抵抗

単位断面積，単位長さあたりの電気抵抗値。電気伝導度の逆数。

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 100 km 程度の固い岩石の層で覆われている。この固い岩石の層は，いくつかのブロックに分割されている。それぞれの板状（球殻状）のブロックをプレートという。プレートとプレートが接する境界は，一般的に地震活動が活発である。

噴火の準備過程

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。そ

の過程として、地下深部で発生したマグマが、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し溶岩や火山ガスとして噴出する。このように噴火に至るまでの一連のプロセスを意味する。

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砕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。

・ハワイ式噴火

粘性（粘り気）の低い玄武岩質マグマによる爆発性の小さい噴火。火口からはマグマが川や噴水のように連続的に流れ出る。伊豆大島や三宅島などでよく見られる。

・ストロンボリ式噴火

比較的粘性の低い玄武岩質マグマによる間欠的な噴火。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。噴煙高度が 10km 近くに達することもある。爆発によって 1m 径のものが数 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。桜島や浅間山などでしばしば発生する。

・プリニー式噴火

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、大量の軽石や火山灰が火口から空高く噴出され、噴煙高度は 20km から 30km にまで達する。しばしば規模の大きい火砕流が発生する。

分岐断層

主な断層から枝分かれして存在する断層。

噴砂

地震時の強い揺れにより、地下水を含んだ砂の層が液状化現象を起こし、その上の地層を引き裂くように砂が上昇する現象。

平均変位速度

活断層の累積変位の履歴から推定される長期的な変位速度。

変動地形学

地表の起伏を基にして長期的な地殻変動を推定する研究分野。

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。本震発生後から1日程度までの余震の分布域は，本震で滑った領域（震源域）とおおむね一致する。

マグニチュード

地震の規模の指標。地震によって解放されるエネルギーに相当する。

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。火山やカルデラの直下にあると考えられているが，その正確な形状や内部構造は分かっていない。

マグマ物質

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。マグマが地下で結晶化したり，地殻物質を溶かし込んだりして，多様な組成のマグマができる（分化という）。マグマが上昇すると，マグマの中に溶解していた揮発性成分が気泡となる。火道での気泡の離脱の仕方により噴火の激しさが変化する。

マグマ噴火

マグマが直接関与した噴火のこと。

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

断層面上の摩擦を滑り変位，滑り速度や時間などの関数で表わしたモデルで使われる変数のこと。

マルチコプター

複数のローター（回転翼）を用いて無人飛行する小型のヘリコプターのこと。

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，長い時間，強い力を受けると塑性変形を起こす。このため，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。

ミュオグラフィ観測

宇宙線ミュオンを用いた地下の透過イメージング手法のこと。

モーメントマグニチュード

地震モーメントの大きさから評価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モーメントマグニチュード（ M_w ）が導入された。

やや長周期地震動

揺れの周期が数秒から十数秒というやや長い周期の成分を多く含んでいる震動のこと。

誘発地震

巨大地震の震源域から離れていて，巨大地震によって誘発されたと考えられる地震。

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滑り，それ以下のものを短期的ゆっくり滑りと呼ぶ。スロースリップ，スロースリップイベント（SSE）ともいう。

溶岩

火山噴火時に火口から流出したマグマ物質。冷え固まって岩石となった後も「溶岩」と呼ばれる。

余効滑り

地震の後に震源域あるいはその周囲で発生するゆっくり滑り。その滑り量や滑り速度を指すこともある。

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、マントルの粘性緩和などが挙げられる。

余震

→本震，余震

連動破壊

複数の断層セグメントが連続的に破壊すること。

b 値

地震の規模別頻度分布はグーテンベルグ・リヒターの法則と呼ばれ、小さい地震ほど発生頻度が高く、大きな地震ほど低いという関係を示す。横軸にマグニチュード、縦軸に地震の累積個数の対数をとるとほぼ一直線で近似できるというもので、この直線の傾きが b 値である。b 値が大きいということは、大きな地震の数に比べて小さな地震の数の増え方がより大きいことを意味する。

GCOM-C

2016 年度に打ち上げ予定の気候変動観測衛星。

GEONET

国土地理院が全国に展開している GNSS 連続観測網で、約 1300 点の観測点（電子基準点）から構成される。1 秒ごとの GNSS 観測データがほぼすべての観測点からリアルタイムでつくば市にある中央局に送信されている。

GIS

地理情報システムの略語のこと。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）の頭文字をとった略称。位置や時刻同期を目的とした電波を発射する衛星群及び地上の支援システム、並びに比較的簡単な受信機で電波を受信して自分の三次元的な地球上の位

置を知る目的で使用する利用者群を総称して用いられる。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、他にもロシアが運用中のGLONASSや、ヨーロッパ連合（EU）が構築中のGalileoなどのシステムがあり、これらを統合して利用することで精度や信頼性の向上が期待される。

GNSS リアルタイム地殻変動データ

リアルタイムに推定されるGNSS観測データ

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GPS（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。

J-SHIS 地下構造モデル

地震ハザードステーション（J-SHIS）で使われている日本列島の地下構造モデルのこと。

S波異方性

一般には方向によって物性が異なることをいうが、ここでは地震波（S波）速度の異方性のこと。振動方向や伝播方向によって地震波の伝播速度が異なること。

VEI

火山爆発指数。火山砕屑物の量や噴煙高度、および、噴火挙動の特徴から決められる噴火の規模と爆発性の指標。最小は0で最大は8。

Vp/Vs比

P波速度とS波速度の比のこと。岩石の種類や流体が含まれるかどうかによって値が変わる。

[参 考 资 料]

I. 計画推進部会および総合研究グループ等別の成果

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について」(建議)に示された実施内容について、平成 26 年度の成果を計画推進部会および総合研究グループ等別に学術報告として取りまとめた。

この報告は、地震・噴火予知研究協議会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 26 年度の成果の概要」である。本編の「平成 26 年度の成果の概要」の内容について、さらに詳細を知りたい場合、原著論文を参照したい場合には、以下の報告をご参照いただきたい。

○東京大学地震研究所 地震・火山噴火予知研究協議会

「海溝型地震」計画推進部会長 小原一成(東京大学地震研究所)

副部会長 西村卓也(京都大学防災研究所)

「内陸地震」計画推進部会長 松本聡(九州大学大学院理学研究院)

副部会長 高橋浩晃(北海道大学大学院理学研究院)

「火山」計画推進部会長 大倉敬宏(京都大学大学院理学研究科)

副部会長 野上健治(東京工業大学火山流体研究センター)

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

副部会長 長尾年恭(東海大学海洋研究所)

「地震動・津波等の事前予測・即時予測」計画推進部会長 香川敬生(鳥取大学大学院工学研究科)

副部会長 関口春子(京都大学防災研究所)

「地震・火山災害」計画推進部会長 林春男(京都大学防災研究所)

副部会長 木村玲欧(兵庫県立大学環境人間学部)

「史料・考古」計画推進部会長 榎原雅治(東京大学史料編纂所)

副部会長 佐竹健治(東京大学地震研究所)

「データベース・データ流通」計画推進部会長 鶴岡 弘(東京大学地震研究所)

副部会長 ト部卓(東京大学地震研究所)

「観測・解析技術の開発」技術開発担当 田所敬一(名古屋大学大学院環境学研究科)

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

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

「首都直下地震」総合研究グループリーダー 酒井慎一（東京大学地震研究所）

「桜島火山噴火」総合研究グループリーダー 井口正人（京都大学防災研究所）

○東京大学地震研究所・京都大学防災研究所拠点間連携共同研究委員会

委員長 川瀬博（京都大学防災研究所）

副委員長 森田裕一（東京大学地震研究所）

-
- 1) 東京大学地震研究所には、災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画で立案された研究を推進することを目的に設立された地震・火山噴火予知研究協議会がある。ここでは、本観測研究計画に参加する全国の大学等が連携し、研究機関と協力しながら研究を推進している。また、科学技術・学術審議会測地分科会地震火山部会は大学、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。プレートが沈み込む境界で発生するM7～8級の海溝型地震については、過去に発生した地震や周辺発生場の調査研究を通して、その発生機構についてもある程度理解が進んできた。しかし、2011年東北地方太平洋沖地震は、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。それらを踏まえ、現行計画の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26年度（2014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]、海洋研究開発機構 [課題番号：4002]、産業技術総合研究所 [課題番号：5004]）。

下北半島で発見された津波痕跡は浸水規模が特に大きく、17世紀に巨大な津波が発生したことを示唆しており、これまで知られている1611年慶長三陸津波、または17世紀の北海道超巨大地震津波のいずれか、あるいはその両者が同一イベントである可能性を示した。千島の巨大地震のサイクル（平均400-500年間隔）はほぼ満期のため、1611年慶長と17世紀千島との関係の解明は急務である状況の中で、これらの結果は重要な知見を与えた。相模トラフでは隆起パターンから関東地震の多様性を検証し、また南海トラフでは、地形地質調査から最大クラス地震の規模の上限の評価を行なった（産業技術総合研究所 [課題番号：5004]）。

南海トラフでは、詳細な海底地形データなどを新規取得し、海底活断層の位置形状や活動履歴など、歴史地震の発生源や将来の巨大地震の断層モデルに関して変動地形学的観点からの方法論を提示し、巨大地震断層面と海底地形との関連の検討を行なった（名古屋大学 [課題番号：1703]）。

イ. プレート境界巨大地震

(北海道沖)

根室沖で行なわれた海底地震観測により、根室半島沖アスペリティでは活動が静穏であり、地震は主に水深が2000mより浅い陸寄りの海域で発生していること、海底地震観測による震源は深さが気象庁一元化震源より浅く、主にプレート境界と上盤側で発生していることが明らかになった。また、2004年にプ

プレート境界固着域の下部で発生した2つの根室沖M7 地震の破壊過程は非常に類似した特徴を持っていたことが示唆され、遠地の波形解析による先行研究結果と同じく、ともに明瞭なディレクティビティは見られなかった。一方、広範囲で長期にわたる巨大地震の影響を評価するため、ロシア極東地域でのGNSS 観測から2011 年東北地方太平洋沖地震の余効変動データを解析し、概ね 10^{18} Pa·sの中盤程度の粘性率を与えることでロシア極東地域の余効変動が説明できる可能性が示された(北海道大学[課題番号:1002])。

(東北沖)

東北沖では太平洋沖地震の発生前から継続的に海底地震観測(気象庁[課題番号:7002])及び既設の海底基準点において海底地殻変動観測(海上保安庁[課題番号:8001])を実施している。太平洋沖地震発生後の平成26年8月までの観測から得られた電子基準点「福江」に対する移動速度(図1)を見ると、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、54cm 西北西に移動しているのをはじめとして太平洋沖地震の震源域周辺では陸域のGEONET の観測結果とは整合しない複雑な変動を示している。一方で、「福島沖」や「銚子沖」などでは陸域と同様に東南東に向かって移動している。

太平洋沖地震震源域北限である北緯39度付近の日本海溝陸側斜面下では、1996年と2001年に海底地震計とエアガンを用いた構造探査実験が行われており、微小地震活動が活発な領域ではプレート境界からの反射強度が弱く、非活発な領域では反射強度が強いという結果が得られている(Fujie et al., 2002, Mochizuki et al., 2005)。太平洋沖地震発生後のプレート境界の特性変化を抽出するため、2013年に、以前の構造探査実験と同一仕様で、また2014年にはさらに海側の領域で構造探査実験を行った結果、プレート境界からの反射波の振幅については太平洋沖地震の前後で差異が見られ、プレート境界の特性が変化している可能性がある(図2)(東京大学地震研究所[課題番号:1503])。

(3) 地震・火山噴火の発生場の解明

ア. プレート境界地震

(プレート境界すべり現象を規定する構造的特徴)

南西諸島のトカラ列島東方海域で実施された海底地震観測の初期的解析として一次元速度構造と観測点補正を推定し震源再決定を行なったところ、稍深発地震面の形状がトカラ海峡の北東海域と南西海域とは異なり、スラブ上面の形状の違いが示唆された(鹿児島大学[課題番号:2301])。

南九州では、稠密リニアアレイ観測データを用いたレシーバ関数解析により、宮崎-阿久根測線と宮崎-桜島測線において、西北西に傾き下がるフィリピン海スラブ内の海洋モホ面をそれぞれ深さ120 km及び80 km まで明瞭にイメージした(図3)。両測線のウェッジ部において大陸モホ面が不明瞭になるが、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いためと考えられる。このウェッジ部には流体が存在するか、強度の弱い蛇紋岩に変成していると考えられ、ここに接するプレート境界面は安定すべり域である可能性が高い(京都大学防災研究所[課題番号:1904])。

四国沖南海トラフの海域において、地殻構造について調査観測を実施し、データ解析を進めた。昨年度までに実施した調査観測の成果として、室戸沖南海トラフでは地震断層が海底に現れているトレースの分布と内閣府が2012年に想定した巨大地震震源域上限が概ね一致していることを確認した(海洋研究開発機構[課題番号:4002])。

紀伊半島では、スラブ上面の深さが30~40 kmの深部低周波微動発生域とその周辺のP波及びS波はともに-5%程度の低速度異常を、 V_p/V_s 比は1.75~1.8とやや高い値を示した。海洋地殻内の含水鉱物の脱水分解が進み、流体が放出されたためと考えられる(京都大学防災研究所[課題番号:1904])。また、既存地震観測データの再解析で得られた V_p/V_s 構造と低周波地震の分布をIwasaki et al. (2008)によって示されたフィリピン海プレートの形状と比較すると(図4)、スラブマントル内にモホ面と平行な北傾

斜の震源分布を確認でき、その近傍で V_p/V_s 値が大きくなる傾向が見られた。低周波微動は、沈み込むフィリピン海プレートが島弧下のマントルウエッジと接する近傍で発生し、スラブマントル中の北傾斜の震源分布とフィリピン海プレート上面との間で活動度が高くなっており、これらの結果から、プレート間の滑り現象を規定する地下構造の異常が微動発生域やその近傍に存在することが示された（東京大学地震研究所 [課題番号：1509]）。

伊勢湾付近に沈み込むフィリピン海プレートの3次元的形状を明らかにするため、GNSS観測やプレート境界面トラップ波を用いた研究を行ない、変換波およびSP 変換波について過去のデータの整理を行ったところ、プレート形状が静岡県の下でたわんでいることが明らかになった（川崎・他, 2014）（名古屋大学 [課題番号：1703]）。

東海地域南部において実施したMT法による電気伝導度構造探査データから2次元構造を推定した結果、宝永地震時に活動した可能性があるとして測地学的手法によりその存在が推定されていた伏在断層の位置に、高電気伝導度の領域が存在することが判明した（防災科学技術研究所 [課題番号：3001]）。

ニュージーランド北島の東方沖合において海底地震観測を実施し、海域—陸域観測網下の3次元地震波速度構造および震源の決定を行い、地震活動および速度構造との関係について検討した（東京大学地震研究所 [課題番号：1524]）。

東北地方を対象に相似地震波形を用いた地震波干渉法により地震波速度変化を推定した結果、観測点がない海底下やリソスフェア深部の速度変化をも検出することができ、また得られた速度変化の空間分布は、地表から数100m 深までの地震波速度を数%低下させることで説明可能であることが分かった（防災科学技術研究所 [課題番号：3002]）。

（広域のプレート相対運動）

海上保安庁では1982年 年から下里水路観測所において、SLR観測を継続的に実施しており、ITRFの原点決定への貢献ならびに日本周辺のプレート収束速度の高精度検出に寄与している（海上保安庁 [課題番号：8002]）。

（プレート境界地震震源モデル）

2012年12月7日に東北沖で連続して発生した2つの地震の位置関係を、津波記録の詳細解析によって陸上地震波記録解析よりも高精度に推定したうえで、これらの地震の因果関係を考察した（防災科学技術研究所 [課題番号：3001]）。2011年東北地方太平洋沖地震の最大余震について、現在開発中の周波数毎のウェーブレット係数を直接求める逆解析手法を適用した。この解析では深部側で、高周波側のすべりへの寄与が大きい結果が得られている（防災科学技術研究所 [課題番号：3002]）。

2014年4月1日に発生したチリ北部（イキケ）地震において、短周期加速度波形放絡線のバックプロジェクション法による短周期地震動（5-10 Hz）の放射特性を調べた結果、短周期地震動は陸側に移動しながら放射された後、陸に近い領域で最も強く放射されていた事が分かった。一方、それと同時に沖合において最大すべりが解放されたことが長周期波形インバージョンから推定されている。このような地震動放射特性は2011年東北沖、2010年チリ地震、2007年ペルーの巨大地震の際においても見られている（防災科学技術研究所 [課題番号：3001]）。

イ. 海洋プレート内部の地震

スラブ内地震の発生メカニズムとして考えられる脱水脆性化の検証を室内実験、シミュレーション、観測データ解析の複合的手法で行なった。北海道東部において海洋性地殻内を伝播するトラップ波の解析を行い、海洋性地殻のP波速度構造を推定した結果（Shiina et al., 2014）（図5）、深さ80km以浅の

速度は含水MORBで期待される速度よりも5-10%程度低速度であることが明らかになった。このことは、その深さでは含水鉱物と水が共存している可能性を示している。また、関東下のP波減衰構造を推定し、フィリピン海スラブのマントル東端部は顕著な高減衰を示すことを明らかにした(Nakajima, 2014) (図6)。この高減衰域の広がりには蛇紋岩化していると解釈されている地震波低速度域とほぼ一致する。1921年(M7.1)、1987年(M6.7)の2つのスラブ内地震は地震波高減衰域の西縁で発生しており、スラブ内地震の発生には構造的不均質が密接に関係していることを強く示唆している。温度モデリングでは、東北・北海道と関東における現実的なスラブの形状を用いたモデルの構築とマントル対流パターン・温度構造の推定を行った。東北・北海道で得られた対流パターンは地表の火山配列やS波スプリッティング解析で推定された異方性の方向とよい対応を示す(東北大学[課題番号:1201])。

(4) 地震現象のモデル化

ア. 構造共通モデルの構築

機動的自然地震観測、地下構造探査、地震波動伝播解析、既存データの再解析などから、南西諸島海溝から南海トラフに至る沈み込むフィリピン海プレート形状及びプレート周辺の構造の解明を進めた(鹿児島大学[課題番号:2301]、京都大学防災研究所[課題番号:1904]、名古屋大学[課題番号:1703]、東京大学地震研究所[課題番号:1509]、海洋研究開発機構[課題番号:4002])。

イ. 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

日本海溝に沈み込む太平洋プレート表層部の想定・実試料を粉砕したガウジ試料を使用し、プレート境界断層深度の圧力・間隙水圧・温度条件・変位速度を与えて三軸摩擦実験を行い、遠洋性粘土の摩擦強度が約0.1と著しく小さいことを明らかにした(図7)。これは、日本海溝付近では遠洋性粘土層にデコルマが形成されやすいことを示す。また回転剪断摩擦実験により、三陸沖太平洋プレート表層から掘削された遠洋性粘土の定常摩擦係数が幅広い速度領域で著しく小さく、破壊エネルギーも他の断層物質より数桁小さいことが明らかになり、東北沖プレート境界浅部では摩擦強度の著しく小さい遠洋性粘土層沿いに選択的に地震性破壊が伝播し、大きなすべりを引き起こす可能性があることが示唆された。水に完全に飽和したスメクタイトガウジについて三軸摩擦実験を行い、定常摩擦係数とその変位速度依存性(a-b値)の垂直応力による変化について調べた結果、定常摩擦係数は含水量が16~100wt%の3層スメクタイトとほぼ同じで、水に完全に飽和しても摩擦強度は変化しないが、a-b値は垂直応力の増加に伴って低下する傾向が認められた(図8)。この傾向は従来の湿潤下で行われた実験の傾向と逆であり、含水量によってスメクタイトの摩擦すべりの安定性が変化することを意味する(東京大学地震研究所[課題番号:1503])。

IODP日本海溝緊急掘削で得られた断層浅部物質の低~中速摩擦特性を考慮した、太平洋沖地震の準動的な地震発生サイクルのモデル化を行った。断層浅部に低速で速度弱化、中速で速度強化の摩擦特性を与える(Ikari et al., 2013)ことで、浅部のスロースリップイベントを再現することができ、低速での速度弱化特性のため、浅部で地震時に大きなすべりが生じることも示された。東北地方太平洋沖地震の破壊開始20秒間の初期破壊過程について、すべり速度の履歴(Uchide et al., 2013)を用いて、動弾性応答を考慮した動的応力変化の履歴を数値計算により推定した結果、応力降下量の空間分布は断層面上で非一様であり、すべり速度の大きな所で比較的大きな応力降下量が得られた(東京大学地震研究所[課題番号:1503])。

実験データ、構造探査、熱的モデル等から、2011年東北地方太平洋沖地震の震源域を含むプレート境界の強度プロファイル(図9)を作成した(Shimizu, 2014)。深部のM7級宮城沖タイプ地震、および浅

部のM9東北地方太平洋沖地震タイプの震源域の下盤には、構造探査や重力異常などから、高温でも塑性流動を起こしにくいはんれい岩質の沈みこんだ海山 (Matsubara and Obara, 2011) が存在し、海山の無い部分でのプレート境界物質として堆積物などの石英質海洋地殻表層を仮定すると、上盤と下盤とのあいだに深部では強度コントラストをもち、浅部ではもたないことが、両者のタイプの地震のアスペリティの空間規模の差を生んでいることを提案した。一方、地震サイクルにおけるプレート境界の摩擦強度の変化を、プレート境界面での接触コンプライアンスによる音響反射の観測から検知できるかの理論的検討を行ったところ、プレート境界断層でのコンタクト半径を10cm とし、摩擦強度を100MPa とすれば特性周波数は10Hz となり、フィールドでの反射法探査等で実現しやすい値であると予想した (Kame et al., 2014) 。また、速度・状態依存摩擦則を用いた地震サイクルのシミュレーションにより、地震前2年間に滑り速度がプレート運動程度の速度から1mm/s まで加速する間に摩擦強度が数10MPa低下することが予想され (Kame et al., 2012) , この強度低下による反射率の増加は、断層の初期強度を200MPa とすれば5%, 30MPa とすれば50%程度となり (図10) , 検知を目指せるレベルであると考えられる。また、プレスリップのほとんどが地震のごく直前に集中するが、強度及び反射率は、ほぼプレスリップの滑り速度の対数に応じて変化するので、前述の変化量は地震の数ヶ月前から顕著な変化として見えることが期待される (東京大学地震研究所 [課題番号: 1507]) 。

岩塩の粉末を模擬断層ガウジとしてスティック・スリップ時の歪変化を計測した結果、スティック・スリップ挙動は法線応力の増加に伴って鋭く瞬間的なものから滑らかでゆっくりとしたものに変化した。応力降下量と繰り返し間隔は法線応力が10~30MPaまではほぼ一定であったが、30MPaを越えるといずれも段階的に減少した。破壊伝搬の特徴は法線応力の増加に伴って変化し、低い法線応力下では破壊核形成後、岩塩のS波速度に匹敵する速度にまで加速するのに対し、高い法線応力下では低速での伝播が継続した。これは、臨界サイズが断層面以上であることを示す。本実験結果は、岩石の変形様式の変化が断層のすべり挙動に大きな影響を与えることを意味する (静岡大学 [課題番号: 2929]) 。

バックスラスト断層が破壊される条件についてシミュレーションによる系統的な検討をおこなった結果、分岐点付近の強度不均質によって生成が促進されるとともに、バックスラスト断層が破壊するとより大きな海底変動を生じることとなり、津波被害を増幅する要因となりうる事が分かった。一方、大型振動台を利用した二軸摩擦実験によりメートルスケール試料を使った幅広い条件下での実験が可能となり、この実験で得られたスティックスリップの挙動を1自由度バネブロックモデルを用いて速度・状態依存摩擦則のもとでモデル化したところ、変位量が大きくなるとうまく説明できない事が分かった。この実験において観測されている前震と前駆すべりの関係をさらに詳細に調べるため追加実験をおこない、実験後に生成されるガウジとの関係を調べたところ、灰色ガウジの生成と前震の活動が関係するかもしれないことが分かった。また、大型二軸摩擦試験機で得られた定常すべりの摩擦特性と、高速せん断摩擦試験機で得られた摩擦特性とを比較し、それらがスケールによって異なることを発見し、数値シミュレーションにより、そのスケール依存性が空間的応力不均質によって引き起こされていることを確認した (防災科学技術研究所 [課題番号: 3001]) 。

商用ソフトウェアABAQUSを用いて2次元粘弾性地震サイクルシミュレーションコードの作成を目指し重力の与え方に伴うモデルの検討、及び沈み込むプレートの屈曲を扱うプレート相対運動の与え方の検討を行った。また、Kaneko et al. (2011) による地震間を扱う準静的計算スキームに従い、コードを改良し、動的・準動的な地震サイクルシミュレーションコードを作成した。Kaneko et al. (2011) のanti-plane問題をin-plane問題として地震サイクル計算を行った結果、最初は固着していた断層中心部の速度弱体化 ($a-b < 0$) 領域に3年後にすべりが浸透し、震源核が形成され、さらに3時間後に動的破壊、波動伝播、余効すべりが生じた。動的・準動的計算では地震時すべり速度およびすべり量が大きくなるため、地震

の繰り返し間隔は4.02年であるが、準動的計算では3.13年と短くなることがわかった（京都大学〔課題番号：1801〕）。

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

(釜石沖繰り返し地震)

釜石沖の繰り返し地震活動が、東北地方太平洋沖地震後から頻発し、発生間隔のみならず規模や地震時すべり量の空間分布も揺らぐ現象について、速度・状態依存摩擦則に基づく数値シミュレーションによって再現することに成功した。その結果、通常発生している繰り返し地震は、摩擦不安定域の中心付近を部分破壊しており、太平洋沖地震直後に発生した規模の大きな地震の震源域が摩擦不安定域に相当するというモデルであれば、整合的に説明出来ることを示した。また、シミュレーション上での破壊域の空間的な揺らぎは余効すべりの伝播方向に沿うことから、釜石沖における東北沖地震後の余効すべりは東南東から西北西へ移動したこと、部分破壊する現象は、摩擦構成則がslip-lawでは説明が困難であることもわかった。また、孤立したアスペリティに一定速度のせん断をかけた場合でも、アスペリティで発生するすべりは周期的にならず、カオス的な振る舞いをする場合がある。さらに、3自由度のバネブロックモデルを用いてアスペリティの相互作用を考慮した数値シミュレーションからは、条件によっては、周期的な地震発生とカオス的な地震発生とが不規則に繰り返す間欠カオス的な振る舞いが見られた（東京大学地震研究所〔課題番号：1510〕）。

(相似地震)

これまで東北地方で行われていた研究（Uchida and Matsuzawa, 2013）と同じ手法で、南西諸島、日向灘、伊豆-小笠原地域での小繰り返し地震を抽出した結果、南西諸島中部では、東北日本の福島県や岩手県沖と同様にプレート境界浅部（深さ約15 km）と深部（約45 km）に2列の繰り返し地震の集中帯が見られたのに対し、日向灘では宮城県沖と同様に深部のみ（深さ20-30 km）に、また伊豆-小笠原では浅部のみ（深さ0-20 km）に集中帯があった（図11）。東北日本での繰り返し地震と大地震のすべり域の分布の関係を参考に固着域の推定を試行すると、2列の集中帯をもつ南西諸島中部はその間に、深部のみ日向灘はその浅部側に固着域が存在する可能性がある。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、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（図12）、福島県沖における2008年からの長期的スローリップのすべり分布とその時間推移、太平洋沖地震の半年程前から震源より北側で発生したすべり加速と、それが南へと伝播していく様子が捉えられた（東京大学地震研究所〔課題番号：1510〕）。

(余効すべり)

逐次データ同化により速度・状態依存摩擦則に基づく断層すべりのシミュレーションモデルの摩擦パラメータと初期条件を同時推定する手法の開発を行った。余効すべりに対するこれらのデータ同化手法の特性や問題点を明らかにするために、模擬観測データを用いた数値実験を行った。数値実験では、模擬観測データから1自由度モデルの摩擦パラメータとシミュレーション変数を推定した。粒子フィルタ/スモウザを用いた場合、アンサンブルの退化（アンサンブルを構成する粒子のほとんどが同じ値を持ってしまふ現象）が発生しやすく、多数の粒子を用いても未知変数の確率分布を推定することは困難であ

ることが分かった。一方、アンサンブルカルマンフィルタ/スモータを用いた場合は、粒子数が少なくても退化は発生せず、確率分布を推定することができた。このときに推定されたシミュレーション変数の時系列と摩擦パラメータの確率分布（図13）から、すべりとすべり速度については真値に近い値が推定されているが、摩擦パラメータと状態変数は分散が大きく、真値から大きく離れているものもある。この結果は、状態変数と摩擦パラメータの間にはトレードオフがあり、余効すべりのみからモデル全ての変数・パラメータの拘束が困難であることを示す（京都大学 [課題番号：1803]）。

（豊後水道SSE）

豊後水道における次の長期的スロースリップイベント（SSE）は2016年と予想されていたが、2014年に入ってから深部低周波微動の活動度が通常よりも高くなり（図14）、微小なSSEが発生したものと考えられる（東京大学地震研究所 [課題番号：1509]）。国土地理院GNSS観測でも夏ごろから僅かな変位が捉えられ（図15）、Mw6.6程度のエネルギーが2015年1月までに放出された（国土地理院 [課題番号：6003]）。微動活動度や地殻変動量は2003年や2010年のSSEに比べると小さいが、2006年後半の現象に比べるとやや大きい。また2010年のSSEは、2009年の初めに僅かに微動活動度が増加してその後低調となり、一方GNSSには同年の夏ごろから僅かな変化が現れ、2010年2月からの活発な微動活動を伴う変位速度の大きなSSE（Mw6.8）に発展したため、これらを一連の活動とみなすこともできる。

（房総SSE）

2013年12月から2014年1月にかけて房総半島沖で発生したSSEとそれに伴う群発地震活動について、東大地震研と国土地理院GEONETの観測点におけるGPS時系列データを用いて、フィリピン海プレート上面におけるすべり・すべり速度の時空間発展を時間依存インバージョン解析により推定した。また、SSEと群発地震活動の関係を明らかにするために、matched filter解析により地震の検出を行った。推定された1日毎のすべり速度を図16に示す。すべりは12月上旬から中旬頃に解析領域の東側でゆっくりと始まり、12月下旬にかけて徐々に加速した。この期間のすべりの西方への伝播速度は1km/day程度あるいはそれ以下だった。その後、12月30日頃からすべりが急激に加速すると同時にすべりの伝播も加速し、西方への伝播速度は約10km/dayに達した。すべり速度は1月3日に最大に達し、1月9日にかけて急激に減速した。震源分布と比較すると、12月上旬から下旬にかけてのすべり速度が比較的遅い期間には顕著な地震活動はなかったが、12月30日頃に起きたすべり速度と伝播速度の急激な増加に同期して地震活動も活発化した。12月30日以降の地震活動はSSE域の深部に隣接した領域で発生し、すべり速度と地震の発生個数及びすべりの伝播と震源の移動の間には強い相関が見られた。これらの結果は、群発地震活動がSSEによる応力変化によってトリガーされたことを示唆する（東京大学地震研究所 [課題番号：1509]）。

太平洋沖地震の応力変化により誘発された房総SSEの検出を目指して、2011年3月の連続波形記録から既知のSSE時に発生した群発地震に類似するイベントの検出を行ったところ、3月12日から群発的な地震活動が房総半島沖で始まり、13～14日にかけて活動の活発化が見られた。この際、地震活動の移動と小繰り返し地震も検出されたことから（図17）、フィリピン海プレート上面付近ではSSEが起きていたと考えられる。2007年、2011年11月、2014年の3つのSSE発生期間中に発生した地震活動についても同様の手法で再解析を行い、地震活動度・すべり量を比較した結果、2011年3月の房総スロースリップの規模は2014年のイベントと同程度、もしくはそれよりも小さいことが予想された。房総半島ではこれまで群発地震を伴うSSEが約6年間隔で発生してきたが、太平洋沖地震以降、2011年3月、その7ヵ月後の2011年11月、さらに2014年1月にSSEが発生したと考えられ（図18）、その発生間隔は少しずつ延びている可能性が示された。一方、この地域の相似地震活動から推定されるすべり速度は、2007年のSSE発生を境にして、や

や増加した様子が見られた（東京大学地震研究所〔課題番号：1509〕，〔課題番号：1510〕）。

2014年1月のSSEに伴う地震活動をDD法により詳細震源分布を決定し，2007年・2011年房総SSEに伴う群発地震と比較した。いずれの場合も，房総半島沖の地震発生域の北部で主に地震が発生した。一方，2014年は2007年より地震が少なく，2011年は勝浦周辺でも地震が多く発生した。傾斜変動データおよびGNSSデータを用いて断層モデルを決定したところ，すべり域はこれまでと重なるが，地震モーメントは約1/2と小さく推定された。このため2014年は地震が少なく再来間隔が短かった可能性が考えられる。また，時間発展インバージョン解析により，2011年は勝浦の南でもすべりが推定され，2011年は勝浦周辺でも地震が発生した可能性が示唆される（防災科学技術研究所〔課題番号：3002〕）。

（東海SSE）

東海地域では，2000～2005年間に発生したMw7.1程度のSSE領域の南側で，2014年の初めころからMw6.6のSSEが起きている可能性があることが判明した（図19）。同じ領域で，規模の異なるSSEが共存する可能性がある（国土地理院〔課題番号：6003〕）。

（SSEシミュレーション）

南海トラフ全域について，地震サイクル間におけるSSEの発生を再現する数値シミュレーションをおこなった。多くの地域では，地震サイクル前半から中盤にかけて短期的SSEの発生間隔が減少した。ただし，地震サイクル後半においては固着域と短期的SSEの間で発生する長期的SSEのために，発生間隔は大きな擾乱をうける結果が得られている（東京大学地震研究所〔課題番号：1509〕，防災科学技術研究所〔課題番号：3001〕）。

（九州～南西諸島の短期的SSE）

GNSSデータ単独での短期的SSE断層モデル推定手法の改良を行い，九州から南西諸島のGNSS（GEONET）データに適用して，この地域での短期的SSEの発生状況を初めて系統的に明らかにした（図20）。また，GNSSデータから短期的SSEの継続時間を推定する手法のプロトタイプを作成し，大きな短期的SSEに関してはGNSSデータからでも継続時間を推定できることを示した。検出された短期的SSEの時空間分布より，①九州では四国のSSE発生域の延長（深さ30～40km）でSSEが発生しているが，その数は南西ほど少なくなる，②琉球海溝沿いでは，種子島沖，喜界島沖，沖縄本島南部沖，八重山諸島において短期的SSEの活発な領域が見られ，八重山諸島を除いた3領域のSSE発生深度は10～30kmと浅い，③南海トラフ沿いでは短期的SSEの発生深度は30～40kmに限られているが，琉球海溝沿いではそれより浅い領域でもSSEが発生している，といった特徴があることがわかった。これらの短期的SSEの発生分布から，沈み込む海洋プレートの地形と関連性があることや，過去の大地震の震源域とは重ならないことが示唆される（京都大学防災研究所〔課題番号：1910〕）。

（南海トラフ～南西諸島超低周波地震）

防災科研の広帯域地震観測網F-netにおける約11年分の記録を波形相関法で解析し，南海トラフおよび南西諸島海溝の近傍で発生する浅部超低周波地震（VLF）を検出した。その結果，浅部VLF活動の発生頻度は紀伊半島沖～四国沖では低く，日向灘・南西諸島と南西に向かうにしたがって高くなることが分かった。この傾向は，繰り返し相似地震による準静的すべりレートの地域性と良い相関があり，大きなすべりレートが浅部VLF発生域に大きな载荷レートをもたらし，浅部VLF活動を活発化させている可能性がある。南西諸島北部域における3点での広帯域臨時観測を鹿児島大とともに開始し，この臨時点も含めた

記録の波形相関解析の結果、2014年5～6月に奄美大島沖で発生した浅部超低周波地震活動について、震源のマイグレーションが見られることが明らかとなった。また、CMT解析の結果、それらの浅部VLFが深さ数km～15kmで発生する逆断層型のイベントであることも分かった。これらの結果から、この地域の浅部VLFもまた、海陸プレート境界浅部におけるSSEに伴って発生しているものと推察される（防災科学技術研究所〔課題番号：3002〕）。

（チリ・イキケ地震）

2014年4月1日にチリ北部で発生したM8.1の地震の発生に先行して顕著な前震活動が報告されているため、連続波形データに対して相互相関処理によるパターン検索を施し、プレート地震の波形と類似のイベントを新たに検出した（図21）。この新たな地震カタログを用いて、繰り返し地震の検出を行い、本震発生前の2週間前から見られた顕著な前震活動中に繰り返し地震も活発化しており、前震による地震性すべりに加えて、クリープのような非地震性すべりもプレート境界面上で同時に進行していたことを明らかにした。本震発生後も、多くの先行研究で指摘されているように、余効すべりに対応する繰り返し地震活動の活発化が見られた（東京大学地震研究所〔課題番号：1510〕）。

強震動記録を用いた震源過程の逆解析の結果、沖合領域のすべり量が最も大きく、陸に近い部分についてもほぼ同時に破壊開始し、深い領域へと進展するような結果が得られた。得られたすべり量分布は、測地データから推定されている固着域とよく対応している（防災科学技術研究所〔課題番号：3002〕）。

（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目指し、ISCの地震カタログから1964年1月から2012年6月までに千島海溝沿いに発生した実体波マグニチュード5.0以上、深さ60km以浅の地震を選択し、Zhuang et al.（2002）の方法でデクラスタリング処理した後、ZMAPで地震活動の長期変化を解析した。1994年10月に発生した北海道東方沖地震（Mw8.3）では、1981年9月から1994年10月までの13年間まったく地震が発生しない静穏化領域が震源域内に見つかった。2003年9月に発生した十勝沖地震（Mw8.3）では、1993年3月から2003年9月までの10年間まったく地震が発生しない静穏化領域が見つかった。2006年11月に発生した中千島の地震（Mw8.3）では、1996年6月から2006年6月までの10年間、地震活動が静穏化しており、上記期間中に発生した全ての巨大地震で静穏化が見られていることが分かった（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

MeSO-net で得られた観測データを既存観測点のデータと併せ、震源決定法・地震波トモグラフィー法等の手法を用いて、震源分布や地震波速度と非弾性常数の三次元的分布等の解析を進め、予察的な関東地方のプレート構造を求めた。また、収集したデータ等を用いて、MeSO-netの観測点地表における震度相当値の補正值等を求め、震度予測の高度化のための手法を検討した（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）

2013年の5月から9月までの約4ヶ月間、太平洋沖地震時の大すべり域延長の日本海溝に設置した3台の海底間音響測距装置の姿勢データ、音速補正のための水温データを用いて観測往復走時から見かけの基線長変化を求めた結果、海溝軸では大きな短縮速度につながる余効すべりは該当期間には発生していないことがわかった。また通常の沈み込みに伴う短縮も明瞭には見られず、陸側プレートの先端部はプレート運動と一体化していることを示唆した（東北大学〔課題番号：1210〕）。

底層流の影響を受け難い自己埋設型広帯域センサー方式の次世代型広帯域海底地震計（BBOBS-NX）を利用した広帯域地震・傾斜同時観測システム（BBOBST-NX）による観測を房総沖で開始し、2014年1月のSSEを含むほぼ1年間の傾斜変動記録を取得した。最大傾斜は 5μ rad以上に達している。本観測点は陸上データによる解析では解像度がほぼ無い領域であり、単純なシミュレーション結果からでも観測値に近い値が予想されること、およびSSE発生域のほぼ直上であることから、妥当な観測結果と考えられる。また、太平洋沖地震の津波により被災し、観測が中断していた三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システムの復旧を行った。2014年4月から連続観測を行っており、2014年7月12日に発生した福島県沖の地震による微小な津波を観測することができた（図22）。一方、この領域に新たに敷設するケーブルシステムの新規開発を行なった。その特徴は、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で、地震計と津波計、拡張ポートを装備し、設置後、水中ロボットにより、新たなセンサーを接続可能である（東京大学地震研究所〔課題番号：1521〕）。

（短スパン伸縮計）

深部低周波微動に伴って発生する短期的SSEの検出を目的として、短スパン伸縮計の開発及び紀伊半島における観測網の構築を行なった。これまでの観測により、低周波地震活動に合わせて 5×10^{-9} 程度の伸縮変化を観測し、低周波微動の移動に対応した伸縮変動率の時間変化も観測された（京都大学防災研究所〔課題番号：1910〕）。

（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たとともに、2013年3月に設置した海底圧力4台を回収した。また、2012年4月から2013年3月まで行った海底地震計を用いたパイロット観測で得られたデータの解析の結果、この期間中に観測域の南方で発生したSSEと関係する地震活動が捉えられた（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・チリ北部地域で発生した地震（ $M>4.5$ ）のSWIFT即時メカニズム解を行い、Webにおいて地震パラメータを検索可能なデータベースの公開を継続した。2012～2013年にフィリピンで発生した地震のSWIFT-CMT解と、global CMT解との系統的な比較をおこなった結果、両者は調和的であり、 $M<5.5$ のイベントに関してはSWIFT-CMT解の方が多くのイベントを決めていたことを確認した。さらに、これらの地域で発生した地震に対して、SWIFT地震パラメータの自動・手動解析と連動した津波の自動予測システムの開発をおこない、Webにおいて解析結果の公開を開始した（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

プレートが沈み込む境界では、これまで何度も海溝型大地震が発生し、従来私たちが経験してきた数10年～数100年といった時間スケールでの海溝型地震の発生機構については、ある程度理解が進んでき

た。しかし、2011年東北地方太平洋沖地震は、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、再来性を有する繰り返し地震やスロー地震にも間隔や規模の揺らぎが存在するなど、必ずしも固有地震的ではないことも明らかにされた。従って、より長期間の地震活動や地震サイクルを俯瞰し、揺らぎを含めた発生様式のマカニヰム解明は地震発生予測において必要不可欠である。そのため、発生様式の実態を観測モニタリングから明らかにすること、観測・実験・理論・シミュレーションに基づく摩擦構成則・パラメータ分布の推定を行なうこと、巨大地震だけでなくプレート境界現象としてのスロー地震及び同じプレートが関わるスラブ内地震を含めた相互作用やこれらの活動様式を理解すること、これらを踏まえた上で、プレート間すべり現象に対する発生予測モデル構築への取り組みを行なうことが重要である。

現行計画では、以上の観点で全国の大学・研究期間が協力し、海溝型プレート境界すべり現象の解明と予測に関する研究課題を実施してきた。平成26年度の主な成果をまとめると、SSEに代表されるプレート境界すべり現象については、その発生間隔・規模の揺らぎや多様性が明瞭に示された点の特筆される。房総SSEはこれまで5~6年周期で繰り返されてきたが、太平洋沖地震以降は2011年11月と2014年1月にも発生し、発生間隔が4年、2年と、徐々に短くなっている。一方、地震波形の相関性を使った解析では、2011年3月の太平洋沖地震直後にSSEの発生を示す小繰り返し地震が検知されており、そのイベントを考慮すると、太平洋沖地震でリセットされた以降は1年、2年と間隔が長くなっているとも言える。それぞれのSSEの発生規模も異なるため、発生様式のモデル化にはそれも考慮する必要がある。さらに、SSEに伴う群発地震活動に着目すると、地震活動域は毎回異なっており、すべりの広がり異なることを示唆しているが、地震活動の移動の様子は毎回同様であることから、すべりの時間発展には共通の特徴があるのかもしれない。発生様式の多様性は、東海SSEや豊後水道SSEも同様である。つまり、東海では2013年以降Mw6.5のSSEが発生していたようであり、2000年~2005年のSSE(Mw7.1)や1988~1990年(規模不明)のSSEをも考慮すると、規模の違いはあるものの発生間隔は12年とほぼ一定である。豊後水道では、6~7年間隔でMw6.8程度の長期的SSEが繰り返され、その都度活発な深部低周波微動活動を伴うが、2014年に小規模(Mw6.6)のSSEが発生した。そのような小規模SSEは2006年にも起きており、規模の異なるSSEが交互に繰り返されていると見ることも可能である。これらのSSEの発生間隔や規模の揺らぎを含めた発生様式を解明することは、その頻発性を考慮すると、巨大地震発生予測モデルを構築する上でも大変重要である。そのためには、数値シミュレーションと観測結果を比較しながら、SSE発生域における摩擦パラメータの分布やその現象を支配するすべりの物理モデルを明らかにする必要がある。現在行われているシミュレーションでは、長期的SSEや短期的SSEの発生様式が再現され、巨大地震の発生サイクルの中での挙動も計算されているが、今後はSSE発生の揺らぎの統計的特徴を再現するようモデリングすることも重要であろう。釜石沖の繰り返し地震が太平洋沖地震後に頻発したことは、slip-lawではなくslowness-lawに基づいたシミュレーションで再現されており、室内実験や理論的研究等も併せて摩擦パラメータのすべり速度変化に対する動的依存性や適切な摩擦則を見出すことが、今後のシミュレーションの高精度化を進める上で重要である。プレート境界の状態の時間変化に関しては、太平洋沖地震の前後で同じ場所を実施した反射法探査による反射波強度の違いから、間隙水圧等の変化の可能性を示すことができるのかもしれない。プレート境界における強度の時間変化が、透過波あるいは反射波の変化から検出できる可能性のあることは、室内実験と理論的研究から明らかにされており、今後、観測に実装することの検討が進むことが期待される。

なお、豊後水道については、長期的SSEの本来の発生間隔に基づくと、あと1年程度で大規模SSEが発生することが予想され、それに対する小規模SSEの影響、また、これまでと同様に浅部超低周波地震

(VLF) も同時に発生するのかなど、今後のモニタリングを注意深く継続する必要がある。房総 SSE も同様で、これまでの発生様式が大きく変化し新たな状況になったとすると、5 カ年の計画期間中に再発生する可能性もあり、やはりモニタリングの継続は重要である。

南西諸島では、GNSS データ解析により、多くの短期的 SSE が検出された。その分布は必ずしも一様ではなく、空間的に不均質であるが、そのパターンは広帯域地震計データから推定された浅部 VLF の分布とよく似ている。日向灘では、浅部 VLF が深部微動/VLF と同様に移動することが明らかとなり、浅部 VLF の背景に SSE が存在することを示唆しているが、南西諸島で検出された SSE と VLF が時空間的に共存するかどうかの検証は、非常に大きな課題であろう。また、南西諸島における小繰り返し地震は岩手沖と同様にプレート境界浅部と深部に 2 列の集中帯を形成していることから、プレート境界における様々なすべり現象の相互関係・相互作用を明らかにするうえで、今後ますます重要な研究対象地域となるであろう。

ニュージーランド北島の東方沖では短期的 SSE が頻繁に発生しており、反射法探査で検出された反射強度の空間分布との対応性が見られている。さらに、房総 SSE と同様に SSE 発生時には群発地震が伴うことが多く、国際共同研究プロジェクトにより、海陸における多様な観測が計画・実施されていることから、ここも重要な研究対象地域である。

プレート境界の形状やその周辺における構造異常を正確に把握することは、プレート間すべり現象の多様性を規定する条件を提示する可能性がある。既に紀伊半島では、深部低周波微動と高 V_p/V_s との関係が指摘されているが、スラブ内地震や微動の分布と構造異常の空間的広がりとの相関性が詳細に明らかにされれば、スラブ内での脱水プロセスとプレート境界への流体移動プロセスについて、重要な知見が得られるであろう。スラブ内地震の発生メカニズムとしての脱水脆性化説は観測データ解析、高温高压室内実験及び温度構造モデリングという領域横断的研究によって検証が進むことが期待される。

海溝型巨大地震の発生履歴については、津波堆積物や地形地質調査によって全国的に調査が進められている。特に下北半島で発見された 17 世紀の津波痕跡は、1611 年慶長三陸津波と 17 世紀千島巨大地震との関係に新たな解釈を与えるものであり、もし両者が同じものであったとすると、日本海溝から千島海溝にまたがる広い領域を同時に破壊した超巨大地震が発生していたことを示すもので、超巨大地震の発生履歴を解明する上でも重要であるとともに、南海トラフでも同様のことを念頭に置く必要があるであろう。

成果リスト

- Abe, Y. and N. Kato, 2014, Intermittency of earthquake cycles in a model of a three-degree-of-freedom spring-block system, *Nonlin. Proc. Geophys.*, 21, 841-853.
- Ariyoshi K., N. Uchida, T. Matsuzawa, R. Hino, A. Hasegawa, T. Hori, and Y. Kaneda, 2015, A trial estimation of frictional properties, focusing on aperiodicity off Kamaishi just after the 2011 Tohoku earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 8325-8334, doi:10.1002/2014GL061872.
- Durrheim, R. J., H. Ogasawara, M. Nakatani, Y. Yabe, A.M. Milev, A. Cichowicz, H. Kawakata, H. Moriya, M. Naoi, T. Kgarume, O. Murakami, A.V.Z Brink, G. Ferreira, G. Henry, R. Teleka, J. Kuijpers, S. Mngadi, A.Ward, J.Wienand, the SATREPS Research Group, 2014, Observational studies in South African mines to mitigate seismic risks: a mid-term review of the five-year SATREPS project, *Proceedings of the Sixth South African Rock Engineering Symposium 2014*, Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, pp. 241-250.

- Fukuda, J., A. Kato, K. Obara, S. Miura, and T. Kato, 2014, Imaging of the early acceleration phase of the 2013–2014 Boso slow slip event, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 7493–7500, doi:10.1002/2014GL061550.
- Han J., J. Vidale and H. Houston, K. Chao, K. Obara, 2014, Triggering of tremor and inferred slow slip by small earthquakes at the Nankai subduction zone in southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 8053–8060, doi:10.1002/2014GL061898.
- Hirauchi K., Muto, J., 2015, Effect of stress state on slow rupture propagation in synthetic fault gouges, *Earth Planets Space*, 67:25, doi: 10.1186/s40623-015-0199-x
- 一瀬建日・竹尾明子・塩原肇, 2014, 観測記録を用いた海底地震計の時刻補正と刻時安定性, *JAMSTEC Rep. Res. Dev.*, 19, 19–28.
- Ide, S. and Y. Tanaka, 2014, Controls on plate motion by oscillating tidal stress: Evidence from deep tremors in western Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 3842–3850, doi:10.1002/2014GL060035.
- Inazu, D. and T. Saito, 2014, Two subevents across the Japan Trench during the 7 December 2012 off Tohoku earthquake (Mw 7.3) inferred from offshore tsunami records, *J. Geophys. Res.*, 119, 5800–5813, doi: 10.1002/2013JB010892.
- Iwata, T., and M. Kanao, 2015, A quantitative evaluation of the annual variation in teleseismic detection capability at Syowa Station, Antarctica, *Polar Science*, 9, 26–34, doi:10.1016/j.polar.2014.10.002
- Kame, K., K. Nagata, M. Nakatani, T. Kusakabe, 2014, Feasibility of acoustic monitoring of strength drop precursory to earthquake occurrence, *Earth Planets Space*, 66:41, doi:10.1186/1880-5981-66-41
- Kato, A. and S. Nakagawa, 2014, Multiple slow-slip events during a foreshock sequence of the 2014 Iquique, Chile Mw 8.1 earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 41, doi:10.1002/2014GL061138.
- Kato, A., T. Igarashi, and K. Obara, 2014, Detection of a hidden Boso slow slip event immediately after the 2011 Mw9.0 Tohoku-Oki earthquake, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 5868–5874, doi:10.1002/2014GL061053.
- Kato, N., 2014, Deterministic chaos in a simulated sequence of slip events on a single isolated asperity, *Geophys. J. Int.*, 198, 727–736, doi:10.1093/gji/ggu157.
- Kato, T., A. Fujita, M. Satomura, R. Ikuta, and Y. Harada, 2014, Analysis of detailed crustal strains due to the dense GNSS array in the Tokai region, central Japan, Abstract of the International Symposium on Geodesy for Earthquake and Natural Hazards, Miyagi, Japan, 22–26 July, 2014
- Kinoshita, C., Y. Kano, and H. Ito, 2015, Shallow crustal permeability enhancement in central Japan due to the 2011 Tohoku earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 42, doi:10.1002/2014GL062792.
- 國友孝弘・山岡耕春・渡辺俊樹・吉田康宏・勝間田明男・生田量野・加藤愛太郎・飯高隆・津村紀子・大久保慎人, 2014, 弾性波アクロスによる東海地域地殻のP波およびS波構造の推定, *地震*, 67(1), 1–24.
- Kimura, J-I., and J. Nakajima, 2014, Behaviour of subducted water and its role in magma genesis in the NE Japan arc: A combined geophysical and geochemical approach, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 143, 165–188.
- Kimura, J-I., J. Gill, T. Kunikiyo, I. Osaka, Y. Shimoshioiri, M. Kakasuke, S. Kakubuchi, T. Nagao,

- K. Furuyama, A. Kamei, H. Kawabata, J. Nakajima, P.E. van Keken, and R. J. Stern, 2014, Diverse magmatic effects of subducting a hot slab in SW Japan: results from forward modeling, *Geochem. Geophys. Geosys.*, 15, 691–739, doi:10.1002/2013GC005132.
- Nagata, K., B. Kilgore, N. Beeler, M. Nakatani, 2014, High-frequency imaging of elastic contrast and contact area with implications for naturally observed changes in fault properties, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 119, 5855–5875, doi: 10.1002/2014JB011014.
- Noda, H., M. Nakatani and T. Hori, 2014, Coseismic visibility of a small fragile patch involved in the rupture of a large patch – implications from fully dynamic rate–state earthquake sequence simulations producing variable manners of earthquake initiation, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 1, 8, doi:10.1186/2197-4284-1-8.
- Nakajima, J. and G.A. Abers, 2015, Subduction Zone: Seismicity and Arc Magmatism, in *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, Springer, in press.
- Nakajima, J., 2014, Seismic attenuation beneath Kanto, Japan: Evidence for high attenuation in the serpenititized subducting mantle, *Earth Planets Space.*, 66, 12, doi:10.1186/1800-5981-66-12.
- Nakamura, Y., S. Kodaira, B. J. Cook, T. Jeppson, T. Kasaya, Y. Yamamoto, Y. Hashimoto, M. Yamaguchi, K. Obana, and G. Fujie, 2014, Seismic imaging and velocity structure around the JFAST drill site in the Japan Trench: low Vp, high Vp/Vs in the transparent frontal prism, *Earth Planets Space*, 66, 121, 10.1186/1880-5981-66-121.
- Nishimura, T., 2014, Short-term slow slip events along the Ryukyu trench, southwestern Japan, observed by continuous GNSS, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 1:22, doi:10.1186/s40645-014-0022-5.
- Obana, K., S. Kodaira, Y. Nakamura, T. Sato, G. Fujie, T. Takahashi, Y. Yamamoto, 2014, Aftershocks of the December 7, 2012 intraplate doublet near the Japan Trench axis, *Earth Planets Space*, 66, 24, doi:10.1186/1880-5981-66-24
- Obara K., 2014, Contribution of Slow Earthquake Study for Assessing the Occurrence Potential of Megathrust Earthquakes, *J. Disaster Research*, 9, 317–329.
- Ogasawara, H., M. Nakatani, R.J. Durrheim, M. Naoi, Y. Yabe, H. Moriya, G.F. Hofmann, C. Stander, D.P. Roberts, P. de Bruin, J. Oelofse, H. Kato, A. Cichowicz, D. Birch, D. Ngobeni, A. Milev, T. Kgarume, T. Satoh, S. Horiuchi, H. Kawakata, O. Murakami, N. Yoshimitsu, A.K. Ward, J. Wienand, P. Lenegan, H. Yilmaz, S. Mngadi, P.S. Piper, T.N. Clements, S. Nakao, M. Okubo, H. Ishii, A.V. Visser, 2014, Observational studies of the rock mass response to mining in highly stressed gold mines in South Africa, *Proceedings of 7th International Congress on Deep and High Stress Mining*, Sudbury, Canada, 16–18 September 2014, M. Hudyma and Y. Potvin (eds) , Australian Centre for Geomechanics, 123–137.
- 岡田正実, 2015, 繰り返し小地震に対する予測能力評価, *地震予知連絡会会報*, 93, 405–409.
- Ozawa, S., 2014, Shortening of recurrence interval of Boso slow slip events in Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 2762–2768, doi:10.1002/2014GL060072.
- Shestakov N.F., M. Ohzono, H. Takahashi, M.D. Gerasimenko, V.G. Bykov, E.I. Gordeev, V.N. Chebrov, N.N. Titkov, S.S. Serovetnikov, N.F. Vasilenko, A.S. Prytkov, A.A. Sorokin, M.A. Serov, M.N. Kondratyev, and V.V. Pupatenko, 2014, Modeling of coseismic crustal movements initiated by the May 24, 2013, Mw8.3 Okhotsk deep focus earthquake, *Doklady Earth Science*, 457, 976–981.

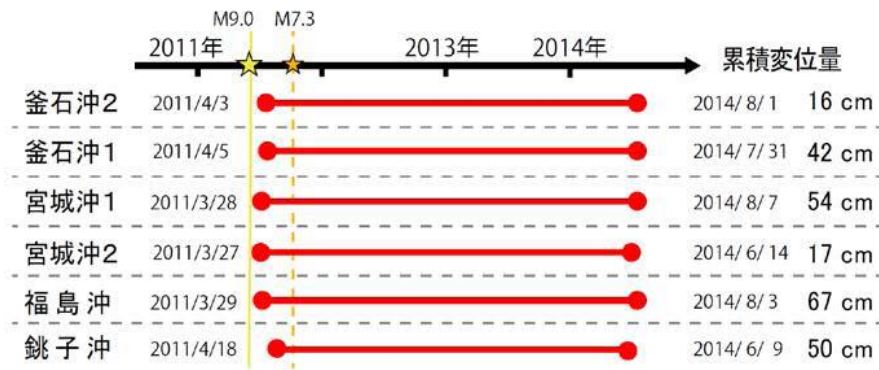
- Shibazaki, B. and H. Noda, 2014, What caused the 2011 Tohoku-Oki earthquake?: Effects of dynamic weakening, *J. Disaster Res.*, 96, 252-263.
- Shiina, T., J. Nakajima, G. Toyokuni, and T. Matsuzawa, 2014, Guided wave observations and evidence for the low-velocity subducting crust beneath Hokkaido, northern Japan, *Earth, Planets Space*, 66, 69.
- Shimizu, I., 2014, Rheological profile across the NE Japan interplate megathrust in the source region of the 2011 Mw9.0 Tohoku-oki earthquake, *Earth Planets Space*, 66:73, doi:10.1186/1880-5981-66-73.
- Sawai, M., T. Hirose, and J. Kameda, 2014, Frictional properties of incoming pelagic sediments at the Japan Trench: implications for large slip at a shallow plate boundary during the 2011 Tohoku earthquake, *Earth Planets Space*, 66, doi:10.1186/1880-5981-66-65.
- Shinohara M., T. Kanazawa, T. Yamada, Y. Machida, T. Shinbo, and S. Sakai, 2014, New compact ocean bottom cabled seismometer system deployed in the Japan Sea, *Marine Geophys. Res.*, 35, 231, doi: 10.1007/s11001-013-9197-1-242.
- 塩原肇・篠原雅尚・中東和夫, 2014, 観測帯域拡大への高精度圧力計付き広帯域海底地震計の開発, *海洋調査技術*, 26, 2, 1-17.
- Shirzaei, M., R. Burgmann, N. Uchida, Y. Hu, F. Pollitz, and T. Matsuzawa, 2014, Seismic versus aseismic slip: Probing mechanical properties of the northeast Japan subduction zone, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 406, 7-13, doi:10.1016/j.epsl.2014.08.035.
- Suetsugu D., and H. Shiobara, 2014, Broadband Ocean Bottom Seismology, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 42, 27-43.
- Takahashi, M., S. Azuma, H. Ito, K. Kanagawa, and A. Inoue, 2014, Frictional properties of the shallow Nankai Trough accretionary sediments dependent on the content of clay minerals, *Earth Planets Space*, 66, doi:10.1186/1880-5981-66-75.
- Tanaka, Y., T. Hasegawa, H. Tsuruoka, V. Klemann and Z. Martinec, 2014, Spectral-finite element approach to post-seismic relaxation in a spherical compressible Earth: application to gravity changes due to the 2004 Sumatra-Andaman earthquake, *Geophys. J. Int.*, 200: 299-321, doi:10.1093/gji/ggu391.
- Tanaka, Y., T. Sato, Y. Ohta, S. Miura, J. T. Freymueller, and V. Klemann, 2015, The effects of compressibility on the GIA in southeast Alaska, *J. Geodyn.*, 84, 55-61.
- Tanikawa W., H. Mukoyoshi, W. Lin, T. Hirose, and A. Tsutsumi, 2014, Pressure dependence of fluid transport properties of shallow fault systems in the Nankai subduction zone, *Earth Planets Space*, 66, doi:10.1186/1880-5981-66-90.
- Uchida, N., K. Shimamura, T. Matsuzawa, and T. Okada, 2015, Postseismic response of repeating earthquakes around the 2011 Tohoku-oki earthquake: Moment increases due to the fast loading rate, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, 256-274, doi:10.1002/2013JB010933.
- 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.
- Yamaoka K, Miyamachi H, Watanabe T, Kunitomo T, Michishita T, Ikuta R, Iguchi M., 2014, Active Monitoring at an active volcano: amplitude-dependence of ACROSS at Sakurajima Volcano, Japan.

Earth Planet Space, 66:32 doi:10.1186/1880-5981-66-32

Yasuda, K., K. Tadokoro, R. Ikuta, T. Watanabe, S. Nagai, T. Okuda, C. Fujii, and K. Sayanagi, 2014, Interplate locking condition derived from seafloor geodetic data at the northernmost of the Suruga trough, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 5806-5812.

Xu, S., E. Fukuyama, Y. Ben-Zion, and J.-P. Ampuero, 2015, Dynamic rupture activation of backthrust fault branching, *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2015.01.011, (in press) .

(a)



(b)

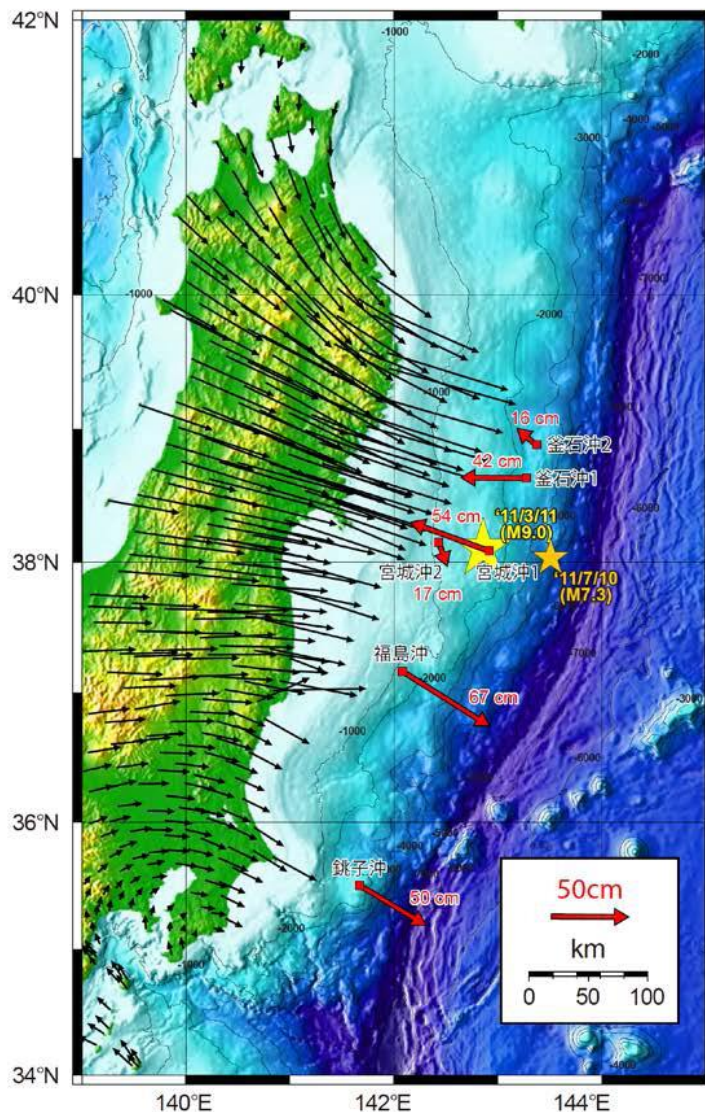


図1. 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動（累積）（海上保安庁 [課題番号：8001]）

(a) 観測期間と累積変位量，(b) 累積変位ベクトル，赤と黒の矢印は、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。

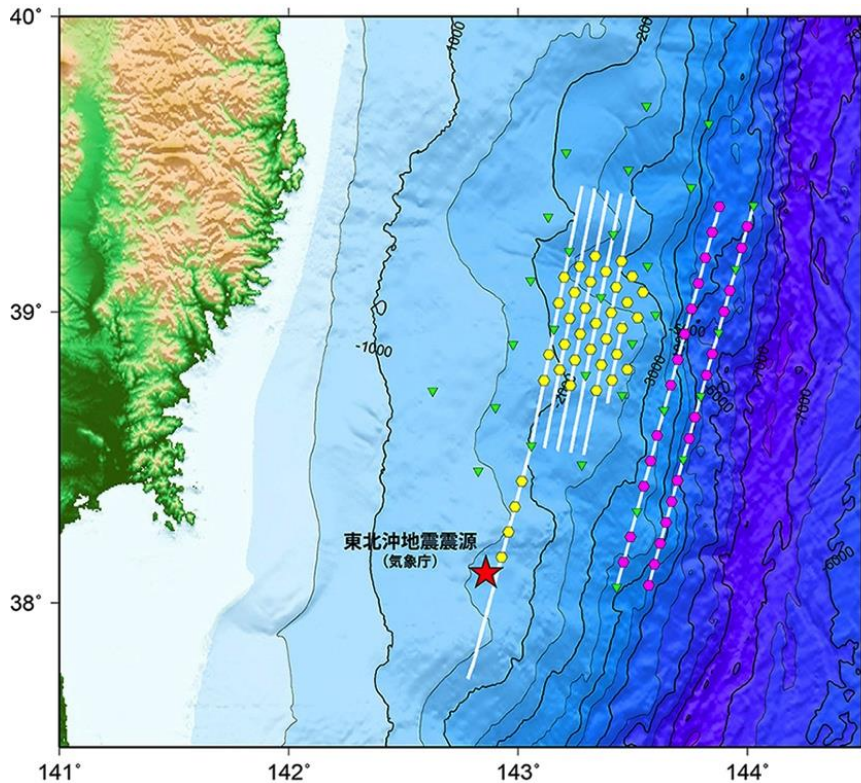


図2. 2013年および2014年に行った構造探査実験の測線（白線）と海底地震計の設置位置（黄色は2013年設置，ピンク色の六角形は2014年設置）（東京大学地震研究所 [課題番号：1503]）
 緑色の逆三角形は，2013年から2014年にかけて約1年間設置された長期観測型海底地震計の設置位置。

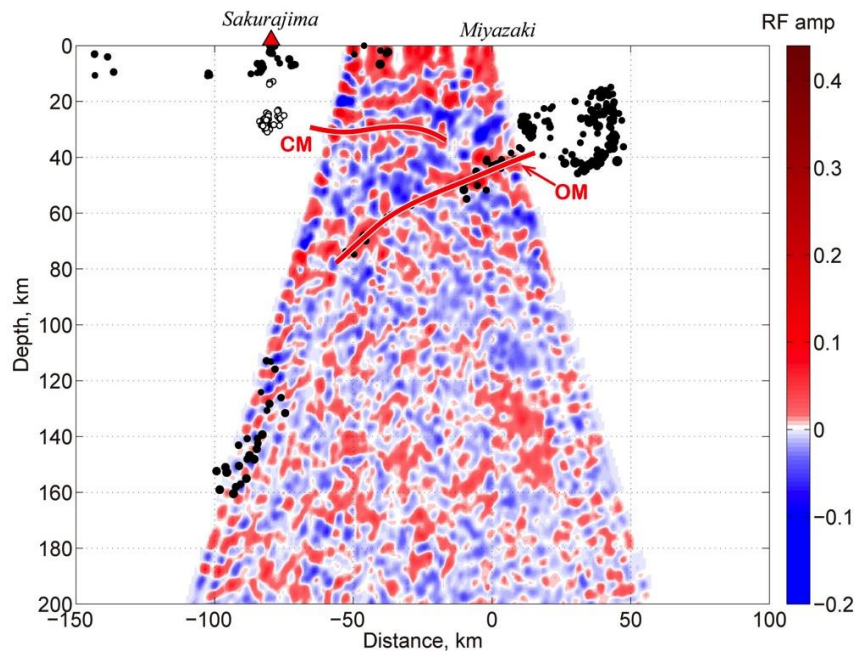


図3. 南九州の宮崎－桜島測線におけるレイシーバ関数イメージ（京都大学防災研究所 [課題番号：1904]）
 レシーバ関数の振幅を共通のP→S変換点で重合したもので，S波速度不連続面を表す．CMとOMを付した赤線は，それぞれ大陸モホ面と海洋モホ面の解釈線である。黒丸と白丸はそれぞれ通常の地震と深部低周波地震を表す。

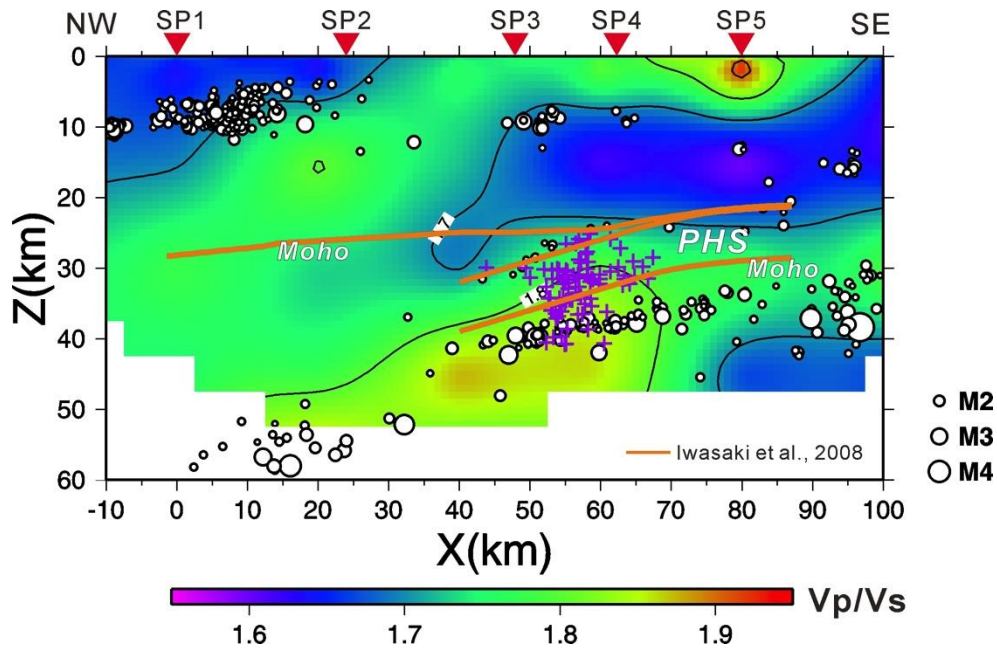


図4. トモグラフィ解析により得られた V_p/V_s 構造の2006年探査測線下における断面図と震源分布（幅は±10km以内）（東京大学地震研究所 [課題番号：1509]）

2000年1月1日から2014年7月31日までの気象庁一元化処理震源の検出値を使用して再決定した普通の地震を○印，低周波地震を+印で示す。橙色の線は，Iwasaki et al. (2008) によって示されたフィリピン海プレート（上面とモホ面）と島弧モホ面の形状を示す。▼は2006年地殻構造探査における発破点位置を示す。PHS:フィリピン海プレート。

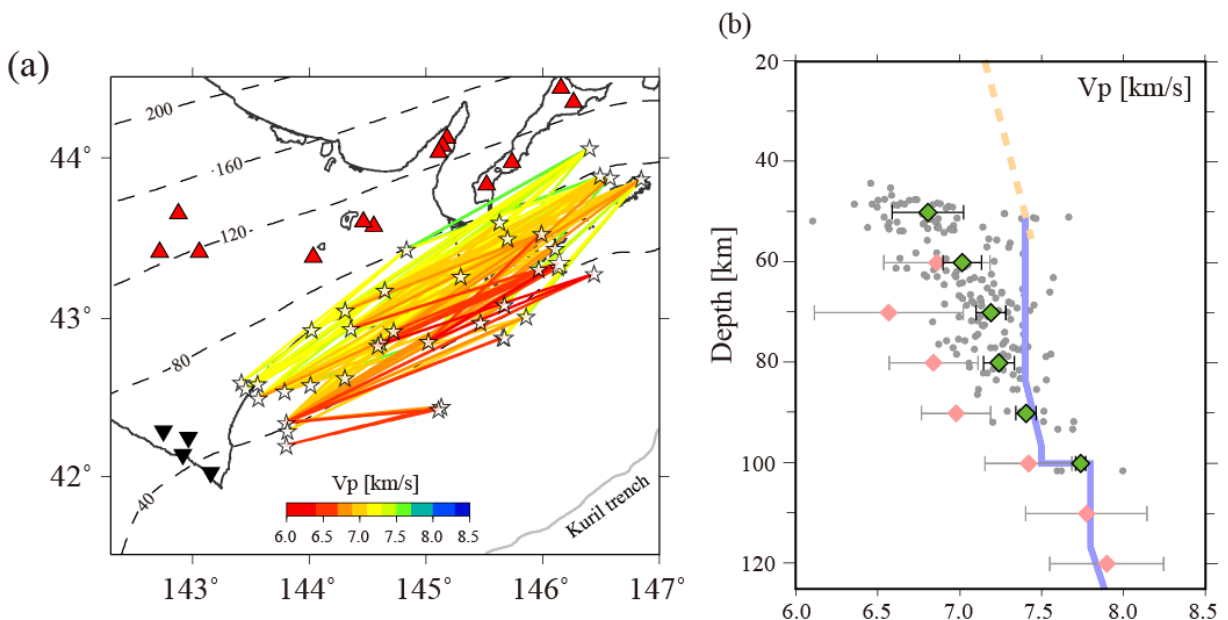


図5. 北海道東部の海洋性地殻の速度分布 (Shiina et al., 2014) (東北大学 [課題番号：1201])

(a) 波線に沿うP波速度分布。星印，黒の逆三角は解析に用いた地震と観測点をそれぞれ表わす。(b) 波線平均の速度（灰色）を深さ10km毎に平均した速度分布（緑菱形）。赤菱形はShiina et al. (2013) による東北地方の結果。オレンジの破線と青線はそれぞれ，Fujimoto et al. (2010)，Hacker et al. (2003) による含水MORBの速度分布。

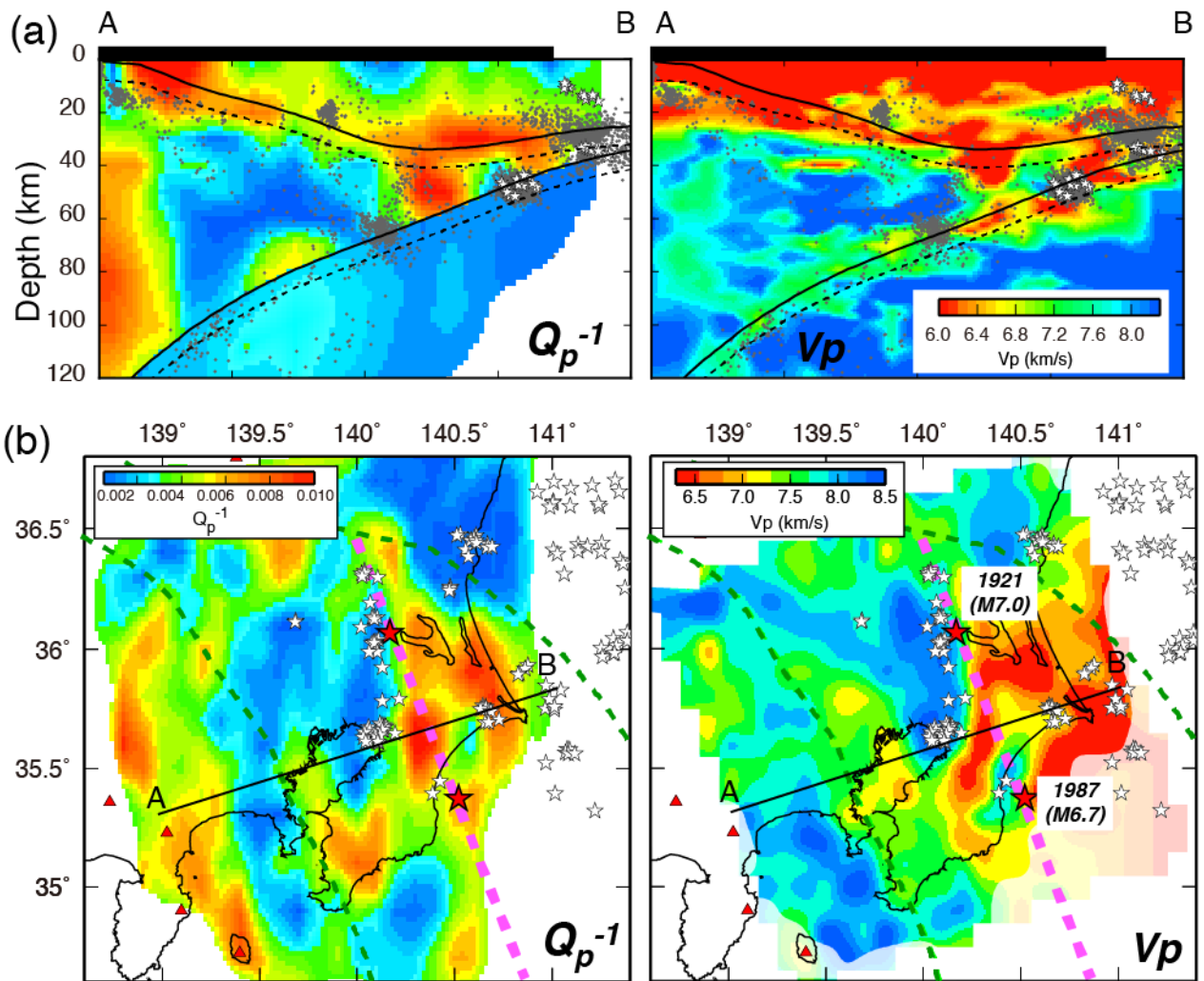


図6. 関東下のP波減衰とP波速度構造 (Nakajima, 2014) (東北大学 [課題番号: 1201])

(a) 関東地方の東北東-西南西方向の鉛直断面図(左: Q_p^{-1} , 右: V_p)。白星は相似地震 (Uchida et al., 2009), 黒線はフィリピン海プレート, 太平洋プレートの上部境界を示す。(b) 太平洋プレートの10km浅部に沿う構造分布(左: Q_p^{-1} , 右: V_p)。赤星は1921年茨城県南部, 1987年千葉県東方沖地震, 緑破線はフィリピン海プレートと太平洋プレートの接触域, ピンクの破線は蛇紋岩化域 (Nakajima and Hasegawa, 2010) の西縁を表す。

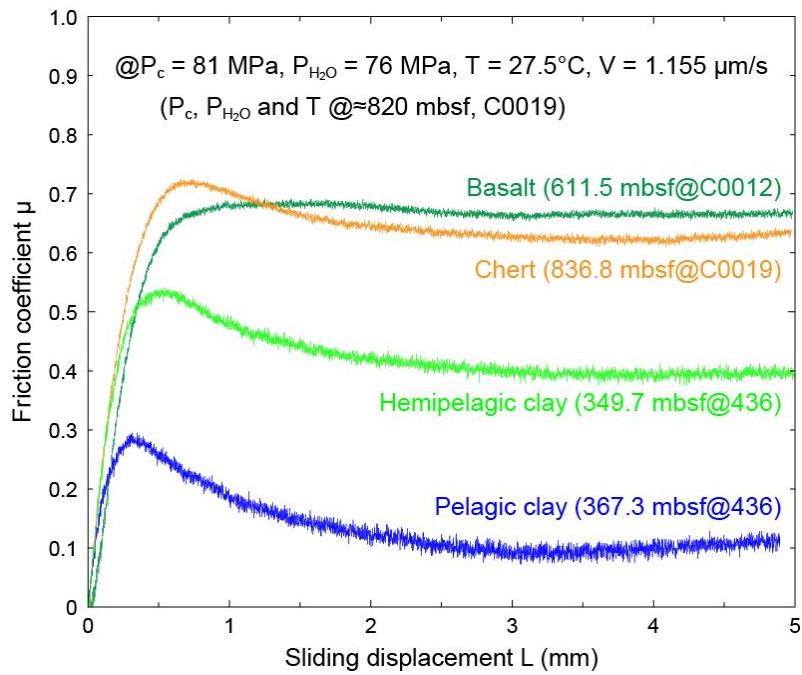


図7. 日本海溝プレート境界断層浅部条件（封圧81MPa，間隙水圧76MPa，温度27.5° C）および変位速度1.155 μm/sにおける，太平洋プレート表層部の想定・実試料ガウジの摩擦係数－変位量曲線（東京大学地震研究所〔課題番号：1503〕）

玄武岩試料は紀伊半島沖（IODP掘削地点C0012）フィリピン海プレート海底下611.5 mの試料，チャートは日本海溝付近（IODP掘削地点C0019）海底下836.8mの試料，半遠洋性粘土および遠洋性粘土は三陸沖（DSDP掘削地点436）の海底下それぞれ349.7mおよび367.3mの試料。

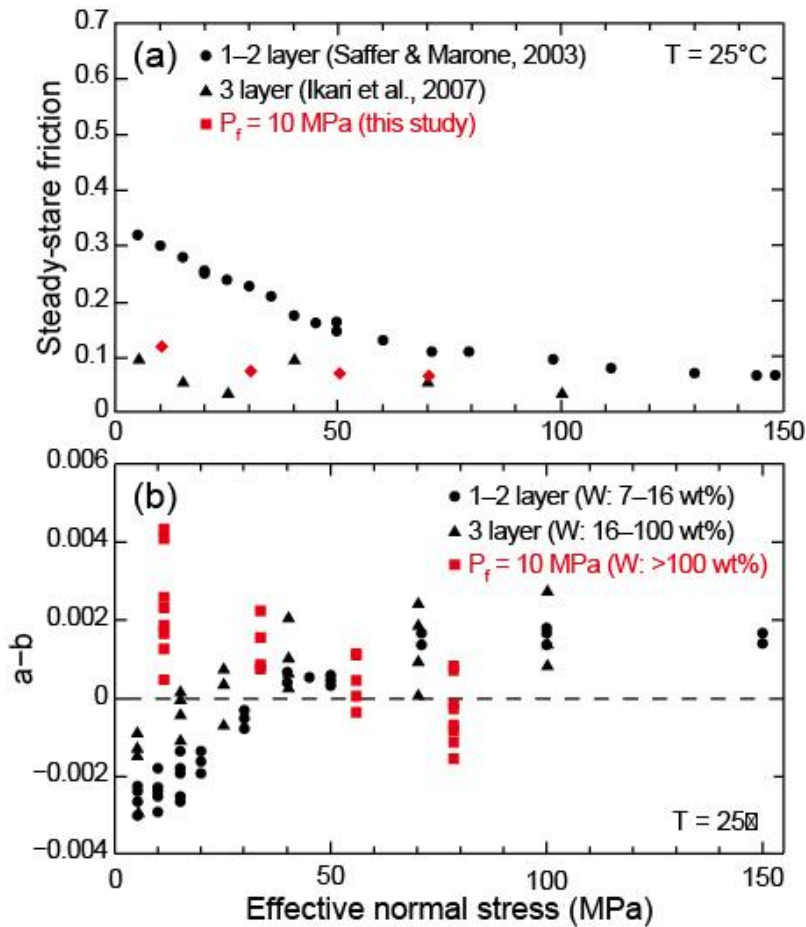


図8. 室温、湿潤・含水条件下におけるスメクタイトの摩擦特性（東京大学地震研究所 [課題番号：1503]）
 (a) 定常摩擦係数と有効法線応力の関係， (b) $a - b$ 値と有効法線応力の関係。W: 含水量。

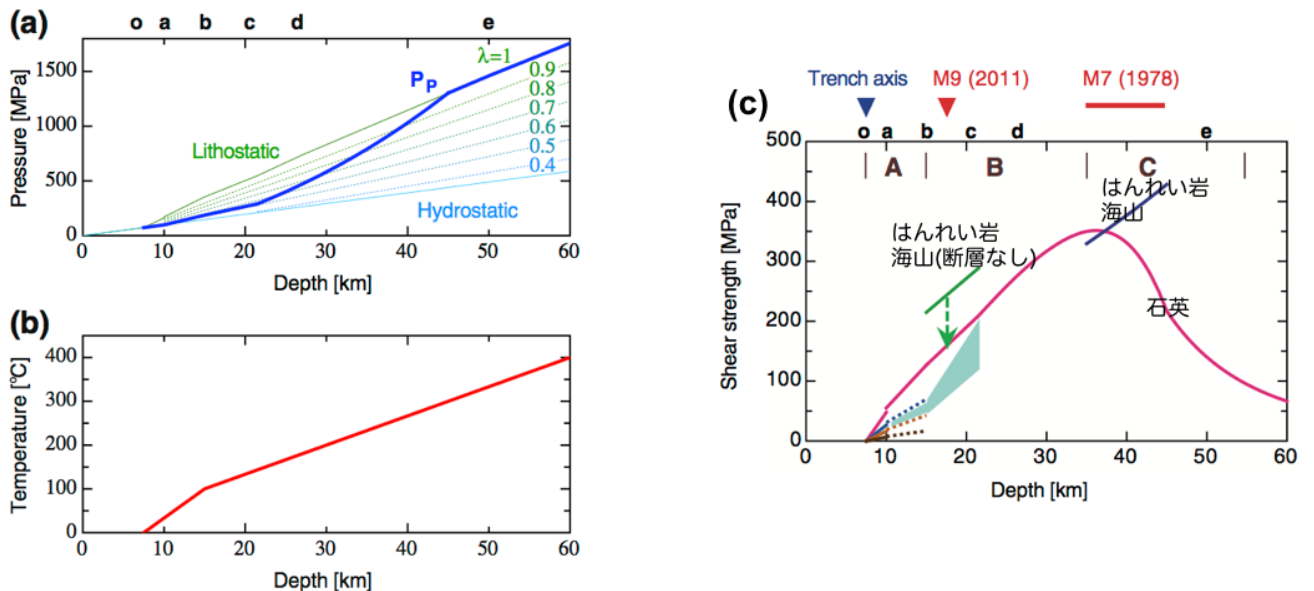


図9. 宮城沖のプレート境界強度の推定（Shimizu, 2014 に加筆）（東京大学地震研究所 [課題番号：1507]）
 a) 間隙水圧分布。 (b) 温度分布。 (c) 剪断強度分布。

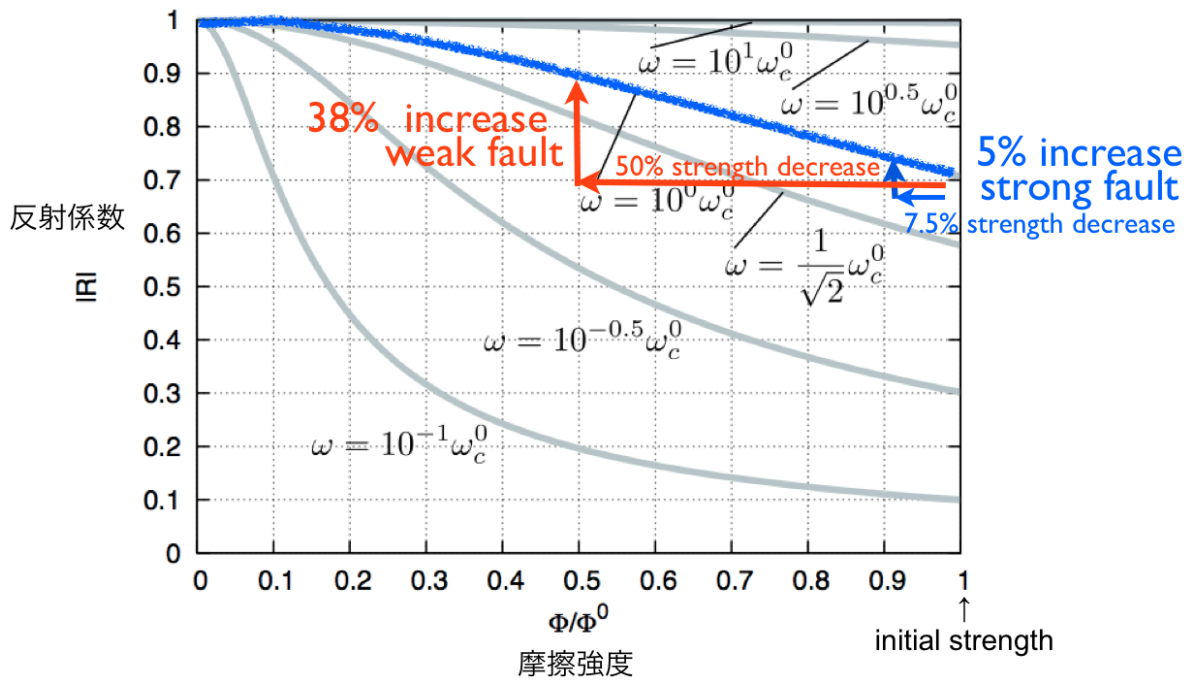


図10. 地震前の二年間に予想される摩擦強度の低下量と、それによる反射強度変化のみつもり (Kame et al., 2014 に加筆) (東京大学地震研究所 [課題番号: 1507])

観測に用いる弾性波の周波数が、断層面の接触コンプライアンスから予想される特性周波数の上下1桁の範囲で異なる5つのケースを示した。

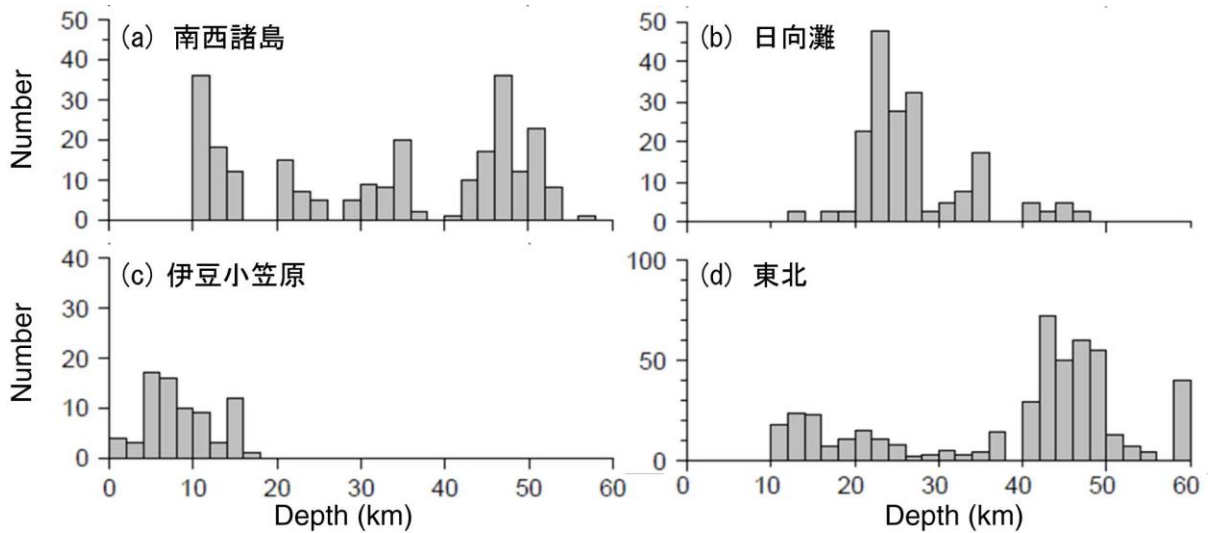


図11. 南西諸島、日向灘、伊豆-小笠原および東北地方での繰り返し地震の深さごとの頻度分布 (東京大学地震研究所 [課題番号: 1510])

繰り返し地震の深さは、気象庁による地震の震央位置から、その場所でのプレート境界の深さをUSGS Slab1.0 およびUchida et al. (2010) のプレート境界モデルにより推定した。

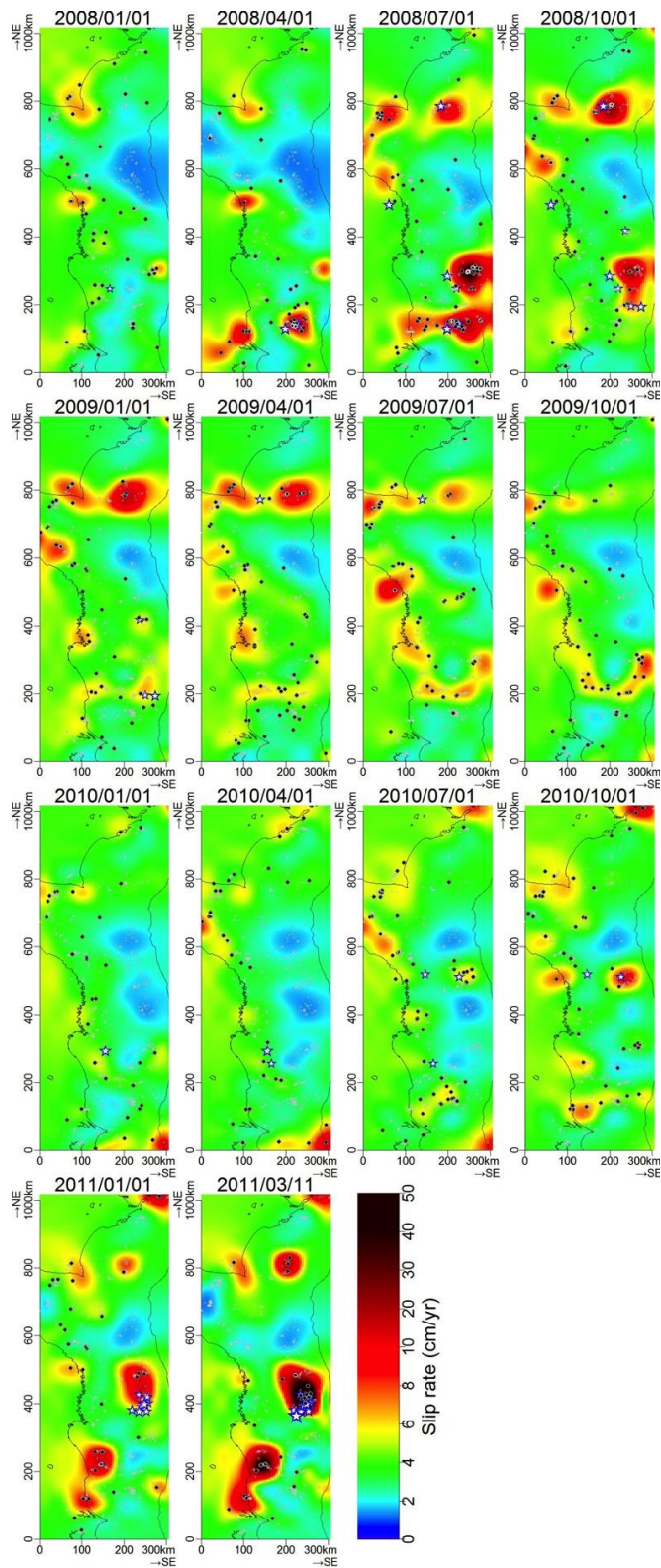


図12. 時空間更新過程モデルを用いた2011年東北地方太平洋沖地震前における準静的滑りの時空間推移 (東京大学地震研究所 [課題番号: 1510])

相似地震から推定された2008年から2011年東北地方太平洋沖地震前までの滑り速度分布の3ヶ月おき推移。黒点および星は、各時点の前後に発生した相似地震およびマグニチュード6以上の地震の震央位置を表す。

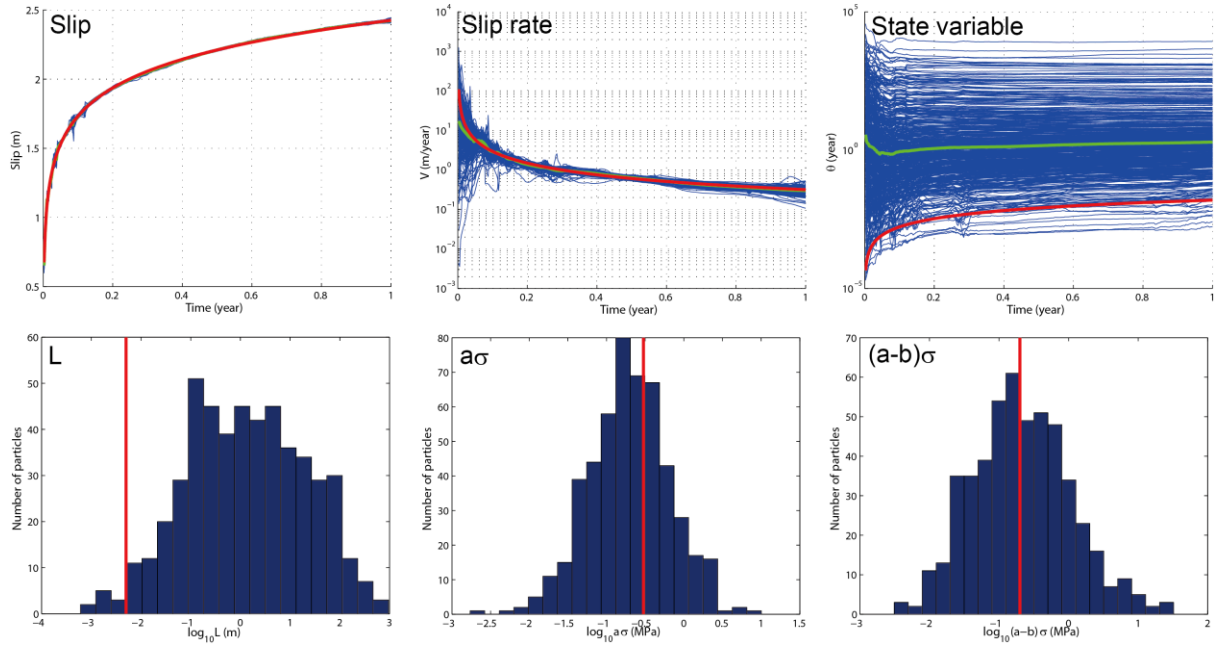


図13. アンサンブルカルマンフィルタ/スモータにより推定されたシミュレーションの変数の時系列と摩擦パラメータの確率分布（京都大学 [課題番号：1803]）

（上）左からすべり速度，状態変数の時系列を示す青線は全粒子，緑線は全粒子の平均値，赤線は真値の時間変化を表す。（下）左から速度・状態依存摩擦法則のパラメータ L ， $a\sigma$ ， $(a-b)\sigma$ の確率分布を示す。赤線は真値を表す。

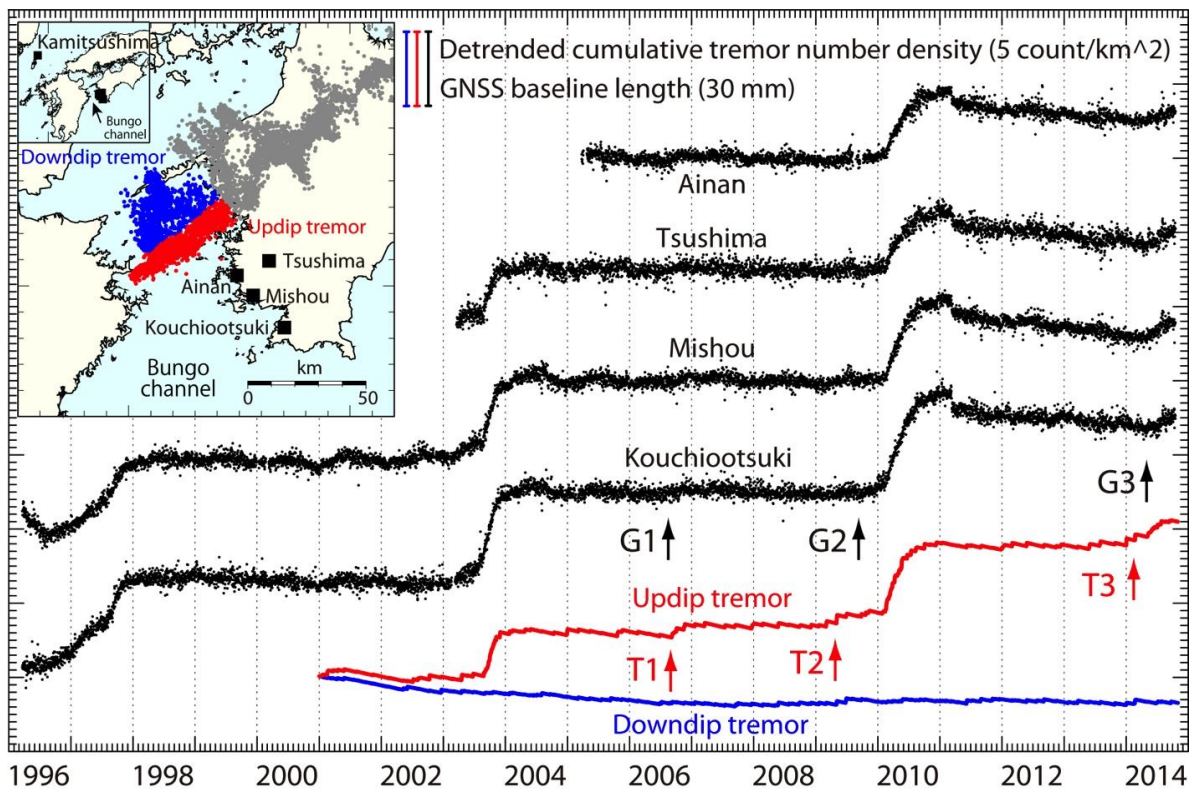


図14. 1996年3月21日から2014年10月18日までのGNSS 基線長変化（基準点：国土地理院GEONET 上対馬観測点）（黒点）及び2001年1月1日から2014年11月11日までの深部低周波微動発生数密度変化（赤線及び青線）（東京大学地震研究所 [課題番号：1509]）

GNSS 基線長変化はGEONET のF3 解を使用し、直線フィッティングにより推定した2006年1月1日から2008年12月31日までのトレンドを差し引いてある。また、国土地理院が算出した時系列のオフセット補正量を用いて、アンテナ交換など人為的な要因によるオフセットを補正した。深部低周波微動活動については、浅部（赤）と深部（青）の領域に分け、微動発生数密度（単位面積当たりの微動発生数）の積算時系列から、2006年1月1日以降の深部側微動数密度積算変化に対する直線フィッティングでトレンドを差し引いたものである。長期的SSE 発生期以外の通常期では、深部側と浅部側でほぼ水平になっていることから、いずれの領域でも微動の発生密度はほぼ一定であることを示している。G1~G3, T1 T3 は顕著な長期的SSE 発生期以外にGNSS, 及び微動活動に変化が生じた時期を示す。

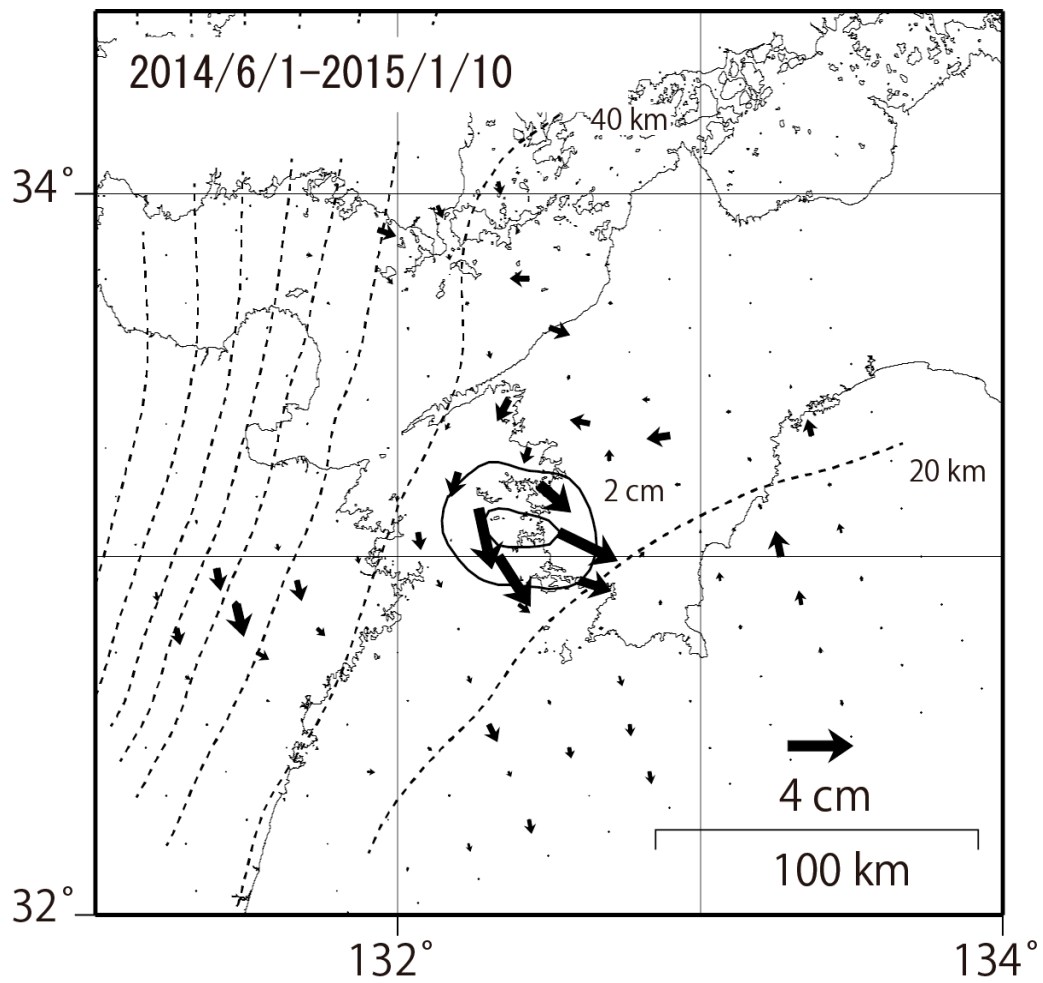


図15. 豊後水道のスロースリップ (国土地理院 [課題番号: 6003])
プレート境界面上で、最大4cm程度の滑りが推定されている。

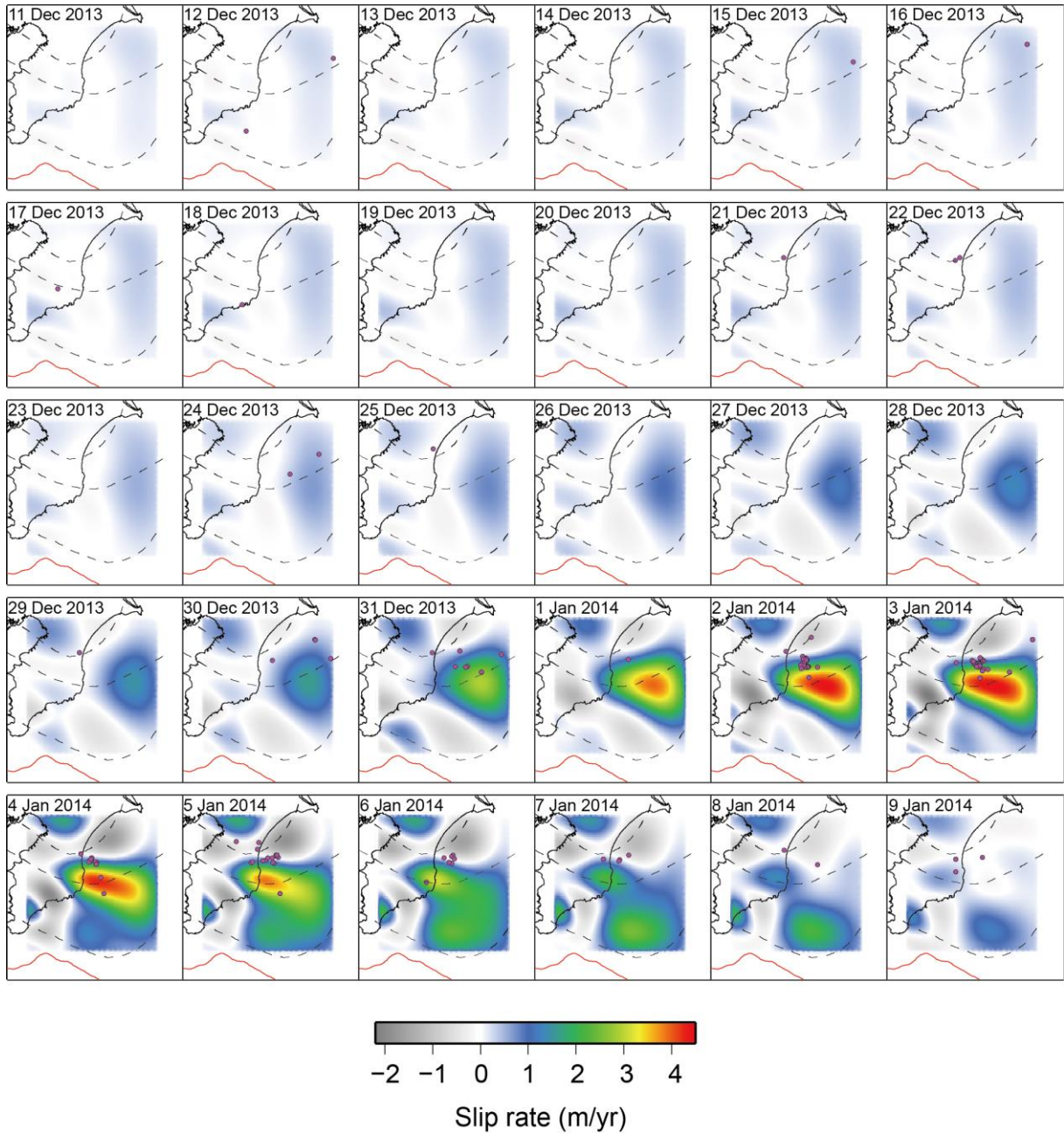


図16. インバージョン解析により推定された2013-2014 年房総SSE の時空間発展（東京大学地震研究所 [課題番号：1509]）

フィリピン海プレート上面における2013年12月11日から2014年1月9日（UTC） までの1日毎のすべり速度を示す。紫色の丸は当該の日に発生した地震の震央を示す。

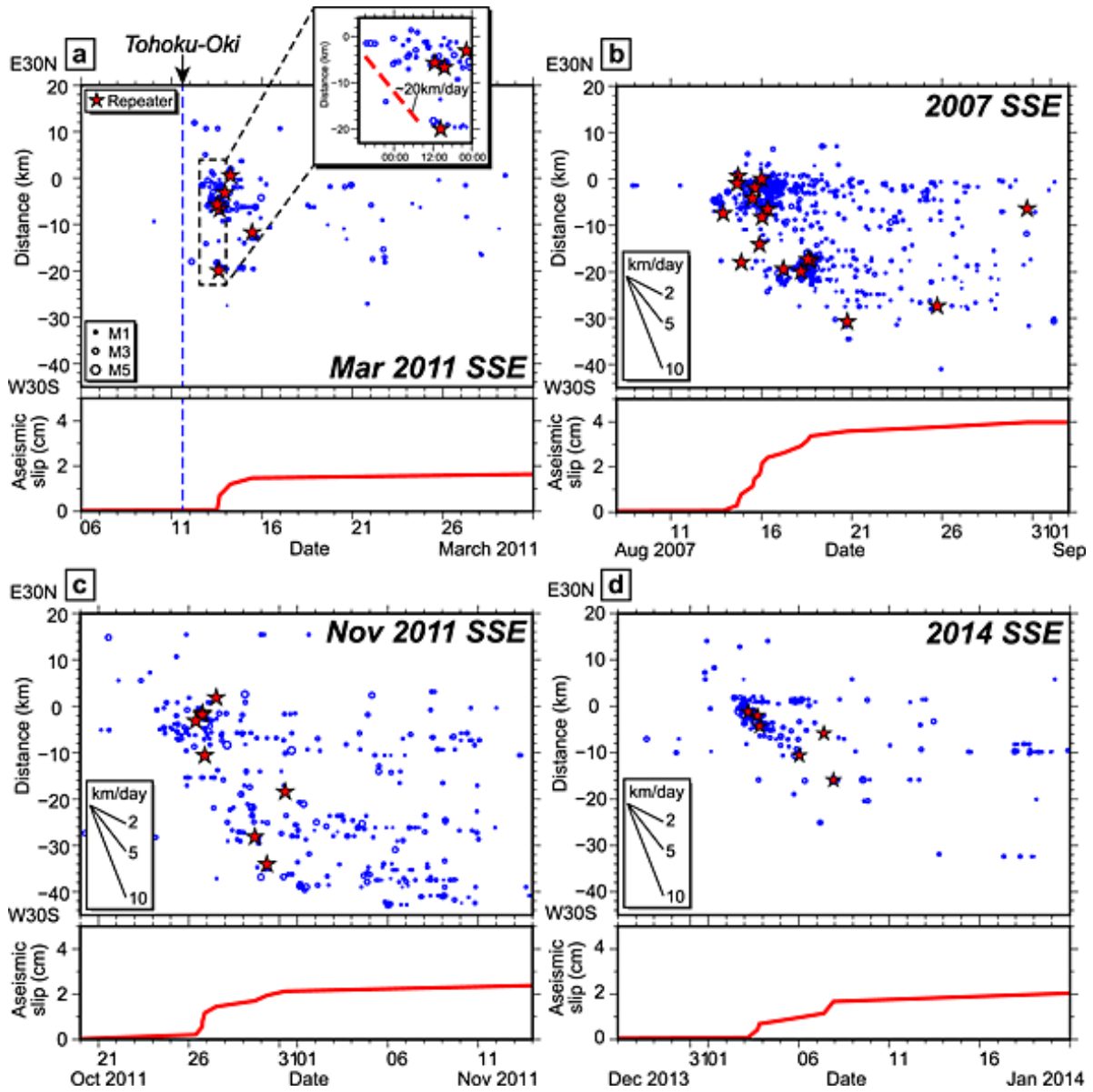


図17. 房総SSE に伴って発生した群発的地震活動の時空間発展 (東京大学地震研究所 [課題番号: 1509])
 青はmatched filter 解析により検出された地震で、赤星は小繰り返し地震である。横軸は時間経過、縦軸はE30N-W30Sの測線に投影した震央位置を表わす。赤線は累積滑り量の時間変化を示す。(a), (b), (c), (d) はそれぞれ2011年3月, 2007年8月, 2011年11月, 2014年1月の期間に発生した群発的地震活動であり、(a) 中の赤破線は地震の移動フロントのおおよその位置を表わす。

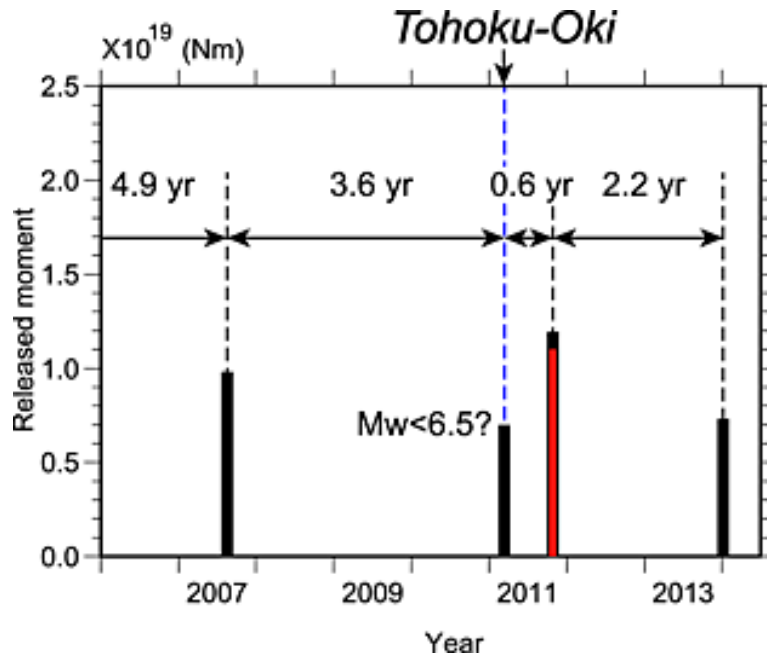


図18. 太平洋沖地震発生直後の新たに検出されたSSE を加えた房総SSE の発生履歴 (Kato et al., 2014) (東京大学地震研究所 [課題番号: 1509])

黒と赤のバーは、それぞれOzawa[2014] 及びHirose et al. [2014] によって推定されたSSE のモーメントマグニチュードである。

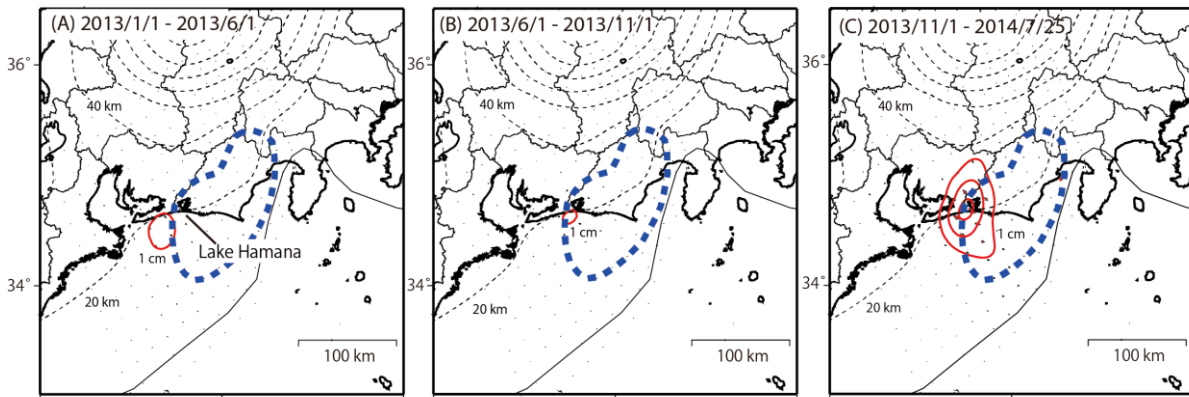


図19. 東海地方で推定されたフィリピン海プレート上面のすべり分布 (国土地理院 [課題番号: 6003]) 赤いコンターが滑り量を表す。青い破線は想定東海地震震源域。黒破線は、プレート境界の等深線。

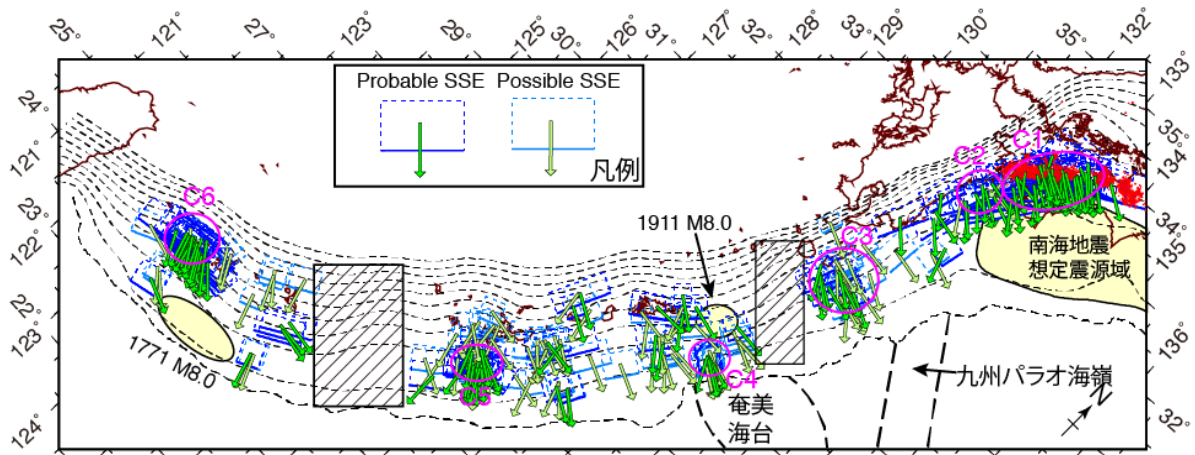


図20. GNSS データから推定された南海トラフ西部～琉球海溝沿いの短期的SSE分布 (京都大学防災研究所 [課題番号: 1910])

矩形領域及び矢印は、短期的SSEの断層モデルの位置とスリップベクトルの方向を表す。網掛けの領域はGNSSデータの解像度がないため、短期的SSEの検出を行わなかった領域。C1～C6は顕著なSSEのクラスターの領域。黄色い領域は、過去の大地震の発生域。

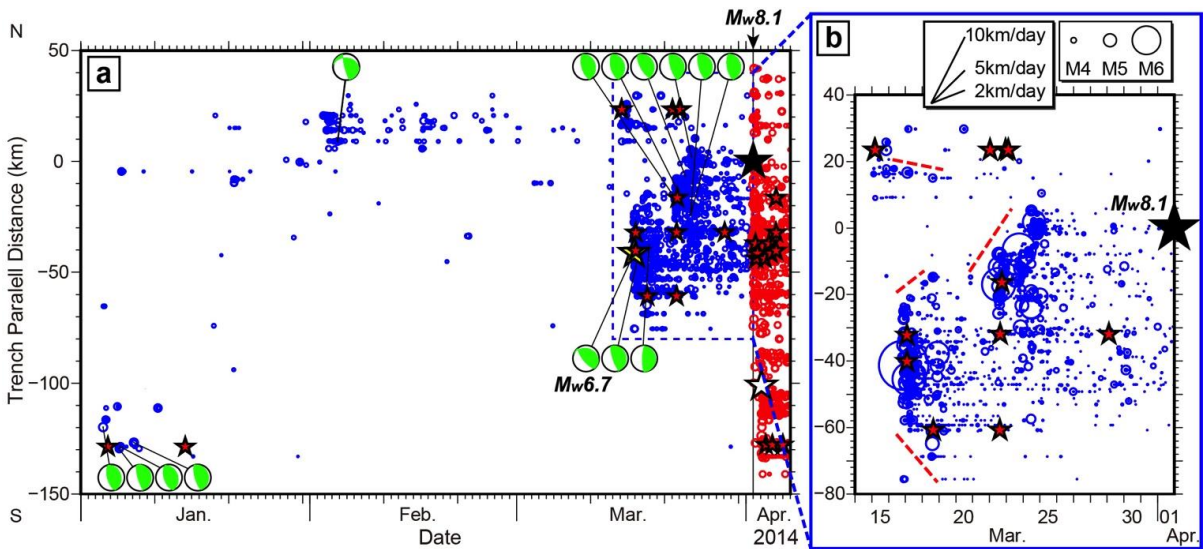


図21. 2014年M8.1 チリ北部地震の発生前後の地震活動の時空間発展図 (Kato and Nakagawa, 2014) (東京大学地震研究所 [課題番号: 1510])

縦軸に海溝に平行方向の距離、横軸に時間を示す。青色と赤色の丸印は前震と余震、赤い星印は繰り返し地震を表す。黒色・黄色・白色の星印は、本震、最大前震と最大余震をそれぞれ意味する。代表的な発震機構解 (USGS) を緑色のビーチボールで示す。右図内の赤色の破線は、地震活動の移動フロントの大まかな位置を表す。

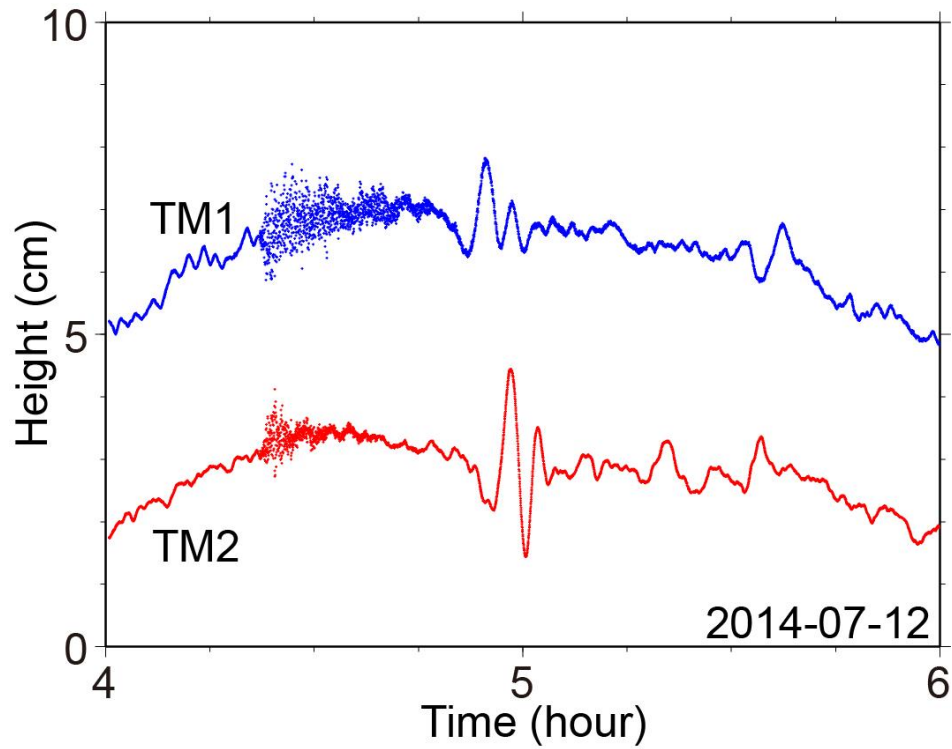


図22. 復旧した三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システムにより観測された津波波形（東京大学地震研究所 [課題番号：1521]）

2014年4月から本観測システムは再稼働しており，同年7月12日04:22（JST）に福島県沖で発生した地震（深さ33km, M7.0）に伴い発生した微小な津波も記録した。

1 (2) 内陸地震

「内陸地震」計画推進部会長 松本 聡（九州大学大学院理学研究院）

副部会長 高橋 浩晃（北海道大学大学院理学研究院）

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、発生場と発生機構の解明、およ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に向けたアプローチの研究を開始した。

内陸地震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、個別の断層へのローディングと断層強度が重要なパラメータとなる。2011年東北地方太平洋沖地震後の変動場を精密に観測することで、断層へのローディング機構や粘弾性構造などを推定する研究が行われた。地震学的データによる応力場の詳細な空間分布が明らかにされ、地質構造や下部地殻の低速度帯との対応が検討された。震源域周辺の詳細な地震波速度や比抵抗構造から内陸地震の震源が低速度域に囲まれた高速度域であること等が明らかになった。また、実験的な研究から、流体がレオロジー特性に及ぼす影響について検討が進んだ。日本列島基本構造モデルのコンパイルが進められるとともに、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、発生予測や災害誘因予測研究へのアプローチを開始した。

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

内陸地震の発生履歴を見出すため、根尾谷断層北端部（航空レーザ測量データ）、阿寺断層（マルチコプターとSfM (Structure from Motion) - MVS (Multi-Video Stereo) 技術）、神城地震断層（地表地震断層調査、UAVによる写真撮影、細密DSMにもとづく変位量計測）（名古屋大学[課題番号：1702]）、糸魚川-静岡構造線活断層系中部（古地震調査）（産総研[課題番号：5005]）において、活断層形状、変位量に関するデータを取得した。

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

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

低頻度大規模地震現象の解明へのひとつのアプローチは、過去の大地震の痕跡を詳細に調査し、復元することである。とくに、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。濃尾活断層系の黒津断層について航空レーザ測量（LiDAR）を行った。断層変位地形データの再検討を行った結果、同断層系の温見断層や根尾谷断層で推定されている活動間隔（それぞれ2200～2400年および2100～5000年）と比べて有意に長く、温見断層と根尾谷断層が連動するときのみ黒津断層が活動する可能性があることが示された（名古屋大学[課題番号：1702]）。複数の断層セグメントによって構成されている、糸魚川-静岡構造線活断層系の中部に位置する諏訪湖周辺のセグメント境界において古地震調査を実施した。従来、連動したと考えられていた約1200年前の最新活動では連動しておらず、別々の地震が生じていたことが明らかとなった。一方、約3000年前のイベントでは、同セグメント境界が連動する地震が生じた可能性が明らかとなった（産総研[課題番号：5005]）。

(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・余効変動とそ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。今年度は計画初年度であるので、研究計画に沿った地震・測地・電磁気観測が全国各地で進められた。

・東北地方の地殻応答

東北地方太平洋沖地震およ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。今年度においては、地震、GNSS 観測点の展開および今後新設する点の予備調査を行った。一方、現有のデータから地殻変動のシミュレーションを行い、不均一なひずみ速度分布を説明するモデル検討が進められた。2011年東北地方太平洋沖地震後1ヶ月から9ヶ月間(2011/4/23 - 2011/12/10)の余効変動データから東北日本弧のレオロジー不均質性を明らかにするために、Muto et al. (2013)の2次元レオロジーモデルを用いて粘弾性緩和過程の評価をおこなった(図1)。内陸の下部地殻やマントルウェッジに粘性不均質を導入したモデルがデータをよく説明しており、余効変動のパターンから島弧地殻の3次元の粘性率不均質性を推定できる可能性が高いことがわかった(東北大[課題番号:1203])。また、高密度の地温勾配データから島弧海溝系の3次元粘性分布を推定するとともに、その構造モデルを仮定して地震時すべりを与え、粘弾性緩和過程の計算を行った。地震後9ヶ月間の粘性歪み分布から、震源の西部に相当する脊梁直下で顕著な粘性流動(伸張)が卓越する結果が得られた。これから期待される地表変位を考察すると、観測されている火山フロント直下での東向き変位成分の加速と局所的な沈降は脊梁直下の粘性流動に関連している可能性がある(東北大[課題番号:1203])。一方、粘弾性の応答関数(Fukahata & Matsu'ura, 2005, 2006)を用いて、海洋プレートの沈み込みに伴う島弧の変形運動について考察し、海洋プレートの沈み込みに伴う島弧地殻の変形メカニズムについての検討を進めた(京大防災研[課題番号:1905])。

・応力場・ひずみ速度場等、場の研究

-地殻構造と地震発生場

内陸地震発生場の理解には、ひずみ速度場、地殻構造、そして応力場を統一的に解釈することが重要である。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。

各地域で行われてきた研究結果を整理し、日本列島の内陸地震発生域での地震発生域と地震波速度構造との関係について検証した。その結果、規模の大きい内陸地震に対して、大半の発生域で、断層深部下地殻に低地震波速度域が存在し、大すべり域では高速度であることが示された。これらは地殻下部の低地震波速度域が強度弱化域に相当し、応力の集中や内陸地震断層の形成に影響をもたらすという仮説(Iio et al. 2002)と調和的な結果である(地震研[課題番号:1504])。地殻流体の起源を知る手がかりとして、構造線沿いに湧出する深部由来流体の調査、分析、解析が行われた。有馬温泉に産する有馬型塩水の調査より、これらの流体は沈み込むフィリピン海プレートから直接的にもたらされ、構造線沿いに上昇した可能性が高いことが明らかになった。これは、西

南日本の前弧域に温かいフィリピン海プレートから流体が供給されている可能性を示す（京大防災研[課題番号：1905]）。

-応力場

内陸で発生した微小地震の発震機構解から求められた列島規模の広域応力場は、第四紀以降のテクトニクスと整合的であること、ほとんどの活断層は現在の応力場に対してすべり易い方向に形成されていることが明らかになった（京大防災研[課題番号：1905]）。一方で、以下に述べる詳細な応力場解析の結果として、低地震波速度域の存在が応力場を変化させている場合（京大防災研[課題番号：1907]）、大規模なせん断帯が周辺の応力場を変化させる場合（九大[課題番号：2201]）、活断層が密に分布する領域の断層近傍で応力場が急変している場合（産総研[課題番号：5008]）が得られた。この結果から、応力場には強い空間不均質性があることが示された。

鳥取県西部地震震源域や1978年の三瓶山の地震（M6.1）の余震域では、応力逆解析から応力場の回転が推定され、これらが周辺の低地震波速度域と対応していることが示された（図2）（京大防災研[課題番号：1907]）。九州では、中央構造線延長に当たる地質的なせん断帯では主応力軸が断層に直交していることが示され、非地震的せん断変形による応力緩和が場を変化させていることが明らかになった（図3）（九大[課題番号：2201]）。関東地域では、およそ千個の発震機構解を用いた応力テンソルインバージョンにより応力場推定が行われた。その結果、応力方位が変化する境界の多くは地質構造線と良い一致を示し、数十kmほどのスケールで顕著に変化することが明らかになった（産総研[課題番号：5008]）。また、2013年淡路島北部の地震震源域では、発震機構から本震前後の応力状態をモデル化する新たな手法の開発により、広域の差応力が高くない場において、断層近傍で地震発生前に応力集中が起こっていたことがわかった（京大防災研[課題番号：1907]）。

これらの結果は、応力場の強い空間不均質性を示すとともに、絶対応力レベルが必ずしも高くないことを示唆する、地震発生ポテンシャルの評価にとって重要な知見である。

-地震発生場のモデル化

GNSSによって推定される変形場から応力場を理解するために、比較的広い範囲の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と南海トラフのすべり・すべり欠損速度の同時推定を行った（図4）。測地的には山陰や南九州に明瞭なブロック間相対運動が見出され、ひずみ集中帯を形成していることが明らかになった。しかし、対応するような連続した断層は見られず、長期的にはそれほど変位が累積していないことを示唆している（京大防災研[課題番号：1907]）。また、応力緩和の可能性が指摘された九州のブロック境界では、GNSSでの変位ベクトルと異なる主応力ベクトルが得られ、数年とさらに長い期間の地殻応答が異なることが示された（九大[課題番号：2201]）。

新潟県佐渡市から阿賀町におけるGNSS繰り返し観測から、越後平野周辺では周辺域に比べて伸張ひずみが小さいことが分かった（図5）。広域的には東北地方太平洋沖地震の余効変動により伸張ひずみが観測されているが、この地域では、短縮変形が進行することで周辺部より伸張が小さくなり、ひずみ集中は遠方の外力（プレート間固着等）に関係なく進行していると解釈できる。さらに、地殻変動の再現シミュレーションにおいて、過去の内陸大地震の余効変動の影響を定量的に評価した結果、過去の大地震による粘弾性変形がひずみ集中の主成因と考えることは難しいことが分かった（国土地理院[課題番号：6001]）。

- ・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。このメカニズム解明を進めるには、1. 地震活動の時空間分布変動の把握、2. 地殻構造から類推される流体分布推定、3. 地震発生域での流体圧推定、4. 地殻中の流体拡散の推定、5. 流体と地震活動のモデル化の5つの要素が必要と考えられる。

-東北地方太平洋沖地震後の地震活動変化

秋田県内における誘発地震発生域である森吉山周辺地域及び横手盆地北西縁地域などにおいて、東北地方太平洋沖地震（東北地震）前の活動の有無と誘発地震活動の関連を調査した結果、地域的に多様な変化を示すことがわかった（弘前大[課題番号：1101]）。

東北地方全域の地殻構造のトモグラフィを実施し、2011年東北地方太平洋沖地震以後に活発化した地震活動との比較を行った（図6；Okada et al., 2014）。誘発地震（図6の黒点）は、上部地殻内の地震波速度低速度域に囲まれた高速度域内で発生しているように見え、その深部の下部地殻には地震波速度低速度域が確認できる。このことは、地殻深部に存在する流体が2011年東北地方太平洋沖地震以後、上部地殻内のそれほど流体の多くなかった領域に流入したことにより、地震活動が活発化したことを示唆している。これら誘発地震が活発化した場所では、地震活動域が次第に拡大しており、この原因が水の拡散によるものと仮定すると、 10^{-15} m²程度の浸透率で現象が説明できることがわかった（東北大[課題番号：1204]、Okada et al., 2014a）。

いわき誘発地震帯での比抵抗構造、地震波速度構造および震源分布と比較した結果、誘発地震活動は、主として高比抵抗・高地震波速度の場所に発生していることが明らかになった。ただし、いわきで2011年に発生したM7の地震の震源域の直下には低比抵抗・低地震波速度のパッチが存在しており、これは水の存在を示唆する。その水の移動による強度低下、ないしは水が存在することによる強度不均質による応力集中により、M7の地震が発生したと考えられた[東北大[課題番号：1204]。

-間隙流体圧推定および流体挙動の把握の試み

2008年岩手・宮城内陸地震の震源域における間隙水圧と法線応力の比の測定から、栗駒山の東方において相対的に間隙水圧の高い領域が推定され、この領域と地震時のすべり量が大きかった場所がほぼ一致することが分かった（東北大[課題番号：1204]、Yoshida et al., 2014）。一方、2013年淡路島の地震（M6.3）前後の微小地震の発震機構解の詳細な解析より、地震発生前に震源域において応力集中があったことが示され、間隙水圧が静岩圧に近い状態であったことを明らかにした（京大防災研[課題番号：1907]）。

御嶽山周辺域では、1984年長野県西部地震、1976年以降継続活発中の微小群発地震活動、御嶽山直下の火山性地震など多様な地震活動が観測される。地震発震機構トモグラフィ法（Terakawa et al., 2010）を基にして、これらの多様な地震活動を支配する地殻内の間隙流体の役割を明らかにするため、地震のメカニズム解から間隙流体圧場の時間発展を推定する手法（Terakawa, 2014）を開発した（図7）京大防災研[課題番号：1907]。

(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

このうち、(1) 地形・海溝軸モデルの構築について、今年度は 国土地理院と水路部の地形・水深データを合わせて日本列島及びその周辺海域の 500m メッシュの地形データを生成し、Alaska 大による地形データをあわせて N12° -54° , E118° -164° の 500m メッシュ地形データを作成した。更に、産総研の提供する日本列島周辺の地質データ・重力異常データも同じメッシュ上で作成した。この地形データから千島-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-琉球海溝に沿った水深の最深点を 5 メッシュ間隔で自動的に探し出すプログラムを作成し、その検討を行った。

(5) 日本列島下の岩石モデル・レオロジーモデルの構築を目的として、西南日本列島下の地殻構成岩石に関する初期モデルを検討した。高知県長岡郡に産出岩石より、地質温度計を用いた結果、斑れい岩と単斜輝岩の平衡温度はそれぞれ約 980°C, 1060°C と見積もられ、斑れい岩は下部地殻深部、単斜輝岩はモホ近傍もしくは最上部マントルで形成された岩石であると推測された。優黒質斑れい岩、角閃石-輝石斑れい岩、斑れいノーライトの P 波速度を鉱物化学組成と鉱物モード比から計算し、西南日本の P 波速度構造と比較した結果、斑れい岩ノーライトは下部地殻と同等の速度であった。一方、優黒質斑れい岩、角閃石-輝石斑れい岩は下部地殻の P 波速度よりも明らかに高速であり、下部地殻に局所的に分布する岩石であると推定される（地震研[課題番号：1505]）。

イ) 断層滑りと破壊の物理モデルの構築

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

- ・岩石の変形特性に及ぼす高間隙水・フュガシティの効果

下部地殻を構成する主要構成鉱物である斜長石多結晶の塑性流動強度に及ぼす水の効果を明らかにするために、下部地殻条件を再現できる固体圧変形試験機を用いて、剪断変形実験を行った。その結果、加えた水の量に応じて脆性破壊から破碎流動、塑性変形と変形挙動が変化することが明らかになった。これらのことより、天然の断層帯においても水の非平衡な拡散に伴い変形挙動が変化すると推察できる（東北大[課題番号：1204]）。

- ・地熱流体と内陸地熱誘発地震

地熱開発にともなう誘発地震の発生メカニズムの解析と、超臨界状態での岩石の破壊挙動ならびに岩石と流体との相互作用に関する実験的検討として、水の存在下で圧力を急激に下げた場合の岩石内の状況を X 線 CT で詳しく観察した（図 3）。その結果、減圧に伴う沸騰と断熱膨張による温度低下により、岩石にき裂が生じることが明らかになった（図 8）。このことは、岩石は、流体の相変化（沸騰）に起因する熱応力でも破壊することを示している（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

横ずれの地表地震断層の詳細調査から、断層長が短いところでは断層長とすべり量は比例するが、100km を越えるあたりから、すべり量は頭打ちないし微増となることがわかった。また、断層の階層性に留意しながら、応力降下量 ($\Delta \sigma$; MPa) と断層の長さ (L ; km) との関係調べたところ、 $\Delta \sigma = 79.0$

L-0.519 で近似できることが明らかになった（京大防災研[課題番号：1905]）

・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 深度および 540m 深度）やアクロス連続運転データの解析をすすめ、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た（京大防災研[課題番号：1906]）。

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

阿寺断層においてマルチコプターと SfM (Structure from Motion) - MVS (Multi-Video Stereo) 技術を用いた変位地形の数値表層モデルの作成と変位量の計測を実施し、SfM-MVS 技術を取り入れたソフトウェアを用いることで安価で容易に変動地形学的議論に耐えうる三次元地表データの取得できることが明らかになった。また、神城地震断層における UAV による写真撮影と細密 DSM にもとづく変位量計測から、従来の断面測量では見落とされがちな、活断層運動に伴う面的な地表変形の特徴を捉えられる可能性を指摘できた（名古屋大学[課題番号：1702]）。糸魚川静岡構造線断層帯北部の神城断層と松本盆地東縁断層北部のセグメント境界付近で古地震調査を実施し、同地点の最新活動に伴う地震時変位量が約 2m であることを明らかにした。さらに、2014 年 11 月 22 日に発生した長野県北部の地震に伴う緊急調査を実施し、地表地震断層の分布とセグメント境界末端付近の詳細形状、地震に伴う変位量分布を明らかにした（産総研[課題番号：5005]）。

(2) モニタリングによる地震活動予測

地震活動予測には、対象地域の地殻構造と応力・強度状態とその時間発展を把握することが必要である。高い空間分解能を有する地殻応力図を整備することを目指し、将来発生する地震の規模や発生様式を評価する地震テクトニックマップ作成を進めるために、今年度は関東地方の詳細な地殻応力推定・活断層 3 次元構造解析を進めた。その結果、関東地方の応力場は顕著な非一様性をしめし、応力方位の変化する境界は地質構造線と対応を示すことが明らかになった。また、地震テクトニックマップの有効性と限界を確認するため、微小地震の発震機構解に基づき上町断層帯周辺における詳細な応力場推定を行った（Matsushita and Imanishi, 2015）。推定された応力場と断層深部形状をもとに活動性評価を行ったところ、断層帯北部の活動が低いことが示された。断層帯北部は地形地質学的に第四紀後期の活動が明瞭でないことが報告されており、それと調和的な結果が得られた（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

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

過去地震による被害の再現の検討や将来の地震による被害想定を念頭に、2011 年 4 月に北秋田市で発生した M5.0 の地震の断層モデルと地下構造モデルの検討と課題の整理を行った（弘前大 [課題番号：1101]）。

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

精度の高い観測・測定装置の開発は、地震発生メカニズム解明のために重要である。レーザ技術を利用した広帯域地震計・傾斜計を観測井において設置可能にする改良を行い、高温環境下での実証実験を

行った。高温でも低周波（0.2-10Hz）においては良好な特性を示すことが示された（東大地震研〔課題番号：1522〕）。アクロス第二世代震源装置および海底掘削孔内震源の開発について、第二世代震源装置、海底掘削孔内震源のプロトタイプのパフォーマンス評価を行った（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設計した。また、ガスを準連続的に抽出する装置も開発が完了した。汲み上げた地下水を、気密を保ったまま真空容器に導入し、減圧に伴う脱ガスを利用して溶存ガスを捕集し、その後地下水を放出する操作を、無人で行うことができるようになった（東大理〔課題番号：1401〕）。

これまでの課題と今後の展望

これまで、内陸地震による災害軽減に資するために、全国の大学および関係機関は協力して、地震の発生場や発生機構を解明し、発生予測へ向けた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も開始された。

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、余効変動場の空間的不均質性への粘弾性構造の影響、震源メカニズム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、下部地殻をも含めた地殻構造や地殻流体との関係を検討するためのデータの整理を開始したが、必ずしもその解釈は容易ではない。低地震波速度・低比抵抗領域と流体との関係、流体圧と地震活動の関係を定量的に比較していく必要がある。特に大すべり域や余震、誘発地震域と流体圧の関係を統一的に説明できる物理モデルを構築していくことが重要である。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観測・実験・シミュレーションなどを有機的に結合して様々な条件下での地殻の応答特性の解明を進める必要がある。

地震発生ポテンシャル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ことが必要である。

内陸地震研究からは、詳細な地震波や比抵抗の構造、応力場などのアウトプットが得られる。これらのデータを地震発生予測や災害誘因予測研究で活用するために、内陸地震研究から得られる結果を、逐次、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。内陸地震発生メカニズムの物理モデル構築には多くの課題が残されているが、それらを解決していく過程で得られたさまざまな情報を発信することを目指す。特に、地殻構造や地震活動の情報は統計的手法による地震発生予測研究、災害即時予測研究に寄与することが出来ると考えられることから、今後具体的に進めていく。

成果リスト

Agurto-Detzel, H., A. Rietbrock, K. Bataille, M. Miller, H. Iwamori, K. Priestley, 2014, Seismicity distribution in the vicinity of the Chile Triple Junction, Aysen Region, southern Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, 51, 1-11.

藤牧良太, 2015, 微動を用いたAS-NETの観測点の振動特性の評価と地下構造推定, 弘前大学理工学部地球環境学科卒業論文.

Fukahata, Y., Y. Yagi, and L. Rivera, 2014, Theoretical relationship between back-projection

- imaging and classical linear inverse solutions, *Geophys. J. Int.*, 196, 552-559.
- Funning, G., Y. Fukahata, Y. Yagi, and B. Parsons, 2014, A method for the joint inversion of geodetic and seismic waveform data using ABIC: application to the 1997 Manyi, Tibet earthquake, *Geophys. J. Int.*, 196, 1564-1579.
- Hashima, A., Y. Fukahata, C. Hashimoto, and M. Matsu'ura, 2014, Quasi-static strain and stress fields due to a moment tensor in elastic-viscoelastic layered half-space, *Pure Apply. Geophys.*, 171, 1669-1693.
- Hirata, M., J. Muto, and H. Nagahama, 2014, Experimental analysis on Rowe's stress-dilatancy relation and frictional instability of fault gouges, *Episodes*, 37, 304-308.
- Hirauchi, K., and J. Muto, 2015, Observations of the slow rupture process in synthetic fault gouges, *Earth Planets Space*, in press.
- 廣内大助・杉戸信彦・清水龍来, 2014, 2014年11月22日長野県北部の地震(長野県神城断層地震)に伴う地表変位と活断層, *活断層研究*, 41, 口絵, i-ii.
- Ichihara, H., S. Sakanaka, M. Mishina, M. Uyeshima, T. Nishitani, Y. Ogawa, Y. Yamaya, T. Mogi, K. Amita and T. Miura, 2014, A 3-D electrical resistivity model beneath the focal zone of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake (M 7.2), *Earth Planets Space*, 66:50, doi:10.1186/1880-5981-66-50.
- Iidaka, T., J. Muto, K. Obara, T. Igarashi, and B. Shibazaki, 2014, Trench-parallel crustal anisotropy along the trench in the fore-arc region of Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 41, doi:10.1002/2013GL058359.
- Iio, Y., Sagiya, T., Kobayashi, Y., Shiozaki, I., 2002, Water-weakened lower crust and its role in the concentrated deformation in the Japanese Islands. *Earth Planet. Sci. Lett.* 203, 245-253.
- Ikemoto, A. and H. Iwamori, 2014, Numerical modeling of trace element transportation in subduction zones: implications for geofluid processes. *Earth Planet and Space*, 66, 26, doi:10.1186/1880-5981-66-26.
- 石川正弘・松原誠・武田哲也(2014)北上山地下の珪長質下部地殻と斜方輝石岩マントル:白亜紀スラブメルティングの証拠. *岩石鉱物科学*, doi: 10.2465/gkk.140120.
- Iwamori, H. and H. Nakamura, 2014, Isotopic heterogeneity of oceanic, arc and continental basalts and its implications for mantle dynamics. *Gondwana Res.*, doi:10.1016/j.gr.2014.09.003.
- Kato, A., A. Saiga, T. Takeda, T. Iwasaki and T. Matsuzawa, 2014, Non-volcanic seismic swarm and fluid transportation driven by subduction of the Philippine Sea slab beneath the Kii Peninsula, Japan, *Earth Planets Space*, 66:88, doi:10.1186/1880-5981-66-86.
- 加藤 爽, 2015, 宮城県沖で発生した地震からの近地sP 波の振幅分布, 弘前大学大学院理工学研究科修士論文.
- 勝部亜矢, 近藤久雄, 谷口 薫, 2015, 2014年長野県北部の地震-神城盆地周辺の地表地震断層-, *活断層研究*, 41, v-vi.
- Kikuchi, K., K. Abiko, H. Nagahama, and J. Muto, 2014, Self-affinities analysis of fault-related folding, *Episodes*, 37, 309-312.
- 木村一洋・露木貴裕・菅沼一成・長谷川浩・見須裕美・藤田健一, 2014, タンクモデルによる体積ひずみ計データの降水補正について, *験震時報*, 78, 印刷中.
- Kita, S., J. Nakajima, A. Hasegawa, T. Okada, K. Katsumata, Y. Asano, and T. Kimura, 2014, Detailed

- seismic attenuation structure beneath Hokkaido, northeastern Japan: Arc-arc collision process, arc magmatism and seismotectonics, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 119, 6486-6511, doi:10.1002/2014JB011099.
- 近藤久雄, 勝部亜矢, 谷口 薫, 加瀬祐子, 2015, 2014年11月22日長野県北部の地震に伴う地表地震断層の概要(速報), *GSJ地質ニュース*, 4, 1, 1-4.
- 近藤久雄, 杉戸信彦, 吉岡敏和, 堤 浩之, 木村治夫, 数値標高モデルを用いた上町断層帯の詳細位置および分布形状の再検討, *活断層研究* (印刷中) .
- Kosuga, M., 2014, Seismic activity near the Moriyoshi-zan volcano in Akita Prefecture, northeastern Japan: implications for geofluid migration and a midcrustal geofluid reservoir, *Earth Planets Space*, 66:77, doi:10.1186/1880-5981-66-77.
- 後藤秀昭, 2014, 日本列島と周辺海域を統合した詳細地形アナグリフ一解説と地図一, *広島大学大学院文学研究科論集特輯号・no.74 103p.*, 別冊69p.
- 國友孝洋・山岡耕春・渡辺俊樹・吉田康宏・勝間田明男・生田領野・加藤愛太郎・飯高 隆・津村紀子・大久保慎人, 2014, 弾性波アクロスによる東海地域地殻のP 波およびS 波速度構造の推定, *地震*, 67, 1-24.
- Kusuda, C., H. Iwamori, H. Nakamura, K. Kazahaya, and N. Morikawa, 2014, Arima hot spring waters as a deep-seated brine from subducting slab. *Earth, Planets and Space*, 66:119.
- Li, X.-F., and B. Shibazaki, 2014, 3D modeling of earthquake cycles of the Xianshuihe fault, southwestern China, *J. Asian Earth Sci.*, 96, 205-212, doi:10.1016/j.jseaes.2014.08.040.
- 松本直士, 2015, アレイ観測の上下動から見る青森平野内の地震動の伝播について, *弘前大学大学院理工学研究科修士論文*.
- Matsushita, R. and K. Imanishi (2015) , Stress fields in and around metropolitan Osaka, Japan, deduced from microearthquake focal mechanisms, *Tectonophysics*, 642, 46-57, doi:10.1016/j.tecto.2014.12.011.
- Michibayashi, K., Y. Harigane, Y. Ohara, J. Muto, and A. Okamoto, 2014, Rheological properties of the detachment shear zone of an oceanic core complex inferred by plagioclase flow law: Godzilla Megamullion, Parece Vela back-arc basin, Philippine Sea, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 408, 16-23, doi:10.1016/j.epsl.2014.10.005.
- 宮崎敏雄・山崎慎一・土屋範芳・奥村聡・山田亮一・中村美千彦・長橋良隆・吉田武義, 2014, 偏光光学方式のEDXRF による火成岩全岩化学組成分析, *岩石鉱物科学*, 43, 47-53.
- Nakajima, J., Seismic attenuation beneath Kanto, Japan: Evidence for high attenuation in the serpentized subducting mantle, 2014, *Earth Planets Space*, 66:12, doi:10.1186/1880-5981-66-12.
- Nakamura, H., Y. Fujita, S. Nakai, T. Yokoyama and H. Iwamori, 2014, Rare Earth Elements and Sr-Nd-Pb isotopic analyses of the Arima hot spring waters, southwest Japan: Implications for origin of the Arima-type brine. *J. Geol. Geosci.*, 3:161, doi: 10.4172/2329-6755.1000161.
- Nakamura, H., T. Oikawa, N. Geshi and A. Matsumoto, 2014, Migration of a volcanic front inferred from K-Ar ages of late Miocene to Pliocene volcanic rocks in central Japan, Island Arc, DOI: 10.1111/iar.12073.
- 成田涼, 2015, 誘発地震活動の時空間変化ー東北地方太平洋沖地震後の秋田県内での地震活動ー, *弘前大学理工学部地球環境学科卒業論文*.

- 岡田篤正・熊原康博, 2014, 1:25,000 都市圏活断層図六甲・淡路島断層帯とその周辺「洲本」「由良」「鳴門海峡」解説書, 国土地理院技術資料D1 - No. 722, 30p.
- 岡田正実, 2015, 繰り返し小地震に対する予測能力評価, 地震予知連絡会会報, 93, 印刷中.
- Ogawa, Y., M. Ichiki, W. Kanda, M. Mishina, and K. Asamori, 2014, Three-dimensional magnetotelluric imaging of crustal fluids and seismicity around Naruko volcano, NE Japan, *Earth Planets Space* 66:158, doi:10.1186/s40623-014-0158-y.
- Okada, T., T. Matsuzawa, N. Umino, K. Yoshida, A. Hasegawa, H. Takahashi, T. Yamada, M. Kosuga, T. Takeda, A. Kato, T. Igarashi, K. Obara, S. Sakai, A. Saiga, T. Iidaka, T. Iwasaki, N. Hirata, N. Tsumura, Y. Yamanaka, T. Terakawa, H. Nakamichi, T. Okuda, S. Horikawa, H. Katao, T. Miura, A. Kubo, T. Matsushima, K. Goto, and H. Miyamachi, 2014, Hypocenter migration and crustal seismic velocity distribution observed for the inland earthquake swarms induced by the 2011 Tohoku-Oki earthquake in NE Japan: implications for crustal fluid distribution and crustal permeability, *Geofluids*, 15, 293-309, doi:10.1111/gfl.12112.
- Okada, T., T. Matsuzawa, J. Nakajima, N. Uchida, M. Yamamoto, S. Hori, T. Kono, T. Nakayama, S. Hirahara, and A. Hasegawa, 2014b, Seismic velocity structure in and around the Naruko volcano, NE Japan, and its implications for volcanic and seismic activities, *Earth Planets Space*, 66:114, doi:10.1186/1880-5981-66-114.
- 大沼知義, 2015, 北上山地とその周辺における地震の震源メカニズム, 弘前大学理工学部地球環境学科卒業論文.
- Saishu, H., A. Okamoto, and N. Tsuchiya, 2014, The significance of silica precipitation on the formation of the permeable-impermeable boundary within Earth's crust, *Terra Nova*, 26 (4), 253-259.
- 竿本英貴, 丸山 正, 近藤久雄, 2014, RBF 補間とGA を用いたLiDARデータからの地震時地表変位抽出手法の開発, 土木学会論文集A1 特集号(地震工学論文集), 70-4, 161-168.
- 千田 昇・堤 浩之・後藤秀昭, 2014, 1:25,000 都市圏活断層図磐固断層帯とその周辺「福岡(改訂版)」 「甘木」「脊振山」解説書, 国土地理院技術資料D1 - No. 723, 26p.
- Shikakura, Y., Y. Fukahata, and K. Hirahara, 2014, Long-term changes in the Coulomb failure function on inland active faults in southwest Japan due to east-west compression and interplate earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 119, 502-518.
- 杉戸信彦・廣内大助, 2014, 2014年長野県北部の地震(長野県神城断層地震)に伴って塩島地区に出現した地表地震断層, 活断層研究, 41, 表紙およびその説明.
- 水藤尚・小林知勝・川元智司, 2014, ひずみ集中帯の地殻変動特性に関する研究(第5年次), 国土地理院調査研究年報(平成26年度)(印刷中)
- 鈴木康弘・渡辺満久・廣内大助, 2014, 長野県神城断層地震が提起する活断層評価の問題, *科学* 85, 175-181
- Terakawa, T., 2014, Evolution of pore fluid pressures in a stimulated geothermal reservoir inferred from earthquake focal mechanisms, *Geophysical Research Letters*, 41 (21), 7468-7476.
- Tsuji, S., Y. Hiramatsu, The Japanese University Group of the Joint Seismic Observations at the Area of Nobi Earthquake, Spatial variation in coda Q around the Nobi fault zone, central Japan: Relation to S wave velocity and seismicity, *Earth, Planets and Space* 2014, 66:97 doi:10.1186/1880-5981-66-97, 2014.

- Tsunomori F. and Tanaka H., Anomalous Changes in Groundwater Radon Concentration Monitored at Nakaizu Well in 2011, 2014, *Radiation Measurements*, 60, 35-41, 10.1016/j.radmeas.2013.11.006.
- 内山庄一郎・中田 高・井上 公・熊原康博・杉田 暁・井筒 潤・後藤秀昭・福井弘道・鈴木比奈子・谷口 薫, 2014, 小型UAVとSfMソフトウェアを用いた断層変位地形把握の試み-根尾谷断層水鳥断層崖を例に-, *活断層研究* 40, 35-42
- Ueki, K. and H. Iwamori, 2014, Thermodynamic calculations of the polybaric melting phase relations of spinel lherzolite. *Geochem. Geophys. Geosys.*, 15, DOI: 10.1002/2014GC005546.
- Uno M., H. Iwamori, H. Nakamura, T. Yokoyama, T. Ishikawa, and M. Tanimizu, 2014, Elemental transport upon hydration of basic schists during regional metamorphism: geochemical evidence from the Sanbagawa metamorphic belt, Japan. *Geochem. J.*, 29-49.
- Uno, M., A. Okamoto, and N. Tsuchiya, 2014, Millimeter- to decimeter-scale compositional mapping using a scanning X-ray analytical microscope and its application to a reaction zone in high-grade metamorphic rock, *J. Mineral. Petrol. Sci.*, 109, 271-278.
- Watanabe, T. and A. Higuchi, 2014, A new apparatus for measuring elastic wave velocity and electrical conductivity of fluid-saturated rocks at various confining and pore-fluid pressures, *Geofluids*, 14, 372-378, doi:10.1111/gfl.12050
- Yoshida, K., A. Hasegawa, T. Okada, H. Takahashi, M. Kosuga, T. Iwasaki, Y. Yamanaka, H. Katao, Y. Iio, A. Kubo, T. Matsushima, H. Miyamachi, and Y. Asano, 2014, Pore pressure distribution in the focal region of the 2008 M7.2 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, *Earth Planets Space*, 66:59, doi:10.1186/1880-5981-66-59.
- Yoshida, K., A. Hasegawa, T. Okada, and T. Iinuma, 2014, Changes in the stress field after the 2008 M7.2 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake in northeastern Japan, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 119, 9016-9030, doi:10.1002/2014JB011291.
- Yukutake, Y., T. Takeda, and A. Yoshida, 2015, The applicability of frictional reactivation theory to active faults in Japan based on slip tendency analysis, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 411, 188-198, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2014.12.005.

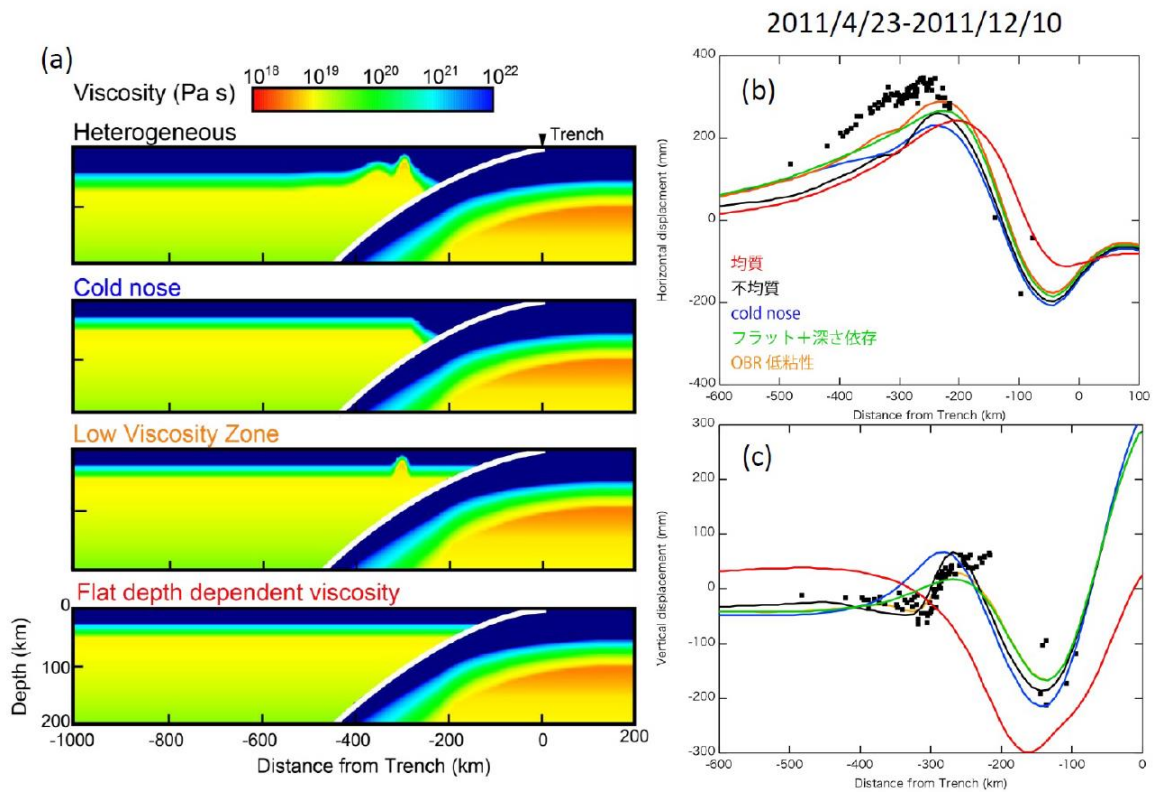


図1. 2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動から推定した東北日本弧のレオロジー不均質性。(東北大[課題番号: 1203])

(a) シミュレーションを行った粘弾性モデル。下から、深さ方向にだけ粘性が変化するモデル、奥羽脊梁山脈(OBR)の直下の下部地殻を低粘性にしたモデル、マントルウェッジの先端を高粘性にしたモデル、境界面の形状と粘性率に不均質性を与えたモデルを表す。(b) 2011年4月23日から12月10日までのGNSS観測による水平変位データ(黒点)と各種モデルからの計算値(実線)の比較。ここで赤線は、各層内で粘性率を一定にしたモデル(均質モデル; 図3 aには示していない)からの計算結果を表す。(c) 上下変位データ(黒点)と各種モデルからの計算値(実線)の比較。

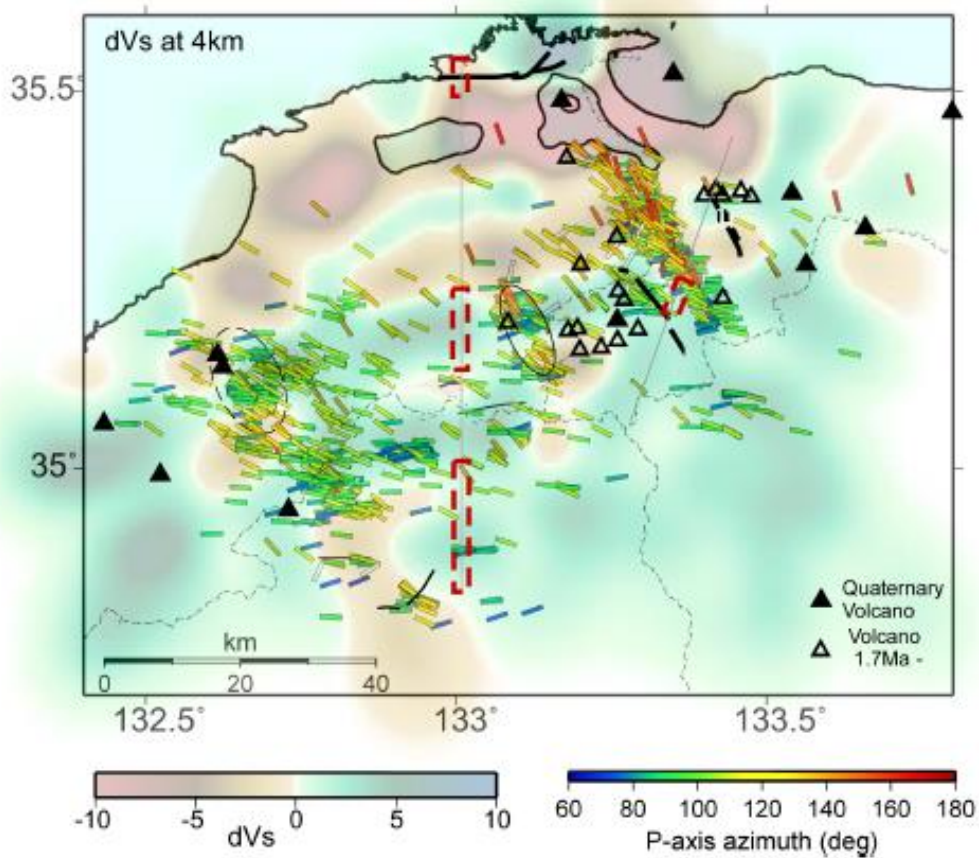


図2. 山陰地方の地震帯におけるS波速度偏差とP軸の方位分布（京大防災研[課題番号：1907]）

2009-2011の満点地震計による稠密観測データ等から推定されたS波速度偏差（深さ4km）とP軸の方位分布（全ての深さ）。第四紀火山および更新世前期に活動した火山の分布，活断層も図示している（産総研 地質図Naviによる）。Shiozaki et al.（2006）による下部地殻の低比抵抗領域（赤の点線による矩形領域）と2つの測線位置（灰色）も合わせて示した。黒線楕円は2000年10月8日のM5.5の地震活動域，黒点線楕円は1978年の三瓶山の地震（M6.1）の余震域。

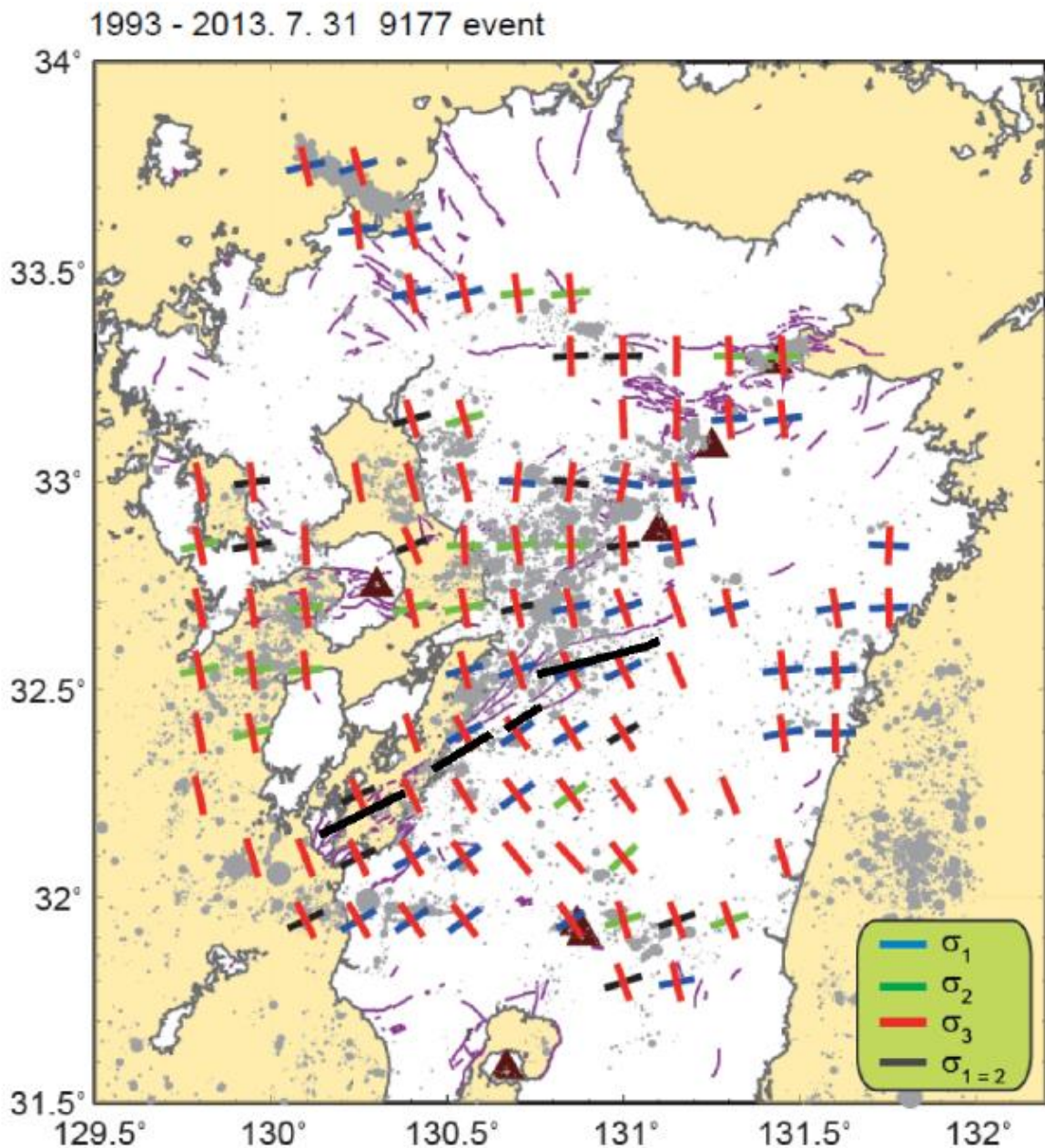


図3. 発震機構解から求めた主応力ベクトルの方向 (九大[課題番号: 2201])

青, 緑, 赤線は各地点の最大, 中間, 最小主圧縮軸の方向。水平に近い2成分をプロットしている。灰色○は微小地震の震源, 三角は火山を示す。図中の太い黒実線はせん断帯に対応する活断層。最小主圧縮軸がおおむね直交していることから, せん断応力が開放されていると考えられる。

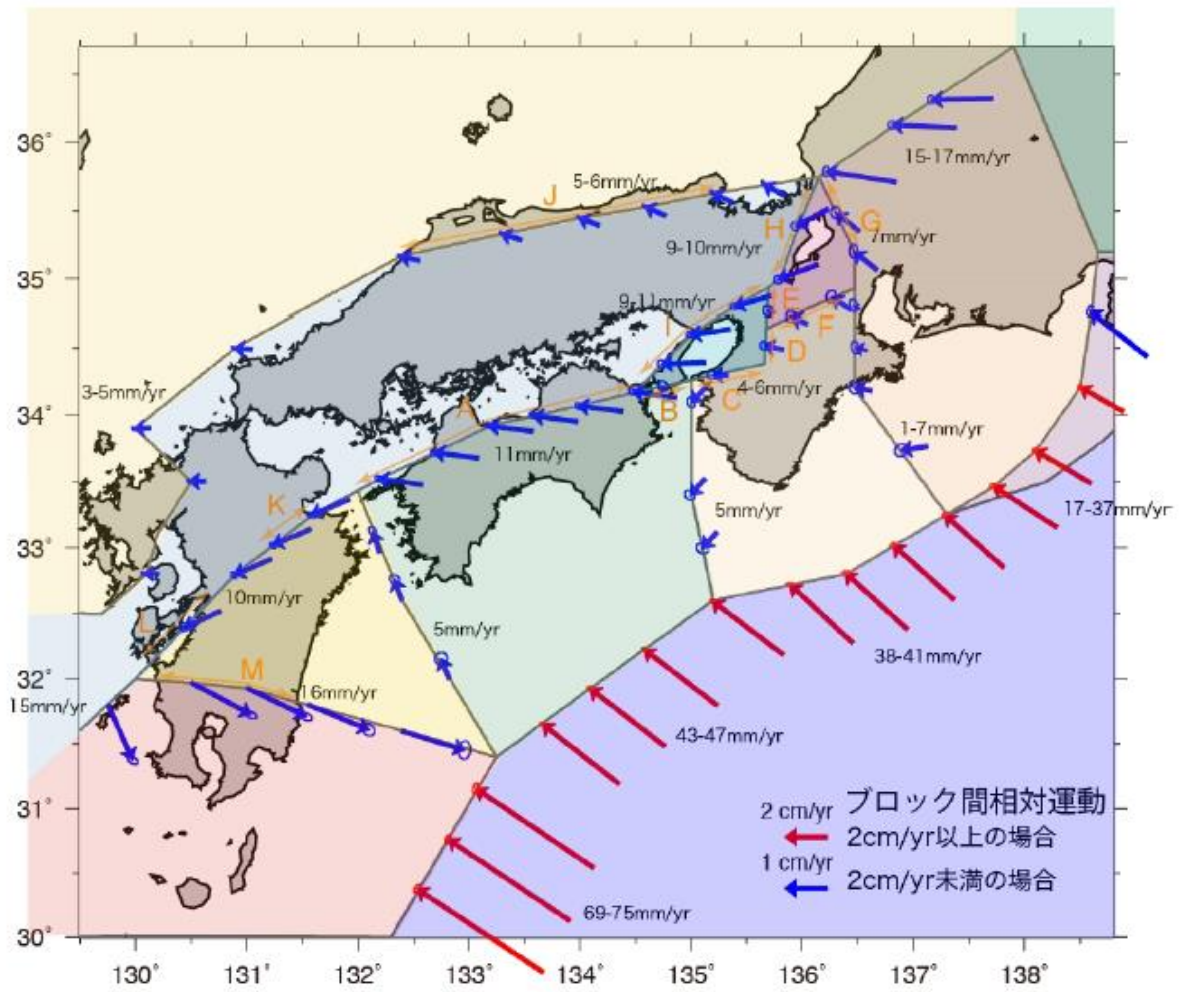


図4. 西南日本におけるブロック間相対運動（京大防災研[課題番号：1907]）

地図上の範囲は11枚のブロックで構成され、ブロック境界での相対運動速度を矢印で示した。

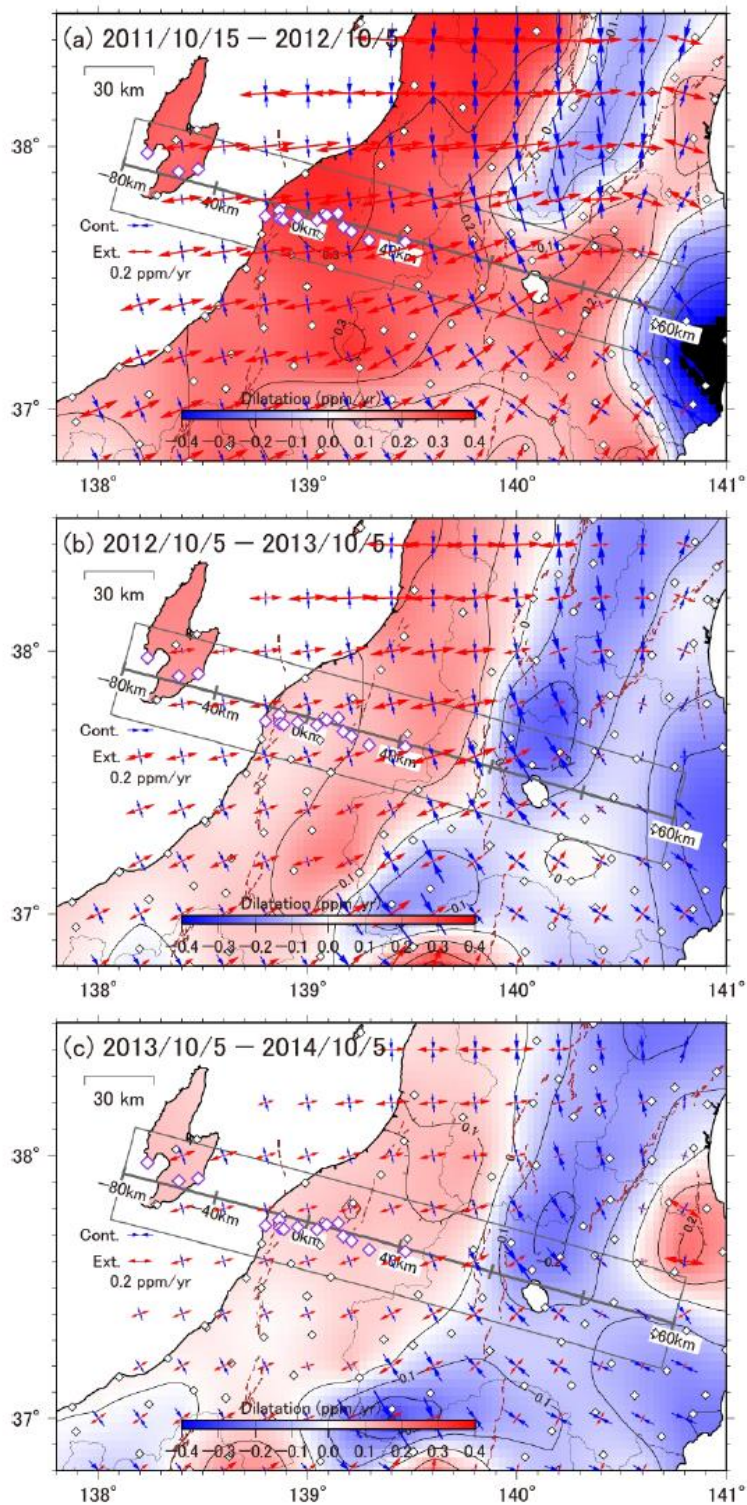


図5. 東北地方太平洋沖地震発生後のひずみ速度（国土地理院[課題番号：6001]）

(a) 2011年10月～2012年10月。(b) 2012年10月～2013年10月。(c) 2013年10月～2014年10月。

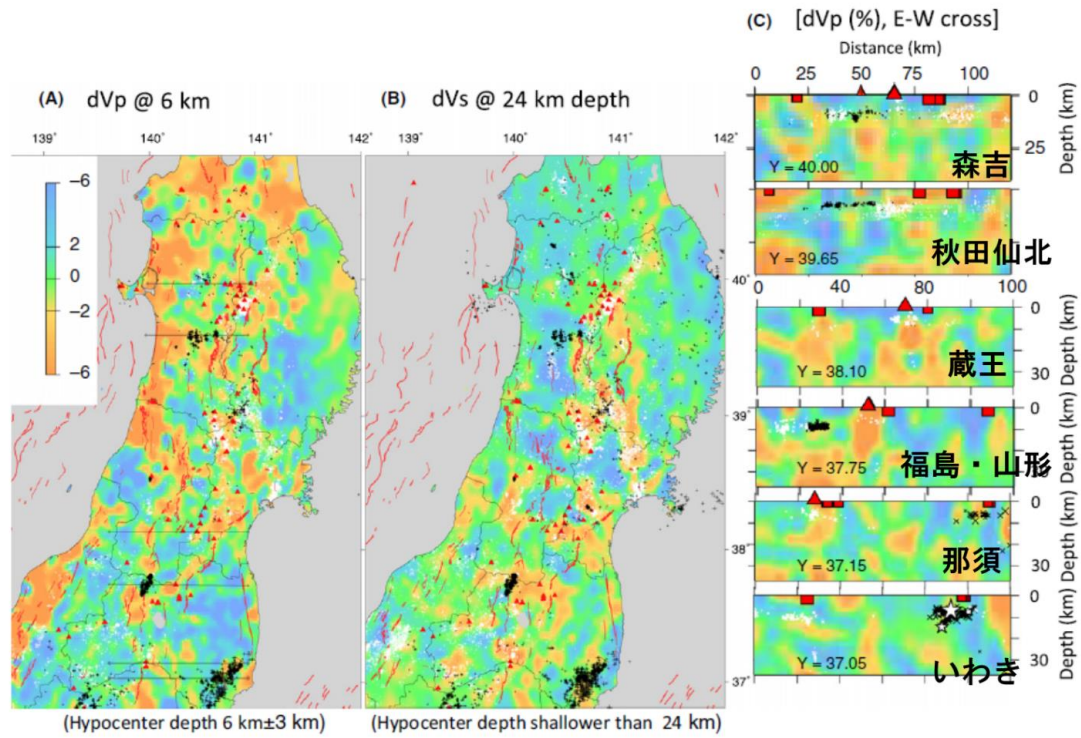


図6. 東北地方の地震波速度構造と東北地方太平洋沖地震前後の地震活動との関係 (Okada et al., 2014, 東北大[課題番号: 1203])

(a) 深さ6km におけるP 波速度偏差。白点と黒点はそれぞれ東北地方太平洋沖地震発生前と後の深さ6 ± 3 km に発生した地震の震央分布を示す。(b) 深さ24km におけるS 波速度偏差。点は深さ24 km 以浅の震源分布を示す。(c) 図1 c に黒線で示した測線での東西断面図。

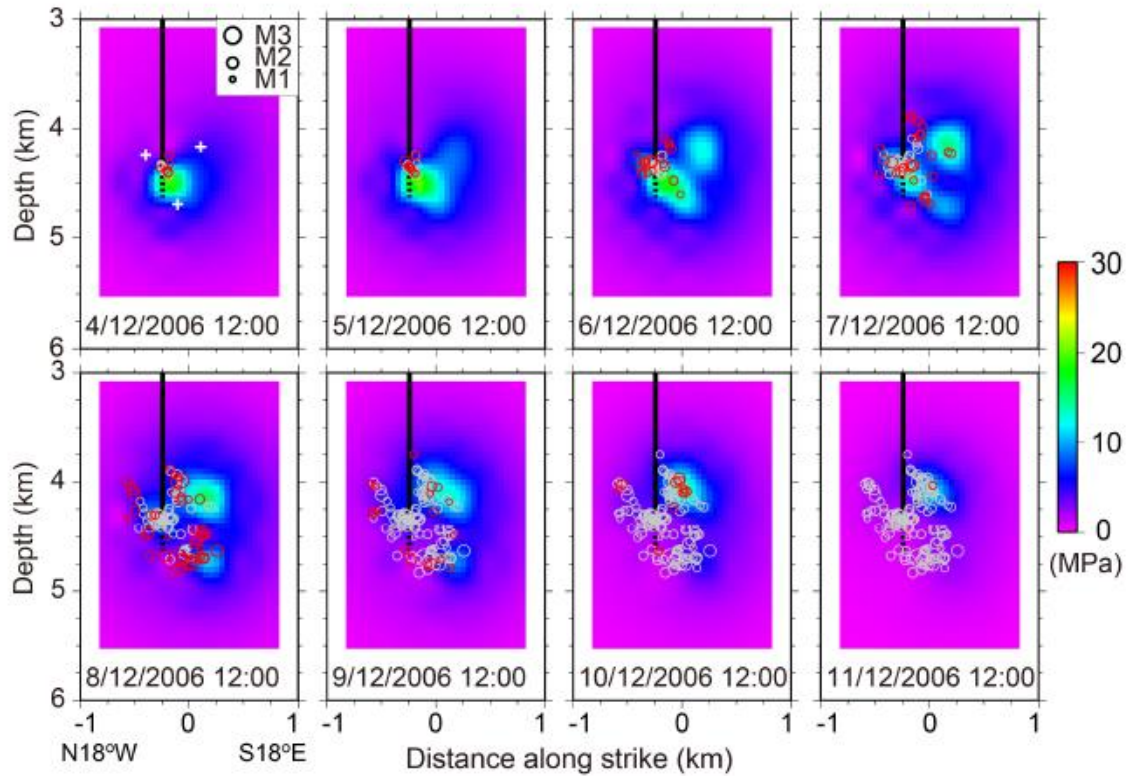


図7. バーゼル地熱貯留層の間隙流体圧場の時間発展（注水開始から約10日間）（京大防災研[課題番号：1907]）

カラスケールは間隙流体圧の静水圧からのずれを表す。黒線は注水井，黒点線は井戸の開口部を表す。赤丸は表示された日時の半日以内に発生した地震，灰色の丸はそれ以前に発生した地震を表す。注水開始から6日後にシャットインするまでの間は，間隙流体は注水井の周りから時間とともに広がり，主に井戸の南東方向へ伸びる。シャットイン後は，主な流路の先端に形成された高压流体域が孤立し，そこで地震を起こしながら，間隙流体圧は低下してゆく。

X線CTによる内部観察

急減圧実験 充填率:35%

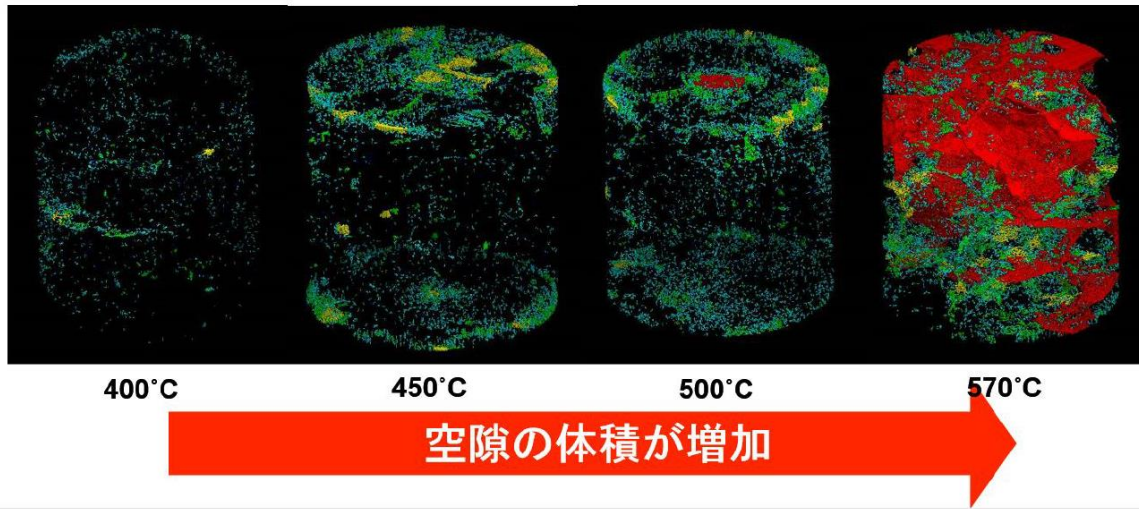


図8. 花崗岩中の減圧沸騰による亀裂の発生. (東北大[課題番号:1204])

水を含んだ高温の岩石を約30MPa から1 秒以内に常圧まで減圧すると, 中の水は沸騰し, 蒸発潜熱を岩石から奪い, 岩石表面は冷却されて亀裂が進展する。

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、火山噴火現象を解明すること、火山噴火の発生の場所・規模・時期を予測すること、および火山噴火現象の発展段階に応じた災害の推移を予測することが重要である。「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およ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

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、岩石資料や地質調査データなどの分析を行うことが重要である。そこで、東京大学地震研究所〔課題番号：1502〕は、約3万年前に発生した始良カルデラ噴火の前半を構成する大隅降下軽石、妻屋火砕流の噴出物を収集し、その分析を行った。その結果、噴火前のマグマ溜り上部の深さは4-5kmであったことがわかった。これは従来考えられていた始良カルデラ噴火のマグマ溜り深度の見積もり（7-10km）よりも浅く、歴史時代の桜島噴火の噴出物のマグマ溜りの環境とも大きく異なっている。このことは、次の始良カルデラ噴火に至る過程を考察する上で非常に重要である。

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

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

低頻度で大規模な火山現象の発生過程や噴火現象を理解するためには、現在の火山学の知見と対比しながら、近代的観測データの解析、岩石・地質データの分析を行うことが必要である。この目的のため、1888年磐梯噴火・山体崩壊の文献調査と地質調査および1914年桜島噴火の観測データの再検討を開始した（北海道大学〔課題番号：1001〕、京都大学防災研究所〔課題番号：1902〕）。また、低頻度で大規模な火山現象であるカルデラ形成噴火に関するこれまでの研究の成果と課題を整理した（北海道大学〔課題番号：1001〕）。始良カルデラの約10万年間の噴出物の化学組成と記載岩石学を整理して噴火サイクルを定義したところ、始良火山は互いにマグマ組成が異なる3つのサイクルからなり、始良火砕噴火と前駆噴火の噴出物は第2サイクルに位置づけられることが明らかになった（図1）。また、摩周、支笏および洞爺など北海道のカルデラ火山について表層地質調査および物質科学的解析、比較研究のためのインドネシアのリンジャンニ火山の物質科学的解析が行われている（北海道大学〔課題番号：1001〕）。

(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効果的である。この目的のため、蔵王山周辺で、地震・地殻変動、重力や地磁気の総合観測を実施している。その結果、長期的な山体膨張は検出されていないが、山体浅部の地熱流体活動に対応する消磁、重力の増加および長周期微動の活発化がとらえられている（東北大学 [課題番号：1202]）。また、阿蘇カルデラでは、遠地地震波形のレシーバー関数解析により中部～下部地殻に地震波の低速度領域が検出された（図 2）。一方、九重火山では深部構造を明らかにする目的で広帯域 MT 観測が実施され、データ解析が進められている（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、および噴火規模は小さいものの災害を引き起こす可能性が高い水蒸気噴火を主体とする火山それぞれに対し、火口近傍や火山周辺における多項目の観測や火山噴出物の解析から、先行現象とそれに続く噴火現象を把握し、それら諸現象のモデル化を行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

2009 年後半以降活発なブルカノ式噴火活動が継続している桜島火山を対象として、地下のマグマの状態変化や今後の火山活動をモデル化するため、地震および地盤変動観測、重力測定、火山ガス放出量測定、噴出物の分析、火山体構造の変化抽出のための探査などが継続して行われている（京都大学 [課題番号：1908]）。前計画中に得られた各種地盤変動データの解析から、火山活動が活発化した 2009 年 10 月～2010 年 5 月および 2011 年 11 月～2012 年 2 月前後の地盤変動は、始良カルデラ下約 10km のマグマ溜まり（図 3 の A）への供給量増加と、ここから北岳下 4km のマグマ溜まり（図 3 の K）へのマグマ移動、さらには南岳下約 1km のマグマ溜まり（図 3 の M）を経由したマグマ放出で説明出来ることが明らかになった。一方、2009 年から 2013 年まで桜島の東部から北部において実施された反射法反復探査の結果、北岳の北東部の深さ約 5km において、2009～2011 年に反射強度の増加その後の減少が検出されており、反射強度の増加は上述のマグマ移動により当該地域の地震波速度が低下したためであると解釈されている。また、2009 年 10 月以降の噴出物に含まれるガラス中の二酸化ケイ素の組成は低下していることから、玄武岩マグマの関与が指摘されており、高温で新鮮な玄武岩質マグマの貫入がマグマ溜まりの速度低下を引き起こしたと考えられる。さらに火山灰に付着する塩素イオンと硫酸イオンの比も 2009 年 10 月以降のマグマ貫入期に対応して増大するなど、多くの観測量がこの時期のマグマ貫入を示している。

一方、昭和火口において発生する個々の爆発の直後には地盤の収縮が始まり、その変動速度は時間の経過とともに減速し停止する。Nishimura（1998）は、理想気体に満たされ、マグマ溜まりに繋がる火道の最上端の蓋が開いた場合のマグマ溜まり圧力の時間関数を提唱している。昭和火口の噴火に伴うひずみ変化は、火道の開口による深さ 1km と 4km のマグマ溜まりのいずれか、あるいは両方における圧力の時間関数によって説明できることが明らかになるなど、火山活動のモデル化への進展がみられる。

傾斜計、GNSS および InSAR 解析により地殻変動を検出し、火山活動の評価やマグマ供給系のモデリングを行う研究も実施されており（国土地理院 [課題番号：6002]、(気象庁 [課題番号：7003, 7004])、桜島での総合的な観測的研究の成果が生かされつつある。

噴火のモデル化を行う際には、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。そのため東北大学〔課題番号：1205〕は、岩石組織解析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った。その結果、2011年の霧島火山新燃岳噴火の噴出物の石基結晶のサイズ分布（Crystal Size Distribution: CSD）に、サブミクロンサイズのナノライト領域において、三つの異なる爆発性を持つ噴出物（サブプリニー式軽石、ブルカノ式軽石・本質石質岩片）ごとに、それぞれ異なるナノライトの鉱物組み合わせが存在することが見いだされた（図4）。一方、それよりも大きいマイクロライト領域では、これらの噴火様式の間で、表面現象（爆発性）が全く異なるにもかかわらず、互いに区別ができなかった。これまで、サブプリニー式と溶岩噴火では、マグマ溜まりから火道浅部までは、マグマはほぼ共通した上昇減圧過程を経過しており、それに続く爆発性は、火道浅部での圧力の解放過程の相違で決定されるというモデルが提唱されていたが（Castro and Gardner（2008））が、この研究はこのモデルをさらに発展させ、火道浅部～地表付近での噴火様式の分岐に対応した、結晶作用の相違を初めて発見したものである（図5）。その他、北海道教育大〔課題番号：2925〕は、十勝岳1962年噴火の噴出物と1988-89年噴火の噴出物の微細組織の解析を行い、石基の発泡度やマイクロライト組織、ガラス組成の違いから、マグマ供給系におけるマグマ混合の役割やマグマ上昇速度が二つの噴火で違っていたことを指摘している。このほか、桜島や阿蘇の火山灰の構成粒子組成の時間変化に関する研究や西之島火山のマグマの特性を明らかにするための噴出物の岩石学的解析も実施されており、進行中の噴火の噴出物を迅速に分析することで、火山活動の評価と予測に対して大きく貢献している（産業技術総合研究所〔課題番号：5006〕）。

これまでに桜島の例で述べたように、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。そのため、伊豆大島、霧島、有珠、浅間山など他の火山においても多項目観測による比較研究が行われている（東京大学地震研究所〔課題番号：1508〕）。

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（北海道大学〔課題番号：1003〕）。5火山共通の観測基盤構築のため、今年度は十勝岳に広帯域地震計・傾斜計・プロトン磁力計などが設置され、高周波微動振幅の変化に対応する全磁力変化など、熱水活動を示唆する変化がとらえられつつある。高密度の地球物理観測は開始されたばかりであるが、同火山では熱水系由来噴火の履歴解明のための噴火堆積物の露頭調査と物質分析も行われ、ヌッカクシ火口域では、約3,000年前の山体崩壊を伴う活動のあと、約500年前までの間に少なくとも5回の水蒸気噴火が発生したことが明らかになった。

吾妻山では大穴火口の周辺2点においてプロトン磁力計による全磁力の連続観測が開始され、大穴火口周辺での継続的な消磁傾向を示す地磁気変化がとらえられている。同火山でも噴火堆積物の露頭調査と物質分析が実施され、吾妻小富士の主要活動期である約6,000年前から5,000年前までの堆積物の観察からは、マグマ噴火主体で始まった吾妻小富士の噴火活動の後半では、水蒸気噴火とブルカノ式噴火が交互に発生していたことなど、今後の同火山の噴火シナリオを構築

していく上で重要な噴火履歴が明らかになった。

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 H_2S 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みられる変化が観測されるなど、高温の火山性流体の供給が示唆される状態が継続している（東京工業大学 [課題番号：1601]，気象庁 [課題番号：7005]）。この草津白根山についても、地質調査と岩石学的分析が行われ、約4,900年前より新しい層に多数の小規模な噴火堆積物が発見された。それらのいくつかには、水蒸気噴火からマグマ噴火への遷移に起因する堆積物が確認されるなど、同火山の今後の活動を予測する上で、また他の熱水系卓越型火山との比較という観点からも重要な結果が得られている（山梨県富士山科学研究所 [課題番号：2924]）。

箱根山の大涌谷では、これまでの研究からガスの成分、特に CO_2 濃度が群発地震の発生と関連していることが明らかとなっている（Ohba et al., 2011）。2014年10月の火山性地震の増加の際にも、噴気中の CO_2/H_2O の上昇が観測されている（東海大学 [課題番号：2922]）。

全国連携の比較研究において対象とした5つの火山は、いずれも平成26年度中に活動が活発化し、気象庁の噴火警戒レベルが2または3に引き上げられた。その中でも、口永良部島と阿蘇山は噴火にまで至った。以下に口永良部島と阿蘇山での噴火に至る経緯を記す。

口永良部島では、2014年8月3日にマグマ水蒸気噴火が発生したが、約15年前から各種の観測量に異常な変化があらわれていた。1999年から数年おきに発生する群発地震活動とそれに連動する地盤変動と火道浅部の蓄熱を示唆する全磁力の消磁である。その後、噴気活動の高まりや二酸化硫黄放出量が増えるなどの異常が表面現象にも表れるようになった一方で、数ヶ月から数年の時間スケールでは地震回数や地盤膨張率に大きな変化は見られなかった。このため、異常がさらに進行していることは認識できたが、噴火時期を予測するには至らなかった。しかしながら、火口近傍の傾斜計が噴火直前の約1時間半前から火口の急激な隆起を捉えていた（図6）、これは水蒸気噴火のリアルタイム警報への応用可能性につながる知見である（北海道大学 [課題番号：1003]，産業技術総合研究所 [課題番号：5006]）。

阿蘇山では、1993年以来のマグマ噴火が2014年11月25日に発生した。これに先立ち、2008年ころからマグマ溜まりへのマグマ供給量増加を示す地殻変動が観測されていた。2013年9月には、二酸化硫黄の放出率増加とそれに対応する長周期微動の活発化と地殻変動が観測され、この後2013年1月の小噴火に至る時期に熱水だまり（火口下数100m）の温度上昇を示す磁場変化および比抵抗変化が観測された。さらに、マグマ噴火の1ヶ月前から長周期微動活動が過去最大級となり、火口直下150mの消磁を示す磁場変化がとらえられるなど（図7）、噴火シナリオ高度化に資する観測データが得られている（北海道大学 [課題番号：1003]，京都大学理学研究科 [課題番号：1802]，産業技術総合研究所 [課題番号：5006]）。

2. 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 事象系統樹の高度化による火山噴火予測

火山活動の推移を俯瞰的に理解してその予測を目指すためには、史料、考古データ、地質調査、火山噴出物の解析、地球物理観測の研究成果を多角的に取り入れ、可能性のある火山活動や噴火現象を網羅してその時系列を整理した噴火事象系統樹を作成することが重

要である。本年度は、ここ数年間で活動が活発化した蔵王山の噴火事象系統樹を緊急的に作成した（北海道大学〔課題番号：1004〕）。検討の結果、蔵王山の過去の噴火の特徴として、噴火活動に先駆けて熱水活動が継続・増大していく可能性があることが指摘された。またその活動の分岐の判断には、ガスや水の地球化学的観測を含めたモニタリングに加え、開口型火山であることから地殻変動観測が重要で、地震観測においては微動の周波数特性に注目することが重要である。これらは同火山の活動予測や今後の噴火警戒レベル導入にも活用される成果である（図8）。

事象系統樹の高度化には、噴出物の年代を正確に決定することも必要である。熊本大学は（〔課題番号：2921〕）、従来は溶岩試料に対して行われてきた古地磁気方位による年代決定法を、より適用範囲の広い火山灰試料に対して拡張することを目指し、伊豆大島の試料で予察的な実験を行った。

また、山形大学（〔課題番号：2923〕）は地質調査と火山噴出物の解析により、那須岳の噴火推移を明らかにした。那須岳最新活動期の6回のマグマ活動の大半は水蒸気爆発→ブルカノ式噴火→溶岩流出と推移した。しかし、約2,600年前の活動でのみブルカノ式噴火とともに火砕サージを伴うマグマ水蒸気爆発が発生したことが、その堆積物の特徴から明らかになった。このことは同火山の火山災害対策を講じる上で重要な成果である。

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、霧島山新燃岳を対象として、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。その結果、マグマ噴火開始前には中期的な全磁力等の異常が、水蒸気爆発からマグマ爆発への分岐前には山体膨張、地震活動と火山性ガスの活発化などが観測されており、いずれにも事象の分岐には新たなマグマ供給が強く関与していることが明らかとなった（東北大学〔課題番号：1208〕）。

4. 研究を推進するための体制の整備

(1) 推進体制の整備

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。そのため気象庁は、3回の火山噴火予知連絡会（定例会）、平成26年8月3日の口永良部島の噴火および9月27日の御嶽山の噴火に対応して噴火予知連絡会（拡大幹事会）を開催した。ここでは、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

イ. 地震・火山現象のデータベースとデータ流通

ウ. 観測・解析技術の開発

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

ある。

海上保安庁（[課題番号：8003]）は、西之島の火山活動の航空機による定期的な目視観測および熱計測を行い、さらに衛星画像を活用した監視観測を継続している。一方、海底火山活動に伴って発生する変色域の規模や色調など、海面上に現れる異変は海域火山活動の把握のために非常に重要なシグナルであるが、Silicic なマグマ活動の場合、熱水中の Al 濃度は高くなっても Fe 濃度が高くならないためにその色調には大きな変化は期待できない可能性がある。このような場合には、高温の火山ガスの主要成分であるが海水中には僅かにしか含まれない F の沈殿物量が活動度指標の一つになることが、沈殿生成実験から明らかにされた（東京工業大学 [課題番号：1602]）。

東京大学大学院理学研究科（[課題番号：1403]）は、口永良部島、御嶽山火山噴火に対応するため、二酸化硫黄簡易型トラバース測定装置の改良と高度化および解析ソフトの改良を行った。改良されたガス放出率測定器は屋久島町営フェリーに実装され、口永良部島火山の二酸化硫黄放出率モニタリングに活用された。そして、2014年8月3日以降のガス放出量増加がとらえられ、マグマ噴火への移行を判断する観測量として活用されている。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開発（防災科学技術研究所 [課題番号：3005]）、衛星赤外面像を用いたサリチェフ 2009 年噴火の活動推移の解析（東京大学地震研究所 [課題番号：1520]）、小型絶対重力計の開発と試験観測（東京大学地震研究所 [課題番号：1506]）が行われている。これら機器開発の課題の多くは、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ことを上位目標としており、たとえば宇宙線（ミュオン）を利用した火山浅部透視技術においては、活動中の火山における観測を目指して、観測射程の延長と時間分解能の向上が行われている（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および発生場の解明、噴火のモデル化、観測手法の開発および体制の整備に関する研究等を推進している。

このような状況のもと、2014年9月27日に発生した御嶽山の噴火では、死者・行方不明者が63名となる災害がもたらされた。亡くなられた方のご冥福をお祈りするとともに、被災された方々、ご遺族に心よりお見舞い申し上げます。

本部会では、火口近傍を含む火山体周辺における地震観測、地盤変動観測や地球電磁気観測、物質科学的分析により、熱水系の卓越した5火山の比較研究（北海道大学 [課題番号：1003]）を開始したばかりであった。現状では水蒸気噴火や小規模なマグマ水蒸気噴火の予測は困難であり、噴火の準備過程に関連する先行現象の事例をできるだけ多く集めて、現象の理解を深めるべき段階にある。しかし、本計画では御嶽山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。本部会内の課題を整理し、2014年8月に噴火した口永良部島火山、御嶽山、阿蘇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－」を平成27年度から立ち上げる。御嶽山を対象とした新規課題では、各火山において水蒸気噴火に至る過程で発生した地震・微動活動の変化、地殻・地盤変動、地磁気変化などを整理する。口永良部島火山で15年にわたる中期的噴火準備過程に見られた地盤膨張と全磁力変化などは、火

道浅部に熱水系を有する火山に共通する可能性があり，他火山との比較を通じて検証していく必要がある。また，噴火直前に見られた火口の膨張と加速については，さらに観測事例を積み上げる必要がある。また，御嶽火山でどのような準備過程を経て噴火に至ったかを明らかにすることも非常に重要である。また，水蒸気噴火後の活動推移予測のため，これら三火山における活動推移の比較研究を行う。事例研究によると，水蒸気爆発からマグマ爆発への分岐前には山体膨張，地震活動と火山性ガスの活発化などが観測された例がある（東北大学 [課題番号：1208]）ことから，いずれの火山においても，地盤変動と火山ガスの観測は重要と考えられる。また，噴火中の火山で安全に観測実施可能な手法を開発していくことも重要である。また，熱水系の卓越する焼岳（京都大学防災研究所 [課題番号：1909]），吾妻山（北海道大学 [課題番号：1003]）および九重山（九州大学 [課題番号：2201]）でも火口近傍の観測を強化する予定で，これらの火山での観測結果も新規課題の結果を踏まえて活動推移予測に資する。

成果リスト

- 相澤広記・小山崇夫・長谷英彰・上嶋誠，2014，MT連続観測による桜島地下3次元比抵抗構造とその時間変化，桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究，平成25年度分報告書，87-92.
- Araya, A., H. Sakai, Y. Tamura, T. Tsubokawa, and S. Svitlov, 2014, Development of a compact absolute gravimeter with a built-in accelerometer and a silent drop mechanism, in Proc. of the IAG Symposium on Terrestrial Gravimetry: Static and Mobile Measurements (TGSM-2013), , 98-104.
- 浜口博之・植木貞人・中道治久，2014，1888年磐梯山水蒸気爆発に関するノートー（3）1888年の水蒸気爆発論考に潜むジレンマー，火山，59，287-298.
- Harada, N., K. Katsuki, M. Nakagawa, A. Matsumoto, O. Seki, J. A. Addison, B. P. Finney, and M. Sato, 2014, Holocene sea surface temperature and sea ice extent in the Okhotsk and Bering Seas. Progress in Oceanography, 126, 242-253.
- 長谷川健・中川光弘，2014，岩石学的特徴を利用した対比・同定の有効性：北海道東部，阿寒・屈斜路火山における大規模火砕流堆積物の露頭情報，火山，59，269-27.
- 橋本武志，2015，火山地磁気効果と水蒸気噴火，Conductivity Anomaly 研究会2015年論文集，75-81.
- 井口正人，2014，桜島火山の噴火活動ー2013年7月～2014年6月，桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究，平成25年度分報告書，1-10.
- 井口正人，2014，2006年以降の桜島の火山活動の評価，桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究，平成25年度分報告書，121-124.
- 井口正人・平林順一，2014，桜島・黒神における温泉ガス濃度（2013年・2014年），桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究，平成25年度分報告書，93-96.
- 井口正人・為栗 健，2014，桜島昭和火口の2013年8月18日噴火について，京都大学防災研究所年報，57B，106-115.
- 井口正人・太田雄策・中尾茂・園田忠臣・関健次郎・堀田耕平，2014，桜島昭和火口噴火開始以降のGPS観測ー2013年～2014年ー，桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究，平成25年度分報告書，63-68.
- 稲倉寛仁・成尾英仁・奥野 充・小林哲夫，2014，南九州，池田火山の噴火史．火山，59，255-268.

- 小林哲夫, 2014, 日本の始良カルデラとフィリピンのイロシンカルデラの噴火推移の比較研究. 地学雑誌, 123, 739-750.
- Kuritani, T., T. Yoshida, J.-I. Kimura, Y. Hirahara, and T. Takahashi, 2014, Water content of primitive low-K tholeiitic basalt magma from Iwate Volcano, NE Japan Arc: implications for differentiation mechanism of frontal-arc basalt magmas. *Mineralogy and Petrology*, 108, 1-11.
- 松本亜希子・中川光弘・宮坂瑞穂・井口正人, 2014, 桜島火山2006年以降の昭和火口噴出物の岩石学的特徴, -2012年5月~2014年1月について-, 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 113-120.
- Miyabuchi, Y., M. Okuno, M. Torii, M. Yoshimoto and T. Kobayashi, 2014, Tephrostratigraphy and eruptive history of post-caldera stage of Toya Volcano, Hokkaido, northern Japan. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, 281, 34-52.
- Miyagi, Y., T. Ozawa, T. Kozono, and M. Shimada, 2014, Long-term lava extrusion after the 2011 Shinmoe-dake eruption detected by DInSAR observations, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 2014GL060829, doi:10.1002/2014GL060829.
- 森俊哉, 2014, 昭和火口と南岳火口の火山ガスHCl/SO₂比 (2009年~2013年), 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 99-102.
- Mujin, M. and M. Nakamura, 2014, A nanolite record of eruption style transition, *Geology*, 42, 611-614, doi:10.1130/G35553.1
- 中道治久・他, 2014, 2013年桜島人工地震探査の概要と2008年探査との比較, 京都大学防災研究所年報, 57B, 125-137.
- 中道治久・他48名, 2014, 2013年桜島人工地震探査の概要と2008年探査の比較, 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 27-39.
- 野上健治, 2014, 桜島昭和火口における噴火活動と地球化学的観測研究-火山灰水溶性成分及びSO₂放出量による噴火活動評価-, 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 109-112.
- 大久保修平・他, 2014, 桜島火山における絶対重力観測, 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 81-86.
- 大見士朗, 2014, Matched Filter Methodによる群発地震の解析の試み -2011年飛騨山脈山麓旗鉾付近の群発地震活動の例-, 京都大学防災研究所年報, 57B, 70-75.
- 小野智三・濱崎翔五・矢島広樹・伊藤弘志・野上健治, 2015, 西之島火山の2013-2014年噴火活動海洋情報部研究報告, 52, 56.
- Seki, K., W. Kanda, Y. Ogawa, T. Tanbo, T. Kobayashi, Y. Hino and H. Hase, 2014, Imaging the hydrothermal system beneath the Jigokudani valley, Tateyama volcano, Japan: implications for structures controlling repeated phreatic eruptions from an audio-frequency magnetotelluric survey, *Earth, Planets, Space*, 67, 6, DOI 10.1186/s40623-014-0169-8.
- 関口悠子・長谷中利昭・森康, 2014, 始良カルデラ火山に見られる3回のマグマ活動サイクル, 月刊地球, 36, 8, 303-309.
- Shimada, M., M. Watanabe, M. Oki and T. Motooka, 2014, Observation of the Izu-Ohshima landslide event attacked by Typhoon No. 26 using the Pi-SAR-L2, 写真測量とリモートセンシング, 53 (1), 9-10.

- 島田政信・宮城洋介, 2014, COSMO-SkyMed (ASI) 及びPi-SAR-L2による桜島のモニタリング (2011年1月～2012年9月), 火山噴火予知連絡会会報, 113, 224-232.
- 島田政信・宮城洋介, 2014, TerraSAR-X (DLR) 及びPi-SAR-L2による新燃岳モニタリング (2011年1月～2012年9月), 火山噴火予知連絡会会報, 113, 182-186.
- 嶋野岳人・井口正人, 2014, 短時間間隔連続採取による爆発直前の火道内構造の検討, 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 103-108.
- Svitlov, S. and A. Araya, 2014, Homodyne interferometry with quadrature fringe detection for absolute gravimeter, *Appl. Opt.*, 53, 3548-3555.
- Takagi, A., K. Fujiwara, T. Ohkura, A. C. Luis, Jr., A. V. Baloloy, S. Ando, E. Laguerta, and Ma. A. V. Bornas, 2015, Ground deformation of Mayon Volcano revealed by GPS Campaign Survey, *Journal of Disaster Research*, 10, 106-112.
- Takahashi, K., and I. Fujii, 2014, Long-term thermal activity revealed by magnetic measurements at Kusatsu-Shirane volcano, Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 285, 180-194.
- 為栗健・井口正人・園田忠臣・関健次郎, 2014, 桜島火山の2010年以降のA型地震活動, 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 11-16.
- Tatsumi, Y. and K. Suzuki-Kamata, 2014, Cause and risk catastrophic eruptions in the Japanese Archipelago, *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, 90, 347-352
- 筒井智樹・他, 2014, 桜島火山における反復地震探査 (2013年観測), 京都大学防災研究所年報, 57B, 138-149.
- 八木原寛・平野舟一郎・宮町宏樹・高山鐵朗・市川信夫・為栗健・井口正人, 2014, 鹿児島湾奥部における繰り返し海底地震観測 - 2009年度～2013年度 -, 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 17-26.
- 山本圭吾・他, 2014, 水準測量によって測定された桜島火山および始良カルデラ周辺域の地盤上下変動-2013年10月および11月測量の結果-, 京都大学防災研究所年報, 57B, 116-124.
- 山本圭吾・他, 2014, 桜島および鹿児島湾周辺における精密重力測定 (2013年10月および11月), 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 73-80.

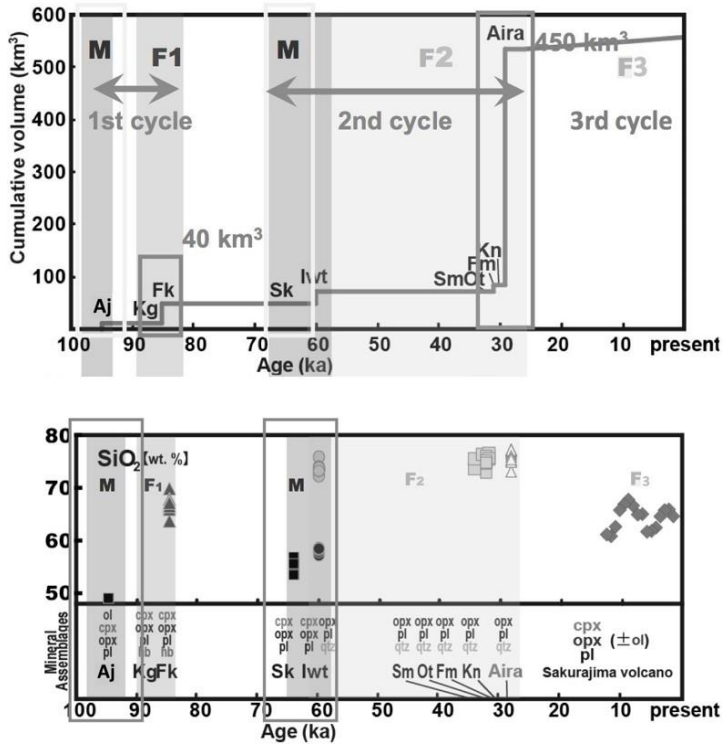


図1. 始良火山におけるマグマの積算噴出量(上)とマグマ組成の時間変化(下)。M=Mafic, F=Felsic, Aj=青敷玄武岩質安山岩, Kg=金剛寺火砕サージ体積物, Fk=福山降下軽石, Sk=敷根安山岩, lwt=岩戸火砕流堆積物, Sm=清水流紋岩, Ot=大塚降下軽石, Fm=大塚降下軽石, Kn=毛梨野テフラ。マグマの噴出量と噴出物の年代は長岡ら (2001) による (北海道大学 [課題番号: 1001])。

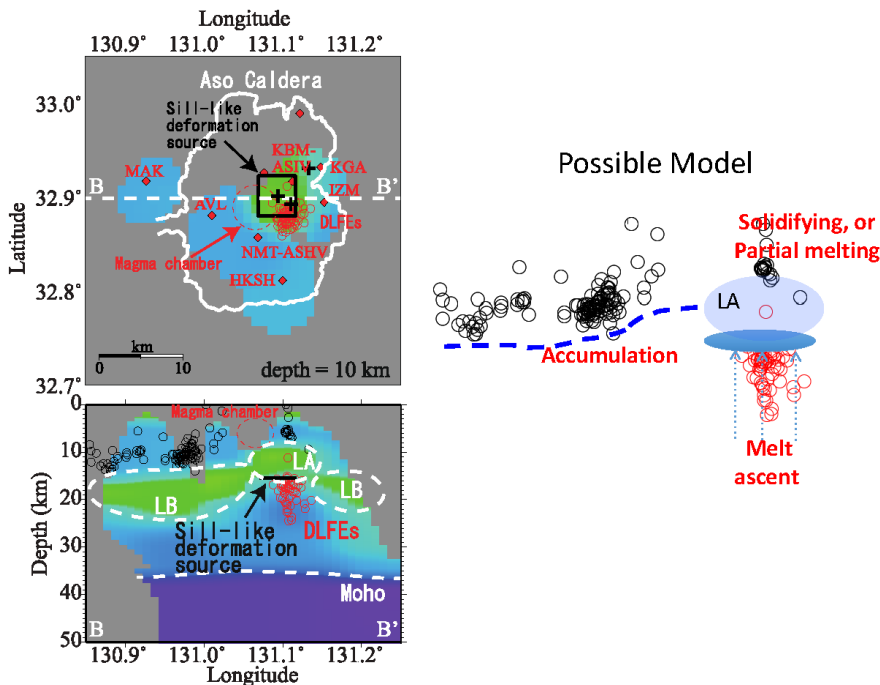


図2. レシーバ関数のGAインバージョンによって求められた阿蘇カルデラのS波構造。左上: 深さ10kmの速度分布, 左下: B-B' 断面の速度分布, 右: 概念図。深部低周波地震発生域の直上にS波速度約2.4km/sの低速度領域があり, この領域の下面には地殻変動源も位置している (九州大学 [課題番号: 2201])。

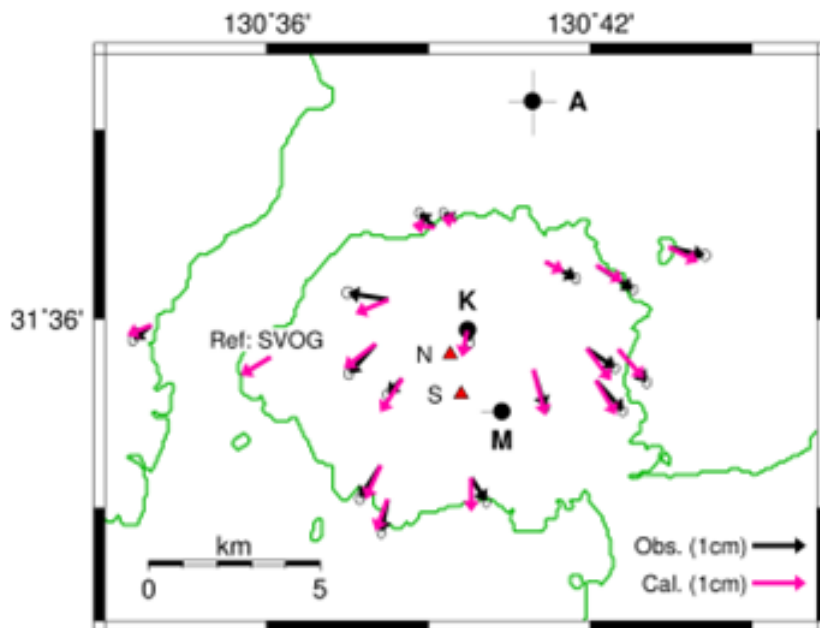


図 3. 2011 年後半の桜島山体膨張期に求められた圧力源。A が始良カルデラ下約 10km のマグマ溜まり, K が北岳下 4km のマグマ溜まり, M が南岳下約 1km のマグマ溜まりに対応すると考えられる(京都大学防災研究所 [課題番号: 1908])。

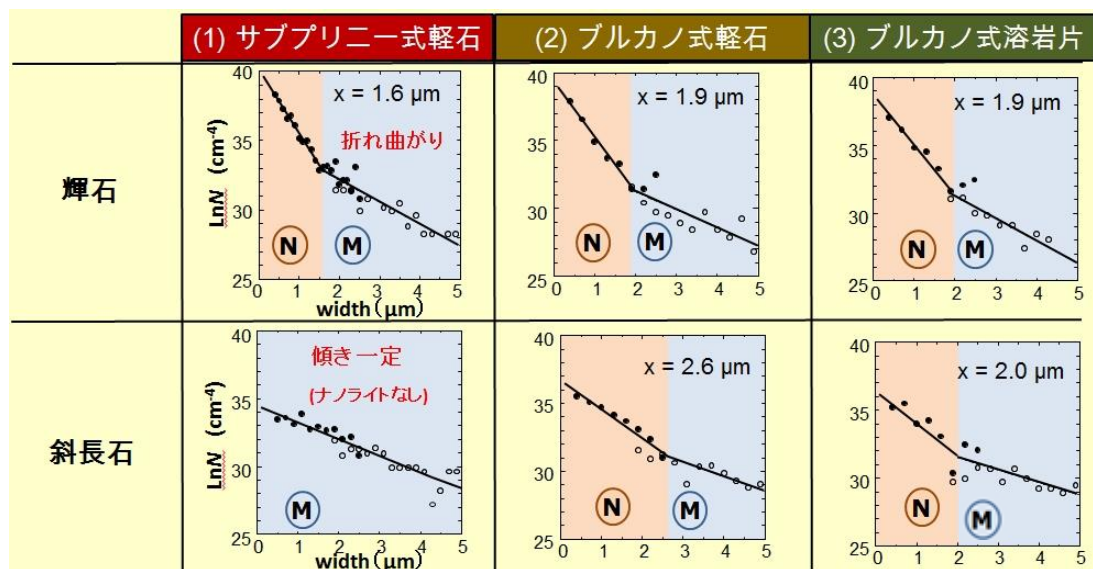


図 4. 新燃岳 2011 年噴火噴出物の石基結晶サイズ分布。結晶サイズ分布の傾きに折れ曲がりがある場合、それより小さいナノライト (N) とマイクロライト (M) に分けられる。マイクロライトのサイズ領域では、輝石・斜長石とも噴火様式による違いは見られない。一方、ブルカノ式噴火噴出物では斜長石のナノライトが見られるのに対し、サブプリニー式噴火の軽石では斜長石のナノライトが見られず、火道浅部での減圧結晶作用の相違が表れている(東北大学 [課題番号: 1205])。

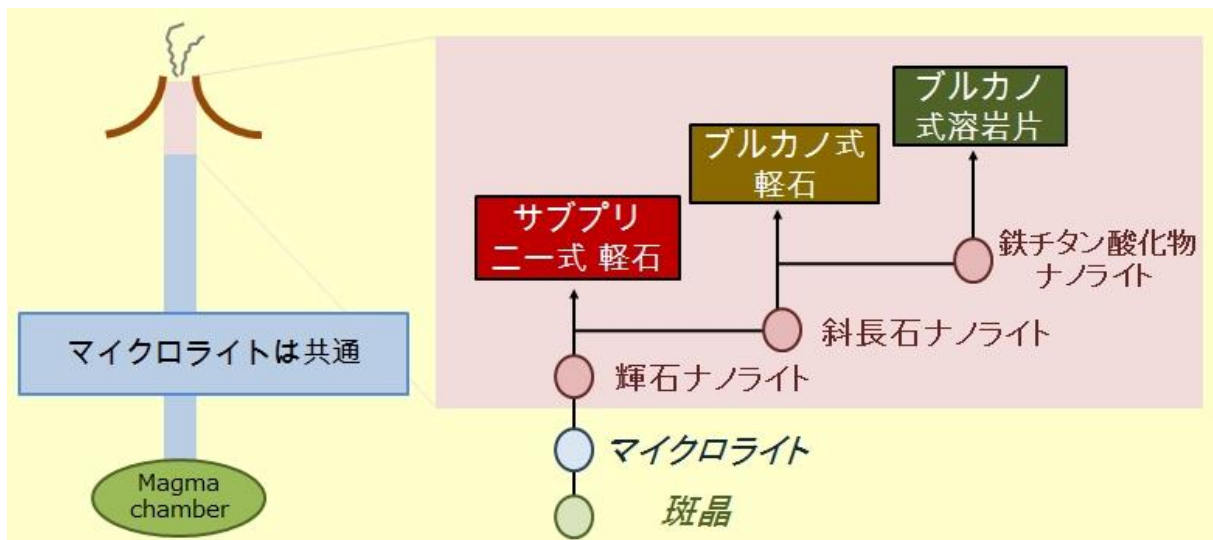


図 5. 噴火様式の違いとマイクロライト・ナノライトの結晶化段階の対応関係の模式図（東北大学 [課題番号：1205]）。

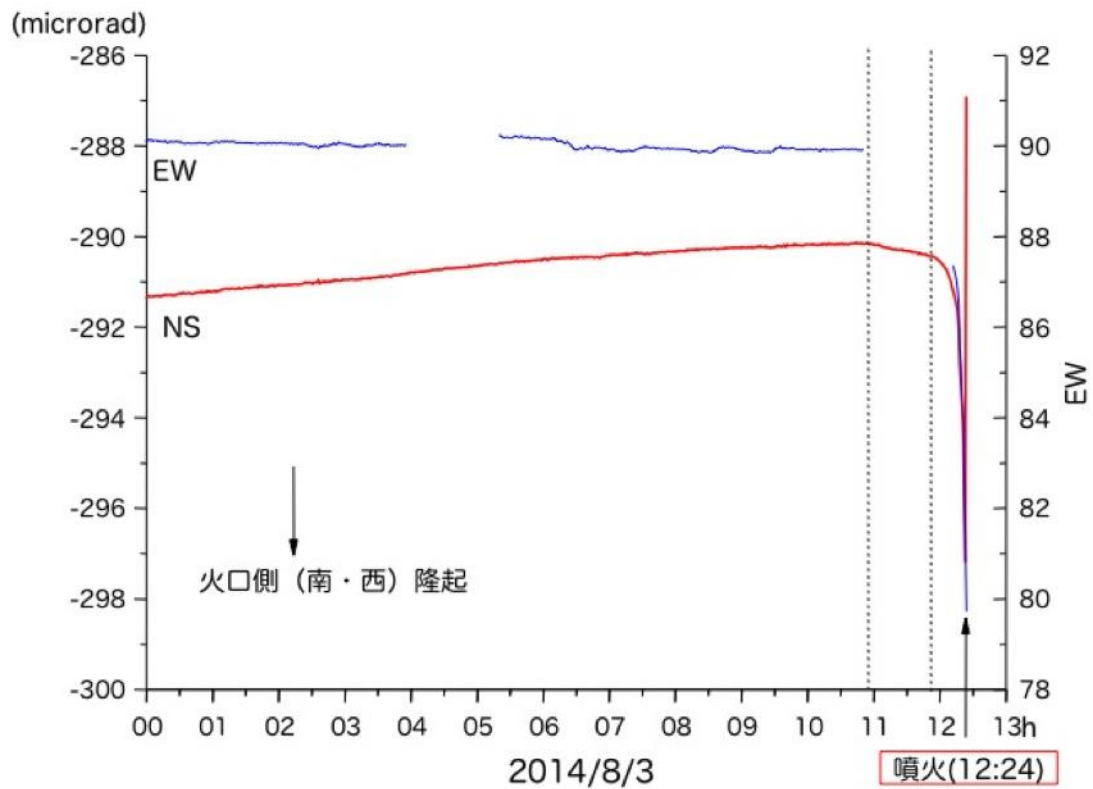


図 6. 口永良部島 2014 年 8 月 3 日の噴火直前に観測された傾斜変動。傾斜計は新岳火口の北東約 200m に位置していた。噴火の約 1 時間半前から火口側の隆起が始まり, 約 30 分前には急激に加速した(北海道大学 [課題番号：1003])。

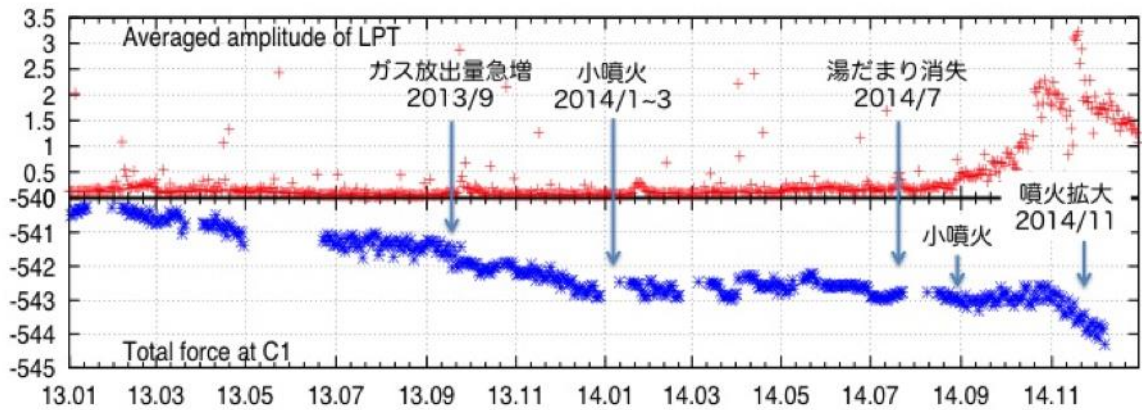


図7. 阿蘇火山の長周期微動平均振幅（上段）と地磁気全磁力（下段）の変化（2013年1月～2014年12月）。全磁力観測点は、中岳第1火口の南西約200mに位置しており、この地点での全磁力の減少は中岳火口直下の消磁を意味する（北海道大学〔課題番号：1003〕）。

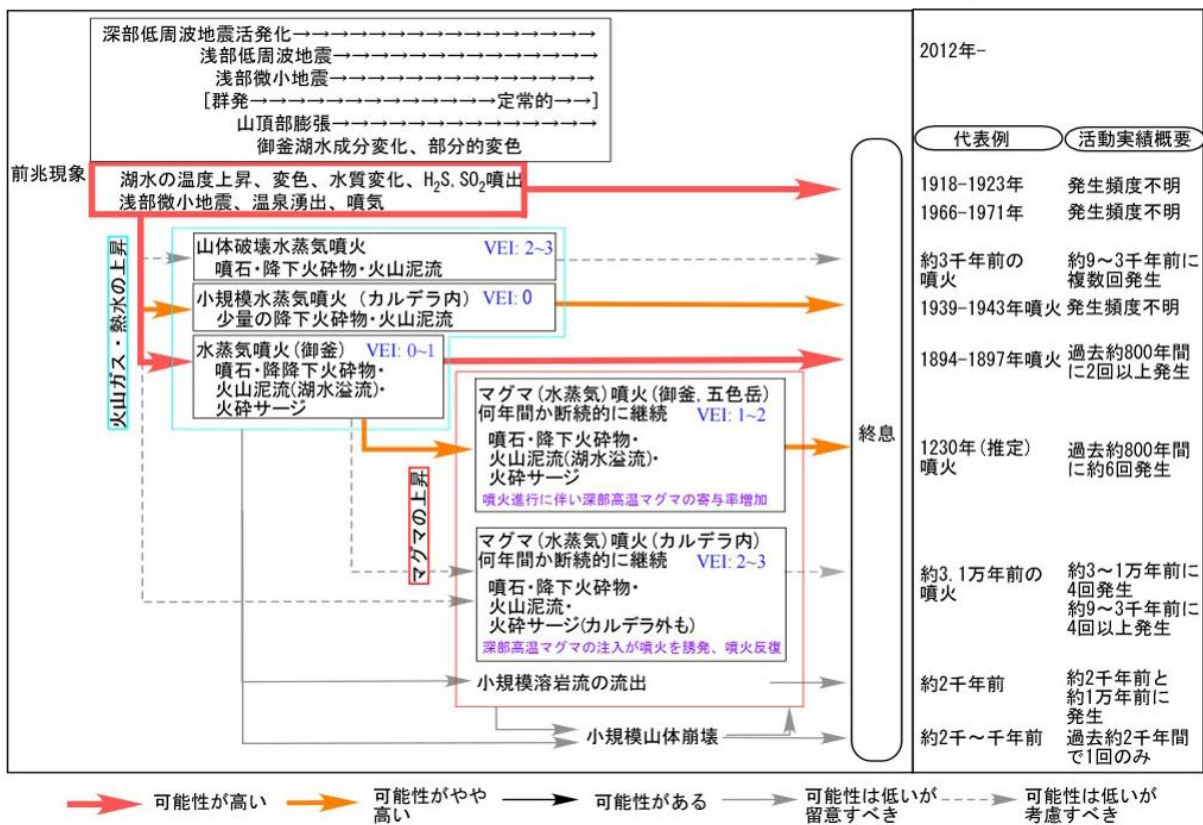


図8. 蔵王山の過去の活動から想定される活動分類と噴火推移（北海道大学〔課題番号：1004〕）。

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

地殻変動に代表される系統的なモニタリングデータは、物理法則にしたがって断層滑りの時空間履歴を計算・予測する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る。しかし、物理モデルの細部状態（応力の現在値分布や摩擦特性の分布など）を観測から予測に必要な精度で決めておくことは困難だから、観測値をモデルに代入しての将来予測とはいっても、むしろ物理モデルを通じて観測されたイベントの意味するところを診断するといった方がいいかもしれない。例えば、大地震の破壊域となる固着した断層の一部が先行的にゆっくり滑り、それが加速・拡大して本震に至るという震源核モデルは、物理モデルからモニタリングデータを診断するために最も重要なてがかりの一つである。しかし、例えば東北地方での巨大地震の固着域の一部が破壊する大地震の発生から示唆されるような大小の固着域の階層的配置（東京大学理学系研究科 [課題番号：1402]、Ide and Aochi, 2014）を考えれば、脆い小アスペリティの破壊が丈夫な大アスペリティの破壊すなわち大地震の核形成を代用してしまう地震（カスケードアップ地震）の可能性（Noda et al., 2013）はよく検討されなければならない。本年度は、南海トラフ沿いの巨大地震シミュレーションにおいて紀伊半島沖に小アスペリティがあった場合の効果（図1）を検討し、小アスペリティが小さいほどプレスリップが小さくなり、巨大地震がカスケードアップ地震として発生するという結果をえた。また、かなり小さなアスペリティでも、東海地域の固着の剥れが弱い段階では東海地域の割れ残りという現象を起こし得ることも示された（気象庁 [課題番号：7006]、弘瀬ほか, 2015）。

一方、2011年東北地方太平洋沖地震（以降、3.11地震）が顕著な例（Kato, 2012）であるが、大地震の破壊域ではなくその周辺、特に深部延長が大きな先行的ゆっくり滑りをおこすという可能性が近年世界的に注目されている。スロースリップは大地震に先行する時期にしかおこらないわけではないが、モニタリングによる地震発生の予測可能性を問うという観点では、そのようなものも含めて把握する能力を上げる必要がある。GNSS測地データの精緻な解析（気象庁 [課題番号：7006]）によって2000年、2005年の銚子付近の群発地震にスロースリップが伴っていたことがわかった。また南海トラフ沿いの地域については2003年四国東部、2005-2009年四国中部、2013年四国中部において小規模な長期的スロースリップがおこっていたことがわかった。さらに、南海トラフの短期的スロースリップ発生域での平均滑り速度分布が求められた（産総研 [課題番号：5007]）。GNSSによる監視技術を向上させるとともに、体積ひずみ計の補正法にも改良を加え（気象庁 [課題番号：7006] 木村ら, 2014）、銚子沖や房総半島沖のいくつかの事例で検出能力を確認するとともに、これまでひずみ変化なしとされてきた伊豆半島東方沖の地震活動に伴う変化を多数見いだした。さらに、2013年から発生しているのではないかと指摘されている東海地方の長期的スロースリップに関してはひずみ計記録のスタッキングにより対応する変化を検出し

た（気象庁〔課題番号：7006〕，弘瀬ら，2015）。さらに，固着状況の変化は，プレート境界の音響的性質によってもモニタリングできることが理論と実験から示唆されている（Kame et al., 2014）。東海地域において，複数のアクロス送信点からの観測結果を説明できる浅部からフィリピン海プレート境界にいたるP波及びS波の地下構造モデルを推定した（気象庁〔課題番号：7006〕，國友ほか，2014）。

地下水位の観測も鋭敏なひずみ観測になっていることが期待され，複数の井戸で地下水・地殻変動を同時に観測する観測点（産総研〔課題番号：5007〕）が，四国～紀伊半島周辺に現在16点あり，さらに数点の増設をめざしている。本年度は，地下水応答特性の基礎調査として，地震の前後で道後温泉の地下水位が4m以上上昇した2014年伊予灘の地震（M6.2）に際して，水頭拡散率は地震前後で有意に変化しなかったことを示した（産総研〔課題番号：5007〕，小泉ほか，2014）。また，台湾の地震時地下水位変化の解析から，地震動の寄与の周波数依存性が不圧地下水と被圧地下水で違うことを明らかにした（産総研〔課題番号：5007〕，板場・落，2014）。

測地観測で直接的に検出するには小さすぎるスロースリップでも，テンプレートを用いた類似波形の検索による微小地震活動の同定から発生が示唆される場合があり，本年度はこの手法によって多くの事例がみつかった。あとに本震と目されるものを伴う例では，2014年チリ・イキク地震（M8.2）（東北大学〔課題番号：1206〕，Kato et al., 2014），2009年ラクイラ地震（M6.3）（東北大学〔課題番号：1206〕，Sugan et al., 2014）があり，後者では本震破壊開始点近傍に低b値もみられた。さらに，3.11地震の直後に房総沖でスロースリップがおこったこともこの方法で検出された（東北大学〔課題番号：1206〕，Kato et al., 2014）。また，必ずしもゆっくり滑りを伴っていないかもしれないが，多数の地震波形が重畳していてもイベントを見わけることができる類似波形検索は前震や余震の時空間発展をこれまで考えられなかったほど詳細に追うことを可能にし，2007年能登半島沖地震（M6.7）の余震域が既存の断層系を割り進むかのように拡がっていく様子（東北大学〔課題番号：1206〕，Kato et al., 2014）や，2014年長野県北部地震（M6.2）の前震・余震の時空間発展（東北大学〔課題番号：1206〕）などを明らかにした。

断層の滑りモデルを介さずに，経験的に大地震の発生と関係するのではないかとされているパラメーターに中・短期的なb値の低下がある。b値の物理的解釈にしっかりしたものはないが，差応力と逆相関するという岩石破壊実験からの説（Scholz, 1968）は有名である。逆断層地震のb値が低く正断層のそれが高いという事実も指摘されており（Schorlemmer, 2005），応力等のマッピング手段にもなりうるものが近年，世界中で注目されている。本年度は，全世界の沈み込み帯でb値はどう分布するのかが調査され（東京大学理学系研究科〔課題番号：1402〕，Nishikawa and Ide, 2014），スラブ浮力が高くてプレート境界面が強く押しつけられている地域ほどb値が低いという傾向が認められた。また，各地域において，余震期間でも平常時でもおおむね同程度のb値が得られることも判明した。さらに，日本海溝から沈み込む太平洋プレート沿いに関しては深さ200km程度までのb値分布（図2）が求められ（東北大学〔課題番号：1206〕，Tormann et al., 2015），大局的なテクトニクスを反映した差応力の強弱を描き出すことがうかがわれる結果が得られたが，それによって個々の巨大地震の発生領域を特定することは困難にみえる。さらに，3.11地震の滑り域の活動の時間変化をみると，地震後しばらく高くなっていたb値がほぼ平常値に近いレベルまで戻っていることが見いだされた。b値や大森則等の地震の統計的性質の由来について，多体系物理の観点からの洞察を得ることを目的として，物理学者のグループによるアナログ実験と数値シミュレーションを開始し，本年度は予備実験を行った（東京大学地震研究所〔課題番号：1512〕）。

地震活動の統計的モデルによって，将来の日本周辺の地震発生数期待値の時空分布を事前に予測し，予測期間経過後に実際におこった地震の分布との一致度を検証するCSEP JAPANでは，3.11地震の発生を含む時期に対して提出された予測手法の評価を終えた。あたりまえのことかもしれないが，予測期間が1

日 (図3), 3ヶ月, 1年のどのクラスにおいても, 3.11地震の前と後では地震活動の様相が大きく変化したことを反映して, 各手法間での成績の順序が入れかわった (東京大学地震研究所 [課題番号: 1511])。一方で, 地震活動の特徴から前震である可能性の高いものを見分けるとして提唱されているアルゴリズムを群発活動が特徴的な伊豆地域に事後適用してみたところ, M5以上を予測対象として予知率68%, 適中率23%程度と良好な成績がえられた (気象庁 [課題番号: 7006])。また, 繰り返し性が明確である小繰り返し地震に対しての予測可能性を調査し, 2010年までに限れば良好な予測成績が得られることが確認された (気象庁 [課題番号: 7006], 岡田, 2015)。地震活動のデータを用いるにあたってしばしば問題になるのがカタログの精度であるが, カタログの地震捕捉率を時系列で詳細に評価する手法が開発された (東北大学 [課題番号: 1206], Iwata, 2014)。また, Hi-NetやF-netによってメカニズム解整備が開始される以前の1985-1998年の地震についてJUNECによって取得された波形に基づきM2までを網羅するメカニズム解カタログが作られた (東北大学 [課題番号: 1206], Ishibe et al., 2014) ことは今後の研究に大きく資する (東北大学 [課題番号: 1206], Ishibe et al., 2015) と期待される。

長期的な地震の危険度予測において, 応力蓄積プロセスは大きな手掛りになると考えられる。地震活動度の高い南アフリカの大深度鉱山において, 岩石強度からほど遠くない高い差応力までの絶対応力測定技術が確立し, 実際にM2-3程度の地震を起した断層の周辺岩盤での測定データが数例えられ, また, ひずみ変化の連続データも得られている (立命館大学 [課題番号: 2401])。

(3) 先行現象に基づく地震活動予測

先行現象に基づく地震発生の予測は, たいていの場合, 経験的に地震に先行することが多いと思われる異常が観測データに認めれたときに一定の時空間に対してアラームをONにするという形でなされる。観測項目や異常の判定方法は多岐にわたるが, 予測の成績自体は予測作成の手法にかかわらず定量評価できるべきものであり, そのための理論的基盤作りを開始した (東海大学 [課題番号: 2501])。従来, 地震予知の世界でよくおこなわれてきた成績評価は, あたったアラームの回数, 空振りにおわったアラームの回数, アラームが出ずにおこった地震数などを四分分割表にまとめ, 予知率や的中率 (宇津, 1977) を求めるというものであった。この評価手法が有効であるためには, アラーム (異常) と地震はともに稀にしかおこらず, 一つの異常とそれにとまらぬアラーム期間が終らないうちに次の異常が起ることはないという前提が必要だが, 地震先行現象として研究されている多くの観測項目についてこの前提は満たされない。異常が頻繁な (ひとつの異常に引き続いて設定するアラーム期間より異常の発生間隔が短い) 場合を考えると, ある地震の先行現象として実質ひと続きの現象であったとしても, 四分分割表には多数回の異常として算入され, 以下に示すように成績評価に偏りを生じ得る。例えば極端なケースを考えると, 1週間連続して閾値を超えたデータを1時間ごとに異常判定してアラームをだせば168回のアラームがだせることになる。アラーム期間が異常判定の間隔よりずっと長ければ, この168回のアラームはほとんどがオーバーラップしたものなのに, アラームの回数を任意に水増すことができ, 野球にたとえると, 1打数1 (あるいは0) 安打とみるべきものが, 168打数168 (あるいは0) 安打とみなされて, 高い有意性 (あるいはその逆) があると評価されてしまうのである。異常をどの程度こまぎれに数えるのが妥当かという問いに客観性をもって答えるのは難しい。そこで, 異常の回数を数えるという操作を一切行わずに, 予測の成績を評価する方法を採用することにした。アラームON-OFF型の予測のアウトプットは, 必ずその手法で対象とする時空間の全体をアラームONとOFFの領域に塗り分けた予測マップとして表現できる。実際におこった地震がアラームONとされた時空間を選好する傾向 (Zechar and Jordan, 2008) がどの程度あったか, その選好の程度や, それがランダムに (あるいは比較基準とする手法によって) ONとOFFに塗り分けた場合に比べて有意に高いのか, は地震カタログと予測マップから必ず一意に計算で

きる。この評価法は、気象予測等の評価でよく用いられている。次年度からは具体的なコーディングとケーススタディを行う。また、今年度は、予測期間の中途における予測マップの更新を評価においてどう扱うかについての理論的考察も行った。

以上の評価方法に関する議論では、予測マップがどのような手法で作られたかは問題にできなかった。本当に事前に出された予測を評価するのであればそれを問題にする必要はなく、まぐれでは取れないほどの好成績を収めた手法は本物といってよい。しかし、実際に評価例を増やし有望な手法を見つけるためには、過去のデータに基づいて予測マップを作り、それを過去の地震と比べて評価する必要がある。この場合、予測者は実際にいつどこで地震がおこったかを知っているわけだから、好成績がとれるように予測手法を調整できる。予測手法の改善とは調整を行うことともいえるから、調整を一概に咎めるべきではないが、データから予測マップを作成する手順が恣意的に見えるものであれば、過去を振り返って行われた予測に関しては、仮に好成績を上げて、それがほんものかどうかには大きな疑問符がつく。手順がフェアなものであるかについては当面主観的に判断するしかないだろうが、ひとつのアプローチは(成績は悪くてもよいから)なるべく単純な手順によって予測マップを作るということである。普通、地震予知を研究するものは「なるべくよくあたるノウハウを見つけることが使命である」と考えるから、心理的障壁の高い作業であるがあえてやってみた。日高地方の地震に先行して発生する傾向が主張されているVHF帯電波伝播異常現象 (Moriya et al., 2010) について、2012年1月1日から2013年12月31日までの二年間における、えりも観測点での見通し外放送局からの受信電波強度の時系列から、単純な閾値による異常判定を行い、それから一定期間内に地震がおこったかどうか調べたところ、対象をM4.5以上の地震に絞れば、ランダムなリファレンスに比べて約2.5倍地震が発生しやすいという結果がえられた(図4)。また、対象時空間をON-OFFにぬりわけた予測マップを作成しておらず、異常の回数カウントに基づくものなので、有意性の評価はしていない(東海大学[課題番号:2501])。

先行現象(候補)を広い範囲にわたって系統的に收拾することは、普通、観測点の設置・維持を伴うから拡充は困難であり、またデータの蓄積を待たねばならない。しかし、大気中ラドン濃度については、もともと放射線管理施設で義務づけられた排気モニタリングデータを使うことができ、かなりの期間にわたって過去のデータも保存されている。そこで、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(東北大学[課題番号:1207])。本年度は、新たに5機関がネットワークに加わった。各機関での測定法は必ずしも同じではないが、順次慎重な較正作業を行っており、信頼性の高い計測であることが確認されている。データ解析においては、日変動・年変動を気象要因等に基づく補正でとりのぞいて、その残差を地殻変動と比較すべきものとしてとりだす手法が軌道にのりはじめた(東北大学[課題番号:1207], Hayashi et al., 2015)。残差の変動は電子基準点の水平移動から求めた地域の地殻ひずみ速度のトレンド変化に呼応して起っているようにみえる(図5)が、その対応をきちんと評価するにはいたっていない。一方電磁気異常に関しては、高知県南西部にULF帯地磁気およびVHF帯電波伝播異常の観測点を設置し、同地域にさらにもう一点を設置作業中である(東海大学[課題番号:2501])。また、中断していたVLF帯パルス電磁波観測再開の準備を始め、Asada et al. (2001)の特性を再現する装置(図6)を試作した(東海大学[課題番号:2501])。

三陸地方では、1933の大地震時に数月ほど先行していくつかの井戸で水位低下と混濁がみとめられている(吉村, 2004)。五葉温泉では3.11地震の3.5年前からの源泉モニターデータがあり、そこで地震の3ヶ月前に水位と水温が大きく低下し地震発生までその状態が継続していたことがわかった(東京学芸大学[課題番号:2930], Orihara et al., 2014)。このような大きな変動は、データのある3.5年間にこの一度だけであった。また、1933年の地震に先行する変動があった正源寺では1ヶ月前から水位低下したこともわかった。仙台市の井戸でもやはり1ヶ月前から水位低下が記録されていたものがあった(東京

学芸大学 [課題番号：2930]。東北太平洋沖地震に関する先行現象についてまとめたものを論文化した（東海大学 [課題番号：2501]，Nagao et al.，2014）。

南海地震では過去数回において地震直前（一週間単位）の井戸の水位低下が伝承され、とくに最近回のものについては非常に具体的な証言が多数あり（中村，2009），数mの水位低下が推定されている。これに関しては海岸部の10cm程度の隆起（Linde and Sacks，2002）で説明できるとする説（梅田・板場，2013）も出されているが、同じ地震で多数目撃された直前（半日程度）の数mまでの海水面低下については、その空間・時間分布が複雑でまだ解釈が提出されていなかった。今年度、目撃証言の補強と仔細な検討によって、振動性の変動があったと考えるべきと結論され、小さな津波が地震に先行して起っていたという解釈が提案された（産総研 [課題番号：5007]，梅田・板場，2014）。

本震破壊直前（時間オーダー）に極微小な前震が多数、破壊開始点に集中しておこる現象が最近になって存在が明らかになりはじめた（Bouchon et al.，2011，Doi and Kawakata，2012）。普通の地震カタログでの捕捉率が低いためまだ報告例が少ないが、直前の物理的先行現象として大きな可能性を秘めている。波形相関法による検索でみつかることが多いが非常に時間のかかる処理であるため、周波数領域での相関が利用できないか検討を始めた（立命館大学 [課題番号：2402]）。また、岩石破壊実験において主破壊に先行しておこるAE活動から、波形の類似したイベントのクラスタが検出され、このような現象の物理的意味のヒントとなることが期待される（立命館大学 [課題番号：2402]，Yoshimitsu et al.，2014）。一方で、従来型の前震活動の原因であると解釈されることもある、空間的に拡大する準静的プレスリップが観察できるような大きな滑り面を用いた室内実験において、前震が活発におこる場合とほとんどおこらない場合が载荷装置の剛性でコントロールされているらしき結果が得られた（図7）。今後の研究によって従来型の前震の物理的理解が進むかもしれない（立命館大学 [課題番号：2402]，Kawakata et al.，2014，Doi et al.，2014）。また、駿河湾内での微小地震検知能力を向上させるためにOBS観測を実施し、この地域の検知率が大幅に向上した。（東海大学 [課題番号：2501]，馬場ほか，2014）。

先行現象である可能性のある地震活動変化としては、本震破壊の近傍時空間に集中する前震以外にも、もっと広域・中期的な静穏化/活発化が従来より検討されている。eMAP法といわれる定量的解析手法を、国内のM7クラス以上の地震を対象に適用してみると、静穏化域の位置、大きさ、先行時間に地震規模との相関がみられた（気象庁 [課題番号：7006]，吉川，2015）。また、新たに2015年スマトラ地震（M9.1）の13年前からの静穏化（図8）が見いだされた（東北大学 [課題番号：1206]，Katsumata，2015）。このとき静穏化した領域は、本震震源域の深部延長が先行的に長期的スロースリップを起こしていたとすると、応力的な説明がつく。また、3.11地震による2008年岩手・宮城内陸地震の余震の静穏化については、メカニズム解の考察からクーロン応力によると解釈できることが示された（東北大学 [課題番号：1206]，鈴木ほか，2015）。一方で、広域・中期的な活動の特徴が、地殻の臨界状態における多体系のふるまいとして捉えられるのではという観点からナチュラルタイム解析というものがあるが提案され、日本全域をまとめてみた地震活動の変化が日本でのいくつかの大地震の前に特徴的な様相を示していたことが指摘されていた（Salris et al.，2013）。今年度は、その特徴的な様相をもたらした地震変化が、そのあとおこった大地震の震源域周辺であったことをデータ解析から示した（東京大学地震研究所 [課題番号：2931]，Salris et al.，2015）。

これまでの課題と今後の展望

今年度は計画の初年度であったが、多くの研究課題はそれぞれの機関で従前から積み上げてきた研究であり、多くの具体的成果があった。地震発生の予測可能性という問題に正面から取り組んだ成果が多く、計画の意図に非常によく沿った方向での研究がなされている。また、それぞれの専門分野のデータ

だけでなく、全国で行われたさまざまな他研究の成果やデータとあわせて冷静な検討が行われている課題が多く、全国的な共同研究の中に、地震発生の予測を特に意識した課題を位置付けたことの効果が見受けられる。今後とも、科学的に冷静な視野をもって行なわれる限りにおいては、幅広い可能性を排除せず、また、積極的に他分野の進歩をとりいれて研究を加速することが重要である。

成果リスト

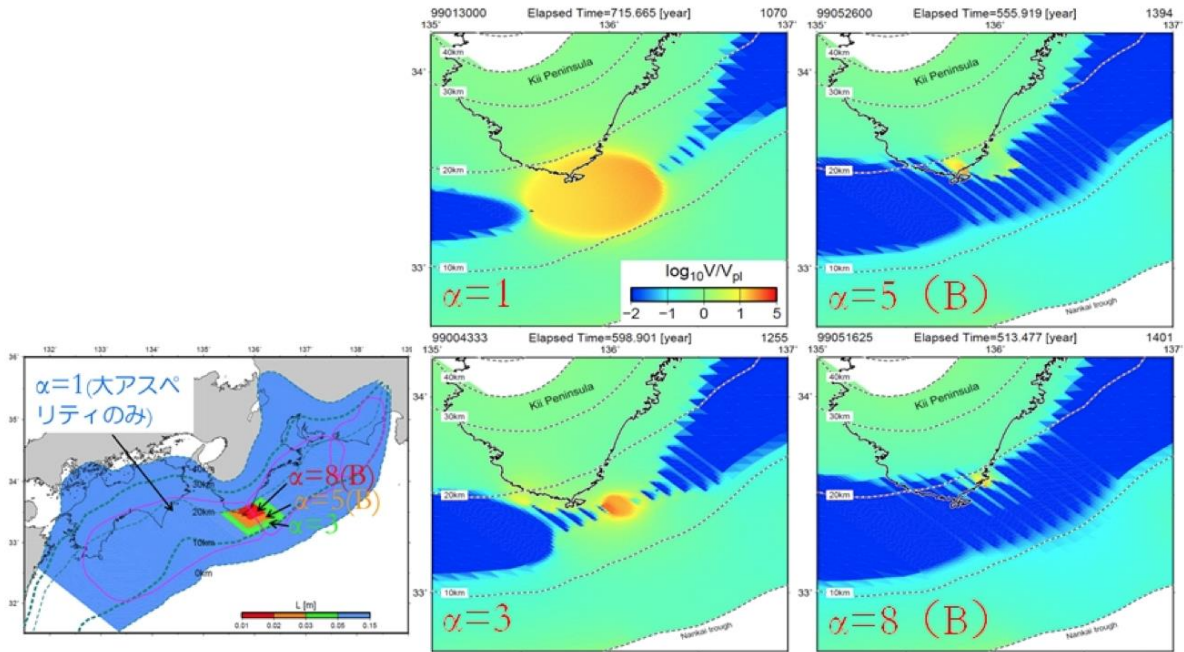
- 馬場久紀, 平田賢治, 山崎明, 対馬弘晃, 勝間田明男, 前田憲二, 上野寛, 青木重樹, 小林昭夫, 中田健嗣, 木村一洋, 弘瀬冬樹, 藤田健一, 長尾年恭, 自己浮上式海底地震計 (OBS) を用いた駿河湾石花海周辺海域における連続地震観測, 東海大学海洋研究所研究報告, 36, 2015 (in press)
- Cattania, C., S. Hainzl, L. Wang, F. Roth and B. Enescu, 2014, Propagation of Coulomb stress uncertainties in physics-based aftershock models, *J. Geophys. Res.*, 119, 7846-7864, doi:10.1002/2014JB011183.
- Fukuyama, E., F. Yamashita, S. Xu, H. Kawakata, K. Mizoguchi, 2014, Foreshocks and Premonitory Slip during Large Scale Friction Experiments, AGU 2014 Fall Meeting, T11D-4600, San Francisco.
- 後藤美加子, 安岡由美, 長濱裕幸, 武藤 潤, 井原勇人, 向 高弘 (2014) 和歌山における大気中ラドン濃度変動. 第 51 回 アイソトープ・放射線研究発表会 (東京) 2014年7月7日.
- Han, P., K. Hattori, M. Hirokawa, J. Zhuang, C.-H. Chen, F. Febriani, H. Yamaguchi, C. Yoshino, J.-Y. Liu and S. Yoshida, 2014, Statistical analysis of ULF seismomagnetic phenomena at Kakioka, Japan, during 2001-2010, *J. Geophys. Res.*, 119, 4998-5011. doi:10.1002/2014JA019789.
- Hayashi, K., Kobayashi, Y., Yasuoka, Y., Nagahama, H., Muto, J., Omori, Y., Suzuki, T., Homma, Y. (2014) Anomalous change in the atmospheric radon concentration, Proceedings of the 15th Workshop on Environmental Radioactivity prior to the 2011 Tohoku-Oki Earthquake in Japan, p. 23-28, Kotaro Bessho, Keiko Tagami, Koichi Takamiya and Taichi Miura (eds.), held at KEK, Tsukuba, Japan March 6-8, 2014, High Energy Accelerator Research Organization, November 2014, Tsukuba, 391p.
- 林 孝積, 小林由布香, 安岡由美, 長濱裕幸, 武藤 潤, 大森康孝, 鈴木俊幸, 本間好, 山本文彦, 高橋 克彦, 向高弘 (2014) 東北地方太平洋沖地震に先行する大気中ラドン濃度異常変動 第 15 回「環境放射能」研究会, 2014年3月7日.
- Hayashi, K., Yasuoka, Y., Nagahama, H., Muto, J., Ishikawa, T., Omori, Y., Suzuki, T., Homma, Y., Mukai, T. (2015) Normal seasonal variations for atmospheric radon concentration: A sinusoidal model. *Journal of Environmental Radioactivity (J. Environ. Radioact.)*, 139, 149-153.
- 姫野優, 山口哲生, 澤江義則, 2014, スティックスリップ摩擦における表面突起の相互作用, トライボロジー会議, 2014年秋, 盛岡
- 弘瀬冬樹・前田憲二・藤田健一, 2015, 南海トラフ沿い巨大地震とスロースリップ, 地震予知連絡会会報, 93, 429-431.
- Ide, S., and H. Aochi, Modeling earthquakes using fractal circular patch models with lessons from the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Journal of Disaster Research*, 9 (3), 264-271, 2014.
- Ishibe, T., H. Tsuruoka, K. Satake and M. Nakatani, 2014, A Focal Mechanism Solution Catalog of Earthquakes in and around the Japanese Islands for 1985-1998, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 104,

- 1031-1036, doi: 10.1785/0120130278.
- 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.*, doi: 10.1093/gji/ggv001.
- Iwata, T., 2014, Decomposition of seasonality and long-term trend in seismological data: a Bayesian modelling of earthquake detection capability, *Australian & New Zealand Journal of Statistics*, 56, 201-215.
- Kato, A., 2014, Slow Slip Transients Before the 2011 Tohoku-Oki Earthquake, *Journal of Disaster Research*, 9, 311-316.
- Kato, A. and K. Obara, 2014, Step-like migration of early aftershocks following the 2007 Mw 6.7 Noto-Hanto earthquake, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 41, doi:10.1002/2014GL060427.
- Kato, A. and S. Nakagawa, 2014, Multiple slow-slip events during a foreshock sequence of the 2014 Iquique, Chile Mw 8.1 earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 41, doi:10.1002/2014GL061138.
- Kato, A. T. Igarashi and K. Obara, 2014, Detection of a hidden Boso slow slip event immediately after the 2011 Mw9.0 Tohoku-Oki earthquake, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 41, doi:10.1002/2014GL061053.
- Katsumata, K., 2015, A Long - Term Seismic Quiescence before the 2004 Sumatra (Mw 9.1) Earthquake, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 105:167-176; doi:10.1785/0120140116.
- Kawakata, H., N. Yoshimitsu, E. Fukuyama, F. Yamashita, K. Mizoguchi, T. Togo, I. Doi, 2014, Foreshock Activity during Laboratory Friction Tests using Meter-scale Rock Specimens Inferred from two Apparatuses with Different Stiffness, AGU 2014 Fall Meeting, S21D-02 (Invited) , San Francisco.
- 木村一洋・露木貴裕・菅沼一成・長谷川浩・見須裕美・藤田健一, 2014, タンクモデルによる体積ひずみ計データの降水補正について, *験震時報*, 78, 93-158.
- 気象研究所, 2014, 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*, 92, 30-35.
- 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*, 93, 25-29.
- 気象研究所, 2014, 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*, 92, 290-293.
- 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*, 93, 292-295.
- Kobayashi, A., 2014, A long-term slow slip event from 1996 to 1997 in the Kii Channel, Japan, *Earth, Planets and Space*, 66:9, doi:10.1186/1880-5981-66-9.
- 小林由布香, 安岡由美, 長濱裕幸, 鈴木俊幸, 本間 好, 向 高弘 (2014) 日本の大気中ラドン濃度変動について: 都道府県別の解析. 日本薬学会第134年会2014年3月29日.
- 國友孝洋・山岡耕春・渡辺俊樹・吉田康宏・勝間田明男・生田領野・加藤愛太郎・飯高 隆・津村紀子・大久保慎人, 2014, 弾性波アクロスによる東海地域地殻の P 波および S 波速度構造の推定, *地震* 2, 67, 1-24.
- 森田笙, 茂木透, 日高地方における VHF 帯の電波伝播異常と地震活動との関係性についての統計的考察, *地球惑星科学連合大会*, 2014年5月.
- Morita, S. and T. Mogi, A Statistical Study for Relationship Between Anomalous Transmission of VHF Band Radio Waves and Impending Earthquakes at Hidaka Area, Hokkaido, Japan, 2014 AOGS conference, July, 2014
- 村上香瑛, 大森康孝, 小林由布香, 安岡由美, 森 康則, 福堀順敏, 若林亜希子, 向高弘. (2014) 簡易型液

- 体シンチレーションカウンタを用いた PICO-RAD 測定器のラドン濃度測定 第 15 回「環境放射能」研究会 2014年3月6日.
- 村上香瑛, 大森康孝, 小林由布香, 安岡由美, 森 康則, 福堀順敏, 若林亜希子, 向 高弘 (2014) 簡易型液体 シンチレーションカウンタを用いた PICO-RAD 測定器のラドン濃度測定 第 15 回「環境放射能」研究会プロシーディング, p.29-37, 別所, 田上, 高宮, 三浦 (編集), 高エネルギー研究所, 2014年11月, 筑波, 391p.
- Murru, M., J. Zhuang, R. Console and G. Falcone, 2015, Short-term earthquake forecasting experiment before and during the L' Aquila (central Italy) seismic sequence of April 2009. *Annals of Geophys.*, 57 (6) , S0649. doi: 10.4401/ag-6583.
- Nagao, T., Y. Orihara, and M. Kamogawa, Precursory Phenomena Possibly Related to the 2011M9.0 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, *Journal of Disaster Research*, vol. 9, No. 3, 303-310, 2014.
- Nagao, T. and M. Kamogawa, The current status of the Japanese national EQ prediction research project and a proposal for EM pulse observation in VLF band, IUGG Inter-Association Working Group EMSEV bi-annual general assembly, Konstancin Jeziorna, Poland, September, 2014.
- Nagao, T. and N. Furuse, Seismicity changes before the 2011 M9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earth-quake (EQ) and other damaged EQs by using the RTM algorithm, Asian Seismological Commission (ASC) , Manila, November, 2014.
- Nagao, T., Seismic quiescence and activation before the 2011 M9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earth-quake by using the RTM algorithm, 6th International Symposium on Problems of Geodynamics and Geoecology of Intracontinental Orogens, Bishkek, Kyrgyzstan, June, 2014.
- Naoi, M., M. Nakatani, T. Kgarume, S. Khambule, T. Masakale, L. Ribeiro, J. Philipp, S. Horiuchi, K. Otsuki, K. Miyakawa, A. Watanabe, H. Moriya, O. Murakami, Y. Yabe, H. Kawakata, N. Yoshimitsu, A. Ward, R. Durrheim, H. Ogasawara (2015) Quasi-static slip patch growth to 20 m on a geological fault inferred from acoustic emissions in a South African gold mine, *J. Geophys. Res.*, 120, 1692-1707, doi: 10.1002/2014JB011165.
- Naoi, M., M. Nakatani, K. Otsuki, Y. Yabe, T. Kgarume, O. Murakami, T. Masakale, L. Ribeiro, A.K. Ward, H. Moriya, H. Kawakata, R.J. Durrheim, H. Ogasawara (2015) Steady activity of microfractures on geological faults loaded by mining stress, *Tectonophysics*, 649, 100-114, doi: 10.1016/j.tecto.2015.02.025.
- Nishikawa, T. and S. Ide, Earthquake size distribution in subduction zones linked to slab buoyancy, *Nature Geoscience*, doi:10.1038/ngeo2279, 2014.
- Ogasawara, H., T. Katsura, G. Hofmann, Y. Yabe, M. Nakatani, M. Naoi, H. Ishii, D. Roberts, S. Nakao, M. Okubo, J. Wienand, P. Lenegan, and A.K. Ward, 2014, In-situ monitoring of rock mass response to mining in South African gold mines using the Ishii strainmeters, Proc. 6th South African Rock Engineering Symposium 2014, Southern African Inst. Mining Metallurgy, Johannesburg, 21-34.
- Ogasawara, H., H. Kato, G. Hofmann, D. Roberts, P. Piper, T. Clements, A.K. Ward, Y. Yabe, H. Yilmaz, and R. J. Durrheim, 2014, BX CCBO in-situ stress measurements at earthquake prone areas in South African gold mines - a summary of mini-workshop on 13 Feb 2014, Proc. ARMA2014, Minneapolis, on CD-ROM, paper no. 14-7438.

- Ogasawara, H., M. Nakatani, R. J. Durrheim, M. Naoi, Y. Yabe, H. Moriya, G.F. Hofmann, C. Stander, D.P. Roberts, P. de Bruin, J. Oelofse, H. Kato, A. Cichowicz, D. Birch, D. Ngoben, A. Milev, T. Kgarume, T. Satoh, S. Horiuchi, H. Kawakata, O. Murakami, N. Yoshimitsu, A.K. Ward, J. Wienand, P. Lenegan, H. Yilmaz, S. Mngadi, P.S. Piper, T.N. Clements, S. Nakao, M. Okubo, H. Ishii, and A.V. Visser, 2014, Observational studies of the rock mass response to mining in highly stressed gold mines in South Africa, Proc. 7th Int. Congr. Deep and High Stress Mining, Australian Centre for Geomechanics, 123-137.
- Ogasawara, H., G. Hofmann, H. Kato, C. Stander, T. Clements, P. Piper, D. Roberts, Y. Yabe, M. Naoi, and M. Nakatani, 2014, The stress and strength at hypocenters at Tau Tona and Mponeng gold mines, Abstract AGU 2014 Fall Meeting, T33A-4643.
- Ogasawara, H., G. Hofmann, L. Scheepers, H. Kato, Y. Yabe, M. Nakatani, M. Naoi, A. Cichowicz, R. Durrheim, H. Moriya, and SATREPS research group, 2015, Stress and strength at seismic event hypocenters in deep South African gold mines and the M5.5 Orkney Earthquake, SED-AGIS Workshop on Induced Seismicity, Davos, 2015.
- 岡田正実, 2015, 繰り返し小地震に対する予測能力評価, 地震予知連絡会会報, 93, 405-409.
- Okubo, M., H. Ogasawara, S. Nakao, O. Murakami, and H. Ishii, 2014, Dynamic strain in a South African gold mine by the 2011 Tohoku earthquake's surface waves, Int. Symposium Geodesy for Earthquake and Natural Hazards, Matsushima, 22-26 July 2014.
- Orihara, Y., M. Kamogawa, and T. Nagao, 2014, Preseismic Changes of the Level and Temperature of Confined Groundwater related to the 2011 Tohoku Earthquake, Scientific Reports, doi:10.1038/srep06907.
- 織原義明, 野田洋一, 鴨川 仁, 長尾年恭, 日本周辺における海洋性哺乳類の漂着および深海魚の捕獲と地震との関係, 日本地震学会秋季大会, C22-12, 2014年11月.
- Sarlis, N. V., E. S. Skordas, P. A. Varotsos, T. Nagao, M. Kamogawa, and S. Uyeda, 2015, Spatiotemporal variation of seismicity before major earthquakes in the Japanese area and their relation with the epicentral locations, Proc. Nat. Acad. Sci., 112, 4, 986-989.
- Sawazaki, K. and B. Enescu, 2014, Imaging the high-frequency energy radiation process of a main shock and its early aftershock sequence: The case of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, Japan, J. Geophys. Res., 119, 4729-4746, doi:10.1002/2013JB010539.
- Shimojo, K., B. Enescu, Y. Yagi, and T. Takeda, 2014, Fluid-driven seismicity activation in northern Nagano region after the 2011 M9.0 Tohoku-oki earthquake, Geophys. Res. Lett., 41, doi:10.1002/2014GL061763.
- Sugan, M., A. Kato, H. Miyake, S. Nakagawa and A. Vuan, 2014, The preparatory phase of the 2009 Mw 6.3 L' Aquila earthquake by improving the detection capability of low-magnitude foreshocks, Geophys. Res. Lett., 41, doi:10.1002/2014GL061199.
- Suyehiro, K., S. Sacks, T. Takanami, D. Smith, P. Rydelek, Magnitude Dependent Seismic Quiescence of 2008 Wenchuan Earthquake, AGU fall meeting, S53D-4555, December, 2014.
- 高波鐵夫, D. E Smith, S. I. Sacks, 末広潔, (2014) 東海地方に於ける地震活動静穏化の地震規模依存性, 日本地震学会秋季大会, D21-04, 2014年11月.
- Tajika, Y., Yasuoka, Y., Omori, Y., Sorimachi, A., Ishikawa, T., Mori, Y., Mukai, T. (2014) Effect of a desiccant on the measurement of radon concentration in air. Japanese Journal of

- Health Physics (Jpn. J. Health Phys.), 49 (4), 190-193.
- 田中 綾, 安岡由美, 飯本武志, 大森康孝, 向 高弘 (2014) 排気モニタを用いた低レベルラドン測定 の検討. 第 64 回日本薬学会近畿支部大会, 京都, 2014年10月11日.
- Tanaka, A. Yasuoka, Y., Iimoto, T., Omori, Y., Mukai, T. (2014) Determination of radon conversion factor for exhaust monitor at radioisotope institute. The 9th International Symposium on the Natural Radiation Environment (NRE-IX), 弘前, 2014年9月25日.
- Tormann, T., B. Enescu, J. Woessner and S. Wiemer, 2015, Randomness of megathrust earthquakes implied by rapid stress recovery after the Japan earthquake, Nature Geoscience, 8, doi:10.1038/ngeo2343.
- 筒井稔, 地震により励起された電磁波パルスの地上への放射, 日本地震学会秋季大会, D22-08, 2014年11月.
- Ueda, Y., S. Morimoto, S. Kakui, T. Yamamoto and H. Kawamura, Europhys. Lett. 106, 69001 (2014) .
- 若林亜希子, 安岡由美, 森 康則, 村上空瑛, 大森康孝, 向 高弘 (2014) PICO-RAD 測定器を用いた 空気中ラドン濃度測定 の改善. 第 51 回 アイソトープ・放射線研究発表会 (東京) 2014 年 7 月 7 日 .
- 山口哲生, ゲルのすべり摩擦における巨大すべりの前駆過程, 2014, トライボロジー会議, 2014年秋, 盛岡
- Yasuoka, Y., Mori, Y., Murakami, K., Kobayashi, Y., Ohnuma, S., Takizawa, H., Ishikawa, T., Mukai, T. (2014) Experimental demonstration for measurement of radon in water by a liquid scintillation counter using larger samples. Radiation Emergency Medicine (Radiat. Emerg. Med.), 3 (2), 39-42.
- 吉川澄夫, 2015, 地震活動静穏化に基づく予測能力評価, 地震予知連絡会会報, 93410-414.
- Yoshimitsu, N., H. Kawakata, N. Takahashi, 2014, Magnitude -7 level earthquakes: A new lower limit of self-similarity in seismic scaling relationships, Geophys. Res. Lett., 41, 10.1002/2014GL060306.
- Zhuang J., Y. Ogata Y., D. Vere-Jones, L. Ma and H. Guan, 2014, Statistical modeling of earthquake occurrences based on external geophysical observations: with an illustrative application to the ultra-low frequency ground electric signals observed in the Beijing region. In Seismic Imaging, Fault Rock Damage and Healing, edited by Li Y., Germany: De Gruyter together with China: Higher Education Press. 351-376.



各モデルにおける7回目の地震直前の速度分布

図1. 紀伊半島沖に小アスペリティを置いた場合のシミュレーション結果（気象庁 [課題番号：7006]）。前兆滑り（暖色部分）は α （大小アスペリティの大きさの比）に反比例して小さくなる。

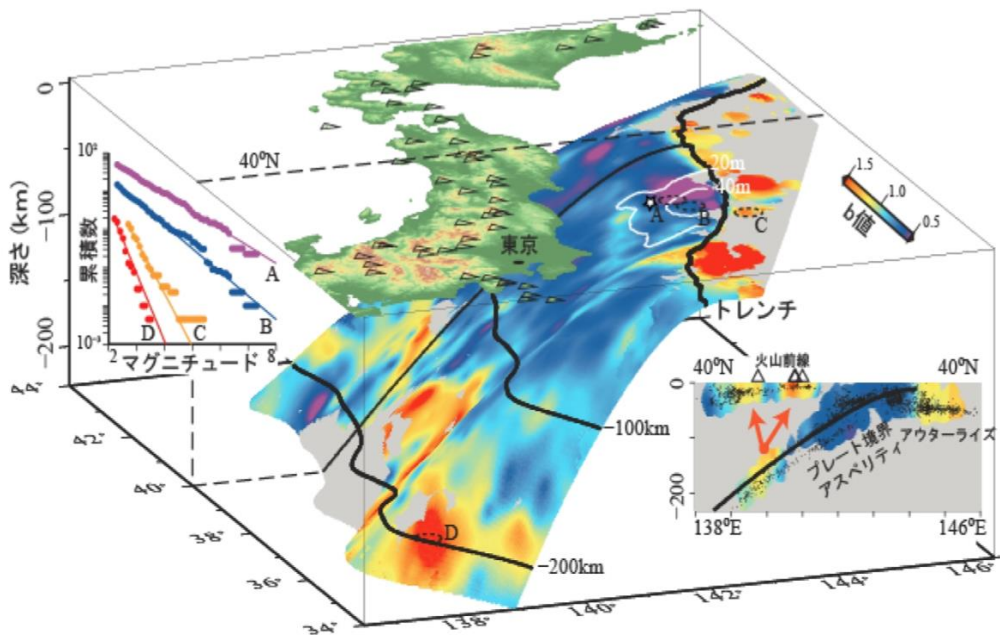


図2. 東北地方の大太平洋プレート沿いの地震活動のb値分布（東北大学 [課題番号：1206]，Tormann et al., 2015）。b値の計算には2003年12月から2011年東北地方太平洋沖地震発生時までのデータを用いた。星印は2011年東北地方太平洋沖地震の震源，白い等高線は地震時のずれの分布 (Yagi&Fukahata, 2011) を示す。左上の挿入図は，地図上のエリアA, B, C, Dにおける地震のマグニチュード・頻度の分布を示している。回歸直線の傾きはb値を示す。右下の挿入図は北緯40度における断面図を示す。

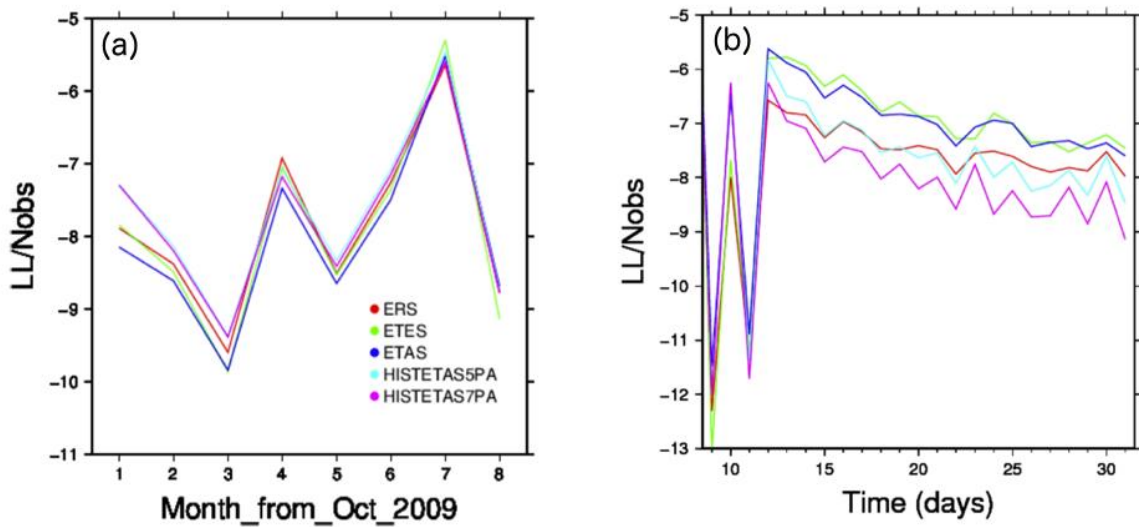


図3. CSEP Japanの一日予測期間の部に提出された5つの予測手法の成績（東京大学地震研究所〔課題番号：1511〕）。L-Testの対数尤度値の総和を地震数で割った値を示している。（a）2009/11/01-1010/07/01の期間においてはHISTETAS5PAが一番成績がよかった。（b）2011/03/01-2011/03/31の期間においてはETASが一番成績がよかった。

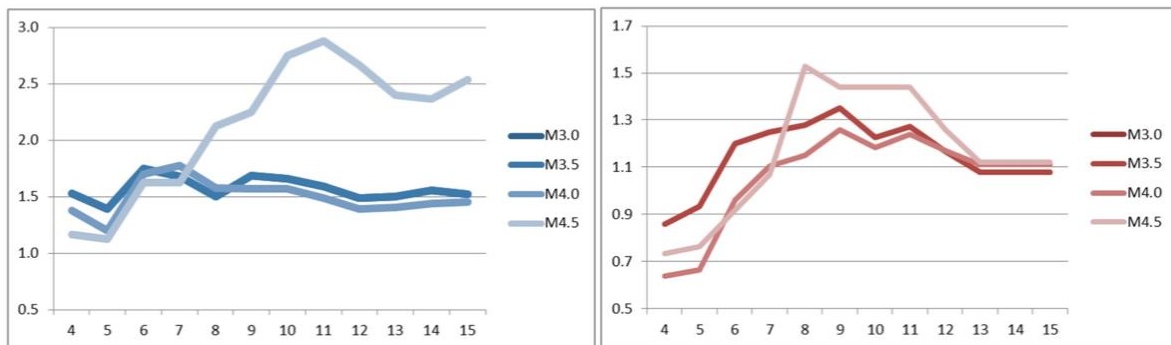


図4. 単純な閾値判定に基づくVHF帯電波伝播異常現象と地震発生の関係（東海大学〔課題番号：2501〕，森田・茂木, 2014, Morita&Mogi, 2014）。横軸は予測期間（日）。左図は的中率（異常のうち、その後に地震がおこったものの割合）をランダムなリファレンスケースのそれとの比で示したもの。右図は予知率（地震のうち、異常が先行していったものの割合）に関して同じことをしたもの。

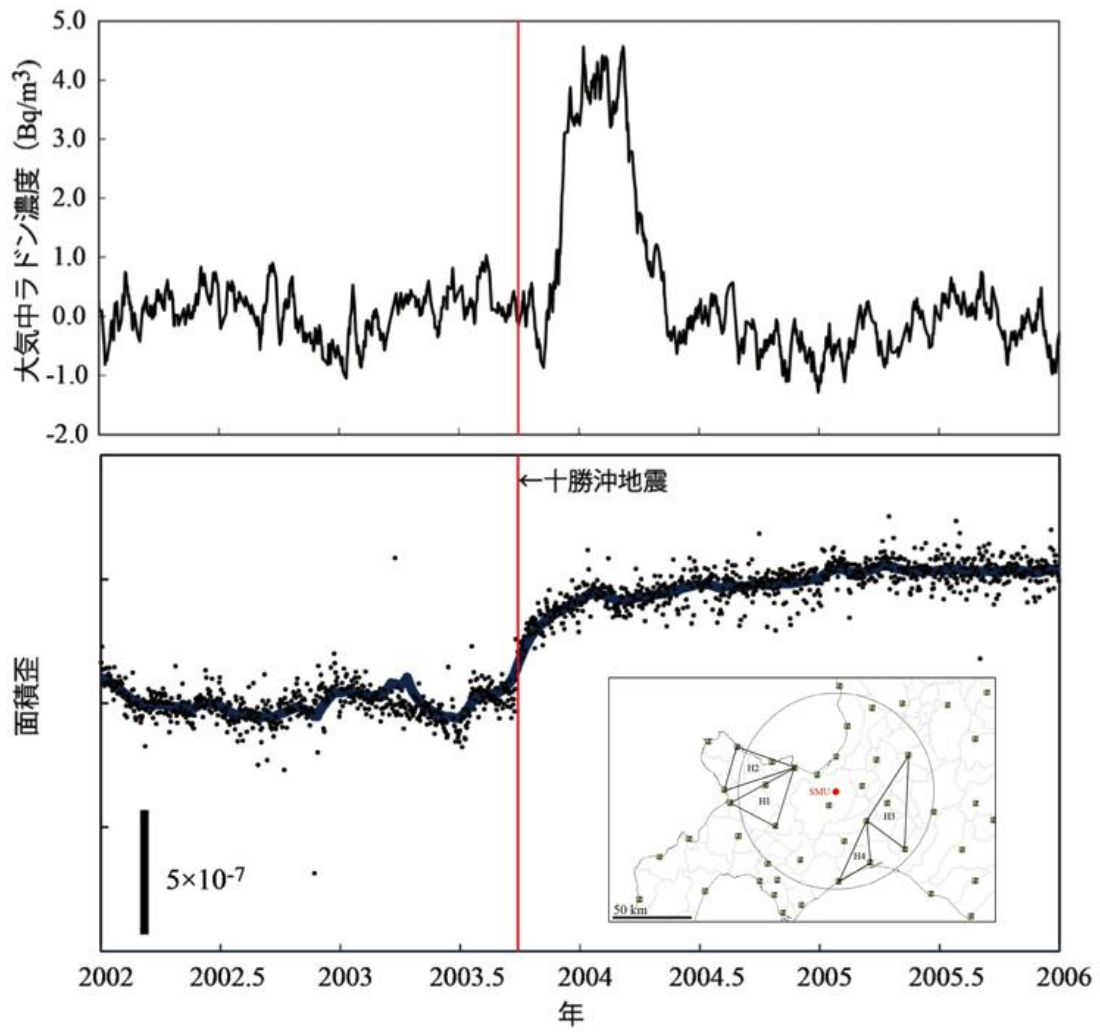


図5. 札幌医科大（インセット地図SMU）での大気中Radon濃度変動（年変動からの偏差）と近隣の地殻ひずみの比較（東北大学 [課題番号：1207]）。図に示したのはインセット地図H3の面積ひずみ。

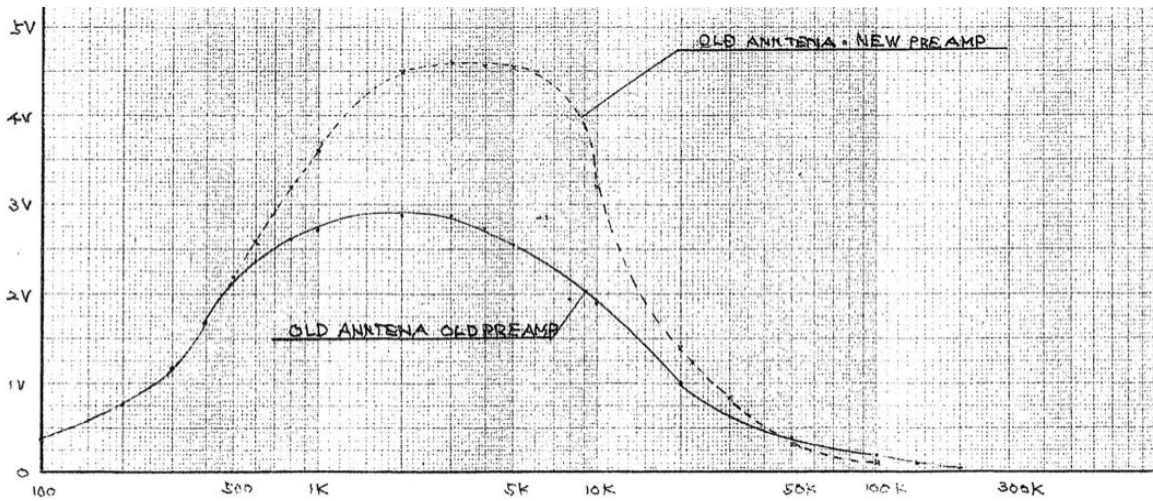


図6. 試作したアンテナプリアンプと, Asada et al. (2001) で使用されていたものの周波数特性の比較 (東海大学 [課題番号: 2501]). 横軸の単位はHz.

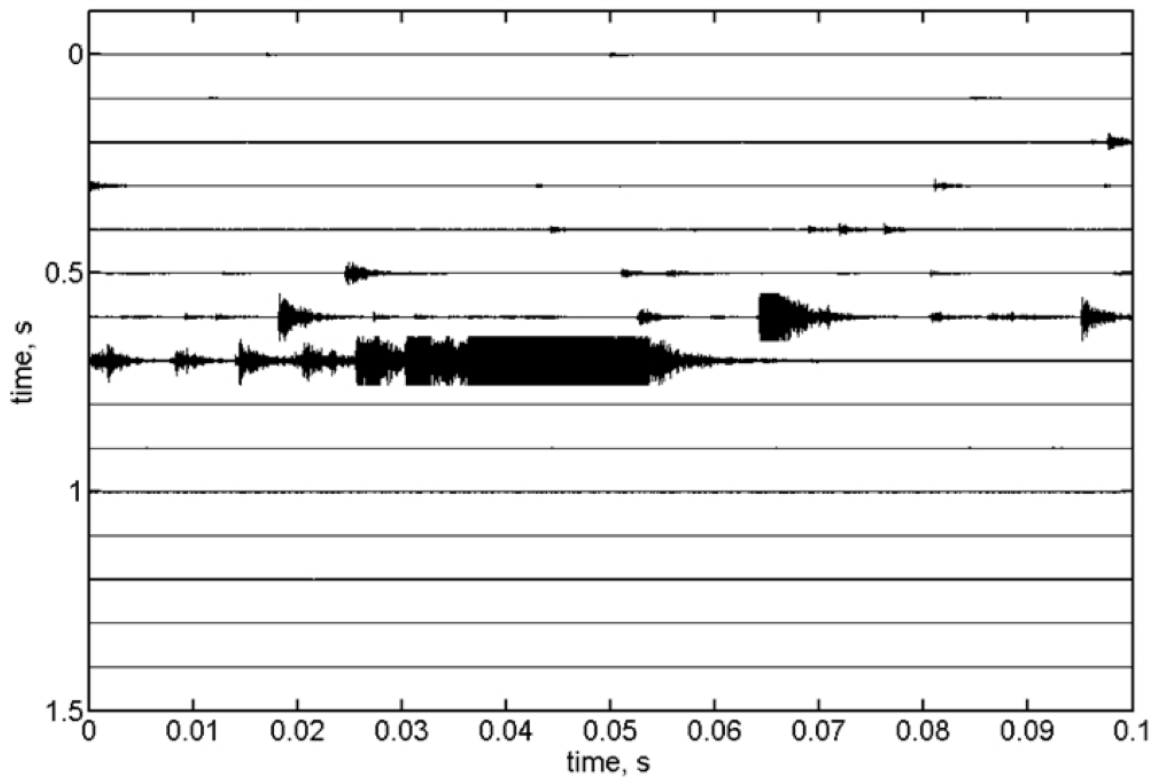


図7. 载荷系の剛性を低くしておこなった大型模擬断層のスティックスリップ試験における本震 (時刻 $t=0.736$ s) と, それに先立つ前震活動の加速。(東北大学 [課題番号: 1207], Kawakata et al., 2014) 剛性の高い系で同じ実験をした場合には前震がほとんどなかった。

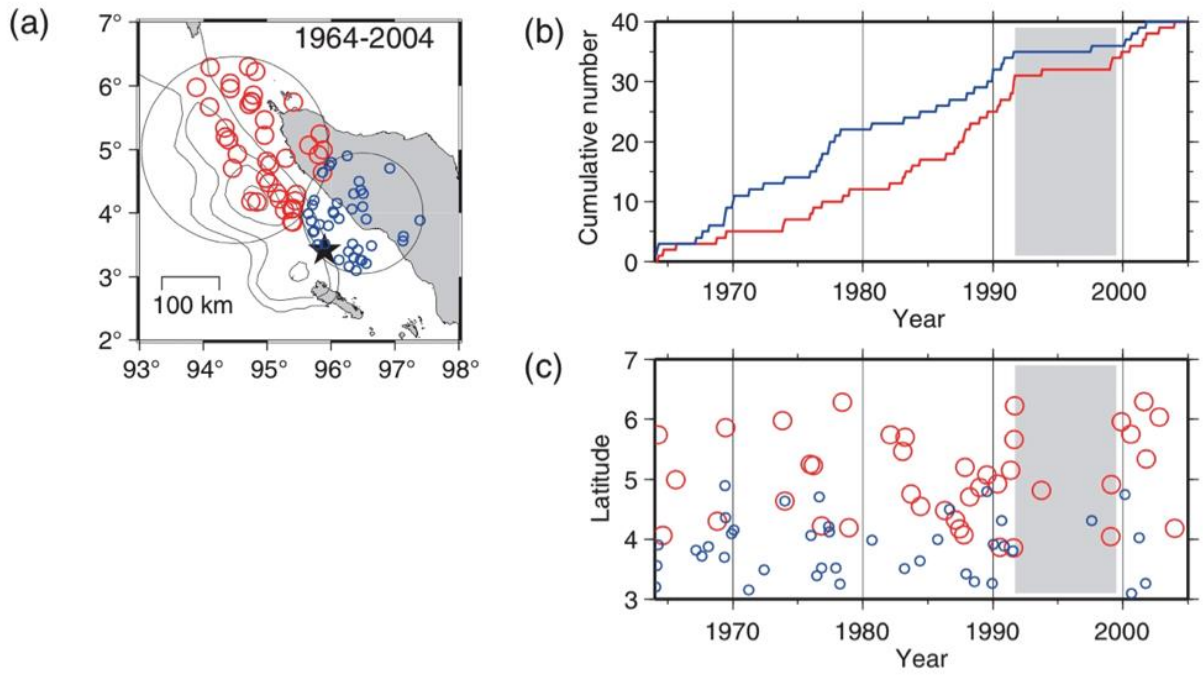


図8. 2004年スマトラ地震に先行した地震活動の静穏化(東北大学[課題番号:1206], Katsumata, 2015).

(a) 黒丸は地震活動の低下領域を示し, 赤丸と青丸はその領域に含まれる震央を示す. 星印は本震の破壊開始点, コンターは本震時の滑り量で 5, 10, 15, 20mである. (b) (a) 内の赤丸と青丸の積算度数. 陰影部が静穏化期間を示す. (c) (a) で示した地震の時空間分布. 陰影部は静穏化期間を示す.

1 (5) 地震動・津波等の事前予測・即時予測

「地震動・津波等の事前予測・即時予測」計画推進部会長 香川敬生

(鳥取大学大学院工学研究科)

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

2. 平成 26 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

2011年東北地方太平洋沖地震では、海溝側の浅い領域では大すべりが起きたものの、地震被害に直結する周期帯域(周期10秒から0.1秒程度)の地震動は震源域の深い側から生成されていたことが指摘されている。この地震波放射特性の空間的な「棲み分け」が明らかであるのかどうかについて、強震観測記録を周期帯別に同様の方法で解析し、それぞれの周期別の震源モデルを比較検討した。30mを超える大きなすべりを持つ宮城県沖浅部では長周期(50~100秒)の地震波を強く励起したが、短周期(5~10秒)の地震波の励起は弱かったこと、宮城県沖深部ではほぼ同じ場所で40秒の時間間隔において2度の破壊が生じていたことが分かった。宮城県沖深部での2度の破壊の特徴は全ての解析周期帯域で見られ、宮城県沖深部では短周期(5~25s)地震波のみならず、それより長周期の地震波も生成していたと考えられる。さらに1回目の方が2目目に比してより短周期を生成していたことが見出された。これらのことから、2011年東北地方太平洋沖地震の強震動生成の「棲み分け」は単純ではないものの、地震被害に直結する地震動生成に関しては震源域の深い領域から生成されるという震源モデル化の作業仮説は活用可能と考えられる。また、近年発生した内陸地震、具体的には2014年8月の米国カリフォルニア州の南ナパ地震、2010年ニュージーランド・ダーフィールド地震、および2014年11月の長野県北部の地震の震源モデルを強震記録から推定した。南ナパ地震(Mw6.0)、長野県西部の地震(M_j6.7, Mw6.2)では、地震規模に比して食い違い量の大きい地表地震断層を伴い、局所的に大きな地震動が観測あるいは被害から示唆されている。これらの詳細な震源過程を検討することは、地震被害を検討するため強震動評価の高度化に重要であると考えられる。(京大防災研[課題番号:1903]、久保・他、2014)

既往の広帯域震源モデル(例えば、Sekiguchi and Yoshimi, 2010)では、事前情報から設定された長波長が卓越する震源モデルに様々な空間スケールで不均質を付加することにより広帯域化を実現している。具体的には、すべり量と破壊伝播速度という2つの震源パラメータの分布に同時に不均質を追加している。すべりの不均質分布については、多くの既往研究で示唆されているフラクタル分布を用いてい

るが、破壊伝播速度の不均質分布については有力なモデルが無いため、暫定的に全てのスケールで同じ強さで、つまりホワイトノイズ的に与えている。これらの仮定を、同様のすべり不均質を持つよう作成された広帯域動力学震源モデル（加瀬・関口，2013）におけるパラメータ間の相関を見ることにより検討した。その結果、破壊伝播速度の不均質分布は波数の逆数に比例するスペクトルとなった。また、破壊伝播速度とすべり量、および応力降下量の間にはほとんど相関が見られないことがわかった。震源パラメータに関するこれらの性質は、より説得力のある仮定として広帯域震源モデルの改良に活かせると考えられる。（京大防災研〔課題番号：1911〕）

○地下構造モデルの高度化

首都直下地震、南海トラフ地震の影響が懸念される関東平野では、地震動の入射方向によってやや長周期（周期3～10秒程度）表面波（長周期地震動）の励起特性が異なる。2011年東北地方太平洋沖地震のように北東方向から入射する場合に小さいことが観測から指摘されており、その原因として、関東平野の地下構造が非対称であり、北東方向に向けて基盤深度の変化が緩やかなっていることが表面波の増幅に影響している可能性が指摘された。このことを確認するために、2004年新潟県中越地震の震源モデルを用いた地震動シミュレーションが実施され、中越地震と等しい震源モデルを用いた福島県東部の仮想地震のシミュレーションにより得られた都心部（新宿地点）の長周期地震動のレベルは弱く、新潟県中越地震の1/3以下となることが確認された（図1）。（東大地震研〔課題番号：1516〕，Furumura, 2014；古村，2014）

南海トラフ地震の影響を受ける大阪堆積盆地構造モデルを検証するため、その北西部に位置する尼崎観測点（関西地震観測研究協議会）の記録に現れる特徴的な後続波群についての分析をはじめた。この地点では、約20年間の100程度のイベント記録に、直達S波の後、数秒後に繰り返し孤立的な波群が現れることが分かった。これらの後続波群の震動方向や波群間の時間差の変化を震央方位に対して見てみると、波の到来方向によって系統的な差異があることがわかった。これら後続波群が堆積盆地と地震基盤間の境界面と地表との多重反射波であることを作業仮説として波群のモデル化を進め、地下構造モデルとの関係を調べる。（京大防災研〔課題番号：1911〕）

○強震動評価の高度化

震源の浅い地殻内地震やプレート境界地震では、地表とモホ面の間をS波が広角反射（全反射）しながら伝わるLg波が発生し、遠地まで強い揺れが伝わる原因となる。大陸の地殻構造に類する西南日本ではLg波が最大振幅を持つ地震動として観測されるのに対して、東北日本から北海道ではLg波の距離減衰が大きく地震波形には明瞭に見られない。こうしたLg波の影響を適切に予測するために、Hi-netデータを用いて推定された高分解能速度トモグラフィモデルを用いた地震波伝播シミュレーションを実施したが、西南日本で見られる強いLg波励起を説明できなかった。そこで、トモグラフィの解像度よりずっと小さな短波長不均質構造（水平（x）と鉛直（z）方向の相関距離が $A_x/A_z=10/0.5\text{km}$ 程度で、揺らぎの標準偏差 $e=1\sim 2\%$ 程度のvon Karman型ランダム不均質分布特性）を用いてP波とS波速度に揺らぎを与えたモデルをトモグラフィモデルに付加してシミュレーションを実施したところ、Hi-net観測記録に特徴的に見られる紡錘形のLg波群が良く再現できるようになった（図2）。（東大地震研〔課題番号：1516〕，Furumura, Hong, and Kennett, 2014）

イ. 地震による地すべりの事前評価

地震によって火山地域で発生した地すべりの調査、レビューを行い、最も甚大な被害を発生したのは

降下火砕物の崩壊性地すべりであり、傾斜 10° から 25° の緩斜面で発生し、斜面下方を流れ広がり、広範囲に被害を発生したことを示した。すべった物質は、降下火砕物である軽石やスコリア、火山灰土で、すべり面は粘土質の火山灰土（古土壌）あるいは強く風化して粘土質になった軽石により形成されていた。このような地域の層構造の共通的な特徴として、地表付近にやや硬い層があり、その下の粘土質な層にすべり面が形成されることがわかった。これらの知見は、火山地域で地震によって発生する地すべりで特に広域に被害を及ぼす場所を地質的に抽出できる見通しを与える。地震発生時に生じる多様な地すべりに対応するため、受け盤の大規模な岩盤地すべりを起こしうる斜面、深層崩壊・大規模地すべり発生後に取り残され不安定化が促進されたブロック、固結度の弱い後期白亜紀の砂泥互層における海岸、軟弱な埋め立て物が崩壊する危険性がある人工盛土斜面において、地震計・間隙水圧計・伸縮計などの設置、観測をおこなった。これらの地すべり地において、近地震の波形、およびS波部分、コーダ部分のスペクトルを用いて地震波の増幅特性を見積もった。特に東京都目黒区の盛土においては、S波上下動に顕著な増幅が見られ（図3）、10 Hz 前後の増幅が原因であることがスペクトル解析からわかった。横浜市における観測からは、崖際における盛土の揺れが地山に比べおよそ3倍増幅することがわかった。（京大防災研〔課題番号：1912〕）

ウ. 火山灰や溶岩噴出の事前評価

大規模噴火の事例として、1914年に発生した桜島大正噴火について、当時の噴煙高度や降灰分布を整理し、領域移流拡散モデル（RATM）による火山灰拡散・降灰予測を行った。気象条件によっては、大正噴火当時と同様に東北地方、さらに北海道まで降灰が予測されることを確認するとともに、連続的噴火の設定や成層圏内の火山灰の輸送過程等の課題を整理した。大規模噴火時に成層圏に達した火山灰の輸送を予測する際に問題となる、高層で空気が希薄になることによる落下速度の変化（抵抗係数のスリップ補正）について、RATMを用いた検討を行った。この補正はミクロンオーダーの火山灰の落下過程に影響すること、広域に長期間浮遊する火山灰の輸送予測に影響することを確認した。全球移流拡散モデル（GATM）を用いて、阿蘇山のカルデラ噴火を想定した降灰シミュレーションを実施した。東大地震研による火山噴煙ダイナミクスの三次元数値モデル計算結果からモデルに適した火山灰粒子を抽出して用いる方法を考案し、初期値として用いた。この結果、地質調査による降灰量と整合した結果が得られ、降灰量は必ずしも距離とともに減少するわけではなく、また遠方の方が降灰の開始・終了時刻が早くなる地域もあることが分かった。（気象庁気象研究所〔課題番号：7010〕）

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測

現在の緊急地震速報で用いられている、震源とマグニチュードの早期決定、という考え方に加えて、揺れの伝播を予測する（地盤の増幅特性のリアルタイム補正、データ同化手法による震度分布の実況把握、およびその実況分布から波動伝播の物理に則って震度を予測）、という考え方で研究を進め、2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0）、2004年新潟県中越地震（M6.8）、2014年長野県北部の地震（M6.7）で観測された実波形データに手法を適用した。近い未来の予測ならば概ね震度差1以内に収まる精度で行えること、また、実時間に比べてそれほど遅くない程度に計算が可能であること、ただし予測精度には観測点密度が重要であることが確認された。実波形データを用いて地盤の増幅特性を全国の観測点で推定したことにより、ほぼ全国で周波数依存性を考慮した増幅特性をリアルタイムで補正できる。地盤増幅特性のリアルタイム補正について、長周期地震動への応用を念頭に置きつつ周期10秒までの周波数依存性の推定を進めた。震度の予測では波動伝播の計算に高周波で成り立つ近似を用いているが、こ

の近似が周期 10 秒くらいまで有効であること、ただし巨大な盆地構造での地震動の継続時間は予測よりも長くなりやすい傾向があることを見出した。(気象庁気象研究所 [課題番号: 7008])

上記研究で揺れの伝播を予測するには観測点密度が重要であることが指摘されており、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開始している。鳥取県を対象に、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計測震度計から地震発生に関するデータを取得するシステムの設計をおこない、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機能を震度計に持たせる可能性が示された。地盤増幅のリアルタイム補正に供するため、鳥取県域の全計測震度観測点を調査し、常時微動 3 成分単点およびアレー観測をおこない、H/V スペクトル比による卓越周期、および位相速度分散曲線を介した速度構造モデルを構築した。(鳥取大学 [課題番号: 2001], 野口・他, 2014)

イ. 津波の即時予測

前研究計画で開発されたリアルタイム浸水予測手法 (NearTIF) の高度化を実施した。開発した手法では、津波浸水予測を実施する地域に対して、あらかじめ多くの波源モデルから津波遡上数値計算を実施し、その地域の浸水域や浸水高をデータベースに保管する。さらに、津波遡上計算を実施する地域の沖、水深 50m 程度かつ津波第 1 波が非線形の効果をはほとんど受けない場所を計算地域を囲むように数か所抽出し、それら数か所での津波数値計算結果の時系列 (津波波形) を最適津波浸水予測を抽出するための指標としてデータベースに保存する。地震発生後 5-10 分で地震の規模やメカニズムが決まれば、スケーリング則を用いて断層モデルを推定し、その断層モデルから線形長波近似式による津波数値計算 (計算時間 1-2 分程度) を実施し、データベースと同じ数か所での津波波形をリアルタイムで計算する。それら計算波形とデータベースに保管された津波波形を比較し、計算波形を最も良く説明する津波浸水モデルを抽出し、津波浸水予測を行う。リアルタイムで震源モデルを推定する際に、GPS 観測データを使用した RAPiD (Ohta et al., 2012) や遠洋津波波形観測データを使用した tFISH (Tsushima et al., 2009, 2011) を用いることで津波浸水予測精度の向上を目指した。RAPiD で推定された断層モデルを用いた場合の陸前高田での例として、実際にそのモデルから津波浸水計算を実施した場合をを図 4 の左に、開発された手法を用いてデータベースから最適モデルを抽出した場合を右に示す。開発された手法を用いると 3 分で予測が可能であり、少し大きめとなっているが大きな違いはない。次にデータベースの数を倍に増やすことで津波浸水予測がどの程度改善されるかを検討したところ、予測精度は向上するが予測時間の増加につながる事が示された。また、リアルタイム計算波形とデータベースの津波波形を比較する場所の選定および数が最終津波浸水予測結果をデータベースから抽出する時にどう影響するかを検討した結果、予測を実施する場所の海底地形によって比較場所の選定を吟味する必要があることが分かった。(北海道大学 [課題番号: 1005])

房総沖に設置されている気象庁ケーブル式海底水圧計の近くに高精度自己浮上式海底水圧計を設置して観測を実施し、平成 26 年 7 月 12 日福島県沖の地震 (M7.0) に伴う地震動や津波による圧力変化を観測した。地震動による圧力変化の周波数特性等を解析して適切に除去し、リアルタイムに津波成分を抽出する手法の改良のため、このデータを活用する。2011 年東北地方太平洋沖地震の津波観測データを用いて、沖合で観測された津波波形の逆解析に基づく津波の即時予測手法の改良を検討した。海溝付近の海底水圧計データについては急峻な海底地形によって水平変位から生じる見かけの上下変位を考慮する必要があることが分かったため手法の改良を行い、実データへの適用を通してその有効性を確認した。東北地方太平洋沖地震に関し、既往研究では互いに整合しない点がある地震と津波の発生機構を統一的に説明してその実像を明らかにするため、沖合津波観測データを用いた震源像の推定に着手した。それにより、

多点の沖合津波観測データを用いることで、通常よりも長い時間をかけて生じる津波の波源生成の時間変化をある程度把握できる見込みが示された。（気象庁気象研究所〔課題番号：7011〕）

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

数日以内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解析の高精度化に関する研究開発を進めた。キネマティックGNSS解析では座標値パラメータと対流圏遅延パラメータ等、未知パラメータ間の相関が高く両者の分離精度が低く、座標値推定精度がスタティックGNSS解析と比較して低い。特に時空間的不均質が大きい対流圏における電波伝播遅延量の正確な推定は、目標とする数日以内の地殻変動場を捉える上で極めて重要である。そのため、キネマティックGNSS解析における対流圏遅延と座標値推定時における分離精度の向上を試みた。具体的にはECMWF全球数値気象モデルから期待される6時間毎の天頂湿潤大気遅延量を先験情報とした場合と、用いない場合のそれぞれについてキネマティックGNSS解析を多数観測点において実施した結果、先験情報を用いない場合との比較において、推定される湿潤大気遅延量に明瞭なオフセットが生じることが明らかになった。これによって、GNSS解析と基本的に独立なデータである全球数値気象モデルを用いることで、キネマティックGNSS解析における座標値および対流圏遅延量パラメータの分離精度を向上させ得ることが分かった。また、キネマティックGNSS解析の精度評価を実施するために、あらかじめ与えた変動を再現可能な精密可動台のプロトタイプ機を完成させた。キネマティックGNSS解析においては、特に移動体において座標値の真値が不明で、その精度評価が難しいという問題点があったが、解析のより網羅的な精度評価が可能なテストベッドを構築することができた。（東北大学〔課題番号1209〕）

GEONETリアルタイム解析から得られるリアルタイム地殻変動データを用いて、矩形断層モデル、プレート境界面上のすべり分布を即時推定する技術の開発をおこない、2003年十勝沖地震時、2011年東北地方太平洋沖地震時に得られた1Hz変位波形および南海トラフ地震のシミュレーションデータに対して適用し、地震発生から3分以内に90%を越える高いVariance Reductionで断層モデル推定が可能であることを確認した。（国土地理院地殻活動研究センター〔課題番号：6004〕）

GNSSデータに対してw-phase解析によりモーメントテンソルを推定し、更にその解と地殻変動に整合的な断層面を推定する手法を開発した。遠地実体波を用いた震源過程解析の各種事前設定パラメータの最適化を行い、設定したパラメータを用いて多くの地震が適正に解析可能であることを確認した。（気象庁気象研究所〔課題番号：7009〕）

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を目的とした火山観測および噴煙中の火山灰粒子密度のその場観測と地上観測を実施した。桜島火山周辺では国交省九州地整大隅河川国道事務所によりXバンドMPレーダーが設置されており、概ね噴煙高度が火口上3000mであれば確実にレーダー画像として噴煙を捉えることができた。このような電波の反射・散乱は、より波長の長いGNSS衛星からの電波にも伝搬遅延として表れている。2012年7月24日に桜島南岳において発生したブルカノ式噴火では、噴煙高度が8000mに達したが、LC（電離層フリー線形結合）搬送波位相残差（単位：cm）を衛星と観測点毎の組み合わせに注目してみると、位相残差の大きい伝搬経路は南岳上空の4000mまでの高さにおいて交差することが分かった。しかも、その交差点は、時間とともに西方へ移動し、爆発発生から約20分後には南岳の5km西方に達した（図5）。また、噴火によって放出され、大気中を浮遊する火山灰の粒子密度のその場測定を実施した。簡易型粉じん計を用いて、全粒子、10ミクロン、2.5ミクロン、1ミクロン粒子の密度を測定するとともに、吸引するポンプを用いて

フィルターに吸着させて粒子の重量を測定した。桜島から風下の微弱な噴煙が漂う大気中で測定したところ部分的に高濃度の粒子密度領域が検出できた。さらに、連続測定を桜島の地上において実施した。これら粒子状物質の中では粗粒のものが卓越すること、また、粒子状物質の濃度と放出火山灰量や風向との相関が認められることから、桜島において観測される粒子状物質の多くは、火口から放出された火山灰起源であることが分かった。（京大防災研〔課題番号：1913〕）

XRAIN 垂水局で捉えられた 2014 年 5 月 10 日桜島噴火噴煙を解析し、噴火直後の強いエコーにより疑似エコーが発生するが、二重偏波パラメータによって噴煙エコーだけを抽出することができた。また、2011 年新燃岳の連続噴火の噴煙エコー最頂部検知時刻を鹿児島空港ドップラーレーダーの各アンテナ仰角のスキャン時刻に遡って求め直し、空振記録とエコー頂の高さの累乗関係の相関について調べた結果、いずれの空振観測点データにおいても、エコー頂の検知時刻の 1~5 分早い時間帯の空振記録で相関係数は最大となった。空振データにより噴煙成長のダイナミクスを推定できる可能性を示した。さらに、2014 年 9 月 27 日に発生した御嶽山噴火における噴煙のレーダーデータの解析とその結果を利用した降灰予測、ひまわり衛星画像の解析、および花粉センサーネットワークの時系列データ等を活用した検証により、気象レーダーによる噴煙高度推定における課題を整理した。2014 年 2 月 13 日に発生したインドネシア・ケルト火山噴火に伴う噴煙のひまわり 6 号ラピッドスキャン画像、ひまわり 7 号赤外画像から、噴煙の面積拡大率の時間変化等を抽出し、傘型噴煙としてモデル化した。このモデルを利用した GATM による降灰予測計算と降灰量分布との比較から、噴煙モデルのさらなる改良が必要であることが分かった。（気象庁気象研究所〔課題番号：7010〕）

これまでの課題と今後の展望

新たな研究計画の初年度として、それぞれの研究課題において既往研究成果の高度化、また新たな取り組みに関して初期の成果が見られるとともに、当面取り組むべき課題を見出すことが出来た。それらの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おこなう。

(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、2011 年東北地方太平洋沖地震の周期別強震動生成過程および内陸地震の震源モデルの整理を行い、既往の強震動予測のための震源モデルとの関係を調べる。また、既往広帯域震源モデルの設定方法に関する検討結果に鑑み、これを改良する。地下構造モデルの高度化に関して、関東平野の 3 次元地下構造と短周期地震動～長周期地震動の伝播特性を詳細に把握するため、高密度観測データ（K-NET・KiK-net、首都圏強震総合ネット SK-net、首都直下地震観測網 MeSO-net 等）を統合的に処理する。また、観測記録に基づく盆地地盤応答特性の抽出を継続し、既往地下構造モデルの有効性を検討する。強震動評価手法の高度化については、短波長不均質構造により地震波散乱が強い減衰を起す過程、散乱による地震動の継続時間の増長の問題、地震動の空間変動と局所的な増幅（フォーカシング現象）の発生可能性について検討し、地下構造探査による直接推定が困難なこのような短波長不均質構造の存在が、強震動の予測の不確定性に与える影響を定量的に評価する。さらに、巨大地震による強震動、地殻変動、津波の複合災害の予測に向けて、海底隆起・沈降の時空間的変動を適切に活用した、津波高・浸水シミュレーションを実施する。

火山地域における地震時崩壊性地すべりのケーススタディを継続し、火山灰層序学および土質力学的な知見を加えて、発生危険個所の抽出手法の論理立てを図る。また、主に西南日本の非火山地域の地震時崩壊のレビューとケーススタディを継続する。各地すべりにおける地震観測を継続し、地すべり地での地震動増幅特性の評価、コーダ波による斜面応答の方位依存性の推定、斜面内部構造推定法の開発を進める。また、強震動を経験する確率が高く、斜面内部が一部塑性しうる斜面があれば、間隙水圧計を

埋設するとともに強震計を併設し、高時間分解能同時観測を新たに開始する。

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

揺れの伝播を予測する手法について、自治体震度計から1秒パケットで情報を受信しするシステムを構築し、これら計測震度観測点について、揺れ易さを周波数毎にリアルタイム評価するためのフィルターを構築して行く。

津波の即時予測については、基礎的研究を継続するとともに、海底津波計 (S-NET, DONET, DONET2) の観測波形を INPUT とし直接津波を計算する手法を開発し、各地域での津波の浸水範囲を予測する手法に結び付ける。また、高精度水圧計における津波以外の現象に伴う水圧変化の特性を明らかにし、リアルタイムに津波成分のみを抽出するための技術開発を行う。沖合で観測された津波波形の逆解析に基づく津波の即時予測手法システムについて、大量の津波観測データに対しても安定して効率よく動作するようシステムを改良するなどの高度化を行う。

地殻変動データの利活用については、数日以内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行う。特に全球数値気象モデルに基づく大気遅延量の先験情報を用いたキネマティック GNSS 解析手法の精度評価を網羅的に進める。また、新たに開発した精密可動台のプロトタイプ機を用いて、様々な地殻変動場を再現し、それを実際のキネマティック GNSS 解析によって検出できるかについて検討を進める。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開始する。

火山灰や溶岩噴出の即時予測について、XバンドMPレーダー観測、GNSSを用いたLC位相残差およびSNRの現象の検出、大気中における火山灰粒子密度のその場測定、およ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。

成果リスト

- Padhy S., T. Furumura, and T. Maeda, 2014, Decoupling of Pacific subduction zone guided waves beneath central Japan: Evidence for thin slab. *J. Geophys. Res.* 119 (11), doi: 10.1002/2014JB011562.
- 古村孝志, 2014, 関東平野の深部基盤構造と長周期地震動リスク, *地学雑誌*, 123 (No4), p434-450.
- Kennett B. L. N., T. Furumura and Y. Zhao, 2014, High-frequency Po/So guided waves in the oceanic lithosphere: II-heterogeneity and attenuation, *Geophys. J. Int.* 199 (1): 614-630. doi: 10.1093/gji/ggu286.
- Furumura T., 2014, Radiation and development of short- and long-period ground motions from the 2011 Off Tohoku, Japan, Mw9.0 Earthquake, *Journal of Disaster Research, Journal of Disaster Research Vol. 9 No. 3.*
- Furumura T., T.-K. Hong, and BLN Kennett, 2014, Lg wave propagation in the area around Japan: Observation and simulation, *Progress of Earth. Planet. Sci.*, 1:10, doi:10.1186/2197-4284-1-10.
- Maeda T., T. Furumura, and K. Obara, 2014, Scattering of teleseismic P-waves by the Japan Trench: A significant effect of reverberation in the seawater column, *Earth Planet. Sci. Lett.*, doi:10.1016/j.epsl.2014.04.037.
- 久保久彦・浅野公之・岩田知孝・青井 真, 2014, ベイジアンインバージョンとマルチタイムウィンドウ法を組み合わせた震源過程解析, *日本地震学会 2014 年秋季大会*, A32-04.
- 田中美穂・浅野公之・岩田知孝・久保久彦, 2014, 強震波形を用いた 2010 年ニュージーランド

- Darfield 地震の震源過程, 日本地震学会 2014 年秋季大会, A32-0.
- Iwata T., K. Asano, and H. Kubo, 2014, A source model of the 2014 South Napa Earthquake by the EGF broad-band strong ground motion simulation, AGU 2014 Fall Meeting, S33D-4911.
- Tanaka M., K. Asano, T. Iwata, and H. Kubo, 2014, Source rupture process of the 2011 Fukushima-ken Hamadori earthquake: how did the two subparallel faults rupture?, *Earth Planets Space*, 66, 101, doi:10.1186/1880-5981-66-101.
- 田中宏樹・岩田知孝・浅野公之, 2014, 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, 日本地震学会講演予稿集, S16-P20.
- Chigira M., 2014, Geological and geomorphological features of deep-seated catastrophic landslides in tectonically active regions of Asia and implications for hazard mapping. *Episodes*, 37, 284-294.
- Chigira M., Nakasuji, A., Fujiwara, S., Sakagami, M., 2014, Soil-Slide Avalanches of Pyroclastic Fall Deposits Induced by the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake. In: H. Kawase (Ed.), *Studies on the Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake*. Springer, Tokyo, pp. 65-86.
- 千木良雅弘, 2014, 地震による深層崩壊. *地震ジャーナル*, 58, 28-35.
- Doi I., S. Matsuura, T. Shibasaki, and H. Osawa, 2015, Seismic observation in the mudstone landslide area, *Proceedings of 10th Asian Regional Conference of IAEG*, abstract accepted.
- Doi I. and T. Kamai, 2015, Characteristics of seismic motions and pore pressure response in the filled slopes, *Proceedings of 10th Asian Regional Conference of IAEG*, abstract accepted.
- 土井一生・王功輝・末峯章, 2014, 斜面における地震観測による斜面内部構造推定の試み, 2014 年地震学会秋季大会予稿集, S16-P10.
- 土井一生・釜井俊孝, 2014, 盛土斜面における地震動・間隙水圧応答の特徴, 第 53 回地すべり学会研究発表会予稿集, 12.
- Matsuura S., T. Shibasaki, H. Osawa, T. Shibasaki, H. Sato, and I. Doi, 2015, Displacement properties of a costal landslide during a winter season, *Proceedings of 10th Asian Regional Conference of IAEG*, abstract accepted
- 松浦純生・柴崎達也・大澤 光・佐藤北斗, 2014, 冬期間における海岸地すべりの移動観測, 雪氷研究大会(2014・八戸)講演要旨集, 93.
- Nakano, M., Chigira, M., 2014, Geomorphological and geological features of the collapsing landslides induced by the 2009 Padang earthquake, *Japan Geosciences Union Meeting 2014*, Yokohama pp. HDS05-10.
- 古舘友通, 2014, 並列処理による震源計算の高速化, 第 14 回地震工学シンポジウム論文集, 3345-3349.
- 林元直樹・干場充之, 2014, エアガン発振記録を用いた東南海海底地震計の設置方位推定, 験震時報(受理).
- 林元直樹・中村武史・干場充之, 2014, 海底地震計の強震入力時における地震波形の特徴と緊急地震速報処理への影響について: JAMSTEC の釧路沖 OBS を用いた検証, 第 14 回地震工学シンポジウム論文集, 3624-3630.
- Hoshiba M., 2014, Review of the Nationwide Earthquake Early Warning in Japan during Its First Five Years, *Earthquake Hazard, Risk, and Disasters* (Editor: Max Wyss), Springer, 505-528, doi:10.1016/B978-0-12-394848-9.00019-5.

- 干場充之, 2014, 波動場の把握に基づく地震動の予測 —地震動即時予測の次世代への考察—, 地震予知連絡会会報, 92, 406-411.
- 干場充之・青木重樹, 2014, 揺れの数値予報 —データ同化, リアルタイム Shake-map, 波動伝播シミュレーション—, 第14回地震工学シンポジウム論文集, 1984 - 1922.
- 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. Seismol. Soc. Am., (Accepted) .
- 小木曾仁・青木重樹・干場充之, 2014, S波スペクトル比から推定した全国のサイト増幅特性と, リアルタイム地震動予測への活用, 第14回地震工学シンポジウム論文集, 3698-3705.
- 野口竜也・香川敬生, 2014, 微動探査による鳥取県内の強震観測地点における地盤震動特性の把握および地盤構造の推定, 第14回日本地震工学シンポジウム, PS2-Fri-7.
- Tanioka Y, A. R. Gusman, K. Ioki, and Y. Nakamura, 2014, Real-time tsunami inundation forecast for a recurrence of 17th Century great Hokkaido earthquake in Japan, J. Disaster Research, 9, 358-364.
- Gusman A. R., Y. Tanioka, B. T. MacInnes, and H. Tsushima, 2014, A methodology for near-field tsunami inundation forecasting: Application to the 2011 Tohoku tsunami, J. Geophys. Res., 119, 8186-8206.
- Gusman A. R., Y. Tanioka, 2015, 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, in press.
- Tsushima H., R. Hino, Y. Ohta, T. Iinuma, and S. Miura, 2014, tFISH/RAPiD: Rapid improvement of near-field tsunami forecasting based on offshore tsunami data by incorporating onshore GNSS data., Geophys. Res. Lett., 41 (10) , 3390-3397, doi: 10.1002/2014GL059863.
- Tsushima H. and Y. Ohta, 2014, Review on Near-Field Tsunami Forecasting from Offshore Tsunami Data and Onshore GNSS Data for Tsunami Early Warning., Journal of Disaster Research, 9 (3) , 339-357.
- 林 豊, 2014, 潮位・津波観測施設. 東日本大震災合同調査報告, 共通編 2:津波の特性と被害, 東日本大震災合同調査報告書編集委員会編, 丸善出版, 62-69.
- 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, 印刷中.
- 出町知嗣・太田雄策・三浦 哲・立花憲司・佐藤俊也・日野亮太, 2015, リアルタイム GNSS 時系列可視化ツールの開発, 測地学会誌, (印刷中) .
- Ohta Y., T. Kobayashi, R. Hino, T. Demachi and S. Miura, 2015, Rapid coseismic fault determination of consecutive large interplate earthquakes: The 2011 Tohoku-Oki sequence, International Association of Geodesy Symposia, (印刷中) .
- 矢萩智裕・宮川康平・川元智司・大島健一・山口和典・村松弘規・太田雄策・出町知嗣・三浦哲・日野亮太・齊田優一・道家友紀, 2014, GEONET リアルタイム解析システム (REGARD) の全国対応, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会予稿集, 53-54.
- Kawamoto S., K. Miyagawa, T. Yahagi, M. Todoriki, T. Nishimura, Y. Ohta, R. Hino, and S. Miura, 2014, Development and Reliability of Real-Time Fault Model Estimation Routines in the GEONET

- Real-Time Processing System, International Symposium on Geodesy for Earthquake and Natural Hazards.
- Yahagi T., K. Miyagawa, S. Kawamoto, Y. Sato, T. Nishimura, Y. Ohta, T. Demachi, R. Hino, S. Miura, Y. Saida, and Y. Douke, 2014, "Launch of a New GEONET Real-Time Analysis System (REGARD) for Rapid Mw Estimates in Japan", International Symposium on Geodesy for Earthquake and Natural Hazards.
- Kawamoto S., K. Miyagawa, T. Yahagi, M. Todoriki, T. Nishimura, Y. Ohta, R. Hino, and S. Miura, 2015, Development and assessment of real-time fault model estimation routines in the GEONET real-time processing system, International Association of Geodesy Symposia (in press) .
- Kawamoto, S., H. Muneane, Y. Hatanaka, H. Tsuji, K. Miyagawa, T. Furuya, and Y. Sato, 2014, How GNSS Earth Observation Network System (GEONET) in Japan Contributes to Geohazards Mitigation, AGU 2014.
- 佐藤雄大・宮川康平・川元智司・大島健一・犬飼孝明・村松弘規, 2015, 津波予測支援のための GEONET リアルタイム解析システムの GNSS 対応等 (第 4 年次), 国土地理院平成 26 年度調査研究年報 (印刷中) .
- 川元智司, 2015, 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 1 年次), 国土地理院平成 26 年度調査研究年報 (印刷中) .
- 武藤大介・上野寛・溜渕功史・岩切一宏, 2014, 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震以降に活発化した福島県浜通りから茨城県北部における地震活動の特徴とその要因, 験震時報, 78, 1-28.
- 武藤大介・上野寛・川添安之・岩切一宏, 2014, 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震の前後に発生した地震の震源過程の解析, 験震時報, 78, 29-44.
- Eliasson J., Yoshitani, J., Weber, K., Yasuda, N., Iguchi, M. and Vogel, A., 2014, Airborne measurement in the ash plume from mount Sakurajima - analysis of gravitational effects on dispersion and fallout, International Journal of Atmospheric Sciences, doi: 10.1155/2014/372135
- 太田雄策・井口正人, 2014, GNSS データにもとづく噴煙柱検知方法の開発 (その 2) -精密単独測位法により求めた搬送波位相事後残差の時空間発展-, 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成 25 年度分報告書, 69-72.
- 味喜大介・吉谷純一・Eliasson, J.・井口正人, 2014, 桜島における粒子状物質連続地上観測, 京都大学防災研究所年報, 57, 150-153.
- 吉谷純一・Eliasson, J.・味喜大介・安田成夫・桃谷辰也, 2014, 桜島での火山噴煙濃度航空機観測, 京都大学防災研究所年報, 57, 1-8.
- Hasegawa Y., A. Sugai, Yo. Hayashi, Yu. Hayashi, S. Saito and T. Shimbori, 2015, Improvements of volcanic ash fall forecasts issued by the Japan Meteorological Agency. Journal of Applied Volcanology, 4:2 doi:10.1186/s13617-014-0018-2.
- Kozono T., H. Ueda, T. Shimbori and K. Fukui, 2014, Correlation between magma chamber deflation and eruption cloud height during the 2011 Shinmoe-dake eruptions. Earth, Planets and Space, 66:139 doi:10.1186/s40623-014-0139-1.
- 佐藤英一・新堀敏基・福井敬一・石井憲介・高木朗充, 2015, 気象レーダーで観測された 2014 年 9 月 27 日御嶽山噴火に伴う噴煙エコー, 火山噴火予知連絡会会報, 119, 印刷中.
- 新堀敏基・甲斐玲子・林 洋介・林 勇太・菅井 明・長谷川嘉彦・橋本明弘・高木朗充・山本哲也・福

井敬一, 2014, 領域移流拡散モデルによる降下火砕物予測—2011年霧島山(新燃岳)噴火の事例—, 気象研究所研究報告, 65, 75-107 doi:10.2467/mripapers.65.7

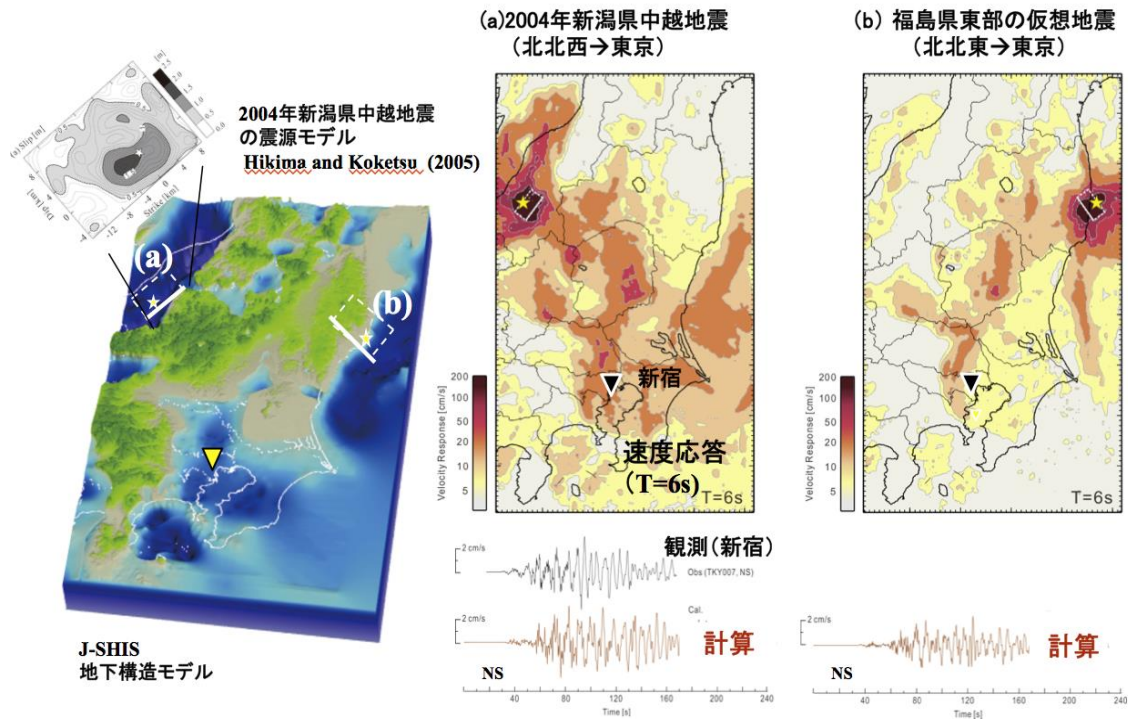
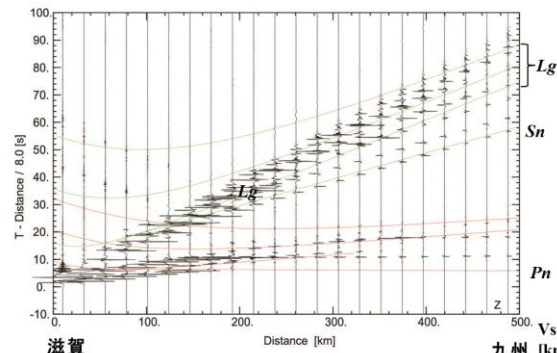


図1. 関東平野での長周期地震動の生成シミュレーション。(東大地震研 [課題番号: 1516])

(a) 2004年新潟県中越地震のシミュレーションから求められた速度応答分布(固有周期6秒, 減衰定数=5%)と新宿地点での速度波形NS成分の観測との比較

(b) 同じ震源モデルを福島県東部に置いた仮想地震シミュレーションの結果

(a) トモグラフィモデル(西南日本測線)



(b) トモグラフィ + 短波長不均質構造

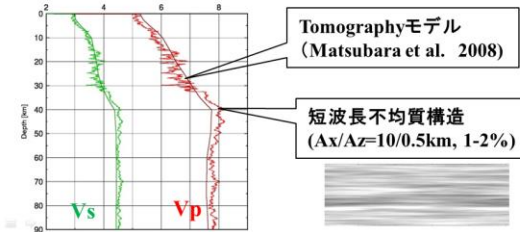
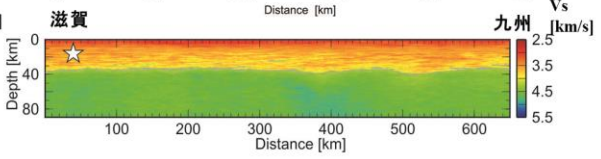
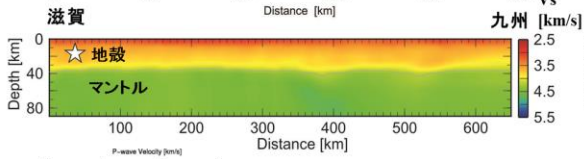
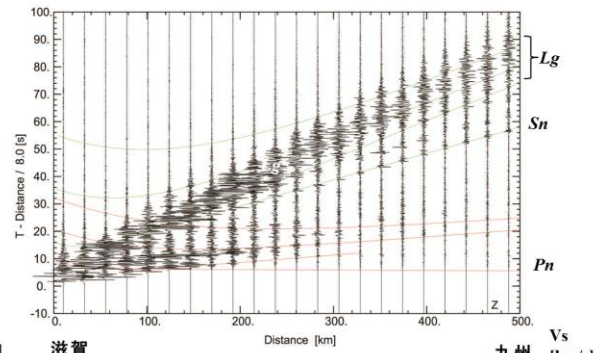


図2. 速度トモグラフィモデルを用いたLg波伝播シミュレーション (東大地震研 [課題番号: 1516])

(a) 西南日本測線に沿った速度トモグラフィモデルを用いた2次元差分法によるLg波伝播シミュレーションと速度構造の例 (距離320km地点のVp, Vsの鉛直変動)

(b) 短波長不均質構造 ($A_x/A_z=10/0.5\text{km}$, $e=2\%$) を付加したハイブリッド不均質速度モデル

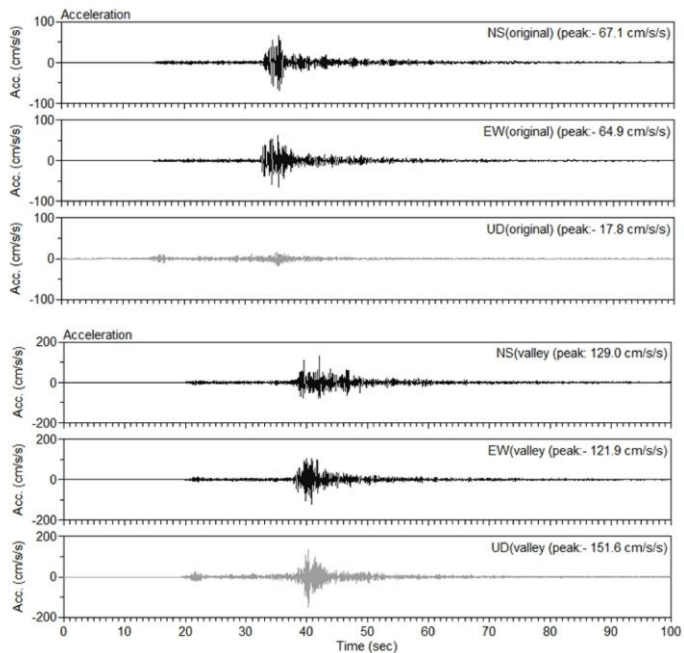


図3. 地すべり地での地震観測概要と地震波形記録の例（京大防災研 [課題番号：1912]）
 (波形上) 東京都目黒区地山での2014年5月5日伊豆大島近海やや深発地震による加速度波形
 (波形下) 同地震によると盛土斜面での加速度波形

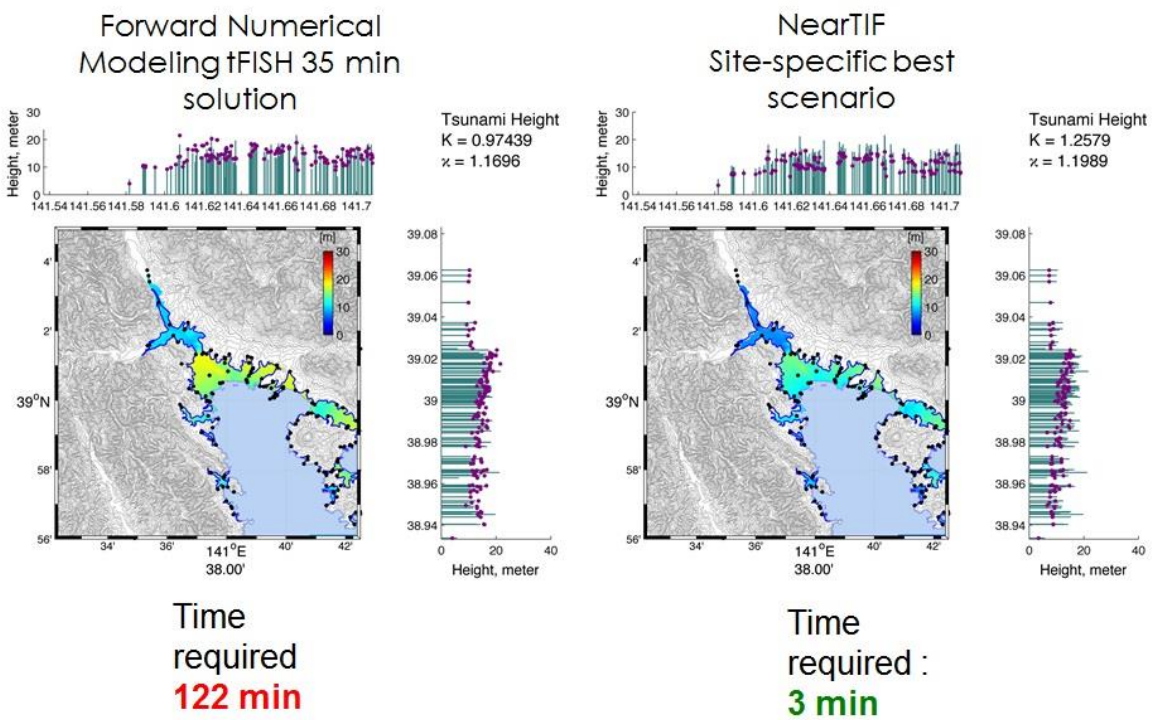


図4. RAPID の手法を用いて推定された矩形断層モデルから陸前高田の浸水予測を実施した結果（北海道大学 [課題番号 1005]）
 左) 推定された断層モデルから津波浸水計算を実施した結果（計算時間 122 分）
 右) 開発されたデータベースによるリアルタイム津波予測結果（計算時間 3 分）

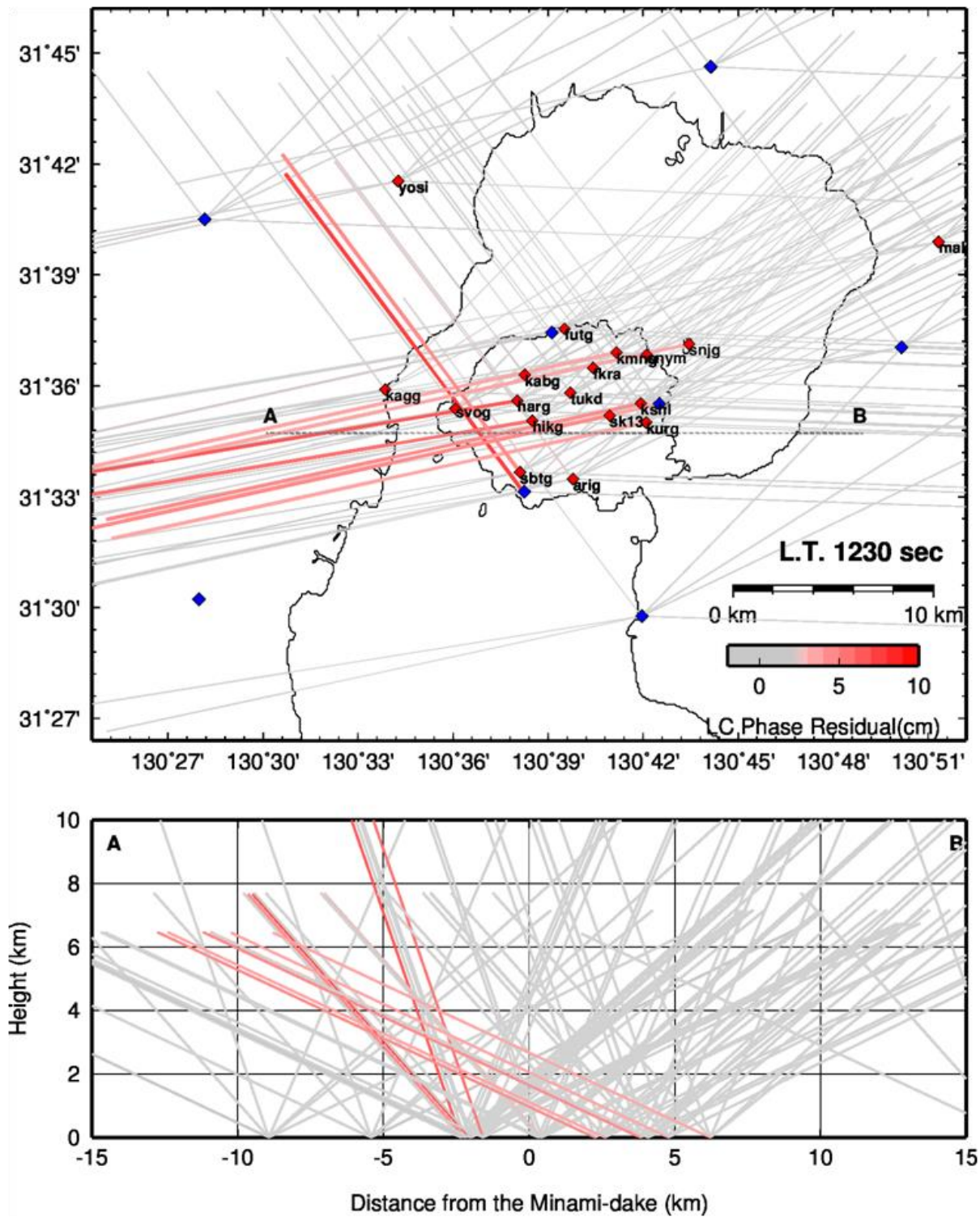


図5. LC位相残差が大きい伝搬経路

(上) 平面図

(下) 断面図

1 (6) 地震・火山災害

「地震・火山災害」計画推進部会長 林 春男（京都大学防災研究所）

副部会長 木村玲欧（兵庫県立大学環境人間学部）

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するにあたり、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の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について災害誘因研究から災害素因研究へ移行することを意図しているわけではなく、災害の軽減に貢献するための総合的な災害科学の確立のためには、災害発生の要因である災害誘因・災害素因双方の解明が必要十分条件であることを意図している。

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

地震・火山災害部会は、こうした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あり、本研究計画においてはじ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、人文社会科学の研究者が連携することによって、地震・火山噴火の災害事例の実証、地震・火山噴火の災害発生機構の解明、地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化、研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成などを目指した研究を行うものである。

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、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、元禄十六年（1703）十一月二十三日に発生した元禄関東地震における日光東照宮での被害が記されている。元禄関東地震の場合は、日光東照宮での被害は軽微であり、石燈籠が破損して石鳥居の石がずれた程度で、東照宮の本殿・拝殿などの建物は無事であった。この地震では、江戸城や江戸市中で甚大な被害が生じていたにも拘わらず、地震発生翌日の朝には江戸から地震見舞いの使者が日光東照宮へ到着している。一方、日光東照宮では、地震発生翌日の朝になって、ようやく江

戸の門主（輪王寺宮門跡）へ御機嫌伺いの飛脚を遣わしている。そのため、日光東照宮への幕府の対応は、江戸への日光東照宮の対応よりも迅速であった様子など災害対応の優先度などに基づく幕府の災害対応の様子を明らかにした（図1）（東京大学地震研究所[課題番号：1513]）。

また地域特性を持つ過去の災害事例について、焼山火山災害、新潟地震、中越地震、中越沖地震等評価・検証し「今後想定される同様の地域における地震災害における多くの国民の財産、豊かな暮らしを守る機能の保全・維持を目指すために、災害事例の研究を実施し、研究成果を事例とし、地震・火山噴火に係る知見の発信技術について開発を実施する」ことを目的とした研究活動を実施した。今年度は、新潟地震50周年、焼山火山災害40周年、新潟中越地震10周年を迎える年を契機として、火山・地震災害の被害やその後の復旧状況を評価・検証した（図2）。地震・火山噴火に係る知見の発信技術についての調査を実施し、特に中越地震について新潟県と協働して、新潟県中越大震災から10年間の復興の取組を総括し、今後の新潟県の復興施策への提言及び復興過程の経験と教訓を広く発信するため、（1）新潟県中越大震災復興ビジョンの検証、（2）新潟県中越大震災復興計画の検証、（3）中山間地の災害復興のモデルとなる経験と教訓の発信に係る総合調整などについて調査検証を行った（新潟大学[課題番号：2702]）。

（2）地震・火山噴火の災害発生機構の解明

地震の災害発生機構の解明について、堆積平野・堆積盆地における地震災害発生機構の解明を行うため、本年度は、地震動などの地震災害誘因の分析に向けて、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開始した。地震被害と関連が深い周期1～2秒の地震波が卓越し、高震度に寄与する国内の堆積平野・堆積盆地として、足柄平野・諏訪盆地・甲府盆地などが挙げられる。本年度は、諏訪盆地の観測記録の整理を行うと共に、地震波の増幅特性について検討を開始した。その結果、盆地端上部と下部の近接距離のペア観測点の記録が、地震動増幅特性の把握に効果的であることが分かった（図3）。また、国外の堆積盆地に関して、ネパール国カトマンズ盆地を対象とした検討を行った。マグニチュード5程度の地震動記録を収集・解析し、既往の距離減衰式と調和的であることに加え、S波部分の速度フーリエスペクトルはいずれの地震においても、盆地内サイトは岩盤サイトに対して最大で10倍程度の振幅を持ち、明瞭なサイト特性を有することを確認した。さらに、地震災害誘因の事前評価と即時推定に資する地下構造モデルを構築に向けて、地震動の増幅等の自然素因への作用効果が高い南海トラフ海域を対象として、数値シミュレーションおよび地震波干渉法による地震動特性の定量化を開始した（東京大学地震研究所[課題番号：1515]）。

また火山の災害発生機構の解明について、噴火災害時における事業と生活を継続させるための早期の復旧計画について検討した。2011年霧島新燃岳噴火は、多量の火山灰・軽石が噴出し、火山体の東麓から都城市にかけて火山灰が堆積した。火山灰の堆積により、いくつかの道路が閉鎖され、交通網に長期間の影響が出た。降灰量と道路における通行規制の有無の関係を機能的フラジリティ曲線で近似し、降灰量に対する通行規制の確率分布を求めた。これを用いて、噴火による交通量の初期低下率を把握することが可能となる。これをもとに、最適な交通ネットワークの復旧分析を行った。分析する目的関数は道路の清掃時間、交通量、交通量の低下率の積をすべての道路について足し合わせたものであり、その最適解を求めることができた（図4）。ここで得られた機能的フラジリティ曲線は他の火山にも応用可能であり、噴火発生前のハザード評価に活用できることが考えられる（京都大学防災研究所[課題番号：1914]）。

また「脆弱性」という概念について、概念的整理を行うとともに、東日本大震災の被災地の状況を参照しながら内容を明確化し、最終的に尺度として洗練させることを目的に、ボトムアップ型コミュニテ

ィ防災・減災を考えるための基本的フレームに資するような検討を行った。今年度は、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および、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開始した(図5)。また、南海トラフ巨大地震の被災想定地域における脆弱性とボトムアップ型コミュニティ防災に向けた課題について、高知市と名古屋市南区における脆弱性と事前復興対策について分析を開始した(名古屋大学[課題番号:1704])。

(3) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

地震の災害軽減のための情報の高度化について、災害の人文社会学的研究の側面から、地理空間情報、GIS、衛星測位の統合的活用方法の開発を行った。具体的には、タブレット型PCに基盤地図情報、国土数値情報、国勢調査(小地域)データなどをベースとし、自治体が整備した津波浸水想定、避難場所、都市計画基礎調査などを統合した現地調査用の携帯型地理情報システムを構築し、フィールドで運用テストを行った。また、その収集データ(特に避難行動の移動履歴データなど)をGISで分析する方法を開発した。このシステムを活用することにより避難訓練(擬似的な訓練も含める)の行動情報を数値化して保存することが可能となり、さらに災害発生時における情報提供のあり方や、その前段階での情報流通のあり方について考察するためのツールとして使用できる(図6)。このシステム構築と評価については、情報処理学会や地理情報システム学会で発表しており、それを基に今後改良を続ける予定にしている。さらに北海道全域を対象とした分析の準備として、北海道総務部危機対策課が整備した津波想定GISデータを収集し、GISにおいて空間データベースを構築した。現在は、津波深度別・市町村別・年齢別に津波浸水想定域に分布する人口推定を行う準備を続けており、次年度には詳細な結果を出す予定にしている。また、太平洋沿岸自治体の都市計画基礎調査データの収集も時系列的に行っており、津波浸水想定域の土地利用変化に関する分析を次年度に行うための準備を進めた(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、火山情報などの防災情報とリンクするインターネットを通して入手可能な関係機関の各種観測情報の準リアルタイムな収集と統合表示を通して、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を構築を目指した研究を行っている。今年度は、既知の不具合を修正し、拡張と低速なモバイル端末に対応するための調整を行った既存プログラムを実装したシステムを、北海道、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9市町村に設置し、試験運用を開始した(図7)。システムはノートPC、21インチ液晶ディスプレイおよびモバイル通信端末で構成され、OSとしてubuntu14.04を採用し、既存プログラムに機能拡張と調整を行って実装した。同時に地震波形の表示など予定した機能拡張を行うにあたって全面的に実装したソフトウェアを見直し、設置時の要望や提案を取り入れた(北海道大学[課題番号:1009])。

(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を実施した(図8)。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、イタリア及び米国において現地調査を行い、当地における地震動の長期予測情報のコミュニケーション手法を、成功例だけではなくイタリアのラク

イラ地震のような失敗例も含めて調べた（東京大学地震研究所[課題番号：1517]）。

新潟県では、過去の自然災害から得られた貴重な教訓を、風化させることなく後世に語り継ぎ、多方面で防災・減災に生ずべく、自然災害からの節目の年をむかえる2014年において、広く防災・減災に向けた地域づくり・まちづくりの機運を高めるため、関係機関が連携した「防災・減災新潟プロジェクト2014」を開始した。「防災・減災新潟プロジェクト2014」は、新潟県、被災自治体、報道機関等15機関により、民・産・学・官が結集、連携した広報活動を展開する実行委員会を設立し「防災・減災に関する専門的な知識、災害から得られた教訓・知識を伝承・実践する活動に取り組む」ことを目的として活動を実施した。事務局は国土交通省北陸地方整備局がつとめ、多くの県内で実施されたイベントや取り組みにおいて、目的意識の共有と共通の標語、シンボルマーク、を整備し、かつ関係機関における情報発信のためのポータルサイト運営・管理を実施した。特に新潟県と共同で、中越地震における経験と教訓を科学的な知見とするための活動を実施し、その成果を「次代の災害復興モデルの構築を目指して～にいがたからの知見の教訓と発信～」としてとりまとめた。具体的には、(1) 中山間地域の住宅再建、(2) 農業を中心とした産業復興、(3) 経済の活性化、(4) 中山間地域を含む被災地における生活再建、(5) 他地域への効果的な普及方策の検討、(6) 広域的なコミュニティの創造、としてそれぞれを発信した（新潟大学[課題番号：2702]）。

また、2006年に噴火活動が昭和火口において再開し、2009年以降、噴火活動が激化している桜島において、火山噴火予知研究成果をレビューするセミナーを開催するとともに、その成果の現状の避難計画を含めた防災対策にどのように活用できるかを検討した。セミナーは鹿児島市内において一般向けに開催した。また、特定の団体から講演を依頼される場合も多い。聴講者の関心事は噴火発生時期に関するものが多く、依然として火山噴火予知の5要素「いつ（時期）」「どこで（場所）」「どれくらい（規模）」「どのような（様式）」「推移・終息」のうち、時期の問題が十分に解明されていない現状がわかった。一方、規模に関する認識はあまりなく、「大きい・小さい」噴火といった表現が使われ、地震のマグニチュードのような指標が定着していないことが浮き彫りとなった。また、100年前の桜島大正噴火にまつわる証言から大正噴火に至る前駆過程を考察し、それに基づいたシナリオに沿って鹿児島県、鹿児島市など自治体の机上防災訓練が行われた（図9）（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

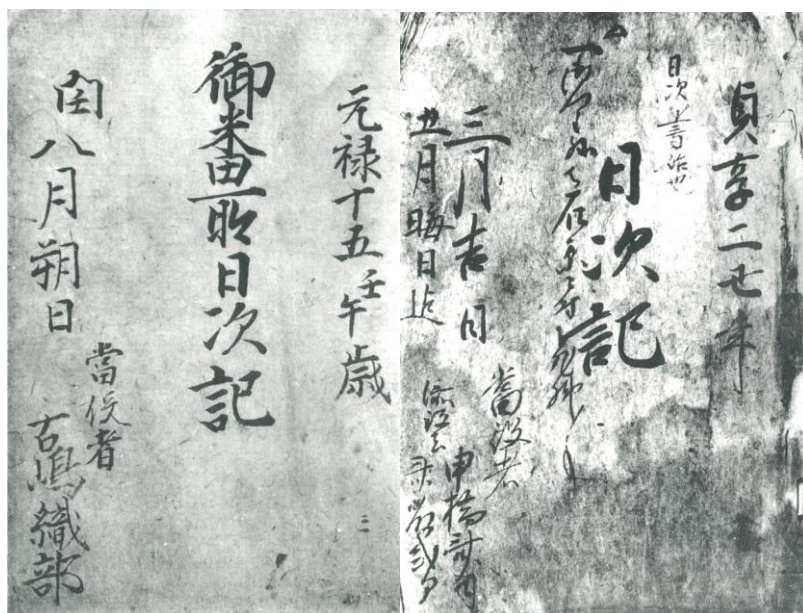
現行計画では、災害科学の確立に資するため「災害」現象の解明に焦点をあて、防災・減災に対する社会の要請を意識しながら、全国の大学における理学、工学、人文社会科学の研究者が連携することによって、地震・火山噴火の災害事例の実証、地震・火山噴火の災害発生機構の解明、地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化、研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成などを目指した研究を実施してきた。具体的には、地震・火山噴火の災害事例の研究において、近代観測開始以前の史料データベースなどを通して江戸時代の被害地震における地震対応についての検討および、地域特性を持つ過去の災害事例について新潟県の地震災害についてその実態を検討した。地震・火山噴火の災害発生機構の解明において、国内外の堆積平野・堆積盆地における強震記録データベースの増強をしたり、噴火災害時における事業と生活を継続させるための早期の復旧計画について検討したり、脆弱性という概念的整理について東日本大震災を事例とした人文社会科学の検討を開始した。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、北海道を事例に地理空間情報の整備・分析方法の検討および、火山情報の配信システムの検討を行った。研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成については、住民の地震リスク認知や専門家に対する信頼性についての検討および、新潟県の自然災害における情報発信ポータルサイトの整備、桜島の火山避難計画・防災対策の検討を行った。

今後は、初年度である本年度における検討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、史料データベースなどの歴史資料などにに基づき、歴史時代に発生した地震・津波・火山災害などの自然災害について、更に事例収集を行い、当時の人々の対応や教訓、復興過程などについて検討する。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前年度に引き続いて、過去の災害経験（特に東日本大震災）およ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の活用実績をもとに検証を行う。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について調査分析を行ったり、噴火事象系統図にリストアップされる個々の噴火の規模と様式について、前駆活動及び火山噴火推移の事象の発現に沿った避難計画策定の可能性について検討を行っていくことが重要である。

成果リスト

- Guo, Y., K. Koketsu, and H. Miyake, 2014, Effects of accretionary prisms on 3-D long-period ground motion simulations, 2014 AGU Fall Meeting, Abstract S31C-4421.
- 橋本雄一（編），2014，「三訂版 GISと地理空間情報—ArcGIS10.2とダウンロードデータの活用」古今書院，176pp.
- 橋本雄一，2014，北海道における津波浸水想定域人口の推定，北海道大学文学研究科紀要，144. 31-65.
- 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.
- 深田秀実・橋本雄一，2014，地方自治体における自立的な津波ハザードマップ作成のためのPM手法適用可能性に関する検討，地理情報システム学会講演論文集，23，CD-ROM.
- 川村真也・深田秀実・橋本雄一，2014，ファジィAHPによる観光地の地域特性分析．地理情報システム学会講演論文集，23，CD-ROM.
- 川村 壮・橋本雄一，2014，積雪寒冷地における港湾都市の内部構造と津波災害に関する時空間分析，地理情報システム学会講演論文集，23，CD-ROM.
- 木村玲欧，2015，災害・防災の心理学—教訓を未来につなぐ防災教育の最前線，北樹出版，244pp.
- KIMURA, R., INOBUCHI, M., TAMURA, K., and HAYASHI, H., 2014, "Comparison Between the Life Recovery Processes After the Mid-Niigata Earthquake and the Chuetsu-Oki Earthquake - Results of a Random Sampled Social Survey Using the Life Recovery Calendar and GIS-Based Spatiotemporal Analysis", Journal of Disaster Research, Vol.10, No.2, 196-203.
- 額額一起・大木聖子，2015，ラクイラ地震裁判 —災害科学の不定性と科学者の責任—，科学技術社会論研究，11，50-61.
- 黒田由彦編，2015，「脆弱性とプリペアードネス」研究会活動報告書，「東南海・南海地震に対する地域社会の脆弱性とプリペアードネスに関する実証的研究」報告書（科学研究費・基盤研究（B） 研究課題番号：24330151）．
- 三宅弘恵・宮川幸治・額額一起・田守伸一郎・坂上実，2014，諏訪盆地における強震観測と地盤震動特性，日本地震学会2014年度秋季大会，S16-P18.

- 三好達也・橋本雄一，2014，国勢調査人口メッシュと避難施設データを利用した地域分析，地理情報システム学会講演論文集，23，CD-ROM.
- 最上龍之介・橋本雄一，2014，釧路市における保育施設の立地と津波災害時避難に関する空間分析，地理情報システム学会講演論文集，23，CD-ROM.
- 奥野祐介・橋本雄一，2014，積雪寒冷地における擬似的避難行動軌跡データを用いた避難経路の状況分析ー北海道ニセコ町を事例としてー，地理情報システム学会講演論文集，23，CD-ROM.
- 奥野祐介・橋本雄一，2014，積雪寒冷地における擬似的津波避難に関する移動軌跡データ分析，GISー理論と応用，23（1），11-20.（受理済み，印刷中）
- 塩崎大輔・橋本雄一，2014，ICTを用いた除排雪車位置情報システムの利活用，地理情報システム学会講演論文集，23，CD-ROM.
- 玉置哲也・多々納裕一，2014，降下火山灰による道路機能障害評価とその復旧順序決定法の提案，自然災害科学，33，165-175.
- Takai, N., M. Shigefuji, M. Aoki, S. Bijukchhen, T. Sasatani, Y. Dhakal, S. Rajaure, and M. Dhital, 2014, Strong motion observations in the Kathmandu basin, Nepal, AOGS 11th Annual Meeting, Abstract SE33-A021.
- Viens, L., H. Miyake, and K. Koketsu, 2014, Ground motion prediction of subduction earthquakes using the onshore-offshore ambient seismic field, 2014 AGU Fall Meeting, Abstract S41A-4455.



元禄十六年(1703)十一月二十三日に発生した元禄関東地震は，南関東一円に多大な被害を与えており，江戸城や江戸市中での被害が大きかった。

丑后刻(午前3時前)に発生したこの地震の際に，東照宮の本殿や拝殿，大猷院(徳川家光の廟所)の建物は無事であった。

境内での被害は，石燈籠11基の九輪が落下し，燈籠が1基倒れ，石鳥居の笠石の継手が緩んだ程度で軽微であった。

未明の地震発生から巳后刻(午前11時前)まで地震が60回余あった。

1. 『御番所日記』(『日光叢書』第一卷，第三卷)と江戸時代の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])

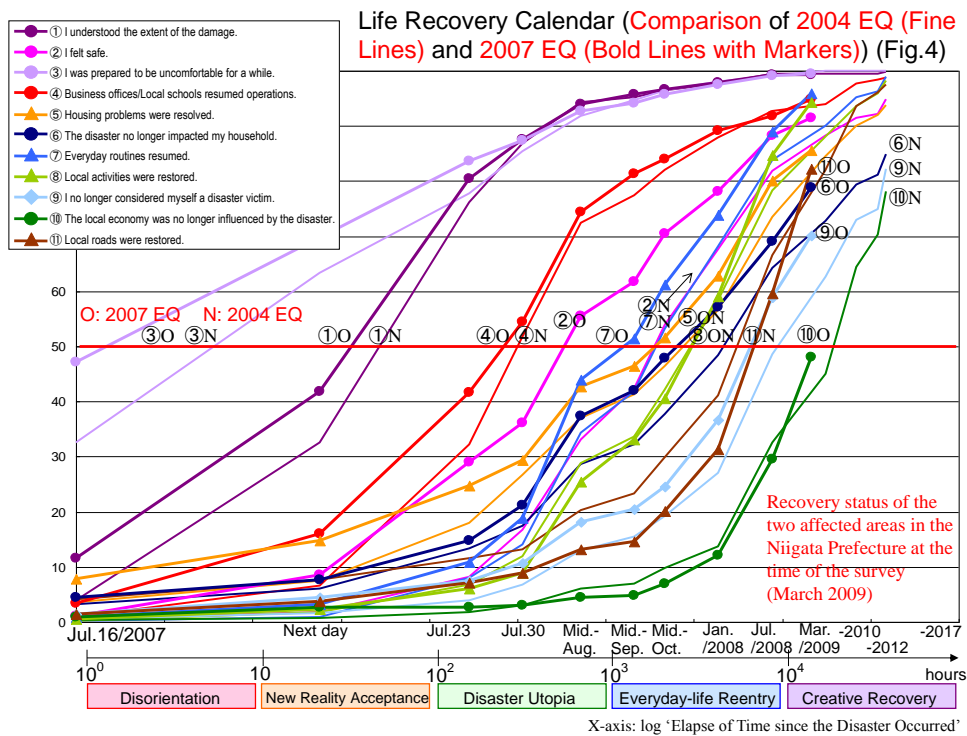


図2. 無作為抽出の社会調査による中越地震と中越沖地震の復旧・復興過程の比較検討（復旧・復興カレンダー）（新潟大学[課題番号：2702]）

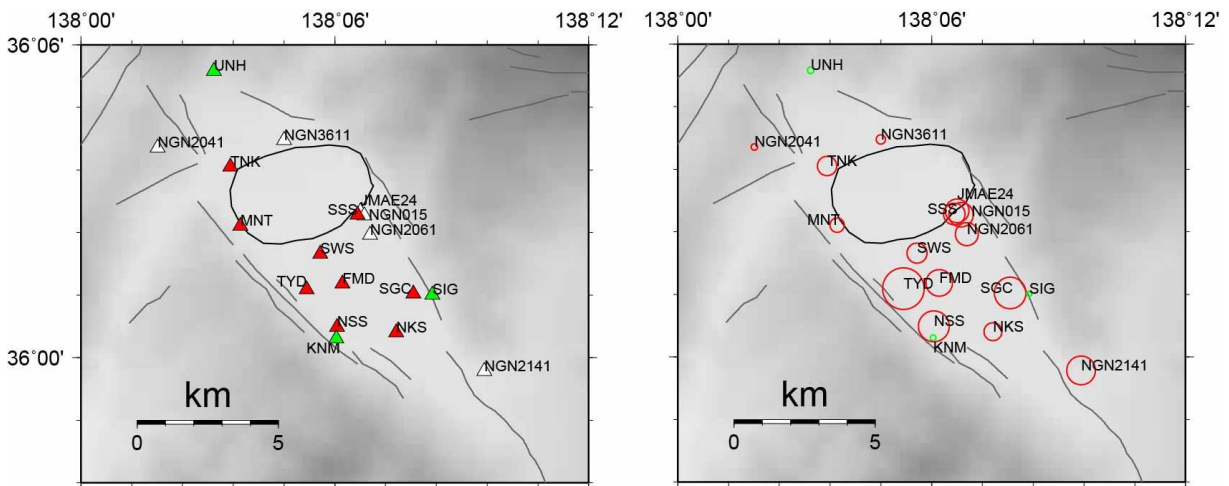


図3. 左：諏訪盆地において強震記録を収集した観測点。白は国や自治体による観測点、赤は大学による盆地内観測点、緑は大学による盆地外観測点を示す。右：2011年東北地方太平洋沖地震で記録された最大加速度。盆地内の最大値はTYD観測点における100 cm/s/s（東京大学地震研究所[課題番号：1515]）

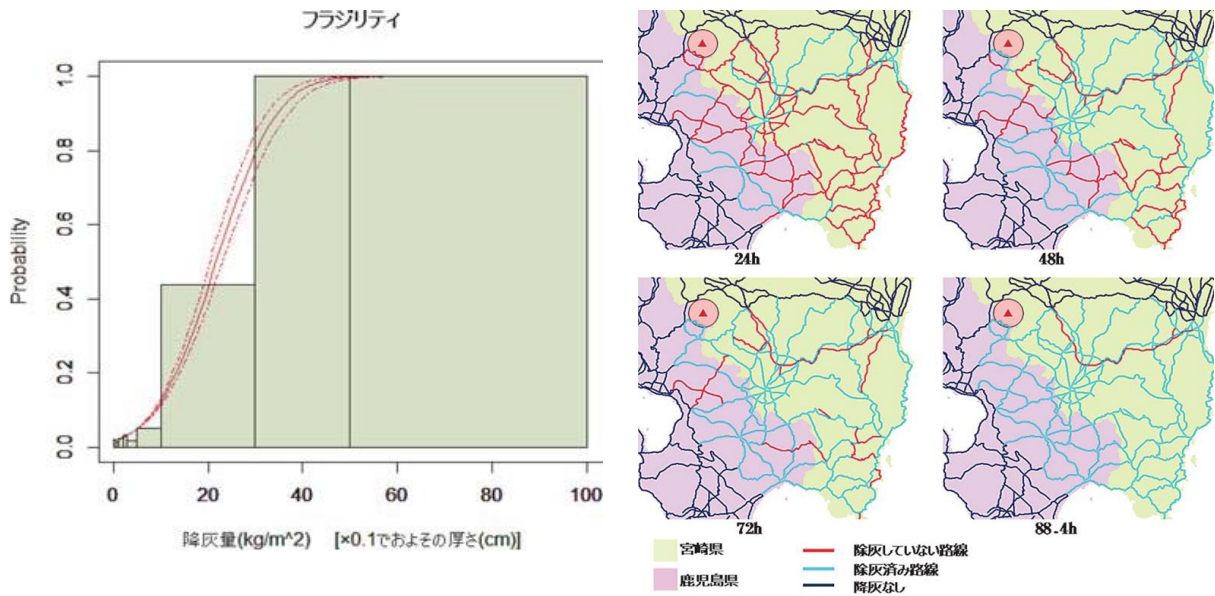


図4. 左：降灰量による交通規制に関する機能的フラジリティ曲線，右：効率的な道路復旧順序（高速道路を除く）（京都大学防災研究所[課題番号：1914]）

ボトムアップ型コミュニティ防災 空間の形態に現れる脆弱性

長期的土地利用変化
広範囲・高精度復元
変化パターンとプロセス
被害程度との関連、変化要因
空間リスクのモデル
コミュニティの災害リスク評価

東日本大震災浸水域
100年間の土地利用復元

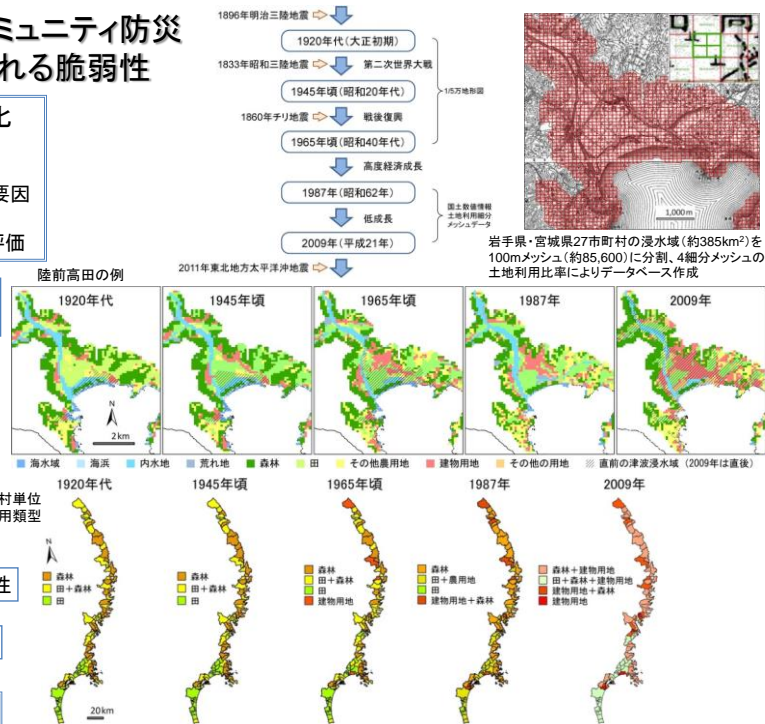
土地利用変化
パターン
プロセス

被害程度
変化要因

社会（組織・活動）の脆弱性

空間リスクの評価モデル

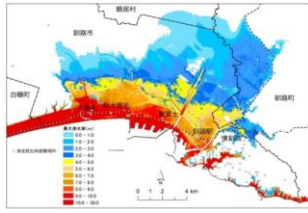
南海トラフ被害想定地域



高橋 誠・堀 和明・安藤優太(名古屋大学大学院環境学研究所)

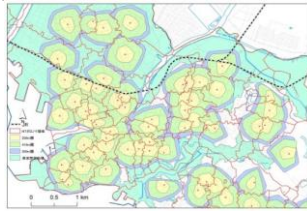
図5. 東日本大震災の被災地を調査対象とした長期的土地利用の変化と被害から明らかとなる脆弱性の検討（名古屋大学[課題番号：1704]）

1. 津波想定域の可視化技術開発



北海道が発表している津波想定データをGISにより可視化。低コストでハザードマップを作成する技術を開発し自治体に提供。

2. ネットワーク空間でのポロノイ領域分割とバッファ生成による避難困難地域の抽出法開発



GISで避難スペースが不足する地域や避難場所への到達困難な地域を抽出。

4. 避難行動の障害に関する空間分析技術開発

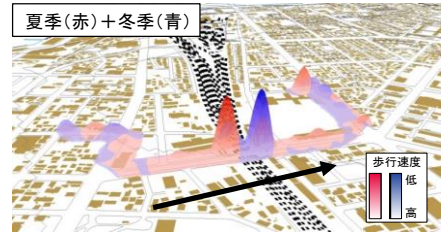


GISによるログ解析によりミクロスケールでの避難行動における障害を特定。

3. スタンドアロン避難ナビシステムの開発および避難行動ログ収集



ネットワークへの接続なしでも機能する避難ナビをタブレット端末で開発。これを冬季と夏季の疑似避難訓練で使用し、衛星測位による避難行動ログを収集。



冬季と夏季の結果を比較することで、積雪の有無による避難行動の障害の相違を明確化。

図 6. 携帯型地理情報システムの構築および検証による避難行動の現状・課題分析（北海道大学[課題番号：1006]）

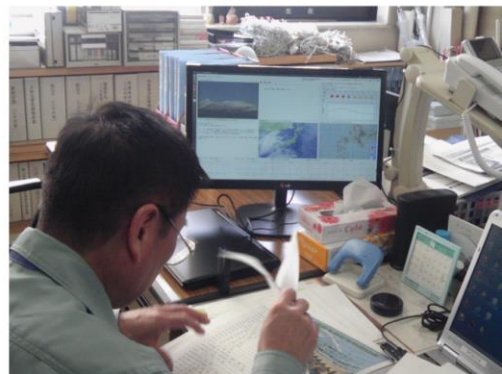
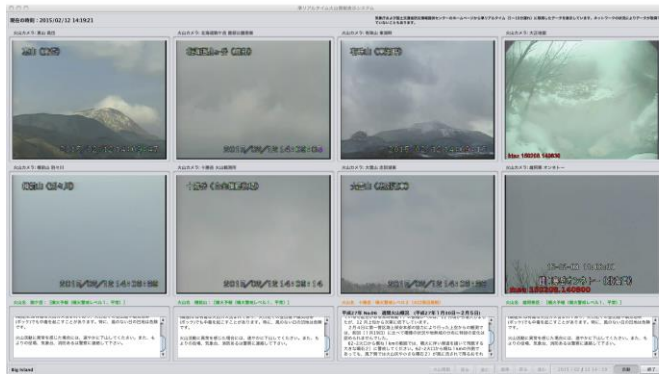
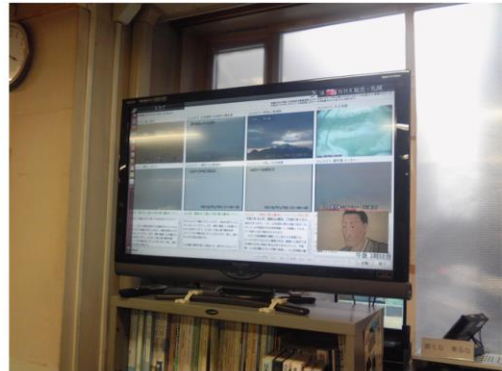
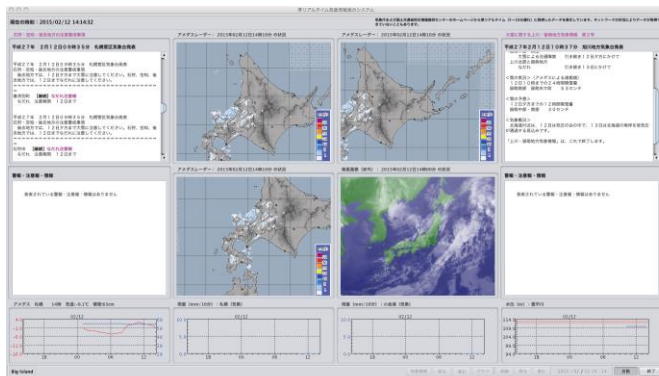


図 7. 北海道総務部危機管理局危機対策課の大型ディスプレイに表示される二つの画面（左の上下）と、危機対策課（右上）および七飯町の防災担当者のサイドテーブルに置かれたシステム（右下）（北海道大学[課題番号：1009]）

地震に関するアンケート

Q1 どれくらいの不確実性が含まれると思いますか？
【必須入力】

1 ほとんど不確実性はな い	2	3	4	5 大きな不確実性がある
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Q2 あなたがお住まいの地域における今後 30年間の地震リスクを予測することには、
どれくらいの不確実性が含まれると思いますか？
【必須入力】

1 ほとんど不確実性はな い	2	3	4	5 大きな不確実性がある
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Q3 あなたは、専門家が、あなたがお住まいの地域で今後 10年のうちに巨大地震が発生するかどうかの
予測の精度を向上させることは、どれくらい簡単、あるいは、難しいと思いますか？
【必須入力】

1 非常に簡単	2	3	4	5 非常に難しい
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

【後略】

図 8. 一般市民を対象として設計された社会調査アンケート画面(東京大学地震研究所[課題番号:1517])
地震学者の観点から、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を調査

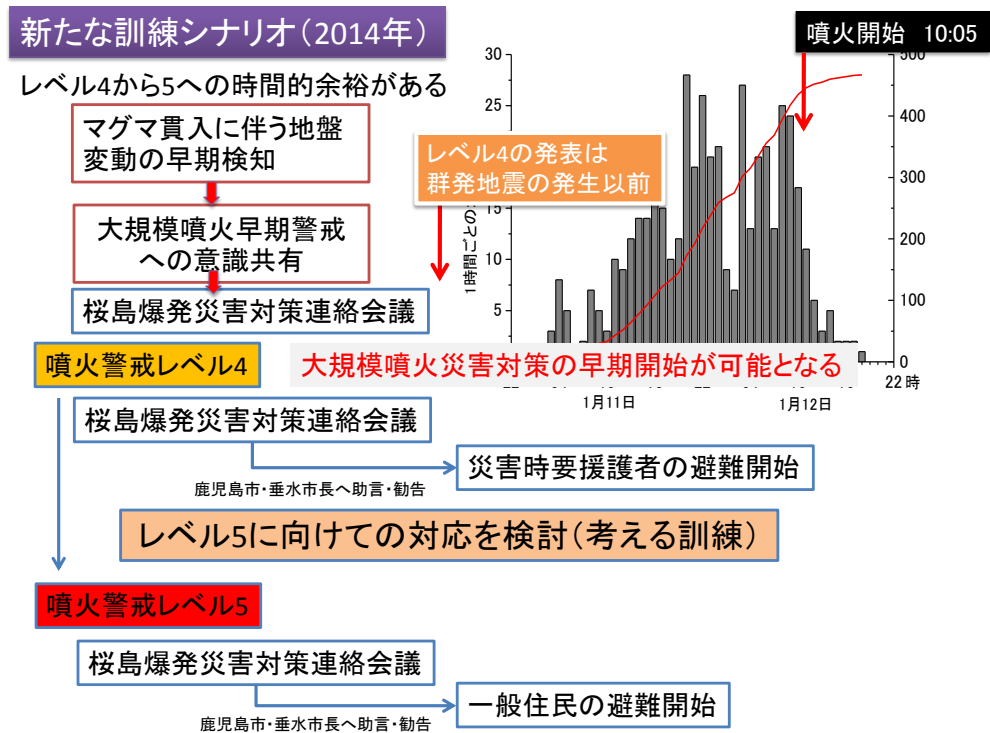


図 9. 桜島におけるレベル 4 から 5 への時間的余裕を考慮した新たな訓練シナリオ (京都大学防災研究所[課題番号: 1914])

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るためには過去に発生した地震について知る必要がある。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のみである。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ことから、史料や考古資料などと近代的な観測データとの比較・検討を通してその全体像の把握に努める必要がある。

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、地震およ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から「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およびそれに起因する災害の研究に活用するためには、既存の地震関連史料集や考古遺跡の発掘調査報告書などのデジタルデータ化が必要である。これに加えて、新たな史資料の収集や分析も実施しなければならない。今年度は本研究計画の初年度にあたることから、主に史資料の調査・収集、デジタルデータ化に関する作業方針の検討、データベースの試作版の作成などを実施した。

ア. 史料の収集とデータベース化

・地震関連史料の調査・収集とデータベースの構築

既刊地震史料集のうち『増訂大日本地震史料』や『新収日本地震史料』に収録されている史料を中心として、その史料本文の構造を検討し、「日本歴史地震関連史料データベース」（試作版）を構築した。本データベースでは、地震に関する史料情報を年月日や語句などから多角的に検索でき、史料名だけでなく史料本文全体も検索の対象としている。また、このデータベースに搭載する史料データは、既存の地震史料データベースでは大部分が未収録である近世の地震史料を対象としている。そこで、既刊地震史料集に収録されている近世史料について、XML データ化のためのタグ付けおよび入力作業を実施した。一方、新史料の収集については、東海地方において長期間にわたる日記史料が伝存している三河国田原藩（現愛知県田原市）の「田原藩日記」の調査・撮影を実施した（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

17～19 世紀の新潟県域における地震関連史資料を収集するために、県内およ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、既刊地震史料集に所収されている史料の原本調査と校訂作業を実施した。特に、長岡市立中央図書館所蔵「長岡藩御附録」・福島県歴史資料館寄託「寛文以

来万覚書」・秋田県公文書館所蔵「岡本元朝日記」について調査・翻刻し、校訂・解説を行った。また、既刊地震史料集に所収されている「寛文以来万年代記」について原本調査と校訂作業を行った。さらに、新潟市内の小学校に保存されていた1964年（昭和39年）新潟地震の資料調査を実施し、8ミリフィルム・写真のデジタル化を行った（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

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（1847～53年〈弘化四～嘉永六年〉分・1856～57年〈安政三～四年〉分）を行った。徳川林政史研究所・名古屋市蓬左文庫・岐阜市歴史博物館・佐賀県立図書館・唐津市近代図書館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。また、南海トラフ沿いの地震に関わる地域の「神社明細帳」について高知県・和歌山県で調査を行い、海岸線沿いの市町村についてはほぼ調査が完了した。さらに、高知県・和歌山県・愛知県・三重県・岐阜県・静岡県・長野県について、地方史資料の収集を行った。一方で、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・史料所蔵先などを入力し、検索できるシステムを構築した。これによって、既刊地震史料集に所収されている史料の掲載頁が検索できるようになり、史料を重複して収集することが減ると考える（名古屋大学〔課題番号：1701〕）。

・東北地方太平洋沿岸地域における歴史災害関連史資料の収集と分析

2011年（平成23年）3月の東日本大震災の津波被災地域である岩手県沿岸部を中心に史料調査を実施した。この調査では、従来の研究では用いられてこなかった、いくつかの新たな災害関連史料の情報を得ることができた。地震・津波に関する災害史料としては、1856年8月23日（安政三年七月二十三日）に発生した八戸沖が震央とされる地震と津波について、野田村での被害状況を記した中野勘左衛門書状（『野田郷之古文書 第三集』所収）がある。従来の研究では同地の死者数のみが把握されていたが、この史料によると現在の野田村玉川地区周辺で塩釜への浸水が確認できる。また、八戸市史編さん室所蔵の「宗家文書」1003号には、八戸藩域の被害状況について従来の数値と若干異なる記述が確認された。さらに、宮古市史編さん室での調査によって、津軽石の豪商であった盛合家の「盛合家文書」からは1804年（文化元年）の出羽象潟地震の報告、鶴磯の海商であった岩船家の「岩船家文書」からは1855年（安政二年）の安政江戸地震における地震見舞の存在が確認された。今後、これらの史料の分析を進めることにより、前近代における遠隔地間での災害情報の共有について、その実態を知ることができる（公募研究〔課題番号：2927〕）。

・東アジアの地震関連史料のデータベース化

東アジアにおける地震関連史料の特性を検討するために、「世界の被害地震の表（古代から2010年まで）」に含まれる中国の宋代までのデータを抽出し、個々のデータの基となる史料のテキストデータと書誌データを追加する作業を実施した。これにより、「世界の被害地震の表」のデータに文献史的な裏付けを付加することができた。また、当該の表に記載されていないデータや地震関連史料が多く存在することも判明したため、それらのデータを追加した。この研究で使用した手法については、今後、日本における地震関連史料のデータベースを構築する際に応用が可能である（公募研究〔課題番号：2928〕）。

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

発掘調査報告書が充実している新潟県を中心として、約8,000件の発掘調査事例を検討し、約350件

の地震・火山噴火に関する災害痕跡を抽出した。これらの災害痕跡について、発掘調査報告書から資料を収集してデータを整理しつつ、データベースを構成する項目を選定し、項目ごとの情報型（文字情報、画像情報、ID化情報など）を定義した。また、各項目の有効性を検討しながらデータ入力を進め、データベース構築では、システムサーバーの導入やデータベースの基本構造の設計およびプログラミングを実施した。さらに、発掘調査現場における災害痕跡調査を実施した。一例として、奈良文化財研究所が実施した平城第530次調査では複数時期にわたる地震痕跡（噴砂）を検出して、その堆積構造調査・堆積土層剥ぎ取り調査・土壌の粒土組成解析用試料採取と分析などを行った。文献史料については、考古資料との比較・対照の際の課題について検討した（奈良文化財研究所〔課題番号：9001〕）。

ウ. 地質データ等の収集と整理

・津波堆積物のデータベース化に向けた準備作業

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参加し、主に北海道の既存資料について整理を進めた。また、ロシアの沿海州における歴史津波の痕跡高について、ロシアの研究者と共同でロシア語の文献から情報を抽出する作業を実施した。さらに、沿海州では津波堆積物調査を実施し、歴史記録がない古津波についての知見も得られつつある。関東地方については、神奈川県温泉地学研究所の研究者と共同で、鎌倉市などで中世の津波の堆積物を調査しているが、説得力のあるものは見つかっていない。北海道東部太平洋沿岸の古津波について、すでに公表されている論文や報告書を精査した。これによって、明らかに巨大で広範囲におよぶ津波が、過去3000年ほどの間に5回あったと考えるのが妥当であることがわかった。これらの巨大津波は、根室海峡を伝搬して北海道の別海町や国後島南部でも遡上した痕跡が見つかった（東京大学地震研究所〔課題番号：1501〕）。

(2) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

史料や考古資料の分析に基づいて、機器観測以前に発生した低頻度で大規模な地震・火山噴火災害を調査することは、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、近代以降の機器観測に基づく観測データとの比較・検討が可能になると考える。このような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役立つと考えられる。また、例えば地震災害の場合、被害分布図などを作成する際に、信憑性の高い史料記述に基づいて被害発生場所を調査し、考古資料に基づいて先史時代の被害痕跡の時期を分析することが必要であり、学術的な妥当性を確保する上でも重要である。

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

・地震や火山噴火の関連史資料に基づく低頻度大規模災害の調査

1855年（安政二年）の安政江戸地震を事例として、その被害発生場所の特定を試みた。「安政見聞誌」（全3巻）には、安政江戸地震における地震や火災の被害記述だけでなく、発災時に話題となった被害発生場所について被害の様子を描いた挿絵も収録されている。この挿絵には、後に類焼によって焼失してしまう以前の市街地も描かれており、地震では軽微な被害であった市街地が類焼によって焼失に至った状況がわかる。このような被害発生場所について、他の様々な史料を用いて調査・検討し、地震発生12年前の1843年（天保十四年）に作成された「江戸大絵図」を用いて地図上に図示した。当時の絵図

を用いて被害分布図を作成することによって、地震やその後の火災による被害の要因や傾向について分析が可能となった（東京大学地震研究所〔課題番号：1501〕）。

- ・日本海沿岸地域とその周辺での地震災害の調査

1833年（天保四年）の出羽庄内沖地震における被災地の一つである能登半島の輪島地域の災害絵図を調査し、絵図のトレース図を作成した。また、1858年（安政五年）の安政飛越地震における被災地の一つである岐阜県の飛騨地域の災害絵図を調査し、絵図のトレース図を作成した。さらに、飛騨地域の災害絵図に描かれた斜面崩壊の年代を自然科学的に確定するため、採取した試料について¹⁴Cウイグルマッピング法で年代測定を行った（新潟大学〔課題番号：2701〕）。

- ・文献史料の収集と分析による歴史災害の調査

文献史料の収集・解説および現地調査を行い、史料データに基づいて過去に発生した地震などの解析を実施した。今年度は特に、1847年（弘化四年）の弘化善光寺地震、1855年（安政二年）の安政江戸地震とその後1856年（安政三年）の江戸の風水害、1783年（天明三年）の天明浅間山噴火を対象とした。弘化善光寺地震および天明浅間山噴火については、京都大学所蔵の史料を中心に解説を行い、既存の地震関連史料集に収録されている史料との比較・検討を行った。安政江戸地震および関連する災害である翌年の江戸の風水害については、史料の翻刻を実施した。（京都大学防災研究所〔課題番号：1901〕）。

- ・北海道渡島大島火山の寛保噴火による山体崩壊とマグマ活動に関する調査

文献史料に基づいて、北海道渡島大島火山の寛保噴火（1741年）によって生じた山体崩壊とマグマ活動について調査・検討するため、北海道・東北地方を中心とする全国各地の文書館・図書館などの史料保存機関において関連史料を収集した。これらの文献史料を検討した結果、従来知られていた以上に頻繁に小規模の降灰や臭気の観測記録があり、供給源が渡島大島の可能性が高いことがわかった。また、1741年（寛保元年）以降およそ50年にわたり、微量の火山灰噴出が数年から10年おきに繰り返したことがわかった。さらに、1741年8月29日（寛保元年七月十九日）の津波について、新たに山形県鶴岡市の「鶏肋編」や新潟県村上市の「記事別集」に津波到来の記事が確認できた（公募研究〔課題番号：2926〕）。

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、近代的な観測が開始される以前の歴史時代や先史時代に発生した地震・火山噴火やその災害に関しては、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、地球物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恐れがある。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地球物理学的な研究には、学術的な手続きの上で少なからぬ問題が内在していた。

今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」においては、近代的な観測記録がない地震や火山噴火に関して、地震学や火山学といった理系の分野だけでなく、歴史学や考古学といった文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発展を目指していくべきと考える。

成果リスト

- 小池伸彦, 2014, 災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画への参画, 奈文研ニュース編集委員会 (編), 奈文研ニュース, 54, 1.
- L. A. Ganzey, N. G. Razjigaeva, Yu. Nishimura, T. A. Grebennikova, V. M. Kaistrenko, A. O. Gorbunov, Kh. A. Arslanov, S. B. Chernov, and Yu. A. Naumov, 2015, Deposits of Historical and Paleotsunamis on the Coast of Eastern Primorye, Russian Journal of Pacific Geology, 2015, Vol. 9, No. 1, 64-79, DOI: 10.1134/S1819714015010029.
- 村田泰輔, 2014, 平城第 530 次発掘調査で発見された巨大地震の痕跡, 奈文研ニュース, 55, 1.
- N. G. Razjigaeva, L. A. Ganzey, Yu. Nishimura, V. M. Kaistrenko, Kh. A. Arslanov, S. B. Chernov, T. A. Grebennikova, A. O. Gorbunov, and K. S. Ganzey, 2014, Chronology of Tsunamis Documented in Sections of the Coastal Lowlands in East Primorye, Doklady Earth Sciences, 2014, Vol. 459, Part 2, 1609-1612, DOI:10.1134/S1028334X14120204.
- Nishiyama, A. and K. Satake, 2014, Overview of historical earthquake document database in Japan and future development, AGU 2014 Fall Meeting, T31C-4608, San Francisco California USA, 15-19 Dec., 2014.

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 卜部 卓（東京大学地震研究所）

データベースおよびデータ流通は、本計画を実行して行く上での、多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・維持を実現している。さらには、研究成果をコミュニティで効率的に共有する仕組みの構築の実現を目指している。

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 地震・火山現象に関する史料、考古データ、地質データ等の収集と整理

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 等の観測データの収集・解析を行い、蓄積した。全国の火山について、地震観測、GNSS 繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測により得られた観測データを解析し、蓄積した。平成 26 年度に噴火が発生した口永良部島や御嶽山のほか火山活動の高まりがみられた十勝岳、吾妻山、草津白根山、霧島山（えびの高原周辺（硫黄山））において、緊急観測により収集した火山活動の詳細なデータを解析し、蓄積した。これらのデータの蓄積にあたって、今後の活火山総覧の改訂に活用できるようにデータベース化した（気象庁[課題番号：7001]）。

仙台平野における津波堆積物の情報およびそれに基づいた 869 年貞観地震の津波浸水シミュレーション結果について整備し、これらの津波浸水履歴情報を web の地図上で閲覧できるシステムを構築し、公開した（図 1）（産業技術総合研究所[課題番号：5001]）。また、活断層データベースへ新規データを入力するとともに、活断層ストリップマップ等、活断層調査結果の情報を検索・表示させるシステムを構築・実装した（図 2）（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、蔵王火山及び九重火山で火山地質図を完成し、印刷刊行した（産業技術総合研究所[課題番号：5003]）。

アジア地域の地震および火山関連情報の収集整備を進めており、東アジア地域地震火山災害図（1:7,500,000）の作成準備、アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システム（Asia-Pacific region Earthquake and Volcanic Hazard Information System）の構築、インドネシア火山情報システムの開発、web ベースの火山災害予測支援システムの高度化、巨大噴火が起る可能性についての評価技術構築のため、噴出率の低下・マグマの組成変化・爆発的噴火の増加などが進行しつつある複成火山であるインドネシアのスンドロ火山で噴火履歴調査を行った（産業技術総合研究所[課題番号：5009]）。

(5) 火山現象のモデル化

全国の主な海岸部 27 点で運用する GPS 観測点において、沿岸地殻変動の通年観測を実施し

ている。2014年7月28日には、伊豆大島付近で発生した地震（M4.4）にともなう西北西1.0 cmの変動を伊豆大島局で検出した（図3）（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過去震源の改定に関しては、1955・1958・1975年を対象とした解析作業が完了し、震源カタログに反映された。この3年間は、震源の緯度、経度の情報は度・分までの記述にとどまる等、最近の記録と比較すると、地震活動の詳細把握が困難な状況だった。特に1975年は1965年以降の処理基準の変更により、それ以前と比べ規模の小さな地震の震源が決められていなかった。再解析に当たっては、単純に現在の計算手法を適用するだけでなく、これまで使われていなかったデータの補足等によって、震源の質・量について大幅な改善を行った（図4）（気象庁[課題番号:7019]）。

地震観測、地殻変動観測、潮位観測、地磁気観測、全国の火山観測が継続的に進められた。火山観測施設として、北海道駒ヶ岳、樽前山、岩手山、九重山、雲仙岳の観測施設を更新するとともに、平成26年度に噴火した口永良部島と御嶽山および噴火の恐れがある霧島山に置いて臨時観測機器による観測強化を行った（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、引き続き統一的な形式に整理し、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（気象庁[課題番号:7018]）。

全国において、GNSS連続観測点（GEONET）を平均20km間隔の配置を維持するとともに、地殻変動連続観測を実施し、日本列島全域の地殻変動・火山活動のモニタリングを着実にを行った。地震については、東北地方太平洋沖地震後の継続的な余効変動、2014年11月22日に発生した長野県北部の地震（M6.7）に伴う地殻変動を検出した。また、2014年夏頃から豊後水道周辺において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、霧島山、桜島周辺等において火山活動に伴う地殻変動を検出した（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するとともに、関係機関と潮位データの共有化を進めた。御前崎周辺や牡鹿、神奈川、室戸地域などで水準測量を実施し、火山周辺での機動地殻変動観測や航空機SAR観測を実施した（国土地理院[課題番号:6006]）。

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3点の絶対重力観測、一等重力点等57点で相対重力観測を実施し、日本基準重力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（国土地理院[課題番号:6007]）。

宇宙測地技術による地殻変動監視により、9月27日の御嶽山噴火に伴う変動を検出した。また、11月22日に発生した長野県北部を震源とする地震に対してSAR干渉解析を行い、白馬村を中心とする東西約30km、南北約30kmの地域における地殻変動を検出した(図5)(国土地理院[課題番号:6008])。干渉SAR解析については、数値気象モデルを用いた大気起因誤差の低減技術を解析に組み込むとともに、電離層の影響による誤差を低減する手法の開発を進めている(国土地理院[課題番号:6013])。

火山土地条件図「新潟焼山」の数値データの整備及び「秋田駒ヶ岳」の火山土地条件調査を実施した(国土地理院[課題番号:6009])。

都市周辺の主要な活断層について、位置・地形等のデータベースの充実を図るため、六甲・淡路島断層帯とその周辺「洲本」「由良」「鳴門海峡」、警固断層帯とその周辺「福岡(改訂版)」「甘木」「脊振山」、三峠・京都西山断層帯とその周辺「園部」7面の都市圏活断層図を整備・公開及び砺波平野断層帯、三峠・京都西山断層帯、山崎断層帯、雲仙断層群、人吉盆地南縁断層帯の調査を実施した(国土地理院[課題番号:6010])。

GPS連続観測データやGNSS、水準測量、験潮等の地殻変動観測喧嘩に関するデータベースの更新や電子基準点誤差分析システムの構築など、解析技術の高度化を実施した(国土地理院[課題番号:6011, 6012])。

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、気象庁の連携により、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。また、南海トラフ海域において、海底地形の調査を実施した(海上保安庁[課題番号:8005, 8006])。

Hi-Net, F-net, Kik-net, K-NET の陸域基盤の地震観測施設の安定的に運用している(図6)。また、日本海溝海底地震津波観測網(S-net)に関し、三陸沖北部システムと宮城・岩手沖システムの敷設工事を実施した。重点的に強化すべき火山についても観測施設整備を進めている。これらのデータはホームページから公開している。また、「日本列島標準モデル」としてこれらのデータから得られた陸域から海域までの地震波速度構造について、より簡便に描画するソフトウェアを公開した(防災科学技術研究所[課題番号:3004])。

観測データ流通網JDXnetを安定的に運用し、大容量・多項目のデータをリアルタイムで効率的に流通させるとともに、災害時に強いデータ収集・中継システムとして、東西2か所のSINET4データセンタ内中継拠点の利用を進めた(図7)。また、長期連続データ解析のための大規模アーカイブシステムを導入した(地震研究所[課題番号:1518])。研究成果共有システムの構築にあたるWebアプリケーションの技術要素について既存サービスを調査することにより、その長所や短所の洗い出しを行った。地震活動解析アルゴリズムであるETASをGUIにより行うツールを開発した(図8)(地震研究所[課題番号:1519])。

GNSS・地殻変動連続観測等の多項目観測データ全国リアルタイム流通一元化解析を実施するための環境整備を進め、地殻変動連続観測等データの全国流通・公開を実施した。(北海道大学[課題番号:1007])。

阿蘇火山では2014年11月25日から本格的な噴火が始まった。この噴火に先立ち、1930年代

に観測されていた微動と同じような周期・振幅をもつ微動（Sassa, 1936 の分類による第 1 種微動）が、2014 年 10 月 20 日ころからウィーヘルト地震計・上下動で捉えられている。1930 年代は最近 100 年間で、阿蘇火山が最も活発であった時期であり、今後の阿蘇火山の活動推移を予測する上で、当時の記録を精査することが重要である。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 1931 年～1934 年に記録された煤書き記録 500 枚をスキャンして、ハードディスクに格納した（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およびデータベースの統合化をどのように実現するのか、という点である。また、他の実施計画とどのように協調してデータベース構築を進めていくのかについて多くの時間を費やしたいと考えている。前計画においては、その作業の前段階として、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た。

本計画においては、ポータルサイトの維持管理から成果共有システムの開発を進めて行く予定である。ここでいう「成果」とは、学術論文としてまとめられたものそのものではなく、その解析過程で生産されたデータやカタログのことである。ただし、成果共有システムに求められる機能は多種多様である。システムの仕様策定はフォーマットをどうするかなど、コミュニティで議論を重ねて慎重に進めるべきであるが、それでは完成までに時間がかかり過ぎるおそれがある。まずはプロトタイプ開発をし、実際に利用しつつ、問題点を洗い出しながら開発を進めざるを得ないであろう。まずは、繰り返し地震のカタログの共有や過去に行われた臨時観測の波形データの共有から開始し、徐々にシステムの利用を加速させることが課題である。

成果リスト

阿部 聡, 宮原伐折羅, 森下 一, 小林勝博, 豊福隆史, 小山崇夫, 小河 勉, 2014, 「富士山全磁力連続観測データの解析」, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会予稿集, (発表番号 SEM36-01) .

Abe, S., B. Miyahara, T. Koyama, T. Ogawa, 2014, 「Development of analysis strategy for continuous total geomagnetic field data around Mt. Fuji」, AOGS2014, (SE40-D4-PM1-CA-001) .

阿部 聡 他, 2014, 「主成分分析を用いた地磁気全磁力モデルの開発」, 2014 年度 CA 研究会論文集.

岩切一宏・川添安之・長谷川嘉臣, 2014, 地震波形を用いた気象庁の震源過程解析 ―解析方法と断層すべり分布のスケーリング則―, 験震時報, 78, 65-91.

植平賢司, 2014, 日本海溝海底地震津波観測網, 計測と制御, 53, 477-481.

- 岡田篤正・熊原康博, 2014, 1:25,000 都市圏活断層図 六甲・淡路島断層帯とその周辺「洲本」
「由良」「鳴門海峡」解説書, 国土地理院技術資料 D1-No. 722, 30p.
- 川辺禎久・星住英夫・伊藤順一・山崎誠子, 2015, 九重火山地質図, 火山地質図 no. 19, 産業
技術総合研究所地質調査総合センター, 8p
- 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, 8p
- 海上保安庁, 2014, 海上保安庁による GPS 地殻変動監視観測, 地震予知連絡会会報, 92, 24-29.
- 海上保安庁, 2014, 海上保安庁による GPS 地殻変動監視観測, 地震予知連絡会会報, 93, 印刷中.
- 海上保安庁, 平成 26 年 (2014 年) 4 月 2 日, チリ北部沿岸で発生した地震による津波について
http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TIDE/kouho/20140407/tsunami_n-Chile_20140407.pdf
- Kawamoto, S., H. Munekane, Y. Hatanaka, H. Tsuji, K. Miyagawa, T. Furuya, and Y. Sato
(2014) : How GNSS Earth Observation Network System (GEONET) in Japan Contributes
to Geohazards Mitigation, paper presented at AGU Fall meeting.
- 気象庁, 2014, 地震・火山月報 (カタログ編) 平成 25 年 11 月号
- 気象庁, 2014, 地震・火山月報 (カタログ編) 平成 25 年 12 月号
- 気象庁, 地震月報 (カタログ編),
<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/index.html>, (参照 2015-2-1).
- 気象庁, The Seismological Bulletin of Japan,
http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/index_e.html, (参照 2015-2-1).
- 気象庁, 2014, 世界の地震活動 (2013 年 11 月~2014 年 4 月), 地震予知連絡会会報, 92, 364-385.
- 栗原忍, 2014, Ishioka: GSI Inaugurates First VGOS Telescope in Asia-Oceania (石岡 VGOS
観測施設: 国土地理院がアジア・オセアニアで最初の VGOS アンテナの運用を開始), IVS
Newsletter, 40, 1.
- 国土地理院, 2014, 日本全国の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 92, 8-23.
- 国土地理院, 2014, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 92, 192-221.
- 国土地理院, 2014, 東北地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 92, 66-88.
- 国土地理院, 2014, 関東甲信地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 92, 117-127.
- 国土地理院, 2014, 伊豆地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 92, 150-166.
- 国土地理院, 2014, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 92, 192-221.
- 国土地理院, 2014, 中国・四国地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 92, 338-342.
- 国土地理院, 2014, 九州・沖縄地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 92, 360-363.
- 澤井祐紀・宍倉正展・行谷佑一・谷川晃一朗・藤原 治・松本 弾・吉川敏之・渡部芳夫・黒坂朗
子, 2014, 「津波堆積物データベース」の公開 - 巨大津波に関する地質調査の結果を発信 -,
産業技術総合研究所プレスリリース (2014 年 10 月 14 日).
http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2014/pr20141014_2/pr20141014_2.html

- 産業技術総合研究所, 活断層データベース <https://gbank.gsj.jp/activefault/>
- 産業技術総合研究所, 日本の火山データベース <https://gbank.gsj.jp/volcano/>
- 産業技術総合研究所, Asia-Pacific region Earthquake and Volcanic Hazard Information System,
<http://ccop-geoinfo.org/G-EVER>
- 産業技術総合研究所, アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システム (Asia-Pacific region Earthquake and Volcanic Hazard Information System の日本語版) ,
<http://ccop-geoinfo.org/G-EVERj>
- Takada, A., R. Furukawa, K. Toshida, S. D. Andreastuti and N. Kartadinata, 2014, Hazard mitigation of a caldera-forming eruption: From past experience in Indonesia to modern society. In: CCOP (Ed.), Proceeding of the Thematic Session, “Geohazards: Impacts and challenges for society development in Asian countries”, GSJ Open-File Report, 609, 93-98.
- Takarada, S., J. C. Bandibas, Y. Ishikawa and G-EVER Promotion Team, 2014, Global earthquake and volcanic eruption risk management activities, volcanic hazard assessment support system and Asia-Pacific region hazard mapping project in G-EVER. Episodes, **37**, 321-328.
- 溜瀧功史, 2014, ベイズ推定を用いた一元化震源カタログのための自動震源決定法, 地震学会秋季大会予稿集, C32-02.
- 千田 昇・堤 浩之・後藤秀昭, 2014, 1:25,000 都市圏活断層図 警固断層帯とその周辺「福岡 (改訂版)」「甘木」「脊振山」解説書, 国土地理院技術資料 D1-No. 723, 26p.
- Tsukuda, E. and G-EVER Promotion Team, 2014, Report of the 2nd G-EVER international symposium and the 1st IUGS and SCJ international workshop on natural hazards and the “Sendai Agreement”, Episodes, **37**, 330-332.
- 福崎順洋・田邊正・黒田次郎・栗原忍・川畑亮二・若杉貴浩, 2014, Construction of a VGOS station in Japan (日本における VGOS 観測局の建設), 8 回国際 VLBI 事業 (IVS) 総会集録, 32.
- 福崎順洋・和田弘人・黒田次郎・栗原忍・川畑亮二・若杉貴浩, 2014, Receiving performance of Ishioka VGOS Antenna (石岡 VGOS アンテナの受信性能), IVS NICT Technology Development Center News, 34, 8.
- 宮崎隆幸, 吉田賢司, 宮原伐折羅, 2014, 「日本重力基準網 2013 (JGSN2013) の構築」日本測地学会第 122 回講演会講演要旨集.
- 武藤大介・上野寛・溜瀧功史・岩切一宏, 2014, 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震以降に活発化した福島県浜通りから茨城県北部における地震活動の特徴とその要因, 験震時報, 78, 1-28.
- 武藤大介・上野寛・川添安之・岩切一宏, 2014, 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震の前後に発生した地震の震源過程の解析, 験震時報, 78, 29-44.

- Munekane, H., J. Oikawa, and T. Kobayashi (2014) : The very-long-period seismic signals at Miyake-jima volcano during the caldera formation revisited: insights from GPS observations, paper presented at GENAH2014.
- 森下遊・山田晋也・山中雅之・吉川忠男・和田弘人・矢来博司・中埜貴元・飛田幹男・小林知勝・中島秀敏・神谷泉, 2015, だいち2号 SAR 干渉解析により捉えられた平成26年(2014年)長野県北部の地震に伴う地殻変動と地表変形, 国土地理院時報, 第127集, (印刷中).
- 矢萩智裕, 宮川康平, 川元智司, 大島健一, 山口和典, 村松弘規, 太田雄策, 出町知嗣, 三浦哲, 日野亮太, 齊田優一, 道家友紀, 2014, GEONETリアルタイム解析システム(REGARD)の全国対応, 日本地球惑星科学連合2014年大会予稿集, 53-54.
- Yahagi, T., K. Miyagawa, S. Kawamoto, Y. Sato, T. Nishimura, Y. Ohta, T. Demachi, R. Hino, S. Miura, Y. Saida, and Y. Douke (2014) :Launch of a New GEONET Real-Time Analysis System (REGARD) for Rapid Mw Estimates in Japan, paper presented at GENAH2014.
- 山田晋也・森下遊・和田弘人・吉川忠男・山中雅之・藤原智・飛田幹男・矢来博司・小林知勝, 2015, だいち2号 SAR 干渉解析による御嶽山噴火に伴う地表変位の検出, 国土地理院時報, 第127集, (印刷中).
- 矢守克也, 2014, 阿武山観測所サイエンスミュージアム構想, DPRI Newsletter, 74, 10-11.
- 吉田賢司, 2014, 「日本重力基準網2013(JGSN2013)」日本地球惑星科学連合2014年大会予稿集, (発表番号SGD22-P02).
- 若杉貴浩, 2014, 第8回国際VLBI事業(IVS)総会参加報告, 測地学会誌, 第60巻, 35.
- 若杉貴浩・川畑亮二, 2014, Status Report on the Tsukuba VLBI Station - Damage to the Substructure of the Antenna and Its Repair - (つくばVLBI観測局現状報告ーアンテナ基礎部の損傷とその修繕ー), 8回国際VLBI事業(IVS)総会集録, 150.
- 若杉貴浩・川畑亮二, 2014, Regular Geodetic VLBI Observation with a Wide-band Recording System (広帯域記録装置を用いた定常測地VLBI観測の実施), IVS NICT Technology Development Center News, 34, 11.
- 1:25,000 火山土地条件図「新潟焼山」解説書

基図は地理院地図と Google Maps を使用しており、データベース画面上で切り替えが可能

ブラウザ上で地図の拡大縮小が可能

地点をクリックするとその場所の地質柱状図を閲覧可能



地域によってはアイコンが色分けされており、津波堆積物のある・なしが視覚的に理解可能

図 1. 津波堆積物データベース (https://gbank.gsj.jp/tsunami_deposit_db/) の閲覧画面 ((独)産業技術総合研究所 [課題番号 5001])。 グーグルマップを活用しており、GUI 操作により調査場所の結果を閲覧可能である。

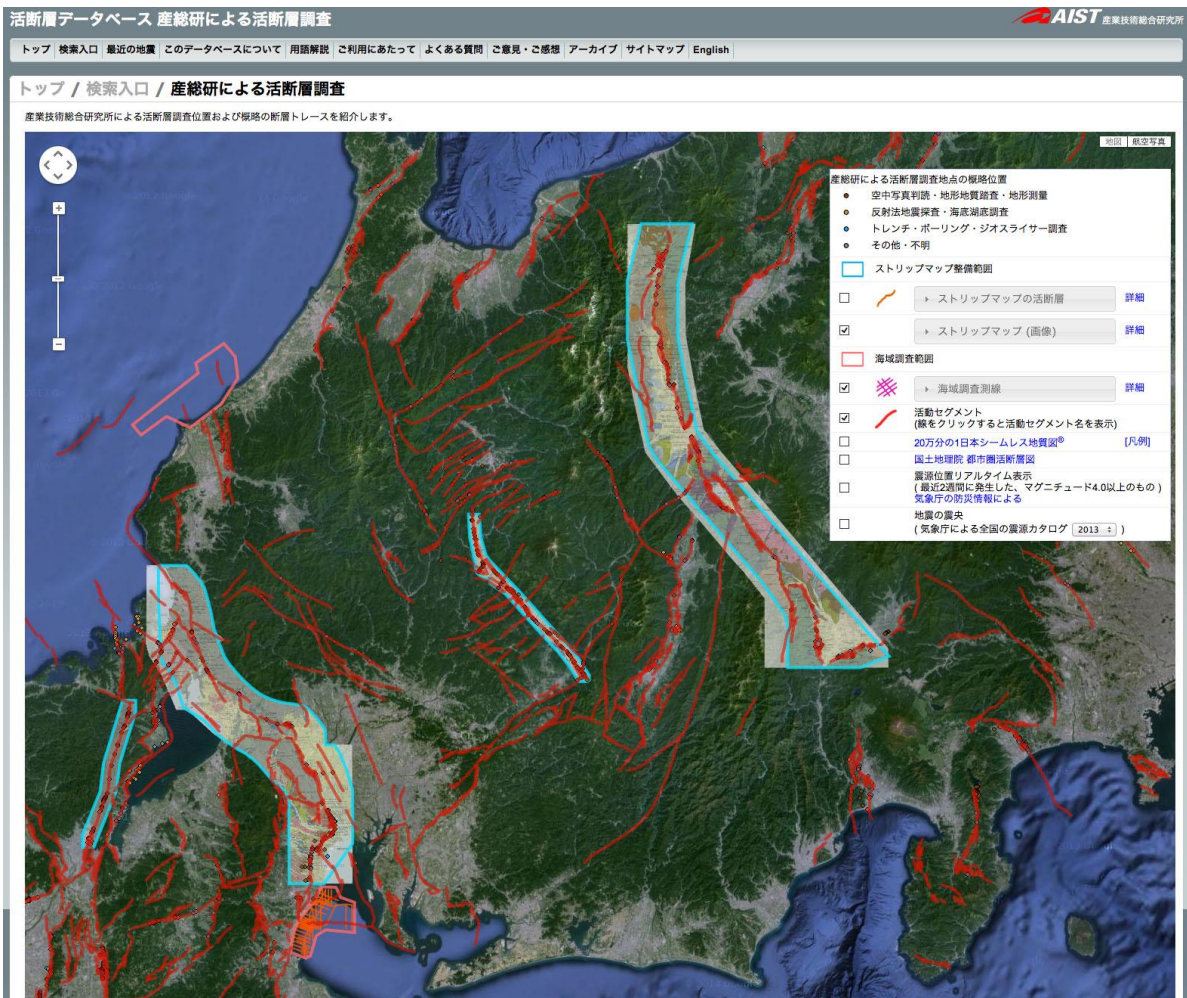


図2. 活断層データベース (https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html) の活断層調査の検索画面 ((独) 産業技術総合研究所 [課題番号 5002])。

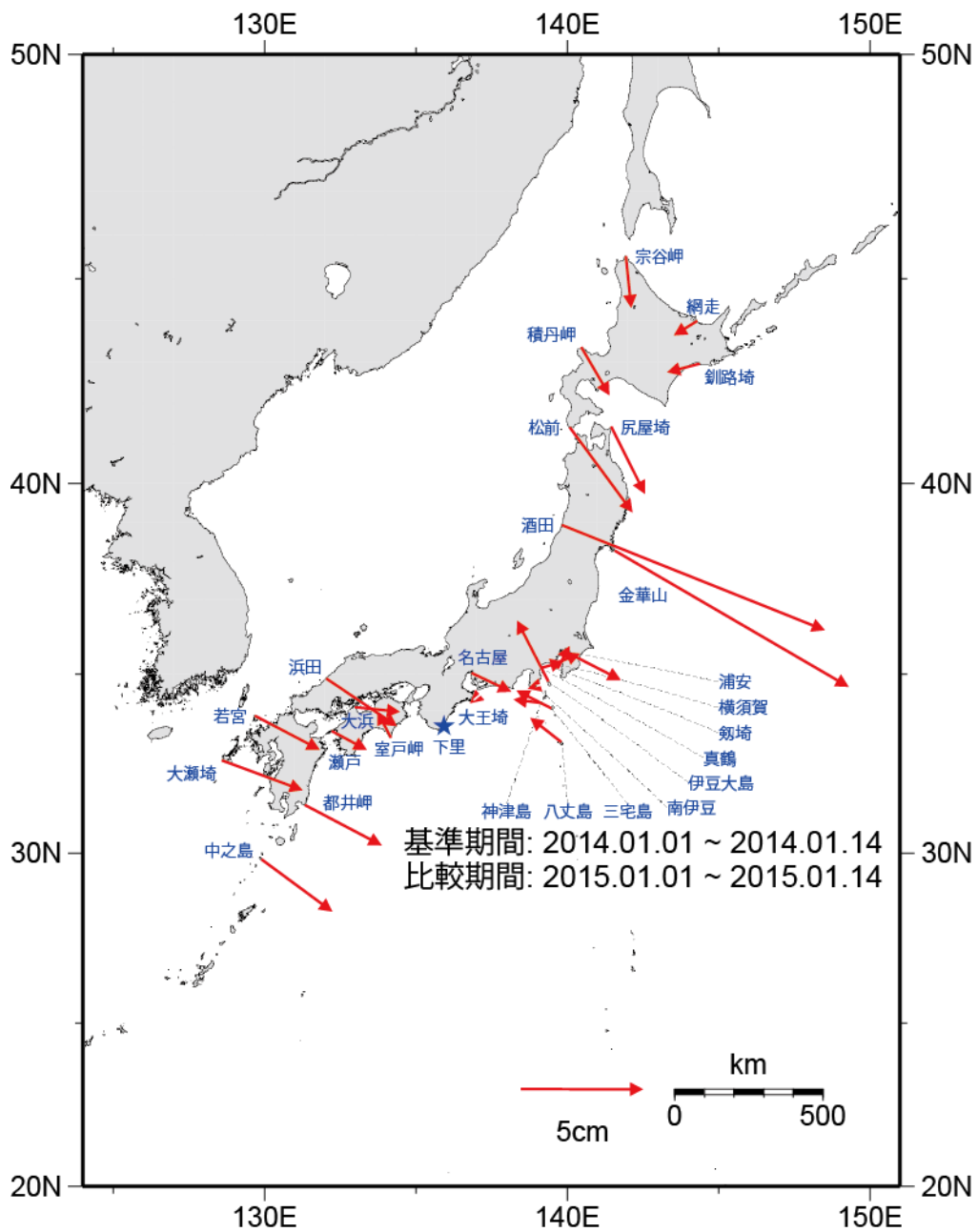


図 3. DGPS 局等の GPS 連続観測から求めた水平変異 (下里局固定) (海上保安庁 [課題番号 8004])

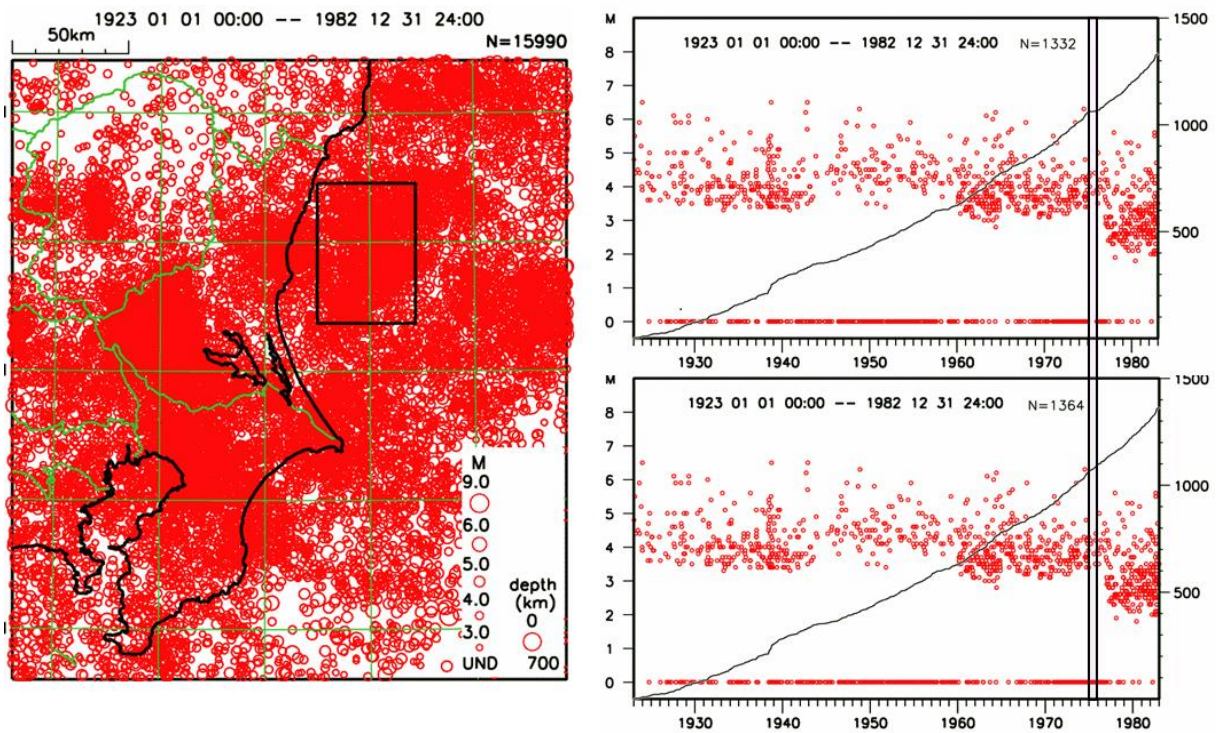
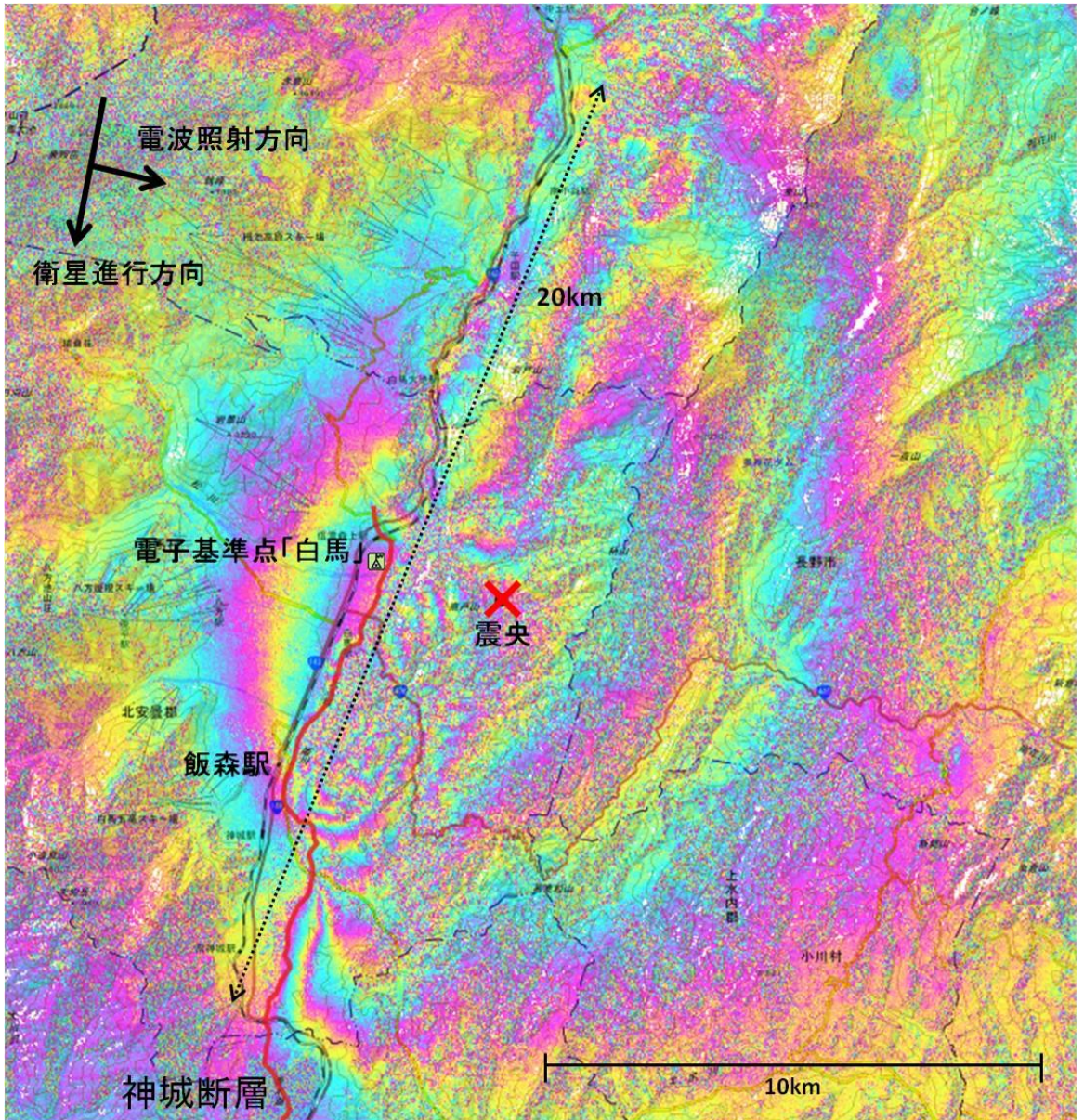


図4. 震源再計算後の震央分布図，M-T図，回数積算図（気象庁 [課題番号 7019]）。1975年のカタログの精度が大幅に向上した。



神城断層は都市圏活断層図からトレース

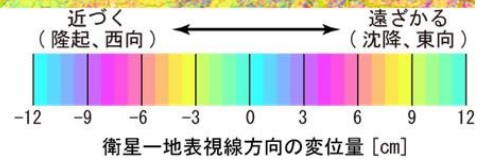
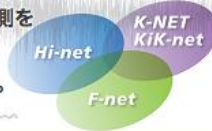


図 5. SAR 干渉解析で捉えた長野県北部の地震に伴う地殻変動 (2014 年 10 月 2 日-11 月 27 日)
(国土地理院 [課題番号 6008])

防災科学技術研究所では、3種類の地震観測網により日本全国1,800以上の地点で地震の観測を行っています。
本サイトでは、これらの観測網による地震観測情報、研究成果を統合的に配信しています。



▶ 高感度地震観測網 [Hi-net]	▶ 広帯域地震観測網 [F-net]	▶ 強震観測網 [K-NET / KiK-net]
<p>Hi-net NIED</p> <p>人が感じないほど微弱な揺れまで捉える観測網で、震源位置の決定や地下構造の推定などに活用されています。</p> 	<p>F-net NIED</p> <p>非常にゆっくりとした揺れまで捉える観測網で、地震のメカニズム解や地下構造の推定などに活用されています。</p> 	<p>K-NET / KiK-net</p> <p>被害をおこすほど強い揺れまで捉える観測網で、地震ハザード・被害リスク評価などに活用されています。</p> 
		

図 6. 基盤的地震観測施設の安定的運用 ((独) 防災科学技術研究所 [課題番号 3004])。Hi-net, F-net, K-NET, KiK-net は、良質なデータを生産し続けている。

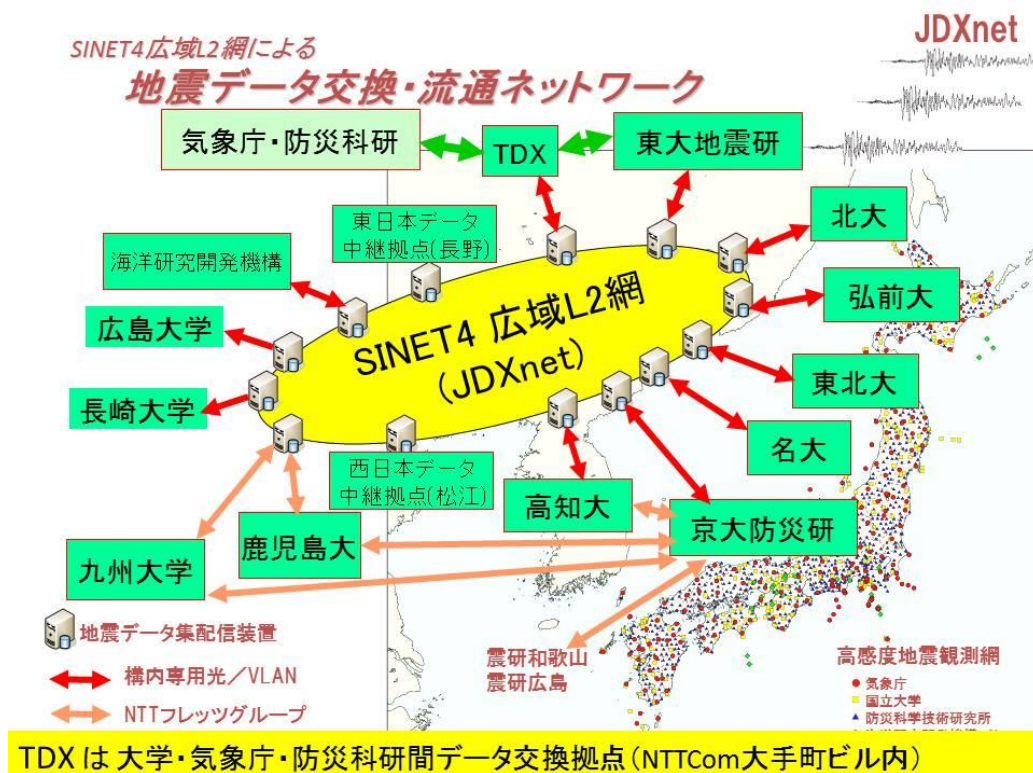


図 7. SINET4 による JDxnet 概念図 (東京大学地震研究所 [課題番号 1518])。大学・気象庁・防災科研他の観測点からのデータがリアルタイムで集配信されている。

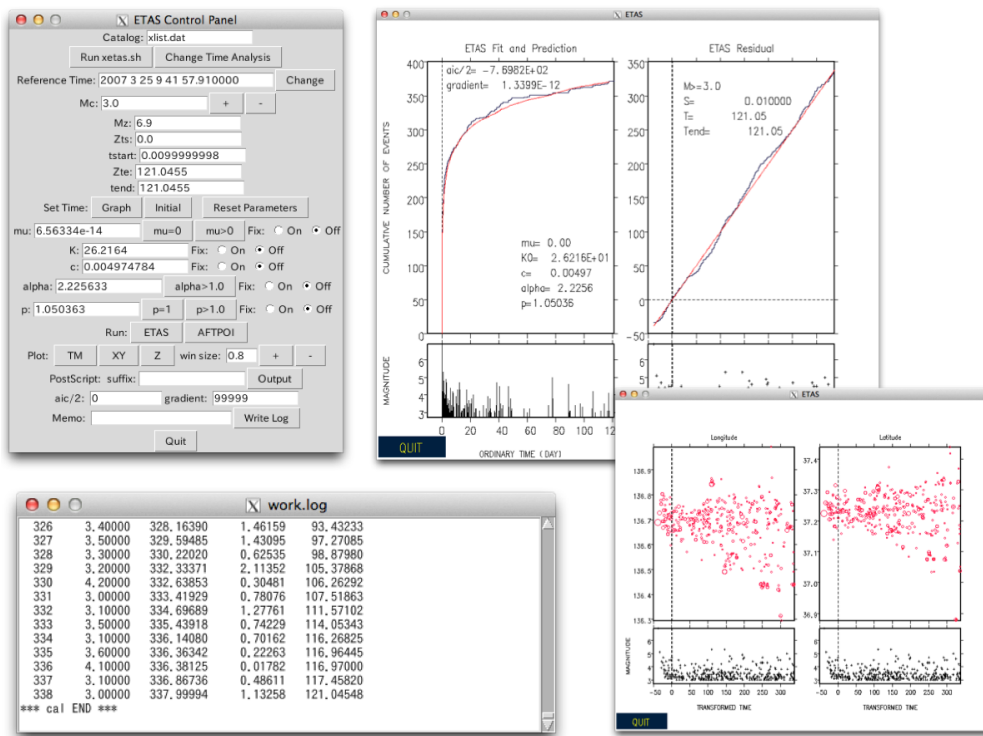


図 8. GUI を用いた ETAS 解析ツール（東京大学地震研究所 [課題番号 1519]）。地震活動解析のグローバルスタンダードである ETAS 解析が GUI を用いて直感的に実行できるツールである。

2 観測・解析技術の開発

技術開発担当 田所敬一（名古屋大学大学院環境学研究科）

ア. 本観測研究計画における観測・解析技術開発研究の位置づけ

平成21から25年度まで実施してきた「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」（前計画）では、大項目のひとつとして「新たな観測技術の開発」が掲げられており、これに対応した「新たな観測技術の開発」計画推進部会が設けられ、研究の推進とともに技術開発に特化した成果の報告や議論等を行っていた。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、「研究を推進するための体制の整備」（大項目：4.）の中で、「研究基盤の開発・整備」（中項目：(2)）の一環として「観測・解析技術の開発」（小項目：ウ.）を引き続き実施することとなっている。しかしながら、開発された技術は研究の場で活用されてこそ意味があり、そのためには、開発側のシーズと開発された技術を使う側のニーズとのマッチングが重要である。このような考え方のもと、本観測研究計画では他の計画推進部会や総合研究グループの中で、すなわち“観測研究の場”で技術開発について報告や議論がなされる体制となり、前計画のように「観測・解析技術の開発」という項目に対応する部会は設けられていない。

一方で、観測技術には特定の分野や対象に閉じたものは少なく、最初は特定の目的のために開発された技術が、他の目的のための技術にも活用できる場合もある。また、技術開発の専門家間であるからこそ、他の技術の問題点やその解決方法、あるいは地震・火山噴火研究における技術開発の方向性等について深い議論ができることも事実であり、前計画までのような技術開発に特化した議論や情報交換を行う場が継続して必要だとの声が技術開発コミュニティから寄せられた。このような声に応え、企画部と相談しつつ、本観測研究計画の推進の一環として技術開発に特化した議論の場を設けることとした。平成26年度は東京大学地震研究所において研究集会を開催したが、これについては後述する。

イ. 技術開発関係の研究課題の概要

本観測研究計画で推進する研究課題のうち、17課題が「最も関連の深い次期研究計画の項目」として「観測・解析技術の開発」（4. (2) ウ）を挙げている。これは全項目の中で最多の課題数である。さらに、「その他関連する次期研究計画の項目」として「観測・解析技術の開発」を挙げた13課題も含めると、実に30課題が技術開発に関係した研究課題となっている。この課題数の多さは、災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究には観測・解析技術の発展が不可欠であることを示していると言えよう。

本報告では、前計画の項目に倣って、技術開発関連の課題を（1）海底における観測技術、（2）宇宙技術等を利用した観測技術、（3）地下および火山モニタリング技術に分類し、平成26年度の主な成果を概観する。

（1）海底における観測技術

音響を用いた海底での地殻変動観測技術については、東北地方太平洋沖地震の大すべり域延長に位置する日本海溝軸に設置した長基線海底間音響測距装置で2013年5月から9月の間に取得したデータを解析した。その結果、明瞭な基線長変化は観測されなかった（図1）。このことは、当該基線に影響を及ぼすような余効すべりは発生していないこと、また、陸側プレートの先端部はプレート

の沈み込みに伴って海側プレートと一体の運動をしていることを示唆している（東北大学〔課題番号：1210〕）。

海底での機動的地震・地殻変動観測に向けた観測技術の高度化については、自己埋設型広帯域センサー方式の次世代型広帯域海底地震計（BBOBS-NX）を利用したシステム（BBOBST-NX）を房総沖に設置し、約1年間にわたって海底面での広帯域地震・傾斜同時観測を実施した（図2）。観測期間中の2014年1月に設置点を含む海域でスロースリップイベント（SSE）が発生した。BBOBST-NXで取得したデータによると、陸上観測から決定されたSSE開始時期より10日程度早く傾斜変動が始まり、最大傾斜は5マイクロラジアン以上に達している。本観測点は陸上データの解析では解像度がほぼ無い領域であり、本システムが海域で発生するSSEの観測に極めて有用であることが確認された（東京大学地震研究所〔課題番号：1521〕）。

（2）宇宙技術等を利用した観測技術

GNSS観測・解析技術については、電子基準点観測データの誤差特性を分析し、GEONET定常解析で計算される電子基準点の座標時系列の誤差の有無を判断を支援する電子基準点誤差分析システムを構築した。また、電子基準点固有の誤差をモデル化し、位相残差マップとして整備するとともに、これを用いてGNSS観測データを補正するツールを開発した。GEONETリアルタイム解析システムについて、対象地域を全国に拡張するとともに、サーバ冗長化等によりシステムの堅牢性を高めた。また、試験的にマルチGNSS測位、PPP測位の導入を開始した（国土地理院〔課題番号：6012〕）。

衛星搭載合成開口レーダー（SAR）については、高度SAR解析技術の研究のための基本ソフトウェアとすることを目的として開発を行っているSAR干渉解析ツール（RINC）の開発を行い、商用ソフトウェアのGAMMA SARプロセッサによる解析結果とほぼ同等の結果が得られることを確認した。このツールは、ALOS-2（PALSAR-2）のデータの解析にも対応し、地表変動に関するSAR研究グループ（PIXEL）内において公開している。X-band SAR衛星であるTerraSAR-Xによる新燃岳のモニタリングを継続して行い、噴火に伴って火口内に噴出し蓄積した溶岩の表面が噴火活動停止後も隆起を続けていることを明らかにした。また、永続散乱帯SAR干渉（PS-InSAR）法により火口周辺の局所的な収縮の地殻変動を検出し、火口直下浅部に存在する浅部ソースの存在と深部ソースからのマグマの移動の可能性を示した。別のX-band SAR衛星であるCOSMO-SkyMedによる桜島のモニタリングを継続して行い、約4年間の昭和火口の拡大が検出された。また、永続散乱体SAR干渉法により、桜島北部沿岸における年間1cm程度の隆起と桜島東部の地獄河原周辺における年間1cm程度の沈降が検出された。口永良部島の2007年～2011年の地殻変動を調査するため、陸域観測衛星「だいち」のPALSARデータに対して、SBAS法と複数軌道データを用いたSAR時系列解析手法（Ozawa and Ueda, 2011）を併用し、地殻変動の準上下成分（鉛直から南に10度傾く成分）と東西成分の時系列を求めた。その結果、新岳と古岳付近において2009年後半頃から山頂の隆起および東山麓の東進、西山麓の西進が見られた。2014年9月27日に噴火が発生した御嶽山の火山活動を調査するため、ALOS-2（PALSAR-2）データを用いたSAR干渉解析を実施し、噴火前後の期間で地獄谷火口の南西付近において衛星－地表間距離の10cm以上の短縮が検出された。これは、隆起もしくは西進成分が卓越したことを示している（防災科学技術研究所〔課題番号：3005〕）。

航空機搭載合成開口レーダ（Pi-SAR2）については、2014年9月27日に発生した御嶽山の噴火災害に対して緊急観測を行い、平成25年度に開発した機上処理とデータ伝送のシステムを用いて、取得した詳細データを空港到着後に機上から直ちに気象庁や火山噴火予知連絡会をはじめとする関係機関に報告することに成功した。これと同時に情報通信研究機構のwebサイトに掲示したデータの

一例を図3に示す。さらに、現行の商用回線（約320kbps）に比べて数十倍の高速伝送が可能な「きずな衛星（WINDS）」を使用して実験的に航空機からのデータ伝送を行い、高品質かつ広域のPi-SAR2画像データの送信が可能であることを実証した（情報通信研究機構 [課題番号：0101]）。

衛星赤外面像を用いた噴火推移の観測については、2016年秋に打ち上げ予定（暫定スケジュール）であるJAXAの次世代衛星GCOM-CのSGLI（Second-generation Global Imager）画像の利用に対応するため、処理解析システムのプロトタイプの開発を進め、基本的なデータ処理ルーチン（フォーマット変換、データ変換、各火山画像の切り出し等）については開発を完了し、正常に動作することを確認した。得られた画像から溶岩の噴出開始や火砕流堆積域等を検出するためには、火口近傍域での最も高い値を示す画素の輝度温度を指標として用いることが有効であり、また、熱異常を示す画素の数を指標として利用することで、溶岩の噴出率変化の検出が可能であることが分かった（東京大学地震研究所 [課題番号：1520]）。

(3) 地下および火山モニタリング技術

大深度ボアホール用地震地殻変動観測装置の開発については、ボアホールに設置可能な地震計を製作し、高温環境下での動作の実証のため、水平動地震計を電気炉内にて200℃の環境で約1ヶ月間維持した。その間、電気炉外に設置された参照用地震計と微動の比較を行い、図のとおり0.2～10Hzの周波数帯で出力スペクトルがほぼ一致していることを確認した（東京大学地震研究所 [課題番号：1522]）。

小型絶対重力計については、すでに開発されているプロトタイプTAG-1の系統誤差の評価を行った結果、数十 μ Galの誤差を生じることがわかった（東京大学地震研究所 [課題番号：1506]）。

精密制御震源システム（アクロス）については、回転軸を水平にして遠心力で力を発生させるタイプの第二世代アクロス震源装置を名古屋大学三河観測所に設置し（図5）、動作実験を行った。その結果、並進成分については、鉛直成分よりも水平成分の方が振幅が大きく、回転成分については、垂直軸まわりの回転は小さく、回転軸まわりの回転が最大となっていることが分かった。海底掘削孔内設置用のアクロス震源の開発については、おもりを落下させ、落下点に装備したバネの反発を利用して効率的に力を伝える機構を考案し、プロトタイプを製作した。落下するおもりの位置をレーザ変位計で連続に測定することで震源関数を求め、近くに設置した地震計との間の伝達関数（図6）を求めることに成功した（名古屋大学 [課題番号：1705]）。

素粒子ミュオンを用いた火山透視技術については、カロリメータ方式によって霧島新燃岳の山頂から5km南において観測した結果、2011年の噴火口直上において低密度領域が観測され（図7）、これまで観測が困難であった遠方（2km以上）の火山のミュオグラフィ観測が可能となった。また、装置のモジュール化を進めたことで機動性が格段に向上し、48時間以内に次の観測の開始が可能となった（東京大学地震研究所 [課題番号：1523]）。

火山ガス観測装置の開発については、火山ガス測定の実験がなくてもガス放出率測定を容易にできるよう、ハードウェアとソフトウェアの両面から既存の紫外分光計を用いた測定装置の改良と高度化を行った。ハードウェア面では、装置の小型化・一体化をめざし、教育用に開発されたシングルボードプロセッサのRaspberry Pi Model B+と、紫外分光器、光学系、バッテリー、GPSモジュールをひとまとめにしたコンパクトな装置を設計・作製した。ソフトウェア面では、観測時に観測者が設定していた測定パラメータをプログラム側で自動設定するよう改良したり、観測のたびに実施していた校正を省略できるようスペクトル解析法を改良した（東京大学 [課題番号：1403]）。

ウ. 研究集会

先に述べた技術開発に特化した議論の場として、「地震・火山現象の解明への技術開発の貢献」と題したオープンな形式での研究集会を下記の通り開催した。参加者は16名であった。8件の話題提供があり、主として各研究課題における平成26年度の研究成果や開発目標などの紹介があった。

日時：2015年1月6日（火） 13:30～17:30

場所：東京大学地震研究所1号館3階 事務会議室A

話題提供（発表順）：

- ・海底地殻変動観測技術の高度化とモニタリングの成果 田所敬一（名古屋大学）
- ・スロースリップイベントの検出を目的とした海底での機動的傾斜変動観測の可能性
塩原 肇（東京大学地震研究所）
- ・日本海溝海底地震津波観測網（S-net）の整備進捗状況
植平賢司（防災科学技術研究所）
- ・三陸沖光ケーブル式地震津波観測システムの復旧とICTを用いたケーブル式
小型地震津波観測システムの開発 篠原雅尚（東京大学地震研究所）
- ・GPSデータによる火山灰噴煙柱検出の試み 太田雄策（東北大学）
- ・火山噴火観測を実現するためのVery Long Range Muography（VLRM）の開発
草茅太郎，田中宏幸（東京大学地震研究所）
- ・衛星電話を用いた地震波形テレメータシステムの開発と携帯端末テレメータの現状
松島 健（九州大学）
- ・新型アクロスとボアホール型シングルフォース震源
山岡耕春（名古屋大学），渡辺俊樹（東京大学地震研究所）

本研究集会の最後に、今後の技術開発に特化した議論の場のあり方について検討を行い、今後もオープンな形式での研究集会を2年に1回程度開催することとなった。次回の開催は3年目が明けた4月を目処とし、その時点までの進捗状況等の中間報告的な内容としたいと考えている。3回目は最終年度に開催し、本計画での最終的な開発成果の報告と次への展望を検討する予定である。技術開発におけるニーズとシーズとのマッチングという観点から、今後の研究集会では、計画推進部会や総合研究グループから研究やモニタリングに必要な技術の要望を出してもらい、各部会等に所属する技術開発関係の研究者によってそれらの要望を集約することも視野に入れている。このためには、事前に各部会等から意見を上げてもらう必要がある、各部会等関係者にもご協力をお願いしたい。一方で、技術開発の関係者間では、今後に向けた技術開発のあり方や全体的な方向性・方針について議論を行い、共通認識がもてることが理想である。また、成果の共有方法について、本計画の一環として推進している技術開発については、たとえば、データベース部会が作成する予定のデータベース上に成果を蓄積するなどの案が出された。

成果リスト

塩原 肇，篠原雅尚，中東和夫，2014，観測帯域拡大への高精度圧力計付き広帯域海底地震計の開発，海洋調査技術，**26**，2，1-17.

Suetsugu, D. and H. Shiobara, 2014, Broadband Ocean Bottom Seismology, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, **42**, 27-43.

- 一瀬建日, 竹尾明子, 塩原 肇, 2014, 観測記録を用いた海底地震計の時刻補正と刻時安定性, JAMSTEC Rep. Res. Dev., **19**, 19-28.
- 塩原 肇・篠原雅尚・伊藤亜妃・杉岡裕子, 2014, 海底面での機動的傾斜観測によって直上で捉えた2014年1月房総沖スロースリップイベント時の傾斜変動, 日本地震学会2014年度秋季大会予稿集, C32-09.
- Shiobara, H., M. Shinohara, A. Ito, and H. Sugioka, 2014, Possibility of tilt observation at the sea floor by using the BBOBST-NX system, 2014 AGU Fall Meeting, S31C-4477.
- Munekane, H., J. Oikawa, and T. Kobayashi, 2014, The very-long-period seismic signals at Miyake-jima volcano during the caldera formation revisited: insights from GPS observations, GENAH2014.
- Kawamoto, S., H. Munekane, Y. Hatanaka, H. Tsuji, K. Miyagawa, T. Furuya, and Y. Sato, 2014, How GNSS Earth Observation Network System (GEONET) in Japan Contributes to Geohazards Mitigation, 2014 AGU Fall Meeting.
- 矢萩智裕, 宮川康平, 川元智司, 大島健一, 山口和典, 村松弘規, 太田雄策, 出町知嗣, 三浦哲, 日野亮太, 齊田優一, 道家友紀, 2014, GEONETリアルタイム解析システム (REGARD) の全国対応, 日本地球惑星科学連合2014 年大会予稿集, 53-54.
- Yahagi, T., K. Miyagawa, S. Kawamoto, Y. Sato, T. Nishimura, Y. Ohta, T. Demachi, R. Hino, S. Miura, Y. Saida, and Y. Douke, 2014, Launch of a New GEONET Real-Time Analysis System (REGARD) for Rapid Mw Estimates in Japan, GENAH2014.
- Miyagi, Y., T. Ozawa, T. Kozono, and M. Shimada, 2014, Long-term lava extrusion after the 2011 Shinmoe-dake eruption detected by DInSAR observations, Geophys. Res. Lett., **41**, 2014GL060829, doi:10.1002/2014GL060829.
- Kobayashi, T., T. Umehara, J. Uemoto, M. Satake, S. Kojima, T. Matsuoka, A. Nadai, and S. Uratsuka, 2014, EVALUATION OF DIGITAL ELEVATION MODEL GENERATED BY AN AIRBORNE INTERFEROMETRIC SAR (PI-SAR2), International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2014), 378-381.
- 上本純平, 小林達治, 佐竹 誠, 児島正一郎, 梅原俊彦, 松岡建志, 浦塚清峰, 2014, SARインターフェログラムからの垂直構造物の自動抽出方法, 日本リモートセンシング学会学術講演会.
- Shimada M., M. Watanabe, M. Oki, and T. Motooka, 2014, Observation of the Izu-Ohshima landslide event attacked by Typhoon No. 26 using the Pi-SAR-L2, 写真測量とリモートセンシング, **53**, 9-10.
- 島田政信, 宮城洋介, 2014, COSMO-SkyMed (ASI) 及びPi-SAR-L2による桜島のモニタリング (2011年1月~2012年9月), 火山噴火予知連絡会会報, **113**, 224-232.
- 島田政信, 宮城洋介, 2014, TerraSAR-X (DLR) 及びPi-SAR-L2による新燃岳モニタリング (2011年1月~2012年9月), 火山噴火予知連絡会会報, **113**, 182-186.
- 新谷昌人, 2013, 共同プロジェクト研究「光ファイバーネットワークを利用した地震・津波・地殻変動の面的な計測技術に関する研究」, 東北大学電気通信研究所研究活動報告, **19**, 273-275.
- Araya, A., H. Sakai, Y. Tamura, T. Tsubokawa, and S. Svitlov, 2014, Development of a compact absolute gravimeter with a built-in accelerometer and a silent drop mechanism, in Proc. of the International Association of Geodesy (IAG) Symposium on Terrestrial Gravimetry: Static and Mobile Measurements (TGSM-2013), Saint Petersburg, Russia, 98-104.

Svitlov, S. and A. Araya, 2014, Homodyne interferometry with quadrature fringe detection for absolute gravimeter, Appl. Opt. 53, 3548-3555.

山岡耕春, 鈴木和司, 國友孝洋, 渡辺俊樹, 2014, 仕様標準化をめざした新型アクロス震源装置の開発, 日本地震学会2014年秋期大会, S19-P04.

横井大輝, 山岡耕春, 鈴木和司, 立花健二, 2014, 地震波モニタリングのためのボアホール型シングルフォース震源の開発, 日本地震学会2014年秋期大会, S19-P06.

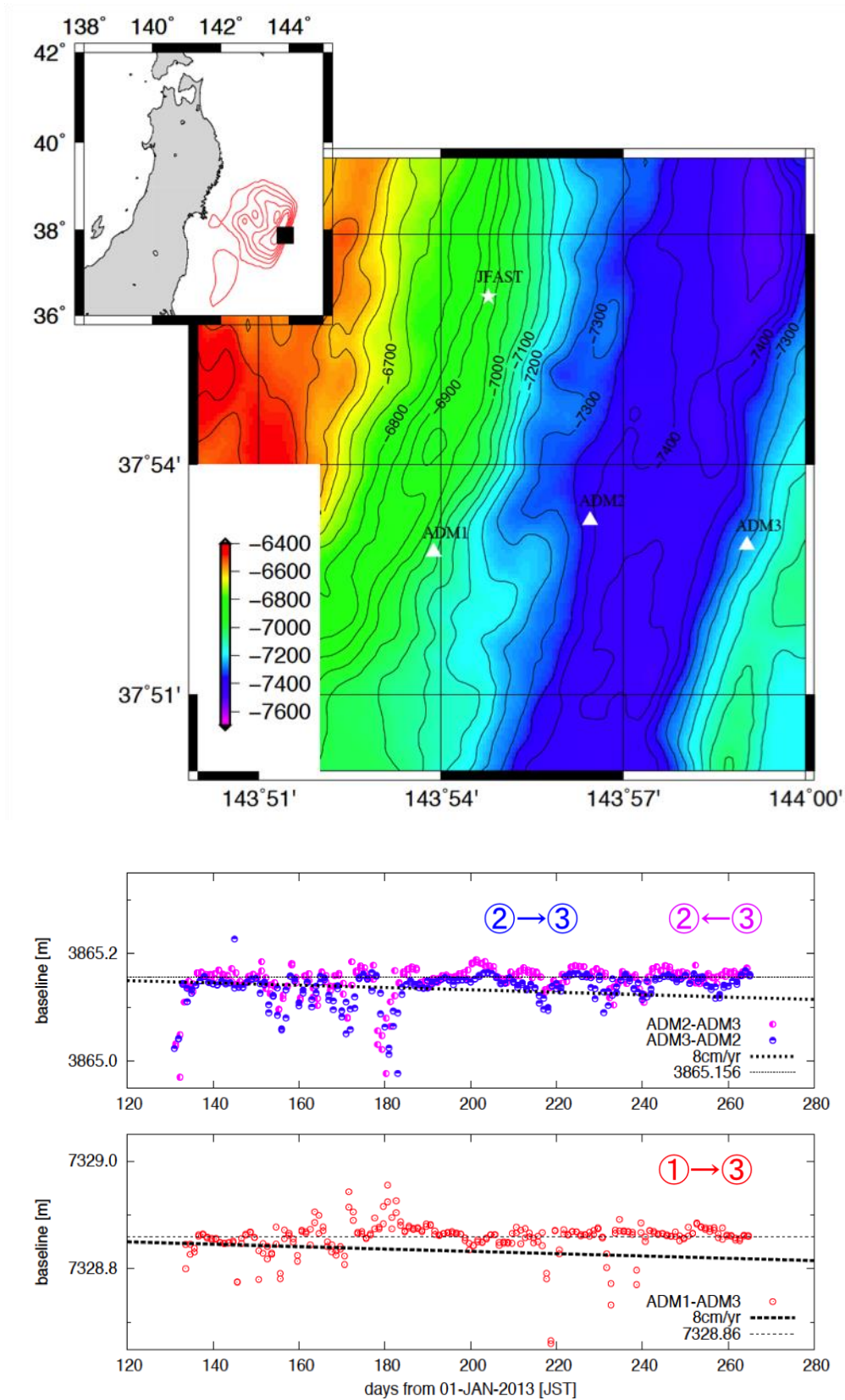


図1. 日本海溝軸における海底間音響測距観測（東北大学 [課題番号：1210]）

1 段目：海底間音響測距観測装置の設置地点

2 段目：得られた基線長の変化。①～③はそれぞれ1段目の地図中のADM1～ADM3に対応。

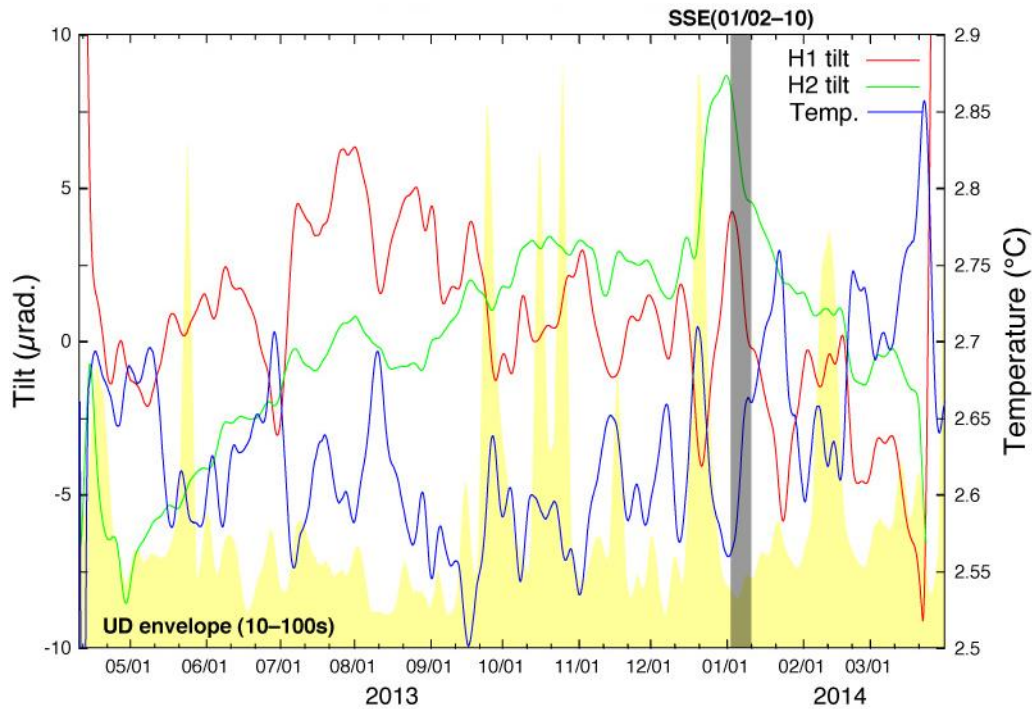
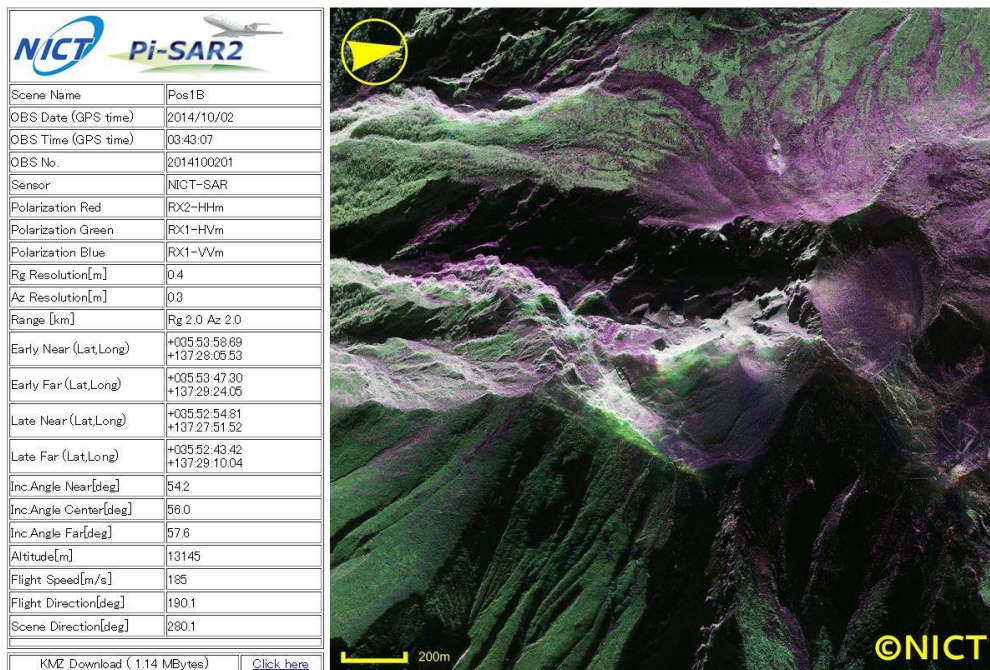


図2. 1年間にわたる海底面での傾斜変動記録（東京大学地震研究所 [課題番号：1521]）。H1とH2の実方位はN63°EおよびN153°E。影を付けた期間は陸上の傾斜観測から検出されたSSEの期間。広帯域地震上下動のエンベロップ（帯域10～100秒）を黄色で示す。



© National Institute of Information and Communications Technology

図3. Pi-SAR2で観測した平成26年10月2日の御嶽山の画像（情報通信研究機構 [課題番号：0101]）。機上で処理した画像にはポラリメトリによる疑似カラー化が施されており、植生の有無が一目で判明する。また、伝送するデータには図のように観測方位やスケールのほか観測時のパラメータが同時に掲載されており、そのまま状況把握に使用できる。

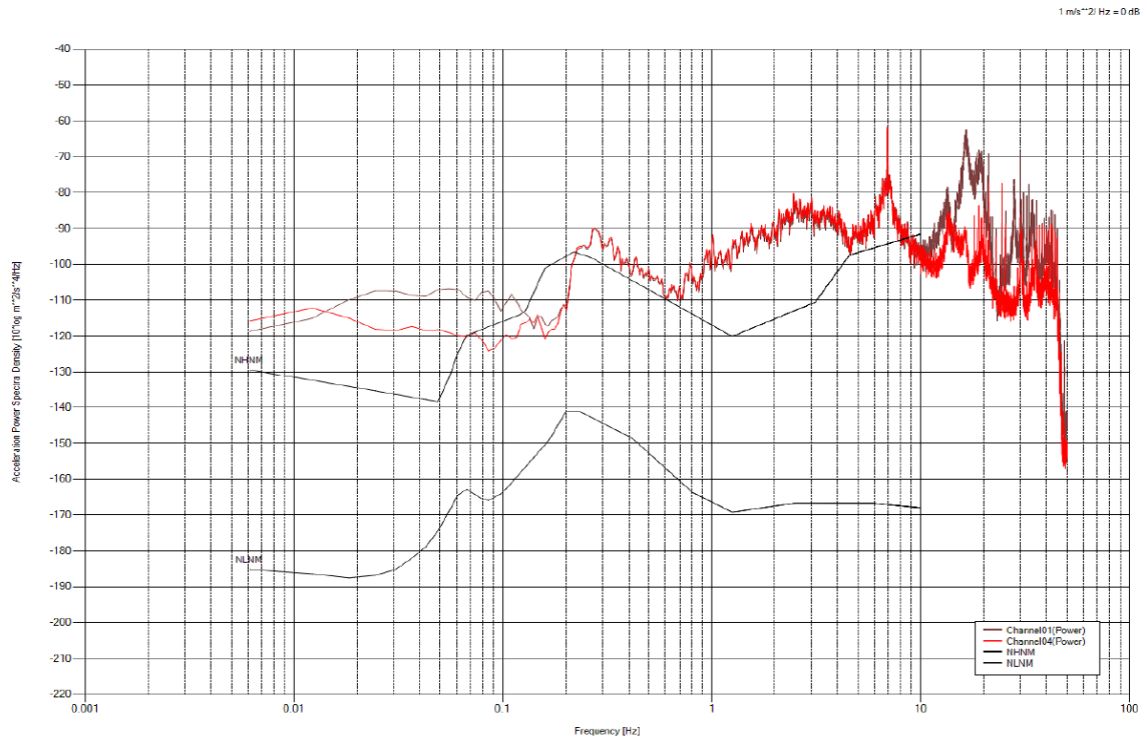


図4. 200℃で1ヶ月間経過後の出力スペクトル（東京大学地震研究所〔課題番号：1522〕）。赤は開発した高温用地震計，茶は参照用地震計。



図 5. 名古屋大学三河観測所に設置した第二世代アクロス震源装置（名古屋大学〔課題番号：1705〕）。写真は2台のユニットを直列に連結したところ。

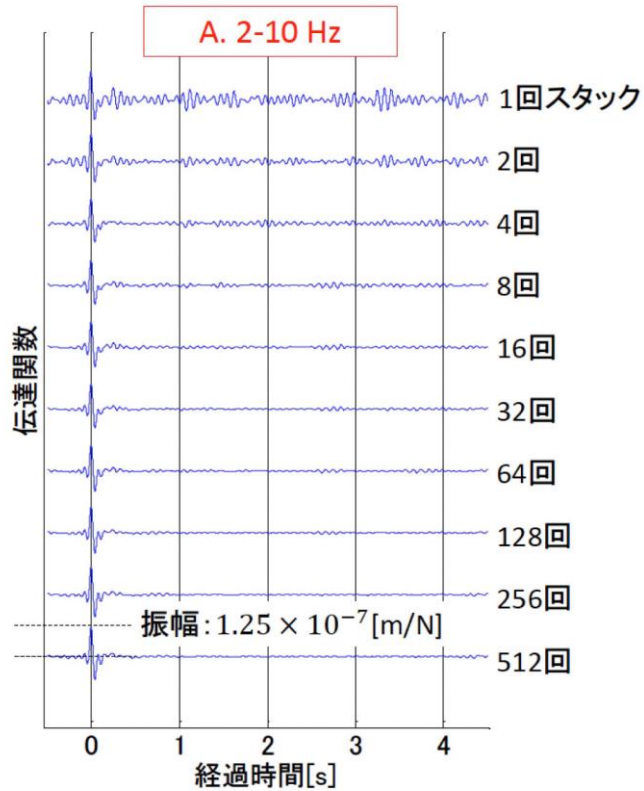


図 6. 海底掘削孔内設置用アクロス震源のプロトタイプによる伝達関数（名古屋大学 [課題番号：1705]）。1m 離れた場所に上下動速度型地震計を設置し，繰り返し発震して記録をとった。1 回毎のおもりの落下から震源関数を求め，地震計記録を震源関数でデコンボリューションした後，スタッキングを行った。

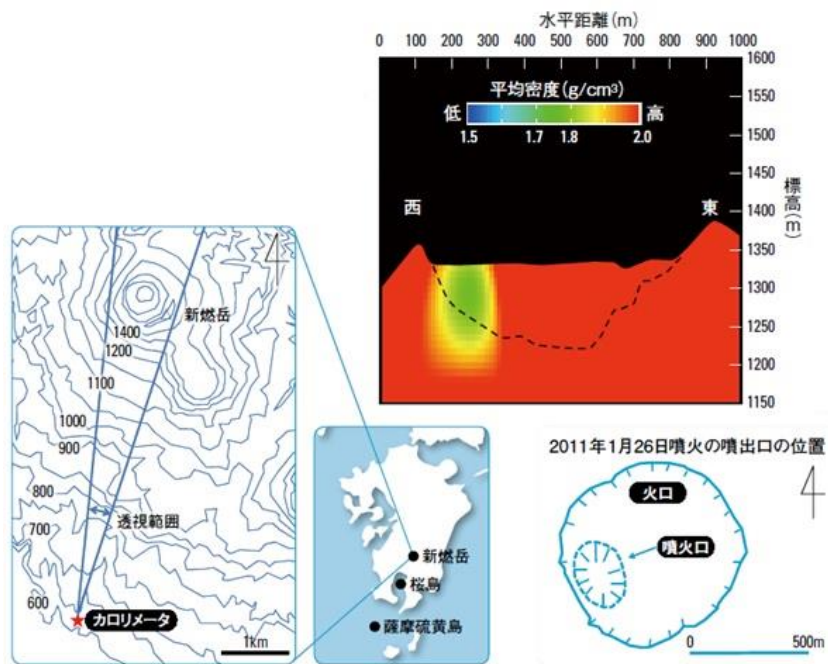


図 7. 霧島新燃岳のミュオグラフィ透視像（東京大学地震研究所 [課題番号：1523]）。

3 (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、死者・行方不明者は1万8千人を超え、震災から4年以上が経過した2015年5月の時点でも、まだ2千5百名以上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とする。

1. 災害の予測のための研究

新しい計画では、これまでの地震・火山噴火予知研究計画とは異なり、災害誘因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、地震波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（京都大学防災研究所[課題番号：1912]）。今回の地震によって、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。特に福島県白河市で発生した崩壊性地滑りは、死者13人という痛ましい被害をもたらした。このような火山地域において地震によって生じた地滑りの調査およびレビューを行ったところ、気象庁震度階5以上で傾斜10から25度の緩斜面で発生、事前降雨量が多い、滑った物質は降下火砕物である軽石・スコリア・火山灰土であり、すべり面は粘土質の火山灰土あるいは風化した軽石で形成、といった共通の特徴があることがわかった。このことは、大地震によって火山地域で発生する地滑りで、特に広域に被害を及ぼす場所を事前に抽出できる可能性を示している。

津波の予測の高度化として、海底津波計を有効利用してリアルタイムに津波波源の推定を行う手法の開発も進めてきている（Tsushima and Ohta, 2014, Tsushima et al., 2014）。海底津波計のデータには、海面津波計と異なり、津波計が設置された海底の上下変動と海面変動の両方の影響による水圧変化が記録されているが、海底津波計が急斜面に設置されていると、斜面の水平方向の変位によっても海面が上昇して水圧が変化する。このため、これまでの手法では、急斜面に設置された海底津波計の位置の隆起量を正しく評価できないことが明らかになった。そこで、海面初期水位と海底上下変動を独立に推定するように観測方程式を変更し、この問題を解決した。さらに、地震波の解析による断層滑りの時空間分布の推定と同様に、津波波源が時間とともに拡大していくと仮定して解析を工夫した結果、時空間発展を仮定しないで推定したときに見られていた、隆起域の海溝外側への染み出しがほとんど解消されて、より尤もらしい波源分布が得られることが明らかになった（気象庁[課題番号：7011]）。

このように、海底津波計による津波の高精度予測は極めて有効であるが、地震発生の本当に直後は地震の全体像を把握しにくいという問題がある。これは、一番重要な震源域直上の海底津波計では、地震

発生直後は、海面と海底が平行移動するために、水圧の変化が見られないためである。一方、極めて巨大な地震の場合、地震波の周期も振幅も極めて大きくなるため、通常の地震計では規模を正しく推定することが困難である。そこで、GNSS 観測データを変位地震計として活用することにより、地震発生直後に規模と断層面を推定する手法の開発が進められている。

超巨大地震のモーメントテンソルを推定する手段として W-phase を利用する手法が開発されているが、点震源を仮定しているため、超巨大地震の場合には近地のデータは利用できない。しかし、検討の結果、震央距離で2度以上離れたGNSS観測点の1秒サンプルデータを地震計として用いれば、東北地方太平洋沖地震の場合でも解の推定は可能であり、海外のデータを使うと地震発生後数十分待つ必要があったが、国内のGNSSデータを利用すれば数分でモーメントテンソル解が求められることがわかった（気象庁〔課題番号：7009〕、図1）。さらに断層面の推定についても、どこに断層があっても推定可能な「矩形断層モデル」と、断層をプレート境界に固定してそのすべり分布を求める「すべり分布モデル」の両方を、地震発生後3分以内にMwを±0.2の誤差で推定可能なシステムを実装することに成功した（国土地理院〔課題番号：6004〕）。

一方、地震動による被害の軽減のためには緊急地震速報の高度化が重要となっている。東北地方太平洋沖地震の際には関東地方の強震動域を適切に予測できなかったという問題点が明らかになっており、また、複数の地震が同時に発生すると、誤報が生じやすいという問題があった。これらは、現在のシステムが、まず震源を推定してから各地点の震度を予測するという手順になっているためであり、震源域が広大な超巨大地震の場合や、余震が多発して震源決定を間違えやすい場合に問題が顕在化するのである。

この問題を解決するためにPLUM (Propagation of Local Undamped Motion) 法が開発されている。これは周辺の震度の観測値から目的地の震度を予測する手法であり、震源位置に関係なく震度が予想できるという利点がある反面、予測結果が出されてから揺れ始めるまでの猶予期間を長くできないという問題があった。そこで、PLUM法と従来法のハイブリッドによる震度予測手法が開発された（気象庁〔課題番号：7012〕）。このハイブリッド法では、地震発生（断層破壊開始）直後は、その時点までの波形を基にして推定した震源とマグニチュードの情報によって予測を行い、これによって遠地での猶予時間を大きくとることができる。一方、破壊域が広がるにつれて、震源（破壊開始点）から離れてはいるが断層面には近い地点での実際の震度と予測値のずれが大きくなっていくため、そのような時空間においてはPLUM法の利点を生かして、より信頼度の高い震度予測を行うことができる。

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、日本中の地震活動が一時的に活発化した。これは、特に火山地域で顕著であり、大振幅の地震波動によってマグマや深部高圧水が強制的に振動させられたために、地震が起こりやすくなった可能性が考えられる。このような動的な影響以外に、東北地方の内陸は地震前よりも東西圧縮の応力が弱まったという静的な影響により、地下のマグマが上昇しやすくなっている可能性も考えなければならない。実際、蔵王火山では、2012年頃から深部低周波地震が活発化し、2013年には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（東北大学〔課題番号：1202〕）。振動軌跡の解析から、長周期地震動の振動源はお釜付近に推定されており、また、磁力変化や重力変化から見ても、高温で重い物質、つまりマグマがお釜付近に上昇してきていることが推察されるため、今後の状況のモニタリングと、蔵王の活動のモデル化が極めて重要となっている。

一方、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。また、大地震の前にラドン濃度が上昇するのは、大地震の前に地下の割れ目が増加し、それによってラドンが地中から放出されやすくなるという説明がなされることが多い。しかし、応力・歪変化率は地震前よりも地震時のほうが大きいのであるから、この仮説の検証のためには、まず地震時の歪変化とラドン濃度の変化の相関を調べる必要がある。このような観点から、札幌医科大学と福島県立医科大学で観測された大気中ラドン濃度と周辺の GPS 観測点から推定された面積歪とを比較したところ、ラドン濃度の高い時期には、周辺で、大地震後に面積歪が増加している領域が存在していることがわかった（東北大学 [課題番号：1207]）。大地震とラドン濃度との関係を証明するには、今後、このような事例を積み上げていくことが重要である。

地震の予測を行う上で、数値シミュレーションが大変重要となる。特に東北地方太平洋沖地震は、普段は M7 クラス以下の地震が生じているところで、数百年ないし千年ぶりの超巨大地震が発生したので、このような M7 の地震と M9 の地震の両方を説明できるシミュレーションモデルを作りあげることが、将来の地震予測のために必要である。このような観点から、様々な研究者が様々なシミュレーションを実施している。

JFAST によって得られた断層物質を用いた実験結果 (Ikari et al., 2013) によれば、このような断層では低速では速度弱化、高速では速度強化の特性が生じることが確かめられている。これがさらに高速になると TP (Thermal Pressurization) による動的弱化が生じうると期待される。このようなことを考慮したシミュレーションを実施し、普段は浅部でスロースリップイベントが生じていて、M9 地震のときには浅部も動的弱化で一気に滑るという状況を再現することに成功した（東京大学地震研究所 [課題番号：1503]）。また、東北地方太平洋沖地震発生前の M7 の地震活動をほぼ再現できるようにチューニングしたシミュレーションモデルによれば、次の 1978 年型の「宮城県沖地震」は、M9 の地震から 16 年程度経過した後に発生するという結果が得られた（海洋研究開発機構 [課題番号：4002]）。さらに、2 次元スペクトル要素法による地震サイクルシミュレーションコードを開発して、まず東北地方太平洋沖を模した簡単なモデルを作成して計算したところ、bilateral に破壊が伝播し、海側に伝播した破壊は地表まで達して、そこで大きな変位を生じさせた後、そこから「反射」して陸側に伝播していくことが再現できた（京都大学理学研究科 [課題番号：1801]）。これは動的破壊がうまくシミュレーションできていることを示しており、今後、このような動的破壊を組み込んだモデルで計算することにより、シミュレーションがより真実に近づくと期待される。

3. 地震・火山現象の理解

（プレート境界）

東北地方太平洋沖の震源域周辺において、防災上一番重要なことは、いつ、どこで、どのくらいの規模の大きな余震が起こるのか、ということである。

特に 1978 年型の「宮城県沖地震」が次にいつ起こるのかについては、社会的な関心も高く、この予測は極めて重要である。このような予測においては、余効変動のうち、余効すべりの寄与を正しく見積もることが必要となる。これまで、粘弾性モデルを仮定して、余効変動データから様々な余効すべり分布が得られている（たとえば、京都大学理学研究科 [課題番号：1803]、国土地理院 [課題番号：6003]）が、どのような粘弾性モデルを仮定するかによって、余効すべり分布が大きく異なってしまうため、極力現実に近いモデルを仮定することが必要となる。陸の構造の不均質性とプレートの形状を考慮し、また粘性率が深さに依存するモデルで検討することが一番実際に近いと考えられる（東北大学 [課題番号：

1203]) ので、今後はこのような複雑な粘弾性構造を考慮して余効すべりを推定することが必要と考えられる。

また、シミュレーションと比較するための観測データが重要であり、特に海底下の観測点の位置の変化を着実に測量し続けていく（海上保安庁 [課題番号：8001]、図 2）が必要である。特に、陸のデータではまったく把握できない、海溝付近の挙動の把握（東北大学 [課題番号：1210]）が、極めて重要である。一方、小繰り返し地震のデータによれば、東北地方太平洋沖地震震源域周辺のプレート境界でのすべりレートは着実に減少してきている（東京大学地震研究所 [課題番号：1510]）。しかし、その減衰率は当初考えていたよりも遅く、単純な $\log t$ では余効すべりが推移していないようにも見えるので、測地観測データのみならず小繰り返し地震のデータも含めて、余効すべりと粘性緩和の影響を分離していくことが重要となっている。

一方、プレート境界の性質や間隙水圧に関する理解を深めるためには、構造探査の情報は欠かせない。海溝近くの海底地震計による 2001 年と 2013 年の構造探査実験の結果を比較したところ、プレート境界からの反射波の振幅が時間変化し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：1503]）。これが本当に本震前後のプレート境界の性質や間隙水圧の変化を示しているのであれば重要な発見となるため、今後、慎重に解析を行っていく必要がある。

プレート境界での長い時間スケールでの活動履歴を把握するためには、今のところ津波堆積物のデータが最も重要である。

三陸海岸の山田町で津波堆積物調査を行ったところ、10 層の津波痕跡を検出した。915 年の十和田 A テフラの直下に存在する津波堆積物は 869 年の貞観地震によるものと推定され、それと 2011 年の地震による津波堆積物の間に 2 層の津波堆積物が見つかった。このうち浅い側は 1896 年明治三陸地震、深い側の津波堆積物は 1611 年慶長地震の可能性が高いと考えられる。この貞観地震と慶長地震と考えられる津波堆積物は三陸海岸北部の野田村でも見つかっている。以上から、貞観地震の津波は三陸海岸北部まで来ていた可能性が高く、その上にある津波痕跡は 1611 年慶長地震の可能性が高いと考えられるが 1454 年享徳地震の可能性も完全には否定できない（産業技術総合研究所 [課題番号：5004]）。

青森県太平洋岸での津波堆積物調査により、下北半島において浸水規模の特に大きな津波が 17 世紀頃に発生していたことが明らかになった。年代的には千島弧の 17 世紀の巨大地震または 1611 年の慶長地震の可能性があるが、これまで考えられていた両地震の波源モデルでは、この下北の津波は説明できない。どちらかの津波がこれまで考えられていたよりも巨大であったか、あるいは両者は同一の地震による津波であった可能性もある。千島弧の巨大地震のサイクルは 400-500 年と推定されており、17 世紀の巨大地震の後約 400 年が経過してすでに満期となっていると考えられるため、今後、この千島弧の 17 世紀の巨大地震と 1611 年慶長地震の関係を解明することは急務である（産業技術総合研究所 [課題番号：5004]）。

古い津波の痕跡を評価する際には、非常に長期の地殻変動の影響を考慮する必要がある。そのような長期の地殻変動はプレート境界の曲率の空間変化による影響と重力場による影響の両方を受けることが考えられる。仮にプレートに沿って曲率半径が一定であっても、重力の影響で陸側のプレートは変形し、プレート相対速度が同じであれば、曲率半径が小さいほど、陸側のプレートの変形速度は大きくなる。したがって、陸側の長期にわたる隆起・沈降を議論する際には、プレート境界の曲率の空間変化と重力の影響を正しく評価することが重要であることが明らかになった（京都大学防災研究所 [課題番号：1905]）。

(内陸)

東北地方太平洋沖地震の後、東北地方内陸の応力の主軸方向が大きく回転したことが報告されている（たとえばYoshida et al., 2012）。たしかに、太平洋沖地震後はP軸がENE-WSWの方向を向いているメカニズム解が目立ち、応力テンソルインバージョンを行えば、ENE-WSW方向が最大圧縮軸となることが多い。しかし、太平洋沖地震前の東北地方の日本海側の地震をよく見ると、東北地方の典型的な圧縮軸方向であるESE-WNW方向ではなく、E-WないしENE-WSWとなっている地震が少なくなく、また応力テンソルインバージョンを行っても、最大圧縮軸はその方向を向くことが多いことがわかった（弘前大学 [課題番号：1101]、京都大学防災研究所 [課題番号：1905]、図3）。このことは、大地震による応力場の回転を議論する際には、本震前の広域の応力場が一定であると仮定すると応力の大きさを正しく評価できない危険性があることを示しており、慎重な検討が必要となる。

一方、陸地の応力ではなくて上下変動に注目すれば、基本的には余効変動によって太平洋側は隆起、日本海側は沈降となっており、さらに遠方は広く隆起になっている。これは前述の余効すべりと粘性緩和によるものであるが、この両者を区別するのは地殻変動だけ見ては難しい。重力変化は、大地の上下変動だけでなく地球内部の質量移動も反映するので、余効すべりと粘性緩和を分離するうえで、重要な手がかりが得られると考えられる。絶対重力測定と相対重力測定ハイブリッド観測を、本震直後と本震から3年後に行き、その測定値を比較したところ、基本的にGPSから見て隆起しているところは重力減少、沈降しているところは重力増加となって、上下変動のパターンに整合する結果が得られた。しかし詳細を見ると両者は異なっており、今後、この重力変化とGPSによる上下変化の観測データが増えるにつれて、内陸のレオロジー構造について重要な知見が得られるものと期待される（東北大学 [課題番号：1203]、図4）。

本震後の時間変化としては、地震波速度の変化がある。小繰り返し地震の波形を利用して、本震後の構造の時間変化を丹念に調べ、シミュレーション結果と比較したところ、地表から数100mの深さまでの地震波速度を数%低下させることでデータを概ね説明でき、それより深部の速度変化は最大でも0.1%程度と見積もられた（防災科学技術研究所 [課題番号：3002]、Sawazaki et al., 2015）。

一方、本震後に東北地方で地震活動が活発化した領域は、いずれもそのすぐ下では地震波速度が低く、特にいわき地域では、この深部低速度域は低比抵抗域となっていることがわかった（東北大学 [課題番号：1203]）。またその地震活動域は時間と共に拡大または移動をしており、地下深部の流体の影響が強く示唆される（弘前大学 [課題番号：1101]、東北大学 [課題番号：1204]）。

（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。

世界中の沈み込み帯でのプレートの年齢・海溝深度とb値との関係を詳細に調べた結果、プレート年齢が古く、また海溝の深さが深いほどb値が大きくなる傾向があることが明らかになった（東京大学理学研究科 [課題番号：1402]、Nishikawa and Ide, 2014）。これらはプレートの浮力に起因する応力レベルの違いによるものと考えられるが、スマトラや東北については沈み込むプレートの年齢は古いが、例外的にb値は低くなっており、このような観点からM9の地震の発生域を事前に推定できるかもしれない。

東北地方太平洋沖地震では海溝近くで大きな滑りが生じたことから、海溝付近では、本震発生前には強く固着していたと考えられる。また、その大滑り域のすぐ西側では2011年の2月にスローイベントが発生し、それが3月9日の前震の発生を促し、その前震の余効すべりがM9の本震の発生を促したという、ドミノ倒しのモデルで、東北地方太平洋沖地震は説明できると考えられる（Ito et al., 2012, Kato et

al, 2012)。ニュージーランドも、海溝近くが固着していると考えられており、その固着域の西側でしばしばスロースリップイベントが発生するため、このニュージーランドと日本の比較研究は重要である。このような観点から、日・NZ・米共同の海域観測がニュージーランドで行われている。観測期間中の2013年2月に、設置した観測点の近くでスロースリップイベントが発生し、それに伴って地震活動が活発化した（東京大学地震研究所 [課題番号：1524]）。今後、このスロイイベントと地震発生、および海溝近くの固着域との関係について研究が進めば、東北地方太平洋沖地震についての理解も深まると期待される。

チリ北部についても、海溝近くが固着していることがGPS解析から明らかになっていた(Metois et al., 2013)が、その海溝近くでM8.1の地震が2014年4月1日に発生した。解析の結果、この地震の最大すべり域はやはり沖合に位置しており（防災科学技術研究所 [課題番号：3002]）、また、この地震の2週間前から前震活動が活発化しており、詳細な解析の結果、前震活動の移動や小繰り返し地震活動の活発化が明らかになった（東京大学地震研究所 [課題番号：1510]、Kato and Nakagawa, 2014）。これらも東北地方太平洋沖地震とよく似た特徴であり、今後、海外のデータを詳細に解析し、相互に比較することにより、巨大地震の発生過程について、多くの知見が得られるものと期待される。

（災害軽減の基盤となるデータ・知見の流通・公開）

東北地方太平洋沖地震の前には貞観地震の津波堆積物の分布がかなり明らかになっていた。しかし、その貞観地震クラスの地震がどのくらいの頻度で発生していたのかがわかったのは、太平洋沖地震発生の前年の2010年のことである。その研究成果を受けて地震調査研究推進本部地震調査委員会による海溝型地震の評価の見直しが行われたが、その報告書が公表される直前に、東北地方太平洋沖地震が発生してしまった。宮城県南部や福島県の住民にしてみれば、大規模な津波が襲うような地域に住んでいると知っていた人は少なかったはずであり、たとえ再来間隔や地震の規模が未確定であっても、大地震や大きな津波が過去にきていたことがわかった地域に対しては、早めにその情報を伝えることが必要である。そのような問題意識のもと、津波堆積物データベースを2014年10月15日から一般公開した（産業技術総合研究所 [課題番号：5001]、https://gbank.gsj.jp/tsunami_deposit_db/）。さらに、地震・火山・津波のデータの意味することを、わかりやすく解説し、社会に広めていく活動も行ってきている（気象庁 [課題番号：7020]）。このような地震・火山災害に関するデータベースを公開し、解説していくことは、災害軽減に対する研究者の重要な貢献となるため、今後もさらにデータベースの充実と改良およびその解説活動を進めることが重要である。

一方、このような災害軽減を目指した研究を推進するためには、多種・多量の基盤的なデータが必要となる。様々な機関による地震・地殻変動のデータが研究者に提供されている（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]）ことが、災害軽減に向けた研究のバックボーンとなっていることに留意する必要がある。現在、全国の地震観測を行っている機関の高感度地震波形データはJDXnet を経由して相互に流通が進められており、計算機・ネットワーク技術の進展とともに高度化・高信頼度化を続けてきている（東京大学地震研究所 [課題番号：1518]）。さらに、GNSS・地殻変動連続観測等の多項目観測データについても、そのリアルタイム流通に向けた検討が進められている（北海道大学 [課題番号：1007]）。

また、観測の一次データだけでなく、ある程度、成熟した領域については、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。たとえば、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〕）。

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予見できなかったことにより、防災対策のうえで「想定外」が生じてしまい、被害を大きくしてしまった。この地震を予見できなかった理由はいくつもあるが、一番の問題はいろいろな「思い込み」であったろう。地球科学は実験ができないので、ある仮説のもとで、しばらく観測・研究を続けて、それでその仮説ではうまく説明できない現象が数多く出てきて、初めて仮説の改訂が行われる。完全に検証されるまでは「仮説」のままのはずなのだが、現状のデータを概ねうまく説明できて、かつ物理的にも地学的にも尤もらしければ、その仮説がいつのまにか真実のかのように思い込んでしまいやすい。「古いプレートの沈み込み帯では大きな地震は起こらない」、「海溝近くのプレート境界では地震は起こらない」、「強度の低いプレート境界では大きな地震は起こらない」等々の思い込みが、今回の地震を予見することを邪魔したのである。

しかし、これらの仮説が完全否定されたのかどうかも、まだ実はよくわかっていない。「古いプレートの沈み込み帯では大きな地震は起こりにくい」、「海溝近くのプレート境界では地震は起こりにくい」、「強度の低いプレート境界では大きな地震は起こりにくい」ということまでは、もしかしたら正しいのかもしれない。「起こりにくい」ということを「起こらない」と思い違えていただけなのか、それとも「起こりにくい」と考えること自体が思い違いなのか、そもそも本当にプレート境界の強度は低いのか、といったすべてのことについて思考停止することなく、我々研究者は考え続けていかなければならない。「検証されている」と思われていることでも、ある特殊な条件下あるいは特定の地域でのみ検証されていたことが拡大解釈されていないか、常に確認をする必要がある。さもなければ、また第二の「想定外」が生まれるだろう。

（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に備えるべきかについて、情報を提供することであろう。を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、直前にスロースリップイベントが生じていたことが後から明らかになったが、もし、リアルタイムでそれが検知できて、かつ、超巨大地震が起こりうる場所であると認識されている場所で生じたのなら、ある程度の警告を発信できるかもしれない。そのためには、超巨大地震の発生に至る過程の比較研究が極めて重要となる。前述のとおり、2014年4月1日のチリ北部の地震（M8.1）は、東北地方太平洋沖地震と同じように海溝近くで同じような経過をたどって発生したように見える。今後、このような研究を海外の事例も含めて進めることが重要である。

また、太平洋沖地震による巨大なハザードの生成過程について、さらに詳しく調べる必要がある。特に、あのような甚大な被害をもたらした高い津波がなぜ生じたのか、さらに追及する必要がある。宮城

沖の海溝近くの滑りが巨大であったから津波も高くなったというのが基本的な解釈ではあるが、津波波形の詳細な解析から推定されている三陸沖での大きな滑り (Satake et al., 2013) が本当に生じたのか、もし生じたのなら、それはどのようなメカニズムによるのか、といった研究を今後も引き続き推進する必要がある。また、津波以外のハザードである、地震動（特に長周期地震動）や地滑りについても、もっと研究を進める必要がある。

（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、および海溝の外側で、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4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、このような歪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、吾妻山や蔵王火山の活動が活発化し、また、遠く離れた御嶽山や箱根火山の活動の活発化についても、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、その速度は遅く、また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

Ariyoshi K., N. Uchida, T. Matsuzawa, R. Hino, A. Hasegawa, T. Hori, and Y. Kaneda, 2015, A trial estimation of frictional properties, focusing on aperiodicity off Kamaishi just after the 2011 Tohoku earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 8325-8334, doi:10.1002/2014GL061872.

Chigira, M., 2014. Geological and geomorphological features of deep-seated catastrophic landslides in tectonically active regions of Asia and implications for hazard mapping. *Episodes*, 37, 284-294.

- Chigira, M., A. Nakasuji, S. Fujiwara, M. Sakagami, 2014. Soil-slide avalanches of pyroclastic fall deposits induced by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake. in "Studies on the Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake" ed. by H. Kawase, Springer, Tokyo, 65-86.
- Fujiwara, O., and K. Tanigawa, 2014, Bedforms record the flow conditions of the 2011 Tohoku-oki tsunami on the Sendai Plain, northeast Japan, *Marine Geology*, 358, 79-88.
doi:10.1016/j.margeo.2014.04.013.
- Hirose, H., T. Matsuzawa, T. Kimura, and H. Kimura, 2014, The Boso slow slip events in 2007 and 2011 as a driving process for the accompanied earthquake swarm, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 2778-2785, doi:10.1002/2014GL059791.
- Ide, S., and H. Aochi, 2014, Modeling earthquakes using fractal circular patch models with lessons from the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *J. Disast. Res.*, 9, 264-271.
- Kato, A. and S. Nakagawa, 2014, Multiple slow-slip events during a foreshock sequence of the 2014 Iquique, Chile Mw 8.1 earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 41, doi:10.1002/2014GL061138.
- Kato, A., T. Igarashi, and K. Obara, 2014, Detection of a hidden Boso slow slip event immediately after the 2011Mw9.0 Tohoku-Oki earthquake, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 5868-5874, doi:10.1002/2014GL061053.
- Kato, N., 2014, Deterministic chaos in a simulated sequence of slip events on a single isolated asperity, *Geophys. J. Int.*, 198, 727-736, doi:10.1093/gji/ggu157.
- Kosuga, M., 2014, Seismic activity near the Moriyoshi-zan volcano in Akita Prefecture, northeastern Japan: implications for geofluid migration and a midcrustal geofluid reservoir, *Earth Planets Space*, 66:77, doi:10.1186/1880-5981-66-77.
- Nakamura, Y., S. Kodaira, B. J. Cook, T. Jeppson, T. Kasaya, Y. Yamamoto, Y. Hashimoto, M. Yamaguchi, K. Obana, and G. Fujie, 2014, Seismic imaging and velocity structure around the JFAST drill site in the Japan Trench: low Vp, high Vp/Vs in the transparent frontal prism, *Earth Planets Space*, 66:121, doi:10.1186/1880-5981-66-121.
- Nishikawa, T. and S. Ide, 2014, Earthquake size distribution in subduction zones linked to slab buoyancy, *Nature Geoscience*, 7, 904-908, doi:10.1038/ngeo2279.
- Obana, K., S. Kodaira, Y. Nakamura, T. Sato, G. Fujie, T. Takahashi, Y. Yamamoto, 2014, Aftershocks of the December 7, 2012 intraplate doublet near the Japan Trench axis, *Earth Planets Space*, 66:24, doi:10.1186/1880-5981-66-24.
- Okada, T., T. Matsuzawa, N. Umino, K. Yoshida, A. Hasegawa, H. Takahashi, T. Yamada, M. Kosuga, T. Takeda, A. Kato, T. Igarashi, K. Obara, S. Sakai, A. Saiga, T. Iidaka, T. Iwasaki, N. Hirata, N. Tsumura, Y. Yamanaka, T. Terakawa, H. Nakamichi, T. Okuda, S. Horikawa, H. Katao, T. Miura, A. Kubo, T. Matsushima, K. Goto, and H. Miyamachi, 2014, Hypocenter migration and crustal seismic velocity distribution observed for the inland earthquake swarms induced by the 2011 Tohoku-Oki earthquake in NE Japan: implications for crustal fluid distribution and crustal permeability, *Geofluids*, 15, 293-309, doi:10.1111/gfl.12112.
- Ozawa, S., 2014, Shortening of recurrence interval of Boso slow slip events in Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 2762-2768, doi:10.1002/2014GL060072.

- Sawai, M., T. Hirose, and J. Kameda, 2014, Frictional properties of incoming pelagic sediments at the Japan Trench: implications for large slip at a shallow plate boundary during the 2011 Tohoku earthquake, *Earth Planets Space*, 66:65, doi:10.1186/1880-5981-66-65.
- Shibazaki, B. and H. Noda, 2014, What caused the 2011 Tohoku-Oki earthquake?: Effects of dynamic weakening, *J. Disast. Res.*, 9, 252-263.
- Shirzaei, M., R. Burgmann, N. Uchida, Y. Hu, F. Pollitz, and T. Matsuzawa, 2014, Seismic versus aseismic slip: Probing mechanical properties of the northeast Japan subduction zone, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 406, 7-13, doi:10.1016/j.epsl.2014.08.035.
- Shishikura, M., 2014, Recent issues in Japan for forecasting subduction zone great earthquakes by paleoseismological study, *J. Disast. Res.*, 9, 330-338.
- Tsushima, H., and Y. Ohta, 2014, Review on near-field tsunami forecasting from offshore tsunami data and onshore GNSS data for tsunami early warning, *J. Disast. Res.*, 9, 339-357.
- Tsushima, H., R. Hino, Y. Ohta, T. Iinuma, and S. Miura, 2014, tFISH/RAPiD: Rapid improvement of near-field tsunami forecasting based on offshore tsunami data by incorporating onshore GNSS data, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 3390-3397, doi:10.1002/2014GL059863.
- Uchida, N., K. Shimamura, T. Matsuzawa, and T. Okada, 2015, Postseismic response of repeating earthquakes around the 2011 Tohoku-oki earthquake: Moment increases due to the fast loading rate, *J. Geophys. Res.*, 120, 259-274, doi:10.1002/2013JB010933.
- Watanabe, S., M. Sato, M. Fujita, T. Ishikawa, Y. Yokota, N. Ujihara, and A. Asada, 2014, Evidence of viscoelastic deformation following the 2011 Tohoku-Oki earthquake revealed from seafloor geodetic observation, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 5789-5796, doi:10.1002/2014GL061134.
- Yukutake, Y., T. Takeda, and A. Yoshida, 2015, The applicability of frictional reactivation theory to active faults in Japan based on slip tendency analysis, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 411, 188-198, doi:10.1016/j.epsl.2014.12.005.

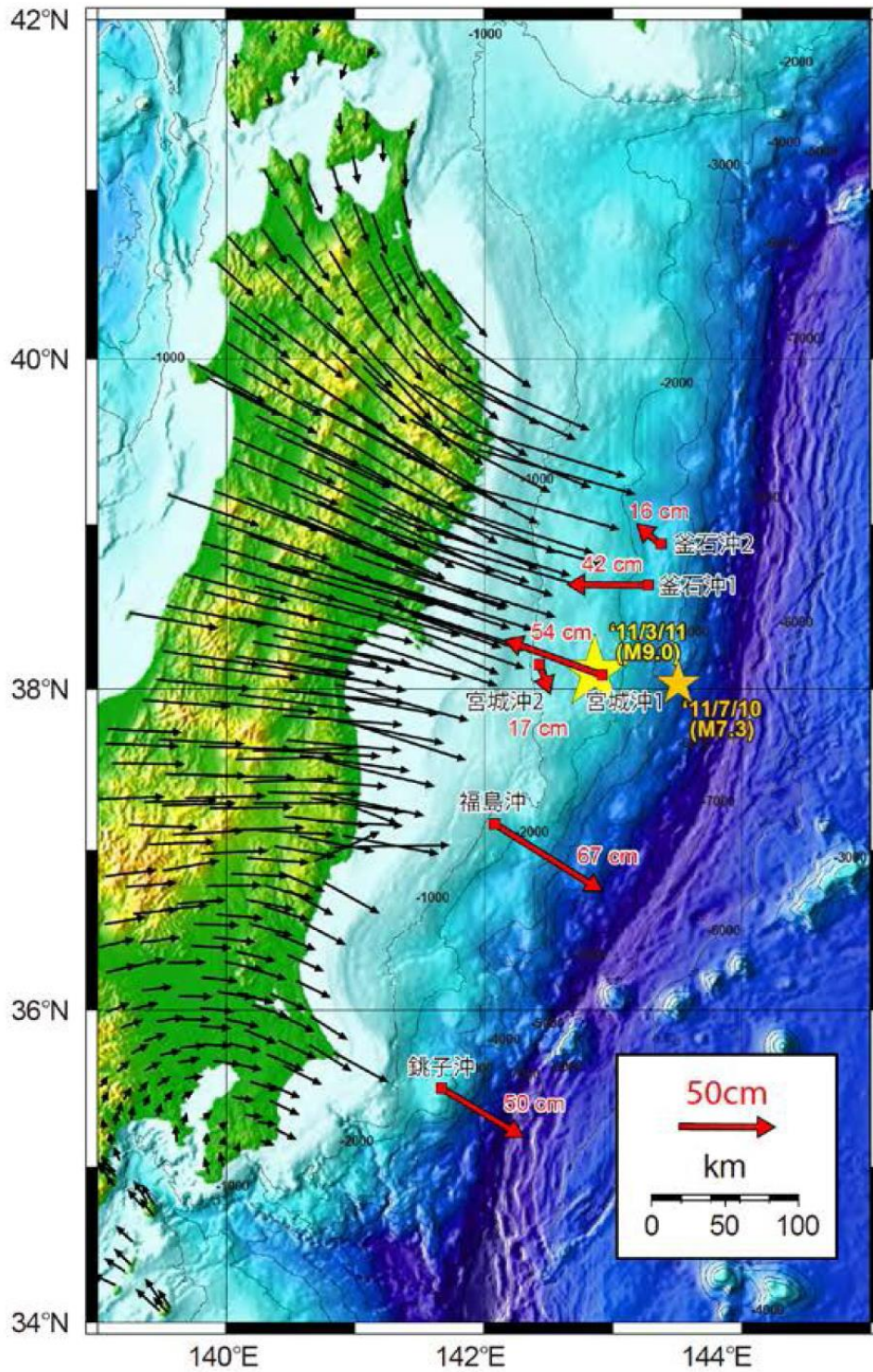


図1. 東北地方太平洋沖地震後の地殻変動（海上保安庁〔課題番号：8001〕。赤と黒の矢印は、海底基準点と国土地理院の電子基準点における累積変位ベクトルを示す。

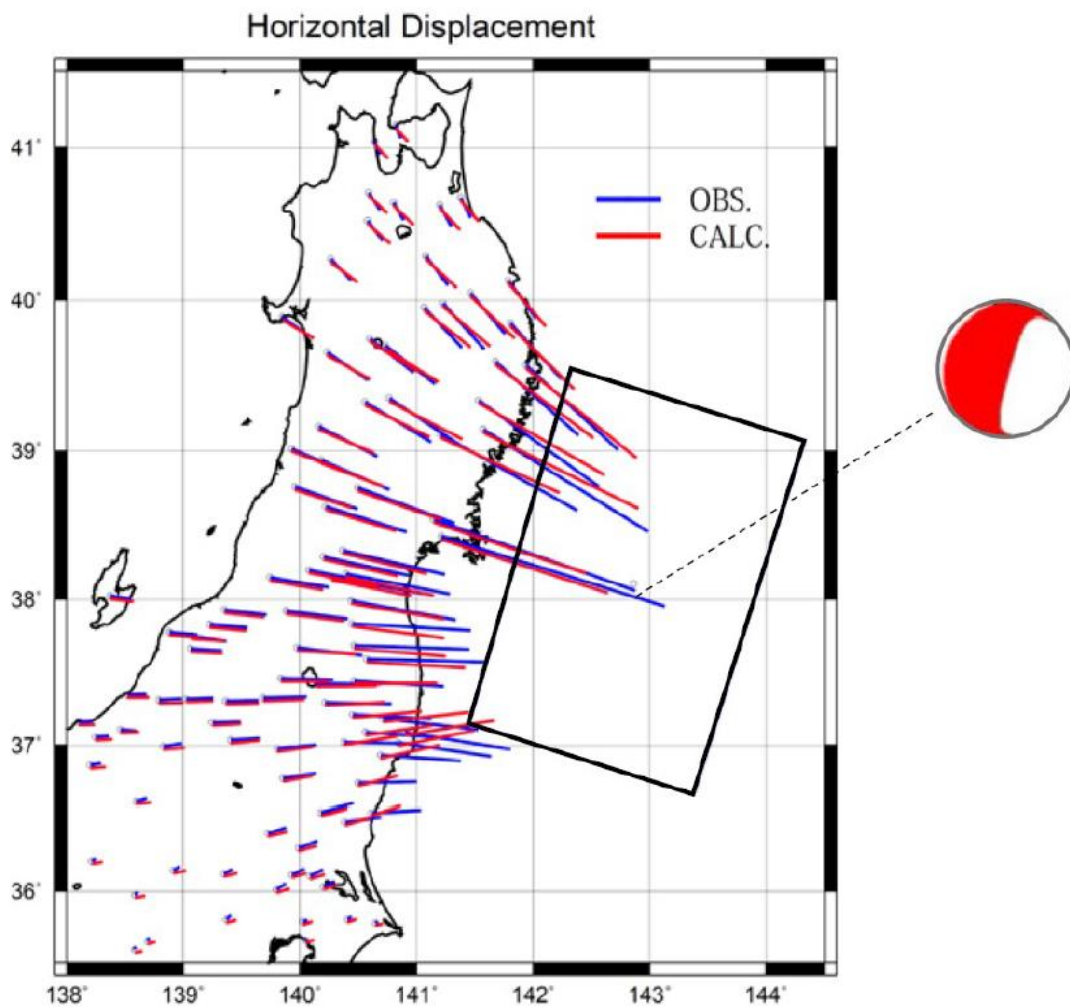


図 2. GNSS データを用いた断層面推定（気象庁 [課題番号：7009]）。平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震について、GNSS データを用いて w-phase 解析を行い、更にそこで得られたモーメントテンソル解及び GNSS の永久変位に対して整合的な断層面を推定した。

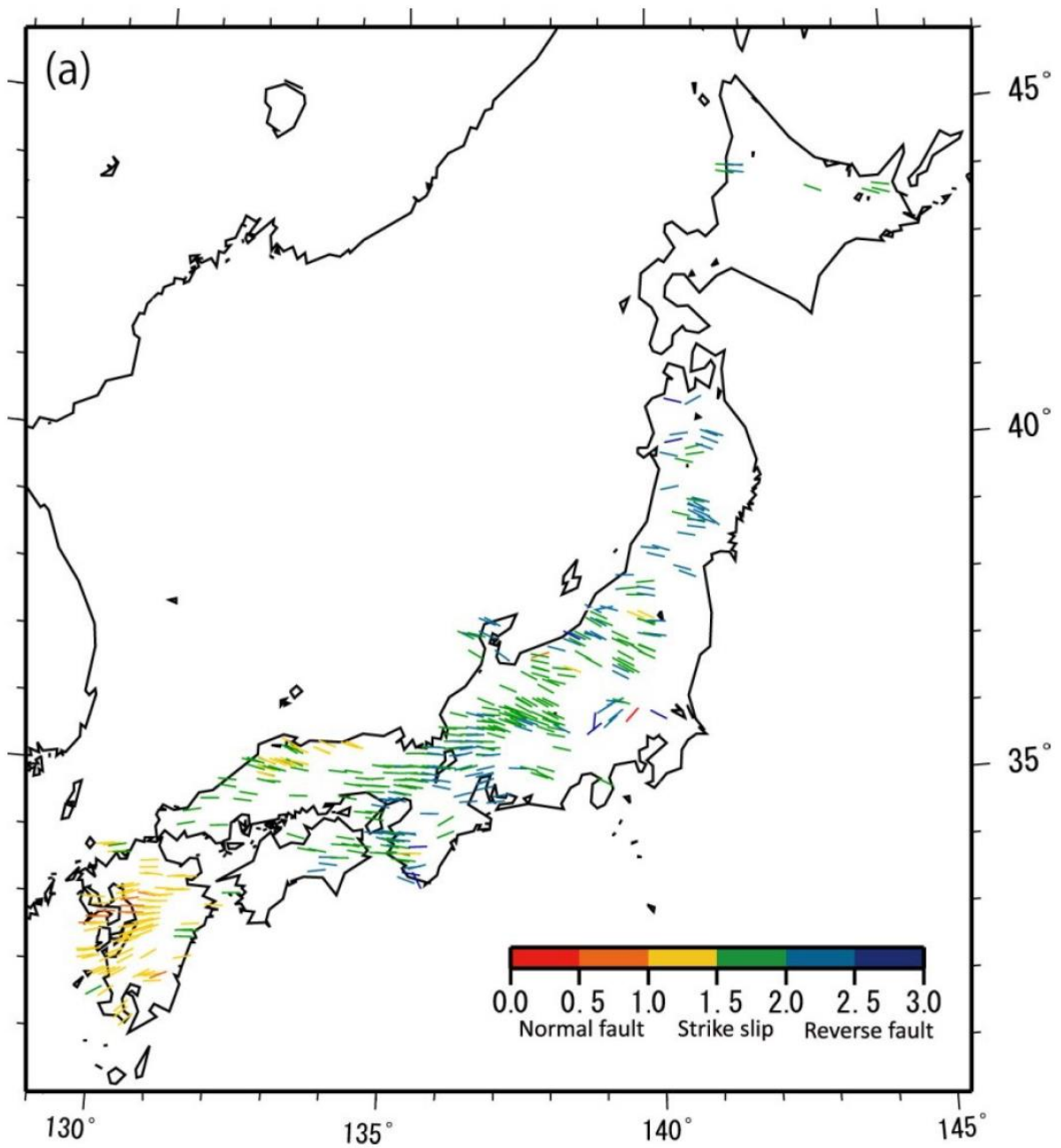


図3. 列島規模で推定された応力場の空間分布 (京都大学防災研究所[課題番号:1905], Yukutake et al., 2015)。棒の方向及び色はそれぞれ水平最大圧縮応力軸方向及び応力場のタイプを示す。

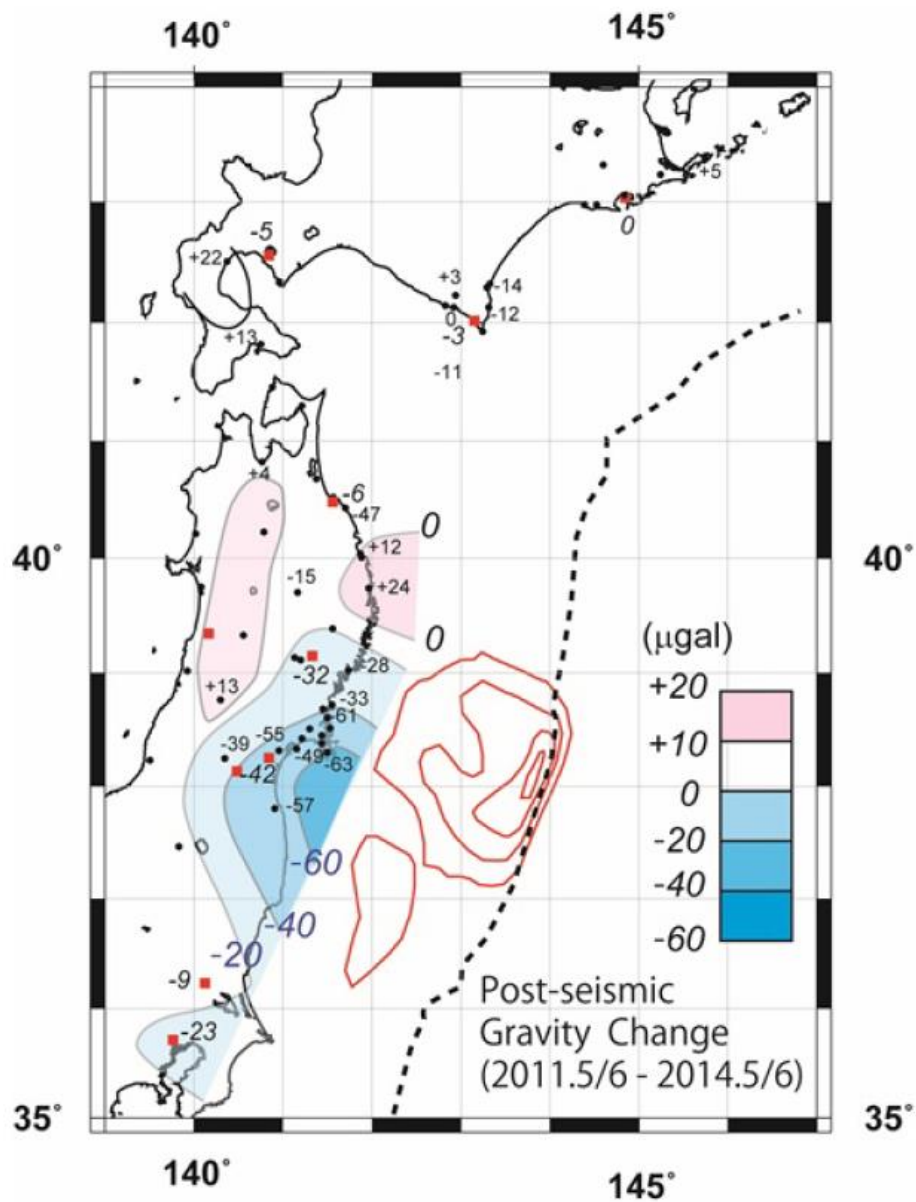


図4. 東北地方・北海道におけるハイブリッド重力観測の結果（東北大学[課題番号：1203]）。2011年5-6月と2014年5-6月に実施した観測から得られた重力の差を示す。赤四角は絶対重力観測（10点；精度 $2\ \mu\text{gal}$ ）、黒丸は相対重力観測（50点）を実施した地点を示す。赤色コンターは東北地方太平洋沖地震のすべり量分布（Iinuma et al., 2012）を表す。

3 (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）

南海トラフ域では、昭和の東南海・南海地震から70年が経過し、次の巨大地震は着実に近づいている。南海トラフ巨大地震の地震像を具象化し、それがもたらす強震動や津波の大きさを推定することは、この地震による災害の軽減において、非常に重要である。

本総合研究グループは、南海トラフ巨大地震に関する研究を、今期5か年の地震火山観測研究計画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る必要がある。

今期5か年の地震火山観測研究計画において、南海トラフ巨大地震に関する研究を含んでいる研究課題は45課題程度あり、全体の約3割を占める。部会別に整理すると、海溝型地震部会の課題が15（34%）、データベース・データ流通部会の課題が9（20%）、地震動・津波の事前予測・即時予測部会の課題が7（16%）、史料・考古部会と地震・火山災害部会の課題が4（9%）ずつ、地震先行現象・地震活動評価部会と内陸地震部会の課題が3（7%）ずつとなる。このうち平成26年度（2014年度）の成果報告で、南海トラフ巨大地震に関する研究成果が記載されているものは、15課題程度で、1/3にとどまっている。たとえば、海溝型地震を研究テーマとする課題であって、東北地方太平洋沖地震と南海トラフ巨大地震をサブテーマとする課題にも、今年度は2011年東北地方太平洋沖地震のデータを解析した研究成果は出ているが、南海トラフ巨大地震までは言及していないものがままた見られた。5年計画における1年目の成果としては致し方ない面もあるが、次年度以降に2011年東北地方太平洋沖地震の成果を南海トラフ巨大地震に応用するような研究成果が出てくることを期待したい。

拠点間連携の参加者募集型研究では、南海トラフ巨大地震をターゲットとして、震源、地殻構造・波動伝播、強震動予測、地盤構造、被害予測（地震動・津波）等の各要素の不確定さが最終的な被害想定に及ぼす影響を理学や工学等の研究者で共有し、災害リスク評価の精度向上には何が必要かを探求する研究が平成27年度から開始される。本報告においても、このようなリスク評価の研究項目を参考にして、震源、地殻構造・波動伝播、強震動予測、地盤構造、被害予測および地震発生に関するシミュレーション研究という項目に分類して、今年度の研究成果をまとめる。

1. 震源

(1) スロースリップ（SSE）、超低周波地震、地殻変動

ア. 東海

2004年からのGPS 大学連合のデータとGEONETデータを統合解析し、ひずみの時間変化を解析した（東京大学地震研究所 [課題番号：1509]）。東海地域の水準測量データ等の解析によりプレート間固着等の時空間変化を1980年代まで遡って推定した（産業技術総合研究所 [課題番号：5007]）。2000年～2005年に発生したMw7.1のスロースリップの領域の南側で、2014年初頭からMw6.6に達する非地震性のすべりが起きている可能性があることが判明した（国土地理院 [課題番号：6003]）。

イ. 紀伊半島

短スパン伸縮計の開発と観測網の構築を行い、. 2013年3月上旬に発生した低周波イベントの

際の伸縮変化を観測した（京都大学防災研究所〔課題番号：1910〕）。

ウ. 四国

過去120年間の水準測量のデータに対して、エラーと考えられる変化の修正をして、モデリングに用いることのできる室戸岬の上下変動に関するデータを作成した（名古屋大学〔課題番号：1703〕）。

エ. 豊後水道

長期的SSEの発生間隔は6～7年であるので、次の発生は2016年と考えられていたが、2014年に小規模のものが発生した。これは、標準規模のSSEに発展する前駆的現象かもしれない。2011年東北地方太平洋沖地震の影響で長期的SSEの発生間隔が短くなる可能性もある（東京大学地震研究所〔課題番号：1509〕）。2014年のSSEの規模はMw6.6程度である（国土地理院〔課題番号：6003〕）。

オ. 南西諸島

短期的SSE断層モデル推定手法を改良し、九州から南西諸島のGNSS(GEONET) データに適用して、この地域での短期的SSEの発生状況を初めて系統的に明らかにした。琉球海溝沿いでは、種子島沖、喜界島沖、沖縄本島南部沖、八重山諸島において短期的SSEの活発な領域が見られ、八重山諸島を除いた3領域のSSE発生深度は10～30kmと浅いことがわかった（京都大学防災研究所〔課題番号：1910〕）。再決定震源から推定された稍深発地震面の傾斜角がトカラ海峡の北東領域の約60°に対して南西領域の50°で少し異なり、スラブ上面の形状の違いが示唆された。新しい知見として、奄美大島に設置された短周期臨時地震観測点（6点）において、低周波が卓越する波群が記録されていることが分かった（鹿児島大学〔課題番号：2301〕）。防災科研の広帯域地震観測網（F-net）における約11年分の記録を波形相関法で解析した。その結果、浅部低周波地震活動の発生頻度は紀伊半島沖～四国沖では低く、日向灘、南西諸島と南西に向かうにしたがって高くなることが分かった（防災科学技術研究所〔課題番号：3002〕）。

(2) 歴史・考古資料による南海トラフ巨大地震像

ア. 古文書

名古屋大学所蔵の高木家文書の修復を行った。徳川林政史研究所、蓬左文庫、岐阜歴史博物館、佐賀県立図書館、唐津図書館や個人所蔵の新たな史料収集を行い、新しく見つかった史料については順次翻刻を行った。神社明細帳については高知県、和歌山県の調査を行い、海岸線沿いの市町村についてはほぼ完了した。また高知県、和歌山県、愛知県、三重県、岐阜県、静岡県、長野県の地方史の収集を行った（名古屋大学〔課題番号：1701〕）。東海地方にあって長期間に亙る日記が残存する三河国田原藩（愛知県田原市）の「田原藩日記」の調査・撮影を実施した（東京大学史料編纂所〔課題番号：2601〕）。

イ. 津波堆積物

静岡県沿岸地域および高知県東洋町、四万十町、黒潮町でそれぞれ津波堆積物調査を実施し、過去の津波と思われる複数枚の砂層を検出した（産業技術総合研究所〔課題番号：5004〕）。

(3) 即時予測

ア. GNSSリアルタイム解析

GEONETリアルタイム解析から得られるリアルタイム地殻変動データを用いて、矩形断層モデル、プレート境界面上のすべり分布を即時推定する技術の開発を行った（国土地理院〔課題番号：6004〕）。

2. 地殻構造・波動伝播

(1) プレート形状・構造

ア. 東海

変換波およびSP変換波について、先行研究を精査するとともに、過去のデータの整理を行った。プレート形状が静岡県の下でたわんでいることが明らかになりつつある（名古屋大学〔課題番号：1703〕）。

イ. 紀伊半島

紀伊半島東部の地震波トモグラフィ解析と震源再決定の結果、沈み込む海洋性地殻下の上部マントル内には、モホ面と平行な北傾斜の震源分布を確認でき、その近傍で V_p/V_s 値が大きくなる傾向が見られた。低周波地震は、沈み込むフィリピン海プレートが島弧下のマントルウエッジと接する近傍で発生している（東京大学地震研究所〔課題番号：1509〕）。中西部では、スラブ上面の深さが30~40 kmになるあたりで深部低周波イベント（DLFE）が発生するが、この発生域とその周辺のP波速度（ V_p ）とS波速度（ V_s ）はともに-5%程度の低速度異常を示した。 V_p/V_s 比は1.75~1.8とやや高い値を示した。海洋地殻内の含水鉱物の脱水分解が進み、流体が放出されたためと考えられる。和歌山県北部の、上部地殻に微小地震が多発する領域の下の下部地殻に V_p と V_s ともに-10%にも及ぶ非常に強い低速度異常域がやや東西に広がる形で存在することがわかった。ここに存在する流体が浅部の脆性領域に上昇し、岩石中の間隙水圧を上げ、摩擦力を下げるため、この地域で微小地震が多発すると考えられる（京都大学防災研究所〔課題番号：1904〕）。

ウ. 四国

地殻構造および地震発生履歴等についての調査観測により、室戸沖南海トラフの地震断層分布と新たな巨大地震想定震源域上限が概ね一致していることを確認した（海洋研究開発機構〔課題番号：4002〕）。

エ. 南九州

宮崎-阿久根測線と宮崎-桜島測線での稠密リニアアレイ観測で得られたデータを用いてレーバ関数解析を行った。両測線のウェッジ部において大陸モホ面が不明瞭になるのは、ウェッジ部がスラブ起源流体の影響で低速度化し、モホ面が高速度層上面ではなくなっているためと考えられる。このウェッジ部には流体が存在するか、強度の弱い蛇紋岩に変成していると考えられ、ここに接するプレート境界面は安定すべり域である可能性が高い（京都大学防災研究所〔課題番号：1904〕）。

オ. 南西諸島

地殻構造および地震発生履歴等についての調査観測により、南西諸島海溝域地震発生帯モデルの構築に必要なプレート形状等について新たな知見を得た（海洋研究開発機構〔課題番号：

4002])。

(2) 波動伝播

ア. Lg波

西南日本と東北日本のLg波伝播の特性の違いと、その原因とである地殻構造の違いを詳しく調べた。モホ面深度の空間変動や、モホ面直下の緩やかな正の速度勾配により、最上部マントルを伝わるS波エネルギーが地殻内に戻ることによって振幅の大きなSn波が生成され、さらにモホ面の凹凸に対応してSn波が地域的に大きくなる特色がシミュレーションから良く再現された。さらに、短波長不均質構造を付加したハイブリッドモデルの利用により、S波が伝播過程で強い前方散乱を繰り返し起こし、Hi-net観測記録に特徴的に見られる紡錘形のLg波群が良く再現できるようになった（東京大学地震研究所 [課題番号：1516]）。

3. 強震動予測

(1) 手法の改良

ア. 広帯域震源モデルの改良

震源モデルの広帯域化において、すべり量と破壊伝播速度という2つの震源パラメータの空間分布に不均質を付加する方法について検討した。広帯域動力学震源モデルにおける両パラメータの相関を見たところ、破壊伝播速度の不均質分布は波数の逆数に比例するスペクトルとなり、破壊伝播速度とすべり量の間にはほとんど相関が見られないことがわかった。両パラメータの関係についてのこれらの知見は、広帯域震源モデルの改良に活かせると考えられる（京都大学防災研究所 [課題番号：1911]）。

4. 地盤構造

(1) 構造モデル

ア. 関東平野

関東平野への地震波の入射方向による長周期地震動の増幅特性の違いの原因として、関東平野の基盤構造の非対称性が挙げられる。北東から入射する表面波に対しては強い増幅が見られないが、これは、関東平野の基盤深度の変化が北東方向に向けて緩やかになっているためと考えられる。その他の方角では、平野を取り囲む周囲の山地から平野内部にかけて基盤が落ち窪むように急激に深くなっており、表面波の増幅が起きやすいと考えられる（東京大学地震研究所 [課題番号：1516]）。

イ. 大阪盆地

大阪堆積盆地構造モデルの検証を進めるため、大阪盆地北西部に位置する観測点での記録に現れる特徴的な後続波群についての分析を行った。後続波群の震動方向や波群間の時間差の変化に到来方向による系統的な差異があることがわかった（京都大学防災研究所 [課題番号：1911]）。

ウ. 京都盆地

堆積盆地構造の地震応答を実測し、地盤構造モデルの改良に用いるため、既設強震観測点での観測を継続し、地震記録の収集を行った（京都大学防災研究所 [課題番号：1911]）。

5. 被害予測

(1) 津波

ア. 津波即時解析

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、実証試験を開始した（海洋研究開発機構 [課題番号：4002]）。沖合で観測された津波波形の逆解析に基づく津波の即時予測手法システムについて、2011年東北地方太平洋沖地震の津波観測データを用いて、その手法の改良を検討した（気象庁 [課題番号：7011]）。

イ. 中京圏

湛水分布と経路復旧評価を行った（海洋研究開発機構 [課題番号：4002]）。

(2) 地すべり

ア. 発生ポテンシャル評価

地震によって火山地域で発生した地すべりの調査、およびレビューを行い、それらに共通な特徴を抽出した結果、もっとも甚大な被害を発生するのは、降下火砕物の崩壊性地すべりであることがわかった（京都大学防災研究所 [課題番号：1912]）。

6. シミュレーション

(1) 地震サイクルシミュレーション

ア. スロースリップと巨大地震の相互作用

豊後水道で6~7年間隔で発生する長期的SSEに同期して、南海トラフ近傍の浅部超低周波地震活動も活発化することから、プレート境界面上における現象間の相互作用を理解する目的で、これらの現象の同時発生を数値的に再現することを試みた。長期的SSEと浅部VLFの震源域はいずれも有効法線法力を低く設定し、長期的SSE域のとなり安定すべり域が存在するモデルにより、これらのスロー地震の同時発生の特徴が良く再現された（東京大学地震研究所 [課題番号：1509]）。

南海トラフ全域について、地震サイクル間におけるSSEの発生を再現する数値シミュレーションをおこなった。多くの地域では、地震サイクル前半から中盤にかけて、短期的SSEの発生間隔が減少した。ただし、地震サイクル後半においては、固着域と短期的SSEの間で発生する長期的SSEのために、発生間隔は大きな擾乱をうける結果がられた（防災科学技術研究所 [課題番号：3001]）。

イ. 動的・準動的シミュレーション

動的・準動的シミュレーションにおけるin-plane問題の地震サイクルコードを開発した。動的・準動的計算では、地震の繰り返し間隔は4.02年となり、準動的の3.13年より長くなった。これは、動的・準動的計算では、地震時すべり速度およびすべり量が大きくなるためである。動的破壊も含む地震サイクルシミュレーションの重要性が確認された（京都大学 [課題番号：1801]）。

ウ. 摩擦パラメータの推定

SSEの発生領域の摩擦パラメータ手法としてアンサンブルカルマンフィルタを採用し、適用可能性について、八重山SSEを模した数値実験を行った。逐次データ同化により速度・状態依存摩擦法則に基づく断層すべりのシミュレーションモデルの摩擦パラメータと初期条件（シミュレ-

ションの変数)を同時推定する手法の開発を行った。地震活動に基づいて摩擦パラメータ推定を行うための手法開発をおこなった。(京都大学 [課題番号:1803])

これまでの課題と今後の展望

今年度の成果報告を見ると、2011年東北地方太平洋沖地震の際に得られたデータを解析して、とても興味深い結果が多く出されている。今後は、このような成果を南海トラフ巨大地震の予測や災害の軽減に応用するような取り組みが必要と思う。

また、南海トラフ巨大地震のリスク評価における情報の流れに沿って、震源、地殻構造・波動伝播、強震動予測、地盤構造、被害予測という分類でまとめると、報告数は、それぞれ14, 7, 1, 3, 4であった。この数分布は、地震火山観測研究計画の各研究課題から想像されるものである。総合研究をすすめるにあたっては、研究課題の深化を行うとともに、地震火山観測研究計画の地震動、津波評価と被害予測に関する研究課題で必要としている震源や地殻構造情報の共有や、拠点間連携研究の南海トラフ巨大地震のリスク評価における地震発生、地震規模などの予測といった観点でのアウトプット情報を関係研究者が共有していくことが必要と考えられる。

成果リスト

千木良雅弘, 2014. 地震による深層崩壊. 地震ジャーナル, 58, 28-35.

Furumura, T., T.-K. Hong, and BLN Kennett, Lg wave propagation in the area around Japan: Observation and simulation, Progress of Earth. Planet. Sci., 1:10, doi:10.1186/2197-4284-1-10, 2014.

Kato, T., A. Fujita, M. Satomura, R. Ikuta, and Y. Harada, Analysis of detailed crustal strains due to the dense GNSS array in the Tokai region, central Japan, Abstract of the International Symposium on Geodesy for Earthquake and Natural Hazards, Miyagi, Japan, 22-26 July, 2014

田中宏樹・岩田知孝・浅野公之, 2014, 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, 日本地震学会講演予稿集, S16-P20

Nishimura, T., 2014, Short-term slow slip events along the Ryukyu trench, southwestern Japan, observed by continuous GNSS, Prog. Earth Planet. Sci., 1:22, doi:10.1186/s40645-014-0022-5

澁谷拓郎, 南海トラフ巨大地震の予測高度化を目指したフィリピン海スラブ周辺域の構造研究, 日本自然災害学会平成26年度学術講演会(鹿児島大学, 鹿児島市), III-5-1, 2014

Shimizu, H. and K. Hirahara, Two-dimensional spectral-element simulations of earthquake cycle at subduction zones, AGU 2014 Fall Meeting, S33B-4515, San Francisco, USA, 2014

八木原寛・平野舟一郎・中尾茂・馬越孝道・中東和夫・内田和也・清水洋・山下裕亮・山田知朗・篠原雅尚・後藤和彦, 2014, 南西諸島北部の海域及び島嶼域における地震観測によるプレート境界面形状の推定(1), 日本地震学会2014年秋期大会講演予稿集, S09-P07

Youichi Asano, Kazushige Obara, Takanori Matsuzawa, Hitoshi Hirose, and Yoshihiro Ito (2015), Possible shallow slow slip events in Hyuga-nada, Nankai subduction zone, inferred from migration of very-lowfrequency earthquakes, Geophys. Res. Lett., 42, doi:10.1002/2014GL062165

3 (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26年度の成果概要

首都直下地震の解明のための研究、首都直下地震の予測のための研究、首都直下地震の災害誘因予測のための研究に必要な基盤となる観測網の維持・拡充を進め、データを継続的に取得すると共に、膨大なデータを効率的に流通させるためのシステムを構築してきた（東大地震研 [課題番号：1518]、国土地理院 [課題番号：6005, 6006, 6012]、気象庁 [課題番号：7012, 7014, 7020]、海上保安庁 [課題番号：8001, 8002, 8004]）。

首都直下地震は、関東地方の平野部に存在する活断層で発生するもの、沈み込むプレートの境界部分で発生するもの、沈み込むプレート内で発生するものが考えられている。プレート境界部分で発生する地震に関しては、地震活動や地殻変動を詳細に観察することによって、プレート間カップリングをモニタリングしようとする試みがなされている。2014年1月頃、房総半島沖でスロースリップイベント（SSE）が観測され、それに伴って発生した地震活動や地殻変動から研究が進められた。これまで約6年間隔で発生してきたが、東北地方太平洋沖地震の発生以降、SSEの発生間隔が乱された可能性がある。Matched filter 解析によって、活発な余震に埋もれた地震を拾い出したところ、東北地方太平洋沖地震の発生直後の3月12日から群発的な地震活動が始まり、13日と14日に活発化した（東大地震研 [課題番号：1509]）。さらに、小繰り返し地震によるすべりの調査および、既知の房総スロースリップ時に発生した群発地震と類似したイベントの検出を行ったところ、東北地方太平洋沖地震の発生直後にSSEが誘発されていたことが推定された。2011年3月に続き2011年11月と2014年1月にもSSEは発生していることから、発生間隔は、東北地方太平洋沖地震によって短くなったものの、その後発生間隔が少しずつ伸びていると考える方が妥当と思われる（東大地震研 [課題番号：1510]）。2014年1月のSSEは、傾斜変動データおよびGNSSデータを用いて断層モデルを推定した所、すべり域はこれまでと重なるが、地震モーメントは約半分と小さく推定された（防災科研 [課題番号：3002]）。東大地震研と国土地理院GEONET の観測点におけるGPS 時系列データを用いて、フィリピン海プレート上面におけるすべり・すべり速度の時空間発展を時間依存インバージョン解析により推定した。地震活動の時間変化と比較すると、群発地震活動がスロースリップによる応力変化によってトリガーされたことを示唆する（東大地震研 [課題番号：1509]）。

一方で、沈み込むプレート内で発生するスラブ内地震に関しては、関東下のP波減衰構造を推定し、フィリピン海スラブのマントル東端部が顕著な高減衰を示すことを明らかにした。この高減衰域の広がりには蛇紋岩化していると解釈されている地震波低速度域とほぼ一致する（東北大 [課題番

号：1201]]。

災害誘因予測のための研究として、将来発生が予想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。関東平野では基盤構造が非対称であるため、表面波の増幅特性が波の伝播方位によって異なることが原因で、地震発生域によって長周期地震動の発達に差があることを確認した（東大地震研 [課題番号：1516]]。大地震の震動による地すべり現象は大きな災害要因の一つであるが、首都圏では丘陵地帯を切り拓いて作った造成地に多くの住居があり、そのような地域の増幅特性を見積もった。人工的に改変された盛土では、S波の上下動成分の10Hz前後に顕著な増幅が見られ、揺れの大きさは地山に比べて約3倍に増幅することがわかった（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。元禄関東地震（1703年）の時の日光東照宮での被害が軽微であったことや、1583年の地震時には発生の約一週間前から地震活動が活発であったことなどが、当時の資料からわかった（東大地震研 [課題番号：1513]]。地形や地質調査のデータから、過去の関東地震の履歴と隆起パターンなどを復元し、関東地震の多様性を評価した。房総半島九十九里浜において津波堆積物調査を実施し、これまで歴史上に知られていない津波の痕跡を検出した（産総研 [課題番号：5004]]。

3. これまでの課題と今後の展望

新たな研究計画の初年度として、それぞれの研究課題においては少しずつ成果が出ているが、新たに作られた総合研究としての課題の進め方は、まだ模索中である。「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について（建議）」には、総合的な研究として優先して推進するとされているものの、それぞれが有機的につながるような研究課題が無いため、その実現はなかなか難しいのではないだろうか。

他分野の課題研究同士でつながるためには、まず、一つの共通する目標を掲げて、そこへ向かう姿勢を同じにする必要がある。そのようにして、全体を一つの方向へ向けてから、お互いにお互いの研究を見れば、共通する部分や補い合える部分が見つかるのではないだろうか。少なくとも、首都直下地震による災害の軽減という視点は、それぞれの課題に共通しているはずである。地震発生後、どんな災害があつて、それをどうやって軽減するのかという問題意識は、共通する課題になりうるものであるが、まだ個別の課題の中だけで研究が進められている。他分野間のつながりができていないため、総合力は高まらないが、いずれは研究者向けではない一般の方々への成果の見せ方や実務を担う防災担当者への教育や啓蒙活動等に力を注がないと、真の意味で災害の軽減に貢献できない。

成果リスト

Fukuda, J., A. Kato, K. Obara, S. Miura, and T. Kato, 2014, Imaging of the early acceleration phase of the 2013–2014 Boso slow slip event, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 7493–7500, doi:10.1002/2014GL061550.

Kato, A., T. Igarashi, and K. Obara, 2014, Detection of a hidden Boso slow slip event immediately after the 2011Mw9.0 Tohoku–Oki earthquake, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 41,

5868-5874, doi:10.1002/2014GL061053.

Igarashi, T., 2014, Inter-plate aseismic slip inferred from sequences of small repeating earthquakes after the 2011 great Tohoku earthquake, AOGS 11th Annual Meeting, SE30-A001.

防災科学技術研究所 (2014), 2014 年1 月房総半島沖スロースリップイベント, 地震予知連絡会会報, 92, 108-116.

千木良雅弘, 2014. 地震による深層崩壊. 地震ジャーナル, 58, 28-35.

古村孝志, 関東平野の深部基盤構造と長周期地震動リスク, 地学雑誌, 123 (No4), p434-450, 2014.

Nakajima, J., 2014, Seismic attenuation beneath Kanto, Japan: Evidence for high attenuation in the serpenititized subducting mantle, Earth, Planets and Space., 66, 12, doi:10.1186/1800-5981-66-12.

Shishikura, M., 2014, History of the paleo-earthquakes along the Sagami Trough, central Japan -Review of coastal paleoseismological studies in the Kanto region-, Episodes, 37, 246-257.

3 (4) 桜島火山噴火総合研究

桜島火山噴火総合研究グループリーダー 井口正人（京都大学防災研究所）

2006年に58年ぶりに再開した桜島火山の昭和火口における噴火活動は、2009年以降、ブルカノ式噴火の発生回数と火山灰放出量が増加するなど、火山活動活発化の傾向が続いている。一方、桜島の主マグマ溜まりがあるとされる始良カルデラ下ではマグマの蓄積が進行しており、マグマの100年間の蓄積量からみて、1914年大正噴火と同等の規模の噴火の発生が懸念されている。このような背景から、現在のブルカノ式噴火が頻発する活動から、より活動的な状態へと火山活動が移行する条件の解明と、噴火活動規模の予測および噴火に伴う災害の予測は急務の課題である。このためには、過去の大規模噴火についてはその前駆過程を明らかにし、現在の活動については多項目観測を駆使することにより、マグマの貫入から噴出に至るマグマの動態をモデル化する研究を行う。さらに、噴出する火山灰を即時的に捉え、火山灰の移流・拡散・降下をシミュレートするなどして災害の予測を行う。

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

大正噴火に前駆した地震活動を調べるために、鹿児島測候所（当時）による煤書き記録の調査を開始した。また、Omori (1920) に基づく震度を地震エネルギー量に換算し、前駆地震エネルギー放出率の推移を明らかにした（京都大学防災研究所 [課題番号：1902]）。

(2) 火山現象のモデル化

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調査を行い、個々の爆発に伴うプロセスおよび長期的なプロセスが明らかとなった（京都大学防災研究所 [課題番号：1908]）。

高精度ひずみ記録からブルカノ式噴火に前駆する短期的マグマの蓄積過程及びマグマ放出過程が明らかになった。ひずみ記録にはブルカノ式噴火の約90%について前駆する膨張ひずみが捕捉され、BH型地震活動をあわせて評価することにより噴火発生時刻の予測が可能となる。噴火に伴う収縮はNishimura (1998)の理想気体に満たされた複数のマグマ溜まり圧力変化力源を足し合わせることで説明可能であることが分かった（図1）。

2009年10月～2010年5月および2011年11月～2012年2月に顕著なマグマ貫入イベントが発生した。これらのイベントにおいては、地盤の膨張とともに、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」に特徴的な地盤変動と噴火活動を示した。地盤変動は、始良カルデラ下約10kmの増圧源、北岳下4kmの増圧源、更に南岳下約1kmの減圧源により説明可能である（図2）。2009-2010年および2011年のマグマ貫入イベントでは、多項目の観測に同期して変化が見られた。2009-2010年イベントに前駆して温泉ガス濃度の増加した。また、同期して、くり返し人工地震探査による地下構造の変化、火山灰付着水溶性成分の塩素イオンと硫酸イオンの比の増加、噴出物のガラス中の二酸化ケイ素の組成比は低下した。2011年イベント以降では二酸化硫黄放出率（気象庁 [課題番号：7017]）が増加し、噴火規模が拡大している。火山灰放出量の増加は噴火に伴う地盤変動量の平均値および分散の増加、噴煙高度の増加によって裏付けられており、2013年9月には噴出物中に火道角礫岩が見出され、火道の拡大が示唆された。

2. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

火山噴火に伴う噴煙観測をXバンドMPレーダーを用いて行い、レーダーによる火山灰検知の有効性が示された（京都大学防災研究所〔課題番号：1913〕，気象庁〔課題番号：7010〕）。概ね噴煙高度が火口上3000mであれば、確実にレーダー画像として噴煙を捉えることができる。直径0.5mm以上の粒子の反射・散乱を捉えていると考えられる。一方、このような電波の反射・散乱はより波長の長いGNSS衛星からの電波のLC（電離層フリー線形結合）搬送波位相残差にも現れ、位相残差の大きい多数のパスを追尾することにより噴煙の検出と移動の把握が可能であることが示された（図3：京都大学防災研究所〔課題番号：1913〕）。

噴火によって放出され、大気中を浮遊する火山灰の粒子密度のその場測定を実施した。桜島から風下の微弱な噴煙が漂う大気中において高濃度の粒子密度領域が検出できた。また、連続測定を桜島の地上において実施した（京都大学防災研究所〔課題番号：1913〕）。

大規模噴火時に成層圏に達した火山灰の輸送を予測する際に問題となる、高層で空気が希薄になることによる落下速度の変化（抵抗係数のスリップ補正）について、RATMを用いた検討を行った。この補正は広域に長期間浮遊する火山灰の輸送予測に効果があることを確認した（気象庁〔課題番号：7010〕）。

火山噴火予知研究成果をレビューするセミナーを開催するとともに、その成果の現状の避難計画を含めた防災対策にどのように活用できるかを検討した。セミナーは鹿児島市内において一般向けに開催した。一般の関心事は噴火発生時期に関するものが多かった。一方、規模に関する認識はあまりなく、「大きい・小さい」噴火といった表現が使われ、地震のマグニチュードのような指標が定着していないことが浮き彫りとなった。また、100年前の桜島大正噴火にまつわる証言から大正噴火に至る前駆過程を考察し、それに基づいたシナリオに沿って鹿児島県、鹿児島市など自治体の机上防災訓練が行われた（京都大学防災研究所〔課題番号：1914〕）。

3. 研究を推進するための体制の整備

火山活動が他の火山に比べ高いレベルにある桜島は機器開発等の実験的観測を行うのに適したフィールドであるが、その一方で火口周辺は立ち入り規制されているので、様々な遠隔観測が試された。防災科学技術研究所〔課題番号：3005〕はX-band SAR衛星・COSMO-SkyMedによるモニタリングを継続して行い、昭和火口の拡大を確認するとともに、桜島島内の地盤上下変動を捉えた。また、国土地理院〔課題番号：6006〕は航空機SAR観測を実施した。東京大学地震研究所〔課題番号：1508〕は無人ヘリを用いて火口近傍へ観測装置を設置した。東京大学地震研究所〔課題番号：1508〕によるミュオグラフィおよび名古屋大学〔課題番号：1705〕によるアクロスは火山の構造変化を捉えるための継続的な試みである。産業技術総合研究所〔課題番号：5006〕はMulti-GASセンサーによる連続観測と航空機を用いた大気中の繰り返し観測を実施した。

これまでの課題と今後の展望

現行計画においては、多項目観測から前駆事象およびその後に発生する噴火の定量化を行い、多数の事例を考慮した経験則に基づいて発生する噴火の規模、様式などを判定する事象分岐論理を構築し、さらに災害をも予測することをめざす。桜島においては2009年以降でも5000回近いブルカノ式噴火が繰り返され、GNSSでも検知可能なレベルのマグマ貫入イベントが3回発生している。短期的な現象はデータ数が多く解析が追い付いていないが、研究を加速していく必要がある。長期的

な火山活動の推移予測と事象分岐については、これまでの多項目観測を継続し、始良カルデラに近い桜島北部に新たに設置される火山観測坑道における地盤変動データをあわせて活用することにより、マグマ貫入過程の詳細なモデル化を目指す。

火山災害予測研究においては、異なる周波数のレーダーを同時に稼働させ、移流・拡散過程のみならず噴煙の成長過程をも視野に入れた研究を実施する。一方、レーダーで捉えられるのは爆発的噴火により放出される高濃度の火山灰雲であるが、航空機の運航に障害を及ぼすのは低濃度の火山灰であるので、ライダーを活用することにより、低濃度火山灰の検知手法を確立する。いずれにしても地上および大気中の火山灰量のその場観測との整合性は必須であり、その場観測のデータと整合を取ることににより、火山灰量の定量化を目指す。

成果リスト

相澤広記・小山崇夫・長谷英彰・上嶋誠, 2014, MT 連続観測による桜島地下3次元比抵抗構造とその時間変化, 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 87-92.

Eliasson, J., Yoshitani, J., Weber, K., Yasuda, N., Iguchi, M. and Vogel, A., 2014, Airborne measurement in the ash plume from mount Sakurajima - analysis of gravitational effects on dispersion and fallout, International Journal of Atmospheric Sciences, doi: 10.1155/2014/372135.

Hasegawa, Y., A. Sugai, Yo. Hayashi, Yu. Hayashi, S. Saito and T. Shimbori, 2015, Improvements of volcanic ash fall forecasts issued by the Japan Meteorological Agency. Journal of Applied Volcanology, 4:2 doi:10.1186/s13617-014-0018-2.

井口正人, 2014, 桜島火山の噴火活動 - 2013年7月~2014年6月, 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 1-10.

井口正人, 2014, 2006年以降の桜島の火山活動の評価, 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 121-124.

井口正人・平林順一, 2014, 桜島・黒神における温泉ガス濃度(2013年・2014年), 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 93-96.

井口正人・為栗健, 2014, 桜島昭和火口の2013年8月18日噴火について, 京都大学防災研究所年報, 57, 106-115.

井口正人・太田雄策・中尾茂・園田忠臣・関健次郎・堀田耕平, 2014, 桜島昭和火口噴火開始以降のGPS観測 - 2013年~2014年 -, 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 63-68.

国土地理院, 2014, 「桜島の茂木ソースの位置と体積変化」, 129回火山噴火予知連絡会桜島資料, 39-41.

国土地理院, 2014, 「桜島の茂木ソースの位置と体積変化」, 130回火山噴火予知連絡会桜島資料, 43-45.

松本亜希子・中川光弘・宮坂瑞穂・井口正人, 2014, 桜島火山2006年以降の昭和火口噴出物の岩石学的特徴, - 2012年5月~2014年1月について -, 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 113-120.

味喜大介・吉谷純一・Eliasson, J.・井口正人, 2014, 桜島における粒子状物質連続地上観測, 京

- 都大学防災研究所年報, 57, 150-153.
- 森俊哉, 2014, 昭和火口と南岳火口の火山ガスHCl/SO₂比(2009年~2013年), 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 99-102.
- 中道治久・他, 2014, 2013年桜島人工地震探査の概要と2008年探査との比較, 京都大学防災研究所年報, 57, 125-137.
- 野上健治, 2014, 桜島昭和火口における噴火活動と地球化学的観測研究?火山灰水溶性成分及びSO₂放出量による噴火活動評価?, 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 109-112.
- 大久保修平・他, 2014, 桜島火山における絶対重力観測, 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 81-86.
- 太田雄策・井口正人, 2014, GNSSデータにもとづく噴煙柱検知方法の開発(その2)ー精密単独測位法により求めた搬送波位相事後残差の時空間発展?, 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 69-72.
- 嶋野岳人・井口正人, 2014, 短時間間隔連続採取による爆発直前の火道内構造の検討, 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 103-108.
- 玉置哲也・多々納裕一, 2014, 降下火山灰による道路機能障害評価とその復旧順序決定法の提案, 自然災害科学, 33, 165-175.
- 為栗健・井口正人・園田忠臣・関健次郎, 2014, 桜島火山の2010年以降のA型地震活動, 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 11-16.
- 筒井智樹・他, 2014, 桜島火山における反復地震探査(2013年観測), 京都大学防災研究所年報, 57, 138-149.
- 八木原寛・平野舟一郎・宮町宏樹・高山鐵朗・市川信夫・為栗健・井口正人, 2014, 鹿児島湾奥部における繰り返し海底地震観測ー2009年度~2013年度ー, 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 17-26.
- 山本圭吾・他, 2014, 水準測量によって測定された桜島火山および始良カルデラ周辺域の地盤上下変動ー2013年10月および11月測量の結果ー, 京都大学防災研究所年報, 57, 116-124.
- 山本圭吾・他, 2014, 桜島および鹿児島湾周辺における精密重力測定(2013年10月および11月), 桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究, 平成25年度分報告書, 73-80.
- 吉谷純一・Eliasson, J.・味喜大介・安田成夫・桃谷辰也, 2014, 桜島での火山噴煙濃度航空機観測, 京都大学防災研究所年報, 57, 1-8.

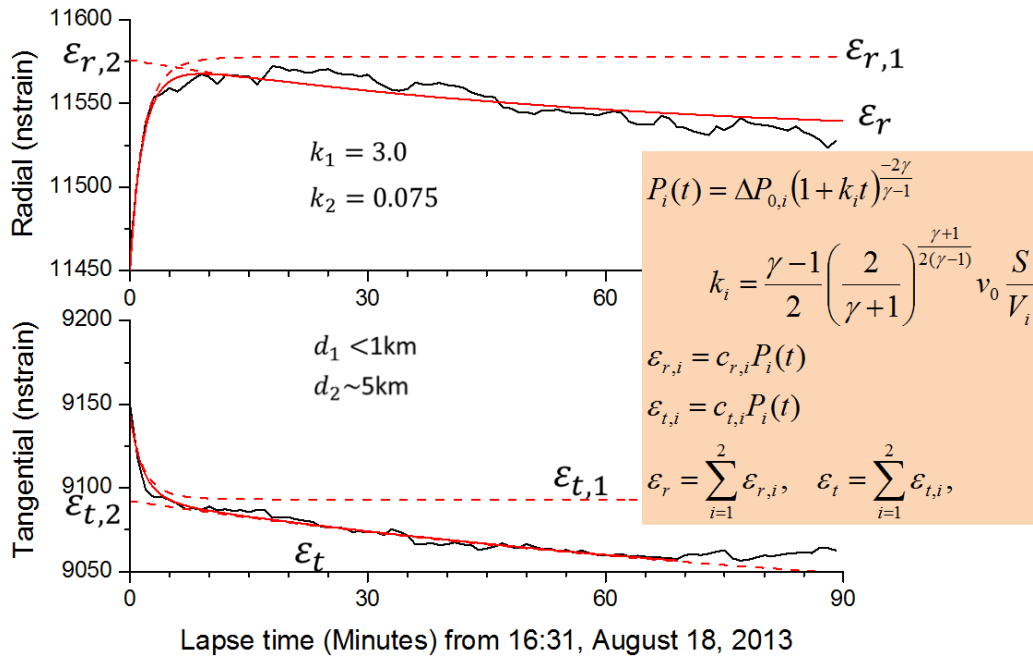


図1. 2つのマグマ溜まりの圧力変化モデルの規模の大きい噴火に伴うひずみ変化への適用（京都大学防災研究所 [課題番号：1809]）。

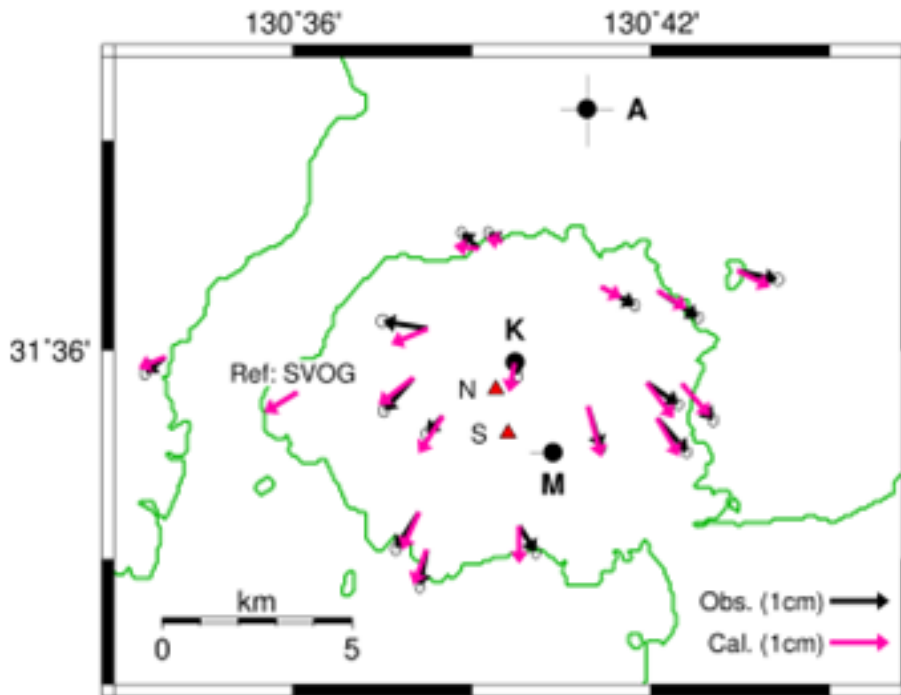


図2. 2011年後半の桜島山体膨張期に求められた圧力源（京都大学防災研究所 [課題番号：1809]）。

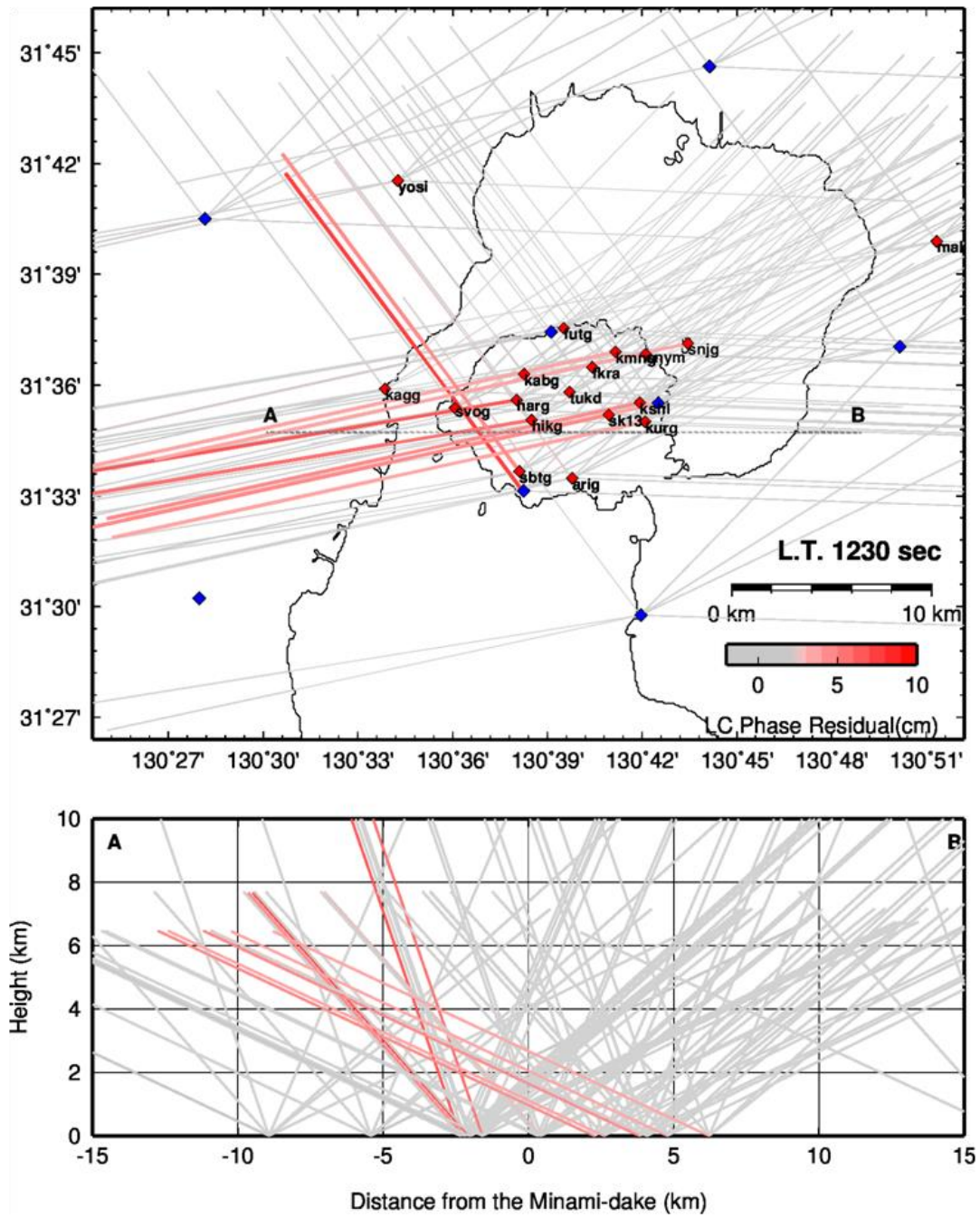


図 3. LC 位相残差が大きい伝搬経路 (京都大学防災研究所 [課題番号 : 1813]) .

4 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）

昭和40年の地震予知計画，昭和49年の火山噴火予知計画の開始より，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てきた。しかし，平成23年東北地方太平洋地震の発生を踏まえ，平成26年度から開始された「災害の軽減に貢献する地震火山観測研究」（建議）においては，災害軽減に貢献するために，地震や火山噴火の発生予測の実現のみを目標にするという方針から，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。

これまでの観測研究計画では，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言う立場から，「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，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り，協議のすえ，両拠点が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ーと自然災害研究コミュニティーの2つの学術コミュニティーに呼びかけ，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がワーキンググループを作り議論し，研究テーマの大枠を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研究とすることに決めた。具体的には，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になった。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を実施することとなった。

この参加者募集型共同研究のより具体的な内容を検討するため，平成26年10月6日～7日に東京大学地震研究所第1会議室において，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。

研究集会では，南海トラフで発生が懸念される巨大地震の統合的リスク評価を念頭に，その基本となる巨大地震の震源過程の多様性，現状の地下構造の不確かさや不均質構造中の波動伝播の

複雑さ、それらがもたらす強震動への影響、地盤構造の不整形性・非線形性が与える影響、津波発生の多様性、様々な構造物に対する被害率評価の精度、減災のための新たな災害情報・リスク評価手法、災害情報の発表方法、シミュレーションによる災害評価手法等における現状と問題点を 15 名の講演者が発表し、個々の段階の不確からしさが最終的に広域的な被害想定、リスク評価に及ぼす影響や、減災のため様々な手段の問題点を、理学、工学、人文・社会科学の各分野の参加者が共有し、巨大地震のリスク評価の精度向上には何が重要かを議論した。

10月7日午前中は分野ごとに分科会を開催し、前日の講演会を踏まえていくつかの参加者募集型共同研究を企画し、同日午後は再度全分野が一同に集い、成 27 年度以降に重点的に推進する研究課題について議論した。この研究集会では 2 日間で約 100 名が参加し、議論した（写真 1）。

この研究集会の議論の中で、「南海トラフ巨大地震の災害リスク評価」の不確実性に関しては、震源から建造物までのどの部分モデルの不確実性が、全体のリスク評価にどの程度効いているかということの洗い出すことが重要であることが共通認識となった。つまり、確率論的地震リスク評価には、要素ごとに我々が用いるモデルの不完全さに起因する大きな不確実性が潜んでいるが、それらが合わさって最終的な被害の評価にどれくらいの不確実性があるのかが明らかにされていない。また、それぞれの要素が最終的な不確実性にどの程度効いているかは、専門家間で意見が分かれている。そこで、どの要素の不確実性がもっとも効いているのかを議論するための枠組みを構築し、各要素の不確実性が地震リスク評価全体の不確実性にどれくらい効いているかを把握することを目指す研究を進めることとなった。このような枠組みを構築し、地震リスク評価の不確実性に対する寄与を明確にできるようになることによって、今後の地震防災・減災の研究の方向性を明確にすることが可能になると期待される。

このような議論を踏まえ、平成 27 年度は「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～南海トラフ巨大地震にともなう災害誘因・素因の相互依存性を考慮して～」とする参加者募集型研究を公募することとなった。参加者募集型研究には、1 つの総括研究と 2 つの特定分科研究が含まれる。総括研究では、災害リスク評価の不確実性を減らす（精度を向上する）ことを目標とし、現時点でのリスク評価の不確実性を評価して公に共有することを目的とする。特定分科研究 1 では、大地震発生時の災害リスク評価について、災害が起こる時点での状況を踏まえた時間軸を考慮した災害リスク評価を行う方法について研究を行う。特定分科研究 2 では、南海トラフのさまざまな地震想定を基に、地域・国家の短期・長期の経済被害の評価に至るような、理工学と経済学のシミュレーションの連成を実現することを試みる。

今年度は、上記のようにこれまでなかった拠点間連携共同研究の枠組みを作ると共に、次年度以降両研究所が力を合わせて主導する全国の研究者が連携して実施する参加者募集型共同研究を企画・立案した。

2. 課題募集型共同研究

課題募集型共同研究では、災害を引き起こす地震や火山噴火の発生から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を、広い視野から募集することとし、以下の分類で、研究課題を公募した。

(1) 地震・火山噴火災害事例の研究、(2) 地震・火山噴火災害誘因の事前評価手法の高度化、(3) 地震・火山噴火災害誘因の即時予測手法の高度化、(4) 地震・火山噴火災害発生機構の解明、(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。

公募に対して、21件の申請があり、東大地震研・京大防災研拠点間連携共同研究委員会で12件の採択を決定した。平成26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では、「高密度年代測定および地中レーダーを用いた北海道における古津波履歴復元の高度化」（課題番号2957）で、地質記録に基づく古津波履歴復元の高度化のために、地中レーダを活用する手法を導入した。北海道十勝郡浦幌町で17世紀初頭に発生した津波の堆積物を地中レーダーで明瞭に捉え(図3)、それをトレンチ調査と比較した。地中レーダを用いることにより、古津波で堆積した砂層が内陸方向に向かって薄くなる様子が明瞭に追跡できるようになった。また、これを利用してサンプルを高密度に採取し、年代測定した結果、この津波は1600年代前半に堆積し、津波により地表が侵食したことが明らかになった。このように、地中レーダーを用いることにより、津波堆積物の面的調査が効率的に進むことが期待できる。

地震・火山噴火災害誘因の事前評価手法の高度化研究では、「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）が、強振動に大きな影響に与える深さ10m程度までの表層地盤構造を、表面波探査、実体波トモグラフィ、人工加振波形逆解析、地震波干渉法などのいろいろな手法で取得し、適切な地盤モデル構築法の確立を目指している。平成26年度は、微動アレイ観測法により関東平野西部に広がる立川断層を挟んだ東西で地盤構造が明瞭に異なっていることを事例として示した。次年度以降、他の手法との対比により、それぞれの手法の長所や短所が明らかにされることが期待される。また、「築堤記録が無いため池堤体構造の可視化と地震時危険度評価に関する研究」（課題番号2956）は、大地震発生時に崩壊して周辺に被害をもたらす可能性のある古い土木建造物である「ため池」の安全性を確認する手法の開発を、富山県射水市にあるため池を実例として取り上げ実施している。近代の建造物と異なり、古い土木建造物は、設計・施工の情報が残っていないことが多く、その安全性の評価は遅れている。この課題では、物理探査による地盤構造の可視化、地温測定による流動地下水の動態把握の方法を具体的に提案し、その有効性を示している。これらの結果を用いて数値解析による地震時の堤体安定性評価による評価方法も提案している。更に、「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を多方面から研究を進めている。ひと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、同様の事例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運命を担っている部分の地震・火山災害リスクを評価する事は今後、行政等との連携で推進すべき課題と思われる。

地震・火山噴火災害軽減のための情報の高度化研究では、「災害ハザード情報を社会機能を強靱化につなげるための要件の分析－首都直下地震想定における企業セクターの災害ハザード情報の活用実態と減災策の分析－」（課題番号2951）は、災害時に大きな役割を果たすと想定される企業の災害予測情報に対する捉え方をアンケート調査によって明らかにした。それによると、企業はBCP（事業継続計画）を作成する際に、政府や防災機関の発表する被害想定を必ずしも厳密に捉えている訳ではないが、少なからず参考にしていることが明らかになった。また、被害想定そのものよりも、事業に直接かわる交通、電力、通信、水道、ガスなどのインフラの被害や、サプライチェーンや取引先のリスク要因の想定に苦しんでいる。このようなことから、施策として実施する地震調査研究のニーズとして、被害想定をより具体的なインフラに与える影響評価にも広げる必要性を示している。学術研究としての地震火山観測研究もそのことを認識し、それにも有効な基礎的研究の成果が求められる。

地震・火山噴火災害時の災害対応の効率化研究では、「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)は、地震により被災した建造物の残存性能の定量化、巨大地震後の短期的な余震ハザード評価、建物健全性の時間変動予測と意思決定について研究を進めた。そもそも、被災建物の健全性と言う問題が、巨大地震後の余震発生確率評価の重要性を浮き上がらせ、理学中心の地震研究に、新たな研究のモチベーションを与えた事は、拠点間連携共同研究を実施した意義を示している。

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、これまで気づか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決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

西村裕一・中村有吾・添田雄二, 2015, 浦幌町豊北の湿原における古津波堆積物のトレンチ調査, 浦幌町立博物館紀要, 15, 39-47.

添田雄二・西村裕一・中村有吾, 2015, 浦幌町で実施した地層剥ぎ取り標本の作成について, 浦幌町立博物館紀要, 15, 49-56.

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, 2015年地球惑星科学連合大会

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, 物理探査学会第132回(平成27年度春季)学術講演会講演論文集, 141-143, 2015

古谷元・牟田庄吾・竹内篤雄・王功輝・油谷洋志・林久夫, 2014, 併用調査により古いため池の地盤構造と流動地下水脈経路の推定, 平成26年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集, 57-58.

佐竹亮一郎・若井明彦・古谷元・王功輝・土井一生, 2015, 古いため池堤体材料の空間的不均質性が力学挙動の不確実性に与える影響, 第18回応用力学シンポジウム, 土木学会応用力学委員会, 印刷中.

佐竹亮一郎・若井明彦・古谷元・王功輝・土井一生, 2015, 堤体材料の空間的不均質性と系の挙動の不確実性に関する検討(ため池を例に), 第70回年次学術講演会講演概要, 土木学会, 印刷中.

Ryoichiro Agata, Tsuyoshi Ichimura, Kazuro Hirahara, Mamoru Hyodo, Takane Hori and Muneo Hori, Several hundred finite element analyses of an inversion of earthquake fault slip distribution using a high-fidelity model of the crustal structure, *Procedia Computer Science*, 29, pp.877-887, 2014. DOI:10.1016/j.procs.2014.05.079

関谷直也, 2014, 地震「想定」を考える, 南海トラフ巨大地震の災害リスク評価ー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ー, 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, 2014年10月6日 東京大学地震研究所

関谷直也, 2015, 「想定を考える」, 鉄道気象連絡会, 2015年5月20日, ステーションコンファレンス万世橋.

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.

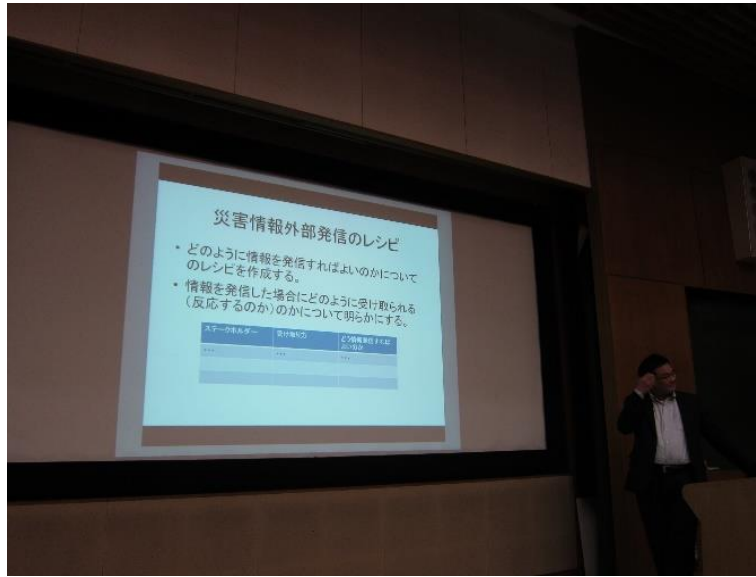


写真1 地震・火山科学と総合防災学の両共同研究拠点主催シンポジウム「南海トラフ巨大地震の災害リスク評価」での発表の様子

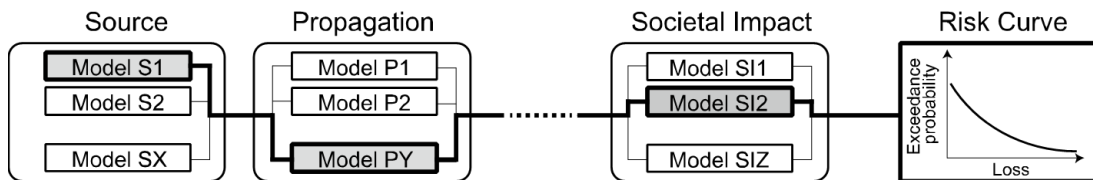


図1 要素（研究分野）ごとの不確実性を考慮した地震リスク評価の概念図

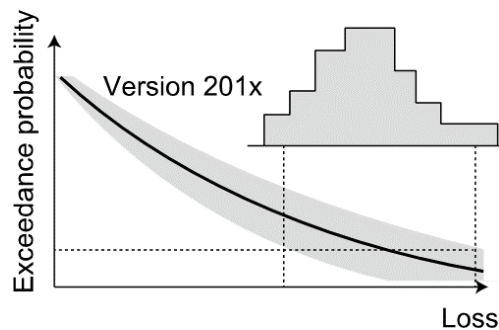


図2 各要素の不確実性を考慮した地震リスク評価全体の不確実性の概念図

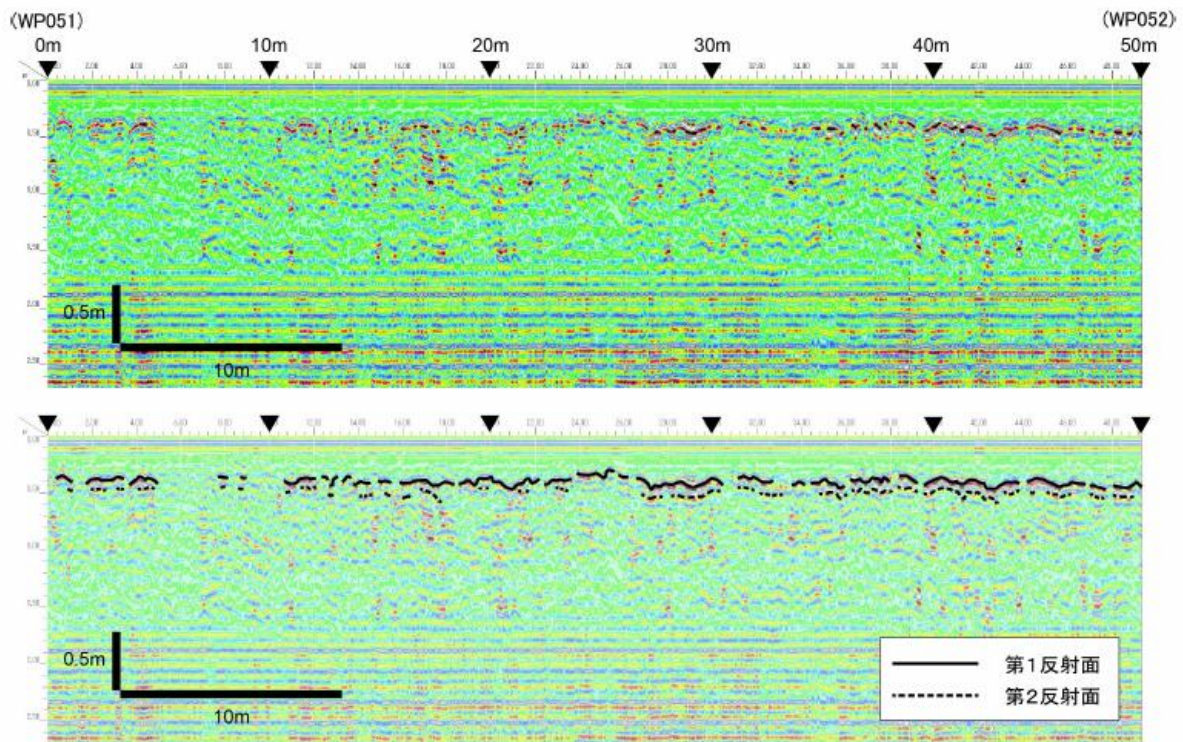


図3 地中レーダーで捉えられた津波堆積物の砂層の層厚変化（課題番号 2957）

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、人の暮らす社会・自然環境の脆弱（ぜいじゃく）性（災害素因）への作用との認識し、地震・火山噴火の発生から、災害発生やその推移までを念頭に災害誘因の予測を行い、地震・火山災害の軽減に貢献する方針に転換。

2. 地震及び火山噴火予知のための観測研究のこれまでの経緯と成果

- ・ 地震予知研究は約 50 年間、火山噴火予知研究は約 40 年間、地震・火山噴火の災害軽減に資すべく継続的に実施。平成 21 年度から、両計画の統合的かつ効率的な進捗を目指して統合。これまでの成果は、以下のとおり。

- ・ プレート境界での滑りの多様性を世界に先駆けて解明し、巨大地震の発生を含むプレート境界での滑り現象のシミュレーションの手掛かりを獲得。プレート境界の繰り返し地震の中で、発生時期・規模の予測が可能な事例を発見。
- ・ 高密度で多項目の観測や火山噴出物の高精度な解析より、噴火に至るまでの現象、マグマの移動、噴火発生や噴火後の過程の理解が進み、火山噴火機構の総合的理解が進展。噴火に先行する多数の観測事象が集積。
- ・ これまでの計画で開発された三陸沖のケーブル式地震・津波計は、平成 23 年の三陸大津波の襲来 20 分前に巨大津波を観測。その技術は、政府が設置を進める津波観測網へ応用。
- ・ これまでの成果に基づいた有珠山や三宅島などでの火山噴火予知の実践を踏まえ、住民の避難計画と連動した噴火警戒レベルを気象庁は順次運用開始。
- ・ 地震の発生予測や火山噴火の規模や様式、活動推移の予測手法は現時点では未確立であるが、予測につながる地震や火山現象に関する理解が一層深化した。

3. 観測研究計画の長期的な方針

- ・ 地震や火山噴火による災害の発生を、地震動、津波、降灰、溶岩流などの災害誘因が外力となり、社会・自然環境の脆弱（ぜいじゃく）性である災害素因への作用と認識。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・破砕などに関する理論・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、どのように貢献するべきかを踏まえ、地震調査研究推進本部など関連機関との連携を強化。
- ・ 総合的かつ学際的に研究計画を推進することから、その進捗状況を把握、達成度の評価、問題点と今後の課題の整理などを行う計画推進体制を整備。

《研究基盤の開発・整備》

- ・ 行政官庁，研究機関，全国の大学が協力し，地震・火山の活動評価や研究に必要な観測基盤，データを効率的に処理・流通するシステムを維持・拡充。
- ・ 本計画で得られる成果をデータベース化し，研究者間で共有する仕組みを構築。
- ・ 新たな観測技術の開発，地殻活動モニタリング手法高度化などの研究を推進。

《関連研究分野との連携の強化》

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

《研究者・技術者・防災業務・防災対応に携わる人材の育成》

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

《社会との共通理解の醸成と災害教育》

- ・ 関連機関が協力して，研究成果を社会に分かりやすく伝え，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。

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
文部科学省	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
文部科学省	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

科学技術・学術審議会測地学分科会
地震火山部会

〒100-8959 東京都千代田区霞が関3-2-2
文部科学省研究開発局地震・防災研究課

電話：03-6734-4137 FAX：03-6734-4139

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu6/index.htm

