

1（5）地震動・津波等の事前予測・即時予測

「地震動・津波等の事前予測・即時予測」計画推進部会長 香川敬生

（鳥取大学大学院工学研究科）

副部会長 太田雄策

（東北大学大学院理学研究科）

1. はじめに

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

2. 5年間（平成26-30年度）の成果

（1）5年間の成果概要

事前評価については地震動および地震時地すべりに、即時評価については地震、津波、地殻変動、火山灰拡散と、地震、火山噴火に伴う多岐にわたる災害誘因を対象とした研究を実施した。その結果、何れの項目についても災害軽減のための現業と密接に連携し、また現業の支援に貢献する成果を得ることができたと考える。以下、大学が実施した研究の5年間の成果のうち、代表的なものをまとめる。

（2）地震動事前評価手法の高度化

2011年東北地方太平洋沖地震における周波数別地震波生成の空間的な棲み分けをはじめ、国内外で発生した被害地震の震源インバージョン解析を広帯域で精力的に実施し、既往スケーリング則との整合性を通じて強震動予測の高度化を進めた。（京都大学防災研究所〔課題番号：1903〕）

京都盆地および関東平野中川低地において強震観測を維持管理し、堆積盆地構造の地震応答の実測と地盤構造モデルの改良を継続的に行い、特に大阪堆積盆地、京都盆地、奈良盆地を対象として3次元速度構造モデルを高度化した。構築したモデルを用いて2018年大阪府北部の地震（震源モデルは上記〔課題番号：1903〕による）をシミュレーションした結果（図1）、直達波および明瞭な後続波の多くの相（多重反射、盆地端部・基盤の段差構造で発生する表面波）を良好に再現することができた。（京都大学防災研究所〔課題番号：1911〕）。

関東平野での3次元地震動伝播シミュレーションから、長周期地震動の生成にPL波が強く関与していることが示された。PL波は、Rayleigh波と同様に震源の深さに敏感である

ため、P波直後に観測されるPL波の震幅から後続の長周期地震動(Rayleigh波)を予測する、長周期地震動の即時予測の可能性が示唆された。さらに、地震動予測の広帯域化、高解像度化の到達点として、観測データとの同化に基づく長周期地震動シミュレーションを試み、現時点で地震波伝播速度の8倍の速さでの予測が可能となっている(図2)。このことにより、データ同化による長周期地震動の即時予測の可能性をも示すことができた。(東京大学地震研究所[課題番号:1516])

(3) 地すべり事前評価手法の高度化

今期5ヶ年期間中に発生した地震時地すべりと過去の地すべりの調査によって、地震時に発生する地すべりの地質・地形的特徴が明らかになった(図3)。具体的には、火山地域では軽石自体あるいは軽石直下の火山灰土がすべり面となるケースが多く、非火山地域では重力斜面変形あるいは過去の地すべりに関連している。これらより、火山地域・非火山地域ともに、ハザードマップ作製方法の大枠を構築することができた。また、様々なタイプの地すべりにおいて地震動、微動、間隙水圧等の観測を行い、地形や地すべりブロックの形状、地すべり土塊の厚さや地下水位に起因する斜面の揺れ方を明らかにし、強震時の過剰間隙水圧の生成や斜面の変形に関するデータを収集することに成功した(京都大学防災研究所[課題番号:1912])。

(4) 地震動即時評価手法の高度化

緊急地震速報を高度化、高精度化するためには、観測点の密度を高くすることが解決方法のひとつである。そこで、現状で最も高密度に配置されている自治体震度計のうち鳥取県の震度観測ネットワークを対象に1秒パケットで最大加速度およびその時点の震度情報を配信できるようにシステム更新をおこない、そのデータにPLUM法を適用し、準リアルタイムに県内震度分布の推移を表示するシステムを作成した。さらに、震度の距離減衰の考慮、予測する1kmメッシュ点の全てを2次震源とする波動伝播の導入、P波振幅より震度を予測する手法の追加、により迅速かつ精度の高い準リアルタイム震度分布の予測を可能とした(図4)。(鳥取大学工学研究科[課題番号:2001])

(5) 津波即時評価手法の高度化

リアルタイム浸水予測手法(NearTIF)の高度化を実施し、W-phaseインバージョンに加えてGNSSデータを利用したRAPIDや津波波形データを利用したtFISHデータから得られる津波波源モデルに対する有効性を示した。新たに、震源直上の海底圧力波形を用いたデータ同化手法を開発し、30km間隔で観測が実施された場合、地震の情報が無くても、データ同化により数分で津波波動場を予測できることを示した。この手法と上記NearTIFを組み合わせ、2011年東北地方太平洋沖地震津波に適応し、10分以内に高精度な浸水予測までを可能とする手法開発に成功した。さらに、複雑な津波数値計算などを実施することなく、S-Netの観測圧力波形(500秒以内)の処理のみで津波波源域(隆起域)とそれを発生させた地震の規模を推定する手法を開発し、1952年および1968年十勝沖地震の津波に適応し有効性を確認した(図5)。なお、ケーブル式津波観測網が無い地域を対象に、W-phaseインバージョン結果に深さ依存の剛性率を加えることで適切な断層モデルを推定する手法を開発し、1992

年ニカラグア津波地震を含む全ての地震の津波波高及び津波浸水域を高精度で予測可能であることを示した。（北海道大学〔課題番号：1005〕）

（6）地殻変動即時評価手法の高度化

地震規模を即時的に推定するための技術開発として、GNSS 搬送波位相データから断層すべりを直接推定する手法を用いた地震時すべり推定の高度化を行い、2016年熊本地震 や 2011年東北沖地震の最大余震である茨城沖地震等で実用性を示した。また、リアルタイムに推定される断層すべりの不確実性を定量評価するための手法開発を行い、一枚矩形断層におけるMCMCを用いたアルゴリズムの開発を行った。これは改良を加えた形で2019年2月段階で国土地理院に技術移転され、今後の活用が期待される。また、リアルタイム用途を念頭に同手法のすべり分布への拡張を行ない（図6）、国土地理院と共同で開発しているリアルタイム地殻変動監視システム(REGARD)の高度化に貢献した。さらに、REGARD 等の結果を津波浸水推定に活用するための技術開発を進め、内閣府の総合防災情報システムの機能の1つに実装された。（東北大学〔課題番号：1209〕）

（7）火山灰拡散即時予測手法の高度化

XバンドMPレーダーによって、霧島新燃岳、桜島、口永良部島、諏訪之瀬島の噴火に伴う噴煙の高度等の外形情報、噴煙柱形成、移流・拡散過程を把握することができた。特に、冠雲によって噴煙が目視できない時でも、レーダーにより噴煙を可視化でき、気象条件に関わらずその有効性が示された（図7）。桜島の噴火については、観測された反射強度の空間分布と地上降灰量を対比し、反射強度と火山灰量の間の経験式を構築した。ライダー観測により、噴火発生時に加え静穏時でも微小な火山灰粒子を含む白煙が放出されていることを確認し、偏光解消度により粒子の形状が推測可能であることを示した。さらに、火山噴火の噴煙により、GNSSによる搬送位相遅延量とSNRに顕著な変化があることが桜島、阿蘇山の噴火で確認され、衛星-受信機を結ぶ異常伝搬経路の交線から噴煙高度を推定することができた。降下火山灰シミュレーションによって得られる予測量が観測データと良好に対応することを示し、噴火に伴う地震動振幅と地盤変動の線形結合から火山灰放出率と噴煙高度を決定し、それを入力条件とする火山灰拡散予測シミュレーションを実装した。（京都大学防災研究所〔課題番号：1913〕）

3. 平成 30 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

2016 年 10 月 21 日に発生した鳥取県中部の地震 (M_{JMA} 6.6) について、いくつかの観測点では 2 つの波群が確認されているため、経験的グリーン関数法により 2 つの SMGA からなる強震動震源モデルを推定した。2 つ目の SMGA2 の破壊開始点は SMGA1 の破壊開始点より北北西に 7.5km、また傾斜方向には 5km 浅い位置で、4.4 秒後に破壊したと推定された。SMGA1 および 2 の設定位置に近い余震記録を経験的グリーン関数として波形フィッティングを行った結果、SMGA1 のサイズは $6 \times 6 \text{ km}^2$ 、SMGA2 のサイズは $4.8 \times 4.8 \text{ km}^2$ と求められ、破壊

はどちらも深い方から浅い方へ進展した。応力降下量は両 SMGA とも約 7MPa と同様の地殻内地震のそれに比してやや小さい値に求まっている。波形インバージョン結果によるすべり分布と比較すると、SMGA1 はすべりの大きい領域に対応する一方、SMGA2 の位置は波形インバージョンによるすべりの大きい位置とはやや異なる位置に求まっていることがわかった。

2018 年 6 月 18 日に大阪府北部で発生した地震 ($M_{JMA}6.1$) の震源過程を強震記録の波形インバージョン解析(対象周波数帯域 0.1~2Hz)により推定した(図 8)。ほぼ南北走向の逆断層(断層 1)と北東-南西走向の右横ずれ断層(断層 2)の 2 つの震源断層が関わっていることが明らかとなった。なお、余震のメカニズム解析から推定した応力場は σ_2 と σ_3 がほぼ等しいことが分かっており、この地域では逆断層型、右横ずれ型の両方の地震が起こりえる環境にあり、本震の破壊過程とも矛盾しない。この地震の破壊は、最初に断層 1 で始まり、約 0.3 秒後に断層 2 の破壊が始まり、その破壊は南西の浅い側に向かって進展した。断層 1 および 2 はいずれも 4~5 km 四方の震源断層であり、主たるすべりは深さ 10~13km の範囲に集中し、震源断層の破壊は地表には到達していない。断層 2 は有馬-高槻構造線断層帯の 2~3km 南に位置する伏在断層の一部(伊丹断層の東部延長)と考えられ、今回の地震の破壊域の西端は 1987 年 8 月 21 日の右横ずれ型の地震 ($M_{JMA}4.2$) の余震域の東端に対応しており、一連の地震活動と考えられる。(京都大学防災研究所[課題番号:1903], 浅野・他, 2018, Asano et al., 2018, 岩田・浅野, 2018, 岩田・他, 2018(1); 永井・他, 2018(1, 2, 3))

○地下構造モデルの高度化

大阪平野とその周辺の数値構造モデルを検証するため、2018 年 6 月大阪府北部の地震を対象に地震動シミュレーションを行った。用いた 3 次元速度構造モデルは大阪盆地モデルと奈良盆地モデル(関口・他, 2019)であり、後者は平成 29 年度の本研究で作成したものである。震源モデルには、前述の研究によるもの(Asano et al., 2018)を用いた。地震動シミュレーションは、震源モデルと大阪堆積盆地の 3 次元速度構造モデルを与えて 3 次元差分法により周波数 2Hz までの計算を行い、さらに沖積層等からなる浅部の地震動応答を浅層地盤構造モデルを用いて等価線形化法により計算した(図 1)。計算された地震動最大速度分布では、震央からみて南西~西方向に相対的に大きい値が広がった。これは北東南西走向の横ずれ断層のメカニズムに対応する S 波のラディエーションパターンと破壊伝播の影響が大阪堆積盆地による地震動の増幅効果が加わって形成されたと解釈できる。また、大阪盆地北縁部や上町断層帯北部の佛念寺山断層の西側に沿って帯状に最大速度が大きい地域が見られた。これは、基盤深さの急変により地震波の波面が大きく曲げられ、波のエネルギーに集中が起きたことによると考えられる。このような分布形状は大局的には観測値の分布と整合している。計算波動場には、直達波の後に堆積盆地基盤面と地表との間の多重反射波(例えば、岩田・他, 2018)や盆地端部および平野下に伏在する活断層による基盤の段差構造から発生した表面波など後続波の発生が見られ、場所によっては直達 S 波より大きな振幅を生じている。大阪平野内の地震観測点の観測波形と後続波の到来はよく対応しており、速度構造モデルは表面波の形成・伝播などの盆地の応答はおおよそ再現できていると考えられる。一方、計算地震動の振幅は観測に比べ全体的に小さく、また盆

地端部近くの観測点には波形の再現がよくない点があり、構造急変地域でのモデル更新が課題としてあげられる。（京都大学防災研究所〔課題番号：1911〕，岩田・他，2018(2)；関口・他，2018；関口・他，2019(1, 2)）

秋田県横手盆地において常時微動単点およびアレイ観測を実施し、地盤構造モデルを作成した。それを用いて、横手盆地東縁断層北部が活動したとし1896年陸羽地震の強震動シミュレーションを実施し、J-SHISモデルとの比較をおこなった（図9）。その結果、同地域で基盤が深くなっていることが陸羽地震の被害域が南に延びた主要因であることが分かった。（拠点間連携研究〔課題番号：2953〕，佐藤・他，2018；佐藤・他，2019）

2011年東北地方太平洋沖地震の際に周期1～3秒の大きな地震動が観測された東京湾西岸部と小田原地域を対象に、J-SHISモデル、微動探査結果などを対象に浅部深部統合初期モデルを作成し、1次元重複反射を仮定したハイブリッドヒューリスティック法による地盤増幅特性の逆解析によって、S波速度およびQ値を同定した（図10）。2018年北海道胆振東部地震の被災域への適用のため、微動探査を実施している。（拠点間連携研究〔課題番号：2955〕，津野・他，2019）

同じ土質試験結果を対象としても、解析パラメータ設定のばらつきにより、技術者毎に解析結果に大きな違いが生じる場合があることを確認した。また、2次元有効応力解析FLIPを用いて、強震動下の液状化地盤応答を検討した。地盤増幅率と周期比（地盤と入力地震動）の関係では、入力波が増加すると地盤増幅率の変動幅が小さくなる傾向を示した。なお、一般的な液状化指数(PL)では明瞭な傾向が見えなかったが、有効応力減少比を用いて過剰間隙水圧を直接考慮できる液状化危険度指数(LRI)が大きくなるとき、地盤増幅率の変動幅が有意に小さくなることが分かった（図11）。（拠点間連携研究〔課題番号：2990〕，地元・他，2019；一井・他，2019；田中・他，2019）

○強震動評価の高度化

2019年1月3日に発生した熊本県熊本地方の地震(M5.1)は、震源が浅い(気象庁暫定値10 km)横ずれ型のメカニズムを持つものであった。この地震により熊本県和水町で震度6弱、熊本市北区と熊本県玉東町で震度5弱を観測し、住宅の瓦のずれやガラスの破損、神社の石灯籠などに被害が出た。和水町の震度計の波形記録を調べると、S波に後続して表面波とみられる周期0.5秒程度の長い波群が確認された。速度応答スペクトルを求めると、周期0.5秒の狭い周期帯に110 cm/sの強い速度応答が確認された（図12）。この周期帯は計測震度を大きくするが、木造家屋の倒壊を起こす周期帯(1～2秒)より短いことから、被害が限定的であった可能性がある。和水町では、2016年4月14日の熊本地震前震(M6.5)と4月16日の本震(M7.3)でも震度6弱と5弱が観測されている。いずれの地震波形も同様の周期特性を示しており、地盤の影響が考えられる。なお、熊本地震本震では、周期0.5秒の強い応答に加え周期1～2秒にもやや大きい(>40 cm/s)応答が見られた。これに対して、2019年1月の地震はMが小さく、震源スペクトルが長周期帯で弱かったものと考えられる。

（東京大学地震研究所〔課題番号：1516〕，古村，2018；Furumura and Kennett，2018；向井・他，2019）

2011年東北地方太平洋沖地震について、Kurahashi and Irikura(2013)によるSMGA1(M7.55)からの地震動を、前弧および背弧側に分けて距離減衰式と比較し、PGA、PGV

とも過小評価となることを示した（図 13）。2003 年十勝沖地震についても同様であった。2011 年東北地方太平洋沖地震によって各地で誘発された地震活動変化について既往研究を交えながら概観し、それらの地震活動変化を引き起こした要因について整理した。（拠点間連携研究〔課題番号：2991〕，Ishibe et al., 2018；木内・他，2019）

災害リスク評価のばらつきを理解するため、震源モデル（6 通り）、強震動予測モデル（5 通り）、表層地盤増幅率（3 通り）、これらに倒壊率を組み合わせて、評価結果のばらつきを容易に理解することが可能な表示システムの構築を行った。また、ばらつきのある災害リスク評価結果を防災計画の策定に活用するという観点から、命を守る、財産を守る、業務・生活・地域を守る、という 3 つのレベルの達成目標に応じたハザードシナリオ選択の考え方についての整理を行った。（拠点間連携研究〔課題番号：2951〕）

イ．地震動による構造物被害の事前評価

将来時点の予測をおこなうことを前提に、木造戸建住宅の棟数および築年数分布の将来予測方法を検討した。高知県南国市を対象に、固定資産課税台帳から抽出されたデータを用いて、築年数ごとの建物残存率を疑似的に推定した。これに加え、住民基本台帳から抽出されたデータを用いて、建物用途種別、居住率、1 棟あたりの平均居住世帯数の時系列変化を分析した。これらに基づき、固定資産課税台帳から抽出されたデータを用いて将来予測を行った（図 14）。（拠点間連携研究〔課題番号：2952〕，河野・西嶋，2018）

ウ．地震による地すべりの事前評価

2008 年中国ブン川地震，2015 年ネパールゴルカ地震による斜面崩壊の分析を進めた結果，谷の侵食加速による谷中谷に数多くの崩壊が集中していることが明らかになった。我が国でも特に西南日本外帯には谷中谷が広く分布していることが判明しつつあり，特に南海トラフ地震時に要注意であることが明らかとなった。2018 年北海道胆振東部地震によって発生した壊滅的な地すべりでは，強風化軽石およびその直下の火山灰土にすべり面が生じた（図 15）。その他の過去の事例も踏まえると，降下火砕物斜面の地震時地すべりのすべり面形成層準として，風化した軽石とその近傍の地層が地震時地すべりに対して最も危険であることがわかった。これらの分布は，火山灰層序学的に調べる事が可能である。

谷埋め盛土において，事例収集できた PGA が 200 gal までのイベントでは，PGA，PGV，AI (Arias Intensity) と間隙水圧の上昇量は高い正の相関を示すとともに，震動の周波数特性が異なり，長周期（>1 秒）成分を多く含んだイベントは PGV の大きさに比して間隙水圧の上昇量は小さかった（図 16）。

四国の大規模地すべり斜面における稠密な常時微動観測から，H/V スペクトルのピーク周波数が空間的に連続性を持つことがわかり，その連続性が地表変位によって判別した地すべりブロック分割とは異なることが明らかになった。平成 30 年大阪府北部の地震において，谷埋め盛土における擁壁の変形メカニズムを明らかにするとともに，高い地下水位を持つ公園での地すべり現象を調べた。また，平成 30 年北海道胆振東部地震において，札幌市および厚真町の谷埋め盛土にて調査をおこない，旧谷筋周辺を 2～3 m 程度埋めた盛土が地すべり状の変状を呈したことを明らかにした。厚真町の大規模岩盤地すべりにおいては余震観測をおこない，特有の周波数（2 Hz）で長く震動することが分かった。（京都大学防

災研究所〔課題番号：1912〕，Chigira et al., 2018；土井・他，2018；Doi et al., 2019；Ma et al., 2019；Tsou et al., 2018；Zhao et al., 2018）

斜面崩壊に伴う地震動の特徴を検討した（表1）。高周波卓越周波数はおおむね1-10Hz程度で崩壊タイプに大きく依存しない。継続時間は概ね30～200秒程度で、イベントの長さを反映していると考えられる。周期10秒以上の長周期信号は、崩壊域が数百m四方にわたり厚さ20mを超える大規模な地すべり性崩壊で確認されることが推察される。あわせて地形がシミュレーションに及ぼす影響も評価している。（拠点間連携研究〔課題番号：2994〕，土井・他，2018；Doi, 2018）

エ．火山灰や溶岩噴出の事前評価

大規模噴火を想定した JMA-RATM による降灰シミュレーションから降灰確率を求めた結果，富士山で宝永規模の噴火が起きた場合に，都心で10cm以上の降灰になる確率は3.3%，桜島で大正規模の噴火が起きた場合に鹿児島市街で1cm以上の降灰になる確率は7.8%と試算された。（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“揺れから揺れを予測する”という考え方で研究を進めている。平成30年度は地震波の散乱や減衰構造の精緻化，PLUM法の高度化，地盤増幅特性の適正化に取り組んだ。これにより，これまで以上の精度や堅牢性・迅速性が得られ，速度構造，散乱・減衰構造をとり入れることで，さらに早い段階で精度よく予測できることが分かった。また，強震入力時の海底地震計の挙動とその対策や，地震動の伝播方向をリアルタイムで推定することの考察を進めた。“揺れから揺れを予測する”という考え方は，長周期地震動に対しても十分に適用できることが示された。（気象庁気象研究所〔課題番号：7008〕，Kodera, 2018；Kodera et al., 2018；Ogiso et al., 2018）

上記研究のように揺れの実況分布から揺れの伝播を予測するには，観測点密度が重要なため，気象庁観測点よりも高密度で配置されている自治体震度計の利活用を目指した検討を行っている。鳥取県管理の計測震度計34点からの1秒パケットのリアルタイム震度と最大加速度値を，鳥取県情報ハイウェイを介して継続受信し，気象庁緊急地震速報で導入されるPLUM法を用いたリアルタイム震度の表示システムを昨年度に試作した。今年度は，これにPLUM法では考慮されていない距離減衰を導入し，また1kmメッシュとした予測点全てを2次震源とする波動伝播を考慮した。さらに，P波を用いた震度予測の概念の導入も試みた。これらを2016年10月21日に発生した鳥取県中部の地震のリアルタイム震度を模擬したデータに適用したところ，より早く，かつ精度良く震度分布の予測が可能となった（図4）。

震度計観測点における震度情報から周辺の非観測点での震度を予測することを想定し，常時微動を用いた地盤震動特性の稠密把握および地下構造モデルの構築を実施した。今年度は，既往観測点分布が粗な地域のうち，北栄町，倉吉市関金地区，および智頭町を対象とし，既往データを補間した卓越周期分布および浅層地下構造モデルを得ることができた。2016年10月21日に発生した鳥取県中部の地震（M6.6）の被災域および2000年鳥取県西部地震

の境港市では、常時微動を用いた地盤卓越周期や地下構造モデルでは説明できない強震動が観測された。これらは非線形地盤応答による卓越周期の長周期化や短周期地震動の減衰による影響と考えられ、これらの観測点における非線形地盤応答の実態について検討をおこなった。（鳥取大学工学研究科〔課題番号：2001〕，香川，2018(1,2)，2019；香川・野口，2018；香川・他(2018)；神定・他，2018；神定・他，2019；西村・他(2018)；野口・他，2018(1, 2, 3)，；吉田・他，2018)

大地震の際に平野で発生する長周期地震動の即時予測の実現に向けた、高速計算環境による観測データと高速シミュレーション同化の実現可能性を数値実験により評価した。データ同化手法は、震度の即時予測(Hoshiiba and Aoki, 2015)や津波の即時予測(例えば，Maeda et al., 2015)で広く活用されている最適内挿法を用いた。2007年新潟県中越沖地震(Mw6.6)の強震観測データ同化と予測では、評価領域を480km×480km×55kmとし、J-SHIS地下構造モデルを0.24kmの格子間隔で離散化して3次元差分法計算により長周期(> 2.7秒)地震動を計算した。データ同化は、領域内の482点のK-NET，KiK-net強震観測データを用いて行い、地震発生から30，50，70，および90秒までデータ同化を行った後に、高速計算により未来(地震発生から160秒後)の長周期地震動を予測した。予測精度と猶予時間にはトレードオフがあるが、データ同化が進むにつれ長周期地震動の振幅と継続時間が良く予測できることが確認された。データ同化完了後に100秒後の波動場の予測に要する時間は、東大と筑波大が共同運用するOakforest-PACS計算機の並列計算(2048CPU)で12.4秒であった。これは長周期地震動の伝播にかかる実時間よりずっと短く、観測データの取得に合わせて即時予測を繰り返し進め、予測精度を高めることが可能である。2011年東北地方太平洋沖地震への適用例を図2に示した。近年の海域強震観測網(DONET，S-NET)の整備により震源域近傍でのデータ同化が可能となり、より猶予時間のある即時予測が可能になると期待できる。（東京大学地震研究所〔課題番号：1516〕，Furumura et al., 2019）

利用者が多い大規模建物や災害拠点となる施設を対象として、固有周期や立地条件が異なる個別の建物の、建物入力地震動のリアルタイム分類、揺れ継続時間の予測、に取り組んだ。地震の位置・規模・メカニズムの即時決定システム(GRID MT)を利用し、地震発生直後に災害拠点などで震源情報を有効利用する方法について議論した。これらを直接建物の被害把握などに用いることはできないが、災害拠点となる建物においては、中長期的に避難準備や避難継続の判断、あるいは地域レベルでの復興支援体制の構築を考える上で、震源に関する情報を随時提供することは有意義と考えられる。建物利用者の心理的不安軽減を図るおよび地震収束後の復旧・退避行動の迅速化には、揺れの大小のみならず、揺れ継続時間の情報が必要である。震源特性・震源距離・地盤特性をパラメータとした、敷地地盤の影響等を含む建物振動特性を考慮した揺れ継続時間を分析した。図17は398地震の観測記録に対して、建物の基礎および上部階で得られた揺れ継続時間を示している。マグニチュードが大きくなるにつれて揺れ継続時間の中央値は大きくなる。また、建物の上部階の方が、基礎よりも継続時間が長くなる傾向が見られる。

（拠点間連携研究〔課題番号：2958〕）

イ．津波の即時予測

日本海溝・千島海溝に沿って150の津波計(圧力計)と地震計がケーブル式ネットワークシステム(S-Net)として設置された。昨年度は、地震発生後500秒の圧力観測波形の形状のみを利用して海溝型巨大地震による津波発生域(隆起域)を推定する手法を開発した。今年度は、推定された津波発生域の大きさから巨大地震の規模を推定する手法を開発した。まず過去に提案された4つのスケーリング則(宇津・関(1955), Wells and Coppersmith(1994), Somerville et al.(1999), Blaser et al.(2010))に従って、 $M_w8.0$, 8.2 , 8.4 , 8.6 , 8.8 のそれぞれに対する断層モデルを千島海溝沿いにまんべんなく配置し、S-Net観測点で観測圧力波形を数値計算により作成した(図5)。それらの想定観測波形から、昨年度開発した手法により津波発生域を推定した(図5)。その津波発生域の面積を計算し、それらの対数を M_w に対してプロットする(図18)。津波発生域の面積の対数と M_w の関係を線形で近似するとともに、その誤差(標準偏差 $M_w0.08$)を推定した。この結果を用いれば津波を発生させた地震の規模を推定することができる。今回開発された手法を1952年十勝沖地震と1968年十勝沖地震の津波に適用し、その有効性を確かめた。1952年十勝沖地震についてはHirata et al.(2003), 1968年十勝沖地震についてはSatake(1989)のすべり量分布からS-Net観測点での海底圧力波形を計算した。それらの観測波形から津波発生域を本研究で開発された手法を用いて推定し、地震の規模を推定した。その結果、図18に示すように津波発生域は高精度で推定され、1952年十勝沖地震の規模は $M_w8.2 \pm 0.08$, 1968年十勝沖地震の規模は $M_w7.9 \pm 0.08$ と精度良く推定された。

なお、上記のようなケーブル式津波観測網がない地域では、地震波形解析により適切な断層モデルを推定する手法を開発する必要がある。特に津波地震に対応できる断層モデルを適切に推定することが重要となる。昨年度は深さに依存する剛性率を仮定することにより、津波地震による津波浸水予測にも対応できる手法を開発した。今年度は上記手法をインドネシアのスマトラ島沿岸では発生した2007年Bengkuru巨大地震($M_w8.4$)と2010年Mentawai津波地震($M_w7.8$)に適用した(図19)。典型的な巨大地震であるBengkuru地震の津波も、津波地震であったMentawai地震も、津波を上手く予測できることが分かった。さらに、1992年ニカラグア地震については、Gusman et al.(2014)の手法(NearTIF)を用いて津波浸水の即時予測が高精度で可能であることを示した。(北海道大学[課題番号:1005], Inoue et al., 2018. Ratnasari et al, 2018(1, 2); Tanioka, 2018; Tanioka and Gusman, 2018; Tanioka et al., 2018(1-4))

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、海底水圧データに記録される津波成分とノイズ成分を波形逆解析において同時推定して分離できるように改良した。また、予測精度をリアルタイムに評価する指標を検討し、概ね適切に評価できることを確認した。津波の減衰過程の予測のため、昨年度の南米沖に加え、ニューギニア島からサモア諸島にかけて発生した地震に伴う遠地津波の減衰過程の特徴について調査を行い、減衰過程における振幅がマグニチュードと関係していることを明らかにした。リアルタイム GNSS 測地データ解析によって推定される震源断層解との統合、波源の広がり of の小さな津波に対応するための段階的処理手法の導入等、手法の改良を行ったことに加え、波源推定に基づかない予測手法について、データ同化による津波面的把握とそれを用いた津波予測について検討し、マグニチュード8クラスの波源の広がり大きい津波に対しては概ね適切な予測ができることを確認した。遠地津波の継続時間の予測手法

について、沿岸津波観測データの移動自乗平均振幅の成長・減衰過程を数理モデルで表現し、地震のマグニチュードとの関係を明らかにすることで、継続時間の予測可能性を示した。（気象庁気象研究所〔課題番号：7011〕）

遠地実体波のスペクトル解析から得たスロー地震タイプの津波地震のスペクトルレベルをもつ近地の地震波形を理論波形として合成し、それらの津波地震に対する気象庁マグニチュード等の値を推定した。その結果、気象庁マグニチュードでは津波地震に対して1以上の過小評価の可能性があることを明らかにした。解析結果の公表までに時間を要していた遠地実体波震源過程解析の迅速化のため、サンプリング間隔・基底関数の数等を最適化し、比較的短い処理時間で安定して解が得られるよう処理の自動化を図った。（気象庁〔課題番号：7009〕，安藤，2018；Tamaribuchi，2018；Tamaribuchi et al.，2018；溜渕，2017）

津波生成磁場に関して、Tyler(2005)による2次元線形長波津波モデルによる津波生成磁場の解析解の改良を試みた。Tyler(2005)の解は津波ダイナモ効果を引き起こす背景主磁場をZ成分のみとして求めたが、本研究では水平成分の効果も考慮した。新しい解は、鉛直分力が非常に小さくなる磁気赤道付近でも津波生成磁場を検出する可能性を示唆するものと考えられる。（気象庁〔課題番号：7007〕）

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

平成28年度、29年度と開発を継続してきた、GNSS搬送波位相データから断層すべりを直接推定する手法の高度化について、海溝型地震に対して同手法を適用し、その性能評価を行った。また、平成29年度より開発を開始したリアルタイムGNSSデータによって推定される震源断層即時推定における不確定性の定量的評価の高度化については、すべり分布推定への拡張を行った。GNSS搬送波位相データから断層すべりを直接推定する手法（Phase To Slip, 以下 PTS と表記）を用いて、海溝型巨大地震の地震時すべり分布推定を試みた。

2011年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震では非常に活発な余震活動が見られ、本震発生から1時間のあいだにM7級の大きな余震が3つ相次いで発生した。このうち、本震から約30分後の15時15分に茨城県沖で発生したMw7.8の地震（以降、茨城沖地震）に対してPTSを適用した。解析では震央から半径100kmにある40点のGEONET点で記録された搬送波データを使用した。解析においては、GNSS衛星の軌道暦としてInternational GNSS Serviceが提供する精密暦（最終暦）と、GNSS衛星から直接送信される放送暦の両者を比較のために用いた。茨城沖地震は、プレート境界で発生した地震であるため、プレート境界面を仮定し、そこに矩形断層を配置することで断層面とした。具体的にはプレート境界等深線に沿って、震央を中心に288枚の矩形断層を仮定した。図20にPTSによって推定された茨城沖地震のすべり分布の結果を示す。地震時すべり量は地震発生時刻の15分前から5分前の10分間の平均をその値とした。精密暦・放送暦の場合でほぼ同様の結果となった。また、全体的に放送暦の方がわずかに大きいすべりが推定された。両者によるすべり量の差異は断層面全体の平均で5cmとなった。最大のすべりは震央からおよそ40km海溝軸寄りの位置で推定され、1.9～2.0mとなった。平均すべりは0.6～0.7mで、Mw7.8相当である。すべりの方向は大部分の断層面ではほぼ純粋な逆断層性を示している。これら得られた結果は、例えば強震データから推定されたすべり分布（Honda et al.，2013）とも概ね調和的であり、PTSが海溝型巨大地震に対しても有効であることが明らかになった。また、IGS精密暦と放送暦

の両者がよく一致する結果を示したことは、外部情報に依拠しない地震時すべり分布推定が可能であることを改めて示唆する結果と考えることができる。一方、PTSで推定されたすべり時系列は地震に伴うステップ状の断層すべりは明瞭に捉えているものの、それ以外の時間帯域における安定性は低い。また計算に要する時間もまだ短縮の必要があり、今後も継続した技術開発が必要と考えられる。

リアルタイムGNSSデータによって推定される震源断層即時推定における不確定性を定量的に評価することを目標として、マルコフ連鎖モンテカルロ法(Markov Chain Monte Carlo methods: 以下、MCMC)を用いた震源断層推定の不確実性定量評価の高度化を進めた。具体的には、より複雑な断層破壊を表現するために、プレート境界におけるすべり分布推定誤差の定量評価を試みた。すべり分布を推定するためにはプレート境界面上を小断層に分割する必要があるが、多数の小断層上でのすべりをそのままMCMCによって推定しようとする、解の収束に膨大な時間を要し、リアルタイム用途には適さないことが明らかになった。そのため、解析を複数ステージに分割し、ステージが進行するに従ってすべり量が多い領域のみ徐々に小断層のサイズを小さくすることで、すべり量が少ない部分への計算コストを下げる四分木アルゴリズムを開発した。適用事例は2011年東北地方太平洋沖地震であり、地震後600秒後時点のキネマティックPPP解析の結果をデータとして用いた。ステージは全部で4つとし、1, 2ステージでは断層面は8枚と31枚に設定し、その後のステージ3および4では、直前のステージ2もしくは4で、モーメント解放量が全体の上位80%を占める小断層のみを細分化した。これによって、MCMCによるすべり量推定を大幅に効率化することに成功し、観測点267点、サンプル数が 3.1×10^6 の場合で900秒程度で計算を終えることができるようになった。各ステージ毎の、各小断層毎に得られる事後確率分布(PDF)の中央値によるすべり分布を図6に示した。ステージが進むに従い、すべり量が細分化されていく様子が明瞭に分かる。今後は、このように得られた断層すべりの不確実性をどのように活用していくかの検討が必要である。(東北大学[課題番号1209], Kawamoto et al., 2018; Musa et al., 2018; 大野・太田, 2018; Ohta et al., 2018; Tanaka et al., 2019)

相対測位による GEONET リアルタイム解析から得られる日本全国のリアルタイム地殻変動データを用いて地震発生時に矩形断層モデル及び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い、電子基準点リアルタイム解析システムに実装した。加えて、電子基準点リアルタイム解析システムにおいて、相対測位法に加え、固定点が不要なため震源断層モデルが安定的に推定できると見込まれる精密単独測位法を試験的に導入した。さらに、観測点周辺の地物からのマルチパス誤差を定量的に評価する手法を開発し、これを補正值としてキネマティック GNSS 解析に用いることで、精度の向上が見込めることを確認した。(国土地理院[課題番号: 6004], Kawamoto et al., 2018)

エ. 火山灰や溶岩噴出の即時予測

2009年以降、ブルカノ式噴火の発生頻度がきわめて高い桜島を対象に、噴火に伴う噴煙の早期検知と粒子密度の推定を目的とした地上観測を実施した。地上からのリモートセンシング観測で用いた手法はGNSS, XバンドMPレーダー, ライダーであり、この順に波長が短くなる。2015年後半以降、桜島の噴火活動は低レベルで、2017年および2018年の爆発回数は76回及び254回であり、1000回近い爆発が発生した2010年～2015年の1/5程度である。2017

年10月までは昭和火口において噴火が発生したが、2017年11月以降は南岳のB火口において噴火が発生し、昭和火口の噴火活動は概ね停止した状態にある。

XバンドMPレーダーによる噴煙観測を霧島、桜島、薩摩硫黄島、口永良部島、諏訪之瀬島において継続した。このうち2018年において噴火が発生したのは、霧島新燃岳、桜島、口永良部島、諏訪之瀬島であり、いずれの火山においてもレーダーにより噴煙を検出できた。図7に2018年12月18日に口永良部島で発生した噴火のレーダー画像を示した。噴煙に対応する強い散乱体が火口上の4500m程度上空まで確認できる。噴火発生時は、口永良部島新岳の火口上低い高度に雲があり、目視観測では噴煙の最高到達高度は確認できないが、XバンドMPレーダーを使用することにより、冠雲時でも噴煙を可視化できることを示すことができた。

火山灰拡散シミュレーションには多くのコードがあるが、大気中浮遊または降下火山灰を量的に自動的に予測するものは無い。火山灰粒子の移流を決める風の場合は、気象庁により予測公開されているが、噴出した火山灰量を即時的に評価するシステムが無いためである。また、噴煙高度についても上述したように常に目視観測が可能な訳ではない。Iguchi (2016) は火山噴火に伴う地震動の振幅と地盤変動から評価される圧力源の体積変化量の線形結合から火山灰放出量を評価する手法を開発した。この手法により火山灰放出率をリアルタイムで評価し、経験的に導出された噴出率と噴煙高度の経験式を用いて即時的に火山灰の拡散および降下量を予測することが可能となる。京都大学及び 筑波大学のサーバーに火山灰予測を実装した。火山灰拡散予測の結果を図21に示す。火山灰の拡散方向は概ね一致している。降下火山灰量についても、 2kg/m^3 に達する桜島南西部の降灰量を予測できた。（京都大学防災研究所〔課題番号：1913〕，中道・他，2018；Tanaka and Iguchi, 2019）

気象研究所で開発した気象レーダー観測網を用いた噴煙高度の確率的推定手法を用いて、霧島山(新燃岳)(2017～2018年)、草津白根山(本白根山)(2018年)、口永良部島(2019年)の噴火事例を解析した。航空路火山灰情報(VAA)業務で作成している現業者による火山灰雲の解析結果を火山灰データ同化システム(プロトタイプ)に取り込めるよう機能を拡張した。これにより多くの事例で火山灰雲領域の過大予測が抑制され、予測精度が改善された。（気象庁気象研究所〔課題番号：7010〕，石井・他，2018(1, 2)；Sato et al, 2018；佐藤・他，2018(1-4)；新堀・他，2018）

4. 今後の展望

5ヶ年の研究計画における最終年として、それぞれの研究課題において既往研究成果の高度化が進み、また新たな取り組みに関して成果が継続して蓄積されており、地震・火山噴火の災害誘因の事前評価や即時推定における実務での活用が試みられている。これを承け、さらなる高度化に向けて継続的な第二次の検討を継続実施する。その際、これら事前・即時予測に関する情報を効果的に社会に伝達し減災に繋げるため、社会科学と連携した検討を引き続きおこない、社会から個人に至る行動を災害の軽減に向けて集約する手法を模索し続ける。

成果リスト

- 安藤忍, 2018, 陸域観測技術衛星「だいち2号」(ALOS-2/PALSAR-2)を用いた合成開口レーダ(SAR) 干渉解析, 平成28年(2016年)熊本地震調査報告, 気象庁技術報告, 135, 35-45.
- 浅野公之, 岩田知孝, Miroslav HALLO, 2018, 強震記録による2018年6月18日大阪府北部の地震の震源過程, 日本地震学会2018年秋季大会, S24-09.
- Asano, K., T. Iwata, and M. Hallo, 2018, Rupture Process of the 2018 Northern Osaka Earthquake (Mw 5.6), an Earthquake Involving Both Thrust and Strike-slip Faults Near a Junction of Major Active Fault Systems Surrounding the Osaka Basin, Japan, AGU 2018 Fall Meeting, S43C-0602.
- Asano, K., 2018, Source Modeling of an Mw 5.9 Earthquake in the Nankai Trough, Southwest Japan, using Offshore and Onshore Strong Motion Waveform Records, Bull. Seismol. Soc. Am., 108, 1231-1239.
- Chigira, M., Sato, T., Matsushi, Y. & Suzuki, T., 2018, Landslides induced by the 2016 Kumamoto earthquake and its application to future earthquake-induced landslides (Invited), The 5th International symposium on Mega earthquake induced geo-disasters and long term effects, Chengdu, 7-8.
- 地元孝輔, 山中浩明, 是永将宏, 津野靖士, 2019, KiK-net 益城観測点におけるレイリー波位相速度と見かけ比抵抗の同時逆解析, 平成30年度京都大学防災研究所研究発表講演, P04.
- Doi, I., T. Kamai, R. Azuma, and G. Wang, 2019, A landslide induced by the 2016 Kumamoto Earthquake adjacent to tectonic displacement - Generation mechanism and long-term monitoring, Engineering Geology, 248, 80-88.
- 土井一生, 釜井俊孝, 王功輝, 千木良雅弘, 2018, 地震時地すべり減災に向けた観測研究 - 斜面地震学の展開 -, 日本地球惑星科学連合2018年大会, 招待講演, HDS11-01.
- 土井一生, 前田拓人, 釜井俊孝, 王功輝, 2018, 斜面崩壊によって励起された地震動波形の特徴 - 2017年の事例 -, 日本地球惑星科学連合2018年大会, HDS07-05.
- Doi, I., 2018, Development of a New academic field " Slope seismology", International Seminar on Geo-science and Disaster Mitigation in Japan and South Korea.
- Furumura, T. and BLN Kennett, 2018, Regional distance PL phase in the crustal waveguide - An analog to the teleseismic W phase in the upper-mantle waveguide, J. Geophys. Res., 123, <https://doi.org/10.1029/2018JB015>.
- 古村孝志, 2018, 2015年5月30日小笠原諸島西方沖深発地震と異常震域の謎, 地震ジャーナル, 66, 40-51.
- Furumura, T., Maeda, T., and Oba, A., 2019, Early forecast of long - period ground motions via data assimilation of observed ground motions and wave propagation simulations, Geophysical Research Letters, <https://doi.org/10.1029/2018GL081163>.
- 一井康二, 植村一瑛, 生頼直樹, 兵頭順一, 2019, 地震応答解析における技術者の違いによるパラメータのばらつきの影響, 平成30年度京都大学防災研究所研究発表講演, D29.

- Inoue, M., Y., Tanioka, Y. Yamanaka, 2018, Simple method for real-time tsunami source estimation using seafloor pressure sensor network in Japan, AOGS meeting 2018.
- Ishibe, T., M. Miyazawa, Y. Ogata, H. Tsuruoka, and K. Satake, 2018, Seismicity Rate Change in Japan Following the 2011 Tohoku-Oki Earthquake, AOGS 15th Annual Meeting, Hawaii Convention Centre, 3-8.
- 石井憲介, 新堀敏基, 佐藤英一, 徳本哲男, 林勇太, 2018(1), 2016年10月8日阿蘇山噴火で放出された二酸化硫黄の静止気象衛星ひまわり8号による観測結果, 火山噴火予知連絡会会報, 126, 181-182.
- 石井憲介, 新堀敏基, 佐藤英一, 徳本哲男, 2018(2), 2017年10月10日から17日にかけての新燃岳の気象衛星ひまわり8号による観測結果, 火山噴火予知連絡会会報, 128, 324-326.
- 岩田知孝, 2018, 震源断層近傍の強震動特性, 2018, 第15回日本地震工学シンポジウム論文集, 698-703.
- 岩田知孝, 飯尾能久, 松島信一, 2018(1), 2018年6月18日大阪府北部の地震, 地震ジャーナル, 66, 1-8.
- 岩田知孝, 浅野公之, 田中宏樹, 2018(2), 大阪堆積盆地北西部の尼崎観測点で観測される繰り返し地震波後続波群の特徴と3次元地震動シミュレーション, 第15回日本地震工学シンポジウム論文集, G010-01-11.
- 岩田知孝, 浅野公之, 2018, 2018年6月大阪府北部の地震時の強震動, 第55回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, 65-66.
- 香川敬生・野口竜也, 2018, 自治体震度計ネットワークを用いたリアルタイム震度評価の試み -鳥取県の事例-, 日本地球惑星科学連合大会2018年大会, SCG65-06.
- 香川敬生, 2018(1), 自治体震度計ネットワークを用いたリアルタイム震度評価の試み -鳥取県の事例-, 土木学会第38回地震工学研究発表会, C12-1294.
- 香川敬生, 2018(2), 高密度の震度計ネットワークを用いた震度分布の即時推定 -鳥取県の事例-, 日本地震学会2018年度秋季大会, S13-12.
- 香川敬生・野口竜也・向坊恭介, 2018, 1943年鳥取地震による鹿野断層近傍における強震動の推定と被害との対応, 第15回日本地震工学シンポジウム, OS2-03-07.
- 香川敬生, 2019, 鳥取県震度計ネットワークを利用した震度分布の即時推定-課題と対応-, 平成30年度東京大学地震研究所協同利用研究集会「地震動のリアルタイム解析:防災・減災に向けた即時的な活用を目指して」, 講演番号6.
- 神定 健二・高橋 功・篠原芳紀・香川 敬生・三宅弘恵, 2018, 東京都市部における地震防災のための震度分布図のリアルタイム推定, 日本地球惑星科学連合大会2018年大会, SCG65-05.
- 神定健二・高橋功・篠原芳紀・香川敬生・三宅弘恵, 2019, 自治体震度計観測網の次期更新計画への提案-観測網の拡充とデータのリアルタイム化-, 平成30年度東京大学地震研究所協同利用研究集会「地震動のリアルタイム解析:防災・減災に向けた即時的な活用を目指して」, 講演番号7.

- Kawamoto S., N. Takamatsu, S. Abe, K. Miyagawa, Y. Ohta, M. Todoroki, and T. Nishimura, 2018, Real-time GNSS analysis system REGARD: an overview and recent results, *J. Disaster Res.*, 13, No. 3, 440-452, doi:10.20965/jdr.2018.p0440.
- 木内亮太, 宮澤理稔, 瀬戸一樹, 2019, 沈み込み帯巨大地震の強震動生成域からの地震動と既存予測式の比較, D31, 平成 30 年度京都大学防災研究所研究発表講演会.
- Kodera, Y., Y. Yamada, K. Hirano, K. Tamaribuchi, S. Adachi, N. Hayashimoto, M. Morimoto, M. Nakamura, and M. Hoshiba, 2018, The Propagation of Local Undamped Motion (PLUM) method: a simple and robust seismic wavefield estimation approach for earthquake early warning. *Bulletin of Seismological Society of America*, 108(2), 983-1003.
- Kodera, Y., 2018, Real-time Detection of Rupture Development: Earthquake Early Warning Using P Waves from Growing Ruptures. *Geophysical Research Letters*, 45, 156-165.
- 河野祐哉, 西嶋一欽, 2018, 高知県南国市を例とした建物ストックの時系列変化の分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集.
- Ma N., G. Wang, T. Kamai, I. Doi, and M. Chigira, 2019, Amplification of seismic response of a large deep-seated landslide in Tokushima, Japan, *Engineering Geology*, 249, 218-234.
- 向井優理恵, 古村孝志, 前田拓人, 2019, 関東平野における長周期地震動強度の特徴的方位依存性とその要因, 東京大学地震研究所彙報, 印刷中。
- Musa, A., O. Watanabe, H. Matsuoka, H. Hokari, T. Inoue, Y. Murashima, Y. Ohta, R. Hino, S. Koshimura, and H. Kobayashi, 2018, Real-time tsunami inundation forecast system for tsunami disaster prevention and mitigation, *J. Supercomput.*, 74, 3093-3113, doi:10.1007/s11227-018-2363-0.
- 永井夏織, 浅野公之, 加藤護, 岩田知孝, 2018(1), 経験的グリーン関数法を用いた 2016 年鳥取県中部の地震の広帯域震源モデル, 第 15 回日本地震工学シンポジウム論文集, 110-118.
- 永井夏織, 浅野公之, 加藤護, 岩田知孝, 2018(2), 経験的グリーン関数法を用いた 2016 年鳥取県中部の地震の震源モデルの推定, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, SSS14-P30.
- 永井夏織, 浅野公之, 加藤護, 岩田知孝, 2018(3), 経験的グリーン関数法を用いた 2016 年鳥取県中部の地震の SMGA モデル, 日本地震学会 2018 年秋季大会, S14-05.
- 中道治久, 井口正人, 下村誠, 竹中悠亮, 2018, 南九州の火山における小型Xバンド偏波レーダーの展開と噴火観測事例, 京都大学防災研究所年報, 61B, 337-343.
- 西村武・西川隼人・野口竜也, 2018, 2016年鳥取県中部の地震を対象とした木造建物の最大応答変形角評価式の検討, 土木学会第38回地震工学研究発表会, A22-1363.
- 野口竜也・西川隼人・香川敬生・吉田昌平, 2018(1), 2016年鳥取県中部の地震における非線形地盤応答の基礎的検討, 土木学会論文集A1, Vol. 74, No. 4(地震工学論文集第37巻), I_1010-I_1016.

- 野口竜也・中井翔・吉見和・上野太士・日高大我・西川隼人・吉田昌平・香川敬生, 2018(2), 2016年鳥取県中部の地震による被害要因と地盤震動特性の把握, 日本地球惑星科学連合大会2018年大会, SSS14-P16.
- 野口竜也・中井翔・日高大我・吉見和・西川隼人・吉田昌平・香川敬生, 2018(3), 微動および地震観測に基づく鳥取県中部域の地盤構造推定と地盤震動特性の把握, 第15回日本地震工学シンポジウム, OS2-03-08.
- Ogiso, M., M. Hoshiba, A. Shito, and S. Matsumoto, 2018, Numerical Shake Prediction for Earthquake Early Warning Incorporating Heterogeneous Attenuation Structure: The Case of the 2016 Kumamoto Earthquake. *Bulletin of Seismological Society of America*. 108 (6): 3457-3468.
- 大野圭太郎, 太田雄策, 2018, MCMC を用いたリアルタイム GNSS データによる単一矩形断層推定の不確実性定量評価の試み - 2011 年東北地方太平洋沖地震への適用例 -, 測地学会誌, 64, 39-50, doi: 10.11366/sokuchi.64.39.
- Ohta Y., T. Inoue, S. Koshimura, S. Kawamoto, and R. Hino, 2018, Role of real-time GNSS in near-field tsunami forecasting, *J. Disaster Res.*, 13, No. 3, 453-459, doi:10.20965/jdr.2018.p0453.
- Ratnasari, R.N., Y. Tanioka, and A.R. Gusman, 2018(1), Rapid Determination of Source Models for Tsunami Early Warning Using a Depth Dependent Rigidity Curve: Case Studies for the 2007 Bengkulu and 2010 Mentawai Tsunami Earthquakes, AOGS meeting 2018.
- Ratnasari, R.N., Y. Tanioka, and A.R. Gusman, 2018(2), Rapid determination of source models for Tsunami Early Warning using a depth dependent rigidity curve: case studies for Indonesia, SCSTW 2018 (3rd place of the best presentation award).
- Sato. E, K. Fukui, and T. Shimbori, 2018, Aso volcano eruption on October 8, 2016, observed by weather radars. *Earth, Planets and Space*, 70:105, 1-8.
- 佐藤英一, 新堀敏基, 福井敬一, 石井憲介, 徳本哲男, 2018(1), 気象レーダーで観測された2016年10月8日阿蘇山噴火に伴う噴煙エコー, 火山噴火予知連絡会会報, 126, 175-180.
- 佐藤英一, 福井敬一, 新堀敏基, 石井憲介, 徳本哲男, 2018(2), 気象レーダーで観測された2017年10月霧島山(新燃岳)噴火に伴う噴煙エコー, 火山噴火予知連絡会会報, 128, 316-319.
- 佐藤英一, 新堀敏基, 福井敬一, 石井憲介, 徳本哲男, 2018(3), 気象レーダーで観測された2018 年1月23日草津白根山噴火に伴う噴煙エコー, 火山噴火予知連絡会会報, 129, 78-82.
- 佐藤英一, 福井敬一, 新堀敏基, 石井憲介, 徳本哲男, 2018(4), 気象レーダーで観測した2018年3月から5月にかけての霧島山(新燃岳)噴火に伴う噴煙エコー, 火山噴火予知連絡会会報, 130, 292-298.
- 佐藤啓太, 松島信一, 松下隼人, 増田竣介, 吾妻崇, 野澤貴, 2018, 微動観測記録に基づく横手盆地の地下構造の推定, 第 15 回日本地震工学シンポジウム, OS2-01-03.
- 佐藤啓太, 松島信一, 松下隼人, 増田竣介, 吾妻崇, 野澤貴, 2019, 微動観測記録に基づく

- く横手盆地の推定地下構造の増幅特性評価, 京都大学防災研究所研究発表講演会, B06.
- 関口春子, 岩田知孝, 浅野公之, 2018, 2018 年 6 月 18 日大阪府北部の地震時の強震動シミュレーション, 日本地震学会 2018 年度秋季大会, S24-15.
- 関口春子, 岩田知孝, 浅野公之, 2019(1), 2018 年 6 月 18 日大阪府北部の地震による大阪平野の強震動シミュレーション, 平成 30 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, A18.
- 関口春子, 浅野公之, 岩田知孝, 2019(2), 奈良盆地の 3 次元速度構造モデルの構築と検証, 地質学雑誌, 受理済.
- 新堀敏基, 石井憲介, 佐藤英一, 徳本哲男, 森健彦, 林洋介, 吉田知央, 松田康平, 2018, 2017 年 10 月霧島山(新燃岳)噴火に伴う降灰予測, 火山噴火予知連絡会会報, 128, 320-323.
- Tamaribuchi, K., Y. Yagi, B. Enescu, and S. Hirano, 2018, Characteristics of foreshock activity inferred from the JMA earthquake catalog. *Earth Planets and Space*, 70, 90.
- Tamaribuchi K., 2018, Evaluation of automatic hypocenter determination in the JMA unified catalog, *Earth Planets and Space*, 70, 141.
- Tanaka, H., M. Iguchi, 2019, Simulations of volcanic ash plume dispersal for Sakura-jima using real-time emission rate estimation, *Jour. Disast. Res.*, 14, 160-172.
- 田中宣多, Gautham Adapa, 澤田凱人, 上田恭平, 2019, 液状化現象を含む地盤の非線形性を考慮した表層地盤増幅率の評価, 平成 30 年度京都大学防災研究所研究発表講演, D30.
- Tanaka Y., Y. Ohta, and S. Miyazaki, 2019, Real-time Coseismic Slip Estimation via the GNSS Carrier-Phase to Fault Slip Approach: A Case Study of the 2016 Kumamoto Earthquake, *Geophysical Research Letters*, 46, doi:10.1029/2018GL080741.
- Tanioka, Y., A.G. Cabrera, and Y. Yamanaka, 2018(1), Determination of a Fault Size from a Dispersive Character of a Tsunami: a Case Study for the 2016 El Salvador-nicaragua Outer-ride Earthquake, AOGS meeting 2018.
- Tanioka, Y., G. Arguello, U. Grillo and A. Cabrera, 2018(2), Real time tsunami inundation forecast method developed for Central America Region, SCSTW 2018.
- Tanioka, Y., A.G. Cabrera, and Y. Yamanaka, 2018(3), Simulation of a Dispersive Tsunami due to the 2016 El Salvador? Nicaragua Outer-Rise Earthquake (Mw 6.9), *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-018-1773-5.
- Tanioka, Y., G.J. Arguello, and A.R. Gusman, 2018(4), Rapid Determination of Appropriate Source Models for Tsunami Early Warning using a Depth Dependent Rigidity Curve: Method and Numerical Tests, EGU meeting 2018.
- Tanioka, Y., 2018, Tsunami simulation method assimilating ocean bottom pressure data near a tsunami source region, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-017-1697-5.
- Tanioka, Y., and A.R. Gusman, 2018, Near-field tsunami inundation forecast method assimilating ocean bottom pressure data: A synthetic test for the 2011 Tohoku-oki tsunami, *Phys. Earth Plan. Int.*, doi: 10.1016/j.pepi.2018.08.006.
- Tsou, C.Y., Chigira, M., Higaki, D., Sato, G., Yagi, H., Sato, H.P., Wakai, A., Dangol,

V., Amatya, S.C. & Yatagai, A., 2018, Topographic and geologic controls on landslides induced by the 2015 Gorkha earthquake and its aftershocks: an example from the Trishuli Valley, central Nepal. *Landslides*, 15, 953-965, doi: 10.1007/s10346-017-0913-9.

津野靖士，山中浩明，地元孝輔，宮腰寛之，三宅弘恵，高井伸雄，重藤迪子，神野達夫，佐藤浩章，瀬瀬一起，松島信一，川瀬 博，2019，足柄平野と東京湾西岸部における地震観測点の1次元浅部深部統合地盤モデル，平成30年度京都大学防災研究所研究発表講演会．

吉田昌平・香川敬生・野口竜也，2018，2016年鳥取県中部の地震における臨時余震観測に基づいた広域の強震動評価，土木学会論文集A1, Vol. 74, No. 4(地震工学論文集第37巻)，I_417-I_428.

Zhao, S., Chigira, M. & Wu, X., 2018, Buckling deformations at the 2017 Xinmo landslide site and nearby slopes, Maoxian, Sichuan, China. *Engineering Geology*, 246, 187-197, doi: 10.1016/j.enggeo.2018.09.033.

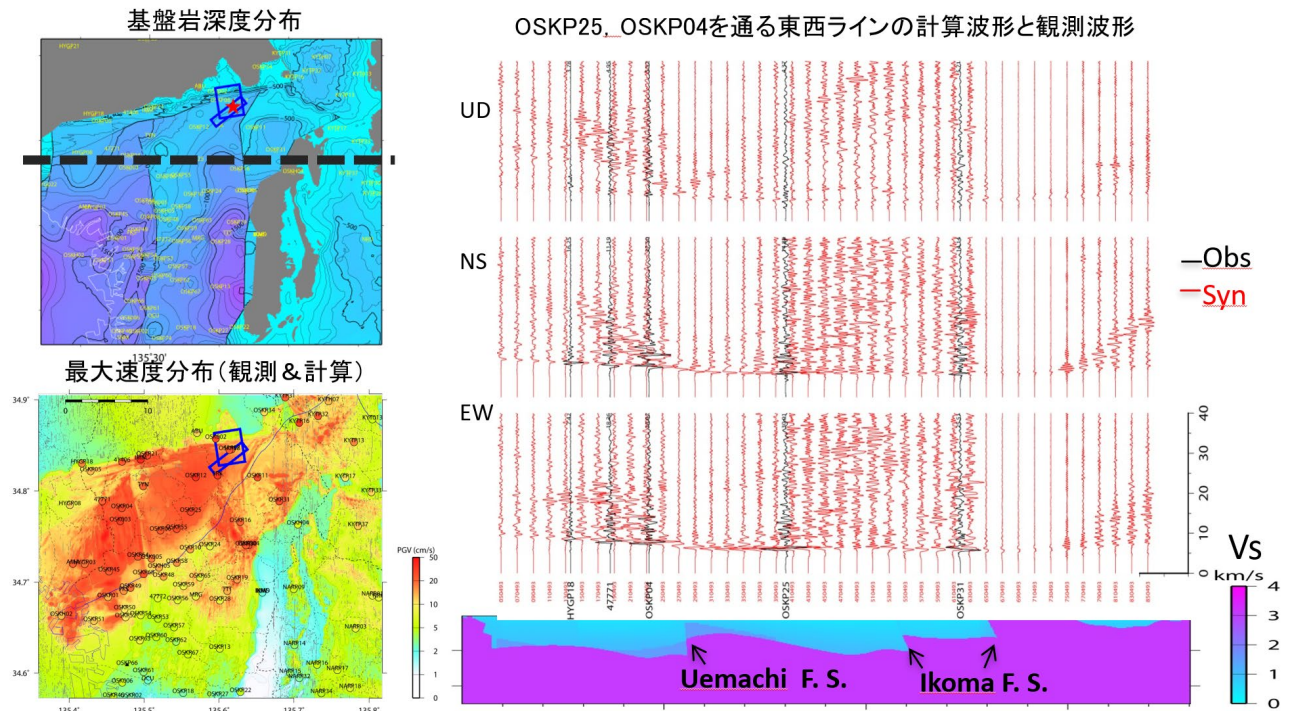


図1. 2018年6月18日大阪府北部の地震 ($M_{JA}6.1$) による大阪平野-奈良盆地の地震動シミュレーション (京都大学防災研究所 [課題番号: 1903, 1911])

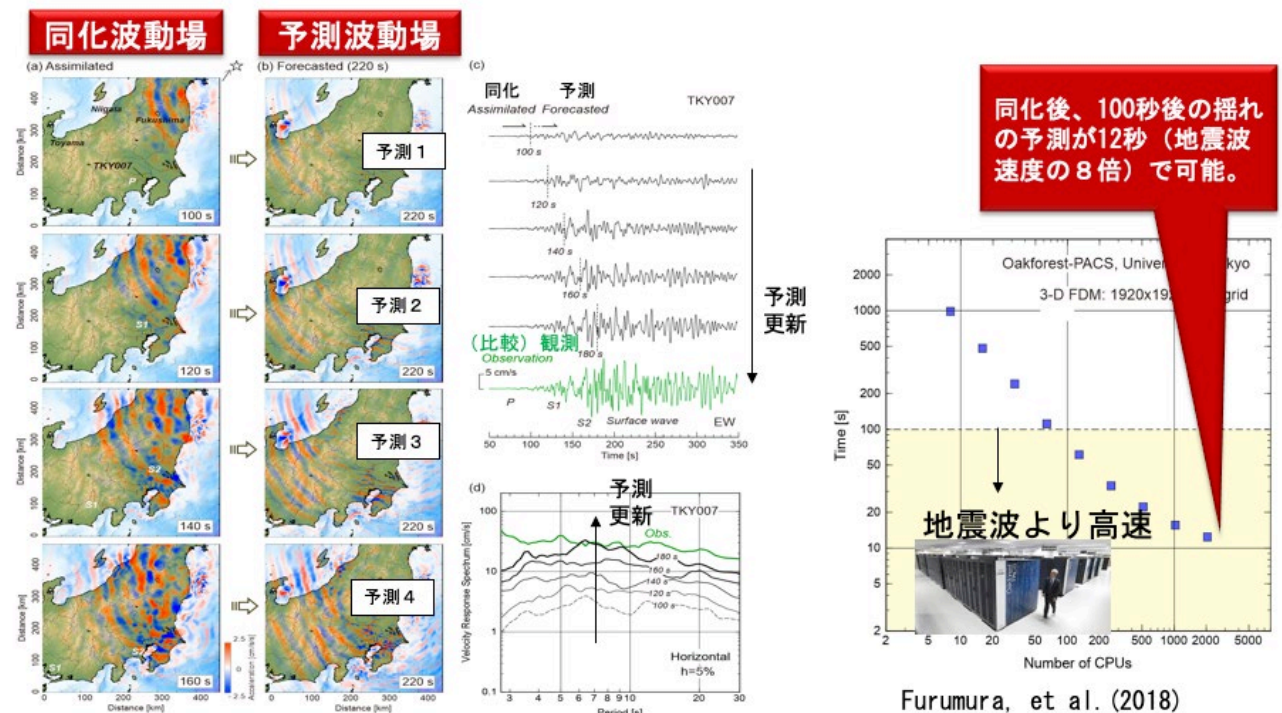


図2. 2011年東北地方太平洋沖地震のデータ同化によるシミュレーション (東京大学地震研究所 [課題番号: 1516])

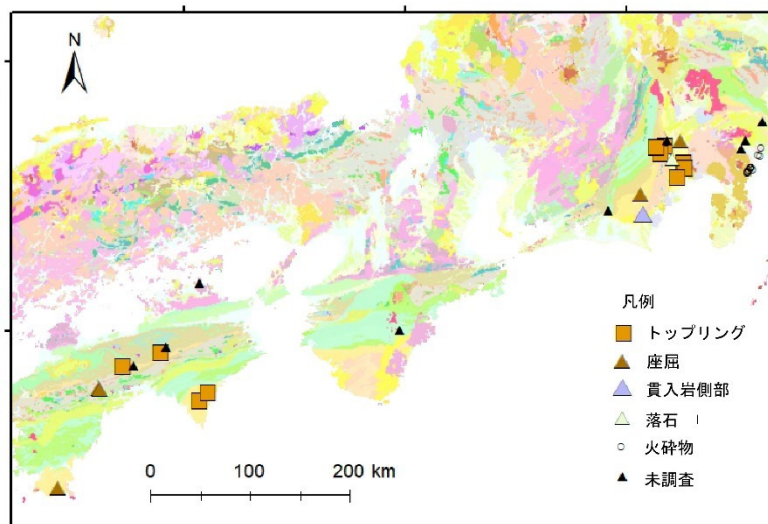
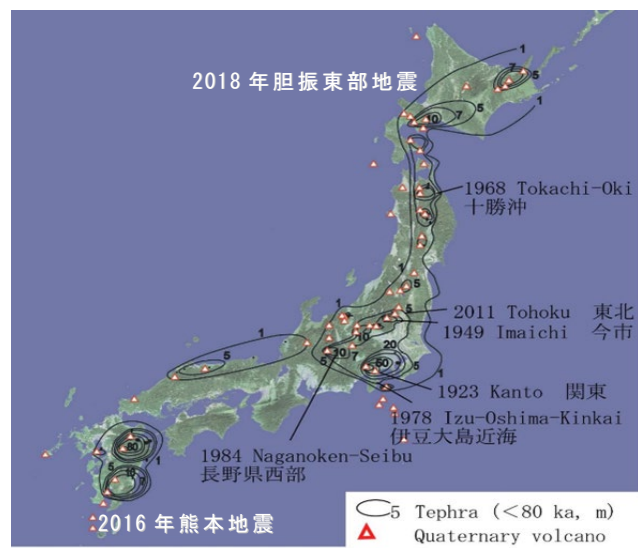


図3. 火山地域(上)および非火山地域(下)の地震時崩壊の分布と種類

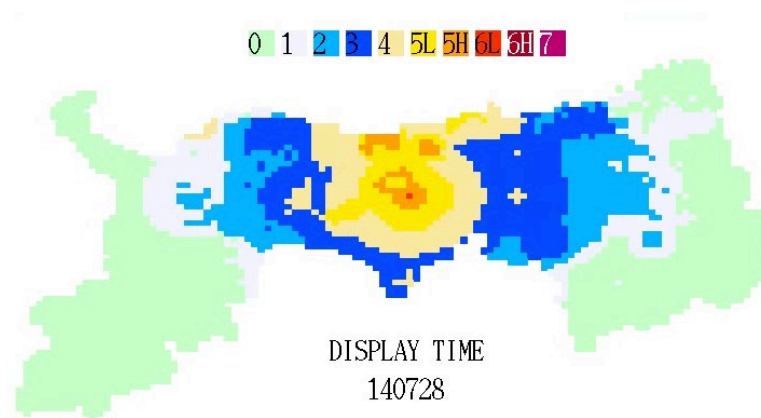


図4. 鳥取県震度ネットワークを用いた2016年鳥取県中部の地震の事後評価：緊急地震速報第1報が出された時刻における予測震度分布（鳥取大学工学研究科〔課題番号：2001〕）

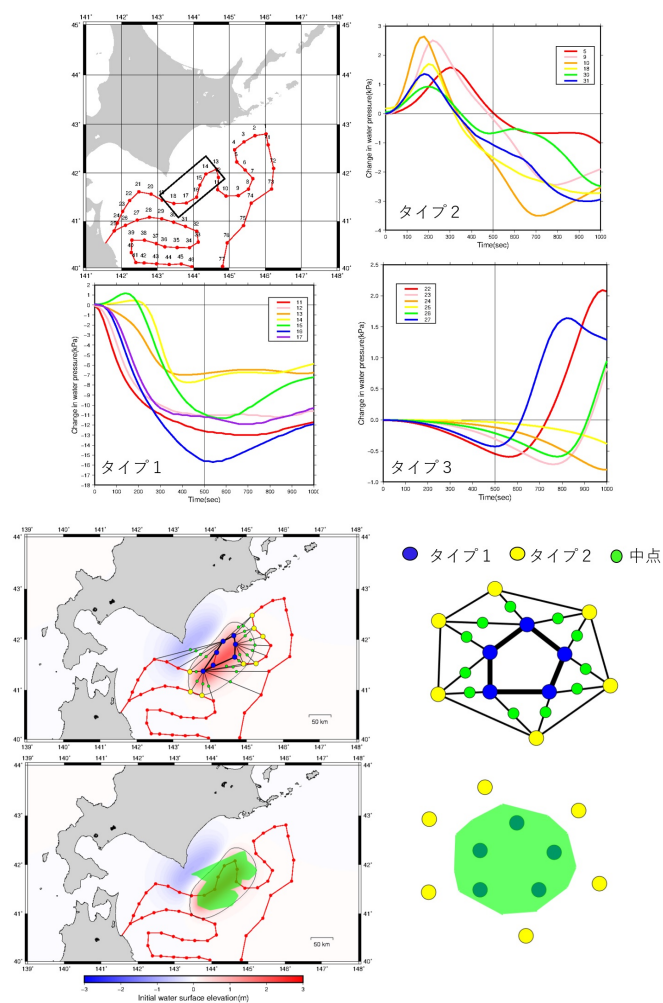


図5. S-NET 観測波形から直接波源を推定する手法：数値計算による津波圧力波形を波源との位置関係で分類し、観測された波形から津波波源を推定（北海道大学〔課題番号：1005〕）

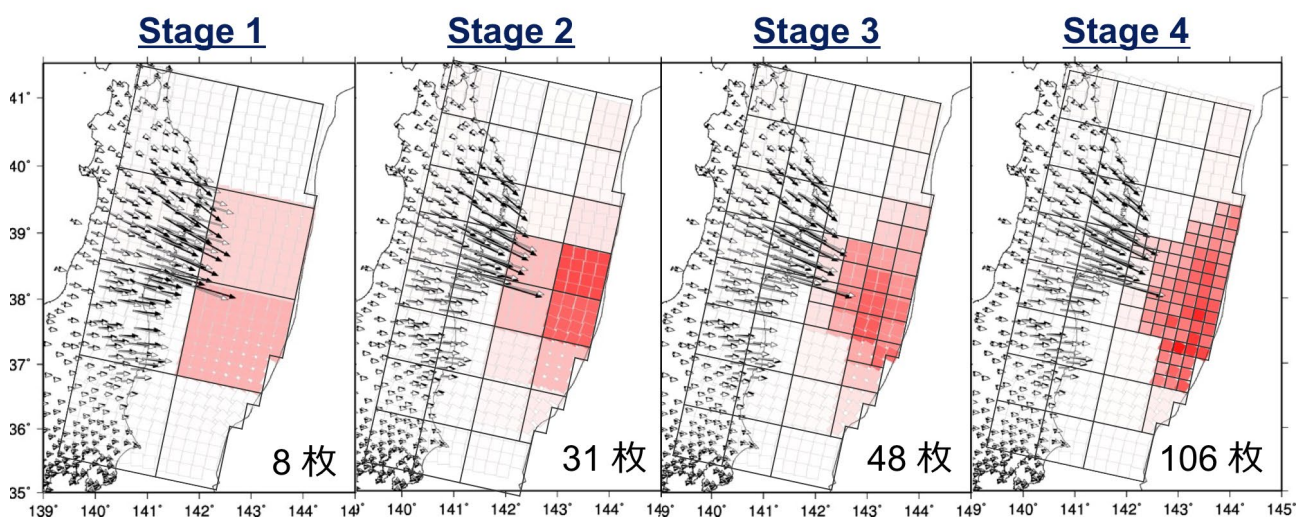


図6. 四分木アルゴリズムによるすべり分布推定：断層面が細分化され不確実性をリアルタイム把握できる可能性がある（東北大学〔課題番号：1209〕）

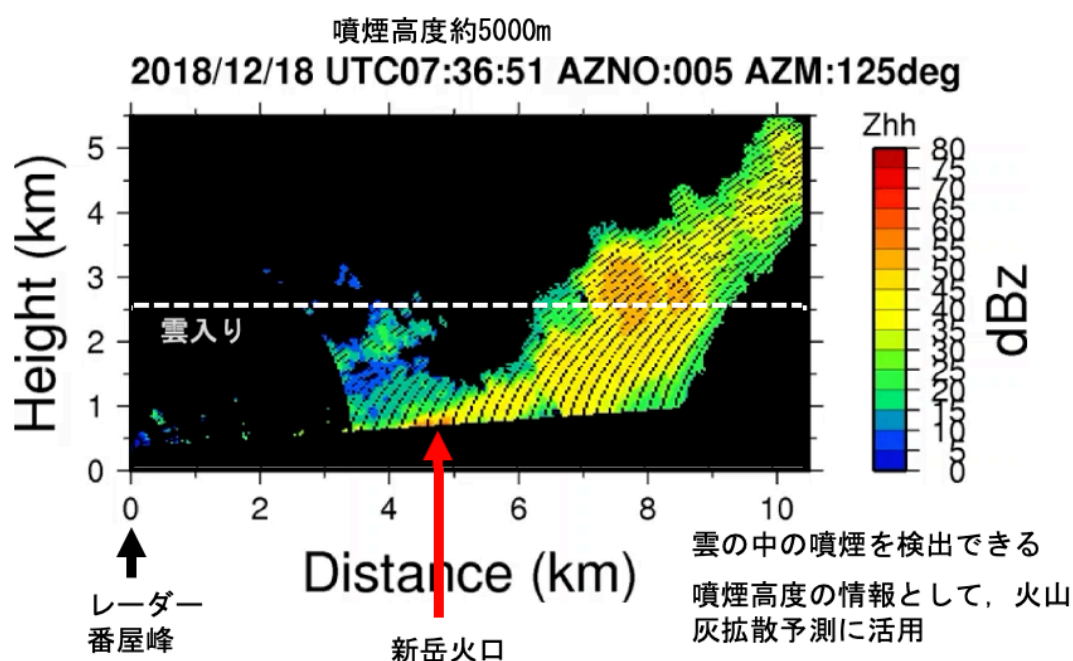


図7. XバンドMPレーダーにより検知された2018年12月の口永良部島噴火の噴煙
(京都大学防災研究所 [課題番号: 1913])

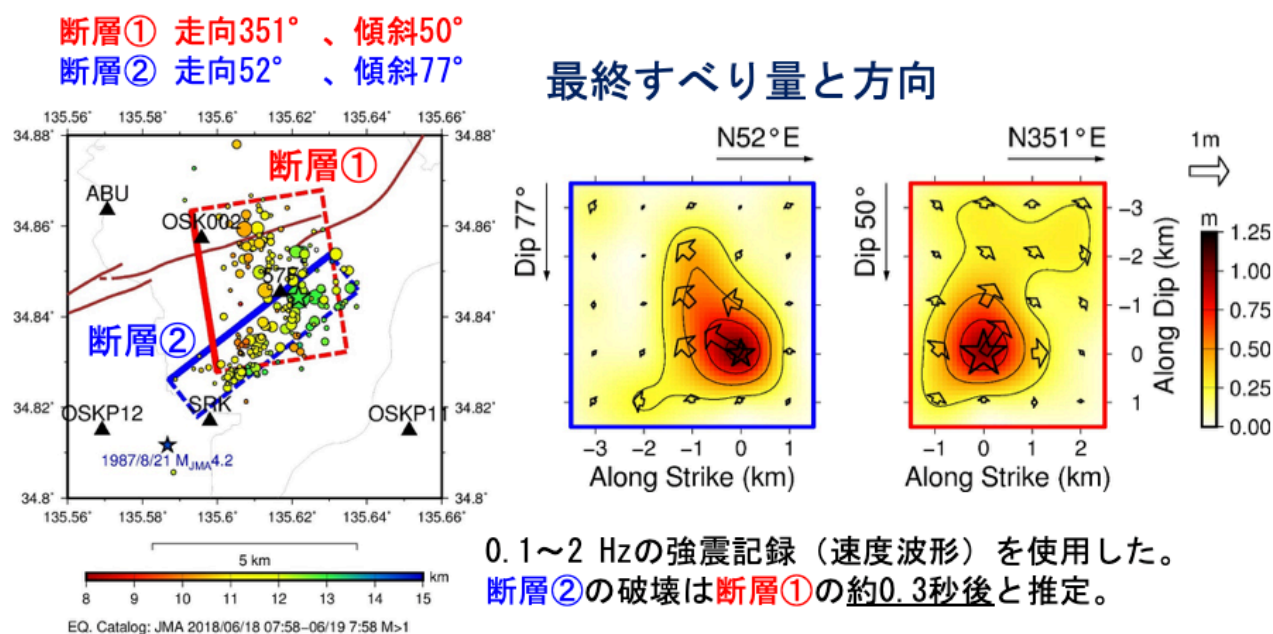


図8. 強震記録を用いた2018年6月18日大阪府北部の地震 ($M_{JMA} 6.1$) の震源過程の推定
(京都大学防災研究所 [課題番号: 1911])

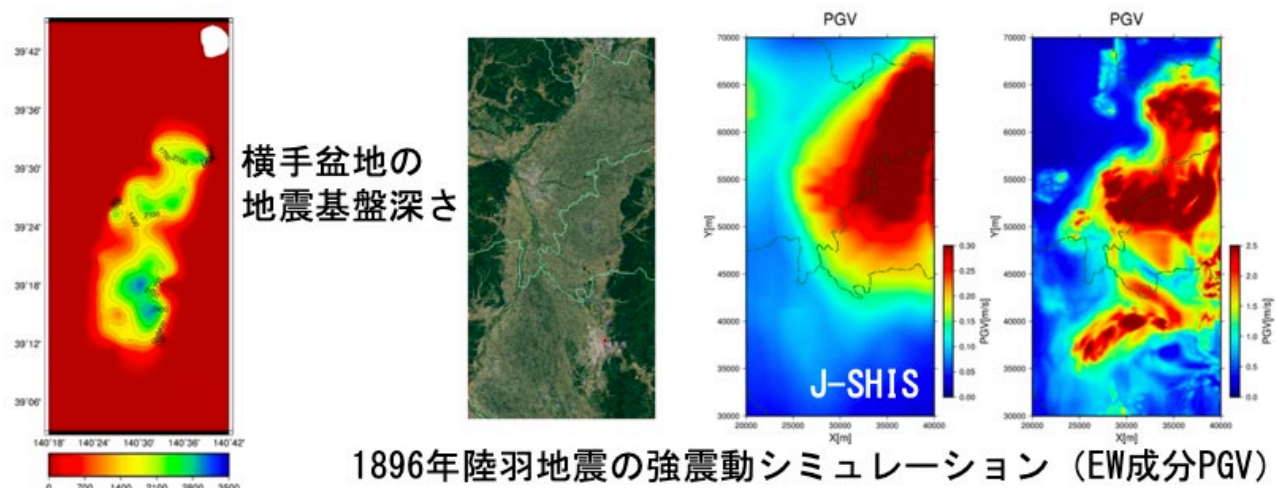


図9. 横手盆地の地下構造モデルと1896年陸羽地震の強震動シミュレーション
(拠点間連携研究 [課題番号: 2953])

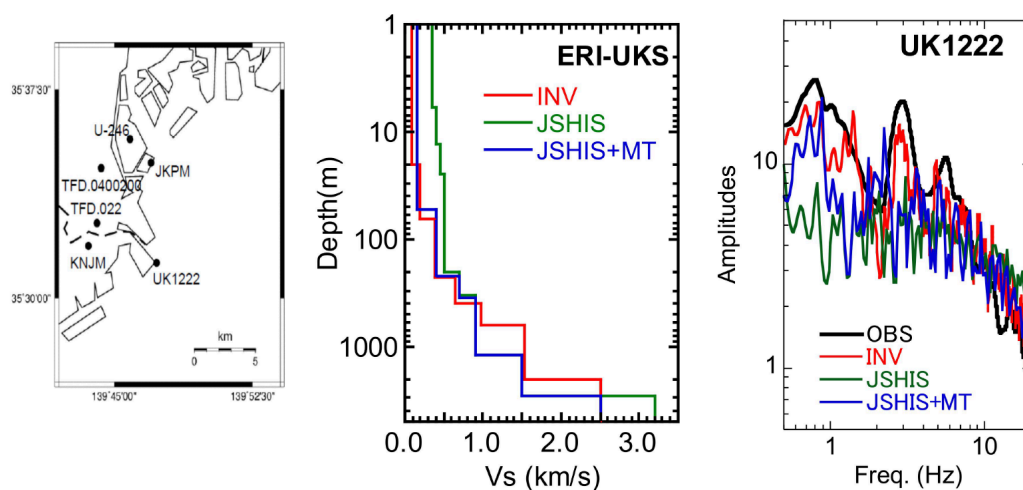


図10. 東京湾西岸部 (UK1222) の1次元浅部深部統合地盤モデルとサイト特性の比較
(拠点間連携研究 [課題番号: 2955])

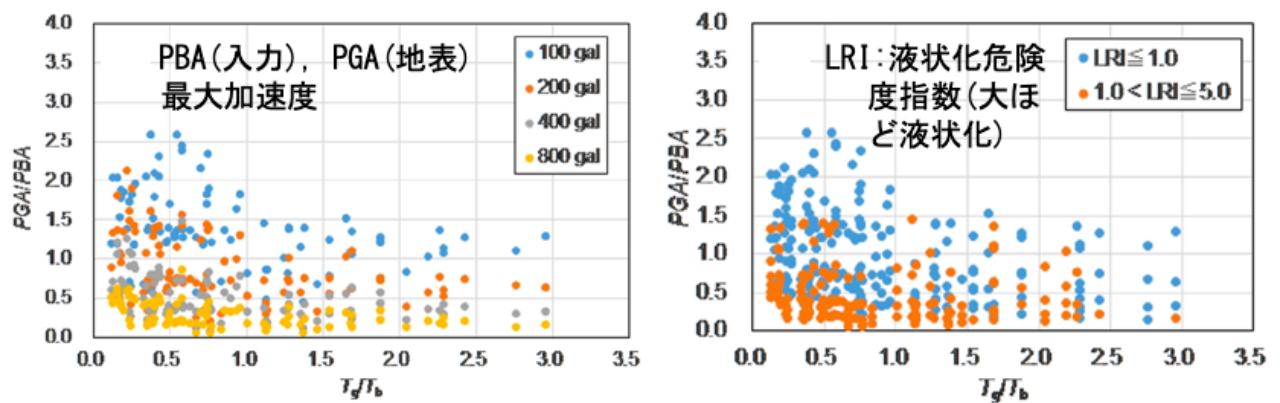


図11. 地盤増幅率（縦軸）と周期比（横軸： T_g (地盤)と T_b (入力地震動)の固有周期)の関係：左は入力加速度で，右は液状化危険度指数(LRI)で分類（拠点間連携研究〔課題番号：2990〕）

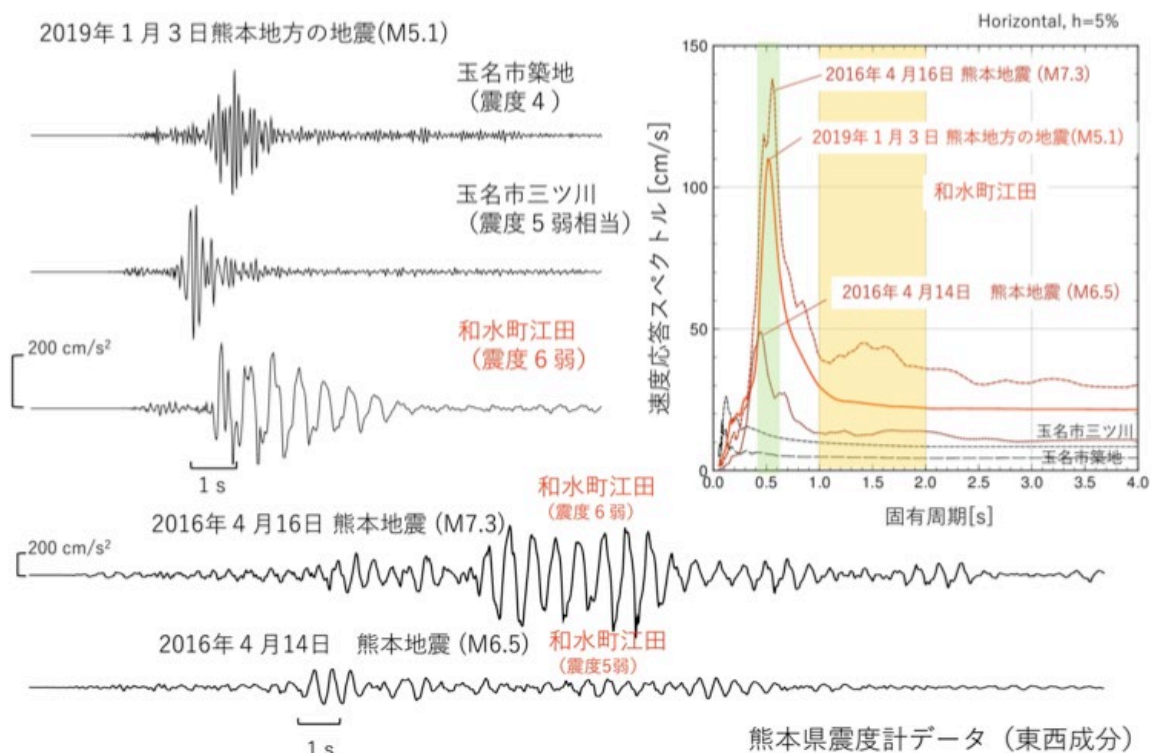


図12. 2019年1月3日熊本地方の地震(N5.1)の強震動(東京大学地震研究所〔課題番号:1516〕)

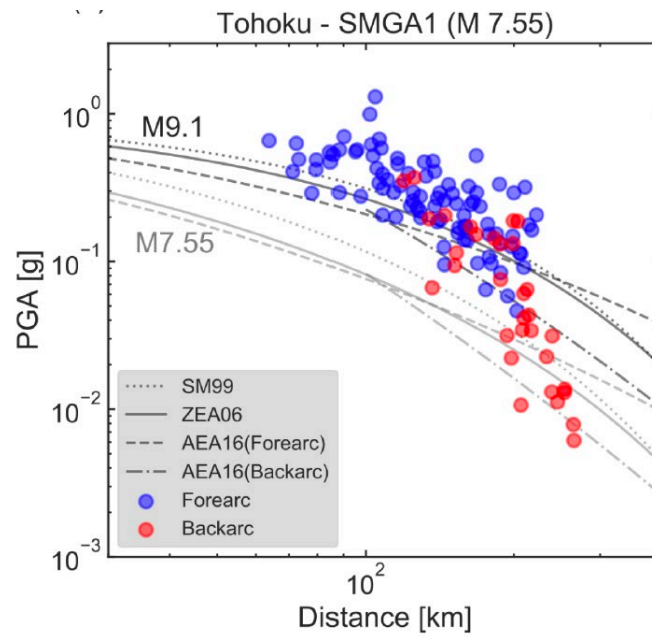


図13. 2011年東北地方太平洋沖地震の強震動生成域 (SMGA1) に対する距離減衰
(拠点間連携研究 [課題番号: 2991])

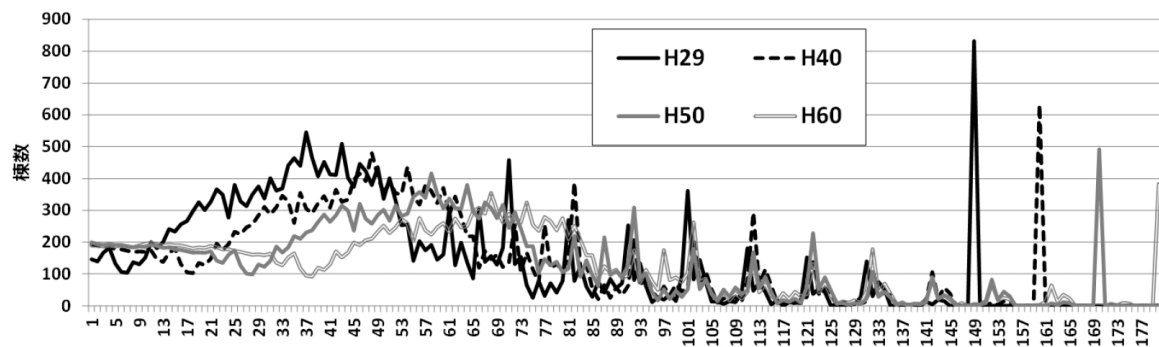


図14. 将来時点での築年数(横軸)ごとの木造戸建住宅の棟数(縦軸)予測
(拠点間連携研究 [課題番号: 2952])

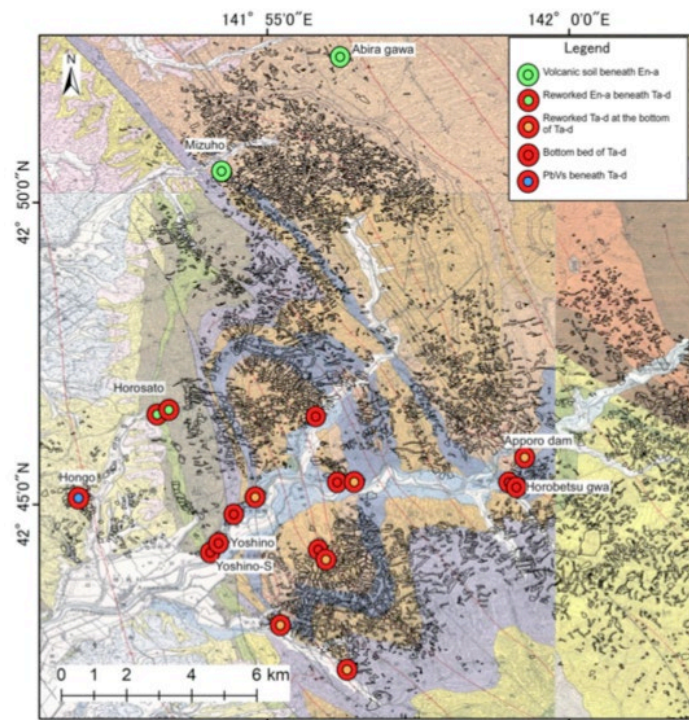


図15. 2018年北海道胆振地震によって発生した地すべりのすべり面の分布：すべり面は、樽前火山から9000年前に噴出したTa-d軽石の最下部で強く風化した層に形成された場合が多かった（京都大学防災研究所〔課題番号：1912〕）

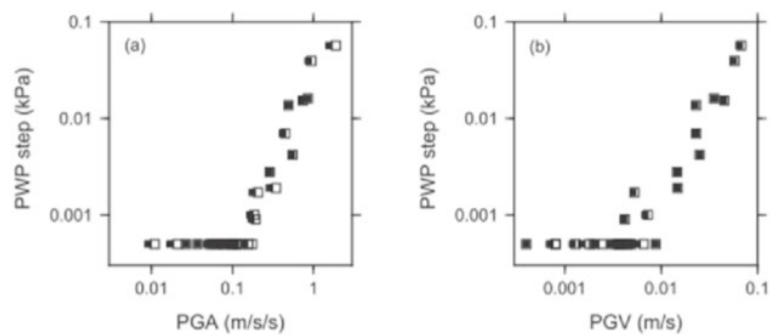


図16. 谷埋め盛り土内における過剰間隙水圧の大きさと (a)PGA, (b)PGVとの関係（京都大学防災研究所〔課題番号：1912〕）

表1. 谷埋め盛り土内における過剰間隙水圧の大きさと (a)PGA, (b)PGVとの関係
(拠点間連携研究 [課題番号: 2994])

年・場所	2011年 紀伊半島	2013年 京都市	2013年 伊豆大島	2014年 南木曽町	2015・2016年 厚岸町	2017年 飯山市	2017年 日田市
崩壊のタイプ	深層崩壊	表層崩壊・土石流	表層崩壊・土砂流	土石流	再活動型地すべり	地すべり性崩壊・土石流	地すべり性崩壊
地質	付加体堆積岩	粘性土・盛土	テフラ	花崗岩	粘性土	凝灰岩	安山岩溶岩・凝灰角礫岩
長さ・流走距離	1 km	30 m (崩壊) 100 m (土石流)	50-500 m (崩壊) 2 km (土石流)	2 km	70 m	300 m 800 m (土石流)	200 m
幅	400 m	20 m	50-300 m	50-100 m	30 m	150-200 m	150-200 m
厚さ	60-100 m	1 m	1 m	N/A	5 m	20-50 m	10-20 m
卓越周波数 (震央距離)	1-4 Hz (10-70 km)	3-10 Hz (50 m)	2-6 Hz (500 m - 5 km)	3-30 Hz (500 m - 30 km)	震動なし (5 m)	0.5-2 Hz (8-60 km)	1-4 Hz (8-20 km)
継続時間	50-100 s	50-100 s	30-200 s	20 min	移動時間は 20 h	200 s	30-50 s
長周期(> 10 s) 信号の有無	○	×	×	?	×	○	×
引用文献	Yamada et al. (2012)	土井ほか(2017)	Ogiso, Yomogida (2015) Doi et al. (2016)	本研究	土井ほか(2017)	本研究 Yamada et al. (2017)	本研究

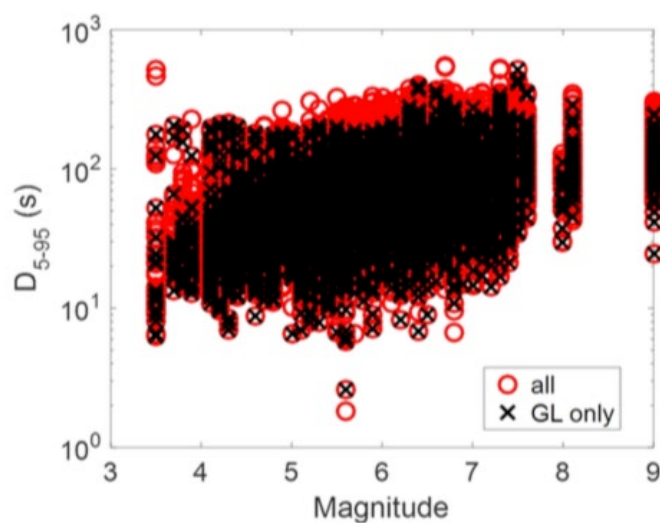


図17. 揺れ継続時間とマグニチュードの関係 (拠点間連携研究 [課題番号: 2958])

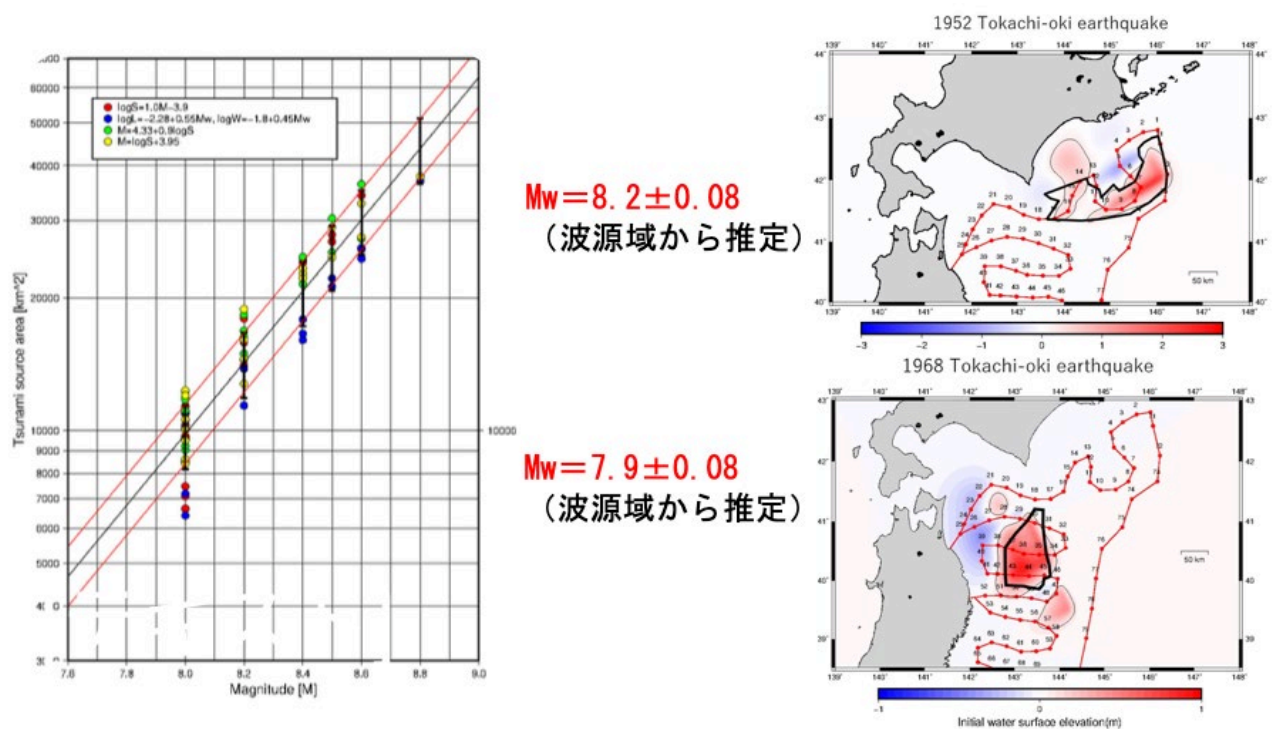


図18. 図5の手法で推定された津波波源域の面積とマグニチュードの関係(左)と1952年および1968年十勝沖地震への適用例(右) (北海道大学 [課題番号: 1005])

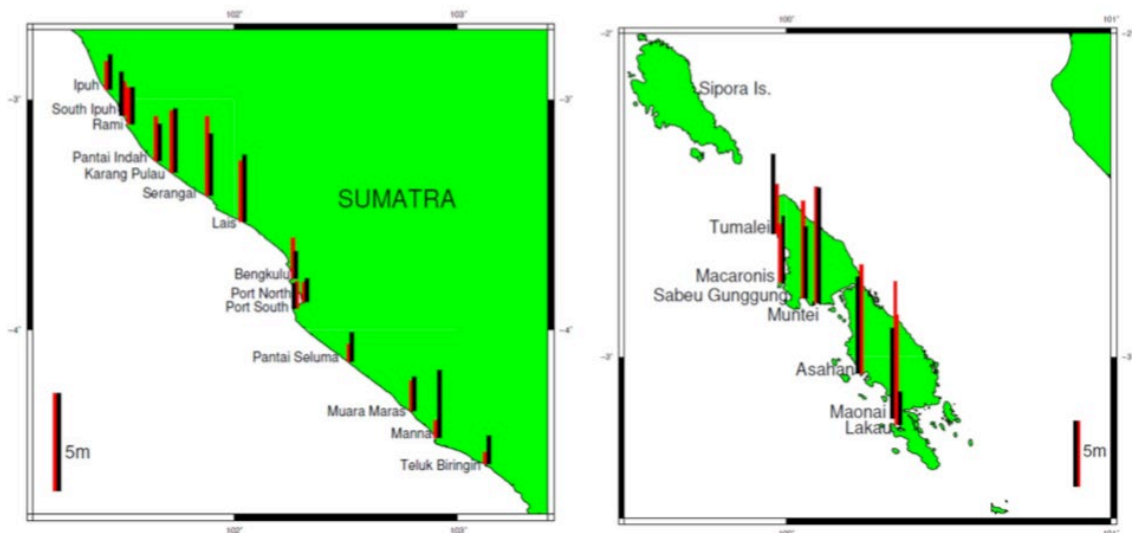


図19. S-NETのような観測点が無い場所の津波地震にも対応できるように開発した津波即時予測手法の2007年Bengkuru巨大地震 (Mw8.4)と2010年Mentawai津波地震 (Mw7.8)への適用: 黒が調査, 赤が計算 (北海道大学 [課題番号: 1005])

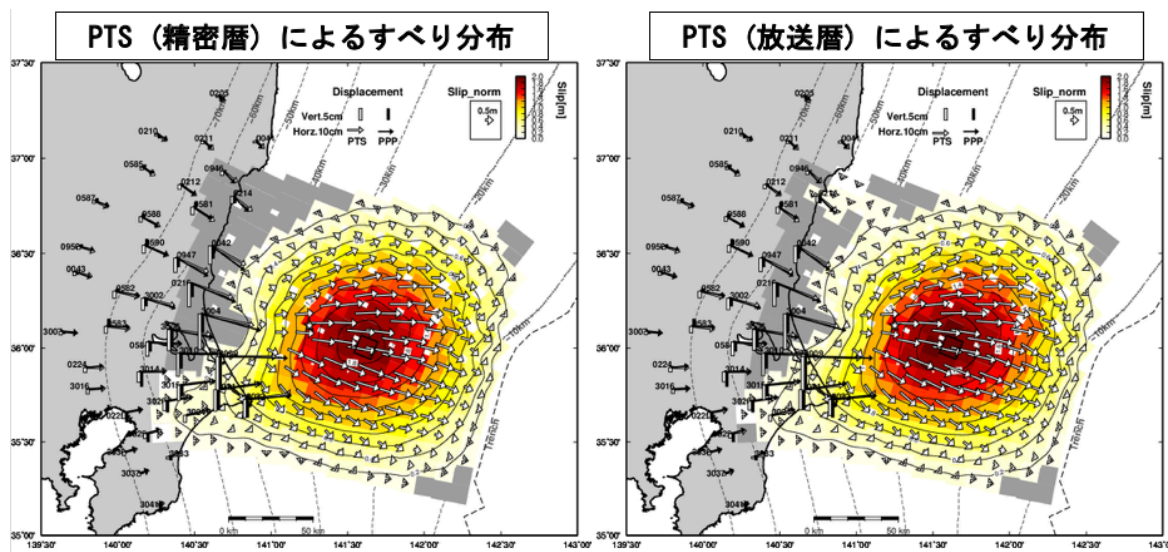


図 20. PTS で推定されたすべり時系列をもとに描画した茨城沖地震のすべり分布
(a) 精密暦, (b) 放送暦を用いた場合 (東北大学 [課題番号: 1209])

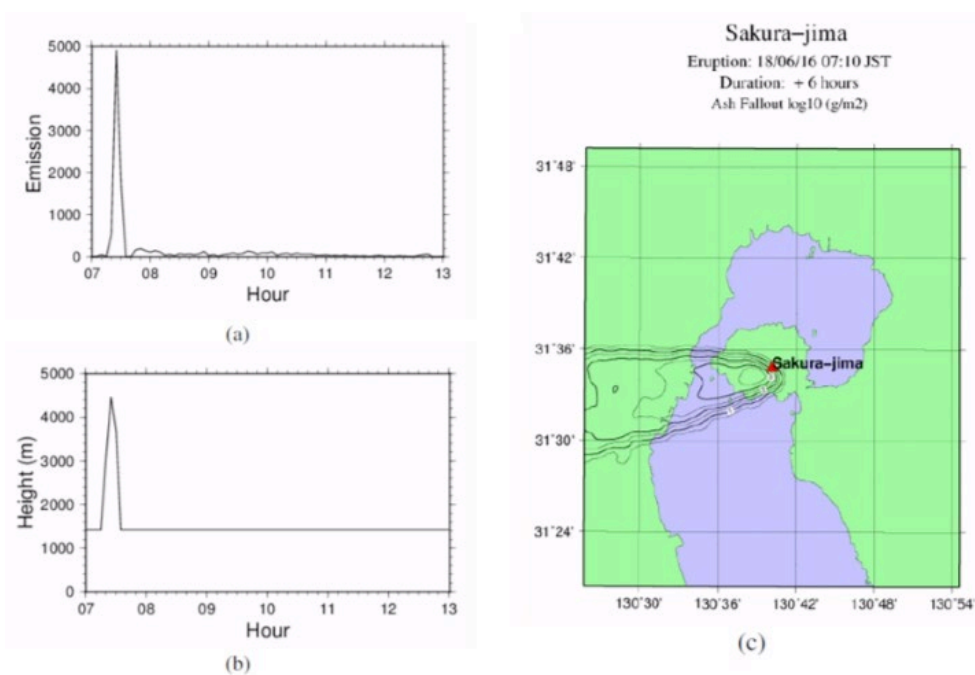


図21. 桜島南岳において発生した爆発により放出された火山灰の拡散シミュレーション：(a)地震動と空気振動から算出された噴出率，(b)経験式を用いて噴出率から算出された噴煙高度，(c)降下火山灰量(等高線は，単位面積当たりの降灰量 g/m^2 の対数)（京都大学防災研究所〔課題番号：1913〕）

1 (6) 地震・火山災害

「地震・火山災害」計画推進部会長 木村 玲欧

(兵庫県立大学環境人間学部)

副部会長 三宅 弘恵

(東京大学大学院情報学環)

地震・火山災害部会は、災害科学の確立に資するため「災害」現象の解明に焦点がおかれた部会で、本計画『災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画』において初めて設置された部会である。防災・減災に対する社会の要請を意識しながら、理学、工学、人文社会科学などの研究者が連携することによって、地震・火山噴火の災害事例の実証、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。

本研究計画を推進するにあたっては、地震・火山噴火などの自然現象に起因する災害誘因（外力: Hazard）だけでなく、地形・地盤などの自然環境や人間の持つ特性や社会の仕組みといった災害素因（脆弱性: Vulnerability）を解明することが必要である。災害は、災害誘因と災害素因との関係のも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。

本研究計画を災害科学の一部として捉えた場合、これまで実施してきた災害誘因としての地震・火山噴火に関する研究に加えて、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基づく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、理学だけではなく、防災学・減災学に関連する建築学・土木工学・情報工学・農学などをはじめとする工学、心理学・社会学・福祉学・歴史学・法学・経済学・地理学などをはじめとする人文社会科学などの関連研究分野との連携を図りつつ、計画を推進するものである。

5年間の成果の概要と今後の展望

現行計画では、災害科学の確立に資するため「災害」現象の解明に焦点をあて、防災・

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

具体的には、地震・火山噴火の災害事例の研究において、近代観測開始以前の史料データベースなどを通して被害地震における地震対応についての検討を行った。また、過去の災害事例の状況をふまえた地震・火山噴火に係る知見の発信技術プロトタイプについて、罹災証明書発行などの実際の災害対応をもとにモデル化を行ったり、2016年熊本地震のような最新事例における人間のリスク認知のあり方について研究を行った。地震・火山噴火の災害発生機構の解明においては、国内外の堆積平野・堆積盆地における強震記録データベースの増強やサーバーによるデータ共有の開始，地下構造モデル化手法の適用妥当性の実地検証を行った。また、噴火災害にお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や、特に対策が未整備である「降灰被害」における事前広域避難について検討した。さらに、「脆弱性」の概念的整理についても、東日本大震災を事例とした人文社会科学的検討を行った。地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化については、北海道を事例に地理空間情報・GIS・衛星測位を統合的に活用した津波被害分析と避難支援システムの構築・実証を行い、住民側の火山災害に対するリスク認知や情報ニーズについても社会調査などで明らかにした。研究者，技術者，防災業務・防災対応に携わる人材の育成については、住民の地震リスク認知や専門家に対する信頼性についての検討および、GUIに特化した準リアルタイム火山情報の配信システムの構築と実証が行われた。

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

平成30年度の成果の概要

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、1855年（安政2年）安政江戸地震に関する絵画史料からみた江戸市中の被災状況や、976年（天延4年）京都・近江の地震における京都での被害要因について検討した。特に、安政二年十月二日（1855年11月11日）夜に発生し、関東地方南部に甚大な被害を及ぼした安政江戸地震における江戸市中での被害と復興の様子を描いた絵巻として、薩摩の島津家に伝来した「江戸大地震之図」（島津家文書、東京大学史料編纂所所蔵）に描かれた内容について、絵巻にある火災の場面は、薩摩藩芝屋敷の北に位置していた一町が全焼したものを描いたものと判断された。被災した屋敷や町などから特定の場所を描いていると判明したことで、絵巻における被災状況の描写の史料価値が認められ、地震に起因しない火災がたびたび起きていた江戸で、火災後に復興していく市中の様相を知るうえでもこの絵巻が史料として活用できる可能性が示された。また、天延四年六月十八日（976年7月17日）に発生して当時の京都とその周辺および近江国南西部に被害を与えた京都・近江の地震について、『日本紀略』の記述から、清水寺の堂宇の倒壊により僧侶と俗人が50人圧死した様子がわかった。平安時代中期以降に観音信仰によって毎月十八日は観音の縁日であり、清水寺の本堂は参詣の庶民で賑わい混雑していた中での本堂の倒壊のみで多数の圧死者が発生したことがわかった（東京大学地震研究所[課題番号：1513]）。

また過去の災害事例の状況をふまえた地震・火山噴火に係る知見の発信技術プロトタイプについての検討を実施した。特に、地震研究が社会要請に応えるためのチャレンジは「ゆれの情報をいかに被害軽減並びその後の復旧・復興の実現に還元するか」という点に着目し、被災者生活再建支援業務の業務量と業務日数の見積もりについて、過去災害の実績値の分析と将来の対応への見積もりシミュレーションを実施した。具体的には、2007年に発生した新潟県中越沖地震の被災地である柏崎市、2016年に発生した熊本地震の被災地である益城町、2018年大阪北部の地震の被災地である茨木市における罹災証明書の発行の日別件数データについて、各自治体から提供を受けて分析をした。その結果、全体傾向として、1) 罹災証明書を発行し始めて3週間弱で発行件数は減少傾向に転じる、2) 2ヶ月強で再び増加傾向に転じ、4ヶ月を超えて収束に向かう、3) 被害量に関わらず、上述の傾向には同様のパターンが見られるという3点が明らかになった。また個別傾向で見ると、被害量が小さい茨木市の方が最も発行が早く進んでおり、次に被害程度が大きかった益城町が続いていた。これは東日本大震災以降「罹災証明書の交付時期が被災者の生活再建のスピードを左右する」という考えに基づき、被災自治体に発行を急がせる傾向があり、その社会的要請に益城町が応えた結果であると推察できる。一方で、全体的に緩やかに発行件数を伸ばした柏崎市の方が、発行件数の増減の幅が小さく、発行業務に焦点をあてると安定した業務の推移となっていることがわかった。これらをもとに罹災証明書の発行パターンをモデル化するためにそれぞれの近似曲線を求めた。これらの研究成果を現在対応中の被災自治体体制に対し発信することで、自治体は「今後の推移の読み解きから、生活再建支援のための戦略的な行動変容」を期待することができる(表1)(図1)(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、地震災害誘因の自然素因への作用の解明に向けた

研究と、地下構造モデル化手法の展開を継続した。また、当初計画通り国外の堆積平野・堆積盆地における適用妥当性の実地検証をとりまとめた。具体的には、台湾・インド～ブータン等のヒマラヤ前縁・アルジェリア等の国外の堆積平野・堆積盆地において、強震動予測に活用できる地下構造モデルが得られていない場合、観測記録の水平動と上下動の比率H/Vスペクトル比を用いた補正、震源近傍強震動パルス再現に必要な震源放射特性係数の補正、経験的グリーン関数法の活用などの手法開発を行うと共に、過去の被害地震の強震動評価を行った。その結果、国内で推進されている強震動評価よりも精度は劣るが、平均値としては、各々の国で工学的に用いられている地震動予測式と調和的な時刻歴波形を再現できることを確認した。これらの手法は、良質な地下構造モデルが構築されるまでの過渡期に有効な計算手法として代替利用が可能である。また、平成26年度より継続的に整備を行ってきた強震観測データベースの対外発表を行うと共に、トリガーデータのみならず連続データも公開できるシステム構築に着手した（図2，図3）（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、桜島火山の大規模噴火を想定した降灰リスク分析を、1)噴火シナリオと気象シナリオに応じた降灰分布の推定、2)その降灰量に応じた影響度分析に分けて行った。降灰により災害が予測される分野の整理を行い、火山灰の湿潤時における導電性やその重量、付着した火山ガス成分により、様々な社会システムに影響を与えることを確認した。続いて、その中から、本研究における降灰リスク分析を行う対象分野を、道路、航空、建物という3分野に設定し、それぞれの災害影響度を決定づける閾値について検討した。1914年の大正噴火規模の噴煙を仮定し、3890日分の気象シナリオに基づいて、降灰分布を計算し、降灰ハザードデータベースを構築した。降灰分布の予測計算にはPUFF モデルによる火山灰輸送シミュレーションを用いた。また、そのデータベース内の降灰分布集合に対し、桜島上空の偏西風による影響の変化や、台風を含む強い風速下等を条件に用いた降灰分布確率の算定により、桜島における大規模噴火時の降灰分布について有意な傾向を見出した。算出した降灰分布とその確率分布を用いて、分析対象項目とした道路、航空、建物の3分野における降灰リスクを分析した。航空分野においては、国内の20空港について定めた閾値ごとの降灰確率分布を算出し、そこから羽田空港や新潟空港について、降灰を懸念すべき噴火時期を明らかにした。また、建物倒壊などの降灰リスクを回避するために、要避難人口を求めた。日々変わる気象条件を考慮し、2017年と2013年の2年間、計730日間における各日の要避難人口を求めた。最大の要避難人口は2017年においては8月23日の気象条件下であり、625,186人、2013年においては9月16日の635,171人となった。また、いずれの年でも5月から10月までの平均要避難人口は10万人を超え、避難実施の困難が予想されることがわかった（図4）（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、前年度に引き続き、東日本大震災の被災経験に基づいて、コミュニティの災害脆弱性評価のための指標を量的および質的分析によって検討した上で、南海トラフ地震の被災想定地域を対象に質的分析によってコミュニティ防災力に関する検討を深めた。具体的には、1)空間（土地利用、土地条件、都市計画、都市機能など）、2)防災意識・災害文化（災害の集合的記憶とその喚起装置、災害への備えなど）、3)社会的凝集性（地域住民組織、防災組織・NPOやその組織間関係、行政との協働など）、

4)災害対策（防災施設等のハード対策と防災計画等のソフト対策）という脆弱性の構成要素に関する作業仮説に基づいて調査研究を進めた。今年度は、宮城県の津波被災地5市5町（石巻市、気仙沼市、名取市、東松島市、岩沼市、亶理町、山元町、七ヶ浜町、女川町、南三陸町）のコミュニティを対象にアンケート調査を実施した。特に、震災後の移転（空間の変化）という生活環境条件の変化が、どのような変化をもたらしたかを分析したところ、まず最初に挙げられるのは、震災前と比較してコミュニティの生活条件が全体として悪化しており、特に、買物の便、公共交通の便、雇用・生業条件に関してそうした傾向が顕著であること、次いで、移転の有無によって生活環境の変化に有意差が生じており、移転した地区でポジティブな変化とネガティブな変化がともに大きいこと、つまり、移転地区間で生活環境条件が分極化する傾向が生じていることがわかった。以上の知見はいずれも、防災事業（移転）と都市計画・生活再建の不調和を示唆するものである。その実態に対する理解を現地調査によって深め、脆弱性を把握するための地域類型論的な分析枠組を構築し、南海トラフ地震被災想定地域の現状分析や防災対策に役立てる必要があることがわかった（図5、図6）（名古屋大学[課題番号：1704]）。

（3）地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

地震の災害軽減のための情報の高度化について、災害の人文社会学的研究の側面から、地理空間情報（G空間情報）、GIS（地理情報システム）、衛星測位（GPS、準天頂測位システムなど）の統合的活用方法の開発を行った。今年度は、まず準天頂衛星などによる衛星測位と地理空間情報およびGISの統合的活用法を開発し、積雪寒冷地の地域特性を考慮した災害発生時の避難に関する研究を行い、課題抽出と対策のための提言を行った。なお、ここでは高精度避難ナビゲーションシステムを含む防災・減災のための情報システムを構築し、その活用方法の開発を行った。次に、地理空間情報とGISの統合的活用法を開発し、地域防災力を強化し、防災・減災のための災害情報の高度活用について研究を行った。その中では、都市開発が地震・津波災害の災害リスクや災害に対する社会的脆弱性を増大させる可能性を論じ、地理空間情報活用による対策の有効性を検討した。なお、ここでは地方レベル、市町村レベル、町内会レベル等の異なる空間スケールごとに分析し、各スケールにおいて防災・減災のための課題などを明らかにした。さらに、地域防災のための公開講座の開催、自治体防災担当者対象の講義の実施、自治体との相互協力協定にもとづく防災教育・地域貢献の実施等により、効果的な研究成果の普及手法を検討した。GISや地理空間情報の防災への有効活用について、自治体や自主防災組織などで講演会や防災GISセミナーを開催した。また、北海道大学大学院理学研究院地震火山研究観測センターでは地震火山地域防災情報支援室を設置し、公開講座の実施や地震防災教育活動を実施した（図7）（北海道大学[課題番号：1006]）。

火山災害情報およびその伝達方法のあり方について、2014年9月27日の御嶽山噴火にともない、地域住民、観光客といった情報の受け手や、自治体職員等の情報伝達の担い手によって有用な災害情報の内容や伝達方法のあり方について検討・提案を行った。特に、今年度は、火山災害情報のあり方について、御嶽山の噴火と対策に関する意識調査を長野県側（木曽町・王滝村）の住民に対して実施し、あわせて、噴火時に登山していた人に対しても意識調査を実施した。分析の結果、事前の噴火リスクに認識においては地域差はあまり

見られないことがわかった。噴火から3年が経過したものの噴火を経験した人には未だに大きな心理的ストレスがあることがわかった。また、岐阜県、長野県で実施した調査結果の取りまとめと比較分析を実施した。さらに、噴火後に新たに創設された御嶽山火山マイスターの運用状況について、長野県に対してヒアリング調査を実施した。住民意識調査の結果について、岐阜県下呂市小坂町をはじめとして、ワークショップを開催し共有し、火山に関する情報伝達のあり方についての意見交換を実施した（図8）（名古屋大学[課題番号：1706]）。

（4）研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

地震動誘因や津波誘因の不確実な長期予測情報が、災害軽減に有効に役立つためのコミュニケーション手法を確立することにより、地震発生長期予測情報の高度化に貢献することを目的として、2016～2017年度に大きな地震があったイタリアやニュージーランド、台湾などにおいて被害やコミュニケーションに関する現地調査を行った。また、サンフランシスコ湾岸地域のサンアンドレアス断層の地震活動の影響を受ける可能性がある住民750名に対して社会調査を行ったところ、リスク推定値の不確実性を専門家が明示的に認めることで、専門家は誠実で率直であるという確信が高まり、大きな信頼が得られることがわかった。また、信頼の高まりは、リスクの予測確率が低いほど、またリスクの予測期間が長いほど大きいこともわかった（東京大学地震研究所[課題番号：1517]）。

情報を高度化することによって、地方公共団体が火山災害の発生の可能性について総合的に把握して、的確な防災対応を行うことを支援するシステムを目指した研究を進めた。具体的には、火山情報などの防災情報に結び付くインターネットで入手可能な各種観測情報を様々な関係機関から準リアルタイムで収集して、統合して表示するシステムを構築し、北海道内の地方公共団体に設置してその効果を検証している。今年度は、6月に十勝岳で臨時解説資料が、11月には雌阿寒岳で火口周辺情報が発表され、システムの改良点を実地で見出す機会を得た。また、9月6日には最大震度7を観測した胆振東部地震が発生し、大規模な土砂崩れにより大きな被害が生じた。その際、全道規模のブラックアウトも発生した。これを契機に、2016年の熊本地震の経験を踏まえて検討していた地震・震度情報の取得・表示機能を組み込んだ。また、ホームページが時々刻々更新されて新たな情報が得られる場合にも、大きな遅滞なく対応できるように開発を進めた。さらに、高解像度降雨レーダー画像の取得・表示機能も追加した。十勝岳を有する美瑛町と雌阿寒岳を有する釧路市が、観光客や登山者など来訪者に火山防災情報をリアルタイムで提供することを目的として、このシステムを集客施設に設置した。これはこのシステムが自治体に評価され、受け入れられていることを示している。秋田市で開催された日本火山学会秋期大会でこのシステムのブース展示して発表した（図9、図10）（北海道大学[課題番号：1009]）。

成果リスト

Deleplanque, T., J.-P., Vilotte, P. Bernard, C. Satriano, and H. Miyake, 2018, Development of a high-frequency earthquake rupture imaging method at the regional scale; application to the 2016 Kumamoto earthquakes, JpGU Meeting 2018,

SSS06-P02.

- Diao, H., H. Miyake, and K. Koketsu, 2018, Near-fault broadband ground-motion simulations of the 2016 Meinong, Taiwan, earthquake, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 108, 3336-3357.
- Gherboudj, F., H. Miyake, T. Yokoi, and N. Laouami, 2018, Ground motion simulation of the 2003 Boumerdes earthquake using empirical Green's function method, *Proceedings of the 16th European Conference on Earthquake Engineering*, ID 11467.
- 橋本雄一, 2018, 津波防災と自治体・住民の対応, *地理*, 63(8), 60-68.
- 堀田耕平・井口正人, 2018, 2017 年の南岳爆発に前後する傾斜ひずみ変化, *京都大学防災研究所年報*, 61B, 324-329.
- 井口正人・中道治久・為栗 健・堀田耕平・園田忠臣, 2018, 2017 年 8 月桜島溶岩噴泉活動に伴う地震活動及び地盤変動, *京都大学防災研究所年報*, 61B, 318-323.
- 井口正人・為栗健・平林順一・中道治久, 2019, マグマ貫入速度による桜島火山における噴火事象分岐論理, *火山 (受理済)*.
- 石水英梨花, 阪本真由美, 火山地域における住民主体の防災計画策定に関する考察—口永良部島の事例より—, *地区防災計画学会誌 C+Bousai*, Vol.14, 2019.
- 神定健二・高橋功・篠原芳紀・香川敬生・三宅弘恵, 2018, 東京都市部における地震防災のための震度分布図のリアルタイム推定, *日本地球惑星科学連合 2018 年大会*, SCG65-05.
- 風間卓仁・山本圭吾・平良真純・大島弘光・前川徳光・岡田和見・園田忠臣・井口正人, 2018, 桜島火山における繰り返し相対重力測定 (2017 年 5 月～2018 年 2 月), *京都大学防災研究所年報*, 61B, 330-336.
- Koketsu, K., H. Kobayashi, and H. Miyake, 2018, Irregular modes of rupture directivity found in recent and past damaging earthquakes, *Proceedings of the 11th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, ID 645.
- 久利美和・山中佳子, 2018 年口永良部火山噴火警戒レベル 4 での対応と課題, *平成 30 年度自然災害科学東北地区部会*
- Miyake, H., K. Irikura, K. Miyakoshi, and K. Kamae, 2018, Validation of a 3-stage source scaling for crustal earthquakes, *Seismol. Res. Lett.*, 89, 911.
- 三宅弘恵・瀨瀬一起・古村孝志・宮川幸治・田中伸一, 2018, 東京大学地震研究所の強震観測網と強震観測データベース, 第 15 回日本地震工学シンポジウム論文集, 3306-3311.
- 名古屋大学大学院環境学研究科コミュニティ防災研究会『東日本大震災後の復興と防災に関する調査報告書 (速報版)』名古屋大学大学院環境学研究科, 2018 年 12 月, 総 37 頁
- 内藤健裕・橋本雄一, 2018, 積雪寒冷都市における津波避難困難地域に関する空間分析—北海道釧路市を事例に—, *地理情報システム学会講演論文集*, 27, CD-ROM.
- 内藤健裕・橋本雄一, 2018, 積雪寒冷都市における津波避難困難地域に関する空間分析—北海道釧路市を事例に— (要旨), *GIS—理論と応用*, 27, 123.
- 奥野祐介・塩崎大輔・橋本雄一, 2018, GNSS を用いた疑似的津波集団避難行動分析—北

- 海道釧路市・厚岸町を事例として一，地理情報システム学会講演論文集，27，CD-ROM.
- 大島弘光・宮村淳一・棚田俊收，2017，準リアルタイム火山防災情報表示システムの開発，日本火山学会 2018 年度秋季大会講演予稿集，248.
- 塩崎大輔・橋本雄一，2018，WebVR を用いた疑似津波避難訓練システムの開発，情報処理学会研究報告情報システムと社会環境 (IS)，2018-IS-145，1-6.
- Sharma, B., H. Miyake, T. Yokoi, T. Hayashida, and O. P. Mishra, Simulation of strong ground motion for north eastern region of India using empirical Green's function method, *Seismol. Res. Lett.*, 89, 833.
- 塩崎大輔・橋本雄一，2018，津波の時間発展を考慮した疑似避難訓練システムの利活用，情報処理学会研究報告情報システムと社会環境 (IS)，2018-IS-146，1-6.
- 塩崎大輔・橋本雄一，2018，ICT 及び WebVR 技術を援用した疑似津波避難訓練システムの利活用，第 27 回学術研究発表大会講演論文集，27，CD-ROM.
- 鈴木舞・額額一起，過去に基づく未来予測の課題：確率論的地震動予測地図，「予測がつくる社会」，東大出版会，2019.
- 為栗健・井口正人，2018，桜島火山昭和火口で発生する火砕流の特徴，京都大学防災研究所年報，61B，312-317.
- Tameguri, T., M. Iguchi, 2019, Characteristics of micro-earthquake swarms preceding eruptions at Showa crater of Sakurajima volcano, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 372, 24-33.
- Tamura, K., Inoguchi, M., Horie, K., Hamamoto, R. and Hayashi, H., Realization of Effective Team Management Collaborating between Cloud-based System and On-site Human Activities -A Case Study of Building Damage Inspection at 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake-, *IEEE International Conference on Big Data*2018, 2018.12.
- 田中重好・黒田由彦・横田尚俊・大矢根淳編『防災と支援－成熟した市民社会に向けて』有斐閣，2019 年 3 月，総 382 ページ
- Viens, L., M. Denolle, and H. Miyake, 2018, Ground motion simulation from a large subduction earthquake using the offshore-onshore ambient seismic field, *JpGU Meeting 2018*, SSS14-19.

表 1. 対象とした近年の 4 つの地震災害における罹災証明発行の実態（新潟大学[課題番号：2702]）

災害名	2018 北海道胆振東部地震	2018 大阪北部の地震	2016 熊本地震	2007 新潟県中越沖地震
被災自治体	安平町	茨木市	益城町	柏崎市
発災日（本震発生日）	9月6日	6月18日	4月16日	7月16日
罹災証明書発行開始日	9月30日	7月23日	5月20日	8月17日
発災日から発行までにかかった日数	25日目	36日目	35日目	33日目

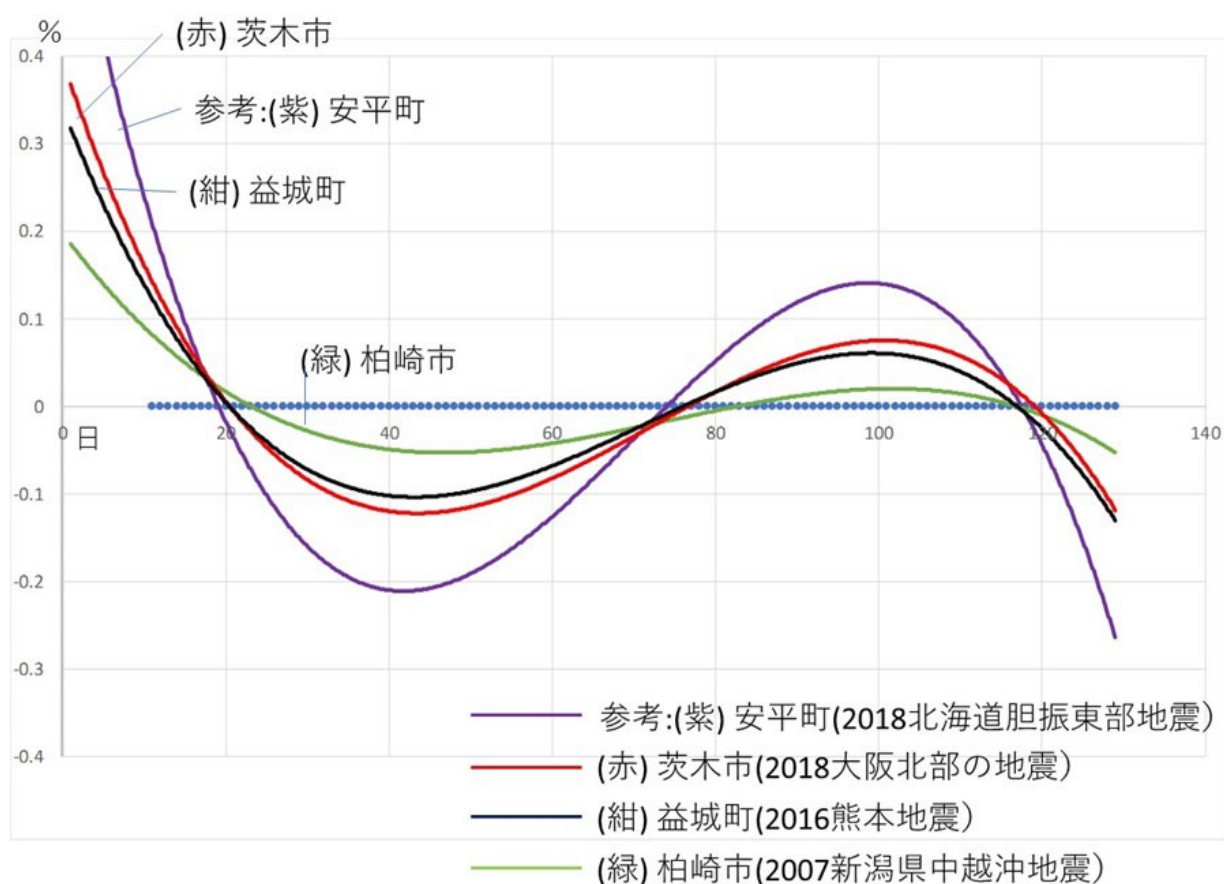


図 1. 罹災証明書発行業務のモデル化（新潟大学[課題番号：2702]）

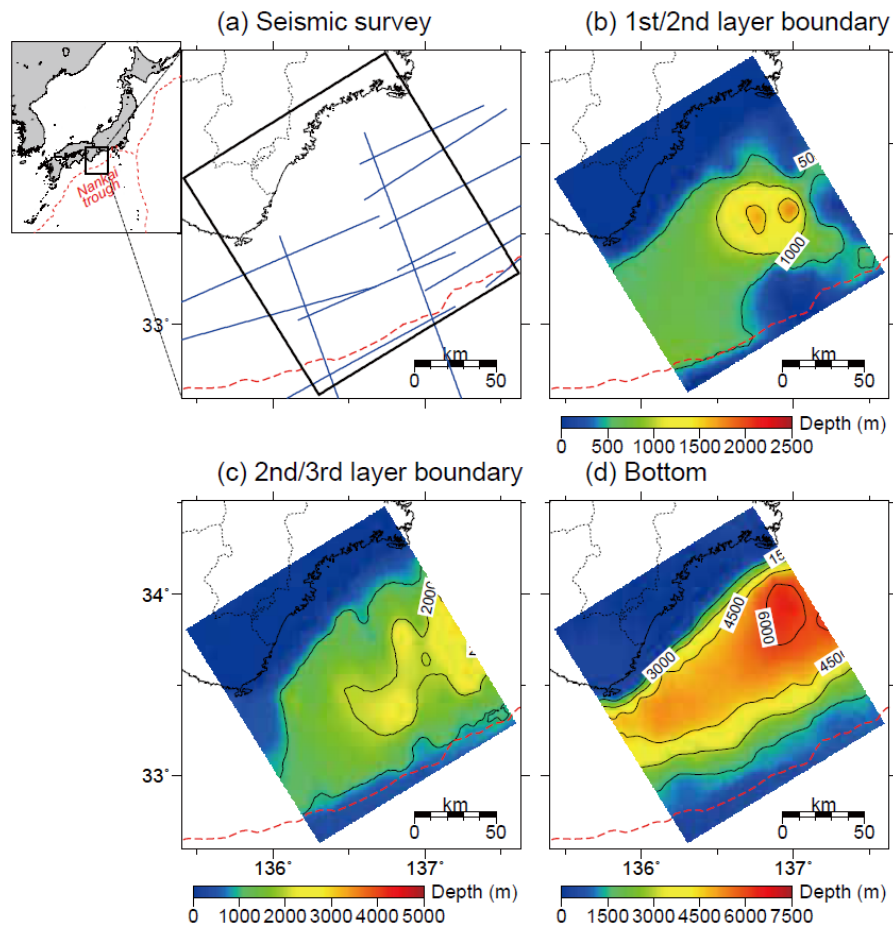


図 2. 長周期地震動増幅に効く南海トラフ付加体の地下構造モデル構築(マルチスケール解析による三次元構造インバージョン) (東京大学地震研究所[課題番号: 1515])

工学的需要が高いトリガー観測データ
東京大学地震研究所
強震観測データベース

連続観測から切り出したデータ
東京大学地震研究所
首都圏強震動総合ネットワークSK-net

相互乗り入れ開始

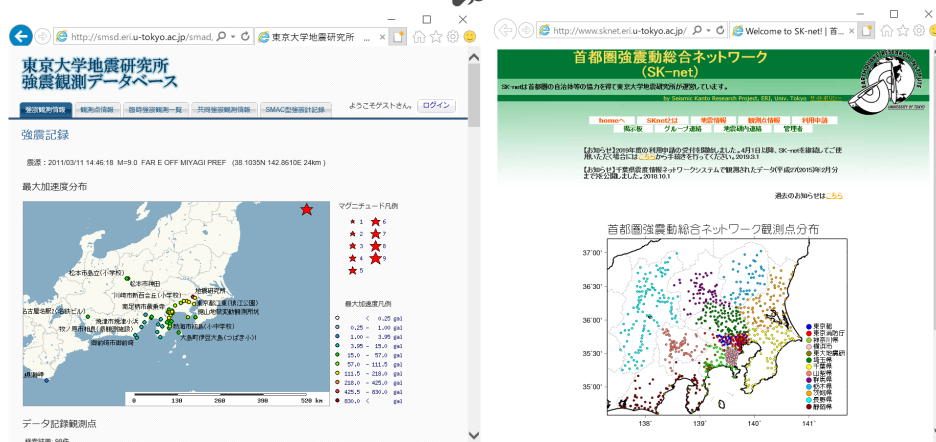


図 3. 堆積平野・堆積盆地における強震データベースの拡充 (東京大学地震研究所[課題番号: 1515])

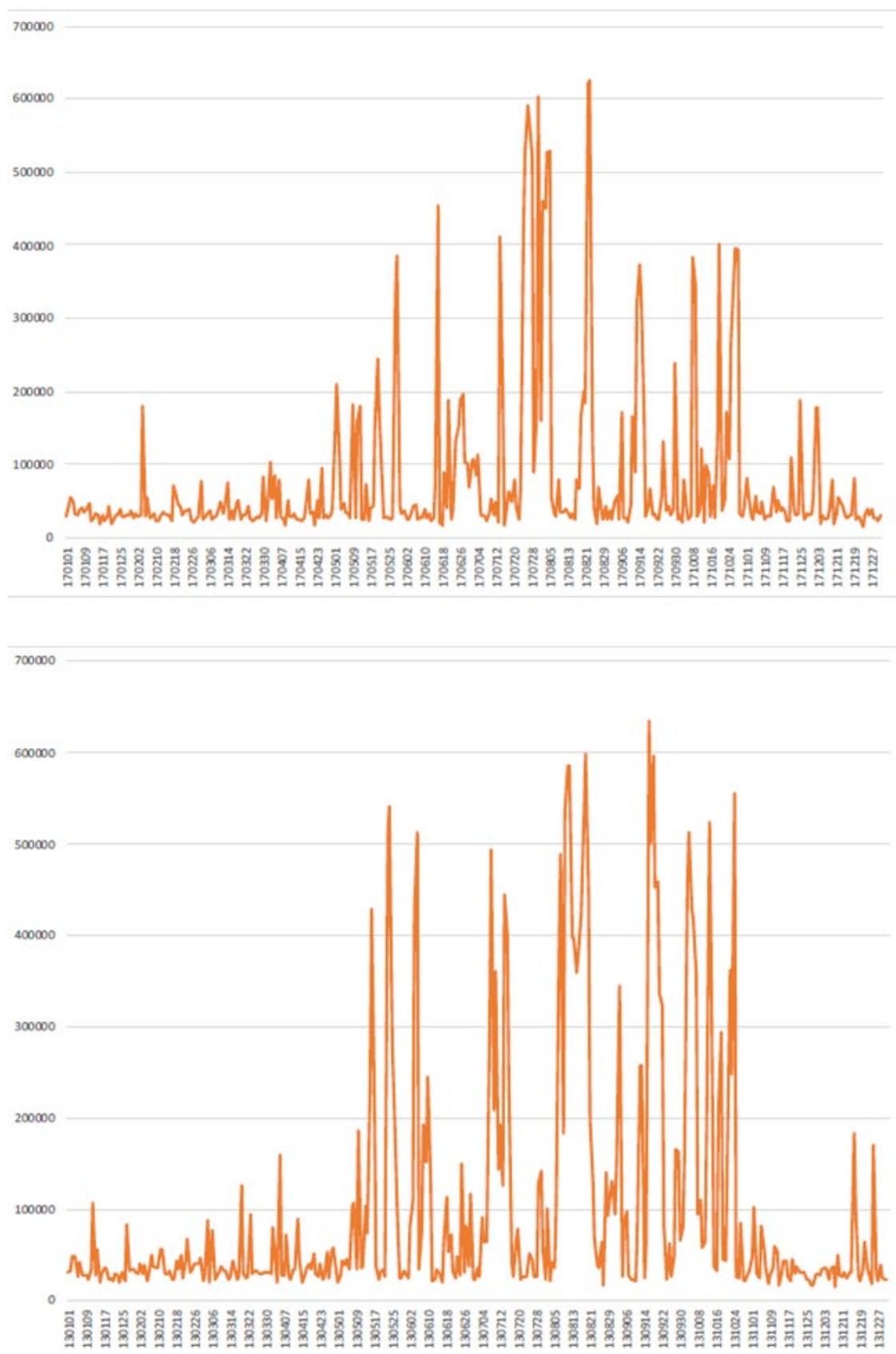


図 4. 桜島の大規模火山噴火を想定した事前広域避難計画のための一年を通した要避難人口の推移(上:2017 年, 下:2013 年) (京都大学防災研究所[課題番号:1914])

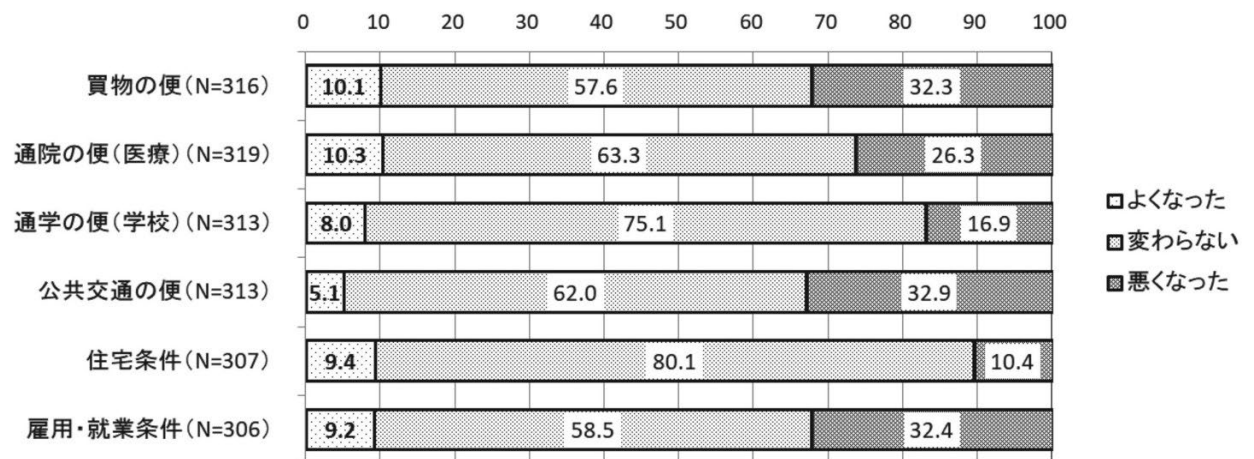


図 5. 東日本大震災の被災地における復興後の生活環境条件の変化（名古屋大学[課題番号：1704]）

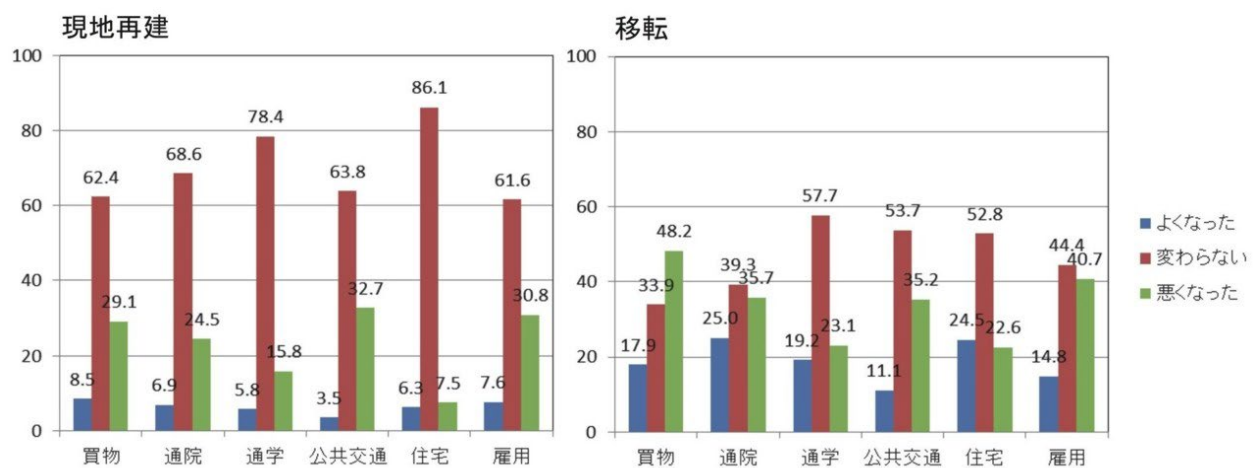


図 6. 東日本大震災の被災地における住宅再建方式別の生活環境条件の変化（名古屋大学[課題番号：1704]）

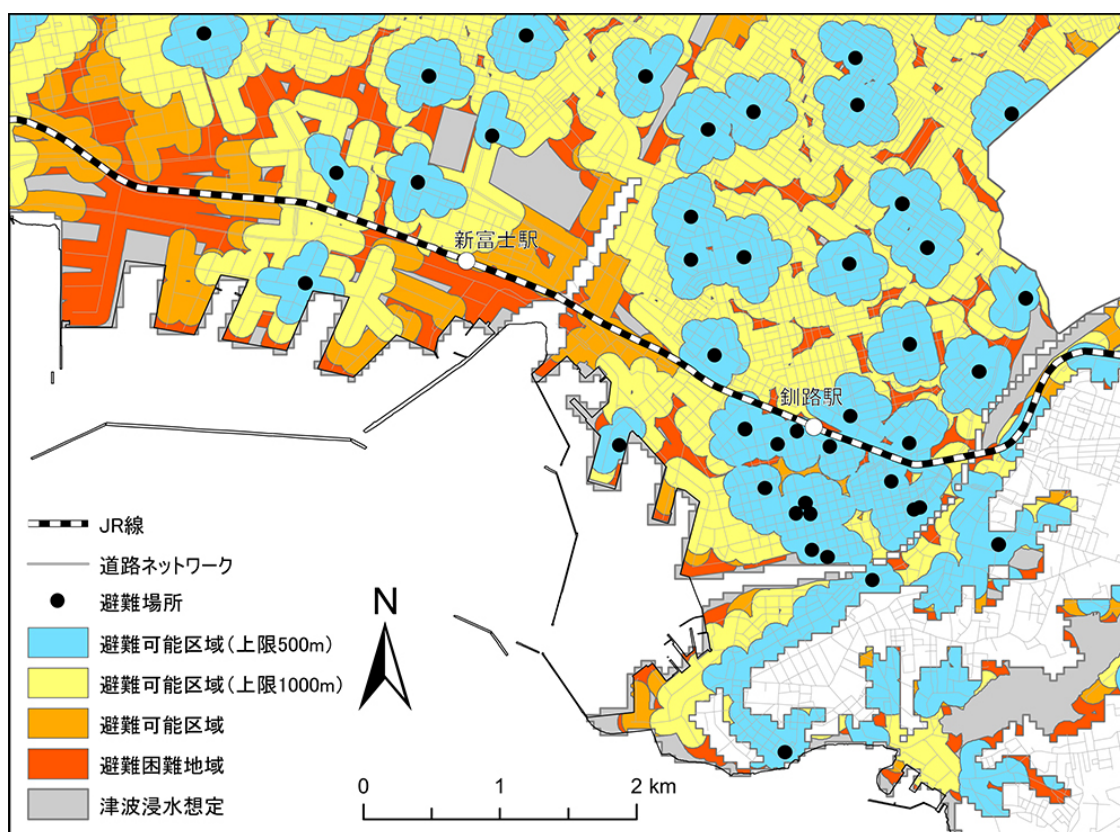


図 7. 釧路市における津波発生時の避難可能域と避難困難区域のシミュレーションデータ
(北海道大学[課題番号：1006])

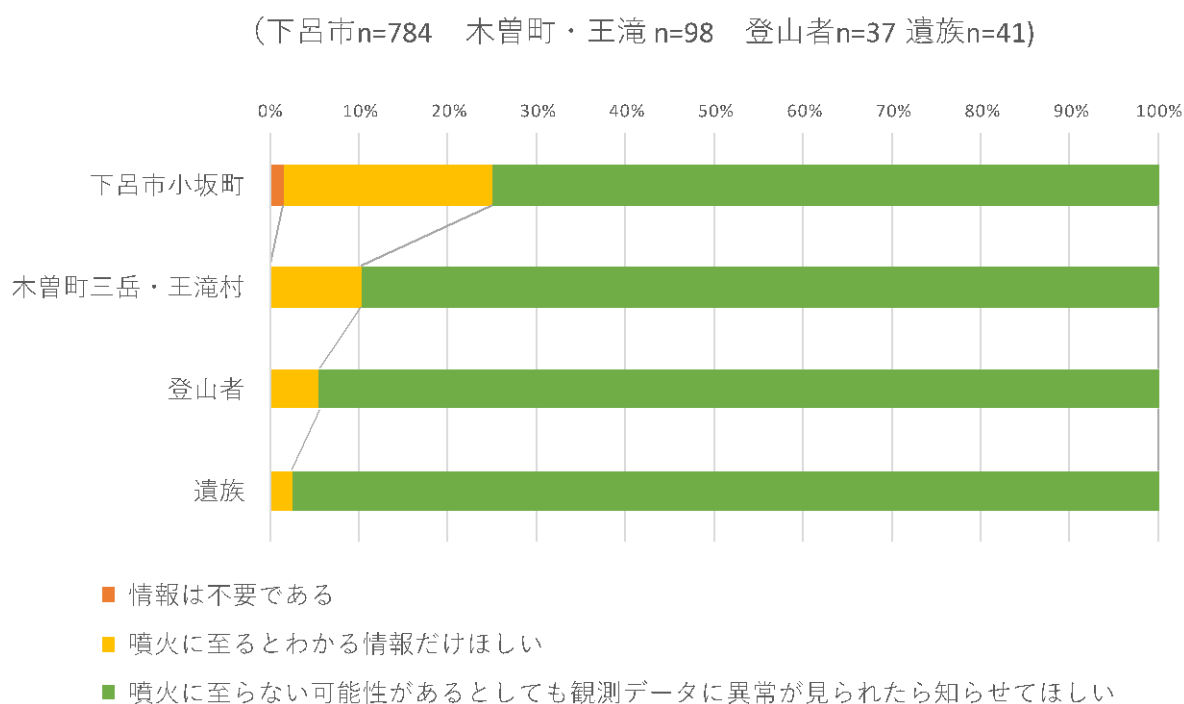


図 8. 火山活動に変化が見られた時の情報提供ニーズ (名古屋大学[課題番号：1706])

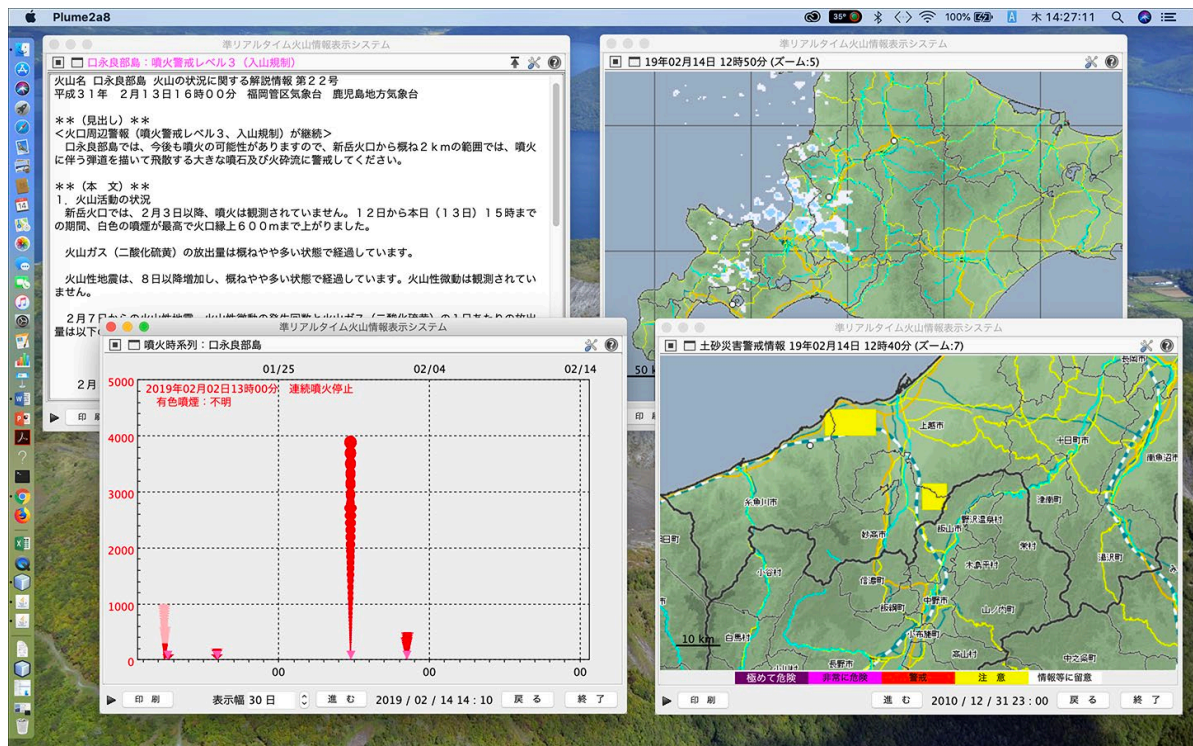


図 9. 4つの情報ウィンドウが表示されているデスクトップ(左上：噴火警報・解説情報，左下：噴火時系列，右上：高解像度降雨レーダー画像，右下：土砂災害警戒判定メッシュ情報)（北海道大学[課題番号：1009]）

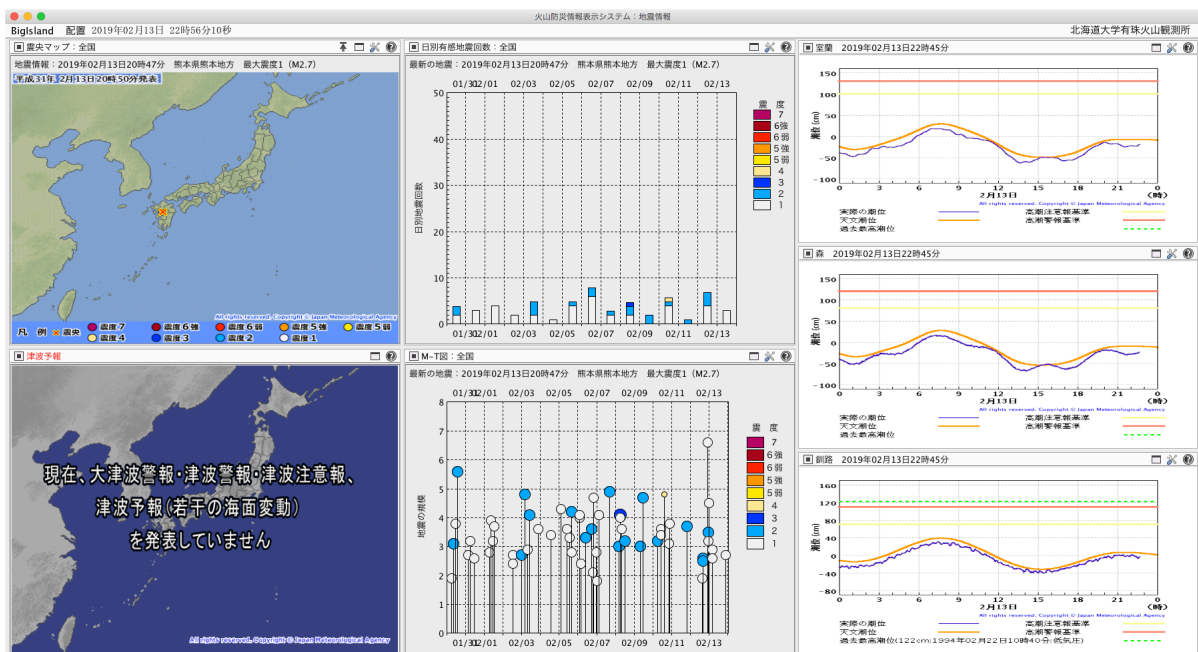


図 10. 統合型ウィンドウに表示された震央マップおよび津波情報（試験的）（日別地震回数，マグニチュード-時間分布図，潮位観測情報。地震発生回数表示には，地震活動の時間的な推移が把握できるように，地震情報が更新されるたびに積み上がる，最大震度をカラーで表した積み上げ棒グラフ形式を用いた。マグニチュード-時間分布図についても，

マグニチュードとともに最大震度がカラーと円の大きさを表されている)(北海道大学[課題番号：1009])

1 (7) 史料・考古

「史料・考古」計画推進部会長 榎原雅治（東京大学史料編纂所）

副部会長 佐竹健治（東京大学地震研究所）

1. 5年間の成果

(1) 概要

当部会で実施された研究課題における平成 26～30 年度の成果の概要は次のとおりである。

歴史地震研究の基盤である既刊地震史料集に所収されている多種多様な史料について、史料本文のデジタルデータ化と校訂作業を実施し、地震関連史料データベースを構築した。また、各地の史資料保管機関において地震関連史料の調査・撮影を実施し、その中で特に日記史料の記録に基づいて、1854 年安政東海・南海地震の前後の期間における有感地震の発生傾向を分析した。

考古遺跡に残された災害痕跡の記事について、全国各地の発掘調査報告書などから抽出・分析し、データベースの項目設計、発掘現場での情報収集、データの収集と分析、文献の調査などに基づいて、新規に全国的なデータベースの作成を開始した。また、このデータベースを発展させて、地震関連史料データベースと統合した拡張版データベースの試作版も作成した。

津波堆積物に関するデータについて、北海道や北方領土やロシアの沿海州において、歴史津波や先史時代の津波痕跡の調査を実施した。また、津波の痕跡が保存される場所や条件を確認するため、2011 年東北地方太平洋沖地震津波で形成された津波堆積物を追跡調査した。一方で、1855 年安政江戸地震について、記述内容の信頼性が高い日記史料に記された遠地での有感記録に基づき、有感場所ごとに緯度・経度を特定して震度を推定し、有感範囲の地理情報システムの試作版を作成した。さらに、奈良盆地の考古遺跡で確認された地震に起因する災害痕跡と、史料から判明している被害地震との対応について、複数の事例を用いて検討した。

日本海沿岸地域での歴史地震の実像を探るために、各地の史資料保管機関に所蔵されている史資料の調査や、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。これらによって、1804 年文化象潟地震については、新たな史料に基づいてこれまでの地震被害数を修正した。また、1858 年安政飛越地震については、原史料に基づいて被害一覧表を作成し、正確な家屋被害数と一軒当りの死者数を導き出すとともに、絵図の分析と地形調査によって、大規模な山崩れと天然ダムの形成場所を明らかにした。さらに、1855 年安政江戸地震に関する史料記述の分析から、家屋倒壊率を導き出す際に「半潰」軒数を用いるのは好ましくなく、家屋全壊率を家屋倒壊率とするのが妥当であることを明確にした。一方で、新潟県内の考古遺跡の発掘調査で検出された地震痕跡を集成・分析し、1751 年越後高田地震において液状化痕跡がほとんど残っていない原因として、段丘の発達や粘土層の厚さによって、大きな地震でも噴砂などが発生しにくい低地があることを指摘した。

既刊地震史料集の史料検索システムや、歴史地震に関連する文献の検索システム、明治

期の地名検索システムなどを構築して、歴史地震研究における環境を整備した。また、各地の史資料保管機関において地震関連史料の調査を実施し、名古屋大学附属図書館所蔵の『高木家文書』については修復と翻刻を実施した。

史料に基づいて幾つかの歴史地震を検討し、歴史地震のカタログにある間違いを提示した。また、地震学の知識を有し史料の読解ができる人材の育成と、幅広い研究分野の人材の交流を目指し、歴史学の専門家の協力を得て、史料の翻刻や古地震に関する研究会を実施した。

(2) 5 年間になされた主要な成果 その 1

地震火山観測研究計画を実施・運営する地震・火山噴火予知研究協議会の計画推進部会に史料・考古部会が組織され、歴史学や考古学の研究者が複数参加して、地震学・火山学の研究者などと共同で調査・研究が始められた。地震・火山研究に関するこのような文理融合研究は、他に類をみない組織的・長期的な内容のものであり、史料・考古部会における文理融合研究の実施とその継続は主要な成果と言える。

(3) 5 年間になされた主要な成果 その 2

全国各地の発掘調査報告書の収集・分析に基づいて、災害痕跡データベースの作成が新たに開始された。これまで考古学を主体とする全国的な災害痕跡のデータベースは存在しておらず、災害痕跡記事の抽出やデータの作成、データベースの構成などに新規の研究成果が活用されている。

(4) 5 年間になされた主要な成果 その 3

災害痕跡データベースを基盤とした災害痕跡 GIS データベースシステムと、地震関連史料データベースとを統合して、相互に検索できるシステムを開発した。これには、地震を起因とする災害痕跡と史料記述にある被害発生場所とを関連付けるために、それぞれの位置情報が活用されており、これによって歴史地震の被害実態について総合的な考察が可能となった。

2. 平成 30 年度の成果

将来発生する地震や火山噴火について知見を得るためには、現在だけでなく過去に発生した事象に関する調査・研究が重要である。地震や火山噴火は日本列島とその周辺域で有史以前から幾度も発生しているが、日本における地震の近代的な機器観測の開始は明治初期以降であり、全国的な機器観測の展開は 100 年に満たない。そのため、機器観測以前に発生した地震や火山噴火について知るためには、歴史学や考古学で用いられている史料や考古資料に基づいた調査・研究が必要になる。特に、一度発生すると甚大な被害をもたらす低頻度で大規模な巨大地震・大地震や大噴火については、機器観測が実施されている期間に比べて発生間隔が長いために、機器観測によるデータは多くない。そこで、史料や考古資料に基づくデータと近代的な観測データとの比較・検討を通して、巨大地震や大噴火の現象解明とそれらの再来間隔や、その前後に発生する中・小規模の地震や火山活動を含

めた全体像の把握に努めていく必要がある。

平成 26 年度より開始された本研究計画ではそれまでの計画とは異なり、過去に発生した地震及び火山噴火の現象とそれらによる災害について、史料や考古資料を用いた研究の必要性が明示されており、当部会はこの研究分野を主体的に推進する立場にある。そこで当部会では、個別の研究課題の成果に基づいて「災害の軽減に貢献する」ことができるような方向性を導き出し、本研究計画が切り拓く文理融合研究の新たな学術的展開に寄与していく必要があると考える。

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いて研究の基礎となる史料や考古資料について、地震や火山噴火の現象解明とそれらに起因する災害の研究に活用するためには、地震関連史料集や考古遺跡の発掘調査報告書という紙媒体を用いた既存の理学的分析だけでは不十分である。さらなる研究の深化のためには、歴史学・考古学における史資料の学術的な分析とデジタルデータ化が必要であり、不足している部分については新たな史資料の調査・収集も実施する必要がある。今年度も引き続き、史資料の調査・収集や、デジタルデータ化に関する作業方針の検討、及びデジタルアーカイブ化を実施した。また、個別のデータベースを組み合わせ、史料・考古の統合データベースの試作版を構築した。

ア. 史料の収集とデータベース化

・文献史料による歴史地震に関する情報の収集とデータベースの構築・公開

地震・火山噴火史料データベースの構築を目指し、『増訂大日本地震史料』や『新収日本地震史料』といった既刊地震史料集に所収されている史料について、データベース構築に必要な XML データ化作業を継続して実施した。史料本文をデータ化する際に、歴史学的に信頼できる原典史料に遡り、史料記述の間違ひの修正や省略部分の補足を行う校訂作業に重点をおいており、史料データの正確性の確保に努めている。史料本文の校訂作業には膨大な手間と時間を必要とするため、当初の計画どおりには進捗していない。そこで、今年度からは計画を部分的に変更して、既刊地震史料集全 33 冊（合計約 27,000 頁）を一端全てテキストデータ化して簡易データベースを作成し、それに基づいて校訂作業を実施していく手法を開始した。これによって、平成 29 年度までにデータベース化の作業に着手している約 30.9%に加えて、今年度中に新たに約 24.5%のテキストデータ化が達成された。これらについては順次、試作版の「日本地震関連史料データベース」に組み込んでいく予定である。

また、平成 29 年度に引き続き、東海地方にあって長期間にわたる日記史料が現存する三河国田原藩（愛知県田原市）の『田原藩日記』（田原市博物館所蔵）の調査・撮影を実施しており、今年度で全ての撮影が完了した。

さらに、平成 30 年 11 月 30 日に、地震史料データベースの更なる活用に向けて、地震史料シンポジウム「地域史料から地震学へのアプローチ」を開催した（東京大学史料編纂所〔課題番号：2601〕）。

・ 日記史料の収集・分析と前近代の地震活動の解明

平成 29 年度に引き続き、既存の日記史料に新たに調査・撮影した日記史料を加えて、「日記史料有感地震データベース」を構築し、今年度は試作版を公開した。また、このデータベースを基にした地理情報システムを作成し、そこから前近代の有感地震に関する時空間分布図を作成した。さらに、この日記史料有感地震データベースと気象庁の震度データベースの有感範囲を比較・検討して、前近代に日本各地で発生した中・小規模の地震について震源決定を試みた。今後の展開として、日記史料のデータベース化を進めて有感地震の記録地点数と記録期間を増やしていき、19 世紀中頃の日本列島における有感地震の有無や有感範囲などのデータ量を増加させていく計画である。それに対応して、データベースの構成や時空間分布図の改良も予定している（東京大学地震研究所[課題番号:1501]）。

・ 日本海沿岸地域を中心とした地震・火山噴火災害関連史料の収集と分析

主に日本海沿岸地域における地震・火山関連史資料を収集し分析するために、各地の史料保存機関に所蔵されている史資料の調査や、既刊の地震・火山噴火史料集に所収されている史料の原本調査に基づく校訂作業を実施した。これらの原本調査と校訂作業に基づく史料の分析から次のような成果が得られた。

享保三年七月二十六日（1718 年 8 月 22 日）に発生した伊那・三河地震における被害の全体像を明らかにするために、京都の町人が記した良質な史料である『月堂見聞集』などの諸史料を検討した。吉田藩領（愛知県豊橋市他）や淀城（京都市伏見区）では地震による被害があり、現在の松本市・諏訪市・伊那市高遠町・飯田市でも被害があり、そのうち飯田市が最大であった。

弘化四年三月二十四日（1847 年 5 月 8 日）夜 10 時頃に発生した善光寺地震や、その 5 日後の三月二十九日（同 5 月 13 日）昼頃に発生した高田地震ではなく、同三月二十九日朝に発生した地震について検討した。埴科郡森村（長野県千曲市）で記された日記史料である『徒然日記 附 地震大變録』によると、三月二十九日朝の地震は「大地震」とあり、土蔵の屋根瓦が一寸（約 3 cm）ほどずつずり下がったとある。このことから森村では、三月二十四日夜の地震よりも三月二十九日朝の地震による被害の方が大きかった状況がわかる。

1854 年嘉永（安政）南海地震後に作成された『嘉永七年寅霜月大坂大地震（仮）』、『大坂大津浪図』、『大坂大洪水図』といった瓦版の絵図について翻刻・検討を行った。『大坂大洪水図』は、多数の残存が確認できる『嘉永七年寅霜月大坂大地震（仮）』を基図にして朱筆による書き込みがある絵図であり、瓦版の入手者の手によって情報が付加されている状況がわかる。

1707 年宝永地震、1854 年嘉永東海地震、1855 年安政江戸地震などにおける家屋の地震被害に関する史料記述を検討し、家屋倒壊率を導き出す方法の再検討を行った。その結果、史料に記されている家屋の「半潰」軒数については、家屋倒壊率を導き出すための被害数として使用することは不适当であり、広域の地震被害を検討する際には、家屋全壊率を家屋倒壊率として用いることが妥当であるとの結論に至った（新潟大学[課題番号:2701]）。

・ 東海地方を中心とした南海トラフ地震関連史資料の収集と分析

三重県や愛知県の自治体史・郷土史などを中心に史料調査を行い、南海トラフ地震に関する地震情報を抽出して、抽出された情報を項目毎にまとめた。収集した史料については、e コミマップを用いて地図と結び付けたデータベースを構築していく予定である。また、高知県・三重県・愛知県・静岡県の明治期の旧版地形図をデジタル化して、e コミマップを用いて閲覧できるようにした。さらに、歴史地震研究に活用するための国土数値情報を e コミマップに追加して、e コミマップの活用方法を検討した。

史料の調査・収集については、公益社団法人全国市有物件災害共済会防災専門図書館所蔵の瓦版（『東海道大阪辺大地震津波図』、『諸国大地震 嘉永七甲寅十一月 新板』、『関東大地震図』など）の翻刻を行った。なお、名古屋大学附属図書館所蔵の『高木家文書』の修復・翻刻については継続して実施している。

データベースについては、大学共同利用機関法人人間文化研究機構が作製した明治期地名データについて、新たに地図や地名から検索できるシステムの構築を行った。今後、史料情報を地図と結び付ける際に活用できると考える。また、これまで構築してきた「歴史史料検索システム」に改良を加え、国立国会図書館で公開されている IIIF 化された『増訂大日本地震史料』の各コマの画像と検索結果をリンクさせて、『増訂大日本地震史料』所収の史料を検索・閲覧できるようにした（名古屋大学〔課題番号：1701〕）。

・歴史災害研究のオープンサイエンス化に向けた検討

災害史資料に含まれる情報の構造化記述を可能にするために、日本語歴史資料の記述に特化した軽量マークアップ言語 Koji (<http://www.koji-lang.org/>) を開発した。Koji は形式文法的一种である解析表現文法 (Parser Expression Grammar) で定義されており、史料中の日時や地名などの情報を明示的にタグ付けすることができる。加えて、言語の処理系を整備するために、縦書きでの記述や構文強調、エラー検知などに対応した Koji のための Web エディタを開発した。このエディタは script タグを含めることで任意の Web ページに設置することができる。

本研究の活動の一環として運営している歴史災害資料の市民参加型翻刻プラットフォーム「みんなで翻刻」(<https://honkoku.org/>) では、東京大学地震研究所図書室が公開している和古書資料 499 点（画像数 7940 枚）を利用している。2019 年 2 月時点までに、このうちの 94%にあたる 481 点（画像数 7467 枚，558 万文字）が 4,600 名の参加者によって翻刻された。

新規に開発した Koji を搭載し、画像情報共有の国際的標準規格である IIIF (International Image Interoperability Framework) に対応した「みんなで翻刻」の試験バージョン (<https://honkoku.org/next/>) を開発・公開した。2019 年 3 月中に稼働を開始し、史料の翻刻に加えてその時空間情報のタグ付けを実施する予定である（公募研究、国立歴史民俗博物館〔課題番号：2911〕）。

イ．考古データの収集・集成と分析

・考古資料の収集・分析とデータベースの構築

平成 29 年度に続き、47 都道府県について発掘調査報告書から災害痕跡データの抽出を行い、データの検討を行った発掘調査地点数が計 48,352 ヶ所、データの確認のみを行っ

た災害痕跡件数が 21,803 件に達した。これらの災害痕跡データについては、検出地点や検出層位の再検討を進め、被災エリアの可視化や災害発生時期の特定を可能な限り試みることで、特に奈良県において 4 度の巨大地震の被災履歴を捉えることができた。地層中で確認された災害痕跡データというデータ特性のため、史料記述のように明確な時期を決定することは極めて困難である。しかし、近現代の攪乱の多い地層についても、地理学的なアプローチを丁寧に加えることによって、684 年白鳳地震、887 年仁和地震、938 年京都・紀伊の地震、1707 年宝永地震、1819 年伊勢・美濃・近江の地震、1854 年伊賀上野地震、1854 年安政東海・南海地震における地震痕跡の存在が指摘できるようになった。これらの災害痕跡データについては順次入力作業を進めており、データ量の増加に対応して入力項目の整理が必要となったため、各項目の再定義（文字情報、画像情報、ID 化情報など）を行った。これまでの災害痕跡データをこの定義付けに従って更新し、これらのデータについてもデータベース化を進めている。

災害痕跡 GIS データベースシステムでは、東京大学史料編纂所で構築中の試作版「日本地震関連史料データベース」と連携して、災害痕跡データベースと相互に検索できるシステム開発を進め、検索システムや情報入力インターフェースの拡充を進めた。

また、奈良県、京都府、静岡県、長崎県を始めとした各地の発掘調査現場において、主に中近世以前に発生したと考えられる災害痕跡について、地質考古学的調査と試料採取を行った。これらを整理・分析して結果を報告するとともに、災害痕跡の調査・記録方法に関する研究集会を開催した（奈良文化財研究所〔課題番号：9001〕）。

・福岡平野での考古データの収集

福岡平野に位置する警固断層の最新活動は、福岡市中央区浜の町におけるトレンチ調査から、約 8000calBP と推定されている。これは考古年代における塞ノ神Ⅲ式中段階以前であるが、どれだけ年代を遡るかが課題とされていた。今回、福岡平野における縄文遺跡の消長を細別し、型式ごとに整理した結果、警固断層の活動による地震の発生時期について、人類活動の痕跡が急に皆無になる塞ノ神Ⅱ式中段階と結論付けることができた（新潟大学〔課題番号：2701〕）。

ウ．地質データ等の収集と整理

・津波堆積物の調査による古津波の検討

地震の長期評価の説得性を向上させるには、地震やそれによる津波が痕跡を残さない事例、また、痕跡が形成された後に一部もしくは全部が消失してしまう事例についても調査し、その過程を解明する必要がある。青森県の三沢海岸には、2011 年東北地方太平洋沖地震で形成された津波堆積物が残されている。遡上限界付近の薄く不連続な堆積物は消失してしまった所が多いが、粒径の変化を詳細に調査することで、遡上限界付近の特徴である「粗粒で軽量の粒子が集積した堆積物」が識別可能な場合のあることがわかった。これは、津波堆積物の粒径と比重を系統的に調査することで、古津波についても遡上限界まで追跡しているかどうか評価可能であることを示す。

また、ロシアの沿海州や北方領土で歴史時代と先史時代の津波堆積物の調査を進めている。今年度は国後島で約 10 日間の調査を行い、国後島の太平洋沿岸、古釜布〜クラオイ

川（約 30km の範囲）で、1994 年北海道東方沖地震津波によると思われる明瞭な津波堆積物を確認した。

さらに、1611 年慶長三陸地震による津波の北海道南西部における被害と痕跡について考察した。この地震については、『松前家記』に「十六年辛亥十月東部海嘯民夷多ク死ス」とある。北海道太平洋沿岸における 17 世紀の津波堆積物の年代を統一手法で求めると、苫小牧～むかわの津波堆積物は 1611 年起源で説明でき、噴火湾や襟裳岬より東のものは明らかに後年と考えられる。史料にある「東部」が松前より東部という解釈で良いならば、史料の記述と痕跡は矛盾しないことになる（東京大学地震研究所 [課題番号：1501]）。

・九十九里浜での地形・地質調査

1703 年元禄関東地震の際に津波が襲来した千葉県東部の九十九里浜平野に位置する片貝村（現、九十九里町片貝付近）には、元禄関東地震の前後に作成された絵図が存在しており、現地比定の結果から現在の九十九里町役場付近まで津波が遡上した可能性が指摘されている。この津波に伴って堆積した「津波堆積物」を検出するため、役場付近の堤間湿地において浅層部の地質調査を実施した。掘削調査で採取された試料について、放射性炭素（¹⁴C）年代測定や光学顕微鏡を用いた珪藻化石群集の調査を行った結果、採取された試料は、津波や高潮などの海側からの流れ込みに伴うイベント堆積物である可能性が高いことが判明した（新潟大学 [課題番号：2701]）。

（2）低頻度大規模地震・火山現象の解明

前近代の地震・火山噴火に関する史料や考古資料をデジタルデータ化し、同一の地図上に載せて被害分布図などを作成することによって、近代的な機器観測に基づく観測データとの比較・検討が可能になる。これによって、機器観測の開始以前に発生した低頻度で大規模な地震・火山噴火の現象やそれによる災害を対象とした調査・研究が促進され、今後発生する低頻度で大規模な災害の予測や、その被害の軽減に貢献できると考える。

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

・史料に基づく前近代の被害地震の実態解明と地震活動の分析

試作版の「日本地震関連史料データベース」に収められた史料を用いて、文禄五年（1596 年）閏七月に発生し、現在の大分県の別府湾岸に津波被害をもたらした文禄豊後地震に関する史料について再検討した。史料の詳細な検討から、地震・津波の発生日を閏七月九日（1596 年 9 月 1 日）とする複数の史料については、情報源が個々に独立したものであるが、同じく発生日を閏七月十二日（同年 9 月 4 日）とする複数の史料については、後世に日付を改めたものであるため、信頼性のないことが判明した。これによって従来、閏七月九日説と同十二日説の学説が存在していた文禄豊後地震について、別府湾に津波被害をもたらした地震は閏七月九日であったことが確定的となった。

また、嘉永七年十一月四日・五日（1854 年 12 月 23 日・24 日）の東海・南海地震関連の日記史料について集中的に調査・収集し、本震前後の期間における有感地震の記録について分析した。現段階での成果として、東海・南海地震の発生前に、太平洋沿岸地域では

目立った有感記録の増加はみられないが、山陰地方や近畿地方北部では本震発生の 5 年前に有感地震の記録が増加している状況が判明した(東京大学史料編纂所[課題番号:2601])。

・前近代の奈良盆地における被害地震と災害痕跡との対応

史料に記された被害地震の発生日は明確であるが、被害の範囲やそれに基づく震度分布などは推定に頼らざるを得ない。一方で、考古遺跡にみられる災害痕跡の場所と被害状況は明らかであるが、それが生じた時期については資料の性質上一定の幅を有しており確定は難しい。そのため、史料に基づく前近代の被害地震と考古遺跡にある災害痕跡とを対応させるには、災害の発生時期についてある程度の範囲で考える必要がある。そこで試みに、奈良盆地の考古遺跡で確認された地震に起因する災害痕跡と、史料から判明している被害地震との対応について幾つかの事例を検討した。

高市郡明日香村岡の酒船石遺跡では地滑りの痕跡が確認されており、その年代は 7 世紀後半と推定されている。その時期に奈良に大きな揺れをもたらした被害地震としては、史料から 684 年の南海トラフ沿いの巨大地震が考えられる。

葛城郡広陵町萱野の箸尾遺跡では噴砂の痕跡が確認されており、その年代は 11 世紀初めと推定されている。史料からはその時期に奈良に大きな被害をもたらした内陸地震は確認できないため、1096 年の南海トラフ沿いの巨大地震が候補として挙げられる。

高市郡明日香村大字真弓小字カヅマヤマのカヅマヤマ古墳では地割れの痕跡が確認されており、史料から考えられる被害地震として、大きく長い揺れを伴う 1361 年の南海トラフ沿いの巨大地震が挙げられる。

このように奈良盆地で災害痕跡を生じさせた被害地震は、南海トラフ沿いで発生した巨大地震に起因する場合が多い。そのため、仮にその前後数十年の間に発生した内陸地震によって災害痕跡が生じていたとしても、時期を絞り込むことが困難なために、巨大地震に起因する災害痕跡とされてしまう可能性がある(東京大学地震研究所[課題番号:1501])。

・液状化痕跡による古地震の調査

2018 年 9 月に発生した北海道胆振東部地震を受け、液状化の痕跡である噴砂の地質学的特徴を調査した。苫小牧市、厚真町、むかわ町の例では、噴砂丘、砂脈の構成物や構造には、割れ目の形状や液状化層の構成物(ここでは砂、泥、礫、様々なサイズの軽石)が影響していることがわかった。また、液状化の痕跡は古地震の情報源として使われるため、発掘調査報告書の液状化痕跡の産状記載を確認した。札幌市で公表されている 234 ヶ所の発掘調査報告書を調査した結果、そのうち 54 ヶ所で液状化の痕跡が記載されていることがわかった。今後、写真や図版を基に噴砂または液状化の痕跡とみなされた根拠も整理する予定である(東京大学地震研究所[課題番号:1501])。

・史料の収集と分析による歴史地震の調査

今年度は、寛永年間以後および寛文年間の京都周辺における地震活動に関する史料を翻刻した。また、1854 年伊賀上野地震の際に伏見で発生した液状化被害について検討し(加納, 2018)、1707 年宝永地震と富士山噴火に関する複数の写本を検討し、より原本に近い史料を特定して未読箇所を翻刻した(服部・中西, 2017, 2018)。さらに、宝永地震と富

土山噴火について、現在知られている中で最も完全で、かつ古い時代に記された史料を特定し翻刻した（小林ほか，2018）。これらの研究から、1707年宝永地震の本震と翌日発生した余震の震源域の推定に有益な情報が得られた。一方で、2018年6月18日に発生した大阪府北部地震における文化財被害の分析を通じて、歴史地震における震度変換手法の高度化に向けた研究を開始した。

市民参加型のオンライン翻刻プロジェクト「みんなで翻刻」に史料を順次追加するなど運営に協力しており、歴史学の専門家の協力を得て、古地震に関する合宿形式の研究会（翻刻を主とした史料読解）を実施した（平成30年9月，平成31年3月）。この研究会では、歴史学の専門家による指導を受けて史料の翻刻と解釈を実践しており、歴史学に関する講演によって史料解釈に必要な歴史学の基礎知識の獲得を目的としている。この研究会は、地震学のバックグラウンドを持ちながら史料の解読もできる人材の育成だけでなく、歴史学、人文情報学、地理学、地質学、気象学、地震学といった幅広い分野の研究者と学生、大学職員、一般市民の交流の場となることを目指している。この研究会において翻刻や史料の取り扱いを学んだ研究者や学生が、上記のような研究成果を発表するようになり、人材育成の効果が顕れはじめていえる。なお、「みんなで翻刻」の開発や、上記の歴史地震研究の成果は、この研究会での学習、技術開発、情報交換によって生み出されたものである（京都大学防災研究所〔課題番号：1901〕）。

・ 明治前期における過去の地震・津波報告の分析

明治二十六年（1893年）に当時の帝国大学理科大学は、各地の郡役所・町役場などに過去の地震・津波や海底地形変動に関する情報の提出を求めており、「地震学及地理学研究材料 測候所郡役所組合事務所報告」（東京大学地震研究所所蔵）として各地からの報告がまとめられている。

この報告書に収録されている福島県檜葉町の事例として、かつて檜葉郡木戸村付近の沿岸には脇浜村があったが、慶長年間の海嘯（高浪・高潮）によって壊滅し、生き残った住民はこの海嘯の伝承を有しており、これが地元の旧記にも記されているというものがある。『福島県史』や『檜葉町史』によると、近世初頭に存在した「わきの村」または「脇の浜村」は、近世後期には史料上に現れなくなることが確認されている。元福島県立歴史資料館・山内幹夫氏が昭和49年に実施したフィールドワークによると、檜葉町北田にある北田天満宮の縁起を記した旧記が現存しており、その旧記には脇浜村が慶長年間の洪水・大波によって壊滅したと記されているとされる。

この報告書にある千葉県からの報告には、現在の館山市域の「今境橋」に関わる明応期の地震による隆起の伝承や、上総国興津の禅奥寺の元禄地震津波に関する伝承などが記されている。また、旧銚子町からの報告には『田中玄蕃所蔵ノ記録』として『新収日本地震史料』などに収録されている『先代集』の文章が記載されており、刊本では「洗足の砌波上げ盤浮き」とされている部分について、「盤」の文字が「盥」の誤読であることが確認された。

この報告書の富山県四方町地区からの報告には、安政五年（1858年）二月二十四日の四方海岸において、30間（約54m）の潮の満ち引きがあり、溺死者3名の被害が記されている。この日に発生した地震としては、内陸部を震央とする「飛越地震」が挙げられる。

この潮の満ち引きに関連して、他に『地水見聞録』に記された高波による4名の死者、あるいは『魚津在住見聞録』に記された魚網の流失や漁舟の大破などがあり、地震とは別に海嘯が発生していた状況がわかる。

なお、この報告書にある北海道の海嘯記事については、『日本地震史料』に収録されている内容と一部共通しているが、『日本地震史料』に収録されているのは『時風録』からの引用であり、この報告書にはより多くの箇所の海嘯記事が収録されている（公募研究、東北大学災害科学国際研究所〔課題番号：2903〕）。

・史料中の有感地震記録を用いた歴史地震研究の新展開

史料中の有感地震記録を用いた新たな歴史地震研究の可能性を探るために、気象庁震度データベースや最近構築された震度の多次元距離減衰式を用いて、有感地震回数分布の再現性の検証を行った。また、有感地震記録に基づいて、大地震の震源域を推定する予察的手法を構築し、2004年新潟県中越地震、2008年岩手・宮城内陸地震、2011年福島県浜通りの地震について適用した。

2000年～2010年までに最大震度3以上、深さ20km以浅で発生した約2300の浅発地震を対象にして、田中・他（2017）の多次元距離減衰式から予測震度を計算し、計測（観測）震度との比較を行った。その結果、震源距離10～400km程度の有感域のほぼ全域にわたって残差が±1程度の範囲内に収まり、残差のヒストグラムは平均がほぼ0の正規分布を示すことが判明した。また、既往の距離減衰式に比べて、幅広いマグニチュード、震源距離の範囲内において小さな残差になることが示された。さらに、田中・他（2017）の多次元距離減衰式によって、日本全国で観測された有感地震回数（震度2以上）の分布を概ね再現することができた。これらの結果は、田中・他（2017）による地殻内地震に関する多次元距離減衰式が、既往の距離減衰式に比べて中・小地震や遠方の観測点まで、日本全国の地表における計測震度の推定式として活用できることを示している。

現在の震度観測点が稠密に展開されている状況については、有感地震回数の分布から地震活動度を推定できる可能性が示された。しかし、史料中の有感地震記述への適用可能性を考えた場合、史料から有感地震数を抽出できる点（震度観測点）は現在に比べ極端に少ないことが想定される。そこで、観測点を1/2、1/4、1/8、1/16に間引いた場合に、残差分布ならびに残差が最小となるグリッドがどのように変化するか調査した。その結果、観測点密度が低くなるにつれてイメージングされた震源域は不明瞭になるものの、観測点のカバレッジが保証され有感地震回数が突出する観測点がある場合には、観測点分布が疎になった場合でもある程度、震源域がイメージングされることが分かった。

このような結果からは、今後、史料から有感地震に対する記述を抽出・蓄積するとともに、予察的に構築した手法を高度化することで、歴史地震の震源域を従来の被害記述とは異なった観点から議論できる可能性が示唆される（公募研究、公益財団法人地震予知総合研究振興会〔課題番号：2912〕）。

これまでの課題と今後の展望

これまでの地震火山観測研究計画においては、近代的な観測が開始された明治期より前に発生した地震・火山噴火やその災害について、主として地球物理学の分野から研究が実

施されてきた。近代的な観測記録が皆無の地震や火山噴火を対象とした調査・研究を実施する際には、観測記録の代わりに史料や考古資料を用いる必要がある。そもそも、史料や考古資料については、本来、歴史学や考古学の手法で取り扱われなければ学術的な妥当性を保持できないものであり、理学的な知見のみで取り扱われた場合には、誤った見解を導き出してしまう危険性がある。このような理由から、近代的な観測記録のない地震や火山噴火に関する史料や考古資料を用いた理学的な研究には、学術的な手続き上看過できない問題が内在していた。

そのため、平成 26 年度から実施されている「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」においては、近代的な観測記録が存在しない地震や火山噴火について、地震学や火山学といった理学系の分野だけでなく、歴史学や考古学といった人文学系の分野の研究者も組織的に参加し、史料や考古資料を活用した調査・研究が共同で実施されている。このように理学系と人文学系の分野が主体となった文理融合研究は他にあまり類例がなく、本研究計画における学際的な研究として特筆すべき研究体制と言える。史料・考古部会では、次期の研究計画においても、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研究計画を推進していくとともに、新たな学際的な研究分野の創出も視野に入れて、研究の更なる深化と展開を目指していくべきと考える。また今後は、文理融合研究の成果を用いた地域との連携や、地域社会への学術的貢献も検討していく必要がある。

当部会では、文理融合研究を進める上でデータの共有化が必須と考え、平成 26 年度以降、史料・考古それぞれのデータベース化に向けて、データ構成の検討やデータベースの構造などについて様々な研究を実施してきた。史料データは被害発生の時期は明確であるが場所は必ずしも明確でなく、考古データは被害発生の時期に幅があるものの場所は明確である。今年度は、このような特徴を有する双方のデータについて、奈良盆地を対象として被害発生場所と発生時期とを結合した連続データを作成し、位置情報と時代・時間情報の両方から検索可能な史料・考古の統合データベースの試作版を作成した。

また、史料・考古の統合データベースの作成に向けた研究とは別に、史料データや考古データを活用した前近代の地震・火山噴火及び、それらによる災害の実態解明の研究にも取り組んでいく必要がある。特に、史料データにある有感地震の記録を用いて、特定期間の広域の有感地震を分析し、巨大地震と大地震だけでなく、その間に発生した有感地震（中・小規模地震）を含めた地震活動の全容を解明する研究は、現行の地震学における地震活動の研究にとって有益と考える。

さらに、史料データにある被害記述に基づいて、地理情報システムを活用した歴史地震の推定震度分布図を作成する研究については、今後、地震学における強震動研究との連携を念頭において研究を進めていく計画である。一方で、史料・考古部会としては、個々の研究課題において歴史地震・火山噴火の事例研究も進めていき、現行の地震学・火山学や災害研究に資する成果を積み重ねていく必要があると考える。

成果リスト

Chague-Goff, C., Goto, K., Sugawara, D., Nishimura, Y., Komai, T., 2018, Restoration

- measures after the 2011 Tohoku-oki Tsunami and their impact on tsunami research, In: Santiago-Fandino, V., Norio, M., Iuchi, K., Sato, S. (eds), *Reconstruction and Restoration after the Japan 2011 Earthquake and Tsunami, Insights and Assessment after 5 years*, Springer, Vol. 47, pp. 229-247.
- 蝦名裕一, 佐竹健治, 2018, 帝国大学理科大学「地震学及地理学研究材料報告」に記載される津波痕跡の検証, 第35回歴史地震研究会(大分大会)講演要旨集, 30.
- Yuta Hashimoto, et al, 2018, *Minna de Honkoku: Learning-driven Crowdsourced Transcription of Pre-modern Japanese Earthquake Records*, Digital Humanities 2018, Oral, Mexico City, United Mexican States, 26-29 June, 2018.
- 橋本雄太, 宮川真弥, 2018, 日本語文献史料の構造化記述のための軽量マークアップ言語の開発, 人文科学とコンピュータシンポジウム 2018 論文集, 237-242.
- 服部健太郎, 中西一郎, 2018, 1707 年宝永地震と富士山宝永噴火に関する一史料(3) — 元禄地震・宝永地震・宝永富士山噴火を記した「当山本宮記」 —, 地震 2, 71, 131-137, doi:10.4294/zisin.2017-17.
- 服部健太郎, 中西一郎, 2018, 訂正: 1707 年宝永地震と富士山宝永噴火に関する一史料(3) — 元禄地震・宝永地震・宝永富士山噴火を記した「当山本宮記」 —, 地震 2, 71, 151-152, doi:10.4294/zisin.2018-4.
- 服部健太郎, 中西一郎, 2019, 1707 年宝永地震と富士山宝永噴火に関する史料 — 富士山宝永噴火に先行した地震活動に関する記述の検証 —, 地震 2, 71, 219-229, doi:10.4294/zisin.2018-5.
- 平井敬, 2018, 殖産興業の民間先駆者 田中長嶺が見た濃尾地震, 日本地震学会 2018 年度秋季大会講演予稿集, S09-P04.
- 堀健彦, 小野映介, 2018, 1833 年庄内沖地震による輪島の津波被害の地域的差異と微地形, 災害・復興と資料, 10, 15-23.
- 石辺岳男, 松浦律子, 津村建四朗, 岩佐幸治, 古村美津子, 2018, 地震活動から探る房総スロースリップイベントの発生履歴, 日本地震学会 2018 年度秋季大会講演予稿集, S23-24.
- 加納靖之, 2018, 1854 年伊賀上野地震の際に伏見で発生した局所的な液状化被害地点の検討, 自然災害科学, 37, 205-217.
- 加納靖之, 水島和哉, 2018, 『伏見酒造組合資料』にみえる明治期の地震, 歴史地震, 33, 213-219.
- 加納靖之, 竹之内健介, 矢守克也, 2018, ハザードマップへの歴史災害地点の重ね合わせ — 災害史と地域防災の新たな連携 —, 京都大学防災研究所 2017 年九州北部豪雨災害調査報告書, 109-114.
- 片桐昭彦, 西山昭仁, 水野嶺, 2018, 日記史料にみる時間表現の情報化, 人間文化研究情報資源共有化研究会報告集, 8, 33-44.
- 小池伸彦, 2018, 平城第 552 次調査検出の地震痕跡について, 紀要 2018, 独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所編, 60-61.
- 村田泰輔, 2018, 発掘された歴史的地震・火山災害痕跡データベース — 考古学の新たな挑戦, デジタル技術で魅せる文化財, 奈文研と ICT, クバプロ, 159-192.

- 村田泰輔, 2018, 第 6 章第 6 節 自然科学分析からみた高住牛輪谷遺跡 (2 区) の古環境, 高住牛輪谷遺跡 II, 鳥取県教育委員会編, 393-404.
- 村田泰輔, 2018, 第 4 章第 14 節 自然科学分析からみた大桒遺跡 (1-2 区) の古環境, 大桒遺跡 III, 鳥取県教育委員会編, 570-602.
- 村田泰輔, 2018, 第 5 章第 10 節 自然科学分析からみた大桒遺跡の古環境, 大桒遺跡 IV, 鳥取県教育委員会編, 453-456.
- 村田泰輔, 2018, 自然科学分析, 平城宮東院地区の調査 第 584 次・第 587 次・第 593 次, 紀要 2018, 独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所編, 178-181.
- 村田泰輔, 2018, 地質学的検討, 平城京左京一条二坊十坪の調査 582 次・第 583 次, 紀要 2018, 独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所編, 216-217.
- 西村裕一, 千葉崇, 2019, 北海道胆振東部地震 (2018 年 9 月 6 日) で出現した噴砂の特徴, 北海道地区自然災害科学資料センター報告, 印刷中.
- Nishiyama, A., M. Ebara, A. Katagiri, Y. Oishi and K. Satake, 2018, Long-term seismic activity database based on historical diaries widely distributed in Japan, EGU General Assembly 2018, EGU2018-12914 (Poster), Vienna, Republic of Austria, Austria Center Vienna (ACV), 8-13 April, 2018.
- 齋藤瑞穂, 2018, 弥生土器型式細別論, 同成社, 304pp.
- 齋藤瑞穂, 2018, 警固断層の考古学的研究事始, 2018 年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集, 37-39.
- 矢田俊文, 2018, 近世の巨大地震, 吉川弘文館, 248pp.
- 矢田俊文, 2018, 1855 年安政江戸地震と 1856 年安政台風の被害数ー武蔵葛西領・武蔵多摩地域・武蔵川崎領ー, 資料学研究, 15, 1-20.
- 矢田俊文, 2018, 史料から見た一七一〇年伯耆・美作地震と一七一一年伯耆・美作地震, 災害・復興と資料, 10, 13-18.

1 (8) データベース・データ流通

「データベース・データ流通」計画推進部会長 鶴岡 弘
(東京大学地震研究所)
副部会長 大見士郎
(京都大学防災研究所)

データベースおよびデータ流通は、高感度地震計、広帯域地震計、強震計等からなる多点・多項目の観測データを安定的かつ継続して生産し、それらの連続データをリアルタイムで流通させる研究基盤の運用・維持・管理を実現している。また、観測データ解析アルゴリズム等の高度化も継続して実施し、これらを研究者間で効率的に共有するシステムの開発を進めている。

5 年間の成果の概観

5年間にわたり地震火山防災に関する基礎データを着実に蓄積するとともに、それらを流通させるデータ流通基盤を継続して維持した。また、データおよびデータベースを提供するために必要なセキュリティ等の対策についても実施した。気象庁一元化震源カタログについては、新たな地震検知手法であるPF法(溜渕ほか, 2016)を取り入れ、地震カタログに登録される地震数が2~3倍となり、さらに、Matched Filter法を導入し、処理の効率化と検知能力の向上が実現された。地震観測網については、防災科研により、日本海溝海底地震津波観測網(S-net)のデータがJDXnetによりリアルタイムで配信されるとともに、高感度地震観測網(Hi-net)・広帯域観測網(F-net)・強震観測網(KiK-net, K-net)の陸域観測網と日本海溝海底地震津波観測網(S-net)と地震・津波観測監視システム(DONET)の海域観測網が統合され、陸海統合地震火山津波観測網(MOWALS)統合処理体制の基盤が構築された。産総研により、アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システム」の構築と公開がなされ、世界中から広く利用された。大学においては、北海道大学により、GNSS・地殻変動連続観測等の多項目観測データを全国にリアルタイム流通させるシステムが開発され、データの流通・収集・管理・解析が一元化された。地震データ流通システムJDXnetについては、SINETおよびJGNの次世代広域ネットワーク網への対応がなされた。研究成果共有システムについては完成までには至らなかったが、クラウドシステムの構築など成果共有のための基礎基盤の構築がなされた。

平成 30 年度成果の概観

以下、平成 30 年度の主な成果について概観する。

1. 地震・火山現象の解明のための研究

(1) 低頻度大規模地震・火山現象の解明

気象庁は、火山噴火予知連絡会で中長期的に観測体制の充実が必要とされた 50 火山について、地震計、空振計、GNSS 等の観測データを常時収集し、解析を行い、蓄積した。全国の火山について、地震観測、GNSS 繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測によ

り得られた観測データを蓄積した。平成 30 年度に噴火が発生した霧島山（新燃岳），桜島，及び口永良部島のほか，火山活動の高まりがみられた吾妻山，草津白根山（白根山（湯釜付近）），霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺）等において，緊急観測により収集した火山活動の詳細なデータを解析し，蓄積した。これらのデータの蓄積にあたって，今後の活火山総覧の改訂に活用できるようにデータベース化した[課題番号 7001]。産業技術総合研究所においては，青森県六ヶ所村および高知県四万十町で実施した掘削調査で得られた堆積物の情報を web 上で公開した [課題番号 5001]。全国に分布する活断層のうち，大地震の震源となる可能性が高い長さ 10km 以上の活断層について，これまでの調査情報・研究成果のデータ化とそれぞれの活断層のパラメータに関する情報の整備を継続し，活断層データベースの検索画面の表示速度を高速化するため，背景地図，断層線，調査地点といったデータを画像タイル化する作業と，位置情報から各データにアクセスするためのシステム構築を行った[課題番号 5002]。さらに，わが国における過去約 30 万年間に発生した VEI=7 クラスの噴火について噴火推移や噴出物の分布・体積等のデータを取りまとめた大規模噴火データベースの整備を進めるとともに世界各国の有史における大規模噴火推移の記録を取りまとめ，大規模噴火推移データベースの整備を進めた[課題番号 5003]。

4. 研究を推進するための体制の整備

(2) 研究基盤の開発・整備

気象庁により，全国地震カタログの作成が実施され，平成 30 年度においては，以下の成果が得られた。（１）地震カタログ（震源，発震機構）を平成 29 年 12 月まで作成し，地震月報（カタログ編）として公開した。自動処理震源の導入に伴う発破イベント混入に対応するため，波形相関による発破抽出手法を開発し，カタログの質的改善を図った。（２）S-net や DONET2 等の海底地震計のデータを一元化処理に活用するために，海域の地震観測網のデータや解析結果に関する調査を実施し，調査結果を平成 30 年 11 月の地震調査委員会「高感度地震観測データの処理方法の改善に関する小委員会」及び 12 月の地震調査委員会に報告し，一元化処理に取り込むことについて合意を得た。（３）震源過程解析については，平成 30 年北海道胆振東部地震など，近地強震波形または遠地実体波を用いて日本及び海外の大地震を解析し，気象庁ホームページ等で公開した。（４）過去震源の改訂については，1976 年 7～12 月及び 1977 年の震源決定を行うとともに，1922 年分について各地の気象官署の検測値の原簿などを元に震源決定を行った [課題番号 7019]。地震観測，地殻変動観測，潮位観測，全国の火山観測が継続的に進められた。潮位データの伝送においては平成 31 年度での光回線への変更計画を策定した[課題番号 7014, 7015, 7016, 7017]。柿岡，女満別，鹿屋，父島の 4 地点に，祓川を加えた 5 観測点における地磁気 4 成分連続観測データを，月毎に地磁気観測所データベースに登録，公開した。さらに，定常観測点のデータを国際的なデータセンターに提供した[課題番号 7018]。

国土地理院は，GEONET による地殻変動連続観測を実施し，日本列島全域の地殻変動・火山活動のモニタリングを着実に実施した。東北地方太平洋沖地震後の継続的な余効変動，2018 年 4 月 9 日に鳥取県西部で発生した地震，2018 年 6 月 18 日に大阪府北部で発生した地震，2018 年 9 月 6 日に北海道胆振東部で発生した地震，2019 年 1 月 8 日に種子島近海で発生した地震に伴う非定常的な地殻変動を検出した。さらに，2018 年 6 月に房総半島

沖，2018 年春頃から九州北部，2018 年秋頃から四国西部で発生したプレート間ゆっくりすべり（スロースリップ）現象に伴う非定常的な地殻変動，硫黄島や桜島周辺の火山活動に伴う地殻変動等も検出するなど，防災や地震発生・火山活動のメカニズムに関する研究等に寄与した。また，これらのモニタリング結果は，速やかにホームページなどで公表するとともに，地震調査委員会，火山噴火予知連絡会等に報告した[課題番号 6005]。全国 25 験潮場の潮位連続観測を安定的に実施するため，定期的な保守および監視を実施するとともに，これらの観測データをホームページで公開した。また，防災情報の発信への活用のため，関係機関と潮位データの共有化を行った[課題番号 6006]。国土地理院が公開する GNSS 連続観測データに関する所在情報を，引き続きホームページから公開した[課題番号 6011]。電子基準点リアルタイム解析システムにおいて，精密単独測位法を導入し，試験運用を実施した[課題番号 6012]。また，重力測量については，南海・東南海地域を含む全国で基準重力 3 点の絶対重力観測を実施し，日本重力基準網に準じた重力値を得るとともに，重力値の時間的な変化を把握した。また，過去に整備した二等重力データ（約 14,000 点）の日本重力基準網 2016 への整合を図るため，必要な計算を実施した。さらに，航空重力測量の実施に向けて，航空重力計地上検定線を設置して 101 点で相対重力観測を実施するなど，必要な準備を進めた[課題番号 6007]。ALOS-2 の SAR データを用いて北方四島を含む国土全域を対象に SAR 干渉解析を行い，国内や海外で発生した地震や火山活動に伴う変動を検出した。霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺）では，2018 年 3 月～4 月の観測データから硫黄山の南側及びその西側に隆起のピークを検出した。この解析結果は火山噴火予知連絡会において火山活動の評価に活用された。2018 年 9 月 6 日に発生した平成 30 年北海道胆振東部地震では，SAR 干渉解析により，震央周辺で最大 7cm 程度の隆起及び隆起域の東側で最大 4cm 程度の東向きの変動を検出した。また，SAR 干渉解析及び GNSS で捉えられた地殻変動を用いて，震源断層モデルを推定した。これらの結果は地震予知連絡会や地震調査委員会において地震活動の評価や検討に活用された。2018 年 9 月 28 日に発生したスラウェシ島の地震では，震央から南側へ約 160km の広い範囲で地表変動を検出し，最大 5m 程度の変位が生じたことを明らかにした[課題番号 6008]（図 1）。GUI 操作に基づく干渉 SAR 時系列解析を行うためのソフトウェアの改造を実施した。また，周波数分割法による電離圏起因の誤差の低減処理や SBAS 法等の機能を干渉 SAR 時系列解析に実装した。さらに，実データへ適用してその効果を確認した[課題番号 6013]（図 2）。火山基本図「草津白根山」「乗鞍岳」「阿蘇山」「雲仙岳」の数値データを整備した[課題番号 6009]。平成 29 年度に調査を実施した，糸魚川－静岡構造線断層帯とその周辺「白馬岳 改訂版」「大町 改訂版」，濃尾断層帯とその周辺「大野」「冠山」「能郷白山」「谷汲」「美濃」「岐阜」，山田断層帯とその周辺「宮津」「大江山」，布田川・日奈久断層帯とその周辺「八代 改訂版」「日奈久」12 面の 1:25,000 活断層図を整備・公開及び，牛首・跡津川断層帯，養老－桑名－四日市断層帯の調査を実施した[課題番号 6010]。

海上保安庁は，国土交通省水管理・国土保全局及び港湾局，国土地理院，気象庁と連携し験潮データをリアルタイムでインターネットにより公開した[課題番号 8005]。沿岸海域での海底地形の調査を実施した[課題番号 8006]。

防災科学技術研究所は，高感度地震観測網(Hi-net)・広帯域観測網(F-net)・強震観測網(KiK-net, K-NET)の陸域の基盤的地震観測網を安定的に運用した。これらの良質な地震

等の観測データの流通を図り、関係機関における研究、その他の業務の遂行や我が国の地震調査研究の発展に貢献した。海域に設置した観測網については、昨年度から本格運用された日本海溝海底地震津波観測網(S-net)と平成28年度に海洋研究開発機構から移管された地震・津波観測監視システム(DONET)の維持管理を継続的に実施した。S-netの観測データについては、海底地震津波観測網データダウンロードページより公開を開始した。またJDxnetでの流通も開始した。DONETの観測データについては、強震計及び広帯域地震計に加え、水晶水圧計のデータについても海底地震津波観測網データダウンロードページより公開を開始した。また、DONETの観測網機能を向上させるため、海溝軸付近に位置する観測点の埋設を行った。これらを併せて、陸海統合地震火山津波観測網(MOWALS)統合処理体制の基盤を構築するとともに、今後の利活用を発展させる準備を整えた。平成29年4月1日に移管された首都圏地震観測網(MeS0-net)の運用を継続するとともに、ホームページによる観測データの公開を開始した。重点的に観測を強化すべき火山に整備した基盤的火山観測網(V-net)について、故障、老朽化した観測機器の更新を行い安定運用に努め、観測データの大学や気象庁への流通を図り、関係機関の研究や火山監視業務等に貢献した。これらの防災科研の地震・火山観測網及び大学・気象庁等の関係機関により得られた波形データを定常的に蓄積し、ホームページから公開した[課題番号 3004]。

産業技術総合研究所は、アジア太平洋地域のハザード関連情報の整備として、震源域、震源、活断層、津波、地震犠牲者数、大規模火砕流、大規模降下テフラ、カルデラ、火山イベント犠牲者数の詳細データを国際標準形式でとりまとめ、アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムへの公開作業を進めた(図3)。震源域については、M7以上の全世界の258個の地震のデータを整備した(図4)。活断層については、タイとフィリピンの活断層データを追加した。津波については、1707年宝永津波、1896年明治三陸津波、1993年北海道南西沖津波の分布を追加した。地震犠牲者数については、東・東南アジア地域の236個の地震について、犠牲者数を要因(火災、建物、地すべり、津波、関連死)別に取りまとめた。大規模火砕流については、東・東南アジア地域のVEI6以上の18個の噴火にともなう火砕流堆積物の分布を取りまとめた。大規模降下テフラについては、東・東南アジア地域の24の降下テフラについて分布と等層厚線を取りまとめた[課題番号 5009]。

東京大学地震研究所においては、観測データ流通網JDxnetの運用を継続したが、データ流通網の2重化への課題も明らかとなった[課題番号 1518]。研究成果共有サーバにおいて、データ共有のためのオープンプラットフォームのowncloudの利用を進めた。地震連続波形データの解析のための大規模解析システムにおいては、過去の地震波形データの保存をさらに進めた[課題番号 1519](図5)。北海道大学においては、GNSS・地殻変動連続観測等の多項目観測データを全国にリアルタイム流通させるシステムを開発し、データの流通・収集・管理・解析を一元的に実施した[課題番号 1009]。京都大学防災研究所においては、上賀茂観測所の大森式地震計で取得された波形記録の1945年以降の電子化を行った。阿武山観測所において、一般見学会、団体見学会およびペットボトル地震計製作講習を行うとともに、高槻市等の施設において出前講座を行った[課題番号 1915]。

これまでの課題と今後の展望

データ・データ流通部会における課題は、(1)各研究機関において蓄積されているそ

れぞれのデータが有機的に結合したデータベースの開発，（２）研究成果共有システムの開発，（３）地震火山データ等を安定かつ連続して集配信できるリアルタイムシステムの基盤整備，（４）新たな情報技術等への対応がある。本部会では，研究成果共有システム開発にあたり，メタデータのフォーマット及びデータを実際に格納するデータサーバの運用ポリシーの策定が，今後重要であると認識している。この点に関しては，解決すべき課題としてリストアップし，次期計画へ継承した。なお，（３）については，火山のデータ流通を効率的に進める体制を強化する点が，今後の課題である。

基礎データベースは今後も着実に進展すると考えられるので，それらを効率的且つ迅速に解析できる情報基盤の整備が今後ますます必要になると考えられる。処理性能の高い並列計算機のほか大容量のディスク装置などが高速のネットワークで結合された研究基盤の構築が必要である。ただし，これらの整備には時間やコスト等も必要となるため，コミュニティ全体として取り組むことが求められる。ボトムアップでなくトップダウン的な判断も場合によっては必要である。

また，データ保存という観点からは，デジタルでのコピーが一般的になっているため顕在化していないように思われるが，保存媒体は実際のところ長期保存ができない。つまりデータコピーの作業が今後も継続的に続くことになるので，これらの作業の効率化も今後の検討課題である。

成果リスト

- Geshi, N. and Itoh, J., 2018, Pyroclastic density currents associated with the 2015 phreatomagmatic eruption of the Kuchinoerabujima volcano. *Earth Planet Space*, 70:119, <https://doi.org/10.1186/s40623-018-0881-x>
- Kawamoto, S., N. Takamatsu, S. Abe, K. Miyagawa, Y. Ohta, M. Todoriki, and T. Nishimura, 2018, Real-time GNSS analysis system REGARD: an overview and recent results, *Journal of Disaster Research*
- Kobayashi T., 2018, Locally distributed ground deformation in an area of potential phreatic eruption, Midagahara volcano, Japan, detected by single-look-based InSAR time series analysis, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 357, 213-223, doi:10.1016/j.jvolgeores.2018.04.023
- Kobayashi T., Y. Morishita, and H. Munekane, 2018, First detection of precursory ground inflation of a small phreatic eruption by InSAR, *Earth Planet. Sci. Lett.*, doi:10.1016/j.epsl.2018.03.041, 491, 244-254.
- Kobayashi, T. (2018), Locally distributed ground deformation in an area of potential phreatic eruption, Midagahara volcano, Jpana, detected by single-look-based InSAR time series analysis, *J. Volcanology and Geothermal Res.*, 357, 213-223, 2018, doi:10.1016/j.jvolgeores.2018.04.023.
- Kobayashi, T. (2018), InSAR-detected local ground deformation in potential areas of phreatic eruption: Way forward to proactive monitoring for disaster risk

- mitigation, proceeding of 13th SEGJ Information Symposium, 2018 (to be published)
- Kobayashi, T., H. Yarai, S. Kawamoto, Y. Morishita, S. Fujiwara, Y. Hiyama (2018), Crustal Deformation and Fault Models of the 2016 Kumamoto Earthquake Sequence: Foreshocks and Main Shock, Internasional Association of Geodesy Symposia, doi:10.1007/1345_2018_37 (to be published)
- Kobayashi, T., Y. Morishita, and H. Munekane (2018), First detection of precursory ground inflation of a small phreatic eruption by InSAR, Earth Planet. Sci. Lett, 491, 244-254, 2018, doi:10.1016/j.epsl.2018.03.041.
- Kubota, T., Suzuki, W., Nakamura, T., Chikasada, N. Y., Aoi, S., Takahashi, N., & Hino, R. (2018) Tsunami source inversion using time-derivative waveform of offshore pressure records to reduce the effects of non-tsunami components Geophysical Journal International, 215, 1200-1214
https://doi.org/10.1093/gji/ggy345.
- Morishita, Y., T. Kobayashi, S. Fujiwara, and H. Yarai (2018), Complex crustal deformation of the 2016 Kaikoura, New Zealand, earthquake revealed by ALOS-2, Bull. Seismol. Soc. Am., 108(3B), 1746-1756, doi:10.1785/0120180070.
- Takahashi, N., Imai, K., Sueki, K., Obayashi, R., Ishibashi, M., Tanabe, T., and Kaneda, Y. (2018). Real-Time Tsunami Prediction System Based on Seafloor Observatory Data Applied to the Inland Sea, Japan. Marine Technology Society Journal, 52(3), 120-127.
- Takemura, S., Kubo, H., Tonegawa, T., Saito, T., & Shiomi, K., Modeling of Long-Period Ground Motions in the Nankai Subduction Zone: Model Simulation Using the Accretionary Prism Derived from Oceanfloor Local S-Wave Velocity Structures, https://doi.org/10.1007/s00024-018-2013-8
- Toshihiro Yahagi, Kenji Yoshida, Takayuki Miyazaki, Yoshifumi Hiraoka, Basara Miyazawa, 2018, Construction of the Japan Gravity Standardization Net 2016, Bulletin of the GSI (Vol.66).
- Toshihiro Yahagi, Yoshifumi Hiraoka, Shuichi Oomori, Tokuro Kodama, Akira Tomiyama, Erika kichiraku, Hiroshi Kawawa, Koji Matsuo, 2018, Launch of an airborne survey project towards the new geoid-based vertical datum in Japan, the AGU 2018 Fall Meeting.
- Wakasugi T., S. Kurihara, H. Ueshiba, M. Umei, M. Ishigaki, H. Munekane (2018), Current Status of VGOS Observation with Ishioka VLBI Station, proceeding of 10th General Meeting of the International VLBI Service for Geodesy and Astrometry (to be published)
- 下司信夫, 2018, 陥没カルデラの構造とその形成メカニズム. 地学雑誌, 127, 175-189.
- 伊藤順一, 2018, 御嶽山噴火の教訓と噴火予測の現状-過去の火山活動から学ぶ危険予知-. 日本旅行医学会学会誌, vol.13, 45-51.

- 松本 弾, 2019, 津波分布域 -G-EVER アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムデータ 3/7-, 産総研地質調査総合センター研究資料集.
- 石川有三, 2019a, 世界の震源域の分布 -G-EVER アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムデータ 1/7-, 産総研地質調査総合センター研究資料集.
- 宝田晋治, 2019a, 東・東南アジア地域の大規模火砕流堆積物の分布 -G-EVER アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムデータ 4/7-, 産総研地質調査総合センター研究資料集.
- 石川有三, 2019b, 世界の震源分布 -G-EVER アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムデータ 2/7-, 産総研地質調査総合センター研究資料集.
- 宝田晋治, 2019b, 東・東南アジア地域の大規模降下テフラの分布 -G-EVER アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムデータ 5/7-, 産総研地質調査総合センター研究資料集.
- 宝田晋治, 2019c, 東・東南アジア地域のカルデラの形状 -G-EVER アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムデータ 6/7-, 産総研地質調査総合センター研究資料集.
- 宝田晋治, 2019d, 東・東南アジア地域の火山イベントの犠牲者数 -G-EVER アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムデータ 7/7-, 産総研地質調査総合センター研究資料集.
- 国土地理院, 2018, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 99, 184-225
- 阿部聡他 (2018) : Development of New GEONET Analysis Strategy (GEONET 新解析戦略の開発), 地球惑星科学連合 2018 年大会
- 宮崎隆幸, 2018, 過去の稠密重力データの日本重力基準網 2016 への整合手法の高度化, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会予稿集, (発表番号: SGD01-05) .
- 川元智司他 (2018) : GEONET 新解析戦略 (F4) の開発, 日本測地学会第 130 回講演会
- 川元智司他 (2018) : GEONET 新解析戦略 (F4) の開発, 日本地震学会秋季大会
- 福崎順洋他 (2018) : 昭和 IGS 観測局の連続運用 20 年, 日本測地学会第 130 回講演会
- 後藤秀昭・千田 昇 (2018) : 1:25,000 活断層図 布田川・日奈久断層帯とその周辺「八代 改訂版」「日奈久」解説書. 国土地理院技術資料 D1-No.914, 12p.
- 防災科学技術研究所(2019), 2018 年 5 月 6 日鳥島近海で発生した地震 (MJMA 5.7) による津波—S-net・DONET による水圧変動観測—, 地震予知連絡会報, 101, 印刷中.
- 防災科学技術研究所(2019), 2018 年 5 月 25 日長野県北部の地震, 地震予知連絡会報, 101, 印刷中.
- 防災科学技術研究所(2019), Double-Difference 法による 2018 年 6 月 18 日大阪府北部の地震の震源分布, 地震予知連絡会報, 101, 印刷中.
- 防災科学技術研究所(2019), Double-Difference 法による 2018 年 9 月 6 日胆振東部地震の震源分布, 地震予知連絡会報, 101, 印刷中.
- 防災科学技術研究所(2019), 房総半島沖スロースリップイベント (2018 年 6 月), 地震予知連絡会報, 101, 印刷中.
- 防災科学技術研究所(2019), 三次元地震波速度構造により再決定した平成 30 年胆振東部地震周辺の震源分布, 地震予知連絡会報, 101, 印刷中.
- 国土地理院時報 (第 130 集) 「火山基本図の整備, 公開」を公表。

- 森下遊，小林知勝，2018，ALOS-2 干渉 SAR 時系列解析で検出された霧島山の地表変位と大気遅延誤差低減処理の効果，測地学会誌，64，28-38.
- 森下遊・小林知勝（2018），ALOS-2 干渉 SAR 時系列解析で検出された霧島山の地表変位と大気遅延誤差低減処理の効果，測地学会誌，64，28-38.
- 石塚 治・下司信夫，2018，八丈島火山地質図. 火山地質図 20, 産総研地質調査総合センター，8p.
- 小林知勝，山田晋也，2019，干渉 SAR 時系列解析による国土の地盤変動の時間的推移の面的検出に関する研究（第 5 年次），国土地理院調査研究年報（平成 30 年度）.
- 小林知勝，森下 遊，山田晋也，2018，干渉 SAR 時系列解析プロトタイプシステムの開発，国土地理院時報，130.
- 及川輝樹・萬年一剛・下司信夫・中野 俊，2018，Recent eruptions in Japanese Islands. 地質学雑誌，vol.124 , I-II.
- 及川輝樹・大場司・藤縄明彦・佐々木寿，2018，水蒸気噴火の地質学的研究．地質学雑誌，vol.124，231-250.
- 上野寛・上田満治・森脇健・溜渕功史，2018，最近の気象庁一元化震源の動向，日本地震学会予稿集 2018 年秋季大会，S23-P05.
- 宮岡一樹・武田清史・尾崎友亮・青木元，2018，大阪府北部の地震活動の概要，日本地震学会予稿集 2018 年秋季大会，S24-P01.
- 平岡喜文，矢萩智裕，松尾功，大森秀一，2018，日本での航空重力測量実現に向けた国土地理院の取組み，日本地球惑星科学連合 2018 年大会予稿集，（発表番号:SGD01-12）.
- 岡田篤正・金田平太郎・杉戸信彦・中田 高（2018）：1:25,000 活断層図 濃尾断層帯とその周辺「大野」「冠山」「能郷白山」「谷汲」「美濃」「岐阜」解説書．国土地理院技術資料 D1-No.912，29p.
- 大森秀一，矢萩智裕，平岡喜文，吉樂絵里香，2018，航空重力測量実施に向けた飛行計画の設計，日本測地学会第 130 回講演会要旨集，149-150.
- 大森秀一，平岡喜文，矢萩智裕，加藤知瑛，吉田賢司，2018，石岡測地観測局における重力値の水平勾配の評価，日本地球惑星科学連合 2018 年大会予稿集，（発表番号：SGD01-10）.
- 山本宏章，宮原伐折羅，吉田賢司，菅原安宏，宮崎隆幸，2018，国土地理院の重力測量，国土地理院時報，131.
- 矢萩智裕，平岡喜文，大森秀一，宮原伐折羅，黒石裕樹，2018，国土地理院のジオイド・モデルの変遷，日本地球惑星科学連合 2018 年大会予稿集，（発表番号:SGD01-P07）.
- 菅原安宏，宮原伐折羅，吉田賢司，山本宏章，福田洋一，2018，南極地域における国土地理院の重力測量－地球規模の重力場測定への貢献－，国土地理院時報，131.
- 植田摩耶・中澤尚・安喰靖・齋藤俊信・飯田誠・山中崇希（2018）：1:25,000 活断層図「熊本 改訂版」及び「阿蘇」の公開．国土地理院時報，130.
- 海上保安庁海洋情報部研究成果発表会ポスターセッション「P3 豊後水道におけるマルチビーム測深機で得られた海底地形」
- 阿部聡・高松直史・石川典彦・木村勲・畑中雄樹・川元智司（2018）：次世代 GEONET の構築（第 4 年次），平成 29 年度調査研究年報

山口照寛・高橋浩晃・笠原稔，地殻変動データベース開発状況 2018，日本測地学会講演予稿集，201，2018.

小坂橋勝，小島秀基，根本悟，宮原伐折羅，平岡喜文，矢萩智裕，2018，ジオイド・モデル「日本のジオイド 2011」（Ver.2）の構築，国土地理院時報，130.

吉田賢司，矢萩智裕，平岡喜文，宮原伐折羅，山本宏章，宮崎隆幸，2018，日本重力基準網 2016（JGSN2016）の構築，国土地理院時報，131.

山本宏章，宮原伐折羅，吉田賢司，菅原安宏，松尾功二，宮崎隆幸，2018，国土地理院の重力測量の歴史－観測技術と重力基準の変遷－，国土地理院時報，131.

宮原伐折羅，吉田賢司，山本宏章，松尾功二，宮崎隆幸，宗包浩志，2018，国土地理院の重力測量の展望－測定技術と重力基準の将来像－，国土地理院時報，131.

兒玉篤郎，富山顕，吉樂絵里香，矢萩智裕，平岡喜文，河和宏，大森秀一，2018，航空重力測量実施に向けた地上重力検定線の設置，日本測地学会第 130 回講演会要旨集，147-148.

本田昌樹・山下達也・上芝晴香・攪上泰亮・林京之介・桑原將旗・松本紗歩・仲井博之・酒井和紀・宮原伐折羅・宗包浩志・飛田幹男・矢来博司・小林知勝・森下遊・藤原智（2018），だいち 2 号 SAR データの解析による霧島山噴火に伴う地表変動の検出，国土地理院時報，130.

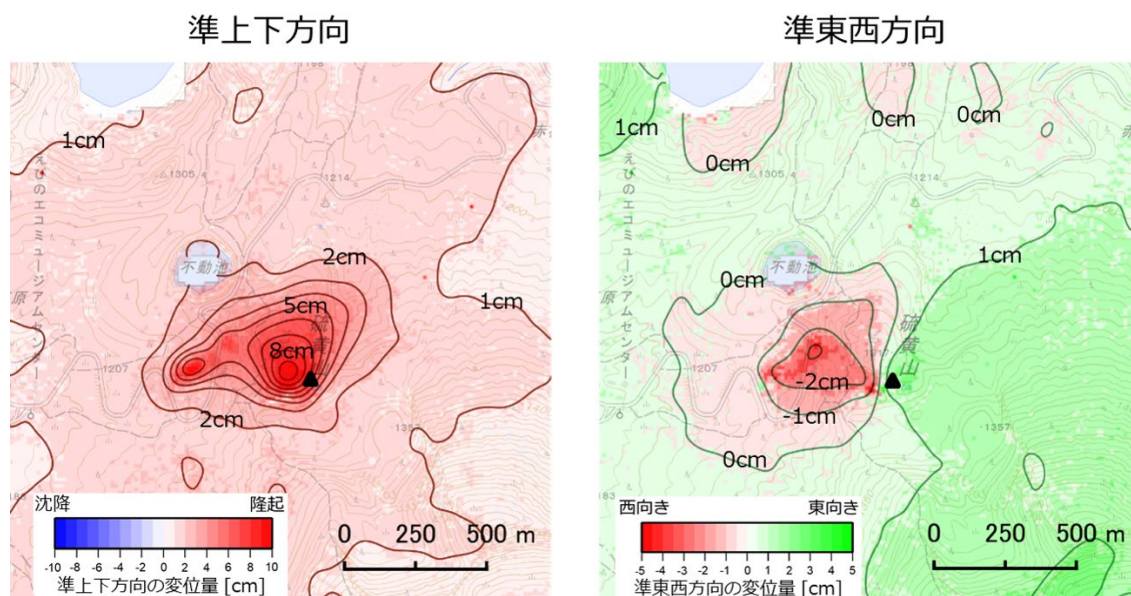


図 1. 2018/03/11-2018/04/22 と 2018/03/12-2018/04/23 の SAR 観測データの解析により得られた霧島山（硫黄山）における準上下・準東西成分の変動量。国土地理院「課題番号 6008」

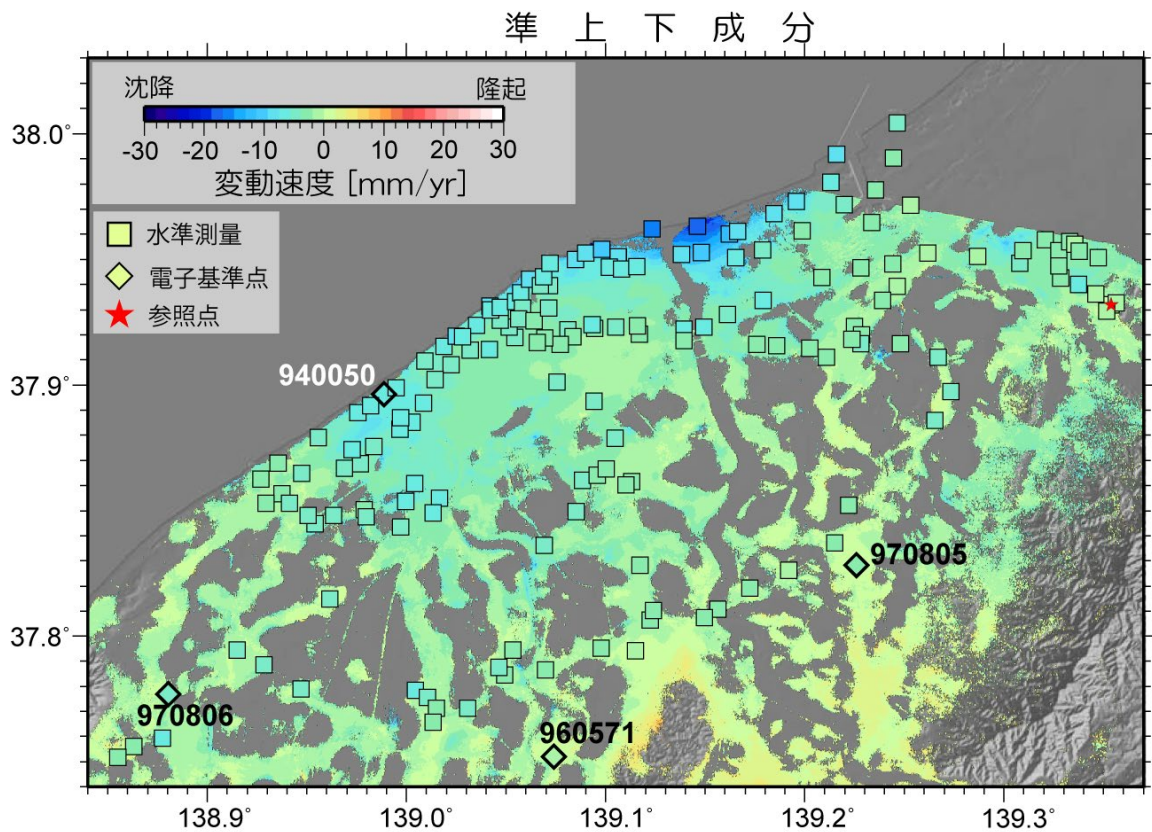


図 2. 干渉 SAR 時系列解析により求めた変動速度（準上下成分）と水準測量データ及び電子基準点データとの比較。 国土地理院「課題番号 6013」

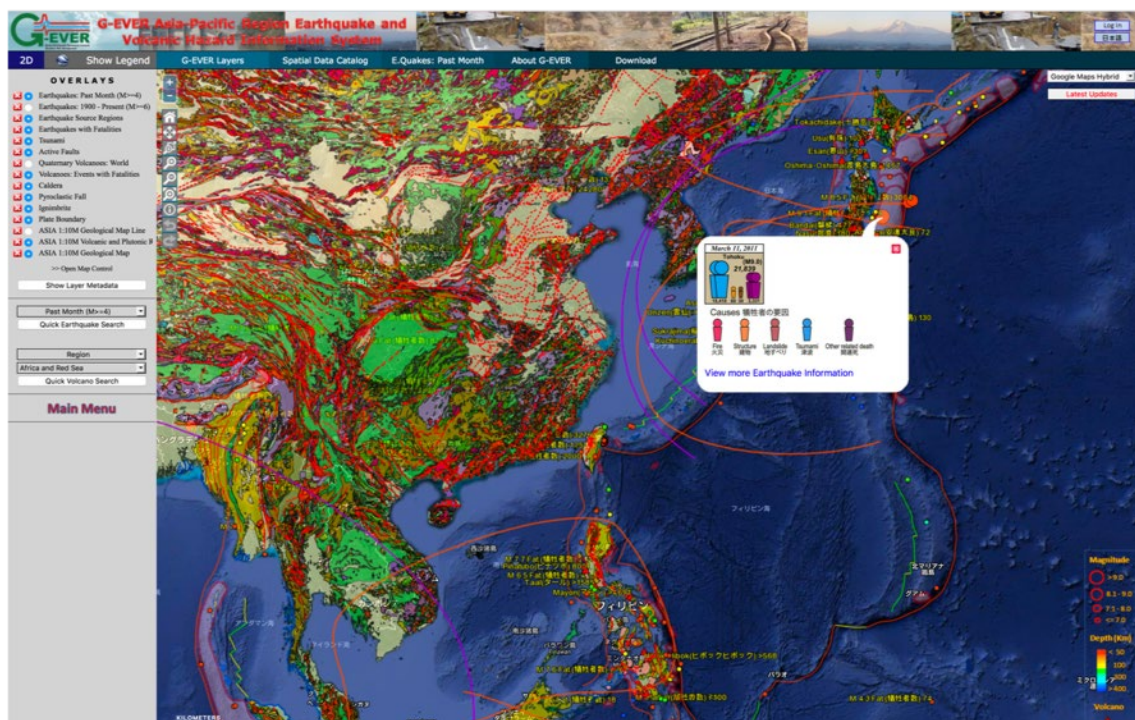


図 3. アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システム。産業技術総合研究所「課題番号 5009」

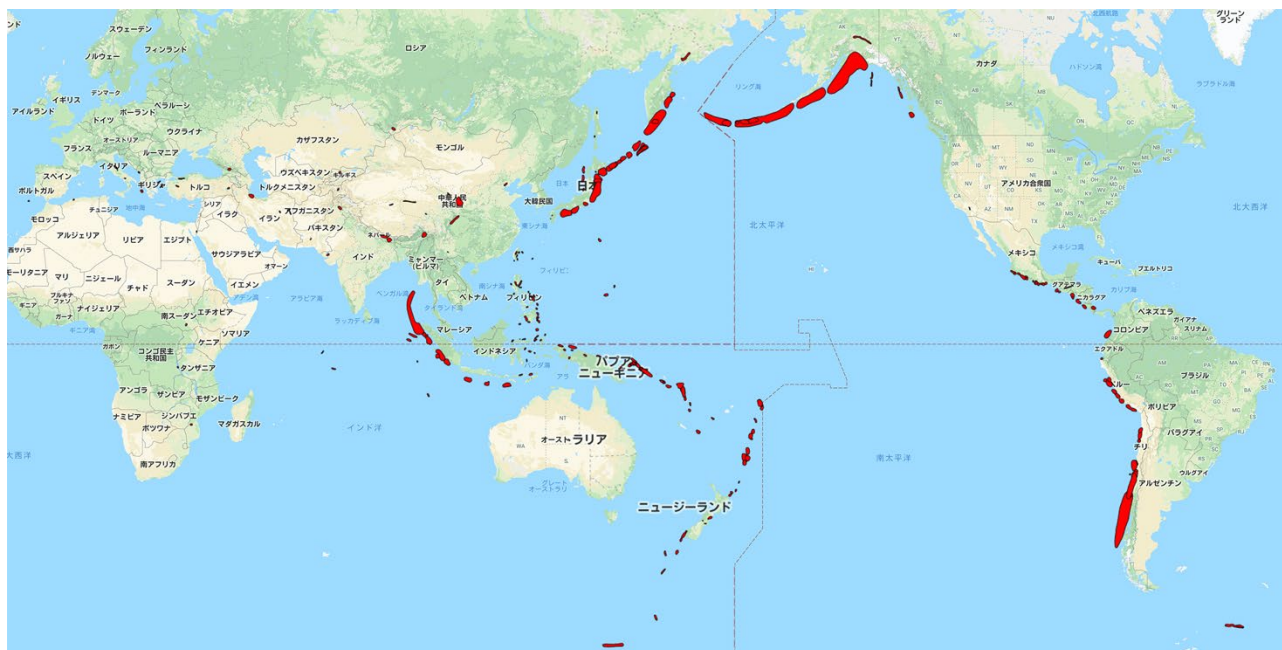


図 4. 世界の地震の震源域。産業技術総合研究所「課題番号 5009」

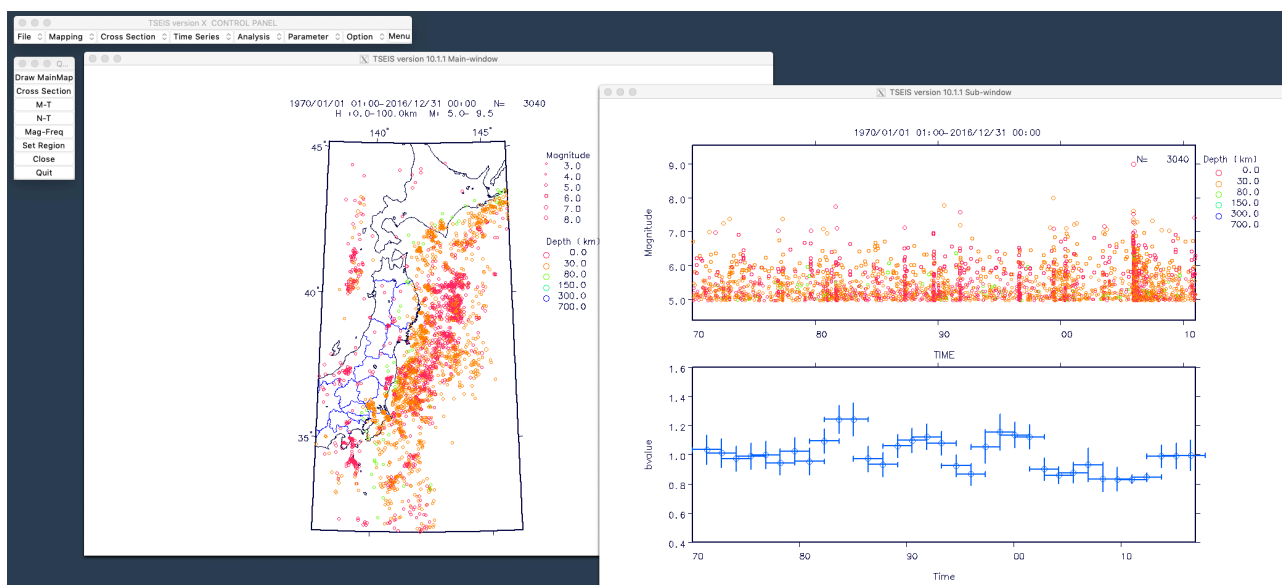


図 5. 地震活動解析ツール(TSEISX)の起動画面例。東京大学地震研究所 「課題番号 1519」