

## 1 (5) 災害誘因評価・即時予測

「災害誘因評価・即時予測」計画推進部会長 太田雄策  
(東北大学大学院理学研科)  
副部会長 三宅弘恵  
(東京大学地震研所)

地震・火山噴火という自然現象が引き起こす地震動、津波、火山噴出物、斜面崩壊等の災害誘因は自然や社会に潜在的に存在する脆弱性等の災害素因に働きかけ、これらの総合作用に応じて様々な規模の災害が発生する。すなわち災害誘因評価の高度化は、災害軽減を果たすために有効な手段である。こうした観点から、「災害誘因評価・即時予測部会」では災害誘因や災害リスクを事前に高い精度で評価する手法を開発する「地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化」ならびに地震や火山噴火が発生した直後に高精度かつ即時的に災害誘因を予測する手法を開発する「地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化」を推進するとともに、それら災害誘因予測を効果的に防災対策の推進に結びつけるための「地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究」を進める。

### 3. 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

#### (1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

##### ア. 強震動の事前評価手法

##### ○震源モデルの高度化

M<sub>jma</sub> 6.7の2018年北海道胆振東部地震の断層破壊を強震記録を用いた波形インバージョン(周波数0.04-0.5Hz)および経験的グリーン関数法による強震動シミュレーションによるSMGAモデリング(周波数0.3-10Hz)により求めた(図1)。波形インバージョンにおいては、対象地域の複雑な地盤・地殻構造の影響を考慮して、全国一次地下構造モデル(Koketsu et al., 2012)による3次元地盤・地殻構造モデル(最小S波速度0.6km/s)を用いて理論グリーン関数を計算し、利用した。その結果、主破壊は深さ約22~32kmの震源(破壊開始点)より浅い、震源上方からやや南方に広がっていることが分かった。最大すべり量は約1.7mだった。この主破壊領域はこの地域の下部地殻に限定され、破壊は上部地殻までは達していないと考えられる。また、主破壊領域では余震活動が活発でないことも分かった。さらにこの震源断層モデルを3次元速度構造モデルに組み入れ、波動シミュレーションを行い、長周期地震動の伝播特性を調べた。震源域直上から西方向に広がる厚い堆積層を持つ勇払平野方向へ、大きな速度パルス波が伝播していく様子が見られた。さらに、経験的グリーン関数法(Irikura, 1986; 入倉・他, 1997)による広帯域強震動シミュレーションを行い、この地震の震源モデル(SMGA震源モデル)を推定した。推定された震源モデルは、2つのSMGAモデルで成り立っており、SMGA1が震源時の7.2秒後に破壊開始し、その破壊開始点は震源より約5.7km南西、震源より約10km浅く、SMGA1の大きさは7.2km×7.2km、地震モーメントは $5.1 \times 10^{18}$ Nm、応力降下量33MPaと求められた。SMGA2は震源時の12.9秒後に破壊開始し、破壊開始点は震源より約5.6km南西、震源より約13km浅く、SMGA2の大きさは5.4km×5.4km、地震モーメントは $1.2 \times 10^{18}$ Nm、応力降下量18MPaと求められた。またこの震源モデルを用いて、震度7を記録した地点のフォワードシミュレーションを行ったところ、観測に比して卓越周波数が高く最大加速度値が過大と

なることが確認され、これらの大震動時には、地盤の非線形応答があった可能性が示された (Asano and Iwata, 2019; Nagai et al., 2019, 京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI09])。

静岡県下の強震波形データを用いて、スペクトルインバージョン法による、震源、地震波伝播、サイト各特性の分離を行った。0.2-10Hzを解析対象範囲として、M3.5-6.0程度の震源スペクトルを求め、 $\omega^2$ 乗モデルを当てはめて応力降下量を求めた。このマグニチュード範囲では、応力降下量の地震規模依存性は明らかではなかったが、地殻内地震から沈み込むプレート内地震を含む、深さ1kmから121kmに分布する今回解析したイベントの応力降下量には深さ依存性が確認された(図2)(島津・他, 2019, 京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI09])。

2016年熊本地震を事例とした地表地震断層の詳細情報の精査とモデル化を行った。具体的には地震後のインバージョン結果に基づく地下の震源断層モデルと、地表で観察された地表地震断層の分布をそれぞれ100m間隔の3次元点群化モデルで表現した(図3)。次に、地下の震源断層モデルと地表地震断層の分布を考慮した地表下浅部の点群の接合・収斂について、地震・強震動分野の研究者と変動地形分野の研究者で議論を重ねて、複数のモデルを提案した。また、布田川断層からは遠隔にある清正公道沿いの地表変状(rupture)と被害の関係について見直した。ここでは地震時に右横ずれを伴うruptureが連続的に出現するとともに、近傍において強震動による構造物被害が生じた。その位置はかつての清正公道を埋め立てた際の盛り土境界付近に該当し、地盤の影響によるruptureである可能性も指摘されていた。しかし、2019年1年と11月にトレンチ調査を実施したところ、ruptureは盛り土境界ではなく、半固結ローム層を明瞭に断ち切り、系統的な右横ずれを伴う地震断層であることが判明し、清正公道断層と呼ぶべきものであることを明らかにした(名古屋大学 [課題番号: NGY\_05])。

## ○地下構造モデルの高度化

大阪、京都、奈良堆積盆地を中心とした地域で、2018年大阪府北部の地震の観測波形データの再現シミュレーションを通じて、既往地下構造モデル(Sekiguchi et al., 2016)の検証と盆地堆積層での地震動形成メカニズムの分析を行った。今年度は特に、堆積Q値の検討と大阪盆地地下構造モデルの改良を実施した。差分法計算でQ値を変えてシミュレーションを行い、観測波形と計算波形を狭帯域で比較することにより、0.1~2.0Hzの間のQ値の周波数依存性をモデル化した(図4)。既往地下構造モデルの大阪平野から大阪湾地域に関し、新たな探査データや表層地質情報を追加し、データの内外挿方法などモデル構築作業の改善を行い、モデルの改良を実施した(関口・他, 2019, 京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI08])。

静岡県地域の強震波形データを用いて、スペクトル・インバージョン法による震源、地震波伝播、サイト各特性の分離を行い、地震基盤以浅の地下構造モデルの検証を進めた。静岡県東西ブロックにおける各伝播経路特性として、分離によって得られたQ値を1.0-10Hzの周波数帯域においてモデル化した結果、西部では $Q=245.4f^{0.38}$ 、東部では $Q=74.1f^{0.96}$ と、異なる特徴を持つQ値が求まった。得られたサイト増幅特性を、東海地域の最新の浅部・深部統合地盤モデル(Wakai et al., 2019)の観測点直下のS波速度構造モデルを取り出して求められる1次元理論S波増幅率と比較すると、卓越周波数や増幅レベルといった点でよい対応を示した(図5)。また、2009年駿河湾の地震と2011年静岡県東部の地震でPGA200cm/s/s以上の強震動を観測した点の強震時のサイト増幅特性を、強震時サイト増幅特性=観測/震源特性/伝播特性として求め、弱震のサイト増幅特性と比較したところ、地盤の非線形応答の特徴と考えられるサイト増幅特性の卓越周波数の低周波側への移動が14観測点、多くはAVS30の小

さい軟弱な地盤上で確認された(島津・他, 2019, 京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI08])。

### ○強震動評価の高度化

大地震で生成し、近地～遠地で誘発地震やスロー地震を発生させる大振幅のLove波パルス(G波)の生成原因を評価した。具体的には標準地球モデルを用いた理論分散曲線の解析と、3次元差分法計算による地震波伝播シミュレーションから、薄い海洋構造では広い帯域(15～200秒)でLove波の分散性が弱く、また群速度と位相速度が近い値を持つために、波形位相を保って伝播することを確認した。2011年東北地方太平洋沖地震の近地強震波形と遠地広帯域波形を調べると、震源からのLove波の放射が強い西南日本と太平洋の対岸において振幅の大きなG波の到来が確認された(図6)。G波の到達直後に中部～西南日本で地震活動が活発化し、太平洋沿岸の沈み込み帯で低周波数地震や微動活動が報告されるなど(例えば、Miyazawa, 2011; Chao et al., 2013), 大地震による表面波の影響が全地球に広がったことが確認された(Furumura and Kennett, 2020, 東京大学地震研究所 [課題番号: ERI\_14])。

太平洋プレートで深発地震が発生すると、太平洋岸の震度が大きくなる異常震域が生じる。しかし、2013年5月24日のオホーツク海深発地震(610km, Mw 8.3)では、稚内や秋田など日本海側で最大震度3が観測され、通常の深発地震とは逆の震度分布となった。F-netとHi-net記録を解析し、日本海側の強い揺れは太平洋プレートを伝播した高周波数S波ではなく、(1)上部/下部マントル境界付近の深い震源から放射されたS波のcaustics, (2)地表でのsP変換波と後続のsPL波, そして(3)sS反射波により作り出されたことが確認できた(Kennett and Furumura, 2019; Furumura and Kennett, 2019, 東京大学地震研究所 [課題番号: ERI\_14])。

南西諸島域について地震の応力降下量の分布を調べた。対象とする地震は2002年6月から2017年5月までの15年間に発生したイベントで、F-netで地震モーメントが報告されている震源のみを選択した。その結果、応力降下量の値は1～100MPaの範囲(中央値はほぼ10MPa)に分布し、0th(2013)が推定した九州同様に比較的高い値が求まるとともに、琉球海溝から沖縄トラフにかけて応力降下量が低下する傾向にあること、沖縄トラフ内部では台湾周辺や宮古海山を除いた地域で低く、地殻熱流量が高い場所に対応することが分かった。また、琉球海溝沿いでは奄美大島北東沖(トカラ・ギャップの衝突域)などの応力降下量が特に高い領域が存在することが確認できた(東京大学地震研究所 [課題番号: ERI\_14])。

3次元差分法に基づく地震波伝播シミュレーションのオープンコード(OpenSWPC; Maeda et al., 2017)について、利用者コミュニティからの改善点や機能追加に関するフィードバックを受けて改良と機能拡張を進めた(東京大学地震研究所 [課題番号: ERI\_14])。

2016年熊本地震を例として、強震動計算手法の高度化のための検討を行った。観察された地表地震断層の長さ34kmに基づいて、地震本部の強震動予測手法「レシピ」に従った断層モデルにより熊本地震の強震動計算を行ったところ、地震モーメントや地震動が過小評価となった。一方、観測に基づく熊本地震の地震モーメントを既知として設定した断層モデルを「レシピ」で計算したところ、地震動分布は観測記録をおおむね説明できた。ただし、地表地震断層ごく近傍の観測点における周期1秒程度以上の地震動は過小評価のままであった。このことについて、地震発生層よりも浅い領域に断層すべりを考慮した断層モデルで計算を行うと、結果が改善することが確認された(名古屋大学 [課題番号: NGY\_05])。

## イ. 津波の事前評価手法

巨大地震に伴う海底斜面崩壊による津波の数値計算手法を開発し、1929年Grand Banksで発生した地震に伴う津波イベントに適用を試みた。巨大地震は発生しないとされているアメリカ東海岸の沖合で、1929年にGrand Banks地震 (M7.2)が発生した。この地震直後に震源近傍のケーブルが切断され、海底地すべりが発生していたことが確認されている。また、地震波形解析から地すべり自体が地震波を励起したとされている (Hasegawa and Kanamori, 1987)。さらにこの地震(海底地すべり)は津波を励起し、震源域近傍で大きな被害が報告されている。Halifax(カナダ)の検潮記録には津波波形も記録されている。そこで、先行研究で提示されている海底地すべり域を参考に地すべり域を仮定し、地すべりの層厚を変化させて、海底地すべりと津波の数値計算を実施し、Halifaxの津波波形(第1波)の再現実験を行った。その結果、海底地すべりの量は約100km<sup>3</sup>程度であることを見積もることに成功した(図7) (Ioki et al., 2019, 北海道大学 [課題番号: HKD\_05])。

## ウ. 大地震による災害リスク評価手法

強震動による地震災害誘因の分析のため、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に着手した。堆積平野・堆積盆地の地震動増幅特性の定量化に向けて、東京大学地震研究所共同利用の枠組みで可搬型微動・強震観測システムを運用した。また、2018年北海道胆振東部地震や2004年米国パークフィールド地震、トルコ西部の被害地震等を対象として、国内外の強震記録の分析を行い、堆積平野・堆積盆地の地震動増幅特性を定量化すると共に、震源解析や強震動シミュレーションを行った(東京大学地震研究所 [課題番号: ERI\_16])。

2016年熊本地震の際の建物被害についての分析を行った。具体的には益城町市街地において、詳細な地表地震の性状を解明し、建物被害との関係を明らかにした。その結果、①地震断層から120m以内の範囲に全壊家屋の総数の94%が集中すること、②被害率については近傍120mの範囲内において断層からの離隔距離と被害率には負の相関があること、③建築年代を昭和50年以前と以後に分けて分析すると新旧に寄らず②の関係が成立することが明らかとなった(図8) (名古屋大学 [課題番号: NGY\_05])。

地震被害想定における不確実性を低減することを目的として、鳥取県大山町役場と連携して、微動を用いた町内の面的な地盤震動特性の把握、および地下速度構造の推定を実施した。あわせて、同町内の避難所施設として指定されている20棟の建物(主に体育館)内で微動観測を実施し、振動特性(卓越周期)の調査を行った。また、2016年鳥取県中部の地震で被害を生じた県中部域(倉吉市、湯梨浜町、北栄町)において微動観測を追加するとともに、これまでに実施した調査(余震観測、微動探査、重力探査)を総合的に再解析し(図9)、地下構造のモデル化を行った。さらに、2000年鳥取県西部地震で被害を生じた鳥取県境港市の強震観測記録を精査し、強震動の面的予測において表層地盤の非線形地盤応答特性の評価に一般的に用いられる等価線形手法のパラメータの合理的設定に向けた検討を開始した。具体的には、小地震と大地震の地震観測H/Vに拡散波動場理論を適用し、それぞれの地盤ひずみレベルに応じた等価線形地盤(地震波速度、減衰)を同定し、小地震の地盤(線形)を初期値として大地震の等価線形地盤に移行するような地盤の非線形応答特性を逆推定するための検討を行った(香川・他, 2019, 鳥取大学 [課題番号: TTR\_01])。

津波避難モデル地域(北海道八雲町、神恵内村等)において、実測した歩行速度に基づき避

難場所までの避難シミュレーションを行い、想定津波における避難困難地区を特定した。シミュレーションでは、避難設備の現地での確認調査を踏まえて発災時に使用できないと判定された避難路を除外して計算を実施した。避難困難地区の対策を自治体・地域住民と協議し、新たに避難路の整備が必要な個所を抽出したほか、役場庁舎の建て替えに合わせて庁舎に津波避難ビル機能を持たせることを決定した。庁舎の設計では、想定津波に耐える強度、冬季を想定した発災下での暖房の確保、想定される避難人数などを考慮した。新設する避難設備を条件に組み込んで再度避難シミュレーションを実施し、避難困難地区が解消されることを確認するとともに、地区ごとの避難場所の最適化を図った（図10）。以上に加えて、地震の強震動や液状化による道路破損を想定した車避難のリスク評価を行い、渋滞発生箇所を推定した。これらの研究データは今後、地域の避難計画の更新に活用する予定である（北海道立総合研究機構地質研究所〔課題番号：HR0\_02〕）。

## エ. 地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法

地震動に伴って発生する地すべり現象の発生ポテンシャル評価と事前予測手法のさらなる高度化を進めるために、観測による災害誘因メカニズムの検討を行った。具体的には9000年から12万年前までの軽石が10cm以上の厚さで分布している範囲を新編火山灰アトラスから抽出（図11）し、関東から北海道にかけて分布図を作成し、既往地震地すべりとの比較を行ったところ、地震時地すべりのすべり面となる可能性が特に高い降下火砕物は、9000年よりも古い軽石およびそれに伴う火山灰土であることが分かった。少なくともこの範囲は今後の地震時地すべりの要注意域と考えられる。

地すべり内での地震動のばらつき、伝播特性を把握するために、紀伊山地における深層崩壊のすべり残りブロック上に多点の稠密地震観測アレイを設置し、観測を開始した。谷埋め盛土斜面における間隙水圧変動について同時に記録された地震動との関係から議論した。観測されたPGAが120galまでのイベントに対し、間隙水圧の上昇量はPGAやArias Intensityと強い相関があること、間隙水圧の立ち上がり時刻は、そのタイミングにおける瞬間的な揺れの強さで決まること、間隙水圧の上昇時間は比較的強い揺れが続く継続時間に由来することが示された。さらに北海道南東部の再活動型地すべりにおいては、素因として、海岸浸食や間隙水圧の上昇に伴ってどの程度地すべりの安定性が低下しているのかを連続観測データから示した。また、北海道胆振東部地震によって変状が現れた谷埋め盛土斜面で表面波探査を実施し旧地形に対応する地下構造を推定することによって、谷埋め盛土と地山のテフラ層が一体となって地震時に地すべり性の変状を示したことが明らかになった。

また、2018年北海道胆振東部地震により、厚真町のテフラ斜面において発生した地すべりを調査した結果、すべり面には多くの地震による崩壊斜面のすべり面から検出されている粘土鉱物の薄板状ハロイサイトが含まれていることが分かった。さらに同ハロイサイトの特徴を調べたところ、チューブ状のハロイサイトの含有量が増えるにしたがって、試料全体のせん断抵抗が下がり、保水力が上昇すること、すなわち、せん断された際には内包された水を原因として流動性が増すことが明らかになった（Chigira et al., 2019; Doi et al., 2019; Liu and Wang, 2020, 京都大学防災研究所〔課題番号：DPRI10〕）。

宮城県荒砥沢地区ならびに熊本県南阿蘇村立野に設置している2台のGB-SARの連続計測を継続し、GB-SARデータを取得した。南阿蘇立野地区には2017年に地上設置型合成開口レーダ(GB-SAR)を設置した（図12）。主に2019年1月から11月までのデータから推定した面的変位

速度からは大きな変位は確認されていない。同地区はこれまで2016年熊本地震による崩落地帯の安定化、国道ならびに鉄道の復旧工事が行われてきたが、これらの工事が年度末でほぼ終了する見込みである。斜面の安定化事業により、GB-SARで観測してきた地域は金属ネットで覆われ、植生が進められた結果、従来の計測状態から変化したため、安定化の確認が主たる目的となっている。しかし例えば2019年6月30日に大雨により崖面一部の崩落が観察されたが、GB-SARではこれを的確に捉えることに成功した。

SAR画像のピクセルごとの位相・強度情報を用い、2枚のSAR画像を干渉させる(位相の差をとる)ことにより、2回の観測の間における変位量を推定する。しかし、観測間において大気屈折率が時間的・空間的に変化した場合、その変化量は電波の伝搬速度を変化させ、結果的に干渉SARにおける位相差として現れる。この大気誤差を軽減するため、多数のSAR画像を使用して変位速度を推定するPersistent Scatter Interferometry (PSI)技術を使用した。PSI技術により、2枚のSAR画像間で変位量を求める従来手法よりも少ない誤差で変位を推定することができる。同解析を南阿蘇におけるGB-SARデータに適用した。現場ではバックホウにより掘削作業が行われており、発生した土砂により干渉画像が著しく変化していることが確認できた。さらに宮城県荒砥沢地区におけるGB-SAR観測では2019年10月の豪雨に伴う斜面の侵食が確認された。この時、斜面各点で計測した地表面変位から変位による体積変化を推定した。これは土砂の流出量に対応すると考えることができる。更に降雨量と地表面変位の相互相関をとると、降雨後4日程度で地表面変位が現れることを見いだした。同手法は、今後の土砂侵食の予想へつながる成果と考えられる(佐藤・他, 2019, 東北大学災害科学国際研究所 [課題番号: IRID03])。

## オ. 火山噴火による災害誘因の事前評価手法

火砕流の発生メカニズムの解明を目的とし、桜島火山における地盤変動、火山性地震、空気振動、火山ガス、映像等の観測を行い、爆発的噴火および火砕流のデータを収集した。特に今年度は、火砕流の流下パターンや堆積量を知るために桜島島内の黒神観測点において小型船舶レーダーを用いた観測を開始した。レーダー設置後に火砕流を伴う噴火かは発生していないが、例えば2019年11月8日の噴煙をレーダーで明瞭に捉えることに成功している。また、過去の火砕流を伴う噴火の前駆地震・地殻変動データの解析から、火砕流を伴う噴火では直前の膨張停滞時間が30分以上継続すること、火砕流を伴う噴火では47例中27例で前駆地震が発生することが明らかになった。これは火砕流を伴う噴火では火道中で通常の噴火とは異なる現象が発生している可能性を示唆する結果である(京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI11])。

## (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

### ア. 地震動の即時予測手法

大地震による大規模平野での長周期地震動の即時予測の実現に向け、観測・計算データ同化に関する研究を進めた。データ同化・予測では、同化波動場を初期値としてスパコンを用いた3次元差分法計算に基づき、数十秒先の波動場を予測する手法(Furumura et al., 2019)を用いた。今年度は予測の高速化を目指し、予め計算した同化観測点～予測地点の伝達関数(グリーン関数)を用いて、評価地点の揺れを瞬時に予測する方法を検討した。さらに本手法を用いて、南海トラフ巨大地震の長周期地震動の即時予測の可能性を検討した。まず、内閣

府の1944年東南海・1946年南海地震震源モデルとJIVSM 地下構造モデル(Koketsu et al., 2008)を用いて模擬強震記録を合成し,これを観測波形と見なして同化・予測実験を行った(図13)。その結果, DONETやN-net(計画中)により震源域直上で地震発生直後にデータ同化を進めることができれば, 数十秒以上の猶予時間をもって関東平野等の遠地での長周期地震動の即時予測が可能であることが示された (Oba et al., 2019; Oba, 2020, 東京大学地震研究所 [課題番号: ERI\_14])。

PLUM法の高度化に関する研究を進めた。具体的には, S波群中のP波を検知する方法を発展させ, 上下動成分のみから得られる震度を予測に用いることを検討した。また, 距離減衰を導入することを考察した。これらにより, PLUM法が, 揺れの強さを予想してから実際の揺れが来るまでの時間的猶予が短時間になるという弱点を軽減する可能性を見出した(図14)。また, 予測計算の堅牢化のために, 機械学習によって観測点の品質を自動的に監視する方法を検討した。継続時間も含めた揺れの予測の精度向上を目指し, 減衰・散乱・速度構造などの地下構造の詳細な推定や地盤増幅特性のモデル化を進めた。また, データ同化や波動伝播シミュレーションでの計算時間を短縮する方法について開発に着手した。さらに, 詳細な観測網が利用可能な状況では, (断層破壊の全体を捉える) モーメントマグニチュードの即時推定による即時地震動予測では強い揺れの到来に間に合わず, 揺れをモニターする方法が有効であることを示唆する結果を得た (Cochran et al., 2019; Kodera, 2019; Meier et al., 2019; Kodera et al., 2020, 気象庁 [課題番号: JMA\_06])。

## イ. 津波の即時予測手法

Green関数を用いたデータ同化に基づく津波即時予測手法 (GFTDA; Wang et al., 2017) を海底地震津波観測網DONETが捉えた2016年鳥島沖地震津波に対して適用し, 津波即時予測実験を行った(図15)。同試行はリアルタイムに取得された記録に対してデータ同化手法を適用した初めてのケースである。同地震は海底火山カルデラ内で約10年周期で繰り返し発生する津波地震 (Fukao et al., 2018) であり, その津波の規模に比して地震動は極めて小さく, かつ励起源がカルデラ床の上下変位が支配的なCLVDメカニズムのため, 地震動からの解析によって津波を即時的に予測することが困難な事例である。しかしデータ同化手法を適用することで, 同イベントに対する津波予測を迅速に行い得ることを示した。さらに, リアルタイムな実データに対して適用するための信号処理手法の検討も開始した。実データは単にばらつきやノイズ成分が多いだけでなく, 地震動や潮汐成分も重畳している。そこで, 大気分野で活用されている経験的モード分解法を海底圧力計記録の津波信号に適用し, 津波信号の効果的な抽出を試みた。また, 地中海西部において仮想的な海底津波観測網を考え, 津波データ同化による予測実験から海底観測網とそれに基づく津波即時予測の有効性を検討した (Wang et al., 2019; Heidarzadehetal., 2019, 弘前大学理工学研究科 [課題番号: HRS\_02])。

搬送波位相変化から断層すべりを直接推定する手法 (Phase To Slip, 以下PTS) の性能評価を目的とし, 2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw 9.0) とそれに引き続く岩手県沖地震 (Mw 7.4) および最大余震である茨城県沖地震 (Mw 7.8) に対して同手法を適用した。データには関東から東北にかけてのGEONET観測点62点の1秒ごとの搬送波位相データを用いた。沈み込む太平洋プレート上面を386の小断層に分割し, それら小断層上のすべり分布を平滑化拘束を課した状態で推定した。グリーン関数にはOkada (1992) の手法を用いた。推定された断層面上でのすべり分布を見ると, 2011年東北地方太平洋沖地震本震については陸上GNSSの変位デ

ータを用いたものとはほぼ同等の結果が得られた。さらに引き続く余震に注目すると、明瞭なすべり量のステップが岩手県沖地震、茨城県沖地震双方で確認できた。さらにそれらのすべり分布についても先行研究とはほぼ同等の結果が得られた。これらの成果は、PTSによって1日以下で連続する地震現象のモニタリングが可能であることを示唆する結果と考えられる(図16)。また、実海底環境下でドリフト特性をその場で把握できる海底圧力観測システムのプロトタイプ機を開発し、同機を実海域に短期間設置することでその動作確認を行った結果、想定した通りの動作を確認することができた。さらに、リアルタイムGNSSによる震源断層即時推定における不確実性の定量評価をマルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC)で行うための技術開発を進めた。本年度は、単一の矩形断層モデルをリアルタイムGNSSによる永久変位場にもとづき即時的に得ることを目指したアルゴリズム開発を行った。同手法ではリアルタイムでの活用を念頭に、各パラメータの初期値や、尤度関数やそれを規定するパラメータ等を自動設定するアルゴリズムを構築した(田中・他, 2019; 大野・他, 2019, 東北大学理学研究科 [課題番号: THK\_12])。

近地津波について、後続波で高い津波が観測された過去事例を収集し、津波数値計算で再現するため初期波源など条件設定の検討を行い、福島県沖から関東東方沖にかけての海域を波源とする津波が福島県沿岸で反射して東北地方沿岸に後続波をもたらす事例を再現した(図17)。遠地津波について、南米沖及び南太平洋西部を波源とする津波に加えて北太平洋を波源とする津波についてその減衰過程を近似する関数形の解析を行い、指数関数的に減衰する過程の初期振幅が地震の規模に比例することを確認した。スロー津波地震の規模推定法として開発した積分変位を用いた手法を日本近海の地震に対して適用し、マグニチュード7クラス以上の地震についてはモーメントマグニチュードの差が十分に小さく推定できることを確認した。この規模推定法を代表的な津波地震である1992年ニカラグア地震の観測波形に適用し、従来の変位振幅に基づく手法に比べて適正に規模を推定できる可能性が高いことを示した。2018年スラウェシ島パル湾で発生した津波について、観測された遡上高・ビデオ記録から再現された津波波形などを説明しうる海底地すべりによる津波のモデルを提示した(気象庁 [課題番号: JMA\_06])。

#### ウ. 火山噴出物による災害誘因の即時予測手法

焼岳における昭和37年噴火後の土石流の発生に関して、従来の研究から発生ポテンシャルの変化に関する知見を得た。また、ポテンシャルが低下する中、昨年18年ぶりに発生した土石流は、10分間雨量とその降雨域がその発生要因であることを明らかにした。以上より、噴火後の土石流発生ポテンシャルの変化と発生条件に関するモデルのフレームワークを明確にした(図18)。シナブン火山の噴火後のラハールについては、観測を継続した。焼岳の融雪型火山泥流については、融雪実験結果を整理し、泥流モデルへの導入を開始した。桜島の土石流については、土砂濃度特性の観測や斜面侵食過程に関する検討のために、基礎調査や計測機器の開発を行った(京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI\_12])。

気象研究所XバンドMPレーダーおよびKuバンド高速スキャンレーダーによる噴煙観測と2次元ビデオディストロメーター(2DVD)による降灰観測を実施した。2DVDによる観測では、扁平な小粒子が多いことが確認された。このことは、大きな粒子の離脱によって、小さな粒子が数多く残った噴煙または火山灰雲をMPレーダーで観測した際に、反射因子差が増加することに対応すると考えられる。また、気象庁一般気象レーダーにより噴火事例(2019年8月



7日浅間山，2020年1月11日・2月3日口永良部島）を解析するとともに，一般気象レーダーによる噴煙高度の確率的推定手法について，桜島の遠望観測データを用いた手法の検証を試行し，降水エコーとの区別など検証をする上での問題点を整理した。さらに全球移流拡散モデルと領域移流拡散モデルを統一した新しい気象庁移流拡散モデル（JMA-ATM）について，開発に着手した。2016年10月8日阿蘇山噴火の事例について，降灰データを逆解析して新旧移流拡散モデルを実行し，初期値の不確定性を示した（図19）（佐藤 他，2019，気象庁〔課題番号：JMA\_07〕）。

### （3）地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震・火山災害情報の活用のための住民の知識体系に関する基礎調査を行った。具体的には日本放送協会による「体感・首都直下地震ウィーク」を刺激とする社会的実験調査（パネル調査）を実施し，認知，知識，行動，態度，確率評価への効果を検討した。ここで社会的実験調査とは，通常の調査とは異なり，ある対象（今回の場合は特定の放送キャンペーン）に接した人（実験群）と，接していない人（統制群）に分類し，キャンペーン（実験刺激）の効果を見る手法である。その結果，番組内で強調された火災旋風のみ単語としての認知度が向上したことや，NHKスペシャル「パラレル東京」を「見た人」の方が新たに（改めて）地震対策をとっていること，さらに番組を見た人，見ていない人双方ともに「火災からの避難を第一に考えるべき」という知識のみが上昇し，直接の視聴効果にとどまらず，話題性効果があることが明らかになった。一方で「地震発生確率，被害発生確率」などの用語や，「不安感」などの「感情」には態度変化が確認されず，簡単にそれらを変化させることが容易ではないことも同時に明らかになった（図20）（東京大学情報学環〔課題番号：III\_01〕）。

ハザード事象系統樹の設計について検討した。系統樹は，起こりうる現象のシナリオの選択肢を整理し視覚化するのには優れているものの，時間的な変化の表現には課題があることが分かった。そこで，起こりうる現象の発生確率の時間変化の表現方法について検討を行った。その結果，確率の時間変化の表現には系統樹よりも表形式のほうが適しているという結論を得た。さらに，その基本スキームを構築した（東北大学災害科学国際研究所〔課題番号：IRID04〕）。

2018年1月の草津白根山の噴火事例において，噴火に関する情報が火山近傍の関係団体にどのように伝達され，理解されたのか，情報内容に課題があったのかを分析することを目的とし，草津白根火山近傍の「草津温泉スキー場」の利用者を対象としたインターネット調査を実施した。アンケートは2020年1月31日から2月2日にかけて実施した。アンケートの質問項目は，2018年1月23日の草津白根山での噴火についておぼえているか，草津白根山が活火山であることを知っていたか，水蒸気噴火について，噴火警報・噴火警戒レベル・噴火速報について，回答者自身の情報入手についてなど，合計20問で構成した。結果として，全体的に火山防災の専門用語や知識についての理解が低調であることが分かった。一方で，2018年1月の本白根山の噴火を「はっきりおぼえている」群と，そうではないグループに分けて比較すると，「はっきりおぼえている」群では，顕著に理解度や知識量が高い傾向にあることが明らかになった。一方で，噴火の記憶がはっきりしていないグループは，理解度や知識が低い傾向がある。加えて，情報伝達については携帯電話を用いても情報は届かない可能性が高いことが明らかになった。これらのことから，不特定多数のゲレンデ利用者といっても，利用者の特徴ごとにいくつか細分化して，どのような項目の知識を高めるべきか，情報伝達

をすべきかについて検討を進めるのが今後の課題と考えられる（図21）（公募研究，東北大学〔課題番号：KOB016〕）。

地震波形・GNSS・傾斜計等のデータを即時解析して震源や地盤変動源を表示するシステムに新たに導入するコンテンツとして，振幅震源自動推定ツールと地殻変動源自動推定ツールの基本設計に取り組んだ。振幅震源自動推定ツールについては，Battaglia and Aki(2003)およびKumagai et al. (2010)の解析手法を用いて試作を進めた。winシステムでテレメータされている地震波形のデータを用いて，専用の解析サーバー上で震源を逐次推定し，結果を画像として保存していく処理系を設計した。本年度はwin-UDPパケットを受信して自動解析を行うプログラムの試作と北海道大学のサーバ内での試運転を開始した。地殻変動源自動推定ツールについては，リアルタイムでテレメータされるGNSSデータを念頭に置いたソース推定について概念設計を行った。具体的にはあらかじめ火山周辺にグリッド状に圧力源モデルを配置し，観測データが流れ込むに従って，それぞれのグリッド点における膨張・収縮量の最適値を推定・表示する仕様を検討した。このようなシステムにより，ソース推定の不確かさの情報も含めて表示できるため，意思決定に役立つことが期待される（北海道大学〔課題番号：HKD\_06〕）。

### これまでの課題と今後の展望

「災害誘因評価・即時予測部会」では災害誘因や災害リスクを事前に高い精度で評価する手法を開発する「地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化」ならびに地震や火山噴火が発生した直後に高精度かつ即時的に災害誘因を予測する手法を開発する「地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化」を推進するとともに，それら災害誘因予測を効果的に防災対策の推進に結びつけるための「地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究」を進めている。計画初年度である本年度においては，それぞれの研究課題において既往研究の高度化や新たな取り組みに関して成果が着実に得られつつある。特に今計画から新しく加わった「地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究」では，災害誘因予測情報の受け手の視点から，どのようにそれら情報を有効活用すべきかについて研究が進展していることは，最終的な目的である災害の軽減という観点からきわめて重要である。以下に，各小項目において取り組むべき事項および展望について示す。

#### （１）地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

強震動の事前評価手法における震源モデルの高度化については，広帯域震源モデル・プロトタイプの改良を行うとともに，極大地震動を生成する要因の検討を観測記録に基づいて継続する。また，断層ごく近傍域での強震動予測精度の向上を目指して，2016年熊本地震の地震断層周辺全域への適用・モデル改良を進め，強震動分布を説明できる計算モデルを確立することを目指す。

地下構造モデルの高度化については，大阪盆地，奈良盆地等での地盤モデルの地震動応答特性評価を継続する。また地震動の再現性が低い地域，地盤情報の少ない地域における微動・地震観測を実施する。

強震動の事前評価手法における強震動評価の高度化については，近地～遠地地震観測により捉えられた広帯域(短周期～長周期)強震動の成因を，震源特性と不均質地殻・マントル構造における地震波伝播の観点から評価する。そして，これらの効果を適切に評価できる震源・

地下構造モデルを用いた地震波伝播シミュレーションを行い、強震動の事前評価の精度向上に取り組む。また、2016年熊本地震において強震動の出現に著しい地域差があることに注目して、地震断層・活断層の特徴との相関を分析する。また、断層近傍における強震動分布の詳細な地域差を表現できる断層モデルおよび強震動計算方法を検討し、強震動予測手法の高度化を目指す。

津波の事前評価手法の高度化については、令和元年度に引き続き、1929年Grand Banks Tsunamiの再現実験を完成させることで、海底地すべり数値計算手法の妥当性を検証する。第2段階として1998年パプアニューギニア地震津波への適用を試みる。

大地震による災害リスク評価手法に関する研究では、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完了させると共に、人口密度が高く災害リスク評価において脆弱と捉えられている堆積平野・堆積盆地などを対象に、地震災害の素因と誘因の関係や災害発生機構を多面的に分析し、災害を軽減するための要件を明らかにする。さらに鳥取県内の地震動予測高度化のため、主に微動探査・重力探査・観測地震動の解析を通じた地盤震動特性および地下構造の把握を継続的に実施する。鳥取県が令和2年度に市町村と共有する危機管理情報の高度化に合わせ、これと連携して、鳥取県震度計ネットワークを用いた地震動即時予測の実務への取り込みと地域に固有の災害リスク評価手法の検討を加速する。さらに令和元年度に行った津波避難モデル地域(北海道八雲町、神恵内村等)における避難シミュレーションにもとづく避難場所の最適化等の成果をもとに、市町村に向けて成果の普及活動を行う。

地震動や火山活動による斜面崩壊の事前評価手法の高度化では、災害復旧に重要な役割をすると予想される四国にある国道196号線および32号線に沿って、地震時不安定地形・地質構造を抽出し、抽出された箇所の追加調査により危険性判定を行うとともにこれらを総合した危険斜面分布図の作成を行う。また、引き続き四国の大規模地すべり斜面に対する稠密地震動観測を行い、斜面对策工事の進行に伴う地すべり土層の震動特性変化を調べ、対策工事による斜面の安定化過程の評価手法を開発する。そして、紀伊山地の大規模地すべりにより形成された天然ダムの堤体において、高密度電気探査および微動観測を行い、ダム堤体の内部構造を解明すると共に、その内部構造と地すべりの地質、地形および崩土運動特徴との関係を解明する。

さらに、北海道胆振東部地震によりテフラ斜面において発生した地すべりに対する現地調査を行い、テフラの堆積層準、風化特性と斜面の保水力を調べて、地震時すべり面となる層準を探る。また、地震観測を継続し、地震動だけではなく変位、変形量や間隙水圧等のデータの収集に引き続き努める。強震動を受けた斜面の変位や変形量、間隙水圧について揺れとの関係について解析を継続する。また地すべり内で実施しているアレイ観測のデータを用いて、センブランス解析など地すべり内での地震動の伝播特性について特徴を抽出する。

また、熊本県南阿蘇村高野台地域の崩壊していない斜面に対して、降雨前後において電気探査を行い、降雨による雨水の浸透過程を解明する。また、斜面の異なる土層から土試料を採取し、これらの土試料に対して異なる含水量で土質せん断実験を実施し、降雨や地震による斜面崩壊の発生危険度を評価する。

この他、宮城県荒砥沢地区ならびに熊本県南阿蘇村立野に設置している2台のGB-SARの連続計測を継続し、GB-SARデータの取得を継続する。現在開発中のMIMOレーダによる計測システムの置換を検討し、長期モニタリングの信頼性向上を目指す。またGB-SAR解析時の大気補正手法についても検討を継続する。

火山噴火による災害誘因の事前評価手法の高度化では、令和元年度に引き続き、過去の火砕流を伴う噴火の地震・地盤変動・空気振動など地球物理学的観測データを基に火砕流の物理学的特徴を明らかにする。噴火に伴う地盤収縮量から求められる噴出物量と降灰量観測とを比較することにより総噴出物量に占める火砕流への配分比を決定する。降下火山灰量を非火砕流により上方へ噴出した噴出物量とし、降下火山灰量を差し引くことにより、噴出物の火砕流配分比を決定することを試みる。また、レーダー観測を継続し、火砕流を検知できるか実証を行う。さらに、火山灰の上方への移動量と火砕流となって山腹を下降する量が検出可能かについて調査を行う。

## (2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

地震動の即時予測の高度化については、高密度地震観測データの波動逆伝播シミュレーションに基づいて、震源要素(位置・深さ、震源域の広がり)の即時推定手法を開発する。陸域と海域の高密度強震観測から、M7地震の正確な位置(プレート境界 or プレート内)と、M8-9巨大地震の震源域の強震動生成域と震源域の広がり の推定可能性を検討する。また、地震波伝播計算と強震動被害の事前評価の高度化に向け、地震波伝播オープンコード(OpenSWPC)への断層型震源の導入ツールの整備や、令和元年度に導入された Oakbridge-CX スパコンでの性能チューニングとコードの改良を進める。強震動の事前評価モデルの改善に向けて、南西諸島域の地盤構造モデルを改良する。また、緊急地震速報のさらなる精度向上・迅速化・堅牢化を目指して、データ同化手法を用いて波動場を正確に推定し、そこから未来の波動場を予測する手法を発展させる。そのために PLUM 法の改良を進め、伝播経路特性については地下構造の精緻化を図る。地盤増幅特性の中の位相特性を検討し、長周期地震動を含めた即時予測での継続時間の予測の精度向上を目指す。

津波の即時予測手法の高度化では、近地津波について津波後続波の観測事例の整理を行い、それらの観測事例を再現する津波波源を推定する。遠地津波の減衰過程を説明する近似関数パラメータの改良についてまとめる。遠地津波と近地津波のそれぞれについて観測事例を用い、長時間津波伝播計算による後続波と減衰過程の再現の精度向上のため、沿岸域地形データ等の計算条件設定の改良を試みる。また、津波地震の規模推定手法の検証を進める。巨大津波は低頻度巨大災害のため、海底観測網で捉えられる僅かな記録のみで手法を構築することは困難である。そのため地震・津波双方を含むできるだけ現実的な記録を数値的に合成し、それに対して予測手法のテストを行うというプロセスが重要となる。そのため3次元的な地震・津波運動を計算できる融合数値計算法 (Maeda and Furumura, 2013) から海底圧力を合理的に再現できる地震津波シミュレーション手法 (Saito et al., 2016) をシームレスにつなぎ、実用的かつ現実の不均質構造を組み込んだ地震に伴う全波動現象を実現する。そのため、これまで国内コミュニティで開発してきたオープンソースの地震動シミュレーションコード OpenSWPC (Maeda et al., 2016) と津波シミュレーションコード JAGURS (Baba et al., 2015) を利用し、その成果もオープンソースとして広く公開する。

超巨大地震等に伴う津波の即時予測を達成するためには、測地観測データの高度化も重要な課題である。そのため、令和元年度に進めた搬送波位相変化から断層すべりを直接推定する手法(PTS)の性能評価を継続し、特に1日以下の時間窓におけるモニタリング能力の精度向上を目指した対流圏遅延推定のためのハイパーパラメータ等の最適化を行う。また実海底環境下でドリフト特性をその場で把握できる海底圧力観測システムのプロトタイプ機でより長

期間の海域試験を行い、その精度評価を行う。さらに、リアルタイム GNSS による震源断層即時推定における不確実性の定量評価をマルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) で行うための技術開発を継続するとともに、それらを災害情報として活用するための方策について検討を開始する。

火山噴出物による災害誘因の即時予測手法の高度化については、令和元年度に焼岳を対象に構築した、噴火後の土石流の発生ポテンシャルの変化を考慮した土石流発生予測モデルのフレームワークを桜島に適用するために、流域の火山灰の堆積による降雨浸透能の変化モデルの構築について検討を開始する。

気象レーダー等、リモートセンシング技術で得られた観測結果が噴煙のどの部分に対応しているかを知ることが、その結果の解釈を行う上できわめて重要である。そのため、気象レーダー等による噴煙の解析結果を降灰や大気中の火山灰の実観測データによって検証するスキームを確立する。また、領域移流拡散モデルと全球移流拡散モデルを統一した新しい移流拡散モデルを開発する。さらに、火山灰データ同化システムと新しい移流拡散モデルを結合した火山灰データ同化・予測システムで予報官による(実況)解析の利用について必要な機能を追加する。

### (3) 地震・火山噴火の災害誘因予測を災害情報につなげる研究

地震・火山災害情報の活用のために住民の知識体系に関する基礎的調査の解析を行う。令和元年度に実施した調査に加えて追加のアンケート調査を行い、それらを統合した結果の分析を行う。特に知識や不安感などに関して、災害から一定の時間が経過した後、どの程度変化するのか住民の災害に対する知識体系を明らかにする。

令和元年度にハザード事象系統樹に代わる表現方法として提案した表形式の基本スキームに基づき、M8クラス(半割れ)およびM7クラス(一部割れ)の地震発生後の後発する地震の発生確率について、最近100年間のグローバルな地震カタログを用いて計算する。この際、内閣府が公表した南海トラフ地震臨時情報の防災対応検討ガイドラインと整合させるために、地震発生直後から一週間後、および、地震発生から一週間後～二週間後の2期間の時間ウィンドウを用いる。これにより、片割れケースと一部割れケースの場合について、ハザード事象の確率推移表の基本形を完成させる。

また、地震波形・GNSS・傾斜計等のデータを即時解析して震源や地盤変動源を表示するシステムの開発を継続する。振幅震源自動推定ツールについては、テスト運用の結果に基づいて不具合の修正や改良を行い、表示システムへの実装試験までを行う。地殻変動源自動推定ツールについては、ノイズ付きのシンセティックデータを用いて茂木モデルによるソース推定ツールを試作する。

### 成果リスト

秋山祐也, 佐藤源之 (2019), MIMOレーダを用いた干渉SARによる表面変位測定, 信学技報, vol. 119, no. 55, EMT2019-5, 23-28

秋山祐也, 佐藤源之 (2019), MIMOレーダのアジマス分解能評価, 信学技報, vol. 119, no. 121, SANE2019-32, 79-84

浅野公之 (2019), 気仙沼沖 M6 級繰り返しプレート境界地震の震源特性のばらつき評価, 日本地震工学会論文集, 19(5), 34-45

- Asano, K., T. Iwata (2019a), Source rupture process of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake deduced from strong-motion data considering seismic wave propagation in three-dimensional velocity structure, *Earth Planet. Space*, 71:101, doi:10.1186/s40623-019-1080-0
- Asano, K., T. Iwata, (2019b), Source Rupture Process and 3D Long-period Ground Motion Simulation of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake, Japan, AGU Fall Meeting, S33A-06
- Baichuan LIU, G. Wang (2020), Role of halloysite on the initiation and movement of coseismic land- slides occurring on tephra slopes, 令和元年度京都大学防災研究所研究発表講演会, D08
- Chigira M., J. Tajika, S. Ishimaru, T. Suzuki (2019), Geological features of landslides of pyroclastic fall deposits induced by the 2018 Eastern Iburi Earthquake and other previous earthquakes, Japan Geosciences Union meeting 2019, HDS14-P10
- 千木良雅弘, 田近淳, 石丸聡 (2019), 2019年胆振東部地震による降下火砕物の崩壊:特に火砕物の風化状況について, 京都大学防災研究所年報, 62B, 348-356
- Cochran, E., J. Bunn, S. Minson, A. Baltay, D. Kilb, Y. Kodera, M. Hoshihara (2019), Event Detection Performance of the PLUM Earthquake Early Warning Algorithm in Southern California. *Bull. Seis. Soc. Am.*, 109(4), 1524-1541, doi:10.1785/0120180326
- Doi, I., T. Kamai (2020), Relationship between earthquake-induced excess pore water pressure and strong ground motion observed in a monitored fill slope, *Engineering Geology*, 266, 105391, doi:10.1016/j.enggeo.2019.105391
- 土井一生, 大澤光, 松浦純生 (2019), Seismological and geotechnical surveys on the landslides induced by the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, HDS09-09
- 土井一生, 東良慶, 釜井俊孝 (2019), 平成30 (2018)年北海道胆振東部地震による厚真町における谷埋め盛土の崩壊, 日本地すべり学会研究発表会熊本大会, P37
- Furumura, T., BLN Kennett (2020), Propagation of distinct Love-wave pulses from regional to teleseismic distances in continental and oceanic environments, *Geophys. I. Int.*, <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa028>
- Furumura, T., T. Maeda., A. Oba (2019), Early forecast of long - period ground motions via data assimilation of observed ground motions and wave propagation simulations, *Geophys. Res. Lett.*, <https://doi.org/10.1029/2018GL081163>
- Gonda Y., S. Miyata, M. Fujita, D. Legono, D. Tsutsumi (2019), Temporal Changes in Runoff Characteristics of Lahars After the 1984 Eruption of Mt. Merapi, Indonesia, *J. Disaster Res.*, 14(1), 61-68, doi:10.20965/jdr.2019.p0061
- Heidarzadeh, M., Y. Wang, K. Satake, I. E. Mulia (2019), Potential deployment of offshore bottom pressure gauges and adoption of data assimilation for tsunami warning system in the western Mediterranean Sea, *Geoscience Lett.*, 6(1), doi:10.1186/s40562-019-0149-8
- 平川泰之, 岡野和行, 植野利康, 里深好文, 堤大三, 宮田秀介 (2019), 近年の雲仙普賢岳における土石流発生の地形・地質的条件, *砂防学会誌*, 72(1), 21-31

- HoushmandViki, A., H. Hamzehloo, H. Miyake, A. Ansari (2019), Estimation of strong motion generation area for the 2004 Parkfield earthquake using empirical Green's function method, *Pure Appl. Geophys.*, <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02327-9>.
- Hurlimann, M., V. Coviello, C. Bel, X. Guo, M. Berti, C. Graf, J. Hubl, S. Miyata J.B. Smith, H-Yuan Yin, 2019, Debris-flow monitoring and warning: review and examples, *Earth Science Reviews*, 199, 102981, doi:10.1016/j.earscirev.2019.102981
- Ioki, K., Y. Tanioka, H. Yanagisawa, G. Kawakami (2019), Numerical simulation of the landslide and tsunami due to the 1741 Oshima-Oshima eruption in Hokkaido, Japan, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2018JB016166
- 岩城麻子, 森川信之, 藤原広行, 前田宜浩, 久保久彦, 藤原広行 (2019), 平成30年北海道胆振東部地震の広帯域地震動シミュレーション, 日本地球惑星連合2019年大会, SSS13-P08
- 香川敬生 (2019a), 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-, 土木学会論文集 A1, Vol. 75, No. 4(地震工学論文集第38巻), pp. 1674-1677
- 香川敬生 (2019b), 自治体震度計ネットワークによるリアルタイム震度評価の高度化 -鳥取県の事例-, 日本地球惑星科学連合大会2019年大会, SCG59-07
- 香川敬生 (2019c), 地震ハザードマップへの非線形地盤応答の影響, 日本地球惑星科学連合2019年大会, U07-05
- 香川敬生, 星山賢太郎, 野口竜也 (2019), 2000年鳥取県西部地震境港市役所における強震動の推定, 土木学会第74回年次学術講演会, CS12-21
- 香川敬生, 星山賢太郎, 野口竜也 (2019), 2000年鳥取県西部地震による気象庁境港観測点における非線形地盤応答特性と境港市役所における観測記録の再現, 土木学会第39回地震工学研究発表会, B12-1411
- Kagawa T., Y. Ohta (2020), Prior and Real-Time Estimations of Ground Motions, Tsunamis, and Other Geodynamic Hazards, *J. Disaster Res.*, Vol. 15, No. 2, pp. 144-151, doi:10.20965/jdr.2020.p0144
- 香川敬生, 吉田昌平, 野口竜也 (2019), 鳥取県境港市で観測されるやや長周期地震動, 日本地震学会2019年度秋季大会, S21-P09
- 釜井俊孝 (2019), 宅地崩壊-なぜ都市で土砂災害が起こるのか, NHK出版新書(4/10刊行), pp. 233
- Kennett, BLN, T. Furumura (2019), Significant P wave conversions from upgoing S waves generated by very deep earthquakes around Japan, *Prog. Earth, Planet. Sci.*, 6, 49, doi:10.1186/s40645-019-0292-z
- Kobayashi, H., K. Koketsu, H. Miyake (2019), Rupture process of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earth-quake derived from strong motion and geodetic data, *Earth Planets Space*, 71:63, <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1041-7>
- Kodera, Y. (2019), An Earthquake Early Warning Method Based on Huygens Principle: Robust Ground Motion Prediction Using Various Localized Distance - Attenuation Models, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 124, 12981-12996, doi:10.1029/2019JB017862
- Kodera, Y., N. Hayashimoto, K. Moriwaki, K. Noguchi, J. Saito, J. Akutagawa, S. Adachi, M. Morimoto, K. Okamoto, S. Honda, M. Hoshihara (2020), First-Year Performance of a Nationwide Earthquake Early Warning System Using a Wavefield-Based Ground-Motion

- Prediction Algorithm in Japan, *Seis. Res. Lett.*, doi:10.1785/0220190263
- Ling, S., M. Chigira (2020), Characteristics and triggers of earthquake-induced landslides of pyroclastic fall deposits: An example from Hachinohe during the 1968 M7.9 Tokachi-Oki earthquake, Japan, *Engineering Geology*, 264, doi: 10.1016/j.enggeo.2019.105301
- Meier, M. A., Y. Kodera, M. Bose, A. Chung, M. Hoshiya, E. Cochran, S. Minson, E. Hauksson, T. Heaton (2020), How often can Earthquake Early Warning systems alert sites with high-intensity ground motion?, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 125, e2019JB017718, doi:10.1029/2019JB017718
- Miyake, H., G. Tanircan, H. Yamanaka, O. Ozel (2019), Large stress release during normal-faulting earthquakes in western Turkey supported by broadband ground motion simulations, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 21, EGU2019-12094-1
- Miyake, H., S. Babita, K. Koketsu, S. N. Sapkota (2019), Broadband source modeling for the Himalayan collision zone, *JpGU Meeting 2019*, SSS13-24
- Nagai, K., K. Asano, T. Iwata (2019), A SMGA Source Model of the 2018 Hokkaido Eastern Iwate, Japan, Earthquake, *AGU Fall Meeting*, S31C-0529
- 西川隼人, 野口竜也, 西村武, 宮島昌克, 香川敬生 (2019), 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, *土木学会論文集 A1*, Vol.75, No.4(地震工学論文集第38巻), pp. I383-I390
- 西川隼人, 野口竜也, 宮島昌克, 香川敬生 (2019), 微動 H/V の 1 次ピークの振動数と振幅に基づいた地盤増幅度評価式の検討, *日本地震工学学会論文集*, Vol.19, No.7, pp. 7\_41-7\_55, doi:10.5610/jaee.19.7\_41
- 西村武, 野口竜也, 香川敬生 (2019), 微動探査に基づく鳥取県湯梨浜町における地盤構造の推定, *土木学会第39回地震工学研究発表会*, B11-1401
- 西村武, 野口竜也, 香川敬生 (2019), 鳥取県湯梨浜町小鹿谷・高辻の稠密微動探査による地盤構造の推定, *土木学会中国支部第71回研究発表会*, I-3
- 西村武, 野口竜也, 香川敬生 (2019), 鳥取県北栄町西園・由良地域における稠密微動探査と地盤構造の推定, *土木学会第74回年次学術講演会*, CS12-14
- 野口竜也, 西川隼人, 吉田昌平, 香川敬生 (2019), 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, *日本地震工学学会論文集*, Vol.19, No.6, pp. 6\_258-6\_271
- Oba, A., T. Furumura, T. Maeda (2019), Early forecast of long-period ground motions for large earthquakes in the Nankai trough based on data assimilation of observed ground motions and wave propagation simulations, *AGU 2019 Fall meeting*, S53G-0552
- Oba, A. (2020), Data-assimilation-based early forecasting of long-period ground motions for large earthquakes along the Nankai Trough, Master's thesis, Dep. Earth and Planetary Science, Graduate School of Sciences, The University of Tokyo
- 大野圭太郎, 太田雄策 (2019a), MCMCによる震源断層モデル推定の不確実性リアルタイム評価手法の開発, *日本地球惑星科学連合2019年大会*, SCG59-10
- 大野圭太郎, 太田雄策 (2019b), GNSSによる断層すべり分布推定の不確実性定量評価-南海トラフを対象とした数値シミュレーション-, *日本測地学会第132回講演会*, 52



- 大野圭太郎, 太田雄策, 村松弘規, 阿部聡 (2019), 震源断層モデル推定の不確実性リアルタイム評価手法の開発 -2019年山形県沖の地震への適用-, 日本地震学会2019年秋季大会, S24P-04
- 齋藤さやか, 関谷直也, 安本真也 (2020), 地震対策行動の規定因に関する探索的研究, 9. 22, 第38回日本自然災害学会学術講演会, II-7-5
- 先名重樹 (2019), 熊本平野における広帯域強震動評価のための浅部・深部統合地盤モデルの構築, 「平成28年(2016年)熊本地震とESG研究」シンポジウム (10/21) 講演集, 日本地震工学会
- 先名重樹, 若井淳, 谷田貝淳, 稲垣賢亮, 松山尚典, 藤原広行 (2019), 阿蘇地域全域における微動アレイ観測結果, 第54回地盤工学研究発表会, 0954
- 佐藤英一, 福井敬一, 新堀敏基, 石井憲介, 徳本哲男 (2019), 気象レーダーで観測した2019年1月17日口永良部島噴火に伴う噴煙・火山灰雲エコーについて, 火山噴火予知連絡会会報, 132, 420-426
- 佐藤源之, 鄒立龍, ジョバンニ ニコ, 菊田和孝 (2019), GB-SAR(地表設置型合成開口レーダ)による変位・振動計測, 電子情報通信学会B論文誌, vol. J-102B, no. 11, 844-852
- 関口春子, 浅野公之, 岩田知孝 (2019), 2018年大阪府北部の地震の大阪平野における強震動シミュレーション, 日本地震学会2019年秋季大会, S16P-14
- 島津颯斗, 岩田知孝, 浅野公之, 染井一寛 (2020), 静岡県の強震観測網を用いた震源特性, 伝播経路特性, サイト増幅特性評価, 令和元年度京都大学防災研究所研究発表講演会, B17
- Suzuki, Y., M. Watanabe, T. Nakata, 2020, Extremely strong ground motions associated with the 2016 Kumamoto earthquake: Special references to Mashiki and Ozu areas. HOKUDAN2020
- 田中優介, 太田雄策, 宮崎真一 (2019), PTSによる地震時および地震後の断層すべり現象の検出: 2011年東北地方太平洋沖地震の事例, 日本測地学会第132回講演会, 10
- Tanircan, G., H. Miyake, H. Yamanaka, O. Ozel (2019), Large stress release during normal-faulting earthquakes in western Turkey supported by broadband ground motion simulations, Pure Appl. Geophys., <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02357-3>
- 堤大三, 孝子綸図, 山野井一輝, 藤田正治 (2019), ストリームチューブによる地形分割を基にした表層崩壊解析手法, 砂防学会誌, 72(2), pp. 3-13
- 王功輝, 古谷元, 渡部直喜, 土井一生, 馬寧 (2019), 平成30年北海道胆振東部地震による土砂災害の特徴, 京都大学防災研究所年報 第 62 号 A: 48-56
- Valentine D. C., M. Sato (2019a), Integration of GB-SAR and Spatial Data Processing for Real-Time Landslide Monitoring, IEICE Technical Report, vol. 119, no. 121, SANE2019-31, 73-78
- Valentine D. C., M. Sato (2019b), Integration of GB-SAR and Spatial Data Processing for Real-Time Landslide Monitoring, Remote Sensing Society of Japan (RSSJ) annual meeting
- Wang, Y., K. Satake, O. Sandanbata, T. Maeda, H.-Y. Su (2019), Tsunami data assimilation of cabled ocean bottom pressure records for the 2015 Torishima volcanic tsunami

earthquake, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 124(10), 10413-10422,  
doi:10.1029/2019JB018056

渡辺満久, 鈴木康弘 (2020), 清正公道に沿って現れた2016年地表地震断層と地震被害, 日本地理学会講演要旨, doi:10.14866/ajg.2020s.0\_317

山口翔大, 宮田秀介, 堤大三, 村重慧輝, 藤田正治 (2019), 数値解析による積雪条件の異なる融雪型火山泥流予測, 砂防学会誌, 71(6), 3-13

安本真也, 石濱陵, 森野周, 関谷直也 (2020), 「南海トラフ地震に関連する情報」に対する住民の反応, 災害情報18, 日本災害情報学会誌, 95-97

安本真也, 田中淳, 関谷直也 (2020), 漁港における津波対策の現状と課題—沿岸部自治体の悉皆調査結果より—, 自然災害科学特別号, 日本自然災害学会, 38, S06, 109-122,  
doi:1024762/jnds.j.28.S06\_109

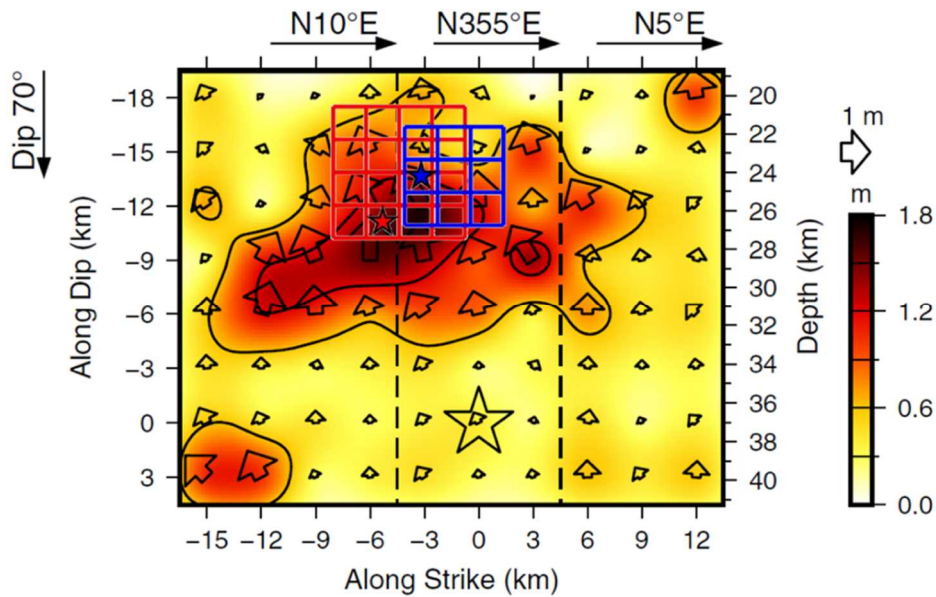


図1. 2018年北海道胆振東部地震の強震波形インバージョンによるすべり分布 (Asano and Iwata, 2019)と強震動シミュレーションに基づくSMGAモデル (永井・他, 2020)の比較:すべりの大きい場所 (カラーコンターですべり量を示す)とSMGA (赤と青の矩形で示した領域)が対応 (京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI09])。

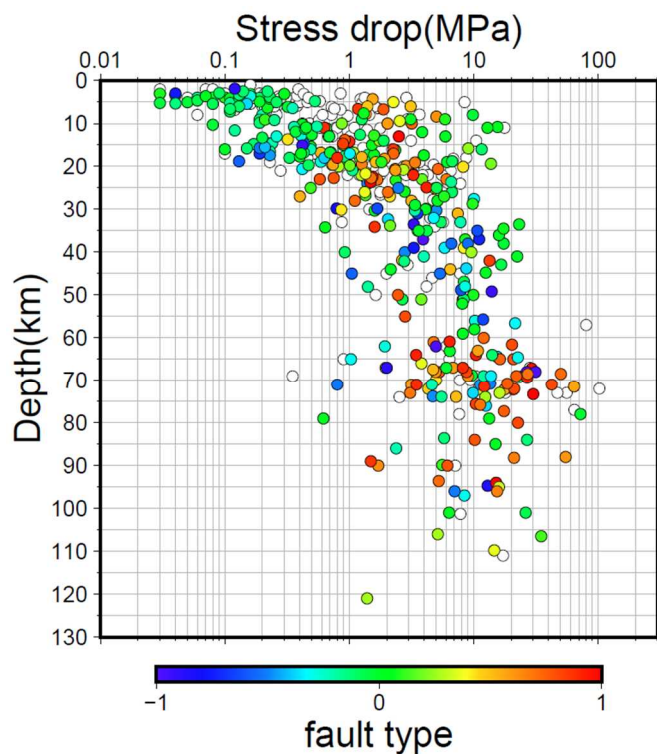


図2. 静岡県下の強震観測点 (SK-netを含む全166点)記録を用いたスペクトルインバージョンにより推定された震源特性で深さ2~120kmで発生したイベントの応力降下量は深さ依存性を示す。色は断層タイプ (-1 (正断層型) ~0 (横ずれ断層型) ~+1 (逆断層型))を示す (京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI09])。

100m点群化モデルA  
(地表地下収斂)

100m点群化モデルB  
(地表地下独立)

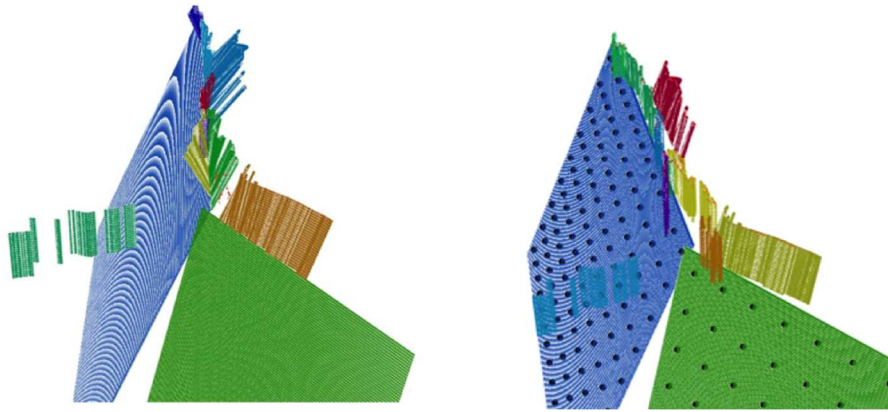


図3. 2016年熊本地震で観察された地表地震断層の極近傍での建物被害の原因を探るため、また、地震計に記録されたメートルオーダーの永久変位を説明するために地下の震源断層と地表地震断層とのモデル化を実施した。図は2つの点群化モデルをそれぞれ示す。左図：浅部と深部を震源断層上端で収斂させたモデル。右図：高角の浅部の断層と深部が独立しているモデル（名古屋大学 [課題番号：NGY\_05]）。

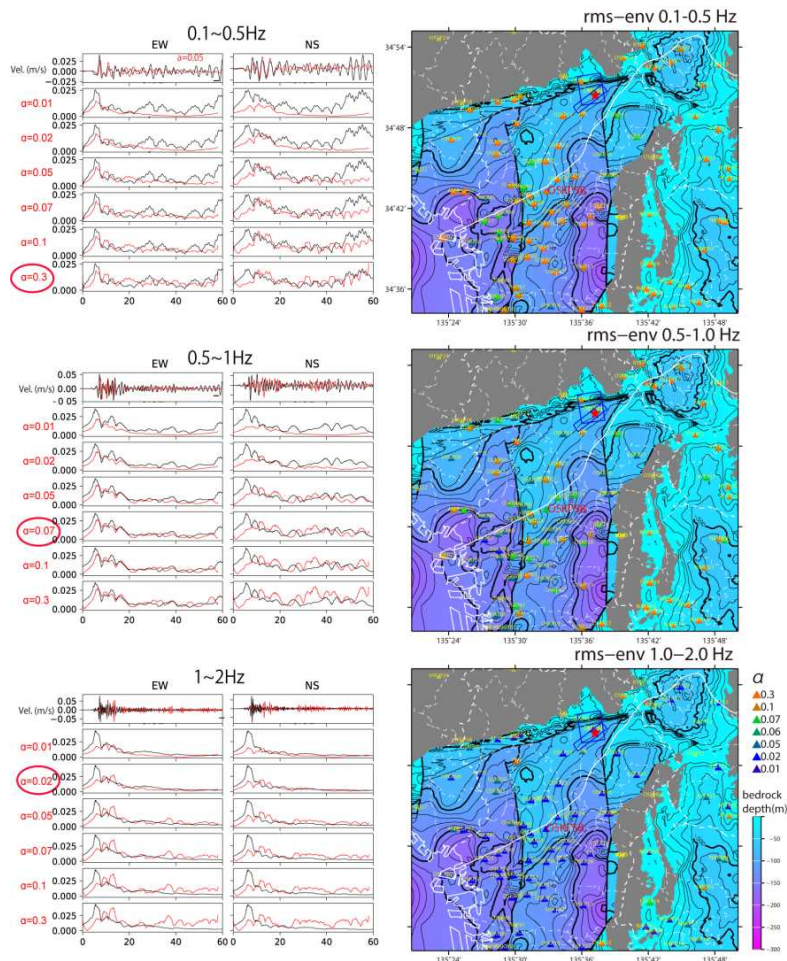


図4. 2018年大阪府北部地震の再現シミュレーションによる既往地下構造モデルの検証。堆積層Q値を変えた場合の観測波形と理論波形の狭帯域における比較。上から0.1~0.5Hz, 0.5~1.0Hz, 1~2Hzをそれぞれ示す（京都大学防災研究所 [課題番号：DPRI08]）。

浅部地盤の統合による説明力の向上について 深部地盤モデルと浅部・深部統合地盤モデルでの比較例  
 Wakai et al.(2019)

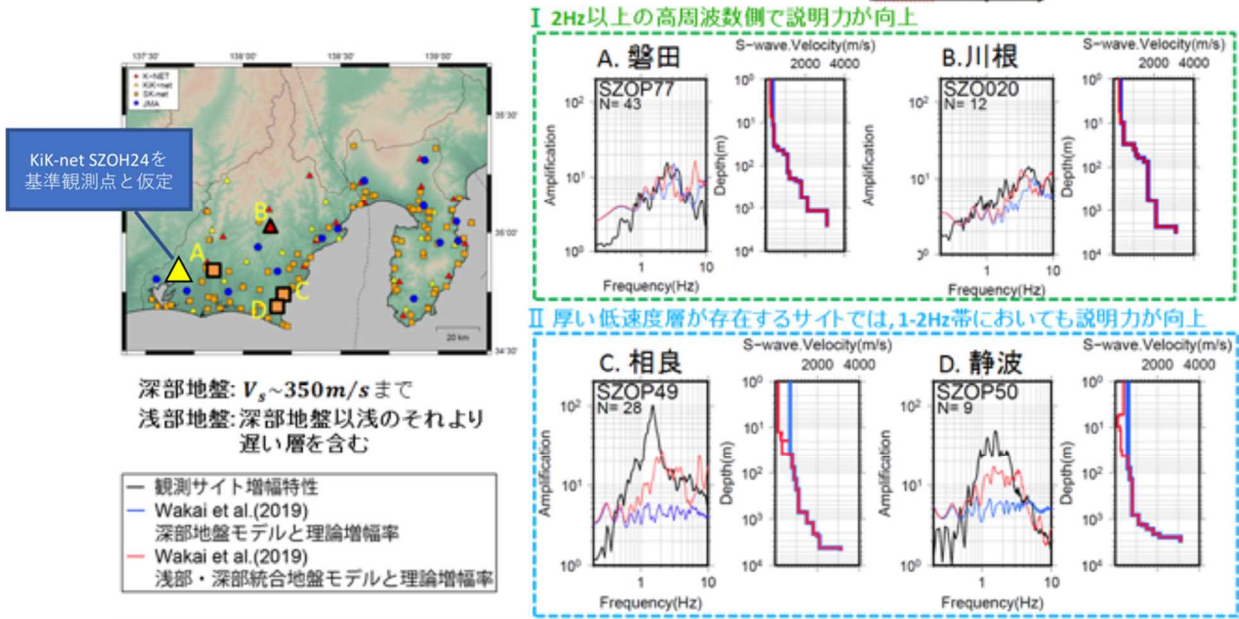


図5. 静岡県下の強震観測点 (SK-net を含む全 166 点) 記録を用いたスペクトルインバージョンにより観測サイト増幅特性を推定し, 堆積層構造モデル (Wakai et al., 2019) の理論増幅特性と比較した結果 (京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI08])。



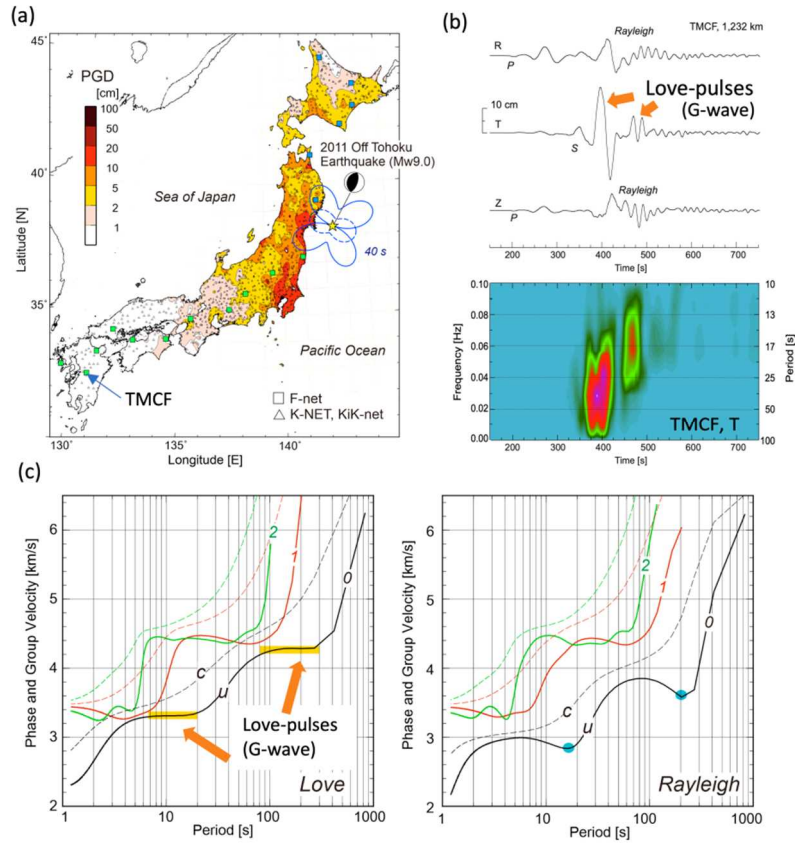


図6. 2011年東北地方太平洋沖地震のLove波伝播による近地—遠地強震動。(a) Love波の放射パターン(青実線)と最大地動分布(PGD) (b)九州 TCMF 観測点の3成分変位波形 T成分に見られる二つのLove波パルスと周波数特性, (c左) Love波理論分散曲線(0:基本モード, 1,2:高次モード, u:群速度, c:位相速度)に見られる, 二つの位相速度一定の領域(黄色ハッチ), (c右) Rayleigh波理論分散曲線と Airy phase (青)(東京大学地震研究所 [課題番号: ERI\_14])。

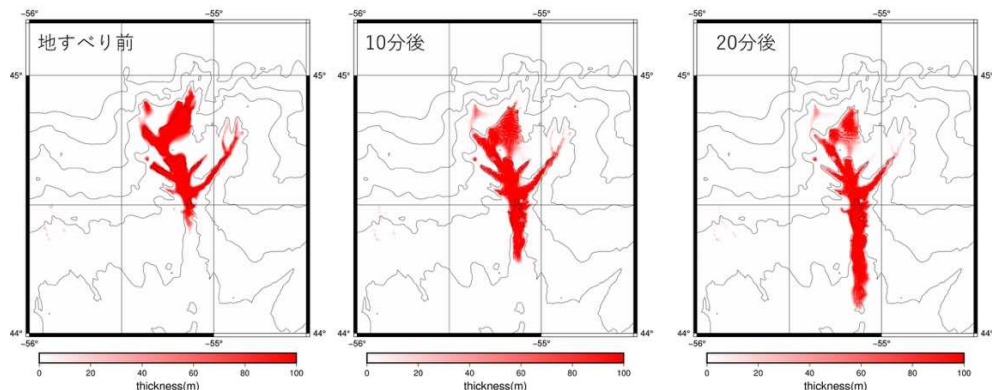


図7. 1929年Grand Banks地震(M7.2)に伴う海底地すべりによる津波を, 先行研究で提示されている地すべり域を参考に, 地すべりの初期の層厚を変化させて津波数値計算を実施した。図は海底地すべりの数値計算結果で赤色でその量を示す。(北海道大学 [課題番号: HKD\_05])。

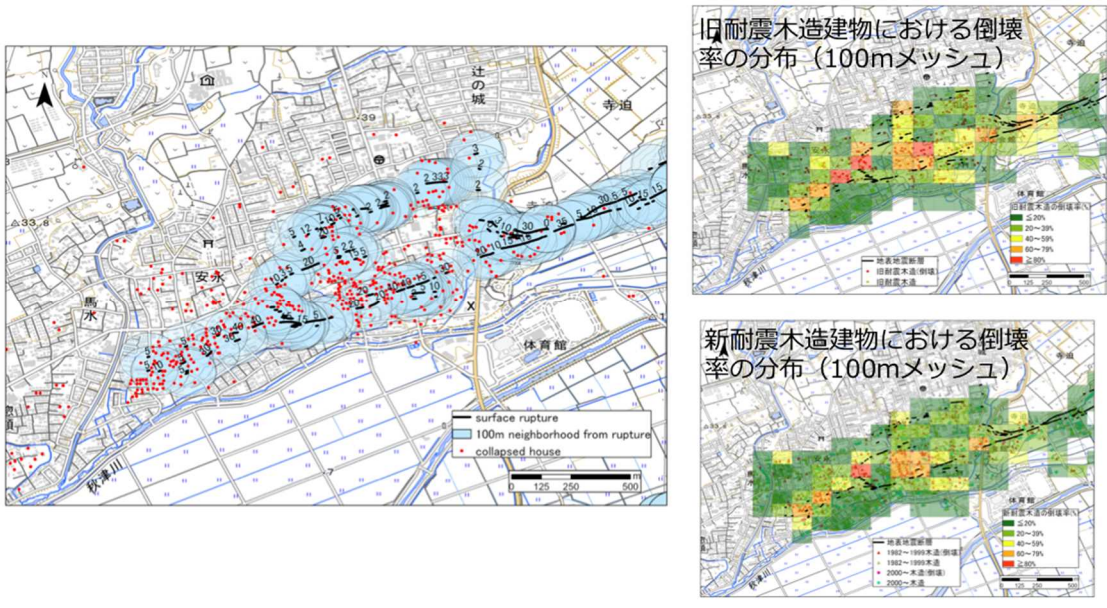


図 8 . 2016 年熊本地震の際の建物被害についての分析。(左図) 益城町における倒壊建物と地表地震断層の分布。数字は右横ずれ変位 (cm) を示す。(右図上) 旧耐震木造建物における倒壊率の分布。100m メッシュで色で倒壊率を示す。(右図下) 新耐震木造建物における倒壊率の分布。地表地震断層から 100m の範囲に倒壊建物の約 80% が集中していること, 旧耐震基準, 新耐震基準ともに地表地震断層より北側で倒壊率が高いことが分かる (名古屋大学 [課題番号: NGY\_05]) 。

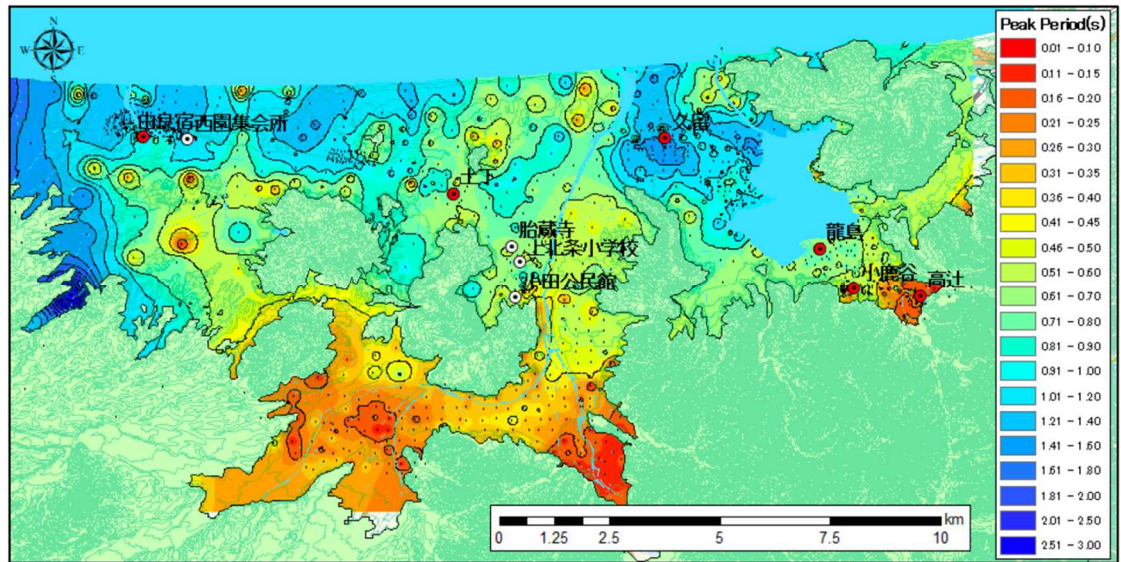


図 9 . 鳥取県中部域の微動卓越周期分布。色で卓越周期を示す(鳥取大学 [課題番号: TTR\_01])。



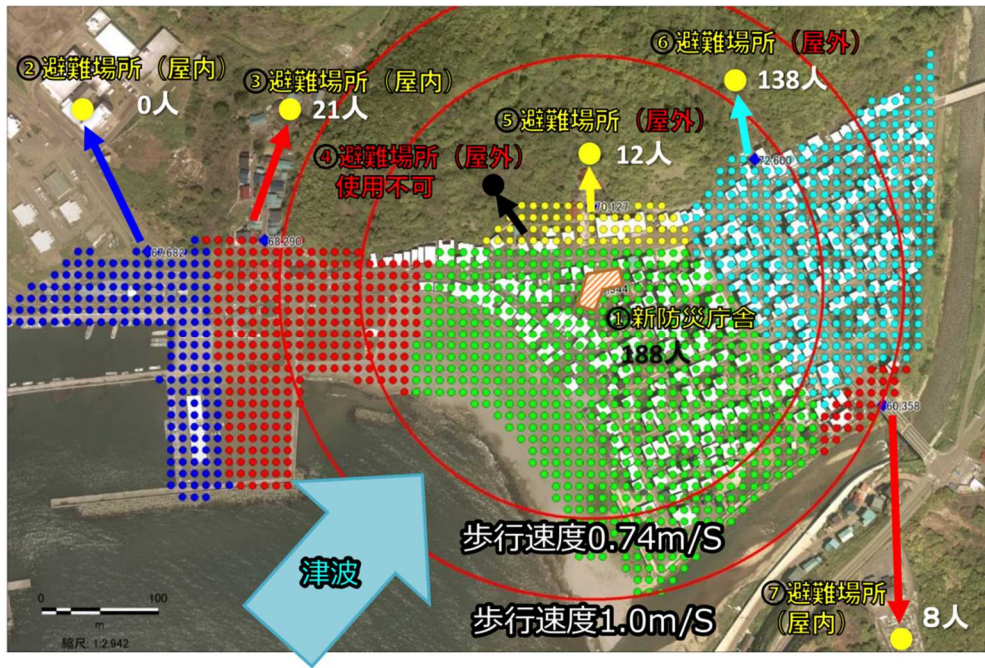


図 10. モデル地区における避難シミュレーションに基づくリスク評価例。実測した避難速度 (1.0m/s) を元に、それぞれのエリア毎 (色で区分) に最適な避難場所 (①～⑦) を設定することで最適化を図った (北海道立総合研究機構地質研究所 [課題番号: HRO\_02])。



図 11. 新編火山灰アトラスから抽出した関東以北における 9000 年から 12 万年前の時代で厚さ 10 cm 以上の軽石層の分布範囲 (灰色線)。風化が進んだ 9000 年以上前の軽石層がすべり面形成に大きな役割を果たしており、これらの地域が地震によるテフラの崩壊の発生が危惧される場所と考えられる (京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI10])。



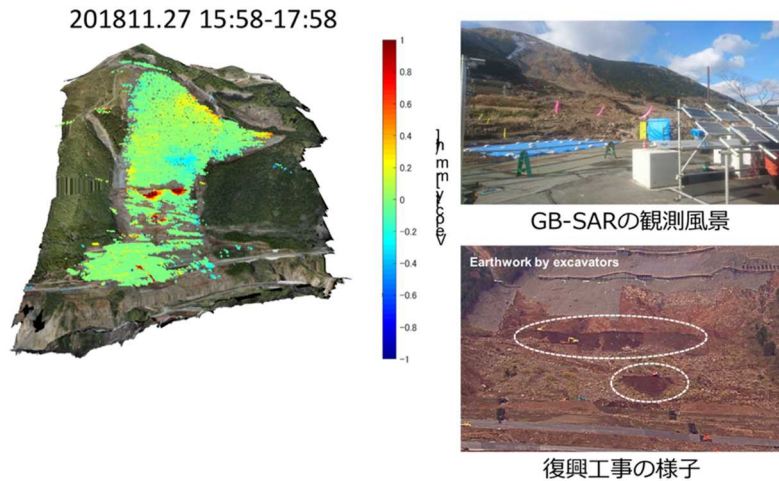


図 12. 熊本県南阿蘇村立野に設置している 2 台の GB-SAR の連続計測による計測結果。工事に伴う変位を観察したところ明瞭な対応（左図中の赤色で示された部分）が確認できた（東北大学災害科学国際研究所 [課題番号：IRID03]）。

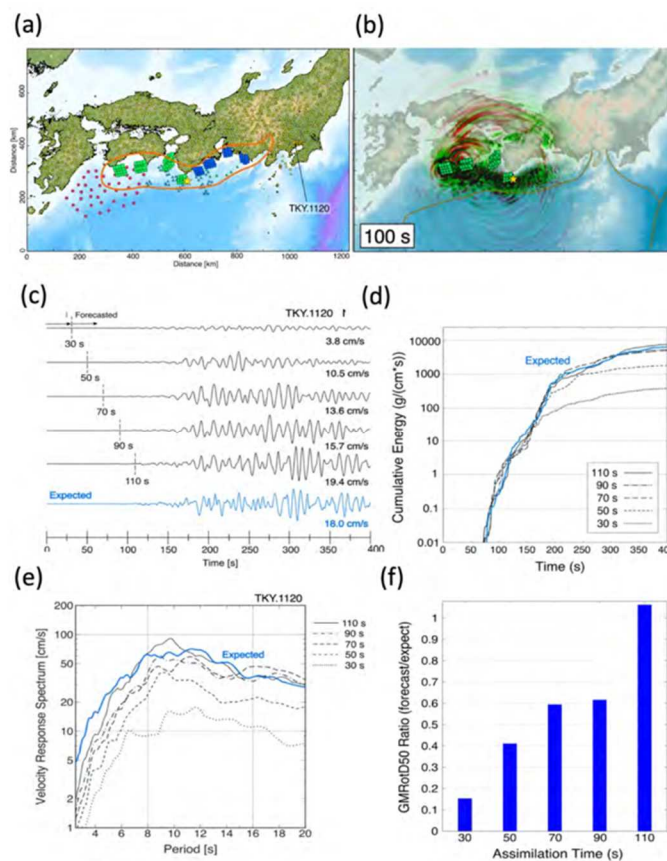


図 13. 南海トラフ地震による長周期地震動のデータ同化と即時予測実験。(a) 南海トラフ地震震源モデル（内閣府による）と陸域及び海域観測点の配置，(b) 南海地震モデルによる地震波伝播シミュレーション，(c) 都心部の長周期地震動の予測結果（同化時間 30 秒，50 秒，・・・110 秒の場合）と期待される地震動（青線）の比較，(d) それぞれのデータ同化時間による予測波形と期待波形の弾性エネルギーの積算値の比較，(e) 速度応答スペクトルの比較，(f) 固有周期 8 秒での速度応答スペクトル比（予測／期待）の比較（東京大学地震研究所 [課題番号：ERI\_14]）。

P波検知方法、上下動震度の活用を検討

現在は、S波が観測されるまで待つ必要がある

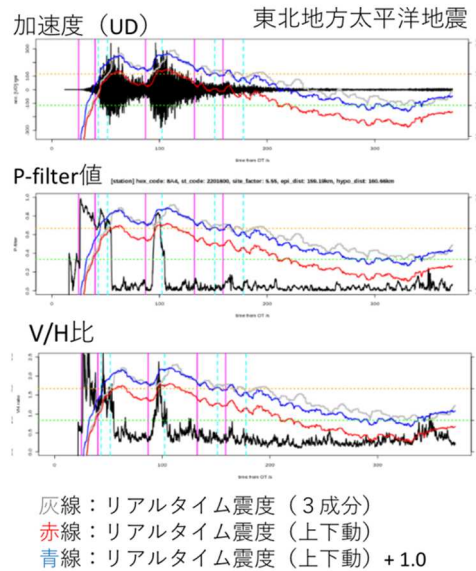
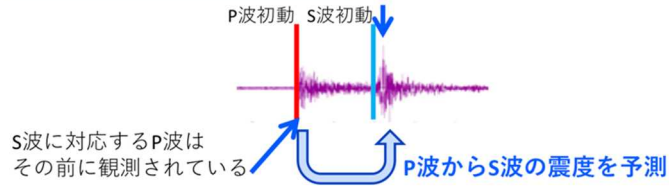


図 14. PLUM 法の機能向上の概念図。S 波群中の P 波を検知する方法を發展させ、上下動成分のみから得られる震度を予測に用いることで PLUM 法が持つ近い未来しか適用できないという弱点を克服できる可能性を示した（気象庁 [課題番号：JMA\_06]）。

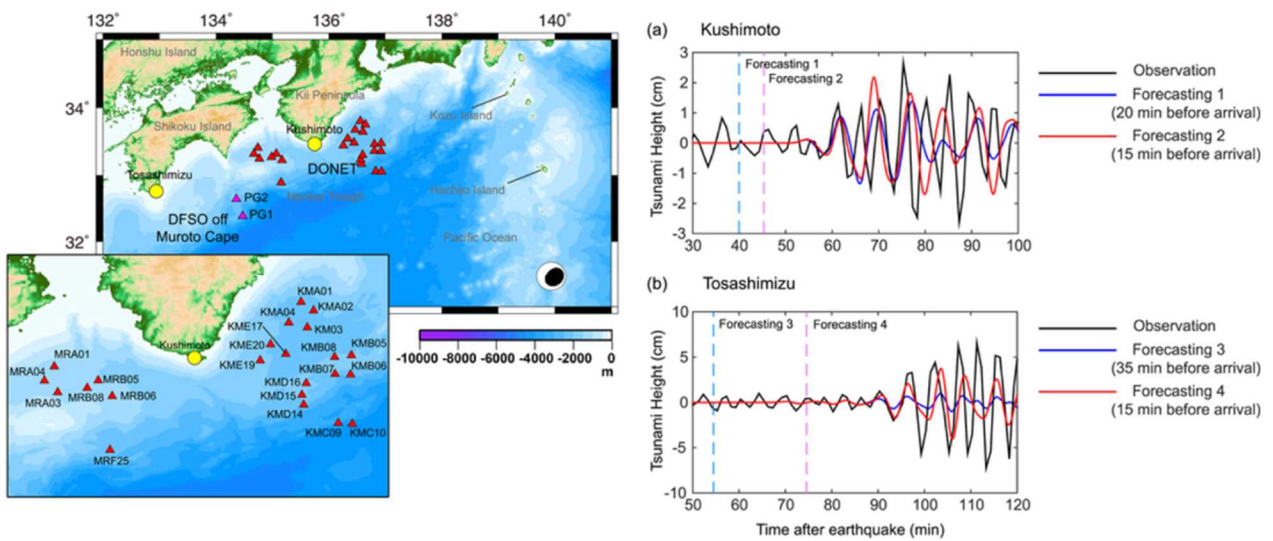


図 15. 2016 年鳥島沖地震に対する Green 関数を用いたデータ同化に基づく津波即時予測手法結果。左図：震源と同化に利用した観測点（赤）予測ターゲット地点（黄）を示す。右図：縦点線の時点における津波予測（青、赤の線）と観測記録（黒線）との比較を示す（弘前大学理工学研究科 [課題番号：HRS\_02]）。

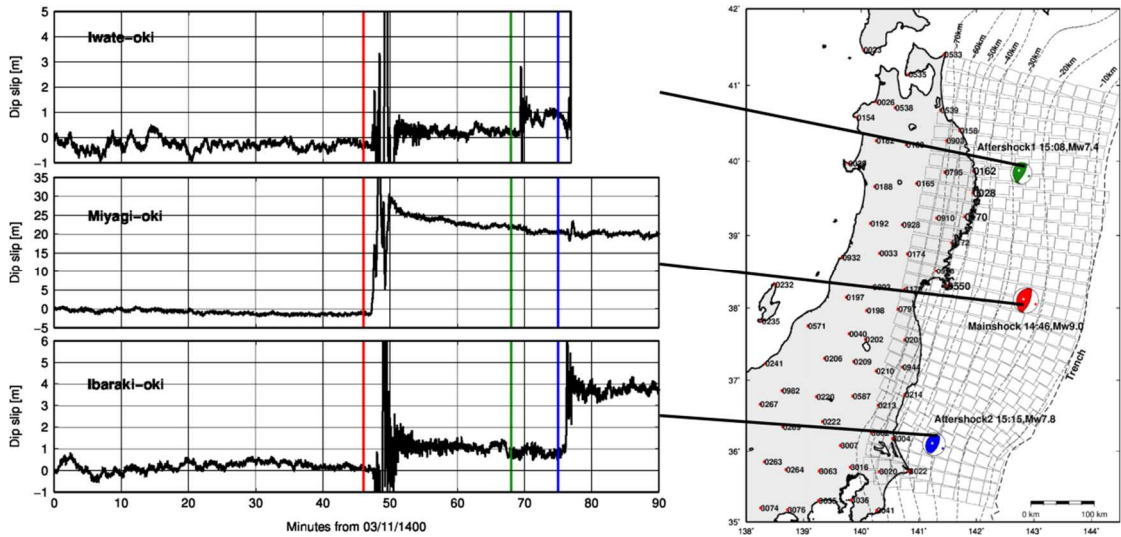


図 16. PTS によって推定された 2011 年東北地方太平洋沖地震とそれに引き続く余震に伴う断層すべりの時系列。右図の各断層パッチのすべり時系列を左に示す。左図中の赤線が 2011 年東北地方太平洋沖地震本震，緑線がそれに引き続く岩手県沖地震，青線が最大余震である茨城沖地震の発生時刻を示す（東北大学理学研究科 [課題番号：THK\_12]）。

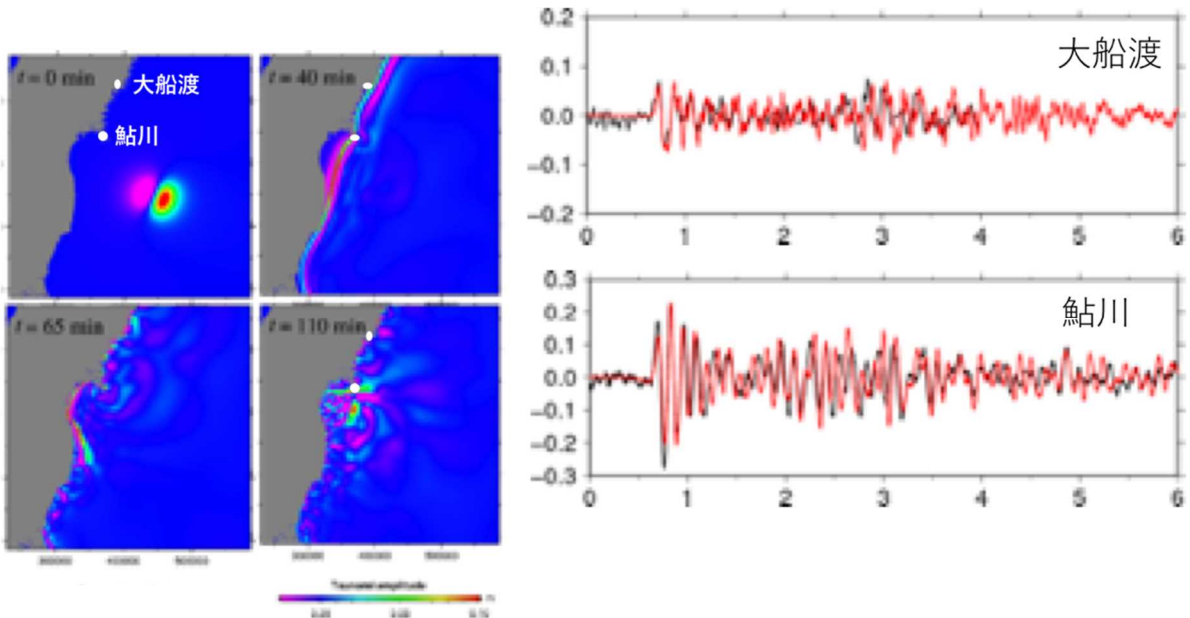


図 17. 2008 年 7 月 19 日 福島県沖の地震 (M6.9) の観測事例の津波数値計算による再現。左図：波面場の時間発展。右図：赤色が大船渡と鮎川における津波の計算値，黒色が観測値をそれぞれ示す。縦軸の単位は m (気象庁 [課題番号：JMA\_06])。



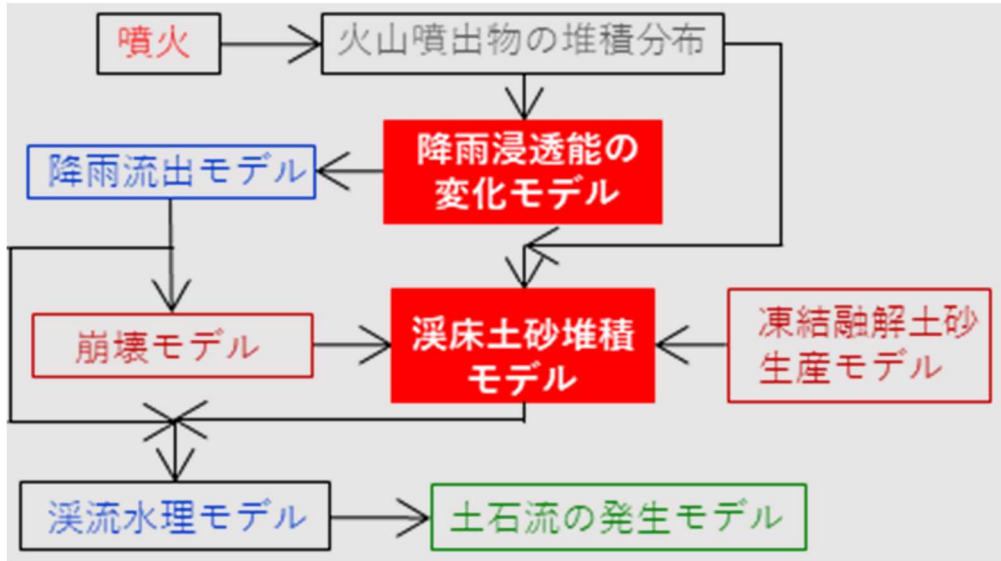


図 18. 噴火後の長期的な土石流発生モデルのフレームワーク。降雨浸透能は火山灰の堆積により減少するが、徐々に回復する。一方で渓床堆積土砂量は、土砂生産現象により増加、土石流が発生すると減少する（京都大学防災研究所 [課題番号：DPRI\_12]）。

現初期値 (Suzuki, 1983)  
+ 新ATM (開発中)

逆解析値 (Ishii, 2018)  
+ 新ATM (開発中)

Total Deposition (g/m<sup>2</sup>)

Total Deposition (g/m<sup>2</sup>)

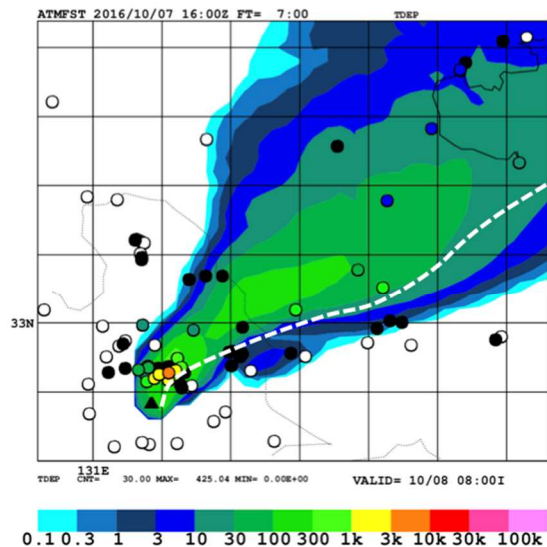
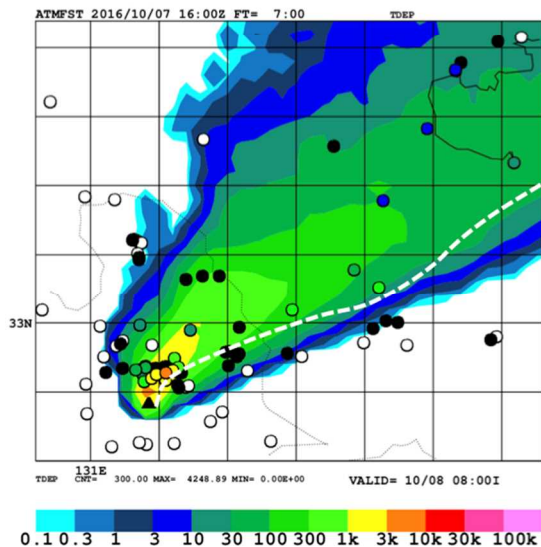


図 19. 降灰のデータ同化による初期値の不確定性。2016年10月8日01時46分阿蘇山噴火に対して降灰データを逆解析して新しい気象庁移流拡散モデル (JMA-ATM) を実行し、初期値の不確定性を示した。図中の黒丸が降灰があった箇所、白丸が降灰が無かった場所をそれぞれ示す (気象庁 [課題番号：JMA\_07])。



図 20. 日本放送協会による「体感・首都直下地震ウィーク」を刺激とする社会的実験調査（パネル調査）の実施結果（東京大学情報学環 [課題番号：III\_01]）。

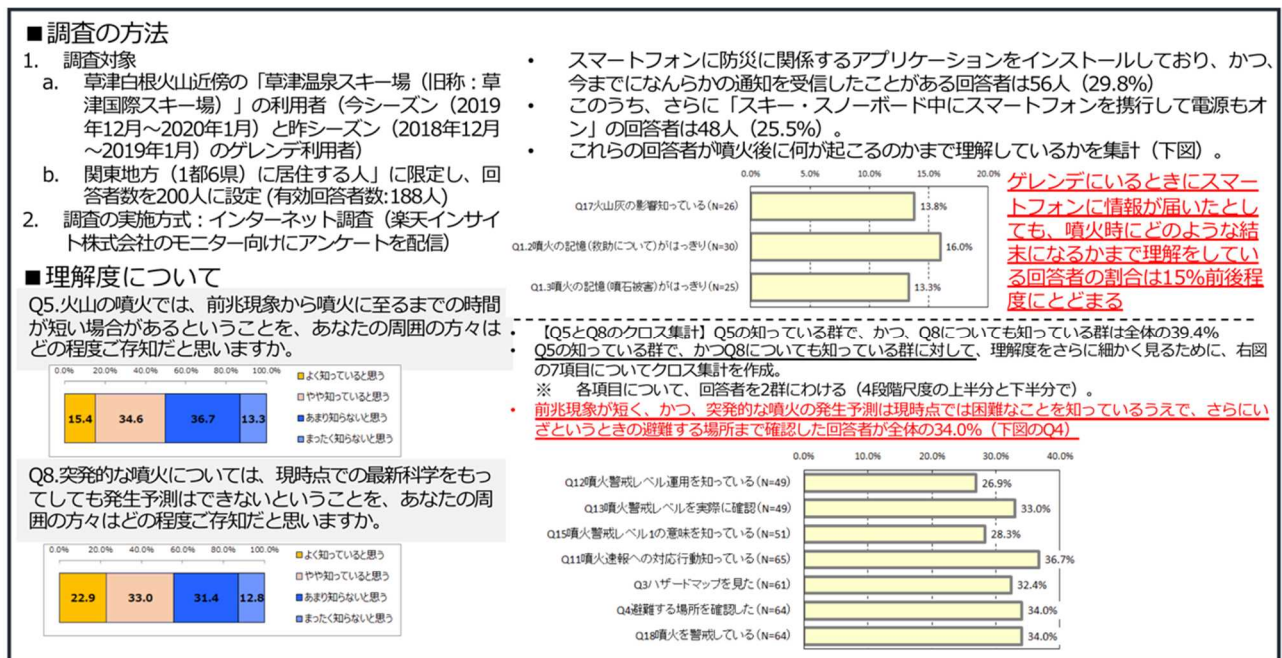


図 21. 2018年1月の草津白根山の噴火事例において、噴火に関する情報が火山近傍の関係団体にどのように伝達され、理解され、情報内容の課題があったのかを分析することを目的とし、草津白根火山近傍の「草津温泉スキー場」の利用者を対象としたインターネット調査結果の抜粋（公募研究，東北大学 [課題番号：KOB016]）。

## 1 (6) 防災リテラシー

「防災リテラシー」計画推進部会長 高橋 誠

(名古屋大学大学院環境学研究科)

副部会長 木村 玲欧

(兵庫県立大学環境人間学部)

地震・火山噴火現象の理解・予測を災害の軽減につなげるためには、地震・火山噴火といった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（自然素因と社会素因、たとえば脆弱性：Vulnerability）を理解し、地震・火山噴火による災害の発生機構を総合的に解明することが必要であり、また、それらの研究成果を社会に対して適切に還元することが求められる。研究成果の社会還元を適切に行うためには、社会が地震・火山噴火災害による被害の発生を抑止・軽減したり、また、その対策を考えたりするために必要な知識体系を明らかにすることが必要である。

現時点における科学的研究成果に鑑みると、災害誘因としての自然事象に関する理解や予知・予測、災害誘因と災害素因との結び付きによって災害が発生する要因や機構に関する理解から、被害が発生した場合の社会の対応にかかわる方策を得ることによって、災害の軽減を図ることが目指されている。とりわけ災害素因については、構造物や土地利用にとどまらず、人間の認知や行動、社会体制などにおける脆弱性の理解、災害シナリオの作成や災害情報の発信といった災害予防の側面に重点が置かれる。また、過去の地震・津波・火山災害事例を対象に、被害・応急・復旧・復興といった災害過程に沿った社会の回復力に焦点を当てた研究も行われている。一方、社会の防災リテラシーの実態やニーズに関する調査に基づいてその向上のために必要とされる知識要素を探り、教材や研修プログラムの開発につなげようとする実践的な試みも行われている。

本計画を災害科学の一部として捉え、そ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、建築学・都市計画学・土木工学・情報工学といった工学、歴史学・心理学・社会学・法学・経済学・地理学といった人文社会科学など、防災・減災に関連する諸研究分野との連携を図る必要がある。また、研究成果の社会還元に関しては、マイクロジオデータやオープンサイエンスの手法なども活用しつつ、産業界や行政機関、一般市民などのステークホルダーとの連携が求められる。

防災リテラシー部会は、基本部分を前計画における地震・火山災害部会から引き継ぎながら新たに設置された。防災・減災に対する社会の要請を意識し、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、災害事例に基づき、災害の発生要因を災害誘因と災害素因とに関連づけて解明する研究を従前どおり推進するとともに、社会における防災リテラシーの実態調査や災害軽減に効果的な知識体系要素の探求などを通して、地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究を行うものである。

### 4. 地震・火山噴火に対する防災リテラシー向上のための研究

#### (1) 地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の解明

社会とのかかわりにおいて地震・火山噴火災害の発生機構を理解するためには、自然

事象が生じる場所や地域の歴史的・地理的特性は重要な研究項目である。本年度は、災害誘因としての場所限定性の強い津波について、その常習地である岩手県山田町船越地区を事例に、「陸中国閉伊郡第拾七区船越村絵図面」、「山田警察分署所轄海嘯被害明細図」など、津波災害発生前後の史料を収集・解析し、当時の地形や被害状況との対応関係を復元・可視化した(図1)。同地区の中心部は、江戸時代にいくつかの枝村を差配する親村として成立し、明治維新後は役場所在地となったが、明治29年の明治三陸地震津波災害では、半島と陸地を繋ぐトンボロ(陸繋砂州)部分がほぼ壊滅した。リアス式海岸に特徴的な急傾斜地形と集落立地との関係に着目すると、標高と被害程度との間に明瞭な対応関係があり、そのことが被災後の高台移転につながったことを明らかにした(東北大学災害科学国際研究所[課題番号:IRID05])。

同じく津波災害については、2011年東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)を事例に、宮城県の津波被災地における災害対応過程や生活条件の地域間比較分析を行った。災害後の避難過程でコミュニティの分解が進んだが、まとまりを強くする場面もあった。特にリアス漁村では、仮設住宅入居時でも集落のまとまりが維持され、住宅再建や集団移転、防潮堤建設事業といった地区再建方針も主体的に決定されたケースがあった。しかし、それにもかかわらず、集落移転が地区の生活環境条件を悪化させ、災害文化の継承にもネガティブな影響を及ぼしたことなどを明らかにした(図2)。これらのことから、災害経験が地域社会のまとまりを強くする反面、地域の社会特性に応じた災害対応がとられないときに、逆に社会の脆弱性が增大することが示唆された(名古屋大学[課題番号:NGY\_06])。

一方、近代以前の歴史地震に関しては、国宝・島津家文書のうちに伝来する「江戸大地震之図」(東京大学史料編纂所所蔵)をもとに、安政江戸地震(1855年)における被害の状況と人々の対応や復興過程の実態を検討した。この絵巻の史料価値は未検討だったが、文献史料と丹念に照合すると、絵巻に描かれた内容や表現が事実とよく符合した。つまり、この史料が事実に基づいて特定の場所や出来事を描いており、歴史資料としての信頼度が高いことを明らかにした。その上で、地震や火事による被害状況や、仮設住宅や瓦礫の処理、米の配給などの復興課題が現代とも共通し、歴史的な経験が今後の防災施策や復興施策の検討に資すること指摘した(図3)(杉森,2020,東京大学史料編纂所[課題番号:UTH\_02])。

中越地震や東日本大震災後の集落復興においては、危険区域の設定や移転用地の確保などに土地制度上の問題が広範に生じた。土地所有・利用にかかわる私権制約の問題は、観測技術の進展によって災害誘因の予測が精緻化されているものの、たとえば災害危険度の高い活断層近傍地域において被害軽減を図る土地利用規制・建築規制が進まないことと関連する。こういう問題意識のもとで、新潟県中越地方における割地制度と土地総所有制の実態を調べ、現代の土地利用施策への応用可能性を検討した。その結果、土地から生産される利益の配分と災害による被害の分散のためにこの2つの制度が運用されてきたことがわかった。地域全体で利益を共有し、暮らしの再建を目指せるような制度づくりが重要であることを指摘した(図4)(兵庫県立大学[課題番号:HGY\_02])。

また、災害対応・復興に対して地震・火山観測情報がどのように活用されてきたのかという問題について、口永良部島新岳と箱根大涌谷の火山噴火対応、兵庫県加古川市養田南地区での地区防災計画策定における住民と専門家とのリスクコミュニケーションを事

例に検討した。前者については、気象庁による噴火警戒レベルの判断基準となる観測情報に対して住民が敏感に反応していたことを確認した。後者では、統合地震シミュレーターによる時刻歴応答解析と建物構造種別ごとの被害分析の結果を地区レベルで詳細に可視化・提示し（図5）、これらの情報が、住民自身が対策を具体的に検討する際に有効に機能したことを確かめた（兵庫県立大学 [課題番号：HYG\_01]）。

## （2）地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究

地域社会は災害に対処する仕組みを備える一方で、近年の社会変動によって潜在的な脆弱性を増大させており、そのことは災害の発生によって被害を拡大する要因となる。災害の軽減を図るためには、こうした脆弱性をどう捉え、それをどう解決するかが重要となる。災害が生活に与える影響の把握方法について、本年度は、地域に潜むリスクを脆弱性の観点から評価し、それに対する方策を検討した。富山県を対象に、国勢調査データに基づいて人口密度ならびに乳幼児・高齢者人口の密度を算出し、脆弱性尺度として災害時弱者支援力「見守られ率」（成年一人当たりの乳幼児・高齢者数）を地図上で可視化した（図6）。その結果、乳幼児ならびに高齢者に対し、防災意識を高め、自助力を高めるアプローチが必要であるという課題が明らかになった。それに対する方策として、保育園や高齢者福祉施設等でのレクリエーション活動において活用可能な「富山の防災を知る歌」を設計・開発した（富山大学 [課題番号：TYM\_03]）。

一方、地震・火山等の自然現象に関する知識、また災害予測情報等の活用可能性には個人差も大きく、より効果的な防災対策を可能にするためには、こうした個人差をよく理解する必要がある。認知科学のアプローチから、災害情報を活用する個人の態度・能力・考え方と関係する「災害を生きる力」因子を整理する調査設計のために、本年度は基礎的検討と試行調査を行った。南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域在住の成人240名を対象としたウェブ調査を実施し、「通常の大地震発生とそれに伴う大津波からの避難」と「南海トラフ地震臨時情報（巨大地震警戒）に基づいた避難」の両シナリオ間での避難見通しの差異を検討し、その程度には大きな差はなかったものの、前者のシナリオでは「絶対避難しない」、「必ず避難する」の回答が後者のシナリオの回答より多いなどの結果を見いだした（図7）（東北大学災害科学国際研究所 [課題番号：IRID06]）。

個人レベルにおけるリスク認知と避難行動とのギャップについては、地理空間情報とICT（情報通信技術）による新たな災害情報共有システムの構築と利活用方法の開発を目指して、地理空間情報、GIS、衛星測位に現代的ICT技術を統合した改良型基盤システムを構築し、活用方法を開発する計画に着手した。具体的には、WebVR技術を用いた疑似避難訓練システムを開発して3回の実験を行った（図8）。このようなシステムを用いれば実施困難な避難実験を行うことが可能となり、たとえば地形の複雑な地域において「海から離れなければ」という意識で逆に津波が来る方向に逃げようとするなど、津波災害時に注意すべき行動が明らかになった（北海道大学 [課題番号：HKD\_07]）。

地震・火山噴火に関する一般市民の科学的知識レベルの向上は、緊急性の高い火山噴火災害の場合、喫緊の課題である。桜島は現在活動中の火山のうち人口50万以上の大都市に最も近接する火山であり、科学者と市民との共同によって観測から防災に至る一連の対応システムの構築が試みられている。そのための基礎資料として、約100名の一般市民を対象に噴火情報に関する意識調査を行った。鹿児島市などの隣接地域において噴



火警戒レベルの認知度が有意に高く、噴火に至るかどうかが不明であっても観測データに異常が見られる場合の情報が必要とされていること、情報の信頼性の高い公的機関や専門機関からの情報発信のニーズが高いこと、火山災害を減らすためには災害情報にかかわる取り組みが重要だと考えられていることなどを明らかにした(図9)(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI13])。

一方、日本有数の観光地に位置し、近年大きな地震や火山噴火が発生した熊本県阿蘇地域では、研究者と国や県、地元行政機関などが連携して、地震・火山観測の準リアルタイムデータ表示システムの設置を行うとともに、観光客に触れる機会の多いジオパークガイドの養成を通して防災リテラシーの向上を図る方策を展開してきた。本年度は、その養成講座の講習内容を検討するために、現役ガイドと新人ガイドに対して熊本地震に関するアンケート調査を実施するとともに、現役ガイドの活動に関するアクションリサーチを行った(図10)。その結果、新人ガイドと現役ガイドの間には活断層認知率など科学的知識レベルに差異があり、地球科学リテラシーの向上につながる講習内容に課題があることを見いだした(京都大学理学研究科[課題番号:KUS\_03])。

また、2014年に深刻な御嶽山噴火被害を経験した長野県木曾地域は、観光地に位置しながらも超過疎の問題を抱えており、地元の火山防災力の向上を図る担い手の確保に腐心している。そのため、専門家と県や地元自治体が連携して、火山マイスターとして認定された地域内外の一般市民のネットワークを専門家が支援し、火山マイスターの活動記録をもとに、必要とされる知識や防災効果を評価・検証・フィードバックする制度を構築した(図11)。本年度は、基礎資料を作成するために、木曾地域の関連行事における参与観察、関係者へのインタビュー調査などを行い、マイスターの属性を整理するとともに、過去2年間の活動記録を蓄積した(名古屋大学[課題番号:NGY\_06])。

地震・火山研究の成果を防災対策や災害対応に活かすための、より一般的・体系的な取り組みとして、実務者(行政担当)を対象にした防災リテラシーの向上のための研修プログラムを開発し、開発した研修プログラムをモデルケースとして実装し、その効果を検証することでプログラムの高度化を図る研究に着手した。本年度は、その基礎となる「育成したい人材の特性」「育成フレームの同定」「育成プログラムのプロトタイプ」を検討した(図12)。特に育成プログラムにおいては、一方向の研修だけではなく、研修によって一定の基礎知識が共有された段階で、育成対象者から研究者コミュニティへのフィードバックを実施し、双方向のリスクコミュニケーションが実現することを目指したプログラムの試作を行った(新潟大学[課題番号:NGT\_02])。

最後に、「オープンサイエンス」(市民参画型科学,市民参画型データ収集・管理)をキーワードとして、オープンサイエンスの手法を地震防災学の分野にも導入し、地震・火山・津波災害データベースの構築・共有を進めながら、それを通じた防災リテラシーの育成を目指す取り組みを開始した。取り組み内容は多岐にわたる研究項目から構成されるが、本年度は、(1)サイエンスミュージアム「阿武山地震観測所」の運営による地震リテラシーの向上、(2)地震・津波避難訓練支援ツール「逃げトレ」の導入による市民参画型の地震・津波訓練の推進、(3)自然災害に関する歴史資料の解読を行う「みんなで翻刻」プロジェクトの推進、(4)内陸地震観測「満点計画・0.1満点計画」によるオープンサイエンス型地震学の試行を実施し、それらの基本フレームとアウトカムを整理・図式化した(図13)(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI14])。

## これまでの課題と今後の展望

今年度から開始された観測研究計画においては、地震・火山噴火現象の理解・予測を災害の軽減につなげるための災害科学の確立を目標として、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による災害発生機構の研究と地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究を実施してきた。

具体的に、地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の研究においては、近世・近代の史料データベースなどを活用して被害の状況や社会の対応を検討した。また東日本大震災などの近年の災害を事例に、災害復興などにおける社会対応の課題について検討した。地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究に関しては、災害の社会素因である脆弱性を地域および個人レベルで評価・可視化する手法を開発するとともに、社会の防災リテラシーの水準を把握した。また、オープンサイエンスやGIS、リスクコミュニケーションなど新しい手法を取り入れ、行政機関や一般市民などと連携しながらリスク認知能力を涵養したり知識レベルを向上させたりする取り組みを開始し、具体的な研修プログラムのプロトタイプも作成した。

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。地震・火山噴火の災害事例による災害発生機構の研究においては、史料データベースといった歴史資料などに基づき過去の地震・津波・火山災害などの自然災害事例を蓄積し、当時の人々の対応や教訓、復興過程などについて総合的に検討する。また、災害誘因の事前評価と災害素因、とりわけ脆弱性概念とを結び付けて災害発生機構の理論を洗練させ、とりわけ災害の予測や予防、災害対応にかかわる知識要素を検討することによって防災リテラシーの体系化を図る。地震・火山噴火災害に関する社会の共通理解醸成のための研究においては、ジオパークガイドや行政職員など、対象を絞った講習・研修プログラムのプロトタイプについて、前段にかかわる最新研究成果を取り入れながら試行・フィードバックすることも必要である。その際、GISを利用した空間データベースの構築、地震・火山情報の配信システムの整備、オープンサイエンスやワークショップといった市民参加型リスクコミュニケーションなど、新しい手法の開発を継続させることが重要である。

## 成果リスト

- 秋本弘章，橋本雄一，河合豊明（2019），「地理総合」とGIS—その意義と汎用・基礎データの  
存続・課題と支援・実践，学術の動向，24(11)，18-22
- 蝦名裕一，行谷祐一，今井健太郎（2019），岩手県山田町における明治三陸津波以前の歴史地形  
復元，2019年度歴史地震研究会徳島大会予稿集，0-23
- Goltz, J., G. Nakano, H. Park, and K. Yamori (2020), Earthquake ground motion and  
human behavior: Using DYFI data to assess behavioral response to earthquakes,  
Earthquake Spectra, doi:10.1177/8755293019899958
- 橋本雄一編著（2019），五訂版GISと地理空間情報—ArcGIS 10.7とArcGIS Pro 2.3の活用，古今  
書院，175pp
- 橋本雄一，塩崎大輔（2019），津波浸水想定データを援用した避難訓練可視化システムの開発と

- 利活用, 地理情報システム学会講演論文集, 28, 2019, CD-ROM
- 橋本雄一 (2019), 汎用・基盤的データの存続と地理教育, 日本地理学会発表要旨集, 95, p16
- 井口正人, 中道治久 (2019), 桜島の大規模噴火を考える, 自然災害科学, 38(3), 279-345
- 井口正人, 轟朝幸, 村岡猛, 平田輝満, 佃健次, 小田切義憲 (2019), 今そこにある桜島噴火, ていくおふ, 157, 4-15
- 井口正人, 轟朝幸, 村岡猛, 平田輝満, 佃健次, 小田切義憲 (2020), 今そこにある桜島噴火 (2), ていくおふ, 158, 4-17
- Inoguchi, M., K. Tamura, R. Hamamoto (2019), Establishment of Work-Flow for Roof Damage Detection Utilizing Drones, Human and AI based on Human-in-the-Loop Framework, IEEE Big Data, 4618-4623, doi.org/10.1109/BigData47090.2019.9006211
- 井ノ口宗成, 田村圭子, 濱本両太, 堀江啓 (2019), ドローンによる空撮画像を活用した屋根被害把握と被災者支援への利用ー2019年山形沖地震における村上市の対応を事例として, 土木計画学研究・講演集, 60, CD-ROM
- Ishibashi, R., R. Nouchi, A. Honda, T. Abe, M. Sugiura (2019), A Concise Psychometric Tool to Measure Personal Characteristics for Surviving Natural Disasters: Development of a 16-Item Power to Live Questionnaire, Geosciences, 9(9), 366
- Ishimizu, E., M. Sakamoto (2019), Issues of Japan's volcanic disaster prevention system as viewed from overseas alert systems, Japan Geoscience Union Meeting 2019, MZZ50-P03
- 石水英梨花, 阪本真由美 (2019), 火山災害軽減に効果的な地域の関係性に関する考察ー口永良部島におけるヒアリング調査から, 日本火山学会2019年度秋季大会, p111
- 川村壮, 橋本雄一, 戸松誠, 竹内慎一 (2019a), 積雪寒冷地の港湾都市における建物立地状況と津波からの避難可能性に関する空間分析, 地理情報システム学会講演論文集, 28, CD-ROM
- 川村壮, 橋本雄一, 戸松誠, 竹内慎一 (2019b), 港湾都市の津波浸水想定地域における施設立地の変化, 日本地理学会発表要旨集, 96, p50
- 三好達也, 橋本雄一 (2019), 北海道におけるGIS コミュニティの発展, 地理情報システム学会講演論文集, 28, CD-ROM
- Nakamichi, H. (2019), Mitigation of volcanic hazard in Sakurajima, Japan, through the coordinating committee and through communication with the public, Japan Geoscience Union Meeting 2019, MZZ50-03
- Nakamura, H., K. Yamaoka, M. Horii, R. Miyamae (2019), An open dialogue approach to volcano disaster resilience and governance: action research in Japan in the aftermath of the Mt. Ontake eruption, J. Disaster Res., 14, 829-842, doi:10.20965/jdr.2019.p0829
- Noda, T., Yamori, K., Harada, K. (2019), Development of disaster response applications and improvements in regional disaster prevention capacity, Based on collaborative information use, J. Disaster Res., 14, 375-386, doi:10.20965/jdr.2019.p0375
- 奥野祐介, 塩崎大輔, 橋本雄一 (2019), 津波と土砂崩れによる複合災害を想定した集団避難行動分析ー北海道稚内市を事例としてー, 地理情報システム学会講演論文集, 28, 2019, CD-ROM

- 小野塚仁海, 橋本雄一 (2019), 生鮮食料品店への近接性からみた日本における買物困難圏の推定, 地理情報システム学会講演論文集, 28, CD-ROM
- 小野塚仁海, 橋本雄一 (2019), 北海道北部における買い物困難圏と移動販売車の果たす役割, 日本地理学会発表要旨集, 96, p90
- Sakamoto, M. (2019), Governance for Trans-boundary Volcanic Disaster: a case of 2010 Eyjafjallajkull Eruption, Japan Geoscience Union Meeting 2019, MZZ50-P01
- 阪本真由美, 中道治久, 荒島千鶴, 高橋若菜, 荒木田勝 (2019), 越境火山災害をめぐる国際リスクコミュニケーションー2010年アイスランド火山噴火対応の事例より, 日本火山学会2019年度秋季大会, B2-18
- 澤田雅浩 (2019), 割地制度の実態把握と被災地への応用可能性に関する一考察ー新潟県長岡市信濃川沿岸での実態調査を通じて, 地域安全学会論文集, 35, 59-66
- 杉森玲子 (2019), 1855年安政江戸地震後の旗本屋敷の状況, 2019年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集, 37-38
- 杉森玲子 (2020), 「江戸大地震之図」を読む, KADOKAWA, 272pp
- Sugiura, M., S. Sato, R. Nouchi, A. Honda, R. Ishibashi, T. Abe, T. Muramoto, F. Imamura, (2019), Psychological processes and personality factors for an appropriate tsunami evacuation, Geosciences, 9(8), 326, doi:10.3390/geosciences9080326
- 杉山高志, 矢守克也 (2019), 津波避難訓練支援アプリ「逃げトレ」の開発と社会実装ーコミットメントとコンティンジェンシーの相乗作用, 実験社会心理学研究, 58, 135-146
- 田村圭子, 井ノ口宗成, 堀江啓 (2019), 地震災害における生活再建支援業務マネジメントツールを活用した罹災証明書発行業務解析, 電子情報通信学会安全・安心な生活とICT研究会, ICTSSL2019-10
- 田中重好 (2019), 災害とコミュニティ, 第81回全国都市問題会議: 防災とコミュニティ, 3-7
- Tanaka, S. (2020), Design toward the Systematization of Disaster Sociology, 尚綱学院大学大学院総合人間科学研究科・人間学論考, 2, 50-90
- Watanabe, T., M. Makimura, Y. Kaiwa, G. Desbois, K. Yoshida, K. Michibayashi (2019), Elastic wave velocity and electrical conductivity in a brine-saturated rock and microstructure of pores, Earth Planet. Space, 71, doi.org/10.1186/s40623-019-1112-9
- 安江健一, 廣内大助 (2019), 帯磁率を用いた活断層の変位把握の試み, 日本活断層学会2019年度秋季学術大会, P-14
- 安江健一, 倉橋奨 (2019), 小学生による活断層を紹介するパンフレットの製作, 愛知工業大学地域防災研究センター年次報告書, 15, 59-62

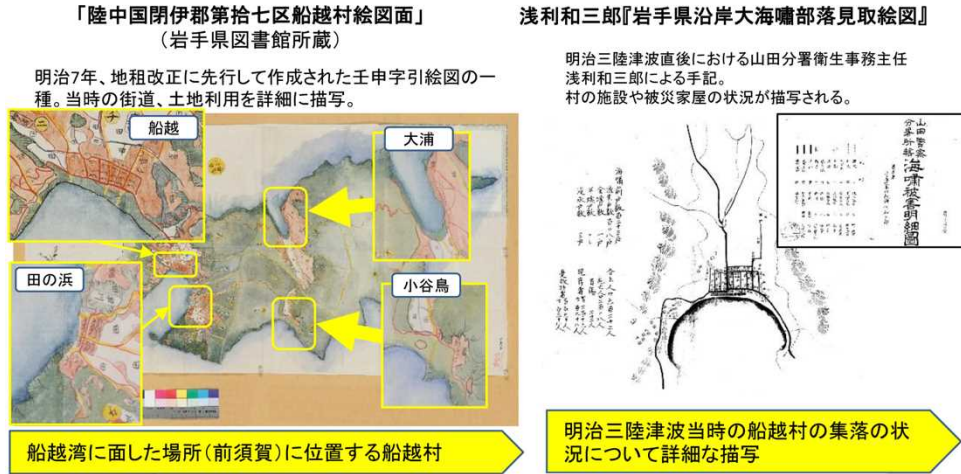


図 1. 岩手県山田町船越地区における集落立地・土地利用と明治三陸地震津波被害の復元（東北大学災害科学国際研究所 [課題番号：IRID05]）。

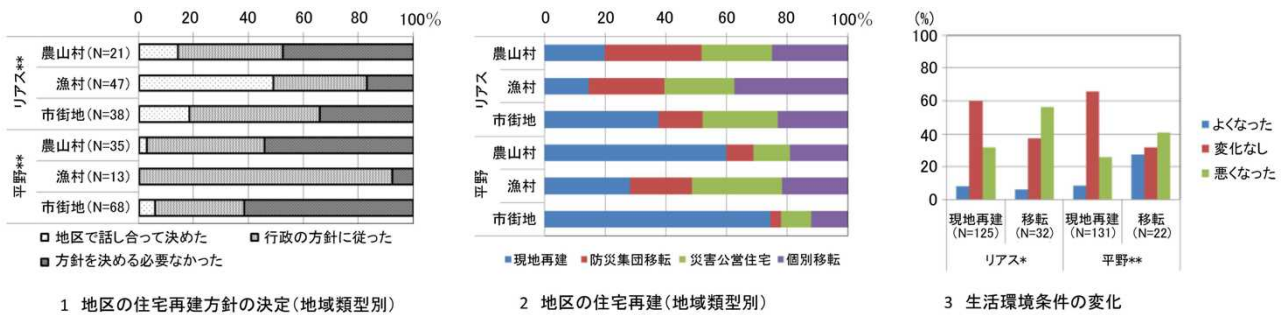


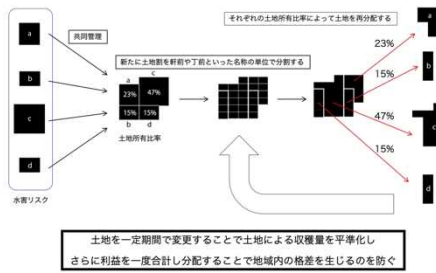
図 2. 宮城県の東日本大震災被災地における地区再建方針等の地域的差異（名古屋大学 [課題番号：NGY\_06]）。



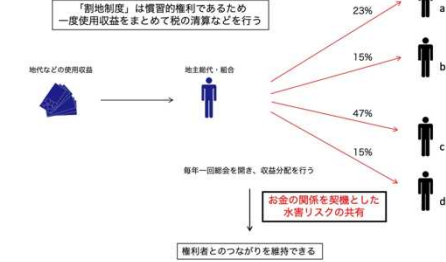
図 3. 「江戸大地震之図」に描かれた安政江戸地震（1855年）における被害の状況と人々の対応および関連する文献史料との照合例（東京大学史料編纂所 [課題番号：UTH\_02]）。



■ 割地制度の枠組み

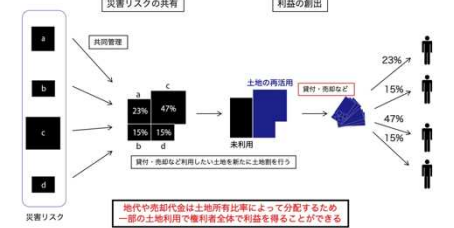


■ 割地制度を維持する必要性



■ 今後の防災減災土地利用方策への展開

□ 被災後の移転元地利活用



□ 被災前の事前復興対策

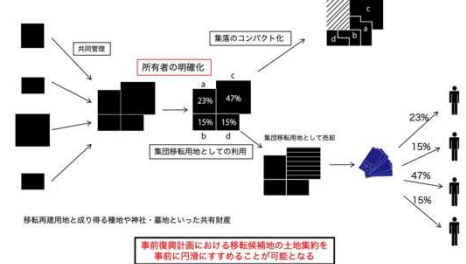


図4. 割地制度の枠組みと維持メカニズムおよび今後の防災減災土地利用方策への展開図式（兵庫県立大学 [課題番号：HGY\_02]）。

地震観測情報を地域防災に活用するための方策として、①地区レベルでの地震の揺れの可視化、②ワークショップを通じた地区レベルでの専門家と住民とのコミュニケーションを実施した①想定南海地震（陸側ケース）のNS方向の地表面加速度とEW方向の地表面加速度から作成した波形を活用し、統合地震シミュレーター（IES：Integrated Earthquake Simulator）による時刻歴応答解析を行い、建物の構造種別（木造、S造、RC造）に層間変形角を用いて被害分析を行った。地区において、どこが揺れやすいのか、また、どのような構造種の建物がどこに位置しているのかを詳細に可視化した。

②兵庫県加古川市養田南地区にて実施している地区防災計画策定ワークショップにおいて、本シミュレーション結果を活用したワークショップを実施した。同地区は南海地震による地震・津波が想定されているエリアである。1995年阪神・淡路大震災では震度4、5弱程度の揺れだったこともあり地域住民のなかには「揺れない地域」という認識を持っていた人もいたが、自らが住む地区の揺れが可視化されたことは、建物被害を想定した対策や避難方法について具体的に検討するための意識付けにおいて有効だった。



図5. 地区防災計画策定過程における専門家と住民とのリスクコミュニケーション（兵庫県立大学 [課題番号：HYG\_01]）。

**地域の脆弱性評価：富山の見守られ率**

見守られ率 = (総人口 - D) / D  
D = 乳幼児人口 + 高齢者人口

国勢調査データから収集可能な乳幼児と高齢者を対象とし、それ以外の人口に対する比率を分析することによる「見守られ率」という1つの尺度を定義。本尺度を用いて富山県を分析したところ、乳幼児・高齢者の人口密度が高くない地域であっても過疎化が進んでいるためか、市街地以外では見守りにかかる脆弱性は低いという結果が導出された。

**地域の防災意識を高める取組：「富山防災の歌」（試作）**

富山に潜む災害の 火山について考えよう 地域と災害種別を明示

弥陀ヶ原に火山があるのに 立山入山しています 地域特性

噴火したらどうするの？ 落石・噴火気をつけて！  
だから、警報レベルをチェックしよう 強い建物に  
避難しよう！ 工学の観点  
から防災に  
対する取組

火山の灰はどこに降る？ 正しい知識を身につけよう！  
普段から準備しておけば 安心して過ごせるよ 社会科学的観点  
から防災に  
対する取組

幼児や高齢者に対し、防災意識を向上させ、自助力を高める1つの方策として、「富山の防災を知る歌」を設計・開発した。

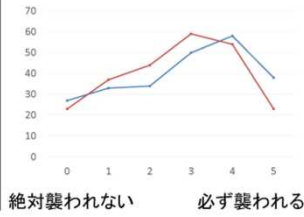
地域のハザードを伝え、工学的・社会科学的な防災対策を伝えるようテンプレート化するとともに、柔らかく、かつ覚えやすい楽曲を作成し、親しみやすい高い「防災の歌」とした。

子ども達に弾き語り

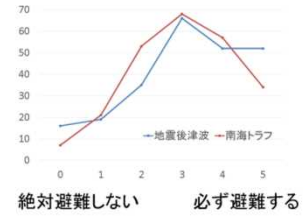
図6. 富山県を事例とした地域の脆弱性評価と地域の防災意識を高める取り組み（富山大学 [課題番号：TYM\_03]）。



②自宅が大津波に襲われる可能性



③避難を行いそうな程度(避難見通し)



・シナリオ

- A: 自宅で休日に強い地震(震度6強を想定)に遭遇し停電等で何も情報が入らない
- B: 回答者の居住地域の反対側(紀伊半島沖で回答者を東西に分割)で発生した大地震(M8.3)に基づいた臨時情報「後発地震が発生してからの津波避難では間に合わない可能性のある地域、高齢者などの要配慮者は1週間程度避難」

図7. 津波避難の見通しに関する認知科学的分析の結果例(東北大学災害科学国際研究所[課題番号: IRID06])。

WebVR技術を用いた疑似避難訓練システム 塩崎大輔氏(北大・院)との共同研究

システム概要

- VPS (LAMP環境)
- MySQL DB (浸水情報(410,835レコード) 北海道太平洋沿岸部をカバー)
- ストレージ
- VR疑似避難訓練機群
- 避難訓練機能
- 避難行動再現機能
- 条件付き避難訓練機能

GoogleStreetViewAPI  
リクエストパラメータの位置情報を基に周辺画像を提供

360度カメラ  
GoogleStreetViewでは再現できない地域・時期をカバー

疑似画像データ

(2)現時点での進捗状況、特に今年度の成果

対象地域外観および実験エリア

第2回実験は最短経路以外をすべてエラーとした。  
第3回実験では新たな経路を追加し、参加者の行動軌跡を収集

(2)現時点での進捗状況、特に今年度の成果

プロトタイプによるVR疑似避難訓練実験(第1回)

- 北海道大学大学院文学研究科・文学部の学生8名を対象とし、厚岸町における疑似避難訓練を実施
- 端末にはスタンドアロンVRディスプレイのOculusGoを利用
- 周辺画像にはGoogleStreetViewを利用
- 参加した学生8名のうち、5名は実際に集団避難訓練に参加し、避難ルートを経験済み

(2)現時点での進捗状況、特に今年度の成果

VR疑似避難訓練実験(第2・3回)

- 北海道大学大学院文学研究科・文学部の学生36名、一般モニター12名を対象とし、函館市における疑似避難訓練を実施
- 第2回実験では学生・一般モニター11名を対象に実験を行い、そこで得られたデータを第3回実験にフィードバック
- 周辺画像には独自の360度画像を用意
- 端末にはVRディスプレイのOculusGo及びVivePROを利用

図8. WebVR技術を用いた疑似避難訓練システムの開発と実験(北海道大学[課題番号: HKD\_07])。

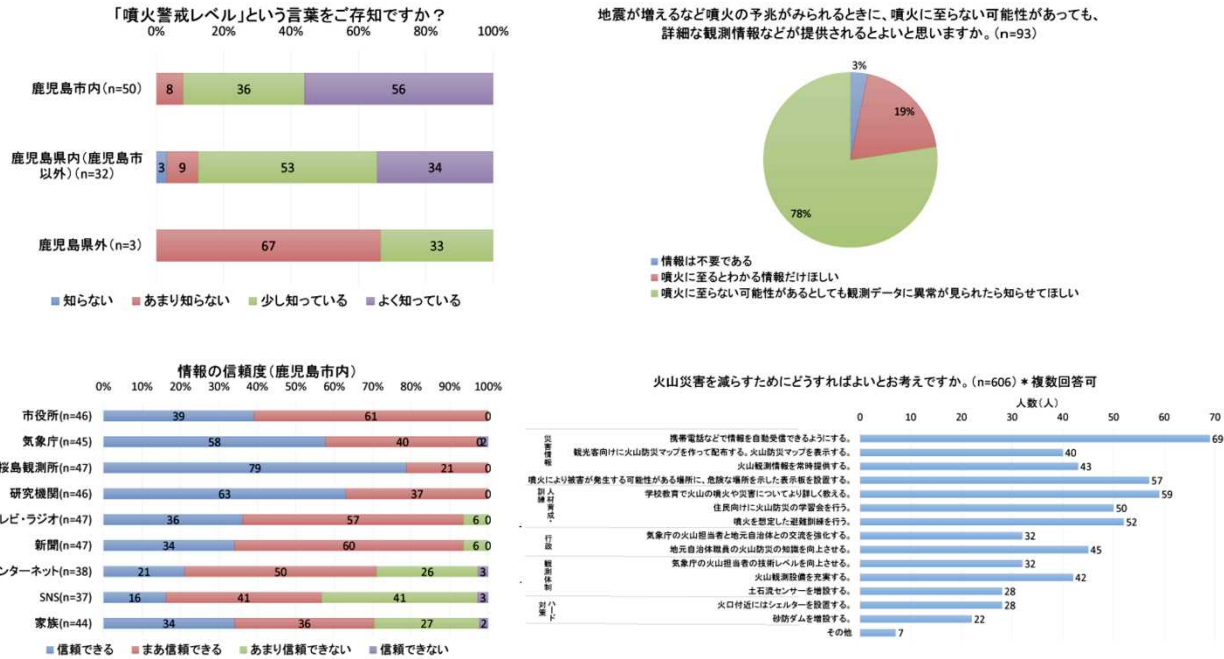


図 9. 火山噴火情報に関する意識調査の結果 (京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI13])



図 10. ジオパークガイド養成講座内容を検討するためのアンケート調査とアクションリサーチ (京都大学理学研究科 [課題番号: KUS\_03])

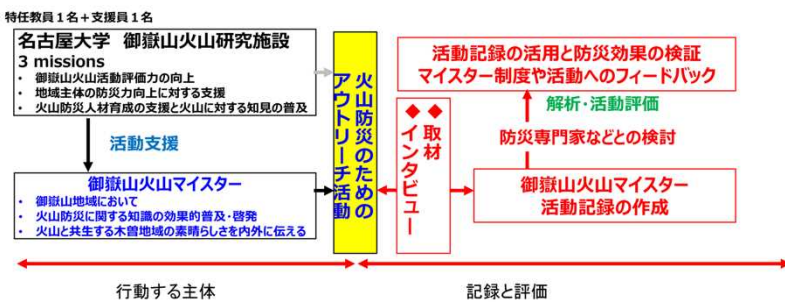
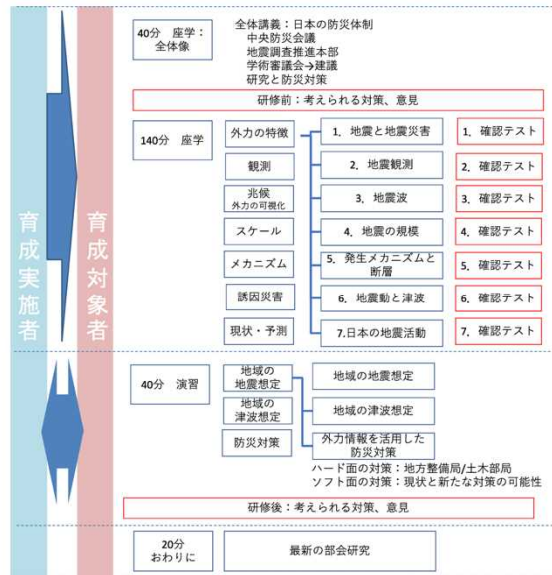


図 11. 御嶽山火山マスターと専門家とのネットワークの仕組み (名古屋大学 [課題番号: NGY\_07])





1. 育成したい人材の特性



2. インストラクショナルデザインのADDIEモデルにおける育成フレームの同定

3. 育成プログラムのプロトタイプの検討（地震）

図 12. 地震・火山にかかわる防災リテラシー向上のための実務者対象研修プログラムの開発に向けた3段階の検討（新潟大学 [課題番号：NGT\_02]）

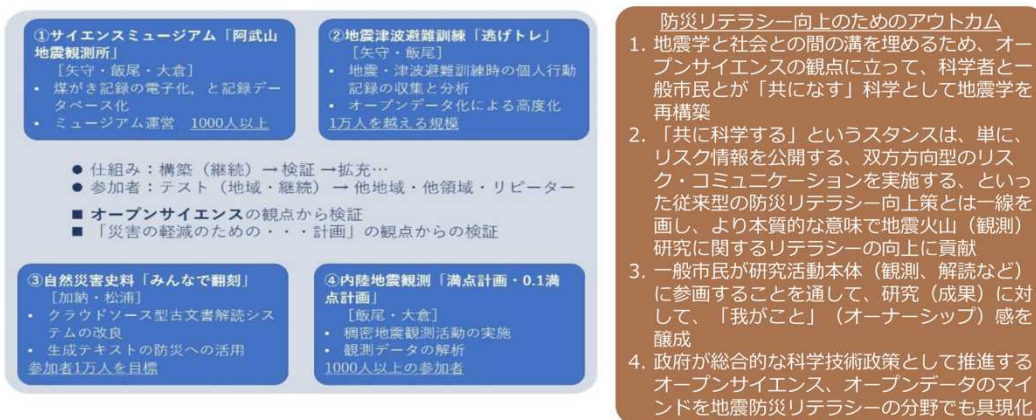


図 13. オープンサイエンス手法による防災リテラシー向上のための基本フレームとアウトカム（京都大学防災研究所 [課題番号：DPRI14]）

## 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 加納靖之  
(東京大学地震研究所)

日本列島において近代的な観測機器による地震観測が開始されたのは明治時代前期以降であり、それ以前に発生した地震・火山噴火現象、またはそれらによる災害に関する知見を得るためには、史料や考古資料に基づく地震や火山噴火のデータが必要不可欠である。そのため、日本における地震火山関連史料の収集・編纂とそれらを用いた地震や火山噴火の研究は、明治時代後期より実施されており、各種の地震史料集や火山噴火史料集が刊行されている。

史料や考古資料に基づく地震火山関連のデータは、人間の感覚による記録や地中に残された痕跡に基づくデータであるために、近代的な観測機器を用いた地震・火山の観測データと比較して、その精度が格段に劣るのは当然である。そこで重要になってくるのが、歴史学的手法を用いた史料とその記述の正確な分析・解読や、地質学的手法を活用した考古遺跡における災害痕跡の分析といった、これまでの地震・火山噴火の研究において積極的に用いられてこなかった手法の導入である。地震・火山噴火関連の史料データ・考古データのデータベースの構築や統合と共に、これらのデータを活用した新たな研究手法の検討や利用も重要な研究課題である。このような新たな研究への取り組みは、史料や考古資料に関する読解や分析が十分とは言えなかった従来の研究手法を改善し、それぞれの分野の学術研究に裏打ちされた精度と確度の高い研究を目指すものである。この取り組みによって、地震学や火山学の分野から信頼性が問題視されてきた史料・考古データや、それらに基づく研究成果について、これまで以上の信頼性を確保できると考える。

### 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解析

史料や考古資料の分析に基づいて、近代的な機器観測が開始される前に発生した低頻度で大規模な地震・火山噴火やそれらによる災害を調査・研究することは、今後発生するそれらの現象や災害の様相を予測し、その被害の軽減に貢献できると考えられる。百数十年から数百年の期間において同一地域で発生する低頻度大規模地震や火山噴火は、明治時代に開始された近代的な機器観測を用いて、それぞれ数回の事象に関して観測データが取得されているのみである。しかし、低頻度の現象や災害は機器観測の開始以前にも発生しており、機器観測によるデータは皆無であるが、歴史学や考古学で用いられる史料や考古資料には、地震や火山噴火に関連した記述や災害痕跡が含まれている。このような史料や考古資料について地震学や火山学の研究に役立てるためには、従来のような史料の収集・編纂のみに止まらず、観測データとの比較・検討を目的としたデジタルデータ化とデータベースの構築が必要になってくる。これによって、地震学や火山学の研究に史料や考古資料を活用する際の利便性が向上するだけでなく、信頼性の高い史料・

考古データをデータベース化することで、歴史地震や火山噴火の研究における信頼性を高めていけると考える。

## ア. 史料の収集とデータベース化

### ・地震火山関連史料の収集・分析とデータベースの構築・公開

本研究計画で実施されてきた地震火山関連史料データベースの構築作業について、新たに高精細OCR入力技術を基盤とした構築方法を導入した。これによって、既刊地震史料集の全文デジタルデータ化が大幅に進捗し、本年度は9巻(計7,456頁)分が完了した。この完了分に、前研究計画において完了した9巻(計5,779頁)分を合わせると、計18巻(計13,235頁)分の全文デジタルデータ化が完了していることになる。これは、本研究課題における全文デジタルデータ化対象の既刊地震史料集全28巻(計22,771頁)のうち、頁数にして約58.1%に相当し、データ化は順調に進捗している。また、既刊地震史料集に所収されている史料の校訂作業について、前研究計画においては紙媒体を用いて紙面上で作業を行っていた。本年度からは、新たに開発したTXTファイルからXMLファイルへの変換システムを導入することで、紙媒体を介さずにデジタルデータ上での校訂作業が可能となった。この新たな手法の開発によって、これまで膨大な時間と労力を要していた既刊地震史料集の校訂作業について、従来よりも作業負担の軽減化と効率化が進むと考える(東京大学史料編纂所[課題番号:UTH\_01])。

### ・日本海沿岸地域を中心とした地震・火山現象の解明のための史料収集と解析

主に日本海沿岸地域を中心とした地震・火山現象を解明するために、各地の史料保存機関に所蔵される史資料の調査や、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。これらの調査に基づく史料の解析から次のような成果が得られた。

15世紀中頃の越中国(富山県)での地震に関する史料について、典拠史料を調査して検討した結果、文安五年(1448)の地震津波記事のある史料3点は、近世の『和漢皇統編年合運図』の記事を元に加筆・文飾した年代記である可能性が高く、信頼できないことが確認できた。また、三河国渥美郡堀切村(現愛知県田原市)の常光寺に伝来した『常光寺王代記并年代記』の影写本(原本は1945年に焼失)を史料学的に検討した。その結果、本年代記のうち、文正元年(1466年)以降の記事は、事件が発生した時点で書き継がれてきた史料であることが明らかになった。さらに、俳人の岡西惟中が地震の実体験を記した連歌「大地震祈祷連歌」の内容を史料学的に分析し、大坂に居住していた惟中が記した1707年宝永地震の大坂での犠牲者数や橋の被害に関する情報は貴重であり、今後、幕府史料などにみられる被害情報との比較・検討が必要であることを明示した。

地震による家屋倒潰率と1軒当りの死亡者数について、1804年象潟地震における庄内藩預所(由利郡内)、1828年越後三条地震における桑名藩預所3か村・長岡藩栃尾組6か村、1854年嘉永(安政)東海地震における江川太郎左衛門代官領、それぞれの被害事例の史料を分析した。その結果、地盤条件の悪い場所に立地する村落に家屋の全潰率が高い場合があり、既存の活断層近傍の村落に家屋の全潰率が高く、1軒当りの死亡者数も多い場合があることがわかった。

1847年善光寺地震による被害については従来、地震後の火災被害、地震後の犀川湛水

の決壊による水害，本震から5日後三月二十九日の高田地震の被害も含め，一括して捉えられてきた。三月二十四日の善光寺地震の地震被害の実像を知るためには，これらの被害全体から火災や水害等の被害を差し引かなければならない。そこで，善光寺町とその周辺の地震被害について，松代藩の勘定所元締が領内の被害を記した『大地震一件』に掲載された日毎の被害を集計し，その分布の変遷を分析した。その結果，火災や水害を除くと地震による被害はそれほど大きくなく，被害が集中した地域は現在の長野市信州新町周辺であり，善光寺町地域では善光寺境内周辺の町々で被害が大きかった状況等が明らかになった。

昭和36年(1961年)2月2日に発生した長岡地震の災害状況について，2つの歴史資料を検討した。その結果，地震発生時の長岡市の災害対応を記録した「長岡市地震災害救助実施要項 昭和36.2.2」には，被災直後に近い時期に調査した被害数値が記載されており，避難先として想定されていた公共施設(「部落公会堂等」)の被害が大きく，避難が困難であった状況がわかった。また，被災地域の長岡市寺宝町に所在した王寺川小学校5年生28名の作文からなる文集(ガリ版刷)の記述内容について，地震発生時，地震直後の屋内被害，地震から朝までの行動，翌朝の食事，翌朝の学校，翌日夜の状況の6つに分類し，被災直後の具体的な行動や様相を明らかにした。

1854年嘉永(安政)南海地震の被害が描かれている「穴喰浦荒図面」について，絵画的な描写や浸水深等の文字記載に関する地理学的な検討を行った。その結果，徳島県海陽町穴喰に残る「穴喰浦荒図面」は，組頭庄屋クラスの者が穴喰浦で情報を収集し，被害状況を観察した上で描かれたものであることがわかった。この絵図では，居宅の近隣や社会的に近しい家の被害がより詳細に描かれており，被害書上のような史料とも対比ができる信頼性の高い絵図史料として評価できる。絵図の凡例から，「流家」→「潰家疼み潰家同断」→「潮入家」→「無難家」という尺度で評価し描き分けている。このような絵図の被害記載と現在の標高を比較・検討すると，嘉永南海地震の津波は穴喰川を遡上する形で到達して市街地に最大被害をもたらしたが，近隣の「三反田」や「松本」「松原」といった地区を越える形でも穴喰浦に到達した状況が明らかになった(新潟大学[課題番号:NGT\_01])。

#### ・東北地方における地震・津波・火山情報に関する歴史資料の所在調査とデータ収集

東北地方での歴史資料の調査として，岩手県釜石市唐丹地区の行政文書について撮影・デジタル化を実施し，同地区における昭和8年(1933年)の昭和三陸地震津波の被害状況に関する情報を得た。同資料群には，字界の範囲で区切られた5枚の絵図が含まれており，昭和三陸地震津波前後の地形及び居住形態について詳細に記されている。このうち「字小白濱絵図」には，昭和三陸地震津波後に整備された復興地区とみられる地割と坪数を示した図が付録として添付されており，役場の照合年月もみられる。この絵図からは，当時と場所に変化がない盛岩寺が右端中段に位置し，宅地の配置や軒数から絵図の下部が海面及び海岸線と判断できた。また，津波浸水範囲であった部分に加え，「新開地」とされる南西側の土地が海岸線に至るまで，昭和16年(1941年)の時点までに拓かれていた状況がわかった。さらに，絵地図に付録されていた「小白浜第一住宅地」には，宅地の区画と坪数が記されており，小白浜における移転地造成の区割りや敷地面積等の昭和三陸津波後における復旧・復興の過程が具体的にわかった。

秋田県にかほ市象潟町関地区では、江戸時代の肝煎文書を撮影・デジタル化し、1804年象潟地震の際の家屋倒壊や田畑の被害に関連する古文書や古絵図を収集した。撮影した史料群に基づいて、象潟地震の際に発生した津波の浸水状況に関する現地調査を実施した。現地調査と当時の絵図史料との比較・検討から、象潟地震当時の関地区の居住形態を復元し、「当六月四日之夜大地震ニ付潰家死人馬書上帳面控」に記された家屋の全壊・大痛・中痛の被害状況を重ね合わせて、象潟地震の被害状況を復元した。これによって、象潟地震における関地区の被害状況には、津波被害にみられるような規則的な家屋の破壊は見受けられず、関村の被害は地震動による家屋倒壊であったことが明らかとなった。また、文化六年（1809年）に描かれた奈曾川流域の荒所の状況を記した絵図には、「地震荒所」とある場所が奈曾川上流部に多数みられ、象潟地震においては、関村周辺だけでなく関村上流部の田畑でも被害が大きかった状況が明らかになった（東北大学災害科学国際研究所 [課題番号：IRID01]）。

#### ・歴史災害研究のオープンサイエンス化に向けた検討

市民参加による大規模データ構築について、2019年7月に IIIF (International Image Interoperability Framework) 及び AI による自動文字認識に対応した次期バージョンの「みんなで翻刻」を公開した。新バージョンでは、東京大学総合図書館が所蔵する災害史料群「石本コレクション」の翻刻が進行しており、2020年2月までに578件ある史料のうちの353件についての翻刻が完了している。翻刻作業に参加する市民の数は500名を超えており、歴史災害史料のテキスト化にシチズンサイエンスの手法が有効であることを実証した。

災害史料の構造化記述モデルの構築について、「みんなで翻刻」上で翻刻された600万文字を超えるテキストを構造化記述し、地名や日時等の地震研究上の重要情報を自動抽出するための検討を実施した（公募研究、国立歴史民俗博物館 [課題番号：KOB001]）。

#### イ. 考古データの収集・集成と分析

##### ・考古・文献資料からみた歴史災害情報の収集とデータベース構築・公開ならびにその地質考古学的解析

奈良文化財研究所が発掘調査を実施した平城宮第一次大極殿院地区（平城第612次調査）、法華寺阿弥陀浄土院隣接地（平城第613次調査）、藤原宮大極殿院地区（藤原第200次調査）をはじめ、全国各地で液状化や地滑り・地割れといった地震痕跡が発見された。これら地震痕跡の識別に関しては、地質切取試料や地質剥ぎ取り試料について、粒度分析、軟X線やX線CTスキャンを用いた微細堆積構造解析を通じ、精度の高い検出が可能になってきた。これによって、発掘調査中に検出される地震痕跡の可能性がある事例について、現場での調査・記録方法、その後の分析作業による調査方法の蓄積が進展した。

地震の発生時期については、前述の3調査地点において、放射性炭素年代測定、土器型式編年、遺構の切り合い、木簡文字史料等を駆使し、5世紀後半、7世紀後半～末、8世紀後半～9世紀半ばに震度5弱以上の震動に見舞われたことを明らかにした。この調査過程において、地震発生時期の特定に関わる調査・記録方法について開発が進み、今後、継続的に活用してその実践性を検証すると共に、調査方法の普及・啓発のためのリーフレット等の作成を進める予定である。

前近代の火山噴火現象の痕跡については、浅間山、榛名山の山麓に位置する金井東裏遺跡、金井下新田遺跡（群馬県埋蔵文化財事業団との共同調査）の発掘調査に関わり、調査方法の開発を進めている。また、桜島大規模火山噴火調査グループとの提携を進めることにより、さらに広範囲での調査方法の蓄積が進むと考えられる。

古代から近世に至るまで継続的に史料が残る奈良盆地での地震被災について、古墳時代以降の遺跡の被災類別や被災分布の集成を進めた。その結果、盆地内の低地域において震度5弱以上の震動による液状化、丘陵部付近で震度7以上の震動で発生するとされる地滑りや地割れの痕跡が、上記の時期に集中して発生している傾向が確認できた。また、河川地形域で土石流や洪水の頻発もみられ、包括的な災害実像に迫れる可能性を見出した。

日本全国の百年から千年単位のスケールでの地震・火山噴火発生像の追跡については、遺跡から解明される細かな人間活動の変遷を時間軸とすることによって、地震・火山噴火の発生像が見え始めている。地震・火山噴火という単一現象に止まらず、斜面崩壊による土石流や洪水の発生等の多様な災害現象の現出像に着目して、今後も調査・研究を進めていく（奈良文化財研究所〔課題番号：NAB\_01〕）。

#### ・日本海沿岸地域を中心とした地震・火山現象の解明のための考古学及び地形・地質の調査

縄文時代中期に発生した三陸地震津波の年代について、以前の成果（齋藤，2014；Saitoh, 2015）に、新たに発掘された岩手県山田町浜川目沢田1遺跡、浜川目沢田2遺跡等の大規模な縄文集落遺跡を加えて再分析した。その結果、津波の年代は大木9式の直前、すなわち大木8-9（中間）式期とみるのが妥当であることが明らかになった。また、炭素濃度の乱高下する特定パターンの気候変動下で、大地震が発生するとの考え方を提示した（齋藤，2019）。

新潟・長野県境の真那板山が、文亀元年（1502年）の越後南西部地震で山体崩壊し、姫川を堰き止めたとする説について検討した。真那板山の崩壊堆積物を覆う「三角州堆積物」出土の埋もれ木の14C年代値が、 $510 \pm 90\text{BP}$ であると報告されていることから、越後南西部地震の誘因説が生まれた。しかし、成立プロセスや根拠に問題がある上、報告された $510 \pm 90\text{BP}$ は未校正とされ、校正した年代値が1300-1430calBP（1502年より170年前、もしくはそれ以上前）を提示しているため、文亀元年越後南西部地震起因説は再検討の余地がある（新潟大学〔課題番号：NGT\_01〕）。

#### （2）低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

近代的な機器観測による観測データ取得開始以前に発生した地震・火山噴火について知るためには、歴史学や考古学で用いる史料や考古資料に基づいて、調査・研究を実施していく必要がある。これらの史料や考古資料をデータベース化し、位置情報や時間情報を付与して被害分布図等を作成することによって、近代的な機器観測に基づく観測データとの比較・検討が可能になる。このような被害分布図等を活用して、前近代に発生した低頻度大規模地震や火山噴火現象とそれらによる災害の実態を解明することは、長期的な災害対策の策定に寄与できると考える。

## ・地震火山関連史資料に基づく低頻度大規模地震火山災害の調査

既刊地震史料集に所収されている日記史料の中から、長期間にわたる江戸での有感地震の記録があるものを選び出し、日記史料ごとに有感地震の回数を集計した。個々の日記史料には有感地震の記録がない年もあるが、複数の日記史料を組み合わせることで有感地震の記録されていない年を補完することができる。17世紀前半から19世紀中頃の江戸屋敷における有感地震の記録がある6つの大名家の日記史料を用いて、1年ごとの有感地震の回数を調査した。その結果、特に1649年（約50回）、1704年（約60回）、1855年（約50回）に地震の回数が多いことがわかった。これらの年はそれぞれ、1649年7月30日の慶安川越地震と同年9月1日の慶安川崎地震、1703年12月31日の元禄関東地震、1855年11月11日の安政江戸地震が発生した年に対応しており、被害地震の発生直後に多発した余震を示していると考えられる。

1885年以降の東京での有感地震については、気象庁の震度データベースを用いて有感地震の回数を集計した。1年ごとの震度2以上の地震記録を調査した結果、1923年（36回）、1924年（35回）、2011年（148回）に回数の多い年があった。これらは、1923年9月1日の大正関東地震、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の発生年に対応しており、地震発生直後に多発した余震や誘発された地震活動を示していると考えられる。17世紀前半から21世紀初頭までの約400年間に及ぶ（1869～1884年の記録は未調査）江戸・東京での有感地震の回数についてまとめると、周辺や直近で発生した被害地震の直後に特に多くなっている状況がわかった。

また、別の研究課題において構築中の「日本歴史地震関連史料データベース」に収められている史料データを用いて、前近代の奈良における被害地震について被害実態を調査した。奈良では、地震による被災後も現存している建造物が複数存在しており、史料と建造物の両側面から地震被害について検討できる。史料に記された明確な建造物被害に基づくと、8世紀初頭の平城京遷都から19世紀中頃までの前近代において、奈良に被害を及ぼした地震は少なくとも8回ある。その中には、奈良盆地近傍の内陸活断層による地震の他に、紀伊半島沖で発生した南海トラフ巨大地震（東海地震・南海地震）も含まれる。このことは、前近代の奈良における被害地震の特徴として挙げられる。

東大寺の鐘楼は、大仏殿東方の高台に位置しており、永祚元年（989年）の大風による倒壊後に再建され、延久二年（1070年）、嘉保三年（1096年）、治承元年（1177年）の地震の際には鐘楼自体は倒壊しなかったが、鐘の鈕が切れて鐘が地面に落下した。その後、13世紀初頭には鐘楼が新規に創建されており、延応元年（1239年）には地震とは関係なく鐘が落下したために、釣手金具が新調されている。これ以後は、地震や大風による鐘の落下は確認できないことから、11世紀後半から12世紀後半に至る3回の地震による鐘の落下は、地震の揺れだけでなく、鐘の鈕や釣手金具といった鐘自体と鐘楼との接続部分の脆弱性にも要因があったと考える。（東京大学地震火山史料連携研究機構 [課題番号：HMEV01]）。

## ・古文書解読による南海トラフ巨大歴史地震像の解明～歴史地震情報の可視化システムの構築とその活用～

前研究計画において構築してきた検索システムの高速化を目的として、これまでのデータベースの再構築を行った。歴史地震史料データベースの検索システムを高速化し、



検索結果が大量であった場合の表示方法を改善した。文献検索システムもバージョンアップし、検索できる雑誌として各地の「博物館紀要」等を追加した。これらの検索サイトは以下のとおりである。

<http://wwwvevrc.seis.nagoya-u.ac.jp/HistEQ/>（歴史地震史料検索・文献資料検索）

<http://wwwvevrc.seis.nagoya-u.ac.jp/HistEQMap/>（歴史地震史料検索システム）

岐阜市在住の大沢家において史料調査を行い、その史料群中に 1854 年安政東海・南海地震と 1855 年安政江戸地震の記録を多数確認し、写真撮影を行った。

歴史地震史料の可視化に向けて、地震史料を e-コミマップを用いて面的に整理することを試みた。今年度は表現方法の検討をしつつ、三重県の鳥羽地域を対象にして、既刊地震史料集に所収されている 1707 年宝永地震、1854 年安政東海地震に関する地震史料について、e-コミマップを用いて面的に整理した。視覚的にこれらの地震の被害状況が比較できるようにするため、シンボル等をもう少し工夫する必要がある。このような e-コミマップに、三重県の旧版地形図、地震ハザードステーション (J-SHIS) にある表層地盤の揺れやすさの情報、シームレス地質図、三重県の石碑の情報等を追加して、史料に基づく被害状況との比較・検討を行った（名古屋大学 [課題番号：NGY\_01]）。

#### ・歴史地震史料を活用した地震学的解析

京都において「古地震研究検討会」（日本地震学会 2019 年度秋季大会の会期中）と合宿形式の古文書解読のための勉強会（2019 年 9 月に 3 日間）及び定期的な勉強会を開催し、東京でも勉強会を開催した（2019 年 10 月に 2 日間）。このような活動は、参加者の歴史地震に関する史料解読技術の向上を図ると共に、これまで歴史地震研究に関わっていなかった研究者や学生、市民に研究活動を普及する機会となった。

「法蓮寺堂再建記木札」の実物や翻刻資料を再調査し、これまでの解釈が誤りであった可能性を示し（加納・他，2019），歴史地震や洪水等の自然災害についてまとめた一般向けの書籍を刊行した（大邑・他，2019）。

震度予測式（距離減衰式）を利用した地震史料の分析手法について検討し、震源位置、マグニチュード、観測点を入力すると震度予測式に従って震度を出力する Web アプリケーションを試作した。

別の研究課題において実施されている「みんなで翻刻」を基盤として、歴史地震研究におけるデジタルアーカイブの活用や、人文情報学的手法の導入について検討した（東京大学地震研究所 [課題番号：ERI\_01]）。

#### ・有感地震記述ならびに震度の距離減衰式に基づく地震活動解析

近年の稠密観測網によって観測された震度データ（気象庁震度データベース等）を用いて、様々な地震活動変化（大地震発生、地震活動の活発化（群発的地震活動を含む）・静穏化、グーテンベルグ・リヒター則の b 値変化等）が有感地震の時空間的特徴にどのような影響を及ぼすのか、2011 年東北地方太平洋沖地震の前後を中心に調査した。

その結果、2011 年東北地方太平洋沖地震後に東北地方内陸で活発化した群発的活動では、それらの震源域近傍の観測点で有感地震回数の顕著な増加が認められる一方で、震源域から離れた観測点では近傍に比べ頻度の増加が小さい傾向がみられた。また、近年に日本内陸で発生した顕著な地震後の有感地震回数の時空間的特徴について調べた。そ



の結果、震源域近傍の観測点では、有感地震回数の累積頻度分布は余震の時間的減衰の特徴を表す大森一字津公式から予測されるように急激な増加から徐々に緩やかな増加になる形状を示した。一方で、震源域から離れるに従って累積頻度分布は顕著地震の直後にのみステップ状に増加する、より階段状の形状へと変化する様子が見出された。これらの結果は、有感地震回数の時空間的特徴から歴史地震前後の地震活動変化（静穏化・誘発地震活動の発生）の検出や、歴史地震の震源域推定の可能性を示唆する。

また、近年の地震を対象に、観測震度と計算震度との残差分布に基づく大地震の類型化に関する基礎的検討を実施した。気象庁震度データベースに報告のある全ての有感地震を対象に近年、太平洋プレート内部、太平洋プレート上面、フィリピン海プレート内部の地震、ならびに地殻内地震について構築された地表における計測震度の多次元距離減衰式（田中・他，2017；Matsu'ura et al., 2018）に基づき震度計算を実施し、データベース化すると共に、それぞれの地震について残差が最小となる距離減衰式のタイプを求めた。その際、J-SHIS の表層 30m における平均 S 波速度 (AVS30) を用いた（公募研究、地震予知総合研究振興会 [課題番号：KOB002]）。

### これまでの課題と今後の展望

平成 26 年度から平成 30 年度の 5 か年にわたり実施された「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、地震学や火山学など理学系の分野だけでなく、歴史学や考古学など人文系の分野の研究者も本研究計画に組織的に参加し、近代的な機器観測によるデータが存在しない前近代の地震や火山噴火に関して、史料や考古資料を活用した調査・研究を共同で実施してきた。人文系の分野が主体となり、理学系の分野と共同で研究を実施する文理融合研究は日本国内ではあまり類例がなく、本研究計画において特筆すべき学際的な取り組みである。

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」(第 2 次)においては、文理融合研究の更なる深化と展開を目指して、地震学・火山学や関連諸分野との連携を強化し、他の部会と協力して本研究計画を推進していくことが重要と考える。また今後は、本部会での文理融合研究の成果を用いて、地震の発生可能性を評価する長期予測における精度改善への提言や、地域社会の災害研究における学術的貢献も検討していく必要がある。

本部会では、文理融合研究を進める上で、史料や考古資料のデジタルデータ化とその共有化が必須と考え、史料・考古データ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検討を重ねてきた。既刊史料集の全文テキスト化については一両年以内に完了できる見通しとなった。今後、本研究計画では、このような基礎的な研究の成果を踏まえて、史料・考古の統合データベースを理系の研究者や一般市民が利用しやすい形で公開できるようにするための研究に取り組んでいく必要がある。あわせて史料・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も同時に実施していき、本部会で作成された史料・考古データの地震学・火山学分野への有効性を提示することも必要と考える。

### 成果リスト

蝦名裕一，今井健太郎（2019），秋田県関村における歴史地形と象潟地震被害の復元，第 36 回

歴史地震研究会（徳島大会）講演要旨集， 47

- 原直史（2019），安政地震における泉北地域の家屋被害，2019年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集，32-34
- 原田和彦（2019），善光寺町（長野市）における災害と復旧・復興，2019年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集，26-28
- Hashimoto Y. (2019), Honkoku2: Towards a Large-scale Transcription of Pre-modern Japanese Manuscripts, Proceedings of the 9th Conference of Japanese Association for Digital Humanities, 97-100
- 堀健彦（2019），1854年南海地震による津波被害絵図について，2019年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集，29-31
- 加納靖之，大邑潤三，山村紀香，濱野未来（2019），「法蓮寺堂再建記木札」と応永一四年の地震，地震 2，72，53-56，doi:10.4294/zisin.2018-18
- 加納靖之（2020），デジタル歴史地震史料の活用，人文科学とコンピュータ研究報告，2020-CH-122(5)，1-3，<http://id.nii.ac.jp/1001/00202854/>
- 加納靖之，大邑潤三（2020），震度予測式を利用した地震史料の検討，東濃地震科学研究所報告，44
- 片桐昭彦（2019），15世紀の越中における地震と津波，2019年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集，14-16
- 村田泰輔（2019），6地質学的調査「藤原宮大極殿院の調査 第195・198次」奈良文化財研究所紀要2019，76-84
- 中村元（2019），歴史資料に見る1961年長岡地震の災害状況，2019年度日本地理学会秋季学術大会発表要旨集，30
- 大邑潤三，加納靖之，橋本学（監修）（2019），京都の災害をめぐる，小さ子社，128pp
- 齋藤瑞穂，鈴木正博（2019），縄文三陸地震津波再論—山田湾の復興を考える手掛かりとして—，2019年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集，1-5
- Satake K. (2019), Annual Number of Felt Earthquakes in Tokyo in Last 400 Years from Historical Daily Records and Seismic Intensity Measurements, 27th IUGG General Assembly, IUGG19-0496 (Oral), Montreal, Canada, Palais des Congres de Montreal, 8-18 July, 2019
- 佐竹健治（2019），日記史料と震度データベースからみた過去400年の江戸・東京の有感地震，第36回歴史地震研究会（徳島大会）講演要旨集，21
- 矢田俊文（2019），俳人岡西惟中と宝永地震，2019年前近代歴史地震史料研究会講演要旨集，22-25

## 1 (8) 観測研究基盤

「観測研究基盤部会」計画推進部会長 鶴岡 弘  
(東京大学地震研究所)  
副部会長 青山 裕  
(北海道大学)

地震火山研究にとって不可欠である観測データを安定的かつ継続的に取得するために、日本全国に展開されている陸域および海域の地震、地殻変動、津波、潮位、電磁気、重力等の観測基盤を維持すること(観測基盤の整備)、さらにこれらの観測データの解析技術等の開発・高度化(観測・解析技術の開発)を進展させること、観測データをリアルタイムに効率的に流通する基盤(地震・火山現象のデータ流通)を維持するとともに、観測データの公開や研究成果を共有するシステムの開発(地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開)を観測研究部会において進めている。以下に令和元年度の成果の概要をまとめた。

### 5. 研究を推進するための体制の整備

#### (3) 研究基盤の開発・整備

##### ア. 観測基盤の整備

防災科学研究所は、陸海統合地震津波火山観測網(MOWLAS)及び首都圏地震観測網(MeS0-net)を安定して運用し、地震、低周波地震、超低周波地震、スロースリップイベントについてイベント検出および震源位置、震源メカニズム解、断層モデルの推定、余震活動の予測等を行った。さらにその活動状況のモニタリング結果をわかりやすく情報発信を行うとともに、地震調査委員会、地震予知連絡会等に随時提供を行った(防災科学技術研究所[課題番号:NIED05])。気象庁は地震観測網や地殻変動観測網などの観測基盤の維持、関係機関の地震観測データの一元的処理結果を関係機関へ提供し、南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会や地震調査委員会において報告を行った(気象庁[課題番号:JMA\_09])。国土地理院は、全国におけるGNSS連続観測点を平均20キロメートル間隔の配置として維持するとともに観測を継続した(国土地理院[課題番号:GSI\_04])。電子基準点リアルタイム解析システムを運用するとともに変動点検知機能を強化し、令和元年6月18日に発生した山形県沖を震源とする地震において、震源近傍の観測点で約5cmの地殻変動をリアルタイムに検知し、後処理解析と整合する結果が得られた(国土地理院[課題番号:GSI\_08])。さらに、AOLS-2のSARデータを使用して国土全域を対象に定期的にSAR干渉解析を行い、西之島では、2019年12月からの火山活動に伴う地殻変動及び溶岩等によるものと見られる地形変化を検出した(図1)(国土地理院[課題番号:GSI\_07])。国際VLBI事業の観測計画にも基づき、石岡VLBI観測施設においてVLBI国際共同観測を86回実施した。

大学は、観測データ流通網JDXnetの安定的な運用を継続し、東京大学地震研究所の接続ポイントにおいてはSINET経由によりJGN接続を実現し、ネットワークの冗長化を復旧させた。また、柏キャンパスでの接続も開設し東京大学情報基盤センターの大規模並列計算機を活用できる基盤を構築した(東京大学地震研究所[課題番号:ERI\_19])。高知

大学においては、地震観測点における観測状況の健全性の時間変化を把握する手法の開発を進めるため土居観測点にやや広帯域の速度計地震計の設置を行った（高知大学〔課題番号：KOC\_01〕）。

気象庁、国土地理院及び海上保安庁は、潮位連続観測を継続し、地殻変動にともなう地盤の上下動を連続的に検知した（気象庁〔課題番号：JMA\_10〕、国土地理院〔課題番号：GSI\_05〕、海上保安庁〔課題番号：JCG\_02〕）。気象庁は、柿岡、女満別、鹿屋、父島での地磁気4成分観測、及びいわき北浦での全磁力精密連続観測を実施し、高精度の地磁気基準値を提供した（気象庁〔課題番号：JMA\_11〕）。国土地理院は、航空重力測量に必要な飛行場重力点として調布、名古屋、八尾、仙台、青森、北九州において観測点を設置した（国土地理院〔課題番号：GSI\_06〕）。山梨県富士山科学研究所は、gPhone重力計の導入を行い、連続観測を開始した。また、気象観測装置の併設も行った（山梨県富士山科学研究所〔課題番号：MFRI02〕）。北海道立総合研究機構地質研究所は、雄阿寒岳、十勝岳、樽前山、倶多楽、有珠山および北海道駒ヶ岳において地球物理学的・地球化学的モニタリングを継続した（北海道立総合研究機構地質研究所〔課題番号：HRO\_01〕）。

気象庁は、全国の50活火山について、全国4カ所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS、監視カメラ等による連続的な監視観測を継続した。令和元年度においては、草津白根山に広帯域地震計を整備し、また全国7カ所に監視カメラの増設を実施した（気象庁〔課題番号：JMA\_12〕）。

## イ. 観測・解析技術の開発

東京大学地震研究所は、光ファイバセンシング技術の一つであり、振動を計測する分散型音響センシング(DAS)を利用した地震観測を実施した。具体的には、1996年に設置した三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムの予備の光ファイバーケーブルを活用して2019年2月、6月、11月の計三回の空間的に高密度な海底地震観測を実施した。2月の計測では、測定全長100km、チャンネル間隔5mとして、合計2日間実施し、計測装置を設置した陸上局から70km程度まで連続して地震波が記録されることを確認した（図2）（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI\_22〕）。

大学は、新たな無線通信帯域・技術を活用したデータ伝送システムの開発及びこれを利用した地震・火山活動状況を高精度かつ迅速に把握可能なシステムの開発を進めている。東北大学においては、920MHz帯の省電力無線通信試験を行った。この試験では、情報通信研究機構が中心となって開発したLoRa試験機およびLoRaを用いたWIN波形伝送用無線機の二つを用いた電波の伝搬試験を行った（図3）（東北大学〔課題番号：THK\_13〕）。名古屋大学においては、小電力、小型・携帯テレメータ地震観測装置の改良開発を実施しているが、令和元年度においては現用機に対して小規模な改良を実施し、部品の選定、改良テスト機への実装を行った（名古屋大学〔課題番号：NGY\_08〕）。

情報通信研究機構においては、地震や火山等の自然災害発生時における被災地の状況把握を詳細かつ迅速に行うための次世代航空機搭載SARの開発を実施し、令和元年度においては、①機械学習をベースにした土地被覆分類に関する研究、②GISデータとSARデータを用いた情報抽出技術に関する研究、③クロストラック干渉SARとレーダグラメトリを用いた地形変化抽出に関する研究を実施した（情報通信研究機構〔課題番号：NICT01〕）。

## ウ. 地震・火山現象のデータ流通

北海道大学は、地殻変動連続観測、およびGNSSデータサーバの運用を継続し、地殻変動等多項目データの一元的な流通とデータの蓄積などを行った。地殻変動連続観測サーバーでは、419チャンネルのデータの収集を行い、GNSSデータサーバに格納する過去の機動観測データの発掘・整理を行った。さらに、気象庁の地殻ひずみ計データの流通に向けて関係機関との調整を開始した。また、地殻変動観測技術の伝承を目的としたひずみ計測の研修会を実施し、全国の大学院生や技術職員20名程度が参加した（北海道大学 [課題番号：HKD\_08]）。

東京大学地震研究所は、現WINシステムにおける課題と次世代システムへの要望の集約を行った。WINシステムに関連の深い研究者や技術者にメール等によりアンケートを実施し、18機関（北海道大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、琉球大学、防災科学技術研究所、神奈川県温泉地学研究所、気象庁、気象大学校、地震予知総合研究振興会、企業4社）から回答が得られた。データ量（チャンネル数）の増大、通信の高速化、再送機能の充実、高精細かつ多色表示可能な操作環境の普及などへの対応が検討事項として挙げられ、hypomh以外の震源計算プログラムや他の解析プログラムへの対応、WINシステムのチュートリアルの実装などの課題も明らかとなった（東京大学地震研究所 [課題番号：ERI\_24]）。加えて、高知大学においては、この課題と連携し、国内研究者が望む伝送プロトコルについて調査を行った（高知大学 [課題番号：KOC\_02]）。

## エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

東京大学地震研究所は、DOI等の永続的識別子付与と公開について、現状と克服すべき課題を整理するため、さらに広く地震学とオープンデータについて議論することを目的として、地震学会秋季大会において特別セッション「オープンデータと地震学」を企画した。識別子付与だけでなく、データジャーナルやデータリポジトリの活用の事例や可能性が提示され、また大学・研究機関や様々なプロジェクトにおけるデータの蓄積あるいは公開のためのデータベースの構築・運用の実際や課題など、本研究課題を進めるために重要な情報が得られた（東京大学地震研究所 [課題番号：ERI\_18]）。

気象庁は、総合的な地震カタログの作成と発震機構解析及び大地震時の震源過程解析を実施し、それらを公開した。1919年～1921年の過去震源について、各地の地震観測原簿等を用いて震源計算を行い、2020年1月に公開した。これにより日本周辺の地震活動について一定品質の地震のデータが100年以上の期間で利用可能となった（気象庁 [課題番号：JMA\_14]）。定常観測点の4地点（柿岡、女満別、鹿屋、父島）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、公開するとともに、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。また、女満別および鹿屋を対象として地磁気アナログ記録のデジタルデータ化を進めた。1968～1969年の地磁気アナログ記録をデジタル画像化したほか、1973～1974年のデジタル画像を高時間分解能のデジタルデータへ変換した（気象庁 [課題番号：JMA\_13]）。令和元年度（平成31年度）に噴火が発生した浅間山、阿蘇山、桜島、薩摩硫黄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））、箱根山等において、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（気象庁 [課題番号：JMA\_15]）。

産業技術総合研究所は、アジア太平洋地域の地震火山ハザード情報整備、国際標準化、データ共有・相互利用、国際的な連携の推進を目的として、アジア太平洋地域の研究機関と連携し、地震火山活動に関連する地質ハザード情報の取りまとめを進めた。今年度においては、トバ（VEI = 8）、白頭山、タンボラ、リンジャニ・サマラス、タール、阿蘇、始良、鬼界、阿多、洞爺、支笏、阿寒、屈斜路（VEI = 7）、クラカタウ、バツール、ピナツボ、ラバウル、ロングアイランド、ダカタウア、ウィトリ、ビリーミッチェル、ウルルン、十和田、濁川、摩周、萌消（VEI = 6）のカルデラを対象に、地形的なカルデラ縁の形状をトレースし、GISデータとして公開した（図4）（産業技術総合研究所 [課題番号：AIST11]）。

国土地理院は、監視・観測体制の充実などが必要とされた火山を優先して、火山防災に資する基礎的な地理空間情報の整備を進めるとともに、地震災害の軽減に資するため、地形分類情報の整備を進めるほか、全国活断層帯情報（活断層図）を整備した（国土地理院 [課題番号：GSI\_10, GSI\_09]）。

データベースの方向性について検討を実施し、現有の研究成果共有システムを活用する方向で調整を行うこととした。サーバーの運用体制やポリシーについても検討を行った。データの格納を行うにあたり、著作権等の検討から、関係者の承諾が取れているものから実装を展開する方針とした。

また、戦略室を主導として、研究成果共有システムの構築に向けた検討を進めた。具体的には格納を行う情報・データの検討を実施するとともに、コンテンツの整理を先行的に進めた。成果報告時に登録される成果物のリスト、火山構造探査データ、機動GNSSデータのほか、これまでの建議研究で作成されているデータベースやソフトウェアへのリンク、建議研究で実施されている観測や調査に関するメタ情報について、本システムで一元的に収集することとした（東京大学地震研究所 [課題番号：ERI\_25]）。

## これまでの課題と今後の展望

地震火山研究にとって不可欠である観測データを安定的かつ継続的に取得することの技術的な課題等はクリアできているが、観測データおよび解析結果等を有効に活用し研究を加速するための、流通、データベース化、公開は時間とコストの問題もあり進捗についてはゆっくり進められているのが現状である。来年度にむけては、これらの課題を解決する研究成果共有システムのさらなる進展が求められる。

## 成果リスト

- 有馬悠馬（2019）、Pi-SAR X2（航空機SAR）×深層学習による土地被覆分類、情報通信研究機構研究報告、Vol.65, No.1, 63-66
- 有馬悠馬（2019）、深層学習によるPi-SAR X2偏波観測データの土地被覆分類、日本リモートセンシング学会第67回学術講演会論文集、233-236.
- Bandibas, J.C., S. Takarada (2019a), Mobile Application and a Web-Based Geographic Information System for Sharing Geological Hazards Information in East and Southeast Asia, Journal of Geographic Information System, 11, 309-320,

doi:10.4236/jgis.2019.113018

Bandibas, J. C., S. Takarada (2019b), Geoinformation Sharing System for East and Southeast Asia using SDI, OGC Web Services and FOSS, *International Journal of Geosciences*, 10, 209-224, doi:10.4236/ijg.2019.102013

本田昌樹・岩田昭雄・山下達也・林京之介・桑原將旗・酒井和紀・宗包浩志・住谷勝樹・堤隆司・加古孝範・齋田宏明・矢来博司・小林知勝・森下遊 (2019), 平成30年北海道胆振東部地震におけるSAR干渉解析及び基準点復旧測量, *国土地理院時報*, 132

本多亮, 柳澤孝一, 田中俊行, 浅井康弘 (2019), 重力変化で捉える既知の水理地質構造中の地下水流動 - 岐阜県東濃地域における長期水圧低下を例として -, *物理探査*, 72, 34-48, doi:10.3124/segj.72.34

堀川信一郎 (2020), 御嶽山火山域における通年地震テレメータ観測の試み, *名古屋大学理学部技術報告*, VOL.24

Imai, H., K. Ito, T. Aoki, J. Uemoto, S. Uratsuka (2019), A Method for Observing Seismic Ground Deformation from Airborne SAR Images, in "Proceedings of International Symposium on Remote Sensing 2019", 1506-1509 July 2019, Yokohama, Japan, 5816-5819. doi:10.1109/IGARSS.2019.8900352

石川有三 (2019), 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, no. 667, 産総研地質調査総合センター, 1-10

加納靖之 (2019a), オープンデータと地震学, <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/people/ykano/od4s/>

加納靖之 (2019b), 「みんなで翻刻」にみる歴史地震研究への非専門家の参加, 第1回 SPARC Japan セミナー2019, 「人文社会系分野におけるオープンサイエンス ～実践に向けて～」, [https://www.nii.ac.jp/sparc/event/2019/pdf/20191024\\_3.pdf](https://www.nii.ac.jp/sparc/event/2019/pdf/20191024_3.pdf)

加納靖之, 汐見勝彦, 内田直希 (2019), 秋季大会特別セッション「オープンデータと地震学」開催報告, *地震学会ニュースレター*, 72, NL4, NL-4-40, <https://www.zisin.jp/publications/news72.html>

Kobayashi, T. (2019), 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*, 186-169, doi:10.1190/SEGJ2018-050.1

Kobayashi, T., K. Hayashi, H. Yarai (2019), Geodetically estimated location and geometry of the fault plane involved in the 2018 Hokkaido Eastern Iburu earthquake, *Earth Planets Space*, 71:62, doi:10.1186/s40623-019-1042-6

児島正一郎, 有馬悠馬 (2019), 航空機搭載合成開口レーダー Pi-SAR X2とGISデータを用いた浸水領域の抽出法に関する研究, *情報通信研究機構研究報告*, Vol.65, No.1, 49-55.

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 2/7 -, 産総研地質調査総合センター研究資料集, no. 679, 産総研地質調査総合センター, 1-9

長町信吾, 仰木淳平, 島村哲也, 藤井郁子 (2020), 2013年の女満別観測施設の庁舎一部解体撤去工事に伴う恒久的影響量の評価, *地磁気観測所テクニカルレポート*, 気象庁地磁気観測

所, Vol.16, No.01, 9-29.

- 篠原雅尚 (2019), 海底における地震・津波・地殻変動のモニタリング –海底ケーブルネットワーク–, 海洋調査技術, 31(1), 11-16
- Shinohara, M., T. Yamada, T. Akuhara, K. Mochizuki, S. Sakai (2019), Precise Distributed Acoustic Sensing measurements by using the seafloor optical fiber cable system offshore Sanriku for earthquake monitoring, AGU 2019 Fall meeting, OS13B-1524
- Shinohara, M., T. Yamada, T. Akuhara, K. Mochizuki, S. Sakai, M. Hamakawa, T. Kasajima, T. Arioka, S. Kubota (2019), Distributed Acoustic Sensing measurement by using seafloor optical fiber cable system off Sanriku for seismic observation, OCEANS 2019 Seattle, doi:10.23919/OCEANS40490.2019.8962757
- Takahashi, R., Okazaki, N., Tamura, M., Ogino, T., Murayama, Y. (2019), The interaction of volcanic gas and deep magmatic fluid with shallow aquifers at Tokachidake volcano, Japan, J. Volc. Geotherm. Res., 388, 106678, doi:10.1016/j.jvolgeores.2019.106678
- 高橋伸也, 吉藤浩之, 山口智也, 越智久巳一 (2020), 予測値計算手法の構築と精度評価, 2019年度CA研究会論文集, (発表番号: CA2019-P11)
- 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 3/7 -, 産総研地質調査総合センター研究資料集, no. 683, 産総研地質調査総合センター, 1-30
- 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 4/7 -, 産総研地質調査総合センター研究資料集, no. 684, 産総研地質調査総合センター, 1-15
- 宝田晋治 (2019c), 東・東南アジア地域の大規模カルデラの形状 -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 5/7 -, 産総研地質調査総合センター研究資料集, no. 685, 産総研地質調査総合センター, 1-33
- 上本純平, 児島正一郎, 灘井章嗣, 中川勝広 (2019), クロストラック干渉SARデータセットの土砂崩れに関する解析, 情報通信研究機構研究報告, Vol.65, No.1, 57-62
- 上本純平, 森山敏文, 航空機搭載SARにより取得されたシングルパス干渉データの処理ツールの作成, 日本リモートセンシング学会第67回学術講演会論文集, 293-294.
- Yamashina, T, M. Okubo, T. Tabei, U. Muksin, N. Ismail (2019), Exploration of the fault extension using SITES method; Aceh and Seulimeum segments of the Sumatran fault, Indonesia, AGU Fall meeting 2019, S11D-0373

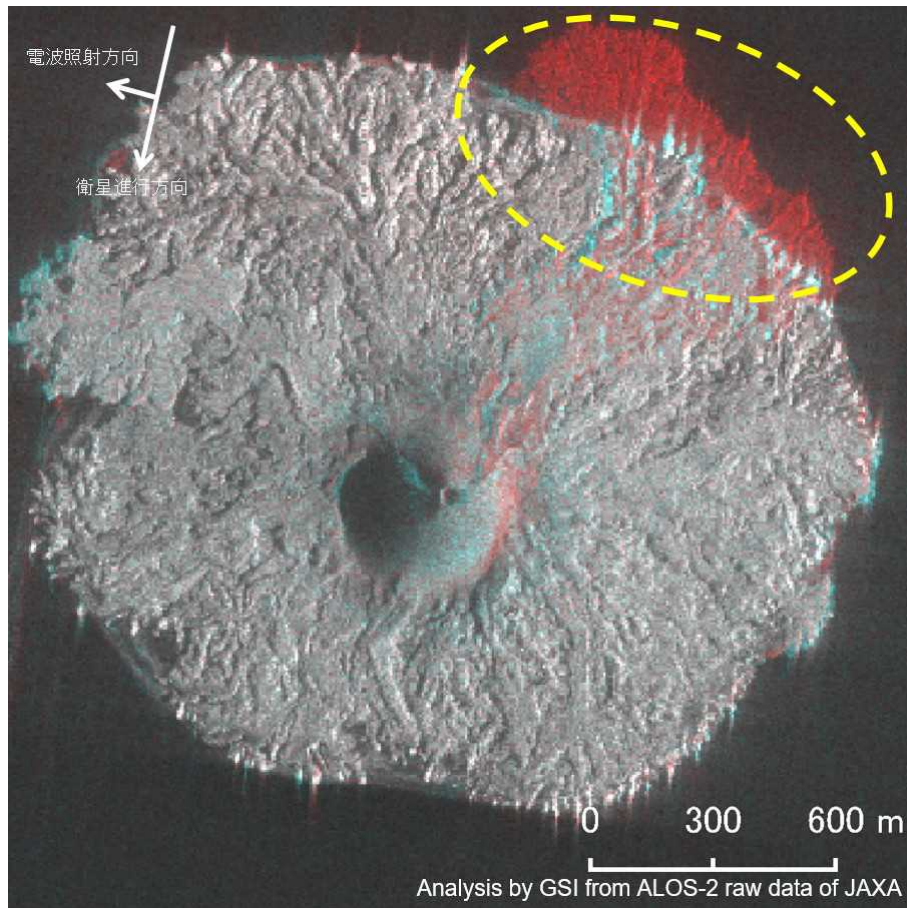


図 1 . SAR強度画像の加色混合法による西之島の解析結果。黄点線中の赤色部分で陸地が拡大したことを示す。青は2019年12月20日に、赤は2020年1月3日にそれぞれ観測したものである（国土地理院 [課題番号：GSI\_07]）。

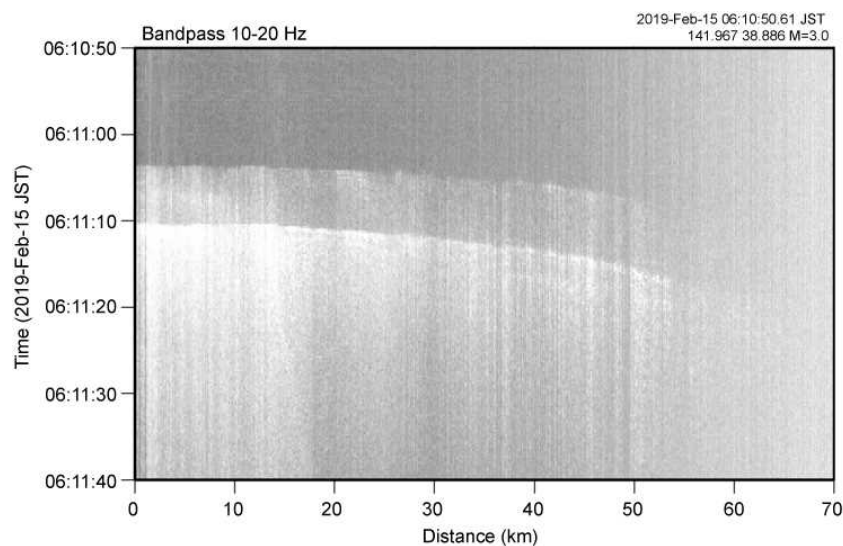


図 2 . DAS計測により記録された地震の例。1996年に設置した三陸沖海底光ケーブル式地震津波観測システムの空き光ファイバーを用いて、DAS計測の試験観測を行った。横軸は陸上局からの距離、縦軸は時間である。P波とS波が明瞭に記録されている（東京大学地震研究所 [課題番号：ERI\_22]）。

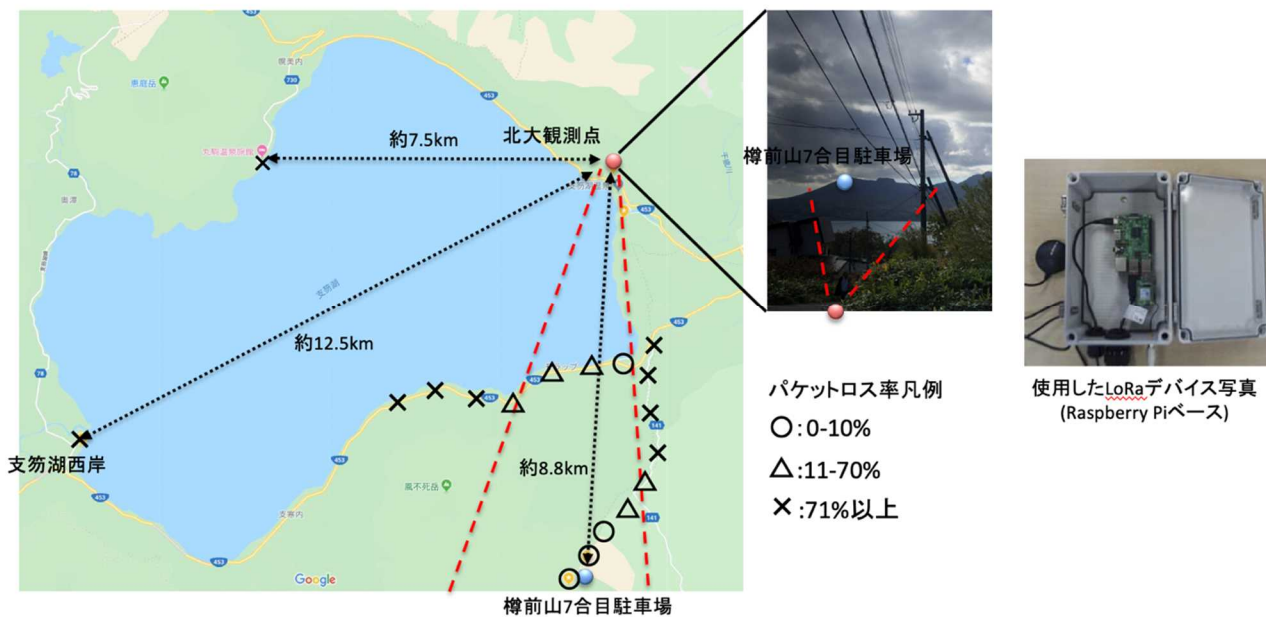


図3. WIN波形伝送装置での試験の様子とその結果（東北大学 [課題番号: THK\_13]）。

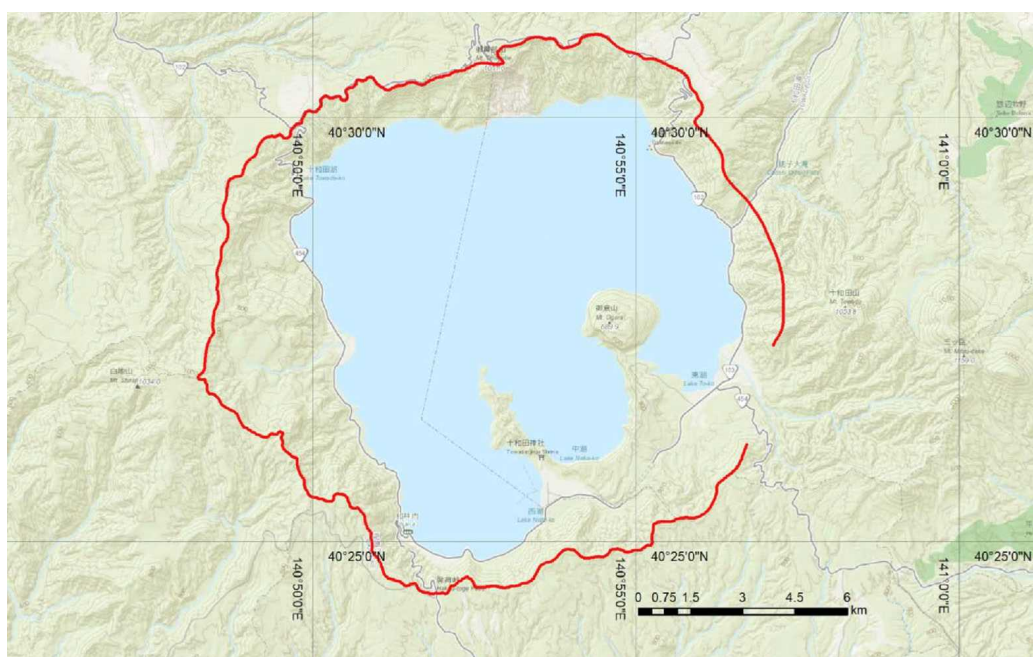


図4. 十和田カルデラ縁の形状トレース（赤線）（産業技術総合研究所 [課題番号: AIST11]）。