

1 (5) 地震動・津波等の事前予測・即時予測

「地震動・津波等の事前予測・即時予測」計画推進部会長 香川敬生

(鳥取大学大学院工学研究科)

副部会長 太田雄策

(東北大学大学院理学研究科)

1. はじめに

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

2. 平成 29 年度の成果概要

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

A. 地震動の事前評価

○震源モデルの高度化

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

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

きた。1,915,200通りの組み合わせを試した結果、最適解は、強震動生成域の長さ（＝幅）4.5 km、面積 20.3 km²、ライズタイム 0.32 秒、破壊伝播速度 3.3 km/s であり、浅い側から深い側に向かって北東方向へ伝播する破壊様式が推定された。強震動生成域サイズに基づく応力降下量は 22.1 MPa と推定された。求められた強震動生成域の面積と地震モーメントのスケーリング関係を、東北日本のプレート境界地震と比較したところ、同規模の東北日本プレート境界地震とは異なり、内陸地殻内地震のスケーリングに近いことが分かった。このことは、東北日本日本海溝と西南日本南海トラフのプレート境界地震では、震源特性（強震動生成域の応力降下量、スケーリング）が異なることを示唆している。ただし、今回の 2016 年熊野灘の地震の震源深さが 11 km と南海トラフ震源域の中でも比較的浅く、既往の東北日本のプレート境界地震に比べて浅いことが、地域による差異の原因である可能性もある。今後、海底観測データを積極的に強震動研究に活用していくことが必要である。（京都大学防災研究所 [課題番号：1903]，Asano, 2017(1, 2)）

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

○地下構造モデルの高度化

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

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

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

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

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

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

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

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

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

○強震動評価の高度化

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

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

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

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

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

イ．地震動による構造物被害の事前評価

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

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

ウ. 地震による地すべりの事前評価

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

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

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

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

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

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

エ. 火山灰や溶岩噴出の事前評価

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

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

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

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

ア. 地震動の即時予測

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

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

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

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

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

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

イ. 津波の即時予測

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

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

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

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

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

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

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

ウ. 地殻変動のリアルタイムモニタと震源断層の即時推定

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

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

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

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

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

エ. 火山灰や溶岩噴出の即時予測

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3. これまでの課題と今後の展望

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

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

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

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

南海トラフ地震等の巨大地震による長周期地震動の予測の高度化に向け、関東平野等での主要平野における長周期地震動増幅強度の方位性とその成因を、震源の深さや伝播経路の

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

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

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

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

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

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

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

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

成果リスト

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

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

- International Tsunami Symposium 2017.
- 井上真優・谷岡勇市郎・山中悠資, 2017. S-net による水圧観測記録を用いた簡易的な津波波源域推定手法の開発, 2017 日本地震学会秋季大会.
- Ishii, K., Y. Hayashi, and T. Shimbori, 2018. Using Himawari-8, estimation of SO2 cloud altitude at Aso volcano eruption, on October 8, 2016. *Earth, Planets and Space*, 70:19.
- 岩田知孝, 2017. 2016 年熊本地震本震の震源近傍強震動, 日本地震工学会年次大会 2017, 横断セッションA「2016 年熊本地震における震動制御技術の挙動と課題」(招待講演).
- Kagawa T, Noguchi T, Yoshida S and Yamamoto S, 2017. Effect of the surface geology on strong ground motions due to the 2016 Central Tottori Earthquake, Japan, *Earth, Planets and Space* 69:106 DOI 10.1186/s40623-017-0689-0.
- 香川敬生, 2017. 2016 年 10 月 21 日鳥取県中部の地震 (M6.6) について, *地震ジャーナル*, 63, 地震予知総合研究振興会, 14-22.
- 香川敬生・野口竜也・吉田昌平・山本真二, 2017(1). 2016 年鳥取県中部の地震における鳥取大学の強震観測記録-鳥取県湯梨浜町高辻の記録-, *京都大学防災研究所年報*, No. 60 B, 350-353.
- 香川敬生・野口竜也・吉田昌平・上野太士・中井翔・吉見和・有村翔也・山本真二, 2017(2). 平成 28 年鳥取県中部の地震で得られた強震観測記録について, *日本地球惑星科学連合大会 2017 年大会*, SSS15-15.
- 香川敬生・野口竜也・吉見和・吉田昌平, 2017(3). 2016 年鳥取県中部の地震で見られた非線形地盤応答の基礎的検討, *日本地震学会 2017 年度秋季大会*, S15-10.
- 香川敬生・野口竜也, 2017. 自治体震度計の観測データをリアルタイム表示する試み-鳥取県の事例-, *日本地球惑星科学連合大会 2017 年大会*, SCG72-P10.
- 香川敬生, 2018. 鳥取県震度計ネットワークを用いたリアルタイム震度評価の試みとその課題, 平成 29 年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「地震のリアルタイムモニタリングと予測情報の利活用」, 講演番号 18.
- 香川敬生・野口竜也, 2018. 2016 年鳥取県中部の地震の背景と強震動, *鳥取大学工学部研究報告*, No. 48, 91-100.
- Kanaya, N., T. Maeda, K. Obara, and A. Takeo, 2017. Significant Anomalies in Seismograms for Intra-slab Earthquakes Observed in Kanto area, Japan, and their Interpretation, *AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, USA*, S21C-0717, 2017-12-12.
- Katsumata, A., Y. Hayashi, K. Miyaoka, H. Tsushima, T. Baba, P. A. Catalan, C. Zelaya, F. R. Vasquez, R. Sanchez-Olavarría, and S. Barrientos, 2017. Stand-alone tsunami alarm equipment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17, 685-692.
- Kawamoto S., N. Takamatsu, S. Abe, K. Miyagawa, Y. Ohta, M. Todoroki, and T. Nishimura, 2018. Real-time GNSS analysis system REGARD: an overview and recent results, *J. Disaster Res.*, in press.
- Kawamoto S., Y. Ohta, Y. Hiyama, M. Todoroki, T. Nishimura, T. Furuya, Y. Sato T.

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

- Fall Meeting 2017, New Orleans, USA, S31B-0813, 2017-12-13.
- 向井優理恵, 2018. 関東平野における長周期地震動の特徴的方位依存性とその要因, 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻修士論文.
- Nakagaki, T., Y. Tanioka, K. Imai, T. Iinuma and N. Takahashi, 2017. Estimation of source processes of the 2016 Mie-oki earthquake (Mw6.1) using tsunami waveforms observed by dense seafloor pressure sensor network system (DONET), International Tsunami Symposium 2017.
- Nishimura, T, Y. Yokota, K. Tadokoro, and T. Ochi, 2018. Strain partitioning and interplate coupling along the northern margin of the Philippine Sea plate, estimated from GNSS and GPS-A data, *Geosphere*, 14(2), doi:10.1130/GES01529.1.
- Nishimura, T., 2018. A trial of application of geodetic data for assessing activities of inland faults - Coulomb stress changes estimated from GNSS surface displacements, *Journal of Disaster Research*, in press.
- 野口竜也・上野太士・西川隼人・吉田昌平・香川敬生, 2017(1). 鳥取県鹿野地域の地盤構造および地盤震動特性, 土木学会論文集 A1, Vol. 72, No. 4(地震工学論文集第 36 巻), I_894-I_906.
- 野口竜也・香川敬生・吉田昌平・中井翔・上野太士・吉見和・有村翔也, 2017(2). 2016 年鳥取県中部地震の臨時余震観測および被害地域にいける微動観測, 日本地球惑星科学連合大会 2017 年大会, SSS15-P16.
- 野口竜也・西村武・日高大我・吉見和・香川敬生・吉田昌平, 2017(3). 鳥取県中部小鹿谷および高辻地区における稠密微動観測, 日本地震学会 2017 年度秋季大会, S16-P06.
- Ohta Y., T. Inoue, S. Koshimura, S. Kawamoto, and R. Hino, 2018. Role of real-time GNSS in near-field tsunami forecasting, *J. Disaster Res.*, in press.
- 太田雄策・井口正人, 2017. Possibility of real-time volcanic plume monitoring using GNSS phase residual and SNR data, 2017 年地球惑星科学連合大会, MTT38-02.
- 小木曾 仁・干場充之・志藤あずさ・松本 聡, 2017. 不均質構造を考慮した「揺れの数値予報」: 2016 年熊本地震を例に, JpGU-AGU Joint Meeting, SCG72-13.
- 小木曾 仁, 2017. 多重散乱の効果を考慮した内部減衰・散乱減衰の同時インバージョンの試み, 日本地震学会 2017 年秋季大会, S01-07.
- Ogiso, M., M. Hoshihara, A. Shito and S. Matsumoto, 2017. Numerical shake prediction incorporating heterogeneous structure: the 2016 Kumamoto Earthquake, IAG- IASPEI Joint Scientific Assembly, J04-P03.
- Ogiso, M, 2017. Simultaneous inversion of intrinsic and scattering attenuation parameters incorporating multiple scattering effect, AGU Fall Meeting, S53B-0666.
- Padhy, S., T. Furumura, and T. Maeda, 2017. Waveform anomaly caused by strong attenuation in the crust and upper mantle in the Okinawa Trough region, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, USA, T23A-0593, 2017-12-12.
- 齊藤隆志・中屋志津男・中屋志郎・佐藤比呂志, 2018. 巨大地震に対する山地斜面の崩壊危険度予測と減災のためのハザードマップ作成, 京都大学防災研究所年次講演会, A37.

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

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

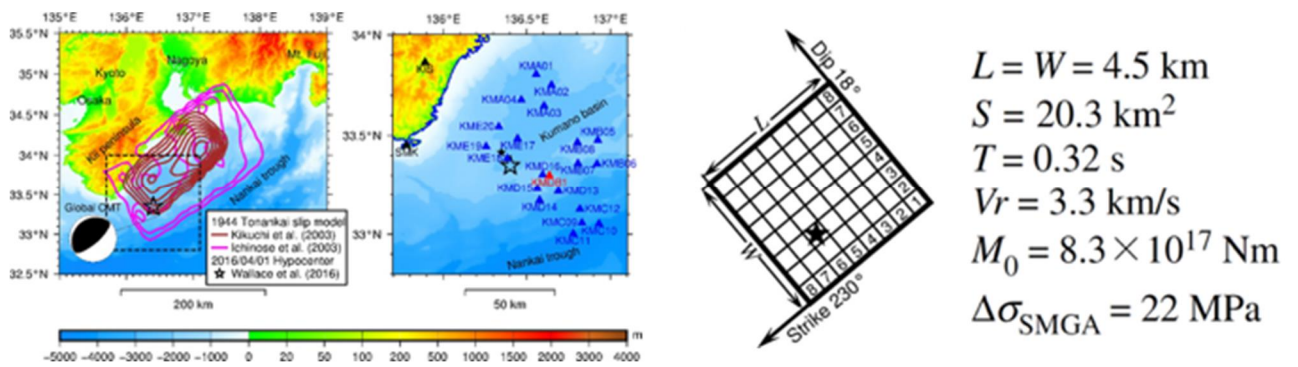


図1. 2016年4月1日熊野灘の地震 ($M_{JMA} 6.5$) のSMGAモデルと破壊開始点位置 (京都大学防災研究所 [課題番号: 1903])

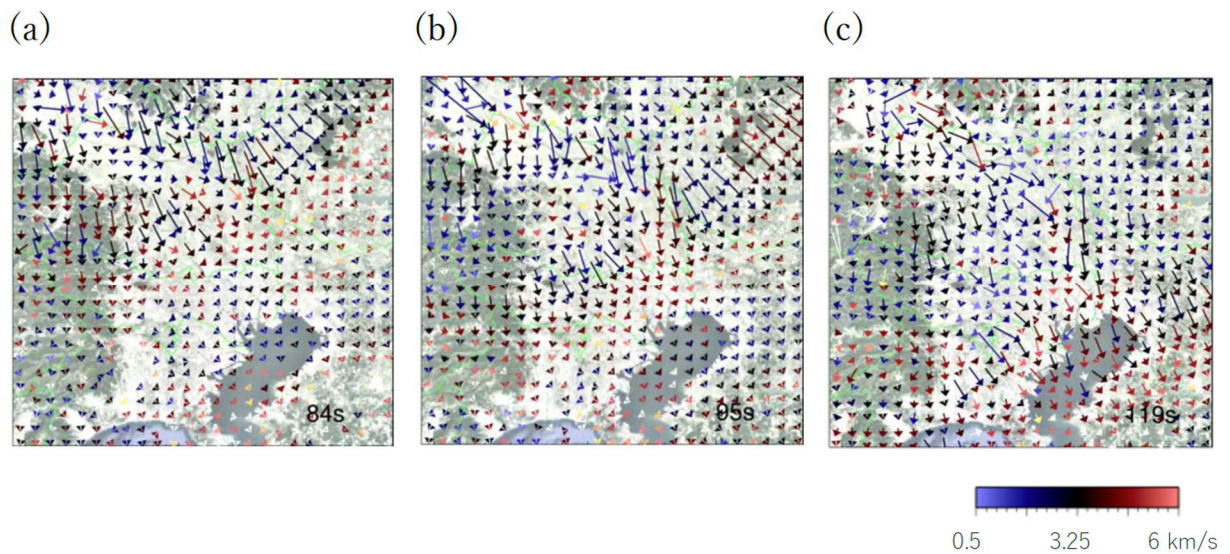


図2. 2004年新潟県中越地震のWave Gradiometry解析

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

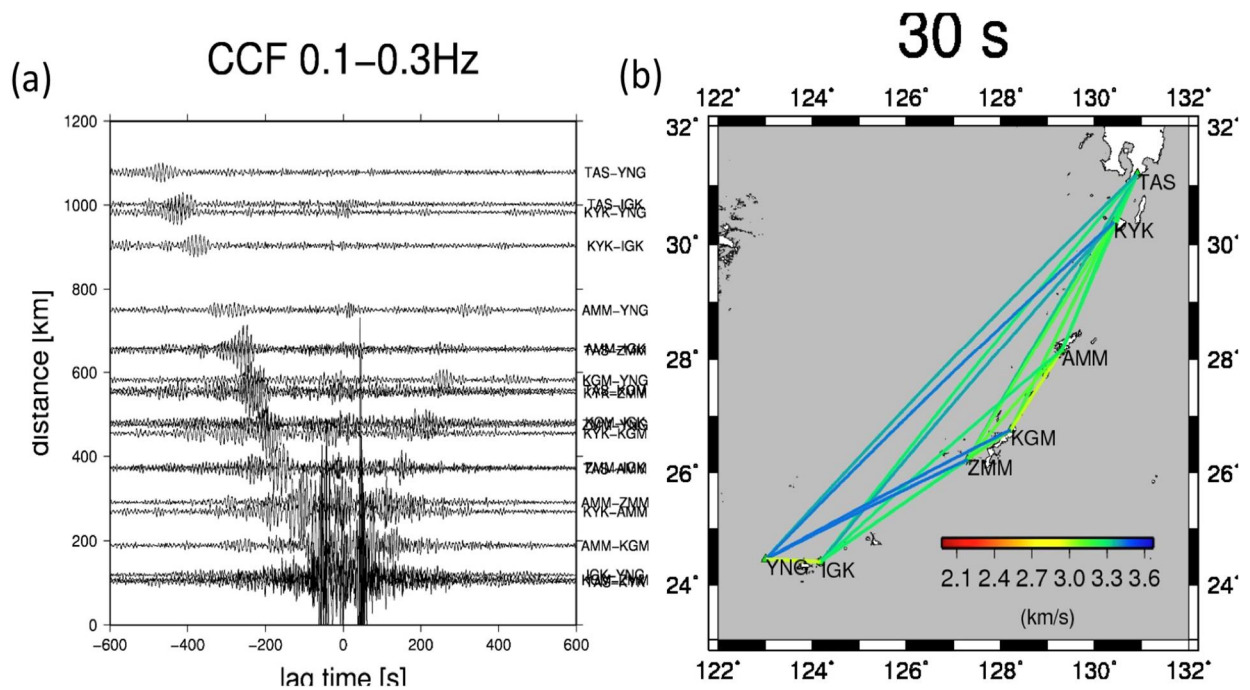


図3. 地震波干渉法から推定された南西諸島におけるレーリー波群速度
 (a) 観測点間距離における相互相関関数のペーストアップ (フィルタ0.1~0.3 Hz)
 (b) 周期30秒における観測点間の群速度 (東京大学地震研究所 [課題番号: 1516])

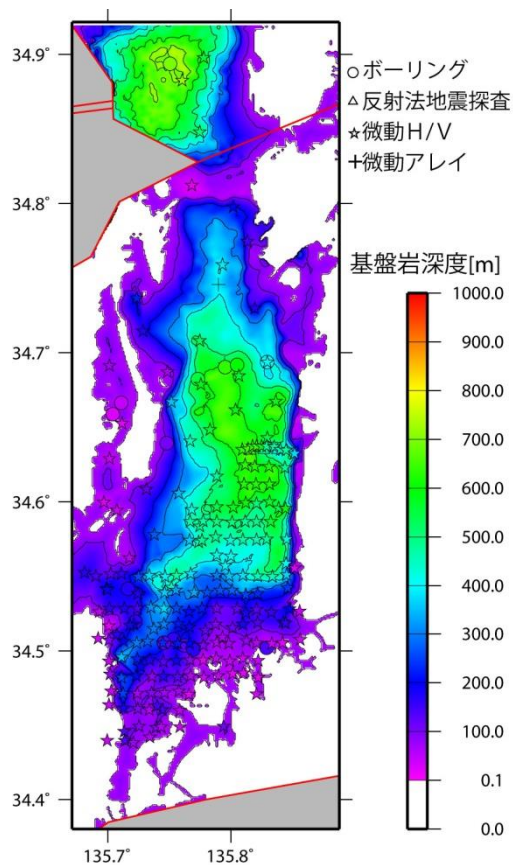


図4. 奈良盆地堆積層速度構造モデルの基盤岩深度分布 (京都大学防災研究所 [課題番号: 1911])

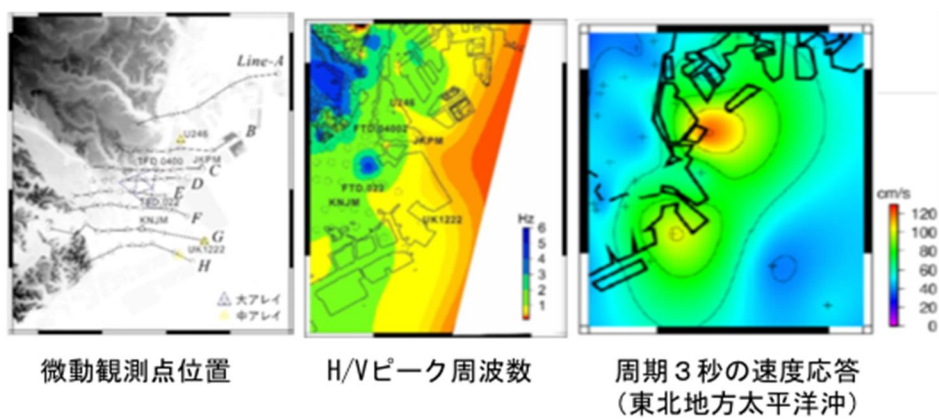


図5. 東京湾西岸部の微動H/V と2011年東北地方太平洋沖地震時に卓越した周期2～3秒の長周期地震動の分布（拠点間連携研究〔課題番号：2988〕）

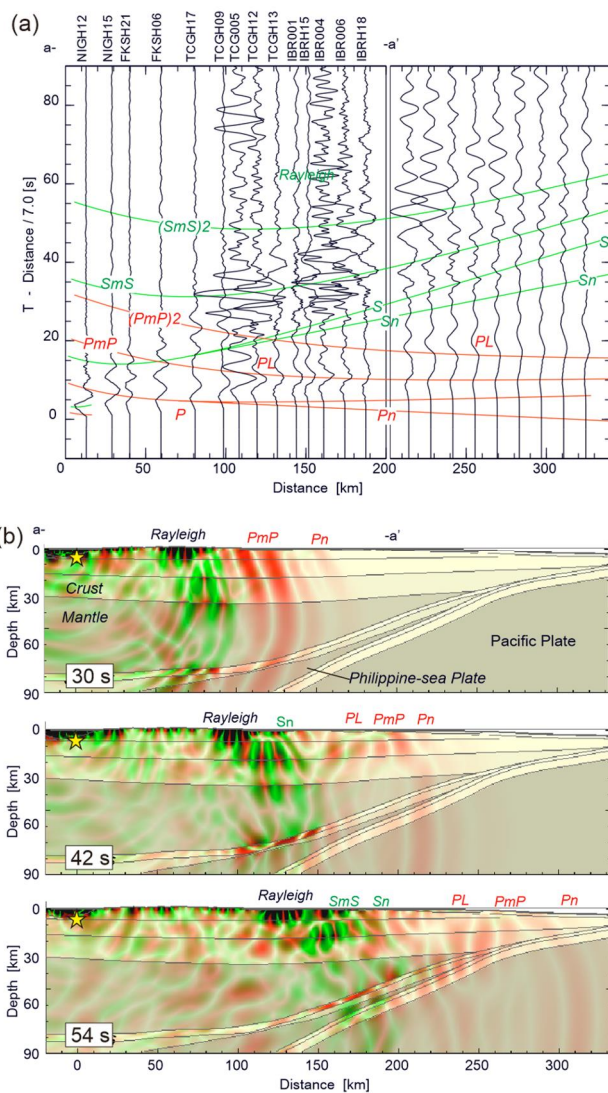


図6. 2004年新潟県中越地震の波動伝播の3次元差分法シミュレーション
 (a) 地動速度波形Radial成分, (b) 3次元差分法シミュレーションの2次元断面の波動伝播のスナップショット (赤がP波, 緑がS波を表す)
 (東京大学地震研究所 [課題番号: 1516])

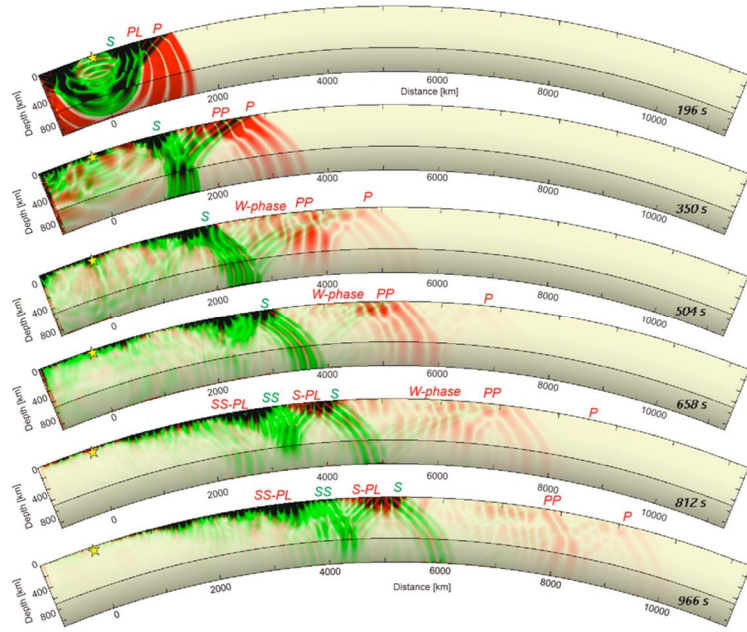


図7. 2011年東北地方太平洋沖地震の遠地地震波伝播シミュレーション
 3次元差分法計算のスナップショット2次元断面。地震発生から193秒，350秒，・・・，966秒後の球殻地球の波動場（東京大学地震研究所 [課題番号：1516]）

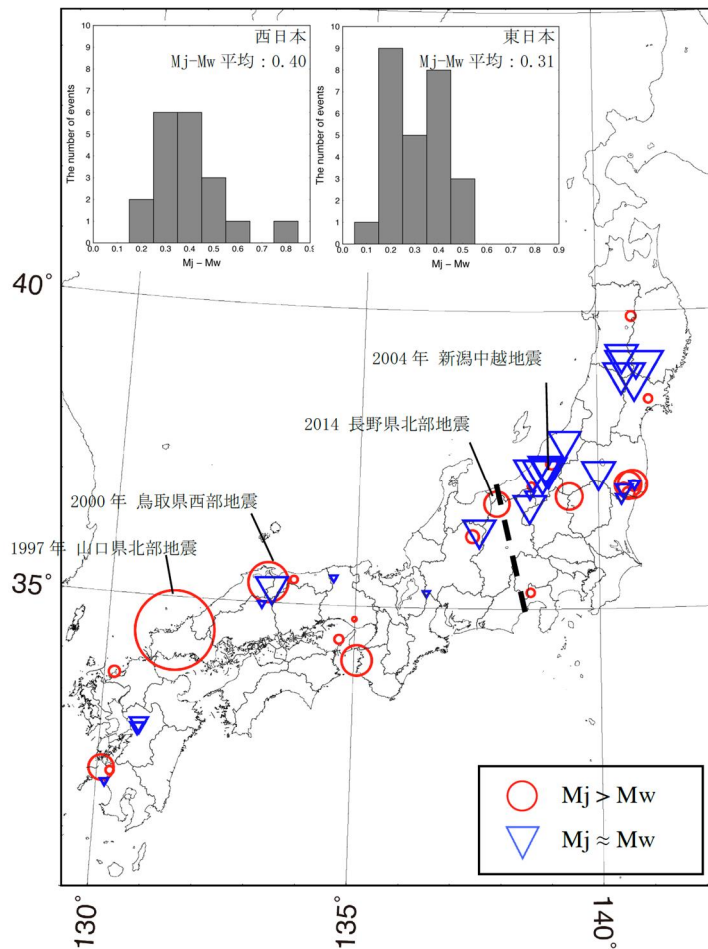


図8. 内陸の浅発地震におけるMjとMw差（東京大学地震研究所 [課題番号：1516]）

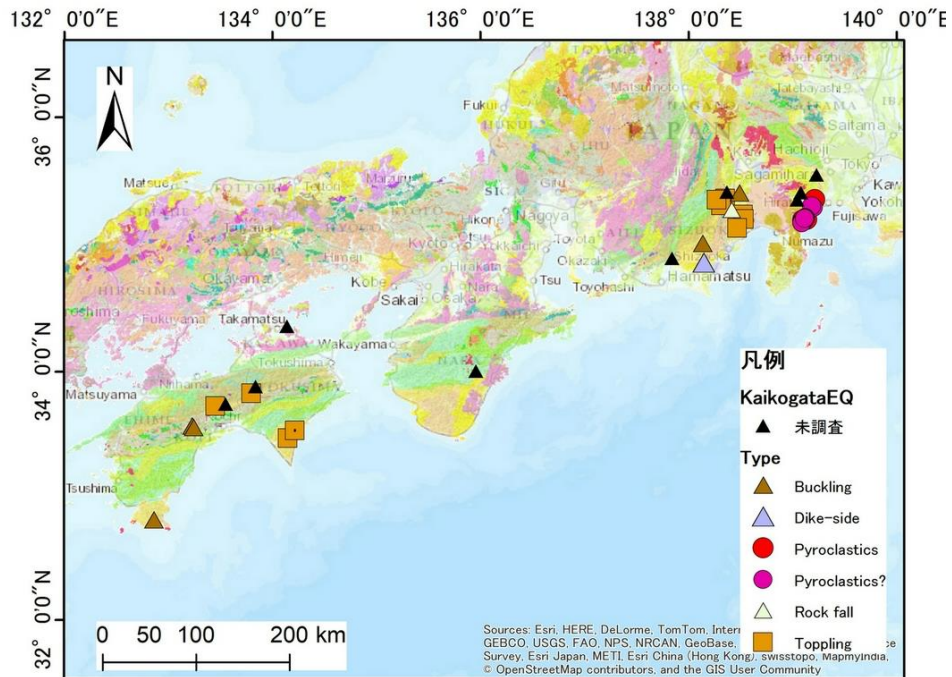


図9. 南海トラフおよび相模トラフの既往大地震による大規模崩壊の地質構造
 四国と東海地方で座屈（Buckling）とトップリング（Toppling）の重力変形を被った
 斜面の崩壊が多い。
 相模トラフ沿いでは、富士・箱根火山の噴出物の崩壊（Pyroclastics）が多い。
 Dike-sideは貫入岩に接する岩盤の崩壊。（京都大学防災研究所 [課題番号：
 1912] ）

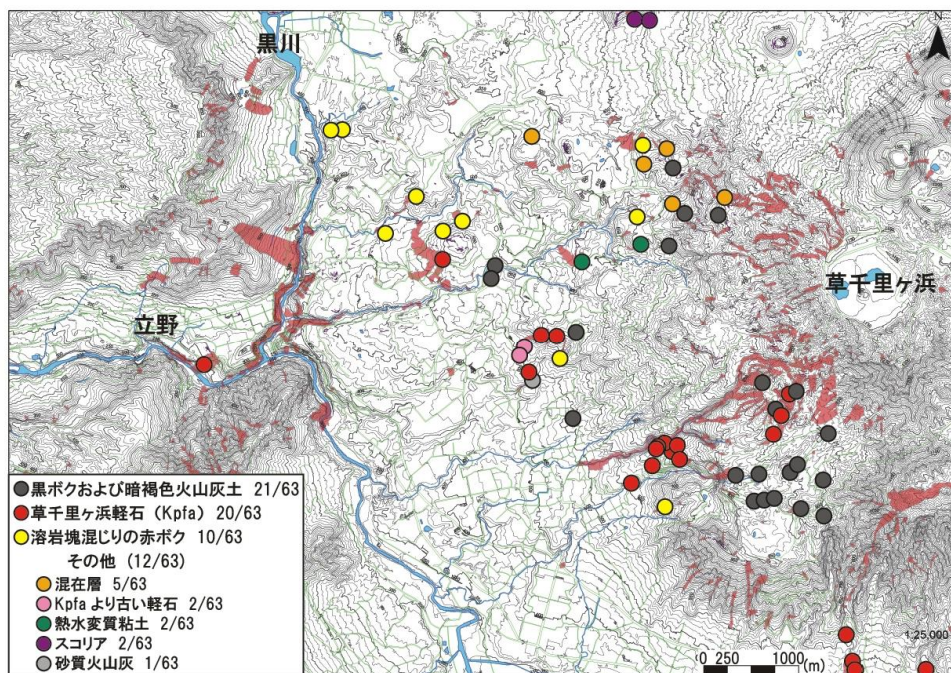


図10. 2016年熊本地震によって発生した崩壊のすべり面構成物質による分類調査した崩壊位置にすべり面構成物質の種類がプロットしてある。すべり面は地表から約2mから14mの深さにある地層に形成された。すべり面構成物は、熱水変質粘土を除いて、すべてハロイサイトを含まれていた。(京都大学防災研究所 [課題番号 : 1912])

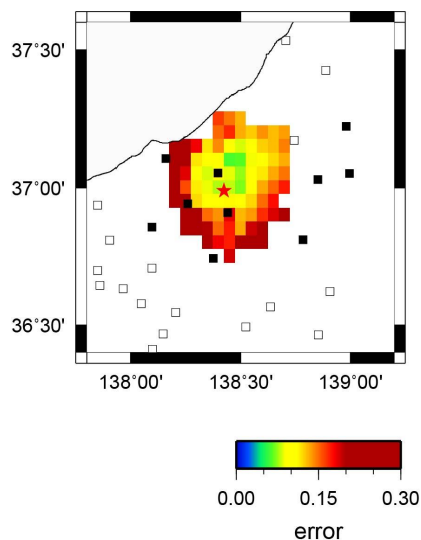


図11. 2017年5月19日長野県飯山市の土石流発生源を推定する観測点間振幅比の再現誤差の分布
赤色星印が土石流発地点，黒色四角が解析に用いた観測点を表す
(拠点間連携研究 [課題番号 : 2994])

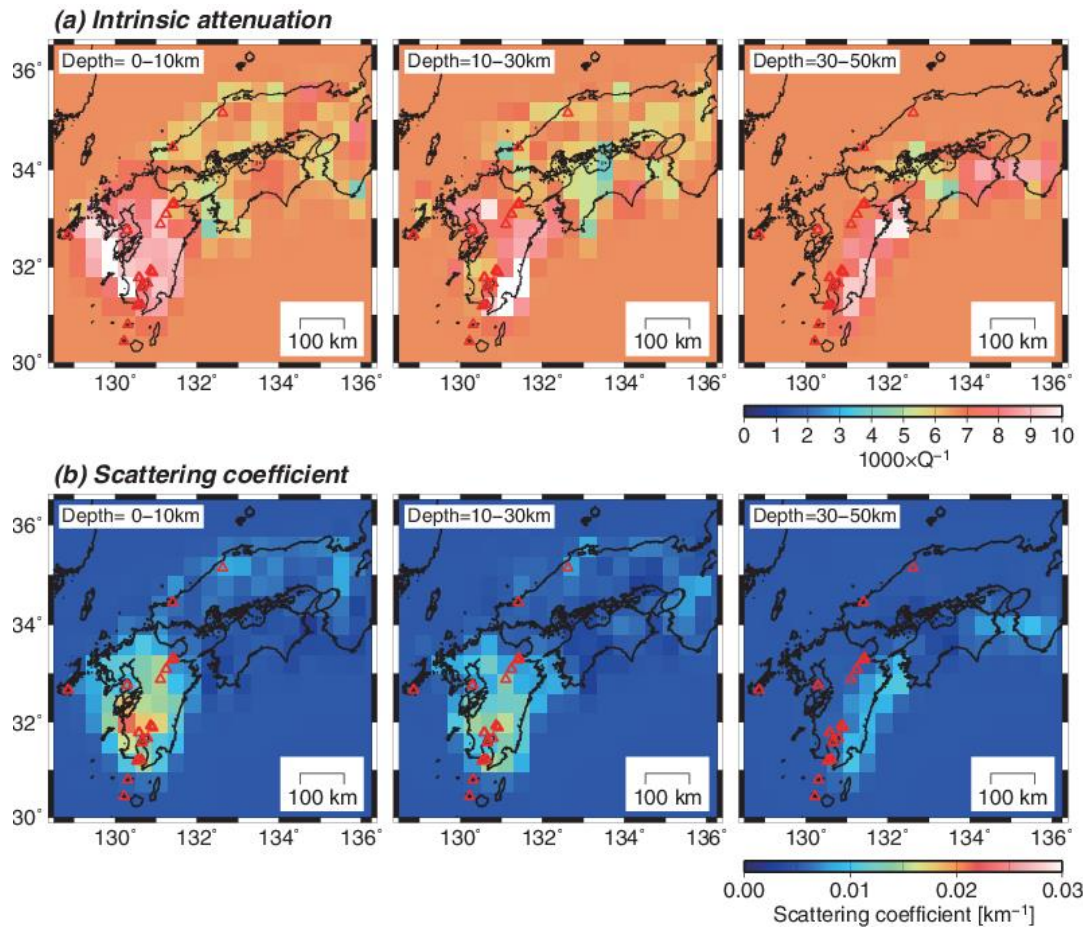


図12. 新たに考察した手法を用いて推定した (a) 内部減衰と (b) 散乱係数の3次元空間分布 (1-2Hz)

(公募研究 [課題番号 : 2935])

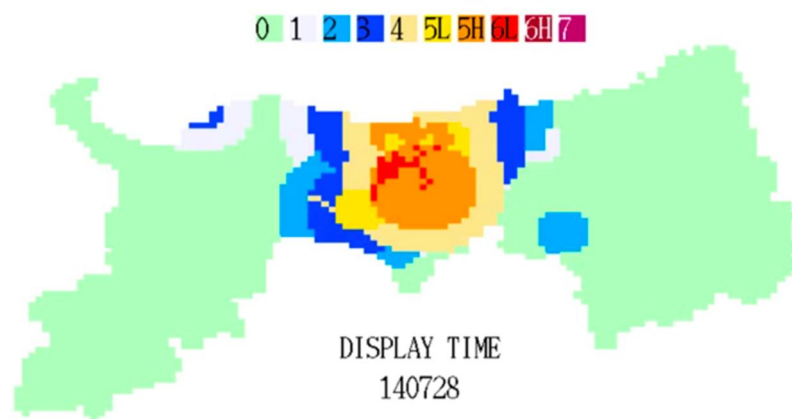


図13. 鳥取県震度ネットワークを用いたリアルタイム震度表示 (2016年鳥取県中部の地震の事後評価)

(鳥取大学工学研究科 [課題番号 : 2001])

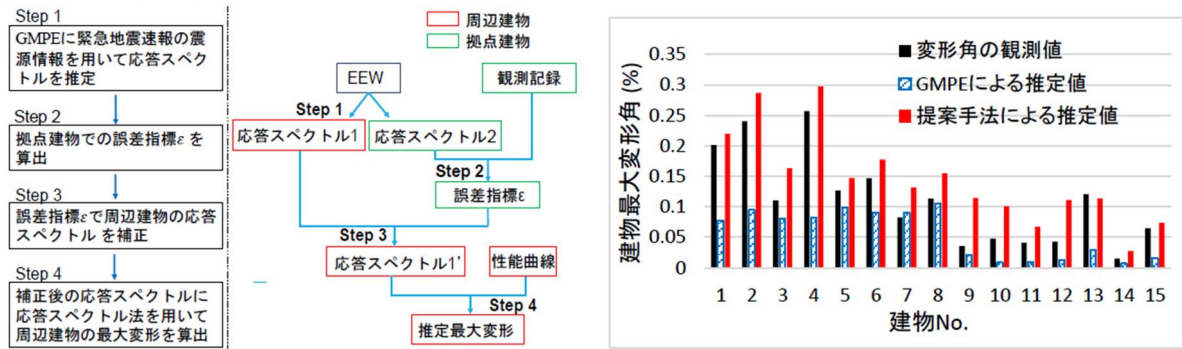


図14. 建物応答推定のフロー(左)と観測と推定結果の比較(右)
(公募研究 [課題番号: 2981])

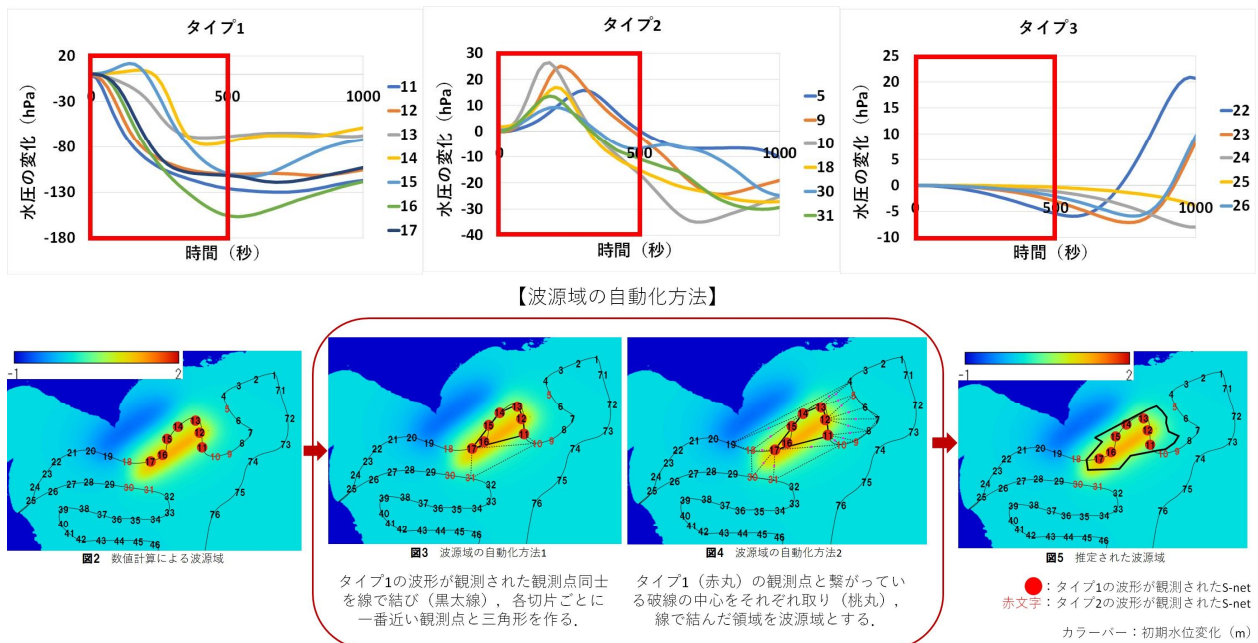


図15. 観測点での圧力波形を3つのタイプ(上)に分類した後、分類から津波発生域(海底隆起域)を推定する手法(下)
(北海道大学 [課題番号: 1005])

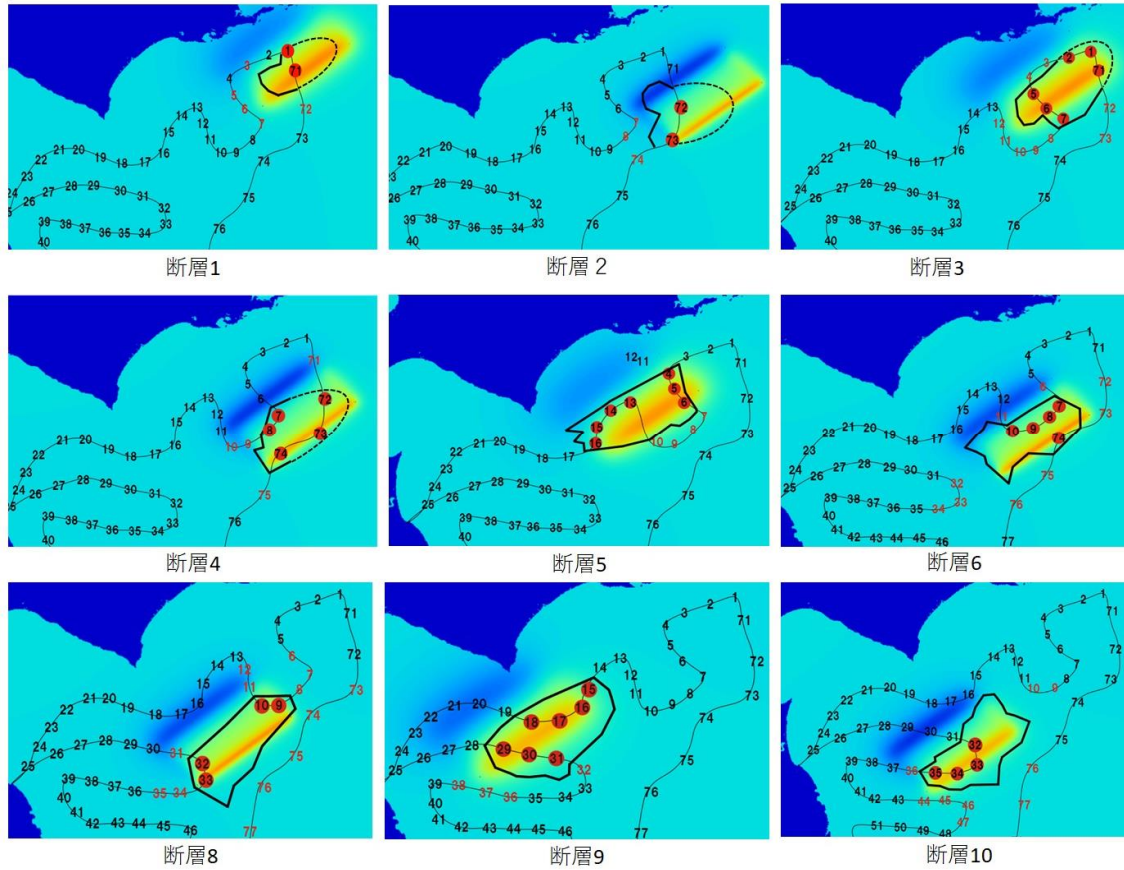


図16. M8クラスの断層モデルから計算される海底地殻変動とS-NET観測点で計算された圧力波形

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

タイプについては図15参照。太線は自動的に決められた津波発生域。

(北海道大学 [課題番号: 1005])

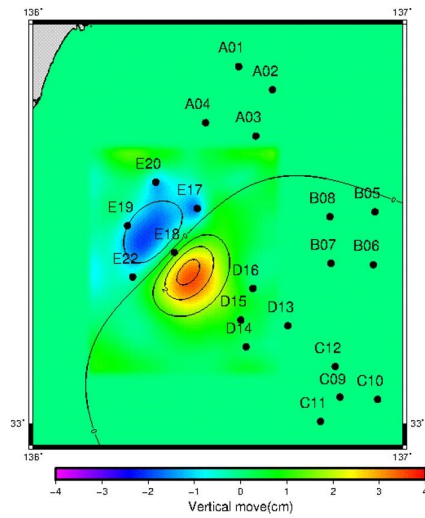


図17. 2016年4月1日三重県沖地震の海底地殻変動評価

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

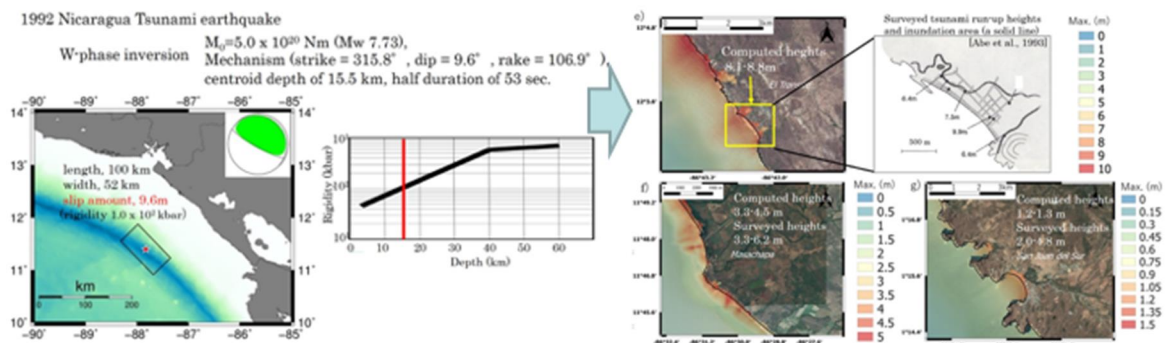


図18. 1992年ニカラガ津波地震に手法を適用し，津波遡上高予測ができることの立証事例

（北海道大学 [課題番号：1005]）

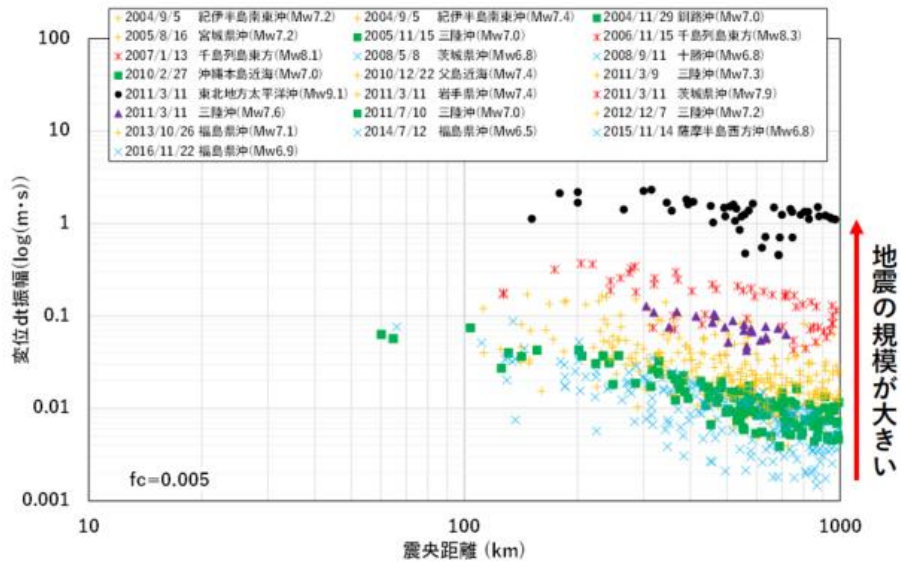


図19. スロー地震の即時規模推定手法の検討

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

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

(気象庁 [課題番号 : 7009])

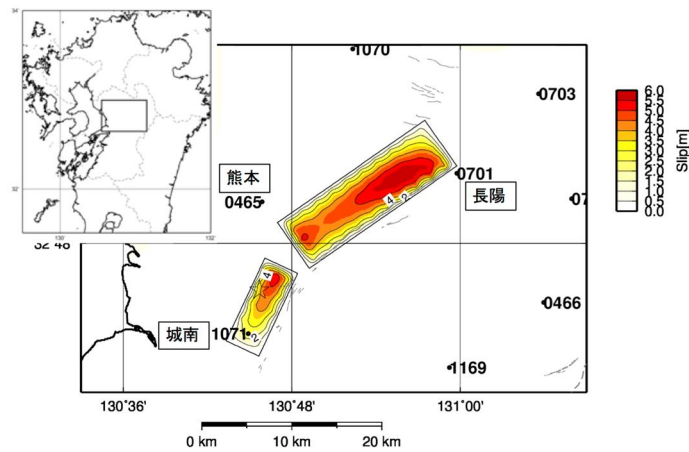


図20. PTSにより推定された2016年熊本地震本震時の地震時すべり分布

(東北大学 [課題番号 : 1209])

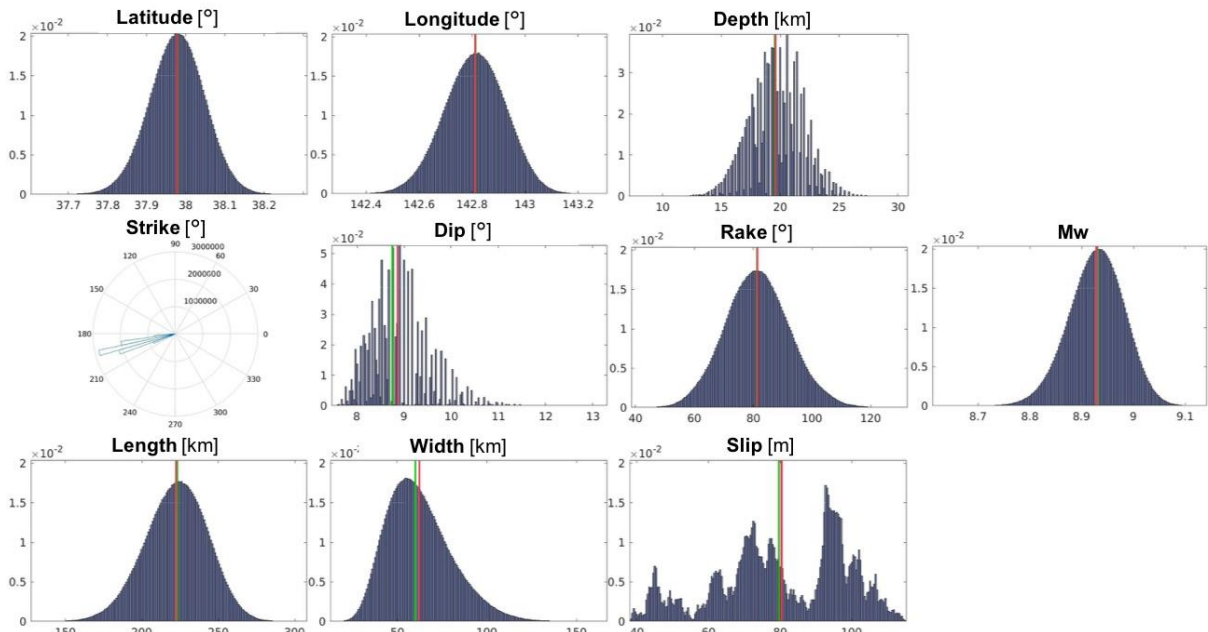


図21. MCMC法によって推定したリアルタイムGNSSによる永久変位データにもとづく地震時単一矩形断層モデルの推定結果を確率密度分布として示す（東北大学 [課題番号：1209] ）

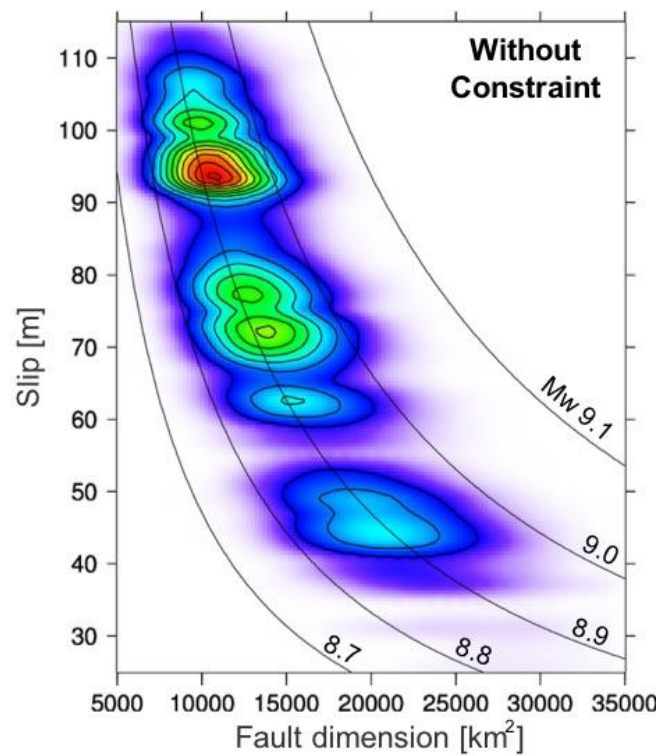


図22. 上図で推定された断層パラメータのうち、断層面積とすべり量の相関を正規化した頻度分布（東北大学 [課題番号：1209] ）

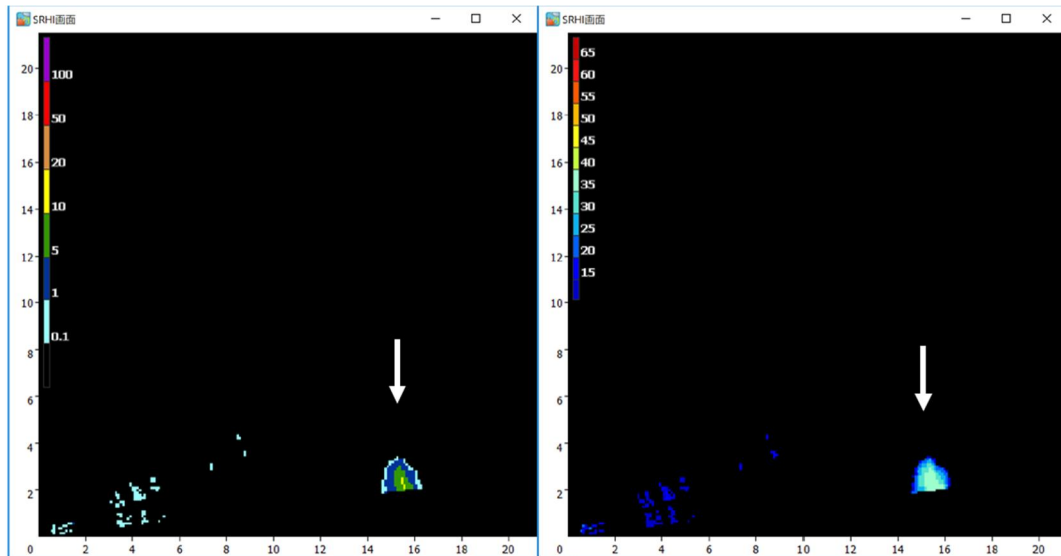


図23. スキャンセクタRHI モード，新燃岳方向（N64° E）の鉛直断面
 2017年10月12日11:39. 縦軸と横軸は高度および距離（km単位）。
 左：雨量換算値（降水強度）（mm/h），右：水平偏波レーダー反射因子（dBZ）
 （京都大学防災研究所〔課題番号：1913〕）

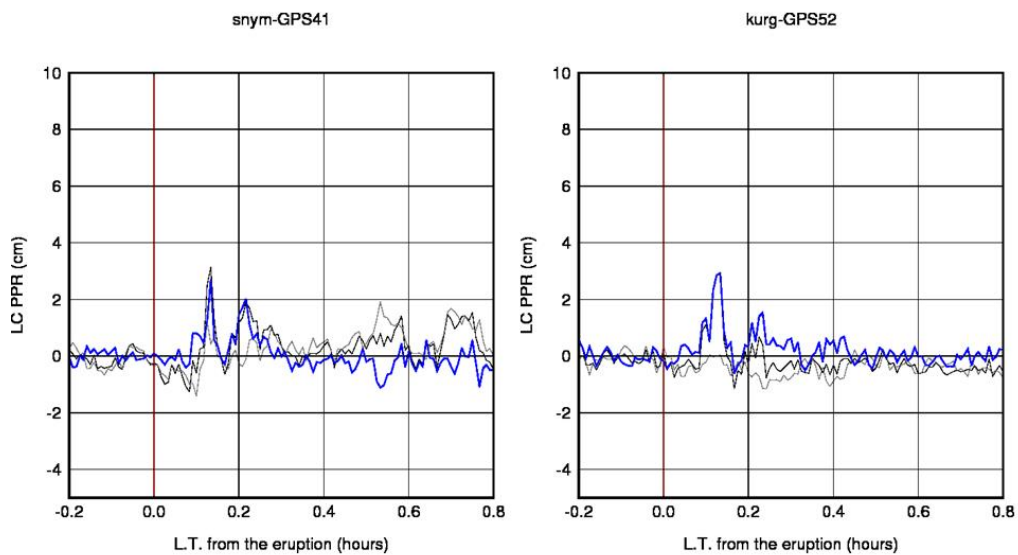


図24. 桜島南岳爆発に伴うGNSS解析の位相残差（PPR）の時間変化
 桜島南岳において2017年11月13日22:07に発生した爆発の，SNYMおよびKURG観測点
 におけるPPRの時間変化。時間は爆発発生からの経過時間を示す。
 （京都大学防災研究所〔課題番号：1913〕）