

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究科)
副部会長 三宅弘恵
(東京大学地震研究所)

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、これらの相互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

2004年から2021年に発生した北陸地方周辺で発生した201地震 (M_{JMA} : 3.1–5.5) を、福井・石川・富山・岐阜県北部の自治体震度計を含む計185観測点の波形データを用いてスペクトルインバージョンを実施し、その震源特性を調べた。同解析で用いた地震は地殻内のものに限られていて深さ約18 kmまでのイベントであるが、応力降下量には深さ依存性が確認された。同傾向は令和元年度に報告した静岡県下の強震観測データを用いて調べた深さ120 kmまでのイベントにおける傾向と類似する結果となった(図1)。(京都大学防災研究所[課題番号: DPRI09])

長周期地震動と津波の即時予測に向けて、K-NET、KiK-net強震観測データの時間反転逆伝播計算(DA-TRI)による、震源モデルの即時推定手法の開発を令和2年度に継続して進めた。時・空間的に広がる大地震の断層すべり分布の推定に向けて、P波とS波エネルギーの相関に基づく震源イメージングの高分解能化を進めた。KiK-net強震観測記録を用いて、2008年及び2011年の茨城県沖の地震の断層すべり分布の即時推定実験を行い、100秒間の強震波形記録の地震波逆伝播計算により、太平洋プレート上面の断層すべり分布を推定することに成功し、得られた結果は、近地強震記録と遠地波形を用いた既往の震源インバージョン結果と良く対応した。(東京大学地震研究所[課題番号: ERI_14])

2016年熊本地震の地震断層近傍とその周辺における、地表地震断層の分布と変位の詳細情報を考慮した断層モデルによる強震動計算を行った。任意の地表地震断層トレース形状を強震動計算のための震源断層モデルに組み込むツールの開発を行った。作成した

ツールを熊本地震発生直後から行っている野外調査データによる地表地震断層トレースデータに適用し、地表断層と地中断層モデルを組み合わせた断層モデルを用いて断層周辺域の地震動を計算し、地表断層に沿った変位分布の精度が向上することを確認した。

(名古屋大学 [課題番号: NGY_05])

2016年熊本地震における建物被害の分布は、地表断層出現位置から100 m程度以内に被害が集中し、断層から離れると急激に建物被害率が低下することが示されている。このような局所的な建物被害分布の主たる原因を断層近傍に集中する地震動と仮定し、それが既往の強震動予測手法で説明可能かどうかを検討した。具体的には熊本地震の断層面を模した傾斜角とすべり角の断層面を設定し、地震発生層内(深さ2 km以深)の強震動生成域(SMGA)とSMGAに接するが地震発生層より浅い領域(断層浅部)におけるすべりを組み合わせて断層近傍地震動の計算を行った。その結果、従来の枠組みの震源断層モデルでは断層距離ゼロ付近で極大となる地震動は再現されないことが示された。(図2)(名古屋大学 [課題番号: NGY_05])

○地下構造モデルの高度化

大阪堆積盆地3次元構造モデルの高度化のために、堆積年代および深さとP波速度の経験式について新しいデータから経験式の空間変化を調べた。今年度は湾岸域の反射法地震探査のP波区間速度データを用いて経験式の係数を求めた。その結果、大津川反射測線について、上町断層帯久米田池断層の上盤側と下盤側で明らかに異なる経験式が得られた。(京都大学防災研究所[課題番号: DPRI08])

強震観測点のサイト増幅特性を用いて地下構造モデルを高度化することを目的として、2004年から2021年に北陸地方周辺で発生した201個の地震と、福井・石川・富山・岐阜県北部の自治体震度計を含めた計185観測点のデータを用いてサイト直下の地盤構造モデルを推定した。得られた最適解は、観測サイト増幅特性の全帯域(0.2-10Hz)を適切に再現した(図3)。高周波数側のサイト増幅特性は、浅部層の寄与が大きかった。また、PS検層情報のある地点では、推定した浅部層がPS検層のS波速度構造と良く一致していることが確認された。(京都大学防災研究所[課題番号: DPRI08])

強震時の地盤の非線形応答特性に関して、2021年2月13日福島沖地震(M_{jma} 7.3)における事例研究を実施した。同地震では、KiK-net山元町(MYGH10)地表で最大加速度1432cm/s/s(3成分合成)、計測震度相当値6.4を記録した。その原因を調べるために、強震(本震)及び弱震(福島県沖の地震の余震)の地表/地中振幅スペクトル比を取ったところ、弱震時は7-8Hzのピーク周波数を持っていたのに対して、強震時は3-5Hzにピークが移動していたことが明らかになった。同様の事例は、2011年東北地方太平洋沖地震前後の本観測点の同様の比較から、野口・他(2016)が強震時前後の地表/地中振幅スペクトル比についてすでに指摘しており、同じ現象が再現されたと考えられる。同現象は、KiK-netで公開されている地質柱状図や速度構造から、この地点の表層にある数mの厚さのS波速度の遅い粘土層が強震時に剛性率が低下したことに起因する可能性があり、極大地震動の分析における1つのコントロールファクターとして考慮が必要と考えられる。(京都大学防災研究所[課題番号: DPRI09])

○強震動評価の高度化

令和2年度までに開発した、強震観測と地震波伝播シミュレーションのデータ同化に基づく長周期地震動リアルタイム予測手法 (Furumura, Maeda & Oba, 2020; Oba, Furumura & Maeda, 2021) の実用化に向け、全国地震観測データ流通ネットワーク (JDXnet) と東大情報基盤センターWisteria/BDEC-01スパコンを結合した、長周期地震動即時予測プロトタイプシステムを開発し、リアルタイム予測実験を行った (中島・古村・鶴岡・他, 2021)。地震動の入力データとして2007年中越沖地震 (Mw6.8) のF-net強震計データ18点を用いた試験ではOdysseyの2048 CPUを用いた並列計算により、240秒後の長周期地震動の予測が28秒で実行可能であることを確認した。予測の精度と長周期地震動の到来までの猶予時間にはトレードオフの関係があるため、データ同化の進展とともに、高速計算により短い間隔で予測の修正を繰り返すことの有効性も確認された。(東京大学地震研究所 [課題番号: ERI_14])

大地震の震源断層すべりモデルの推定と、強震動の生成メカニズムの評価に向け、海洋スラブの形状と物性の探査が重要である。同観点より、日本列島の高密度強震観測データの逆伝播計算に基づき、海洋スラブ形状を推定 (イメージング) するReverse-time migration (RTM) の実用性を数値実験から検証した。RTMでは、プレート境界面で生成したSP変換波に着目し、これを観測点から変換点に戻すことで、変換点すなわちプレート境界をイメージングすることを試みた。東北地方の東-西断面において、不均質地殻・マントル構造を用いて遠地地震による平面波入射を仮定した疑似観測波形を用いた数値実験を行い、SP変換が発生した境界のイメージングを試行した。その結果、異なるS波入射角 (-20~20度) を持つ地震の疑似観測波形を用いたイメージング結果をスタックすることで、現行のHi-net観測点の配置と間隔で太平洋スラブの上面、下面、及び海洋性地殻、地殻の形状が推定可能であることを確認した。(図4) (東京大学地震研究所 [課題番号: ERI_14])

本観測研究計画及び国内外の研究者コミュニティからのフィードバックを受けて、地震波伝播シミュレーションのオープンコード (Open SWPC; Maeda et al., 2017) の改修と機能拡張を進めた。(東京大学地震研究所 [課題番号: ERI_14])

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開発を継続し、1946年アリユーション津波地震の海底地すべりによる沿岸波高の再現数値実験を行った。1946年アリユーション地震は現在知られている最も異常な津波地震 (Ms7.4, Mt9.3) で、ハワイやアメリカ西海岸で大きな津波が観測されている (Tanioka and Seno, 2001)。さらにアリユーション列島沿岸で最大40 m近くの津波高が調査されている (Okal et al., 2003)。また、沿岸で25 mを超える津波が調査されている場所は比較的局所的で海底地すべりにより津波がより大きくなったことが示唆されている。そこで前年度までに開発された海底地すべりによる津波計算モデルによる数値計算を実施し、暫定的な調査地点近傍での最大津波波高比較を行った。(図5) (北海道大学 [課題番号: HKD_05])

2022年1月15日にトンガで発生した大規模噴火にともなう気圧パルスの伝搬による津波の再現を大気・海洋結合の数値計算実験から試みた。具体的には日本での気圧観測データをもとに、最大2hPaで半波長300 kmを持つ線状気圧パルスが南東方向から北西方向に走向44°を持って、速度312m/sで伝搬したと仮定し、大気・海洋結合の数値計算を実施したところ、S-netで観測された波形を比較的良く説明できる事が分かった。また、気圧パルスの伝搬速度と津波の伝搬速度が近づくことにより生じるProudman共鳴現象等の津波の挙動が明らかになった。さらに、このような津波を即時予測するためには気圧パルスの観測が重要であることが示された。（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

2021年10月7日に発生した千葉県北西部の地震（Mw5.9）の首都圏で観測された強震記録（図6）を限定公開した。この地震は、2005年7月23日に発生した千葉県北西部の地震（Mw5.9）との類似性が指摘されているため、観測記録の相関係数を計算し、2011年東北地方太平洋沖地震をはじめとする大振幅地震動による地盤増幅変化の影響があるかどうか見積もった。（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI_16〕）

地盤震動特性および地下構造モデルが把握されていない山間部において、微動を用いた面的な調査を計画し、鳥取市街の丘陵部造成地、郊外の地すべり地形部で現地調査を実施した。具体的には、1970年代以降に大規模な宅地造成がおこなわれた鳥取県東部鳥取市内の北園地区および若葉台地区、および鳥取市南部佐治町内における地すべり地形分布域において観測を実施し、堆積層と基盤層のコントラストによる卓越周期の分布と、アレイ観測によって把握した表層地震波速度を用いた層厚モデルを得た。（図7）（鳥取大学〔課題番号：TTR_01〕）

鳥取県内においてこれまでに実施した多くの微動探査（単点3成分およびアレイ観測）の利活用を促進するために同観測データのデータベース化およびGISを用いた表示システムの構築を継続した。さらにシステムの利便性について鳥取県内のコンサルタントおよび県庁で地盤防災に係わる職員にアンケート調査を実施し、今後の改良等への示唆を得た。（鳥取大学〔課題番号：TTR_01〕）

鳥取県内の34計測震度観測点からのデータを鳥取大学で受信し、緊急地震速報で用いられているPLUM法に震度の距離減衰と全予測点を2次震源とする改良を加え、P波振幅による震度予測を加えて県内1 kmメッシュの震度分布を把握するシステムを開発した。令和2年度に250 mメッシュのリアルタイム震度をWebベースで配信できるシステムの開発を行ったが、令和3年度にはこれを鳥取県庁とも共有できる仕組みを構築した。（鳥取大学〔課題番号：TTR_01〕）

津波避難経路の使用可能性の検証精度をさら高めることを目的として、強震動および地盤液状化の面的予測のベースデータとなる広域的な3次元地盤モデルを、地盤ボーリングデータに基づき新たに構築した（図8）。津波避難のリスク評価結果を避難行動に反映させるために、市町村と共同で防災教育を実践し、避難準備、避難目標までの経路、要配慮者の介助など時系列の行動に応じた訓練方法を提案した。防災情報伝達では、避難情報の認知の訓練を提案すると共に、自治体を対象に実測調査や数値解析を実施し、伝

達状況を改善する技術的課題や解決方法を整理した。（北海道立総合研究機構地質調査所〔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

これまでに実施していた1mDEMの解析で四国山地の地震時に不安定な斜面地形の分析を進め、高知県北部地域の分析がほぼ完了した。さらに、既往地震斜面崩壊地の地質調査も高知県および徳島県地域において完了した。前者ではこれまでに知られていない、多数の線状凹地などが発見された。付加体中の斜面不安定性をもたらす岩盤内構造の分析と、地震の重力変形斜面への関与の分析のために、電気探査と音響探査を活用できるかどうかを確認する試験を行った。砂岩中において、斜面岩盤に不安定さをもたらす断層破砕帯の比抵抗構造のイメージングに成功した。（京都大学防災研究所〔課題番号：DPRI10〕）

1854年安政南海地震で崩壊したと伝えられ、岩盤に亀裂が生じ、今後の地震でも崩壊が予想される高知県大豊町トウジ山斜面において、複数の地震計、傾斜計などによる観測を継続した。データの蓄積により、これまでは降雨や地震に対応して傾斜の変化がないことが確認され、また、微小地震による地震波形記録の解析から観測点ごとの増幅特性が明らかとなった。波浪を原因とした浸食により不安定化が促進している北海道東部の海岸地すべり土塊において、観測された地震動記録と地すべり土塊の変位量から、地すべり土塊の抵抗力に比例する臨界加速度を推定したところ、浸食が進むにつれて抵抗力が下がっていくことが分かった。横浜市内の谷埋め盛土における地震動、間隙水圧の同時観測データを解析した。過剰間隙水圧の発生が認められた7地震に対して間隙水圧の特徴と地震動との関係について調べたところ、間隙水圧の上昇時間が目黒区内の谷埋め盛土（前計画より観測・解析を実施、Doi and Kamai, 2020）よりも10倍程度長く、同程度のPGVに対して間隙水圧の上昇量が大きくなることが分かった。（図9）（京都大学防災研究所〔課題番号：DPRI10〕）

火山体斜面にて異なる火山灰土層における含水量変化に関する計測を継続した結果、風化したテフラ層がずっと高い含水量を有することが分かった。ボーリング掘削を実施し、2016年熊本地震の斜面崩壊においてすべり面となった草千里ヶ浜軽石層が見られた深さに間隙水圧計を、移動体中央部に傾斜計を、土壤水分計を移動体およびすべり面付近に合計3台設置し、連続観測を開始した。（京都大学防災研究所〔課題番号：DPRI10〕）

2011年11月に開始した宮城県栗原市荒砥沢におけるGB-SARによる斜面監視を継続するとともに、同地域における地すべりモニタリングの結果について栗原市が運営する栗駒山麓ジオパークビジターセンター（<https://www.kuriharacity.jp/geopark/060/index.html>）にてリアルタイム表示を開始した。（図10）（東北大学災害科学国際研究所〔課題番号：IRID03〕）

79GHz帯のMIMO型GB-SARの実験を進め、基本的なイメージングが可能なこと、100 m程度までのSAR画像を再構成できること、1秒間に20回程度の計測が可能なことを確認した。これにより100m x 100m程度の大きさのSAR画像の中から任意の地点について数Hz程度までの変位のリアルタイム計測が可能なことを示した。また実証実験として、20 m程度の範囲で石垣に小石などを置いて作成した人工的な変位を検知できることを明らかにした。

また鉄道橋梁を計測し、列車の通過に伴う振動計測が可能な事を示した。(東北大学災害科学国際研究所 [課題番号: IRID03])

オ. 火山噴出物による災害誘因の事前評価手法

火砕流の発生予測に関して、地盤変動、火山性地震、空気振動、火山ガス、映像等の観測データを収集し、火砕流発生に関わる物理パラメータ解明についてまとめを行なった。火砕流を伴う噴火の約1時間前から山頂近傍の浅部において微小地震が群発することが多く、地盤変動で見られる噴火前の膨張の時間は30分以上継続することが多い。さらに、噴火直前には膨張が停止する。また、火砕流を伴う噴火は噴出物量が多い(噴火後の収縮量が多い)ことが明らかになった。(図11)(京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI11])

昨年度観測を開始した桜島島内の黒神観測点における小型船舶レーダーを用いた観測を継続したが、現時点まで火砕流の発生は認められていない。噴出物の火砕流配分比については十分な観測量が得られない可能性が高いことから、配分比について、その比率を何種類か仮定して流下シュミレーションでの検証のための準備を開始した。(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

周期10秒程度までの長周期領域での地盤増幅特性を、限られた時間(6~20秒程度)の波形から精度よく推定する手法を検討するため、自己回帰モデルによるスペクトル解析を用いた地盤増幅率の周波数特性評価を行い、高速フーリエ変換(FFT)を使用したものと比較した。その結果、周波数特性評価には長周期領域であってもFFTを使用する方が適当であることが分かった。震源近傍の観測値が得られないような場合においても面的な地震動分布を早期に把握することを目的として、逆伝播を用いた地震動の面的分布推定手法を試作し、その問題点を示した。緊急地震速報等のリアルタイム処理で用いる観測機器の品質管理を目的として、教師なし学習による連続波形記録の自動分類手法の開発を進め、階層的クラスタリングの導入により、あらかじめクラスタ数を与えることなく、より柔軟な形で波形分類を行う手法を提案した(図12)。(気象庁 [課題番号: JMA_06])

イ. 津波の即時予測手法

これまでに開発してきたデータ同化による津波波動場の現況把握ならびにそれに基づく津波即時予測の実データへの適用として、S-net 記録を用いた2016年福島県沖の地震(M7.4)への適用を試みた(Wang and Satake, 2021)。その結果、津波の来襲より前の地震発生から35分の時点で、三陸海岸における津波潮位計の記録を適切に予測できることが示された(図13)。また、従来型の潮汐除去とローパスフィルタによるデータ処理よりも、Wang et al. (2020)によるEEMD法(経験的モード分解法)による津波検知のほうが、同時刻においてより高い津波予測スコアを示した。このことから、EEMD法による検知(Wang et al., 2020)、データ同化法による現況把握(Maeda et al., 2015)、そしてグリーン関数を用いたデータ同化に基づく津波予測(GFTDA; Wang et al., 2017)の3種の組み合わせで効果的な津波即時予測が実現できると期待される。また、これま

での手法開発およびその応用についての総まとめとなるレビュー論文 (Wang et al., 2021) を出版した。(弘前大学理工学研究科 [課題番号:HRS_02])

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および同技術の国土地理院リアルタイム地殻変動監視システム(REGARD)への技術移転を進めた。1枚矩形断層を推定するアルゴリズムとして”Real-time automatic uncertainty estimation of the coseismic single rectangular fault model based on GNSS data (RUNE)”を開発(Ohno, Ohta et al., EPS, 2021)し、同技術の国土地理院REGARDシステムへの技術移転を進め、2021年2月13日福島沖地震の地震(Mj7.3)、2021年3月20日宮城県沖の地震(Mj6.9)においてその性能評価を実施し、変位場がきわめて小さい(1-2cm)にも関わらず、比較的高いVariance Reduction(分散減少)で断層モデルを推定することに成功した。この結果は、現行のREGARD内部における矩形断層モデル推定アルゴリズムを、MCMCを活用したRUNEによって将来的に置換できる可能性を示唆する成果である。(東北大学大学院理学研究科 [課題番号:THK_12])

ハミルトニアンモンテカルロ法(HMC法)による1枚矩形断層推定アルゴリズムの開発を実施した。HMC法を2016年熊本地震時のリアルタイムGNSSデータに適用し、一般的に用いられているメトロポリス-ヘイスティングス法(M-H法)と比較した。その結果、HMC法の結果とM-H法の結果はほぼ完全に一致し、HMC法で断層推定が可能であることが明らかになった。また、収束までに必要としたマルコフ連鎖数が、M-H法の数%程度で十分であることを明らかにした。(東北大学大学院理学研究科 [課題番号:THK_12])

海底水圧計に含まれる長期ドリフトをゼロ点(圧力の印加がない状態での出力)でのドリフト実測値より把握するA-0-A方式による海底水圧観測システムの実海域試験を行った。開発した試験機と既存のケーブル式水圧計との比較を行うことを目的とし、2020年9月6日にDONET 2C-10ノードのごく近傍に同観測システムを自由落下で設置し、2021年8月17日に音響通信による錘切離によって回収した。A-0-A適用後の水圧時系列から、長期的ドリフトを大幅に減少させうることを明らかにした。(東北大学大学院理学研究科 [課題番号:THK_12])

携帯電話事業者が独自に展開する超稠密GNSS観測網で地殻変動場を捉えられることを初めて定量的に実証した(図14)。(東北大学大学院理学研究科 [課題番号:THK_12])

2016年の福島県沖の地震津波の波源について事例解析をした。地震の規模にあわせて要素波源の大きさを即時予測で用いているものよりも細かくして、日本海溝沿いの沖合水圧計観測網の観測データから初期水位分布を推定した。その分布を初期値として津波伝播計算をしたところ、沿岸で観測された津波波形を再現できた。2016年の福島県沖の地震の震源断層モデルを用いたケーススタディから、この場所を震源とする地震による津波が福島県から宮城県沿岸で高くなる条件には、震源断層の走向が強く関係していることを示した。遡上を伴う津波伝播計算において、水がある状態とない状態との境界の流束を取り扱う際に、従来の方法では計算が不安定になる場合があることが知られており、その原因を検討した。この場合に全水深の取り扱いを工夫することによって、計算安定性を高められる可能性があることを確認した。(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

噴火後の短期的な土石流・泥流の発生ポテンシャル変化を調べることを目的とした、新規の火山灰堆積土層表面に形成されるクラストを模擬した表層を持つ斜面に対する人工降雨実験と数値実験を昨年度に引き続き継続した。人工降雨実験では、クラストの有無による比較を行い、クラストの形成・破壊が降雨時における斜面からの土砂流出特性に与える影響について検討した。その結果、クラストのある場合、降雨強度の強い場所でクラストが破壊されることで洗掘孔が形成され、クラスト破壊領域の上流側の境界で土砂が崩落してクラストが破壊されることによってガリが発達する様子が観察された。また、クラストが破壊されるまでの土砂流出は小さいが、洗掘孔が形成されると急に土砂流出量が大きくなる傾向がみられた。これは、噴火後大規模な土石流が発生しやすくなる原因の一つと考えられる。クラストの形成・破壊を考慮した斜面侵食数値解析では、クラストの初期破壊形状を複数仮定することで、クラストの初期破壊形状の違いが、ガリの発達及び斜面土砂流出へ与える影響を検討した。その結果、クラストの破壊領域が斜面方向に長いほど表面流が洗掘孔に集中することによって、ガリの規模が大きくなるなどの特徴を捉えた(図15)。(京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI_12])

噴火後の中長期的な土石流・泥流の発生ポテンシャルの変化を調べることを目的として、焼岳における凍結融解作用による土砂生産によるポテンシャルの回復について検討した。具体的には、土砂動態モデルにより、堆積土砂の流出過程を土砂動態モデルで計算することで、溪床堆積土砂量の経年変化を解析した。降雨データはこの流域から最も近い栃尾の2003年から2019年のアメダス観測値を用いた。降雨量の大小により、年間の貯留土砂量は -2000m^3 から $+5000\text{m}^3$ の範囲に分布している。土石流の発生のなかった17年間では、足洗谷全域における貯留土砂が 10^4m^3 のオーダーに及ぶことも示された。(京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI_12])

融雪型火山泥流発生のメカニズムの中の積雪層の融雪過程について、実験と解析を継続して実施した。今年度は、積雪層の中に高温の石礫を挟む形態で、融雪過程の実験を行った。その結果、混合した場合に融雪が促進されること、また細かな粒径の場合、融雪速度が速いことが分かった。この過程は、円筒座標系を使った熱伝導モデルによって解析され、その妥当性が実験値との比較から検証された。(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(MRI-XMP)と二次元ビデオディストロメータ(2DVD)による噴煙・降灰の観測・事例解析を行い、噴煙に含まれる火山灰等を定量的に推定する手法の開発に着手した。火山噴火予知連絡会において、改良した噴煙高度の確率的推定手法(MPE法, Sato, 2021)を用いた資料の提出(2021年阿蘇山・諏訪之瀬島噴火事例)を開始した。MRI-XMPによる噴煙観測と2DVDによる降灰観測を継続した。気象庁移流拡散モデル(JMA-ATM)に入力する全球モデルの地上風予報値と再飛散の火山灰情報発表状況を比較調査した。火山灰データ同化・予測システムにおいて、噴火直後のJMA-ATMの初期値を作成するための噴煙モデルに関して、各種保存則や大気との相互作用を考慮した新たな噴煙モデル(NIKS-1D)の作成と実事例実験による検証に着手した(図16)。(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した。北海道大学の有珠観測所に設置していた現行システムの基幹サーバーを、北大札幌キャンパスに複製移設するとともに、今後の開発・配布を容易にするためのGitサーバ機能を組み込んだ。これまでに試作した振幅震源推定コンテンツを表示システムに取り込む作業を行った。THK_12の課題で開発したRUNE (Ohno et al., 2021) を改変してその性能評価を行った。動作確認のために、球状圧力源+ダイクによる疑似データを生成し、マルコフ連鎖モンテカルロ法で逆推定した。両者ともに、ソースパラメータの事後確率分布は概ね妥当な中央値を示す一方で、ダイクについては幅と深さにトレードオフ関係が見られることも明らかになった（図17）。（北海道大学〔課題番号：HKD_06〕）

地震・火山災害の発生確率、被害想定など災害情報に関する調査を実施、分析した。全国47都道府県に住む20代～60代の男女（性年代均等割付）を対象に、各地域200名ずつ、合計9,400名に向けて実施した。調査実施機関は「楽天インサイト」を通し、ネットモニターを対象として行った。調査においては、当時最新であった2018年度版の確率論的地震動予測地図を呈示しつつ設問を設け、回答を得た。その結果、「30年確率」で示されていた地震発生確率の表現について、全体的に見ると「10～20年確率」で示した場合に、より「対策の必要性」意識を高めることが分かった。また年齢が高いほど、この「対策の必要性」の意識を高める年確率は短くなることが明らかになった。すなわち20代～40代は「30年確率」で示された場合、50～60年代は「10年確率」で示された際に、最も「対策の必要性」意識が高まるということが明らかになった。（東京大学大学院情報学環〔課題番号：III_01〕）

南海トラフにおける地震発生様式の固有性を融合させる方法について、令和2年度に実施した M8クラス以上（半割れ）および M7クラス（一部割れ）の地震発生後に後発する地震の発生確率計算結果に関して検討した。具体的には、南海トラフの過去のケースでは後発地震の発生事例数がグローバル地震カタログから推定される確率よりも大きいことを考慮し、確率の減衰曲線はグローバル地震カタログ解析結果を用いつつ、確率の絶対値は南海トラフの発生履歴と整合的になるよう上方補正することとした。また、半割れ地震発生後の後発地震による津波リスクマップの開発に着手した。具体的には、高知市周辺をテストフィールドとし、シナリオ断層約660通りについて浸水計算を行ったうえ、想定先発地震震源域ごとに後発地震の相対的発生確率を空間分布モデルを用いて与え、津波浸水・建物被害等のリスクを試算した（図18）。（東北大学災害科学国際研究所〔課題番号：IRID04〕）

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3年目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、論文出版、学会発表等の対外的な成果発表も活発に行われた。今後は課題間の連携や、拠点間連携共同研究との連携等を一層進展させることで、成果を最大化すること、および開発された技術ほかを現業機関他と連携して社会実装を進めることが課題と考える。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特に令和4年度に焦点を当てて示す。

(1) 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

大阪盆地、奈良盆地等での地震動再現性の悪い地域における微動・地震観測等の実施を踏まえた地盤構造モデルを改良する。強震観測（中川低地、京都市内）を継続する。プレート境界地震の広帯域震源モデルを基礎とした内陸地殻内地震の広帯域震源モデルを開発する。期間内に生じた大地震の強震記録を用いた震源断層破壊過程を求める。極大地震動生成に関する解析を継続する。

南海トラフや日本海溝沿いの大地震による長周期地震動の即時予測に向け、陸域及び海域の強震観測データに基づく震源断層すべりの即時推定と、長周期地震動の即時予測の実用化研究を令和3年度に継続して進める。また、令和3年に引き続き海・陸リアルタイム・連続地震観測と、地震データ流通網に直結したリアルタイムスパコン（東京大学情報基盤センターWisteria/BDEC-01）を用いて長周期地震動即時予測のプロトタイプシステムの実証実験を行う。

インバージョンモデル（再現）や特性化震源モデル（予測）と、地表で複雑な分布を見せる地表地震断層（再現）・活断層分布（予測）との接合に関する分野間の議論とモデル化を行う。2016年熊本地震の益城町宮園や西原村における地表地震断層の直上等における現象の要因の考察と地震動の計算（再現と予測）を行う。

1946年アリューシャン津波地震による地震津波と海底地すべり津波の再現実験をまとめる。さらに海底地すべり発生による津波励起が知られている1998年パプアニューギニア地震津波への適用を試みる。また、日本での海底地すべり津波の解析を開始する。

大地震による災害リスク評価に向けて、堆積平野・堆積盆地における地震動増幅特性と、建物被害や人口被害の脆弱性の研究を推進する。また、首都直下地震や南海トラフ巨大地震を対象に、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、災害を制御する要件を明らかにする。

鳥取県内の地震動予測高度化のため、地盤震動特性および地下構造の把握、およびGISデータベースの拡充を継続的に実施する。鳥取県震度計ネットワークを用いたWEBベースのリアルタイム震度表示システムおよびWEB-GISシステムについて、自治体での利活用を促すとともに、利用に関する意見を継続収集する。これらのツールを総合的に活用し、県民を対象として鳥取県内の地震災害リスクを分かり易く伝えるためのコンテンツの試作をおこなう。また、鳥取県の環境特性を考慮した災害リスク評価のための分析、方法論の構築を始める。

四国内の主要国道沿いの危険斜面の調査および抽出作業を進め、危険性を分析する。電気探査など簡便な斜面内部構造調査を試験し、特に付加体斜面での危険斜面抽出に利

用可能か検討を進める。山地のゆるみ発生過程を調査し、周期的な地震と山の変形との関係を調査する。また、西南日本における地震時地すべりが発生する可能性の高いテフラの分布のマッピングについて完成させる。

四国、紀伊山地、北海道、首都圏、火山研斜面で稼働中の地震や斜面の観測を継続し、斜面の地震動特性を調査するとともに、おおむね震度4以上の地震に対して斜面の変形および間隙水圧についてデータを蓄積する。阿津江地すべり地において、複数台の地震計を新規に設置し、より密度の高い連続観測をおこなう。また、高密度電気探査を実施し、地すべり土塊の内部構造を調べる。地震に伴う傾斜変化や間隙水圧の挙動を明らかにする。さらに、観測データの解析を進め、崩壊斜面内部における地震動の多様性について明らかにする。

79GHzMIMOレーダを利用した、より広域な計測をめざしたシステム設計と実験実証を進める。併せて17GHzMIMOレーダによる従来型GB-SARの置換を行うための実験を進める。両周波数共に、大気補正の手法検討を継続する。栗原市荒砥沢の長期モニタリングは継続するが、それ以外で緊急の計測が必要な事象が発生した場合はモニタリングに機材を派遣する体制を維持する。

過去に発生した火砕流について、地球物理学的観測データから見られる前兆現象から推定される噴出物量と火砕流シミュレーション結果に対して実際の火砕流流下範囲を参照して、シミュレーションパラメータのチューニングを行う。また、山頂火口だけではなく、大規模噴火の際には山腹からの噴火も想定されるため、噴火地点と噴出物量に応じたシミュレーションを行い、データベースの作成を行なう。また、地域自治体向けの火砕流ハザードマップのセミナーを実施する。

(2) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

データ同化を用いた津波の即時予測について、これまでの手法の進展を踏まえ、巨大地震がもし発生した場合にはデータ同化法の適用によりその予測能力の評価やさらなるブラッシュアップをはかる。また、震源直上における大きな海底地殻変動が発生した場合の圧力計記録のデータ同化の取り扱いについて、初期水位を推定する逆問題手法を援用して安定な津波予測の実現の可能性を検討する。

ハミルトニアンモンテカルロ法(HMC法)を用いた震源断層推定手法をすべり分布推定に拡張するとともに、推定時のすべりの平滑化を制御するパラメータも同時推定する手法の開発を進める。GNSSの搬送波位相変化から断層すべりを直接推定する手法(PTS)を用いた2011年東北地方太平洋沖地震の初期余効すべりの時空間発展から断層面における摩擦パラメータの抽出を試みる。令和3年度に開始した民間GNSS観測点の活用による地殻変動把握とその精度評価について継続して実施し、その有効性を明らかにする。

長周期地震動を含めた地震動の即時予測について、データ同化手法や波動伝播シミュレーションの効率的な計算手法等を検討し、地震動波形の予測モデルの構築を進める。

津波後続波の観測事例を再現する津波波源の推定、及び長時間津波伝播計算による後続波と減衰過程の再現に基づき、沿岸域地形データ等の計算条件設定を改良してその再現精度の向上を図る。それらの結果に基づき、津波事前・即時予測手法、及び津波継続時間予測手法の改良を進める。

桜島を対象とした噴火後の短期的土石流や泥流の発生ポテンシャルのモデルについて検討する。とくに、降雨の流出率や斜面侵食に及ぼす火山灰の堆積の影響を明らかにしながら、発生ポテンシャルの変化をモデル化する。また、焼岳を対象として、噴火後中長期的な土石流発生ポテンシャルのモデルについても検討する。次の噴火までの間の土石流の発生ポテンシャルについて、凍結融解による土砂生産による溪床堆積土砂量の経年変化、その動態解析を行う。さらに、土石流や融雪型火山泥流のメカニズムに関する検討も行う。土石流については、その流動過程に大きな影響を与える間隙水の土砂濃度の現地観測、融雪型火山泥流については、いくつかの異なる融雪過程を考慮した泥流シミュレーションについて検討する。

二重偏波気象レーダー等による噴煙の観測結果から、噴煙に含まれる火山灰等の分布を定量的に推定する手法の開発を継続する。新たに開発した移流拡散モデルへ導入する凝集、再飛散過程等の物理過程を検証して改良する。火山灰データ同化・予測システムについて、定量的な濃度予測のための火山灰プロダクトの利用に関する評価を行う。

(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

準リアルタイム火山情報表示システムの改修・開発とシステムの入替えを行う。開発部分の具体的な実施内容として次世代火山研究推進事業で展開しつつある有珠山GNSS観測網との連携（リアルタイム測位表示や、実際の観測網配置に基づくMCMC力源推定の精度検証）を行うとともに、実際の観測データを含めた、より現実的な事象への適用による精度評価への着手（有珠山2000年噴火時のデータ等への適用）をする。

地震災害に関する住民調査を前提に、地震災害・火山災害の発生確率、被害想定、関連する災害情報（火災情報や降灰情報）などの住民の受け止め方に関する詳細な解析を行う。

M8クラスの地震発生後に後発する地震による津波リスクマップの開発を進める。想定ユーザーに含まれる地方自治体等の意見を聞き、後発地震の発生確率評価や津波リスクマップの表現方法の改善を検討する。ゆっくりすべり後にM8クラスの地震が発生する確率評価に着手する。

成果リスト

Asano, K. and T. Iwata, 2021, Revisiting the source rupture process of the mainshock of the 2016 Kumamoto earthquake and implications for the generation of near-fault ground motions and forward-directivity pulse, Bull. Seismol. Soc. Am., 111, 2426-2440, doi:10.1785/0120210047

Asano, K., T. Iwata, and M. Yoshimi, 2021, Ground Motion Simulation of the Mainshock in the 2016 Kumamoto Earthquake Sequence, Japan, Using a Newly Developed 3D Velocity Model, Proc. 6th IASPEI/IAEE Symposium on Effects of Surface Geology on Seismic Motion, paper no. GS4-P03

浅野公之・岩田知孝・関口春子・杉山長志, 2021, 近江盆地南部における微動アレイ探査, 京都大学防災研究所年報, 64B, 9-20

- 浅野公之・岩田知孝・吉田邦一・井上直人・染井一寛・宮腰研・大堀道広, 2022, 函館平野三次元速度構造モデルによる長周期地震動増幅特性, 日本地震学会秋季大会, S15-14
- Cochran, E. S., J. K. Saunders, S. E. Minson, J. Bunn, A. Baltay, D. Kilb, C. O'Rourke, M. Hoshiya, and Y. Kodera, 2022, Alert Optimization of the PLUM Earthquake Early Warning Algorithm for the Western United States, *Bull. Seism. Soc. Am.*, doi: 10.1785/0120210259
- Shenghua Cui, Xiangjun Pei, Yao Jiang, Gonghui Wang, Xuanmei Fan, Qingwen Yang, Runqiu Huang, 2021, Liquefaction within Bedding Fault: New Understanding of the Initiation and Movement of the Daguangbao Landslide Triggered by the 2008 Wenchuan Earthquake (Ms = 8.0), *Engineering Geology*, 295, 10.1016/j.enggeo.2021.106455
- Fukutome, S., K. Asano, T. iwata, and H. Sekiguchi, 2021, Estimation of Basin Basement Depth Using Autocorrelations of Strong Motion Waveform Data in the Osaka and Kyoto Basins, Japan, *Proc. 6th IASPEI/IAEE Symposium on Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, paper no. GS2-P11
- Furumura, T. and BLN Kennett, 2021, Azimuthal Variation of Lithospheric Heterogeneity in the Northwest Pacific Inferred From Po/So Propagation Characteristics and Anomalous Large Ground Motion of Deep In-Slab Earthquakes, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 126, 5, doi:10.1029/2021JB021717
- Furumura, T. and T. Maeda, 2021, High-resolution source imaging based on time-reversal wave propagation simulations using assimilated dense seismic records, *Geophys. J. Int.*, 225, 1, doi:10.1093/gji/ggaa586
- 林豊, 2021, 断層モデルパラメータに対する津波高の感度測定: 2016年福島県沖の地震を基準としたケーススタディ, *土木学会論文集*, B2-77(2), I_187-I_192, doi: 10.2208/kaigan.77.2_I_187
- 林豊, 2021, 日本の文献が根拠とされる1537年メキシコの津波は誤り, *日本地球惑星科学連合2021年大会*, S-SS10
- 林豊, 2021, 1780年ウルップ島地震による日本への津波の影響, *第38回歴史地震研究会*, 0-01
- 林豊, 2021, 1780年ウルップ島地震による北海道への津波の影響, *日本地震学会2021年度秋季大会*, S10-04
- 林豊, 2021, 断層モデルパラメータに対する津波高の感度測定: 2016年福島県沖の地震を基準としたケーススタディ, *第68回海岸工学講演会*, 3-R2-3-43
- Hayashi, Y., 2021, The Oldest Report of a 1537 Mexico Tsunami Based on Japanese Literature Is Erroneous, *Seismol. Res. Lett.*, 92, 3452-3459, doi: 10.1785/0220200453
- Hayashi, Y., 2021, Two false tsunamis of the 16th century based on Japanese literature: the 1537 Mexico and 1586 Peru earthquakes, *International Tsunami Symposium 2021*, e90185
- 干場充之・対馬弘晃, 2021, 地震動と津波の即時予測: 最近10年の研究の進展, *日本地球惑星科学連合2021年大会*, U02-07

- 今野光康・権田豊, 2021, 桜島・有村川流域におけるKinematic wave法を用いた土石流流出解析モデルのパラメータの経年変化の研究, 令和3年度(公社)砂防学会研究発表会概要集, 303-304
- 石井憲介・西條 祥・小屋口剛博, 2021, 気象庁の火山灰予測業務で用いる一次元噴煙モデルの開発, 日本火山学会, A3-11
- 石丸 聡・小木曾 仁・伊藤陽司・楨納智裕, 投稿中, 凍結・融雪期の大雨により生じた土石流-雌阿寒岳2008年5月の大雨による事例-, 日本地すべり学会誌
- 岩城麻子・藤原広行, 2021, 2016年熊本地震の地表断層ごく近傍の強震動について, 日本地震学会秋季大会, S15P-04
- 岩城麻子・森川信之・前田宜浩・藤原広行, 2021, 強震動予測レシピに基づく2016年熊本地震(Mj7.3)の強震動シミュレーション, 日本地球惑星科学連合, SSS11-P18
- Iwata, T., 2021, Source and Site Effects of the 2016 Kumamoto, Japan, Mainshock, Proc. 6th IASPEI/IAEE Symposium on Effects of Surface Geology on Seismic Motion, paper no. GS1-I01
- Kagawa, T., 2021, Application of Modified PLUM Method to Dense Seismic Intensity Network of a Local Government in Japan - Case Study on Tottori Prefecture -, Frontiers in Earth Science, section Solid Earth Geophysics, The New Frontiers of Earthquake Early Warning Systems, <https://doi.org/10.3389/feart.2021.672613>
- Kagawa, T., Nishimura, I., Noguchi, T., 2021, Effect of Nonlinear Soil Response on Ground Motions at Nearby Sites, 6th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion
- Kagawa, T., Noguchi, T., 2021, A Study on Ground Motion Characteristics Close to Surface Earthquake Faults, The 17th World Conference on Earthquake Engineering
- 香川敬生・西垣壮真・野口竜也, 2021, 鳥取大学常設観測点における常時微動の長期変動, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SSS11-02
- 鎌谷紀子・小木曾 仁, 2021, 自己回帰モデルによるスペクトル解析を用いた地盤増幅率の周波数特性評価の試行, 日本地震学会2021年度秋季大会, S21P-01
- 鎌谷紀子・小木曾 仁, 2022, 自己回帰モデルによるスペクトル解析は地盤増幅率の周波数特性評価に有効か?, 東京大学地震研究所共同利用研究集会「固体地球科学的諸現象のリアルタイム監視予測システムと利活用」
- 小林和生・蘆田龍・西村武・野口竜也・香川敬生, 2021, 吉岡・鹿野断層近傍における地盤震動特性の変化とその要因の検討, 第73回 2021年度(令和3年)土木学会中国支部部研究発表会
- 小林正直・藤田正治・竹林洋史・宮田秀介・山野井一輝・坂井紀之, 2021, 焼岳噴火後の足洗谷における土石流発生の長期的変化, 令和3年度(公社)砂防学会研究発表会概要集, 637-638
- Kodera, Y., N. Hayashimoto, K. Tamaribuchi, K. Noguchi, K. Moriwaki, R. Takahashi, M. Morimoto, K. Okamoto, and M. Hoshiba, 2021, Developments of the nationwide earthquake early warning system in Japan after the 2011 Mw9.0 Tohoku-Oki earthquake, Front. Earth Sci., 9, 726045, doi: 10.3389/feart.2021.726045
- 小寺祐貴・酒井慎一, 2021, 階層的クラスタリングによる地震波形データの教師なし自動分類, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG52-P03

- Koketsu, K., H. Miyake, and K. Okumura, 2021, A future scenario earthquake for seismic hazard analysis in Kathmandu, Nepal, JpGU Meeting 2021, SCG40-P02
- Kubota, T., H. Kubo, K. Yoshida, N. Y. Chikasada, W. Suzuki, T. Nakamura, and H. Tsushima, 2021, Improving the constraint on the Mw 7.1 2016 off-Fukushima shallow normal-faulting earthquake with the high azimuthal coverage tsunami data from the S-net wide and dense network: Implication for the stress regime in the Tohoku overriding plate, *J. Geophys. Res.*, 126, e2021JB022223, doi: 10.1029/2021JB022223
- Kubota, T., T. Saito, H. Tsushima, R. Hino, Y. Ohta, S. Suzuki, and D. Inazu, 2021, Extracting near-field seismograms from ocean-bottom pressure gauge inside the focal area: application to the 2011 Mw 9.1 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 48, e2020GL091664, doi:10.1029/2020GL091664
- Kubota, T., T. Saito, H. Tsushima, R. Hino, Y. Ohta, S. Suzuki, and D. Inazu, 2021, Extracting near-field in-situ ground motion waveforms with large displacements of the 2011 Tohoku-Oki earthquake from ocean bottom pressure change inside the focal area, AGU Fall Meeting 2021, S53B-04
- 久保田達矢・久保久彦・吉田圭佑・近貞直孝・鈴木亘・中村武史・対馬弘晃, 2021, 2016年11月22日福島県沖の地震におけるS-net津波観測記録：広域・稠密観測データによる高精度震源断層モデル推定, 第11回巨大津波災害に関する合同研究集会, 第5セッション-1
- 久保田達矢・齊藤竜彦・対馬弘晃・日野亮太・太田雄策・鈴木秀市・稲津大祐, 2021, 海底動的圧力変動成分記録から抽出した2011年東北沖地震の震源域内部の大振幅地震動波形, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG54-P01
- Makinoshima, F., Y. Oishi, T. Yamazaki, T. Furumura, and F. Imamura, 2021, Early forecasting of tsunami inundation from tsunami and geodetic observation data with convolutional neural networks, *Nat. Commun.*, 12, doi:10.1038/s41467-021-22348
- 南雅晃, 2021, 非線形長波方程式の有限差分法による津波計算における計算不安定の原因とその対処, 日本地球惑星科学連合2021年大会, HDS09-04
- 南雅晃, 2021, 津波浸水計算におけるwet/dry境界の新しい計算法, 日本地震学会2021年度秋季大会, S17-02
- 南雅晃, 2021, 津波浸水計算におけるwet/dry境界の新しい計算法, 第11回巨大津波災害に関する合同研究集会, 第2セッション-4
- Miyake, H., 2021, Characterization of extreme ground motions, JpGU Meeting 2021, SCG40-P05
- Miyake, H., K. Irikura, H. Fujiwara, N. Morikawa, T. Maeda, A. Iwaki, and A. Pitarka, 2021, Recipe for strong ground motion prediction: Current and future, The 6th IASPEI/IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion, GS4-I01
- Miyake, H., T. Taira, L.-W. Chen, 2021, Near-surface velocity reduction and anisotropy for early aftershocks revealed by coda interferometry, 2021 AGU Fall Meeting, S35F-0276

- 中里友輔・市田児太郎・堤大三・宮田秀介, 2021, 融雪型火山泥流の発生に及ぼす火山噴出物と雪の混合及び火砕流サージの影響, 令和3年度(公社)砂防学会研究発表会概要集, 121-122
- 中島研吾・古村孝志・鶴岡弘・松葉浩也・坂口吉生・住元真司・笠井良浩・池田輝彦・八代尚・荒川隆・埜敏博, 2021, 観測データ同化による長周期地震動リアルタイム予測へ向けた試み, 情報処理学会研究報告ハイパーフォーマンスコンピューティング, 8, 1-11
- Nishimura, I., T. Noguchi, and T. Kagawa, 2021, Estimation of Subsurface Structures and Ground Motion Characteristics in the area damaged in the 2016 Central Tottori Prefecture Earthquake in Japan, International Journal of GEOMATE, Vol. 20, No. 82, 15-21
- 西村武・西村菜沙・香川敬生, 2021, 大規模盛土造成地における微動探査を用いた地盤震動特性の把握 -鳥取市北園の事例-, 日本地震学会2021年度秋季大会, S16P-08
- 西村武・島田敦史・野口竜也・香川敬生, 2020, 地すべり地帯における微動探査を用いた地盤震動特性の把握 -鳥取市国府町楠城・雨滝の事例-, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SSS11-P11
- 西村武・吉川菜緒・野口竜也・香川敬生, 2021, 微動観測に基づく吉岡断層ごく近傍の地盤構造推定及び地盤震動特性の把握, 日本地震工学会・大会2021, T2021-065
- 野口恵司・林元直樹・溜淵功史・小寺裕貴, 2022, Hi-net活用のためのIPF法の高度化, 東京大学地震研究所共同利用研究集会「固体地球科学的諸現象のリアルタイム監視予測システムと利活用」
- Noguchi, T., Kagawa, T., Kobayashi, K., Nishimura, I., 2021, Subsurface Structure and Ground Motion Characteristics Near Active Fault, The Case Study on The Shikano and Yoshioka Faults, Japan, 6th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion
- Noguchi, T., Nishimura, I., Kagawa, T., 2021, Subsurface Structure Based on Microtremor and Seismic Observation in The Ohda Area, Shimane Prefecture, Japan, The 17th World Conference on Earthquake Engineering
- Noguchi, T., Nishimura, I., Kagawa, T., 2021, Estimation of Subsurface Structure of Landslide Area Based on Microtremor Observation in the Hojojima, Nawashiro and Amedaki Area, Tottori, Japan, The 11th Int. Conf. on Geotechnique, Construction Materials & Environment, gxi279
- 野口竜也・蘆田龍・小林和生・西村武・吉川菜緒・香川敬生, 2021, 1943年鳥取地震による地震断層近傍における微動探査-鳥取市宮谷・大塚地区-, 日本地震学会2021年度秋季大会, S16P-03
- 野口竜也・小林和生・蘆田龍・西村武・香川敬生, 2021, 鹿野・吉岡断層近傍における微動特性および地下構造, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SSS11-P09
- 野口竜也・西村武・佐々木梨乃・香川敬生, 2021, 地すべり地域 -鳥取市佐治地区- における微動および地震観測に基づく地盤構造推定, 日本地震工学会・大会2021, T2021-074
- 野口竜也・島田敦史・中桐圭右・西村武・香川敬生, 2021, 微動探査による鳥取県北栄町北条地域の地盤構造推定, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会, CS10-09

- 野口竜也・島田敦史・西村武・香川敬生, 2021, 微動探査に基づく鳥取県内の地すべり地域における地盤震動特性および地盤構造, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会, CS10-08
- 野口竜也・山室雅輝・西村武・香川敬生, 2021, 鳥取県中部域における3次元地盤構造モデルの推定, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SSS11-P10
Octantyo, A., H. Miyake, and T. Yokoi, 2021, Strong ground motion simulation of the 2019 Java earthquake using empirical Green's function method, Proceedings of the 17th World Conference on Earthquake Engineering, 1d-0138
- 小木曾 仁, 2021, 地震波振幅を用いた震源分布の準リアルタイム把握, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SCG53-06
- 小木曾 仁, 2021, 地震波振幅を用いた震源域のリアルタイム把握に向けた検討, 日本地震工学会2021年大会, T2021-020
- 小木曾 仁, 2022, 地震動の逆伝播を用いた面的震度分布の早期推定に向けた検討, 東京大学地震研究所共同利用研究集会「固体地球科学的諸現象のリアルタイム監視予測システムと利活用」
- 小木曾 仁・石丸 聡, 投稿中, 2008年5月20日に雌阿寒岳で発生した土石流に伴う地震波の記録, 日本地すべり学会誌
- 小木曾 仁・溜渕功史, 2021, 地震波振幅の空間分布から推定した紀伊半島南東沖で発生する浅部低周波微動の時空間分布: 2020年12月から2021年1月, 日本地震学会2021年度秋季大会, S09-20
- Ohno K., Y. Ohta, R. Hino, S. Koshimura, A. Musa, T. Abe, H. Kobayashi, 2022, Rapid and quantitative uncertainty estimation of coseismic slip distribution for large interplate earthquakes using real-time GNSS data and its application to tsunami inundation prediction, Earth Planets Space, 74:24, 1-18, 10.1186/s40623-022-01586-6, 2022.
- Ohno, K., Y. Ohta, S. Kawamoto, S. Abe, R. Hino, S. Koshimura, A. Musa, and H. Kobayashi, 2021, Real-time automatic uncertainty estimation of coseismic single rectangular fault model using GNSS data, Earth Planets Space, 73, 127, doi:10.1186/s40623-021-01425-0
- Ohta, Y. and M. Ohzono, 2022, Potential for crustal deformation monitoring using a dense cell phone carrier global navigation satellite system network, Earth Planets Space, 74:25, 1-9, 10.1186/s40623-022-01585-7.
- Ohta, Y., 2022, Development of the low-cost GNSS receiver and data logger system for the geodetic purpose, AGU Fall Meeting 2021, G32B-07D
- Ohta Y., R. Hino, M. Sato, S. Suzuki, H. Otsuka, H. Kajikawa, T. Kobata, 2022, Development of long-term drift elimination system of OBP for deep-sea observation by "A-0-A" approach, Ocean Science Meeting 2022
- Ohta, Y., 2022, Application of GNSS for real-time prediction of geohazards and its transformation to disaster information, Geospatial Capacity Development Conference on GNSS applications and DRR

- 太田雄策, 日野亮太, 佐藤真樹子, 鈴木秀市, 大塚英人, 梶川宏明, 小島時彦, 2021, 非定常地殻変動の把握を目指したA-0-A方式による深海対応海底水圧計ドリフト補正システムの開発(第4報), 日本測地学会第136回講演会, 06
- 太田雄策, 大園真子, 2021, 民間GNSS観測網を用いた地殻変動モニタリングの可能性, 日本測地学会第136回講演会, 28
- 太田雄策, 大園真子, 2022, 民間GNSS観測点を用いた地殻変動即時把握の可能性, 令和3年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「固体地球科学的諸現象のリアルタイム監視予測システムと利活用」
- Sekiguchi, H., K. Asano and T. Iwata, 2020, Strong ground motion simulation in Osaka basin, Japan, for the 2018 northern Osaka prefecture earthquake, Proc. 17th World Conference on Earthquake Engineering, Paper no. C001162
- Shimazu, H., T. Iwata, K. Asano, K. Somei, and S. Senna, 2021, Estimation of Site Effects at Strong Motion Sites in Shizuoka, Prefecture, Japan, Using the Spectral Inversion Method, Proc. 6th IASPEI/IAEE Symposium on Effects of Surface Geology on Seismic Motion, paper no. GS5-P34
- 染井一寛・浅野公之・岩田知孝・大堀道広・宮腰 研, 2021, 北陸地方の強震観測点におけるサイト増幅特性とそれを用いた速度構造モデルの推定, 京都大学防災研究所2021年度研究発表講演会, B120
- 田中 優介, 太田 雄策, 宮崎 真一, 2021, GNSS搬送波位相変化から直接断層すべりを推定する手法で得られた, 2011年東北地方太平洋沖地震の初期余効すべり, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SGD01-11
- 田中 優介, 太田 雄策, 宮崎 真一, 2021, PTS解析による地震時の動的な破壊過程から初期余効すべりまでの連続的な推定 ～2011年東北地方太平洋沖地震の事例～, 日本地震学会2021年度秋季学術大会, S03P-01
- 土井一生・松浦純生・大澤光・岡本隆・柴崎達也・土佐信一, 2021 (投稿中), 不安定化が促進した海岸地すべりにおける地すべり土塊の変形特性, 地すべり学会第60回(2021年度)研究発表会および現地見学会
- Saito S., S. Yasumoto, N. Sekiya, 2021, Earthquake Probability in National Seismic Hazard Maps for Japan and People's Risk Perceptions: The Search for More Effective Expression., Earth, Planet and Space (Special Issue on "Structure Earthquakes and Tsunami Hazards in the Sea of Japan").
- Sato, E., 2021, Kusatsu-Shirane volcano eruption on January 23, 2018, observed using JMA operational weather radars, Earth Planets Space, 73, 117, 10.1186/s40623-021-01445-w
- 佐藤英一・瀧下恒星・井口正人, 2021, 非球形粒子の抵抗係数に関する理論の二次元ビデオディスプレイドロメーターによる降灰観測への応用について, 日本火山学会, B2-10
- 関谷直也, 2021, 『災害情報——東日本大震災から次の大規模災害への教訓』, 東京大学出版会
- 新堀敏基・石井憲介・甲斐玲子・長谷川嘉臣・林 洋介・林 勇太, 2021, 火山灰移流拡散モデルの更新, 日本火山学会, P2-08

- Tamaribuchi, K. and M. Ogiso, 2021, Shallow low frequency earthquake monitoring system based on envelope cross-correlation and amplitude, International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2021, P-02
- 溜瀧功史・小木曾 仁, 2021, エンベロープ相関と振幅に基づく浅部低周波地震モニタリングシステム, 日本地震学会2021年度秋季大会, S09P-14
- 溜瀧功史・小木曾 仁・野田朱美, 2022, 浅部低周波地震モニタリングシステムの構築, 東京大学地震研究所共同利用研究集会「固体地球科学的諸現象のリアルタイム監視予測システムと利活用」
- Tsushima, H., Y. Hayashi, and T. Yamamoto, 2021, Evaluation of tsunami source and propagation modeling using dense offshore tsunami measurements: case study of 2016 Mw 6.9 off Fukushima earthquake, Japan, AGU Fall Meeting 2021, NH25B-0576
- Tsushima, H. and T. Yamamoto, 2021, Operational use of tsunami source inversion in near-field tsunami warning by JMA, International Tsunami Symposium 2021, e90133
- 対馬弘晃・山本剛靖, 2021, 1952年カムチャツカ地震における顕著な津波後続波, 日本地震学会2021年度秋季大会, S17P-06
- 対馬弘晃・山本剛靖, 2021, 1952年カムチャツカ地震における顕著な津波後続波, 第11回巨大津波災害に関する合同研究集会, 第1セッション-3
- 対馬弘晃・近貞直孝, 2021, 沖合津波波形の常時解析に基づく津波の自動検知手法の検討, 日本地球惑星科学連合2021年大会, HDS09-06
- Wang G., F. Zhang, G. Furuya, K. Hayashi, W. Hu, M. McSaveney, Runqiu Huang, 2021, The debris avalanche in Donghekou area triggered by the 2008 Wenchuan (M8.0) earthquake: features and possible transportation mechanisms, Engineering Geology, 280, 10.1016/j.enggeo.2020.105922
- Wang, Y., H. Tsushima, K. Satake, and P. Navarrete, 2021, Review on recent progress in near-field tsunami forecasting using offshore tsunami measurements: source estimation and data assimilation, Pure Appl. Geophys., 178, 5109-5128, doi: 10.1007/s00024-021-02910-z
- 王功輝, 2021, 頻発化・激甚化・多様化する斜面災害の脅威に備えて, 京都大学防災研究所2021年度公開講座
- 王功輝, 2021, 降下火砕物斜面における地震時地すべりの発生・運動機構について: 日本で近年発生した土砂災害を例として, 2021年度土砂災害予測に関する研究集会
- 王功輝・松島信一・古谷元・李孝波・常承睿・黄超, 2021 (投稿中), 振動台実験による地震時テフラ斜面の安定性評価: 2018年北海道胆振東部地震時に生じた一地すべりを例として, 地すべり学会第60回(2021年度)研究発表会および現地見学会
- Wang, Y. and K. Satake, 2021, Real-time tsunami data assimilation of S-net pressure gauge records during the 2016 Fukushima earthquake, Seismol. Res. Lett., 92, 2145-2155, doi:10.1785/0220200447
- Wang, Y., h. Tsushima, K. Satake, and P. Navarrete, 2021, Review on recent progress in near-field tsunami forecasting using offshore tsunami measurements: Source

inversion and data assimilation, Pure and Applied Geophysics, 178, 5109-5128, doi:10.1007/s00024-021-02910-z

渡邊達也・三浦竜・山崎新太郎・松浦純生, 2021, 同時多点GNSS観測で捉えた海岸地すべりの複雑な挙動, 令和2年度日本地すべり学会北海道支部・北海道地すべり学会特別講演および発表会予稿集, 3-8

山田大介, 太田雄策, 2021, 単一矩形断層推定に関するハミルトニアンモンテカルロ法の適用可能性, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SSS05-05

山田大介, 太田雄策, 大野圭太郎, 2021, ハミルトニアンモンテカルロ法を活用した断層モデル推定とメトロポリス・ヘイスティング法との比較, 日本地震学会2021年度秋季学術大会, S23-03

Yamada T., Y. Ohta, 2021, Efficient estimation of the fault model using the GNSS data based on the Hamiltonian Monte Carlo approach, AGU Fall Meeting 2021, NG15B-0430

山田太介, 太田雄策, 2021, ハミルトニアンモンテカルロ法を活用した断層モデル推定とメトロポリス・ヘイスティング法との比較, 日本測地学会第136回講演会, 16

Yasuda, T., K. Imai, Y. Shigihara, T. Arikawa, T. Baba, N. Chikasada, Y. Eguchi, M. Kamiya, M. Minami, T. Miyauchi, K. Nojima, K. Pakoksung, A. Suppasri, and Y. Tominaga, 2021, Numerical simulation on detailed urban inundation processes and their hydraulic quantities - Tsunami analysis hackathon theme 1, J. Disaster Res., 16, 978-993, doi: 10.20965/jdr.2021.p0978

安本真也・河井大介・齋藤さやか・関谷直也, 2021, 防災啓発番組の視聴は地震の備え行動につながるのか : ドラマ「パラレル東京」の効果検証, 日本災害情報学会第23回学会大会

安本真也・河井大介・齋藤さやか・関谷直也, 2022, 首都直下地震に関する映像による認知の変化 -パネル調査を用いたドラマ「パラレル東京」の効果分析-, 災害情報, 20(1), 印刷中

安本真也・関谷直也, 2022, 火山噴火に対する意識 : 「登山者」と首都圏住民へのアンケート調査をもとに, 東京大学大学院情報学環紀要 情報学研究・調査研究編, 38, 印刷中

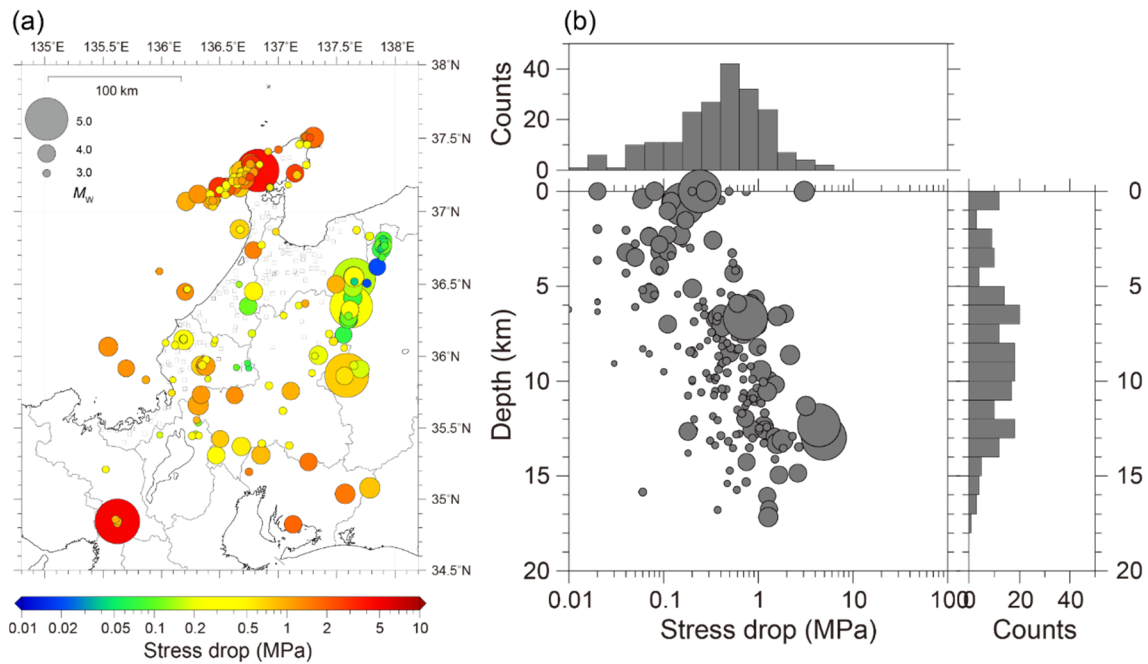


図 1. 北陸地方で発生した地震に対して、スペクトルインバージョンで得られた震源項に ω^{-2} スペクトルモデルを当てはめ、コーナー周波数と円形クラック半径の関係 (Brune, 1970, 1971)、円形クラックの応力降下量式 (Eshelby, 1957) より応力降下量を推定した結果。(京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI09])

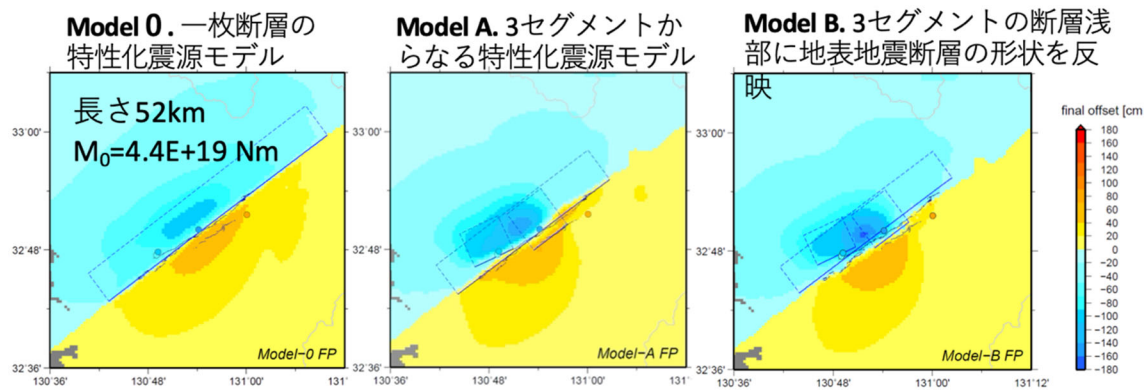


図 2. 2016 年熊本地震における複数のモデルによる変位量の比較。ここで用いた断層モデルでは強震動生成域や断層浅部の食い違いが数 km 以上の広がりを持つ。地表断層から数 100m~数 km 離れた位置に強い地震動を生じさせるものの、断層から 100m 程度以内の集中的な被害を説明することはできない。(名古屋大学 [課題番号: NGY_05])

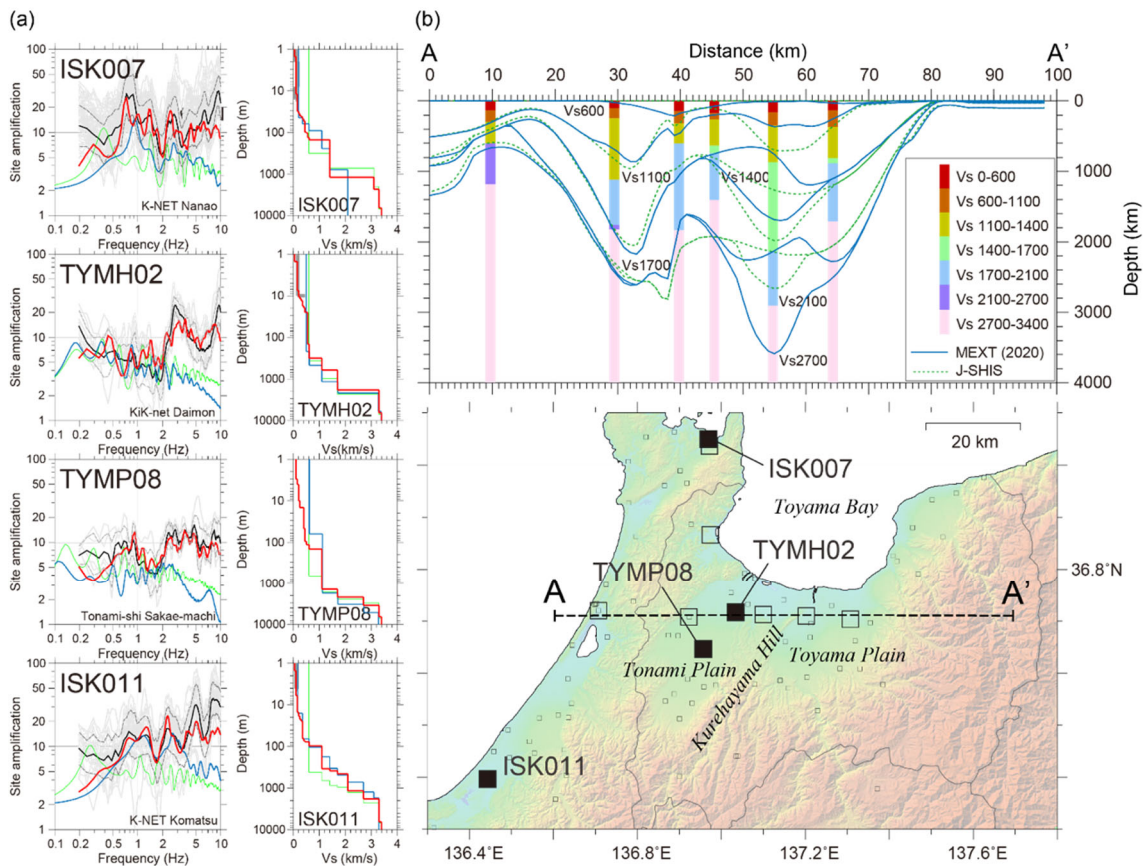


図 3. 2004 年から 2021 年に発生した北陸地方周辺で発生した 201 個の地震と、福井・石川・富山・岐阜県北部の自治体震度計を含めた計 185 観測点のデータを用いてサイト直下の地盤構造モデルの推定結果。(a) 黒線・灰色線が観測値および誤差を、赤が推定値、緑色線が J-SHIS によるものをそれぞれ示す。(b) 微動探査から推定された地下構造モデルと J-SHIS のモデルの比較。

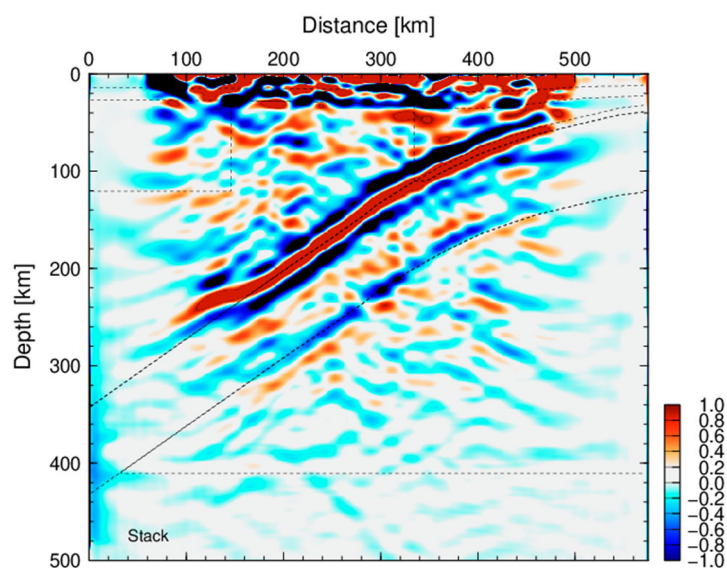
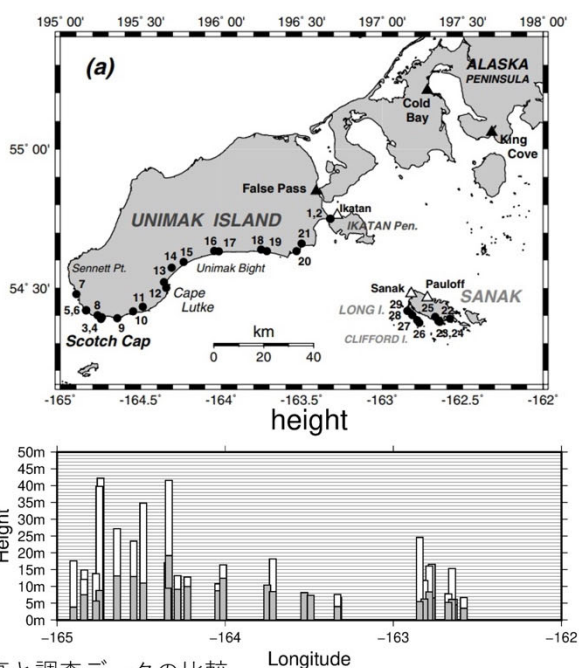
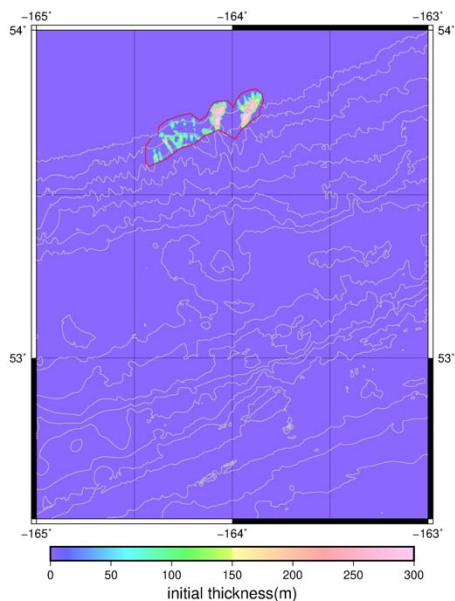


図 4. Reverse-time migration (RTM) により推定された SP 変換波を用いた海洋スラブ形状のイメージング結果。(東京大学地震研究所 [課題番号: ERI_14])

斜面の下に地すべり源を設定



沿岸での計算最大波高と調査データの比較

図 5. (左) 1946 年アリューシャン津波地震の海底地すべりモデルに使用した地すべりの発生した場所と層厚。(右) 計算津波高 (灰色) と Okal et al. (2003) により調査された津波高 (白) との比較。(北海道大学 [課題番号: HKD_05])

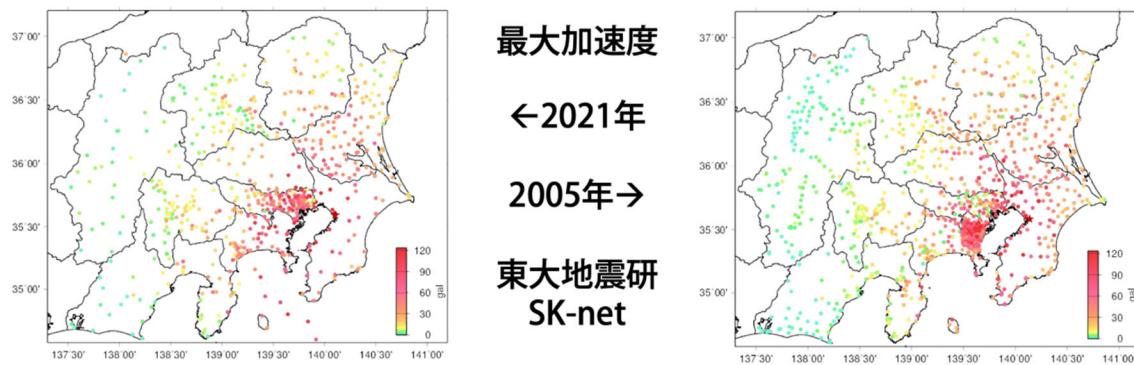


図 6. 2021 年と 2005 年千葉県北西部の地震による加速度の比較。(東京大学地震研究所 [課題番号: ERI_16])

切盛造成地での微動卓越周期

切土部は微動H/Vの卓越周期が明瞭ではない地点が多いが、盛土部では明瞭なピークが見られる。アレイ観測による表層S波速度から堆積層厚さを推定すると、盛土厚さと整合する。

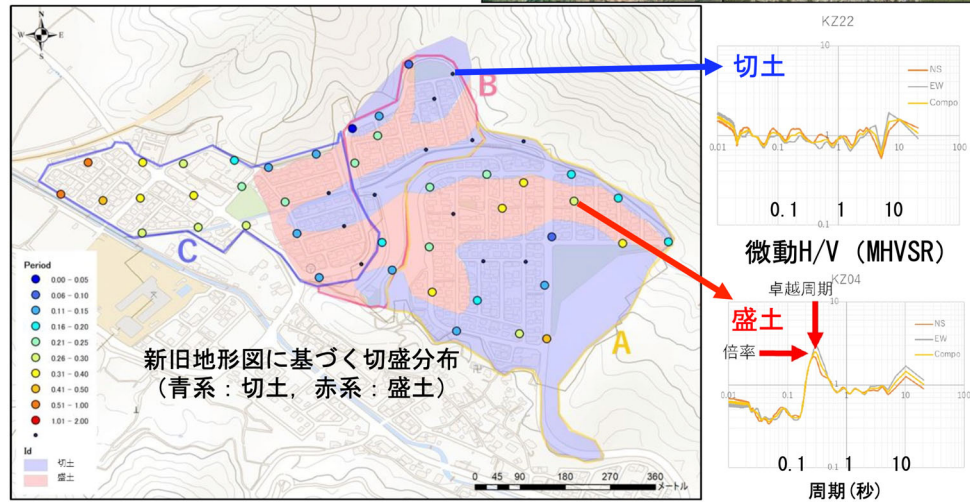


図7. 1970年代以降に大規模な宅地造成がおこなわれた鳥取県東部鳥取市内の北園地区および若葉台地区、および鳥取市南部佐治町内における地すべり地形分布域において観測結果。(鳥取大学 [課題番号：TTR_01])

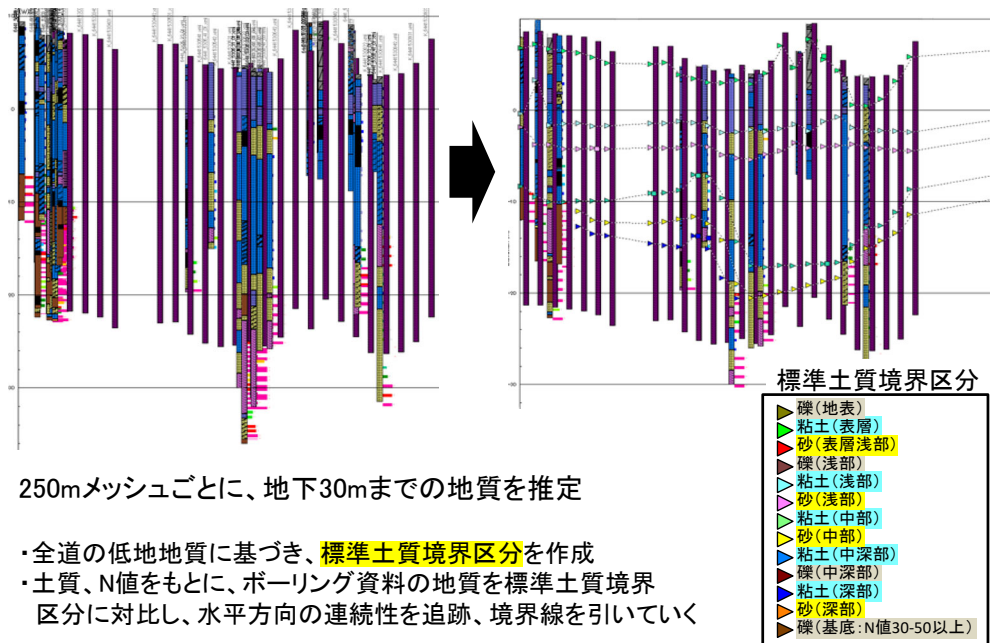


図8. 津波避難経路の使用可能性の検証精度をさら高めることを目的として地盤ボーリングデータに基づき構築された、強震動および地盤液状化の面的予測のベースデータとなる広域的な地盤モデル。(北海道立総合研究機構地質調査所 [課題番号：HR0_02])

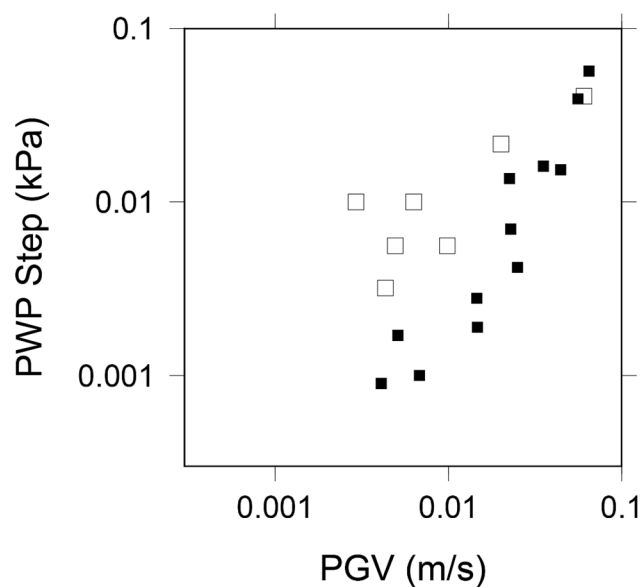


図 9. 間隙水圧の情報が認められた東京：12 地震、横浜：7 地震におけるおける PGV と間隙水圧の上昇量の関係。黒四角が東京、白抜き四角が横浜の例。横浜の方が同程度の PGV に対して間隙水圧の上昇量が大きい。(京都大学防災研究所 [課題番号：DPRI10])



図 10. 2021 年 10 月から栗駒山麓ジオパークビジターセンター（栗原市栗駒松倉東貴船 5 番地：旧栗駒小学校）の展示室で関連するパネルと共にリアルタイムの画像展示を開始した。(東北大学災害科学国際研究所 [課題番号：IRID03])

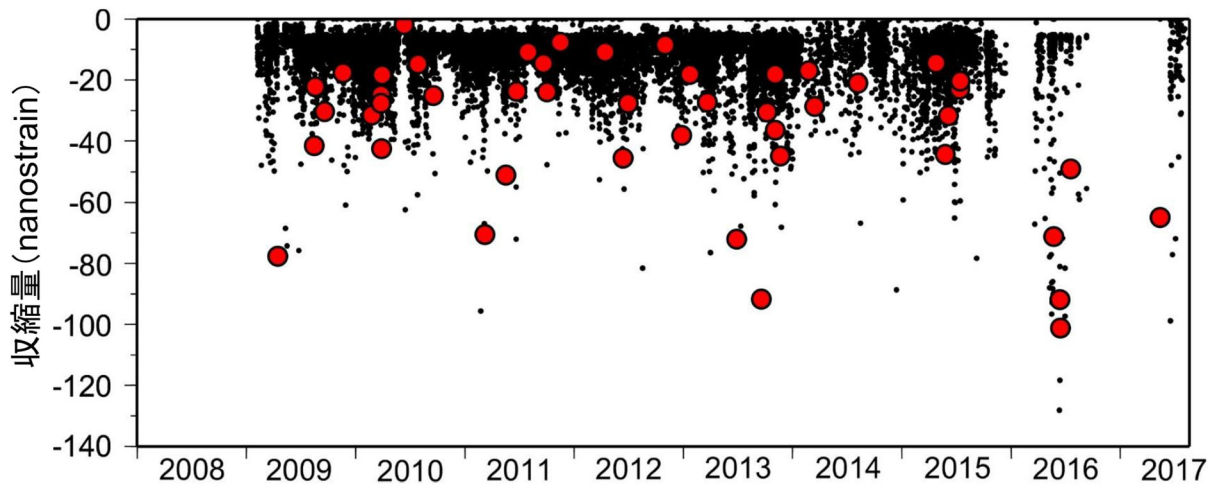


図 11. 桜島火山 有村観測坑道伸縮計 T 成分時系列データと火砕流の発生との比較。火砕流をともなう噴火は収縮量が大きい。すなわち噴出物が多い噴火の際に火砕流が発生しやすい。(京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI11])

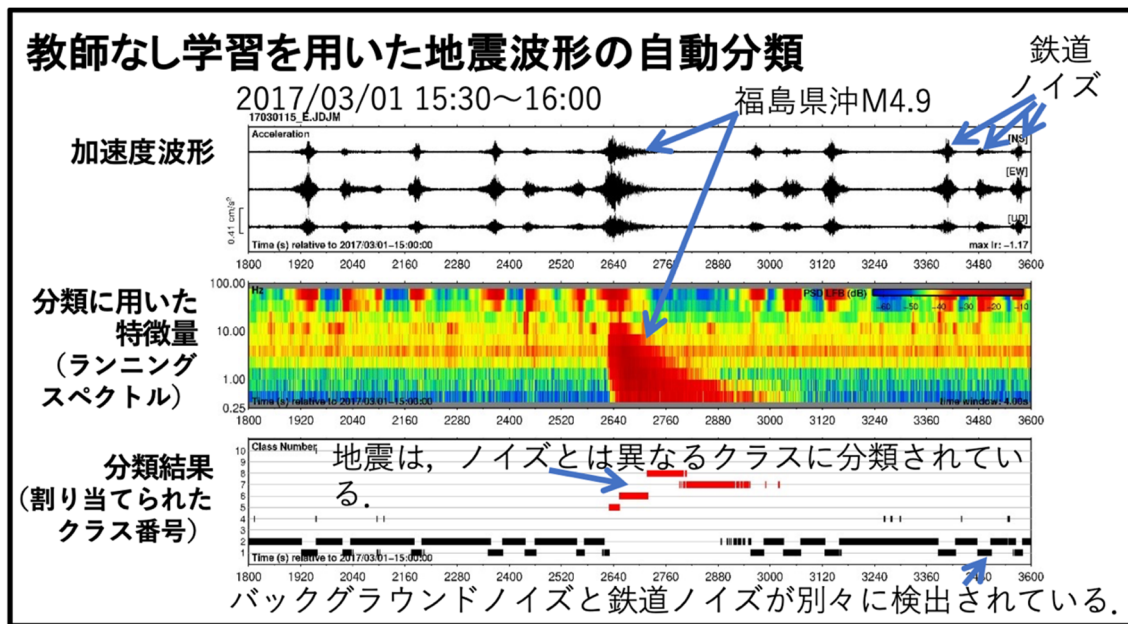


図 12. 緊急地震速報といったリアルタイム処理で用いる観測機器の品質管理を目的として、教師なし学習による連続波形記録の自動分類手法の開発を進め、階層的クラスタリングの導入により、あらかじめクラス数を与えることなく、より柔軟な形で波形分類を行う手法を提案した。(気象庁 [課題番号: JMA_06])

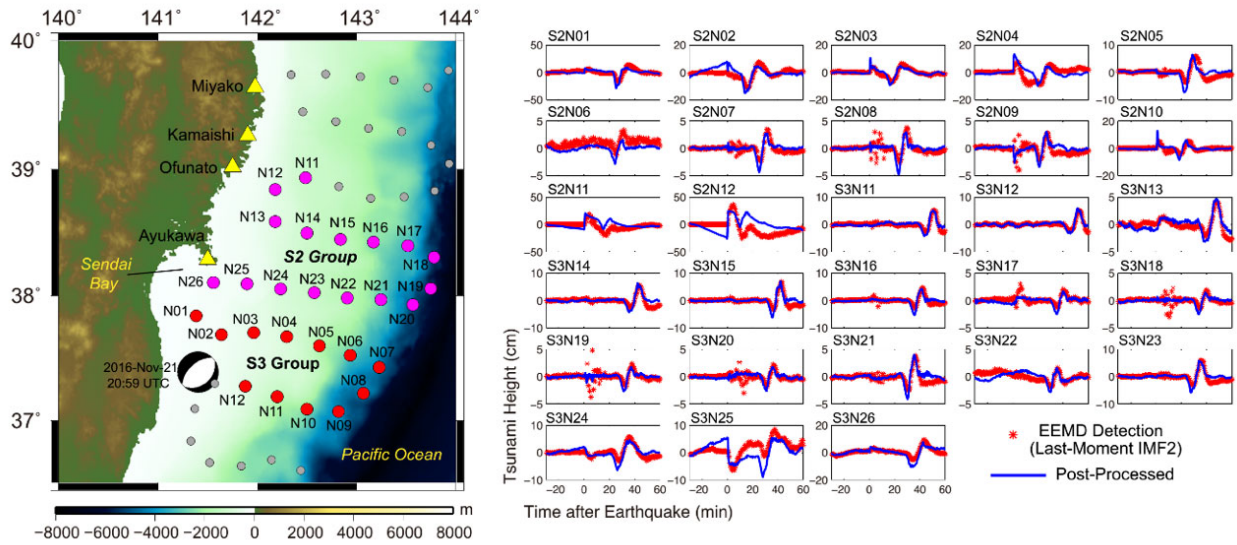


図 13. 2016 年福島県沖の地震 (M7.4) に対するデータ同化による津波波動場の現況把握ならびにそれに基づく津波即時予測の実データへの適用。(弘前大学理工学研究科 [課題番号:HRS_02])

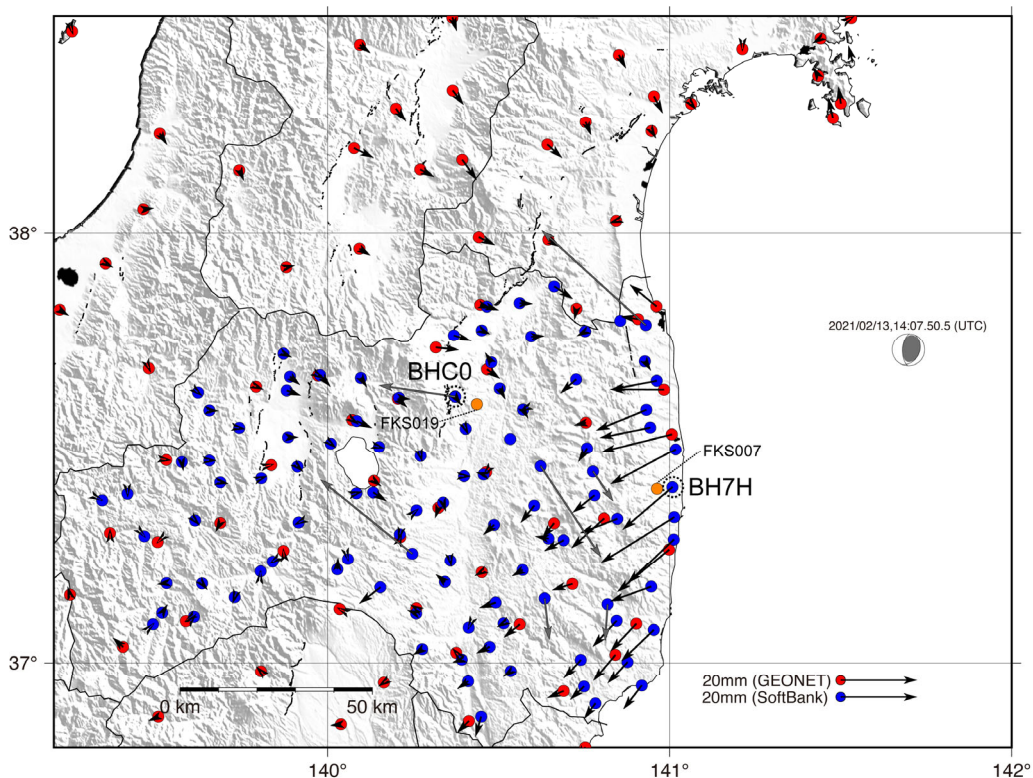


図 14. 2021 年 2 月 13 日福島沖地震の地震時水平変位分布。赤丸が GEONET、青丸が携帯電話事業者であるソフトバンクが運用する独自 GNSS 観測点をそれぞれ示す。(東北大学大学院理学研究科 [課題番号: THK_12])

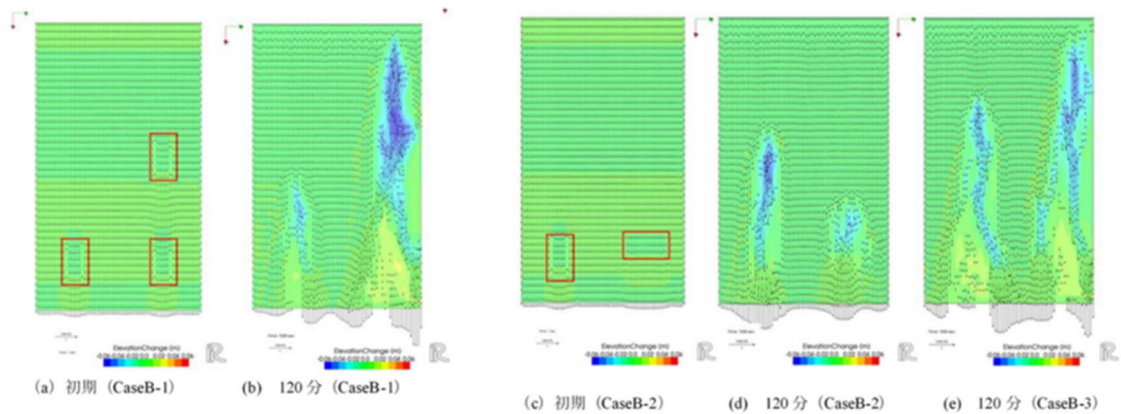


図 15. 初期クラスト破壊領域(赤枠)と 120 分後の斜面変動量および水深平均流速。(数値解析、単位:m) (京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI12])

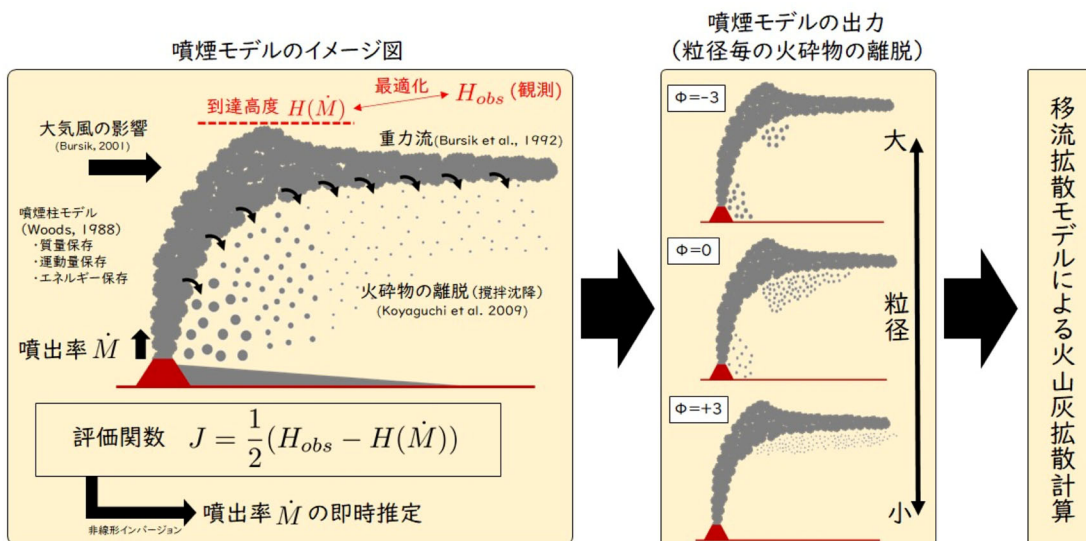


図 6 : 新しい噴煙モデル (NIKS-1D) の開発
近年の研究成果を取り入れた次元噴煙モデルを開発中。
現業的に利用するために、即時的に噴煙の到達高度を同化する。
噴煙から離脱した火砕物を計算し移流拡散モデルの入力とする。

【NIKS: Nishijo-Ishii-Koyaguchi-Suzuki】
石井憲介・西條 祥・小屋口剛博. 気象庁の火山灰
予測業務で用いる次元噴煙モデルの開発.
日本火山学会2021年度秋季大会, A3-11.

図 16. 火山灰データ同化・予測システムにおいて、噴火直後の JMA-ATM の初期値を作成するための噴煙モデルに関して、各種保存則や大気との相互作用を考慮した新たな噴煙モデル (NIKS-1D) の作成と実事例実験のフロー。(気象庁 [課題番号: JMA_07])

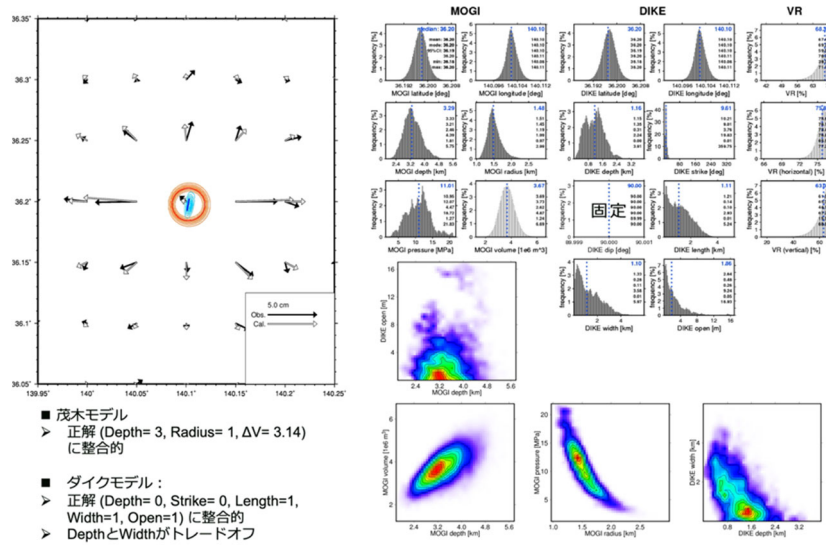


図 17. THK_12 の課題で開発した RUNE (Ohno et al., 2021) を改変して活用した球状圧力源およびダイクの同時推定の例。(北海道大学 [課題番号: HKD_06])

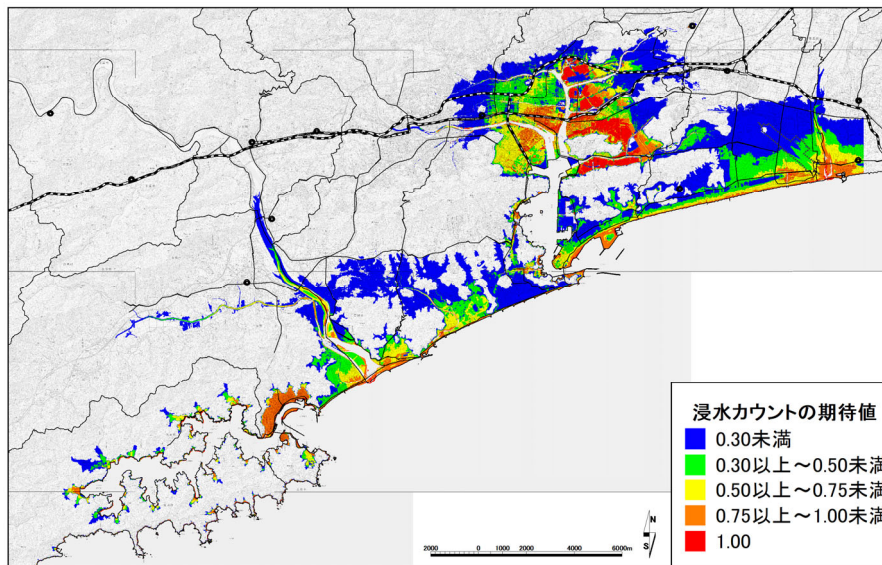


図 18. 紀伊半島より東側全体が破壊し、それ以外が割れ残った場合の後発地震による高知市周辺の浸水確率マップの例。(東北大学災害科学国際研究所 [課題番号: IRID04])