

## 東京大学地震研究所・京都大学防災研究所拠点間連携共同研究 —2020年度の成果—

Core-to-Core Collaborative Research between Earthquake Research Institute, the University of Tokyo  
and Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University  
- Achievements for FY2020 -

松島信一・加藤尚之<sup>(1)</sup>

Shinichi MATSUSHIMA and Naoyuki KATO<sup>(1)</sup>

(1) 東京大学地震研究所

(1) Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, Japan

### Synopsis

The results of the Core-to-Core Collaborative Research between Earthquake Research Institute, the University of Tokyo and Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University in the fiscal year of 2020 is summarized. Two types of research proposals were accepted, key promotion research and general type research, and for the key promotion research there were one comprehensive study and three specific type studies. A total of 24 research projects were conducted within this core-to-core collaborative research.

**キーワード:** 拠点間連携共同研究, 重点推進研究, 一般課題型研究

**Keywords:** Core-to-Core collaborative research, Key promotion research, General type research

### 1. はじめに

平成26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」(建議)は、それまでの地震や火山噴火の発生予測の実現を重点においた方針から、これらの発生予測のための研究を継続しつつも、地震や火山噴火による災害をもたらす誘因の予測研究も組織的・体系的に進める方針に転換された。そのため、地震学や火山学を中核としつつも、災害や防災に関連する理学、工学、人文・社会科学などの分野の研究者が参加して、協働して推進することになった。

平成26年度より前の建議に基づく観測研究計画では、自然現象である地震発生や火山噴火現象の理解に基づきそれらの科学的な予測を目指すという考え方から、「地震・火山科学の共同利用・共同研究拠点」

である東京大学地震研究所が中核となって計画を推進してきた。しかし、災害や防災に関連する研究者と協働して計画を推進するためには、東京大学地震研究所と「自然災害に関する総合防災学の共同利用・共同研究拠点」である京都大学防災研究所とが連携して、計画を進めることが有効であることから、両研究所が協働し、それぞれの分野の共同利用・共同研究拠点として連携して共同研究を進めることとなった。これを、東京大学地震研究所・京都大学防災研究所拠点間連携共同研究(以下、拠点間連携共同研究)と呼ぶ(Matsushima, 2020)。具体的には、両拠点の研究者が中核となって建議に沿った大テーマを決め、それを実現するための研究について全国の研究者からの提案を募集して全国規模の共同研究を進める「重点推進研究」と両拠点の関連が深い地震火山研究コミュニティと自然災害研究コミュニティの

2つの学術コミュニティに呼びかけ、建議の主旨を踏まえたボトムアップ研究を公募する「一般課題型研究」を実施している。

令和2年度は、Table 1に示すように重点推進研究が13課題、一般課題型研究が12課題（新規5課題、2019年度からの継続課題6課題および研究期間延長課題1課題）の計25課題が東京大学地震研究所・京都大学防災研究所拠点間連携共同研究委員会の審査を経て採択された。

## 2. 重点推進研究

本章では、拠点間連携共同研究のうち、重点推進研究の成果を示す。

## 2.1 総括研究

総括研究〔課題番号：CTOC01・2020-K-1-1〕は「巨大地震のリスク評価の不確実性に関するパラダイム構築の推進」と題し、2019年度に引き続き、(1)震源過程、(2)伝播・深部地盤構造、(3)強震動予測、(4)浅部地盤構造、(5)構造物被害予測、(6)リスク評価の研究グループに分かれ、それぞれの分野におけるリスク評価の不確かさの要因についての検討を進めるとともに、これらの知見を統合するための(7)プラットフォーム構築グループ、(8)ステークホルダの参画に関する研究グループおよび(9)大規模計算のためのコンピュータサイエンスグループの9グループで実施した。

Table 1 Research project titles and project leaders

| 課題番号   |              | 課題種別  |              | 研究代表者 |                   | 研究課題名                                                                                                                                                                 |
|--------|--------------|-------|--------------|-------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 東大     | 京大           |       |              | 氏名    | 所属                |                                                                                                                                                                       |
| CTOC01 | 2020-K-1-1   | 重点推進  | 総括研究         | 宮澤理稔  | 京都大学防災研究所         | 南海トラフ巨大地震の震源像と短周期波動伝播特性における研究                                                                                                                                         |
|        |              |       |              | 上田 恭平 | 京都大学防災研究所         | 地盤物性の不確実性を考慮した巨大地震時の地盤災害リスク評価                                                                                                                                         |
|        |              |       |              | 牧 紀男  | 京都大学防災研究所         | シナリオ・手法の組み合わせにより変化する災害リスクの理解支援システムの開発・拡大                                                                                                                              |
|        |              |       |              | 楠 浩一  | 東京大学地震研究所         | 実験・観測データベースを用いた被害評価の精緻化                                                                                                                                               |
|        |              |       |              | 松島信一  | 京都大学防災研究所         | 系統的な地震リスク評価プラットフォームの高度化                                                                                                                                               |
|        |              |       |              | 飯高 隆  | 東京大学地震研究所         | 巨大地震のリスク評価にむけた地殻構造の影響および強震動評価とその高度化                                                                                                                                   |
|        |              |       |              | 市村 強  | 東京大学地震研究所         | 巨大地震リスク評価のための計算科学・計算機科学的な観点からの検討                                                                                                                                      |
|        |              |       |              | 望月公廣  | 東京大学地震研究所         | 南海トラフにおける人工震源構造調査と自然地震観測から求められる地殻内地震波速度・減衰構造の統合的編集と精度の検討                                                                                                              |
| CTOC02 | 2020-K-1-2-1 | 重点推進  | 特定型<br>(その2) | 牧 紀男  | 東京大学地震研究所         | シナリオ・手法の組み合わせにより変化する災害リスクの理解支援システムの開発・拡大                                                                                                                              |
| CTOC03 | 2020-K-1-2-2 | 重点推進  | 特定型<br>(その3) | 望月公廣  | 東京大学地震研究所         | 定常的地震活動の震源および地震波速度構造の精度向上による地震波動場推定の高度化                                                                                                                               |
|        |              |       |              | 川瀬 博  | 京都大学防災研究所         | スペクトル分離手法による海域の伝播経路特性と観測点サイト特性の把握                                                                                                                                     |
|        |              |       |              | 中島 淳一 | 東京工業大学理学院         | 西南日本の海陸境界部における地震波減衰構造の推定                                                                                                                                              |
| CTOC04 | 2019-K-01    | 一般課題型 | 継続           | 佐竹健治  | 東京大学地震研究所         | 不均質な断層すべり分布を考慮した津波の確率論的予測と不確実性の評価                                                                                                                                     |
| CTOC05 | 2019-K-02    | 一般課題型 | 継続           | 川瀬 博  | 京都大学防災研究所         | 強震観測点におけるサイト特性評価手法の開発に関する多国間共同研究Multi-national joint-research on the development of the evaluation scheme for site characteristics at strong motion observation sites |
| CTOC07 | 2019-K-04    | 一般課題型 | 継続           | 山中浩明  | 東京工業大学環境・社会理工学院   | 強震動のブラインド予測のための共用地盤モデルの構築に関する研究                                                                                                                                       |
| CTOC08 | 2019-K-05    | 一般課題型 | 継続           | 渦岡良介  | 京都大学防災研究所         | 火山砕屑物からなる斜面の崩壊に対する地震とその前後の降雨の影響評価                                                                                                                                     |
| CTOC09 | 2019-K-06    | 一般課題型 | 継続           | 松島信一  | 京都大学防災研究所         | 活断層における地殻変動に伴う盆地形成過程から推定される盆地端部での基盤構造を考慮した地震動増幅特性に関する研究                                                                                                               |
| CTOC10 | 2019-K-07    | 一般課題型 | 継続           | 倉田真宏  | 京都大学防災研究所         | 建物の応答を考慮した高精度地震情報配信手法の開発                                                                                                                                              |
| CTOC12 | 2019-K-12    | 一般課題型 | 繰越           | 秦 康範  | 山梨大学大学院総合研究部工学域   | 訪日外国人旅行者に対する地震・火山に関する情報提供と風評被害対策に関する事例分析ー2018年胆振東部地震、2018年大阪府北部地震、2018年草津白根噴火、2015年箱根山噴火を対象としてー                                                                       |
| CTOC14 | 2020-K-1-2-4 | 重点推進  | 特定型<br>(その4) | 齊藤隆志  | 京都大学防災研究所         | 巨大地震による斜面災害発生個所の事前予測方法の検討                                                                                                                                             |
| CTOC15 | 2020-K-01    | 一般課題型 | 新規           | 松四雄樹  | 京都大学防災研究所         | テフラ堆積域における地震動に伴う斜面崩壊の発生場と規模の予測                                                                                                                                        |
| CTOC16 | 2020-K-02    | 一般課題型 | 新規           | 大西正光  | 京都大学防災研究所         | 桜島大規模火山噴火を対象とした事前避難を実現するためのリスクコミュニケーション方法に関する実践的研究                                                                                                                    |
| CTOC17 | 2020-K-03    | 一般課題型 | 新規           | 岡田成幸  | 北海道大学広域複合災害研究センター | 地震発生の切迫性を伝える災害情報モデルとシナリオの構築～北海道胆振東部地震からみえた新たな課題としての複合連鎖問題の解釈を通して～                                                                                                     |
| CTOC18 | 2020-K-04    | 一般課題型 | 新規           | 浅井光輝  | 九州大学大学院工学研究院      | 地震シナリオの不確実性を考慮した津波被害の確率論的評価                                                                                                                                           |
| CTOC19 | 2020-K-05    | 一般課題型 | 新規           | 蝦名裕一  | 東北大学災害科学国際研究所     | 文化財等の所在情報と災害情報の重ね合わせによる文化財等災害予測マップの構築と活用                                                                                                                              |

震源過程および強震動予測について、プレートの沈み込み帯で発生するプレート間大地震・巨大地震に伴う強震動の距離減衰の特徴を調べるために、2003年十勝沖地震、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の防災科学技術研究所のK-NET、KiK-netで観測された強震動を解析した。浅部地盤構造の影響を表層30mの時間平均S波速度であるVs30により補正したほか、地震ハザード評価の側面から震源に近い前弧側の記録のみを用いた。この様にして求めたPGA及びPGVに対し、強震動生成域のMwとそこからの距離とを用いて予測するモデル式を作製した（Fig. 1）（宮澤・他, 2020）。また、距離減衰式の高度化に向けて、周期ごとの応答スペクトルを考慮した解析の必要性や最大変位や永久変位など問題となるテーマについて議論した。

深部地盤および伝播経路については、DONET観測点の2点以上でP/S波検出値がある地震のうち、紀伊半島南東沖で実施された構造調査測線周囲の地震635個について、JMAによるDONETの検出値のみを用いて、震源の再決定を行った。この時、それぞれのDONET観測点における地震波速度構造は、南海トラフ沿いで実施された構造調査をもとに構築されたP波速度構造を参照した。さらに、堆積層による地震波到達時間の遅れについて各観測点での観測点補正値を求め、震源決定解析に適用した。解析結果として611個の地震について、震源が再決定された。これらの震源は、JMAカタログ震源よりも全体的に～10 km程度浅く、特にM6.5の地震はプレート境界付近にもとまった。

浅部地盤構造に関しては、地盤物性の不確実性を考慮した地盤災害リスク評価のため、中空ねじりせん断試験機を用いて液化化特性に関するばらつきの検討を行った（Fig. 2）。土の相対密度やせん断応力比といった定量化が可能な指標の影響に加え、実験者の違いといった定量化が難しい指標の影響についても分析した。

構造物被害予測のために、建物の被害状況早期把握のため、現行の応急危険度判定手法の制定の経緯について調査するとともに、衛星画像利用の有効性、加速度記録を用いた即時判定の有効性について確認を行った。また、これまでの鉄筋コンクリート部材の実験データベースを用いて、柱・梁・耐震壁について、損傷の生じ始める降伏点変形の推定方法とその精度について検討を行った。

リスク評価については、リスク分析および被害分析に必要なエクスポージャに関する情報に対して、UAV空撮を用いて高精度かつ半自動的に収集・整理する手法に関する基本的な検討を行なった。具体的には、広域UAV空撮画像から点群データを生成

し、生成された点群データを処理することで、地域内の個々の建物に対して建物高さや平面などの基本的なパラメータを実用的な精度で推定可能であることを明らかにした。一方、1m-LiDAR DEMを用い特徴的な地物を認識可能な図を作成した。地震前後の二枚の図で特徴的な地物の追跡を行い、広い範囲で地表の移動方向と変位の大きさを示すことで、地震断層と考えられる地表変位と地震で変位した地すべり土塊の検出が可能となった（齊藤, 2021a；齊藤, 2021b）。

プラットフォーム構築としては、地震時の総合的な影響評価にむけて、過去の南海トラフ巨大地震での建物被害と現在の地震リスク評価手法により推定される建物被害を比較することで、震源域から山陰地方にかけての地域の減衰特性が過大評価されていることを示した。また、地震リスク評価の応用としてライフライン（水道管）のリスク評価を行うための被害関数について、2016年熊本地震における被害データをもとに検討した（Fig. 3）（Gehl *et al.*, 2020；松島・Gehl, 2021）。

コンピュータサイエンスでは、開発をすすめてきた低次有限要素を用いた解析コードを拡張し、また、GPUへの実装を行うことで、従来よりもさらに高速な地盤増幅解析を実現した。また、本解析手法と最適化過程を学習する人工知能を組み合わせることで高速な地盤内部構造推定のための手法を開発した。

ステークホルダ参画については、災害リスク評価結果は想定シナリオ・手法により変化するため、防災計画を策定する場合には、災害リスク評価にばらつきが存在することを踏まえる必要がある。大阪府、高知県において、震源モデルの違い、工学的基盤での地震動のばらつき、表層地盤における増幅特性のばらつき、を考慮した組み合わせによる計算を表示するシステムの開発を継続して行い、地方自治体のハザード評価結果との比較を行えるようにした。

## 2.2 特定型（その1）

「ばらつきのある被害リスク評価をふまえた防災計画の検討〔課題番号：CTOC02・2020-K-1-2-1〕」においては、災害リスク評価のばらつきを理解することが重要であり、計画の目的に応じて適切な災害リスク評価結果を選択することが重要となることを踏まえて研究を進めた。ばらつきのある被害リスク評価を防災計画に災害リスク評価結果は想定シナリオ・手法により変化する。したがって、防災計画を策定する場合には、災害リスク評価にばらつきが存在することを踏まえる必要がある。そのためには、災害リスク評価のばらつきを理解することが重要であり、計画の目的に応じて適切な災害リスク評価結

果を選択することが重要となる。昨年度開発したシナリオ・手法の組み合わせにより変化する災害シナリオ評価結果を適切に理解することが可能なシステムの改良・対象地域の拡大を行った。Fig. 4に地震動推定のばらつきの推定の方法、Fig. 5に高知県での試行結果を示している。Fig. 5では行政の評価結果が、様々な地震動推定の中で大き目に評価している場合は赤系、小さ目に評価している場合は青系で示しているが、目的に応じて、逆（大き目が青、小さ目が赤）の表示も可能となっている。行政の地震動推定結果が、提案されている様々な地震動の中の位置づけを示している。20%以下（小さ目に評価）に位置する場合は青、80%以上（大き目に評価）に位置する場合は赤にしている。

## 2.3 特定型（その2）

「定常的地震活動の震源および地震波速度構造の精度向上による地震波動場推定の高度化[課題番号：CTOC03・2020-K-1-2-2]」では、2020年度は気象庁一元化震源カタログにある紀伊半島南島沖で実施された構造調査測線の周囲140 km四方で発生した地震のうち、DONET観測点2点以上でP/S波検測値がある地震を抽出し、DONETの検測値のみを用いて震源の再決定を行った。この時、それぞれのDONET観測点における地震波速度構造は、南海トラフ沿いで実施された構造調査をもとに構築された既往のP波速度構造を参照して決定した。S波速度構造はP波速度を参照して決定するとともに、堆積層中の極端に遅いS波速度については、S波到達時間に補正を施す観測点補正值を求め、震源決定解析に適用することとした。解析結果として611個の地震の震源を再決定した。これらの震源はJMAカタログ震源よりも全体的に～10 km程度浅くもとまっている。例えば2016年4月1日に発生した三重県南島沖のM6.5の地震については、他の詳しい解析から求められている深さ（例えば地震調査委員会資料）と整合的である。一方で、DONET観測点の検測値が3点以下の地震については、再決定された地震の分布にもばらつきが認められるため、より限定した領域の地震についての解析が必要と考えられる。南海トラフ沿い海域下の地震については、プレート境界付近の海洋性地殻内と海洋性マントル最上部の2グループがあることが知られている。モホ面を挟んで、陸域で観測される地震動の大きさに大きな違いがあることが報告されている。本研究で再決定された震源（Fig. 6a）は、JMAカタログ震源（Fig. 6b）よりも全体的に浅く求まった。特にM6.5の地震はプレート境界付近に求まり、陸域での震動の評価には重要である。

## 2.4 特定型（その4）

「巨大地震による斜面災害発生個所の事前予測方法の検討[CTOC14・2020-K-1-2-4]」では、不安定土塊の存在位置を検出する方法として、詳細数値地図情報（1m LiDAR-DEM）を用い、地形を視覚的に理解しやすく示す方法を開発した。この手法を用い、既往の地震による土砂災害事例から、地震前と地震後の地形変化を比較し、不安定土塊として危険度の高い部分を抽出する方法を得た。それは、既往の侵食や崩壊が起こっておらず、斜面の下部からの侵食や道路建設などの人工改変による切り取りで、その上部斜面を支持物質が存在していない部分であることが判明してきている。この地形の視覚化手法を用い、2016年熊本地震と2018年北海道胆振東部地震の前後比較を詳細に実施することによって、地震による崩壊発生の力学的モデルを提案する。

京都大学火山研究センター周辺で発生したいくつかの斜面崩壊・地すべりを事例として、2016年熊本地震の前後に得られた1m-LiDAR DEMを用いて、土砂移動発生箇所の地形的特徴と断層運動による地表の卓越振動方向の関係、斜面崩壊・地すべりの発生した箇所と隣接する発生しなかった箇所の斜面縦断形状を現象の前後で比較した。

重要な結果として、地表の卓越振動方向と発生箇所の斜面方向は、北北西―南南東とほぼ一致していた。また、崩壊が発生した箇所、斜面には、斜面下方に崖・段差などの上部斜面を支持する構造がなく、斜面上方にはいわゆる潜在不安定土層が存在していた。

熊本地震で得られた知見をもとに、2018年北海道胆振東部地震の前（5mDEM）と後（1m-LiDAR DEM）の比較をおこなった。震源が深く、地表の卓越振動方向と崩壊が発生した箇所に明瞭な方向の卓越性は認められなかったが、斜面崩壊・地すべりの発生した箇所には、熊本地震の結果で得られた地形的特徴が認められた。

これらの事例比較に用いた詳細数値地図情報（1m LiDAR-DEM）を用い、地形を視覚的に理解しやすく示す図（土砂災害予測基本図：Fig. 7）は、潜在崩壊土層を検出することにも有効であることも確認された。地震前後の図（土砂災害予測基本図）を用いて、PIV（Particle Image Velocimetry）を用いて、地表面に出現した地表変位を追跡する解析をおこなった。その結果、断層運動の周辺の地表の移動方向を2次元で、方向と大きさを図示することが可能となった（Fig. 8）。また、これまで認識されなかった地すべり性の移動土塊の検出が可能となった。（齊藤, 2021a；齊藤, 2021b）

### 3. 一般課題型研究

地震・火山噴火という自然現象が引き起こす地震動、津波、火山噴出物、斜面崩壊などの災害誘因が、自然や社会に潜在的に存在する脆弱性などの災害素因に働きかけ、これらの誘因と素因の組み合わせと相互作用の状態に応じて様々な規模の災害が発生する。そのため災害誘因予測の高度化は、災害の軽減に結びつく有効な手段の一つである。このような視点から、一般課題型研究では、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の研究」、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の研究」、災害誘因予測を防災対策の推進に効果的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」に関連する研究を公募した。

#### 3.1 地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化の研究

##### (1) 不均質な断層すべり分布を考慮した津波の確率論的予測と不確実性の評価 [CTOC04・2019-K-01]

東大地震研の佐竹グループと京大防災研の森グループが定期的（年3回程度）にワークショップを開催し、確定論的な津波解析結果と確率論的な予測手法に関する情報を交換し、確率論的な手法の高度化に向けた共同研究を行うことを目的とした。世界のM9クラスの超巨大地震についての研究成果に基づく確率論的な津波高の推定手法を南海トラフの地震に適用する。引き続き拠点間連携の重点推進研究に反映するための、津波評価技術開発と予測計算の準備を行う。

2020年度は2020年9月24日にオンラインで、両グループの合同セミナーを行った。東大関係者、京大防災研関係者それぞれ4名ずつ、合計8名が研究内容を発表し、情報交換を行った。発表者と内容は以下の通り。

1. Tsunami kernels and their applications (Takenori Shimozono, UTCivil)
2. Tsunami Resonance Characterization in Japan due to Transpacific sources: Response on the Bay and Continental Shelf (Yuchen Wang, ERI)
3. Tsunami Ray Tracing Method and Analyses of Bathymetry Effect off Honshu, Japan (Tungcheng Ho, DPRI)
4. Mechanism of unexpected tsunamis caused by

peculiar volcanic earthquake at submarine calderas (Osamu Sandanbata, NIED)

5. Application of an Adaptive Mesh Refinement Method to tsunami simulations (Takuya Miyahsita, DPRI)
6. Regional probabilistic tsunami hazard assessment associated with active faults along the eastern margin of the Sea of Japan (Iyan Mulia, ERI)
7. Physical and Numerical Modeling of Tsunami Inundation In Coastal Urban Area (Nobuki Fukui, DPRI)
8. Experimental study of debris motion using urban city model and its characteristics (Yu Chida, PARI)

2019年度に東大の佐竹グループから京大の森グループへ異動した何東政氏は、2018年インドネシア（スラウェシ）地震について、断層面上のすべりの不均質性や、そのモデルに基づくパル湾における津波の浸水についての論文を改訂・投稿した。また、津波の波線追跡の新手法を開発し、津波第1波や反射波の波線と海底地形との関係を明らかにした。その他、日本海における60断層について、断層面上のすべり分布の不均質性を考慮した7万通り以上のシナリオを想定し、日本海沿岸の約150の市町村ごとの確率論的な津波高さを計算した（Fig.9）。計算ステップごとに空間解像度や時間刻み幅が動的に変化する適合格子細分化法(AMR法)の数値モデルを用いて、南海トラフ沿いで発生する巨大地震を対象に津波計算を行い、その精度検証を進めた。AMR法の格子分割基準を変化させた感度分析を行い、精度を保ちつつ計算負荷を減少させる格子分割条件を求め、水深を閾値に格子解像度のレベルに上限を設けることで、計算に要する時間を有効に削減できることがわかった（Ho *et al.*, 2020 ; Ho, Watada *et al.*, 2021a ; Ho, Watada *et al.*, 2021b ; Ho, Satake *et al.*, 2021 ; Mulia *et al.*, 2020 ; Miyashita *et al.*, 2020 ; Goda *et al.*, 2020 ; 宮下・他, 2020 ; 千田・他, 2020 ; 福井・他, 2020）。

##### (2) 強震観測点におけるサイト特性評価手法の開発に関する多国間共同研究 [CTOC05・2019-K-02]

多国間の国際共同研究を計画していたが、コロナ禍により海外から共同研究者を招聘することも当方から先方に渡航することもかなわず、我が国で開催を予定していたESG6国際シンポジウムも延期を余儀なくされたので、メールによる打ち合わせで共著論文を執筆し、またウェブ開催の国際会議に投稿・参加することで研究成果の公表を推進した。

フランスとの共同研究ではグルノーブル盆地に地震動の水平上下比EHVRを用いた逆算手法と微動の水平上下比MHVRを用いるEMR法を適用してその地下構造を明らかにし、さらにそれが既存の方法で得

られていた盆地の速度構造とどのような関係にあるかについて詳細な解析を加えた。その結果、得られた速度構造は、それまで推定されていたように、深さ数100mから1km程度のところに存在する地質学的境界で直ちに地震基盤のS波速度(>3km/s)になるのではなく、そこから速度が漸増し、地質境界の平均的に2.5倍の深さのところで地震基盤に達するという速度構造であることが明らかとなった。地質境界はS波速度1.3km/s以上となる深さZ1.3に相当し、Z1.3の空間分布が地質境界の深さ分布に対応することを明らかにした。

イタリアとの共同研究では、先方の研究者がコロナ禍により、地震計観測網のメンテナンス作業に専念する必要が生じ、共同研究に関するアマトリーチェ地域の速度構造同定の研究については大きな進展が得られなかった。

米国との共同研究では南カリフォルニアにおける強震観測点のデータ解析を進め、我が国と同様な方法により、地震基盤から上の速度構造が得られることを複数地点で確認することができた。特にインペリアルバレーの周期8秒に達する長周期域の水平上下スペクトル比に見られる顕著なピークはその地震基盤深さが5km以上であることを示しており、盆地全体の構造を明らかにするのに、強震観測点の長周期域の水平上下スペクトル比が極めて有効であることを示した。それに対して微動の長周期域の水平上下スペクトル比は地震動のそれとは振幅が一致しておらず、計測システムに課題がある可能性が指摘された。これについては日本側研究者が現地に行って通常のシステムで計測する以外にその妥当性を確認するすべがなく、コロナ禍の落ち着くのを待って現地計測に再度チャレンジする予定である(Nagashima *et al.*, 2020 ; Kawase *et al.*, 2020 ; Ito *et al.*, 2020 ; Kawase *et al.*, 2020 ; Ito *et al.*, 2021)。

### (3) 強震動のブラインド予測のための共用地盤モデルの構築に関する研究[CTOC07・2019-K-04]

ESG6の強震動のブラインド予測のために、既往の地下構造情報および現地調査の結果から、熊本テストサイトの1次元共用地盤モデルの最終案を作成した。地震動のブラインド予測のBP1の地盤モデルの推定の終了後に、この1次元共用地盤モデルがブラインド予測参加者に提供され、BP2および3で使用できることとなった。

また、熊本テストサイト周辺では、既存の強震観測点が多く、テストサイトの地震動の空間的広がりなどを検討することが難しいことを考慮して、テストサイト周辺で臨時地震観測を行った。Fig. 10に示すように、テストサイトは、熊本平野西部のJR貨

物熊本駅付近の強震観測点であり、その周辺の200m程度の狭い範囲の20地点に強震計を設置した。ESG6のブラインド予測のテストサイトは、臨時観測の観測点16の近傍にある。臨時観測点の多く(観測点1~11)は、北東-南西方向に並んでいる。観測点数は少ないが、直交する方向にも観測点(観測点14~21)を配置した。また、ブラインド予測での岩盤サイトの観測点である金峰山のSEVO地点(九州大学地震火山観測研究センターの熊本地震観測点)でも臨時強震観測を行った。さらに、Fig. 11に示すテストサイト近傍の3階建てのRC建造物の各階にも地震計を設置した。観測は、2020年3月から9月までの約半年間、継続された。

臨時観測の記録のなかで最も震源距離が長い薩摩半島西方沖の地震(2020年5月3日20時54分、深さ10km、M6.2)の南北方向の加速度記録をFig. 12に示す。左図は、広帯域(周期0.1~10秒)の加速度波形であり、岩盤サイトのSEVOを除いて、各地点の波形はよく類似している。周期5~10秒の長周期帯域では、位相まで含めて、各地点の波形はよく一致している。SEVOの波形も他の地点との差異が少なくなっている。一方、周期0.1~1秒の短周期成分では、波形は似ているが、振幅は地点ごとに異なっている。テストサイト近傍の観測点16に対する各点の水平成分のフーリエスペクトルの比をFig. 13に示す。スペクトルの算出には、水平2成分の相乗平均を用い、スペクトル比は、33地震の記録を平均した値である。スペクトル比は、周期0.5秒以上の帯域では、ほぼ1倍であり、この周期帯域の地震動特性は、テストサイト周辺でほぼ同様であると考えられる。一方、周期0.5秒以下では、スペクトル比の変動が大きくなり、各観測点は、テストサイトの地震動特性と異なる特性を持っている。とくに、周期0.3秒付近では1倍を下回る地点が多く、周期0.2秒付近では1倍を超える地点が多い。テストサイト周辺200m程度の範囲では、地震動の特性はほぼ同じであると考えられる。テストサイト周辺では、周期0.3秒以下に影響を与える極表層部を除いて地盤構造に大きな変化はなく、1次元速度構造モデルの仮定が成り立ち、地下構造の不整形性の影響が小さいことを示唆している。各観測点では、簡易な表面波探査も実施しており、今後、それらのデータも併せて各地点の極表層地盤の影響を評価する(山中・他, 2021)。

なお、コロナ禍のためにESG6の開催が2021年3月から同年8月に延期になり、ESG6での議論を通じて行う予定であった地盤モデルの共用化のための研究者間の合意形成に関する検討を実施することができなかった。

「火山砕屑物からなる斜面の崩壊に対する地震と

その前後の降雨の影響評価[CTOC08]」では、京都大学防災研究所の遠心力載荷装置を用い、年度当初の計画通り模型実験を行った。計画では火山性碎屑物を使用する予定であったが、入手が容易であったマサ土を利用した。加振の有無、降雨量を変化させた遠心模型実験の結果、以下のことが明らかとなった。斜面の密度や含水比を調整することで加振により斜面にクラックを発生させることができた。その後の降雨では、加振の有無によって斜面の変状形態が異なる結果となり、加振ありのケースでは加振で発生したクラックを起点とした破壊が進行した (Fig. 14)。この結果は、地震後の降雨といった複合外力に対する斜面の安定性評価手法の高度化に寄与するものであるが、定量的な評価には至っていない。今後、数値解析も併用して地震後の降雨がクリティカルとなる条件を明らかにする必要がある (Xu *et al.*, 2021)。

#### (4) 活断層における地殻変動に伴う盆地形成過程から推定される盆地端部での基盤構造を考慮した地震動増幅特性に関する研究 [CTOC09・2019-K-06]

2019年度に邑知潟平野南西部で実施した研究に引き続き、北東部の深い地盤構造を推定するため、Fig. 15に示す地点において常時微動単点観測を行い、1地点で常時微動アレイ観測を行った。アレイ半径はLL:135m, L:45m, M:15m, S:5m, SS:1.5m, SSS:0.5mの6サイズとし、LL, Lは60分, M, Sは30分, SS, SSSは15分の同時観測とした。また、盆地を横切る方向に測線1, 2, 3の3測線を、盆地に沿う方向に測線4の1測線を設定し、計32地点で常時微動単点観測を行った。各単点観測点で独立して30分の観測を行った。

単点観測点での解析は以下の手順で行った。まず、観測によって得られた30分間分の加速度時刻歴データを50%オーバーラップさせ、40.96秒の小区間に切り出す。次に、切り出した各小区間でNS, EW, UD成分のフーリエスペクトルを計算し、NS/UD, EW/UDのフーリエスペクトル比 (MHVR) を算出する。このようにして算出された小区間ごとのスペクトル比の平均をMHVRとした (Fig. 16)。ただし、ノイズの影響を取り除くため、ノイズの大きい区間を30%除外した。

各地点でのMHVRの1次ピーク振動数を読み取り、その分布を調べた (Fig. 17)。ただし、ピークが不明瞭な点については無理に読み取っていない。Fig. 17(a)~(d)を見ると、1-3~1-4, 2-2~2-3, 3-2~3-3で1次ピーク振動数が急激に変化しており、周辺に盆地と山の境界が存在すると予想される。また、1-4から1-10, 2-4から2-8に向かうにつれて1次ピーク振動数が徐々に小さくなり、測線1, 測線2は南東に向かうにつれて地下構造が深くなることが分かる。さらに、

測線4では4-6にむかうにつれて1次ピーク振動数が徐々に小さくなり、北東に向かうほど地下構造が深くなると推測される (中山・松島, 2021)。

#### (5) テフラ堆積域における地震動に伴う斜面崩壊の発生場と規模の予測 [CTOC15・2020-K-01]

社会状況の変化によりフィールド調査の実施における制約等が生じた。多人数が参加しての調査計画を見直し、少人数・少数機関・限定期間での調査に切り替え、分析やデータ解析・モデリングに重点を置いて進めることで、内容的にはおおむね計画通りに研究を前進させることができた。

テフラの給源火山の噴火史に基づき、山地の斜面におけるテフラの供給と再堆積のシミュレーションを行うプログラムを開発し、火山学的に復元されたアイソバックマップに基づくテフラの降下供給量の空間分布を入力として、地形に依存したテフラの二次移動を計算した。本年度は胆振東部地震での発災地を対象に、地形条件の異なる多数地点で鉛直試孔の断面記載により実際のテフラ堆積量を測定してモデルの精度と確度の検証を行った。気候条件や過去の気候変動の履歴がテフラの再移動に与えた影響も考察でき、適切なパラメータを付与するうえで有益な情報を得ることができた。

テフラのもつ水理・力学的な物性についても、降下堆積以降の風化作用による透水性の減少や保水性の増大、あるいはせん断強度の低下といった斜面災害に関連する特性の定量的なデータを充実させることができた。また、定置後数千年程度の長い時間スケールでの、元素の溶脱やガラス基質の水和と粘土鉱物の沈殿といった化学・鉱物組成の変化が、どのような機構によって進行するのかについて詳細な検討を行った。間隙水圧計と土壌水分計を用いた稠密水文観測およびX線蛍光分析とX線回折分析による化学・鉱物分析によって、テフラ累層中での長期間にわたる間隙水の不均質な透過とそれに伴う風化変質を追跡した。また、降水浸透とともに供給され粘土鉱物に吸着蓄積する大気由来の宇宙線生成核種<sup>10</sup>Beの加速器質量分析を行うことで、テフラの強度低下をもたらす粘土化の進行過程を検討した。軽石を母材とするハロイサイトが、テフラ累層中に偏在することで、将来的にすべり面となりうる水理・力学的な不連続面を生じさせることが明らかとなった。

現在は、テフラの空間的な累積を再現するモデルと、累層中での不均質な風化過程および物性変化を定量化するモデルをカップリングさせ、地形効果による震動増幅を考慮しつつ、任意地点におけるテフラの厚みとせん断強度にもとづき、斜面の崩壊に要する下限の水平加速度あるいは累積変位量を、地理

情報システム上で表示した革新的な地震時斜面崩壊感度地図 (Landslide susceptibility map) を提示すべく、モデリングを進めている。

#### (6) 地震シナリオの不確実性を考慮した津波被害の確率論的評価 [CTOC18・2020-K-04]

災害被害予測における不確実性の定量化への期待が高まってきている背景から、一般の自然災害による被害を低計算コストで確率論的に評価する枠組みを提案し、津波被害の確率評価に対して提案手法を適用することでその有用性を確認した。本研究で提示したサロゲートモデルを数値解析と組み合わせることで、計算資源を抑えながらも効率的に災害の確率論的評価が可能であることを示した (Fig. 18)。内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会の「断層パラメータ\_ケース03」14) に対応する津波を対象とした。これは紀伊半島沖から四国にかけて大すべり域を想定したケースである。解析対象地域である四国地方・淡路島周辺での解像度を上昇させるようにネスティングを行った。5点の観測点における最大波高を計測した。提案手法は特に高次モードに対する回帰式の精度を向上することで、高度化を図った。5点の観測点での最大波高を提案するサロゲートモデルで評価した。また、従来モデルにおいて問題視されてきた回帰式の選定などに関する問題をカーネルリッジ回帰 (KRR) を導入することで解決し、KRRを用いれば、より忠実度の高いサロゲートモデルの構築が可能であることを示した (出口・他, 2021)。

### 3.2 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化の研究

#### (1) 建物の応答を考慮した高精度地震情報配信手法の開発 [CTOC10・2019-K-07]

建築研究所から提供を受けた建物観測記録を用いて、地震時の建物応答の揺れ継続時間の定義を再検討し、予測式を構築した。また京都市内の病院施設への地震情報配信システムとして、データ通信専用のSIMカードを利用した方式を検討した (福澤・他, 2021; 池田・他, 2020; 福澤・他, 2020a; 福澤・他, 2020b)。得られた知見は次の通りである。

- A) 動的相互作用に振幅依存性があり、東北地方太平洋沖地震の本震では固有振動数は低下し、減衰が増加する傾向にあった (Fig. 19)。連成系 (SISO) の固有振動数は建物系 (SISO) よりも低く、モード減衰は連成系の方が高い傾向であった。ただし、その増減幅は建物によって異なっていた。本震では、地震動が大きくなると固有振動数が低下する現象が見られた。本震とその30分後の余震では、固有振動数が建物系と連成系でほぼ平行に推移しており、固有振動数の違いは時間に関係なく一

定を保つ傾向があった。

- B) 建物内の居住者に揺れ継続時間の情報を提供するための推定式を構築すべく、既往の提案式で用いられている95%のエネルギー継続時間ではなく、震度 $x$ 以上の継続時間、という閾値を定義に利用した。建物基礎と自由地盤で観測された揺れ継続時間を比較した結果、大きな違いはなかった。建物基礎の記録を自由地盤の記録と同等に取り扱った。建物頂部で観測された揺れ継続時間を予測する経験式 (地震のマグニチュード、震源距離、震源深さ、地盤情報、建物階数の関数) を作成した。Fig. 20に、自由地盤 (Yamada2021FF) と建物頂部 (Yamada2021Top) の2種類の揺れ継続時間予測式を示す。建物頂部の揺れ継続時間予測式は、建物階数を考慮した方が相関は良くなる。ただし、単純な経験式では建物の個性を十分には表現しきれず、統一的な経験式の限界も明らかとなった。

- C) 京都大学医学部附属病院で展開する地震観測網への高精度地震情報配信手法の適用を検討した。近隣地域の病院施設の情報配信や新たな観測点の設置方法について議論した結果、現地に記録収集サーバーを設けない形での観測方法を模索することとなった。具体的には、京都市左京区に位置する2病院から設置許可を得て、データ通信用SIMカードを用いて、Web上のレンタルサーバーに観測データを送信するシステムの構築を試みた。病院施設への立ち入りが制限されているため、今年度は防災研究所内で試運用するにとどめる。

### 3.3 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

- (1) 訪日外国人旅行者に対する地震・火山に関する情報提供と風評被害対策に関する事例分析 —2018年胆振東部地震、2018年大阪府北部地震、2018年草津白根噴火、2015年箱根山噴火を対象として— [CTOC12・2019-K-12]

2019年度に引き続き新型コロナの影響が継続しており、宿泊施設へのアンケート調査の実施が予定通りに実施できなかったため、令和三年3月に調査を実施することとした (秦, 2020)。

- (2) 桜島大規模火山噴火を対象とした事前避難を実現するためのリスクコミュニケーション方法に関する実践的研究 [CTOC16・2020-K-02]

桜島の大規模噴火によって生じる可能性がある市街地側への大量降灰災害に対して、大幅に被災影響を軽減できると考えられる市街地側住民の事前避難の実現を目指し、火山の予知・予測情報が適切な避

難へと結びつくような情報の作成を、ワークショップにおける専門家と住民との対話を通じて共創することを目的としている。最も重要な構成要素は、ワークショップ(WS)の実施と結果の分析であり、WSの構成、日程まで確定し準備を進めていた。しかし、新型コロナウイルス感染拡大に伴う1月からの京都府を含む非常事態宣言発出により、研究代表者及び分担者が市民と車座での話し合う形式を含むWSの実施が困難となった。ワークショップの前段階で、既に大量降灰に関する情報の見せ方に関するたたき台の案は、既に検討しているが、これらの情報が住民にどう受け取られるか、また一緒に情報を検討していく共創の過程は実現できておらず、来年度に繰り越して実施する予定である。

### (3) 地震発生の切迫性を伝える災害情報モデルとシナリオの構築～北海道胆振東部地震からみえた新たな課題としての複合連鎖問題の解釈を通して～ [CTOC17・2020-K-03]

想定地震に対し種々の被害推定手法で試算し実際の被害との乖離を解釈することで、将来的被害想定及び災害情報の在り方を検討することを目的とする。北海道防災会議が2011年3月に公表した「北海道の想定地震」のうち、胆振東部地震に最も近似したパラメータを持つものは「胆振東部地震断層帯南部(断層パラメータモデル30\_5)である。想定地震はM7.7(Mw7.2)であり、実際に起こった胆振東部地震はM6.7(Mw6.6)であり災害誘因として想定した1/30以下のエネルギー放出であったが、全道の震度分布(想定震度と計測震度比較)は相似性を有していた。震度値は想定地震が大きいものの、厚真・安平・むかわの被災3町についてはほぼ同等であったため、木造住家被害及び人的被害についてそれぞれの評価結果の比較を行った。さらに評価手法の精度に踏み込むため、胆振東部地震の計測震度を入力とした比較も行った。

比較したのは、想定手法の日本標準である内閣府の方法(南海トラフ巨大地震の被害推定方法)と北海道の住家耐震評点に配慮した北海道防災会議の方法、並びに人的被害については住家特性と室内散乱及び居住者の避難行動能力を考慮した岡田・他(2018)の3者である。

木造住家被害については、想定地震の入力が大きいためいずれも過大評価とはなっているが、内閣府の方法は全・半壊数共に被害実数の10倍以上の推定値を与えており、一方で北海道の住居特性を考慮した道防災会議の方法は実態に近い結果を与えており、被害評価において住家の地域特性に配慮する重要性が確認された。

人的被害については、死・重傷・軽傷の分類で数

値比較を行った。課題として浮上したのは負傷者の公表実数値の信頼性である。公表値は市町村が収集したデータを都道府県対策本部が集計したものであるが、市町村は負傷者については消防により救急搬送された患者数や当該地域の第3次救急病院等の患者数を集計するに止まることが多く、当該地域で発生した負傷者でも他市町村の病院で治療を受けた場合など見逃していることが多い。本調査では被災3町全世帯アンケート調査を実施しており、それによれば「重傷者無し」と公表している町の住民のなかにも、骨折で他市中央病院に入院したケースも数例確認している。負傷者に関しては公表値は全数捕捉したものではないことに注意する必要がある。被害想定に当たり、単に軽傷・重傷という分類で推計するのはあまり意味がない。救急病院搬送を必要とする重篤者(ISS $\geq$ 12.5あるいは16)を重傷とし、推計することに医療体制・防災を計画する上で有意な情報となる。この観点より、全世帯アンケートより胆振東部地震の被災町の負傷率をISSで推定し負傷程度を定義し直すことで、各種方法による推計値と比較した。その結果、従来からの建物被害との相関関係に重点を置いた人的被害評価法では、対策に十分な情報並びに精度が保証できないことを示し得た(篠田・他, 2020; 松岡・他, 2020; 岡田・他, 2020; 林・他, 2020; 岩崎・他, 2020)。

### (4) 「文化財等の所在情報と災害情報の重ね合わせによる文化財等災害予測マップの構築と活用 [CTOC19・2020-K-05]

2020年度は、都道府県の指定文化財、登録文化財、指定外の文化財約23000件について位置情報を入力した文化遺産災害情報マップを作成した。同時に、これらの公開にむけてeコミマップ版も作成した(Fig. 21)。

加えて、2021年2月13日に発生した福島沖を震源とする地震では、宮城県・福島県において震度6強を観測した事態をうけ、作成していた文化遺産災害情報マップに防災科学研究所クライシスレスポンスサイトで公開された推定震度分布や建物被害推定の情報を重ね合わせ、被災した文化遺産の可能性の高い場所を可視化した(Fig. 21, Fig. 22)。この情報を、東北大学災害科学国際研究所やNPO法人宮城歴史資料保全ネットワーク、ふくしま歴史資料保存ネットワークの歴史研究者と共有し、震度の大きかった宮城県山元町、蔵王町、福島県新地町、相馬市において文化遺産災害情報マップを活用した被災状況調査を実施した(Fig. 23)。一方、被害の大きかったと予想される福島県桑折町、国見町、郡山市などについて、文化遺産災害情報マップから被災の可能性のある文化遺産についてリストアップ作業を実施し、来

たるべき被災地調査に向けて情報を整理している状況である。

#### 4. これまでの課題と今後の展望

これまでの地震・火山観測研究計画では、地震や火山噴火の発生の予測を最大の目標とし、それにより地震や火山噴火による災害の軽減を目指してきたが、災害の軽減への貢献が限定的であることから、前計画では、地震・火山噴火災害をもたらす誘因の予測研究を新たに組織的・体系的に進める方針に転換した。そのため、地震学や火山学を中核としつつも、災害や防災に関連する理学、工学、人文・社会科学などの分野の研究者が参加して、協働して推進することになり、主に全国の工学、人文・社会科学の分野の研究者が拠点間連携共同研究を推進してきた。

拠点間連携共同研究の重点推進研究は、「巨大地震のリスク評価の不確実性に関するパラダイム構築の推進」を主要テーマとして推進し、総括研究において震源から被害予測及びそのステークホルダーまでの伝達までを一貫して行い、さらにその成果のフィードバックを行うことで、研究の方向性を議論している。また、総括型で出た課題などを特定型において掘り下げ、その成果を総括型にフィードバックするとともに、さらに総括型で新たに出た課題を特定型で掘り下げる、という循環により研究の高度化を目指している。

今後は、重点推進研究を進めることと並行して、一般課題型研究で提案されて来ている研究課題による成果や手法などを取り込む枠組みを構築することで、災害の軽減に貢献するための研究を継続して行う。そのためには、実際に被害を受ける構造物や社会システムに直接携わっている工学、人文・社会科学の分野が理学分野の成果を咀嚼して活用出来るような体制を整える必要がある。つまり、観測計画において、これまでの理学的な観測網の維持だけではなく、工学、人文・社会科学に必要な観測計画の立案が必要になると思われる。

#### 謝 辞

本稿の研究は、令和2年度東京大学地震研究所・京都大学防災研究所拠点間連携共同研究により助成された。各研究課題では研究分担者による多大なる貢献があった。関係各位に感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 千田優・福井信気・森信人・安田誠宏・山本剛士 (2020) : 漂流物と流れ場の時空間計測データを用いた複雑流れ場における津波漂流物挙動の解析, 土木学会論文集B2(海岸工学), 76 (2), I\_313-I\_318.
- 出口翔大・浅井光輝・植木裕人・竹内友紀・川崎浩司 (2021) : 数値解析のサロゲートモデリングによる確率論的災害リスク評価手法の開発, 土木学会論文集A2(応用力学)特集号, Vol.76, 2, I\_561-I\_576.
- 福井信気・森信人・Che-Wei Chang・千田優・安田誠宏・山本剛士 (2020) : 沿岸市街地模型を用いた津波・高潮浸水実験と解析, 土木学会論文集B2(海岸工学), 76 (2), I\_373-I\_378.
- 福澤暁人, 倉田真宏, 池田芳樹 (2020a) : 地震記録から同定した振動モード特性による地盤と鉄筋コンクリート造建物の動的相互作用の評価, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第60号 (構造系) .
- 福澤暁人, 倉田真宏, 池田芳樹 (2020b) : 3点の地震計測による地盤と鉄筋コンクリート造建物の動的相互作用の評価 その2 同定した1次振動モード特性と質量の情報に基づく地盤ばね, 日本建築学会大会 (関東) 学術講演梗概集, 構造II, pp.267-268.
- 福澤暁人, 池田芳樹, 倉田真宏 (2021) : 建物の基部と上部および周辺地表の地震記録から同定した振動モード特性に基づく地盤と鉄筋コンクリート造建物の動的相互作用の評価, 構造工学論文集, Vol. 67B.
- Gehl, P., Matsushima, S. and Masuda, S., (2020): Investigation of damage to the water network of Uki City from the 2016 Kumamoto earthquake: derivation of damage functions and construction of infrastructure loss scenarios, Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 19, pp.685-711.
- Goda, K., Yasuda, T., Mori, N., Muhammad A., De Risi, R. and De Luca F. (2020): Uncertainty quantification of tsunami inundation in Kuroshio, Kochi Prefecture, Japan, using the Nankai-Tonankai megathrust rupture scenarios, Natural Hazards and Earth System Sciences, 20, 3039-3056.
- 秦康範 (2020) : 訪日外国人への災害情報提供の現状と課題, IATSS Review (国際交通安全学会誌), Vol.45, No.1, 28-35.
- 林響太・中嶋唯貴・岡田成幸・飯田彬斗 (2020) : 積雪寒冷期における地震津波複合災害の人的被害に与える影響評価, 日本建築学会大会 (関東) 学術講演梗概集, 構造II, pp.17-18.
- Ho, T.-C., Watada, S. and Satake, K. (2020): Minimum

- Travel-time Path for Tsunamis, American Geophysical Union, 2020 Fall meeting abstract, NH014-0025.
- Ho, T.-C., Watada, S., Satake, K. and Mori, N. (2021a): Tsunami Ray Tracing Method for Shortest Travel-Time Path: Application to Near- and Far-field Tsunami and Wave Reflection, AOGS 2021 meeting abstract.
- Ho, T.-C., Watada, S., Satake, K. and Mori, N. (2021b): The Shortest Travel-time Tsunami Ray Tracing Method and Application to Tsunamis near Japan, International Tsunami Symposium abstract.
- Ho, T.-C., Satake, K., Watada, S., Hsieh, M.-C., Chuang, R.Y., Aoki, Y., Mulia, I. E., Gusman, A. R. and, Lu C.-H. (2021): Tsunami induced by the strike-slip Fault of the 2018 Palu earthquake (Mw=7.5), Sulawesi Island, Indonesia, *Earth Space Science*, 8, e2020EA001400.
- 池田芳樹, 倉田真宏, 福澤暁人 (2020) : 3 点の地震計測による地盤と鉄筋コンクリート造建物の動的相互作用の評価 その1 1 次振動モード特性の変化, 日本建築学会大会 (関東) 学術講演梗概集, 構造II, pp. 265-266.
- Ito, E., Kawase, H., Cornou, C. and Nagashima, F. (2020): Inversion of Velocity Structures in The Grenoble Basin Using Horizontal-to-Vertical Spectral Ratios, 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE, Sendai, Japan - September 13th to 18th 2020 Paper #C001205.
- Ito, E., Cornou, C., Nagashima, F. and Kawase, H. (2021): Estimation of velocity structures in the Grenoble Basin using pseudo earthquake horizontal-to-vertical spectral ratio from microtremors, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 111(2), 627-653.
- 岩崎祥太郎・中嶋唯貴・岡田成幸 (2020) : 2018年北海道胆振東部地震における住宅再建状況調査 ―安平町, 厚真町, むかわ町を対象として―, 日本地震工学会・大会, T2020-042.
- Kawase, H., Ito, E. and Nakano, K. (2020): Empirical Horizontal Site Amplification Factor (HSAF) from Observed Earthquake Horizontal-to-Vertical Ratio (EHVR) and Vertical Amplification Correction Function (VACF), Annual Meeting of Seismological Society of Am.
- Kawase, H., Ito, E. and Nakano, K. (2020): Direct Estimation of S-Wave Site Amplification Factors From Horizontal-to-Vertical Ratios of Earthquakes, 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE, Sendai, Japan - September 13th to 18th 2020 Paper #C000856.
- 松岡昌志・中嶋唯貴・岡田成幸 (2020) : 2018年北海道胆振東部地震の広域地震動分布の推定とアンケート震度との比較, 日本建築学会大会 (関東) 学術講演梗概集, 構造II, pp. 13-14.
- Matsushima, S. (2020): Core-to-Core Collaborative Research between Earthquake Research Institute, University of Tokyo and Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University during FY2014 to FY2018, *Journal of Disaster Research*, 15(2), 187-201.
- 松島信一・Pierre GEHL (2021) : 2016年熊本地震による宇城市での被害情報に基づく水道管ネットワークの被害関数の構築, 令和2年度京都大学防災研究所研究発表講演会, A303.
- 宮下卓也・GOMEZ-RAMOS Octavio・森信人 (2020) : 適合格子細分化法を用いた南海トラフ沿いの巨大地震津波の数値計算, 土木学会論文集B2(海岸工学), 76 (2), I\_289-I\_294.
- Miyashita, T., Mori, N. and Goda, K. (2020): Uncertainty of probabilistic tsunami hazard assessment of Zihuatanejo (Mexico) due to the representation of tsunami variability, *Coastal Engineering Journal*, 62 (3), 413-428.
- 宮澤理稔・木内亮太・額縁一起 (2020) : プレート間巨大地震の強震動生成域のための距離減衰式, 日本地震学会2020年度秋季大会, S15-13.
- Mulia, I.E., Ishibe, T., Satake, K., Gusman, A.R. and Murotani, S. (2020): Regional probabilistic tsunami hazard assessment associated with active faults along the eastern margin of the Sea of Japan. *Earth, Planets Space*.72, 123.
- Nagashima, F., Yuta, M., Ito, E. and Kawase, H. (2020): Velocity structure inversion based on diffuse field concept for earthquake, together with the earthquake-to-microtremor ratio (EMR) method for microtremors, Annual Meeting of Seismological Society of Am..
- 中山智貴・松島信一 (2021) : 常時微動を用いた邑知潟平野北東部における地盤構造推定, 京都大学防災研究所令和2年度研究発表講演会, P119.
- 岡田成幸・中嶋唯貴 (2018) : 建物倒壊及び室内散乱に伴う地域の地震時人的被害評価式の統一, 日本建築学会大会 (東北) 学術講演梗概集, 構造II, pp. 551-552.
- 岡田成幸・中嶋唯貴・飯田彬斗・岩崎祥太郎・竹内慎一 (2020) : 地震被害想定を検証―2018年北海道胆振東部地震の被害実態との比較を通して―, 日本建築学会大会 (関東) 学術講演梗概集, 構造II, pp. 15-16.
- 齊藤隆志 (2021a) : 粒子画像追跡法を用いた熊本地震前後の地表変動検出, 令和2年度京都大学防災研究所研究発表講演会, A305.
- 齊藤隆志 (2021b) : 2016年熊本地震によってカルデ

ラ周辺に生じた地表変動の分類と特徴, 日本自然災害学会講演会予稿集.

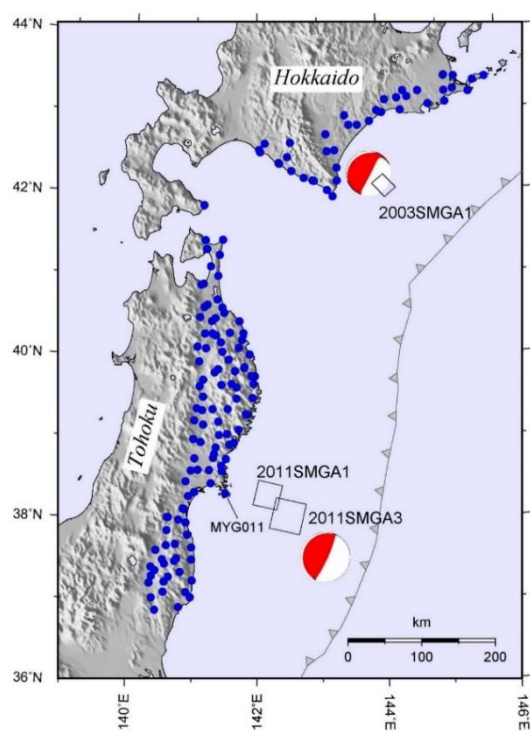
篠田茜・岡田成幸・中嶋唯貴 (2020) : 繰り返し荷重を受ける木造建物の損傷度重畳問題の取り組み: 耐震評点劣化の確率評価を用いた後続地震による2次被害シミュレーション, 日本地震工学論文集, 20, 3, pp. 51-69.

Xu, J., Uzuoka, R. and Ueda, K. (2021): Response of Slopes to Earthquakes and Rainfall. In: Tiwari B., Sassa

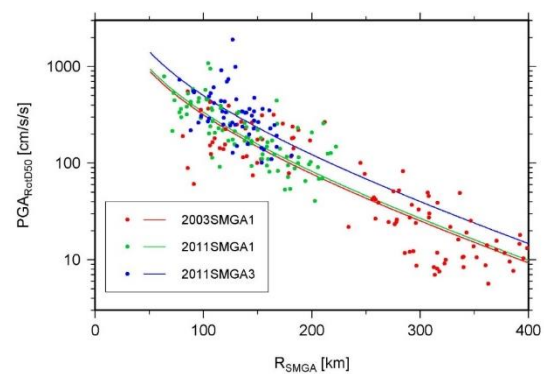
K., Bobrowsky P.T., Takara K. (eds) Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk. WLF 2020. ICL Contribution to Landslide Disaster Risk Reduction. Springer, Cham.

山中浩明・津野靖士・重藤迪子・神野達夫・地元孝輔・松島健・松島信一 (2020) : 強震動ブラインド予測の熊本テストサイト周辺での臨時強震観測, 日本地震工学会第15回年次大会梗概集, B-5-2.

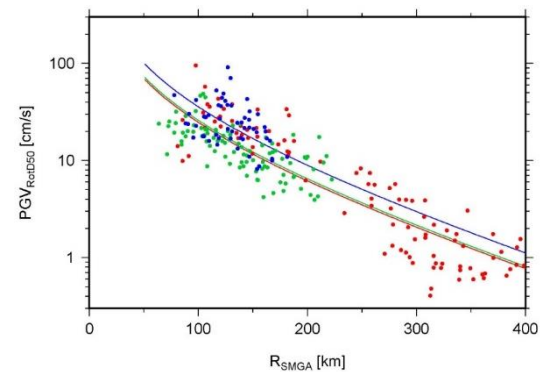
(論文受理日 : 2021年8月31日)



(a) SMGAs of the 2003 Tokachi-oki Eq. and the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Eq, and observation stations used in the analysis



(b) RotD50 for acceleration

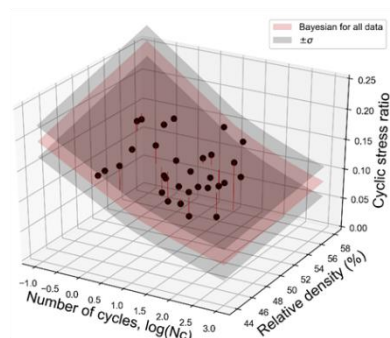


(c) RotD50 for velocity

Fig. 1 Development of GMPE specific for SMGAs [CTOC01]



中空ねじりせん断試験機



階層ベイズモデルの適用

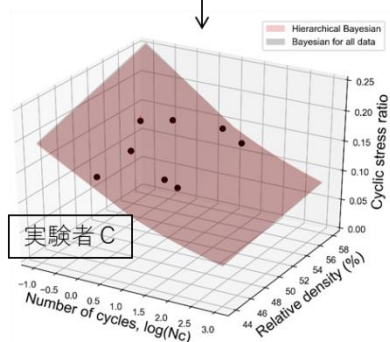
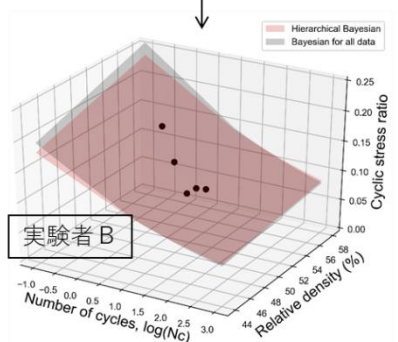
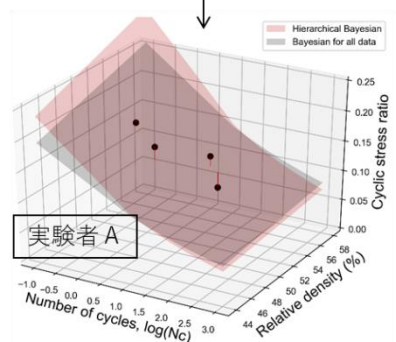
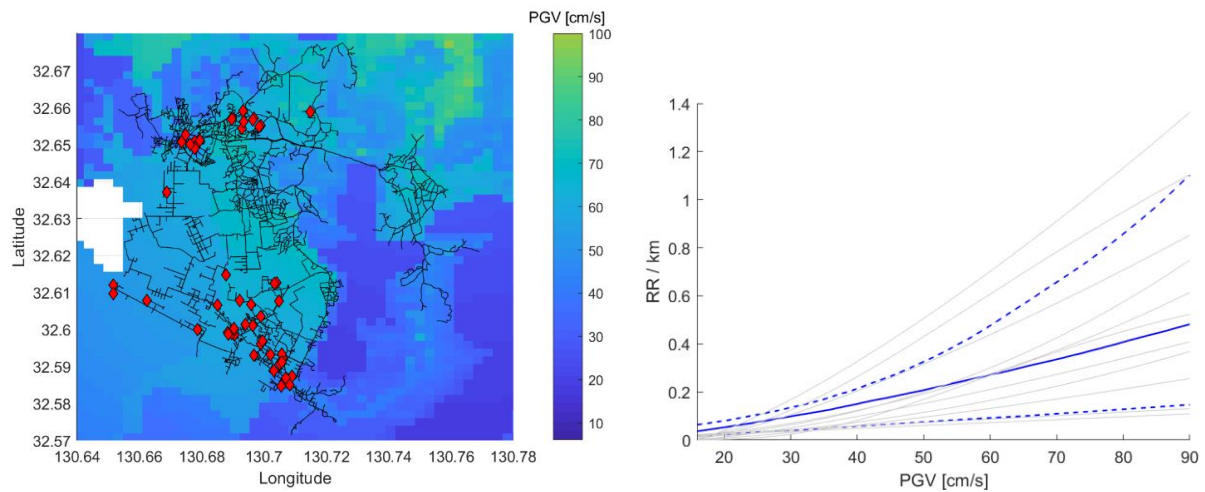


Fig. 2 Assessment of “uncertainty” of liquefaction characteristics from laboratory tests [CTOC01]



(a) Damaged points and estimated PGV

(b) Developed damage function

Fig. 3 Development of damage function for small diameter (50 – 100 mm ) ductile water pipelines considering Bayesian updating [CTOC01] (Gehl *et al.*, 2020)

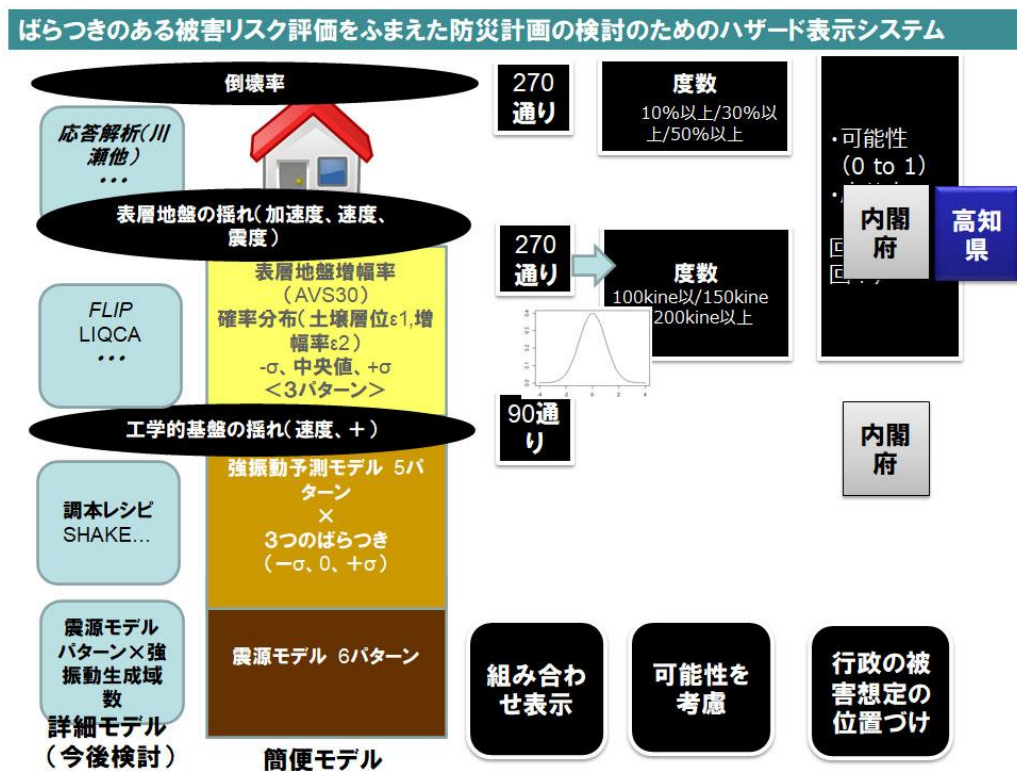


Fig. 4 Hazard display system to examine disaster mitigation planning according to damage risk assessment including uncertainty [CTOC02]

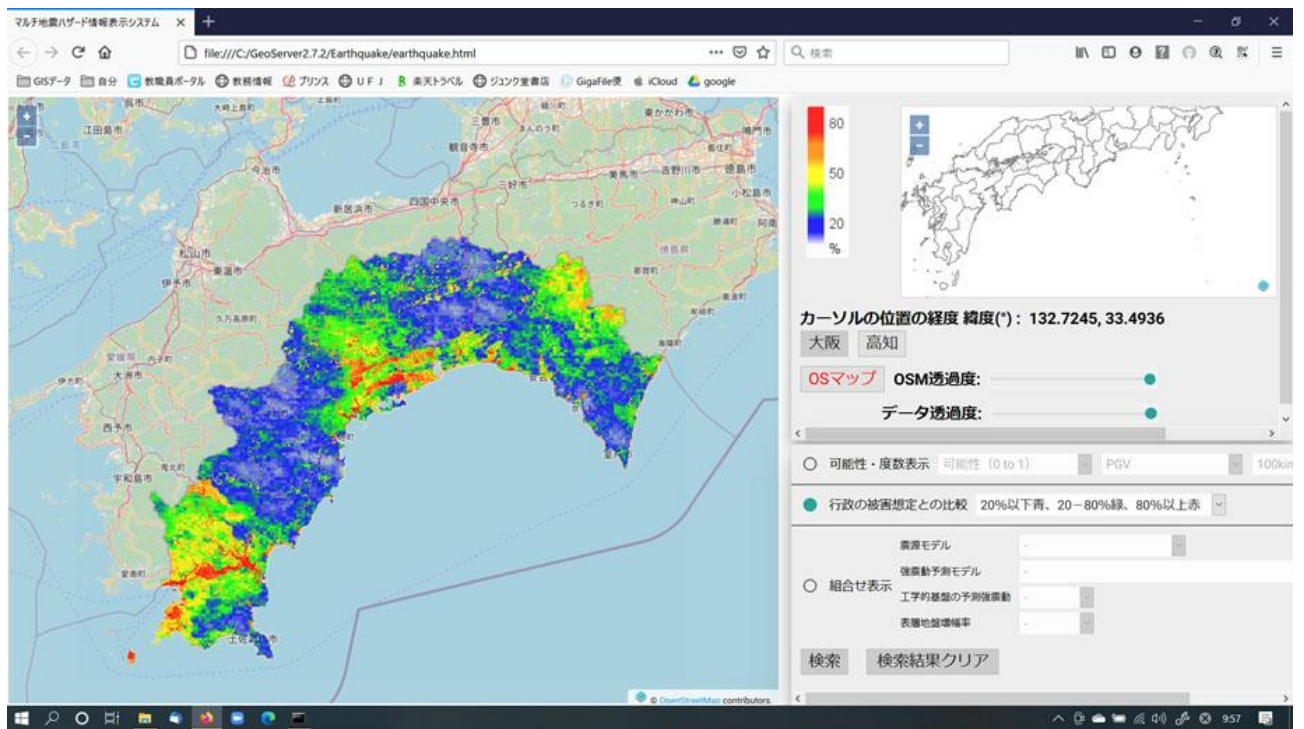
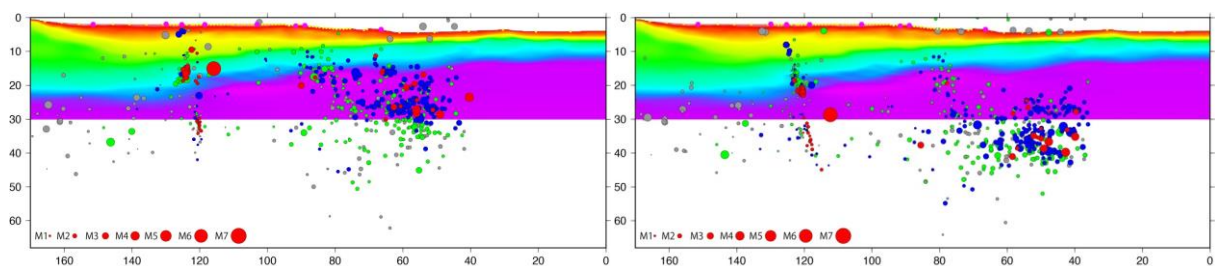


Fig. 5 Uncertainty of damage estimation for an earthquake along the Nankai trough [CTOC02]



(a) Redetermined source location using arrival

(b) Source location of JMA catalog

time of DONET

Fig. 6 Comparison of source location in the ocean region along the Nankai trough [CTOC03]

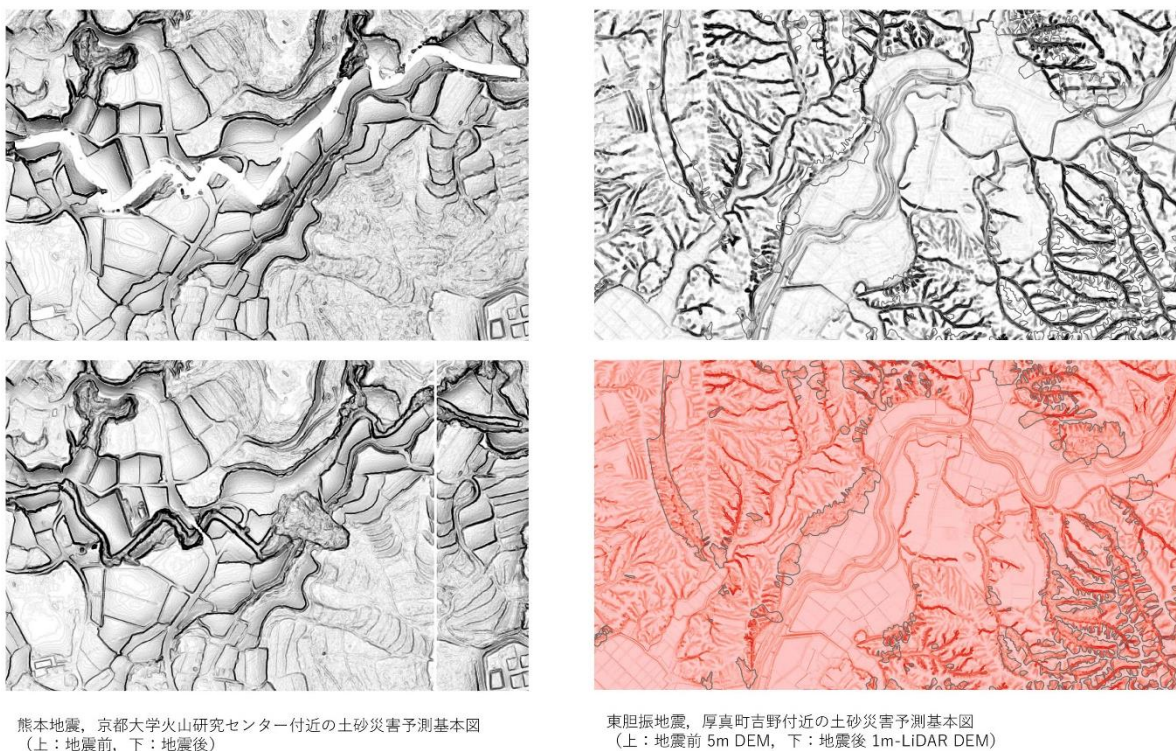


Fig. 7 Comparison of geomorphic feature map for forecasting landslides before and after earthquakes (left: 2016 Kumamoto Eq., right: 2018 Hokkaido Eastern Iburi Eq. [CTOC14])

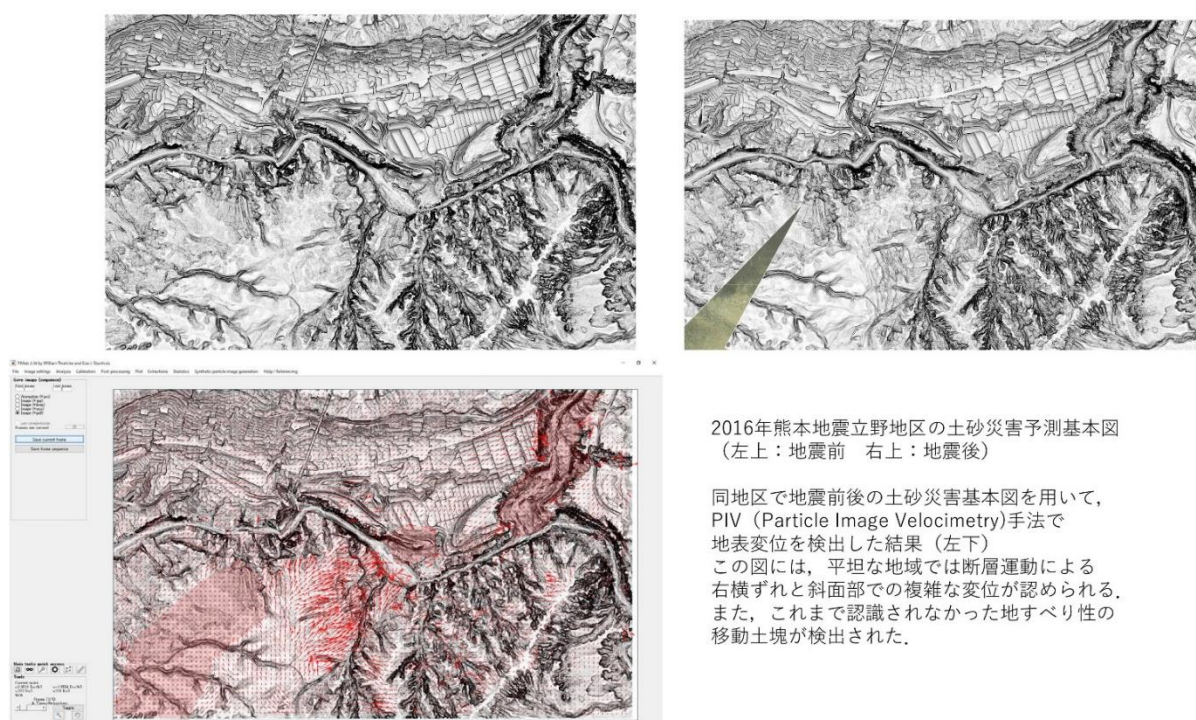
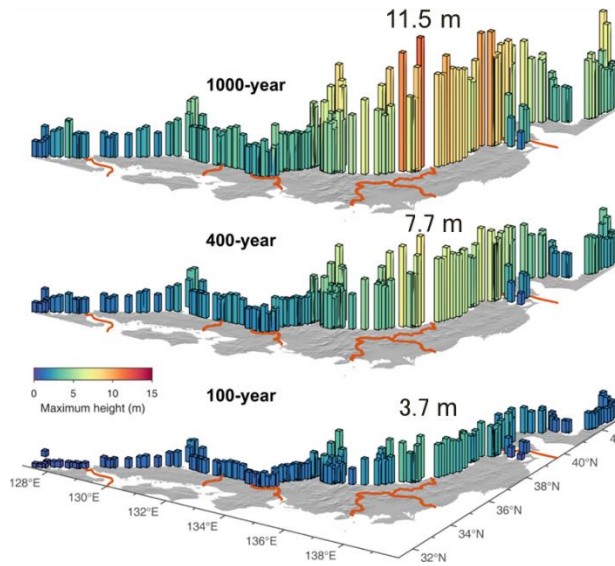
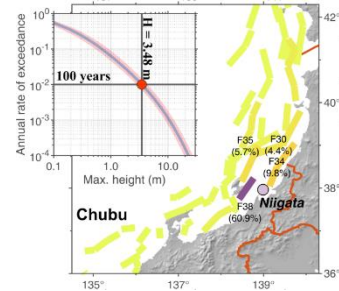


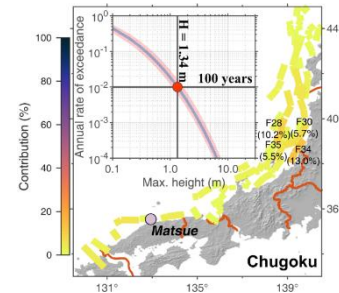
Fig. 8 Detection of surface displacement in the Tateno district during the 2016 Kumamoto Eq. [CTOC14]



(a) Tsunami hazard map (For 100-, 400- and 1000-year return periods)



(b) Hazard curve for Niigata and the influential sources



(c) Hazard curve for Matsue and the influential sources.

Fig. 9 Probabilistic tsunami hazard assessment in the Japan sea side of Japan [CTOC04] (Mulia *et al.*, 2020)



Fig. 10 Location of the temporal observation station at the test site for the blind test exercise to predict ground motion (left) and location of the test site (right) [CTOC07]



Fig. 11 Temporal earthquake observation stations deployed at the test site and the building [CTOC07]

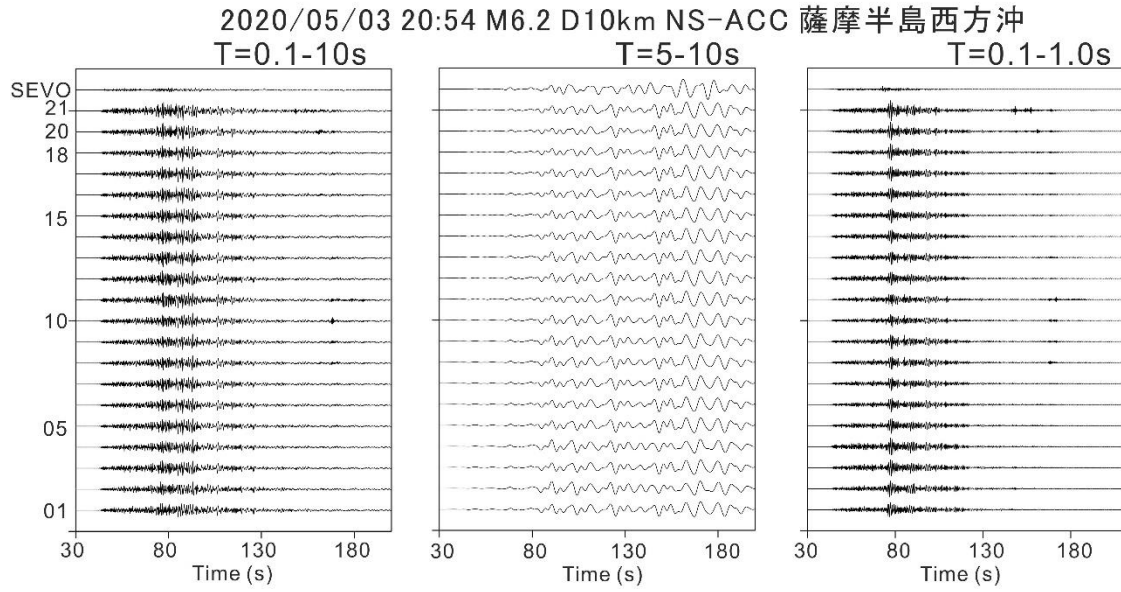


Fig. 12 Example of north-south component of the acceleration recording during the earthquake of western off shore Satsuma peninsula (May 3<sup>rd</sup>, 2020) [CTOC07] (Waveforms filtered for 0.1 to 10 sec. (left), 5 to 10 sec. (center), 0.1 to 1 sec. (right))

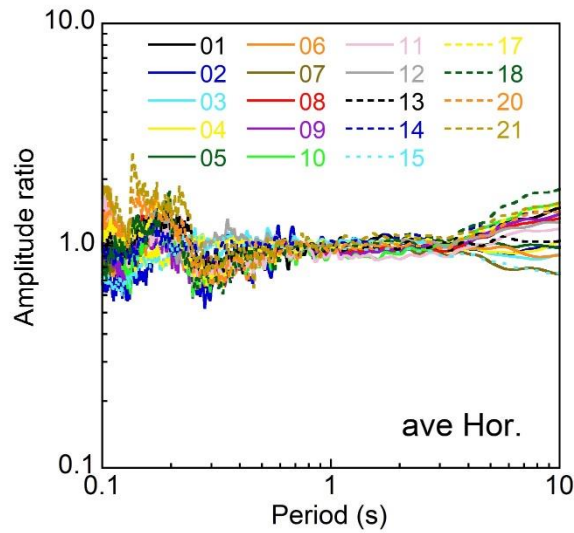


Fig. 13 Averages of spectral ratios of each station against station 16 (near the test site) of the horizontal component for records obtained for 33 earthquakes [CTOC07]

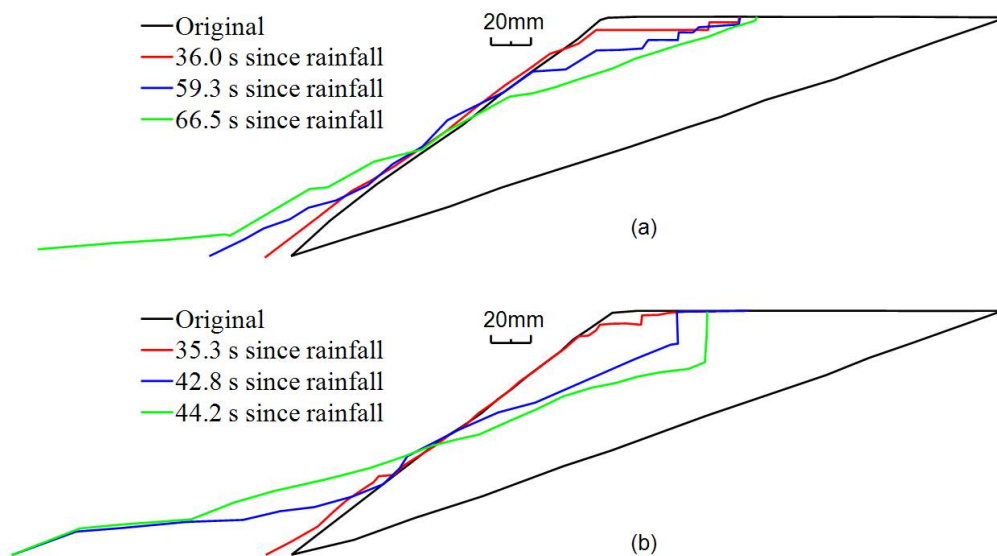


Fig. 14 Difference between the deformation after rainfall without or with prior shaking [CTOC08]  
 (a) Without prior shaking, subsidence of the top of slope and horizontal displacement of the bottom of slope gradually increases as rainfall accumulates, (b) With prior shaking, a large difference in level occurred and the deformation progressed rapidly.

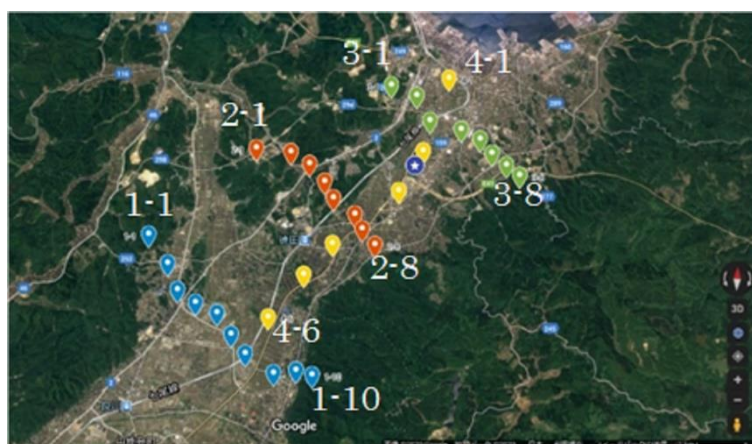


Fig. 15 Location of observation stations in Ochigata plain (plotted on Google Map) [CTOC09]

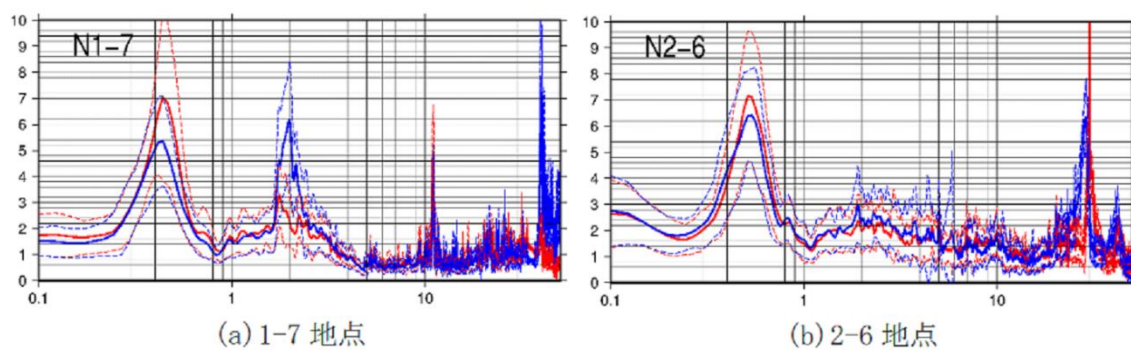


Fig. 16 Examples of observed MHVRs (blue: NS/UD, red: EW/UD) [CTOC09]

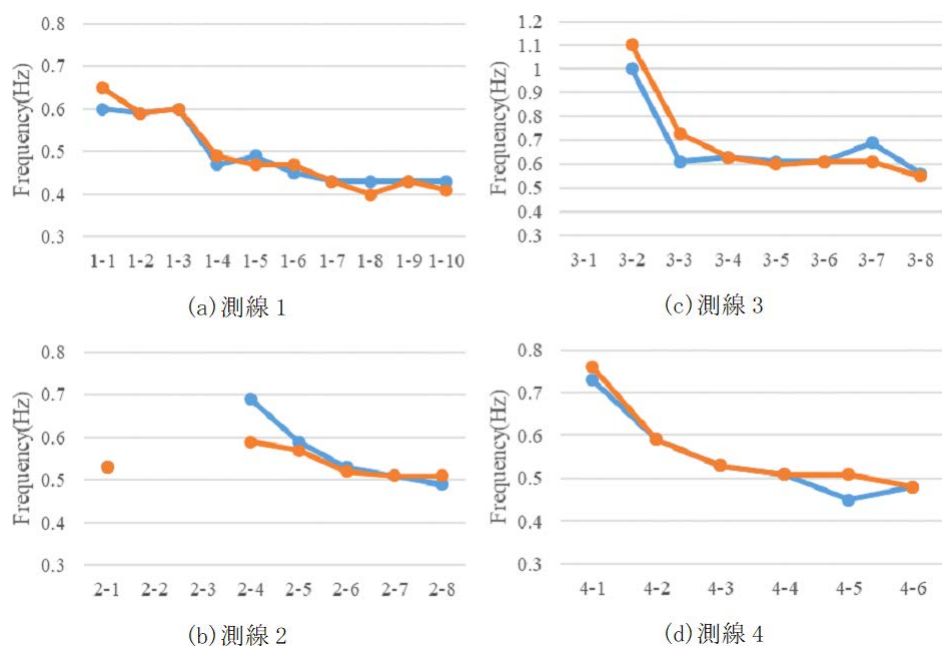


Fig. 17 Peak frequency of first peak of the observed MHVRs for Line 1 to 4 in Fig. 15 [CTOC09]

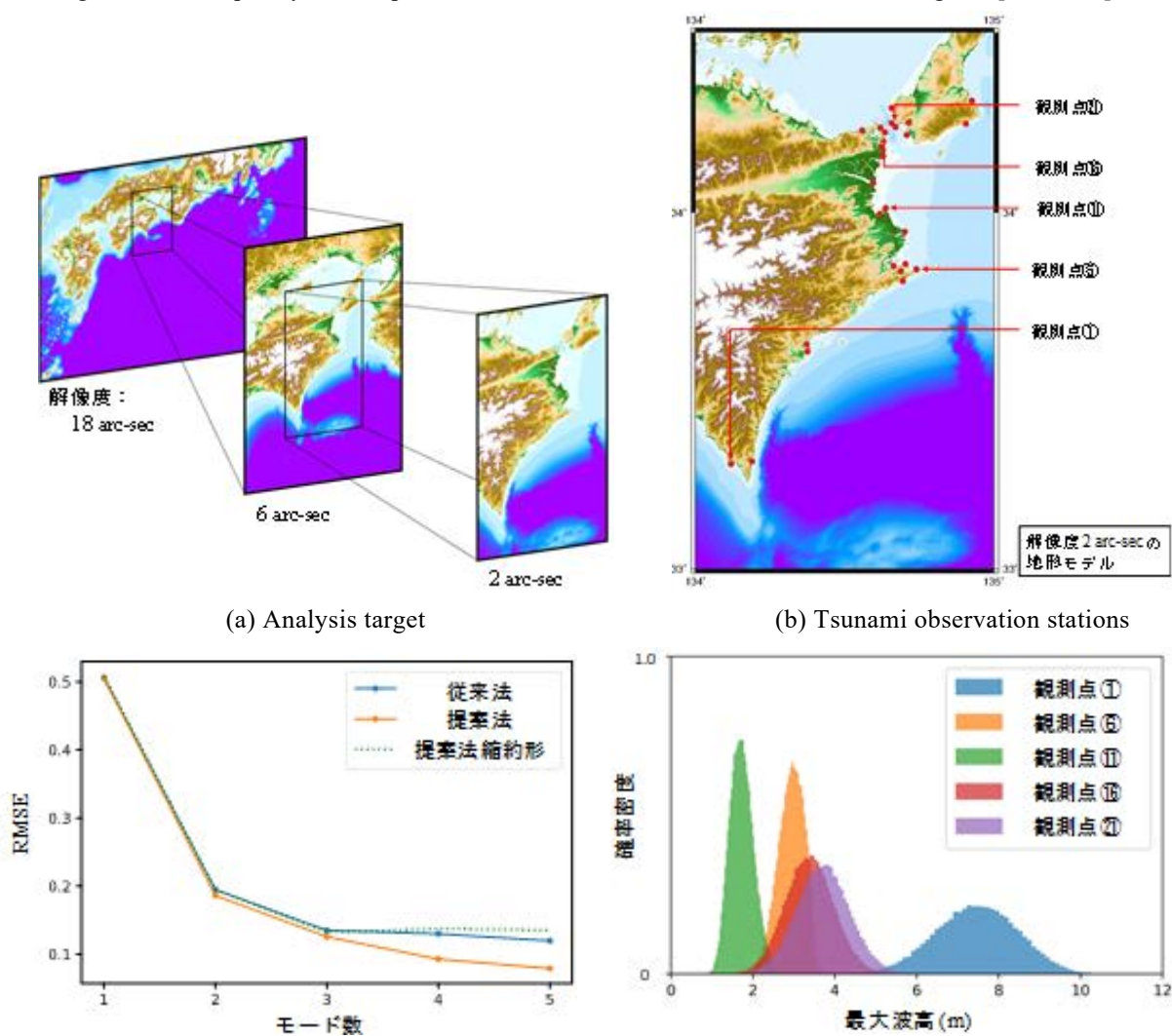


Fig. 18 Comparison of results obtained from combining the surrogate model and numerical analysis proposed by this study and the conventional method [CTOC18]

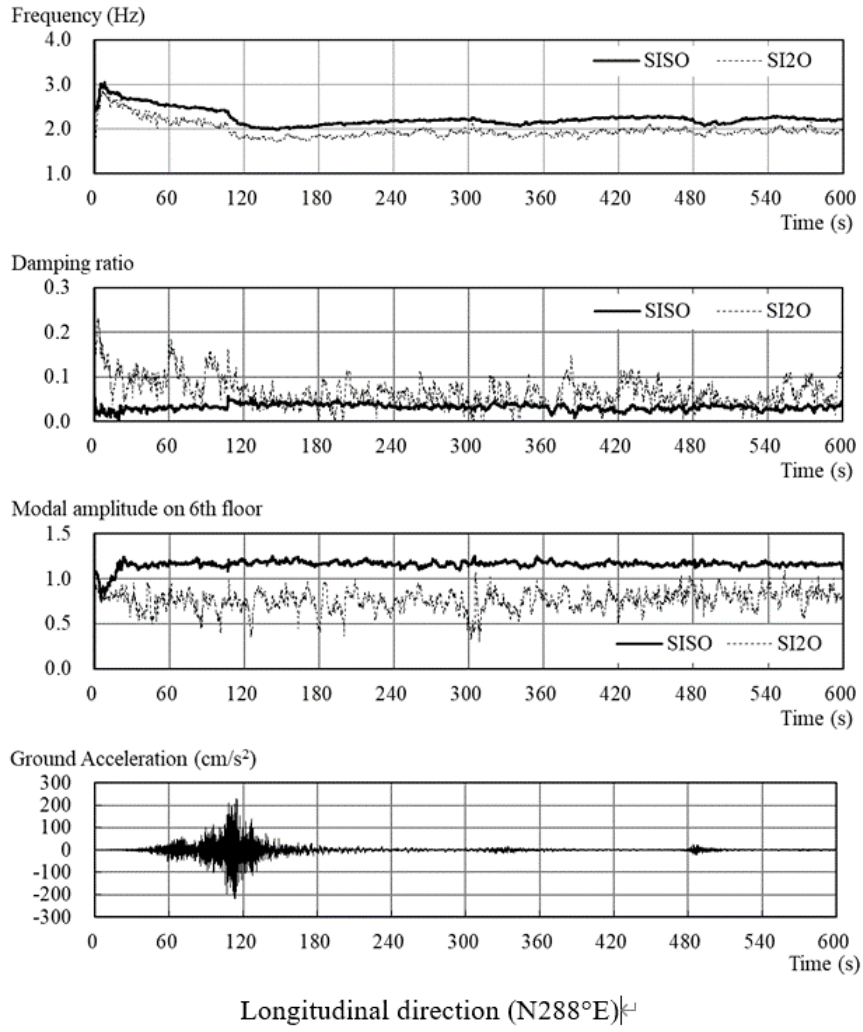


Fig. 19 Amplitude dependence of dynamic interaction (2011 off the Pacific coast of Tohoku Eq.) [CTOC10]

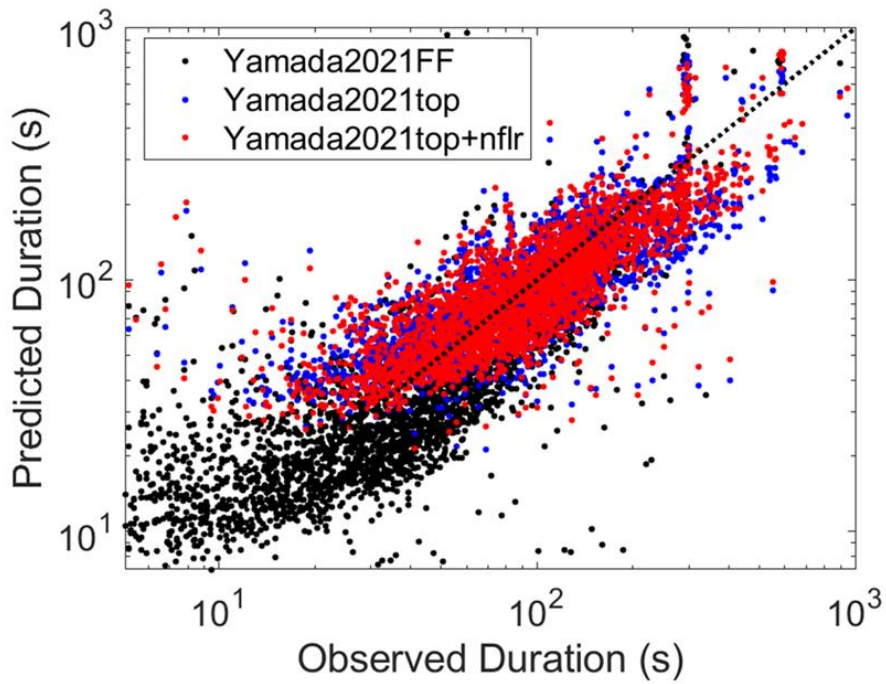


Fig. 20 Comparison of developed equation for shaking duration estimation and observed data [CTOC10]



Fig. 21 Map of cultural heritages on “e comi” map and estimated seismic intensity of an earthquake of February 13<sup>th</sup>, 2021 [CTOC19]



Fig. 22 Estimated seismic intensity of an earthquake of February 13<sup>th</sup>, 2021 and location of cultural heritages [CTOC19]

2021年2月17日（水） 第1次現状確認調査  
文化遺産マップを手がかりに  
宮城県南部から福島県沿岸北部を調査



Fig. 23 Survey of damage conditions utilizing the cultural heritage map [CTOC19]