

3 拠点間連携共同研究

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
委員長 松島信一
(京都大学防災研究所)
副委員長 加藤尚之
(東京大学地震研究所)

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。しかし、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の発生により多くの犠牲者が出たことを踏まえ、地震や火山噴火の科学的な予測が極めて困難であっても、現在の地震学や火山学には災害軽減に役立てられる多くの知見が集積されていることから、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)において大きく方針を変更した。即ち、地震や火山噴火の発生予測の実現を重点とした方針から、それらの予測を目指す研究を継続しつつも、地震・火山噴火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った。

これまで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との結論に至り、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。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・参画を募集して全国規模の共同研究を進める「重点課題研究」と両拠点がそれぞれ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。

1. 重点推進研究

(1) 総括研究

総括研究(拠点間連携共同研究[課題番号:CT0C01])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、2020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。

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、本研究で提唱した個別の強震動生成域に対する地震動の距離減衰式を、地震毎の強震動生成域に対する距離減衰式と比較するために、線形混合効果モデルにより評価を行った。前者の方がintra-event variabilityの値が有意に小さく、距離に対する分布に偏りが見られないことが確認された(図1、図2)。

深部地盤および伝播経路については、2020年に1946年昭和南海地震震源域西端にあたる豊後水道沖で、海底地震計およびハイドロホン・ストリーマーを用い、エアガンを人工震源とする屈折法・広角反射法地震波構造調査を実施した。取得された波形に対して波形インバージョンを適用し、九州パラオ海嶺の沈み込みを含む不均質構造の詳細について、解析を進めている。また、紀伊半島沖で実施している海底地震計を用いた地震観測データに対して、レシーバー関数、および表面波構造解析の適用による、海底下S波速度構造の把握を進めている。

浅部地盤構造に関しては、液状化の可能性のある地盤上に構築された盛土構造物を対象に、有効応力法に基づく逐次非線形地盤応答解析を実施した。解析では、液状化層の地盤物性を均質と仮定した確定的なケースに加え、地盤物性の空間的な不確実性を考慮した検討も行った(図3)。その結果、不確実性を考慮した場合の盛土沈下量のばらつきは、確定的なケースで地盤物性を平均値±標準偏差とすることで包含できることがわかった(図4)。

構造物被害予測のために、RC造建物を対象に、速度応答を指標とした地震応答解析に基づく被害率関数の構築手法に関する研究について議論を行った。研究では、被害率と重み付け速度応答積分値の関係について検討を行った。重み付け速度応答積分値とは、速度応答スペクトルのその周期帯の値である。また、重み付け速度応答積分値をPGV相当に戻して、既往の被害率関数と比較し、その有効性を確認した。また、地震被害発生後に、地震発生から建物の被害までを横断的にカバーする新しい重点研究の可能性についても議論を行った。

リスク評価については、リスク評価高度化のためには、対象となるエクスポージャ情報の精密化が必要不可欠である。このために、UAV等で撮影された写真やその他のリモートセンシング情報を用いて、エクスポージャに関するパラメータを位置情報とともに取得し、地理空間情報システム上に展開するフレームワークを構築した。本年度は特に、構築したフレームワーク上に展開する一次情報として、建物フットプリントと建物高さ、二次情報として建物固有周期を検討した。

プラットフォーム構築としては、地震発生時の総合的なリスクに関する影響評価にむけて、南海トラフ沿いに発生する巨大地震の多くのバリエーションを考慮する方法について検討した。

コンピュータサイエンスに関して、Capability/capacity computingにより生成された大規模データセットを用いたサロゲートAI構築手法の開発を行った。液状化現象の大規模3次元シミュレーションを多数回実行可能なGPUを活用した高速3次元動的有限要素解

析手法を開発し、これを活用することで生成された液状化の大規模データセットを学習してサロゲートAIを構築することで液状化推定のさらなる低コスト化の可能性を示した。液状化をはじめとした複雑な現象のUQや最適化への適用が期待される。

ステークホルダ参画では、様々な地震動想定を表示可能なシステムについて過大評価、過少評価等で推定結果を示すことが可能なシステムについて、新たな推定結果をシステムに取り組むためのインターフェースの構築を行い、システムの改良を行った。

(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]」においては、これまで、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構築を行ってきており、高知県の地震動想定結果のばらつき表示を行ってきている。昨年度から、内閣府の地震動想定結果の検討を実施している。内閣府の想定では地表面での速度推定は行われておらず、公開されている震度データを童・山崎(1996)の方法を用いて、簡易的に速度データに変換し、ばらつき表示の試行を行った(図5)。また、その結果もふまえより厳密に地表面での速度データを得るための方法論についての検討を行った。

(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]」について、沈み込み帯でのプレート間固着強度分布を把握するためには、海底地殻変動データに加え、通常地震からスロー地震まで、プレート境界周辺での断層すべり運動の性質を理解することが重要である。南海トラフ沿い巨大地震断層域に当たる紀伊半島沖では、ケーブル式地震・津波観測監視システムDONETによって、海域下の多様な地震活動をリアルタイムで観測している。ここで観測される地震活動を詳細に把握するためには、特に速度の遅い堆積層を含む海底下S波速度構造を考慮に入れ、精度の高い震源分布を求める必要がある。これまでに、DONETの観測記録を用いたレーシーバー関数解析によって、構造探査に匹敵する解像度でS波速度構造を推定できることを示している。

熊野灘より海溝軸近辺のスロー地震が比較的頻繁に発生する場所では、紀伊半島南東沖のDONET1と紀伊半島南西沖のDONET2の間に若干の観測網でカバーできていない領域が存在するため、海底地震計を用いた機動的観測を行うことによって海底下速度構造および震源決定の精度を向上させることができる。この目的のために、2019年6月に紀伊半島沖南海トラフ沿いに15台の海底地震計を設置して観測を開始した。2021年6月に、この海底地震計を全台回収し、良好な観測記録が得られていることを確認した。本観測記録中の2020年12月から2021年1月にかけて、この観測網周辺にて活発な微動活動も発生しており、プレート境界の空間的特徴を把握するためには通常地震と微動との判別をする必要が生じた。これには機械学習による手法の適用を念頭に検討を進めており、海底地震計観測波形から代表的な地震は検出可能であることを確認した。さらに、微動と地震の検出判定に関して、その判別精度の確認を進めている。

(4) 特定型 (その3)

「不確実性を考慮した浅部地盤の非線形応答評価手法の検討 [課題番号:CT0C20]」について、地盤地震工学の分野において液状化実験等で用いられることの多い豊浦標準砂を対象に、異なる3組の実験班による一連の室内土質試験を実施した。まず、地盤工学会基準に基づき物理試験(土粒子の密度試験、粒度試験、砂の最小・最大密度試験)を実施することで、豊浦標準砂の物理特性を把握するとともに、結果に及ぼす不確実性の因子(実験者の違い等)について分析した。また、中空ねじりせん断試験装置を用いて液状化試験(非排水繰返しせん断試験)を実施することで、豊浦標準砂の液状化強度や繰返しせん断特性の評価を行った。この際、供試体の密度や外力(せん断応力)といった定量化しやすい違いに加えて、実験者の個体差が試験結果に及ぼす影響についても分析した。その結果、すべての実験者の平均的な傾向と実験者毎の個体差とを適切に考慮することで、試験結果に基づく液状化強度等の予測区間を従来よりも合理的に評価できることが示された。

(5) 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 [課題番号:CT0C14]」では、2016年熊本地震により阿蘇カルデラ内に発生した地表(平坦地・尾根部・斜面など)の亀裂を抽出する方法を開発し、その手法を阿蘇カルデラの西半分に適用し、亀裂の位置・大きさを図化した。また、この手法を適用する際に、地表面の変位の方向と大きさを図化する方法を開発した。この手法を斜面崩壊の発生した箇所周辺に適用すると、地表の振動方向・地表の変位方向・崩壊土砂の移動方向の関係を明らかにすることが可能となった。Particle motion は、地殻変動、地表の地震動、そして構成する母材の力学的特性を含めた設置点の地震中の移動軌跡を示している。地表に出現する永久変位は亀裂を生じない程度の変位(破損以下)、亀裂を生じる弾性変形、塑性変形、さらに母材が二つ以上の物体に分離する破断(崩壊)の範囲を示すと考える。このうち、土砂災害を引き起こす斜面崩壊や地すべりは、仮にその土塊の上に地震計があったとすると、Particle motion の軌跡の途中で大きく変位し、記録として残らないであろう。ここでは、KiK-netの観測点阿蘇の記録をFujiwara et al. (2016)から引用し、地形を視覚的に理解しやすくする方法(以下、土砂災害基本図)を地震の前後の比較からの結果と変位量を比較すると、北北西に約1.4mとほぼ一致する。このことから、永久変位が小さい塑性変形までの範囲の場合は、土砂災害予測基本図を用いた手法は、永久変位を良く再現するとし、破断が生じた部分の周辺の地殻変動と地表の地震動による永久変位出現の効果はほぼ破断が生じた部分と一致すると仮定し、破断は構成する母材の物性の差によるとして、議論を進める。この母材の物性の効果には、地形および地質の影響が含まれると考える。また、尾根部での地震波の収斂などの効果は、考えていない。阿蘇カルデラのほぼすべての地域を解析対象として進めた。その中で、次の地域に特徴的な傾向が認められた。

- ・ 傾斜の小さい田んぼなどに生じた亀裂
- ・ 傾斜の少し大きな斜面に生じた斜面崩壊(京都大学火山研究センター周辺)
- ・ さらに傾斜の大きな斜面で生じた阿蘇大橋を破壊した斜面崩壊
- ・ 北向山断層として新たに認められた地表断層の近傍の大きな地すべり性変位

次に手法の比較を検討した。

二時期の土砂災害予測基本図を比較、差分、そしてPIV(Particle Image Velocimetry)を用いた結果の比較の3手法である。比較は、二時期の土砂災害予測基本図をアニメーションのように表示することで、視覚的にどの部分に大きな変位が生じているか、直感的に把握しやすい。土砂災害予測基本図の中の一情報である侵食量の傾斜は、地形的に特徴の縁境界を視覚的にとらえやすくする。この情報は、道路の両端、田んぼの畔、地表に生じた亀裂、尾根部に生じた亀裂を特徴的に表現可能である。同様の手法の赤色立体図では、尾根部に生じた亀裂を表示することはできない。土砂災害予測基本図の侵食量の傾斜(値は0-90度)の二時期の差分(Diff=Slope of Erosional Volume(Post-event)-Slope of Erosional Volume(Pre-event))は、変位が生じていると地震前の位置は負の値で、変位先の値は正の値で示され、道路の両端や、田んぼの畔などが連続的に示される。この負の連続した値の線と正の連続した値の線を追跡することで水平的な変位量を得ることが可能である。また、注目する地点の地震前後の標高値の差分から鉛直方向の変位をえることができる。すなわち、粒子追跡が可能である。同様に、PIV(Particle Image Velocimetry)を用いて変位の方向と大きさを求めた。地震前後の二時期の差分とほぼ同様の結果を得ることができた。しかし、PIVでは破断(崩壊)が発生した箇所は変位が大きすぎることと追跡する対象が消失していることから、その部分ではマスクを用いる必要があること、さらに前出の差分の方法よりも極端に大きい変位が表示される例があることが明らかになった。この点は、注意を要する。

以上のことから、斜面崩壊・地すべりなどの初期過程は、地殻変動・断層運動をふくむ地表の振動方向、地表の傾斜量の大きさとその方向、最大傾斜方向の斜面下部にすぐ直上の部分を支持する構造が存在しない地形的特徴があること、母材を構成する物質の強度などが主に寄与していることが明らかになった。

(6) 特定型(その5)

「即時建物被害予測技術の高度化[課題番号:CT0C21]」については、地面での最大加速度や最大速度といった地震動の指標値を予測または計測し、経験的に求めたその指標値と被害率の関係をj用いて被害程度を推定する方法はこれまでも広く用いられてきた。この指標値と被害率の関係は「フjラジリティ曲線」と呼ばれ、一般的にはこれまでの地震被害における実建物の被害程度と予測・観測された最大地動加速度(PGA)や最大地動速度(PGV)の関係から経験則として求められてきた。最近でも2016年熊本地震や2011年東北地方太平洋沖地震での被害を参考に、木造建物のフjラジリティ曲線は更新されてきた。一方、近年の巨大地震では構造被害が限定的となりつつある鉄筋コンクリート造建物では、同様の手法でフjラジリティ曲線を推定することは困難となりつつある。

そこで本研究では、近年のフjラジリティ曲線の検討例とともに、地震被害ではなく、非線形地震応答解析を援用したフjラジリティ曲線の作成方法の開発についても、その可能性を検討した。特に、鉄筋コンクリート造については、木造建物と比較すると地震被害を受けた建物棟数が少なく、その多くが甚大な被害をもたらした兵庫県南部地震による被害であり、被害関数はこの被害に適合するように作成されていることがほとんどである。そこで、一質点系モデルの地震応答解析による被害関数の構築手法に関して検討をおこ

なった。RC建物モデルとしてTAKEDAモデルを用いた。建物モデルの弾性周期と降伏時ベークスシア係数のばらつきは、建物階数別の棟数統計データ・既往文献をもとにそのばらつきを確率密度関数として仮定し、これらの分布に沿うような一質点系モデルを一万通り作成した。入力地震動としては観測点周りの建物被害率が求められている53か所の強震観測記録を、建物弾性周期の4倍の周期分布で重みづけした速度応答値で基準化して使用した。地震応答解析による最大応答値が閾値（ここでは塑性率4）を超えるものを大破と判定することとして、解析ケースの半数が大破となるときの被害率50%であるとして被害関数を構築し、既往の被害率関数に概ね対応した結果が得られた。

衛星を用いた被害把握では、人工衛星搭載の合成開口レーダ（SAR）を用いて熊本地震の全壊判定の建物の詳細被害（層破壊、傾斜、壁・屋根被害）の検出可能性について検討を行い、地震前後の位相情報の干渉性から、被害程度を検出できる可能性があることを明らかにした。また、建物の被災度は現状では目視調査により区分判定を実施しているが、ドローンを用いて被害把握を実施する可能性について検討した。建物の被災度を無被害・軽微・小破・中破・大破・倒壊に分類する手法を開発し、木造建物の振動台実験をドローンにより撮影することによりその有効性を確認した。インフラ設備については、2016年熊本地震の熊本市および益城町、2011年東北地方太平洋沖地震の仙台市と福島県いわき市、2007年新潟県中越沖地震の新潟県柏崎市の上水道管路の被害データを用いて、現行の被害予測式との比較を行った。具体的には、上水道管路の被害率に対する様々な要因の影響度を明らかにするために、これらの上水道管路被害データを用いて、管路被害率を目的変数とした数量化理論I類による回帰分析を行った。その結果、PGVの影響度が最も大きく、次いで管種、液状化の影響度が大きいという結果になった。微地形、微地形境界条件の影響度はほぼ同程度で、あまり大きくないことが分かった。

2. 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。

2021年度は新規9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。また、新型コロナウイルス感染症対策対応のため、2020年度からの研究期間延長課題4課題が実施された。

(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

「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[課題番号:CTOC04]」に関して、2018年9月にインドネシア・スラウェシ島で発生した地震(Mw=7.5)によって、パル湾南岸で浸水深約4mの津波が発生し、被害をもたらした。この地震についてまず遠地地震波形の解析を行い、震源から南へ延びる横ずれ断層上のパル湾周辺で大きなすべりがあったことを確認した。このモデルから計算した津波は、パル湾内で記録された津波波形と同程度の振幅を生じることから、この津波波形と合成開口レーダーデータを用いて、断層を3つのセグメントに分けて詳細なすべり分布を求めたところ、パル湾付近のセグメント上で大きなすべりが推定された。このすべりによって浸水深2m程度の津波は発生するが、パル湾南岸での津波を完全に再現するためには、地滑りなどの二次的な波源が必要であることもわかった。

南海トラフ巨大地震を想定した津波計算を行い、京大防災研グループが開発しているランダムにすべり分布を生成する確率津波モデルと、内閣府中央防災会議モデルの2種類の津波高の特性を比較した。確率津波モデルについては、中央防災会議のモデルと同じMw9.1の津波シナリオを300ケース生成した。全シナリオ中の平均的な津波高は、外洋に面した高知県沿岸などについては確率津波モデルの方が大きいですが、大阪湾湾奥部では中央防災会議モデルの津波高さが相対的に高い傾向にあった。この傾向の差異は、評価地点に対する支配的な断層領域の平均すべり量で説明できることがわかった。この結果は、断層すべりの深さ方向の多様性が津波高の不確実性の大きな要因となりうることを示している(図6)。

「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[課題番号:CTOC07]」について、昨年度までの研究によって、第6回ESG国際シンポジウム(ESG6)の熊本テストサイト周辺の20地点における臨時地震観測によって強震記録が得られている。図7に示すようにESG6のテストサイトは、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地点に臨時に強震計が約半年間設置された。ESG6のブラインド予測の強震観測点は、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。観測点数はこの方向に少ないが、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SEV0(九州大学地震火山観測研究センターの熊本地震観測点)地点でも臨時強震観測を行った。

得られた33地震の地震記録からテストサイト近傍の観測点16に対する各点の水平および上下成分のフーリエスペクトルの比を求めた。水平スペクトルの算出は、S波部分の水平2成分の相乗平均を用いた。また、上下成分は、P波部分を用いた。図8に示す水平スペクトル比は、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。上下成分のスペクトル比は、より短周期の0.2秒までフラットな形状である。なお、両成分ともに、周期3秒程度以上では、スペクトル比に大きな違い

が認められるが、これらは小地震の記録を用いているために生じたノイズによるものと考えられる。図9には、水平成分のスペクトル比の空間的な分布が示されている。周期0.8-1.6秒の比は、空間変動が小さいが北側の地点ほど比率が小さくなっている。周期0.3秒付近のスペクトル比は、テストサイトの強震観測点から離れると、小さくなる。さらに、短周期の0.2秒付近のスペクトル比は、空間変動が大きく、テストサイトの南東側で大きくなる。

以上の観測結果から、テストサイト周辺200m程度の範囲においては、周期0.3秒以上の地震動の特性は、ほぼ同じであると考えられる。すなわち、周期0.3秒以上の地震動特性を評価する際に、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は小さいと考えられる。しかし、周期0.3秒以下に影響を与える極表層部については、地盤構造に空間的に変化がある可能性もあり、短周期地震動の評価に際しては注意が必要である。

各観測点では、地表付近のS波速度を知るために簡易な表面波探査を実施した。測線長は、7mであり、固有周波数4.5Hzの地震計を1m間隔に設置し、ハンマー加振による上下成分を計測した。得られた記録の周波数一波数スペクトル解析によって、図10左に示すレイリー波の位相速度を得た。すべての地点で位相速度は、測線長が短いため、位相速度は周波数約15Hz以上に限定されるが、ほぼ一定値に収束している。これは、レイリー波の高周波数の位相速度の下限值を示しており、近似的に地表付近のS波速度とみなせると考えられる。そこで、各地点での20から40Hzの位相速度を平均して、図10右の平均位相速度を求めた。テストサイトの強震観測点近傍では、130m/s以下の平均位相速度が多く、離れると150m/s程度となっている。この空間分布は、周期0.3秒のスペクトル比の分布と類似しており、地表付近のS波速度の違いが周期0.3秒の地震動の空間的変化の原因であると考えられる。

「津波被害予測における震源モデルの不確実性の評価[課題番号：CTOC22]」では、数値モデルによる浸水評価の不確実性については、和歌山県海南市の詳細な地形モデルを用いて、津波浸水に対する4つの非線形長波方程式を基礎とする数値モデルの性能を水槽実験の結果と相互に比較した。水槽実験は2018年に京大防災研グループによって行われたものである。また、比較する4つの数値モデルの中には、これまでに東大地震研グループと京大防災研グループがそれぞれ多く用いてきたJAGURSやTUNAMI-N2のモデルを含んでいる。モデル間比較によって次のような結果が得られた。(1)常に湿っている地域ではモデル間の変動は小さい。(2) wet-dry境界の伝播により浸水到達時間、最大水位、流速のモデル間変動が大きくなる。(3)浸水域と最大水位は、浸水先端部の速度や最大流速に比べてモデル間の変動が小さい。この原因は、wet-dry条件に関する詳細な実装の手法の差異と考えられる。これらの結果から、建物を対象としたシミュレーションによる浸水域と水位は比較的高い信頼性を持つが、速度の予測値はいずれも誤差が大きく、シナリオアンサンブル計算を使用する場合のみ考慮すべきである。以上の成果は、Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineeringに掲載済である。

地形による津波の応答関数については、メキシコ太平洋沿岸と日本の駿河湾を対象に、確率津波モデルによる多数の津波計算結果から、スペクトル解析を用いて沿岸地点にお

ける周波数応答関数を推定した。さらに推定した地形による応答関数をもとに、沿岸域のスペクトルから津波波源の影響と地形による影響を分離し、波源と地形のそれぞれが津波のエネルギーに寄与する割合を求めた。この寄与率を多数のシナリオおよび複数の地点で求め、その寄与率の範囲と空間特性の統計的特性について把握した。主要な結論は以下の通りである。沿岸地点の津波のスペクトルと波源のスペクトルの比から応答スペクトルを求め、さらに外洋・陸棚・湾と3つの異なる空間スケールの応答スペクトルの抽出を行った。求めた応答スペクトルの卓越周期は、観測データや湾の形状を考慮して概算した固有周期と概ね一致した。応答スペクトルより確率津波モデルは任意の地点での波の応答特性を求めることが可能であり、津波の地域特性評価に有用であることがわかった。この成果は国際会議International Tsunami Symposiumで口頭発表された。

「強震動のブラインド予測結果に基づく強震動予測技術の精度と信頼性に関する研究[課題番号:CTOC24]」において、ESG6でのブラインド予測の結果と観測記録との一致の程度を定量的な指標によって評価した。ここでは、最大余震による強震動を予測するステップ2 (BP2) に対して評価した結果を説明する。図11には、Anderson(2004)の指標による各参加者の計算値と観測値との比較を示している。これらの指標は、継続時間(C1-2)、エネルギー(C3-4)、最大値(C5-7)、スペクトル特性(C8-9)、相互相関係数(C10)の10個である。さらに、これらを平均した総合指標S1も比較に用いた。相互相関係数(C10)は、全体的に低い値であり、S波走時などの不一致による低下であると考えられる。しかし、継続時間、最大値、スペクトル特性に関する指標は、高い値である。とくに、継続時間は、BP参加者間でのばらつきも小さく、安定した強震動予測が行われていると考えられる。一方、最大値は、ばらつきが大きく、予測時の適切な仮定が必要であると考えられる。

ESG6のブラインド予測(BP)では、減衰特性も含めて地下構造モデルのチューニングも行われている。熊本平野のテストサイトKUMAでは、PS検層に基づく詳細な地下構造モデルを事前に提供した。一方、岩盤サイトでは、特定の地下構造モデルを事前に与えていなかった。上記のBPの結果のばらつきの一因には、岩盤サイトの地下構造情報が少ないことが考えられる。そこで、本研究では、BPの岩盤サイトKU.KMP1において微動探査と表面波探査を実施し、地下構造情報を得ることを試みた。

図12に示すように、表面波探査は3つの測線で行われた。各測線では、1もしくは2m毎に上下成分地震計を設置した。測線の両端および中心点で上下加振が行われ、その地動速度を24chの探鉱器で計測した。表面波探査のうち最も長い測線1の結果について説明する。測線1の北側での加振による上下成分の速度記録を図13左に示す。分散性を持つ波動が顕著に認められる。距離12-40mの波形に対してビームフォーミング解析を適用し、図13右に示すように位相速度を得た。10~60Hzの周波数帯域では、周波数の増加に伴って位相速度は徐々に小さくなる。さらに、60~80Hzでは、位相速度が大きくなり、高次モードの影響の可能性が高いと考えられる。しかし、この周波数帯域でも基本モードに対応する振幅の大きい位相は認められる。

微動探査では、測線1付近で2つの異なるサイズのアレイで微動の上下成分の計測が行われた。それぞれのアレイは、半径が29mと12mの円形上の3点と中心点の4点で構成されている。微動のアレイ記録を81.92秒間のセグメントに分割し、SPAC法による解析

から、図14左に示す位相速度を求めた。各セグメントの位相速度を平均して最終的な位相速度とした。図には、測線1での北西端の加振による記録による位相速度も示されている。微動探査による位相速度は、周波数7～14Hzの間で表面波探査による値とよく一致している。

熊本平野のテストサイトKUMAでの地表から地震基盤までの1次元S波速度構造モデルを参考にして、表層地盤1層と地震基盤を含めた深部地盤5層で構成される6層モデルを仮定した。図14右に逆解析結果を示す。S波速度3.2km/sの地震基盤までの深度は、約150mである。一方、S波速度430m/sの工学的基盤の深さは、3m程度と浅い。岩盤サイト近傍では、ボーリングによる土質調査が行われている。地表から2.8mまでは粘土化した凝灰岩風化層であり、さらに、深さ25mまでは角礫凝灰岩となっている。地表付近の風化層の厚さは、探査の結果と同様である。

得られた地下構造モデルを用いて地盤増幅特性の特徴を検討する。各地層の影響を理解するために、増幅特性を計算するモデルの最下層を順に浅くして、S波の1次元増幅特性を計算した。Q値は、S波速度(m/s)の1/10の一定値を仮定した。計算の結果を図15に示す。地震基盤まで含めたモデルでは、周波数3Hzでピークがみられる。最下層のS波速度を低下させると、この周波数の増幅倍率は徐々に小さくなる。この周波数の増幅特性には、深部地盤、とくに、1.1km/s以上のS波速度を持つ層の影響が大きいことがわかる。また、周波数8～12Hzのピークは、表層地盤のみのモデルの増幅特性でも同様に認められ、表層地盤の影響が支配的になっている。

「地震により被害を受けた事業継続建築物の火災リスク評価手法の開発[課題番号：CT0C25]」では、建物の地震レジリエンス性能を火災リスクの観点から定量的に評価するための枠組みを構築した。ここでの地震レジリエンス性能とは、地震後の出火率や防火関連設備の地震脆弱性に基づいて評価される地震後の火災リスクが平常時のそれと同等になるような使用可能床面積を地震からの経過日数の関数として評価したものを言う(図16)。将来的にこうした観点を事業継続計画の中に盛り込むことを目指し、①建物が極めて稀に発生する地震動(震度6強程度)を受ける場合の評価が可能であること、②火災性状や避難行動の予測によらず簡易に評価が可能であること、③建物の地震対策が地震後の火災リスクや地震レジリエンス性能に与える効果を考慮できること、を重視した枠組みを整備した。

まず、建築物の火災リスクを、複数の防火関連設備の奏功・不奏功の組み合わせから成る各火災シナリオの生起確率と各火災シナリオで生じる死傷者数の積の和、すなわち、日間(または年間)火災死傷者数の期待値と定義し、①地震後の出火率、②防火関連設備の地震被害率、③防火関連設備の復旧率をパラメータとして火災リスクを地震からの経過日数の関数として定式化した上で、地震後の火災リスクが平常時のそれと同等になるような使用可能床面積の簡易算定式を誘導した。

評価に必要な地震後の出火率については、日本火災学会の2011年東北地方太平洋沖地震の出火記録や産業技術総合研究所の東北地方太平洋沖地震の推定地震動マップを活用し、出火率を地震動強さ指標で説明する回帰式を作成した。防火関連設備の地震被害率については、研究代表者らが熊本地震の影響を受けた病院を対象に実施したアンケート

調査データを活用し、被害件数の多かった火災感知器・スプリンクラーヘッド・防煙垂れ壁・防火戸について、それぞれの被害率を代表最大床応答加速度または代表最大層間変形角で説明する回帰式を作成した。防火関連設備の復旧率については、建築設備技術者協会による熊本地震の建築設備被災状況調査の結果を活用し、建築設備の被害事例381件の復旧日数別単純集計結果から、復旧率を地震からの経過日数の関数として近似した。

建物や揺れの条件等を仮定したケーススタディを行った(図17)。ここでは、6階建ての建物が計測震度6.2、最大地動速度0.8m/sの地震動を受ける場合を想定した。簡単のため、各階は一律な最大床応答加速度を受けるものとし、その値に日本建築構造技術者協会が提案する建物の耐震余裕度レベルに応じた限界値(10.0、5.0、2.5m/s²)を設定することで、建物応答を安全限界値以下に制御することが地震レジリエンス(使用可能床面積率)の向上にどの程度つながるのかを調べた。地震から1日間は、出火率が非常に高いため、使用可能床面積率は耐震余裕度が高くても約5%となり、火災リスクの観点からはほとんどの人を屋外に退避させる必要性が示唆される。その後、約一週間程度で出火率が平常時のレベルに戻るため、耐震余裕度がない場合で約47%、耐震余裕度が高い場合で約81%まで回復する。その後は長い日数をかけて設備の復旧が期待されるため、使用可能床面積率はゆっくりと増加していく。地震による建物応答を抑えるほど設備の地震被害率が低下するため、耐震余裕度を高めることで火災リスクの観点からも建物の継続使用性が向上することが分かる。ただし、ここでの結果はあくまで計算例であり、評価に用いる防火関連設備の復旧率関数などには改善の余地がある。

「1m-LiDAR DEMを用いて検出された地すべりなどの不安定土塊の微動及び地震動観測による相対的危険度評価[課題番号:CTOC26]」では、2016年熊本地震前後で得られた1m-LiDAR DEMに地形を視覚的に見やすく表現する手法を適用して抽出された立野地区の地すべり土塊の範囲を図化した。その地すべり土塊の周辺に発生し、確認された斜面上の地表亀裂を同図に示した。これらの結果から、地震計の設置位置を決定した。平行して地震計の現地設置のための準備を継続中である。

初年度の研究成果は、PIV手法で周辺よりも変位の大きいと考えられる地すべり土塊の範囲を抽出し、これに地震前後の標高変化も重ねて示すことにより、地すべり土塊は斜面上方では沈降しながら斜面下方に移動したこと、斜面下方では約8メートル斜面下方に移動し隆起していることが明らかになった。また、地すべり土塊の末端部では、谷状地形の部分に斜面崩壊が多発していることも現地での観察で明らかになった。これは、谷頭部では下に支持する構造が欠落していることに加えて斜面上方の土塊がこの不安定な土塊を斜面上方から押して崩壊の端緒となったと考えることができる(図18)。この二つの量から三次元的な粒子追跡が可能となる。この作業中に、対象とした地すべり土塊の範囲外に、北向山断層による地表の永久変位を確認することができた(図19)。図19はPIV手法とは異なる変位量の検出方法で、たとえば図中の赤は地震前の特徴的な地物(例えば道路の両端や田んぼのあぜなど)の位置、青は地震後のもので、地震前後で建設された林道は、地震前の赤部がなく、青のみで示される。同様に、地震後に出現した地表断層も青のみで示される。このような斜面末端部の谷頭部、すべり土塊の中央部に近い部分また地すべり土塊の範囲外の地盤を選び、危険度の評価を実施するために、複数の長周

期サーボ型速度計3成分（東京測振製）により微動および地震動観測を実施した（図18の中に、微動観測を実施した点を▲で示す）。この斜面は、大津町の所有地であるが、立ち入りには建設省立野ダム工事所の許可が必要であった。立野ダム工事事務所指定の駐車場から斜面上方（標高差約150メートル）に観測機材を観測地点一点につき約50キロ（地震計10キロ、記録計10キロ、電源バッテリー20キロ、他物品10キロ）の物資輸送を研究分担者で実施した。当初この作業を委託する予定であったが、適当な受け手がなく、受け手を探すのに時間を要し、観測実施に遅れが生じた。この地震動記録の一例を図20に示す。詳細は、現在解析中であるが、斜面上の不安定と考えられる谷頭部や崖の縁辺と地すべり土塊の中央部、地すべり土塊の範囲外で異なる特性がとらえられている可能性があり、今年度の残りの期間に観測点を増設し計測を継続する。

「邑知潟平野の推定地盤速度構造の非線形地盤応答を考慮した強震動予測[課題番号：CTOC27]」では、邑知潟平野の地盤構造を推定するため、図21に示す地点において常時微動観測を行い、3地点で常時微動アレイ観測を行った。アレイ半径はLLL:400m、LL:135m、L:45m、M:15m、S:5m、SS:1.5m、SSS:0.5mの7サイズとし、LL~Mは60分、S~SSSは30分の同時観測とした。また、盆地を横切る方向に測線01~07の7測線を、盆地に沿う方向に測線08の1測線を設定し、計99地点で独立した30分の常時微動単点観測を行った。さらに、南東側の山中でも同様に14地点の単点観測を行った。

常時微動アレイ解析には微動解析プログラムBID0 (Tada et al., 2010) を用い、全アレイサイズのRayleigh波位相速度分散曲線を求めた。そして各アレイサイズに応じた周波数帯を接続したものを最終的なRayleigh波位相分散曲線とみなした。常時微動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の微動フーリエスペクトル比(MHVR)を算出する。算出された小区間ごとのスペクトル比の平均を各地点のMHVRとした。ただし交通振動などのノイズの影響を取り除くため、ノイズの大きい区間を30~80%除外している。

防災科学技術研究所の強震観測網(K-NET)のK-NET七尾(ISK007)とK-NET羽咋(ISK008)の土質データおよび地震ハザードステーション(J-SHIS)の深部地盤データを参考に全地点共通の層構造の物性値を定めた。次に、アレイ観測地点で観測されたMHVRと位相速度分散曲線に理論値が近づくように各層の層厚を合わせ、それを推定モデルとした。理論MHVRの計算には拡散波動場理論に基づき理論MHVRを計算し、理論位相速度分散曲線の計算には成層地盤におけるグリーン関数及び正規モード解を計算する公開プログラム(Hisada, 1995)を用いた。そして、アレイ地点での推定モデルを基準とし、単点微動観測点において理論MHVRが観測MHVRに近づくように層厚を決め、地盤構造を推定した。強震動シミュレーション用の地盤構造モデルは、推定した地盤構造における第4層~第10層の下面深さを補間することで、三次元地盤構造モデルを作成した(図22)。ただし、邑知潟平野の南東側では盆地端部から約10kmの範囲を最表層が $V_s=1100\text{m/s}$ の山地部と想定し、平野と山地部以外の地域はJ-SHIS深部地盤構造をそのまま用いた。

微動観測により得られた推定地盤構造モデルをもとに、防災科学技術研究所公開の差

分法プログラムGMSを用いて強震動シミュレーションを行った。計算の簡略化のため、推定地盤構造のうち層4～層10の7層をモデルとして計算に用い、各層の物性値はJ-SHIS深部地盤構造モデルv3.2と同一とした。強震動シミュレーションには、地震調査研究推進本部の公開する邑知潟断層帯の想定地震ケース2を用いた。その結果、推定地盤構造モデルを用いたシミュレーションでは、J-SHISモデルに比べて、邑知潟平野内でモデル最上面での最大速度（PGV）が大きくなる範囲が広くなり、特に邑知潟平野の中部から南西部の盆地南東端に沿ってPGVが大きくなることが分かった（図23）。推定地盤構造モデルは邑知潟平野の盆地境界部の構造についてより詳しい調査結果に基づいてモデル化したことで、J-SHISモデルと比べて盆地による地盤増幅特性がより確からしいものとなったと考えられる。

「既存在来木造建物に大きな被害を引き起こす地震動の発生要因に関する研究[課題番号：CT0C28]」では、今年度は、実大木造建物の復元力特性を再現する実大1層4P試験体の開発を行った。まず静的試験を行ってその結果を重ね合わせ、想定するベースシア係数になるように錘の重量を調整、二層から一層になることによる周期を地震動の時刻みを補正することで振動実験を行い、実際の被害を再現できることを確認した。

将来発生する地震動が木造建物にどの程度の被害を引き起こすか、即ち、地震動の破壊力を測る方法として、実大在来木造建物（以下、木造建物）を使った振動実験が有効であるが、多大な費用と労力がかかる。様々な被害関数も提案されているが、過去の強震記録と被害データに基づいたものであり、将来これまでにない性質をもった地震動が発生すれば、被害予測を誤る可能性がある。地震応答解析によって求める方法も開発されているが、非構造部材の影響や復元力特性モデルにおける繰り返し特性など未だに不明な点も多い。

そこで、将来発生し得るこれまでにない性質をもった地震動の破壊力を測る手段として、実大木造建物の挙動を再現できる簡易試験体の開発を行った。

今回の試験体は、大地震で被害を受ける日本に存在する木造建物の中でも耐震性能が低い建物を想定し、木造建物の平均的な降伏ベースシア係数 C_y の分布における、累積確率の下位5%を目標と定めた結果、 $C_y=0.2$ とした。そこで、 $C_y=0.2$ となる試験体を作成するために、静的実験を行い、性能を把握した後、振動実験を行う際の付加重量を設定し、振動実験を行った。

試験体は幅4000mm、高さ2910mmの構面で、軸組のみが1体（試験体名：FR）、壁を2ヶ所に配置したものを2体（試験体名：WL、WL-BR）作成し、配置した壁はWLがサイディングおよび石膏ボード、WL-BRがサイディング・石膏ボードおよび三ツ割筋かいとなっている。次に、振動実験の試験体の性能を把握するために、静的実験の結果を加算した。ここで、振動実験の試験体は全3構面のため、FRを2構面、WLもしくはWL-BRを1構面用いることとし、それぞれを加算した性能を比較した。ここでは、最低限の筋かいが入っている建物を想定し、振動実験の試験体はFRを2構面・WL-BRを1構面用いることとした。

振動実験の試験体は、加振方向4000mm、直交方向1925mmの1層の箱型試験体とし、外側に静的実験のFR、内側にWL-BRを配置した。試験体に付加する重量は、静的実験の荷重を加算（この際、P- Δ 効果を考慮した）し、総重量で割ったものが1/120rad時で $C_y=0.2$ とな

るよう、合計4tonの錘を天井に配置した。

入力地震動は、既存の建物は大地震を受ける前に中小地震を経験していると考え、2003年宮城県沖の地震のJMA大船渡を震度5強程度となるよう50%に縮小したものを入力した後、震度6強の大地震を入力した。具体的には周期0.5秒以下の極短周期が卓越した2003年十勝沖地震のK-NET 広尾N50W方向と、建物の大きな被害と相関がある周期1-1.5秒が卓越した1995年兵庫県南部地震のJR鷹取NS方向の2種類を用いた。なお、2層を1層に縮約しているため、1層と2層の周期の違いを補正するために、地震動の時間軸を0.91倍に縮小した。

K-NET広尾は震度6強であったが周辺に全壊といった大きな被害を受けた建物が見られていない一方、JR鷹取は木造全壊率59.4%と甚大な被害が生じている。なお、大地震入力前の損傷レベルを揃えるために、K-NET 広尾入力後に壁の交換といった試験体の復旧を行い、ステップ加振を行って復旧できていることを確認した。

実験結果として、K-NET広尾では、最大変形角は0.01radであり、サイディングの割れといった軽微な被害に留まった。JR鷹取では、最大変形角は0.25radと非常に大きく、筋かいの座屈・折損が見られ、全壊程度の大きな被害となった。以上の結果は、実際の強震観測点周辺の被害状況と対応している。

静的実験と振動実験の性能を比較については、全体的に振動実験の方が大きく、振動実験の試験体のベースシア係数 C_y (1/120rad時)は0.26と静的実験に対して1.3倍程度となった。この要因としては、鉛直荷重・試験方法・載荷速度の違いが考えられる。

(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

「リアルタイム地震情報配信手法の高度化に向けた地盤特性の影響度評価[課題番号：CT0C23]」では、令和3年度は京都市左京区内の医療施設地震時応答観測網の対象建物のうち、日本バプテスト病院、吉川病院において、ミニアレイ微動観測を実施し地盤特性を推定した。図24に、病院の位置関係と花折断層の破壊により生じる地震動(PGA)の推定マップ(京都府, 2010年)を重ねる。地震動の予測では、鴨川に近い京大病院と吉川病院が同等で600-1000 cm/s^2 程度、山間に位置する日本バプテスト病院は400-600 cm/s^2 程度である。

図25左は吉川病院駐車場で実施した微動アレー観測の様子である。地盤の微動観測記録に自己空間相関法(SPAC法)を適用し、表層地盤の速度構造を探查した。図25右に得られた位相曲線を示す。位相曲線から表層地盤(地表からおよそ30m程度の深さまで)の平均S波速度を推定すると300 m/s 程度と大きな値となり、吉川病院の建物応答推定においては、一般的な地盤における増幅を考慮するのみで良いと考えられる。ただし、建物の形状はL字型で特徴のある平面を有し、さらに屋上の塔屋はスレンダーな形状をしているため、建物応答が複雑である可能性が高いと判断された。そのため、無線式の小型微動計による多点常時微動計測を実施し、応答特性の分析を進めることとした。現在、観測データを分析中で詳細は割愛するが、塔屋が大きく揺れる振動モードが多く、またL字型平面に起因するねじれ振動モードも多く抽出されている。

日本バプテスト病院の敷地は斜面に位置しており、病院の入り口は1階だが、建物裏側に位置する駐車場への出入り口は3階になる。地盤の擁壁と建物の間にはスペースが設け

られているが、擁壁の剛性を確保するためか、建物との間に控え壁が配置されており、建物と地盤が完全に独立していない。控え壁上部と建物の接続部には、地震に起因するとみられる亀裂が見られた。このように建物には変土圧が作用している可能性があり、多点常時微動計測を同時に実施した。現在、データを分析中である。微動アレー観測を実施した位置と位相曲線を図26に示す。地盤は予想よりも良好で、特にサイト特性による地震動の増幅が大きくなる可能性は見いだせなかった。しかしながら、敷地内で盛土造成されたとみられる一部の地盤は比較的柔らかいことが、周辺ボーリングデータから確認できた。

(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

「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[課題番号:CT0C16]」は、鹿児島市街地における桜島の大規模噴火に伴う大量軽石火山灰降下による被害軽減に資する事前広域避難の実現に向けて、住民自身がいざという時に、避難行動を実際に行い、円滑に避難を実現するための体制作りを専門家と避難主体である住民が協働して目指す実践的研究である。令和3年度前半も依然として新型コロナウイルス感染拡大によって、対面でのイベントが実施できない状況が続いていた。第1回のワークショップは2021年11月22日に、最大1mの降灰が予想されている鹿児島市八幡校区のコミュニティ協議会を実施主体として開催した。本研究では、「生命を守るのは自分自身である」という理念に基づき、「検討の場の主体は、あくまでも住民であり、専門家はサポート役であるという関係性」と「長期的継続」という2点について、専門家と住民との間で共有して進めた。住民が避難動機を持つためには、まずは「大量軽石火山灰降下によって、何が起こるのか?」について明確に認識する必要があるという問題意識から第1回は、50cmの軽石火山灰が降り積もった場合の状況をイメージしてもらい、「どのような懸念事項があるか」、そして「今後、どのようなことを考えていく必要があるか」についてグループに分かれて話し合ってもらった。その結果、主に、生き残れるかどうかという不安、避難、事前の備えの必要性、高齢者・身障者支援の必要性などの話題が中心となった。これらのテーマは専門家の間では当たり前のことであるが、住民自身からの語りでこれらのテーマが提起されたことに意義がある。これを受けて、専門家を交えず、住民自身が検討をしていく自主勉強会が立ち上がることとなった。また、住民の問題意識を受けて、専門家側からのフィードバックを行うことで、住民の関心に沿った情報をドラフトすることができた。

「地震発生 of 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～[課題番号:CT0C17]」は、令和元年度に始まり、今年度をもって3カ年の区切りとする。

地震に代表される被害想定 of 目的は、減災目標 of 設定と目標達成 of ための対策検討に資することであり、そのために想定ハザードに対する被害評価がマクロ的には国（中央防災会議、以下内閣府とも記載）が、また各地方においては地方公共団体（都道府県、市町村）が実施し、結果が公表されている。しかし、想定されている被害内容・公開情報は減災対策検討に十分なものであるだろうか。その検証は十分になされているとは言えな

い。たとえば南海トラフ巨大地震の被害想定第一次報告（平成24年8月29日、中央防災会議）には、被害想定の意義として以下要約するに「具体的な被害を算定し被害の全体像を明らかにすること、その上で各種の防災対策を立案する」とある。さらに続けて「防災対策を講ずることによる具体的な被害軽減効果を示すことで、防災対策を推進するための国民の理解を深める」とある。すなわち、被害想定と被害軽減効果は別途計算し、国民の対策への理解を求めることが被害想定のものであると謳われている。本研究はここに異議を唱え、本来あるべき被害想定と被害軽減効果との関係について、それを胆振東部地震の被害実態と検証することで、中央防災会議が提唱する被害想定の方法が抱える問題点を明らかにしたことを、この3カ年の成果として以下にその概要を報告する。

（i）災害誘因予測に基づく被害想定が災害軽減に貢献する情報足る条件

本来、具体的軽減対策はその対策実施による被害軽減量を被害想定手法により算定し、対策の有無による被害量の差をもってその効果評価とし、その基で対策の適否判断がなされるべきである。そのプロセスを省略し軽減効果として公表したとしても、真にそれだけの効果があるのかの検証が得られていない故に、国民の納得は得られないであろう。この理由から、被害想定手法は対策の効果評価が可能な形で考慮されていなければならないのは明らかである。すなわち、被害量を単に見積もるだけの相関モデルではなく、対策の手段が「陽」の形で検討可能な因果モデルで構成される必要があるが、標準の想定手法として中央防災会議が提示している手法はその条件を十分に満たしていると言えるのであろうか。加えて、モデルの基となる被害データ（公表値）は地域被害及びその後の対策（復旧）の実態を捕まえた量であるのは当然であるが、意外とその検討はされていないことに気づくべきである。

（ii）想定地震と2018年北海道胆振東部地震とのハザード比較

北海道は地震防災対策の基礎調査資料として、2011年に道内及び周辺に31 地震193 パターンの地震動分布を、その6年後に平成28年度地震被害想定調査結果報告を公表している。胆振東部地震に震源位置が最も近似している想定地震は石狩低地東縁断層帯南部（モデル30_5）と称するものである（図27右）。震源諸元を比較すると両者の震源形状は大きく異なり当該地震は想定震源ではない。また道内で観測された計測震度を想定地震の自治体単位最大震度と比較すると（図27左）、想定地震の方が大きな震度を与えている。よって、被害が広域に及ぶ土木系被害の検証には十分とは言えないが、厚真・安平・むかわの被災3町については胆振東部地震とほぼ同じ震度が計算されており、地震動を1指標（震度あるいはPGV）で代表し被害計算するのが一般的な単独被害（木造住家被害や人的被害）の検証には3町の被害比較は問題なく、災害誘因予測の意義を災害対策と結びつける検証にもなる。

（iii）木造住家の被害比較と対策に必要な情報について

当該地震の被災3町の木造住家についての公表被害実数と、想定地震を対象に内閣府の方法と北海道の方法による被害数比較を表1に示す。内閣府の想定手法は阪神・淡路大震災の被災地の住家築年代と被害率の関係を用いて計算する（図28）。一方、北海道の方法は当該地域の住家の耐震性能のばらつきを加味するため耐震診断値（耐震評点）を確率分布で与え、岡田・高井（2004）による損傷度関数（震度-耐震評点-損傷度）の関係を

用い、より詳細なDamage Index(D-Index)またはDamage Level (D-Level)による損傷度評価を行っている(図28)。胆振東部地震の被害実数との比較は、地域性の考慮のない内閣府の方法に比べ、北海道は実態に近い被害評価を与えており、木造住家の被害想定には地域性(住家耐震評点の実分布)の考慮の重要性が確認できる。

さらに、必要な住家被害情報について注目したいのは実被害の判定基準である。実被害の実態公表値となる災害対策本部発表の「全壊」の定義は、「居住のための基本的機能喪失が床面積の70%以上、または経済的被害の損害割合が50%以上」とされており、罹災証明の判定基準にほぼ等しい。それに対し被害想定は一般に建築構造的損傷度により判断するものであり、両者は乖離している(図28)。表1からは当該地震の公表被害実数で厚真町が他2町よりも大きい。3町で1981年以前の古い木造住家割合はそれぞれ55%・48%・61%であり、構造耐震性に然程の差は認めがたく、同表に併記した罹災証明で認定された被害率からも、厚真町は構造損傷よりもむしろ復旧に関わる経済的損傷の観点から被害認定した可能性は否定できない。罹災証明による被害認定は、その後の復旧助成に大きく関わることから、地域復旧の遅速にも影響することが予想される。それが発端となり集落消滅など地域の将来的社会構造から都市再生マスタープランにまで影響する。実際、当該地域は他の地震(中越、九州地方)に比べ、全半壊住家共に「再建」の費用工面ができず、罹災証明による被害判定で応急修理助成が受けられる「補修」で対応する世帯が多かった事実が、その後の調査により判明している(図29、岩崎・他、2020)。災害対策の観点からは、被害想定には構造的被害に加え復旧に関わる被害認定の指標も同時に検討する重要性を指摘しておきたい。なお、住家被害損傷度(D-Index)は罹災証明の判定区分とも相性が良い(図28)。

(iv) 人的被害の比較と対策に必要な情報について

住家被害に伴う人的被害についての手法比較を図30に示す。内閣府の方法は近年発生の5地震に関する全壊建物棟数と死者数の相関関係から求めるものである。阪神・淡路大震災で判明したとおり、全壊といえども層崩壊しない建物(D-Level D4)では死者は殆ど発生しない。北海道が採用している建物損傷度D-Index(D-Level)に基づく棟死亡率関数による人的被害評価法(田畑・岡田、2006)のほうがより精度が高い。死傷者の実数比較(表2)においても内閣府の方法では負傷者の全員が重傷者にカウントされており不自然であるが、北海道は実数と想定に乖離は認められない。

人的被害情報についても、これまで議論の中心とされてこなかった被害定義の問題を指摘しておく。災害対策本部が公表値として集計する死傷者の定義は、交通事故統計あるいは警察出動有無判断で用いる傷度3区分(死/重傷/軽傷)にほぼ近い。すなわち、当該災害が原因で死亡した者(または死亡したことが確実な者)を、災害発生時に滞在していた市町村の死者として扱い、負傷し1ヶ月以上の治療を要した者を重傷、1ヶ月未満を軽傷とする。しかし、この数値が防災対策に活用されていない実態に留意すべきである。本来災害時においては医療態勢に関わる情報がより重要なはずであり、消防庁(災害救急)で用いる症度(重症/中等症/軽症)で判断すべきであろう。平常時においては入院加療を要する中等症であっても、大災害時においては二次救急病院における重症患者措置を必要としない判断もある。症度情報は傷度情報と同様に人的被害情報として必要である。この情報は事前の医療防災対策の観点からも重要であり、想定被害情報としても有効な

はずである。このことに配慮できる外傷重症度指標ISS(またはAIS)評価を推奨する。本研究では当面、内臓損傷($ISS \geq 12.5$ または $AIS \geq 4$)以上を重症とする。医療処置は必要だがより症度の軽い火傷・捻挫・脱臼・単数骨折程度($12.5 > ISS \geq 3$ または $4 > AIS \geq 2$)を中等症とする(図31)。

もう一つの問題は被害実数の信憑性である。重軽傷者の定義の曖昧さに加え、対策本部が把握し公表している負傷者数は災害対策本部基準によれば、災害時において救急医療チームが当該自治体の第二次救急病院に搬送した負傷者のみをカウントしているケースが多く、災害発生時に居留の市町村負傷者数から漏れてしまうこともあるということである。事実、当該地震において厚真町の公表重傷者はゼロであるが、足部骨折により他市の病院に救急搬送され入院加療1ヶ月以上を要した重傷者がいた。当研究グループが被災3町全世帯を対象に実施したアンケート調査による負傷者数を集計し表2中に示す。公表値に比べアンケートでは他市町村病院に入院した重傷患者をも捕捉しており、負傷率に不自然さはない。被害データ(公表値)は、種々の評価式構築のための基礎となる値であり、この値に信憑性がなくなると被害評価そのものの信頼性が失われ由々しき事態となる。公表値といえどもデータの収集法、また定性的データの場合はその尺度の定義を含め、細心の注意が必要である。

(v) シナリオ連鎖型被害評価法の提案

南海トラフ巨大地震被害想定報告書には「建物の現状の耐震化率(約8割)を約9割まで上げることによって、全壊棟数は約4割減少すると推計される」との記載がある。また「家具等の転倒・落下防止対策の実施率の現状は約26%であり、実施率を75%に強化した場合、それによる死者数は約半減すると推計される」とある。しかし内閣府の被害推定手法によりこの軽減効果を合理的に説明するのは不可能である。なぜなら、同手法では住家の建築年をパラメータとした被害推計であり、耐震化強化策による耐震性能向上を陽の形で検討はできないし、家具固定もその実施率強化が対策ではあるものの、推定式内での実施率とは何らかの固定対策を実施している世帯割合であり、世帯による固定家具数の違いについては何の配慮もなく、実質的家具固定率ではない。

人的被害は建物倒壊に伴う部材落下によるもの、それに加えて室内の家具配置密度(これは地域性や世帯年代、加えてライフスタイルが強く反映する)に大きく左右される室内散乱状態下における居住者の避難行動の適否(これは地震発生時間帯が大きく影響する)、家具等との接触状態など、種々の物理的条件とその時間展開の中で発生する。これらを被害推定式で因果関係として記載し、さらに先に提案の被害指標に従った被災状態推定により、始めて具体的軽減対策情報となり対策の効果評価も可能となる。内閣府と北海道の方法比較において胆振東部地震の被害検証を通して北海道の有意性を明らかにしたところではあるが、まだ不十分であることがこれからも明らかであろう。図32~34は住家と人的被害に関するそのための被害想定手法の提案である(岡田・中嶋, 2018)。

この被害想定手法で計算した結果は表2中の最右列である。ハザードは想定震度分布ではなく、胆振東部地震のQuiQuake分布を用いたため想定被害と直接比較はできない。また、負傷者数は多少多く推定されているが、その理由を提案式から検討した。推定に用いるパラメータは「揺れている最中の負傷非回避行動能力 $(1-B) = 100\%$ (回避行動は全くとれなかったとした)」と「家具配置密度に関わる家具転倒領域率 $R = 15\%$ (全国消

費実態調査報告の北海道の平均値を採用)」としたが、実際には被災3町の寝室の家具転倒領域率がそれぞれでかなり小さかった(11.8%・7.2%・13.2%)ことが理由に挙げられ、このように室内状況の地域性も検討可能となる(図35)。

「文化遺産の所在情報と災害情報の重ね合わせによる文化遺産災害情報マップの構築と活用[課題番号:CTOC29]」について、令和3年度は、北海道・東北地方の市町村が指定する文化財、総数約18000件の位置情報を収集し、文化遺産マップへの登録作業を進めた(図36)。市町村指定文化財については、自治体別に公開の有無、情報の詳細が異なり、位置情報の把握が困難なものも多く、位置情報が判明しないものについては、周辺情報や座標情報を収集し、これらを登録した。現段階で、国指定・都道府県指定の指定文化財35000件に、今年度収集した情報を加えた約5万件のデータベースを収集し、eコミマップをプラットフォームとした文化遺産マップを構築した。また、神戸大学の資料ネットと連携し、神戸市域の指定文化財を登録した文化遺産マップを作成した(図37)。

災害時における文化遺産マップの活用については、令和4年1月22日に発生した日向灘の地震について、気象庁の発表した推定震度分布をもとに、大分県・宮崎県の国・県の指定文化財に加え、震度5強を観測した自治体の指定文化財情報を収集し、現地の資料保全関係者に共有するとともに、1月26日に被災地の資料保全ネットワークや現地の博物館関係者などとオンラインによる会議を開催し、文化遺産マップ(図38)を媒介として、被害状況の情報共有と今後の対応について協議した。

「ばらつきを考慮したハザード想定結果の「受け取られ方」に関する評価研究[課題番号:CTOC30]」では、地震ハザードシナリオに多様性、さらには多様な地震ハザードシミュレーションにおける自治体のシミュレーションの位置づけを示すことが可能なシステム(図39)についての自治体職員に対するヒアリング調査を実施し、システム改良点ならびに、システムを用いた災害シナリオの多様性の理解についての調査を行い、調査結果をもとにシステムの改良を行うとともに、災害シナリオの多様性理解を深めるためのあり方についての検討を行う予定であった。しかし、新型コロナウイルスの影響でインタビュー調査を実施することが困難であったため、システムの改良の作業を行うとともに、ヒアリング時に利用する内閣府による地震動想定を表層での速度シミュレーション結果についての見直しを実施した。

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、前計画から地震・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。このため、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までの伝達までを一貫して行い、さらにステークホルダとの協働の成果をフィードバックすることで、研究の方向性を議論している。また、総括研究において見いだされた課題や新たな展開を特定型において掘り下げて詳細に検討するとともに新しい技術や考え方について検討し、その成果を総括研究にフィードバックし、さらに総括研究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、重点推進研究の中での循環による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、実施されてきた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高度化しながら継続し、高度化した成果を供出することを目指す。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のみならず、工学、人文・社会科学の研究の発展に必要な観測計画の立案が必要になると考えられる。

成果リスト

- Chimoto, K., H. Yamanaka, S. Tsuno, M. Shigefuji, T. Kanno, H. Sato, S. Higashi, D. Shinoyama, M. Yoshimi, T. Sugiyama, N. Takai, S. Matsushima, F. Nagashima, H. Kawase, T. Hayakawa, T. Uetake, S. Senna, Y. Inagaki, T. Hayashida, and S. Oji, 2021, Results of blind prediction step 1: Subsurface velocity structure model of Kumamoto test site, The 6th IASPEI / IAEE International Symposium: The Effects of Surface Geology on Seismic Motion, SS102.
- Fukui, N., Chida, Y., Zhang, Z., Yasuda, T., Ho, T.-C., Kennedy, A., & Mori, N., 2022, Variations in Building-Resolving Simulations of Tsunami Inundation in a Coastal Urban Area, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 148(1), doi.org/10.1061/(asce)ww.1943-5460.0000690.
- 福井信気, 森信人, 千田優, 安田誠宏, 2021, 都市地形を対象とした津波浸水時の陸域の流速場の比較検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 77(2), I_211-I_216, https://doi.org/10.2208/kaigan.77.2_I_2111.
- 福井信気, 森信人, 千田優, 安田誠宏, 2021, 都市地形を対象とした津波浸水時の陸域の流速場の比較検討, 第68回海岸工学講演会.
- Ho, Tung-Cheng, 2021, What we learned from the 2011 Tohoku Tsunami that unveils the 1960 Chile Earthquake, The 30th International Tsunami Symposium, e90130.
- Ho, T.-C., Satake, K., Watada, S., and Fujii, Y, 2021, What we learned from the 2011 Tohoku Tsunami that unveils the 1960 Chile Earthquake., The 30th International Tsunami Symposium.

- Ho, T., Satake, K., Watada, S., Hsieh, M., Chuang, R. Y., Aoki, Y., Mulia, I. E., Gusman, A. R., & Lu, C., 2021, Tsunami Induced by the Strike - Slip Fault of the 2018 Palu Earthquake (Mw=7.5), Sulawesi Island, Indonesia, *Earth and Space Science*, 8(6), doi.org/10.1029/2020EA001400.
- 小林純平・中嶋唯貴・岡田成幸, 2021, 夜間発生地震に対する人体損傷度関数の適合性並びに応用拡張性の検討, 第48回地域安全学会研究発表会(春季), C-9.
- Kusakabe, Ryota, Tsuyoshi Ichimura, Kohei Fujita, Muneo Hori, Lalith Madgededara, 2022, GPU-accelerated Multiphysics-based Seismic Wave Propagation Simulation and its Surrogate Model with Machine Learning, *HPC Asia 2022: The International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region*.
- Maki, N., T. Baba, K. Nishijima, T. Saeki, S. Shite, 2021, How can we communicate with people about variety of hazard simulation outputs? shaking and tsunami of Nankai trough earthquake, 17th World Conference on Earthquake Engineering, N° C001878.
- Matsushima, S., H. Yamanaka, S. Tsuno, H. Sato, and Y. Inagaki, 2021, Results of borehole survey at the target site of ESG6 blind prediction exercise and laboratory tests, *The 6th IASPEI / IAEE International Symposium: The Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, SS101.
- 松島信一・吾妻崇・市村強・野澤貴・中山智貴・中嶋唯貴, 2022, 邑知潟平野の推定地盤速度構造の非線形地盤応答を考慮した強震動予測, 拠点間連携共同研究実施報告書(研究実績報告書).
- Miyashita, Takuya, 2021, Estimation of tsunami response functions considering bathymetry in the pacific coast of Japan, *The 30th International Tsunami Symposium*, e90039.
- 中山智貴・松島信一, 2022, 邑知潟平野の地盤構造推定とそれを用いた強震動予測に関する研究, 京都大学防災研究所令和3年度研究発表講演会, B118.
- 中山智貴・松島信一, 2021, 常時微動を用いた邑知潟平野の地盤構造推定, *日本地震工学会・大会 - 2021*, B-4-7.
- 宮下卓也・倉田一輝・安田誠宏・森信人・志村智也, 2021, 確率津波モデルを用いた南海トラフ巨大地震による津波高の不確実性評価, *土木学会論文集B2(海岸工学)*, 77(2), 1_181-1_186, https://doi.org/10.2208/kaigan.77.2_I_181.
- 宮下卓也, 倉田一輝, 安田誠宏, 森信人, 志村智也., 2021, 確率津波モデルを用いた南海トラフ巨大地震による津波高の不確実性評価, 第68回海岸工学講演会.
- Miyashita, T., Mori, N., and Ho, T-C., 2021, Estimation of Tsunami Response Functions Considering Bathymetry in the Pacific Coast of Japan, *The 30th International Tsunami Symposium*.
- 岡田成幸・中嶋唯貴・竹内慎一, 2021, 地震被害想定を検証 その2 - 対策に必要な人的被害情報とその評価法 -, *日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)*, 21024.
- 岡田成幸・中嶋唯貴・岩崎祥太郎・竹内慎一・松島信一・三宅弘恵, 2022, 北海道胆振東部地震からみえた地震被害想定情報の新たな課題, 令和3年度京都大学防災研究所研究発表講演会, B119.
- 大西正光, 2021, 大量軽石火山灰降下からの事前広域避難体制確立に向けた実践的研究, 2021年度桜島大規模火山噴火総合研究グループ研究集会.

- 齊藤隆志, 2022, 地震前後の地表変位から考えられる斜面崩壊・地すべりの発生メカニズム, 京都大学防災研究所令和3年度研究発表講演会, D101.
- 菅沼亮輔, 宮下卓也, 森信人, 志村智也, 2022, 南海トラフ地震を対象とした津波および強振動被害の複合評価, 令和3年度防災研究所研究発表講演会.
- 竹内慎一・岡田成幸・中嶋唯貴・森松信雄・宮内淳一・長瀬拓也・齊藤隆典・戸松誠, 2021, 北海道胆振東部地震の被害を考慮した木造被害率関数の検討 ―その1 地震被害情報による被害率関数のバイズ更新―, 第94回日本建築学会北海道支部研究発表会, No. 112.
- Tsuno, S., H. Kawase, H. Yamanaka, S. Matsushima, T. Iwata, T. Hayakawa, T. Ikeura, S. Noguchi, and K. Kaneda, 2021, Results of blind prediction step 2: Simulation of weak motions observed at the Kumamoto test site, The 6th IASPEI / IAEE International Symposium: The Effects of Surface Geology on Seismic Motion, SS103-BP2.
- Tsuno, S., H. Kawase, H. Yamanaka, S. Matsushima, T. Iwata, T. Hayakawa, T. Ikeura, S. Noguchi, and K. Kaneda, 2021, Results of blind prediction step 3: Simulation of strong motions observed at the Kumamoto test site, The 6th IASPEI / IAEE International Symposium: The Effects of Surface Geology on Seismic Motion, SS103-BP3.
- 山中浩明・津野靖士・地元孝輔, 2021, 熊本地震の強震動のブラインド予測, 日本地震工学会誌, 第43号.
- 山中浩明, 津野靖士, 重藤迪子, 神野達夫, 高井伸雄, 松島 健, 2021, 2016年熊本地震の強震動ブラインド予測の岩盤サイトにおけるS波速度構造探査, 物理探査学会第145回(2021年度秋季)学術講演会, 63-65.
- Yamanaka, H., S. Tsuno, M. Shigefuji, T. Kanno, K. Chimoto, T. Matsushima, and S. Matsushima, 2021, Temporary strong motion observation around kumamoto test site for blind prediction of strong ground motion, The 6th IASPEI / IAEE International Symposium: The Effects of Surface Geology on Seismic Motion, GS5-P36.

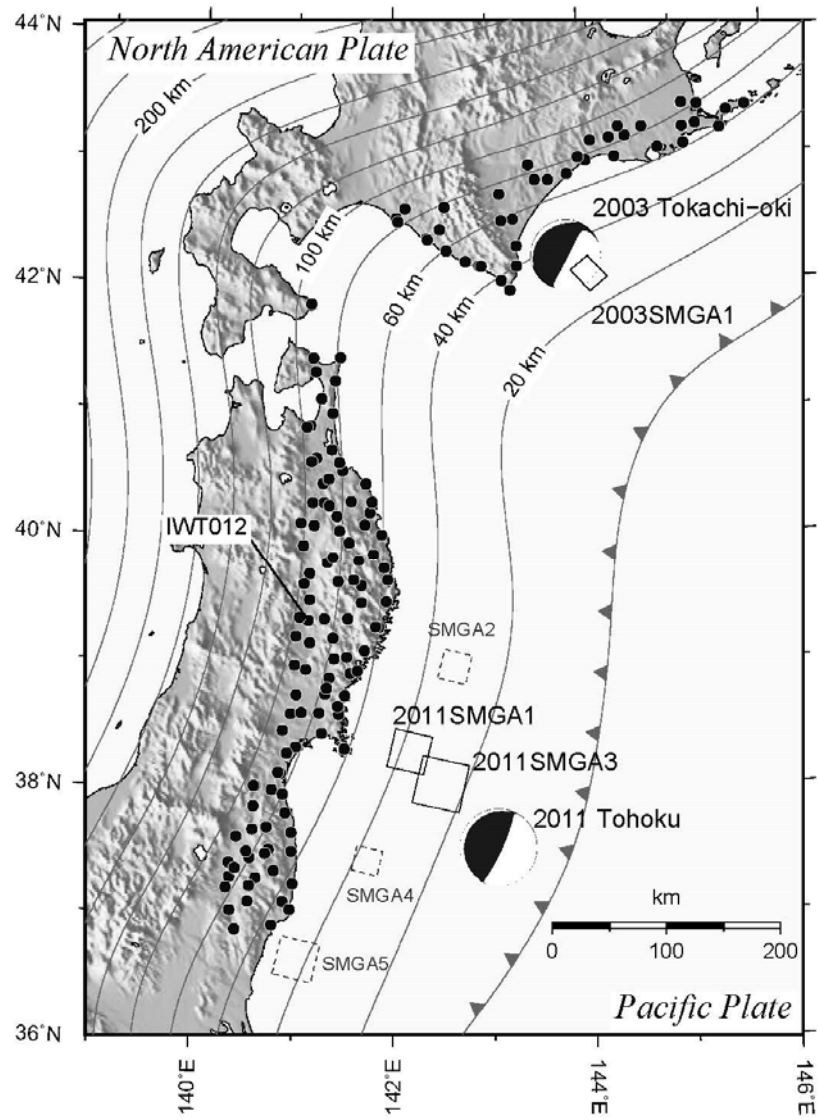
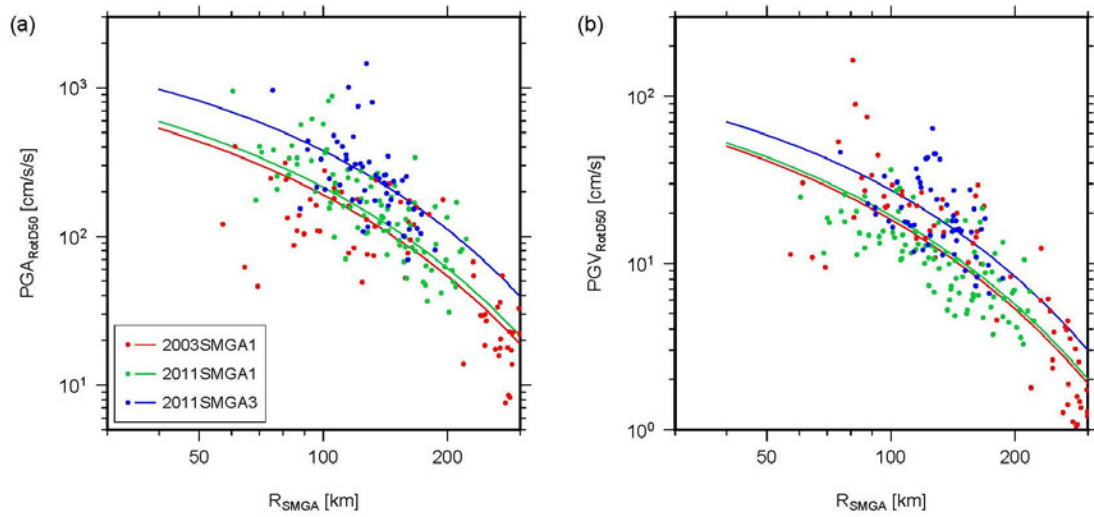
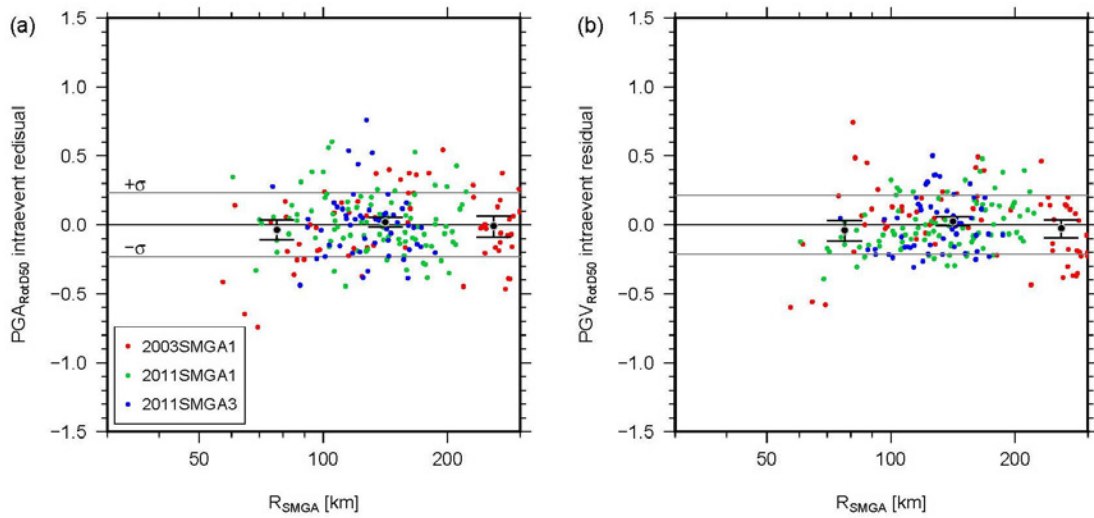


図1. 2003年十勝沖地震と平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の強震動生成域と解析に用いた観測点位置



(a) RotD50の最大加速度 (PGA) (左) とRotD50の最大速度 (PGV) (右)



(b) RotD50のPGAのinter-event残差 (左) とRotD50のPGVのinter-event残差 (右)

図 2. 強震動生成域に特化した地震動の距離減衰式 [課題番号: CT0C01]

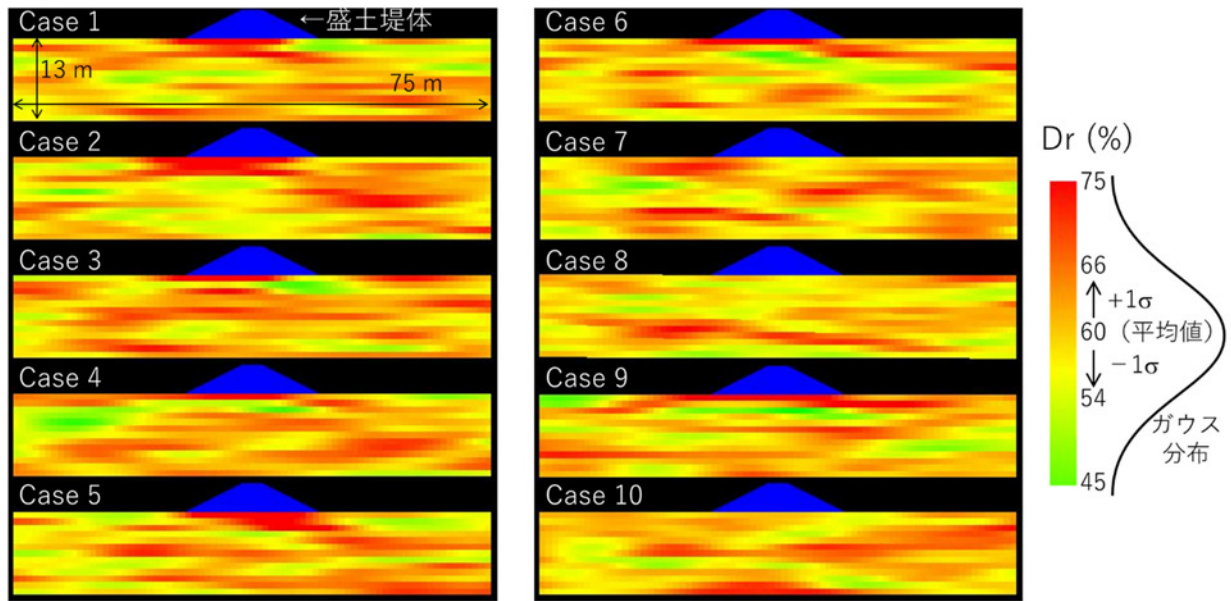
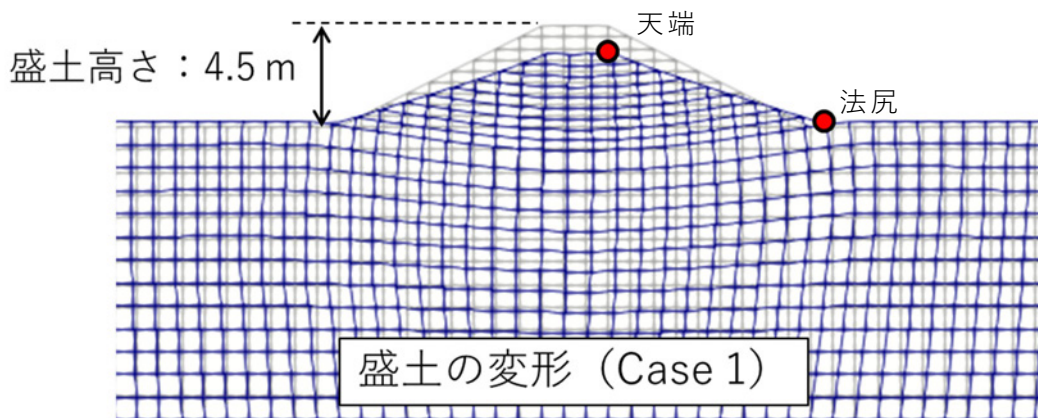
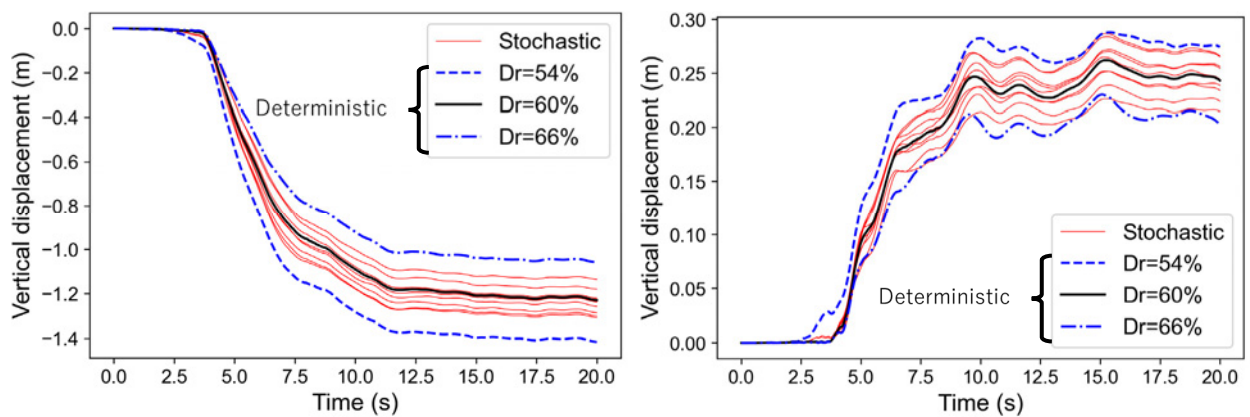


図 3. 基礎地盤における相対密度 (Dr) の空間的不均質性 [課題番号: CT0C01]



(a) 盛土および基礎地盤の変形の例



(b) 盛土の天端 (左) と法尻 (右) での沈下量

図 4. 基礎地盤における相対密度の空間的不均質性を考慮した場合と平均値±標準偏差の確定的な相対密度を用いた場合の盛土沈下量 [課題番号: CT0C01]

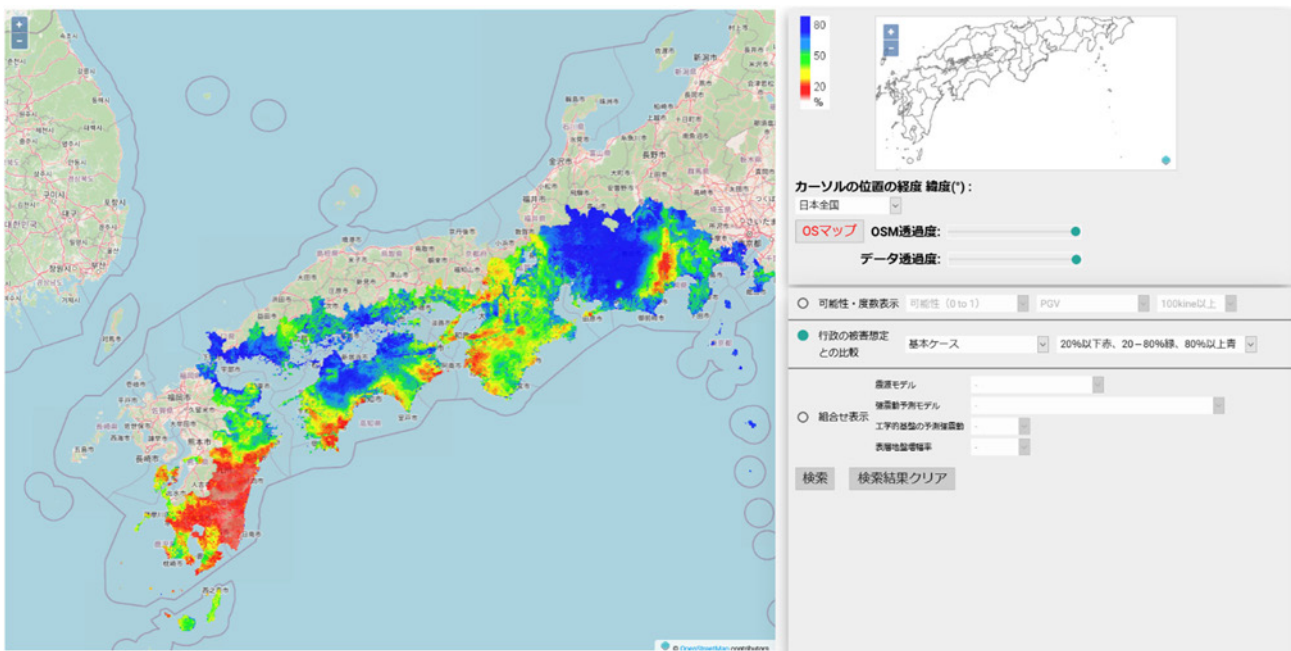


図5. 南海トラフ地震の地震動評価のばらつき評価の試行（基本ケース） [課題番号：CTOC02]

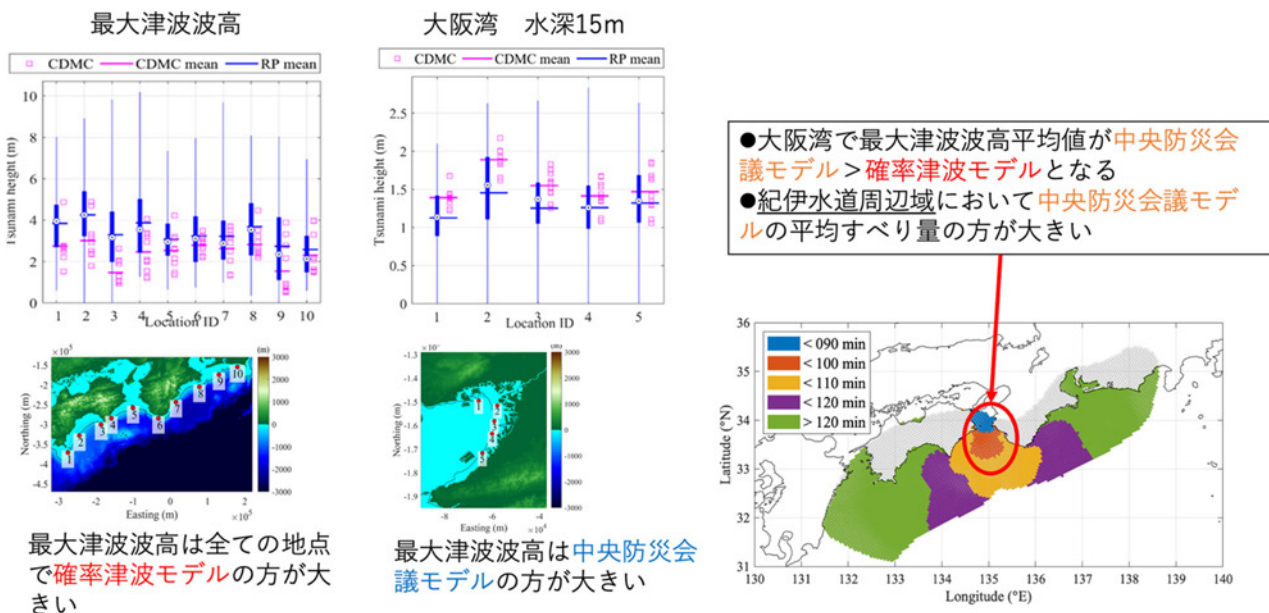


図6. 京大防災研グループが開発しているランダムにすべり分布を生成する確率津波モデルと、内閣府中央防災会議モデルの2種類の津波高の特性の比較 [課題番号：CTOC04]

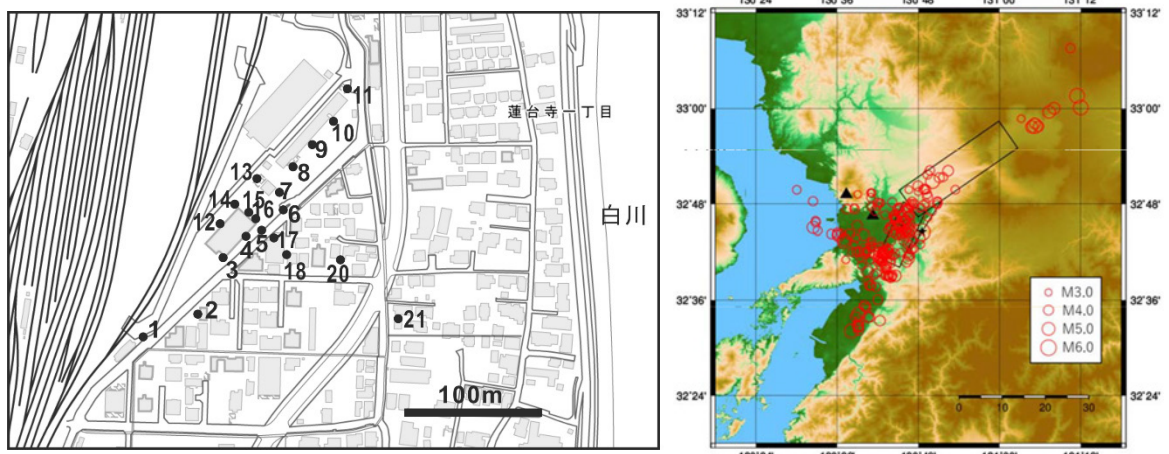


図 7. 臨時観測点の位置 (左) と観測された地震の震央 (右) [課題番号 : CT0C07]

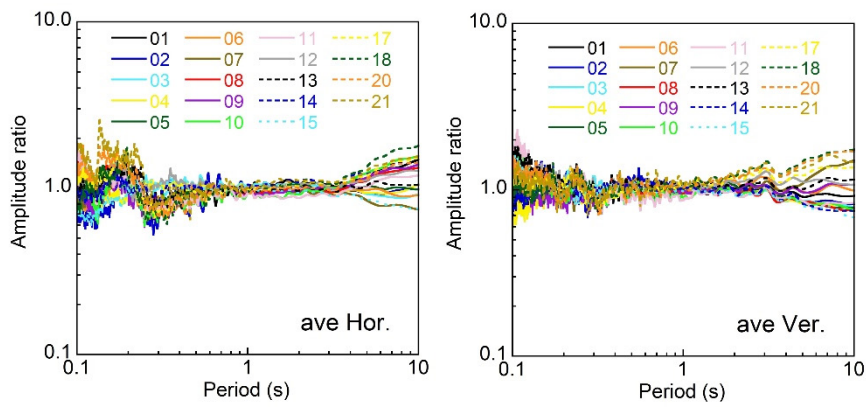


図 8. 観測点16に対する水平 (左) および上下 (右) 成分のスペクトル比 [課題番号 : CT0C07]

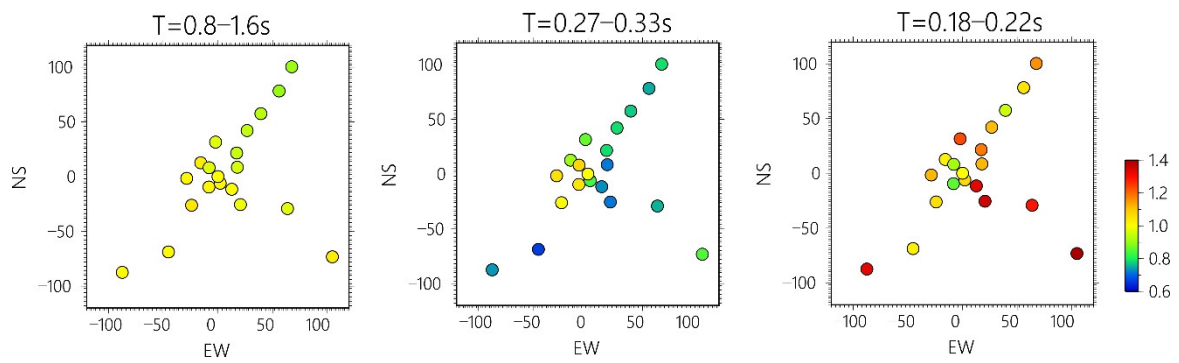


図 9. 周期毎の水平成分のスペクトル比の分布 [課題番号 : CT0C07]

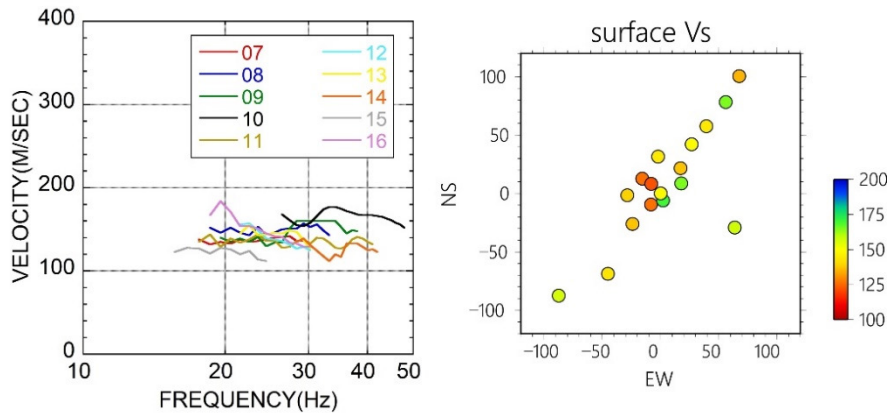


図10. 各観測点での表面波探査の結果 [課題番号 : CT0C07]

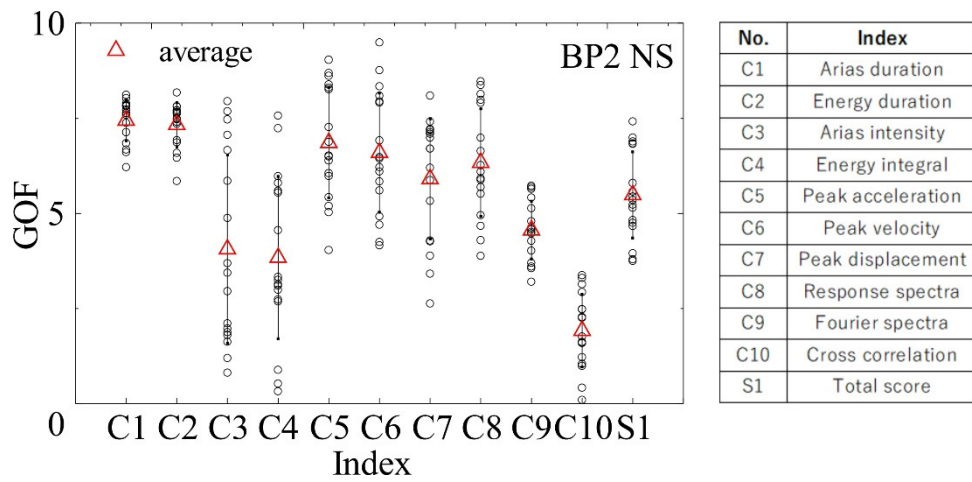


図11. ESG6での強震動のブラインド予測 (BP2) の結果の定量的評価 [課題番号 : CT0C24]

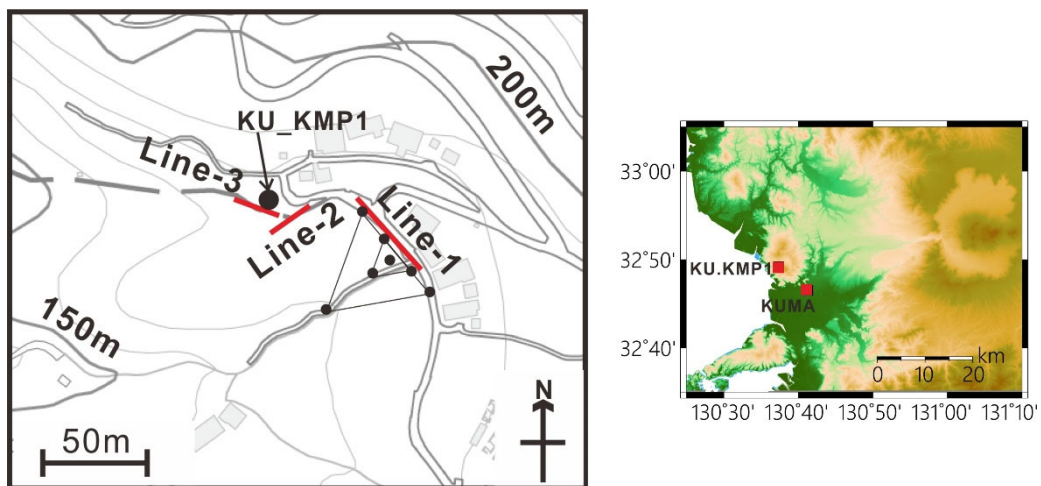


図12. 表面波探査を実施した3測線とアレイ微動観測地点 (左) と岩盤サイトKU.KMP1とテストサイトKUMAの位置関係 (右) [課題番号 : CT0C24]

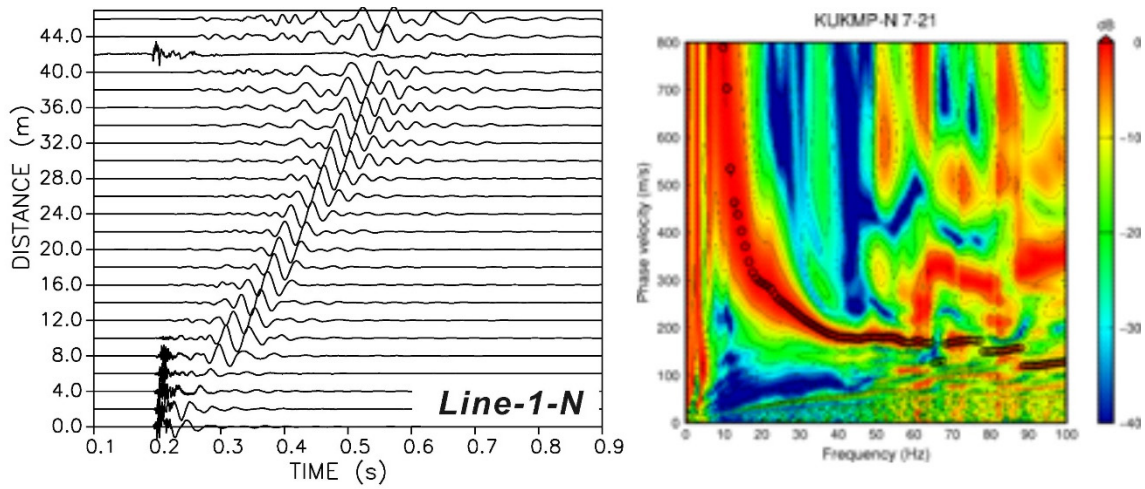


図13. 測線1の北側での加振による上下成分の速度記録（左）とビームフォーミング解析により得られた位相速度（右） [課題番号：CTOC24]

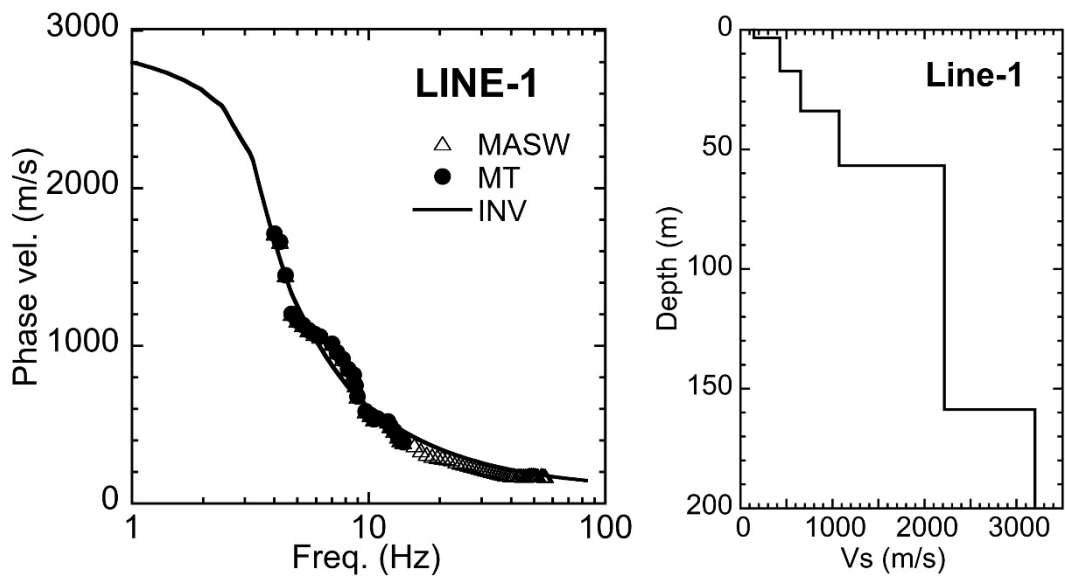


図14. 岩盤サイトでのレイリー波の位相速度（左）と逆解析されたS波速度構造モデル（右） [課題番号：CTOC24]

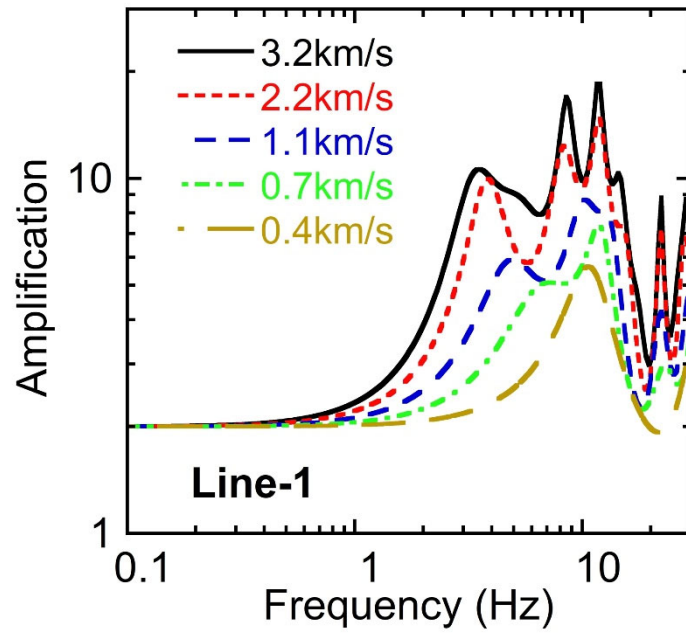


図15. 岩盤サイトの地下構造モデルの最下層を変えた場合の増幅特性 [課題番号:CT0C24]

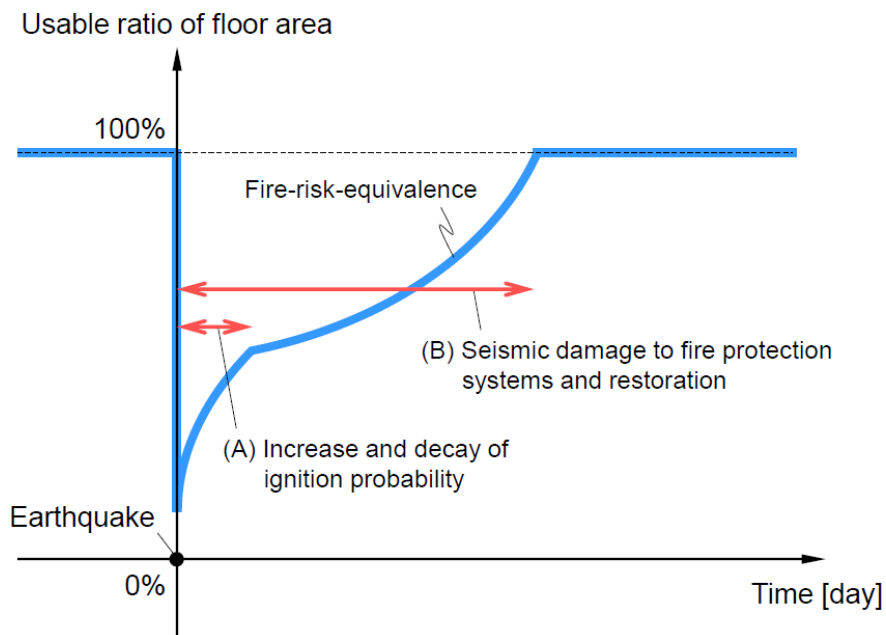


図16. 火災リスクの観点からの地震レジリエンス評価の概念 [課題番号:CT0C25]

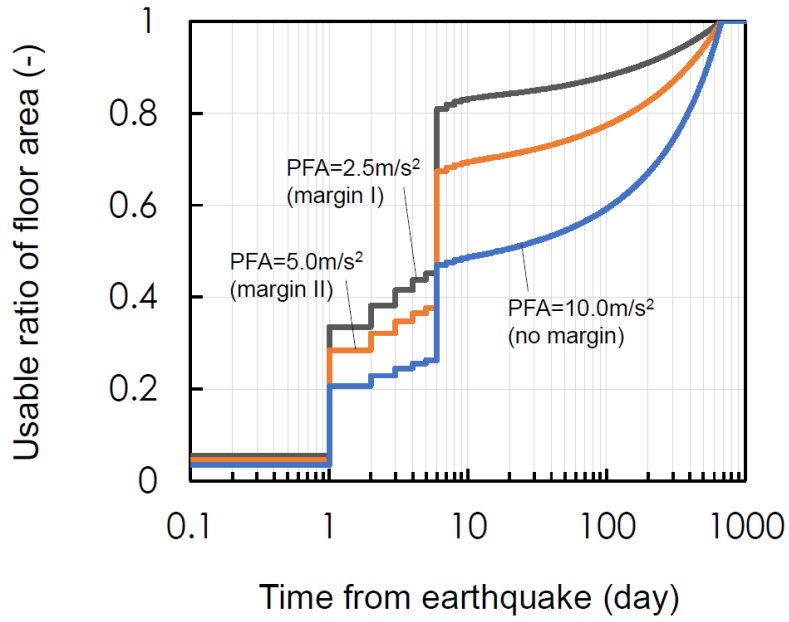


図17. 計算例 [課題番号 : CT0C25]

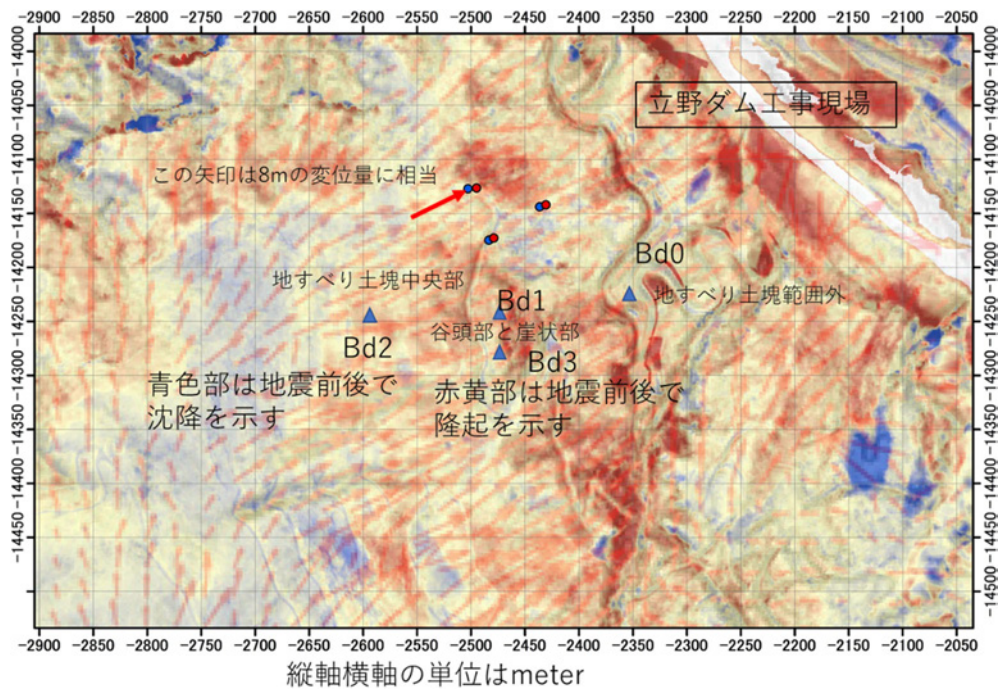


図18. 熊本立野地区の地震前後PIVによる地表変位および観測点など [課題番号 : CT0C26]

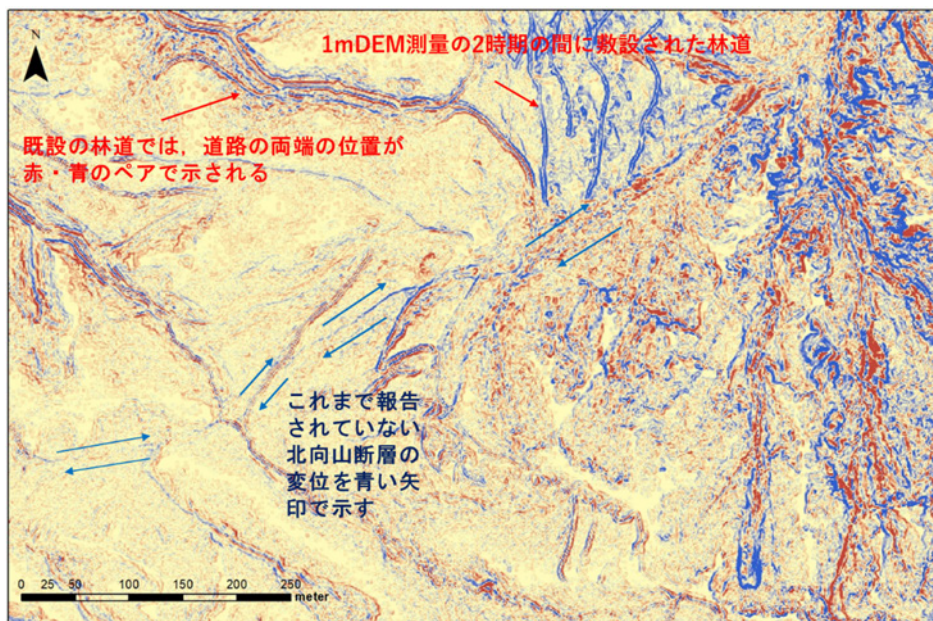


図19. 本手法で検出された地表変位（北向山断層） [課題番号：CTOC26]

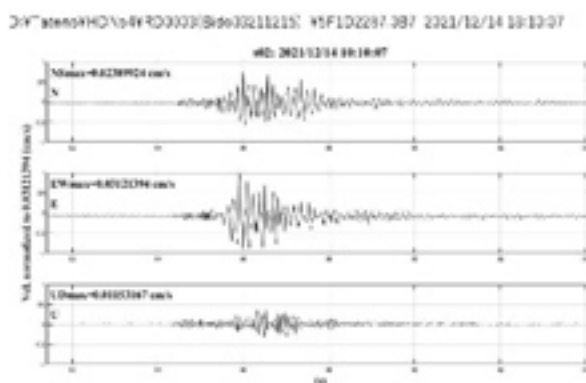


図20. 地震動観測で得られた波形例 [課題番号：CTOC26]

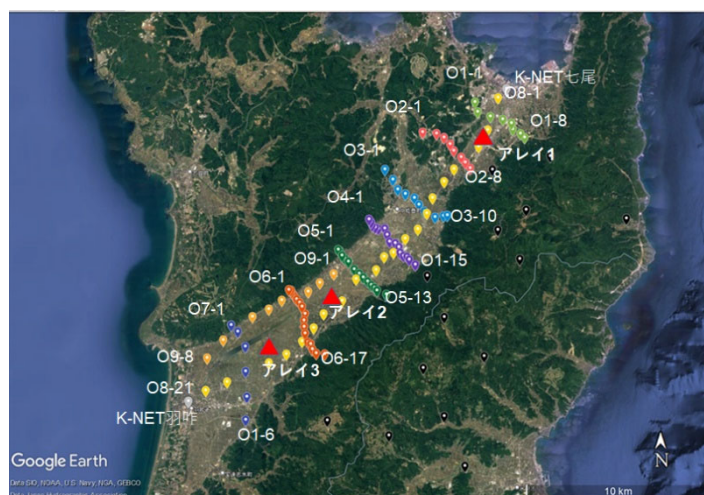


図21. 微動観測点配置（Google Mapに加筆） [課題番号：CTOC27]

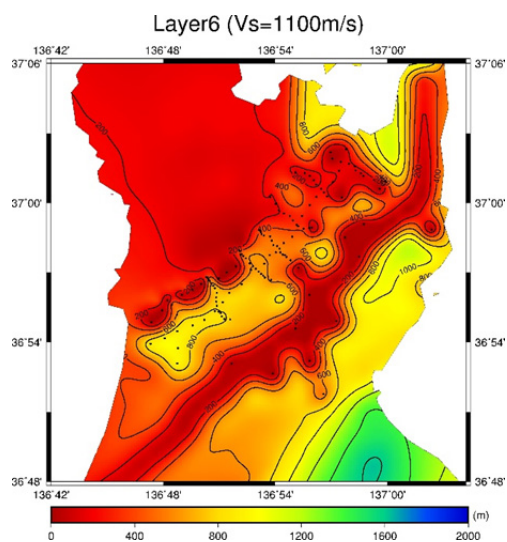


図22. 推定地盤構造モデル ($V_s=1100\text{m/s}$ 上面深さ) [課題番号: CT0C27]

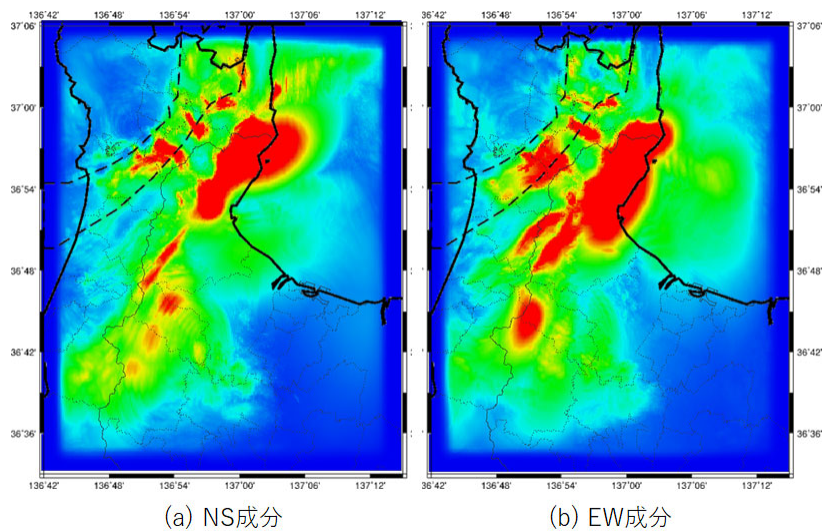


図23. 邑知潟断層帯の想定地震ケース2によるモデル最上面最大速度分布 [課題番号: CT0C27]

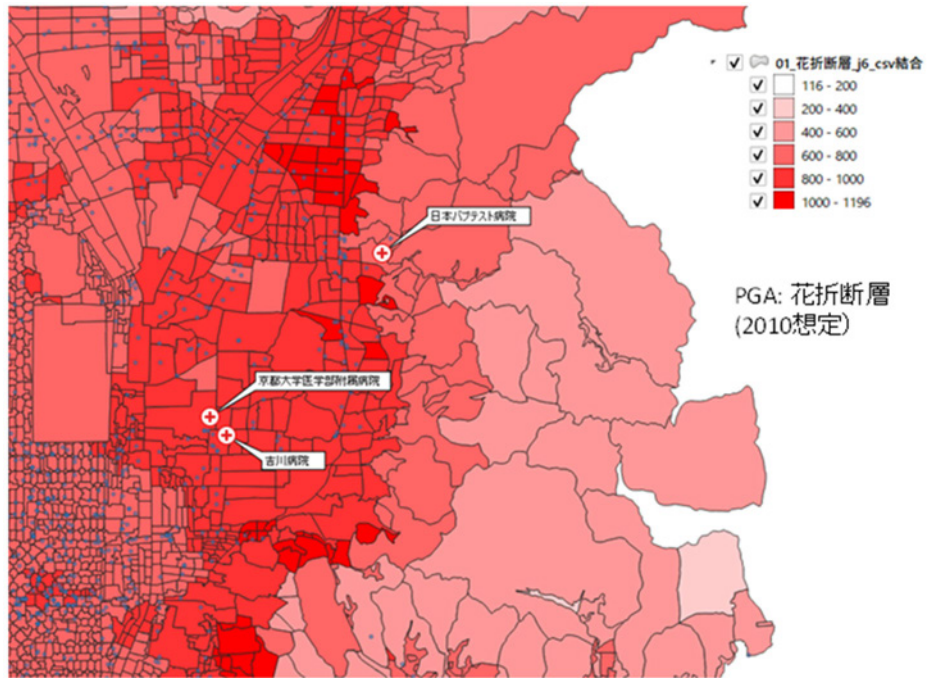


図24. 観測中の医療施設 [課題番号 : CT0C23]

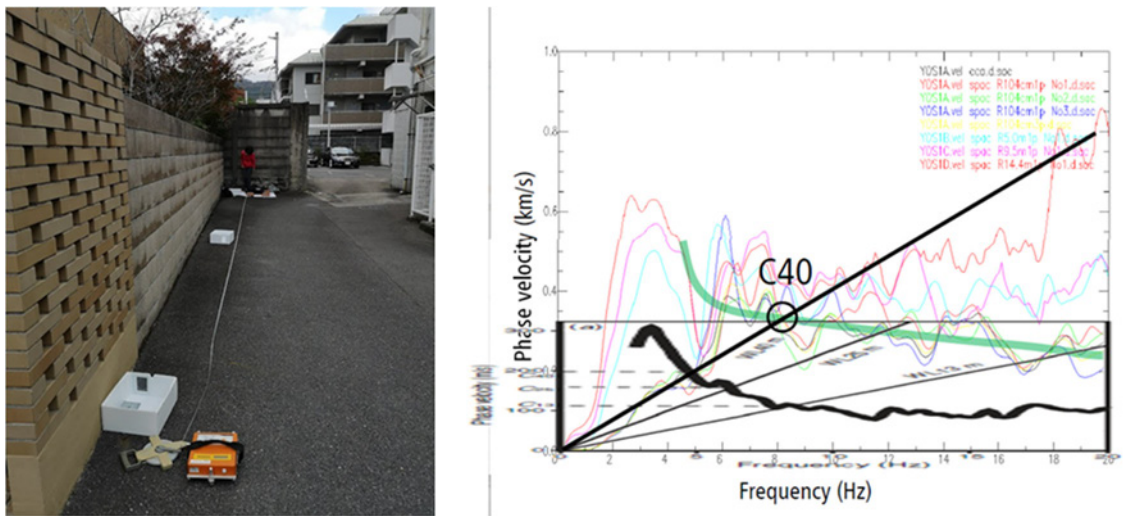


図25. 吉川病院の微動観測と地盤位相曲線 [課題番号 : CT0C23]

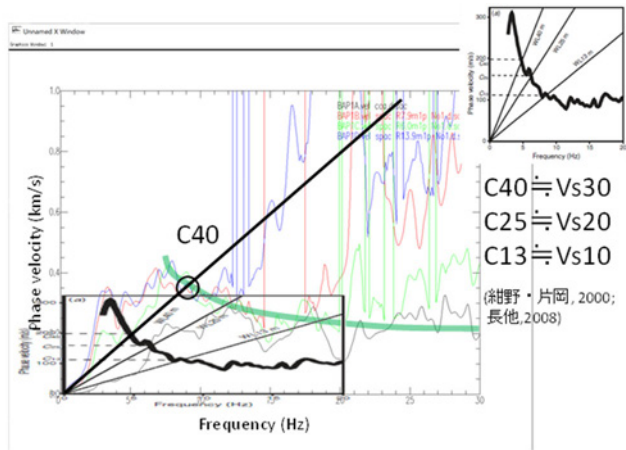
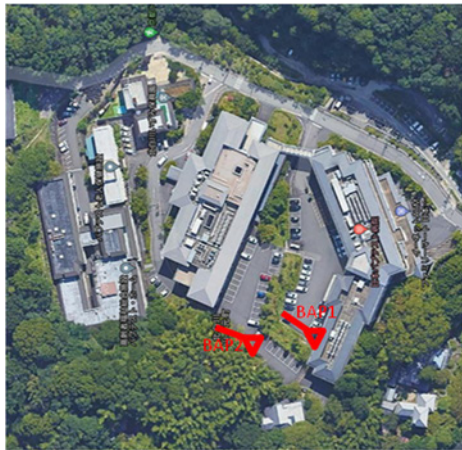


図26. 日本バプテスト病院の微動観測と地盤位相曲線 [課題番号：CT0C23]

表1. 木造住家に関する想定地震と胆振東部地震との比較

[課題番号：CT0C017]

被害種別	被害		想定地震		胆振東部地震		
	程度	対象地域	北海道	内閣府	公表被害実数	全世帯アンケート 住人判定	罹災証明
木造住家	全壊数 (全壊率)	厚真町	196棟 (10.40%)	1,014棟 (53.82%)	235棟 (12.47%)	(7.04%)	(10.26%)
		安平町	175棟 (5.90%)	1,219棟 (41.09%)	93棟 (3.13%)	(2.31%)	(2.53%)
		むかわ町	174棟 (5.19%)	1,405棟 (41.93%)	40棟 (1.19%)	(1.91%)	(0.64%)
	半壊数 (半壊率)	厚真町	284棟 (15.07%)	459棟 (24.36%)	335棟 (17.78%)	(4.90%)	(15.90%)
		安平町	333棟 (11.22%)	838棟 (28.24%)	366棟 (12.34%)	(2.93%)	(12.10%)
		むかわ町	398棟 (11.88%)	1,015棟 (30.29%)	186棟 (5.55%)	(2.80%)	(5.52%)

表2. 人的被害に関する想定地震と胆振東部地震の比較

[課題番号：CT0C017]

被害種別	被害		想定地震		胆振東部地震		
	程度	対象地域	北海道	内閣府	公表被害実数	全世帯アンケート 換算値	提案手法 非回避行動率1.0
住家被害に伴う人的被害	死者数 (死者率)	厚真町	5人 (0.11%)	10人 (0.21%)	0人 (0%)	0人 (0%)	5人 (0.11%)
		安平町	4人 (0.05%)	12人 (0.15%)	0人 (0%)	0人 (0%)	7人 (0.09%)
		むかわ町	4人 (0.05%)	13人 (0.16%)	0人 (0%)	0人 (0%)	3人 (0.04%)
	重傷者数 (重傷者率) AIS ≤ 4 (重症)	厚真町	4人 (0.09%)	32人 (0.69%)	0人 (0%)	0人 (0.00%)	20人 (0.43%)
		安平町	7人 (0.09%)	53人 (0.65%)	7人 (0.09%)	4.7人 (0.06%)	33人 (0.40%)
		むかわ町	8人 (0.10%)	67人 (0.80%)	27人 (0.32%)	4.3人 (0.05%)	14人 (0.17%)
	軽傷者数 (軽傷者率) 2 ≤ AIS < 4 (中等症)	厚真町	64人 (1.37%)	0人 (0%)	61人 (1.31%)	19.9人 (0.43%)	241人 (5.17%)
		安平町	66人 (0.81)	0人 (0%)	10人 (0.12%)	32.6人 (0.40%)	463人 (5.66%)
		むかわ町	80人 (0.95%)	0人 (0%)	250人 (2.98%)	60.0人 (0.67%)	286人 (3.41%)

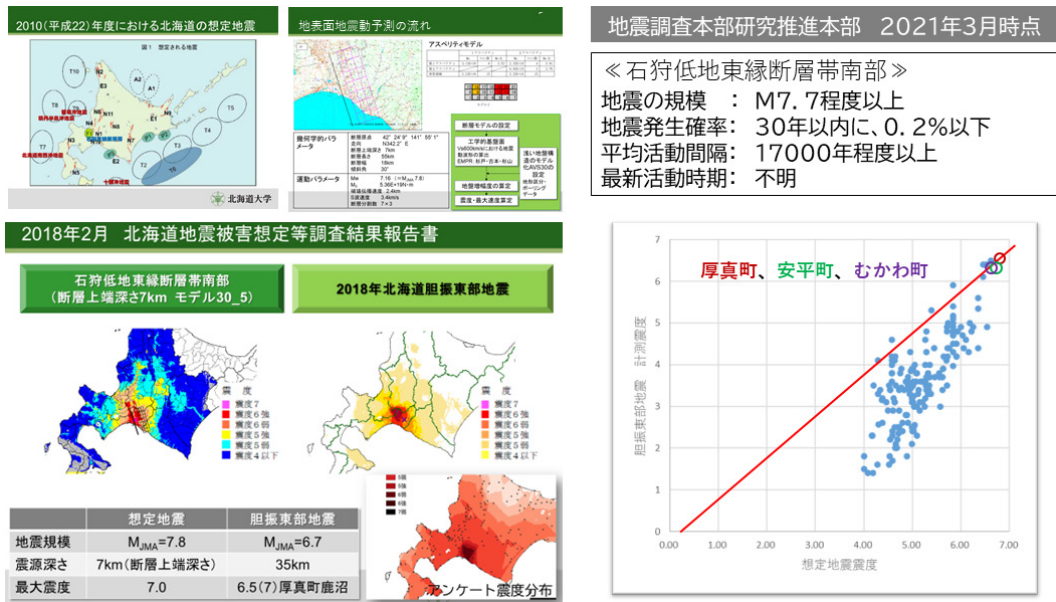


図27. 北海道の想定地震と2018年北海道胆振東部地震の震源及び市町村震度比較 [課題番号: CT0C017]

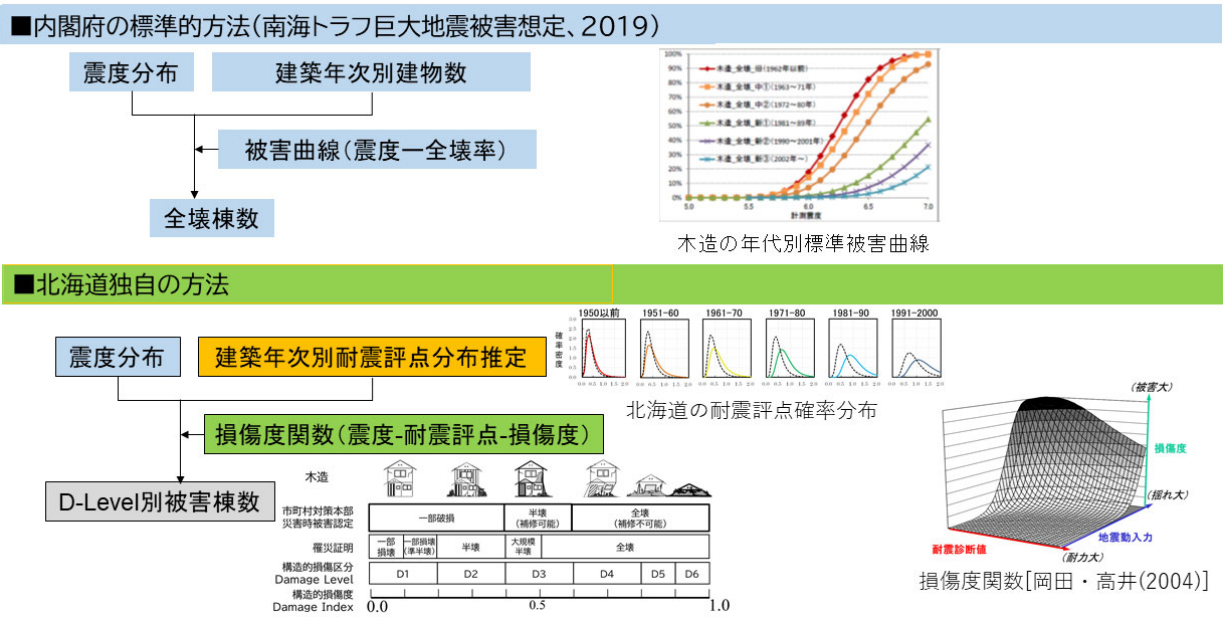
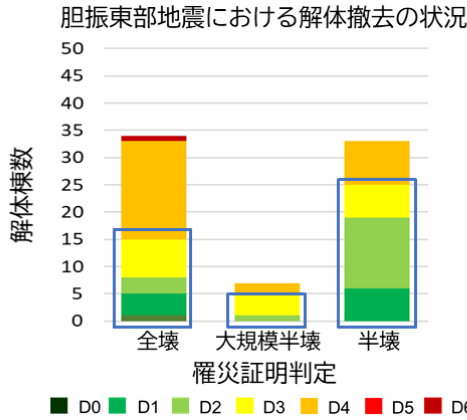


図28. 木造住家被害想定手法の比較 [課題番号: CT0C017]



その後の再建(新築)状況の比較

調査地区	罹災証明	解体率	補修率	再建率
2004年 新潟県中越地震	全壊	72%	28%	23%
	半壊	93%	7%	83%
2007年 能登半島地震	全壊	86%	14%	67%
	半壊	20%	80%	67%
2016年 熊本地震	全壊	99%	1%	28%
	半壊	83%	12%	31%
2018年 北海道胆振東部地震	全壊	60%	34%	30%
	半壊	21%	77%	42%

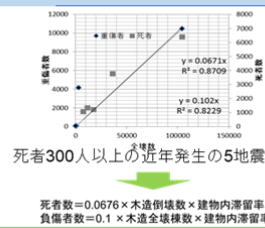
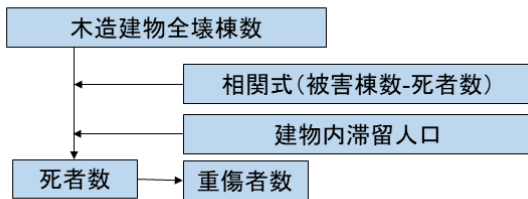
この地域の特徴

- 構造被害が小さくても(D0~D3)、全壊判定されるケースがある。
- 構造被害が小さくても、解体撤去するケースが多い。
- 撤去後の再建率が低く、その後町を離れるケースが多い。
- 全・半壊共に再建費用が工面できず、助成のある補修で対応する世帯が多い。

⇒世帯復旧には「罹災証明判定」が有用。対策に直接関与する被害認定基準の導入の必要性。

図29. 復旧と罹災証明の実態：地震後1～2年後の調査から [課題番号：CTOC017]

■内閣府の標準的方法(南海トラフ巨大地震被害想定、2019)



■北海道独自の方法

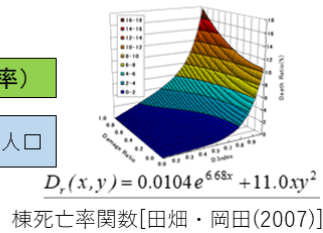
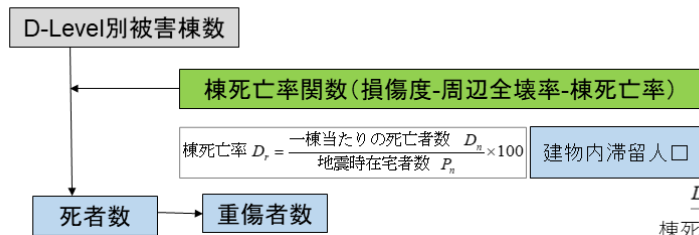


図30. 人的被害想定手法の比較 [課題番号：CTOC017]

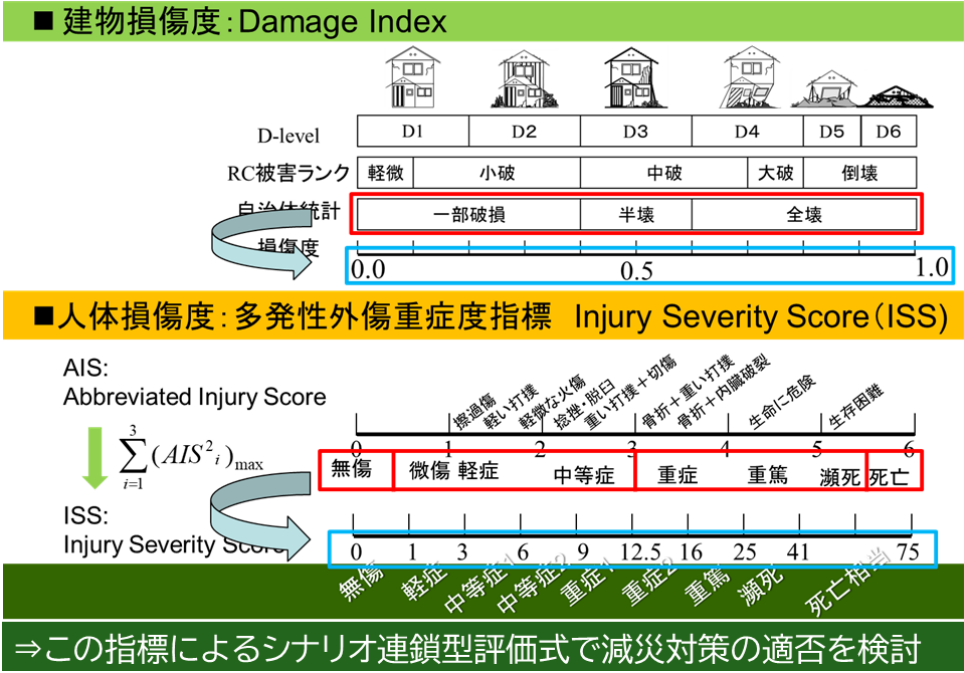


図31. 新たな被害指標の導入 [課題番号: CT0C017]

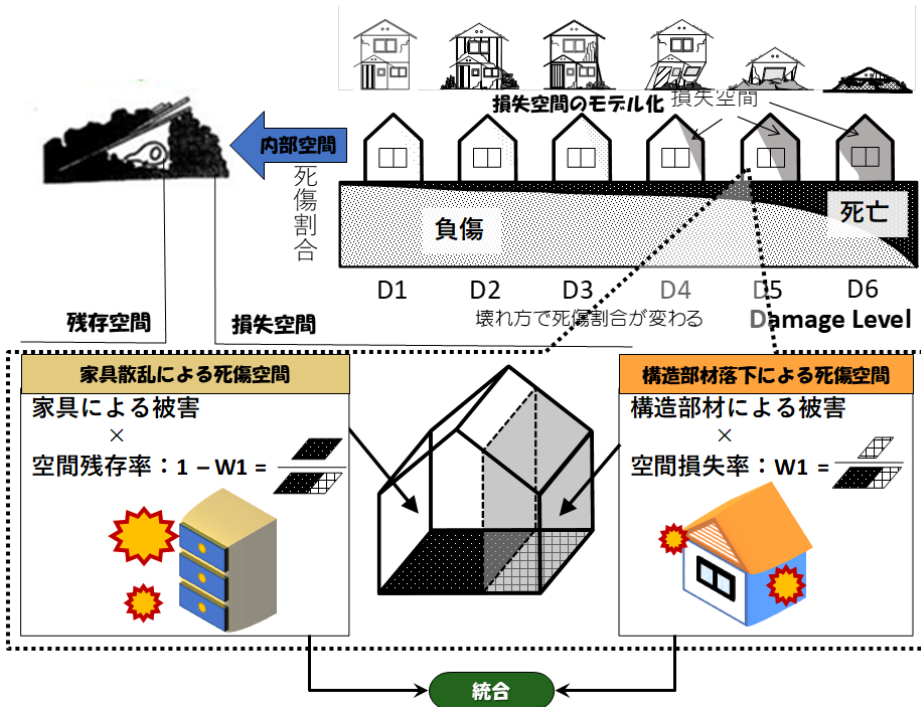


図32. 人的被害に結びつくシナリオ連鎖型（構造被害+室内被害）統合式 [課題番号: CT0C017]

建物損傷度別木造住宅内人的重症度分布(人)

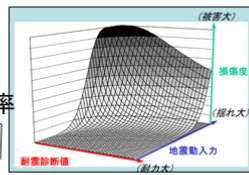
築年代分布・木造率でモデル化 ⇒ 地域内損傷度分布 ⇒ 地域内のISS値を確率分布

$$M_{ISS}(\theta) = \sum_{\Delta x=0.6}^{1.0} \sum_{I=0}^{7.4} M_f(I) \cdot P(I, \Delta x) \cdot W_{\Delta x} \cdot f''_{\Delta x}(\theta)$$

- $P(I, \Delta x)$: 岡田・中嶋の損傷度関数による損傷度 Δx の超過確率
- $M_f(I)$: 木造住宅内震度暴露人口
- $W_{\Delta x}$: 建物内部空間損失率(W値)
- $f''_{\Delta x}(\theta)$: 建物損傷度別ISS発生確率 (岡田・中嶋: 阪神淡路大震災のデータからベイズ更新)

〈計算時に参照するデータ〉

- 人口分布: 総務省国勢調査(2015)
- 震度分布: 各自治体想定(札幌市: 250m区画)
- 木造率: 総務省住宅土地統計(~1950, 1951, 1961, 1971, 1981, 1991~)
- 築年代分布(耐震評点分布): 総務省住宅土地統計(同上)



住家の損傷度関数 [岡田・高井(2004)]

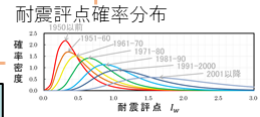
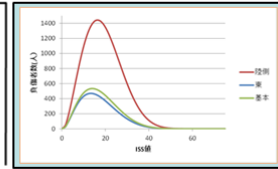
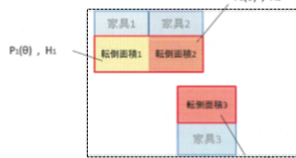


図33. 建物損失空間における構造物落下による人的被害の評価 [課題番号: CT0C017]

室内被害: 家具転倒による人的ISS分布(人)

■ 既往研究: 1世帯における家具転倒による人的ISS評価

(1) 家具転倒領域率による負傷確率(名知・岡田2007)



$$P_X(x = k) = {}_n C_k \cdot R_{tr}^k \cdot (1 - R_{tr})^{n-k}$$

(2) 家具転倒による人的ISS評価(岡田2011)

$$p(\vartheta|y) = k \cdot l(y|\vartheta) \cdot p(\vartheta) = Be(a_0 + r, b_0 + n - r)$$

地域に拡張

■ 提案式: 地域の家具転倒による人的ISS評価

地域の世帯人員別の保有家具種類・家具数の平均モデル化

$$F_{I,T,U}(\vartheta) = \sum_{n=1}^6 \{ P_{n,I}(\vartheta) \times U \times N_n(I) \times T \}$$

家具配置密度, 行動能力, 世帯人数, 地震時の在宅率

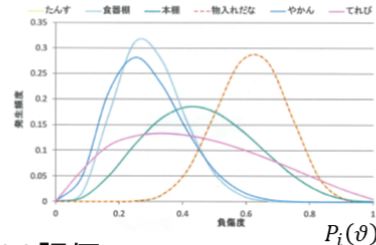


図34. 建物残存空間における人的被害想定式の構築 [課題番号: CT0C017]

家具転倒によるISS評価式:

$$F_{I,T,U}(\vartheta) = \sum_{n=1}^6 \{P_{n,I}(\vartheta) \times U \times N_n(I) \times T\}$$

負傷世帯発生率(I_{injury}):

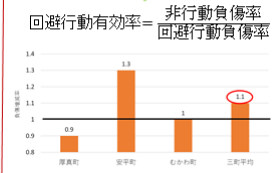
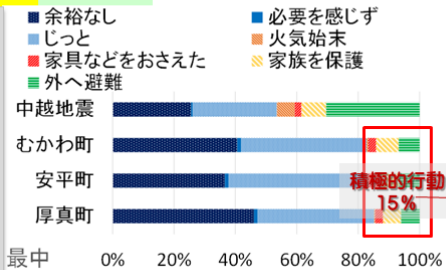
居室人数 n に対して負傷者数 x が0より多く発生する確率として以下の式で表される。 R :家具転倒領域率、 $1-B$:非回避行動率

$$I_{injury} = P_x(x > 0) = \{1 - (1 - R)^n\} (1 - B)$$

家具転倒領域率の推定結果

	I_{injury} [%]	n [人/フロア]	$1-B$ [%]	R [%]
厚真町	18.8	1.661	100	11.8
安平町	12.4	1.775	100	7.2
むかわ町	23.3	1.876	100	13.2

北海道の二人世帯の転倒領域率平均値は 15%



(1-B)=100%
夜間の回避行動は負傷回避に有効ではない
(1-B)=85%
昼間に発生した中越地震 (1-B)=25%

図35. 室内家具転倒による負傷確率算定式から【夜間でも負傷者が少なかった理由を】推測する [課題番号: CT0C017]

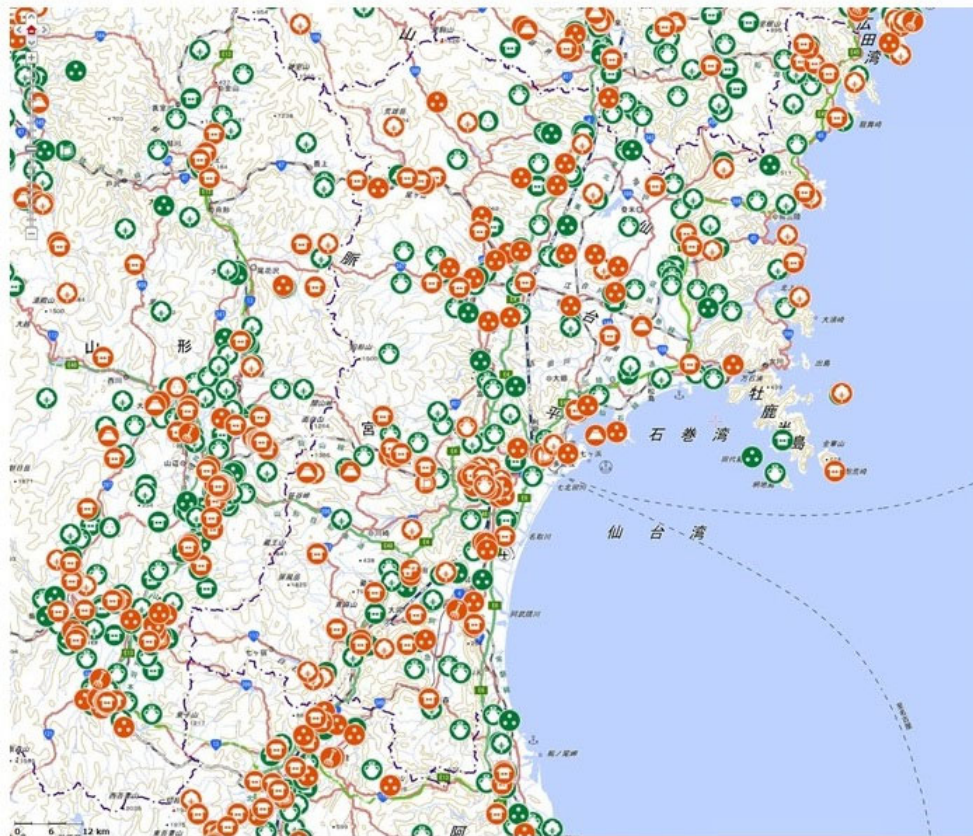


図36. 東北地方の文化遺産マップ [課題番号: CT0C029]

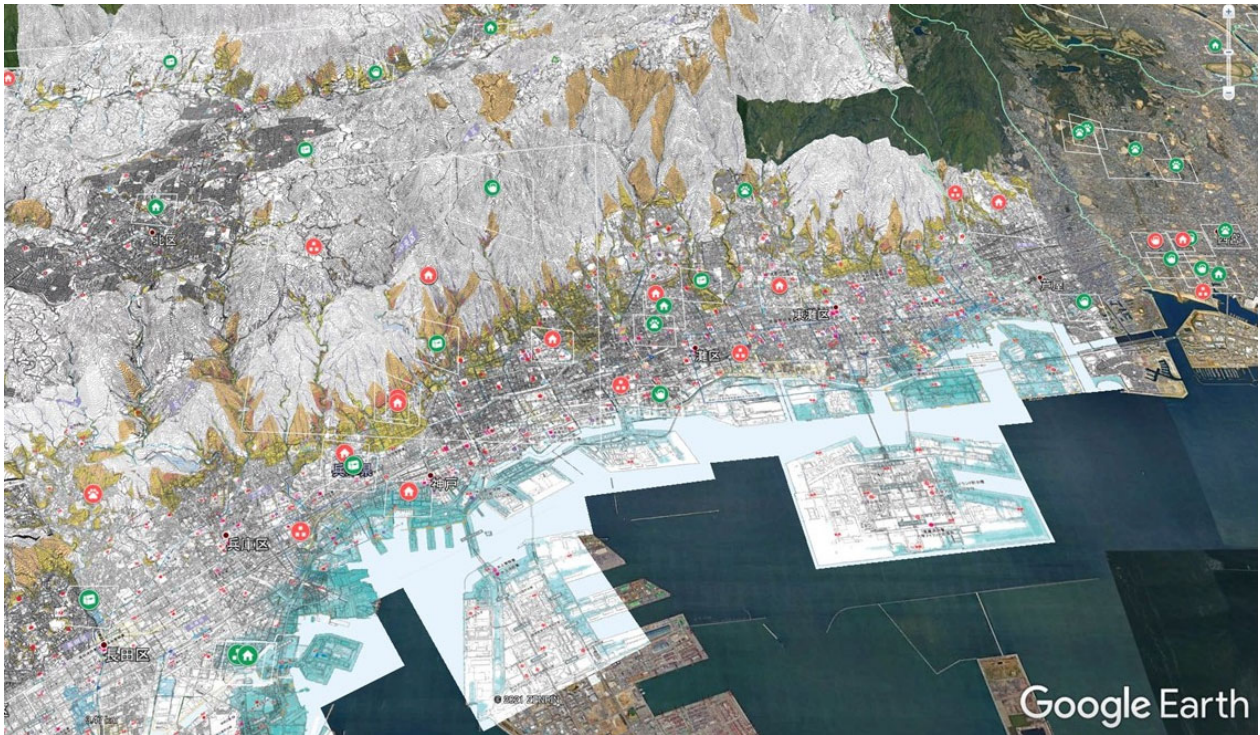


図37. 神戸市の文化遺産マップとハザード情報 [課題番号 : CT0C029]

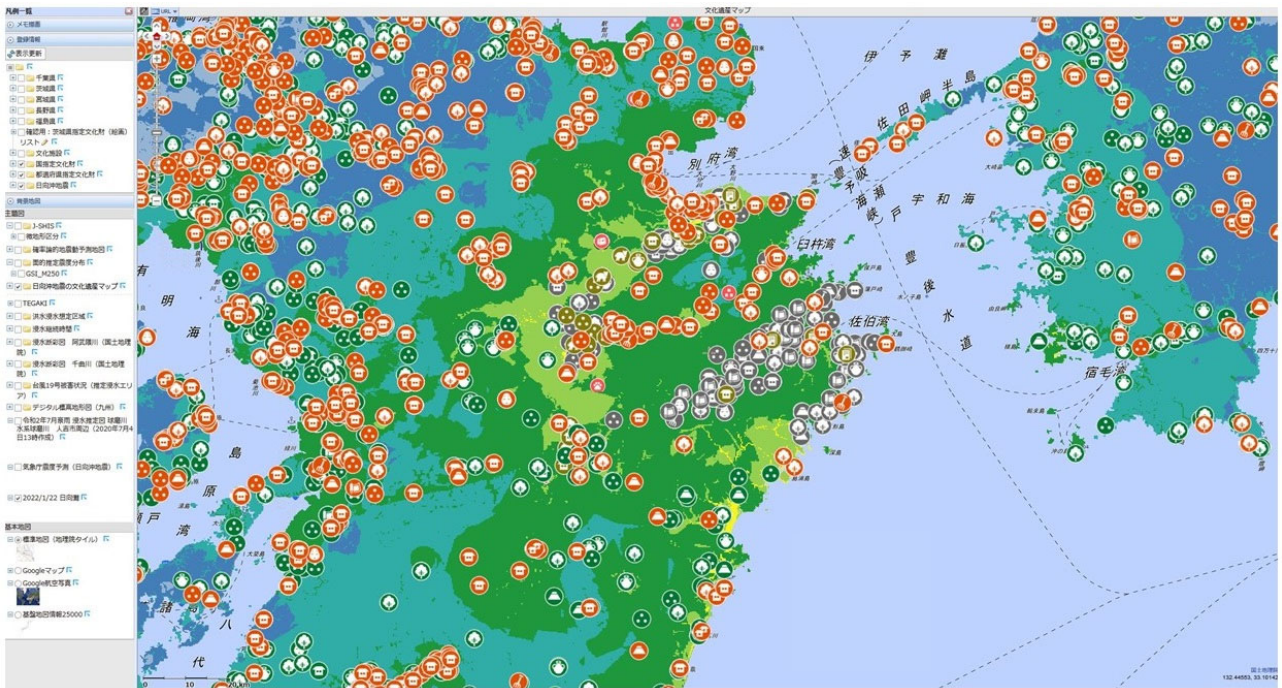


図38. 令和4年1月22日日向灘の地震に対応した文化遺産マップ [課題番号 : CT0C029]

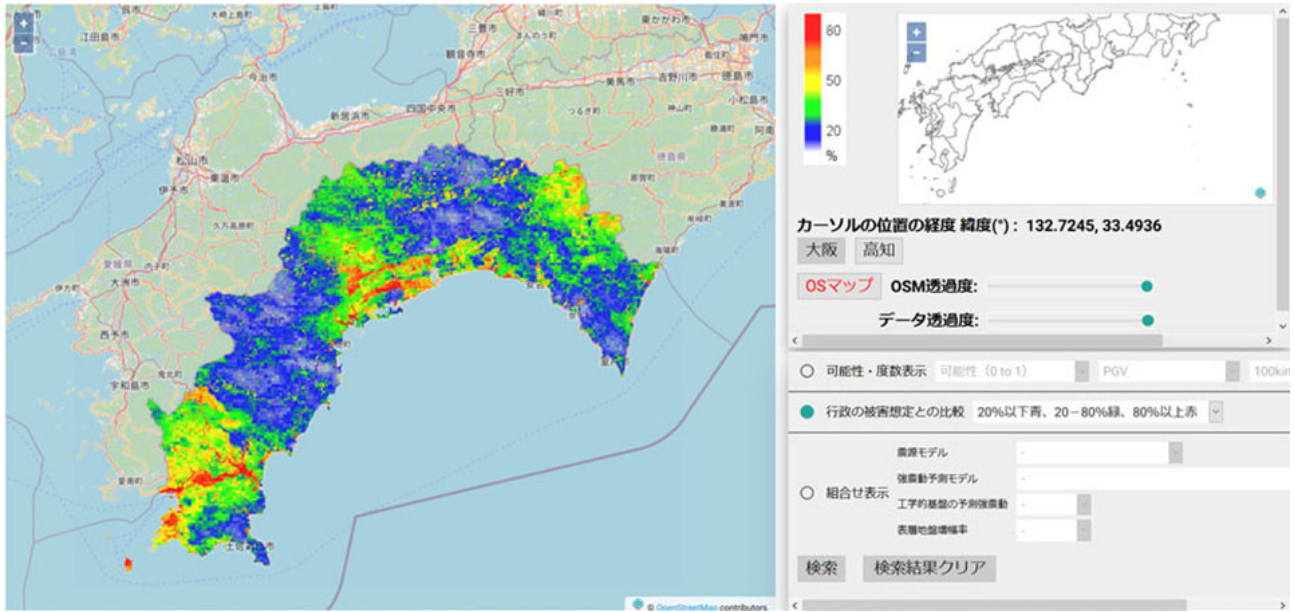


図39. 地震動推定結果のばらつき表示 [課題番号：CTOC030]

本表示は青が過小評価、赤が過大評価。赤が過小評価、青が過大評価という表示も可能