

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)
副部長 佐竹健治
(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「参加者募集型研究」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「課題募集型研究」を平成26年度から開始した。

1. 参加者募集型研究

5年間の成果の概要

参加者募集型研究については、平成26年度の拠点間連携共同研究の開始時に、主として両研究所の中堅研究者からなるワーキンググループで議論し、南海トラフで発生が懸念される巨大地震のリスク評価の精度向上を目指した様々な分野の研究を推し進めることが重要であると合意し、平成26年10月6日～7日に地震研究所で研究集会「地震・火山科学と総合防災学の両共同研究拠点主催シンポジウム 南海トラフ巨大地震の災害リスク評価 - 社会の影響から地震発生まで振り返り、評価の不確実性と影響評価について考える -」を開催した。そこでは、巨大地震の震源過程、震源から居住地域までの深部地下(地

殻)構造・波動伝播, 強震動, 浅部地下構造, 津波, 構造物等の特性をそれぞれの分野の専門家が議論して, それぞれの部分の想定や評価における精度や不確かさを議論するとともに, それらがどのように関連し, 最終的な被害につながるかの科学的なリスク評価方法の確立を目指すことを確認した。さらに, リスク評価に基づき, 事前の災害情報, 災害発生後の対応等のあり方など, 巨大災害の発生から災害発生後の対応まで, 巨大地震に伴い予測される一連の事象に関して, 防災・減災に向けて機能するための研究を発展させることを目指すことになった。主要テーマを「巨大地震のリスク評価の精度向上に関する新パラダイムの構築」として, 全体の研究を, (1) 想定される南海トラフ地震の震源過程, (2) 深部地下(地殻)構造とそれが波動伝播に及ぼす影響, (3) 強震動予測手法の高度化, (4) 浅部地下構造が地震動に及ぼす影響, (5) 津波予測モデルと津波被害予測手法, (6) 構造物の被害予測手法の高度化, (7) 災害のリスク評価と意思決定, (8) 災害情報の外部発信とステークホルダの関与, (9) コンピュータシミュレーションを用いた新たな地震リスク評価手法の開発, の9分野に分け, それぞれの分野で研究を深化するとともに, 各分野の相互連携を図る地震リスク評価プラットフォーム構築を目指した。

平成27年度は, 上記9分野のうち, (7) 災害リスク評価と意思決定および(9) コンピュータシミュレーションを用いた新たな地震リスク評価手法の開発を特定分科研究とし, それぞれの分野の全国の研究者と協力して研究を進めるとともに, 他の7つの分野については総括研究として並行して推進し, 定期的に情報交換を行いリスク評価手法の構築に努めることとなった。平成28年度は, 前述の2分野に加え, (1) 想定される南海トラフ地震の震源過程および(6) 構造物の被害予測手法の高度化も特定分科研究とした。平成29年度は, 平成28年度に加えた2分野に(4) 浅部地下構造が地震動に及ぼす影響(巨大地震時における地盤増幅率の予測手法の高精度化)(拠点間連携共同研究[課題番号: 2990])および(3) 強震動予測手法の高度化(震源モデルに着目した巨大地震に伴う強震動予測の高度化)(拠点間連携共同研究[課題番号: 2991])を加えた4分野について特定分科研究を進めた。平成30年度は, 平成29年度に加えた2分野に, (8) 災害情報の外部発信とステークホルダの関与(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)(拠点間連携共同研究[課題番号: 2951])および(7) 災害リスク評価と意思決定(将来時点でのエクスポージャ予測のためのデータ解析とモデル化手法の構築)(拠点間連携共同研究[課題番号: 2952])を特定分科研究として推進した。各年度とも特定分科研究と並行して総括研究を推進し, 特定分科研究でえられた成果を総括研究に組み込むことで手法の高度化を図って来た。

平成27年度から平成30年度までの各年度において, 参加者募集型研究に申請された研究提案と参画グループについて, 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により審査され, 参加者募集型研究の趣旨に適合する研究提案・参画グループが採択された。

平成30年度の成果の概要

(1) 総括研究

総括研究(拠点間連携研究[課題番号: 2975])は「巨大地震のリスク評価の精度向上に関する新パラダイムの構築」と題し, 平成29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および(8)ステークホルダの参画に関する研究グループにおいて，リスク評価およびその不確かさに関する検討を行った。

震源過程および強震動予測について，南海トラフ巨大地震の震源像構築に関し一様な断層の滑りモデルから震源モデルの高度化を図るにあたり，強震動生成域を考慮した場合の強震動予測に関する問題点を整理した。深部地盤・伝播経路については，過去に南海トラフに沿った海域で行われてきた人工震源構造調査および自然地震観測の結果について，陸域の地震観測データと合わせて南海トラフ全域にわたる海陸統合した地震波速度構造の再解析が進められている。紀伊半島沖では新たに人工震源構造調査も進められ，また，自然地震観測が計画されている。これらの結果について検討を行い，さらなる構造解明のための観測計画について策定を行なった。浅部地盤構造については，公開地盤情報および過去の地震記録を用いて，地盤の強非線形性を厳密に考慮した逐次非線形地盤応答解析（非液状化解析および液状化解析）を多数実施した。その結果に基づき表層地盤の加速度増幅率を算出したところ，入力地震動のレベルに応じた増幅率の変化に加え，液状化解析の場合には液状化指数（PL値）や液状化危険度指数（LRI）といった液状化指標に増幅率が大きく影響されることがわかった。構造物被害予測について，1900年以前に建てられた古民家の引き倒し実験およびその解析を行い，その静的非線形挙動を把握した上で古民家の地震被害予測モデルを構築し，その妥当性について検討を加えた。リスク評価に関しては，特定の市区町村を対象に南海トラフ地震による影響を受けるエクスポージャ（戸建住宅）の情報を整備した。また，過去のエクスポージャの経時変化をもとに将来のエクスポージャを予測したうえで築年数に応じた地震脆弱性関数を適用し，将来の地震リスクの経時変化を評価した。また，西日本広域の震源データをアップデートし，確率論的地震ハザード解析の計算環境を整備した。プラットフォーム構築については，地震リスク評価のばらつきの要因について分析を行うとともに，評価に用いるモデルの違いによるばらつきの違いの公正な比較のための検討を行った。また，地震時の総合的な影響評価にむけて，病院建物の被害の程度による，医療行為に対する影響評価について地理空間情報を用いて評価した。災害リスク情報に関しては，災害リスク評価のばらつきを理解するため，様々な震源モデル（6パターン），強震動予測モデル（5パターン），表層地盤増幅率（3パターン），倒壊率を組み合わせ，評価結果のばらつきを容易に理解することが可能な表示システムの構築を行った（図1）。またばらつきのある災害リスク評価結果を防災計画の策定に活用するという観点から，命を守る，財産を守る，業務・生活・地域を守るという3つのレベルの達成目標に応じたハザードシナリオ選択の考え方についての整理を行った。

（2）特定分科研究

特定分科研究（その5）「巨大地震時における地盤増幅率の予測手法の高精度化」（拠点間連携研究〔課題番号：2990〕）では，技術者の特性に依存した解析パラメータのばらつきが地震応答特性の評価精度に及ぼす影響の検討の結果，解析パラメータの設定のばらつきの程度や，そのばらつきが解析結果に及ぼす影響について検討した。その結果，地盤だ

けでなく、解析全体のパラメータの設定方法を含めた議論が必要であり、機械的に地盤物性のパラメータを変更した場合は、同じ土質試験結果を対象に設定したパラメータであっても、技術者の違いにより大きな解析結果の違いが生じる場合があることが確認された。また、表層地盤構造のモデル化手法の統合解析による地盤増幅特性評価の高度化について検討した結果、微動アレイ探査結果に加えて表面波探査による高周波数帯域の位相速度も逆解析から第1層目の V_s が既往の研究に比べて小さく推定される結果となった。さらに、地盤の非線形性を考慮した表層地盤増幅率の評価法に関する検討では、非液状化解析により得られた地盤増幅率と周期比の関係では、周期比が0.5付近で、増幅率は最大値をとり、地盤増幅率の変動幅は、入力波が増加すると、小さくなる。また、液状化解析により得られた地盤増幅率と周期比の関係では、入力波が増加すると、地盤増幅率の変動幅は小さくなる傾向にあり、特に、入力地震動が800 galのとき、増幅率はおよそ0.5となった(図2)。液状化解析時の地盤増幅率を評価するために、液状化判定指標を用いた場合、地盤増幅率と液状化指数の大小関係には明瞭な対応は見られなかったが、有効応力減少比を用いて過剰間隙水圧を直接考慮できる液状化危険度指数を用いた場合、地盤増幅率の変動幅は液状化程度で分類できた。液状化解析時の地盤増幅率は、入力地震動に関わらず0から2.5の幅で変動する。液状化危険度指数が大きくなるとき、地盤増幅率の変動幅は0から1.5と小さくなる(図3)。

特定分科研究(その6)「震源モデルに着目した巨大地震に伴う強震動予測の高度化」(拠点間連携研究[課題番号:2991])では、観測された強震動生成域(SMGA)からのPGA、PGVと距離との関係を、前弧・背弧を考慮した距離減衰式(GMPE)と比較した。ただし、観測データがSMGAからの距離を用いているのに対して、比較するGMPEは断層最短距離が距離の関数として定義されている。2003年十勝沖地震では、観測されたPGAおよびPGVがKamae & Kawabe(2004)によって推定された $M_w7.5$ 相当のasperity(SMGA)からの地震波に起因するとして比較を行った。観測された地震動はPGA、PGVともにGMPEから予測される地震動よりも大きな値で、とりわけ近距離側でその差が大きかった。また本震のマグニチュードM8.3を用いて比較した場合、観測された地震動との誤差は小さくなったが同様の特徴が見られた。一方、2011年東北地方太平洋沖地震については、Kurahashi & Irikura(2013)によって5つのSMGAが推定されているが、そのうち対応するPGAとPGVが観測波形から明瞭に判別できる2つのSMGA(SMGA1:M7.55, SMGA3:M7.81)を比較するデータとして使用した。PGAは2003年十勝沖地震のケースと同様に、本震のマグニチュードM9.1を用いてもGMPEから予測された値が特に近距離側で過小評価となった。また距離減衰に関しては、観測された地震動が前弧側と背弧側で異なる傾きを持っているが、背弧側では特にGMPEで予測されるよりも強く減衰することが分かった。PGVについては、それぞれのSMGAのマグニチュードを用いた場合に過小評価となることが分かった。2011年東北地方太平洋沖地震によって各地で誘発された地震活動については、東北沖地震の発生前に震源域あるいはその周辺域において様々な地震活動変化があったことが明らかにされてきた。また地震発生から8年近くが経過し、地震発生直後には追いつかなかった膨大な数の地震に対する震源決定が進み、各地の地震活動変化に関する詳細な調査研究からその要因に関する考察がなされている。そこで東北沖地震の発生後に生じた地震活動変化について既往研究を交えながら概観し、それらの地震活動変化を引き起こした要因について整理した。

特定分科研究(その7)「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」(拠点間連携研究[課題番号:2951])では、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。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、また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になる。本研究では、災害リスク評価のばらつきを理解するため、様々な震源モデル(6パターン)、強振動予測モデル(5パターン)、表層地盤増幅率(3パターン)、倒壊率を組み合わせて、評価結果のばらつきを容易に理解することが可能な表示システム(図1)の構築を行った。またばらつきのある災害リスク評価結果を防災計画の策定に活用するという観点から、命を守る、財産を守る、業務・生活・地域を守るという3つのレベルの達成目標に応じたハザードシナリオ選択の考え方についての整理を行った。

特定分科研究(その8)「将来時点でのエクスポージャー予測のためのデータ解析とモデル化手法の構築」(拠点間連携研究[課題番号:2952])では、人口および建物ストックの将来予測モデルの構築を目的として、高知県南国市における人口及び建物ストックの時系列分析を行った。まず、平成17, 22, 29年度の固定資産台帳から抽出したデータを用いて、疑似的に残存率を計算する方法を提案した。提案した方法は、築年数が同じであるが建築年が違う場合に異なるであろう残存率の違いを考慮できないものではあるが、異なる2期間のデータがあれば疑似的に残存率を計算できるものである。提案した方法で疑似残存率を計算した結果を図4に示す。全般的に平成22年度と29年度のデータを用いた場合のほうが残存率が高いという結果になっており、近年になるほど住宅の寿命が長くなる傾向を示した。次に、固定資産課税台帳から抽出されたデータと住宅基本台帳から抽出されたデータをアドレスマッチングすることで、住宅種別や築年数などの情報と世帯数や家族人数などの居住者に関する匿名情報とを統合した。統合したデータを用いて、住宅の種別ごとの居住率および1棟あたりの平均世帯数の時系列変化を分析した。その結果、専用住宅および共同住宅等での居住率が増加傾向にあること、専用住宅では1棟あたりの平均世帯数が減少傾向にある一方で、共同住宅等では増加傾向にあることなどが明らかになった。さらに、平成17, 22, 29年度の課税台帳を整理し、各年度における木造戸建住宅棟数と滅失、新設住宅棟数をまとめた。この結果を用いて、築年数ごとに住宅の滅失確率を計算した。また、過去のデータから住宅の1年あたりの変化率を推定した。住宅ストックの変化に対する数学モデルを構築し、上記で得られた過去の変化が将来に外挿できると仮定し、将来時点での木造戸建住宅の棟数および築年数分布を予測した(図5)。住宅戸数の変化率が一定とした今回の仮定の下では、平成29年においては築35年あたりにあったピークは、時間とともにピークが平準化されつつ築年数の平均値が大きくなっていくという結果が得られた。

2. 課題募集型研究

5年間の成果の概要

課題募集型研究では、地震や火山噴火の発生から、それによって引き起こされる災害の発生や推移を総合的に理解し、それを防災・減災に活かすための研究課題を広い視野から募集することとし、以下の分類で公募した。(1)地震・火山噴火の災害事例の研究、(2)

地震・火山噴火災害発生機構の解明，(3)地震・火山噴火災害誘因の事前評価手法の高度化，(4)地震・火山噴火災害誘因の即時予測手法の高度化，(5)地震・火山噴火災害軽減のための情報の高度化，(6)地震・火山噴火災害時の災害対応の効率化，(7)実践的人材育成の仕組みに関する研究の7項目である。

課題募集型研究については，平成26年度は新規12課題，平成27年度は新規4課題，継続8課題，平成28年度は新規11課題，平成29年度は新規6課題，継続5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。平成30年度は，6件の新規課題と1件の継続課題が採択された。5年間において，のべ53課題が採択された。

以下に，平成30年度の成果を示す。

平成30年度の成果の概要

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

「歴史被害地震の活動セグメントの推定とそれを考慮した強震動・建物被害シミュレーションに基づく震源破壊過程の推定に関する研究」(拠点間連携研究[課題番号:2953])では，横手盆地における地盤構造モデルの構築のためにまず常時微動観測によって得られたデータから，40.96秒の小区間を50%オーバーラップさせて観測時間分の区間を切り出し，区間毎に微動の水平上下スペクトル比(MHVR)を計算してその平均をとった。このとき，NS/UD，EW/UDはそれぞれ別々に計算している。また，交通振動等のノイズによる影響を避けるため，振幅の二乗和平均が大きい区間は除外した。横手市周辺や盆地北部の地点におけるピーク振動数が低くなっており，それらの地点では深い構造となっていることが推測できる。K-NET横手とJ-SHIS深部地盤地下構造モデルを参考に層構造モデルを作成した。ただし，層2の V_s は層1と層3の間となるような値を設定し，層1～3の V_p ， ρ は V_s からLudwig et al.(1970)の関係式より算出した。次にアレイ3，4において，理論位相速度分散曲線および理論MHVRが観測したものに近づくような1次元地盤構造モデルを構築した。そして，この地盤構造モデルを基に，単点観測点においても観測MHVRのピーク振動数に理論MHVRのピーク振動数が近づくように地盤構造の推定を行った。その際，1次ピークはアレイの構造の層3～層9について，各層の層厚比を固定した上で層厚を変化させることで，2次ピークは層1，層2の層厚を定義することによってピークを再現した。推定した1次元地盤構造と方位依存係数，および重力図を参考に盆地境界(地震基盤深さ0m)を定め，これを考慮して推定した1次元地盤構造をGMTのsurface関数で補間することにより3次元地盤構造を作成した。スペクトルエレメント法の1つであるEFISPEC3D(De Martin, 2011)を用いて，推定した3次元地盤構造の増幅特性を評価した。ただし，層1の物性値を層2と同値としている。入力用モデルの作成にはCUBITを用いた。領域は経度緯度で140.17/140.83/38.97/39.83の範囲とし，メッシュサイズは，深さ20000m以深は5000m，以浅は1667m，盆地内は185mの有効振動数1.89Hzとした。このモデルにスペクトル振幅 $1\text{m}\cdot\text{s}$ のデルタ関数を変位として，深さ20kmからEW方向に平面波入射をした。有効振動数以上の影響を除くため，出力結果に1Hzのローパスとして4次のButterworthフィルターをかけている。1896年陸羽地震は横手盆地東縁断層帯の北部が活動したものと考え，横手盆地東縁断層帯北部の想定地震のケース1のシミュレーショ

ンを、推定した地盤構造モデルを用いて行った。比較のために、J-SHISモデルでの計算も併せて行った。推定地盤構造モデルはEFISPECにより、J-SHISモデルについてGMSによって行った。その結果、図6に示すように、推定地盤構造モデルによる計算では、震源近傍のみならず横手市の西側まで最大速度の大きい領域が現れた。これは、基盤が深くなっていることによることが原因であると考えられ、1896年陸羽地震の際に被害域が南に延びた主な原因であることが示唆される。

「歴史地震評価のための振動計測と引き倒し実験による伝統木造建造物の耐震性能評価」（拠点間連携研究〔課題番号：2954〕）では、今回実施した独自の古民家の微動計測値および過去の計測済み微動計測値、さらに文献に記載されている古民家の微動計測値を収集整理し、その年代別の共振振動数の平均値と分布を把握した。その結果江戸時代後期から明治時代中期までの古民家の振動特性に大きな変化がないことがわかった。築100年以上の古民家の静的挙動を把握するため、1888年頃に建てられた岡山県井原市の伝統構法木造民家IBR01に対して引き倒し実験を実施した。引き倒し実験は、IBR01のY5構面の高さ2271mmの梁に鉄骨を当てその鉄骨の4か所にワイヤーを接続し、梁間方向に均等に加力した。両端構面の層間変位が300mmになるまで加力した結果、最大水平力は102.2kNであり、ベースシア係数は0.32であった。最大変形時の水平力は約78kNであり、ベースシア係数は0.25であった。対象古民家は層間変形角0.13radまで変形させても自重を保持し続けたことから高い変形性能を有していることが確認できた。構造解析用ソフトSNAPを用いてこの引き倒し実験の再現解析を行った。解析結果ではX2Y1のNo. 2-2の加力時の層間変形角がわずかに過大評価となった。また、建物全体が非線形した後の除荷ループを再現することはできていない。しかしながら、概ね実験結果のスケルトンカーブを再現することができており、既往の解析用モデルを用いることで、古民家の建物全体が非線形化するまでの挙動を再現できた（図7）。現行の一般木造建造物の年代別被害予測モデルの構築手法に従い、設計基準等から作成した標準建物モデルに対する古民家の耐力比および、耐力分布を決定することで、1900年以前に建てられた古民家の被害予測モデルを構築した。構築手順を以下に示す。

1) 建物の固有振動数の二乗と耐力が比例すると仮定する、2) 木造建物262棟の常時微動計測結果に基づく固有振動数とその建築年の関係から、各建築年に対する木造建物の平均固有振動数推定式を決定した、3) 各建築年に対する平均固有振動数推定式から求めた各年代区分別の固有振動数の二乗と一般木造建造物の年代別被害予測モデルの耐力比の関係から、古民家の耐力比を0.99と推定した、4) 古民家の固有振動数の二乗が対数正規分布に従うとし、未補強の古民家17棟の常時微動計測結果に基づく固有振動数から古民家の耐力分布を算定した。

ここで3)において、耐力比と固有振動数の二乗が平均的には比例することが確認できた。従って、1)の仮定は成り立つと考えられる。また、IBR01の引き倒し実験の再現解析結果を用いてIBR01の建築当初と推定される建物モデルを作成したところ、その耐力は本研究で作成した古民家の地震被害予測モデルの耐力分布の幅に収まっており、本地震被害予測モデルの妥当性を支持しているということがわかった。

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

「地震による被災から回復までの個人世帯生活被災度時間関数の構築」（拠点間連携研究 [課題番号：2956]）では、日本の標準世帯として木造戸建て住宅を想定した。住家被害を損傷度（Damage Index）、並びに7階級の損傷区分（Damage Level）で評価する関数（損傷度関数）を提案し、世帯住家の耐震補強の有無や補強程度を木造住家耐震評点をパラメータとすることで様々な世帯構成及び対策の条件設定が可能となった。また想定される地震動入力を確定的（想定PGV、あるいは想定震度）のみならず発生確率を考慮した扱いも可能とするものであり、住家耐震対策の将来的効果評価やリスク評価のばらつきも検討可能なモデルとなっている。住家被害及び室内散乱に伴う死傷程度を災害医療で用いられている多発外傷重症度指標（ISS）で評価するモデルを構築し、この指標導入により負傷の場合は、治療による全快時間が評価できるため、身体被害一回復モデルへと展開が可能となった。また、死亡発生確率が高い結果となった場合は、それを防ぐための住家耐震補強対策や室内安全化対策の条件を変えることで、対策の人的被害に与える影響が検討可能となった。個人世帯の家計のバランスシートをベースにした生涯資産評価モデルの標準世帯版を構築した。個人資産は世帯ごとに大きく異なるが、今回の提案は生命保険のライフプランを参考に標準的サラリーマン世帯をモデル構築した。個人世帯により収入支出項目は大きく異なるはずであり、項目数を今後増やすことにより汎用的利用が可能となろう。このライフプラン上で災害発生を想定することで、（1）住家損傷度評価モデルにより住家損傷を含む物的被害の算定と復旧（住家再建費用等）及び（2）身体的被害一回復モデルにより家族の身体的被害治療費等）等々との経済的因果関係がシミュレーション可能となった。また、災害時の公的助成金や地震保険の加入の有無等を考慮することで、資産回復の予測もシミュレーションでき、資産対策の重要性を伝えるツールとしても活用可能である。精神的な障害度をKesslerの指標（K6）で定量化し、その時系列変化を追跡する精神被害一回復モデルを提案した。種々のインシデントをモデルに組み込むことが可能となり、本人の物理的被害よりも家族が傷つくことによる精神的被害の大きさが計量された。高知県南国市を例に、夫婦30代・子6歳で築40年の戸建て木造住宅（持ち家）に住むサラリーマン世帯を想定する。地震動は内閣府が公表しているレベル2クラスの南海トラフ巨大地震のうち陸側に震源を想定した最大地震動の震度分布を与えると、全壊の確率は50%を超え、死亡発生確率14%を得る。この状態に避難生活と収入減少のインシデントが加わった場合の資産及び心の回復シミュレーションを行った。さらに事前対策として耐震改修と地震保険の加入及び事後の生活再建支援法による助成の減災効果をシミュレーションし、FCPの有用性を確認した。本年度は3軸（人的被害、経済被害、精神被害）による個別評価に留まった。しかしこのモデルにより、地震が原因の家屋倒壊→室内破壊→人的被害→資産損傷+精神被害→回復の定量化と時間シミュレーションが可能となった。そしてそのシミュレーションの中に様々な対策を入れることで効果評価も可能となった。しかし今回は結果を十分に可視化するまでには至っていない。一般住民に活用してもらうには可視化も重要なことと考えている。今後は総合評価軸として原点から3次元面までの汎距離を求めることで総合評価が可能となろう。それを時間軸で動かすことで、ライフプランに拡張された対策-被災-回復が一望され、世帯個別の自助対策の診断ツールとなる。

「地震随伴火災の経時的な発生予測モデルの開発と出火防止対策の有効性評価」（拠点間連携研究〔課題番号：2957〕）では、地震火災の発生件数を予測するため、人口1人あたりの出火確率に着目し、これを計測震度や電力の供給率から説明するモデルを定式化するとともに、2011年東北地方太平洋沖地震の出火記録を再現できるよう、モデルの未知パラメータを同定することによって、プレート境界地震に伴う火災の発生件数の予測に利用可能な統計モデルを整備した。特に、感震ブレーカーといった出火防止対策の普及率向上による効果を評価できるよう、発火要因を（1）電気器具・電気配線、（2）ガス器具、（3）石油暖房器具、（4）その他の4つに分類し、それぞれについてモデルを構築した。上記で開発した出火モデルと地震動指標の距離減衰式を組み合わせることによって、南海トラフ地震の不確実性を考慮した日本全域での確率論的な出火シミュレーションを行った。ここでは、地震火災の発生件数に大きく影響する地震の不確実要因として、（1）震源域とそれが破壊された際の地震の規模、（2）地震の発生季節、（3）地震の発生時間帯、の3種類の要因を仮定し、各要因のバリエーションの組み合わせからなる合計72の地震シナリオに重み係数を設定することによって、地震火災の発生件数と条件付き超過確率の関係を表す出火リスクカーブを消防本部の管轄範囲ごとに推定した。その結果、南海トラフ地震が発生した際、全国のほとんどの消防本部では、保有するポンプ車の台数を上回る数の火災が発生する確率は非常に小さく、水道管や防火水槽の耐震化によって地震時においても消防水利を確保することができれば、放任火災の発生を高い確率で防ぐことができることを明らかにした。また、出火防止対策として、感震ブレーカーの普及率が25%に向上した場合の評価を行い、出火リスクカーブがどのように変化するかを確認した。

（3）地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

「強震動評価のための浅部地盤と深部地盤の統合モデル化に関する研究」（拠点間連携研究〔課題番号：2955〕）では、2011年東北地方太平洋沖地震の際に周期1～3秒付近で大きな地震動が観測された東京湾西岸地域と小田原地域を対象として、1次元浅部深部統合地盤モデルを構築することを試みた。既存の地下構造情報と地震観測記録を用いて、周波数0.5-20Hzの観測増幅特性から、1次元浅部深部統合地盤モデルのS波速度構造と減衰構造を同定する。まず、Miyakoshi et al. (2019)による関東地域の強震観測点の中小地震の地震動記録のS波部分のスペクトル分離解析による東京湾西岸部の強震観測点（図8）での周波数0.5～20Hzの帯域の増幅特性を得た。この解析による増幅特性は、S波速度2.5km/sの地震基盤よりも浅い地層による増幅であると解釈されている。次に、J-SHISなどから既往の深部S波速度構造モデルを収集した。さらに、微動アレイ探査（地元ほか、2018）や検層による強震観測点直下の浅部S波速度構造モデルも得た。これらの既存の地盤情報を用いて、1次元浅部深部統合地盤の初期モデルを作成した。この初期モデルを参考にして、1次元重複反射を仮定して、ハイブリッドヒューリスティック法（山中、2007）による上記の増幅特性の逆解析によって、1次元浅部深部統合地盤モデルのS波速度およびQ値を同定した。なお、減衰構造のモデル化には、佐藤・山中（2010）によるバイリニア型のQ値モデルを仮定した。図8には、東京湾西岸部のUK1222で得られた1次元浅部深部統合地盤モデルを示す。比較のために、J-SHISの深部地盤モデル、J-SHISと微動アレイ探査による初期地盤モデルも示されている。UK1222の浅部深部統合地盤モデルは、

J-SHISモデルよりも-200m程度の深度のS波速度が遅く、地震基盤深度は1 km程度浅くなっている。図8に示した増幅特性では、得られた浅部深部統合地盤モデルが周波数0.8Hzと3Hzの観測ピークを最も良く説明していることが分かる。このように、1次元浅部深部統合地盤モデルは、既存モデルよりもより広帯域で地震動を説明可能なモデルとなることが分かる。図9に、足柄平野中央部(NRD)で得られた1次元浅部深部統合地盤モデルが示されている。図には、J-SHISによる深部地盤モデル、J-SHISと微動アレイ探査による初期モデル、既存モデル(Tsuno et al., 2018)も比較されている。NRDの浅部深部統合地盤モデルは、J-SHISモデルよりも深さ-100m程度でS波速度が遅く、地震基盤深度は400m程度浅くなっている。図9右に示した観測増幅特性では、得られた浅部深部統合地盤モデルが周波数2Hzと3Hzの観測ピークを最も良く説明している。一方で、1Hz付近の観測サイト特性を説明できておらず、初期モデルなどの設定など、モデル化に再検討が必要であることを示唆している。以上のように、東京湾西部地域と小田原地域での1次元浅部深部統合地盤モデルを構築することを試み、本研究による1次元浅部深部統合地盤モデルは、既存の1次元地下構造モデルよりもより広い周波数帯域で地震動特性を説明可能なモデルとなることを示した。本研究では、2018年9月に胆振東部地震が発生したことを踏まえて、同地震の被災地域において共同微動観測を実施し、同地域の浅部深部統合地盤モデルを作成するための資料を得た。この地域では、気象庁や防災科研による強震観測点で震度7の強震記録が本震時に得られている。さらに、高井ほか(2018)によって余震観測が実施され、中小地震による強震動記録も得られ、堆積層による増幅効果が強震動特性に及ぼす影響が大きいことも指摘されている。鶴川町地域での強震観測点では微動アレイ探査と表面波探査が行われ、図10に示すように広い周波数帯域のレイリー波を位相速度を得ることができた。図には、既存の地盤情報に基づく理論位相速度も示されており、観測値との矛盾は少ない。今後、これらの結果と強震観測による地震観測記録を合わせて、上記のような分析を行うことによって、浅部深部統合地盤モデルを推定することを考えている。

(4) 地震・火山噴火の災害誘因の即時予測手法の高度化

「地震時の斜面災害軽減を目的とした地震波動伝播シミュレーションの利活用」(拠点間連携研究[課題番号:2994])では、斜面崩壊による地震動の特徴の再現し、これまでの研究で明らかにした地形に対応した地震動の特徴を明らかにすることを目的に検討を行った。2017年5月19日に発生した長野県飯山市における斜面崩壊に伴って周囲50 km程度のHi-net観測点において地震波が観測された。地震波は、継続時間100-200秒で約3 km/sの伝播速度を持つ波群に加え、約6 km/sの伝播速度で上下動成分のみに卓越し立ち上がり明瞭な波群から構成された。伝播速度約3 km/sの波群に対し、振幅を用いた震源決定法(Kumagai et al., 2010)によって波源を推定したところ、崩壊源から地震波が放射されたとして矛盾のない結果が得られた。一方、約6 km/sで伝播する波の初動到達時刻を読み取り、JMA2001(上野ほか, 2002)のP波速度構造を仮定して震源決定をおこなったところ、崩壊源周辺に震源が決まった。このことから、崩壊源周辺においては、継続時間が長く徐々に震動が大きくなる力源と比較的短い時間の間に大きな震動を作り出す力源の2種類が存在することが分かった。斜面崩壊による地震動において、短周期地震波の

初動の読み取りが可能な地震波形記録は稀であり、移動土塊の対岸への衝突など何らかの斜面現象を反映している可能性がある点でも特筆すべき点である。また、表1に示す、地震動が検知された斜面崩壊の特徴と地震動の特徴（2015/2016年厚岸町の事例を除く）から、高周波地震波の卓越周波数はおおむね1-10 Hz程度に分布し崩壊のタイプには大きく依存しないことがわかった。継続時間もおおむね30-200秒程度であり、イベントの長さを反映しているものと考えられる。周期10秒以上の長周期信号は、崩壊域が数百m四方にわたり厚さが20mを超えるような大規模な地すべり性崩壊で確認されることが推察された。さらに、斜面崩壊による地震動の再現の検討において、シミュレーションでは1 Hz前後の表面波が極めてよく卓越する理由について検討するため、地形にさまざまなローパスフィルターを施すことで、1 Hz前後の表面波がどの程度卓越するかを調べた。その結果、ある波長よりも短い成分をカットした地形においては1 Hz前後の表面波が生成されないことが結果となった。このことから、地形の短波長不均質による散乱がこのような表面波を作り出し、この効果は地表震源の場合に特に強調されることが分かった。

（5）地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

「建物個別の応答予測と揺れ継続時間のリアルタイム情報配信」（拠点間連携研究〔課題番号：2958〕）では、利用者が多い大規模な建物や災害拠点となる施設を対象として、固有周期や立地条件が異なる個別の建物の、(A)建物入力地震動のリアルタイム分類、(B)揺れ継続時間の予測、に取り組んだ。まず、東京大学地震研究所が公開している即時に地震の位置・規模・メカニズムを決定するシステム（GRiD MT、主開発者：鶴岡弘）を利用し、地震発生直後に災害拠点などで震源情報を有効利用する方法について議論した。図11は2018年に発生したモニタリング領域内で発生した地震に対して、GRiD MTにより決定された震源メカニズム解を示している。GRiD MTは、20～50秒の長周期波動場をリアルタイムにモニタリングすることにより、震源情報を必要とせず地震発生後ほぼ3分で震源位置・モーメントマグニチュード・震源メカニズムを同時に決定するシステムである。震源位置やそのメカニズムは直接には建物の被害把握などに用いることはできないが、地域全体の災害拠点となる建物においては、中長期的に避難準備や避難継続の判断、あるいは地域レベルでの復興支援体制の構築を考えるうえで、震源に関する情報を随時提供することは有意義と考えられる。震源情報については気象庁より地震後に発表があるが本震や大きな余震にとどまるため、より詳細な情報が提供された場合の利用法について、検討を続ける。またGRiD MTが持つ即時計算処理能力を用いた新たな防災情報の提供についても議論した。一方、揺れ継続時間の予測：建物利用者の心理的不安軽減を図るおよび地震収束後の復旧・退避行動の迅速化には、揺れの大小のみならず、揺れ継続時間の情報が必要である。国立研究法人建築研究所に依頼して、地震計を設置している建物の建物応答観測記録および観測地点の詳細な地盤情報の提供を受けた。次に、震源特性・震源距離・地盤特性、をパラメータとした、敷地地盤の影響等を含む建物の振動特性を考慮した揺れ継続時間を分析した。能島（2015）の既往研究を参考に、累積パワーが95%となる区間を揺れ継続時間と定義し（図12参照）、建物内で得られた観測記録の揺れ継続時間を求めた。図13は398地震の観測記録に対して、建物の基礎および上部階で得られた揺れ継続時間を示している。縦軸は揺れ継続時間（秒）の対数表記、横軸は地震のマグニチュードを示している。ばら

つきはかなり大きいですが、マグニチュードが大きくなるにつれて揺れ継続時間の中央値は大きくなる。また、建物の上部階の方が、基礎よりも継続時間が長くなる傾向が見られる。建物の高さや地盤条件に対しても揺れ継続時間との相関性が一部確認されているが、理論的解釈が成立するかも含めて、今後詳細について慎重に検討を進める予定である。

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、現行計画では、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参加者募集型研究は、「巨大地震のリスク評価の精度向上に関する新パラダイムの構築」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伝達までを一貫して行い、総括研究で出た課題などを特定分科研究において掘り下げその成果を総括研究にフィードバックするとともにさらに総括研究で新たに出た課題を掘り下げる、という循環により研究の高度化を行ってきた。

今後は、参加者募集型研究を総括研究・特定分科研究として推進するとともに、課題募集型研究で提案された課題による成果などを取り込む枠組みを構築しつつ、両者を並行して行うことで、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。

成果リスト

(H30年度)

地元孝輔，山中浩明，是永将宏，津野靖士，2019，KiK-net 益城観測点におけるレイリー波位相速度と見かけ比抵抗の同時逆解析，平成30年度京都大学防災研究所研究発表講演，P04.

土井一生・前田拓人・釜井俊孝・王功輝，2018，斜面崩壊によって励起された地震動波形の特徴－2017年の事例－，日本地球惑星科学連合2018年大会，HDS07-05.

Doi, I., 2018, Development of a New academic field "Slope seismology", International Seminar on Geoscience and Disaster Mitigation in Japan and South Korea.

一井康二・植村一瑛・生頼直樹・兵頭順一，2019，地震応答解析における技術者の違いによるパラメータのばらつきの影響，平成30年度京都大学防災研究所研究発表講演会，D29.

- Ishibe, T., M. Miyazawa, Y. Ogata, H. Tsuruoka, and K. Satake, 2018, Seismicity Rate Change in Japan Following the 2011 Tohoku-Oki Earthquake, AOGS 15th Annual Meeting, Hawaii Convention Centre, 3-8 June 2018, Honolulu, USA.
- 木内亮太・宮澤理稔・額額一起, 2019, 沈み込み帯巨大地震の強震動生成域からの地震動と既存予測式の比較, 平成30年度京都大学防災研究所研究発表講演会, D31.
- 河野祐哉・西嶋一欽, 2019, 過去の統計データに基づく高知県南国市における木造戸建住宅の棟数および築年数分布の将来予測, 平成30年度京都大学防災研究所研究発表講演会, B29.
- 河野祐哉・西嶋一欽, 2018, 高知県南国市を例とした建物ストックの時系列変化の分析, 日本建築学会2018年大会学術講演梗概集, F, pp.93-94.
- 増田竣介・佐伯琢磨・松島信一・西嶋一欽・河野裕哉, 2019, 南海トラフ地震による高知県南国市における主要な病院の建物被害予測に基づく影響評価, 平成30年度京都大学防災研究所研究発表講演会, P03.
- 増田竣介・佐伯琢磨・松島信一・西嶋一欽・河野祐哉, 2018, 南海トラフ地震による高知県南国市における地震危険度解析に基づく病院被害による影響人数推定, 第37回日本自然災害学会学術講演会, III-4-6.
- 増田竣介・松島信一, 2018, 南海トラフ地震による高知県南国市における病院被害による影響人数予測に関する研究, 平成30年度(2018年度)日本建築学会近畿支部研究発表会, 2040.
- Nishino, T. and Hokugo, A., A Stochastic Model for Time Series Prediction of the Number of Post-Earthquake Fire Ignitions in Buildings Based on the Ignition Record for the 2011 Tohoku Earthquake, Earthquake Spectra (submitted).
- 岡田成幸・中嶋唯貴・牧紀男・額額一起, 2019, 地震による被災から回復までの個人世帯生活被災度時間関数の構築, 平成30年度京都大学防災研究所研究発表講演会, D27.
- 佐伯琢磨・西嶋一欽・松島信一, 2019, 地震リスク評価における不確実性の分布について, 平成30年度京都大学防災研究所研究発表講演会, D28.
- 佐伯琢磨・西嶋一欽・松島信一, 2018, 不確実性を考慮した地震リスク評価に関する研究その1南海トラフ地震を想定した感度分析, 日本建築学会2018年大会学術講演梗概集, B2, pp.559-560.
- 佐藤啓太・松島信一・松下隼人・増田竣介・吾妻崇・野澤貴, 2018, 微動観測記録に基づく横手盆地の地下構造の推定, 第15回日本地震工学シンポジウム, 0S2-01-03.
- 佐藤啓太・松島信一・松下隼人・増田竣介・吾妻崇・野澤貴, 2019, 微動観測記録に基づく横手盆地の推定地下構造の増幅特性評価, 京都大学防災研究所研究発表講演会, B06.
- 田中宣多・Adapa GAUTHAM・澤田凱人・上田恭平, 2019, 液状化現象を含む地盤の非線形性を考慮した表層地盤増幅率の評価, 平成30年度京都大学防災研究所研究発表講演会, D30.
- 津野靖士・山中浩明・地元孝輔・宮腰寛之・三宅弘恵・高井伸雄・重藤迪子・神野達夫・佐藤浩章・額額一起・松島信一・川瀬博, 2019, 足柄平野と東京湾西岸部における地震観測点の1次元浅部深部統合地盤モデル, 平成30年度京都大学防災研究所研究発表講演会, P54.

(平成26年度～平成29年度)

- Adapa, G., K. Sawada, K. Ueda, 2018, Evaluation of Amplification Factor Considering Soil Non-Linearity including Liquefaction, 平成29年度京都大学防災研究所研究発表講演会, A33.
- 有吉一葉・岡田成幸・中嶋唯貴, 2017, Kesslerの心理的苦痛測定指標(K6)による被震に伴う精神的被害の計量およびその時間推移モデルの構築 その2 各種発生事象のK6評価, 日本建築学会大会(広島)梗概集, B-2, 487-488.
- 土井一生・前田拓人, 2018, 2017年5月19日長野県飯山市における斜面崩壊に伴う短周期地震波形の特徴, 東大地震研共同利用「地震波形解剖学の計算科学的新展開」研究集会, 東京, 2018-03-09.
- 土井一生・前田拓人・釜井俊孝・王功輝, 2018, 「斜面崩壊による地震動波形の特徴と崩壊発生メカニズム -2017年の事例-」, 京都大学防災研究所研究発表講演会, 宇治, P05, 2018-02-21.
- 土井一生・釜井俊孝・片尾浩・三浦勉, 2017, ごく近傍に設置された地震計によって捉えられた豪雨による斜面崩壊 -2013年9月京都府京都市山科区における事例-, 平成29年度日本応用地質学会研究発表会, 岡山, 60, 2017-10-13.
- 原田智也・西山昭仁・佐竹健治・古村孝志, 2017, 明応七年六月十一日(1498年6月30日)の日向灘大地震は存在しなかった -『九州軍記』の被害記述の検討-, 地震2, 70, 89-107.
- 原田智也・佐竹健治・古村孝志・室谷智子, 2017, 1944年東南海地震(M7.9)の震度分布 -発生直後に行われたアンケート調査資料の再検討-, 東京大学地震研究所彙報, 92, 1-30.
- Kanaya, N., T. Maeda, K. Obara, and A. Takeo, 2017, Significant Anomalies in Seismograms for Intra-slab Earthquakes Observed in Kanto area, Japan, and their Interpretation, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, USA, S21C-0717, 2017-12-12.
- 是永将宏・津野靖士・地元孝輔・山中浩明, 2018, 熊本市花岡山近傍で観測された地震動特性とその表層地盤構造, 平成29年度京都大学防災研究所研究発表講演会, P04.
- Lee, S. H., K. Nishijima, S. Matsushima, M. Miyazawa, K. Mochizuki, T. Iidaka, K. Ueda, H. Kawase, and N. Maki, 2017, Issues and Challenges in Seismic Risk Evaluation and its Uncertainty Reduction for the Nankai Trough Earthquake, DPRI Annuals, No. 60B.
- Maeda, T., S. Takemura, and T. Furumura, 2017, OpenSWPC: An open-source integrated parallel simulation code for modeling seismic wave propagation in 3D heterogeneous viscoelastic media, Earth Planets Space, 69, 102, doi:10.1186/s40623-017-0687-2.
- Miyake, H., 2017, Seismic hazard assessment of the 1995 Kobe earthquake: Before and after, IAG-IASPEI 2017, S07-2-04.
- Miyake, H., T. Furumura, T. Nishimura, K. Mochizuki, K. Obara, T. Harada, and N. Sekiya, 2017, Variation of earthquake source scenarios along the Nankai Trough for hazard

- and risk assessment, IAG-IASPEI 2017, S13-6-06.
- Morioka, H., H. Kumagai, and T. Maeda, 2017, Theoretical basis of the amplitude source location method for volcano-seismic signals, *J. Geophys. Res.*, 122, 6538-6551, doi:10.1002/2017JB013997.
- Mukai, Y., T. Furumura and T. Maeda, 2017, Characterizing directional variations in long-period ground motion amplifications in the Kanto Basin, Japan, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, USA, S31B-0813, 2017-12-13.
- Nishimura, T., Y. Yokota, K. Tadokoro, and T. Ochi, 2018, Strain partitioning and interplate coupling along the northern margin of the Philippine Sea plate, estimated from GNSS and GPS-A data, *Geosphere*, 14(2), doi:10.1130/GES01529.1.
- Nishimura, T., 2018, A trial of application of geodetic data for assessing activities of inland faults - Coulomb stress changes estimated from GNSS surface displacements, *Journal of Disaster Research*, in press.
- 岡田成幸・中嶋唯貴・有吉一葉・牧紀男・額額一起, 2017, 被災者の心の復興 ～精神的苦痛の計量及びその時間推移モデルの構築～, 日本地震学会2017年度秋季大会予稿集, S15-07.
- Padhy, S., T. Furumura, and T. Maeda, 2017, Waveform anomaly caused by strong attenuation in the crust and upper mantle in the Okinawa Trough region, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, USA, T23A-0593, 2017-12-12.
- 齋藤さやか・関谷直也・田中淳, 2017, 地震予知に関する日本海沿岸部と太平洋沿岸部の住民意識—地震予知, 地震動予測地図とリスク認知を中心に, 第36回自然災害学会学術講演会.
- 齋藤さやか・関谷直也, 2017, 地震発生確率とリスク認知—地震動予測地図の確率表現に関する調査研究, 地域安全学会論文集, 30.
- 齋藤さやか・関谷直也, 2017, 地震発生確率とリスク認知—地震動予測地図の認識に関する基礎的検討, 地域安全学会第40回研究発表大会(春季).
- 齋藤さやか・関谷直也, 2017, 地震動予測地図をめぐる信頼と構成要素, 日本リスク研究学会第30回年次大会.
- 関谷直也・齋藤さやか・田中淳, 2017, 地震予知に関する日本海沿岸部と太平洋沿岸部の住民意識—想定周知, 表現技法を中心に, 第36回自然災害学会学術講演会.
- 棚田嘉博・佐藤公則・井口正人・豊平隆之, 2017, 擬似雑音多重弾性波を用いた火山域の地下探査, 第34回センシングフォーラム資料, 1B2-1, 117-122.
- Tanada, Y, Sato, K, Iguchi, M and Sai, B, 2017, Construction of ZCZ Huffman Sequences for Underground Multiplexing Sonar, *Proc. IWSDA'17*, 122-126.
- 棚田嘉博・井口正人・佐藤公則・豊平隆之・田中幹也, 2017, 高減衰媒質中の波動伝搬への Huffman 系列の適用, 平成29年度電気・情報関連学会中国支部連合大会予稿集, R-17-15-09, 1-2.
- 棚田嘉博・井口正人・山本圭吾・中道治久・森田裕一, 2017, Huffman 系列を用いた火山域の弾性波地中探査システム, 平成29年度計測自動制御学会九州支部大会予稿集, 101A5, 11-14.

- Todoriki, M., T. Furumura, and T. Maeda, 2017, Effects of seawater on elongated duration of ground motion as well as variation in its amplitude for offshore earthquakes, *Geophysical Journal International*, 208, 226-233.
- Todoriki, M., T. Furumura, and T. Maeda, 2017, Effects of seawater on elongated duration of ground motion as well as variation in its amplitude for offshore earthquakes, *Geophys. J. Int.*, 208(1), 226-233, doi:10.1093/gji/ggw388.
- Toya, M., A. Kato, T. Maeda, K. Obara, T. Takeda, and K. Yamaoka, 2017, Down-dip variations in a subducting low-velocity zone linked to episodic tremor and slip: a new constraint from ScSp waves, *Scientific Reports*, 7, 2868, doi:10.1038/s41598-017-03048-6.
- 和田拓也・新本翔太・倉田真宏・山田真澄・楠浩一・柏尚稔, 2017, 拠点モニタリングを利用したエリア防災のための建物群地震応答の即時推定, *日本建築学会近畿支部研究報告集構造系*, 57, 485-488.
- 和田拓也, 2017, 拠点モニタリングを利用したエリア防災のための建物群地震応答の即時推定(優秀卒業論文賞推薦理由, 2017年日本建築学会優秀卒業論文賞), *建築雑誌*, 1701, 113.
- 和田拓也・新本翔太・倉田真宏・山田真澄・楠浩一・柏尚稔, 2017, 拠点モニタリングを利用したエリア防災のための建物群地震応答の即時推定, *日本建築学会(中国)学術講演梗概集, 構造系*, 377-378.
- 和田拓也・新本翔太・倉田真宏・山田真澄・楠浩一・柏尚稔・池田芳樹, 2018, 緊急地震速報と建物モニタリング情報を利用した地震災害誘因の同定 ―建物頂部変形角の推定―, *京都大学防災研究所研究発表講演会梗概*, A31.
- Yu Nandar Hlaing, K. Ichii, 2017, Ground Response Analysis and Site Characterization of Mandalay City, Myanmar Engineering Society Annual General Meeting (2017), 13th Annual Seminar on Research and Engineering (19-20 January 2018), Myanmar Engineering Council Building, Yangon, Myanmar.
- Lee, S.H, K. Nishijima, S. Matsushima, 2016, Investigation of possibilities to reduce uncertainties of seismic risk evaluation for Nankai Trough earthquakes, 5th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion, August 15-17, 2016.
- Lee, S.H., K. Nishijima, S. Matsushima, M. Miyazawa, K. Mochizuki, T. Iidaka, K. Ueda, H. Kawase, N. Maki, 2017, Issues and Challenges in Seismic Risk Evaluation and its Uncertainty Reduction for Nankai Trough Earthquake, *京都大学防災研究所 平成28年度研究発表講演会 特別セッション*.
- 縣亮一郎・市村強・兵藤守・堀高峰・平原和朗・堀宗朗, 2016, 震源断層の想定高度化に関する基礎研究--高詳細な三次元地殻構造モデルを用いた地殻変形解析手法の開発--, *土木学会論文集A1 (構造・地震工学)*.
- 藤田航平・市村強・堀宗朗・Wijerathne Maddeggedara Lalith Lakshman・田中聖三, 2016, 都市の高分解能な地震被害想定的高速化のための基礎的研究, *土木学会論文集A1 (構造・地震工学)*.

- 藤田航平・市村強・堀宗朗・Wijerathne Maddeggedara Lalith Lakshman・田中聖三, 2016, 多数の地震シナリオに対する高分解能な都市震災想定のためのHPCによる基礎検討, 土木学会論文集A2 (応用力学) .
- 古村孝志, 2016, 昭和南海地震から考える, 次の南海トラフ地震と前後の内陸地震への備え, 日本地震工学会JAE NEWSLETTER, 5(3), 2.
- Obara, K. and A. Kato, 2016, Connecting slow earthquakes to huge earthquakes, *Science*, 353 (6296), 253-257, doi:10.1126/science.aaf1512.
- 原田智也・西山昭仁・佐竹健治・古村孝志, 2016, 明応七年六月十一月(ユリウス暦1498年6月30日)の大地震に関する『九州軍記』の被害記述の検討, 日本地球惑星科学連合2016年大会, SSS31-12.
- Miyake, H., 2016, Long- and short-period characteristics of megathrust source models and ground motions (invited), UK-Japan Disaster Research Workshop: Cascading Risk and Uncertainty Assessment of Earthquake Shaking and Tsunami.
- Guo, Y., K. Koketsu, and H. Miyake, 2016, Propagation mechanism of long-period ground motions for offshore earthquakes along the Nankai Trough: Effects of the accretionary wedge, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 106, 1176-1197, doi:10.1785/0120150315.
- Kawase, H., S. Matsushima, F. Nagashima, Baoyintu, and K. Nakano, 2017, The cause of heavy damage concentration in downtown Mashiki inferred from observed data and field survey, *Earth, Planet, and Space*, 69:3, DOI :10.1186/s40623-016-0591-1.
- 松島信一・佐藤啓太, 2017, 横手盆地の盆地境界の推定のための地下構造調査, 京都大学防災研究所研究発表講演会, P61.
- Okada S., T. Nakashima, A. Iida, M. Kitahara, 2017, A NEW CAUSALITY MODEL FOR EVALUATING THE PROBABILITY OF HUMAN DAMAGE FROM INJURY TO DEATH IN COLLAPSED BUILDINGS, 16th World, Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 2938, pp.1-10, Santiago Chile, January 9th to 13th 2017.
- Iida A., S. Okada, T. Nakashima, M. Kitahara, 2017, Volumetric Loss Estimation for Collapsed Buildings during Earthquakes, 16th World, Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 2938, pp.1-11, Santiago Chile, January 9th to 13th 2017.
- 村口紗也・岡田成幸・中嶋唯貴, 2016, 地震災害素因の時間変動性を考慮した宅地供給に関するリスクマネジメントの考え方 -札幌市を事例として-, 日本建築学会北海道支部研究報告集, 89, 63-66.
- 松本将武・岡田成幸・中嶋唯貴, 2016, 地震破壊シミュレーションによる建物内死者発生推定のための建物ボリュームロス評価法の検討, 日本建築学会北海道支部研究報告集, 89, 83-86.
- 松本将武・岡田成幸・中嶋唯貴, 2016, 地震破壊シミュレーションによる建物内死者発生推定のための建物ボリュームロス評価法の検討, 日本建築学会大会(九州)梗概集.
- 村口紗也・岡田成幸・中嶋唯貴, 2016, 地震災害素因の時間変動性を考慮した宅地供給に関するリスクマネジメントの考え方 -札幌市を事例として-, 日本建築学会大会(九州)梗概集.

- 中嶋唯貴・岡田成幸，2016，少子高齢化の進展が地震時建物倒壊による推定死者数へ及ぼす影響，日本建築学会大会（九州）梗概集．
- 高橋遥・岡田成幸・中嶋唯貴，2016，居住環境を考慮した地震時室内変容による人的被害の地域精算評価手法の提案，日本建築学会大会（九州）梗概集．
- 岡田成幸・中嶋唯貴，2016，震後復旧費用個人負担の地域格差，日本地震学会2016年度秋季大会（名古屋），S15-18．
- 岡田成幸・中嶋唯貴，2017，社会動態が地震災害に及ぼす将来的影響の定量評価，平成28年度京都大学防災研究所 研究発表講演会．
- 倉田真宏・新本翔太・和田拓也・山田真澄・楠浩一・柏尚稔・溜淵功史，2017，緊急地震速報と建物モニタリング情報を利用した地震災害誘因の同定，京都大学防災研究所年次発表会梗概，OSK4．
- 津野靖士・地元孝輔・三宅弘恵・佐藤浩章・松島信一・重藤迪子・高井伸雄・神野達夫・瀨瀨一起・山中浩明・川瀬博，2017，足柄平野西部における地盤震動特性の評価，平成27年度京都大学防災研究所研究発表講演会．
- 地元孝輔・津野靖士・東貞成・佐藤浩章・重藤迪子・高井伸雄・松島信一・早川崇・山中浩明・川瀬博，2017，K-NET日立近傍における地震と微動観測による地盤震動特性の評価，平成27年度京都大学防災研究所研究発表講演会．
- Maeda, T., K. Nishida, R. Takagi, and K. Obara, 2016, Reconstruction of a 2D seismic wavefield by seismic gradiometry, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 3, 31, doi:10.1186/s40645-016-0107-4.
- Maeda, T., H. Tsushima, and T. Furumura, 2016, An effective absorbing boundary condition for linear long-wave and linear dispersive-wave tsunami simulations, *Earth Planets Space*, 68, 63, doi:10.1186/s40623-016-0436-y.
- Noguchi, S., T. Maeda, and T. Furumura, 2016, Ocean-influenced Rayleigh waves from outer-rise earthquakes and their effects on durations of long-period ground motion, *Geophys. J. Int.*, 205(2), 1099-1107, doi:10.1093/gji/ggw074.
- 関谷直也，2016，企業の防災対策におけるBCPとCSR：大企業に対する実証調査より，*Nextcom25*, 4-15.
- 関谷直也・田中淳，2016，避難の意思決定構造—日本海沿岸住民に対する津波意識調査より—，*自然災害科学J. JSNDS* 35 特別号 91 -103, 91.
- 吾妻崇，松島信一，市村 強，野澤 貴，2016，活断層と建物被害の情報に基づく歴史被害地震の断層モデル構築に関する研究，京都大学防災研究所 平成27 年度研究発表講演会，P02.
- 新本翔太，倉田真宏，鈴木明子，李小華，2015，余震リスク評価に基づく被災建物継続使用の迅速な意思決定支援，*地域安全学会論文集No.27*.
- Fujita, K., T. Ichimura, M. Hori, L. Maddegadara and S. Tanaka, Scalable many-case urban earthquake simulation method for stochastic earthquake disaster estimation, *Procedia Computer Science*, 51, 1483-1493, 2015.
- 林能成，山田俊弘，栗田敬，野内玲，2015，地球科学における学際的分野への参入過程～島津康男教授・熊沢峰夫教授のオーラルヒストリーから～，*地球惑星科学関連合同学*

会，幕張メッセ。

廣川夕貴，松島信一，川瀬博，T. Naing, M. Thant, 2016, ミャンマー・ヤンゴン市における常時微動を用い

- 213 -

た地盤構造の推定，日本地震工学会論文集，第16巻，第1号特集号「第14回日本地震工学シンポジウム」その2，49-58.

Ichimura, T., K. Fujita, P. E. B. Quinay, L. Maddegadara, M. Hori, S. Tanaka, Y. Shizawa, H. Kobayashi and K. Minami, 2015, Implicit Nonlinear Wave Simulation with 1.08T DOF and 0.270T Unstructured Finite Elements to Enhance Comprehensive Earthquake Simulation, SC15: International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, doi: 10.1145/2807591.2807674.

飯田彬斗，岡田成幸，中嶋唯貴，地震時人的被害推定高度化のための建物内部空間被災度関数の再構築，日本建築学会大会（関東）梗概集，2015.

金幌淑，田中傑，牧紀男，岸川英樹，事前復興計画のあり方に関する基礎的な考察－第1回事前復興計画研究会を通して，地域安全学会梗概集，No. 36，地域安全学会，115-116，2015

倉田真宏，新本翔太，鈴木明子，山田真澄，楠浩一，宮本匠，残存性能モニタリングと広域余震ハザードに基づく被災建物健全性の時間変化予測，京都大学防災研究所年次発表大会梗概，2016.

Kurata M., Suzuki, A., Li, X., Nishino, H., Residual Performance Assessment of Steel Frames through Ambient Strain-Based Model Update: Application to Collapse Test of Steel Frame using Shake Table, Proc. Eng. Mech. Inst. Conf., June 16-19, 2015.

Lee, S. H., K. Nishijima, S. Matsushima, M. Miyazawa, K. Mochizuki, T. Iidaka, T. Tobita, H. Kawase, N. Maki, Investigation of Possibilities to Reduce the Uncertainty of Disaster Risk, 京都大学防災研究所平成27年度研究発表講演会特別セッション，K01，2016.

松島信一，伊藤光菜，2016，1847年善光寺地震における地震動と建物被害の関係把握のための表層地盤構造の推定 京都大学防災研究所 平成27年度研究発表講演会，E21.

Melgar, L. E. A., W. M. L. Lakshman, M. Hori, T. Ichimura and S. Tanaka, 2015, On the Development of an MAS Based Evacuation Simulation System: Autonomous Navigation & Collision Avoidance, Lecture Notes in Artificial Intelligence (in press).

中嶋唯貴，岡田成幸，2015，震動及び津波の複合災害を想定した人的被害推定手法の提案，日本建築学会北海道支部研究報告集，88，101-104.

西嶋一欽，2016，地震リスク評価に伴うモデル不確実性の感度解析，第22回信頼性設計技術WS&第35回最適設計研究会，岡山大学。

岡田成幸，中嶋唯貴，2015，地震時建物倒壊に伴う人的被害の因果律を踏まえた詳細評価手法～建物棟別評価から行政区単位評価まで～，日本建築学会大会（関東）梗概集。

Ryoichiro Agata, Tsuyoshi Ichimura, Kazuro Hirahara, Mamoru Hyodo, Takane Hori, Chihiro Hashimoto and Muneo Hori, 2015, Numerical verification criteria for

- coseismic and postseismic crustal deformation analysis with large-scale high-fidelity model, *Procedia Computer Science*, 51, 1534-1544.
- 清田和宏, 地元孝輔, 佐口浩一郎, 津野靖士, 山中浩明, 2015, 立川断層近傍における表層地盤S波速度構造の空間変動評価の稠密微動探査, 第132回学術講演会講演論文集, 141-143.
- Seita, K., K. Chimoto, K. Saguchi, S. Tsuno, H. Yamanaka, 2015, Application of microtremor exploration to shallow dipping layers under the assumption of horizontally stratified structure, *Proceedings of 12th SEGJ International Symposium -Geophysical Imaging and Interpretation-*, S2-1, Tokyo, Nov. 2015.
- Tsuno, S., K. Chimoto, K. Saguchi, H. Sato, S. Matsushima, M. Shigefuji, N. Takai, T. Kanno, H. Yamanaka and H. Kawase, 2015, Detailed spatial variation of short-period earthquake ground motion in the vicinity of Tachikawa-Fault, *Proceedings of 12th SEGJ International Symposium -Geophysical Imaging and Interpretation-*, P6, Tokyo, Nov. 2015.
- 津野靖士, 佐口浩一郎, 地元孝輔, 佐藤浩章, 松島信一, 重藤迪子, 高井伸雄, 神野達夫, 山中浩明, 川瀬博, 2015, 立川断層近傍における短周期地震動の空間変動特性, 地球惑星関連合同大会講演予稿集S-SS25-P16.
- 山田俊弘, 2015, 拡大された地球科学概念からトランス・サイエンスまで—島津康男教授と1970年代科学史—, 地球惑星科学関連合同学会, 幕張メッセ.
- 山田俊弘, 2015, シームレスな地球科学をめざして—島津康男とディシプリンの越境: 1966-1983年, 日本科学史学会, 大阪市立大学.
- 山田俊弘, 2015, 1970年代の科学教育における変容の性格—島津康男の拡大された地球科学, トランス・サイエンス, 環境学—, 東京大学大学院教育学研究科基礎教育学研究室研究室紀要, 41号, 183-194.
- 西村裕一・中村有吾・添田雄二, 2015, 浦幌町豊北の湿原における古津波堆積物のトレンチ調査, 浦幌町立博物館紀要, 15, 39-47.
- 添田雄二・西村裕一・中村有吾, 2015, 浦幌町で実施した地層剥ぎ取り標本の作成について, 浦幌町立博物館紀要, 15, 49-56.
- 津野靖士, 佐口浩一郎, 地元孝輔, 佐藤浩章, 松島信一, 重藤迪子, 高井伸雄, 神野達夫, 山中浩明, 川瀬博, 2015, 立川断層近傍における短周期地震動の空間変動特性, 2015年地球惑星科学連合大会
- 清田和宏, 地元孝輔, 佐口浩一郎, 津野靖士, 山中浩明, 2015, 立川断層近傍における表層地盤S波速度構造の空間変動評価の稠密微動探査, 物理探査学会第132回(平成27年度春季)学術講演会講演論文集, 141-143, 2015
- 古谷元・牟田庄吾・竹内篤雄・王功輝・油谷洋志・林久夫, 2014, 併用調査により古いため池の地盤構造と流動地下水脈経路の推定, 平成26年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集, 57-58.
- 佐竹亮一郎・若井明彦・古谷元・王功輝・土井一生, 2015, 古いため池堤体材料の空間的不均質性が力学挙動の不確実性に与える影響, 第18回応用力学シンポジウム, 土木学会応用力学委員会, 印刷中.

佐竹亮一郎・若井明彦・古谷元・王功輝・土井一生，2015，堤体材料の空間的不均質性と系の挙動の不確実性に関する検討(ため池を例に)，第70回年次学術講演会講演概要，土木学会，印刷中。

Ryoichiro Agata, Tsuyoshi Ichimura, Kazuro Hirahara, Mamoru Hyodo, Takane Hori and Muneo Hori, Several hundred finite element analyses of an inversion of earthquake fault slip distribution using a high-fidelity model of the crustal structure, *Procedia Computer Science*, 29, pp. 877-887, 2014. DOI:10.1016/j.procs.2014.05.079

関谷直也，2014，地震「想定」を考える，南海トラフ巨大地震の災害リスク評価－社会の影響から地震発生まで振り返り，評価の不確実性と影響について考える－，地震・火山科学と総合防災学の両共同研究拠点主催シンポジウム，2014年10月6日 東京大学地震研究所

関谷直也，2015，「想定を考える」，鉄道気象連絡会，2015年5月20日，ステーションコンファレンス万世橋。

Kurata M., Suzuki, A., Li, X., Nishino, H. “Residual Performance Assessment of Steel Frames through Ambient Strain-Based Model Update: Application to Collapse Test of Steel Frame using Shake Table”, *Proc. Eng. Mech. Inst. Conf.*, June 16-19, 2015.

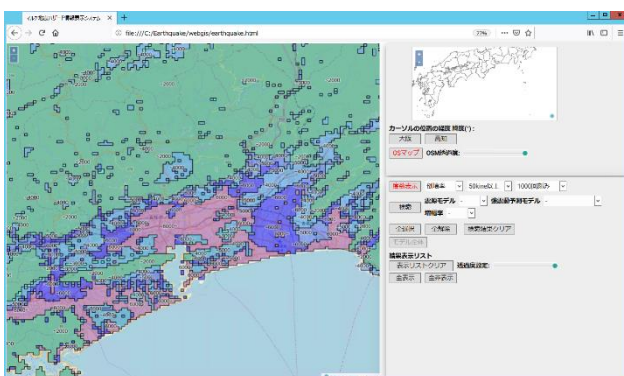
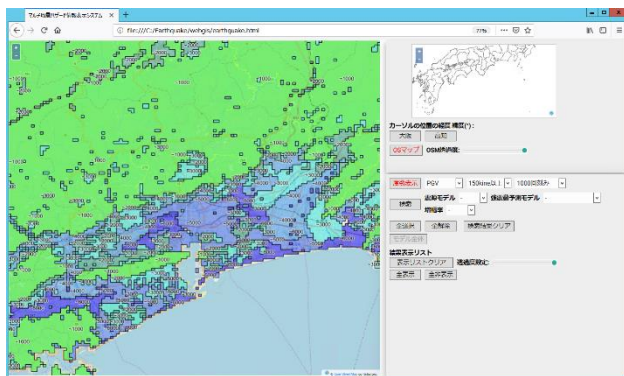
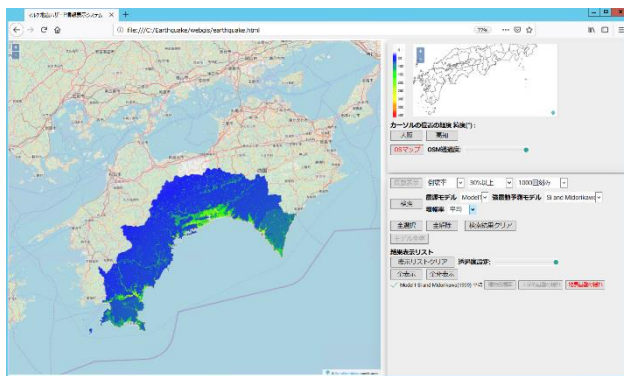
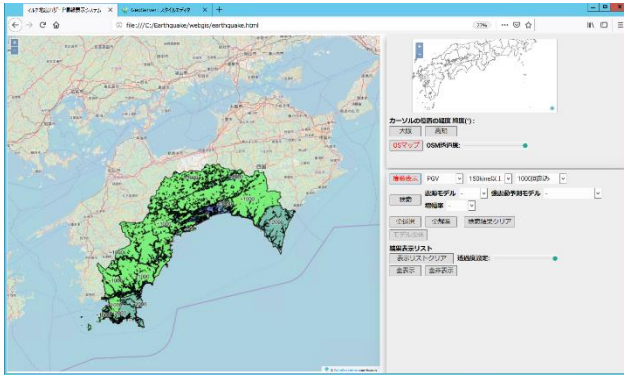


図1. 評価結果のばらつきを容易に理解することが可能な表示システムの表示例（拠点間連携共同研究〔課題番号：2975, 2951〕）

左上：最大地表速度が150cm/sを超える回数の度数分布表示例：高知県全域（モンテカルロシミュレーション全体：10,000回）

右上：震源モデルと強震動予測モデルの組み合わせた地表の揺れ表示例：高知県全域
 左下：地表最大速度が150cm/sを超える回数の度数分布表示例：高知県庁付近（モンテカルロシミュレーション全体：10,000回）
 右下：建物倒壊率が30%を超える回数の度数分布表示例：高知県庁付近（モンテカルロシミュレーション全体：10,000回）

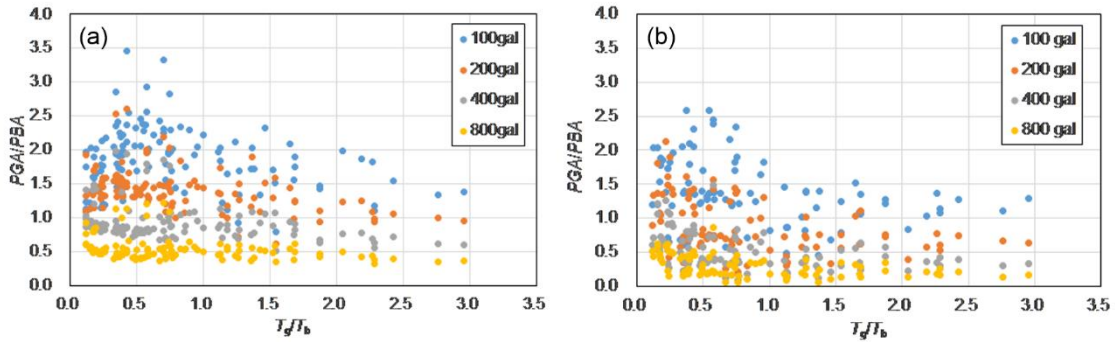


図2. 地盤増幅率と周期比の関係（拠点間連携共同研究 [課題番号：2990]）

左：非液状化解析
 右：液状化解析

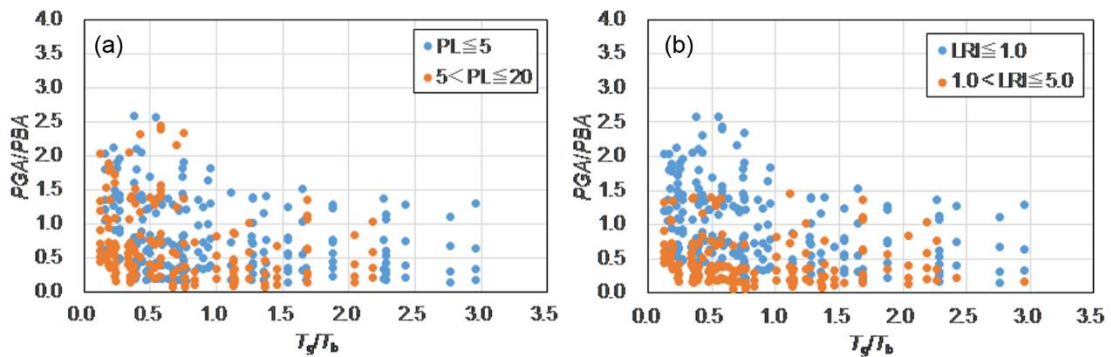


図3. 幅率と周期比の関係（拠点間連携共同研究 [課題番号：2990]）

左：PLで分類した結果
 右：LRIで分類した結果

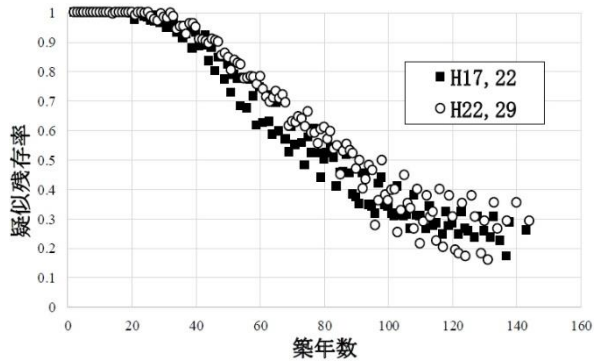


図4．南国市における建物（住宅）残存率（拠点間連携共同研究〔課題番号：2952〕）

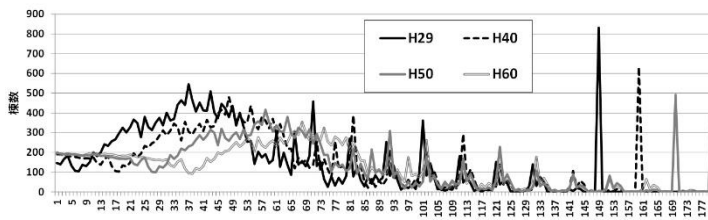


図5．将来時点での築年数ごとの木造戸建住宅の棟数予測（拠点間連携共同研究〔課題番号：2952〕）

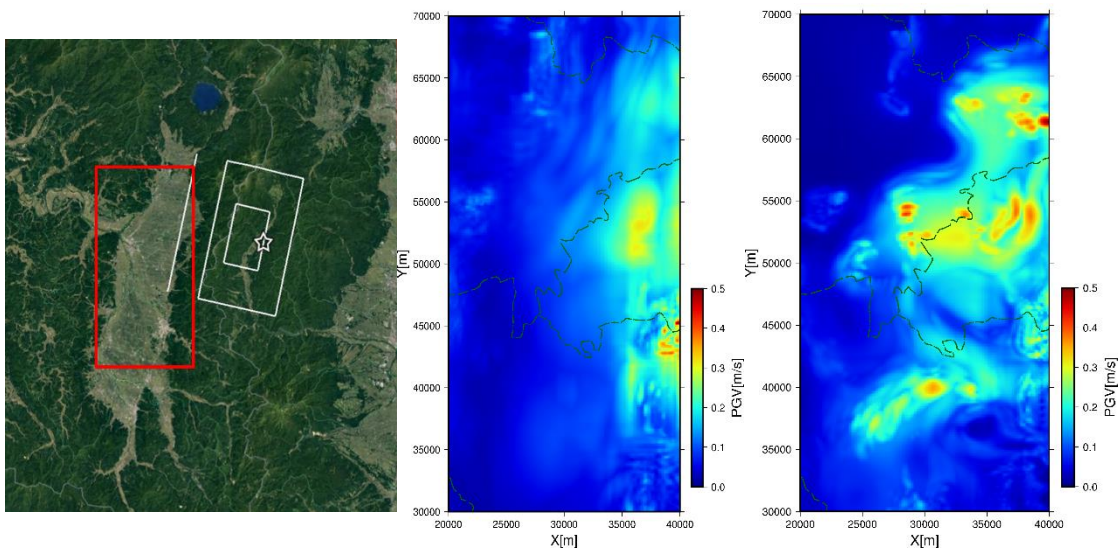


図6．1896年陸羽地震の強震動シミュレーションによる最大速度分布（EW成分）（拠点間連携共同研究〔課題番号：2953〕）

左：1896年陸羽地震の震源断層と計算領域（赤枠）の関係

中：J-SHIS深部地盤構造モデルによる結果

右：本研究の推定地盤構造モデルによる結果

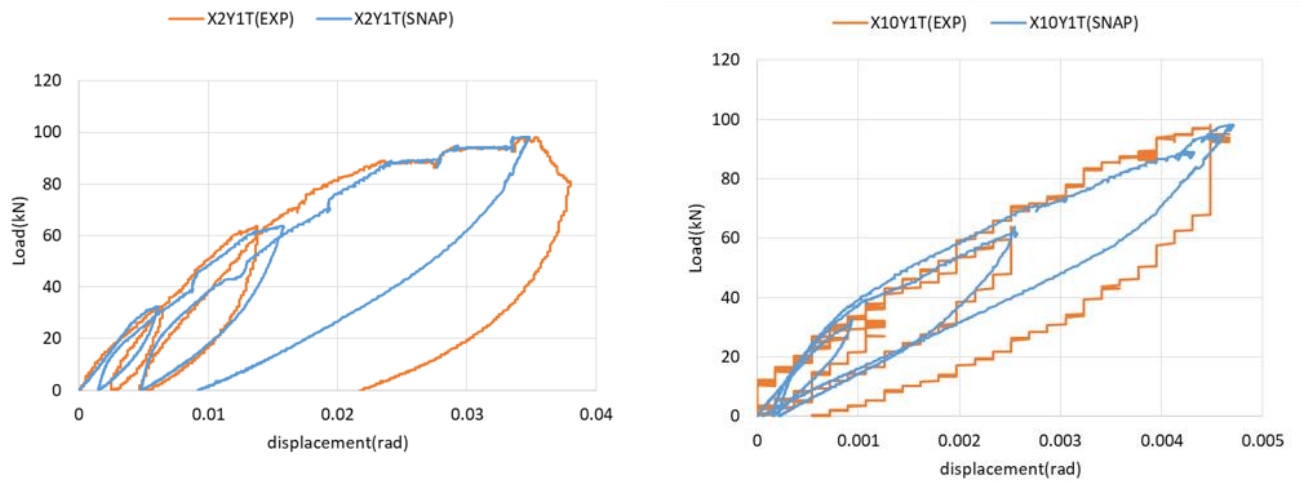


図7. 古民家の変位-荷重関係の再現解析結果（拠点間連携共同研究 [課題番号：2954]）
 橙線（EXP）は実験結果、青線（SNAP）は構造解析用ソフト SNAP による解析結果。
 左：X2-Y1 位置
 右：X10-Y1 位置

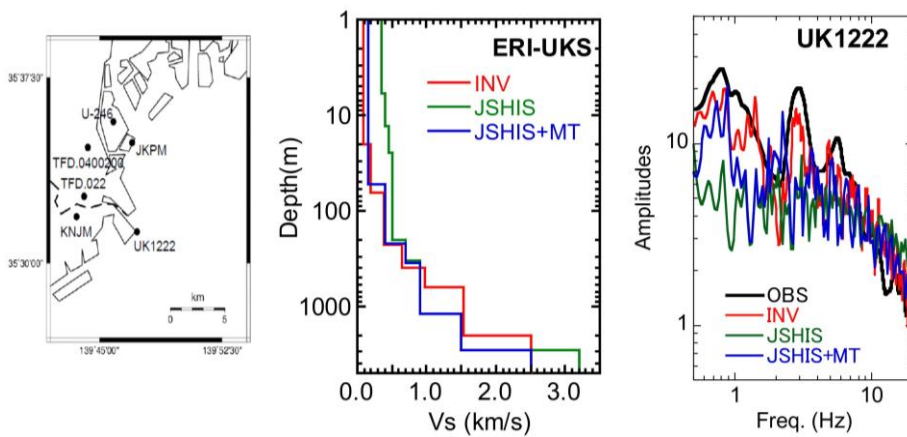


図8. 東京湾西岸部 (UK1222) の1次元浅部深部統合地盤モデルとサイト特性の比較（拠点間連携共同研究 [課題番号：2955]）
 左：観測点位置
 中：1次元浅部深部統合地盤モデル
 右：地盤増幅特性

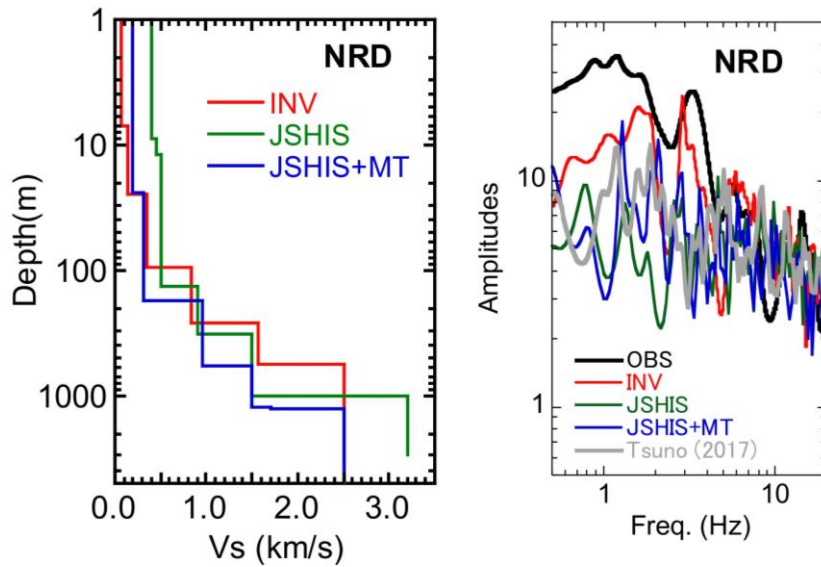


図9. 足柄平野 (NRD) の 1次元浅部深部統合地盤モデルとサイト特性の比較 (拠点間連携共同研究 [課題番号: 2955])

左: 1次元浅部深部統合地盤モデル

右: 地盤増幅特性

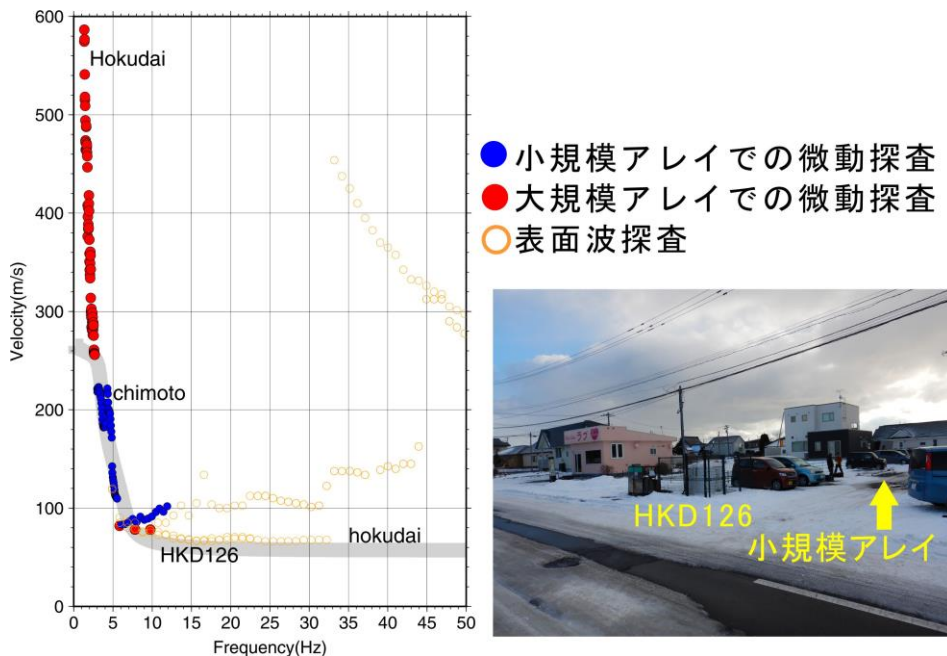


図10. HKD126 (K-NET 鶴川) での微動および表面波探索の結果 (拠点間連携共同研究 [課題番号: 2955])

左: 推定されたレイリー波位相速度

右: 観測点位置

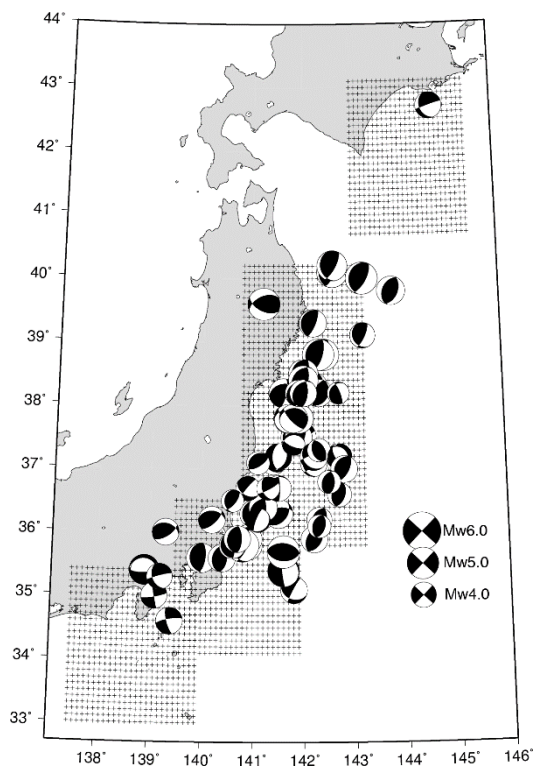


図11. GRiD MTにより決定された震源メカニズム解(拠点間連携共同研究[課題番号:2958])

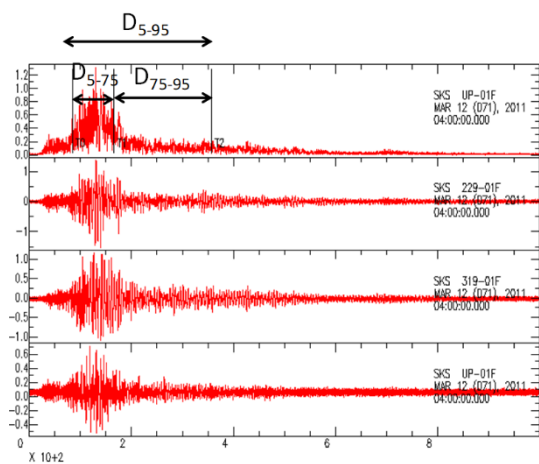


図12. 揺れ継続時間の定義（拠点間連携共同研究 [課題番号：2958]）

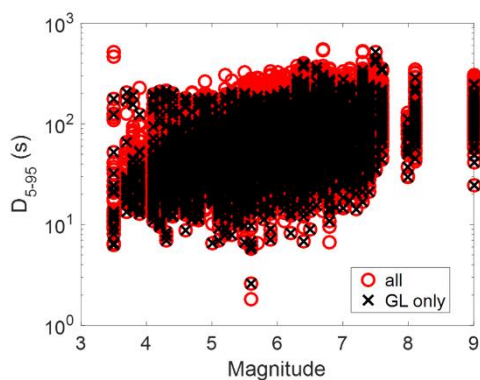


図13. 揺れ継続時間とマグニチュードの関係（拠点間連携共同研究 [課題番号：2958]）

表1. 崩壊とそれに伴う地震動の特徴（拠点間連携共同研究 [課題番号：2994]）

年・場所	2011年 紀伊半島	2013年 京都市	2013年 伊豆大島	2014年 南木曾町	2015・2016年 厚岸町	2017年 飯山市	2017年 日田市
崩壊のタイプ	深層崩壊	表層崩壊・土石流	表層崩壊・土砂流	土石流	再活動型地すべり	地すべり性崩壊・土石流	地すべり性崩壊
地質	付加体 堆積岩	粘性土・盛土	テフラ	花崗岩	粘性土	凝灰岩	安山岩溶岩・凝灰角礫岩
長さ・流走距離	1 km	30 m (崩壊) 100 m (土石流)	50-500 m (崩壊) 2 km (土石流)	2 km	70 m	300 m 800 m (土石流)	200 m
幅	400 m	20 m	50-300 m	50-100 m	30 m	150-200 m	150-200 m
厚さ	60-100 m	1 m	1 m	N/A	5 m	20-50 m	10-20 m
卓越周波数 (震央距離)	1-4 Hz (10-70 km)	3-10 Hz (50 m)	2-6 Hz (500 m - 5 km)	3-30 Hz (500 m - 30 km)	震動なし (5 m)	0.5-2 Hz (8-60 km)	1-4 Hz (8-20 km)
継続時間	50-100 s	50-100 s	30-200 s	20 min	移動時間は 20 h	200 s	30-50 s
長周期 (> 10 s) 信号の有無	○	×	×	?	×	○	×
引用文献	Yamada et al. (2012)	土井ほか(2017)	Ogiso, Yomogida (2015) Doi et al. (2016)	本研究	土井ほか(2017)	本研究 Yamada et al. (2017)	本研究