

3 拠点間連携共同研究

東大地震研・京大防災研拠点間連携共同研究委員会

委員長 川瀬 博（京都大学防災研究所）

副委員長 森田裕一（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つ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、建議に沿ったテーマを決めて具体的な研究計画を立て、全国の研究者の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

参加者募集型研究については、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色々な分野の研究を推し進めることに決め、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進展させることを目指すことになった。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) 建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ことを目指した。

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重点項目とし、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、それ以外の分野については総括研究として推進し、定期的に情報交換および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、(4) 浅部地下構造が地震動に及ぼす影響および(6) 建造物の被害予測手法の高度化も重点項目とした。

平成29年度は、平成28年度の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(3) 強震動予測手法の高度化を重点項目とし、4つの分野について全国の研究者と協力して研究を進めるとともに、総括研究を推進することとなった。

(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27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) 建造物被害予測、(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。

震源過程グループでは、南海トラフ巨大地震の震源像構築について、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辺り、強震動生成域を考慮した場合に予測される問題点を整理した。深部地盤・伝播経路グループでは、最近になって複数のモデルが提出されてきている西南日本における地震波減衰構造について、これらのモデルの統合の可能性を評価することを目的として、個々のモデルの仕様について調査を始めた。浅部地盤構造グループでは、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を多数実施した。その結果に基づき表層地盤増幅率を算出したところ、加速度やひずみレベルに応じた増幅率の変化に加え、地震中の過剰間隙水圧の上昇程度にも増幅率が大きく影響されることがわかった。今後は、過剰間隙水圧の考慮の有無による増幅率の差について、定量的な検討を進める予定である。建造物被害予測グループでは、海溝型地震に対する被害予測モデルを作成し、その妥当性について検証した。また被害予測モデルに建造物の地域性を考慮する標準的スキームを提案した。その予測モデルを高知県黒潮町に対する予測強震動に適用し、合計で約30%の木造建造物が大破・

倒壊することを明らかにした。またこの被害予測モデルから人的被害を予測するスキームを開発した。リスク評価グループでは、特定分科研究（K-1-2-1）の成果を踏まえ、エクスポージャの将来予測を地震リスク評価に反映させるための基礎的な検討を行った。具体的には、一つの地方自治体に着目し、過去の人口動態と建物動態およびそれらの相関について分析を行い、それらの傾向を明らかにした。プラットフォーム構築グループでは、地震時の総合的な影響評価にむけて、病院建物の損傷による影響評価について地理空間情報を用いて評価するための手法を構築した（図1）。災害リスク情報グループでは、不確実性を含むシミュレーション情報の表示手法、ならびにリスクコミュニケーションの方法についての基礎的な検討を行った。

（2）特定分科研究

特定分科研究（その3）「巨大地震の災害リスク評価のための震源モデルの構築」（拠点間連携研究〔課題番号：2978〕）では、多様性を反映した南海トラフ地震の震源モデル構築にあたり、各シナリオの重要構成要素として3～4種類のエキスパート・オピニオンを選定してロジックツリーの分岐を作成した（図2）。以上のシナリオを、それぞれ単独あるいは等しく重みづけした場合のシナリオを作成し、南海トラフ地震の震源像を検討した。また、地震動や津波の想定ターゲットを抽出した。地震動については震度と付加体や平野等で発達する長周期地震動、津波については津波高と浸水域といった従来型の地震津波ハザード評価に加え、新たに社会科学的な観点からの災害リスクとして、人口密度分布、産業が密集する太平洋ベルト、原子力および火力発電所分布を評価対象とする際の、定量的な基準を作成した。

特定分科研究（その4）「構造物の被害予測手法の高度化」（拠点間連携研究〔課題番号：2979〕）では、平成28年度に引き続き、海溝型地震による木造建物の被害予測モデルをチューニングし、高振動数をカットするフィルターを最適化するとともに、その適切性について検討を加えた。さらに内陸地殻内地震の強震動に対してもそのフィルター定数で大きな変動が生じないことも検証の必要要件とした。その結果カットオフ振動数1Hz、ロールオフ振動数2Hzのハイカットフィルターを適用することが最も適切であることを検証した。一方、熊本地震に対しては被害の最も顕著であった益城町における再現強震動を地盤構造を求めて等価線形解析により計算し、上記被害予測モデルに適用して観測被害率と比較した。その結果、空間的な分布は再現できなかったが全域の平均的被害率は提案モデルで概ね再現できることが示された。

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、まず、公開データの分布特性について、大都市（東京都江戸川区）、大都市近郊（高槻市）、地方都市（徳島市）、田舎（千葉県いすみ市）の4地区を例として、分布状況を検討した。なお、いすみ市の対象範囲内では、公開されているボーリングデータが存在しない。このように、公開情報の多寡は地域により異なり、都市のほうがボーリングデータ多いことがわかる。また、対象とした自治体の人口密度と、公開されているボーリングデータ本数の密度（1km²あたりのデータ本数）の関係を整理すると、人口密度が増加するほどボーリングデータの本数が増加する傾向にある。しかし、一定以下の人口密度では公開されているボーリングデータの入手が困難であることも示された。今

後、他の地区も含めて検討していくことで、どの程度の密度での公開情報の入手が可能なかを整理していくことが、行政サービスの平準化の観点からは必要かもしれない。

また、表層地盤のモデル化手法が地盤増幅特性評価のばらつきに与える影響を検討するため、2016年熊本地震の本震を記録した熊本駅とKiK-net益城において、表面波探査法(SW)と微動探査法(MT)および電気探査法を実施した。表面波探査法と微動探査法によりレイリー波の位相速度を推定し、それらの逆解析によって表層地盤のS波速度構造をモデル化し、それによりS波地盤増幅特性を求めた。地盤増幅特性は、モデル化手法によるばらつきがみられる。両探査手法はそれぞれ適用範囲が異なるため、両手法を相補的に用いれば評価のばらつきが小さくなると考えられる。

さらに、地盤の非線形性(特に、大きなひずみレベルにおける強非線形性)が表層地盤増幅率に及ぼす影響を把握するため、2次元の有効応力解析プログラムFLIPを用いて時間領域での逐次非線形解析を実施した。解析では水平成層地盤を仮定して1次元の土柱モデルで地盤をモデル化し、地盤の構成モデルには液状化といった強非線形現象を厳密に考慮できるひずみ空間多重せん断モデル(マルチスプリングモデル)を用いた。対象とした地盤は防災科学技術研究所による公開情報であるK-NETのOSK002(高槻)~OSK010(泉南)の9サイトであり、地盤のモデルパラメータは、N値、有効上載圧、および細粒分含有率(試験値はないため土質区分から推定)に基づき簡易的に設定した。非液状化解析により得られた表層地盤増幅率を図3aに示す。図中の縦軸は地表面の応答加速度の最大振幅(PGA)を基盤における入力地震動の最大加速度(PBA)で除した増幅率であり、横軸は地盤の固有周期(T_g)を入力地震動の卓越周期(T_b)で除した周期比を表している。ここに、 T_g は地盤の層厚とせん断弾性波速度から1/4波長則を用いて簡便に求めている。一方、 T_b はフーリエ変換により得られた周波数特性から読み取った。PBA=100 galの条件では周期比が0.5付近で増幅率がピークを示しており、それよりも周期比が小さく、もしくは大きくなるにつれて増幅率が低減することがわかる。増幅率に及ぼす入力加速度の影響について考察すると、PBAの増大とともに周期比にかかわらず増幅率の値が小さくなることが明らかとなった。特に、PBA=800 galの条件では、周期比によらず増幅率が0.5程度で一定となっていることが確認できる。次に、液状化解析により得られた表層地盤増幅率を図3bに示す。ここでも、横軸は周期比(T_g/T_b)により整理をしている。図中には代表例としてPBA=100および800 galの結果を示すが、それぞれのPBAの結果について液状化指数(PL値)により色分けを行っている。PL値は液状化の程度を表す指標であり、道路橋示方書に記載の方法に従って算出した。指針により閾値に若干の差はあるが、0.20では顕著な液状化が生じる地盤と判定される。PL=0のケースは設計上は液状化が発生しないと判定されるが、実際に図3bに示す増幅率の傾向は、概ね図3aの非液状化解析の結果と一致している。他方、PL値の増加とともに非液状化時の増幅率とはやや異なる傾向を示すものの、増幅率とPL値の大小関係の間に明瞭な対応は見られない。なお、PL値は設計においてよく用いられる簡易的な液状化判定法の一つであるため、詳細法に分類される液状化解析により得られた地盤内の過剰間隙水圧の上昇程度と必ずしも一対一に対応するわけではない。この点については、地盤増幅率の分類にPL値をそのまま用いるのが望ましいかどうかを含め、今後より詳細な検討が必要であると思われる。

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、2003年十勝沖地震と2011年東北地方太平洋沖地震

について、強震動生成域に対する、強震動予測式の適用可能性を調べた。解析には防災科学技術研究所によるK-NETおよびKiK-netで記録された波形を用いた。2003年十勝沖地震についてはKamae & Kawabe(2004)による第一番目のアスペリティを、2011年東北沖地震についてはKurahashi & Irikura (2013)のSMGA1、SMGA3を調査する強震動生成域として用い、それぞれからの基盤での最大加速度 (PGA) および最大速度 (PGV) を読み取った。この結果、いずれの場合も強震動生成域とその M_w に対して、司・翠川(1999)の式を用いて予測した場合、観測値を説明できず相当過小評価することが分かった (図4)。

また、強震動生成域とプレート間すべり欠損との関係を調べることを目的に、2003年十勝沖地震前のプレート間と、南海トラフのプレート間の状態を測地学的記録から推定した。南海トラフ巨大地震の発生域であると考えられる東海沖で、1997-2016年にGNSSによって観測された地殻変動の記録からプレート間の状態を調べたところ、プレート境界の深さ20-40 kmに短期的スロースリップが多数発生していることが認められ、深部低周波微動発生域にほぼ対応していた。この領域では、プレート相対運動のうち一定割合が短期的スロースリップによって賄われていると考えられる。

さらに、南海トラフ巨大地震によって誘発される可能性がある内陸活断層地震のハザードを事前に評価した。その結果、断層モデル、特に震源域の空間的な広がりによって相違が見られるものの、以下のような特徴が挙げられる。例えば南海セグメントが活動した場合 (1946年南海地震など) には、日向灘や山陰地方の地震帯 (南北に近いT軸を持つ横ずれ型地震) に正の応力変化を受けるレシーバーが多く分布する傾向が見られる。また東南海セグメントが活動した場合 (例えば1944年東南海地震) には、丹波地域や伊勢湾などに正の応力変化を受けるレシーバーが多く分布する一方で、和歌山県北部のクラスターの活動ではその多くが負の応力変化となる。東海セグメントが活動をする場合 (例えば1498年明応東海地震) には、伊豆諸島や糸魚川-静岡構造線沿いなどに正の応力変化を受けるレシーバーが集中する傾向が見られる。

2. 課題募集型研究

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。

平成29年度は、東大地震研・京大防災研拠点間連携共同研究委員会により、6件の新規課題と5件の継続課題が採択された。

(1) 地震・火山噴火の災害事例の研究

「津波堆積物の広域年代対比に基づく北海道における17世紀の津波波源の高精度推定」(拠点間連携研究 [課題番号:2992]) では、北海道太平洋沿岸地域の11地点で事前に用意した試料のうち、波源を推定する上で重要な9地点を選定して分析を行った。CT画像で

認められる試料の物性や Si, Sr などの海岸砂に特徴的に含まれる元素の含有率を基に津波堆積物の層準を厳密に認定した。その後、津波堆積物の直上と直下の有機物試料を用いて 14C 年代測定を行った。また、津波堆積物直上から年代既知の広域テフラまでの層厚を計算し、堆積速度を推定した。以上の情報に基づき 14C 年代の連続測定を実施し、各地で認められる津波堆積物の堆積年代を高精度で推定した(図 5)。その結果、十勝地方で認められる 17 世紀の津波堆積物は 17 世紀前半に形成した可能性が高いことが判明した。また得られた年代値について確率密度分布を検討すると、十勝地方の津波堆積物は 1640 年に発生した駒ヶ岳の山体崩壊に伴う津波とは対比できない可能性が高い。以上のように短期間に連続して津波が発生した場合でも、形成された津波堆積物の堆積年代を確率密度分布から検討することでどちらの津波に対比されるのかを区別できる可能性がある。このような広域年代対比法は津波堆積物を用いた津波波源の復元に大きく貢献できると考えられる。

「詳細地盤構造と活動セグメントの新たな解釈に基づく歴史被害地震の断層モデル構築に関する研究」(拠点間連携研究[課題番号:2985])では、平成 28 年度に行った地盤構造に関する調査結果から、横手盆地の構造が予想以上に複雑であることが判明したため、1896 年(明治 29 年)陸羽地震(M7.2)の強震動・建物被害シミュレーションを行う前に、地下構造を詳細に把握するための詳細な調査を行った。横手盆地を東西に横切るような 3 つの測線と、深い構造となっていることが推測される盆地中央部に 2 つのアレイを配置し、常時微動観測を行った。アレイ微動により基盤深さは北側のアレイ 1 付近では 1800m 程度、アレイ 2 付近では 2600m 程度であることが推定された。地盤構造の推定を行う一方で、活断層についての現地調査結果から、1896 年陸羽地震の詳細震源断層モデルの構築についてさらなる検討を行った。今後は、1896 年陸羽地震の強震動シミュレーションを行い、地盤構造の影響について検討を行う。

(2) 地震・火山噴火の災害発生機構の解明

「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～」(拠点間連携研究[課題番号:2993])では、精神的苦痛状態の計量尺度として精神疾患医療分野で Kessler らによって提案された K6 指標を採用する。これは 6 項目の質問からなる不安障害を判断する 4 区分測定指数であるが、本研究では定義域[0, 24]の間隔尺度と見做し確率変数として扱う。これを原変数 X とし、どのような確率分布に従うかを検証した。平常時における日本国民の心理状態を K6 指標を用いて、厚生労働省は昭和 61 年より国民生活基礎調査の中で継続調査している。年変化のないことを確認し、平成 19 年度データを用い指数分布(CDF)を当てはめ、国民一人の平常時における心理的苦痛状態は K6 尺度を用いるとその状態確率は指数分布に従うことを確認した。地震被災時の精神的状態を、平時の状態の極限状態ととらえ、上記平常時モデルに極値理論を当てはめ定式化した。本モデルの検証として、2014 年神城断層地震の被災者調査を長野県白馬村において行い(28 事例採取)、検証データに用いた。その結果、本人負傷または家族負傷の際に受ける精神的ダメージを本モデルで説明できることを確認した。

負傷以外のインシデント 10 項目の大きさを同様にモデル化するため、一対比較法によるアンケート調査を防災講演会等の出席者 196 名に実施した。回答者全体の平均一対マトリクスを作成し固有値問題で定式化すると、得られた固有ベクトルが各インシデントの影響

度として求められる。さらにインシデントの複数組み合わせによるモデル化を行い、被震時のモデルを完成させた。時間経過に伴う漸次型回復と原因となるインシデント解消による問題解決型回復の2種類の回復モデルを考えた。神城断層地震の調査結果を用いてモデルのパラメータを回帰し、心の回復シミュレーションが可能となった。

阪神淡路大震災発生後20年を経過した被災者に対する心の復興度調査（池埜聡：阪神大震災20年遺族の思い，朝日新聞2015年）との比較より検証を行った。今回対象としたのは神城断層地震の被災者調査によるものであり，そのバラツキ（個人特性の違い）は確率モデルとして評価できたものの，その標準偏差は大きく，精神的被災度及び回復は，個人差が大きいことを意味している。しかし，その全体的傾向はモデル化が可能であり，個人に特化したパラメータを決めることにより，被験者個人の心の動きを特性化する可能性を得たと言えよう。今回の研究期間には間に合わなかったが，個人診断アンケートにより個人特性（精神的価値観）を固有ベクトル（選好尺度）と固有値（感度）で特定し，個人の精神被災一回復モデルを構築し，対策のためのシミュレーションへの道筋が開けた。

（3）地震・火山噴火の災害誘因の事前評価手法の高度化

「南海トラフ巨大地震に対する山地斜面の崩壊危険度予測の高度化と減災のためのハザードマップ作成」（拠点間連携研究〔課題番号：2996〕）では，2016年4月に発生した熊本地震を対象に，熊本県と国土交通省九州地方整備局より提供された詳細数値地形図を用いて，地震によって崩壊が発生した箇所・どの部分から崩壊が発生したかなどの検討を行った。これには，平成30年1月22日に特許出願した土砂災害予測基本図の手法を用いた。ある範囲に同じような地震動が加わった場合，たとえば阿蘇の外輪山（阿蘇大橋を破壊した崩壊など）と傾斜の小さい火山灰層を互層として含む地域（京大火山研究所付近）を比較した。一部の報告では，前者は，重力変形をおこしていたこと，後者は，火山灰に含まれる物質によるとされているが，共通の地形的特徴を有することが明らかになった。また，前出手法では，土塊の移動経路を把握する事が可能であった。このことは，崩壊の初期段階で，土塊がどのように運動していたのかを検討することができるという利点を有する。また，これらの手法を用いて，南海トラフの巨大地震に対して，崩壊の危険性の大きい箇所の抽出特定を，紀伊半島の四万十帯に位置する風屋ダム周辺で実施した結果，斜面に存在する崩壊危険度の高い箇所を特定することができた（図6）。

「緊急地震速報を利用した建物地震災害誘因のリアルタイム予測」（拠点間連携研究〔課題番号：2981〕）では，緊急地震速報の情報と拠点建物の観測記録を用いて周辺の建物の最大変形角を推定する手法を提案した。15棟分の観測記録を用いて提案手法の精度の検討を進めた結果，提案手法によって地震動予測式（GMPE）による推定誤差を改善できた。特に，提案手法の精度は，関係なく応答が大きいほど高くなる傾向が確認できた。今回は最も近傍にある観測点を拠点として検証したが，推定対象となる周辺建物に対し，どのような拠点観測点を選択すべきかについて，さらなる検討が必要である。

「長周期地震動予測のための深部地盤構造モデル化手法の高度化に関する共同研究」（拠点間連携研究〔課題番号：2988〕）では，2011年東北地方太平洋沖地震時に東京湾西岸部において周期2～3秒の長周期地震動が局所的に卓越して観測された。一般に長周期地震動の特徴は，深部地盤の影響に支配されると考えられている。そこで，この長周期地震

動の成因を理解することを目的にして、微動の共同観測を実施し、浅部および深部地盤の影響を明らかにした。東京湾西岸部での共同微動観測では、研究分担者が各自の機器を持ち寄って、アレイ観測および単点観測を実施した。アレイ観測では、1辺の長さが2km程度までの複数のアレイを展開し、微動の上下成分の観測を行い、レイリー波の位相速度を推定した。最もサイズの大きいアレイの記録の解析から3km/s程度の位相速度が得られた。また、中規模のアレイ(U246)においても津野ほか(2016)の微動探査に比べて、より低周波数での位相速度が得られている。本研究によって深部地盤のモデル化に有益な情報を取得することができた。

単点観測によるHVスペクトル比は多くの観測点で、0.1Hzと1Hz程度に顕著なピークが認められる。本研究では、周期2～3秒の地震動に着目していることから、1Hz程度のピークに注目すると、臨海部のF1観測点で最も低い周波数0.7Hzでピークが認められる。内陸部では1.4Hz程度で変化はほとんどないが、F12観測点で再び1.0Hz程度と低くなる。他の測線のHVスペクトル比に関しても、0.1Hz程度と1Hz程度に顕著なピークを持っていることは共通していたことから、1Hz程度のピーク周波数を抽出したものを図7に示す。ほとんどの測線で臨海部において1Hz以下と低く、内陸に向かって徐々に振動数が高くなる傾向がある。特に、標高との相関は高く、台地ではピーク周波数が高い。また、同じ低地でも、南側ほど低い傾向もみられる。これは、この周期帯域のH/Vのピークが浅部地盤によるものであることを示唆している。東北地方太平洋沖地震で周期2～3秒の強震動が特に大きかったJKPMでは最も低く、0.5Hzであった。したがって、周期2～3秒の成分は、地盤増幅の非線形性も含めて浅部地盤による影響が支配的であると考えられる。しかし、この周期帯域では、深部地盤の影響が無視できるわけでもないと考えられる。現在、上記の微動アレイ観測の結果も検討しており、その結果を踏まえて浅部地盤と深部地盤の影響も検討する必要がある。

現状では、強震動評価では、地盤の影響の評価において浅部地盤と深部地盤を分けて考慮することが多い。しかし、本研究の結果は、周期2～3秒の長周期地震動の評価には、浅部深部統合地盤モデルが必要であることを示しており、今後の地盤のモデル化での検討課題であると考えられる。

(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を把握するため、2017年5月19日の長野県飯山市における土石流、2017年7月6日の大分県日田市における大規模斜面崩壊において周囲の定常観測網で記録された、それらの発生域を震源として伝播する地震動について、a)観測点間の振幅比を用いた地震動励起源の推定、b)地震動の特徴の抽出、c)現地調査から推定される斜面崩壊の特徴との比較をおこなった。図8には観測地震動記録を用いて地震動励起源を仮定したときの観測点間振幅比の再現誤差の分布を示す。土石流発生域は地震動の励起源として観測点間振幅比の再現誤差が小さくなる領域に位置したことから、観測された地震動が土石流によるものであることがうかがえた。地震動は土石流発生域から半径70km圏内で検出され、100-200秒の継続時間を持ち、卓越周波数は0.5-3Hzであった。同様の解析を大分県日田市の事例に対してもおこなったとこ

ろ、斜面崩壊発生場所を地震動の励起源としても矛盾しない結果が得られた。また、斜面崩壊が現地調査や他の研究により土石流と地すべり性の運動の2回に分けて発生したことが指摘されているのに対して、地震動の記録において、約30秒程度の継続時間、1-4 Hzの卓越周波数を持つイベントと50秒程度の継続時間、0.5-2 Hzの卓越周波数を持つイベントの2つが検出できた。両者の解析結果を通じて、土石流や地すべり性の運動の卓越周波数、継続時間と斜面崩壊の規模との関係が明らかになった。

一方、北海道の海岸地すべりにおいては、20時間かけて30m程度移動した地すべりブロック上に設置された短周期地震計によって移動中の地震動を記録することに成功した。その記録を解析したところ、継続時間1秒以内の短周期イベントが1時間に数個以内発生したのを除き、移動に伴う顕著なシグナルは検出されなかった。このようにゆっくりと移動する地すべりは非常に滑らかにすべり、短周期信号を大きく出さないことが分かった。

「擬似雑音弾性波を用いた火山地下構造のリアルタイム観測方式の研究」（拠点間連携研究[課題番号:2995]）では、桜島火山を対象として、多重化が設定可能な Huffman 系列符号で弾性波を送出し、透過波および反射波の相関出力を求め、伝搬路を推定することによって地下構造をリアルタイムで観測する方式を開発することを目的として、まず、符号発生器、バイプレータ、地中伝送路、センサ、増幅器、フィルタ、A/D変換器、パソコンからなる信号伝送、処理系を光ファイバリンクで制御するシステムを構成し、桜島表層部、シラス地で弾性波の伝搬実験を行い、周波数伝搬特性、距離遅延特性、距離伝搬特性を測定し、システムの基本動作を確認した。次に、測定時間と伝達率を考慮し搬送周波数200Hzで距離伝搬実験を行った結果、地中30cm付近の表層部で減衰が約2dB/m、伝搬速度が約83m/s-114m/sとなって、雨水の影響を受けることが確認された。そして、埋没溶岩上部数10cmの地中5m付近にボアホールを設置し、距離伝搬実験を行ったところ、約270m/sの伝搬速度が得られた。これらの実験で、表層部は火山灰土、溶岩上部付近では軽石、シラスが混合した、所謂ボラ土の特性を反映していることが裏付けられた。なお、実験計画の実施中に光ファイバの接続故障と、強靱ファイバへの交換に日数を要し、計画が遅れ、島内での反射実験はこれから実施する予定である。

(5) 地震・火山噴火の災害軽減のための情報の高度化

「歴史資料に基づく海岸・河川地形の復元による災害研究手法の構築」（拠点間連携研究[課題番号:2997]）では、2016年8月に台風10号で多数の死者を出した岩泉村乙茂地区について、当時の災害の様子と古地図からの地形復元を実施した。現地調査で当時の水害を体験した住民に聞き取りをした所、乙茂地区には集落南部を流れる小本川とは反対方向から濁流が押し寄せたと証言している。

地形復元については、まず①2015年段階の乙茂地区の地形を復元した後(図9a)、陸地測量部が作成した②大正6年(1917)段階の絵図から当時の地形を復元した(図9b)が、①と②ではほぼ地形の変遷はみられなかった。一方、明治8年(1874)に作成された③岩手県立図書館所蔵「乙茂村地引絵図」をみると、小本川流域はいくつもの水路に別れていることが確認できる(図9c)。これらのことから、2016年に発生した豪雨災害について、増水して小本川を溢れた水が、開発以前の自然地形に沿って乙茂集落へと流れ込んだ可能性が指摘できる。

「巨大災害想定のコミュニケーション戦略に関する研究」（拠点間連携研究〔課題番号：2983〕）では、首都直下地震、南海トラフ巨大地震、日本海地震、津波を中核に据え、「災害想定」の理解と受容に関するアンケート調査を行い、集計結果の分析を行った結果、以下の知見が得られた。

第一に、全般的な結果として、地震に対する不安感は、9割にのぼる一方、地震動予測地図の普及率はそれほど高くなく、地図を見たことがある人は、4人に1人程度（26.4%）にとどまっていること、地震動予測地図について、約7割の人が関心を持つ一方で3.5割の人は、全く地震対策を行っていないことがわかった。第二に、現在の地震動予測地図で用いられている確率表現の「30年確率」を「5年確率」、「1年確率」に換算し、「自分自身の対策の必要性」について認識する度合いを比較した。その結果、同じ地震発生確率でも表現手法によって影響は異なること、また人は、大きな地震が「何年以内に起こりうるのか」ということよりも、「どれくらいの確率の高さで起こりうるのか」ということに影響を受ける傾向にあると捉えられた。すなわち、示される確率の数値の高さに応じて「個人的な対策の必要性」を認識するということがわかった。またそれ以外にも、震度7の方が若干対策の必要性への影響力は強くなるものの、震度6弱についても割合や数値の変化の仕方について大きな違いはなく、「〇年に1回」という表現による影響力は相対的に弱かった。第三に、地震動予測地図を見た結果、その内容が「有効だと考える」人と、「どうしたらいいかわからない」人を決める要因は何なのかを捉えた。「確率表現」などの、地震動予測地図における表現の他に、「自分の身に起こる被害イメージとこわさを認識できること」が両者を分ける要因として大きく効いていた。また、地震動予測地図や被害想定への「関心」、さまざまな想定があることでよくわからないという被害想定への不信感、引越しできるかなどの前提条件の捉え方が、リスク・コミュニケーションの効果に対する阻害要因になっていると考えられた。

本研究では研究の進展の中で、確率表現について、その理解と効果に絞って考察し、その結果、科学的な知見が人々にそのまま伝わっているわけではないこと、表現の仕方、受け手の意識の違いによって理解のされ方、受け止め方に大きな違いがあることが明らかとなった。科学的確率や科学的に正確な表現のみが重要なのではなく、表現手法のあり様および受け止める人の心理など、諸側面を詳細にみていくことで、より効果的なリスク・コミュニケーションが図れるという結果が示唆された。

「実践的人材育成のための防災担当者研修プログラムに関する研究」（拠点間連携研究〔課題番号：2987〕）では、研修プログラム案を平成29年1月10日の第1回実施後のアンケート等をもとに改良し、平成29年11月1日と平成30年1月11日に第2回第3回の研修会を富士山火山防災会議協議会山梨県コアグループ会議参加機関を主な対象として実施した。実施時間は半日、他の業務と連携して行えるように富士山火山防災会議協議会山梨県コアグループ会議に合わせて開催した。研修会の運営や演習の実施はNPO法人火山防災推進機構に依頼した。第2回の研修は、前回のアンケート結果で座学の時間が長く、演習時間が短いという意見から、座学を3から2つに変更し、1コマの時間も短時間にし、演習時間を増やした。また、年度が替わったことから新たに火山防災担当に移動した職員もいたため、座学①の内容は変更せず、座学①火山噴火や災害の基礎知識「火山と噴火」（35分）、一方で座学②としては経験の共有が必要とされていたことから、防災対応事例を盛り

込むこととし、座学②火山災害への防災対応「噴火危機時の当面の実行計画の策定—2017年霧島山噴火を例に一」（35分）（災害対応実務者）を実施した。演習（110分）は、状況予測型訓練として座学②で学習した過去の被害事例を基に、被災者視点に立った状況予測を行い対応目標を決定したうえで、目標に沿った具体の対応方針を決定した。第2回は山梨県の防災担当者31名が参加した。第3回研修は、年度内2回目であることから、座学①は、火山地域における噴火以外での災害を学習するために「土砂災害に備える街づくり」（45分、火山砂防学者）を実施し、また、座学②では、最近の災害事例として「御嶽山噴火災害」（45分、行政担当者）を実施した。演習は、「災害対応に学ぶ」（90分）と題してケースメソッド形式で座学にて学習した御嶽山噴火対応の事例から「学ぶこと」を整理し、「学ぶこと」から富士山でできることを検討した。第3回は山梨県の防災担当者31名とオブザーバーとして中部甲信越圏の県の火山防災担当者7名が参加した。演習は、その効果を測るため、状況付与型（第1回）、状況予測型（第2回）、ケースメソッド型（第3回）と演習の方法をかえて実施した。いずれも受講者から好評価を得たが、特に富士山を想定して実施した第1回、第3回の演習が活発に行われ、効果が上がったことが期待できる。

本研修会のアンケートの結果、総じて定期的な火山防災研修を望む声が多く、年に1、2回程度実施し、2回の場合は担当者が新規に入れ替わる4月と秋頃に各1回程度、火山防災協議会開催時と同時期に行うのが望ましいとの情報が得られた。

火山防災研修プログラムとしては、年2回程度の開催で、開催時間は、座学が45分以下、演習が100分程度としたうえで、半日程度が適当であると考えられる。半日での研修構成は、座学2コマと座学を振り返るための演習1コマの組み合わせとし、座学の内容としては「現象」「対策」「経験共有」の3つの分野が必要である。「現象」分野では、火山災害は地震や風水害などの災害と異なる部分が多いため、防災対策等を検討する上で火山現象や災害のそのもの理解や当該火山の特徴を把握することがきわめて重要となる。「対策」分野では、避難計画、国や県の防災対策、降灰対策、観光客対応、具体的な避難訓練（登山者の避難救助）、情報発信等が必要であると考えられる。さらに、火山災害は他の災害に比べ頻度が少ないため実際の対応経験者がきわめて少ない。そこで、噴火対策をより実効的なものにするため「経験共有」として災害対応経験者の対応談、他県の防災体制等の仕組みなどが重要となる。また、野外での火山観察講習を取り入れることも効果的であると考えられる。座学の講師としては、「現象」分野は当該火山の火山防災協議会の専門家が適任であり、「対策」「経験共有」については災害対応経験者や実務者のほか、内閣府火山防災エキスパートなどの活用も有効である。

また、これらの研修会は、演習での自由な意見交換の場をもつことなどで、火山防災協議会での顔の見える関係の構築にも一役買うことができると考えられる。

成果リスト

- 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・瀬瀬一起, 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.
- 斎藤さやか・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.
- 斎藤さやか・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.
- 斎藤さやか・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).
- 斎藤さやか・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・斎藤さやか・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—想定外の周知, 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.

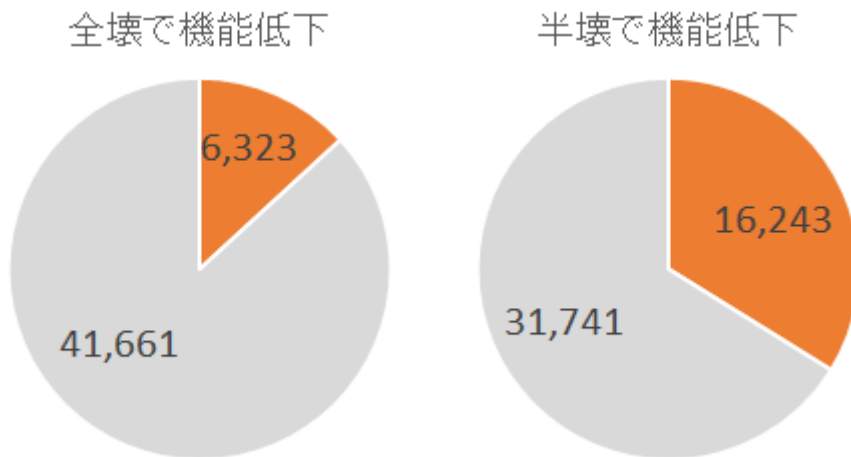


図1. 南海トラフ地震が起きた際に南国市において被災に基づく病院の医療機能の低下の影響を受ける人数の全人口に占める割合(オレンジ部分)(拠点間連携研究[課題番号:2975])

左：全壊で機能低下すると考えた場合
 右：半壊で機能低下すると考えた場合

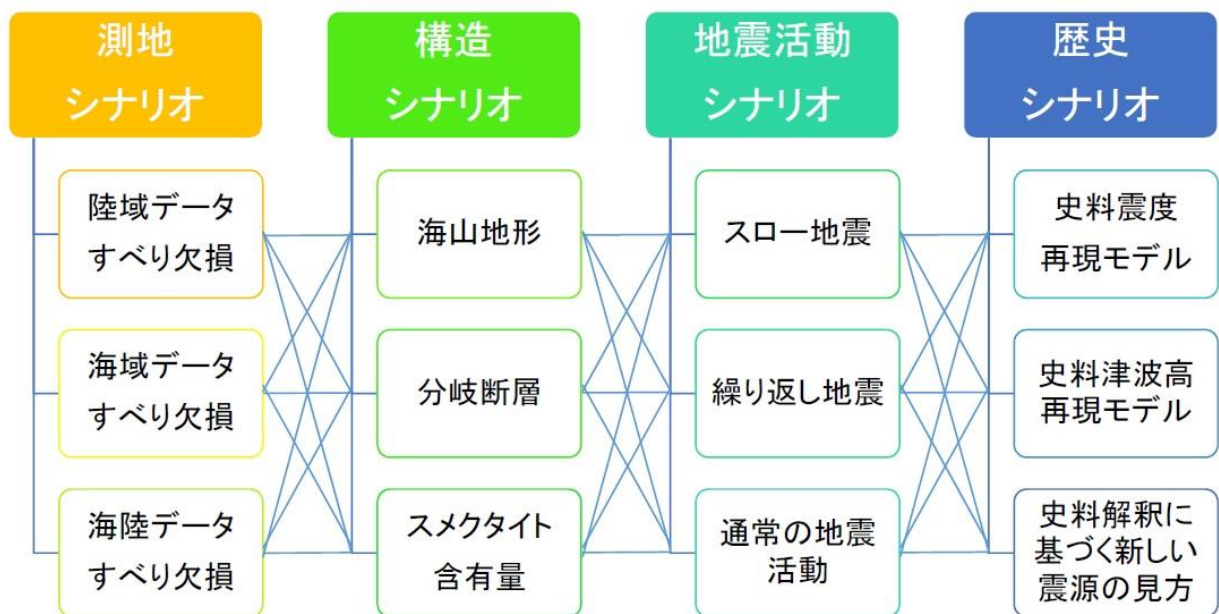


図2. 南海トラフ地震の震源モデル構築のためのロジックツリー(拠点間連携研究[課題番号:2978])

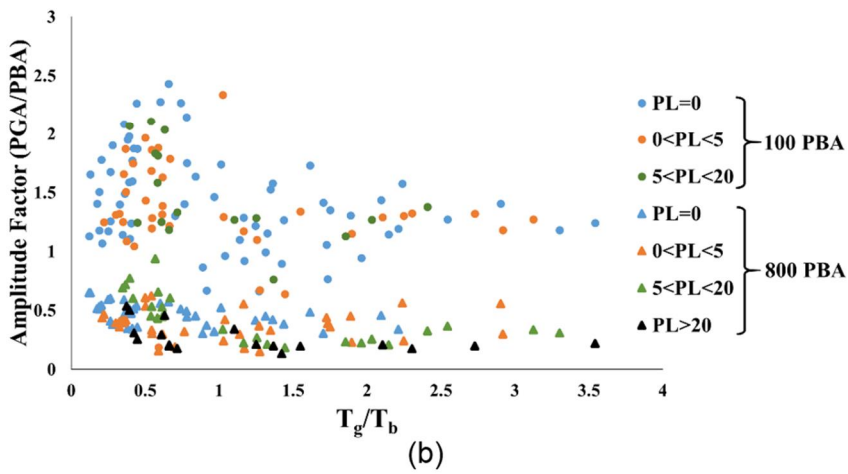
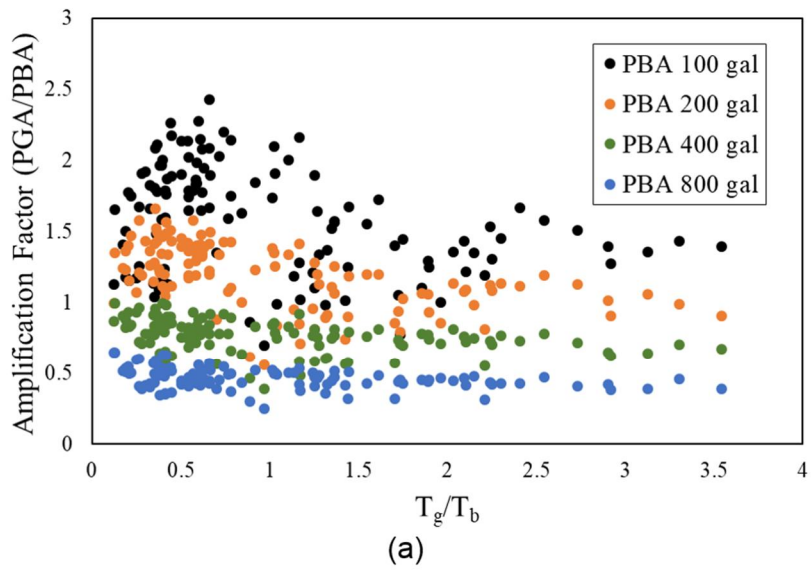


図 3. 逐次非線形解析により得られた表層地盤増幅率 (a) 非液状化解析, (b) 液状化解析 (拠点間連携研究 [課題番号: 2990])

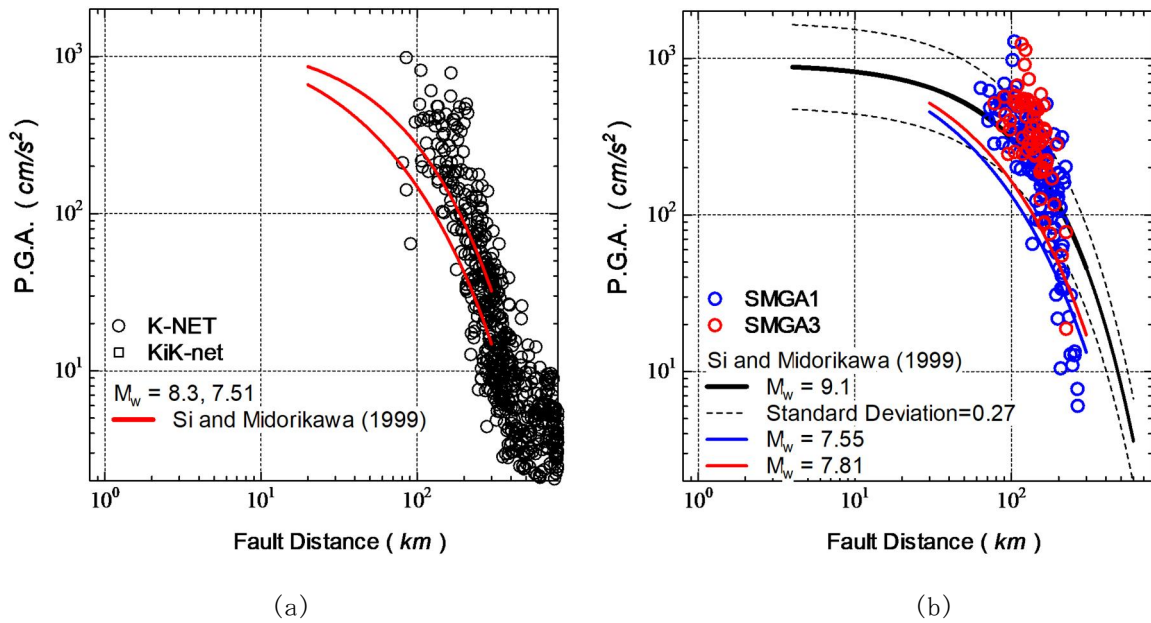


図 4. 強震動生成域に対する距離減衰 (a) 2003 年十勝沖地震の第一アスペリティ, (b) 2011 年東北地方太平洋沖地震の SMGA1, 3 (拠点間連携研究 [課題番号: 2991])

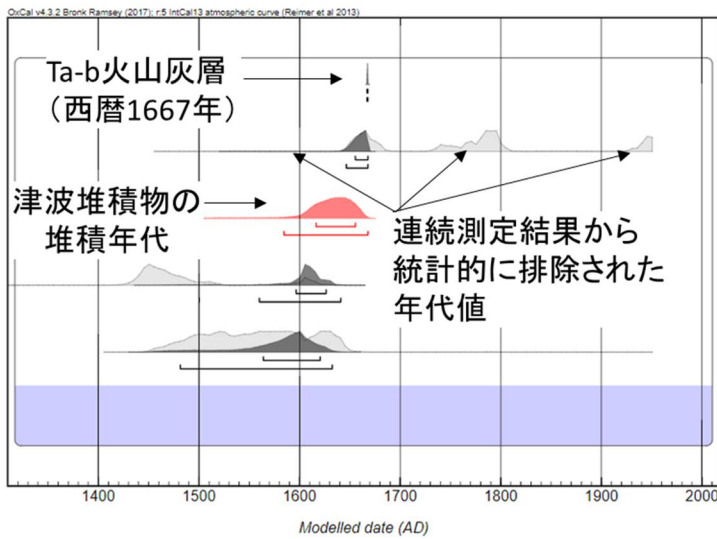


図 5. 浦幌町豊北における泥炭層の 14C 年代連続測定結果 (拠点間連携研究 [課題番号: 2992])

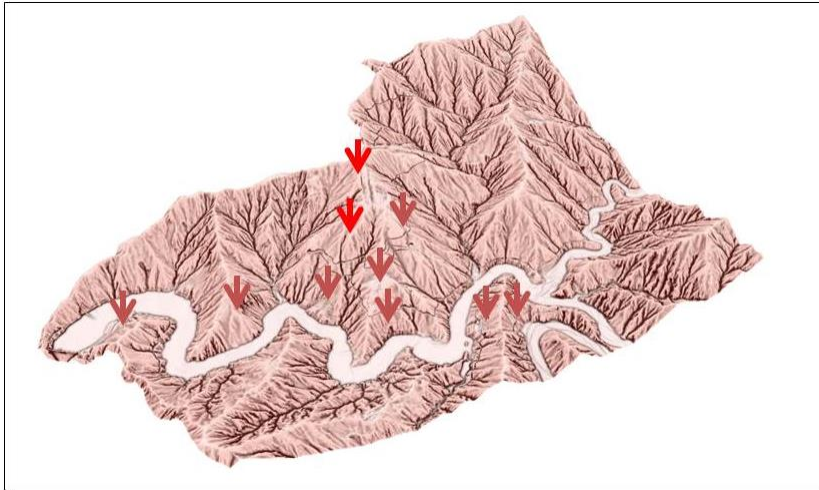


図 6. 地震による崩壊危険度の高い箇所 (矢印で示す) (拠点間連携研究 [課題番号: 2996])

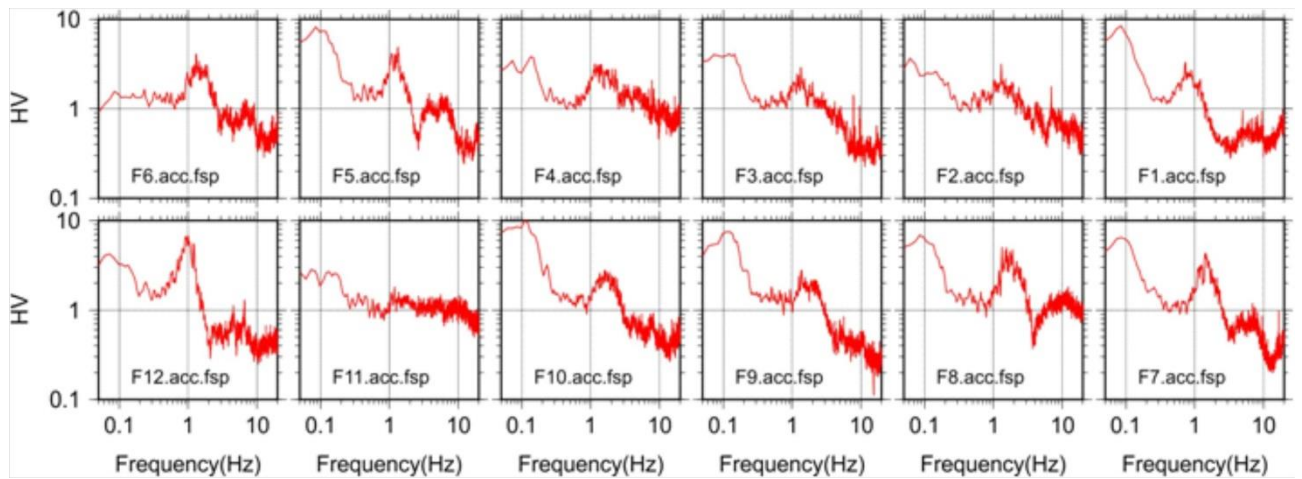


図 7. F 測線で得られた H/V スペクトル (拠点間連携研究 [課題番号: 2988])

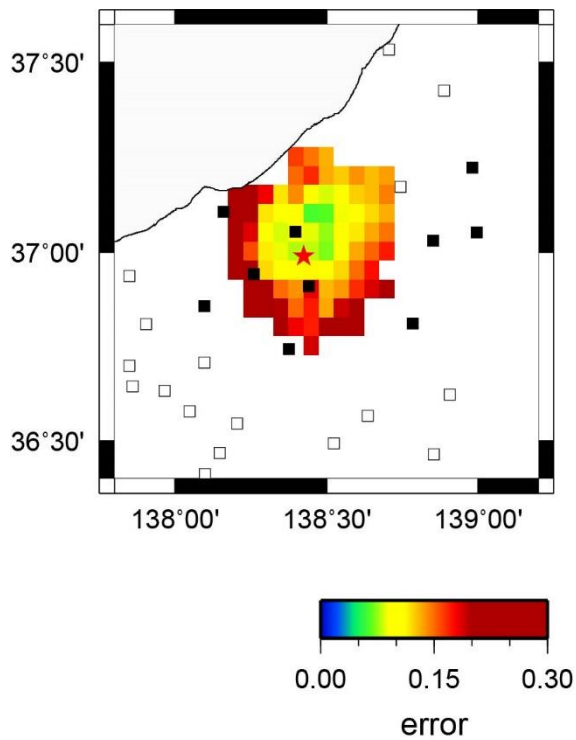


図 8. 観測点間振幅比の再現誤差の分布（赤色星印が土石流発生地点，黒色四角が解析に用いた観測点を表す）（拠点間連携研究 [課題番号：2994]）

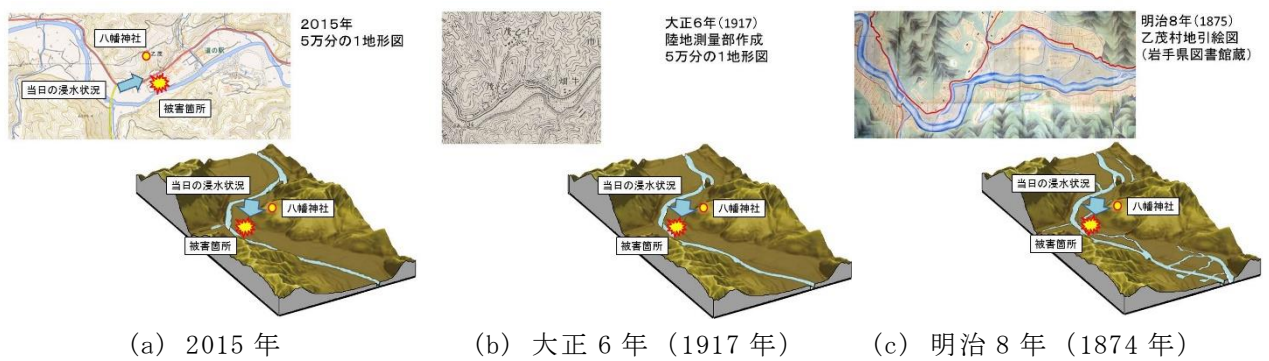


図 9. 乙茂地区の地形の変遷（拠点間連携研究 [課題番号：2997]）