

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02413

研究課題名（和文）地震動予測地図の分解・合成による予測シナリオの多様化

研究課題名（英文）Diversification of prediction scenarios for earthquake ground motion distribution based on decomposition and synthesis

研究代表者

能島 暢呂（Nojima, Nobuoto）

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：20222200

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,300,000円

研究成果の概要（和文）：地震動予測を行う場合、限定的な予測シナリオでは地震動分布の不確定性や多様性を十分にカバーしきれない。本研究では、強震動計算によって生成された地震動分布の予測サンプルに対して、パターン認識や機械学習の分野で用いられる「分類・回帰」や「分解・合成」の手法を適用することにより、地震動予測の不確定性に起因する多様性を効率的に網羅した多数の予測サンプルをシミュレーションにより生成する手法を提案した。提案手法は津波浸水深分布にも適用可能であり、両者の空間相関を考慮した地震・津波マルチハザード・リスク評価を可能とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地震動予測の不確定性への従来の対処方法は、震源断層パラメータにばらつきを与えて膨大なケースの強震動計算を行うもので、計算負荷の増大が不可避であった。本研究では、地震動予測地図を画像として捉えた場合の「予測シナリオが張るベクトル空間」に着目して、「張る空間の拡大」によって予測サンプルを生成するものである。こうしたシナリオ構成方法は新規性が高く、様々な災害現象の空間分布に拡張可能であり、発展性が高く学術的波及効果が大きい。また、社会的波及効果としては、地震動予測地図の多様性に対する理解の深化、ならびに、社会全体のリスク認知力向上が期待される。

研究成果の概要（英文）：In ground motion prediction based on limited number of prediction scenarios, it is difficult to cover high uncertainty and wide diversity of ground motion distributions. In this study, we proposed a simulation method to generate numerous prediction samples that effectively cover inherent uncertainty and diversity by applying such techniques as classification, regression, mode decomposition and synthesis, that are used in pattern recognition and machine learning. The proposed method can be applied to tsunami inundation height distributions. It enables seismic and tsunami multi-hazard and risk assessment taking account of spatial correlation of both hazards.

研究分野：地震工学

キーワード：地震動分布 不確定性 多様性 分類・回帰 分解・合成 予測シナリオ 津波浸水深分布 地震・津波リスク評価

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

将来起こりうる地震の地震動分布の予測は、被害想定やリスク評価に重要な情報を与える。地震本部が公表する「震源断層を特定した地震動予測地図(シナリオ型地震動予測地図)」では、「強震動予測のレシピ」に従って「特性化震源モデル」が設定され、詳細法による強震動計算が行われている。震源断層パラメータの設定に応じて異なった分布となるため、2~12ケースの予測シナリオが設定されているが、その数は限定的であり不確定性をカバーしきれない。また、実際の地震の震度分布は予測シナリオによるそれとは一致しない。こうした問題は地方自治体の被害想定においても深刻で、予測震度が低い場合には安心情報として誤解される恐れもある。そこでレシピでは、断層や強震動に関する知見が十分ではない現状を踏まえた注意点として「現象のばらつきや不確定性の考慮が必要な場合には、その点に十分留意して(中略)震源断層を設定することが望ましい」としており、予測シナリオの多様化が課題とされている。

また地震リスク評価においては、予測シナリオの多様化に加えて、不確定性に伴う空間的なばらつきや空間相関を適切に反映した多数の地震動分布の予測サンプルを考慮する必要がある。面的広がりを持つライフライン・ネットワークの機能喪失リスク評価や、複数施設群のポートフォリオ・リスク評価においては、同時多発被害の空間パターンが問題となるため、この点が特に重要となる。地震本部の「確率的な地震動予測地図」では起こりうる地震として約100万の地震活動モデルが考慮されているが、強震動計算には簡便な地震動予測式が用いられているため、個別の地震のリスク評価には不向きであり、空間相関を考慮することも難しい。一方、詳細な強震動計算は計算負荷が大きく、予測サンプルの効率的な生成手法の開発が課題とされている。

2. 研究の目的

計算負荷が大きい強震動計算によって生成された地震動分布の予測サンプルを最大限活用し、パターン認識や機械学習の分野で用いられる「分類・回帰・分解・合成」の諸手法を適用することによって、地震動分布の不確定性を効率的に網羅するための多数の予測シナリオを設定し、予測シナリオを多様化するための手法を開発することを目的とする。さらに、提案手法を津波浸水深分布にも拡張して適用することで、多様性を備えた適度な数の予測シナリオの構成方法を体系化し、地震動強度分布と津波浸水深分布のばらつきと空間相関を考慮した適正な地震・津波マルチハザード・リスク評価を可能とすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 地震動分布の予測サンプルの生成・分類

複数の予測シナリオ(地震モーメント、すべり継続時間、破壊伝播速度、アスペリティの面積と配置、応力パラメータ、破壊開始点など)に基づいて強震動計算を行い、地震動強度をマップ化して予測シナリオと同数の予測サンプルを生成する。さらに、地震動分布の予測サンプル間の類似度評価を行って予測サンプルを分類し、可視化して全体像を把握するとともに、相互関係を明確化して震源パラメータ設定との関係について考察する。

(2) 地震動分布の分解・合成手法の開発

地震動分布の各予測サンプルを列ベクトルで表し、全予測サンプルを行列で表現する。特異値分解(SVD)や非負行列因子分解(NMF)を適用して分解し、基底を抽出するとともに、空間的なばらつきや空間相関を可視化して予測シナリオ構成のための基礎情報を得る。得られた基底は、予測サンプルのばらつきと空間相関を反映している。その分散・共分散構造を保持しつつ、基底を合成することで、予測シナリオ数より多数の予測サンプルを生成する効率的な手法を開発する。

(3) 地震リスク評価への応用と予測シナリオの構成方法の体系化

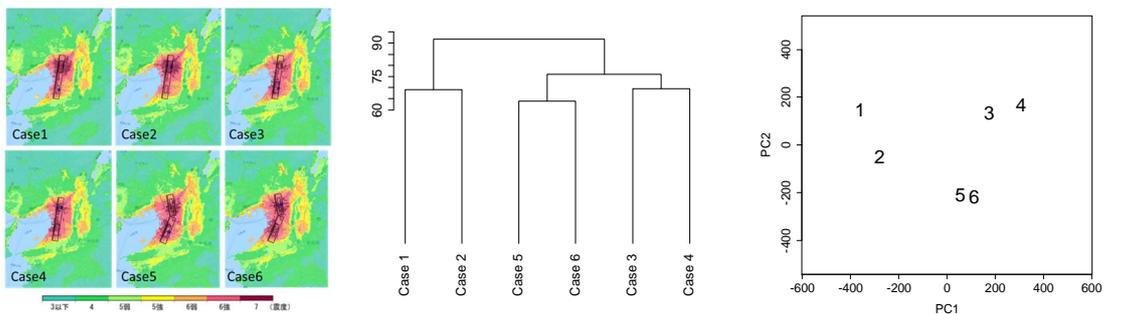
生成された多数の予測サンプルを用いて地震リスク評価を行い、不確定性や空間相関特性を考慮した適正な地震リスク評価の実施可能性を示す。さらに、少数シナリオ(多様性が狭小)と多数シナリオ(計算負荷大)の欠点を補うため、適度な数の予測シナリオの構成方法を体系化し、対象地震の不確定性を効率的に網羅した多様性に富む予測シナリオの同定を可能とする。

4. 研究成果

(1) 地震動分布の類似度評価による分類と震源特性との関連性に関する考察^{1)-3),5),6)}

シナリオ地震動予測地図において、複数ケースの断層パラメータを設定し、地震動分布の多様な可能性を効率的に網羅することは、重要な検討課題である。まず基礎的検討として、シナリオ地震動予測地図における複数ケースの断層パラメータの設定の違いが予測震度分布の非類似性に与える影響について検討した¹⁾。6つの断層帯(糸魚川-静岡構造線断層帯中北部、深谷断層帯、石狩低地東縁断層帯主部、山崎断層帯主部南東部、上町断層帯、石狩低地東縁断層帯南部)を対象として、予測震度分布間の距離行列を求め、階層的クラスタ分析を適用して特徴分類を行った。さらに主成分分析による主成分得点の二次元布置によって、予測震度分布の非類似性に及ぼす断層パラメータの影響について考察した。影響要因として、アスペリティの設定方法(位置・大きさ)、破壊開始点の設定方法、地震モーメントの大小の違い、の3点を挙げ、6断層の

特徴について分析した。その結果、横ずれ断層（糸魚川，山崎）に関しては、破壊開始点が共通、もしくは近隣に位置するケースがクラスターを形成する傾向にあること、糸魚川ではフォワード・ディレクティビティの出現傾向によって大きく2群に分かれること、逆断層（上町，深谷）に関してはアスペリティの設定（位置・大きさ）が共通のケースがクラスターを形成する傾向にあること、上町では大阪平野直下に大きなアスペリティがあるケースで集中的な高震度が見られ、やや特異な傾向を示していること、などを明らかにした¹⁾。



(a) 予測震度分布 (b) クラスタ分析の樹形図 (c) 第1-2主成分による二次元布置
 図1 上町断層帯の6ケースの予測震度分布に関する分析結果の例

また、石狩低地東縁断層帯主部による予測震度分布と北海道胆振東部地震の観測震度分布の類似度評価を通じて、実地震の観測震度分布が複数ケースの予測震度分布に占める位置づけを明らかにした^{1),2)}。地震動の空間分布のみならず、地震動特性（振幅・周期・経時・方位特性）に関する分析として、直交水平2成分により定義される地震動強度指標の相互の比率の確率モデルを体系化して指標変換を可能とした³⁾。また、地震動波形の経時特性⁴⁾に着目した特徴量抽出を時間-周波数特性に発展させ、地震動特性に関する有用な縮約表現を実現とした⁵⁾⁻⁶⁾。

(2) 地震動分布のモード分解と機械学習による震源パラメータとの関連性の分析⁷⁾

複数ケースの地震動分布が表現する空間特性の多様性について詳細に考察するため、周期依存の水平2成分の地震動強度の空間特性に対して、震源パラメータ設定が及ぼす影響を分析した⁷⁾。まず、横ずれ断層（図2）を対象として、特性化震源モデルのパラメータ（地震モーメント、すべり継続時間、破壊伝播速度、アスペリティの面積と配置、応力パラメータ、破壊開始点など）のばらつきを考慮して、香川⁸⁾による統計的グリーン関数法に基づいて強震動計算を行い、加速度波形をシミュレーションした。これにより水平2成分（断層直交成分FN・断層走向成分FP）の周期別（0.1~2.0秒）の絶対加速度応答値（5%減衰）の分布として、600ケースの予測サンプルを生成した。得られた周期・成分別の空間分布を特異値分解（SVD）に基づいてモード分解した。図3に周期2秒の結果を示す。モード群は断層の垂直2等分線を境界とした「対称モード」と「反転モード」に大きく2分類できること、モード1には距離減衰勾配が現れ、モード2以上には、全域で地震動強度を増減させるモードや、アスペリティ配置や破壊開始点の位置に関すると思われるモードが現れることなどがわかった。

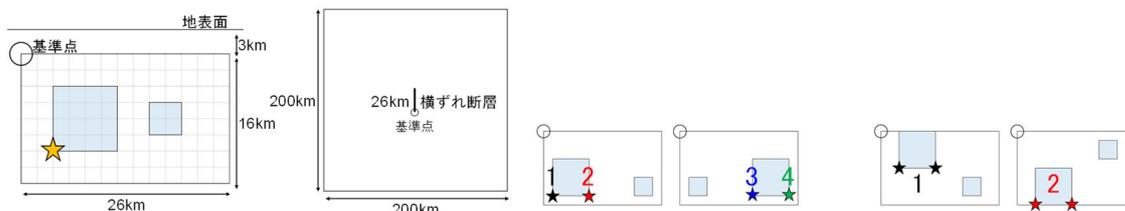


図2（左より）断層モデル，地震動計算範囲，アスペリティ配置および破壊開始点のパターン



図3 FN成分（上段）とFP成分（下段）のモード形状（周期2秒，モード1~6を表示）

さらに詳しく考察するため、機械学習のランダムフォレストによって、震源パラメータを説明変数としたモードの重み係数の予測器を構築した。それらの間の関係性を明らかにするために、得られた予測器に対して XAI (説明可能な AI) を適用し、モードの支配要因を評価した。モード 1 は距離減衰勾配を表し、周期・成分に依存して、鉛直方向の破壊開始点とアスペリティの配置による距離減衰勾配への影響や鉛直方向のフォワード・ディレクティビティ効果が現れた。また、長周期では破壊伝播速度と破壊開始点の水平位置によって、バイラテラルなディレクティビティ効果やラディエーション・パターンの影響が顕著となり、ばらつきが大きくなる傾向が見られた。「全域で正相関となるモード」は、地震モーメントや破壊伝播速度の影響のほか、バイラテラルなディレクティビティ効果やラディエーション・パターンの影響を受けており、「全域を正負に 2 分割するモード」では、短周期ではアスペリティ配置の重心位置の影響が大きく、長周期では水平方向のフォワード・ディレクティビティ効果の影響を強く受けることがわかった。

(3) 地震動分布の分解・合成によるシナリオ多様化のための手法の提案^{9),10)}

多数の予測サンプルの効率的な生成を目的として、水平 2 成分 (FN, FP) の地震動分布における空間的な相互関係を保持したまま、2 成分の地震動分布を同時にシミュレーションする方法を提案した⁹⁾。上記(2)と同じ 600 ケースの水平 2 成分の地震動分布を用いて相互共分散行列を算出し、特異値分解解析 (SVD 解析) を適用して空間相関のモード特性 (通常の SVD による図 3 と等価) を求めた。両成分の空間相関が高いモード形状を抽出し、2 成分の共分散構造を保持した係数ベクトルで主成分得点を置き換えてモード合成することで、2 成分の地震動分布を同時シミュレーションする。シミュレーション方法としては、方法 A (2 成分を独立に扱う方法)、方法 B (2 成分の主成分得点の相関行列のコレスキー分解に基づく相関シミュレーション)、方法 C (2 成分を完全相関とする方法)、方法 D (2 成分の差をランダム化する方法) の 4 方法とし、それぞれ 9600 ケースを生成した。水平 2 成分の主成分得点とその相関係数によって方法 A~D を比較した結果を図 4 に示す。方法 B, D はほぼ等価で、2 成分の地震動分布とその相関関係を再現できている。水平 2 成分の同時シミュレーション分布の例を図 5 に示す。方法 A, B に FP 成分の主成分得点を共通して与えた場合の FN 成分の分布を比較すると、方法 A では 2 成分間の共分散構造は反映されないが、方法 B では反映されている。方法 C, D の組み合わせに関しても同様に、方法 D のみ共分散構造を正しく反映している。

以上の成果をもとに、地震動分布のモード分解とクラスター分析に基づいて各モードの支配要因となる震源パラメータを明確化し、「強震動予測のレシピ」の設定値を拡張して、多数ケースの地震動分布を生成し、効率よく多様性を持たせるためのパラメータ制御方法を提案した¹⁰⁾。

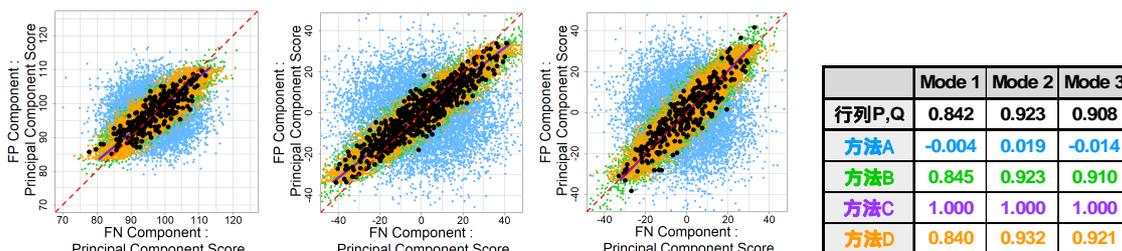


図 4 主成分得点の散布図 (横軸: FN, 縦軸: FP, 周期 2 秒, モード 1~3) とその相関係数 (黒: 元の 600 ケース, 水色: 方法 A, 緑: 方法 B, 紫: 方法 C, 橙: 方法 D)

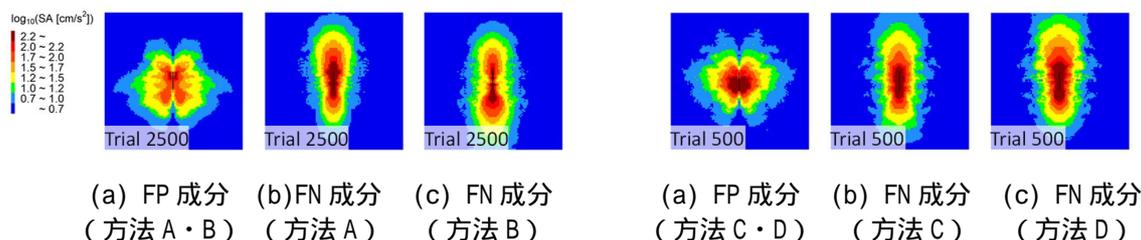


図 5 水平 2 成分の同時シミュレーション分布の例

(4) 提案手法の津波浸水深分布への適用と地震・津波リスク評価¹²⁾⁻¹⁷⁾

南海トラフ地震において想定される 11 ケースの津波浸水深分布を対象として、特異値分解 (SVD) によるモード分解を適用し、モード合成シミュレーションにより多数ケースの浸水深分布を生成可能であることは確認されていた¹¹⁾。一方、震源域モデルが超広域に分布することと、その反面、ケース数が必ずしも十分でないことから、モード形状に有効な物理的解釈を与えることが困難であった。そこで非負値行列因子分解 (NMF) を適用し、基底ベクトルとスパース性を持

つ結合係数行列によって、浸水深分布の空間的な分布特徴を把握できることを示した¹²⁾。

さらに、「波源断層を特性化した津波の予測手法(津波レシピ)」に基づいて79の震源域モデル上に大すべり域が配置された2720の波源断層モデルが構築され、それらによる最大水位上昇量分布が「津波ハザードステーション(J-THIS)」で公開された。予測シナリオが直接的に多様化され、不確実性もまた直接的に表現されたことになり、これを活用して「津波イベントの分解」を行った。これに基づいて、すべての津波イベントの発生確率と津波浸水深との関係を網羅した津波の「ハザードプロファイル¹³⁾」を構成して、先発・後発イベントの確率論的津波ハザード評価を可能とした¹⁴⁾。また波源断層モデルを地震動予測に援用して「地震イベントの分解」を行った。等価震源距離に基づく地震動予測式を適用して地震動分布を生成して「地震ハザードプロファイル¹³⁾」を構成し、先発・後発イベントの確率論的地震ハザード評価を可能にした¹⁵⁾。

全イベントの津波浸水深分布と地震動分布はそれぞれ、大すべり域に起因するイベント内・イベント間の空間相関を内在化させているため、広域の多地点に立地する複数施設群のポートフォリオ・リスク評価に発展可能である。その一環として南海トラフ地震の津波による発電所の同時被災リスク評価¹⁶⁾を行い、地震・津波マルチハザード・リスク評価への展望が開けた¹⁷⁾。「ハザードプロファイル¹³⁾」は地震・津波ハザードを可視化したものであり、ハザード情報の利活用促進のために有用であり、社会のリスク認知力向上につながることを期待される。

<引用文献>

- 1) 吉田光太郎・能島暢呂・高橋幸宏：同一断層帯を対象とした複数ケースのシナリオ地震動予測地図のクラスター分析による特徴分類，土木学会論文集 A1，Vol.76，No.4，2020，pp. I_420-I_429.
- 2) Takahashi, Y. and Nojima, N.: Approximation Representation of Observed Strong Ground Motion Distribution using Mode Synthesis of Predicted Distribution, Proc. of the 8th International Symposium on Reliability Engineering and Risk Management (ISRERM2022), Hannover, Germany, September 4-7, 2022, Paper ID: GS-03-101.
- 3) 能島暢呂・横山太郎：直交水平2成分を用いて定義される強震動指標の比率分布の確率モデルの体系化，土木学会論文集 A1，Vol.78，No.4，2022，pp. I_98-I_116.
- 4) 久世益充・能島暢呂：混合正規分布による地震動の特徴抽出とその応用，日本地震工学会論文集，第20巻，第1号，2020，pp.1_93-1_106.
- 5) Kuse, M. and Nojima, N.: Feature Extraction and Analysis of Earthquake Motion, River Basin Environment: Evaluation, Management and Conservation, pp.331-342, 2022.
- 6) 久世益充・能島暢呂・加藤有人：時間-周波数特性を考慮した地震動の特徴抽出と類似性評価手法の検討，土木学会論文集 A1，Vol.79，2024。(印刷中)
- 7) 高橋幸宏・能島暢呂・香川敬生：地震動分布のモード分解と機械学習による周期・成分別の空間特性の分析，土木学会論文集 A1，Vol.78，No.4，2022，pp. I_478-I_493.
- 8) 香川敬生：多数の断層破壊シナリオによる強震動のばらつき分布，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol.71，No.4，pp. I_191-I_197，2015.
- 9) 高橋幸宏・能島暢呂・香川敬生：特異値分解解析に基づく水平2成分の地震動分布シミュレーション，土木学会論文集 A1，Vol.78，No.4，2022，pp. I_445-I_458.
- 10) 高橋幸宏・能島暢呂・香川敬生・片山大修：地震動分布の多様性を網羅するための予測シナリオの設定方法，令和4年度土木学会中部支部発表会講演概要集，2023.3，I-03.
- 11) 高橋幸宏・能島暢呂：南海トラフ巨大地震による津波の浸水深分布の空間相関特性の評価とシミュレーション，地域安全学会論文集，No.36，2020.3，pp.75-82.
- 12) 高橋幸宏・能島暢呂：非負値行列因子分解を用いた南海トラフ巨大地震による津波浸水深分布の空間分布特性の評価，地域安全学会論文集 No.38，2021.3，論文 No.16.
- 13) 秋田祐輔・加藤圭悟・能島暢呂・高橋幸宏：ハザード情報の理解促進のための「地震ハザードプロファイル」の提案 - 震度分布の広がりを考慮した市町村版 - ，第40回日本自然災害学会学術講演会講演概要集，2021.9，pp.63-64.
- 14) Jiao, Y. and Nojima, N.: Probabilistic Tsunami Hazard Assessment Considering the Sequence of the First and Second Earthquakes Along the Nankai Trough, Journal of Disaster Research, Vol.18, No.8, 2023, pp.839-851
- 15) 焦禹禹・能島暢呂：南海トラフにおける先発・後発地震の時系列を考慮した確率論的地震ハザード評価，第43回地震工学研究発表会講演論文集，2023.9，講演番号 D15-93.
- 16) 加藤宏紀・焦禹禹・能島暢呂・高橋幸宏：南海トラフ巨大地震の確率論的津波評価に基づく重要施設の同時被災リスク評価，第41回日本自然災害学会学術講演会講演概要集，2022.9，pp.11-12.
- 17) 堀江恭暉・能島暢呂・焦禹禹：南海トラフ地震の地震・津波マルチハザードを考慮したイベントリスクカーブ評価，第79回土木学会年次学術講演会，2024.9，(発表予定)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 能島暢呂・横山太郎	4. 巻 Vol.78, No.4
2. 論文標題 直交水平2成分を用いて定義される強震動指標の比率分布の確率デルの体系化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1	6. 最初と最後の頁 I_98-I_116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejseee.78.4_I_98	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 高橋幸宏・能島暢呂・香川敬生	4. 巻 Vol.78, No.4
2. 論文標題 特異値分解解析に基づく水平2成分の地震動分布シミュレーション	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1	6. 最初と最後の頁 I_445-I_458
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejseee.78.4_I_445	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 高橋幸宏・能島暢呂・香川敬生	4. 巻 Vol.78, No.4
2. 論文標題 地震動分布のモード分解と機械学習による周期・成分別の空間特性の分析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1	6. 最初と最後の頁 I_478-I_493
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejseee.78.4_I_478	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kuse, M. and Nojima, N.	4. 巻 Vol.1
2. 論文標題 Feature Extraction and Analysis of Earthquake Motion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 River Basin Environment: Evaluation, Management and Conservation	6. 最初と最後の頁 331-342
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-19-4070-5_15	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 藤原広行・蛭沢勝三・香川敬生・司宏俊・古村孝志・三宅弘恵・森川信之・塩田哲生・小川裕・松崎伸一・宮腰淳一・酒井俊朗・亀田弘行	4. 巻 第22巻, 第2号
2. 論文標題 SSHACレベル3ガイドラインに基づく伊方サイトでの地震動特性モデルの構築	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本地震工学会論文集	6. 最初と最後の頁 2_61-2_87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5610/jaee.22.2_61	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 能島暢呂・横山太郎	4. 巻 Vol.77, No.4
2. 論文標題 直交水平2成分を用いて定義される強震動指標の相互関係の確率論的考察	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1	6. 最初と最後の頁 I_128-I_138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejsee.77.4_I_128	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Muntafi, Y. and Nojima, N.	4. 巻 Vol.21, Issue 85
2. 論文標題 Seismic Properties and Fractal Dimension of Subduction Zone in Java and its Vicinity using Data from 1906 to 2020	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 71-83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21660/2021.85.j2217	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Muntafi, Y. and Nojima, N.	4. 巻 Vol.933
2. 論文標題 The Spatio-temporal Tectonic Condition and Microzonation Map of Malang Region after the 2021 M6.1 Malang Earthquake for Disaster Risk Mitigation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1755-1315/933/1/012031	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 西村武・野口竜也・香川敬生	4. 巻 Vol.77, No.4
2. 論文標題 2016年鳥取県中部の地震における建物被害と地盤震動特性の関係	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1	6. 最初と最後の頁 I_321-I_336
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejsee.77.4_I_321	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 野口竜也・小林和生・西村武・香川敬生	4. 巻 Vol.77, No.4
2. 論文標題 1943年鳥取地震の鹿野・吉岡断層における稠密微動観測に基づく地盤震動特性の把握	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1	6. 最初と最後の頁 I_617-I_625
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejsee.77.4_I_617	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nishimura, I., Noguchi, T. and Kagawa, T.	4. 巻 Vol.20, Issue 82
2. 論文標題 Estimation of Subsurface Structures and Ground Motion Characteristics in the area damaged in the 2016 Central Tottori Prefecture Earthquake in Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 15-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kagawa, T.	4. 巻 9
2. 論文標題 Application of Modified PLUM Method to Dense Seismic Intensity Network of a Local Government in Japan - Case Study on Tottori Prefecture -	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Earth Science, section Solid Earth Geophysics, The New Frontiers of Earthquake Early Warning Systems	6. 最初と最後の頁 672613
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/feart.2021.672613	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高橋幸宏・能島暢呂	4. 巻 No.38
2. 論文標題 非負値行列因子分解を用いた南海トラフ巨大地震による津波浸水分布の空間分布特性の評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 地域安全学会論文集	6. 最初と最後の頁 163-172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11314/jiiss.38.163	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 吉田光太郎・能島暢呂・高橋幸宏	4. 巻 Vol.76, No.4
2. 論文標題 同一断層帯を対象とした複数ケースのシナリオ地震動予測地図のクラスター分析による特徴分類	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1	6. 最初と最後の頁 I_420-I_429
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejsee.76.4_I_420	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Muntafi, Y., Nojima, N. and Jamal, A. U.	4. 巻 Vol.6, No.3
2. 論文標題 Damage Probability Assessment of Hospital Buildings in Yogyakarta, Indonesia as Essential Facility due to an Earthquake Scenario	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Civil Engineering Forum	6. 最初と最後の頁 225-236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22146/jcef.53387	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tsurugi, M., Tanaka, R., Kagawa, T. and Irikura, K.	4. 巻 Vol. 110, No.2
2. 論文標題 High Frequency Spectral Decay Characteristics of Seismic Records of Inland Crustal Earthquakes in Japan: Evaluation of the fmax and Models	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bull. Seism. Soc. Am.	6. 最初と最後の頁 452-470
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1785/0120180342	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 香川敬生・星山賢太郎・野口竜也	4. 巻 Vol.76, No.4
2. 論文標題 2000年鳥取県西部地震による気象庁境港観測点における非線形地盤応答特性と境港市役所における観測記録の再現	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1	6. 最初と最後の頁 I_163-I_171
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejsee.76.4_I_163	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 久世益充・能島暢呂・加藤有人	4. 巻 Vol.79
2. 論文標題 時間-周波数特性を考慮した地震動の特徴抽出と類似性評価手法の検討	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1	6. 最初と最後の頁 登載決定・印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Jiao, Y. and Nojima, N.	4. 巻 Vol.18, No.8
2. 論文標題 Probabilistic Tsunami Hazard Assessment Considering the Sequence of the First and Second Earthquakes Along the Nankai Trough	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Disaster Research	6. 最初と最後の頁 839-851
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jdr.2023.p0839	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hayashida, T., Yoshimi, M., Suzuki, H., Mori, S., Kagawa, T., Ichii, K. and Yamada, M.	4. 巻 Vol.94, No.6
2. 論文標題 Tracking the Effect of Human Activity on MeSO-net Noise Using Seismic Data Traffic — Did Seismic Noise in Tokyo Truly Decrease during the COVID-19 State of Emergency?	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Seismological Research Letters	6. 最初と最後の頁 2750-2764
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1785/0220230015	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nishimura, I, Noguchi, T. and Kagawa, T.	4. 巻 Vol.74, No.1
2. 論文標題 Construction of Web-GIS for integrating geophysical survey data with geotechnical information in the San'in region, southwest Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-022-01707-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計39件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 高橋幸宏・能島暢呂・香川敬生
2. 発表標題 モード分解と機械学習に基づく地震動分布の予測モデル
3. 学会等名 日本地震工学会大会 - 2022大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takahashi, Y. and Nojima, N.
2. 発表標題 Approximation Representation of Observed Strong Ground Motion Distribution using Mode Synthesis of Predicted Distribution
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Reliability Engineering and Risk Management (ISRERM2022), Hannover, Germany (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takahashi, Y. and Nojima, N.
2. 発表標題 Evaluation of Spatial Characteristics of Seismic Intensity Distributions using Non-negative Matrix Factorization
3. 学会等名 The 13th International Conference on Structural Safety and Reliability (ICOSSAR 2021-2022), Shanghai, China (Online) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 焦禹禹・能島暢呂
2. 発表標題 南海トラフにおける先発・後発地震の時系列を考慮した確率論的津波ハザード評価
3. 学会等名 日本地震工学会大会 - 2022大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 焦禹禹・加藤宏紀・能島暢呂・高橋幸宏
2. 発表標題 地震発生の時系列を考慮した南海トラフ巨大地震の確率論的津波ハザード評価
3. 学会等名 第41回日本自然災害学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤宏紀・焦禹禹・能島暢呂・高橋幸宏
2. 発表標題 南海トラフ巨大地震の確率論的津波評価に基づく重要施設の同時被災リスク評価
3. 学会等名 第41回日本自然災害学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋幸宏・能島暢呂・香川敬生・片山大修
2. 発表標題 地震動分布の多様性を網羅するための予測シナリオの設定方法
3. 学会等名 令和4年度土木学会中部支部究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 焦禹禹・加藤圭悟・能島暢呂
2. 発表標題 南海トラフ地震の地震・津波マルチハザード評価のための地震動評価
3. 学会等名 令和4年度土木学会中部支部究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤宏紀・杉浦正和・焦禹禹・能島暢呂
2. 発表標題 南海トラフ地震・津波による電力供給力低下リスク評価
3. 学会等名 令和4年度土木学会中部支部究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤有人・久世益充・能島暢呂・高橋幸宏
2. 発表標題 時間-周波数特性を考慮した地震動の次元縮約手法と波形分析に関する検討
3. 学会等名 令和4年度土木学会中部支部究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kuse, M. and Nojima, N.
2. 発表標題 Analysis of Earthquake Motion and Surface Motion using the Gaussian Mixture Model
3. 学会等名 The 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takahashi, Y., Nojima, N. and Kuse, M.
2. 発表標題 Simulation of Strong Ground Motion Distribution by Synthesis of Orthogonal Modes Decomposed from Scenario Shaking Maps
3. 学会等名 The 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 能島暢呂・横山太郎
2. 発表標題 直交水平2成分を用いて定義される強震動指標の比率分布の確率デルの体系化
3. 学会等名 第41回地震工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋幸宏・能島暢呂・香川敬生
2. 発表標題 水平2成分の地震動分布における空間的相互関係の分析
3. 学会等名 第41回地震工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋幸宏・能島暢呂・香川敬生
2. 発表標題 地震動分布のモード分解と勾配ブースティング決定木に基づく予測モデル
3. 学会等名 第40回日本自然災害学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋幸宏・能島暢呂
2. 発表標題 地震動分布のモード分解とランダムフォレストに基づく予測モデル
3. 学会等名 地域安全学会梗概集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 香川敬生・西垣壮真・野口竜也
2. 発表標題 鳥取大学常設観測点における常時微動の長期変動
3. 学会等名 地球惑星科学連合大会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kagawa, T. and Noguchi, T.
2. 発表標題 A Study on Non-linear Soil Characteristics Using Strong and Weak Motion Records
3. 学会等名 The 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kagawa, T., Nishimura, I. and Noguchi, T.
2. 発表標題 Effect of Nonlinear Soil Response on Ground Motions at Nearby Sites
3. 学会等名 The 6th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 香川敬生・木村一成
2. 発表標題 中央構造線三野断層の断層破碎帯での動的変形特性
3. 学会等名 日本地震学会2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 香川敬生・木村一成
2. 発表標題 断層破碎帯の震動特性 -中央構造線断層系三野断層-
3. 学会等名 日本活断層学会2021年度秋季学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋幸宏・能島暢呂・香川敬生
2. 発表標題 地震動分布のモード分解による周期・方位依存の空間特性の分析
3. 学会等名 第40回地震工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋幸宏・能島暢呂
2. 発表標題 非負値行列因子分解を用いたシナリオ地震動予測地図の空間分布特性の分析
3. 学会等名 第75回土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 横山太郎・能島暢呂
2. 発表標題 直交水平2成分を用いた強震動指標の相互関係の定量的評価
3. 学会等名 第75回土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋幸宏・能島暢呂
2. 発表標題 非負値行列因子分解を用いた南海トラフ巨大地震の浸水深分布の空間分布特性の要因分析
3. 学会等名 地域安全学会梗概集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋幸宏・能島暢呂・香川敬生
2. 発表標題 地震動分布のモード分解とサポートベクトル回帰に基づく予測モデル
3. 学会等名 第39回日本自然災害学会学術講演会講演概要集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田光太郎・高橋幸宏・能島暢呂・香川敬生
2. 発表標題 地震動分布のモード分解とクラスター分析に基づく特徴把握
3. 学会等名 第39回日本自然災害学会学術講演会講演概要集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋幸宏・能島暢呂・香川敬生
2. 発表標題 地震動分布のモード分解と線形重回帰分析に基づく予測モデル
3. 学会等名 土木学会中部支部令和2年度研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 香川敬生・野口竜也・山田浩二・竹本哲也
2. 発表標題 1943年鳥取地震で出現した鹿野断層におけるS波反射法地震探査
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 香川敬生・野口竜也・山田浩二・竹本哲也
2. 発表標題 S波反射法地震探査および常時微動を用いた1943年鳥取地震で出現した鹿野断層近傍の地盤構造
3. 学会等名 日本地震学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋田祐輔・加藤圭悟・能島暢呂・高橋幸宏
2. 発表標題 ハザード情報の理解促進のための「地震ハザードプロファイル」の提案 - 震度分布の広がり考慮した市町村版 -
3. 学会等名 第40回日本自然災害学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 能島暢呂
2. 発表標題 地震動予測地図の情報発信と利活用
3. 学会等名 第16回日本地震工学シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 土肥裕史・重野伸昭・森川信之・藤原広行・能島暢呂・岩田知孝
2. 発表標題 地震調査研究推進本部における地震動予測地図の取組 - 地震動の応答スペクトルに関する地震動予測地図に向けた検討 -
3. 学会等名 第16回日本地震工学シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Jiao, Y. and Nojima, N.
2. 発表標題 Probabilistic Seismic Hazard Assessment considering the Sequence of the First and Second Earthquakes along the Nankai Trough
3. 学会等名 The 16th Japan Earthquake Engineering Symposium
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 焦禹禹・能島暢呂
2. 発表標題 南海トラフ地震の地震ハザード評価のための等価震源距離の適用と不確定性評価
3. 学会等名 第9回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 焦禹禹・能島暢呂
2. 発表標題 南海トラフ地震の地震ハザード評価における等価震源距離の適用方法
3. 学会等名 第78回土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Jiao, Y. and Nojima, N.
2. 発表標題 Probabilistic Seismic Hazard Assessment considering the Sequential Occurrence of Earthquakes along the Nankai Trough
3. 学会等名 The 41st Annual conference of Japan Society for Natural Disaster Science
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 焦禹禹・能島暢呂
2. 発表標題 南海トラフにおける先発・後発地震の時系列を考慮した確率論的地震ハザード評価
3. 学会等名 第43回地震工学研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 久世益充・能島暢呂・加藤有人
2. 発表標題 時間-周波数特性を考慮した地震動の特徴抽出手法の検討
3. 学会等名 第43回地震工学研究発表会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	久世 益充 (Kuse Masumitsu) (30397319)	岐阜大学・流域圏科学研究センター・准教授 (13701)	
研究 分担者	香川 敬生 (Kagawa Takao) (50450911)	鳥取大学・工学研究科・教授 (15101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------