

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19H02400

研究課題名（和文）スパースな地震観測網による地盤-構造物系の地震時挙動の高精度予測手法の開発

研究課題名（英文）Development of a high-precision prediction method to estimate seismic behavior of ground-structure systems using a sparse seismic observation network

研究代表者

盛川 仁（Morikawa, Hitoshi）

東京工業大学・環境・社会理工学院・教授

研究者番号：60273463

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,100,000円

研究成果の概要（和文）：ある地域における地震被害を予測するには、地震動の空間変動や構造物の適切なモデル化が不可欠である。本研究課題では、(1)地盤および構造物個別の動特性のモデルから地盤-構造物系の統合モデルに拡張するとともに、(2)スパース(粗)な観測網によって得られた記録から超高密度観測網と同等の精度を有する記録を再構築する手法を開発した。特に、物理モデルの高精度化のみに頼ることなく、入出力関係を直接表現する数的手法を導入することで地震応答特性の効率的かつ高精度なモデル化を目指す。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題で得られた成果は将来の地震による被害予測のための基本的な手法として用いることができ、従来のフラジリティカーブに基づく統計的根拠が曖昧な被害予測手法を置き換えることが可能である、という点で学術的な意義をもつ。くわえて、耐震設計のための設計体系の革新、スパースな観測網から得られた記録から被害の詳細を準リアルタイムに予測しながら救援活動等に活用するなど、安全・安心な社会の実現に大きく貢献するものと期待される。

研究成果の概要（英文）：In order to predict earthquake damage in a particular area, it is essential to appropriately model the spatial variability of earthquake ground motions and structures. In this research project, we (1) extended the model of the dynamic characteristics of the ground and structures individually to an integrated model of the ground-structure system, and (2) developed a method to reconstruct a records with accuracy equivalent to that of a very high-density observation network from a records obtained by a sparse observation network. In particular, we aim at efficient and accurate modeling of seismic response characteristics by introducing a mathematical method that directly expresses input-output relationships without relying solely on the accuracy of the physical model.

研究分野：地震工学

キーワード：スパースモデリング 地震観測 物理探査 条件付ハザード

1. 研究開始当初の背景

地震動による被害の分布が、狭い範囲であっても大きな違いが生じる場合があることは、近年の多くの地震による被害調査から明らかとなっている。このような現象の原因のひとつが地盤構造の不均質性に伴う地震波動場のゆらぎであることは容易に想像され、古くは1980年ごろから観測がはじまった台湾のSMART-1アレーによる地震動記録をはじめとして、実際にこのような現象を説明できそうな観測事実も少なくない。また、構造物の耐震設計技術と耐震化の進展にともなって、理想化されたモデルに基づいて設計された構造物の実際の地震時の挙動と理想モデルにおいて想定している挙動との差異が顕在化するようになってきた。

しかし、地震防災対策においては、このような局所的な不均質性や精度とは無関係に、統計学的に曖昧な背景をもつ被害関数(フラジリティ曲線)を用いた簡便な被害予測が行われており、個々の地域で本来考慮されるべき個別の特性が無視されているのが現状である。地域の特性にあった地震動の空間変動特性、構造物の応答特性を観測記録に基づいてきめ細かく導入しなければ、将来発生するであろう地震による被害予測は単なる数字の遊びに陥って信頼を得られないことが危惧される。

このような問題意識のもとで、申請者らは(1)地盤や構造物上での超高密度観測記録を用いることで対象物の動特性の空間変動を詳細にモデル化し、(2)媒質や構造がもつゆらぎを確率論的手法に基づいてモデル化に取り入れる手法について検討してきた。その結果、高密度観測記録から得られた知見をもとに地盤や構造物についてそれぞれ、個別の特性を反映し、不確定性にも配慮した高分解能なモデル化手法を提案することができたが、実際の構造物被害の分布と解析による推定結果を比較すると必ずしも十分な精度ではないことも明らかとなった。これは、地盤と構造物のモデルそれぞれがたとえどんなに優れていてもそれらを単純に組み合わせただけでは適切に地震による被害を説明できないことから、現象の物理的理解を目的とすることなく、地盤-構造物系として統合された大局的かつ合理的なモデルによって直接、構造物等の地震応答を推定する手法を開発すべきと考えた。

また、数kmの範囲で数十ヶ所に地震計を設置する超高密度地震観測を数年にわたって実施した結果、その有用性が明らかとなった一方で、観測の維持管理の負担の大きさ、困難さを痛感することとなった。このような厳しい現実を前にして、「高密度観測の利点を維持したスパース(=粗)観測」という高密度観測のさらに一歩先を構想するにいたった。

2. 研究の目的

ある地域における地震被害を予測するには、地震動の空間変動や個別の構造物の適切なモデル化が不可欠である。そのために超高密度観測によって地盤構造や構造物の動特性を同定する手法を検討してきた。しかし、地盤-構造物系のモデル化の不完全さや高密度観測における極めて高いコストなどの問題が明らかとなった。そこで本研究では、

- (1) 地盤および構造物個別の動特性のモデルから地盤-構造物系の統合モデルに拡張し、
- (2) スパース(粗)な観測網によって得られた記録から超高密度観測網と同等の精度を有する記録を再構築する手法を開発する

ことを目的とする。

実現象の物理モデルの構築には多くの困難が伴い、必ずしも常に成功してきたわけではない。本研究では、この点に着目して、物理モデルの高精度化のみに頼ることなく、入出力関係を直接表現する数理的手法を導入することで地震応答特性の効率的かつ高精度なモデル化を目指す。

3. 研究の方法

従来の手法によって地盤や構造物の動特性の物理モデルを高度化し、地盤と構造物を高度に統合したモデル化手法を検討するという正攻法に加えて、機械学習の技術を取り入れることで入出力関係に基づいて数理モデルを用いて入力から直接出力を予測する新しい手法を導入し、伝統的手法との融合をはかる。本研究の目的を達成するために、大きく分けて以下に示す4つのサブテーマを設定して研究を推進した。

1) 観測および記録処理の高精度化・高効率化

本研究の基礎となるのは超高密度観測記録であるため、膨大な記録の処理が必要となる。観測および記録処理の両面からの高効率化を実現するための手法を開発する。

2) 地盤-構造物系の動特性のモデルの統合

地盤と構造物の各々の確率論的モデル化の延長線上で、地盤と構造物間の相互作用を含む地盤-構造物系の統合モデルの構築手法を確立する。

3) 観測網のスパース化

観測のための維持管理コストを減じ、現実的な観測網の維持を念頭において、スパース(粗)な観測網から得られる観測記録から超高密度観測網と同等の精度を維持して地震応答を推定する手法を開発する。

4) 観測記録に基づく被害予測

地震の発生確率を含まない(すなわち、地震が発生した場合を前提とした)「条件付きハザード評価」を実現するために、超高密度観測(相当)の記録をもとに対象地域の特性を最大限反映した被害予測手法について検討する。

4. 研究成果

以下に本研究で得られた成果を「3. 研究の方法」で述べた項目ごとに整理して列挙する。なお、文章中の引用は本研究の業績リスト「主な発表論文等」に記載の論文に対応する。

4.1 観測および記録処理の高精度化・高効率化に関する研究

観測および記録処理の高精度化・高効率化にあたって、微動を用いた物理探査手法(微動探査法)を対象としてノイズが含まれない解析区間の自動抽出手法等のデータ処理において機械学習技術の適用を行った(宮本, 2019; 宮本, 2023)。また、観測を効率化し、より少ないコストで精度の高い地盤構造モデルを推定するために微動記録の新しい解析手法を開発した。微動の2点同時観測から基盤深度を推定する手法(田中ほか, 2021)、地盤の振動モードを同定することにより不整形な基盤構造を推定する手法(鈴木ほか, 2019; Suzuki et al., 2021)、微動アレイ観測を用いた位相速度の推定手法の高精度化手法(Kimura et al., 2023 (GJI))を開発した。また、観測規模が大きくなるにともなって観測の自由度が失われるため、観測効率が低下する傾向がある。これを解析アルゴリズムの工夫によって観測の自由度を高め、観測を効率化する手法を新たに開発し、数値計算によってその妥当性を確認した(Kimura et al., 2023 (EPS))。

なお、工学的基盤面での地震動の空間変動は地表面でのそれに比べて小さいことから、地震波動場の推定において、工学的基盤面での地震動を推定することが有用である場合がある。地盤の非線形応答を考慮して地表面の記録から工学的基盤面上での地震動を推定する手法を開発した(Morikawa & Iiyama, 2021)。

また、地盤-構造物系の動特性のモデルを統合するために、地盤-構造物系の動特性を直接同定する手法として振動数領域分解法(Frequency Domain Decomposition; FDD法)の適用性を検討し、従来知られていた白色ノイズ入力だけでなくインパルス入力の場合も成立することを明らかにした(Iiyama et al., 2023)。これらの検討からFDD法が地盤および構造物の動特性の同定に極めて有効であることを明らかにした。

さらに、地震による被害予測には構造物の非線形挙動が重要であるため、非線形挙動のモデル化の高度化を行った(名波・坂井; 2022)。

4.2 地盤-構造物系の動特性のモデルの統合に関する研究

地盤-構造物系の統合にあたって、個別にモデル化を検討してきた地盤と構造物の連成系について、両者のモデル化において有効な手法であることが明らかとなったFDD法の適用性を検討し、地表および構造物上に設置された微動記録に対してFDD法が適用可能であることを明らかにした(Chen et

al., 2019)。すなわち、構造様式の変化に伴い構造物の動的応答特性の変化を正しく追跡できること、特定の条件のもとでは地盤の振動モードが卓越しそれを FDD 法により正しく同定できることを示した。

また、地盤-構造物系を統合したモデル化では、例えば有限要素法 (FEM) を用いる場合、解析範囲が大きくなればなるほどメッシュ切りのコストが大きくなる。そのため、地盤-構造物の統合モデルを容易に作成することができるように構造物や地盤の部分ごとに個別に作成したメッシュをつなぎあわせて大きなモデルを作成する手法を開発した (Tomobe et al., 2023 (JSC) ; Tomobe et al., 2023 (日本地震工学シンポジウム) ; Kimura et al., 2023)。さらに、最終目標である地震による被害予測手法の開発においてスパースなデータを活用することを念頭において、地盤-構造物系の応答を簡易に予測する手法を開発した (小野寺ほか, 2023 ; 和田・坂井, 2023 ; 坂井, 2023)。

4.3 観測網のスパース化に関する研究

観測網をスパース化しながらも地盤震動の推定精度を損なわない手法を確立することは本研究の大きな目標の一つであるため、そのための手法としてスパース推定に関するミニシンポジウムを主催した(「スパース推定の展開と土木工学—粗なデータからどこまで高密度な情報が再現できるか」, 共催:土木学会構造工学委員会 構造工学での AI 活用に関する研究賞委員会, 山梨大学 工学域スマート社会基盤創造研究ユニット, 2019年10月15日, 土木学会講堂, 東京)。ミニシンポジウムでは会場がほぼ満員となる参加者(68人)を得て、スパース推定研究の第一人者6名による講演, パネルディスカッションを通じて活発な議論を行い, 最新の研究成果に関する情報を研究者間で共有した。ここで得られた知見は, 本研究においてスパースなデータの活用方法を検討するための重要な素地となった。

また、「観測網のスパース化」にあたって少ない数のパラメータから構造物の動特性を表すには事前に大量の理論計算を実施し, 入出力関係のデータベースを作成しておき, そのなかから観測値を最もよく説明するモデルを選択することによって, 適切なモデルを得るという手法が有効であることが明らかとなった。これによりスパースな観測網から得られた観測記録を用いて現象を説明するモデルの同定の実現可能性が示唆された(論文執筆中のため発表論文なし)。

粗なデータをもとに密なデータを推定するために, 物理モデルを援用する方法および機械学習を援用する方法を検討した。前者については, 密な観測記録から得られた地盤の情報を活用することが可能であれば十分な精度で地震波動場を推定できることを示した(田中ほか, 2019 ; 浅野ほか, 2021 ; Kaneko & Goto, 2022)。あわせて, 波動場を確率論的手法によってモデル化する手法を開発し, 推定精度の定量的な評価を可能とした(Chakraborty & Goto, 2020 ; 後藤・Chakraborty, 2022 ; Chakraborty et al., 2023 ; 奈良・後藤, 2023)。一方, 後者の機械学習を用いる方法では, 必ずしも詳細な物理モデルを必要とせずに応答(出力)を推定可能であり, 地震波動場を粗な観測記録から密に推定する手法を開発した(Otake et al., 2020 ; Miyamoto & Yamamoto, 2021 ; Miyamoto, 2022)。

4.4 観測記録に基づく被害予測に関する研究

地震による被害の推定には, 物理モデルに基づいて数値的に求めることが一般的であるが, 適切な物理モデルの設定が必要となり, 広域にある多くの構造物を簡易にモデル化することが重要となる。そのため, 比較的簡易なモデルによる構造物の応答の推定や被害予測のための手法を開発した(Goto et al., 2021 ; 坂井ほか, 2022 ; 坂井・小野寺, 2022 ; 久保・坂井, 2023)。また, 機械学習の適用性についても検討を行うとともに(宮本ほか, 2020), 被害推定の結果を実際の被害分布と比較する手法を示し, 結果の妥当性を確認した(石井ほか, 2021)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計36件（うち査読付論文 32件／うち国際共著 8件／うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Kimura, H., Tomobe, H., and Morikawa, H.	4. 巻 235
2. 論文標題 Method for estimating azimuthal intensity distribution of microtremors using simple arrays	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 518-530
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/gji/ggad228	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 Kimura, H., Morikawa, H., Tomobe, H., and Iiyama, K.	4. 巻 75
2. 論文標題 Estimation of phase velocity using array observation of microtremors with arbitrary shape	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 ID: 88
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40623-023-01831-6	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 Kimura, H., Tomobe, H., Sharma, V., and Morikawa, H.	4. 巻 -
2. 論文標題 A fundamental study on the application of energy-based overset nite element method to dynamic analysis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 第16回日本地震工学シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 Day3-G418-19
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 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 該当する
1. 著者名 Tomobe, H., Sharma, V., Kimura, H., Morikawa, H., Sakai, K., Iiyama, K., and Chen P.-Y.	4. 巻 -
2. 論文標題 An energy-based overset nite element method for modal analysis on rigid frame bridges	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 第16回日本地震工学シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 Day2-G418-14
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 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 該当する

1. 著者名 宮本 崇	4. 巻 71
2. 論文標題 機械学習による科学的方法論の拡張と地盤工学	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 地盤工学会誌	6. 最初と最後の頁 19-23
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 奈良樹・後藤浩之	4. 巻 79
2. 論文標題 地震波形の類似度評価におけるワッサースタイン計量の特性とセンブランス解析への適応例	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会論文集 特集号(地震工学)	6. 最初と最後の頁 論文ID: 22-13023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.22-13023	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 坂井公俊	4. 巻 79
2. 論文標題 大規模地震時の地表面地震動を効率的に評価するための標準地盤データの提案	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会論文集 特集号(地震工学)	6. 最初と最後の頁 論文ID: 22-13001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.22-13001	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 小野寺周・坂井公俊・豊岡亮洋	4. 巻 79
2. 論文標題 地震動と地表断層変位を同時に受ける鋼製ラーメン模型の振動台実験と再現解析	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会論文集 特集号(地震工学)	6. 最初と最後の頁 論文ID: 22-13016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.22-13016	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 和田一範・坂井公俊	4. 巻 27
2. 論文標題 鉄道橋りょう・高架橋群を対象とした下部工単体の固有振動数同定法の検証	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 鉄道工学論文集	6. 最初と最後の頁 -
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 久保大樹・坂井公俊	4. 巻 27
2. 論文標題 地震に伴う構造物の振動特性変化が地震リスクに及ぼす影響評価	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 鉄道工学論文集	6. 最初と最後の頁 -
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 Iiyama, K., Morikawa, H., Chen, P.-Y., and Sakai, K.	4. 巻 -
2. 論文標題 Analytical discussion on applicability of frequency domain decomposition method to systems excited by an impulse force	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Civil Engineering and Management	6. 最初と最後の頁 - (in press)
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 Chakraborty, A., Goto, H., and Sawada, S.	4. 巻 40
2. 論文標題 Updating proxy-based site amplification map with in-situ data in Osaka, Japan: A Bayesian scheme based on uncertainty projected mapping	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Earthquake Spectra	6. 最初と最後の頁 113-142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/87552930231207110	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 Yoshihiro Kaneko and Hiroyuki Goto	4. 巻 Vol.49
2. 論文標題 The origin of large, long-period near-fault ground velocities during surface-breaking strike-slip earthquakes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022GL098029	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 後藤浩之, Anirban Chakraborty	4. 巻 Vol.78, No.4
2. 論文標題 隣接値の有意差を反映した空間確率場の表示法	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1 (構造・地震工学)	6. 最初と最後の頁 pp. I_79-I_86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejsee.78.4_I_79	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 坂井 公俊, 小野寺 周	4. 巻 78
2. 論文標題 地盤と構造物の周期, 強度特性を指標とした橋りょう・高架橋の地震時挙動簡易評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1 (構造・地震工学)	6. 最初と最後の頁 pp. I_227-I_240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejsee.78.4_I_227	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 Takashi Miyamoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Integrating Physical Prediction Methods and AI-based Satellite Data Analysis Methods in Earthquake Damage Estimation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of Eighth International Symposium On Reliability Engineering And Risk Management	6. 最初と最後の頁 pp.318-322
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3850/978-981-18-5184-1_MS-11-142-cd	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 名波 健吾, 坂井 公	4. 巻 Vol.78, No.4
2. 論文標題 等価1自由度モデルを用いた鉄道高架橋の地震時挙動評価時の骨格曲線の高度化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1 (構造・地震工学) Vol.78	6. 最初と最後の頁 pp. I_266-I_274
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejsee.78.4_I_266	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 坂井 公俊, 豊岡 亮洋, 木野 淳一, 國井 道浩	4. 巻 Vlo.68A
2. 論文標題 大規模地震発生後の復旧判断のための土木構造物上の付帯設備の残存性能評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 構造工学論文集 A	6. 最初と最後の頁 pp.213-224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/structcivil.68A.213	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 Haruka Tomobe, Vikas Sharma, Harusato Kimura, Hitoshi Morikawa	4. 巻 94
2. 論文標題 An Energy-based Overset Finite Element Method for Pseudo-static Structural Analysis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Scientific Computing	6. 最初と最後の頁 55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10915-023-02113-9	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 石井秀堯・浅井光輝・大谷英之・飯山かほり・盛川仁・磯部大吾郎	4. 巻 Vol. 77 (2021), No. 2
2. 論文標題 ASI-Gauss 法による都市全域の木造家屋倒壊予測シミュレーション	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集A2 特集号	6. 最初と最後の頁 I_563 ~ I_573
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejam.77.2 I 563	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 Suzuki, Y., Iiyama, K., Morikawa, H., Sakai, K., and Araki, G.	4. 巻 Vol. 149
2. 論文標題 New method to estimate bedrock shape of small-scale basin using modal properties of sediment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Soil Dynamics and Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 106882
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.soildyn.2021.106882	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 田中浩平・坂井公俊・飯山かほり・盛川仁	4. 巻 Vol. 77, No. 1
2. 論文標題 常時微動の鉛直成分2点同時観測による工学的基盤形状の推定手法の提案	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1 (構造・地震工学)	6. 最初と最後の頁 219 ~ 228
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejsee.77.1_219	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 浅野晃太, 後藤浩之, 奥村与志弘, 澤田純男	4. 巻 Vol.77, No.4
2. 論文標題 2018年大阪府北部の地震における高槻市・茨木市の建物被害分布と要因に関する地理学的考察	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1 (構造・地震工学)	6. 最初と最後の頁 I_638 ~ I_648
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_638	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 Hiroyuki Goto, Yoshihiro Kaneko, Muriel Naguit, John Young	4. 巻 Vol.111, No.2
2. 論文標題 Records of extreme ground accelerations during the 2011 Christchurch earthquake sequence contaminated by a non-linear, soil-structure interaction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bulletin of the Seismological Society of America	6. 最初と最後の頁 704 ~ 722
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1785/0120200337	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 Takashi Miyamoto and Yudai Yamamoto	4. 巻 14
2. 論文標題 Using 3-D Convolution and Multimodal Architecture for Earthquake Damage Detection Based on Satellite Imagery and Digital Urban Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 6623 ~ 6626
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSTARS.2021.3102701	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 Morikawa, H. and Iiyama, K.	4. 巻 Vol. 15, No. 1
2. 論文標題 A method to find an appropriate input motion using a given motion on ground surface	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Earthquake and Tsunami	6. 最初と最後の頁 2150001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S1793431121500019	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 Ryota Otake, Jun Kurima, Hiroyuki Goto, Sumio Sawada	4. 巻 Vol. 91, No. 6
2. 論文標題 Deep learning model for spatial interpolation of real-time seismic intensity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Seismological Research Letters	6. 最初と最後の頁 3433-3443
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1785/Q220200006	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 Anirban Chakraborty, Hiroyuki Goto	4. 巻 Vol. 40, No. 2
2. 論文標題 Visualizing data saturation process in mapping site amplification of earthquake ground motions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Natural Disaster Science	6. 最初と最後の頁 14-25
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 該当する

1. 著者名 宮本 崇, 浅川 匡, 久保 久彦, 野村 泰稔, 宮森 保紀	4. 巻 1
2. 論文標題 防災応用の観点からの機械学習の研究動向	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集	6. 最初と最後の頁 242-251
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/jsceiii.1.J1_242	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 鈴木祐輔・飯山かほり・盛川仁・坂井公俊・荒木豪	4. 巻 39
2. 論文標題 堆積盆地における振動モードの同定に関する基礎的研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第39 回地震工学研究発表会講演論文集	6. 最初と最後の頁 B22-1464_1~7
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 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 Chen, P.Y., Iiyama, K., Morikawa, H., Sakai, K., and Kitamura, H.	4. 巻 39
2. 論文標題 A study on modal characteristic of elevated bridge in different construction stage	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第39 回地震工学研究発表会講演論文集	6. 最初と最後の頁 B13-1477_1~6
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 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 田中裕貴, 後藤浩之, 澤田純男	4. 巻 75
2. 論文標題 三次元的基盤形状をもつ地盤による地震動増幅特性の系統的な理解の試み	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集A1 (構造・地震工学)	6. 最初と最後の頁 I_416 ~ I_425
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejsee.75.I_416	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 宮本崇	4. 巻 67
2. 論文標題 地盤工学における機械学習技術の応用研究事例について	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地盤工学会誌	6. 最初と最後の頁 16～19
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 -

〔学会発表〕 計31件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Anirban Chakraborty, Hiroyuki Goto, Sumio Sawada
2. 発表標題 Updating Proxy-based Site Amplification Map in Osaka, Japan with Soil Borehole Data
3. 学会等名 A Bayesian Updating Scheme based on Uncertainty Projected Mapping, AGU Fall meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ショーバックジェイコブ英輔, 栗間淳, 後藤浩之, 三上武子, 吉田望, 澤田純男
2. 発表標題 深層学習と数理モデルの組み合わせによる土の繰返しせん断特性の表現法
3. 学会等名 第3回AI・データサイエンスシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奈良樹, 後藤浩之
2. 発表標題 ワッサースタイン計量を用いた地震波センブランス解析の試み
3. 学会等名 日本地震学会2022年度秋季大会, S01-04
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Anirban Chakraborty, Hiroyuki Goto, Sumio Sawada
2. 発表標題 Updating proxy-based site amplification map in Osaka, Japan with soil borehole data: A Bayesian updating scheme based on Uncertainty Projected Mapping
3. 学会等名 日本地震学会2022年度秋季大会, S15-08
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奈良樹, 後藤浩之
2. 発表標題 地震波形の類似度評価におけるワッサースタイン計量の特性とセンブランス解析への適用
3. 学会等名 第42回地震工学研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takashi Miyamoto and Yudai Yamamoto
2. 発表標題 Multimodal Deep Learning for Earthquake Damage Detection
3. 学会等名 13th International Conference on Structural Safety & Reliability, Online, (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Haruka Tomobe, Vikas Sharma, Harusato Kimura, Hitoshi Morikawa
2. 発表標題 Energy-based overset finite element method for 3-D deformation simulation for plants
3. 学会等名 The 10th International Plant Biomechanics Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石井秀堯・浅井光輝・大谷英之・飯山かほり・盛川仁・磯部大吾郎
2. 発表標題 ASI-Gauss 法による都市全域の家屋倒壊予測シミュレーションの妥当性確認
3. 学会等名 土木学会第76 回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhang, H., Iiyama, K., Morikawa, H.
2. 発表標題 Assessment of applicability of a proposed method to estimate phase velocity using arbitrary 5-site arrays
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021 年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 後藤浩之, Anirban Chakraborty
2. 発表標題 隣接値の有意差を反映した空間確率場の表示法
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 Anirban Chakraborty, Hiroyuki Goto, Sumio Sawada
2. 発表標題 Uncertainty Projected Mapping with Application to Updating Conventional Earthquake Hazard Map Resolutions
3. 学会等名 EERI Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 後藤浩之, Anirban Chakraborty
2. 発表標題 値の有意差が均一に表現される地震ハザードマップ
3. 学会等名 令和2年度 京都大学防災研究所 研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Anirban Chakraborty, Hiroyuki Goto, Sumio Sawada
2. 発表標題 Updating Conventional Hazard Map Resolutions to Include Local Site Information Using Uncertainty Projected Mapping
3. 学会等名 令和2年度 京都大学防災研究所 研究発表講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Morikawa, H., Matsuda, S., Nakasendo, K., Sakai, K., and Iiyama, K.
2. 発表標題 Experimental studies on performance of a new accelerometer made of crystal oscillator
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Iiyama, K., Aikawa, M., Morikawa, H., and Kockaya, O.
2. 発表標題 Probing seismic reinforcement effect of a wooden house based on ambient vibration measurements
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 Suzuki, Y., Iiyama, K., Morikawa, H., Sakai, K., and Araki, G.
2 . 発表標題 A study to estimate shape of engineering basement on a basis of modal properties of sedimentary basin
3 . 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Zhang, H., Iiyama, K., and Morikawa, H.
2 . 発表標題 An algorithm to estimate phase velocity from an array with arbitrary shape using microtremor data
3 . 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Yoshimi, M., Iiyama, K., Morikawa, H., and Goto, H.
2 . 発表標題 Aftershock and microtremor array observations around the source area of the 2018 Hokkaido eastern Iwate earthquake: implications for generation mechanism observed pulsive strong ground motions during the mainshock
3 . 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Zhang, H., Iiyama, K., and Morikawa, H.
2 . 発表標題 Evaluation of a technique to estimate phase velocity using arbitrary shape array through field tests
3 . 学会等名 6th IASPEI/IAEE Int'l Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhang, H., Iiyama, K., Morikawa, H.
2. 発表標題 Improvement of accuracy to estimate phase velocity using arbitrary shape arrays with extra observation sites
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020 年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroyuki Goto, Anirban Chakraborty
2. 発表標題 Uncertainty projected mapping with application to regional seismic hazard analysis
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Anirban Chakraborty, Hiroyuki Goto
2. 発表標題 Visualizing data saturation in geospatial mapping with application to earthquake engineering
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryota Otake, Jun Kurima, Hiroyuki Goto, Sumio Sawada
2. 発表標題 Deep learning model to predict real-time seismic intensity
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroyuki Goto
2. 発表標題 Bayesian posterior mean velocity modeling as alternative to resolution guaranteed imaging
3. 学会等名 6th IASPEI/IAEE International Symposium: Effect of Surface Geology on Seismic Motion
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松田滋夫・中仙道和之・盛川仁・飯山かほり
2. 発表標題 水晶振動子を用いた加速度計の特性に関する基礎的検討(その2)
3. 学会等名 日本地震学会2019 年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zhang, H., Morikawa, H., Iiyama, K.
2. 発表標題 Estimation of phase velocity using an array with arbitrary shape
3. 学会等名 日本地震学会2019 年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Dodt, M.B., Suzuki, Y., Iiyama, K., Morikawa, H.
2. 発表標題 A study on the modal properties of sediment on base rock
3. 学会等名 日本地震学会2019 年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 盛川仁・飯山かほり・Ping Yu Chen・坂井公俊・北村光
2. 発表標題 衝撃試験を利用した構造物のモード特性同定における FDD 法の適用性検証
3. 学会等名 土木学会第74 回年次学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 ヘイコウチン・飯山かほり・盛川仁・坂井公俊・北村光
2. 発表標題 微動および衝撃試験を利用したFDD 法によるRC ラーメン高架橋の振動モード特性同定
3. 学会等名 土木学会第74 回年次学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Anirban Chakraborty, Hiroyuki Goto
2. 発表標題 Visualizing data saturation in modeling spatially varying ground motions
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Tanaka, Hiroyuki Goto, Sumio Sawada
2. 発表標題 Systematic understanding of the ground motion amplification on three-dimensional basin structure
3. 学会等名 the 32nd KKHTCNN Symposium on Civil Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 盛川 仁、山中 浩明	4. 発行年 2019年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 144
3. 書名 地盤と地盤震動 観測から数値解析まで	

1. 著者名 後藤 浩之	4. 発行年 2019年
2. 出版社 土木学会	5. 総ページ数 30
3. 書名 2018年北海道胆振東部地震・大阪府北部の地震被害調査報告書（地震被害調査シリーズ No.2, No.3）, 2.4地震動の特徴, 2.5震源近傍の地震動（2018年北海道胆振東部地震） / 2.震源および地震動（2018年大阪府北部の地震）	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>ミニシンポジウム「スパース推定の展開と土木工学」 http://smartinfra.yamanashi.ac.jp/sparse_symposium/</p>
--

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	宮本 崇 (Miyamoto Takashi) (30637989)	山梨大学・大学院総合研究部・准教授 (13501)	

6. 研究組織（つづき）

	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	後藤 浩之 (Goto Hiroyuki) (70452323)	京都大学・防災研究所・教授 (14301)	
研究分担者	飯山 かほり (Iiyama Kahori) (90711870)	鹿島建設株式会社（技術研究所）・サステナブルソサエティラボグループ・上席研究員 (92604)	
研究分担者	友部 遼 (Tomobe Haruka) (90880005)	東京工業大学・環境・社会理工学院・助教 (12608)	

	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
研究協力者	坂井 公俊 (Sakai Kimitoshi) (50450739)	公益財団法人鉄道総合技術研究所・鉄道地震工学研究センター・研究室長 (82658)	

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