

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03316

研究課題名（和文）激甚被災地探索を目的とした津波波源推定への機械学習の適用可能性

研究課題名（英文）Applicability of machine learning to tsunami source estimation for exploring devastated area

研究代表者

高橋 智幸（Takahashi, Tomoyuki）

関西大学・社会安全学部・教授

研究者番号：40261599

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,900,000円

研究成果の概要（和文）：津波波源を正確かつ迅速に把握することは、津波警報の更新のみならず、救助などの災害対応にも重要である。津波波源推定には観測データを用いた逆解析が有効だが、専門家が多数のデータを元に試行錯誤を繰り返しているのが現状である。大量の複雑な情報から特徴量を抽出し、隠されている法則を導き出す作業は機械学習が得意とするところである。そこで、機械学習により観測データから津波波源を推定する技術を開発した。

波源断層モデルと模擬観測水位データのセットを教師データとして、ニューラルネットワークに深層学習を適用した。学習済みモデルに模擬観測データを与えると各シナリオの断層パラメータが推定可能であることを検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

巨大津波災害においては、様々な物理的・人的要因が複雑に影響しあって被害を拡大させる。よって、大量の複雑な情報を分析する必要があり、人工知能の活用が期待される分野であるが、現状ではほとんど導入されていない。本研究は津波研究の中心となる津波波源に対して機械学習の適用を試みたものであり、その学術的意義は高いと考えられる。

また、津波波源は津波警報やハザードマップなどの津波防災技術の基礎になるものである。よって、津波波源を機械学習により迅速に調べることができるようになれば、津波防災実務への貢献も期待される。

研究成果の概要（英文）：For effective disaster management, prompt and accurate tsunami source estimation is important not only for updating tsunami warnings but also for determining emergency responses. Although tsunami waveform inversion is a powerful tool for estimating tsunami sources, expert analysis of a large amount of data by trial-and-error methods is needed. Machine learning is an effective means of extracting features from complex big data and determining underlying laws related to different phenomena. In the study, a model to estimate tsunami source from observed data by using machine learning was developed.

Using the deep learning algorithm, a neural network model was constructed. The training data were based on a dataset generated using the fault models and the virtually observed water level changes. The trained model was validated by examining whether it could determine the tsunami source parameters for the different scenarios from the virtually observed data.

研究分野：水災害

キーワード：機械学習 ニューラルネットワーク 津波波源断層モデル 津波シミュレーション 津波観測 津波被害

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災では従来の津波防災の様々な問題点が示され、南海トラフ巨大地震津波に備えた改善が図られている。最終的な人的被害の大きさを決定する主要な要因は救助・救援などの災害対応であるが、そのために不可欠な激甚被災地の探索は大きな課題としてまだ残っている。発災後、迅速に被災状況を把握するためには、信頼性の高い津波波源の推定が有効である。しかし、様々な場所や時間で観測される津波データについて、研究者がそれぞれの特性を考慮しながら、逆解析を繰り返して精度を向上させているため、数カ月を要しているのが現状である。

2. 研究の目的

観測された津波データを用いて、激甚被災地探索に利用できる津波波源を発災後 12 時間以内に推定する技術を開発することを研究目的とした(図-1)。津波波源の推定方法としては、従来の専門家による逆解析ではなく、機械学習により特性化波源断層モデルを予測させることを検討した。特に、膨大なデータから潜在的な規則性を学習し、特徴量を抽出することを得意とする深層学習の適用を検討した。また、津波波源から人的・物的被害を推定することが可能かも検討した。

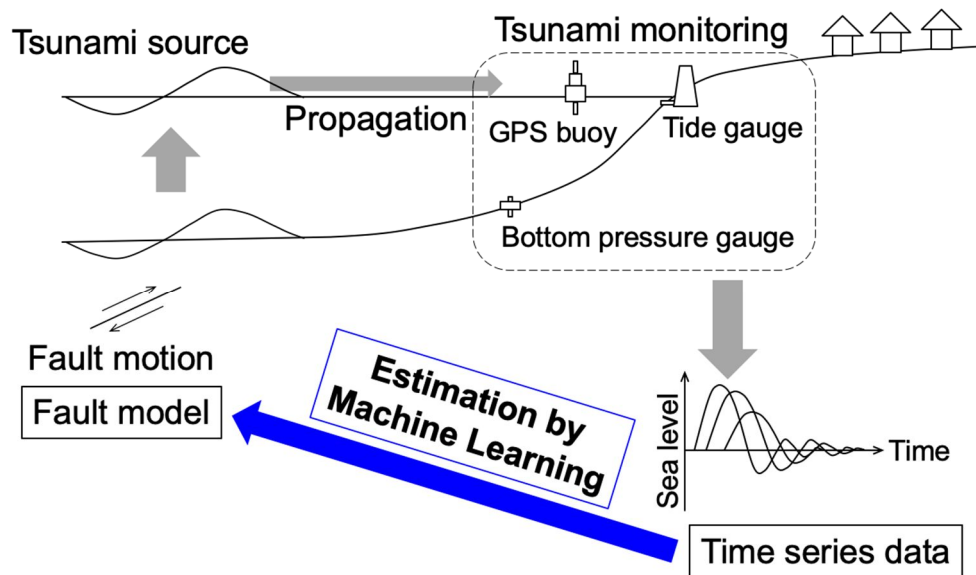


図-1 研究目的

3. 研究の方法

(1) 教師データセットの作成

地震シナリオとしては、モーメントマグニチュード M_w が 8.0 から 8.9 まで 0.1 間隔で 10 種類の規模を想定し、特性化波源断層を設定した。断層パラメータ(図-2)については、地震発生の不確かさを考慮するため、断層長 L は 200km から 750km まで 50km 間隔で 12 ケース、断層深さ D は 1km から 5km まで 1km 間隔で 5 ケース、傾斜角は 20 度から 30 度まで 2 度間隔で 6 ケース、すべり方向は 80 度から 120 度まで 10 度間隔で 5 ケースを設定した。なお、断層幅 W は断層長の 1/2 を標準とし、地震発生層より大きくなる場合は地震発生層で打ち切った。すべり量 U は相似則を用いて断層長から計算し、走向は南海トラフを模擬して 270 度とした。また、断層の配置については、図-3 に示すように、断層長が短いほど発生する可能性の位置は増えるため、全 37 ケースを設定した。以上の条件から、5500 種類の特性化波源断層を設定した。

地形としては、図-4 に示すように、南海トラフ周辺海域を単純化し、岸沖方向に水深 5000m の一様水深領域 54km、急勾配領域 81km および緩勾配領域 189km が接続されたモデル地形を作成した。沿岸方向は一様水深とし、945km の領域を作成した。津波観測装置として GPS 波浪計 8 基と DONET12 基を想定して、観測地点(計算上は出力地点)を配置した。

すべての特性化波源断層について、Mansinha and Smylie(1972)の地殻変動理論に基づき、津波初期波形を計算した。そして、これらを外力条件として、上記の地形モデル上で津波伝播シミュレーションを実施した。出力地点での津波波形は、各観測機器で測定されると予想される模擬観測データとなるから、各断層パラメータと合わせて機械学習における教師データセットを作成した。

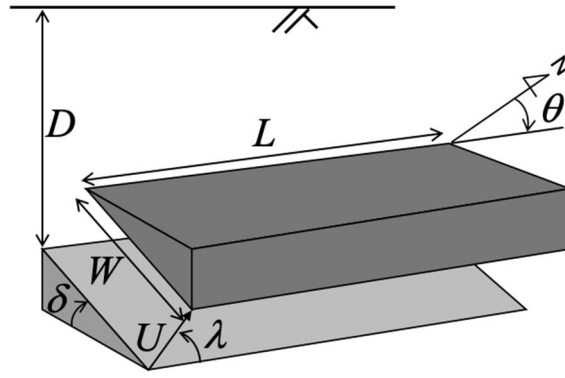


図-2 断層パラメータ

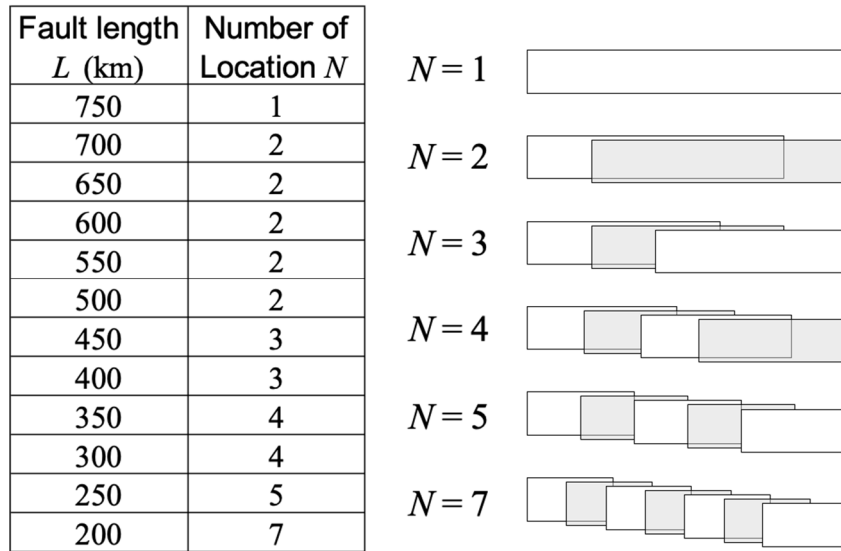


図-3 断層の配置

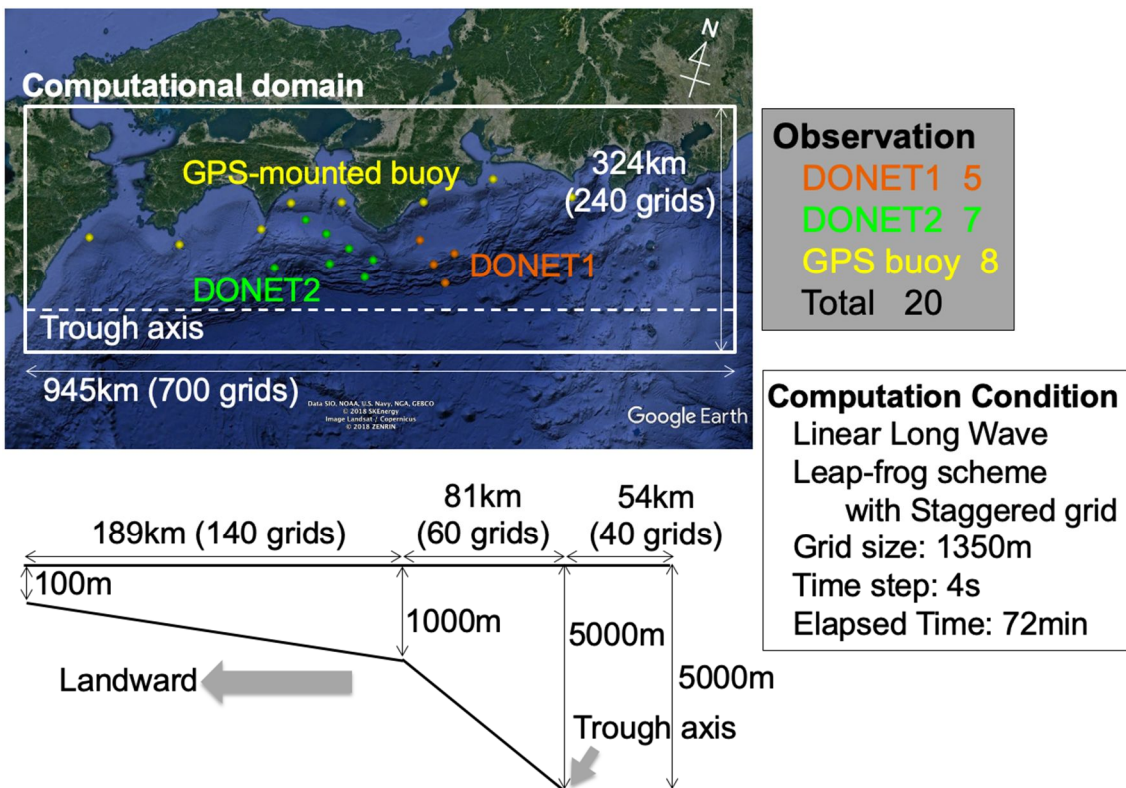


図-4 地形モデルと観測地点

(2)機械学習モデルの作成

発災後の迅速な波源断層推定に対する機械学習の適用可能性を検討した。アルゴリズムとしては深層学習を採用し、Convolution Neural Network を用いた。活性化関数として ReLU 関数を採用し、過学習を抑制するために Data augmentation と Dropout を使用した。なお、教師データ数の少なさを補うため、転移学習を導入した。

具体的には、多層構造のニューラルネットワークを構築し、模擬観測データを入力層、波源断層モデルを出力層の各ニューロンに与えて、学習誤差が小さくなるように、中間層のニューロンとシナプスの結合強度を変化させていった。そして、構築されたニューラルネットワークの汎化能力(訓練事例以外の教師データを推定する能力)の確認には、模擬観測データをニューラルネットワークに与え、その津波を発生させた波源断層モデルを推定させた。さらに、本研究では発災後 12 時間以内での激甚被災探索を目的としているため、ニューラルネットワークの推定に要する時間を検討した。

(3)想定津波による人的・物的被害の推定

機械学習により推定された津波波源によって発生する津波が沿岸域においてどのような挙動を示し、被害を発生させるかを把握することは防災上重要である。そこで、特性化波源断層モデルを用いて、津波による人的および物的被害が推定できるかを検討した。

4. 研究成果

南海トラフでの巨大地震津波を想定して、5500 種類の特性化波源断層およびモデル地形を作成した。これらの外力条件および地形条件を用いて、津波波源・伝播シミュレーションを実施して、機械学習における教師データセットと検証データセットを作成した。

上記のデータセットを用いて、モデルを学習させた結果を図-5 に示すが、各断層パラメータにより学習データ数と精度の関係が異なる。断層長については少ないデータ数でも高精度が得られるが、すべり方向については多くの学習が必要であった。これらの違いは断層パラメータが津波波源形成に与える影響の度合いに依存していると予想される。断層長は、断層の規模を直接的に示すパラメータであるため、津波波源全体への影響が大きい。一方、すべり方向は、鉛直方向よりも水平方向の動きに関係した断層パラメータであるため、津波波源全体の分布に対しては他の断層パラメータよりも影響が小さくなる。しかし、学習データ数を十分に準備できれば、いずれの断層パラメータについても十分な推定精度を得られると考えられる。ただし、本研究で矩形断層モデルを仮定しているため、本推定方法の実用化には大すべりなどの津波波源の不均質性の検討が必要である。

最後に、本研究で対象としている特性化波源断層モデルの津波防災における有効性を確認した。東日本大震災における津波被害では、水の動き以外の様々な現象が津波による人的および物的被害を拡大した。よって、特性化波源断層モデルを用いて、砂移動や地形変化、建物に作用する波力、津波に伴う液状化などに関する数値計算を実施して、それぞれの現象を予測できることを示した。

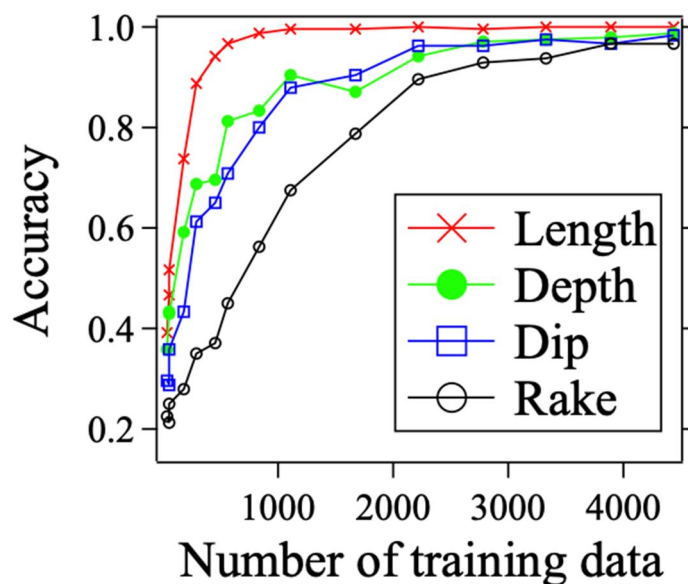


図-5 断層パラメータごとの学習結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 山本阿子, 高橋智幸, 原田賢治	4. 巻 75-2
2. 論文標題 津波堆積物分布の転換点による断層パラメータ推定のための数値実験	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2(海洋工学)	6. 最初と最後の頁 I_361-I_366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2208/kaigan.75.l_361	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 山下啓, 菅原大助, 門廻充侍, 有川太郎, 高橋智幸, 今村文彦	4. 巻 75-2
2. 論文標題 高知県における最大クラスの津波による地形変化と潜在的影響の評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2(海洋工学)	6. 最初と最後の頁 I_685-I_690
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2208/kaigan.75.l_685	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 奥村与志弘, 坂東直樹, 四方寿, 米山望, 清野純史	4. 巻 75-2
2. 論文標題 建物に作用する津波外力に対する周辺建物の影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2(海洋工学)	6. 最初と最後の頁 I_871-I_876
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2208/kaigan.75.l_871	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 Yoshihiro Okumura, Ryosuke Kato, Fusao Oka	4. 巻 CD-ROM
2. 論文標題 Numerical Analysis of Liquefaction of Sandy Ground Induced by Tsunami	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the Twenty- ninth International Ocean and Polar Engineering Conference	6. 最初と最後の頁 3218-3225
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 Kohei Ogata, Shuji Seto, Ryotaro Fuji, Tomoyuki Takahashi and Hirofumi Hinata	4. 巻 10(7)
2. 論文標題 Real-time tsunami detection with oceanographic radar based on virtual tsunami observation experiments	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Remote sensing	6. 最初と最後の頁 1126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs10071126	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 高橋智幸, 川崎浩司, 平田賢治	4. 巻 74(2)
2. 論文標題 津波堆積物に基づく津波波源推定データベースの構築	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2(海岸工学)	6. 最初と最後の頁 541-546
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.74.1_541	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 佐藤祐子, 奥村与志弘, 米山望, 渡辺健, 清野純史	4. 巻 74(4)
2. 論文標題 杭基礎建物の被災状況を踏まえた2011年東北地震津波による女川町の地盤応答特性の推定	5. 発行年 2018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 777-787
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejsee.74.1_777	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 T. Arikawa, A. Muhari, Y. Okumura, Y. Dohi, B. Afriyanto, K. Sujatmiko, and F. Imamura	4. 巻 13
2. 論文標題 Coastal Subsidence Induced Several Tsunamis During the 2018 Sulawesi Earthquake	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Disaster Res.	6. 最初と最後の頁 sc20181204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jdr.2018.sc20181204	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 門廻充侍, 高橋智幸	4. 巻 73
2. 論文標題 GPS波浪計を用いた特性化波源モデル推定法の検討とその適用例	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2 (海岸工学)	6. 最初と最後の頁 I_307-I_312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2208/kaigan.73.I_307	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 奥村与志弘, 坂東直樹, 米山望, 清野純史	4. 巻 73
2. 論文標題 2011年東北津波によって流出した女川町のRC建物に対する周辺建物群の影響	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2 (海岸工学)	6. 最初と最後の頁 I_913-I_918
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://doi.org/10.2208/kaigan.73.I_913	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 吉田崇晃, 河野和宏, 馬場口登	4. 巻 117, 476
2. 論文標題 時空間の連続性を考慮した映像改ざん検出	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 23-28
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 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Shuji SETO, Tomoyuki TAKAHASHI, Hirofumi HINATA, Ryotaro FUJI and Fumihiko IMAMURA
2. 発表標題 Feasible Study for Predicting Tsunami Height by Using Oceanographic Radar Installed in Wakayama Prefecture
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society 16th Annual Meeting
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ako Yamamoto, Tomoyuki Takahashi and Kenji Harada
2. 発表標題 Numerical Experiment of Tsunami Sand Deposits Affected by Fault Conditions in a Simple Topography
3. 学会等名 International Union of Geodesy and Geophysics 27th General Assembly
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大城将健, 河野和宏, 馬場口登
2. 発表標題 敵対的生成ネットワークを用いた映像改ざん検出
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大城将健, 河野和宏, 馬場口登
2. 発表標題 映像改ざん検出における時空間特徴量の検証
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口央貴, 河野和宏
2. 発表標題 規範的影響による同調行動を考慮した違法コンテンツの利用抑制の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoyuki Takahashi
2. 発表標題 Feasibility Study on Tsunami Source Estimation from Observed Water Level Change by Machine Learning
3. 学会等名 15th Annual Meeting AOGS (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoyuki Takahashi
2. 発表標題 FUNDAMENTAL STUDY ON INFLUENCE OF TSUNAMI SOURCE HETEROGENEITY ON TSUNAMI HEIGHT DISTRIBUTION ALONG A COAST
3. 学会等名 European Seismological Commission 36th General Assembly (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大城将健, 河野和宏, 馬場口登
2. 発表標題 映像改ざん検出における時空間特徴量の検証
3. 学会等名 電子情報通信学会EMM研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大城将健, 河野和宏, 馬場口登
2. 発表標題 時系列情報を持つ畳み込みニューラルネットワークを用いた映像改ざん検出
3. 学会等名 電子情報通信学会EMM研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Kono, T. Yoshida, S. Ohshiro, and N. Babaguchi
2. 発表標題 Passive Video Forgery Detection Considering Spatio-Temporal Consistency
3. 学会等名 14th International Conference on Information Assurance and Security (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥村与志弘, 家根拓矢, 加藤亮輔, 清野純史
2. 発表標題 有効応力解析を用いた2011年東北地震津波による女川町の地盤応答特製の推定
3. 学会等名 第37回地震工学研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤祐子, 奥村与志弘, 米山望, 清野純史
2. 発表標題 杭基礎建物の被災状況を踏まえた2011年東北地震津波による女川町の地盤応答特性の推定
3. 学会等名 第37回地震工学研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 坂東直樹, 奥村与志弘, 清野純史
2. 発表標題 杭基礎RC建物の津波による転倒に及ぼす周辺建物群の影響
3. 学会等名 平成29年度土木学会全国大会第72回年次学術講演会
4. 発表年 2017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	奥村 与志弘 (Okumura Yoshihiro) (80514124)	関西大学・社会安全学部・准教授 (34416)	
研究 分担者	河野 和宏 (Kono Kazuhiro) (60581238)	関西大学・社会安全学部・准教授 (34416)	