

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04050

研究課題名(和文) 機械学習に基づくスロー地震および噴火シグナル検知手法の開発

研究課題名(英文) Development of detection methods of slow earthquakes and volcanic eruption signals based on machine learning

研究代表者

中野 優 (Nakano, Masaru)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海域地震火山部門(火山・地球内部研究センター)・副主任研究員

研究者番号：40314041

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では地震発生帯で発生する「テクトニック微動」や、火山性地震のうち噴火によって発生する「噴火シグナル」を機械学習によって自動的に検知・判別する新しい手法を開発した。テクトニック微動は南海トラフのDONETで観測された浅部低周波地震を、噴火シグナルは桜島火山での観測記録を用いた。それぞれについて、地震計による観測波形をニューラルネットワークに入力することで、通常の地震やノイズと区別する手法を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

南海トラフ等の海洋プレート沈み込み帯では急激な断層運動による通常地震の他に、スロー地震と呼ばれる断層がゆっくり滑る地震が起きていることが近年発見された。スロー地震はプレートの普段の動きを調べ、巨大地震の準備過程を知るうえで重要である。火山では、噴火が起きた場合にいち早く検知することが必要であるが、噴煙などの目視による判定は天候に左右されるため、地震動波形による検知が重要である。本課題で開発したこれらのシグナルの検知手法により、沈み込み帯の地震活動や火山活動のモニタ能力の向上が期待される。

研究成果の概要(英文)：The aims of this study are to develop methods to detect tectonic tremor and eruption signals in seismic records based on machine learning. We used tectonic tremor records from DONET deployed in the Nankai trough, and eruption signals that observed at Sakurajima volcano, southwest of Japan. We developed neural networks to classify these signals from earthquake and noise by using waveform recordings. Our method would improve the monitoring capability of seismic activity of subduction zones and volcanic eruptions from seismic records.

研究分野：地震学、火山学

キーワード：火山性微動 噴火地震 テクトニック微動 低周波地震 機械学習 ニューラルネットワーク

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。

### 1. 研究開始当初の背景

地震発生帯や火山では様々な地動シグナルが観測され、その観測と監視による地殻活動のモニタは重要である。中でも巨大地震の準備過程に関連すると考えられているプレート境界のゆっくりすべりによるテクトニック微動や、火山活動に伴う火山性微動、爆発的噴火にもなう爆発地震のモニタは我々の災害への対応能力を向上する上で重要である。これらの地動シグナルのモニタは、これまでは研究者らによる緻密な解析によって行われてきたが、より迅速に活動を把握し情報発信するためには、地震観測網から得られる膨大なデータを自動で解析・判別する手法の構築が必要である。同時に、これらのシグナルから地下で起きている現象を正確に把握するために、観測データから震源で起きている物理プロセスを理解するための情報抽出が必要である。

このようなシグナルを判別、分類し情報を抽出する手法として、機械学習 (Machine-Learning Method) によるシグナル解析が近年注目されている。近年のコンピューターの性能の向上、手法の発達によって機械学習はより高精度となり、様々な分野での応用が進んでいる。機械学習は地震シグナルへの応用も進んでいるが、テクトニック微動や火山性地震といった特殊なシグナルへの適用例は少ない。

### 2. 研究の目的

本研究で対象とするシグナルは、巨大地震発生帯における通常地震とテクトニック微動および、火山噴火に伴って観測される噴火イベントと噴火を伴わない火山性地震である。これらのシグナルを自動で検出・識別するための手法を機械学習によって構築する。これにより、地震発生帯の歪蓄積プロセスおよび火山噴火のモニタ能力の向上を目指す。機械学習を用いてシグナルの特徴を明らかにしつつ、実観測データへ適用し、地震、火山活動をモニタするための効果的な手法について検討を行い、それぞれのシグナルの特徴に着目した、精度の高い判別モデルを構築する。これらの検討に必要なカタログの構築も本研究の目的の一つである。また、得られたシグナルの特徴から震源の物理プロセスを明らかにし、モデル化を行うことで、震源で起きている現象の理解とシグナル判別精度のさらなる向上を目指す。

### 3. 研究の方法

#### (1) 地震発生帯で発生するテクトニック微動および火山の噴火イベント判別手法の構築

機械学習によるシグナル識別の手法として、申請者らが近年開発した SRSpec-CNN (Nakano et al. 2019) がある。SRSpec-CNN は、シグナルの周波数成分の時間変化を表すランニングスペクトルの画像認識によってシグナルを識別する (図 1)。判別には二次元 (2D) の畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を用いる。この手法はシグナル源の物理的性質を表す周波数特性を明示的に利用することで高精度な判別を達成した。一方でこの手法は観測波形からランニングスペクトルを計算する必要があり、リアルタイムでのイベント検出等の処理には不向きである。波形データを直接 1 次元の CNN に入力すればこの問題は解決されるが、十分な判別精度があるかについては不明である。そこで本研究では 1D および 2D の CNN の性能を比較した。この時、同じカタログから入力データセットを構築することで、判別性能を比較した。

性能評価において、判別性能が対象とするシグナルやデータセットに依存するかどうかのチェックは重要である。そこで本研究で、全く異なるテクトニックセッティングにおける二つのデータセットによるカタログを用意した。一つはこれまでの研究 (Nakano et al. 2019) で用いた南海トラフ浅部テ

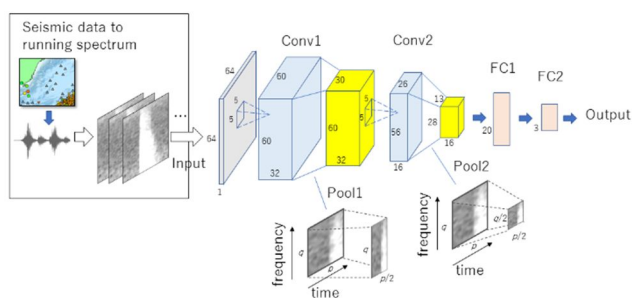


図 1. ランニングスペクトルの画像認識によるシグナル判別法 (Nakano et al. 2019)

クトニック微動、もう一つは新たに火山性地震として桜島における気象庁の噴火カタログより作成したデータセットを用いた（詳細は下記(2)に記載）。南海トラフのカタログではイベントをテクトニック微動、通常地震、ノイズの三つのクラスに分類、桜島のカタログでは噴火シグナル、火山構造性地震（VT地震）、ノイズの三つのクラスに分類した（図2）。それぞれのカタログに対し波形の切り出しおよびランニングスペクトル画像を作成し、1Dおよび2D CNNを学習させ、判別性能の比較を行った。性能の良いモデルを明らかにし、最終モデルを採用することでテクトニック微動および噴火イベントの判別システムの構築を行った。

#### (2) 火山性シグナルのカタログ作成

地震発生帯における微動シグナルは以前行った研究のカタログがあるが、火山性シグナルについては本研究で新たに組み込むため、新規にカタログを用意する必要がある。日本の火山の代表例として気象庁による桜島の噴火カタログを参照し、噴火イベント、VT地震、ノイズのカタログを作成した。またコロンビアの火山における噴火記録によるカタログ作成も行った。

#### (3) 機械学習による火山性微動の震源プロセス解明

シグナル判別の手法開発のほかに、機械学習によって火山性微動の震源プロセスを調べるために、SINDy (Brunton et al. 2016) の適用を検討した。この手法は観測波形を再現するための震源における運動方程式を直接推定でき、火山性微動のような震源メカニズムの分からない現象の震源プロセスを調べるために有用であると考えた。

### 4. 研究成果

#### (1) 地震発生帯および火山性シグナル判別手法の構築

南海トラフ浅部低周波微動および桜島の噴火シグナルについて1Dおよび2D CNNの性能を比較したところ、1D、2Dともに同等の判別精度を示すことが分かった。さらに、誤判定されたデータのうち半分はどちらのモデルでも同じクラスに誤分類された。この結果は両方のCNNがシグナルの特徴を同じように学習し、判断に用いている事を示唆している。将来の利活用においては観測対象の特徴や運用システムに応じ、どちらのモデルを使っても良い。

本研究で得られた成果として、波形を入力とする1D CNNが判別に使う周波数成分を明らかにした点がある。今回新たにシグナル判別のための1D CNNを構築したが、その原理を詳しく検討するとニューラルネットワークが判別に用いる情報について、第一義的ではあるが算出できることが分かった。これまでAIの多くは判別の根拠を知るのが難しくブラックボックスと言われ、CNNもその一つであった。しかし1D CNNの畳み込み層は時系列データに作用するFIRフィルタと等価であり、特に波形が直接入力される1層目の係数によるフィルタ特性から、第一義的にシグナル判別に使われる周波数成分を知ることができると考えられる。簡単のため1層目のチャンネル数を2に制限してモデルを学習させ、畳み込み層の係数からFIRフィルタの周波数応答を調べた。得られた2つのチャンネルのFIRフィルタは共通して4-8Hzに谷を持つバンドストップフィルタとなり、高周波および低周波側では異なる振幅応答を示した。テクトニック微動および火山性シグナルともに、4-8Hz付近を境とした低周波および高周波側で各クラスの平均的なシグナルの大小関係が逆転している。従って中間的な周波数を境として低周波および高周波側の応答特性から第一義的にシグナル判別が行われていると考えられる。この特徴はチャンネル数が多い場合でも同様であり、振幅応答の大きいフィルタのみを取り出すと同様の特徴を示した。この知見は今回新たに1D CNNを構築することにより得られたものである。

#### (2) 火山性シグナルのカタログ作成

機械学習における学習及び検証、テストデータの作成においては、観測期間の前半（過去）のデータで学習を行い、後半の期間のイベントで検証を行うなど、期間を分けて学習、検証データを用意することが多い。一方、火山活動は年月ごとに活動度が大きく変化する。特に噴火イベントは期間による数の増減が激しい。また、噴火イベントはVT地震と比べて圧倒的に数が少ない。

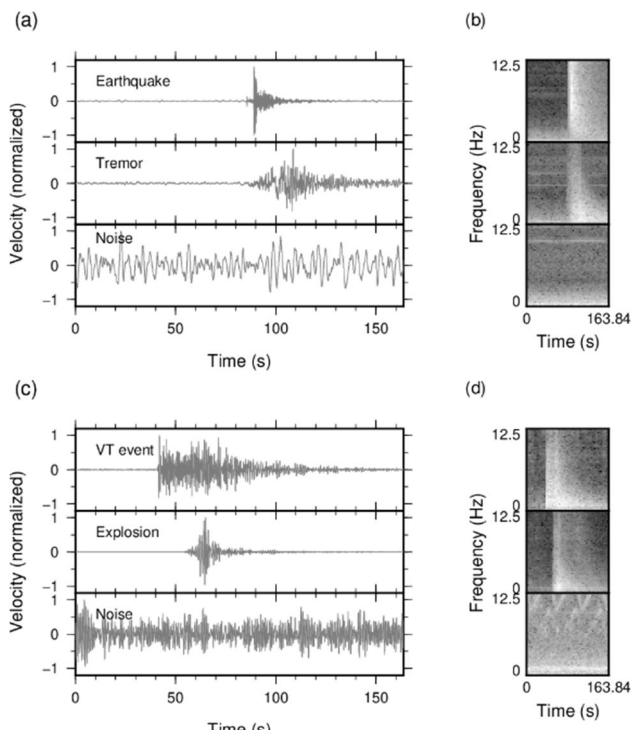


図2. 1Dおよび2D CNNの性能比較に用いた波形(a, c)と対応するランニングスペクトル画像(b, d)の例。(a, b)南海トラフ。(c, d)桜島。

従って、データセットを分ける際はそれぞれのクラスのデータが十分な数含まれている事に注意を払う必要がある。さらに、機械学習に用いる際は、学習、検証、テストにおける各クラスのデータ数の違い考慮したネットワークの学習と性能評価が必要になる。本研究では学習においてはミニバッチを作成する際に各クラスの数と同程度になるようランダムにサンプルする確率を調整し、不均衡データに対応した。性能の評価は accuracy が用いられるのが一般的であるが、データ数が偏っていた場合は数の多いデータだけ正解していても見かけ上好成績が得られるという弱点がある。本研究では balanced accuracy を用いて性能評価を行った。この指標はクラスごとの判別性能を平均するため、数の少ないデータに対しても高い正解率を示さないと好成績とならず、データの数に大きな違いがある場合においても適切に性能評価する事が可能である。

### (3) 機械学習による火山性微動の震源プロセス解明

本研究ではまず、SINDy の適用性を確認するために理論モデルによって火山性微動の波形を合成し、その運動方程式の再現を試みた。Julian (1994) による理論モデルを用いて生成した火山性微動の波形に対し SINDy を適用した結果、非線形なシステム方程式の再現に成功した。次に実データの例として 2011 年霧島山の火山性微動の観測データに適用した。しかし、実データの場合は単純なアトラクタのみが復元され、観測データを十分に再現することはできなかった(図3)。データの補間やハイパーパラメータを変更しても十分な再現はできず、SINDy がノイズを含んだ離散観測データに弱い事を示唆している。今後このような弱点を克服するための手法を検討していく必要がある。

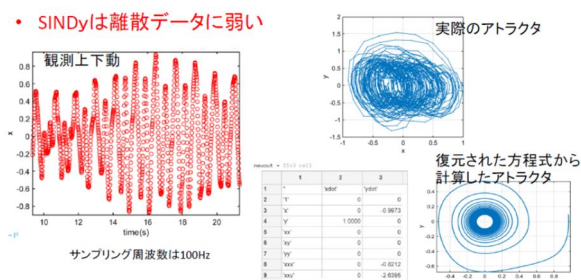


図3. 霧島火山新燃岳の火山性微動に SINDy を適用した結果。

### < 引用文献 >

Nakano, M., D. Sugiyama, T. Hori, T. Kuwatani, and S. Tsuboi, Discrimination of seismic signals from earthquakes and tectonic tremor by applying a convolutional neural network to running spectral images, *Seismol. Res. Lett.*, 90, 530-538, doi: 10.1785/0220180279, 2019.

Burton, S.L., J.L. Proctor, and J.N. Kutz, Discovering governing equations from data by sparse identification of nonlinear dynamical systems, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, vol. 113, no. 15, pp. 3932-3937, 2016.

Julian, B.R., Volcanic tremor: Nonlinear excitation by fluid flow, *J. Geophys. Res.*, 99, 11,859-11,877, 1994.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Torres Roberto, Kumagai Hiroyuki, Taguchi Kimiko	4. 巻 227
2. 論文標題 Source models of long-period seismic events at Galeras volcano, Colombia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 2137～2155
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/gji/ggab325	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 Tada Noriko, Ichihara Hiroshi, Nakano Masaru, Utsugi Mitsuru, Koyama Takao, Kuwatani Tatsu, Baba Kiyoshi, Maeno Fukashi, Takagi Akimichi, Takeo Minoru	4. 巻 419
2. 論文標題 Magnetization structure of Nishinoshima volcano, Ogasawara island arc, obtained from magnetic surveys using an unmanned aerial vehicle	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Volcanology and Geothermal Research	6. 最初と最後の頁 107349～107349
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jvolgeores.2021.107349	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 Nakano Masaru, Yabe Suguru	4. 巻 48
2. 論文標題 Changes of Event Size Distribution During Episodes of Shallow Tectonic Tremor, Nankai Trough	5. 発行年 2021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） 10.1029/2020GL092011	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 Kumagai Hiroyuki, Torres Roberto, Maeda Yuta	4. 巻 125
2. 論文標題 Scattering and Attenuation Characteristics at Volcanoes Inferred From Envelope Widths of Natural and Active Seismic Sources	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	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） 10.1029/2020JB020249	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 Londoo John Makario, Kumagai Hiroyuki, Torres Roberto	4. 巻 406
2. 論文標題 Temporal change of the magma plumbing system at Galeras volcano, Colombia, revealed by repeated seismic tomography in 2009?2018	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Volcanology and Geothermal Research	6. 最初と最後の頁 107075 ~ 107075
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jvolgeores.2020.107075	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 Taguchi Kimiko, Kumagai Hiroyuki, Maeda Yuta, Torres Roberto	4. 巻 224
2. 論文標題 Empirical formula for the quality factors of crack resonances and its application to the estimation of source properties of long-period seismic events at active volcanoes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 2131 ~ 2148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/gji/ggaa519	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 桑谷立	4. 巻 31
2. 論文標題 海洋研究開発機構海域地震火山部門における情報地質関連研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報地質	6. 最初と最後の頁 53-55
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 -

1. 著者名 Nakano Masaru, Yabe Suguru, Sugioka Hiroko, Shinohara Masanao, Ide Satoshi	4. 巻 46
2. 論文標題 Event Size Distribution of Shallow Tectonic Tremor in the Nankai Trough	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 5828 ~ 5836
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019GL083029	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 Mori Azusa, Kumagai Hiroyuki	4. 巻 219
2. 論文標題 Estimating plume heights of explosive eruptions using high-frequency seismic amplitudes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 1365 ~ 1376
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/gji/ggz374	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 Kumagai Hiroyuki, Londono John Makario, Maeda Yuta, Acevedo Rivas Alvaro Esteban	4. 巻 124
2. 論文標題 Amplitude Source Location Method With Depth Dependent Scattering and Attenuation Structures: Application at Nevado del Ruiz Volcano, Colombia	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 11585 ~ 11600
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019JB018156	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

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 中野優
2. 発表標題 イベント判別における1Dおよび2D CNNの比較 ~ 火山性地震および浅部テクトニック微動を例として
3. 学会等名 2021年度研究集会「機械学習時代の地震研究」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroyuki Kumagai, Miki Hamamoto
2. 発表標題 Mapping Envelope Widths of Volcano-Seismic Events Using Space-Weighting Functions to Estimate 3D Scattering and Attenuation Structures at Volcanoes
3. 学会等名 AGU 2021 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Miki Hamamoto, Hiroyuki Kumagai, Rudy Lacson, Jr., Mariton Bornas, Renato Solidum
2. 発表標題 Large fluctuations of seismic scattering properties in a magmatic conduit before the 2020 eruptions at Taal volcano (Philippines) inferred from inversion of envelope widths of volcano-tectonic earthquakes
3. 学会等名 AGU 2021 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masayuki Nakano, Hiroyuki Kumagai
2. 発表標題 Crack Source Estimation for Long-Period Events Using Low-Frequency Seismic Amplitudes: Application at Kusatsu-Shirane Volcano, Japan
3. 学会等名 AGU 2021 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中野誠之, 熊谷博之
2. 発表標題 地震波振幅を用いた震源位置とメカニズムの推定法：草津白根山における低周波地震への適用
3. 学会等名 日本火山学会 2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 濱本未希, 熊谷 博之, Lacson Rudy
2. 発表標題 火山構造的な地震のエンベロープ幅の逆問題解析によるタール火山の散乱構造とその時間変化の推定
3. 学会等名 JpGU Meeting 2021
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 中野誠之, 熊谷博之
2. 発表標題 火山性低周波地震の振動波形を用いた震源クラックと火山体構造不均質性の推定：草津白根山への適用
3. 学会等名 JpGU Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 桑谷立
2. 発表標題 情報計測融合と資源・素材学への応用(I)
3. 学会等名 資源・素材2021(札幌)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 桑谷立
2. 発表標題 情報計測融合と資源・素材学への応用(II)
3. 学会等名 一般社団法人資源・素材学会 2022年度 春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masaru Nakano, Suguru Yabe
2. 発表標題 Variations of scaling relationships for shallow tremor; implications from the probabilistic cell automaton model
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masaru Nakano, Suguru Yabe
2. 発表標題 Temporal changes of event size distribution of shallow tectonic tremor
3. 学会等名 Slow Earthquakes WS 2020 Virtual (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉山 大祐、坪井 誠司、行竹 洋平
2. 発表標題 理論地震波形記録の時空間伝播を教師データとした機械学習による震源決定の試み
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 Sugiyama Daisuke, Tsuboi Seiji, Yukutake Yohei
2. 発表標題 Development of neural network to locate hypocenter with theoretical seismograms of time series as learning data
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 桑谷立
2. 発表標題 地球科学分野における辞書学習法の活用
3. 学会等名 一般社団法人資源・素材学会2021年度 春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 熊谷 博之, ロベルト・トレス, 前田 裕太
2. 発表標題 自然および人工地震のエンベロープ幅から推定される火山の散乱および減衰構造
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 熊谷博之, ロベルト・トレス
2. 発表標題 ガレラス火山(コロンビア)における低周波地震の発生過程: 減衰調和振動型(N型)と非調和振動型(B型)の違いについて
3. 学会等名 日本火山学会 2020 年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中野 優, 杉山 大祐, 堀 高峰, 桑谷 立, 坪井 誠司
2. 発表標題 ランニングスペクトル画像認識による地震・低周波微動シグナルの識別
3. 学会等名 日本地震学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaru Nakano, Suguru Yabe
2. 発表標題 Variations of scaling relationships for shallow tremor observed along the Nankai trough
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中野優、杉山大祐、堀高峰、桑谷立、坪井誠司
2. 発表標題 ランニングスペクトル画像認識による地震・低周波微動シグナルの識別
3. 学会等名 研究集会「AIはどのように地震学を加速させるか」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Azusa Mori, Hiroyuki Kumagai
2. 発表標題 High-frequency seismic source amplitude of eruption tremor and its relations to plume heights, volumes, and durations of Plinian eruptions
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroyuki Kumagai, John Makario Londono, Yuta Maeda, Alvaro Esteban Acevedo
2. 発表標題 Amplitude source location method with depth-dependent scattering and attenuation structures: application at Nevado del Ruiz volcano, Colombia
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019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	杉山 大祐  (Sugiyama Daisuke)  (00816184)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門 (情報エンジニアリングプログラム)・准研究副主任  (82706)	

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	桑谷 立  (Kuwatani Tatsu)  (60646785)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・海域地震火山部門(火山・地球内部研究センター)・主任研究員    (82706)	
研究分担者	熊谷 博之  (Kumagai Hiroyuki)  (10343758)	名古屋大学・環境学研究科・教授    (13901)	

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