

大涌谷、駒ヶ岳、大涌谷地蔵尊、大又沢観測点で観測されるノイズ振幅の時間変化

栗原 亮^{*1}

Temporal change of noise amplitudes observed in the stations of Owakudani, Komagatake, Owakudani-Jizoson and Omatazawa

by

Ryo KURIHARA^{*1}

1. はじめに

地震が発生し震源からの波が観測点に到達すると、地面の揺れ（地震波形）として観測される。かつてはデータの容量を抑えるために、揺れの大きさが一定程度大きい場合のみ波形を記録し、それ以外の時間のデータを保存していなかった。しかし、現在は地震がない時間を含めて、すべての時間の波形記録を保存するのが一般的である。したがって、地震計の記録のうち地震発生時刻以外の大部分は、地震以外の波形データ、つまり地震学では「ノイズ」として扱われる振動を記録していることになる。ノイズの発生源は様々であるが、工場の稼働や自動車や鉄道などの走行に関連するノイズなどの人工活動によるもの、雨や風、雷など気象によるものなどがある（川北・酒井, 2009）。当所でもこれまで、雷の振動、自衛隊の演習、隕石など様々なノイズを観測し報告してきた（板寺, 2017; 2023）。

こうしたノイズは地震とは無関係なため注目されることは少ない。しかしプレート沈み込み帯では、微動と呼ばれるような一見するとノイズに見えるような振動が発生し、これがスロー地震の一種としてプレート沈み込み帯の活動の理解へ重要な役割を果たすことがわかつてきた（Obara, 2002）。また、火山地帯においても霧島山新燃岳が2018年に噴火を起こす前に、ノイズに紛れて何らかの火山性の振動が徐々に増大していったことが最近明らかとなった（Ichihara, Ohminato, et al., 2023）。このような振動を Seismic Background Level 微動と呼んでおり、マグマからの脱ガス現象に伴う微動ではないかと考察している（Ichihara, Kobayashi, et al., 2023; Ichihara, Ohminato, et al., 2023）。

このようにノイズに見える振動の中にも地球科学上重要なデータが発見される場合があり、通常期のノイズの時間的特徴を把握しておくことでこうしたノイズに紛れた地震を把握することができる可能性が高まる。神奈川

県温泉地学研究所（以下、温地研）の観測点は箱根火山や相模トラフのプレート沈み込み帯の周辺に設置されているため、そのような微小な地震活動が捉えられる可能性は十分にある。

また、近年では、ノイズ自体を使って社会活動等を把握する研究も世界的に行われている。例えば Yabe et al. (2020) は首都圏地震観測網 (MeSO-net) の池袋観測点でのノイズレベルが、新型コロナウイルス感染症の流行に伴う緊急事態宣言により低下したことを発見した。2020年には世界各地において感染を防ぐためのいわゆるロックダウンが行われたため、ノイズレベルの低下が報告されている (Lecocq et al., 2020)。このように社会活動の変化を捉える目的でも地震計ノイズの活用が進んでいる。また、Shakti and Sawazaki (2021) は防災科学技術研究所の高感度地震観測網 (Hi-net) の山形県内の観測点のノイズの振幅が、最上川の流量と対応して変化していることを報告した。この結果は、河川の水位や流量といった災害リスクの把握に地震計ノイズも利用可能であることを示す。現状、神奈川県内ではそうした活用が実施されていないが、今後そういった異分野での活用への道を拓く目的でも地震ノイズの現状を把握することは重要となる。

本研究では、温地研が定的に設置している短周期地震計と広帯域地震計について、連続波形からノイズ部分を抽出し、その振幅の時間推移の計算を行う。

2. 対象観測点と解析方法

温地研で短周期地震計または広帯域地震計を設置している観測点（図1）のうち、本報告では箱根地区の大涌谷 (OWD)・駒ヶ岳 (KOM)・大涌谷地蔵尊 (OWJ) の3観測点、丹沢地区の大又沢 (OMZ) 観測点の合計4観測点を対象として解析を行う。このうち、駒ヶ岳観測点のみボアホール埋設型の観測点であり、センサーは

*1 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586
報告、神奈川県温泉地学研究所報告、第55巻、35-43、2023

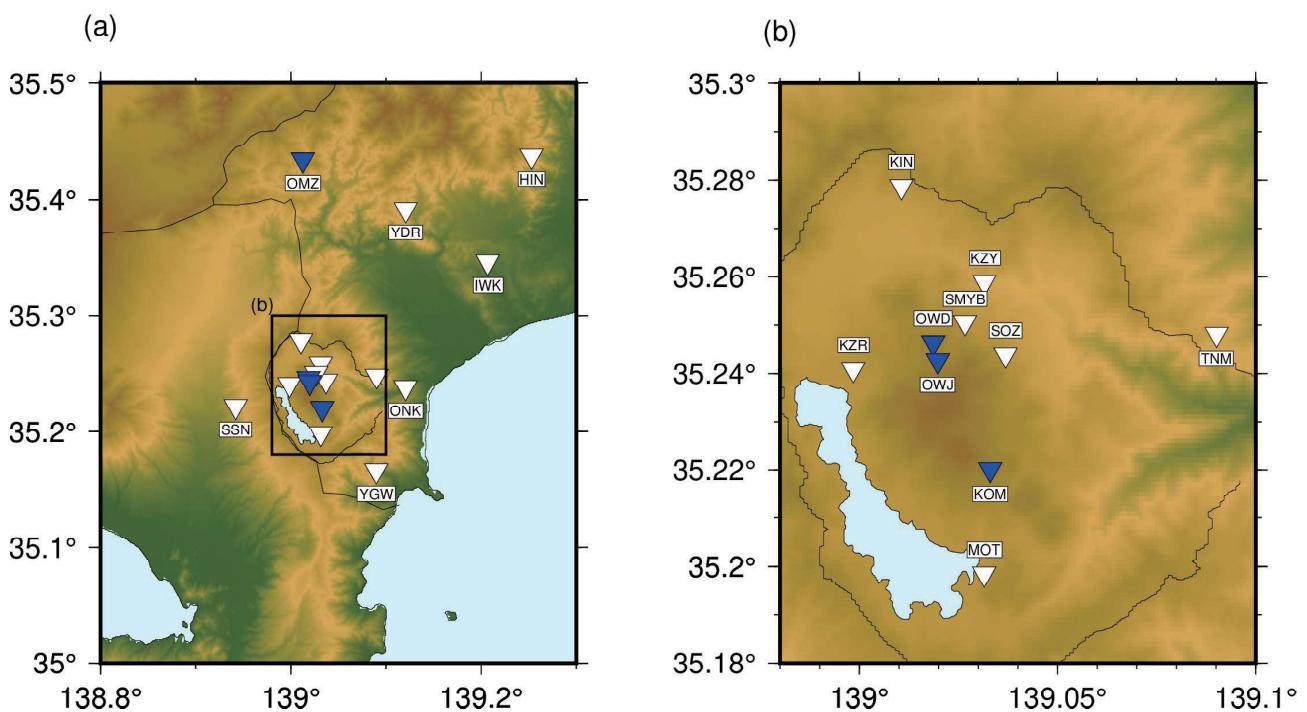


図1 温泉地学研究所で設置する短周期・広帯域速度計の分布図。本研究で解析対象とした点を青色で表示し、それ以外の観測点を白色としている。

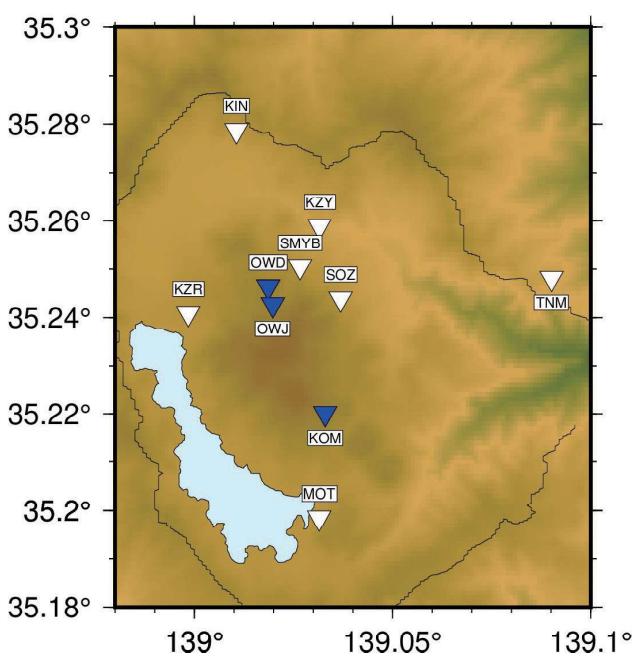
100 m ほど地下にある。その他の観測点は地上設置型であり、センサーは地上の地震計台の上に設置してある。また、大涌谷と大又沢の観測点には短周期地震計が、大涌谷地蔵尊観測点は広帯域地震計が設置してあるためこのデータを使用する。駒ヶ岳観測点には短周期地震計と広帯域地震計が両方とも設置されているが、短周期地震計を解析に使用した。

解析対象期間は2014年1月から2023年8月までとした。ただし、大涌谷地蔵尊観測点は2015年の噴火後に増設された観測点であるため、解析期間を地震計設置後の2017年1月からとした。

本研究の目的のためには、大振幅を持つ地震発生時刻のデータを除外し、ノイズの部分のみを抽出する作業が必要となる。本研究では、先行研究 (Ichihara, Ohminato, et al., 2023) が実施した手法を参考に、以下のようにノイズ振幅を計算した。

1. 観測波形に4 Hzから16 Hzの帯域のバンドパスフィルタを適用する。
2. 1分ごとの2乗平均平方根 (Root-mean-square, RMS) 振幅を計算する。温地研の観測点は200 Hzサンプリングであるため、12000 タイムステップのデータを計算に利用する。
3. 毎日のデータを0:00–5:59, 6:00–11:59, 12:00–17:59, 18:00–23:59 の6時間ごとの時間窓に分割する。したがって時間窓ごとに360個のRMS振幅が得られ

(b)



る。その中央値、すなわち振幅が大きい方から数えて180番目と181番目の振幅の平均値を計算し、その時間窓のノイズ振幅とする。

3. 結果と解釈

3.1. 大涌谷 (OWD) 観測点及び大涌谷地蔵尊 (OWJ) 観測点

大涌谷観測点は地上設置型観測点であるため、埋設型の観測点に比べて日中は人間活動に起因するノイズの影響を強く受ける。そのため、全期間を通じて日中(6:00–11:59, 12:00–17:59)と夜間(0:00–5:59, 18:00–23:59)での振幅のレベル差が大きく、上下動・水平動ともに夜間では100–300 nm/s程度であるのに対し、日中では1000–3000 nm/s程度と10倍近い差がある(図2)。また、個々の日においては夜間であっても大きな振幅値を記録する日も確認できるが、これは風雨によるノイズの影響であると考えられる。しかし、日中と夜間振幅の差が、比較的長期に渡って縮小した期間を図2ではいくつか見ることができる。

まず、第一の期間は2015年5月頃から2016年5月頃で、この期間では日中の振幅が低下する一方で、夜間の振幅が増加している。この期間の推移を拡大すると、2015年5月にまず日中の振幅が急減する(図3)。これは気象庁による噴火警戒レベルの引き上げが行われた時期と一致し、大涌谷園地への立ち入り規制が行わ

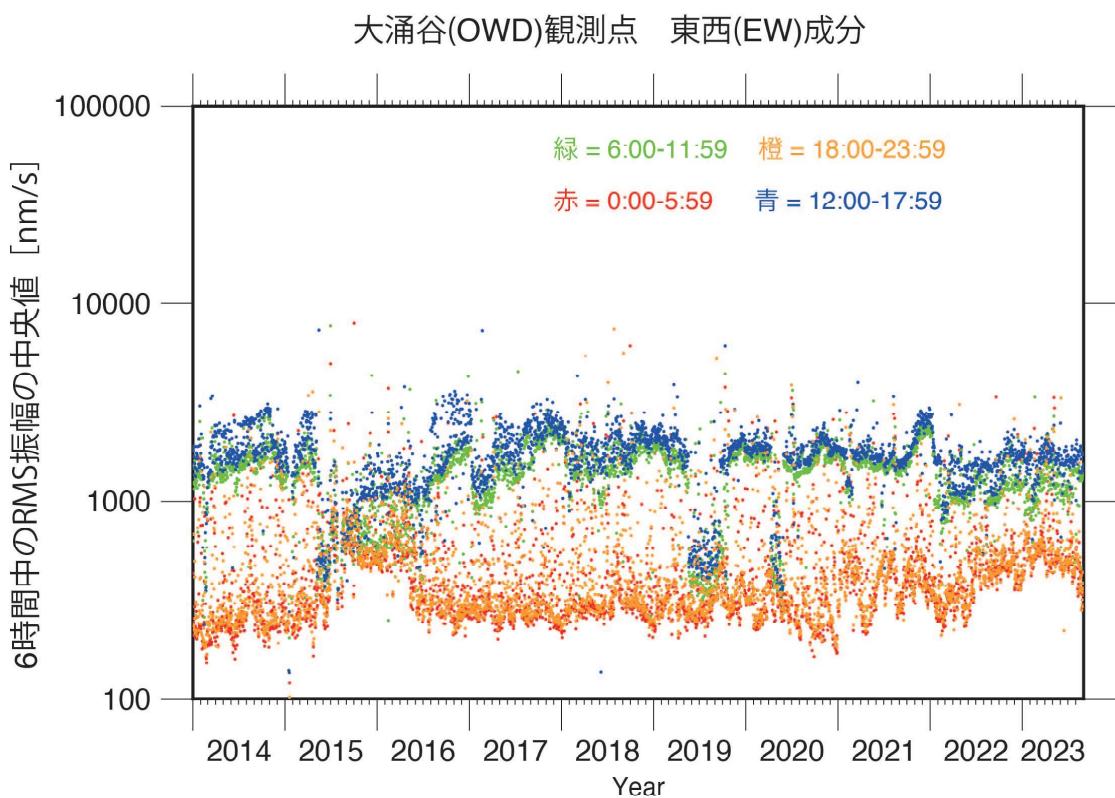


図 2 2014 年から 2023 年 8 月にかけての大涌谷観測点東西成分の振幅推移。赤が 0 時 00 分から 5 時 59 分までの各日の RMS 振幅の中央値であり、同様に緑が 6 時 00 分から 11 時 59 分、同様に青が 12 時 00 分から 17 時 59 分、同様に橙が 18 時 00 分から 23 時 59 分の中央値である。

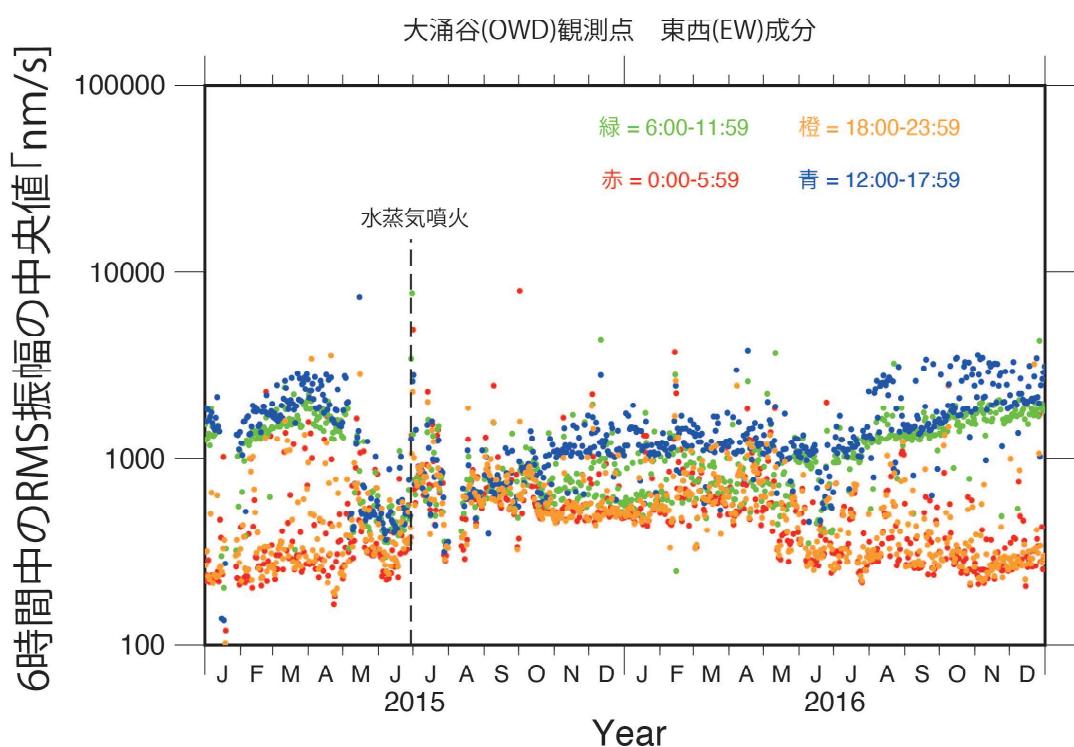


図 3 図 2 の 2015 年・2016 年部分の拡大。

れた時期である。したがって、ロープウェイの運行ノイズや自動車の走行ノイズが減少したことでのこのような振幅の低下につながったと考えられる。この後、水蒸気噴火の発生した2015年6月下旬以降、夜間のノイズレベルの急増が見られる。このノイズレベルの高い状態は2016年5月頃まで1年間継続する。この夜間ノイズの増幅の原因について、3つの可能性が考えられる。一つ目の可能性として機器の故障が考えられるが、日中の振幅レベルは増加していないため、可能性は低いと考えられる。二つ目の可能性として、夜間に何らかの人工振動があったことも考えられる。噴火からの復旧工事等で人工ノイズが発生したとすれば説明できるものの、振動は1年間毎日続いており、人工活動が毎日続いたとは考えにくいため、この可能性も低い。三つ目の可能性として、火山現象による振動、火山性地震や微動を捉えていることも考えられる。温地研の地震カタログと比べると、むしろ火山性地震の多い時期は夜間振幅の増加前の5月から6月ごろであり対応しない。したがって、もしこれが火山現象によるものであれば、火山性地震はノイズの増幅に寄与しておらず、Seismic Background Level微動(Ichihara, Ohminato, et al., 2023)が発生していた

可能性がある。また、この時期のスペクトルを確認すると、通常の日中のノイズが5 Hzや7 Hz付近に卓越した特定の周波数のノイズであるのに対し(図4)、この夜間振幅の増加は10–20 Hzのやや高周波の成分が大きく、解析の周波数帯域に広く分布しているようだ(図5)。しかし、このような現象は大涌谷観測点でしか確認できず、震源の推定や原因の特定は現段階では困難である。

第二の期間は2019年であり、この時も2015年時と同様に、噴火警戒レベルが2となり、大涌谷地域が立ち入り禁止の際に日中の振幅レベルが低下し、夜間との差がなくなっている。

第三の期間は2020年4月である。これは、新型コロナウイルスの流行に伴う緊急事態宣言時に對応しており、やはり当時はロープウェイの運休等で観光施設がほぼ休業状態であったため、日中の振幅レベルが低下している。

そして、2022年7月から2023年7月頃にかけては、これまでと異なり、日中の振幅レベルに大きな変化がないにも関わらず、夜間の振幅の増加が確認できる。同様の振幅変化は2017年に整備された大涌谷地蔵尊観測点において、より鮮明に確認できる(図6)。当期間では、

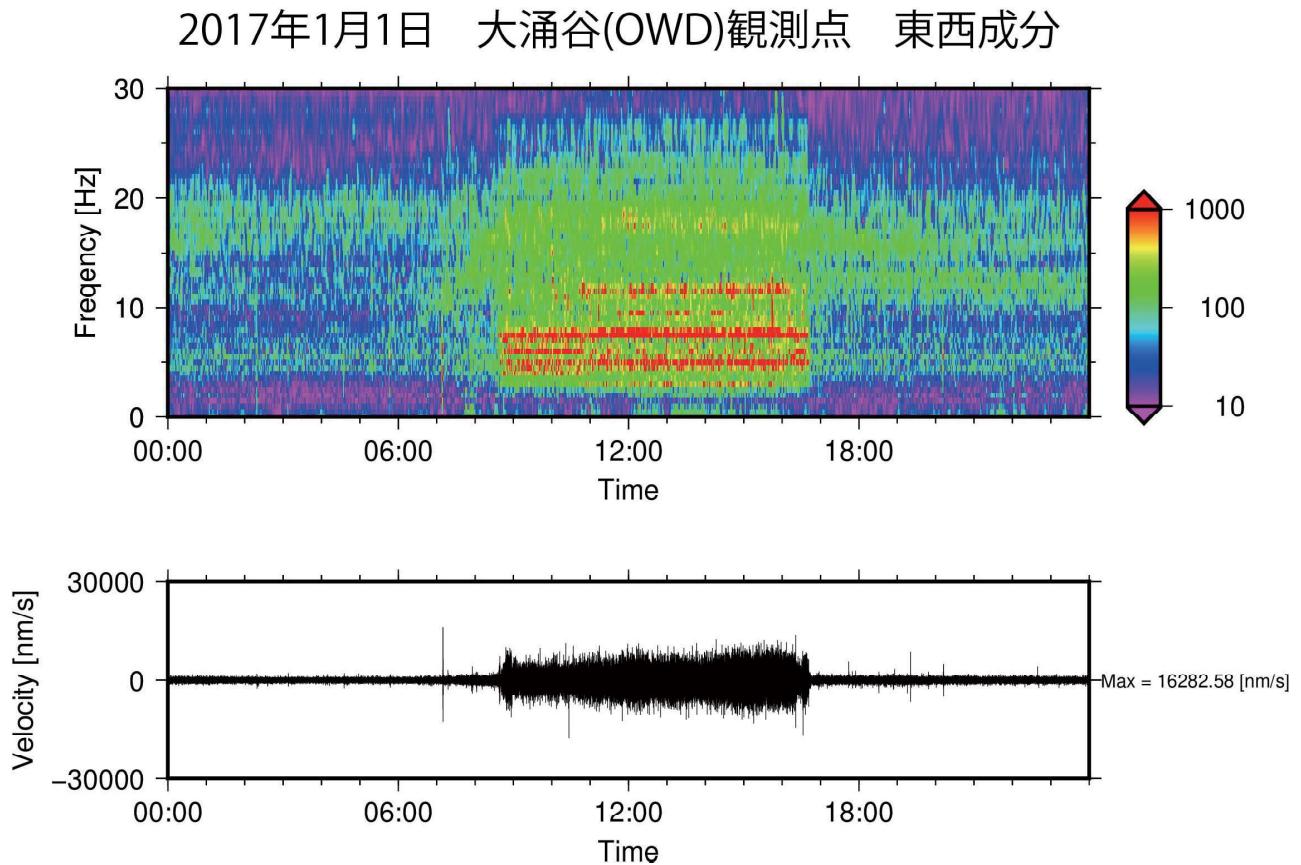


図4 夜間の振幅が小さい2017年1月1日の1日の大涌谷観測点東西成分のスペクトルと波形の変化の様子。スペクトルの計算にはフーリエ変換を使用した。

2016年1月1日 大涌谷(OWD)観測点 東西成分

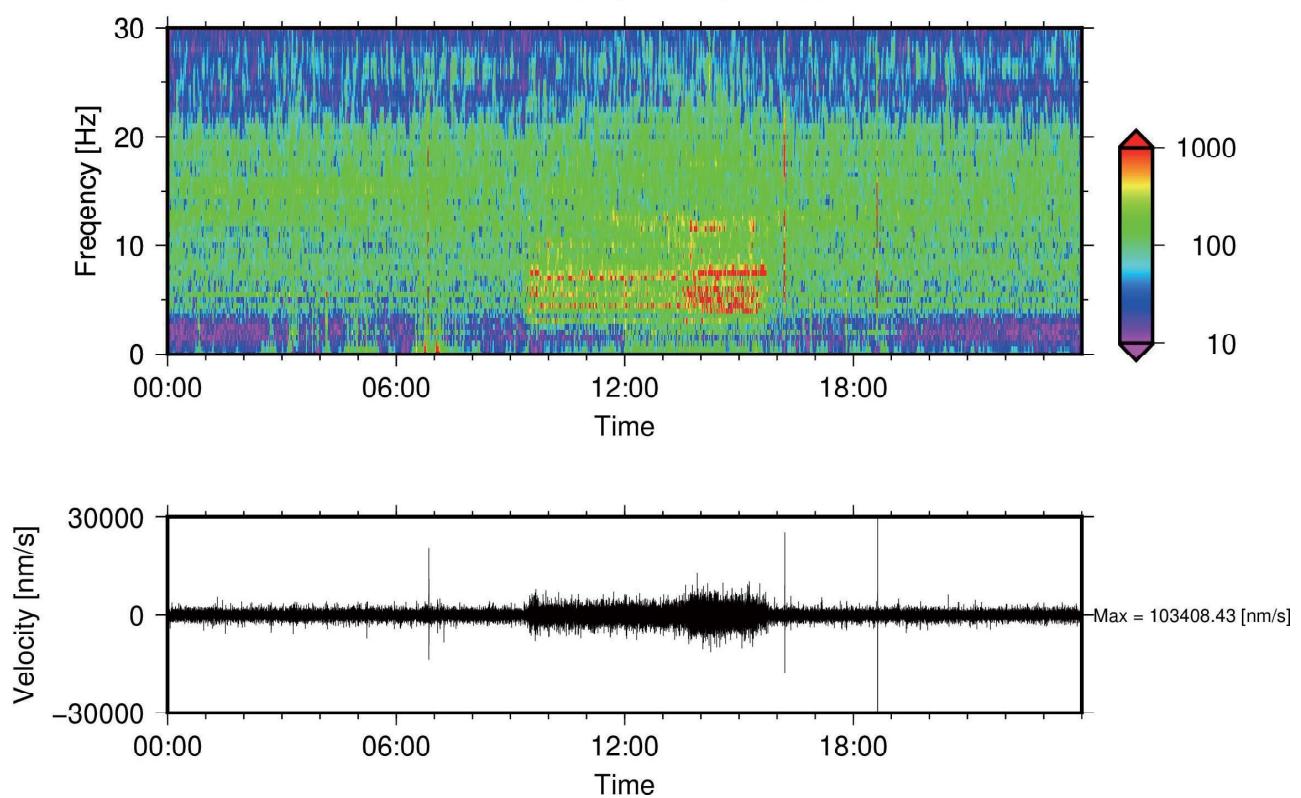


図5 夜間の振幅が大きい2016年1月1日の1日の大涌谷観測点東西成分スペクトルと波形の変化の様子。スペクトルの計算にはフーリエ変換を使用した。

大涌谷地蔵尊(OWJ)観測点 東西(EW)成分

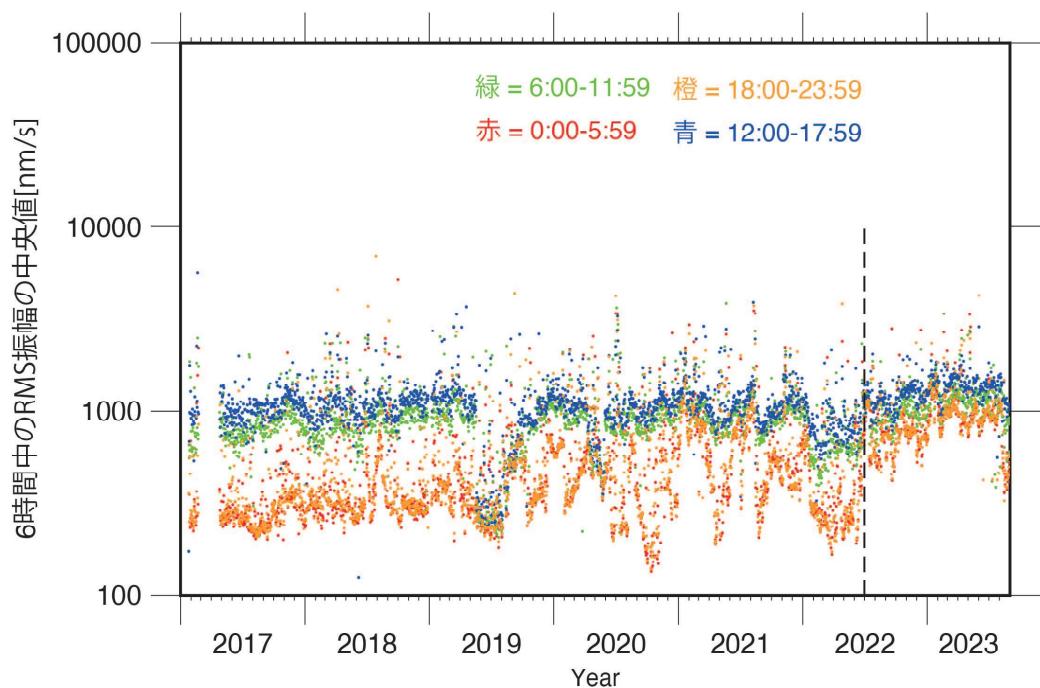


図6 大涌谷地蔵尊(OWJ)観測点におけるノイズ振幅の推移。破線は2022年7月1日を示し、これ以降継続して夜間ノイズの振幅が大きくなっている。

断続的に大涌谷の浅部を震源とする小さな規模の地震の頻発が観測されており（栗原ほか, 2023）、自動検出でできる規模の地震数はそれほど増えていないが、目視で数えている地震の個数が増加している（板寺, 2023）。そのような地震の影響もしくは、継続時間が特に長く、地震として数えることができないような火山活動による小さな振動が発生していた可能性がある。

3.2. 駒ヶ岳 (KOM) 観測点

箱根駒ヶ岳の山麓に設置された観測点であり、周辺は関係者以外立ち入ることのできない地区である。さらに、前述の通り、この観測点はボアホール埋設型の観測点である。そのため、日中と夜間の振幅差は小さい（図7）。長期的な変化で見ると、2015年の年末や2017年の10月頃にやや夜間ノイズレベルが高くなっているものの、大涌谷と比較すると顕著な変化は見られず、全期間を通じて安定した振幅推移となっている。なお、この観測点では、平日と休日に分離した上で、年間のデータから各時分の中央値を取得すると、平日の11:00前後、15:00前後の2回に振幅の増大が見られる（図8）。また、このノイズは6–9 Hz付近の周波数帯にのみ現れる（図9）。つまり、曜日と時間が固定で、特定の周波数帯のみの振動であることから、周辺の何らかの人工物の稼

働によるノイズであると考えられ、火山活動監視ではこれらを火山性微動などと区別するのが重要となる。

3.3. 大又沢 (OMZ) 観測点

大又沢観測点は、山北町の北部、丹沢湖の北の林道沿いに設置されている。周辺には大又沢ダムが立地している。この林道は許可なく通行不能なため、交通量は極めて少なく、周囲に人家は存在しないことから、人間活動の影響をほとんど受けない。そのため、地上設置型の観測点ではあるが、日中と夜間の振幅にはほとんど差がない（図10）。一方で、この観測点においては、時々ノイズ振幅が10倍程度増加する日がある。この振幅変化は降雨と対応しており、近隣の気象庁アメダス丹沢湖の雨量データと比較すると、ノイズ振幅が増加するのは1日雨量100 mmを超える大雨が降った直後である（図11）。つまり、これらのノイズは大雨に伴い河川流量が増加することに対応している。したがって、この観測点は（Shakti and Sawazaki, 2021）が示したように、近隣の河川の水量に対応したノイズ振幅を示している。また、一度降水があったのちノイズ振幅の低下に2週間程度の期間を要している。これは、大又沢ダム等による調整も含め、河川の流量の低下にかかる期間と対応していると考えられる。このように大又沢観測点のノイズレベ

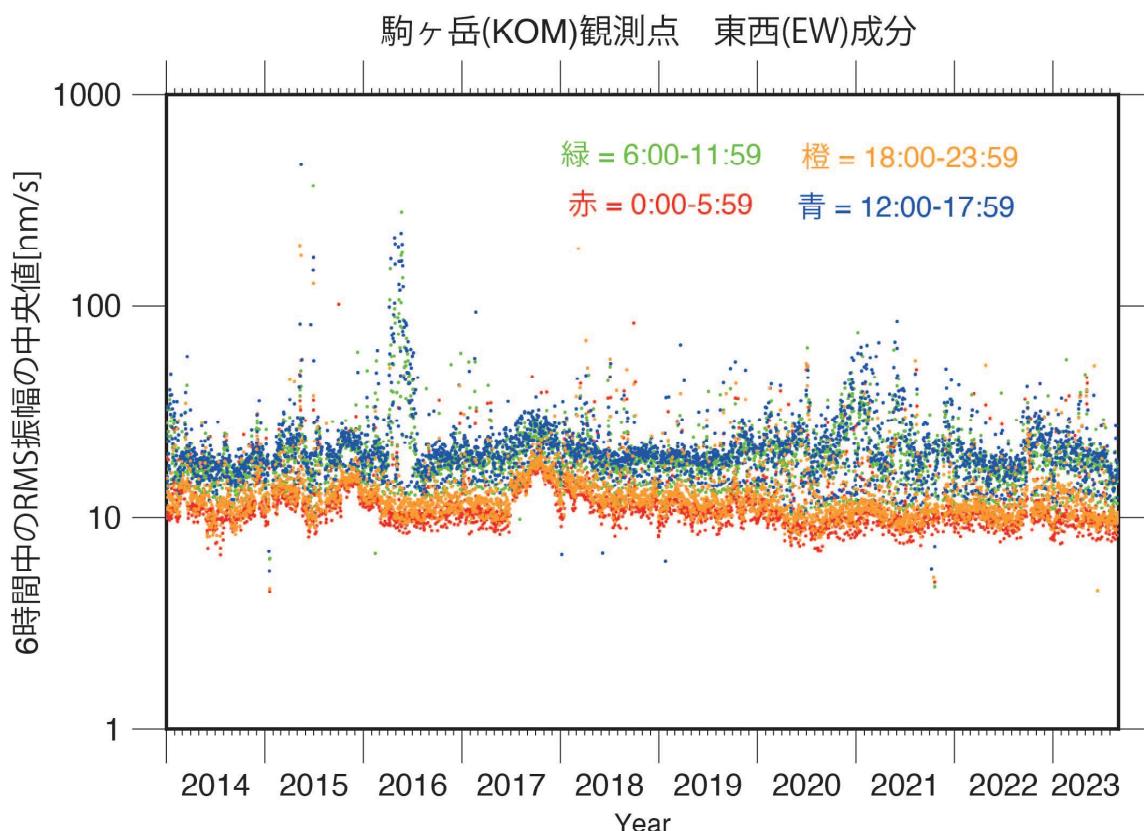


図7 駒ヶ岳 (KOM) 観測点におけるノイズ振幅の推移。

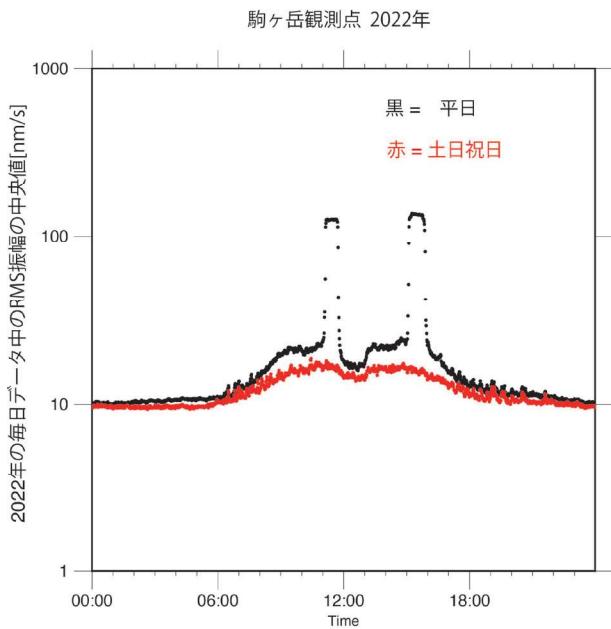


図 8 駒ヶ岳 (KOM) 観測点における 1 日のノイズ振幅推移。黒線が平日、赤線が土日祝日である。2022 年 1 年間のデータの中央値を用いて作成した。

ルは河川流量の変動と密接に関連しており、ノイズレベルの推移から河川流量が推定できる可能性を示す結果となつた。

4. 結論と今後の課題

大涌谷周辺の観測点では、観光施設稼働等に伴うノイズの中に夜間限定で火山現象の推移を捉えている可能性があることが明らかとなった。そのような現象は 2015 年の噴火後及び 2022–2023 年に発生しており、いずれもルーティン処理では検知されない微小な地震が増加している可能性がある期間である。大又沢観測点では、降水量に対応したノイズ振幅の増加が明瞭に捉えられており、地震計のデータから河川の流量を推定できる可能性があることがわかった。今後、他観測点の解析や、より過去のデータの解析に取り組むことで、今まで捉えられていなかった火山現象やスロー地震などの痕跡の発見を目指す。

謝辞

本研究は温泉地学研究所中期研究計画 A 「噴火リスク評価に向けた箱根火山の統一的理解」および中期研究

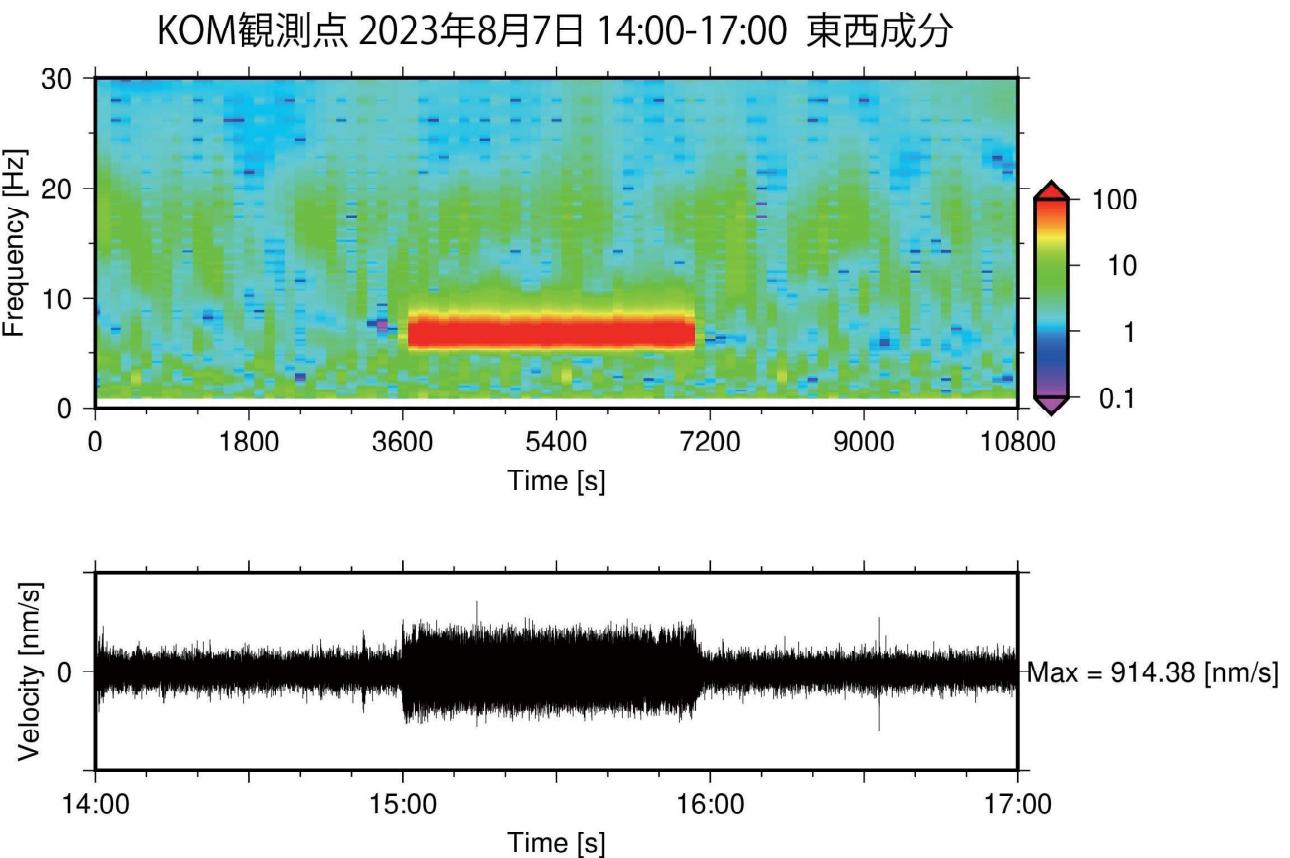


図 9 駒ヶ岳 (KOM) 観測点東西成分における 2023 年 8 月 7 日 14 時から 17 時の連続スペクトル (上段) およびバンドパスフィルターを使用していない波形 (下段)。スペクトルの計算にはウェーブレット変換を使用した。

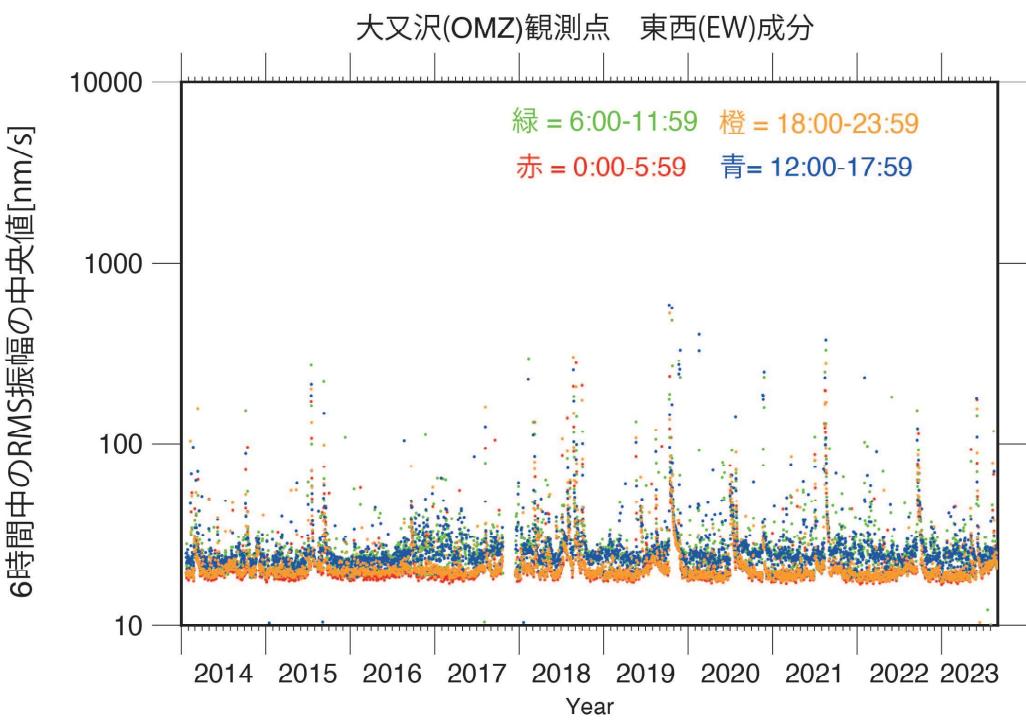


図 10 大又沢観測点におけるノイズ振幅の推移。

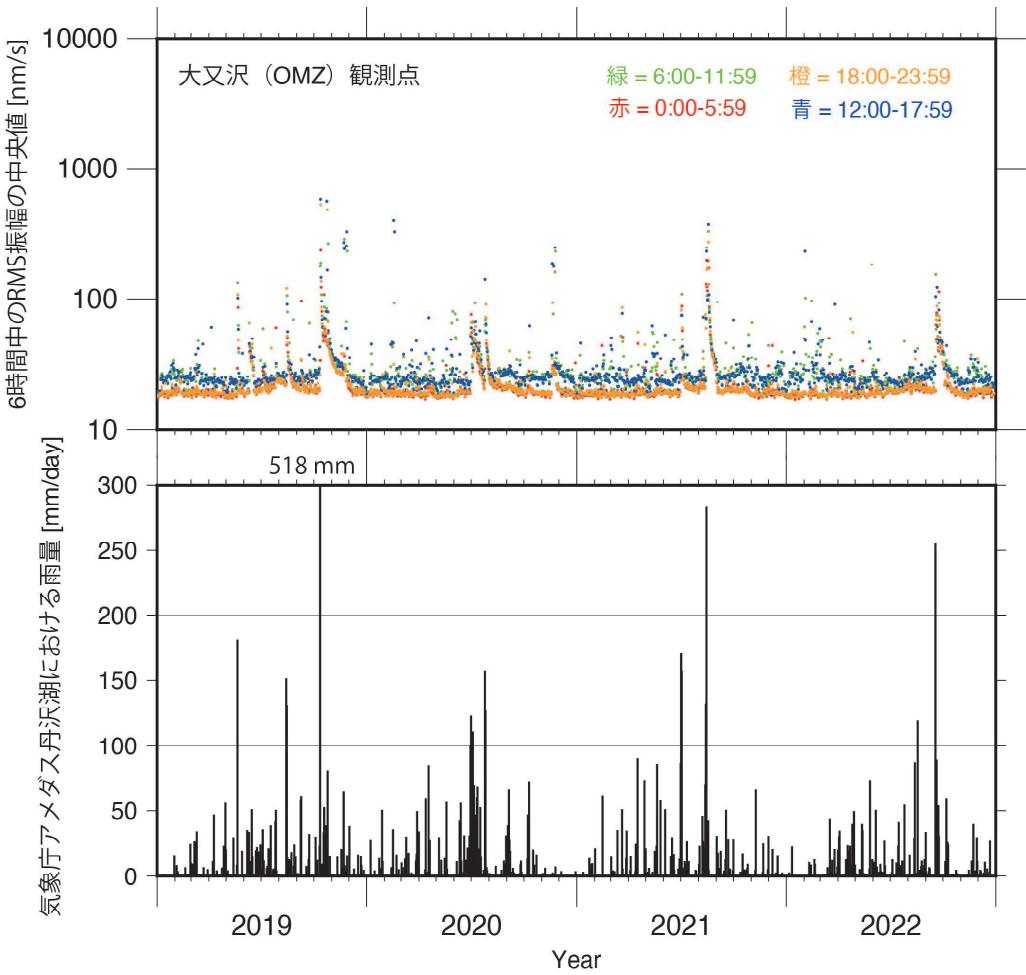


図 11 大又沢観測点におけるノイズ振幅の推移と気象庁アメダス丹沢湖における雨量の推移。

計画C「南関東の広域テクトニクスの解明」の一部として実施しました。また、本研究の一部はJSPS科研費挑戦的研究（萌芽）JP22K18728「夜の静寂に静かなマグマの足音を聴く」の助成を受けたものです。また、本研究の一部に次世代火山人材総合プロジェクトの助成を受けました。本研究では作図にGeneric Mapping Tools version 6 (Wessel *et al.*, 2019) を使用しました。記して感謝いたします。

参考文献

- Ichihara, M., Kobayashi, T., Maeno, F., Ohminato, T., Watanabe, A., Nakada, S., & Kaneko, T. (2023) The sequence of the 2017–2018 eruptions and seismo-acoustic activity at Kirishima volcano group, *Earth, Planets and Space*, 75(1), 144. <https://doi.org/10.1186/s40623-023-01883-8>
- Ichihara, M., Ohminato, T., Konstantinou, K. I., Yamakawa, K., Watanabe, A., & Takeo, M. (2023) Seismic background level (SBL) growth can reveal slowly developing long-term eruption precursors, *Scientific Reports*, 13(1), 5954. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32875-z>
- 板寺一洋 (2017) 時々問い合わせのある音のこと, 神奈川県温泉地学研究所観測だより, (67), 7–10.
- 板寺一洋 (2023) 門前の小僧地震を数える, 神奈川県温泉地学研究所観測だより, (73), 1–6.
- 川北優子・酒井慎一 (2009) 首都圏地震観測網 (MeSO-net) で見られる様々なノイズ, 地震研究所彙報, 84, 127–139.
- 栗原亮・長岡優・本多亮・板寺一洋 (2023) 箱根火山大涌谷極浅部で発生する地震と火山活動の関係, 日本地球惑星科学連合 2023 年大会, SVC31-02.
- Lecocq, T., Hicks, S. P., Van Noten, K., Van Wijk, K., Koelemeijer, P., De Plaen, R. S. M., *et al.* (2020) Global quieting of high-frequency seismic noise due to COVID-19 pandemic lockdown measures, *Science*, 369(6509), 1338–1343. <https://doi.org/10.1126/science.abd2438>
- Obara, K. (2002) Nonvolcanic deep tremor associated with subduction in southwest Japan, *Science*, 296(5573), 1679–1681. <https://doi.org/10.1126/science.1070378>
- Shakti, P. C., & Sawazaki, K. (2021) River discharge prediction for ungauged mountainous river basins during heavy rain events based on seismic noise data, *Progress in Earth and Planetary Science*, 8(1), 58. <https://doi.org/10.1186/s40645-021-00448-1>
- Wessel, P., Luis, J. F., Uieda, L., Scharroo, R., Wobbe, F., Smith, W. H. F., & Tian, D. (2019) The Generic Mapping Tools Version 6, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20(11), 5556–5564. <https://doi.org/10.1029/2019GC008515>
- Yabe, S., Imanishi, K., & Nishida, K. (2020) Two-step seismic noise reduction caused by COVID-19 induced reduction in social activity in metropolitan Tokyo, Japan, *Earth, Planets and Space*, 72(1), 167. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01298-9>