

MeSO-net 観測記録に見られる 2020 年の微動振幅の低下とその要因

林田 拓己¹・吉見 雅行²・鈴木 晴彦³・森 伸一郎⁴・
香川 敬生⁵・山田 雅行⁶・一井 康二⁷

¹ 非会員 国立研究開発法人建築研究所 国際地震工学センター (〒305-0817 茨城県つくば市立原 1)
E-mail: takumi-h@kenken.go.jp

² 正会員 国立研究開発法人産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門
(〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1 つくば中央第七)
E-mail: yoshimi.m@aist.go.jp

³ 非会員 応用地質株式会社 地震防災事業部 (〒330-0854 埼玉県さいたま市大宮区桜木町 1-10-2)
E-mail: suzuki-haruhiko@oyonet.oyo.co.jp

⁴ フェロー会員 愛媛大学准教授 大学院理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3)
E-mail: mori@ehime-u.ac.jp

⁵ 正会員 鳥取大学教授 大学院工学研究科 (〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南 4-101)
E-mail: kagawa@tottori-u.ac.jp

⁶ 正会員 株式会社ニュージェック (〒531-0074 大阪府大阪市北区本庄東 2-3-20)
E-mail: yamadams@newjec.co.jp

⁷ 正会員 関西大学教授 社会安全学部 (〒569-1098 大阪府高槻市白梅町 7 番 1 号)
E-mail: ichiik@kansai-u.ac.jp

2020 年、新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の感染拡大防止により社会経済活動が低下し、首都圏の複数の地震観測点において常時微動の振幅が低下したことが報告されている。本研究では、より広い範囲での微動振幅低下の有無を確認する目的で、東京都および周辺の都市に設置された MeSO-net 観測点 169 点における微動振幅の経時変化を調べた。また、観測点周囲の人流量、観測点が設置されている学校の在籍者数、交通量などの各種記録との比較検討を通じて、微動の振幅低下をもたらした主要な要因を検討した。その結果、(1)学校に設置された観測点の多くでは 2020 年 3 月以降に振幅が低下する。(2)観測点周囲の人流には感染拡大前後で顕著な変化がない。(3)第 1 回緊急事態宣言発令期間中 (4 月 7 日～5 月 25 日)における振幅の減少は学校に設置された観測点や利用制限が行われた施設の観測点において顕著である。(4)在籍者数が多い学校では第 1 回緊急事態宣言発令期間中に 10-90 Hz のスペクトル振幅が大きく減少する、といった傾向が見られた。2020 年に観測された微動振幅の低下は首都圏全体における人間活動の低下を捉えたものではなく、観測点が設置されている施設の利用状況の変化を強く反映している可能性が示唆される。

Key Words: microtremor, COVID-19, seismic noise reduction, MeSO-net

1. はじめに

常時微動 (雑微動, 地震ノイズ, 地動ノイズ: 以下, 微動と呼ぶ) のうち, 1Hz 以上のものは人間活動 (人の通行, 交通振動, 機械) が主たる振動源であるとされ, 「cultural noise」とも呼ばれている^{例えば 1)-3)}。このため, 人間活動が盛んな都市部では微動の高周波成分の振幅が大

きくなり, 過疎地では相対的に小さくなる。地震観測において, 微動は地震波の検知を阻害する「ノイズ」であると見做される一方, 工学的には浅部地盤構造推定のための有用な「シグナル」として活用されている。近年では半径 1m 以内の小規模アレイによる速度構造推定^{4,5)}, 拡散波動場理論に基づく単点の記録を用いた速度構造推定⁶⁾, 地震波干渉法の高周波数帯域への適用⁸⁻¹⁰⁾など,

微動記録を活用した多様な探査が実施されている。

2020年初頭、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の世界的な感染拡大を受け、国外の多くの主要都市において都市封鎖（ロックダウン）政策が実施された。強制力を伴う外出制限・経済活動制限により人の動きが大幅に抑制され、それに伴って微動の振幅が著しく低下したとの事例が数多く報告されている^{11)~15)}。日本国内では、都市封鎖のような厳しい措置には及ばないものの、政府による大規模イベントの自粛要請（2月26日）や全国の学校を対象とした臨時休校要請（2月28日）、政府ならびに各自治体による不要不急の外出自粛要請（3月下旬）が出された。4月7日には、政府によって東京都・神奈川県・埼玉県・千葉県を含む1都1府5県を対象に第1回緊急事態宣言が発出され、飲食店や大規模集客施設の営業時間短縮要請ならびに休業要請、事業所における出勤者の削減要請がなされた。東京都および周辺3県における緊急事態宣言は5月25日に解除された。Yabeら¹⁶⁾は、都内および周辺の都市に設置された（国研）防災科学技術研究所（以下、防災科研）のMeSO-net観測点18地点の微動記録を解析し、3月上旬に学校周辺の観測点において高周波数帯域（20-40 Hz）の微動振幅が低下し、3月下旬頃から5月下旬頃にかけて広い周波数帯域（1-20Hz）の微動振幅が低下することを指摘した。前者は学校の臨時休校措置に伴うもの、後者は都心における社会活動の低下によるものと解釈されている。

微動の振幅低下をもたらす要因としては、人流および交通量の減少、建設工事の中断、周囲の事業場における大型機械の稼働停止などが考えられる。Yabeら¹⁶⁾は首都圏の代表的な繁華街の近くに設置された観測点を主な対象として微動レベルの低下を論じているが、微動振幅の低下をもたらした主要な要因やその影響の及ぼす空間的範囲については明らかにしておらず、解明の余地が残されている。微動の振幅の増減が何によって支配され、それらの変化によってどの周波数帯域においてどの程度の影響が現れるのかを把握することは、地震観測におけるノイズの低減対策、あるいは微動探査におけるデータの特徴や品質を議論する上において重要な基礎情報となる。そこで著者らは、2020年に首都圏の広い範囲で観測された微動記録を用いて、振幅低下の時空間特性を調べるとともに、振幅の変化をもたらす主要な要因について考察した。

2. データの取得

本研究では、COVID-19感染拡大に伴う微動の振幅の増減と周辺環境の変化を比較するために、MeSO-net観測記録ならびに観測点周囲の人流データ、観測点が設置さ

れている学校の在籍者数ならびに高速道路のトラフィックカウンター記録を取得した。

(1) MeSO-net 観測記録

MeSO-netは首都圏地震観測網（Metropolitan Seismic Observation network）の略称であり、平成19年度以降、東京大学地震研究所が主体となって構築したものである^{17)~19)}。現在は防災科研に運用が移管されており、観測点は首都圏の約300か所に3km~10km間隔で配置されている（図1）。MeSO-netでは電圧感度約0.5V/m/s²の加速度計が各地点の地中約20mの縦孔底に設置されており、200Hzサンプリングで収録された連続波形記録がリアルタイムで防災科研のサーバーへ転送されている。MeSO-net観測記録中に見られる顕著な微動については、先行研究によって詳細な検討が行われている²⁰⁾。本研究では、東京都および周辺の大都市（横浜市、川崎市、さいたま市、千葉市）を含む169地点（図1）に着目し、2019年1月1日~2020年12月31日の間に観測された連続波形記録を取得した。観測点の多くは小中学校に設置されており、その他は高校、大学構内、公園、公共施設等の敷地内となっている。波形データは防災科研のWEBサイトからダウンロードできるが、一度に取得可能なデータ量の上限に制限があるため、ここでは毎正時から20分間の波形記録を1時間毎に取得した。

(2) 人流データならびに学校在籍者数

人流データは、特定のエリアにおける人の移動ならびに滞留人口を時間帯毎に数値で示した情報であり、スマートフォン等の端末位置情報を元に集計される。Yabeらは、（株）Agoopが公開対象としている首都圏の主要駅・繁華街の近くに設置されたMeSO-net観測点に着目し、微動レベルと人流の経時変化パターンとの関連性を議論している。しかし、厳密には人流が測定された区画と地震観測点が置かれている位置には少なからず差異があるため、これらを直接比較する際には注意を要する。そこで本研究では、微動と人流との関係をより的確に、広範囲で比較するために（株）NTTドコモによって暫定的に公開されている人流データ「モバイル空間統計」を使用した。同サービスでは、携帯電話個人契約者の約9,000万台の端末情報を基に人口推計が行われており、日本全国を一辺500mのメッシュで区切り、各メッシュの人流量を10段階で地図上に色分け表示している。直近24時間の1時間毎のデータに加え、昨年同月における平日・休日別の1時間あたりの平均値の空間分布が地図画像として公開されており、ここでは、COVID-19感染拡大前である2020年1月と第1回緊急事態宣言発令中である2020年4月の首都圏における人流量的変化に着目した。図2に、MeSO-net観測点169地点が位置するメッシュ内における1月および4月の平日10時台の人流量

を示す。他の昼間時間帯においても傾向は同様である。

東京都内では中央区銀座 (N.GNZM) や渋谷区神宮前

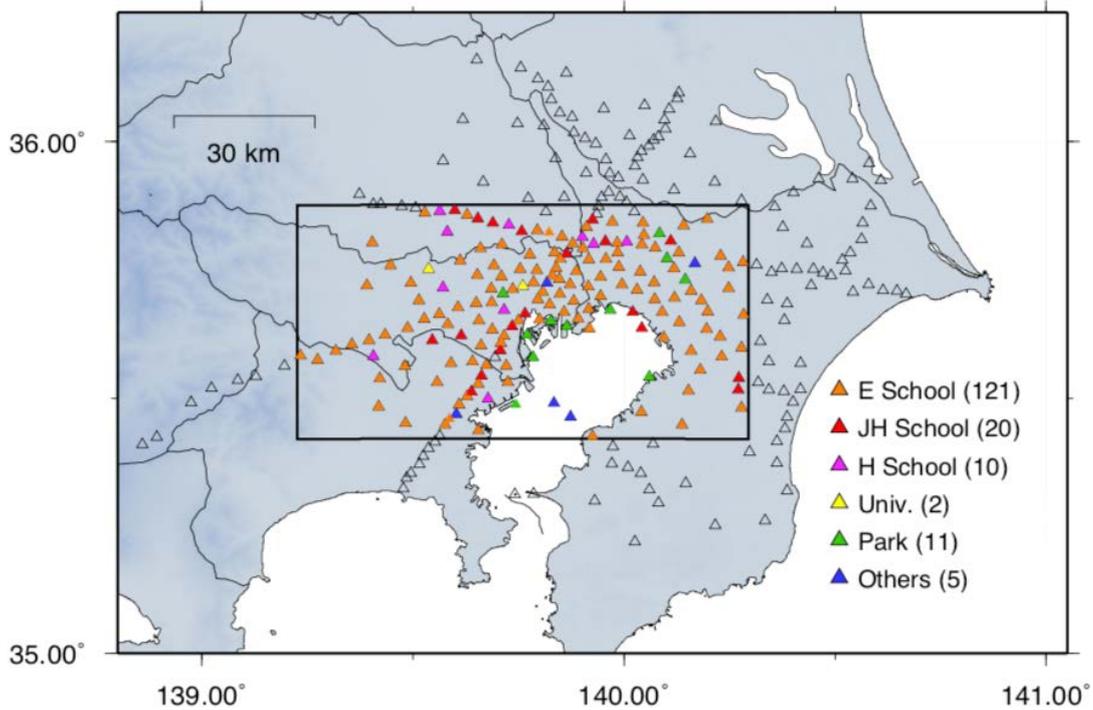


図-1 対象とした MeSO-net 観測点 (地図中央の四角枠内)

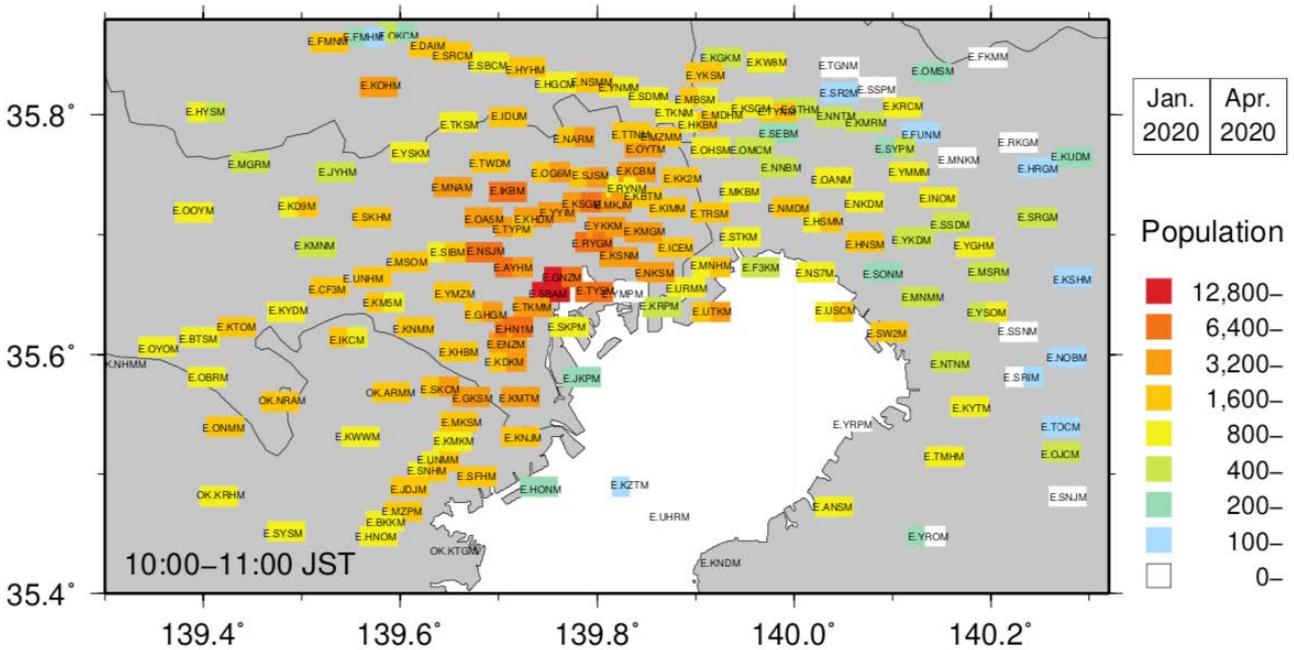


図-2 MeSO-net 観測点周囲の人流量 (2020年1月および4月の平日10時台平均値)

(N.AYHM) に位置する観測点を除き、大きな人流の減少は見られない。特に港区芝 (N.SBAM) における人流は COVID-19 感染拡大後も高い数値を保持している。一方、千葉県の郊外エリアなどでは平常時であっても人流量が数 100 人に満たないなど、観測点の設置地点によって数値が大きく異なる。地震計が小中学校の敷地内に設置されている観測点については、令和2年度の各

学校の在籍児童・生徒数ならびに教員数の情報も教育委員会等のデータベースより取得した。

(3) 断面交通量データ

全国的高速道路には交通量集計測機器 (トラフィックカウンター) が設置されており、各地点における毎日の車両の断面交通量を各高速道路会社が抽出・集計

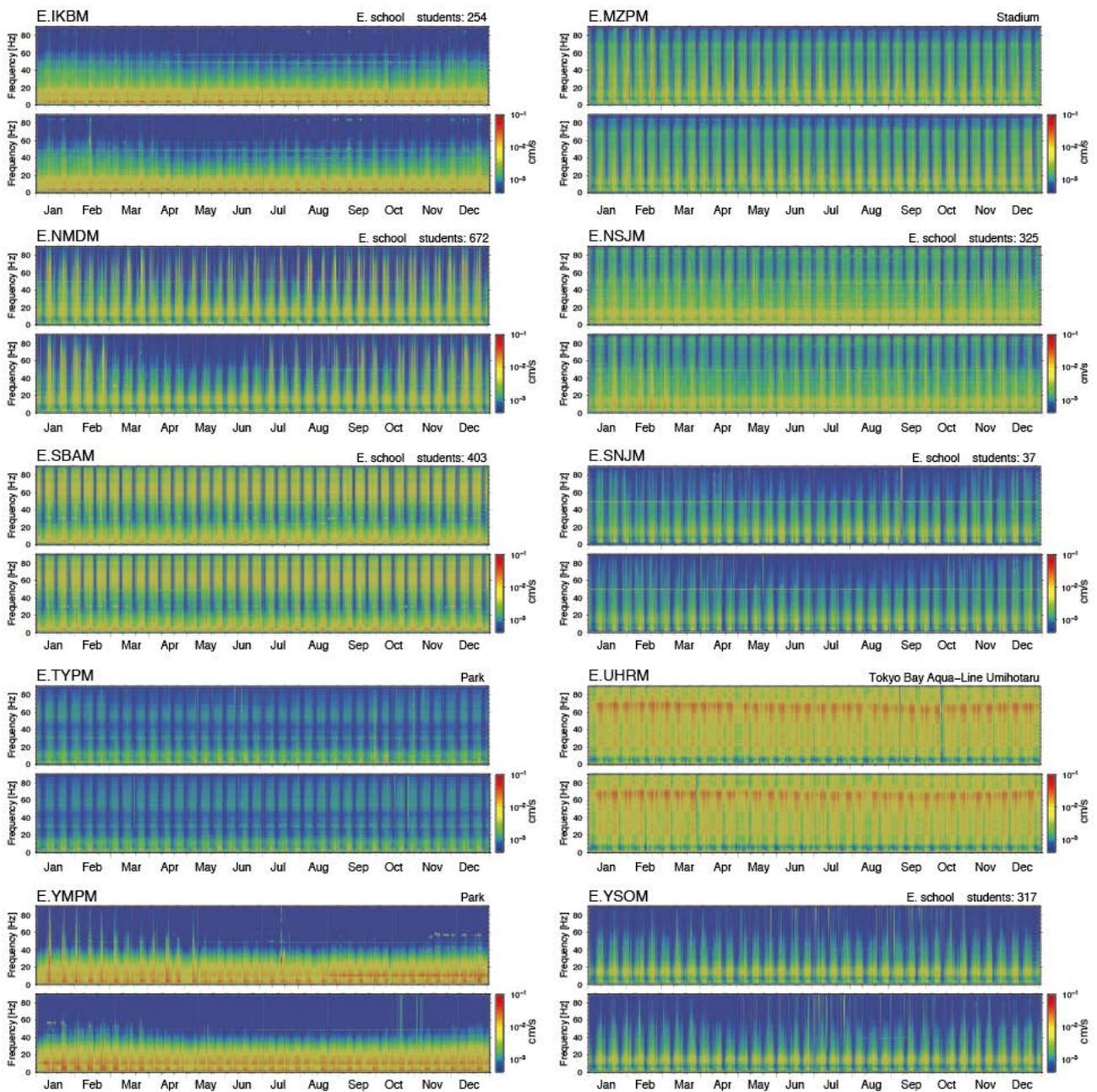


図-3 MeSO-net 観測点 10 地点の 2019 年（上段）と 2020 年（下段）のスペクトル振幅の変化

している。第 1 回緊急事態宣言発出以降はこれらのデータを国土交通省が集約し、日々の交通量の数値情報を Web サイト上で公表している。首都圏では、東日本高速道路（株）および中日本高速道路（株）管轄道路の 25 区間、首都高速道路（株）管轄道路の 22 区間で計測された断面交通量の記録が公開されている。MeSO-net の観測点と上記区間が近接している事例は数カ所程度であるが、ここでは MeSO-net 観測点 E.SKPM（品川区潮風公園）から 100m 程度離れた場所を通っている首都高速湾岸線の大井～臨海副都心出入口間の断面交通量記録を取得した。観測点の周囲は公園であり、周囲に居住エリアが存在しないため、地震計で観測される微動への交通量の寄与は大きいと考えられる。なお、当

該区間では車種別の交通量の情報が公開されていないため、全車種の交通量を取り扱う。

3. 微動の周波数特性の経時変化

本研究ではまず、取得した微動記録の上下動成分を対象に、2 年間分のランニングスペクトルを導出した。各観測点において毎時 20 分間の加速度波形記録を 20.48 秒間のタイムウィンドウで 50% ずつずらしながら切り出し、得られた全 116 区間のフーリエ振幅スペクトルの平均値を求めた。ここでは微動と地震・突発的なシグナル・擾乱等との区別は行っていない。図 3 に MeSO-

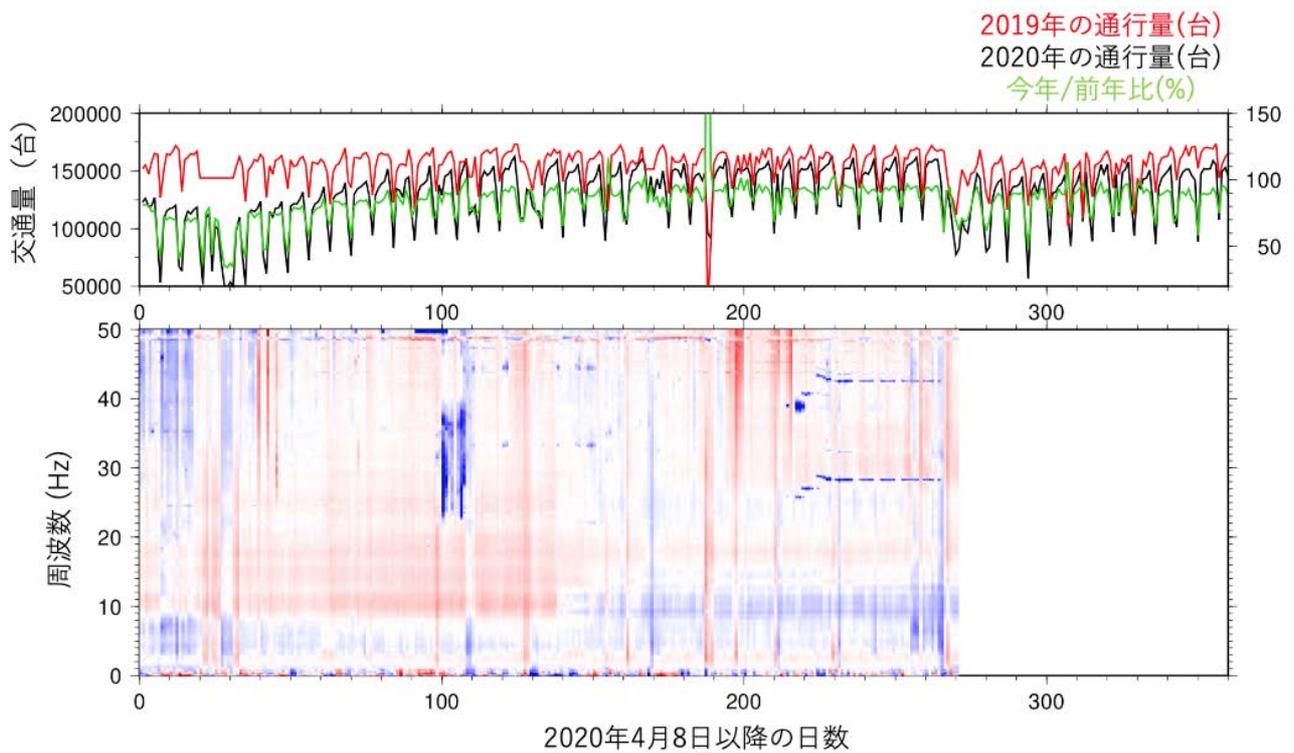


図4 首都高速湾岸線の大井～臨海副都心出入口間の断面交通量（上段）と
振幅スペクトルの2020/2019年の振幅比

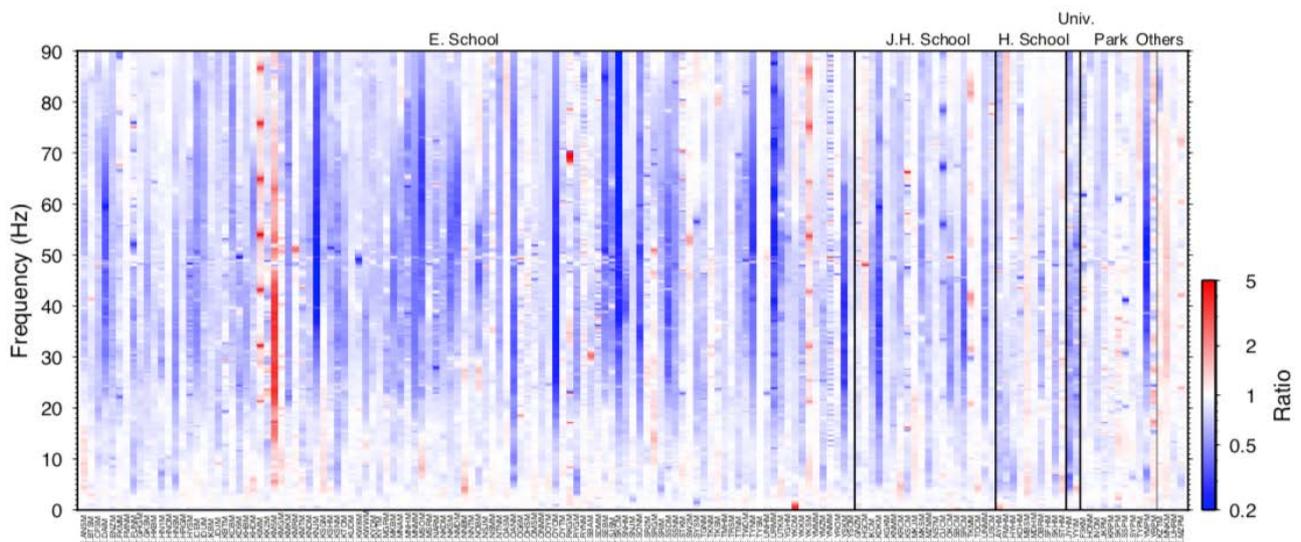


図5 MeSO-net観測点における2019年と2020年の4月10時台のフーリエスペクトル平均値の比

net観測点10地点で求めたランニングスペクトルを例示する。得られたスペクトルを観測点の設置環境（設置施設および設置位置、人流、学校在籍者数）の観点で比較検討したところ、概ね次の特徴が見られた。

- (1) 地震計が学校の校舎に隣接しているMeSO-net観測点では、人流および在籍者数の大小に関わらず、2020年3月以降高周波数成分（30-60 Hz）の低下が見られる（E.NMDM, E.IKBM, E.SNJM）。
- (2) 地震計が学校の校舎に隣接している観測点のうち、

一部の観測点では2019年においても3月上旬以降から春頃にかけて高周波数帯域（40-60 Hz）で同様の振幅低下が見られる（E.IKBM）。しかし、2020年と比較すると低下の度合いは小さい。

- (3) 学校の校舎から数100m程度離れた場所（運動場脇、道路沿いの敷地等）に設置されている多くの観測点では、3月の高周波数成分の低下は顕著に見られない（E.SNJM, E.YSOM）。一方、3月下旬には僅かな振幅の低下が一部の観測点で確認される。

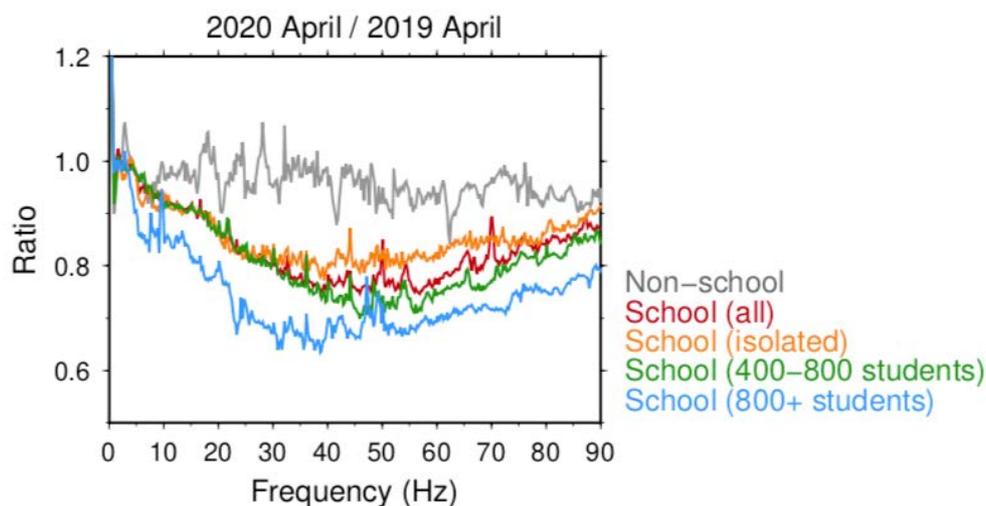


図-6 MeSO-net観測点における2019年と2020年の4月10時台のフーリエスペクトル平均値の比
(施設、学校の在籍者数毎の平均値)

(4) 学校以外に設置されている MeSO-net 観測点では、2020年の微動レベルの低下が顕著ではない (E.MZPM, E.SKPM, E.TYPM, E.UHRM)。一方、2020年3月以降に行事中止や施設利用制限、来園自粛要請等の対策がなされた公園 (E.YMPM: 江東区夢の島公園) において、微動レベルの低下が40Hz以上において確認される。

これらの検討結果を勘案すると、MeSO-net 観測点における微動レベルの低下は、観測点が設置されている施設の環境変化を反映している可能性が示唆される。

4. 交通量と微動振幅の関係

図4に、前述の観測点 E.SKPM における微動の振幅スペクトルと隣接する高速道路の断面交通量との関係を示す。交通量は、2020年4月6日～10月31日の毎日の記録だけでなく、2019年の同一週同一曜日 (2019年4月8日～11月2日: ゴールデンウィーク期間のみ期間中の休日平均値) における交通量も併せて表示している。当該区間の交通量は第1回緊急事態宣言発令期間中では昨年同時期の7割程度まで減少しているが、7月以降は9割程度にまで回復している。上記傾向と比較するため、微動記録についても2019年および2020年の同一週同一曜日における各日の振幅スペクトルの比 (日平均) を求めた。2020年の微動レベルは3-12Hzの帯域において昨年より低下し、特に第1回緊急事態発令中であった2020年4月から6月の間で低下量が大きくなっている。この期間は交通量が7割程度にまで低下した期間と対応する。他方、30-46Hzでは大小の傾向が逆転し、2020年の値が今年の値を若干上回る。但し、同地点は東京2020大会における競技会場の1つとなっており、

2019年8月以降より一般来場者の利用が制限されている。また、2019年12月以降は競技会場整備のための工事が施行されていることから、人流の変化ならびに工事が高周波数帯域における微動の消長に寄与した可能性があり、解釈を容易に行うことができない。

5. 2019年4月と2020年4月の微動レベルの比較

本研究で対象とした169観測点全地点において、2019年4月と2020年4月の平日10時台の振幅スペクトルの比を導出した (図5)。多くの観測点において、広い周波数帯域で微動レベルが低下している。特に学校や大学に設置された観測点では、低下の度合いが他の観測点に比べて顕著である。公園では、前述の夢の島公園 (E.SKPM) を除いて低下の度合いは小さい。学校活動が微動振幅の低下にもたらす影響を調べるため、対象とする MeSO-net 観測点を (1) 全観測点 (169点)、(2) 学校以外の観測点 (15点)、(3) 在籍者数400-800名の小中学校 (64点)、(4) 在籍者数800名以上の小中学校 (14点)、(5) 地震計が校舎から100m以上離れた場所に設置されている観測点 (26点) のグループに分けて、各グループにおけるスペクトル比の平均値を導出した (図6)。その結果、学校以外に設置された観測点では微動レベルの低下がごく僅かであったのに対し、学校に設置された観測点の平均を見ると10-90Hzで振幅が顕著に低下している。低下の度合いは学校の在籍者数にも依存しており、在籍者数が800名を超える学校では低下量が特に大きい。また、観測点が校舎から離れた位置に設置されている観測点では、30-80Hzの周波数帯域における振幅の低下量が他の学校の値よりも小さい。これらの傾

向は、2020年4月に見られる微動の振幅低下が観測点ごく近傍の環境の違いに影響されている可能性を示唆している。

6. まとめと今後の課題

MeSO-net観測点169地点で観測された連続波形記録を用いて、2019年1月から2020年12月までの微動のスペクトルの経時変化を調べた。臨時休校措置が実施された2020年3月以降、学校の校舎近くに地震計が設置された観測点において30Hz以上の高周波数帯域で微動の振幅低下が見られた。これらの微動レベルの低下は人流の大小に関わらず確認されることから、学校活動の停止に起因した局地的な微動場の変化を反映している可能性が高い。2020年4月～5月の第1回緊急事態宣言期間中には、Yabeらの指摘と同様、学校の観測点において更なる振幅の低下が10-90Hzの帯域で見られた。微動レベルの低下の度合いは在籍者数が多い学校において顕著である。このことから、2020年のMeSO-net観測記録に見られる微動レベルの低下は、首都圏全体における社会経済活動の低下に伴うものと捉えるより、観測点が設置されている施設の利用者の行動変化による局所的な現象を見ているものと解釈した方が妥当なように思われる。また、学校に地震計が設置されている観測点では、パンデミックの有無によらず2月以降、40Hz以上の微動レベルが低下するという現象が見られた。折しも平時の微動振幅低下期間と休校措置期間が重複しているため、これらの区別を行うための精査が必要であろう。一方、微動の振幅は周囲を走行する自動車の通行量や車両重量、周囲の工場等における産業機械の稼働状況にも大きく依存すると考えられる。今後は一般道における交通量データや周辺環境等の情報も照らし合わせ、微動記録への各要因の影響をより詳細に議論する必要がある。

謝辞：本研究は、日本国内の微動研究者および技術者から構成される「微動の会」会員有志による研究プロジェクト（代表：愛媛大学 森伸一郎）の一環として実施したものです。同会の会長である藤原広行博士（防災科学技術研究所）からは有益なご助言をいただきました。本研究の実施にあたり、防災科学技術研究所のMeSO-netの観測記録を使用しました。人流データは（株）NTTドコモの「モバイル空間統計」の地図画像より抽出しました。学校の児童・生徒数の調査において、各都県の教育委員会の公開資料ならびに（株）ガッコムが運営する学校教育情報サイトのデータベースを参照いたしました。本研究で用いた断面交通量は首

都高速道路（株）によって計測され、国土交通省によって公開されたものを用いました。本論文における図の作成にはGeneric Mapping Tool²¹⁾を利用しました。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) Gutenberg, B.: Microseisms, *Adv. Geophys.*, Vol.5, pp.53-92, 1958.
- 2) Kanai, K. and Tanaka, T.: On microtremors VIII, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, Vol.39, No.1, pp. 97-114, 1961.
- 3) Ringdal, F. and Bungum, H.: Noise level variation at NORSAR and its effect on detectability, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol.67, pp. 479-492, 1977.
- 4) Cho, I., Tada, T. and Shinozaki, Y.: Centerless circular array method: Inferring phase velocities of Rayleigh waves in broad wavelength ranges using microtremor records, *J. Geophys. Res.*, Vol.111, 2005JB004235, 2006.
- 5) 山田雅行, 山田真澄, 羽田浩二, 藤野義範, Mori James, 坂上啓, 林田拓己, 深津宗祐, 西原栄子, 大内徹, 藤井章男, 2016年熊本地震における益城町での被害メカニズムの解明～地盤特性の影響～, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.73, No.4, pp. I_216-I_224, 2017.
- 6) Sánchez-Sesma, F. J., Rodriguez, M., Iturraán-Viveros, U., Luzón, F., Campillo, M., Margerin, L., García-Jerez, A., Suarez, M., Santoyo, M. A. and Rodríguez-Castellanos, A.: A theory for microtremor H/V spectral ratio: application for a layered medium, *Geophys. J. Int.*, Vol.186, No.1, pp. 221-225, 2011.
- 7) Lontsi, A. M., Sánchez-Sesma, F. J., Molina-Villegas, J. C., Ohrnberger, M. and Krüger, F.: Full microtremor H/V(z,f) inversion for shallow subsurface characterization, *Geophys. J. Int.*, Vol.202, pp.298-312, 2015.
- 8) 林田拓己, 吉見雅行: SPAC法と地震波干渉法の相補の利用によるS波速度構造モデルの妥当性検討, 第14回日本地震工学シンポジウム講演論文集, OS3-Thu-PM1-5, 2014.
- 9) 津野靖士, 岩田直泰, 宮腰寛之, 山本俊六, 地元孝輔: 短周期微動を用いた地震波干渉法の表層構造調査への適用例, 日本地震工学会論文集, Vol.15, No.7, pp.454-462, 2015.
- 10) 林田拓己, 横井俊明, Mukunda Bhattarai: Rayleigh波位相速度と群速度の同時逆解析による浅部～深部地盤のS波速度構造の推定, 日本地震工学論文集, Vol.19, No.5, pp. 111-124, 2019.
- 11) Lecocq, T., et al.: Global quieting of high-frequency seismic noise due to COVID-19 pandemic lockdown measures, *Science*, Vol.369, No.6509, pp.1338-1343, 2020.
- 12) Poli, P., Boaga, J., Molinari, I., Cascone, V. and Boschi L.: The 2020 coronavirus lockdown and seismic monitoring of anthropic activities in Northern Italy, *Scientific Reports*, Vol.10, No.9404, 2020.
- 13) Xiao, H., Eilon, Z., Ji, C. and Tanimoto, T.: COVID-19 societal response captured by seismic noise in China and Italy, *Seism. Res. Lett.*, Vol.91, No.5, pp.2757-2768, 2020.
- 14) Dias, F. L., Assumpcao, M., Peixoto, P. S., Bianchi, M. B., Collaco, B. and Calhau, J.: Using seismic noise levels to monitor social isolation: an example from Rio de Janeiro,

- Brazil, *Geophys. Res. Lett.*, Vol.47, e2020GL088748, 2020.
- 15) Lindsey, N. J., Yuan S., Lellouch, A., Gualtieri, L., Lecocq, T. and Biondi B.: City-scale dark fiber DAS measurements of infrastructure use during the COVID-19 pandemic, *Geophys. Res. Lett.*, Vol.47, e2020GL089931, 2020.
 - 16) Yabe, S., Imanishi, K. and Nishida, K.: Two-step seismic noise reduction caused by COVID-19 induced reduction in social activity in metropolitan Tokyo, Japan, *Earth, Planets and Space*, Vol.72, No.167, 2020.
 - 17) 酒井慎一, 平田直: 首都圏地震観測網の設置計画, 地震研究所彙報, Vol.84, pp. 57–69, 2009.
 - 18) National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience: NIED MeSO-net, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, <https://doi.org/10.17598/NIED.0023>, 2021.
 - 19) Aoi, S., Kimura, T., Ueno, T., Senna, S. and Azuma, H.: Multi-data integration system to capture detailed strong ground motion in the Tokyo metropolitan area, *J. Disaster Res.*, Vol.16, No.4, 684-699, 2021.
 - 20) 川北優子, 酒井慎一: 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, Vol.84, pp. 127–139, 2009.
 - 21) Wessel, P. and Smith, H.F.W: New, improved version of generic mapping tools released, *EOS Trans.*, AGU, Vol.79, No.47, p. 579, 1998.

MICROTREMOR AMPLITUDE DECREASES AT MeSO-net STATIONS IN 2020: OBSERVATION AND CONSIDERATION

Takumi HAYASHIDA, Masayuki YOSHIMI, Haruhiko SUZUKI,
Shinichiro MORI, Takao KAGAWA, Masayuki YAMADA, and Koji Ichii

Due to decreased human activities in 2020 in response to the Novel Coronavirus Disease (COVID-19) pandemic, the amplitude reduction of microtremors (seismic ambient noise) was reported at seismic stations in areas around Tokyo. This study investigated the amplitude decrease at 169 MeSO-net stations in and around Tokyo using continuous seismic data from 2019 to 2020. We compared the changes in microtremor amplitudes over time with the number of people and traffic around each station and the number of students in schools where the seismic stations are installed. We found that (1) the amplitudes of microtremor decreased from March 2020 at stations installed in schools, (2) the changes in the flow of people were small around the most MeSO-net stations before and after the COVID-19 spread, (3) the amplitude reductions during the first state of emergency (April 7 – May 25, 2020) were more significant at stations installed in schools or facilities with restricted usage, (4) the amplitude reductions were significant between 10 and 90 Hz at stations installed in schools with a large number of students. These observations indicate that the amplitude reductions were mainly caused by changes in facility usage where seismic stations were installed.