

人間活動が常時微動に及ぼす影響の検証 ～「ステイホーム」で首都圏は静かになったのか～

国際地震工学センター 主任研究員 林田 拓己

目次

- I はじめに
- II 用いたデータ
 - 1) 連続地震観測記録 (MeSO-net、Hi-net)
 - 2) 観測点周辺の人流データ
 - 3) 観測点の周辺環境に関する情報
 - 4) 断面交通量データ
- III 解析手法
 - 1) フーリエ振幅スペクトルの時空間変化
 - 2) 地震データトラフィック (SDT) のモニタリング
- IV 結果
 - 1) フーリエ振幅スペクトル
 - 2) SDT
 - 3) 観測点の周辺環境が微動に及ぼす影響
- V まとめと課題
 - 謝辞
 - 参考文献

I はじめに

通常、地震観測は地震の検知や地震発生時の地盤・建物等の挙動を測定する目的で行われるが、地震が発生していない時間帯に感度の高い地震計で測定された記録には、周囲の自然現象や人間活動に起因する「ノイズ」が含まれる（測定機器の内部で生じる電磁ノイズは含めない）。地震波を検知する目的において、ノイズの影響は可能な限り低減させることが望ましい。他方で、これらは地震計の周囲で発生する各種現象によって生じる地盤/建物自体の振動と解されることから、主に地震工学分野では常時微動と呼ばれ、「シグナル」の一種として地盤構造の推定や建築・土木構造物のヘルスマニタリングの目的で利活用されている。

常時微動を大別すると、1Hz よりも低周波数（長周期）側のは波浪などの自然現象に由来し、1Hz よりも高周波数（短周期）側のは人間活動に由来するものと解釈されている¹⁻²⁾。1Hz よりも高周波数側の常時微動（以下、本稿では微動と呼ぶ）は地震計周囲の歩行者、付近を走行する車両・鉄道や大型機械の稼働によって励起されると考えられており、英語では「cultural noise」とも呼ばれる³⁾。微動の振幅は夜間よりも昼間、休日よりも平日に大きくなる傾向がある⁴⁻⁵⁾。また、微動は一般的に人口が密集し、交通網が発展した都市圏で大きくなることから、近年では微動を周辺地域の社会経済活動のモニタリング指標とする試みも見られる⁶⁾。

新型コロナウイルスの世界的流行に始まった2020年は、微動の研究において一石を投じた年となった。感染拡大防止のためにロックダウン政策などの強い外出制限が課された世界中の主要都市において、人間活動の大幅な低下に伴い、微動の振幅が低下したことが相次いで報告された⁷⁻¹²⁾。この現象は「Global Quieting」⁷⁾などと称され、微動の振幅と地震計が設置されている地域の交通量/排気ガス排出量の関連性などについて世界中の多くの研究者によって報告がなされた。

日本国内においても、小中高校を対象とした全国一斉臨時休業(2020年2月28日～)、緊急事態宣言の発令(第1回:首都圏では2020年4月7日～5月31日)によって人間活動が低下し、微動の振幅が低下したことが話題となった。Yabeら¹³⁾は2018年1月～2020年6月の期間に首都圏の13地点で観測された微動記録を収集し、特定の周波数帯域における微動の振幅と周囲の人流の増減に対応関係があることを指摘した。Nimiyaら¹⁴⁾は対象とするMeSO-net観測点を101観測点、期間を2017年4月～2021年3月に拡大し、2回目の緊急事態宣言発出時においても人々の動きに対応した微動の変化があったことを指摘している。

一方、「微動レベルが低下しなかった」観測点に関して詳細に言及した論文は国内外を含めほとんど見られない。しかも、多くの先行研究では、微動レベルの低下を確認するために着目した地震観測点数が限られていたり、交通量や人流の変化と人間活動の変化とを定量的に紐付けて論じていないなど、本現象に関しては未だ不明な点も残されている。もし、コロナ禍による人々の生活様式の変化が微動の振幅の低下を招くのであれば、微動研究においてはシグナルの低下/消失を意味する。地震計によって測定される微動が周囲のどのような人間活動がどの程度寄与するによって構成されているのかを把握することは、微動探査はもとより新規地震観測点設置時におけるノイズの評価の上でも重要であるため、2020年に発生したこの現象の本質を理解することは大きな意味がある。

東京都23区および周辺自治体を含む首都圏は、世界でも有数の人口を有する都市圏である。当該エリアでは近年、人流や車両交通量などの人間活動が細かくモニタリングされている。一方で、首都圏には多数の地震計も設置されており、世界に類を見ない程の高密度な連続観測が実施されている。本発表では、人間活動の様式が大きく変化した2020年に測定された微動の記録を詳細に分析することで、何が微動の消長に寄与したのかを論じ、人間活動がどの程度微動に影響を与えるのかについて検証する。

II 用いたデータ

1) 連続地震観測記録 (MeSO-net、Hi-net)

本研究では、防災科学技術研究所によって運用されている首都圏地震観測網 MeSO-net (設置・展開は東京大学地震研究所による¹⁵⁾) ならびに高感度地震観測網 Hi-net¹⁶⁾ の記録を使用した。MeSO-net は首都圏を中心とした約300地点に展開されている地震観測網であり、各地点の地中約20mの深さにサーボ型加速度計が設置されている¹⁷⁻¹⁸⁾。一方、Hi-net は微小地震の観測を目的としており(同研究所の強震観測網 KiK-net 地中観測点と併設)、首都圏では1,900m以深の地中に速度型地震計が設置されている。本研究では2018年1月～2021年12月の期間を対象として、MeSO-net 観測点169点、Hi-net 観測点6点の連続波形記録を取得した(対象とした観測点を図1に示す)。

2) 観測点周辺の人流データ

人流データは、特定のエリアにおける滞留人口を時間帯毎に示した数値情報であり、スマートフォン等の端末位置情報を基に集計される。本研究では、微動と人流との位置関係をより広域かつ多地点にわたって議論するため、(株)NTTドコモが準リアルタイムで逐次公開している人流情報(500mメッシュ)ならびに国土交通省によって公開されている人流オープンデータ(1kmメッシュ)を使用した。前者では、人流量がWebブラウザの地図上に10段階に色分けされて表示される(25時間前～1時間前の範囲で1時間単位)。後者では、月毎のメッシュ毎の人流の平均値が平日/昼間、日中/夜/深夜の3つの時間帯に分けて集計されている。

3) 断面交通量データ

全国の一般道路および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)が設置されている。一般道の断面交通量は警察庁(各都道府県警)によって、高速道路のものは管轄する高速道路会社によって集計されている(一般道については日本道路交通情報センター、高速道路については国土交通省が公開)。本研究では首都圏2,898地点において計測された交通量データを入手した。

4) 観測点の周辺環境に関する情報

MeSO-net 観測点の多くは小中学校の敷地内に設置されている。日本における微動の低下は、休校措置の開始と連動していることが報告されている¹³⁾ ことから、MeSO-net の記録には学校活動や学校の規模に対応した微動の変動が反映されている可能性が高い。そこで、対象とする MeSO-net 観測点のうち、小中学校の敷地内に位置する150観測点について、各学校の令和2年度の

在籍児童・生徒数をはじめとする関連情報を収集した。公園や公

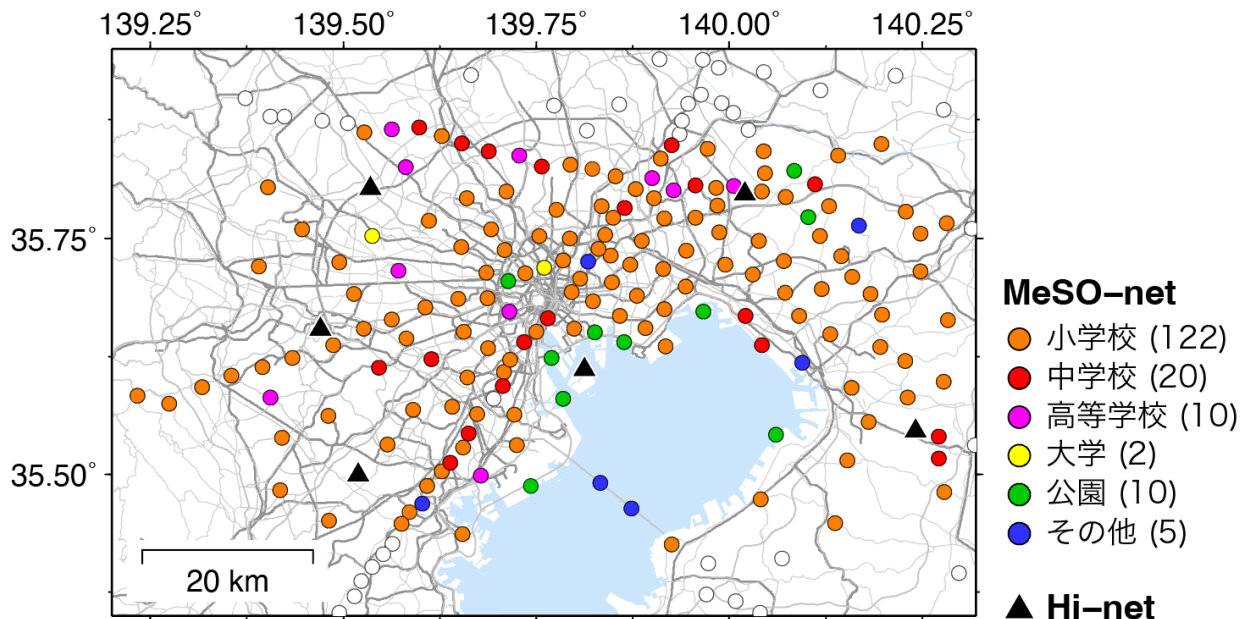


図1 本観測点で使用した防災科学技術研究所 MeSO-net 観測点 (丸) および Hi-net 観測点 (三角)

共施設に設置されている観測点については、コロナ禍における利用状況を調べた。また、各地点の地震計の設置場所と周辺建物との位置関係も、航空写真およびストリートビューを用いて確認した。

III 解析手法

取得した MeSO-net および Hi-net 観測記録に対して、以下の処理を施した。

1) フーリエ振幅スペクトルの時空間変化

取得した微動波形記録の上下動成分を対象として、1時間ごとのフーリエ振幅スペクトル (20.48 秒、50%ずつずらしながら導出) を求めることで 2019 年 1 月～2020 年 12 月の 2 年間分のランニングスペクトルを観測点毎に求めた。なお、データ処理の際には地震や突発的なシグナル、擾乱等による影響は除去していない。

2) 地震データトラフィック (SDT) のモニタリング

MeSO-net および Hi-net 観測記録は、WIN32 形式というデータフォーマットで提供されている。WIN32 形式では、波形データの圧縮率が波形の振幅に応じて変化するという特性があることから、取得した波形データのファイル容量と微動の振幅には相関関係がある¹⁹⁾。この特徴を利用することで、ダウンロードした波形データの容量を把握するだけで、波形解析を行うことなく微

動の時間変化を論じることが可能になると期待される。本研究では、これを「地震データトラフィック (SDT)」と呼ぶ。

IV 結果

1) フーリエ振幅スペクトル

図 2 に、MeSO-net 観測点 6 地点 (設置場所は図 1 参照) で求めたランニングスペクトルを示す。各観測点で得られたスペクトルは、1 日単位で周期的な増減を繰り返しており、そのパターンは年間を通して一定である。多くの観測点では、ゴールデンウィーク期間中やお盆休み期間に微動の振幅スペクトルが広い周波数帯域で低下する。スペクトルの振幅や形状は地点によって異なり、交通量の多い高速道路や地下鉄の線路までの距離が近い観測点 (例えば E.GNZM : 中央区銀座) では、広い周波数帯域で高い振幅を示している。一方、周囲に建物が少ない郊外の観測点 (例えば E.SNJM : 千葉県茂原市) では振幅が小さい。

対象とした全地震観測点のスペクトルの特徴を整理したところ、概ね以下の特徴が見られた。

(1) 休校が始まった時期に高周波数成分 (20-60Hz) の微動の振幅低下が見られるのは、地震計が学校に設置されている MeSO-net 観測点の一部である。

(2) 地震計が学校に設置されている観測点の多くでは、第 1 回緊急事態宣言期間中に広い周波数帯域で振幅が低下している。ただし、

振幅の低下量は殆どの観測点において半減までには及んでいない。

(3) 地震計が学校に設置されている観測点のうち、一部の観測点で

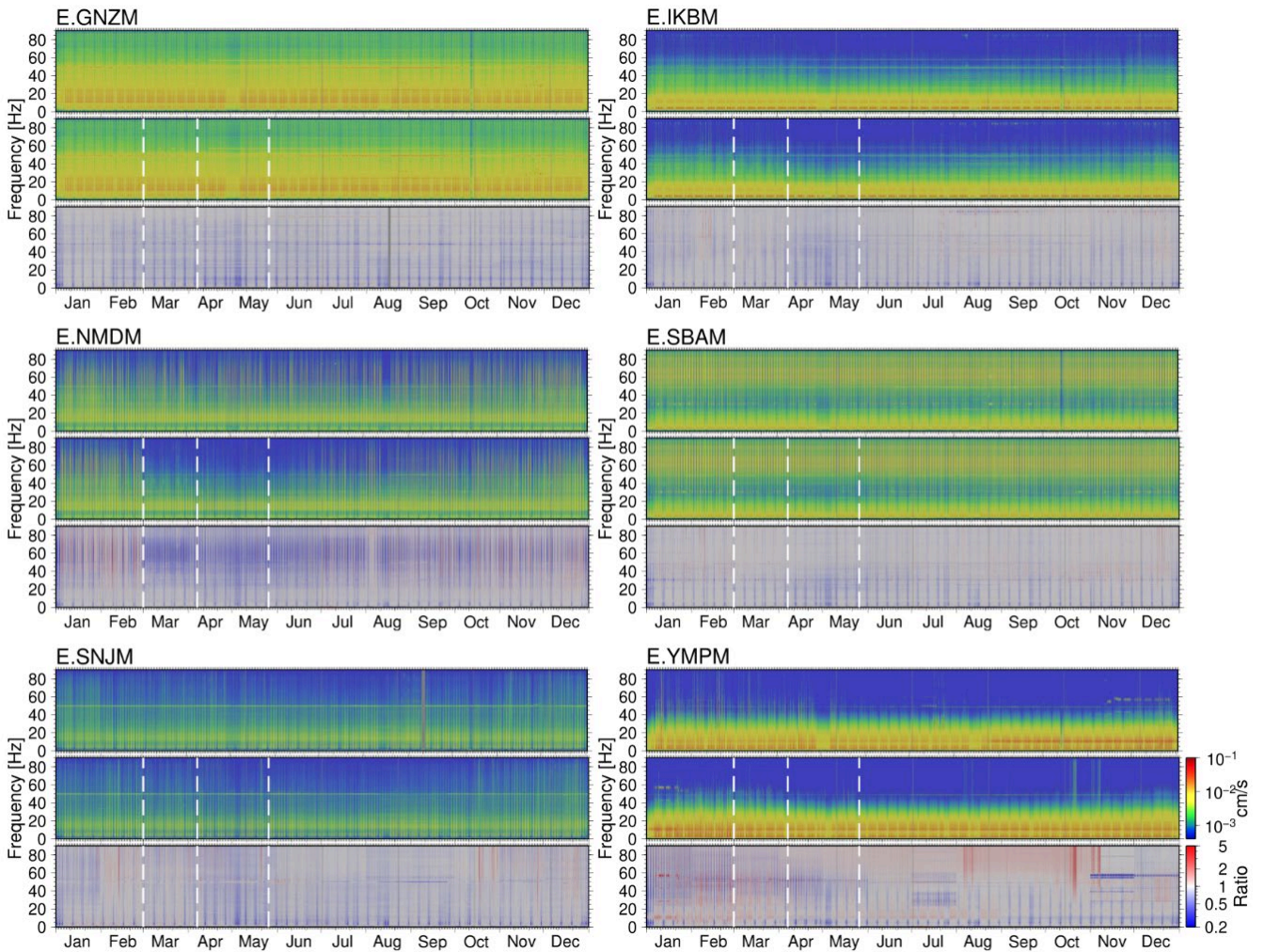


図2 MeSO-net 観測点のランニングスペクトル (2019年1月~2020年12月) および2020年/2019年比

は2020年以前でも2~3月上旬以降に高周波数帯域(40~60Hz)で僅かに振幅が低下するという季節変動が見られる(例えばE.IKBM:豊島区池袋、E.NMDM:千葉県船橋市、E.SNJM)。

(4) 地震計が校舎から離れた場所(>50m)に設置されている観測点の多く(例えばE.SNJM)では、3月の臨時休校に伴う振幅の低下が顕著ではない。

(5) 学校以外に地震計が設置されている観測点では、2020年の微動の低下が不明瞭である。一方で、2020年3月以降に行事の中止や利用制限等の対策がなされた施設(E.YMPM:江東区夢の島)では、20Hz以上の微動レベルが低下している。

(6) 地中深くに設置されているHi-net観測点においても、人間活動の影響を受けた微動の日周変動が確認され、広域の人間活動が反映されていると考えられる。一方で、Hi-netではコロナ禍に対

応した振幅の減少が捉えられていない。

図3には、MeSO-net観測点の周辺で2020年1月および5月に観測された平日10時台の人流を示す。定常的な微動の振幅の大小は周囲の人流とも概ね相関がある一方、緊急事態宣言期間中に周囲の人流が半減したような観測点は都心の一部を除いて殆ど存在しない。また、図4には、MeSO-net全観測点に対して求めた、2019年と2020年の平日10時台の振幅スペクトルの比を示す(1月、5月、7月)。1月は一部の観測点を除き、前年と比較して大きな変化が見られないが、5月には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。特に学校に設置された観測点では、低下の度合いがその他の種別の観測点に比べて顕著である。更に興味深いことに、7月になると、学校の観測点の微動の振幅が昨年の値を上回るという現象も見られた。

長期の休校措置による学習の遅れを取り戻すため、通常であれば

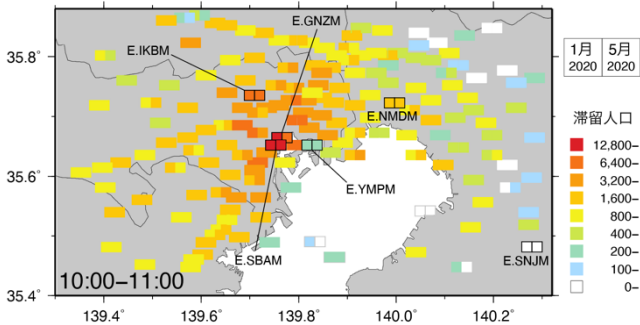


図3 2020年1月と5月の平日10時台の人流の比較

を反映しているものと考えられる。これらの特徴を勘案すると、MeSO-net観測点における微動の低下には、広域の人間活動の変化ではなく、観測点が設置されている施設の使用状況の変化が色濃く反映されている可能性が考えられる。

2) SDT

図5には、2018年1月～2021年12月の間にMeSO-net169観測点の記録から導出したSDTを微動の振幅の指標と見做し

7月下旬に開始する夏季休暇を設けなかった学校が多かったことで、1時間毎の時間変化を示している。SDTは2020年の休校期間中に目立って低下している。SDTも振幅スペクトルと同様、2020年以外であっても1～2月に高く、3月以降に低下する傾向が見られる。2021年には首都圏で長期間に渡る緊急事態宣言(3回)およびまん延防止等重点措置(2回)が取られていたが、目立ったSDTの変化は見られなかった。

図6には、SDTを観測点の設置環境別に分類(a: MeSO-net全点、b: 観測点と校舎が50m以上離れている27観測点、c: 学校以外の10観測点、d: Hi-net観測点)して表示している。2020年3月以降にSDTが低下する傾向は学校に関連した観測点において顕著であり、校舎と観測点との距離が離れている場合には、3月のSDTの低下が不明瞭となる。また、Hi-net観測点ではコロナ禍に対応したSDTの減少は確認されない。これらの見解はフーリエスペクトルで得られたものと矛盾しておらず、膨大なスペクトル解析を行わなくとも、ファイル容量のみを追跡しただけで微動の日/週/年変化を簡易的に追うことが可能であることを確認した。

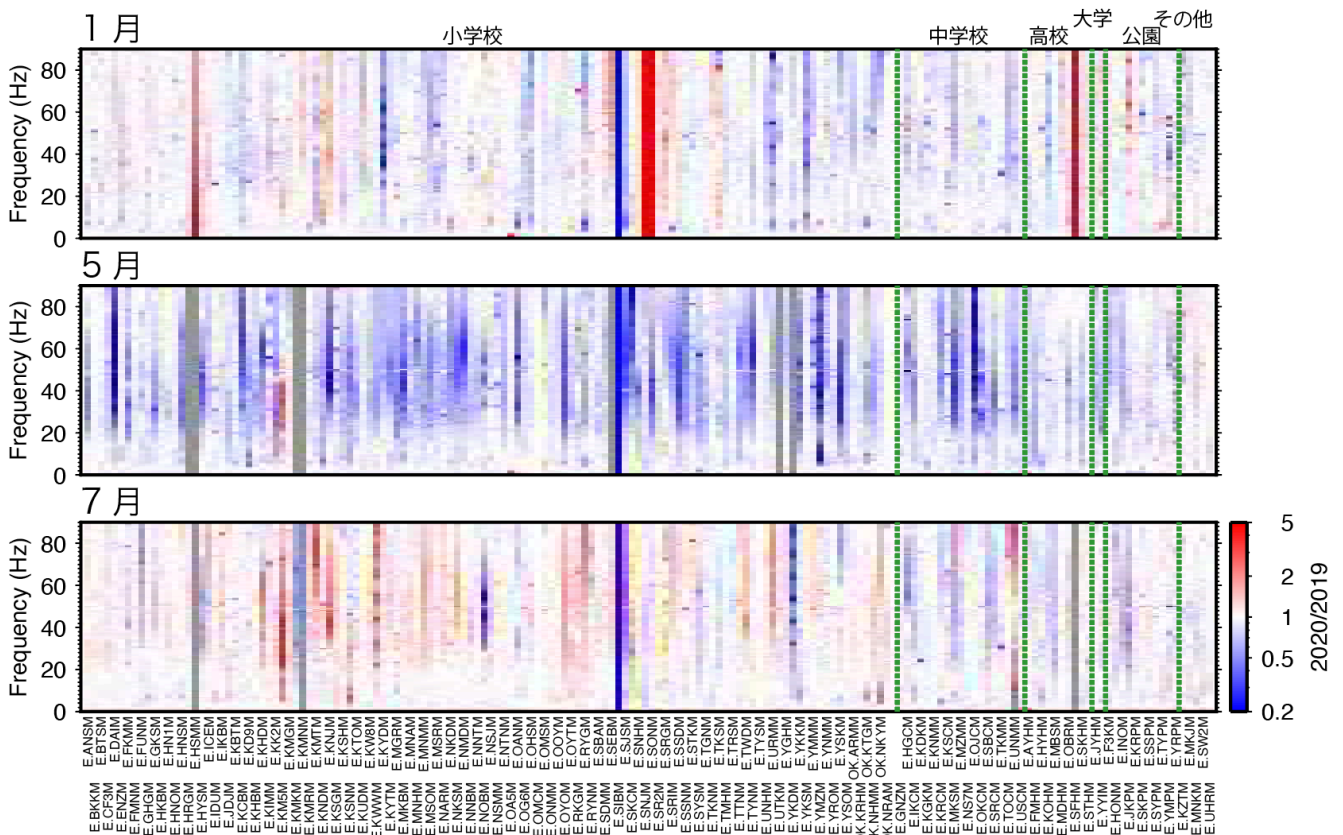


図4 MeSO-net観測点の平日10時台のフーリエスペクトルの平均値の比(2020年/2019年)

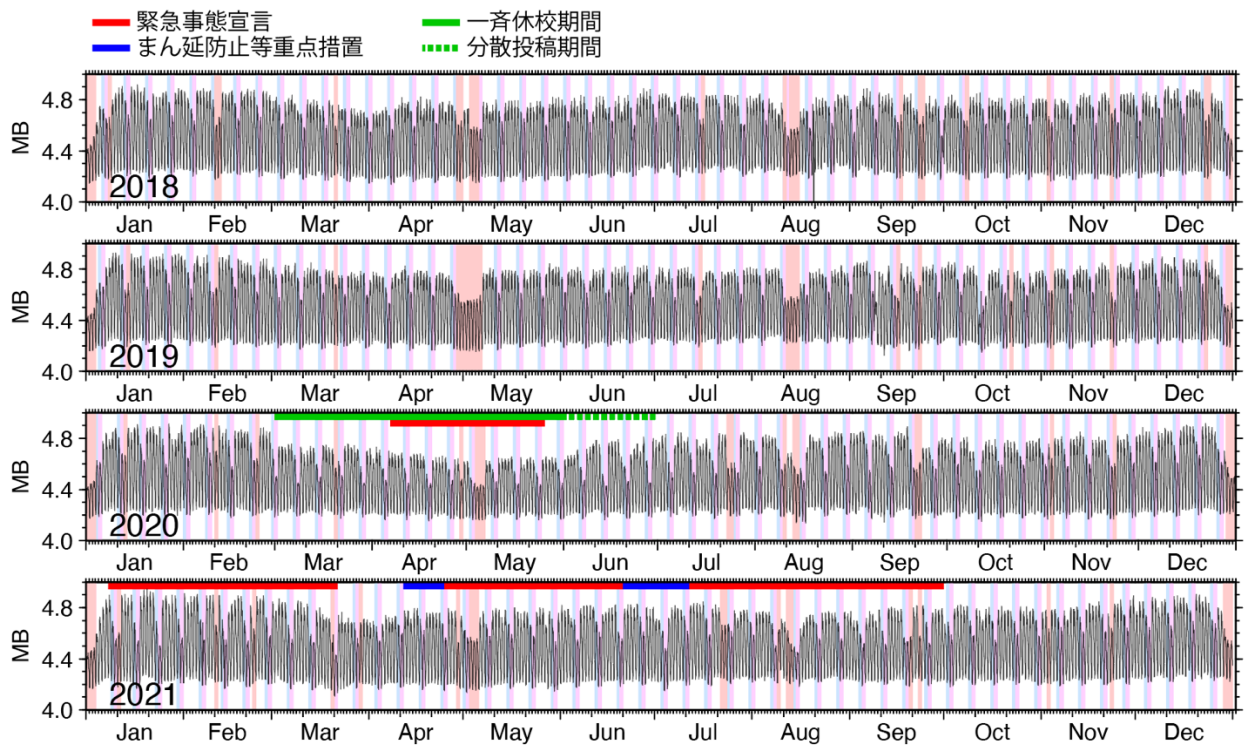


図5 1観測点あたりの1時間のSDTの時間変化(2018年1月~2021年12月)

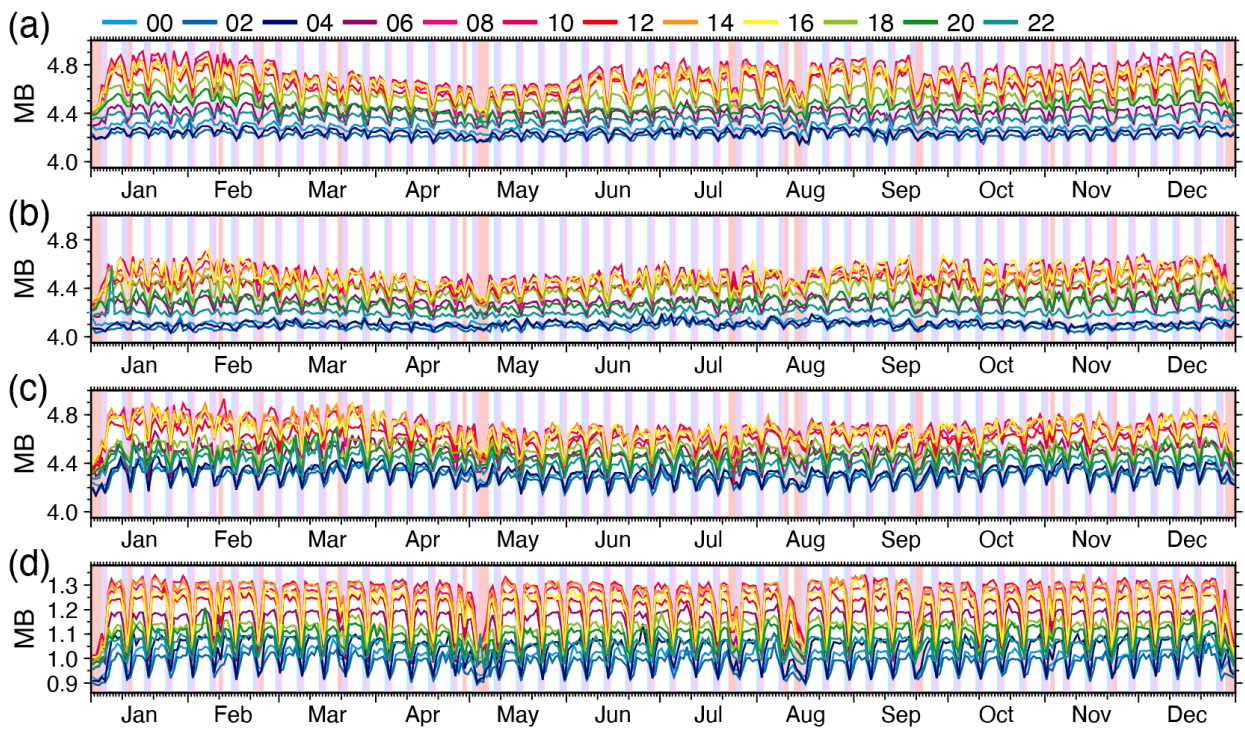


図6 観測点の設置環境毎に分類した2020年のSDTの時間変化

(a. MeSO-net全観測点、b. 校舎と地震計が50m以上離れたMeSO-net観測点27点
c. 学校以外に地震計が設置されたMeSO-net観測点10点、d. Hi-net観測点)

図7には、対象エリア全体における各点のSDT、人流および交通量の、2019年と2020年の比較（1月、5月）を示す。コロナ禍前の1月にはSDT、人流、交通量ともに前年度との目立った違いが見られないが、第1回緊急事態宣言下の5月には、多くの地点でSDTが低下している。一方、人流や交通量は東京都心の一部エリアのみで大幅に低下しているだけであり、広域的な減少は見られない。人流に至っては、在宅勤務の普及等に伴い、郊外エリアで上昇するという現象も見られる。図8には、MeSO-net観測点単点におけるSDTの変化および観測点近傍で測定された交通量を示すが、コロナ禍にSDTが低下する一方で、周囲の交通量は大きく変化していないことがわかる。交通による振動は広域のバックグラウンドとなる微動場を構成する主要な要素であると考えられるが、SDTの短期的な減少には交通量は寄与しておらず、振幅を低減させたのは観測点周囲に起源を持つその他の要因である可能性が高いことを示唆している。

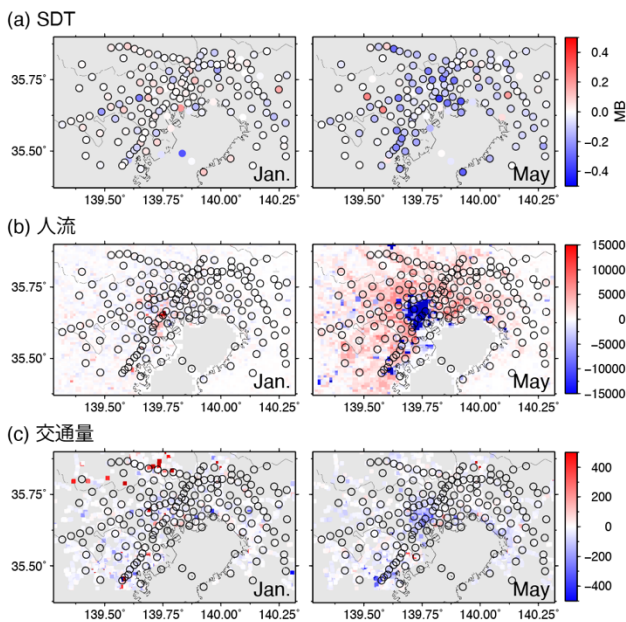


図7 2019年と2020年のSDT/人流/交通量の増減（平日昼）

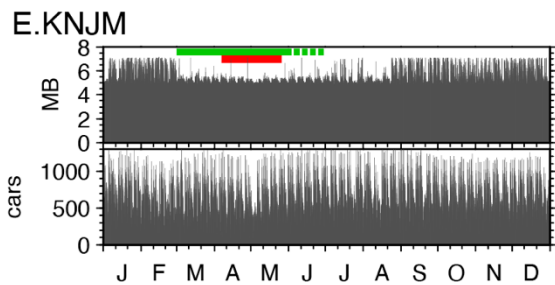


図8 2020年のSDT（上段）と周辺交通量（下段）の比較例

3) 観測点の周辺環境が微動に及ぼす影響

学校の活動が微動振幅の低下にもたらす影響を検討するため、観測点の設置環境に応じた振幅スペクトルの低下量についても検討した。図9では、観測点を8つのグループに分類し、各グループにおける2020年/2019年のスペクトル比の中央値を示している。MeSO-net全観測点の結果（図9a）からは、2020年3月に20Hz以上の微動の振幅が低下し、4~5月には広い帯域で更に低下、6月には前年と同等のレベルに回復、7月には20Hz以上で前年を上回る傾向が見られる。類似した傾向は、学校に地震計が設置されている観測点のグループ（図9c）でも見られる。一方、Hi-net（図9b）や学校以外に地震計が設置されている観測点のグループ（図9d）では、振幅スペクトルの低下が見られない。

さらに、学校観測点を在校生数に応じてグループ分けすると（図9e-g）、在校生数が多い学校ほど緊急事態宣言期間中の微動の振幅低下が大きい傾向が見られる。さらに、学校観測点でも地震計が校舎から離れて設置されているグループ（図9h）では、微動レベルの低下量が小さい。20Hz以上の微動振幅レベルの変動は学校の規模に影響されていることが窺える。

20Hz以上の微動の消長を支配する要因は現時点で不明である。一方、一般的に人間の可聴域の下限周波数が20Hz前後であることから、20-100Hzの帯域で生じる音は「低周波音」と呼ばれる²⁰⁾。これらの低周波音を発生する主要な要因として、水流、自動車や航空機のエンジン音、機械の騒音などが挙げられる²¹⁾。20Hz以上の微動の振幅低下が見られた観測点の多くが学校に位置していることに鑑みると、学校施設特有の低周波音と微動に何らかの関連性があると推察される。

東京都内ではほぼ全ての公立学校の普通教室に空調が設置されている²²⁾ことから、休校期間中に多くの教室の空調を停止したことで、空調室外機のコンプレッサーあるいはボイラーから発生される低周波音が低減し、20Hz以上の微動の低下に寄与した可能性も考えられる。エアコンの設置数が多い学校、すなわち児童・生徒数が多い学校ほど、その影響が顕著になるとも考えられる。仮に空調によって微動の消長が支配されているのであれば、校舎から離れた観測点で顕著な微動の低下が確認されない理由を説明することが出来る。夏場よりも冬場の方が学校設置のMeSO-net観測点の微動の振幅が大きくなるのは、室内外の気温差が大きくなることで、室外機の動作音が大きくなることを反映しているのかも知れない。今後、エアコンが設置されている施設の敷地内で微動および低周波音を測定する等の実証実験が必要であろう。

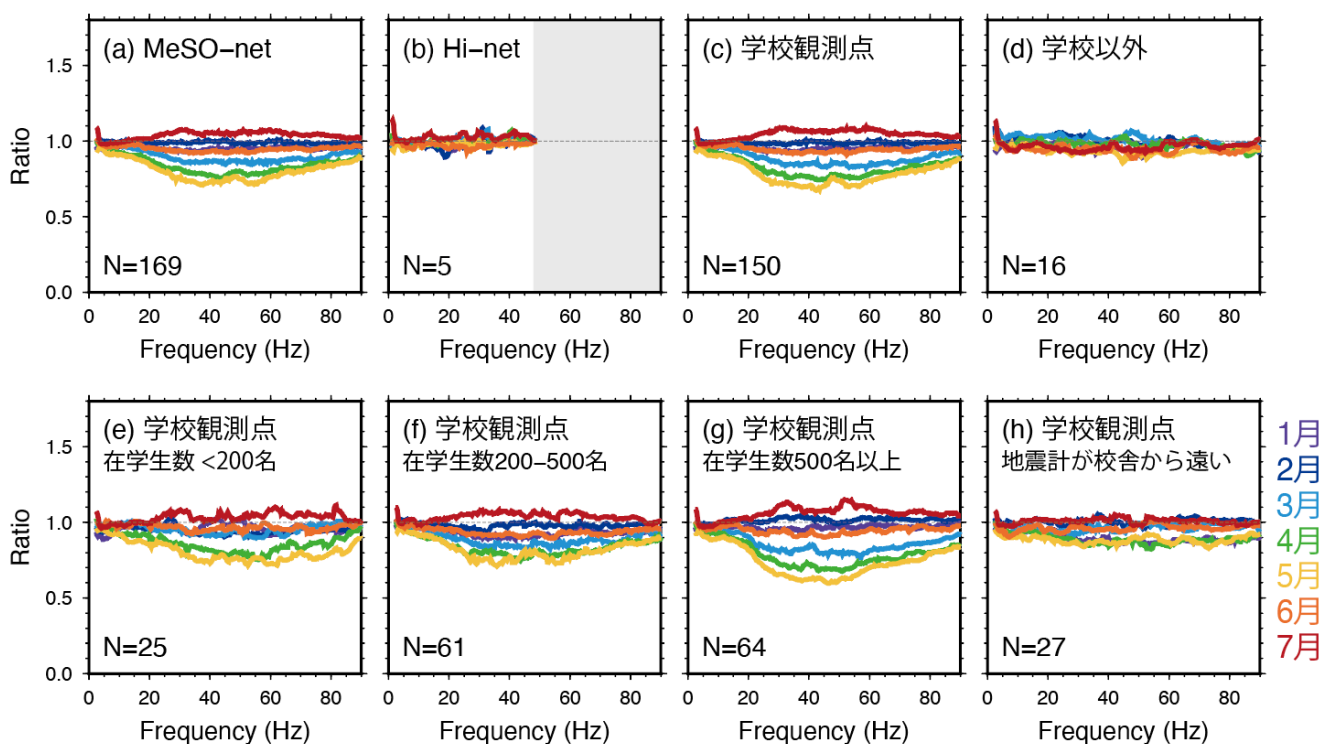


図9 2019年と2020年の1月～7月の各月における平日10時台のフーリエスペクトル比

V まとめと課題

首都圏で観測された連続地震波形記録を用いて、微動のスペクトルの経時変化を調べた。全国一斉休校が始まった2020年3月以降、学校の校舎近くに地震計が設置されたMeSO-net観測点では20Hz以上の高周波数帯域で微動の振幅低下が見られた。また、第1回緊急事態宣言期間中には、これらの観測点を中心に更なる振幅低下が10-90Hzの広い周波数帯域で見られた。これらの微動レベルの低下は周囲の交通量および人流の大小に関わらず確認されることから、学校活動の変化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と考えられる。微動レベルの低下の度合いは児童・生徒数が多い学校において顕著であり、学校以外に設置されたMeSO-net観測点やHi-net観測点では確認されなかったことから、2020年に首都圏で観測された微動レベルの低下は、観測点が設置されている施設の利用状況変化に起因した局所的な現象である可能性が示唆される。

地震工学分野において対象とする地震動および微動の周波数帯域が0.1-20Hz程度であることに鑑みると、都市封鎖のような強行措置に及ばなかった日本国内において、緊急事態宣言中の社会経済活動の変化が微動探査などの研究に及ぼす影響はほとんど無いと考えられる（大型台風通過時など広域の交通が停止した状況になって、首都圏の微動は初めて半減することを確認してい

る）。微動の振幅が低下したとされる他国の地震観測点においても、地震計が設置されている観測所/建物の当時の利用状況など、周辺環境の影響を適切に把握する必要があることも強調したい。

なお、本研究で実施した手法および結果の詳細については、著者らが取りまとめた発表論文²³⁻²⁴⁾に掲載されているため、ご一読いただければ幸いです。

謝辞

本研究では、防災科学技術研究所のMeSO-netおよびHi-net観測記録を使用した。人流データは国土交通省ならびに(株)NTTドコモの公開情報を利用した。断面交通量は国土交通省ならびに警察庁が取りまとめたものを利用した。小中学校の在学人数に関する情報は(株)ガッコムによって取りまとめられたものを使用した。本研究は、発表者の他、微動観測・解析に関する知見を有する研究者（吉見雅行：産業技術総合研究所、鈴木晴彦：応用地質株式会社、森伸一郎：愛媛大学、香川敬生：鳥取大学、山田雅行：ニュージェック株式会社、一井康二：関西大学）の協力の下で実施された。本議論の機会をご提供いただいた研究会「微動の会（会長：防災科学技術研究所 藤原広行博士）」関係者に、この場を借りて感謝の意を表す。

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) Groos, J.C. and Ritter, J.R.R.: Time domain classification and quantification of seismic noise in an urban environment, *Geophys. J. Int.*, Vol.179, 1213–1231, 2009.
- 5) Yoshimi, M., Hayashida, T. and Sugiyama, T.: Microtremor array survey in active fold area Niigata Japan – using SPAC and V-method, *Proc. 15th World Conf. Earthq. Eng.*, Paper No. 2987, 2012.
- 6) Hong, T.-K., Lee, J., Lee, G., Lee, J. and Park, S.: Correlation between Ambient Seismic Noises and Economic Growth, *Seismol. Soc. Lett.*, Vol.91, 2343–2354, 2020.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) Piccinini, D., Giunchi, C., Olivieri, M., Frattini, F., Giovanni, M. D., Prodi, G. and Chiarabba, C.: COVID - 19 lockdown and its latency in Northern Italy: seismic evidence and socio - economic interpretation, *Scientific Reports*, Vol.10, No.16487, 2020.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) Nimiya, H., Ikeda, T. and Tsuji, T.: Temporal changes in anthropogenic seismic noise levels associated with economic and leisure activities during the COVID-19 pandemic, *Scientific Reports*, Vol.11, 20439.
- 15) 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、57–69、2009.
- 16) 防災科学技術研究所 高感度地震観測網 (Hi-net) <https://doi.org/10.17598/NIED.0003>
- 17) 防災科学技術研究所 首都圏地震観測網 (MeSO-net) <https://doi.org/10.17598/NIED.0023>
- 18) 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.
- 19) 岡田義光、小原一成：関東・東海地域の高感度地震観測点における地動ノイズの特徴、*防災科学技術研究所研究報告*、Vol. 60、15–39、2000.
- 20) 町田信夫：小特集「低周波音に関する最近の話題」について、*日本音響学会誌*、Vol.70、No.11、591–592、2014.
- 21) 環境省水・大気環境局大気生活環境室：よくわかる低周波音、1–25、環境省、2019.
- 22) 文部科学省大臣官房文教施設企画・防災部施設助成 課:公立学校施設の空調(冷房)設備の設置状況について(令和2年9月30日報道発表資料)、1–9、文部科学省、2020.
- 23) 林田拓己、吉見雅行、鈴木晴彦、森伸一郎、香川敬生、山田雅行、一井康二：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、*土木学会論文集A1(構造・地震工学)*、Vol.78、No.41、I_624–I_635、2022.
- 24) Hayashida, T., Yoshimi, M., Suzuki, H., Mori, S., Kagawa, T., Ichii, K. and Yamada, M.: Did seismic noise in Tokyo truly decrease during the COVID-19 state of emergency? Tracking the effect of human activity on MeSO-net noise using seismic data traffic, *Seismol. Soc. Lett.* (in review).