

COVID-19に伴う社会活動の変化が 地動ノイズレベルに与える影響

—大阪平野北部地域における観測事例—

Seismic Noise Reduction Caused by COVID-19 Induced Reduction
in Social Activities: A Case Study in Northern Osaka Area, Japan

関西大学 社会安全学部

植木 暖人

Faculty of Societal Safety Sciences,
Kansai University

Haruto UEKI

関西大学 社会安全学部

林 能成

Faculty of Societal Safety Sciences,
Kansai University

Yoshinari HAYASHI

京都大学 防災研究所

飯尾 能久

Disaster Prevention research Institute,
Kyoto University

Yoshihisa IIO

SUMMARY

In this paper, we report an analysis of the seismic noise during such an induced social activity reduction in Northern Osaka Area, Japan. Using seismic data obtained from 17 stations installed by DPRI, Kyoto Univ., a gradual seismic noise reduction was observed. The reduction of seismic noise occurred at the end of March to the beginning of April 2020, this timing corresponds to the state of emergency was declared for the Osaka and around area by the government. Since then, social activities of traffic and industrial activities were severely reduced. Such large-scale changes in social activity affect the seismic noise level in the 10–15 Hz band. Detected seismic noise level change of all stations were correlated to averaged traffic intensity within a 1km radius of every stations in weak.

Key words

Seismic noise, COVID-19, State of Emergency, Northern Osaka

1. はじめに

人間が関係する多様な活動によって引き起こされた振動は高周波地震動として地中を伝播して、地震計に記録されている。地下の断層運動や火山活動などに起因する自然地震を観測対象にする場合、このような振動はノイズとなり通

常は波形解析の対象とならない。だが、地震はいつ起こるかわからないため、自然地震の記録がないと思われる時間であっても、波形は連続して収録されデータを保存している場合が多い。

2020年以降、新型コロナウイルス感染症が世界中に広まっており、その影響は2年以上継続している。感染が拡大した国や地域では、感染

拡大がおさまるまでの一定期間、人の移動や企業活動を著しく制限して、社会活動を規制するロックダウン措置をとってきた。それにより、世界の様々な場所に設置された地震計において、平常時の振動レベルの急低下が観測されている (Lecocq et al., 2020)。また、ロックダウン解除後の回復過程が地域によって異なることも報告されている (Roy et al., 2021)。

日本においても、新型コロナウイルス感染症の感染者増減を繰り返し、緊急事態宣言やまん延防止等重点措置を発出して社会活動に一定の制限をかけてきた。しかし、その制限の内容は、諸外国でとられたロックダウン措置と比較すると緩やかなものであった。このような緩やかな制限によって、振動レベルの時空間変化にどのような影響を及ぼすかについては、いくつかの研究がなされているが明確な結論は得られていない (Yabe et al., 2020 など)。そこで、我々は日本の大阪平野北部地域という比較的狭い範囲に稠密に展開された地震計のデータを解析してノイズレベルの変動を求め、振動記録という客観性の高いデータにもとづいて、その時空間的な特徴と社会的要因との関係を調査した。

2. COVID-19 感染拡大によって観測された地動ノイズレベル変化の特徴

COVID-19 の世界的感染拡大に伴う社会活動の変化を反映した地動ノイズレベルの変化が2020年以降、世界各地で観測されている。

Lecocq et al. (2020)^[1]では、世界主要都市の地震計データを網羅的に解析し、4Hzから14Hzまでの帯域の地動ノイズレベルが地球規模で低下したことを明らかにした。特にロックダウン措置をとった欧米諸国などにおいて、措置が適用された日を境に地動ノイズレベルが急低下することを見出した。

平常時の地動ノイズの大きさは、観測点にご

く近い周辺環境によって大きく異なることも少なくない。そこで、狭い地域に稠密に設置された地震観測ネットワークのデータを詳細に調べて、地域の社会環境の特徴との対応を調べる研究も行われている。

Cannata et al. (2021)^[2]は、イタリアのシチリア島東部に展開された18観測点の波形データに10~40Hzの帯域のバンドパスフィルタをかけて解析し、ロックダウンの実施直後にほぼ全ての観測点でノイズレベルが同時に低下したことを見出した。さらに、Google、Facebook、Appleが共有している携帯電話の位置データや船舶交通データが、地動ノイズレベルの時間的なパターンと類似性があることを見出したが、地動ノイズレベルとの相関係数には0.25から0.85という幅があり単純な関係にはならないことを指摘した。

Roy et al. (2021)^[3]は、インドのグジャラート州に展開されたISR地震観測網の12点の広帯域地震計による連続地震記録を用いて、ロックダウン前とロックダウン中のパワースペクトル密度(PSD)を求め、様々な帯域における非地震時のノイズ変化を調べた。この研究では、都市部において昼間の時間帯に5-15Hzの帯域において地動ノイズレベルの大幅な低下が観測され、特に工場や高速道路の周辺で顕著であることが指摘されている。また、この研究の対象地域であるインド・グジャラート州においては、ロックダウン措置の期間にノイズレベルが顕著に低下したことが観測されたが、すべての観測点においてロックダウン措置の終了後に元のレベルに戻ったことが確認された。

日本国内でも地震計を用いたCOVID-19に関係した地動ノイズレベル変動の研究が行われているが、緊急事態宣言直後に必ずしも振動レベルが低下しない点で諸外国とは異なった結果が得られている。Yabe et al. (2020)は東京大学

地震研究所が関東地方に展開した首都圏地震観測網（MeSO-net）の18観測点の記録を解析し、2020年3月と4月の2段階の振動レベル低下が見られた観測点と、4月のみ1回だけ振動レベル低下が見られた観測点があることを見出した^[4]。林・酒井（2021）は大学構内に設置した地震計のデータを解析し、地動ノイズレベルの時間変化に対応するのは、地域全体に適用される緊急事態宣言よりも、対面授業の停止といった大学独自の対応措置であったことを指摘している^[5]。これは地震計で記録されている地動ノイズの主な発生源が、地震計に極めて近い大学構内に限定されていたことを示唆している。

3. 調査の方法

本研究で解析に使用した地震波形は、京都大学などが2018年大阪府北部の地震の余震観測の

ために展開した観測網で得られたものである^[6]。この観測網は大阪府、京都府、兵庫県の3府県にまたがる都市圏郊外に観測点が展開されており、本研究の目的である社会活動の変化が地動ノイズレベルにあたる影響を調べるのに適している。各観測点には固有周波数2Hzの3成分速度型センサーが設置されているが、本研究では上下動成分のみを使用した。これは林・酒井（2021）によって、地動ノイズレベル変動の傾向は水平動成分と上下動成分で差がなく、本解析に使用するデータの予備解析においても同じように違いが見られなかったためである。解析に使用した地震波形のサンプリング周波数は250Hzである。現代の標準的な地震観測システムではサンプリング周波数が100Hzの場合が多いが、本解析で使用したものは極微小地震の震源を精密に決定することが目的であるため高い

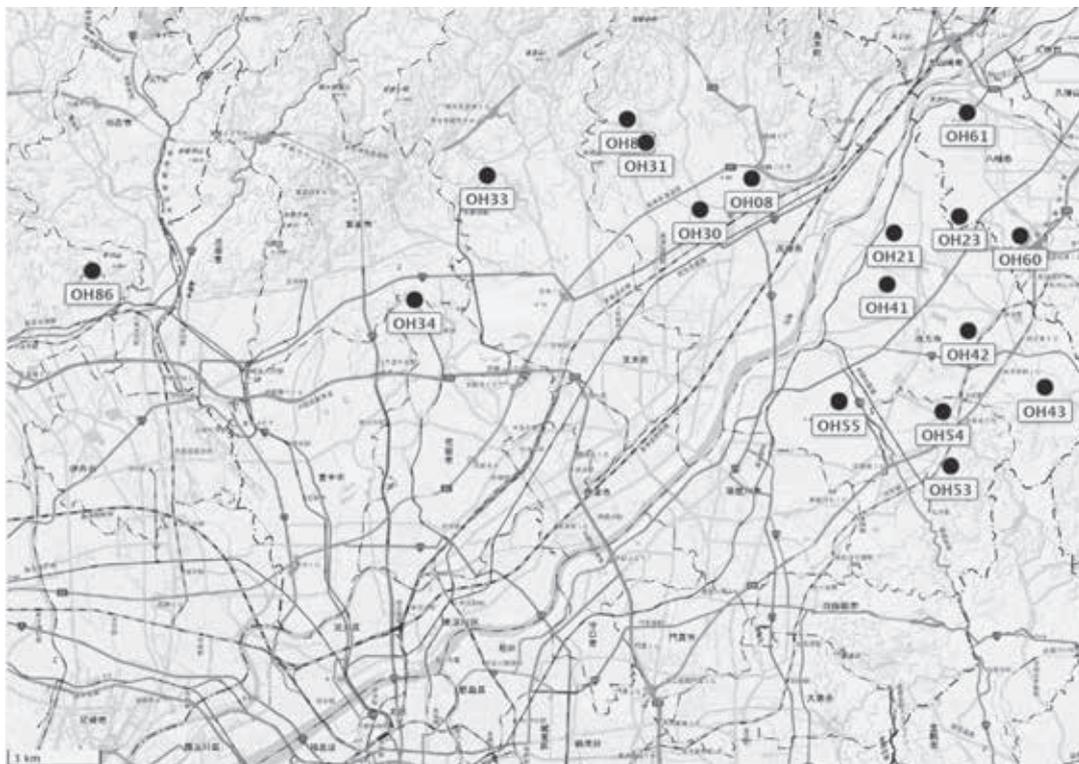


図1 観測点配置図
（国土地理院・地理院地図を用いて作成）

サンプリング周波数成分となっている。

データ解析を実施した期間は、COVID-19による1回目の緊急事態宣言（State of Emergency, 以降SOEと記述する）の発出を含む2020年1月1日から6月30日までの6ヶ月間である。この期間に機器の不具合等による欠測が少なかった17観測点を解析対象とした（図1）。なお、オフラインの臨時観測点であるため、5月末頃からメモリーカードの容量上限に達した観測点が増加して欠測が増えるため主な解析は5月末までの期間で実施した。また、6月以降の社会活動が回復する期間についてはデータが得られていないため解析は行っていない。

地動ノイズレベルの評価は以下の手順で行った。まず、生の波形データ（図2）に10Hzから15Hzのバンドパスフィルタをかけ、1分単位で二乗平均平方振幅（route mean square amplitude, 以降RMS振幅と記述する）を計算して1時間ごとの平均を求めた（図3）。

さらに、1日のサイクルの変化を除くため、RMS振幅の日中央値を昼（7時から19時）と未明（0時から6時）の2つの時間帯毎に求め、この値を時間変化の指標に用いた（図4）。そして、週サイクルの変化を除いて、長期的なノイズレベルの変化を明瞭にするため7日間の単純移動平均（simple moving average, 以降

SMAと記述する)⁽¹⁾を計算した。（図5）。

$$SMA(X) = \frac{1}{7} \{ x_i + \sum_{j=1}^3 (x_{i-j} + x_{i+j}) \} \dots (1)$$

緊急事態宣言による影響の定量化はCannata

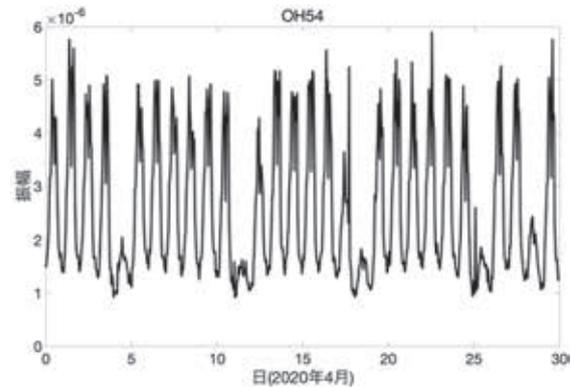


図3 RMS振幅1時間平均処理後の波形

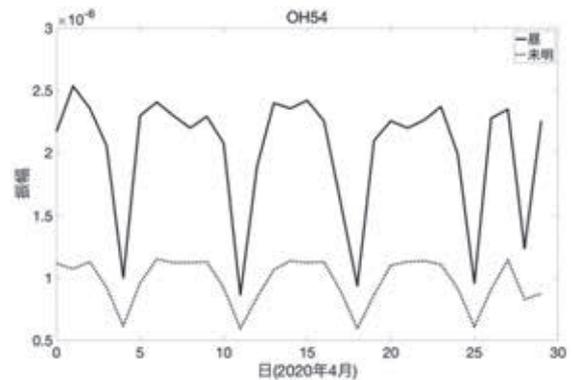


図4 昼間および未明時間帯の日中央値処理後の波形

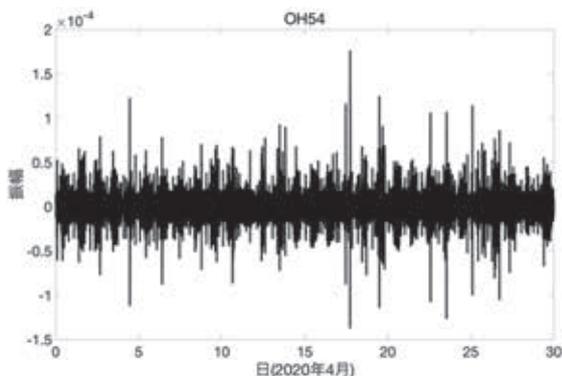


図2 生の地震波形
(OH54観測点・2020年4月)

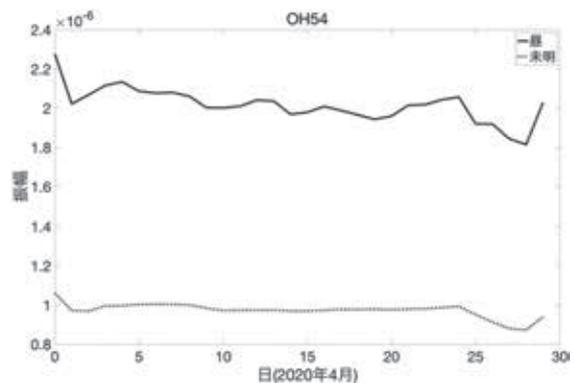


図5 7日間移動平均処理後の波形

et al. (2021) による変化率 (rate of change, 以降 RC と記述する)⁽²⁾を用いた。具体的には、緊急事態宣言期間の RMS 振幅の中央値の平均値から緊急事態宣言前の RMS 振幅の中央値の平均値を引いたものを、緊急事態宣言前の RMS 振幅の中央値の平均値で割って計算する。

$$RC = \frac{avg_{duringSOE}[med.\{RMS(x_i)\}] - avg_{beforeSOE}[med.\{RMS(x_i)\}]}{avg_{beforeSOE}[med.\{RMS(x_i)\}]}$$

.....(2)

なお、緊急事態宣言の期間は大阪府および兵庫県では4月7日から5月21日まで、京都府は4月16日から5月21日までと約1週間のずれがあるが、RCの計算においては4月7日から5月21日までで統一した。SOE以前の期間としては日数が同じとなる2月22日から4月6日とした。

さらに全ての観測点の変化の様子を比較するために基準日の数値で割って全観測点のデータを規格化した。基準日は2月1日とした。これは年始はCOVID-19とは無関係に地動ノイズレベルが小さく、3月に入ると緊急事態宣言発出前に学校の一斉休校などの措置がとられて地動ノイズレベルに影響が出ており、両者を避けるためである。

4. 結果

4.1 地動ノイズレベルの時系列変化の特徴

図6から図12に、全17観測点の地動ノイズレベルの時系列変化を示す。横軸には1月1日から5月31日までの期間をとり、縦軸は3章で説明した2月1日の値で規格化したRMS振幅の日中央値の移動平均である。図中の実線は昼間時間帯のデータを示し、点線は未明時間帯のデータを示している。また灰色の線は各図の上を示した個別の観測点のもので、黒色は各図で

示された全観測点の平均値である。観測点によって緊急事態宣言前後の時系列変化の特徴が異なっているため、昼および未明の変化の特徴から表1に示す9つに分類した。このうち2つの区分は該当する観測点がなく、実際分類は7つとなる。図6から図12は7つの区分に対応する時系列変化のグラフである。

図6は、昼間・未明の両方の時間帯において、緊急事態宣言の前後で地動ノイズレベルが低下している観測点のグラフである。17観測点中、OH08, OH23, OH33, OH41, OH53, OH56の6観測点を占めており、本研究の対象地域でもっとも普遍的に見られた特徴である。いずれの観測点も緊急事態宣言の発出よりも早い段階から地動ノイズレベルが緩やかに減少し、その後5月末までの期間では顕著な増加が見られない。

図7は、昼間は地動ノイズレベルが低下したが、未明の時間帯は緊急事態宣言をはさんでも低下が見られなかった観測点である。この特徴が見られた観測点はOH42とOH60の2点であった。図6と同様に、昼間時間帯の地動ノイズレベルの低下は2月末から3月初旬にはじまるが、未明時間帯は低下が見られない。そのため、3月以降は昼間時間帯を示す実線が、未明時間帯を示す点線よりも低い値で安定して推移することがわかる。

図8は、図7と同様に昼間時間帯に地動ノイ

表1 昼および未明時間帯の地動ノイズレベル変化にもとづく観測点の分類

		昼		
		低下	不変	不規則
未明	低下	OH08 OH23 OH33 OH41 OH53 OH54	OH55	OH21 OH86 OH88
	不変	OH42 OH60	OH61	
	不規則	OH30 OH34		OH31 OH43

ズレベルが低下しているが、未明時間帯の変化が不規則な観測点である。この特徴が見られた観測点はOH30とOH34の2点であった。ここで示しているデータは7日間の移動平均の演算を経ているため、週サイクルの変化が消えて、なめらかな曲線をえがく傾向にある。ここでも昼間時間帯はなめらかな変化を示している。しかし未明時間帯は急激な上昇と低下を繰り返しており、7日間の移動平均では平滑化できない変化を示している。

図9は、昼間時間帯には地動ノイズレベルの変化が見られず、未明時間帯のみに低下が観測された観測点である。この特徴はOH55、1点のみで見られた。

図10は、昼間時間帯の地動ノイズレベル変動が不規則に大きく変動して明瞭な低下が見られないが、未明時間帯は低下が観測された観測点である。点線で示された未明時間帯の地動ノイズレベルは2月末頃から徐々に低下しているが、実線で示された昼間時間帯は図8で見た未明時間帯の変化と同じように急激な上昇と急激な低下を示している。この特徴はOH21、OH86、OH88の3観測点で見られたが、昼間時間帯の地動ノイズレベルが大きく変化する時期は観測点によって異なっていた。

図6から図10で時系列データを示した14観測点は、昼間または未明の両方またはいずれかの時間帯において地動ノイズレベルの低下が見

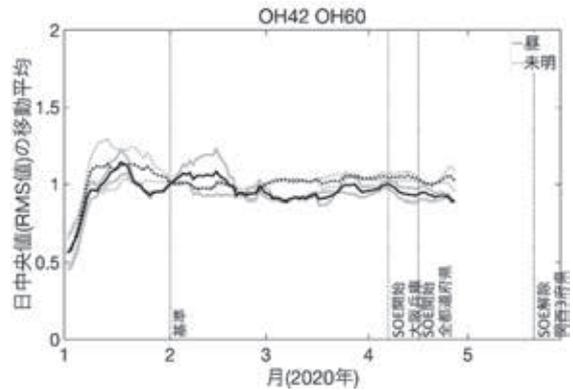


図7 昼は低下したが未明時間帯は変化が見られなかった観測点の時系列変化

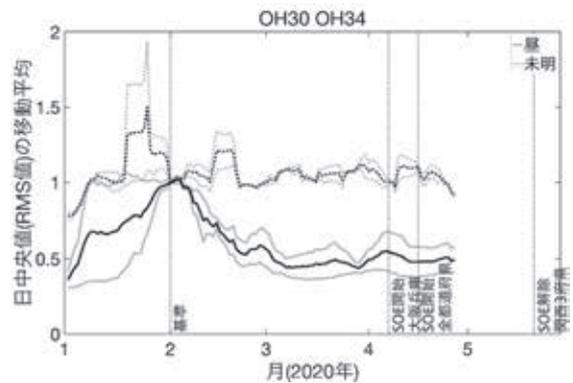


図8 昼は低下したが未明時間帯は不規則な挙動を示した観測点の時系列変化

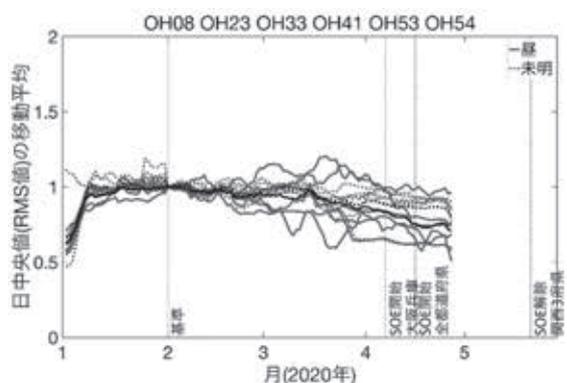


図6 昼および未明時間帯ともに低下した観測点の時系列変化

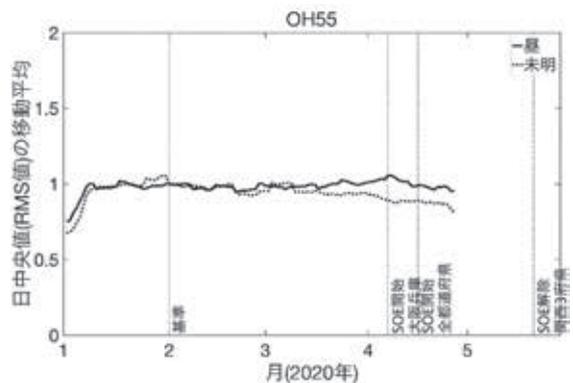


図9 昼は変化が見られず未明時間帯のみ低下を示した観測点の時系列変化

られている。本研究で解析対象としているのは17観測点なので、これは観測点の80%以上にあたる高い比率を占めている。

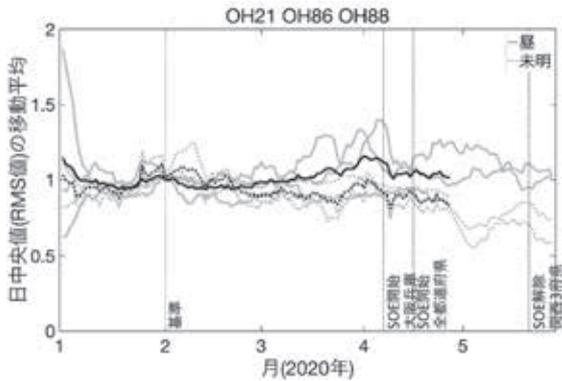


図 10 昼は不規則な挙動を示し未明時間帯は低下を示した観測点の時系列変化

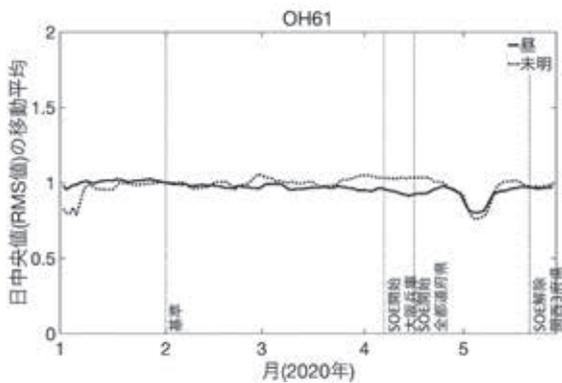


図 11 昼未明時間帯とも変化が見られなかった観測点の時系列変化

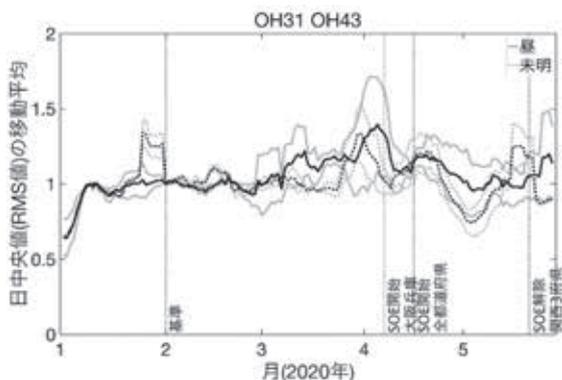


図 12 昼未明とも不規則な挙動を示した観測点の時系列変化

イタリアやインドにおける先行研究^{[2],[3]}では、地動ノイズレベルはロックダウン措置の日に急低下していたが、本研究で低下が見られた観測点は全て2月末から3月にかけて徐々にノイズレベルが低下していた。つまり4月7日に緊急事態宣言が出されるよりも前から地動ノイズレベルが低下していたことになる。

また低下が始まる時期や、低下量の大きさは、観測点ごとに異なっており、地域全体が一様に変化していることはなかった。このことは、地動ノイズの発生源が各観測点から近いところにある、その変化は産業や人間活動の場所による違いの大きさを反映していることが示唆される。

残る3つの観測点では、昼間時間帯、未明時間帯の両方でこの期間に低下は検出されなかった。図11は昼間未明ともに変化が見られなかった観測点で、1観測点（OH61）が該当した。OH61は京都府八幡市の石清水八幡宮がある男山の山中にあり、すべての観測点の中で地動ノイズレベルの絶対値がもっとも低い観測点であった。観測記録装置の仕様から、振動レベルが小さいと波形データのサイズが小さくなり長期間の観測が可能となる。そのため、この観測点は4月末から5月初旬のゴールデンウィーク期間以後も観測記録が取得できており、ゴールデンウィーク期間中の顕著な地動ノイズレベルの低下が非常に目立っている。

図12は、昼間、未明ともに不規則な変化となった点でOH31とOH43の2観測点が該当した。

4.2 地動ノイズレベル変化が見られた観測点の地理的分布の特徴

次に地動ノイズレベル変化が見られた観測点の地理的分布について調査した。各観測点の昼間時間帯の地動ノイズレベル変化を図13に、未明時間帯の地動ノイズレベル変化を図14に示す。図中で、▲が低下、□が不変、○が不規則

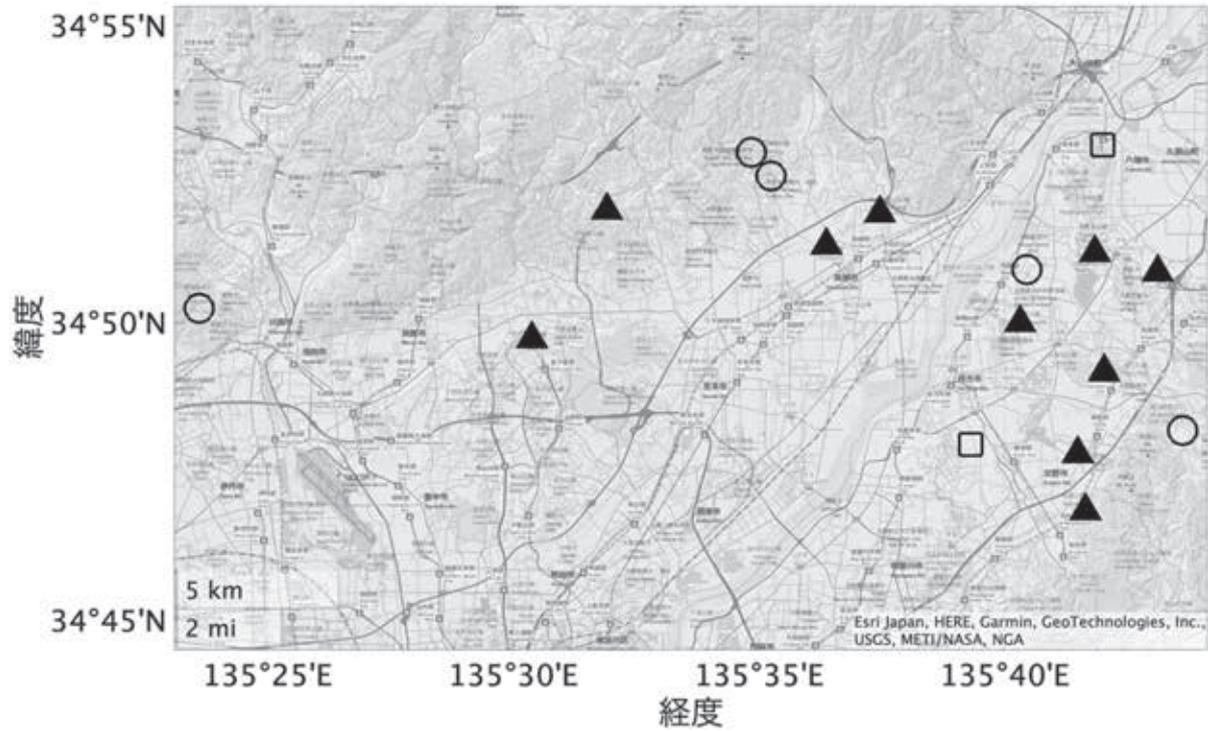


図13 昼間時間帯の観測点ごとの地動ノイズレベル変化傾向の地理的分布
▲：低下 □：不変 ○：不規則

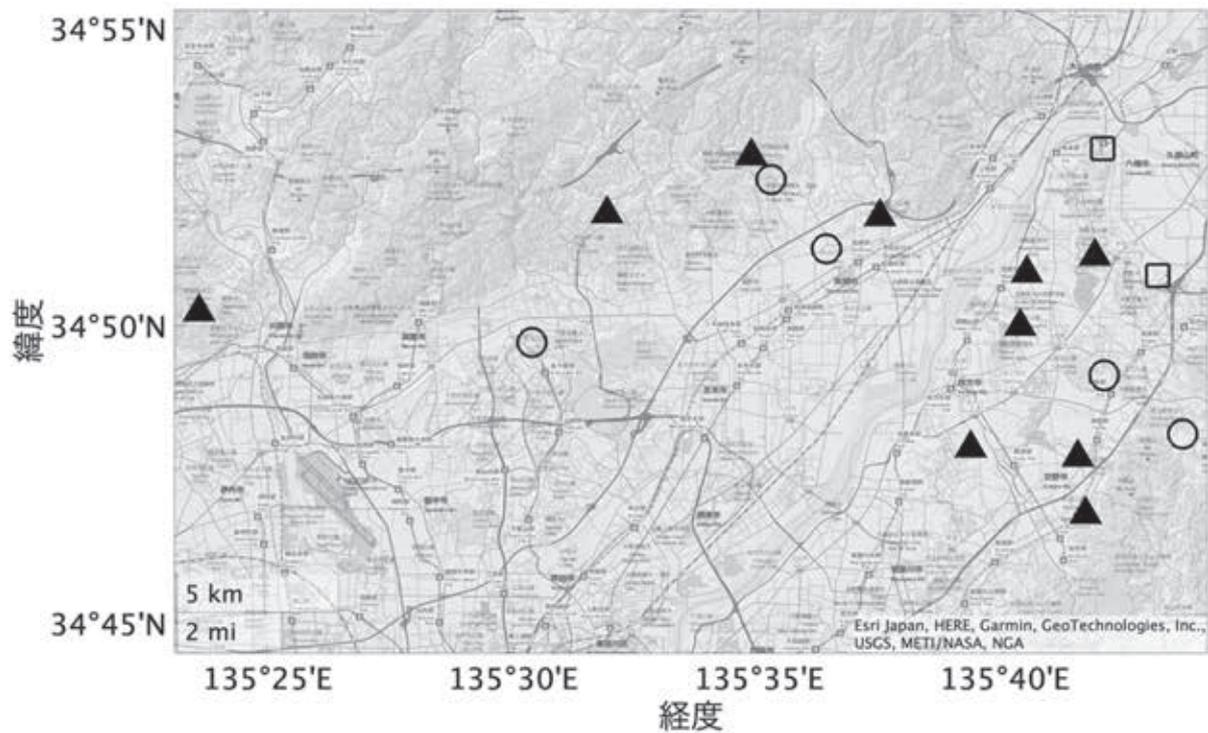


図14 未明時間帯の観測点ごとの地動ノイズレベル変化傾向の地理的分布
▲：低下 □：不変 ○：不規則

な変化を示した観測点である。

地動ノイズレベルが低下した観測点は、昼間時間帯、未明時間帯ともに、大阪平野内に分布しており、淀川に沿った中心部分に多く見られた。また、地動ノイズレベル低下のパターンは、昼間・未明両方、昼間のみ、未明のみの3種類が存在するが、これらは地理的に近接した場所に分布している傾向が見られた。

不規則な変動が見られた観測点は、平野を取り囲む山地との際の地域に多く分布しており、昼間と未明では観測点の位置が異なっている。

図15と図16は緊急事態宣言が発出された前後の地動ノイズレベルの変化率（RC(2)）とその絶対値の大きさの分布を示したものである。▲が減少、○が増加を表し、マーカーの大きさは緊急事態宣言前の地動ノイズレベルの絶対値の大きさを示している。

昼間時間帯では、9観測点で低下しており、低下した観測点は地動ノイズレベルの絶対値が大きい観測点に集中していた。また、地動ノイズレベルがこの期間に増加した観測点は8点あるが、それら観測点はいずれも地動ノイズレベルの絶対値が低い観測点で、1観測点（OH31）を除くと、増加率は10%に満たなかった。

未明時間帯では、13観測点で低下しており、昼間時間帯と同様に地動ノイズレベルの絶対値が大きい観測点で低下していた例が多かった。また、地動ノイズレベルがこの期間に増加した4つの観測点における増加率は、昼間も増加が大きかったOH31以外の3観測点では10%に満たない小さなものであった。

4.3 緊急事態宣言の影響が顕著にあらわれる時間帯

昼間時間帯、未明時間帯という2つの時間帯における緊急事態宣言前後の地動ノイズレベル変動は観測点によって異なり、表1のように分

類することができた。しかし、分類された観測点の地理的分布については、図13から図16で示されたように複雑なパターンをしていた。このことは、本研究の対象地域における地動ノイズレベル変動を引き起こした原因は、近接した複数の観測点に同時に影響を与えるような広域的なものではないことを示唆している。

変動の原因を考察するために、Roy et al. (2021) にならい1時間ごとの地動ノイズレベルの変化を調べた。解析対象は昼間時間帯、未明時間帯のどちらも顕著な変化を示した6観測点のうち地動ノイズレベルの変化率（RC）がもっとも大きかったOH41と、いずれも変化が見られなかったOH61の2観測点とした。

地動ノイズレベルの評価は、0時から23時までの24時間を1時間単位に区切り、その時間帯の1分単位のRMS振幅の中央値を用いて行った。緊急事態宣言が発出された後の期間は4月7日から4月30日までとし、発出前の期間は3月14日から4月6日とした。

図17は昼間時間帯、未明時間帯、いずれも地動ノイズレベルの低下が見られたOH41観測点の結果である。上を0時にとり、0時から23時まで中心の角度を24等分して、半径の大きさをRMS振幅そのものを示している。各時間帯の実線が緊急事態宣言が発出されたあとの期間を示し、点線は緊急事態宣言発出前の期間を示している。

この観測点はノイズレベルの絶対値が大きく緊急事態宣言が発出される以前は7時から9時までの朝の時間帯と15時から18時までの夕方までの時間帯は $4 \sim 5 \times 10^{-6} [\text{ms}^{-1}]$ の地動ノイズレベルとなっていた。緊急事態宣言前後のノイズレベルの違いは終日にわたり見られ、特に7時から23時までが顕著である。

さらに詳しく見ると9時から11時までの午前中の時間帯と、14時から18時までの午後の時間

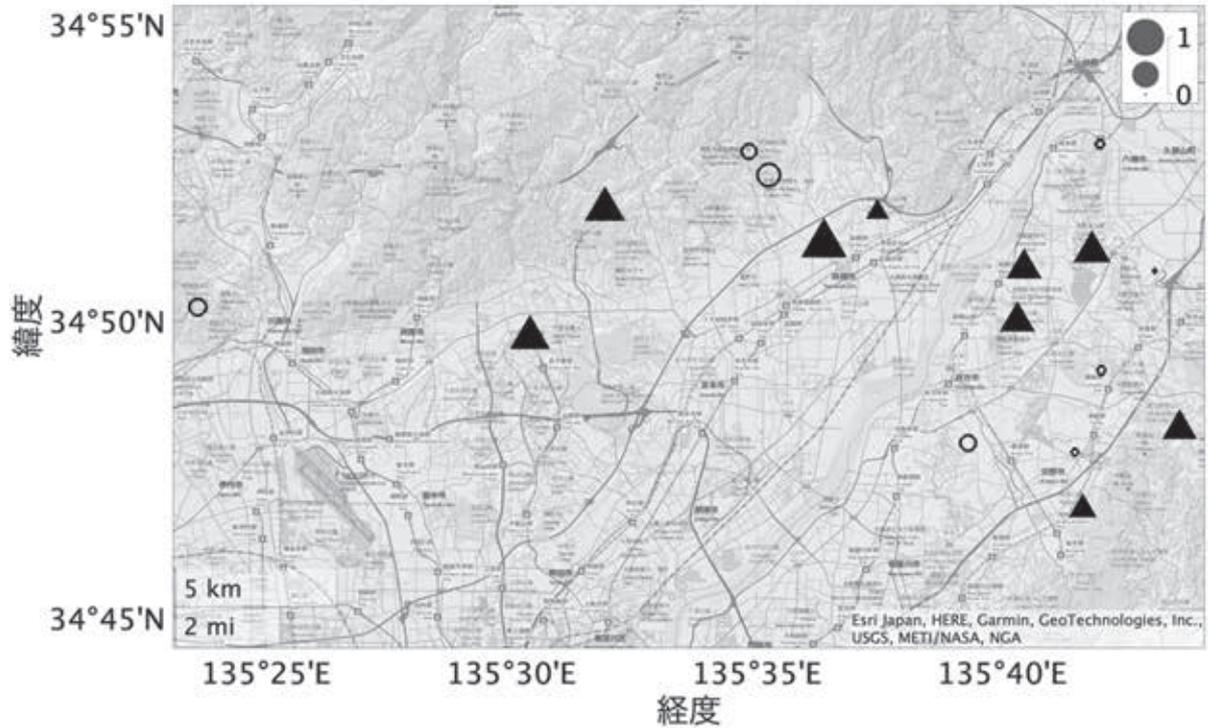


図15 昼間時間帯の観測点ごとの地動ノイズレベルの絶対値の大きさと変化率
▲：低下 ○：増加

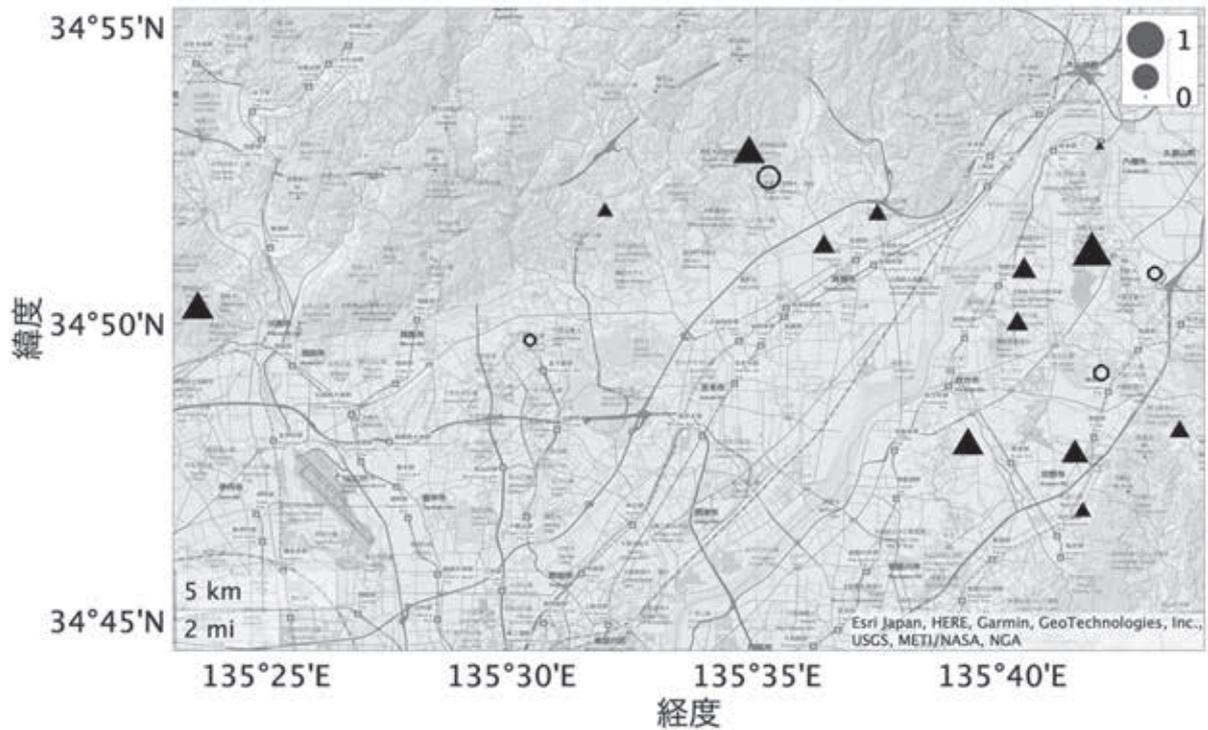


図16 未明時間帯の観測点ごとの地動ノイズレベルの絶対値の大きさと変化率
▲：低下 ○：増加

帯の2つで顕著な低下が見られ、その間の12時および13時台の低下は小さいことがわかる。

図18は昼間時間帯、未明時間帯ともに緊急事態宣言の前後での地動ノイズレベルに変化が見られなかったOH61観測点における結果である。この観測点はノイズレベルの絶対値が低く、最大でも $2 \times 10^{-7} [\text{ms}^{-1}]$ 程度である。これは図17で示したOH41観測点の20分の1以下の振幅である。この観測点でも7時から23時までの時間帯の地動ノイズレベルが高く、夜間から未明の時間帯のノイズレベルが低い。しかしOH41観測点で見られた昼の12時および13時台の低下は緊急事態宣言以前から見るができない。

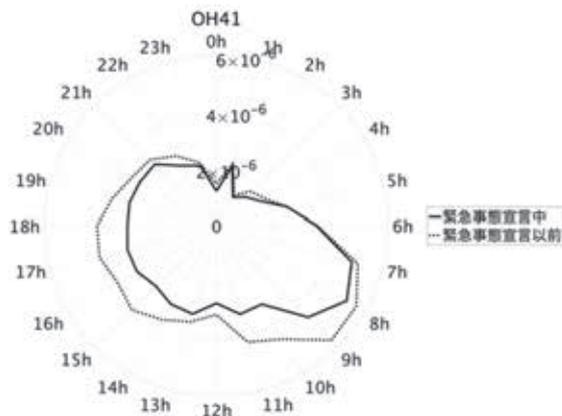


図17 OH41観測点における緊急事態宣言前後の1時間単位の地動ノイズレベルの比較

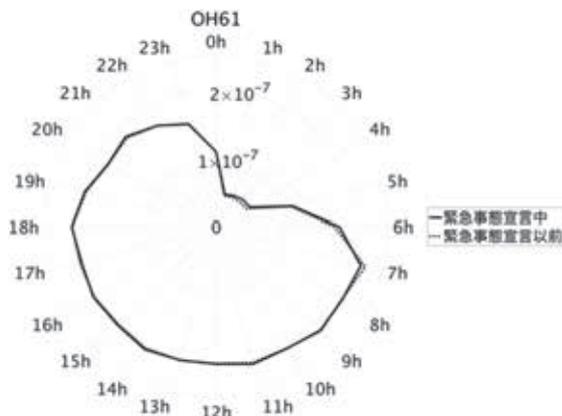


図18 OH61観測点における緊急事態宣言前後の1時間単位の地動ノイズレベルの比較

以上、OH41とOH61の2観測点の結果の比較から、緊急事態宣言前後で地動ノイズレベルが変化した観測点では、9時から11時までの午前の時間帯と、14時から18時までの午後の時間帯の2つの時間帯における低下が顕著であることが明らかになった。これは、日本における標準的な就労時間帯と一致することから、観測点周辺における何らかの社会活動が低下したことを反映して地動ノイズレベルの低下をもたらした可能性が高いことが明らかになった。

以上の解析結果より、緊急事態宣言前後における地動ノイズレベルの低下が、今回解析した17観測点のうち14観測点で検出された。しかし、低下率の大きさや、昼間・未明の低下傾向のパターンは観測点ごとに異なっていた。

昼間時間帯および未明時間帯の地動ノイズレベルが緊急事態宣言によって低下した観測点は、昼間の社会活動が高い平野内に多く、未明時間帯になると、それに加えて平野周縁部の丘陵地帯に広がる傾向が見られた。

さらに、1時間単位の詳細な解析の結果から、緊急事態宣言の発出によるノイズレベルの低下は昼休みの時間帯よりも、その前後の就労時間帯において顕著なことが明らかになった。

観測点近傍の社会環境において、地動ノイズレベルの変化に影響を与える可能性が考えられるものとして、地域内に滞在する人間の活動量変化および道路の交通量の変化があげられる。鉄道については、列車本数の削減が緊急事態宣言時に行われなかったことから、影響は小さいと考えた。

地域内に滞在する人間の活動量の評価指標としては、国勢調査^{[7],[8]}から小地域総数、小地域在学者総数を採用した。

道路の交通量の変化の評価指標としては、全国道路・街路交通情勢調査の一般交通量調査から、車線数、全車上下計の24時間交通量、混雑

度を採用した。これらの指標は道路単位で得られるため、各観測点から半径1 km 圏内にある主要道路全ての平均値を計算して観測点の値とした。

社会指標と緊急事態宣言前後の地動ノイズレベルの変化率（RC）の関係は、観測点ごとの地動ノイズレベルを目的変数にとり、社会指標を説明変数として相関係数を求めて評価した。なお、OH86は半径1 km 圏内に一般交通量調査の対象となる道路が存在しないため、評価対象から除外したので、相関係数はそれ以外の16観測点を用いて計算している。

図19は社会指標と地動ノイズレベルの変化量（RC）との相関係数をまとめたもので、昼間時間帯を白色、未明時間帯を黒色のバーで示している。

まず、小地域の人口と地動ノイズレベルの変化の間には有意な相関を見出すことはできなかった。

次に交通に関係する3つの社会指標との相関はどれも昼に正となり、未明に負となった。この傾向が特に著しかったのは、24時間交通量であった。この結果は、周辺の交通量が多い観測点ほど、昼間時間帯は地動ノイズレベルの低下が小さく、未明時間帯においては逆に地動ノイ

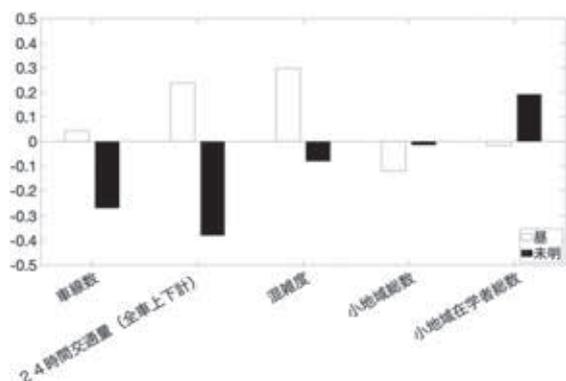


図19 緊急事態宣言前後の観測点ごとの地動ノイズレベル変化率と社会指標との相関係数

ズレベルの低下が大きい傾向にあったと解釈できる。しかし相関係数の絶対値は最大でも0.4であり、高い相関を示す指標は得られなかった。

5. 考察

本研究では大阪平野北部に展開された17点の臨時地震観測点の連続観測記録を用いて、新型コロナウイルス感染症の拡大による緊急事態宣言前後の地動ノイズレベルの変化を評価した。その結果、17観測点のうち14観測点で緊急事態宣言前後での地動ノイズレベルの低下が検出された。本研究で地動ノイズレベル低下が検出された観測点では、いずれも緊急事態宣言が出される前の3月初旬頃から30日以上をかけて緩やかに地動ノイズレベルが低下していた。日本では2020年4月初旬に緊急事態宣言が出される以前から、段階的に社会活動の規制措置がとられていた。なかでも2月27日に要請が出され3月2日から実施された小中学校および高等学校の一斉休校は大きな社会的影響を与えており、本研究の解析結果もこの事象を反映したものと考えられる。

海外の研究事例では、ある日を境にした急激な地動ノイズレベルの低下が見られた国が多く、それらの国々では例外なく厳しい外出制限を伴うロックダウン措置がとられていた。一方、本研究で示された緩やかな地動ノイズレベルの低下は、Yabe et al. (2020) が日本の首都圏で見出したものと同じ特徴を示している。Yabe et al. (2020) は、日本の緊急事態宣言は時間をかけて徐々に社会活動を低下させたと考えており、本研究は首都圏以外でも同じ現象が起きていたことを示した点で意義がある。

本研究は新型コロナウイルス感染症の拡大という短期間で急速に進行した現象の評価を目的としていたため、約半年間のデータを詳細に解析して地動ノイズレベルの変化を評価した。一

方, 地域の人間活動の盛衰には, 都市化や過疎化など長い時間をかけて徐々に進行する現象も多い.

日本では阪神・淡路大震災をきっかけにして整備された地震観測点が約1000点あり, それらの観測点では20年以上の長期間にわたり連続した振動記録を蓄積している. また, 全国に4000点以上が設置されている震度計は震度の算出を目的に設置されているため, 地震波形記録は大きな振動が観測された前後の一定時間に限定されているが, そこには強い振動が到達する前の10数秒の地動ノイズの記録が残されている場合が多い. この記録を使用すれば, 非常に多くの観測点において, 長期間の地動ノイズレベル変化を評価できる可能性がある. つまり本研究で試みたこの地動ノイズレベルの評価は, 未利用の膨大なデータ (ビッグデータ) から, 長期的な人間活動の変化を検出・評価へと発展する可能性がある. これは地域特性の定量化を実観測データを用いて行うという, 社会安全学の応用分野を開拓しうる研究手法と考えられる.

謝辞

本研究の一部はJSPS 科研費 19K03126 の助成を受けたものである.

参考文献

[1] Lecocq, T., Hicks, S.P. et al. (2020). Global quieting of high-frequency seismic noise due to COVID-19 pandemic lockdown measures.

SCIENCE, 369 (6509), 1338-1343. doi: 10.1126/science.abd2438.

- [2] Cannata, A., Cannavò, F. et al. (2021). Seismic evidence of the COVID-19 lockdown measures: a case study from eastern Sicily (Italy). *Solid Earth*, 12, 299-317. doi: <https://doi.org/10.5194/se-12-299-2021>.
- [3] Roy, K.S., Sharma, J., Kumar, S. and Kumar M.R. (2021). Effect of coronavirus lockdowns on the ambient seismic noise levels in Gujarat, northwest India. *Scientific Reports*, 11, 7148. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86557-9>.
- [4] Yabe S., Imanshi K. and 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: 167, <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01298-9>.
- [5] 林能成・酒井慎一 (2021). 地震計を用いた新型コロナウイルス感染症による社会活動変化の評価—関西大学千里山キャンパスにおける観測事例—, *社会安全学研究*, vol.11, pp. 151-160.
- [6] 飯尾能久 (2020). 大阪府北部の地震 (2018年6月18日 M6.1) 地震予知連絡会50年のあゆみ pp.220-223.
- [7] 平成27年国勢調査結果 (総務省統計局)
- [8] 平成22年国勢調査結果 (総務省統計局)
- [9] 平成27年度 全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査 (国土交通省)

(原稿受付日 2022年4月1日)

(掲載決定日 2022年10月20日)

