

オープンデータを用いる宮城県大気環境の傾向分析

－ 2020 年春季緊急事態宣言前後の比較 －

内田 美穂* 山木 裕太**

Analysis of the Atmospheric Environment in Miyagi Prefecture Using Open Data

－ Comparison before and after a state of emergency in the spring of 2020 －

Miho UCHIDA* and Yuta YAMAKI**

Abstract

The variation in the atmospheric environment in Miyagi Prefecture in the spring of 2020, during a state of emergency due to the spread of COVID-19, was analyzed. The concentrations of air pollutants (NO_2 , O_x [photochemical oxidants], suspended particulate matter [SPM], and $\text{PM}_{2.5}$) from March to May 2020 were compared with those from 2017 to 2019. The variation in concentrations was assessed every 3 h, at 9:00, 12:00, 15:00, 18:00, to consider variation in crowds and traffic volume due to social activities. The wind conditions in the target periods were analyzed to assess meteorological variability as another factor. The concentrations of target substances in the spring of 2020 were significantly lower than in the corresponding periods in the previous 3 years and the maximum decrease was 60% for $\text{PM}_{2.5}$.

1. はじめに

2020 年新型コロナウイルス COVID-19 の感染拡大防止のために様々な外出自粛に係る政策が行われた。特に 3 月から 5 月の間では全国的に大規模な外出自粛の動きがあった。3 月 2 日に全国の小中学校、高校が一斉休校の実施を始めて以降、全国、宮城県において外出を控える要請がされてきた。宮城県では 4 月 3 日に県知事が県民に外出自粛を要請し、4 月 16 日に政府から全国に緊急事態宣言が発表された。4 月 24 日には東北 6 県と新潟県の知事らが大型連休中の外出や県をまたぐ移動の自粛を呼びかける緊急の共同宣言を発表し、同月 25 日から 5 月 6 日のゴールデンウィークには県内の遊興施設や飲食店などへの休業や

営業時間短縮が実施された。その後、5 月 14 日に北海道、東京、神奈川、千葉、埼玉、大阪、兵庫、京都の 8 都道府県を除く 39 県が緊急事態宣言が解除され、5 月 25 日には全国の緊急事態宣言が解除された。緊急事態宣言期間中、仙台駅付近では COVID-19 感染拡大前の期間(2020 年 1 月 18 日～2 月 14 日)と比較して人出は約 1/3 に減少した[1]。このような緊急事態宣言に伴う社会・経済活動の自粛による大気環境の変化が日本各地で報告された[2-4]。また、国内のみならず国外の COVID-19 対策による大気環境への影響も報告されている[5, 6]。

大気汚染常時監視項目のうち、二酸化窒素(NO_2)、光化学オキシダント(O_x)、浮遊粒子状物質(SPM)、微小粒子状物質($\text{PM}_{2.5}$)の環境基準[7]と 2017～2019 年度の全国と宮城県の環境基準達成率[8,9]を表 1 に示す。全国、宮城県ともに O_x の環境基準達成率が著しく低く、他の項目は近年の環境基

2021 年 9 月 24 日受理

* 環境応用化学科 教授

** 環境エネルギー学科 学生

表1 大気常時監視項目の環境基準と環境基準達成率(2017～2019年度)

項目	環境基準	基準達成率 [%]										
		全国						宮城県				
		2017年度		2018年度		2019年度		2017年度		2018年度		2019年度
一般局	自排局	一般局	自排局	一般局	自排局	一般局	自排局	一般局	自排局	一般局	自排局	
NO ₂	日平均値が0.04 ppm～0.06 ppmの範囲内もしくはそれ以下	100	99.7	100	99.7	100	100	100	100	100	100	100
Ox	1時間値が0.06 ppm以下	0	0	0.1	0	0.2	0	0	0	0	0	0
SPM	日平均値が100 μg/m ³ 以下かつ1時間値が200 μg/m ³ 以下	99.8	100	99.8	100	100	100	100	100	100	100	100
PM _{2.5}	年平均値が15 μg/m ³ 以下かつ日平均値が35 μg/m ³ 以下	89.9	86.2	93.5	93.1	98.7	98.3	100	100	100	100	100

準達成率は一般局、自排局ともに高い。

大気汚染物質は、その発生源や生成過程が濃度に影響を及ぼす。窒素酸化物(NOx)は、その多くが工場や自動車から大気中に排出され、そのうち一酸化窒素は、大気光化学反応により二酸化窒素に変化し、さらに大気光化学反応により一酸化窒素へ変化する。Ox は、窒素酸化物などの大気汚染物質が、太陽光の紫外線の働きによる光化学反応で生成される酸化性物質で、主要成分はオゾンである[10]。粒子状物質(Particulate Matter; PM)のうちSPM (粒径 10μm 以下の粒子で 100%カット値)は発生源として、工場などから出るばいじんや粉じん、ディーゼル車の排出ガス中に含まれる黒煙などの人為的発生源によるものと、土壌の飛散や黄砂などの自然発生源によるものがある。PM_{2.5}(粒径 2.5μm 以下の粒子で 50%カット値)はSPM と同様に発生源から直接大気中へ粒子として放出される一次粒子と、大気に放出された気体が光化学反応や物理変化などにより粒子化する二次粒子がある [11]。同一大気汚染物質でも多数の排出源、生成経路があり、その濃度に影響を及ぼす要因は一つではないと考えられる。

本研究では、3 月から 5 月期における宮城県の 2020 年の大気環境を同時期の 2017～2019 年のデータと比較し、各種の外出自粛に関する要請が行われた時期の大気環境の変化について大気汚染物質常時監視測定局のオープンデータを元に検証することを目的とする。これまで COVID-19 による社会活動等の自粛期の大気環境の変化に関する報告においては日単位の濃度で評価したことが多いが、NO₂ や Ox はその生成機構から日内変動が大きい[12]。そこで、大気環境への社会活動の影響を評価するため、1 日の中で特に日中の社会活動の影響を考慮し複数の時間帯に区分して濃度変動を評価した。

2. 調査方法

2.1 調査地点

宮城県仙台市と名取市の大気常時監視測定局 4 箇所を対象とした。外出自粛要請施策下での人流や交通量への影響を考慮し、平時の人出が多く、商業施設が立地する仙台市及びその近郊の南北にわたる 4 測定局(一般局 2 箇所、自動車排ガス測定局 2 箇所)を選定した。



図 1 調査対象測定局の位置

地点 A の七北田(一般局)は国道 4 号線付近、地点 B の長町(一般局)は JR 長町駅周辺、地点 C の五橋(自排局)は JR 仙台駅周辺の市街地中心部、地点 D の名取(自排局)は JR 名取駅周辺かつ国道 4 号線付近に設置されている。

2.2 調査期間

緊急事態宣言に伴う外出自粛要請による影響を比較するため、対象期間を 2017, 2018, 2019,

2020年の各3～5月に設定した。大気汚染物質の濃度変動には様々な要因が影響すると考えられ、2020年の中国のロックダウンによるPM_{2.5}の越境輸送の変容を検証した研究[6]では、大気汚染物質の濃度減少は成分により、排出量減少によるものと対象期間の特異的な気象場の変化によるものがある、と報告されている。単年のデータは当該年の気象場に影響を受けている可能性があるため、before COVID-19の期間として2017～2019年の3年のデータを比較に用いた。

2.3 調査項目

以下の大気常時監視項目と気象項目を調査した。

(1)大気常時監視項目；二酸化窒素 NO₂、光化学オキシダント O_x、浮遊粒子状物質 SPM、微小粒子状物質 PM_{2.5}

(2)気象項目；風向 WD、風速 WS

O_x, WD, WS については地点 A, B のみ測定されている。

2.4 調査データ

各調査項目の分析には以下のウェブサイトから入手したオープンデータを用いた。

(1) 大気常時監視項目

2017～2019年は確定値を用いた；

宮城県 宮城県大気汚染常時監視情報 [13]

2020年は速報値を用いた；

環境省 大気汚染物質広域監視システム(そらまめくん)[14]

(2) 気象項目

2017年は確定値を用いた；

国立環境研究所 環境数値データベース[15]

2018、2019、2020年は速報値を用いた；

環境省 大気汚染物質広域監視システム(そらまめくん)[14]

2.4 分析方法

(1) 大気常時監視項目

・日内変化：地点 A～D について各調査項目の年・月毎の日内変化の箱ひげ図(日平均値を加えたもの)を作成した。

・時間帯別変動幅：地点 A～D について各調査項目の日中3時間毎(9時、12時、15時、18時)の濃度の変動幅(最高値-平均値-最低値)を年・月毎に整理した。

(2) 風配図と風況

地点 A, B の風向・風速データを用い、風配図作成ソフトウェア(WindRose Pro3, Enviroware)により風配図を作成した。卓越風向と出現頻度、平均風速、最大風速を風況として整理した。2017～2019年と2020年の風況を比較することで、大気汚染物質濃度への気象場の影響を評価した。

3. 結果及び考察

3.1 風配図と風況

調査対象測定局における調査項目の濃度の年・月変化の主な要因としては気象や汚染物質の排出量変化が考えられる。外出自粛要請による社会・産業活動の低下の影響を評価するために、それ以外の主要因として年・月毎の気象変化の概況を把握するために、対象年月の風向・風速を整理した。

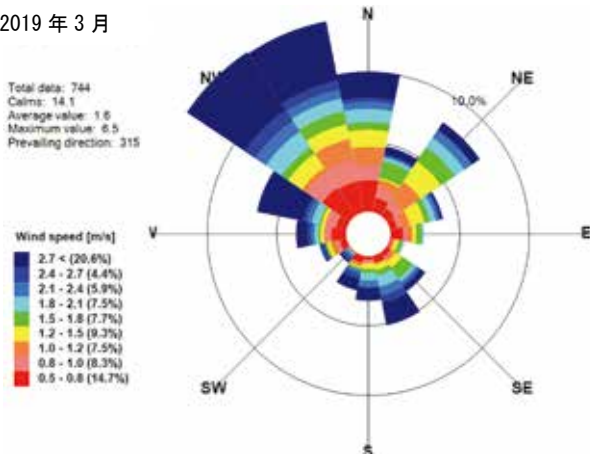
表2に地点A(七北田)の2017～2020年の風況を示す。また、図2に地点Aにおける2019、2020年の3、4、5各月における風配図を示す。風速0.4m/s以下は「Calm(静穏)」とした。地点Aの卓越風向は月により変化し、3月は北西～北北西、4月は北西～北東、5月は南東～南南東であった。4月は南東方向の風の割合が3月より増加し、5月には卓越風向へと変化する推移が見られた。風向については、2017～2019年と2020年で大きな変化はみられなかった。平均風速は3～5月で1.6～2.0m/s程度、最大風速は5.5～8.1m/sと対象とした年の間で特異的に大きな値を示すことはなかった。Calmの割合は3月については2017、2018年と比較して2019、2020年は増加した。

表3に地点B(長町)の2017～2020年の風況を示す。また、図2に地点Bにおける2019、2020年の3、4、5各月における風配図を示す。地点Bの卓越風向は月により変化し、3月は西北西、4月は西～北西、5月は南東～東南東であった。地点Aと同様に4月は南東方向の風の割合が3月より増加し、5月には卓越風向へと変化する推移が見られた。風向については、2017～2019年と2020年で大きな変化はみられなかった。平均風速は2017～2019年は1.1～1.7m/s、最大風速は4.2～6.5m/sであったが、2020年の4月は平均風速2.1m/s、最大風速10.2m/sであった。Calmの割合は年や月により変動し9.7～33%であった。地点Bは、2020年は卓越風向の風速が大きく、Calmが少ない傾向にあったことで、気象条件の影響も考慮する必要がある。

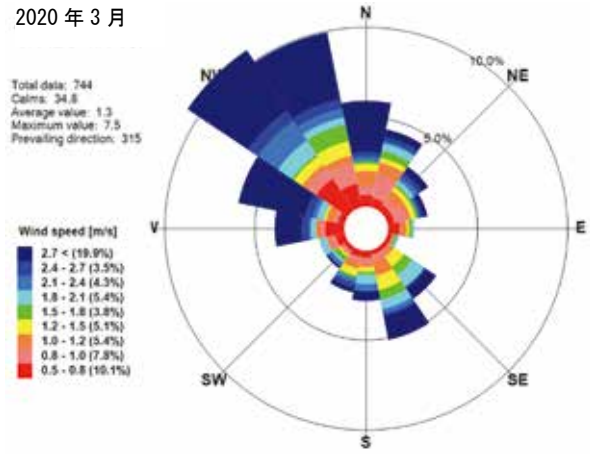
表2 地点A(七北田)の風況 (2017~2020年)

	2017年			2018年			2019年			2020年		
	3月	4月	5月	3月	4月	5月	3月	4月	5月	3月	4月	5月
第1卓越風	北北西	北東	南東	北北東	北東	南東	北西	北西	南東	北西	北北西	南東
頻度 [%]	15.5	11.5	13.5	13.5	11.5	13.6	14.1	13.9	12.2	10.8	11.0	15.6
第2卓越風	北西	北西	南南東	北北西	北西	南南東	北北西	北北西	南	北北西	北西	南南東
頻度 [%]	13.3	10.7	11.9	12.2	10.7	12.0	14.0	11.7	11.2	9.9	10.4	8.6
平均風速 [m/s]	1.8	1.6	1.6	2.0	1.6	1.6	1.6	1.8	1.8	1.3	2.0	1.6
最大風速 [m/s]	6.4	6.7	5.5	8.1	6.7	5.5	6.5	6.1	7.2	7.5	7.7	7.1
Calm[%]	7.0	7.9	7.8	8.5	8.5	7.8	14.1	7.9	9.4	34.8	6.7	10.2

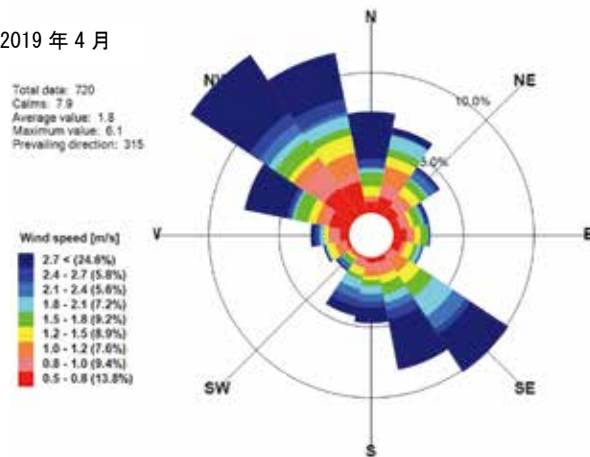
2019年3月



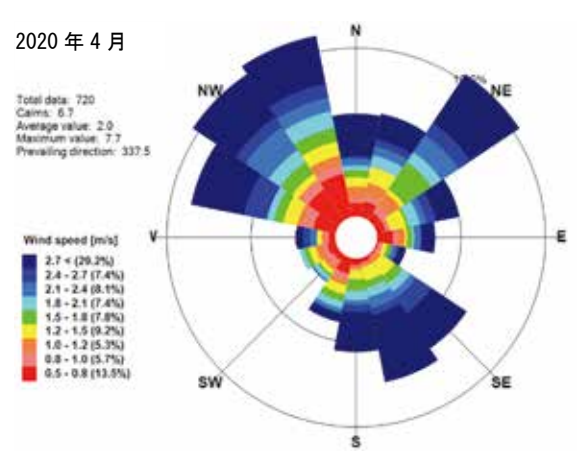
2020年3月



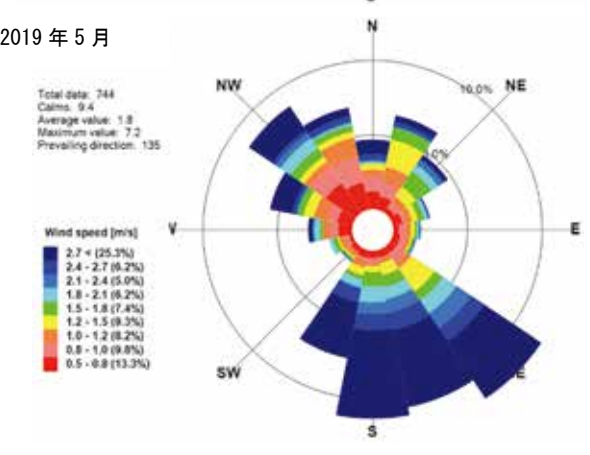
2019年4月



2020年4月



2019年5月



2020年5月

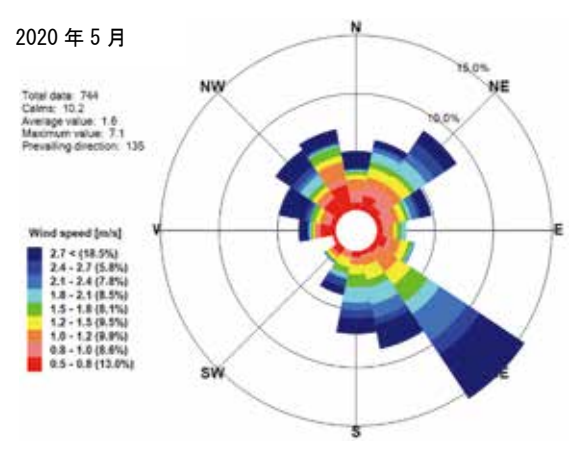


図2 地点A(七北田)の2019,2020年,3,4,5月の風配図

表3 地点B(長町)の風況 (2017~2020年)

	2017年			2018年			2019年			2020年		
	3月	4月	5月	3月	4月	5月	3月	4月	5月	3月	4月	5月
第1卓越風	西北西	南東	南東	北西	南東	南東	西北西	西	南東	西北西	西北西	南東
頻度 [%]	17.0	8.8	13.2	11.8	8.9	13.2	8.7	8.3	13.6	20.3	15.7	11.8
第2卓越風	西	西北西	東南東	西北西	西北西	東南東	北西	北西	東南東	西	北西	東南東
頻度 [%]	12.5	8.1	9.0	9.0	8.0	9.0	7.9	7.6	10.8	10.8	8.5	9.9
平均風速 [m/s]	1.7	1.2	1.2	1.6	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.7	2.1	1.5
最大風速 [m/s]	6.5	5.0	4.2	5.3	5.0	4.2	4.7	5.1	4.2	7.5	10.2	6.7
Calm [%]	13.2	21.8	22.7	20.2	21.9	23.1	26.1	23.1	33.2	19.1	9.7	14.9

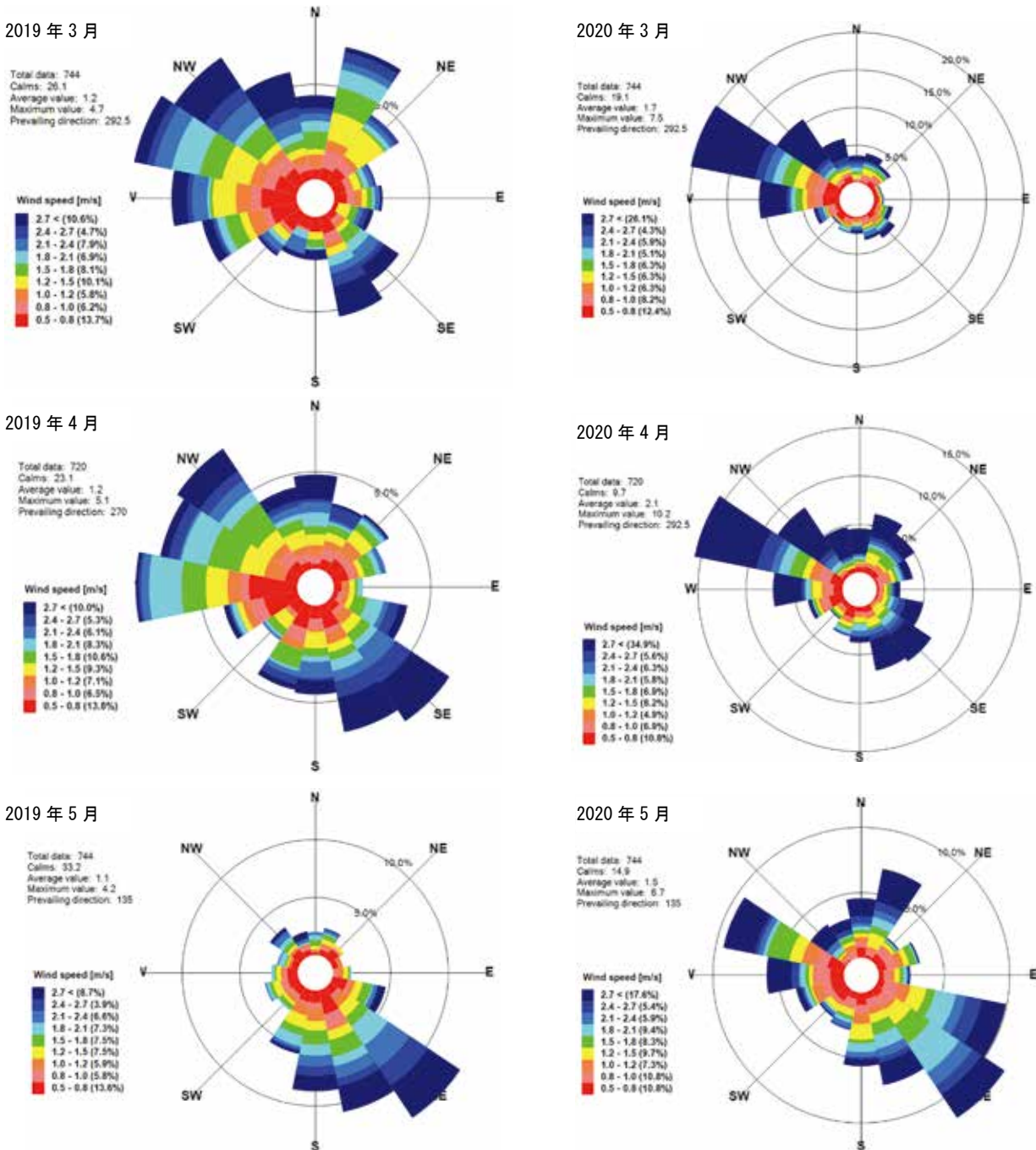


図3 地点B(長町)の2019, 2020年, 3, 4, 5月の風配図

3.2 大気汚染物質の日内変化

大気汚染物質の濃度はその発生源や生成機構により日内変動を生じる。各大気汚染物質の1～24時の濃度変動幅を地点、年月毎に整理した。ここでは、3～5月期のうち外出自粛要請の期間が最も長い4月について2020年と直近年として2019年の日内変化を比較した。

(1) 二酸化窒素 NO₂

図4に各地点の2019年、2020年各4月のNO₂濃度の平均値と変動幅を示す。濃度の高低はあるが、各地点の濃度の日内変化の傾向は類似していた。6:00～8:00位にかけて濃度は増加し、ピークを示した後減少し、13:00～15:00位に底をうち、再び増加し、21時～23時位にピークを示した後、再び減少した。自排局の地点C(五橋), D(名取)は一般局の地点A(七北田), B(長町)よりも濃度の平均値が高かった。特に長町では25%タイル～75%タイルでの変動幅が他の地点と比較して大きか

った。2019年と2020年を比較すると、地点Aで濃度の平均値や変動幅が顕著に減少した。これらの結果から、NO₂濃度の日内変動の増減傾向は2019年と2020年で大きな変化はないが、地点によっては1日をとおして平均濃度の減少がみられることがわかった。

(2) 光化学オキシダント O_x

図5に地点A,Bの2019年、2020年各4月の濃度の平均値と変動幅を示す。各地点の日内変化の傾向は類似しており、濃度の増減の時間変化はNO₂と逆の推移を示した。2019年と2020年で日内変動の大きな変化はみられなかった。

(3) 浮遊粒子状物質 SPM

図6に各地点の2019年、2020年各4月の濃度の平均値と変動幅を示す。地点により平均濃度の高低はあるが、全ての地点において濃度の日内変動はわずかであった。また、2019年と比較して、2020年では各地点で平均濃度がわずかに減少した。

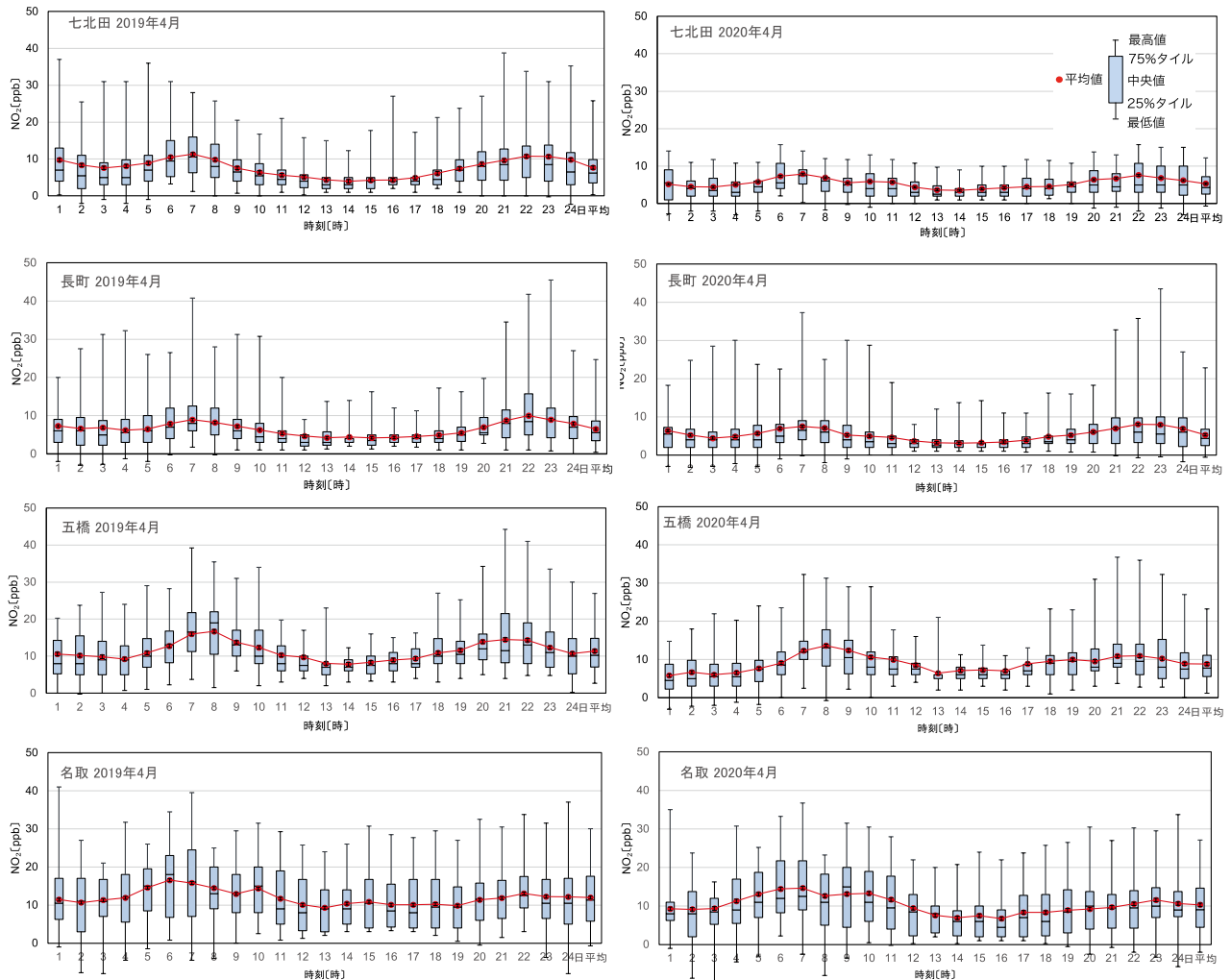


図4 地点A～Dの2019、2020年4月のNO₂濃度の日内変化

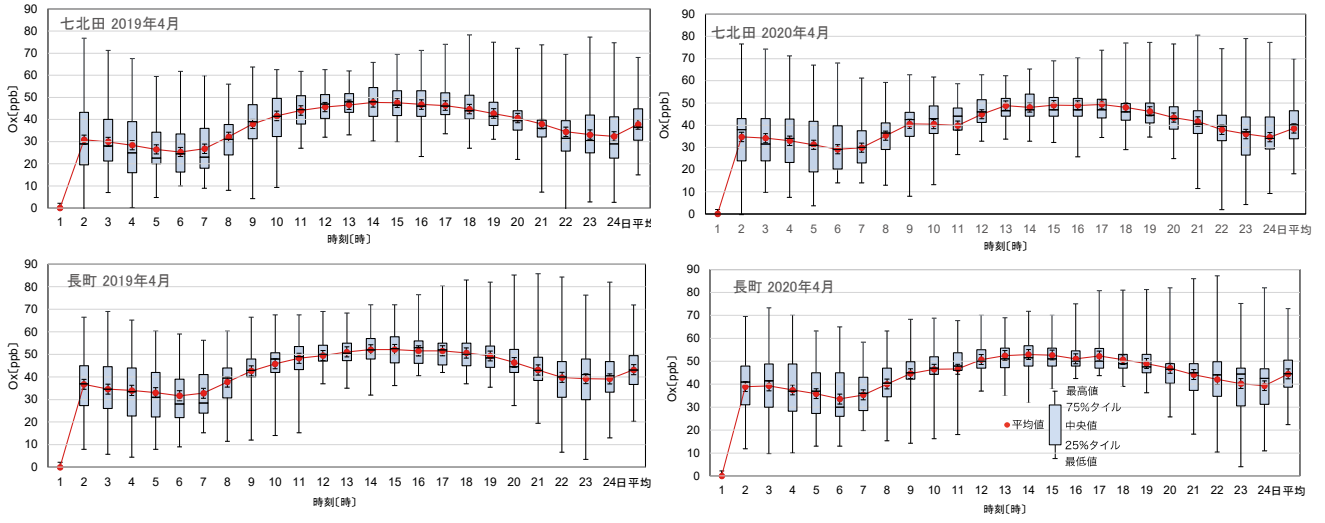


図5 地点A~Dの2019, 2020年4月のOx濃度の日内変化

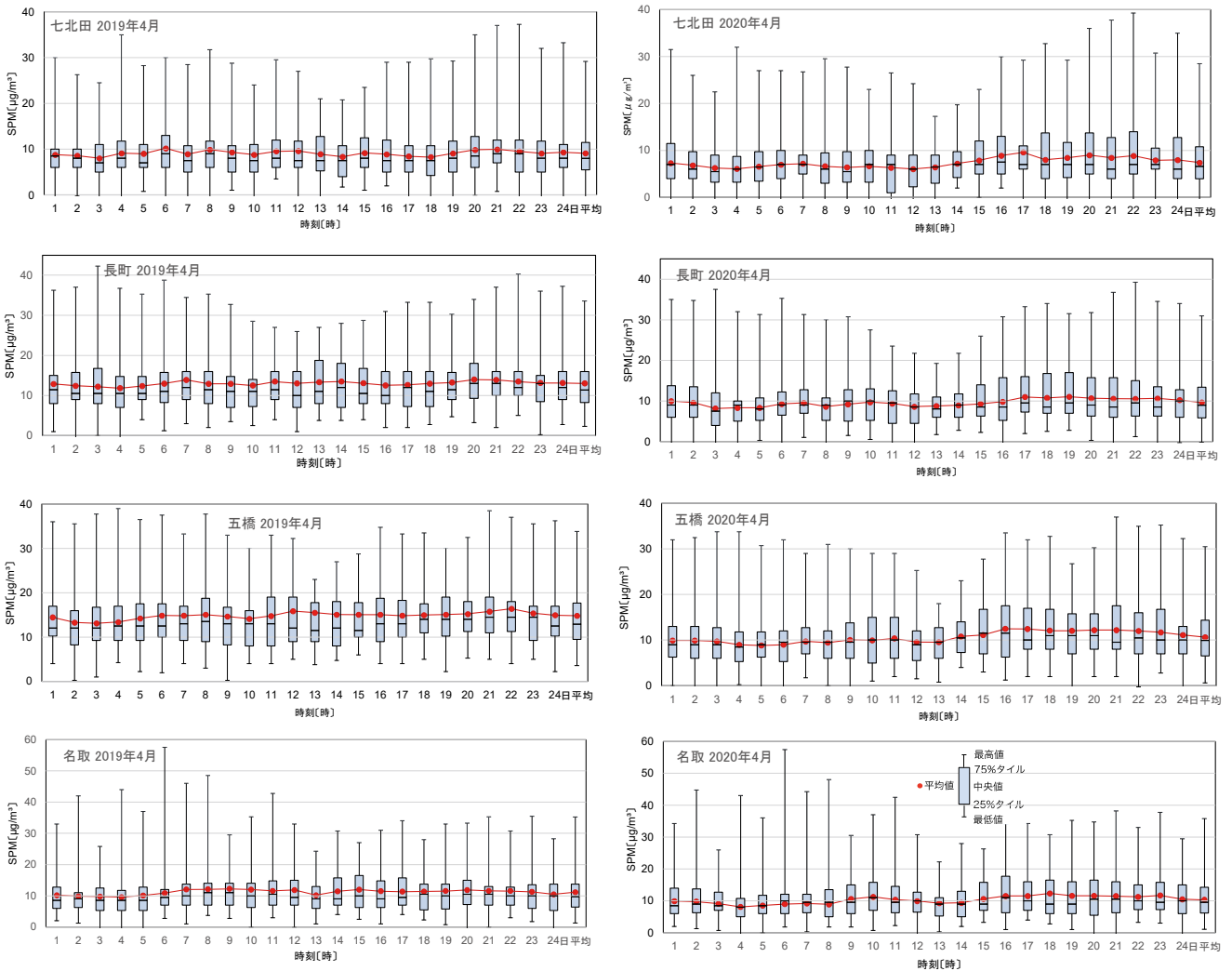


図6 地点A~Dの2019, 2020年4月のSPM濃度の日内変化

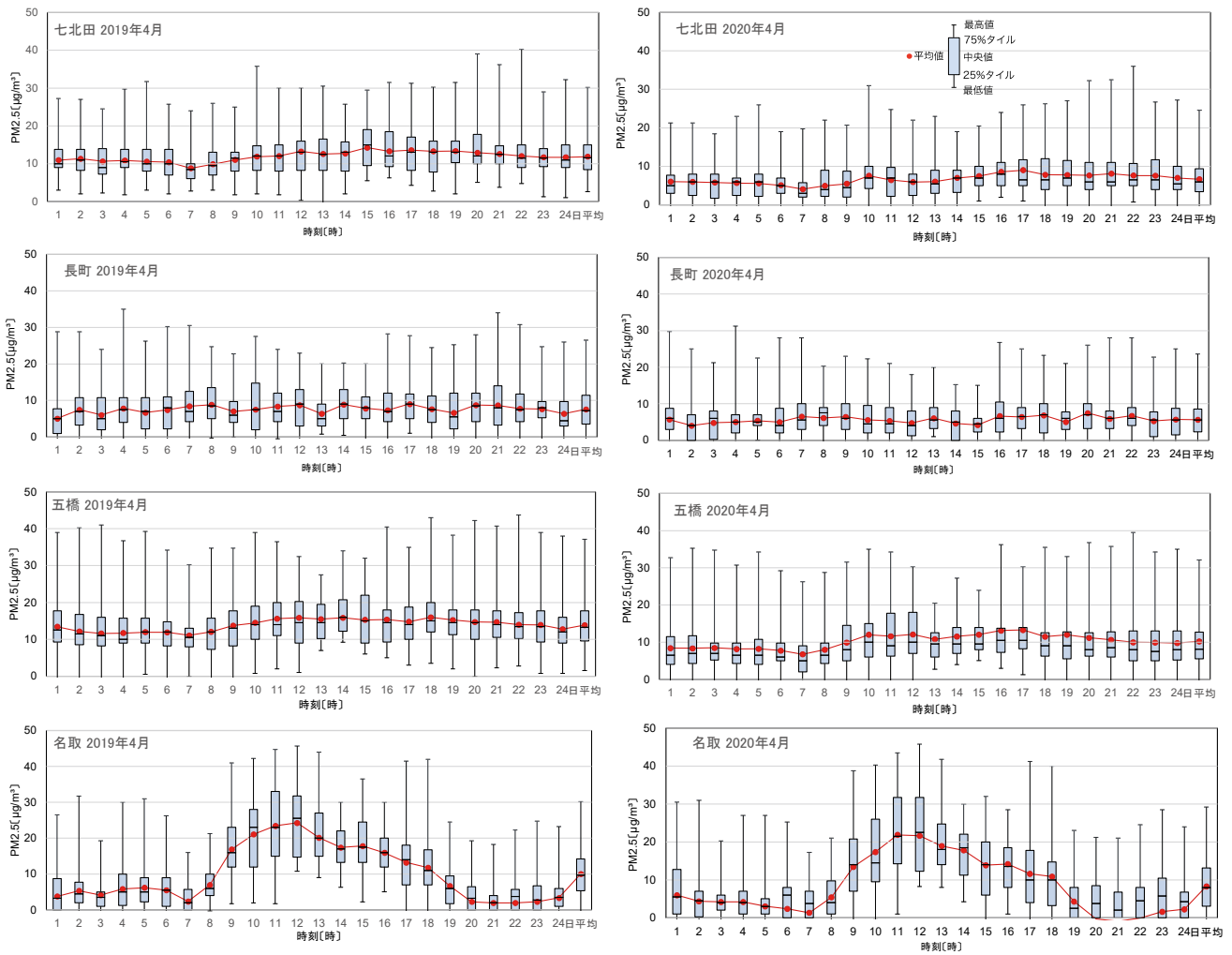


図 7 地点 A~D の 2019, 2020 年 4 月の PM_{2.5} 濃度の日内変化

(4)微小粒子状物質 PM_{2.5}

図 7 に各地点の 2019 年, 2020 年各 4 月の濃度の平均値と変動幅を示す。地点 A(七北田)と地点 B(長町)の濃度の日内変動はわずかであった。一方, 地点 C(五橋)では 10:00~18:00 にわずかに増加した。地点 D(名取)では 8:00~11:00 にかけて急激に増加し, 12:00 付近でピークを示した後, 20:00 にかけて大きく減少していった。地点により PM_{2.5} 濃度の日内変動の傾向は大きく異なった。2019 年と比較すると 2020 年はほとんどの時間帯において平均濃度は減少した。

3.3 時間帯別平均濃度

前節に示したように, 大気汚染物質濃度は排出源や生成機構により日内変動するものが多い。また, 排出源の多寡や気象条件により地域により異なる変動傾向を示す場合がある。本研究の主目的である大気環境への社会活動の影響を評価する

ためには, 1 日の中で特に日中の社会活動の影響を考慮し, 時間帯に区分して濃度変動を評価する必要があると考えられる。そこで, 各調査対象物質について, 2017~2019 年の 3 年平均濃度と 2020 年の平均濃度を地点別に日中 9:00, 12:00, 15:00, 18:00 の 3 時間ごとに整理した。また, 3 年平均濃度に対する 2020 年平均濃度の増減率を算出した。

(1) 二酸化窒素 NO₂

図 8 に時間帯・地点別の 3, 4, 5 月における NO₂ の 3 年(2017~2019 年)平均濃度と 2020 年平均濃度及び 3 年平均濃度に対する 2020 年濃度の増減率を示す。五橋を除く 3 地点で 3, 4, 5 月の各月の NO₂ の 2020 年平均濃度は 3 年平均濃度に比較して減少した。五橋では 3 月 12:00, 15:00, 5 月 12:00, 15:00, 18:00 で増加した。4 月は全地点の設定時間でいずれも 2020 年平均濃度は 3 年平均を下回っており, 外出自粛要請が発出された期間が 4 月は最も長かったことが影響していると考えられる。

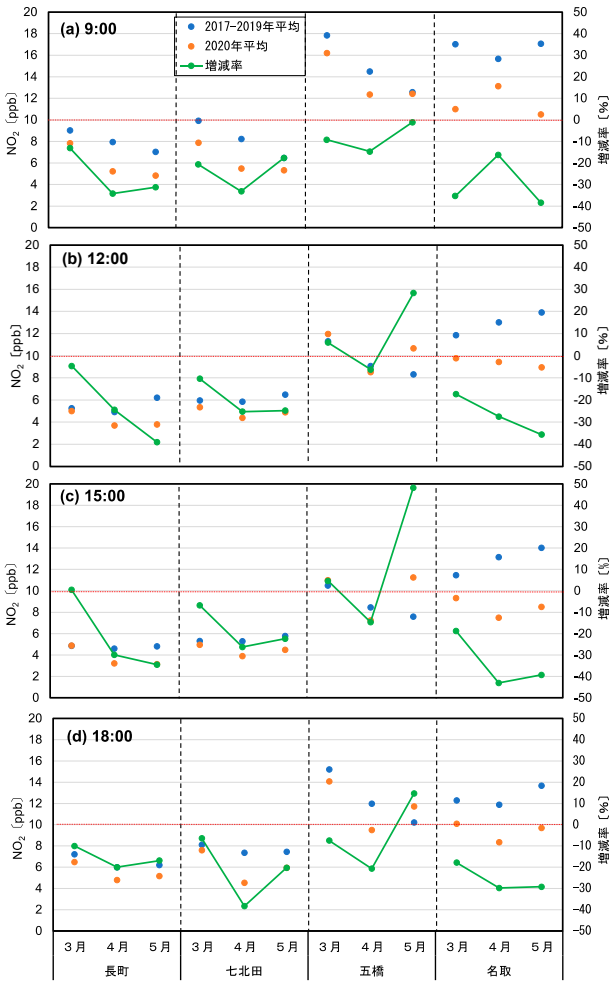


図 8 NO₂ 濃度の年月別平均値と 3 年(2017~2019 年)平均濃度に対する 2020 年平均濃度の増減率 ; (a) 9:00, (b) 12:00, (c) 15:00, (d) 18:00

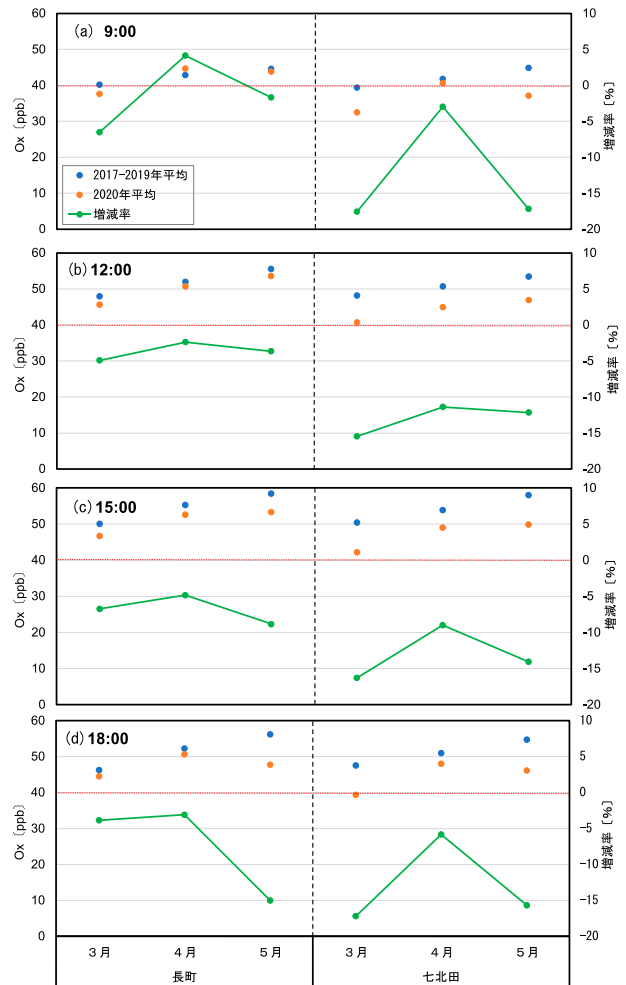


図 9 Ox 濃度の年月別平均値と 3 年(2017~2019 年)平均濃度に対する 2020 年平均濃度の増減率 ; (a) 9:00, (b) 12:00, (c) 15:00, (d) 18:00

(2) 光化学オキシダント Ox

図 9 に時間帯・地点別の 3, 4, 5 月における Ox の 3 年(2017~2019 年)平均濃度と 2020 年平均濃度及び 3 年平均濃度に対する 2020 年濃度の増減率を示す。長町の 4 月 9:00 のみ 2020 年濃度が 3 年平均よりも増加した。減少率は 4 月よりも 3 月, 5 月のほうが大きい傾向にあった。これは NO₂ が 3 月よりも 4 月の減少率が概ね大きかったことと逆の傾向を示した。オゾンの生成経路のひとつとして、空気中の二酸化窒素と酸素及び紫外線の反応により生成することがわかっている[16]。二酸化窒素は直接排出源があるのに対し、オゾンは光化学反応による二次生成が主な生成源であるため、社会活動の多寡以外の気象場にも影響されるため、二酸化窒素とは異なる月増減傾向を示したと考えられる。また、全ての月・時間帯で長町よりも七北田の減少率が大きかった。

(3) 浮遊粒子状物質 SPM

図 10 に時間帯・地点別の 3, 4, 5 月における SPM の 3 年(2017~2019 年)平均濃度と 2020 年平均濃度及び 3 年平均濃度に対する 2020 年濃度の増減率を示す。名取の 5 月 9:00 のみ 2020 年濃度が 3 年平均よりも増加した。減少率は 3 月が最も大きい地点・時間帯が多く、4 月は 3 月と同程度の減少率で、5 月は減少率が低下し、2020 年平均濃度と 3 年平均濃度の差が 5 月になると小さくなっていった。SPM の発生源としては直接的に排出される一次粒子と大気に放出された気体が光化学反応や物理変化などにより粒子化する二次粒子がある[11]。5 月に緊急事態宣言が解除された後に社会活動が徐々に元に戻ることで、人為発生源からの排出量が 3, 4 月よりも増え、直近 3 年レベルの濃度に近づいていったと考えられる。

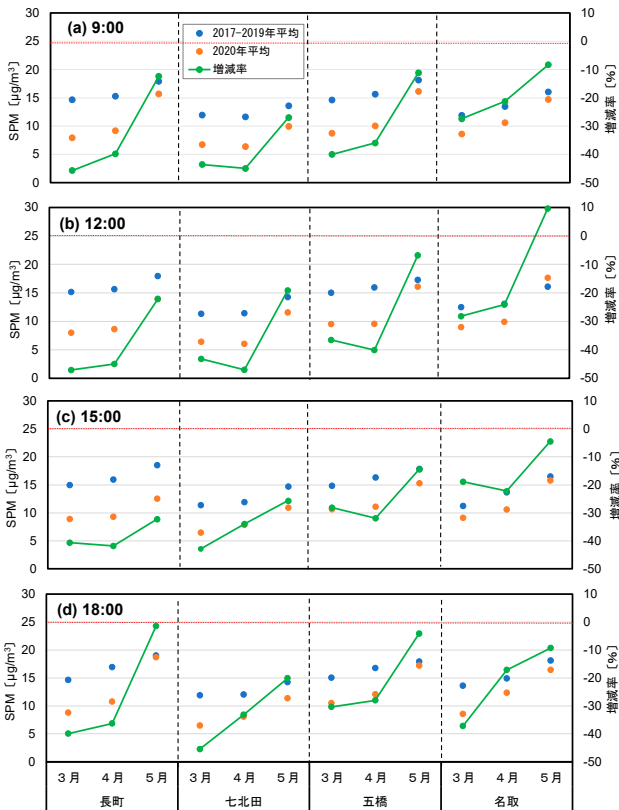


図 10 SPM 濃度の年月別平均値と 3 年(2017~2019 年)平均濃度に対する 2020 年平均濃度の増減率; (a) 9:00, (b) 12:00, (c) 15:00, (d) 18:00

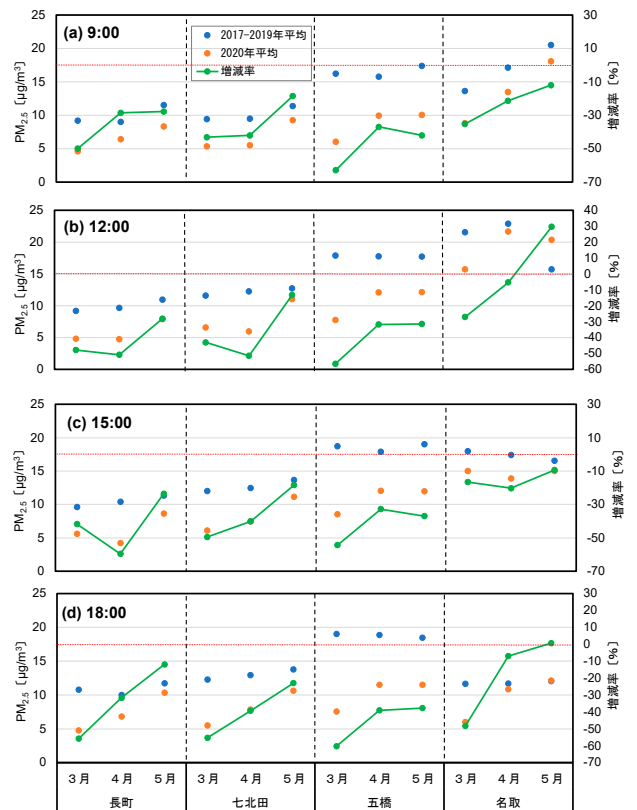


図 11 PM_{2.5} 濃度の年月別平均値と 3 年(2017~2019 年)平均濃度に対する 2020 年平均濃度の増減率; (a) 9:00, (b) 12:00, (c) 15:00, (d) 18:00

(4) 微小粒子状物質 PM_{2.5}

図 11 に時間帯・地点別の 3, 4, 5 月における PM_{2.5} の 3 年(2017~2019 年)平均濃度と 2020 年平均濃度及び 3 年平均濃度に対する 2020 年濃度の増減率を示す。名取の 5 月 9:00, 18:00 のみ 2020 年濃度が 3 年平均よりも増加した。減少率は 3 月が最も大きい地点・時間帯が多く、4 月は 3 月より減少率が減り、5 月はさらに減少率が低下し、2020 年平均濃度と 3 年平均濃度の差が 5 月になると小さくなっていった。3 月の減少率は他の大気汚染物質と比較すると大きく、最大で 60%程度であった。SPM では時間帯によらず同地点においては 3, 4, 5 月の減少率の推移傾向は類似していたが、PM_{2.5} では同地点における 3, 4, 5 月の減少率の推移傾向は異なる傾向を示す時間帯があった。PM_{2.5} は二次生成粒子として生成する場合、その生成条件には気象場が影響する。気象場と社会活動の多寡による直接排出量の変化の両方が影響を与えるため、場所や時間帯により濃度の減少率が変化し、一様ではない月推移を示したと考えられる。

4. まとめ

COVID-19 感染拡大により緊急事態宣言が発出され外出自粛に関する要請が行われた期間について、大気環境の変化の有無を検証した。

大気汚染常時監視情報のオープンデータを用いて、宮城県の 3 月から 5 月における大気汚染物質[NO₂, Ox, SPM, PM_{2.5}]濃度を 2017~2019 年と 2020 年で増減を評価した。社会活動に伴う人流や交通量の時間帯による変化を考慮し、9:00, 12:00, 15:00, 18:00 の時間毎に濃度変化を評価した。

外出自粛要請に関わる社会活動以外の影響要因として気象場の変化を評価するために対象時期の風況を整理した。

対象項目、期間のほとんど場合において、2017~2019 年と比較して 2020 年はその濃度が減少し、PM_{2.5} では最大で 60%程度減少した。

本研究により、国内の他地域と同様に宮城県において 2020 年 4 月の緊急事態宣言発出前後の期間で、直近 3 年間の同時期と比較して大気汚染物

質濃度が大幅に減少していたことがわかった。

対象エリアの人流や交通量の時間帯変化に関するデータを組み込み解析することで、社会活動変化が大気環境に及ぼす影響をより明確に評価できると考えられる。

[15] 国立環境研究所環境数値データベース，時間値データ，<https://www.nies.go.jp/igreen/index.html>

[16] 詳細リスク評価書シリーズ 24 オゾン-光化学オキシダント-，中西準子，篠崎裕哉，井上和也，pp.20 -26,2009.

参 考 文 献

- [1] 街の人出は？全国 18 地点グラフ，NHK 特設サイト 新型コロナウイルス，<https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/outflow-data/>
- [2] 「自粛」で大気汚染に大きな変化～NOx 濃度が大幅低下，傾向に地域差～，埼玉県，2020 年 5 月 29 日 <https://www.pref.saitama.lg.jp/a0001/news/page/2020/0529-09.html>
- [3] 外出自粛に伴う横浜市内の大気環境の変化について，横浜市記者発表資料，横浜市，2020 年 8 月 18 日，https://www.city.yokohama.lg.jp/city-info/koho-kocho/press/kankyo/2020/20200818covid19.files/0003_20200818.pdf
- [4] “新型コロナウイルス感染症緊急事態宣言等の影響による大気汚染状況の変化”，環境省中央環境審議会 大気・騒音振動部会 微小粒子状物質等専門委員会（第 12 回）資料，2020 年 6 月 26 日
- [5] 吉野彩子，高見昭憲“長崎福江島における大気質観測 -COVID-19 による越境大気汚染への影響”，大気環境学会誌，55 巻 6 号，pp.248-251，2020.
- [6] 板橋秀一，王哲，弓本桂也，鶴野伊津志“COVID-19 に対する中国のロックダウン期間における PM_{2.5} 越境輸送の変容”，大気環境学会誌，55 巻 6 号，pp.239-247，2020.
- [7] 大気汚染に係る環境基準，環境省 <https://www.env.go.jp/kijun/taiki.html>
- [8] 大気汚染状況，環境省大気環境モニタリング実施結果，<https://www.env.go.jp/air/osen/index.html>
- [9] 宮城県環境白書，宮城県 <https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/kankyo-s/hakusyofram.html>
- [10] 新・公害防止の技術と法規 2018 II 大気概論，公害防止の技術と法規 編集委員会 編，pp.71-74，pp.80-81，2018.
- [11] 関口和彦，“入門講座 PM_{2.5}-第 1 講 PM_{2.5} の特性”，大気環境学会誌，45 巻 4 号，pp.A54-A60，2010.
- [12] 内田美穂，八戸美寿紀 “仙台港周辺における大気環境の傾向分析”，東北工業大学紀要 理工学編，第 39 号，pp.17-29，2019.
- [13] 宮城県大気汚染常時監視情報，宮城県，<https://www.ihe.pref.miyagi.jp/telem/download>
- [14] 環境省大気汚染物質広域監視システム そらまめくん，ダウンロード，<http://soramame.taiki.go.jp/Download.php>