

COVID-19 による行動制限前後の仙台市の大気環境傾向分析

— 2019～2022 年春季の比較 —

内田 美穂*

Analysis of the Atmospheric Environment in Sendai City before and after movement restrictions caused by COVID-19 measures — Comparison in the spring from 2019 to 2022 —

Miho UCHIDA*

Abstract

The variation in the atmospheric environment in Sendai city in the spring from 2019 to 2022, before and after movement restrictions measures due to the spread of COVID-19, was analyzed. The concentrations of air pollutants (NO_2 , O_3 [photochemical oxidants], suspended particulate matter [SPM], and $\text{PM}_{2.5}$) from March to May in 2020, 2021, and 2022 were compared with those of 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 SPM and $\text{PM}_{2.5}$ in the spring of target years, especially 2020 were significantly lower than in the corresponding periods in 2019 and the maximum decrease was 50 % and 60 % for SPM and $\text{PM}_{2.5}$ respectively.

1. はじめに

2020年1月に新型コロナウイルス COVID-19 の国内感染が起こり、その後、感染拡大の波を繰り返しながら 2023 年 5 月に感染症法上の位置づけが 2 類から 5 類感染症に移行し、日本政府の COVID-19 に対する「基本的対処方針」が廃止された。この期間、感染拡大防止のために緊急事態宣言、まん延防止等重点措置の発出により様々な外出自粛や行動制限に係る政策が行われた[1,2]。

2020 年当初は COVID-19 感染に関する知見が少なく、感染拡大防止対策として特に 3 月から 5 月の間に全国的に大規模な外出自粛要請の動きがあった。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 県が緊急事態宣言を解除され、5 月 25 日には全国の緊急事態宣言が解除された。

2021 年春季は宮城県での感染拡大に伴い、3 月 18 日から 5 月 31 日にかけて宮城県・仙台市独自の緊急事態宣言が発出された。また、4 月 5 日から 5 月 11 日の期間、宮城県にまん延防止等重点措置が適用された。

全国的には、2021 年 10 月 1 日以降、日本政府から緊急事態宣言は発出されていない。また、2022 年 3 月 22 日以降、まん延防止等重点措置は発出されていない。

2023 年 9 月 28 日受理

* 環境応用化学科 教授

外出自粛要請が行われた期間のうち、特に、2020年4月の初めての緊急事態宣言下において仙台市街地に位置する仙台駅付近ではCOVID-19感染拡大前の期間(2020年1月18日～2月14日)と比較して人流は約1/3に減少した[3]。

このような緊急事態宣言などにより外出自粛要請が行われた2020年春季において、日本各地で大気環境の変化が報告された[4-7]。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[7-9]。

国内では大気汚染に係る環境基準が設定されている項目を中心に、大気汚染の状況を監視するための測定局が設置されている。測定局では大気汚染防止法に基づいて、24時間測定により環境大気の状態を常時監視している。大気汚染常時監視対象の項目のうち、二酸化窒素(NO₂)、光化学オキシダント(Ox)、浮遊粒子状物質(SPM)、微小粒子状物質(PM_{2.5})の環境基準[10]を表1に示す。

表1 大気常時監視項目の環境基準

| 項目 | 環境基準 |
|-------------------|--|
| 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 |
| Ox | 1時間値が0.06 ppm以下 |
| 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 |
| 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 |

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(NO_x)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[11]。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[12]。同一大気汚染物質でも多数の排出源、生成経路があり、またその生成には他の大気汚染物質が関与している場合があり、大気中の濃度に影響を及ぼしていると考えられる。

本研究では、様々な外出自粛要請や行動制限に係る施策が行われた3月から5月の春季における仙台市の2020、2021年の大気環境および制限が緩和された2022年の大気環境を同時期の2019年のデータと比較し、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した。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事例が多いが、NO₂やOxはその生成機構から日内変動が大きい[13]。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日中複数の時間帯に区分して濃度変動を評価[14]した。また、2020、2021年の全国の複数地点での大気汚染物質濃度減少について、緊急事態宣言などによる社会経済活動の変化の影響が示唆される一方で、これまでの排出抑制対策により大気汚染物質濃度が減少トレンドにあること、気象変化に伴う年々変動、越境汚染の影響等を考慮する必要がある[6,9]。本研究では、大気汚染物質濃度に影響を与える要因として、気象(風向・風速)、交通量、社会経済活動の指標として人流の各データを用い、同時期のこれらの変化について併せて評価した。

2. 調査方法

2.1 調査項目

以下の項目を調査した。

- (1)大気常時監視項目; 二酸化窒素 NO₂, 光化学オキシダント Ox, 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
Ox, WD, WSについては対象とした大気常時監視測定局のうち一般局のみ測定されている。
- (3)人流(平均滞在人口)
- (4)交通量(断面交通量)

2.2 調査地点

- (1) 大気常時監視項目
宮城県仙台市の大気常時監視測定局 5 ヶ所を対

象とした。仙台市の 5 つの区からそれぞれ、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、平時の人流や交通量が多い仙台市南北にわたる 5 測定局（一般局 3 ヲ所、自動車排ガス測定局〔以下自排局〕2 ヲ所）を選定した。ただし、五橋測定局は若林区と青葉区の区境界近くに設置されているが、仙台駅最寄りの測定局として青葉区相当として選定した。

図 1 に調査対象測定局の位置を示す。本論文中で地点図示と地理情報システム(GIS)の背景地図として国土地理院標準地図または淡色地図[15]を使用した。七北田(一般局)は仙台市北部国道 4 号線付近、苦竹(自排局)は国道 45 号線付近、五橋(自排局)は JR 仙台駅周辺の市街地中心部、七郷(一般局)は仙台市東部国道 4 号線と仙台東部道路の間、長町(一般局)は仙台市南部国道 4 号線付近にそれぞれ設置されている。



図 1 調査対象大気・気象測定局及び断面交通量測定地点の位置; 地理院標準地図

<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>

(2) 気象項目

大気測定局の五橋と苦竹の間に位置する仙台管区気象台を対象とした。調査対象の大気測定局のうち最も離れている七北田との距離は約 7km である。

(3) 人流

各大気測定局を含む 3 次メッシュ 1 区画を中心とし、その周辺の 3 次メッシュ 8 区画を含む 9 区画を人流の集計対象とした。

(4) 交通量

断面交通量の計測地点情報[16]を入手し、各大気測定局に近接する断面交通量計測地点を選定した。対象地点のうち国道については仙台駅に向かう方向を「上り」、逆方向を「下り」と定義した。測定地点の位置を図 1 に、計測地点情報を表 2 に示す。

表 2 断面交通量計測地点情報

| 地点名 | 計測地点番号 | 計測地点名 | 交通管理リンク番号 |
|---------|--------|-----------|-----------|
| 長町(下り) | 498 | 鹿ノ又 南 | 7 |
| 長町(上り) | 575 | 籠ノ瀬 北 1 | 25 |
| 長町B | 388 | 長町南駅前東側 西 | 186 |
| 七郷 | 1560 | 荒井新屋敷 西行 | 566 |
| 五橋 | 87 | 鉄管前 北 | 276 |
| 苦竹(下り) | 406 | 坂下 西 | 843 |
| 苦竹(上り) | 271 | 中原 東 | 845 |
| 七北田(下り) | 440 | 天神沢歩道橋 南 | 25 |
| 七北田(上り) | 303 | 免許センター 北 | 35 |

2.3 調査期間

緊急事態宣言、まん延防止等重点措置等に伴う行動制限要請による影響を比較するため、対象期間を 2019、2020、2021、2022 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[9]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。大気汚染物質の調査対象とした 2019～2022 年の気象場の特異性の有無を検定するために、2014～2018 年の気象データを比較に用いた。

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（一部非オープンデータ）を用いた。

(1) 大気常時監視項目

2019～2022 年の確定値を用いた；
宮城県 宮城県大気汚染常時監視情報 [17]

(2) 気象項目

2014～2022 年の風向・風速データを気象庁のウェブサイト[18]から検索・入手した。

(3) 人流

国土交通省が提供する「全国の人流オープンデータ(1km メッシュ, 市区町村単位発地別)」データ[19]を利用した。ただし、オープンデータと

して公開されているデータは2019, 2020, 2021年である。

(4) 交通量

2019~2021年の断面交通量(5分間隔)データはG空間情報センター[20]から入手した。2022年の断面交通量データ(5分間隔)は(公財)日本道路交通情報センターのウェブサイト[21]でオープンデータとして公開されているデータを入手した。

2.5 分析方法

(1) 大気常時監視項目

- ・時間帯別濃度：対象大気測定局の各調査項目の日中3時間毎(9時, 12時, 15時, 18時)の濃度平均値を年・月毎に整理した。

- ・対2019年増減率：2019年の同月濃度平均値に対する2020~2022年各年濃度平均値の増減率を年・月・時間帯毎に整理した。

(2) 気象項目

2014~2018年の5年間を平年とし、対象各年と比較した。平年と対象各年の風況を比較することで、気象場の変化を評価した。

- ・風配図作成：仙台管区気象台の風向・風速データを用い風配図作成ソフトウェア(WindRose Pro3, Enviroware)により平年3,4,5月の風配図を作成し、風向、風速の出現頻度を風況として整理した。

- ・異常年検定：対象年の気象と平年の気象の分散分布をF分布棄却検定法により検定(異常年検定)[22,23]した。風向別出現回数、風速階級別出現回数を評価対象とし、有意水準を1%とした。

(3) 人流

- ・平均滞在人口：各大気測定局を含む3次メッシュ1区画を中心とし、その周辺の3次メッシュ8区画を含む9区画の平均滞在人口を各年・月毎に集計した。平均滞在人口は1ヶ月間における1日あたりの換算人口の平均値で定義される。このうち、平日と休日を合わせた全日、昼11時台から14時台の平均値を分析に用いた。

- ・対2019年増減率：2019年の同月平均滞在人口に対する2020,2021年各年同月人口の増減率を3次メッシュ毎に計算し、QGIS[24]により図示した。

(4) 交通量

- ・断面交通量変動幅：5分間交通量を1時間毎の交通量として集計し、日中3時間毎(9時, 12時, 15時, 18時)の交通量の平均値と変動幅を年・月毎に整理した。

- ・対2019年増減率：2019年の同月交通量平均値に対する2020~2022年各年交通量平均値の増減

率を年・月・時間帯毎に整理した。

3. 結果及び考察

3.1 大気常時監視項目

(1) 二酸化窒素 NO₂

図2に時間帯・地点別の3, 4, 5月におけるNO₂各年平均濃度及び2019年平均濃度に対する2020, 2021, 2022年濃度の増減率を示す。

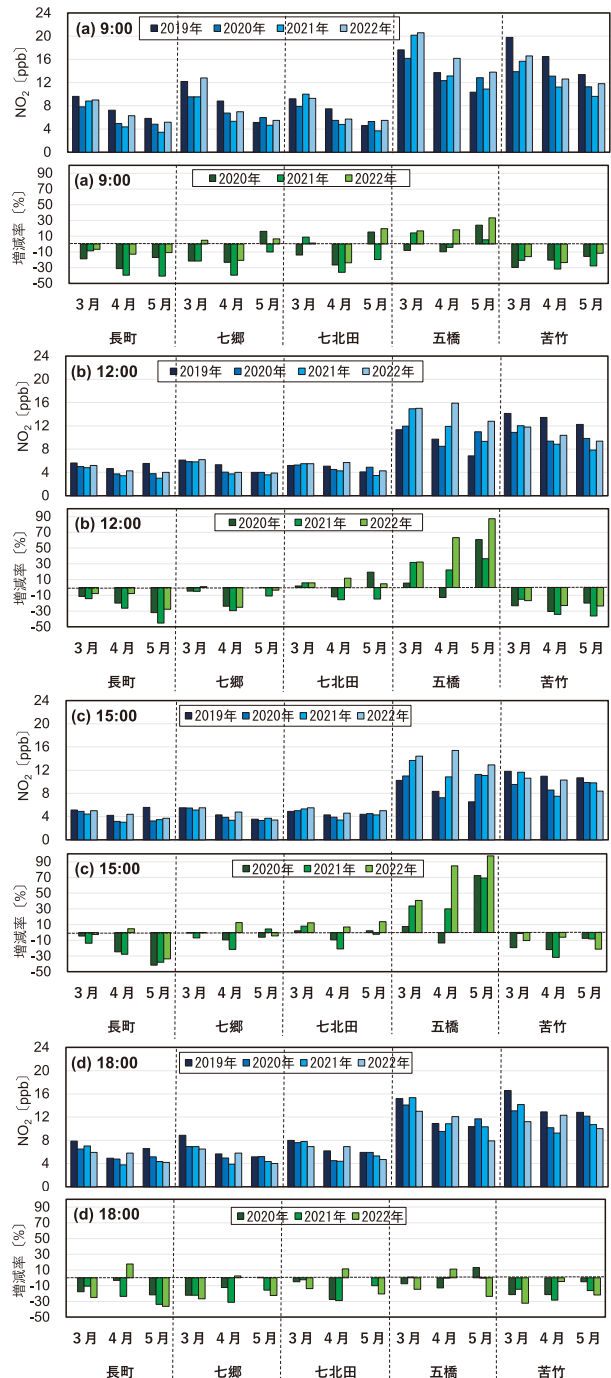


図2 NO₂濃度の年月別平均値と2019年平均濃度に対する増減率；(a) 9:00, (b) 12:00, (c) 15:00, (d) 18:00

一般局(長町, 七郷, 七北田)と比較して自排局(五橋, 苦竹)の平均濃度が高いこと, 朝(9:00)と夕(18:00)の濃度が日中(12:00, 15:00)と比較して高いことは, 通常の日内変化の傾向と同様[13,14]である。

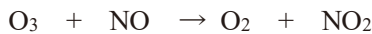
増減は, 長町, 七郷, 苦竹は対象期間でほぼ減少傾向を示し, 最大で 40%程度減少した。2021 年 4 月, 5 月の減少率が大きかった。一方, 五橋は増加傾向を示し, 12:00, 15:00 の日中の時間帯の増加が顕著であり最大 90%増加した。特に 15:00 について, 5 月は 2020~2022 年の各年で 70%以上増加した。七北田は年月により増減が混在した。

後述する断面交通量の分析結果からは, 交通量が多い五橋, 苦竹, 七北田は対象期間において交通量は大きく減少していたことがわかった。NO₂ の生成源となる窒素酸化物の主な排出源は自動車排ガスであるが, 交通量の多い地点での NO₂ 増減傾向が五橋 (増加), 苦竹 (減少), 七北田(増減)と地点により異なったことから, 交通量以外の要因が濃度の増減に影響していることが示唆された。

(2) 光化学オキシダント O_x

図 3 に時間帯・地点別の 3, 4, 5 月における O_x 各年平均濃度及び 2019 年平均濃度に対する 2020, 2021, 2022 年濃度の増減率を示す。

O_x は一般局で測定されている。対象とする 3 局(長町, 七郷, 七北田)で濃度の平均値に大きな違いはみられず, 約 40~50ppb 程度であった。また, 朝(9:00)と夕(18:00)の濃度と比較して日中(12:00, 15:00)の平均濃度が高いことは, 通常の日内変化の傾向と同様[13,14]である。O_x の主成分であるオゾン O₃ 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[25]。一方, NO₂ と O_x の日内変動が反転する要因の一つとしてタイトレーション反応[26]が挙げられる。タイトレーション反応では O_x の主成分であるオゾン O₃ を含む気塊において NO(一酸化窒素)排出があると



の反応により O₃ が消費されて NO₂ が生成する。

増減は, 七郷で減少, 長町と七北田の 3, 5 月は減少傾向である一方, 4 月は増加傾向で特に 2022 年の増加率が約 15~20%程度と顕著であった。これらの増減傾向は NO₂ の増減傾向と反転しているわけではなく, O_x の生成/消滅要因となる窒素酸化物主成分 NO₂ の増減の影響は評価できなかった。

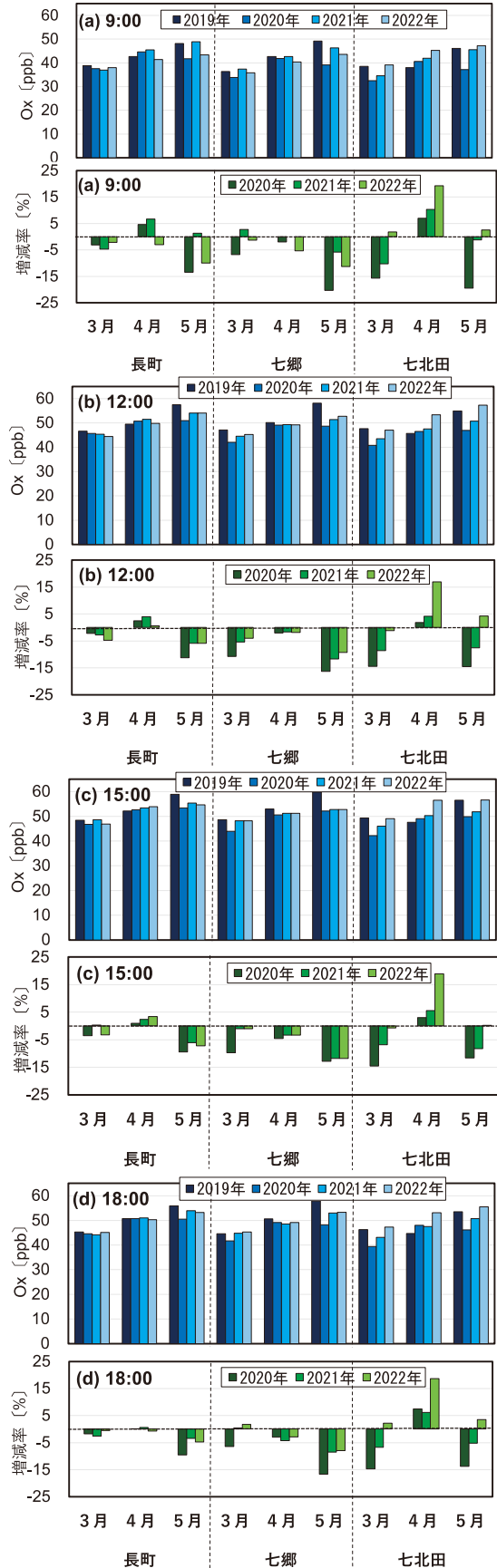


図 3 O_x 濃度の年月別平均値と 2019 年平均濃度に対する増減率; (a) 9:00, (b) 12:00, (c) 15:00, (d) 18:00

(3) 浮遊粒子状物質 SPM

図4に時間帯・地点別の3, 4, 5月におけるSPM各年平均濃度及び2019年平均濃度に対する2020, 2021, 2022年濃度の増減率を示す。

一般局(長町, 七郷, 七北田)と比較して自排局(五橋, 苦竹)の平均濃度が高かった。NO₂やO_xは日内濃度変化が大きいのにに対し, SPMは日内濃度変化が小さい一方で, 日間変化は大きい項目である[13,14]。

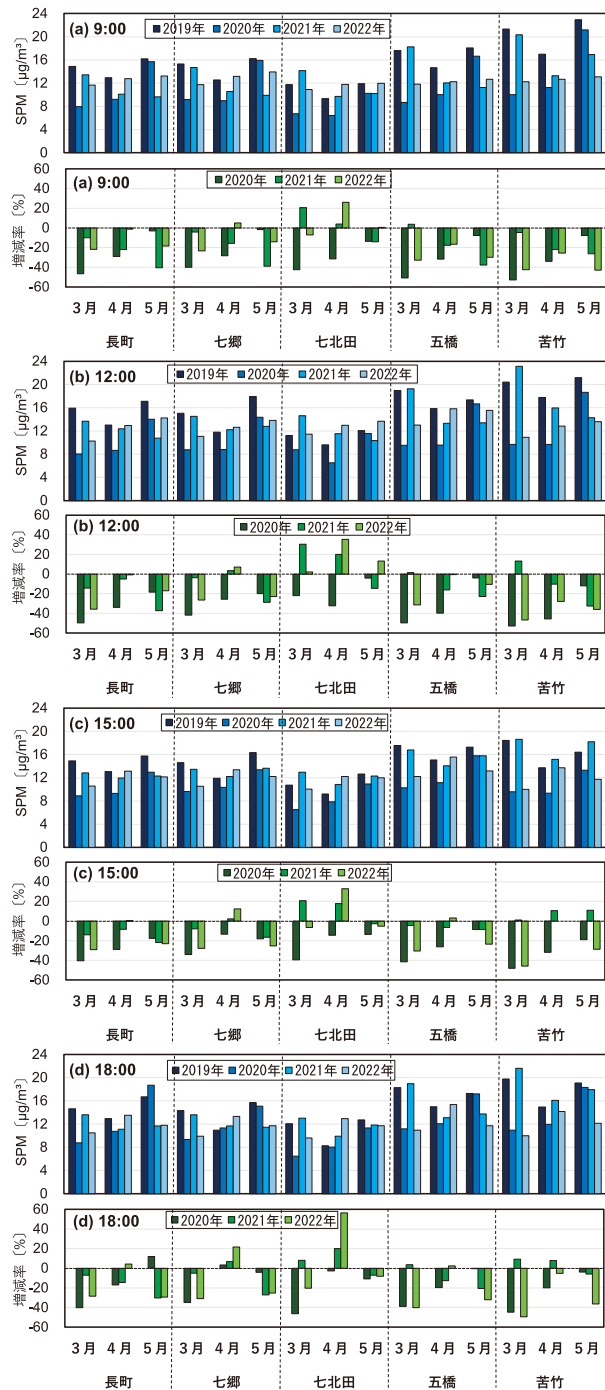


図4 SPM濃度の年月別平均値と2019年平均濃度に対する増減率; (a) 9:00, (b) 12:00, (c) 15:00, (d) 18:00

増減は長町, 五橋, 苦竹が減少傾向で, 苦竹の減少率が最も大きかった。七郷は18:00台の4月が増加, それ以外が減少傾向, 七北田は増減混在で, 特に4月に増加傾向であった。

(4) 微小粒子状物質 PM_{2.5}

図5に時間帯・地点別の3, 4, 5月におけるPM_{2.5}各年平均濃度及び2019年平均濃度に対する2020, 2021, 2022年濃度の増減率を示す。

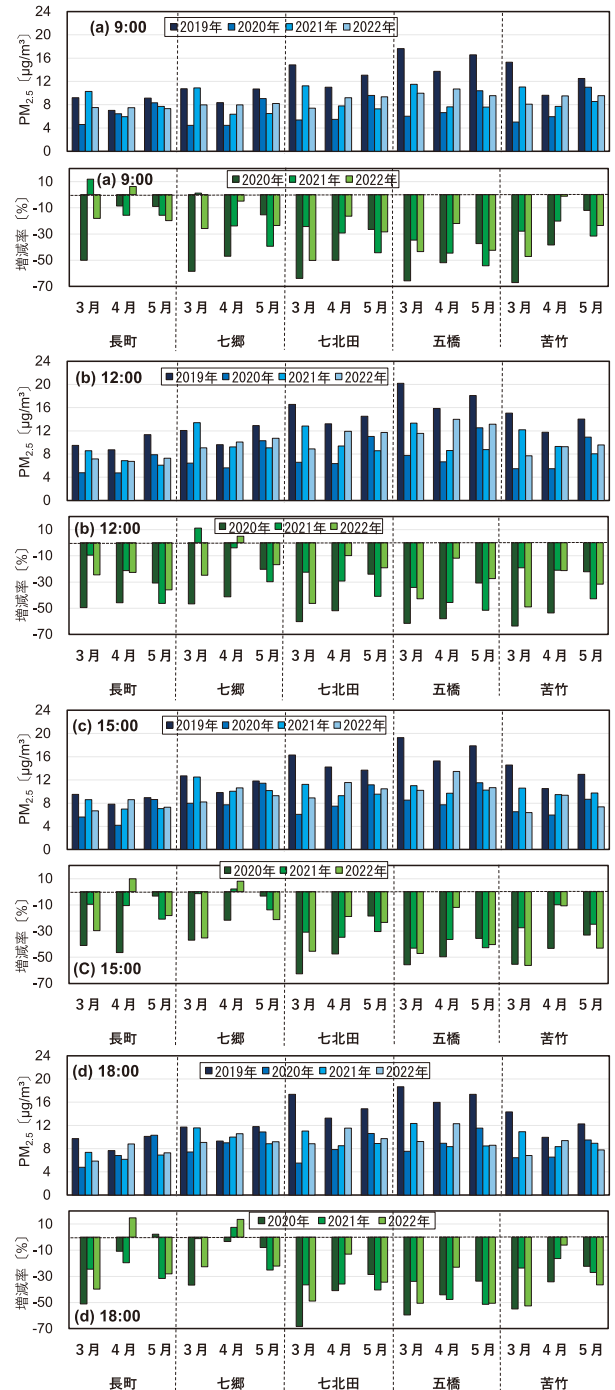


図5 PM_{2.5}濃度の年月別平均値と2019年平均濃度に対する増減率; (a) 9:00, (b) 12:00, (c) 15:00, (d) 18:00

五橋と七北田が他の測定地点と比較して2019年時点での濃度が高い傾向にあった。全ての対象測定地点において減少傾向にあり、特に七北田と五橋の減少率が大きかった。また、2020年3月、4月の減少率が最大で-70%であり、対象期間を通して他の大気測定項目と比較して減少率が大きかった。これらの結果から特に2020年春季についてはPM_{2.5}の濃度低下に大きな影響を与えた要因があることが示唆された。

3.2 気象項目

(1) 風況

仙台管区気象台2014~2018年の5年間の3,4,5月の風配図を作成した。各月の風配図を図6に示す。

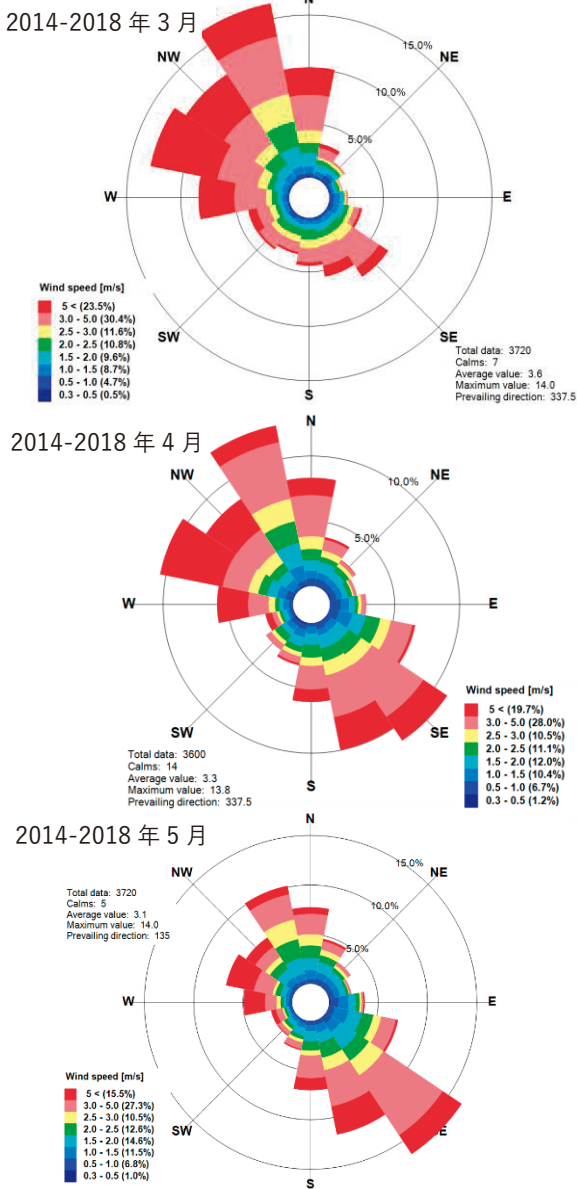


図6 仙台(仙台管区気象台)の2014~2018年3,4,5月の風配図

卓越風は3月北北西~西北西, 4月北北西~西北西と南東の2方向に分かれ, 5月南東であった。3月から5月にかけて卓越風向は北西側から南東側にシフトした。平均風速は3月3.6 m/s, 4月3.3 m/s, 5月3.1 m/sと若干低下した。

(2) 異常年検定

風向別出現回数, 風速階級別出現回数を評価対象とし, 対象各年と平年(2014~2018年)の分散分布を検定した。有意水準 $\alpha=1%$ とした。表3~5に3月, 4月, 5月の検定結果を示す。分散比 F_0 が有意水準1%の場合の所定値を上回った項目を黄色網がけで示した。

表3 異常年検定(分散分析)の結果 (3月)

| 風向 | 比較年度 | | 検定年度 2019年 | | 検定年度 2020年 | | 検定年度 2021年 | | 検定年度 2022年 | |
|------|-------|------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| | 平均 | 標準偏差 | 出現頻度 | F_0 | 出現頻度 | F_0 | 出現頻度 | F_0 | 出現頻度 | F_0 |
| NNE | 24.2 | 6.4 | 21 | 0.17 | 24 | 0.00 | 21 | 0.17 | 16 | 1.08 |
| NE | 16 | 3.2 | 30 | 12.56 | 15 | 0.06 | 13 | 0.58 | 20 | 1.03 |
| ENE | 9.8 | 2.4 | 25 | 26.74 | 4 | 3.89 | 9 | 0.07 | 11 | 0.17 |
| E | 13 | 3.0 | 13 | 0.00 | 10 | 0.65 | 7 | 2.61 | 14 | 0.07 |
| ESE | 23.4 | 6.5 | 24 | 0.01 | 17 | 0.65 | 21 | 0.09 | 24 | 0.01 |
| SE | 51.6 | 16.6 | 53 | 0.00 | 44 | 0.14 | 60 | 0.17 | 68 | 0.65 |
| SSE | 41.6 | 12.4 | 40 | 0.01 | 47 | 0.13 | 67 | 2.78 | 56 | 0.89 |
| S | 33 | 13.1 | 29 | 0.06 | 26 | 0.19 | 37 | 0.06 | 55 | 1.87 |
| SSW | 25.8 | 5.1 | 25 | 0.02 | 28 | 0.12 | 16 | 2.45 | 24 | 0.08 |
| SW | 29 | 4.1 | 17 | 5.58 | 22 | 1.90 | 14 | 8.72 | 17 | 5.58 |
| WSW | 29.2 | 8.5 | 32 | 0.07 | 30 | 0.01 | 18 | 1.16 | 19 | 0.96 |
| W | 62.4 | 17.7 | 53 | 0.19 | 66 | 0.03 | 37 | 1.37 | 52 | 0.23 |
| WNW | 97.4 | 23.7 | 125 | 0.90 | 116 | 0.41 | 115 | 0.37 | 109 | 0.16 |
| NW | 88.2 | 18.6 | 88 | 0.00 | 93 | 0.04 | 92 | 0.03 | 75 | 0.34 |
| NNW | 122.2 | 20.0 | 101 | 0.75 | 132 | 0.16 | 143 | 0.72 | 121 | 0.00 |
| N | 75.8 | 18.4 | 67 | 0.15 | 66 | 0.19 | 74 | 0.01 | 61 | 0.43 |
| Calm | 1.4 | 1.2 | 1 | 0.07 | 4 | 3.13 | 0 | 0.91 | 2 | 0.17 |

| 風速 (m/s) | 比較年度 | | 検定年度 2019年 | | 検定年度 2020年 | | 検定年度 2021年 | | 検定年度 2022年 | |
|----------|-------|------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| | 平均 | 標準偏差 | 出現頻度 | F_0 | 出現頻度 | F_0 | 出現頻度 | F_0 | 出現頻度 | F_0 |
| 0.4以下 | 5.4 | 4.8 | 6 | 0.01 | 11 | 0.91 | 5 | 0.00 | 11 | 0.91 |
| 0.5~0.9 | 34.8 | 5.9 | 53 | 6.32 | 43 | 1.28 | 42 | 0.99 | 53 | 6.32 |
| 1.0~1.9 | 135.8 | 17.5 | 145 | 0.18 | 169 | 2.40 | 146 | 0.23 | 165 | 1.85 |
| 2.0~2.9 | 166.4 | 9.6 | 167 | 0.00 | 146 | 2.98 | 143 | 3.92 | 156 | 0.78 |
| 3.0~3.9 | 132.8 | 14.1 | 130 | 0.03 | 103 | 2.96 | 127 | 0.11 | 111 | 1.59 |
| 4.0~5.9 | 172.6 | 14.3 | 144 | 2.66 | 162 | 0.37 | 160 | 0.52 | 156 | 0.90 |
| 6.0~7.9 | 70.6 | 15.0 | 77 | 0.12 | 80 | 0.26 | 93 | 1.49 | 64 | 0.13 |
| 8.0以上 | 25.6 | 7.2 | 22 | 0.17 | 30 | 0.25 | 28 | 0.07 | 28 | 0.07 |

表4 異常年検定(分散分析)の結果 (4月)

| 風向 | 比較年度 | | 検定年度 2019年 | | 検定年度 2020年 | | 検定年度 2021年 | | 検定年度 2022年 | |
|------|------|------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| | 平均 | 標準偏差 | 出現頻度 | F_0 | 出現頻度 | F_0 | 出現頻度 | F_0 | 出現頻度 | F_0 |
| NNE | 28 | 3.8 | 22 | 1.62 | 32 | 0.72 | 25 | 0.41 | 25 | 0.41 |
| NE | 19.6 | 6.9 | 19 | 0.01 | 35 | 3.30 | 17 | 0.09 | 11 | 1.03 |
| ENE | 15.6 | 1.4 | 19 | 4.19 | 16 | 0.06 | 10 | 11.36 | 25 | 32.01 |
| E | 20.4 | 5.5 | 16 | 0.42 | 16 | 0.42 | 19 | 0.04 | 25 | 0.46 |
| ESE | 48.6 | 8.1 | 35 | 1.87 | 27 | 4.72 | 42 | 0.44 | 30 | 3.50 |
| SE | 80.4 | 9.1 | 69 | 1.04 | 68 | 1.23 | 43 | 11.23 | 106 | 5.26 |
| SSE | 71.8 | 10.4 | 61 | 0.72 | 76 | 0.11 | 76 | 0.11 | 79 | 0.32 |
| S | 43.8 | 9.7 | 53 | 0.60 | 46 | 0.03 | 60 | 1.86 | 56 | 1.05 |
| SSW | 24.2 | 4.9 | 25 | 0.02 | 22 | 0.14 | 17 | 1.45 | 16 | 1.89 |
| SW | 20.2 | 8.4 | 12 | 0.64 | 15 | 0.26 | 18 | 0.05 | 19 | 0.01 |
| WSW | 16 | 6.3 | 19 | 0.15 | 15 | 0.02 | 18 | 0.07 | 6 | 1.68 |
| W | 42.2 | 11.4 | 47 | 0.12 | 48 | 0.17 | 44 | 0.02 | 33 | 0.43 |
| WNW | 75.4 | 24.6 | 92 | 0.30 | 82 | 0.05 | 76 | 0.00 | 42 | 1.23 |
| NW | 60.2 | 11.4 | 72 | 0.71 | 79 | 1.81 | 81 | 2.22 | 56 | 0.09 |
| NNW | 90.8 | 25.4 | 98 | 0.05 | 70 | 0.45 | 96 | 0.03 | 119 | 0.82 |
| N | 60 | 15.1 | 56 | 0.05 | 70 | 0.29 | 70 | 0.29 | 72 | 0.42 |
| Calm | 2.8 | 2.0 | 5 | 0.78 | 3 | 0.01 | 8 | 4.33 | 0 | 1.26 |

| 風速 (m/s) | 比較年度 | | 検定年度 2019年 | | 検定年度 2020年 | | 検定年度 2021年 | | 検定年度 2022年 | |
|----------|-------|------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| | 平均 | 標準偏差 | 出現頻度 | F_0 | 出現頻度 | F_0 | 出現頻度 | F_0 | 出現頻度 | F_0 |
| 0.4以下 | 11.6 | 2.2 | 11 | 0.05 | 13 | 0.28 | 10 | 0.37 | 6 | 4.51 |
| 0.5~0.9 | 48.2 | 7.3 | 37 | 1.57 | 39 | 1.06 | 31 | 3.70 | 48 | 0.00 |
| 1.0~1.9 | 161.4 | 14.7 | 161 | 0.00 | 135 | 2.16 | 127 | 3.66 | 157 | 0.06 |
| 2.0~2.9 | 155.4 | 18.2 | 151 | 0.04 | 123 | 2.11 | 153 | 0.01 | 171 | 0.49 |
| 3.0~3.9 | 111.2 | 9.4 | 99 | 1.12 | 125 | 1.43 | 117 | 0.25 | 131 | 2.95 |
| 4.0~5.9 | 143.6 | 4.7 | 163 | 11.28 | 169 | 19.34 | 157 | 5.38 | 151 | 1.64 |
| 6.0~7.9 | 61 | 15.6 | 70 | 0.22 | 61 | 0.00 | 82 | 1.20 | 47 | 0.54 |
| 8.0以上 | 27.6 | 14.1 | 28 | 0.00 | 55 | 2.52 | 43 | 0.80 | 9 | 1.16 |

5月 表5 異常年検定(分散分析)の結果 (5月)

| 風向 | 比較年度 | | 検定年度 2019年 | | 検定年度 2020年 | | 検定年度 2021年 | | 検定年度 2022年 | |
|------|-------|------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| | 平均 | 標準偏差 | 出現頻度 | F_0 | 出現頻度 | F_0 | 出現頻度 | F_0 | 出現頻度 | F_0 |
| NNE | 35 | 4.3 | 24 | 4.29 | 50 | 7.98 | 21 | 6.95 | 26 | 2.87 |
| NE | 22.8 | 5.0 | 17 | 0.91 | 21 | 0.09 | 19 | 0.39 | 18 | 0.63 |
| ENE | 17.8 | 2.8 | 8 | 8.25 | 18 | 0.00 | 17 | 0.05 | 15 | 0.67 |
| E | 27.2 | 6.6 | 13 | 3.10 | 23 | 0.27 | 14 | 2.68 | 24 | 0.16 |
| ESE | 53.6 | 10.2 | 44 | 0.59 | 46 | 0.37 | 48 | 0.20 | 49 | 0.14 |
| SE | 123.4 | 8.8 | 123 | 0.00 | 105 | 2.95 | 120 | 0.10 | 119 | 0.17 |
| SSE | 87.6 | 6.7 | 145 | 49.65 | 86 | 0.04 | 98 | 1.63 | 118 | 13.93 |
| S | 52.4 | 9.1 | 55 | 0.05 | 55 | 0.05 | 56 | 0.11 | 51 | 0.02 |
| SSW | 23 | 6.8 | 26 | 0.13 | 28 | 0.36 | 21 | 0.06 | 29 | 0.52 |
| SW | 16.8 | 3.7 | 26 | 4.22 | 17 | 0.00 | 9 | 3.04 | 18 | 0.07 |
| WSW | 16.8 | 2.7 | 18 | 0.13 | 14 | 0.71 | 20 | 0.93 | 14 | 0.71 |
| W | 36.8 | 8.6 | 32 | 0.21 | 43 | 0.35 | 66 | 7.75 | 40 | 0.09 |
| WNW | 51.4 | 13.7 | 41 | 0.38 | 42 | 0.31 | 64 | 0.56 | 53 | 0.01 |
| NW | 45 | 9.1 | 51 | 0.29 | 40 | 0.20 | 46 | 0.01 | 48 | 0.07 |
| NNW | 75.6 | 10.3 | 74 | 0.02 | 85 | 0.55 | 76 | 0.00 | 79 | 0.07 |
| N | 57.8 | 5.9 | 45 | 3.12 | 62 | 0.34 | 48 | 1.83 | 40 | 6.04 |
| Calm | 1 | 0.9 | 2 | 0.83 | 9 | 53.33 | 1 | 0.00 | 3 | 3.33 |

| 風速 (m/s) | 比較年度 | | 検定年度 2019年 | | 検定年度 2020年 | | 検定年度 2021年 | | 検定年度 2022年 | |
|----------|-------|------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| | 平均 | 標準偏差 | 出現頻度 | F_0 | 出現頻度 | F_0 | 出現頻度 | F_0 | 出現頻度 | F_0 |
| 0.4以下 | 8.6 | 4.6 | 15 | 1.27 | 21 | 4.78 | 6 | 0.21 | 9 | 0.00 |
| 0.5~0.9 | 50.4 | 11.8 | 51 | 0.00 | 65 | 1.03 | 46 | 0.09 | 59 | 0.36 |
| 1.0~1.9 | 193.8 | 20.8 | 172 | 0.73 | 185 | 0.12 | 145 | 3.67 | 194 | 0.00 |
| 2.0~2.9 | 172.4 | 17.8 | 150 | 1.06 | 187 | 0.45 | 160 | 0.32 | 164 | 0.15 |
| 3.0~3.9 | 123.8 | 23.9 | 118 | 0.04 | 111 | 0.19 | 151 | 0.86 | 121 | 0.01 |
| 4.0~5.9 | 135 | 20.8 | 145 | 0.15 | 122 | 0.26 | 181 | 3.27 | 138 | 0.01 |
| 6.0~7.9 | 43 | 14.3 | 61 | 1.06 | 37 | 0.12 | 37 | 0.12 | 47 | 0.05 |
| 8.0以上 | 17 | 7.9 | 32 | 2.37 | 16 | 0.01 | 18 | 0.01 | 12 | 0.26 |

風向については3月1方向,4月1方向,5月1方向(Calm については出現頻度数が少ないので評価対象外とした)で F_0 が所定値よりも大きくなった。また,風速については全ての階級において F_0 が所定値を下回った。よって,対象とした2019~2022年の各年春季において,風向・風速の分布は2014~2018年の分布と比較し異常ではなく,対象年の風向・風速による気象場変化の影響は大きくないと考えられる。

3.3 人流

人流を日中11時台から14時台の平均値を1日あたりの換算人口値にした月別平均値から2019年に対する増減率を算出した。各月の2019年換算人口値と2019年に対する2020年,2021年の増減率を図7(3月),図8(4月),図9(5月)に示す。

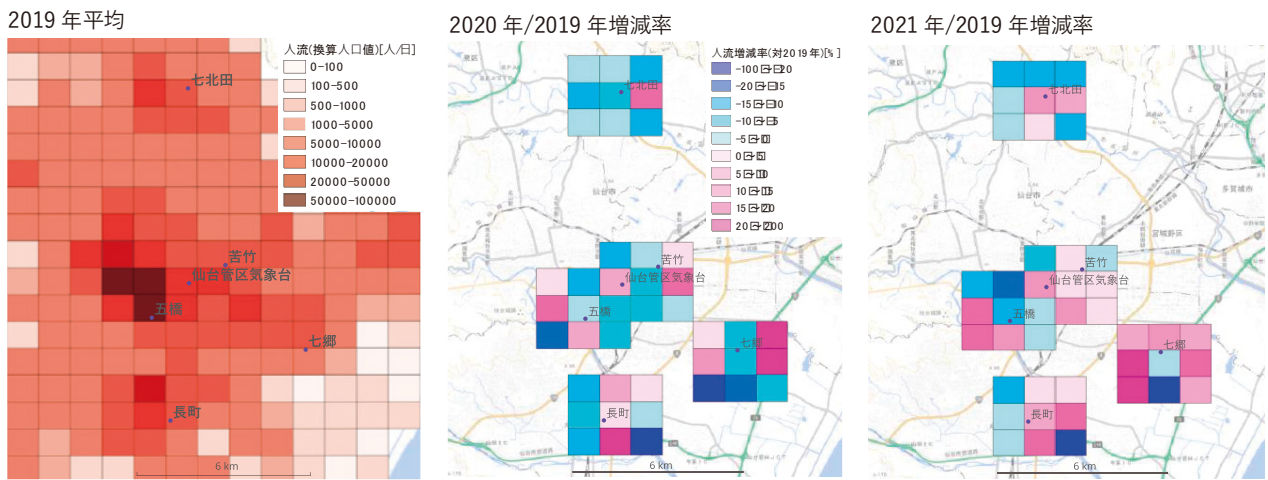


図7 対象メッシュ換算人口値の2019年平均と2019年に対する2020年,2021年の増減率;3月

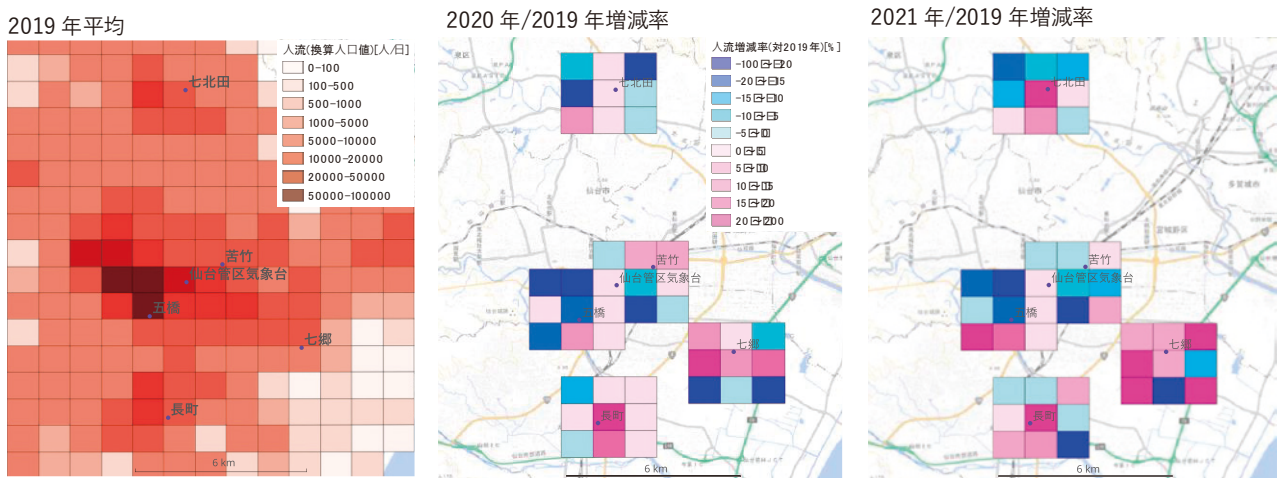


図8 対象メッシュ換算人口値の2019年平均と2019年に対する2020年,2021年の増減率;4月

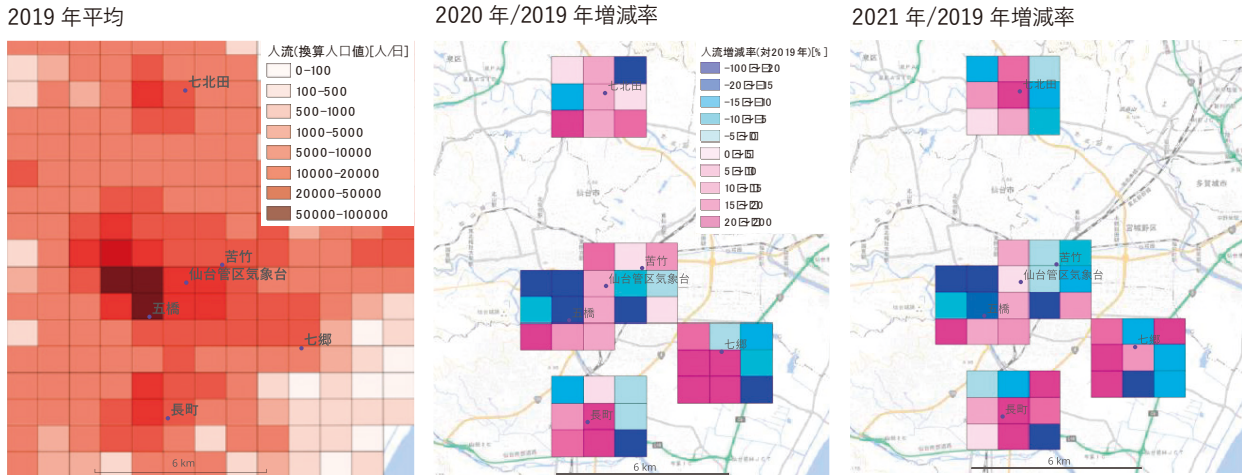


図9 対象メッシュ換算人口値の2019年平均と2019年に対する2020年、2021年の増減率；5月

2019年の換算人口値平均のメッシュ分布から対象とした大気測定局を含むメッシュ、またそのメッシュに近接したメッシュで1日あたり5000人以上の換算人口値があり、仙台市内でも人流の多いエリアであることがわかった。特に五橋を含むメッシュは5万から10万人、長町、苦竹、七北田に隣接するメッシュは商業施設が多く立地し1万から2万人の人流がある。

増減率でみると2020年は対象43メッシュ中、減少したメッシュは、3月28メッシュ、4月18メッシュ、5月16メッシュであった。減少したメッシュ数は3月が最も多かったが、-20~-100%の大幅な減少を示したメッシュは、3月2メッシュ、4月7メッシュ、5月7メッシュと4,5月の方が多かった。2021年は対象43メッシュ中、減少したメッシュは3月17メッシュ、4月20メッシュ、5月20メッシュであり、2020年より4,5月の人流減少メッシュ数が増加した。-20~-100%の大幅な減少を示したメッシュは、3月2メッシュ、4月4メッシュ、5月5メッシュであり、4,5月は人流減少メッシュ数が増えた一方で、大幅な人流減少メッシュ数は2020年より減少した。

大気測定局を中心に含む9メッシュ合計の換算人口値の2019年に対する増減率を図10に示す。

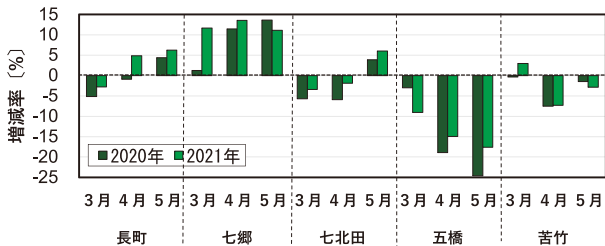


図10 大気測定地点を含む9メッシュ合計換算人口値の2019年に対する増減率

9メッシュ合計の換算人口値では対象地点により増減傾向が大きく異なった。五橋は最大-25%の減少を示したのに対し、七郷は増加傾向、長町、七北田、苦竹は月により増減が変化した。メッシュごとの増減傾向と併せて考えると人流は対象エリア範囲の設定によりその増減の評価結果が見かけ上異なった。

北山ら[27]は、大気汚染物質の排出量の時間変動と月変動に関して、火力発電量、固定燃焼発生源のエネルギー消費量、自動車の走行距離を活動量として解析を行い、COVID-19パンデミック時の行動、経済活動制限による活動量の減少と、それに伴うNO_x、PM_{2.5}排出量の減少について報告している。時間単位の日内変動データを取得でき、局所的な地域特性を反映すると考えられる「人流」は、人が関わる時空間の活動量の指標として有効であるが、大気環境への影響に対する経済動向の指標として直接適用するのは的確ではなく、大気汚染原因物質排出量の変動を反映する他の指標と併せて評価する必要があると考えられる。

3.4 交通量

図11に対象断面交通量計測地点における時間帯別の3,4,5月における各年平均、変動幅及び2019年平均に対する2020,2021,2022年の増減率を示す。五橋は2020~2022年の全ての月、時間帯について2019年と比較して交通量が減少した。特に2020年の減少が顕著で最大で-25%となった。五橋と同様に交通量が多く国道に計測地点がある長町(上り)、長町(下り)、苦竹(上り)、苦竹(下り)でも全ての月、時間帯について2019年と比較して交通量が減少した。

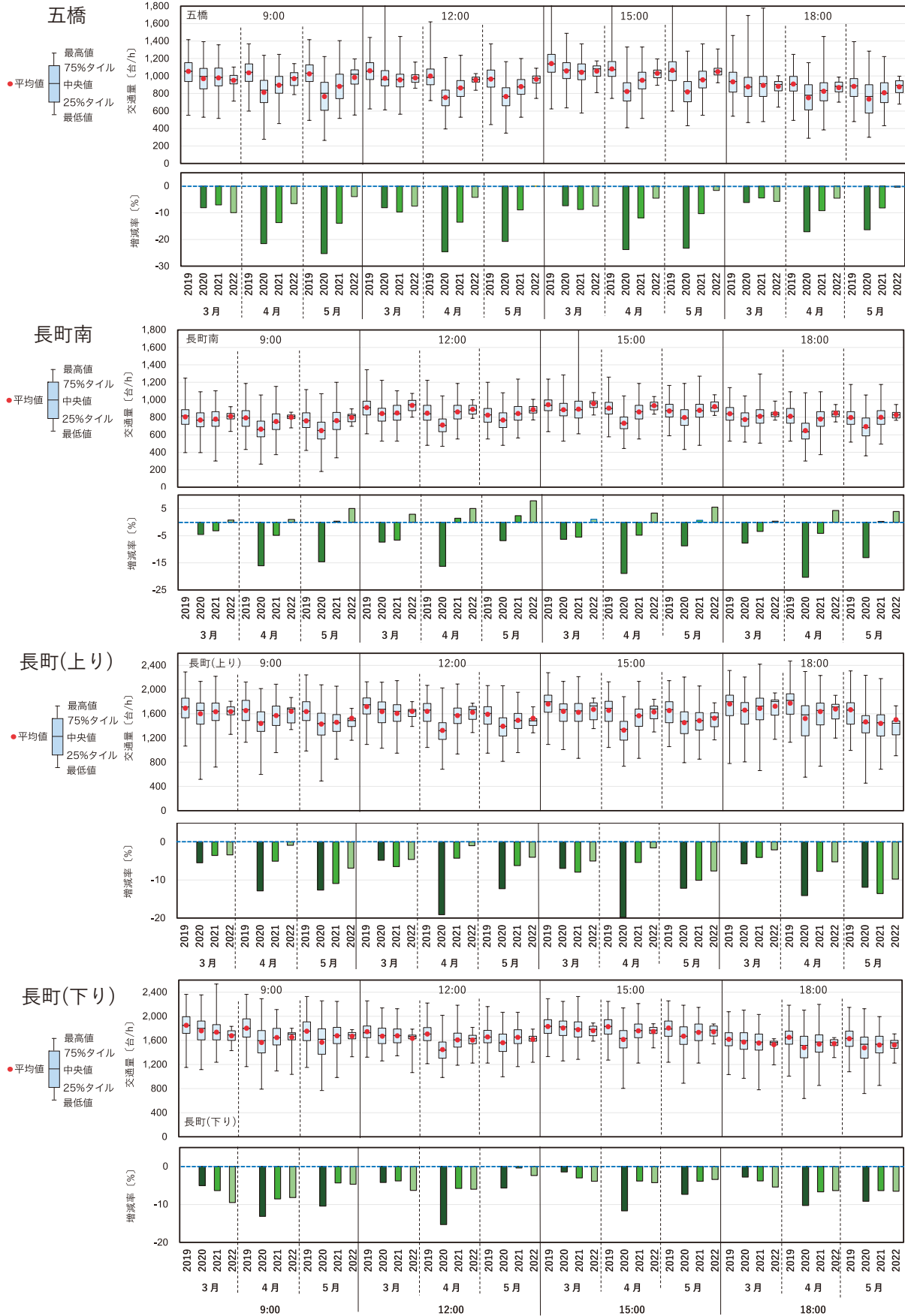
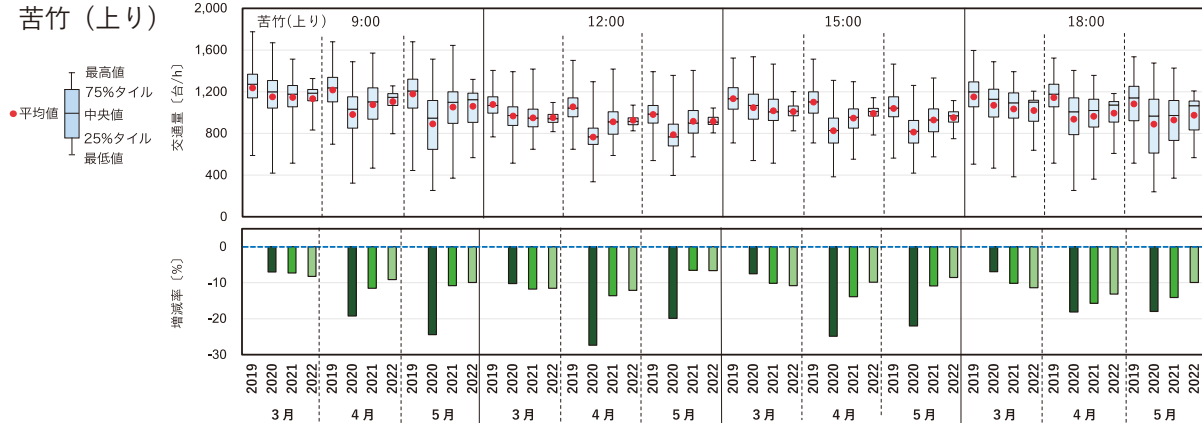
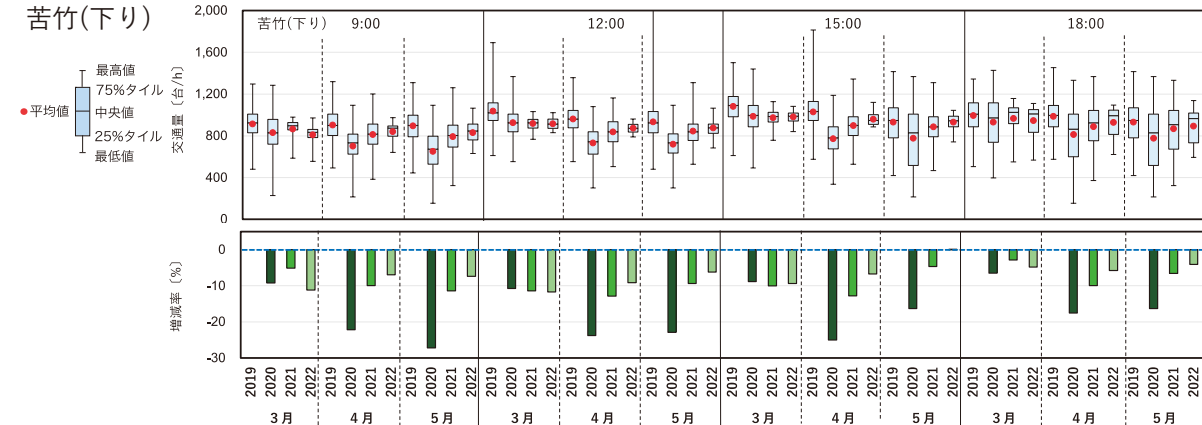


図 11-1 断面交通量計測地点の平均値, 変動幅及び 2019 年に対する 2020, 2021, 2022 年の増減率

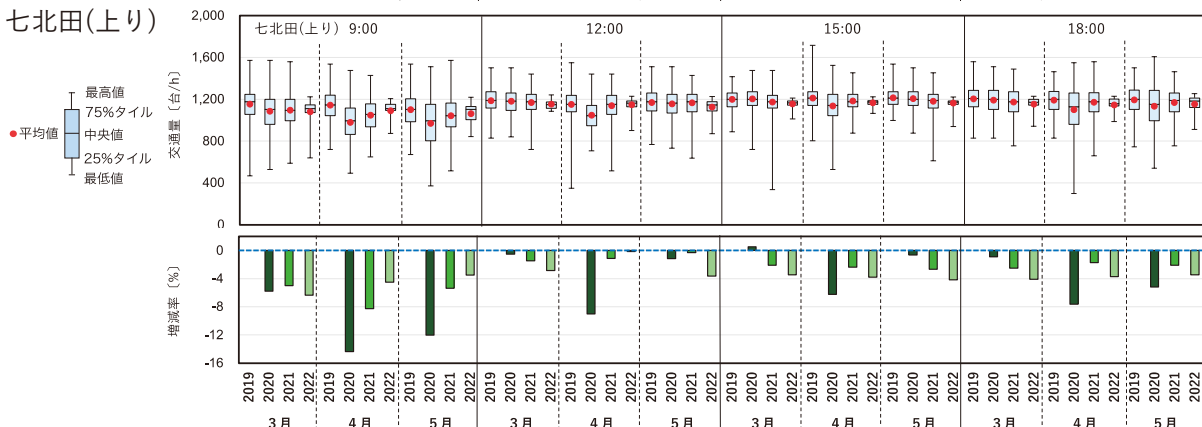
苦竹（上り）



苦竹（下り）



七北田（上り）



七北田（下り）

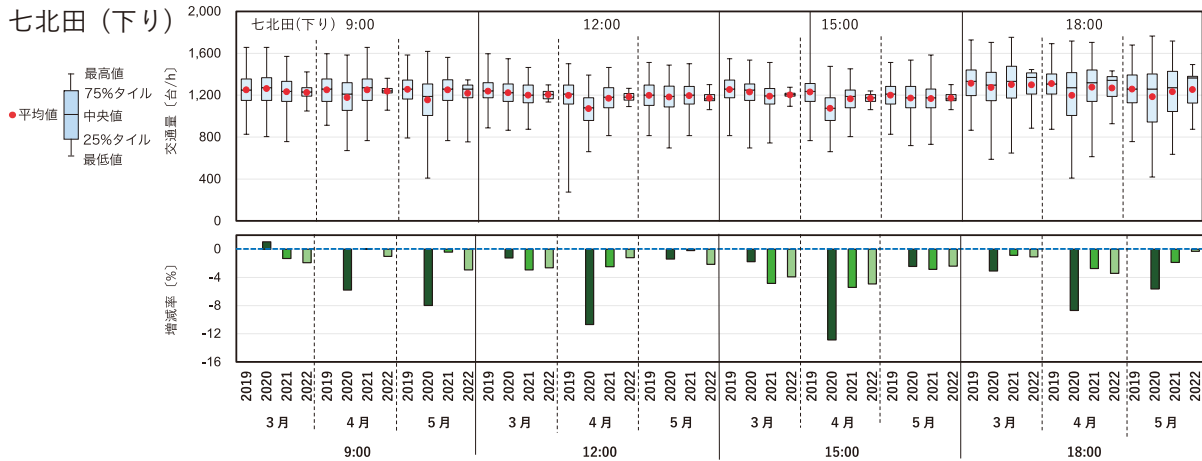


図 11 - 2 断面交通量計測地点の平均値，変動幅及び 2019 年に対する 2020, 2021, 2022 年の増減率

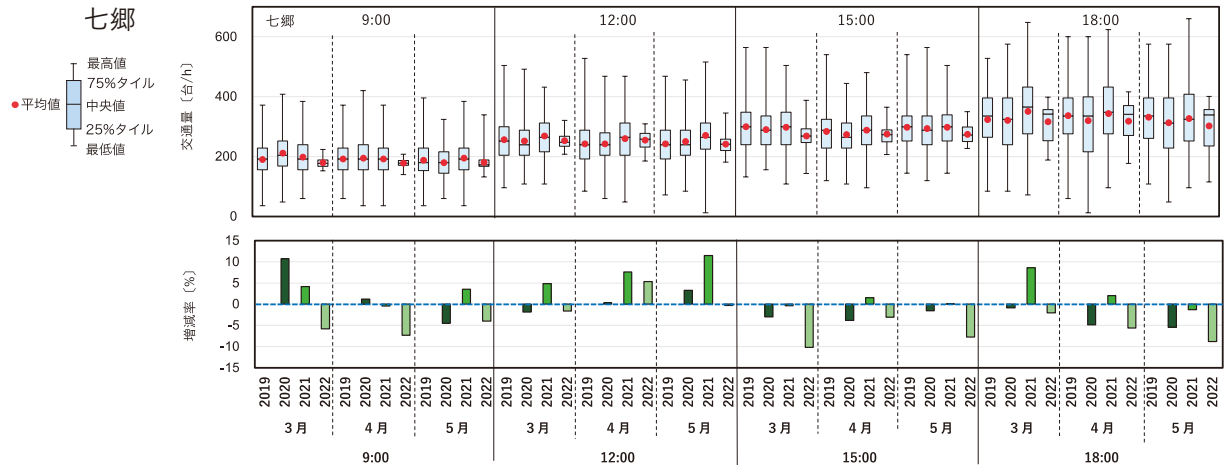


図 11-3 断面交通量計測地点の平均値、変動幅及び 2019 年に対する 2020, 2021, 2022 年の増減率

これらの地点でも 2020 年の減少が顕著であった。七北田は交通量が多く国道に計測地点があるが、若干増加した年月があり、また、減少率も五橋、苦竹、長町よりも小さかった。一方、幹線道路ではない計測地点である長町南は 2020 年では全ての月、時間帯で交通量は減少したが、2021 年は増減が入り交じり、2022 年は増加傾向であった。交通量についても人流と同様に大気環境への影響を評価する際に考慮する範囲の設定により結果が変化すると考えられ、適正な解析条件の設定方法の見きわめが今後の課題である。

4. まとめ

COVID-19 感染拡大による緊急事態宣言等の発出により行動制限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、仙台市大気測定局 5 ヶ所の 2019 年から 2022 年春季(3月~5月)における大気汚染物質[NO₂, O_x, SPM, PM_{2.5}]濃度を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 の時間毎に整理し、行動制限施策実施前の 2019 年と比較し増減率を分析した。増減傾向は物質により異なり、同じ物質でも測定地点により増減傾向が大きく異なった。全ての対象地点で減少傾向を示したのは PM_{2.5}であった。

大気汚染物質濃度に影響を与える気象場の変化を評価するために対象年の風向・風速を直近 5 年を平年とする異常年検定を行い、対象年の風況が平年と大きな変化がなかったことがわかった。

行動制限による社会活動変化を評価するため、人流と交通量を指標として大気汚染物質と同様に増減率を分析した。人流、交通量ともに行動制限が行われた 2020 年に減少傾向を示したエリア・地点が多かった。増減傾向を分析する際のエリア・地点設定により評価結果が異なるため、大気環境への影響を評価するためには、影響因子の適正な条件設定が重要であると考えられる。

参 考 文 献

- [1] 新型コロナウイルス感染症対策, 基本的対処方針に基づく対応, 内閣官房, <https://corona.go.jp/emergency>
- [2] 宮城県新型コロナウイルス感染症対策本部, 対策本部会議, 宮城県, <https://www.pref.miyagi.jp/site/covid-19/21.html>
- [3] 街の人出は? 全国 18 地点グラフ, 新型コロナと感染症・医療情報, NHK, <https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/outflow-data/>
- [4] 「自粛」で大気汚染に大きな変化~NO_x 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>
- [5] 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
- [6] “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
- [7] 令和 3 年度緊急事態宣言下における光化学オキシダントの大気濃度に関する調査 業務成果報告書, (一財) 日本気象協会, 2022 年 3 月。

- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 大気汚染に係る環境基準, 環境省
<https://www.env.go.jp/kijun/taiki.html>
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 内田美穂, 山木裕太“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-”, 東北工業大学紀要 理工学編, 第 42 号, pp.1-11, 2022.
- [15] 地理院地図, 地理院タイル一覧, 国土交通省国土地理院, <https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>
- [16] 断面交通量計測地点の位置情報の提供, (公財)日本交通管理技術協会,
<https://www.tmt.or.jp/research/index9.html>
- [17] 宮城県大気汚染常時監視情報, 宮城県,
<https://www.ihe.pref.miyagi.jp/telem/download>
- [18] 過去の気象データ・ダウンロード, 気象庁,
<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>
- [19] 全国の人流オープンデータ(1km メッシュ, 市区町村単位発地別), G 空間情報センター
<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/mlit-1km-fromto>
- [20] 断面交通量データ提供 API, (一社)社会基盤情報流通推進協議会, G 空間情報センター
<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/traffic-api>
- [21] 各種情報の提供(オープンデータ),(公財)日本道路交通情報センター,
<https://www.jartic.or.jp/service/opendata/>
- [22] 窒素酸化物総量規制 マニュアル[新版], 公害研究対策センター, p.262, 2020.
- [23] 異常年検定について, 平成 27 年度第 1 回光化学オキシダント調査検討会 参考資料 6, 環境省
https://www.env.go.jp/air/osen/pc_oxidant/conf/chosa/h27_01/h2701_ref06.pdf
- [24] QGIS.org, %Y. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
- [25] 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.
- [26] 吉門洋, “都市圏周辺のオゾン濃度変化と NO タイトレーション”, 大気環境学会誌, 54 巻 6 号, pp.185 -193, 2019.
- [27] 北山響, 茶谷聡, “排出量の時間変動・月変動・COVID-19 パンデミック時の変動を評価するための活動量の周期変動解析”, 大気環境学会誌, 58 巻 6 号, pp.87 -98, 2023.