

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

令和4年3月
一般財団法人日本気象協会

目次

1 はじめに	2
1.1 調査目的	2
1.2 調査内容	3
2 実施内容	4
2.1 広域的影響の解析・知見整理(文献調査)	4
2.1.1 概要.....	4
2.1.2 調査手法.....	4
2.1.3 調査結果.....	5
2.2 広域的影響の解析・知見整理(数値シミュレーション)	18
2.2.1 概要.....	18
2.2.2 計算設定.....	18
2.2.3 解析結果.....	25
2.3 排出量と濃度の関係性把握・影響要因の寄与程度把握.....	37
2.3.1 概要.....	37
2.3.2 計算設定.....	37
2.3.3 計算結果.....	38
3 まとめ	48
3.1 広域的影響の解析・知見整理(文献調査)	48
3.2 広域的影響の解析・知見整理(数値シミュレーション)	49
3.3 排出量と濃度の関係性把握・影響要因の寄与程度把握.....	49
3.4 今後の検討課題	50
4 参考資料	51
4.1 東アジア以外での情報整理.....	51
4.2 中国・韓国における研究報告例の概要	53
4.3 世界各地域における研究報告例の概要	55
4.4 参考文献リスト.....	60

1 はじめに

1.1 調査目的

新型コロナウイルス感染症対策のためのロックダウン等により、昨年、世界各国の主要都市で大気汚染物質濃度が減少したことが報告された。日本でも特に緊急事態宣言下（2020年4月～5月）において、都心部等にて大気汚染物質の濃度が大きく減少した。実測によってこのような大幅な濃度低減が観測されたことはかつて無く、これらのデータを詳細に解析することは、今後の大気環境対策の示唆になり得る。

国内での光化学オキシダント（Ox）に係る状況として、法規制と産業界による自主的取組の両輪（ベストミックス）によるVOC排出削減など各種の取り組みが進められており、前駆物質排出量削減により長期的な改善傾向が示唆されるが、大気環境中のOx濃度の環境基準達成状況は極めて低い水準で推移している。

そこで、今後のOx対策の効果推定に資するため、令和2年度においては、日本国内の主要都市におけるOx等の濃度について緊急事態宣言前後を比較することにより、低減率及び変化傾向等を整理し都市間などの地域別の差異を考察した。また、緊急事態宣言前後の大気汚染物質（VOC及びNOx）の排出量を推定し、OxとVOC及びNOx排出量の関係性を解析した。この結果、測定値の分析において、Ox濃度は、NOxと比較すると月ごとの例年差に明瞭な傾向がみられない地点及び地域が多かった。また、大気汚染物質（NOx及びVOC）の排出量については、緊急事態宣言前の昨年3月から、固定及び移動排出源ともに低下し始め、昨年4月から5月は最大2割程度、低下したものと推定された。

本調査では、東アジア地域のロックダウンによる前駆物質の排出及びOxの発生状況等について調査を行い、日本における越境汚染の寄与を確認した。さらに、緊急事態宣言下におけるOx濃度への影響要因について検討を行うものである。

1.2 調査内容

本調査では以下の項目について調査をおこなった。

- ① 広域的影響の解析・知見整理（文献調査）
- ② 広域的影響の解析・知見整理（数値シミュレーション）
- ③ 排出量と濃度の関係性把握・影響要因の寄与程度把握

はじめに、文献調査にて、日本の大気環境への影響が大きい東アジア地域において、昨年のロックダウン等が前駆物質（NO_x 及び VOC）の排出に及ぼした影響や、それによる同地域の O_x の大気濃度の変化について調査した。また、これら前駆物質の排出量及び O_x 濃度の変化が日本及び同地域に及ぼした影響を調査した。

次に、上記の文献調査の成果を反映させた数値シミュレーションにより、日本国内の大気汚染物質（O_x、NO_x 及び VOC）に対する影響程度を推計した。これにより、東アジア地域におけるロックダウン前後の大気汚染物質の変化が日本にどの程度の影響を及ぼすかの比較等を行った。

最後に、緊急事態宣言により経済活動縮減が生じた期間（2020 年 4 月～5 月）における日本の O_x の大気濃度の変化について、影響を及ぼす主な要因（日本における前駆物質の排出量や気象場の変化及び越境汚染等）がそれぞれどの程度、影響を及ぼしたのかをシミュレーションモデルを用いて整理し、各要因の寄与程度を考察した。

2 実施内容

2.1 広域的影響の解析・知見整理(文献調査)

2.1.1 概要

日本への影響が大きい東アジア地域において、2020年のロックダウン等が前駆物質（NO_x 及び VOC）の排出に及ぼした影響や、それによる同地域の O_x の大気濃度及び前駆物質の排出量の変化が日本や同地域に及ぼした影響を文献にて調査した。

2.1.2 調査手法

本調査では、日本への越境汚染の影響の大きい東アジア、具体的には中国と韓国を対象地域とした。とくに中国は、COVID-19の感染が最初に確認されたことで大規模なロックダウン政策が施行され、かつ大気汚染による環境問題が深刻化している国でもあるため重点的に整理した。また、その他の地域や世界規模でのレビューについてもあわせて調査した。対象物質としては、光化学オキシダント（O_x または O₃）及び前駆物質である NO_x と VOC の三種類としている。

COVID-19の感染が確認されてから2022年3月現在まで、中国の各地域で数度にわたりロックダウン政策が実施されてきた。本調査では、2020年1月～2020年4月ごろに感染拡大の第一波を抑えるため湖北省から始まり中国全体に展開された一連の政策を対象とした。韓国についても同様の時期を調査対象として設定した。

なお、ロックダウンの定義は明確になっておらず国によって違いはある。そのため、本調査では、感染拡大を防止するために人の移動や企業活動などを、法的拘束力をもって規制する措置をロックダウンと呼称する。

ロックダウン等の調査にあたっては、学術論文だけではなく、在中国日本国大使館¹、在大韓民国日本国大使館²や厚生労働省³などの日本国内の公共機関のウェブサイトおよび中国政府の國務院⁴や国家評議会情報局⁵等による発表も参考文献としている。

¹ 【随時更新】新型コロナウイルス感染症について（情報一覧） [Internet]. 在中国日本国大使館. 2022 [cited 2022 Mar 4]. Available from: https://www.cn.emb-japan.go.jp/itpr_ja/00_000384.html

² 新型コロナウイルス感染症に対する韓国政府の対策等について（2月24日） [Internet]. 在大韓民国日本国大使館. 2020 [cited 2022 Mar 4]. Available from: https://www.kr.emb-japan.go.jp/people/safety/safety_200225.html

³ 中国における新型コロナウイルスの発生（一部地域の感染症危険レベルの引き上げ）—海外安全情報 [Internet]. 厚生労働省成田空港検疫所. 2022 [cited 2022 Mar 4]. Available from: <https://www.forth.go.jp/topics/20200203.html>

⁴ 国务院办公厅关于延长2020年春节假期的通知 [Internet]. 中华人民共和国中央人民政府. 2020 [cited 2022 Mar 4]. Available from: http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-01/27/content_5472352.html

⁵ 交通运输部：交通运输部应按照“一断三不断”原则落实好疫情防范工作 [Internet]. 中华人民共和国国务院新闻办公室. 2020 [cited 2022 Mar 4]. Available from: <http://www.scio.gov.cn/xwfbh/xwfbh/wqfbh/42311/42478/zy42482/Document/1672544/1672544.htm>

2.1.3 調査結果

(1) アジア地域でのロックダウン政策

ア. 中国

下記に示す i 及び ii の感染症政策により、第 1 四半期中国の GDP は、前年同期と比較して 5.3% 減少となった。そのうち付加価値は、第一産業で 3.2%、第二産業で 9.6%、第三産業で 5.2% 減少していた。一方で交通への影響は産業界よりも大きく、例えば 1 月 25 日交通総輸送量は、前年同期と比べて 28.8% 減少となった。分野別にみると、鉄道は 41.5%、道路輸送は 25%、民間航空は 41.6% の減少率であった。

i. 規制開始

中国では武漢などの各都市・各地域で、蔓延を食い止めるための厳重な封鎖措置が実施され、国内外の移動制限、企業及び学校の休止期間延長などにより、中国国内での化石燃料消費量、産業活動、交通量が低下した。

最初に厳格な封鎖措置が実施されたのは、感染源の発生地域とされている武漢市である。武漢市では、2020 年 1 月 23 日から空港と鉄道駅での市外から市内への移動の一時的な閉鎖、道路または水路による武漢への旅客輸送の停止などの規制が実施された。1 月 31 日には湖北省全域にも公共交通機関の停止及び駅・空港の閉鎖が展開され、2 月 16 日には外部との不必要な出入りの禁止、住民の外出の管理などの措置も湖北省全域に展開された。

湖北省に続き、チベットを除く全ての省で 1 月下旬から 2 月上旬の数日にかけて、中国政府が定める緊急事態時の管理体制：公衆衛生緊急対応⁶レベル 1 が始まり、他都市も相次いで封鎖措置の管理下におかれた。中国政府は、感染拡大経路を遮断しつつも道路交通ネットワーク、緊急輸送、生活物資や生産物の 3 つの輸送を遮断しない「一断三不断」の方針を掲げた。湖北省以外の地域では生活基盤となる交通網を閉鎖しない代わりに、多くの地域で社区や住民小区（村）レベルでの人と車の出入りの管理が徹底され、生活に必須ではない文化・体育活動及び娯楽用スペース等を閉鎖する措置がとられた。図 2-1 は、中国の各都市、各省で実施された規制とそのタイミングを表しており（Tian et al. (2020)）、ほとんどが 1 月下旬に集中しているものの、詳細は地域によって若干異なっている。

また、この時期は旧暦の正月にあわせ多くの企業が長期休業をとる春節休暇と呼ばれる慣例があり、例年この時期に工場等の稼働停止により大気汚染物質の排出量が低下する祝日効果が確認され、大気環境に大きな影響を与えること

⁶ public health emergency response

がわかっている。2020年の春節は1月25日であり、企業や学校の多くが以前から休暇に入っていた。中国政府は感染対策として、1月30日までとされていた春節休暇を全国的に延長する対応をとっていた。

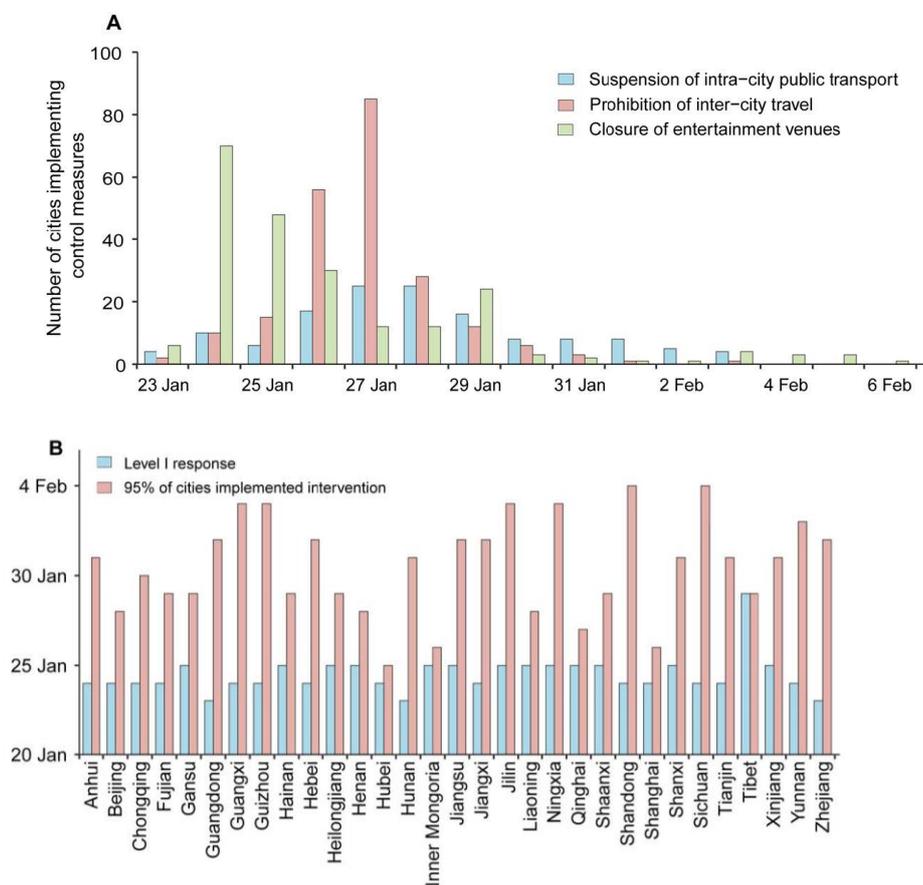


図 2-1 中国でのロックダウン政策施行状況

(A) 342 都市のうち当該日までに 3 つの施策を導入した都市数

(青：都市間公共交通の停止、赤：都市間移動の禁止、緑：娯楽施設の閉鎖)

(B) 省ごとの対応日

(青：レベル 1 対応開始、赤：省内 95% の都市が交通制御策を実施)

ii. 規制緩和

交通規制は、2月下旬からほとんどの省および同等の行政単位で地域の状況に照らして公衆衛生の緊急対応レベルを下げ始めたことにより、徐々に解除された。2月24日までに、すべての省の幹線道路が再開され、湖北省と北京を除く輸送網が回復していた。北京や上海などの大都市は他の地域に比べ、規制期間が長引いた傾向にあった。

湖北省でも3月下旬から、武漢を除く省全体において交通制限を解除し始めた。武漢市以外での湖北省内鉄道の旅客業務が再開され、省全体で仕事と生活は徐々に正常に戻り、条件つきで湖北省を離れることも可能となった。

また、多くの企業活動は、湖北省以外の地域で2月10日以降、湖北省で3月11日以降に再開された。

武漢市の規制が緩和されたのは4月に入ってからのものである。4月8日にアウトバウンド交通制限を解除されたことにより、地元の仕事や日常生活は正常に戻り始めた。

中国で感染防止のために施行された規制の概要を図 2-2 に示す。

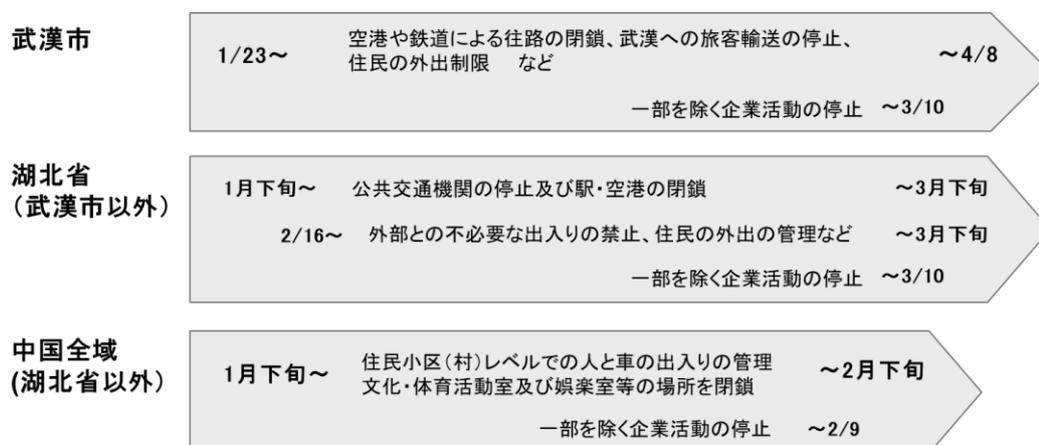


図 2-2 感染源発生地域と全域で実施された感染症対策の概要（中国）

iii. 中国の主要都市と工業地帯の位置関係

図 2-3 は、感染発源地域となった湖北省(Hubei Province)の武漢市(Wuhan)の位置を示している(Xu et al. (2020))。また、ロックダウンの影響を大きく受けたとされる3つの都市群、珠江デルタ地域 (PRD⁷)、長江デルタ地域 (YRD⁸)、

⁷ Pearl River Delta

⁸ Yangtze River Delta

北京-天津-河北 (BTH⁹もしくは Jing-Jin-Ji) の情報を図 2-4 に示す。珠江デルタ地域 (PRD) は、東莞市 (Dongguan) や広州市 (Guangzhou) を含む南部の地域である。長江デルタ地域 (YRD) は、上海市 (Shanghai) や南京市 (Nanjing) を含む東部の地域である。

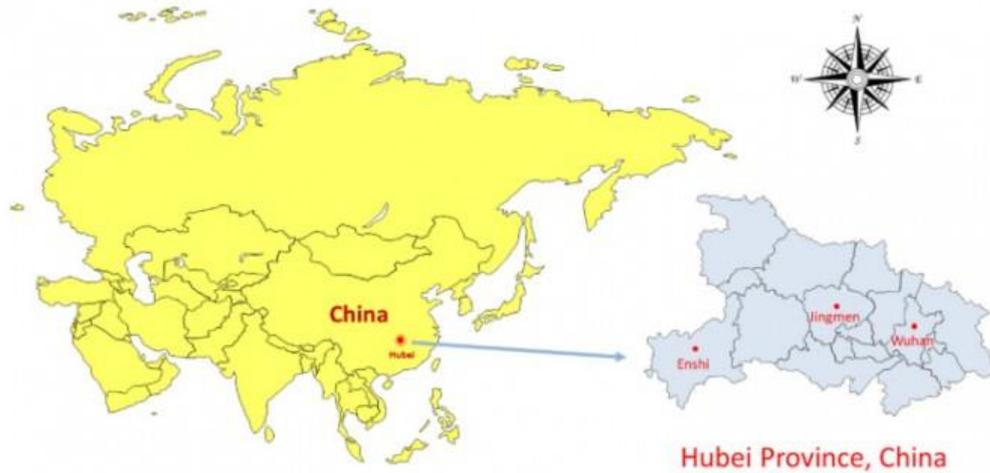


図 2-3 中国湖北省(Hubei province)の武漢(Wuhan)、京門(Jingmen)、遠志(Enshi)の位置



図 2-4 中国の巨大都市群¹⁰

⁹ Beijing-Tianjin-Hebei

¹⁰Preen M. China's Mega City Clusters: Jing-Jin-Ji, Yangzte River Delta, Pearl River Delta [Internet]. China Briefing. 2018 [cited 2022 Mar 4]. Available from: <https://www.china-briefing.com/news/chinas-mega-city-clusters-jing-jin-ji-yangzte-river-delta-pearl-river-delta/>
※レイアウトの都合上、図の構成を改変している。

イ. 韓国

韓国では、交通機関の停止などの都市封鎖や罰則規定を伴う行動規制は基本的に実施されず、海外から帰国するケースを除き、感染対策は国民に対して自制を要請するレベルに留まった。また、発生源地域である中国よりも、およそ一か月程度、対策実施のタイミングが遅いことが特徴として挙げられる。

このような感染症対策によって、首都ソウルでは前年よりも交通量が低下（2月：3.6%減、3月：8.9%減）していた他、総電気消費量は全体として2月に3.0%、3月に0.5%減少していたことが Park et al. (2021)によって確認された。

また、感染がとくに流行した大邱大都市圏では、COVID-19 症例数が 34 例となった 2 月 19 日以降から、流動人口が 59.5%まで大幅に減少していた(Ma and Kang (2020))。

韓国政府は、2020 年 1 月 20 日に国内で最初の症例が確認されたのを受け、感染症の警告レベルを「警戒」に設定した。その後、主に大邱周辺で症例数が急増したことをうけ、韓国政府は 2 月 23 日に危機警報を「深刻」段階へと引き上げた。これにより、韓国全域にて密状態となる行事を自制する要請や、学校の始業延期などの措置が講じられた。感染が広がった大邱広域市と慶尚北道清道地域は「感染症特別管理地域」に指定され、大邱地域の居住者及び訪問者には外出自粛や移動制限の要請などの防疫措置が実施された。規制は 4 月 19 日まで適用されており、不明確な感染経路が減少するにつれて次第に解除された。

韓国で感染防止のために施行された規制の概要を図 2-5 に示す。

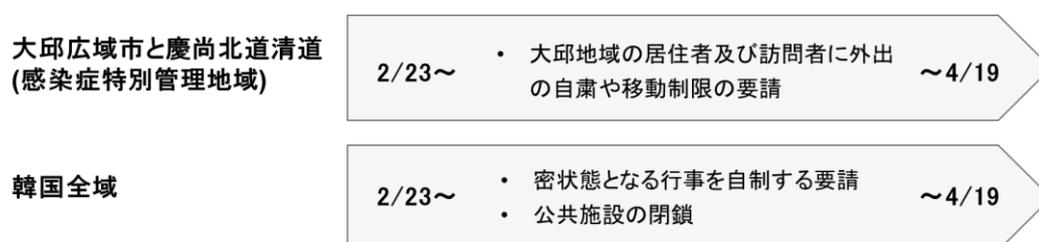


図 2-5 感染源発生地域と韓国全域で実施された感染症対策の概要（韓国）

(2) 東アジアでの大気汚染物質の濃度、排出量変化

ア. 中国での変化

中国国内でのロックダウン政策が与えた大気質への影響について、多くの論文が発表されており、期間中に中国全体・各都市で NO_x など前駆物質排出量及び濃度が大幅に減少していたと結論付けられている。

大気汚染物質の濃度には、中華人民共和国生態環境部や CNEMC¹¹等が設置している各地の観測局のデータ、もしくは TROPOMI¹²や OMI¹³などの衛星観測データ等が解析、モデリング・シミュレーションに広く用いられていた。活動量の推計には、Zheng et al. (2020)、Hu et al. (2021) らの論文のように、各種統計データが使用されている他、CEMS¹⁴のデータを採用している例もあった。

また、排出量のボトムアップ推計には、MEIC¹⁵と呼ばれる清華大学が開発した人為起源に関する排出インベントリを使用する文献がいくつか見られた。

iv. 中国での前駆物質濃度の変化

ロックダウン期間中における中国の都市部や工業地帯、幹線道路などでは、NO_x 濃度の大幅な減少が確認されていた。データソースや比較期間、解析手法やモデリングなどの違いはあるが、文献の内容をおおまかにまとめると、直近（1月上旬から中旬に設定している文献が多い）と比較した濃度減少率は、中国全体で4～5割程度、都市部で5～8割弱であった。

図 2-6 は、Liu et al. (2020) による衛星観測の結果であり、2020 年の旧正月とその前後のそれぞれ 20 日間における対流圏垂直カラム密度¹⁶平均値を表してい

¹¹ China National Environmental Monitoring Centre

¹² TROPOspheric Monitoring Instrument

¹³ Ozone Monitoring Instrument

¹⁴ continuous emission monitoring system

¹⁵ Multi-resolution Emission Inventory for China

¹⁶ 単位面積当たりの地上から大気上端までの垂直な柱（カラム）に存在する物質の濃度

参考：1. 国立環境研究所. カラム量とカラム平均濃度 [Internet]. 宇宙と地上から温室効果ガスを捉える - 太陽光による高精度観測への挑戦 -. 2018 [cited 2022 Mar 23]. Available from: <https://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/69/column2.html#:~:text=%E3%82%AB%E3%83%A9%E3%83%A0%E9%87%8F%E3%81%AF%E5%9C%B0%E8%A1%A8%E9%9D%A2,%E5%89%B2%E5%90%88%E3%81%A7%E8%A1%A8%E3%81%95%E3%82%8C%E3%81%BE%E3%81%99%E3%80%82>

参考：2. SACS. Slant Column and Vertical Column Densities [Internet]. Support to Aviation Control Service. 2010 [cited 2022 Mar 23]. Available from:

<https://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/69/column2.html#:~:text=%E3%82%AB%E3%83%A9%E3%83%A0%E9%87%8F%E3%81%AF%E5%9C%B0%E8%A1%A8%E9%9D%A2,%E5%89%B2%E5%90%88%E3%81%A7%E8%A1%A8%E3%81%95%E3%82%8C%E3%81%BE%E3%81%99%E3%80%82>

る。中国でロックダウン政策が実施されていた旧正月（春節）期間は、直近と比較すると NO₂ 対流圏垂直カラム密度が 48%低下していた。

前述の通り、中国でロックダウン政策が実施されていた 1 月下旬～2 月上旬の時期は、春節休暇によって前駆体物質の濃度が低下する祝日効果が例年観測されている時期である。しかし、2020 年の前駆物質の濃度は、過去数年間と比較しても強い減少傾向を示したという結果が複数報告されている。

Liu et al. (2020) によると、2020 年の旧正月期間の NO_x 濃度の減少は、2015～2019 年の当該時期よりも約 2 割大きく（図 2-7）、春節による祝日効果だけでは説明することができないとされている。これはロックダウンの影響を受けた結果であると考えられる。

Wang et al. (2020) では、ロックダウン期間中の NO₂ 減少率の全国平均を、2014～2019 年の同時期と比較している。この論文では、ロックダウン期間中の NO₂ 減少率の全国平均は、前半期間（1 月 26 日～2 月 25 日）で 40%、後半期間（2 月 26 日～3 月 27 日）で 29%であった。

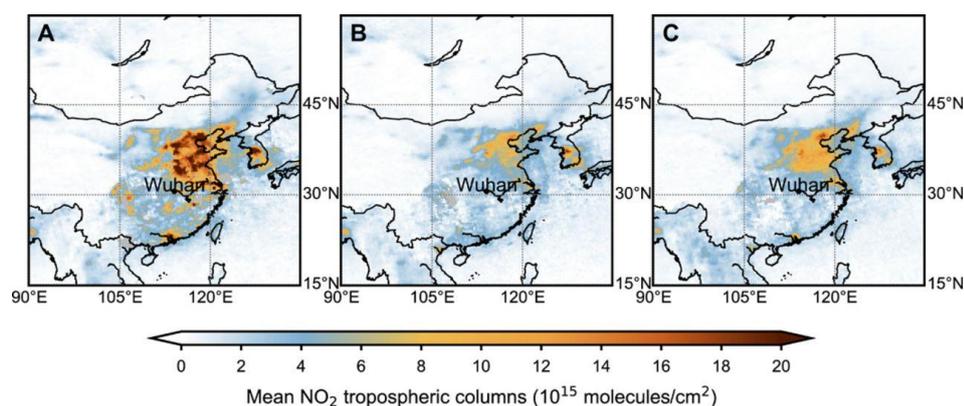


図 2-6 中国における NO₂ 対流圏垂直カラム密度

2020 年各期間の平均、日付は旧正月を基準

(A : 前 20 日～前 1 日、B : 0 日～後 19 日、C : 後 20 日～後 39 日)

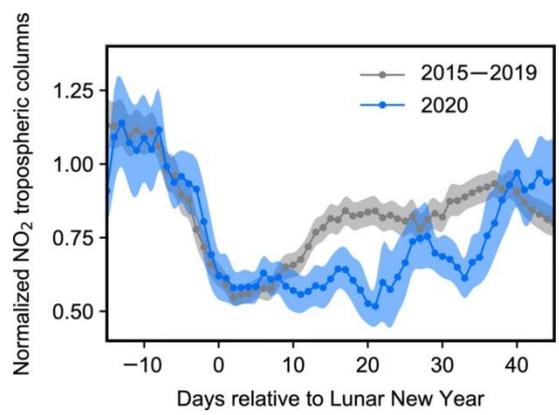


図 2-7 NO₂対流圏カラム密度の変化 7日間移動平均、旧正月前の値で正規化（色のついた部分は平均値の標準誤差を示す。数値は春節（旧正月、LNY）期間の平均値にあわせ正規化されている）

Silver et al. (2020) は、ロックダウンが大気環境に与えた影響を明確化にするため長期トレンド、季節サイクル、LNY 効果等を切り分けて評価をしている（図 2-8）。これによると、2020 年冬季に残差が大きくマイナスとなっており、ロックダウン政策による影響があったと考えられる。

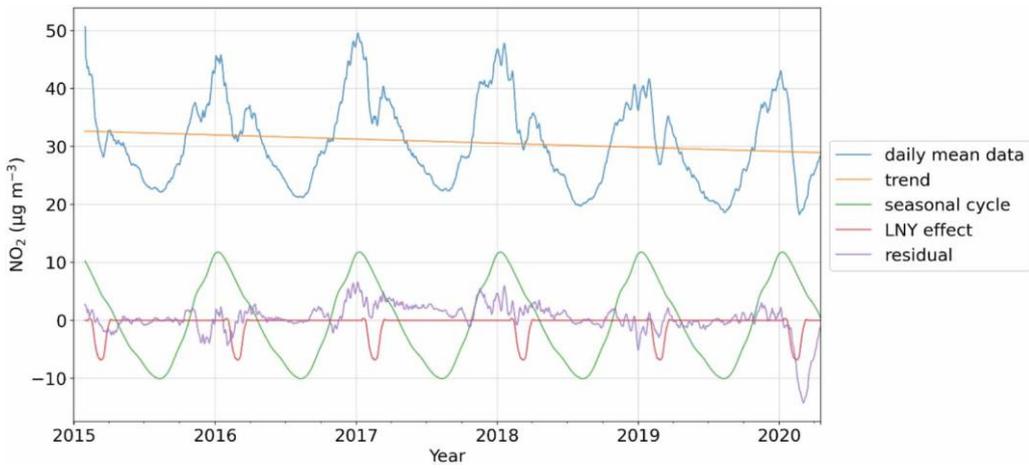


図 2-8 NO₂濃度の測定局平均値（青）と各変動成分に分解した値（橙：トレンド、緑：季節変動、赤：LNY 効果、紫：残差）

都市別・地域別の濃度変化傾向について注目すると、Wang et al. (2021) の報告では、ロックダウン期間中の NO_x 濃度が、長江デルタ地域 (YRD) で 55.1%、珠江デルタ地域 (PRD) で 64.7%、直近と比べて減少していた。また、長江デルタ地域の上海で NO₂ が 60.4%減少していたという Filonchyk et al. (2020) の報告や、中国南部の工業都市である東莞で 70%~77%減少していたという Qi

et al. (2021) の報告もあり、中国各地の工業地帯で大きな影響があったことがわかる。

VOC 濃度についても NO_x 濃度と同様に、都市部で低下傾向が観察されている。例えば Jia et al. (2020) によると、長江デルタ地域 (YRD) のロックダウン期間の VOC 濃度の減少率は、直近と比べ 4～5 割程度であった。

v. 中国での前駆物質排出量の変化

推計方法や比較期間などの違いはあるが、文献の内容をまとめると、ロックダウン期間中の中国全体での NO_x 排出量の減少率は、直近¹⁷と比較して 4～5 割程度であった。都市部に注目した場合の NO_x 排出量の低下率は大都市で 6～7 割、中小都市で約 3 割であった。また、2019 年と比較しても減少傾向が確認されている。2020 年当該時期の中国全体での NO_x 排出量は、2019 年と比較すると 3～4 割ほど低下していた。

これらの結果から、排出量と濃度の変化傾向には、文献において大きな差がないことがわかる。

Ding et al. (2020) によると、排出量の減少は各都市で 2 月末頃まで続き、3 月に徐々に通常レベルに戻った。武漢では、4 月 8 日から排出量が通常レベルに戻り始めた。このようなロックダウンと排出量が減少している期間の一致は、他にも複数の論文にて報告されている。

VOC 排出量も NO_x 排出量と同様にロックダウン期間中の減少傾向がみられている。Zheng et al. (2021) によると、2020 年 2 月の中国全土¹⁸における NMVOC 排出量は、前年の同月と比較して 31%減少したと推定されている。また、地域に注目すると、上海でのロックダウン期間における VOC 排出量は、直近に比べて 47%減少していたと Hu et al. (2021) が報告している。

2020 年の 1～3 月に NO_x と VOC の排出量が減少した主な要因は、産業部門と運輸部門であることを示唆する結果が Zheng et al. (2020) によって報告されている (図 2-9)。これら 2 つの部門が、2020 年 2 月の NO_x 排出量減少の 88%、NMVOC の排出量減少の 90%を占めていたとされており、両部門の寄与度はほぼ同程度とされている。

¹⁷ 文献により差異があるが、ロックダウン（感染対策）の施行開始の直前にあたる 2020 年 1 月上旬～中旬と設定している場合が多い。

¹⁸ 本報告書では、文献中に China と記されている場合には「中国」あるいは「中国全体」と表記し、mainland China と記されている場合には「中国全土」と表記する。

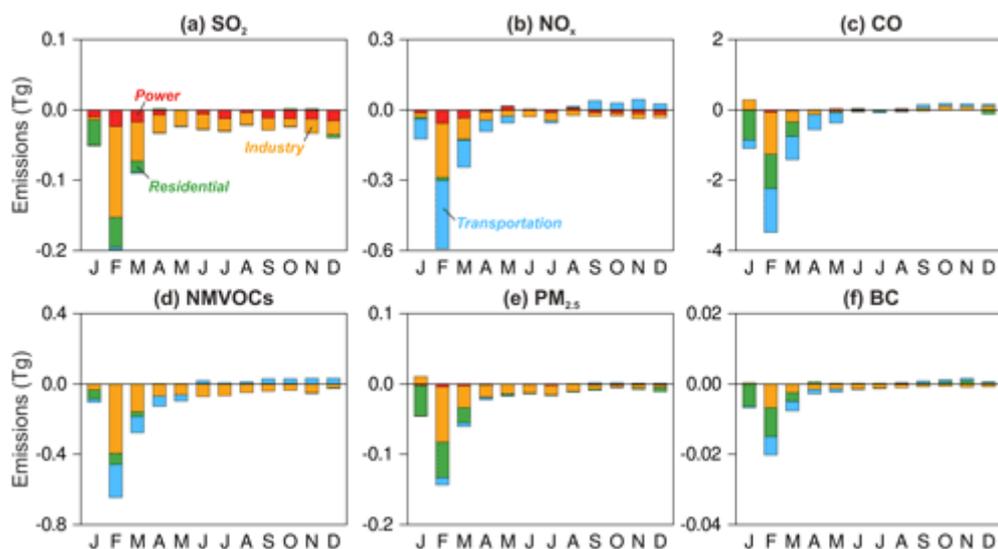


図 2-9 部門別月間排出量の差異 (2020 年-2019 年)

赤：電力部門、黄色：産業部門、緑：民生部門、青：運輸部門

vi. 中国での光化学オキシダント(O₃)濃度の変化

前駆体物質の排出量及び濃度がロックダウン期間中に減少傾向となっている一方で、光化学オキシダント(O₃)濃度は全国的に増加傾向を示していた。しかし、O₃濃度の変化幅は、地域によって大きく異なり、減少している都市も一部で見られた。

中国全体でみると、Wang et al. (2020) によれば、ロックダウン期間中の O₃ 濃度増加率の全国平均は、2014~2019 年の同時期と比較した場合、前半期間(1月26日~2月25日)で15%、後半期間(2月26日~3月27日)で2%であった。地域別にみると、華北平原では2013年以降、冬から春にかけてオゾン汚染が増加するという一般的な傾向が、ロックダウン政策の影響によってさらに強まったと Li et al. (2021) が報告している。中国東部では、2020年第1四半期での NO_x 排出量が40.5%減少したことにより、O₃濃度が36.5%増加したとされる推定が Zhang et al. (2020) によって報告されている。

図 2-10 では O₃ 濃度の変化傾向の違いを地域別に表している。北京-天津-河北(BTH)、揚子江デルタ(YRD)地域では、O₃濃度は2020年の封鎖前から封鎖期間まで90.21%および71.79%増加し、2015~2019年の同時期の濃度の増加率よりも大幅に高かった。一方で、対照的に珠江デルタ(PRD)地域ではO₃濃度は1.1%の減少が検出された。O₃濃度の上昇は、NO_x排出量の急激な減少によるタイトレーション効果によって推進されたとされているが、上昇幅の地域差は気象条件に起因すると考察されている。

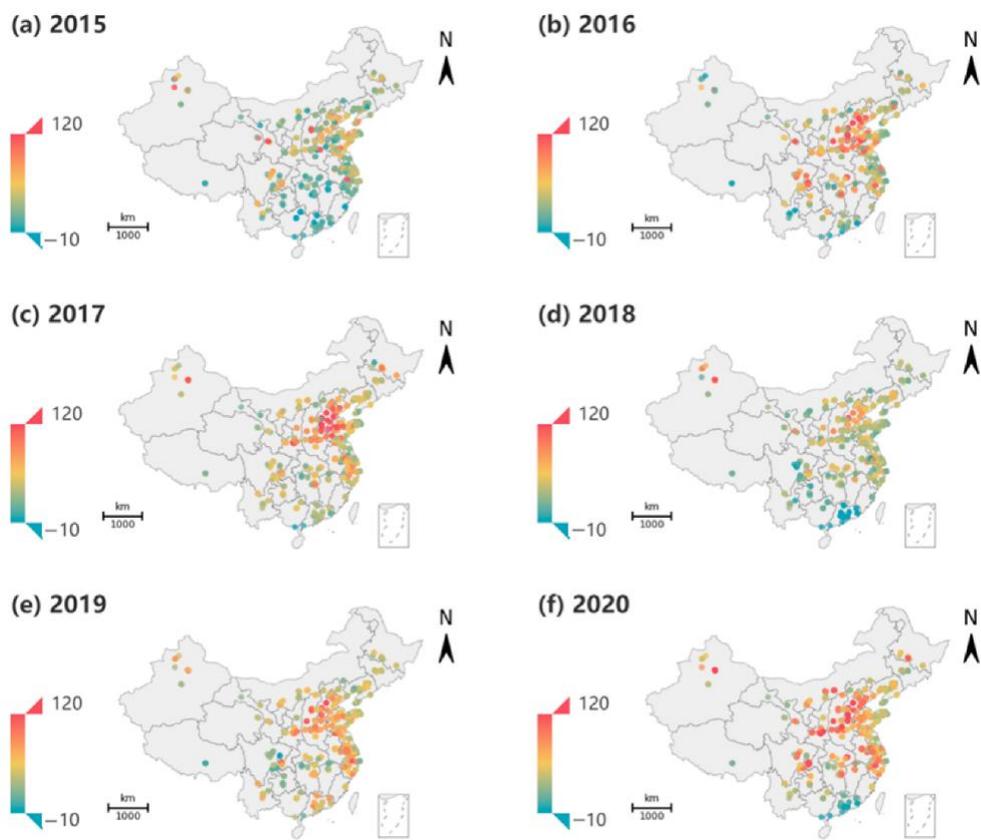


図 2-10 (f):2020 年 1/23 の前 5 週間に対する後 5 週間の O₃ 変化率の空間分布(%)
 (a)~(e):2015~2019 年における(f)と同時期の比較
 (Liu et al. (2021) より図 2 の抜粋)

イ. 韓国

韓国でも中国と同様、COVID-19 感染対策期間における大気質の変化についての論文が複数報告されている。韓国でもこの時期における NO_x 物質濃度の減少が確認されているが、減少率を比較すると中国よりもその影響は小さいと考えられる。この要因は、韓国は中国よりも厳格な感染対策が実施されていなかったためと推測される。また、中国とは異なり O₃ 濃度への明確な影響は観測されなかったと Ju et al. (2020) が報告している。一方で、VOC 排出量及び濃度について記述されている文献を見つけることはできなかった。

Ju et al. (2020) によると、2020 年 3 月の韓国における NO₂ 濃度は、図 2-11 に示すように 2019 年の平均レベルから 20.41%減少している。その要因は、国内の排出量の減少だけではなく、中国からの越境汚染の減少があるとされている。

都市別に注目すると、ソウルや大邱で NO₂ 濃度の減少が確認された。Vuong et al. (2020) によると、大邱で厳しい措置がとられていた期間の NO₂ 濃度は、直近と比較して 36.7%減少していたとされている。また、Koo et al. (2020) によると、2016~2020 年の平均パターンと比較した感染対策期間中の NO₂ 濃度減少率は、大邱で 16%、首都ソウルで 11%であったとされている。

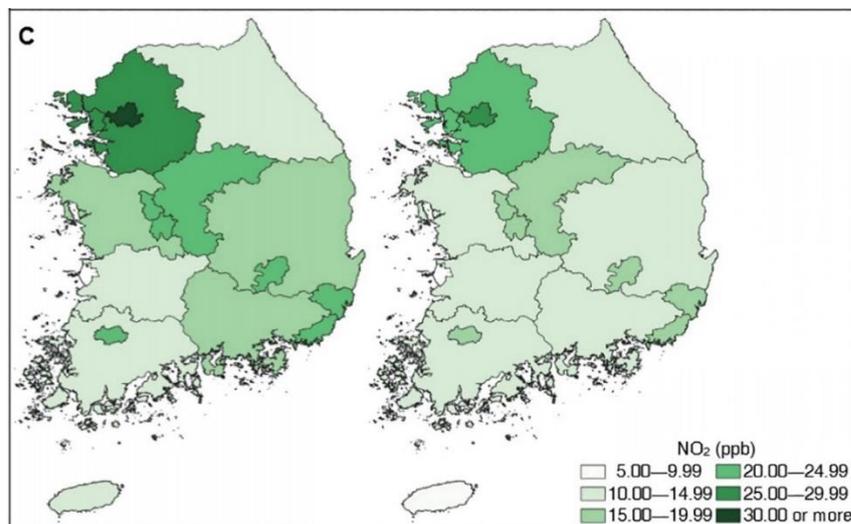


図 2-11 第一級行政区画別の NO₂ 濃度月平均

左：2019 年 3 月、右：2020 年 3 月 (Ju et al. (2020) より図 4 の抜粋)

2.2 広域的影響の解析・知見整理(数値シミュレーション)

2.2.1 概要

日本国外で実施された感染症対策（ロックダウン等）に伴う光化学オキシダント前駆物質（NO_x、NMHC）排出量の変化が、日本国内の O_x 濃度に及ぼす影響の程度についてシミュレーションモデルを用いて調査した。

2.2.2 計算設定

本項目で用いたモデル及び前駆物質排出量設定を以下に示す。

(1) モデル設定

感度解析に当たっては気象モデルとして WRFv3.9.1.1 を、化学輸送モデルとして CMAQv5.2.1 を使用した。使用した気象モデル及び化学輸送モデルの設定詳細を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

解析対象地域は関東地域及び九州地域を設定し、東アジア領域（60km 格子）を対象とした計算を行った後、ネスティングによって関東領域及び九州領域（10km 格子）の計算を行った。各領域の計算領域を図 2-12 に示す。

また、排出インベントリは情報が出揃う至近年である 2015 年、気象場は実際に感染症対策が行われた 2020 年で設定した。

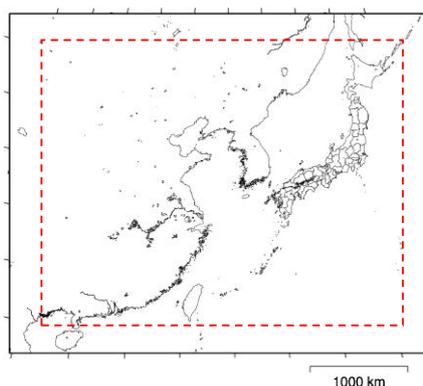
表 2-1 気象モデルの設定

項目	内容
モデルバージョン	WRFv3.9.1.1
初期値・境界値	<ul style="list-style-type: none"> ○東アジア領域（60 km 格子） <ul style="list-style-type: none"> 大気データ : 気象庁全球客観解析データ 海面水温データ : NCEP リアルタイム全球海面水温 土壌データ : NCEP 客観解析値 ○関東、九州領域（10 km 格子） <ul style="list-style-type: none"> 大気データ : 気象庁 GSM（日本域）客観解析データ 毎時大気解析 GPV（風、気温のみ） 海面水温データ : NOAA OI SST 日平均海面水温 土壌データ : NCEP 客観解析値
サブモジュール	<ul style="list-style-type: none"> 雲物理 : Morrison 2 moments 長波放射 : RRTMG 短波放射 : RRTMG 境界層 : MYNN 地表面 : Noah land-surface 都市物理 : UCM 積雲対流 : Grell 3D ensemble scheme
格子設定	モデル上端高度：50hPa
計算設定	ナッジング：格子点ナッジング （10km 格子の境界層内では水蒸気 q はナッジングなし、 気温 t、風速 uv はナッジングあり）

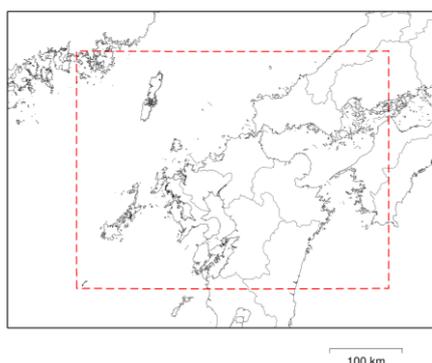
表 2-2 化学輸送モデルの設定

項目	内容
モデルバージョン	CMAQv5.2.1
サブモジュール	水平拡散 : multiscale 鉛直拡散 : acm2 気相反応 : SAPRC07 粒子化 : AERO6 沈着 : areo_dep2 Cloud : cloud acm ae6
ネスティング	2段階ネスティングを実施 東アジア領域 (60km 格子)、日本国内域 (10km 格子)
境界値	東アジア領域の側面境界値には、 全球化学輸送モデル CHASER の出力値を使用
植物 VOC	MEGANv2.10
格子設定	モデル上端高度 : 50hPa

【東アジア領域 (60km 格子)】
(CMAQ 領域サイズ 3,720×2940km (62×49 格子))



【九州領域 (10km 格子)】
(CMAQ 領域サイズ 420×330km
(42×33 格子))



【関東領域 (10km 格子)】
(CMAQ 領域サイズ 300×300km
(30×30 格子))

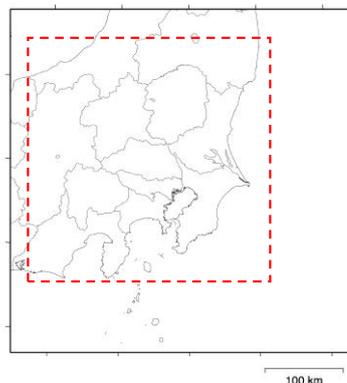


図 2-12 計算領域設定

上段：東アジア領域 (60km 格子)
下段右：関東領域 (10km 格子)、下段左：九州領域 (10km 格子)
外枠 : WRF 計算領域、 赤点線 : CMAQ 計算領域

(2) 排出量設定

排出インベントリは、表 2-3 に示す各データを利用した。

表 2-3 計算に使用したインベントリ

発生源	東アジア領域 (60km 格子)	関東/九州領域 (10km 格子)
人為起源	<ul style="list-style-type: none"> REASv3 (ロシア、船舶以外) HTAPv2.2 (ロシア、船舶) (日本付近は右記、関東領域と同インベントリを適用) 	<ul style="list-style-type: none"> PM_{2.5} 等大気汚染物質排出インベントリ (船舶以外) 海洋政策研究財団 (OPRF) 作成 DB (船舶)
植物起源	<ul style="list-style-type: none"> MEGAN¹⁹計算値 (植生分布及び WRF 計算値から植物起源 VOC を毎時間計算) 	<ul style="list-style-type: none"> MEGAN 計算値 (植生分布及び WRF 計算値から植物起源 VOC を毎時間計算)
火山起源	<ul style="list-style-type: none"> PM_{2.5} 等大気汚染物質排出インベントリ (日本国内のみ) 	<ul style="list-style-type: none"> PM_{2.5} 等大気汚染物質排出インベントリ

※使用したインベントリの対象年は以下の通り。

REASv3 ²⁰	: 2015 年
HTAPv2.2 ²¹	: 2010 年
PM _{2.5} 等大気汚染物質排出インベントリ ²²	: 2015 年度
OPRF 作成 DB ²³	: 2010 年度

¹⁹ Guenther, A., T. Karl, et al. (2006). "Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature)." *Atmos. Chem. Phys.* 6(11): 3181-3210.

²⁰ Kurokawa, J. and Ohara, T.: Long-term historical trends in air pollutant emissions in Asia: Regional Emission inventory in ASia (REAS) version 3, *Atmos. Chem. Phys.*, 20, 12761-12793, <https://doi.org/10.5194/acp-20-12761-2020>, 2020.

²¹ Janssens-Maenhout, G., Crippa, M., Guizzardi, D., Dentener, F., Muntean, M., Pouliot, G., Keating, T., Zhang, Q., Kurokawa, J., Wankmüller, R., Denier van der Gon, H., Kuenen, J. J. P., Klimont, Z., Frost, G., Darras, S., Koffi, B., and Li, M.: HTAP_v2.2: a mosaic of regional and global emission grid maps for 2008 and 2010 to study hemispheric transport of air pollution, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 11411-11432, doi:10.5194/acp15-11411-2015, 2015.

²² 環境省, 2019, 平成 30 年度 PM_{2.5} 等大気汚染物質排出インベントリ及び発生源プロファイル業務成果報告書

²³ 海洋政策研究財団, 2013: 排出規制海域設定による大気環境改善効果の算定事業 報告書

(3) 感度解析の設定

ア. 対象期間・ケース

本項目では、感染症対策実施期間に見られた国外の排出量変化が、日本国内の光化学オキシダント濃度にどの程度影響を及ぼし得るかを評価することを目的とする。

この点を踏まえ感度解析のケース設定としては、排出量を変化させない基準ケース A と東アジアにおける排出量を変化させたケース B の 2 つを実施した。各ケースにおける排出量等の設定を表 2-4 に示す。

ケース B では文献調査の結果を踏まえ、東アジアの内、中国国内での排出量変化率を与えた。東アジア領域に含まれる中国以外の国(韓国、ロシア、北朝鮮、ベトナム)に関しては、排出量変化に関する数値が入手できなかったことから基準ケースと同様(変化なし)と設定した。中国国内における排出量変化率は次項(イ)にて詳述する。

表 2-4 感度解析設定

		A) 基準ケース	B) 東アジア排出量変化
東アジア排出量 (人為起源)	中国	変化なし	感染症対策時に見られた排出量比を乗じた値
	中国以外・船舶	変化なし	
東アジア排出量 (自然起源)		変化なし (気象場に応じた排出量)	
日本国内排出量		変化なし	
気象場		2020 年	

なお、図 2-14 等で示す濃度差及び濃度変化率は以下の定義とする。以下の計算式の A 及び B は、表 2-4 の「A) 基準ケース」、「B) 東アジア排出量変化」を示す。

- ・濃度差 : B - A
- ・濃度変化率: (B - A) / A

感度解析は、東アジアからの越境汚染の寄与が大きい冬季及び春季について、季節を代表する期間として約 2 週間をそれぞれ設定した。さらに、O_x 濃度が上昇しやすい期間として、2020 年の冬季の内、好天が継続し気流場から越境汚染の影響が顕著と考えられる期間、並びに 2020 年春季の内、好天が継続した期間を好天期間設定した。計算対象期間を表 2-5 に示す。

表 2-5 対象期間の設定（冬季・春季）

	計算対象期間（好天期間）
冬季	2020/2/1～2/14（2/9～2/11）
春季	2020/4/20～5/3（4/29～5/3）

※実際の計算では上記計算対象期間に先立って7日間のスピニアップ計算を実施した。
（冬季：2020/1/25～、春季：2020/4/13～）

イ. 東アジア排出量の設定

ケース B における中国国内での Ox 前駆物質排出量の変化率は、Zheng et al. (2021)で示されている 2019 年及び 2020 年の排出量データをもとに設定した。Zheng et al. (2021) では、表 2-6 に示すように物質別・省別・月別・セクター別の排出量が示されている。

このデータから 2019 年と 2020 年の排出量変化率を物質別・省別・月別・セクター別に算出し、東アジア排出インベントリ（REASv3.2: 2015 年対象）に乗じた値をケース B における中国排出量として設定した。

なお、省別の排出量比を設定するにあたり、REASv3.2 は 0.25° グリッドのデータであることから、グリッド中心位置が属する省の値を当該グリッドの変化率として設定した。

Zheng et al. (2021) における中国全土での排出量変化率（2020 年/2019 年）を表 2-7 に示す。

表 2-6 Zheng et al. (2021)における人為起源排出量データ諸元

項目	内容
対象物質 [ton 単位]	NOx, VOC, SO ₂ , PM _{2.5} , BC, OC, CO, NH ₃
対象セクター	Industry, power, residential, transportation, Agriculture(NH ₃ のみ)
時間解像度	月別（2019、2020 年）
空間解像度	省別（32 区分）
備考	マカオ、上海は含まれない

表 2-7 中国全土での排出量変化率[%]（2020 年/2019 年）

	NOx					VOC				
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
industry	-2.4	-35.7	-11.3	-5.2	-3.9	-2.6	-33.1	-10.2	-4.9	-4.2
power	-3.8	-20.7	-11.0	-3.0	5.3	-2.1	-17.9	-7.6	1.1	10.2
residential	-6.0	-11.4	-5.4	1.7	1.5	-7.2	-11.3	-5.6	0.2	0.1
transportation	-14.2	-48.4	-19.0	-7.7	-4.8	-5.3	-58.2	-28.3	-17.6	-10.3
合計	-6.9	-36.3	-13.5	-5.5	-2.5	-4.4	-31.2	-11.8	-6.2	-4.6

表 2-8 月別の O_x 前駆物質排出量変化率 [%](省・特別市別)

	NO _x					VOC				
	1月	2月	3月	4月	5月	1月	2月	3月	4月	5月
中国全土	-6.9	-36.3	-13.5	-5.5	-2.5	-4.4	-31.2	-11.8	-6.2	-4.6
北京	1.5	-30.1	-19.5	-2.7	-2.2	-1.4	-36.0	-22.4	-9.9	-4.6
天津	-5.6	-31.0	-17.2	-6.2	-2.9	-3.1	-34.2	-19.8	-10.9	-5.0
河北	-4.8	-38.8	-22.2	-12.1	-10.9	-6.2	-32.0	-12.3	-8.1	-6.5
山西	-8.3	-35.1	-14.4	-6.4	-11.0	-1.7	-32.7	-8.5	-5.4	-5.5
内モンゴル自治区	-2.0	-24.5	-12.0	-9.0	-5.7	4.7	-25.9	-7.4	-4.3	-6.1
遼寧	-1.0	-32.5	-15.3	-6.4	-0.8	4.5	-26.4	-11.7	-4.8	-2.3
吉林	-5.6	-34.5	-10.2	-9.6	-3.7	-6.7	-26.7	-10.5	-8.0	-4.6
黒竜江	-2.2	-29.3	-9.4	0.7	-5.5	0.5	-21.9	-7.5	-2.2	-4.5
上海	-7.8	-44.7	-25.1	-9.2	-2.4	-9.1	-36.3	-17.8	-7.8	-6.3
江蘇	-16.3	-40.9	-10.7	-2.2	1.5	-4.3	-32.8	-8.0	-4.9	-3.9
浙江	-14.6	-40.2	-14.5	-5.0	6.0	-6.0	-33.0	-6.9	-1.8	-1.0
安徽	-10.5	-33.6	-11.0	-1.3	-2.4	-5.6	-24.8	-8.9	-4.6	-3.9
福建	-12.2	-42.0	-6.7	-6.2	0.2	-6.7	-26.8	-9.5	-7.8	-4.9
江西	-13.1	-44.8	-8.1	-6.7	-3.3	-5.6	-26.3	-7.7	-6.2	-5.8
山東	-6.4	-34.0	-8.7	-5.9	-5.6	-1.1	-33.1	-10.0	-7.6	-6.0
河南	-10.3	-43.3	-5.5	-2.5	-7.7	-2.3	-33.7	-9.9	-6.3	-5.2
湖北	-19.1	-45.6	-43.1	-20.1	-1.7	-12.3	-35.9	-29.4	-9.5	-3.1
湖南	0.6	-33.0	-8.6	-1.1	2.2	-2.6	-25.8	-8.0	-4.8	-3.9
広東	-11.1	-41.0	-16.2	-6.2	4.7	-11.0	-40.2	-13.2	-5.6	-6.6
広西チワン	-7.9	-37.2	-12.1	-3.8	-0.7	-9.9	-39.0	-31.4	-13.5	-5.5
海南	7.9	-41.0	-24.4	-17.4	-2.5	0.6	-29.6	-14.4	-9.4	-8.0
重慶	-9.9	-38.5	-4.2	-2.9	4.4	-10.1	-30.5	-8.8	-4.8	-3.4
四川	2.0	-39.3	-17.1	-6.5	-0.5	-3.2	-30.3	-9.2	-6.4	-5.8
貴州	-4.6	-30.9	-4.7	7.8	10.9	-3.2	-19.0	-4.8	-2.1	-1.2
雲南	-3.0	-35.7	-9.4	-0.5	1.9	-3.0	-29.4	-12.4	-7.0	-4.6
チベット自治区	-40.2	-79.6	-41.7	-22.9	-16.1	-80.5	-85.8	-74.4	-53.0	-36.3
陝西	-7.3	-31.1	-14.5	-5.4	-5.3	-1.4	-29.9	-9.1	-6.3	-4.9
甘肅	-10.3	-41.3	-16.8	-1.6	4.1	-0.4	-28.6	-13.2	-4.6	0.5
青海	-10.7	-40.2	-7.2	4.1	-1.5	-6.7	-31.2	-10.7	-8.7	-6.2
寧夏回族自治区	0.5	-38.7	-13.3	0.5	-3.2	7.2	-35.3	-9.8	-6.7	-6.7
新疆	3.5	-30.4	-6.4	0.3	1.8	3.7	-25.5	-5.2	-2.8	0.4

ウ. 地点別の解析

解析に当たっては図 2-13 に示す関東領域及び九州領域全体の他、地点別の Ox 濃度及び前駆物質濃度の変化を整理した。地点別解析の対象地点を表 2-9 に示す。

対象地点として、関東領域は東京・神奈川および埼玉の 6 地点と関東地域における東京・神奈川および埼玉以外の県から 1 地点ずつ選定した。九州領域は福岡および長崎の 6 地点、佐賀県及び大分県から 1 地点ずつ選定した。なお、解析対象地点は、令和 2 年度の解析地点と同じである。

表 2-9 解析対象地点

地域	地点
関東	国設新宿、多摩市愛宕、国設川崎 さいたま市役所、熊谷、久喜 つくば高野（茨城県）、中央（栃木県）、 太田市中央小学校（群馬県）、市原松崎（千葉県）
九州	福岡市役所、篠栗、香椎 稲佐小学校、五島、相浦 佐賀、中央測定局（大分県）

【関東地域】



【九州地域】



図 2-13 対象地点分布

2.2.3 解析結果

(1) 関東地域

光化学オキシダント濃度の変化を図 2-14 及び図 2-15 に、Ox 濃度及び大気汚染物質濃度の変化率(%)を表 2-10 及び表 2-11 に示す。

ア. 冬季

2 週間平均及び好天期間平均の Ox 濃度及び大気汚染物質濃度の変化率を地点別に整理すると、Ox 平均値が-1.9~-1.0%、Ox 日最高 1 時間値が-1.8~-1.0%、NOx 平均値が 0.1~0.4%、NMHC 平均値が-1.0~-0.2%であった。Ox 濃度及び大気汚染物質濃度の変化率は、2 週間平均と好天期間で大きな差はなかった。

イ. 春季

2 週間平均及び好天期間平均の Ox 濃度及び大気汚染物質濃度の変化率を地点別に整理すると、Ox 平均値が-0.6~-0.4%、Ox 日最高 1 時間値が-0.5~-0.3%、NOx 平均値が 0.0~0.3%、NMHC 平均値が-0.3~-0.1%であった。Ox 濃度及び大気汚染物質濃度の変化率は、2 週間平均と好天期間で大きな差はなかった。

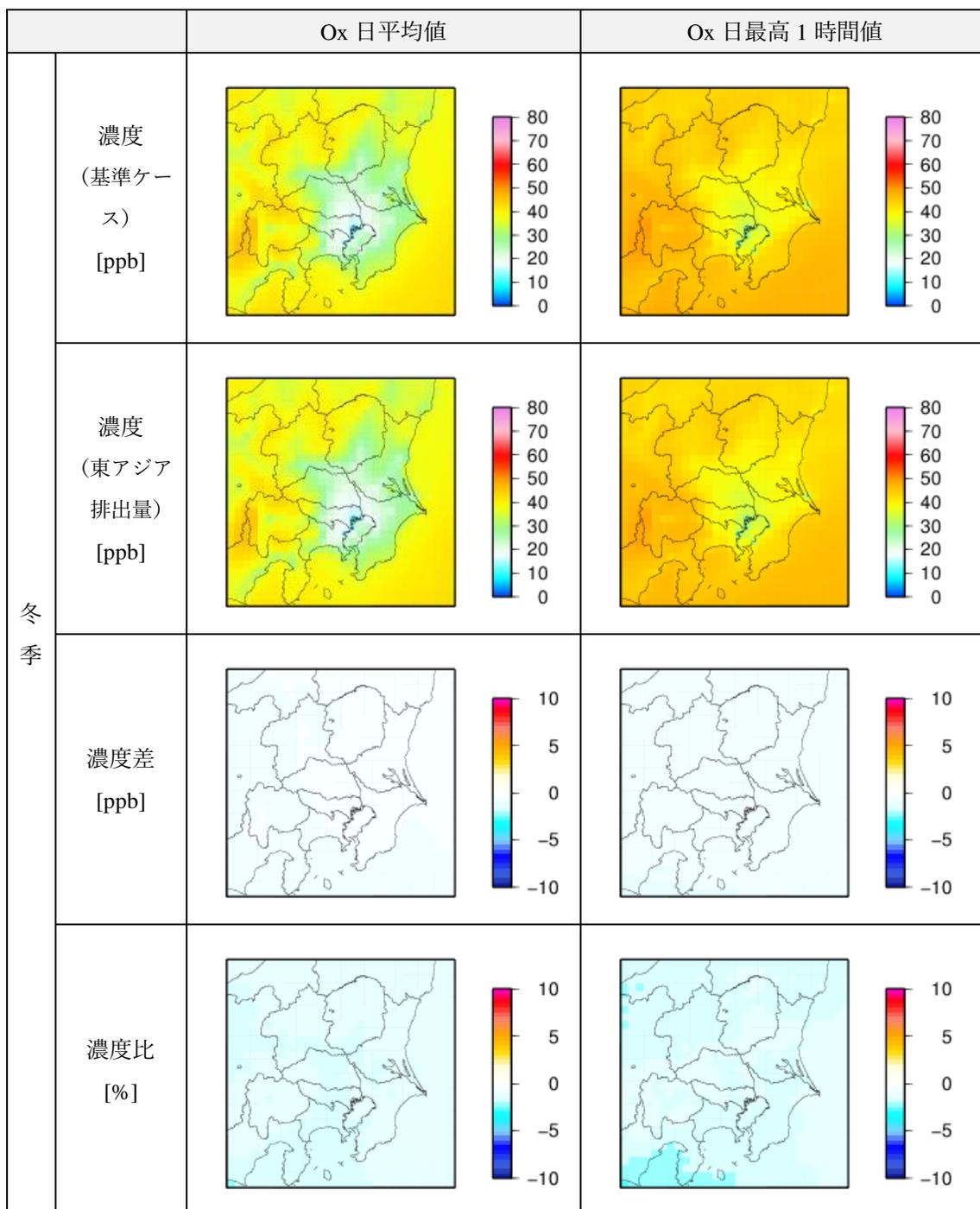


図 2-14(1) 光化学オキシダント濃度の変化 (%) (冬季・2 週間平均値)

左列：Ox 平均値、右列：Ox 日最高 1 時間値

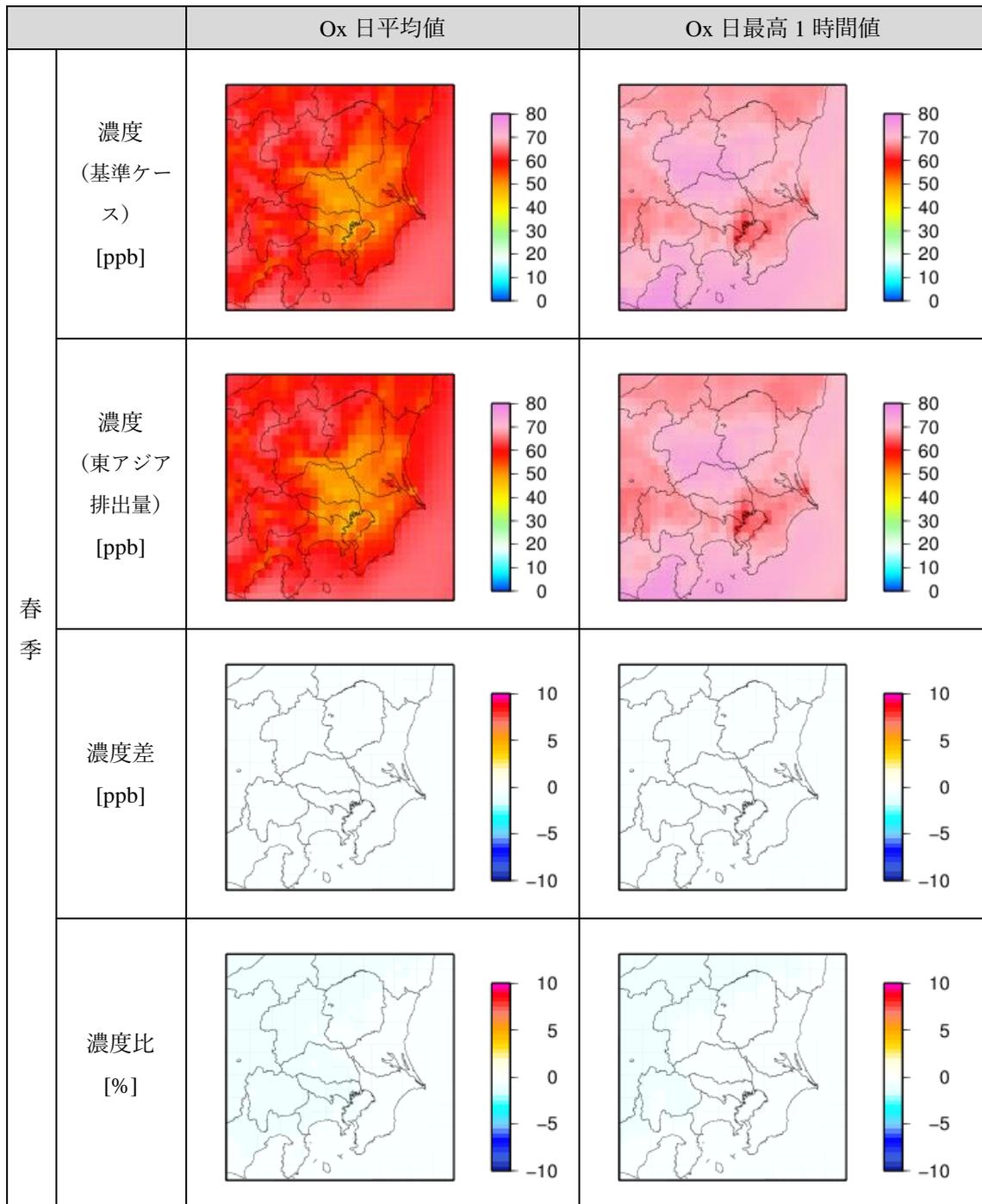


図 2-14 (2) 光化学オキシダント濃度の変化 (%) (春季・2 週間平均値)
左列：Ox 平均値、右列：Ox 日最高 1 時間値

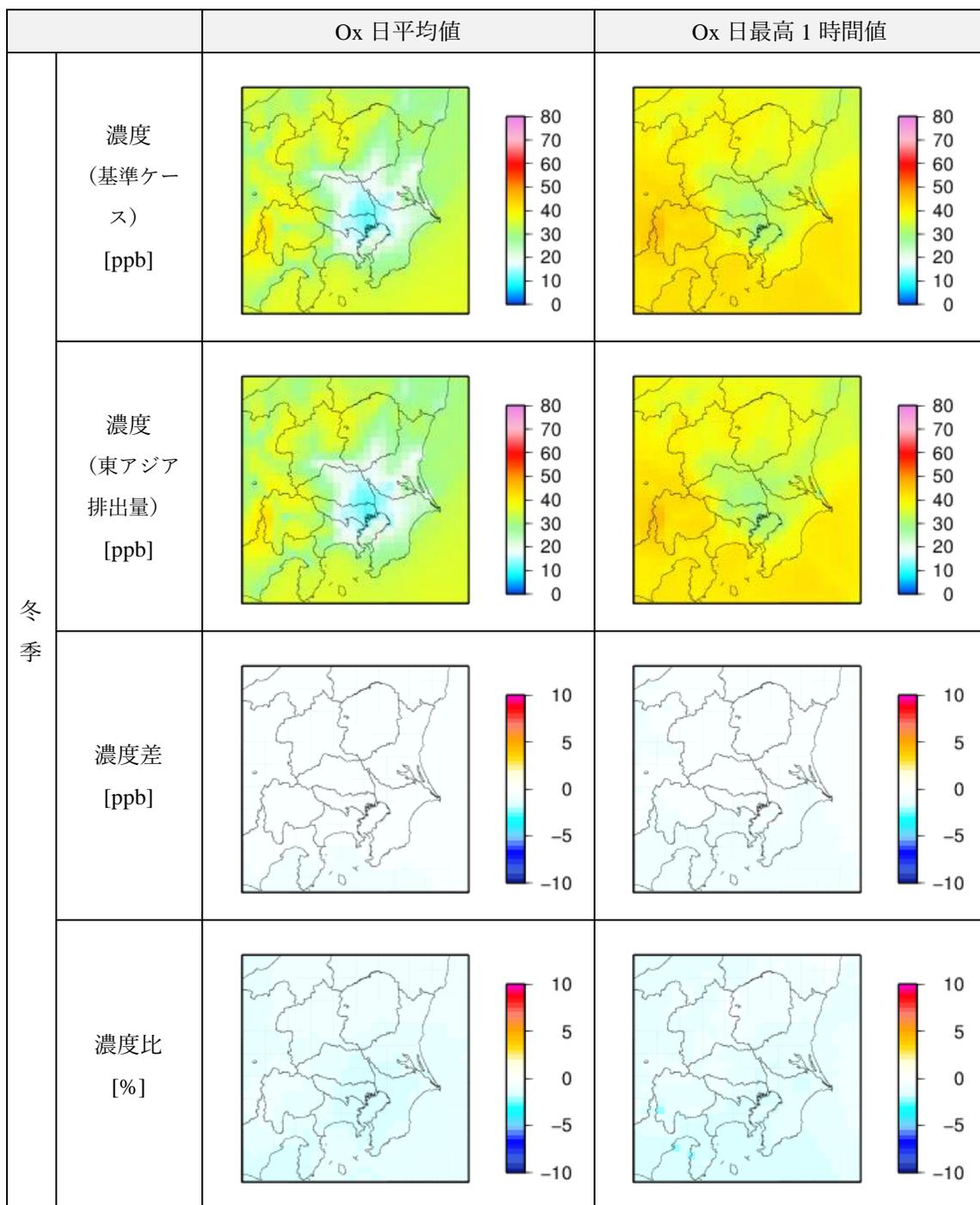


図 2-15(1) 光化学オキシダント濃度の変化 (%) (冬季、好天期間平均値)

左列：Ox 平均値、右列：Ox 日最高 1 時間値

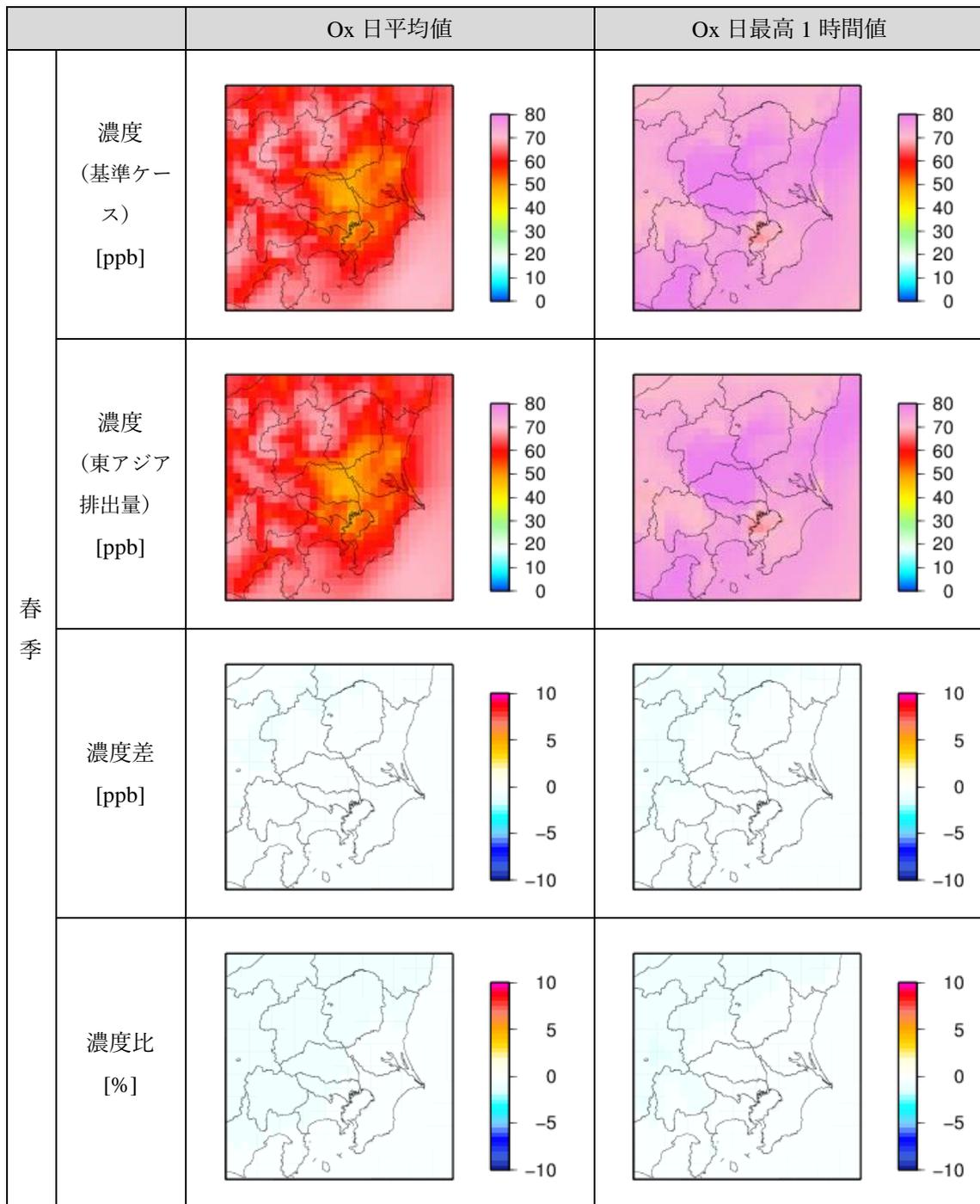


図 2-15 (2) 光化学オキシダント濃度の変化 (%) (春季、好天期間平均値)

左列：Ox 平均値、右列：Ox 日最高 1 時間値

表 2-10 Ox 濃度及び大気汚染物質濃度の変化率(%)(地点別・2週間平均：関東地域)

地域	地点	冬季				春季			
		Ox 平均値	Ox 日最高 1 時間値	NOx 平均値	NMHC 平均値	Ox 平均値	Ox 日最高 1 時間値	NOx 平均値	NMHC 平均値
東京・ 神奈川	国設東京（新宿）	-1.6	-1.5	0.2	-0.3	-0.5	-0.4	0.1	-0.1
	国設川崎	-1.5	-1.6	0.2	-0.4	-0.5	-0.5	0.1	-0.1
	多摩市愛宕	-1.8	-1.5	0.1	-0.4	-0.5	-0.4	0.1	-0.2
埼玉	さいたま市役所	-1.5	-1.5	0.2	-0.4	-0.5	-0.4	0.1	-0.1
	熊谷	-1.7	-1.5	0.2	-0.6	-0.5	-0.4	0.3	-0.1
	久喜	-1.5	-1.5	0.2	-0.6	-0.5	-0.4	0.1	-0.2
茨城県	つくば高野	-1.5	-1.6	0.4	-0.5	-0.5	-0.4	0.2	-0.2
栃木県	中央	-1.5	-1.4	0.1	-1.0	-0.5	-0.4	0.0	-0.3
群馬県	太田市立中央小学校	-1.7	-1.5	0.2	-0.6	-0.5	-0.4	0.1	-0.1
千葉県	市原松崎	-1.5	-1.8	0.3	-0.6	-0.5	-0.4	0.0	-0.2

表 2-11 Ox 濃度及び大気汚染物質濃度の変化率(%)(地点別・好天期間平均：関東地域)

地域	地点	冬季				春季			
		Ox 平均値	Ox 日最高 1 時間値	NOx 平均値	NMHC 平均値	Ox 平均値	Ox 日最高 1 時間値	NOx 平均値	NMHC 平均値
東京・ 神奈川	国設東京（新宿）	-1.7	-1.5	0.1	-0.2	-0.5	-0.4	0.2	-0.1
	国設川崎	-1.8	-1.6	0.1	-0.2	-0.5	-0.4	0.1	-0.1
	多摩市愛宕	-1.9	-1.5	0.1	-0.2	-0.5	-0.4	0.1	-0.1
埼玉	さいたま市役所	-1.8	-1.5	0.1	-0.2	-0.5	-0.3	0.2	-0.1
	熊谷	-1.4	-1.0	0.1	-0.2	-0.5	-0.4	0.2	-0.1
	久喜	-1.5	-1.1	0.1	-0.2	-0.5	-0.4	0.2	-0.2
茨城県	つくば高野	-1.5	-1.2	0.2	-0.2	-0.5	-0.3	0.1	-0.1
栃木県	中央	-1.0	-1.0	0.1	-0.3	-0.5	-0.4	0.1	-0.3
群馬県	太田市立中央小学校	-1.2	-1.0	0.1	-0.2	-0.6	-0.4	0.1	-0.1
千葉県	市原松崎	-1.6	-1.4	0.2	-0.4	-0.4	-0.3	0.2	-0.2

(2) 九州地域

光化学オキシダント濃度の変化(%)を図 2-16 及び図 2-17 に、表 2-12 及び表 2-13 に Ox 濃度及び大気汚染物質濃度の変化率(%)を示す。

ア. 冬季

好天期間の Ox 濃度及び大気汚染物質濃度の変化率は、2 週間平均よりも大きい傾向にあった。また、好天期間の Ox の濃度差及び濃度比は、北西部が最も高く九州の陸域に近づくにつれて低い傾向にあった(図 2-17)。

好天期間の Ox 濃度及び大気汚染物質濃度の変化率を地点別に整理すると、Ox 日平均値が-5.4~-4.6%、Ox 日最高 1 時間値が-5.2~-4.2%、NOx 平均値が-1.8~1.9%、NMHC 平均値が-30.7~-5.0%であった。Ox 平均値、Ox 日最高 1 時間値、NOx 平均値の変化率の地点差は僅かであり、地点による明確な影響の差は確認できなかった。一方、NMHC 平均値の減少率は、長崎県の五島が他地点よりも大きかった。長崎県の五島は、NOx 平均値が唯一減少している地点であり、中国に地理的に近いこと、陸上に大気汚染物質の排出源が少ないことから、越境汚染の影響を他地点よりも大きく受けている可能性が示唆された。

イ. 春季

2 週間平均及び好天期間平均の Ox 濃度及び大気汚染物質濃度の変化率を地点別に整理すると、Ox 日平均値が-8.4~-0.7%、Ox 日最高 1 時間値が-1.0~-0.6%、NOx 平均値が-2.1~0.4%、NMHC 平均値が-3.5~-0.5%であった。Ox 濃度及び大気汚染物質濃度の変化率は、2 週間平均と好天期間で大きな差はなかった。

長崎県の五島では冬季と同様に NMHC の変化率の減少率が他地点よりも大きいなど、地点差は多少見られるものの、Ox の濃度及び変化率は計算領域で概ね一様であった。

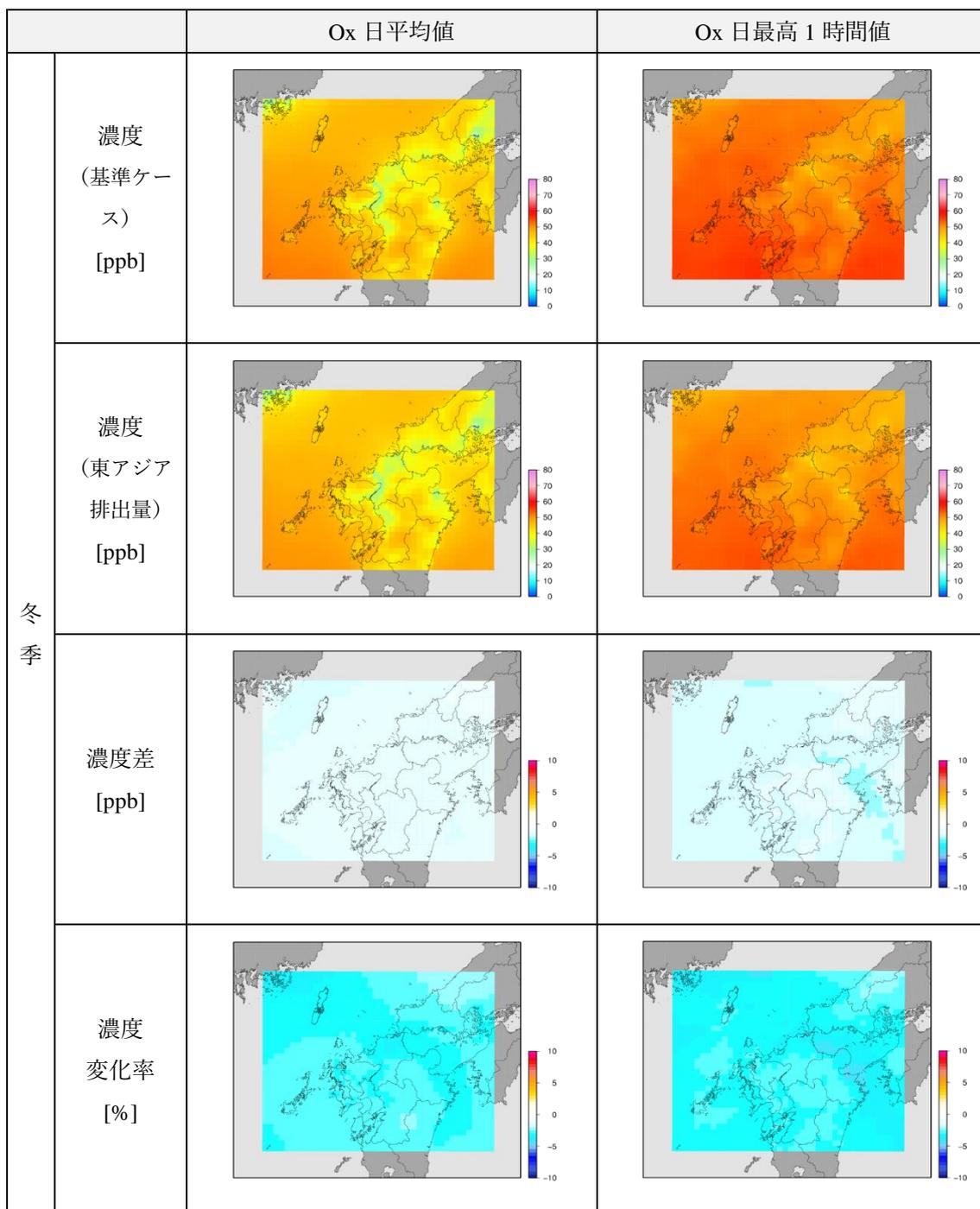


図 2-16(1) 光化学オキシダント濃度の変化 (冬季・2 週間平均値)

左列：Ox 平均値、右列：Ox 日最高 1 時間値

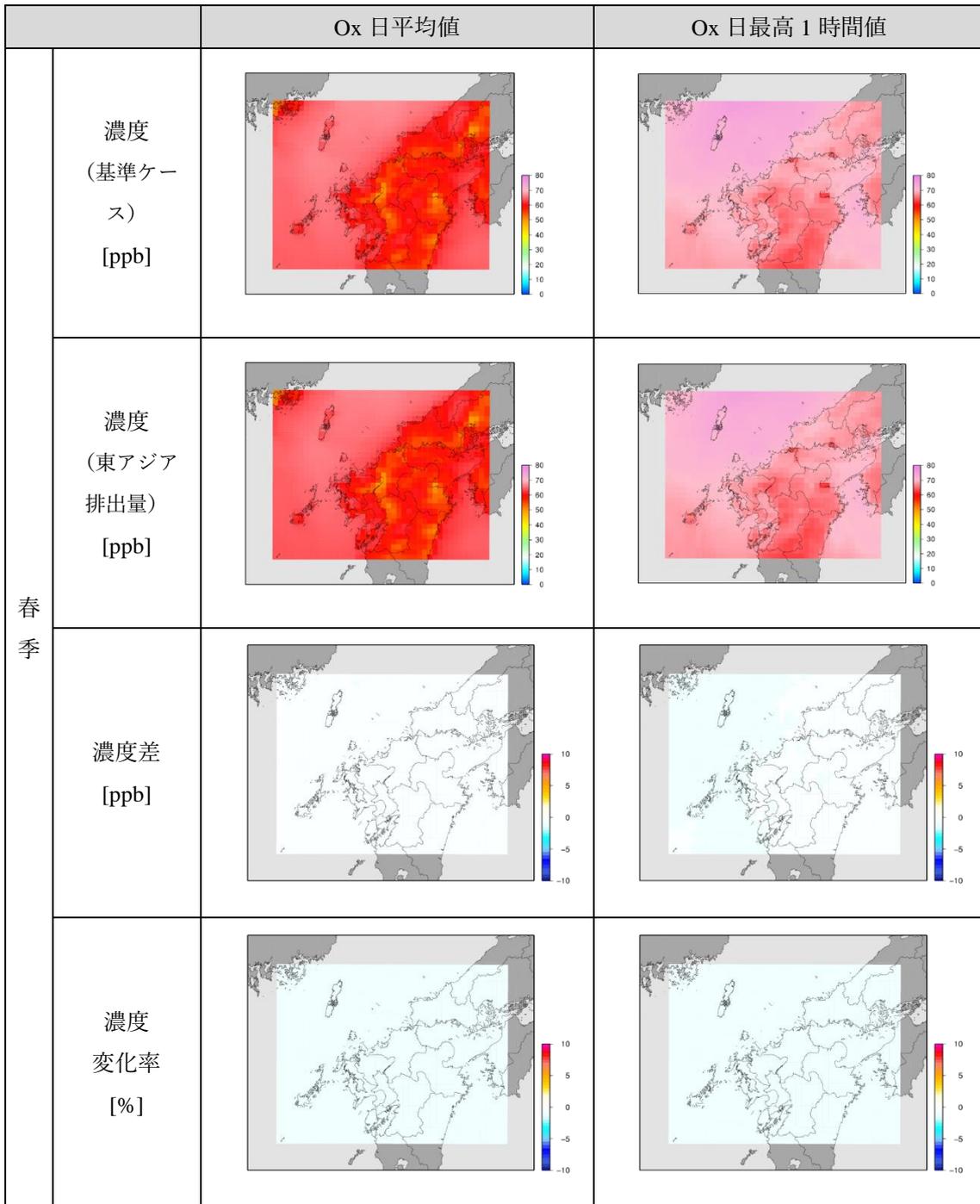


図 2-16(2) 光化学オキシダント濃度の変化 (春季・2 週間平均値)

左列：Ox 平均値、右列：Ox 日最高 1 時間値

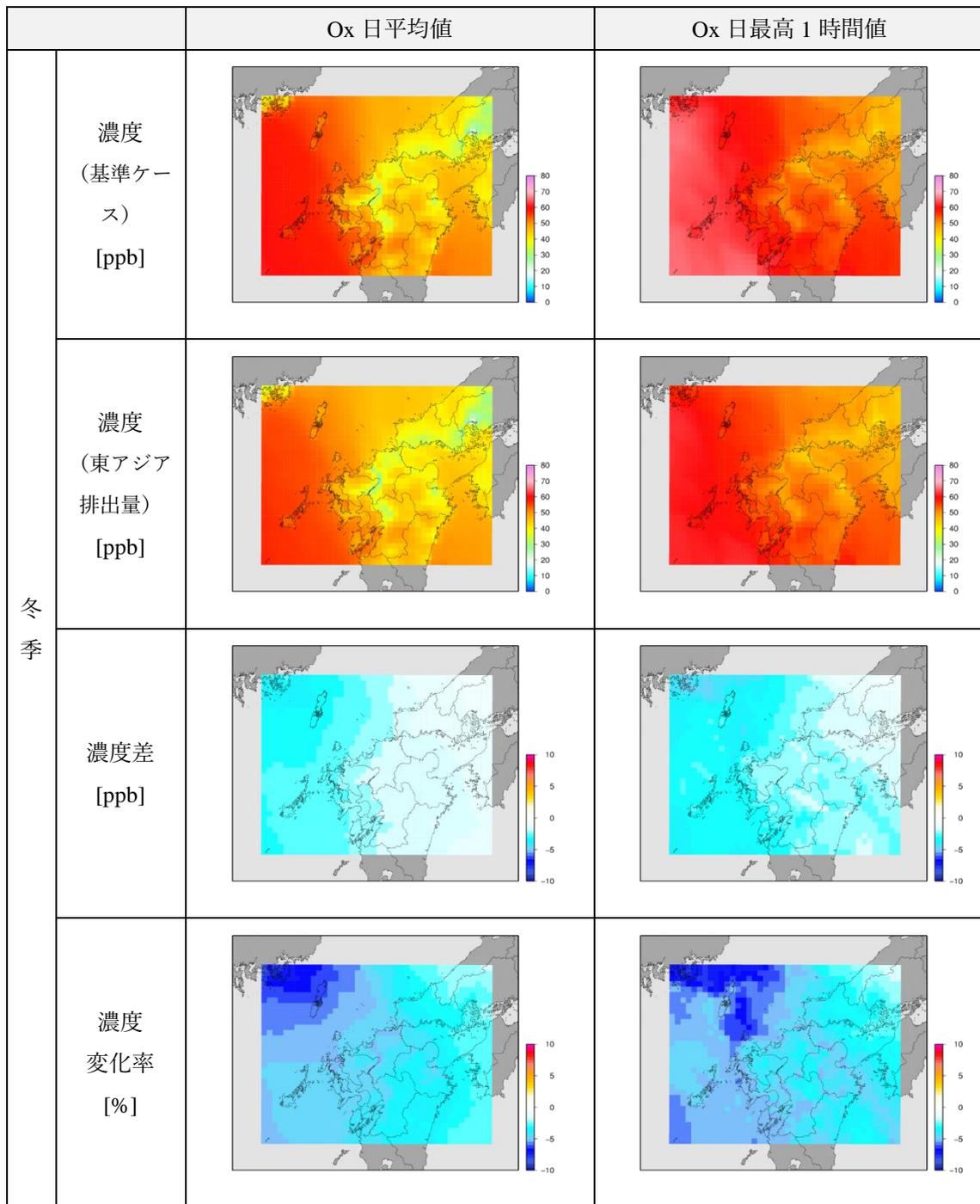


図 2-17(1) 光化学オキシダント濃度の変化 (冬季、好天期間平均値)

左列：Ox 平均値、右列：Ox 日最高 1 時間値

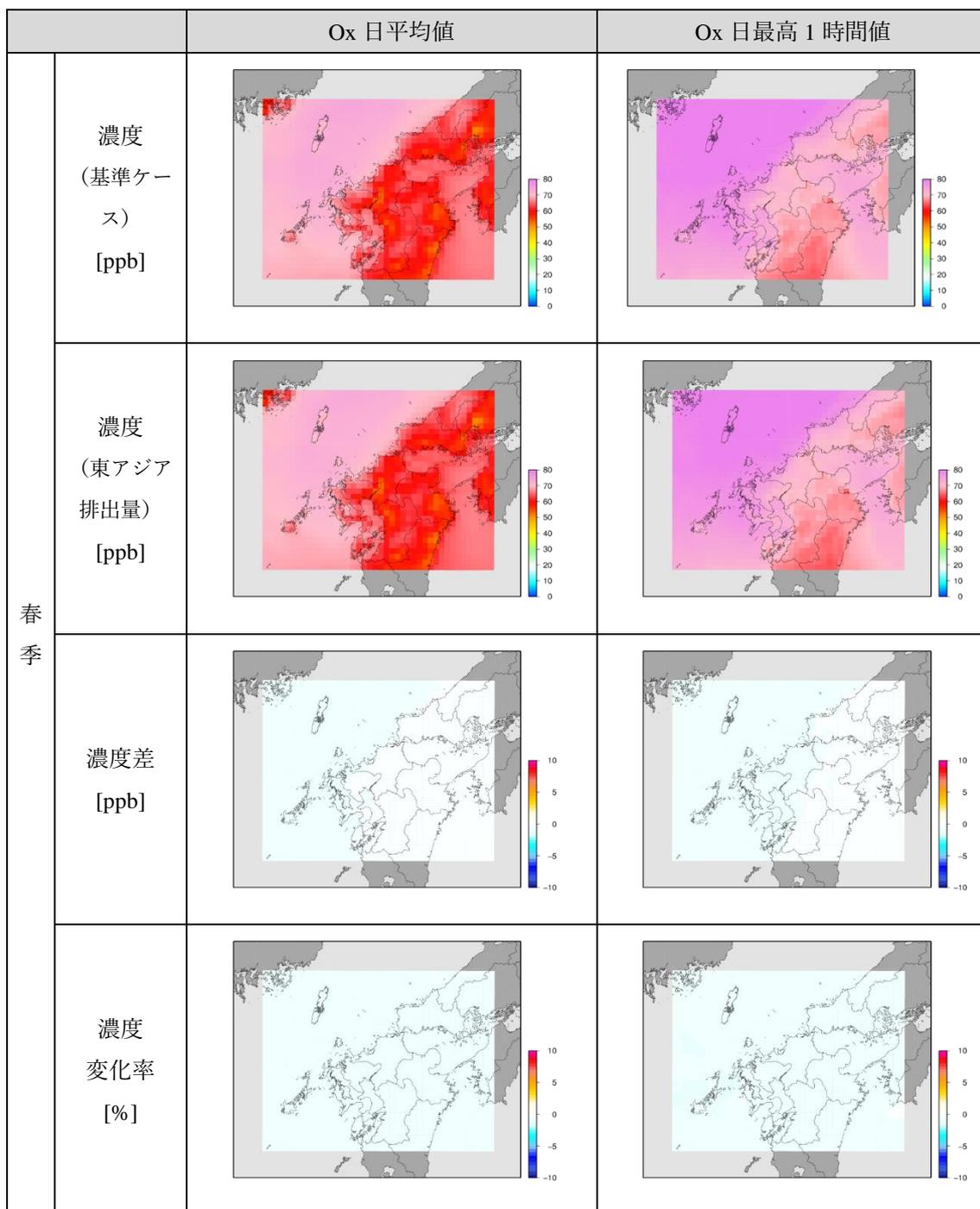


図 2-17(2) 光化学オキシダント濃度の変化 (春季、好天期間平均値)
左列 : Ox 平均値、右列 : Ox 日最高 1 時間値

表 2-12 Ox 濃度及び大気汚染物質濃度の変化率(%) (地点別・2週間平均：九州地域)

地域	地点	冬季				春季			
		Ox 平均値	Ox 日最高 1 時間値	NOx 平均値	NMHC 平均値	Ox 平均値	Ox 日最高 1 時間値	NOx 平均値	NMHC 平均値
福岡県	福岡市役所	-3.7	-3.2	0.4	-2.9	-0.8	-0.7	0.0	-0.5
	篠栗	-3.2	-3.2	1.1	-7.1	-0.7	-0.7	0.4	-0.9
	香椎	-3.4	-3.4	0.7	-5.2	-0.7	-0.7	0.2	-0.8
長崎県	稲佐小学校	-3.0	-3.0	1.0	-8.5	-0.7	-0.7	0.0	-1.3
	五島	-2.7	-2.9	-1.0	-18.9	-0.7	-0.8	0.0	-2.5
	相浦	-3.0	-3.2	0.6	-10.7	-0.7	-0.7	0.0	-1.6
佐賀県	佐賀	-3.0	-2.8	0.7	-5.8	-0.7	-0.6	0.4	-0.8
大分県	中央測定局	-3.7	-4.0	0.9	-3.4	-0.7	-0.6	0.0	-0.5

表 2-13 Ox 濃度及び大気汚染物質濃度の変化率(%) (地点別・好天期間平均：九州地域)

地域	地点	冬季				春季			
		Ox 平均値	Ox 日最高 1 時間値	NOx 平均値	NMHC 平均値	Ox 平均値	Ox 日最高 1 時間値	NOx 平均値	NMHC 平均値
福岡県	福岡市役所	-5.4	-4.6	0.6	-5.0	-0.8	-0.9	0.1	-0.7
	篠栗	-4.7	-4.4	1.8	-12.4	-0.8	-0.9	0.4	-1.4
	香椎	-5.1	-4.6	0.9	-8.1	-0.8	-0.9	0.0	-1.2
長崎県	稲佐小学校	-4.8	-5.2	1.2	-16.8	-0.8	-0.9	0.0	-1.8
	五島	-4.8	-4.9	-1.8	-30.7	-0.8	-1.0	-2.1	-3.5
	相浦	-5.1	-5.2	1.9	-20.0	-0.8	-0.9	0.0	-2.3
佐賀県	佐賀	-4.6	-4.2	1.1	-8.9	-0.8	-0.8	0.0	-1.2
大分県	中央測定局	-4.7	-4.5	0.8	-5.5	-0.7	-0.6	0.2	-0.8

2.3 排出量と濃度の関係性把握・影響要因の寄与程度把握

2.3.1 概要

緊急事態宣言により経済活動縮減が生じた期間（2020年4月～5月）における日本のOx濃度の変化について、影響を及ぼす主要要因の感度についてシミュレーションモデルを用いて調査した。

2.3.2 計算設定

本項目で用いた感度解析設定を以下に示す。

表 2-14 感度解析設定

対象要因	計算条件設定			
	気象場	国外排出量	国内排出量 (人為起源)	国内排出量 (自然起源)
A) 基準ケース	2020年	REASv3.2 HTAPv2	PM2.5 排出 インベントリ	MEGAN 計算値 (2020年気象 場に応じた値)
B) 気象場	2015年	変化なし		2015年気象場 に応じた値
C) 国外排出量	変化なし (2020年)	REASv3.2× 4～5月の 排出量比 (中国のみ)	変化なし	変化なし (2020年気象 場に応じた値)
D) 国内発生源 (移動発生源 ^{※1})		変化なし	自動車発生源 のみ2割減 ^{※4}	
E) 国内発生源 (固定発生源 ^{※2} (製造業))			固定発生源(製 造業)からの排 出のみ3割減 ^{※4}	
F) 国内発生源 (固定蒸発 発生源 ^{※3})			固定蒸発発 生源からの排 出のみ3割減 ^{※4}	

※1 移動発生源 : 自動車(2輪・4輪) 始動時、走行時、タイヤ摩耗、HSL、DBL

※2 固定発生源(製造業) : 製造業(鉄鋼、食品、飲料・たばこ・飼料、繊維工業、衣服・その他製品
木材・木製品、家具・装備品、パルプ・紙・紙加工品、印刷・同関連
化学工業、石油製品・石炭製品、プラスチック製品、ゴム製品
なめし革・同製品・毛皮製造、窯業、非鉄金属、金属製品、一般機械器具
電気機械器具、情報通信機械器具、電子部品・デバイス、輸送用機械器具
精密機械器具、その他)

※3 固定蒸発発生源 : 塗料、洗浄用シンナー、接着剤、印刷工程、工業用洗浄剤、工業プロセス
ドライクリーニング、粘着剤・剥離剤、その他溶剤、燃料蒸発

※4 令和2年度の事業により算出した削減率

なお、自動車発生源はNOx、固定発生源(製造業)及び固定蒸発発生源はNMHC(VOC)の主な
排出源である。

2.3.3 計算結果

関東地方の春季を対象に O_x 濃度に寄与する要因を変化させ、シミュレーションを実施することで、排出量と O_x 濃度の関係性及び影響の寄与程度を解析した。

2 週間平均値の解析における O_x 濃度の変化量を図 2-18 に、O_x 濃度の変化率を図 2-19 に、O_x 前駆物質濃度の変化率を図 2-22 に、O_x 濃度及び大気汚染物質濃度の変化を表 2-15 に示す。

好天期間の解析における O_x 濃度の変化量を図 2-20 に、O_x 濃度の変化率を図 2-21 に、O_x 前駆物質濃度の変化率を図 2-23 に、O_x 濃度及び大気汚染物質濃度の変化を表 2-16 に示す。

なお、O_x 濃度の変化量及び O_x 濃度の変化率は以下の計算式で算出した。なお、以下の計算式のアルファベットは、表 2-14 の対象要因 A~F に該当する。

- ・ O_x 濃度の変化量 : (B~F のいずれか - A)
- ・ O_x 濃度の変化率 : (B~F のいずれか - A) / A

(1) O_x

O_x 日平均値の変化率は、気象場を除く各種発生源においては 2 週間平均値と好天期間平均値で概ね同程度だった。気象場は、2 週間平均は好天期間よりも約 2 倍の変化率であった。これは、2020 年の解析期間には、降水が含まれるためだと考えられる。以降では、O_x 濃度が上昇しやすい期間として設定した好天期間において結果を整理した。

好天期間時の O_x 日平均濃度に対する各要因の変化率は、国外排出量は-0.6~-0.4%、移動発生源は 0.0~2.0%、固定発生源（製造業）は-0.1~0.9%、固定蒸発発生源で-2.2~-0.5%、気象場で-9.9~-0.8%であった。（表 2-16）

移動発生源や製造業の国内発生源の排出量減少は、東京湾岸～都心部で O_x 濃度を増加させる方向に作用した。大気中の NO_x 濃度が減少したことにより、NO によるタイトレーション効果が弱まることで O_x 濃度の減少効果が小さくなったことが要因として考えられる。

国内/外での排出量変化では、国内発生源（固定蒸発）が、最も O_x 濃度を低減させる方向に作用したと考えられる。国内発生源（固定蒸発）は、東京・神奈川で約 1%、内陸部である埼玉や群馬で約 2%の O_x 濃度減少に寄与した。

気象場の影響程度は、概して国内外での排出量変化の影響より大きいため、本調査の解析期間では排出量変化による影響を相殺している可能性が示唆された。なお、気象場の影響が大きい地点は国設東京（新宿）(-9.7%)と国設川崎(-9.9%)といずれも東京湾から近い位置の測定地点であること、気象場の影響の小さな地点は太田市立中央小学校(-5.2%)と宇都宮中央(-7.8%)といずれも内陸地点に

位置することから、都心から離れた内陸地点で気象場の影響は小さい傾向にあった。

(2) NO_x

NO_x 濃度に対する各種発生源の変化率は、移動発生源が-15.2～-5.7%と減少方向に作用した。移動発生源と気象場を除いた排出源は、一部を除き概ね寄与率は±10%以下と NO_x 濃度に明確な影響を及ぼしたとは言い難い。

(3) NMHC

NMHC 濃度に対する各種発生源の変化率は、固定蒸発発生源が-24.0～-16.7%と減少方向に作用した。固定蒸発発生源と気象場を除いた排出源は、一部を除き概ね寄与率は±10%以下と NO_x 濃度に明確な影響を及ぼしたとは言い難い。

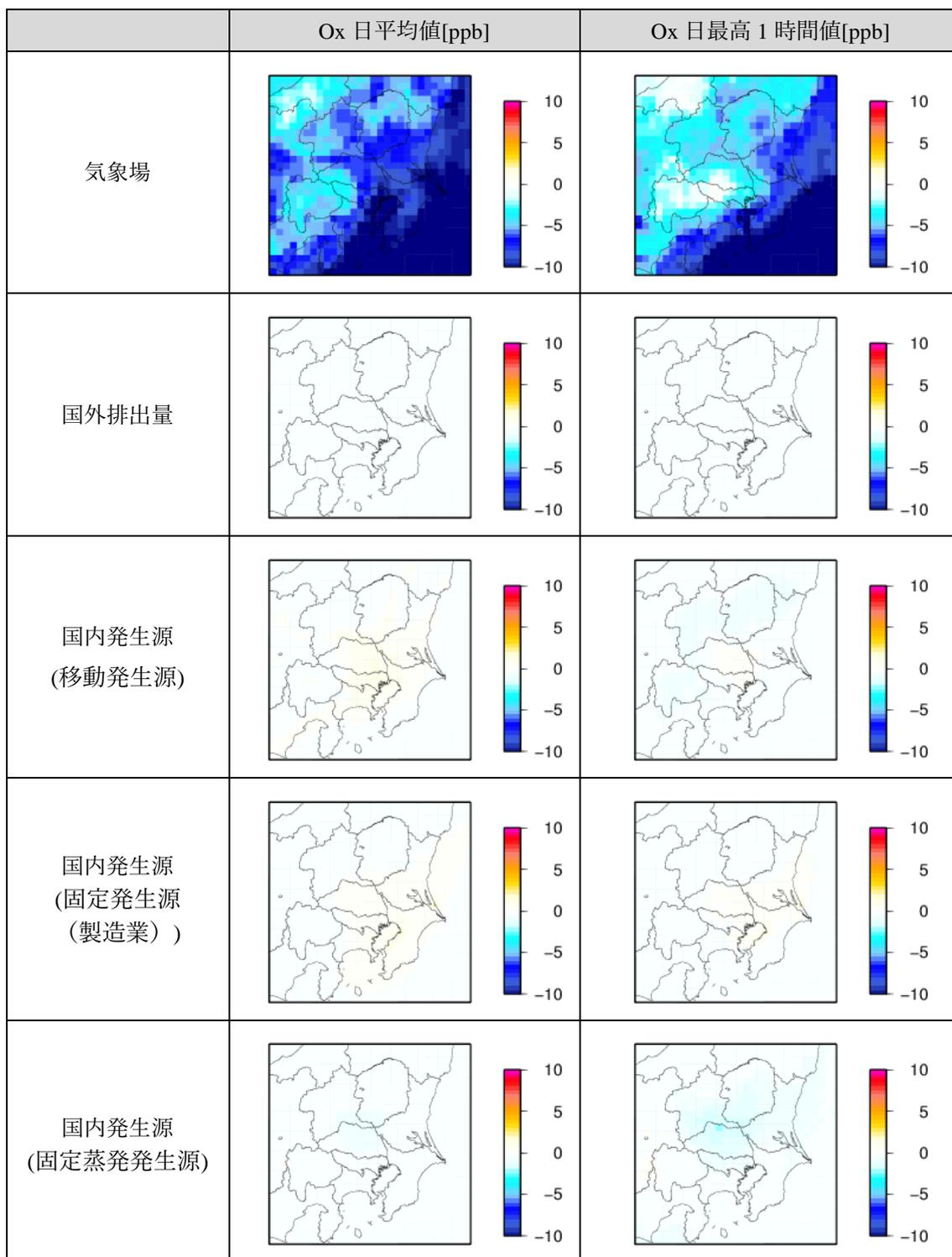


図 2-18 Ox 濃度の変化量 (2 週間平均)
基準ケースからの変化量[ppb]

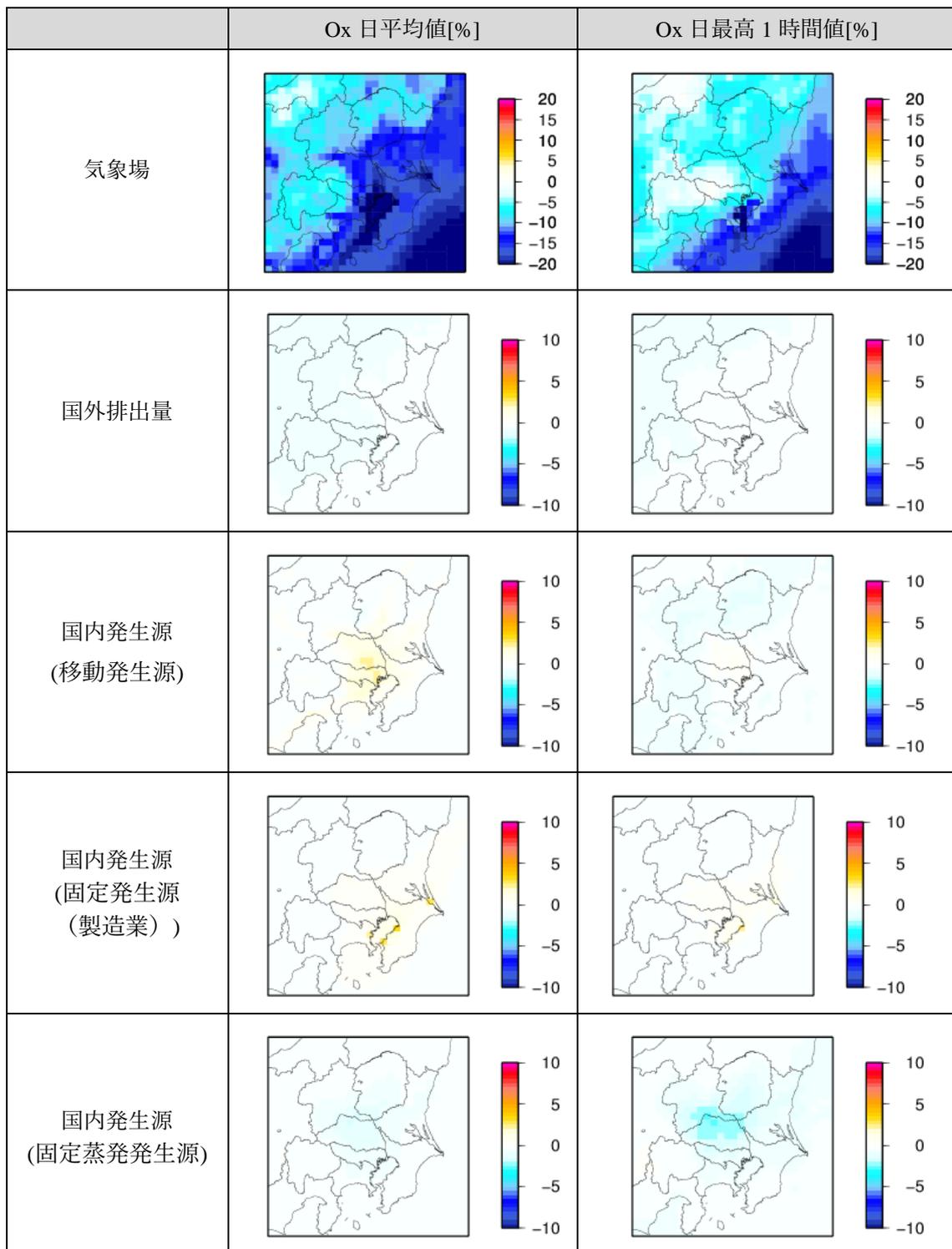


図 2-19 Ox 濃度の変化率 (2 週間平均)
基準ケースからの変化率[%]

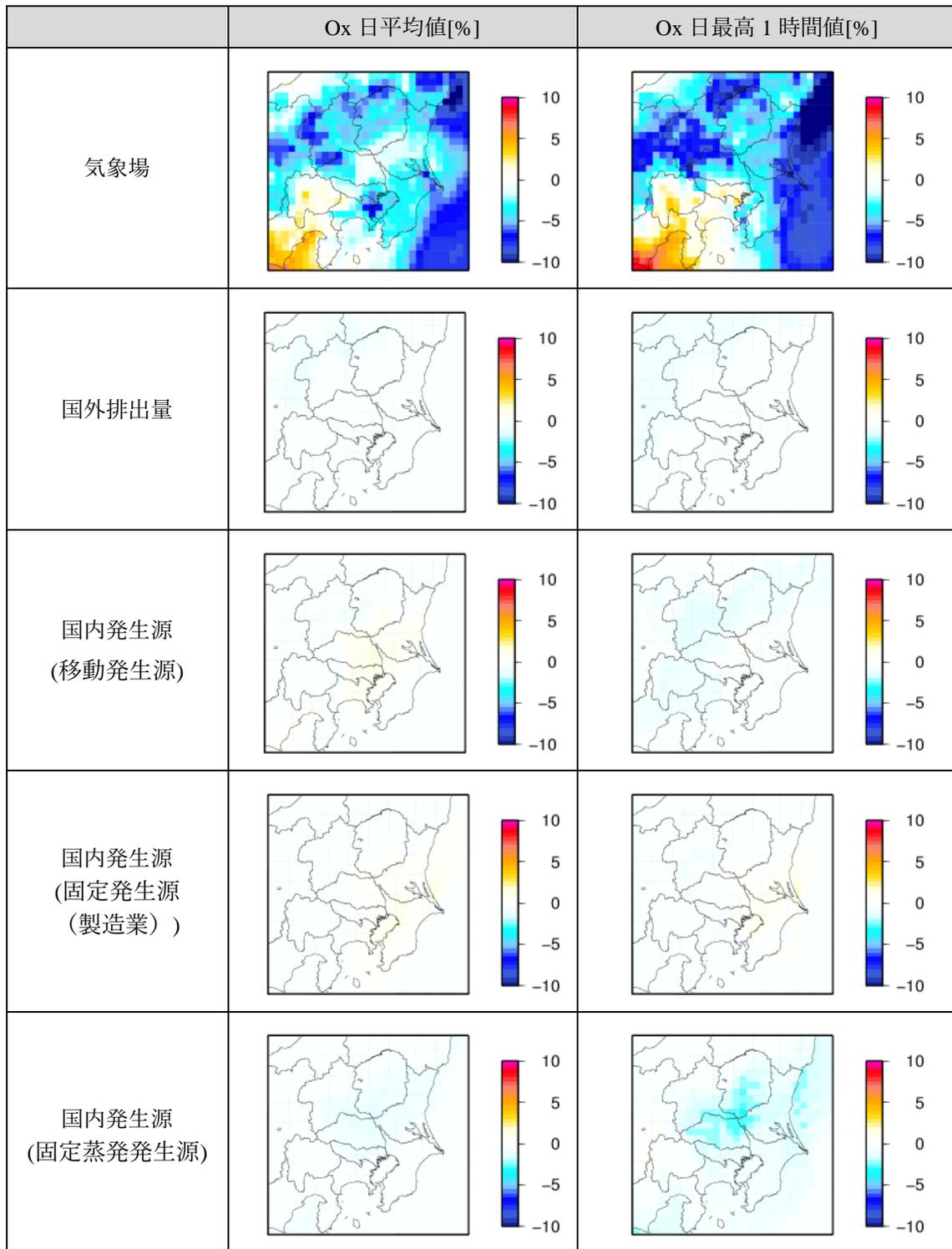


図 2-20 Ox 濃度の変化量 (好天期間平均)
基準ケースからの変化量[ppb]

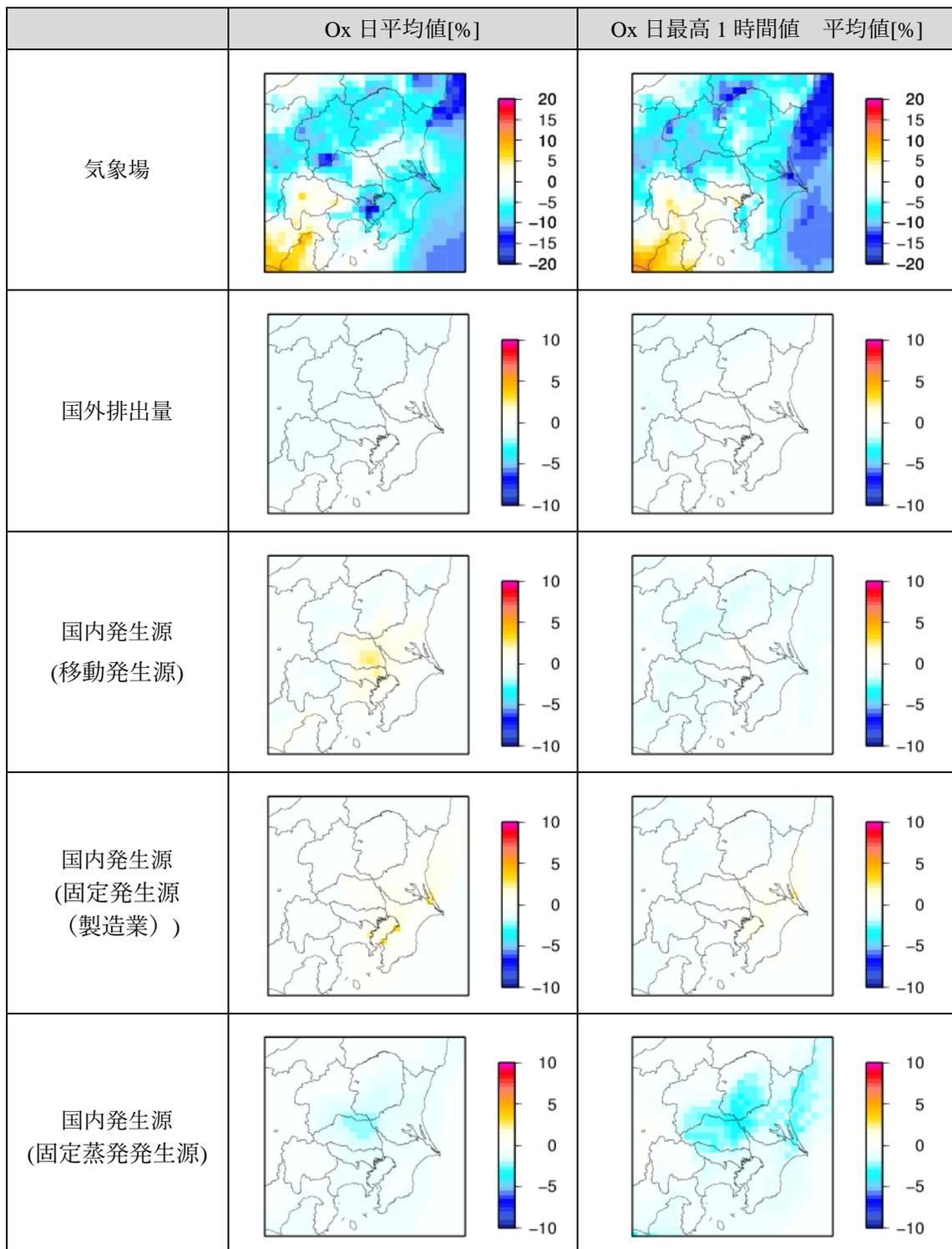


図 2-21 Ox 濃度の変化率 (好天期間平均)
基準ケースからの変化率[%]

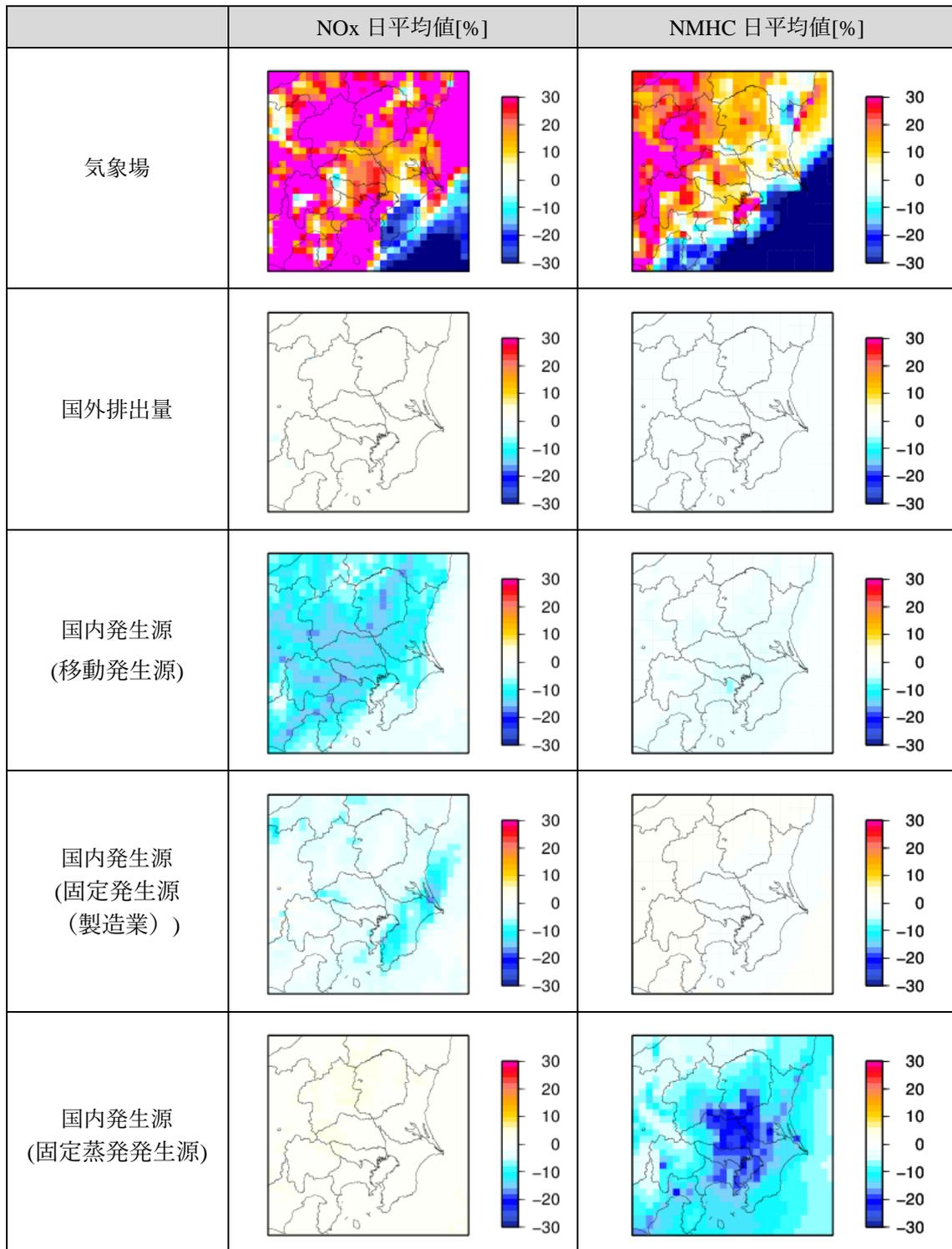


図 2-22 Ox 前駆物質濃度の変化率 (2 週間平均)
基準ケースからの変化率[%]

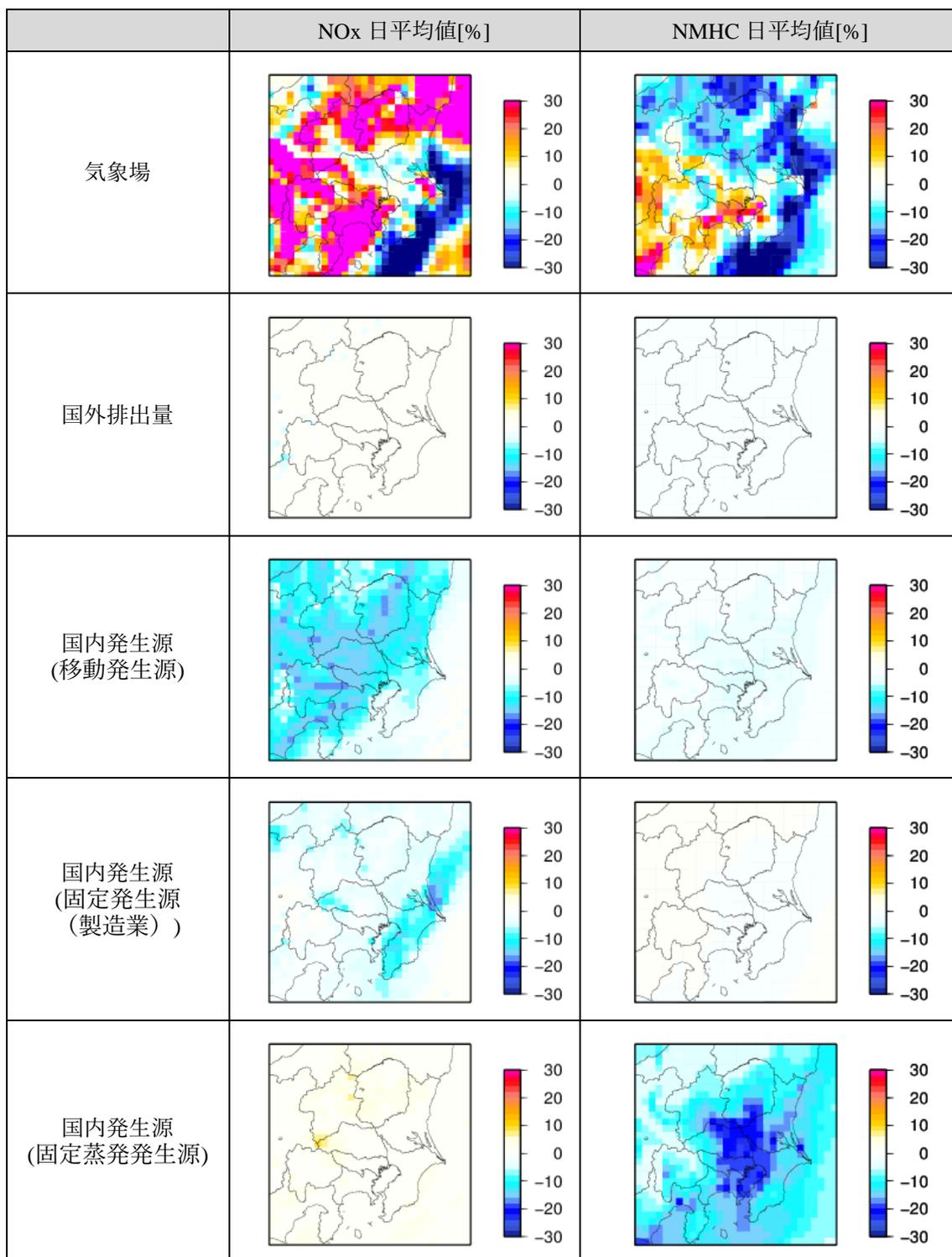


図 2-23 Ox 前駆物質濃度の変化率 (好天期間平均)
基準ケースからの変化率[%]

表 2-15 O_x 濃度及び大気汚染物質濃度の変化率 (%) (地点別・春季 2 週間平均)*

地域	地点	O _x 日平均値					O _x 日最高 1 時間値 平均値				
		国外 排出量	移動 発生源	固定 発生源 (製造業)	固定蒸発 発生源	気象場	国外 排出量	移動 発生源	固定 発生源 (製造業)	固定蒸発 発生源	気象場
東京・ 神奈川	国設東京（新宿）	-0.5	1.9	0.6	-0.7	-20.1	-0.4	0.3	0.3	-0.8	-6.2
	国設川崎	-0.5	1.6	0.9	-0.6	-22.0	-0.5	0.1	0.5	-0.7	-6.2
	多摩市愛宕	-0.5	1.8	0.1	-0.8	-12.9	-0.4	-0.2	-0.1	-1.0	-3.3
埼玉	さいたま市役所	-0.5	2.0	0.4	-1.0	-15.8	-0.4	0.4	0.4	-1.4	-4.1
	熊谷	-0.5	1.3	0.2	-1.5	-12.5	-0.4	0.0	0.0	-2.2	-4.8
	久喜	-0.5	1.5	0.3	-1.4	-16.3	-0.4	0.3	0.2	-2.3	-5.5
茨城県	つくば高野	-0.5	0.8	0.3	-0.8	-14.8	-0.4	-0.2	0.1	-1.3	-7.7
栃木県	宇都宮中央	-0.5	1.0	-0.1	-0.9	-12.8	-0.4	-0.6	-0.2	-1.5	-6.9
群馬県	太田市立中央小学校	-0.5	1.2	0.1	-1.5	-10.8	-0.4	-0.3	0.0	-2.3	-6.4
千葉県	市原松崎	-0.5	0.3	1.2	-0.4	-16.6	-0.4	-0.4	0.3	-0.4	-10.8

地域	地点	NO _x 日平均値					NMHC 日平均値				
		国外 排出量	移動 発生源	固定 発生源 (製造業)	固定蒸発 発生源	気象場	国外 排出量	移動 発生源	固定 発生源 (製造業)	固定蒸発 発生源	気象場
東京・ 神奈川	国設東京（新宿）	0.1	-12.1	-2.6	0.5	27.4	-0.1	-5.8	-0.1	-17.4	6.3
	国設川崎	0.1	-10.0	-4.2	0.5	30.7	-0.1	-5.4	-0.2	-17.6	10.3
	多摩市愛宕	0.1	-14.6	-1.5	0.7	21.7	-0.2	-5.3	-0.1	-17.7	9.7
埼玉	さいたま市役所	0.1	-12.9	-1.9	0.7	21.0	-0.1	-4.9	-0.1	-18.8	12.1
	熊谷	0.3	-14.5	-2.2	1.6	10.6	-0.1	-2.5	-0.1	-23.2	5.7
	久喜	0.1	-14.1	-2.5	1.3	21.3	-0.2	-3.5	-0.1	-20.4	10.4
茨城県	つくば高野	0.2	-12.6	-3.6	1.1	15.9	-0.2	-2.4	-0.1	-22.0	4.7
栃木県	宇都宮中央	0.0	-15.2	-1.1	0.9	13.6	-0.3	-4.5	-0.1	-16.4	14.1
群馬県	太田市立中央小学校	0.1	-14.4	-1.8	1.3	7.8	-0.1	-2.0	0.0	-24.2	1.5
千葉県	市原松崎	0.0	-6.6	-11.4	0.4	-27.2	-0.2	-2.8	-0.4	-17.6	-29.0

*O_x の生成は前駆物質濃度のバランスによって決まるため、個別要因の寄与の合計が全要因による O_x 濃度の変化には必ずしもならない。

表 2-16 Ox 濃度及び大気汚染物質濃度の変化率 (%) (地点別・春季 好天期間平均) ※

地域	地点	Ox 日平均値					Ox 日最高 1 時間値				
		国外 排出量	移動 発生源	固定 発生源 (製造業)	固定蒸発 発生源	気象場	国外 排出量	移動 発生源	固定 発生源 (製造業)	固定蒸発 発生源	気象場
東京・ 神奈川	国設東京 (新宿)	-0.5	1.5	0.5	-0.9	-9.7	-0.4	-0.1	0.2	-1.4	2.8
	国設川崎	-0.5	1.2	0.9	-0.8	-9.9	-0.4	-0.4	0.8	-1.1	4.5
	多摩市愛宕	-0.5	1.6	-0.1	-1.0	-3.1	-0.4	-0.7	-0.1	-1.6	2.6
埼玉	さいたま市役所	-0.5	2.0	0.3	-1.4	-5.0	-0.3	-0.3	0.1	-2.0	-1.8
	熊谷	-0.5	1.2	0.2	-2.0	-1.7	-0.4	-0.9	-0.2	-2.4	-6.4
	久喜	-0.5	2.0	0.4	-2.2	-0.8	-0.4	0.6	0.3	-3.2	-3.9
茨城県	つくば高野	-0.5	1.1	0.6	-1.3	-3.4	-0.3	-0.1	-0.1	-2.1	-6.3
栃木県	宇都宮中央	-0.5	0.9	0.1	-1.9	-7.8	-0.4	-0.5	-0.2	-2.5	-4.5
群馬県	太田市立中央小学校	-0.6	0.9	0.0	-2.2	-5.2	-0.4	-1.1	-0.3	-2.7	-8.1
千葉県	市原松崎	-0.4	0.0	0.8	-0.5	-6.1	-0.3	-0.6	0.3	-0.6	-3.0

地域	地点	NOx 日平均値					NMHC 日平均値				
		国外 排出量	移動 発生源	固定 発生源 (製造業)	固定蒸発 発生源	気象場	国外 排出量	移動 発生源	固定 発生源 (製造業)	固定蒸発 発生源	気象場
東京・ 神奈川	国設東京 (新宿)	0.2	-11.3	-3.5	0.6	38.4	-0.1	-5.3	-0.1	-18.0	14.8
	国設川崎	0.1	-8.7	-5.7	0.5	36.9	-0.1	-4.9	-0.2	-18.0	21.0
	多摩市愛宕	0.1	-14.9	-1.6	0.8	21.2	-0.1	-5.1	0.0	-17.7	7.9
埼玉	さいたま市役所	0.2	-12.6	-2.2	0.9	19.5	-0.1	-4.8	-0.1	-19.2	4.5
	熊谷	0.2	-14.3	-2.1	1.6	-8.7	-0.1	-2.7	-0.1	-23.0	-11.9
	久喜	0.2	-13.4	-2.5	1.5	-9.3	-0.2	-3.7	-0.1	-20.7	-15.0
茨城県	つくば高野	0.1	-11.9	-4.2	1.3	-6.7	-0.1	-2.7	-0.2	-21.9	-9.0
栃木県	宇都宮中央	0.1	-15.2	-1.6	1.7	11.6	-0.3	-4.5	-0.2	-16.7	-5.1
群馬県	太田市立中央小学校	0.1	-14.6	-1.8	1.5	-3.3	-0.1	-2.0	-0.1	-24.0	-10.1
千葉県	市原松崎	0.2	-5.7	-11.3	0.5	-8.4	-0.2	-2.3	-0.4	-17.2	-3.6

※Ox の生成は前駆物質濃度のバランスによって決まるため、個別要因の寄与の合計が全要因による Ox 濃度の変化には必ずしもならない。

3 まとめ

本調査では、東アジア領域のロックダウンによる前駆物質の排出及びOxの発生状況等について調査を行い、日本における越境汚染の寄与を確認した。また、緊急事態宣言下におけるOx濃度への影響要因について検討を行った。各項目における調査結果のまとめを以下に示す。

3.1 広域的影響の解析・知見整理(文献調査)

ロックダウン期間中の中国、感染対策期間中の韓国の大気汚染について、今回収集した文献の内容を表 3-1 にまとめた。対象期間・対象地域別に細分化した調査結果は、参考資料(4.2)に掲載している。

中国における期間中の前駆物質濃度は、いずれの文献においても直近～過去数年と比較して大きく減少していたと報告されており、ロックダウン措置が大気環境に大きな影響を与えたと考えられる。一方で、Ox濃度はロックダウン期間に明確な減少傾向が観察されず、増加傾向がみられる地域も確認されており、NOx濃度減少に伴うタイトレーション効果の低下が示唆された。また、Ox濃度の変化傾向には、地域差が観察されており、気象も含め複合的な要因が絡んでいると考察されている。

韓国では、NOx濃度の減少を報告している論文が数例あった。しかし、中国ほど厳格な政策が施行されなかったこともあり、文献は十分に揃わなかった。国内での感染防止措置だけでなく、中国からの越境汚染の低下も濃度減少の要因であると考えられている。

表 3-1 COVID-19 対策時の Ox 前駆物質濃度及び前駆物質の変化

国 ²⁴	基準	NOx		VOC or NMVOC		Ox 濃度
		濃度	排出量	濃度	排出量	
中国	直近 ²⁵	5～8 割減	3～7 割減	4～7 割減	—	微減～7 割増
	2019 年 同時期	3～6 割減	3～4 割減	—	3～5 割減	4 割増
	例年同時期 ²⁶	4 割減	5 割減	—	—	3%～2 倍増
韓国	直近	4 割減	—	—	—	—
	2019 年 同時期	2～3 割	—	—	—	影響なし

²⁴ 国全体から都市・地域別まで含める。

²⁵ 文献により差異があるが、ロックダウン(感染対策)の施行開始の直前にあたる時期。

²⁶ 文献により差異がある。過去3～6年間の平均と比較している場合が主であった。

3.2 広域的影響の解析・知見整理(数値シミュレーション)

日本国外で実施された感染症対策（ロックダウン等）に伴う光化学オキシダント前駆物質（NO_x、NMHC）排出量の変化が、日本国内（九州地方、関東地方）のO_x濃度に及ぼす影響の程度を、シミュレーションモデルを用いて調査した。

九州地方における冬季の好天期間では、O_x日平均値、O_x日最高1時間値、NO_x平均値、NMHC平均値が基準ケースよりも減少していた。一方、NO_x平均値は、篠栗（福岡県）で1.8%、相浦（長崎県）で1.9%など増加した地点も確認された。O_x平均値、O_x日最高1時間値、NO_x平均値の変化率の地点差は僅かであり、地点による明確な影響の差は確認できなかった。一方、NMHC平均値の減少率は、五島（長崎県）が他地点よりも大きかった。また、同地点は、NO_x平均値が唯一減少している地点であり、中国に地理的に近いこと、陸上に大気汚染物質の排出源が少ないことから、越境汚染の影響を他地点よりも大きく受けている可能性が示唆された。

一方、九州地方の春季及び関東地方の冬季、春季の解析では、O_x濃度及びNO_x濃度、NMHC濃度は数%の変化であったこと、地点差にも大きな差は生じなかったことから中国の排出量の変化による明確な影響は確認されなかった。

3.3 排出量と濃度の関係性把握・影響要因の寄与程度把握

関東地方の春季を対象にO_x濃度に寄与する要因を変化させ、シミュレーションを実施することで、排出量とO_x濃度の関係性及び影響の寄与程度を解析した。

好天期間時のO_x日平均濃度に対する各要因の変化率は、国外排出量は-0.5%、移動発生源は0.3～2.0%、固定発生源（製造業）は-0.1～1.2%、固定蒸発発生源で-1.5～-0.4%、気象場で-22.0～-10.8%であった。

移動発生源（20%減）や製造業（30%減）の国内発生源の排出量減少は、東京湾岸～都心部でO_x濃度を増加させる方向に作用した。大気中のNO_x濃度が減少したことにより、NOによるタイトレーション効果が弱まることでO_x濃度の減少効果が小さくなったことが要因として考えられる。国内/外での排出量変化では、国内の固定蒸発発生源（30%減）が、最もO_x濃度を低減させる方向に作用していた。気象場の影響程度は、概して国内外での排出量変化の影響より大きいいため、本調査の解析期間では排出量変化による影響を相殺している可能性が示唆された。

上記の通り、国内外の排出量の変化による関東地域のO_x濃度の変化はいずれも数%とわずかであり、春季においては緊急事態宣言レベルの経済活動縮減が見られた場合も、O_x程度が大幅に低下する可能性は低いことが示唆された。

3.4 今後の検討課題

本調査では、東アジア地域のロックダウンによる前駆物質の排出及びOxの発生状況等について調査を行い、日本における越境汚染の寄与を確認した。さらに、緊急事態宣言下におけるOx濃度への影響要因について検討を行った。

今後の検討課題としては、以下の2点が挙げられる。

・解析時期の変更

本調査での解析期間は、中国でのロックダウンにより前駆物質排出量が大きく削減された期間または日本国内で緊急事態宣言により経済活動が縮退していた期間とした。一方で、これらの解析期間は一般的に日本国内でOxの高濃度事例が発生しやすい時期とは必ずしも一致していない。特に、関東地方などの都市部では夏季に域内で排出される前駆物質によるOxの高濃度事例が発生しやすい。そこで、本調査で検討したような中国でのロックダウンや国内での緊急事態宣言が仮に、Ox高濃度の発生しやすい時期と重なっていたら、どのような影響が想定されたのかを把握することは今後の大気環境対策の検討には有用であると考え。

・解析地域の変更

本調査では、東アジア地域からの越境汚染の影響を最も受ける九州と、光化学オキシダントの域内生成の影響が比較的大きい関東地域を解析地域に設定した。この2地域のほかに、地理的に両地域の間位置し、越境汚染、域内生成の双方の影響を受けやすい関西地域における解析も有用であると考え。

4 参考資料

4.1 東アジア以外での情報整理

WMO²⁷の実施する全球大気監視計画 GAW²⁸では、世界の7地域にある25か国の63の都市とその周辺について、沿道大気測定局、バックグラウンド測定局、一般大気測定局からの主要な大気汚染物質の挙動が調査されている。

図4-1は、地域や国ごとにロックダウン期間における大気汚染の変化を比較している。2015～2019年の同時期と比較して、2020年の感染対策期間中の平均NO₂濃度は世界的に減少傾向にあり、地域によっては最大約70%減少していた。一方でO₃濃度の変化は、地域によって大きく異なる様相を示す。また、東アジアのNO₂、O₃の変化は他の地域と比べても、大きな差異が見られないことがわかる。

図4-2は、各国のNO₂とO₃の地上測定局における2020年1月～5月の観測値の平年からの変化量を示している。輸送と経済活動の停滞によってNO₂濃度が劇的に減少した一方で、O₃濃度には様々な要因との複合的な影響があらわれていると分析されており、中国の大気環境変化と同様の傾向が世界規模でも観察されていた。

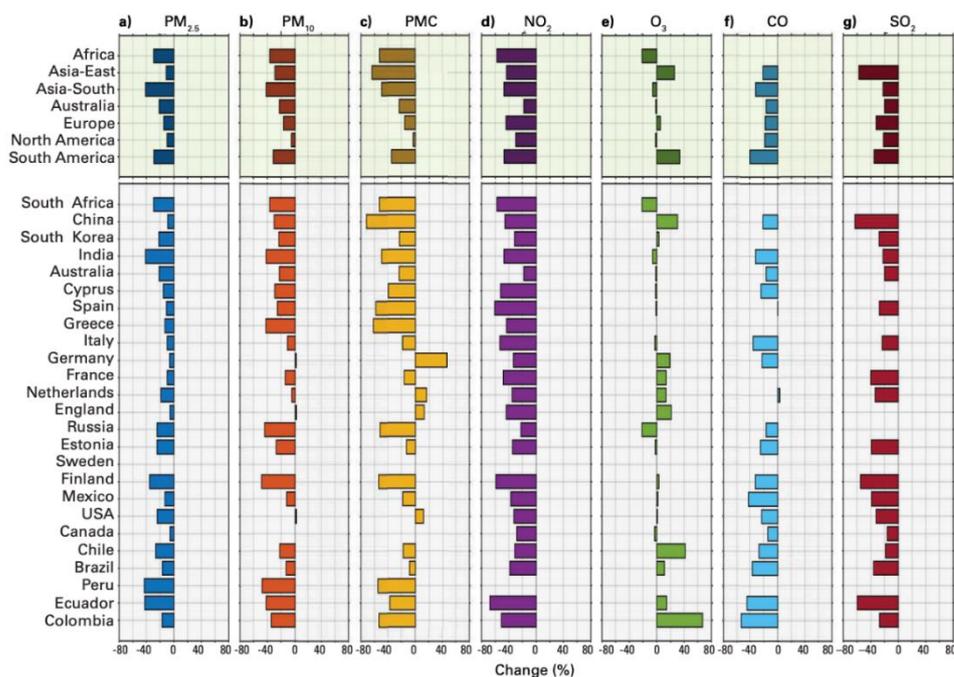


図 4-1 各地域・各国の大気汚染の大陸/全国平均変化 (%) (a) PM_{2.5}, (b) PM₁₀ (c) PMC (粗大粒子), (d) NO₂, (e) O₃, (f) CO, (g) SO₂

²⁷ 世界気象機関 (World Meteorological Organization)

²⁸ 全球大気監視計画 (Global Atmosphere Watch Programme)

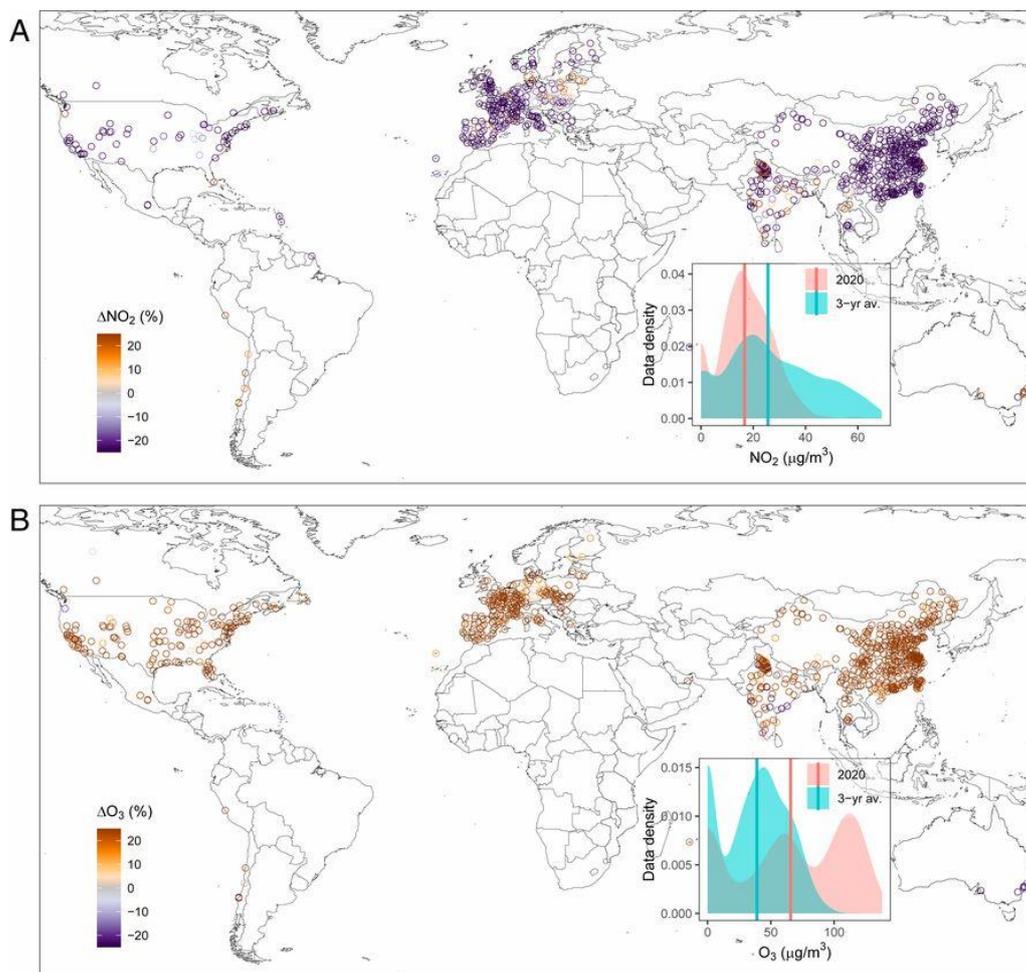


図 4-2 2020 年の地表面 NO_2 ・ O_3 濃度の平年（2017-2019 平均）からの変化量（%）
 (A : NO_2 、B : O_3) 図中図は参照期間（2017-2019 年）と 2020 年の濃度別出現頻度分布
 (陰影)、及び中央値（垂直線）を示す。

なお、東アジアのみならず世界各地を調査対象とした文献がまとめられているデータベースとしては、インターネット上では google ドキュメントとして COVID-19 and Air Pollution²⁹が公開されている他、Adam et al. (2021)によるレビューでも概要とともにリストアップされている。

²⁹ Pant P. COVID-19 and Air Pollution [Internet]. COVID-19 and Air Pollution. 2020 [cited 2022 Mar 4]. Available from: https://docs.google.com/document/d/1UTQvW_OytC37IatMNR5qJK7qKfSylNpI2fT3pdteVZA/edit

4.2 中国・韓国における研究報告例の概要

中国・韓国における研究報告例の概要は以下のとおりである。No.は0 参考文献リストで附番されている番号を示している。報告例は、比較期間の種類ごとに分類して記載している。(陰影は■：直近、■：2019年同期間、■：例年を表す。)

● 中国 NOx 排出量・濃度

No.	対象地域	対象化学種	対象期間	比較期間	減少率
77	中国	NOx排出強度	2020年1月23日～2月2日	2020年1月1日～1月22日	44.7%
48	中国	NOx排出量	2020年2月中旬	2020年1月上旬	36%
18	都市別	NOx排出量	2020年1月11日～20日	2020年1月31日～2月29日	大都市 61～68%、 中小都市 約30%
78	中国東部	平均NOx排出量	2020年1月23日～2月9日	2020年1月1日～22日	50%
23	上海	NOx排出量	2020年2月1日～9日	2020年1月1日～23日	39%
16	中国東部（36都市）	NOx排出量	2月8日～28日	2020年1月3日～23日	30%以上
24	中国東部	NOx排出量	2020年1月26日～2月17日	2020年1月1日～23日	60～70%
77	中国東部	NOx排出量	第1四半期	2019年の同期間	40.5%
80	中国全土	NOx排出量	2020年2月	2019年の同期間	31%
32	中国	NO ₂ 排出量	2020年2月1日～15日	2017～2019年の同時期	約50%
74	華北平原（NCP）	NO ₂ 排出量	2020年1月1日から3月31日	同時期のシャットダウンの影響がない 仮想排出量	51%
40	中国全体	NO ₂ 濃度（TCVD）	春節後の20日間平均値 （2020年）	春節前の20日間平均値 （2020年）	48%
55	中国北部	NO ₂ 濃度	2020年1月23日～2月29日	2020年1月1日～22日	60%
68	長江デルタ（YRD）	NO ₂ 濃度	2020年1月26日～2月17日	2020年1月1日～24日	55.1%
68	珠江デルタ（PRD）	NO ₂ 濃度	2020年1月26日～2月17日	2020年1月1日～24日	64.7%
53	東莞	NOx濃度	2020年1月24日～2月10日	2020年1月1日～1月23日	70%～77%
79	中国全土	NO ₂ 濃度	2020年1月26日～2月1日	2020年1月16日～22日	46%
12	北京、武漢	NO ₂ 濃度	2020年春節前の二週間	2020年の春節を挟んだ7日間	47%
39	華北平原	NO ₂ 濃度	2020年1月24日～2月15日	2020年1月1日～23日	67%
39	華北平原	地上NO ₂ 濃度	2020年1月24日～2月15日	2020年1月1日～23日	57%
42	長江デルタ（YRD）	NO ₂ 濃度	2020年1月23日～2月29日	2020年1月1日～22日	45%～76%
70	南京の道路網	NO ₂ 濃度	2020年1月24日、 2020年2月17～24日	2019年10月1日～2020年1月23日	47%
61	中国東部	NOxカラム濃度	2020年2月	2019年の同時期	40%
19	上海（長江デルタ地域）	NO ₂ 濃度	2020年1月24日～2月6日	2019年の同時期	60.4%
69	中国	NO ₂ 濃度	第一四半期	2019年の同時期	25%
52	北京	NO ₂ 濃度	各都市のロックダウン期間	昨年同時期	28%
52	武漢	NO ₂ 濃度	各都市のロックダウン期間	昨年同時期	57%
52	広州	NO ₂ 濃度	各都市のロックダウン期間	昨年同時期	46%
76	武漢、荊門、恩施の平均	NO ₂ 平均濃度	2020年2月	2017～2019年の同時期	61.4%
59	中国	NOx濃度	2020年封鎖期間中	2015年～2019年の傾向	平均27.0%
71	全国平均	NO ₂ 濃度	2020年1月26日～2月25日	2014～19年の同時期	40%
71	全国平均	NO ₂ 濃度	2020年2月26日～3月27日	2014～19年の同時期	29%
32	中国	NO ₂ 濃度	2020年2月15日	2017～2019年の同時期	58%
72	6つの大都市	NO ₂ 濃度	1月31日～2月23日 ※都市によって異なる。	封鎖なしのシナリオ	36～53%
73	中国	NO ₂ 濃度	2020年2月	ロックダウンなしのシミュレーション	41～43%
75	武漢、荊門、恩施の平均	NO ₂ 平均濃度	2020年2月	2017～2019年の同月	61%

● 中国 オゾン濃度

No.	対象地域	対象化学種	対象期間	基準時期	変化
55	中国北部	地上オゾン濃度	2020年1月23日～2月29日	2020年1月1日～22日	1.5～2倍増
39	華北平原	MDA8オゾン濃度	2020年1月24日～2月15日	2020年1月1日～23日	43%増
53	東莞	地上オゾン濃度(日平均)	2020年1月24日～2月10日	2020年1月1日～23日	3%～14%増
79	各都市	オゾン濃度	2020年1月26日～2月1日	2020年1月16日～22日	47.3%増
42	長江デルタ (YRD)	MDA8オゾン濃度	2020年1月23日～2月29日	2020年1月1日～22日	31%～88%
77	中国東部	地上オゾン濃度	2020年第1四半期	2019年の同期間	36.5%増
41	北京-天津-河北 (BTH)	地上オゾン濃度	2020年1月23日～2月27日	2015～2019年の同時期	69.99%増
41	長江デルタ (YRD)	地上オゾン濃度	2020年1月23日～2月27日	2015～2019年の同時期	43.62%増
41	珠江デルタ (PRD)	地上オゾン濃度	2020年1月23日～2月27日	2015～2019年の同時期	1.1%減
71	全国平均	地上オゾン濃度	2020年1月26日～2月25日	2014～2019年の同時期	15%増
71	全国平均	地上オゾン濃度	2020年2月26日～3月27日	2014～2019年の同時期	2%増
36	武漢	地上オゾン混合比	2020年1月23日～2月13日	2015～2019年の同時期	25.1%増
75	武漢、荊門、恩施の平均	平均オゾン濃度	2020年1月	2017～2019年の同月	12.7%増
75	武漢、荊門、恩施の平均	平均オゾン濃度	2020年2月	2017～2019年の同月	14.3%増
75	武漢、荊門、恩施の平均	平均オゾン濃度	2020年3月	2017～2019年の同月	11.6%増

● 中国 VOC 排出量・濃度

No.	対象地域	対象化学種	対象期間	基準時期	変化
22	上海	VOC排出量	2020年2月1日～2月9日	2020年1月1日～1月23日	47%減少
53	東莞	VOC平均濃度	2020年1月24日～2月10日	2020年1月1日～1月23日	54%～68%減
80	中国全土	NMVOC排出量	2020年2月	2019年の同期間	26%減
27	長江デルタ (YRD) Pudong (PD)	VOC濃度	2020年1月24日～2月23日	2019年12月24日～2020年1月23日	38.9%減
27	長江デルタ (YRD) Dianshan Lake (DSL)	VOC濃度	2020年1月24日～2月23日	2019年12月24日～2020年1月23日	50.7%減

● 韓国 NOx 濃度

No.	対象地域	対象化学種	対象期間	比較期間	減少率
67	大邱	NO ₂ 濃度	2020年2月18日～4月30日	2020年1月1日～2月17日	37%
28	全国	NO ₂ 濃度	2020年3月	昨年同時期	20%
33	ソウル	NO ₂ VCD	2020年2月	昨年同時期	20%
33	大邱	NO ₂ VCD	2020年2月	昨年同時期	27%
51	ソウル	NO ₂ 平均濃度	2020年3月	昨年同時期	40%
51	ソウル	NO ₂ バックグラウンド濃度	2020年3月	昨年同時期	42%
33	ソウル	NO ₂ VCD	2020年2月	2016年～2020年の同時期の平均パターン	11%
33	大邱	NO ₂ VCD	2020年2月	2016年～2020年の同時期の平均パターン	16%
43	大邱首都圏(平里洞)	NO ₂ 濃度	2020年2月19日～ (浮動人口減少後)	浮動人口減少前	35%

4.3 世界各地域における研究報告例の概要

世界各地域における研究報告例の概要は以下のとおりである。No.は0 参考文献リストで附番されている番号を示す。報告例は、対象地域ごとに分類し、本調査と関連性の高さを優先してアジア、世界各地域、欧米・南アメリカの順に記載している。(陰影は■：アジア、■：世界各地域、■：欧米・南アメリカを表す。)

No.	対象地域	概要
22	中国（武漢） 日本（東京） 韓国（大邱） インド（ムンバイ）	<p>・中国（武漢）、日本（東京）、韓国（大邱）、インド（ムンバイ）のパンデミックホットスポットでの過去3年間の大気質指数（AQI）を比較</p> <p>その結果、これらの都市では、ロックダウン中とロックダウン後の大気汚染物質のレベルが低下し、正の相関があることがわかった。大気汚染レベルが低い東京では、ロックダウン中「良い」日と「中程度」の日の分布に大きな変化は見られなかった。大気汚染が中程度の大邱では、ロックダウン中に「不健康」な日（AQI>100）の割合が著しく減少したが解除後は再び減少した。大気汚染レベルが高い武漢とムンバイでは、不健康日の割合がロックダウン中に著しく減少しロックダウン後も減少が続いた。</p>
60	中国、インド	<p>・2019年12月～2020年4月のロックダウン影響によって大気汚染レベルが過去平均と著しく異なることを衛星データ（OMI、TROPOMI、MODIS）から実証</p> <p>（中国での変化）ロックダウン期間中（2020年）、中国上空の対流圏NO₂（-37%）、SO₂（-64%）、AOD（-8%）が11年平均（2009-19）と比較して大きく減少。NO₂ カラム負荷は中国東部（-35%）、中部（-33%）、西部（-13%）、西部（-5%）で顕著に変化。要因としてCOVID-19による規制の強化や社会・産業活動の低下による交通量の減少を指摘。</p> <p>（インドでの変化）インド上空のNO₂及びSO₂は、ロックダウン開始が2020年3月とかなり遅かったため、それぞれ16%、20%と緩やかに減少。IGP地域のNO₂とSO₂の平均濃度は、大規模な都市居住と作物の焼却によりインド全体の平均濃度より25%高いことがわかった。</p>
45	中国、インド	<p>・衛星データから2020年1-4月の中印におけるCO、NO₂、SO₂などの主要な汚染物質の削減程度を推定</p> <p>運輸部門からの排出量が多いNO₂はインドで17%、中国で25%削減されていた。主に発電所から排出されるSO₂は、特にインドの東部セクターで大幅な削減（約17%）を示していた。</p>
54	中国、アメリカ	<p>・中国及びアメリカ合衆国でのロックダウン中の大気汚染物質濃度の変化及びCOVID-19の報告/死亡例数との関連を整理</p> <p>ロックダウン期間中にアメリカの5つの州で、CO、NO₂、PM2.5の全体濃度がそれぞれ19.28%、36.7%、1.10%減少し、PM10とSO₂がそれぞれ27.81%、3.81%増加したことが明らかになった。しかし、中国のいくつかの省では、CO、NO₂、SO₂、PM2.5、PM10の濃度は、全体として26.53%、38.98%、18.36%、17.78%、37.85%低下した。COVID-19の報告例と死亡例は、中国と米国の両方でNO₂、PM2.5、PM10と有意な相関があった。</p>
21	ヨーロッパ、中国	<p>・中国及びヨーロッパでの大気汚染物質削減が短期/長期的に健康に及ぼす影響をモデルで用いて評価</p> <p>中国ではCOVID-19の影響を最も受けた地域で2ヶ月平均PM2.5が40μg/m³というかつてない減少を記録。短期的には2月1日から3月31日の間に中国全土で推定24,200人（95%:CI 22,380-26,010）の早期死亡が回避され、2月21日から5月17日の間にヨーロッパで推定2,190人（1,960-2,420）の早期死亡が回避された。</p>
30	東南アジア	<p>・衛星及び現地観測からCOVID-19による人為・産業活動の全面停止に伴う東南アジアでのエアロゾルと大気汚染物質の変化を定量化</p> <p>ひまわり8号によるエアロゾル光学深度（AOD）観測、Aura-OMIによる海上の観測、およびマレーシアの複数の観測所での地上汚染測定結果を使用。ロックダウンは、東南アジア上のAODと海洋上の汚染流出の顕著な減少をもたらし、対流圏のNO₂は季節的なバイオマス燃焼の影響を受けない地域で顕著な減少（27%-30%）を観測した。特にマレーシアでは、ロックダウン期間中の都市部において、PM10、PM2.5、NO₂、SO₂、CO濃度が2018年と2019年の同時期と比較して、それぞれ26～31%、23～32%、63～64%、9～20%、25～31%減少している。</p>
20	インド	<p>・COVID-19に伴う感染症対策がインドの大気質に及ぼした正負双方の影響に言及</p> <p>ロックダウンは社会環境や周辺環境に大きな悪影響を及ぼすことが報告されているが、大気質に関しては良い影響が確認。米国航空宇宙局（NASA）のデータからは、インド地域の大気質が大幅に低下（50%）していることが示された。</p>
35	インド	<p>・インド5都市（デリー、ハイデラバード、ムンバイ、コルカタ、チェンナイ）におけるCOVID-19対策のPM2.5濃度への影響を整理</p> <p>対象期間は2015～2020年。各年について3月25日～5月11日の微小粒子状物質（PM2.5）濃度データを分離・分析・比較し、ロックダウンの影響を解明した。他の世界都市と同様、PM2.5濃度は19～43%（チェンナイ）、41～53%（デリー）、26～54%（ハイデラバード）、24～36%（コルカタ）、10～39%（ムンバイ）と大幅に低減したことが観察された。一般に、交通量の多い都市ほど削減率が高かった。</p>
46	北インド	<p>・デリー周辺（都市部/農村部）におけるNO₂濃度及びNO_x排出量変化からロックダウンによる経済活動停止の影響を調査</p> <p>デリー市街地ではNO₂濃度の大幅な低下が見られた一方で、農村部では見られなかった。ロックダウンの影響を気象条件から分離し、週単位のトップダウンNO_x排出量を推定したところデリー市街地と発電所からのNO_x排出量は、ロックダウン前の通常時に比べて、フェーズ1ではそれぞれ72.2%と53.4%の減少を示した。都市部と発電所の排出量推定値は活動量の変化と良い相関を示していた。</p>

No.	対象地域	概要
44	インド (デリー)	<p>・デリーでの大気汚染物質（7種）観測値からロックダウン前後の大気質の空間特性の変化を整理</p> <p>34地点7要素のデータを使用。ロックダウン前とロックダウン中の大気質の空間パターンを国家大気質指標（NAQI）から明らかにした結果、ロックダウンの間、大気質は著しく改善されたことが明らかになった。汚染物質のうち、PM10とPM2.5の濃度は、ロックダウン前に比べ、最大で50%以上減少したことが確認された。昨年（2019年）と比較すると、PM10とPM2.5はそれぞれ約60%と39%という高い削減率を示している。他の汚染物質のうち、NO₂（-52.68%）とCO（-30.35%）のレベルもロックダウン期間中に減少していた。</p>
5	インド (アフマダーバード)	<p>・インド（アフマダーバード）でのロックダウンが周辺河川の水質及び大気質（SPM）に及ぼした影響を分析</p> <p>リモートセンシングデータからアフマダーバード地域にあるサバルマティ川の一部で、濁度レベルの低下という形で周囲の水質が改善されたことを確認した。また衛星データ（Landsat8による画像）をからロックダウン期間前/期間中SPM濃度を評価し、SPMはロックダウン前と比較して約36.48%、前年の平均から16.79%減少していることを確認した。ロックダウン期間中のSPM平均濃度は、ロックダウン前の平均値および長期（2015-2019）4月平均値と比較して最も低い値であった。</p>
45	中国東部、 インド	<p>・衛星データからインド及び中国東部でのロックダウン期間中の汚染物質変化程度を評価（2010-2020年平均を基準）。</p> <p>運輸部門からの排出が多いNO₂は、インドで平均17%、中国で平均25%減少していた。発電所からの排出が多いSO₂は、特にインド東部で約17%の大幅な削減が見られた。COは中国中北部で6.5%減少しており、要因としては自然変動と人間影響双方が考えられる。</p>
38	シンガポール	<p>・シンガポールのロックダウン期間（2020年4月7日-5月11日）における汚染物質濃度の変化を評価</p> <p>2016-2020年の観測データから、PM10、PM5、NO₂、CO、SO₂がそれぞれ19、23、29、54、6、52%減少し、O₃は18%増加したことが示された。ロックダウン中、PM5、NO₂、SO₂はシンガポール全体で減少したが、北部のPM10と東部のCOは反対の傾向を示した。O₃は西側でのみ減少し、他の4つの地域では増加した。シンガポールでは南部と西部での大気汚染改善程度が大きかったが、重工業と空港は一部地域に集中しているためと考えられる。</p>
49	マレーシア	<p>・大気汚染物質観測データから、マレーシアでの移動規制令(MCO)時と平常時の濃度変を比較</p> <p>ほとんどの場所で、測定された汚染物質のレベルは、MCOの日に20~60%低下したことがわかった。しかし、コタ・ダマンサラ（KD）のCOは48.7%まで低下したが、PM2.5とPM10はMCO期間中にそれぞれ60%と9.7%まで増加した。KDの住宅地での焼却活動がPM値上昇の主な原因であると考えられている。今回の調査により、MCOによって大気汚染物質レベルが大幅に低下したことが証明された。</p>
6	マレーシア	<p>・マレーシアでの移動規制令(MCO)実施前及び実施中（前：2020年3月4~17日、実施中：3月18日~5月12日）のPM2.5、CO、NO₂、SO₂濃度の時間・空間的变化を評価。日常生活や経済活動の制限により、郊外、都市、産業のすべての環境において、気象条件からの寄与は比較的小さいものの、大気質が著しく低下していることが明らかになった。全体として、MCO以前と比較して、PM2.5、CO、NO₂の平均濃度はそれぞれ23.1%、21.74%、54.0%減少し、SO₂の濃度は一定であった。PM2.5、CO、NO₂が最も低減したのは都市部にある観測所で、PM2.5とCOは63%の観測所で有意な低減（p<0.05）を示し、NO₂すべての観測所で有意な低減を示した。</p>
3	マレーシア	<p>・マレーシアでの移動規制令(MCO)に伴うPM2.5濃度の変化を大気汚染物質指数（API）データから評価</p> <p>その結果、MCO期間中にPM2.5濃度が最大58.4%という高い減少率を示していた。また、いくつかのレッドゾーン（COVID-19が41件以上確認された地域）では、PM2.5濃度の変動が最大で28.3%減少した。この減少にはMCO以外の要因も考えられる。</p>
62	タイ	<p>・衛星及び現地観測データからハジャイ市（タイでの平均的な人口の都市（人口15万6千人））における大気質へのロックダウンの影響を評価</p> <p>衛星データとしてはESAのSentinel-5Pを使用。ロックダウンの最初の3週間で、NO、PM2.5、PM10濃度はロックダウン前と比較してそれぞれ33.7%、21.8%、22.9%減少し、O₃も同様の研究とは逆に12.5%減少した。Sentinel-5PのNO対流圏濃度は、都市部/郊外部ともに地上局で観測された低下と一致していた</p>
29	タイ	<p>・タイの大都市、工業都市、および郊外の都市における大気質の変化を評価。6つの基準汚染物質の時間濃度に関するデータは、COVID前、COVID早期、在宅勤務（WFH）の3つの測定期間中に5つの測定局から取得された。結果は、車両から排出される汚染物質がWFH期間中に大幅に減少したことを示した。さらに、タイの中央および東部の州での輸送が減少したため、すべての都市タイプの空気の質は改善された（50%~70%）。しかし、WFH期間中は、野焼き活動や気象条件の影響によりPM2.5濃度が依然として高かったため、北部州の結果は不明確であった。</p>
31	カザフスタン (アルマトイ)	<p>・2020年3月19日~4月14日の封鎖がアルマトイの大気汚染物質の濃度に及ぼす影響を分析。PM2.5、NO₂、SO₂、CO、O₃、BTEXの日間濃度をロックダウン前とロックダウン中の期間とで比較した。ロックダウン中、PM2.5濃度は2018-2019年の同じ日の平均と比較して6-34%の空間的変動で21%減少した。また、ロックダウン前の17日間と比較して、CO濃度が49%、NO₂濃度が35%と大幅に減少したが、O₃濃度が15%増加した。この期間の減少傾向は、気象変動が良好であったため、ロックダウンに直接起因するものではないかもしれないが、汚染レベルに対する検疫の空間的な効果が証明された。</p>

No.	対象地域	概要
47	世界各地域	・多成分化学データ同化システムを使用した化学輸送モデルシミュレーションによって、ロックダウンが対流圏 O ₃ に及ぼす影響を定量化 人為的 NO _x 排出量は、2020 年 4 月と 5 月に世界で少なくとも 15%、地域によっては 18~25%減少しました。自由対流圏オゾンは最大 5ppb 減少、世界の全対流圏 O ₃ 負荷は、2020 年 5 月と 6 月に 6TgO ₃ (~2%) 減少した。
9	世界各地域	・高解像度 衛星データ (TROPOMI, OMI) から世界各地での NO _x カラム濃度変化を評価。2020 年の 1 月~4 月にかけ、中国、ヨーロッパ、韓国の広範囲にわたる地域で NO _x カラムの例外的な現象が見られた。すべての中国の都市における平均 NO ₂ カラムの低下は、2019 年の同時期と比較して -40% に達した。大きな打撃を受けた都市、たとえば武漢、済南では約 2 倍の減少であり、西欧と米国での減少も顕著だった (-20%~-38%)。これとは対照的に、イランも COVID-19 の影響を強く受けているものの、排出量が低下している確証はデータから得られず、この結果は健康対策が他国よりも限定されていることを反映していた。
26	世界	・COVID-19 感染者の性別、年齢、健康状態による死者の人口統計に関連する事実を焦点を当て、大気質に関する過去のデータ、年間死亡者数の推定値、その経済的負担を分析 COVID-19 による死亡率は世界全体で 3.4% を超えていない一方で、環境大気汚染による死亡率は、2016 年の全世界の死亡者数の 7.6% に寄与している。COVID-19 の発生により中国は産業活動の封鎖を余儀なくされ、その結果、NO ₂ 排出量を 30%、炭素排出量を 25% 低下させた。危機前の大気質と現在を比較したところ、COVID-19 による強制的な産業・人為的活動のロックダウンは、感染の防止よりも周囲の大気汚染の防止によって、より多くの命を救った可能性があることが示された。
66	世界各地域	・衛星データ及び 10,000 地点以上の地上観測データから世界 34 か国での対流圏及び地表面の大気汚染濃度の変化を評価 気象場の影響を除いた上での世界全体の傾向として、観測データからは NO _x 及び PM _{2.5} は減少した一方 O ₃ は部分的に増加したことが示された。また民間企業による移動データからは世界的な車両輸送の減少と周囲の NO ₂ 曝露の減少との間に関連性があるという経験的証拠が得られた。ロックダウン状態は持続可能なものではないが、現状の汚染物質排出量を削減することで健康リスクを提言しうる可能性が示された。
13	ヨーロッパ、北アメリカ、東アジアの 36 か国	・ヨーロッパ、北アメリカ、東アジアの 36 か国での地上観測及び衛星データからロックダウンが大気質及び健康に及ぼした影響 (早期死亡の変化) を評価。ロックダウンにより世界全体で NO ₂ 濃度が低下し、中国で約 32,000 の早期死亡が回避された可能性が示された。ただし、PM _{2.5} と O ₃ の濃度低下は世界的には見られなかった。NO ₂ と O ₃ の変化傾向が異なる要因としては局所的な化学レジームが考えられる。
8	ブラジル、中国、インド、イタリア、南アフリカ、アメリカなど	・世界 10 か国における COVID-19 規制の施行前/施行中における大気質に係る主観をアンケート調査から評価。アンケートは 2020 年 5 月 11 日~31 日の間に配布され、9394 人の回答者が参加した。COVID-19 制限中に発生した大気質の客観的な改善に関連する、人々の主観的な視点を提供している。アンケートとデータセット (Microsoft Excel Worksheet に格納) は、どちらも公開リポジトリで入手可能である。
56	フランス、イタリア、スペイン、中国	・ロックダウンが大気汚染に与える影響をオゾンに着目して定量化 (南欧 4 都市および武漢 (中国) を対象) 2017 年~2019 年の同時期と比較して、2020 年のロックダウン時に都市部の観測所における O ₃ 日平均濃度はニースで 24%、ローマで 14%、トリノで 27%、パレンシアで 2.4%、武漢で 36% 増加した。この O ₃ 濃度の上昇は、主に NO _x 排出量のかつてない減少により、NO タイトレーション効果が低下したことで説明される。NO ₂ 平均濃度はヨーロッパのすべての都市で大きく減少し、都市部では武漢 (57%) と同程度の 53%、交通部では 65% の減少が見られた。
7	欧米	・ヨーロッパ及びアメリカを対象にロックダウン期間における大気汚染物質の変化を衛星 (Sentinel-5P) 及び地上観測データから分析 ヨーロッパやアメリカの主要都市部において、ロックダウンにより 2020 年の対流圏 NO ₂ 平均濃度が 2019 年の同時期と比較して 18-40% 大幅に減少することが明らかになった。ロックダウン対策が一部または全く行われていない都市部 (ワルシャワ、ビエール、ビスマーク、リンカーンなど) では、平均 NO ₂ 濃度の低下率が比較的低い (3~7.5%) ことが示された。気象変動の役割は無視できないものの、大気汚染物質の濃度が低下したのは、主に自動車、発電所、工業排出物の停止に起因していた。
17	ヨーロッパ	・ヨーロッパにおけるロックダウンが環境中のブラックカーボン (BC) に及ぼした影響を調査。 観測データ (ヨーロッパ 17 地点) 及び 5 つのインベントリデータからベイズ逆推計手法を用いてロックダウン中の排出量を整理。ロックダウン期間中のヨーロッパにおける BC 排出量は、過去 5 年間の同時期と比較して 23kt 減少し (イタリア 20%、ドイツ 40%、スペイン 34%、フランス 22%)、その一部は COVID-19 対策に起因するものであることがわかった。
37	イギリス	天候の影響を考慮すると、封鎖期間中に平均された都市の NO _x の平均削減量は通常 30~40% であり、平均 NO ₂ 削減量は 20~30% だった。
65	スペイン (バルセロナ)	バルセロナ市におけるロックダウン中の大気汚染レベルの変化を地上観測データから評価 2 週間のロックダウンの後、都市の大気汚染は著しく減少したが、汚染物質によって大きな違いがあった。最も顕著に減少したのは BC と NO ₂ (-45~-51%) で、これは主に交通機関の排出ガスに関連した汚染物質である。PM ₁₀ は -28~-31.0% とより低い減少率であった一方で、O ₃ は増加した (8 時間の最大値の 33% から 57%)。これは VOC 律則環境における NO _x が減少したこと及び NO タイトレーション効果の低下によると考えられる。

No.	対象地域	概要
14	イタリア (ミラノ)	ミラノ首都圏における部分的および全体的なロックダウンが大気質に及ぼす影響を調査 人の移動が厳しく制限されたことで、主に車両交通に起因する汚染物質 (PM10, PM2.5, BC, ベンゼン, CO, NOx) 濃度が大きく減少した。ロックダウンの結果、SO ₂ はミラノ市内のみ顕著な減少を示したが、隣接する地域では変化がなかった。全体的なロックダウンでは NO ₂ が大幅に減少したにもかかわらず、O ₃ は大幅に増加した。ミラノ市ではベンゼンの平均濃度が隣接する地域よりも高いため、NO 濃度減少にともない O ₃ 生成がより促進されたためと考えられる。
11	アメリカ	・アメリカ合衆国での COVID-19 パンデミック時 (2020 年 1 月 8 日~4 月 21 日) における PM2.5 及び NO ₂ の変化を地上観測データから評価 2020 年を「現在」のデータ、2017~2019 年を「過去」のデータとし、COVID-19 期間 (3 月 13 日~4 月 21 日) と COVID-19 以前 (1 月 8 日~3 月 12 日) を検討した。郡レベルの汚染濃度を過去の期間と現在の期間と比較し、郡を早期または後期の非必須業務閉鎖期間によって層別化した。COVID-19 の期間では、過去のデータと比較して統計的に有意な NO ₂ の減少が観察された (25.5% の減少、4.8ppb の絶対的減少)。PM2.5 も COVID-19 期間中に減少し、都市部の郡と非主要事業所の早期閉鎖を実施している州の郡で統計的に有意な減少が見られた。
10	アメリカ	・アメリカ合衆国での stay-at-home 命令が大気汚染物質 (O ₃ , NO ₂ , CO, PM2.5, PM10) 濃度に及ぼした影響を地上観測データから評価。ロックダウンに伴い大気汚染の劇的な改善が期待されたが観測値からはその傾向は見られなかった。stay-at-home 命令発令中は、PM2.5 の平均値は IQR [年々変動の四分位範囲 (25~75%)] よりわずかに高く、オゾン、NO ₂ 、CO、PM10 の平均値は IQR よりわずかに低かった (それぞれ IQR の ~30%、~20%、~27%、~1%)。命令期間中の濃度異常のピーク時期は、汚染物質によって異なるが、発令の 5-6 週間後には濃度異常は終息したと思われる。PM2.5、オゾン、CO、PM10 は、アメリカのどの州でも、命令期間中すべての週で予想より低い汚染度であり、NO ₂ については、アリゾナだけが期間中のすべての週で予想より低い汚染度であることが示された。オゾン、NO ₂ 、CO、PM10 の濃度は低下したが、その低下は緩やかで一過性のものであった。
25	アメリカ (サマーヴィル)	・移動発生源が大気汚染の主要因である地域 (サマーヴィルの商業・住宅混在地区) での、経済活動縮減時における大気汚染物質濃度の観測結果を報告 観測期間は企業の営業停止や州全体の自宅待機勧告により交通量が激減 (自動車交通量 71%減、トラック交通量 46%減) した時期である 2020 年 3 月 27 日~5 月 14 日で、自動車からの反応前の排出物の指標 (超微粒子数濃度 [PNC] とブラックカーボン [BC]) を、高速道路と幹線・細街路で移動観測機器を用いて測定した。道路クラスにもよるが、ロックダウン中は、パンデミック前に比べて、交通からの PNC と BC の寄与の中央値はそれぞれ 60-68% と 22-46% 減少し、それに対応し、道路上の総濃度もそれぞれ 45-69% と 22-56% 減少することが示された。
50	ブラジル	・ブラジル・サンパウロの地上観測データ (4 地点) から部分的なロックダウン中の大気汚染物質濃度の変化を評価 データは 5 年間の月平均値と、一部閉鎖期間の 4 週間前と比較された。全体として、5 年間の月平均値と比較して、ロックダウン中の都市部では NO (最大-77.3%)、NO ₂ (最大-54.3%) および CO (最大-64.8%) 濃度の大幅な減少が観察されました。一方、自動車交通の影響が大きい都市部では、一酸化窒素の減少に関連してか、オゾン濃度が約 30% 増加した。
15	ブラジル (リオデジャネイロ)	・リオデジャネイロにおける部分的なロックダウン中の大気汚染物質 (PM、CO、NO ₂ 、O ₃) 濃度を、2019 年同時期及び COVID-19 発生前の数週間と比較 COVID-19 発生前と比較した変化傾向は汚染物質ならびに地点によって異なっており、CO 濃度は小型車からの排出に関連しているため最も顕著な減少 (30.3~48.5%) を示した。NO ₂ も減少したが、PM10 は最初のロックダウンの週のみ減少した。オゾン濃度は窒素酸化物レベルの低下により増加した。2019 年同時期と比較すると、NO ₂ 、CO の中央値は 24.1~32.9、37.0~43.6% 低下した。2019 年同時期と比較すると、NO ₂ 、CO の中央値は 24.1~32.9、37.0~43.6% 低下した。工業地帯からの汚染物質の輸送を中心とした気象干渉も影響した可能性がある。
58	ブラジル (リオデジャネイロ)	・リオデジャネイロにおける部分的なロックダウン (2020 年 3 月 23 日~) における大気汚染物質濃度変化の要因を分析 (CO と NO ₂ レベルは大幅な削減を示したが、PM10 レベルは最初の部分的ロックダウンの週にのみ削減された。一方、O ₃ 濃度はすべての調査地点で上昇) 2 つの自動観測局で得られた監視データでは、ロックダウン中に非メタン炭化水素と窒素酸化物 (NMHC/NOx) の比率が高くなった (最大 37.3%) ことが示された。リオデジャネイロでは VOC 律則であることから、ロックダウン中の O ₃ 濃度の上昇は NMHC/NOx 比の上昇に起因していると思われる。しかし、工業地帯からの移流があった場合は、NMHC/NOx 比の上昇に加えて前駆物質濃度が増加したことで O ₃ 濃度の上昇幅が大きくなったと考えられる。
57	ブラジル (サンパウロ・リオデジャネイロ)	・サンパウロ及びリオデジャネイロにおける部分的ロックダウン (学校の閉鎖、飲食店、娯楽施設の休業等) が主要な大気汚染物質 (PM10、NO ₂ 、CO) に与えた影響を分析。CO 濃度は、小型車の排出ガスに関連しているため、最も大きな削減効果 (最大 100%) を示した。NO ₂ も 9.1%~41.8% 減少し、PM10 はロックダウン第 1 週のみ減少した。汚染物質の減少は工業地帯や農村地帯からの気流など他の要因に依存するため、車両の通行量減少とは必ずしも比例しなかった。これらの変化は、2 都市における自動車分布の特徴や、ソーシャルディスタンスに対する住民の反応等を考慮することで説明することができる。
34	ブラジル (サンパウロ)	・サンパウロ都心部での部分的ロックダウンに伴う NOx 濃度の変化を評価。気象影響を低減するため、ロックダウン期間中最も NOx 濃度が低かった日と同様の気象条件の BAU (business as usual) の日のみを選択し、両期間の監視局のデータを比較した。NOx 濃度の絶対値の減少はコンゴニャス (-79.6 μg m ⁻³) が最も大きく、次いでマルジナル・ティエテ (-59.2 μg m ⁻³ 、人通りの多い道の端に位置する) で見られた。すべての観測点で大幅な減少が見られ、減少率は 34% (Osasco) から 68% (Pinheiros) であった。

※文献レビューや総説など

No.	対象地域	概要
4	世界各地域	大気質に関するさらなる洞察を得るために、2020年1月から2020年12月までに世界中で出版された科学論文のクリティカルレビューを行う。最後に、世界的な大気質の改善という文脈で、我々のレビューの政策的含意を論じる。
2	世界各地域	中国、ヨーロッパ、北米などの地域では、COVIDに関連した短期的な排出量削減と長期的な排出量削減対策が重なり、2020年のPM2.5濃度は以前と比べ低くなった。一方でインド上空のPM2.5の増加は、例年に比べて顕著ではなかった。
63	世界	COVID-19封じ込めに伴う排出削減は、ほとんどの地域で大気質の目に見える一時的な改善をもたらした。世界の人為起源NOx排出量は、2020年4月に最大で約35%減少した（信頼度中）。地表オゾンを除いて、これらの排出削減は世界のほとんどの地域で大気質の改善に寄与していることは、高い信頼性である。世界の化石起源CO2排出量は、2020年に2019年比で7%（5.8%～13.0%の範囲）減少したが、これは主に運輸部門からの排出量の減少による（信頼度は中）。

4.4 参考文献リスト

1. Fighting Covid-19 China in Action: Wai wen chu ban she; 2020
2. Air Quality and Climate Bulletin No.1: WMO; 2021
3. Abdullah S, Mansor AA, Napi NNLM, Mansor WNW, Ahmed AN, Ismail M, et al., 2020: Air quality status during 2020 Malaysia Movement Control Order (MCO) due to 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) pandemic. *Science of the Total Environment.*, **729**, 139022.
4. Adam MG, Tran PT, Balasubramanian R., 2021: Air quality changes in cities during the COVID-19 lockdown: A critical review. *Atmospheric Research.*, **264**, 105823.
5. Aman MA, Salman MS, Yunus AP., 2020: COVID-19 and its impact on environment: improved pollution levels during the lockdown period—a case from Ahmedabad, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment.*, **20**, 100382.
6. Ash'aari ZH, Aris AZ, Ezani E, Kamal NIA, Jaafar N, Jahaya JN, et al. .2020: Spatiotemporal variations and contributing factors of air pollutant concentrations in Malaysia during movement control order due to pandemic COVID-19. *Aerosol and Air Quality Research.*, **20(10)**, 2047-61.
7. Bar S, Parida BR, Mandal SP, Pandey AC, Kumar N, Mishra B., 2021: Impacts of partial to complete COVID-19 lockdown on NO₂ and PM_{2.5} levels in major urban cities of Europe and USA. *Cities.*, **117**, 103308.
8. Barbieri DM, Lou B, Passavanti M, Hui C, Lessa DA, Maharaj B, et al., 2020: Survey data regarding perceived air quality in Australia, Brazil, China, Ghana, India, Iran, Italy, Norway, South Africa, United States before and during COVID-19 restrictions. *Data in brief.*, **32**, 106169.
9. Bauwens M, Compornolle S, Stavrakou T, Müller JF, Van Gent J, Eskes H, et al.,2020: Impact of coronavirus outbreak on NO₂ pollution assessed using TROPOMI and OMI observations. *Geophys. Res. Lett.*, **47(11)**, e2020GL087978.
10. Bekbulat B, Apte JS, Millet DB, Robinson AL, Wells KC, Presto AA, et al., 2021: Changes in criteria air pollution levels in the US before, during, and after Covid-19 stay-at-home orders: Evidence from regulatory monitors. *Science of the Total Environment.*, **769**, 144693.
11. Berman JD, Ebisu K., 2020: Changes in US air pollution during the COVID-19 pandemic. *Science of the Total Environment.*, **739**, 139864.
12. Brimblecombe P, Lai Y., 2020: Effect of fireworks, Chinese new year and the COVID-19 lockdown on air pollution and public attitudes. *Aerosol and Air Quality Research.*, **20(11)**, 2318-31.
13. Chossière GP, Xu H, Dixit Y, Isaacs S, Eastham SD, Allroggen F, et al., 2021: Air pollution impacts of COVID-19–related containment measures. *Science Advances.*, **7(21)**, eabe1178.
14. Collivignarelli MC, Abbà A, Bertanza G, Pedrazzani R, Ricciardi P, Miino MC., 2020: Lockdown for CoViD-2019 in Milan: What are the effects on air quality? *Science of the Total Environment.*, **732**, 139280.
15. Dantas G, Siciliano B, França BB, da Silva CM, Arbilla G., 2020: The impact of COVID-19 partial lockdown on the air quality of the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Science of the Total Environment.*, **729**, 139085.
16. Ding J, van der A RJ, Eskes H, Mijling B, Stavrakou T, Van Geffen J, et al., 2020: NO_x emissions reduction and rebound in China due to the COVID-19 crisis. *Geophysical Research Letters.*, **47(19)**, e2020GL089912.
17. Evangelidou N, Platt SM, Eckhardt S, Lund Myhre C, Laj P, Alados-Arboledas L, et al., 2021: Changes in black carbon emissions over Europe due to COVID-19 lockdowns. *Atmospheric Chemistry and Physics.*, **21(4)**, 2675-92.
18. Feng S, Jiang F, Wang H, Wang H, Ju W, Shen Y, et al., 2020: NO_x emission changes over China during the COVID-19 epidemic inferred from surface NO₂ observations. *Geophysical Research Letters.*, **47(19)**, e2020GL090080.

19. Filonchik M, Peterson M., 2020: Air quality changes in Shanghai, China, and the surrounding urban agglomeration during the COVID-19 lockdown. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis.*, **4(2)**, 1-7.
20. Gautam S., 2020: The influence of COVID-19 on air quality in India: a boon or inutile. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.*, **104(6)**, 724-6.
21. Giani P, Castruccio S, Anav A, Howard D, Hu W, Crippa P., 2020: Short-term and long-term health impacts of air pollution reductions from COVID-19 lockdowns in China and Europe: a modelling study. *The Lancet Planetary Health.*, **4(10)**, e474-e82.
22. Hu M, Chen Z, Cui H, Wang T, Zhang C, Yun K., 2021: Air pollution and critical air pollutant assessment during and after COVID-19 lockdowns: Evidence from pandemic hotspots in China, the Republic of Korea, Japan, and India. *Atmospheric pollution research.*, **12(2)**, 316-29.
23. Hu X, Liu Q, Fu Q, Xu H, Shen Y, Liu D, et al., 2021: A high-resolution typical pollution source emission inventory and pollution source changes during the COVID-19 lockdown in a megacity, China. *Environmental Science and Pollution Research.*, **28(33)**, 45344-52.
24. Huang X, Ding A, Gao J, Zheng B, Zhou D, Qi X, et al., 2021: Enhanced secondary pollution offset reduction of primary emissions during COVID-19 lockdown in China. *National Science Review.*, **8(2)**, nwaal37.
25. Hudda N, Simon MC, Patton AP, Durant JL., 2020: Reductions in traffic-related black carbon and ultrafine particle number concentrations in an urban neighborhood during the COVID-19 pandemic. *Science of the Total Environment.*, **742**, 140931.
26. Isaifan R., 2020: The dramatic impact of Coronavirus outbreak on air quality: has it saved as much as it has killed so far? *Global Journal of Environmental Science and Management.*, **6(3)**, 275-88.
27. Jia H, Huo J, Fu Q, Duan Y, Lin Y, Jin X, et al., 2020: Insights into chemical composition, abatement mechanisms and regional transport of atmospheric pollutants in the Yangtze River Delta region, China during the COVID-19 outbreak control period. *Environmental Pollution.*, **267**, 115612.
28. Ju MJ, Oh J, Choi Y-H., 2021: Changes in air pollution levels after COVID-19 outbreak in Korea. *Science of the Total Environment.*, **750**, 141521.
29. Kaewrat J, Janta R., 2021: Effect of COVID-19 prevention measures on air quality in Thailand. *Aerosol and Air Quality Research.*, **21(3)**, 200344.
30. Kanniah KD, Zaman NAFK, Kaskaoutis DG, Latif MT., 2020: COVID-19's impact on the atmospheric environment in the Southeast Asia region. *Science of the Total Environment.*, **736**, 139658.
31. Kerimray A, Baimatova N, Ibragimova OP, Bukenov B, Kenessov B, Plotitsyn P, et al., 2020: Assessing air quality changes in large cities during COVID-19 lockdowns: The impacts of traffic-free urban conditions in Almaty, Kazakhstan. *Science of the Total Environment.*, **730**, 139179.
32. Kim HC, Kim S, Cohen M, Bae C, Lee D, Saylor R, et al., 2021: Quantitative assessment of changes in surface particulate matter concentrations and precursor emissions over China during the COVID-19 pandemic and their implications for Chinese economic activity. *Atmospheric Chemistry and Physics.*, **21(13)**, 10065-80.
33. Koo J-H, Kim J, Lee YG, Park SS, Lee S, Chong H, et al., 2020: The implication of the air quality pattern in South Korea after the COVID-19 outbreak. *Scientific Reports.*, **10(1)**, 1-11.
34. Krecl P, Targino AC, Oukawa GY, Junior RPC., 2020: Drop in urban air pollution from COVID-19 pandemic: Policy implications for the megacity of São Paulo. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987).*, **265**, 114883.
35. Kumar P, Hama S, Omidvarborna H, Sharma A, Sahani J, Abhijith K, et al., 2020: Temporary reduction in fine particulate matter due to 'anthropogenic emissions switch-off' during COVID-19 lockdown in Indian cities. *Sustainable cities and society.*, **62**, 102382.

36. Le T, Wang Y, Liu L, Yang J, Yung YL, Li G, et al., 2020: Unexpected air pollution with marked emission reductions during the COVID-19 outbreak in China. *Science.*, **369(6504)**, 702-6.
37. Lewis A, Allan J, Carruthers D, Fuller G, Harrison RM, Heal M, et al., 2020: Estimation of changes in air pollution emissions, concentrations and exposure during the COVID-19 outbreak in the UK. 2020.
38. Li J, Tartarini F., 2020: Changes in air quality during the COVID-19 lockdown in Singapore and associations with human mobility trends. *Aerosol and Air Quality Research.*, **20(8)**, 1748-58.
39. Li K, Jacob DJ, Liao H, Qiu Y, Shen L, Zhai S, et al., 2021: Ozone pollution in the North China Plain spreading into the late-winter haze season. *Proceedings of the National Academy of Sciences.*, **118(10)**.
40. Liu F, Page A, Strode SA, Yoshida Y, Choi S, Zheng B, et al., 2020: Abrupt decline in tropospheric nitrogen dioxide over China after the outbreak of COVID-19. *Science Advances.*, **6(28)**, eabc2992.
41. Liu S, Liu C, Hu Q, Su W, Yang X, Lin J, et al., 2021: Distinct regimes of O₃ response to COVID-19 lockdown in China. *Atmosphere.*, **12(2)**, 184.
42. Liu T, Wang X, Hu J, Wang Q, An J, Gong K, et al., 2020: Driving forces of changes in air quality during the COVID-19 lockdown period in the Yangtze River Delta Region, China. *Environmental Science & Technology Letters.*, **7(11)**, 779-86.
43. Ma C-J, Kang G-U., 2020: Air Quality Variation in Daegu, Korea During the Outbreak of COVID-19 and its Health Risk Assessment. *Asian Journal of Atmospheric Environment (AJAE).*, **14(3)**.
44. Mahato S, Pal S, Ghosh KG., 2020: Effect of lockdown amid COVID-19 pandemic on air quality of the megacity Delhi, India. *Science of the Total Environment.*, **730**, 139086.
45. Metya A, Dagupta P, Halder S, Chakraborty S, Tiwari YK., 2020: COVID-19 lockdowns improve air quality in the South-East Asian regions, as seen by the remote sensing satellites. *Aerosol and Air Quality Research.*, **20(8)**, 1772-82.
46. Misra P, Takigawa M, Khatri P, Dhaka SK, Dimri A, Yamaji K, et al., 2021: Nitrogen oxides concentration and emission change detection during COVID-19 restrictions in North India. *Scientific reports.*, **11(1)**, 1-11.
47. Miyazaki K, Bowman K, Sekiya T, Jiang Z, Chen X, Eskes H, et al., 2020: Air quality response in China linked to the 2019 novel coronavirus (COVID-19) lockdown. *Geophysical Research Letters.*, **47(19)**, e2020GL089252.
48. Miyazaki K, Bowman K, Sekiya T, Takigawa M, Neu JL, Sudo K, et al., 2021: Global tropospheric ozone responses to reduced NO_x emissions linked to the COVID-19 worldwide lockdowns. *Science Advances.*, **7(24)**, eabf7460.
49. Nadzir MSM, Ooi MCG, Alhasa KM, Bakar MAA, Mohtar AAA, Nor MFFM, et al., 2020: The impact of movement control order (MCO) during pandemic COVID-19 on local air quality in an urban area of Klang valley, Malaysia. *Aerosol and Air Quality Research.*, **20(6)**, 1237-48.
50. Nakada LYK, Urban RC., 2020: COVID-19 pandemic: Impacts on the air quality during the partial lockdown in São Paulo state, Brazil. *Science of the Total Environment.*, **730**, 139087.
51. Park H, Jeong S, Koo J-H, Sim S, Bae Y, Kim Y, et al., 2021: Lessons from COVID-19 and Seoul: Effects of reduced human activity from social distancing on urban CO₂ concentration and air quality. *Aerosol and Air Quality Research.*, **21(1)**, 200376.
52. Pei Z, Han G, Ma X, Su H, Gong W., 2020: Response of major air pollutants to COVID-19 lockdowns in China. *Science of the Total Environment.*, **743**, 140879.
53. Qi J, Mo Z, Yuan B, Huang S, Huangfu Y, Wang Z, et al., 2021: An observation approach in evaluation of ozone production to precursor changes during the COVID-19 lockdown. *Atmospheric Environment.*, **262**, 118618.

54. Shakoor A, Chen X, Farooq TH, Shahzad U, Ashraf F, Rehman A, et al., 2020: Fluctuations in environmental pollutants and air quality during the lockdown in the USA and China: two sides of COVID-19 pandemic. *Air Quality, Atmosphere & Health.*, **13(11)**, 1335-42.
55. Shi X, Brasseur GP., 2020: The response in air quality to the reduction of Chinese economic activities during the COVID - 19 outbreak. *Geophysical Research Letters.*, **47(11)**, e2020GL088070.
56. Sicard P, De Marco A, Agathokleous E, Feng Z, Xu X, Paoletti E, et al., 2020: Amplified ozone pollution in cities during the COVID-19 lockdown. *Science of the Total Environment.*, **735**, 139542.
57. Siciliano B, Carvalho G, da Silva CM, Arbilla G., 2020: The impact of COVID-19 partial lockdown on primary pollutant concentrations in the atmosphere of Rio de Janeiro and São Paulo Megacities (Brazil). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.*, **105(1)**, 2-8.
58. Siciliano B, Dantas G, da Silva CM, Arbilla G., 2020: Increased ozone levels during the COVID-19 lockdown: Analysis for the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Science of the Total Environment.*, **737**, 139765.
59. Silver B, He X, Arnold SR, Spracklen DV., 2020: The impact of COVID-19 control measures on air quality in China. *Environmental Research Letters.*, **15(8)**, 084021.
60. Soni M, Verma S, Jethava H, Payra S, Lamsal L, Gupta P, et al., 2021: Impact of COVID-19 on the air quality over china and india using long-term (2009-2020) multi-satellite data. *Aerosol and Air Quality Research.*, **21(3)**, 200295.
61. Stavrakou T, Müller J-F, Bauwens M, Doumbia T, Elguindi N, Darras S, et al., 2021: Atmospheric impacts of COVID-19 on NO_x and VOC levels over China based on TROPOMI and IASI satellite data and modeling. *Atmosphere.*, **12(8)**, 946.
62. Stratoulis D, Nuthammachot N., 2020: Air quality development during the COVID-19 pandemic over a medium-sized urban area in Thailand. *Science of the Total Environment.*, **746**, 141320.
63. Szopa S, Naik V, Adhikary B, Artaxo P, Berntsen T, Collins WD, et al., 2021: Short-Lived Climate Forcers. *AGU Fall Meeting*; AGU.
64. Tian H, Liu Y, Li Y, Wu C-H, Chen B, Kraemer MU, et al. 2020: An investigation of transmission control measures during the first 50 days of the COVID-19 epidemic in China. *Science.*, **368(6491)**, 638-42.
65. Tobías A, Carnerero C, Reche C, Massagué J, Via M, Minguillón MC, et al., 2020: Changes in air quality during the lockdown in Barcelona (Spain) one month into the SARS-CoV-2 epidemic. *Science of the Total Environment.*, **726**, 138540.
66. Venter ZS, Aunan K, Chowdhury S, Lelieveld J., 2020: COVID-19 lockdowns cause global air pollution declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences.*, **117(32)**, 18984-90.
67. Vuong QT, Thang PQ, Park M-K, Choi S-D., 2020: Effects of the COVID-19 lockdown on criteria air pollutants in the city of Daegu, the epicenter of South Korea's outbreak. *Environmental Science and Pollution Research.*, **27(36)**, 45983-91.
68. Wang N, Xu J, Pei C, Tang R, Zhou D, Chen Y, et al., 2021: Air quality during COVID-19 lockdown in the Yangtze River Delta and the Pearl River Delta: Two different responsive mechanisms to emission reductions in China. *Environmental science & technology.*, **55(9)**, 5721-30.
69. Wang Q, Su M., 2020: A preliminary assessment of the impact of COVID-19 on environment—A case study of China. *Science of the Total Environment.*, **728**, 138915.
70. Wang S, Ma Y, Wang Z, Wang L, Chi X, Ding A, et al., 2021: Mobile monitoring of urban air quality at high spatial resolution by low-cost sensors: impacts of COVID-19 pandemic lockdown. *Atmospheric Chemistry and Physics.*, **21(9)**, 7199-215.
71. Wang X, Zhang R., 2020: How did air pollution change during the COVID-19 outbreak in China? *Bulletin of the American Meteorological Society.*, **101(10)**, E1645-E52.

72. Wang Y, Wen Y, Wang Y, Zhang S, Zhang KM, Zheng H, et al., 2020: Four-month changes in air quality during and after the COVID-19 lockdown in six megacities in China. *Environmental Science & Technology Letters.*, **7(11)**, 802-8.
73. Wang Z, Uno I, Yumimoto K, Itahashi S, Chen X, Yang W, et al., 2021: Impacts of COVID-19 lockdown, Spring Festival and meteorology on the NO₂ variations in early 2020 over China based on in-situ observations, satellite retrievals and model simulations. *Atmospheric Environment.*, **244**, 117972.
74. Xing J, Li S, Jiang Y, Wang S, Ding D, Dong Z, et al., 2020: Quantifying the emission changes and associated air quality impacts during the COVID-19 pandemic on the North China Plain: a response modeling study. *Atmospheric Chemistry and Physics.*, **20(22)**, 14347-59.
75. Xu K, Cui K, Young L-H, Hsieh Y-K, Wang Y-F, Zhang J, et al., 2020: Impact of the COVID-19 event on air quality in central China. *Aerosol and Air Quality Research.*, **20(5)**, 915-29.
76. Xu K, Cui K, Young L-H, Wang Y-F, Hsieh Y-K, Wan S, et al., 2020: Air quality index, indicator air pollutants and impact of COVID-19 event on the air quality near central China. *Aerosol and Air Quality Research.*, **20(6)**, 1204-21.
77. Zhang Q, Pan Y, He Y, Walters WW, Ni Q, Liu X, et al., 2021: Substantial nitrogen oxides emission reduction from China due to COVID-19 and its impact on surface ozone and aerosol pollution. *Science of the Total Environment.*, **753**, 142238.
78. Zhang R, Zhang Y, Lin H, Feng X, Fu T-M, Wang Y., 2020: NO_x emission reduction and recovery during COVID-19 in East China. *Atmosphere.*, **11(4)**, 433.
79. Zhao Y, Zhang K, Xu X, Shen H, Zhu X, Zhang Y, et al., 2020: Substantial changes in nitrogen dioxide and ozone after excluding meteorological impacts during the COVID-19 outbreak in mainland China. *Environmental Science & Technology Letters.*, **7(6)**, 402-8.
80. Zheng B, Zhang Q, Geng G, Shi Q, Lei Y, He K., 2020: Changes in China's anthropogenic emissions during the COVID-19 pandemic. *Earth System Science Data Discussions.*, **10**.
81. 大津山堅介, 悠介齋藤, 小松崎暢彦, 石井沙知香, 松本慎一郎, 竹中大貴, et al., 2020: COVID-19に対する都市封鎖の類型化と課題 主要感染拡大国における暫定的事例研究. 都市計画論文集., **55(3)**, 1350-1357.
82. 齋藤尚登., 2020: アフター／ウィズコロナの中国経済とデジタル専制. 大和総研調査季報秋季号. Vol. 40. 大和総研., 4-17