

調査研究課題名：地域ごとの光化学オキシダントに関する研究のレビューとその
とりまとめに関する調査研究(課題 1)

委託業務名：地域ごとの光化学オキシダントに関する研究のレビューとその
とりまとめに関する調査研究

研究代表者：高橋 克行

所 属 機 関：日本環境衛生センター

【研究概要】

光化学オキシダント（以下、オキシダントまたは O_x とする）の環境基準の達成率は極めて低い状況が続いている。その要因は地域や季節によって異なり、経年的に変化していることに加え、複数の要因が混在している可能性もあるため、地域ごとに適切なオキシダント対策が求められる。

本研究では文献レビューと既往研究の追加解析を中心とした調査を実施して、当該地域の前駆物質の排出状況に応じた光化学オキシダント汚染の特徴を、地域の行政担当者が活用できるように、他地域との比較も交えて把握できるような取りまとめを行うことを目的とする。

2 か年計画である本研究では、令和 4 年度に文献レビューを中心とした調査を実施して、調査対象とした 5 地域について要因毎に文献を取りまとめた。要因の中でも地域の対策立案に重要となる「オゾン生成レジーム¹」、「NO タイトレーション効果²」、「前駆物質の排出量の削減効果」を令和 5 年度に実施する既往研究の解析のアップデートの対象に位置付け、追加解析を行う文献の選定を行った。令和 5 年度は、令和 4 年度に選定した文献と同様の手法で、最近の測定データも用いて各地域を対象に解析を実施し、地域や年代による傾向の違いを把握した。

1 研究従事者（○印は研究代表者）

○氏名（所属）： 高橋 克行(日本環境衛生センター 環境事業第二部)

氏名（所属）： 吉村 有史(日本環境衛生センター 環境事業第二部)

氏名（所属）： 遠藤 智美(日本環境衛生センター 環境事業第二部)

氏名（所属）： 塩手 文也(日本環境衛生センター 環境事業第二部)

2 研究目的

光化学オキシダントの前駆物質濃度は減少傾向にあるが、環境基準の達成率は極めて低い状況が続いている。

その要因は下記のように複数あり、地域や季節によって異なり、経年的に変化している。さらに、複数の要因が混在している可能性もあるため、光化学オキシダントの低減対策を困難なものにしている。

- ・オゾン生成レジーム
- ・NO タイトレーション効果の低下によるオキシダント濃度の増加
- ・オゾン生成に影響する前駆物質の排出量
- ・VOC 組成の変化とオキシダント生成との関係

¹ オゾン生成レジーム：大気中の O_x 生成が、 NO_x と VOC (NMHC) のどちらにより依存しているか。

² NO タイトレーション効果：NO と O_3 の反応により、見かけ上の O_x 濃度が低下する現象。

- ・移流（越境汚染、成層圏オゾン）
- ・気温や日射量等の気象要因の変化

今後の対策を検討するにあたり、過去の対策効果を検証することは重要である。これまでオゾンに対する VOC 削減効果を確認する研究が行われてきたが、上記の理由から地域ごとに効果が異なる可能性もあるため、地域の実情に応じた検証が必要である。

そこで、本研究では次のような文献レビューを中心とした調査を実施して、当該地域の前駆物質の排出状況に応じた光化学オキシダント汚染の特徴を、地域の行政担当者が活用できるように、他地域との比較も交えて把握できるような取りまとめを行った。

3 研究対象及び方法

3.1 令和 4 年度

(1) 文献調査

目的：本研究の中心となる調査。対象 5 地域（関東、東海、関西、瀬戸内、九州）のオキシダント汚染の特徴を取りまとめる。

対象：文献データベースに登録されている過去 30 年間の O_x に関する文献

方法：「オゾン生成レジーム」、「NO タイトレーション効果」などオキシダントの濃度変化要因ごとに文献を整理し、さらに対象としている地域や年代ごとに整理を行った。また、令和 5 年度の追加解析に向けて、地域・年代を拡張することで有用な知見が得られそうな解析手法の文献を選定した。

(2) 常時監視データ等の整理

目的：(1)の取りまとめにおける補足情報。文献の研究対象時期の汚染状況等を把握する。

対象：対象地域の過去 30 年間の大気汚染常時監視データ(O_x , NO_x , NMHC 濃度)

方法：各地域のオキシダントや前駆物質濃度の経年変化について、統一的な統計量（日最高 8 時間値等）で評価した。

(3) 大気汚染対策に係る情報収集

目的：地域の行政担当者の施策の参考となるように、独自性のある取組等を情報収集する。

対象：対象地域を含む都府県内の各地方公共団体の環境白書、ホームページ等

方法：国や地域ごとに行われてきたオキシダント対策や前駆物質の削減等の大気汚染対策に係る情報を整理した。

(4) 地域の研究者へのヒアリング

目的：(1)～(3)を取りまとめた結果に、地域が持つ情報等を加えて内容の充実を図る。

対象：各地域のオキシダント研究者及び行政担当者

方法：近年のオキシダント濃度に寄与する要因、これまでの対策の実施と効果、今後考えられる前駆物質の排出状況の変化などについて、ヒアリングを行った。

表 3.1-1 ヒアリングを行った地方公共団体（令和 4 年度、令和 5 年度）

地域	地方公共団体	対象
関東	東京都	行政
	川崎市	行政、地方環境研究所

東海	愛知県	行政、地方環境研究所（令和４年度のみ）
	名古屋市	地方環境研究所
関西	大阪府	行政、地方環境研究所
瀬戸内	岡山県	行政、地方環境研究所
九州	福岡県	行政、地方環境研究所（令和５年度のみ）

(5) 検討会の実施

対象：委員とした有識者や地域の研究者

方法：文献調査及び情報収集結果の中間報告(第１回)、ヒアリング結果を含めた全体整理、次年度の計画(第２回)、を主な議題として検討会を開催した。

表 3.1-2 令和４年度及び令和５年度の検討会委員（敬称略、五十音順）

氏名	所属	専門分野
浅川 大地	大阪市立環境科学研究センター	大気観測・解析
早崎 将光	一般財団法人 日本自動車研究所	気象要因の影響解析
福崎 有希子	横浜市環境科学研究所（令和４年度）	大気観測(VOC)・解析
	横浜市 環境創造局 環境保全部（令和５年度）	
山地 一代	神戸大学大学院	大気環境モデリング
山村 由貴	福岡県保健環境研究所	大気観測・モデリング

3.2 令和５年度

(1) 近年の測定データを利用した既往研究のアップデート

目的：令和４年度の文献調査で整理した研究事例に、地域や年代の追加情報を加える。

対象：対象地域の過去 30 年間の環境大気常時監視測定データ

方法：令和４年度の文献調査で選定した文献の手法と最近の測定データを用いて各地域を対象に解析を実施し、地域や年代による傾向の違いを整理した。その際の解析項目としては、オキシダント汚染の要因のうち、地域単位での対策立案に有用な「オゾン生成レジーム」、「NO_x タイトレーション効果」、「前駆物質の排出量の削減効果」に焦点をあてた。

(2) 文献調査及び周辺情報の整理

目的：令和４年度の文献調査を補足する。前駆物質排出量の変化に着目する。

対象：新型コロナウイルス感染症に係る緊急事態宣言や都市封鎖期間前後における前駆物質排出量の変化や O_x 濃度との関係性を扱った文献

方法：国内外の文献を取りまとめ、前駆物質の濃度変化とオキシダントの濃度変化との関係を比較整理した。

(3) 地域の研究者へのヒアリング

目的：(1)の結果を各地域に紹介し、今後の取りまとめの留意点等を聴取する。

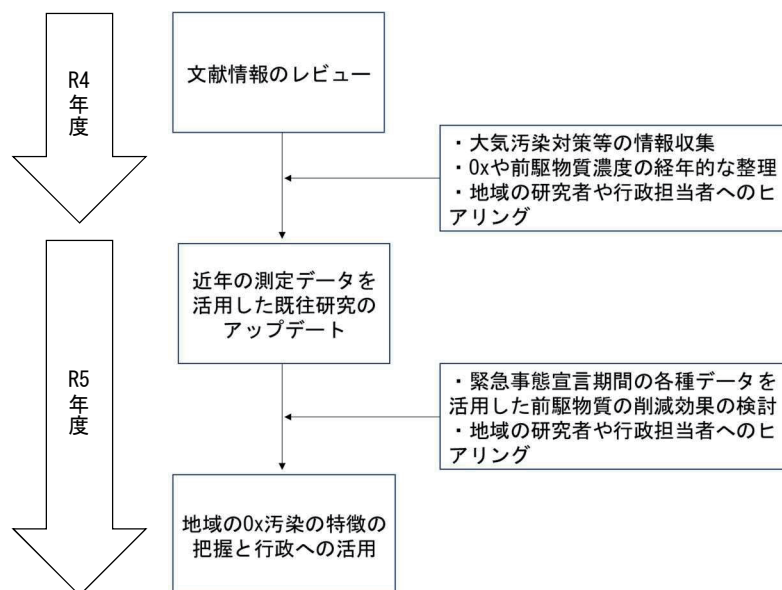
対象：各地域のオキシダント研究者及び行政担当者（表 3.1-1）

方法：(1) で実施した解析結果等について、意見交換を行った。

(4) 検討会の実施

対象：委員とした有識者や地域の研究者（表 3.1-2）

方法：文献調査のまとめ、測定データの解析(第1回)、ヒアリング結果を含めた全体整理、最終成果物について(第2回)、を主な議題として検討会を開催した。



4 研究目標（計画）

4.1 令和4年度

過去 30 年程度の国内の文献を収集し、VOC 対策前から現在までの情報を中心にとりまとめる。また、文献調査以外にも以下に示すデータ整理や情報収集等を行い、今後のオキシダント対策に資する情報を地域ごとに整理する。対象とする地域は、予防事業対象地域を含む関東、東海、関西、瀬戸内、九州の地域全体とする。作成したレビューについては、当該地域の前駆物質の排出状況に応じた光化学オキシダント汚染の特徴を、地域の行政担当者が活用できるように、他地域との比較も交えて把握できるような取りまとめを行う。

(1) 文献調査

本調査の中心となるもので、文献データベースを利用して過去 30 年程度を対象とした文献検索を実施し、全国的な観点から情報を整理する。その結果も踏まえ、地域ごとのオキシダント濃度に寄与する要因等を、地域間や年代の比較も交えて整理する。要因の例としてオゾン生成レジーム、前駆物質の排出量の変化と NO タイトレーション効果、VOC 組成の変化とオキシダント生成との関係、越境汚染等の移流の影響等が挙げられる。

(2) 常時監視データ等の整理

(1)のオキシダント濃度に寄与する要因の地域別、年代別の取りまとめにあたり、補足情報として対象地域の過去 30 年程度の大気汚染常時監視データからオキシダントや前駆物質濃度を統一的な統計量で整理して、経年的な変化を把握する。

(3) 大気汚染対策に係る情報収集

地域の行政担当者の参考になるように、国や地域ごとに行われてきたオキシダント対策や前駆物質の削減等の大気汚染対策に係る情報を収集して、文献調査の結果と合わせて取りまとめる。

(4) 地域の研究者へのヒアリング

(1)～(3)を取りまとめた結果を基にして、各対象地域の研究者等にヒアリングを実施する。ヒアリングの内容は、近年のオキシダント濃度に寄与する要因、これまでの対策の実施と効果、今後考えられる前駆物質の排出状況の変化など。

(5) 検討会の実施

有識者や地域の研究者を委員とした検討会を年2回程度開催する。

- ・第1回：文献調査及び情報収集結果の中間報告
- ・第2回：ヒアリング結果も含めた全体整理、次年度の計画

4.2 令和5年度

令和4年度に実施した文献調査のみでは研究対象とする地域の偏りや近年のデータが反映されていないことが想定されることから、他地域との比較を効果的に行うため、常時監視等の測定データを活用し、文献に示された方法で解析して情報を補い、知見を充実させる。

(1) 近年の測定データを利用した既往研究のアップデート

前駆物質とオキシダント濃度の関係性を調べた既往研究では、対象地域が限られていることから地域ごとの取りまとめにあたり情報の偏りが懸念される。さらに、近年ではオキシダント高濃度の出現頻度が夏季よりも春季に増加するなど、過去とは高濃度の出現傾向が異なっていることも踏まえ、2020年頃までに行われた研究と同様の方法で、最近の測定データを用いて各地域を対象に解析を実施し、地域や年代による傾向の違いを把握する。その際の解析項目としては、オキシダント汚染の要因のうち、地域単位での対策立案に有用な「オゾン生成レジーム」、「NO_x タイトレーション効果」、「前駆物質の排出量の削減効果」に焦点をあて、それぞれの要因について地域や季節間の比較や過去からの変化について取りまとめる。なお、解析対象の地域を拡大したり、継続的に状況を把握したりできるように、一般的に入手可能な環境大気常時監視測定データを用いた解析を行う。このことにより、本研究の成果が広く活用されることが期待される。

(2) 文献調査及び周辺情報の整理

令和4年度の取りまとめ以降の新たな文献や研究の進捗から得られる情報を、令和4年度の成果物に追記する。また、発生源対策や大気汚染の状況が我が国とは異なる海外における前駆物質の濃度変化とオキシダント生成（もしくは削減）との関係を比較整理することは、国内における前駆物質の削減効果を考えるための基礎資料となり得る。新型コロナウイルス感染症に係る緊急事態宣言や都市封鎖期間前後においては、比較的短期間に前駆物質排出量の変化が見られたことから、これらの事例に着目して海外と国内の事例を比較整理する。なお、国内地域において当該事例の既往研究が得られない場合には、大気汚染の常時監視データ等を活用した事例の整理も検討する。

(3) 地域の研究者へのヒアリング

(1)、(2)を取りまとめた結果を基にして、各対象地域の研究者等にヒアリングを実施する。

(4) 検討会の実施

有識者や地域の研究者を委員とした検討会を年2回程度開催する。

- ・第1回：文献調査のまとめ、測定データの解析
- ・第2回：ヒアリング結果も含めた全体整理、最終成果物の作成

5 研究成果

5.1 令和4年度の調査結果

(1) 文献調査

文献情報データベース JDreamIIIにおいて、国内のオキシダントやその前駆物質に関する和文文献と英文文献を検索し、その中から有用と考えられる文献を選定した。それらに検討会において委員から情報提供された文献を加えて、次の要因毎に整理した。

- ①オゾン生成レジーム、②NO タイトレーション効果、③前駆物質の排出量の削減効果、④VOC 組成とオキシダント生成の関係、⑤海風による内陸への輸送、⑥循環・滞留など、⑦長距離越境輸送の影響

表 5.1-1 に調査結果の概要を要因毎に示した（地域毎の整理は別添 1 の資料編に示した）。各地域のオゾン生成レジームの分布や前駆物質の排出量の削減効果等について、一定程度把握することができた。ただし、地域毎の文献数には差が見られ、異なる解析方法や評価基準が用いられていることもあったので、他地域との比較を効果的に行うためには情報を補う必要があった。

そこで、地域の対策立案に重要と考えられる「オゾン生成レジーム」、「NO タイトレーション効果」、「前駆物質の排出量の削減効果」については、文献で示された研究を、令和 5 年度に地域や年代を広げて解析することとして、それらの解析手法が示された文献を選定し、解析計画を検討した。（選定した文献やその解析手法は「5.2 令和 5 年度の調査結果」で後述する。）

表 5.1-1 文献調査結果の概要（地域毎の整理は別添 1 の資料編に示す）

要因	文献調査結果の概要
①オゾン生成レジーム	関東においてオゾン/全硝酸比からオゾン生成レジームを推定した研究では、都心部は VOC 律速となる一方、郊外は NO _x 律速になると推定されていた(井上ら, 2010 ¹)。また、関西のオゾン生成レジームに関するモデル研究では西宮市と大阪市は VOC 律速、播磨町は NO _x 律速と推定されていた(金ら, 2001 ²)。レジームの分布が解明されつつある地域もある一方、瀬戸内(香川県)（勝間ら, 2019 ³ ）などレジーム解析が局所的な地域もあり、解析手法も様々であることから、統一された手法による広域なレジーム解析が望まれた。
②NO タイトレーション効果	大気中の NO _x 濃度の低下に伴い NO 濃度も同様に低下しているが、NO には O ₃ と反応することで見かけ上のオキシダント濃度を減少させる効果(NO タイトレーション効果)があり、NO 濃度の低下は光化学オキシダント濃度の増加につながる。実際に NO タイトレーション効果によるオキシダントの増減を算出した文献(吉門, 2019 ⁴)では NO の減少に伴いオキシダントの 2～6 時の平均値は経年的に増加しているという結果が得られていた。また、同文献では NO タイトレーション効果の経年的な低下により見込まれるオキシダントの増加量(ΔTitr(O ₃))と実際のオキシダント濃度の増加量(ΔO _x)の比較を行った。春季は後者の方が高くなり、バックグラウンドオゾンの増加の可能性が示唆されていた一方、夏季は反対の傾向が見られており、これはオキシダント対策の結果によるものと考えられた。この傾向は関東、東海、関西、九州の 4 地域で共通して見られた。

要因	文献調査結果の概要
③前駆物質の排出量の削減効果	環境基準比＝環境中の濃度/環境基準、という指標により埼玉県内の前駆物質の排出量の削減効果を検証した文献(竹内, 2012 ⁵)ではオキシダントの環境基準比は横ばいであるものの高濃度の出現日は減少傾向であり、前駆物質の排出量の削減効果が表れていた。東海でも削減効果の検証が行われており、山神, 2020 ⁶ ではオキシダント濃度の日最高値と日最低値の差分を用いて排出量の削減効果が表れていることが示されていた。一方、関東と東海以外では前駆物質の排出量削減効果を検証した文献は見つからなかった。
④ VOC 組成とオキシダント生成の関係	VOC 組成に関する研究は主に関東と関西で行われており、アルケン類や芳香族炭化水素類が高濃度オキシダントの生成に寄与しているという結果が得られていた。ただし、福崎ら (2018) ⁷ のように大気中の移流前後での VOC 濃度の低下 (VOC の反応) とオキシダント濃度の増加 (オキシダントの生成) を合わせて評価した研究は限られていたことから、オキシダント生成に寄与する VOC については、引き続き情報を収集して整理する必要があると考えられた。
⑤海風による内陸への輸送	汚染物質の主要な発生源となる都市や工業地帯は沿岸部に位置することが多く、沿岸で排出された前駆物質が海風によって輸送されることで、内陸で高濃度オキシダントが観測される場合がある。この現象は規模の違いはあるが今回の文献調査の対象 5 地域いずれでも報告されていた。
⑥循環・滞留など	海上や上空等にオキシダントや前駆物質が滞留し、その後の光化学反応と地上部への移動により、地上部のオキシダント濃度の上昇を引き起こし、夜間に滞留する場合は翌日の地上部の濃度に影響を与えた。関東や東海では広域的な規模で見られていた。
⑦長距離越境輸送の影響	2007 年に観測された全国的なオキシダントの高濃度化事象について、中国からの越境輸送の影響を化学輸送モデルで検証した文献(大原ら, 2008 ⁸ 、黒川ら, 2008 ⁹)では、西日本の方が大きく影響を受けていることが明らかになった。越境汚染は近年にも見られた (Yoshino et al., 2021 ¹⁰) 一方、日本へ越境輸送されるオキシダントが 2020 年に減少したことを示した文献もある(吉野と高見, 2020 ¹¹)。

(2) 常時監視データ等の整理

文献調査を実施するにあたって、地域毎のオキシダント汚染の状況を把握するために、各地域の常時監視局で得られたデータを用いて、オキシダント及びその前駆物質に関して解析を行った。図 5.1-1 に一例として関東地方の春（5 月）と夏（8 月）の結果を示した。その他の結果のグラフは資料編に示した。

Ox 日最高 8 時間値は多くの都府県で経年的に増加していた一方、前駆物質(NOx、NMHC)の濃度の 1 時間値はいずれも経年的に減少していた。また、注意報発令の濃度レベルである 120 ppb 以上の日数を整理したところ、多くの地域では経年的に減少傾向であった（結果は別添 1 の資料編に示した）。

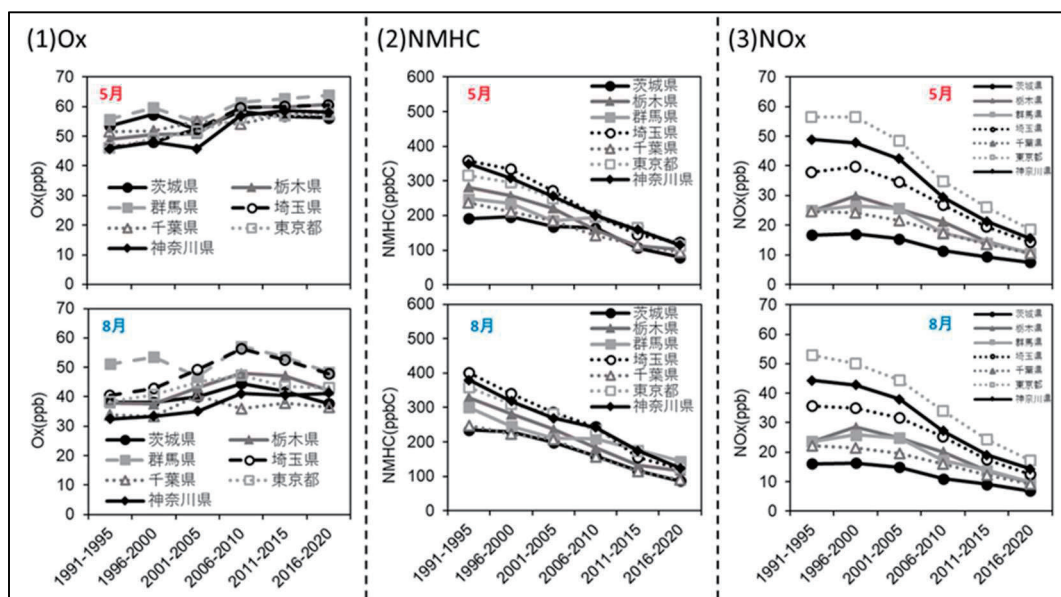


図 5.1-1 オキシダント日最高 8 時間値及び前駆物質の経年変化の一例（関東；5 月、8 月）

※オキシダント濃度は乾式法と湿式法を区別せず平均した。

(3) 大気汚染対策に係る情報収集

地域の行政担当者の参考になるように、国や地域ごとに行われてきたオキシダント対策や前駆物質の削減等の大気汚染対策に係る情報を収集した。収集結果については、資料編に示した。

(4) 地域の研究者へのヒアリング

本研究の対象 5 地域それぞれにおいて、特に発生源を含む地方公共団体を対象として各地域で保有しているオキシダント汚染に関する情報の入手や本研究の取りまとめに対する意見交換を目的としたヒアリングを行った(ヒアリング対象は表 3.1-1 に示した。)。その結果、各地域のオキシダント汚染の特徴についてはある程度把握されていることが分かった。一方、地域のオキシダント対策を検討するために、その地域でオキシダントの高濃度化に最も効いている要因を知りたいというご意見をいただいた。

表 5.1-2 令和 4 年度のヒアリングでの意見まとめ

事務局の取りまとめに対する意見交換(修正点、改善点)	① 文献情報で扱う濃度レベルを分けて整理すると良い（120ppb 以上、60ppb 以上等） ② 多くの文献の中で行政担当者が特に読むべき文献が分かるが良い。 ③ 行政担当者でも理解できるような報告書としてほしい。
取りまとめに期待する事項	④ 地域の高濃度の要因や Ox 濃度が下がらない要因が分かるような情報が欲しい。 ⑤ 注意報等を出す際の判断に役立つ情報が整理されるとありがたい。

(5) 検討会の実施

本調査研究の取りまとめについて有識者から助言をいただくための検討会を開催した。委員は表 3.1-2 に示した 5 名で構成し、年 2 回開催した。検討会の指摘を受けての対応を表 5.1-3 及び

表 5.1-4 に示した。

表 5.1-3 第 1 回検討会の指摘を受けての対応

文献紹介について	①対象とした年代が異なる文献同士の結果の比較する場合には、Ox 汚染状況等を確認して取りまとめた。 ②常時監視データの Ox データを用いる際に測定法の入替え時期と校正法の統一時期に留意した解析を行った。
大気汚染対策の情報収集について	③SLCF 排出削減について気候変動適応センター等の独自プランの検討状況を確認した。(各自治体を確認したが、独自プランは見つからなかった)
今後の作業について	④ヒアリングの対象に Ox 対策に力を入れている川崎市を追加した。 ⑤大阪周辺の移流について、大阪府の環境農林水産総合研究所の大気環境の担当者にヒアリングを行った。

表 5.1-4 第 2 回検討会の指摘を受けての対応

調査研究の作業状況について	①オゾン生成レジームや NO タイトレーション効果に関する海外の事例を、次年度の文献調査で必要に応じて情報を補強した。
令和 5 年度の作業について	②NO タイトレーション効果に関する次年度の解析は 5 年単位で行った。 ③細分化してもその地域の解析に使用できるデータ数が十分であるか等に留意しつつ、解析結果を都府県単位でまとめる。(都道府県ごとの測定局数に偏りがあったため、測定局ごとに解析を行った。)
地方公共団体へのヒアリングについて	④次年度の取りまとめは、ヒアリング結果を踏まえて気象条件や移流・越境輸送に留意して行った。 ⑤短期間で交代する行政担当者のために、資料は分かりやすい表現となるようにした。
成果発表会について	⑥対策立案の参考とできるような地域の特徴を次年度の取りまとめで整理した。 ⑦自治体向けに発信する情報であるとわかるように説明した。

5.2 令和 5 年度の調査結果

(1) 既往研究の追加解析・アップデート

地域の対策立案に重要となる「オゾン生成レジーム」、「NO タイトレーション効果」、「前駆物質の排出量の削減効果」について、令和 4 年度に選定した文献の手法を用いて、5 地域、30 年分の解析を実施した。その結果、それぞれの要因について以下のようなことが明らかになった。

① NO タイトレーション効果

吉門(2019)⁴の手法を基に、2～6 時の Ox 濃度を指標とし、夜間から早朝にかけての Ox 濃度の変化と NO タイトレーション効果との関係を解析した。

■解析期間

I 期：2000～2005 年度、II 期：2010～2015 年度、III 期：2016～2020 年度

I 期→II 期、II 期→III 期、の期間毎の変化量を解析した。

※過去 30 年のうち I 期より前の期間は、Ox 測定法変更の影響を考慮して解析対象外とした。

また、期間の途中で測定法が変更された測定局では、変更後のデータのみ解析対象とした。

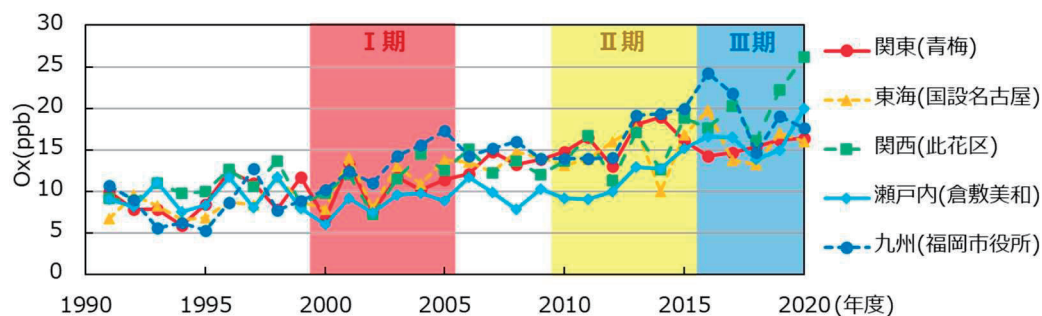


図 5.2-1 各地域の 2～6 時の Ox 濃度の推移(夏季)と解析対象期間

■解析対象とする測定局(測定局の情報は資料編に示す)

関東、東海、関西、九州：吉門(2019)の解析対象と同じ測定局

瀬戸内：NO_x, NMHC, Ox のいずれも継続して測定している測定局の中から、発生源地域との距離などを考慮して選定した測定局

■解析方法

- 1) 2～6 時の Ox 濃度の平均値(2-6Ox)と、NO タイトレーション効果により見込まれる Ox 濃度の減少量の 2～6 時の平均値(Titr(O₃))をそれぞれ日毎に算出した。

Titr(O₃)は同時刻の NO, NO_x のデータを用いて、 $\text{Titr}(\text{O}_3) = [\text{NO}] - (1 - \alpha) [\text{NO}_x]$ という式から算出した。(α の値は概略値として 0.1 を用いた。)

※2-6Ox や Titr(O₃)の算出に際して、気象条件によるデータの選別はせず、すべてのデータを使用した。

- 2) 2-6Ox と Titr(O₃)について、それぞれ春季(4,5 月)と夏季(7,8 月)の期間平均値の変化量を算出した。

△Ox : 2-6Ox の期間ごとの変化量(実際の Ox 濃度変化量)、

△Titr(O₃) : Titr(O₃)の期間ごとの変化量(NO タイトレーション効果の変動による見込みの Ox 変化量)

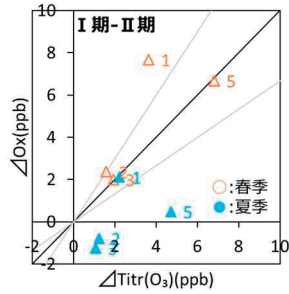
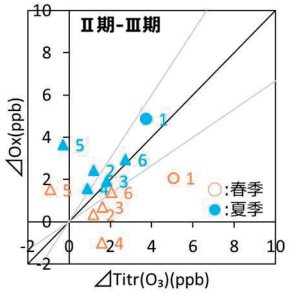
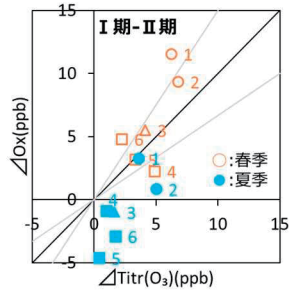
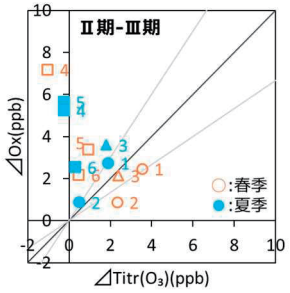
- 3) △Ox と △Titr(O₃)の大小関係を比較し、その結果によって以下のように考察した。

- ・ △Ox > △Titr(O₃)の時：バックグラウンドオゾンの増加等、他の増加要因が影響した。
- ・ △Ox ≒ △Titr(O₃)の時：Ox 濃度の増加はタイトレーション効果の低下で説明できた。
- ・ △Ox < △Titr(O₃)の時：夜間や早朝の濃度にも前駆物質の削減効果が見られた。

それぞれの地域の結果について、表 5.2-1 にまとめた。

表 5.2-1 NO タイトレーション効果の解析結果

		都市部（沿岸）		都市部（内陸）		郊外		山間部/田園地帯	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	
		●		◆		▲		■	
		春季		夏季		春季		夏季	
		○		◇		△		□	

	I 期（2000～2005 年） → II 期（2010～2015 年）	II 期（2010～2015 年） → III 期（2016～2020 年）	上段：対象地点 下段：考察など
瀬戸内	 ・ ΔO_x は多くの地点で増加 ・ 倉敷美和(1)や坂出市役所(2)など、東側に位置する測定局の方が大きく増加していた ・ 春季は $\Delta O_x \div \Delta \text{Titr}(O_3)$ 夏季は $\Delta O_x < \Delta \text{Titr}(O_3)$	 ・ ΔO_x はほぼ全ての地点で増加 ・ I 期-II 期と同様に、倉敷美和(1)で大きく増加していた ・ 春季は $\Delta O_x < \Delta \text{Titr}(O_3)$ 夏季は $\Delta O_x > \Delta \text{Titr}(O_3)$	 ・ 設定した地域が広範囲のため、地点間の傾向が異なった。 ・ ΔO_x は増加傾向にあるが、タイトレーション効果の低下がなければ、変動無しか低下傾向であったと考えられた。
九州	 ・ ΔO_x は春季では多くの地点で増加した一方、夏季では増加した地点の方が少なかった ・ 春季は $\Delta O_x \div \Delta \text{Titr}(O_3)$ 夏季は $\Delta O_x < \Delta \text{Titr}(O_3)$	 ・ ΔO_x は全ての地点で増加 ・ 春季の都市部では $\Delta O_x \div \Delta \text{Titr}(O_3)$ ・ 春季の田園地帯と夏季では $\Delta O_x > \Delta \text{Titr}(O_3)$	 ΔO_x は増加傾向にあるが、タイトレーション効果の低下がなければ、夏季は変動無し、春季は低下傾向であったと考えられた。

② 前駆物質の排出量の削減効果

日中(5:00～20:00)と夜間(前日の 20:00～5:00)の濃度差（日中の濃度上昇）を指標とし、前駆物質の削減効果を Fukunaga et al.(2021)¹²の手法に準じて解析した。

■解析期間

1991～2020 年度のデータを解析対象とした。

ただし、移動平均(後述)を行う際、平均する 3 年間の中に異なる O_x 測定法によるデータが混在している期間は解析対象外とした。

■解析対象とする測定局(測定局の情報は資料編に示す)

「①NO タイトレーション効果」で解析対象とした測定局と同じ測定局

■解析方法

1) O_x のデータがある期間について、各測定局の DPO_x を算出した。

DPOx：日中に光化学反応により生成されたオゾンの量の指標、日中(5:00～20:00)の平均濃度から夜間(前日の 20:00～5:00)の平均濃度を差し引くことで算出した（図 5.2-2）。

- 2) 各年の春季(4,5 月)と夏季(7,8 月)の DPOx をそれぞれ平均した。
- 3) 各季節の DPOx を 3 年移動平均して、その値が経年的に減少傾向にあれば、その地域における前駆物質の排出量削減効果が見られたと推定した。その前提として図 5.1-1 や別添 1 の資料編の図 6-16～35 に示すように前駆物質濃度も経年的に減少傾向であることも確認した。

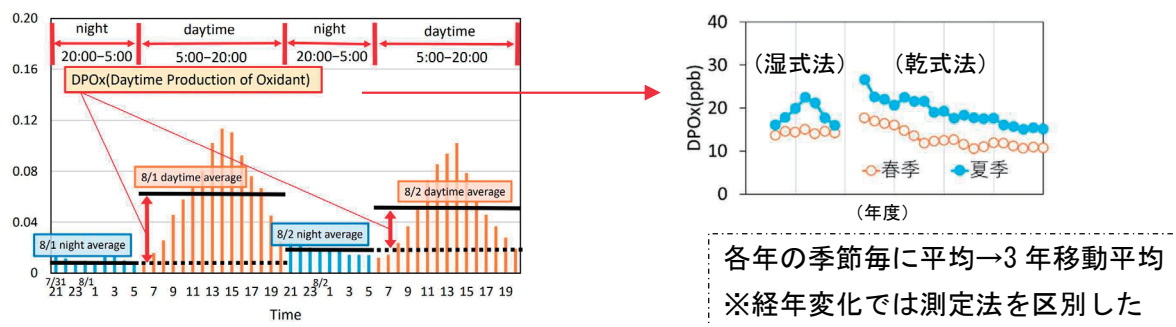


図 5.2-2 DPOx の算出方法(Fukunaga et al. 2021¹²)

それぞれの地域の結果について、表 5.2-2 にまとめた。

表 5.2-2 DPOx の経年変化の解析結果

	DPOx の経年変化	結果
関東	都市部(湾岸)：港区台場 都市部(内陸)：練馬区北町 郊外：小川 山間部：秩父	【経年的な傾向】湾岸に近い測定局と山間部では横ばいに近いが、内陸にある郊外の測定局では経年的に低下傾向であり、改善傾向が見られていた。 【地域差】都市部より郊外のほうが高く、Ox が前駆物質の発生源地域よりも郊外で生成しやすかったことが確認された。 【春季と夏季の比較】春季より夏季の方が高く、季節間の差は郊外で大きかった。また、季節差は、都市部ではあまり経年的な変化はないが、郊外では近年小さくなり、山間部では近年春のほうが高くなった。 【その他】春季に比べて夏季の低下の割合が、内陸程大きく、地域由来の Ox 生成が低下し、その影響が山間部まで届いていることが示唆された。

	DPOx の経年変化	結果
東海	東海：東海市横須賀小学校 (湿式法) (乾式法) DPOx(ppb) 年度	【経年的な傾向】全地点、両季節とも順調に低下しており、改善傾向が見られていた。 【地域差】解析地域の対象範囲が狭いこともあるが、地域的な DPOx の差は他の地域に比べて小さかった。 【春季と夏季の比較】春季に比べて夏季の DPOx が高かったが、近年、ほとんどの測定局では春季と夏季でほぼ同程度となってきた。 【その他】夏季が地域内発生源の影響を受けやすいと考え、地域の Ox 生成の影響が小さくなってきたと考えられる。
関西	関西：此花区役所 (湿式法) (乾式法) DPOx(ppb) 年度	【経年的な傾向】全地点、両季節とも順調に低下しており、改善傾向が見られていた。 【地域差】東海と同様に、地域的な DPOx の差は関東に比べて小さい。 【春季と夏季の比較】春季に比べて夏季の DPOx が高かったが、近年では春季と夏季でほぼ同程度となってきた。 【その他】夏季が地域内発生源の影響を受けやすいと考え、地域の Ox 生成の影響が小さくなってきたと考えられる。
瀬戸内	岡山県：倉敷美和 (湿式法) (乾式法) 山口県：彦島 (湿式法) (乾式法) DPOx(ppb) 年度	【経年的な傾向】一部の測定局では横ばいだが、他の地点では減少傾向であり、全体としては改善傾向が見られていた。 【地域差】他の地点より内陸に位置する測定局の値が高かったことから、内陸部の方が Ox 生成の影響を受けやすかったと考えられる。 【春季と夏季の比較】関東、東海、関西とは異なり、春季と夏季は同程度、もしくは、春季のほうが高かった。 【その他】関東、東海、関西と比べると、減少しない地点や、春季に高い地点があるなどの、特徴が見られた。地域の Ox 生成の影響が小さかったのは、測定地点が湾岸部にあり、Ox が生成する前の濃度を観測している可能性もある。
九州	福岡県：太宰府 (湿式法) (乾式法) DPOx(ppb) 年度	【経年的な傾向】長期的には減少傾向、または、横ばいの傾向であった。全体としては改善傾向が見られていた。 【地域差】内陸側に位置する測定局の濃度が高く、低下幅が大きいことは、地域由来の影響が減少してきていると考えられる。 【春季と夏季の比較】春季が夏季に比べて高かった。九州は夏季に南方からの汚染物質の少ない空気が流れ込み、かつ、都市部は北側に位置するため、広域的には夏季の濃度が上昇しにくいと考えられる。

③ オゾン生成レジーム

週末効果の反転現象を利用して、Ox 濃度が低下する NMHC/NOx 比を神成(2006)¹³の手法に準じて解析した。

■解析期間

1991～2020 年度のデータについて、5 年毎に分けて解析を実施した。

■解析対象とする測定局(測定局の情報は資料編に示す)

「①NO タイトレーション効果」で解析対象とした測定局の内、NMHC を継続的に測定してい

る測定局

■解析方法

- 1) 5～20 時の O_x 濃度の各測定局の日最高 1 時間値について、平日と日曜それぞれで 10 パーセンタイル区間ごとの平均値を期間ごとに算出した。
- 2) NO_x 濃度と NMHC 濃度は、5～15 時の平均値を O_x 濃度のパーセンタイル区間ごとにそれぞれ平均し、NMHC/NO_x 比を算出した。
- 3) 平日の O_x 濃度に対する日曜の O_x 濃度(日曜 O_x/平日 O_x)を同じパーセンタイル区間ごとに算出し、その値が 1 を下回ると週末効果の反転現象が起こったと判定した。
- 4) ある測定局における 1 年間の大局的なレジームは NMHC/NO_x の年平均値が、反転が起こった区間の平日の値より低ければ VOC 律速、同じ区間の日曜の値より高ければ NO_x 律速、その中間であれば遷移領域と推定した。(図 5.2-3)

なお、この方法は、年平均値を用いた大局的なレジームの推定であり、個別の高濃度事象の原因推定に用いる場合にはその点に留意する必要がある。

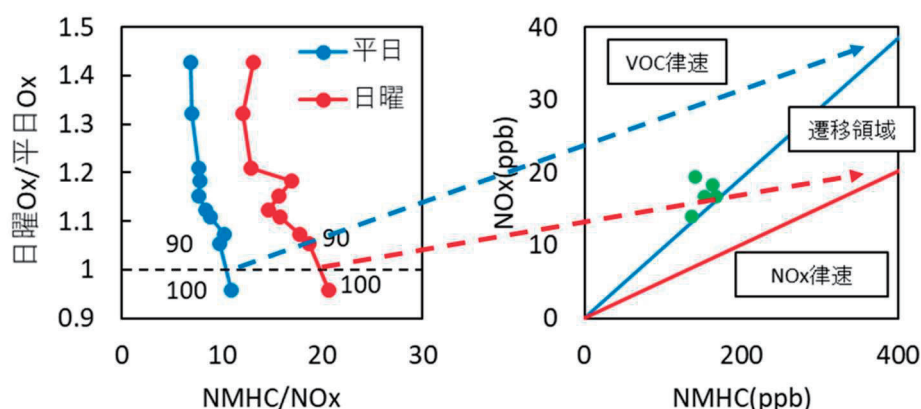
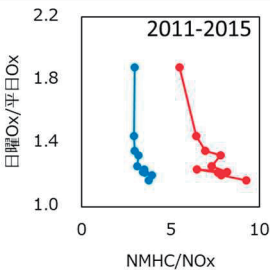
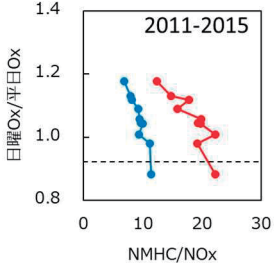
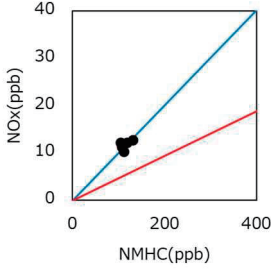
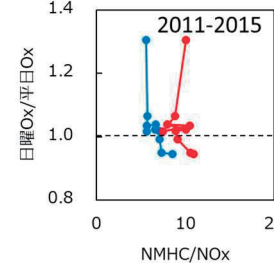
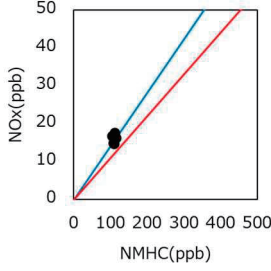
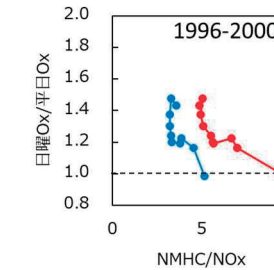
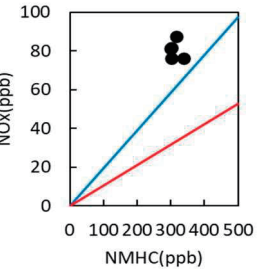
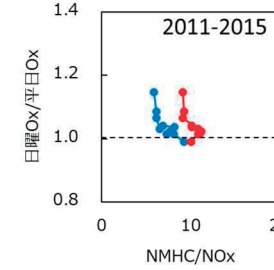
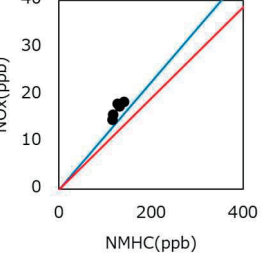


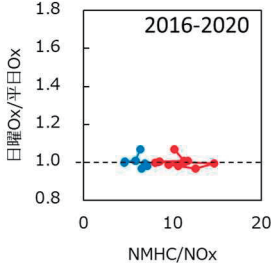
図 5.2-3 レジームの推定方法

それぞれの地域の結果について、表 5.2-3 にまとめた

表 5.2-3 オゾン生成レジームの推定結果

	境界となる NMHC/NO _x	レジームの推定
関東 (都市部, 港区台場)	 2011-2015 ・いずれの年代でも、週末効果の反転は起こらなかった。	・平日と日曜の同じパーセンタイル区間で比較した場合、NMHC/NO_x 比は日曜の方が平日より高かった。 ・台場の測定局周辺はいずれの年度でも VOC(NMHC)律速であると推定された。

	境界となる NMHC/NO _x	レジームの推定
関東 (郊外、青梅)	 ・2011～2015年度では、90%のパーセンタイル区画で週末効果の反転が起こった。 ・この時レジームの遷移領域の境界となる NMHC/NO_x の値は 10.0～21.3 となった。他の期間についても推定したところ境界値はこれに近い値となった。	 ・2011～2015年度の青梅の測定局周辺のレジームは VOC 律速～遷移領域にあると推定された。 ・他の年度についても、VOC 律速～遷移領域という傾向は共通していた。
東海 (国設名古屋)	 ・2011～2015年度では 80%のパーセンタイル区画において週末効果の反転が起こった。 ・この時レジームの遷移領域の境界となる NMHC/NO_x の値は 7.1～9.1 となった。他の期間についても推定したところ境界値はこれに近い値となった。	 ・2011～2015年度の国設名古屋の測定局周辺のレジームは VOC 律速～遷移領域にあると推定された。 ・他の年度についても、VOC 律速～遷移領域という傾向は共通していた。
関西 (此花区役所)	 ・1996～2000年度では、100%のパーセンタイル区画で週末効果の反転が起こった。 ・この時レジームの遷移領域の境界となる NMHC/NO_x の値は 5.1～9.5 となった。 ・2001年度以降いずれの期間でも週末効果の反転は起こらなかった。	 ・1996～2000年度の此花区役所の測定局周辺のレジームは VOC 律速であると推定された。 ・他の年度についても、VOC 律速であると推定された。
瀬戸内 (倉敷美和)	 ・2011～2015年度では、100%のパーセンタイル区画で週末効果の反転が起こった。 ・この時レジームの遷移領域の境界となる NMHC/NO_x の値は 8.8～10.4 となった。 ・他の期間についても推定したところ、境界値はこれに近い値となった。 ・ただし、2016～2020年度については、週末効果の反転を判定できる NMHC/NO_x 比が明確でなかった。	 ・2011～2015年度の倉敷美和の測定局周辺のレジームは VOC 律速であると推定された。 ・2005年度以前については、VOC 律速～遷移領域であると推定された。 ・一方、2006～2010年度と 2016～2020年度については、今回の解析方法ではレジームの推定を行えなかった。

	境界となる NMHC/NOx	レジームの推定
九州 (筑後小郡)	 ・今回の解析対象とした期間のほとんどにおいて、週末効果の反転を判定できる NMHC/NOx 比が明確でなかった。	・九州(筑後小郡)について、今回の解析方法では、レジームの推定を行えなかった。

(2) 国内外の緊急事態宣言期間前後のオキシダント濃度に係る文献調査

新型コロナウイルス感染症に係る緊急事態宣言や都市封鎖期間前後においては、比較的短期間に前駆物質排出量の変化が見られたことから、これらの事例に着目して海外と国内の事例を比較整理した。その結果、海外ではロックダウン時に NOx 濃度が低下し、Ox 濃度が上昇した地域が多数あったこと、一方日本国内では緊急事態宣言時に NOx 濃度が低下したが、Ox 濃度の上昇はみられなかったこと、などが明らかになった。詳細な結果や調査した文献のリストは別添 1 の資料編に示した。

(3) 地域の研究者や行政担当者へのヒアリング

上述の既往研究の追加解析・アップデートの結果に関する意見交換を目的として、前年度と同じ地方公共団体を対象としたヒアリングを実施した。その結果、今回実施した解析について、過去の対策の効果の裏付けや今後の対策立案の指針として活用できるとの評価を頂いた。一方、具体的な対策の立案に使用するには結果の確度が低いことや、VOC の成分分析や後方流跡線など常時監視データのみではできない解析が必要であることをご指摘いただいた。

表 5.3 令和 5 年度のヒアリングでの意見まとめ

事務局の解析結果に対する意見交換(修正点、改善点)	①測定法変更前後での Ox 濃度の変動が大きいため、測定局ごとの変更時期を考慮した方がよい。 ②結果が、VOC の削減が Ox 低減に効くのではないかと、程度のニュアンスだと、VOC 対策を行う上での後ろ盾として弱い。
今後期待すること	③原因物質の濃度が下がっている一方で、Ox 濃度が下らない原因を誰も明確に説明できていなく、そのメカニズムの解明に資する情報を得られることが理想である。 ④事業者に協力をお願いする時にどこまで削減すればよいかと、今度こそ本当に Ox 濃度が下がることを説明できるとよい。 ⑤行政的な観点からどの業種にアプローチすればよいかわかるように、VOC のどの物質を削減したらよいかわかるとよい。

(4) 検討会の実施

本調査研究の取りまとめについて有識者から助言をいただくための検討会を開催した。委員は表 3.1-2 に示した 5 名で構成し、年 2 回開催した。

表 5.4 指摘を受けての対応(第 1 回検討会)

■既往研究のアップデート	①日本海側や北日本についても解析を実施した。 ②最終取りまとめは行政担当者にも分かりやすいようかみ砕いた表現にした。 ③日中の光化学反応による Ox 生成量の指標として、1 日の最大値や最大値と最小値の差分など、別の指標についても検討した。 ④オゾン生成レジームについて、春季と夏季に分けた解析を実施した。
--------------	---

表 5.5 指摘を受けての対応(第 2 回検討会)

■既往研究の追加解析・アップデート	①NO タイトレーション効果について、$\angle\text{Ox}$ と $\angle\text{Titr}(\text{O}_3)$ の大小関係を定量的に判定するようにした。
■取りまとめについて	②既往研究の追加解析について、解析結果をひとまとめにした表を成果発表会の発表資料に追加した。 ③自治体の方に向けてかみ砕いた説明を成果集に記載した。 ④追加解析の結果について、自治体の方々から評価頂けたことを強調した。

6 考察

前駆物質濃度の経年的な低下傾向が続く中でオキシダント濃度の改善傾向は明確ではないことから、地方公共団体へのヒアリングでも、その要因解明を期待する声が多く挙がった。そこで、令和 4 年度の文献レビューに加え、令和 5 年度は地域での対策に重要と考えた 3 つの要因について解析を実施した。

「 NO タイトレーション効果」の解析は、夜間から早朝にかけてのオキシダントの生成が行われない時間帯を対象としている。得られた結果から、この時間帯のオキシダント濃度は一部の地域や期間を除き、増加傾向が見られた。オキシダント濃度の増加は NO タイトレーション効果の低下との関係性が見られたことから、 NOx 濃度が低下したことが一因と考えられる。また、 NO タイトレーション効果の低下で見込まれる濃度上昇分を下回ったことは、オキシダント濃度を低下させる別の要因があったと考えられ、越境汚染の変化もその一つであるが、文献レビューの結果からは近年にかけての変化を示す情報は得られなかった。また、文献では地域の上空に滞留したオキシダントが翌日の対流で地上のオキシダント濃度を上昇させることも指摘されていることから、次に示す日中のオキシダント生成が低下したことが影響したことも考えられる。

「前駆物質の排出量の削減効果」の解析は、オキシダントの日中と夜間の濃度差 (DPOx) を指標として、地域で日中に生成したオキシダント濃度と位置付けている。解析の結果、いずれの地域も DPOx は経年的に横ばいから低下傾向にあり、地域における前駆物質の削減効果が表れた結果と考えられた。前駆物質のうち NOx と VOC のどちらが影響しているか、次に地域毎のオゾン生成レジームを検討した。

「オゾン生成レジーム」の解析では、週末効果の反転現象が起こる、つまり、オキシダント濃度が上昇から下降に転じる NMHC/NOx 比を推定した。実際の NMHC/NOx 比が推定した NMHC/NOx 比に対して小さい場合には NMHC を削減することで、大きい場合には NOx を削減することでオキシダント濃度の低下が期待できる。

青梅の 2011 年度から 2015 年度の 7～8 月を対象に、NMHC/NO_x 比と DPO_x の関係をプロットした（図 6.1）。色付けした範囲の比は 5.2(2)で遷移領域とされた 10.0～21.3 であり、これよりも NMHC/NO_x 比が低い領域では NMHC が低いほど（NMHC/NO_x 比が低いほど）、NMHC/NO_x 比が高い領域では NO_x が低いほど（NMHC/NO_x 比が高いほど）DPO_x が低下した（オキシダント生成が抑制されている）ことは、前述の期待と矛盾しない。

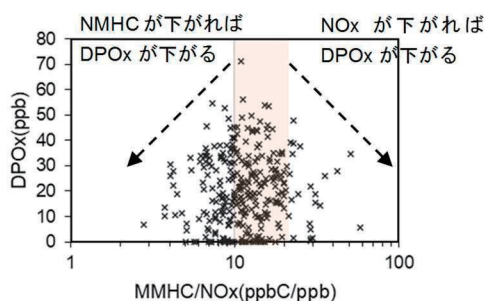


図 6.1 NMHC/NO_x 比と DPO_x の関係

7 総括

本研究では文献レビューを中心とした調査を実施し、さらに文献の手法を用いた解析で情報を補い、地域の光化学オキシダント汚染の特徴を他地域との比較も交えた取りまとめを行った。

令和 4 年度の文献調査では、オキシダントに関する文献を収集し、地域毎・要因毎に整理した。その結果、各地域のオゾン生成レジームの分布や前駆物質の排出量の削減効果等について、一定程度把握することが出来た。一方、研究対象とする地域や年代には文献数の偏りがあった。

その偏りを解消するため、オキシダント汚染の要因のうち、地域単位での対策立案に有用な「オゾン生成レジーム」、「NO タイトレーション効果」、「前駆物質の排出量の削減効果」に焦点をあて、整理した文献で示された解析の中から地域や年代を拡張することで有用な知見が得られるものを選定した。

令和 5 年度は、前年度選定した文献の手法を基に、5 地域（関東、東海、関西、瀬戸内、九州）30 年分のデータを用いて、「オゾン生成レジーム」、「NO タイトレーション効果」、「前駆物質の排出量の削減効果」に関する解析を実施した。その結果、夜間から早朝にかけてのオキシダント濃度と日中の光化学反応によるオキシダント生成量の両方について、今回解析対象とした一部の地域では前駆物質の排出量の削減効果が見られている可能性が示唆された。これらの解析結果について、地方公共団体の方からは過去の対策の効果の裏付けや今後の対策立案の指針として活用できるとの評価を頂いた。一方、実際の対策立案には VOC の成分分析など常時監視データのみではできない解析が必要であることなどをご指摘いただいた。

今後は、実際の対策立案に向けて、常時監視データだけではなく大気中の VOC の成分分析やモデルを用いた将来予測など幅広い調査が必要となってくる。

8 期待される成果の活用の方向性

- ◆ 文献調査の成果や解析結果については、地方公共団体の担当者が自身の地域のオキシダントに関する大気環境の状況把握や過去の対策効果の検証などに活用することが期待される。
- ◆ 地域独自のオキシダント対策や前駆物質の削減等の大気汚染対策に係る情報を収集した結果は、他の地域の対策立案の参考となり得る。

- ◆ 文献レビューにおいて取りまとめた文献のリストは、地方公共団体の担当者が自身の地域のオキシダントに関する過去の研究を調べる際に活用できる。
- ◆ 今回の既往研究の追加解析で使った解析手法はいずれも常時監視データのみを使用しているため、誰でも解析に必要なデータを入手することが出来る。本調査と同様の解析を行うことで、地方公共団体の担当者が過去の対策の効果の検証や今後の対策立案の指針を考案する際に活用することが期待される。そのため、自治体の担当者の方々に向けた今回の解析方法に関する解説を記載した(別添2、P.122)。

【学会発表・論文】

当該研究に関連するものについて

- ・塩手文也, 吉村有史, 遠藤智美, 高橋克行. 常時監視データを用いた国内5地域のオキシダント汚染の要因に関する解析. 第64回大気環境学会年会.産業技術総合研究所. (2023)
- ・吉村有史, 遠藤智美, 塩手文也, 柴崎みはる, 高橋克行. COVID-19 ロックダウン期間の世界各地の前駆物質濃度低下とオキシダント濃度との関係に係る文献調査. 第64回大気環境学会年会. 産業技術総合研究所. (2023)

- 1 井上和也, 吉門洋, 東野晴行. 関東地方における夏季地表オゾン濃度の NO_x, VOC 排出量に対する感度の地理分布 第 II 報 光化学指標の実測に基づく推定. 大気環境学会誌. 2010; 45(5): 195-204.
- 2 金道龍, 山口克人, 近藤明, 惣田訓. 大阪・兵庫地域における光化学オキシダント濃度と一次原因物質排出量の関係に関する研究, 大気環境学会誌. 2001; 36(3): 156-165.
- 3 勝間 孝. 香川県における新指標を用いた光化学オキシダント評価について. 香川県環境保健研究センター所報. 2019;18: 38-44.
- 4 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(首都圏を中心に). 大気環境学会誌. 2019; 54 (5): 185-193.
- 5 竹内庸夫. 観測データから見た近年の埼玉県における大気環境の状況と光化学オキシダント濃度推移の要因. 季刊全国環境研会誌. 2012; 37(4): 178-186.
- 6 山神真紀子. 光化学オキシダント濃度の日内変動の推移. 名古屋市環境科学調査センター年報. 2020; 9: 15-18.
- 7 福崎有希子, 石倉淳士, 星純也, 小森陽昇, 志村徹, 上野広行. 横浜市と東京都における夏季の揮発性有機化合物(VOC)同時観測調査. 大気環境学会誌. 2018; 53 (1), 13-24.
- 8 大原利眞, 鶴野伊津志, 黒川純一, 早崎将光, 清水厚. 2007 年 5 月 8,9 日に発生した広域的な光化学オゾン汚染—オーバービュー—. 大気環境学会誌. 2008; 43: 198-208.
- 9 黒川純一, 大原利眞, 早崎将光, 鶴野伊津志. ネスト版 RAMS/CMAQ 連携モデルによる 2007 年 5 月 8,9 日に発生した広域的な光化学オゾン汚染の解析. 大気環境学会誌. 2008; 43(4): 209-224.
- 10 Yoshino, A., Takami, A., Hara, K., Nishita-Hara, C., Hayashi, M., Kaneyasu, N.. Contribution of Local and Transboundary Air Pollution to the Urban Air Quality of Fukuoka. Japan, Atmosphere. 2021; 12(4): 431.
- 11 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. 2020; 55 (6): 248-251.
- 12 Fukunaga, A., Sato, T., Fujita, K., Yamada, D., Ishida, S., Wakamatsu, S.. Relationship between Changes over Time in Factors, Including the Impact of Meteorology on Photochemical Oxidant Concentration and Causative Atmospheric Pollutants in Kawasaki. Atmosphere. 2021; 12: 1072.
- 13 神成陽容. 関東・関西地域における光化学オキシダント濃度の週末効果に関する解析 第 2 報 ダイナミックに変化するオゾン生成レジームの検証. 大気環境学会誌. 2006; 41 (4): 220-233.

資料編

目次

1	地域毎の光化学オキシダントの高濃度要因に関する文献調査結果.....	22
1.1	オゾン生成レジーム	22
1.2	NO タイトレーション効果	26
1.3	前駆物質の排出量の削減効果.....	29
1.4	VOC 組成とオキシダント生成の関係	31
1.5	海風による内陸への輸送	35
1.6	循環・滞留など	39
1.7	長距離越境輸送の影響.....	42
2	既往研究の追加解析・アップデートで解析対象とした測定局	45
3	国内外の緊急事態宣言期間前後のオキシダント濃度に係る文献調査	47
3.1	日本	48
3.2	世界の各地域.....	56
3.3	世界の各地域と日本国内の NO _x 低減率と O _x 上昇率の比較.....	62
3.4	まとめ.....	62
4	大気汚染対策：NO _x 、VOC に係る国の規制等（1991 年以降を中心に）	64
4.1	固定発生源対策	64
4.2	移動発生源対策	66
4.3	独自性のある地方公共団体の取り組み	68
5	地域の研究者や行政担当者へのヒアリング.....	69
5.1	調査対象	69
5.2	調査内容	69
5.3	調査結果.....	70
6	オキシダント及び前駆物質濃度の経年変化.....	74
6.1	光化学オキシダント(O _x)日最高 8 時間値.....	74
6.2	光化学オキシダント(O _x)日最高値が 120 ppb 以上の日数	85
6.3	窒素酸化物(NO _x)濃度	91
6.4	非メタン炭化水素(NMHC)濃度.....	102
7	検討会の開催概要及び検討委員の指摘事項.....	113
7.1	令和 4 年度 第 1 回検討会	113
7.2	令和 4 年度 第 2 回検討会	116
7.3	令和 5 年度 第 1 回検討会	119
7.4	令和 5 年度 第 2 回検討会	120

1 地域毎の光化学オキシダントの高濃度要因に関する文献調査結果

1.1 オゾン生成レジーム

表 1.1-1 オゾン生成レジームに係る文献情報

地域区分	対象期間、地域	内容	文献
関東、関西	1990～2002年度 関東：1都6県 関西：滋賀県を除く2府3県	オゾン生成ポテンシャルの低い日ではほとんど全ての地点でOxの"週末上昇効果"がみられるものの、オゾン生成ポテンシャルが高くなるに従って、多くの地点で反転現象が見いだされた。類似した現象が空間的・体系的に生じており、比較的高いオゾン生成ポテンシャルの場合、発源地域では"週末上昇効果"がみられるが、発源地域から離れるに従って反転現象がみられた。オゾン生成レジームの時間・空間的变化があるものと推測された。	1
日本全域	2005～2019年 東アジア	2015年から2019年にかけて、NO ₂ の減少に伴い東アジア全域でHCHO(ホルムアルデヒド)/NO ₂ 比が増加しており、これはレジームがVOC律速からNOx律速に緩やかに移行していることを示唆するものである。	2
日本全域		NOx-limited および VOC-limited のO ₃ 生成に関する政策関連の議論に関するレビューから、NOx排出量の減少によるO ₃ の増加は、一般に光化学生産が少ない冬季および夜間に見られ、夏季のO ₃ の高パーセンタイルまたは日最高値はNOx排出量の減少に伴って減少する傾向があることが分かった。	3
関東	1990～2002年度 1都6県	NMHC/NOx比は時間空間的に多様であり、ダイナミックに変化していることがわかった。週末効果の反転現象を利用してHC-limitedとNOx-limitedの境界値をみつかり、関東ではNMHC/NOx=7～16(5-15時平均濃度による比)の間にあるものと推定した。	4
関東	1990～2011年度 関東1都6県	常時監視データを用いて前駆物質濃度とOx生成量との関係を解析した結果、関東地方は大局的にはVOC-sensitiveの状態にあった。	5
関東	2002年6月～8月 東京都、埼玉県、	オゾン高濃度日における地点ごとのオゾン日最高濃度に対する感度レジームの地理分布を推定した結果、都心部およびその周辺のわずかな地域ではVOC-sensitiveであるが、その他の地	6

- 1 神成陽容. 関東・関西地域における光化学オキシダント濃度の週末効果に関する解析 第1報 二種類の週末効果反転現象の発見. 大気環境学会誌. 2006; 41 (4): 209-219.
- 2 Itahashi, S., Irie, H., Shimadera, H., Chatani, S.. Fifteen-Year Trends (2005–2019) in the Satellite-Derived Ozone-Sensitive Regime in East Asia. A Gradual Shift from VOC-Sensitive to NOx-Sensitive. Remote Sensing. 2022; 14: 4512.
- 3 Akimoto, H., Tanimoto, H.. Rethinking of the adverse effects of NOx-control on the reduction of methane and tropospheric ozone—Challenges toward a denitrified society. Atmospheric Environment. 2022; 277: 119033.
- 4 神成陽容. 関東・関西地域における光化学オキシダント濃度の週末効果に関する解析 第2報 ダイナミックに変化するオゾン生成レジームの検証. 大気環境学会誌. 2006; 41 (4), 220-233.
- 5 上野広行, 齊藤伸治, 國領和夫. 関東地方の夏季高濃度Oxの長期的濃度変動要因の検討と前駆物質濃度削減効果の予測評価. 大気環境学会誌. 2015; 50 (6): 257-265.
- 6 井上和也, 安田龍介, 吉門洋, 東野晴行. 関東地方における夏季地表オゾン濃度のNOx, VOC排出量に対する感度の地理分布 第I報 大小2種類の植物起源VOC排出量推定値を入力した場合の数値シミュレーションによる推定. 大気環境学会誌. 2010; 45 (5): 183-194.

地域区分	対象期間、地域	内容	文献
	群馬県	域は大部分が NO _x - sensitive であると推定された。	
関東	2005 年 4 月～ 2008 年 3 月 東京都	週末効果は夏季だけではなく冬季にも見られ、週末効果が見られた日はレジームが NMHC 律速になる。しかし、一般的に NMHC 律速の場合の NMHC/NO _x 比は NO _x 律速の場合の NMHC/NO _x 比より小さくなるはずだが、週末効果が見られた日にはその傾向は見られなかった。	7
関東	2006 年 7 月、8 月 東京都、埼玉県	夏季の晴天・高温日のオゾンが日最高濃度を示す時間帯において、東京都・埼玉県内の 5 地点で同時にオゾン/全硝酸濃度比を求めた結果、都心部の 2 地点を除くすべての地点で NO _x - sensitive であると推定された。	8
関東	2013 年度 栃木県小山市	注意報発令日において NMHC/NO _x 比が高い傾向を示した。	9
関東	2017 年 8 月 21 ～28 日 つくば市	オゾン発生量は朝と夕方は VOC 律速、日中は NO _x 律速になり、このレジームの変動は主に NO の枯渇によって引き起こされている。また、午前中の VOC 律速の時間帯の影響により、その日全体のレジームが決定されている。	10
関東	2030 年の改善ケ ース 東京都、群馬県	オゾン生成量の等値線図を参考に NO _x 及び VOC の推計濃度をグラフにプロットすると、東京都は VOC 律速の状態、群馬県は混合律速の状態となる。	11
東海	2002～2006 年度 岐阜県	O _x が 100ppb 以上の高濃度日は 60ppb 未満の環境基準を超えない日に比べて、NMHC 濃度が高く、逆に NO _x 濃度が低い傾向を示し、NMHC/NO _x 比が高い結果となった。	12
東海	2005 年 6 月 25 日 愛知県名古屋市	高濃度日を対象としたシミュレーションモデルによる計算結果では、NO _x 排出量を 2005 年度比で約 70%以下に削減することで O _x 濃度の改善に効果が現れ、VOC 排出量の削減ではほとんど効果が現れないことが示唆された。	13
東海	2018 年度 静岡県	感度レジームの状態は、2 局はやや NO _x 律速領域寄り、1 局はやや VOC 律速領域寄りにあるが、ほぼ遷移領域に近く、残る 4 局は遷移領域に位置していた。	14

- ⁷ Sadanaga, Y., Sengen, M., Takenaka, N., Bandow, H..Analyses of the ozone weekend effect in Tokyo, Japan: regime of oxidant (O₃+ NO₂) production. Aerosol and Air Quality Research. 2012; 12: 161–168.
- ⁸ 井上和也, 吉門洋, 東野晴行.関東地方における夏季地表オゾン濃度の NO_x, VOC 排出量に対する感度の地理分布 第 II 報 光化学指標の実測に基づく推定. 大気環境学会誌. 2010; 45 (5): 195-204.
- ⁹ 齋藤由実子, 石原島栄二, 館野雄備, 篠崎絵美. 栃木県における光化学オキシダントの特性解析調査 (第 3 報). 栃木県保健環境センター年報. 2014; 19: 91-98.
- ¹⁰ Sakamoto, Y., Sadanaga, Y., Li, J., Matsuoka, K., Takemura, M., Fujii, T., Nakagawa, M., Kohno, N., Nakashima, Y., Sato, K., Nakayama, T., Kato, S., Takami, A., Yoshino, A., Murano, K., Kajii, Y. : Relative and absolute sensitivity analysis on ozone production in Tsukuba, a city in Japan. Environmental Science & Technology. 2019; 53: 13629–13635.
- ¹¹ 齋藤元, 朝日弘美. 発電時の大気汚染物質を考慮した電気自動車の環境影響評価. 日産技報. 2021; 87: 101-106.
- ¹² 角田寛. 岐阜県における最近 5 ケ年の光化学オキシダントの状況. 岐阜県保健環境研究所報. 2008; 27: 1-8.
- ¹³ 荒川翔太, 山神真紀子, 高柳聡子. 光化学オキシダントの NO_x, VOC 排出量削減による改善効果の推定. 名古屋市環境科学調査センター年報. 2015; 3: 36-41.
- ¹⁴ 小田祐一, 結城茜. 静岡県における光化学オキシダントの濃度推移とオゾン感度レジーム. 静岡県環境衛生科学研究所報告. 2021; 63: 59-64.

地域区分	対象期間、地域	内容	文献
関西	1988～2008 年 大阪府	常時監視データによるレジーム解析の結果、NO _x 律速の局が多いため非メタン炭化水素(NMHC)濃度が低下しても、PO 濃度の低下はわずかにとどまった。また NMHC 濃度が低い局では、HC 対策の効果は顕れず、PO 濃度が上昇した。	15
関西	1990～2002 年度 滋賀県を除く 2 府 3 県	NMHC/NO _x 比は時間空間的に多様であり、ダイナミックに変化していることがわかった。週末効果の反転現象を利用して HC - limited と NO _x - limited の境界値をみつもり、関西では NMHC/NO _x =6～12 (5 - 15 時平均濃度による比)の間にあるものと推定した。	4
関西	1991～1995 年 大阪・兵庫	2 ボックスモデルにより大阪、阪神地域では HC 排出量の削減により O ₃ 濃度は減少するが、HC 排出量の削減が無く、NO _x の排出量削減率が小さいとオゾン濃度は増加することが示された。播磨地域では HC 排出量の削減により O ₃ 濃度はほとんど減少しないが、NO _x の排出量削減により O ₃ 濃度は顕著に低下した。	16
関西	2006～2008 年、 4～9 月 大阪府	平日 - 土曜間について NO _x と Ox(O ₃ と NO ₂ の和)濃度の変動からオゾン生成レジームについて推定すると 2006 年の平日から土曜にかけては境界領域、2007 年の平日は MMCs - limited、2008 年の土曜は NO _x - limited であるとされた。	17
瀬戸内	1974 年度～2018 年度 香川県	NMHC/NO _x 比を解析し、香川県での直近 10 年間の光化学オキシダントは NO _x 律速側の状態であった。	18
九州	2018 年 6 月～8 月 福岡県	高濃度日を対象に化学輸送モデルを用いて解析した結果、VOC 排出量削減が福岡県内のオゾン濃度変化に与える影響は小さく、NO _x 排出量削減は NO _x 排出量の多い福岡市・北九州市を含む福岡県北側ではオゾン濃度が増加させ、福岡市より南側のエリアでは減少させることが判った。	19

-
- ¹⁵ 山本勝彦. 大阪における光化学オキシダント生成レジームに関する考察. 大阪府立環境農林水産総合研究所研究報告(Web). 2014; 1: 9-14.
- ¹⁶ 金道龍, 山口克人, 近藤明, 惣田訓. 大阪・兵庫地域における光化学オキシダント濃度と一次原因物質排出量の関係に関する研究. 大気環境学会誌. 2001; 36(3): 156-165.
- ¹⁷ 藤原大, 定永靖宗, 竹中規訓, 坂東博. 大阪府におけるオゾンとその前駆物質の週内変動. 大気環境学会誌. 2012; 47(2): 75-80.
- ¹⁸ 勝間 孝. 香川県における新指標を用いた光化学オキシダント評価について. 香川県環境保健研究センター所報. 2019; 18: 38-44.
- ¹⁹ 山村由貴, 力 寿雄, 中川修平, 山本重一. 福岡県における地域汚染由来の高濃度オゾンに対する NO_x, VOC 排出量削減の効果. 全国環境研会誌. 2020; 45 (4): 51-61.

表 1.1-2 各地域の「オゾン生成レジーム」に関する文献の概要

地域	概要
関東	・ 関東においてオゾン/全硝酸比からオゾン生成レジームを推定した研究では、都心部は VOC 律速となる一方、郊外は NO_x 律速になる。(井上ら, 2010⁸) ・ つくば市では、同じ地点でも時間帯や時期によりレジームが変化する場合がある。(Sakamoto et al., 2019¹⁰)
東海	・ 名古屋市で平成 17 年に観測されたある高濃度日について、NO_x 及び VOC の排出削減効果をシミュレーションしたところ、市内のいずれの測定局でも NO_x 排出量を 70%以下に削減することで効果が見られたのに対し、VOC 排出量の削減ではほとんど効果は見られなかった。(荒川ら, 2015¹³) ・ 静岡県において感度レジームの検証を行ったところ、7 局中 2 局がやや NO_x 律速領域、1 局が VOC やや律速領域、残りの 4 局は遷移領域にあるという結果になった。(小田と結城, 2020¹⁴)
関西	・ 大阪・兵庫地域において HC と NO_x の排出削減効果をシミュレーションしたところ、西宮市と大阪市は HC の削減無しに NO_x を削減するとオキシダント濃度が増加するのに対し、播磨町では HC 削減の有無にかかわらず NO_x 削減によりオキシダント濃度は減少する。(金ら, 2001¹⁶)
瀬戸内	・ 香川県において、NMHC/NO_x 比によりレジームを推定すると NO_x 律速側となった。(勝間, 2019¹⁸)
九州	・ VOC 排出量削減が福岡県内の O₃ 濃度変化に与える影響は小さく、NO_x 排出量削減は NO_x 排出量の多い都市を含む福岡県北側では O₃ 濃度を増加させ、福岡市より南側のエリアでは減少させることが判った。(山村ら, 2020¹⁹)

1.2 NO タイトレーション効果

表 1.2-1 NO タイトレーション効果に係る文献情報

地域区分	対象期間、地域	内容	文献
関東 東海 関西 九州	2003～2005 年度、 2010～2015 年度	2003～2005 年度に対する 2010～2015 年度の夜間の O _x 濃度変化に関して、夏は O _x 増加幅が NO タイトレーションの減少幅を下回る傾向があり、春は逆に O _x 増加幅の方が大きい傾向があった。	20
関東	1985 年度、1995 年度、2005 年度 川崎市田島局	8 月の田島局では、O _x 日最高濃度は、NO による O _x 生成の緩和作用と NMHC による O _x 生成の促進作用が競合した結果に強く影響されると考えられた。	21
関東	1989 年度～2011 年度、埼玉県	最近の地域間濃度差の減少には一酸化窒素濃度低下によるオゾン分解の減少が関与していると推定された。	22
関東	1995 年～2008 年	日曜日の早朝は NO を排出する大型トラックの走行量が少なくなるため、NO _x に占める NO ₂ の比率が増加する。オゾン発生を抑制する NO が少なくなると、NO ₂ から光解離したオゾンが蓄積するためと考えられる。	23
関東	2001 年度～2011 年度 群馬県	過去 10 年間の O _x 濃度の変動を解析した結果、O _x 濃度はほぼ全ての調査地点で増加傾向にあり、特に都市部で顕著であった。原因の一つとして低濃度側のボトムアップを示したが、その理由として他地域からの移流及び NO _x 濃度の低下に加えて O _x 濃度の測定法の変更及び成層圏オゾンの降下量増進が示唆された。	24
関東	2003 年 7～8 月 千葉県	船橋市印内における O _x 高濃度日における NO は O ₃ が高いときに非常に低く推移する。	25
関東	2009～2012 年度、 2016～2019 年度 群馬県	PO 濃度を比較した結果、O _x 濃度増加の要因の一つとして NO _x 減少による NO タイトレーション効果の低下が示唆された。	26
関東	2018 年 7 月 23～24 日	オゾンゾンデ観測データでは、O ₃ 濃度は放球時から高度が上がるにつれて徐々に上昇し、同時刻に上空 300 m 程度までは海風が卓越していたため、その範囲では海域から同一の空気塊が流入していたものと考え、その高度までの O ₃ 濃度の鉛直勾配には	27

²⁰ 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(首都圏を中心に). 大気環境学会誌. 2019; 54 (5): 185-193.

²¹ 竹内浄, 関昌之, 井上康明, 岩瀬義男. 川崎市田島局における光化学オキシダント濃度と一酸化窒素濃度に関する研究. 大気環境学会誌. 2009; 44 (1): 52-57.

²² 竹内庸夫. 観測データから見た近年の埼玉県における大気環境の状況と光化学オキシダント濃度推移の要因. 季刊全国環境研会誌. 2012; 37(4): 178-186.

²³ 石井康一郎, 上野広行. 東京都周辺における 1995 年から 2008 年の夏期高濃度オキシダントの出現状況の変化. 東京都環境科学研究所年報. 2011; 2011: 145-151.

²⁴ 一条美和子, 齊藤由倫, 熊谷貴美代, 田子博. 近年における群馬県内の光化学オキシダントに関する考察. 群馬県衛生環境研究所年報. 2013; 45: 30-37.

²⁵ 押尾敏夫. 光化学オキシダントによる大気汚染に関する研究. 千葉県環境研究センター年報. 2007; 5: 68-69.

²⁶ 坂本祥一, 熊谷貴美代, 田子博. 群馬県における近年の光化学オキシダント汚染状況の変化. 群馬県衛生環境研究所年報. 2020; 52: 35-42.

²⁷ 櫻井達也, 山谷柚香, 吉岡実里, 大森大悟. オゾンゾンデ観測に基づく首都圏光化学オキシダント高濃度事象の解析. 大気環境学会誌. 2020; 55 (5): 230-239.

地域区分	対象期間、地域	内容	文献
		NO タイトレーション効果の関与があったと考えた。	
東海	1993 年度 愛知県名古屋市	NO、NO ₂ 、オゾンの連続観測から、オゾン生成消滅に関わる反応の内、NO _x が最も関与している点を実証できた。また、オゾン生成で NO _x がおおむね主体となるものの炭化水素の影響も重畳していることが把握できた。	28
東海	2007 年 5 月～9 月 愛知県	朝方の高濃度の NO は局所的な朝方の O _x 濃度を下げっており、朝方の高濃度の NO ₂ や NMHC が、広域的に O _x 濃度を上げていることが示唆された。	29
関西	2006 年～2008 年の 4 月～9 月、大阪府	NO による O ₃ 消失反応について週末を土曜と日曜に分けて考えると 2006 年の平日から土曜および 2008 年の平日から土曜、土曜から日曜のオゾン濃度増加については大きな寄与を示していると考えられた。	17
関西	2008 年 兵庫県	O ₃ 濃度の数値解析の結果、5 月は日本海側から流入した気塊が兵庫県下全域を覆い、地域的に排出された NO _x (NO)による O ₃ の消失反応により O ₃ 濃度の空間分布が生じていると考えられた。	30
瀬戸内	1974 年度～2018 年 度 香川県	1981 年から 2017 年までの光化学オキシダントの漸増が NO タイトレーション効果の減少によるものであることが推察された。	18
瀬戸内	2011 年～2019 年 山口県	北部地域が他の地域より高いのは、北部地域の測定局周辺には工場等の汚染発生源がないため、一酸化窒素による O _x の消費が少ないこと、地理的要因により越境汚染があった場合にはその影響を受けやすいためと考えられる。	31

²⁸ 竹川秀人, 箕浦宏明. 大気環境 都市大気の実態と挙動解析 汚染大気の光化学反応. 豊田中央研究所 R&D レビュー. 2000; 35 (1): 13-20.

²⁹ 川上七恵. 光化学オキシダント高濃度時の NO, NO₂, NMHC に関する研究—愛知県における日ごと及び測定局ごとの解析—. 愛知県環境調査センター所報. 2009; 36: 1-6.

³⁰ 坂本美徳, 嶋寺光, 瀬戸文久, 近藤明, SHRESTHA Kundan Lal, 加賀昭和, 井上義雄, 平木隆年. 数値解析による兵庫県内の光化学オキシダントの濃度分布及び季節変動要因の検討. 大気環境学会誌. 2010; 45 (2): 89-95.

³¹ 隅本典子, 長田健太郎. 山口県における光化学オキシダント監視状況について. 山口県環境保健センター所報. 2021; 62: 54-58.

表 1.2-2 各地域の「NO タイトレーション効果」に関する文献の概要

地域	概要
関東	・ 8 月の川崎市では、Ox 濃度の日最高値と 5 時の NO 濃度の間にトレードオフの関係が認められた。(竹内ら, 2009²¹⁾) ・ NO 濃度の低下による O₃分解の減少が原因となり、Ox の日最高値について埼玉県内の地域間の差が小さくなっている。(竹内, 2012²²⁾)
東海	・ 愛知県では、朝方に NO 濃度の上昇が起こることで朝方の Ox 濃度の平均値が低下する現象が局所的に見られている。(川上, 2009²⁹⁾)
関西	・ 兵庫県内における O₃濃度の月平均値の空間分布は、局所的に排出された NO による O₃の消失反応によって決定される。(坂本ら, 2010³⁰⁾)
瀬戸内	・ 香川県では 1981 年から 2017 年までの光化学オキシダントの環境基準超過時間の漸増が NO タイトレーション効果の減少によるものであることが推察された。(勝間, 2019¹⁸⁾) ・ 山口県内における Ox 濃度の年平均値の地域差について、北部地域には工場等の汚染発生源がないため、NO による Ox の消費が少ないことが考えられる。(隅本と長田, 2021³¹⁾)
九州	・ 吉門, 2019(後述)以外に該当する情報なし。

1.3 前駆物質の排出量の削減効果

表 1.3-1 前駆物質の排出量の削減効果に係る文献情報

地域区分	対象期間、地域	内容	文献
関東、東海、近畿	2000 年 8 月 3 日（関東）、2000 年 7 月 19 日（東海、近畿）	光化学オゾン濃度および人口曝露を緩和するための VOC 排出削減の効果を日本上空で推定した。大気シミュレーションにより VOC を削減したエリアでは、効果が最大で 10 倍と大きく異なり、この効果の空間分布と産業の排出源位置データを用いて計算したところ、川上産業（石油製品、石炭製品など）は川下産業（プラスチック製品など）よりも高い削減効果を示した。	32
関東	1989 年度～2011 年度、埼玉県	2005 年度以降の高濃度出現の減少傾向には揮発性有機化合物対策の効果が現われていると推定された。	22
関東	1990 年から 2019 年 神奈川県川崎市	日中平均の Ox 濃度から前日の夜間平均の Ox 濃度を差し引いた値であるオキシダント生成量（DPOx）は、4 月から 10 月にかけては 2006 年頃から減少傾向にあり、この指標は川崎市の NOx や VOC の排出量削減の効果を反映していることが分かりました。	33
関東	2000 年～2005 年	NOx と VOC の削減は、東京都心周辺地域の日中の最大オゾン濃度の上昇に寄与しているが、関東地方の他の地域では減少していることが確認された。NOx 削減のケースでは、平野部の広い範囲で日中の最大オゾンが増加した。一方、VOC の削減は関東全域でオゾン濃度の低減に効果的に作用した。	34
関東	2000～2011 年	検討対象である関東平野中央部の全体としては、NMHC 濃度低減の効果により Ox 高濃度日が顕著に減少したと判定できた。	35
関東	2001 年～2021 年 東京都	ポテンシャルオゾンは夏季の昼間に減少が見られ、これは VOC 等の低減効果によるものと考えられた。	36
関東	2030 年の改善ケース	化学物質輸送モデルにより大気汚染物質の平均大気中濃度の 2030 年の増減を推定した結果、BEV 導入による NOx 濃度の減少を確認することができた一方で、オゾン濃度の僅かな上昇も確認することができた。	11
東海	2011～2018 年度 愛知県名古屋市	Ox の常時監視測定局における ΔOx（日最高値と日最低値の差分）の経年的変化は、14 局中 12 局で低下傾向にあり、排出量の削減効果が表れていた。	37

- ³² Inoue, K., Tonokura, K., Yamada, H.. Modeling study on the spatial variation of the sensitivity of photochemical ozone concentrations and population exposure to VOC emission reductions in Japan. Air Quality, Atmosphere & Health. 2019; 12: 1035–1047
- ³³ Fukunaga, A., Sato, T., Fujita, K., Yamada, D., Ishida, S., Wakamatsu, S.. Relationship between Changes over Time in Factors, Including the Impact of Meteorology on Photochemical Oxidant Concentration and Causative Atmospheric Pollutants in Kawasaki. Atmosphere. 2021; 12: 1072.
- ³⁴ Kiriya, Y., Hayami, H., Itahashi, S., Shimadera, H., Miura, K., Nakatsuka, S., Morikawa, T.. Effect of Nox and VOC controls for surface ozone concentration in summertime in Kanto region of Japan. Journal of Japan Society for Atmospheric Environment. 2015; 50: 8–15.
- ³⁵ 吉門洋. 首都圏周辺における非メタン炭化水素濃度低減の実態と高濃度オゾン低減効果の検証. 大気環境学会誌. 2015; 50 (1): 52-57.
- ³⁶ 齊藤伸治, 上野広行. 光化学オキシダント対策の効率的な推進に関する研究(2)—近年の窒素酸化物濃度の減少傾向の特徴と光化学オキシダント濃度に与える影響—. 東京都環境科学研究所年報. 2013; 2013: 10-15.
- ³⁷ 山神真紀子. 光化学オキシダント濃度の日内変動の推移. 古屋市環境科学調査センター年報. 2020; 9: 15-18.

表 1.3-2 各地域の「前駆物質の排出量の削減効果」に関する文献の概要

地域	概要
関東	・ 2002 年以降の 10 年間に於いて、関東平野中央部では NMHC 濃度の低下によりオキシダント高濃度日が顕著に減少した。(吉門, 2015³⁵) ・ 川崎市において DPOx(日中の平均濃度と夜間の平均濃度の差分)という指標を過去 30 年にわたって算出したところ、2006 年以降 DPOx は減少傾向となり、対策の効果が見られた(Fukunaga et al., 2021³³)
東海	・ ΔOx(日最高値と日最低値の差分)の経年変動を用いて名古屋市の前駆物質の排出量削減効果を検証すると、市内の測定局 14 局中 12 局で削減効果が見られていた。(山神, 2020³⁷)
関西	情報なし。
瀬戸内	情報なし。
九州	情報なし。

1.4 VOC 組成とオキシダント生成の関係

表 1.4-1 VOC 組成とオキシダント生成の関係に係る文献情報

地域区分	対象期間、地域	内容	文献
関東	2000～2001 年度 東京都	都内自排局と一般局各 1 局の VOC 濃度をオゾン生成能で評価すると、光化学オキシダントの増加にはアルケン類や芳香族炭化水素類が重要な役割を果たしていることが示唆された。	38
関東	2005 年度夏季 埼玉県	ベンゼンと 1,3 - ブタジエン、キシレンとエチルベンゼンでは、その光化学反応に起因する日中変化の違いを呈し、特に午後におけるベンゼンとエチルベンゼン濃度が Ox 最高濃度との相関が認められ、VOC 供給量の指標と考えてよいことがわかった。	39
関東	2005～2006 年 埼玉県	オゾン生成能としては、アルケン、芳香族炭化水素、アルデヒドが大きい寄与を示した。風上側の県南部地域における日中の VOC の高濃度化が、風下側である北部地域の Ox 高濃度への影響を示唆する事例が認められた。	40
関東	2005～2009 年度 千葉県	市原岩崎西一般環境大気測定局において、Ox 濃度が 100 ppb を超える高濃度日に注目した結果、Ox 濃度上昇に対する非メタン系炭化水素や M-VOC の影響が有意であることが判明した。	41
関東	2006 年度 東京都	大田区東糀谷一般環境大気測定局で一時間毎観測を試行した。時刻変動や PRTR 届出排出量との比較から、物質毎に自動車や塗装、金属加工等の事業所の影響が推測され、地域の VOC 排出状況を顕著に反映していることが明らかになった。	42
関東	2008 年度 東京都	江東、世田谷及び八王子での調査では、植物起源 VOC は夏季に高濃度を示し、八王子で最も高い濃度を示した。全 VOC に対する植物起源 VOC の割合は、大気濃度では約 5%であり、推定した Ox 生成能では 15～20%であった。	43
関東	2010 年度～2011 年 度 東京都	CMB 解析の結果、Ox 生成に重要な VOC 発生源は、ガソリン車排出ガス、ディーゼル車排出ガス、ガソリン蒸気(給油ロス)、ガソリン蒸気(Diurnal Breathing Loss:DBL)、塗装、植物起源のイソプレンの 6 種であり、寄与の大きい VOC 成分は、ディーゼル車排出ガスではエチレン、ホルムアルデヒド、ガソリン車排出ガスと塗装ではトルエン等の芳香族化合物、ガソリン蒸発ガス(給油	44

³⁸ 星純也, 天野冨子, 大橋毅, 佐々木裕子, 芳住登紀子. 大気環境 大気中 VOC モニタリングデータを用いた排出源およびオゾン生成能の評価. 東京都環境科学研究所年報. 2005; 2005: 93-101.

³⁹ 竹内庸夫, 唐牛聖文. 郊外地域における揮発性有機化合物の濃度変動解析. 埼玉県環境科学国際センター報. 2006; 6: 61.

⁴⁰ 竹内庸夫, 松本利恵, 唐牛聖文. 埼玉県における揮発性有機化合物の地域的時間的濃度変動の特徴と光化学オキシダントとの関係. 大気環境学会誌. 2012; 47 (3): 127-134.

⁴¹ 竹内和俊, 渡邊剛久, 石井克巳, 内藤季和, 中西基晴. 揮発性有機化合物の光化学反応に関する一考察. 千葉県環境研究センター年報. 2012; No.10: 167-174.

⁴² 名取雄太, 清宮隆治, 芳住登紀子, 鎌滝裕輝, 藤田進. VOC 連続測定データからみた大気中 VOC 濃度の特徴. 東京都環境行政交流会誌. 2008; 31: 1-4.

⁴³ 石井真理奈, 上野広行, 石井康一郎. 環境中の植物起源 VOC 濃度測定. 東京都環境科学研究所年報. 2009; 2009: 118-122.

⁴⁴ 上野広行, 内田悠太, 内田悠太, 石井康一郎, 石井康一郎, 齊藤伸治, 秋山薫, 横田久司. 東京都における大気中揮発性有機化合物の組成と OH ラジカルとの反応による消失を考慮した CMB 解析. 大気環境学会誌. 2015; 50 (5): 207-225.

地域区分	対象期間、地域	内容	文献
		ロス、DBL)ではアルケンであった。	
関東	2013 年夏季 東京都	一般局 2 地点において、夏季 3 日間、3 時間毎に大気を採取し、VOC 139 成分の測定を行った結果、ホルムアルデヒドが突出してオゾン生成能(濃度×MIR)が高く、続いてアセトアルデヒド、トルエン、エチレン等が高かった。	45
関東	2013 年 8 月 8 日 神奈川県	PO との相関は、沿岸部ではアルケン類とアルデヒド類、内陸部ではイソブレンが高かった。沿岸部は内陸に比べ i-ペンタンと n-ペンタンの最大オゾン推計濃度が高い傾向であった。	46
関東	2014 年 東京都、神奈川県	夏季の Ox 高濃度日に、南側から北側にかけて Ox 濃度やホルムアルデヒド濃度の上昇とピーク時間の遅れがみられた。空気塊の移動を推測した結果、芳香族やアルケン類について移動前後での濃度の減少がみられた。	47
関東	2014 年 7 月～8 月 栃木県小山市	小山市をモデル地域とした Ox 濃度削減対策として、特に Ox が高濃度になる 7、8 月に、キシレン・トルエン・エチルベンゼンといった芳香族化合物の排出量を削減することが重要である。	48
関東	2015 年 東京都、神奈川県	空気塊が南から北側の調査地点へ移動するに従い、アルデヒド類や Ox の濃度が上昇し、またその移流時間が長い方がアルデヒド類及び Ox 濃度の上昇幅が大きく、芳香族類の濃度が減少する傾向を確認した。	49
関東	2015 年 7 月 21 日及び 8 月 6 日 神奈川県横浜市、東京都	海風による移流前後で Ox 濃度とアルデヒド類の最大オゾン生成能が増加し、アルケンと芳香族の最大オゾン生成能が減少し、とくに、m,p-キシレン、m,p-エチルトルエン、1,2,4-トリメチルベンゼン、1,2,3-トリメチルベンゼンの減少率が高く、これらの芳香族成分が首都圏における高濃度 Ox 生成に大きく寄与している可能性が示唆された。	50
関東	2017 年 東京都	23 区南部の工業地域の VOC 測定の結果、物質により地点間の差が大きいものと小さいものがあり、前者は近くにその発生源がある成分、後者は調査対象地域外からの移流の影響が大きい成分と考えられた。	51

- ⁴⁵ 石倉淳士, 上野広行, 星純也, 松永壮, 秋山薫, 齊藤伸治, 増田龍彦. 都内 2 地点における大気中の揮発性有機化合物の濃度変動とその成分特性. 東京都環境科学研究所年報. 2014; 2014: 3-30.
- ⁴⁶ 福岡有希子, 小森陽昇, 志村徹. 平成 25 年度光化学オキシダントに係る揮発性有機化合物(VOC)の調査. 横浜市環境科学研究所報. 2015; 39: 6-10.
- ⁴⁷ 石倉淳士, 福岡有希子, 星純也, 松永壮, 志村徹, 小森陽昇, 上野広行. 夏季の海風による移流に伴う VOC 濃度及び組成変化の把握—横浜市環境科学研究所との共同調査—. 東京都環境科学研究所年報. 2015; 2015: 6-7.
- ⁴⁸ 齋藤由実子, 石原島栄二, 舘野雄備, 篠崎絵美. 栃木県における光化学オキシダントの特性解析調査 (第 4 報). 栃木県保健環境センター年報. 2015; 20: 50-59.
- ⁴⁹ 石倉淳士, 福岡有希子, 星純也, 上野広行, 志村徹, 小森陽昇. 夏季の海風による移流に伴う VOC 濃度及び組成変化の把握—横浜市環境科学研究所との共同調査—(2). 東京都環境科学研究所年報. 2016; 2016: 40-41.
- ⁵⁰ 福岡有希子, 石倉淳士, 星純也, 小森陽昇, 志村徹, 上野広行. 横浜市と東京都における夏季の揮発性有機化合物(VOC)同時観測調査. 大気環境学会誌. 2018; 53 (1): 13-24.
- ⁵¹ 小林芳久, 高橋和清, 國分優孝, 永岡保行. 工業地域における多地点での VOC 濃度調査. 東京都環境科学研究所年報. 2018; 2018: 44-45.

地域区分	対象期間、地域	内容	文献
関東	2017 年 9 月 27 日 茨城県	植物起源 VOC のイソプレン及びピネンのオゾン生成能は常陸那珂東海で合計して $13.8 \mu\text{g} - \text{O}_3/\text{m}^3$ で、VOC 全体に対する割合は 16.1%であった。	52
関東	2020 年 4 月～10 月 茨城県	東海、ひたちなか地域では植物起源 VOC は 10%未満で、オゾン生成への寄与は小さいと考えられたが、その他の VOC 成分からオゾン生成能を評価し、大気中の VOC がオゾン生成に関与していることが示唆され、光化学オキシダント実態把握に繋がった。	53
関西	1991 年～1995 年 大阪府	2 ボックスモデルを用いて、8 月の晴天時を仮定した計算結果から、大阪では HC 排出量の削減によりオゾン濃度は減少するが、HC 排出量の削減が無い場合には、NOx の排出量削減率が小さいとオゾン濃度は増加することが示された。	16
関西	2004 年度 四季各 5 日間 関西地域 4 地点	VOC 濃度と OH ラジカル反応速度定数の積を Ox 生成の指標とした場合、アルケン類やトルエン、キシレンが重要であり、夏季はイソプレンも反応性の観点から重要な役割を示すと考えられた。また、四季を通じてガソリン蒸気、ガソリン自動車排ガスが主要な発生源として寄与している可能性が示唆された。	54
関西	2005～2011 年 大阪府	VOC32 物質について算出した最大オゾン生成推計濃度は、トルエン、キシレン、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド及び 1,2,4-トリメチルベンゼンが高い結果であった。	55
関西	2005 年 4 月～2011 年 3 月 大阪府	月 1 回 24 時間の VOC64 物質の測定を行い、そのうちの 32 物質について最大オゾン生成推計濃度を算出した。いずれの地点も濃度はトルエン、アセトン、酢酸エチル、ノルマルブタンが高いのに対し、最大オゾン生成推計濃度では、トルエン、キシレン、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド及び 1,2,4-トリメチルベンゼンが高い結果であった。	56

- ⁵² 茨城県霞ケ浦環境科センター. 茨城県における光化学オキシダントの高濃度現象に関する研究. 茨城県霞ケ浦環境科学センター年報. 2019; 14: 141-143.
- ⁵³ 茨城県霞ケ浦環境科センター. 茨城県における光化学オキシダントの高濃度現象に関する研究(第 1 報). 茨城県霞ケ浦環境科学センター年報. 2016; 10: 144-148.
- ⁵⁴ 佐々木 寛介, 坂本 和彦. 関西地域における VOC 組成と発生源寄与の季節変動. 大気環境学会誌. 2007; 42(4): 219-233.
- ⁵⁵ 中戸 靖子, 宮本 弘子, 西村 理恵, 上田 真彩子. 大阪府における大気中揮発性有機化合物(VOC)濃度とオゾン生成への寄与について. 大阪府環境農林水産総合研究所. 2012; 5: 13-18.
- ⁵⁶ 梶原佑介, 力寿雄, 馬場義輝, 山村由貴, 中川修平, 濱村研吾. 光化学オキシダント及び PM2.5 生成に寄与する揮発性有機化合物(VOC)の発生源寄与解析. 福岡県保健環境研究所年報. 2019; 46: 77-82.

表 1.4-2 各地域の「VOC 組成とオキシダント生成の関係」に関する文献の概要

地域	概要
関東	・ 横浜市と東京都の 2 地点間の移流前後での VOC 成分毎の最大オゾン生成能は、アルデヒド類では Ox とともに増加した一方、アルケンと芳香族炭化水素では低下した。(福崎ら, 2018⁴⁶) ・ 東京都においてオキシダント生成に重要な VOC 発生源は、ガソリン車排出ガス、ディーゼル車排出ガス、ガソリン蒸気(給油ロス)、ガソリン蒸気(DBL)、塗装、植物由来のイソプレンの 6 種類であった。(上野ら, 2015⁴⁴)
東海	情報なし。
関西	・ 大阪府では、トルエン類やキシレン類の大気中濃度の減少に伴い光化学反応により生成されたと考えられるオキシダントの濃度も減少している。(中戸ら, 2012⁵⁵)
瀬戸内	情報なし。
九州	・ 福岡県では、オキシダント濃度の 2 時間平均値との負の相関が最も大きいのは 1,3-ブタジエン(自動車排ガス成分)であり、自動車排ガスがオキシダント生成に強く寄与していることが示唆された。(梶原ら, 2019⁵⁶)

1.5 海風による内陸への輸送

表 1.5-1 海風による内陸への輸送に係る文献情報

地域区分	対象期間、地域	内容	文献
関東	1989～1991 年及び 1999～2001 年 東京都・埼玉県と群馬県南東部	10 年間で海風の内陸進入パターンの速い日の頻度が増加しており、速い日は東京や埼玉南部の Ox 濃度レベルはあまり変化がなく、より内陸部で 90 年頃よりも高濃度になっている。遅い日のグループでは全域的に午後の Ox 濃度が大幅に増加した。	57
関東	1990～2010 年 東京都、埼玉県東部	Ox 高濃度の日数とともに海風日に限った出現率も 90 年代に比べ 2000 年以降は急増した。高濃度出現地域の傾向的变化に結びつく海風型の出現傾向の年代的变化は、東日本をとりまく夏季気圧配置傾向の 10 年スケールの変動と関連付けられ、より長いスケールの気候変動との関連も疑われる。	58
関東	1990 年から 2011 年	7、8 月の北関東において Ox 濃度が高くなる日には 9 時ごろに東京湾や相模湾からの海風が発達し、南関東において Ox 濃度が高くなる日には 13 時ごろに鹿島灘からの海風が発達していた。	59
関東	1994 年 9 月 神奈川県丹沢	京浜工業地帯から移送し相模湾上で生成した高濃度オゾンや酸性物質は海風により樹木の枯損が目立つ山頂近い南斜面地域まで移送されていることが確認できた。更に駿河湾風と混合希釈されて山梨県方面への移送、相模湾の二次汚染物質の相模湖方面への移送及び東京湾から大月方面への直接侵入等について報告した。	60
関東	1999～2006 年	夏の晴天時には、関東の西と北に 2 つの熱的低気圧が発生する傾向がある。これらの低気圧は南よりの海風を促進し、高濃度 Ox を北関東に運ぶ。低気圧が西側にしか発生しない場合、北関東の Ox は北風によって低く保たれる。	61
関東	2000 年度 埼玉県	オゾン濃度が高濃度になる場合、その日の午前中に風の収束域付近でオゾン濃度が上昇し始め、その後の海風流入により、汚染気塊が内陸部へ進行し、さらにオゾン濃度は上昇する傾向があることがわかった。	62
関東	2000～2006 年前期(I)、2007 年～2012 年後期(II) 埼玉県、東京都	7～8 月の朝以降に海風輸送により高濃度オゾンが発生した日について VOC 規制前後の比較を行った結果、海風の内陸進入が早い日には東京湾岸の濃度上昇が緩和されたが、内陸では変わっていない。一方、海風の内陸進入が遅い日は東京湾岸でも内陸でも顕著な	63

⁵⁷ 吉門洋. 近年の光化学オキシダント濃度変化の一要因. 大気環境学会誌. 2004; 39 (4): 188-199.

⁵⁸ 吉門洋, 西田由佳. 関東中央部における近年の高濃度オキシダントに関わる気候変化の解析. 大気環境学会誌. 2014; 49 (1): 59-67.

⁵⁹ 中島虹, 高橋日出男. 関東平野南部における光化学オキシダント高濃度域と海風との関係. 大気環境学会誌. 2015; 50 (2): 92-99.

⁶⁰ 阿相敏明, 三村春雄, 須山芳明, 相原敬次, 牧野宏, 高橋照美, 清水源治, 若松伸司. 神奈川県西部地域における大気汚染発生機構の解明(2) 丹沢後背地への光化学オキシダントの流入過程. 神奈川県環境科学センター研究報告. 1995; 18: 7-16.

⁶¹ Hosoi, S., Yoshikado, H., Sekiguchi, K., Wang, Q., Sakamoto, K.. Daytime meteorological structures causing elevated photochemical oxidants concentrations in north Kanto, Japan. Atmospheric Environment. 2011; 45(26): 4421-4428.

⁶² 武藤洋介, 梅沢夏実. 地球温暖化物質の精密モニタリングに関する研究. 埼玉県環境科学国際センター報. 2006; 6: 59.

⁶³ 吉門洋. VOC 規制はローカルなオゾン高濃度にどれほど影響したか—気象影響を排除した詳細な検討—. 大気環境学会誌. 2016; 51 (5): 230-237.

地域区分	対象期間、地域	内容	文献
		改善はないことがわかった。	
関東	2002 年 7 月 21 日 ～2002 年 10 月 17 日 栃木県奥日光	O ₃ が高濃度になるのは夏季の卓越した南風に加えて、強い日射により、市域で発生した一次汚染物質が光化学反応を起こしながら、域な海陸風循環によって輸送されてきた為であると考えられた。	64
関東	2002～2019 年度 神奈川県川崎市	川崎市の光化学オキシダント高濃度現象は、朝方は陸風で日中に海風に変化する海陸風循環が起こった日に生じやすい。	65
関東	2010 年 7 月	7 月 23 日及び 24 日に確認された東京湾沿岸部及び神奈川県南部における O ₃ 高濃度は、ローカルな光化学生成に加えて海域から高濃度 O ₃ が流入してきたことが要因の一つであると考えた。	66
関東	2010～2015 年 埼玉県、東京都、 神奈川県	海風日と判定された日にはおおむね PM _{2.5} や Ox 濃度が上昇する傾向がある。Ox 高濃度はおおむね海風が発生可能な気圧傾度のもとで起きる。	67
関東	群馬県	関東地域北部における夏のオキシダント高濃度現象は、海風がほぼ一日中南東の方向から地域内を吹き抜け、関東地域南部の首都圏の汚染大気が光化学反応によりオキシダントを生成しながら、北部に移流し高濃度オキシダントを生成すると推定される。	68
東海	1985～1986 年度 濃尾平野及び その周辺地域	Ox の高濃度日は、前駆物質の主要発生源が位置する名古屋や衣浦の臨海部を風上として吹く海風との強い関連が認められた。	69
東海	1992～2009 年 濃尾平野	典型的な夏季静穏日（35 日）では濃尾平野の内陸部ほど午後の Ox 濃度ピーク時刻の遅れが生じ、沿岸部で排出された大気汚染物質が大規模海風によって岐阜県南東部へ輸送されていることが示唆された。また、中部山岳の飯田で見られた 19 時のピークは濃尾平野から輸送されてきた汚染気塊によるものと考えられる。なお、静穏日が継続する場合には、2 日目の 11、12 時の Ox 濃度が高くなりやすいことが見出された。	70
東海	1997 年 8 月 21 日 愛知県	午前中の伊勢湾海風によって内陸部へと汚染気塊が運ばれていく過程で Ox 濃度が上昇し、その後、午後から吹き始めた遠州灘海風が到達した地点で Ox 濃度が下がり始めることが考えられる。	71

- ⁶⁴ 畠山史郎, 片平菊野, 高見昭憲, 菅田誠治, LIU F, 北和之. 奥日光山岳域における夏季および秋季のオゾン濃度変動. 大気環境学会誌. 2004; 39 (3): 158-170.
- ⁶⁵ 沼田和也, 山田大介, 福永顕規, 中村弘造. 川崎市の光化学オキシダント高濃度現象解明にむけた海陸風日の解析について. 川崎市環境総合研究所年報. 2021; 9: 16-21.
- ⁶⁶ 吉岡実里, 櫻井達也. 2010 年夏季に首都圏で発生したオキシダント高濃度事象のモデル解析. 大気環境学会誌. 2018; 53 (4): 111-119.
- ⁶⁷ 吉門洋. 夏季 PM_{2.5} 高濃度事象の発生条件—首都圏を中心に—. 大気環境学会誌. 2018; 53 (4): 120-129.
- ⁶⁸ 石沢静雄, 蜂須洋輔, 桜井美恵子, 国見均, 菅野博孝. 関東地域北部における光化学オキシダントの挙動. 日本機械学会環境工学総合シンポジウム講演論文集. 1999; 9th: 303-306.
- ⁶⁹ 森博明, 北田敏広. 濃尾平野における高濃度日の出現状況と気象条件との関係. 大気環境学会誌. 1999; 34(5): 352-375.
- ⁷⁰ 遠藤文倫, 早崎将光, 川村隆一. 中部日本の夏季静穏日における光化学オキシダントの日変化と関連する熱的局地循環. 大気環境学会誌. 2013; 48(5): 234-242.
- ⁷¹ 丹羽文子, 竹内純一郎, 古田正次. 光化学オキシダント高濃度日の大気環境の特性について. 愛知県環境調査センター所報. 2001; 11: 226-234.

地域区分	対象期間、地域	内容	文献
東海	2017年4月～9月 愛知県	豊川下流域におけるオゾンの連続測定の結果、オゾン濃度が高濃度になる時は、三河湾からの豊川に沿って吹き込む海風の方に一致しており、川筋に沿って大気汚染物質も移動していると推定できた。	72
東海	2002～2006 年度 岐阜県	Ox 高濃度日の昼間の気象条件は、岐阜中央局、羽島局では風速が3～4 m/s 以下で、南から南西或いは南東よりの風が卓越していた。また、中津川局、笠原局では、風速が2.5 m/s 以下で、南から南西よりと南西から西よりの風が卓越していた。	12
関西	1988～2001 年度 京都府	大気常時監視データの解析から、光化学スモッグ注意発令日数は全体として減少しているが、発令時刻・解除時刻ともに遅くなる傾向があり、汚染物質の内陸地域への移流が示唆された。	73
関西	1990～1993 年 兵庫県	内陸地域は臨海地域に比べて年間を通じて Ox の月平均値が高く、特に4～5 月には高濃度 Ox の出現日が多い。風向・風速及び日内変化のパターンから、臨海地域から内陸地域への Ox の輸送が認められた。	74
関西	1991～2005 年度 京都府	Ox が 120 ppb 以上となった時刻は、1991～2000 年度は 14 時が最多であったが、2001～2005 年度は 16 時が増加しており、高濃度の出現時刻が遅くなる傾向にあった。大阪からの Ox 汚染気塊の移流が明瞭な日と、明瞭でない日があった。	75
関西	1992-2001 年暖候期 滋賀県	長浜市での高濃度光化学オキシダントの発生には、夜間に陸域で生成される窒素酸化物の湖上への輸送と、日中の光化学反応による光化学オキシダントの生成および陸方向への輸送が一要因として示唆された。	76
関西	2007 年 4 月 1 日 ～2010 年 3 月 17 日 京都府	南丹地域において観測地点の大気環境は、発生源の影響は少ないが、光化学オキシダントについては大阪平野の方角からの移流の影響を受けている事例が見受けられた。	77
瀬戸内	2008 年 5 月 岡山県	5 月 3 日の倉敷市とその周辺地域のオキシダント濃度の上昇は局地的大気汚染であり、5 月 22 日～23 日の岡山県全域にわたるオキシダント濃度の上昇は大陸からの越境大気汚染に加え局地的大気汚染の影響もあると考えられる。	78

- ⁷² 河合孝枝. 豊川下流域における光化学オキシダント濃度. 愛知県環境調査センター所報. 2009; 36: 13-15.
- ⁷³ 水本美佳, 日置正, 山川和彦, 筒井剛毅. 京都府におけるオキシダント濃度の特性. 京都府保健環境研究所年報. 2003; 47: 65-70.
- ⁷⁴ 池沢正. 兵庫県の内陸地域における高濃度 Ox の出現について. 兵庫県立公害研究所研究報告. 1994; 26: 17-22.
- ⁷⁵ 平澤幸代, 河村秀一, 日置正, 田村義男. 京都府南部地域における光化学オキシダント高濃度事象の特性. 京都府保健環境研究所年報. 2008; 52: 20-27.
- ⁷⁶ 杉本志織, 上野健一. 滋賀県周辺での光化学オキシダントの輸送過程に関する気象学的解析. 環境学会誌. 2006; 41(4): 183-195.
- ⁷⁷ 平澤幸代, 谷口延子, 高倉尚枝, 河村秀一, 日置正, 藤波直人. 京都府南丹地域における大気環境調査結果. 京都府保健環境研究所年報. 2010; 55: 72-78.
- ⁷⁸ 片岡敏夫, 小川登. 平成 20 年度健康被害を伴った高濃度光化学オキシダントの主要因について. 岡山県環境保健センター年報. 2010; 34: 1-5.

地域区分	対象期間、地域	内容	文献
瀬戸内	2017 年 7 月 13 日 岡山県	県南部の工場や自動車等から排出された NOx や VOC が、梅雨明けの強い太陽光によって光化学反応を起こし、弱い南よりの海風により、岡山市北区において局地的な Ox の高濃度の状態が生じたと考えられた。	79
瀬戸内	2019 年 5 月 25 日 岡山県	前日の昼間から岡山県南部及び県中部を中心に Ox 濃度が高濃度であったことに加え、当日は、地域的な汚染と大陸からの越境汚染の影響も受けて高濃度となった県南部の Ox が、南寄りの風によって県南部から県中北部に移動した。そのほか Ox が生成しやすい条件等も重なった。	80
九州	1987 年 5 月 福岡県福岡市	海風の進入経路に沿って、福岡の都市部から内陸部への汚染物質移流を確認し、春期内陸部における光化学オキシダント高濃度出現日に海風が進入していた久留米エリアでも高濃度を観察した。	81
九州	2018 年 6 月～8 月 福岡県	福岡県では、都市部で発生したオキシダントが上空で高濃度になり海風により輸送されることで、小郡で高濃度オキシダントが観測される現象が報告されている。	19

表 1.5-2 各地域の「海風による内陸への輸送」に関する文献の概要

地域	概要
関東	・ 関東北部と西部に発生した熱的高気圧が朝から夕方まで持続すると、海風により東京湾周辺の前駆物質が輸送され、関東内陸で高濃度オキシダントが観測される。(Hosoi et al., 2011⁶¹) ・ 東京都から埼玉県東部を対象とした解析では、強い海風が吹く日は対象地域の北部から中部にかけて、弱い海風が吹く日は南部から中部にかけてオキシダント高濃度日が出現しやすい傾向があった。(吉門と西田, 2014⁵⁸)
東海	・ 1992 年から 2009 年までの典型的な夏季静穏日の濃尾平野内の常時監視データについて解析を行うと、海風輸送の影響により内陸部ほど午後の Ox 濃度ピーク時刻の遅れが生じていた。(遠藤ら, 2013⁷⁰)
関西	・ 京都府南部において、大阪平野から海風により移流してきた汚染気塊が原因となり高濃度オキシダントが観測される事例が確認できた。(平澤ら, 2010⁷⁷)
瀬戸内	・ 岡山県において、地域的な汚染に加えて大陸から瀬戸内海に越境輸送されてきた NOx が海風により県北部に移流してきた結果オキシダントが高濃度化する事例が確認できた。(西村ら, 2020⁸⁰)
九州	・ 福岡県では、都市部で発生したオキシダントが上空で高濃度になり海風により輸送されることで、小郡で高濃度オキシダントが観測される現象が報告されている。(山村ら, 2020¹⁹)

⁷⁹ 山田克明, 野村茂, 間野遼太, 小川登. 平成 29 年度健康被害を伴った高濃度光化学オキシダントの主要因について. 岡山県環境保健センター年報. 2019; 42: 9-12.

⁸⁰ 西村佳恵, 平岡諒也, 山田克明, 赤木正章, 野村茂, 小川登, 林隆義. 岡山県における光化学オキシダント情報・注意報の広域発令の要因解析について(令和元年度). 岡山県環境保健センター年報. 2021; 44: 1-10.

⁸¹ 松本源生, 宇都宮彬. 福岡都市圏における光化学反応シミュレーション. 福岡県保健環境研究所年報. 1993; 21: 7681.

1.6 循環・滞留など

表 1.6-1 循環・滞留などに係る文献情報

地域区分	対象期間、地域	内容	文献
関東	1970 年から 2000 年	気圧傾度が弱い時には海陸風循環により日中は光化学大気汚染気塊が内陸地域に輸送され、これが夜間には陸風により再び海方向に戻される事、日中は混合層が発達するので高濃度は上空にまで拡がること、一方夜間には上空に日中に生成した二次汚染物質が残り、これが翌日の日中には混合層に取り込まれること等が解明された。	82
関東	1995 年 8 月 関東及び中部	航空機観測により高濃度の光化学オゾンが南海上と山地上空で観測された。太平洋上で観測された光化学オゾンは、上空の一般風によって内地から運ばれてきた。また、光化学オゾンが山岳地帯に侵入する過程も明らかになった。	83
関東	2005 年 8 月	地上のオゾン濃度は、主に上空からのオゾンに富む空気の鉛直混合によって上昇し、一方乾性沈着と化学的過程は主にオゾンを減少させることがわかった。また、移流によって練馬から熊谷に一部のオゾンが運ばれ、熊谷のオゾン濃度上昇に寄与している可能性があることがわかった。	84
関東	2007 年 7、8 月 神奈川県丹沢山地	日中に丹沢山地で O ₃ 濃度が高くなる場合は、陸風により東京湾岸などの都市部から排出された一次汚染物質が相模湾に流入した後、日中に光化学反応を起こして O ₃ 濃度の高くなった気塊が海風の影響を受けて丹沢山地の南～東南東側から移流して来ていた。	85
関東	2008 年 11 月 7 日 千葉県	この日の最高気温は 20℃前後で、Ox の生成しやすい気象条件ではなかった。気象要因について解析した結果、なんらかの要因で上層にあった高濃度 Ox を含む気塊が下降流によって地上にもたらされたと推定された。	86
関東	2009 年 7 月 31 日 ～8 月 12 日 神奈川県	丹沢地域上空のオゾン観測から、汚染が滞留する混合層内部においては、地域ごとの他の汚染物質の影響や、地形による気象要因が反映されることで、様々なオゾン濃度分布を示すという結果が得られた。	87
関東	2010 年 7 月	東京以南において前駆物質が滞留したことで、O ₃ は比較的狭い範	66

⁸² 若松伸司. 都市・広域大気汚染の生成機構解明に関する研究. 大気環境学会誌. 2001; 36 (3): 125-136.

⁸³ Wakamatsu, S.. High concentrations of photochemical ozone observed over sea and mountainous regions of the Kanto and eastern Chubu districts. Journal of Japan Society for Atmospheric Environment. 1997; 32(4): 309-314.

⁸⁴ Khiem, M., Ooka, R., Hayami, H., Yoshikado, H., Huang, H., Kawamoto, Y.. Process analysis of ozone formation under different weather conditions over the Kanto region of Japan using the MM5/CMAQ modelling system. Atmospheric Environment. 2010; 44 (35): 4463-4473.

⁸⁵ 松隈大亮, 板橋秀一, 鶴野伊津志, 若松伸司. 丹沢山地における高濃度オゾンの広域移流現象の数値解析. 大気環境学会誌. 2012; 47 (4): 173-178.

⁸⁶ 井上智博. 千葉県における 2008 年の光化学オキシダント高濃度事例. 千葉県環境研究センター年報. 2010; 8: Page.ROMBUNNO.4.1.1.6.

⁸⁷ 岡崎友紀代, 相原敬次, 阿相敏明, 福永明子, 高見雄佑, 國元浩平, 山下真生, 武智勝哉, 堀越信治, 酒井隆, 山根正伸, 若松伸司. 神奈川県丹沢地域における 2009 年夏季のオキシダント濃度分布観測. 愛媛大学農学部紀要. 2010; 55: 7-23.

地域区分	対象期間、地域	内容	文献
		圏において多く生成され、結果として神奈川県及び東京都の東部に集中して 160ppb を超える濃度が生じたものと考えた。	
関東	2010 年 7 月 20 日 ～8 月 8 日	モデルの計算結果から、関東の非首都圏から排出される前駆体は、首都圏から排出される前駆体よりも内陸部のオゾン濃度に影響を与えることがわかった。さらに、残留オゾンの下降が示された。残留オゾンは、非大都市圏から排出される前駆体によっても影響を受けることが示された。	88
関東	2010 年 7 月 26 日 ～8 月 6 日 群馬県	赤城山におけるドップラーライダー観測と O ₃ 濃度の測定から、夜間山頂付近の O ₃ 濃度がほぼ一定でかつ風速が大きいという現象が観測された。関東地方北部の上空が濃度のほぼ等しいオゾンによって覆われており、その気塊が常に内陸へ輸送され続けることでオゾン濃度がほぼ変化しない状態が実現していると推察された。	89
関東	2018 年 7 月 23～ 24 日 首都圏	首都圏で見られた O ₃ 高濃度事象は日中の濃度上昇の継続により上空に高濃度の O ₃ が滞留し、それが 24 日日中に混合層内に取り込まれたこと、さらに 23 日の夜間に O ₃ 濃度が下がらなかったため 24 日日中は陸域や海域における O ₃ のバックグラウンド濃度が通常よりも高かったことに起因すると考えた。	27
東海	1995 年 7 月 26 日 ～28 日 濃尾平野～中部 山岳	シミュレーションや航空機観測等の結果、濃尾平野で排出された汚染物質から化学反応で生成する汚染物質は中部山岳上空の広域に渡って滞留し、それらが翌日の上空の北風によって沿岸部上空に戻ってきて日中の混合層活動によって平野部のバックグラウンド濃度を高めることが明らかになった。	90
関西	2001 年 3 月 大阪都市圏	航空機観測により、春季の O ₃ の鉛直分布を調査した結果、停滞した気象条件のもとで O ₃ 濃度が高いエピソードが観測され、表層混合層における O ₃ 濃度の上昇は、局所的な光化学生成と東アジアから運ばれた越境大気汚染の結果であった。	91
瀬戸内	1981 年 5 月 12 日 ～16 日 広島県	春季の大竹市のゾンデ観測結果から、500m 高度以下の O _x 濃度は昼間に高く夜間に低いが、日変化の振幅は地表付近で大きく、高度が増すにつれて小さくなる傾向が認められ、夜間の消費、朝方の鉛直混合、昼間の光化学反応によりある程度説明できる。	92
瀬戸内	1993 年 4～9 月 愛媛県	新居浜地区の高濃度オキシダント発生機構は、晴天日の風の弱い夜間に沿岸部沖に集積した一次汚染物質から、翌日の日の出後の光化学反応で O _x が生成し、陸地部上空の海風循環に巻き込まれて	93

- ⁸⁸ Kiriya, Y., Shimadera, H., Itahashi, S., Hayami, H., Miura, K.. Evaluation of the Effect of Regional Pollutants and Residual Ozone on Ozone Concentrations in the Morning in the Inland of the Kanto Region. Asian journal of atmospheric environment. 2015; 9: 1-11.
- ⁸⁹ 桐山悠祐, 速水洋, 速水洋, 阿波崎たかね, 三浦和彦, 熊谷貴美代, 山口直哉. 夏季の関東内陸部におけるオゾン濃度の上昇に対する混合層発達の影響. 大気環境学会誌. 2012; 47(2): 81-86.
- ⁹⁰ 北田敏広, 岡村聖, 中西秀樹, 森博明, 石坂隆. 中部地方の夏季局地風場におけるオゾンの生成と輸送の 3 次元特性数値シミュレーションと航空機観測結果を用いた推定. 地球環境シンポジウム講演論文集. 1998; 6: 97-102.
- ⁹¹ Itano, Y., Wakamatsu, S., Hasegawa, S., Kobayashi, S.. Local and regional contributions to springtime ozone in the Osaka metropolitan area, estimated from aircraft observations. Atmospheric Environment. 2005; 40: 2117-2127.
- ⁹² 瀬戸信也. 瀬戸内沿岸域におけるオキシダント濃度の鉛直分布. 天気. 1992; 39: 347-354.
- ⁹³ 二宮久, 金子敏明, 野間そま子, 服藤峻, 新次美. 新居浜地区における高濃度オキシダント発生要因の検討. 愛媛県環境保全センター所報. 1994; 14: 7-16.

地域区分	対象期間、地域	内容	文献
		地上に下降したと推察された。	
九州	2018 年 6 月～8 月 福岡県	Ox 排出量の多い県の北側エリアでは NOx 排出量の削減によりオゾン濃度が増加し、北側エリアの上層で生成したオゾンが輸送される福岡市より南ではオゾン濃度が減少したと考えられる。	19

表 1.6-2 各地域の「循環・滞留など」に関する文献の概要

地域	概要
関東	・ 東京湾で高濃度化した NOx が相模湾に流入し、生成した高濃度 Ox が海風により内陸へ移動した。(2007 年 8 月) (松隈ら, 2012⁸⁵) ・ モデル解析では、早朝から日中にかけて発達する混合層内部に、上空に滞留している前日生成の Ox が取り込まれることで、関東内陸の濃度が沿岸部よりも先行して上昇した。(2010 年 8 月) (Kiriya et al., 2015⁸⁸) ・ 首都圏で見られた O₃ 高濃度事象は、日中の濃度上昇が継続したことで上空に滞留した高濃度の O₃ が、日中に混合層内に取り込まれたこと、さらには、前日の夜間に O₃ 濃度が下がらなかったため、日中は陸域や海域における O₃ のバックグラウンド濃度が通常よりも高かったことに起因するものと考えられた。(2018 年 7 月) (櫻井ら, 2020²⁷)
東海	・ 中部山岳上空に滞留したオキシダントが翌日に沿岸部上空に戻り、平野部のバックグラウンド濃度を高めた。(1995 年 7 月) (北田ら, 1998⁹⁰)
関西	・ 情報なし。
瀬戸内	・ 夜間に沿岸部沖に集積した一次汚染物資から、翌日の日の出後に Ox が生成し、海風循環に巻き込まれ地上に下降した。(1993 年 4～9 月) (二宮ら, 1994⁹³)
九州	・ 情報なし。

1.7 長距離越境輸送の影響

表 1.7-1 長距離越境輸送の影響に係る文献情報

地域区分	対象期間、地域	内容	文献
関東、東海、関西、九州	1990 年から 2010 年 首都圏、名古屋、大阪・京都、福岡	全オゾンの増加傾向は、春季と西日本で顕著であった。このことは、アジア大陸からの O ₃ の越境輸送の増加が、日本における O ₃ の長期的な増加のもう一つの要因であることを示唆している。	94
日本全域	2007 年 5 月 8、9 日 日本全域	シミュレーション結果は、5 月 8 日の九州北部、中国地方の高濃度ピーク時が最も中国からの影響が大きく、寄与率は約 40% であった。近畿地方より東側、北側の領域でも、高濃度ピークの現れる 5 月 9 日に中国からの寄与率が最も高い値を示していた。	95
日本全域	2007 年 5 月 8、9 日 日本全域	化学輸送モデルから、80ppbv 以上の高濃度 O ₃ に対する中国寄与率の期間平均値は、青森県以北を除く日本全国で 25% 以上であり、九州地域では 40-45% に達すると見積もられた。	96
日本	2013 年から 2019 年	7 年間の衛星観測の結果、中国を含む東アジアの対流圏 NO ₂ 濃度が急激に低下していることが分かり、このことはアジア大陸を起源とする O ₃ の越境輸送が、この間抑制されたか、ほとんど変化していない可能性を示唆した。	97
関東	2007 年 5 月 8 日～9 日	越境輸送の影響により全国的に高濃度オキシダントが観測された 2007 年の事例においても、関東ではオキシダント濃度の日最高値が観測された時間が内陸に向かうにつれて遅くなっており、関東では海陸風循環による都市汚染の蓄積の影響も大きいことが示唆された。	98
東海	1990 年～2002 年	1990 年度以降(1990～2002)では、O _x 高濃度パターンは、4・5 月に大きなピークがある大陸からの「移流型」と、7・8 月の高温の時期にピークが出やすい、NO _x ・SPM 等も絡んだ光化学反応で誘導される「都市反応型」の 2 つのパターンに分類された。	99
関西	2004 年 5 月 8 日～9 日 京都府	O ₃ 濃度の上昇は、黄砂飛来によるものと推測され、黄砂飛来と同時に中国大陸の大気汚染物質に加え、大阪など国内の汚染物質が流入するためではないかと推測された。	100

⁹⁴ Akimoto, H., Mori, Y., Sasaki, K., Nakanishi, H., Ohizumi, T., Itano, Y.. Analysis of monitoring data of ground-level ozone in Japan for long-term trend during 1990–2010: Causes of temporal and spatial variation. *Atmospheric Environment*. 2015; 102: 302–310.

⁹⁵ 黒川純一，大原利眞，早崎将光，鶴野伊津志. ネスト版 RAMS/CMAQ 連携モデルによる 2007 年 5 月 8,9 日に発生した広域的な光化学オゾン汚染の解析. *大気環境学会誌*. 2006; 43(4): 209-224.

⁹⁶ 大原利眞，鶴野伊津志，黒川純一，早崎将光，清水厚. 2007 年 5 月 8,9 日に発生した広域的な光化学オゾン汚染—オーバービュー—. *大気環境学会誌*. 2008; 43: 198-208.

⁹⁷ Irie, H., Yonekawa, D., Damiani, A., Hoque, Hossain Mohammed Syedul, Sudo, K., Itahashi, S.. Continuous multi-component MAX-DOAS observations for the planetary boundary layer ozone variation analysis at Chiba and Tsukuba, Japan, from 2013 to 2019. *Progress in Earth and Planetary Science*. 2021; 8: 31.

⁹⁸ 早崎将光，大原利眞，黒川純一，鶴野伊津志，清水厚. 2007 年 5 月 8-9 日に発生した広域的な光化学オゾン汚染:観測データ解析. *大気環境学会誌*. 2008; 43 (4): 225-237.

⁹⁹ 大野隆史，山神真紀子. 名古屋市域における光化学オキシダント濃度の経年変化とその特徴. *名古屋市環境科学研究所報*. 2006; 35: 11-20.

¹⁰⁰ 山田悦，梅村滋和，布施泰朗. パッシブサンプラー法による京都山間部における大気汚染物質濃度の経年変化観測(1996～2005). *分析化学*. 2012; 61(4): 319-326.

地域区分	対象期間、地域	内容	文献
関西	2019 年 5 月 24～26 日 兵庫県	シミュレーションモデル解析により、大陸の高濃度 Ox の気塊が移動性高気圧の北側の強い西風によって日本へ輸送されたことが示された。また、気象条件が整っていたことにより、県内各地で Ox が生成され易い状態であった。	101
瀬戸内	1985 年と 2004 年 愛媛県	Ox 濃度の増加傾向は、大陸からの移流によるバックグラウンドオゾンの上昇によるためと考えられる。	102
瀬戸内	2019 年 5 月 24 日～ 5 月 26 日 岡山県	後方流跡線解析の結果から、大陸方向からの越境汚染の影響を受け、それに地域的な汚染等複数の要因が重なったと推測された。	80
瀬戸内	2004～2006 年夏(梅 雨明け～8 月 31 日) 広島県	瀬戸内海沿岸域において、流跡線の解析から、Ox の高濃度のほとんどは対象地域の周辺部(日本国内及び朝鮮半島)で空気塊が停滞したときに発生することがわかった。Ox 低濃度日の流跡線の 88%は空気塊が北太平洋から北上するパターンであった。	103
九州	2003～2007 年 福岡県	常時監視データから、オキシダントの高濃度には、成層圏オゾンの降下、大陸からの移流、地域での生成が関係していると考えられる。高濃度日の発生要因を分類した結果、移流の影響が強いと思われる日が約 30%以上になることが推定でき、また、移流の割合は年々上昇していることが分かった。	104
九州	2007 年 4 月下旬～5 月末 九州北部	シミュレーションモデルにより、高濃度 O ₃ エピソード時の中国起源の O ₃ 前駆物質の寄与率は東アジア起源の約 30～50%に達し、アジア大陸を起源とする越境汚染が強く影響していることが示された。	105
九州	2008 年 熊本県	Ox 高濃度事象の要因分析の結果、大陸からの移流 43%、地域での生成が 21%、成層圏オゾンの沈降が 6%であり、長距離輸送の影響が顕著であることが判明した。	106
九州	2009 年 福江島	オゾン濃度観測の解析から、高濃度が続くエピソード時は中国大陸からの大気塊が運ばれる時であり中距離輸送の影響と思われる。本研究からさまざまな中国の寄与率が通年にわたり高いことが判明した。	107

- ¹⁰¹ 久保智子, 飯野博夫, 山本一巳, 中坪良平, 瀧本充輝, 高石豊. 2019 年 5 月 24 - 26 日に兵庫県下で発生した広域的な高濃度光化学オキシダント事象の解析. ひょうご環境創造協会兵庫県環境研究センター紀要. 2020; 10: 12-18.
- ¹⁰² 青木平八郎, 藤田慎二郎, 泉喜子, 二宮久. 愛媛県の東予地域における光化学オキシダント濃度の経年変化等について. 愛媛県立衛生環境研究所年報. 2006; 7: 42-46.
- ¹⁰³ 瀬戸信也, 宇津正樹, 大原真由美, 砂田和博, 日浦盛夫. 広島県の瀬戸内沿岸域における夏季晴天時の光化学オキシダント日最高濃度と後方流跡線との関連性. 広島県立総合技術研究所保健環境センター研究報告. 2007; 15: 5-9.
- ¹⁰⁴ 岩本真二, 大石興弘, 田上四郎, 力寿雄, 山本重一. 福岡県における光化学オキシダントの高濃度要因の分類. 大気環境学会誌. 2008; 43 (3): 173-179.
- ¹⁰⁵ 板橋秀一, 弓本桂也, 鶴野伊津志, 大原利眞, 黒川純一, 清水厚, 山本重一, 大石興弘, 岩本真二. 2007 年春季に発生した東アジア域スケールの広域的越境汚染の化学輸送モデル CMAQ による解析. 大気環境学会誌. 2009; 44 (4): 175-185.
- ¹⁰⁶ 飯野直子, 平田達二郎, 金柿主税, 金柿主税. 熊本における 2008 年光化学オキシダント高濃度事象. 熊本大学教育学部紀要 自然科学. 2010; 59: 19-28.
- ¹⁰⁷ 横内陽子, 高見昭憲, 大原利眞. 九州北部地域における光化学越境大気汚染の実態解明のための前駆体観測とモデル解析 平成 20～22 年度. 国立環境研究所特別研究報告 SR. 2011; 95: 56P.

地域区分	対象期間、地域	内容	文献
九州	2020 年 長崎県	福江島において過去の観測結果と比較した。オゾン濃度を PM2.5 濃度が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ より高濃度の場合のみ抽出すると、例年に比べ低下していた。2020 年は、中国から日本へ越境輸送される大気汚染物質の濃度が減少したと推測される。	108
九州	2018 年冬 福岡市	O ₃ は越境大気汚染の影響が強い期間に濃度が高く、O ₃ 濃度の変動は比較的小さかったことから、O ₃ は福岡市外で生成され輸送されてきたと考えられる。	109
	1980～2005 年	シミュレーションにより、日本上空の地表面オゾン (O ₃) の長期的な増加傾向に対する様々な発源地域の相対的寄与を推定した。	110

表 1.7-2 各地域の「長距離越境輸送の影響」に関する文献の概要

地域	概要
関東	・ 越境輸送の影響により全国的に高濃度オキシダントが観測された 2007 年の事例においても、関東ではオキシダント濃度の日最高値が観測された時間が内陸に向かうにつれて遅くなっており、関東では海陸風循環による都市汚染の蓄積の影響も大きいことが示唆された。(早崎ら, 2008 ⁹⁸)
東海	・ 名古屋市域におけるオキシダントの高濃度パターンは、4、5 月に大きなピークがある大陸からの「移流型」と、7・8 月にピークが出やすい、NO _x 、SPM 等も絡んだ光化学反応による「都市反応型」の 2 つのパターンが存在する。(大野と山神, 2006 ⁹⁹)
関西	・ 兵庫県において、大陸で発生した高濃度オゾンが 2～4 日かけて移流してきた結果高濃度オキシダントが観測された事例がある。(久保ら, 2020 ¹⁰¹)
瀬戸内	・ 広島県において 120ppb 以上の高濃度オキシダントが観測されるのは、地上付近で海陸風が吹き、かつ上層の空気塊が日本国内で停滞する、あるいは大陸から飛来する時である。(瀬戸ら, 2007 ¹⁰³)
九州	・ 2007 年に観測されたオキシダント高濃度化事象では、九州における中国由来のオゾンの寄与率は 40%を超えた。(大原ら, 2008 ⁹⁶) ・ 2018 年の福岡県では風向風速から越境輸送の影響を受けやすいと推定される日に実際にオゾン濃度が高くなる傾向が見られた(Yoshino et al., 2021 ¹⁰⁹)。

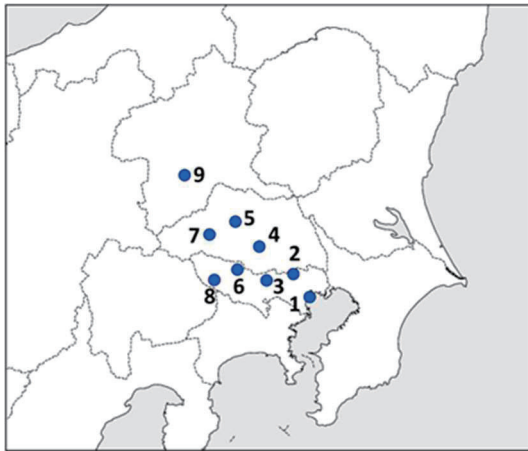
¹⁰⁸ 吉野彩子, 高見昭憲. 長崎福江島における大気質観測 - COVID-19 による越境大気汚染への影響 -. 大気環境学会誌. 2020; 55 (6): 248-251.

¹⁰⁹ Yoshino, A., Takami, A., Hara, K., Nishita-Hara, C., Hayashi, M., Kaneyasu, N.. Contribution of Local and Transboundary Air Pollution to the Urban Air Quality of Fukuoka, Japan. Atmosphere. 2021; 12(4): 431.

¹¹⁰ Nagashima, T., Sudo, K., Akimoto, H., Kurokawa, J., Ohara, T.. Long-term change in the source contribution to surface ozone over Japan. Atmospheric Chemistry and Physics. 2017; 17: 8231–8246.

2 既往研究の追加解析・アップデートで解析対象とした測定局

2.1 関東



No.	測定局名	地域区分(吉門, 2019)
1	港区台場	都市部(urban)
2	練馬区北町	都市部
3	小平市小川町	都市部
4	川越市霞ヶ関	郊外(suburban)
5	小川	郊外
6	青梅	郊外
7	秩父	山間部(woodland)
8	檜原	山間部
9	東吾妻町立東吾妻中学校	山間部

図 2.1: 解析対象の測定局(関東)

2.2 東海



No.	測定局名	地域区分(吉門, 2019)
1	東海市横須賀小学校	都市部
2	国設名古屋	都市部
3	豊山町豊場	郊外
4	江南市古知野町	郊外
5	豊明中学校	郊外
6	北部局(加納町)	郊外

図 2.2: 解析対象の測定局(東海)

2.3 関西



No.	測定局名	地域区分(吉門, 2019)
1	此花区役所	都市部
2	大宮中学校	都市部
3	深井	都市部
4	富田林市役所	郊外
5	高槻北	郊外
6	王仁公園	郊外
7	伏見	都市部
8	亀岡	田園地帯(rural)

図 2.3: 解析対象の測定局(関西)

2.4 瀬戸内



No.	測定局名
1	倉敷美和
2	白岳小学校
3	防府市役所
4	彦島局
5	坂出市役所
6	高津

図 2.4: 解析対象の測定局(瀬戸内)

2.5 九州



No.	測定局名	地域区分(吉門, 2019)
1	福岡市役所	都市部
2	吉塚	都市部
3	太宰府	郊外
4	筑後小郡	田園地帯
5	宗像	田園地帯
6	糸島	田園地帯

図 2.5: 解析対象の測定局(九州)

3 国内外の緊急事態宣言期間前後のオキシダント濃度に係る文献調査

新型コロナウイルス感染症に係る緊急事態宣言や都市封鎖（ロックダウン）期間前後においては、比較的短期間で Ox 前駆物質排出量の変化が見られたことから、前駆物質削減による効果がオゾン濃度にもたらす影響について知見を得るよい機会である。そのため、これらの事例に着目し Ox 及び前駆物質の濃度変化について文献調査を行い、国内外の事例を整理した。

科学技術文献情報データベースサービス J Dream IIIにおいて、「(オキシダント or オゾン) and (コロナウイルス or “COVID-19” or 緊急事態宣言 or ロックダウン)」の条件で検索し、その中からタイトルや抄録を見て関連がある文献を選定した。

- ・日本国内を対象とした文献は、検索結果から選定した文献と、その他で有用と思われる文献 1 編を加え、7 報を調査対象とした。
- ・海外を対象とした文献は、地域毎にいくつか文献が選定されるよう考慮しつつ、VOC, HCHO, regime, titration, weekend effect のキーワードで絞り込みを行った。また、本調査検討会の検討委員からご紹介いただいた有用と考えられる文献 2 報を追加し、20 報を調査対象とした。

3.1 日本

日本国内では、2020 年 4 月～5 月の緊急事態宣言下、各地で NO_x の大気濃度に減少が見られた。NO_x の減少は、微小粒子状物質等専門委員会（第 12 回）資料 3¹¹¹によると、もともと NO_x 濃度が高い、東日本・西日本の都市部で起こっていた。一方で、O_x については大きな濃度の変化は見られなかった(微小粒子状物質等専門委員会（第 12 回）資料 3¹¹¹、内田と山木, 2022¹¹²、高倉ら, 2022¹¹³)という報告や、やや減少した（伊藤, 2022¹¹⁴、中込ら, 2021¹¹⁵）という報告があった。

山神と大高, 2021¹¹⁶では宣言期間中に濃度の O_x の低下が見られなかったが、日最高濃度は変わらず、日最低濃度が上昇していたと日内変動の変化を報告している。

また O_x 濃度の上昇が見られない要因として、高倉ら, 2022¹¹³ 及び吉野と高見, 2020¹¹⁷では越境汚染の減少を推察されているが、それが新型コロナウイルスの影響かはさらなる検討が必要と考察されている。

表 3.1-1 日本における文献調査の概要

地域	概要
日本全国の測定局	2020 年の NO _x 濃度（国設大気測定局の平均）は、2011～2019 年の同月と比較し、緊急事態宣言が発出されていた 4 月が 33%の減少、5 月が 35%の減少であった。緊急事態措置の解除後の 6 月は 26%の減少であった。測定局ごとに見た場合、2020 年の 1～6 月の平均濃度は、2011～2019 年の同濃度と比較して 29%の減少～同程度であった。東日本・西日本の都市部で減少となっている。2019 年、2020 年の NO _x 濃度（国設大気測定局の平均）と同時期の原油消費量（石油統計（経済産業省））を比較すると、2020 年 1 月以降の原油消費量、NO _x 濃度ともに減少している。2020 年の光化学オキシダント濃度（国設大気測定局の平均）は、2011～2019 年の同月と比較して、緊急事態宣言が発出されていた 4 月が 3 %の減少、5 月が 14%の減少であった。緊急事態措置の解除後の 6 月は、1 %の減少であった。測定局ごとに見た場合、2020 年の 1～6 月の平均濃度は、2011～2019 年の同濃度と比較して 9 %減少～同程度であった。（微小粒子状物質等専門委員会（第 12 回）資料 3 ¹¹¹ ）

¹¹¹ 環境省：微小粒子状物質等専門委員会（第 12 回）資料 3 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，令和 2 年 6 月 26 日開催

¹¹² 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. 2022; 42: 1-11.

¹¹³ 高倉尚枝，木崎利，安田知生，上田郁夫，柳澤匡寛，原口健司，近藤博文．2020 年における京都府の大気汚染物質濃度の過去 5 年間との比較．京都府保健環境研究所年報. 2022; 66: 16-21.

¹¹⁴ 伊藤晃佳．国内大気質の最近の動向．JARI Research Journal. 2022 9 月. 2022; ROMBUNNO. 20220901.

¹¹⁵ 中込和徳，町田哲，山本明彦，原田勉，池田友洋，掛川英男．新型コロナウイルス感染症流行に伴う長野県の大気汚染状況(2020 年 2 月～5 月)．長野県環境保全研究所研究報告. 2021; 17: 19-23.

¹¹⁶ 山神真紀子，大高賢司．新型コロナウイルス感染症に伴う緊急事態宣言期間中における名古屋市の大気汚染状況の変化．名古屋市環境科学調査センター年報. 2021; 10: 12-17.

¹¹⁷ 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. 2020; 55(6): 248-251.

	表 国設局における 2011～2019 年と 2020 年の 1 月～6 月の平均濃度				
	測定局	NOx (ppb)		Ox (ppb)	
		2011 年 ～2019 年	2020 年	2011 年 ～2019 年	2020 年
	札幌	17	17	33	30
	篛岳	2	2	41	40
	東京	23	17	31	30
	川崎	27	21	32	29
	名古屋	14	11	39	35
	大阪	26	21	34	32
	尼崎	23	18	33	33
	松江	3	3	45	43
	大牟田	14	10	38	37
	(微小粒子状物質等専門委員会 (第 12 回) 資料 3 ¹¹¹ 表 4 から NOx、Ox データを抜粋して作成)				
東京都	NOx 濃度は、月平均濃度の推移を見ると、2020 年 4 月と 5 月に前年度に比べ濃度が大きく下がっていた。特に自排局の方が大きく低下している傾向が見える。Ox 濃度は月平均濃度の推移を見ると、年ごとの濃度に大きな変化は見られないが、2020 年 4 月～5 月は 2019 年の同じ月と比較すると、濃度が低下しているように見える。(伊藤, 2022 ¹¹⁴)				
愛知県名古屋市	新型コロナウイルス感染症に伴う 1 回目の緊急事態宣言期間中 (2020 年 4 月 16 日～2020 年 5 月 14 日)、名古屋市では自動車交通量が大きく減少し、自動車が大きな発生源となっている NO ₂ 、NO、CO、NMHC、及び PM _{2.5} 中の EC、NO ₃ の濃度は宣言期間中に前年に比べ低下した。2019 年の同期間と比較すると、NO ₂ 平均値は緊急事態宣言前 2%、宣言中-23%、解除後-14%で、NMHC の平均値は緊急事態宣言前-4%、宣言中-24%、-7%、Ox の平均値は緊急事態宣言前-12%、宣言中+1%、解除後-8%であった。宣言期間中に濃度の低下が見られなかった Ox は、日最高濃度は変わらず、日最低濃度が上昇していた。(山神と大高, 2021 ¹¹⁶)				
京都府	2019-2020 年の NOx の減少幅は過去 5 年間と比較し同程度であった。Ox は 2015-2020 年にかけてすべての局でほぼ横ばいであった。月別で見ると、2020 年は 1 月、2 月の自動車排出ガス測定局の NOx、5 月の Ox が過去 5 年間と比べて低い値であった。1 月、2 月の自動車排出ガス測定局 (以下、自排局) の NOx の低下は、記録的な暖冬など気象条件が影響したものと推測された。5 月の Ox の低下は、北部の方が南部より平均濃度や高濃度出現時間数が低下しており、越境大気汚染による影響の減少の可能性があるかと推測されたが、それらが COVID-19 の影響によるものかはさらに検討する必要がある。(高倉ら, 2022 ¹¹³)				
長崎県福江島	ACSM で測定した NO ₃ (PM10 相当) は 2019 年に比べ約半分であった。O ₃ は 2016 年以降のデータを比較した結果、1 日平均値、日中の 8 時間平均値ともに変化はなかった。PM _{2.5} は 2014 年～2019 年の平均濃度に比べ 2020 年は減少していた。PM _{2.5} の 1 時間値が 35 µg/m ³ より高い場合のみの Ox 平均 (混合比) を抽出すると、2016 年-2019 年に比べ、2020 年は減少していた。この結果は、COVID-19 の影響により、中国から日本へ越境輸送される大気汚染物質の濃度が減少したことを示唆した。(吉野と高見, 2020 ¹¹⁷)				
宮城県	2020 年 3 月～5 月を前年同月と比較すると、NO ₂ 濃度は日内変動に大きな変化はないが、地点によっては 1 日をとおして平均濃度の減少がみられた。Ox 濃度は日内変動の大きな変化はみられなかった。(内田と山木, 2022 ¹¹²)				
長野県	NOx、Ox とともに COVID-19 流行第 1 波の期間(2020 年 2 月～5 月)の過去 3 年間に対する濃度低下率は流行開始前(2019 年 2 月～5 月)の過去 3 年間に対する濃度低下率より大きかった。また 4 月、5 月の Ox 高濃度日の発生日数は 2017 年から 2019 年は 15 日～20 日であるのに対し 2020 年は 8 日と過去 3 年と比べ少なかった。(中込ら, 2020 ¹¹⁵)				

<参考>

微小粒子状物質等専門委員会(第12回)資料3¹¹¹で対象となっている国設局9局のNO_x及びO_xの常時監視データを、2020年と、比較のため2017年から2019年の過去3年間の平均を同様に月別に整理した。4月及び5月のNO_x濃度は札幌、東京、川崎、大阪、尼崎でNO_x濃度は過去年と比べ低く、NMHC濃度は札幌、東京、川崎、名古屋、大阪、尼崎、松江で若干低く、O_xの前駆物質は都市を中心に過去年に比べ低い傾向であった。O_x濃度については、日最低濃度の月平均は全ての測定局で1年を通して過去年と比べ高く、経年的な濃度上昇の影響があると考えられた一方、5月の最高濃度の平均は全ての測定局で過去年と比べて低く、前駆物質削減の効果と考えられた。平均値は4月の大阪、尼崎、大牟田は過去年と比べやや高かったが、その他の測定局及び5月の全ての測定局で過去年と同程度か低い傾向であった。日中のO_x濃度の増加量を示すDPO_xは通年で濃度変化の少ない箕岳、大牟田で過去年と比べ高かったが、それ以外の測定局で過去年と同程度か低い傾向であり、O_x生成量の著しい増加は見られなかった。また、札幌を除く7月のDPO_x濃度が低くなっているのは、後述の梅雨前線の影響で日射量が低かったためと考えられる。

札幌

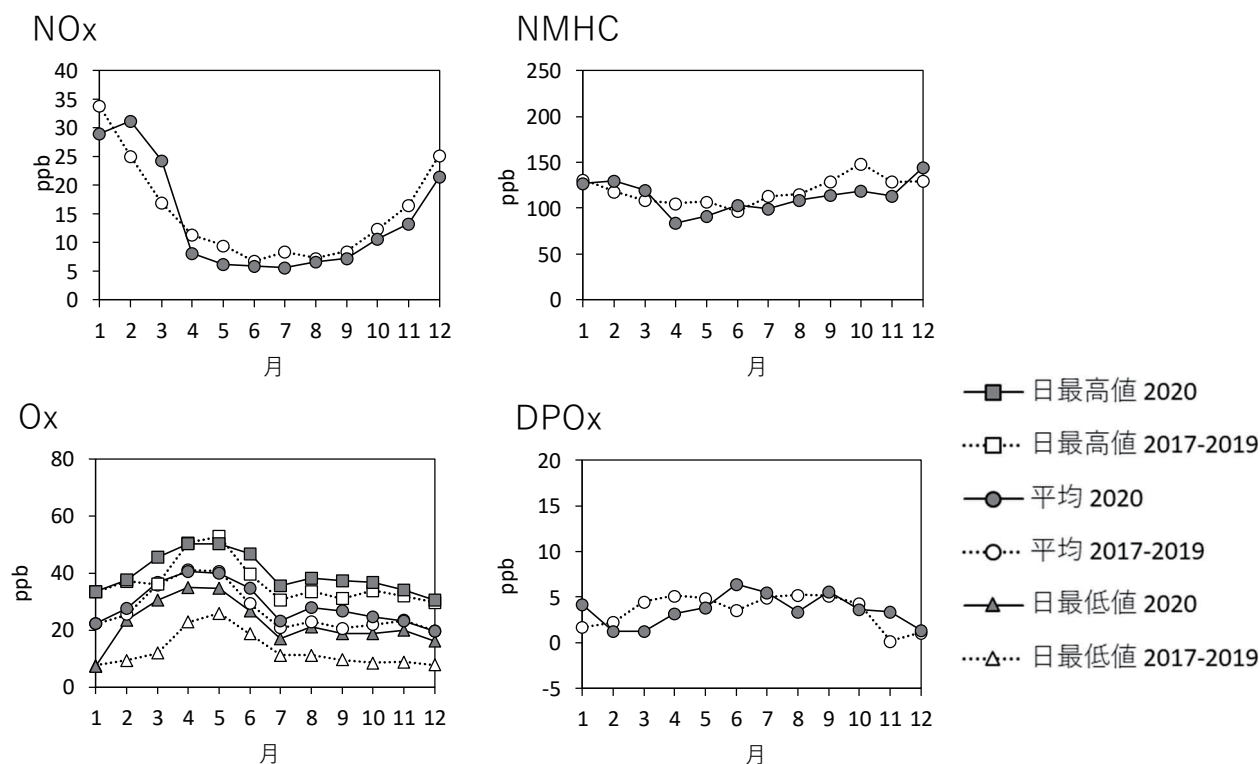
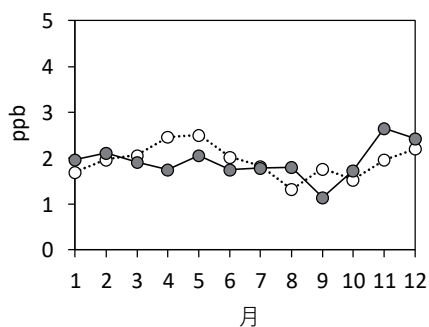


図 3.1-1(1) 国設局における月別のNO_x、NMHC、O₃及びDPO_x*

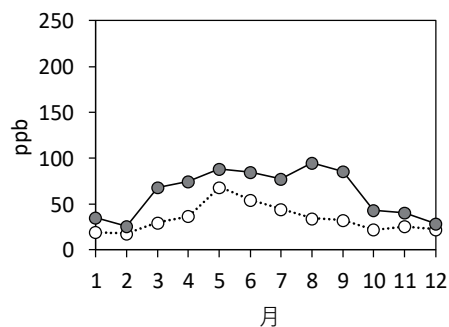
* 日中(5:00～20:00)から夜間(前日の20:00～5:00)のO₃濃度を引いた日中のO₃増加量

箕岳

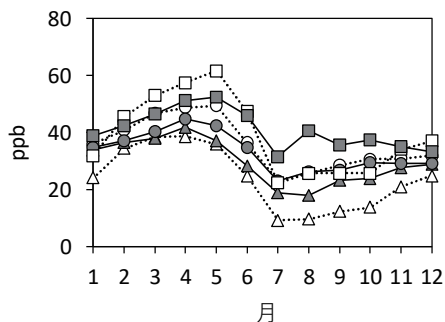
NO_x



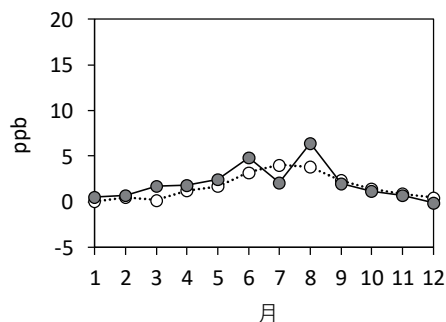
NMHC



O_x

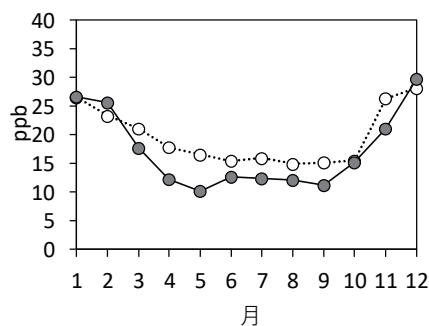


DPO_x

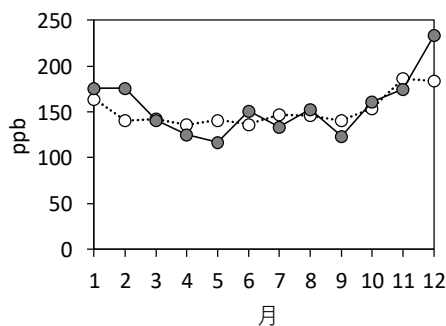


東京

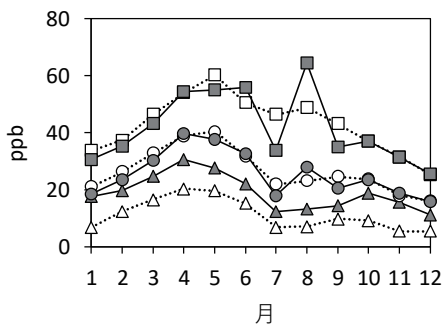
NO_x



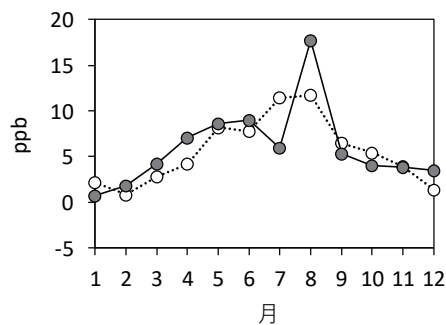
NMHC



O_x



DPO_x



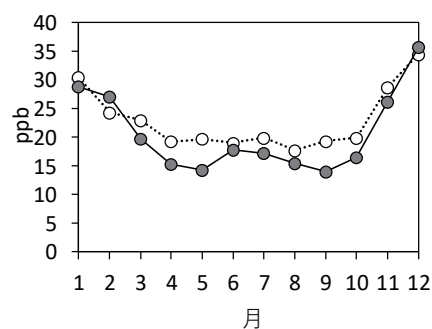
- 日最高値 2020
- 日最高値 2017-2019
- 平均 2020
- 平均 2017-2019
- ▲— 日最低値 2020
- △··· 日最低値 2017-2019

図 3.1-1(2) 国設局における月別の NO_x、NMHC、O_x 及び DPO_x*

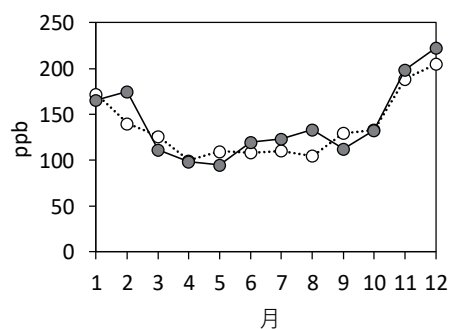
* 日中(5:00~20:00)から夜間(前日の 20:00~5:00)の O_x 濃度を引いた日中の O_x 増加量

川崎

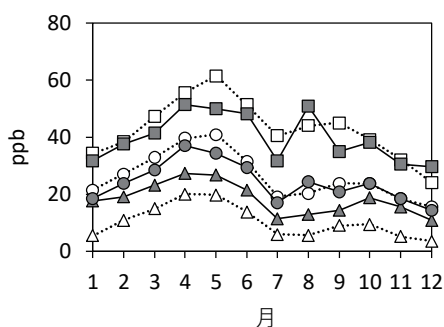
NO_x



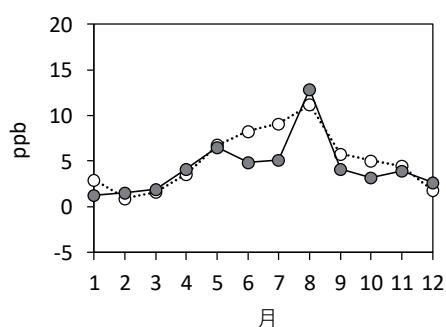
NMHC



O_x

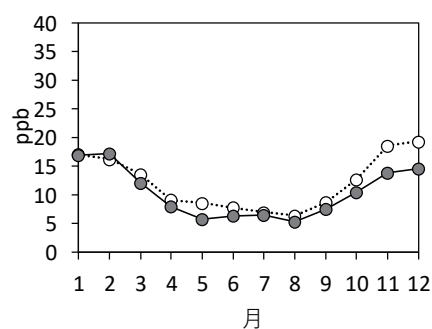


DPO_x

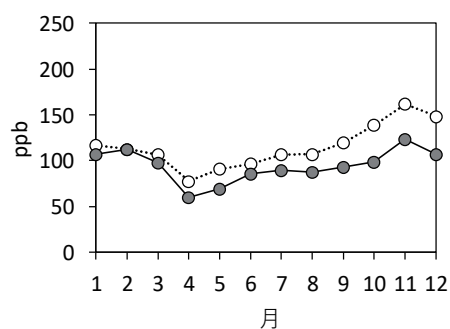


名古屋

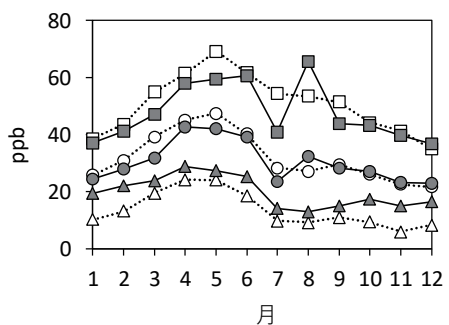
NO_x



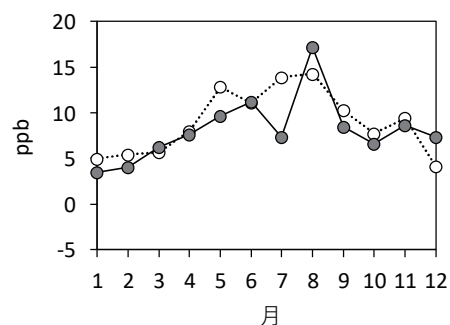
NMHC



O_x



DPO_x



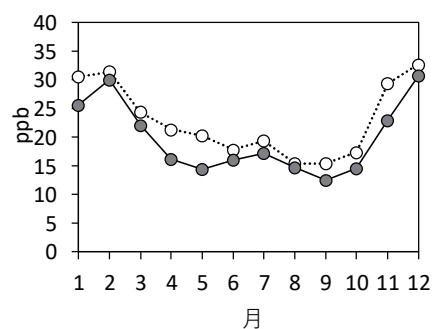
- 日最高値 2020
- 日最高値 2017-2019
- 平均 2020
- 平均 2017-2019
- ▲— 日最低値 2020
- △··· 日最低値 2017-2019

図 3.1-1(3) 国設局における月別の NO_x、NMHC、O_x 及び DPO_x*

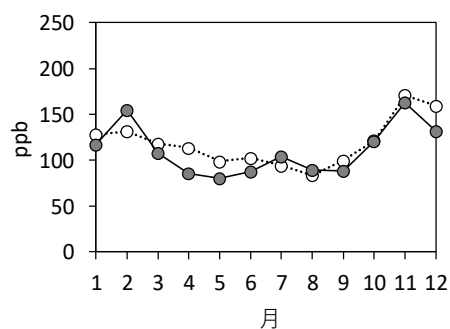
* 日中(5:00~20:00)から夜間(前日の 20:00~5:00)の O_x 濃度を引いた日中の O_x 増加量

大阪

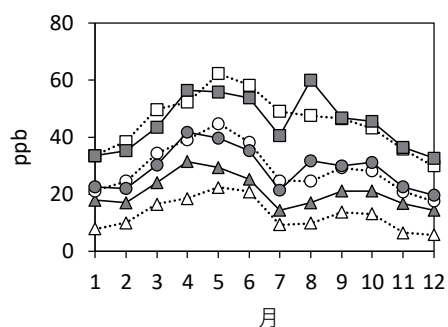
NO_x



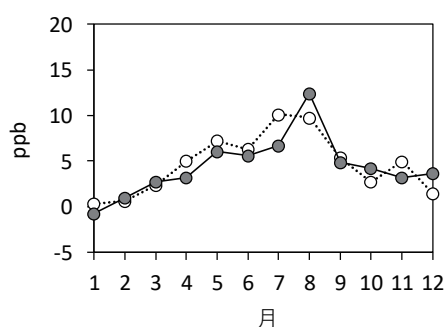
NMHC



O_x

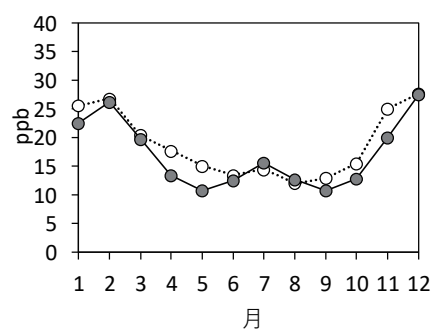


DPO_x

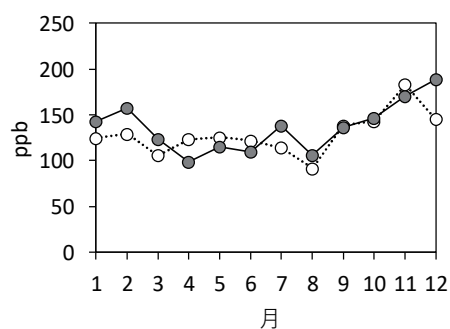


尼崎

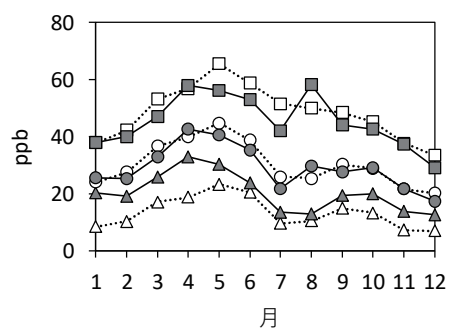
NO_x



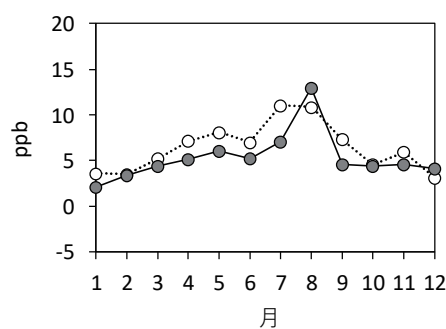
NMHC



O_x



DPO_x



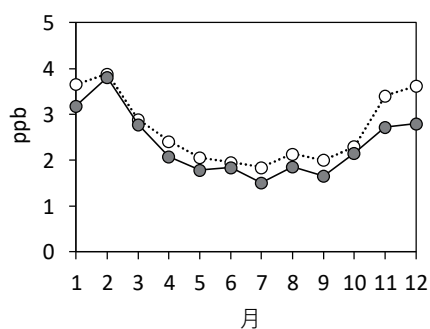
- 日最高値 2020
- 日最高値 2017-2019
- 平均 2020
- 平均 2017-2019
- ▲— 日最低値 2020
- △··· 日最低値 2017-2019

図 3.1-1(4) 国設局における月別の NO_x、NMHC、O_x 及び DPO_x*

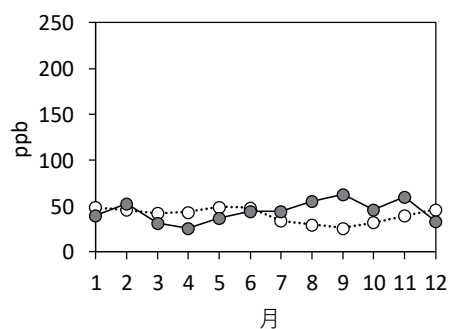
* 日中(5:00~20:00)から夜間(前日の 20:00~5:00)の O_x 濃度を引いた日中の O_x 増加量

松江

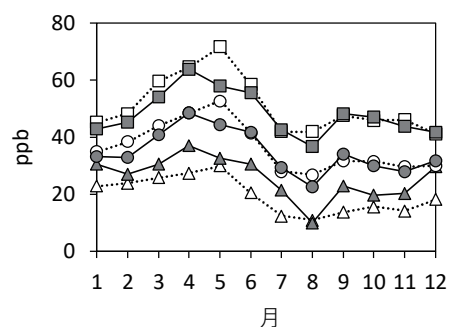
NO_x



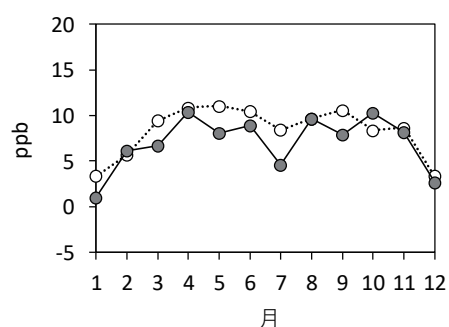
NMHC



O_x

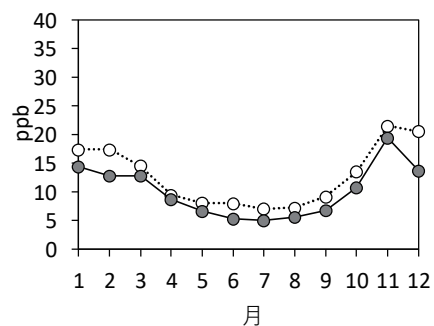


DPO_x

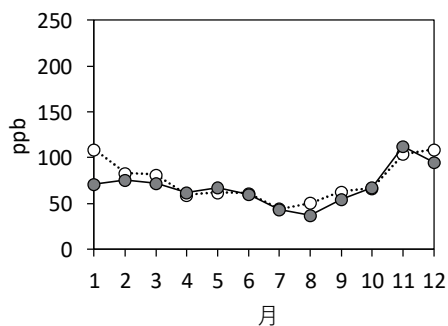


大牟田

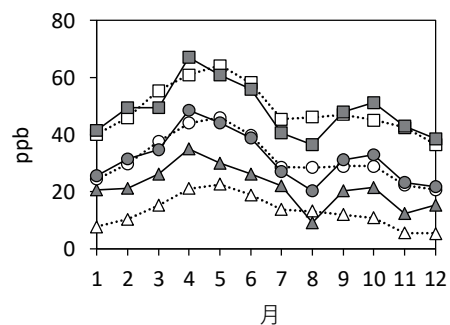
NO_x



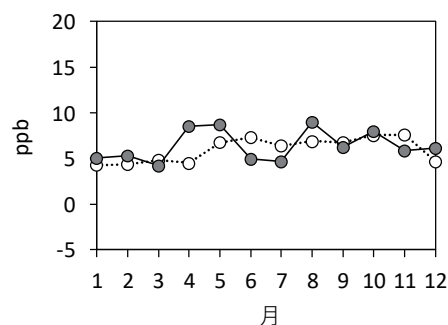
NMHC



O_x



DPO_x



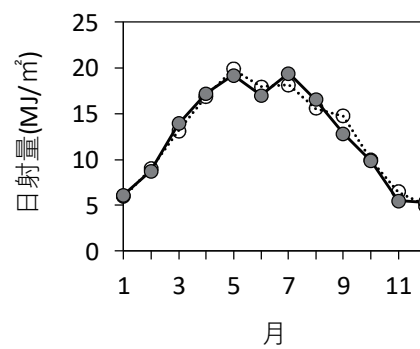
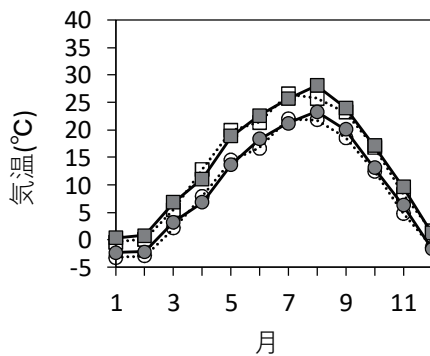
- 日最高値 2020
- 日最高値 2017-2019
- 平均 2020
- 平均 2017-2019
- ▲— 日最低値 2020
- △··· 日最低値 2017-2019

図 3.1-1(5) 国設局における月別の NO_x、NMHC、O_x 及び DPO_x*

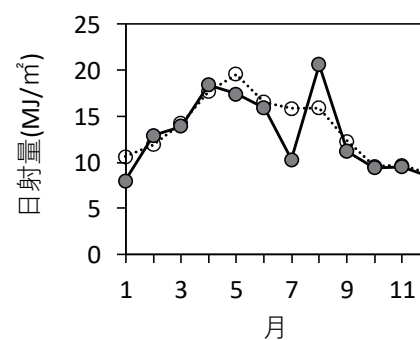
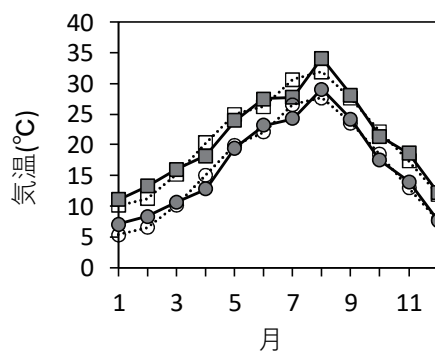
* 日中(5:00~20:00)から夜間(前日の 20:00~5:00)の O_x 濃度を引いた日中の O_x 増加量

Ox 濃度は、気象の影響を大きく受けることから、2020 年の気象の傾向について整理した。気象庁の「2020 年（令和 2 年）の日本の天候」¹¹⁸によると、2020 年は全国的に平均気温が高い年であったと報告されている。1 月、2 月は暖冬により東日本及び西日本で気温が高かった。7 月に梅雨前線の影響で、東・西日本を中心に各地で長期間にわたって大雨となり、例年に比べ日射量が低下した。

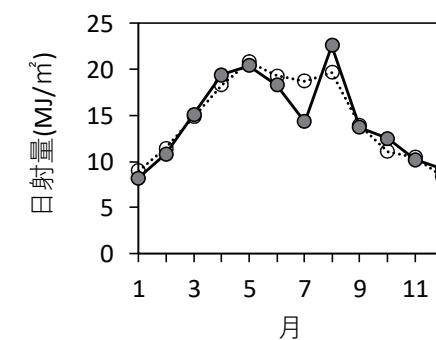
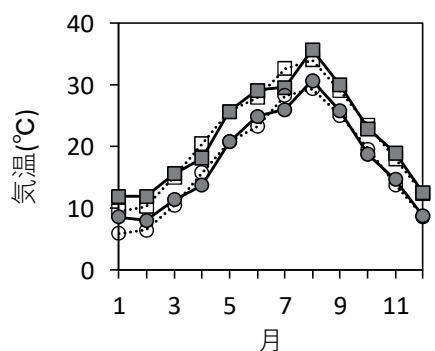
札幌



東京



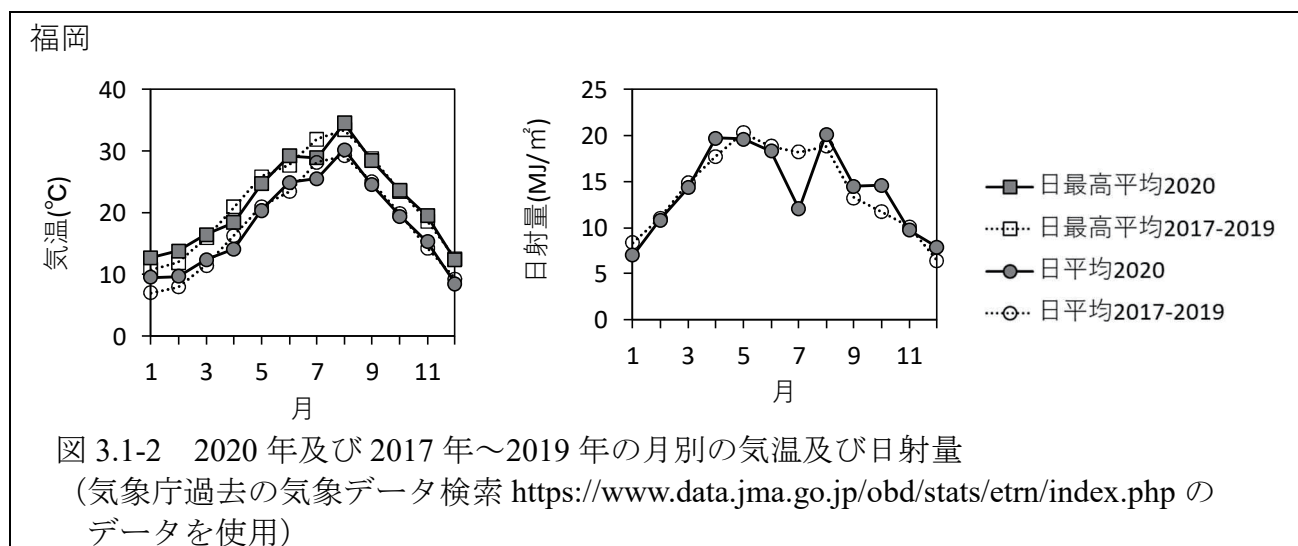
大阪



■ 日最高平均2020
 ...■... 日最高平均2017-2019
 ● 日平均2020
 ...○... 日平均2017-2019

図 3.1-2(1) 2020 年及び 2017 年～2019 年の月別の気温及び日射量
 （気象庁過去の気象データ検索 <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> のデータを使用）

¹¹⁸ 気象庁 HP, 2020 年（令和 2 年）の日本の天候
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/stat/tenko2020_besshi.pdf



3.2 世界の各地域

3.2.1 ヨーロッパ

ヨーロッパではロックダウン時に交通量の減少等により NO_x の排出量が減少し、大気中の NO_x 濃度が減少したにもかかわらず、多くの地域で O_x 濃度が増加したとの報告がある (Zhang and Stevenson, 2022¹¹⁹、Brancher, 2021¹²⁰、Sbai et al., 2021¹²¹、Sicard et al., 2020¹²²、Tobias et al., 2020¹²³)。その主な要因として、フランスのリヨン (Sbai et al., 2021¹²¹) では NO タイトレーション効果と気象の影響、イギリスのロンドン (Zhang and Stevenson, 2022¹¹⁹)、スペインのバルセロナ (Tobias et al., 2020¹²³) 及びオーストリアのウィーン (Brancher et al., 2021¹²⁰) では VOC 制限下で NO_x 濃度が減少したことが挙げられている。

また、スペインのイベリア半島ではロックダウン時に雲の量と相対湿度が高く、オゾン濃度が減少し、北ヨーロッパでは雲の量が少なく、オゾンが増加したと報告されてる (Deroubaix et al., 2021¹²⁴)。オゾン濃度は気象条件にも大きく影響されることが推察される。

Spohn et al., 2022¹²⁵ のアイスランドの結果では、NO₂ 濃度の減少により、VOC/NO_x 比を増加させ、NO_x が制限された環境となる結果、郊外で O₃ が増加し、農村部で通常より低い濃度が観察されたと報告されている。

¹¹⁹ Zhang, C., Stevenson, D.. Characteristic changes of ozone and its precursors in London during COVID-19 lockdown and the ozone surge reason analysis. *Atmospheric Environment*. 2022; 273: 118980.

¹²⁰ Brancher, M.. Increased ozone pollution alongside reduced nitrogen dioxide concentrations during Vienna's first COVID-19 lockdown: Significance for air quality management. *Environmental Pollution*. 2021; 284: 117153.

¹²¹ Sbai, S. E., Mejjad, N., Norelyaqine, A., Bentayeb, F.. Air quality change during the COVID-19 pandemic lockdown over the Auvergne-Rhône-Alpes region, France. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2021; 14 (5): 617-628.

¹²² Sicard, P., De Marco, A., Agathokleous, E., Feng, Z., Xu, X., Paoletti, E., Rodriguez, J. J. D., Calatayud, V.. Amplified ozone pollution in cities during the COVID-19 lockdown. *Science of the Total Environment*. 2020; 735: 139542.

¹²³ Tobias, A., Carnerero, C., Reche, C., Massagué, J., Via, M., Minguillon, M. C., Alastuey, A., Querol, X.. Changes in air quality during the lockdown in Barcelona (Spain) one month into the SARS-CoV-2 epidemic. *Science of the Total Environment*. 2020; 726: 138540.

¹²⁴ Deroubaix, A., Brasseur, G., Gaubert, B., Labuhn, I., Menut, L., Siour, G., Tuccella, P.. Response of surface ozone concentration to emission reduction and meteorology during the COVID-19 lockdown in Europe. *Meteorological Applications*. 2021; 28 (3): e1990.

¹²⁵ Spohn T. K., Martin, D., Geever, M., O'Dowd, C.. Effect of COVID-19 lockdown on regional pollution in Ireland. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2022; 15 (2): 221-234.

表 3.2-1 ヨーロッパにおける文献調査の概要

国または地域	概要
イギリス・ロンドン	ロックダウン期間中の 2020 年 4 月から 6 月にかけて、VOC と NO _x 濃度は大きく減少した。VOC の濃度変化は NO _x の減少幅より小さく、ロックダウン期間中は自動車由来 NO _x の排出量が減少した一方で、戸締りによる住宅由来の VOC 排出量が増加したため、全体として VOC の減少幅が小さくなった可能性がある。O ₃ 濃度は 2001 年から 2020 年にかけては 1 時間値で年間 0.3ppb 増加であったが、ロックダウン期間中の 2020 年 4 月は過去 20 年間と比較して約 26ppb 増加した。2020 年 3 月から 6 月までの VOC/NO _x および O ₃ 濃度がトレンドより有意に高く、ロンドンが VOC 律速のため、O ₃ が増加したと推察した。(Zhang and Stevenson, 2022 ¹¹⁹)
オーストリア・ウィーン	2020 年 3 月～4 月のロックダウンの期間、BAU シナリオより NO ₂ 及び O ₃ の増減を算出した結果、平均で NO ₂ は 20.1%減少し、O ₃ は 8.5%増加したことがわかった。O ₃ の増加は、NO タイトレーションだけに起因するものではないが、NO _x 排出量がかつてないほど減少し、NO タイトレーション効果が減少したためと推察された。ウィーン全域のレジームが VOC 律速であることが示された。(Brancher, 2021 ¹²⁰)
フランス・リオン	フランス・リオンでは、道路交通量がロックダウン前に比べ 80%減少し、NO ₂ 、NO、CO 濃度がそれぞれ 67%、78%、62%減少した。O ₃ 、PM ₁₀ 、PM _{2.5} はそれぞれ 105%、23%、53%増加した。O ₃ 濃度の増加は NO 濃度の急激な低下による NO タイトレーション効果の減少 (-40%) が起因していた。また、天候(気温、日射量、日射量)により、オゾン生成が促進された。(Sbai et al., 2021 ¹²¹)
フランス・ニース、イタリア・ローマ、イタリア・トリノ、スペイン・バレンシア	ロックダウン中は 2017 年から 2019 年の同時期と比較して、NO ₂ の日平均値の平均が、ニースで-62.8%、ローマで-45.6%、トリノで-30.4%、バレンシアで-69.0%、NO の日平均値の平均が、ニースで-70.7%、ローマで-68.5%、トリノで-52.6%、バレンシアで-61.9%であった。O ₃ の日平均値の平均は、ニースで+24%、ローマで+14%、トリノで+27%、バレンシアで+2.4%であった。すべての観測点の O ₃ 濃度の明確な上昇傾向は、主に道路輸送による地域の NO _x 排出量の減少により、NO タイトレーション効果が低下したことに起因する。(Sicard et al., 2020 ¹²²)
スペイン・バルセロナ	ロックダウン中、都市部では燃焼プロセスの低下、道路交通の減少の影響で NO ₂ が低下した。ロックダウン前に比べ、NO ₂ は、日平均で一般局 -47.0% (30.0→15.9 µg/m ³)、自排局 -51.4% (42.4→20.6 µg/m ³) であった。一方、O ₃ 濃度は、日平均で一般局 +28.3% (52.4→67.3 µg/m ³)、自排局 +57.7% (41.8→65.9 µg/m ³) であり、O ₃ の増加原因として、VOC 制限下での NO _x 減少、NO タイトレーション効果の減少のほかに、2 月から 4 月の日射量と気温の上昇が挙げられた。(Tobías et al., 2020 ¹²³)
スペイン・イベリア半島	過去の年と比較してロックダウン中は、ヨーロッパのほとんどの測定局で NO _x 濃度が減少した。O ₃ 濃度はヨーロッパ北部で増加し、ヨーロッパ南西部で減少した。(Ordóñez et al., 2020 ¹²⁶ 、Deroubaix et al., 2021 ¹²⁴) ロックダウン中、イギリス諸島、フランス、ベネルクス、ドイツでは気温の上昇、東ヨーロッパでは低湿度、北イタリアとオーストリア周辺の日射量が高いことが O ₃ 濃度の増加に寄与した。一方、イベリア半島では日射量が少なく、高湿度で、帯状風が弱くなることが O ₃ 濃度の低下に寄与した。(Ordóñez et al., 2020 ¹²⁶) また O ₃ の増加は、主に雲量が異常に少ないことで NO ₂ と O ₃ の光化学的分配が O ₃ の増加にシフトしたことによる。総 Ox 濃度 (Ox = O ₃ + NO ₂) は、イベリア半島とフランス南西部で減少した以外は変化しなかったと考察されている。(Deroubaix et al., 2021 ¹²⁴)

¹²⁶ Ordóñez, C., Garrido-Perez, J. M., García-Herrera, R.. Early spring near-surface ozone in Europe during the COVID-19 shutdown: Meteorological effects outweigh emission changes. Science of the Total Environment. 2020; 747: 141322.

アイルランド	ロックダウン中は過去3年に比べ、NO ₂ 濃度が農村部のキルケニーを除いて、他の測定局では減少した（最も交通量の多い測定局のウッドキー（ダブリン）では50.7%の減少）。O ₃ 濃度は郊外で13.7%高く、農村部で5.6%低かった。これは週末効果によるものと推察された。NO ₂ の減少は、VOC/NO _x 比を増加させ、NO _x が制限された環境となる結果、郊外でO ₃ が初期に増加し、農村部で通常より低い濃度が観察された。（Spohn et al., 2022 ¹²⁵ ）。
--------	---

3.2.2 北米

北米においてもロックダウン中に交通量の減少等により、NO_x濃度が減少した。O₃濃度はNO_xが制限されている農村部では広範囲に減少したが、VOCが制限されている都市中心部周辺では局所的にO₃濃度が上昇したとの報告がある（Gaubert et al., 2021¹²⁷、Campbell et al., 2021¹²⁸）

また、週末効果について着目した Gough and Anderson, 2022¹²⁹のカナダ・トロントの結果では、平日でオゾンが増加したと報告されている。

メキシコシティでは、NO_xは減少したが、O₃濃度は変化しなかった。しかし、オゾン生成レジームの変化が指摘されている。（Peralta et al., 2021¹³⁰）

表 3.2-2 北米における文献調査の概要

国または地域	概要
米国	米国北東部の都市ではNO _x は最大40%減少し、オゾンは2%～10%増加した。要因として、NOタイトレーション効果の減少が報告されている。（Gaubert et al., 2021 ¹²⁷ ）一方、北米の農村部では、オゾンは減少し、NO _x 律速の地域では広くオゾンの減少が報告されている。（Gaubert et al., 2021 ¹²⁷ 、Campbell et al., 2021 ¹²⁸ ）
カナダ・トロント	2020年4月から6月を2010～2019年の同月と比較し、NO ₂ は最大60.7%減少、オゾンは週末で変化なし、平日で最大15%増加した。オゾンの増加はVOC律速下でのNO _x 濃度の減少が要因と報告されている。（Gough and Anderson, 2022 ¹²⁹ ）
メキシコシティ	2020年3月～5月のNO _x のピーク時濃度を前年及前々年の同期間の平均濃度と比較すると30%減少し、O ₃ 濃度は変化しなかった。NO _x の減少が非常に急激で、オゾン形成がVOC律速からNO _x 律速に向かって急速に変化したことが観測データから示された。（Peralta et al., 2021 ¹³⁰ ）

¹²⁷ Gaubert, B., Bouarar, I., Doumbia, T., Liu, Y., Stavrakou, T., Deroubaix, A., Darras, S., Elguindi, N., Granier, C., Lacey, F., Müller, J.-F., Shi, X., Tilmes, S., Wang, T., Brasseur, G. P.. Global Changes in Secondary Atmospheric Pollutants During the 2020 COVID-19 Pandemic. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2021; 126 (8): e2020JD034213.

¹²⁸ Campbell, P. C., Tong, D., Tang, Y., Baker, B., Lee, P., Saylor, R., Stein, A., Ma, S., Lamsal, L., Qu, Z.. Impacts of the COVID-19 economic slowdown on ozone pollution in the U.S.. *Atmospheric Environment*. 2021; 264: 118713.

¹²⁹ Gough, W. A., Anderson, V.. Changing Air Quality and the Ozone Weekend Effect during the COVID-19 Pandemic in Toronto, Ontario, Canada. *Climate*. 2022; 10 (3): 41.

¹³⁰ Peralta, O., Ortíz-Alvarez, A., Torres-Jardón, R., Suárez-Lastra, M., Castro, T., Ruíz-Suárez, L. G.. Ozone over Mexico City during the COVID-19 pandemic. *Science of the Total Environment*. 2021; 761: 143183.

3.2.3 南米

検索した文献の中で南米の文献数は3報で他の地域に比べ少なかった。その中から、2報を紹介する。

ブラジル・リオデジャネイロでは交通量及び経済活動の減少等により NO_x 及び NMHC が減少し、オゾンが増加したことが報告されている。オゾンの増加要因として、NMHC 律速下で NO_x 濃度が減少したことと、工業地帯からの芳香族化合物を多く含む気塊到達による VOC の反応性の上昇が挙げられている。(Siciliano et al., 2020¹³¹) エクアドル・キトでも交通量の削減等により NO_x 濃度の減少が見られたが、季節的にオゾンが上昇する条件でなかったため、オゾン濃度は変化しなかったと報告されている。(Cazorla et al., 2021¹³²)

表 3.2-3 南米における文献調査の概要

国または地域	概要
ブラジル・リオデジャネイロ	ロックダウン前約3週間との中央値の比較で、ロックダウン期間の NO _x は、24.4～46.1%減少し、NMHC は 14.3～25.0%減少した。一方、オゾンは 6.3～12.9%増加した。オゾンの増加は、NMHC 律速下で NMHC 濃度よりも NO _x 濃度がより減少したことと、工業地帯からの芳香族化合物を多く含む気塊到達による VOC の反応性の上昇が要因として報告されている。(Siciliano et al., 2020 ¹³¹)
エクアドル・キト	ロックダウン中 NO _x 、CO は大幅に減少したが、オゾン濃度には変化が見られなかった。通常、NO _x 飽和領域ではオゾン生成が強く抑制されるが、NO の増加とともにポテンシャルオゾンが減少し、そのレベルは 100ppbv に近づく。3月13日以降、NO の排出量の減少によりオゾン生成速度が増大し、低 NO と高 p(HO _x) 領域で着実に増加し、その後、NO の増加とともに減少する。1月から3月中旬までの気象条件下では O ₃ の蓄積につながらないことが示された。(Cazorla et al., 2021 ¹³²)

3.2.4 アジア

アジア地域では中国についての文献が多かった。中国において、ロックダウン中に NO_x 濃度は東部、北西部で著しく減少し、オゾン濃度は北東部やいくつかの大都市で局所的に増加、南部で減少した。オゾンの増加は NO タイトレーション効果の減少と報告されている (Gaubert et al., 2021¹²⁷、Ghahremanloo et al., 2021¹³³)。また Zhu et al., 2021¹³⁴では、前駆物質の反応速度(AOC)に着目し、オゾンの増加は気象と前駆物質排出量の減少により、AOC が向上したためと推察している。

インドではロックダウン中に自宅待機等で電力需要が増し、NO₂ や CO などの排出量が増加し、石炭火力発電所及び都市部でオゾン濃度が増加したと報告されている (Rawat et al., 2022¹³⁵)。

¹³¹ Siciliano, B., Dantas, G., da Silva, C. M., Arbilla, G.. Increased ozone levels during the COVID-19 lockdown: Analysis for the city of Rio de Janeiro, Brazil. Science of the Total Environment. 2020; 737: 139765.

¹³² Cazorla, M., Herrera, E., Palomeque, E., Saud, N.. What the COVID-19 lockdown revealed about photochemistry and ozone production in Quito, Ecuador. Atmospheric Pollution Research. 2021; 12 (1): 124-133.

¹³³ Ghahremanloo, M., Lops, Y., Choi, Y., Mousavinezhad, S.. Impact of the COVID-19 outbreak on air pollution levels in East Asia. Science of the Total Environment. 2021; 754: 142226.

¹³⁴ Zhu, S., Poetzsch, J., Shen, J., Wang, S., Wang, P., Zhang, H.. Comprehensive insights into O₃ changes during the COVID-19 from O₃ formation regime and atmospheric oxidation capacity. Geophysical Research Letters. 2021; 48 (10): e2021GL093668.

¹³⁵ Rawat, P., Naja, M.. Remote sensing study of ozone, NO₂, and CO: some contrary effects of SARS-CoV-2 lockdown over India. Environmental Science and Pollution Research. 2022; 29 (15): 22515-22530.

表 3.2-4 アジアにおける文献調査の概要

国または地域	概要
中国	NO_x 濃度は東部、北西部の大部分で 40～50%減少し、オゾン濃度は北東部やいくつかの大都市で局所的に増加、南部で減少した。オゾンの増加は NO タイトレーション効果の減少と報告されている。(Gaubert et al., 2021¹²⁷) ロックダウン中をロックダウン前約 2 週間と比較して、NO_x 濃度は華北平原 60%、長江デルタ 63%、及び珠江デルタ 44%減少した。オゾン濃度 (MDA8) は華北平原 54%及び長江デルタ 44%増加、珠江デルタでわずかに減少した。オゾンの増加は気象と前駆物質排出量の減少により、前駆物質の反応速度(AOC)向上のためと推察された。(Zhu et al., 2021¹³⁴) 前年 2 月と 2020 年の比較で、NO₂ 濃度は中国北京、天津、華北地域で 54%、武漢で 83%減少し、オゾン濃度は中国東部で 19.6%、中国北京、天津、華北地域で 16.9%、武漢で 49.8%増加した。オゾンの増加は NO タイトレーション効果の減少が要因として挙げられた。(Ghahremanloo et al., 2021¹³³)
インド	NO₂、CO が、石炭火力発電所周辺と都市で増加し、オゾンは石炭火力発電所周辺と都市で増加、その他の地域は減少した。新型コロナウイルスの流行で自宅待機等のため電力需要が増加したため、発電所周辺で前駆物質の排出量が増え、オゾン濃度が増加した。(Rawat and Naja, 2022¹³⁵)

3.2.5 世界全体として

これまで、3.2.1~3.2.4 で世界各地の緊急事態宣言や都市封鎖（ロックダウン）期間前後のオゾンと前駆物質の変化に関する論文を紹介した。ここでは、世界全域の変化を解析した論文を紹介する。

Miyazaki et al, 2021¹³⁶のシミュレーションモデルの解析結果では、各地でロックダウンが実施された 2020 年 4 月と 5 月に、NO_x 排出量は世界全体で 15%以上、地域では 18~25%減少し、対流圏オゾンを最大 5ppm 減少させたと報告されており、世界全体としてロックダウンによる NO_x 排出量の減少がオゾン濃度を減少させ、NO_x 排出規制が大気質と気候の両方に有効であることを検証した。

Gaubert et al., 2021¹²⁷ のシミュレーションモデルを用いた解析では、地域レベルでの変化にも焦点を当て、世界各地のオゾン濃度増加は NO_x が飽和状態の一部の地域で NO タイトレーション効果の減少によるものであり、NO_x 律速の他の地域はオゾン濃度が減少したと報告されている。

また、Gkatzelis et al, 2021¹³⁷の世界の論文を取り扱ったレビューでは、ロックダウン措置の深刻さの指標である政府厳格性指数(SI)の増加とともに観測される NO₂ 濃度の減少率は増加したと報告されている。O₃ は報告された測定局が都市部中心 (98%以上) であり、そのほとんどで増加したと報告されている。ここで、日本における評価を見ると、NO₂ の減少率は全体では 5%~70%の範囲の中で 20%程度で、SI は最も低い台湾の次に低いレベルであった。またオゾンは 5%程度の減少となっている。

¹³⁶ Miyazaki, K., Bowman, K., Sekiya, T., Takigawa, M., Neu, L. J., Sudo, K., Osterman, G., Eskes, H.. Global tropospheric ozone responses to reduced NO_x emissions linked to the COVID-19 worldwide lockdowns. Science Advances, 2021; 7: eabf7460.

¹³⁷ Gkatzelis, G. I., Gilman, J. B., Brown, S. S., Eskes, H., Gomes, A. R., Lange, A. C., McDonald, B. C., Peischl, J., Petzold, A., Thompson, C. R., Kiendler-Scharr, A.. The global impacts of COVID-19 lockdowns on urban air pollution: A critical review and recommendations. Elementa: Science of the Anthropocene. 2021; 9 (1): 00176.

表 3.2-5 世界全域を対象とした文献調査の概要

国または地域	概要
世界全域 (衛星データ等の解析)	多成分化学データ同化システムを用いて解析した結果、人為的な NO_x 排出量は、2020 年 4 月と 5 月に世界全体で 15%以上、地域では 18~25%減少し、自由対流圏オゾンを経最大 5ppm 減少させた。2020 年 5 月から 6 月にかけて、対流圏オゾンの総量は世界全体で 6TgO₃ (約 2%) 減少したが、これは主に地域的に高いオゾン生成能 (最大 4TgO₃/TgN) によって増幅されるアジアと南北アメリカの NO_x の排出削減によるものである。この結果は、NO_x 排出規制が大気質と気候の両方に有効であることを検証する。 ここでは、NO_x 排出量の変化に対する世界および地域のオゾン濃度の変化と、VOC 排出量の変化の潜在的な影響に焦点を当てたが、都市規模の排出量変化とそれに続くオゾン濃度の変化については、十分に解明されていない。COVID-19 のロックダウンが大気質と人間の健康に与える影響を評価するためには、より細かい(例えば都市部)スケールでの NO_x /VOC の影響をさらに調査することが不可欠である。(Miyazaki et al, 2021¹³⁶)
世界全域 (シミュレーションモデル)	シミュレーションモデルの結果、NO_x 濃度は 2020 年 2 月の中国では約 40%、2020 年 3 月中旬から 4 月中旬のヨーロッパと北米の多くの地域で中国と同程度減少していた。オゾン濃度が増加したのは、パンデミックの冬季に NO_x の飽和した少数の領域(中国北部、欧州北部、米国)においてのみであり、NO_x タイトレーション効果の減少したことを示していた。NO_x 律速の他の地域では、オゾン濃度が減少した。また、モデルの解析により、ヨーロッパのオゾン増加は気象異常と関連していたが、中国の華北平野でのオゾン増加は主に一次汚染物質の排出量の減少に起因していた。(Gaubert et al., 2021¹²⁷)
世界全域 (文献レビュー)	COVID-19 による大気汚染物質濃度と大気質に対する排出削減の影響を調査するため、パンデミック発生後 7 ヶ月の間に受理された論文の中から約 150 報の論文レビューを実施した。ロックダウン措置の深刻さの指標である政府厳格性指数(SI)の増加とともに観測される NO₂ の減少は、ロックダウンを考慮した排出インベントリと概ね一致した。O₃ と PM_{2.5} の濃度における大気化学の重要性から、それらの反応は一次汚染物質に対して線形でない可能性がある。ほとんどの観測局で、O₃ は増加し、PM_{2.5} は SI の増加とともにわずかに減少することがわかった (O₃ の測定局の 98%以上が都市部の事例)。また汚染物質濃度に対するロックダウン効果を決定するためには、気象、排出量の傾向、大気化学の影響を考慮する必要がある。(Gkatzelis et al, 2021¹³⁷)
世界の主要都市	COVID-19 に対する世界の対応が、過去数ヶ月にわたる世界の主要都市の大気汚染と大気質の変化に与える影響を調査した。2020 年の NO₂、CO、PM_{2.5} のレベルは、2019 年のレベルと比較して有意に減少していた。これらの減少は、NO₂、CO、PM_{2.5} のレベルで、それぞれ 63%(中国・武漢)、61%(ペルー・リマ)、61%(ドイツ・ベルリン)と高い値であった。一方、2020 年の O₃ レベルは、NO_x タイトレーションの減少により、86%(イタリア・ミラン)と大幅に増加した。(Habibi et al, 2020¹³⁸)

¹³⁸ Habibi, H., Awal, R., Fares, A., Ghahremannejad, M.. COVID-19 and the Improvement of the Global Air Quality: The Bright Side of a Pandemic. Atmosphere. 2020; 11 (12): 1279.

3.3 世界の各地域と日本国内の NO_x 低減率と O_x 上昇率の比較

世界の各地域と日本国内の NO_x と O_x の変化を比較するため、3.1 及び 3.2 で対象とした文献の中から O_x 濃度がわかる文献を中心に表 3.3-1 に整理した。

日本は NO_x 低減率が他の国よりも低く、もともとの O_x 濃度のレベルも高め (30ppb 以上) であった。一方、世界では NO_x の低下率が 30% 以上で、O_x の濃度レベルも比較的低い (30ppb 未満) 傾向があった。またスペインでは、NO_x の低下率は高いが、O_x の上昇率は低く、3.2.1 で整理した通り、気象の影響とされている。

表 3.3-1 世界の各地域と日本国内の NO_x 低減率と O_x 上昇率

		NO _x 、または NO ₂ の低減率		
		～30%	30～50%	50%～
O _x または O ₃ の上昇率	～0%	東京 (31→30) 過去 3 年の 1～6 月の平均値の比較*111 大阪 (34→32) 過去 3 年の 1～6 月の平均値の比較*111 東京 23 区一般局 (46→39) 前年 5 月の月平均の比較*114 メキシコ・メキシコシティ*130	スペイン郊外 *126	スペイン都市 (43. 6→48. 1→40. 6→43. 6) 過去 5 年の MDA8 の中央値の比較*126
	0～10%	オーストリア郊外 *126 ドイツ郊外 *126 イタリア郊外 *126	フランス都市、郊外 *126 イタリア都市 *126	スペイン・バレンシア (32. 3→33. 0) 過去 3 年の日平均の比較*122
	10～20%	オーストリア都市 *126 ベルギー郊外 *126 ドイツ都市 (34. 1→43. 6→36. 6→51. 1) 過去 5 年の MDA8 の中央値の比較*126	イタリア・ローマ (27. 6→31. 0) 過去 3 年の日平均の比較*122	カナダ・トロント (18→39→20→42) 過去 10 年の 4 月～6 月の平均 (東部平日) の比較*129 中国東部 (24. 3→29. 0) 前年 2 月の月平均の比較*133
	20%～		イタリア・トリノ (25. 5→32. 3) 過去 3 年の日平均の比較*122 ベルギー都市 *126	フランス・ニース (31. 4→38. 9) 過去 3 年の日平均の比較*122 中国・武漢 (23→31. 3) 過去 3 年の日平均の比較*122

※ () 内は O_x、または O₃ の濃度 (ppb) でロックダウン、あるいは緊急事態宣言の (期間前→期間中) の値を示す。文献の記載が µg/m³ の場合、ppb に換算した。

※ 期間前の O_x 濃度の平均値、または中央値が 30ppb 以上は赤文字、30ppb 未満は青文字とした。

※ *数字は引用文献の文献番号を示す。

3.4 まとめ

日本国内においては緊急事態宣言時に都市を中心に NO_x 濃度が低下したが、諸外国のように O_x 濃度の増加はみられなかった (微小粒子状物質等専門委員会 (第 12 回) 資料 3¹¹¹)。O_x 濃度の上昇がみられなかった一因として、越境大気汚染の影響の減少が示唆されているが、大陸のロックダウンの影響かどうかはさらなる検討が必要である (高倉ら, 2022¹¹³、吉野と高見, 2020¹¹⁷)。

海外でも新型コロナウイルス流行に伴う都市封鎖 (ロックダウン) 中、交通量等の減少により世界のほとんどの地域で NO_x 排出量が減少し、NO_x 濃度の低下が見られた。この NO_x の低下により、世界全体としてはオゾン濃度が減少し、NO_x 排出削減が世界の大気質の改善に有効であることが示された (Miyazaki et al, 2021¹³⁶)。

一方で、海外の各地域を見ると、ロックダウン時の NO_x 濃度の減少に対しオゾン濃度が増加した地域が多数あった。その要因として以下が挙げられる。

- ・ NO タイトレーション効果の減少

(Sbai et al., 2021¹²¹、Tobías et al., 2020¹²³、Gaubert et al., 2021¹²⁷)

- ・ VOC 律速下での NO_x 濃度の減少

(Zhang and Stevenson, 2022¹¹⁹、Brancher, 2021¹²⁰、Tobías et al., 2020¹²³、Gough and Anderson, 2022¹²⁹)

- ・ 雲量の低下による日射量の増加などの気象要因

(Deroubaix et al., 2021¹²⁴、Ordóñez et al., 2020¹²⁶)

オゾン濃度が増加したのは VOC 律速の都市部が多く、NO_x 律速の農村部では O_x 濃度は減少したと報告されている (Spohn et al., 2022¹²⁵、Gaubert et al., 2021¹²⁷、Campbell et al., 2021¹²⁸)。また、スペインのイベリア半島、エクアドル・キトでは、オゾン濃度の増加がみられなかった主な要因に気象条件を挙げており、オゾン濃度に気象条件が大きく影響することも報告されている (Deroubaix et al., 2021¹²⁴、Ordóñez et al., 2020¹²⁶、Cazorla et al., 2021¹³²)。

日本の結果を海外と比較した結果、NO_x 濃度の低下率が低く、宣言前の O_x 濃度が高い傾向がみられたが、日本国内において O_x 濃度が上昇しなかった原因については、さらに解析が必要である。

新型コロナウイルス流行に伴う NO_x の削減に対するオゾン濃度の変化は、今まで言われてきた NO タイトレーション効果やオゾン生成レジーム等の説明を裏付ける結果であり、世界全体としてオゾンの削減に効果があったが、一部の都市においてオゾンの増加につながった。また、気象や気候の条件もオゾン濃度に大きな影響を与えており、今回日本ではオゾン濃度の増加は報告されなかったが、光化学反応が活発な季節に同様の NO_x の減少が生じた場合、異なる結果になった可能性もある。オゾン濃度を決める要因は複雑であるため、これらのことを注意深くみていく必要がある。

4 大気汚染対策：NO_x、VOC に係る国の規制等（1991 年以降を中心に）

4.1 固定発生源対策

4.1.1 ばい煙に係る固定発生源対策

(1) 1981 年：大気汚染防止法施行令の一部改正；窒素酸化物総量規制の導入¹³⁹

窒素酸化物が総量規制の指定ばい煙に追加され、環境基準に照らし対策の実施が特に重要である東京、神奈川、大阪の 3 地域において総量規制を実施。

(2) 2022 年：大気汚染防止法施行令の一部改正；「伝熱面積」の規模要件を撤廃¹⁴⁰

伝熱面積の規模要件撤廃に伴いバーナーを持たないボイラーについては、バーナーを持つボイラーと同規模であるにもかかわらず規制対象外となることから、公平な規制にするため「バーナーの燃料の燃焼能力」から「燃料の燃焼能力」に改正。

4.1.2 小規模燃焼機器対策

(1) 1996 年：小規模燃焼機器の窒素酸化物排出ガイドラインの策定¹⁴¹

家庭や学校などに設置する小さなボイラーなどは法規制の対象ではないが、排出口が低く、また、居住空間の近くに数多く設置され、全体的な排出量は無視できないことから、小さなボイラーなどを対象として、大気汚染物質の排出量が少ない機器を優良品として推奨するためのガイドラインを策定。

(2) 2009 年：低 NO_x 型小規模燃焼機器の推奨ガイドラインの策定¹⁴¹

(1)のガイドラインの策定から 10 年以上経過しており、技術開発の進展や世の中の環境への関心の高まりを踏まえ、改定を行ったもの。推奨ガイドラインとは、現在及び数年後の状況において、技術的・経済的に実現可能な最高水準の技術を用いた場合の NO_x 排出濃度を定めたもの。

4.1.3 VOC の排出抑制対策

(1) 2004 年：大気汚染防止法の一部を改正する法律¹³⁹

- ・法規制と事業者の自主的な取組とを適切に組合せて（ベスト・ミックス）効果的に VOC 排出を抑制していくという考え方を法律に位置づけ。
- ・法規制の対象となる施設は、VOC 排出量の多い次の 6 施設。

塗装施設及び塗装後の乾燥・焼付施設

化学製品製造における乾燥施設

工業用洗浄施設及び洗浄後の乾燥施設

印刷施設及び印刷後の乾燥・焼付施設

VOC（ガソリン等）の貯蔵施設

接着剤使用施設及び使用後の乾燥・焼付施設

¹³⁹ 独立行政法人環境再生保全機構：日本の大気汚染の歴史，
<https://www.erca.go.jp/yobou/taiki/rekishu/index.html>

¹⁴⁰ 環境省：大気汚染防止法施行令の一部を改正する政令の閣議決定について（2021 年 9 月 24 日），
<https://www.env.go.jp/press/110025.html>

¹⁴¹ 環境省：低 NO_x 型小規模燃焼機器の推奨ガイドラインについて，
<https://www.env.go.jp/air/osen/shokibo/index.html>

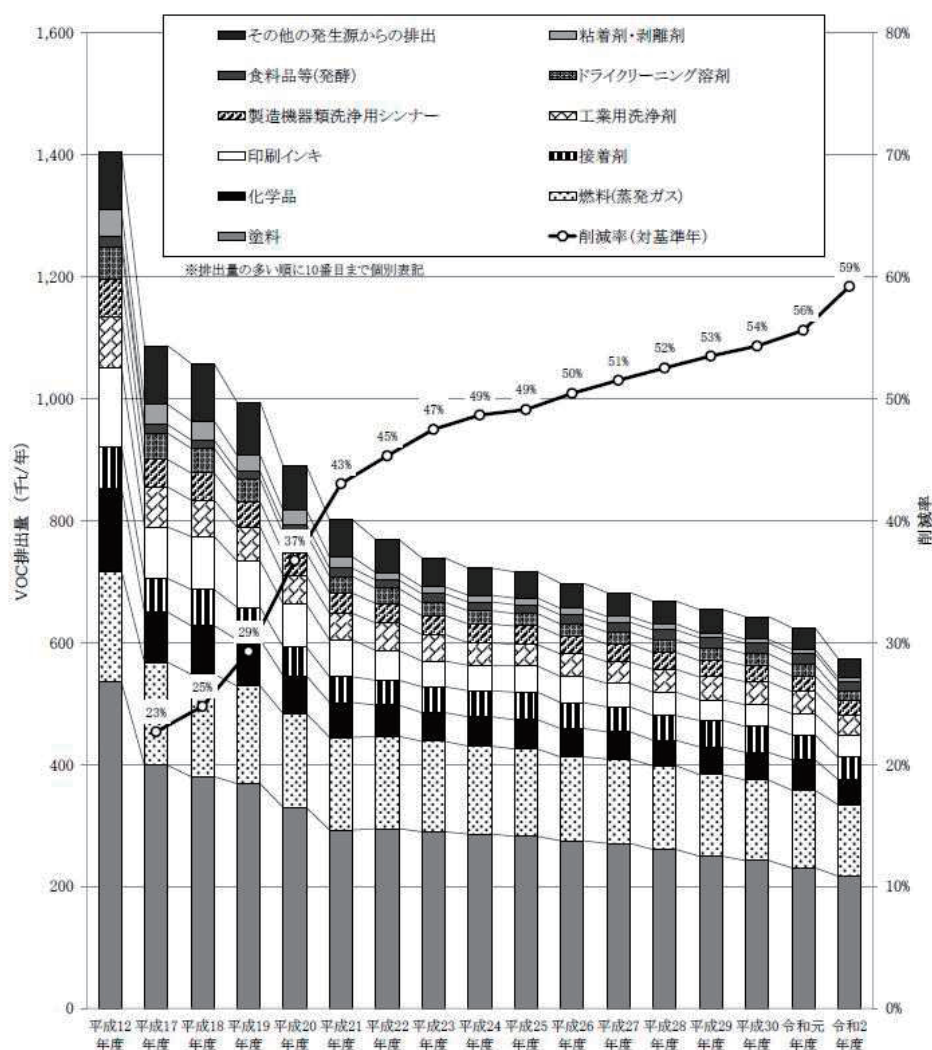


図 4-1 発生源品目別 VOC 排出量の推計結果¹⁴²

(2) 2018 年：大気環境配慮型 SS (e→AS) 認定制度¹⁴³

VOC の一種である燃料蒸発ガスを回収する機能を有する給油機 (Stage2) の普及促進のため、当該給油機を導入している給油所を大気環境配慮型 SS (e→AS) として認定する制度を 2018 年 2 月に創設し、2022 年 3 月末までに 439 件の給油所を認定。

4.1.5 その他

(1) 1996 年：大気汚染防止法の改正；有害大気汚染物質対策

事業者有害大気汚染物質の自主的な排出抑制の取組、排出抑制基準、環境基準の設定等

(2) 1999 年：特定化学物質の環境への排出量の把握及び管理の改善の促進に関する法律 環境汚染物質排出・移動の登録が制度化 (PRTR 届出制度)

¹⁴² 揮発性有機化合物 (VOC) 排出インベントリ検討会：揮発性有機化合物 (VOC) 排出インベントリについて (2022 年 3 月)

¹⁴³ 環境省：令和 4 年版 環境・循環型社会・生物多様性白書、第 2 部第 4 章、https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/r04/pdf/2_4.pdf

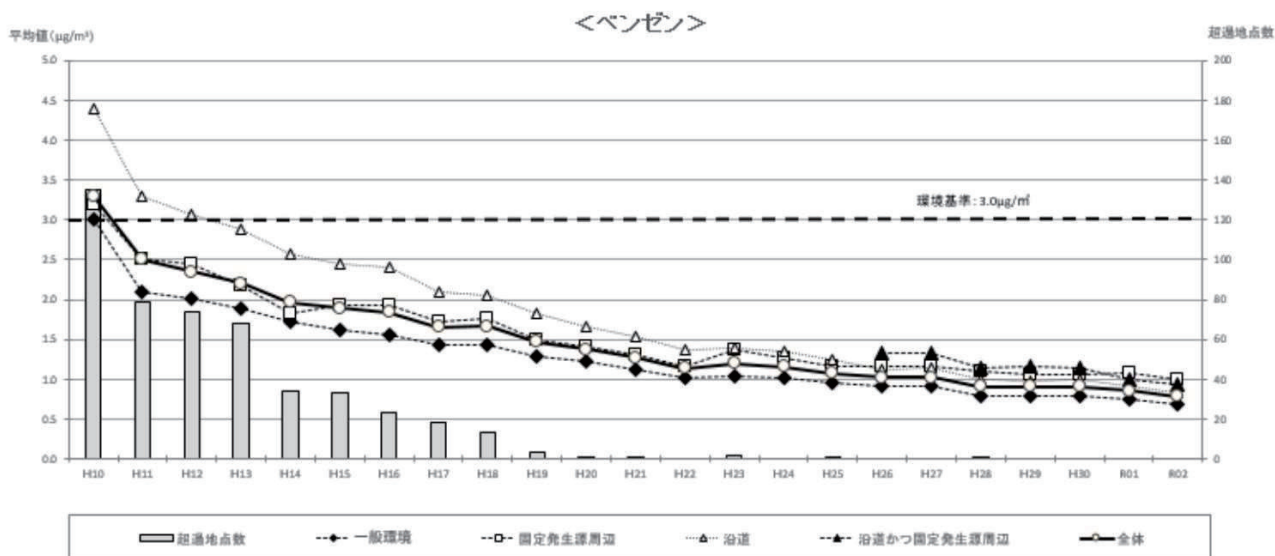
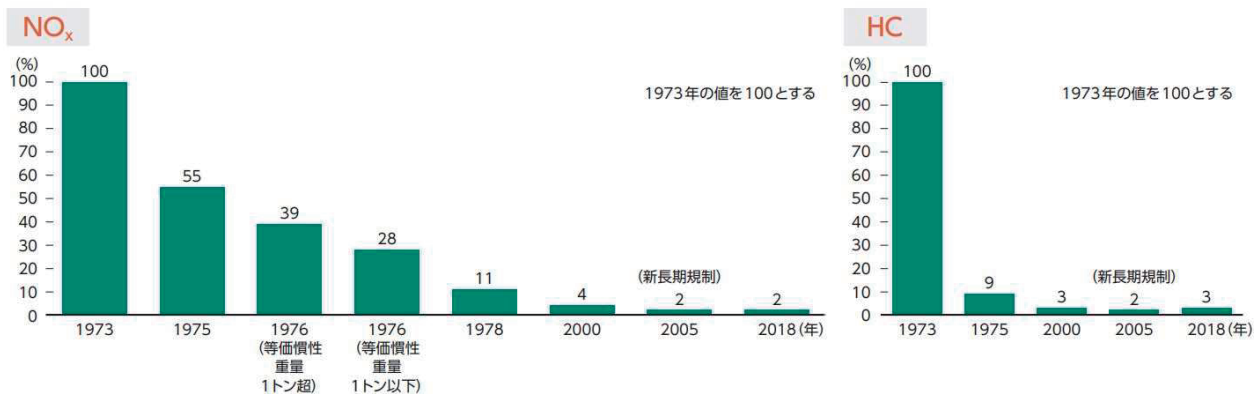


図 4-2 有害大気モニタリングにおけるベンゼンの平均値及び環境基準超過地点数の推移¹⁴⁴

4.2 移動発生源対策

4.2.1 自動車単体規制

(1)下図¹⁴³のように、自動車 1 台ごとの排出ガス規制の強化を継続的に実施。



注 1：等価性重量とは排出ガス試験時の車両重量のこと。

2：1973年～2000年までは暖機状態のみにおいて測定した値に適用。

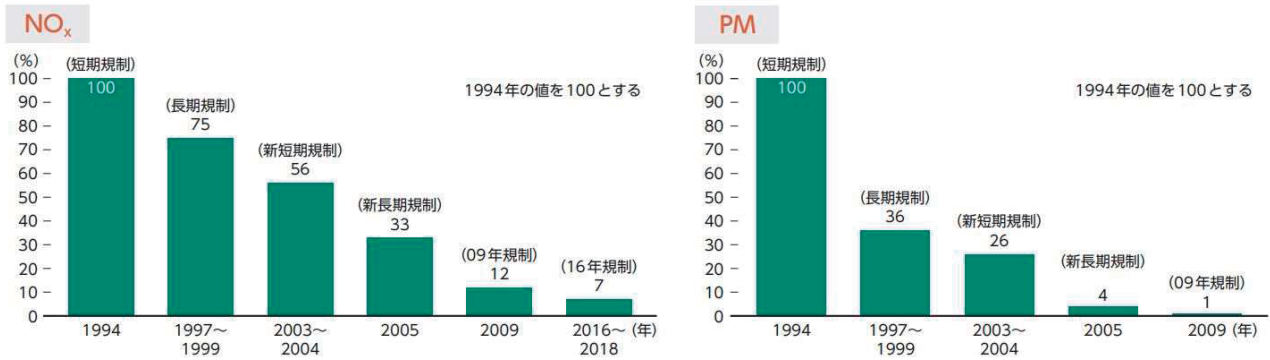
3：2005年は冷機状態において測定した値に0.25を乗じた値と暖機状態において測定した値に0.75を乗じた値との和で算出される値に適用。

4：2018年は冷機状態のみにおいて測定した値に適用。

資料：環境省

図 4-2 ガソリン・LPG 乗用車規制強化の推移

¹⁴⁴ 環境省：令和 2 年度有害大気汚染物質等に係る常時監視結果,
https://www.env.go.jp/air/osen/monitoring/mon_r02/index.html

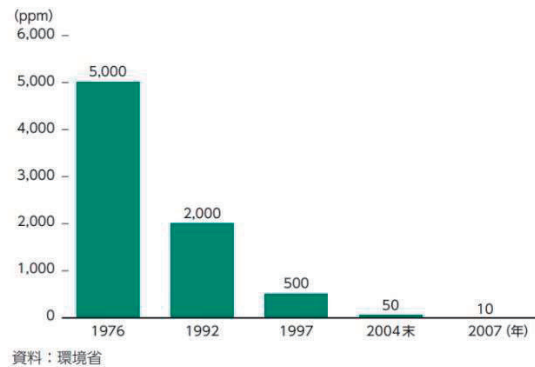


注1：2004年まで重量車の区分は車両総重量2.5トン超。

2：NO_xに係る規制は1974年から実施。図4-7-8は濃度規制から現在の質量規制に変更した1994年を基準として記載。

資料：環境省

図 4-3 ディーゼル重量車（車両総重量 3.5 トン超）規制強化の推移



資料：環境省

図 4-4 軽油中の硫黄分規制強化の推移

(2) 2005 年：特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律（オフロード法）¹⁴³

公道を走行しない特殊自動車への規制。2006 年 10 月から使用規制を開始し、逐次規制を強化。

4.2.2 車種規制（自動車 NO_x・PM 法）¹³⁹

自動車から排出される窒素酸化物及び粒子状物質の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法（平成 4 年法律第 70 号）に基づき、自動車からの NO_x 及び粒子状物質（PM）の排出量の削減に向けた施策を実施。都市地域（埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、愛知県、三重県、大阪府及び兵庫県）において各都府県が「総量削減計画」を策定し、自動車からの NO_x 及び PM の排出量の削減に向けた施策を計画的に進める。

(1) 1994 年：自動車 NO_x 法；特定地域の指定、車種規制、物流対策、人流対策等

(2) 2001 年：自動車 NO_x・PM 法；SPM も対策の対象、東海地域が追加等

(3) 2007 年：同法改正；局地汚染対策、流入車対策、建物の新設に係る届け出等

4.3 独自性のある地方公共団体の取り組み

4.3.1 光化学スモッグ発生抑制に向けた取組(川崎市)

2022 年に策定した「大気・水環境計画」において、NO₂、PM2.5、光化学オキシダントについて以下の目標値を設定し、2030 年度の達成を目指している。

- ・ NO₂ の対策目標値（環境基準）下限値（0.04 ppm）の達成（2030 年度の達成局数の割合が 77.8%）
- ・ PM2.5 の環境基準の達成維持（2030 年度 100%）
- ・ 光化学スモッグ注意報発令 0 日
- ・ 光化学オキシダント高濃度の低減（環境改善評価指標値 0.0103 ppm）

光化学スモッグ発生抑制に向けて、周辺自治体と連携した調査等を行い、原因物質の一つである VOC の発生状況等を把握し、その知見を活用することで市民や事業者の自主的な原因物質の削減に向けた取組を促進する。

4.3.2 VOC 対策アドバイザーの派遣（東京都、川崎市）

塗装やクリーニングなど VOC を取り扱う中小事業者の排出量削減に向けた自主的な取組を支援することを目的に、地方公共団体が派遣する専門アドバイザーが、VOC 排出削減に向けて簡易測定や助言を行う制度である。東京都は 2013 年、川崎市は 2015 年から開始され、派遣費用は両地方公共団体ともに無料である。

4.3.3 Clear Sky 実現に向けた大気環境改善促進事業（東京都）

PM2.5 や光化学オキシダントなど大気環境対策の取組を行っている団体や個人を「Clear Sky サポーター」として登録する事業。SNS を活用したフォトコンテスト等も実施する。また、サポーターによる前駆物質削減に向けた取組事例がホームページ上で公開されている。

4.3.4 光化学オキシダントを対象とした夏期の大気汚染防止対策（岡山県）

岡山県大気汚染防止夏期対策本部（本部長：副知事）を設置し、光化学オキシダントによる被害の未然防止に重点を置いた対策を実施している。岡山県では、オキシダントが高濃度になりやすい 5 月 10 日～9 月 10 日を「大気汚染防止夏期対策」期間とし、対策期間中は、緊急時協力工場に対し大気汚染物質削減の協力要請を行うとともに、自動車排出ガス低減のために、ラジオスポット等により、マイカー使用自粛等の啓発を行っている。

5 地域の研究者や行政担当者へのヒアリング

5.1 調査対象

表 5-1 対象とした地方公共団体

地域	地方公共団体	対象	実施日 (2022 年)	実施日 (2023 年)
関東	東京都	行政(東京都環境局環境改善部計画課)	11 月 15 日	10 月 13 日
	川崎市	行政(川崎市環境局環境対策部環境保全課) 地方環境研究所(川崎市環境総合研究所環境研究担当)	11 月 17 日	10 月 24 日
東海	愛知県	行政(愛知県環境局環境政策部水大気環境課) 地方環境研究所(愛知県環境調査センター大気環境部、令和 4 年度のみ)	11 月 25 日	11 月 9 日
	名古屋市	地方環境研究所(名古屋市環境科学調査センター)	11 月 25 日	11 月 9 日
関西	大阪府	行政(大阪府環境農林水産部環境管理室環境保全課、事業所指導課) 地方環境研究所(大阪府立環境農林水産総合研究所)	11 月 7 日	10 月 17 日
瀬戸内	岡山県	行政(岡山県環境文化部環境管理課) 地方環境研究所(岡山県環境保健センター環境科学部大気科)	11 月 24 日	10 月 25 日
九州	福岡県	行政(福岡県環境保全課) 地方環境研究所(福岡県保健環境研究所、令和 5 年度のみ)	11 月 10 日	10 月 30 日

5.2 調査内容

ヒアリングの主な内容を以下に示す。

(令和 4 年度)

■ 研究所の担当者

- ・ 事務局の取りまとめに対する意見交換（修正点、改善点）
- ・ 取りまとめに期待する事項
- ・ 今回事務局が取りまとめた以外の情報の提供
- ・ 近年のオキシダント濃度に寄与していると考えられる要因
- ・ 地域内で高濃度になりやすい地域、前駆物質の排出量が多い地域
- ・ 地域の気象条件の特徴

■ 行政の担当者

- ・ これまでのオキシダント対策の実施と効果

- ・ 今後考えられる前駆物質の排出状況の変化
- ・ NO_x や VOC の経年的な排出量データ（データの有無と提供の可否）

(令和 5 年度)

■ 研究所の担当者

- ・ 事務局の行った解析結果に対する意見交換（修正点、改善点）

■ 行政の担当者

- ・ 今後の対策立案に向けて必要な情報

5.3 調査結果

5.3.1 事務局の取りまとめに対する意見交換(修正点、改善点)(令和 4 年度)

- ・ 高濃度かどうかの基準が、注意報レベル(120ppb 以上)の文献と環境基準レベル(60ppb)の文献が両方存在するので文献情報を整理する際はそこを分けた方が良い。(大阪府)
- ・ 多くの文献の中で行政担当者が特に読むべき文献が分かると良い。(愛知県)
- ・ 行政担当者にはこの資料は難しいと思うので、もう少しかみ砕いた書き方にしてほしい。
- ・ (川崎市、愛知県)
- ・ 関東のレジームを「オゾン/全硝酸比」で推定した文献（井上ら,2010）を紹介しているが、全硝酸を測定している測定局が少ない日本では活用するのが難しい。行政担当者に役立ててもらうことを目的とするならば、日本で一般的にできる解析(VOC/NO_x 比等)を扱った文献を載せると良いと思う。(愛知県)

5.3.2 取りまとめに期待する事項(令和 4 年度)

- ・ NO_x や VOC の排出量は減少しているにも関わらず O_x 濃度は減少していない。気象条件やレジームなど過去と現在の違いが分かると行政でも活かせると思う。(大阪府)
- ・ シミュレーションを扱った研究が関東、関西を対象としたものが中心なので名古屋市についても情報が欲しい。(名古屋市)行政担当者としては、その地域のオキシダントの高濃度化に最も効いている要因は何かということが対策を考える上で最も欲しい情報だと思う。(愛知県、大阪府)
- ・ シミュレーションを活用した将来予測システムを作っているので、将来予測に役立つ情報がままとると良い。(福岡県)注意報や情報を出す判断の一助とするため、過去の発令日で最も低い気温や早い風速等の気象条件が整理されるとありがたい。(岡山県)

5.3.3 近年のオキシダント濃度に寄与していると考えられる要因(令和 4 年度)

- ・ 第 1 回検討会の資料で紹介された荒川ら(2015)によるオゾン生成レジームの解析では、2005 年の名古屋市は NO_x 律速と推定されていたが、近年の化学輸送モデルを使った調査では名古屋市は VOC 律速と推定された。(名古屋市)
- ・ 川崎市の過去 30 年の気象データを解析したところ、気温の上昇、風速の低下、日射量の増加が見られた。いずれもオキシダントが高濃度になりやすい変動である。夜間のオキシダント濃度の増加は、NO 濃度の減少に伴うタイトレーション効果の低下によるものと考えられる。(川崎市)

- ・ 大阪府では、Ox 濃度の年平均値は増加している一方で、120ppb 以上の高濃度日の日数は減少しているのは発生源対策が進んだ結果と考えられる(図 5-1)。(大阪府)
- ・ オキシダント濃度が 120ppb を超える事例が 4～6 月に限られることや真夜中に高濃度オキシダントが観測される場合があることから、福岡県では移流の影響が大きいと考えている。(福岡県)

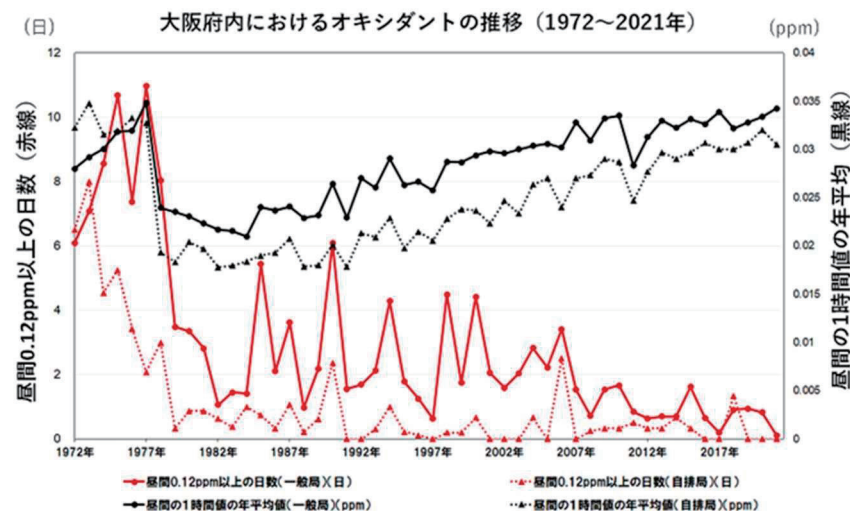


図 5-1 大阪府内におけるオキシダントの推移(1972～2021 年)(大阪府 HP より抜粋)

5.3.4 地域内で高濃度になりやすい地域、前駆物質の排出量が多い地域(令和 4 年度)

- ・ 倉敷市など発生源直近の測定局では高くなく、その周辺の市の測定局で高いことが多い。(岡山県)
- ・ 県南で生成したオキシダントが風に乗って、旭川や高梁川などの川沿いに上がっていった結果夕方に県北で高濃度オキシダントが観測される事例がある。(岡山県) 同様に河川に沿って汚染物質が移流する現象は関東地方、関西地方でもみられる。(川崎市,大阪府)
- ・ 前駆物質の排出量が多いのは臨海部であり、海風が吹いている場合はそこから北部に流れていくと考えられる。(川崎市)愛知県内で高濃度になる順番として、三重県側からの移流で知多半島や海部地域でオキシダント濃度が上がり、海風で内陸に移流した後、尾張東部あたりで収束するか岐阜県まで流れていくというパターンが多い。(愛知県)

5.3.5 これまでのオキシダント対策の実施と効果(令和 4 年度)

① VOC 対策アドバイザーの派遣(東京都、川崎市)

開始年：2013 年(東京都)、2015 年(川崎市)

実施状況：VOC 対策アドバイザーの派遣回数以下の表 5-2 の通りである。

表 5-2 VOC 対策アドバイザーの年度毎の派遣回数

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
東京都	7	4	5	9	8	*	*	*	*
川崎市	**	**	3	2	1	2	1	0	1

*：公表データなし、**：未実施

効果の検証：東京都と川崎市のいずれでも未実施。ただし、アドバイザーの指導のとおり対策を実施することで排出濃度が下がった等、声としては感じるところがある。(東京都)

② Clear Sky 実現に向けた大気環境改善促進事業(東京都)

開始年：2019 年

概要：PM2.5 や光化学オキシダントなど大気環境対策の取組を行っている団体や個人を「Clear Sky サポーター」として登録する事業。SNS を活用したフォトコンテスト等も実施。

実施状況：企業サポーターについては、事業を立ち上げた 2019 年は伸びたものの、コロナ感染症の影響で対面のイベントが難しいこともありその後は伸び悩んでいる。今年度からは個人サポーター制度も開始。

効果の検証：サポーターの登録数やフォトコンテストの投稿数・閲覧数の増加具合や、イベントの効果等を確認し、次の施策に活用しているが、外部に見せる形にはなっていない。

③ 新たな環境政策の策定(川崎市)

概要：令和 4 年に策定した「大気・水環境計画」の中で NO₂、PM2.5、光化学オキシダントについて目標値を設定、令和 12 年度の達成を目指す。それぞれの目標値は、NO₂：環境基準下限値 0.04ppm の達成測定局が 77.8%、PM2.5：環境基準の達成維持、光化学オキシダント：光化学スモッグ発令 0 日及び光化学オキシダント高濃度の低減(DPOx として 0.0103ppm)。

実施状況：VOC 対策の一環として、横浜市、神奈川県、東京都、千葉県と連携した広域的な VOC 成分調査を実施した。

効果の検証：今年度から実施している計画のため、効果の検証は今後は環境改善評価指標値(DPOx)を用いて行っていく予定である。

④ 光化学オキシダントを対象とした夏期の大気汚染防止対策(岡山県)

概要：オキシダント濃度が 100ppb を超えた時点で注意報(120ppb)より先に「光化学オキシダント情報」という形で注意喚起を出している。県境に近い区域では隣接する県と共同で情報発令を行うこともある。

効果の検証：夏季対策については、啓蒙活動としての意味合いが強い。

5.3.6 NO_x や VOC の経年的な排出量データ(令和 4 年度)

独自に集計を行っている地方公共団体もあるが、多くは環境省の大気汚染物質排出量総合調査、揮発性有機化合物排出インベントリ、PRTR 制度の集計結果を活用してほしいとの回答であった。

5.3.7 まとめ(令和 4 年度)

- ・ 地域ごとの主な前駆物質の発生源や高濃度オキシダントが観測されやすい気象条件など、オキシダント汚染の特徴についてはそれぞれの地域である程度解明されている。
- ・ 一方、その地域でオキシダントの高濃度化に最も効いている要因やオキシダント濃度

の将来予測に役立つ情報など、地域のオキシダント対策を検討するために必要な情報については多くの地域で不十分であり、地方公共団体の担当者が求めている情報である。

- ・ そのため、次年度の解析ではそれらの情報を解明することを目的とする必要がある。

5.3.8 事務局の行った解析結果に対する意見交換（修正点、改善点）（令和5年度）

- ・ 都市部の台場とバックグラウンドの檜原で挙動が同じということは都市部の人為的な挙動が見えていない。もう少し違いが見える解析だとよいと思う。
- ・ 前駆物質排出量の削減効果について、日中の差と夜間の差、それぞれの寄与分を調べることで、さらに情報が得られる可能性がある。
- ・ 測定法変更前後での Ox 濃度の変動が大きいと、測定局ごとの変更時期を考慮した方がよい。
- ・ 対策効果について解析を行うならば、 NO タイトレーション効果より素直にポテンシャルオゾンで見た方がよい。
- ・ （レジームの解析について）1局の値ではなく、地域的な平均を用いて評価した方がよい。
- ・ 結果が、 VOC の削減が Ox 低減に効くのではないかと、程度のニュアンスだと、 VOC 対策を行う上での後ろ盾として弱い。

5.3.9 今後の対策立案に向けて必要な情報（令和5年度）

- ・ 原因物質の濃度が下がっている一方で、 Ox 濃度が下がらない原因を誰も明確に説明できていなく、そのメカニズムの解明に資する情報を得られることが理想である。
- ・ 次に事業者に協力をお願いする時にどこまで削減すればよいかと、今度こそ本当に Ox 濃度が下がることを説明できるとよい。
- ・ 対策立案で、発生源がどこかが一番重要であると考えている。
- ・ 時間単位の後方流跡線や風向きの解析結果は、自治体の方に重宝されると思う。
- ・ 行政的な観点からどの業種にアプローチすればよいかわかるように、 VOC のどの物質を削減したらよいかわかるとよい。
- ・ 気候変動影響との関係性については、切り口として注目している。

5.3.10 まとめ（令和5年度）

- ・ 事務局の行った解析結果について、過去の対策の効果の裏付けや今後の対策立案の指針として評価頂いた。
- ・ 一方、実際の対策立案には VOC の成分組成など常時監視データのみでは分からない情報が必要であることなどをご指摘いただいた。
- ・ 今後は、常時監視データだけでなく、大気中の VOC の成分分析やモデルを用いた将来予測など幅広い調査が必要となってくる。

6 オキシダント及び前駆物質濃度の経年変化

6.1 光化学オキシダント(Ox)日最高8時間値

(1) 関東地域

1) 県別の Ox 日最高8時間値の経年変化

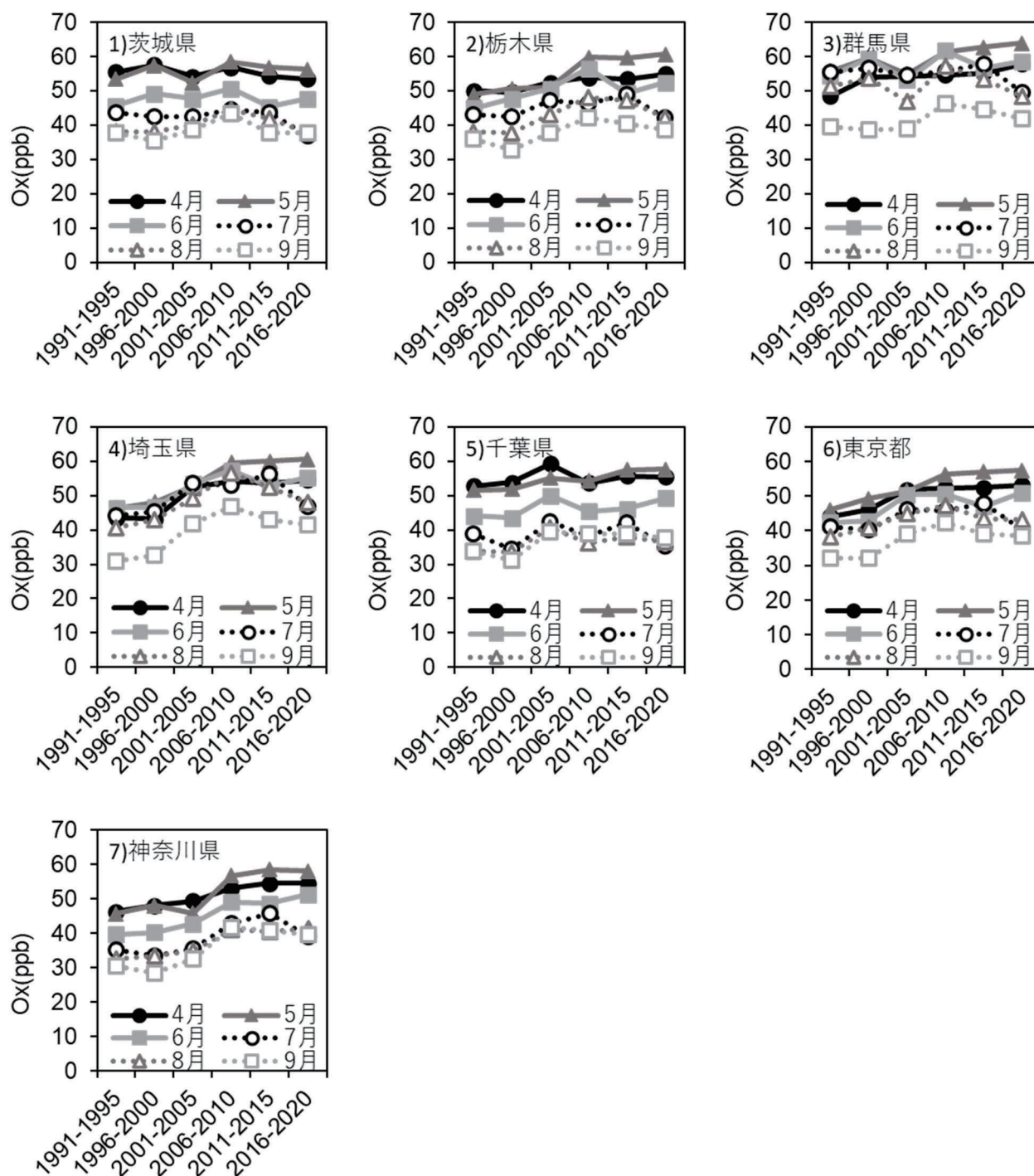


図 6-1 県別の Ox 日最高8時間値の経年変化 (関東)

2) 月別の Ox 日最高 8 時間値の経年変化

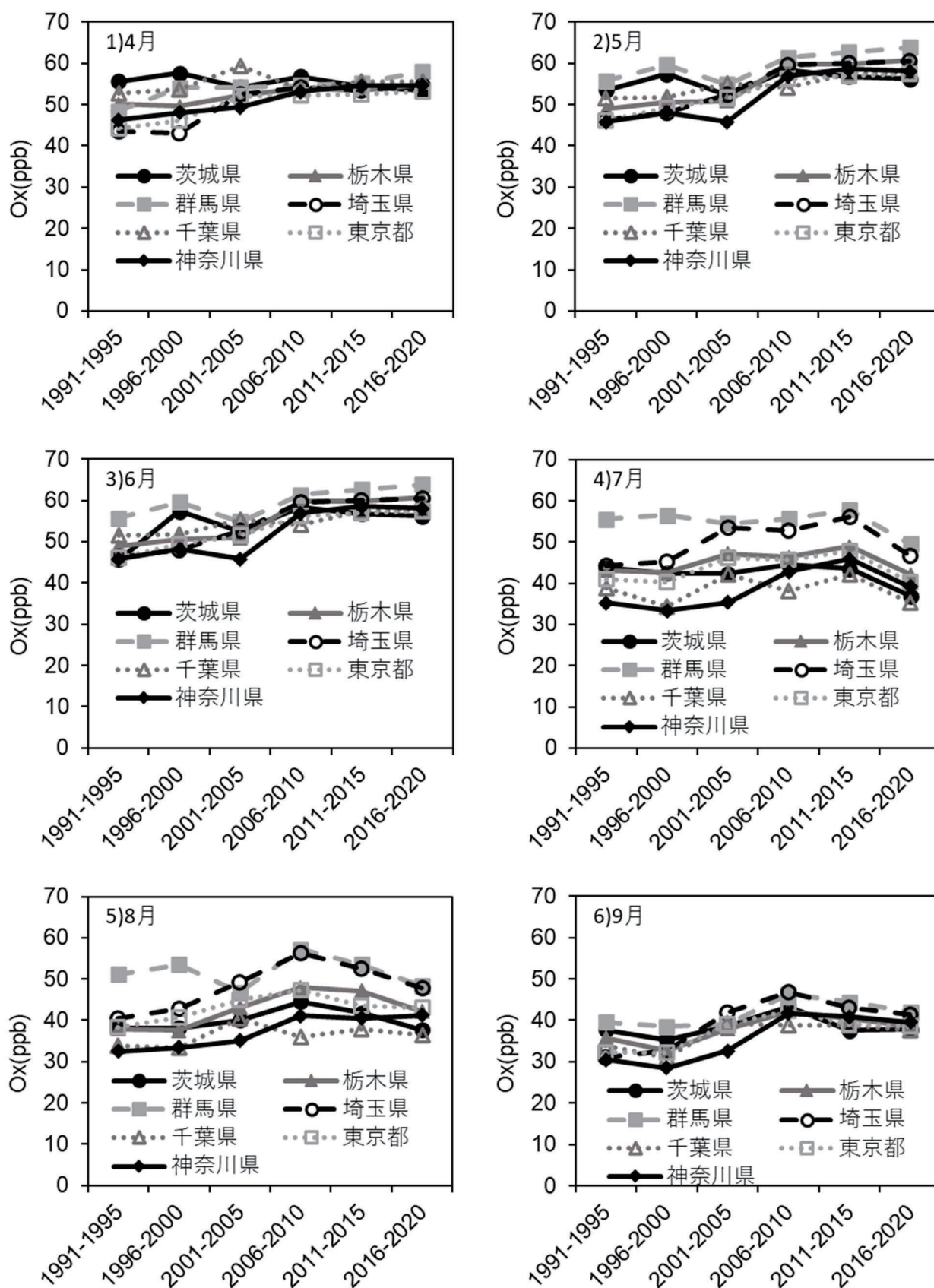


図 6-2 月別の Ox 日最高 8 時間値の経年変化 (関東)

(2) 東海地域

1) 県別の Ox 日最高 8 時間値の経年変化

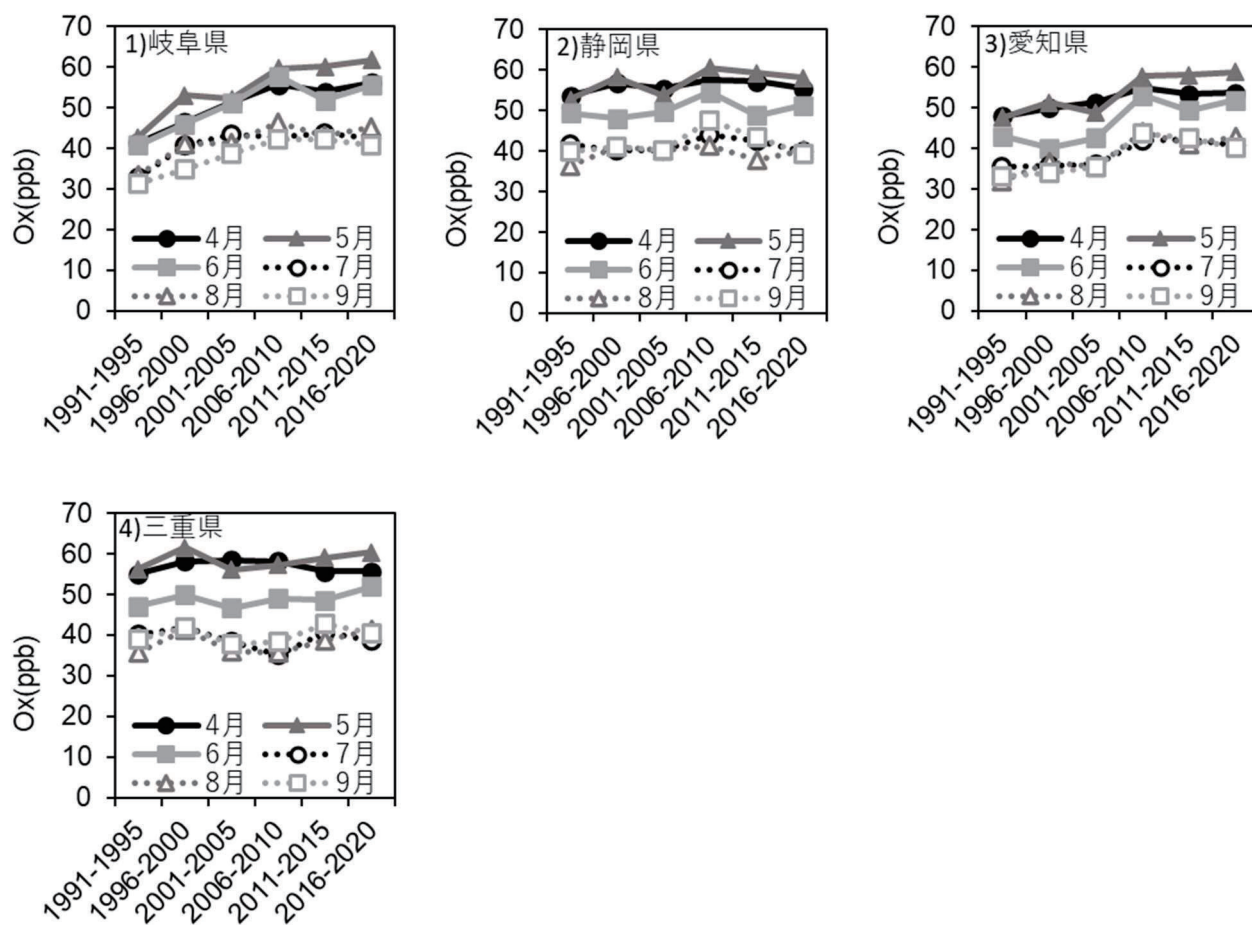


図 6-3 県別の Ox 日最高 8 時間値の経年変化 (東海)

2) 月別の Ox 日最高 8 時間値の経年変化

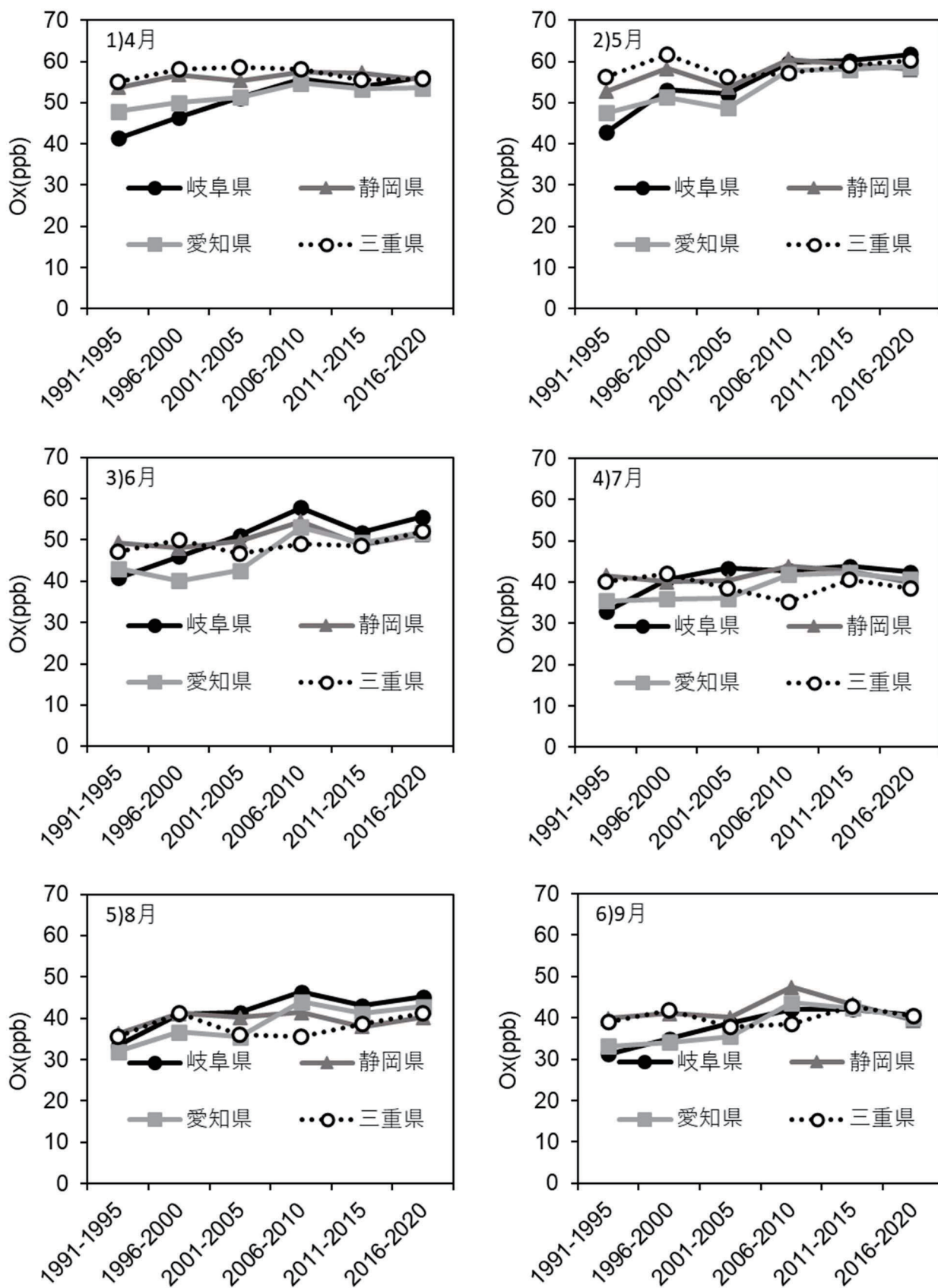


図 6-4 月別の Ox 日最高 8 時間値の経年変化 (東海)

(3) 関西地域

1) 県別の Ox 日最高 8 時間値の経年変化

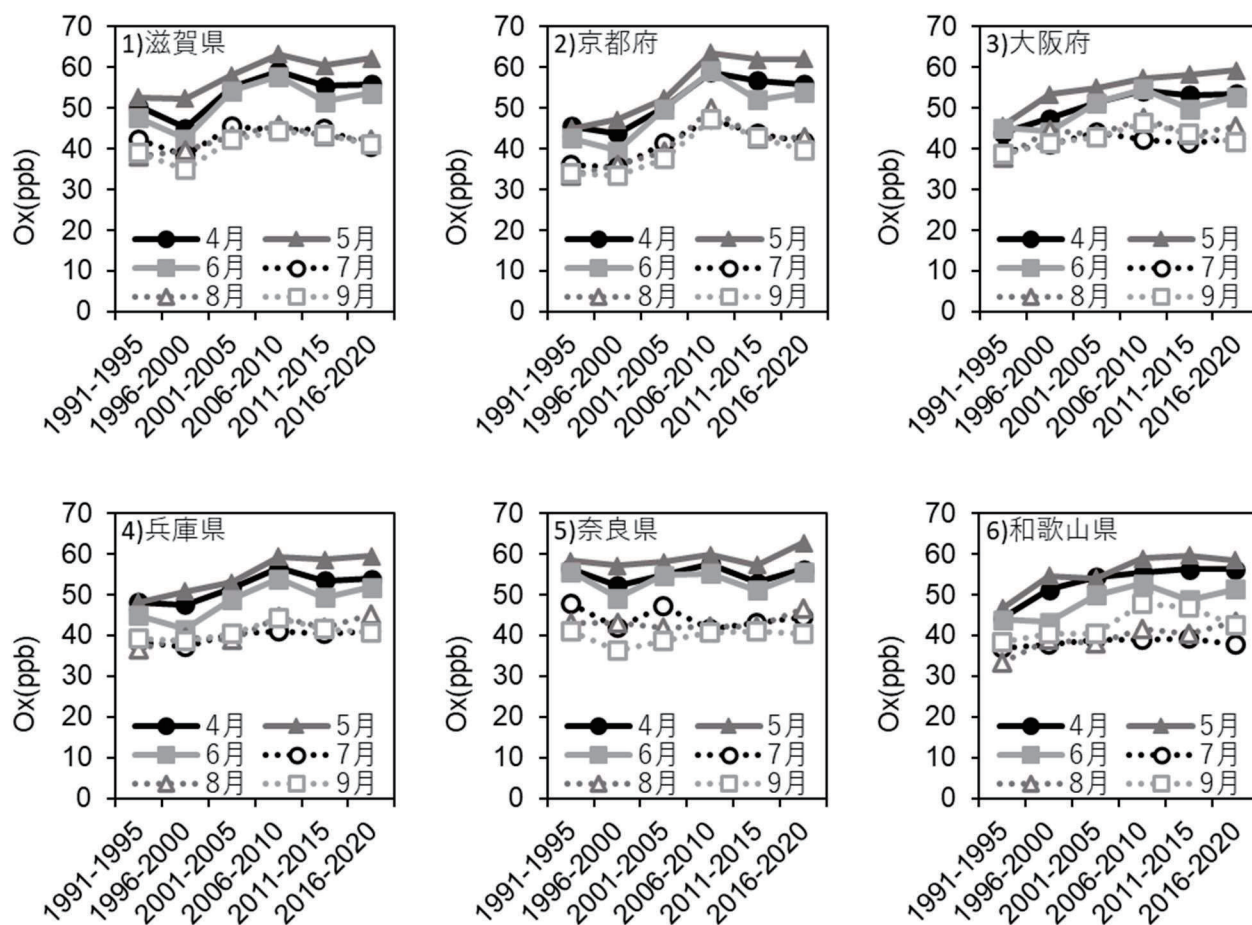


図 6-5 県別の Ox 日最高 8 時間値の経年変化 (関西)

2) 月別の Ox 日最高 8 時間値の経年変化

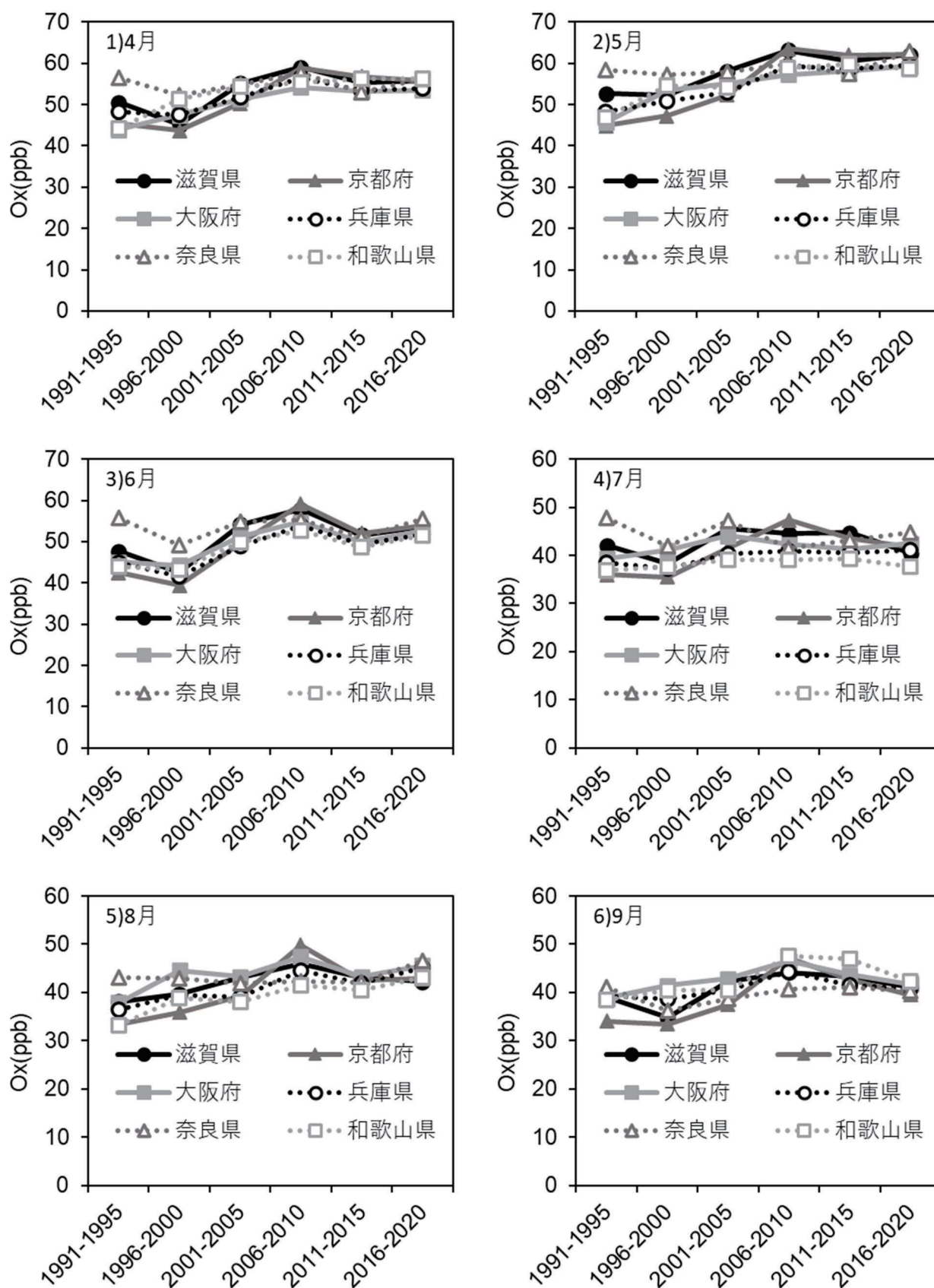


図 6-6 月別の Ox 日最高 8 時間値の経年変化 (関西)

(4) 瀬戸内地域

1) 県別の Ox 日最高 8 時間値の経年変化

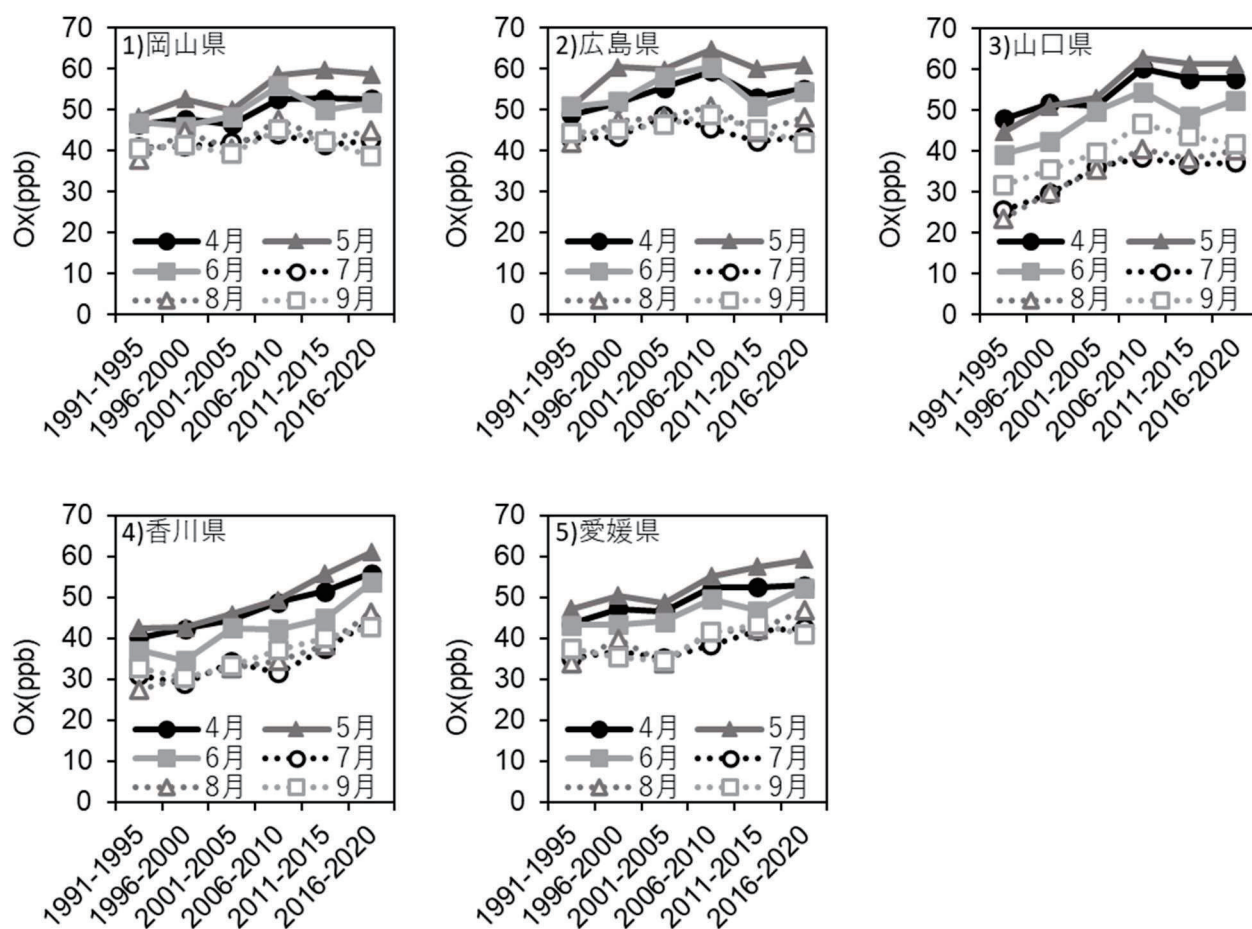


図 6-7 県別の Ox 日最高 8 時間値の経年変化 (瀬戸内)

2) 月別の Ox 日最高 8 時間値の経年変化

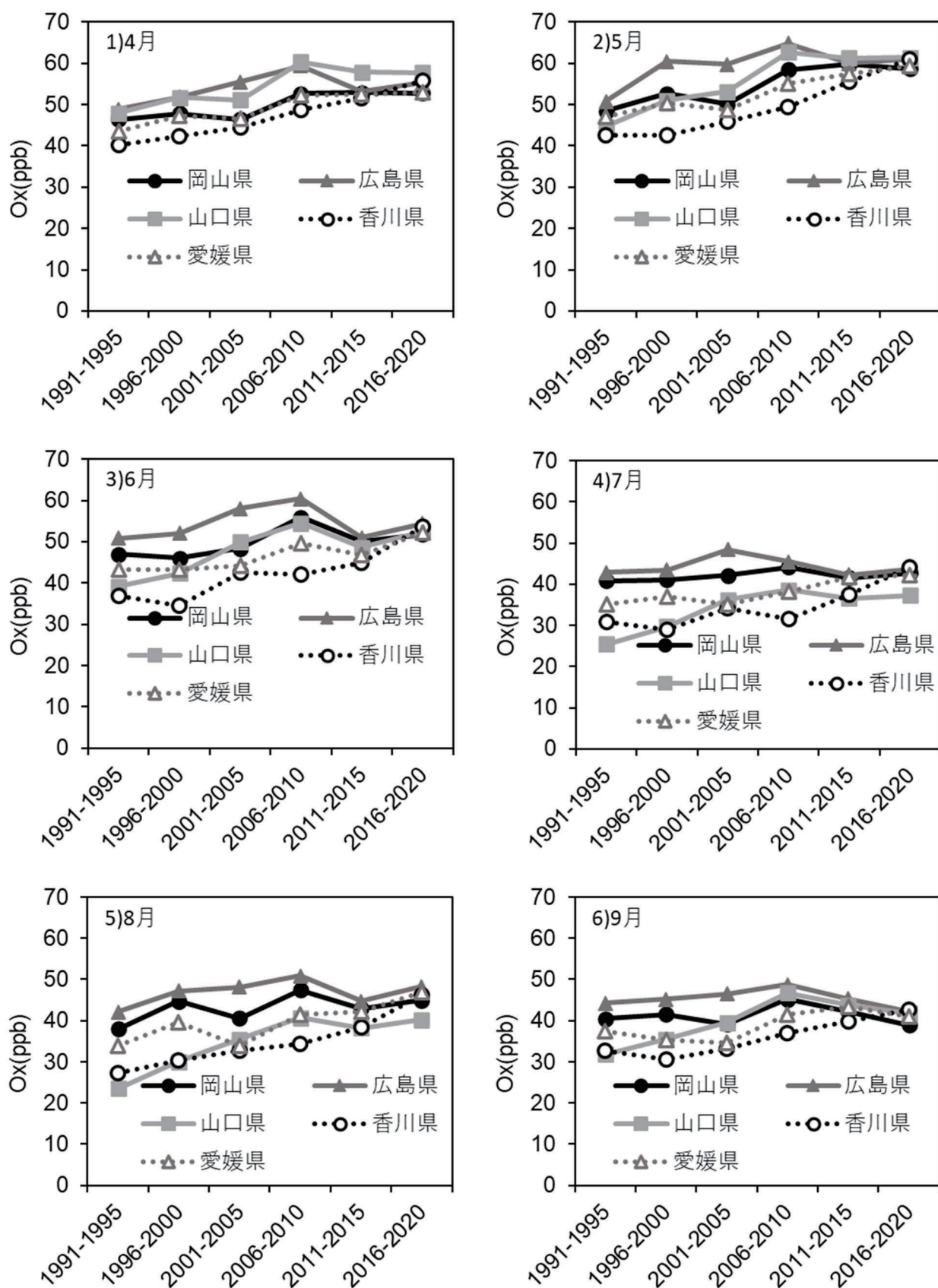


図 6-8 月別の Ox 日最高 8 時間値の経年変化 (瀬戸内)

(5) 九州地域

1) 県別の Ox 日最高 8 時間値の経年変化

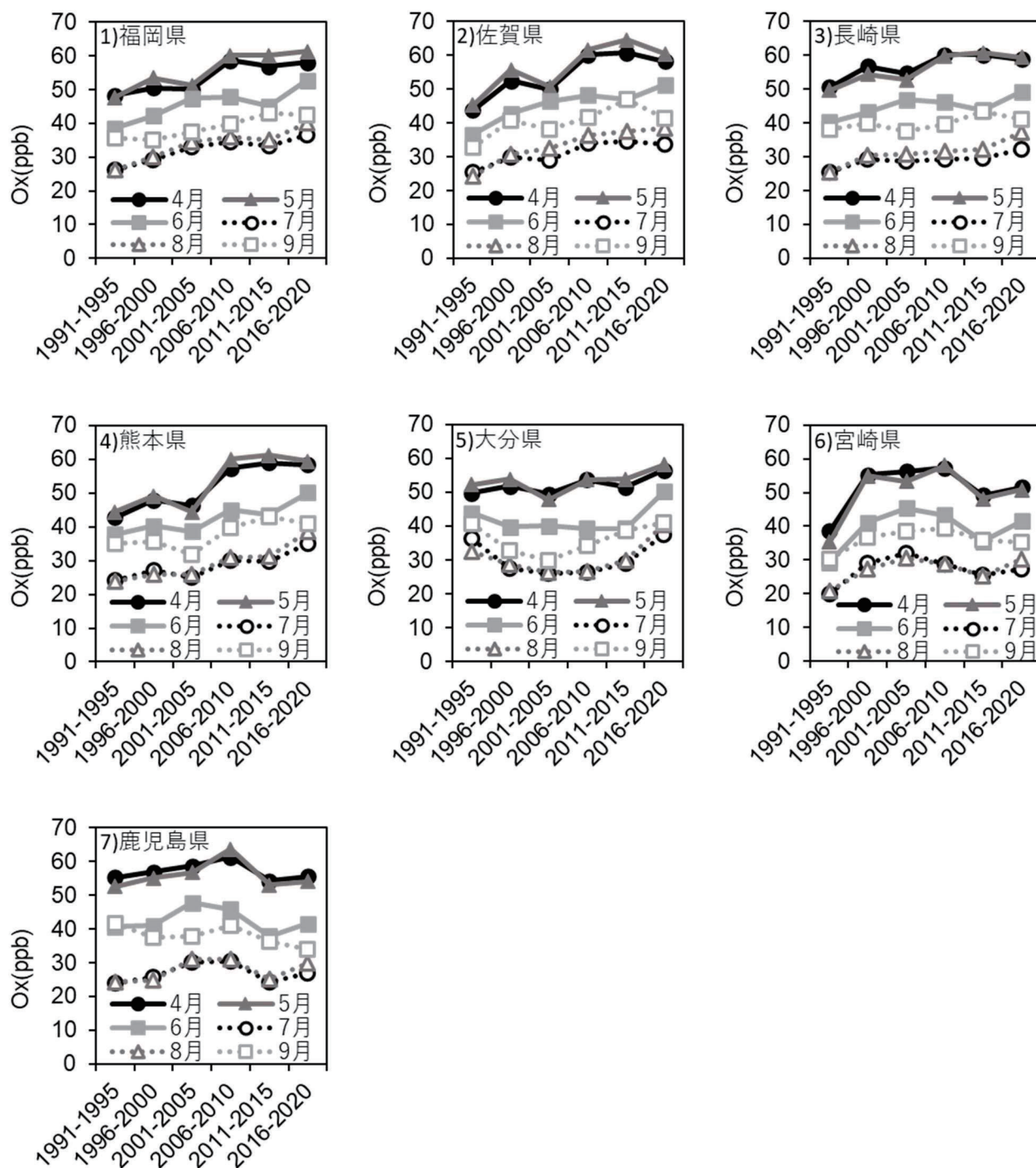


図 6-9 県別の Ox 日最高 8 時間値の経年変化 (九州)

2) 月別の Ox 日最高 8 時間値の経年変化

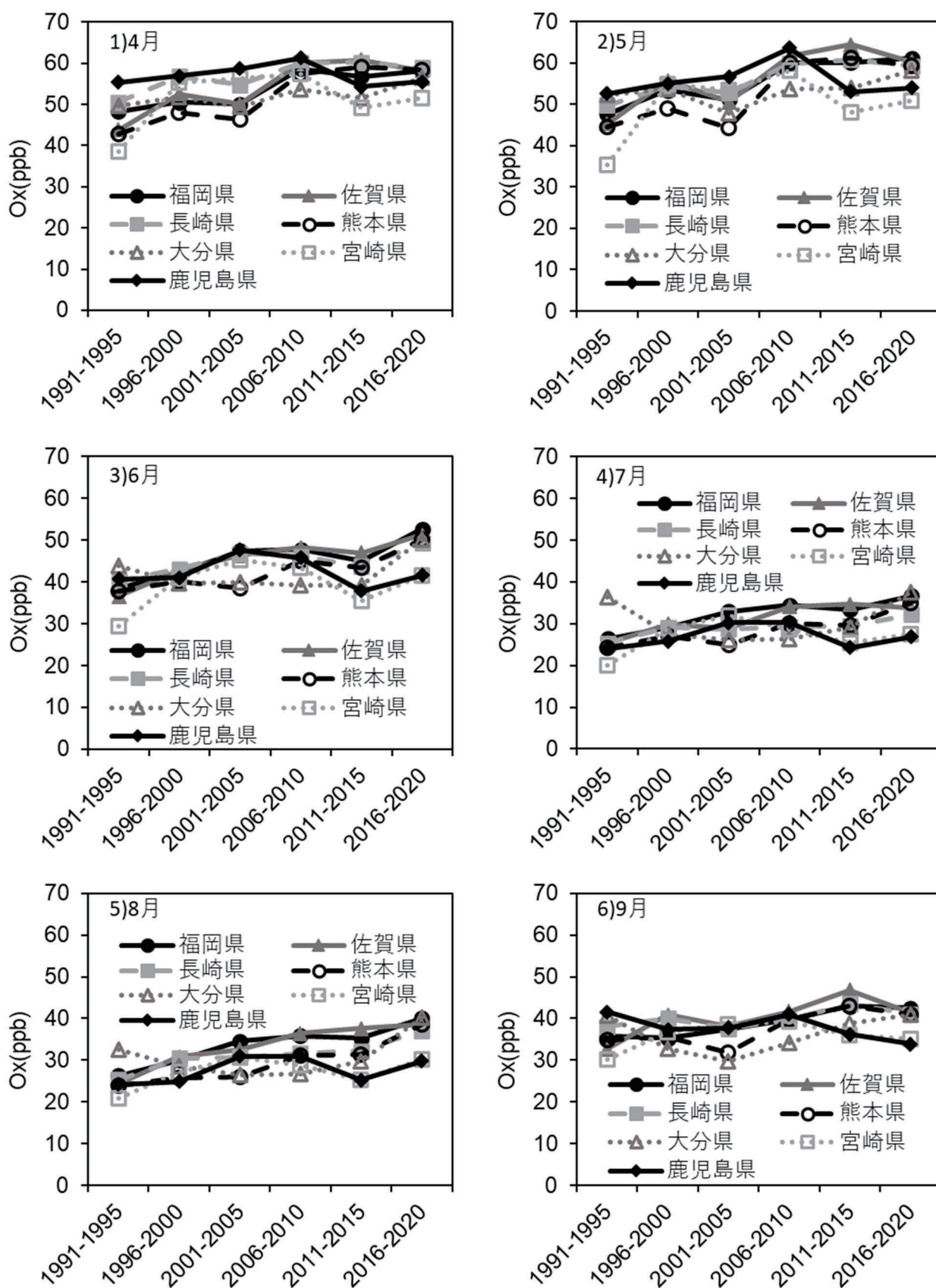


図 6-10 月別の Ox 日最高 8 時間値の経年変化 (九州)

(6)まとめ

いずれの地域でも4、5月が高く、7、8月が低い傾向にあった。その中で関東の埼玉県と群馬県では4、5月と7、8月は同程度であったが、2016年度以降は他県と同様に7、8月が低い傾向にあった。また、4、5月（6、9月も含む）に2000年度以前は都府県間で見られていた濃度差が、いずれの地域でも徐々に小さくなり、全国的に4月は概ね50～60 ppb、5月は60 ppb 前後、6月は50 ppb 前後、9月は40 ppb 前後に分布していた。これに比べて、7、8月は地域内に濃度差が見られ、関東では群馬県や埼玉県が他の都県より高く、一方で瀬戸内の山口県、九州の宮崎県、鹿児島県は他県より低かった。5月、8月について30年の長期的な濃度変化を見ると5月は全国的に概ね上昇傾向にあり、8月も同様の傾向が見られるが、関東では2006～2010年度をピークに上昇から低下に転じる傾向にあった。なお、茨城県、千葉県、三重県、奈良県は比較的濃度変化が少なかった。

6.2 光化学オキシダント(Ox)日最高値が 120 ppb 以上の日数

(1) 関東地域

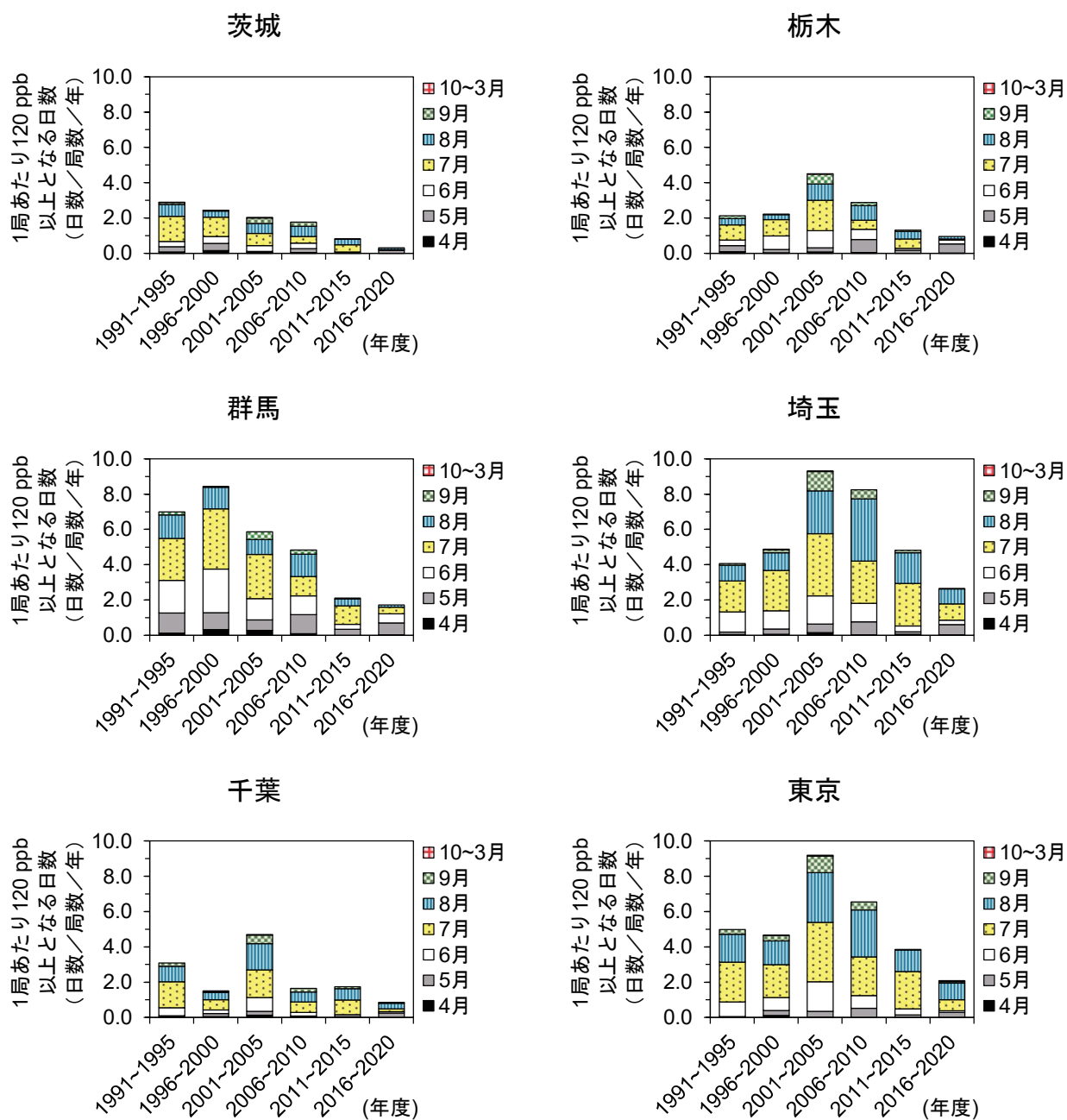


図 6-11 (1) 光化学オキシダント(Ox)日最高値が 120 ppb 以上の日数 (関東)

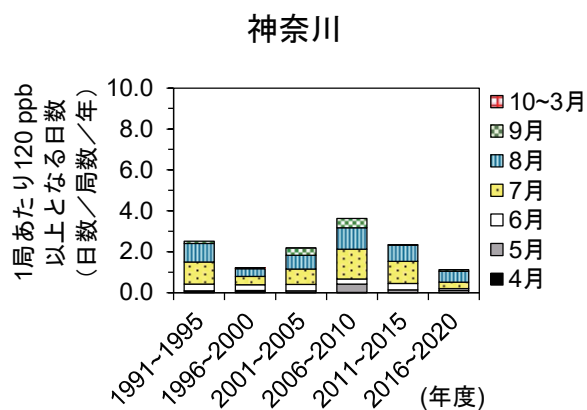


図 6-11 (2) 光化学オキシダント(Ox)日最高値が 120 ppb 以上の日数 (関東)

(2) 東海地域

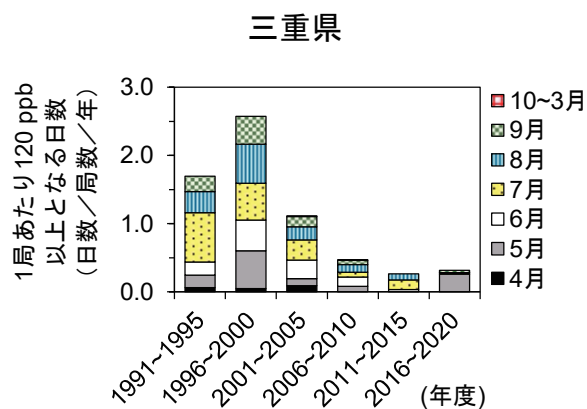
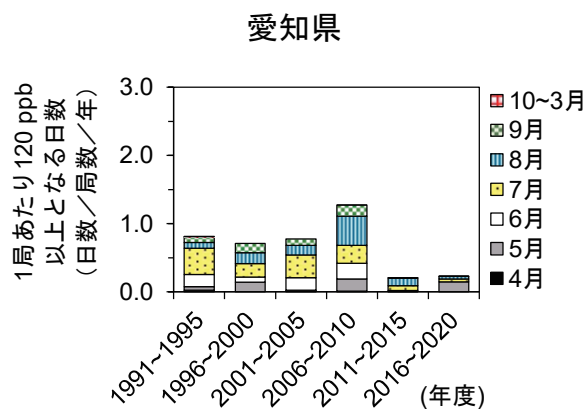
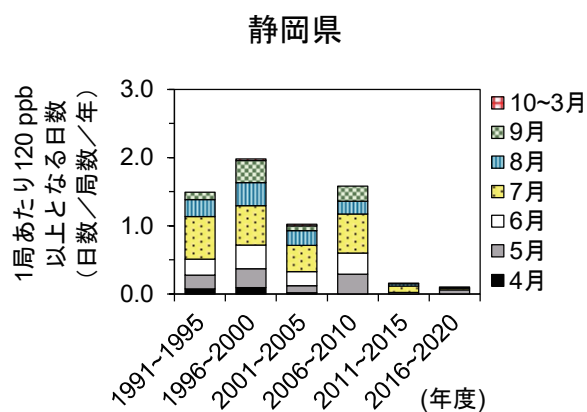
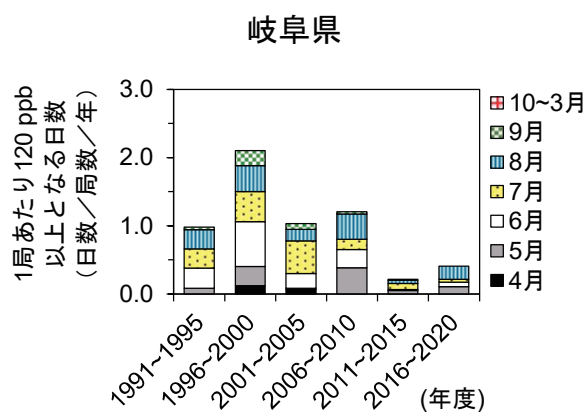


図 6-12 光化学オキシダント(Ox)日最高値が 120 ppb 以上の日数 (東海)

(3) 関西地域

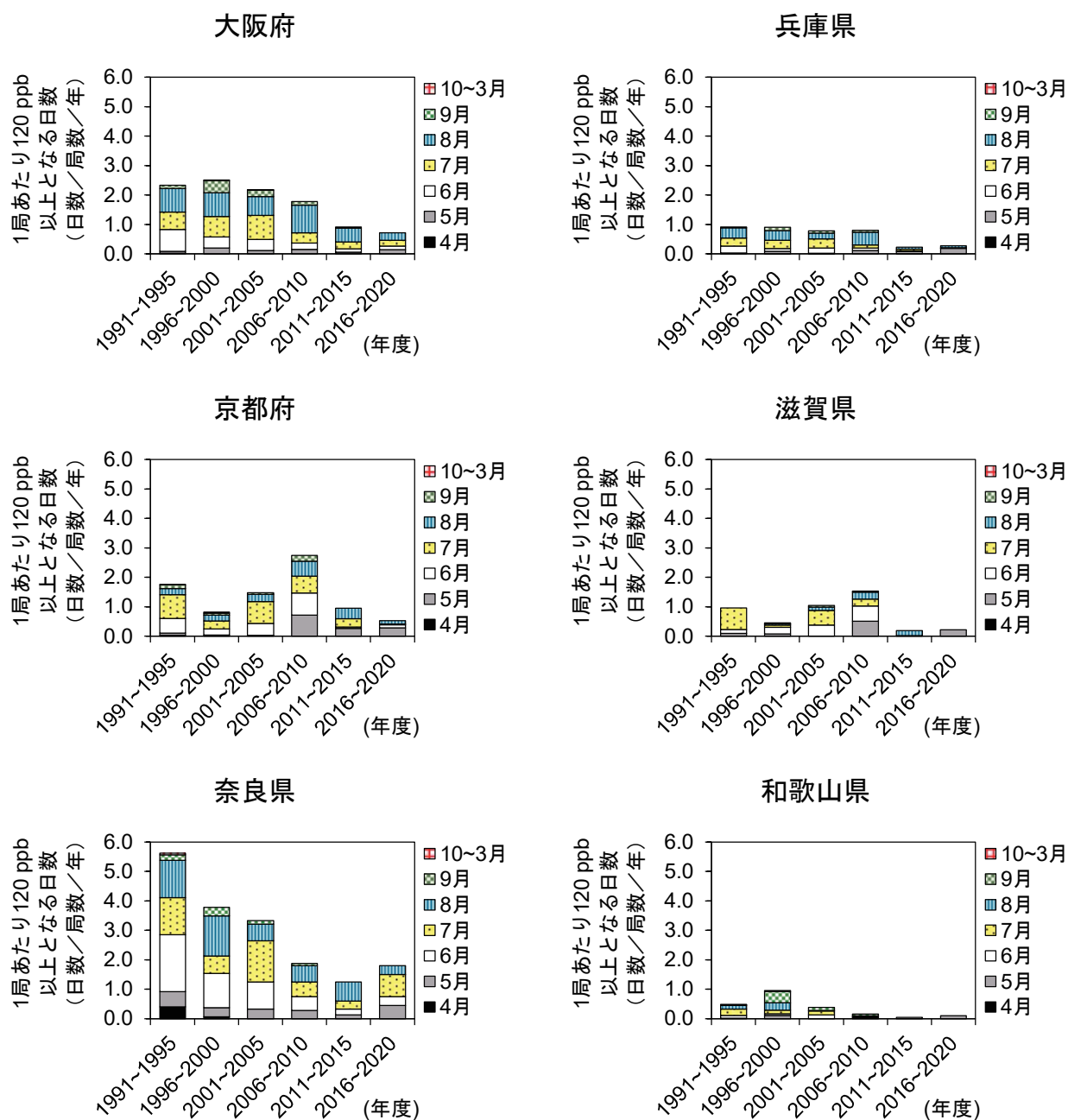


図 6-13 光化学オキシダント(Ox)日最高値が 120 ppb 以上の日数 (関西)

(4) 瀬戸内地域

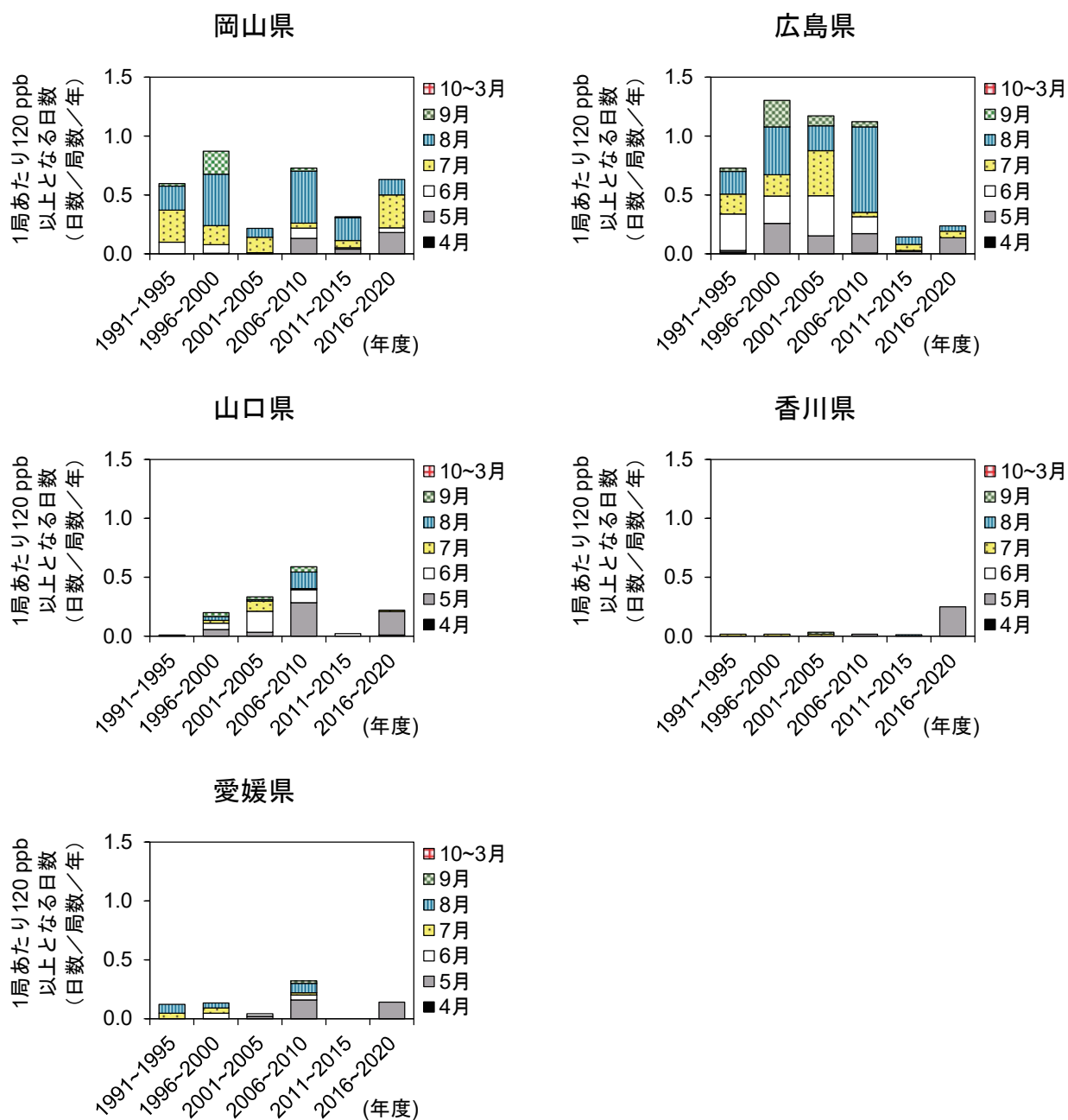


図 6-14 光化学オキシダント(Ox)日最高値が 120 ppb 以上の日数 (瀬戸内)

(5) 九州地域

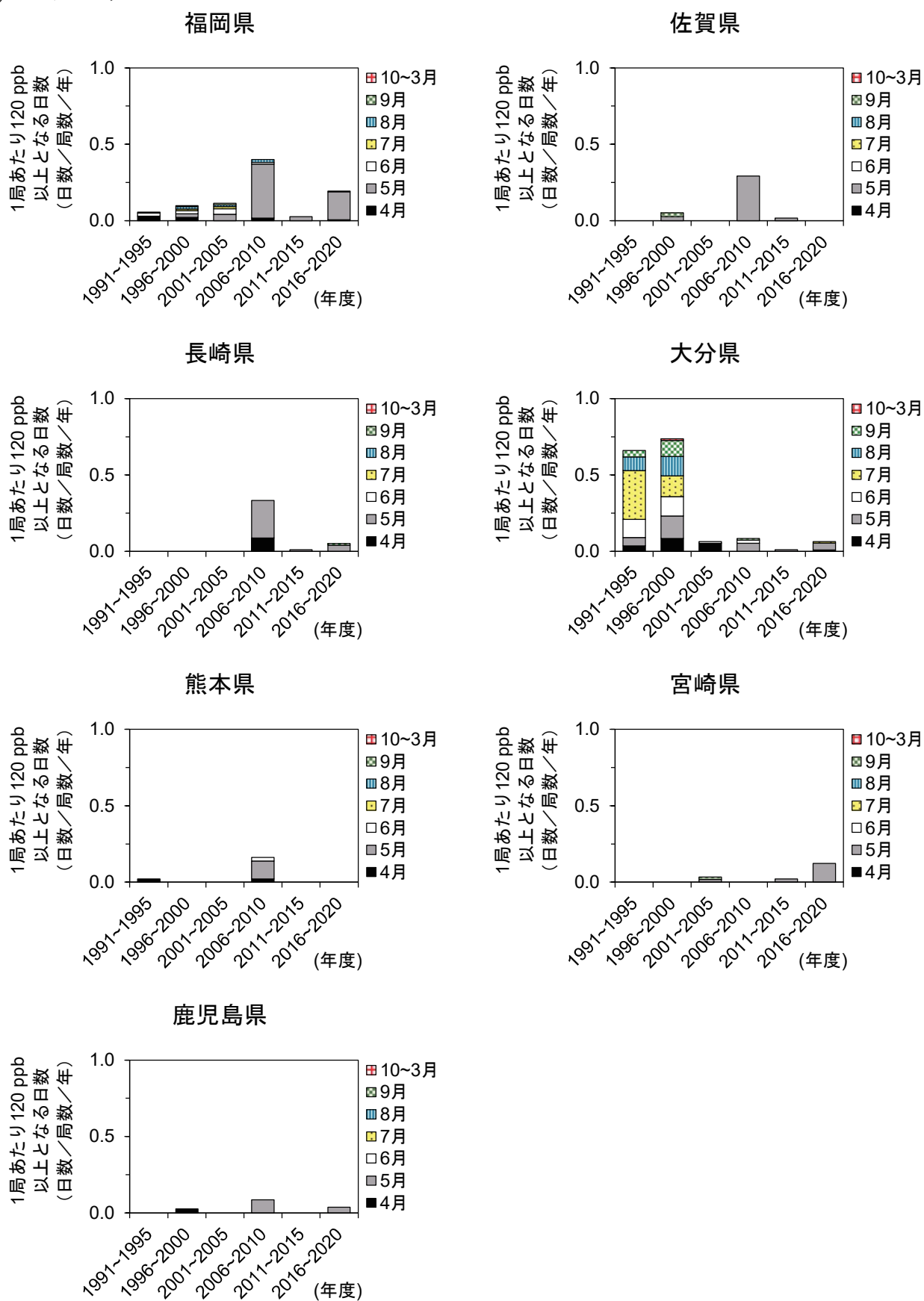


図 6-15 光化学オキシダント(Ox)日最高値が 120 ppb 以上の日数 (九州)

(6) まとめ

関東では、2000 年度以前は群馬県が最も多かったが、2000 年度以降では埼玉県が最も多くなり、次いで東京都が多く、いずれも、7、8 月の夏季に多かった。東海では、愛知県に比べて三重県、岐阜県、静岡県で多かったが、2011 年度以降はかなり少なくなった。関西では、全期を通じて奈良県の日数が多く、次いで大阪府が多いが、経年的には減少傾向にあった。京都府と滋賀県は年代によって増減があり、増減の傾向は同じであった。瀬戸内では岡山県と広島県が多いが、広島県では 2011 年度以降に大きく減少した。近年（2016～2020 年度）では岡山県では 7、8 月に多いが、その他の 4 県では、5 月に多かった。九州は期間を通じて少なく、また、2001 年度以降は、ほぼすべて春季に出現した。

6.3 窒素酸化物(NOx)濃度

(1) 関東地域

1) 県別の NOx 月平均値の経年変化

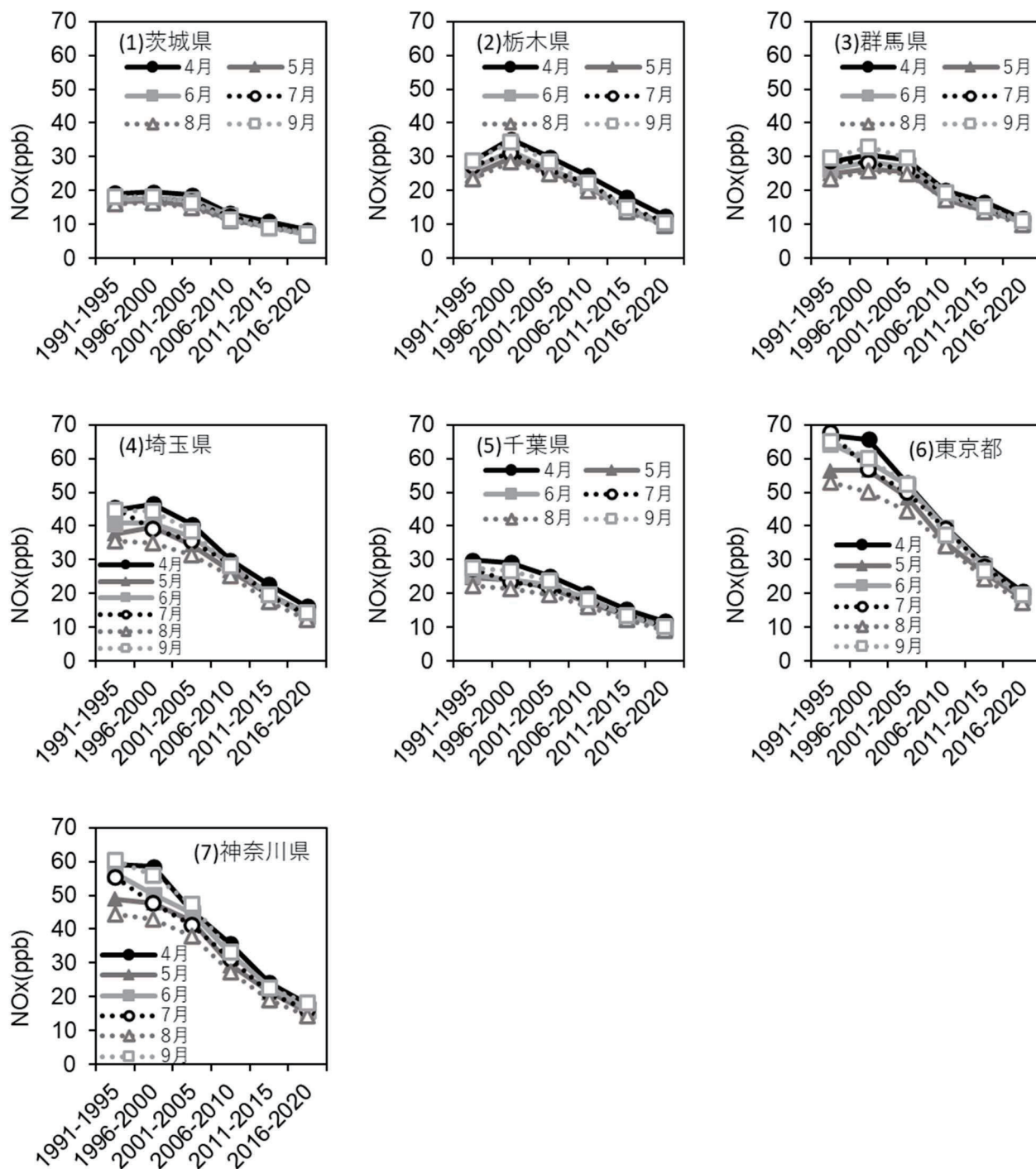


図 6-16 県別の NOx 月平均値の経年変化(関東)

2) 月別の NOx 月平均値の経年変化

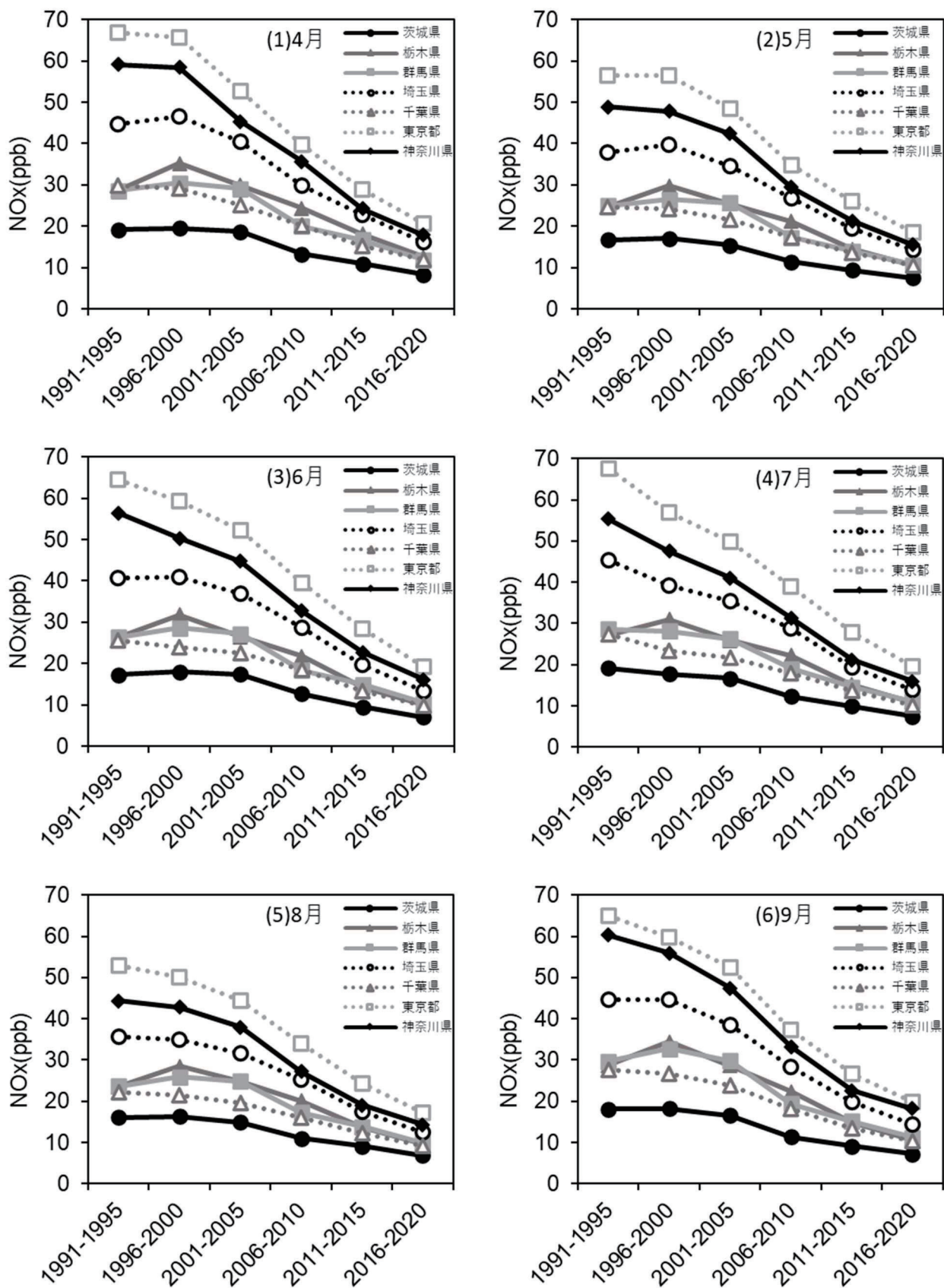


図 6-17 月別の NOx 月平均値の経年変化（関東）

(2) 東海地域

1) 県別の NOx 月平均値の経年変化

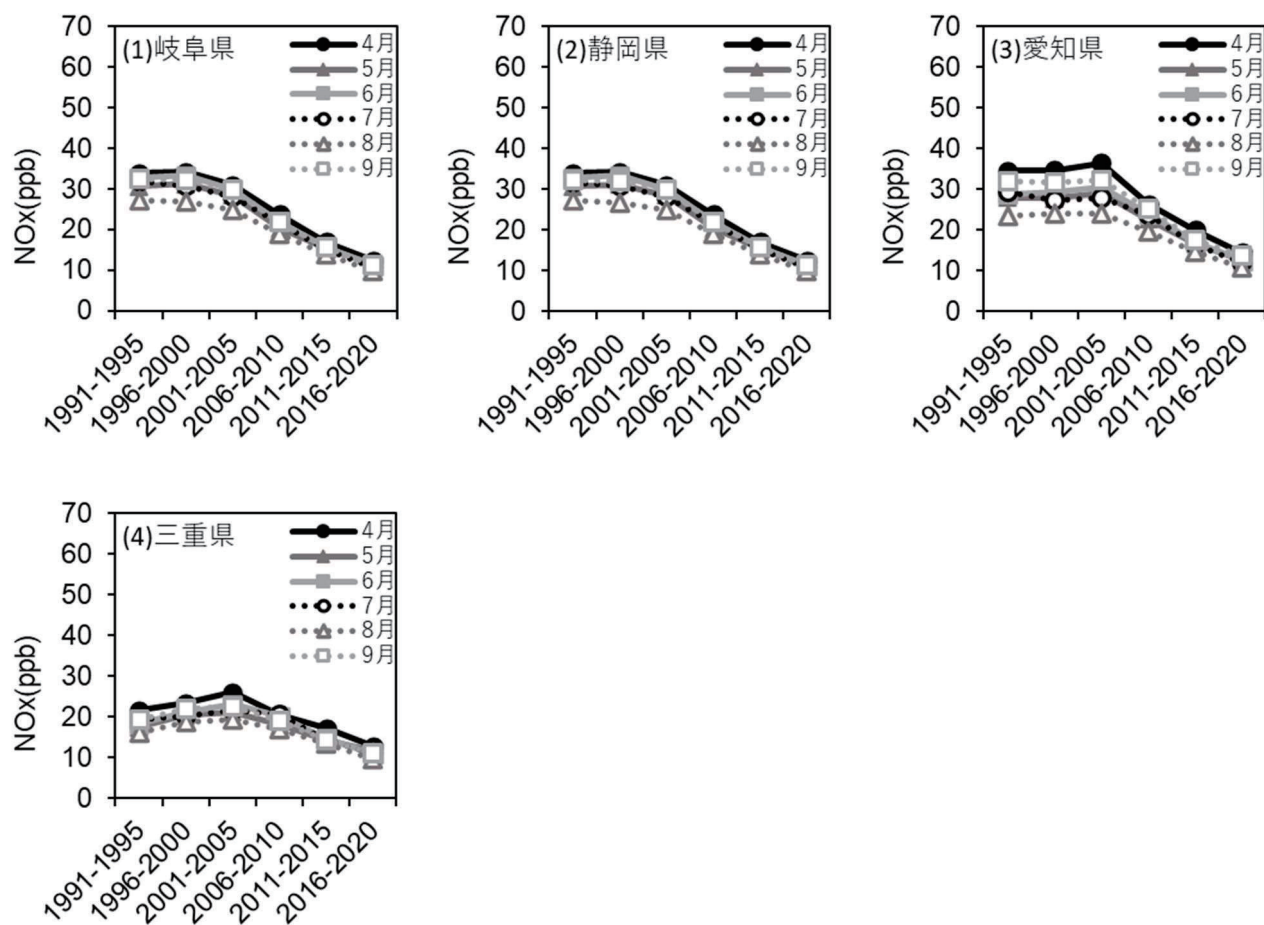


図 6-18 県別の NOx 月平均値の経年変化(東海)

2) 月別の NOx 月平均値の経年変化

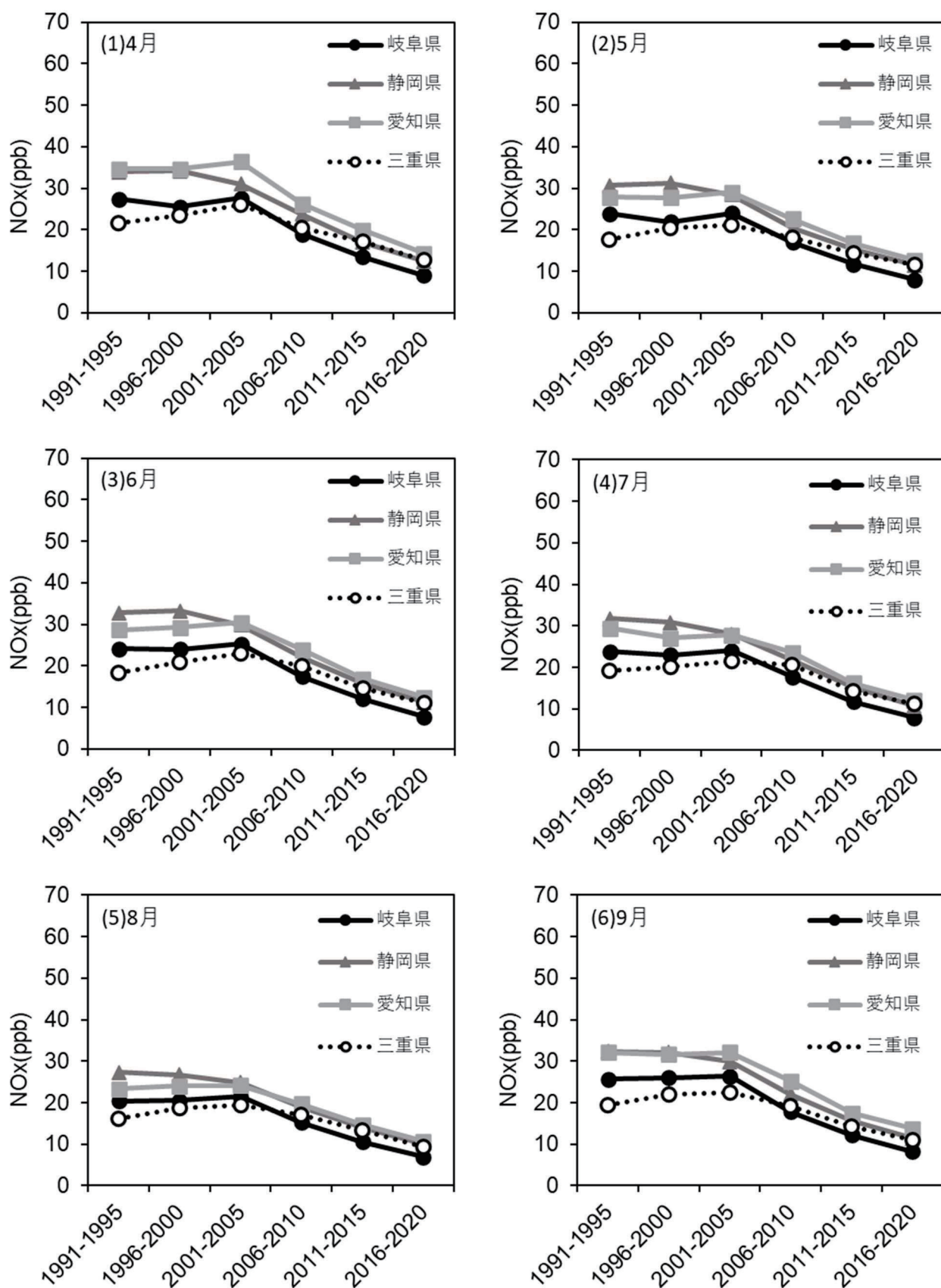


図 6-19 月別の NOx 月平均値の経年変化（東海）

(3) 関西地域

1) 県別の NOx 月平均値の経年変化

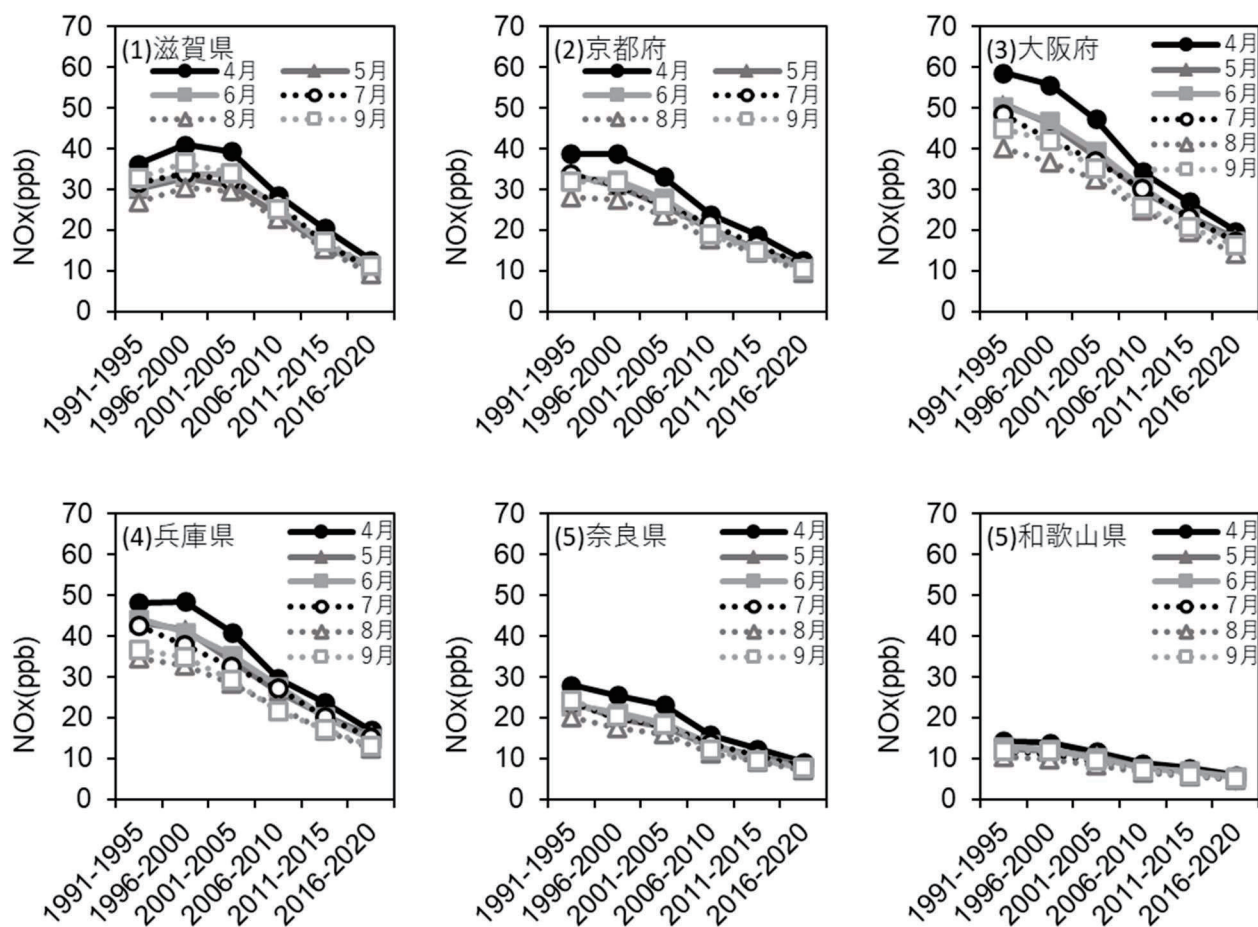


図 6-20 県別の NOx 月平均値の経年変化(関西)

2) 月別の NOx 月平均値の経年変化

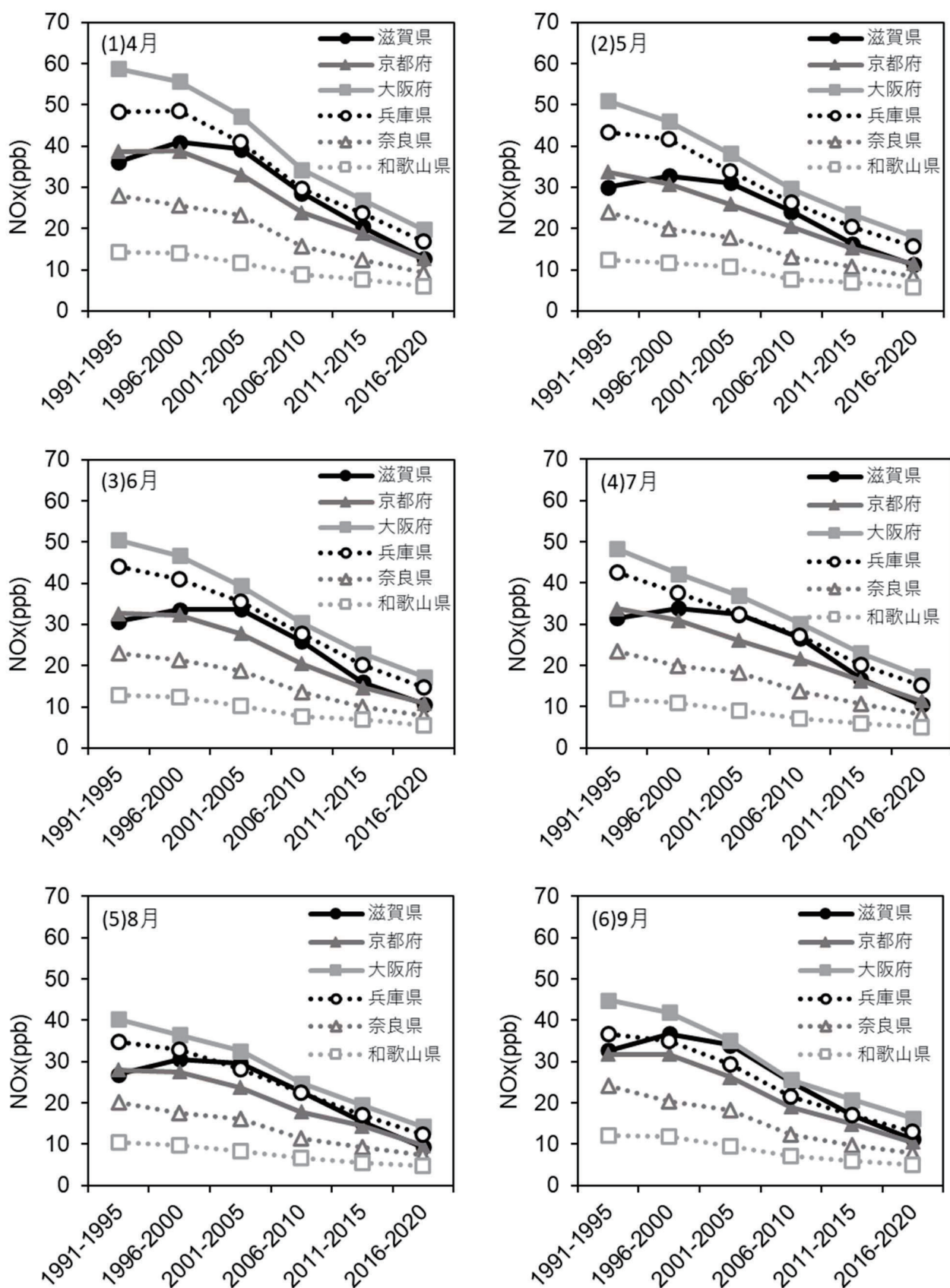


図 6-21 月別の NOx 月平均値の経年変化（関西）

(4) 瀬戸内地域

1) 県別の NOx 月平均値の経年変化

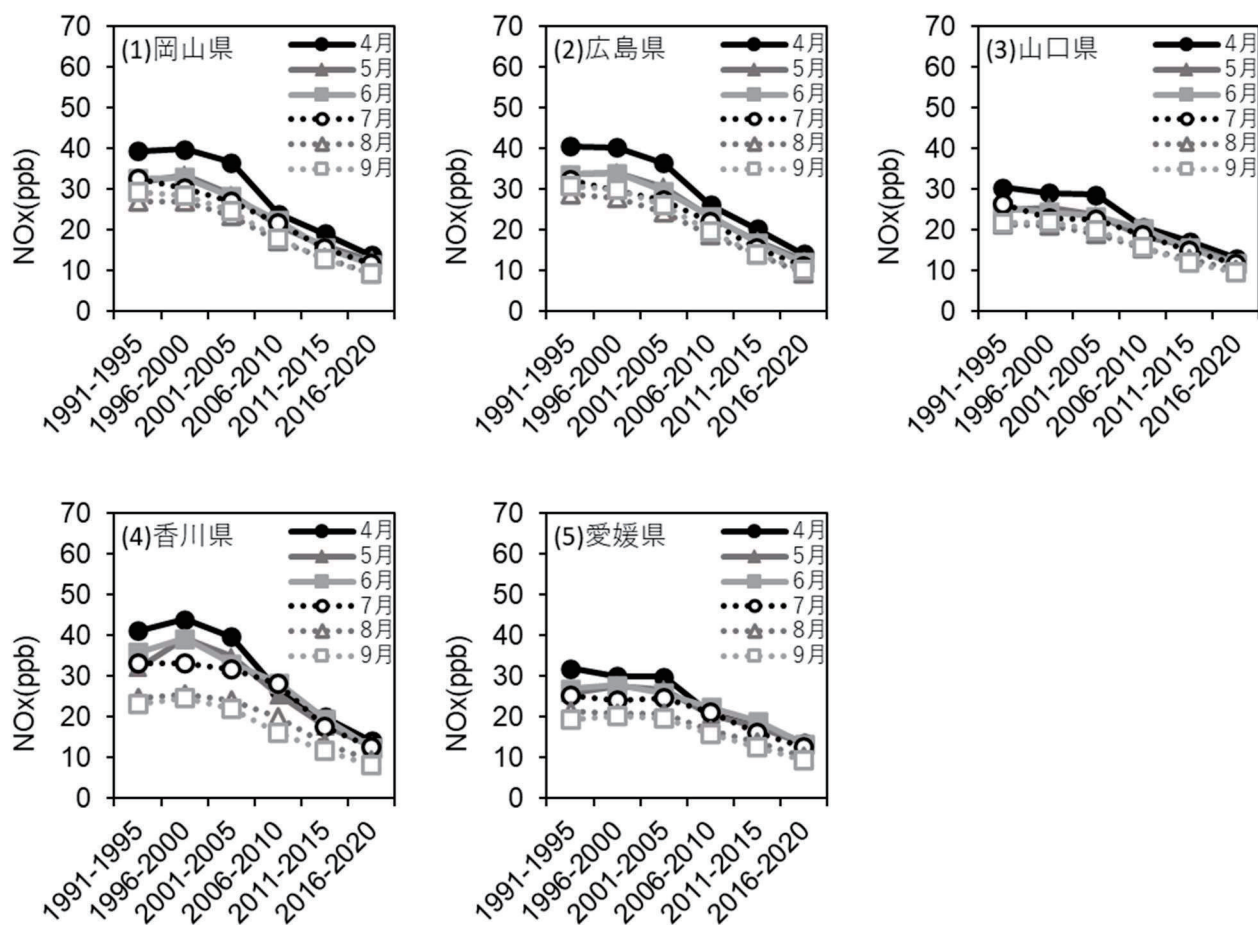


図 6-22 県別の NOx 月平均値の経年変化(瀬戸内)

2) 月別の NOx 月平均値の経年変化

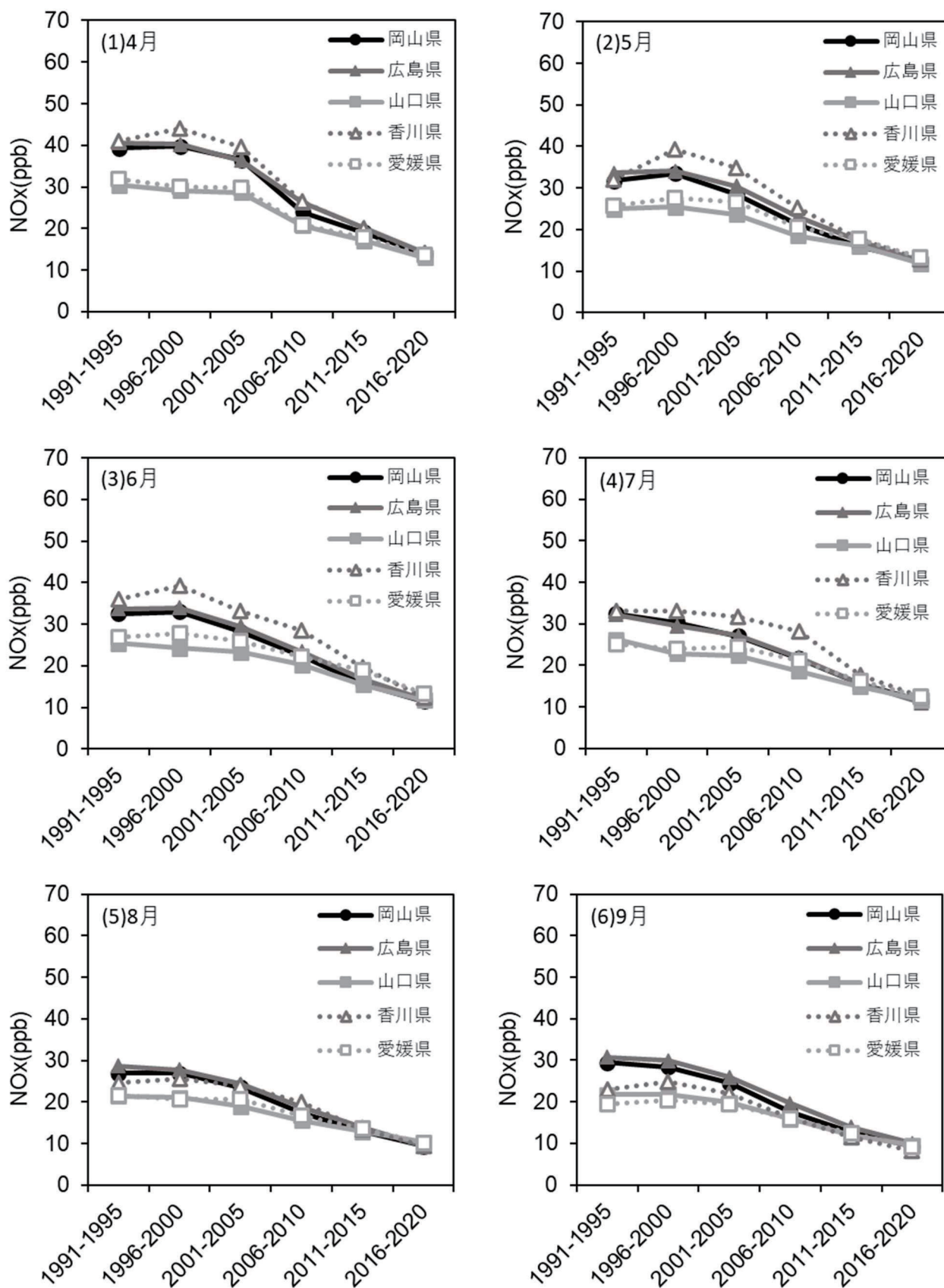


図 6-23 月別の NOx 月平均値の経年変化（瀬戸内）

(5) 九州地域

1) 県別の NO_x 月平均値の経年変化

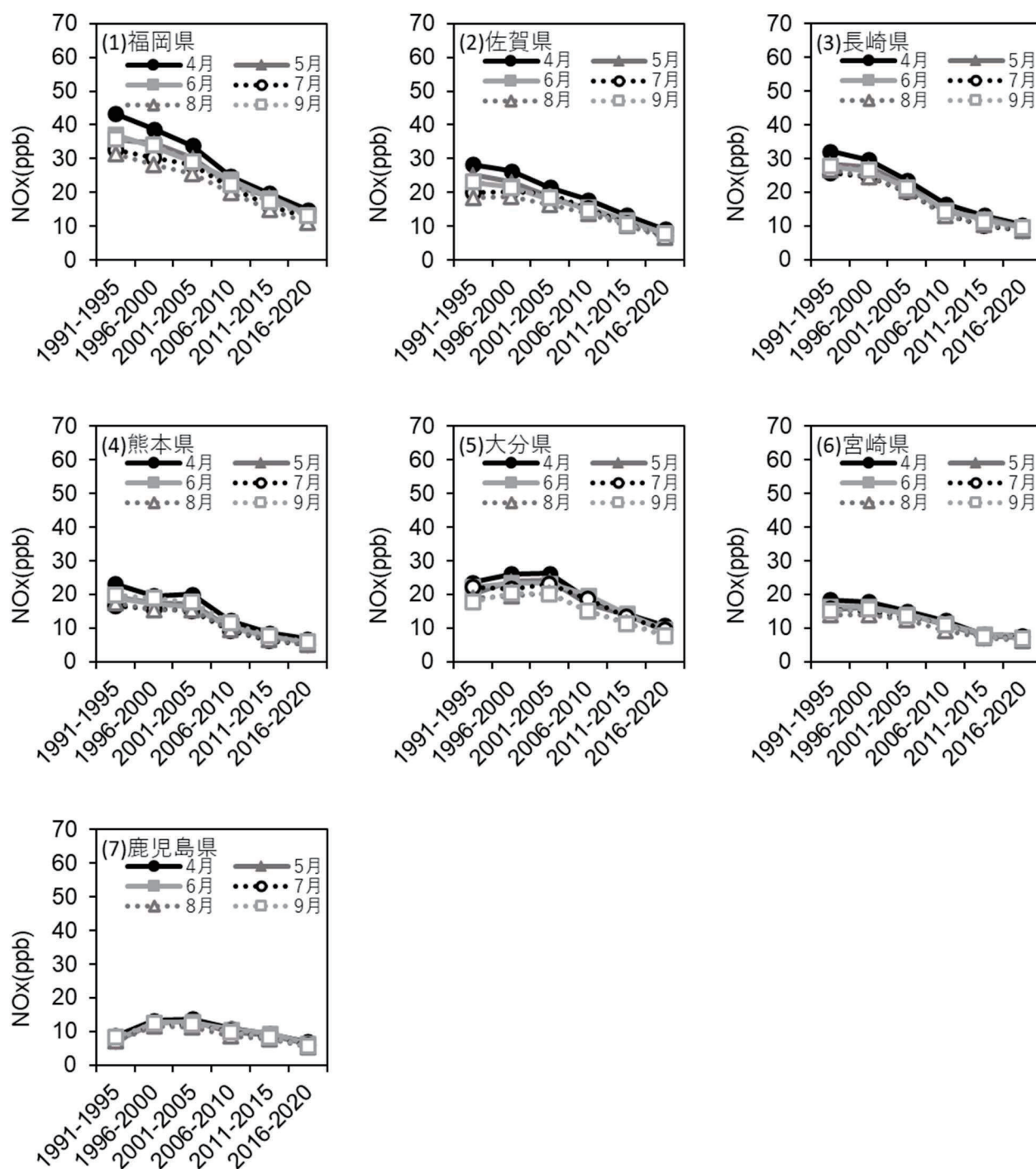


図 6-24 県別の NO_x 月平均値の経年変化(九州)

2) 月別の NOx 月平均値の経年変化

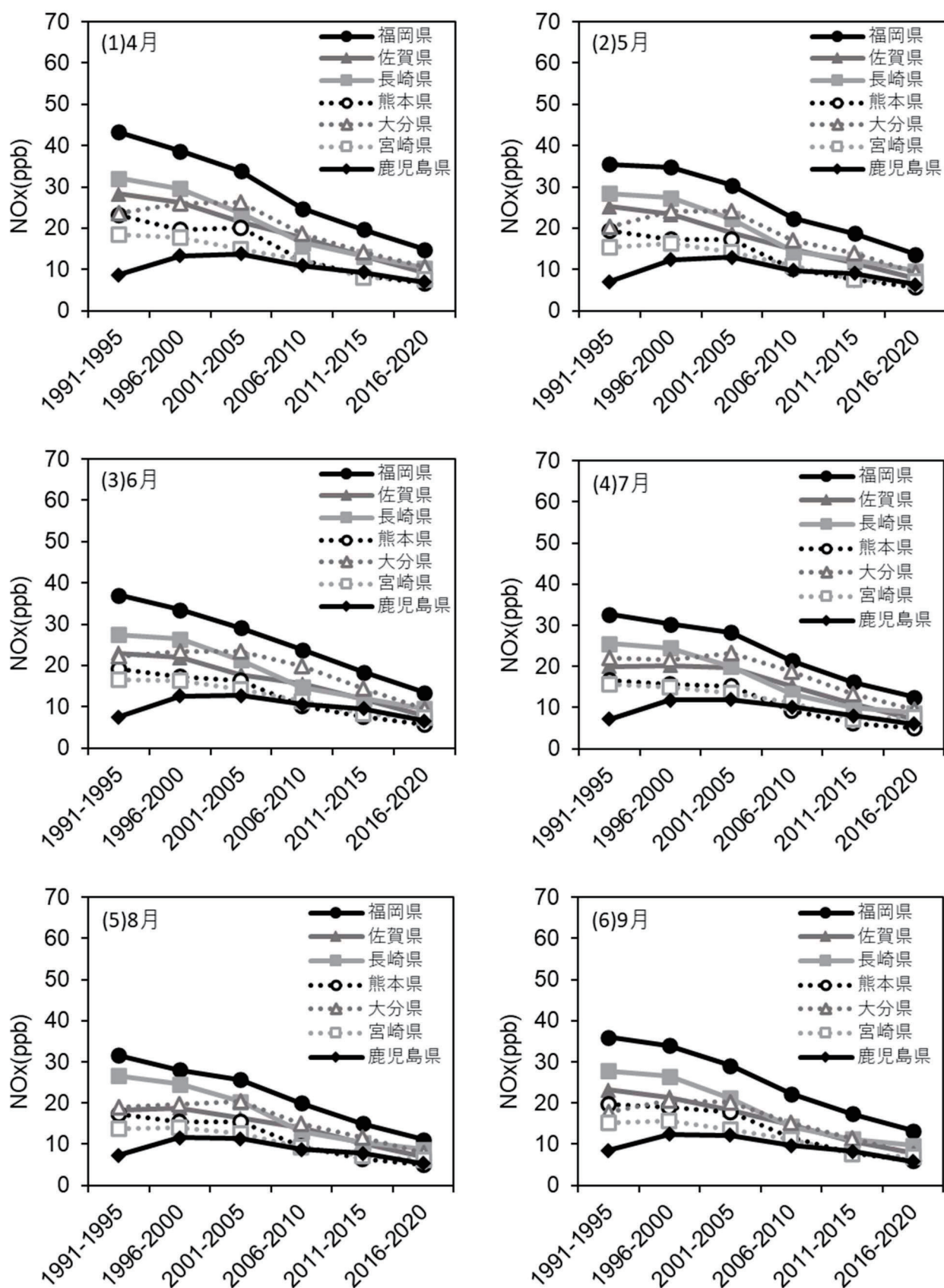


図 6-25 月別の NOx 月平均値の経年変化 (九州)

(6) まとめ

いずれの地域でも4月が高く、8月が低い傾向にあった。その中で関東では東京都と神奈川県が一番高く、続いて埼玉県が高かった。その他、東海では愛知県と静岡県、関西では大阪府、九州では福岡県が年代や月によらず一番高かった。一方、瀬戸内では4～7月は香川県が一番高くなるが、8、9月では岡山県や広島県の方が高くなる傾向にあった。また、いずれの地域でも2001～2005年度以降は経年的に減少しており、地域内の都府県間の差も小さくなっていた。

6.4 非メタン炭化水素(NMHC)濃度

(1) 関東地域

1) 県別の NMHC 月平均値の経年変化

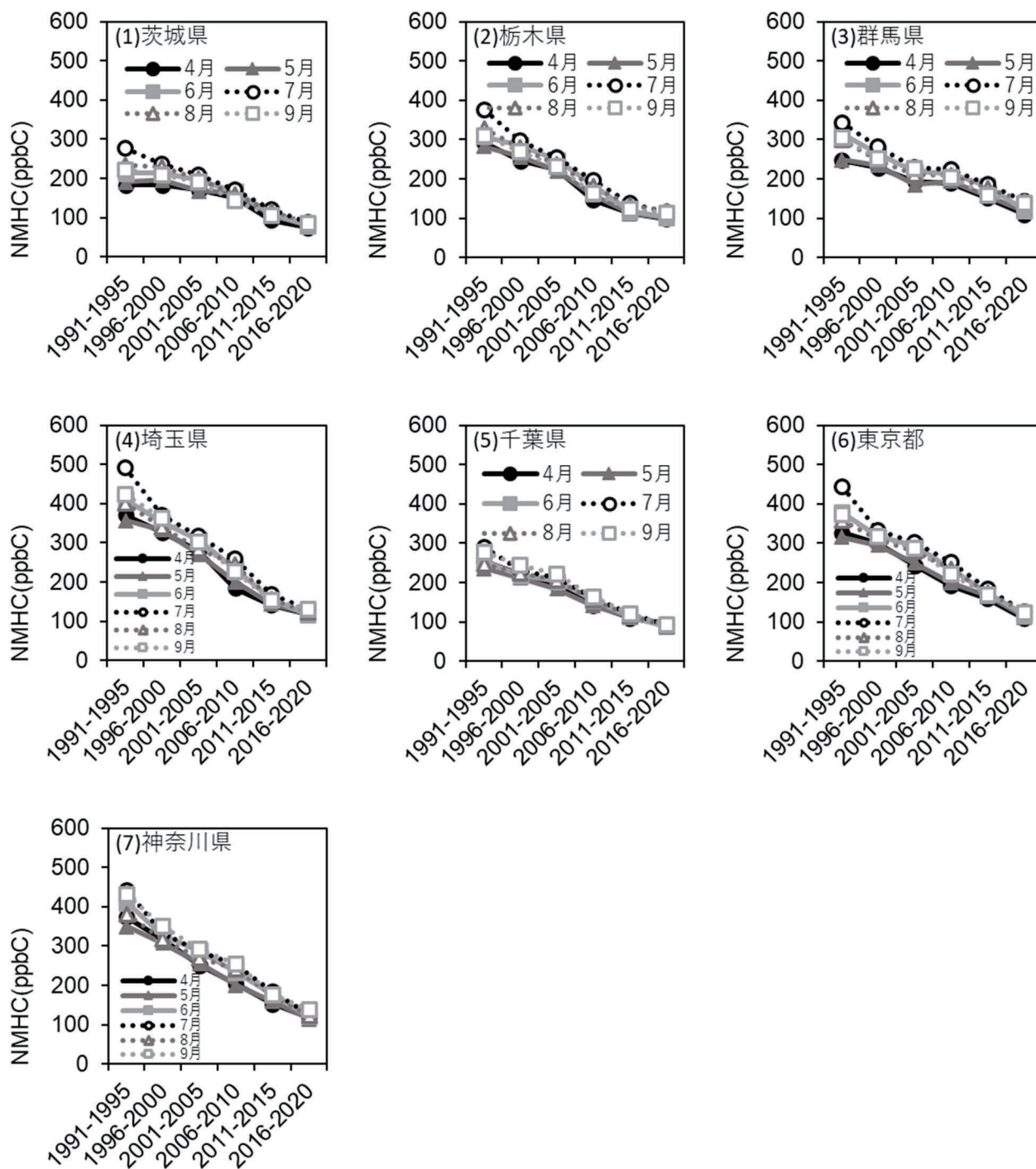


図 6-26 県別の NMHC 月平均値の経年変化（関東）

2) 月別の NMHC 月平均値の経年変化

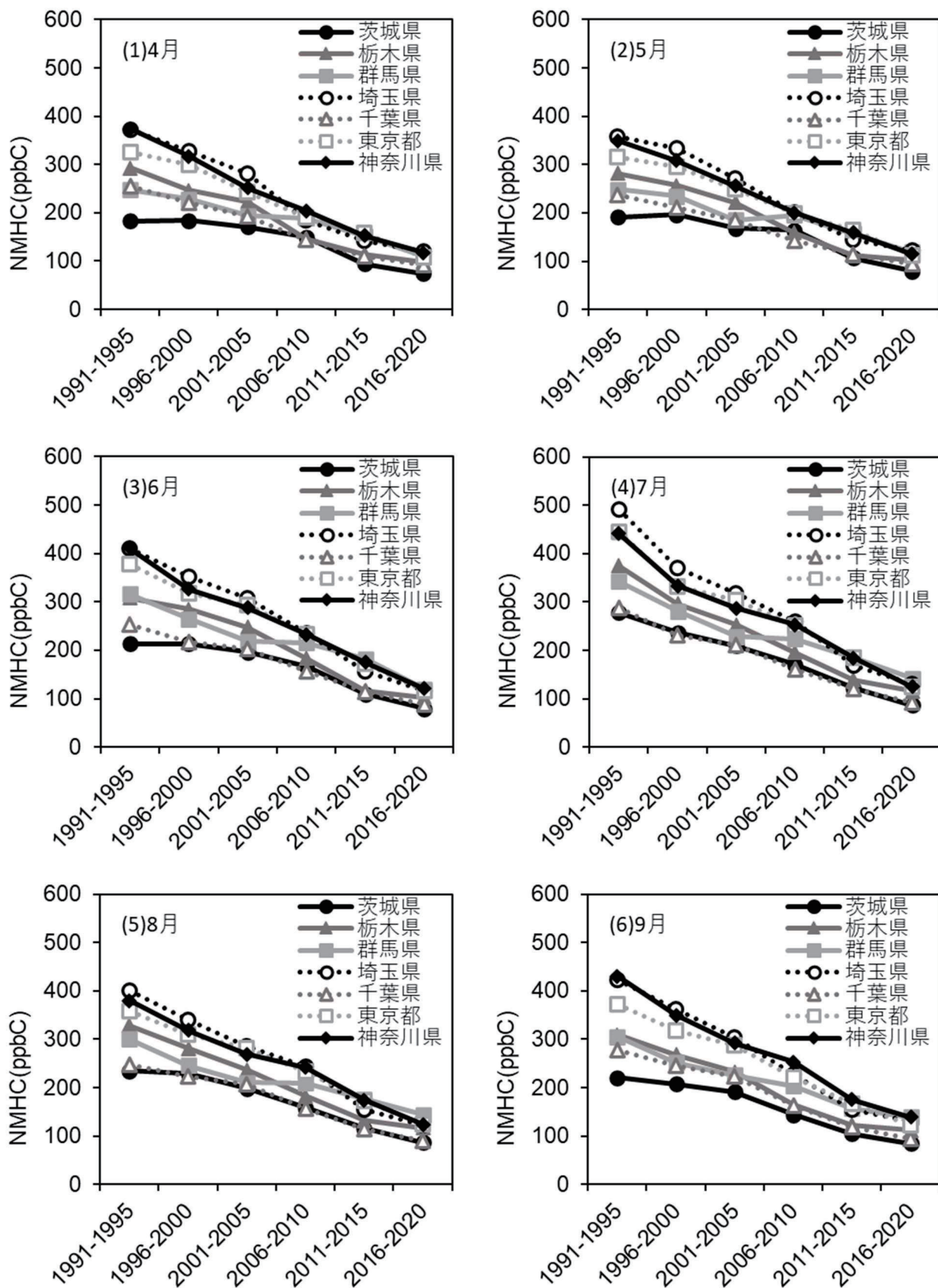


図 6-27 月別の NMHC 月平均値の経年変化（関東）

(2) 東海地域

1) 県別の NMHC 月平均値の経年変化

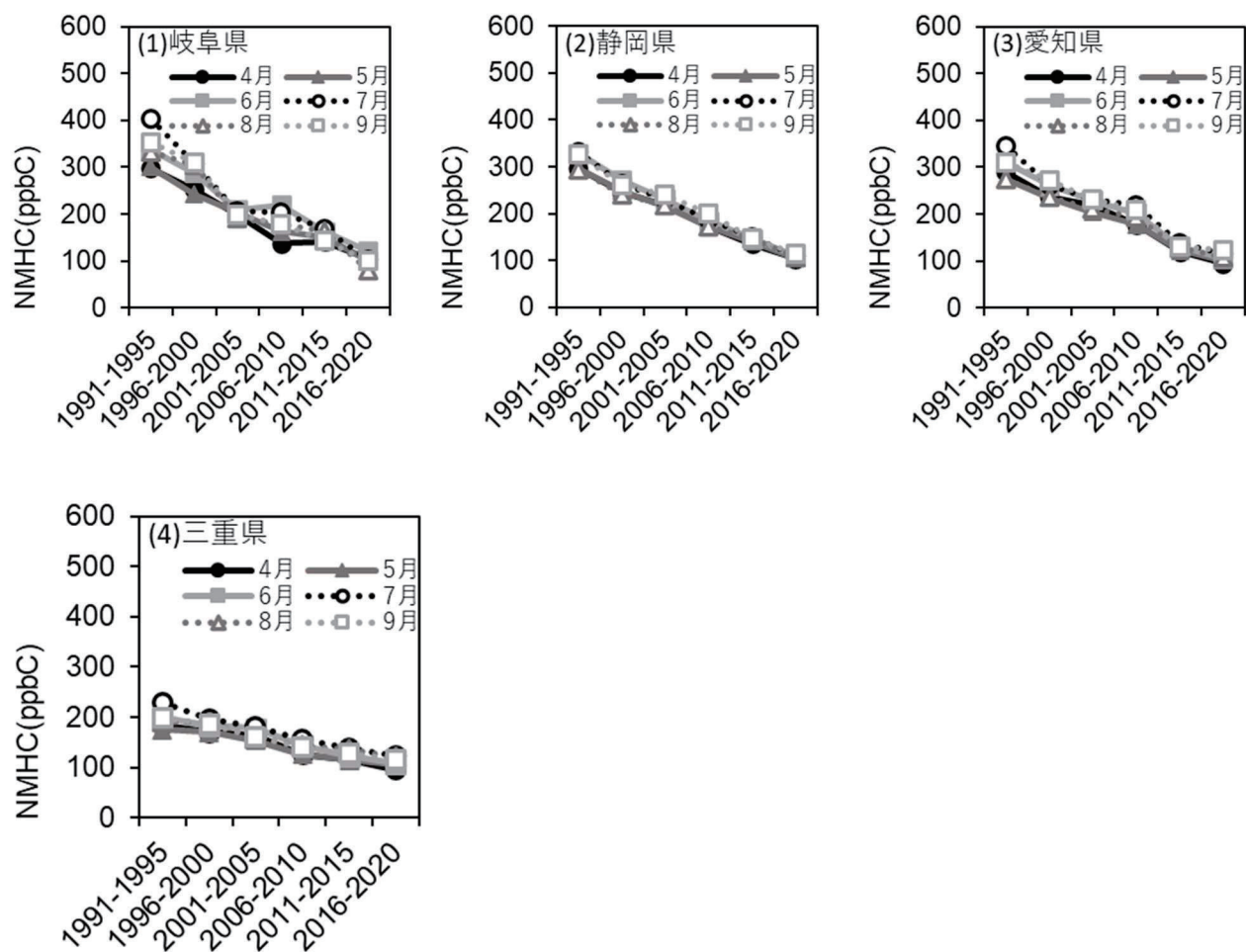


図 6-28 県別の NMHC 月平均値の経年変化（東海）

2) 月別の NMHC 月平均値の経年変化

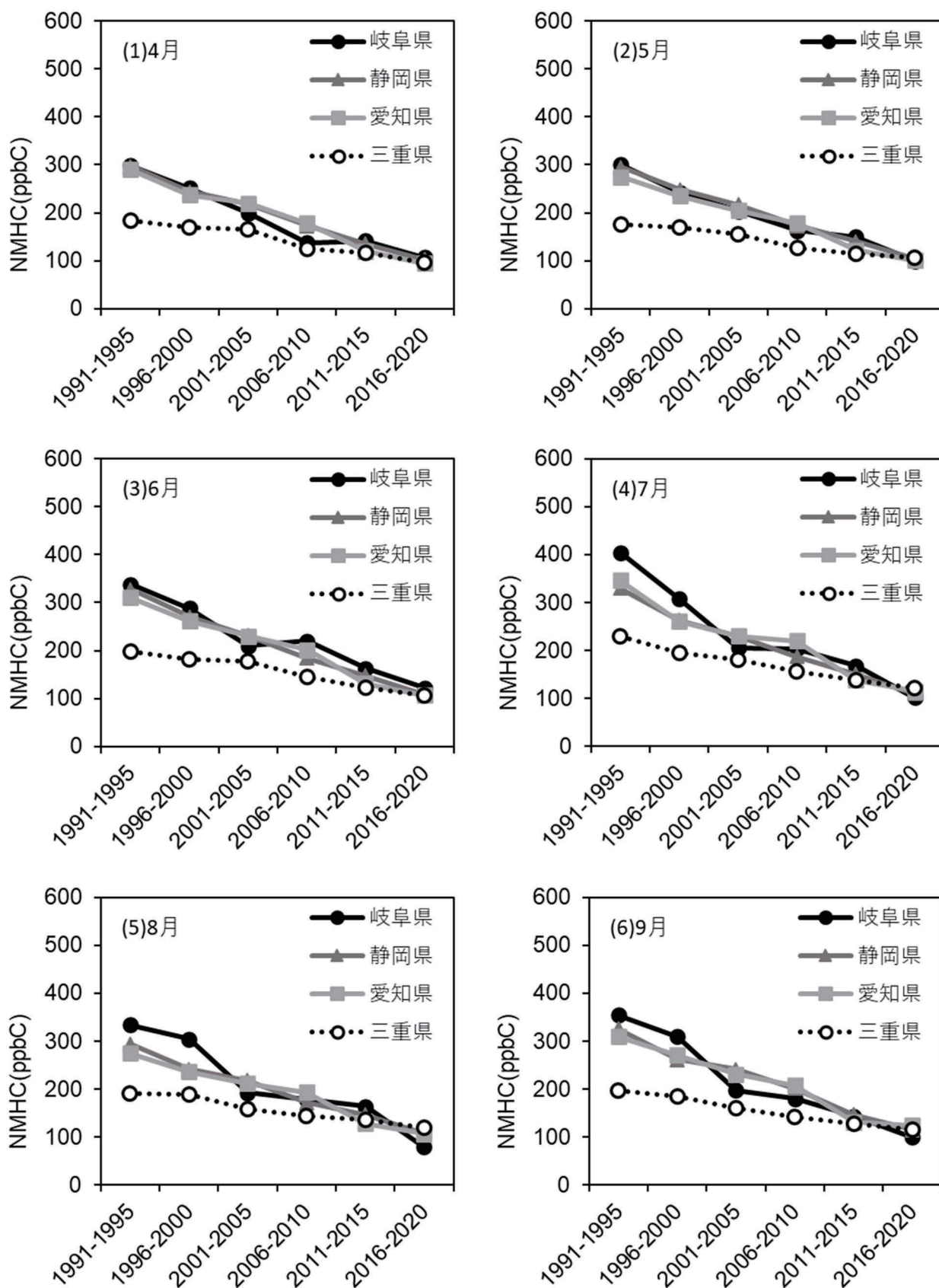


図 6-29 月別の NMHC 月平均値の経年変化（東海）

(3) 関西地域

1) 県別の NMHC 月平均値の経年変化

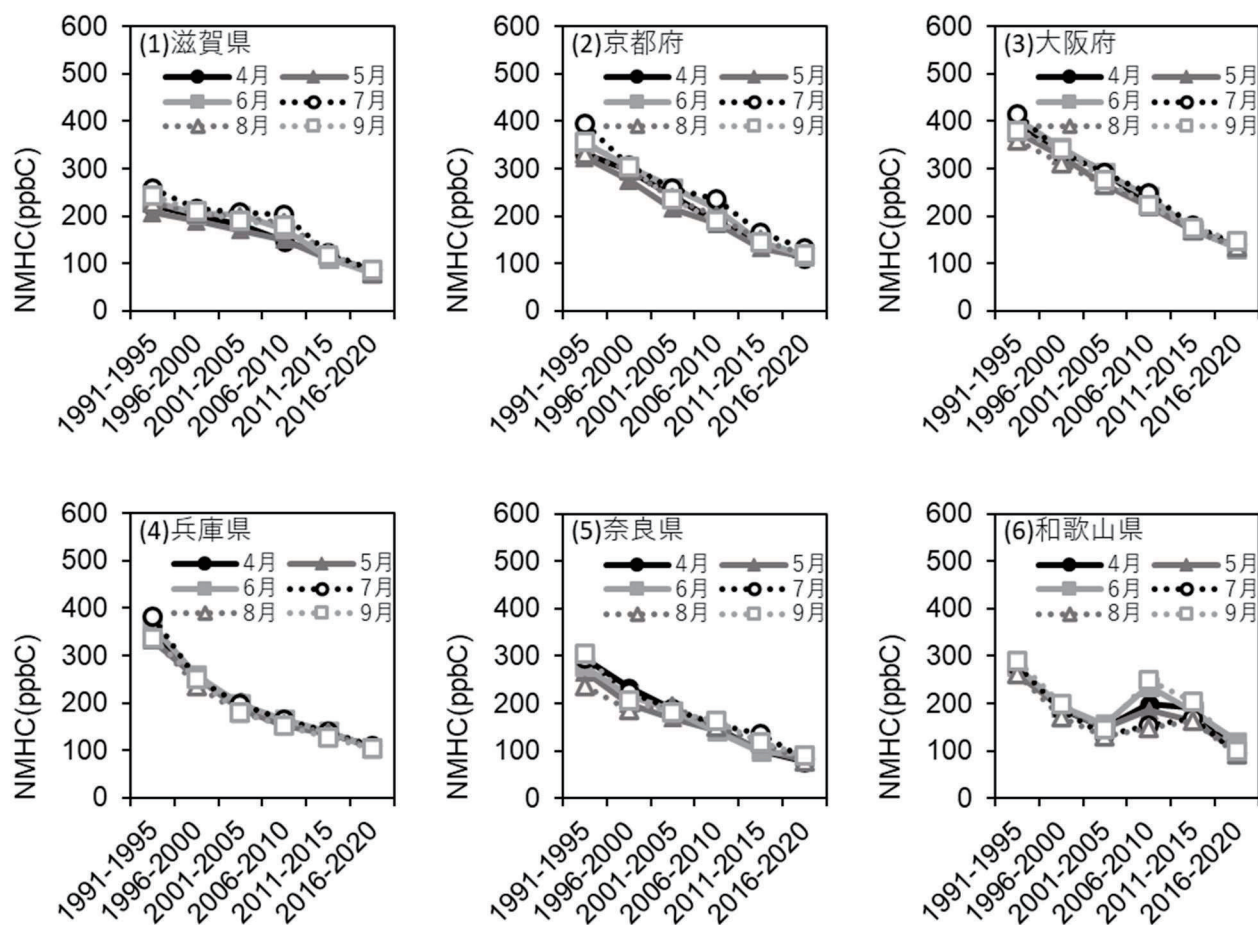


図 6-30 県別の NMHC 月平均値の経年変化（関西）

2) 月別の NMHC 月平均値の経年変化

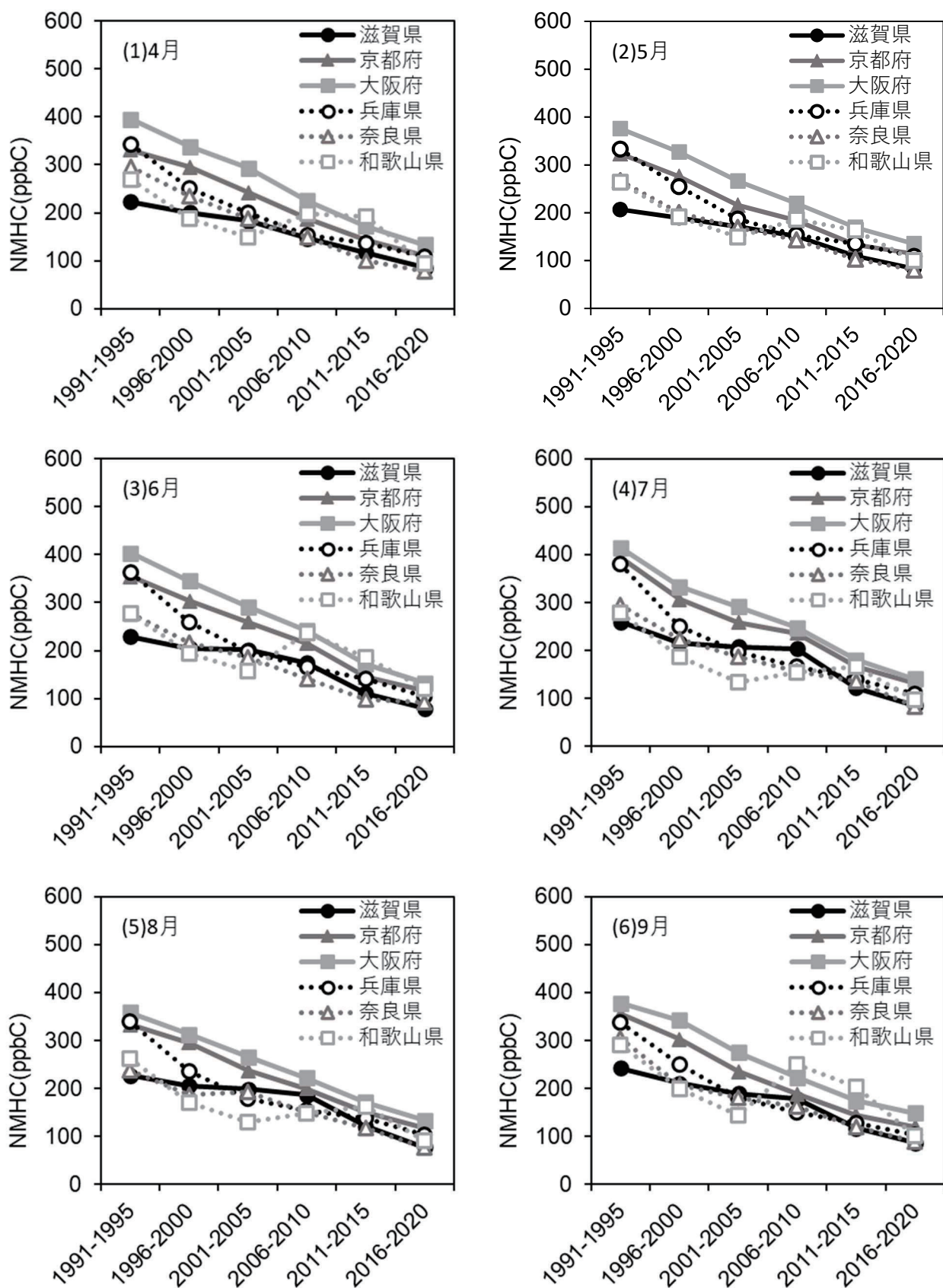


図 6-31 月別の NMHC 月平均値の経年変化（関西）

(4) 瀬戸内地域

1) 県別の NMHC 月平均値の経年変化

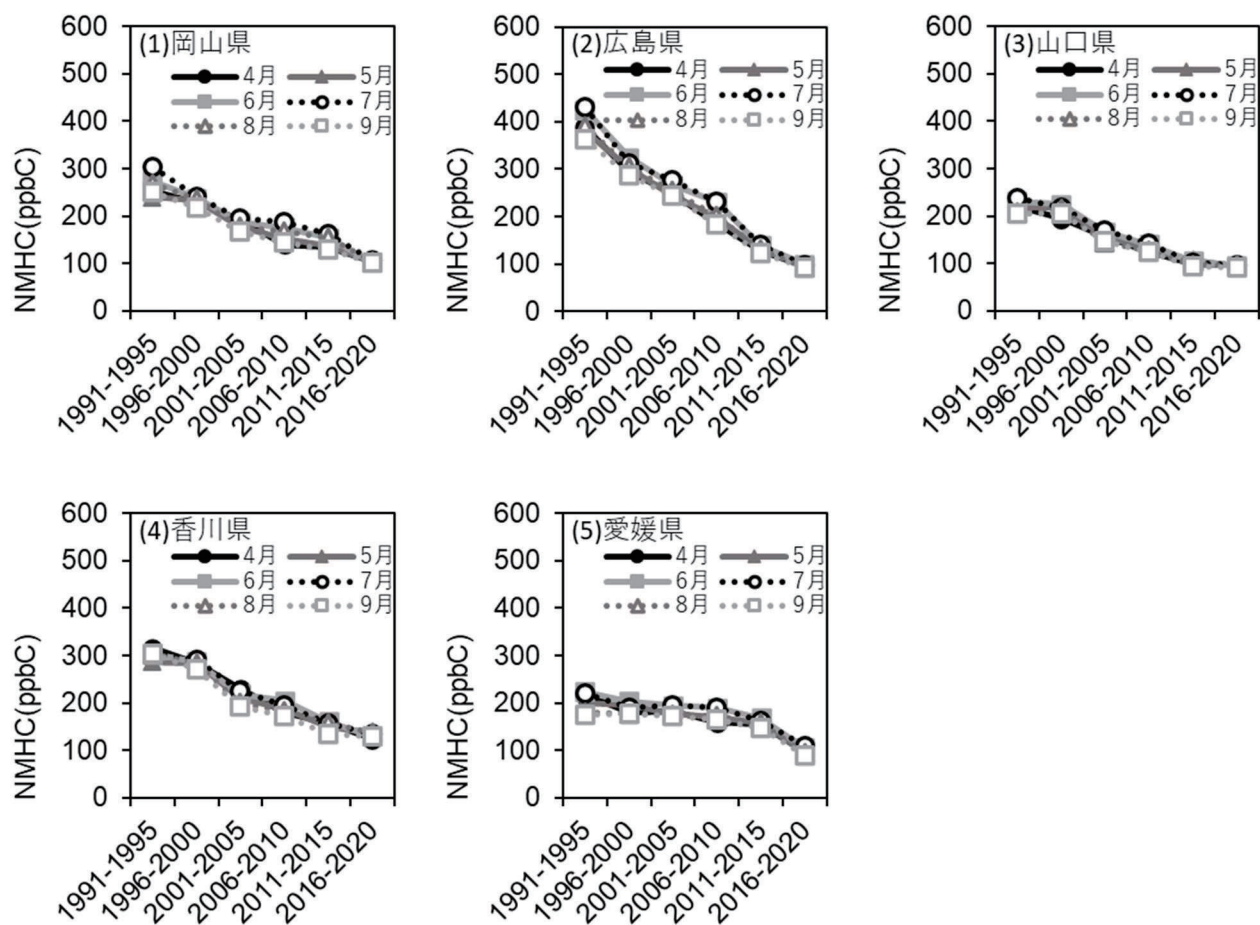


図 6-32 県別の NMHC 月平均値の経年変化（瀬戸内）

2) 月別の NMHC 月平均値の経年変化

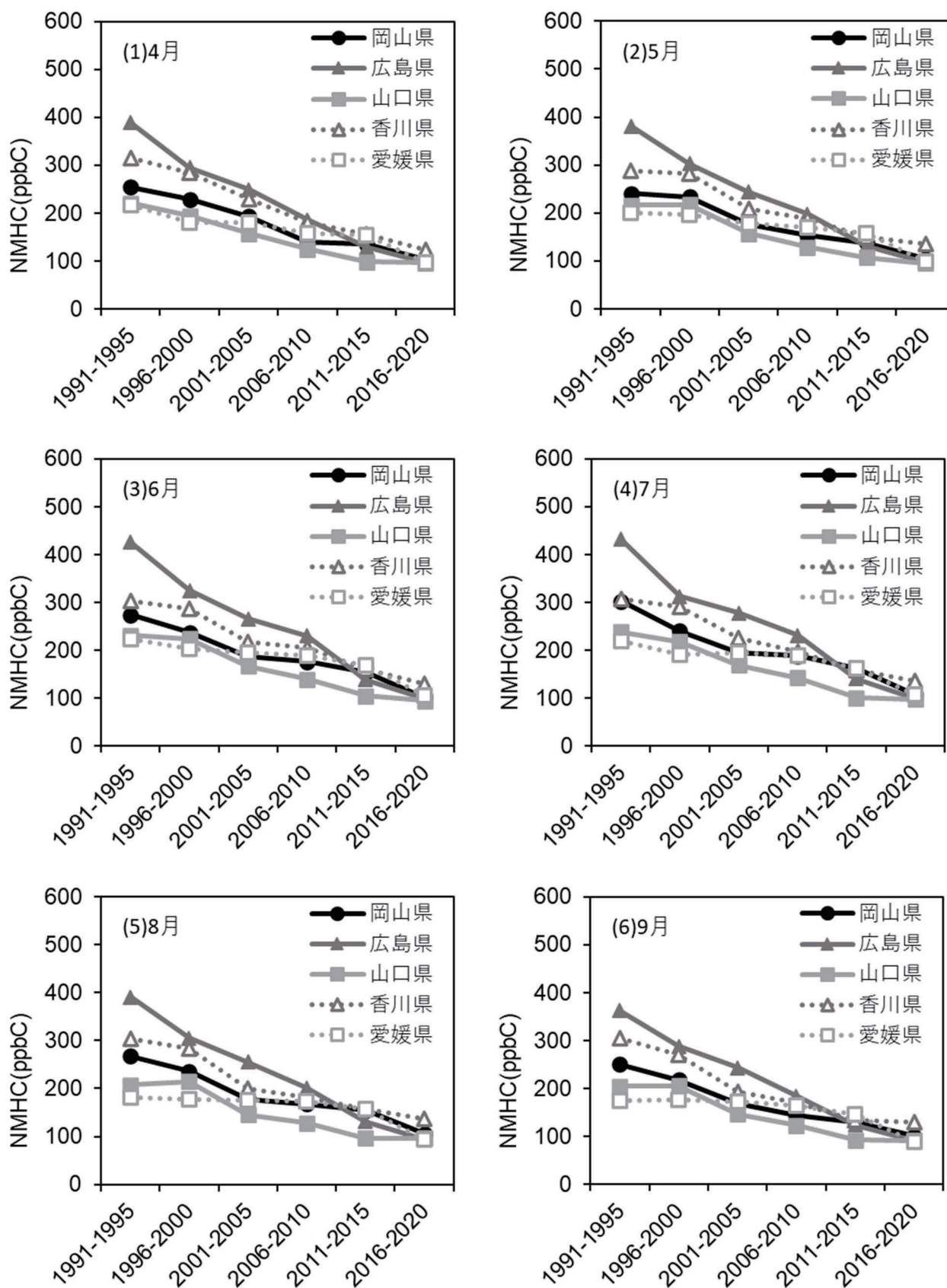


図 6-33 月別の NMHC 月平均値の経年変化（瀬戸内）

(5) 九州地域

1) 県別の NMHC 月平均値の経年変化

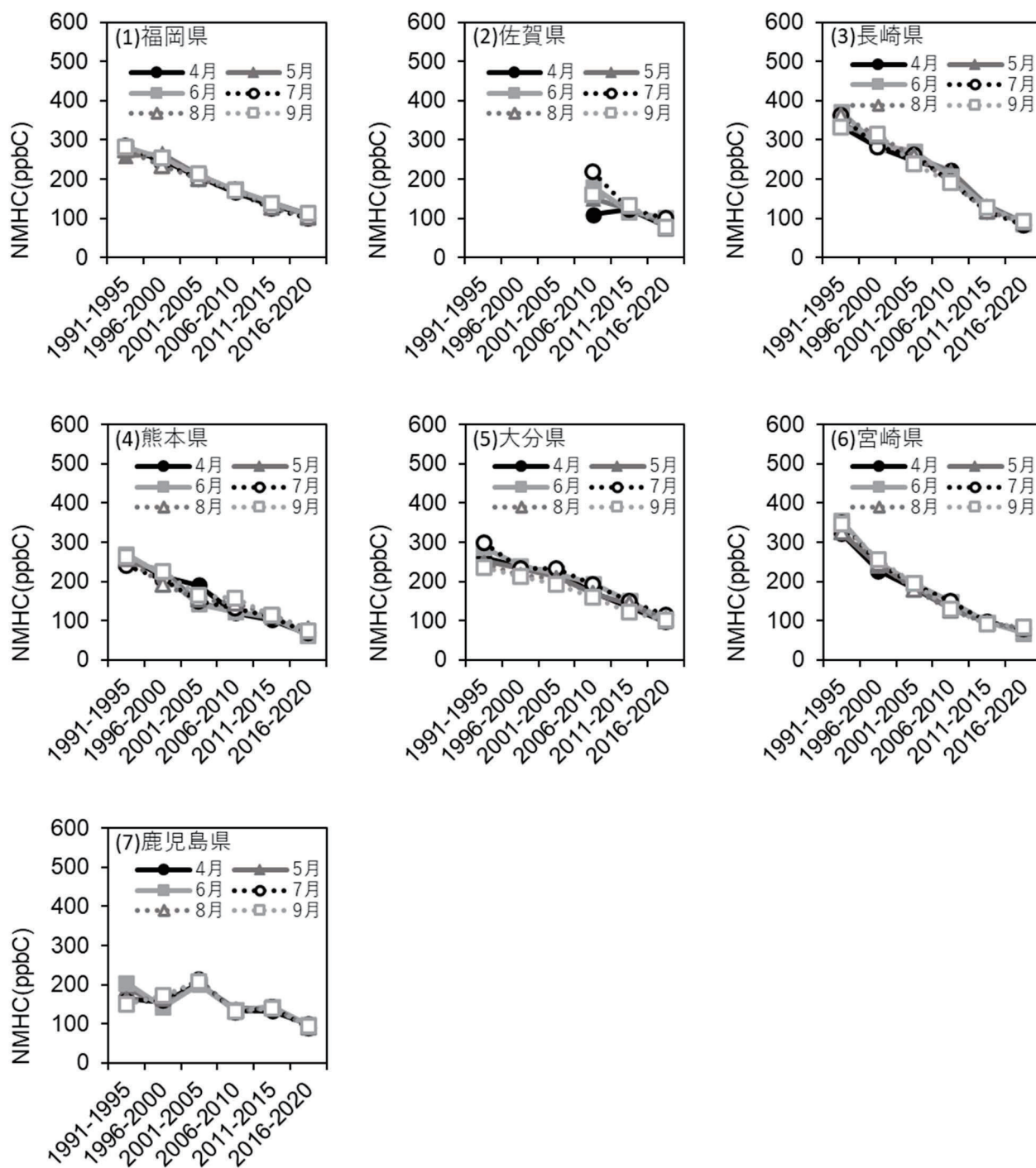


図 6-34 県別の NMHC 月平均値の経年変化（九州）

2) 月別の NMHC 月平均値の経年変化

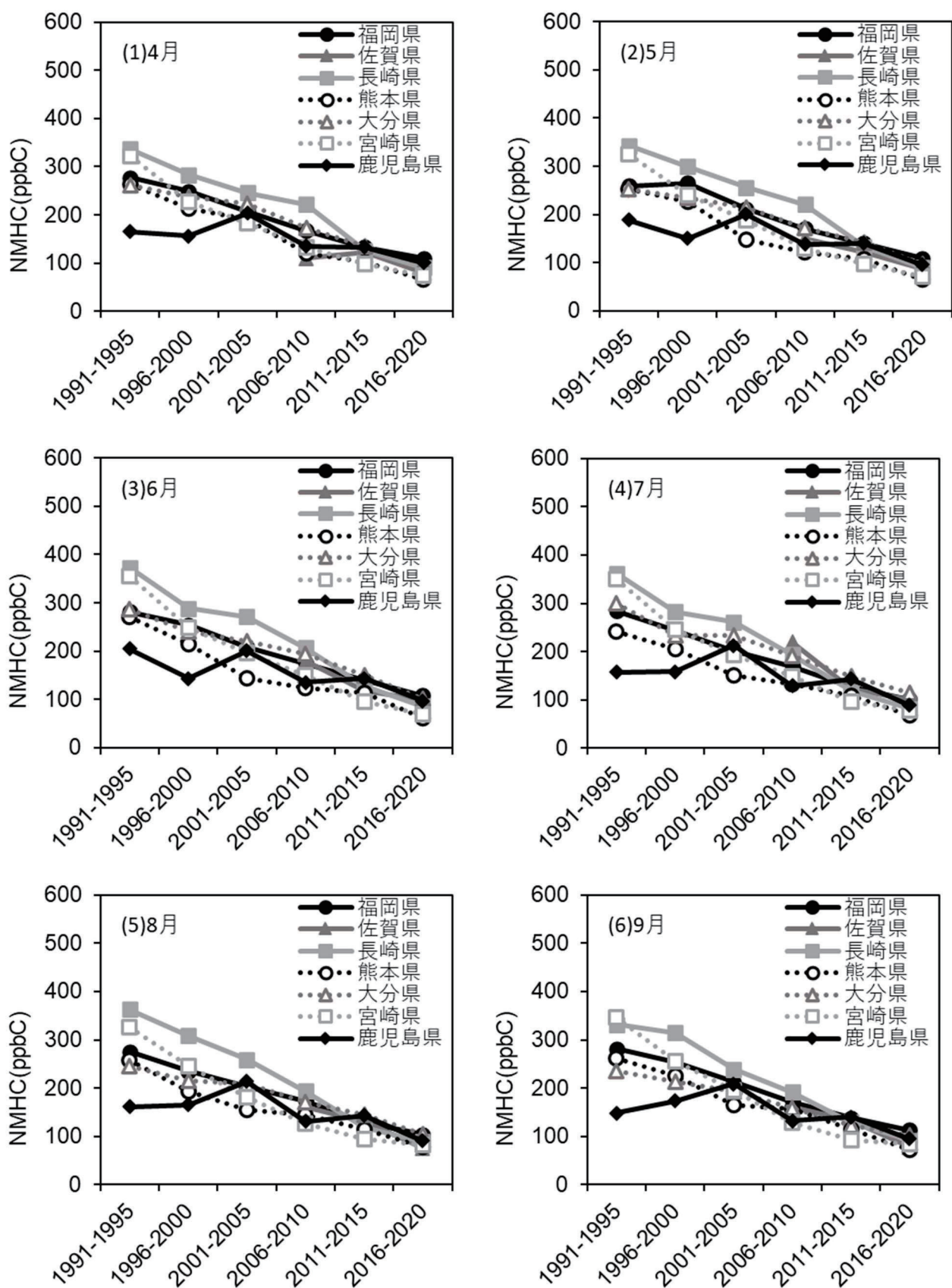


図 6-35 月別の NMHC 月平均値の経年変化 (九州)

(6) まとめ

いずれの地域でも同一都府県内の月別の濃度に差は見られなかった。関東は埼玉県と神奈川県、東海は岐阜県、関西は大阪府、瀬戸内は広島県、九州は長崎県が地域内で一番高くなる傾向があった。また、NO_xと同様に経年的な変動は減少かつ都府県間の差が小さくなる傾向があった。

7 検討会の開催概要及び検討委員の指摘事項

検討会委員（敬称略、五十音順）

氏名	所属	専門分野
浅川 大地	大阪市立環境科学研究センター	大気観測・解析
早崎 将光	一般財団法人 日本自動車研究所	気象要因の影響解析
福崎 有希子	横浜市環境科学研究所(令和4年度) 横浜市 環境創造局 環境保全部(令和5年度)	大気観測(VOC)・解析
山地 一代	神戸大学大学院	大気環境モデリング
山村 由貴	福岡県保健環境研究所	大気観測・モデリング

7.1 令和4年度 第1回検討会

7.1.1 開催内容

【開催日時】 2022年10月3日（月） 10:00～11:35

【参加者】 検討委員：浅川委員、早崎委員、福崎委員、山地委員、山村委員
環境再生保全機構：金本様
日本環境衛生センター：高橋、吉村、遠藤、塩手

7.1.2 議事次第

- (1) 本調査について
- (2) 調査研究の作業状況について
 - ・文献調査
 - ・大気汚染対策の情報収集
- (3) 今後の作業について
- (4) その他

7.1.3 配布資料

- 資料1 調査研究の概要
 資料2-1 文献調査～オキシダント高濃度要因に関する研究～
 資料2-2 地方公共団体における大気汚染対策等の情報収集
 資料3 地方公共団体へのヒアリング計画

7.1.4 指摘事項と対応

■ 議事(2) 文献紹介について

No.	指摘事項	対応方針
1	測定した年代が異なる文献同士の結果を比較して良いのか。	常時監視データ等を用いて年代を揃えたうえで比較する。
2	常時監視データのOxデータを用いる際は測定法の入れ替え時期と校正法の統一時期に留意した方が良い。	今後の常時監視データの解析は2つの時期に留意したうえで行う。
3	削減対策を検討するためには、BOXモ	これまでの文献調査では室内実験の優先

No.	指摘事項	対応方針
	デルやチャンバーなど室内実験を扱った文献も対象とした方が良い。	順位は下げていたが、今後は参考にしていく。
4	WRF で滞留等の影響を評価した結果は設定によって大きく変わる。温暖化や気候変動でその設定がどうなるかは気象関係の文献にあるはず。	気象関係の文献を調査し、今後 WRF を解析で用いる場合に設定の参考とする。

■ 議事(2) 大気汚染対策の情報収集について

No.	指摘事項	対応方針
5	最近では気候変動適応センター等でも SLCF 排出削減について各県独自のプランが検討されているかもしれない。	各県の SLCF 削減プランについて調査、独自性のあるものはまとめる。
6	大阪府の VOC 規制撤廃及びガイドラインへの緩和について、答申や環境審議会の資料等も参考になると思う。	大阪府の VOC 規制撤廃等に関して、大阪府の HP から答申や環境審議会の資料を調査する。

■ 議事(3) 今後の作業について

No.	指摘事項	対応方針
7	ヒアリングの対象には、関東の発生源地域に東京以外にも Ox 対策にかなり力を入れている川崎を入れると良い。	ヒアリングの対象に川崎市の行政担当者を追加する。
8	大阪から滋賀や兵庫への移流を調査するために大阪府の環境農林水産総合研究所にも話を聞いてほしい。	大阪府の環境農林水産総合研究所の大気環境の担当者をヒアリング対象に加える。

■ 検討会で紹介いただいた文献情報

No.	文献情報	要因	概要(備考)
1	Sadanaga et al. Analyses of the Ozone Weekend Effect in Tokyo, Japan: Regime of Oxidant (O ₃ +NO ₂) Production. Aerosol and Air Quality Research. 2012; 12: 161-168.	オゾン生成レジーム	関東地方では週末と平日でレジームが違う
2	Sakamoto et al. Relative and Absolute Sensitivity Analysis on Ozone Production in Tsukuba, a City in Japan. Environmental Science & Technology. 2019; 53: 13629-13636.	オゾン生成レジーム	つくばは、午前と夕方は VOC 律速、午後は NOx 律速で全体として VOC 律速である
3	山村ら：福岡県における地域汚染由来の高濃度オゾンに対する NOx、VOC 排出量削減の効果、全国環境研会誌,45,202-212(2020)	オゾン生成レジーム	福岡県内のレジームを調査、海風による輸送についても言及
4	国立環境研究所 II型共同研究報告書 (※公開は要確認)	オゾン生成レジーム	神奈川県削減効果をシミュレーションを用いて評価 (小松先生)
5	Itahashi et al. Fifteen-Year Trends (2005–2019) in the Satellite-Derived Ozone-Sensitive Regime	オゾン生成レジーム	論文で示した衛星データによる HCHO と

No.	文献情報	要因	概要(備考)
	in East Asia: A Gradual Shift from VOC-Sensitive to NOx-Sensitive. Remote Sensing. 2022; 14(18): 4512.		NO ₂ のカラム濃度比から律速状態を判断する手法は、長期間、広域的に同質な評価を行う上では有効と考えられる
6	Akimoto et al. Rethinking of the adverse effects of NOx-control on the reduction of methane and tropospheric ozone – Challenges toward a denitrified society. Atmospheric Environment. 2022; 277: 119033.	オゾン生成 レジーム	過去 30 年間の対流圏 CH ₄ の増加速度の時間変化、および律速状態に関連する都市／農村の O ₃ 問題等がレビューされており、参考になる文献をフォローする。
7	Fukunaga et al. Relationship between Changes over Time in Factors, Including the Impact of Meteorology on Photochemical Oxidant Concentration and Causative Atmospheric Pollutants in Kawasaki. Atmosphere. 2021; 12: 446.	排出量削減 効果	DPOx(日中のオゾン生成量)という新指標で過去 30 年間の川崎の排出量削減効果を評価
8	関東地方大気環境対策推進連絡会微小粒子状物質・光化学オキシダント調査会議における VOC 調査（とりまとめ中；3 月中旬頃公開）	VOC 組成 とオキシダ ント生成の 関係	関東甲信静で連携した光化学オキシダントに関する広域調査
9	※VOC 多成分測定を紹介。 発生源の特定が目的であるが、2019 年の集中観測は論文として公開されている。 Fukusaki et al. Source region identification and source apportionment of volatile organic compounds in the Tokyo Bay coastal area, Japan. Atmospheric Environment: X. 2021; 9: 100103.	VOC 組成 とオキシダ ント生成の 関係	東京湾岸地域 7 地点での高時間分解能測定、川崎市での集中観測
10	坂本陽介. HOx 反応性測定法を活用したエアロゾルによる過酸化ラジカル取り込み係数の決定. エアロゾル研究. 2022; 37: 5-11.	VOC 組成 とオキシダ ント生成の 関係	-
11	櫻井ら. オゾンゾンデ観測に基づく首都圏光化学オキシダント高濃度事象の解析. 大気環境学会誌. 2020; 55: 230-237.	循環・滞留 など	相模湾での夜間の海風陸風についてゾンデとモデルの組み合わせで検証
12	NO ₃ と同じ	循環・滞留 など	福岡県都市部で発生した Ox が上空で高濃度になり、小郡に運ばれ地表面で高濃度になる現象を報告
13	Itano et al. Local and regional contributions to	循環・滞留	大阪府内で飛行機を用

No.	文献情報	要因	概要(備考)
	springtime ozone in the Osaka metropolitan area, estimated from aircraft observations. Atmospheric Environment. 2006; 40: 2117-2127.	など	いて高度別に Ox を観測
14	Akimoto et al. Analysis of monitoring data of ground-level ozone in Japan for long-term trend during 1990–2010: Causes of temporal and spatial variation. Atmospheric Environment. 2015; 102: 302-310.	長距離越境輸送	1990～2010 年の Ox データを越境汚染の視点でまとめている

7.2 令和 4 年度 第 2 回検討会

7.2.1 開催内容

【開催日時】 2023 年 1 月 19 日（木）10:00～11:35

【参加者】 検討委員： 浅川委員、早崎委員、福崎委員、山地委員、山村委員
環境再生保全機構： 金本様
日本環境衛生センター： 高橋、吉村、遠藤、塩手

7.2.2 議事次第

- (1) 調査研究の作業状況について
 - ・文献調査
- (2) 次年度の作業について
- (3) 地方公共団体へのヒアリングについて
- (4) 成果発表会について
- (5) その他

7.2.3 配布資料

- 資料 1 調査研究の概要（第 1 回検討会資料の再掲）
 資料 2 文献調査～オキシダント高濃度要因に関する研究～
 資料 3 地方公共団体へのヒアリング結果
 資料 4 成果発表会スライド案

7.2.4 指摘事項と対応

■ 議事(1) 調査研究の作業状況について

No.	指摘事項	対応方針
1	オゾン生成レジームや NO タイトレーション効果について、海外の事例があれば情報として補強するとよい。	必要に応じて次年度の文献調査で補強する。

■ 議事(2) 次年度の作業について（次年度実施予定の解析案について）

No.	指摘事項	対応方針
2	（オゾン生成レジームに関して） NMHC は自排局のみ、Ox は一般局の	解析に使用可能な測定局が多い地域は同一の局でも十分かもしれないが、少ない

No.	指摘事項	対応方針
	みで測定されていることが多い。また発生源と別の場所で Ox 濃度が上がることもある。解析対象は同一の局だけでなく、ある程度の範囲内に含まれる複数の局も解析した方がよい。	地域では、ご意見いただいた考え方もデータの選定において検討したい。同一でない局のデータを使う場合に、局同士が代表できる地理的な範囲を検討しつつ解析を行う。
3	(NO タイトレーションに関して) 解析期間の 2010～2020 年は国外の変化の方が大きく、5 年毎にまとめるのでは期間が長い。	文献を参考にはじめは 5 年単位の解析を実施し、その結果を見て、解析期間を短くする等再度設定するような形で進め、最適な結果を得たい。
4	NO タイトレーション効果の $\Delta\text{Titr}(\text{O}_3)$ の算出における NO_x 中の NO_2 の排出比率の係数が最近変わってきているという推計があるため、係数変化の影響があるのかどうか留意する。	解析結果で得られた長期的な変化が、 NO タイトレーション効果であるのか、排出比率が変わったことによるものであるか、留意して取りまとめる。
5	(前駆物質の排出量の削減効果について) 過去 30 年の常時監視データで ΔOx (日中の平均値から夜間の平均値を差し引いた値) を解析するときには、測定法の変更や校正法の変更による Ox 濃度への影響に注意が必要である。	校正方法の変更が長期のトレンドに影響しているように見えるデータもあるので、解析結果を評価する際に注意する。
6	対策は都道府県単位で実施するので、5 地域の解析を行う際に、地域を都道府県に細分化した方が、自治体は結果を判断しやすい。	留意しながら次年度の解析を進める。細分化した場合、その地域の解析に使用できるデータ数が十分であるか等にも注意したい。
7	3 つの解析は発生源周辺や都市部の対策立案には寄与すると思うが、都市部から影響を受ける地域が対策を立てるには循環・滞留の観点での評価も必要である。移流について押さえた上で、都市部や発源地域ではこのような対策がとれるという流れにするとよい。	次年度の最終報告では、移流を受ける側の自治体への影響についても注意してとりまとめる。(今年度の報告でも、次年度の方針として記載する。)

■ 議事(3) 地方公共団体へのヒアリングについて

No.	指摘事項	対応方針
8	「とりまとめに期待する事項」で気象関連の情報がほしいとあるので、とりまとめに含めた方がよい。	解析に入れることは難しいと考えているが、次年度のとりまとめでは考慮する。
9	気象条件の変化、あるいは気象条件で補正する手法について情報提供してもよいと思った。東京都の星氏の文献や、国外の事例も参考にする。	対策の効果を考える場合には、統一された気象条件下の経年変化等が参考になるので、次年度は文献情報を参考にしつつ、とりまとめる。
10	まとめの記載でオキシダント濃度が上	気象条件の整理が望まれるとの前後の記

No.	指摘事項	対応方針
	昇する気象条件について、地域の担当者が把握できているような書き方はしない方がよい。	載との整合性もとって、書き方を検討し修正する。
11	ヒアリングの結果から移流や輸送が重要と考えられる。来年度の解析内容と温度差があり気になる。	気象条件や移流・輸送について解析は実施しないが、ヒアリング内容を踏まえたとりまとめを行う。
12	行政担当者は短期間で交代するので、資料は分かり易い表現をする必要がある。	次年度の最終報告において、留意してとりまとめたい。

■ 議事(4) 審査発表会について

No.	指摘事項	対応方針
13	「地域の行政担当者が活用できるように」という目的から「地域の研究者及び行政担当者にもヒアリングを実施した」とアピールした方がよい。	本年度報告書に追記する。
14	「地域単位で対策を講じることが可能な」という表現は、「地域単位で対策立案に有用な～」等の表現にしたほうがよい。	本年度報告書を修正する
15	「近年のオキシダント濃度に寄与していると考えられる要因」の3番目と、「地域内で高濃度になりやすい地域、前駆物質の排出量が多い地域」の2番目に「移流」が使われている。この2つはスケール規模が異なるので、例えば、前者を越境輸送や長距離輸送に変更して、区別されてはいかかがか。	本年度報告書で区別できるように記載する。
16	目的に対して今年度このような調査を行って、次年度に進めるに当たってこれをターゲットにするので3つの解析に絞ったという流れを記載した方がよい。	本年度報告書の調査概要やまとめにおいて調査の流れがわかるように追記等を行う。
17	文献調査の結果として、地域毎に効果的な対策や気象的な特徴のまとめがあると各地域の行政担当者や研究者にとってありがたい。	具体的な対策を示すことは難しいかもしれないが、対策立案の参考とできるような地域の特徴を次年度の取りまとめで整理したい。
18	この取りまとめが自治体向けに発信する情報であるという点を説明した方がよい。	自治体向けに発信する情報であるとわかるように説明する。

7.3 令和5年度 第1回検討会

7.3.1 開催内容

【開催日時】 2023年8月28日（月）10:00～11:52

【参加者】 検討委員： 浅川委員、早崎委員、福崎委員、山地委員、山村委員

環境再生保全機構： 大内田課長、上村様

日本環境衛生センター： 高橋、吉村、遠藤、塩手

7.3.2 議事次第

(1) 令和5年度の調査概要について

(2) 調査の進捗について

- ・既往研究のアップデート

- ・国内外の緊急事態宣言期間前後のオキシダント濃度に係る文献調査

(3) その他

7.2.3 配布資料

資料1 調査研究の概要（第1回検討会資料の再掲）

資料2 既往研究のアップデート

資料3 新型コロナウイルス感染症に係る緊急事態宣言や都市封鎖期間前後におけるOx及び前駆物質の濃度変化

7.2.4 指摘事項と対応

■ 議事(2) 既往研究のアップデートについて

No.	指摘事項	対応方針
1	日本海側や北日本の測定局についても解析を行った方が良い。(浅川先生,早崎先生)	日本海側や北日本についても解析を実施し、最終取りまとめでは参考資料として結果を記載する。
2	「NMHCとはVOCのことを指す」など、最終報告書ではオゾン生成レジームの知識がない行政担当官にも分かりやすい取りまとめをしてほしい。(ERCA)	最終取りまとめは、行政担当官にも分かりやすいようかみ砕いた表現にする。
3	DPOxが日中の光化学生成によりその場で生成されたオゾンの量の指標であるかどうか疑問である。(山地先生)	最大値や最大値と最小値の差分など、別の指標についても検討する。
4	オゾン生成レジームについて、季節を分けた解析を実施した方が良い。(浅川先生,山村先生)	オゾン生成レジームについて、春季と夏季に分けた解析を実施する。

■ 議事(3) 新型コロナウイルス感染症に係る緊急事態宣言や都市封鎖期間前後における
Ox 及び前駆物質の濃度変化について

No.	指摘事項	対応方針
5	「既往研究のアップデート」の NO タイトレーション効果の解析を、コロナの期間について抜き出して実施しても良いのではないか。(浅川先生)	コロナの期間について、NO タイトレーション効果の解析を検討する。

■ 検討会で紹介いただいた文献情報

No.	文献情報	備考
1	Elementa: Science of the Anthropocene (2021) 9 (1)	コロナによる都市封鎖が大気環境に与えた影響を全球で推定。
2	大気環境学会誌 57.1 (2022): A41.	
3	Science Advances 7.24 (2021): eabf7460.	
4	Science Advances 9.30 (2023): eadh2688.	
5	自動車交通研究 2020 (2020): 38-39.	

7.4 令和 5 年度 第 2 回検討会

7.4.1 開催内容

【開催日時】 2023 年 12 月 20 日 (月) 10:00～11:58

【参加者】 検討委員： 浅川委員、早崎委員、福崎委員、山地委員、山村委員
環境再生保全機構： 大内田課長、上村様
日本環境衛生センター： 高橋、吉村、遠藤、塩手

7.4.2 議事次第

- (1) 本調査研究の概要について
- (2) 本調査研究の成果について
 - ・既往研究の追加解析・アップデートについて
 - ・地方公共団体へのヒアリングについて
 - ・コロナ影響の文献調査について
 - ・取りまとめについて
- (3) その他

7.4.3 配布資料

- 資料 1 調査研究の概要 (第 1 回検討会資料の再掲)
- 資料 2 成果発表会の発表スライド案
- 資料 3 成果発表会の発表要旨案(本編)
- 資料 4 成果発表会の発表要旨案(資料編)

7.4.4 指摘事項と対応

■ 既往研究の追加解析・アップデートについて

No.	指摘事項	対応方針
1	NO タイトレーション効果の解析で、 ΔOx と $\Delta\text{Titr}(\text{O}_3)$ の大小関係の判定を見直した方が良い。(福崎先生, 山地先生)	大小関係を定量的に判定できるような基準を設ける。
2	その年の梅雨の期間によって結果が左右される可能性がある。(早崎先生)	解析期間中の梅雨の期間を確認する。
3	オゾン生成レジームの解析で NOx と Ox の日最高値を比較したグラフで、 NOx が下がると Ox の日最高値も下がってきているのではないか。(山地先生)	NOx が低下すると Ox 濃度が増加するように説明したグラフを削除する。

■ 取りまとめについて

No.	指摘事項	対応方針
4	追加解析の結果について、結果全体をひとまとめた表があった方が良い。(山地先生)	解析結果をひとまとめた表を成果発表会の発表資料に追加する。
5	地方公共団体の担当者が今回の解析手法をトレースする際に、分かりやすい説明があるととても役に立つ。(早崎先生)	自治体の方に向けてかみ砕いた説明を成果集に記載する。

自治体の方向けの本調査研究で実施した解析に関する解説書

目次

1. 光化学オキシダントとは	123
2. 光化学オキシダントの前駆物質 : NO _x と VOC	124
3. 前駆物質規制効果の検証	125
4. NO タイトレーション効果	128
5. オゾン生成レジーム	131

1. 光化学オキシダントとは

光化学オキシダント(以下 Ox またはオキシダントと呼ぶ)とは、工場の煙や自動車の排気ガスなどに含まれている窒素酸化物(NO_x)や炭化水素(HC)が太陽からの紫外線を受けて光化学反応を起こすことで生成される、オゾンやパーオキシアセチルナイトレート(PAN)などの酸化力の強い物質の総称である¹。これらの物質からできたスモッグ(大気中に高濃度の大气汚染物質が浮遊しているため周囲の見通しが悪い状態)を光化学スモッグと呼ぶ。実際には、オキシダントの大部分はオゾン(O_3)で構成されることから、本書では特に指定の無い限りオキシダントとはオゾンのことを指すものとする。



図1：光化学オキシダントの発生機序

出典：環境省・文部科学省 ECO 学習ライブラリーより

光化学スモッグが発生している状態だと、目がチカチカする、涙が出る、のどが痛いなどの健康被害が生じる場合がある²。また、植物はオキシダントに対する感受性が強く、人間には影響が生じない程度のOx濃度でも葉面に障害が現れたり落葉したりする被害が見られる³。これらの被害を防ぐためにはオキシダントが発生する要因を解明することが第一である。

¹ 環境再生保全機構 大気環境の情報館 光化学オキシダント
https://www.erca.go.jp/yobou/taiki/yougo/ka_01.html

² 東京都保健医療局 光化学スモッグ Q&A
https://www.hokeniryo.metro.tokyo.lg.jp/kankyo/kankyo_eisei/taiki/smog/qa.html

³ 埼玉県環境科学国際センター ニュースレターNo.15(2012.5)
https://www.pref.saitama.lg.jp/documents/27942/500350_1.pdf



写真 1：表面にオゾン被害が発現したサトイモの葉

出典：埼玉県環境科学国際センター 「ココが知りたい埼玉の環境」 より

2. 光化学オキシダントの前駆物質：NO_x と VOC

自動車や工場から排出される大気汚染物質の一種である二酸化窒素(NO₂)は、太陽光の照射により一酸化窒素(NO)と原子状酸素(O)に分解される(式 1)。この時生成された O は大気中の酸素(O₂)と反応してオゾンを生成する(式 2)。



一方で、生成されたオゾンは大気中の NO と反応して再び NO₂と O₂を生成する(式 3)。これらの反応は平衡状態となり、大気中の NO、NO₂及び O₃濃度は一定になるはずである。



しかし大気中に VOC(Volatile Organic Compounds:揮発性有機化合物)が存在する場合、VOC と大気中の反応を促進させる OH ラジカル等が反応することで酸化性の強い物質（アルキルパーオキシラジカル(ROO[•])) が生成され(式 4a)、さらに ROO[•] と NO が反応してアルコキシラジカル(RO[•]))を生成する(式 4b)。この反応は式 3 の反応よりも早いため O₃が消費されずに NO₂を生成する。この NO₂が再び式 1、式 2 の反応で O₃を生成するため、O₃が高濃度となる⁴。

⁴ 環境省 「SPM とオキシダントの生成メカニズム」
<https://www.env.go.jp/air/osen/voc/materials/101.pdf>



以上がオゾン生成の主なメカニズムであり、NO と NO₂を合わせた窒素酸化物(NO_x)と VOC がオキシダント対策を考える上で重要な前駆物質と位置付けられている。実際に、NO_x と VOC はいずれも大気汚染防止法によって排出量が規制されており、自動車 NO_x・PM 法による車種規制など、事業者や行政による排出量の削減が行われてきた。

3. 前駆物質規制効果の検証

これらの施策が実際にオキシダント濃度の低減にとって有効であったかを検証するために、本研究では、Fukunaga et al.(2021)⁵の手法に準じてオキシダント濃度の日中の上昇量の経年変化を算出した。この解析によって、これまでの前駆物質の排出量削減がオキシダント濃度の低減に与えた効果を検証することができる。実際の解析手法については、以下に紹介した。

■ 必要なデータ：解析を行いたい期間、測定局の O_x 濃度の 1 時間値

※本書で解説する解析で用いるデータはいずれも国立環境研究所のデータベースから入手可能である(<https://tenbou.nies.go.jp/download/>)。

■ 解析手法

① 解析を行いたい期間について、各測定局の日中のオゾン生成量(DPO_x)を算出する。

DPO_x(Daytime Production of Oxidant)：

日中に光化学反応により生成されたオゾンの量の指標。日中(5:00～20:00)の日平均 O_x 濃度から夜間(前日の 20:00～5:00)の平均濃度を差し引くことで算出する (図 2)。

⁵ Fukunaga, A., Sato, T., Fujita, K., Yamada, D., Ishida, S., Wakamatsu, S. Relationship between Changes over Time in Factors, Including the Impact of Meteorology on Photochemical Oxidant Concentration and Causative Atmospheric Pollutants in Kawasaki. Atmosphere. 2021; 12: 1072.

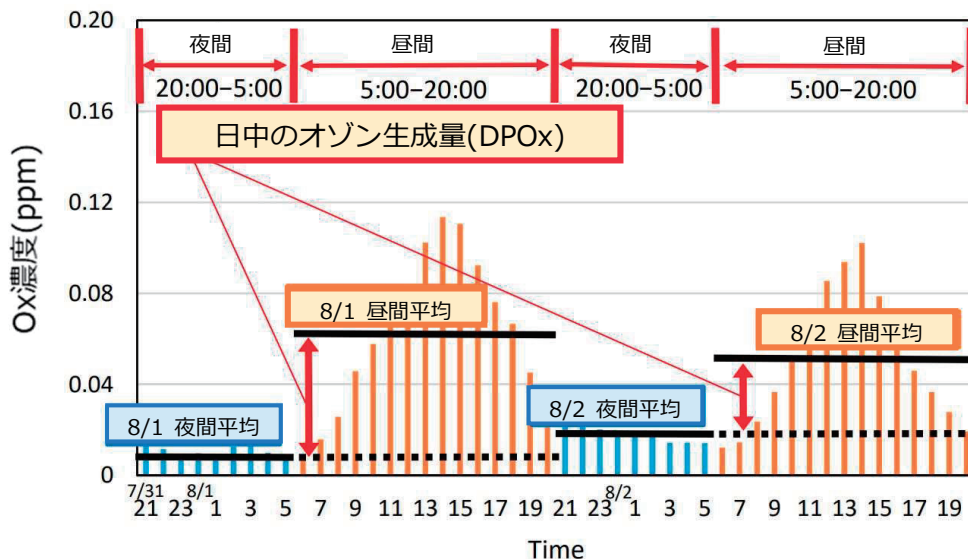


図 2 : DPOx の算出方法(Fukunaga et al. 2021 を和訳)

オゾンとは昼間の太陽光により生成するため昼間に高く、夜間は低くなる。

昼間平均濃度と夜間の平均の濃度の差を日中のオゾン生成量と定義する。

- ② 期間中の DPOx を年毎(各年の季節毎)に平均して、その値が経年的に減少傾向にある場合に前駆物質の削減効果が見られていると考える。

■ 解析の際に留意する点

- ・「DPOx の値が経年的に減少傾向にあるため、前駆物質の削減効果が見られている。」という考察は、前駆物質濃度も低下している前提がある。
- ・1990 年代後半から 2000 年代前半の間に、多くの測定局においてオキシダントの測定法が湿式法から乾式法に変更しており、その前後でオキシダント濃度が高くなる場合がある。特定の測定局に着目した解析を実施する場合は、その測定局の測定法の変更年度に留意する必要がある。

■ 結果の一例

本調査研究で解析した練馬区北町(東京都)の 2002～2020 年度の DPOx の経年変化を以下の図 3 に示した。

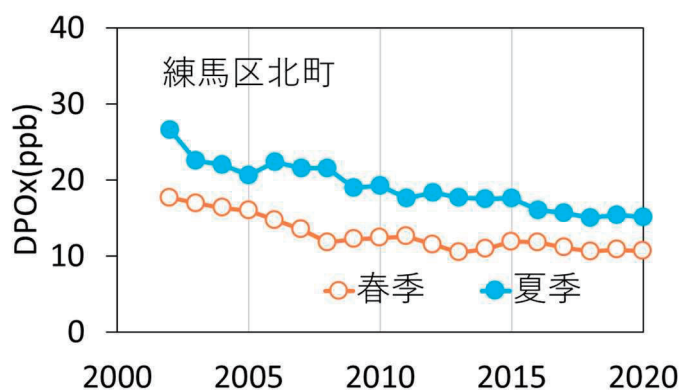


図 3：練馬区北町の DPOx の経年変化

練馬区北町では春季と夏季ともに DPOx は減少傾向にある。また、本調査研究で実施した常時監視データの整理結果から、5 月(春季)と 8 月(夏季)の関東地方の都県別の前駆物質濃度(NMHC,NOx)の 5 年平均値の変動を図 4 に示した。

※NMHC：非メタン炭化水素(Non Methan Hydro Carbon)、VOC の一種
本書では以降 NMHC と VOC を特に区別せず用いるものとする。

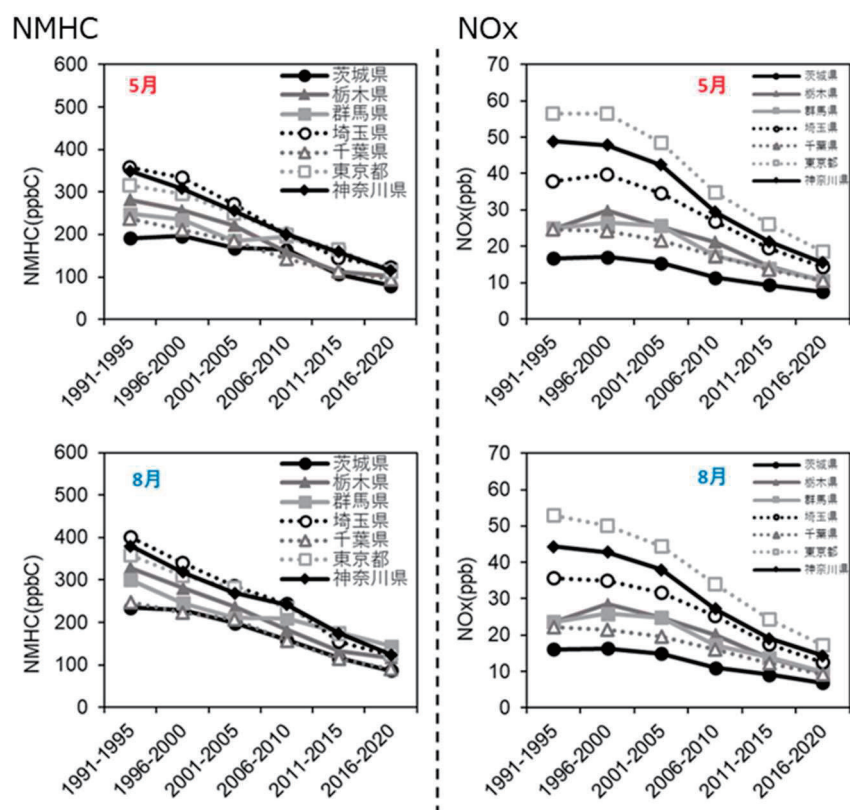


図 4：関東における前駆物質濃度の変動(5 年平均値)

東京都の前駆物質濃度も経年的に減少傾向にある。これらの結果から、練馬区北町周辺では前駆物質の削減効果が見られていると考えられる。

4. NO タイトレーション効果

2 章で説明した通り、光化学反応により生成された O_3 の一部は NO によって再び O_2 となる。このように、NO の存在によって見かけ上の O_3 濃度が低下することを「NO タイトレーション効果」と言う。

NO_x や NMHC など前駆物質濃度が経年的に減少している一方、 O_x 平均濃度は増加しており、その一因に NO タイトレーション効果の低減、すなわち NO 濃度が低下したことにより O_3 濃度が低下しなくなったことがあげられている。実際に、光化学反応の影響を受けない夜間の O_x 濃度も全国的に増加傾向にある(図 5)。本研究では、その増加傾向がタイトレーション効果の変化だけで説明できるかどうかを吉門(2019)⁶の手法に準じて解析した。

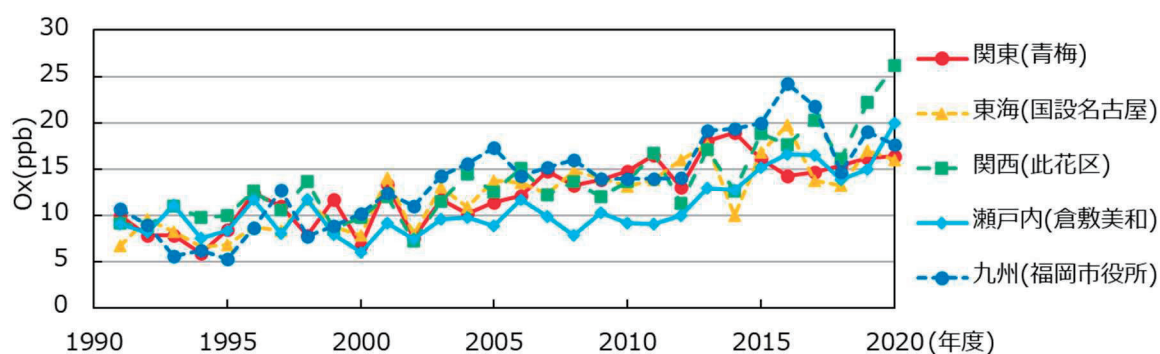


図 5：各地域の測定局の 2～6 時の O_x 濃度推移(夏季)

経年的に朝（2～6 時）の濃度が上昇している。これはタイトレーション効果の低減により O_3 濃度が低下しなくなったことが一因と考えられる。

■ 必要なデータ：解析を行いたい期間、測定局の NO 、 NO_x 、 O_x 濃度の 1 時間値

■ 解析手法

① 2～6 時の O_x 濃度の平均値(2-6 O_x という。)と、NO タイトレーション効果により見込まれる O_x 濃度の減少量の 2～6 時の平均値(Titr(O_3))という。算出方法は以下の通り。)をそれぞれ日毎に算出する。

Titr(O_3)の算出には同時刻の NO 、 NO_x の濃度を用いて、式 5 から算出する。 α の値は一

⁶ 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(首都圏を中心に). 大気環境学会誌. 2019; 54 (5): 185-193.

一般的に用いられる 0.1 を用いる。

$$\text{Titr}(\text{O}_3) = [\text{NO}] - (1 - \alpha) [\text{NO}_x] \quad (\text{式 5})$$

※ $[\text{NO}]$ (または $[\text{NO}_x]$) : 2~6 時の NO (または NO_x) 濃度の平均値

- ② $2\text{-}6\text{O}_x$ と $\text{Titr}(\text{O}_3)$ について、求めたい期間(年間、季節別等)の平均値の変化量(それぞれ ΔO_x 及び $\Delta\text{Titr}(\text{O}_3)$ とする)を算出する。

ΔO_x : 期間 A の $2\text{-}6\text{O}_x$ と期間 B の $2\text{-}6\text{O}_x$ の濃度差(実際の O_x 濃度変化量)

$\Delta\text{Titr}(\text{O}_3)$: 期間 A の $\text{Titr}(\text{O}_3)$ と期間 B の $\text{Titr}(\text{O}_3)$ の濃度差(NO タイトレーション効果の変動による見込みの O_x 変化量)

- ③ ΔO_x と $\Delta\text{Titr}(\text{O}_3)$ の大小関係を比較し、その結果によって以下のように考察する。

(1) $\Delta\text{O}_x \approx \Delta\text{Titr}(\text{O}_3)$ の時 : 見込みの O_x 増加量と実際の O_x 増加量が等しい。

→ O_x 濃度の増加はタイトレーション効果の低下で説明できる。

(2) $\Delta\text{O}_x < \Delta\text{Titr}(\text{O}_3)$ の時 : タイトレーション効果の低下で見込まれるほどには O_x は増加していない。

→ 他の減少要因、たとえば越境汚染の低下や、夜間や早朝の濃度にも前駆物質の削減効果が見られたと考えることができる。

(3) $\Delta\text{O}_x > \Delta\text{Titr}(\text{O}_3)$ の時 : NO_x 濃度が低下することにより O_3 濃度が上昇、すなわちタイトレーション効果の低下で見込まれる以上に O_x が増加している。

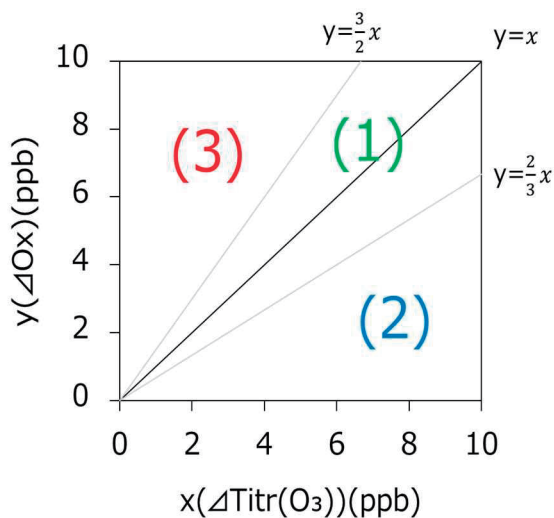
→ 他の増加要因、たとえばバックグラウンドオゾンの増加等が影響しているためと考えることができる。

同一地域の複数の測定局のデータを用いて、地域全体の ΔO_x と $\Delta\text{Titr}(\text{O}_3)$ の大小関係について判定する場合、本研究では次のような方法で行った。

① 解析の対象とする測定局ごとに ΔO_x と $\Delta\text{Titr}(\text{O}_3)$ を算出する。

② 横軸を $x(\Delta\text{Titr}(\text{O}_3))$ 、縦軸を $y(\Delta\text{O}_x)$ としたグラフを描き、測定局毎にデータをプロットする。

③ プロットの位置によって各測定局を以下の(1)~(3)に分類し、地域全体の傾向は属する測定局の数が一番多い領域に準ずるものとした。



(1) $y = x$ の直線上付近にある時

($\frac{2}{3} < \Delta O_x / \Delta \text{Titr}(\text{O}_3) < 1.5$ の時)

→ $\Delta O_x \approx \Delta \text{Titr}(\text{O}_3)$

(2) プロットが $y = \frac{2}{3}x$ 上もしくはそれより下にある時($\Delta O_x / \Delta \text{Titr}(\text{O}_3) \leq \frac{2}{3}$ の時)

→ $\Delta O_x < \Delta \text{Titr}(\text{O}_3)$

(3) プロットが $y = \frac{3}{2}x$ 上もしくはそれより上にある時($\Delta O_x / \Delta \text{Titr}(\text{O}_3) \geq 1.5$ の時)

→ $\Delta O_x > \Delta \text{Titr}(\text{O}_3)$

■ 結果の一例

本研究で実施した解析の中から、関東の 2000～2005 年度から 2010～2015 年度にかけての ΔO_x と $\Delta \text{Titr}(\text{O}_3)$ の関係性を以下の図 6 に示した。

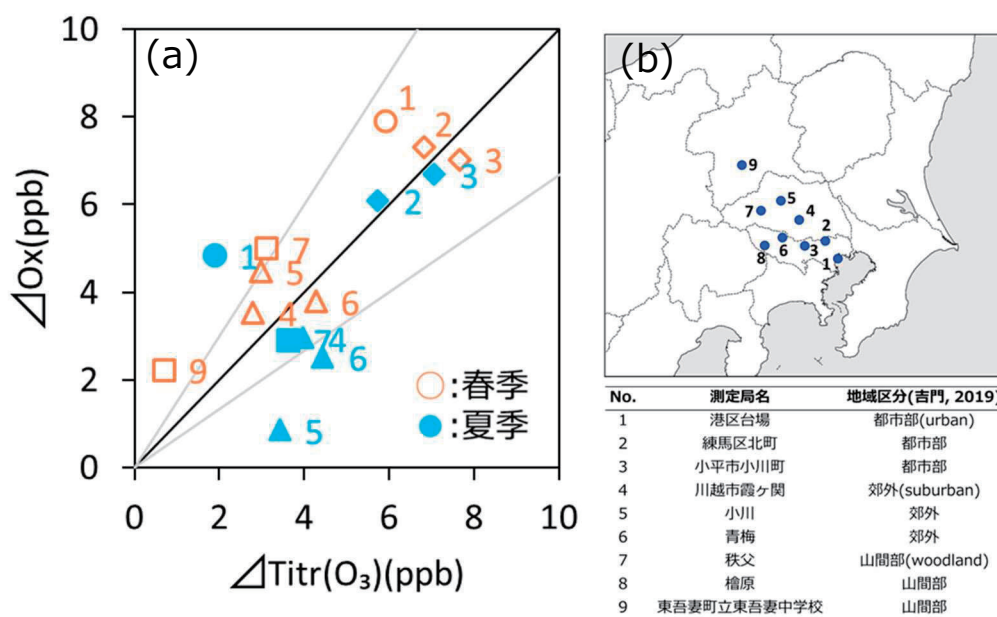


図 6 : (a) 関東地方の 2000～2005 年度から 2010～2015 年度にかけての ΔO_x と $\Delta \text{Titr}(\text{O}_3)$ の関係性、(b) 解析対象とした測定局

春季、夏季ともに $\Delta O_x = \Delta \text{Titr}(\text{O}_3)$ の直線上付近にある測定局が一番多かったことから、この期間の関東ではいずれの季節も $\Delta O_x \approx \Delta \text{Titr}(\text{O}_3)$ 、すなわち O_x 濃度の増加はタイトレーション効果の低下で説明できると考えられる。

5. オゾン生成レジーム

これまで、オキシダントと前駆物質の関係性について解説してきたが、条件によっては前駆物質の削減がオキシダント濃度の低減に必ずしも有効ではないことが知られている。これは、NO_x と VOC の濃度のバランスが O_x 生成速度に影響しているためである。特に、VOC に対して NO_x が多量に存在する環境下で NO_x を削減すると、かえって O_x 濃度が増加する場合がある。このような条件下で O_x 濃度を減少させるには、VOC 濃度を減少させる必要がある。同様に、NO_x に対して VOC が多量に存在する条件下で VOC を削減しても、O_x 濃度の減少につながらない場合がある。この場合は、NO_x を削減すれば O_x 濃度を減少させることができる。

このように、NO_x と VOC のどちらを削減すればオキシダント濃度の低減につながるか、という指標を「オゾン生成レジーム」という⁷。前者のように VOC を削減することで O_x 濃度が減少する状況を「VOC 律速」、後者の NO_x 削減が O_x 濃度の減少につながる状況を「NO_x 律速」と呼ぶ。(図 7)

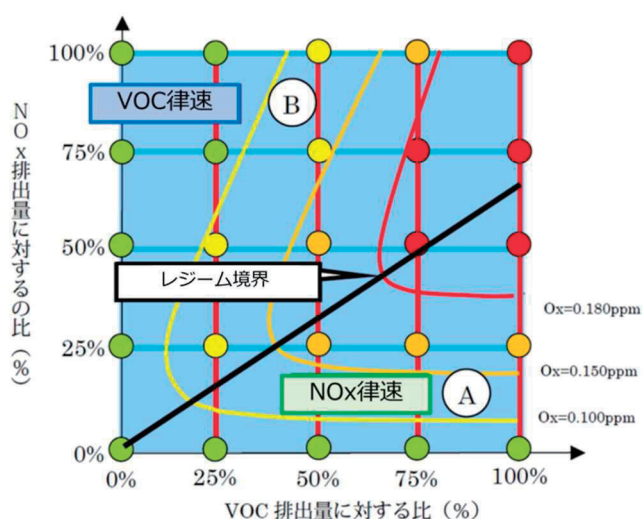


図 7：オゾン濃度の NO_x 濃度、VOC 濃度に対する依存性

(公益社団法人大気環境学会(2016)を和訳)

NO_x 律速の A 点の場合、VOC を削減しても O_x 濃度の減少につながらず、NO_x を削減すれば O_x 濃度を減少させることができる。VOC 律速の B 点の場合、NO_x を削減すると O_x 濃度が増加、VOC 濃度を削減することで O_x 濃度を減少させることができる。

⁷ 公益社団法人大気環境学会 「VOC 削減による大気汚染改善効果に関するレビュー」
H28 年度光化学オキシダント等に関する文献等調査業務研究会 (2016)
<https://www.env.go.jp/council/07air-noise/y078-07/mat05.pdf>

レジームに合わせた適切な前駆物質濃度の削減を行わないと、Ox 濃度の減少につながらない、或いは前駆物質を削減しても Ox 濃度が増加してしまう場合があることから、地域の Ox 対策を考える上で、レジームを把握することは非常に重要である。

本研究では、神成(2006)⁸の手法をもとに、各地域の測定局周辺のオゾン生成レジームを解析した。

神成(2006)は「週末効果」と呼ばれる現象を詳しく解析している。週末効果とは平日と週末(土日祝)の Ox 濃度を比較すると、週末の方が高く(低く)なる現象のことである。週末の方が高くなる場合を「週末上昇効果」、週末の方が低くなる場合を「週末低減効果」と呼ぶ。週末になると工場や大型車両等の影響が小さくなるため、前駆物質の排出量は低下する。特に NOx の低減幅が大きく、大気環境中の NMHC と NOx のバランスの指標である NMHC/NOx 比は大きくなる。この時、週末上昇効果が見られた場合は、NOx が減少した結果 Ox 濃度が増加したということなので VOC 律速、反対に週末低減効果が見られた場合は NOx の減少に合わせて Ox も減少しているので NOx 律速である、と推定できる。

同一地域であっても、時期や気象条件により週末上昇効果と週末低減効果の両方が見られる場合がある。一般的に、オゾン生成ポテンシャルが高い(Ox が高濃度になりやすい)条件であるほど週末低減効果が見られやすい傾向にある。ある地域において、オゾン生成ポテンシャルが高くなるにつれて Ox の濃度変化が週末上昇効果から週末低減効果に変化することを「週末効果の反転現象」と呼ぶ。

週末効果が反転する NMHC/NOx 比はレジームの境界と考えることができ、実測値をもとにレジームの境界を見出す解析手法を次にのべる。

■ 必要なデータ：解析を行いたい期間、測定局の NMHC、NOx、Ox 濃度の 1 時間値

⁸ 神成陽容. 関東・関西地域における光化学オキシダント濃度の週末効果に関する解析 第 2 報 ダイナミックに変化するオゾン生成レジームの検証. 大気環境学会誌. 2006; 41 (4): 220-233.

■ 解析手法

ここでは5年分のデータを使った例として示す。期間は適宜設定する。

- ① O_x 濃度は5～20時の日最高1時間値、NO_x、NMHC濃度はそれぞれ5～15時の平均値を5年分求める。

年月日	曜日	5～20時の O _x 日最高 1時間値	5～15時の NO _x 平均値	5～15時の NMHC 平均値
○年度4月1日	月・平日	6.7	18.6	119
○年度4月2日	火・平日	50.3	112.1	446
○年度4月3日	水・平日	56.6	145.0	695
○年度4月4日	木・平日	20.7	28.6	168
○年度4月5日	金・平日	39.1	35.2	223
○年度4月6日	土	33.8	27.9	157
○年度4月7日	日	49.6	23.4	220
○年度4月8日	月・平日	23.2	40.7	229
○年度4月9日	火・平日	5.2	19.5	116
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
□年度3月31日	水・平日	46.6	45.0	202

- ② このデータセットを平日と週末(日曜)に分け、それぞれ O_x 濃度が小さい順に並び変える。なお、この解析では土曜日のデータは使用しない。

平日のデータ

年月日	曜日	5～20時の O _x 日最高 1時間値	O _x 順位	5～15時の NO _x 平均値	5～15時の NMHC 平均値
○年度11月8日	平日	2.2	1	131.5	570
○年度12月25日	平日	2.4	2	31.7	212
△年度11月12日	平日	2.5	3	26.5	133
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
□年度5月8日	平日	14.3	130	38.6	214
△年度10月14日	平日	14.4	131	48.2	154
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
◇年度1月7日	平日	19.6	260	62.7	256
○年度5月10日	平日	19.7	261	24.7	143
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

日曜のデータ

年月日	曜日	5～20時の Ox日最高 1時間値	Ox 順位	5～15時の NOx 平均値	5～15時の NMHC 平均値
○年度1月19日	日	3.4	1	10.2	86
○年度11月15日	日	3.5	2	7.3	83
◇年度12月27日	日	3.9	3	22.0	162
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
□年度10月6日	日	15.6	26	10.9	120
○年度1月12日	日	15.8	27	14.7	117
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
△年度5月25日	日	20.8	52	8.0	102
△年度11月30日	日	20.7	53	55.3	354
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

- ③ 平日と日曜でそれぞれ小さい方から数えて 10 パーセント分のデータを 10 パーセンタイル区間、その次の 10 パーセント分のデータを 20 パーセンタイル区間として 100 パーセンタイル区間までのグループに分けて、それぞれの区間の平均値を求める(Ox、NOx、NMHC それぞれで求める)。

例えば、5 年間の平日が 1300 日あるとした場合、小さい方から 130 番目までが 10 パーセンタイル区間、131 番目から 260 番目までが 20 パーセンタイル区間となる。

平日のデータ

年月日	曜日	5～20時の Ox日最高 1時間値	Ox 順位	パーセンタ イル区間	5～15時の NOx 平均値	5～15時の NMHC 平均値	
○年度11月8日	平日	2.2	1	10	131.5	570	Ox NOx NMHC それぞれ 平均値を 算出する
○年度12月25日	平日	2.4	2	10	31.7	212	
△年度11月12日	平日	2.5	3	10	26.5	133	
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	
□年度5月8日	平日	14.3	130	10	38.6	214	同上
△年度10月14日	平日	14.4	131	20	48.2	154	
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	
◇年度1月7日	平日	19.6	260	20	62.7	256	
○年度5月10日	平日	19.7	261	30	24.7	143	
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	

日曜のデータ

年月日	曜日	5～20時の Ox日最高 1時間値	Ox 順位	パーセンタ イル区間	5～15時の NOx 平均値	5～15時の NMHC 平均値	
○年度1月19日	日	3.4	1	10	10.2	86	Ox NOx NMHC それぞれ 平均値を 算出する
○年度11月15日	日	3.5	2	10	7.3	83	
◇年度12月27日	日	3.9	3	10	22.0	162	
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	
□年度10月6日	日	15.6	26	10	10.9	120	
○年度1月12日	日	15.8	27	20	14.7	117	同上
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	
△年度5月25日	日	20.8	52	20	8.0	102	
△年度11月30日	日	20.7	53	30	55.3	354	
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	

- ④ NOx 濃度と NMHC 濃度は、平日と日曜それぞれ同じパーセンタイル区間で NMHC/NOx 比を算出する。

例) 平日 10 パーセンタイル区間の NMHC 平均値／平日 10 パーセンタイル区間の NOx 平均値
他のパーセンタイル区間、日曜も同様に算出する。

- ⑤ 平日の Ox 濃度に対する日曜の Ox 濃度(日曜 Ox/平日 Ox)を同じパーセンタイル区間ごとに算出し、その値が 1 を下回ると週末効果の反転現象が生じたと判定する。

例) 日曜 10 パーセンタイル区間の Ox 平均値／平日 10 パーセンタイル区間の Ox 平均値
他のパーセンタイル区間も同様に算出する。

- ⑥ 上記の④と⑤で算出した濃度比を次のようにセットする。

	⑤日曜Ox/平日Ox	④平日NMHC/NOx	④日曜NMHC/NOx
10パーセンタイル区間	1.43	8.1	12.5
20パーセンタイル区間	〇〇〇	〇〇〇	〇〇〇
⋮	⋮	⋮	⋮
90パーセンタイル区間	〇〇〇	〇〇〇	〇〇〇
100パーセンタイル区間	〇〇〇	〇〇〇	〇〇〇

⑦ セットしたデータを下図のようにプロットする。

10パーセント区間の
日曜 O_x / 平日 O_x

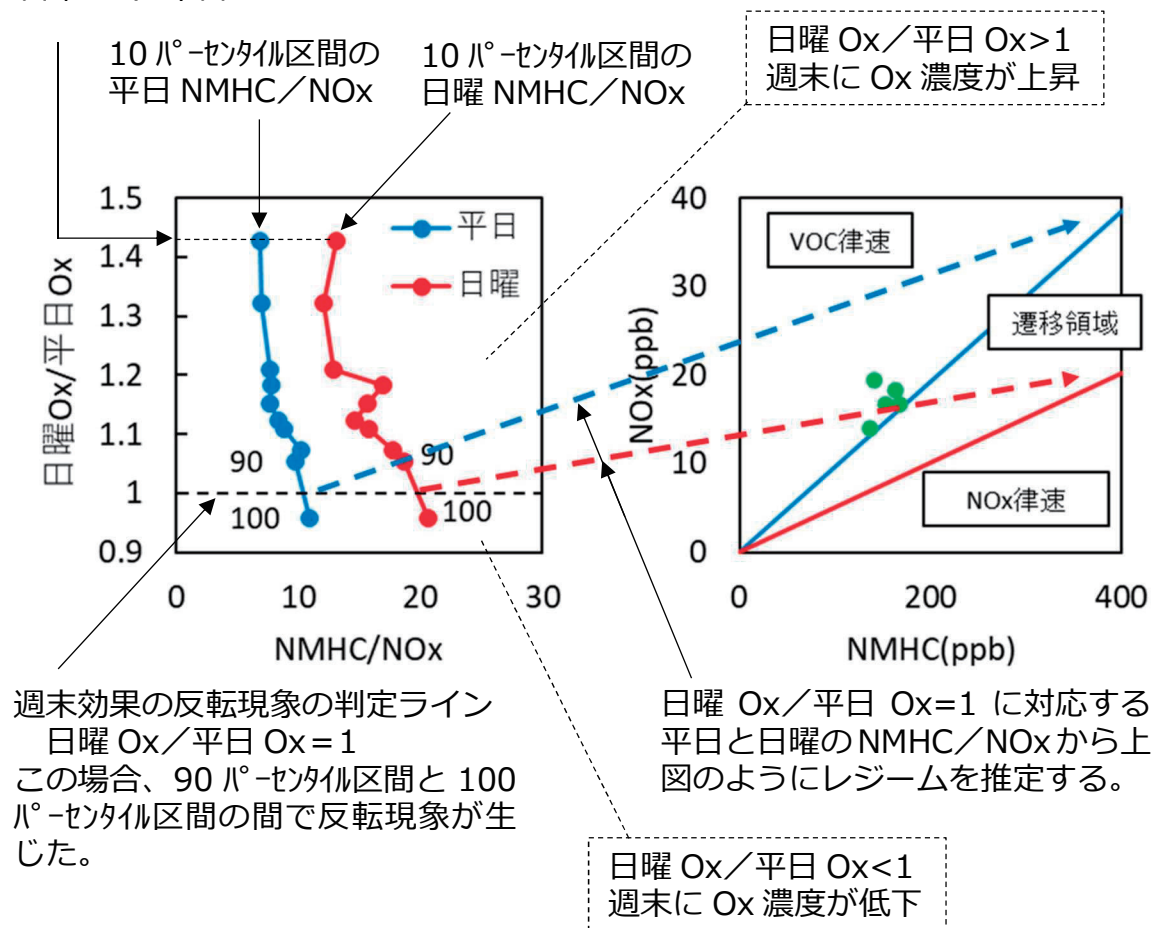


図8：オゾン生成レジームの推定方法

⑧ ある測定局における1年間のレジームは NMHC/NOx の年平均値が、反転が起こった区間の平日の値より低ければ VOC 律速、同じ区間の日曜の値より高ければ NOx 律速、その中間であれば遷移領域と推定する。(図8)

ただし、厳密にはレジームの日内変動などを考慮しておらず、個別の高濃度事象に際して必ずしもここでの推定結果が該当するとは限らない。

■結果の一例

2011～2015 年度の青梅(東京都)についてレジームを推定した結果を以下の図 9 に示した。

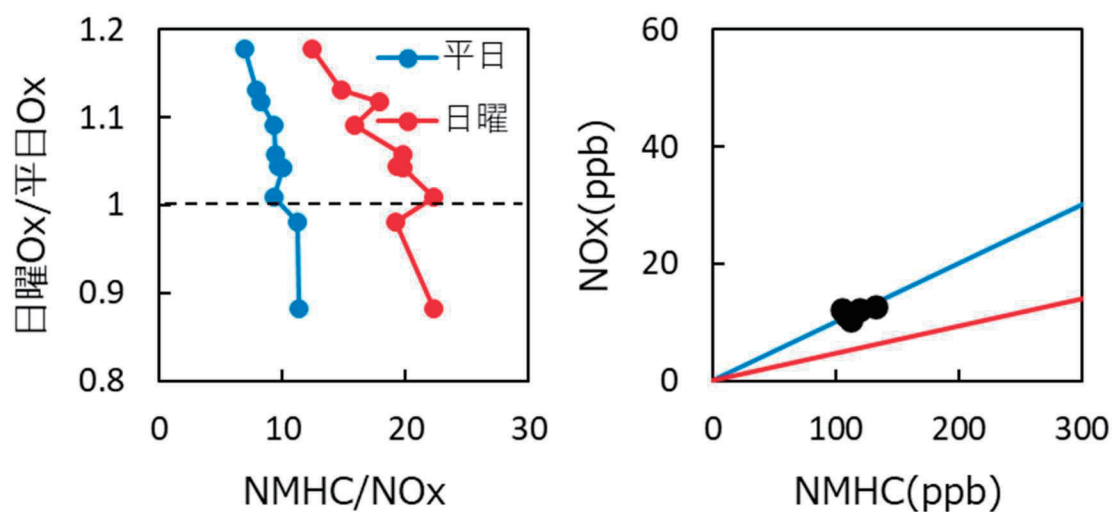


図 9：青梅のオゾン生成レジーム推定(2011～2015)

この時 80 パーセンタイル区間と 90 パーセンタイル区間の間において週末効果の反転現象が生じており、レジームの遷移領域の境界となる NMHC/NOx 比は 10.0～21.2 となった。この値と 2011～2015 年度の各年度の NMHC/NOx 比から青梅の測定局周辺のレジームを推定すると、ほぼ遷移領域であり、年度によっては VOC 律速である、という推定結果となった。