

光化学オキシダント等総合対策推進検討会 報告書

令和7年3月

光化学オキシダント等総合対策推進検討会

緒言

我が国においては様々な大気汚染政策により大気環境が改善しているものの、光化学オキシダントは環境基準の達成率が極めて低い状況が続いています。光化学オキシダントは健康影響だけでなく、気候変動や生態系への影響の面からも対策が重要な大気汚染物質です。そのため、光化学オキシダントの原因物質である窒素酸化物（NO_x）と揮発性有機化合物（VOC）の削減対策が進められてきましたが、必ずしも十分な効果は得られていません。そのため、これまでの対策の効果を検証し、光化学オキシダントを望ましいレベルにまで低減しうる削減シナリオを作成することが必要となっています。

環境省は令和4年1月に「光化学オキシダント対策ワーキングプラン」を策定し、光化学オキシダント濃度低減に向けた新たな対策の検討に取り組んできました。この検討課題に対して科学的な側面から貢献するために、令和4年度から光化学オキシダント等総合対策推進検討会（令和4年度は微小粒子状物質（PM_{2.5}）・光化学オキシダント対策総合推進検討会）が設置され、「光化学オキシダント及び前駆物質の大気中濃度の現状」、「光化学オキシダントの経年変化要因と前駆物質排出抑制効果」、「削減シナリオの策定に向けた検討」の3つの論点を中心に調査・解析を進めてきました。本報告書はこの検討会において、令和4～6年度の3年間にわたり検討してきた結果をとりまとめたものです。

本検討会での解析結果により、NO_xとVOCの排出削減が都市域における高濃度の光化学オキシダントの低減に寄与していることが明らかになりました。また、現在検討されている大気汚染対策や省エネ後の活動量を踏まえた2030年時点での排出削減により、関東の夏季における光化学オキシダントが上位5日間平均濃度で6～11%程度低下すると予測されました。しかし、現在の光化学オキシダントの濃度レベルからすると、その低減量では不十分であり、追加的な対策が必要であることは明白です。

さらに北半球全域で地表オゾン濃度が高く、中でも東アジアにおいて濃度レベルが高いことから、東アジアスケールでオゾン濃度のベースラインを引き下げなければ、我が国の光化学オキシダント濃度も十分に下がらない状況にあると考えられます。このことは国内対策を推進するだけでなく、東アジア諸国の国際協調により東アジアスケールの地表オゾン低減取組みを加速する必要があることを意味しています。

本報告書が、今後の光化学オキシダント対策のさらなる充実に資することを期待するとともに、関係者の皆様に本検討会の成果を広く活用いただけることを願っております。

令和7年3月
光化学オキシダント等総合対策推進検討会
座長 大原 利眞

光化学オキシダント等総合対策推進検討会報告書 目次

緒言
目次

第1章 はじめに

1. 光化学オキシダント等総合対策推進検討会設置の背景と目的	1
2. 検討の概要	1

第2章 光化学オキシダント及び前駆物質の大気中濃度の現状

1. 本章の概要	3
2. 解析対象	3
3. 30年間程度の経年変化の傾向	5
4. 光化学オキシダントの濃度変化の要因	7
4.1. 光化学オキシダント指標の経年変化の地方・季節毎の特徴	7
4.2. 濃度変化の要因解析	8
4.2.1. 前駆物質の削減による光化学オキシダント低減の効果	8
4.2.2. NO _x タイトレーション効果の低下の影響	12
4.2.3. 越境大気汚染の変化	15
4.3. 光化学オキシダントの生成と気温、VOC成分との関係	18
5. 2023年度及び2024年度の光化学オキシダント濃度の特徴	22
6. まとめ	25
2章-参考資料	27

第3章 光化学オキシダントの経年変化要因と前駆物質排出抑制効果

1. 本章の概要	46
2. シミュレーション・フレームワーク	46
2.1. シミュレーションケース	46
2.2. シミュレーションモデルとモデル領域	48
2.3. モデル計算条件と入力データ	49
3. モデル再現性	51
4. 光化学オキシダント濃度変化の要因解析	53
4.1. 解析方法	53
4.2. 解析結果	53
4.3. 要因別の評価結果	58
5. 前駆物質の排出削減効果	59
5.1. 排出量削減率と光化学オキシダント濃度変化の関係	60
5.2. 排出量削減による光化学オキシダント濃度の変化量の地域分布	64
6. まとめ	68
3章-参考資料	73

第4章 削減シナリオの策定に向けた検討

1. 本章の概要	90
2. 2030年度を将来年としたベースラインシナリオの作成	90
2.1. ベースラインシナリオの考え方	90
2.2. 推計方法	91
2.3. 2030年度の排出量の推計結果	96
2.3.1. 排出総量	96
2.3.2. 発生源細区分別の排出量	99
3. ベースラインシナリオに基づく2030年度の光化学オキシダント濃度の予測	103
3.1. シミュレーション計算条件	103
3.2. 2030年度の光化学オキシダント濃度の予測結果	104
4. 2050CNを踏まえた長期的な削減シナリオの作成に向けた情報収集及び整理	107
4.1. 固定燃焼発生源 (NO _x)	107
4.1.1. 調査方法	107
4.1.2. 削減ポテンシャルの整理	107
4.2. 固定蒸発発生源 (VOC)	110
4.2.1. 調査方法	110
4.2.2. 削減ポテンシャルの整理	110
5. まとめ	117
4章-参考資料	120

第5章 まとめと提言

1. まとめ	124
1.1. 現状の把握、生成機構の解明	124
1.2. 過去の対策効果の検証（前駆物質削減による効果）	126
1.3. 光化学オキシダント対策の検討・削減シナリオの策定	131
2. 現状を踏まえた今後の光化学オキシダント対策に対する提言 （次期ワーキングプランに向けて）	134

資料：令和6年度光化学オキシダント等総合対策推進検討会委員名簿	135
---------------------------------	-----

第1章 はじめに

1. 光化学オキシダント等総合対策推進検討会設置の背景と目的

環境省では光化学オキシダント対策としてこれまでに前駆物質である窒素酸化物（NOx）や揮発性有機化合物（VOC）の排出抑制を進めてきたところであるが、光化学オキシダントの環境基準達成率は依然として極めて低く、大気環境の改善及び気候変動対策といった両方の側面から国内における光化学オキシダントの削減が急務であることから、令和4年1月に「光化学オキシダント対策ワーキングプラン」（以下、ワーキングプランと言う）を策定し、①環境基準の設定・再評価に向けた検討、②気候変動に着目した科学的検討、③光化学オキシダント濃度低減に向けた新たな対策の検討として今後の取組事項を示した。

光化学オキシダント等総合対策推進検討会では、これらの取組事項のうちの③（下記参照）に資するべく、光化学オキシダント及び前駆物質に係る大気環境中の濃度や排出実態を把握するとともに、排出抑制対策の効果をシミュレーションモデルにより検討し、さらに、2050年カーボンニュートラル（2050CN）に向けた様々な分野での取組により想定される2030年度の大気汚染物質の排出量（ベースラインシナリオ）を検討してきた。

光化学オキシダント対策ワーキングプラン（環境省：令和4年1月）より抜粋

③光化学オキシダント濃度低減に向けた新たな対策の検討

ア. 現状の把握、生成機構の解明及びシミュレーションモデルの精緻化

観測された光化学オキシダント濃度等を詳細に解析して現状を把握する。また、生成機構に関する新たな知見を収集するとともに、前駆物質の排出インベントリやシミュレーションモデルの精緻化により、光化学オキシダント生成に係る寄与率を明らかにする。

イ. 過去の対策効果の検証（前駆物質削減による効果）

これまでの排出規制や自主的取組による前駆物質削減が光化学オキシダント濃度の変化にどれほど寄与したか、シミュレーションを活用して検証する。

ウ. 光化学オキシダント対策の検討・削減シナリオの策定

2050CNに向けた社会経済変化や新たな環境技術の導入、環境対策の進展、東アジアの大気環境変化等を考慮し、上記①から③イの成果も踏まえて、光化学オキシダント対策に必要な取組を検討し、PM_{2.5}対策も含めた総合的な排出削減シナリオを策定する。

2. 検討の概要

本検討会では大きく次の3つの検討項目があり、ワーキングプランとの対応は表1のとおりである。

(1) 光化学オキシダント及び前駆物質の大気中濃度の現状

環境大気常時監視局における光化学オキシダントや前駆物質（窒素酸化物及び非メタン炭化水素）、揮発性有機化合物自動測定などによる観測結果を経年的に解析し、長期的な濃度変化やその要因、オキシダント濃度の改善傾向や前駆物質の削減効果などを検討した。

(2) 光化学オキシダントの経年変化要因と前駆物質排出抑制効果

シミュレーションモデルの再現性向上に努めるとともに、シミュレーションモデルを使用して、2005年度から2018年度までの濃度変化の要因（国内排出量の変化、越境汚染の

変化、気象の変化) や、国内の NOx や VOC の排出抑制効果を検証した。

(3) 削減シナリオの策定に向けた検討

気候変動対策の目標への到達に向けた省エネルギー対策や、現状で考慮されている大気汚染対策が実現されたケースを想定した 2030 年度のベースラインシナリオを作成し、2030 年度の将来濃度をシミュレーション計算した。さらに、2030 年度以降も見据えて、2050CN の取り組みを踏まえたより長期的な削減シナリオの作成に向けた情報収集を行った。

令和 6 年度が上記ワーキングプランの最終年度であることを踏まえ、検討会の成果を取りまとめて、次期ワーキングプラン策定の基礎資料ともなる「光化学オキシダント等総合対策推進検討会報告書」(以下、本報告書と言う)を作成した。

本報告書の 2 章から 4 章は、本検討会の検討項目毎に記載した。5 章のまとめでは、ワーキングプランの③光化学オキシダント濃度低減に向けた新たな対策の検討のア、イ、ウそれぞれに対して 2 章から 4 章の成果を取りまとめた。

表 1 本検討会の検討項目とワーキングプランとの対応

本検討会の検討項目	本報告書	ワーキングプラン
光化学オキシダント及び前駆物質の大気中濃度の現状	第 2 章	ア. 現状の把握、生成機構の解明 イ. 過去の対策効果の検証 (前駆物質削減による効果)
光化学オキシダントの経年変化要因と前駆物質排出抑制効果	第 3 章	ア. 生成機構の解明及びシミュレーションモデルの精緻化 イ. 過去の対策効果の検証 (前駆物質削減による効果)
削減シナリオの策定に向けた検討	第 4 章	ウ. 光化学オキシダント対策の検討・削減シナリオの策定

第2章 光化学オキシダント及び前駆物質の大気中濃度の現状

1. 本章の概要

光化学オキシダント (Ox) 及び前駆物質の大気中濃度の現状を把握するため、本章では環境大気常時監視局で測定された光化学 Ox や前駆物質である窒素酸化物 (NOx) 及び非メタン炭化水素 (NMHC) 並びに、環境省が設置した揮発性有機化合物 (VOC) 自動測定装置による VOC 成分の観測結果を経年的に解析し、長期的な濃度変化やその要因、光化学 Ox 濃度の改善傾向や前駆物質の削減効果などを検討した。

2. 解析対象

観測結果の解析に使用した光化学 Ox の測定法には湿式法 (中性ヨウ化カリウム吸光光度法) と乾式法 (ここでは紫外線吸収法) がある。1997 年頃までは湿式法だけで測定され、それ以降は湿式法から乾式法への切替が順次行われ、現在では一部地点を除き全国的に乾式法による測定となっている。

本検討会の調査によって湿式法と乾式法の観測結果に濃度差があることが明らかになったことから (2 章-参考資料 1)、乾式法による測定データのみを対象として、乾式法が普及した 2005 年度から 2022 年度までを解析した。ただし、3. の 30 年間程度の長期的な変化傾向の把握を目的とした解析では、湿式法と乾式法を区別せずに解析した。光化学 Ox 及び NOx、NMHC の解析に使用した対象地域と測定局について、表 2-1、表 2-2 及び図 2-1 に示す。解析には基本的に対象地域毎の平均値を使用した。

VOC 成分については、東京、埼玉、群馬に設置された VOC 自動測定装置の観測値を使用した。VOC 成分の自動測定の詳細を表 2-3 に示す。

なお、季節別の解析は春季を 4 月～6 月、夏季を 7 月～9 月とした。

表 2-1 光化学 Ox、NOx 及び NMHC の解析の対象とした測定局

本章の該当箇所	対象地域 (地方)	対象とした測定局
3. 30 年程度の経年変化の傾向	関東、関西、瀬戸内、九州 (2 章-参考資料 2、参考表 2-1 参照)	【光化学 Ox、NOx 及び NMHC】1991 年度から 2022 年度まで継続して測定した一般環境大気測定局。光化学 Ox の測定法の区別は考慮しない。
4. 光化学 Ox の濃度変化の要因	関東、関西、瀬戸内、九州に加え、解析内容に応じて東海、南東北、北陸、山陰※ (図 2-1 参照)	【光化学 Ox 及び NOx】乾式法による光化学 Ox と NOx の両方を 2005 年度から 2022 年度まで継続して測定した一般環境大気測定局。 【NMHC】上記測定局のうち、NMHC を 2005 年度から 2022 年度まで継続して測定した測定局。
	離島局 (図 4.2.3-3 参照)	【光化学 Ox】酸性雨測定所の乾式法による光化学 Ox の観測値を使用。継続性は考慮しない。
5. 2023 年度及び 2024 年度の光化学 Ox 濃度の特徴	関東、関西、瀬戸内、九州、東海、南東北、北陸、山陰	【光化学 Ox】4. の関東等と同じ測定局の 2023 年度及び 2024 年度の速報値を使用。

※関東、関西、瀬戸内、九州、東海は、さらに細分化した地域についても解析した。

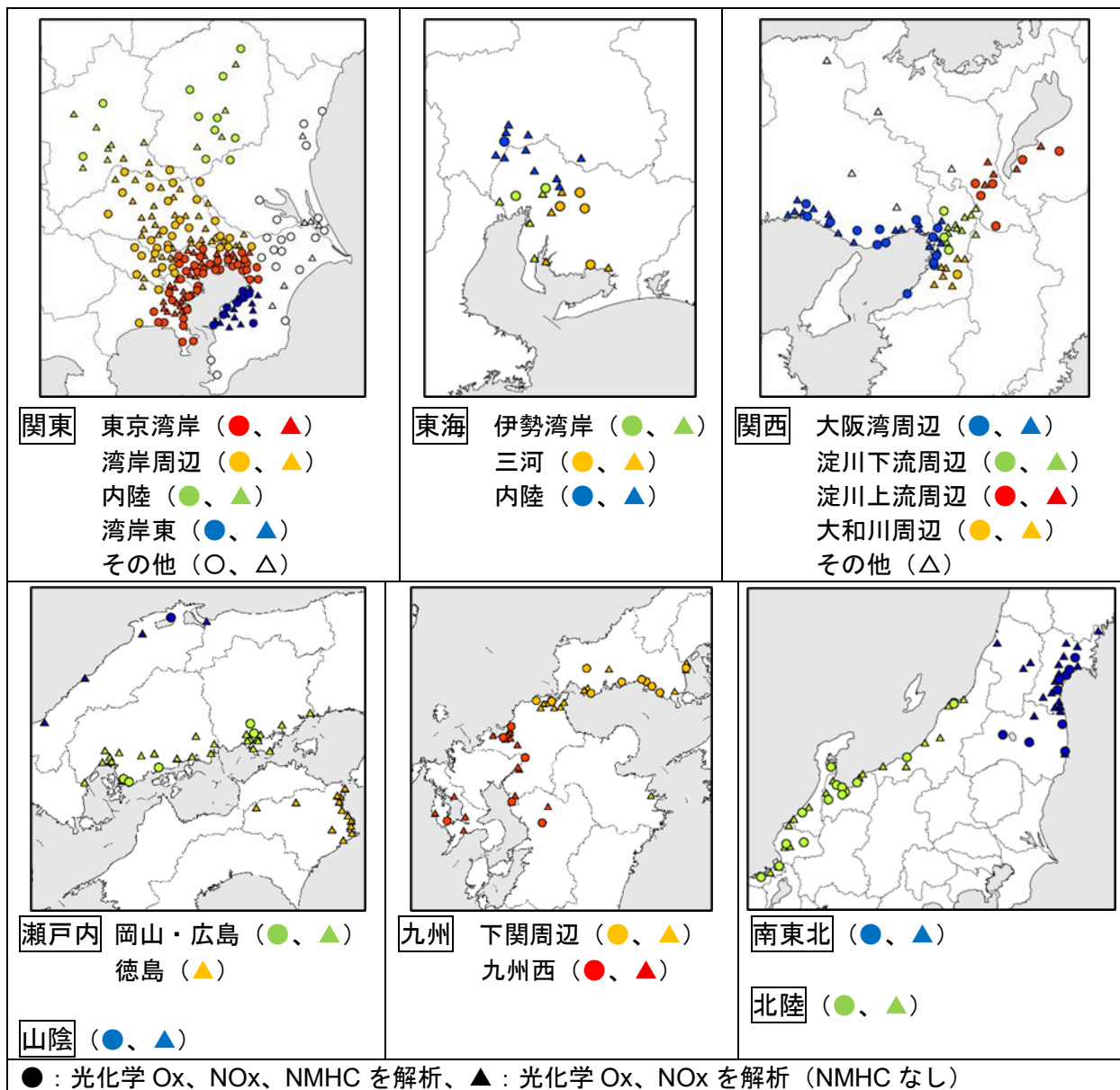


図 2-1 2005 年度以降の光化学オキシダント、NO_x 及び NMHC の解析対象地域と対象測定局

表 2-2 2005 年度以降の光化学オキシダント、NO_x 及び NMHC の解析対象地域と対象測定局数

	関東	関西	瀬戸内	九州	東海	南東北	北陸	山陰
光化学 Ox、NO _x	208	69	42	44	26	30	32	5
NMHC	115	24	5	16	7	9	15	1

- ・ 光化学 Ox 及び NO_x の解析対象局は、図 2-1 の●と▲で示された地点
- ・ NMHC の解析対象局は、図 2-1 の●で示された地点
- ・ 細区分化した地域の測定局数は 2 章-参考資料 2 の参考表 2-2 に示す。

表 2-3 揮発性有機化合物の解析に用いた VOC 自動測定の概要¹

測定対象成分	VOC 56 成分（アルカン類 26 成分、アルケン類 7 成分、芳香族炭化水素類 17 成分、植物起源炭化水素類 6 成分）
測定地点、期間	群馬（群馬県衛生環境研究所）：2017 年 5 月 13 日～継続 埼玉（埼玉県環境科学国際センター）：2017 年 5 月 12 日～継続 東京（東京都環境科学研究所）：2017 年 5 月 12 日～継続
測定頻度	原則として毎日 2 時及び 14 時の定期測定 測定毎の大気試料の捕集時間は 3 分

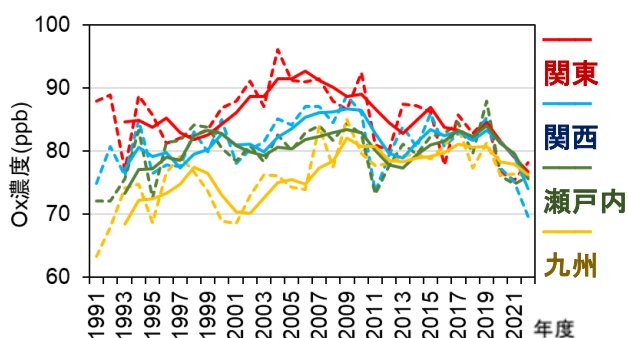
3. 30 年間程度の経年変化の傾向

1991 年度以降の 30 年間程度の長期的な濃度変化を把握するため、光化学 Ox と前駆物質（NO_x、NMHC）の測定濃度等の経年変化を解析した。

(1) 光化学オキシダント新指標値の長期経年変化

光化学 Ox の環境改善効果を適切に示すための指標である新指標値（日最高 8 時間値の年間 99 パーセンタイル値の 3 年移動平均値）及び日最高 8 時間値の年間 99 パーセンタイル値を図 3-1 に示す。図 3-1 a のように乾式法と湿式法を区別せずに集計した場合、関東地方では 2005 年度頃まで濃度上昇が見られ、それ以降に低下傾向となった。同様に、関西、瀬戸内、九州地方では 2010 年度頃まで濃度上昇が見られたが、2019 年度頃まで横ばいとなった後、低下傾向となった。しかし、図 3-1 b に示すように、関東の日最高 8 時間値の年間 99 パーセンタイル値を乾式法のみに限定して集計すると 2000 年度頃からの低下傾向が見られた。なお、例えば関東では 1998 年度から 2008 年度にかけて湿式法から乾式法への切替が進んだため、湿式法に比べ濃度が高く測定される乾式法の割合が年々増えたことにより、湿式法と乾式法を区別せずに解析すると Ox 濃度が見かけ上、上昇傾向を示す結果となり注意を要する（図 3-1 b：他の地方については 2 章-参考資料 1 を参照）。

a) 新指標値及び年間 99 パーセンタイル値
乾式法と湿式法の両データ混在で算出
実線：新指標値
点線：99 パーセンタイル値



b) 乾式法における日最高 8 時間値の
年間 99 パーセンタイル値（関東）
■ Ox濃度（乾式法） ---- 乾式法の割合
○ Ox濃度（湿式法+乾式法）

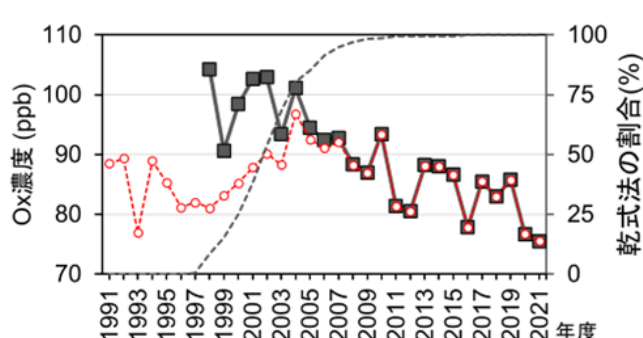


図 3-1 光化学オキシダント指標の長期経年変化

¹ 「揮発性有機化合物（VOC）成分自動測定機データ取扱要領書 令和 2 年 3 月 5 日」、（環境省 水・大気環境局大気環境課）

(2) NOx 及び NMHC の年平均濃度の長期経年変化

光化学 Ox の前駆物質である NMHC の年平均濃度は 1991 年度以降、継続的に低下傾向であり、NOx の年平均濃度は NMHC より遅れて 2000 年度頃から低下傾向となった。NOx は 2010 年度頃から低下傾向が鈍くなり、例えば関東では 2000 年度から 2010 年度までの年間低下量 1.6 ppb/年に対し、2010 年度から 2022 年度までの年間低下量は 0.7 ppb/年であった。また、NMHC は 2020 年度頃から横ばいの傾向であり、例えば関東では 1991 年度から 2020 年度までの 1 年あたりの濃度低下が 8.6 ppbC/年であったのに対し、2020 年度から 2022 年度までは 3 年間で 2.3 ppbC (0.77 ppbC/年) の低下にとどまった。

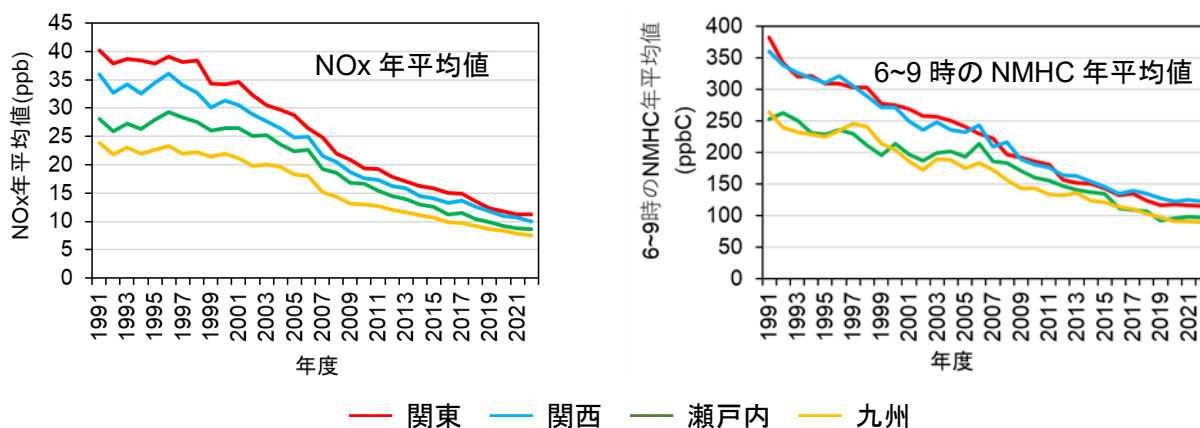


図 3-2 NOx 及び NMHC の年平均濃度の長期経年変化

(3) 注意報等発令延日数及び被害届人数の減少

VOC 排出抑制制度が開始された 2006 (平成 18) 年度以降、2011 (平成 23) 年度頃まで光化学 Ox の注意報等発令延日数は減少し、2012~2019 (平成 24~令和 1) 年度頃は 50~100 日程度で推移し、その後は 50 日未満に減少した。また、被害届人数は 2010 (平成 22) 年度以降はほとんど無くなり、2022 年 (令和 4) 年度の被害届出人数は 0 日であった。

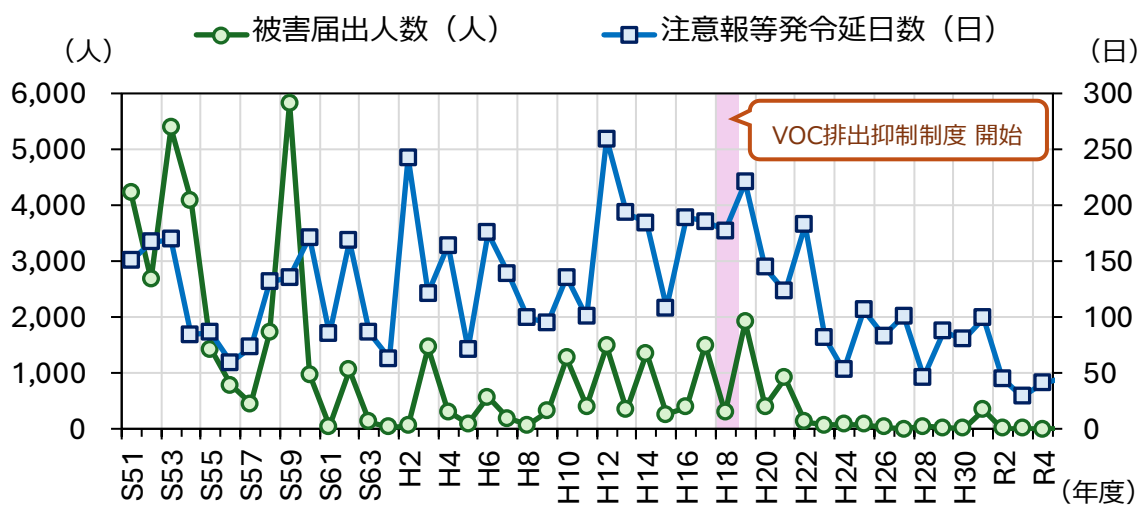


図 3-3 注意報等発令延日数及び被害届人数の推移

4. 光化学オキシダントの濃度変化の要因

4.1. 光化学オキシダント指標の経年変化の地方・季節毎の特徴

光化学 Ox の日最高 8 時間値の季節別の 98 パーセンタイル値(季節の上位 3 番目の濃度。以下、98 パーセンタイル値と言う)を用いて、春季(4~6 月)及び夏季(7~9 月)の経年変化を図 4.1-1 に、1 年あたりの濃度低下量(年間低下量; ppb/年)を表 4.1-1 に示した。併せて、日最高 8 時間値の季節別の平均値(以下、季節平均値と言う)も示した。

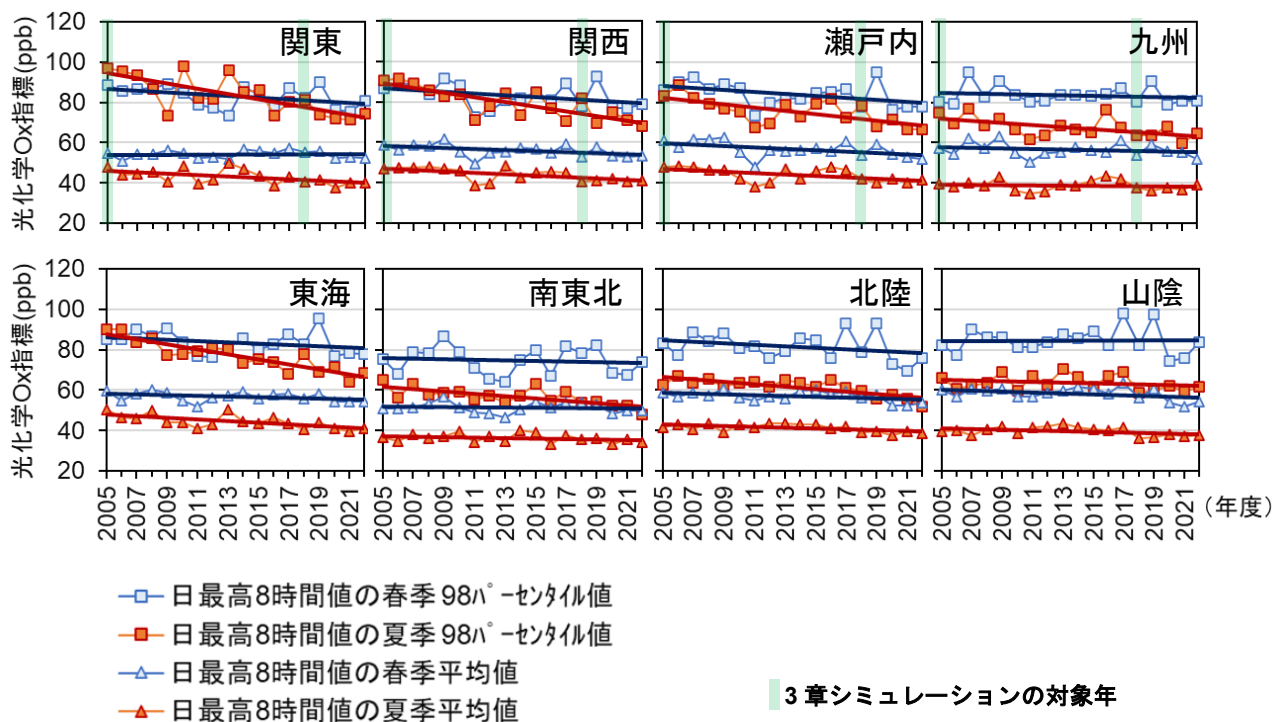


図 4.1-1 光化学オキシダント日最高 8 時間値の季節 98 パーセンタイル値及び季節平均値の経年変化(各地方内を細分化した地域別の図は 2 章-参考資料 3 に示す)

表 4.1-1 2005~2022 年度における光化学オキシダント日最高 8 時間値の季節 98 パーセンタイル値及び季節平均値の平均年間低下量 (ppb/年)

	関東	関西	瀬戸内	九州	東海	南東北	北陸	山陰
春季 98 パーセンタイル値	0.41	0.43	0.50	0.15	0.32	0.15	0.35	-0.01
夏季 98 パーセンタイル値	1.3 *	1.2 *	0.82 *	0.49 *	1.3 *	0.57 *	0.60 *	0.18
春季平均値	-0.01	0.25	0.36 *	0.15	0.16	0.06	0.21	0.24
夏季平均値	0.37 *	0.37 *	0.34 *	0.05	0.41 *	0.11	0.21 *	0.17

正の数値は経年的に低下傾向であること、負の数値は経年的に上昇傾向であることを示す

* : 有意差あり ($p < 0.05$)

【98 パーセンタイル値】

春季・夏季ともに低下傾向であったが、春季に比べ夏季の方が低下した。統計解析の結果によると、夏季には山陰を除いた地方で有意な低下傾向を示したが、春季にはいずれの地方

でも有意な傾向を示さなかった。例えば、関東では夏季の 98 パーセンタイル値の年間低下量が 1.3 ppb/年で統計的に有意に低下したのに対し、春季の年間低下量は 0.41 ppb/年と小さく、統計的にも有意ではなかった。

【季節平均値】

春季・夏季ともに低下傾向であったが、統計解析の結果によると、夏季には関東等の 5 地方で有意な低下傾向を示したのに対し、春季では瀬戸内以外は有意な低下傾向を示さなかった。例えば、関東では夏季平均値の年間低下量が 0.37 ppb/年で統計的に有意に低下したのに対し、春季平均値はほとんど変化せず（年間低下量が -0.01 ppb/年）、統計的にも有意ではなかった。

このように、季節 98 パーセンタイル値や季節平均値は地域や季節により異なる経年変化を示した。これらの濃度変化の要因について、本章では観測結果を用いて定性的に解析し、3 章ではシミュレーションモデルを用いて定量的な評価を行った。

4.2. 濃度変化の要因解析

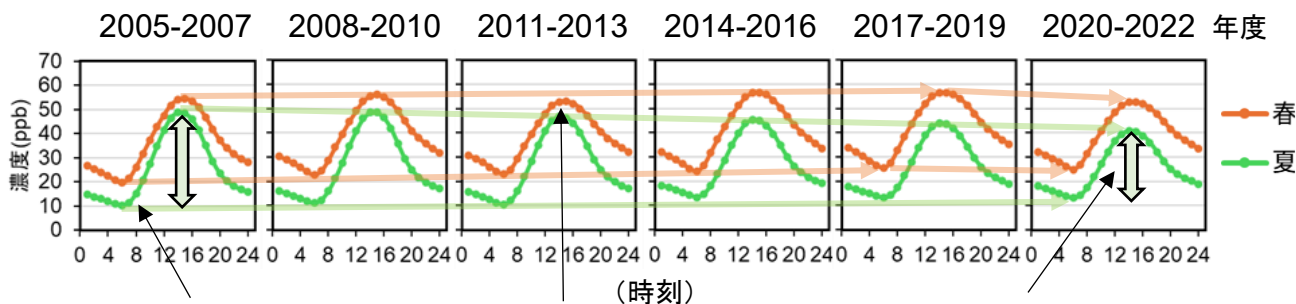
光化学 Ox の長期的な濃度変化の要因について考察した。解析の対象は、光化学オキシダント調査検討会報告書（平成 26 年 3 月、光化学オキシダント調査検討会）により示された、光化学 Ox 濃度の地域別の長期トレンド（1990～2011 年度）に係る次の①～③の 3 点とした。

- ① VOC 及び NO_x 排出量の低減に伴う局地的オゾン生成量の減少による高濃度域の光化学オキシダントの低下（4.2.1）
- ② NO_x 排出量の減少に伴う NO タイトレーション効果の低下による都市部の光化学オキシダントの増加（4.2.2）
- ③ 越境大気汚染の変化に伴う光化学オキシダントの変化（4.2.3）

4.2.1. 前駆物質の削減による光化学オキシダント低減の効果

前駆物質削減による光化学 Ox 濃度変化を解析するために、光化学 Ox 濃度の日内変化に着目して推計した光化学 Ox 生成濃度と前駆物質濃度の関係を解析した。図 4.2.1-1 に示した関東の日内の濃度変化の例では、光化学 Ox 濃度は朝 6 時に最低濃度となり日中に上昇している。この上昇分を当該地域で日中の光化学反応で生成する光化学 Ox と仮定して、日最高濃度と朝 6 時の濃度の差分（朝 6 時の濃度から日最高濃度までの上昇分；以下「光化学オキシダント生成濃度（Ox 生成濃度）」と言う）を解析の対象とした。なお、以下の解析に使用した光化学 Ox 生成濃度は、測定局毎かつ日毎に算出した。

図 4.2.1-1 に示すように、朝 6 時の濃度は春季と夏季ともに経年的に上昇傾向であったのに対し、日最高濃度の経年変化は季節で傾向が異なり、春季は穏やかな上昇傾向から 2017-2019 年度以降低下に転じ、夏季は解析期間を通じて継続的に低下傾向であった。日最高濃度と朝 6 時の濃度の差として定義される光化学 Ox 生成濃度は経年的に低下傾向であった。



朝 6 時の濃度は経年的に上昇傾向

➢ NO タイトレーション効果の低下との関係を 4.2.2 で考察する。

日最高濃度の経年変化は

- ・ 春季は緩やかな上昇傾向から低下へ
- ・ 夏季は継続的に低下傾向

Ox 生成濃度（日最高と 6 時の濃度差）は春季、夏季ともに低下傾向

➢ 前駆物質排出量低減との関係を本節(1)、(2)で考察する。

図 4.2.1-1 光化学オキシダントの時刻別 3 年平均値の経年推移（関東）

(1) 高濃度出現日数の減少傾向

測定局毎かつ日毎に算出した光化学 Ox 生成濃度（日最高濃度と朝 6 時の濃度差）の当該地方の最大値が 90 ppb 以上及び 120 ppb 以上となる日数を高濃度出現日数として、その経年変化を図 4.2.1-2 に示した。90 ppb 及び 120 ppb 以上が出現する日数は、いずれの地方においても経年的に減少していた。例えば夏季（7 月から 9 月まで）の 92 日間のうち、2010 年度以前の関東では 90 ppb 以上の Ox 生成濃度が 50 日以上出現することも多かったが、2020 年度以降の 3 年間では概ね 20 日程度まで減少した。このように高濃度の光化学 Ox 出現日数が長期的に減少していることが明らかとなった。

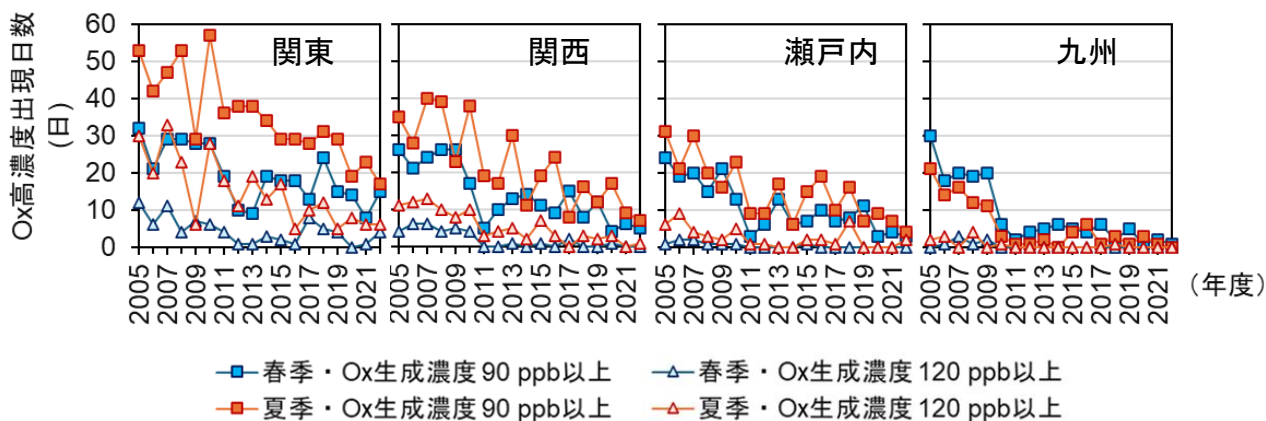


図 4.2.1-2 光化学オキシダント生成濃度の地域最大値が 90 ppb または 120 ppb 以上となる日数の経年変化

(2) 光化学オキシダント生成濃度及び前駆物質濃度の経年変化

(1)で明らかとなった高濃度光化学 Ox の出現日数が長期的に減少した要因として、オゾン前駆物質の経年的な減少が考えられる。そこで、光化学 Ox 生成濃度と前駆物質濃度の経年変化の関係を解析した。光化学 Ox 生成濃度と NOx 及び NMHC の 6～9 時平均濃度の年平均値の経年変化を、それぞれ図 4.2.1-3、図 4.2.1-4 及び図 4.2.1-5 に示す。

光化学 Ox 生成濃度、NOx 及び NMHC の濃度は、春季・夏季のいずれにおいても低下傾向

向を示し、山陰地方を除く全ての地方・指標において統計的に有意であった。光化学 Ox 生成濃度は、その低下傾向が有意であった 7 地方のうち、九州を除く 6 地方で夏季の方が春季よりも低下しており、例えば関東では年間低下量が、夏季 0.86 ppb/年、春季 0.46 ppb/年であった。光化学 Ox 生成濃度の年間低下量が大きいのは関東、関西、瀬戸内及び東海であり、次いで九州、さらには、北陸、南東北、山陰と続いた。NO_x や NMHC の年間低下量の地域差も概ね同様な傾向であった。すなわち、前駆物質濃度の年間低下量が大きい地方ほど、光化学 Ox 生成濃度の年間低下量も大きい傾向であった（図 4.2.1-6 参照）。

このように、光化学 Ox 生成濃度及び前駆物質濃度ともに経年的に低下傾向であることや、前駆物質の年間低下量に応じて光化学 Ox 生成濃度も低下していることを踏まえると、光化学 Ox 生成濃度の低下は前駆物質濃度が低下したことが要因の一つであり、その効果は夏季のほうが強く表れていたと考えられる。

なお、光化学 Ox 生成濃度の低下が NO_x と NMHC のどちらの濃度低下と関係性が強いのか解析した結果を 2 章-参考資料 4 に示す。

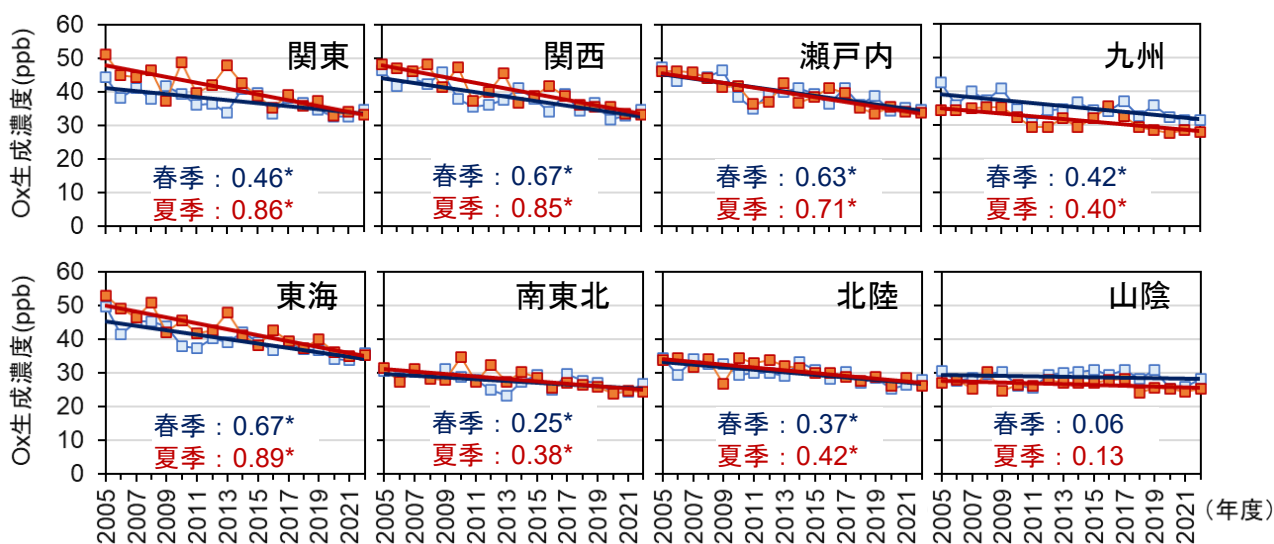


図 4.2.1-3 光化学オキシダント生成濃度の地方毎の経年変化

図中の数値は濃度の平均年間低下量（単位：ppb/年）、

*は有意差あり ($p < 0.05$)

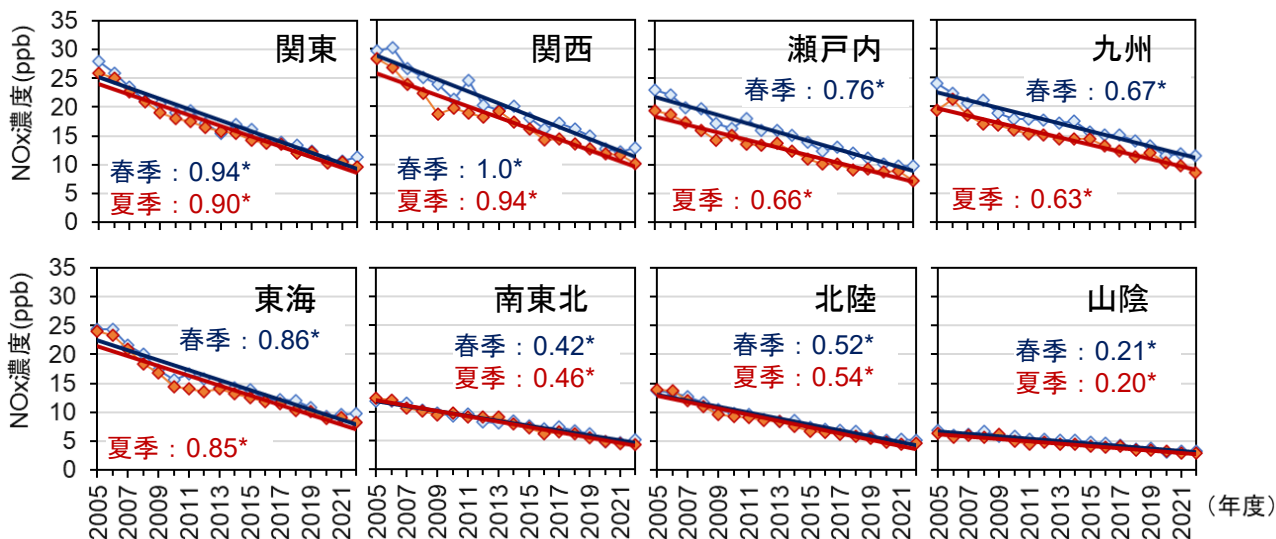


図 4.2.1-4 NOx 濃度 (6~9 時平均濃度) の地方毎の経年変化

図中の数値は濃度の平均年間低下量 (単位: ppb/年)、

*は有意差あり ($p < 0.05$)

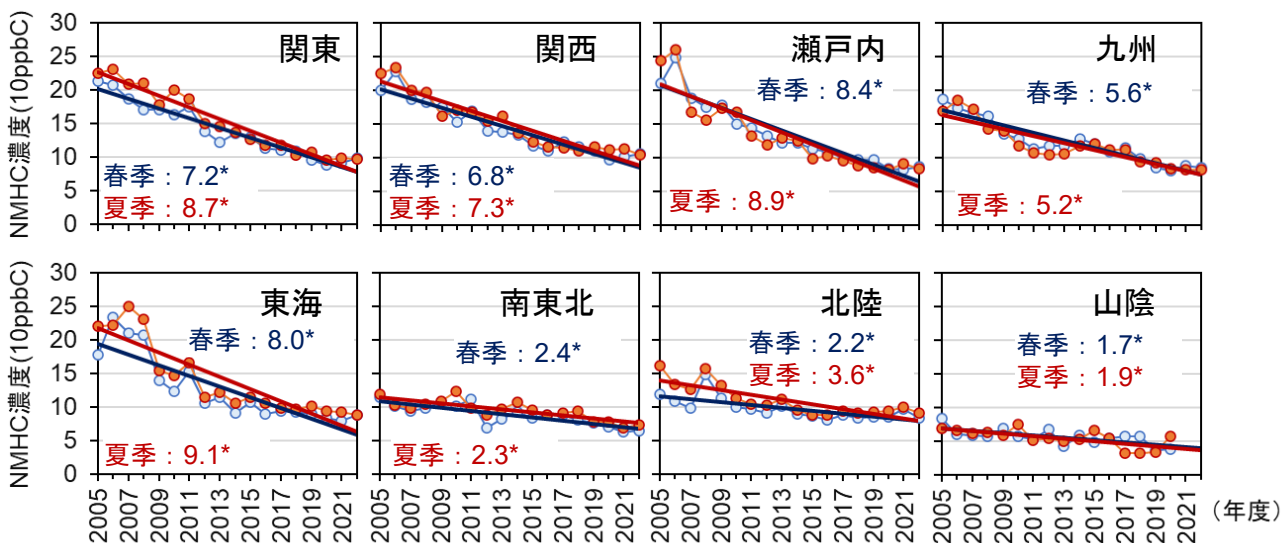


図 4.2.1-5 NMHC 濃度 (6~9 時平均濃度) の地方毎の経年変化

図中の数値は濃度の平均年間低下量 (単位: 10ppbC/年)、

*は有意差あり ($p < 0.05$)

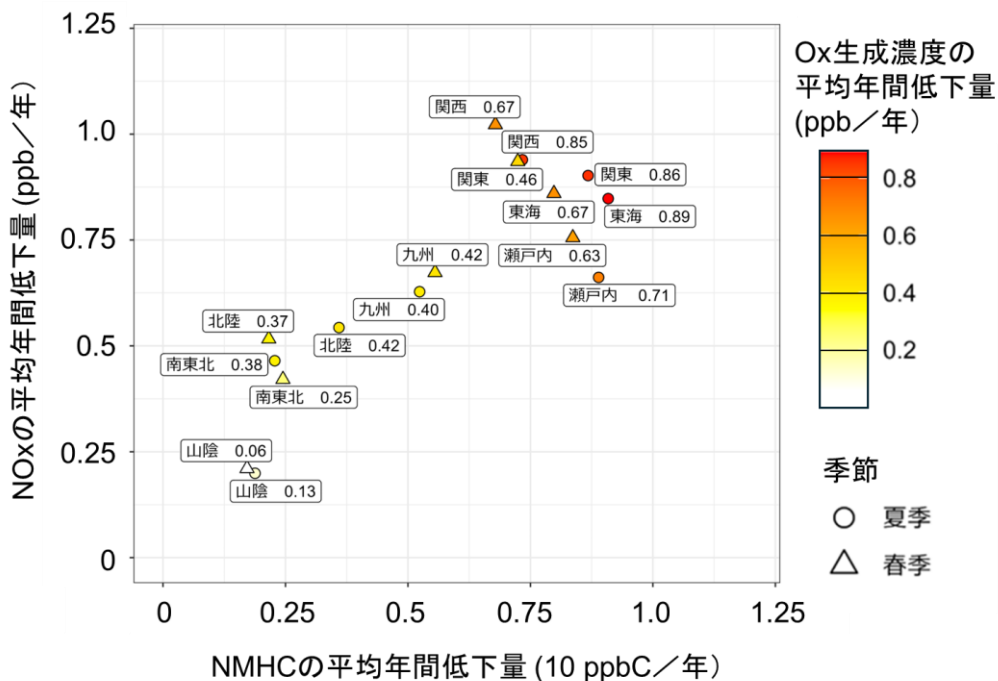


図 4.2.1-6 2005～2022 年度における NOx と NMHC 濃度の平均年間低下量と光化学オキシダント生成濃度の平均年間低下量との関係。地方別かつ春季・夏季別に示す。

4.2.2. NO タイトレーション効果の低下の影響

図 4.2.1-1 の光化学 Ox 濃度の日内変動において最低濃度を示す時刻であり、光化学生成が起きにくいと考えられる朝 6 時の光化学 Ox 濃度とポテンシャルオゾン²(PO)濃度の地域別平均濃度を、2005 年度を例として図 4.2.2-1 に示す。対象とした地域は表 2-1 の 4.に示す 8 地方のほか、「日本海側低 NOx 地点³」である。光化学 Ox 濃度はポテンシャルオゾン濃度に比べて、関東、関西、東海などの産業活動・都市活動の活発な地域で低くなる傾向があり、自動車や工場などから排出された NO によるタイトレーション効果を大きく受けていることが認められる。

² ポテンシャルオゾン (PO) : 光化学オキシダントとその前駆物質の濃度の合計で次の式から算出する。

$$[PO] = [Ox] + [NO_2] - \alpha \times [NOx] \quad (\alpha = 0.1 \text{ とする})$$

オゾン (O₃) は大気中の NO と反応して NO₂ と O₂ になり、減少する (NO + O₃ → NO₂ + O₂)。この効果を一般的に「NO タイトレーション効果」と言う。PO は NO タイトレーション効果の変化を受けない指標であり、NO との反応による消失が無かったと仮定したときの Ox 濃度に相当する。

³ 日本海側にある一般環境大気測定局のうち、NOx の 6～9 時の平均値の 2021 年度の年間平均値が 5 ppb 以下の 12 地点。該当地点は、図 4.2.3-3 に示す。南東北では該当地点がなかった。

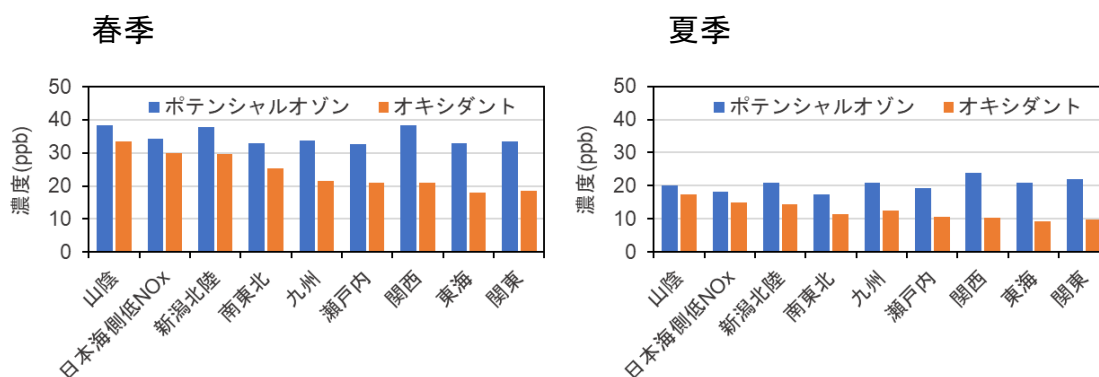


図 4.2.2-1 2005 年度の朝 6 時の光化学オキシダントとポテンシャルオゾンの地域平均濃度

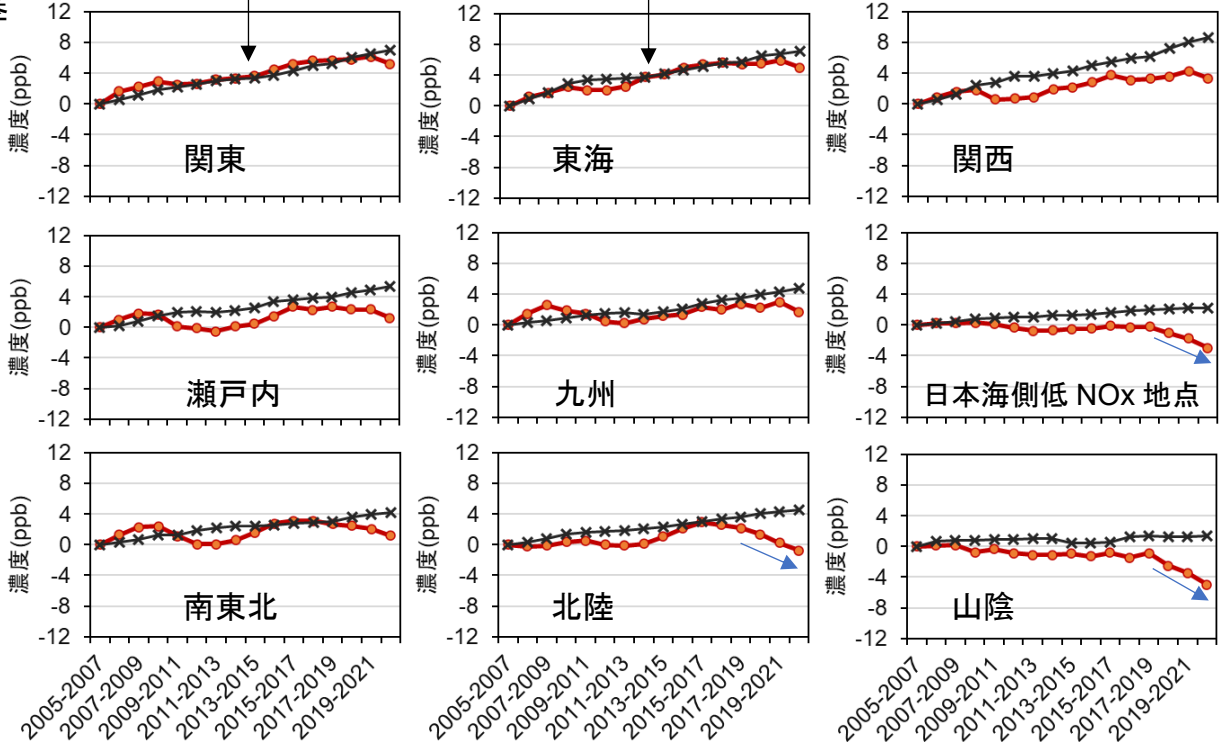
図 3-2 及び図 4.2.1-4 のように NO_x 濃度は経年低下していることから、NO タイトレーション効果の影響も低下し、これに伴って光化学 Ox 濃度が長期的に上昇している可能性がある。そこで、朝 6 時の光化学 Ox 濃度について、2005～2007 年度の平均値を基準として、実際の濃度変化量と NO タイトレーション効果の低下から見込まれる濃度上昇分を比較検討した (図 4.2.2-2)。2005～2007 年度の平均値を基準とした、6 時の光化学 Ox 濃度の変化量を Δ Ox、NO タイトレーション効果の低下から見込まれる 6 時の光化学 Ox 濃度上昇分を Δ Titr-Ox とする。ここで Titr-Ox は 6 時における PO と光化学 Ox 濃度との差である。 Δ Ox と Δ Titr-Ox が概ね一致した場合、6 時の Ox 濃度の経年変化は NO タイトレーション効果の変化によって概ね説明できるといえる。

図 4.2.2-2 に示す通り、ほぼ全ての地方で春季、夏季ともに、光化学 Ox 濃度の上昇は NO タイトレーション効果の低下による光化学 Ox 濃度上昇と概ね一致する。しかし、近年は前者が後者を下回る地方もあり、とくに春季の関西、瀬戸内では、2008～2010 年度頃からその傾向にあり、2018～2020 年度以降は顕著に低かった。日本海側の北陸、山陰、日本海側低 NO_x 地点も、2018～2020 年度以降の低下が顕著であった。

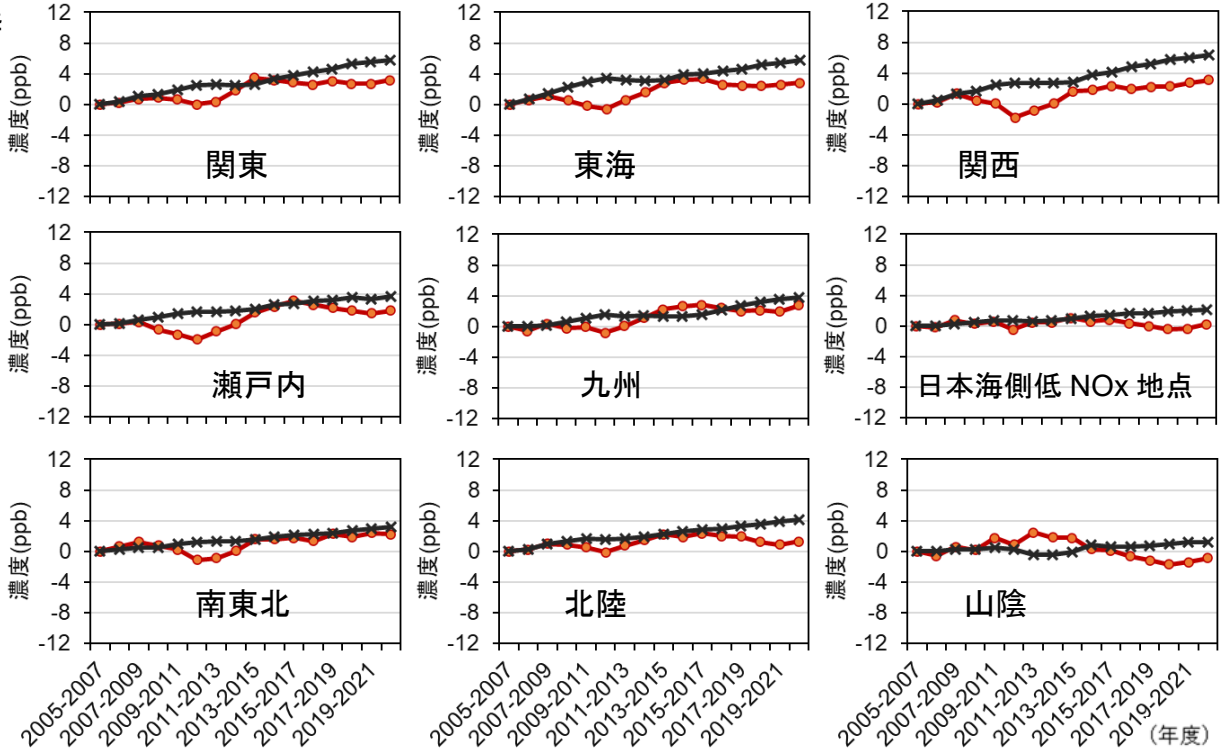
これらの結果から、6 時の光化学 Ox 濃度の上昇は NO タイトレーション効果の低下で概ね説明できるが、近年は NO タイトレーション効果で見込まれる程の濃度上昇は見られず、その可能性として前駆物質排出削減の効果や越境汚染の影響の低下が考えられる。

Δ Ox と Δ Titr-Ox が概ね一致⇒6 時のオキシダント濃度の変化は NO タイトレーション効果の低下で概ね説明できる。

春季



夏季



● Δ Ox 2005~2007 年度平均を基準とした 6 時の光化学オキシダント濃度の変化量
× Δ Titr-Ox 2005~2007 年度平均を基準とした、NO タイトレーション効果の低下から見込まれる 6 時の光化学オキシダント濃度上昇分 [Titr-Ox] = -([PO]-[Ox])

図 4.2.2-2 6 時の光化学オキシダント濃度と、NO タイトレーション効果により見込まれる濃度（3 年移動平均）の 2005~2007 年度を起点とした変化

4.2.3. 越境大気汚染の変化

(1) 海外のオゾン濃度の変化

中国及び韓国の地表オゾン濃度の経年変化を図 4.2.3-1 及び図 4.2.3-2 に示す。中国のオゾン濃度は「中国碳中和与清洁空气协同路径 年度报告 2023」（中国碳中和与清洁空气协同路径年度报告工作组）から引用し、韓国のオゾン濃度は韓国の環境部が運営する大気質情報提供サイト「Air Korea」（<https://m.airkorea.or.kr/detailViewDown/detailViewDown>）から観測結果をダウンロードして集計した。

- ◇ 中国では、オゾン日最高 8 時間値の年間 90 パーセンタイル値の 3 年移動平均値は 2015～2017 年から 2017～2019 年にかけて上昇し、2017～2019 年以降は全国平均では概ね横ばいで、最も濃度レベルが高い京津冀及周边地区（北京市、天津市、河北省の 3 つの地域）では穏やかな減少傾向であった。
- ◇ 韓国では、中国と同じ指標のオゾン日最高 8 時間値の年間 90 パーセンタイル値の 3 年移動平均値はソウルや釜山では概ね横ばいであった。済州では中国と似た傾向で 2013～2015 年から 2017～2019 年にかけて濃度上昇（図 4.2.3-2 済州の 2015 年から 2019 年にかけての実線を参照）、2017～2019 年以降は低下傾向であった（同図の 2019 年以降の実線を参照）。日本の新指標値に相当する年間 99 パーセンタイル値の 3 年移動平均値では、ソウルでは 2016～2018 年以降横ばいで、釜山や済州では 2017～2019 年以降低下傾向であった（同図ソウルの 2018 年以降及び釜山・済州の 2019 年以降の実線を参照）。25 パーセンタイル以下の濃度は 3 地点とも期間を通して上昇傾向であり、低濃度レベルが上昇傾向であるのは日本と同様の傾向であった。

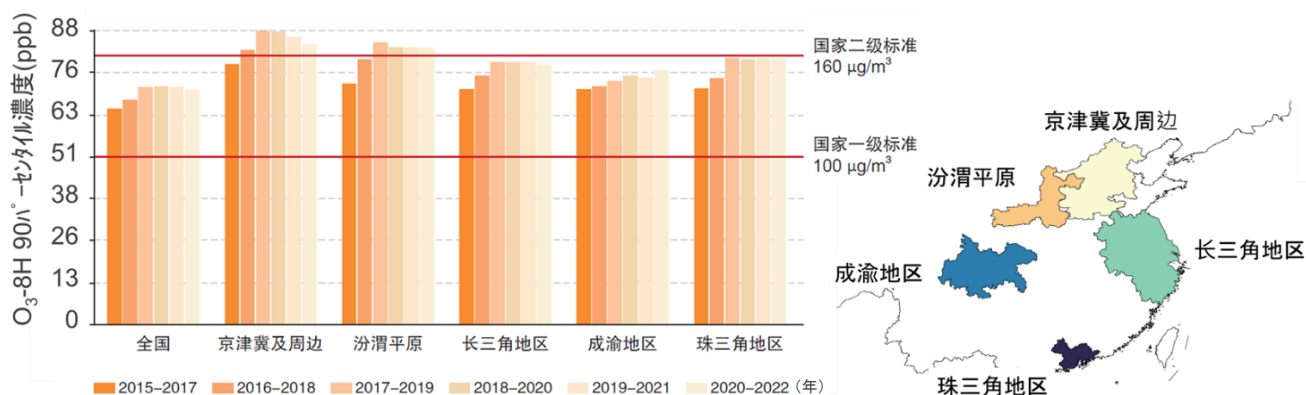


図 4.2.3-1 中国のオゾン日最高 8 時間平均値の年間 90 パーセンタイル濃度の 3 年平均値の推移

中国碳中和与清洁空气协同路径 年度报告（2023）の重量濃度を 20°C、101.3kPa で体積濃度に変換した。

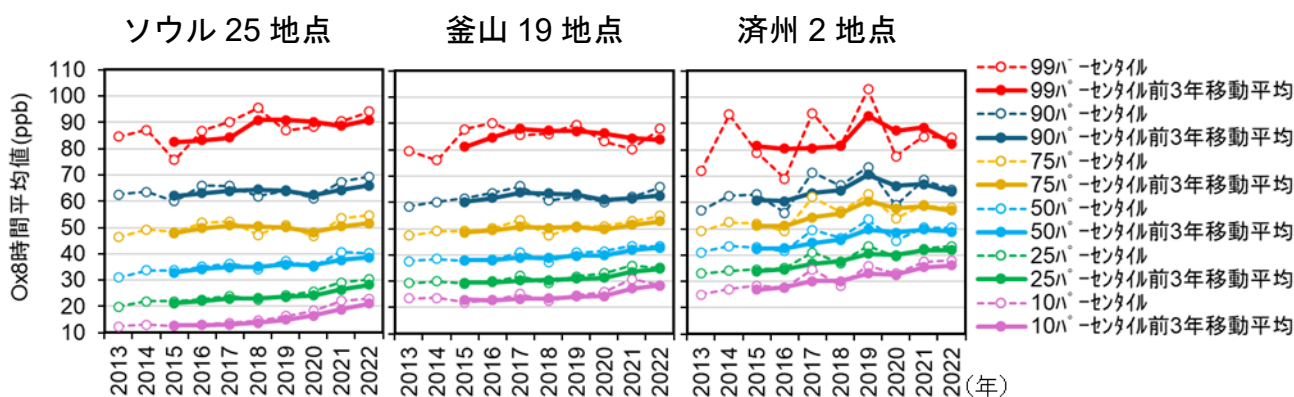


図 4.2.3-2 韓国のオゾン日最高 8 時間平均値の年間パーセンタイル濃度の推移

- ・ Air Korea データから作成
- ・ 実線の前 3 年移動平均において、例えば 2013~2015 年の平均値は横軸の 2015 年の位置にプロットした

(2) 国内離島局等の光化学オキシダント濃度の変化

離島局は前駆物質の発生源が少ないことから、光化学 Ox は当該地域での生成は少なく他地域からの移流の影響が大きいと考えられる。とくに、日本海側では大陸方面からの越境汚染の影響を受けやすい。国内への越境汚染の影響の変化を確認するため、2005 年度以降の光化学 Ox 日最高 8 時間値の季節別 98 パーセンタイル値及び季節平均値の 3 年移動平均値を離島局及び日本海側低 NOx 地点（乾式法のみ）を対象として図 4.2.3-4 に示した。なお、離島局は地点ごとに、日本海側低 NOx 地点は全地点を平均して光化学 Ox 指標の濃度を示した。

- ◇ 春季の 98 パーセンタイル値及び季節平均値は、離島局及び日本海側低 NOx 地点では夏季よりも高く、さらに辺戸や小笠原を除く地点では関東や関西のような前駆物質の排出が多い都市域に比べても同等または高かったことから、大陸方面からの越境汚染の影響を受けていたことが示唆される。ただし、春季の辺戸は 2008~2010 年度以降、対馬は 2015~2017 年度以降、屋久島、五島、隠岐及び日本海側低 NOx 地点では 2017~2019 年頃から 98 パーセンタイル値及び季節平均値が低下傾向であった。
- ◇ 一方で夏季の 98 パーセンタイル値は離島局や日本海側低 NOx 地点よりも関東や関西の濃度が高いことから、夏季は春季に比べて国内の高濃度の光化学 Ox に対する越境汚染の影響が小さい一方で、当該地域での生成寄与が大きいと考えられる。



- は日本海側低 NOx 地点
- 一般環境大気測定局のうち、NOx の 6~9 時の平均値の 2021 年度の年間平均値が 5ppb 以下の地点。具体的な測定局名は次の通り（柏崎、氷見、福野、小浜、今立、三方、豊岡市役所、国設松江、出雲保健所、益田合庁、江津市役所、雪浦）。

図 4.2.3-3 離島局及び日本海側低 NOx 地点の配置図

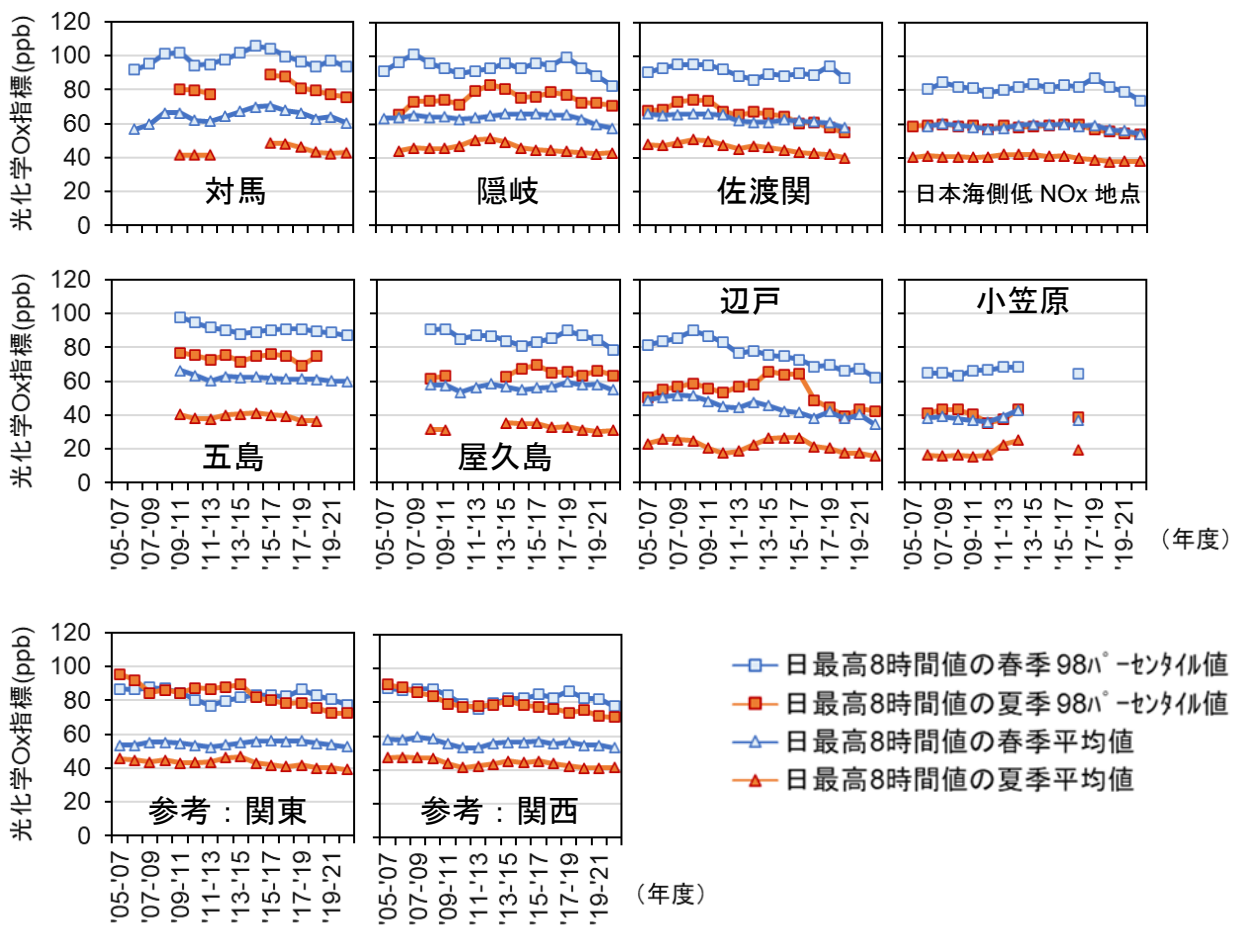


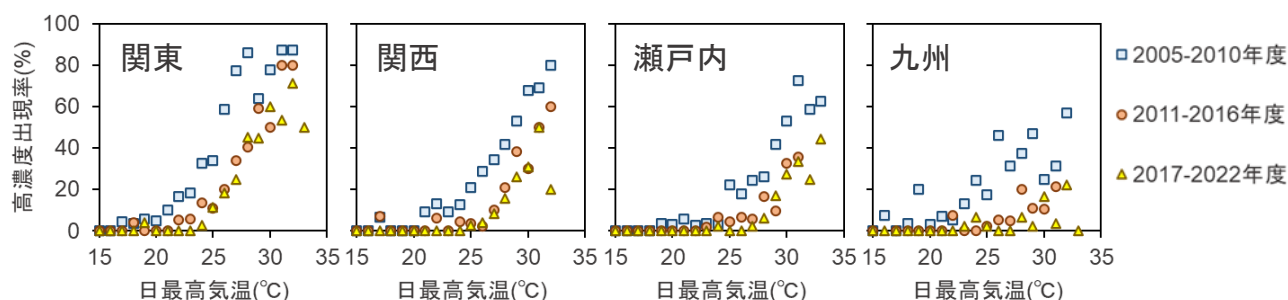
図 4.2.3-4 離島局等の光化学オキシダント日最高 8 時間値の 3 年移動平均値の経年変化
 (各季節で有効測定日が 60 日以上の場合を有効とした)

4.3. 光化学オキシダントの生成と気温、VOC 成分との関係

(1) 気温の上昇に伴う光化学オキシダントの高濃度出現率の増加

光化学 Ox 生成濃度（4.2.1 参照）の 90 ppb 以上となる日数の出現率について、日最高気温との関係を図 4.3-1 に示した。春季・夏季ともに日最高気温が高くなるほど、高濃度出現率は増加する傾向にあり、気温が高くなる気象条件下で光化学 Ox が高濃度になりやすいことが確認された。しかし、同じ日最高気温でも高濃度出現率が経年的に減少する傾向にあり、前駆物質の排出削減による効果を示しているものと考えられる。

春季



夏季

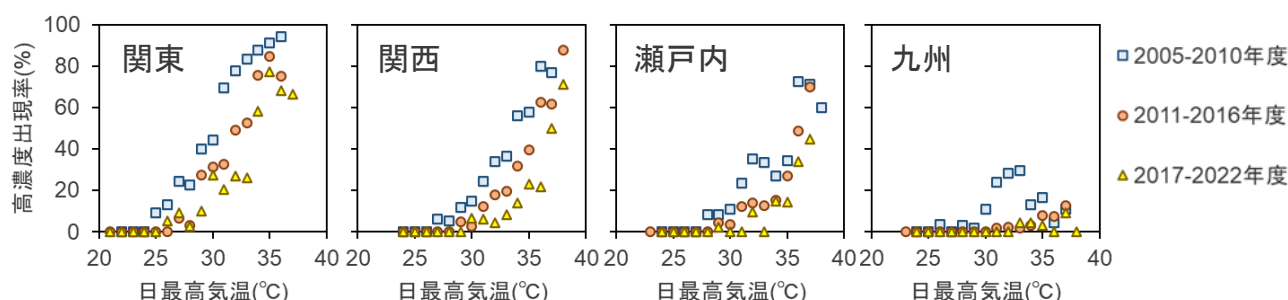


図 4.3-1 日最高気温と高濃度（Ox 生成濃度:90 ppb）出現率の関係

※高濃度出現率：日最高気温（1℃間隔）毎に Ox 生成濃度の地域最大値が 90 ppb 以上の出現率

(2) 気温別の光化学オキシダント生成濃度

前述のように光化学 Ox は気温が高いときに濃度が高くなりやすい傾向があることから、光化学 Ox 生成濃度の経年変化を、次のように日最高気温別に解析した。

春季：<20℃、 $\geq 20^\circ\text{C}$ かつ<24℃（20～24℃）、 $\geq 24^\circ\text{C}$ かつ<28℃（24～28℃）、 $\geq 28^\circ\text{C}$

夏季：<26℃、 $\geq 26^\circ\text{C}$ かつ<30℃（26～30℃）、 $\geq 30^\circ\text{C}$ かつ<34℃（30～34℃）、 $\geq 34^\circ\text{C}$

図 4.3-2 に関東の結果を示し、他の地点の結果は 2 章-参考資料 6 に示した。図中の光化学 Ox 生成濃度は地方全体の平均値であるのに対し、日最高気温は地方毎に 1 カ所の気象官署における観測データを使用した。

地域差や季節差はあるが、日最高気温が高いほど光化学 Ox 生成濃度が高く、光化学 Ox 生成が活発になり、(1)の結果とともに、高温時には光化学 Ox が高濃度になりやすいことが明らかになった。このことから、将来的な温暖化等によって気温が上昇した場合には、光化学 Ox 濃度が上昇する可能性が示唆される。

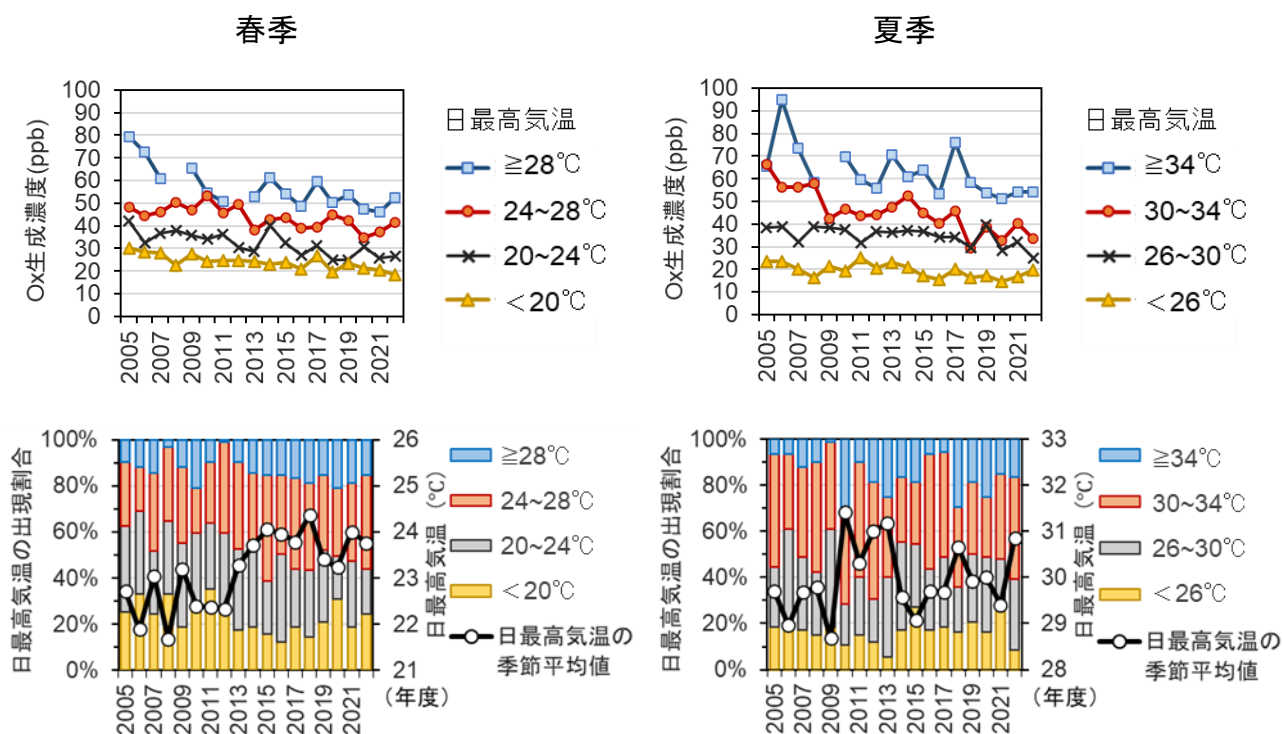


図 4.3-2 日最高気温別の光化学オキシダント生成濃度と日最高気温出現割合の経年変化（関東）

日最高気温は東京管区気象台のデータを使用

(3) 日最高気温と光化学反応性（VOCR）との関係

(1)や(2)では日最高気温が高いときほど光化学 Ox 生成濃度が高くなる傾向が見られた。この傾向について、NMHC を構成する VOC 成分組成の観点から考察するため、(2)と同じ気温の区分で 14 時の VOC 成分濃度や光化学反応性（VOCR；後述）を解析した。ただし、解析に用いた VOC 成分の観測値は、濃度が最も高い東京でも全成分濃度の合計が NMHC 濃度に対して 6 割未満しかなく、また、観測地点は東京、埼玉、群馬の 3 地点、観測期間は 2017～2022 年度のように限定された条件での結果である。

日最高気温と VOC 成分の大気濃度及び VOCR との間には次のような傾向が見られた（図 4.3-3）。

【大気濃度】 VOC 大気濃度ではアルカンと芳香族炭化水素が多くを占めた。東京では日最高気温が高いほど、アルカンの濃度が春季と夏季ともに上昇する傾向であったが、芳香族炭化水素の濃度は上昇傾向が見られず、夏季には濃度が低下する傾向であった。アルカンと芳香族炭化水素を比べると、アルカンは相対的に蒸気圧が高く光化学反応性が低いので、気温の上昇に伴う発生源からの蒸発量の増加が光化学反応に伴う消失よりも大きかったと考えられる。一方、芳香族炭化水素は相対的に蒸気圧が低く反応性が高いので、発生源からの蒸発量の増加よりも光化学反応に伴う消失の影響が大きく表れたと考えられる。埼玉や群馬では、東京とは異なり日最高気温が高くなってもアルカンの濃度は上昇せず、夏季には低下する傾向であった。東京からの移流を受ける地域であるため、移流中の光化学反応によりアルカンが消失した結果と考えられる。これらのことから、アルカンは日最高気温が高いほど発生源からの大気への VOC 蒸発量が多くなり、光化学反応もさらに進みやすくなることが示唆された。また、埼玉と群馬の芳香族炭化水素の濃度は東京と同様に日最高気温が高く

でも上昇傾向は見られず、夏季は低下する傾向であり、光化学反応による消失の影響が大きかったと考えられる。なお、高温時に光化学反応が進みやすいのは、気温が高い影響のほか、日射量が増加することによる影響も考えられる。

【VOCR】 VOC成分濃度にOHラジカル反応速度定数を乗じたVOCR(2章-参考資料7参照)では、大気濃度(ppbC)に比べてアルケンと植物起源(とくにイソプレン)の寄与が大きくなった。これらの成分のVOCRは日最高気温が高いときほど大きくなっており、VOCRが光化学反応を起こすポテンシャルの指標でもあることも考慮すると、高温時の光化学反応にこれらの成分が大きく寄与することが示唆される。ただし、前述したように、この解析に用いたVOC成分は自動測定機で測定した限られた成分であり、測定対象以外にもアルデヒド類のような反応性が高く大気中の光化学反応への寄与が大きい成分もあることや、測定された濃度は光化学反応がある程度進んでVOCが減少した後の結果であることに留意する必要がある。

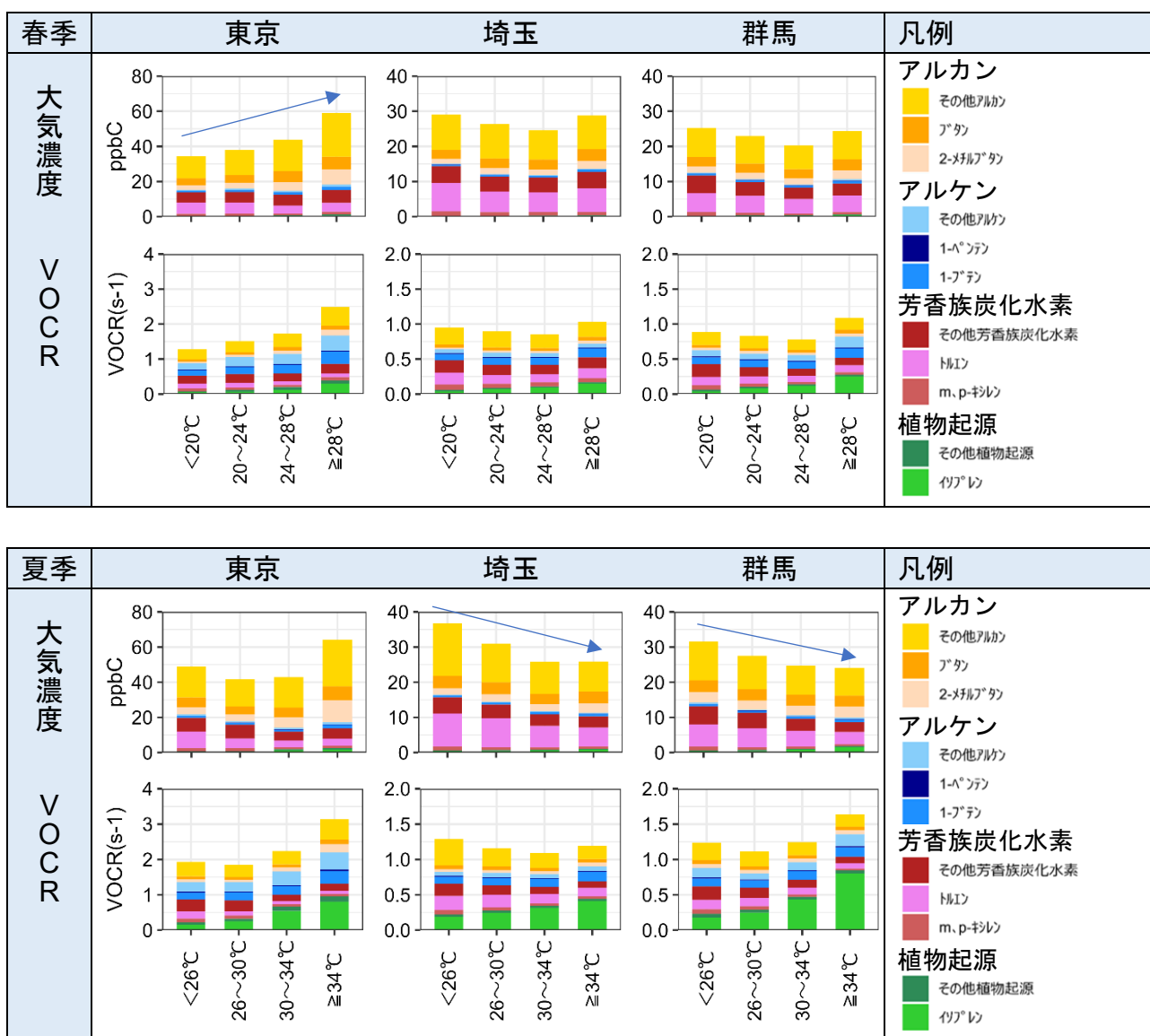


図 4.3-3 春季及び夏季の14時の日最高気温別の大気濃度とVOCR

(4) 光化学オキシダント高濃度日の光化学反応に寄与する VOC 成分と発生源

光化学 Ox に係る VOC 発生源対策を検討する上では、光化学 Ox 生成への寄与の大きい VOC 成分と発生源を明らかにすることが重要であることから、次の解析を行った。

日中の光化学反応により光化学 Ox が生成する一方、VOC は消費されて濃度が低下することから、光化学 Ox の低濃度日に対する高濃度日の VOC 濃度比は、反応性の高い VOC 成分ほど低くなるのが想定される。すなわち反応性の高い成分ほど光化学 Ox 生成への寄与が大きいと言えるため、光化学 Ox の低濃度日に対する高濃度日の VOC 成分濃度の比と VOC の反応速度定数との関係を解析した上で、光化学 Ox 生成寄与が大きい VOC 成分と発生源を推定した。なお、VOC 成分濃度の比の誤差を小さくするため、定量下限値以上の測定値が多いアルカンと芳香族炭化水素を解析の対象とした。

1) 光化学オキシダント高濃度と低濃度日の VOC 成分濃度比と反応性との関係

2017～2021 年度の光化学 Ox 日最高 1 時間値の低濃度日 (30 ppb 以下) に対する高濃度日 (100 ppb 以上) の各 VOC の成分濃度比 (5 年間で光化学 Ox が 100 ppb 以上となった日の VOC 成分濃度平均値 / 光化学 Ox が 30 ppb 以下となった日の VOC 成分濃度平均値) を OH ラジカル反応速度定数に対して示した (図 4.3-4)。低濃度日と高濃度日の出現日数は 2 章-参考資料 8 に示す。光化学 Ox 低濃度日に対する高濃度日の VOC 濃度比は、2 時では反応性によらず概ね一定であったのに対し、14 時では反応性の高い VOC 成分ほど低くなった。このことは、光化学 Ox 生成が活発な条件下で、反応性の高い VOC 成分ほど日中の光化学反応が進む傾向にあったことを示している。

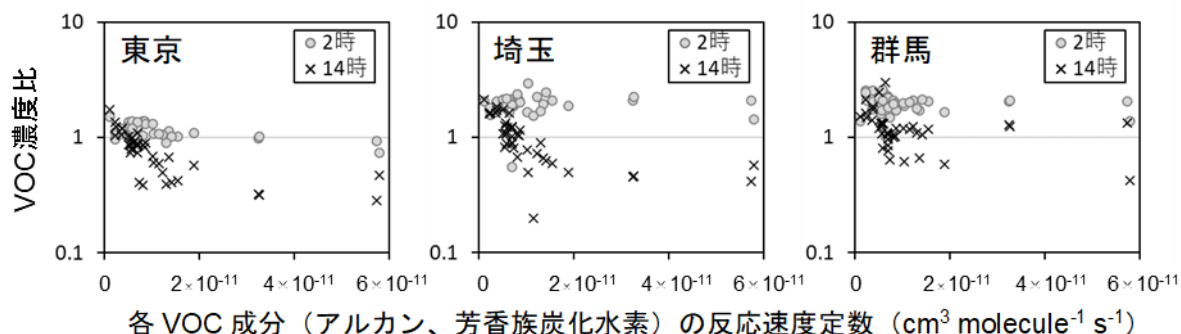


図 4.3-4 光化学オキシダント低濃度日に対する高濃度日の VOC 成分濃度比と OH ラジカル反応速度定数との関係

※光化学オキシダント濃度レベルは 14 時ではなく、その日の日最高 1 時間値で判定した。

2) 光化学オキシダント高濃度時の VOC 成分別の反応量の推計

1)の解析では光化学 Ox 高濃度日には、反応性の高い VOC 成分ほど 14 時 (日中) の光化学反応の進行が示唆される結果であった。ただし、反応の進行した割合を示したもので、実際に反応した量を示したものではない。例えば、反応が同程度に進行した VOC 成分では、大気中の存在量 (大気中への排出量) が多い成分ほど、光化学 Ox 生成への量的な寄与は大きいと考えられる。そこで、VOC 成分毎の「反応した割合」と「排出量」との積を大気中の「反応量」として推計し、光化学 Ox 生成への寄与の大きい VOC 成分と発生源について考察した。ここで「反応した割合」は、各地点の 14 時における、各 VOC の濃度比と測定成

分の中で最も反応性の低いベンゼンの濃度比との差分とした（2章-参考資料8参照）。

解析から得られた反応量推計値の上位15成分の結果を図4.3-6に示した。前述のとおり、様々な仮定に基づいた結果であるが、上位5成分のうち4成分は芳香族炭化水素であり、この芳香族炭化水素4成分の合計は全物質合計の5割以上を占めた（埼玉、群馬の結果は2章-参考資料9に示す）。さらに、各VOC成分の反応量推計値を、揮発性有機化合物（VOC）排出インベントリ⁴及びPM2.5等大気汚染物質排出インベントリ⁵で示された当該都県の成分排出量と発生源構成割合との関係を用いて、発生源に配分した。測定地点の各都県における代表性や、埼玉や群馬では東京都に近い排出量の多い地域からの移流の影響も受けることに留意が必要であるが、3地点とも塗料の割合が4割以上あった。その他、燃料（蒸発ガス）は2割程度を占め、東京が群馬や埼玉に比べて高かった。また、自動車関連は15%程度を占めた。これらのことから、VOC発生源対策の対象成分としては芳香族炭化水素が、また、対象発生源としては塗料、燃料蒸発ガス、自動車の順に重要であることが示唆された。なお、VOC成分の排出量は経年的に低下傾向にあり、継続的な排出抑制が大気中VOC成分濃度の低下に寄与したことが明らかとなった（2章-参考資料10）。

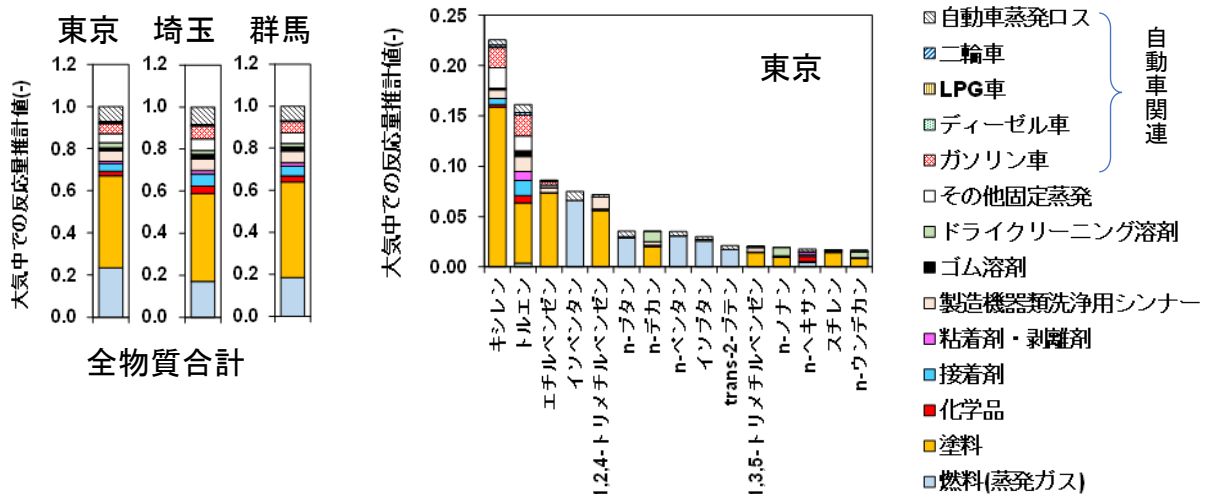


図 4.3-6 大気中での VOC 反応量比率（推計結果）の成分別・発生源別の割合

成分毎の反応量比率は、アルカンと芳香族炭化水素の全物質（41成分）の反応量の合計値に対する成分毎の反応量の割合として表した。

発生源の配分は、環境省揮発性有機化合物（VOC）排出インベントリ⁴及びPM2.5排出インベントリ⁵（2018年対象）で示される成分毎の排出量と発生源の関係に基づいた

5. 2023年度及び2024年度の光化学オキシダント濃度の特徴

前項までの解析では2022年度以前を対象とした。一方、環境省の「令和5年光化学大気汚染の概要－注意報等発令状況、被害届出状況－」では、光化学オキシダント注意報等発令状況は2022年度に比べて2023年度にやや増加したことが示されており、さらに東京都

⁴ 「揮発性有機化合物（VOC）排出インベントリについて 令和6年3月」、（揮発性有機化合物（VOC）排出インベントリ検討会）

⁵ 「令和2年度PM2.5排出インベントリおよび発生源プロファイル整備報告書」（令和2年度PM2.5排出インベントリおよび発生源プロファイル策定検討会事務局）

の「令和6年光化学スモッグの発生状況⁶」では、2024年の発令日数15日（うち夏季が14日）は過去10年間の平均発令日数7.3日を上回った。このような発令日数増加の要因の一つとして2023年度及び2024年度は、それ以前に比べて、とくに夏季の気温が高かったことが考えられる。そこで、2023年度及び2024年度の光化学Ox濃度について、気温も含めた概況を、2015年度からの10年間と比較した。なお、2024年度の光化学Ox濃度は速報値を用いた。

(1) 気温（日最高気温）

2023年度及び2024年度に注意報の発令日数が増加したのは、それ以前に比べて気温が高かったことが、光化学Oxの高濃度出現の要因となった可能性がある。そこで、初めに日最高気温の概況を示す。

【春季】日最高気温の経年変化は、2015~2024年度の10年間で2℃以内と比較的小さく、2023年度及び2024年度に、それ以前の8年間と比べて顕著な上昇は認められなかった。

【夏季】日最高気温の経年変化は春季よりも大きい。特に2023年度及び2024年度はそれ以前の8年間と比較して高く、30℃以上の日数は8割以上となり、34℃以上の日数は2024年度の関東で5割程度、東海以西で6割程度となった。2024年度は2022年度以前の8年間と比べて2℃程度高くなった。

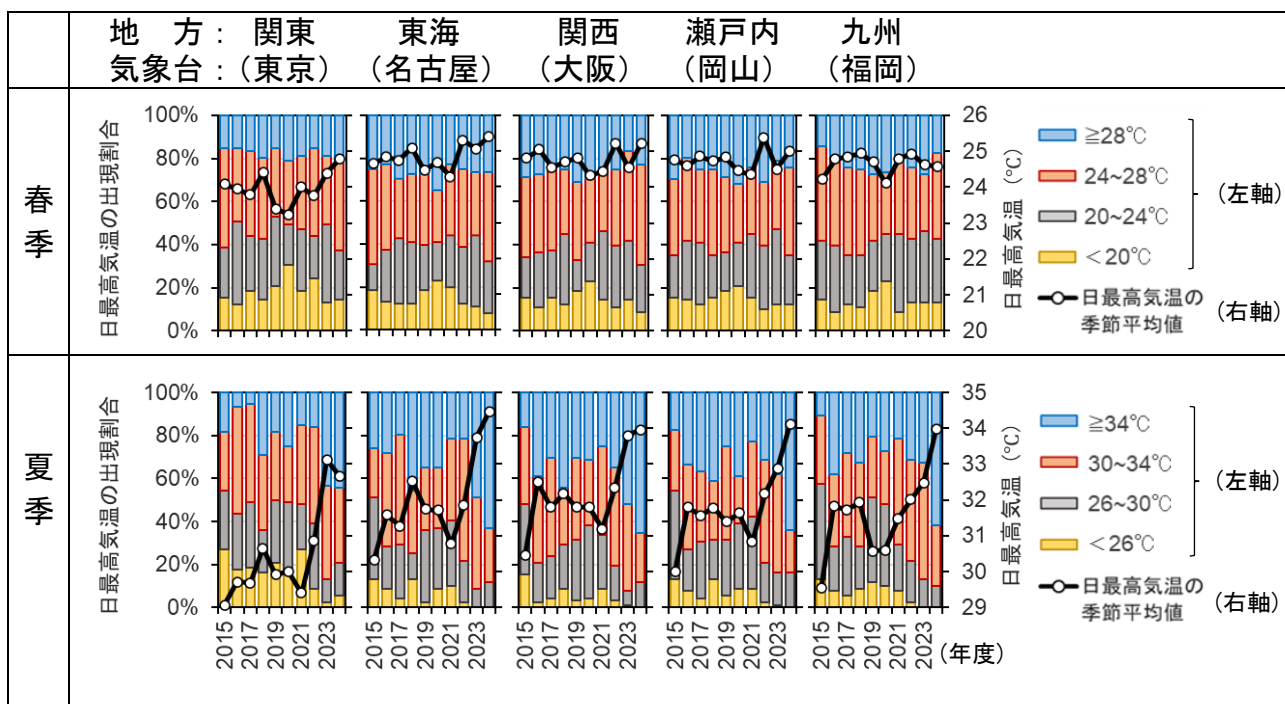


図 5-1 日最高気温（气象台データ）の10年間の変化

(2) 光化学オキシダント（日最高8時間値の季節別の98パーセンタイル値）

2023年度や2024年度の光化学Ox注意報等の発令日数の増加は、(1)で示したように2023年度及び2024年度の夏季に日最高気温の高い日が増えた影響で、光化学Oxの高濃度の出現頻度が増加したことが要因である可能性がある。そこで、光化学Oxの高濃度の指標とし

⁶ <https://www.metro.tokyo.lg.jp/information/press/2025/01/2025012808>

て日最高 8 時間値の季節別の 98 パーセンタイル値（以下、98 パーセンタイル値）の経年変化を示した。（図 5-2）

【春季】2020 年度以降の 98 パーセンタイル値は、5 地域とも 2022 年度にやや高いものの大きな変化はなかった。(1)で示した通り日最高気温に大きな変化がなかったことも一因と考えられる。

【夏季】(1)で 2023 年度に日最高気温が大きく上昇した関東、東海及び関西では、98 パーセンタイル値も 2022 年度に比べて 2023 年度に上昇し、関東では 2024 年度にさらに大きく上昇した。2024 年度に日最高気温が大きく上昇した瀬戸内及び九州では、98 パーセンタイル値も 2023 年度に比べて 2024 年度に大きく上昇した。

関東の夏季では 2023 年度も 2024 年度と同程度に気温が高かったが（図 5-1）、図 5-2 に示した 2023 年度の関東の夏季の 98 パーセンタイル値は 2024 年度ほどの上昇が見られなかった。ただし、2020～2022 年度の 3 年間の平均値に対する濃度変化を空間分布図で示すと、図 5-3 のように 2023 年度は東京北西部や埼玉県、群馬県、栃木県付近等の内陸部で光化学 Ox 濃度が上昇しており、20 ppb 程度上昇した地点も見られた。一方で、東京湾岸部では濃度の上昇が見られず、神奈川県や千葉県では濃度が低下した地域も見られたため、関東全域では 98 パーセンタイル値が上昇しなかった。その一因として図 5-4 に示したように 2023 年に南寄りの風の出現頻度が突出したことがあげられるが、詳細は不明である。（沿岸部から内陸部に吹く南方からの風の日数は 2 章-参考資料 5 に示した条件で熊谷気象台の気象データをもとに算出した。）

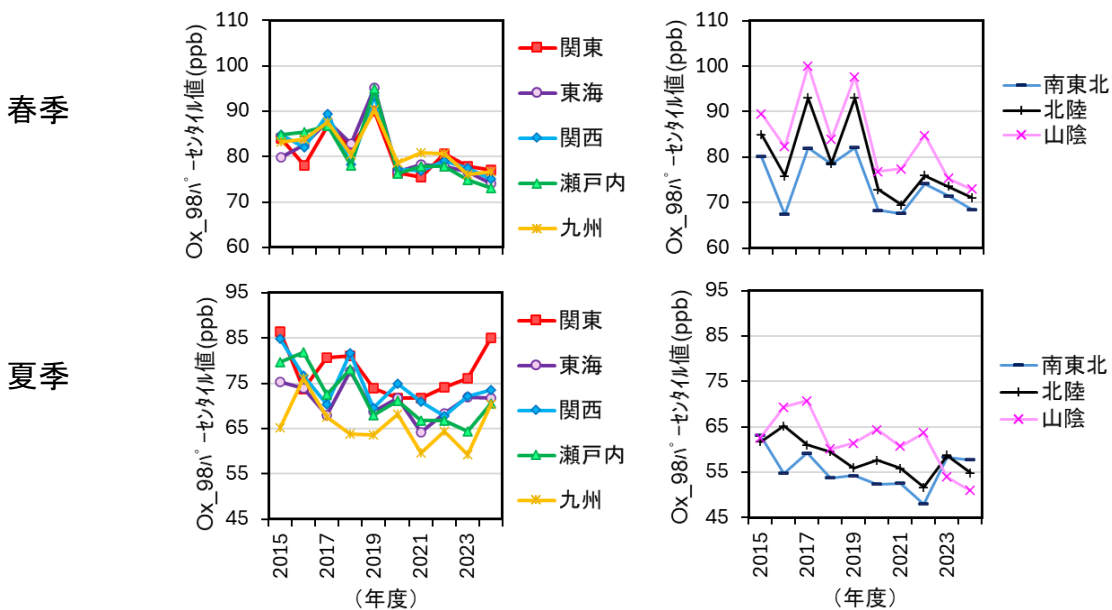


図 5-2 光化学オキシダント濃度の日最高 8 時間値の季節別 98 パーセンタイル値の経年変化

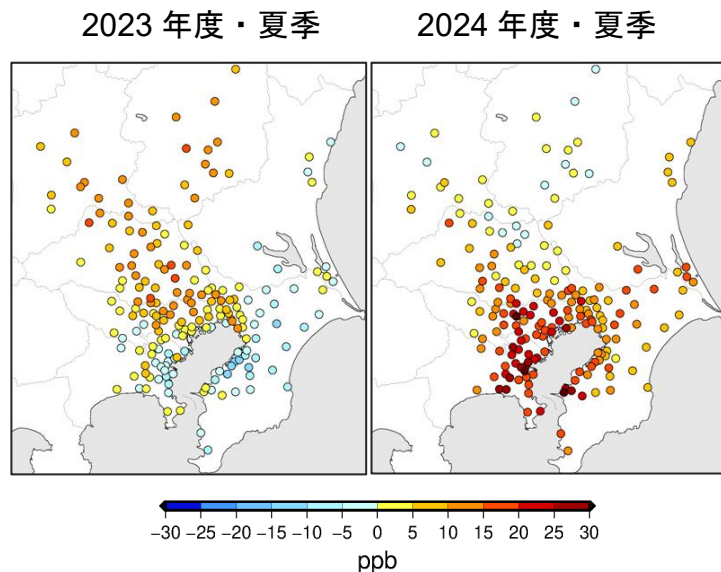


図 5-3 夏季の光化学オキシダント濃度の日最高 8 時間値の 98 パーセンタイル値の 2020~2022 年度平均に対する増減

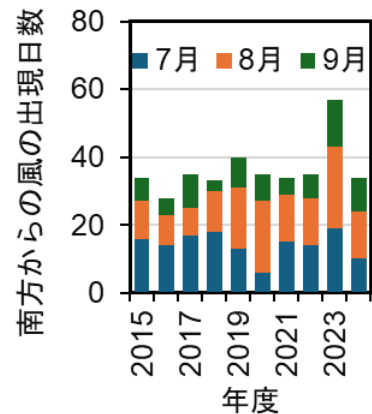


図 5-4 熊谷気象台における夏季の南方からの風の出現頻度

6. まとめ

光化学オキシダント (Ox) 及び前駆物質の大気中濃度の現状を把握するため、本章では環境大気常時監視局で測定された光化学 Ox や前駆物質 (窒素酸化物 NOx 及び非メタン炭化水素 NMHC)、揮発性有機化合物(VOC)自動測定装置による揮発性有機化合物成分の測定結果などを経年的に解析した。その結果、光化学 Ox や前駆物質の長期的な濃度変化の季節別、地域別の特徴や離島局の光化学 Ox 濃度変化の傾向を明らかにするとともに、濃度変化の要因、光化学 Ox 濃度の改善傾向や前駆物質の削減効果などを検討した。ここでは 3 章のシミュレーションモデルによる定量的な解析結果も適宜引用して、本章の結果をまとめる。なお、本検討会の解析により、乾式法と湿式法の間には光化学 Ox の観測結果に濃度差があることを確認したため (2 章-参考資料 1)、以下については 2005~2022 年度の乾式法のみを対象として解析した結果のまとめを示す。また、3 章のシミュレーションでは、2005 年度と 2018 年度を対象としている点に留意されたい。

(1) 光化学 Ox 濃度の長期変化 (図 4.1-1、表 4.1-1)

光化学 Ox の日最高 8 時間値の季節 98 パーセンタイル値 (季節の上位 3 番目の濃度。以下、98 パーセンタイル値と言う) は、夏季の方が春季に比べ低下し、夏季には山陰を除いた地方で有意な低下傾向を示したのに対し、春季にはいずれの地方でも有意な傾向を示さなかった。また、光化学 Ox の日最高 8 時間値の季節平均値の 1 年当たりの濃度低下は夏季には関東等の 5 地方で有意な低下傾向を示したのに対し、春季では瀬戸内以外は有意な低下傾向を示さなかった。

(2) 国内における前駆物質対策の効果

これまでにばい煙に係る固定発生源対策、自動車対策及び VOC 排出削減対策等が行われてきたこともあり、解析対象期間である 2005 年度以降の前駆物質 (NOx、NMHC) 濃度は経年的に低下した (図 4.2.1-4、図 4.2.1-5)。これに対応して、光化学 Ox 濃度の 98 パーセン

タイトル値、注意報発令日数、光化学 Ox の生成濃度（朝 6 時から日最高濃度出現時刻までの上昇分）や高濃度出現率などの高濃度指標が低下したことは、国内の前駆物質削減対策の効果と考えられる。とくに 98 パーセントタイトル値や光化学 Ox 生成濃度の低下傾向は夏季に大きく、これまでの削減対策は夏季の光化学 Ox の高濃度指標の低下に効果が大きかったと考えられる（図 3-3、図 4.1-1、図 4.2.1-2、図 4.2.1-3）。この結果は、3 章のシミュレーションにおいて、2005 年度から 2018 年度への国内の前駆物質排出量の削減によって、光化学 Ox の高濃度指標である上位 5 日平均濃度がとくに夏季に低下した結果からも支持される。

VOC 自動測定装置による多成分 VOC の観測結果を解析した結果、VOC 成分としては芳香族炭化水素、発生源としては塗料、燃料蒸発ガス、自動車を対象にした削減対策を進めるとより効果的であることが示唆された。なお、VOC 成分の排出量は経年的に低下傾向にあり、継続的な排出抑制が大気中 VOC 成分濃度の低下に寄与したことが明らかとなった（2 章-参考資料 10）。

(3) NO タイトレーション効果

光化学反応によるオゾン生成が少ないと考えられる朝 6 時の光化学 Ox 濃度は 2005 年以降、経年的に上昇傾向にあった。このことは NOx 削減にともなう NO タイトレーション効果の低下で概ね説明できる（図 4.2.2-2）。ただし、近年では NO タイトレーション効果の低下で見込まれる程の濃度上昇は見られず、その理由として越境汚染の影響の低下や地域の前駆物質削減等の影響が考えられる。

(4) 越境汚染の影響

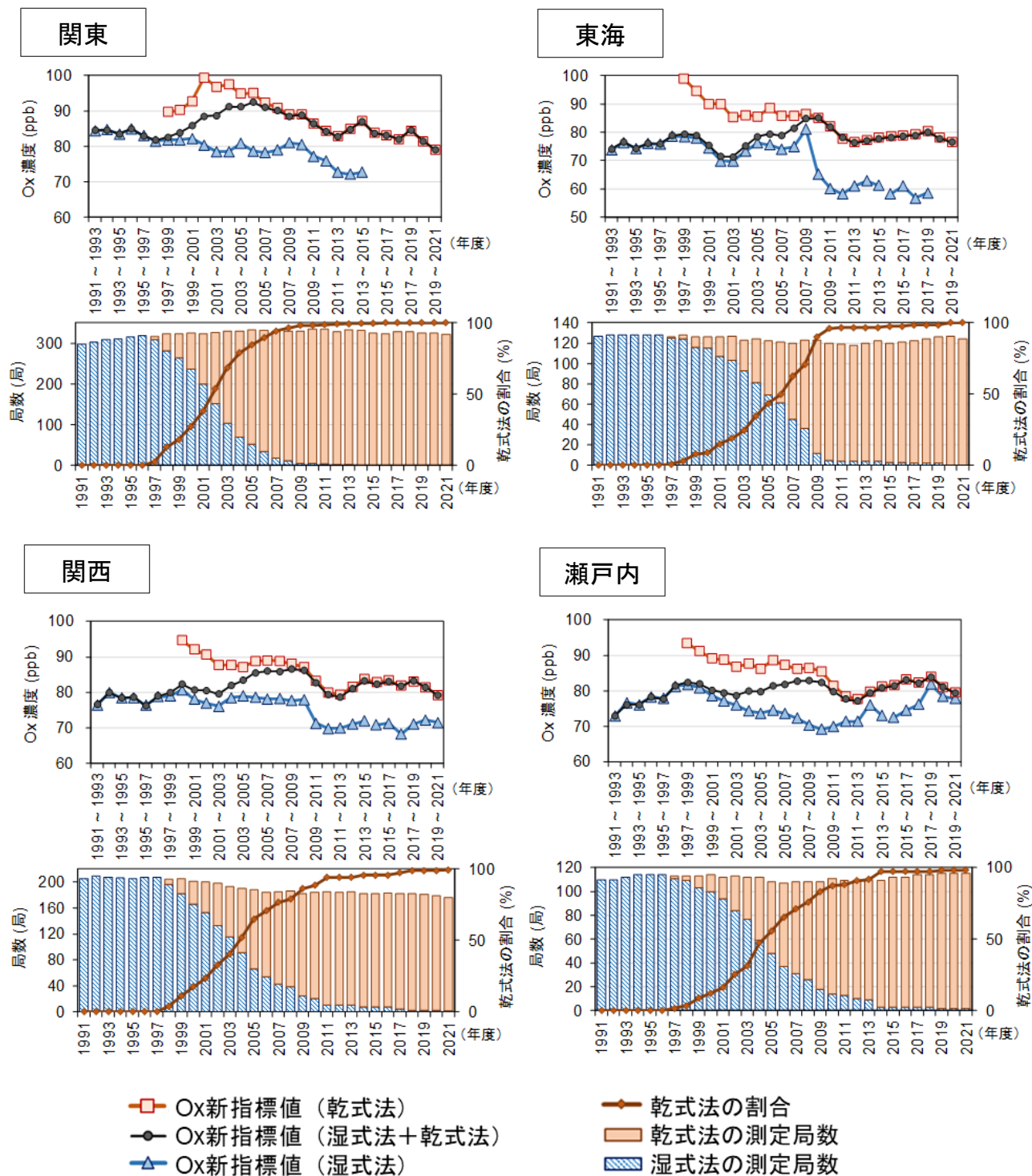
春季の光化学 Ox の 98 パーセントタイトル値や季節平均値は、関東や関西の都市域（前駆物質濃度が高く地域由来の光化学 Ox 生成が多い地域）と比べて、辺戸と小笠原を除く離島や日本海側低 NOx 地点（前駆物質濃度が低く地域由来の光化学 Ox 生成が少ない地域）で高かった（図 4.2.3-4）。このことから、春季の光化学 Ox 濃度は大陸からの越境汚染の影響を受けていたと考えられ、3 章のシミュレーション結果（越境汚染による 2005 年度から 2018 年度の光化学 Ox 濃度の上昇）と整合する。一方、離島や日本海側低 NOx 地点で 2019 年度頃から春季の 98 パーセントタイトル値や季節平均値が低下してきており（図 4.2.3-4）、(3)の 6 時の光化学 Ox 濃度も同時期頃から山陰、北陸及び日本海側低 NOx 地点といった日本海側の地域で顕著な低下が見られた（図 4.2.2-2）。中国のオゾン濃度の上昇も同時期頃から抑えられてきていることも踏まえると（図 4.2.3-1）、越境汚染の影響が変化しつつある可能性がある。このため、東アジア地域のオゾン濃度やオゾン前駆物質排出量の今後の変化を注視していく必要がある。

(5) 気温の影響

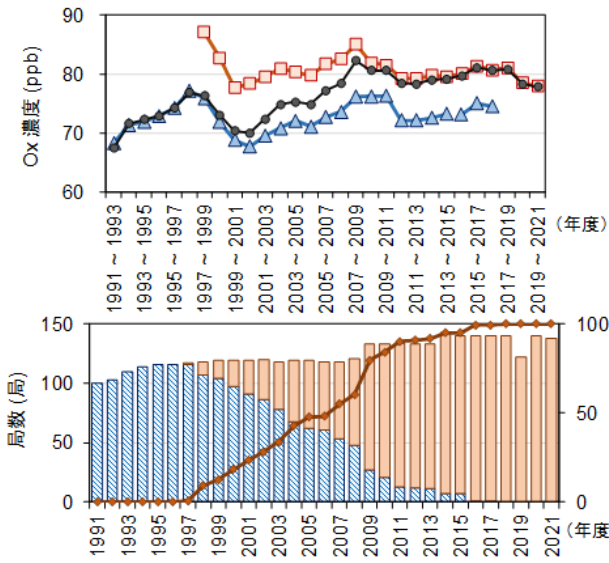
日最高気温が高いほど、光化学 Ox 生成濃度や高濃度出現率は高くなった（図 4.3-1、図 4.3-2）。さらに、2023 年度、2024 年度の夏季は、日最高気温がそれ以前の 8 年間に比べて 2°C 程度高く、2022 年度まで低下傾向を示していた 98 パーセントタイトル値（図 4.1-1）にも上昇が見られた（図 5-2、図 5-3）。このように気温が高い日には高濃度 Ox が出現しやすい結果が得られた。さらに、VOC 成分濃度の解析から、気温が高いほど人為発生源からの VOC 蒸発量や植物起源 VOC の発生量が増加することや、光化学反応が進行することが示唆された（図 4.3-3）。

■ 2章-参考資料 1. 測定方法別の光化学オキシダント新指標値の推移

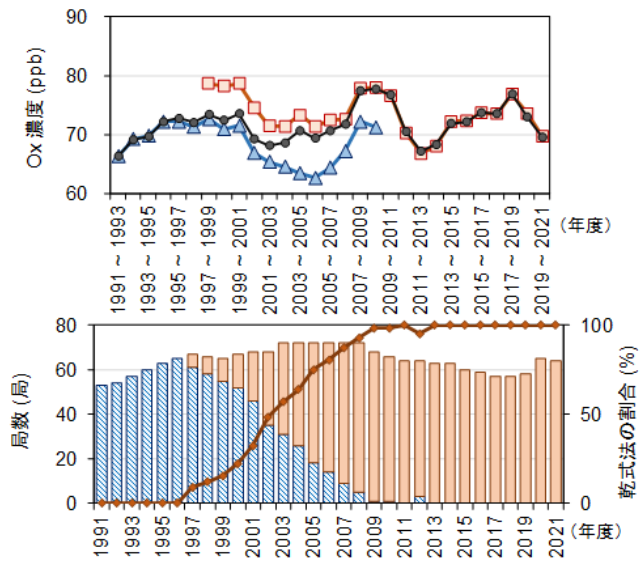
観測結果の解析に使用した光化学 Ox の測定法には湿式法（中性ヨウ化カリウム吸光光度法）と乾式法（ここでは紫外線吸収法）がある。湿式法と乾式法が混在した場合と、両者を区別した場合における、30年程度の新指標値（域内平均値）の推移を参考図 1 に示した。両測定法の測定局数も併せて示した。



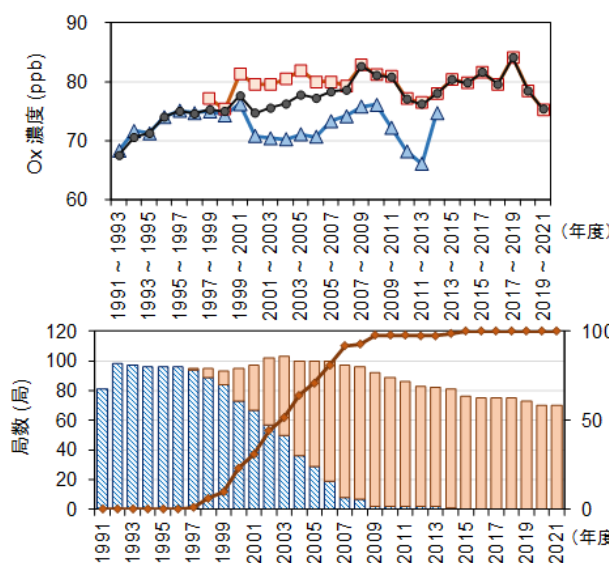
九州



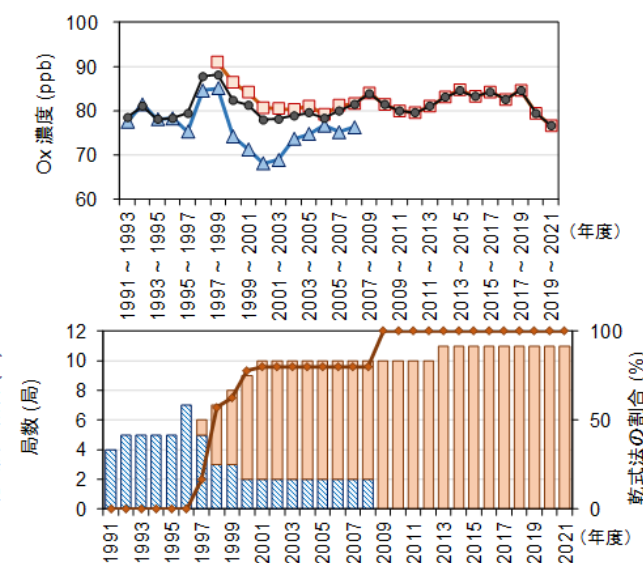
南東北



北陸



山陰



- Ox新指標値 (乾式法)
- Ox新指標値 (湿式法+乾式法)
- ▲ Ox新指標値 (湿式法)
- 乾式法の割合
- 乾式法の測定局数
- ▨ 湿式法の測定局数

参考図 1(2) 30 年程度の新指標値 (域内平均値) の推移と測定法毎の測定局数

■ 2章-参考資料 2. 光化学 Ox、NOx 及び NMHC の解析の対象とした測定局（補足）

参考表 2-1 「3. 30 年間程度の経年変化の傾向」の解析における対象地方

地方名	該当する都府県
関東：	茨城、栃木、群馬、埼玉、千葉、東京、神奈川
関西：	滋賀、京都、大阪、兵庫、奈良、和歌山
瀬戸内：	岡山、広島、徳島、香川、愛媛
九州：	山口、福岡、佐賀、長崎、熊本、大分

対象地方内で測定法（乾式法・湿式法）を問わず対象期間内（1991～2022 年度）に継続して測定している局を解析に使用

参考表 2-2(1) 2005 年度以降の光化学オキシダント、NOx 及び NMHC の解析対象局数
（関東地方の細分化した地域）

	東京湾岸	湾岸周辺	内陸	湾岸東	その他
光化学 Ox、NOx	67	72	22	21	26
NMHC	40	36	11	9	19

参考表 2-2(2) 2005 年度以降の光化学オキシダント、NOx 及び NMHC の解析対象局数
（関西地方の細分化した地域）

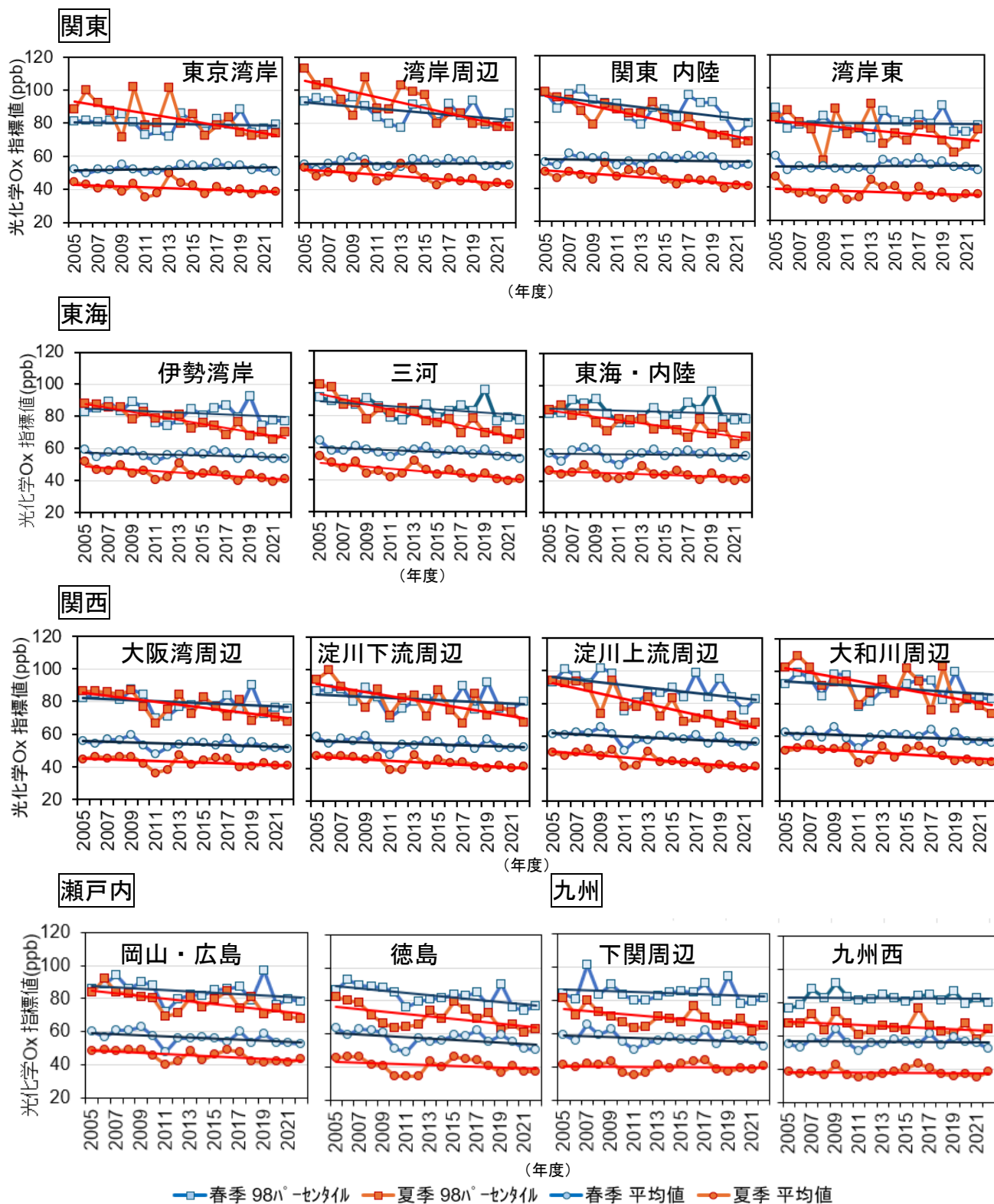
	大阪湾周辺	淀川下流周辺	淀川上流周辺	大和川周辺	その他
光化学 Ox、NOx	32	13	11	8	5
NMHC	14	3	6	1	0

参考表 2-2(3) 2005 年度以降の光化学オキシダント、NOx 及び NMHC の解析対象局数
（瀬戸内及び九州地方の細分化した地域）

	瀬戸内地方		九州地方	
	岡山・広島	徳島	下関周辺	九州西
光化学 Ox、NOx	29	13	22	21
NMHC	5	0	10	6

■ 2章-参考資料 3.

光化学オキシダント日最高 8 時間値の季節別 98 パーセンタイル値及び平均値の
経年変化および平均年間低下量



参考図 3 光化学オキシダント日最高 8 時間値の季節 98 パーセンタイル値及び季節平均値の経年変化

参考表 3(1) 2005～2022 年度における光化学オキシダント日最高 8 時間値の季節 98 パーセンタイル値及び季節平均値の平均年間低下量 (ppb/年) (関東)

	東京湾岸	湾岸周辺	関東・内陸	湾岸東
春季 98 パーセンタイル値	0.11	0.64*	0.84*	0.07
夏季 98 パーセンタイル値	1.2*	1.7*	1.5*	0.72
春季平均値	-0.10	-0.01	0.08	-0.005
夏季平均値	0.23	0.52*	0.50*	0.22

正の数値は経年低下傾向であることを、負の数値は経年上昇傾向であることを示す

* : 有意差あり ($p < 0.05$)

参考表 3(2) 2005～2022 年度における光化学オキシダント日最高 8 時間値の季節 98 パーセンタイル値及び季節平均値の平均年間低下量 (ppb/年) (東海)

	伊勢湾岸	三河	東海・内陸
春季 98 パーセンタイル値	0.30	0.52*	0.19
夏季 98 パーセンタイル値	1.2*	1.6*	1.0*
春季平均値	0.17	0.32*	0.04
夏季平均値	0.46*	0.62*	0.25*

正の数値は経年低下傾向であることを示す

* : 有意差あり ($p < 0.05$)

参考表 3(3) 2005～2022 年度における光化学オキシダント日最高 8 時間値の季節 98 パーセンタイル値及び季節平均値の平均年間低下量 (ppb/年) (関西)

	大阪湾周辺	淀川下流周辺	淀川上流周辺	大和川周辺
春季 98 パーセンタイル値	0.33	0.34	0.80*	0.45
夏季 98 パーセンタイル値	0.94*	1.2*	1.6*	1.3*
春季平均値	0.21	0.22	0.37*	0.23
夏季平均値	0.24	0.41*	0.60*	0.45*

正の数値は経年低下傾向であることを示す

* : 有意差あり ($p < 0.05$)

参考表 3(4) 2005～2022 年度における光化学オキシダント日最高 8 時間値の季節 98 パーセンタイル値及び季節平均値の平均年間低下量 (ppb/年) (瀬戸内、九州)

	岡山・広島	徳島	下関周辺	九州西
春季 98 パーセンタイル値	0.41	0.68*	0.25	0.01
夏季 98 パーセンタイル値	0.84*	0.74*	0.62*	0.34
春季平均値	0.34*	0.40	0.25	0.03
夏季平均値	0.37*	0.26	0.07	0.02

正の数値は経年低下傾向であることを示す

* : 有意差あり ($p < 0.05$)

■ 2章-参考資料 4.

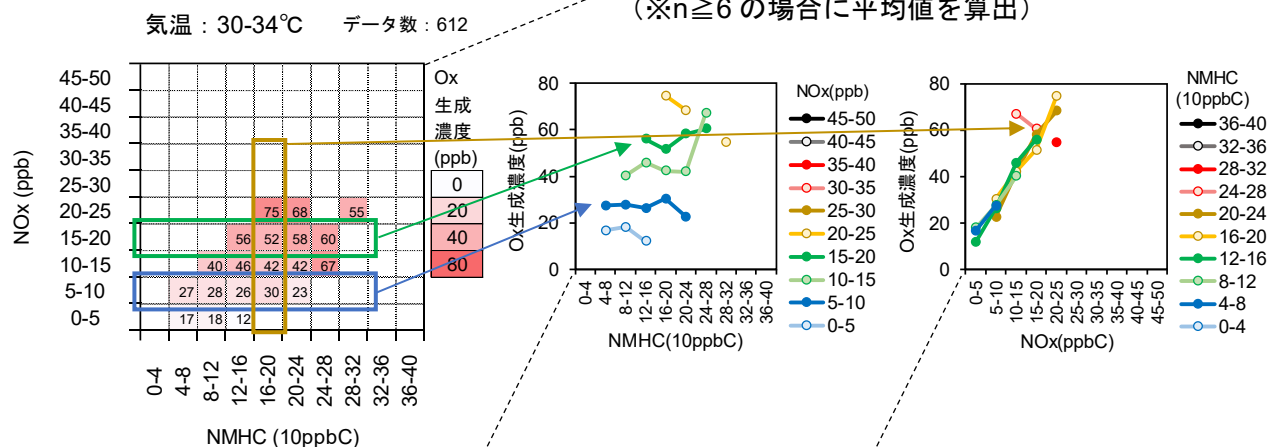
光化学オキシダント生成濃度と前駆物質濃度との関係性の解析

光化学 Ox 生成濃度（日最高濃度と朝 6 時の濃度差）が NOx 濃度と NMHC 濃度のどちらの前駆物質と関係しているか、季節・日最高気温毎に解析した。手法は参考図 4-1 のとおりである。季節と日最高気温（以下、気温）は、4.3.(2)と同じ条件で区分した。

【例】 地方：関東
 地域：Ox 生成濃度：湾岸東、
 前駆物質濃度：湾岸東
 季節：夏
 日最高気温：30～34℃

2005 年度～2022 年度の、日毎の Ox 生成濃度の「湾岸東」地域内の平均値を算出する。
 該当する季節、気温のデータを抽出する。

↓
 横軸の NMHC 濃度と縦軸の NOx 濃度に対応する Ox 生成濃度（平均値）を赤色の濃さで示す。
 （※n≥6 の場合に平均値を算出）



NOx 濃度レベル毎に NMHC 濃度と Ox 生成濃度との関係図を作成
 ⇒ この場合、
 NMHC 濃度の増減に対して、
 Ox 生成濃度の変化は弱い

NMHC 濃度レベル毎に NOx 濃度と Ox 生成濃度との関係図を作成
 ⇒ この場合、
 NOx 濃度の増減に応じて、
 Ox 生成濃度も増減する

※ 関係性の具体的な判定基準は、参考図 4-2 に示す。

参考図 4-1 光化学オキシダント生成濃度と前駆物質濃度との関係の解析方法

この関係性の解析結果から、参考図 4-2 の基準をもとに判定を行った。
 全体の傾向を参考表 4 に示す。

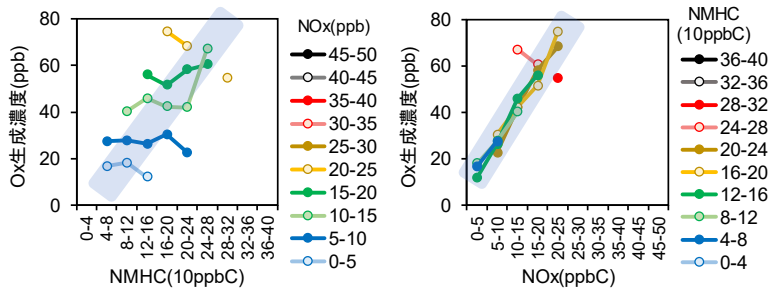
- ✧ 春季に比べて夏季に、さらに気温が高いほど、NMHC (VOC) との関係が強くなる傾向にあった。高温条件で NMHC との関係が強くなる理由は明らかにできていないが、4.3.(3)の VOC 成分の解析結果では、気温が高いほど発生源からの蒸発量や植物からの放出量が増え、光化学反応も進行しやすいことが示唆されている。
- ✧ 関東では東京湾岸で気温が高いときに VOC との関係が強かった。同様の傾向は東海では伊勢湾岸、関西では大阪湾周辺でも見られた。関東のそれ以外の地域では NOx と関係が強く、また、関西では内陸側の淀川上流周辺ではやや NOx の影響が強くなった。ただし関東の「湾岸東」のように、本章では NOx との関係が強いが 3 章のシミュレー

ションでは VOC との関係が強くなる結果も得られた。

- ☆ また、内陸側である湾岸周辺の春季や、淀川上流の春季・夏季では海風の条件で解析することで VOC の影響が強くなる傾向が見られた（2章-参考資料5参照）。
- ☆ 瀬戸内や九州では夏季に VOC との関係が強かった。

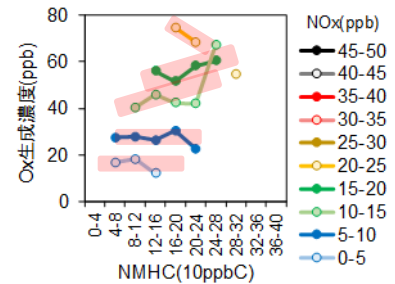
① 全データを用いて、相関係数を求める

- ・ 相関係数が 0.95 以上であれば、関係が強いと判定
- ・ 相関係数が 0.85 以上であれば、②と合わせて判定
- ・ 相関係数が 0.85 未満であれば、関係なしと判定



② NOx 濃度レベル別（または NMHC 濃度レベル別）の傾きを求める（右図イメージ）。

- ・ それぞれの傾きの平均値が、①の全データを用いた傾きの 0.5 倍以上あれば、関係が強いと判定
- ・ 上記未満であれば、関係なしと判定



参考図 4-2 光化学オキシダント生成濃度と前駆物質濃度との関係性の判定基準

参考表 4 光化学オキシダント生成濃度と前駆物質濃度との関係

地方	対象地域 Ox 生成濃度－前駆物質	春季				夏季			
		日最高気温				日最高気温			
		<20	20-24	24-28	≥28	<26	26-30	30-34	≥34
関東	東京湾岸－東京湾岸	?	N	VN	VN	N	N	V	?
	湾岸周辺－東京湾岸	?	N	N	N	?	?	N	?
	内陸－東京湾岸	?	?	V	N	?	?	N	N
	湾岸東－湾岸東	N	N	N	-	N	N	N	-
東海	伊勢湾岸－伊勢湾岸	N	N	N	N	-	N ^{*f}	N	VN
	内陸－伊勢湾岸	?	N	N	N	-	?	?	V ^{*d}
	三河－三河	N	N	N	N	-	N	N	N
	内陸－三河	N	N	N	N	-	N ^{*e}	N	?
関西	大阪湾周辺－大阪湾周辺	N ^{*f}	N ^{*h}	VN	V	-	N	V ^{*b}	V
	淀川下流－大阪湾周辺	?	N ^{*h}	VN	V	-	N	V ^{*c}	V
	淀川上流－大阪湾周辺	?	N	VN	VN	-	N	N	VN
	大和川周辺－大阪湾周辺	N	?	?	?	-	?	V ^{*b}	?
瀬戸内	岡山県－岡山県	?	N	N	?	-	V ^{*c}	V ^{*d}	?
	広島県－広島県	N	N	N	?	-	V	V ^{*b}	V ^{*a}
九州	下関周辺－下関周辺	N	N	N	N	-	N	VN	V
	九州西－九州西	N	N	N	N	-	N	N	VN

データ数 200 以上の場合に評価した。

- : データ数 200 未満のため評価せず

N : 光化学オキシダント生成濃度が NOx と関係がみられる

V : 光化学オキシダント生成濃度が NMHC と関係がみられる

VN : 光化学オキシダント生成濃度が NOx と NMHC の両方と関係がみられる

? : 光化学オキシダント生成濃度と前駆物質濃度との関係は不明である

*a~h : 以下の濃度範囲に限り関係がみられる

*a: NMHC 0-160 ppb

*d: NMHC 0-280 ppb

*g: NOx 0-35 ppb

*b: NMHC 0-200 ppb

*e: NOx 0-25 ppb

*h: NOx 0-45 ppb

*c: NMHC 0-240 ppb

*f: NOx 0-30 ppb

■ 2章-参考資料 5.

風向条件による光化学オキシダント生成濃度と前駆物質濃度との関係の変化

参考資料 4 の解析を、さらに風向条件別で実施した。

条件

- ◇ 関東と関西について、風向別の解析を実施した。
- ◇ 光化学 Ox 生成濃度の評価地点が前駆物質の発生地域と同じ沿岸域の場合には「弱風」を、前駆物質の発生地域と異なる内陸側の場合には「海風」を対象とした。
 - 関東：東京湾岸、湾岸東：弱風
 - 関東：湾岸周辺、内陸：海風
 - 関西：大阪湾周辺：弱風
 - 関西：淀川下流、淀川上流、大和川周辺：海風

◇ 風向の判定は次のとおり。

1) 風向風速の区分

区分：海風、陸風、弱風の 3 区分

2) 判定に用いる時刻

地域区分毎に、光化学 Ox 日最高 1 時間値の地域平均値を基準として、前 4 時間～後 2 時間の計 7 時間を対象とする。例えば、14 時に日最高濃度となる場合には、10 時～16 時の風向風速データを対象とする。

3) 判定方法

- 海風：7 時間のうち、4 時間以上沿岸からの風向、かつ、2 時間以上連続で(A)m/s 以上
- 陸風：7 時間のうち、4 時間以上内陸からの風向、かつ、2 時間以上連続で(A)m/s 以上
- 弱風：7 時間のうち、4 時間以上、風速が(A)m/s 未満

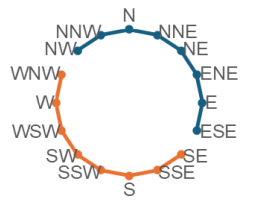
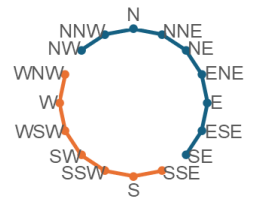
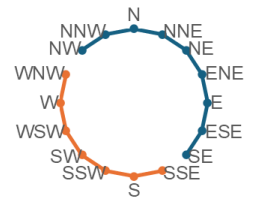
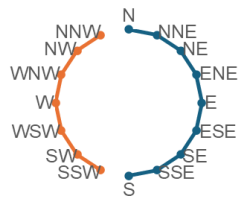
関東地方

	東京湾岸	湾岸周辺	内陸	湾岸東
風向				
風速(A)	2.5 m/s, 弱風 3.5 m/s	2.5 m/s	2.5 m/s	2.5 m/s, 弱風 4 m/s
气象台	東京	熊谷	前橋	千葉

※東京湾岸、湾岸周辺、内陸の風向区分は、吉門と西田(2014)⁷を参考にした

⁷ 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，49，59-67 (2014).

関西地方

	大阪湾周辺	淀川下流周辺	淀川上流周辺	大和川周辺
風向 ●海風 ●陸風				
風速(A)	2 m/s, 弱風 2.5m/s	2 m/s, 弱風 2.5m/s	2 m/s, 弱風 2.5m/s	2.5 m/s
气象台	大阪	大阪	京都	八尾

結果

- ◇ 内陸側である湾岸周辺の春季や、淀川上流の春季・夏季では海風の条件で解析することで VOC の影響が強くなる傾向が見られた。
- ◇ 風向条件を追加することで解析に使えるデータ数が少なくなり、東京湾岸や大阪湾周辺では解析できない場合が多かった。

参考表 5 風向条件の有無での光化学オキシダント生成濃度と前駆物質濃度との関係

地方	対象地域 Ox 生成濃度－前駆物質	春季				夏季			
		24-28℃		≥28℃		30-34℃		≥34℃	
		無	有	無	有	無	有	無	有
関東	東京湾岸－東京湾岸	VN	VN	VN	-	V	?	?	-
	湾岸周辺－東京湾岸	N	V	N	VN	N	N	?	N
	内陸－東京湾岸	V	VN	N	N	N	N	N	N
	湾岸東－湾岸東	N	N	-	-	N	N	-	-
関西	大阪湾周辺－大阪湾周辺	VN	-	V	-	V ^{*b}	-	V	-
	淀川下流－大阪湾周辺	VN	V	V	V	V ^{*c}	V ^{*c}	V	V
	淀川上流－大阪湾周辺	VN	V	VN	V	N	N	VN	V
	大和川周辺－大阪湾周辺	?	?	?	V	V ^{*b}	V ^{*c}	?	?

「無」風向条件無し、「有」風向条件有り

データ数 200 以上の場合に評価した。

- : データ数 200 未満のため評価せず

N : 光化学オキシダント生成濃度が NOx と関係がみられる

V : 光化学オキシダント生成濃度が NMHC と関係がみられる

VN : 光化学オキシダント生成濃度が NOx と NMHC の両方と関係がみられる

? : 光化学オキシダント生成濃度と前駆物質濃度との関係は不明である

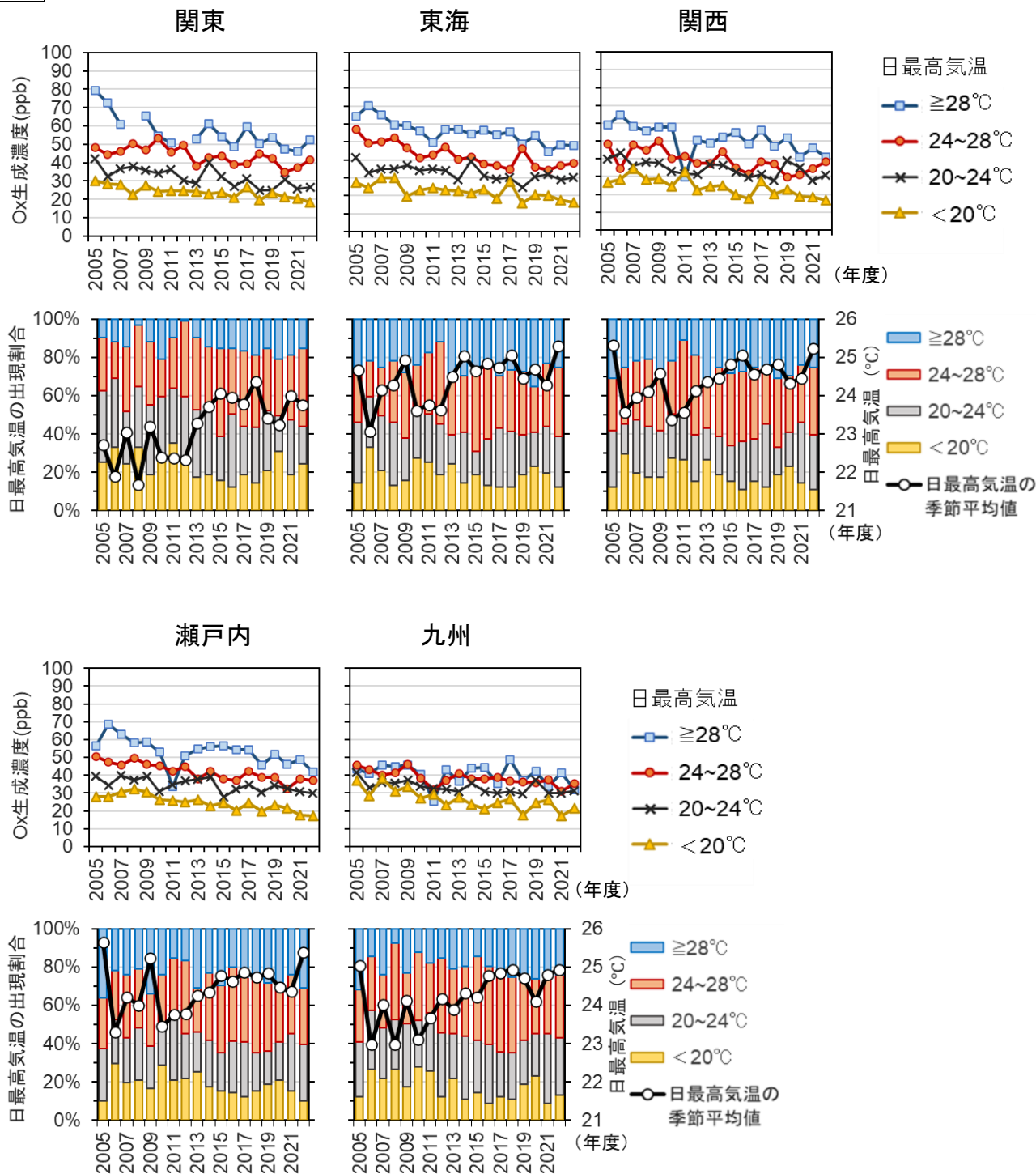
*b~c : 以下の濃度範囲に限り関係がみられる

*b: NMHC 0-200ppb

*c: NMHC 0-240 ppb

■ 2章-参考資料 6. 光化学オキシダント生成濃度の日最高気温別の経年変化

春季

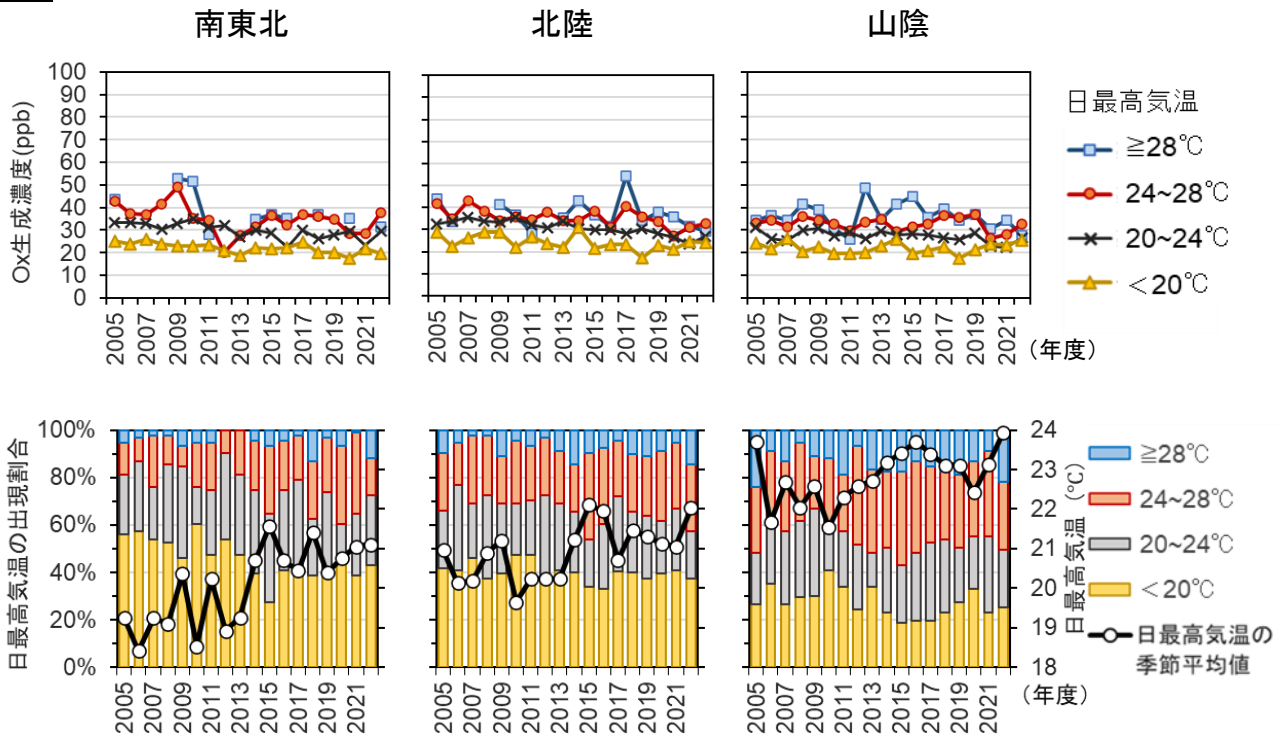


参考図 6-1(1) 日最高気温別の光化学オキシダント生成濃度と日最高気温出現割合の経年変化 (春季)

日最高気温は気象庁地上気象観測地点のデータから作成

(関東：東京、東海：名古屋、関西：大阪、瀬戸内：岡山、九州：福岡)

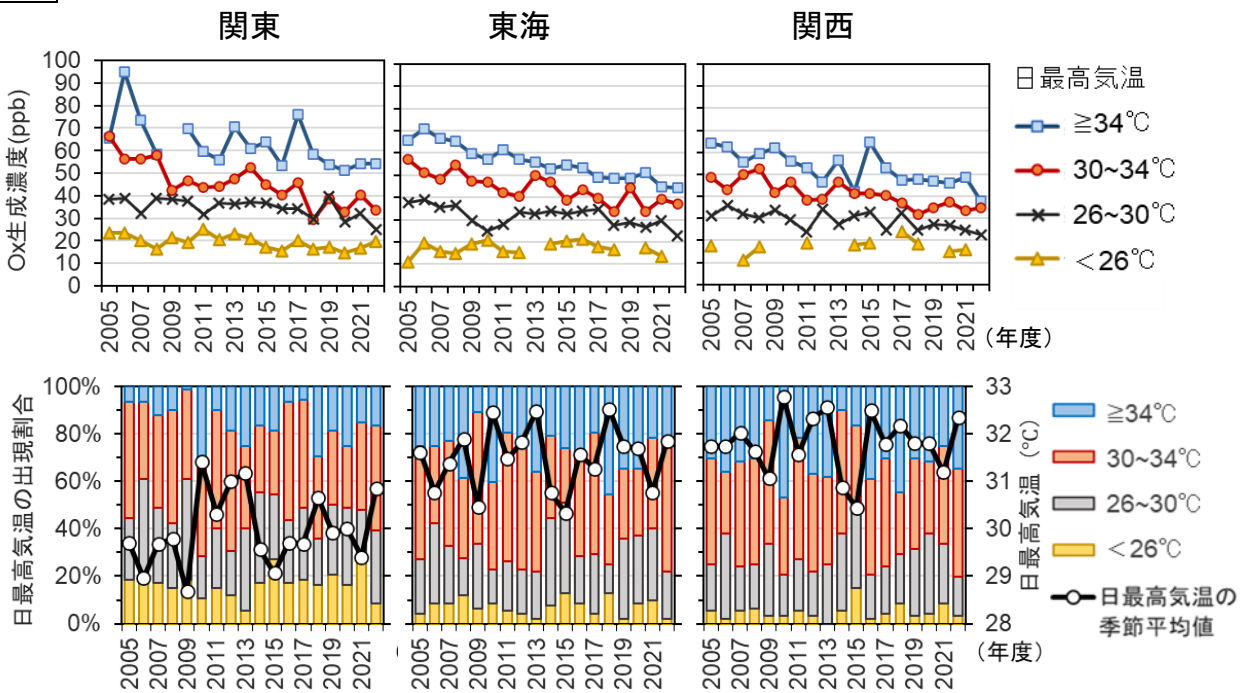
春季



参考図 6-1(2) 日最高気温別の光化学オキシダント生成濃度と日最高気温出現割合の経年変化 (春季)

日最高気温は気象庁地上気象観測地点のデータから作成 (南東北: 仙台、北陸・新潟: 新潟、山陰: 松江)

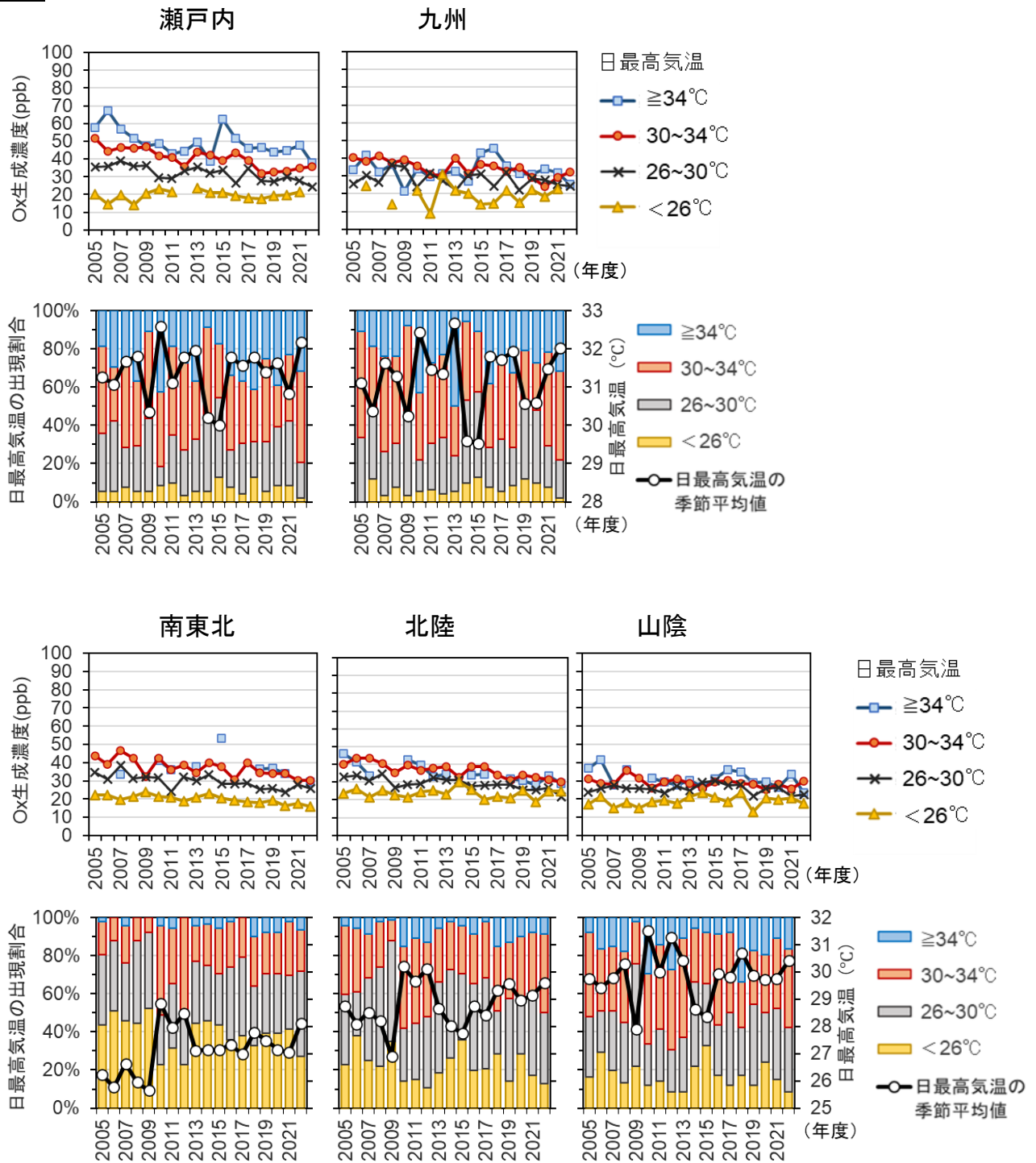
夏季



参考図 6-2(1) 日最高気温別の光化学オキシダント生成濃度と日最高気温出現割合の経年変化 (夏季)

日最高気温は気象庁地上気象観測地点のデータから作成 (関東: 東京、東海: 名古屋、関西: 大阪)

夏季



参考図 6-2(2) 日最高気温別の光化学オキシダント生成濃度と日最高気温出現割合の経年変化（夏季）

日最高気温は気象庁地上気象観測地点のデータから作成

（瀬戸内：岡山、九州：福岡、南東北：仙台、北陸：新潟、山陰：松江）

■ 2章-参考資料7. VOCの大気濃度からVOCRへの換算式とOHラジカル反応速度定数

●VOC大気濃度からVOCRへの換算式

$$\text{VOCR}(\text{s}^{-1}) = \frac{C}{M} \times 10^{-12} \times 6.022 \times 10^{23} \times k$$

C : VOCの大気濃度 (μg/m³)

M : VOCの分子量

6.022×10²³ : 1mol当たりの分子数

k : OHラジカル反応速度定数 (cm³ molecule⁻¹ s⁻¹)

参考表7 VOCRの計算に用いたVOC毎のOHラジカル反応速度定数

物質名	反応速度定数*	反応時の温度(°C)	物質名	反応速度定数*	反応時の温度(°C)
イブタン	2.34	25	2,3,4-トリメチルペンタン	6.99	25
ブタン	2.54	25	トルエン	5.96	25
1-ブテン	31.4	25	2-メチルブタン	8.28	25
trans-2-ブテン	63.9	25	3-メチルブタン	8.56	25
cis-2-ブテン	56.4	25	オクタン	8.68	25
2-メチルブタン	3.60	25	エチルベンゼン	7.0	25
1-ヘンテン	31.9	25	m-キシレン	23.6	25
イブレン	101	25	p-キシレン	14.3	25
ペンタン	3.94	25	o-キシレン	13.7	25
trans-2-ヘンテン	66.9	25	スチレン	58	25
cis-2-ヘンテン	65.4	25	ノナン	10.2	25
2,2-ジメチルブタン	2.32	25	クメン	6.50	25
シクロペンタン	5.16	25	n-プロピルベンゼン	6.1	25
2,3-ジメチルブタン	6.2	25	α-ヒネン	53.7	25
2-メチルペンタン	5.57	25	β-ヒネン	74.0	-
3-メチルペンタン	5.70	25	1,3,5-トリメチルベンゼン	57.5	25
2-メチル-1-ヘンテン	63.0	25	1,2,4-トリメチルベンゼン	32.5	25
ヘキサン	5.61	25	m-エチルトルエン ³	19.2	-
メチルシクロペンタン	5.66	25	p-エチルトルエン	12.1	-
ベンゼン	1.23	25	o-エチルトルエン	12.3	25
シクロヘキサン	7.49	25	デカン	11.6	25
2-メチルヘキサン	6.86	25	1,2,3-トリメチルベンゼン	32.7	25
2,4-ジメチルペンタン	5.16	25	m-ジエチルベンゼン	14.2	25
2,3-ジメチルペンタン	7.14	25	p-ジエチルベンゼン	8.11	25
3-メチルヘキサン	7.15	25	ウンデカン	13.2	25
2,2,4-トリメチルペンタン	3.68	25	カンフェン	53.3	23
ヘプタン	7.15	25	リモネン	149	35
メチルシクロヘキサン	10.4	25	p-シメン	15.1	22

* 単位 : 10⁻¹² cm³ molecule⁻¹ s⁻¹

■ 2章-参考資料 8. 光化学オキシダント高濃度日の光化学反応性に寄与する VOC 成分と発生源の解析に係る解析条件

(1) 光化学オキシダント濃度の高濃度日及び低濃度日の設定条件と出現日数

◇ 光化学 Ox の高濃度及び低濃度を判定する測定局：

東京、埼玉及び群馬それぞれにおいて近傍の 3 局を選定

東京：中央区晴海、江東区大島、江戸川区春江町（測定値地点から 5 km 圏内）

埼玉：鴻巣、加須、久喜（測定地点から 10 km 圏内）

群馬：前橋南、衛生研究所、前橋東（測定地点から 5 km 圏内）

◇ 高濃度日の条件：

上記 3 局のいずれかで、2017～2021 年度の光化学 Ox 日最高 1 時間値が 100 ppb 以上の日

◇ 低濃度日の条件：

➤ 東京：2017～2021 年度の 4～9 月において、3 局全ての光化学 Ox 日最高 1 時間値が 30 ppb 以下の日

➤ 埼玉、群馬：2017～2021 年度の 4～9 月において、3 局いずれかの光化学 Ox 日最高 1 時間値が 30 ppb 以下の日

参考表 8 光化学オキシダントの高濃度日と低濃度日の出現日数と気象条件

	光化学 Ox 濃度レベル	出現日数 (日)	日最高気温 (°C)	日射量平均値 (MJ/m ²)	Ox 平均濃度 (ppb)
東京	高濃度	32	32.8	22.09	104
	低濃度	77	28.9	12.50	21
埼玉	高濃度	52	33.9	—*	107
	低濃度	64	26.6	—*	26
群馬	高濃度	29	32.6	24.82	112
	低濃度	43	25.6	7.73	27

東京の気象データ：東京管区気象台
 埼玉の気象データ：熊谷地方気象台（*熊谷気象台では日射量の観測は行っていない）
 群馬の気象データ：前橋地方気象台

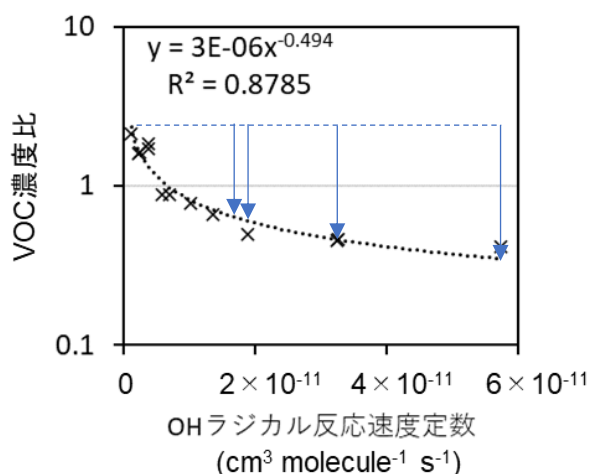
(2) 光化学オキシダント高濃度時の VOC 成分の反応量の推計方法

VOC 成分毎の「反応量」は「反応した割合」と「排出量」との積として推計した。

「反応した割合」は下記のとおり、各地点の 14 時における、各 VOC の濃度比と測定成分の中で最も反応性の低いベンゼンの濃度比との差分とした。

◇ 図 4.3-4 の結果には、大気中で低濃度の VOC 成分による定量下限値付近の数値も含まれるため、図示した比は誤差が大きいものも含まれた可能性がある。そこで観測された濃度の比較的高い成分を抽出して図 4.3-4 の 14 時と同様の図を作成し、地点ごとに OH ラジカル反応速度定数と VOC 濃度比との関係式を算出した（埼玉を例として参考図 8）。

- ◇ 大気中に排出された VOC が参考図 8 に例示した関係式に従って反応したと仮定し、各 VOC の OH ラジカル反応速度定数を地点毎の関係式に当てはめ、各 VOC の濃度比を算出した。測定成分の中で最も反応性の低いベンゼンの濃度比に対する各 VOC の濃度比の低下分を大気中での「反応した割合」とした。



関係式から各 VOC の OH ラジカル反応速度定数に対応する VOC 濃度比を算出する



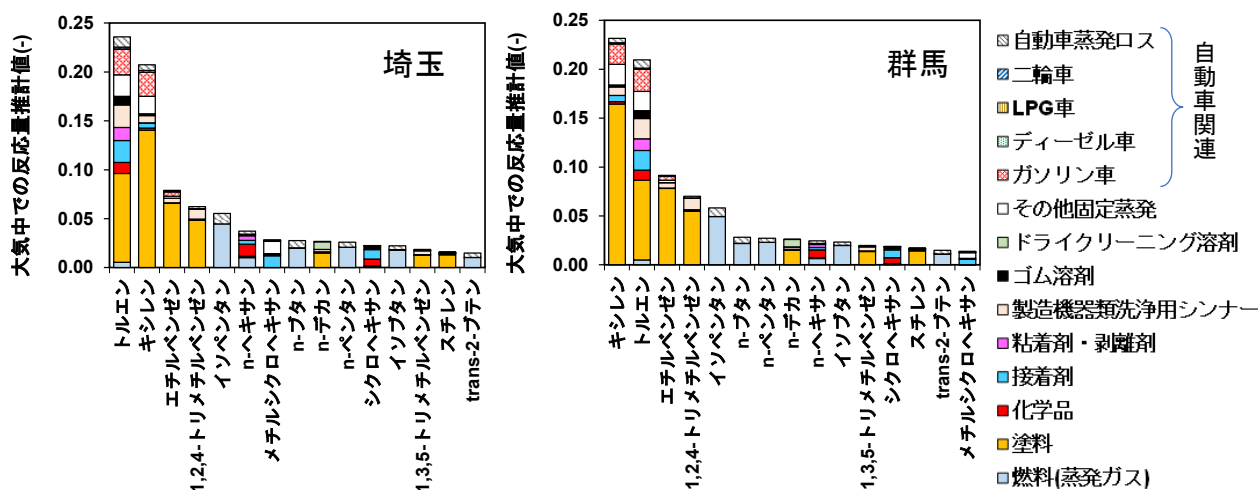
反応性の最も低いベンゼンの濃度比に対する各 VOC の濃度比の低下分を、大気中で「反応した割合」とする



VOC 成分毎の「反応した割合」と大気中への「排出量」との積を、「反応量推計値」として推計する。

参考図 8 OH ラジカル反応速度定数と VOC 濃度比との関係式の例
(図 4.3-4 の埼玉の 14 時について、VOC 濃度が高い成分の結果のみで作成)

2 章-参考資料 9. 大気中 VOC 反応量試算値の成分間比較



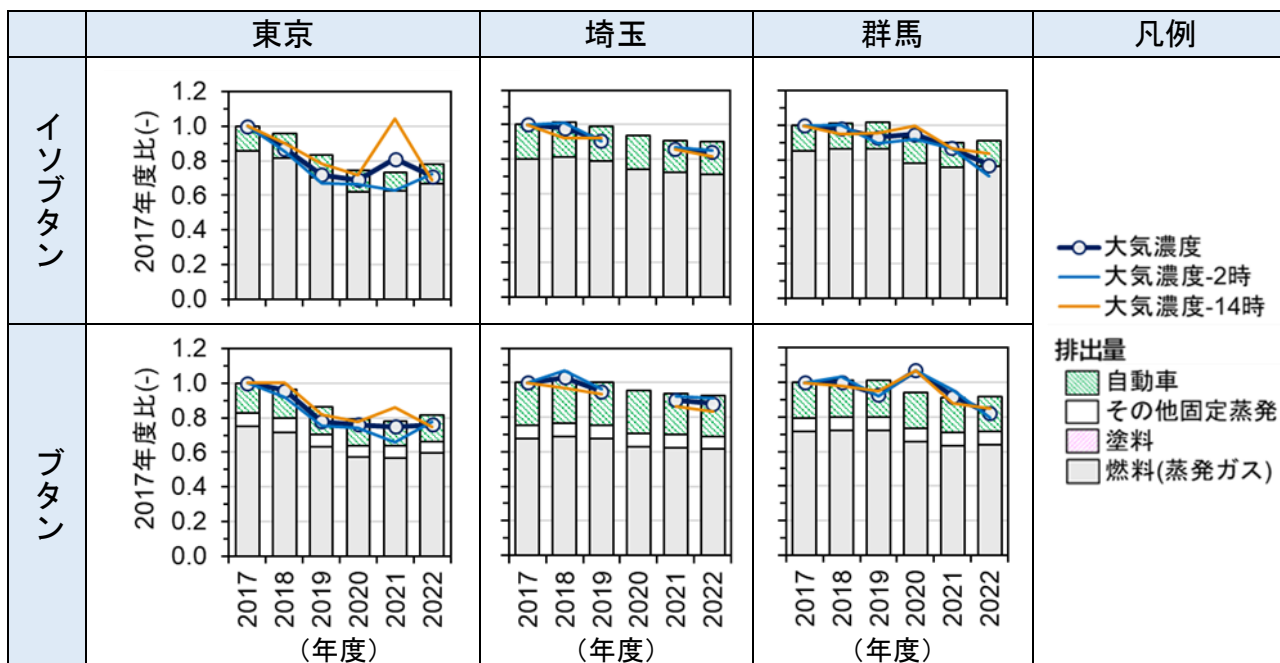
参考図 9 大気中での VOC 反応量比率 (推計結果) の成分別・発生源別の割合
成分毎の反応量比率は、アルカンと芳香族炭化水素の全物質 (41 成分) の反応量の合計値に対する成分毎の反応量の割合として表した。
発生源の配分は、環境省揮発性有機化合物 (VOC) 排出インベントリ⁴ 及び PM2.5 排出インベントリ⁵ (2018 年対象) で示される成分毎の排出量と発生源の関係に基づいた

■ 2章-参考資料 10. 2017年度を基準としたVOC排出量と大気濃度の経年変化

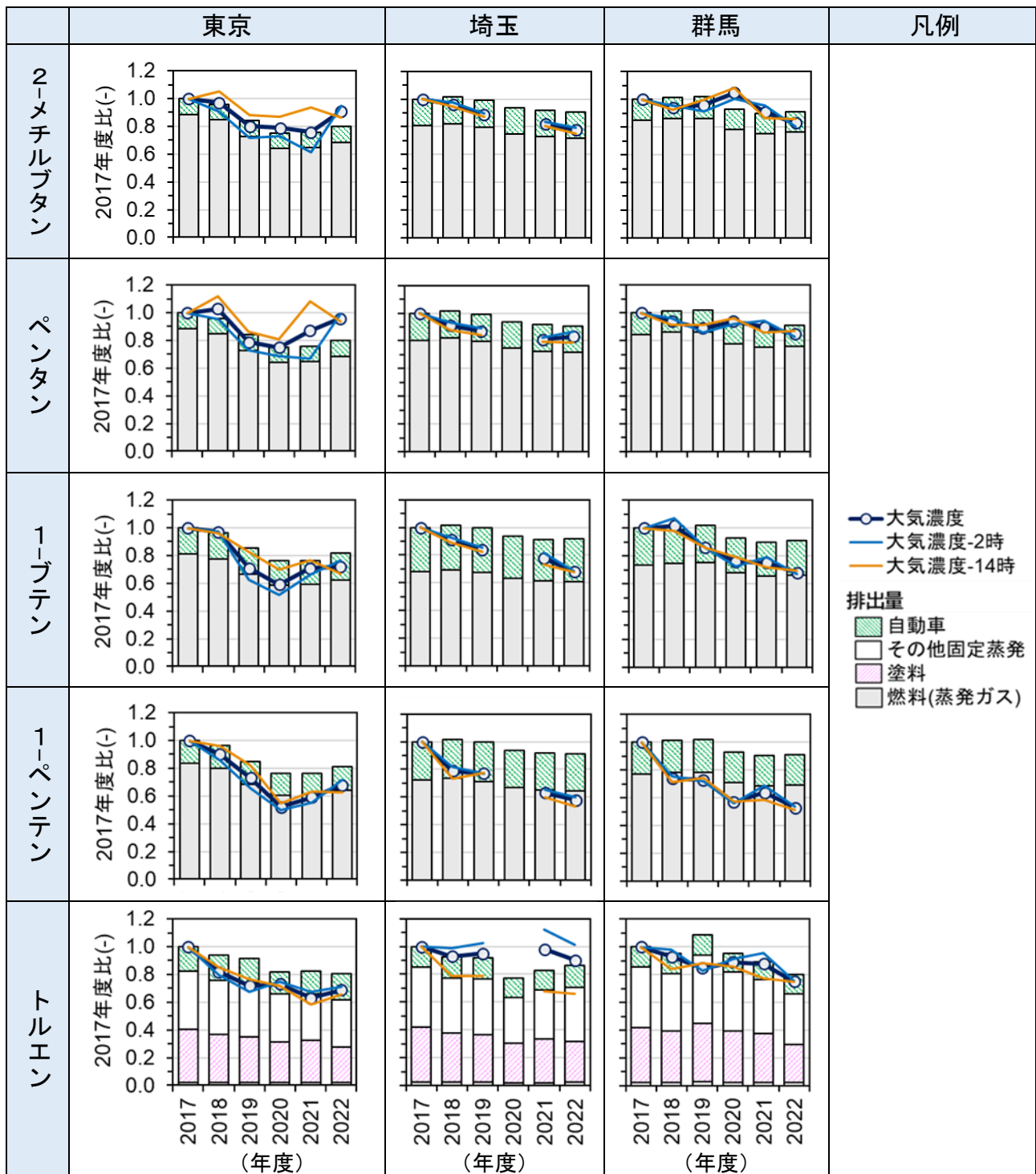
4.2.1(2)でNMHC濃度は長期的に低下傾向であったが、NMHCには植物起源VOCのように人為的排出ではないものも含まれる。ここでは、人為的排出量の削減がVOC大気濃度に及ぼす影響を確認するため、VOC成分別に、当該県の固定蒸発発生源及び自動車の排出量推計値(年間排出量)と大気濃度(年平均値)の経年変化の傾向を、2017年度を基準として相対的に比較した。

結果を参考図10に示す。排出量推計値の減少に伴い大気濃度も低下しており、VOC排出抑制の効果が大気中のVOC濃度にも表れていることが確認できた。ただし、東京のエチルベンゼンや1,2,4-トリメチルベンゼンのように排出量推計値に大きな変化が見られないにも関わらず大気濃度が大きく変化した成分も見られた。VOC成分濃度の観測が都内では1地点での2時と14時に限られることから、東京都全体の1年間の代表性を示しきれていないほか、排出量推計値に含まれる誤差の影響を受けた可能性もある。

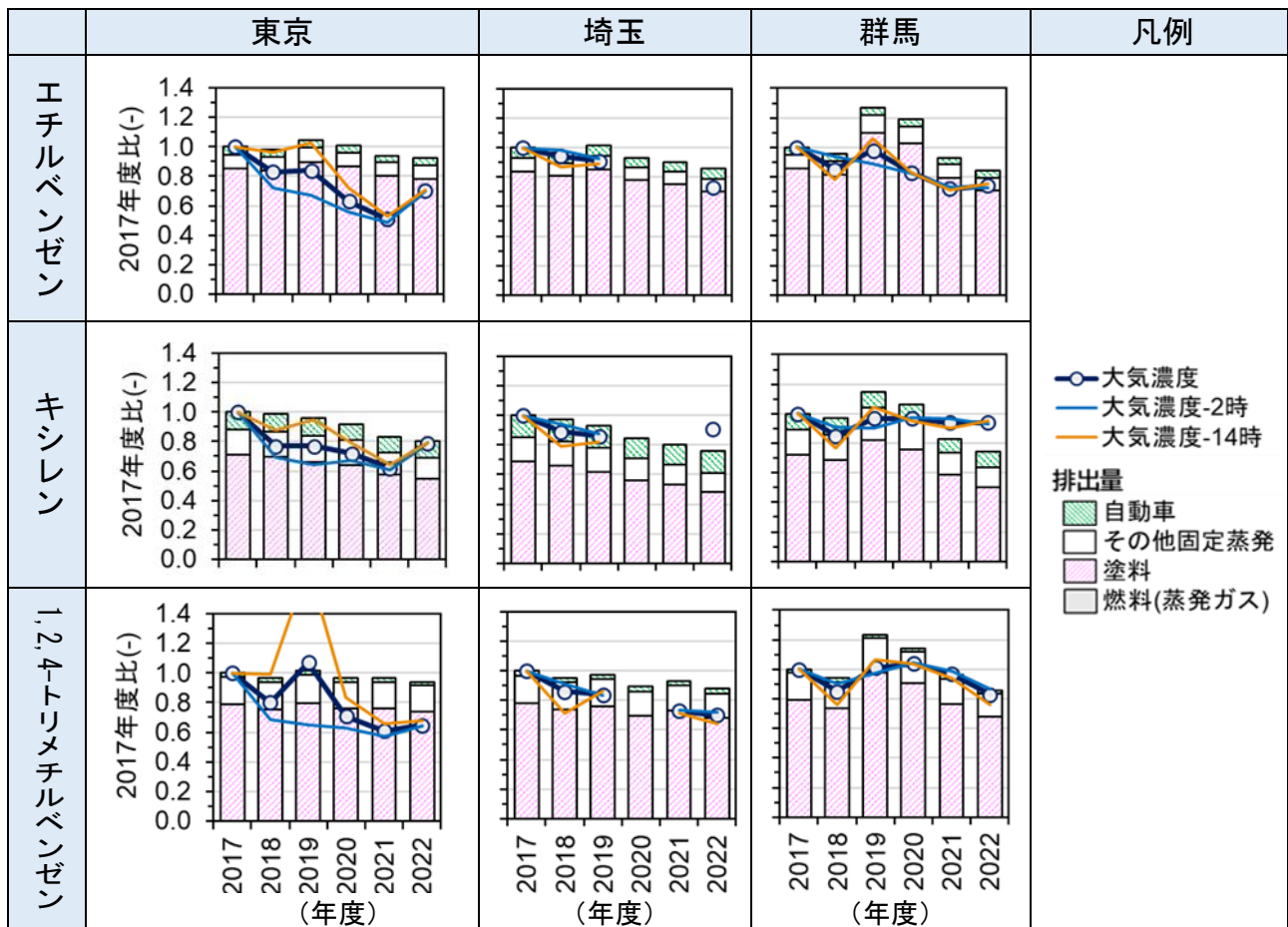
埼玉では10成分全てで排出量推計値が減少し、それに伴って大気濃度も低下していた。ただし、アルケンは排出量推計値の減少に比べて大気濃度のほうがより低下していた。群馬県の排出量推計値は2020年以降、アルカンやアルケンで減少傾向であった。大気濃度は、アルカンでは排出量と同様の減少傾向であったが、アルケンは排出量推計値が減少する前の2018年頃から低下傾向であった。埼玉県と群馬県は海風による輸送で東京からの移流の影響も受けるので、東京の大きな排出量の変化を受け、大気濃度が当該県の排出量変化に比べて大きく低下したと考えられる。



参考図 10 (1) 2017年度を基準とした排出量推計値と大気濃度の経年変化
 排出量推計値は環境省揮発性有機化合物 (VOC) 排出インベントリ⁴
 及びPM2.5排出インベントリ⁵(2018年対象)を基に算出した



参考図 10(2) 2017 年度を基準とした排出量推計値と大気濃度の経年変化
 排出量推計値は環境省揮発性有機化合物 (VOC) 排出インベントリ⁴
 及び PM2.5 排出インベントリ⁵ (2018 年対象) を基に算出した



参考図 10 (3) 2017 年度を基準とした排出量推計値と大気濃度の経年変化
 排出量推計値は環境省揮発性有機化合物 (VOC) 排出インベントリ⁴
 及び PM2.5 排出インベントリ⁵ (2018 年対象) を基に算出した

※ 埼玉の 2020 年度の VOC 濃度は長期的な装置の停止があったため、欠測とした。

※ 埼玉の 2021 年度のエチルベンゼン、キシレンの濃度は、2010 年度の長期的な欠測の後、しばらく濃度が高い状態が続いていたことから、ここでは欠測とした。

第3章 光化学オキシダントの経年変化要因と前駆物質排出抑制効果

1. 本章の概要

第2章の観測結果の解析では、光化学オキシダント(Ox)の新指標値の季節別濃度に相当する日最高8時間値の季節98パーセンタイル値と季節平均値等について、2005年度から2022年度までの経年変化に係る要因を定性的に解析した。

本章では2005年度と2018年度を対象としたシミュレーションモデル計算を実施し、国内排出削減、越境汚染、気象の影響を定量的に解析した。このうち国内排出削減の影響については、固定蒸発VOC発生源、大規模固定燃焼発生源(NOx)、自動車(VOC及びNOx)を対象として、それぞれの排出削減による光化学Ox低減効果を解析した。

なお、本章で実施したシミュレーションは、環境研究総合推進費5-2105「対策によるオゾン濃度低減効果の裏付けと標準的な将来予測手法の開発」¹(以下、推進費5-2105)の成果を利活用するために、同推進費と同一のモデル・条件で実施した(3章-参考資料1に概要を示す)。

2. シミュレーション・フレームワーク

2.1.シミュレーションケース

光化学Ox前駆物質のNOxとVOCに対して、これまで国や地方自治体の法・条例等により様々な排出抑制対策が実施されてきた。そこで、本調査では、固定蒸発発生源に対するVOC排出対策が開始された2006年度より前である2005年度から、直近の排出インベントリが整備されている2018年度の変化を解析することにより、その間の排出削減等による光化学Oxの変化を評価した。設定したシミュレーションケース(case)を表2-1に示す。評価期間は、光化学Oxの濃度が高くなる暖候期(4月～9月)とした。なお、2005年度及び2018年度の気象及び大気質は平年と大きな差はなく、対象年として妥当であると考えられる(3章-参考資料2)。

(1) ベースケース (base2018、base2005)

基準年の2018年度(base2018)及び対照年の2005年度(base2005)を対象としたベースケースのシミュレーションを実施した。

(2) VOC排出量の削減による光化学オキシダントの濃度変化の評価 (caseVOC-Evap、caseVOC-Veh、caseVOC-all)

光化学Oxの前駆物質であるVOCについては2004年の大気汚染防止法並びに2005年の大気汚染防止法施行令・施行規則の改正を受け、特定規模のVOC排出施設を対象としたVOCの排出規制が2006年4月より開始された。また、特定規模に満たない施設等についても自主的努力が必要となり、これらの対策によりVOCの排出量は年々減少してきた。そこで、VOC排出量の削減による光化学Ox濃度の低減効果を評価するため、固定蒸発発生源(caseVOC-Evap)、自動車(caseVOC-Veh)、固定蒸発と自動車を含む全てのVOC人為発

¹ 【課題番号】研究課題名：【5-2105】対策によるオゾン濃度低減効果の裏付けと標準的な将来予測手法の開発，研究代表者：国立環境研究所 茶谷聡，研究期間：2021(R3)年04月 - 2024(R6)年03月
https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/db/pdf/end_houkoku/5-2105.pdf

生源（以下、全人為発生源・VOC と言う）（caseVOC-all）の各発生源からの VOC 排出量として 2005 年排出量を使用し、その他の計算条件を base2018 と同じにして Ox 濃度を計算し、base2018 の結果と比較した。

(3) NOx 排出量の削減による光化学オキシダントの濃度変化の評価（caseNOx-LPS、caseNOx-Veh、caseNOx-all）

光化学 Ox の前駆物質である NOx の排出量削減による光化学 Ox 濃度の低減効果を評価するため、大規模固定燃焼発生源（LPS: Large Point Source）（caseNOx-LPS）、自動車（caseNOx-Veh）、大規模固定燃焼と自動車を含む全ての人為発生源（以下、全人為発生源・NOx と言う）（caseNOx-all）の各発生源からの NOx 排出量として 2005 年排出量を使用し、その他の計算条件を base2018 と同じにして Ox 濃度を計算し、base2018 の結果と比較した。

(4) 国外排出量の変化による光化学オキシダントの濃度変化の評価（caseTBP）

国外の人為・自然起源排出量の変化による光化学 Ox 濃度の変化を評価するため、base2018 に対して、東アジアの国外排出量を 2005 年に変化させたシミュレーションを行った。日本以外のアジア各国の人為発生源には、Regional Emission inventory in Asia (REAS) version 3.2.1 (Kurokawa and Ohara, 2020²) を用い、このインベントリで対象とされていない 2016 年以降については、既往文献などを基に、国別に 2015 年排出量を年次補正した。なお、自然起源には森林火災や野焼きなどのバイオマスバーニング³や植物起源 VOC⁴が含まれる。

(5) 気象変化による光化学オキシダントの濃度変化の評価（caseMET）

光化学 Ox 濃度に影響を与える要因として、排出量とともに気象が挙げられる。そこで、気象変化が光化学 Ox 濃度に与える影響を評価するため、base2018 に対して気象のみを 2005 年に変化させたシミュレーションを行った。

² Kurokawa, J. and Ohara, T.: Long-term historical trends in air pollutant emissions in Asia: Regional Emission inventory in ASia (REAS) version 3, *Atmos. Chem. Phys.*, 20 (21), 12761–12793 (2020)

³ Global Fire Emissions Database (GFED) version 4.1s (van der Werf et al., 2017)

⁴ 2000 年以降の気象データを入力とし、Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature (MEGAN) version 2.1 (Guenther et al., 2012) で 1 時間毎の排出量を推計した。

表 2-1 シミュレーションケース

case	対象とする 変化要因	国内 NOx	国内 VOC	国外 排出量	気象	base2018 との比較に より評価する変化要因
base2018	—	2018 年	2018 年	2018 年	2018 年	—
base2005	—	2005 年	2005 年	2005 年	2005 年	—
caseVOC-Evap	固定蒸発発生源 VOC 排出	2018 年	2005 年	2018 年	2018 年	固定蒸発発生源からの VOC 排出量の変化
caseVOC-Veh	自動車 VOC 排出	2018 年	2005 年	2018 年	2018 年	自動車からの VOC 排出量 の変化
caseVOC-all	全人為発生源 VOC 排出	2018 年	2005 年	2018 年	2018 年	全ての発生源からの VOC 排出量の変化
caseNOx-LPS	大規模固定燃焼 NOx 排出	2005 年	2018 年	2018 年	2018 年	大規模固定燃焼発生源か らの NOx 排出量の変化
caseNOx-Veh	自動車 NOx 排出	2005 年	2018 年	2018 年	2018 年	自動車からの NOx 排出量 の変化
caseNOx-all	全人為発生源 NOx 排出	2005 年	2018 年	2018 年	2018 年	全ての発生源からの NOx 排出量の変化
case-TBP	国外排出（人為・自 然起源） （越境汚染）	2018 年	2018 年	2005 年	2018 年	越境大気汚染の変化
case-MET ^注	気象	2018 年	2018 年	2018 年	2005 年	気象の変化

2.2. シミュレーションモデルとモデル領域

気象モデルとして、NCEP（National Centers for Environmental Prediction）において実運用され、世界中で広く利用されている WRF⁵（Weather Research and Forecasting Model）を使用した。大気質モデル（化学輸送モデル）には米国環境保護庁（EPA）により開発され、現象の解明や実態の把握を行うためのツールとして開発されたシステムである CMAQ⁶（Community Multi-scale Air Quality）を使用した。

計算領域については推進費 5-2105 と同一とし、図 2-1 に示すアジア域（D1）、日本域（D2）とした。水平格子数はそれぞれ 170×157、141×147、水平解像度はそれぞれ 45 km、15 km とした。鉛直層は、地表～上空 50 hPa を 30 層に分割し、地表に接する第 1 層の厚さは約 30 m に設定した。

⁵ <https://www.mmm.ucar.edu/models/wrf>

⁶ <https://www.epa.gov/cmaq>

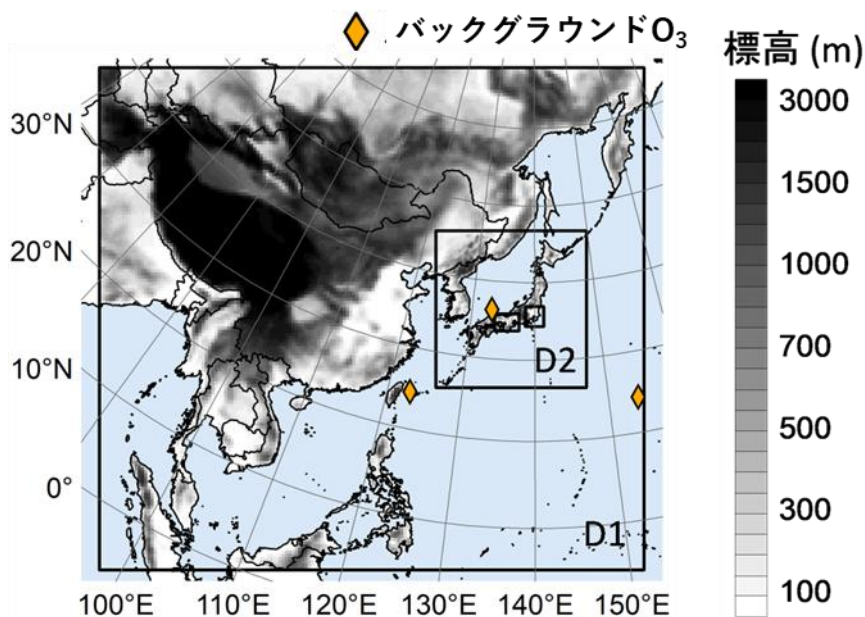


図 2-1 計算領域（推進費 5-2105 最終報告書より引用）

※図中の「バックグラウンド O₃」は、推進費 5-2105 の解析対象であり、本調査の対象ではない。

2.3.モデルの計算条件と入力データ

使用した WRF、CMAQ の条件設定を表 2-2 に示す。計算条件については、推進費 5-2105⁷ と同一とした。使用した排出量の変化を図 2-2 に、推進費 5-2105 の概要を 3 章-参考資料 1 に示す。

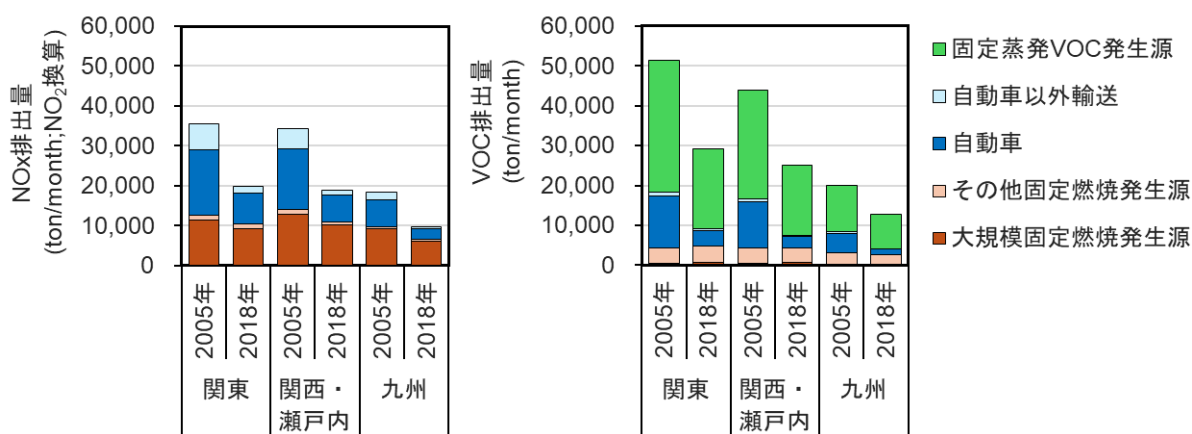


図 2-2 2005 年及び 2018 年の各地域における NOx、VOC 排出量

⁷ Chatani *et al.*: Effectiveness of emission controls implemented since 2000 on ambient ozone concentrations in multiple timescales in Japan, An emission inventory development and simulation study, *Sci. Total Environ.*, 894, 165058 (2023)

表 2-2 気象シミュレーション及び大気質シミュレーションの条件設定

気象モデル	<p>WRF 気象モデルバージョン：WRFv4.3 東アジア領域 水平格子点数：183×170 日本領域 水平格子点数：154×160 鉛直層数：30 層</p> <p>地形、土地利用：GMTED2010 (30 sec), MODIS (30 sec) / J-IBIS (1km) 初期・境界条件：ECMWF ERA5 (0.25 deg, 3 hr)</p> <p>物理過程 積雲対流：Grell 3D 雲物理：Morrison 長波放射：RRTMG 短波放射：RRTMG 接地層：MYNN3 地表面：Noah LSM FDDA： $G_t, G_q = 5.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1} \text{ (D1)} / 3.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1} \text{ (D2)}$ $G_u, G_v = 1.0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$</p>
大気質モデル	<p>CMAQ 大気質モデルバージョン：CMAQv5.3.3 (case-METのみv5.4を用いて計算を実施)^注 東アジア領域 水平格子点数：170×157 日本領域 水平格子点数：147×141 鉛直層数：30 層</p> <p>水平拡散：multiscale 鉛直拡散：acm2 気相反応：SAPRC07 粒子化：AERO7 Cloud：cloud acm ae7</p>
計算対象領域 (大気質)	<p>東アジア領域として東西7,650 km × 南北7,065 km × 鉛直約16 km 日本領域として東西2,205 km × 南北2,115km × 鉛直約16 km</p>
解像度	<p>東アジア領域は水平格子 45 km 日本領域は水平格子 15 km 鉛直方向は 最小20mの可変格子</p>
データ同化	格子点ナッジング
ネスティング	One way
境界値	東アジア領域の境界値は、全球化学輸送モデルCAM-Chem(2018年以前)及びWACCM(2019年以降)を使用
排出量	<p>国内排出量：図2-2に示す推進費5-2105排出量データを使用 国外排出量：REAS ver.3.2.1に2016年以降は補正を加えて使用 自然起源：バイオマスバーニングはGFED ver.4.1s、植物起源はMEGAN ver.2.1を元に推計</p>

注：case-MET については諸事情により V5.4 を用いた。

3. モデル再現性

base2018 の結果を用いて、シミュレーションの再現性検証を行った。

モデル再現性は、速水(2021)⁸を参考に、表 3-1 に示す指標値を用いて検証した。ここで、規格化平均誤差（NME：normalized mean error）、規格化平均偏差（NMB：normalized mean bias）及び平均二乗誤差（RMSE：root mean square error）については、値が 0 に近いほど観測とシミュレーションの差が小さく、再現性が良いことを意味する。相関係数（R：correlation coefficient）については、値が 1 に近いほど観測の変動とシミュレーションの変動が一致していることを意味する。

なお、再現性の対象地点は図 3-1 に示す関東の一般環境大気測定局 12 地点とした。



図 3-1 再現性検証の対象地点

表 3-1 再現性検証に用いる指標値及び計算式

指標値	計算式
NME (Normalized Mean Error)	$\frac{\sum_{i=1}^N M_i - O_i }{\sum_{i=1}^N (O_i)}$
NMB (Normalized Mean Bias)	$\frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)}{\sum_{i=1}^N (O_i)}$
RMSE (Root Mean Square Error)	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}$
R (Correlation Coefficient)	$\frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M}) \times (O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}}$

M_i = i 番目のモデル計算値. O_i = i 番目の観測値. N = 観測値/計算値のデータ数.

\bar{M} = モデル計算値の平均値. \bar{O} = 観測値の平均値

⁸ 速水 洋：米国環境保護庁モデリング手引書「Modeling Guidance for Demonstrating Air Quality Goals for Ozone, PM2.5, and Regional Haze」抄訳オゾンと PM2.5 を中心に、大気環境学会誌, 56(3), 57-67 (2021)

日最高 8 時間値を用いて観測値との比較を行った結果を表 3-2 に示す。前駆物質である NO_x と VOC を用いて観測値と比較を行った結果は 3 章-参考資料 3 に示す。

日最高 8 時間値を用いた光化学 Ox の再現性については Emery *et al.*,(2017)⁹にて、NME は < 25%、NMB は±15%、R は 0.50 以上であることが推奨されている。本結果の NME については、夏季に推奨値 0.25 (=25%) 以上の地点が 5 地点あるが、春季には推奨値以内に収まっている。一方、NMB については、春季には全地点で推奨値±0.15 (=15%) の範囲に収まるが、夏季には 12 地点中 3 地点で推奨値の範囲を超過し、かつ、全地点で正のバイアスを示しており、シミュレーションモデルが過大評価している。R については全ての地点で 0.5 より大きく、モデル計算値と観測値の相関性は比較的高い。

以上のことから、本計算の結果は、夏季に過大評価する点を除くと、再現性は比較的良好であると考えられる。また、本モデルの再現性が推進費 5-2105 と同程度であることを確認している。しかし、後出の図 4-1 に示すように、モデルは観測された光化学 Ox の経年変化を必ずしも十分に再現しているわけではないことに留意する必要がある。なお、CMAQ のような化学輸送モデルがオゾンを経年変化を過大評価する傾向は、多くの既往研究で報告されており（例えば、Chatani *et al.*, (2020)¹⁰, Chatani *et al.*, (2023)⁷）、今後の課題である。

表 3-2 base2018 の光化学オキシダントの再現性検証結果

	春季				夏季			
	NME	NMB	RMSE	R	NME	NMB	RMSE	R
那須塩原市黒磯保健センター	0.13	-0.06	9.78	0.78	0.20	0.00	10.06	0.67
中央	0.13	0.03	9.41	0.81	0.15	0.07	9.66	0.82
沼田市沼田小学校	0.14	-0.01	10.47	0.71	0.22	0.04	11.66	0.58
古河市役所	0.13	0.09	8.81	0.88	0.20	0.09	11.38	0.83
本庄	0.13	0.02	10.74	0.76	0.18	0.01	12.31	0.72
入間	0.11	0.03	8.49	0.87	0.23	0.07	13.92	0.73
さいたま市役所	0.14	0.10	9.20	0.88	0.25	0.12	14.18	0.78
府中市宮西町	0.11	0.04	8.01	0.89	0.25	0.07	14.75	0.76
国設東京	0.16	0.12	9.95	0.85	0.26	0.19	12.78	0.86
寒川小学校	0.14	0.09	8.87	0.85	0.32	0.27	12.91	0.89
中区本牧	0.13	0.08	8.60	0.86	0.29	0.24	12.90	0.88
藤沢	0.12	-0.01	8.76	0.83	0.22	0.08	11.03	0.86

⁹ Emery *et al.*: Recommendations on statistics and benchmarks to assess photochemical model performance, *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 67(5), 582-598 (2017)

¹⁰ Chatani *et al.*: Identifying key factors influencing model performance on ground-level ozone over urban areas in Japan through model inter-comparisons, *Atmos. Environ.*, 223, 117255 (2020)

4. 光化学オキシダント濃度変化の要因解析

4.1. 解析方法

シミュレーション計算結果をもとに、2005年度から2018年度の光化学Ox濃度変化の要因を解析した。基準年は2018年度とした。対象地域は、関東、関西・瀬戸内、九州とし、さらに各地域内を2章と同様に区分した。季節も2章と同様に、春季を4～6月、夏季を7～9月と定義した。

指標は光化学Ox濃度の日最高8時間値の春季・夏季別の季節平均値（以下、季節平均値）、上位5日間平均値（以下、高濃度平均値）とし、濃度変化の要因を、気象、越境汚染、国内排出量（対象とした発生源・排出物質は固定蒸発・VOC、自動車・VOC、全人為発生源・VOC、自動車・NOx、大規模固定燃焼・NOx、全人為発生源・NOx）とした。

光化学Ox濃度の低下率及び低下量は以下の式を用いて算出した。

$$\text{低下率} = \frac{\text{case} - \text{base}}{\text{base}}$$

$$\text{低下量} = \text{低下率} \times 2018 \text{ 年度観測値}$$

ここで

case：各シミュレーションケースの光化学Ox濃度

base：基準年におけるベースケース(base2018)の光化学Ox濃度

低下率 > 0 の場合には、各シミュレーションケースの濃度がベースケースの濃度よりも高いことを示す。例えば、caseVOC-Evap の場合には、国内固定蒸発VOC排出量を2018年値から2005年値に置き換えたことによって光化学Ox濃度がベースケースよりも上昇すれば低下率 > 0 となり、VOC排出削減による光化学Ox低減効果があったことを意味する。逆に、低下率 < 0 の場合には、排出削減によって光化学Oxが増加したことを示す。

4.2. 解析結果

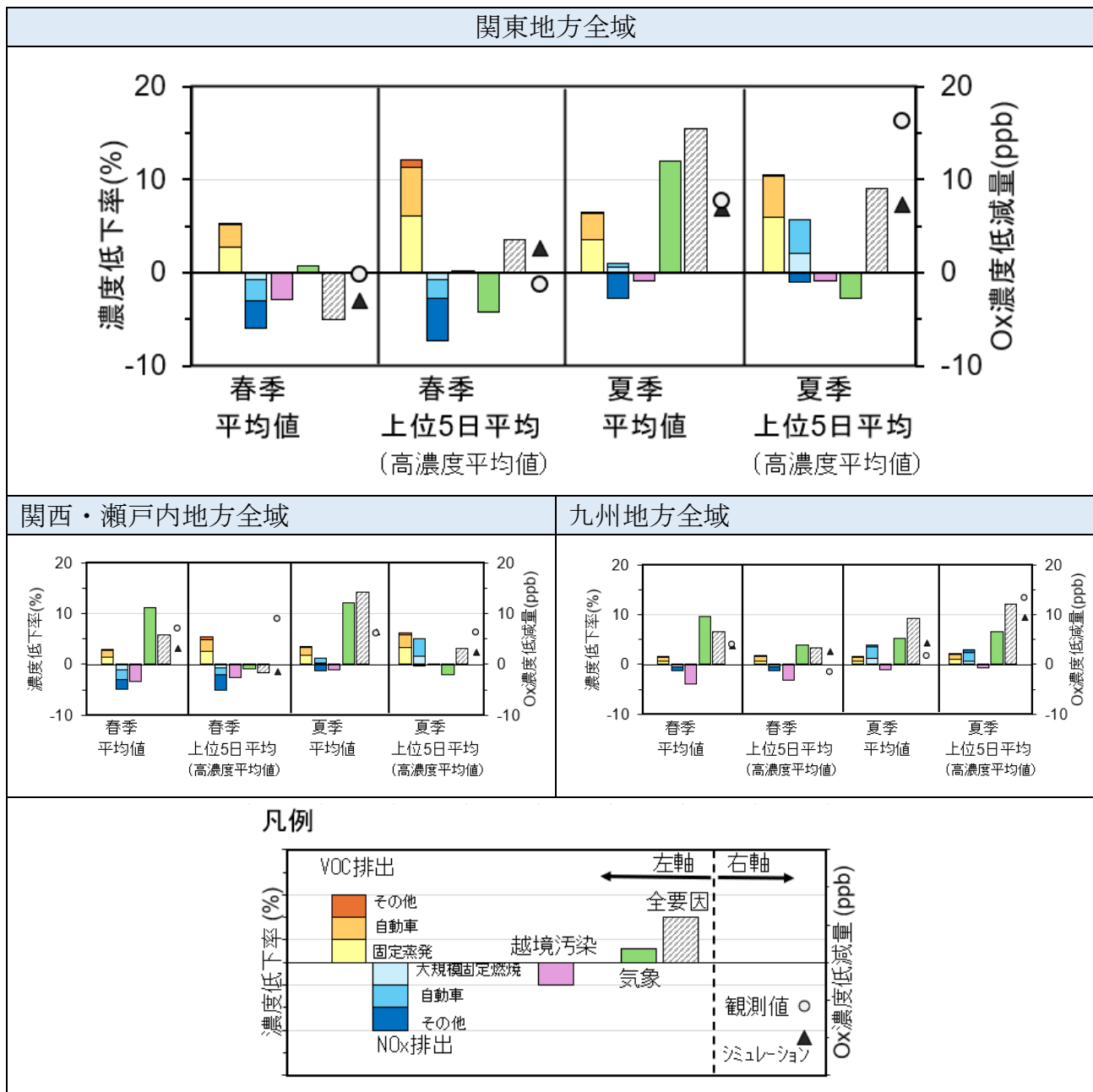
2005年度から2018年度の光化学Ox濃度の変化要因について、関東地方全域、関西・瀬戸内地方全域、九州地方全域を対象とした結果を表4-1及び図4-1に示す。

また、関東地方を細分化した各地域の変化要因を表4-2及び図4-2に示す。関西・瀬戸内と九州を細分化した各地域の計算結果は3章-参考資料4に示す。

表 4-1 2005 年度から 2018 年度の光化学オキシダント濃度の低下率

case	季節	光化学 Ox 指標値	関東地方 全域	関西・瀬戸 内地方全域	九州地方 全域
base2005	春季	季節平均値	-5.1%	5.8%	6.7%
		高濃度平均値	3.5%	-1.7%	3.3%
	夏季	季節平均値	15.4%	14.3%	9.4%
		高濃度平均値	9.0%	3.2%	12.2%
caseVOC-Evap (固定蒸発 ・VOC)	春季	季節平均値	2.7%	1.5%	0.7%
		高濃度平均値	6.1%	2.5%	0.6%
	夏季	季節平均値	3.5%	1.9%	0.7%
		高濃度平均値	6.0%	3.3%	1.1%
caseVOC-Veh (自動車・ VOC)	春季	季節平均値	2.5%	1.4%	0.8%
		高濃度平均値	5.3%	2.4%	1.0%
	夏季	季節平均値	2.8%	1.6%	0.7%
		高濃度平均値	4.4%	2.6%	0.9%
caseVOC-all (全人為発生源 ・VOC)	春季	季節平均値	5.4%	3.0%	1.5%
		高濃度平均値	12.1%	5.4%	1.8%
	夏季	季節平均値	6.5%	3.6%	1.4%
		高濃度平均値	10.5%	6.3%	2.0%
caseNOx-LPS (大規模固定燃 焼・NOx)	春季	季節平均値	-0.7%	-1.0%	-0.4%
		高濃度平均値	-0.7%	-0.6%	-0.1%
	夏季	季節平均値	0.6%	0.4%	1.3%
		高濃度平均値	2.1%	1.6%	0.6%
caseNOx-Veh (自動車・ NOx)	春季	季節平均値	-2.4%	-2.0%	-0.2%
		高濃度平均値	-2.1%	-1.4%	-0.4%
	夏季	季節平均値	0.4%	0.8%	2.2%
		高濃度平均値	3.6%	3.5%	1.8%
caseNOx-all (全人為発生源 ・NOx)	春季	季節平均値	-5.9%	-5.0%	-1.3%
		高濃度平均値	-5.2%	-3.7%	-0.9%
	夏季	季節平均値	-1.8%	0.0%	3.9%
		高濃度平均値	4.6%	4.9%	3.0%
caseTBP (国外発生源・越 境汚染)	春季	季節平均値	-2.8%	-3.4%	-3.9%
		高濃度平均値	0.2%	-2.6%	-3.2%
	夏季	季節平均値	-0.8%	-1.0%	-1.0%
		高濃度平均値	-0.9%	-0.0%	-0.8%
caseMET (気象)	春季	季節平均値	0.7%	11.2%	9.7%
		高濃度平均値	-4.3%	-0.8%	3.8%
	夏季	季節平均値	12.0%	12.2%	5.3%
		高濃度平均値	-2.7%	-1.9%	6.6%

※各指標値で最も変化が大きい値を太字で示す。(濃度が低下している場合は青、濃度が上昇している場合は赤とする。)



**図 4-1 関東地方全域、関西・瀬戸内地方全域及び九州地方全域における
2005 年度から 2018 年度への光化学オキシダント濃度変化と要因**

※左軸（光化学 Ox 濃度の低下率）：グラフ上で低下率 > 0 の場合には、各シミュレーションケースの濃度がベースケース（base2018）の濃度よりも高いことを示す。例えば、固定蒸発・VOC 排出の場合には、国内固定蒸発 VOC 排出量を 2018 年値から 2005 年値に置き換えたことによって光化学 Ox 濃度がベースケースよりも上昇すれば低下率 > 0 となり、VOC 排出削減による光化学 Ox 低減効果があったことを意味する。低下率 < 0 の場合には、排出削減によって光化学 Ox が増加したことを示す。

※右軸（光化学 Ox の濃度低減量）：グラフ上で低減量 > 0 の場合、シミュレーションでは base2005 の濃度がベースケース（base2018）の濃度よりも高いことを示し、観測値では、2005 年度の光化学 Ox 濃度が 2018 年度より高いことを表す。低減量 < 0 の場合、シミュレーションでは base2005 の濃度がベースケースの濃度よりも低いことを示し、観測値では、2005 年度の光化学 Ox 濃度が 2018 年度より低いことを表す。

表 4-2 2005 年度から 2018 年度の関東地方の各地域における
光化学オキシダント濃度の低下率

case	季節	光化学 Ox 指標値	関東地方 全域	東京湾岸	湾岸周辺	内陸	湾岸東	その他
base2005	春季	季節平均値	-5.1%	-7.8%	-5.1%	-1.1%	-4.7%	-2.1%
		高濃度平均値	3.5%	-6.2%	9.7%	10.5%	-5.2%	9.7%
	夏季	季節平均値	15.4%	9.9%	17.3%	22.1%	17.8%	15.2%
		高濃度平均値	9.0%	-4.6%	19.6%	27.1%	-4.8%	12.5%
caseVOC- Evap (固定蒸発 ・VOC)	春季	季節平均値	2.7%	2.9%	3.3%	2.4%	1.8%	1.6%
		高濃度平均値	6.1%	7.9%	5.6%	4.4%	6.9%	4.0%
	夏季	季節平均値	3.5%	4.1%	4.2%	2.6%	1.9%	2.1%
		高濃度平均値	6.0%	8.0%	5.4%	3.4%	5.7%	4.2%
caseVOC- Veh (自動車・ VOC)	春季	季節平均値	2.5%	2.7%	3.1%	2.2%	1.4%	1.3%
		高濃度平均値	5.3%	6.9%	5.3%	3.9%	5.3%	3.0%
	夏季	季節平均値	2.8%	3.2%	3.4%	2.0%	1.3%	1.5%
		高濃度平均値	4.4%	5.8%	4.2%	2.4%	3.8%	2.8%
caseVOC- all (全人為発 生源 ・VOC)	春季	季節平均値	5.4%	5.9%	6.6%	4.5%	3.3%	2.8%
		高濃度平均値	12.1%	15.7%	11.7%	8.0%	13.0%	7.3%
	夏季	季節平均値	6.5%	7.6%	7.7%	4.5%	3.3%	3.6%
		高濃度平均値	10.5%	14.2%	9.6%	5.7%	10.0%	6.8%
caseNOx- LPS (大規模固 定燃焼・ NOx)	春季	季節平均値	-0.7%	-1.0%	-0.7%	0.2%	-2.0%	-0.1%
		高濃度平均値	-0.7%	-1.7%	-0.1%	0.6%	-2.3%	-0.0%
	夏季	季節平均値	0.6%	-0.1%	0.9%	2.0%	-0.6%	0.9%
		高濃度平均値	2.1%	1.0%	2.8%	4.0%	1.4%	1.7%
caseNOx- Veh (自動車・ NOx)	春季	季節平均値	-2.4%	-3.5%	-3.4%	-0.5%	-0.1%	0.1%
		高濃度平均値	-2.1%	-5.0%	-1.8%	0.6%	-0.9%	1.0%
	夏季	季節平均値	0.4%	-2.0%	0.3%	4.3%	1.7%	1.9%
		高濃度平均値	3.6%	0.2%	5.3%	9.1%	2.5%	4.5%
caseNOx- all (全人為発 生源 ・NOx)	春季	季節平均値	-5.9%	-8.2%	-7.6%	-2.5%	-3.3%	-0.7%
		高濃度平均値	-5.2%	-10.0%	-5.2%	-0.3%	-3.9%	0.9%
	夏季	季節平均値	-1.8%	-6.1%	-2.7%	5.7%	1.1%	2.9%
		高濃度平均値	4.6%	2.6%	7.6%	16.3%	3.7%	7.7%
caseTBP (国外発 生源・越境汚 染)	春季	季節平均値	-2.8%	-3.0%	-2.5%	-2.5%	-3.2%	-3.2%
		高濃度平均値	0.2%	-0.1%	0.7%	0.8%	-0.6%	-0.7%
	夏季	季節平均値	-0.8%	-0.9%	-0.7%	-0.6%	-1.0%	-0.8%
		高濃度平均値	-0.9%	-1.1%	-0.7%	-0.5%	-1.0%	-0.7%
caseMET (気象)	春季	季節平均値	0.7%	0.4%	1.4%	0.5%	-0.2%	0.3%
		高濃度平均値	-4.3%	-8.3%	-2.7%	-1.3%	-8.2%	1.4%
	夏季	季節平均値	12.0%	11.5%	12.9%	10.3%	15.1%	9.5%
		高濃度平均値	-2.7%	-9.9%	3.6%	6.0%	-10.8%	-2.7%

※各指標値で最も変化が大きい値を太字で示す。(濃度が低下している場合は青、濃度が上昇している場合は赤とする。)

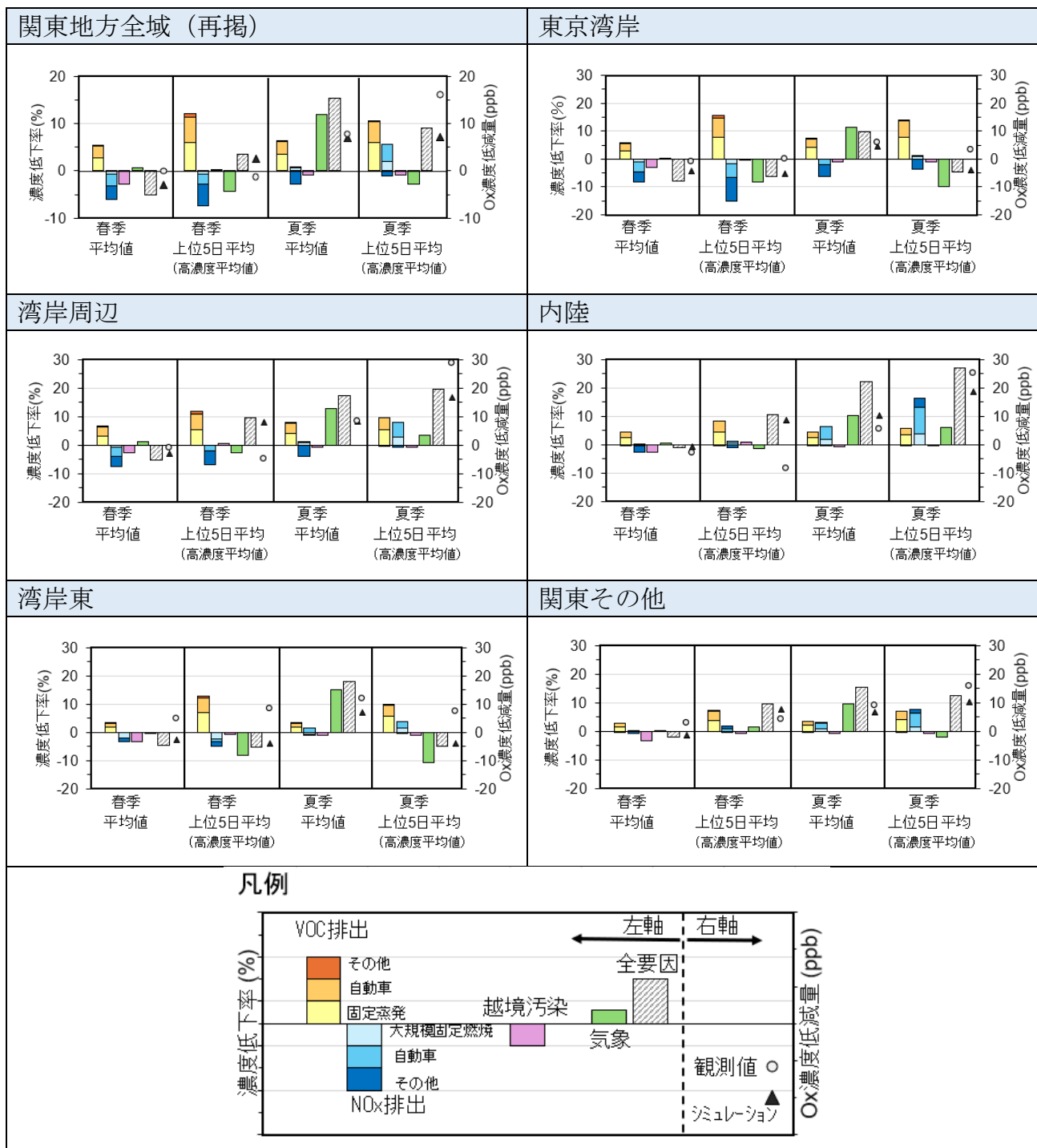


図 4-2 関東における 2005 年度から 2018 年度への光化学オキシダント濃度変化と要因

※左軸（光化学 Ox 濃度の低下率）：グラフ上で低下率 > 0 の場合には、各シミュレーションケースの濃度がベースケース（base2018）の濃度よりも高いことを示す。例えば、固定蒸発・VOC 排出の場合には、国内固定蒸発 VOC 排出量を 2018 年値から 2005 年値に置き換えたことによって光化学 Ox 濃度がベースケースよりも上昇すれば低下率 > 0 となり、VOC 排出削減による光化学 Ox 低減効果があったことを意味する。低下率 < 0 の場合には、排出削減によって光化学 Ox が増加したことを示す。

※右軸（光化学 Ox の濃度低減量）：グラフ上で低減量 > 0 の場合、シミュレーションでは base2005 の濃度がベースケース（base2018）の濃度よりも高いことを示し、観測値では、2005 年度の光化学 Ox 濃度が 2018 年度より高いことを表す。低減量 < 0 の場合、シミュレーションでは base2005 の濃度がベースケースの濃度よりも低いことを示し、観測値では、2005 年度の光化学 Ox 濃度が 2018 年度より低いことを表す。

4.3. 要因別の評価結果

本節では、前節 4.2 の表 4-1 及び図 4-1 をもとに、光化学 Ox 濃度の 2005 年度から 2018 年度の変化要因について評価する。

(1) 固定蒸発発生源の VOC 削減効果 (caseVOC-Evap)

すべての地域で季節平均値及び高濃度平均値が低下し、とくに高濃度平均値の低下率が大きかった。季節平均値と高濃度平均値の低下率は関東地方全域が最も大きく、次いで関西・瀬戸内地方全域、九州地方全域の順であった。また、両指標とも春季に比べて夏季のほうが低下する傾向であったが、関東地方全域の高濃度平均値や九州地方全域の季節平均値では春季と夏季の低下率は同等であった。なお、推進費 5-2105 の結果においても、関東と関西において、固定蒸発 VOC 排出量の経年的な削減とともに、その寄与濃度の低下が見られており (参考資料 1 参考図 1-1 参照)、排出削減効果が大きいことが示されている。

(2) 自動車からの排出量削減効果 (caseVOC-Veh、caseNOx-Veh)

固定蒸発・VOC と同様に、自動車からの VOC 排出削減 (caseVOC-Veh) により、すべての地域で季節平均値及び高濃度平均値が低下した。地域別の両指標の低下率も固定蒸発・VOC と同様に、関東地方全域、関西・瀬戸内地方全域、九州地方全域の順に大きかった。関東地方を細分化した地域では、特に低下が見られたのは東京湾岸で、高濃度平均値では春季で 6.9%、夏季で 5.8%低下した。

一方、自動車 NOx (caseNOx-Veh) では、関東地方全域、関西・瀬戸内地方全域、九州地方全域のいずれの地域も光化学 Ox の両指標とも春季には上昇し、夏季には低下した。春季の濃度上昇率は関東地方全域及び関西・瀬戸内地方全域で約 2%であったが、九州地方全域は 1%以下であった。また夏季の濃度低下率は季節平均値では九州地方全域が一番大きく 2.2%、高濃度平均値では関東地方全域が一番大きく 3.6%であり指標により異なる傾向であった。

自動車からの VOC 排出量と NOx 排出量の削減の効果を合わせて評価すると、例えば関東地方全域では春季の高濃度平均値が自動車・NOx 排出量の削減により 2.1%上昇したが、自動車・VOC 排出量の削減で 5.3%低下したことから、自動車排出量全体の削減では光化学 Ox 濃度の低下に寄与したと考えられる。推進費 5-2105 では、自動車から排出される NOx と VOC を含む排出量全てを対象にした感度解析を行っている (3 章-参考資料 1)。その結果によれば、自動車排出量の削減によって、関東全域で春季では季節平均値、高濃度平均値ともに上昇するのに対して、夏季では両指標ともに低下する。この結果は本調査結果と整合する。

(3) 大規模固定燃焼発生源からの NOx 削減効果 (caseNOx-LPS)

春季には関東地方全域、関西・瀬戸内地方全域、九州地方全域のいずれの地域も光化学 Ox の両指標とも上昇したが、両指標の上昇率はいずれも 1%以下であった。一方、夏季には低下がみられ、季節平均値は九州地方全域が一番大きく 1.3%の低下、高濃度平均値は関東地方全域が一番大きく 2.1%の低下であった。この傾向は自動車・NOx の排出量削減の効果と同様であった。

(4) 越境汚染変化の影響 (case-TBP)

越境汚染変化の影響により、関東地方全域の春季・高濃度平均を除き光化学 Ox の両指標濃度の上昇が見られた。関西・瀬戸内地方全域及び九州地方全域では関東地方全域に比べ影響が大きくなる傾向があった。春季の季節平均値では関西・瀬戸内地方全域で 3.4%、九州地方全域で 3.9%の上昇が見られたが、夏季については関西・瀬戸内地方全域及び九州地方全域において、季節平均値、高濃度平均値ともに約 1%の上昇であった。

推進費 5-2105 では 2005 年度から 2018 年度の間、春季平均値は関東で 4.0%、関西で 4.6%の上昇、夏季平均値は関東で 1.7%、関西で 0.7%上昇している。本調査では、春季平均値は関東で 2.8%、関西で 3.4%の上昇、夏季平均値は関東で 0.8%、関西で 1.0%上昇した。両調査では、対象とした基準年、季節と月の対応、及び関西地方や九州地方の計算対象領域等が異なるため直接の比較はできないが、越境汚染変化の影響は夏季よりも春季に大きかったこと、春季は関東に比べて関西で影響が大きい傾向は同じであった。

本シミュレーションの、計算領域 D1 における国外の NOx と VOC の排出量は 2005 年に比べ 2018 年にどちらも増加している。中国の排出量に着目すると、NOx 排出量の増加率は 9%、VOC 排出量の増加率は 32%である。このような排出量の増加が、我が国の光化学 Ox を上昇させたと考えられる。

なお、推進費 5-2105 では 2015 年を基準年として 2000 年から 2020 年までの越境汚染の変化を算出している。その結果によれば、日最高 8 時間値の春季及び夏季の季節平均値は概ね 2015 年頃までは上昇しているが、それ以降は横ばいかやや低下の傾向であった。また、2 章で示したように日本海側の離島地域の光化学 Ox 濃度は 2019 年度以降に低下傾向であった。これらのことから、今回解析対象とした 2018 年度以降に越境汚染の影響が変化した可能性があることから、最近の越境汚染の影響をシミュレーションで解析する必要がある。

(5) 気象変化の影響 (case-MET)

2005 年度から 2018 年度の気象の変化によって、春季も夏季も光化学 Ox の季節平均値が低下し、高濃度平均値は九州地方全域を除いて上昇する傾向が見られた。九州地方全域では、春季及び夏季の両季節において、気象の変化が光化学 Ox 指標を低下させる傾向を示した。10%程度の大きな変化率はいずれも季節平均値で見られ、関東地方全域の夏季では 12.0%低下、関西・瀬戸内全域の春季と夏季のそれぞれで 11.2%、12.2%低下、九州地方全域の春季では 9.7%低下した。一方で、高濃度平均値の変化率は最大でも九州地方全域の夏季における 6.6%低下であり、関西・瀬戸内全域では春季及び夏季ともに 2%以下の上昇であった。

5. 前駆物質の排出削減効果

本節では、2005 年度から 2018 年度の国内発生源の排出削減による光化学 Ox の低減効果を解析した。対象とした発生源・排出物質ケース（固定蒸発・VOC、自動車・VOC、全人為発生源・VOC、自動車・NOx、大規模固定燃焼・NOx、全人為発生源・NOx）、光化学 Ox 濃度指標、対象地域は 4.1 と同じである。

5.1 では、発生源種類別の NOx、VOC 排出量削減率に対する光化学 Ox 濃度の変化率を評価した。また、5.2 では、排出削減による光化学 Ox 濃度の変化量の地域分布について解析した。

5.1. 排出量削減率と光化学オキシダント濃度変化の関係

各地域における排出量削減率に対する光化学 Ox 濃度の変化率について解析した。ここで、排出量削減率には、関東、関西・瀬戸内、九州の地域毎の人為起源排出量の 2005 年度から 2018 年度の削減率 (= (2005 年度 - 2018 年度) / 2005 年度)¹¹を使用した。

関東、関西・瀬戸内、九州の全域の結果を図 5-1 に、関東を細分化した地域の結果を図 5-2、関東以外の細分化した地域の結果を 3 章-参考資料 5 に示す。これらの図において、VOC や NOx の排出削減率に対する光化学 Ox 濃度指標の低下率の傾きに注目することにより、発生源・排出物質ケース毎の対策効果を定量的に評価することができる。

(1) VOC 削減効果

- ◇ 関東地方全域では、固定蒸発・VOC (caseVOC-Evap) と自動車・VOC (caseVOC-Veh) の高濃度平均値及び季節平均値の傾きはおおよそ一致していたことから、同じ削減率であれば固定蒸発も自動車も光化学 Ox を同程度低下させることが示された。2 章の結果では VOC 成分毎に大気中の光化学反応性が異なっていたことから、両 VOC 発生源の削減効果が異なる可能性が考えられるが、シミュレーション結果では両者に差が見られなかった。関西・瀬戸内地方全域及び九州地方全域の各地域でも関東地方全域と同様に両 VOC 発生源の高濃度平均値及び季節平均値の傾きの差はほぼ無かった (3 章-参考資料 5)。また、いずれの地方においても全人為発生源・VOC (caseVOC-all) の傾きは、両 VOC 発生源の傾きとおおよそ一致した。
- ◇ 関東地方を細分化した各地域に着目すると、両 VOC 発生源の高濃度平均値及び季節平均値の傾きが「東京湾岸」で大きく、「内陸」で小さいことから、VOC 排出量の削減が発生源に近い地域の光化学 Ox 濃度の低減に効果的であることを示している。さらに、季節平均値に比べて高濃度平均値の傾きが大きく、特に「東京湾岸」や「湾岸東」の発生源地域では春季・夏季ともに VOC 排出量の削減による光化学 Ox 濃度低減の効果は高濃度平均値が季節平均値に比べて 2 倍程度である。(図 5-2 及び図 5-3)

(2) NOx 削減効果

- ◇ 関東地方全域に着目すると、大規模固定燃焼・NOx (caseNOx-LPS)、自動車・NOx (caseNOx-Veh) あるいは全人為発生源・NOx (caseNOx-all) の削減によって、夏季の高濃度平均値は低減する (傾きが正) が、夏季平均値と春季の高濃度平均値・季節平均値は増加する (傾きが負)。夏季の高濃度平均値の低減は、4.3 でも述べたように、細分化した地域では、東京湾周辺の発生源地域で小さく (あるいは増加に寄与)、内陸で大きい。また、発生源別には、大規模固定燃焼が自動車に比べて、さらに自動車が全人為発生源に比べて NOx 排出削減率あたりの低下率 (正の傾き) がやや大きい。この原因は不明であるが、両発生源の地域分布や有効煙突高度の違いによる可能性がある。(図 5-2 及び図 5-3)
- ◇ 関西・瀬戸内地方全域では、春季・夏季の高濃度平均値及び季節平均値の両発生源の傾きは、ほぼ同じであった。九州地方全域も両発生源の傾きに大きな差は見られなかった (3 章-参考資料 5)。

¹¹ 排出量削減率の式の分母は 2005 年の全人為発生源の NOx または VOC の排出量とした

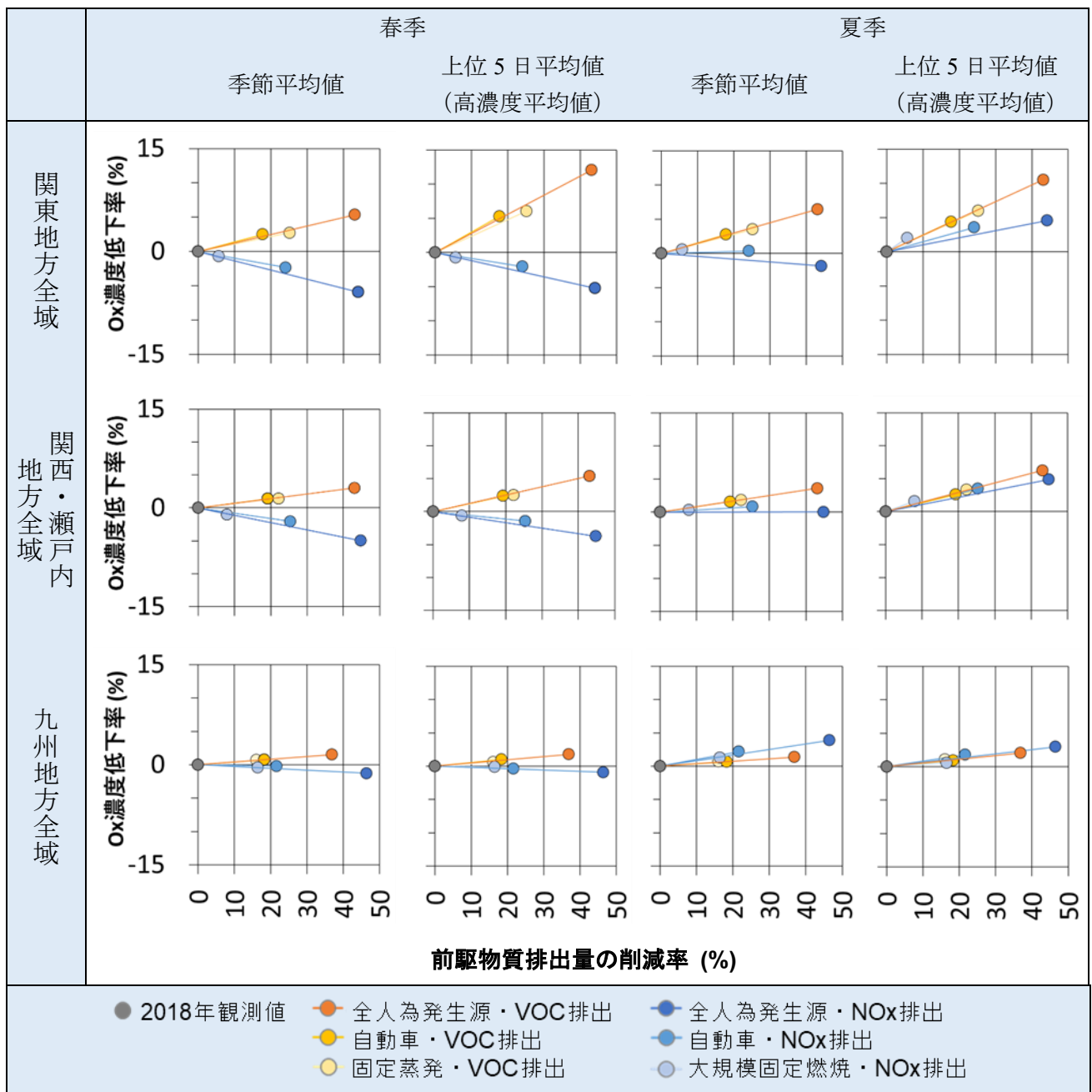


図 5-1 関東地方全域、関西・瀬戸内地方全域及び九州地方全域における前駆物質排出量変化と光化学オキシダント濃度変化との関係

※横軸の「前駆物質排出量の削減率」は、人為起源排出量を対象とした結果であり、植物起源 VOC は含まない。

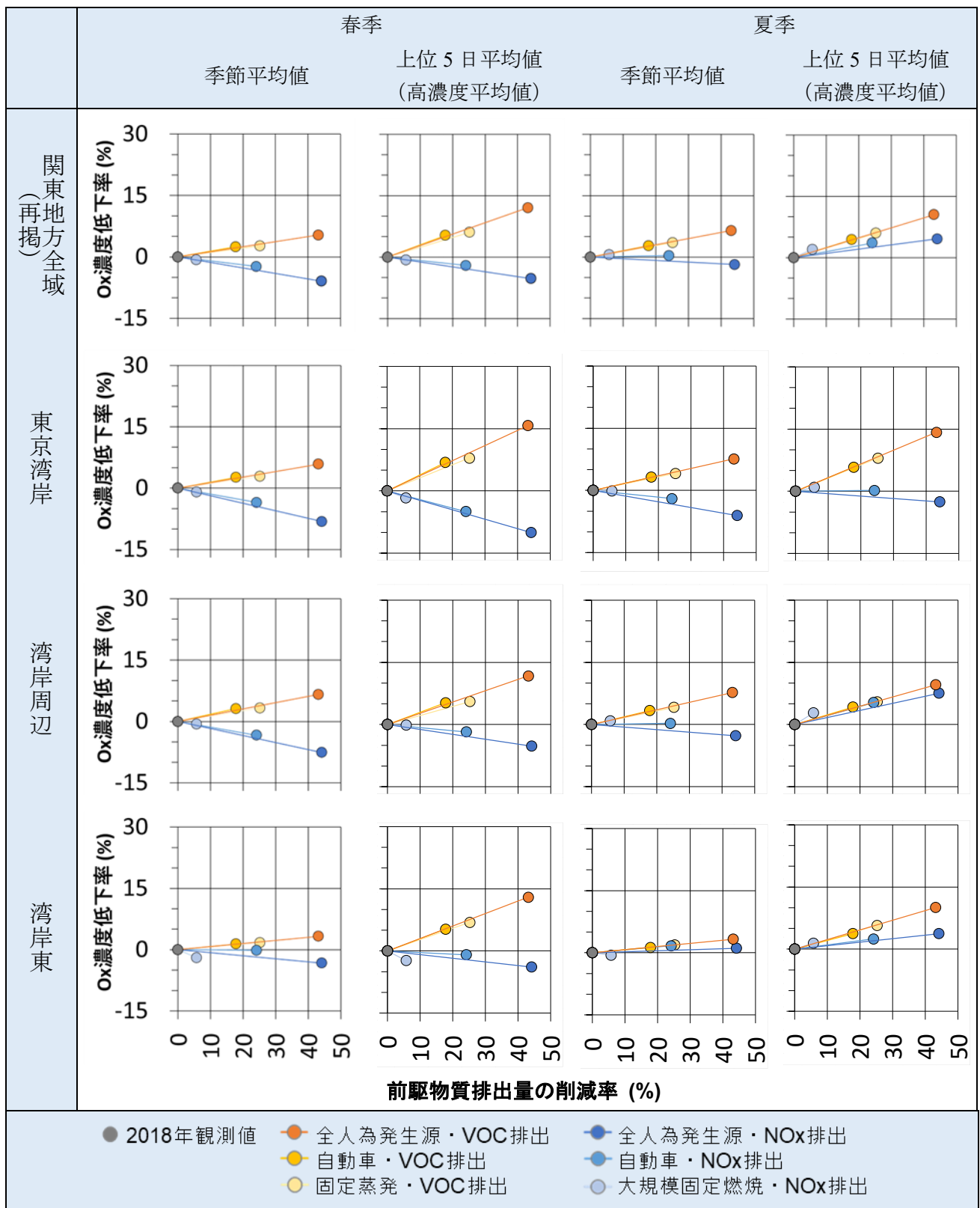


図 5-2 (1) 関東における前駆物質排出量変化と光化学オキシダント濃度変化との関係

※横軸の「前駆物質排出量の削減率」は、関東地域全域の人為起源排出量を対象とした結果であり、植物起源 VOC は含まない。

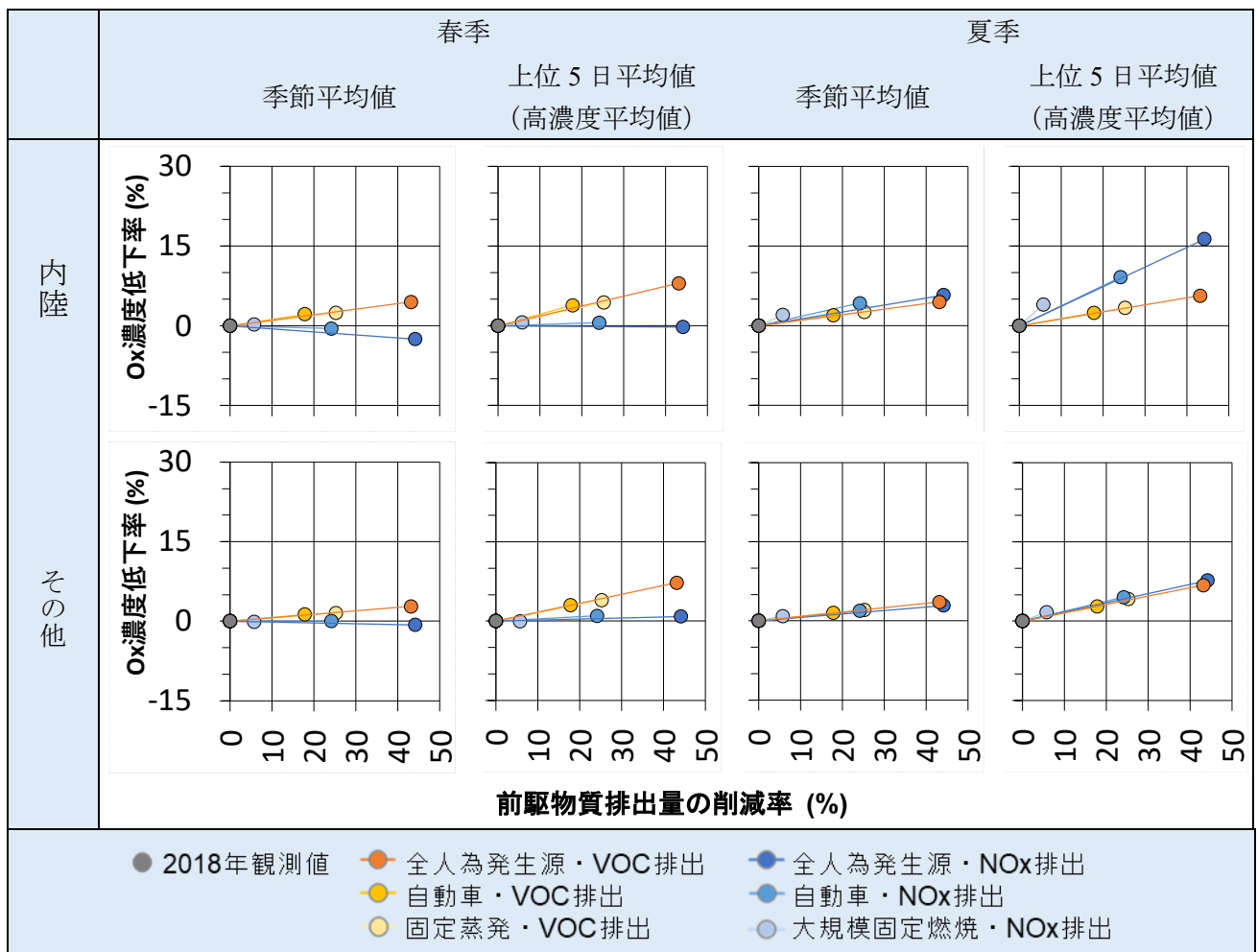


図 5-2 (2) 関東における前駆物質排出量変化と光化学オキシダント濃度変化との関係

※横軸の「前駆物質排出量の削減率」は、関東地域全域の人為起源排出量を対象とした結果であり、植物起源 VOC は含まない。

5.2. 排出量削減による光化学オキシダント濃度の変化量の地域分布

2005 年度から 2018 年度への国内排出量の削減に伴う光化学 O_x 指標の濃度変化量について、関東地方、関西・瀬戸内地方及び九州地方の空間分布図を図 5-3～図 5-5 に示す。

- ◇ 【関東地方】 固定蒸発及び自動車からの VOC 排出量削減は、関東地方全域で春季と夏季ともに光化学 O_x の高濃度平均値と季節平均値を低下させ、とくに高濃度平均値の低下に全人為発生源の VOC 排出量削減の効果が強く表れていた。また、光化学 O_x 濃度の低下量は湾岸地域が周辺地域よりも大きい傾向にあった。一方で自動車や大規模固定燃焼からの NO_x 排出量削減によって光化学 O_x の高濃度平均値や季節平均値の濃度変化量は上昇する地域や低下する地域が見られた。例えば、全人為発生源・NO_x の排出削減において、4.2 や 5.1 の春季の結果で関東地方全域を見た場合には光化学 O_x の両指標が上昇する結果であったが、空間分布で見ると光化学 O_x の両指標とも湾岸部を含む広い範囲で上昇するのに対して、北関東の内陸部や千葉県東部のように低下する地域も見られた。この空間的な傾向は夏季も同様であったが、夏季は両指標が上昇を示す地域範囲が湾岸部付近に限られ、広範囲で低下を示した。
- ◇ 【関西・瀬戸内地方】 固定蒸発及び自動車からの VOC 排出量削減によって、関東地方と同様に関西・瀬戸内地方の対象地域全域で春季と夏季ともに光化学 O_x の季節平均値と高濃度平均値が低下した。とくに大阪府や岡山の瀬戸内海沿岸部等で両発生源の VOC 排出量削減の効果が強く表れた。一方、NO_x 排出量の削減は光化学 O_x 濃度の高濃度平均値や季節平均値の濃度変化量に地域差が見られた。全人為発生源・NO_x の排出量の削減によって春季の光化学 O_x 両指標は大阪府の湾岸から内陸にかけての地域や、岡山県の沿岸部の濃度上昇量が大きかったが、京都府北部や香川県など濃度低下する地域もみられた。夏季は両 NO_x 発生源ともに大阪府中心部や岡山県で濃度上昇する地点もあるが、ほとんどの地域で高濃度平均値と季節平均値ともに低下を示した。
- ◇ 【九州地方】 固定蒸発及び自動車からの VOC 排出量削減によって光化学 O_x 濃度の低下が大きかった地域は、山口県や福岡県であり、長崎県や熊本県では濃度変化量が小さかった。全人為発生源・NO_x 削減によって、春季の光化学 O_x の両指標が山口県から北九州市にかけて上昇する地域が見られる一方で、福岡から西側では低下する地域があった。また、夏季はほとんどの地域で高濃度平均値と季節平均値ともに低下を示したが、濃度上昇を示す地点もあった。

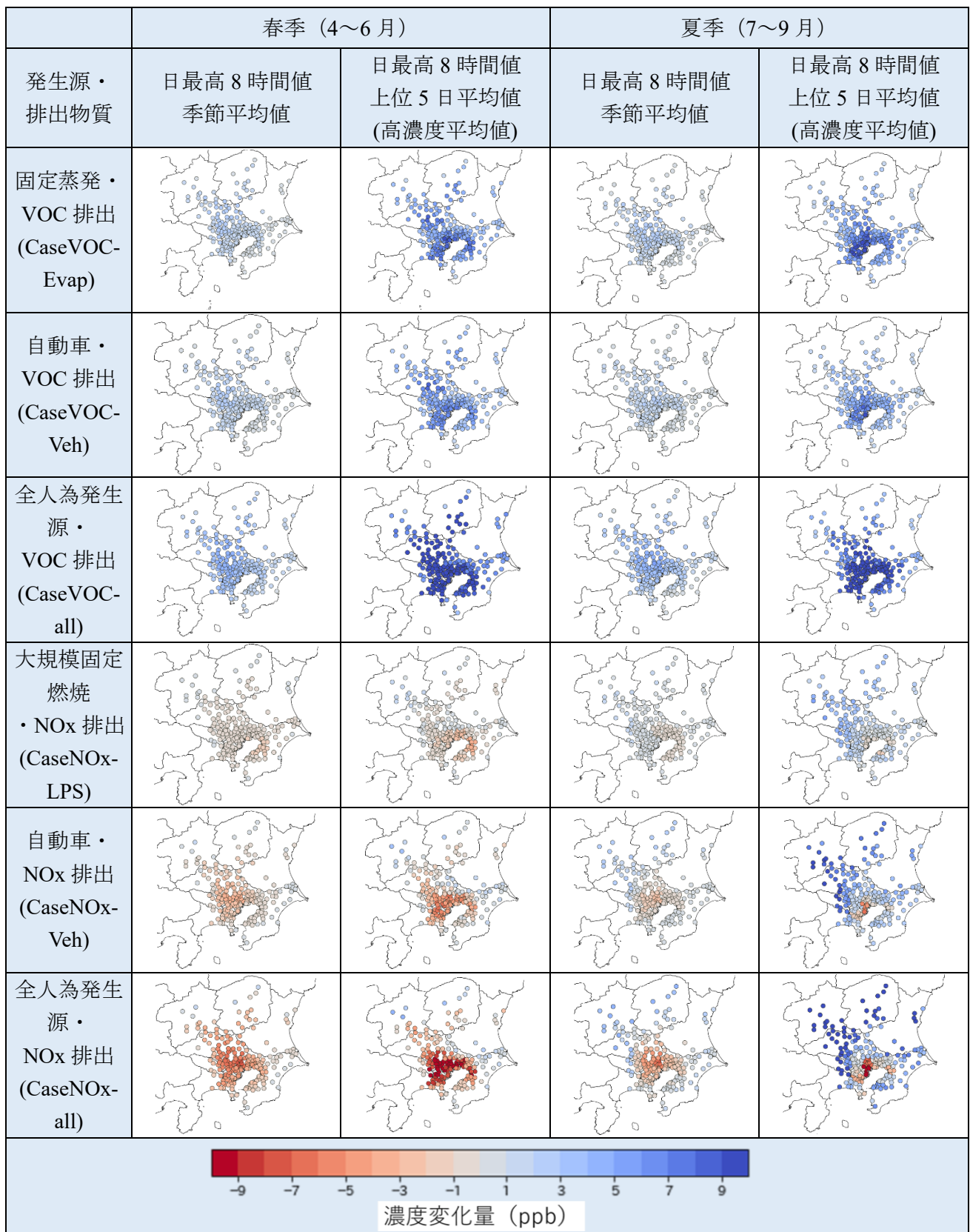


図 5-3 関東の前駆物質排出量変化に伴う光化学オキシダント濃度変化の地域分布

※青色は2005年度から2018年度に光化学Ox指標が低下したことを、赤色は2005年度から2018年度に光化学Ox指標が上昇したことを表す。

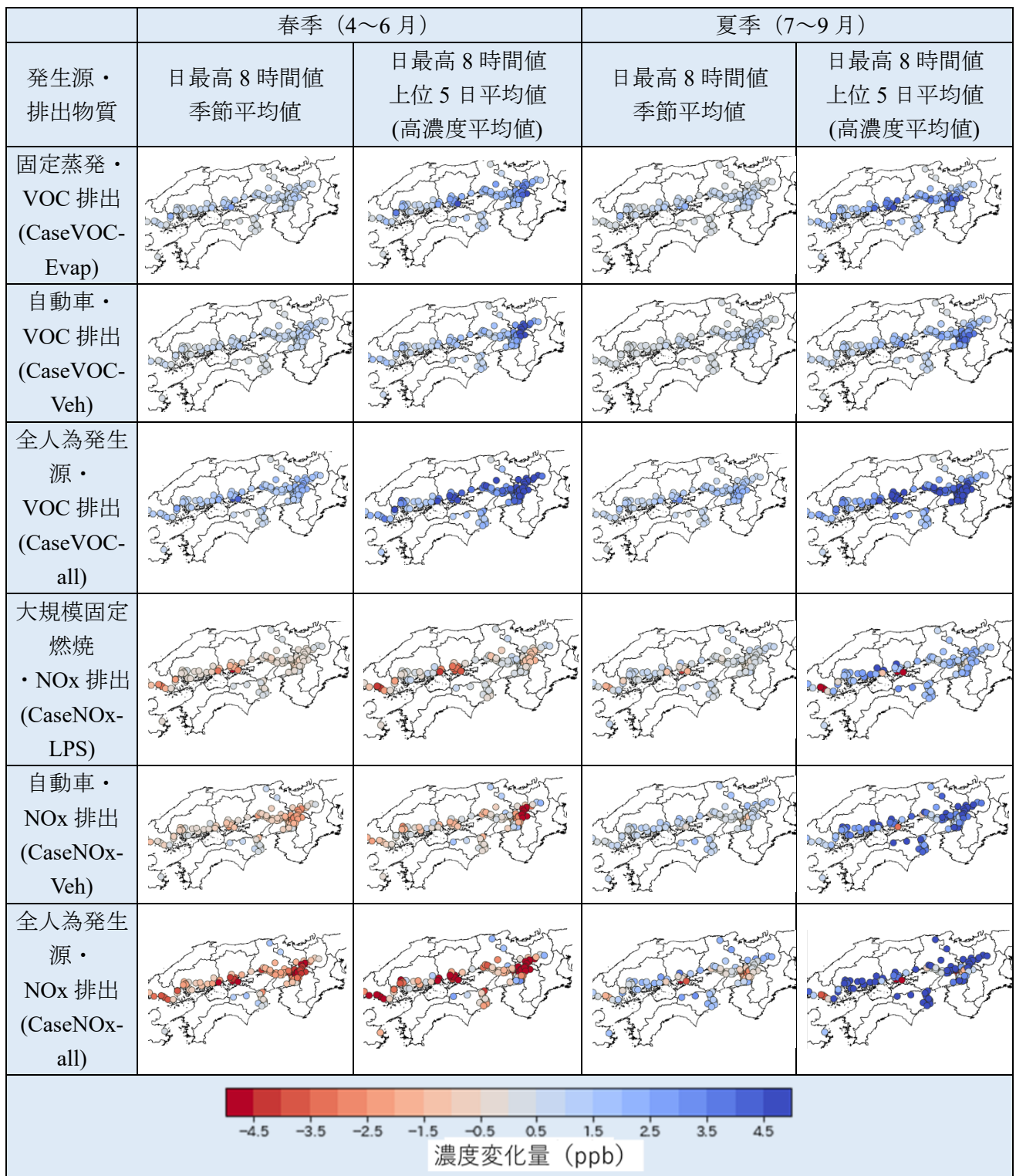


図 5-4 関西・瀬戸内の前駆物質排出量変化に伴う光化学オキシダント濃度変化の地域分布
 ※青色は2005年度から2018年度に光化学Ox指標が低下したことを、赤色は2005年度から2018年度に光化学Ox指標が上昇したことを表す。

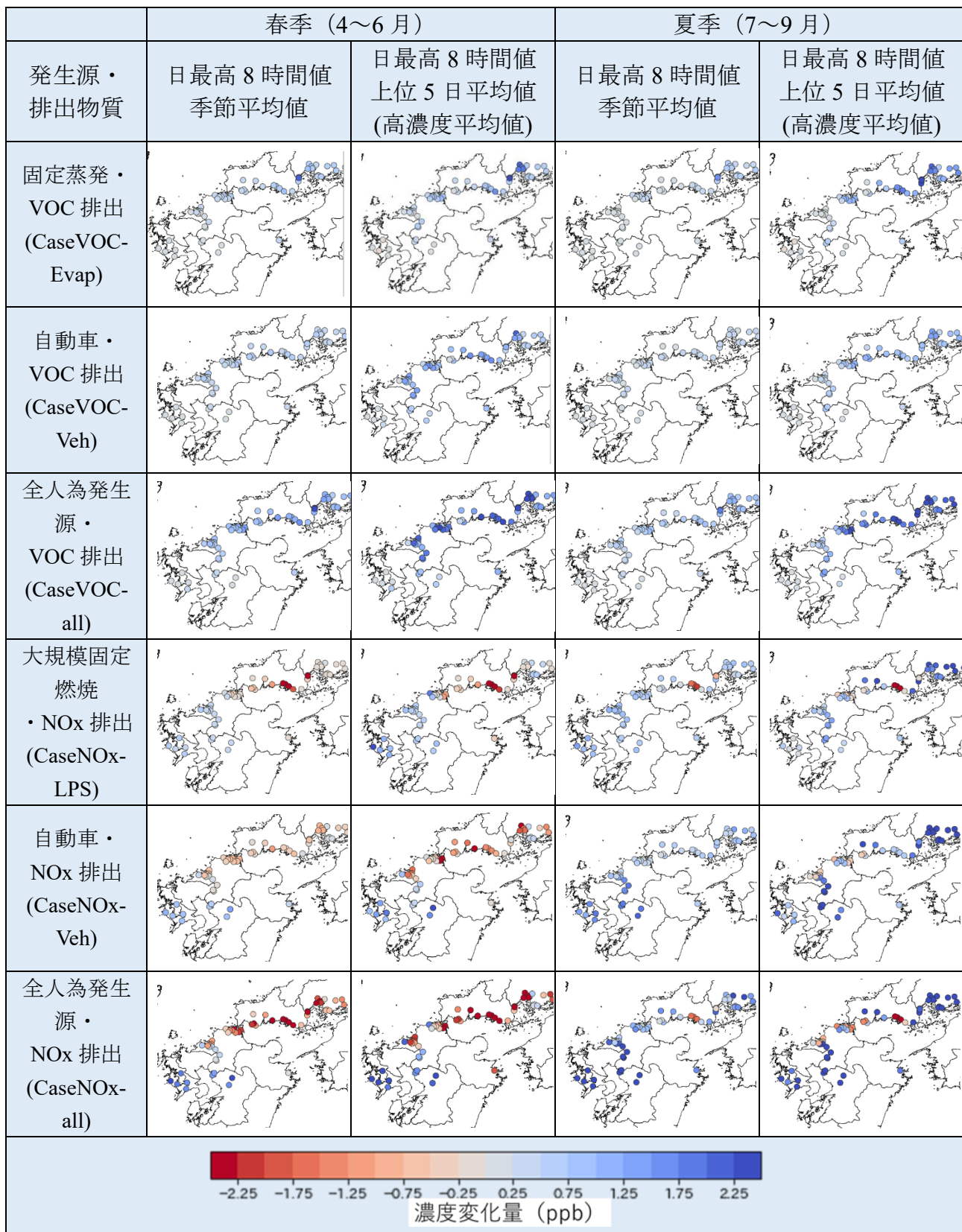


図 5-5 九州の前駆物質排出量変化に伴う光化学オキシダント濃度変化の地域分布
 ※青色は 2005 年度から 2018 年度に光化学 Ox 指標が低下したことを、赤色は 2005 年度から 2018 年度に光化学 Ox 指標が上昇したことを表す。

6. まとめ

本章では、NO_x と VOC の経年的な削減による光化学 O_x 濃度の低減効果を評価するため、基準年である 2018 年度の、固定蒸発施設の VOC、自動車の VOC と NO_x、大規模固定燃焼施設の NO_x、及び全人為発生源の VOC と NO_x のそれぞれの排出量を 2005 年度の排出量に置き換えたときの光化学 O_x 濃度の変化を、シミュレーションを用いて定量的に評価した。また、国内の排出量変化以外に光化学 O_x 濃度を変化させる要因として、越境汚染や気象の影響についても評価した。なお、推進費 5-2105 では 2000 年以降を対象として大気汚染対策を評価できる長期的な排出インベントリを構築し、シミュレーションにより光化学 O_x 濃度の低減効果を検証している。本調査では、推進費 5-2105 で対象としていない瀬戸内地域や九州地域も対象とすることや、自動車の NO_x と VOC を個別に評価するなど異なる解析ケースも対象とすることにより、推進費で得られた解析結果も踏まえて、光化学 O_x の低減効果を総合的に評価することを目的とした。このため、シミュレーションモデルと排出量を含めた計算条件は推進費 5-2105 と可能な限り同一とした。

解析の対象地域は関東、関西・瀬戸内及び九州とし、さらに細分化した地域も対象に解析を行ったが、以下のまとめにおいて特に断りが無い場合は、関東、関西・瀬戸内及び九州の「全域」を対象とした。季節は春季（4～6 月）と夏季（7～9 月）とした。また、光化学 O_x 濃度の評価指標として、日最高 8 時間値の春季・夏季別の季節平均値（以下、季節平均値）、上位 5 日間平均値（以下、高濃度平均値）を使用した。

(1) 排出削減による光化学 O_x 低減効果の概要

2005 年度から 2018 年度までの VOC 排出量の削減によって、関東、関西・瀬戸内及び九州の春季・夏季ともに、光化学 O_x の季節平均値及び高濃度平均値は低下した。高濃度平均値は季節平均値よりも低下率が大きく、VOC の排出量削減がとくに高濃度光化学 O_x の低減に効果があったことが確認できた。これに対して、全人為発生源の NO_x 排出量の削減による光化学 O_x の濃度変化の傾向は季節や地域、指標によって違いが見られた。夏季は関東の季節平均を除き低下傾向にあるが、春季は季節平均値及び高濃度平均値ともに上昇した。このように夏季は VOC 及び NO_x の排出量削減はともに高濃度平均値の低下に効果があったが、春季は VOC 排出量削減が高濃度平均値を下げる一方で、NO_x 排出量の削減は高濃度平均値を上昇させ、両者が光化学 O_x 濃度に与える効果は異なっていた。また、VOC あるいは NO_x の排出削減率当たりの O_x 濃度低減効果は、発生源種類に関係なく、ほぼ同様であることが示された。

以下に、国内の全人為発生源を対象とした削減ケースの結果をもとに季節別・光化学 O_x 指標別の特徴を要約する。（図 4-1、表 4-1）

- ▶ 【春季・季節平均値】各地域とも NO_x 排出量の削減による季節平均値の上昇率（関東では 5.9%）と VOC 排出量の削減による低下率（関東では 5.4%）が同程度であり、NO_x と VOC の同時削減は結果的に季節平均値の変化に影響を与えなかったと考えられる。
- ▶ 【春季・高濃度平均値】NO_x 排出量の削減による春季の高濃度平均値の上昇率（関東では 5.2%）よりも VOC 排出量の削減による低下率（関東では 12.1%）が上回ったことから、NO_x と VOC の同時削減は春季の高濃度平均値の低下に寄与した可能性がある。
- ▶ 【夏季・季節平均値】夏季の季節平均値は、関東では NO_x 排出量の削減によって 1.8% 上昇したのに対し、VOC の削減によって 6.5% 低下した。一方、関西・瀬戸内と九州では NO_x 排出量の削減によって季節平均値はそれぞれ 0% と 3.9% 低下し、VOC 排出量の削減

も季節平均値を低下させたことから、いずれの地域でも NO_x と VOC の同時削減は夏季の季節平均値の低下に寄与した可能性がある。

- ▶ 【夏季・高濃度平均値】夏季の高濃度平均値は VOC 及び NO_x 排出量の削減によって関東ではそれぞれ 10.5%及び 4.6%低下した。同様に関西・瀬戸内ではそれぞれ 6.3%及び 4.9%低下、九州はそれぞれ 2.0%及び 3.0%低下した。これらのことから、NO_x と VOC の同時削減によって高濃度平均値は大きく低下したと考えられる。

(2) 発生源・物質別の排出削減による光化学 Ox 低減効果

以下に、固定蒸発施設の VOC、自動車の VOC と NO_x、及び大規模固定燃焼施設の NO_x の各々の排出削減による光化学 Ox 低減効果を整理する。

i) 固定蒸発・VOC

固定蒸発 VOC の排出量削減によって、春季と夏季ともに季節平均値及び高濃度平均値が低下し、とくに高濃度平均値の低下率が大きかった（図 4-1、図 4-2）。例えば関東地方全域では高濃度平均値の低下率は春季が 6.1%、夏季が 6.0%であった（表 4-1）。推進費 5-2105 では関東と関西の光化学 Ox 日最高 8 時間値の季節平均値（ただし春季 3～5 月、夏季 6～8 月）及び年間上位 10 日平均の経年的な低下は国内排出量の経年的な減少によるものであり、VOC 蒸発排出量減少の寄与が支配的であったとされている（3 章-参考資料 1）。これらのことから固定蒸発 VOC の排出抑制対策による光化学 Ox 濃度低下への効果を確認できた。

光化学 Ox の季節平均値及び高濃度平均値の低下率は関東、関西・瀬戸内、九州の順に大きく、関東地方では発生源が多い湾岸側の方が内陸側よりも低下率が大きかった（図 5-3）。両指標とも春季に比べて夏季のほうが低下する傾向であったが、関東の高濃度平均値や九州の季節平均値のように春季と夏季の低下率が同様になることもあった（表 4-1）。

以上より、固定蒸発 VOC 排出量の削減は、地域や季節によらず光化学 Ox 指標の低減に効果があり、特に関東や関西・瀬戸内における発生源周辺地域の高濃度平均値の低減に大きな効果を示した。

ii) 自動車・VOC

自動車からの VOC 排出量削減も、固定蒸発・VOC と同様に春季と夏季ともに光化学 Ox の季節平均値及び高濃度平均値を低下させ、とくに高濃度平均値を低下する効果が大きかった（図 4-1）。また、両指標の低下率は関東、関西・瀬戸内、九州の順に大きく、関東では内陸側に比べて湾岸側が大きかったことも、固定蒸発・VOC と同様であった（図 5-3）。また、固定蒸発・VOC に比べて低下率はやや小さかったが（図 4-1）、排出削減率当たりでは同様であった（図 5-1）。

以上より、自動車からの VOC の排出量削減は、固定蒸発・VOC と同様に地域や季節によらず光化学 Ox 指標の低減に効果があり、特に関東や関西・瀬戸内における発生源周辺地域の高濃度平均値の低減に大きな効果を示した。

iii) 自動車・NO_x

自動車からの NO_x 排出量削減の効果は、季節、地域、光化学 Ox 指標により異なる傾向を示した（図 4-1）。春季では自動車からの NO_x 排出量削減は光化学 Ox の季節平均値や高濃度平均値を上昇させ、とくに関東では湾岸部付近の地域での上昇が大きかった（図 5-3）。た

だし、iiの自動車・VOC発生源の排出量削減に伴う高濃度平均値の低下率は関東を例にすると全域平均で5.3%であり、これは自動車・NOxの排出量削減による濃度上昇の変化率2.1%を上回るため、自動車排出削減全体としては濃度低下に寄与したと考えられる。一方、夏季は季節平均値や高濃度平均値を低下させ、湾岸部に比べて内陸での低下率が大きかった(図5-3)。とくに関西・瀬戸内地方全域及び九州地方全域の高濃度平均値の低下率(それぞれ3.5%、1.8%)は、固定蒸発・VOC、自動車・VOC及び大規模固定燃焼・NOxのどれよりも大きかった。このような夏季の自動車からのNOx排出量の削減による光化学Ox濃度の低下に加え、iiの自動車・VOC排出量の削減によっても光化学Ox濃度は低下したことから、自動車排出削減全体として夏季の光化学Ox濃度の低下に大きく寄与したと考えられる。推進費5-2105でも自動車のVOCとNOx排出量の同時削減により日最高8時間値の年間上位10日平均値が低下したとの結果が示されており(3章-参考資料1)、本解析結果と整合する。

以上より、自動車からのNOx排出量削減は、春季の光化学Ox指標を、発生源周辺地域を中心に上昇させた一方で、夏季の光化学Ox指標に対しては発生源から離れた地域での低減に効果があった。

iv) 大規模固定燃焼・NOx

大規模固定燃焼施設からのNOx排出量削減は、自動車NOxの排出量削減と同様に、季節、地域、光化学Ox指標により異なる傾向を示した。具体的には、春季は光化学Oxの季節平均値や高濃度平均値を上昇させたが、夏季は発生源から離れた地域の多くで光化学Oxの季節平均値や高濃度平均値を低下させた。例えば、関東では季節を問わず光化学Ox指標が湾岸部で上昇するのに対し、内陸部では低下する傾向があり、自動車・NOxの排出量の削減効果と同様な特徴を示した(図5-3)。推進費5-2105でも、春季の季節平均値が関東や関西で経年的に増加傾向であったことは、本解析結果と整合する。

以上より、大規模固定燃焼施設からのNOx排出量削減は、春季の光化学Ox指標を、湾岸部の発生源周辺地域を中心に上昇させた一方で、夏季の光化学Ox指標に対しては発生源から離れた地域での低減に寄与した。

(3) アジア大陸からの越境汚染の影響

越境汚染による影響を評価するために、2018年度の国外発生源(=国外の人為・自然発生源)を2005年度の排出量に変化させたシミュレーションを実施した。国外人為起源のNOxとVOCの排出量は、2005年に比べ2018年に増加し、例えば、中国の排出量は、NOxが9%、VOCが32%、それぞれ増加した。

国外発生源からの排出量の増加によって、関東地方全域の高濃度平均を除き、光化学Ox濃度が夏季よりも春季に上昇しており(表6-1)、また、春季には西側の地方ほど上昇率が大きく、越境大気汚染の経年変化による影響を相対的に強く受けていた。特に九州では、表6-1のように春季の季節平均値や高濃度平均値の上昇が、VOC排出量の削減による低下やNOx排出量の削減による上昇よりも大きく、国内の排出量の削減よりも越境汚染による濃度変化のほうが大きかった。一方で、夏季の越境汚染の変化による影響はいずれの地域においても光化学Ox両指標は最大で1.0%の上昇にとどまり、国内対策の効果の方が大きく表れた。

推進費5-2105の結果によれば、2005年度から2018年度の間、越境汚染の変化によって、光化学Ox濃度の春季平均値は関東で4.0%、関西で4.6%の上昇、夏季平均値は関東で1.7%、関西で0.7%上昇している。これに対して本調査では、春季平均値は関東で2.8%、関西で3.4%

の上昇、夏季平均値は関東で 0.8%、関西で 1.0% 上昇した。両調査では、対象とした基準年、季節の設定条件、地域平均値の対象等が異なるため直接の比較はできないが、越境汚染の影響は夏季よりも春季に大きかったこと、春季は関東に比べて関西で影響が大きい傾向は同じであった。

表 6-1 関東地方、関西・瀬戸内地方及び九州地方における 2005 年度から 2018 年度への国内排出量の削減及び越境汚染の変化による光化学 Ox 指標の変化率

		春季		夏季	
		季節平均値	上位 5 日平均値 (高濃度平均値)	季節平均値	上位 5 日平均値 (高濃度平均値)
関東地方 全域	越境汚染 (国内人為排出以外)	2.8%	-0.2%	0.8%	0.9%
	全人為発生源の VOC 削減	-5.4%	-12.1%	-6.5%	-10.5%
	全人為発生源の NOx 削減	5.9%	5.2%	1.8%	-4.6%
関西・ 瀬戸内 地方全域	越境汚染 (国内人為排出以外)	3.4%	2.6%	1.0%	0.0%
	全人為発生源の VOC 削減	-3.0%	-5.4%	-3.6%	-6.3%
	全人為発生源の NOx 削減	5.0%	3.7%	-0.0%	-4.9%
九州地方 全域	越境汚染 (国内人為排出以外)	3.9%	3.2%	1.0%	0.8%
	全人為発生源の VOC 削減	-1.5%	-1.8%	-1.4%	-2.0%
	全人為発生源の NOx 削減	1.3%	0.9%	-3.9%	-3.0%

(4) 気象の影響

気象の変化による影響を評価するために、2018 年度ベースケース (2018base) の気象条件を 2005 年度に置き換えたシミュレーションを実施し、両者を比較した。

関東及び関西・瀬戸内では、春季と夏季において高濃度平均値が上昇し、季節平均値は低下する傾向が見られた。推進費 5-2105 でも、2018 年度の気象は 2005 年度の気象に比べて Ox 濃度の日最高 8 時間値の年間上位 10 日平均値を上昇させることが示されており、本調査結果と整合する (3 章-参考資料 1)。一方、九州地方では、春季及び夏季の両季節において、気象の変化が光化学 Ox 指標を低下させる傾向を示した。なお、推進費 5-2105 の結果でも示されているように、気象の年々変動によって Ox 濃度も大きく変動することが知られており、本調査結果の解釈において留意する必要がある。

(5) 今後の主な課題

◇ モデル再現性の更なる評価

本調査のシミュレーション結果は、夏季におけるオゾン濃度の過大評価、2005 年度からの 2018 年度のオゾン変化量を十分に再現できないこと、前駆物質の NOx と VOC 濃度の過小評価など多くの課題があり、今後もモデルの改良を進める必要がある。また、

モデル再現性について関東地方の 12 の測定局のみを対象として検証したが、関東地方のより多くの測定データを用いた面的な検証、関東地方以外の地域や離島局、海外の測定局などでの検証を行うことが大きな課題である。

◇ シミュレーション解析ケースの追加

本調査では、VOC の削減については固定蒸発、自動車及び全人為発生源、NO_x の削減については大規模固定燃焼、自動車及び全人為発生源を対象として、各発生源の削減効果を評価した。対策効果をきめ細かく評価するためには、排出量変化における活動量変化の影響と対策効果の切り分け、主要発生源の NO_x と VOC を同時削減したケースの追加などが必要である。

◇ モデルの精緻化

本調査では、日本域のシミュレーションの水平解像度を 15km で実施したが、空間分布を詳細に評価するためには、分解能をより細かくする必要がある。また、本調査では実施ケース数の制約から、2005 年度と 2018 年度の 2 年間の変化だけを議論したが、推進費 5-2105 の結果からも分かるように、光化学 Ox 濃度は気象場の年々変動の影響を強く受けている。したがって、今後は多数年を解析対象にする必要がある。

◇ 環境省排出インベントリデータの活用

本調査では推進費 5-2105 の成果を利活用することを目的としたため、排出量のデータも推進費 5-2105 が構築した長期的な排出インベントリを用いた。しかし今後は、環境省が整備している排出インベントリを使って対策効果を評価するべきである。

◇ モデル対象年の更新

本調査ではシミュレーションの基準年を 2018 年度としたが、すでに 6 年以上経過しているため、基準年をより直近に設定し、最近の対策が光化学 Ox 濃度の変化に与える影響を解析する必要がある。

◇ 光化学 Ox の発生源別寄与率の評価

本調査では、排出削減対策等によるオゾン前駆物質排出量の経年的な変化が、光化学 Ox 濃度の変化に及ぼす感度を解析することにより、主要発生源別の排出削減効果を評価した。今後の対策を考えるためには、現在ならびに将来における発生源種類別の光化学 Ox 寄与率を定量的に把握する必要がある。さらに、国外からの越境汚染の影響はもとより、植物起源 VOC や土壌 NO_x、成層圏オゾンなどの自然起源の影響も把握することが重要である。

■ 3章-参考資料 1 推進費 5-2105 の概要

推進費 5-2105¹²では、4つのサブテーマから構成されており、サブテーマ1「対策効果を表現可能な長期排出インベントリの開発」にて排出量を作成し、作成した排出量を用いてサブテーマ2「長期大気質シミュレーションに基づく対策効果評価手法の確立」にて、オゾン濃度変化の諸要因を考慮したシミュレーションを実行している。基準年は2015年とし、国内全部門排出(ΔEjpn)、気象場(ΔMet)、越境輸送(ΔTBP)、国内VOC蒸発排出(ΔEjpnVOC)、国内自動車排出(ΔEjpnVeh)、国内大規模固定燃焼排出(ΔEjpnLPS)、国内その他排出(ΔEjpnOthr)の変化におけるオゾン濃度への寄与を評価している。推進費5-2105にて実施したシミュレーション条件を参考表1-1に示し、結果の一部を参考図1-1及び参考図1-2に示す。

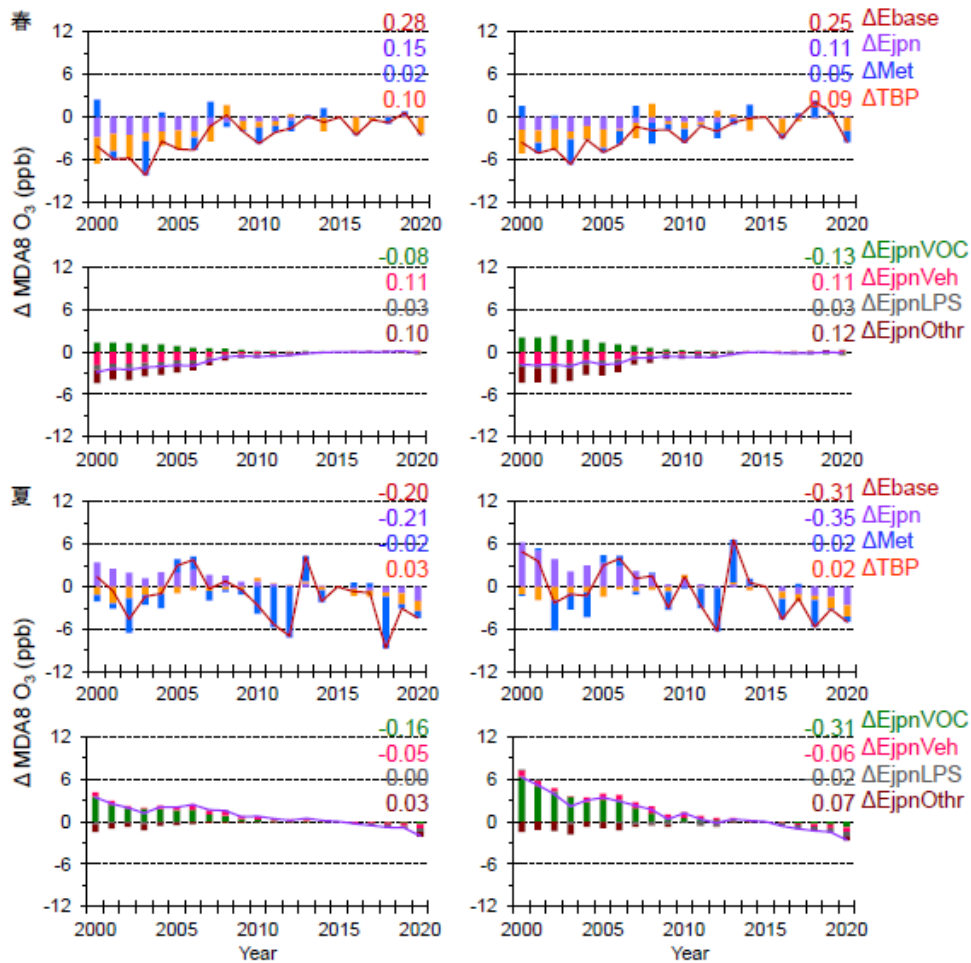
参考表 1-1 推進費 5-2105 で実施したオゾン濃度経年変化に対する
諸要因の寄与評価のためのシミュレーション条件

ケース名	国内排出	気象場	越境輸送
Ebase	経年変化	経年変化	経年変化
Eall15	2015年	経年変化	2015年
Ejpn15	2015年	経年変化	経年変化
EjpnVOC15	VOC蒸発を2015年/その他経年変化	経年変化	経年変化
EjpnVeh15	自動車を2015年/その他経年変化	経年変化	経年変化
EjpnLPS15	大規模固定燃焼を2015年/その他経年変化	経年変化	経年変化
EjpnOthr15	上記3部門以外を2015年/その他経年変化	経年変化	経年変化

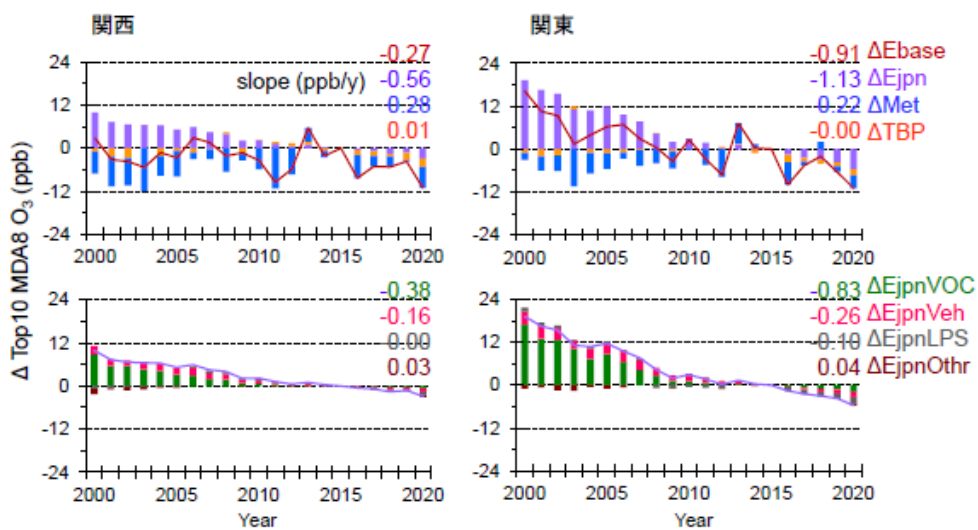
参考図 1-1 より、光化学オキシダント (Ox) 日最高 8 時間値の季節平均値 (以下、季節平均値) の春季の増加傾向については国内排出と越境輸送が同程度に寄与していた。夏季の季節平均値の経年的な減少傾向は、ほぼ国内排出量の経年的な減少の寄与であり、部門別には VOC 蒸発の寄与が支配的であった。夏季における年々変動については、気象場の寄与の年々変動と概ね対応した。

参考図 1-2 に示す光化学オキシダント (Ox) 日最高 8 時間値の年間上位 10 日平均オゾン濃度 (以下、年間上位 10 日平均) を対象とした経年変化では、年間上位 10 日平均の低下はほぼ国内排出量の経年的な減少によるものであり、年々変動はほぼ気象場の年々変動によるものであった。国内排出の部門別には、年間上位 10 日平均の低下に対し、VOC 蒸発からの排出量減少の寄与が支配的ではあるが、自動車からの排出量減少も春季・夏季の季節平均値に比べると高い寄与率であった。主要都市圏周辺においては VOC 蒸発からの排出量減少の影響が大きい一方、自動車からの排出量減少の影響はより広域的に確認され、主要都市圏中心部における NOx 排出量減少が、風下地域におけるオゾン生成量減少につながっていることが示唆された。

¹² 環境研究総合推進費 5-2105 「対策によるオゾン濃度低減効果の裏付けと標準的な将来予測手法の開発」 終了研究成果報告書



参考図 1-1 関西域（左）と関東域（右）における一般局平均での春季（3・4・5月）（上）、夏季（6・7・8月）（下）平均MDA8（日最高8時間）オゾン濃度の経年変化（対2015年偏差）の再現計算結果（ ΔE_{base} ）に対する寄与



参考図 1-2 関西域（左）と関東域（右）における一般局平均での年間上位10日平均（Top10）MDA8 オゾン濃度の経年変化（対2015年偏差）の再現計算結果（ ΔE_{base} ）に対する寄与

■ 3章-参考資料2 計算対象年の2005年度及び2018年度の気象及び大気質の概要

1. 気象状況の概要

計算対象年としている2005年度及び2018年度における気象の概要について気象庁の報道資料を整理した。その結果、異常年と特徴づけるほどの事象はなく、例年通りの気象であったと考えられる。

(1) 2005年度¹³

2005年3月から4月にかけても天気が短い周期で変化し、5月にはオホーツク海高気圧が出現して北日本を中心に寒気の影響を受けるなど、2005年1月から5月にかけては北極の寒気が日本付近に南下しやすい状態が続き、気温の変動が大きかった。

6月後半以降はそれまでの寒気の南下傾向が弱まって気温が平年を上回ることが多くなった。梅雨入りは概ね平年よりも遅く、東北地方を除き梅雨明けはほぼ平年並か早かった。4月以降に少雨が続き続いた東日本太平洋側から西日本にかけては、6月の降水量が記録的に少なくなったことから四国地方を中心に渇水状況となった。

(2) 2018年度¹⁴

2018年(平成30年)は、冬は全国的に気温が低く北陸地方中心に大雪となった。春から夏にかけては東・西日本中心に記録的な高温となり、東日本では年平均気温も記録的に高くなった。「平成30年7月豪雨」など全国各地で大雨が発生した。

2. 汚染状況の概要

計算対象年としている2005年度及び2018年度における大気汚染の概要について環境省の報道資料¹⁵を整理した。その結果、異常年と特徴づけるほどの事象はなく、例年通りであったと考えられる。

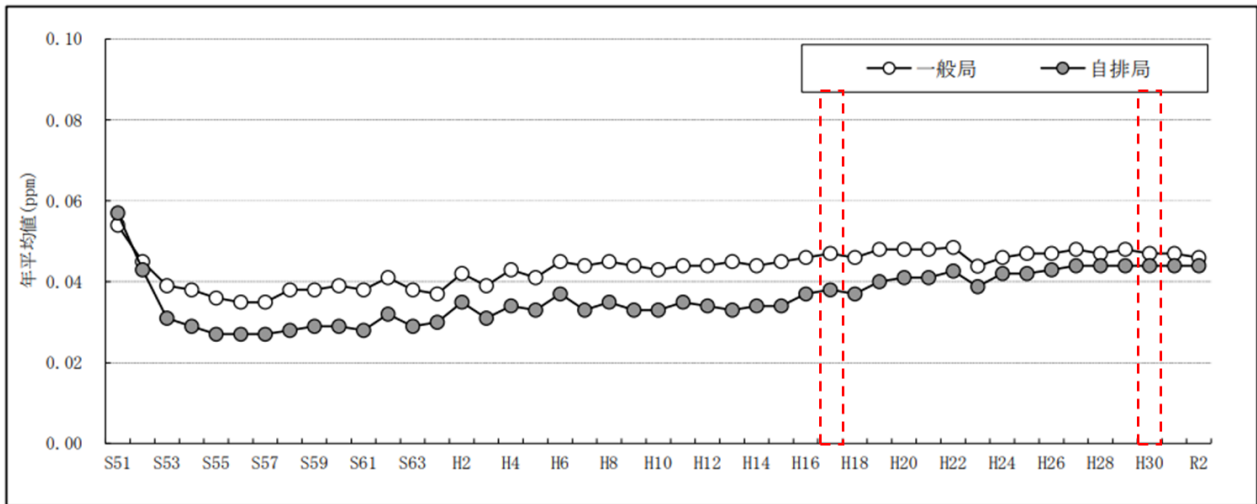
(1) 光化学オキシダント

2005年度及び2018年度の一般局における環境基準達成率はそれぞれ0%、0.2%であり、依然として低い水準であった。昼間日最高1時間値の年平均値で見ると近年漸増しているものの、注意報等の発令状況の経年変化(3年移動平均値)をみると、発令延日数は2011年度を境に減少しており、2012年度以降はほぼ横ばいで推移している。

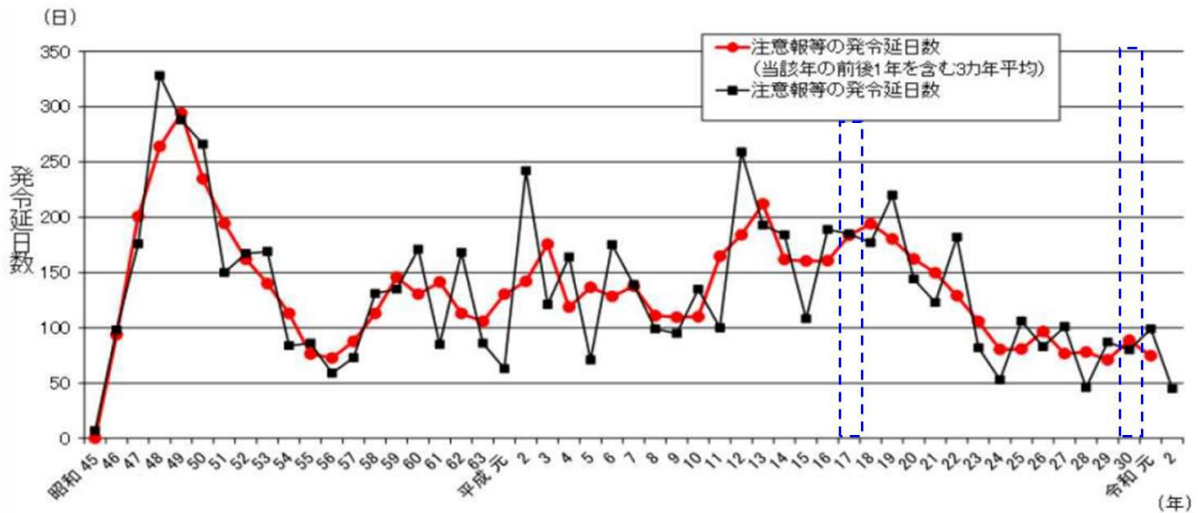
¹³ 気象庁報道発表資料(2005年の天候): <https://www.jma.go.jp/jma/press/0601/04b/tenko2005.html>

¹⁴ 気象庁報道発表資料(2018年の天候): <https://www.jma.go.jp/jma/press/1901/04b/tenko2018.html>

¹⁵ 環境省大気汚染状況: <https://www.env.go.jp/content/900518696.pdf>



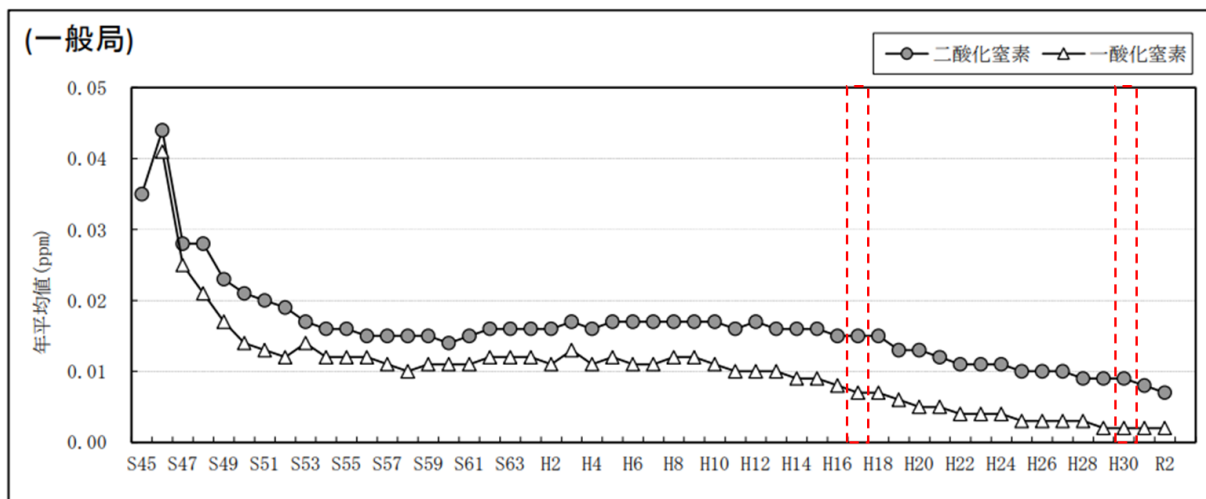
参考図 2-1 光化学オキシダント（昼間の日最高1時間値）の年平均値の推移



参考図 2-2 光化学オキシダント注意報等の発令延日数の推移（3年移動平均値）

(2) 窒素酸化物（NO₂、NO）

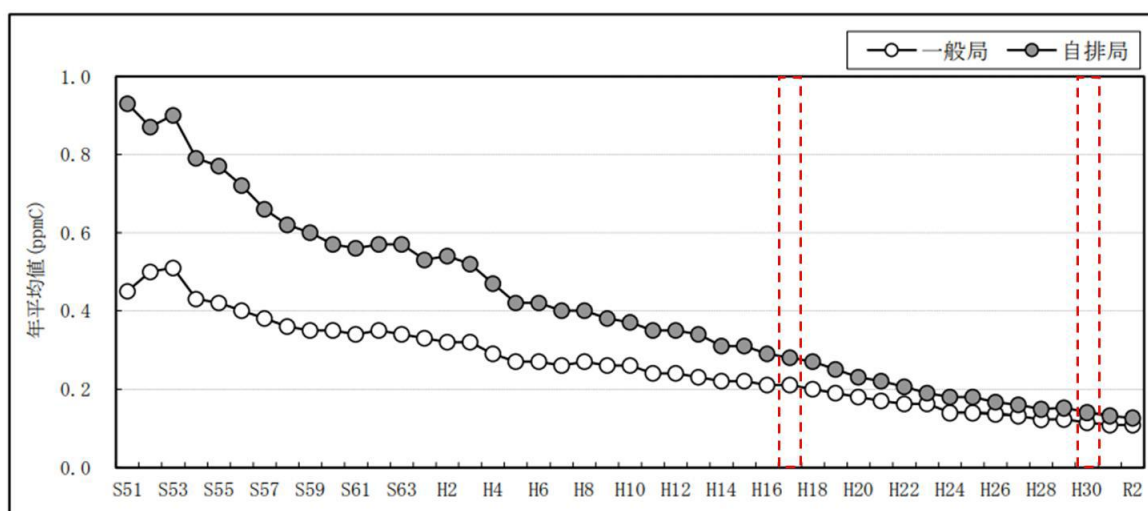
2005年度及び2018年度の一般局における二酸化窒素は、それぞれ0.015 ppm、0.009 ppm、一酸化窒素は0.007 ppm、0.002 ppm となり、例年と同様の減少傾向にあった。また、環境基準が設けられている二酸化窒素の達成率については一般局で2005年度は99.9%、2018年度は100%であった。



参考図 2-3 二酸化窒素及び一酸化窒素濃度の年平均値の推移

(3) 非メタン炭化水素 (NMHC)

2005 年度及び 2018 年度の一般局における非メタン炭化水素の午前 6 時～9 時における年平均値は、それぞれ 0.21 ppmC、0.12 ppmC であり、一般局・自排局どちらにおいてもゆるやかな改善傾向であった。



参考図 2-4 非メタン炭化水素濃度の午前 6 時～9 時における 3 時間平均値の年平均値の推移

■ 3章-参考資料3 base2018 及び base2005 の再現性検証結果

1. base2018 における NOx 及び VOC の 1 時間値を用いた再現性検証

報告書本編の図 3-1 に示す 12 地点を対象に、NOx 及び VOC の再現性検証を実施した。なお、使用した指標値及び計算式は報告書本編の表 3-1 に示す NME、NMB、RMSE、R とした。

参考表 3-1 base2018 の再現性検証結果 (NOx 1 時間値)

	春季				夏季			
	NME	NMB	RMSE	R	NME	NMB	RMSE	R
那須塩原市黒磯保健センター	0.74	-0.74	5.91	0.34	0.69	-0.69	5.22	0.24
中央	0.59	-0.54	7.02	0.31	0.59	-0.53	6.62	0.24
沼田市沼田小学校	0.84	-0.84	5.58	0.38	0.84	-0.83	4.72	0.34
古河市役所	0.50	-0.34	8.55	0.39	0.53	-0.37	9.06	0.34
本庄	0.47	-0.42	5.04	0.59	0.49	-0.40	4.74	0.51
入間	0.44	-0.27	7.13	0.48	0.45	-0.24	5.65	0.51
さいたま市役所	0.42	-0.28	7.34	0.65	0.45	-0.21	6.18	0.51
府中市宮西町	0.47	-0.42	7.77	0.57	0.50	-0.44	7.44	0.49
国設東京	0.52	-0.07	12.37	0.40	0.42	-0.11	9.05	0.43
寒川小学校	0.60	-0.40	13.44	0.40	0.61	-0.47	12.50	0.39
中区本牧	0.53	-0.30	12.13	0.44	0.49	-0.34	11.27	0.47
藤沢	0.53	-0.38	6.66	0.55	0.55	-0.41	7.21	0.56

参考表 3-2 base2018 の再現性検証結果 (VOC 1 時間値)

	春季				夏季			
	NME	NMB	RMSE	R	NME	NMB	RMSE	R
那須塩原市黒磯保健センター	0.67	-0.67	5.72	0.45	0.59	-0.57	5.31	0.37
中央	0.65	-0.64	7.88	0.37	0.67	-0.66	8.60	0.34
沼田市沼田小学校	0.92	-0.92	23.15	0.37	0.87	-0.87	16.97	0.50
古河市役所	0.66	-0.64	10.79	0.33	0.65	-0.62	10.75	0.32
本庄	0.62	-0.46	5.66	0.53	0.53	-0.45	5.38	0.40
入間	0.64	-0.62	11.17	0.42	0.60	-0.52	9.33	0.36
さいたま市役所	0.68	-0.65	13.04	0.47	0.74	-0.73	14.44	0.37
府中市宮西町	0.55	-0.52	6.79	0.51	0.57	-0.55	7.15	0.37
国設東京	0.58	-0.54	8.92	0.49	0.62	-0.61	9.82	0.33
寒川小学校	0.75	-0.73	12.74	0.17	0.78	-0.78	12.63	0.12
中区本牧	0.70	-0.69	11.30	0.56	0.76	-0.76	12.52	0.49
藤沢	0.81	-0.81	21.74	0.11	0.83	-0.83	24.61	0.09

2. base2005における再現性検証

2.1 光化学オキシダント濃度日最高8時間値を用いた再現性検証

2005年度の再現性検証には報告書本編の図3-1に示す12地点を対象に、光化学オキシダント(Ox)濃度の再現性検証を実施した。なお、使用した統計値及び計算式は報告書本編表3-1に示すNME、NMB、RMSE、Rとした。

光化学Ox日最高8時間値を用いて観測値との比較を行った結果を参考表3-3に示す。日最高8時間値を用いた光化学Oxの再現性については本編3.で示したように、NMEは<25%、NMBは±15%、Rは0.50以上であることが推奨されている。本結果のNMEについては、推奨値0.25(=25%)以上の地点が春季に1地点、夏季に8地点ある。NMBについては、春季には1地点を除き推奨値±0.15(=15%)の範囲に収まるが、夏季には12地点中4地点で推奨値の範囲を超過し、かつ、全地点で正のバイアスを示しており、モデルが過大評価している。これらについては本編で示した2018年の再現性検証の結果に比べると多少劣る結果であった。またRについては全ての地点で0.6より大きく、モデル値と観測値の相関性は比較的高い。これについては、本編の2018年の再現性検証よりも多少良好な結果であった。以上のことから、本計算の結果は、2018年の再現性検証と同様に、夏季に過大評価する点を除くと、再現性は比較的良好であると考えられる。

参考表 3-3 base2005の再現性検証結果(Ox日最高8時間値)

	春季				夏季			
	NME	NMB	RMSE	R	NME	NMB	RMSE	R
那須塩原市黒磯保健センター	0.14	-0.05	10.44	0.68	0.20	0.05	12.63	0.73
中央	0.20	0.14	12.75	0.78	0.34	0.32	17.10	0.86
沼田市沼田小学校	0.17	0.02	12.65	0.66	0.25	0.10	15.37	0.67
古河市役所	0.13	0.06	10.37	0.84	0.22	0.03	16.98	0.78
本庄	0.14	0.06	10.57	0.73	0.21	0.07	15.29	0.85
入間	0.18	0.04	12.50	0.71	0.27	0.12	18.14	0.77
さいたま市役所	0.18	0.10	11.31	0.79	0.45	0.38	22.22	0.72
府中市宮西町	0.16	-0.02	12.77	0.72	0.24	0.07	17.71	0.76
国設東京	0.36	0.35	14.70	0.82	0.53	0.45	20.57	0.62
寒川小学校	0.15	-0.04	9.64	0.69	0.27	0.14	14.63	0.66
中区本牧	0.17	0.05	10.50	0.76	0.31	0.19	15.95	0.68
藤沢	0.12	0.01	8.74	0.77	0.29	0.14	17.53	0.68

2.2 NOx 及び VOC の 1 時間値を用いた再現性検証

報告書本編の図 3-1 に示す 12 地点を対象に、NOx 及び VOC の再現性検証を実施した。なお、使用した指標値及び計算式は報告書本編 表 3-1 に示す NME、NMB、RMSE、R とした。

参考表 3-4 base2005 の再現性検証結果 (NOx 1 時間値)

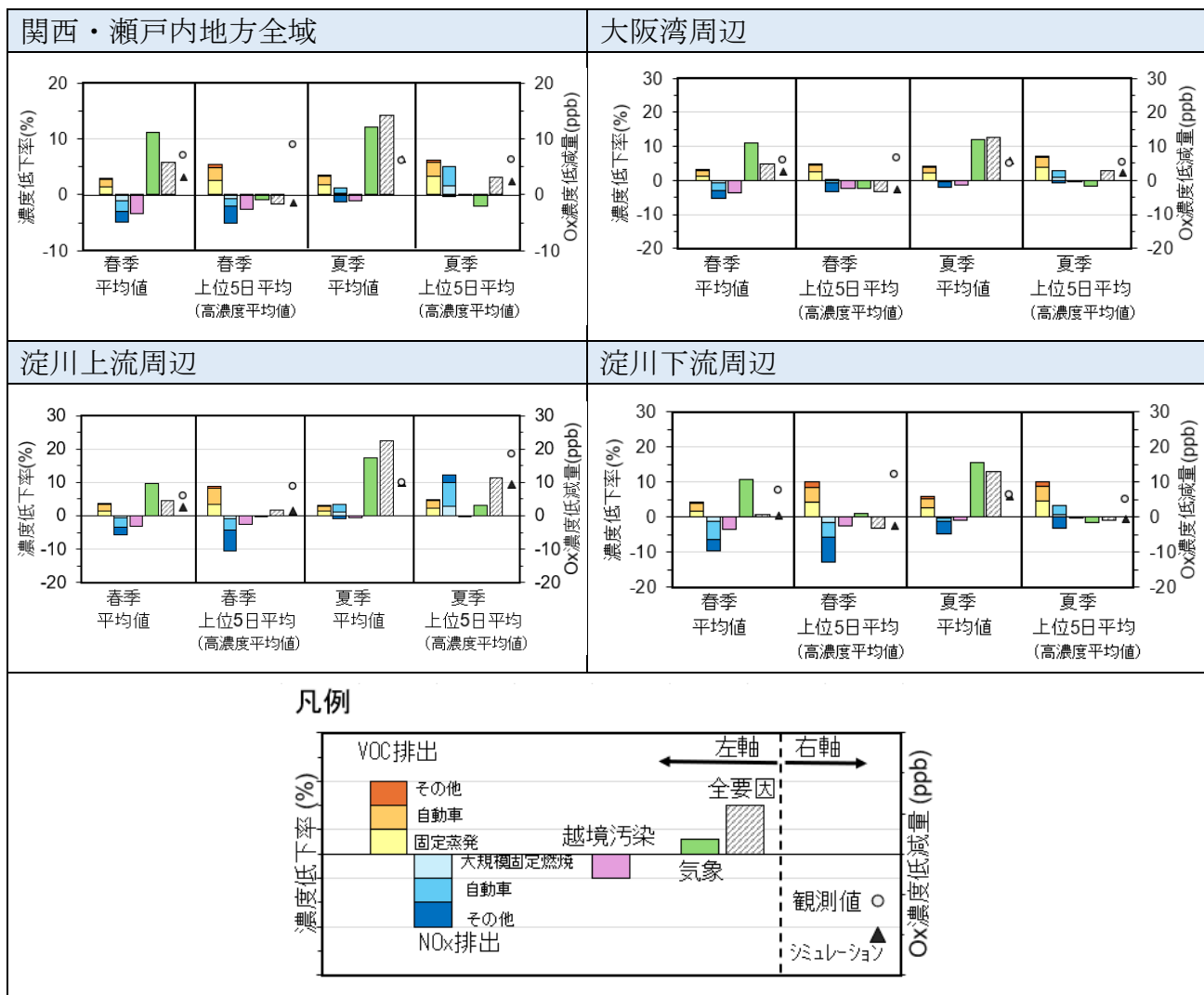
	春季				夏季			
	NME	NMB	RMSE	R	NME	NMB	RMSE	R
那須塩原市黒磯保健センター	0.87	-0.87	24.16	0.35	0.88	-0.88	23.52	0.46
中央	0.64	-0.63	19.73	0.57	0.69	-0.69	20.41	0.34
沼田市沼田小学校	0.83	-0.83	12.67	0.45	0.88	-0.88	13.22	0.34
古河市役所	0.57	-0.53	21.16	0.61	0.55	-0.50	15.60	0.57
本庄	0.54	-0.52	16.18	0.59	0.58	-0.56	14.57	0.48
入間	0.46	-0.28	15.58	0.42	0.47	-0.17	10.95	0.45
さいたま市役所	0.45	-0.37	20.31	0.62	0.46	-0.41	17.35	0.54
府中市宮西町	0.53	-0.51	24.01	0.52	0.53	-0.50	19.34	0.49
国設東京	0.44	-0.24	23.98	0.49	0.40	-0.27	19.10	0.48
寒川小学校	0.56	-0.52	26.65	0.59	0.54	-0.50	21.97	0.56
中区本牧	0.44	-0.19	17.67	0.54	0.43	-0.23	15.85	0.53
藤沢	0.50	-0.40	14.72	0.58	0.54	-0.47	15.02	0.54

参考表 3-5 base2005 の再現性検証結果 (VOC 1 時間値)

	春季				夏季			
	NME	NMB	RMSE	R	NME	NMB	RMSE	R
那須塩原市黒磯保健センター	0.78	-0.78	10.72	0.36	0.74	-0.74	10.56	0.40
中央	0.77	-0.77	20.47	0.52	0.75	-0.75	22.48	0.22
沼田市沼田小学校	-	-	-	-	-	-	-	-
古河市役所	-	-	-	-	-	-	-	-
本庄	0.63	-0.62	17.61	0.30	0.67	-0.66	20.05	0.15
入間	-	-	-	-	-	-	-	-
さいたま市役所	0.62	-0.59	17.27	0.39	0.69	-0.67	22.57	0.11
府中市宮西町	0.69	-0.69	19.67	0.45	0.71	-0.71	21.23	0.42
国設東京	0.55	-0.48	14.41	0.40	0.60	-0.59	17.32	0.44
寒川小学校	-	-	-	-	-	-	-	-
中区本牧	0.80	-0.80	47.39	0.11	0.83	-0.83	59.31	0.13
藤沢	0.68	-0.68	15.22	0.53	0.73	-0.73	17.43	0.47

■ 3章-参考資料4 光化学オキシダント濃度変化の要因（関西・瀬戸内、九州の結果）

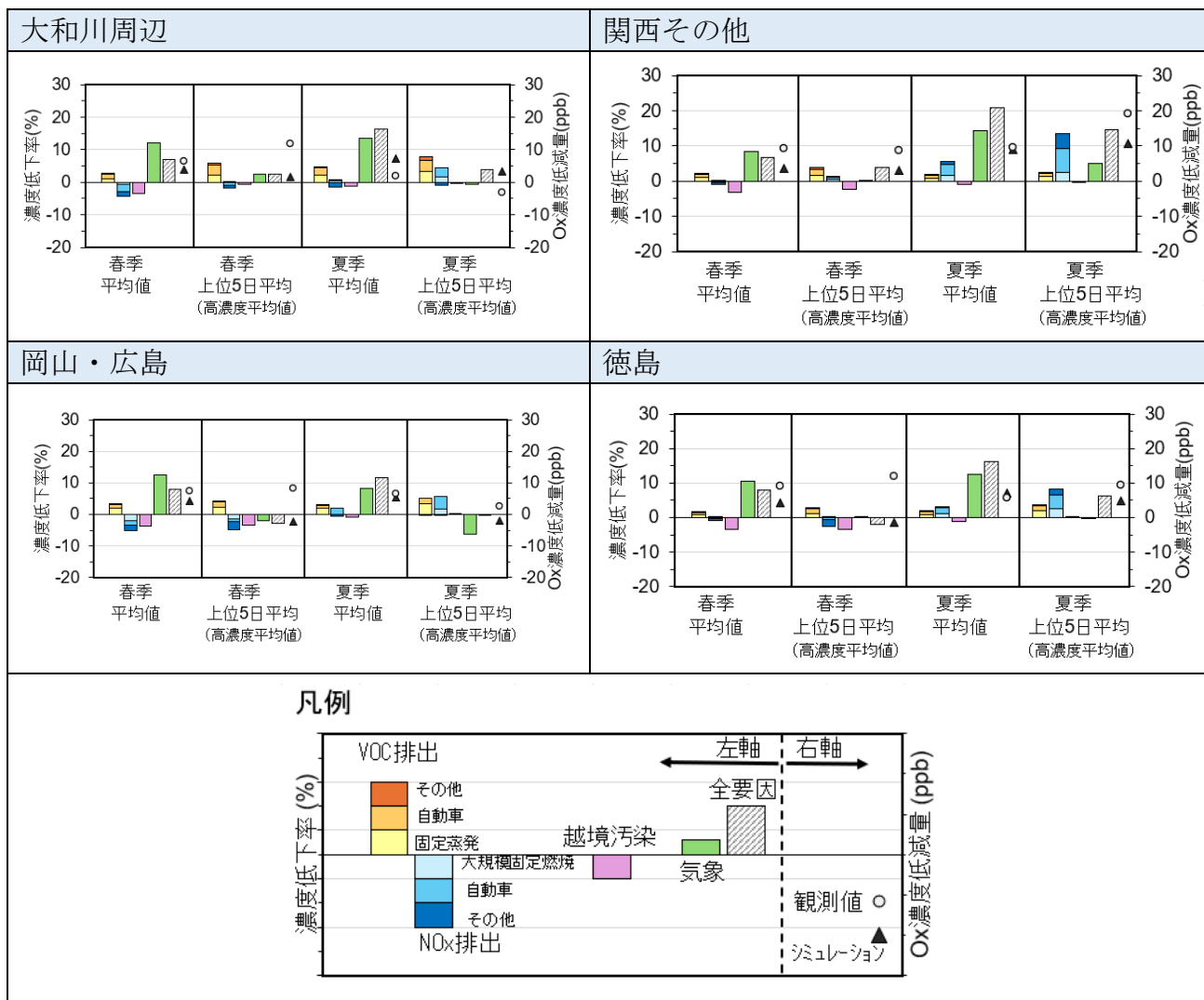
◇ 2005年度から2018年度の光化学Ox濃度の変化要因について、関西・瀬戸内及び九州の細分化した地域を対象とした結果を以下に示す。



参考図 4-1(1) 関西・瀬戸内における2005年度から2018年度への光化学オキシダント濃度変化と要因

※左軸（光化学Ox濃度の低下率）：グラフ上で低下率 > 0 の場合には、各シミュレーションケースの濃度がベースケース（base2018）の濃度よりも高いことを示す。例えば、固定蒸発・VOC排出の場合には、国内固定蒸発VOC排出量を2018年値から2005年値に置き換えたことによって光化学Ox濃度がベースケースよりも上昇すれば低下率 > 0 となり、VOC排出削減による光化学Ox低減効果があったことを意味する。低下率 < 0 の場合には、排出削減によって光化学Oxが増加したことを示す。

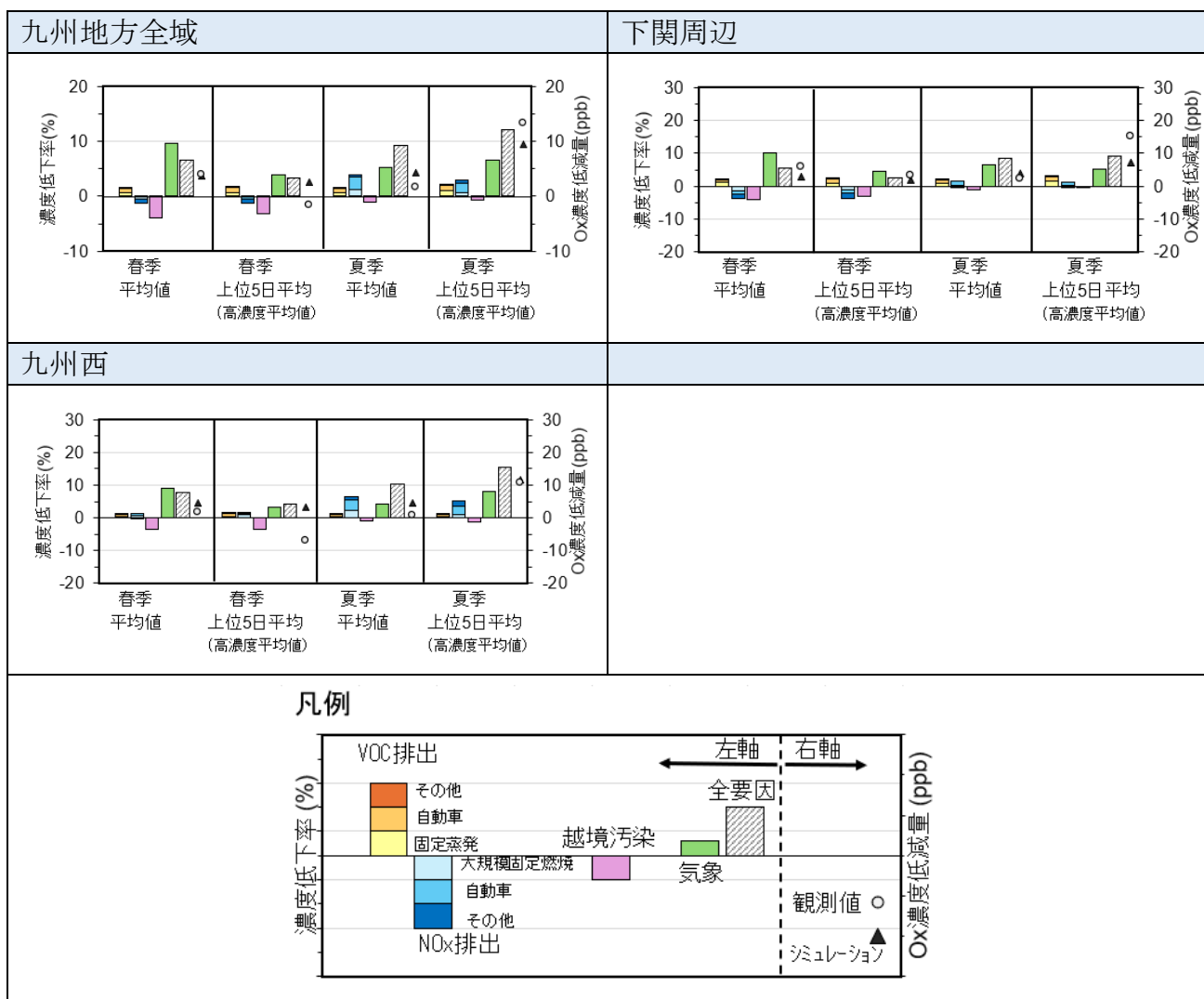
※右軸（光化学Oxの濃度低減量）：グラフ上で低減量 > 0 の場合、シミュレーションではbase2005の濃度がベースケース（base2018）の濃度よりも高いことを示し、観測値では、2005年度の光化学Ox濃度が2018年度より高いことを表す。低減量 < 0 の場合、シミュレーションではbase2005の濃度がベースケースの濃度よりも低いことを示し、観測値では、2005年度の光化学Ox濃度が2018年度より低いことを表す。



参考図 4-1(2) 関西・瀬戸内における 2005 年度から 2018 年度への
光化学オキシダント濃度変化と要因

※左軸（光化学 Ox 濃度の低下率）：グラフ上で低下率 > 0 の場合には、各シミュレーションケースの濃度がベースケース（base2018）の濃度よりも高いことを示す。例えば、固定蒸発・VOC 排出の場合には、国内固定蒸発 VOC 排出量を 2018 年値から 2005 年値に置き換えたことによって光化学 Ox 濃度がベースケースよりも上昇すれば低下率 > 0 となり、VOC 排出削減による光化学 Ox 低減効果があったことを意味する。低下率 < 0 の場合には、排出削減によって光化学 Ox が増加したことを示す。

※右軸（光化学 Ox の濃度低減量）：グラフ上で低減量 > 0 の場合、シミュレーションでは base2005 の濃度がベースケース（base2018）の濃度よりも高いことを示し、観測値では、2005 年度の光化学 Ox 濃度が 2018 年度より高いことを表す。低減量 < 0 の場合、シミュレーションでは base2005 の濃度がベースケースの濃度よりも低いことを示し、観測値では、2005 年度の光化学 Ox 濃度が 2018 年度より低いことを表す。



参考図 4-2 九州における 2005 年度から 2018 年度への光化学オキシダント濃度変化と要因

※左軸（光化学 Ox 濃度の低下率）：グラフ上で低下率 > 0 の場合には、各シミュレーションケースの濃度がベースケース（base2018）の濃度よりも高いことを示す。例えば、固定蒸発・VOC 排出の場合には、国内固定蒸発 VOC 排出量を 2018 年値から 2005 年値に置き換えたことによって光化学 Ox 濃度がベースケースよりも上昇すれば低下率 > 0 となり、VOC 排出削減による光化学 Ox 低減効果があったことを意味する。低下率 < 0 の場合には、排出削減によって光化学 Ox が増加したことを示す。

※右軸（光化学 Ox の濃度低減量）：グラフ上で低減量 > 0 の場合、シミュレーションでは base2005 の濃度がベースケース（base2018）の濃度よりも高いことを示し、観測値では、2005 年度の光化学 Ox 濃度が 2018 年度より高いことを表す。低減量 < 0 の場合、シミュレーションでは base2005 の濃度がベースケースの濃度よりも低いことを示し、観測値では、2005 年度の光化学 Ox 濃度が 2018 年度より低いことを表す。

参考表 4-1 関西・瀬戸内における 2005 年度から 2018 年度の光化学オキシダント濃度の低下率

case	季節	光化学 Ox 指標値	関西・瀬戸内全域	大阪湾周辺	淀川上流周辺	淀川下流周辺	大和川周辺	関西その他	岡山・広島	徳島
base2005	春季	季節平均値	5.8%	4.9%	4.6%	0.6%	7.0%	6.8%	8.0%	8.0%
		高濃度平均値	-1.7%	-3.3%	1.7%	-3.1%	2.4%	4.0%	-2.9%	-1.9%
	夏季	季節平均値	14.3%	12.5%	22.4%	13.0%	16.2%	20.8%	11.7%	16.1%
		高濃度平均値	3.2%	2.8%	11.3%	-0.8	4.0%	14.7%	6.3%	6.3%
caseVOC-Evap (固定蒸発・VOC)	春季	季節平均値	1.5%	1.3%	1.5%	1.8%	1.1%	1.0%	1.9%	0.7%
		高濃度平均値	2.5%	2.5%	3.5%	4.1%	2.3%	1.6%	2.3%	1.3%
	夏季	季節平均値	1.9%	2.1%	1.3%	2.6%	2.1%	0.9%	1.9%	1.0%
		高濃度平均値	3.3%	3.7%	2.2%	4.7%	3.4%	1.3%	3.4%	2.1%
caseVOC-Veh (自動車・VOC)	春季	季節平均値	1.4%	1.4%	2.0%	2.1%	1.4%	1.0%	1.3%	0.8%
		高濃度平均値	2.4%	1.9%	4.9%	4.4%	2.9%	1.8%	1.5%	1.3%
	夏季	季節平均値	1.6%	1.9%	1.5%	2.8%	2.3%	0.9%	1.0%	0.8%
		高濃度平均値	2.6%	3.2%	2.4%	4.1%	3.5%	1.1%	1.7%	1.4%
caseVOC-all (全人為発生源・VOC)	春季	季節平均値	3.0%	3.0%	3.7%	4.3%	2.7%	2.1%	3.2%	1.6%
		高濃度平均値	5.4%	4.8%	9.0%	10.1%	5.8%	3.8%	4.1%	2.6%
	夏季	季節平均値	3.6%	4.2%	2.9%	5.8%	4.7%	1.8%	3.0%	1.8%
		高濃度平均値	6.3%	7.2%	4.9%	9.9%	7.9%	2.5%	5.0%	3.6%
caseNOx-LPS (大規模固定燃焼・VOC)	春季	季節平均値	-1.0%	-0.8%	-0.5%	-1.3%	-0.6%	0.1%	-2.1%	0.0%
		高濃度平均値	-0.6%	0.1%	-0.8%	-1.5%	0.0%	0.4%	-1.5%	0.1%
	夏季	季節平均値	0.4%	-0.0%	1.2%	-0.1%	0.4%	1.5%	0.1%	1.1%
		高濃度平均値	1.6%	1.0%	2.8%	0.7%	1.6%	2.6%	1.8%	2.6%
caseNOx-Veh (自動車・NOx)	春季	季節平均値	-2.0%	-2.3%	-2.9%	-5.1%	-2.2%	-0.3%	-1.2%	-0.2%
		高濃度平均値	-1.4%	-0.7%	-3.6%	-4.3%	0.8%	0.6%	-0.9%	-0.7%
	夏季	季節平均値	0.8%	-0.2%	2.2%	-1.3%	0.4%	3.2%	1.8%	1.8%
		高濃度平均値	3.5%	2.0%	7.2%	2.7%	3.0%	6.7%	3.8%	3.9%
caseNOx-all (全人為発生源・NOx)	春季	季節平均値	-5.0%	-5.4%	-5.6%	-9.7%	-4.3%	-0.9%	-5.0%	-0.8%
		高濃度平均値	-3.7%	-2.5%	-6.9%	-8.7%	-1.0%	0.7%	-3.9%	-1.9%
	夏季	季節平均値	0.0%	-2.1%	2.7%	-4.7%	-0.7%	5.7%	1.4%	3.3%
		高濃度平均値	4.9%	2.2%	12.1%	0.1%	3.8%	13.5%	5.4%	8.3%
caseTBP (国外発生源・越境汚染)	春季	季節平均値	-3.4%	-3.5%	-3.1%	-3.4%	-0.4%	-3.1%	-3.6%	-3.4%
		高濃度平均値	-2.6%	-2.3%	2.5%	-2.4%	-0.6%	-2.3%	-3.3%	-3.4%
	夏季	季節平均値	-1.0%	-1.2%	-0.6%	-0.9%	-1.2%	-0.9%	-0.9%	-1.1%
		高濃度平均値	-0.0%	-0.1%	-0.2%	-0.1%	-0.1%	-0.1%	0.1%	0.3%
caseMET (気象)	春季	季節平均値	11.2%	11.0%	9.7%	10.6%	12.2%	8.6%	12.6%	10.6%
		高濃度平均値	-0.8%	-2.3%	-0.1%	0.9%	2.6%	0.2%	-2.0%	0.3%
	夏季	季節平均値	12.2%	11.9%	17.5%	15.4%	13.4%	14.5%	8.3%	12.5%
		高濃度平均値	-1.9%	-1.6%	3.1%	-1.6%	-0.7%	5.1%	-6.3%	-0.1%

※各指標値で最も変化が大きい値を太字で示す。(濃度が低下している場合は青、濃度が上昇している場合は赤とする。)

参考表 4-2 九州における 2005 年度から 2018 年度の光化学オキシダント濃度の低下率

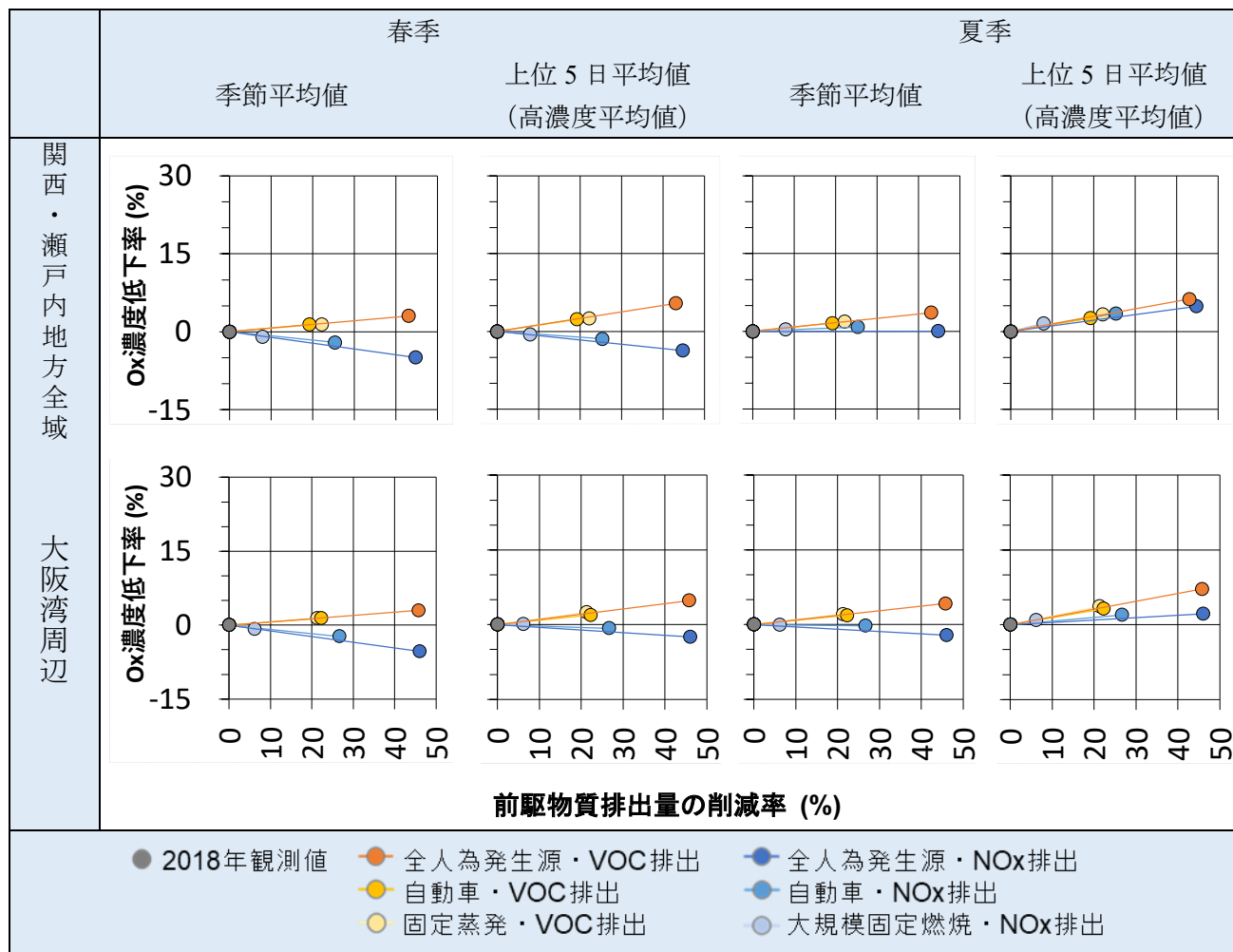
case	季節	指標値	九州地方全域	下関周辺	九州西
base2005	春季	季節平均値	6.7%	5.4%	7.9%
		高濃度平均値	3.3%	2.6%	4.2%
	夏季	季節平均値	9.4%	8.4%	10.3%
		高濃度平均値	12.2%	9.2%	15.5%
caseVOC-Evap (固定蒸発・ VOC)	春季	季節平均値	0.7%	1.1%	0.4%
		高濃度平均値	0.6%	0.9%	0.3%
	夏季	季節平均値	0.7%	1.0%	0.4%
		高濃度平均値	1.1%	1.6%	0.3%
caseVOC-Veh (自動車・ VOC)	春季	季節平均値	0.8%	0.9%	0.6%
		高濃度平均値	1.0%	1.1%	0.9%
	夏季	季節平均値	0.7%	0.7%	0.6%
		高濃度平均値	0.9%	1.2%	0.6%
caseVOC-all (全人為 発生源・ VOC)	春季	季節平均値	1.5%	2.1%	0.9%
		高濃度平均値	1.8%	2.3%	1.3%
	夏季	季節平均値	1.4%	1.8%	1.0%
		高濃度平均値	2.0%	3.0%	1.0%
caseNOx-LPS (大規模 固定燃焼・ VOC)	春季	季節平均値	-0.4%	-1.5%	0.8%
		高濃度平均値	-0.1%	-1.1%	0.9%
	夏季	季節平均値	1.3%	0.4%	2.2%
		高濃度平均値	0.6%	0.1%	1.2%
caseNOx-Veh (自動車・ NOx)	春季	季節平均値	-0.2%	-0.9%	0.5%
		高濃度平均値	-0.4%	-1.0%	0.3%
	夏季	季節平均値	2.2%	1.2%	3.3%
		高濃度平均値	1.8%	1.2%	2.5%
caseNOx-all (全人為 発生源 ・NOx)	春季	季節平均値	-1.3%	-3.6%	1.1%
		高濃度平均値	-0.9%	-2.7%	1.0%
	夏季	季節平均値	3.9%	1.5%	6.4%
		高濃度平均値	3.0%	1.0%	5.3%
caseTBP (国外発生源・ 越境汚染)	春季	季節平均値	-3.9%	-4.2%	-3.6%
		高濃度平均値	-3.2%	-3.0%	-3.4%
	夏季	季節平均値	-1.0%	-1.0%	-1.0%
		高濃度平均値	-0.8%	-0.5%	-1.1%
caseMET (気象)	春季	季節平均値	9.7%	10.2%	9.1%
		高濃度平均値	3.8%	4.4%	3.3%
	夏季	季節平均値	5.3%	6.4%	4.1%
		高濃度平均値	6.6%	5.2%	8.1%

※各指標値で最も変化が大きい値を太字で示す。(濃度が低下している場合は青、濃度が上昇している場合は赤とする。)

■ 3章-参考資料5 排出量削減と光化学オキシダント濃度変化（統計指標）の関係

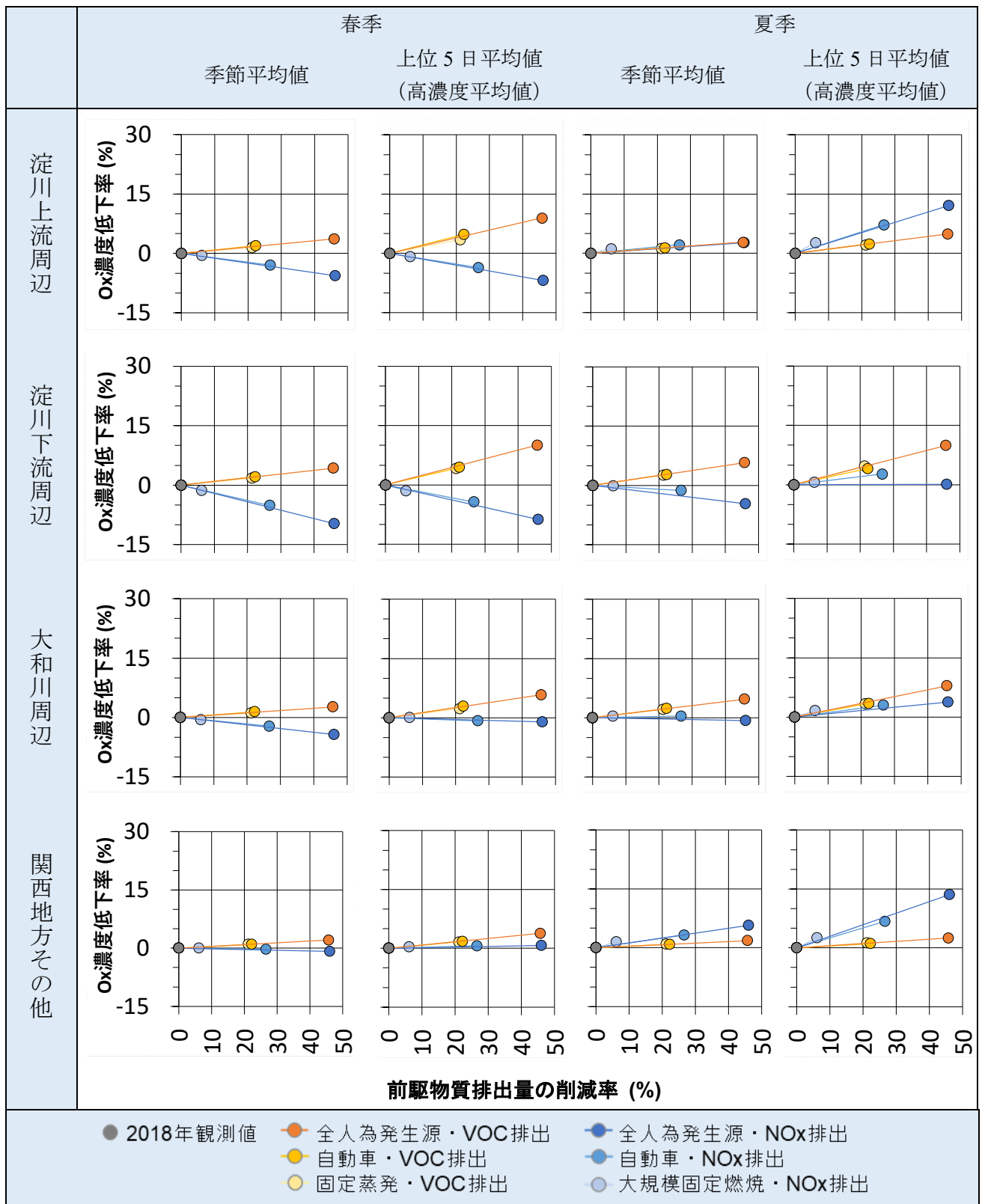
（関西・瀬戸内、九州の結果）

◇ 関西・瀬戸内及び九州の2005年度から2018年度の排出量削減率に対する光化学Ox濃度の低下率を参考図5-1及び参考図5-2に示す。



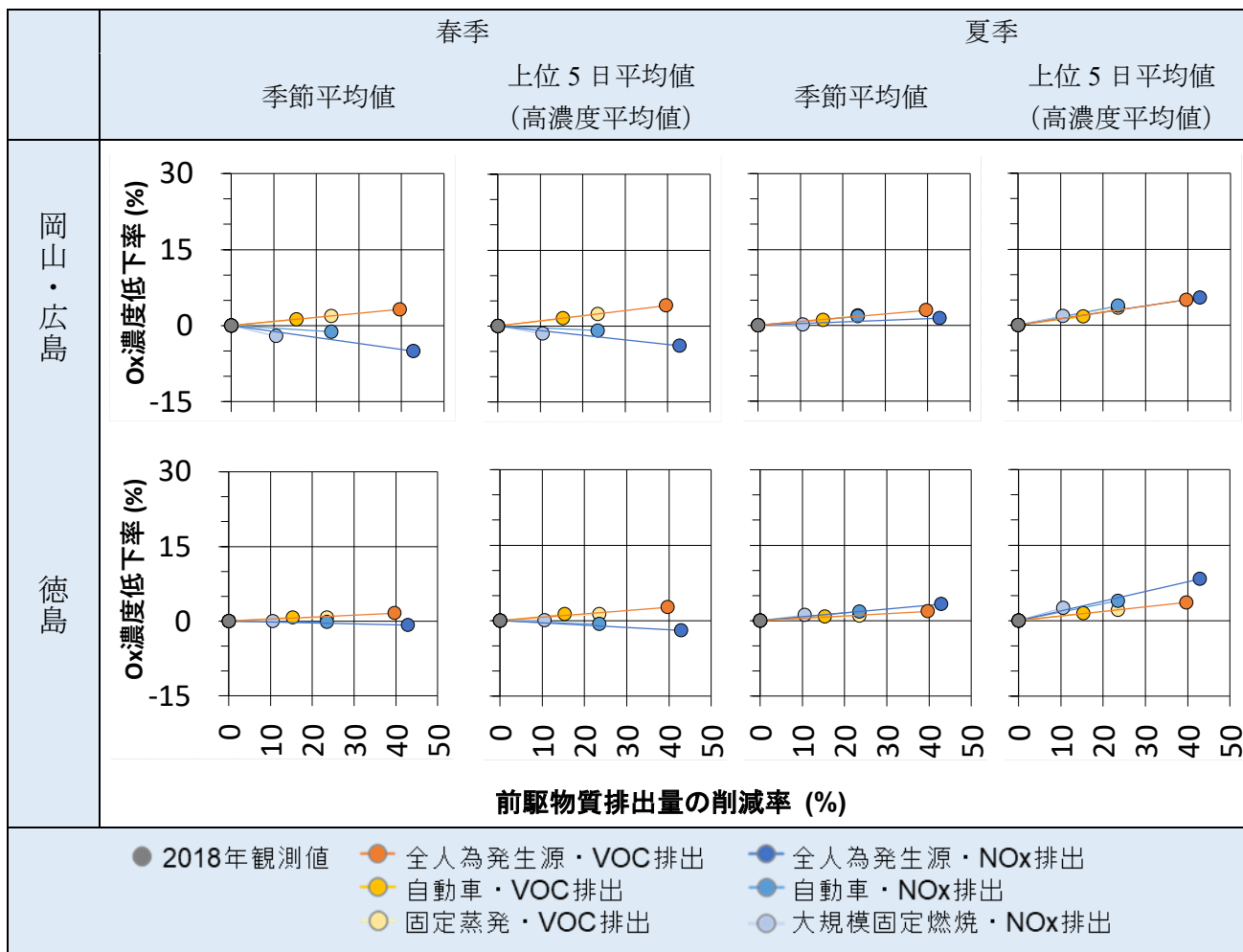
参考図 5-1(1) 関西・瀬戸内の前駆物質排出量変化と光化学オキシダント濃度変化との関係

※横軸の「前駆物質排出量の削減率」は、人為起源排出量を対象とした結果であり、植物起源VOCは含まない。



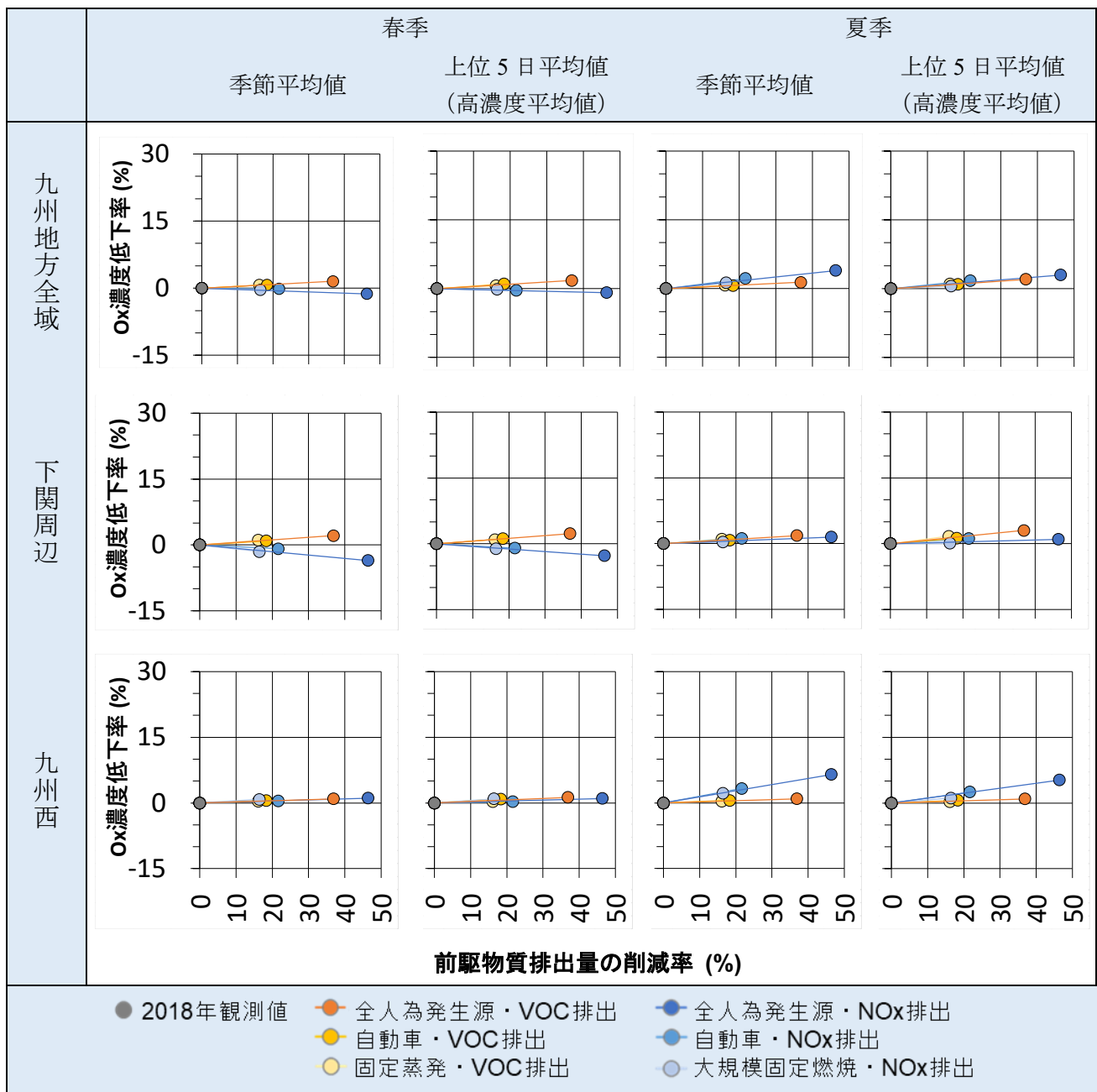
参考図 5-1(2) 関西・瀬戸内の前駆物質排出量変化と光化学オキシダント濃度変化との関係

※横軸の「前駆物質排出量の削減率」は、人為起源排出量を対象とした結果であり、植物起源 VOC は含まない。



参考図 5-1(3) 関西・瀬戸内の前駆物質排出量変化と光化学オキシダント濃度変化との関係

※横軸の「前駆物質排出量の削減率」は、人為起源排出量を対象とした結果であり、植物起源 VOC は含まない。



参考図 5-2 九州の前駆物質排出量変化と光化学オキシダント濃度変化との関係

※横軸の「前駆物質排出量の削減率」は、人為起源排出量を対象とした結果であり、植物起源 VOC は含まない。

第4章 削減シナリオの策定に向けた検討

1. 本章の概要

今後の光化学オキシダント（以下、光化学 O_x）対策を検討するために、2050年カーボンニュートラル（以下、「2050CN」という。）に向けた様々な分野での取組や現状で考慮されている大気汚染対策が実施された場合の2030年度のNO_x及びVOC排出量（ベースラインシナリオ）を推計し、2030年度のオゾンの将来濃度を予測した。さらに、2030年度以降も見据えて、2050CNの取組を踏まえたより長期的な削減シナリオの作成に向けた情報収集を行った。

2. 2030年度を将来年としたベースラインシナリオの作成

2.1. ベースラインシナリオの考え方

- ① 活動量としては、第6次エネルギー基本計画の2030年エネルギー需給見通しをベースとして、気候変動対策の目標到達に向けた省エネルギー対策前相当を高位(H)、同じく対策後相当を低位(L)の2ケースを設定する。
- ② 大気汚染対策レベルとしては、大気汚染対策やVOC排出削減の自主的取組が既定の対策のみ行われた場合を「高位排出(1)」(以下、高位とする)、現在考えられている対策が実現した場合を「低位排出(2)」(以下、低位とする)とした2つのケースを設定する。

その上で、活動量と大気汚染対策レベルがともに高位であるH1と、ともに低位であるL2の2つについて、2030年度を将来年としたNO_x及びVOC排出量の削減シナリオを策定する(表2.1-1)。

H1とL2の2つの削減シナリオに基づき2030年度の光化学オキシダント濃度を予測した。

表 2.1-1 2030年度のベースラインシナリオの考え方

			大気汚染対策レベル		
			高位排出 (1)	低位排出 (2)	
		考え方	既に実施されている対策のみを継続したケース	織り込み済みの対策※が実現したケース	
活動量	高位 (H)	2030年エネルギー需給の見通し ¹ 等	2030年省エネ前相当	H1	H2
	低位 (L)		2030年省エネ後相当	L1	L2

※自動車排ガス規制のように、2030年度時点で実施されることが確実な対策など

¹ 第6次エネルギー基本計画（令和3年10月）における「2030年度におけるエネルギー需給見通し（関連資料）」を参考にしている。

2.2. 推計方法

(1) 対象年度

基準年度を 2018 年度、将来年度を 2030 年度とした。

(2) 対象とする大気汚染物質

光化学オキシダントの前駆物質である NO_x、VOC を対象とした。

(3) 対象とする発生源

表 2.2-1 に示す発生源を調査対象とした。

表 2.2-1 対象とする発生源

大分類	中分類	小分類	細分類 (最小単位)	
人為 固定	燃料の 燃焼	エネルギー供給	電気、地域熱供給、都市ガス製造	
		産業	農林業、水産業、鉱業、建設業、パルプ・紙・紙加工品製造業、化学工業、石油製品・石炭製品製造業、窯業・土石製品製造業(セメント、ガラス、その他)、鉄鋼業、左記以外の発生源	
		民生	業務、家庭	
	廃棄物焼却		一般廃棄物処理施設、産業廃棄物処理施設	
	農業			
	生活			
	固定 蒸発 発生源	溶剤使用、燃料 蒸発、化学品製 造等	燃料蒸発ガス(燃料小売業、石油製品・石炭製品製造業)、化学品、工業用洗浄剤、食料品等(発酵)、接着剤、印刷インキ、製造機器類洗浄用シンナー、塗料、その他	
他	肥料製造			
人為 移動	自動車		二輪車(始動時)、二輪車(走行時)、LPG車(始動時)、LPG車(走行時)、ディーゼル車(始動時)、ディーゼル車(走行時)ガソリン車(始動時)、ガソリン車(走行時)、ランニングロス(RL)、ホットソークロス(HSL)、駐車ロス(DBL)	
	作業用機械		建設機械、産業機械、農業機械	
	船舶(内航船)			
	航空			
自然	植物、土壌、火山			

(4) 基準年の排出量データ

環境研究総合推進費 5-2105 で算出されている 2018 年度の排出量データを使用した。

(5) 2030 年度排出量の算出

2030 年度の排出量は、基準年となる 2018 年度の排出量に、2018 年度から 2030 年度への活動量等の変化の推計結果から設定した比率を乗じて算出した。発生源毎の比率は表 2.2-2 に示したように、各種公開資料等より排出量や活動量を引用または推計して設定した。なお、一部の発生源の比率については、2018 年度と同じとした。

表 2.2-2(1) 発生源別の 2018 年度排出量に乗じる比率の設定方法

中分類	小分類	細分類 (最小単位)	設定方法			
			高位 (H1)		低位 (L2)	
			活動量	大気汚染対策	活動量	大気汚染対策
燃料の 燃焼	エネルギー 供給	電気	省エネの野心的な深掘りがされる前の電力需要及び 2030 年度における電源構成を使用	現状の NOx 対策がそのまま維持されると仮定	省エネの野心的な深掘後の電力需要及び 2030 年度における電源構成を使用	既往研究で算出されている排出抑制による 2000 年以降の NOx 削減量の推移から外挿
		地域熱供給、 都市ガス製造	2018 年度実績値と同じと仮定			
	産業	農林業等 (記載省略)	省エネ対策前のエネルギー消費量を使用	現状の NOx 対策がそのまま維持されると仮定	省エネ対策後のエネルギー消費量を使用	既往研究で算出されている排出抑制による 2000 年以降の NOx 削減量の推移が明確な低減傾向であった発生源について削減量を外挿(他は現状維持と仮定)
	民生				高位と同じ	
廃棄物焼却			既往研究で算出されている 2030 年の廃棄物焼却量(BAU シナリオ)を使用	活動量の比率に含まれる	既往研究で算出されている 2030 年の廃棄物焼却量(計画シナリオ)を使用	活動量の比率に含まれる
農業			2018 年度実績値と同じと仮定			
生活			2018 年度実績値と同じと仮定		将来人口推計(中位推計)を用いた。	

表 2.2-2(2) 発生源別の 2018 年度排出量に乗じる比率の設定方法

中分類	小分類	細分類 (最小単位)	設定方法			
			高位 (H1)		低位 (L2)	
			活動量	大気汚染対策	活動量	大気汚染対策
固定 蒸発 発生源	溶 剤 使 用、燃料 蒸発、化 学品製造 等	燃料蒸発ガス (燃料小売 業)	省エネ前のガソリン の 2030 年度最終エネ ルギー消費	stage II の導入ガソリン スタンド (SS) 数は現 状維持と仮定	省エネ後のガソリンの 2030 年度最終エネル ギー消費	2016~2023 年度の stage II 導入 SS 数から外挿
		燃料蒸発ガス (石油製 品・石炭製 品製造業)	2018 年度の原油の一 次エネルギー供給量	業界の目標値から現状 維持と仮定	省エネ後の原油の一次 エネルギー供給量	高位と同様
		化学品	2016~2019 年度の各 業界の平均生産量	業界の目標値から現状 維持と仮定	高位と同様	高位と同様
		工業用洗浄剤	2018 年度の工業用洗 浄剤の合計使用量	削減目標等情報がない ため現状維持と仮定	2018 年度の工業用洗 浄剤の合計使用量	高位と同様
		食料品等 (発酵)	2018 年度のパン、酒 類別の国内販売量・製 造量	削減目標等情報がない ため現状維持と仮定	2018 年度のパン、酒 類別の国内販売量・製 造量	高位と同様
		接着剤	2018 年度の需要業種 分野・接着剤別の販 売出荷量	VOC 含有率*	2011~2019 年度の需 要業種分野・接着剤 別の販売出荷量を 外挿	高位と同様
		印刷インキ	2018 年度の印刷イン キ種類別の販売出 荷量	VOC 含有率*、2018 年度の大気排出係 数	2018 年度の印刷イン キ種類別の販売出 荷量	最新 (2024 年度調 査時点) の VOC 含 有率、大気排出係 数
		製造機器類洗 浄用シンナー	高位 (H1) の塗料、印 刷インキ、接着剤、 試薬の 2030 年度 VOC 排出量	業種分野別の洗浄用 シンナー比率*	低位 (L2) の塗料、 印刷インキ、接着 剤、試薬の 2030 年度 VOC 排出量	高位と同様
		塗料	2018 年度の VOC 排 出量で固定		2010~2019 年度 の VOC 排出量から 外挿	
		その他	2018 年度の VOC 排 出量で固定		2018 年度の VOC 排出量で固定	
他	肥料製造	2018 年度実績値と 同じと仮定				

※揮発性有機化合物 (VOC) 排出インベントリにおける 2018 年度 VOC 排出量の推計に用いられた値を引用

表 2.2-2(3) 発生源別の 2018 年度排出量に乗じる比率の設定方法

中分類	小分類	細分類 (最小単位)	設定方法			
			高位 (H1)		低位 (L2)	
			活動量	大気汚染対策	活動量	大気汚染対策
自動車、作業用機械		<ul style="list-style-type: none"> ・走行時: 走行量 (交通量と区間距離の積) の変化 ・始動時: 始動回数 (将来年度の保有台数と始動回数比率の積) の変化 ・特殊自動車: 年間仕事量の変化 	<ul style="list-style-type: none"> ・特殊自動車の排出ガス低減対策: ガソリンの産業機械の NO_x、CO の排出量で考慮 ・ガソリン車の駐車時における燃料蒸発ガス対策: DBL の排出量で考慮 ・微小粒子状物質等に関する対策 (PN 規制): NO_x と VOC には影響はなしと設定 	気候変動対策 (交通流対策、次世代自動車の普及) に伴う CO ₂ の排出量低減を活動量の減少として、高位から差し引くことで低位の活動量を設定	高位と同じ	
船舶 (内航船)		<p>インベントリ (GLIMMS-AQ²: 対象年 2015 年) を活動量補正して 2018 年度として使用</p> <p>活動量は省エネ前のエネルギー消費量のうち、船舶に係るエネルギー消費量を用いて 2018 年度に対する 2030 年度の比率を算出</p>	<p>NO_x の排出強度の 2018 年度に対する 2030 年度の比率は、両年度における NO_x 規制毎の対象船舶の隻数比率から設定</p> <p>VOC は規制の影響を受けないことから排出強度の 2018 年度に対する 2030 年度の比率は 1.0 と設定</p>	H1 (高位) と同じ方法であるが、省エネ後のエネルギー消費量を使用	H1 (高位) と同じ方法であるが、省エネ後のエネルギー消費量を使用	
航空		<p>省エネ前のエネルギー消費量のうち、航空に係るエネルギー消費量を用いて 2018 年度に対する 2030 年度の比率を算出</p>	<p>排出強度は変わらないとして 2018 年度に対する 2030 年度の比率は 1.0 と設定</p>	H1 (高位) と同じ方法であるが、省エネ後のエネルギー消費量を使用	H1 (高位) と同じ方法 (航空機の省エネ対策のうち機材や運航の改善等による燃料使用量の削減は活動量に含まれる)	
植物、土壌、火山		2018 年度実績値と同じと仮定				

² Sakurai, T., Ito, M., and Hanayama, S.: Development of Air Pollutants Emission Inventories for Ships around Japan on a High Geographical Resolution, *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 15(1), 2020096 (2021)

2.3. 2030 年度の排出量の推計結果

2.3.1. 排出総量

基準年度（2018 年度）及び将来年度（2030 年度）の高位（H1）、低位（L2）の排出量算出結果及び排出削減量を、NO_x については表 2.3-1(1)及び表 2.3-1(2)に、VOC については表 2.3-2(1)及び表 2.3-2(2)に示す。また、発生源全体の排出量を積み上げた図を図 2.3-1（NO_x）及び図 2.3-2（VOC）に示す。

- ◇ 2018 年に対する 2030 年度の削減見込みは、発生源全体で、NO_x は高位（H1）で 27%、低位（L2）で 44%、VOC（人為＋自然起源）は高位（H1）で 2%、低位（L2）で 8% となった。
- ◇ VOC の排出量の削減見込みは、人為起源に限ると、高位（H1）で 6%、低位（L2）で 21% となった。
- ◇ NO_x 排出量の削減に寄与した主要な発生源は自動車で、高位と低位ともに削減量全体の半分程度（高位 158 kt/年、低位 205 kt/年）を占めた。VOC（人為）排出量の削減に寄与した主要な発生源は高位では自動車が削減量全体の 8 割程度（55 kt/年）を占め、低位では固定蒸発発生源が削減量全体の 65%（146 kt/年）を占めた。

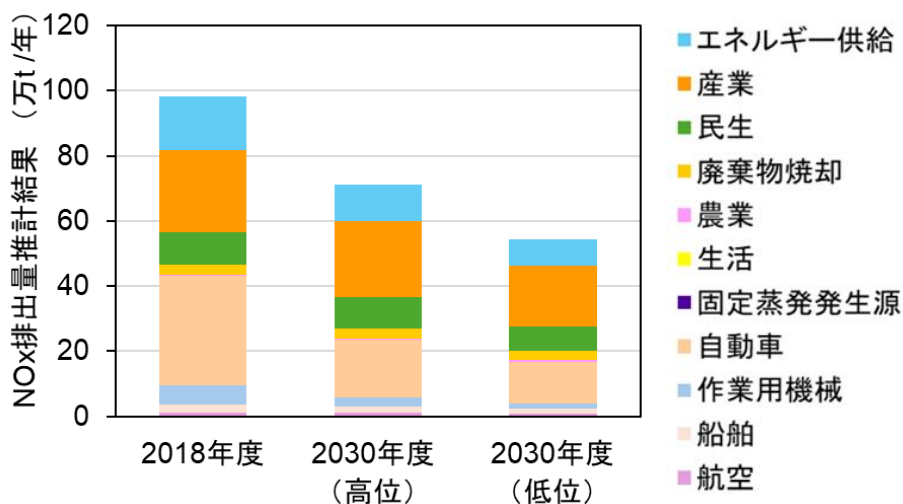


図 2.3-1 NO_x 排出量推計結果

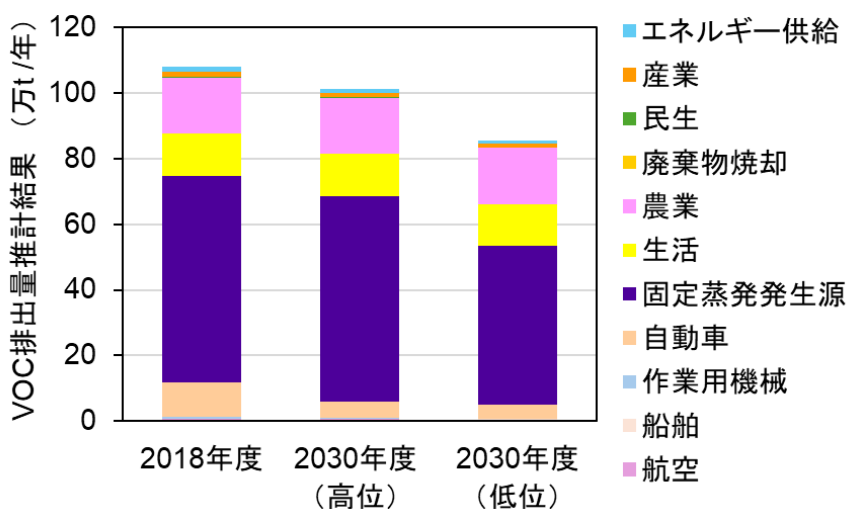


図 2.3-2 VOC（人為起源）排出量推計結果

表 2.3-1(1) NOx の 2018 年度及び 2030 年度の排出量と削減率（2018 年度比）

【発生源全体】

大分類	中分類	小分類	排出量 (t/年)			削減率	
			2018 年	2030 年 高位(H1)	2030 年 低位(L2)	2030 年 高位 (H1)	2030 年 低位 (L2)
人為 固定	燃料の 燃焼	エネルギー供給	164,313	111,084	81,114	32%	51%
		産業	252,764	234,620	186,689	7%	26%
		民生	97,606	95,131	75,201	3%	23%
	廃棄物焼却		31,546	30,179	28,391	4%	10%
	農業		4,390	4,390	4,390	0%	0%
	生活		279	279	297	0%	0%
	固定蒸発 発生源	溶剤使用、燃 料蒸発、化学 品製造等	0	0	0	-	-
	他	肥料製造	0	0	0	-	-
人為 移動	自動車		335,232	177,070	129,823	47%	61%
	作業用機械		59,364	27,159	12,661	54%	79%
	船舶		24,289	18,978	15,881	22%	35%
	航空		11,792	11,763	9,546	0.3%	19%
自然	植物		6,931	6,931	6,931	0%	0%
合計			988,507	717,584	550,908	27%	44%

表 2.3-1(2) NOx の 2018 年度から 2030 年度への排出削減量【発生源全体】

大分類	中分類	小分類	2030 年高位(H1)		2030 年低位(L2)	
			排出削減量 (t/年)	削減量全体に 対する割合	排出削減量 (t/年)	削減量全体に 対する割合
人為 固定	燃料の 燃焼	エネルギー供給	53,229	20%	83,199	19%
		産業	18,144	7%	66,075	15%
		民生	2,475	1%	22,405	5%
	廃棄物焼却		1,367	1%	3,155	1%
	農業		0	0%	0	0%
	生活		0	0%	-18	0%
	固定蒸発 発生源	溶剤使用、燃 料蒸発、化学 品製造等	0	0%	0	0%
	他	肥料製造	0	0%	0	0%
人為 移動	自動車		158,162	58%	205,409	47%
	作業用機械		32,205	12%	46,703	11%
	船舶		5,311	2%	8,408	2%
	航空		29	0%	2,246	1%
合計			270,923	100%	437,599	100%

表 2.3-2(1) VOC の 2018 年度及び 2030 年度の排出量と削減率（2018 年度比）

【発生源全体】

大分類	中分類	小分類	排出量 (t/年)			削減率	
			2018 年	2030 年 高位 (H1)	2030 年 低位 (L2)	2030 年 高位 (H1)	2030 年 低位 (L2)
人為 固定	燃料の 燃焼	エネルギー供給	14,354	9,676	7,644	33%	47%
		産業	14,685	13,623	11,789	7%	20%
		民生	3,200	3,061	2,390	4%	25%
	廃棄物焼却		41	39	37	5%	11%
	農業		170,176	170,176	170,176	0%	0%
	生活		128,540	128,540	128,540	0%	0%
	固定蒸発 発生源	溶剤使用、燃 料蒸発、化学 品製造等	628,949	627,539	482,756	0.2%	23%
他	肥料製造	0	0	0	-	-	
人為 移動	自動車		104,260	48,894	42,504	53%	59%
	作業用機械		7,765	2,344	2,342	70%	70%
	船舶		999	996	834	0.3%	17%
	航空		6,013	5,998	4,880	0.3%	19%
自然	植物		1,648,155	1,648,155	1,648,155	0%	0%
合計（人為起源）			1,078,981	1,010,887	853,891	6%	21%
合計			2,727,136	2,659,042	2,502,046	2%	8%

表 2.3-2(2) VOC の 2018 年度から 2030 年度への排出削減量【発生源全体（人為起源）】

大分類	中分類	小分類	2030 年高位(H1)		2030 年低位(L2)	
			排出削減量 (t/年)	削減量全体に 対する割合	排出削減量 (t/年)	削減量全体に 対する割合
人為 固定	燃料の 燃焼	エネルギー供給	4,678	7%	6,710	3%
		産業	1,062	2%	2,896	1%
		民生	139	0%	810	0%
	廃棄物焼却		2	0%	4	0%
	農業		0	0%	0	0%
	生活		0	0%	0	0%
	固定蒸発 発生源	溶剤使用、燃 料蒸発、化学 品製造等	1,410	2%	146,193	65%
他	肥料製造	0	0%	0	0%	
人為 移動	自動車		55,366	81%	61,756	27%
	作業用機械		5,421	8%	5,423	2%
	船舶		3	0%	165	0%
	航空		15	0%	1,133	1%
合計（人為起源）			68,094	100%	225,090	100%

2.3.2. 発生源細区分別の排出量

(1) 固定燃焼発生源

- ◇ 電気の削減率が最も大きく、NOx は高位で 33%、低位で 51%、VOC は高位で 33%、低位で 47%の削減率であった。
- ◇ 産業に限ると、NOx 及び VOC はパルプ・紙・紙加工品製造業の削減率（NOx：高位で 11%、低位で 35%、VOC：高位で 11%、低位で 16%）や石油製品・石炭製品製造業の削減率（NOx 及び VOC：高位で 7%、低位で 38%）が大きい結果となった。

表 2.3-3 NOx の 2018 年度及び 2030 年度の排出量と削減率（2018 年度比）
【固定燃焼発生源】

発生源		排出量 (t/年)			削減率		
		2018 年度	2030 年度 高位(H1)	2030 年度 低位(L2)	高位 (H1)	低位 (L2)	
エネルギー供給	電気	161,790	108,561	78,591	33%	51%	
	地域熱供給	707	707	707	0%	0%	
	都市ガス製造	1,816	1,816	1,816	0%	0%	
産業	農林業	12,177	11,690	10,594	4%	13%	
	水産業						
	鉱業	542	504	461	7%	15%	
	建設業	891	837	766	6%	14%	
	パルプ・紙・紙加工品製造業	30,527	27,169	19,770	11%	35%	
	化学工業	37,581	35,702	26,556	5%	29%	
	石油製品・石炭製品製造業	29,498	27,433	18,288	7%	38%	
	窯業・土石製品製造業		61,599	57,604	50,309	6%	18%
		セメント	42,029	39,570	33,949	6%	19%
		ガラス	9,167	8,525	7,517	7%	18%
		その他	10,404	9,572	8,843	8%	15%
	鉄鋼業	43,172	40,582	30,524	6%	29%	
	上記以外の固定燃焼発生源（製造業）	36,777	33,099	29,422	10%	20%	
廃棄物焼却	一般廃棄物処理施設	21,038	20,197	19,145	4%	9%	
	産業廃棄物処理施設	10,507	9,982	9,247	5%	12%	
合計		448,623	375,883	296,195	16%	34%	

表 2.3-4 VOC の 2018 年度及び 2030 年度の排出量と削減率（2018 年度比）
【固定燃焼発生源】

発生源		排出量 (t/年)			削減率	
		2018 年度	2030 年度 高位(H1)	2030 年度 低位(L2)	高位 (H1)	低位 (L2)
エネルギー 供給	電気	14,216	9,525	7,535	33%	47%
	地域熱供給	42	42	42	0%	0%
	都市ガス製造	96	96	96	0%	0%
産業	農林業	207	199	180	4%	13%
	水産業					
	鉱業	14	13	12	7%	15%
	建設業	14	13	12	6%	14%
	パルプ・紙・紙加工品 製造業	2,936	2,613	2,466	11%	16%
	化学工業	2,653	2,520	2,228	5%	16%
	石油製品・石炭製品製 造業	1,490	1,386	924	7%	38%
	窯業・土石製品製造業	3,733	3,505	3,031	7%	18%
	セメント	3,502	3,292	2,837	6%	19%
	ガラス	58	54	48	7%	18%
	その他	172	158	146	8%	15%
	鉄鋼業	2,506	2,355	2,030	6%	19%
	上記以外の固定燃焼 発生源（製造業）	1,132	1,019	905	10%	20%
廃棄物 焼却	一般廃棄物処理施設	16	16	15	4%	9%
	産業廃棄物処理施設	25	24	22	5%	12%
合計		29,079	23,339	19,469	20%	33%

(2) 固定蒸発発生源

- ◇ 固定蒸発発生源の VOC 削減量では、塗料の削減量が大きく、2030 年度の低位における固定蒸発発生源全体の削減量の半分以上を占めた。

表 2.3-5 VOC の 2018 年度及び 2030 年度の排出量と削減率（2018 年度比）
【固定蒸発発生源】

発生源	VOC 将来排出量 (t/年)			削減率	
	2018 年度	2030 年度 高位(H1)	2030 年度 低位(L2)	高位 (H1)	低位 (L2)
燃料蒸発ガス（燃料小売業）	98,650	98,204	67,674	0.5%	31%
燃料蒸発ガス（石油製品・石炭製品製造業）	33,256	33,256	22,616	0%	32%
化学品	45,130	44,166	44,166	2%	2%
工業用洗浄剤	38,022	38,022	34,127	0%	10%
食料品等（発酵）	17,423	17,423	29,619	0%	-70%
接着剤	43,134	43,134	42,367	0%	2%
印刷インキ	35,247	35,247	32,259	0%	8%
製造機器類洗浄用シンナー	26,437	26,437	19,102	0%	28%
塗料	242,060	242,060	158,889	0%	34%
その他	49,590	49,590	31,939	0%	36%
合計	628,949	627,539	482,756	0.2%	23%

(3) 移動発生源

- ◇ NOx では削減率が高いのは LPG 車で 90%以上であったが、削減量が高いのはディーゼル車（走行時）であった。
- ◇ VOC では削減率が高いのは LPG 車とディーゼル車で 80%以上であったが、削減量が高いのはガソリン車（始動時）であった。

表 2.3-6 NOx の 2018 年度及び 2030 年度の排出量と削減率（2018 年度比）

【移動発生源】

発生源			排出量 (t/年)			削減率	
			2018 年度	2030 年度 高位 (H1)	2030 年度 低位 (L2)	高位 (H1)	低位 (L2)
移動 (作業用機械含む)	自動車	二輪車 (始動時)	729	909	909	-25%	-25%
		二輪車 (走行時)	2,000	1,663	1,663	17%	17%
		LPG 車 (始動時)	2,403	49	42	98%	98%
		LPG 車 (走行時)	566	53	44	91%	92%
		ディーゼル車 (始動時)	54,248	51,719	39,591	5%	27%
		ディーゼル車 (走行時)	208,972	109,384	76,326	48%	63%
		ガソリン車 (始動時)	40,490	6,230	5,388	85%	87%
		ガソリン車 (走行時)	25,823	7,064	5,860	73%	77%
	作業用機械	建設機械	21,456	8,001	2,983	63%	63%
		産業機械	31,653	15,798	7,885	50%	50%
		農業機械	6,255	3,360	1,793	46%	47%
		船舶 (内航船・12 海里内)	24,289	18,978	15,881	22%	35%
		航空	11,792	11,763	9,546	0.2%	19%

表 2.3-7 VOC の 2018 年度及び 2030 年度の排出量と削減率 (2018 年度比)【移動発生源】

発生源		排出量 (t/年)			削減率		
		2018 年度	2030 年度 高位 (H1)	2030 年度 低位 (L2)	高位 (H1)	低位 (L2)	
移動発生源 (作業用機械含む)	自動車	二輪車 (始動時)	2,376	2,434	2,434	-2%	-2%
		二輪車 (走行時)	2,176	625	625	71%	71%
		LPG 車 (始動時)	1,954	211	183	89%	91%
		LPG 車 (走行時)	90	15	13	83%	86%
		ディーゼル車(始動時)	2,375	401	307	83%	87%
		ディーゼル車(走行時)	10,665	673	470	94%	96%
		ガソリン車(始動時)	51,554	23,410	20,246	55%	61%
		ガソリン車(走行時)	4,922	2,039	1,691	59%	66%
		ランニングロス(RL)	4,228	3,428	2,843	19%	33%
		ホットソークロス (HSL)	9,044	7,332	6,341	19%	30%
		駐車ロス(DBL)	14,877	8,327	7,352	44%	51%
	作業用機械	建設機械	2,385	807	807	66%	66%
		産業機械	4,652	1,271	1,271	73%	73%
		農業機械	729	266	264	64%	64%
		船舶 (内航船・12 海里内)	999	996	834	0.3%	17%
	航空	6,013	5,998	4,868	0.2%	19%	

3. ベースラインシナリオに基づく 2030 年度の光化学オキシダント濃度の予測

ベースラインシナリオ (高位と低位) で算出した 2030 年度の NO_x 及び VOC 排出量を用いて、2030 年度の光化学オキシダント (O_x) 濃度を推計した。

なお、シミュレーションモデルを用いて推計するに当たり、光化学オキシダントの前駆物質である NO_x、VOC 以外に、SO_x、CO、PM_{2.5}、NH₃ の 2030 年度排出量が必要であるが、これらの推計方法及び結果については 4 章-参考資料 1 に示した。

3.1. シミュレーション計算条件

推計した各汚染物質の 2030 年度の排出量 (高位、低位シナリオ) から、シミュレーションモデルを用いて 2030 年度の光化学 O_x 日最高 8 時間値の季節上位 5 日平均値 (以下、高濃度平均値と言う) 及び季節平均値 (以下、季節平均値と言う) を推計した。

シミュレーションに用いたモデルについては 3 章と同様に、WRF/CMAQ とし、CMAQ については V5.3.3 にて計算を実施した。国内排出量については VOC、NO_x、SO_x、CO、PM_{2.5}、NH₃ は 2030 年、その他の気象場や海外排出量等の入力データについては 3 章に示す base2018 と同様に 2018 年のものを使用した。

解析の対象は 3 章と同様に地方は関東、関西・瀬戸内、九州、季節は春季 (4~6 月) 及び夏季 (7~9 月) とした。

3.2. 2030 年度の光化学オキシダント濃度の予測結果

2018 年度に対する 2030 年度（高位及び低位シナリオ）の光化学 Ox の季節平均値及び高濃度平均値の低下率を表 3.2-1 に示す。また、各地域における 2018 年度から 2030 年度への排出量変化に伴う光化学 Ox 指標の濃度変化の空間分布を図 3.2-1 に示す。

2030 年度は 2018 年度に比べて、高位と低位の季節平均値及び高濃度平均値は、春季と夏季ともに低下することが予測された。その傾向を整理すると次のとおりである。

- ・ 低位の濃度は高位よりも低下する。関東全域・夏季では高位の季節平均値の低下率 2.8% に対して低位は 5.8% であり、また、高位の高濃度平均値の低下率 5.6% に対して低位は 11.1% である。
- ・ 高濃度平均値は季節平均値よりも低下する。関東全域・夏季の低位シナリオでは高濃度平均値が 11.1% 低下するのに対し、季節平均値は 5.8% の低下に留まる。
- ・ 関東全域や関西・瀬戸内全域が九州全域に比べて、高濃度平均値の低下傾向が大きい。夏季の低位シナリオでは九州全域の低下率が 3.0% であるのに対し、関東全域では 11.1%、関西・瀬戸内全域では 9.0% である。
- ・ 夏季の方が春季よりも低下する。関東全域の低位シナリオでは、夏季の季節平均値の低下率は春季の約 3 倍、夏季の高濃度平均値の低下率は春季の約 2.5 倍である。

表 3.2-1 2030 年度の光化学 Ox 指標濃度の 2018 年度に対する低下率の予測結果

地方	地域全域 及び細分化 した地域	高位				低位			
		排出削減率： VOC（人為起源）6%、NOx 27%				排出削減率： VOC（人為起源）21%、NOx 44%			
		春季		夏季		春季		夏季	
季節平均	高濃度平均 (上位 5 日)	季節平均	高濃度平均 (上位 5 日)	季節平均	高濃度平均 (上位 5 日)	季節平均	高濃度平均 (上位 5 日)		
関東	関東全域	0.7%	1.6%	2.8%	5.6%	1.9%	4.4%	5.8%	11.1%
	東京湾岸	-0.4%	-0.2%	0.8%	3.7%	0.3%	2.6%	2.7%	9.1%
	湾岸周辺	0.6%	2.6%	3.6%	7.1%	2.1%	5.6%	7.3%	13.0%
	湾岸東	1.1%	0.3%	2.1%	4.0%	2.1%	2.7%	4.2%	9.1%
	内陸	2.7%	3.5%	5.8%	8.1%	4.8%	5.9%	9.8%	12.9%
	その他	1.4%	2.4%	3.0%	6.0%	2.7%	5.0%	5.9%	11.6%
関西・瀬戸内	関西・瀬戸内全域	0.4%	0.6%	2.4%	4.5%	1.0%	1.8%	4.7%	9.0%
	大阪湾周辺	0.0%	0.5%	1.5%	3.7%	0.2%	1.5%	3.3%	7.6%
	淀川上流周辺	0.7%	1.3%	3.7%	6.6%	1.8%	3.6%	6.5%	11.0%
	淀川下流周辺	-0.8%	-1.4%	2.1%	3.9%	-0.5%	-0.6%	4.5%	8.3%
	大和川周辺	0.5%	0.8%	2.6%	5.5%	1.4%	2.3%	5.2%	10.4%
	関西その他	1.2%	1.3%	3.5%	5.4%	2.2%	2.7%	6.1%	9.0%
	岡山・広島	0.7%	0.7%	2.7%	4.6%	1.5%	1.9%	5.4%	9.4%
徳島	0.9%	1.0%	2.5%	4.8%	1.8%	2.2%	4.7%	9.0%	
九州	九州全域	0.9%	0.5%	2.5%	1.5%	1.5%	0.9%	4.3%	3.0%
	下関周辺	0.3%	-0.2%	1.5%	1.7%	0.6%	-0.2%	3.0%	4.0%
	九州西	1.6%	1.2%	3.5%	1.3%	2.6%	1.9%	5.7%	1.9%

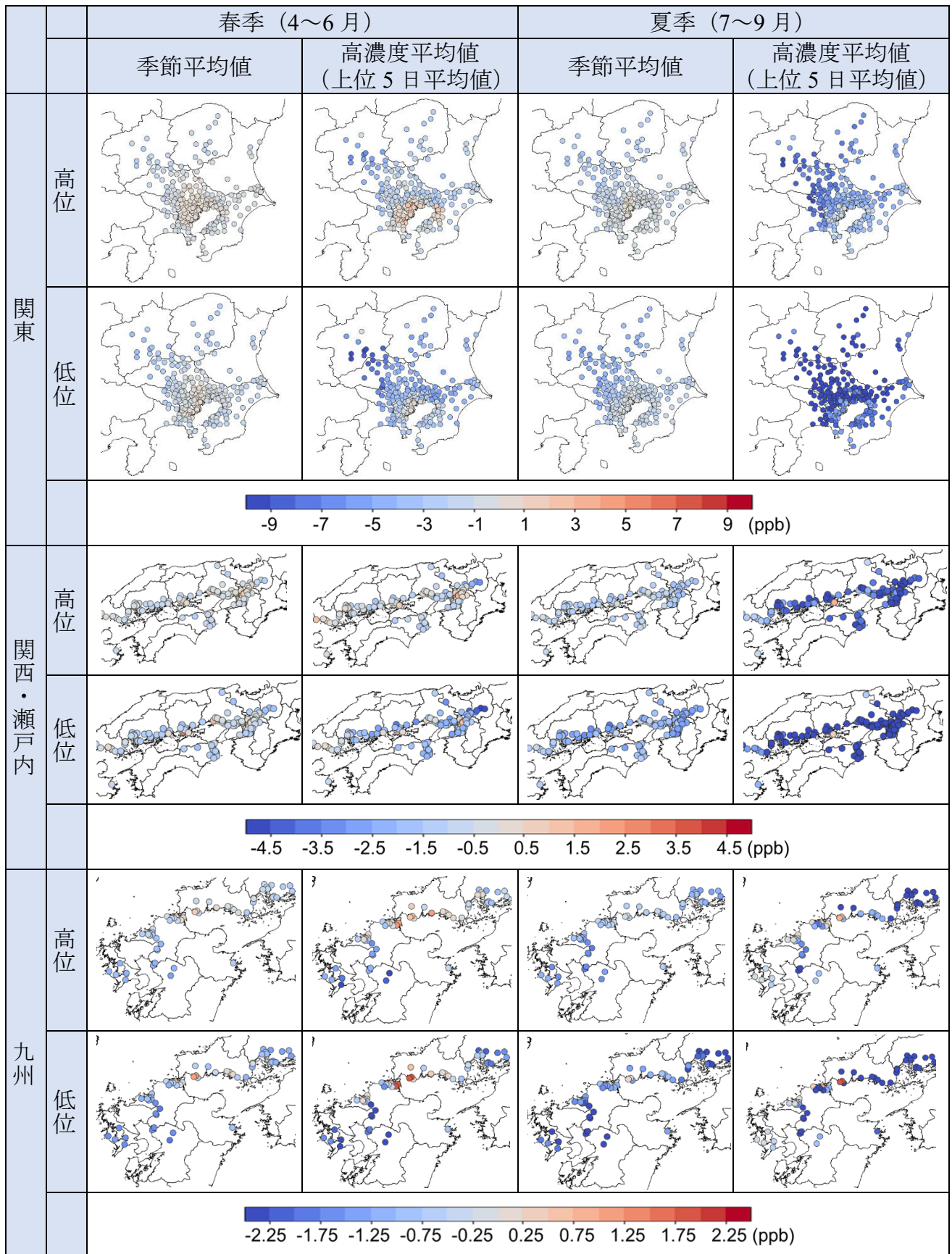


図 3.2-1 2018 年度から 2030 年度への排出量変化に伴う光化学 Ox 指標の濃度変化
 マイナス側（図では青色）は 2018 年度から 2030 年度にかけて濃度が低下することを表す。
 プラス側（図では赤色）は 2018 年度から 2030 年度にかけて濃度が上昇することを表す。

夏季は、高濃度平均値の低下率（関東全域・低位では 11.1%）が、季節平均値の低下率（関東全域・低位では 5.8%）に比べて大きく、前駆物質の排出量削減が高濃度光化学 Ox の低減により効果的であることが予測された。また、VOC（人為起源）排出量を 3 倍程度（高位 6%→低位 21%）、かつ NOx 排出量を 1.5 倍程度（高位 27%→低位 44%）削減することで、低位の夏季の季節平均値及び高濃度平均値は高位の 2 倍程度低下すると推計されることから、前駆物質削減量の増加がさらなる光化学 Ox の低減につながることを予測された。例えば関東全域の夏季において、季節平均値の低下率が高位 2.8%に対して低位 5.8%、高濃度平均値の低下率が高位 5.6%に対して低位 11.1%となる。

春季は前駆物質の排出量削減に対する季節平均値や高濃度平均値の低下率は小さい。光化学 Ox 濃度の低下率が大きい低位シナリオでも、関東全域の高濃度平均値の低下率 4.4%を除けば、他の地域全域や季節平均値における光化学 Ox の低下率はいずれも 2%未満であり、前駆物質の排出量の削減による光化学 Ox 濃度の低減への効果は限定的と考えられる。3 章の過去の対策効果を対象としたシミュレーションでは、春季の季節平均値や高濃度平均値が VOC 排出量の削減によって低下した一方、NOx 排出量の削減によって上昇した。本章の 2030 年度予測においても、光化学 Ox 指標の VOC 削減による低下と NOx 削減による上昇が相殺された結果、その変化が小さかったと考えられる。

図 3.2-1 の関東地方の空間分布図に着目すると、春季・夏季の季節平均値・高濃度平均値のいずれもが湾岸部から離れた内陸ほど低下する傾向を示し、湾岸部では逆に上昇する地点もあった。3 章のシミュレーション結果では、VOC 排出量の削減は全域的に光化学 Ox 指標の低下に効果がある一方、NOx 排出量の削減は光化学 Ox 指標の内陸部での低下や湾岸部での上昇に寄与していた。これらのことから、本章の 2030 年度予測では、湾岸部では NOx 削減による光化学 Ox 指標の上昇が VOC 削減による光化学 Ox 指標の低下を上回るため光化学 Ox 指標は上昇するが、内陸部では NOx 削減と VOC 削減の両方の効果により光化学 Ox 指標が低下すると考えられる。

排出量の削減率が大きい低位シナリオ（VOC（人為起源）が 21%、NOx が 44%削減）において、関東全域や関西・瀬戸内全域で夏季に高濃度平均値が 10%程度低下すると予測されたものの、夏季平均値では 5%程度の低下、さらに春季では季節平均値と関東全域を除いた高濃度平均値がともに 2%未満の低下に留まる。この結果は、我が国の光化学オキシダント濃度レベルを十分に下げするためには、国内の前駆物質を削減するだけでは限界があることを意味している。2 章と 3 章で示されたように、我が国の光化学 Ox 濃度に対する大陸からの越境汚染や広域的なバックグラウンド濃度の寄与が大きいことを踏まえると、将来的な光化学 Ox 濃度の低減のためには国内の前駆物質対策に加えて、東アジアスケールさらには北半球スケールでの光化学 Ox のバックグラウンド濃度の低減に向けた国際的取組が必要と考えられる。

4. 2050CN を踏まえた長期的な削減シナリオの作成に向けた情報収集及び整理

ベースラインシナリオの将来年度に設定した 2030 年は数年後に迫っていることから、今後の光化学オキシダント対策の検討に向けて、2030 年度以降も見据えた、より長期的な削減シナリオの作成に向けた情報収集を行った。

4.1. 固定燃焼発生源 (NOx)

4.1.1. 調査方法

(1) 調査対象

大気汚染物質排出量総合調査の令和 2 年度実績で NOx 排出量の 6 割を占めている業種（電気業、窯業・土石製品製造業（セメント製造業）、鉄鋼業、化学工業、パルプ・紙・紙加工品製造業）を対象とした。

(2) 文献調査及びヒアリング調査

固定燃焼発生源においては 2050CN の実現に向けた各種取組が進むと想定されており、これに付随して NOx 排出量も変化することが考えられる。そこで、2050CN に向けた取組の概要や技術の開発動向等について、経団連カーボンニュートラル行動計画や、各種審議会資料、国内外の科学文献等を用いて文献調査を実施し、NOx 排出へ影響すると考えられる取組や技術情報を整理した。また、(1) に示す業種に関連する業界団体に対し、2050CN 対策に関する内容のヒアリング調査を実施した。

4.1.2. 削減ポテンシャルの整理

業種別の 2050CN 対策の取組状況を示すとともに、NOx への削減ポテンシャルを、次の 3 つの評価軸で表 4.1-1 に整理した。

◎：将来的に実現が見込まれ、排出削減に寄与する余地がある（ポテンシャルあり）

○：導入された場合に削減の余地がある（ポテンシャルはあるが導入が進む可能性は不透明）

＼：導入が完了している（ポテンシャルはない）

なお、ここでは、NOx が削減する可能性のある技術や活動量（燃料種や燃料使用量）の変化を整理しており、NOx の削減に寄与しないと考えられる技術等については、除外した（例えば、2050CN 対策のうち、化石燃料から廃棄物燃料、バイオマス燃料、水素・アンモニア燃料への代替は、NOx 削減には寄与はしないと想定した）。

※ 表 4.1-1 における高効率火力発電で示した略語について、以下に示す。

USC (Ultra Super Critical) : 汽力方式の微粉炭火力

A-USC (Advanced USC) : 高温高圧蒸気タービンによる微粉炭石炭火力

IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle) : 石炭をガス化し、ガスタービンと蒸気タービンによるコンバインドサイクル方式を利用した石炭火力

IGFC (Integrated Gasification Fuel Cell) : IGCC に燃料電池を組み込んだトリプルコンバインドサイクル方式の石炭火力

表 4.1-1 NOx 排出抑制技術の導入状況と課題及び削減ポテンシャルの整理結果 (NOx)

業種	分類	技術	導入状況	削減ポテンシャル*		導入実現に向けた課題
					根拠	
電気	活動量	LNG への燃料転換	複数の発電所で LNG コンバインドサイクル発電が導入されている。	○	今後ガスタービンへの LNG 燃料利用が拡大されていくことが電気業のカーボンニュートラル行動計画 (電気事業) に示されている。	—
	排出抑制	高効率火力発電	USC、A-USC、IGCC、LNG コンバインドサイクル発電、1700℃級ガスタービンは導入実績がある。	◎	A-USC は進む技術だと思われる (ヒアリング調査)。使用する化石燃料を削減できることから NOx 排出量の削減が期待できる。	IGFC は技術開発段階
		CCS	導入されていない。	○	カーボンキャプチャーにおけるアミン吸収剤が利用される場合は、NOx は減ることが考えられる。	技術開発
パルプ・紙・紙加工品製造業	活動量	LNG への燃料転換	2021 年度時点で総エネルギーの 7.5% がガス燃料を使用している (CN 行動計画)。	◎	今後、複数の事業者が導入する見込み (ヒアリング調査)。石炭や重油と比較して NOx は削減されると考えられる。	—
		省エネの促進 (高効率古紙パルパーの導入)	高効率古紙パルパーが 4 割弱の施設で導入されている。	○	古い設備のリプレイスによって導入される可能性があるが、生産量が増加しないため設備投資の見通しは不透明 (ヒアリング調査)。	—
	排出抑制	CCS	導入されていない。	○	バイオマスボイラーへ適用する予定だが、具体的な計画は立っていない (ヒアリング調査)。カーボンキャプチャーにおけるアミン吸収剤が利用される場合は、NOx は減ることが考えられる。	技術開発、費用、敷地面積
		リプレイスに伴う NOx 排出量の低減	燃料転換に伴うリプレイスが実施されている。	◎	今後、半分程度の古い石炭ボイラーや回収ボイラーが大幅改善またはリプレイスが必要になる (ヒアリング調査)。	—

業種	分類	技術	導入状況	削減ポテンシャル*		導入実現に向けた課題
					根拠	
化学工業	活動量	省エネの促進	継続的に実施している。	○	中長期的な設備更新時期が不透明ではあるが、省エネ技術が促進される場合は、NOx 削減が期待できる。	更新時期が不透明
	排出抑制	CCS	導入されていない。	○	カーボンキャプチャーにおけるアミン吸収剤が利用される場合は、NOx は減ることが考えられる。	技術開発、費用、敷地面積
セメント	活動量	省エネの促進	各種省エネ設備が 2022 年度時点で 41~91%普及 ^{注)} している。 <small>注) 全ての生産高に対して省エネ設備を有する設備によって生産された割合（省エネ別の割合を幅で提示）。</small>	○	一部の省エネ設備（堅型原料ミルや仕上げミル）は普及率が 50%以下であることから、これらの設備の普及が進む場合には NOx の削減が期待できる。なおその他の省エネ設備（堅型スラグミル等）の普及率は 70%以上となっている。	—
	排出抑制	CCS	導入されていない。	○	カーボンキャプチャーにおけるアミン吸収剤が利用される場合は、NOx は減ることが考えられる。 CCS 導入に向けて技術開発を行う事業者がいる（ヒアリング調査）	技術開発、費用、敷地面積
鉄鋼業	活動量	省エネの促進	十分に導入されている。	／	国内では十分に導入されている（ヒアリング調査）。	—
	排出抑制	CCS	導入されていない。	○	導入する可能性がある（ヒアリング調査）。カーボンキャプチャーにおけるアミン吸収剤が利用される場合は、NOx は減ることが考えられる。	技術開発、費用、敷地面積

*凡例

◎：将来的に実現が見込まれ、排出削減に寄与する余地がある（ポテンシャルあり）

○：導入された場合に削減の余地がある（ポテンシャルはあるが導入が進む可能性は不透明）

／：導入が完了している、NOx 削減への影響は不明（ポテンシャルはない）

4.2. 固定蒸発発生源 (VOC)

4.2.1. 調査方法

(1) 調査対象

最新の VOC 排出インベントリの排出量データにおいて、固定蒸発発生源の VOC 排出量全体の約 50%を占める塗料の建築工事業及び輸送用機械器具製造業、燃料（蒸発ガス）の燃料小売業及び石油製品・石炭製品製造業、化学品の化学工業、印刷インキの印刷・同関連業を対象とした。

(2) 文献調査及びヒアリング調査

VOC の排出抑制対策の概要や VOC 削減率等について、業界団体発行資料や、科学文献等の文献調査を実施した。また、(1) に示す業種に関連する業界団体へ VOC 排出抑制対策の状況や追加的な対策の実現可能性等に関する内容のヒアリング調査を実施した。

4.2.2. 削減ポテンシャルの整理

各発生源品目及び業種において活用事例のある VOC 排出抑制技術の導入状況、削減ポテンシャル（更なる技術普及・導入促進の見込み・可能性）、並びに導入課題を以下の表 4.2-1 に整理した。

加えて、ポテンシャルに関連する最新の排出抑制対策状況、業界としての VOC に関する将来目標及び課題、留意事項等を以下に記載した。

■塗料 建築工事業

【最新の排出抑制対策状況】

- ・表に示す工程内対策のエアレススプレーはほとんど使われておらず、塗料の使用量がより少ないローラーや刷毛を基本的に使用している。そのため、現状でスプレーを使用するよりも、VOC 排出は抑制できている可能性が高い。

【VOC に関する将来目標等】

- ・業界団体として VOC 排出抑制対策に関する将来的目標及び計画は、特に定めていない。

【留意事項】

- ・なお、今回ヒアリングを実施した日本塗装工業会は、会員企業の完成工事額のうち 85%が改築塗装であるため、調査結果は新築塗装の内容は含まず、改築塗装に関する内容である。

■塗料 輸送用機械器具製造業

【最新の排出抑制対策状況】

- ・昨今、ツートンカラーの車両需要が高まっている中、2色目をフィルムコートで対応することで、塗装面積増加を抑えられ、2色とも塗装する場合に比べて VOC の排出抑制につながる。
- ・被塗物に当たって跳ね返るオーバースプレーを減少させるミストレス工法によって、ブースから発生する VOC 排出量を削減できる。

【VOC に関する将来目標等】

- ・個社及び業界としての VOC 排出目標は、2010 年度比で非悪化とし、2030 年までは現状のパフォーマンスを維持し、削減を進める予定。2040、2050 年の具体的な目標及び計画は現状定めていないが、業界としての目標については、令和 7 年度以降に検討する可能性が高

い。

【留意事項】

- ・なお、ヒアリング調査において日本自動車工業会の会員企業である代表企業の個社を対象にヒアリングしたため、業界を網羅する調査内容ではない。

■燃料（蒸発ガス） 燃料小売業

【最新の排出抑制対策状況】

- ・表に示す Stage I（荷卸時）、Stage II（給油時）は技術開発当初、気化回収設備のみであり、自治体条例で設置された Stage I は気化回収設備も多い。近年ではより回収効率の高い液化回収設備が開発され、業界団体としては液化回収設備の導入を呼びかけている。

【VOC に関する将来目標等】

- ・業界団体として VOC 排出抑制対策に関する将来的目標及び計画は、特に定めていないが、2050CN 推進に伴うガソリンの需要減少と共に VOC 排出量も減少すると考える。そのため、VOC 削減に関する新たな目標を定めるかはわからない。

■燃料（蒸発ガス） 石油製品・石炭製品製造業

【2050CN に向けた取組の影響】

- ・2050CN に向けた取組において、各業界でバイオエタノールを混合した燃料が導入された場合、従来の燃料よりも蒸気圧が大きくなるため、燃料単位当たりの VOC 排出量は増える。しかし、燃料の蒸気圧は JIS 規格で定められているため、各社 JIS 規格に適応する（現在の蒸気圧の規格値範囲に収まる）バイオ燃料の開発に取り組む可能性が高い。

【VOC に関する将来目標等】

- ・業界団体としての VOC 排出目標は、平成 22 年度実績を上回ることがないように取り組むことを当面の方針としている。
- ・2050CN 推進に伴う石油製品の需要減少と共に VOC 排出量も減少すると考えられ、今後の大きな設備投資は考えにくい。そのため、VOC 削減に関する目標は、特に定めていない。

■印刷インキ 印刷・同関連業

【最新の排出抑制対策状況】

- ・生産量の低下に伴い、古い工場での製造をやめ、より作業効率及び VOC の回収・分解率の高い新しい施設へ製造を集約化する動きがあり、VOC 排出抑制に寄与する。
- ・オフセット印刷で用いられる紫外線硬化型（UV）インキをグラビア印刷にも活用できるか検証している。処理能力が早くなればグラビア印刷にも使われる可能性がある。
- ・一部用途のグラビア印刷で使われている電子線硬化型インキが比較的新しい技術。エネルギーを多く利用するため、少ないエネルギーで利用できるようになれば、普及する可能性がある。

【2050CN 対策推進の影響】

- ・表に示す水性インキは、水やアルコールに溶けやすくなるよう合成作業が必要になるため、溶剤インキに比べてトータルの CO₂ 排出量が増加する。また、VOC 分解技術の燃焼法は比較的万能であるが、CO₂ の排出に寄与する。VOC 対策と 2050CN 対策がトレードオフの関係にあり、事業者としてはジレンマになっている。

【VOCに関する将来目標等】

- ・業界団体としての VOC 排出目標は、直近の平均削減率を維持することを 2030 年の目標としている。2040、2050 年の VOC 排出目標は、VOC と CO₂ の排出抑制対策のジレンマがあるため、CO₂ 対策の状況を鑑みた上で検討する予定。

■化学品 化学工業

【2050CN 対策推進の影響】

- ・VOC を燃焼処理する場合、CO₂ が排出されるため 2050CN 対策が今後の課題になる。直接燃焼設備を導入している事業者が多いため、CCS 及び CCU の技術開発、普及に期待している。

【VOCに関する将来目標等】

- ・2025 年度の VOC 削減目標は、2010 年度比で非悪化としている。また、毒性が高い物質については、自主的に削減することを目標としている。2025 年度以降の目標は、これから検討予定だが、VOC 使用量に対する VOC 排出量の削減率は令和 4 年度時点で 99.96%であるため削減の余地は少なく、大幅な削減は難しい。
- ・今までの VOC 排出削減対策効果が光化学オキシダントの環境基準達成率に反映されていないため、各社の VOC 対策へのモチベーションにつながらない。対策効果の科学的根拠が示されれば、更なる削減に向けた取組が促進されるかもしれない。

表 4.2-1(1) VOC 排出抑制技術の導入状況と課題及び削減ポテンシャルの整理結果 (VOC)

品目	業種	区分	技術	導入状況	削減ポテンシャル		導入実現に向けた課題
						根拠	
塗料	建築工事業 (※改築塗装)	工程内対策	エアレススプレー	新築塗装では、一部使われているが、改築塗装では主にローラーや刷毛の塗装が多い (スプレー塗装自体がほとんど使われない)	\	スプレー塗装に比べ VOC の排出抑制が期待できるローラーや刷毛の塗装を使用しているため、スプレー塗装が導入される見込みは低いと考えられる	ローラーや刷毛に比べ、塗料飛散が多い、養生の必要性、近隣への騒音問題
		原材料転換	水性塗料	建物用途の塗料出荷量のうち、7割程度を占める 屋根や階段等の金属部分の錆止め塗装以外は基本的に導入されている	○	水性塗料の開発状況次第では、水性塗料へ置き換わる可能性はある	金属部分用の水性塗料の製品もあるが、乾燥が遅く、さび面適性が不十分であるため、施工適性幅が狭い
	輸送用機械器具製造業 (※個社情報)	工程内対策	エア静電スプレー	A社では、自動化が難しい箇所 (複雑な形状等) のマニュアル塗装で使われている	\	今後、全自動塗装設備の導入促進が進む可能性高いため、今後の大幅な導入促進は見込めない	—
			エアレススプレー		\		
			低圧エアスプレー		\		
		塗装ロボット	A社では、国内で4~5割の生産工場で全自動化が済んでいる	◎	今後、設備更新のタイミングで全自動塗装設備へ切り替わる可能性が高い	設備導入タイミング、設備レイアウト (スペース)	
		ベル型静電塗装機	A社では、塗装ロボットにおける一般的な技術で、部分的にすべての生産工場での導入済み	◎			
	原材料転換	水性塗料	A社では、感覚的には7~8割程度導入済み、色つき塗料は概ね水性塗料へ転換済み	○	既に導入が進んでいるが、一部の事業者において導入が進む可能性がある。	コスト、乾燥設備設置スペース、クリア塗装は技術的な課題あり	
		ハイソリッド塗料	A社では、過去に導入が進んでいたが、現在は水性塗料への転換が主流	\	水性化が進む可能性が高いため、大幅な導入促進は見込めない	—	

<凡例> ◎：将来的に実現が見込まれ、排出削減に寄与する余地がある (ポテンシャルあり)
 ○：導入が進む場合に削減の余地がある (ポテンシャルはあるが導入が進む可能性は不透明)
 \：導入が完了しているまたは導入可能性は低い (ポテンシャルなし)

表 4.2-1(2) VOC 排出抑制技術の導入状況と課題及び削減ポテンシャルの整理結果 (VOC)

品目	業種	区分	技術	導入状況	削減ポテンシャル		導入実現に向けた課題
						根拠	
塗料	社情報 具製造業 (※個 輸送用機 械器)	回収・ 分解	触媒燃焼法 (分解)	A社では、古い工場の一部 導入されている	\	設備更新のタイミング で、蓄熱燃焼設備に置き 換わる可能性が高い	—
			蓄熱燃焼法 (分解)	A社では、費用対効果が高 いため、標準的に導入され ている	\	触媒燃焼→蓄熱燃焼設備 は切り替わる可能性はあ るが、すでに導入済み	—
燃料 (蒸発ガス)	燃料小 売業	回収・ 分解	StageI (荷卸時)	液化回収設備のみで355箇 所(1.3%) ³ 、条例に基づ く液化及び気化回収設備で 27,414箇所(19.7%) ⁴ ※令和5年度末時点	○	導入の判断は事業者次第	導入コスト
			StageII (給油時)	液化回収設備のみで1464 箇所(5.3%) ³ ※令和5年末時点	○		導入コスト、メンテナンスの 負担
	品製 造業 石油製 品・石 炭製	対策 工程 内	固定屋根式タ ンクの内部浮 き屋根化	ほとんどの施設で導入済み	\	ほとんどの施設で導入済 みであるため、削減ポテ ンシャルはない	—
		解 回収 ・分	出荷設備への ペーパー回収 設備の設置	ほとんどの施設で導入済み	\	ほとんどの施設で導入済 みであるため、削減ポテ ンシャルはない	船の出荷設備における回収設 備は、陸側の設置スペースの 問題に加え、船側の対応が必 要になるため、普及が難しい

<凡例> ◎：将来的に実現が見込まれ、排出削減に寄与する余地がある（ポテンシャルあり）
○：導入が進む場合に削減の余地がある（ポテンシャルはあるが導入が進む可能性は不透明）
＼：導入が完了しているまたは導入可能性は低い（ポテンシャルなし）

³ 全国石油商業組合連合会へのヒアリング結果に基づく値

⁴ VOC インベントリの推計方法に基づき stage I の設置を条例により定めている自治体において、設置率が100%とした場合の値

表 4.2-1(3) VOC 排出抑制技術の導入状況と課題及び削減ポテンシャルの整理結果 (VOC)

品目	業種	区分	技術	導入状況	削減ポテンシャル		導入実現に向けた課題
						根拠	
印刷インキ	印刷・同関連業	原材料転換	水性グラビアインキ	10%以下（技術的には昔からあるが導入が進まない）	○	課題がクリアされた場合に、導入が進む可能性がある	<ul style="list-style-type: none"> ・原材料のコスト、設備更新の必要性 ・原料製造時の工程によるトータル CO₂ 排出量の増加 ・過剰な印刷品質要求の是正（消費者理解）
			ハイソリッドインキ	劇的ではないが、導入が進んでいる	○	モデルチェンジの中で徐々に切り替わる可能性がある	設備更新の必要性
			紫外線硬化型（UV）インキ	一定程度の導入は進んでいるが、定量的に示すことは難しい	○	グラビア印刷への活用が検討されている	
			植物油インキ		○	課題がクリアされた場合に導入が進む可能性がある	
		工程内対策	水なし印刷機	導入事例はあるが、あまり高い比率ではない	○	課題がクリアされた場合に導入が進む可能性がある	設備更新の必要性、コスト
			印刷版の浅版化	劇的ではないが、導入が進んでいる	○	ハイソリッドインキと併せて導入される可能性がある	原材料のコスト、設備更新の必要性
			インキ・溶剤の発散防止対策	基本的に取り組みされている	／	引き続き積極的に取り組まれる	—
		回収・分解	冷却凝縮法（回収）	基本的には導入済み 製造工程内容、設備、環境、費用コストから各社で選択的に導入している	／	導入済み。ただし、設備更新のタイミングで、新たな設備に切り替わる可能性はある	濃度が低いもしくは、溶剤を複数種使用している場合、回収効率が悪いいため、導入が難しい
			吸着法（回収）		／		
			クローズド VOC 回収システム		／		
			直接燃焼法（分解）		／	基本的には導入済みであるため、削減ポテンシャルはない	—
			触媒燃焼法（分解）		／		
		蓄熱燃焼法（分解）	／				

- <凡例> ◎：将来的に実現が見込まれ、排出削減に寄与する余地がある（ポテンシャルあり）
 ○：導入が進む場合に削減の余地がある（ポテンシャルはあるが導入が進む可能性は不透明）
 ／：導入が完了しているまたは導入可能性は低い（ポテンシャルなし）

表 4.2-1(4) VOC 排出抑制技術の導入状況と課題及び削減ポテンシャルの整理結果 (VOC)

品目	業種	区分	技術	導入状況	削減ポテンシャル		導入実現に向けた課題	
						根拠		
化学品	化学工業	回収・分解	冷却凝縮法 (回収)	基本的に導入済み 設備規模、VOC 除去率 及び種類から各社で選択 的に導入している	\	基本的に導入済みであるた め、削減ポテンシャルはな い	—	
			吸着法 (回収)				—	
			直接燃焼法 (分解)				基本的に導入済み (回収 分解技術の 7~8 割程 度を占める) 設備規模、VOC 除去率 及び種類から各社で選択 的に導入している	—
			触媒燃焼法 (分解)				基本的に導入済み	—
			マイクロガスタービ ン (分解)				設備規模、VOC 除去率 及び種類から各社で選択 的に導入している	—
			蓄熱燃焼法 (分解)				—	
			生分解処理法 (分 解)				—	
			プラズマ触媒酸化法 (分解)				—	
			オゾン分解法 (VOC)				—	
			酸化触媒法 (分解)				—	
吸着法と酸化触媒法 (分解)	—							

<凡例>

- ◎：将来的に実現が見込まれ、排出削減に寄与する余地がある (ポテンシャルあり)
- ：導入が進む場合に削減の余地がある (ポテンシャルはあるが導入が進む可能性は不透明)
- \：導入が完了しているまたは導入可能性は低い (ポテンシャルなし)

5. まとめ

(1) 2030 年度を将来年としたベースラインシナリオの作成

光化学オキシダント（Ox）の前駆物質である NOx 及び VOC について、第 6 次エネルギー基本計画における省エネルギー対策前に相当する活動量を使い、現行の大気汚染対策のみ実施されることを想定した「高位排出シナリオ」（以下、高位とする）と、第 6 次エネルギー基本計画における省エネルギー対策後に相当する活動量を使い、現状で考慮されている大気汚染対策が実現されることを想定した「低位排出シナリオ」（以下、低位とする）の 2 種類のベースラインシナリオ（2030 年度を対象とした排出シナリオ）を設定し、2018 年度を基準年として 2030 年度の排出削減量を推計した。2030 年度の排出量は、関連業界へのヒアリング等から得た情報をもとに設定した 2018 年度から 2030 年度への変化率を、2018 年度の排出量に乗じることで算出した。

<NOx>

- ◇ 2018 年度に対する 2030 年度の削減見込みは、発生源全体で高位が 27%（271 kt/年）、低位が 44%（438 kt/年）となった。（表 2.3-1(1)）。
- ◇ 削減に寄与した主要な発生源は自動車で、高位と低位ともに削減量全体の半分程度（高位 158 kt/年、低位 205 kt/年）を占めた。（表 2.3-1(2)）。

<VOC>

- ◇ 2018 年度に対する 2030 年度の VOC（人為起源）の削減見込みは、発生源全体で高位が 6%（68 kt/年）、低位が 21%（225 kt/年）となった。（表 2.3-2 (1)）
- ◇ 削減に寄与した主要な発生源は高位では自動車が削減量全体の 8 割程度（55 kt/年）を占め、低位では固定蒸発発生源が削減量全体の 65%（146 kt/年）を占めた。（表 2.3-2 (2)）

(2) ベースラインシナリオに基づく 2030 年度の光化学 Ox 濃度の予測

作成したベースラインシナリオ（高位と低位）をもとに、2030 年度の光化学 Ox 濃度を推計した（表 3.2-1、図 3.2-1）。使用したモデルと国内排出量以外の計算条件は 3 章と同様である。解析の対象も 3 章と同様に地方は関東、関西・瀬戸内、九州、季節は春季及び夏季、光化学 Ox 指標は日最高 8 時間値の季節平均値及び季節上位 5 日平均値（高濃度平均値）とした。

- ◇ 2030 年度は 2018 年度に比べて、高位と低位の季節平均値及び高濃度平均値は、春季と夏季ともに低下することが予測された。その低下率を光化学 Ox 濃度を示す指標、地域、季節別に整理すると、高濃度平均値が季節平均値に比べて、関東全域や関西・瀬戸内全域が九州全域に比べて、夏季が春季に比べてそれぞれ大きかった。例えば関東全域の低位の低下率は、夏季の季節平均値が 5.8%、高濃度平均値が 11.1%であったのに対し、春季の季節平均値は 1.9%、高濃度平均値は 4.4%であった。
- ◇ 夏季の高濃度平均値の低減には、3 章で実施した過去のシミュレーション結果において、VOC と NOx のそれぞれの排出削減が光化学 Ox の低下に効果があったことが示されており、2030 年度においても同様に光化学 Ox 濃度は低下すると見積もられた。シナリオ間で比較すると、高位に比べて低位では VOC（人為起源）で 3 倍程度、NOx で 1.5 倍程

度の排出量が削減されることで、低位における夏季の平均値及び高濃度平均値が高位の2倍程度低下すると予測された。例えば関東全域では、夏季平均値の低下率が高位2.8%に対して低位5.8%、高濃度平均値の低下率が高位5.6%に対して低位11.1%であった。

- ◇ 春季は夏季に比べて季節平均値や高濃度平均値の低下率は小さかった。季節平均値では光化学Ox低下率の大きい低位でも3地方とも2%未満であった。高濃度平均値でも関東全域・低位（低下率4.4%）を除くと他の2地方では2%未満であった。
- ◇ 地域的には、季節平均値では春季と夏季ともに関東地方や関西地方の湾岸部に比べて内陸部のほうが光化学Ox濃度は低下した。この傾向を3章の過去の前駆物質の削減効果の検証結果から考察すると、NOx排出量の削減が発生源から離れた内陸部ほど光化学Ox濃度の低下に寄与し、さらにVOC削減に伴う光化学Ox濃度の低下も加わり効果が大きくなったものと考えられる。
- ◇ 今回の推計ではVOC（人為起源）とNOxの削減率をそれぞれ21%、44%とした低位シナリオにおいて、光化学Ox濃度は関東全域や関西・瀬戸内全域で夏季に高濃度平均値が10%程度低下すると予測されたものの、夏季平均値では5%程度の低下、さらに春季では季節平均値と関東全域を除く高濃度平均値ともに2%未満に留まった。この結果は、我が国の光化学オキシダント濃度レベルを十分に下げするためには、国内の前駆物質を削減するだけでは限界があることを意味している。2章と3章で示されたように大陸からの越境汚染や広域的なバックグラウンド濃度の寄与が大きいことを踏まえると、将来的な光化学Ox濃度の低減のためには国内の前駆物質対策に加えて、東アジアスケールさらには北半球スケールでの光化学Oxのバックグラウンド濃度の低減に向けた国際的取組が必要と考えられる。

(3) 長期的な削減シナリオの作成に向けた情報収集

NOx及びVOCの長期的な削減の可能性を把握するために、文献調査及びヒアリング調査によって2050年カーボンニュートラル（2050CN）に向けた取組や排出抑制技術等について情報収集を行った。NOxまたはVOCが削減すると考えられる活動量の変化や排出抑制技術を整理し、削減ポテンシャルを整理した。

<NOx>（表4.1-1）

- ◇ 各業界で計画されている2050CNに向けた取組によるNOx削減ポテンシャルを整理した。
- ◇ 省エネ対策が既に広く導入されている場合は、今後大幅な削減ポテンシャルは見込めない（鉄鋼業やセメント製造業の一部の技術）。ただし、現在は普及率がよくはない省エネ設備の導入が進む場合（セメント製造業の一部の技術）や、古い設備のリプレイスに伴い追加的な省エネ設備が導入される場合には、NOxの削減が見込まれる（パルプ・紙・紙加工品製造業、化学工業）。
- ◇ CCSについては、いずれの業種においても導入の可能性がある。カーボンキャプチャーにアミン吸収剤が利用される場合には、NOxの削減が見込まれる。
- ◇ LNGへの燃料転換は、パルプ・紙・紙加工品製造業や電気業において導入が進む可能性が高いことから、NOxの削減が見込まれる。
- ◇ 以上のことから、NOxにおいては、2050CN対策を進めることで、コベネフィットで削減されることが示唆される。

<VOC> (表 4.2-1)

- ◇ 塗料（建築工事業及び輸送用機械器具製造業）においては、水性塗料への転換や、設備更新のタイミングで塗装ロボットの導入等の一部の技術の導入が進む可能性があり、削減ポテンシャルが見込まれる。
- ◇ 燃料（蒸発ガス）については、燃料小売業において Stage I（荷卸時）や Stage II（給油時）の導入が進む場合には削減ポテンシャルが見込まれる。
- ◇ 印刷インキでは、回収・分解技術については既に導入されきっており、削減ポテンシャルが見込めないが、水性グラビアインキ及びハイソリッドインキ等の原材料転換及び水なし印刷機及び印刷版の浅版化が進む場合には、削減ポテンシャルが見込まれる。
- ◇ 化学品では、回収・分解技術は既に導入されきっており、削減ポテンシャルは見込めない。
- ◇ 追加的なエネルギー利用が伴う原材料転換及び燃焼が伴う分解技術等一部の VOC 対策は、サプライチェーン全体での CO₂ 排出量が増加することから、2050CN に向けた取組とトレードオフの関係になる場合があり、今後対策を進めていく上で留意が必要になる。

今後、2050 年に向けた脱炭素シナリオを考慮しつつ、削減ポテンシャルを踏まえた最大限の削減シナリオ（MFR）⁵や、現在検討が進められている光化学 Ox 環境基準の再評価値達成に必要な削減シナリオといった複数の長期的な削減シナリオを作成する必要がある。

⁵ MFR; Maximum technically Feasible Reduction（採算等の課題を度外視して技術的に可能な排出抑制対策技術を実装した場合を想定するシナリオ）

■ 4章-参考資料 SOx、CO、PM_{2.5}及びNH₃の2030年度の排出量の算出

(1) 推計方法

2030年度のオキシダント濃度を、シミュレーションモデルを用いて推計するに当たり、光化学Oxの前駆物質であるNO_x、VOC以外にも、SO_x、CO、PM_{2.5}、NH₃の2030年度排出量が必要である。そこで、各物質の各業種において、以下の方法に則り、推計を実施した。基本的には、2018年度排出量に、2030年度の将来排出量比率を掛け合わせることで、2030年度将来排出量を推計した。

参考表 1 SO_x、CO、PM_{2.5}、NH₃の2030年度排出量の推計方法

各物質	本推計での設定	設定根拠
SO _x	NO _x 、VOCで活用した固定燃焼発生源の活動量（2030年度のエネルギー需給見通しの省エネ前、省エネ後の最終エネルギー消費量：燃料消費量とみなす）の将来排出量比率を、2018年度実績値にかける	燃料中のS分がSO _x になるため、燃料消費量に比例して排出される
CO PM _{2.5}	※なお船舶起源のSO _x 及びPM _{2.5} は、硫黄分規制を考慮する	①燃料消費量に比例して排出される ②上記に加えて、燃焼状況に依存して排出量が決まる
NH ₃	2030年度排出量は、2018年度実績値で一定とする ※なお自動車、作業用機械では2030年度値を推計しているため、その結果を用いる	人の発汗や農業に強く依存する物質であることから、将来排出量が、燃料消費量に比例しない

参考表 2(1) 発生源別のSO_x、CO、PM_{2.5}、NH₃の2030年度排出量の推計方法

大分類	中分類	小分類	推計方法
人為固定	燃料の燃焼	エネルギー供給	2030年度のエネルギー需給見通しの省エネ前、省エネ後に基づき、将来排出量を推計
		産業	
		民生	
	廃棄物焼却		昨年度設定した将来排出量比率を用いて推計（廃棄物中間期シナリオ報告書に基づく）
	農業		2018年度実績値で一定とする
	生活		低位は社人研の将来人口推計（中位推計）に基づき将来排出量比率を設定
固定蒸発発生源		溶剤使用、燃料蒸発、化学品製造等	発生源ごとに推計
		肥料製造	2018年度実績値で一定とする

参考表 2(2) 発生源別の SOx、CO、PM_{2.5}、NH₃ の 2030 年度排出量の推計方法

大分類	中分類	小分類	推計方法
人為移動	航空		2030 年度のエネルギー需給見通しの省エネ前、省エネ後に基づいた将来排出量比率を用いる
	自動車、作業用機械		2030 年度の自動車台数や次世代自動車の普及見込、交通流対策などによる効果を考慮した将来排出量を用いる
	船舶		2030 年度のエネルギー需給見通しの省エネ前、省エネ後に基づいた将来排出量比率を用いる
自然	植物、土壌、火山		2018 年度実績値で一定とする

(2) 結果

参考表 3 SOx の 2018 年度と 2030 年度の排出量と削減率

大分類	中分類	小分類	SOx				
			排出量 (t/年)			削減率	
			2018 年	2030 年 高位(H1)	2030 年 低位(L2)	2030 年 高位 (H1)	2030 年 低位 (L2)
人為 固定	燃料 の燃 焼	エネルギー供給	126,119	84,691	66,684	33%	47%
		産業	101,185	93,819	80,361	7%	21%
		民生	28,838	31,121	26,149	-8%	9%
		廃棄物焼却	5,293	5,058	4,747	4%	10%
		農業	339	339	339	0%	0%
		生活	19	19	19	0%	0%
		固定 蒸発 発生 源	溶剤使用、燃料蒸 発、化学品製造等	0	0	0	-
		肥料製造	0	0	0	-	-
人為 移動	自動車		907	784	614	14%	32%
	作業用機械		72	2	2	97%	97%
	船舶		16,416	4,399	3,671	73%	78%
	航空		98	98	79	0%	19%
自然	火山		2,442,446	2,442,446	2,442,446	0%	0%
合計			2,721,732	2,662,775	2,625,111	2%	4%

参考表 4 CO の 2018 年度と 2030 年度の排出量と削減率

大分類	中分類	小分類	CO				
			排出量 (t/年)			削減率	
			2018 年	2030 年 高位(H1)	2030 年 低位(L2)	2030 年 高位(H1)	2030 年 低位(L2)
人為 固定	燃料の 燃焼	エネルギー供給	154,912	104,620	82,760	32%	47%
		産業	81,118	75,130	63,391	7%	22%
		民生	68,376	60,462	44,623	12%	35%
	廃棄物焼却		47,277	45,144	42,296	5%	11%
	農業		57,196	57,196	57,196	0%	0%
	生活		6,110	6,110	6,110	0%	0%
	固定蒸発 発生源	溶剤使用、燃料蒸発、化学 品製造等	0	0	0	-	-
肥料製造		0	0	0	-	-	
人為 移動	自動車		1,107,205	676,945	582,154	39%	47%
	作業用機械		110,378	66,686	66,515	40%	40%
	船舶		3,456	3,456	2,885	0%	17%
	航空		21,364	21,310	17,295	0%	19%
自然	植物		161,287	161,287	161,287	0%	0%
合計			1,818,679	1,278,346	1,126,510	30%	38%

参考表 5 PM_{2.5} の 2018 年度と 2030 年度の排出量と削減率

大分類	中分類	小分類	PM _{2.5}				
			排出量 (t/年)			削減率	
			2018 年	2030 年 高位 (H1)	2030 年 低位 (L2)	2030 年 高位 (H1)	2030 年 低位 (L2)
人為固定	燃料の 燃焼	エネルギー供給	2,958	2,016	1,606	32%	46%
		産業	12,302	11,358	9,902	8%	20%
		民生	4,862	4,604	3,570	5%	27%
	廃棄物焼却		697	665	623	5%	11%
	農業		5,801	5,801	5,801	0%	0%
	生活		3,162	3,162	3,162	0%	0%
	固定蒸発 発生源	溶剤使用、燃料蒸 発、化学品製造等	0	0	0	-	-
			0	0	0	-	-
人為移動	自動車		20,448	12,662	10,973	38%	46%
	作業用機械		1,994	564	563	72%	72%
	船舶		2,634	1,111	928	58%	65%
	航空		643	641	521	0.3%	19%
自然			0	0	0	-	-
合計			55,501	42,584	37,649	23%	32%

参考表 6 NH₃ の 2018 年度と 2030 年度の排出量と削減率

大分類	中分類	小分類	NH ₃				
			排出量 (t/年)			削減率	
			2018 年	2030 年 高位 (H1)	2030 年 低位 (L2)	2030 年 高位 (H1)	2030 年 低位 (L2)
人為固定	燃料の 燃焼	エネルギー供給	0	0	0	0%	0%
		産業	0	0	0	0%	0%
		民生	0	0	0	-	-
	廃棄物焼却		0	0	0	0%	0%
	農業		329,693	329,693	329,693	0%	0%
	生活		19,329	19,329	19,329	0%	0%
	固定蒸発 発生源	溶剤使用、燃料蒸 発、化学品製造等	0	0	0	-	-
			0	0	0	0%	0%
人為移動	自動車		11,134	10,221	8,678	8%	22%
	作業用機械		0	0	0	-	-
	船舶		0	0	0	-	-
	航空		0	0	0	-	-
自然			0	0	0	0%	0%
合計			360,156	358,274	356,831	1%	1%

第5章 まとめと提言

1. まとめ

1章で示した光化学オキシダント対策ワーキングプランの「③光化学オキシダント濃度低減に向けた新たな対策の検討」に対応して2章から4章の成果を取りまとめた。

1.1. 現状の把握、生成機構の解明

(ワーキングプラン③ア) 現状の把握、生成機構の解明及びシミュレーションモデルの精緻化

観測された光化学オキシダント濃度等を詳細に解析して現状を把握する。また、生成機構に関する新たな知見を収集するとともに、前駆物質の排出インベントリやシミュレーションモデルの精緻化により、光化学オキシダント生成に係る寄与率を明らかにする。

〈要点〉

- ◆ 東北地方南部から九州地方北部にかけて、2005年度から2022年度に常時監視測定局で観測された光化学オキシダント（以下、光化学Ox）データを解析した結果、光化学Oxの新指標値は長期的に低下傾向にあり、日最高8時間値の季節別98パーセンタイル値（以下、98パーセンタイル値）の平均年間低下量は春季に比べ夏季に大きかった。例えば、関東では夏季の98パーセンタイル値が1.3 ppb/年で統計的に有意に低下したのに対し、春季の平均年間低下量は0.41 ppb/年と小さく、統計的にも有意ではなかった（図1.1-1）。
- ◆ 観測データやシミュレーションモデルによる解析の結果、関東や関西・瀬戸内の光化学Oxの低減には、その前駆物質（NO_x、VOC）の国内排出量削減による効果が大きいことが示された。
- ◆ 春季に国内の前駆物質削減による光化学Ox濃度の低減効果が表れにくい一因として、アジア大陸からの越境大気汚染や広域的なバックグラウンド・オゾンの影響を強く受けていることが考えられる。
- ◆ 気温が高い日は高濃度の光化学Oxの出現頻度が高くなるほか、人為発生源からのVOC蒸発量や植物起源VOCの放出量の増加も示唆された。このことから、気候変動による将来的な気温の上昇を見据えて、光化学Ox対策を検討する必要がある。

- ① 光化学Oxの大気中濃度は、現在は主に紫外線吸収法（乾式法）で測定されているが、測定当初は中性ヨウ化カリウム吸光光度法（湿式法）で測定されていた。本検討会の解析において、両者の光化学Oxの観測結果に濃度差があることが明らかとなったため、本調査では乾式法による測定結果を主に使用し、解析期間は基本的に乾式法が普及した2005年度以降とした。
- ② 2005～2022年度に全国の常時測定局で観測された光化学Ox濃度は、前駆物質排出量が多い関東、東海、関西等では新指標値、98パーセンタイル値や注意報発令日数等の高濃度指標の出現が経年的に減少した。関東を例にすると、98パーセンタイル値は夏季に有意に低下しており、平均年間低下量は1.3 ppb/年であった。同様に、前駆物質（NO_x、

NMHC) の季節平均濃度も経年的に低下しており、前駆物質の排出削減が光化学 Ox 濃度の長期的な減少に寄与している可能性が示唆された。一方、春季の 98 パーセンタイル値の平均年間低下量は 0.41 ppb/年と小さく、統計的にも有意ではなかった。(図 1.1-1)

- ③ 2005 年度から 2018 年度を対象とした 3 章のシミュレーション計算では、国内の VOC 及び NO_x 排出量の削減によって、とくに高濃度指標である上位 5 日平均値の濃度に低下が見られ、その低下率は夏季に大きく、観測結果において夏季の 98 パーセンタイル値が有意に低下したと定性的に整合した。また、関東の夏季 98 パーセンタイル値は、2005 年度から 2018 年度の 13 年間で 21%低減した(前出の平均年間低下量 1.3 ppb/年をもとに計算)。これに対してシミュレーション結果によると、2005 年度から 2018 年度の VOC 及び NO_x の排出削減によって上位 5 日平均値がそれぞれ 10.5%及び 4.6%低下している(3 章 表 4-1)。観測とシミュレーションの結果を直接比較できないが^{注)}、観測値の低減率(21%)は国内排出量の削減(VOC と NO_x による低減率を加算すると 15.1%)によって、かなりの部分を説明できると考えられる。これらのことから、前駆物質の排出削減が、光化学 Ox の高濃度レベルの長期的な低減に寄与していることが明らかになった。
- ④ 光化学反応によるオゾン生成が少ないと考えられる朝 6 時の光化学 Ox 濃度は 2005 年度以降経年的に上昇傾向にあった。このことは NO_x 削減にともなう NO タイトレーション効果の低下で概ね説明できる。ただし、近年では NO タイトレーション効果の低下で見込まれる程の濃度上昇は見られず、その理由として越境汚染の影響の低下や地域の前駆物質削減等の影響が考えられる。
- ⑤ 春季は、関東等の大都市部を含む地域よりも前駆物質濃度が低い離島や日本海側の地域の光化学 Ox 濃度が高く(図 1.1-1)、広域的なバックグラウンド濃度の影響が大きいと考えられる。北半球の光化学 Ox (オゾン) のバックグラウンド濃度が高い状況にあり¹⁾、大陸方面からの移流の影響を受けやすい春季において、国内の前駆物質削減による光化学 Ox 濃度低減効果が現れにくいと考えられる。ただし、離島や日本海側の地域では 2019 年度頃から春季の光化学 Ox 濃度が低下してきており、越境汚染による影響が経年的に変化している可能性がある。中国の光化学 Ox 濃度の上昇も同じ頃から抑えられてきているという報告もあり(2 章 図 4.2.3-1)、東アジア地域の光化学 Ox 濃度や前駆物質排出量の今後の変化を注視していく必要がある。
- ⑥ 観測結果では、気温が高いほど光化学 Ox の高濃度出現頻度が増加し、また、VOC の人為発生源からの蒸発量や植物起源からの放出量が増加することが示唆された。これらのことから、気候変動による将来的な気温上昇が光化学 Ox 濃度に与える影響を予測・評価し、その結果を踏まえて光化学 Ox 対策を検討する必要がある。

注) 2 章の観測結果による解析と 3 章のシミュレーションで使用した光化学 Ox 指標が異なること、2005 年度から 2018 年度の Ox 濃度の変化を十分に再現できないこと、3 章のシミュレーションでは 2018 年度の気象条件に固定していること、NO_x と VOC による光化学 Ox 低減率を単純に加算できないこと、などのため。

¹ Tarasick, D. *et al.* : Tropospheric Ozone Assessment Report: Tropospheric ozone from 1877 to 2016, observed levels, trends and uncertainties, *Elem. Sci. Anth.*, **7(39)**, 1-72 (2019)

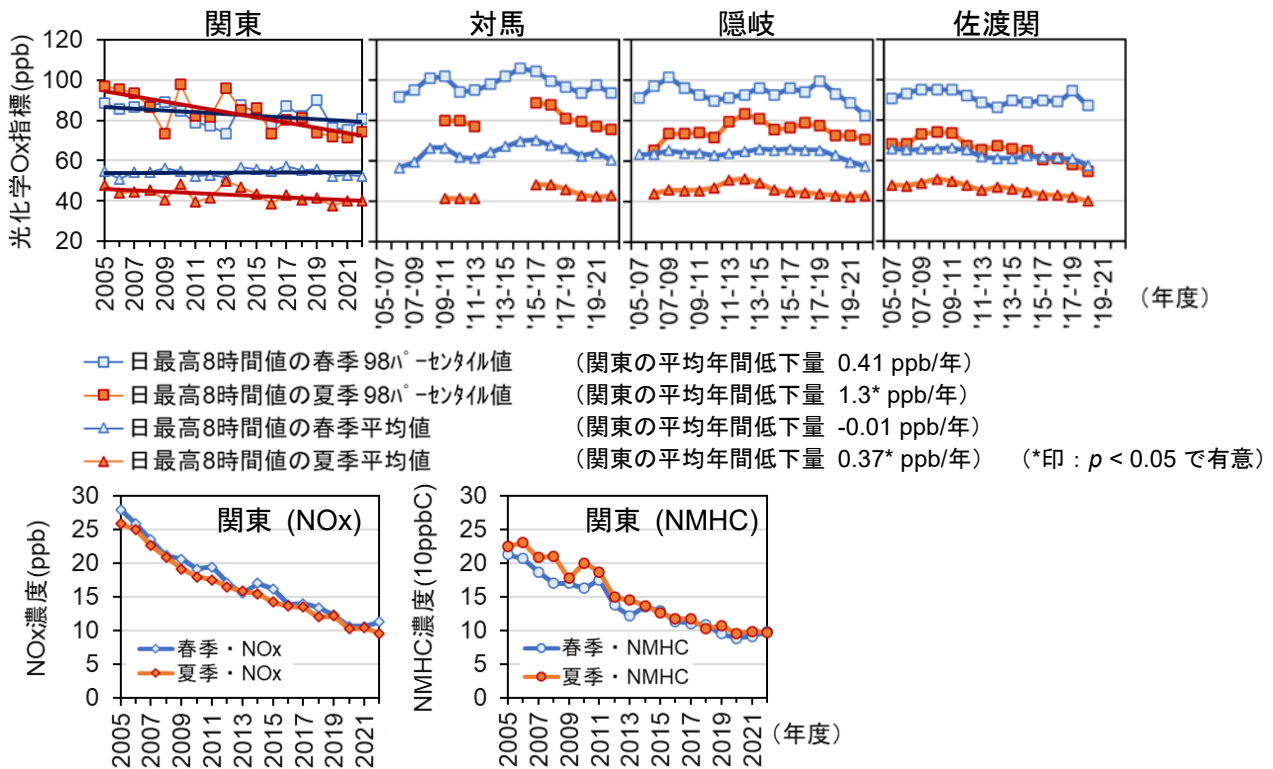


図 1.1-1 関東及び離島の光化学 Ox 指標と関東の NOx 及び NMHC 季節平均濃度の経年変化
 離島 (対馬、隠岐、佐渡関) の光化学 Ox 指標は 3 年移動平均値

1.2. 過去の対策効果の検証 (前駆物質削減による効果)

(ワーキングプラン③イ) 過去の対策効果の検証 (前駆物質削減による効果)

これまでの排出規制や自主的取組による前駆物質削減が光化学 Ox 濃度の変化にどれほど寄与したか、シミュレーションを活用して検証する。

〈要点〉

- ◆ 国内の排出削減に伴う光化学 Ox の低減効果を評価するために、2005 年度から 2018 年度の排出量変化による光化学 Ox 濃度の感度をシミュレーション解析した。解析対象とした発生源・排出物質は、固定蒸発・VOC、自動車・VOC、全人為発生源・VOC、自動車・NOx、大規模固定燃焼・NOx、ならびに全人為発生源・NOx であり、地域は関東、関西・瀬戸内、九州である。光化学 Ox 濃度の評価指標は、日最高 8 時間値の春季及び夏季別の季節平均値 (以下、季節平均値) と上位 5 日平均値 (以下、高濃度平均値) とした。
- ◆ VOC 排出量削減によって、全ての地域において、春季及び夏季ともに季節平均値と高濃度平均値は低減した。例えば関東では VOC 排出量の削減によって、春季及び夏季ともに季節平均値は 6%程度、高濃度平均値は 10~12%程度低下し、とくに高濃度時の光化学 Ox の低減に効果が大きかった。一方、NOx 排出量の削減による光化学 Ox

濃度変化の傾向は季節や地域、指標によって違いが見られた。NO_x 排出量を削減した場合、春季は季節平均値及び高濃度平均値のいずれも上昇したのに対し、夏季は高濃度平均値が低下する一方で、季節平均値は地域により変化の傾向が異なった。例えば関東ではNO_x 全排出量の削減によって、春季の季節平均値は5.9%、高濃度平均値は5.2%上昇したのに対し、夏季の高濃度平均は4.6%低下した。さらに夏季平均値は関東が1.8%上昇したのに対し、関西・瀬戸内では0%、九州では3.9%低下した。また、VOCとNO_xの排出量削減による光化学Ox指標の変化量は地域毎に異なっており、例えば夏季の高濃度平均値の低下率は、VOCとNO_x排出量の削減によってそれぞれ関東で10.5%、4.6%、関西・瀬戸内で6.3%、4.9%、九州で2.0%、3.0%であり、九州では前駆物質の削減効果は小さかった。(図1.2-1及び3章表4-1)

これらの解析結果をもとに、国内における全人為発生源からのVOCとNO_x排出量を同時削減した場合の光化学Ox濃度低減効果を試算(感度解析結果の加算性を仮定)したところ、VOCとNO_xの排出削減効果のバランスによって、春季の季節平均値の変化は少なかったが、春季の高濃度平均値と夏季の季節平均値の低下に寄与し、夏季の高濃度平均値の低減効果は大きかった。(図1.2-1)

- ◆ 固定蒸発と自動車からのVOC排出量削減は、とくに関東や関西の湾岸部等の発生源周辺地域において高濃度平均値に対する低減効果が大きかった(図1.2-2及び3章表4-2)。固定蒸発と自動車のVOC排出の削減効果は概ね同程度であった。
- ◆ 大規模固定燃焼や自動車を含むNO_x排出量の削減によって、湾岸部等の発生源周辺地域を中心に春季の季節平均値と高濃度平均値は上昇した。夏季も両方のNO_x発生源からの排出量削減が湾岸部等の発生源に近い地域の季節平均値や高濃度平均値を上昇させたが、発生源から離れた内陸部等の地域では季節平均値や高濃度平均値の低減に効果が見られた(図1.2-2)。とくに、関西・瀬戸内や九州では対象とした4つの発生源の中で自動車・NO_x排出量の削減が高濃度平均値の低下に対して最も効果が大きかった。
- ◆ 大陸からの越境汚染の変化による影響は、春季は西の地域ほど光化学Oxの両指標の上昇率が大きかった。とくに九州では越境汚染による季節平均値や高濃度平均値の変化率(それぞれ3.9%と3.2%の上昇)が、国内のVOCとNO_x排出量の削減による変化率(それぞれVOCで1.5%と1.8%の低下、NO_xで1.3%と0.9%上昇)よりも絶対値として大きかった。一方で夏季はいずれの地域においても越境汚染の変化による光化学Ox濃度変化は小さく、両指標は最大で1.0%の上昇に留まった(図1.2-1及び3章表6-1)。また、気象の変化は、季節や地域によっては国内排出量の削減に比べて光化学Ox指標を大きく変化させた。(図1.2-1及び3章表4-1)

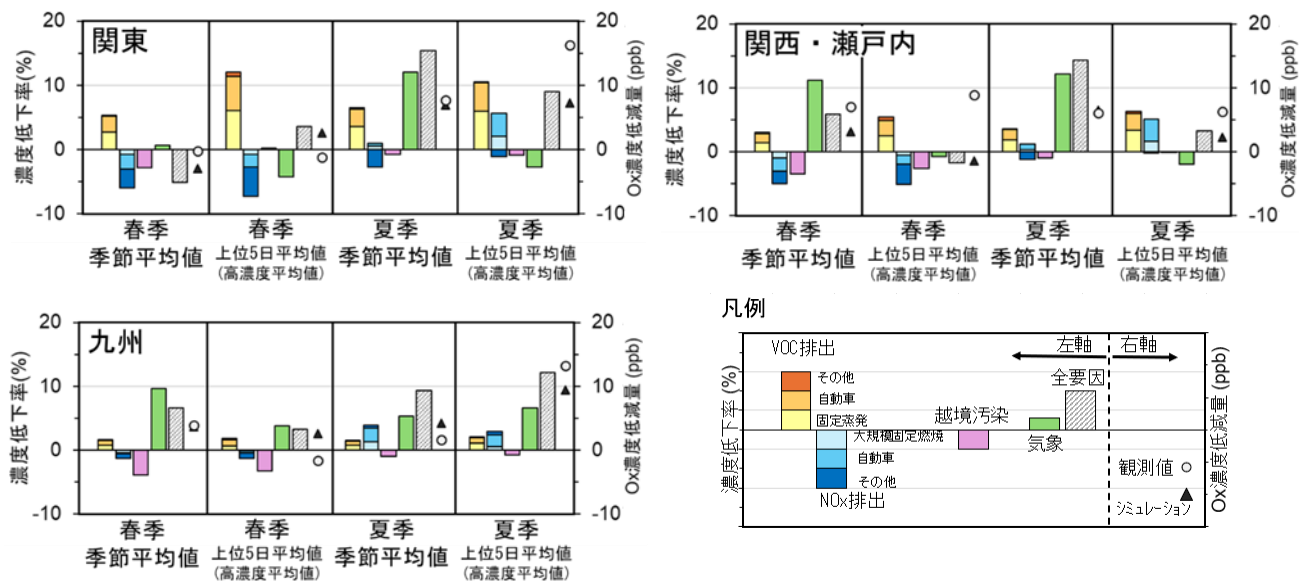


図 1.2-1 2005 年度から 2018 年度への光化学 Ox 指標の変化と要因

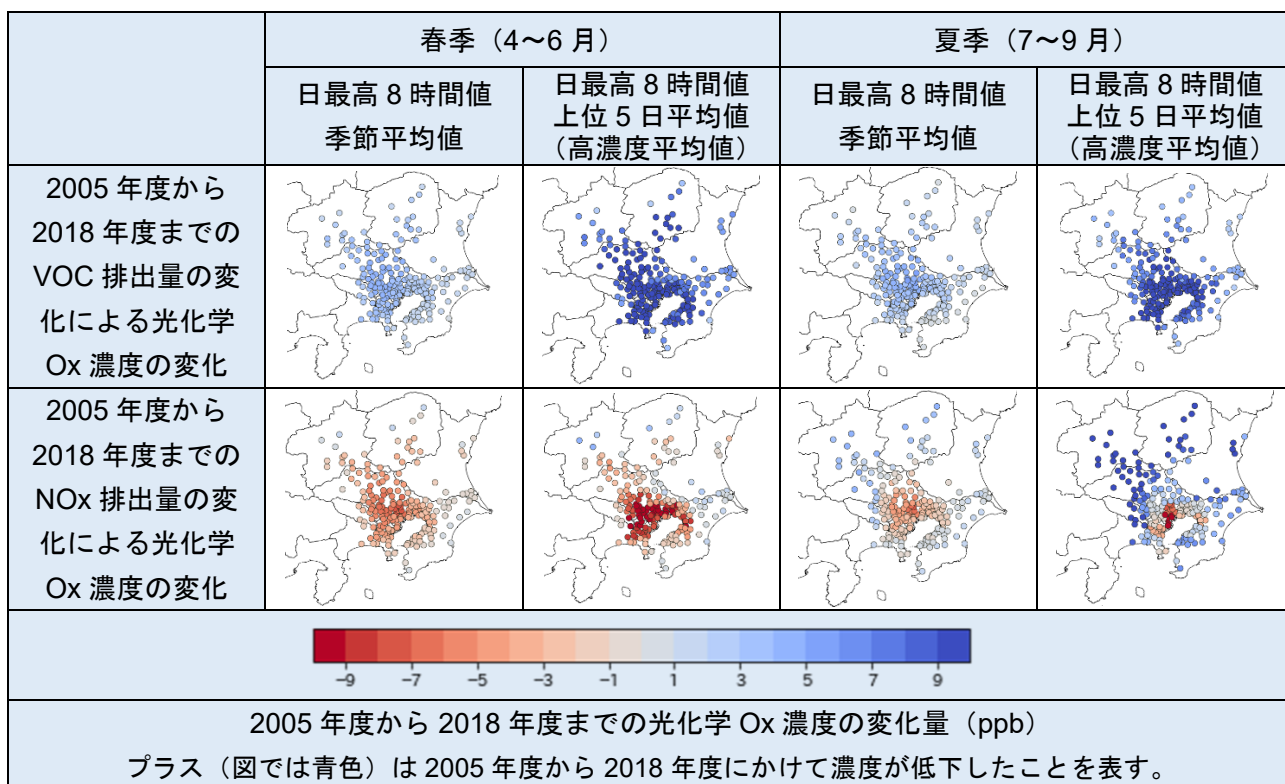


図 1.2-2 関東の人為起源排出量の削減に伴う光化学 Ox 指標の変化量の空間分布

2005 年度から 2018 年度の前駆物質の排出量削減に伴う光化学 Ox 濃度低減への効果を評価するため、固定蒸発・VOC 対策、自動車・VOC 及び NOx、大規模固定燃焼・NOx、全人為発生源・VOC 及び NOx を対象としたシミュレーション計算による感度実験を実施した。また、国内の排出量変化以外に光化学 Ox 濃度を変化させる要因として、越境汚染や気象の影響についても評価した。解析の対象地域は関東、関西・瀬戸内及び九州とし、さらに細分化した地域も対象に解析を行ったが、以下のまとめにおいて特に断りが無い場合は、関東、

関西・瀬戸内及び九州の「全域」を対象とした。季節は春季（4～6月）と夏季（7～9月）とした。また、光化学 Ox 濃度の評価指標として、日最高 8 時間値の春季及び夏季別の季節平均値（以下、季節平均値）、上位 5 日間平均値（以下、高濃度平均値）を使用した。

(1) 全人為発生源の VOC、 NOx 排出削減効果

2005 年度から 2018 年度までの全人為発生源の VOC 排出量削減によって、関東、関西・瀬戸内及び九州の春季及び夏季ともに、光化学 Ox の季節平均値及び高濃度平均値は低下した。高濃度平均値は季節平均値よりも低下率が大きく、VOC の排出量削減がとくに高濃度光化学 Ox の低減に効果があったことが確認できた。これに対して、全人為発生源の NOx 排出量の削減による光化学 Ox の濃度変化の傾向は、夏季は関東の季節平均値を除き低下傾向にあるが、春季は季節平均値及び高濃度平均値ともに上昇した。季節・光化学 Ox 指標別に以下に示す。（図 1.2-1 及び 3 章 表 4-1）

- ① 【春季・季節平均値】各地域とも NOx 排出量の削減による季節平均値の上昇率（関東では 5.9%）と VOC 排出量の削減による低下率（関東では 5.4%）が同程度であり、 NOx と VOC の同時削減は季節平均値の変化に影響を与えなかったと考えられる。
- ② 【春季・高濃度平均値】 NOx 排出量の削減による春季の高濃度平均値の上昇率（関東では 5.2%）よりも VOC 排出量の削減による低下率（関東では 12.1%）が上回ったことから、 NOx と VOC の同時削減は春季の高濃度平均値の低下に寄与した可能性がある。
- ③ 【夏季・季節平均値】夏季の季節平均値は、関東では NOx 排出量の削減によって 1.8%上昇したのに対し、VOC の削減によって 6.5%低下した。一方、関西・瀬戸内と九州では NOx 排出量の削減によって季節平均値はそれぞれ 0%と 3.9%低下し、VOC 排出量の削減も季節平均値を低下させたことから、いずれの地域でも NOx と VOC の同時削減は夏季の季節平均値の低下に寄与した可能性がある。
- ④ 【夏季・高濃度平均値】夏季の高濃度平均値は VOC 及び NOx 排出量の削減によって関東ではそれぞれ 10.5%及び 4.6%低下した。同様に関西・瀬戸内ではそれぞれ 6.3%及び 4.9%低下、九州はそれぞれ 2.0%及び 3.0%低下した。これらのことから、 NOx と VOC の同時削減によって高濃度平均値は大きく低下したと考えられる。

(2) 発生源別の VOC、 NOx 排出削減効果

固定蒸発施設の VOC、自動車の VOC と NOx 、及び大規模固定燃焼施設の NOx の各々の排出削減による光化学 Ox 低減効果を整理した。（表 1.2-1）

- ① 【固定蒸発施設からの VOC 排出削減効果】春季と夏季ともに季節平均値及び高濃度平均値が低下し、とくに高濃度平均値の低下率が大きかった。また、両指標の低下率は関東、関西・瀬戸内、九州の順に大きく、さらには関東地方では発生源が多い湾岸側の方が内陸側よりも低下率が大きかった。両指標とも春季に比べて夏季のほうが低下する傾向であったが、関東の高濃度平均値や九州の季節平均値のように春季と夏季の低下率が同等になることもあった。以上より、固定蒸発 VOC 排出量の削減は、地域や季節によらず光化学 Ox 指標の低減に効果があったが、関東や関西・瀬戸内における発生源周辺地域の高濃度平均値の低減にとくに大きな効果を表した。
- ② 【自動車からの VOC 排出削減効果】固定蒸発・VOC と同様に春季と夏季ともに光

化学 Ox の季節平均値及び高濃度平均値を低下させ、とくに高濃度平均値を低下する効果が大きかった。低下率に春季と夏季の違いは見られなかった。また、両指標の低下率は関東、関西・瀬戸内、九州の順に大きく、内陸側に比べて湾岸側が大きかったことも、固定蒸発・VOC と同様であった。以上より、自動車からの VOC の排出量削減は、固定蒸発・VOC と同様に地域や季節によらず光化学 Ox 指標の低減に効果があったが、関東や関西・瀬戸内における発生源周辺地域の高濃度平均値の低減にとくに大きな効果を表した。

- ③ 【自動車からの NOx 排出削減効果】季節、地域、光化学 Ox 指標により異なる傾向を示した。春季では自動車からの NOx 排出量削減は光化学 Ox の季節平均値や高濃度平均値を上昇させ、とくに湾岸部付近の地域での上昇が大きかった。ただし、自動車・VOC 発生源の排出量削減に伴う高濃度平均値の低下率は関東地方全域を例にすると 5.3%であり、これは自動車・NOx の排出量削減による濃度上昇の変化率 2.1%を上回るため、自動車排出削減全体としては濃度低下に寄与したと考えられる。一方、夏季は季節平均値や高濃度平均値を低下させ、湾岸部に比べて内陸部での低下率が大きかった。とくに関西・瀬戸内地方全域の高濃度平均値については解析対象とした発生源の中で最も低下率が大きかった。以上より、自動車からの NOx 排出量削減は、春季の光化学 Ox 指標を、発生源周辺地域を中心に上昇させた一方で、夏季の光化学 Ox 指標に対しては発生源から離れた地域での低減に効果があった。このような夏季の自動車からの NOx 排出量の削減による光化学 Ox 濃度の低下に加え、自動車・VOC 排出量の削減によっても光化学 Ox 濃度は低下したことから、自動車排出削減全体として夏季の光化学 Ox 濃度の低下に大きく寄与したと考えられる。
- ④ 【大規模固定燃焼施設からの NOx 排出量削減効果】自動車 NOx の排出量と同様に、季節、地域、光化学 Ox 指標により異なる傾向を示した。春季は光化学 Ox の季節平均値や高濃度平均値を上昇させたが、夏季は多くの地域で光化学 Ox の季節平均値や高濃度平均値を低下させた。光化学 Ox 指標がとくに湾岸部で上昇するのに対し、内陸部では低下する傾向も、自動車・NOx の排出量の削減効果と同様であった。以上より、大規模固定燃焼施設からの NOx 排出量削減は、春季の光化学 Ox 指標を、湾岸部の発生源周辺地域を中心に上昇させた一方で、夏季の光化学 Ox 指標に対しては発生源から離れた地域での低減に効果を示した。

(3) 越境汚染と気象の変化による影響

- ① 【越境汚染の変化による影響】2018 年の国内人為起源以外の発生源 (=国外の自然・人為起源の発生源)を 2005 年の排出量に変化させたシミュレーションを実施した。国内人為起源以外の発生源からの排出量の増加によって、関東地方全域の高濃度平均を除き、光化学 Ox 濃度が夏季よりも春季に上昇しており、また、春季には西側の地方ほど上昇率が大きく、越境大気汚染の経年変化による影響を相対的に強く受けていた。九州では、春季の季節平均値や高濃度平均値の上昇が、VOC 排出量の削減による低下や NOx 排出量の削減による上昇よりも絶対値として大きく、国内の排出量の削減よりも越境汚染による濃度変化のほうが大きかった。一方で夏季の越境汚染の変化による影響はいずれの地域においても光化学 Ox 両指標は最大で 1.0%の上昇にとどまり、国内対策の効果の方が大きく表れた。(図 1.2-1 及び 3 章 表 6-

1)

- ② 【気象変化による影響】2018年度ベースケースの気象条件を2005年度に置き換えたシミュレーションを実施し、両者を比較した。関東及び関西・瀬戸内では、春季と夏季において高濃度平均値が上昇し、季節平均値は低下する傾向が見られた。(図1.2-1及び3章表4-1)

表 1.2-1 2005年度から2018年度への前駆物質排出量の削減による
光化学 Ox 指標の低下率

発生源・排出物質	地域	春季		夏季	
		季節平均値	上位5日平均値 (高濃度平均値)	季節平均値	上位5日平均値 (高濃度平均値)
固定蒸発・VOC	関東	2.7%	6.1%	3.5%	6.0%
	関西・瀬戸内	1.5%	2.5%	1.9%	3.3%
	九州	0.7%	0.6%	0.7%	1.1%
自動車・VOC	関東	2.5%	5.3%	2.8%	4.4%
	関西・瀬戸内	1.4%	2.4%	1.6%	2.6%
	九州	0.8%	1.0%	0.7%	0.9%
自動車・NOx	関東	-2.4%	-2.1%	0.4%	3.6%
	関西・瀬戸内	-2.0%	-1.4%	0.8%	3.5%
	九州	-0.2%	-0.4%	2.2%	1.8%
大規模固定燃焼・NOx	関東	-0.7%	-0.7%	0.6%	2.1%
	関西・瀬戸内	-1.0%	-0.6%	0.4%	1.6%
	九州	-0.4%	-0.1%	1.3%	0.6%

1.3. 光化学オキシダント対策の検討・削減シナリオの策定

(ワーキングプラン③ウ) 光化学 Ox 対策の検討・削減シナリオの策定

2050CN に向けた社会経済変化や新たな環境技術の導入、環境対策の進展、東アジアの大気環境変化等を考慮し、(中略)、光化学 Ox 対策に必要な取組を検討し、PM_{2.5}対策も含めた総合的な排出削減シナリオを策定する。

〈要点〉

- ◆ 第6次エネルギー基本計画における省エネルギー対策及び現状で考慮されている大気汚染対策が実現されることを想定した「低位排出シナリオ」(以下、低位とする)と、第6次エネルギー基本計画における省エネルギー対策前の活動量を使い、大気汚染対策も現行から変化しない「高位排出シナリオ」(以下、高位とする)の2種類のベースラインシナリオ(2030年度を対象とした排出シナリオ)を作成し、シミュレーション計算により2030年度の将来濃度を推計した。
- ◆ 2030年度の総排出量は2018年度に対し、NOxは高位で27%、低位で44%の削減が見込まれ、削減に寄与した主要な発生源は高位と低位ともに自動車であった。VOC(人

為起源)の総排出量は高位で6%、低位で21%の削減が見込まれ、削減に寄与した主要な発生源は高位では自動車、低位では固定蒸発発生源であった。

- ◆ 2030年度の光化学Ox濃度は、全ての地域で光化学Ox日最高8時間値の季節平均値、上位5日平均値(高濃度平均値)ともに2018年度から低下した。また、相対的に大きく低下したのは、光化学Ox指標では高濃度平均値、季節では夏季、排出量では低位であった。ただし、光化学Ox指標の低下率は最大でも関東・夏季・低位の季節平均値5.8%、高濃度平均値11.1%であり、一方、春季では季節平均値と高濃度平均値ともに一部を除いて2%未満に留まった(表1.3-1)。このように、国内対策の効果が限定的であることから、国内対策に加えて、大陸からの越境汚染と東アジアスケールのバックグラウンド濃度の低減に向けた国際的取組が必要である。
- ◆ 以上のように、2050年カーボンニュートラルに向けた脱炭素化の進行に伴って光化学Oxの低減が期待されること、光化学Ox(オゾン)はSLCP(短寿命気候汚染物質)でもあることから、気候変動対策と大気環境対策のシナジー効果を踏まえた統合的推進が極めて重要である。
- ◆ ベースラインシナリオに対し、2050年カーボンニュートラルの取組等を踏まえた、より長期的な前駆物質の削減ポテンシャルを検討した。今後、これらの削減ポテンシャルから推計した排出削減量をもとに将来の光化学Ox濃度を予測し、現在検討中である光化学Ox環境基準の再評価値を考慮した将来削減シナリオを策定することが重要な課題である。

表 1.3-1 光化学Ox指標の2018年度から2030年度への低下率

排出削減率	高位				低位			
	VOC(人為起源):6%、NOx:27%							
	VOC(人為起源):21%、NOx:44%							
季節	春季		夏季		春季		夏季	
光化学Ox指標	季節平均	高濃度平均 (上位5日平均)	季節平均	高濃度平均 (上位5日平均)	季節平均	高濃度平均 (上位5日平均)	季節平均	高濃度平均 (上位5日平均)
関東	0.7%	1.6%	2.8%	5.6%	1.9%	4.4%	5.8%	11.1%
関西・瀬戸内	0.4%	0.6%	2.4%	4.5%	1.0%	1.8%	4.7%	9.0%
九州	0.9%	0.5%	2.5%	1.5%	1.5%	0.9%	4.3%	3.0%

(1) 2030年度を将来年としたベースラインシナリオの作成

- ① 第6次エネルギー基本計画における省エネルギー対策前に相当する活動量を使い、現行の大気汚染対策のみ実施されることを想定した「高位排出シナリオ」(以下、高位とする)と、第6次エネルギー基本計画における省エネルギー対策に相当する活動量を使い、現状で考慮されている大気汚染対策が実現されることを想定した「低位排出シナリオ」(以下、低位とする)の2種類のベースラインシナリオ(2030年度を対象とした排出シナリオ)を設定し、2018年度を基準年として2030年度の排出削減量を推計した。2030年度の排出量は、関連業界へのヒアリング等から得た情報をもとに設定した2018年度から2030年度への変化率を、2018年度の排出量に乗じることで算出した。
- ② 2018年度に対する2030年度の削減見込みは、発生源全体でNOxは高位が27%(271kt/年)、低位が44%(438kt/年)となり、削減に寄与した主要な発生源は自動車で、高位

と低位ともに削減量全体の半分程度（高位 158 kt/年、低位 205 kt/年）を占めた。VOC（人為起源）の削減見込みは発生源全体で高位が6%（68 kt/年）、低位が21%（225 kt/年）となり、削減に寄与した主要な発生源は高位では自動車削減量全体の8割程度（55 kt/年）を占め、低位では固定蒸発発生源が削減量全体の65%（146 kt/年）を占めた。

(2) ベースラインシナリオにおける光化学オキシダントの将来変化

- ① 作成したベースラインシナリオ（高位と低位）をもとに、2030年度の光化学Ox濃度を推計した。使用したモデルと国内排出量以外の計算条件は1.2と同様である。解析の対象も1.2と同様に地域は関東、関西・瀬戸内、九州、季節は春季及び夏季、光化学Ox指標は季節平均値及び季節上位5日平均値（高濃度平均値）である。
- ② 表1.3-1のように、2030年度の春季及び夏季の各地域における光化学Oxの季節平均値及び高濃度平均値はいずれも低下し、関東や関西・瀬戸内の低下率が九州に比べて大きかった。また、高位に比べてVOCとNOx排出削減量が多い低位のほうが、両指標とも低下した。光化学Ox指標の低下率は、季節平均値に比べて高濃度平均値で大きく、また、春季に比べて夏季に大きくなる傾向にあり、1.2で示した過去を対象とした排出量削減効果の検証結果と整合していた。とくに夏季の高濃度平均値の低下率が大きかったことは、1.2においてVOCに加えてNOx排出量の削減も効果があったことと同様の事由と考えられる。ただし、光化学Ox指標の低下率は最大でも関東・夏季・低位の季節平均値5.8%、高濃度平均値11.1%であり、さらに春季では季節平均値と関東を除く高濃度平均値ともに2%未満に留まった。このように、国内対策の効果が限定的であることから、国内対策に加えて東アジアスケールのバックグラウンド濃度の低減に向けた国際的取組が必要である。

(3) 前駆物質の更なる削減の可能性

- ① 2050年カーボンニュートラルの取組等を踏まえたより長期的な削減の可能性を把握するため、NOxまたはVOCが削減すると考えられる活動量の変化や排出抑制技術に係る情報を収集し、削減ポテンシャルを整理した。
- ② NOxで見込まれる削減ポテンシャルは、現在は普及率が高くはない省エネ設備の導入が進む場合（セメント製造業の一部の技術）、古い設備のリプレイスに伴う追加的な省エネ設備が導入される場合の一部（パルプ紙業やセメント）、CCSでカーボンキャプチャーにおけるアミン吸収剤が利用される場合、LNGへの燃料転換（パルプ紙業や電気業）等である。NOxについては、カーボンニュートラル対策を進めることによるコベネフィットによって削減されることが示唆された。
- ③ VOCで見込まれる削減ポテンシャルは、塗料（建築工事業及び輸送用機械器具製造業）では水性塗料への転換や、一部の技術（塗装ロボットの導入等）での設備更新のタイミングで導入が進む場合、燃料（蒸発ガス）では、燃料小売業においてStageI（荷卸時）やStageII（給油時）の導入が進む場合、印刷インキでは、水性グラビアインキ及びハイソリッドインキ等の原材料転換及び水なし印刷機及び印刷版の浅版化が進む場合等である。VOCにおいて、追加的なエネルギー利用に伴う原材料転換及び燃焼に伴う分解技術等一部の対策は、サプライチェーン全体でのCO₂排出量が増加することから、カーボンニュートラル対策とトレードオフの関係になる場合があり、今後対策を進めていく上で留意する必要がある。

2. 現状を踏まえた今後の光化学オキシダント対策に対する提言 (次期ワーキングプランに向けて)

① 光化学 O_x 濃度低減に向けた更なる前駆物質排出削減対策の推進

光化学 O_x の前駆物質である窒素酸化物 (NO_x) と揮発性有機化合物 (VOC) の排出削減により、都市域における高濃度の光化学 O_x は着実に低減している。さらに、現在の大気汚染対策や省エネ等を進めることにより、2030 年において高濃度の光化学 O_x 濃度がさらに低減すると予測される。しかし、現在の光化学 O_x の濃度レベルからすると、その低減量は不十分であり、現在、再評価が進められている光化学 O_x の新たな環境基準値を踏まえた追加的な対策が必要である。今後は、国内外のネットゼロに向けた動向を踏まえた 2030 年さらには 2050 年における光化学 O_x 濃度を予測するとともに、追加的対策による低減効果を評価した上で前駆物質排出削減対策を推進することが重要である。

② 東アジアスケールの地表オゾン濃度低減のための国際的取組みの推進

東アジア地域における地表オゾンの濃度レベルは世界的に見ても高く、東アジアスケールのバックグラウンド濃度を引き下げなければ、我が国の光化学 O_x 濃度も充分に下がらない状況にある。このため、国内対策の推進はもとより、TEMU (日中韓三カ国環境大臣会合) や EANET (東アジア酸性雨モニタリングネットワーク) 等に基づく地表オゾン濃度低減のための国際的取組みを加速する必要がある。また、東アジア地域の地表オゾン濃度と前駆物質排出量の現状・将来変化に関する情報収集や分析を継続的に進めることも重要な課題である。

③ 気候変動対策と連携した削減対策の推進

気温が高いほど光化学 O_x の高濃度出現率が上昇することに示されるように、地球温暖化が光化学 O_x 生成に与える影響は大きい。また、対流圏オゾンは気候変動を引き起こす短寿命気候汚染物質 (SLCP) でもあることから、光化学 O_x 対策は気候変動対策にもなる。さらには、2050 年カーボンニュートラルに向けた脱炭素化の進行により、化石燃料起源の大気汚染物質排出量の削減が進み、その結果、光化学 O_x の低減が期待される。このように、光化学 O_x 対策と気候変動対策は密接に関係し、シナジー効果が期待できることから、両対策を連携して推進することが重要である。これらの対策を科学的に推進するためには、2050 年カーボンニュートラルに向けた脱炭素シナリオでの光化学 O_x の将来予測、光化学 O_x 対策と脱炭素対策のシナジー効果の定量化などに関する科学的知見を蓄積する必要がある。

④ 光化学 O_x 低減のための総合戦略の策定

今後、光化学 O_x 対策を推進するためには、上述したように、国内の排出削減対策を着実に実施するとともに、国際的な排出削減の取組みを進め、さらには国内外の脱炭素による副次的効果も考慮する必要がある。これら 3 つの点を踏まえ、現在再評価作業が進んでいる光化学 O_x の新たな環境基準達成を目標とする、光化学 O_x 低減のための総合戦略を、科学的知見に基づき策定することが求められる。

資料

令和6年度光化学オキシダント等総合対策推進検討会委員（五十音順、敬称略）

委員名	所 属
飯島 明宏	高崎経済大学 地域政策学部地域づくり学科
○大原 利眞	一般財団法人日本環境衛生センター アジア大気汚染研究センター
櫻井 達也	明星大学理工学部 総合理工学科
四家 豊彦	一般社団法人日本化学工業協会 環境安全部
茶谷 聡	国立研究開発法人国立環境研究所 地域環境保全領域 大気モデリング研究室
永島 達也	国立研究開発法人国立環境研究所 地域環境保全領域 大気モデリング研究室
西村 理恵	地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所 環境研究部 環境調査グループ
花岡 達也	国立研究開発法人国立環境研究所 社会システム領域 地球持続性統合評価研究室
速水 洋	早稲田大学 国際理工学センター
星 純也	公益財団法人東京都環境公社東京都環境科学研究所 気候変動・環境エネルギー研究科
森川 多津子	一般財団法人日本自動車研究所 環境研究部 環境評価グループ
森野 悠	国立研究開発法人国立環境研究所 地域環境保全領域 大気モデリング研究室
山神 真紀子	名古屋市環境科学調査センター 環境科学室

令和6年度有識者WG委員（五十音順、敬称略）

委員名	所 属
大原 利眞	一般財団法人日本環境衛生センター アジア大気汚染研究センター
櫻井 達也	明星大学理工学部 総合理工学科
○茶谷 聡	国立研究開発法人国立環境研究所 地域環境保全領域 大気モデリング研究室
速水 洋	早稲田大学 国際理工学センター
森川 多津子	一般財団法人日本自動車研究所 環境研究部 環境評価グループ
森野 悠	国立研究開発法人国立環境研究所 地域環境保全領域 大気モデリング研究室

【注】○は座長を示す。