

光化学オキシダント調査検討会 報告書

平成 29 年 3 月

光化学オキシダント調査検討会

緒言

平成 24～25 年度に設けられた前身の「光化学オキシダント調査検討会」では、各種の環境対策により近年我が国の NO_x、VOC の大気濃度が低減しているにも係わらず、O₃ (O_x) の平均濃度が増加し続けているという大きな矛盾に取り組み、常時監視局観測データの解析からその要因を明らかにしてきました。これに引き続き平成 26～28 年度に設置された本検討会では、これらの要因を化学輸送モデルによるシミュレーション計算から裏付け、今後 NO_x、VOC の排出をさらにどの位削減すれば、O₃ (O_x) の抑制がもたらされるかについてシミュレーションによる感度解析を行い、将来のオキシダント削減戦略に対するガイドラインを提供する事を目的に検討を行って参りました。

光化学オキシダントや PM_{2.5} に代表される二次汚染物質による大気汚染には、大気輸送と化学反応が密接に結びついた非常に複雑な過程が含まれ、新しい大気化学反応の解明やモデルの改良等の研究が現在なお盛んに行われています。したがって、光化学オキシダントにつきましても、今後の対策をより有効なものにするためには、こうした最先端の科学的知見を行政施策の立案に生かして行く事の重要性が、前身の検討会や本検討会での議論を通じて指摘されてきました。

本報告書はこのような観点に立って、現状で最善と思われるモデルの一つを用いて我が国のオキシダント汚染の現状を解析し、今後の NO_x、VOC 削減の感度を明らかにするとともに、モデルシミュレーションを用いた光化学オキシダント抑止戦略をより効果的なものにするための今後の調査研究のあり方についての提言をまとめたものです。

本報告書が、今後の我が国の光化学オキシダント対策に対する有効な一助となることを願ってやみません。

平成 29 年 3 月
光化学オキシダント調査検討会
座長 秋元 肇

目次

1 はじめに.....	2
1.1 本調査の背景.....	2
1.2 本調査の目的.....	3
1.3 本調査の概要.....	4
1.3.1 シミュレーションモデルの構築.....	4
1.3.2 シミュレーションモデルの検証.....	4
1.3.3 O _x 濃度に影響を及ぼす 3 つの要因の解析.....	4
1.3.4 前駆物質排出量削減の感度解析.....	4
2 シミュレーションモデルの条件及び検証.....	6
2.1 シミュレーション解析の目的.....	6
2.2 シミュレーションフレームの検討.....	6
2.2.1 解析対象期間.....	6
2.2.2 シミュレーション解析対象地域.....	7
2.2.3 シミュレーション解析対象月.....	7
2.2.4 シミュレーションモデルの検討.....	7
2.2.5 排出インベントリデータ.....	9
2.3 排出インベントリデータの整理.....	10
2.3.1 排出インベントリデータの整理(東アジア).....	10
2.3.2 排出インベントリデータの整理(日本国内).....	10
2.3.3 東アジア領域計算における日本国内インベントリデータの使用.....	14
2.3.4 インベントリデータのまとめ.....	14
2.4 シミュレーションモデルの設定.....	15
2.4.1 気象モデルの入力データ.....	15
2.4.2 東アジア領域境界値データ.....	15
2.4.3 シミュレーションモデルの設定のまとめ.....	16
2.5 シミュレーションモデルの再現性の確認.....	17
2.5.1 再現性確認の考え方.....	17
2.5.2 統計値の算出方法について.....	18
2.5.3 気温及び風速の再現性について.....	21
2.5.4 遠隔地における O _x について.....	31
2.5.5 関東・九州地域における O _x 及び前駆物質の再現性.....	35
2.5.6 構築したシミュレーションモデルと他モデルとの比較.....	52
2.5.7 シミュレーションモデルの検証のまとめ.....	57
3 シミュレーションモデルによる解析の結果と考察.....	58

3.1 日本国内における Ox 濃度の長期変動要因の解析	58
3.1.1 前駆物質排出量変化(固定蒸発 VOC 排出量削減)の影響の解析	58
3.1.2 越境大気汚染の解析	63
3.1.3 NO タイトレーション効果の低下の影響解析	70
3.1.4 まとめ	77
3.2 前駆物質(VOC、NOx)排出量削減の感度解析結果	78
3.2.1 解析の目的	78
3.2.2 シミュレーションの設定条件及び評価方法	78
3.2.3 排出量削減効果の概要	81
3.2.4 Ox 新指標相当値及び高濃度日発生日数による評価	89
3.2.5 まとめ	100
3.3 シミュレーションモデルによる解析のまとめ	101
3.3.1 日本国内における Ox 濃度の長期変動要因	101
3.3.2 前駆物質排出量削減の感度解析	101
3.3.3 モデルの不確定性について	103
4 今後の調査研究のあり方と課題	108
4.1 モニタリングに関する課題	108
4.2 シミュレーションモデルに関する課題	108
4.3 インベントリに関する課題	109
4.4 今後の国際協力に関する課題	110
4.5 今後の光化学オキシダント対策に関する提言	110
資料 1 光化学オキシダント調査検討会・解析作業部会名簿	112
資料 2 検討会・解析作業部会の開催状況	114
資料 2.1 平成 26 年度 (2014 年度)	114
資料 2.1.1 検討会	114
資料 2.1.2 解析作業部会	114
資料 2.2 平成 27 年度 (2015 年度)	115
資料 2.2.1 検討会	115
資料 2.2.2 解析作業部会	115
資料 2.3 平成 28 年度 (2016 年度)	117
資料 2.3.1 検討会	117
資料 2.3.2 解析作業部会	117
資料 3 参考文献	118

略語一覧

BVOC	: Biogenic Volatile Organic Compounds 生物起源揮発性有機化合物
CAMx	: Comprehensive Air Quality Model with Extensions
CHASER	: CHemical AGCM for Studies of atmospheric Environment and Radiative forcing
CMAQ	: Community Multiscale Air Quality
EANET	: Acid Deposition Monitoring Network in East Asia 東アジア酸性雨モニタリングネットワーク
EPA	: Environmental Protection Agency 環境保護庁
GPV	: Grid Point Value 格子点数値情報
GSM	: Global Spectral Model 全球モデル
HTAP	: Task Force on Hemispheric Transport of Air Pollution 大気汚染の半球輸送タスクフォース
JATOP	: Japan Auto-Oil Program 大気環境改善を目指した自動車業界と石油業界の共同研究プログラム
JEI-DB	: JATOP Emission Inventory Data Base
MEGAN	: Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature
MIR	: Maximum Incremental Reactivity 単位量の VOC が生成しうる最大のオゾン量（最大増加反応性）
NB	: Normalized Bias
NCEP	: National Centers for Environmental Prediction 米国環境予報センター
NGE	: Normalized Gross Error
NMHC	: Non-Methane Hydrocarbons 非メタン炭化水素
NMVOC	: Non-Methane Volatile Organic Compounds 非メタン揮発性有機化合物
Ox	: Oxidant オキシダント
PO	: Potential Ozone ポテンシャルオゾン

REAS	: Regional Emission inventory in ASia アジア地域排出インベントリ
RF	: Response Factor レスポンスファクター
RMSE	: Root Mean Square Error 二乗平均誤差
SIP	: State Implementation Plan 米国環境基準達成のための州政府の実施計画
SLCP	: Short-lived climate pollutant 短寿命気候汚染物質
SOA	: Secondary Organic Aerosol 二次生成有機エアロゾル
VOC	: Volatile Organic Compounds 揮発性有機化合物
WRF	: Weather Research and Forecasting model

【光化学オキシダント(Ox)とオゾン(O₃)の区別について】

環境基準の告示において、光化学オキシダントとは、「オゾン、パーオキシアセチルナイトレートその他の光化学反応により生成される酸化性物質(中性ヨウ化カリウム溶液からヨウ素を遊離するものに限り、二酸化窒素を除く。)」とされている。光化学オキシダントの大部分はオゾン(O₃)である。光化学オキシダントの測定値に対するオゾン以外の成分の寄与は極めて小さいことから、光化学オキシダントの測定法にはオゾンを測定対象とする紫外線吸収法及び化学発光法も含まれている。一方、本調査のシミュレーションモデルで解析対象としている物質はオゾン(O₃)である。このため、「オキシダント」「オゾン」という用語について、本報告書では「光化学オキシダント(Ox)」という用語に統一する(但し、化学反応に関する説明等でオゾン(O₃)を明記する必要がある場合は除く)。

1 はじめに

1.1 本調査の背景

平成 26 年度の光化学オキシダントの環境基準達成率は、一般局で 0%、自排局で 3.6%であり、環境基準はほとんど達成されておらず、関東地方等を中心に依然として注意報の発令がみられる状況である。

平成 24 年 4 月に閣議決定された第四次環境基本計画において、「光化学オキシダントについては、広域大気汚染や気象条件の変化等の影響を大きく受けやすい注意報等とは別に、環境改善効果を適切に示す指標について検討を行い、結論を得ることを目指す。」とされた。

これを踏まえ、環境省では、平成 24、25 年度の 2 年間にわたり「光化学オキシダント調査検討会」(以下「本検討会」という。)において、20 年以上にわたる我が国の大気汚染常時監視データの多角的解析を実施し、前駆物質削減対策による光化学オキシダントの長期トレンドを評価するための指標について検討を行った。その結果、新たに「日最高 8 時間平均値の年間 99% 値の 3 年平均値」を指標として活用することが「光化学オキシダント調査検討会 報告書(平成 26 年 3 月)」において提案された。

この指標を用いて、注意報発令レベルの超過割合が多い地域である関東地域や阪神地域等の域内最高値の経年変化をみると、近年、域内最高値が低下しており、高濃度域の光化学オキシダントの改善が示唆されている。

さらに、上記報告書において、この指標を用いて過去の光化学オキシダント(Ox)濃度を解析した結果、地域別の長期トレンドは、①VOC 及び NO_x 排出量の低下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減、②越境大気汚染の増加による光化学オキシダントの増加、③NO_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の 3 つの要因の組み合わせによって説明できることが示された。

本報告書は、平成 26 ~ 28 年度に本検討会がこれらの要因についてシミュレーションモデル(以下「モデル」と示す)による解析を行った結果を取りまとめたものである。

1.2 本調査の目的

平成 25 年度検討会報告書では、モニタリングデータの多角的解析から明らかとなった、光化学オキシダント濃度の長期トレンドに影響を及ぼす 3 つの要因の寄与割合は、季節及び地域によって異なり、より定量的な議論は今後のモデルシミュレーションを用いた解析が必要であるとされた。

この平成 25 年度検討会報告書を踏まえ、平成 26 ~ 28 年度の光化学オキシダント調査検討会では、以下の 2 つを目的として、調査検討を実施した。

- ① 我が国の光化学オキシダント濃度の長期トレンドに影響を及ぼす 3 つの要因である「前駆物質排出量の変化」、「越境大気汚染の増加」、「NO タイトレーション効果の低下」について、それぞれの寄与の程度を、シミュレーションモデルを用いて明らかにすること。
- ② ①で構築したシミュレーションモデルを用いて、これまでの光化学オキシダント対策の効果検証や、前駆物質排出量削減の感度解析等から、今後のさらなる Ox 濃度低減対策に資する知見を得ること。

1.3 本調査の概要

1.3.1 シミュレーションモデルの構築

光化学オキシダント濃度の長期トレンドに影響を及ぼす 3 つの要因の解析、今後の光化学オキシダント濃度低減対策に資する知見を得るために、シミュレーションモデルの構築を行った。シミュレーションモデルは、気象モデルとして WRF、化学輸送モデルとして CMAQ を採用し、排出量インベントリデータとして、REAS、MEGAN、JEI-DB 等を用いてモデル入力用データを整備した。

1.3.2 シミュレーションモデルの検証

構築したシミュレーションモデルについては、以下のような観測データや既存調査事例との比較により、検証を行った。

- ・人為起源排出量の影響が小さいリモートサイトにおける O_x、NO₂ 月平均濃度の検証
- ・国内代表地域(関東地域、九州地域)における O_x、NO₂、NMHC 月平均濃度または日平均濃度の検証
- ・国内代表地域(関東地域、九州地域)における O_x 新指標の長期トレンドの検証
- ・国内代表地点における VOC 成分別濃度の検証
- ・他の研究機関等で実施された既往調査事例(モデル計算値)との比較

1.3.3 O_x 濃度に影響を及ぼす 3 つの要因の解析

構築したシミュレーションモデルを用いて、光化学オキシダント濃度の長期トレンドに影響を及ぼす 3 つの要因である「前駆物質排出量の変化」、「越境大気汚染の増加」、「NO タイトレーション効果の低下」について、寄与の程度を検証した。検証にあたっては、2001 ~ 2010 年の間で気象場が異常年でない年を基準年(ベースケース)として選定した。次に 3 つの要因を反映した排出インベントリデータを設定し、それぞれシミュレーションによって得られた O_x 濃度または PO(ポテンシャルオゾン)濃度をベースケースの計算結果と比較することによって評価した。

1.3.4 前駆物質排出量削減の感度解析

シミュレーションモデルを用いて、前駆物質排出量削減の感度解析を実施した。感度解析では、オキシダントの前駆物質である人為起源の VOC 及び NO_x 排出量をそれぞれ段階的に削減した場合のシミュレーションを実施し、O_x 濃度(O_x 日最高 8 時間値の暖候期 98% 値及び高濃度日発生日数)に及ぼす影響(感度)を解析した。本調査の実施フローを図 1-1 に示す。

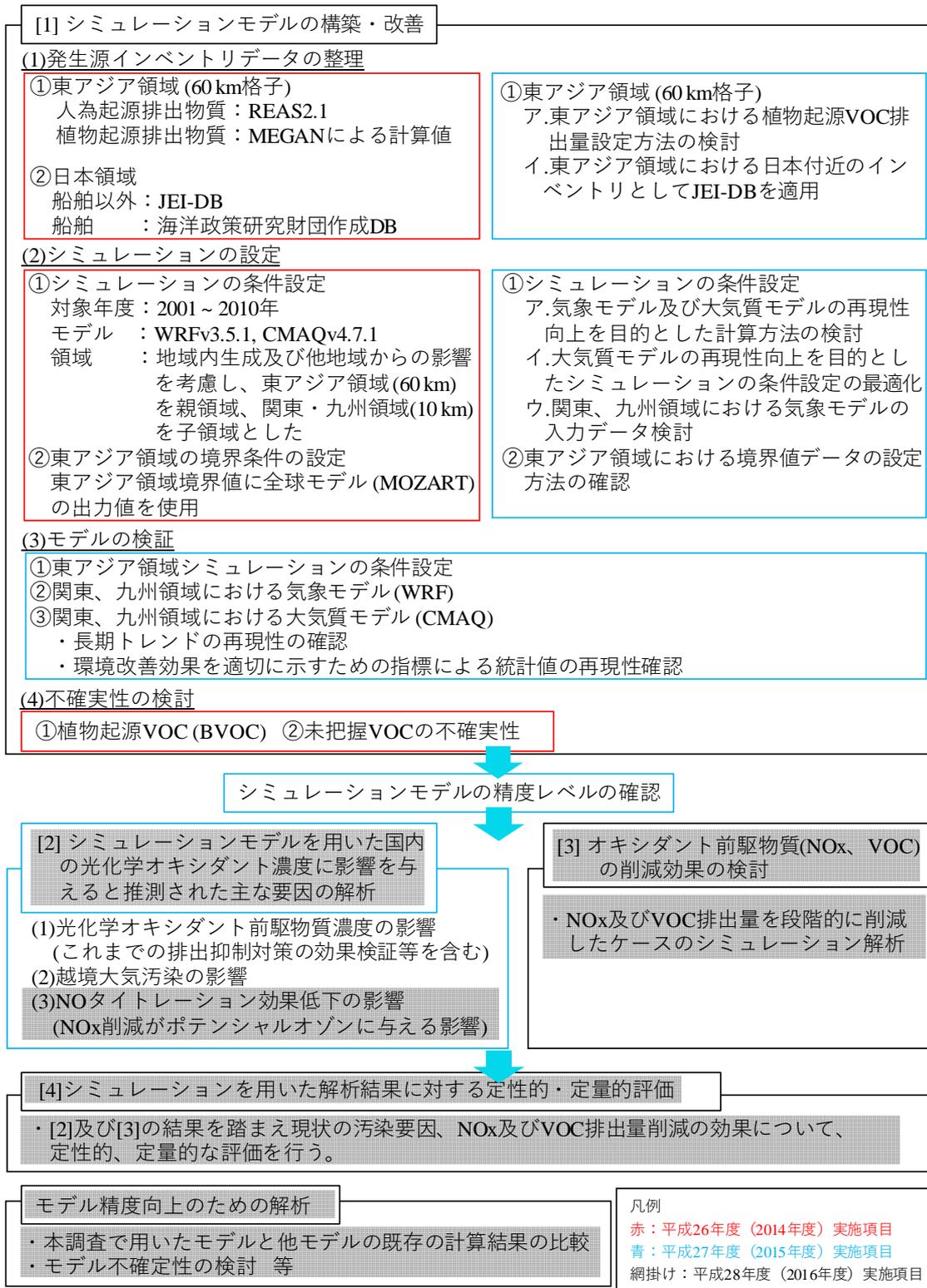


図 1-1 平成 26～28 年度(2014～2016 年度)の光化学オキシダント調査実施フロー

2 シミュレーションモデルの条件及び検証

2.1 シミュレーション解析の目的

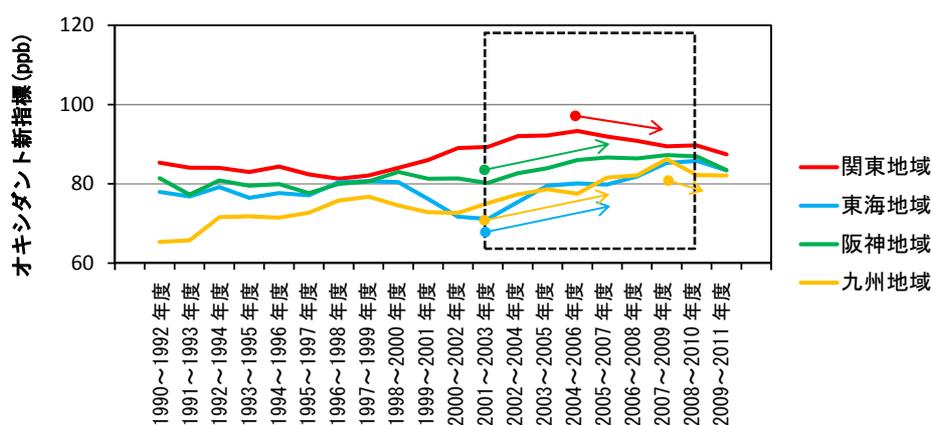
平成 25 年度の「光化学オキシダント調査検討会」において、環境改善効果を適切に示す指標として、「光化学オキシダント濃度の日最高 8 時間値の年間 99%値の 3 年平均値」(以下「オキシダント(Ox)新指標」と言う。)を定め、活用していくことが提言された。また、光化学オキシダント濃度の長期トレンドに影響を及ぼす主要な要因として、「前駆物質排出量の変化」、「越境大気汚染の増加」、「NO タイトレーション効果の低下」の重要性が示された。

シミュレーション解析の目的は、これらの要因が Ox 濃度へ及ぼす影響を、定性的・定量的に明らかにすること、また、これまでの光化学オキシダント対策の効果検証や、前駆物質排出量削減の感度解析等から、今後のさらなる光化学オキシダント濃度低減対策に資する知見を得ることである。

2.2 シミュレーションフレームの検討

2.2.1 解析対象期間

光化学オキシダント濃度の長期トレンドの要因を把握するためには、少なくとも 10 年単位での解析が必要である。測定データから評価したオキシダント新指標(1990～2011 年度を対象)の統計結果(図 2-1)によると、2001～2010 年度の期間(図 2-1 において破線で囲んだ期間)において、関東、東海、阪神、九州地域の光化学オキシダント濃度の経年トレンドが異なることが明らかとなっている。このような、地域によって異なるトレンドをモデルで再現することが、オキシダントの変動要因を解析する上で重要と考えられることから、本調査のシミュレーション解析対象期間を 2001～2010 年暖候期とした。また、前駆物質排出量削減の感度解析においては、直近の 2008～2010 年の 3 年間の暖候期を解析対象とした。



【各地域の Ox 濃度のトレンド】

関東地域 2004～2006 年度から低下 東海地域 2001～2003 年度から上昇

阪神地域 2001～2003 年度から上昇 九州地域 2001～2003 年度から上昇、2007～2009 年度以降低下

図 2-1 光化学オキシダント新指標の地域別経年変化(黒枠は解析対象期間)

2.2.2 シミュレーション解析対象地域

シミュレーション解析対象地域としては、光化学オキシダントの域内生成の影響が大きく、VOC 成分分析調査等の測定データが多い関東地域と、東アジア大陸からの大気汚染物質の移流の影響が大きい九州地域を設定した。

2.2.3 シミュレーション解析対象月

「2.1 シミュレーション解析の目的」で示したように、Ox 新指標を活用し評価する必要があるが、平成 25 年度検討会報告書において、「日最高 8 時間値の年間 99% 値」と「日最高 8 時間値の暖候期 98% 値」は概ね一致していることが示されているため、本調査では暖候期(4～9月)を解析対象月とした。

2.2.4 シミュレーションモデルの検討

(1) 気象モデル

本調査で用いる気象モデルは、①現在も改良が進められていること、②国内、海外における実績が十分にあること、③大気質モデルとして採用した CMAQ¹との親和性が高いこと等から、WRF(Skamarock et al., 2008)を使用することとした。

(2) 化学輸送モデル

米国では、SIP²策定のために、シミュレーションによる評価を行うことが義務付けられており、シミュレーションに用いる化学輸送モデルとしては、大多数の州で、最新版の CMAQ 又は CAMx³を用いている(環境省, 2010a)。また、CMAQ は現在もバージョンアップが進められている点、オープンソースであり、モデルの移植性や扱いやすさに優れている点等から、本調査においても、シミュレーションに用いる化学輸送モデルとしては CMAQ を用いることとした。

サブモデルは、気相反応モデルとして SAPRC99、粒子化モデルとして AERO5 を用いることとした。

(3) シミュレーションモデルの領域について

シミュレーションを実施する上で、シミュレーションモデルの領域及び格子間隔は計算時間に大きく影響するため、本調査の目的を考慮したうえで、適切に設定した。検討結果を以下に示した。

¹ CMAQ:Community Multi-scale Air Quality

² 米国における排出源に対する排出規制等を含む米国環境質基準(NAAQS:National Ambient Air Quality Standards)達成のための州実施計画、SIP:State Implementation Plan

³ 米国 ENVIRON 社の大気質モデル、CAMx:Comprehensive Air Quality Model with Extensions

ア. シミュレーションモデルの領域

本調査では越境汚染の影響も検討する必要があることから、東アジア領域の計算を行い、ネスティングによって、関東領域の計算を行った。今回設定した東アジア領域を図 2-2 に、関東領域を図 2-3 に示す。図中の外枠は気象モデル(WRF)の設定領域、内枠(点線)は、化学輸送モデル(CMAQ)の設定領域を示す。

イ. 格子間隔

本調査では、光化学オキシダント濃度の長期トレンドに影響を及ぼす要因と考えられる「NO タイトレーション効果の低下」の影響について検討するために、本来であれば 1 km 程度以下の空間分解能が必要であると考えられるが、10 年間の 4~9 月という長期間の計算を行うことを考慮して、60 km 格子(東アジア領域)及び 10 km 格子(関東領域)を設定した(表 2-1)。

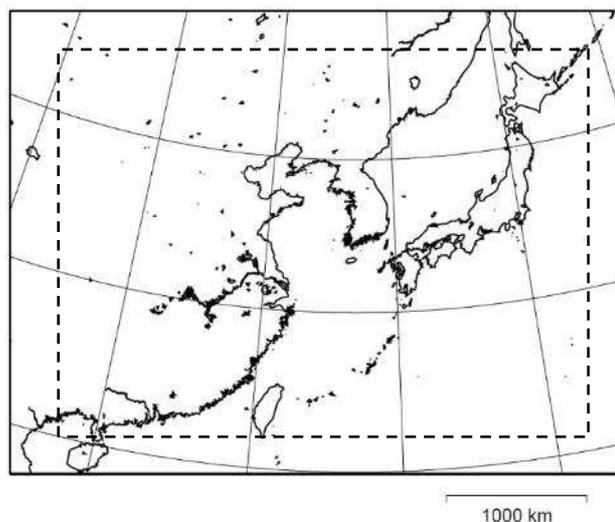


図 2-2 東アジア領域

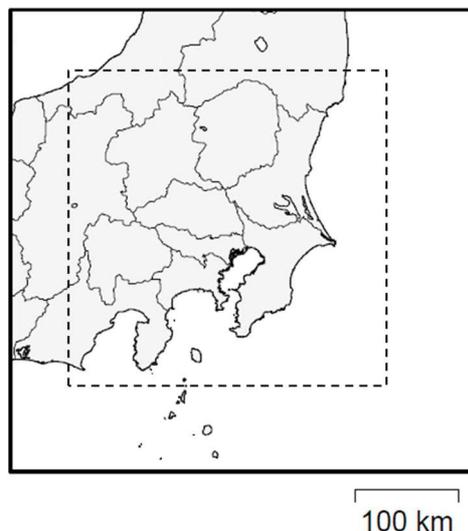


図 2-3 関東領域

表 2-1 各領域の水平格子サイズと計算領域の大きさ

領域	水平格子サイズ	計算領域(東西 × 南北 × 鉛直高さ)
東アジア	60 km	3,300 km × 2,700 km × 16 km
関東	10 km	450 km × 450 km × 16 km

2.2.5 排出インベントリデータ

(1) 東アジアの排出インベントリデータ

本調査では、東アジア地域を対象とした人為起源排出インベントリとして、東アジア全体をカバーした最新のアジア域排出インベントリである REAS 2.1 を用いた。

REAS (Regional Emission inventory in ASia) は、海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター及び国立環境研究所を中心とした研究グループが開発した大気汚染物質と温室効果ガスのアジア域排出インベントリであり、1980 年から 2003 年までの排出量が推計されている (Ohara et al., 2007)。2013 年には REAS 2.1 に更新されており、2000 ~ 2008 年における経緯度 0.25 度グリッド排出量が推計され (Kurokawa et al., 2013)、現在も更新が進んでいる。

(2) 日本国内の排出インベントリデータ

本調査では、国内の発生源インベントリとして、2000 ~ 2010 年を対象として、幅広い排出源をカバーし、環境省で作成中の大気汚染物質排出インベントリでも活用されている JEI-DB (JATOP Emission Inventory-Data Base) (石油エネルギー技術センター, 2012a) を用いた。なお、このデータは船舶からの排出データを含まないことから、船舶からの排出データについては、海上技術安全研究所が作成したインベントリ (海洋政策研究財団, 2013) を用いた。

(3) 植物起源 VOC の排出インベントリデータ

本調査では、植物起源 VOC の排出インベントリとして、計算対象時の気象データを考慮して植物起源 VOC 排出量を算出する MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature) (Guenther et al., 2006) を用いた。

2.3 排出インベントリデータの整理

本調査で用いる排出インベントリデータの整理にあたっては、計算対象期間である 2001～2010 年の各年に対して月別、時刻別に整理することとした。具体的は整理方法については以下に示した通りである。

2.3.1 排出インベントリデータの整理(東アジア)

東アジア領域の人為起源の発生源インベントリデータとして、REAS 2.1 (Kurokawa et al., 2013)を用いた。REAS 2.1 は 2000～2008 年を対象としているため、2009 年及び 2010 年については直近年である 2008 年の排出量を設定した。REAS2.1 について、表 2-2 に示した。

表 2-2 REAS2.1 について

項目	内容
対象領域	アジア全域
対象年	2000～2008 年
空間分解能	0.25 度
時間分解能	月別
研究機関 /開発プロジェクト	国立環境研究所 /環境省環境研究総合推進費 S-7

2.3.2 排出インベントリデータの整理(日本国内)

(1) 排出インベントリデータの整理方法

国内の発生源インベントリについては、日本全国を対象として二次メッシュ単位(約 10 km 格子)で整理を行った。使用した排出量データベースの仕様は表 2-3 に示すとおりである。

表 2-3 使用した国内発生源インベントリのデータベース

発生源	使用したデータベース	対象年
船舶	海洋政策研究財団作成 DB (海洋政策研究財団, 2013)	2010 年
自動車	JEI-DB (石油エネルギー技術センター, 2012a)	2000 年、2005 年、2010 年
上記以外	JEI-DB	2000 年、2005 年、2010 年

(2) 排出量の年次補正方法

排出量データベースで推計対象となっていない年の排出量は、表 2-4 に示すように、以下の 2 通りで実施した。

- ① 補正係数を設定する方法
- ② 前後 2 断面(年)の線形内挿による方法

なお、①について、補正の基となるデータは上記データベースで集計されている至近の年データとして、空間配分、月別時刻別配分はそのままとした。

補正後の排出量を物質別に集計した結果を図 2-4 及び図 2-5 に示す。また、本調査で用いている化学輸送モデル(CMAQ SAPRC99/AERO5)に入力する際の PM 及び VOC の成分分解は、既往報告(石油エネルギー技術センター, 2012b)に基づいて設定した。

表 2-4 排出量データの年次補正指標について

発生源	年次補正指標	出典
1. 電気業	エネルギー使用量(自家用+事業用発電)	総合エネルギー統計*1
2. 地域熱供給	エネルギー使用量(地域熱供給)	
3. 都市ガス製造	エネルギー使用量(一般ガス製造)	
4. 農林業	エネルギー使用量(農林)	
5. 水産業	エネルギー使用量(水産)	
6. 鉱業	エネルギー使用量(鉱業)	
7. 建設業	エネルギー使用量(建設業)	
8. 製造業	エネルギー使用量(製造業)	
9. 家庭	エネルギー使用量(家庭)	
10. 業務	エネルギー使用量(業務他)	
11. 船舶	エネルギー使用量(船舶)	
12. 自動車	国立環境研究所集計排出量	*2
13. 作業機械	線形内挿	
14. 航空機	燃料消費量	航空輸送統計*3
15. 廃棄物焼却	ごみ排出量	日本の廃棄物処理*4
16. 小型焼却炉	小型焼却炉設置数(50kg/h~200kg/h)	ダイオキシン類特別措置法施行状況*5
17. 工業プロセス	発生源品目別のVOC排出量推計結果 (2001年~2005年は線形内挿)	環境省VOC排出インベントリ*6
・化学品製造・塗料製造		
・食料品等(発酵)		
18. 燃料蒸発		
・製油所・原油		
・製油所・潤滑油		
・石油精製・貯蔵出荷施設		
・天然ガス貯蔵		
・都市ガス生産		
・給油所		
19. 溶剤		
・塗料		
・インキ、接着剤、工業用洗浄剤、 クリーニング用洗剤、ゴム用溶剤		
・粘着剤・剥離剤、ラミネート用接着剤、 コンバーティング溶剤、コーティング溶剤、 湿し水		
・洗浄用シンナー、リムーバー、道路舗装、 くん蒸剤、農薬、殺虫剤、漁網防汚剤		
20. 植物	森林面積	森林統計*7
21. 家畜	線形内挿	
22. 肥料施肥		
23. 野焼き		
24. 土壌		
25. 人間活動		
26. ペット犬		
27. 化学肥料製造		
28. 排水処理		

*1 資源エネルギー庁 HP (http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/)

*2 永島作業部会委員提供データ

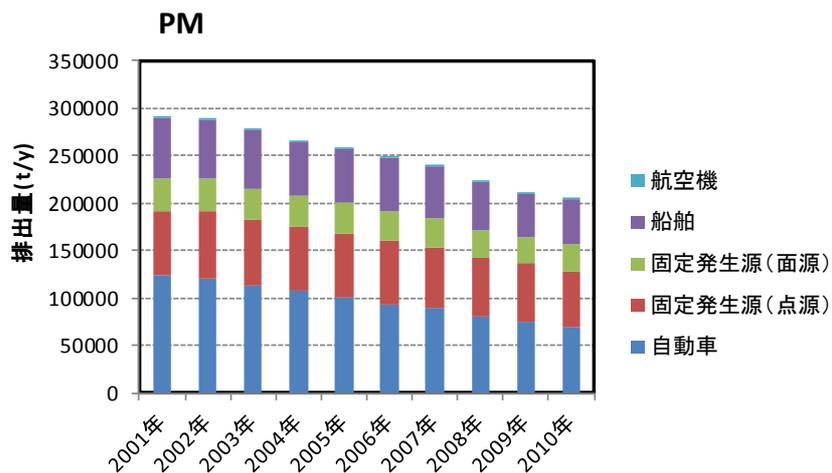
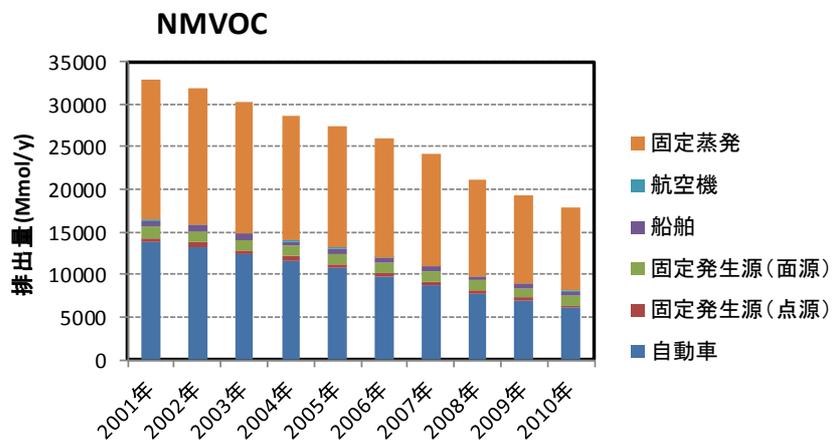
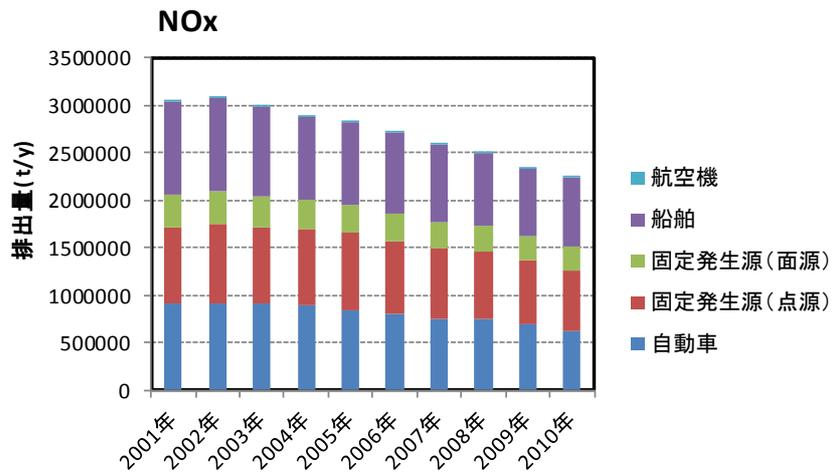
*3 国土交通省 HP (<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/koukuu/koukuu.html>)

*4 環境省 HP (http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/index.html)

*5 環境省 HP (<https://www.env.go.jp/chemi/dioxin/report.html>)

*6 環境省 HP (<http://www.env.go.jp/air/osen/voc/inventory.html>)

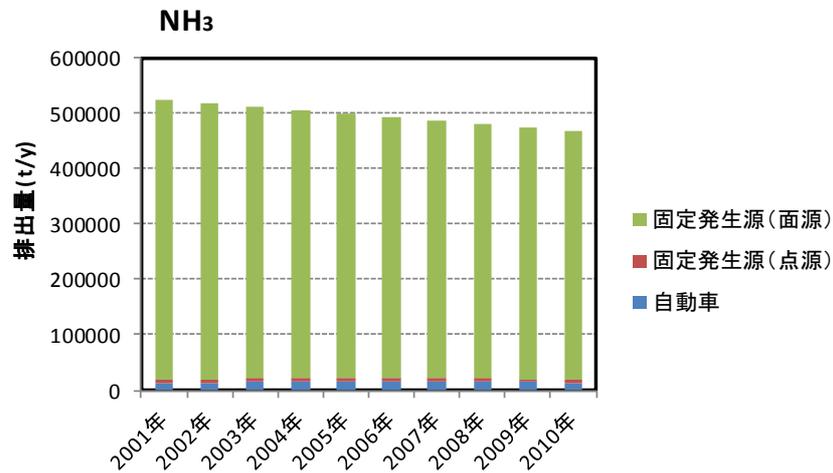
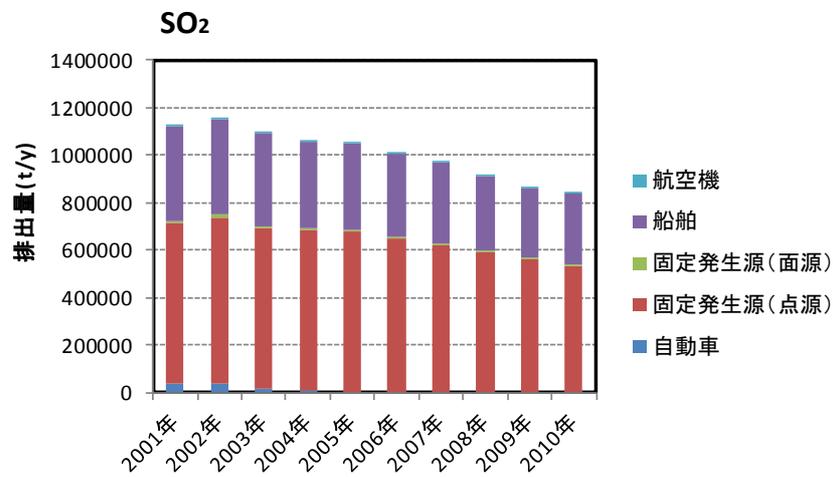
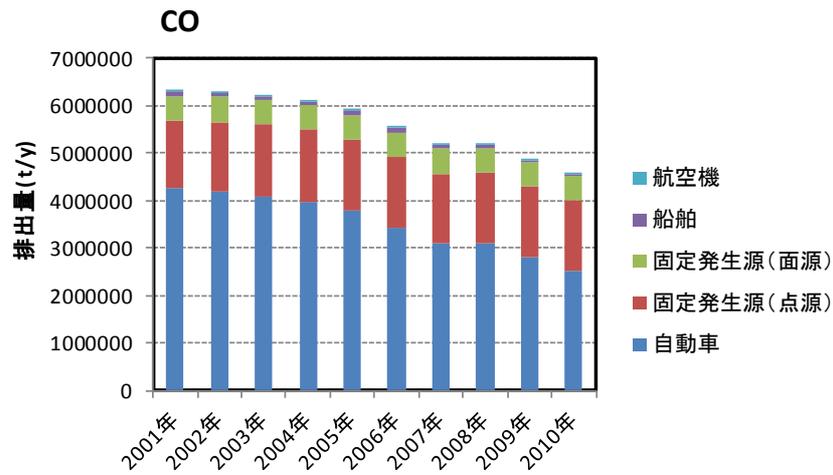
*7 林野庁 HP (<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kouhou/toukei/>)



固定発生源(面源): 家庭、作業機械、小型焼却炉、家畜、肥料、野焼き、土壌、人間、ペット、肥料製造、排水処理

固定発生源(点源): 電気業、地域熱供給、都市ガス製造、農林業、水産業、鉱業、建設業、製造業、廃棄物焼却

図 2-4 国内排出量の経年変化 (NOx、NMVOC、PM)



固定発生源(面源): 家庭、作業機械、小型焼却炉、家畜、肥料、野焼き、土壌、人間、ペット、肥料製造、排水処理

固定発生源(点源): 電気業、地域熱供給、都市ガス製造、農林業、水産業、鉱業、建設業、製造業、廃棄物焼却

図 2-5 国内排出量の経年変化(CO、SO₂、NH₃)

2.3.3 東アジア領域計算における日本国内インベントリデータの使用

東アジア領域の計算においても、日本国内の排出量とその時間変動(日内、週内変動を含む)を適切に反映するために、日本周辺の排出量については REAS2.1 のデータを日本国内のインベントリデータ(JEI-DB)に置き換えて使用することとした(参考資料 図 1)。

2.3.4 インベントリデータのまとめ

本調査で整理した東アジア領域(60 km 格子)及び関東領域(10 km 格子)で用いた排出インベントリデータの相違について、表 2-5 に整理した。

表 2-5 東アジア領域及び関東領域の排出インベントリデータの比較

	東アジア領域(60 km 格子)	関東領域(10 km 格子)
人為起源	•REAS2.1 (ただし、日本付近は JEI-DB)	•JEI-DB(船舶以外) •海洋政策研究財団作成 DB(船舶)
植物起源	•MEGAN 計算値 (植生分布及び WRF 計算値から植物起源 VOC を毎時間計算)	•同左
備考	•2009 年及び 2010 年の排出量は 2008 年の排出量を設定した。 •日本付近については、関東領域(10 km 格子)と同様の年次補正を実施した。	•補正係数または前後 2 断面(年)の線形補間により年次補正した。(表 2-4 参照)

2.4 シミュレーションモデルの設定

2.4.1 気象モデルの入力データ

気象モデルの入力データとして、表 2-6 に示すデータを利用した。

表 2-6 気象モデルの入力データ

要素	データ	60 km 格子計算	10 km 格子計算
大気	気象庁 GSM(日本域) 客観解析データ	○	○
	毎時大気解析 GPV(風、気温のみ)	—	○
海面水温	気象庁日平均海面水温	○	○
土壌水分量	NCEP 客観解析値	○	○

2.4.2 東アジア領域境界値データ

本調査では、シミュレーションによって、光化学オキシダント濃度の長期的な増減傾向が再現できているかについて確認する必要があることから、解析対象期間である 2001 ~ 2010 年のデータが揃った全球化学輸送・気候モデル CHASER (CHEMical AGCM for Studies of atmospheric Environment and Radiative forcing) (Sudo et al., 2002) の計算結果を東アジア領域の境界値として採用した。

CHASER で扱う化学種と CMAQ で扱う化学種は一致しないため、それぞれの化学種を対応表にしたがって対応させた(参考資料 表 1)。また、CHASER の格子点と本解析のシミュレーションモデルの格子点は一致しないため、CHASER 格子点データの内挿によって、本調査のシミュレーションモデルの境界上の格子点におけるデータを設定した。

2.4.3 シミュレーションモデルの設定のまとめ

本調査で用いた気象モデル及び化学輸送モデルの設定内容を表 2-7 に整理した。

表 2-7 気象モデル及び化学輸送モデルの設定内容

対象年	2001～2010年の暖候期(4～9月)
解析対象領域	<p>東アジア領域</p> <p>領域の大きさ(CMAQ) : 東西 3,720 km×南北 2,940 km×鉛直 16km 水平格子間隔 : 60 km 水平格子点数(WRF) : 72×59 個 水平格子点数(CMAQ) : 62×49 個 鉛直格子間隔 : 可変 (20 m ~ 6 km) 鉛直層数 : 30 層</p> <p>関東領域</p> <p>領域の大きさ(CMAQ) : 東西 300 km×南北 300 km×鉛直 16 km 水平格子間隔 : 10 km 水平格子点数(WRF) : 45×45 個 水平格子点数(CMAQ) : 30×30 個 鉛直格子間隔 : 可変 (20 m ~ 6 km) 鉛直層数 : 30 層</p>
気象モデル	<p>WRF</p> <p>気象モデルバージョン: WRFv3.5.1</p> <p>初期値・境界値: 東アジア領域 (60 km 格子) 大気データ : 気象庁全球客観解析データ 海面水温データ: NCEP リアルタイム全球海面水温 土壌データ : NCEP 客観解析値</p> <p>初期値・境界値: 関東領域 (10 km 格子) (2009 年のみ) 大気データ : 気象庁 GSM (日本域) 客観解析データ : 毎時大気解析 GPV (風、気温のみ) 海面水温データ: 気象庁日平均海面水温 土壌データ : NCEP 客観解析値</p> <p>雲物理 : Thompson graupel scheme 長波放射 : RRTM 短波放射 : Dudhia 接地層 : MYNN 地表面 : Noah land-surface 都市物理 : UCM 積雲対流 : Kain-Fritsch ナッジング : 格子点ナッジング スピンアップ時間は 7 日で、対象期間である 4～9 月を連続で計算</p>
化学輸送モデル	<p>CMAQ</p> <p>大気質モデルバージョン: CMAQv4.7.1</p> <p>水平拡散 : multiscale 鉛直拡散 : acm2 気相反応 : SAPRC99 粒子化 : AERO5 沈着 : areo_dep2 Cloud : cloud acm ae5</p> <p>スピンアップ時間は 7 日で、対象期間である 4～9 月を連続で計算</p>
ネスティング	CMAQ について、関東領域は親領域からのネスティングを実施
境界値	東アジア領域の境界値は、全球化学輸送モデル CHASER の出力値を使用

2.5 シミュレーションモデルの再現性の確認

2.5.1 再現性確認の考え方

本調査で構築したモデルが、日本国内における O_x 濃度の長期変動要因の解析及び前駆物質の排出量削減による O_x 低減効果の解析に活用できるかどうか、という観点からシミュレーションモデルの再現性の確認を行った。再現性の確認の流れについて図 2-6 に整理した。

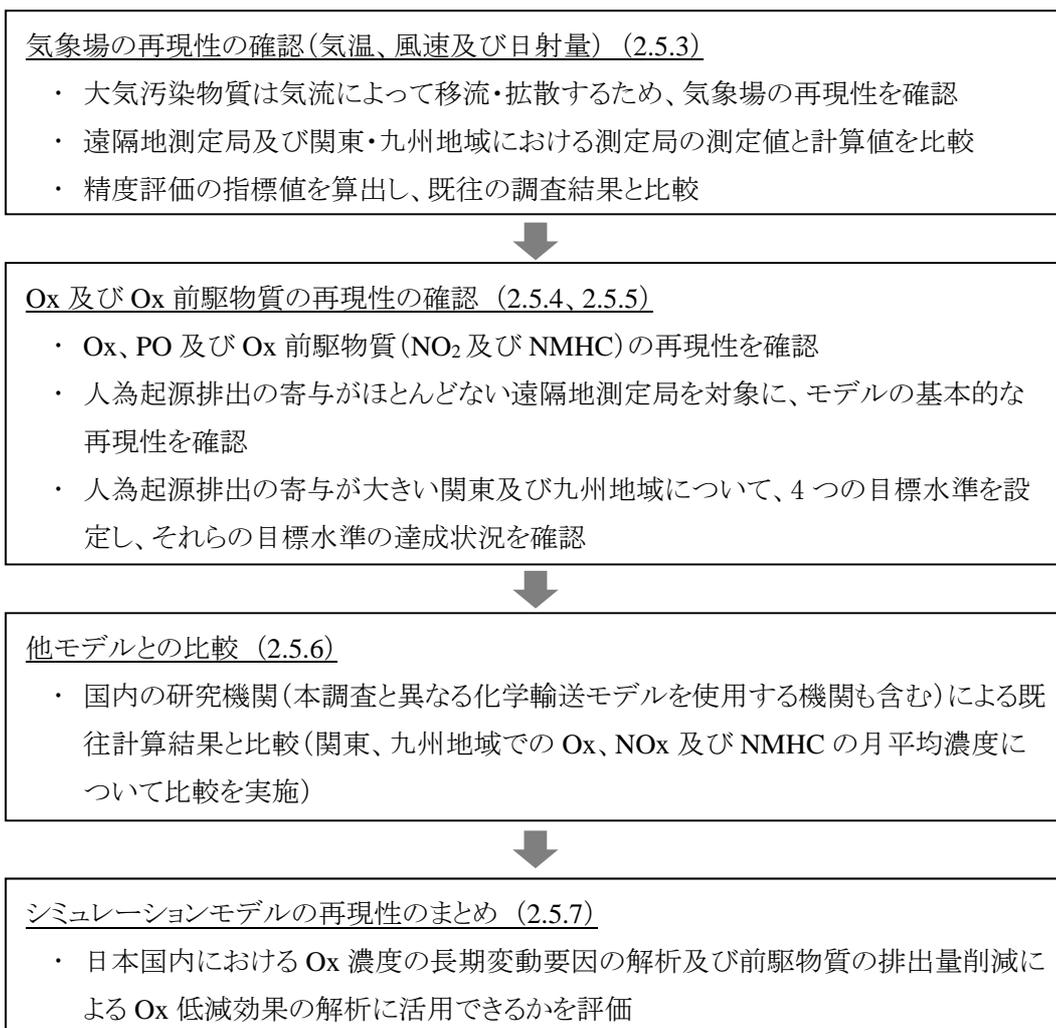


図 2-6 シミュレーションモデルの再現性の確認の流れ

2.5.2 統計値の算出方法について

本解析においては、新指標相当値、月平均値及び暖候期平均値を統計値として使用する。以下、新指標相当値の定義及び各統計値の算出方法(計算値及び測定値)について整理した。

(1) 新指標相当値の定義

前述したように、オキシダント新指標の定義は、「日最高 8 時間値の年間 99%値の 3 年平均値」であるが、平成 25 年度(2013 年度)調査における解析で、暖候期(4~9 月)を対象とした測定値の場合、「日最高 8 時間値の暖候期(4~9 月)98%値の 3 年平均値」と「日最高 8 時間値の年間 99%値の 3 年平均値(新指標)」の値が概ね一致することが明らかになっている。以上のことから、本調査では、暖候期(4~9 月)を対象にシミュレーションの計算を実施するため、「日最高 8 時間値の暖候期(4~9 月)98%値の 3 年平均値」を新指標相当値として扱った(以下「新指標相当値」と示す)。

(2) 60 km 格子計算における統計値の算出方法(九州地域、関東地域)

60 km 格子計算において、九州地域及び関東地域の統計値を算出するための格子は、図 2-7 において赤枠で囲んだ格子である(九州地域 5 個、関東地域 9 個)。

「日最高 8 時間値の暖候期 98%値」及び「月平均値及び暖候期平均値」の算出方法は以下に示すとおりである。

ア. 日最高 8 時間値の暖候期 98%値

- ① 各格子の「日最高 8 時間値の暖候期 98%値」を算出。
- ② 各地域に含まれる全格子について①の値を平均。

イ. 月平均値及び暖候期平均値

- ① 各格子の「月平均値」及び「暖候期平均値」を算出。
- ② 各地域に含まれる全格子について①の値を平均。

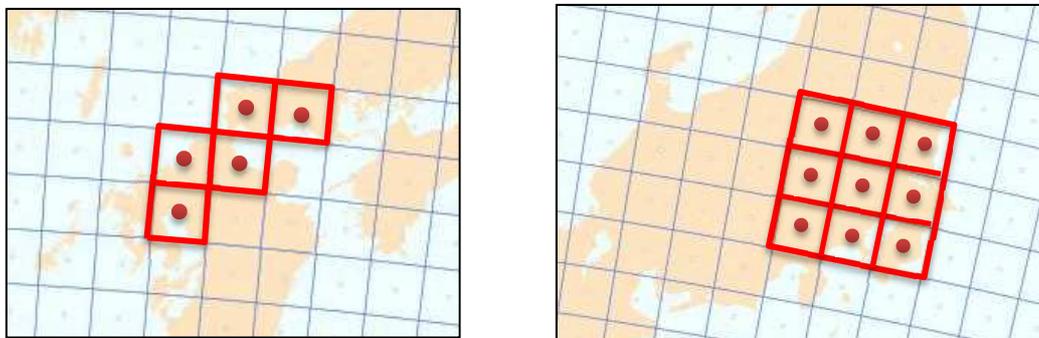


図 2-7 60 km 格子における解析対象格子(左図:九州地域、右図:関東地域)

(3) 10 km 格子計算における統計値の算出方法(関東地域)

測定局密度と計算格子密度との関係を把握するために、関東地域の 10 km 格子点を、図 2-8 において茶色の点(■)で示した。また、同図において、測定局(一般環境大気測定局)の存在する場所を、青色の点(●)で示した。

10 km 格子計算における統計値の算出は、測定局を含む格子の計算値を対象とした。なお、1つの測定局のデータについて1つの計算値を対応させたため、ある格子に複数の測定局が含まれる場合、同一格子の計算値が、測定局数と同じ数だけ統計値算出に用いられている。

計算値について、「日最高 8 時間値の暖候期 98% 値」及び「月平均値及び暖候期平均値」の算出方法を以下に示した。

ア. 日最高 8 時間値の暖候期 98% 値

- ① 測定局を含む格子の「日最高 8 時間値の暖候期 98% 値」を算出。
- ② 解析対象とした各都県(茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県及び山梨県)の測定局を含む格子について①の値を平均。
- ③ 関東地域の統計値として、②の値を平均。

イ. 月平均値及び暖候期平均値

- ① 測定局を含む格子の「月平均値」及び「暖候期平均値」を算出。
- ② 解析対象とした各都県(茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県及び山梨県)の測定局を含む格子について①の値を平均。
- ③ 関東地域の統計値として、②の値を平均。

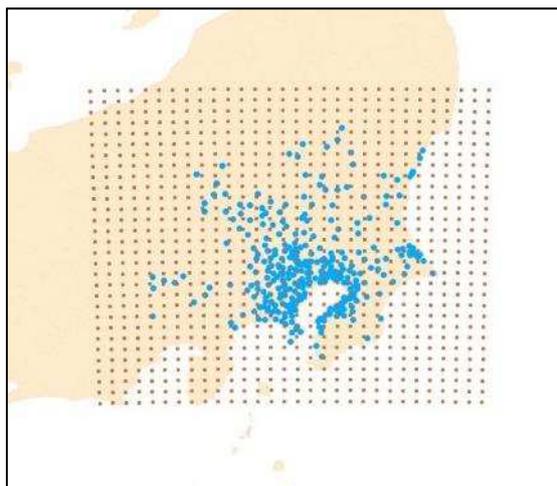


図 2-8 関東領域(10 km 格子)における格子の中心位置(■)と測定局(●)の場所

(4) 測定値を対象とした統計値の算出方法

測定値を対象とした「日最高 8 時間値の暖候期 98% 値」及び「月平均値及び暖候期平均値」の算出方法は以下に示すとおりである。

ア. 日最高 8 時間値の暖候期 98% 値

- ① 測定局の「日最高 8 時間値の暖候期 98% 値」を算出。
- ② 解析対象とした各都県(茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県及び山梨県)の測定局についての値を平均。
- ③ 関東地域の統計値として、②の値を平均。

イ. 月平均値及び暖候期平均値

- ① 測定局の「月平均値」及び「暖候期平均値」を算出。
- ② 解析対象とした各都県(茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県及び山梨県)の測定局について①の値を平均。
- ③ 関東地域の統計値として、②の値を平均。

2.5.3 気温及び風速の再現性について

(1) 解析の目的

大気汚染物質は気流によって移流、拡散するため、気象場の再現性について把握することが必要である。そこで、遠隔地測定局及び気象庁の地上気象観測所を対象に、測定値と気象モデル(WRF)による計算値を比較し、シミュレーションによる気象要素の再現性について確認した。

(2) 遠隔地測定局における再現性の確認

ア. 解析方法

遠隔地測定局の検証地点として、父島、西郷及び与那国を選定した(図 2-9)。計算データの抽出は、測定地点に最も近い格子点の第一層目のデータを対象とした。また、測定値が存在する時間データを対象に計算値の統計処理を実施した。モデルの性能評価指標としては、一般的に多く利用されているBIAS、RMSEを用いた(表 2-8)。

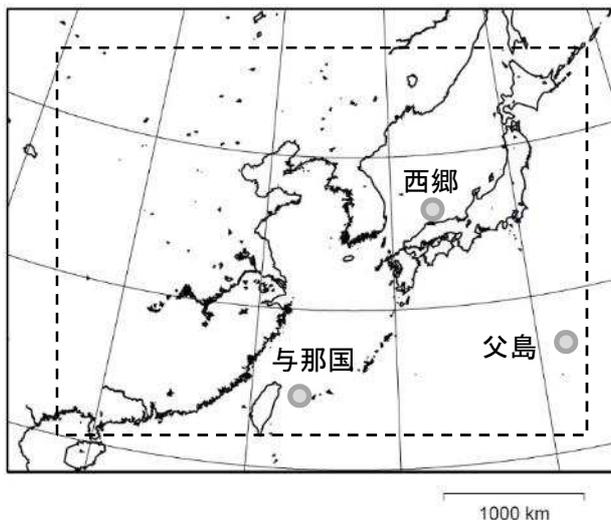


図 2-9 遠隔地モニタリングサイトの位置

表 2-8 モデル検証の実施内容(気象)について

評価要素	気温、風速(60 km 格子計算)
評価指標	BIAS、RMSE (C_{calc} 及び C_{obs} は時間値) $\text{BIAS} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_{\text{calc}} - C_{\text{obs}}) \quad \text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_{\text{calc}} - C_{\text{obs}})^2}$
評価対象領域	東アジア領域(60 km 格子)
評価対象期間	2001 ~ 2010 年の 10 年間の暖候期(4 ~ 9 月)
検証地点	父島、西郷、与那国

イ. 解析結果

越境汚染の影響が大きいことが想定される与那国及び西郷の結果について、図 2-10～図 2-13 に示した。父島の結果については、参考資料 図 2～図 3 に掲載した。これらの結果から明らかになった内容を以下に整理した。

- ・気温の BIAS は、全地点とも概ね $-1.0 \sim 1.0(^{\circ}\text{C})$ の間に収まった。
- ・西郷は、10 年を通じて 4 月及び 9 月の気温の計算値が過大評価となる傾向がみられた。また、他の 2 地点(父島、与那国)は、西郷と比較すると、期間を通して RMSE の値が小さいことから、再現性が相対的に高いと考えられた。

風速の BIAS は、父島及び西郷で $2.0 \sim 3.0(\text{m/s})$ の値となった。与那国は BIAS の値が $0.0 \sim 2.0(\text{m/s})$ に収まった。RMSE と併せて評価すると、与那国の風速の再現性は相対的に高いと考えられた。

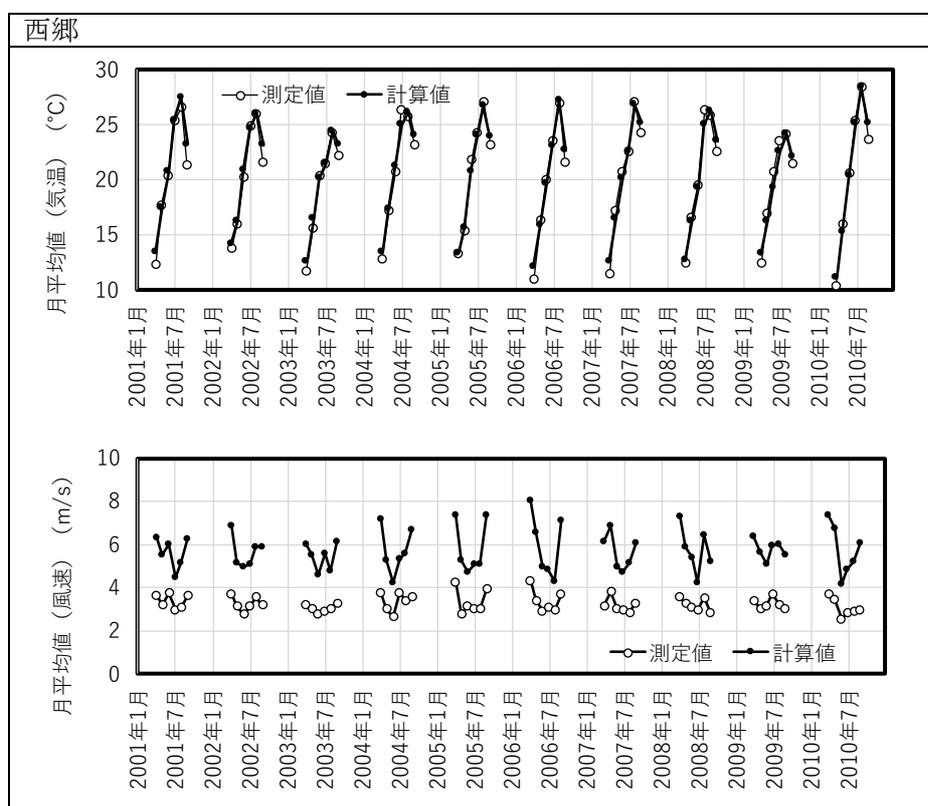


図 2-10 測定値と計算値の月平均値経年変化図(気温及び風速、西郷)

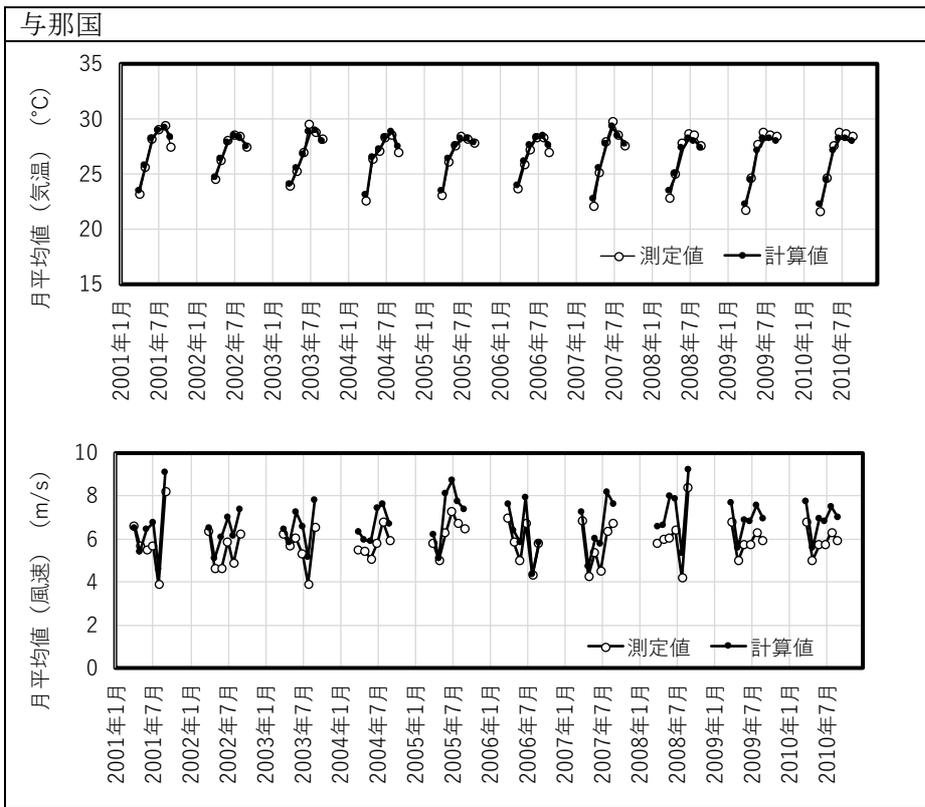


図 2-11 測定値と計算値の月平均値経年変化図(気温及び風速、与那国)

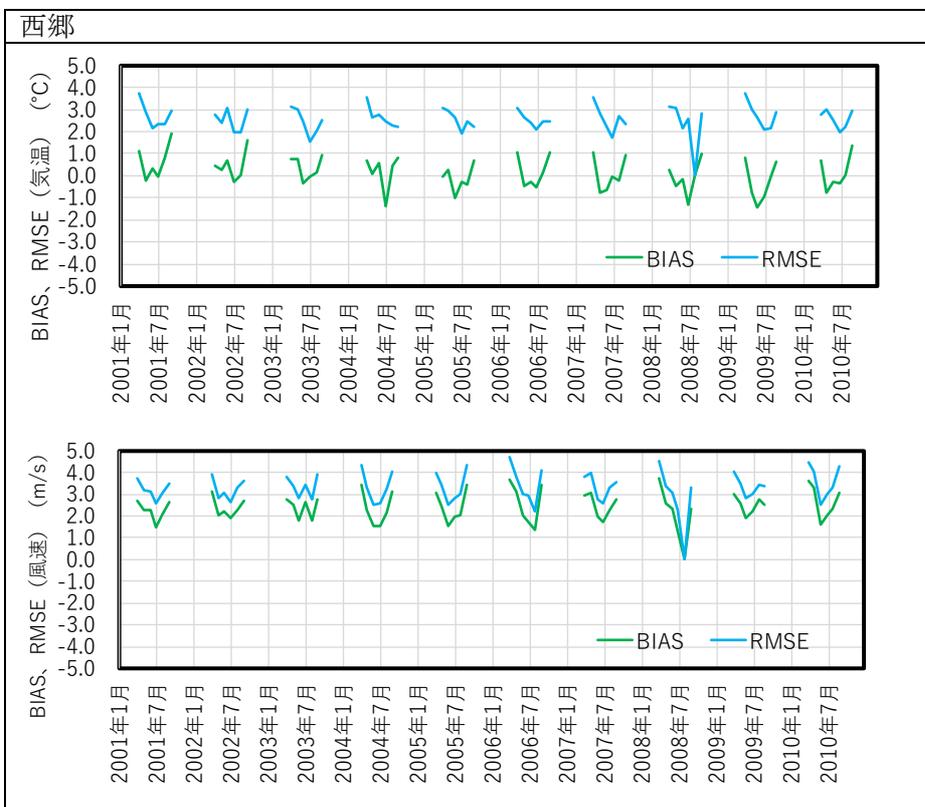


図 2-12 精度評価指標による評価結果(西郷)

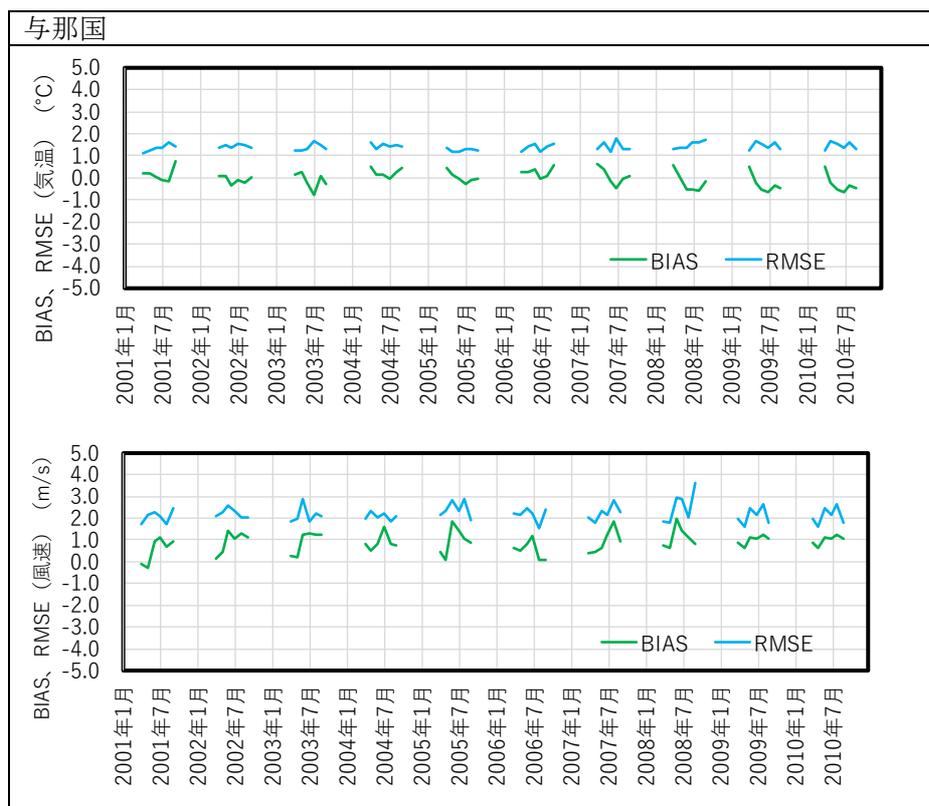


図 2-13 精度評価指標による評価結果(与那国)

(3) 関東・九州地域における再現性確認

ア. 解析方法

関東地域は、東京(10 km 及び 60 km 格子計算値)、宇都宮及び前橋(10 km 格子計算値)、また、九州地域は、福岡(60 km 格子計算値)を対象に、風速、気温、日射量(日射量は 10 km 格子計算値のみ)の計算値及び測定値の月平均値を算出した。また、モデルの精度評価指標として BIAS、RMSE を算出した(表 2-9)。

表 2-9 モデル検証の実施内容(気象)について

評価要素	気温、風速、日射量(10 km 格子)
評価指標	BIAS、RMSE (C_{calc} 及び C_{obs} は時間値)について $\text{BIAS} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_{\text{calc}} - C_{\text{obs}}) \quad \text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_{\text{calc}} - C_{\text{obs}})^2}$
評価対象領域	関東領域(60 km 及び 10 km 格子)及び九州領域(60 km 格子)
評価対象期間	2001 ~ 2010 年の 10 年間の暖候期(4 ~ 9 月)
検証地点	(気象官署)東京、福岡(60 km 格子)、宇都宮(10 km 格子)、前橋(10 km 格子)

イ. 解析結果

東京、福岡(60 km 格子計算値)の気温及び風速の経年変化と精度評価指標について図 2-14 ~ 図 2-17 に示した。また、東京、宇都宮、前橋(10 km 格子計算値)の気温、風速及び日射量の経年変化図及び精度評価指標について図 2-18 ~ 図 2-23 に示した。

60 km 格子計算値の場合、東京の10年間の気温のBIASは $-1.8 \sim 0.8(^{\circ}\text{C})$ 、RMSEは $1.5 \sim 4.5(^{\circ}\text{C})$ の範囲内であった。風速については、BIASは $-0.2 \sim 2.4(\text{m/s})$ 、RMSEは $1.2 \sim 3.6(\text{m/s})$ の範囲内であった。一方、福岡については、気温のBIASは $-2.9 \sim -0.2(^{\circ}\text{C})$ 、RMSEは $1.5 \sim 3.2(^{\circ}\text{C})$ 、風速のBIASは $0.9 \sim 3.4(\text{m/s})$ 、RMSEは $2.1 \sim 4.2(\text{m/s})$ の範囲内であった。

10 km 格子計算値の場合、気温のBIASは $-0.7 \sim -0.4(^{\circ}\text{C})$ 、RMSEは $1.0 \sim 1.4(^{\circ}\text{C})$ 、風速のBIASは $-0.7 \sim 1.3(\text{m/s})$ 、RMSEは $1.4 \sim 2.0(\text{m/s})$ 、日射量のBIASは $0.4 \sim 0.9(\text{MJ/m}^2)$ 程度、RMSEは $0.9 \sim 1.3(\text{MJ/m}^2)$ 程度であった。

60 km 格子計算値と10 km 格子計算値の比較として東京の計算結果(気温及び風速)に着目すると、60 km 格子計算値より10 km 格子計算値の方が、再現性が高い傾向がみられた。

ウ. 既往調査結果との比較

気温及び風速の精度評価指標値について、既往調査結果(環境省, 2010b)と本調査結果を比較した結果を表 2-10 に示す。既往調査結果は、WRFv3.1.1を用いた関東領域(15 km 格子)の計算により得られたものである。

表 2-10 より、本調査の60 km 格子計算結果では、既往調査と比較して精度評価指標がやや劣る結果となったが、関東(10 km 格子計算結果)については、ほぼ同等の精度であることが確認された。

表 2-10 気温及び風速の精度評価指標値の比較

	既往調査		本調査	
	BIAS	RMSE	BIAS	RMSE
気温	$-0.2 \sim 1.3$ ($^{\circ}\text{C}$)	$1.7 \sim 2.4$ ($^{\circ}\text{C}$)	東京(60 km 格子) $-1.8 \sim 0.8(^{\circ}\text{C})$	東京(60 km 格子) $1.5 \sim 4.5(^{\circ}\text{C})$
			福岡(60 km 格子) $-2.9 \sim -0.2(^{\circ}\text{C})$	福岡(60 km 格子) $1.5 \sim 3.2(^{\circ}\text{C})$
			関東(10 km 格子) $-0.7 \sim -0.4(^{\circ}\text{C})$	関東(10 km 格子) $1.0 \sim 1.4(^{\circ}\text{C})$
風速	$-0.4 \sim 0.0$ (m/s)	$1.2 \sim 1.8$ (m/s)	東京(60 km 格子) $-0.2 \sim 2.4(\text{m/s})$	東京(60 km 格子) $1.2 \sim 3.6(\text{m/s})$
			福岡(60 km 格子) $0.9 \sim 3.4(\text{m/s})$	福岡(60 km 格子) $2.1 \sim 4.2(\text{m/s})$
			関東(10 km 格子) $-0.7 \sim 1.3(\text{m/s})$	関東(10 km 格子) $1.4 \sim 2.0(\text{m/s})$

< 60 km 格子計算値 >

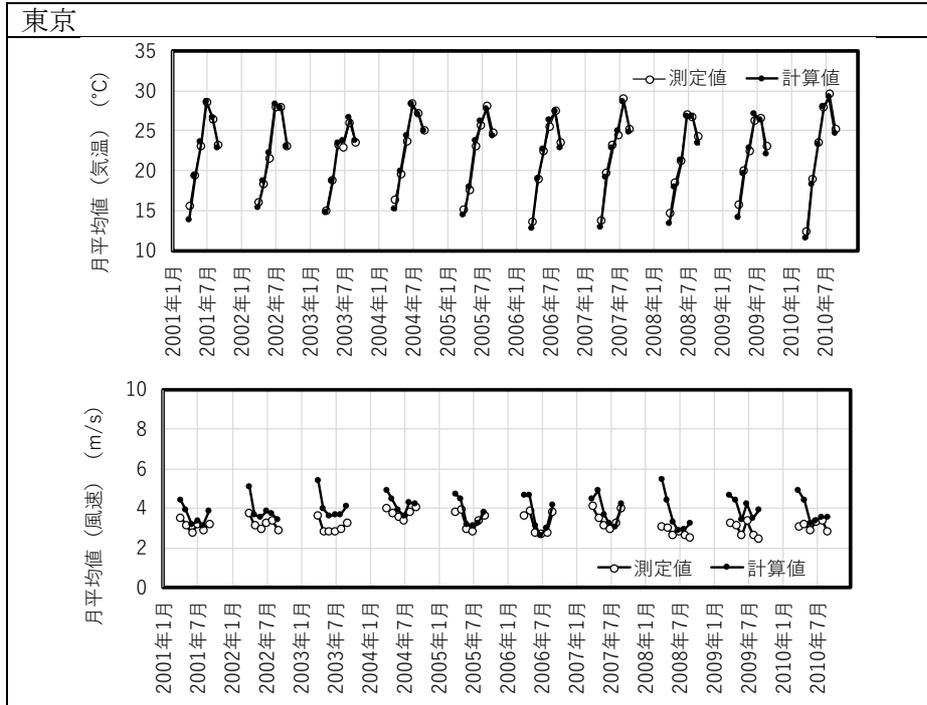


図 2-14 地上気象観測所における測定値と計算値の比較(東京)

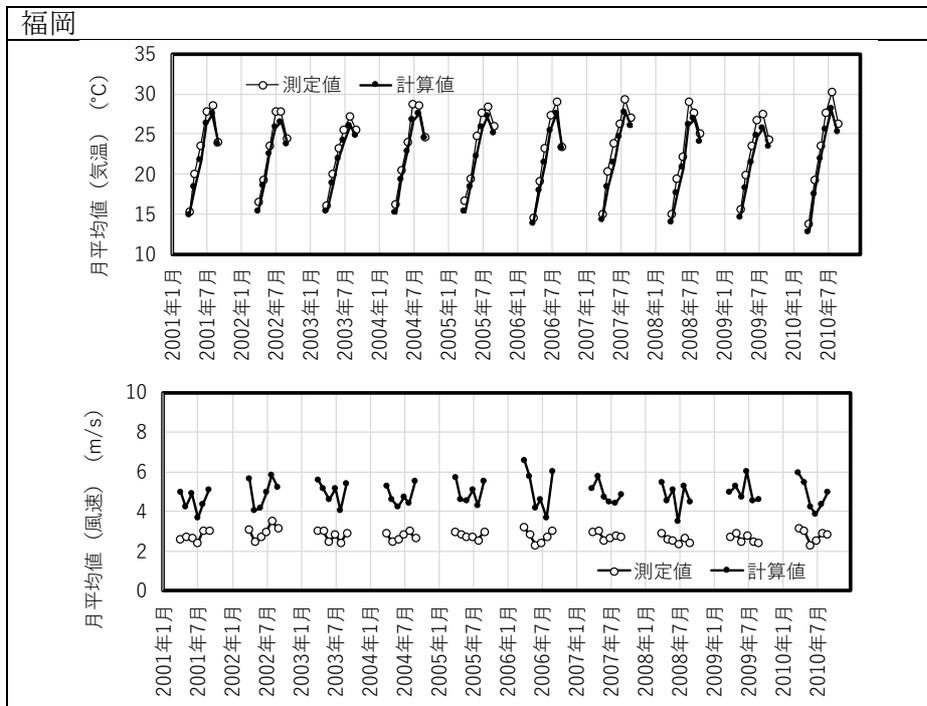


図 2-15 地上気象観測所における測定値と計算値の比較(福岡)

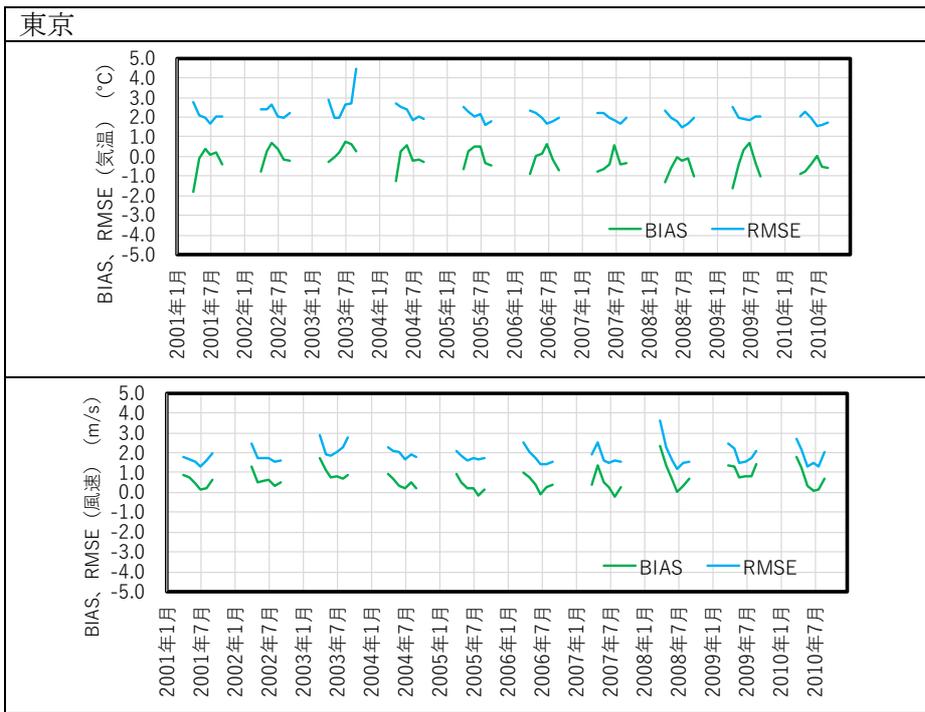


図 2-16 精度評価指標による評価結果(東京)

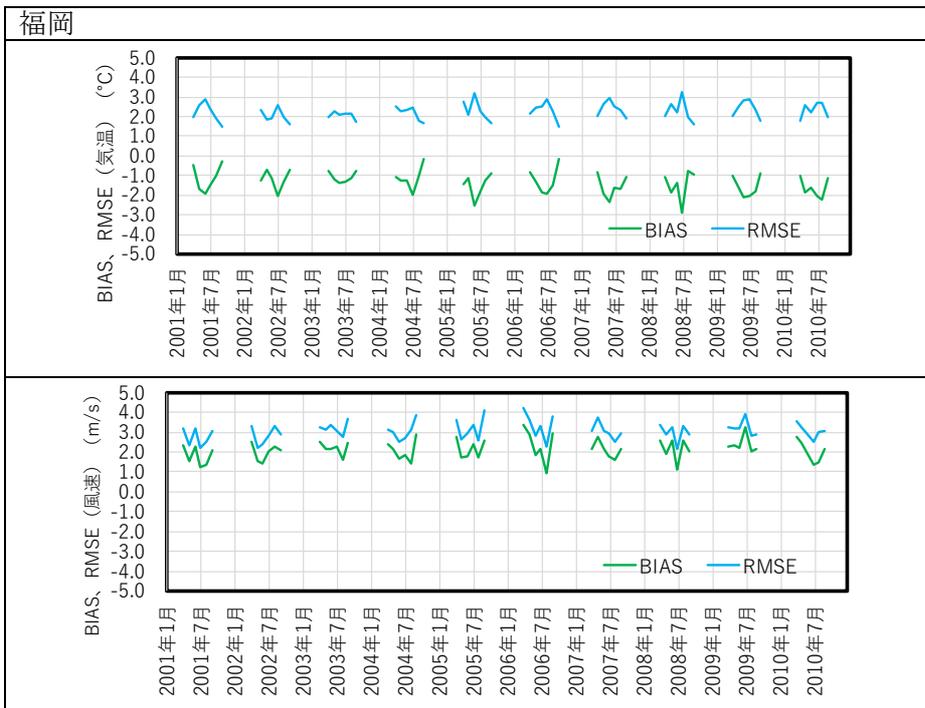


図 2-17 精度評価指標による評価結果(福岡)

< 10 km 格子計算値 >

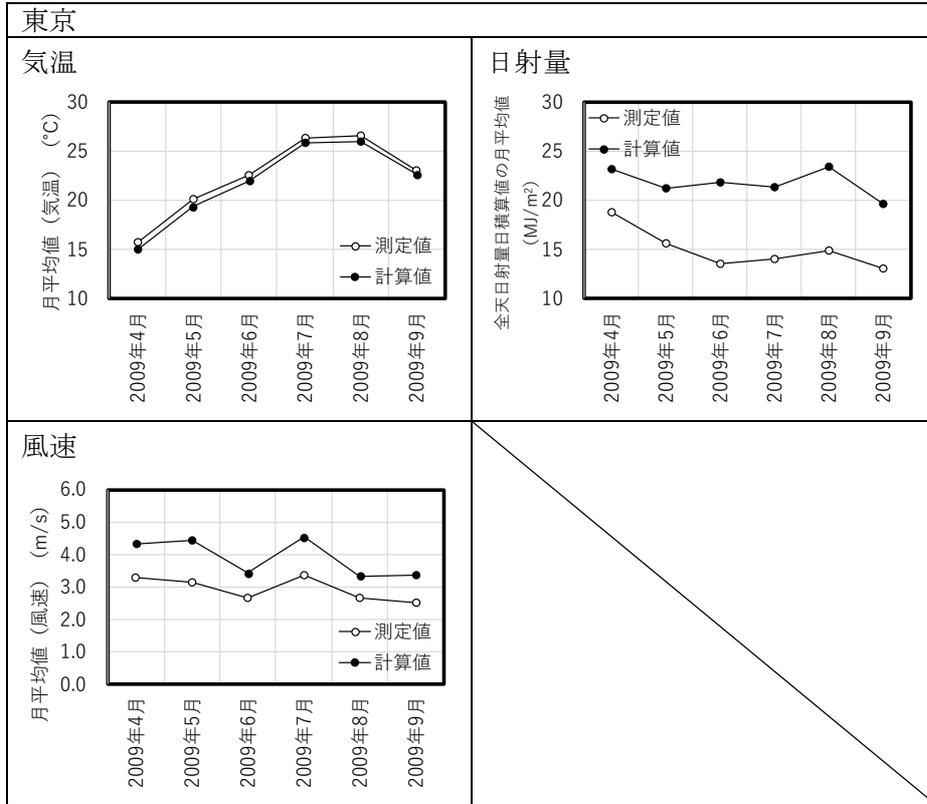


図 2-18 気象観測所における測定値と計算値の比較(東京)

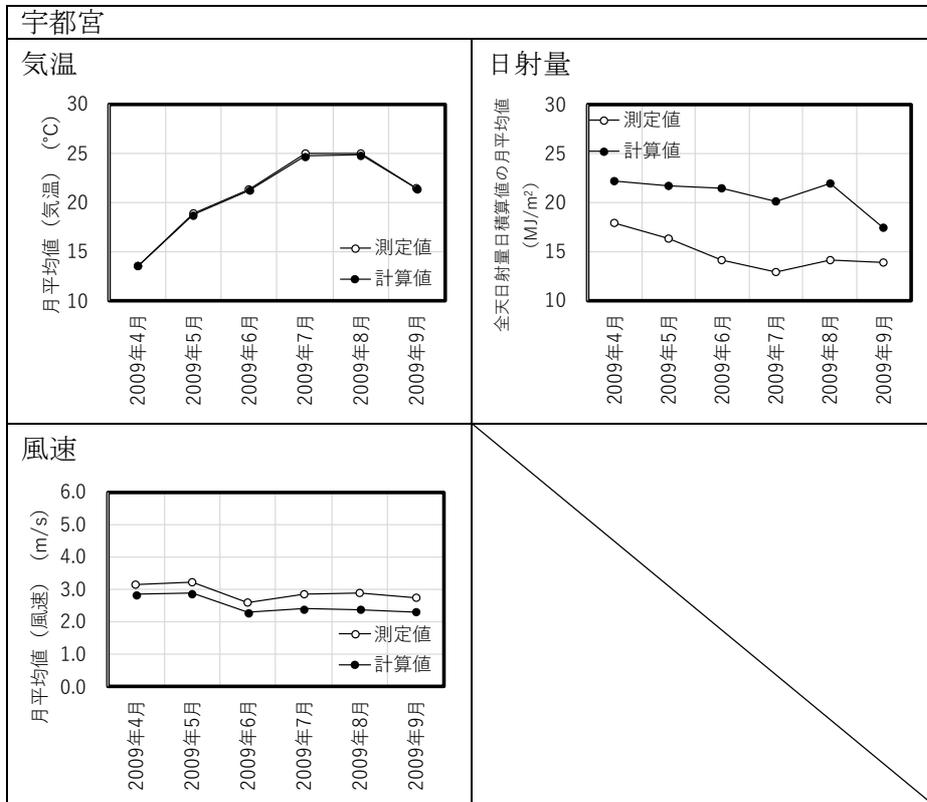


図 2-19 気象観測所における測定値と計算値の比較(宇都宮)

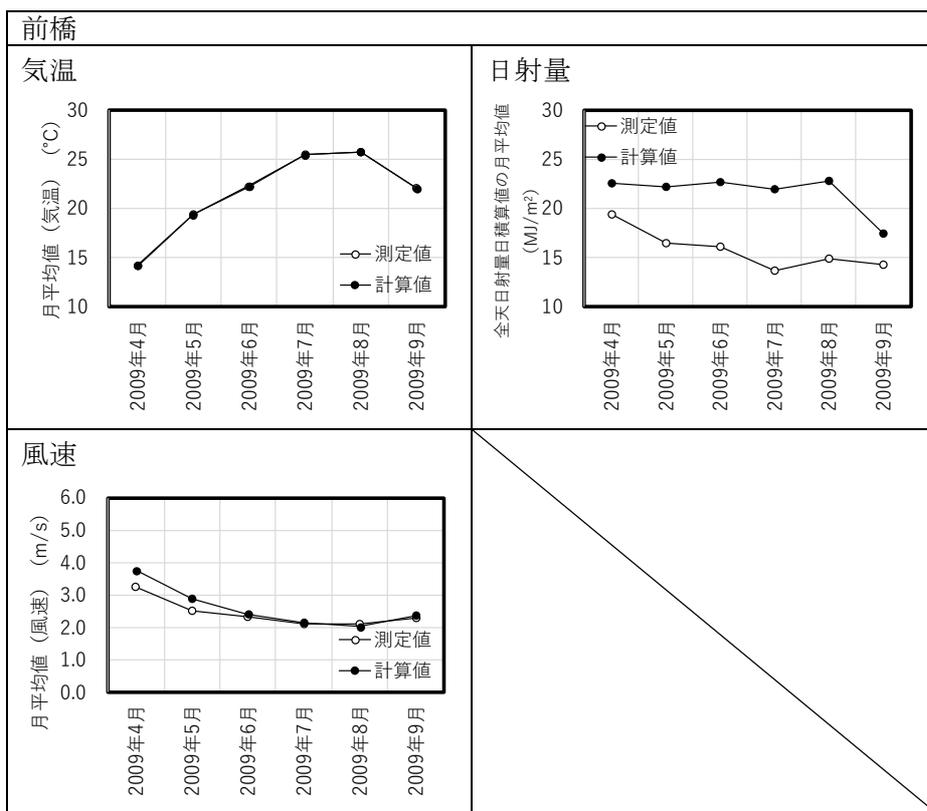


図 2-20 気象観測所における測定値と計算値の比較(前橋)

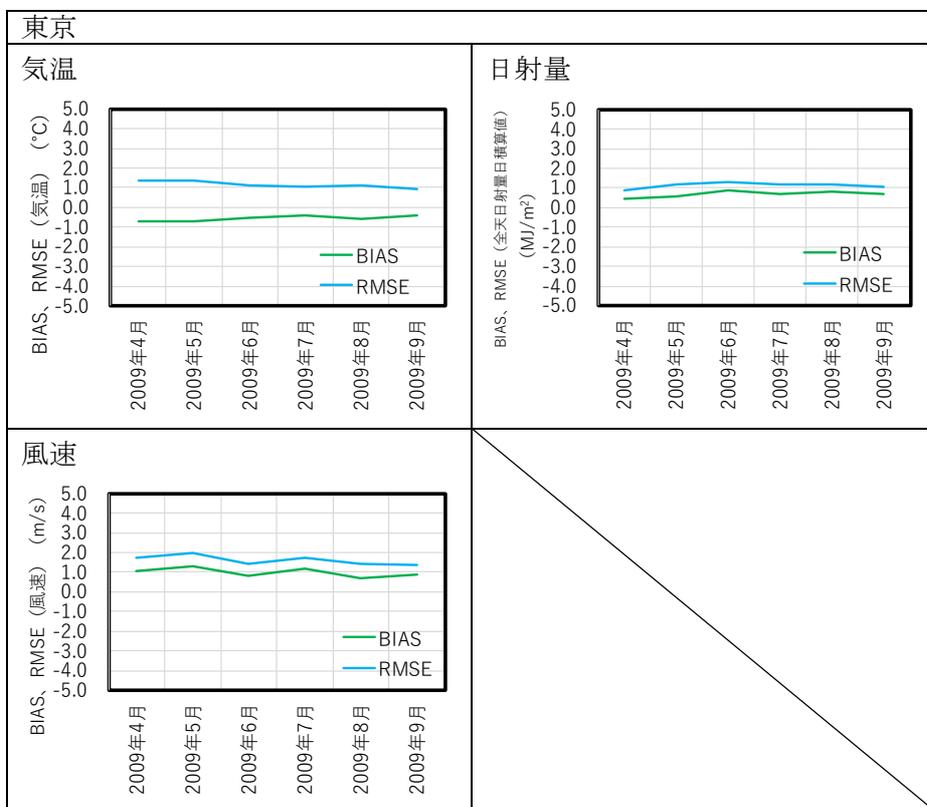


図 2-21 精度評価指標による評価結果(東京)

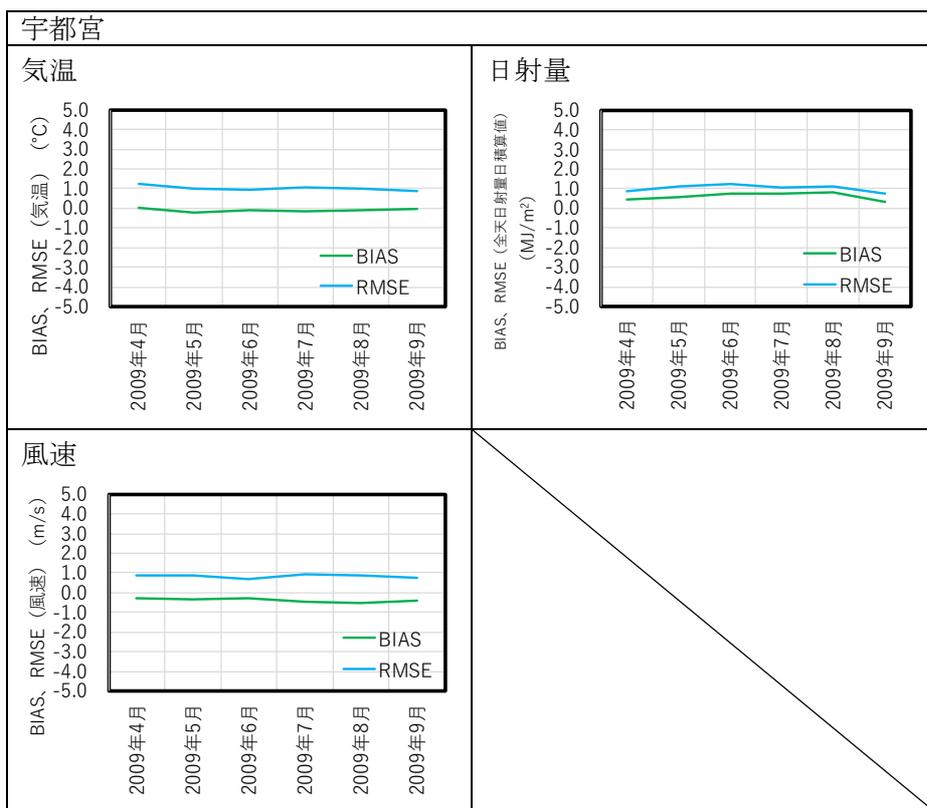


図 2-22 精度評価指標による評価結果(宇都宮)

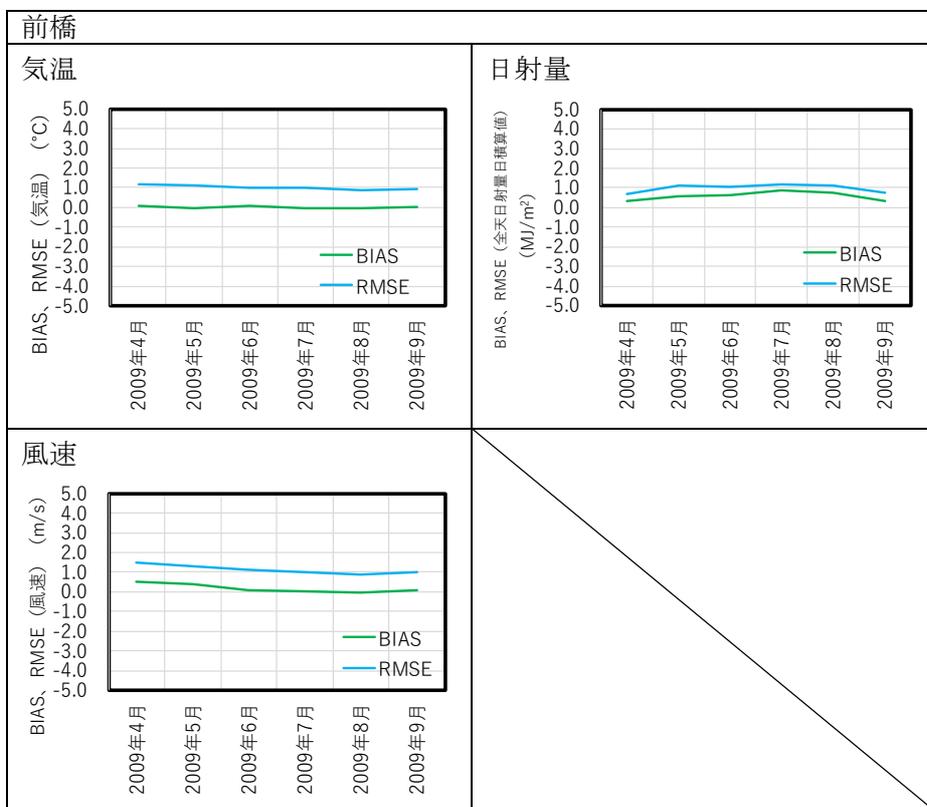


図 2-23 精度評価指標による評価結果(前橋)

2.5.4 遠隔地における Ox について

(1) 解析の目的

ローカルの人為起源排出量の影響が小さい地域の Ox 濃度の再現性及び東アジア大陸由来の越境汚染の再現性の確認を目的として、遠隔地における計算値と測定値を対象に解析を行った。

(2) 解析方法

遠隔地モニタリング測定局として EANET モニタリングサイト(利尻、小笠原、隠岐及び辺戸)を選定し(図 2-24)、これらの地点を対象にオキシダントの測定値と 60 km 格子計算値を比較することによってシミュレーションの再現性について検討した。



図 2-24 遠隔地モニタリングサイトの位置

(3) 解析結果

東アジア大陸由来の越境汚染の影響が大きいと考えられる辺戸及び隠岐について、2001～2010年の暖候期(4～9月)における測定値と計算値の月平均値の経年変化図を図 2-25 に示した。また、測定値と計算値の月平均値の散布図を図 2-26 に示した。利尻及び小笠原の結果については、参考資料 図 4～図 7 に掲載した。

図 2-25 及び図 2-26 より、地点の特徴として以下のことが示された。

- ・ 小笠原及び辺戸については、春季に濃度が高くなり、夏季に濃度が低くなる傾向を比較的再現していた。
- ・ 利尻及び隠岐の 2 地点は、小笠原及び辺戸と比較すると、再現性が低い。
(測定値では暖候期中に 20 ppb 程度まで低下する月があるが、計算値ではこのような傾向を適切に再現できておらず、過大評価となっていた)

2001～2010年の3期間(4～6月、7～9月、4～9月)における期間平均値を図 2-27 に示し、モデルの再現性を期間別に確認した。図 2-27 より以下のことが明らかとなった。

- ・ 利尻及び小笠原の2地点について他の地点と比較すると、4～6月の期間平均値の測定値と計算値の絶対値の差が小さかった。
- ・ 7～9月の期間平均値について、測定値と比較して計算値が過大となる傾向が4地点で共通してみられた。
- ・ 対象とした4地点の中では、期間を通して隠岐における計算値が測定値と比較して最も過大である傾向がみられた。

春季(4～6月)及び夏季(7～9月)の再現性を比較するために、季節別に測定値、計算値の散布図を作成し、結果を図 2-28 に示した。図 2-28 より以下のことが明らかとなった

- ・ 対象とした4地点とも、4～6月の計算値は、7～9月の計算値と比較すると、再現性が高い傾向が見られた。

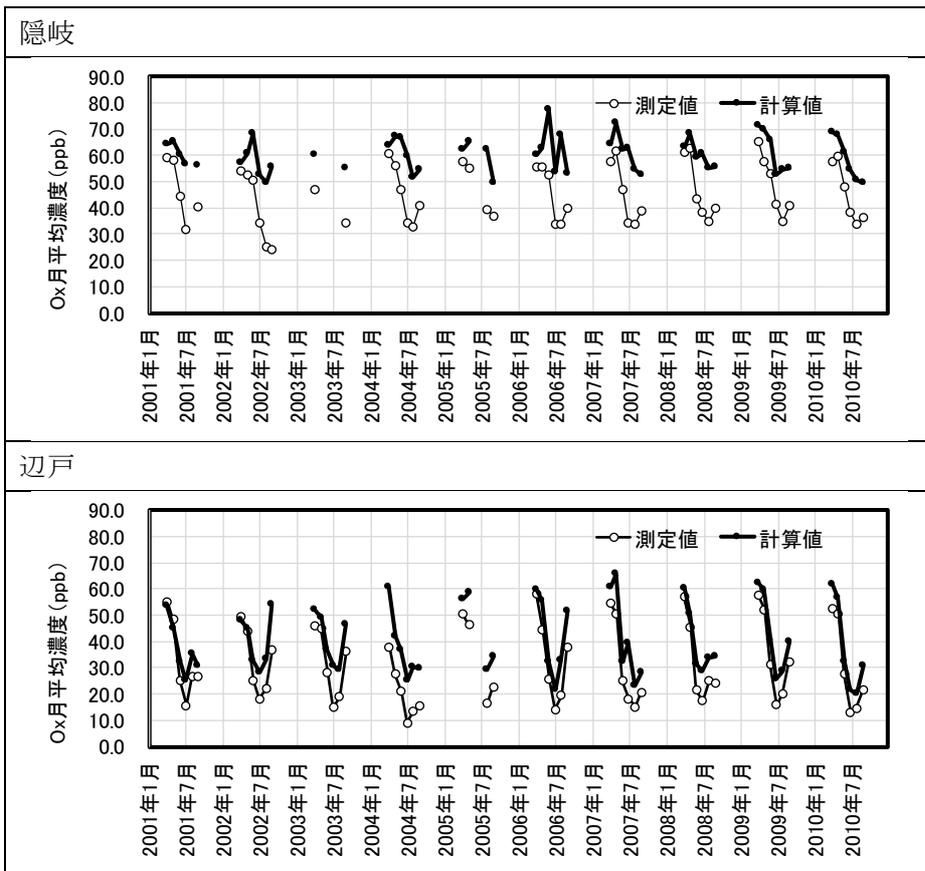


図 2-25 EANET モニタリングサイトにおける測定値と計算値の経年変化図(月平均値)

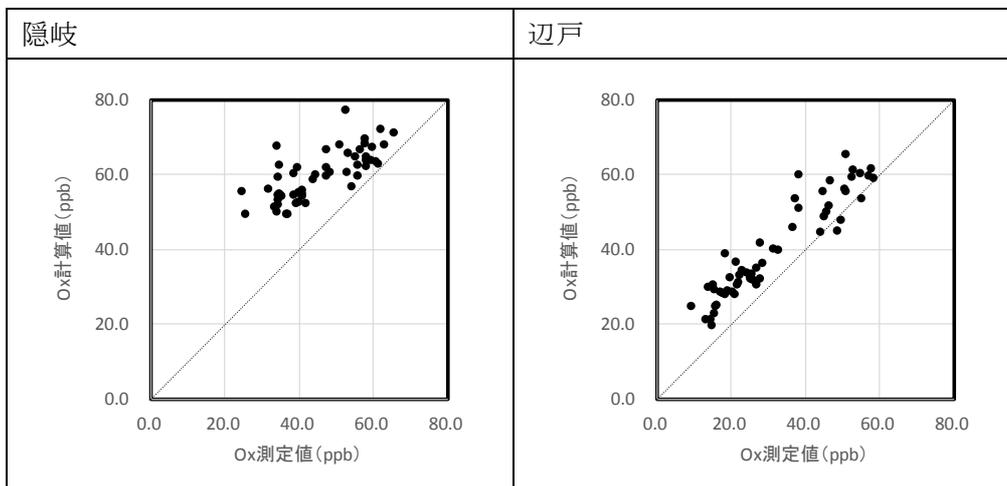


図 2-26 EANET モニタリングサイトにおける測定値と計算値の散布図(月平均値)

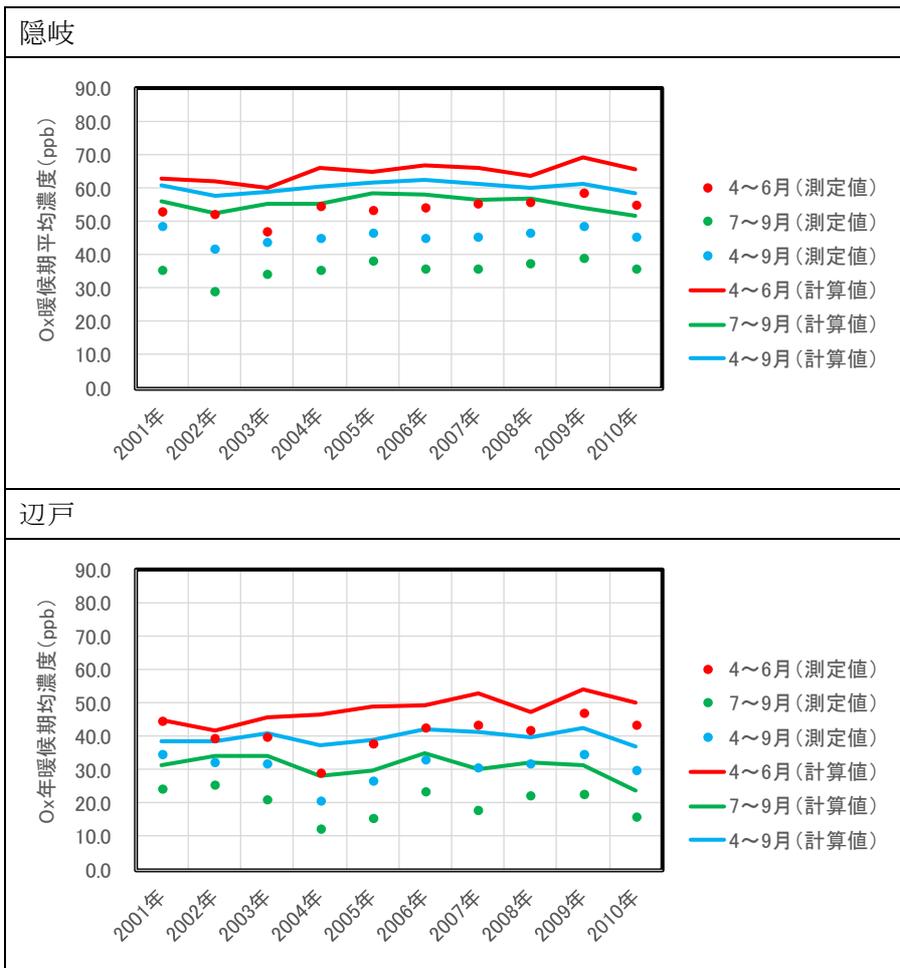


図 2-27 EANET モニタリングサイトにおける測定値と計算値の比較 (期間別)

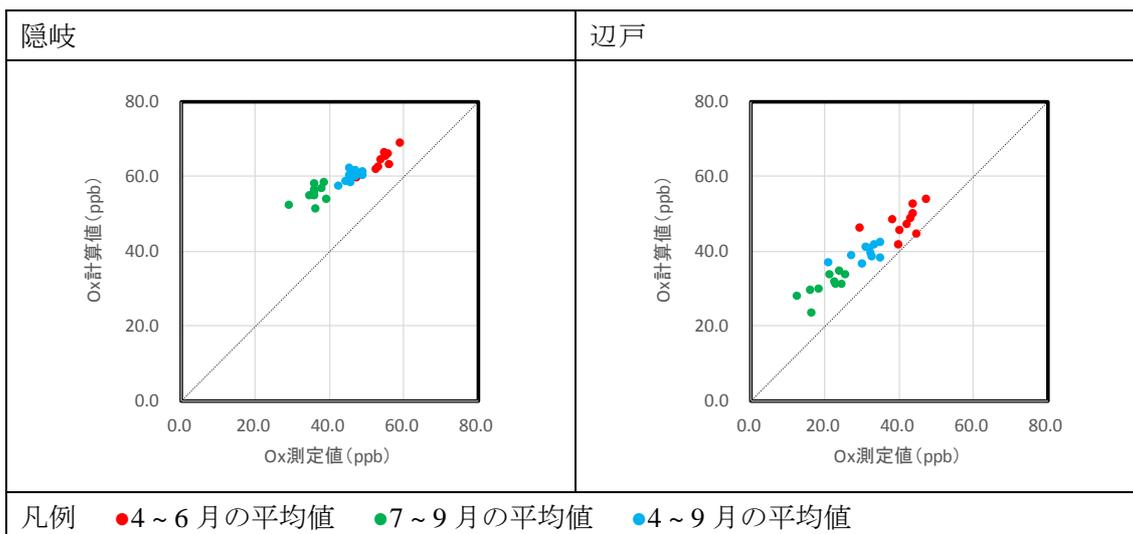


図 2-28 EANET モニタリングサイトにおける測定値と計算値の年の差分の散布図 (期間別)

2.5.5 関東・九州地域におけるOx及び前駆物質の再現性

(1) シミュレーションモデルの再現目標

現在の国内におけるモデルの再現性能を踏まえて、当面達成を目指す再現目標として表 2-11 に示す 4 項目を設定し、シミュレーションモデルの再現性について確認した。

再現目標①～④の検証は、60 km 格子計算値の評価については、2001～2010 年の計算結果(関東及び九州地域)を対象とした。また、10 km 格子計算値の評価は、気象場が異常年でないことが確認されている 2009 年の計算結果(関東地域)を対象とした。なお、目標④については、主要 VOC 成分の測定データが整備された 2009 年(10 km 及び 60 km 格子計算値)及び 2010 年(60 km 格子計算値)の関東地域の計算結果を対象とした。

なお、Ox、PO 及び Ox 前駆物質(NO₂ 及び NMHC)の月平均値の再現性の評価については、参考資料 表 2～表 26 に整理した。

表 2-11 シミュレーションモデルの再現目標

① Ox、NO _x 、NMHC の長期トレンド
【目標:基本的な増減傾向を再現すること】
② Ox 新指標相当値(日最高 8 時間値の暖候期 98% 値の 3 年平均値)
【目標:数十%以内で再現すること】
③ NO ₂ の期間平均値の再現性
【目標:数十%以内で再現すること】
④ 主要 VOC 成分の再現性
【目標:50～200%以内で再現すること】

なお、NMHC の計算値は、表 2-12 に示したように、SAPRC99 におけるモデル成分の計算値に係数を乗じることにより算出した。

表 2-12 SAPRC99 におけるモデル成分と NMHC 算出のための係数

モデル成分	代表的な物質	係数	モデル成分	代表的な物質	係数
ALK1	エタン等	2.00	ARO1	トルエン等	7.31
ALK2	プロパン等	2.59	ARO2	キシレン等	8.36
ALK3	n-ブタン等	4.04	ISOPRENE	イソプレン	5.00
ALK4	n-ペンタン等	5.19	TERP	テルペン類	10.00
ALK5	シクロヘキサン等	8.11	BENZENE	ベンゼン	6.00
ETHE	エチレン等	2.00	SESQ	セスキテルペン	15.00
OLE1	プロピレン等	5.16			
OLE2	1,3-ブタジエン等	5.15			

(2) 達成状況の確認

ア. 長期トレンドの再現性

長期トレンドの再現性について、物質別(Ox 及び PO、NO₂、NMHC)に確認した。以下に結果を整理した。

<Ox 及び PO>

60 km 格子計算値を対象とした Ox 及び PO の暖候期トレンドの再現性の確認結果について、表 2-13 に整理した。

表 2-13 Ox 及び PO について

暖候期平均値のトレンド	再現性の確認結果
60 km 格子計算値 (Ox)	<ul style="list-style-type: none"> ・関東地域については、2002 年以降の上昇トレンドを概ね再現している(図 2-29 及び図 2-31)。 ・九州地域については、2009 年までの上昇トレンド及び 2010 年の下降トレンドを概ね再現している(図 2-32 及び図 2-34)。
60 km 格子計算値 (PO)	<ul style="list-style-type: none"> ・関東地域については、10 年間のトレンド(ほぼフラット)を再現している(図 2-33 及び図 2-35)。 ・九州地域については、2007 年以降の測定値の変動を再現している(図 2-34 及び図 2-36)。

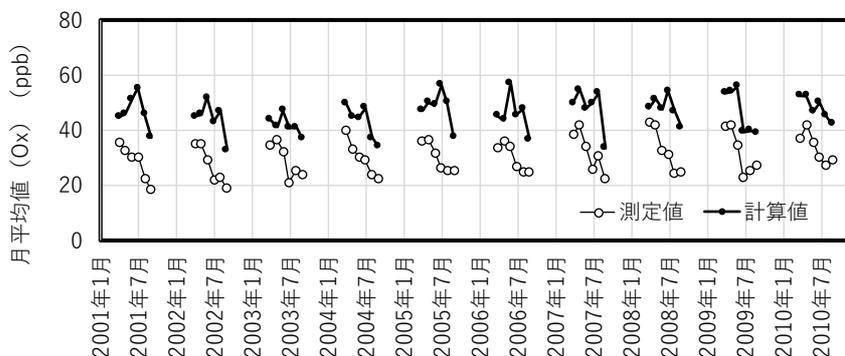


図 2-29 Ox 月平均値の経年変化図(関東地域)

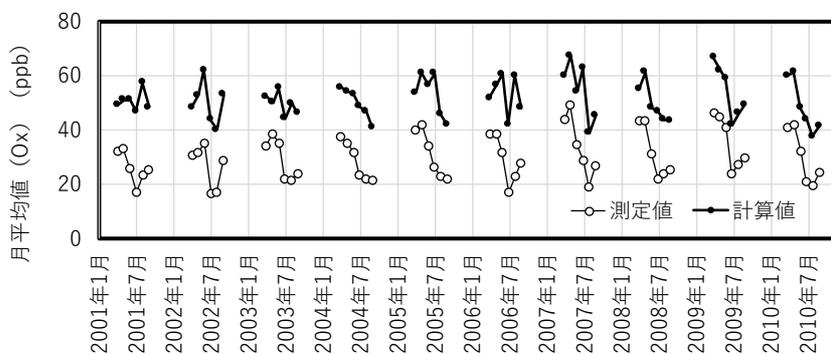


図 2-30 Ox 月平均値の経年変化図(九州地域)

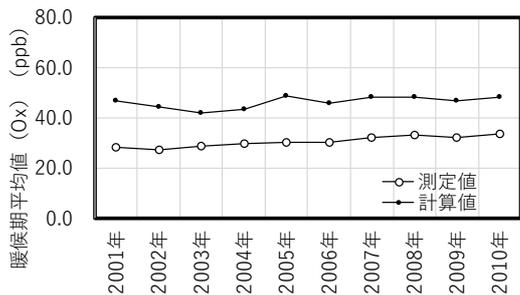


図 2-31 Ox 暖候期平均値の経年変化図
(関東地域)

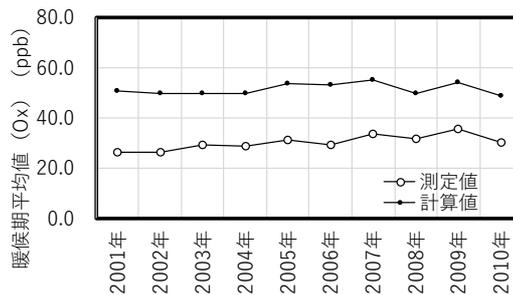


図 2-32 Ox 暖候期平均値の経年変化図
(九州地域)

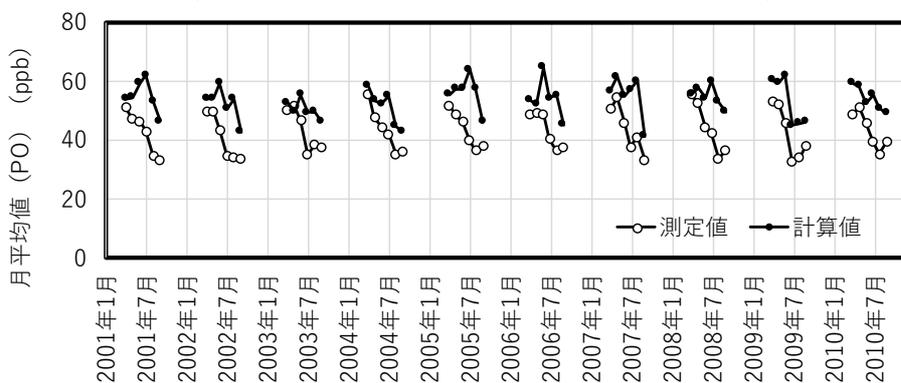


図 2-33 PO 月平均値の経年変化図(関東地域)

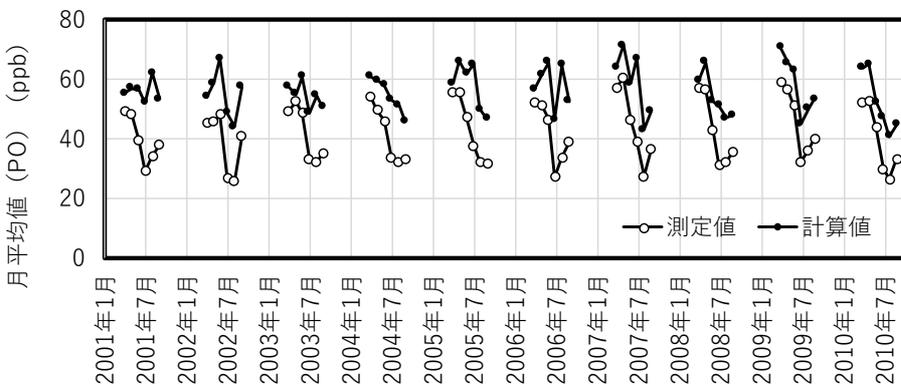


図 2-34 PO 月平均値の経年変化図(九州地域)

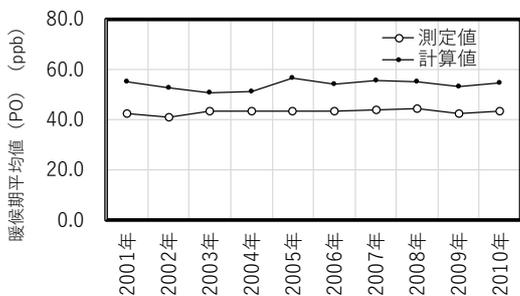


図 2-35 PO 暖候期平均値の経年変化図
(関東地域)

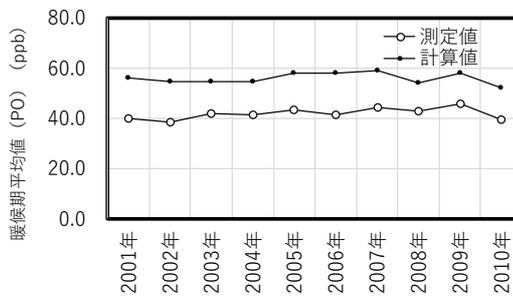


図 2-36 PO 暖候期平均値の経年変化図
(九州地域)

<NO₂>

60 km 格子計算値を対象とした NO₂ の暖候期トレンドの再現性の確認結果について、表 2-14 及び図 2-37 ~ 図 2-40 に整理した。

表 2-14 60 km 格子計算値(NO₂)について

60 km 格子計算値(NO ₂)	再現性の確認結果
暖候期平均値のトレンド	<ul style="list-style-type: none"> ・関東地域については、下降トレンドを再現している。10年間の濃度低下率は、計算値は32%(7.7→5.7 ppb)、測定値は25%(16.5→11.2 ppb)であり、概ね再現されていた(図 2-37 及び図 2-39)。 ・九州地域についても、下降トレンドを再現している。10年間の濃度低下率は、計算値は30%(4.1→2.8 ppb)、測定値は30%(15.8→11.0 ppb)であり、再現されていた(図 2-38 及び図 2-40)。

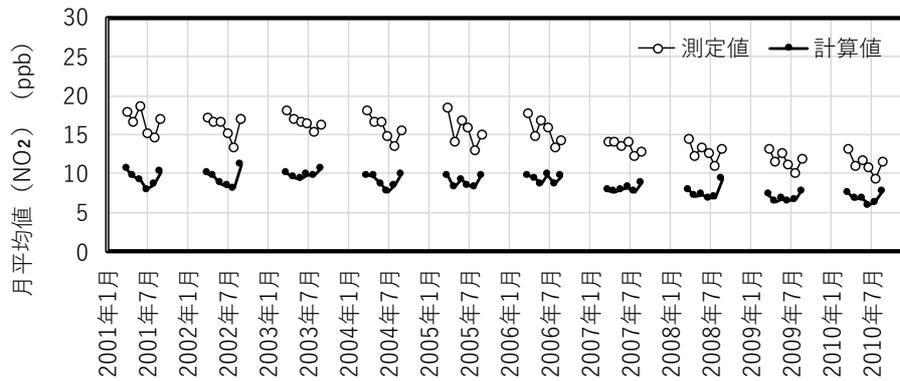


図 2-37 NO₂ 月平均値の経年変化図(関東地域)

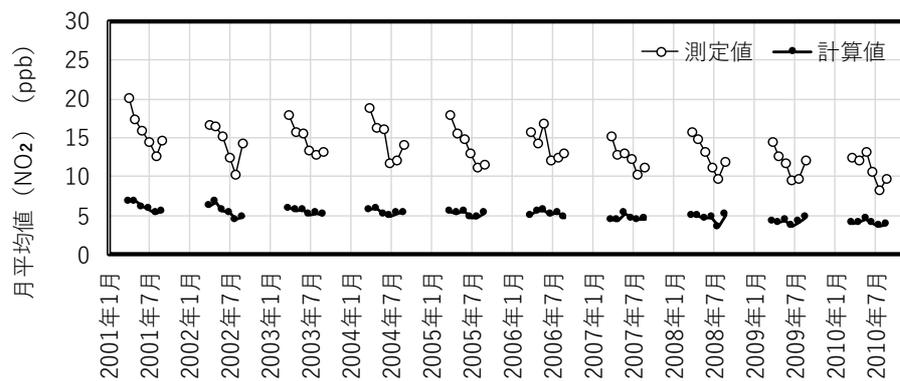


図 2-38 NO₂ 月平均値の経年変化図(九州地域)

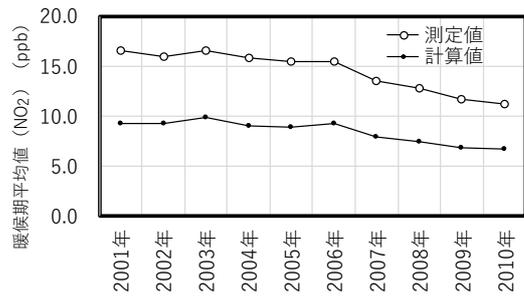


図 2-39 NO₂ 暖候期平均値の経年変化図
(関東地域)

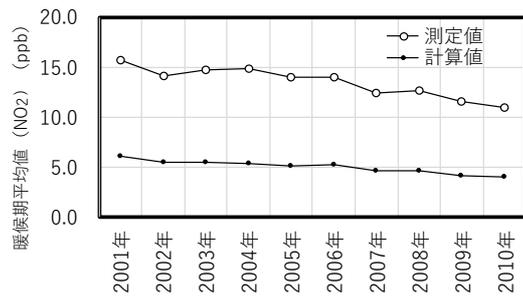


図 2-40 NO₂ 暖候期平均値の経年変化図
(九州地域)

<NMHC>

60 km 格子計算値を対象とした NMHC の暖候期トレンドの再現性の確認結果について、表 2-15 及び図 2-41 ~ 図 2-44 に整理した。

表 2-15 60 km 格子計算値(NMHC)について

60 km 格子 計算値(NMHC)	再現性の確認結果
暖候期平均値の トレンド	<ul style="list-style-type: none"> ・関東地域については、下降トレンドを再現している。10 年間の濃度低下率は、測定値は 31% (247.2→170.4 ppbC)、計算値は 33% (48.8→32.5 ppbC) であり、概ね再現されていた(図 2-41 及び図 2-43)。 ・九州地域についても、下降トレンドを再現している。10 年間の濃度低下率は、測定値は 30% (182.4→128.0 ppbC)、計算値は 34% (34.3→22.8 ppbC) であり、概ね再現されていた(図 2-42 及び図 2-44)。

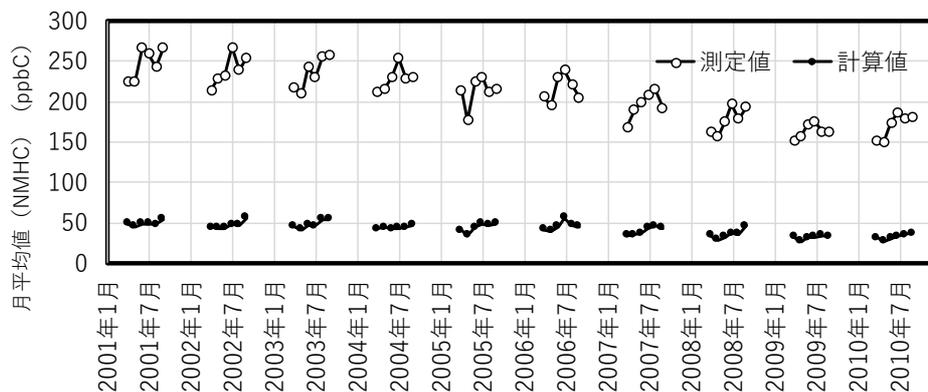


図 2-41 NMHC 月平均値の経年変化図(関東地域)

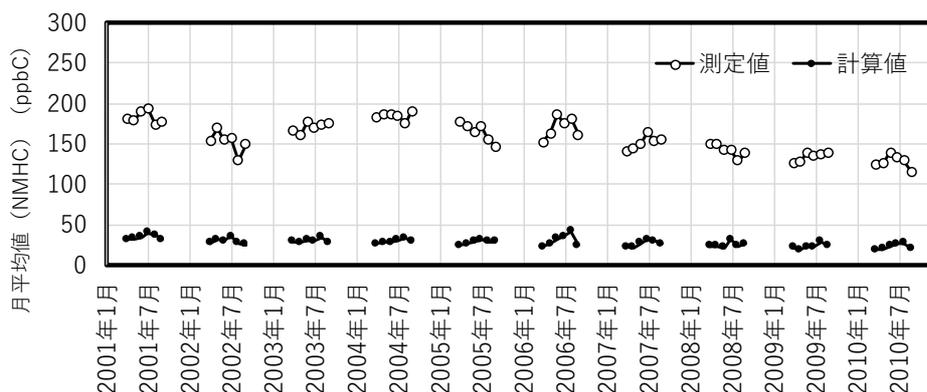


図 2-42 NMHC 月平均値の経年変化図(九州地域)

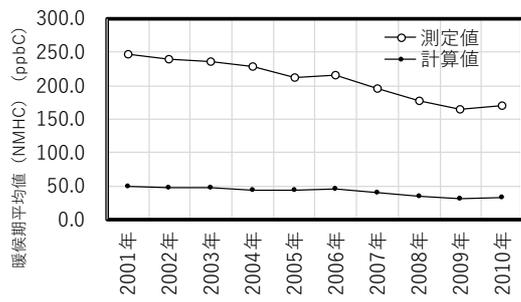


図 2-43 NMHC 暖候期平均値の経年変化図
(関東地域)

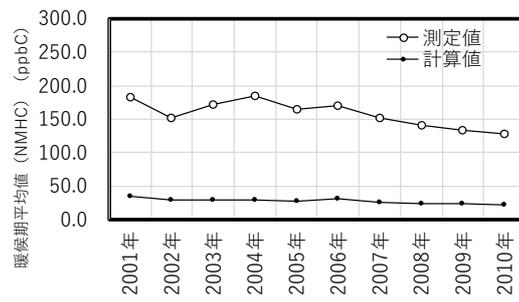


図 2-44 NMHC 暖候期平均値の経年変化図
(九州地域)

イ. Ox 新指標相当値の再現性

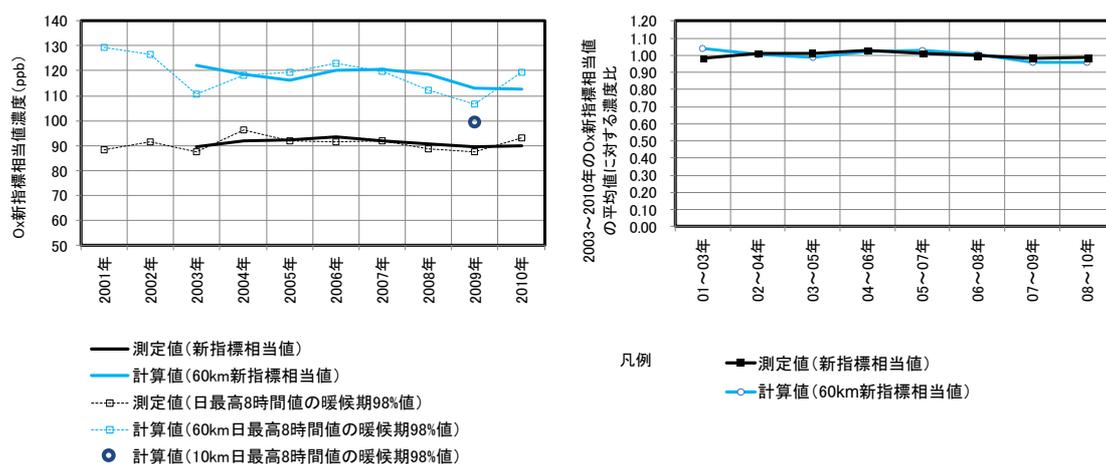
Ox 新指標相当値の再現性について、結果を以下に整理した。

< 関東地域 60 km 格子計算値について(図 2-45 及び図 2-46) >

- ・ Ox 測定値から集計した新指標相当値と比べると、全体的に過大であり、その範囲は +26 ~ +37%であった。
- ・ PO 測定値から集計した新指標相当値と比べると、全体的に過大であり、その範囲は +12 ~ +20%であった。
- ・ Ox 及び PO 測定値を対象とした新指標相当値で見られる 2004 ~ 2006 年以降の下降トレンドを概ね再現していた。
- ・ Ox 及び PO 測定値を対象とした 3 年平均値を算出する前の単年の統計値で見られる 2003 年の濃度低下、翌年の濃度上昇、2009 年の濃度低下、翌年の濃度上昇等、年々の変化を概ね再現していた。

< 関東地域 10 km 格子計算値について(図 2-45 及び図 2-46) >

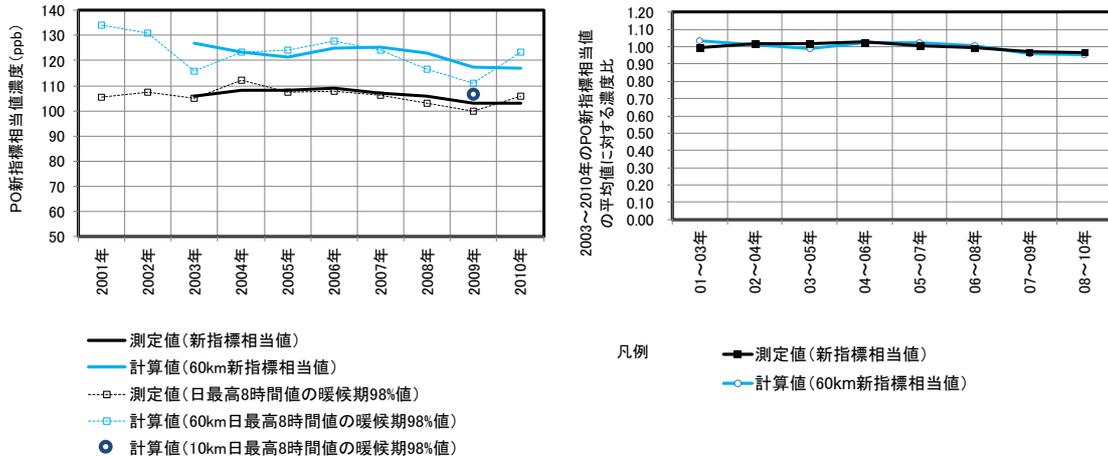
- ・ 2009 年の単年の Ox 統計値は、60 km と比較すると測定値に近い値であり(□と○の比較)、測定値に対して+12%であった(60 km 格子計算値は、測定値に対して+21%)。
- ・ 2009 年の単年の PO 統計値は、10 km 格子計算値は測定値に対して+6%、60 km 格子計算値は測定値に対して+11%であった。



(左図:Ox 新指標相当値 右図:2003 ~ 2010 年 Ox 新指標相当値の平均値に対する濃度比)

図 2-45 測定値及び計算値を対象とした Ox 新指標相当値

(関東 60 km 格子、10 km 格子)



(左図:PO 新指標相当値 右図:2003～2010年 PO 新指標相当値の平均値に対する濃度比)

図 2-46 測定値及び計算値を対象とした PO 新指標相当値(関東 60 km 格子、10 km 格子)

<九州地域 60 km 格子計算値について(図 2-47 及び図 2-48)>

- ・ Ox 測定値を対象にした新指標相当統計値と比べると、全体的に濃度が高く、その範囲は+25～+45%であった。
- ・ PO 測定値を対象にした新指標相当統計値と比べると、全体的に濃度が高く、その範囲は+16～+30%であった。
- ・ Ox 及び PO 測定値を対象とした3年平均値を算出する前の単年の統計値で見られる2007年の濃度上昇、2008年の濃度低下、2009年の濃度上昇といった年々の変化を再現していたが、より長期的な漸増傾向を再現することはできていない。

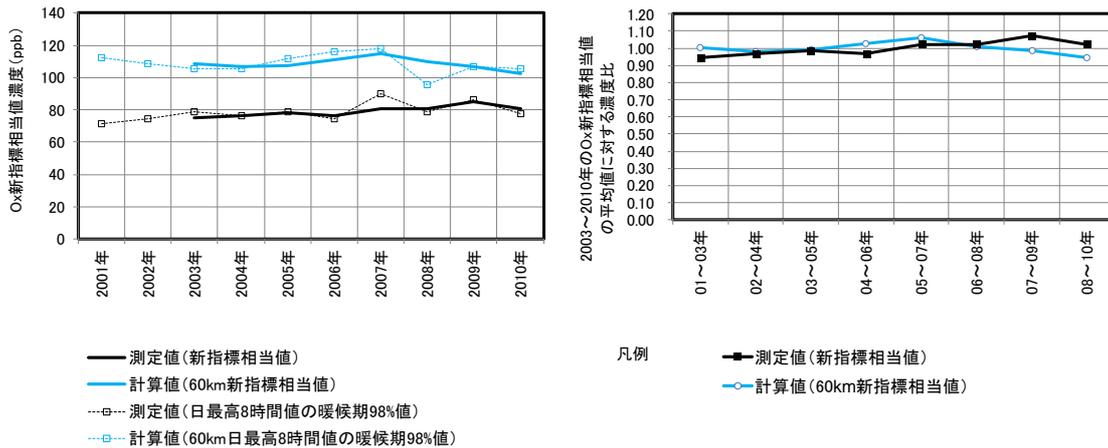
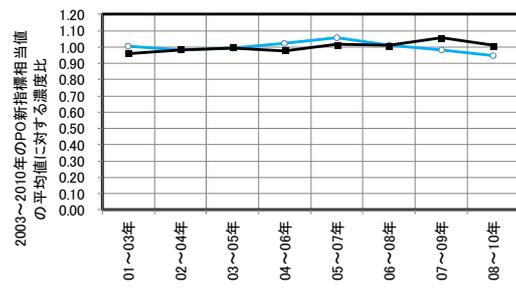
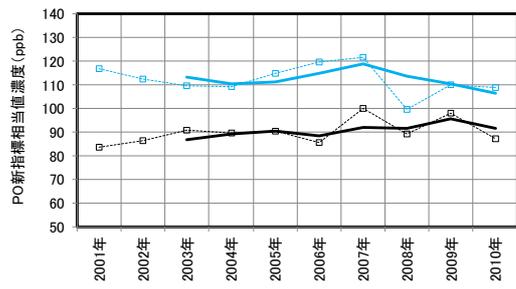


図 2-47 測定値及び計算値を対象とした Ox 新指標相当値(九州 60 km 格子)



— 測定値 (新指標相当値)
 — 計算値 (60km新指標相当値)
 - - □ - 測定値 (日最高8時間値の暖候期98%値)
 - - □ - 計算値 (60km日最高8時間値の暖候期98%値)

凡例
 — 測定値 (新指標相当値)
 — 計算値 (60km新指標相当値)

図 2-48 測定値及び計算値を対象とした PO 新指標相当値(九州 60 km 格子)

ウ. NO₂の月平均値の再現性

60 km 格子計算値を対象とした月平均値の再現性の確認結果(2001～2010年の暖候期を対象)について、参考資料 表 2～表 21 に示し、再現性の確認結果及び評価指標の値について表 2-16 に整理した。

また、10 km 格子計算値を対象とした月平均値の再現性の確認結果について、参考資料 表 22～表 26 に示し、再現性の確認結果及び評価指標の値について、表 2-17 に示した。なお、表 2-17 において、NB 及び NGE の各都県統計の欄の「月平均値を対象としたの評価指標の分布範囲」とは、月毎に算出した NB 及び NGE のうち、最小となった月の統計値と最大となった月の範囲を意味する。NB 及び NGE の算出方法を表 2-18 に示した。

表 2-16 より、60 km 格子計算値の月平均値は、関東地域については、29～51%の過小評価、九州地域については、大幅(54～71%)な過小評価であった。暖候期(4～9月)の評価は、関東地域については、40～44%の過小評価、九州地域については、61～64%の過小評価であった。

また、表 2-17 より、10 km 格子計算値(関東地域)の月平均値は、26～36%の過小評価であった。暖候期(4～9月)の評価は、31%の過小評価であった。

表 2-16 60 km 格子計算値(NO₂)について

60 km 格子 計算値(NO ₂)	評価指標の値(2001～2010年暖候期における評価指標の分布範囲)			再現性の確認結果
		<u>NB</u>	<u>NGE</u>	
月平均値の 評価	関東	-0.51～-0.29	0.29～0.51	<ul style="list-style-type: none"> ・関東及び九州地域ともに、計算値は測定値と比較して過小である。 ・評価指標の値から、関東地域の方が九州地域よりも再現性が高い。
	九州	-0.71～-0.54	0.54～0.71	
暖候期(4～9月) 平均値の評価	関東	-0.44～-0.40	0.40～0.44	
	九州	-0.64～-0.61	0.61～0.64	

表 2-17 10 km 格子計算値(NO₂)について

月平均値の精度評価結果																																																										
期間平均値	評価指標(NB)	評価指標(NGE)																																																								
<p>関東地域</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>2009年</th> <th>測定値(ppb)</th> <th>計算値(ppb)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4月</td><td>13.2</td><td>8.4</td></tr> <tr><td>5月</td><td>11.6</td><td>7.9</td></tr> <tr><td>6月</td><td>12.6</td><td>8.1</td></tr> <tr><td>7月</td><td>11.0</td><td>7.6</td></tr> <tr><td>8月</td><td>10.2</td><td>7.5</td></tr> <tr><td>9月</td><td>12.0</td><td>8.7</td></tr> <tr><td>4~9月</td><td>11.7</td><td>8.0</td></tr> </tbody> </table>	2009年	測定値(ppb)	計算値(ppb)	4月	13.2	8.4	5月	11.6	7.9	6月	12.6	8.1	7月	11.0	7.6	8月	10.2	7.5	9月	12.0	8.7	4~9月	11.7	8.0	<p>関東地域</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>対象期間</th> <th>NB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4月</td><td>-0.36</td></tr> <tr><td>5月</td><td>-0.32</td></tr> <tr><td>6月</td><td>-0.36</td></tr> <tr><td>7月</td><td>-0.30</td></tr> <tr><td>8月</td><td>-0.26</td></tr> <tr><td>9月</td><td>-0.28</td></tr> <tr><td>4~9月</td><td>-0.31</td></tr> </tbody> </table>	対象期間	NB	4月	-0.36	5月	-0.32	6月	-0.36	7月	-0.30	8月	-0.26	9月	-0.28	4~9月	-0.31	<p>関東地域</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>対象期間</th> <th>NGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4月</td><td>0.36</td></tr> <tr><td>5月</td><td>0.32</td></tr> <tr><td>6月</td><td>0.36</td></tr> <tr><td>7月</td><td>0.30</td></tr> <tr><td>8月</td><td>0.26</td></tr> <tr><td>9月</td><td>0.28</td></tr> <tr><td>4~9月</td><td>0.31</td></tr> </tbody> </table>	対象期間	NGE	4月	0.36	5月	0.32	6月	0.36	7月	0.30	8月	0.26	9月	0.28	4~9月	0.31
2009年	測定値(ppb)	計算値(ppb)																																																								
4月	13.2	8.4																																																								
5月	11.6	7.9																																																								
6月	12.6	8.1																																																								
7月	11.0	7.6																																																								
8月	10.2	7.5																																																								
9月	12.0	8.7																																																								
4~9月	11.7	8.0																																																								
対象期間	NB																																																									
4月	-0.36																																																									
5月	-0.32																																																									
6月	-0.36																																																									
7月	-0.30																																																									
8月	-0.26																																																									
9月	-0.28																																																									
4~9月	-0.31																																																									
対象期間	NGE																																																									
4月	0.36																																																									
5月	0.32																																																									
6月	0.36																																																									
7月	0.30																																																									
8月	0.26																																																									
9月	0.28																																																									
4~9月	0.31																																																									
—	<p>各都県(月平均値を対象とした評価指標の分布範囲)</p> <p style="text-align: center;">-1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0 1.5 NB (NO₂)</p>	<p>各都県(月平均値を対象とした評価指標の分布範囲)</p> <p style="text-align: center;">-1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0 1.5 NGE (NO₂)</p>																																																								
<ul style="list-style-type: none"> ・関東地域における月平均値を対象とした NB から、計算値は測定値と比べると過小(-36~-26%)であった。 ・関東地域における暖候期を対象とした NB から、計算値は測定値と比べると過小(-31%)であった。 ・精度評価指標 NB 及び NGE の値から、相対的に再現性の高い(NB 及び NGE の値が 0 に近い)都県(上位 3 都県)は、千葉県、東京都及び神奈川県であった。 																																																										

表 2-18 精度評価指標の算出方法

指標	計算式	備考
NB (Normalized Bias)	$NB = \frac{C_{\text{calc}} - C_{\text{obs}}}{C_{\text{obs}}}$	<ul style="list-style-type: none"> ・測定値と計算値の差を測定値で標準化した値の和 ・モデルの系統的な誤差を表す
NGE (Normalized Gross Error)	$NGE = \frac{ C_{\text{calc}} - C_{\text{obs}} }{C_{\text{obs}}}$	<ul style="list-style-type: none"> ・測定値と計算値の差の絶対値を測定値で標準化した値の和 ・値が 0 に近ければ、測定値と計算値の差が小さく、精度がよいと考えられる

C_{obs} , C_{calc} :各地点の月平均値を対象

※暖候期(4~9月)を対象とした精度評価指標は、月平均値を対象とした精度評価指標の値を平均した。

エ. 主要 VOC 成分の再現性

主要 VOC 成分の再現性評価対象地点について、表 2-19 に示した。測定物質はモデルにおける成分毎に分類・集計した(表 2-20)。なお、本解析は埼玉県内の限られた地点及び期間を対象とした評価であり、関東全域における傾向を示したものではないことに留意する必要がある。

測定値及び計算値について、各成分の平均値を4～6月(春)、7～9月(夏)の昼間、夜間でそれぞれ算出し、比(計算値 / 測定値)を算出した。この作業により、モデルにおける成分毎に、地点数(4) × 季節(2) × 昼夜(2) = 16 事例について比が求められる。評価はこの比が、「過小(0.5 以下)」「再現性の目標水準を満たす(0.5 以上 2.0 以下)」「過大(2.0 以上)」のどのカテゴリーに分類されるかで実施した。なお、主要 VOC 成分としては、MIR⁴と平均濃度の積が大きい上位 5 物質(ALK4、ETHE、ARO1、ARO2 及び HCHO)を対象とした。

2009 年の 60 km 格子計算値及び 10 km 格子計算値を対象にした解析結果を図 2-49 に、2010 年の 60 km 格子計算値を対象にした解析結果を図 2-50 に示した。

図 2-49 及び図 2-50 より、60 km 格子計算値は、年によって傾向の異なる成分がみられるが、2010 年については、主要 VOC 成分のうち ARO1、HCHO は過小の事例が多く、その他の成分は再現性の目標水準を満たす事例が多数を占めている。また、図 2-49 より、10 km 格子の計算値では、ALK4 及び HCHO は、再現性の目標水準を満たす事例が多数を占めたが、その他の成分は過小の事例が多数を占めている。

⁴ MIR(Maximum Incremental Reactivity): 光化学反応性を示す指標

表 2-19 主要 VOC 成分の再現性評価対象地点について

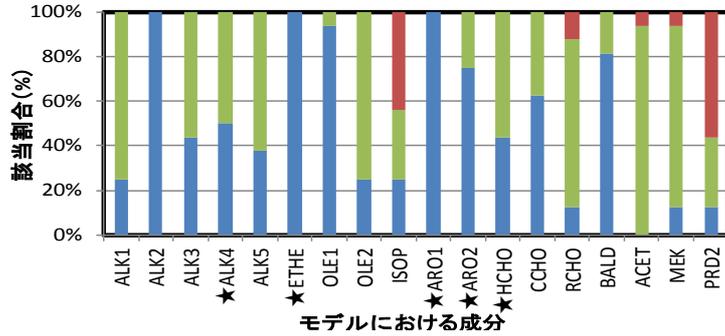
測定地点	戸田・蕨、鴻巣、幸手、寄居 ⁵
測定物質	パラフィン類:27 オレフィン類 :10 芳香族:17 ハロゲン化合物:22 フロン類 :11 アルデヒド類: 8 ケトン類 : 3 その他 :1
測定日	<2009 年> 4 月 23 日、5 月 19 日、6 月 10 日、7 月 9 日 8 月 11 日(鴻巣は 8 月 18 日)、9 月 9 日 <2010 年> 4 月 21 日、5 月 18 日、6 月 10 日、7 月 7 日、8 月 10 日、9 月 16 日
サンプリング時間	(昼夜測定)昼:6~18 時、夜:18~翌日 6 時

表 2-20 測定物質とモデルにおける成分分類

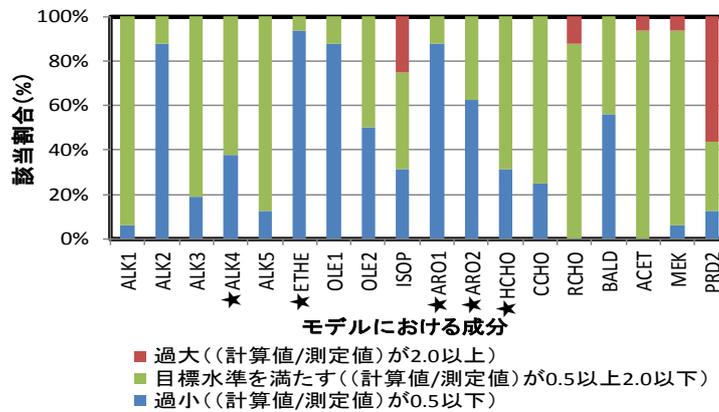
測定物質名	モデル VOC 成分	測定物質名	モデル VOC 成分	測定物質名	モデル VOC 成分	測定物質名	モデル VOC 成分
パラフィン類	エタン ALK1	オレフィン類	アセチレン ALK2	ハロゲン化合物	ジクロロメタン ALK1	アルデヒド類	ベンズアルデヒド BALD
	プロパン ALK2		エチレン ETHENE		1,2-ジクロロエタン ALK1		アセトアルデヒド CCHO
	イソブタン ALK3		2-メチル-1,3-ブタジエン ISOP		1,1-ジクロロエタン ALK1		ホルムアルデヒド HCHO
	n-ブタン ALK3		プロピレン OLE1		1,1,2-トリクロロエタン ALK1		プロピオンアルデヒド RCHO
	2,2-ジメチルブタン ALK3		1-ペンテン OLE1		1,2-ジブロモエタン ALK1		n-イソブチルアルデヒド RCHO
	イソペンタン ALK4		ト-2-ブテン OLE2		テトラクロロエチレン ALK1		イソバレールアルデヒド RCHO
	n-ペンタン ALK4		c-2-ブテン OLE2		クロロエタン ALK2		n-バレールアルデヒド RCHO
	シクロペンタン ALK4		1,3-ブタジエン OLE2		c-1,2-ジクロロエチレン ALK3		ヘキサナール RCHO
	2-メチルペンタン ALK4		ト-2-ペンテン OLE2		トリクロロエチレン ALK3	ケトン類	アセトン ACET
	3-メチルペンタン ALK4		c-2-ペンテン OLE2		塩化ビニルモノマー ALK5		メチルエチルケトン MEK
	n-ヘキサン ALK4	芳香族	ベンゼン ARO1		1,1-ジクロロエチレン ALK5		メチルイソブチルケトン PRD2
	メチルシクロペンタン ALK4		トルエン ARO1		c-1,3-ジクロロプロペン ALK5	その他	アクリロニトリル ALK5
	2,4-ジメチルペンタン ALK4		エチルベンゼン ARO1		ト-1,3-ジクロロプロペン ALK5		
	2,2,4-トリメチルペンタン ALK4		イソプロピルベンゼン ARO1		クロロメタン NROG		
	シクロヘキサン ALK5		n-プロピルベンゼン ARO1		クロロホルム NROG		
	2-メチルヘキサン ALK5		m&p-キシレン ARO2		四塩化炭素 NROG		
	2,3-ジメチルペンタン ALK5		o-キシレン ARO2		ブロメタン NROG		
	3-メチルヘキサン ALK5		m&p-エチルトルエン ARO2		1,1,1-トリクロロエタン NROG		
	n-ヘプタン ALK5		1,3,5-トリメチルベンゼン ARO2		クロロベンゼン NROG		
	メチルシクロヘキサン ALK5		o-エチルトルエン ARO2		m-ジクロロベンゼン NROG		
	2,3,4-トリメチルペンタン ALK5		1,2,4-トリメチルベンゼン ARO2		p-ジクロロベンゼン NROG		
	2-メチルヘプタン ALK5		1,2,3-トリメチルベンゼン ARO2		o-ジクロロベンゼン NROG		
	3-メチルヘプタン ALK5		m-ジエチルベンゼン ARO2	フロン類	HCFC22 NROG		
	n-オクタン ALK5		p-ジエチルベンゼン ARO2		CFCl12 NROG		
	n-ノナン ALK5		スチレン OLE2		CFCl11 NROG		
	n-デカン ALK5				HFC134a NROG		
	n-ウンデカン ALK5				CFCl114 NROG		
					HCFC142b NROG		
					HCFC123 NROG		
					HCFC141b NROG		
					CFCl113 NROG		
					HCFC225ca NROG		
					HCFC225cb NROG		

⁵ 埼玉県大気環境調査事業報告書 (<https://www.pref.saitama.lg.jp/a0504/taikihoukokusyo.html>)

2009年 60km 格子計算値



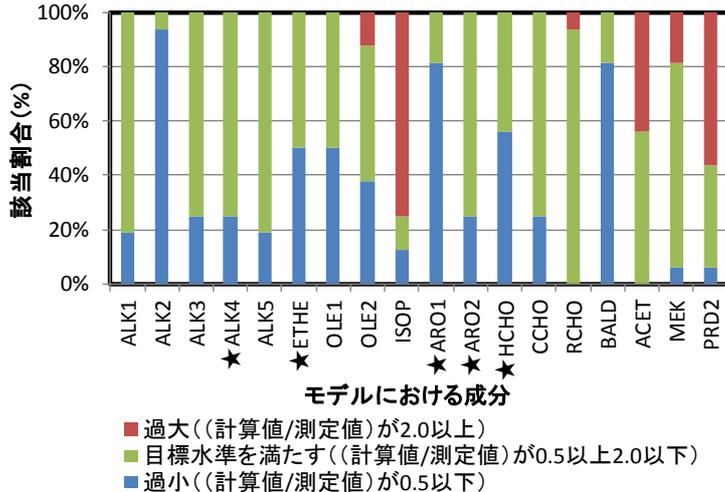
2009年 10km 格子計算値



(★は MIR と平均濃度の積の上位 5 成分 上図: 60 km 格子計算値 下図: 10 km 格子計算値)

図 2-49 成分別にみた計算値と測定値の比の該当割合(2009年)

2010年 60km 格子計算値



(★は MIR と平均濃度の積の上位 5 成分)

図 2-50 成分別にみた計算値と測定値の比の該当割合(2010年)

(3) シミュレーションモデルの再現目標の達成状況のまとめ

シミュレーションモデルの再現目標の達成状況について、以下に物質別に整理した。

ア. Ox 及び PO について

＜遠隔地モニタリングデータと計算値の比較＞

- ・ 解析対象とした全地点について、2001～2010年を通して計算値が過大であった(図 2-25)。
- ・ 再現性には季節性が見られ、夏季と比較して春季(4～6月)の再現性が高かった(図 2-27 及び図 2-28)。

＜シミュレーションモデルの再現目標に対する状況＞

目標①: 長期トレンドの基本的な増減傾向を再現すること

- ・ 60 km 格子計算値について、関東地域及び九州地域における Ox 暖候期平均濃度の 2001～2010年の長期トレンドの特徴を概ね再現していた(図 2-31 及び図 2-32)。

目標②: Ox 新指標相当値について数十%以内で再現すること

- ・ Ox 新指標相当値(60 km 格子計算値)について、九州地域については、2007年以降のトレンドの再現性に課題がみられたが、関東地域については、10年間のトレンド及び単年度の変化傾向は概ね再現していた。絶対値の再現については、関東地域においては、全ての年(2001～2010年)で測定値に対して 26～37%の過大評価、九州地域においては、25～45%の過大評価であったが、目標の数十%以内にはほぼ収まっていた。
- ・ NO タイトレーション効果を考慮した指標であるポテンシャルオゾン(PO)濃度の新指標相当値(60 km 格子計算値)も Ox と同様に過大ではあるが、目標の範囲内に収まっていた(図 2-45 及び図 2-46)。
- ・ Ox の日最高 8 時間値暖候期 98%値(2009年 10 km 格子計算値)は、全体的に過大傾向(+12%)ではあるが、目標の数十%以内に収まっており、また、60 km 格子計算値(+21%)よりも過大傾向が小さかった(図 2-45 及び図 2-46)。
- ・ PO の日最高 8 時間値暖候期 98%値(2009年 10 km 格子計算値)も Ox と同様に過大(+6%)ではあるが、目標の数十%以内に収まっていた。また、60 km 格子計算値についても、同様に目標の数十%以内(+11%)に収まっていた(図 2-45 及び図 2-46)。

イ. NO₂ について

＜シミュレーションモデルの再現目標に対する状況＞

目標①: 長期トレンドの基本的な増減傾向を再現すること

- ・ 関東及び九州地域ともに、NO_x 濃度の代替指標としての NO₂ 濃度の計算値は測定値と同様に下降トレンドを示しており、両者の 10 年間の濃度低下率も概ね同程度であった(図 2-37 ~ 図 2-40)。

目標③: NO₂ の期間平均値について数十%以内で再現すること

- ・ 関東地域の暖候期平均値については、60 km 格子計算値で、29 ~ 51%の過小評価、10 km 格子計算値では 31%の過小評価であった(表 2-16 及び表 2-17)。九州地域については、60 km 格子計算値で、大幅(54 ~ 71%)な過小評価であった(表 2-16)。

ウ. NMHC について

＜シミュレーションモデルの再現目標に対する状況＞

目標①: 長期トレンドの基本的な増減傾向を再現すること

- ・ 関東及び九州地域どちらも、VOC の代替指標としての NMHC 濃度の計算値は、測定値の下降トレンドを示しており、両者の 10 年間の濃度低下率も概ね同程度であった(図 2-41 ~ 図 2-44)。

目標④: 主要 VOC 成分について 50 ~ 200%で再現すること

- ・ 2009 年の評価事例では、60 km 格子計算値及び 10 km 格子計算値のどちらも、主要 VOC 成分(ALK4、ETHE、ARO1、ARO2、HCHO)のうち、ETEH、ARO1、ARO2 については過小となる事例が多かったが、ALK4 及び HCHO は目標水準を満たす事例が多かった(図 2-49)。
- ・ 2010 年の評価事例では、60 km 格子計算値は、主要 VOC 成分のうち ARO1、HCHO は過小となる事例が多かったが、ALK4、ETHE 及び ARO2 は概ね目標水準を満たした(図 2-50)。

2.5.6 構築したシミュレーションモデルと他モデルとの比較

(1) 解析の目的

本調査で使用したシミュレーションモデルの計算結果の妥当性について評価することを目的として、他モデルの計算結果及び測定値との比較を行った。

(2) 解析結果

比較対象のモデルとしては、作業部会委員から提供された 8 モデルを用いた。各モデルの設定条件の概要は表 2-21 に示すとおりである。解析は九州地域及び関東地域を対象とし、各モデルにおいて図 2-8 に示す解析対象格子内に中心が存在する格子で平均した値で評価を行った(各モデルの詳細設定は参考資料 表 27 に掲載)。

各モデルにおいて O_x、NO₂、NO_x、NMHC、PO を対象に、月平均値及び時刻別平均値を算出し比較を行った (O_x、NO_x 及び NMHC 以外の月平均値ならびに時刻別平均値は参考資料 図 8 ~ 図 14 に掲載)。

表 2-21 各モデルの設定条件

設定項目	モデルA	モデルB	モデルC	モデルD	モデルE1	モデルE2	モデルF	モデルG	本調査	
気象モデル	RAMS 4.4	WRF- Chem	WRF	WRF v3.7	WRF v3.3.1	WRF v3.5.1	WRF v3.3.1	WRF v3.3.1	WRF v3.5.1	
化学輸送モデル	ADMER- PRO	WRF- Chem	RAQM2	CMAQ v5.0.2	CMAQ v4.7.1	CMAQ v5.01	CMAQ v4.7.1	CMAQ v4.7.1	CMAQ v4.7.1	
気層反応 モジュール	CB4	RADM2	SAPRC 99	SAPRC 07tc	SAPRC 99	SAPRC 07tc	SAPRC 99	SAPRC 99	SAPRC 99	
粒子化 モジュール	なし	SORGAM	MADMS/ ISORROPI A2	AERO6	AERO5	AERO6	AERO5	AERO5	AERO5	
対象 年度	2001	-	-	-	-	-	○	○	○	
	2002	-	-	-	-	-	○	○	○	
	2003	-	-	-	-	-	○	○	○	
	2004	-	-	-	-	-	○	○	○	
	2005	○	○	-	-	○	○	○	○	
	2006	-	-	-	-	-	○	○	○	
	2007	-	-	-	-	-	○	○	○	
	2008	-	-	-	-	-	○	○	○	
	2009	-	-	-	-	-	-	○	○	
	2010	-	-	○	○	-	○	-	○	
空間 解像度	東アジア /アジア	-	80km	45km	45km	-	-	80km	60km	60km
	日本	(20km) ^{※1}	-	-	15km	20km	20km ^{※2}	-	-	-
	関東	5km	-	-	5km	5km	5km ^{※2}	-	-	10km
	九州 ^{※3}	5km	-	-	-	-	-	-	-	-

※1：解析対象データには含まれないが、親領域としての設定。

※2：モデル E2 には、パラメーター等の微調整を施した 2 種類が存在する(以降モデル E2a、E2b と表記)。

※3：九州域を対象にした実験が存在するモデルのみ記載。

(3) 解析結果

構築したシミュレーションモデルの 60 km 格子計算値(2001～2010 年暖候期における O_x 、 NO_x 及び NMHC の月平均値)を関東地域について図 2-51～図 2-53 に示した。また、九州地域の計算値を図 2-54～図 2-56 に示した。各図には、他モデルの計算値及び測定値も併せて示した。なお、本解析ではモデル間の比較に主眼を置いているため、比較には対象領域内の全格子の平均値を用いている。一方で、測定局は領域内に不均一に分布しているため、測定値の平均値と計算値を比較すると差が大きくなる傾向があることには留意する必要がある。

図 2-51～図 2-56 から、 O_x 、 NO_x 及び NMHC の月平均濃度について、関東及び九州地域ともに、本調査で用いたシミュレーションモデルの値は他モデルの計算値と同程度の値を示した。また、濃度変動についても類似した挙動がみられた。

同様に時刻別平均濃度についてモデル間で比較した結果においても、本調査で用いたシミュレーションモデルは他モデルと類似した日内変化及び濃度を示した(参考資料 図 10～図 14)。

このことから、本調査で構築したシミュレーションモデルは、 O_x 、 NO_x 及び NMHC の月平均濃度について、現在の研究レベルのモデルと同等の傾向、再現性を有していると判断した。

対象物質:Ox (関東地域)

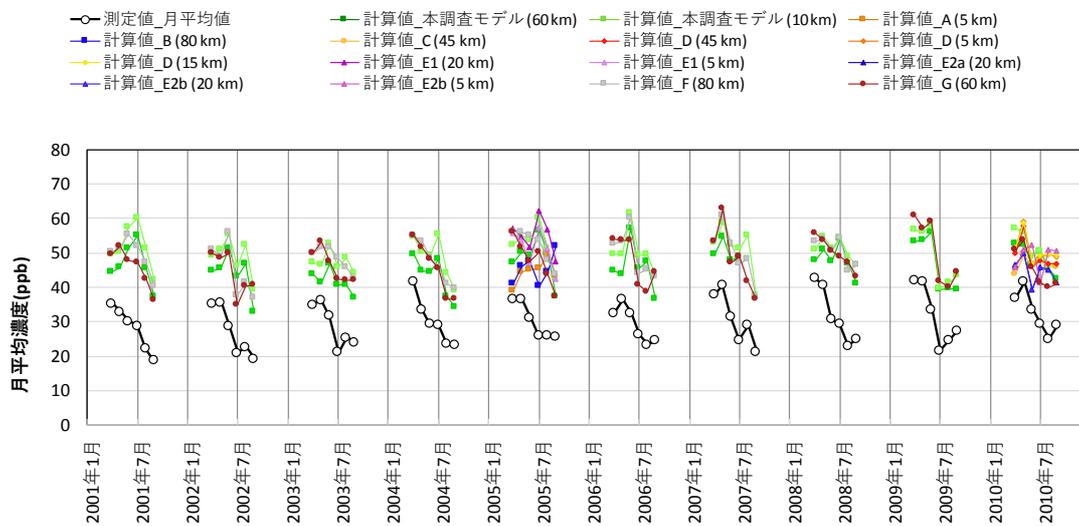


図 2-51 Ox 月平均値(関東地域)

対象物質:Ox (九州地域)

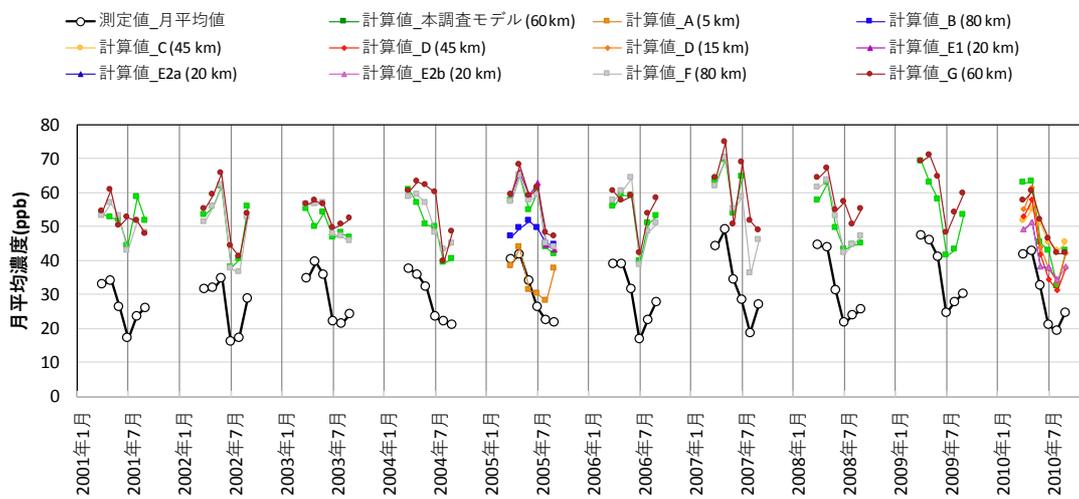


図 2-52 Ox 月平均値(九州地域)

対象物質:NOx (関東地域)

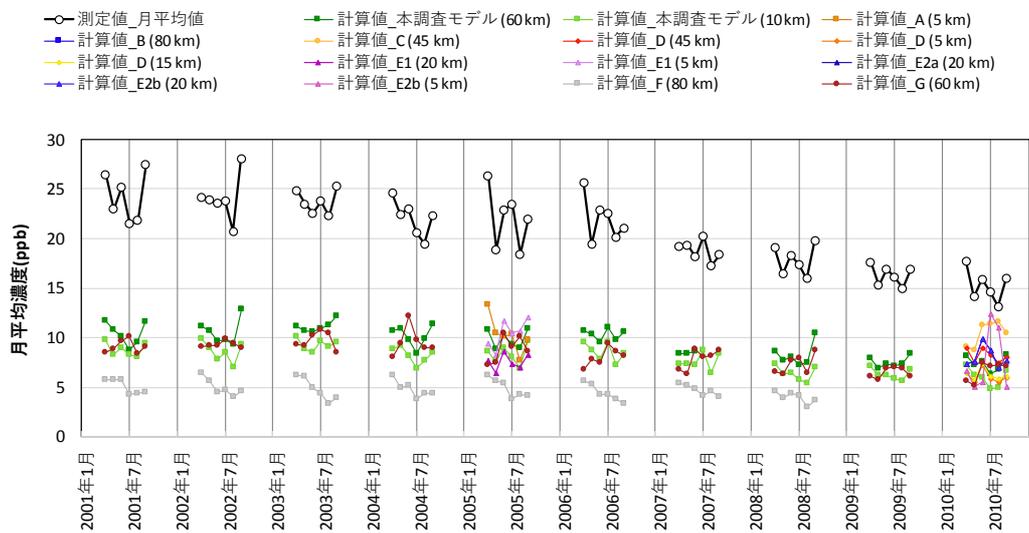


図 2-53 NOx 月平均値(関東地域)

対象物質:NOx (九州地域)

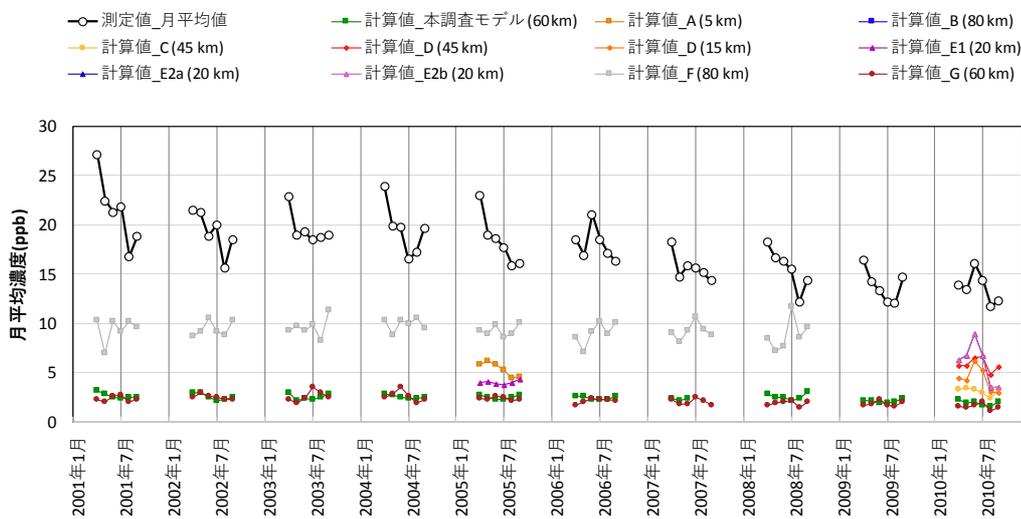


図 2-54 NOx 月平均値(九州地域)

対象物質:NMHC (関東地域)

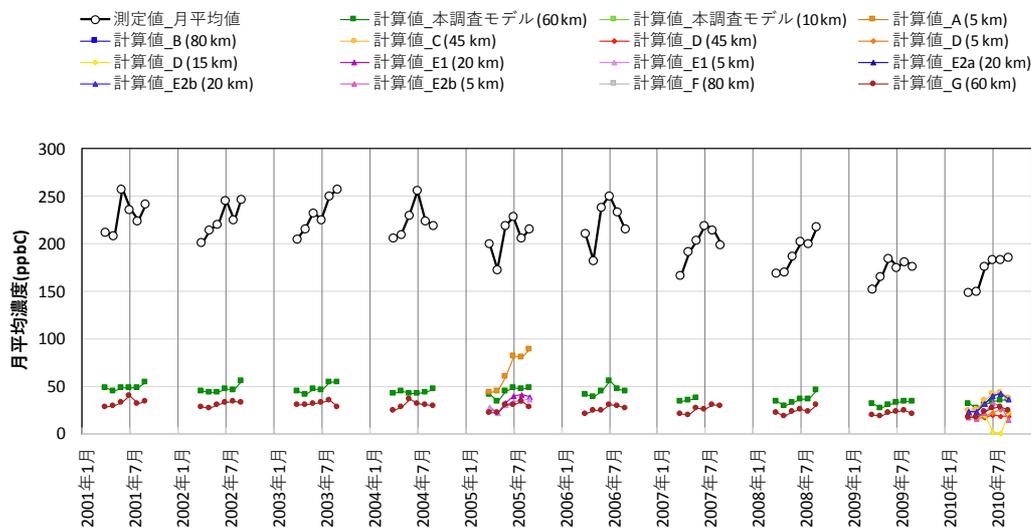


図 2-55 NMHC 月平均値(関東地域)

対象物質:NMHC (九州地域)

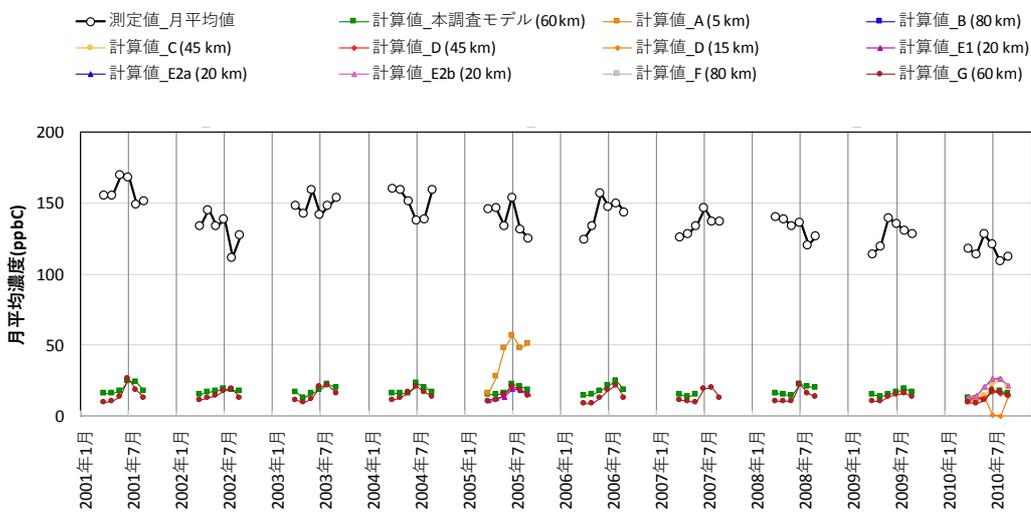


図 2-56 NMHC 月平均値(九州地域)

2.5.7 シミュレーションモデルの検証のまとめ

シミュレーションモデルの検証結果について、シミュレーションの再現性の確認の流れ(図 2-6) 及びシミュレーションモデルの再現性の目標水準を踏まえて以下に整理した。

(1) 気象要素の再現について

気温及び風速の精度評価指標値について、既往調査結果と本調査結果での統計結果を比較した結果、本調査の 60 km 格子計算値(東京)及び 10 km 格子計算値(関東)については、既往調査結果とほぼ同等の再現性を有していることが確認できた。

(2) 長期トレンドの再現について

Ox の新指標値や暖候期平均濃度については、測定値の基本的な増減傾向を再現していた。また、前駆物質濃度(NO₂ 及び NMHC)については、10 年間の減少割合が測定値とほぼ同様であることが明らかとなった。

(3) 定量的な再現について

Ox 計算値(新指標相当値)は測定値に対して、60 km 格子計算値で 26 ~ 37%の過大評価、10 km 格子計算値で 12%の過大評価であった。NO₂ 計算値(暖候期平均値)は 60 km 格子計算値で、関東地域については、40 ~ 44%の過小評価、九州地域については、61 ~ 64%の過小評価であり、10 km 格子計算値では 31%の過小評価であった。VOC 主要成分については、60 km 格子及び 10 km 格子計算値ともに、測定値に対して、50 ~ 200%の濃度比である物質が多数を占めた。

(4) 他モデルとの比較について

関東及び九州地域の Ox、NO_x 及び NMHC の月平均値及び時刻別平均値について、本調査によるモデル計算値を国内の研究機関(本調査で用いた WRF/CMAQ システム以外も含む)による既往計算値と比較したところ、本調査で用いたモデルは、他モデルとほぼ同等の再現性を有していることが確認された。

以上のことから、本調査で構築したモデルは、当初設定した目標水準を概ね達成しているものと判断され、また、現在、国内の研究機関で使用しているモデルとほぼ同等の性能を有していると考えられた。よって、我が国における地表オキシダントの長期変動要因の解析、さらに、オキシダント前駆物質である VOC 及び NO_x の排出削減によるオキシダント低減効果の感度解析に本シミュレーションモデルを使用した。

3 シミュレーションモデルによる解析の結果と考察

2章で示したように、本調査で構築したモデルは、その再現性において幾つかの課題はありつつも、当初設定した目標水準を概ね達成し、また、現在、国内の研究機関で使用しているモデルとほぼ同等の性能を有していると考えられることから、我が国における地表オキシダントの長期変動要因の解析、及びオキシダント前駆物質である VOC 及び NO_x の排出削減によるオキシダント低減効果の感度解析に使用した。なお、モデルは O_x 濃度を過大評価する傾向があるため、計算された O_x 濃度そのものではなく、基準ケースとの濃度の差分または濃度比等で評価を行った。

3.1 日本国内における O_x 濃度の長期変動要因の解析

3.1.1 前駆物質排出量変化(固定蒸発 VOC 排出量削減)の影響の解析

(1) 解析の目的

平成 25 年度検討会報告書において、関東地域では O_x 濃度測定値の統計結果からオキシダント新指標値の域内平均値は、2007 年度(平成 19 年度)より低下傾向にあることが指摘された。この要因としては、VOC 及び NO_x の排出抑制にともなう、前駆物質濃度低下が考えられる。そこで本調査では、これまでの光化学オキシダント対策のうち、2006 年度(平成 18 年度)より実施された「揮発性有機化合物 (VOC) の排出抑制制度」について、光化学オキシダント濃度にどのような影響があったかを把握することを目的として、シミュレーションによる解析を実施した。

(2) シミュレーションの設定条件

シミュレーションの気象場、排出量の設定条件を表 3-1 に示した。その他のシミュレーションモデルの基本設定は、「2.4.3 シミュレーションモデルの設定のまとめ」と同様とした。基準ケースは、気象場が異常年でないことが確認されている 2009 年の暖候期とし、関東領域を対象として 10 km 格子で計算を実施した。基準ケースでは東アジア大陸及び国内の排出量についても 2009 年として設定した(ケース A)。一方、比較ケースは大気汚染物質の排出量について、関東領域の固定蒸発発生源からの VOC 排出量のみを 2001 年相当のものに差し替え、東アジア大陸及び国内排出量(関東領域固定蒸発発生源以外)を 2009 年で固定した(ケース B)。「揮発性有機化合物 (VOC) の排出抑制制度」により、国内の固定蒸発発生源からの 2009 年の VOC 排出量は、2001 年と比較すると約 38%減少している。なお、本解析では、ケース B のシミュレーションにおいても、関東領域の境界値となる親領域(東アジア域)については、基準ケースの計算結果を適用した。

上記ケース A とケース B の計算結果より、関東地域を対象として、「O_x 日最高 8 時間値の暖候期 98%値」について、評価を行った。

表 3-1 固定蒸発 VOC 排出量削減の影響解析シミュレーションの設定

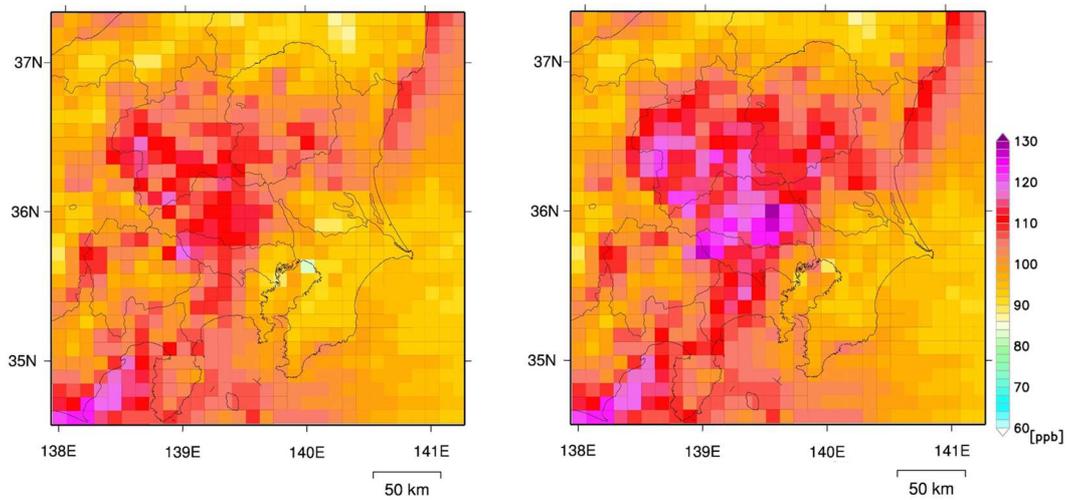
ケース	人為起源排出量の設定年			気象場の 設定年	備考
	東アジア 大陸	関東領域 固定蒸発 VOC	関東領域 固定蒸発 VOC 以外		
A	2009 年	2009 年	2009 年	2009 年	基準ケース(2009 年)
B		2001 年			2009 年を基準に、国内固定蒸発 VOC の排出量のみ 2001 年相当に変更した場合

(3) 解析結果

ケース A とケース B について、計算格子毎に「Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98% 値」を算出した結果を図 3-1 に示す。また、ケース A とケース B の濃度比(ケース A / ケース B)を図 3-2 に示す。図 3-1 より、ケース A(基準ケース)と比較すると、ケース B(固定蒸発 VOC 排出量を 2001 年に変更)では「Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98% 値」は最大 10 ppb 程度増加する。図 3-2 より濃度比(ケース A / ケース B)に着目すると、ケース A(基準ケース)ではケース B(固定蒸発 VOC 排出量を 2001 年に変更)よりも、関東地域全域で「Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98% 値」が小さくなった。特に、東京都東部～埼玉県南東部にかけて、濃度比が 0.85 ~ 0.90 程度に低下していることが示された。

ケース A、ケース B についてシミュレーション結果から「Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98% 値」を計算格子毎に算出し、都県別及び全県で平均した結果を図 3-3 に示す。図 3-3 より、関東地域の都県別に評価した場合、固定蒸発 VOC 排出量削減の効果は埼玉県が最も大きく、濃度比は 0.92 となった。関東地域全体(8 都県平均)での濃度比は 0.96 であった。

以上の結果より、「揮発性有機化合物 (VOC) の排出抑制制度」による、これまでの固定蒸発 VOC 排出量の削減効果により、関東地域では「Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98% 値」が低下したと考えられる。特に東京都東部から埼玉県東部における地域で削減効果が比較的大きかった。これらの結果は、「平成 25 年度検討会報告書」において整理した測定値の解析結果にも整合しており、固定蒸発 VOC 排出量の削減による Ox 低減効果が確認された。



ケース A

(2009 年基準ケース)

ケース B

(固定蒸発 VOC 排出量を 2001 年に変更)

図 3-1 Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98%値の分布(左図: ケース A 右図: ケース B)

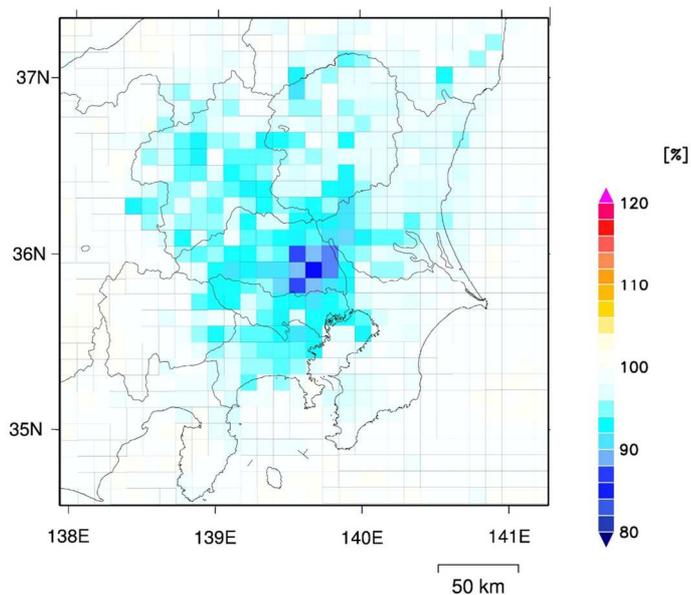


図 3-2 Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98%値の濃度比(ケース A / ケース B)

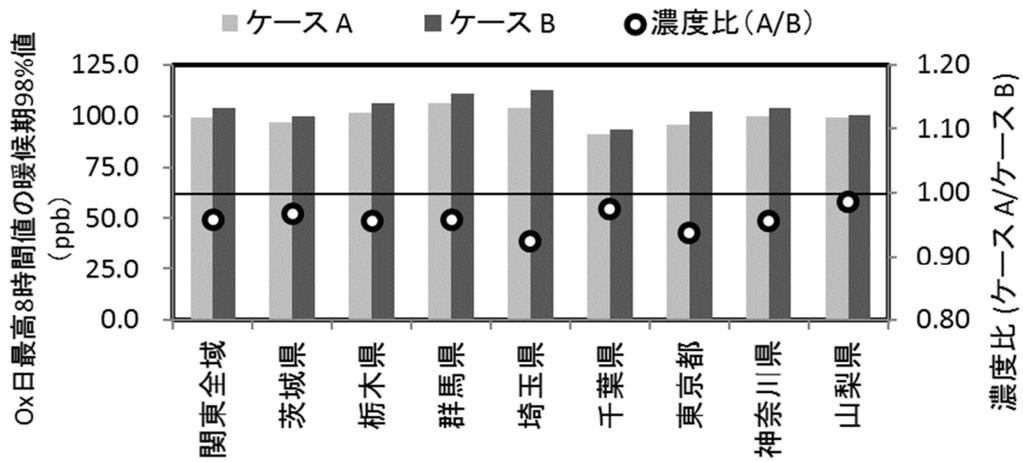


図 3-3 Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98%値の都県別平均濃度及び濃度比(ケース A/ ケース B)

3.1.2 越境大気汚染の解析

(1) 解析の目的

我が国の光化学オキシダント濃度の長期トレンドに影響を及ぼす要因の1つとして、中国をはじめとした、東アジア大陸からの大気汚染物質排出量の増大の影響が考えられる。そこで国内の光化学オキシダント濃度に対する、越境大気汚染の増大の影響の程度を把握することを目的として、シミュレーションによる解析を実施した。

(2) シミュレーションの設定条件

シミュレーションの気象場、排出量の設定条件を表 3-2 に示した。その他のシミュレーションモデルの基本設定は、「2.4.3 シミュレーションモデルの設定のまとめ」と同様とした。基準ケースは、気象場が異常年でないことが確認されている 2009 年とし、東アジア大陸及び国内の排出量についても 2009 年として設定した(ケース A)。一方、気象場及び国内大気汚染物質排出量を 2009 年で固定し、東アジア大陸からの大気汚染物質排出量のみを 2001 年の排出量に差し替えた設定を比較ケース(ケース C)とした。すなわち、ケース C は 2009 年を基準として、仮に東アジア大陸での大気汚染物質排出量が 2001 年のままであった場合の状況に相当する。なお、2009 年(本調査では 2008 年排出量と同値;2.3.1 参照)の東アジア大陸の大気汚染物質排出量は、2001 年と比較すると NOx では 48%、VOC は 19%増加している。一方で国内排出量は、同期間で NOx は 23%、VOC は 42%減少している(図 2-4)。シミュレーションは東アジア領域を対象として、60 km 格子で暖候期(4~9月)について実施した。

上記ケース A とケース C の計算結果より、九州地域及び関東地域に着目して、「Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98% 値」について、評価を行った。また、越境大気汚染の月毎の影響を把握するため「Ox 日最高 8 時間値の月平均値」についても評価を行った。

表 3-2 越境大気汚染の影響解析シミュレーションの設定

ケース	人為起源排出量の 設定年		気象場の 設定年	備考
	東アジア 大陸	国内		
A	2009 年	2009 年	2009 年	【基準ケース(2009 年)】
C	2001 年			2009 年を基準に、東アジア大陸の排出量のみ 2001 年相当に変更した場合

(3) 解析結果

ア. Ox の日最高 8 時間値の暖候期 98% 値への影響

ケース A とケース C について、計算格子毎に「Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98% 値」を算出した結果を図 3-4 に示す。また、ケース A とケース C の濃度差(ケース A - ケース C)を図 3-5 に、濃度比(ケース A / ケース C)を図 3-6 に示す。

図 3-4 より、2009 年の基準ケース(ケース A)から、東アジア大陸の排出量のみ 2001 年に変更したケース(ケース C)では、中国大陸(華北平原)だけでなく東シナ海から日本海

の日本周辺でも「Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98%値」が低下する結果となった。すなわち、2001 年から 2009 年にかけての東アジア大陸の大気汚染物質の排出量増加によって、日本周辺の「Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98%値」が増大した可能性が示唆された。

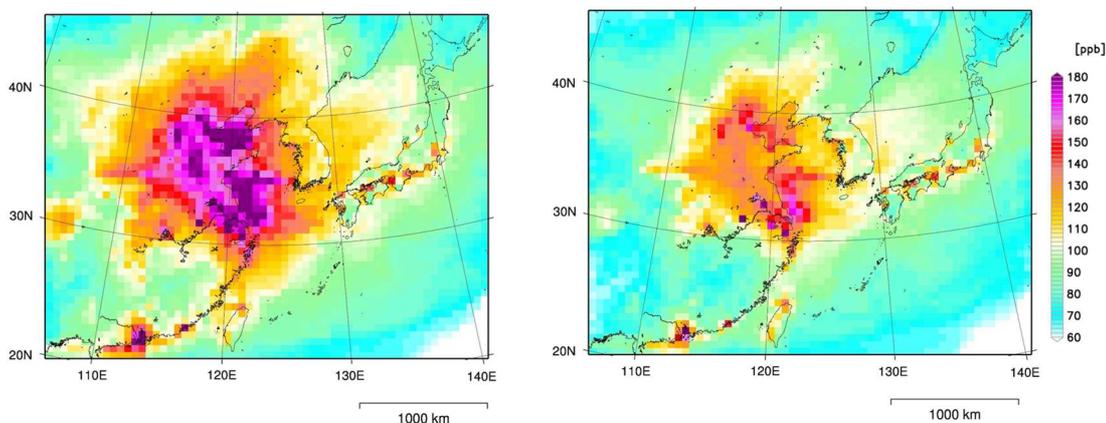
図 3-5 及び図 3-6 より日本国内の「Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98%値」の濃度差(比)に着目すると、九州地方で濃度差(比)が大きく、越境大気汚染の影響を強く受けているものと考えられる。また、全体的には西日本と比較すると東日本の方が濃度比は小さく、越境大気汚染の影響も相対的に小さいものと判断される。なお、東北地方北部から北海道にかけて濃度比がやや高くなっている傾向がみられるが、これらの地域では「Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98%値」の絶対値が低いため、わずかな濃度差でも濃度比としては大きく算定されることに留意する必要がある。

さらに、九州地域及び関東地域について、「Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98%値」の濃度比(ケース A / ケース C)を集計したところ、九州地域は 1.08、関東地域は 1.02 となり、九州地域の方が関東地域よりも、越境大気汚染の影響が相対的に大きいことが定量的にも示された(図 3-7)。

なお、これらの傾向は基準ケースを 2001 年に設定(ケース A')し、東アジア大陸からの排出量のみを 2009 年に差し替えたシミュレーション(ケース C')を実施し、同様に「Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98%値」の濃度比(ケース C' / ケース A')を算出した場合でも確認された(参考資料 図 15)。

表 3-3 越境大気汚染の影響解析シミュレーションの設定(基準年変更)

ケース	人為起源排出量の 設定年		気象場の 設定年	備考
	東アジア 大陸	国内		
A'	2001 年	2001 年	2001 年	【基準ケース(2001 年)】
C'	2009 年			2001 年を基準に、東アジア大陸の排出量のみ 2009 年相当に変更した場合



ケース A(2009 年基準ケース)

ケース C(東アジア大陸排出量を 2001 年に変更)

図 3-4 Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98%値の分布(左図: ケース A 右図: ケース C)

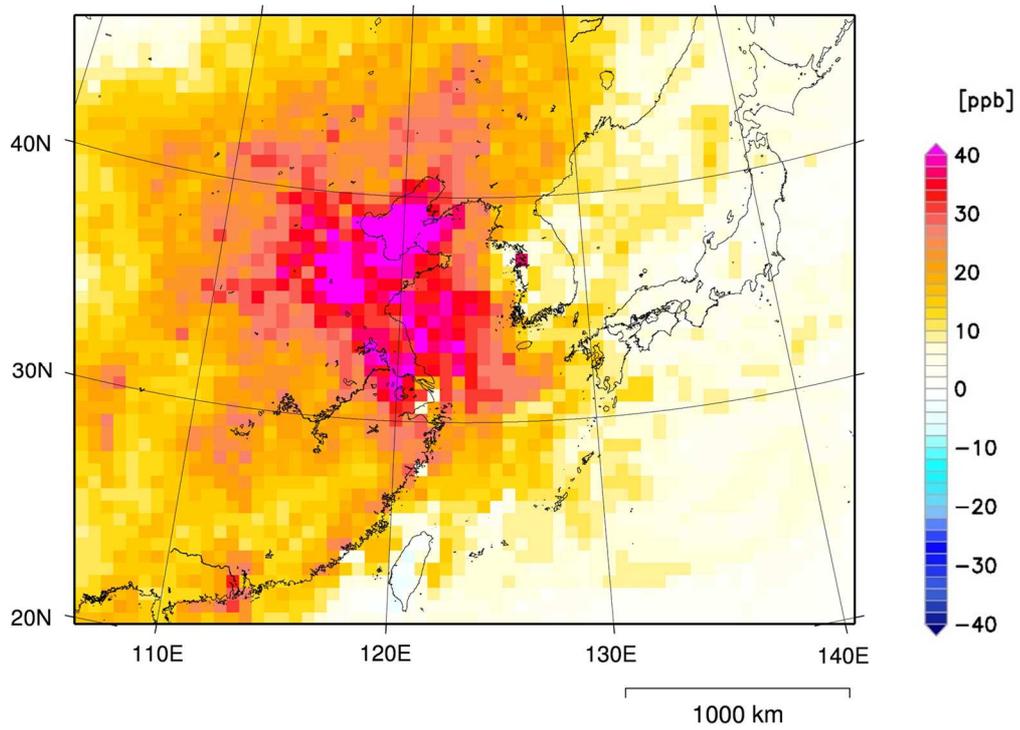


図 3-5 Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98%値の濃度差(ケース A - ケース C)

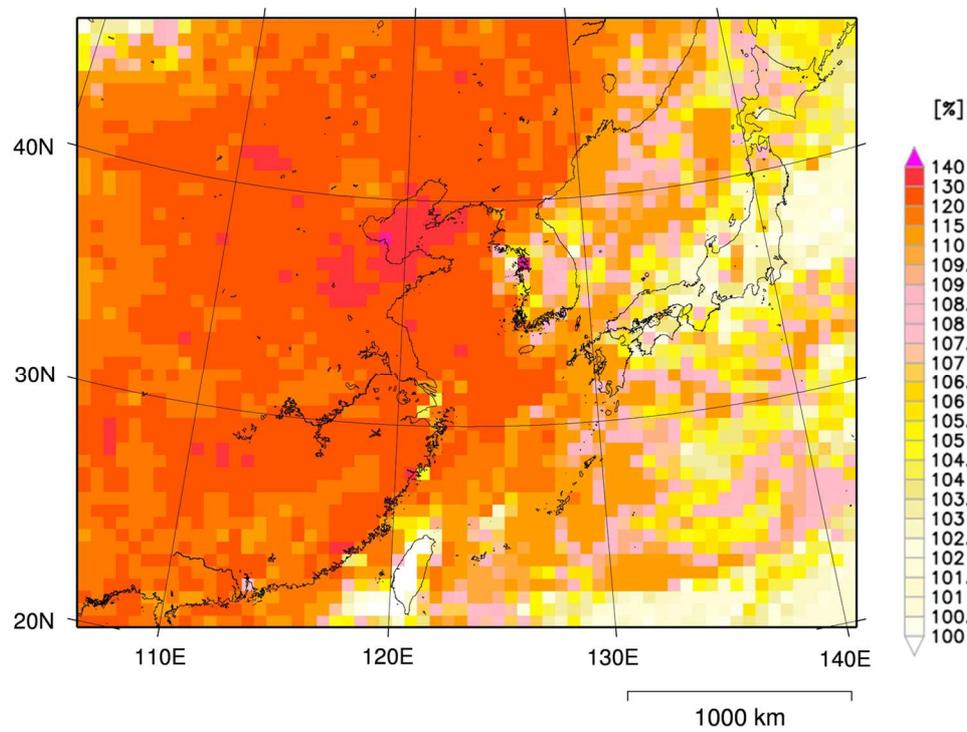


図 3-6 Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98%値の濃度比(ケース A / ケース C)

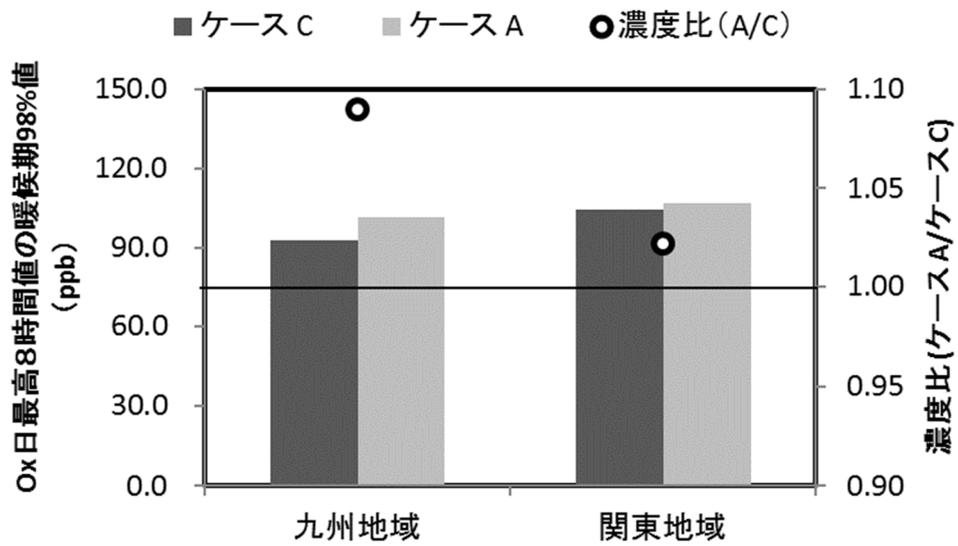


図 3-7 地域別 Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98%値及び濃度比(ケース A/ ケース C)

イ. Ox 日最高 8 時間値の月平均値への影響

越境大気汚染の月毎の影響を把握するためケース A とケース C について、日最高 8 時間値の月平均値を算出した。それぞれのケースの日最高 8 時間値の月平均値の分布及び両ケースの濃度比(ケース A / ケース C)の分布を図 3-8 に示した。また、九州地域及び関東地域の日最高 8 時間値の月平均値と濃度比を図 3-9 に示した。

図 3-8 のケース A の濃度分布より、2009 年暖候期は、6 月に中国大陸の濃度が最大となり、7 月は太平洋高気圧の張り出しにより、日本付近は濃度が比較的低い等の傾向がみられる。濃度比に着目した場合、沖縄～九州地域において、4～7 月にかけての濃度比が比較的大きいが、前述のとおり 7 月については濃度の絶対値が比較的低いため、わずかな濃度差でも比が大きくなり算出される点には留意する必要がある。また、全体的な傾向として「Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98% 値」と同様、東アジア大陸に近いほど濃度比が大きくなる傾向がみられる。

同様の傾向は図 3-9 からも示唆され、九州地域における日最高 8 時間値の月平均値の濃度比は 4～7 月が 8、9 月と比較すると大きくなり、最大で 1.07 程度であった。一方、関東地域における日最高 8 時間値の月平均値の濃度比は、6～7 月が他の月よりも大きいが、濃度比は最大で 1.04 程度であり、九州地域よりも小さい結果となった。

以上のことから、東アジア大陸におけるオキシダント前駆物質排出量の増加は、「Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98% 値」と同様に、Ox 日最高 8 時間値の月平均値についても増大要因となり、関東地域よりも九州地域の方がその影響が大きいことが確認された。

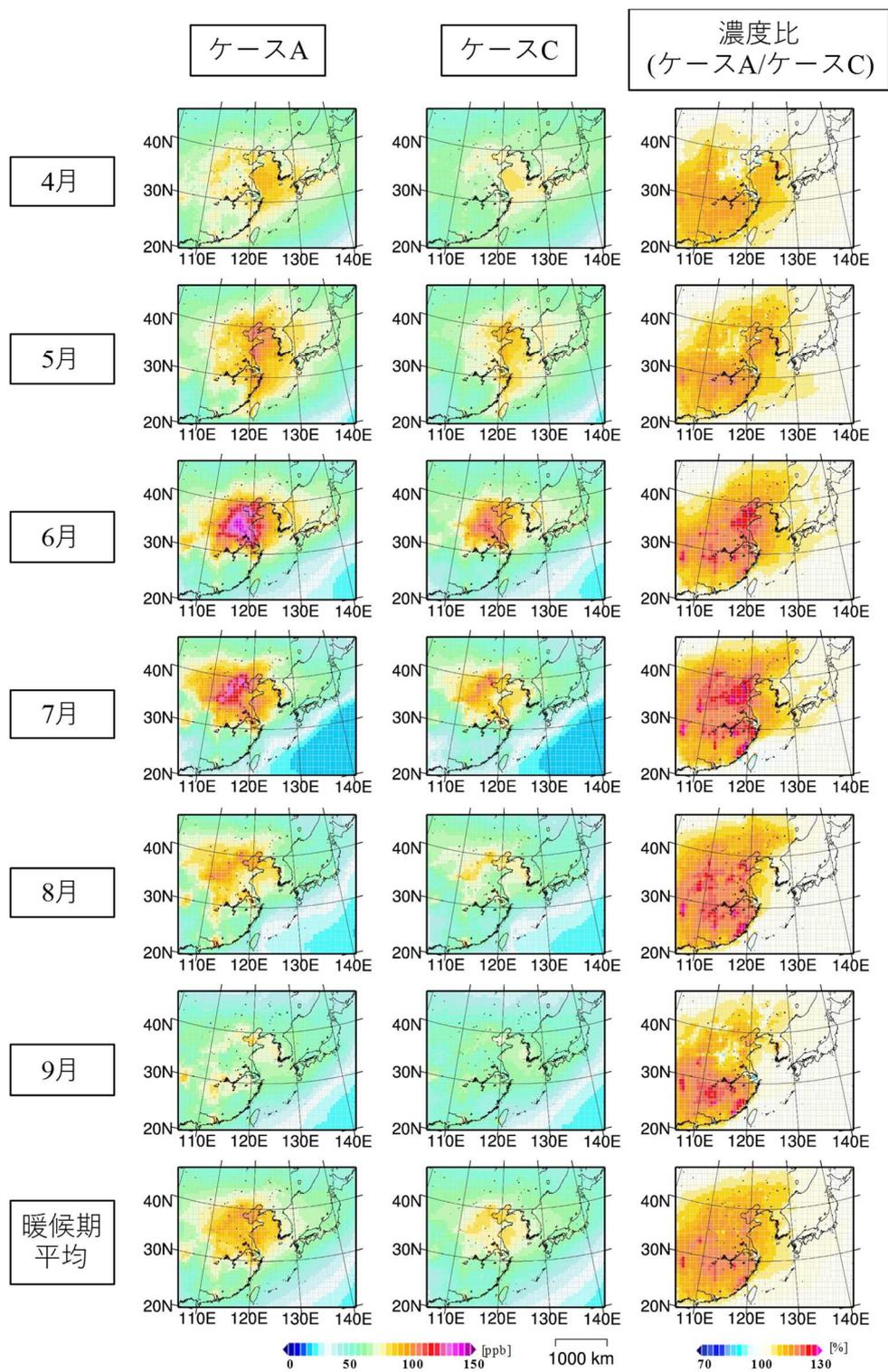
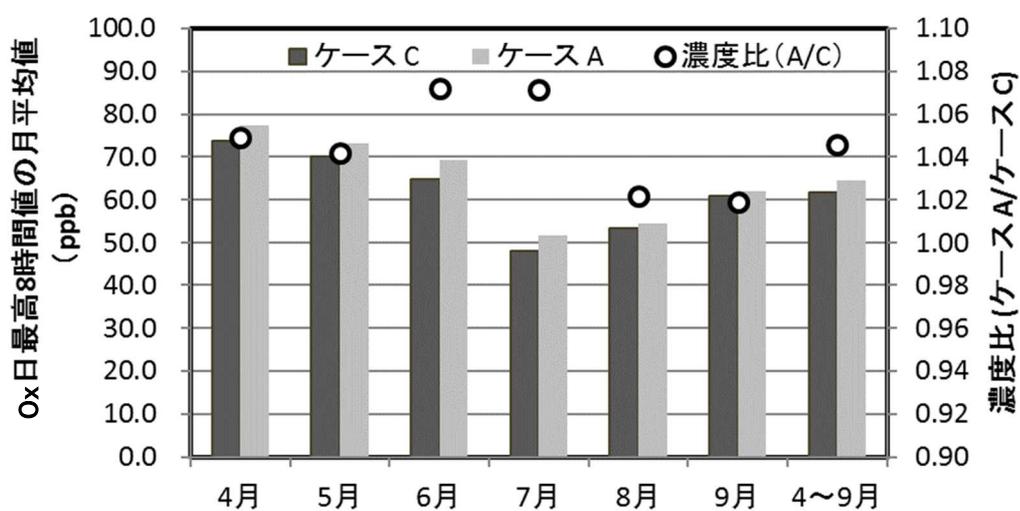


図 3-8 Ox 日最高 8 時間値の月平均値及び濃度比(ケース A / ケース C)の分布

【九州地域】



【関東地域】

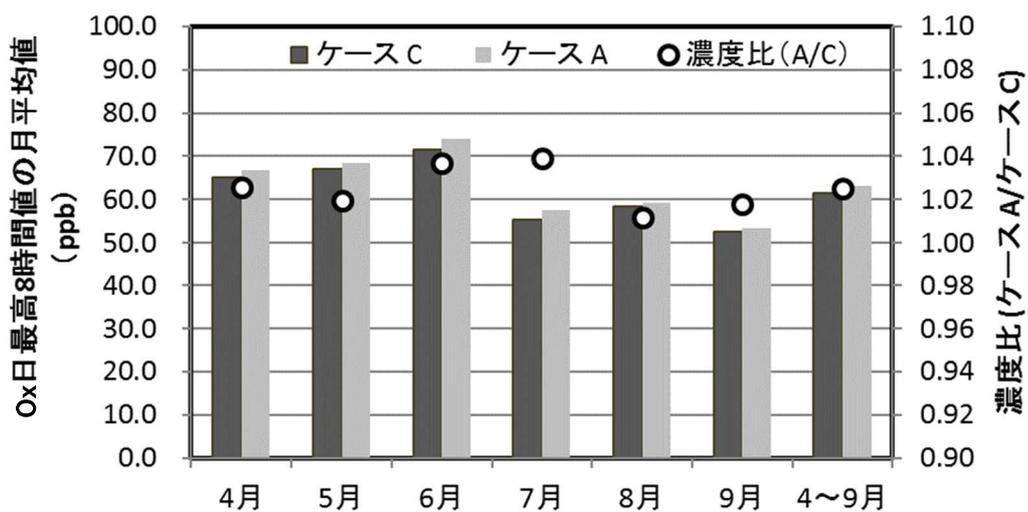


図 3-9 地域別のOx日最高8時間値の月平均値及び濃度比(ケースA/ケースC)

3.1.3 NO タイトレーション効果の低下の影響解析

(1) 解析の目的

NO はオゾン(O₃)と反応しオゾンを減少させるため(NO タイトレーション効果)、オゾン濃度の変動要因について、オゾン濃度のみ注目した場合、オゾン生成そのものによるものか、タイトレーションによるオゾン減少によるのかを判断することが困難である。「平成 25 年度検討会報告書」においても我が国の光化学オキシダント濃度の長期トレンドには、窒素酸化物の排出抑制による局所的な NO 濃度低下によってもたらされた「NO タイトレーション効果の低下」による都市部における光化学オキシダント濃度の増加が示されている。

そこで、本解析ではオゾンとポテンシャルオゾン(PO)の変化量(ΔO_3 及び ΔPO)の差に着目し、「NO タイトレーション効果の低下」による都市部における光化学オキシダント濃度の増加について、シミュレーションモデルでも再現することを確認し、この現象を裏付けることを目的とした。

(2) シミュレーションの設定条件及び評価方法

ア. シミュレーションの設定条件

シミュレーションの気象場、排出量の設定条件を表 3-4 に示した。その他のシミュレーションモデルの基本設定は、「2.4.3 シミュレーションモデルの設定のまとめ」と同様とした。基準ケースは、気象場が異常年でないことが確認されている 2009 年の暖候期とし、東アジア域を対象とした 60 km 格子及び関東領域を対象とした 10 km 格子で実施した計算結果を解析した。基準ケースでは東アジア大陸及び国内の排出量についても 2009 年として設定した(ケース A)。一方、比較ケースは 2001 年の大気汚染状況を再現したケースとした(ケース D)。すなわち、ケース D では、気象場、東アジア大陸及び国内排出量について全て 2001 年に設定した。また、参考ケースとして「3.1.2 越境大気汚染の解析結果」で実施した、気象場及び国内大気汚染物質排出量を 2009 年で固定し、東アジア大陸からの大気汚染物質排出量のみを 2001 年の排出量に差し替えたケース(ケース C)のシミュレーション結果についても、評価を行った。

表 3-4 NO タイトレーション効果低下の影響解析の設定ケース

ケース	大気汚染物質排出量の設定年		気象場の設定年	備考
	東アジア大陸	国内		
A	2009 年	2009 年	2009 年	【基準ケース(2009 年)】
D	2001 年	2001 年	2001 年	【比較ケース(2001 年)】
C	2001 年	2009 年	2009 年	【参考ケース】 東アジア大陸の排出量変化のみを考慮したケース

イ. 評価方法

基準ケースから変更した比較ケースの計算結果(O_3 及び PO)について、基準ケースの計算結果からの変化量(ΔO_3 及び ΔPO)を算出した場合、 ΔO_3 に比べ ΔPO が小さい場合は NO タイトレーションの効果の低下による影響が大きいと考えられる。一方、 ΔO_3 と ΔPO の差が小さい場合、地域内生成または他地域からの移流により実質的に O_3 が増減したと考えられる。

そこで、上記ケース A とケース D のシミュレーション結果から暖候期平均濃度を対象とした(ケース A - ケース D)により、 ΔO_3 及び ΔPO を求め、空間分布を把握するとともに、関東地域を対象として、 ΔO_3 及び ΔPO の領域平均値を比較した。

(3) 解析結果

図 3-10 及び図 3-11 に、60 km 格子の暖候期平均のシミュレーション結果による(ケース A - ケース D)の ΔO_3 、 ΔPO 及び $\Delta O_3 - \Delta PO$ の空間分布を示す。図 3-11 から日本付近では ΔO_3 、 ΔPO はどちらも九州から東シナ海にかけては正の値が分布しているが、関東から近畿・中国地方にかけては、一部の地域で負の値が分布している。 ΔO_3 と ΔPO の差は東京、名古屋、大阪、福岡周辺で大きく(すなわち $\Delta O_3 > \Delta PO$)、これらの地域では NO タイトレーション効果の影響が大きいことが示唆される。また、関東領域 10 km 格子のシミュレーション結果による、 ΔO_3 、 ΔPO 及び $\Delta O_3 - \Delta PO$ の空間分布を図 3-12 に示す。図 3-12 より、関東地域では ΔO_3 、 ΔPO はどちらも北関東で負の値となっている。 ΔO_3 と ΔPO の差は関東南部で大きな正の値となっている。次に関東地域について月平均濃度の ΔO_3 と ΔPO を比較した結果を図 3-13 に示す。図 3-13 より、暖候期を通じて、 $\Delta O_3 - \Delta PO$ は正の値(すなわち $\Delta O_3 > \Delta PO$)となっており、関東地域では NO タイトレーション効果低下の影響があったことが示唆される。また、この傾向は 60 km 格子よりも 10 km 格子の計算結果の方が顕著にみられる。このことは、空間解像度を高くしたことにより、 NO タイトレーション効果がよりなまされずに反映されたものと思われ、都市大気のシミュレーションに 10 km 程度の解像度を用いることの優位性が示されたものと考えられる。また、測定値による解析結果(図 3-14)でも、関東地域の暖候期では PO 濃度はほとんど変化がないにもかかわらず O_3 濃度のみが上昇しており、本調査のシミュレーション結果は観測結果とも整合していることが確認された。

また、基準ケースに対して、東アジア大陸の排出量変化のみを考慮した参考ケースから(ケース A - ケース C)を算出し、同様に関東地域について月平均濃度の ΔO_3 と ΔPO を比較した結果を図 3-15 に示す。図 3-15 より、東アジアの排出量のみが 2001 年から 2009 年にかけて増加することは、 O_3 及び PO 濃度の増大(ΔO_3 及び ΔPO が正の値となる)につながるが、この場合 ΔO_3 と ΔPO は、ほぼ同値であり、 O_3 そのものの移流が O_3 濃度増加に寄与していることが示唆される。

これらの結果から、関東地域については、2009 年は 2001 年と比較して前駆物質(VOC 及び NO_x)の排出削減によって、 PO が暖候期平均では減少したものと考えられるのに対し、 O_3

濃度の変化は小さかったことから、NO_x 排出量の削減により、NO 濃度が減少したことで、NO
タイトレーション効果が低下したことが示唆された。

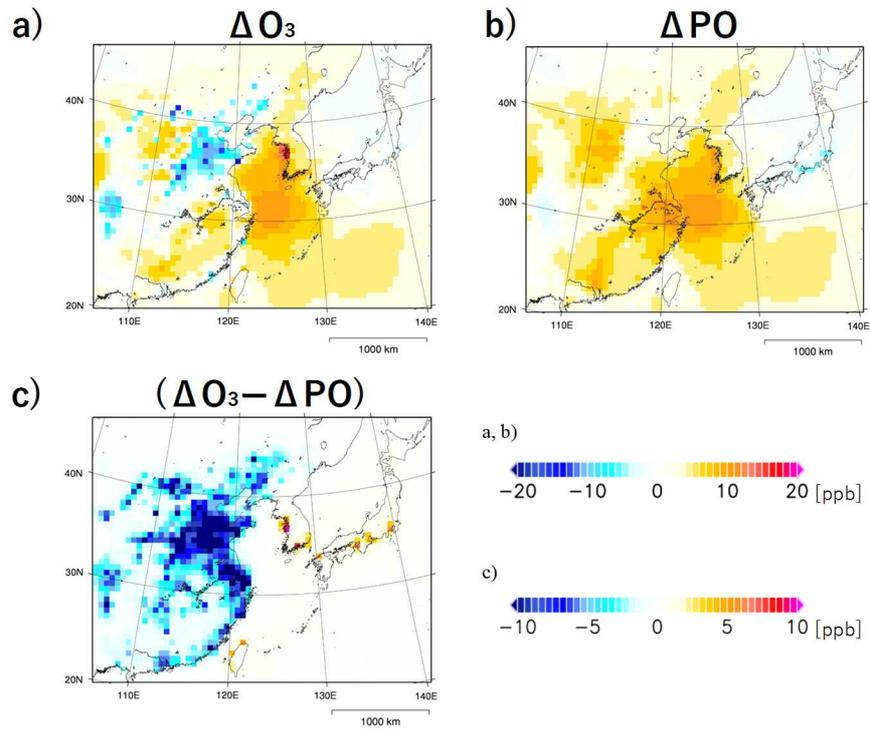


図 3-10 (ケース A - ケース D)の空間分布 (60 km 格子計算値 暖候期平均)

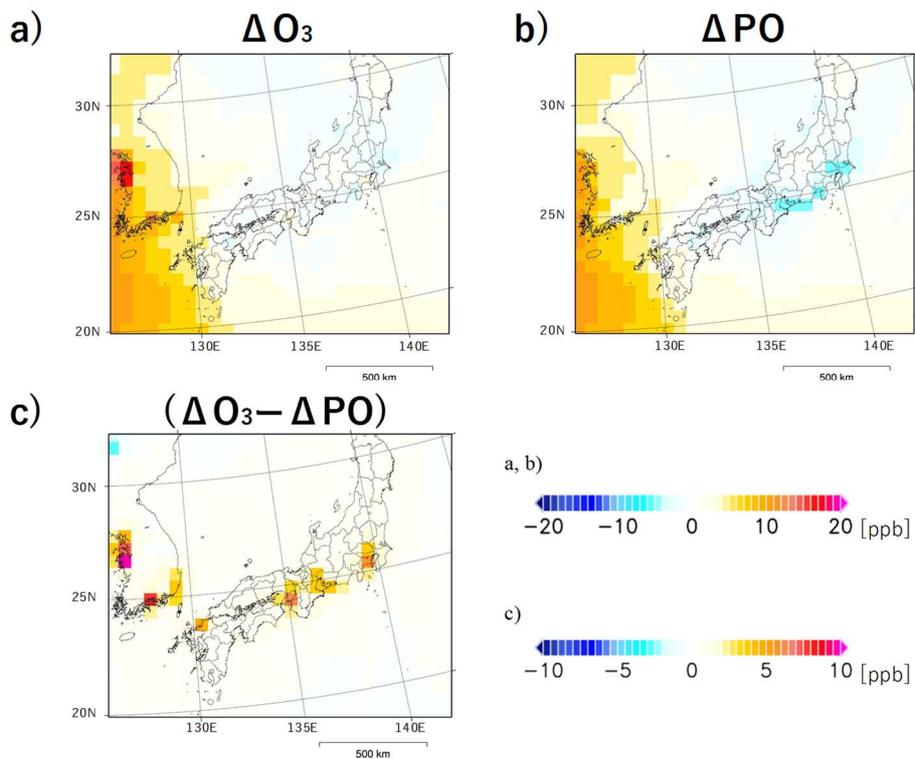


図 3-11 (ケース A - ケース D)の空間分布日本付近 (60 km 格子計算値 暖候期平均)

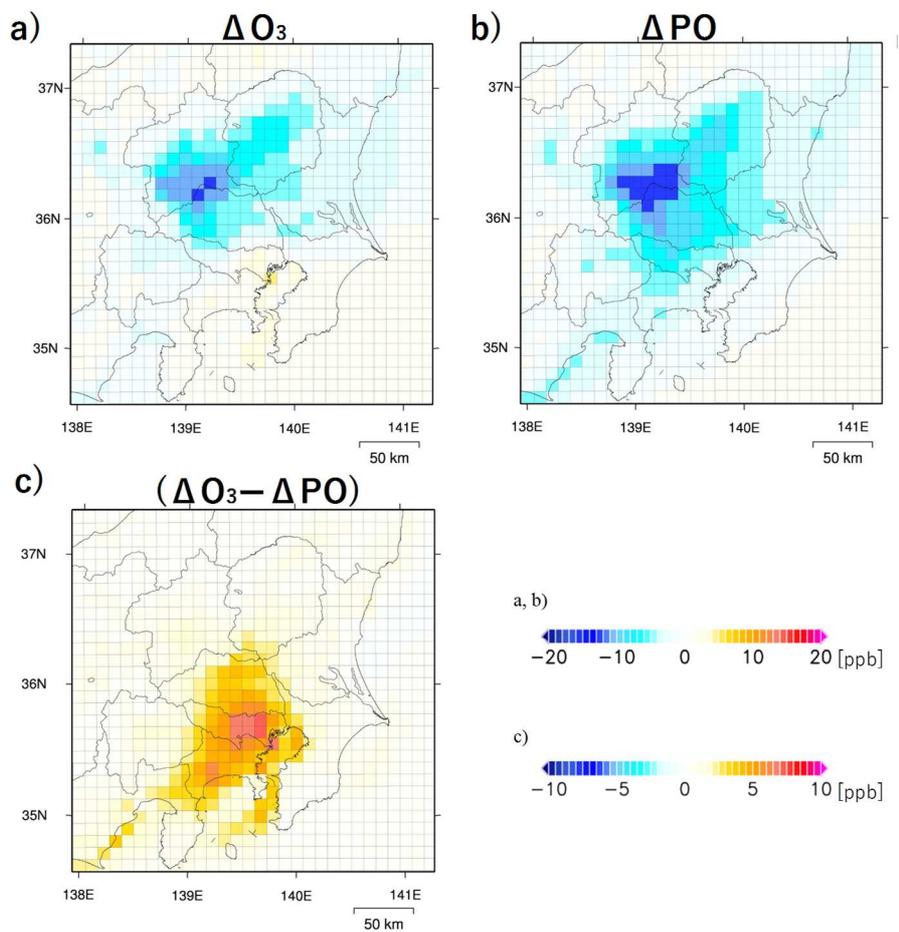


図 3-12 (ケース A - ケース D)の空間分布 (10 km 格子計算値 暖候期平均)

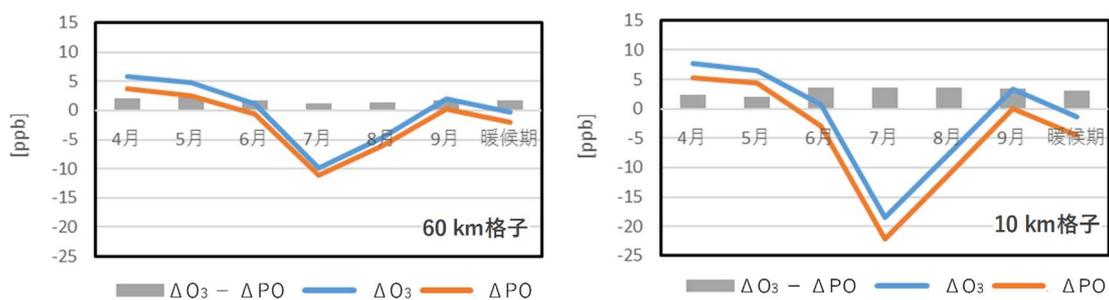


図 3-13 関東地域における月別 ΔO_3 及び ΔPO の比較(ケース A - ケース D)

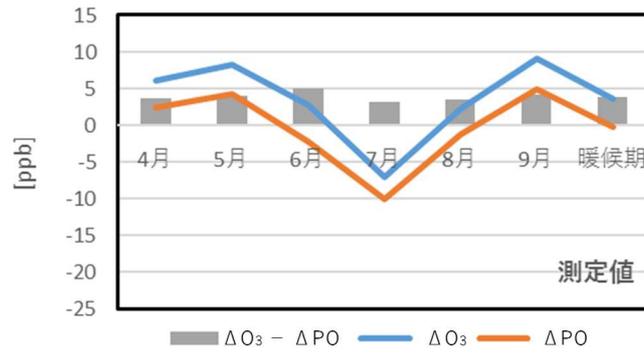


図 3-14 関東地域における月別 ΔO_3 及び ΔPO の比較 (測定値)

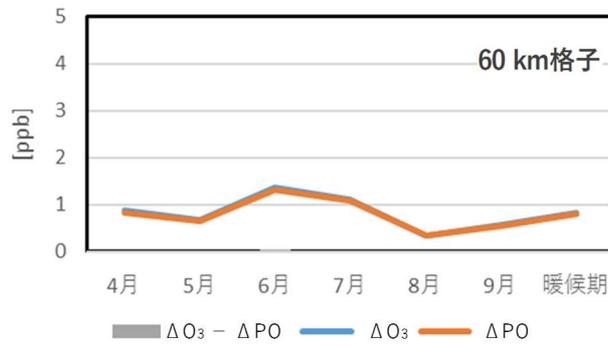


図 3-15 関東地域における月別 ΔO_3 及び ΔPO の比較 (参考ケース: ケース A - ケース C)

【参考: NO タイトレーション効果について】

NO はオゾン(O₃)と反応しオゾンを減少させる。この「NO + O₃ → NO₂ + O₂」の反応によってオゾン濃度が減少する効果を「NO タイトレーション(titration)効果」と呼ぶ。オゾン濃度の変動要因についてオゾン濃度だけに注目した場合、オゾン生成そのものによるものか、タイトレーションによるオゾン減少によるのかを判断することが困難である。

ポテンシャルオゾン(PO)は NO によるタイトレーションでは変化せず、過酸化ラジカルと NO の反応やオゾンの他地域からの移流の影響等があった場合は増加する。このことから、光化学オキシダント濃度の変化量(ΔO_x)と PO 濃度の変化量(ΔPO)より以下のことが推定できる。

- ・ ΔO_x に比べ ΔPO が小 : NO によるタイトレーション効果の影響が大きい
 - ・ ΔO_x と ΔPO の差が小 : 地域内生成または他地域からの移流により実質的に O_x 増加
- 本調査では(1)式により PO 濃度の算出を行っているが、α値は日本で推定されてきた一般的な値である「0.1」を使用している。

$$[PO] = [O_3] + [NO_2] - \alpha \times [NO_x] \cdots \cdots (1)$$

α: 発生源における NO_x 濃度に対する NO₂ 濃度の比率

(光化学オキシダント調査検討会 「光化学オキシダント調査検討会 報告書 -今後の対策を見すえた調査研究のあり方について-」平成 24 年 3 月 より抜粋)

3.1.4 まとめ

(1) 前駆物質排出量変化(固定蒸発発生源の VOC 排出量削減)の影響

これまでの光化学オキシダント対策のうち、2006 年度(平成 18 年度)より実施された「揮発性有機化合物(VOC)の排出抑制制度」について、光化学オキシダント濃度にどのような影響があったかを把握することを目的として、シミュレーションによる解析を実施した。関東地域を対象とした 10 km 格子のシミュレーションモデルにより、2009 年を基準として「揮発性有機化合物(VOC)の排出抑制制度」が実施されなかった場合を想定した Ox 濃度を、基準ケースと比較することによって評価を行った。

シミュレーションの結果から、固定蒸発 VOC 排出量の削減対策によって、関東地域では Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98% 値が低下し、特に東京都東部から埼玉県東部における地域で削減効果が大きいことが示唆された。これらの結果は、2013 年度(平成 25 年度)までに実施した測定濃度の解析結果とも整合し、固定蒸発 VOC 排出量の削減による Ox 低減効果が確認されたものと考えられる。

(2) 越境大気汚染増加の影響

国内の光化学オキシダント濃度に対する、越境大気汚染の増加の影響の程度を把握することを目的としてシミュレーションによる解析を実施した。東アジア域を対象とした 60 km 格子のシミュレーションモデルにより、2009 年を基準として、仮に東アジア大陸での大気汚染物質排出量が 2001 年のままであった場合の状況を再現した。この結果を基準ケースの Ox 濃度と比較することによって評価を行った。

シミュレーションの結果から、東アジア大陸における Ox 前駆物質(VOC 及び NOx) 排出量の増大によって、日本国内の広い範囲で Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98% 値の増加に寄与していることが示唆された。また、この増加割合は関東地域よりも九州地域の方が大きいことが確認された。

(3) NO タイトレーションの影響

関東地域における 2001 年と 2009 年のシミュレーション結果から、オゾン(O₃)とポテンシャルオゾン(PO)の変化量(ΔO_3 及び ΔPO)の差に着目し、「NO によるタイトレーション効果の低下」による都市部における光化学オキシダント濃度の増加の影響を評価した。

シミュレーションの結果から、O₃と PO の暖候期平均濃度を 2001 年と 2009 年について比較すると、 $\Delta O_3 - \Delta PO$ は正の値(すなわち $\Delta O_3 > \Delta PO$)となっており、関東地域では NOx 排出削減に伴い、NO 濃度が減少したことにより NO タイトレーション効果が低下し、 ΔO_3 濃度の減少が抑制されたことが示唆された。また、この結果は測定データの解析結果とも整合していることが確認された。

3.2 前駆物質 (VOC、NO_x) 排出量削減の感度解析結果

3.2.1 解析の目的

O_x 前駆物質である VOC や NO_x 排出量を削減した場合に、O_x 濃度がどの程度変化するか (感度) を把握することは、今後の光化学オキシダント対策の検討において重要である。そこで本調査では、気象場について異常年でないことが確認されている 2009 年の前後の年を含め、2008～2010 年の関東地域を対象として、関東地域内の前駆物質排出量を段階的に削減したシミュレーションを実施し、前駆物質排出量削減が O_x 濃度に及ぼす影響を解析した。

3.2.2 シミュレーションの設定条件及び評価方法

(1) シミュレーションの設定条件

シミュレーションモデルの基本設定は、「2.4.3 シミュレーションモデルの設定のまとめ」と同様とし、本調査では 2008～2010 年の関東地域を解析対象として、10 km 格子でのシミュレーションを実施した。O_x 前駆物質排出量については関東領域内の人為起源 VOC または人為起源 NO_x を、図 3-16 に示すように 16 ケース (○で示した排出量比率) で設定した。排出量比率は、基準年における人為起源 VOC 及び人為起源 NO_x 排出量を 100 とした。

なお、親領域である東アジア領域の計算では排出量は変化させない (関東領域の境界値は変化しない) こととしたが、VOC、NO_x 排出量比をそれぞれ 50% にした条件のみ、親領域である東アジア領域の計算においても国内排出量を変化させた条件で計算を行い、両者の比較を行った。

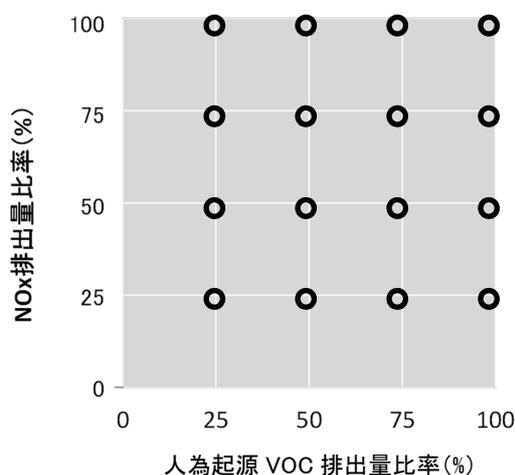


図 3-16 前駆物質排出削減感度解析における VOC 及び NO_x 排出量の設定

(2) 評価方法

ア. 新指標相当値による評価

図 3-16 に示した 16 ケースでシミュレーションを実施し、VOC 及び NO_x の排出量比率を変えた場合の、関東地域におけるオキシダント新指標相当値を算出した。

「2.5 シミュレーションモデルの再現性の確認」で整理したとおり、本調査で用いたシミュレーションモデルは、基準ケースにおいてOx濃度を過大評価する傾向が確認されている。このため、本調査では米国EPAのガイドライン(U.S.EPA, 2007)でも採用されている手法に準じ、基準ケースと感度分析ケースの計算結果の比(レスポンスファクター:RF)を測定値に乗じることで感度解析ケースにおける新指標相当値の評価を行った。

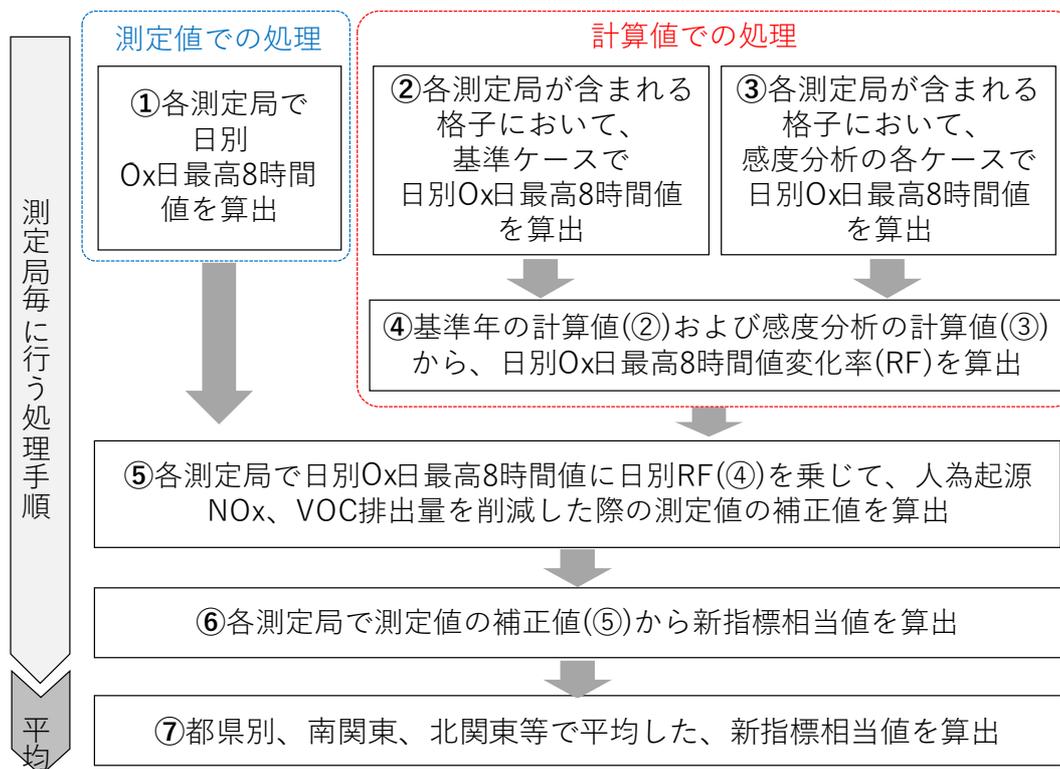


図 3-17 新指標相当値算出フロー

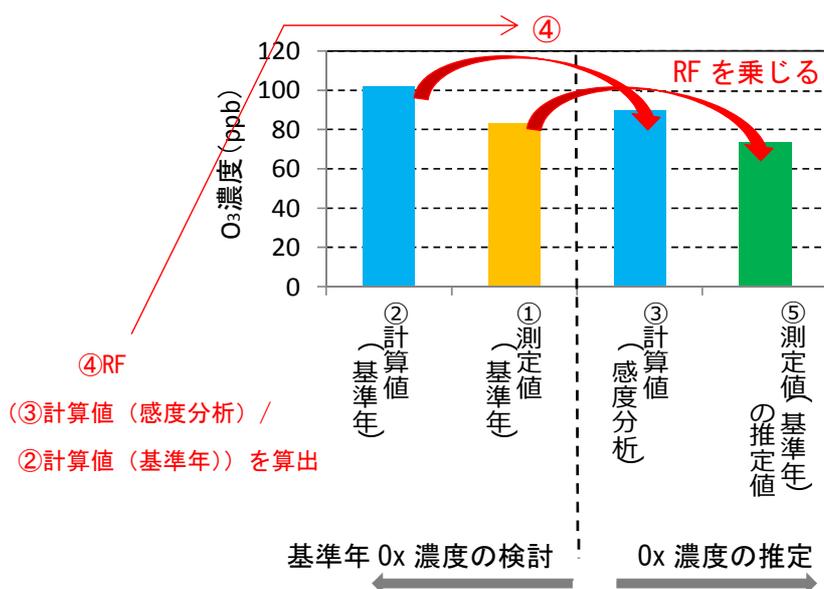


図 3-18 RFを用いた計算値の補正方法イメージ

イ. 高濃度日発生日数による評価

前駆物質削減による Ox 濃度の評価指標として、Ox 日最高 8 時値による高濃度日発生日数についても解析を行った。

高濃度日の閾値としては、「平成 25 年度検討会報告書」より昼間の Ox 1 時間最高値と日最高 8 時間値の関係についての解析結果(図 3-19 及び 表 3-5)を参考に、昼間の Ox 1 時間最高値 60、80、120 ppb に概ね相当する日最高 8 時間値として 50、70、100 ppb の 3 つを設定し、この値以上となった日数を算出した。

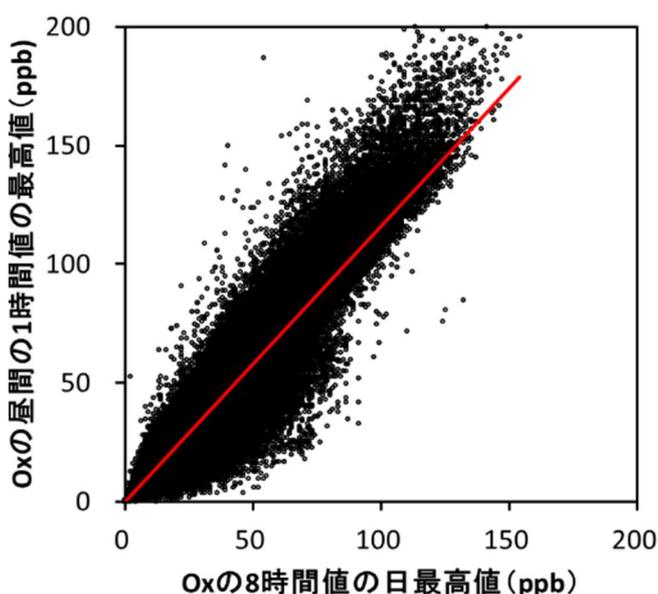


図 3-19 昼間の 1 時間最高値と日最高 8 時間値の関係(関東地域全体)

(光化学オキシダント調査検討会「光化学オキシダント調査検討会 報告書 -光化学オキシダントの解析と対策に向けた指標の提言-」平成 26 年 3 月 より抜粋)

表 3-5 昼間の 1 時間最高値と日最高 8 時間値の関係(都県別)

	都府県	一次回帰式 Y = 1 時間値 X = 8 時間値	1 時間値 = 60 ppb	1 時間値 = 80 ppb	1 時間値 = 120 ppb
8 時間値 (ppb)	千葉県	$Y = 1.13 X - 0.02$	53.0	70.7	106.0
	神奈川県	$Y = 1.12 X + 0.91$	52.5	70.3	105.9
	東京都	$Y = 1.19 X - 1.09$	51.2	68.0	101.5
	埼玉県	$Y = 1.20 X - 1.04$	50.9	67.6	100.9
	栃木県	$Y = 1.15 X + 0.21$	51.9	69.3	104.0
	群馬県	$Y = 1.16 X + 0.78$	50.9	68.0	102.4

(光化学オキシダント調査検討会「光化学オキシダント調査検討会 報告書 -光化学オキシダントの解析と対策に向けた指標の提言-」平成 26 年 3 月 より抜粋)

3.2.3 排出量削減効果の概要

図 3-21 に本調査で対象とした 2008～2010 年の O_x 日最高 8 時間値の月平均値及び暖候期平均の計算結果(3 年平均)を示す。図 3-21 より関東地域の O_x 日最高 8 時間値の月平均値は、全般的に春季(4～6 月)に高くなる傾向が示された。一方で 7 月及び 8 月については、月平均濃度としては、相対的に低く、特に沿岸部付近では顕著であった。これらの傾向は図 3-22 に示したとおり、測定値の分布とも概ね一致することが確認できた。

また、2008～2010 年の O_x 日最高 8 時間値の月平均値について、基準ケースと排出量削減ケース⁶の濃度比を 5 月(春季)、8 月(夏季)について整理した結果(3 年平均)を図 3-23 及び図 3-24 に示す。この結果より、排出量削減ケースにおける O_x 日最高 8 時間値の月平均値の変化量は、5 月(春季)の方が小さく、8 月(夏季)が大きいことが示された。

さらに、2008～2010 年を対象とした V50-N50 の排出量削減ケースについて、関東領域内の排出量のみを変化させた場合(境界濃度は変わらない)と、親領域である東アジア域の日本国内排出量から変化させた場合(境界濃度も変化する)の O_x 日最高 8 時間値の月別平均値を比較した結果(3 年平均)を図 3-25 に示す。図 3-25 の結果より、関東地域の内陸部は境界濃度の影響は小さい一方で、沿岸部や千葉県では相対的に境界濃度の影響が大きいことが示唆された。

同様に O_x 日最高 8 時間値の暖候期 98% 値についても境界濃度の変化の影響を比較した(図 3-26～図 3-27)。この結果からも、関東地域内陸部では境界濃度の変化の影響は小さいが、太平洋沿岸部や千葉県では、比較的影響が大きいことが示された。

これらの結果は、夏季には関東地域内で排出された前駆物質によって生成される O_x の影響が大きいのに対して、春季には越境汚染を含む関東地域外からの流入影響が大きく、域内の生成が少ないために、域内で排出された前駆物質の影響が小さくなるものと解釈される。

これらのことから、シミュレーションモデルによる前駆物質排出量削減の感度解析結果を O_x 対策検討に活用する際には次の点に留意する必要がある。

- ・本調査の解析結果は、厳密には関東領域内のみの排出量を削減した場合の感度を評価したものである。そのため、境界濃度の寄与が相対的に大きくなる春季に高濃度が出現する年については、日本国内全体での排出量削減時と比較して感度が過小評価されている可能性がある。
- ・本調査では人為起源排出量のみを削減対象とした感度解析としている。このため、VOC に関しては植物起源 VOC の寄与があるため、人為起源 VOC 排出量比と VOC 全体の排出量比は異なる点に留意する必要がある。各感度解析ケースにおける、 NO_x 濃度及び NMHC 濃度の変化は参考資料 図 20～図 21 に示した。

⁶ 排出量削減ケースは次のように表記した。

Vxx-Myy xx:VOC 排出量比 yy: NO_x 排出量比 (例 V50-N50: VOC、 NO_x の排出量比をともに 50%としたケース)

- 本調査では、基準ケースと感度分析ケースの計算結果の比(レスポンスファクター:RF)を測定値に乗じることで感度解析ケースにおける新指標相当値の評価を行ったが、本手法を用いた V0-N0 等、基準ケースとは排出量が大きく異なる場合の推定結果については、妥当性等について今後検討の余地がある。
- 感度解析結果の見方を図 3-20 に示したが、シミュレーションモデルの結果には不確実性が伴うため、個別ケースの濃度そのものではなく、他の感度解析ケースや他地域の同一条件での数値の大小関係(濃度差や濃度比等)に着目して解釈する必要がある。

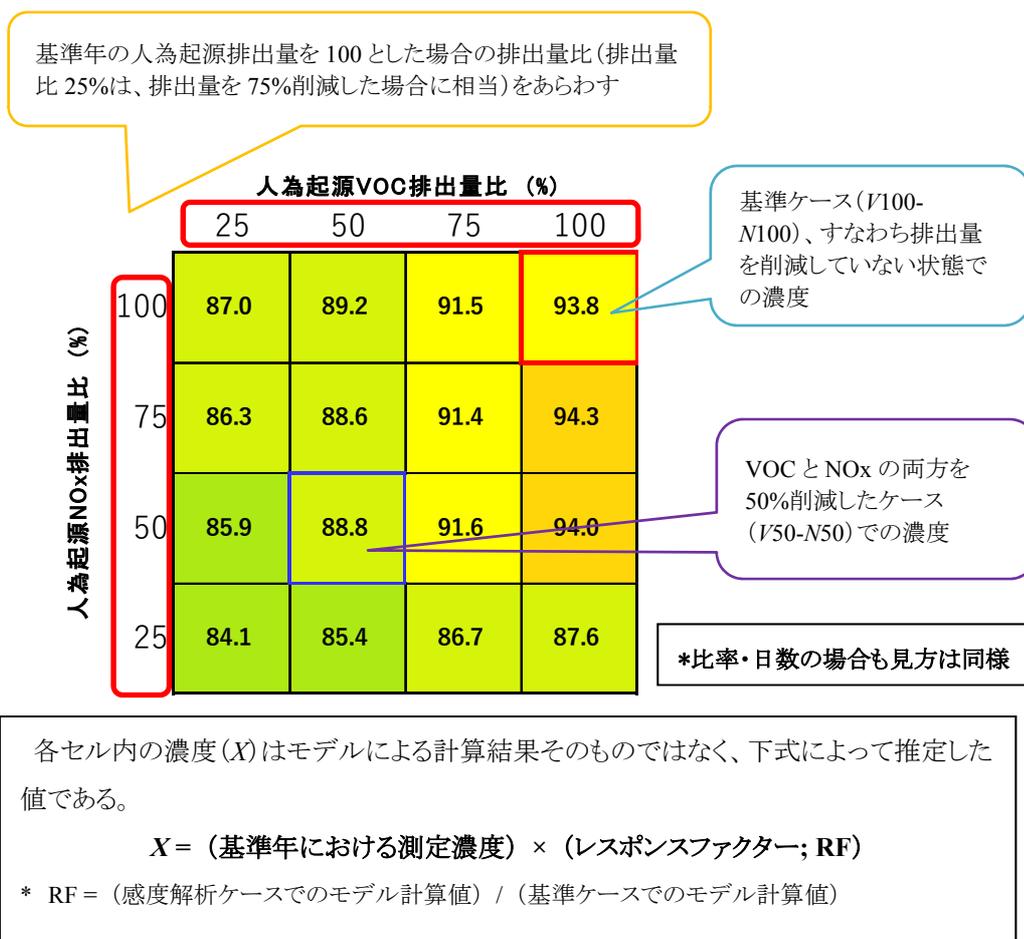


図 3-20 感度解析結果(濃度)の見方

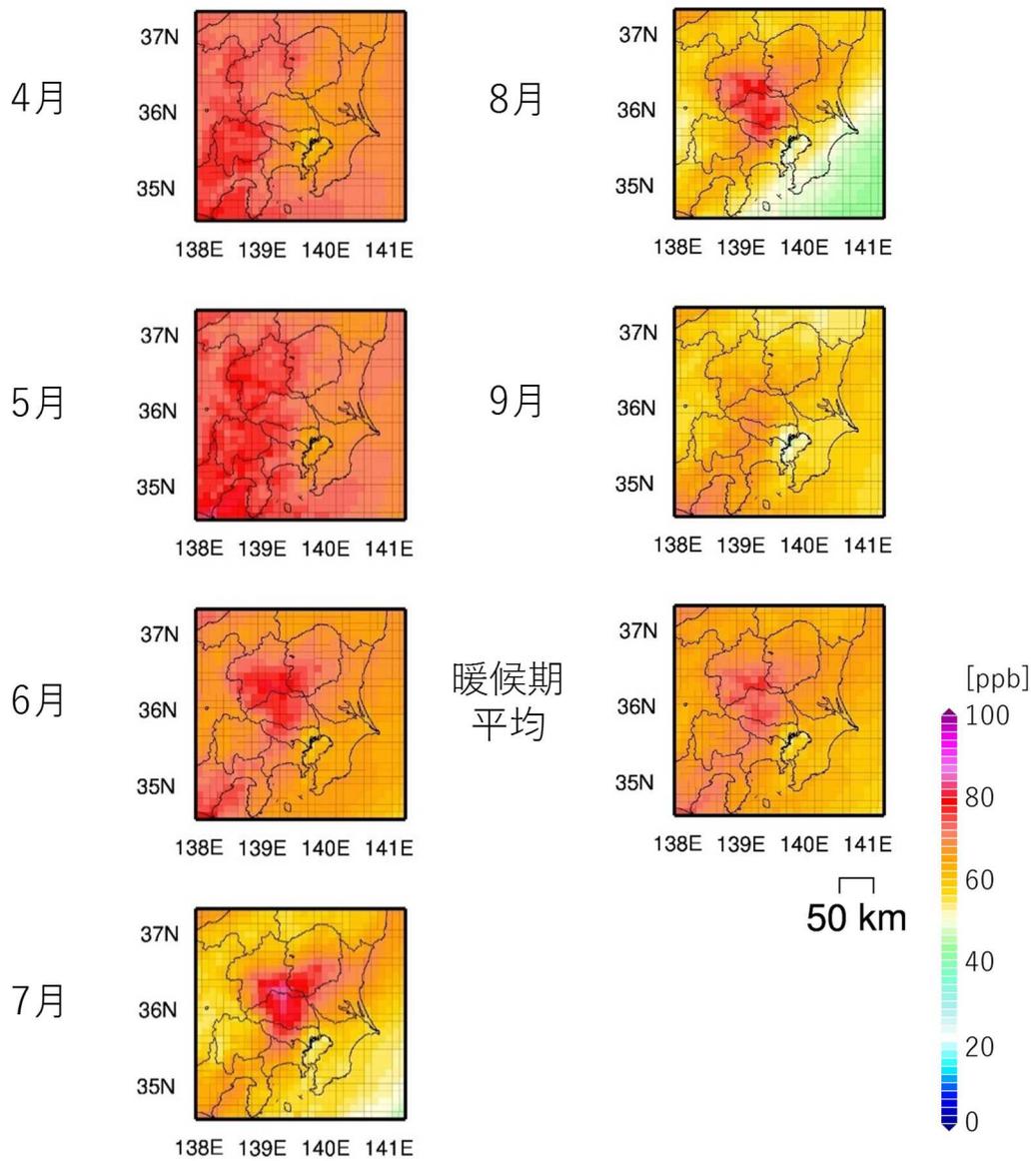


図 3-21 Ox 日最高 8 時間値の月平均値の空間分布 3 年平均値(2008 ~ 2010 年)
(基準ケースの計算値)

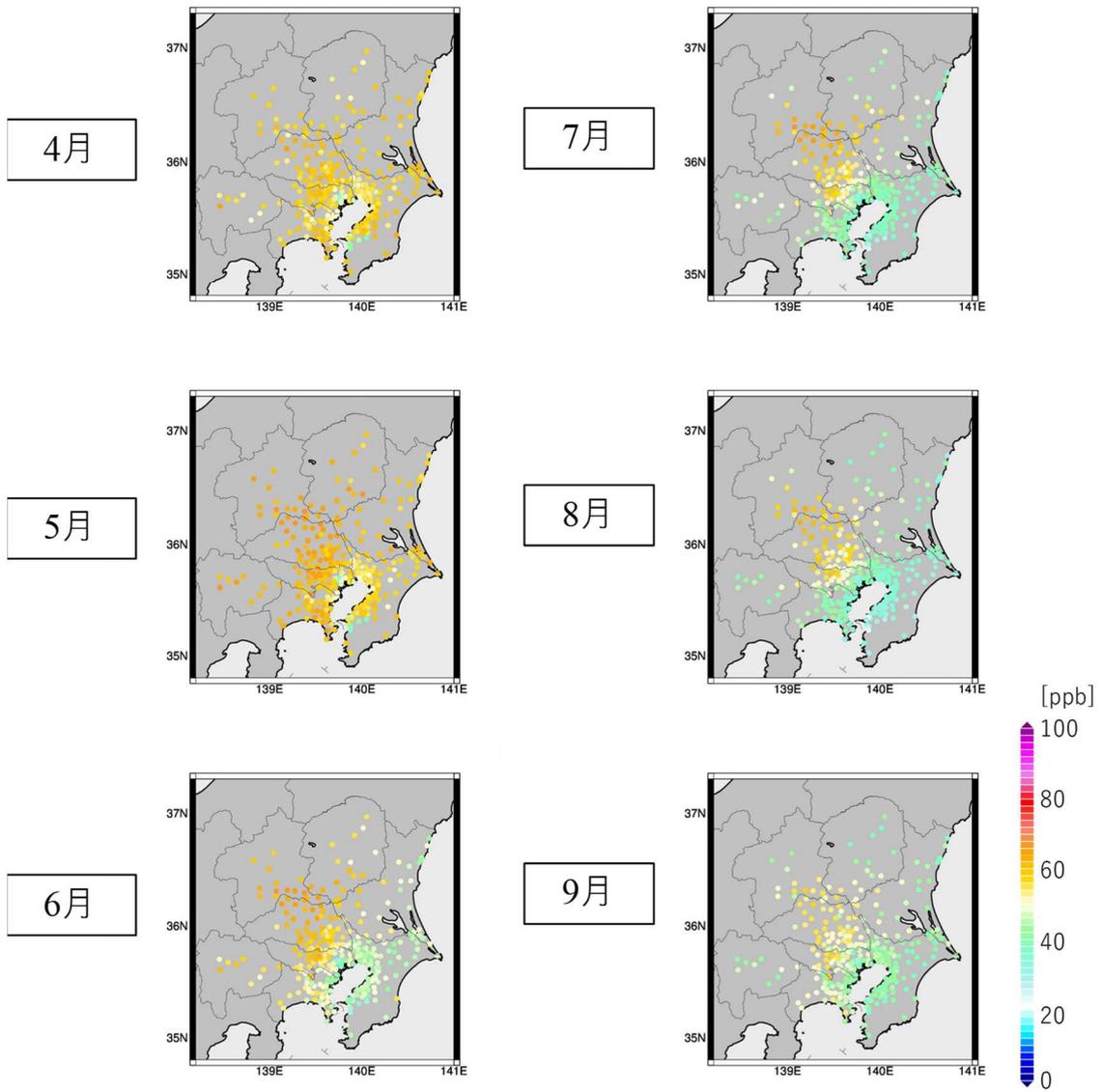
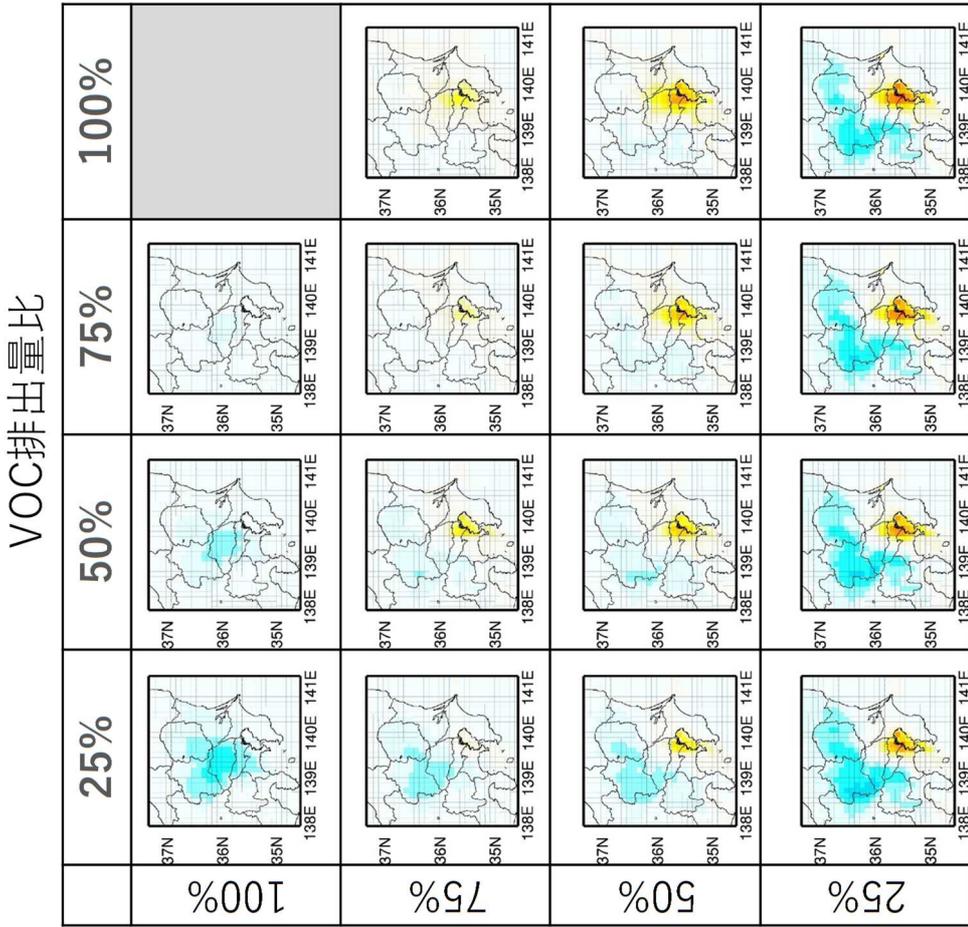


図 3-22 Ox 日最高 8 時間値の月平均値の空間分布 3 年平均値(2008 ~ 2010 年)
(測定値)



50 km

Ox日最高8時間値
月別平均値濃度比
(5月)

NOx排出量比



図 3-23 前駆物質排出量削減ケースにおけるOx日最高8時間値の月平均値の濃度比3年平均値(2008~2010年)(基準ケースとの比5月)

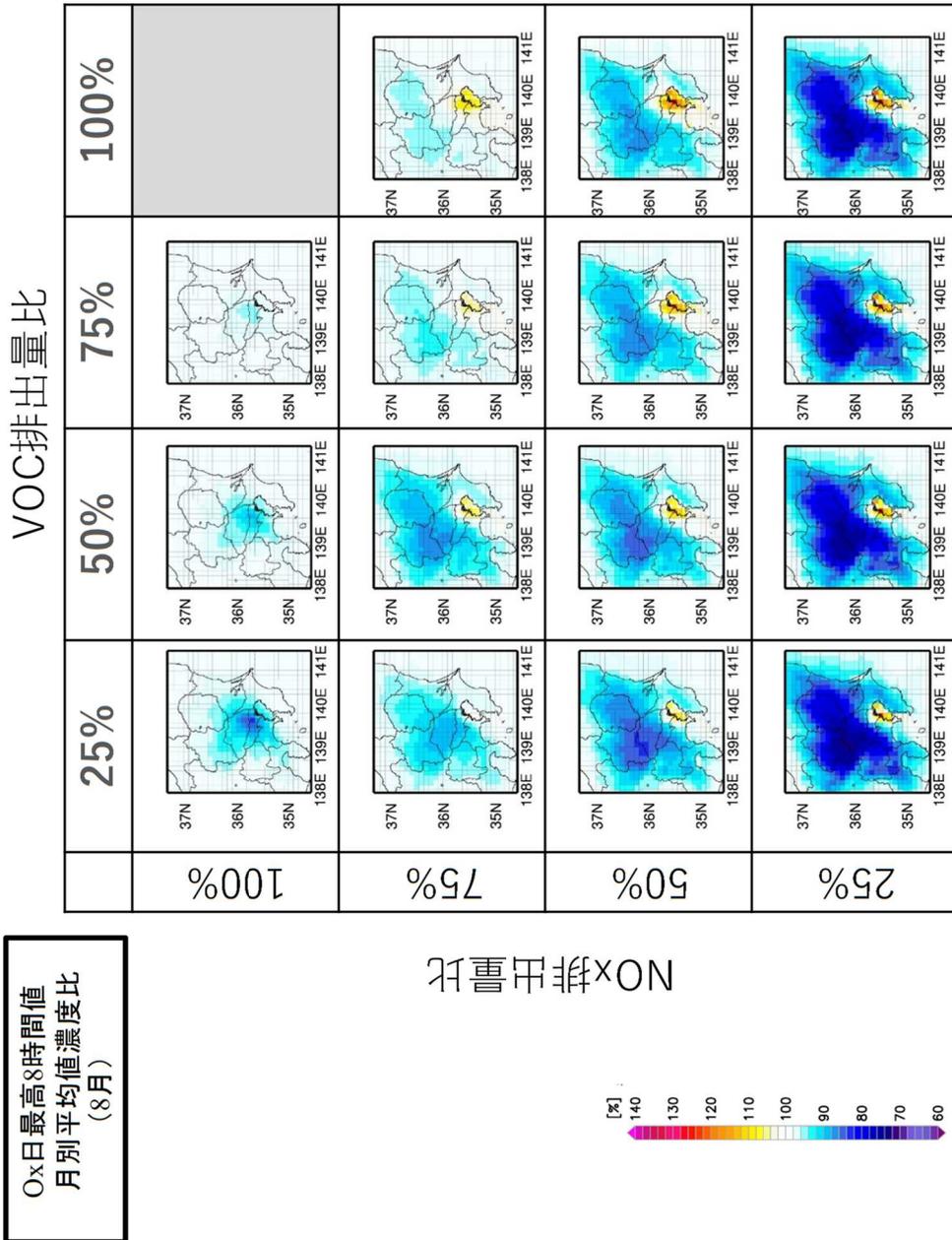


図 3-24 前駆物質排出量削減ケースにおけるOx日最高8時間値の月平均値の濃度比3年平均値(2008~2010年)(基準ケースとの比 8月)

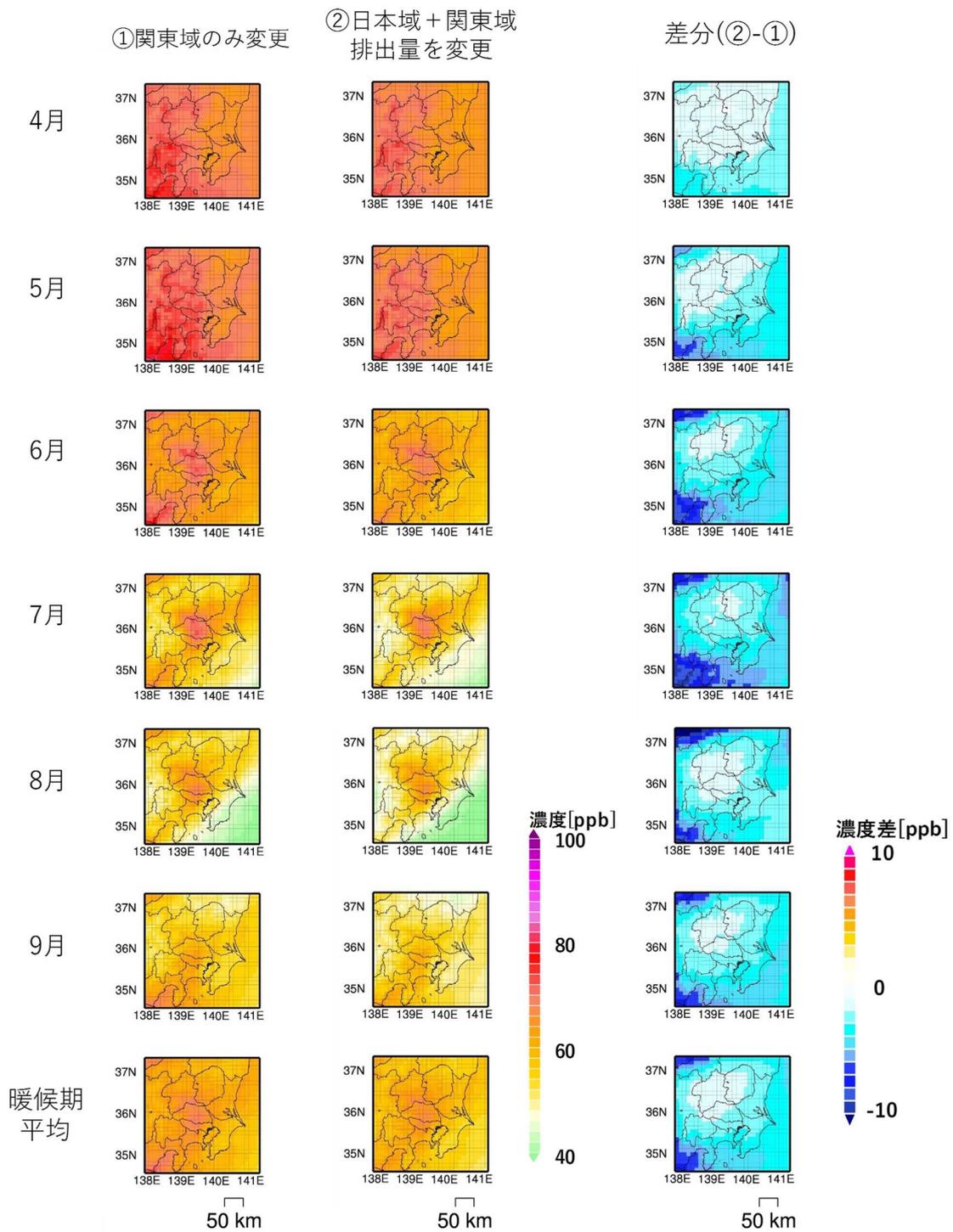


図 3-25 親領域の国内排出量を変更した場合の Ox 日最高 8 時間値の月平均値の比較
3 年平均値(2008 ~ 2010 年) (V50-N50 ケース)

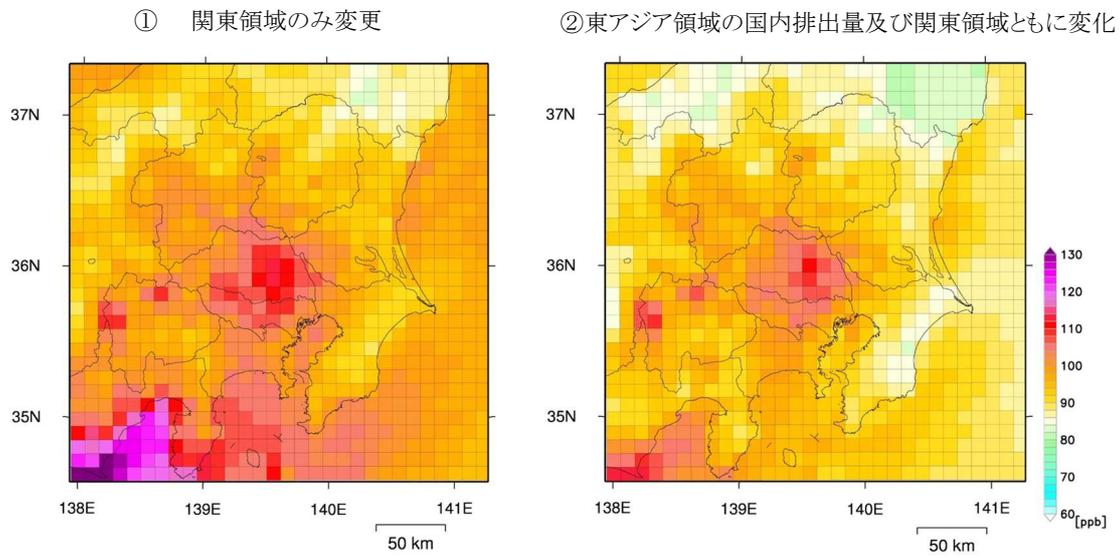


図 3-26 Ox 新指標相当値の分布 (2008～2010 年)

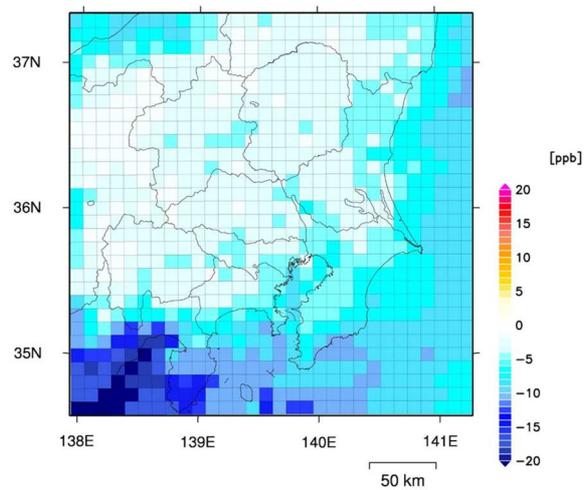


図 3-27 Ox 新指標相当値の差の分布 (②-①)
(2008～2010 年)

3.2.4 Ox 新指標相当値及び高濃度日発生日数による評価

(1) 新指標相当値による評価

前駆物質排出量削減時の Ox 新指標相当値 (Ox の日最高 8 時間値の暖候期 98% 値の 3 年平均値) を算出し、都県別に整理した結果を図 3-28 に示す。

図 3-28 より新指標相当値は、VOC 排出量を削減した場合は全都県で減少する傾向が見られた。また、NOx 排出量に変化しない場合は、どのケースにおいても VOC 排出量削減により、Ox 新指標相当値が減少する傾向が見られた。VOC 排出量のみ削減効果として V50-N100 の削減ケースに着目した場合、埼玉県で最大 9.0 ppb 低下する結果となった。

NOx 排出量を削減した場合は、Ox 新指標相当値が増大する傾向が多く都県で見られ、特に埼玉県、東京都、神奈川県で顕著であった。この傾向は NOx 排出量のみ削減したケースで顕著であり、NOx 排出量のみ削減効果として V100-N50 の削減ケースに着目した場合、埼玉県、東京都及び神奈川県ではそれぞれ 10.8 ppb、13.0 ppb、9.6 ppb 増加する結果となった。

また、VOC と NOx 排出量を同時に削減したケース (例: V50-N50) では、概ね VOC 排出量のみ削減ケース (V50-N100) と NOx 排出量のみ削減ケース (V100-N50) の中間的な効果を示した。ただし、群馬県や山梨県においては、両ケースよりも削減効果が大きい結果が示された。

これらの結果は、既存の観測データ解析やモデル解析に基づく調査結果 (井上ら, 2010; 神成, 2006; Kiriya et al., 2010) とも整合しており、東京湾周辺の都市域 (発生源地域) では VOC 律速であるが、発生源から離れるにしたがってレジームシフトを起こし、内陸地域 (風下地域) では NOx 律速になるという O₃ 生成・消滅機構によって理論的に説明できる (参考資料 図 16)。

前駆物質排出量削減時の新指標値の変化傾向は、都県によって異なるものの、茨城県、栃木県、群馬県で比較的類似性が高く、同様に埼玉県、東京都、千葉県、神奈川県で類似性が見られた。前者を北関東、後者を南関東と定義して、各地域に属する都県の平均値を整理した結果を図 3-29 に示す。

地域別の特長として、北関東では VOC 排出量の削減が Ox 新指標相当値の低減に大きく寄与するが、NOx 排出量のみ削減ではほとんど変化がないことが示唆された。また、VOC と NOx 排出量を同時に削減すると、VOC のみ削減時より、Ox 低減効果がやや大きくなることが示唆された。一方で、南関東では北関東と同様に、VOC 排出量の削減は Ox 新指標相当値の低減に大きく寄与するが、NOx 排出量は 25% 程度までの削減では新指標値の増大に寄与する可能性が示唆された。また、VOC と NOx の同時削減ケースでは、それぞれ単独の排出量削減ケースの中間的な効果を示した。

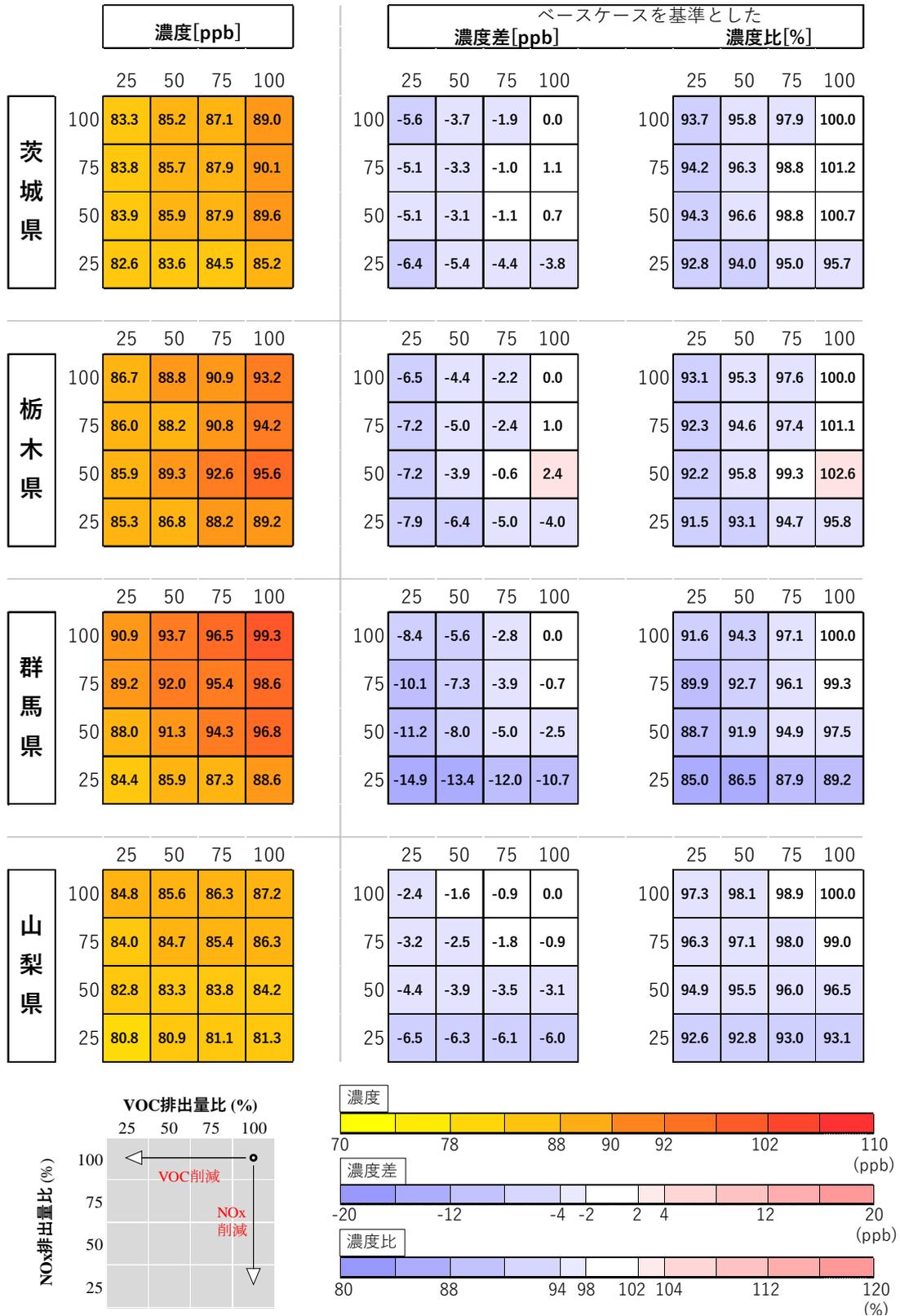


図 3-28(1) Ox 前駆物質削減効果

(都県別 Ox 新指標相当値: 茨城県、栃木県、群馬県、山梨県)

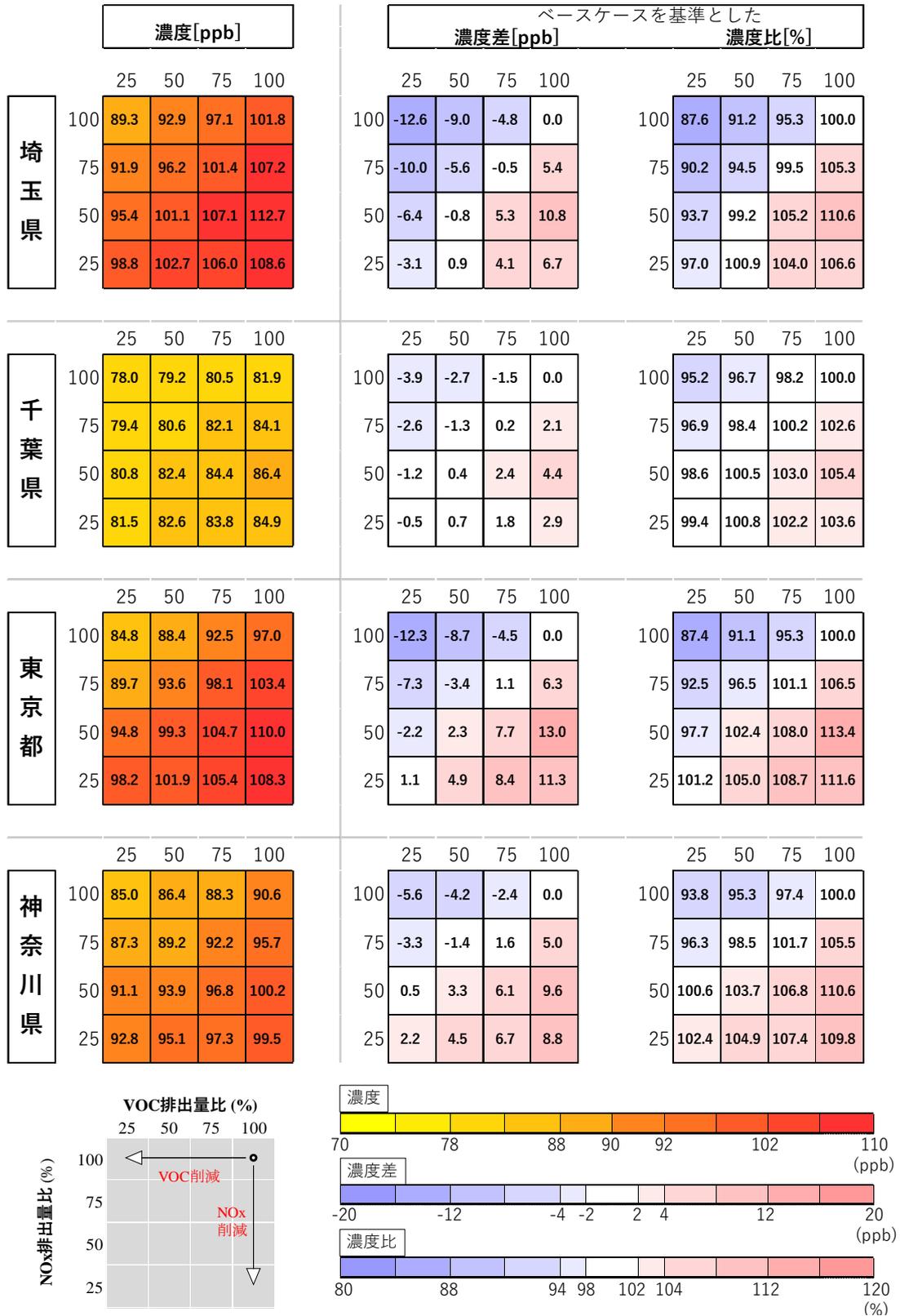


図 3-28(2) Ox 前駆物質削減効果

(都県別 Ox 新指標相当値: 埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県)

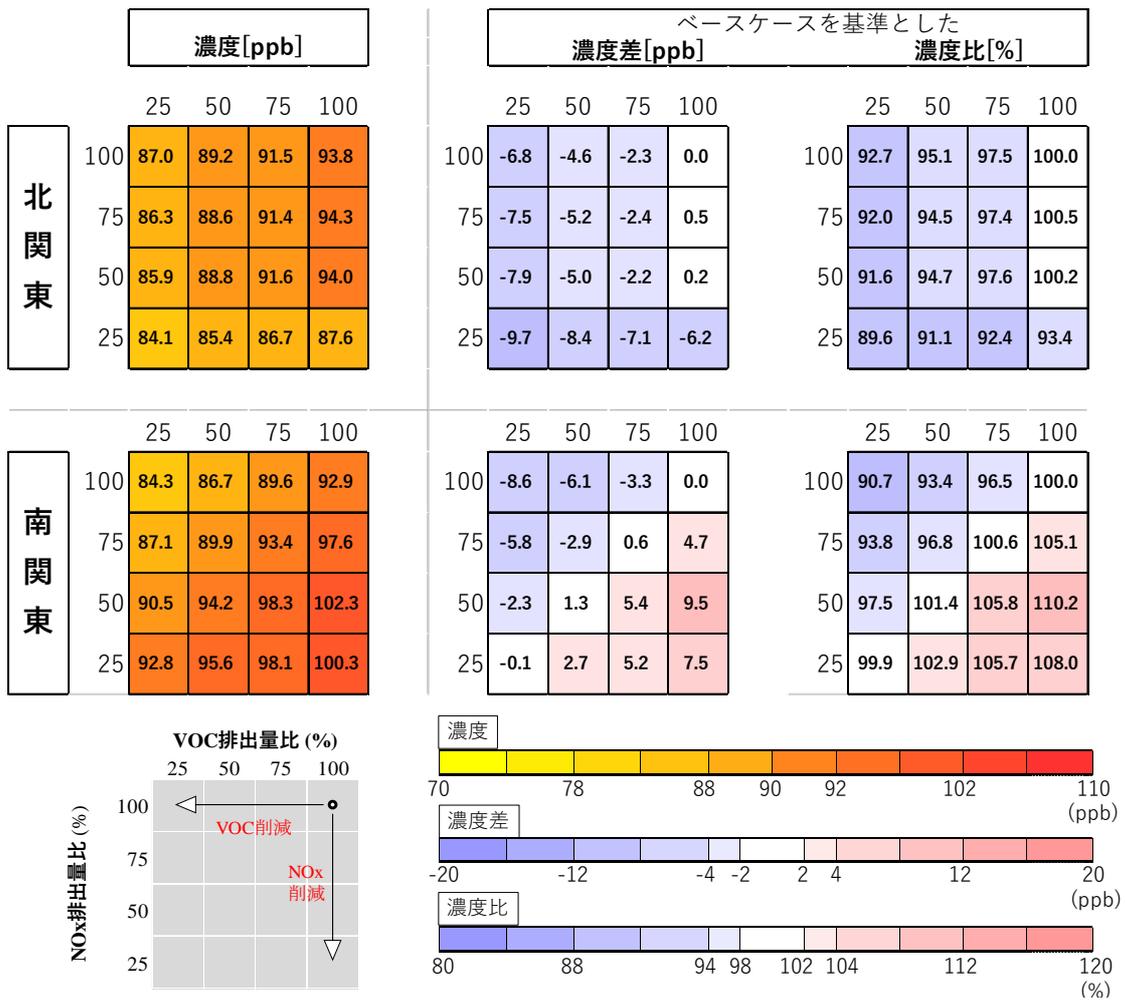


図 3-29 Ox 前駆物質削減効果(地域別 Ox 新指標相当値)

(2) 高濃度発生日数による評価

前駆物質排出量削減時に O_x 日最高 8 時間値が 50 ppb、70 ppb、100 ppb を越えた日数について、都県別に整理した結果を図 3-30 に、基準ケースにおける発生日数からの変化率を整理した結果を図 3-31 に示す。

図 3-30 及び図 3-31 より、 O_x 日最高 8 時間値が 50 ppb の発生日数は排出量削減による変化が少なく、100 ppb 以上の発生日数は変化が大きい結果となった。70 ppb 以上の発生日数は 50 ppb と 100 ppb の中間的な変化量となる都県が多く見られた。例として VOC 排出量を 50%削減したケース(V50-N100)では、 O_x 日最高 8 時間値が 50 ppb 以上の日数は 5 ~ 10%しか減少しないが、100 ppb 以上の日数は 38 ~ 58%減少する。このことから、高濃度事例において前駆物質排出量削減の感度が大きくなることが示唆された。

O_x 日最高 8 時間値が 100 ppb 以上の発生日数に着目した場合、VOC 排出量のみを 50%に削減したケース(V50-N100)では、各都県とも出現日数が基準ケースの 50%程度まで減ることが予想される一方で、 NO_x 排出量のみを 50%に削減したケース(V100-N50)では群馬県、山梨県を除いて、基準ケースよりも発生日数が増加する結果となった。また、VOC と NO_x 排出量の同時削減ケース(V50-N50)では、 O_x 新指標相当値での評価と同様に、概ね VOC 排出量のみ削減ケース(V50-N100)と NO_x 排出量のみ削減ケース(V100-N50)の中間的な効果を示した。ただし、群馬県や山梨県においては、両ケースよりも削減効果が大きい結果が示された。

閾値別に見た場合の前駆物質排出量削減による変化傾向は、山梨県、千葉県、東京都、神奈川県ではどの濃度でも O_x 新指標相当値と類似した傾向が見られた。茨城県、栃木県では NO_x 排出量のみ削減による日数の増大傾向は、100 ppb 以上において顕著であり、50 ppb 及び 70 ppb 以上の発生日数では微増または減少傾向となる。

新指標相当値での評価と同様に、高濃度発生日数についても北関東、南関東で平均し整理した結果を図 3-32、図 3-33 に示す。図 3-32 及び図 3-33 より、北関東では、 O_x 日最高 8 時間値が 100 ppb 以上の発生日数に着目した場合、VOC 排出量の削減は高濃度発生日数の削減に大きく寄与するが、 NO_x 排出量のみ削減では 50%程度の削減まで減少に寄与しない可能性が示唆された。50 ppb 以上及び 70 ppb 以上の発生日数については VOC と NO_x 排出量どちらの削減においても減少する可能性が示唆された。また、VOC と NO_x 排出量を同時に削減した場合、VOC のみ削減時とほぼ同等か、より大きく高濃度発生日数の削減に寄与することが示唆された。

南関東では、 O_x 日最高 8 時間値が 100 ppb 以上の発生日数に着目した場合、北関東と同様に VOC 排出量の削減は高濃度発生日数の削減に大きく寄与するが、 NO_x 排出量は 25%程度の削減までは発生日数の増大に寄与する可能性が示唆された。また、VOC と NO_x 排出量を同時に削減した場合には、それぞれ単独に削減した場合の中間的な効果を示した。

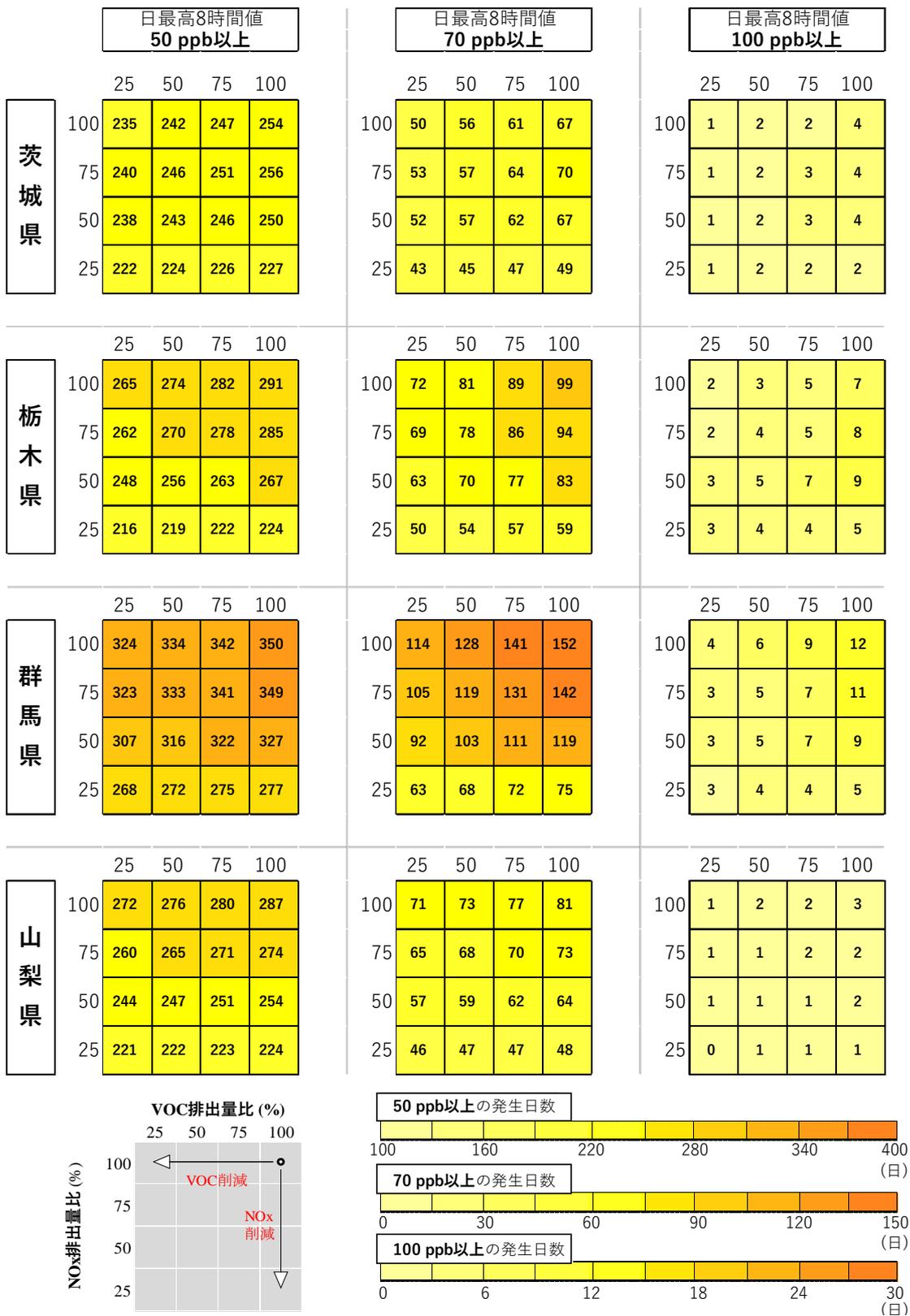


図 3-30(1) 都県別の暖候期積算 Ox 高濃度日発生日数
(測定局あたり、3年積算日数:茨城県、栃木県、群馬県、山梨県)

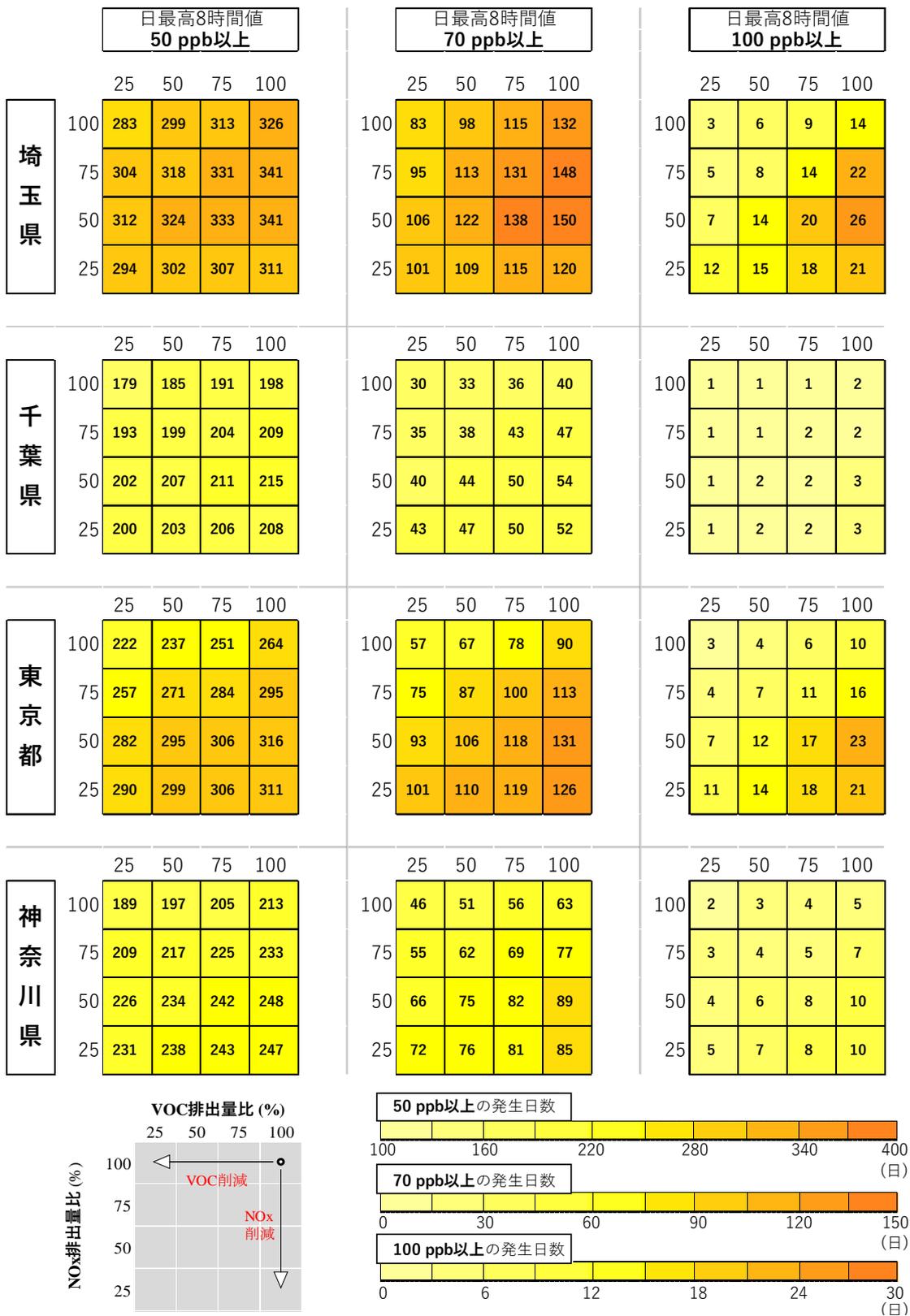


図 3-30(2) 都県別の暖候期積算 Ox 高濃度日発生日数
(測定局あたり、3年積算日数:埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県)

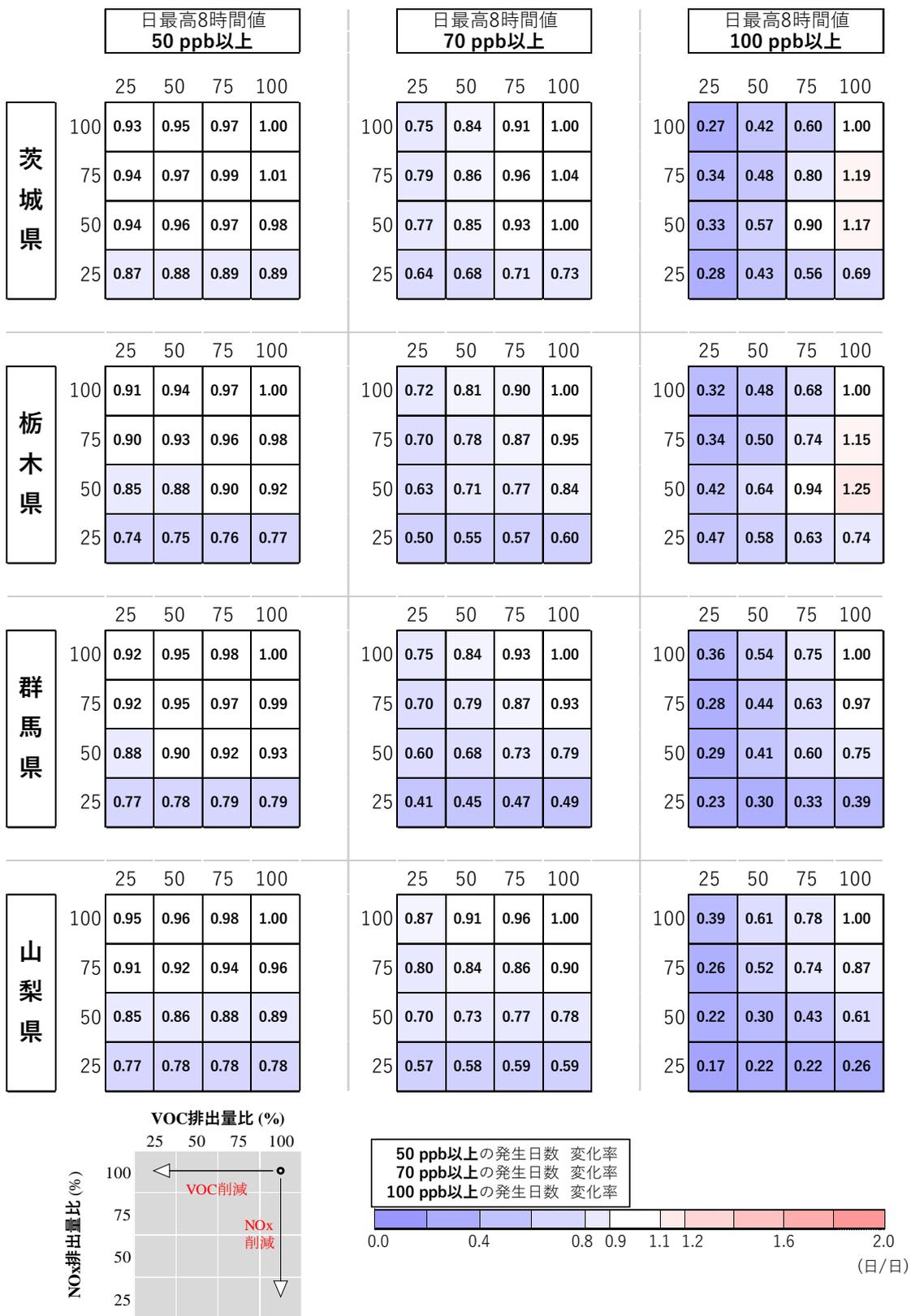


図 3-31(1) 都県別の暖候期積算 O_x 高濃度発生日数の変化率
(基準ケース比: 茨城県、栃木県、群馬県、山梨県)

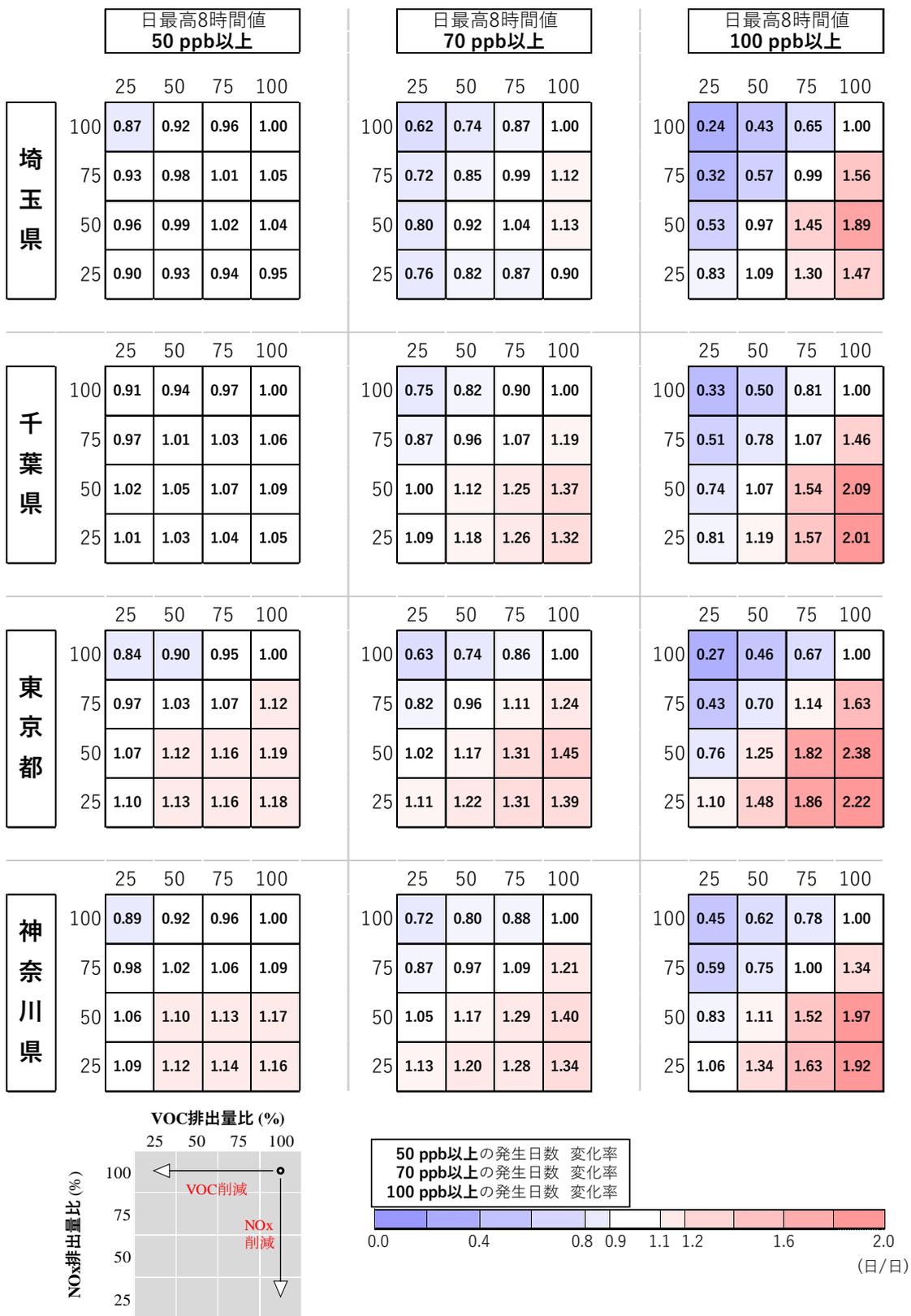


図 3-31 (2) 都県別の暖候期積算 O_x 高濃度発生日数の変化率
(基準ケース比:埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県)

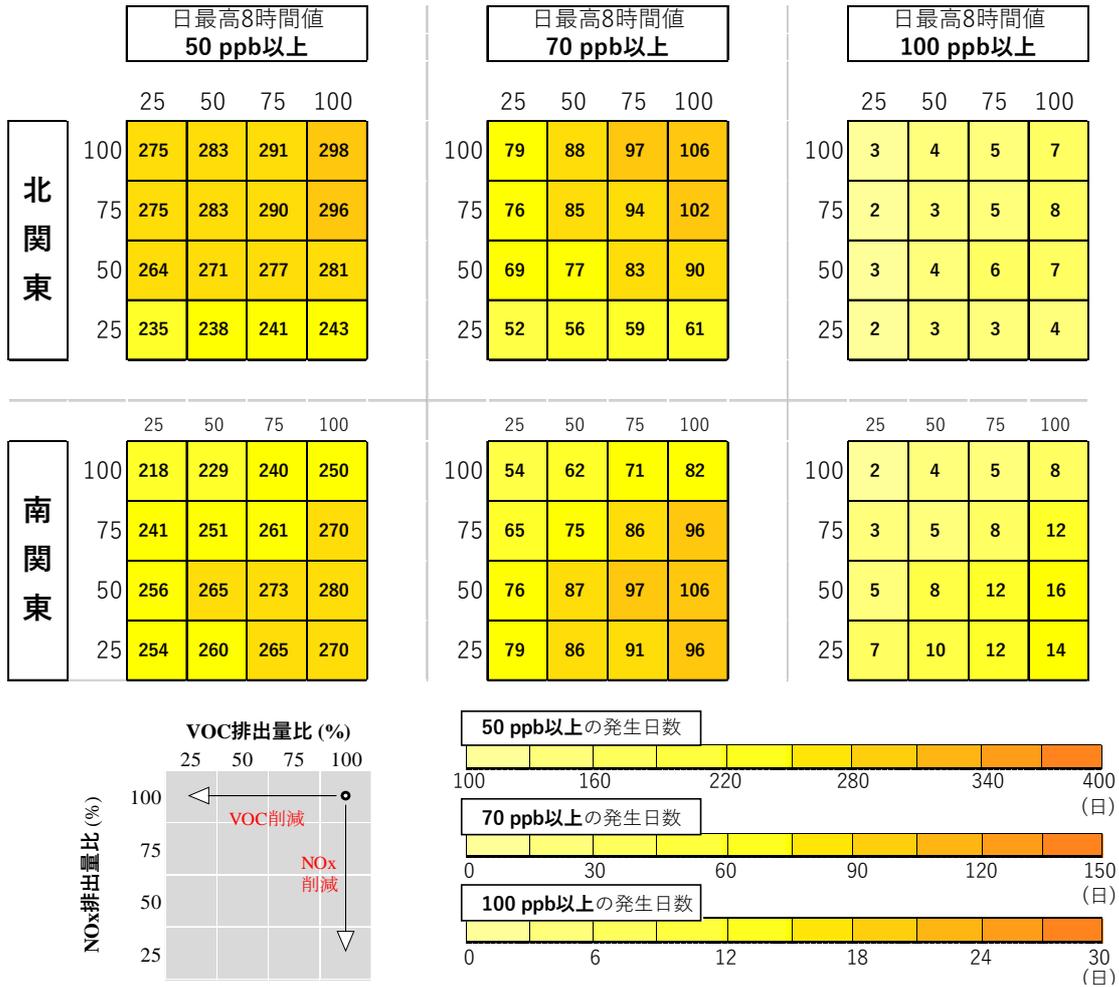


図 3-32 地域別の暖候期積算 O₃ 高濃度日発生日数(測定局あたり、3年積算日数)

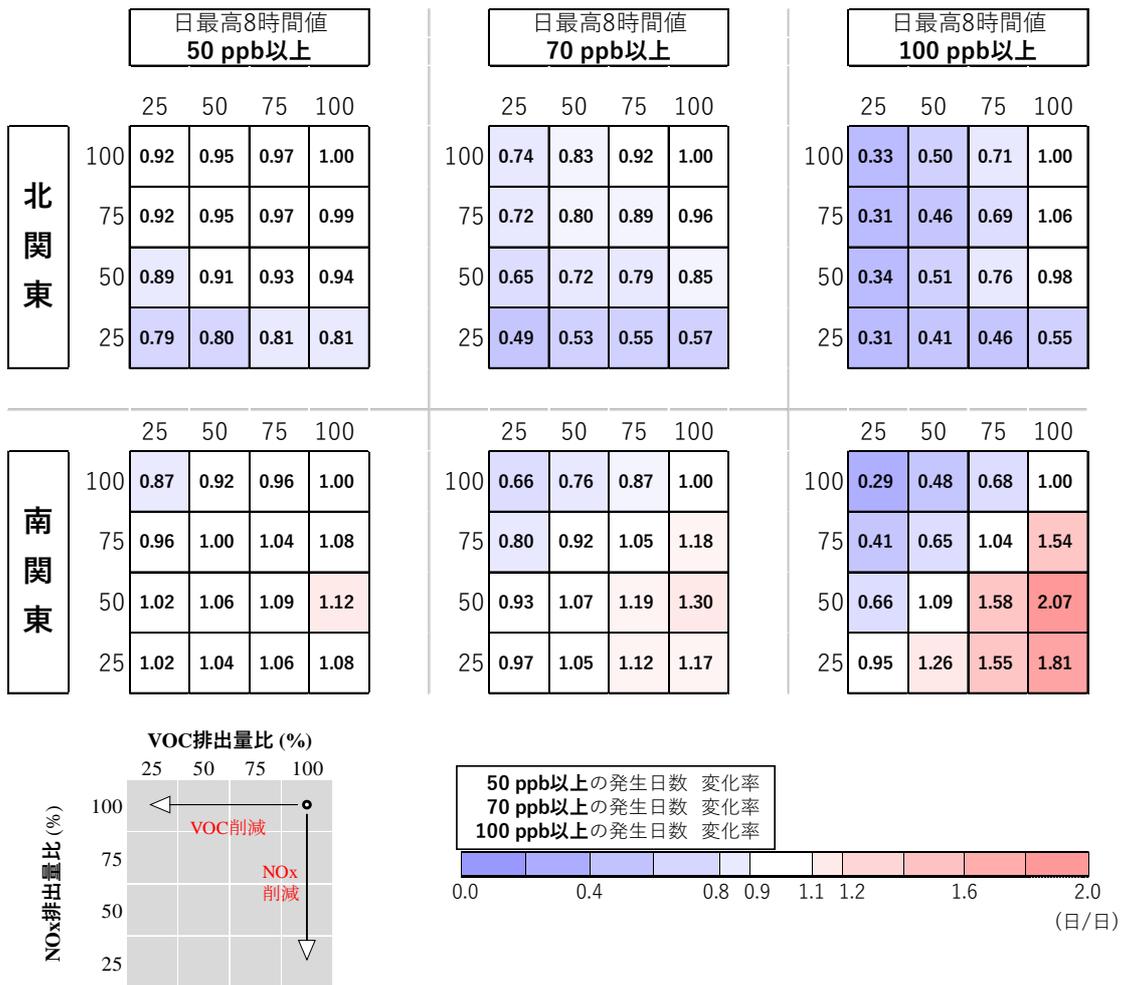


図 3-33 地域別の暖候期積算 Ox 高濃度発生日数の変化率(基準ケース比)

3.2.5 まとめ

関東地域における VOC 及び NO_x の排出削減効果を評価するために、10 km 格子のシミュレーションモデルを用い、関東地域の 2008～2010 年を対象として、人為起源排出量の削減に伴う感度解析を実施した。解析にあたっては、基準ケースと感度分析ケースの計算結果の比(レスポンスファクター:RF)を測定値に乗じることで感度解析ケースにおける Ox 濃度の評価を行った。

(1) Ox 新指標相当値による評価

VOC 排出量を削減すると各都県で新指標相当値は減少し、VOC のみ 50%削減ケースでは、埼玉県で最大 9.0 ppb 低下する結果となった。一方、NO_x 排出量を削減したケースでは、新指標相当値が増大することがあり、特に NO_x のみ 50%削減ケースにおける埼玉県(10.8 ppb 増加)、東京都(13.0 ppb 増加)、神奈川県(9.6 ppb 増加)で顕著であった。また、VOC と NO_x 排出量を同時に 50%削減したケースでは、概ね VOC 排出量のみ削減ケースと NO_x 排出量のみ削減ケースの中間的な効果(即ち、NO_x 削減ケースよりも効果はあるが VOC 削減ケースに比べると小さい)を示したが、北関東では、VOC と NO_x 排出量を同時に削減すると、VOC のみ削減時より、Ox 低減効果がやや大きくなることが示唆された。

(2) 高濃度発生日数による評価

Ox 日最高 8 時間値が 50 ppb、70 ppb、100 ppb を閾値として、前駆物質排出量削減時にそれぞれの閾値を越えた日数について、都県別に整理した。閾値が 50 ppb の発生日数は排出量削減による変化が少なく、100 ppb 以上の発生日数は変化が大きい結果となった。Ox 日最高 8 時間値が 100 ppb 以上の発生日数に着目した場合、VOC 排出量のみを 50%に削減したケースでは、各都県とも出現日数が基準ケースの 50%程度まで減ることが予想される一方で、NO_x 排出量のみを 50%に削減したケースでは群馬県及び山梨県を除いて、基準ケースよりも発生日数が増加する結果となった。また、VOC と NO_x 排出量を同時に 50%削減したケースでは、Ox 新指標相当値での評価と同様に、VOC 排出量のみ削減ケースと NO_x 排出量のみ削減ケースの中間的な効果を示したが、北関東では、VOC のみ削減時とほぼ同程度か、より大きく高濃度発生日数の削減に寄与することが示唆された。

3.3 シミュレーションモデルによる解析のまとめ

3.3.1 日本国内における O_x 濃度の長期変動要因

2013 年度(平成 25 年度)までの調査結果において、関東、中部、関西及び九州の 4 地域を対象に、2001～2010 年に一般環境大気測定局で測定された O_x 濃度等の長期変化を解析した結果、O_x 新指標による長期トレンドの変化は「前駆物質排出量の変化」「越境大気汚染の増加」「NO タイトレーション効果の低下」の 3 つの要因が組み合わさっていることが示唆された。そこで、シミュレーションモデルを用いてこれらの要因を解析した結果、以下の点が確認された。

① 前駆物質排出量変化(固定蒸発発生源の VOC 排出量削減)の影響

固定蒸発 VOC 排出量の削減対策によって関東地域では O_x 新指標相当値が低下し、特に東京都東部から埼玉県東部における地域で削減効果が大きい。これらの結果は、2013 年度(平成 25 年度)までに実施した測定濃度の解析結果とも整合しており、固定蒸発 VOC 排出量の削減による O_x 低減効果が確認されたと考えられる。

② 越境大気汚染増加の影響

東アジア大陸における O_x 前駆物質(VOC 及び NO_x)排出量の増大によって、日本国内の広い範囲で O_x 日最高 8 時間値の暖候期 98% 値が増加した。この増加割合は関東地域よりも九州地域の方が大きい。

③ NO タイトレーションの影響

関東地域において O₃ と PO の濃度を 2001 年と 2009 年について比較すると、 $\Delta O_3 - \Delta PO$ は正の値(すなわち $\Delta O_3 > \Delta PO$)となっており、関東地域では NO_x 排出削減に伴い、NO 濃度が減少したことにより NO タイトレーション効果が低下し、O₃ 濃度の減少が抑制されたことが示唆された。

3.3.2 前駆物質排出量削減の感度解析

関東地域における VOC 及び NO_x の排出削減効果を評価するために、10 km 格子のシミュレーションモデルを用い、関東地域の 2008～2010 年を対象として、人為起源排出量の削減に伴う感度解析を実施した。O_x 濃度の解析結果を要約すると以下のとおりである。

- ・関東領域内の VOC 及び NO_x 排出量を一律に 25% 刻みで 25～100% に削減した場合のシミュレーション結果によると、VOC 削減は O_x 高濃度事例の減少につながるが、NO_x 削減だけを実施すると、東京湾周辺の南関東においては O_x 高濃度事例が増加する可能性が示された。また、VOC 及び NO_x を同時に削減すると、それぞれの物質を同じ割合だけ削減したケースに比べて中間的な効果(即ち、NO_x 削減ケースよりも効果はあるが VOC 削減ケースに比べると小さい)を示すが、北関東では VOC と NO_x 排出量を同時に削減すると、VOC のみ削減時より、O_x 低減効果が同等かやや大きくなる可能性が示された。

- 物質別の排出削減効果に着目すると、内陸域では VOC 及び NOx の同時削減が O_x 低減に有効であるのに対して、東京湾周辺域では特に VOC 削減による効果が顕著である。
- これらの結果は、既存の調査研究結果(観測データ解析やモデル解析に基づく結果)とも整合しており、東京湾周辺域(発生源地域)では VOC 律速であるが、発生源から離れるにしたがってレジームシフトを起こし、内陸域(風下地域)では NOx 律速になるという O₃ 生成・消滅機構によって理論的に説明できる。
- 季節別に着目すると、一般的に夏季における O_x の低減効果は大きいことから、夏季の注意報発令日の低減対策としては有効である一方、春季における効果は限定的である。この原因として、夏季には関東地域内で排出された前駆物質によって生成される O_x の影響が大きいのに対して、春季には大陸からの越境汚染を含む関東地域外からの流入影響が大きく、域内の生成が少ないために、域内で排出された前駆物質の影響が小さくなるものと考えられる。
- 域内の排出削減によって夏季の O_x 高濃度が低減しても春季の低減効果が小さいために、春季に高濃度が発生しやすい年には排出削減効果が小さくなりやすい。このことから、新指標値や各年の暖候期 98% 値を大幅に低減するためには、域内の排出削減と同時に、大陸からの越境汚染を含む域外での対策が必要である。

3.3.3 モデルの不確実性について

「2.5 シミュレーションモデルの再現性の確認」で整理したとおり、本調査で用いた大気質シミュレーションモデルについては、Ox 濃度の過大評価や VOC 及び NOx 濃度の過小評価の傾向等課題が明らかとなった。このような課題については、下記のような要因が影響しているものと考えられる。

【排出インベントリの不確実性に起因するもの】

- ・年間排出量や排出量の空間分布・月別・時刻別排出量の実態との乖離
- ・発生源別 VOC 組成の不確実性
- ・植物起源 VOC 排出量の不確実性
- ・未把握 VOC 発生源・成分 (Missing VOC) の存在 等

【シミュレーションモデルに起因するもの】

- ・モデルでは未考慮の O₃ 生成・消滅過程の存在
- ・風や気温・日射量(紫外線量)等の気象場の再現性不足
- ・モデル境界値の不確かさ
- ・格子サイズの違いにより再現可能な大気現象の限界 等

【その他】

- ・計算値と比較できる観測データの不足
- ・計算値と比較する観測データの代表性・測定誤差 等

今後の大気環境施策検討におけるシミュレーションモデルの更なる活用に向けては、これらの要因について分析を行い、改善を図る必要があるものと考えられる。本調査では、これらの要因のうち、「植物起源 VOC 排出量の不確実性」と「未把握 VOC 発生源・物質 (Missing VOC) の存在」がシミュレーション結果に及ぼす影響について整理した。

(1) 植物起源 VOC 排出量の不確実性

植物起源 VOC (BVOC) は、大気中における反応性が比較的高い物質が多く、Ox 生成にも大きな影響を与えている。一方で、その排出量の推計値には不確実性が大きく、大気質シミュレーションモデルに入力する BVOC 排出量の違いは、Ox 濃度の再現性や、Ox 濃度の NOx、VOC 排出量に対する感度の予測結果にも大きな影響を及ぼすことが指摘されている(井上ら, 2010)。

本調査においては、BVOC の排出量は、MEGAN を用いて推計を行い、時刻別にモデルに入力したが、BVOC 排出量は樹種や生育環境により大きく異なることが指摘されている(松永, 2010; 松永ら, 2012; Bao et al., 2008)。MEGAN では樹種による基礎放出量の違いや気温や日射量による BVOC 排出量の変動は考慮されているものの、日本国内の BVOC の排出実態を必ずしも反映していない可能性がある。そこで、本調査では、MEGAN で推計さ

れた BVOC 排出量を 1/2 倍及び 2 倍にしたケースでシミュレーションを行い、「3.2 前駆物質 (VOC、NO_x) の排出量削減の感度解析結果」に及ぼす影響を確認した(参考資料 図 17 ~ 図 19 に掲載)。

前駆物質排出量を削減した場合の O_x 濃度におよぼす感度を比較するため、BVOC 排出量が標準の場合(BVOC × 1 と表記)と BVOC 排出量を 2 倍とした場合(BVOC × 2 と表記)の 2009 年 8 月を対象とした排出量削減ケースの O_x 日最高 8 時間値月平均値(図 3-17 に示したフローにしたがって測定値に RF を乗じた推定値)を図 3-34 に示す。この結果より BVOC × 2 では O_x 前駆物質の削減効果は、BVOC × 1 と比較して VOC のみを削減した場合の感度が低下し(O_x 濃度があまり低下しなくなる)、NO_x も併せて削減した場合には感度が増加する(O_x 濃度がより低下するようになる)。地域別では群馬県、埼玉県、東京都で感度変化が顕著であった。

NO_x、VOC 双方の排出量を 50%削減したケース(V50-N50)における O_x 日最高 8 時間値の 8 月平均値に着目すると、BVOC × 2 と BVOC × 1 の差は最大 2 ppb 程度であった。このため今回の解析事例では BVOC 排出量の不確実性が O_x 濃度の再現性に与える影響はそれほど大きくないと言える。しかし、定性的には前駆物質排出量削減の感度は変化し、事例日によっては本調査事例よりも大きな影響を及ぼす可能性もある。また、BVOC × 2 では山間部を中心に NMHC 濃度が 1.5 倍程度まで増加することから、BVOC 排出量の不確実性は現状のシミュレーションモデルにおける NMHC 濃度の過小評価の一因となっていることも考えられる。このため、今後の O_x 対策を検討するうえでは日本国内の BVOC 排出量の実態把握、BVOC 排出インベントリの精緻化が望まれる。

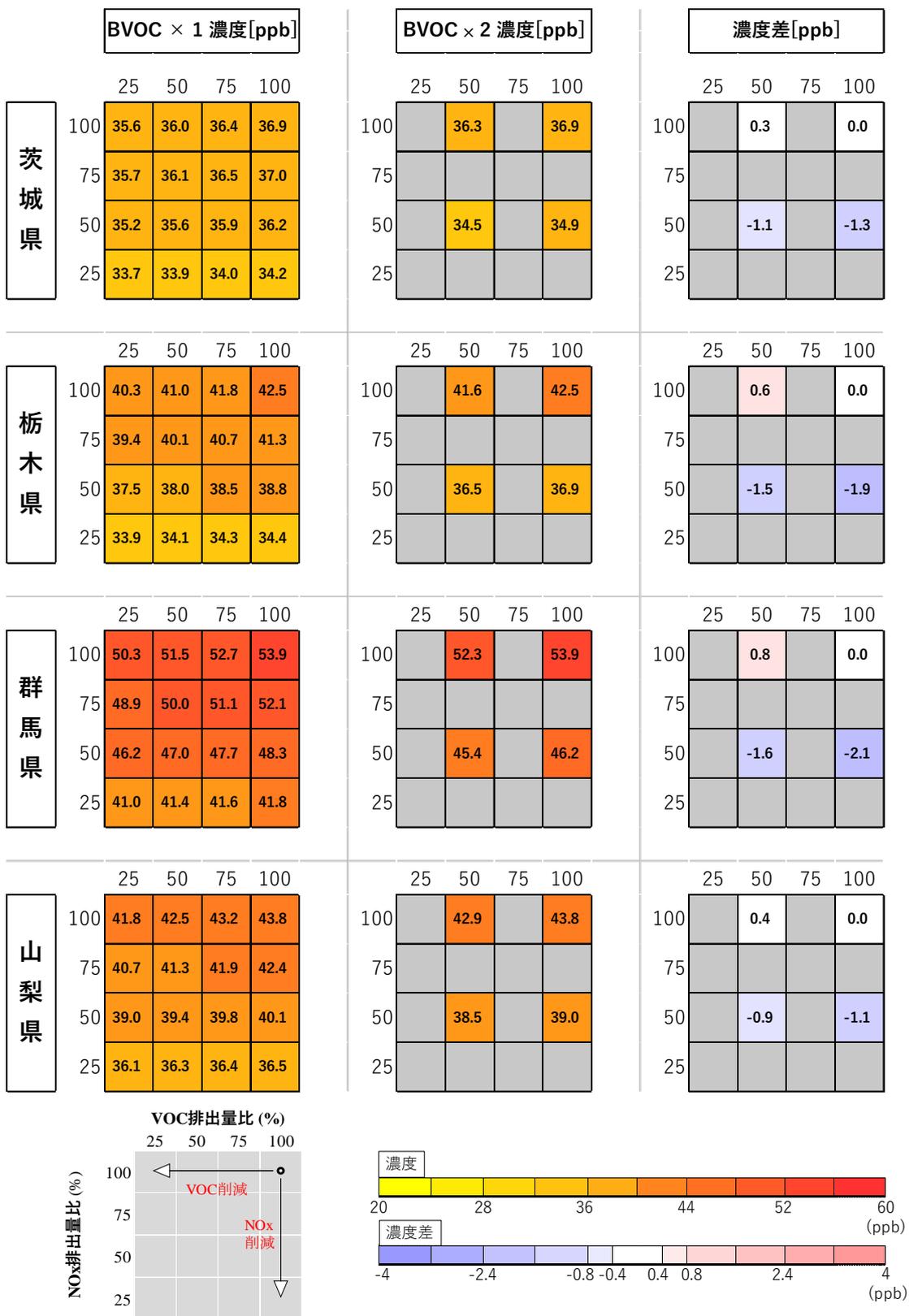


図 3-34(1) 都県別のOx日最高8時間値の8月平均値
 (左:BVOC × 1 における推定値、中央:BVOC × 2 における推定値、右:差分)

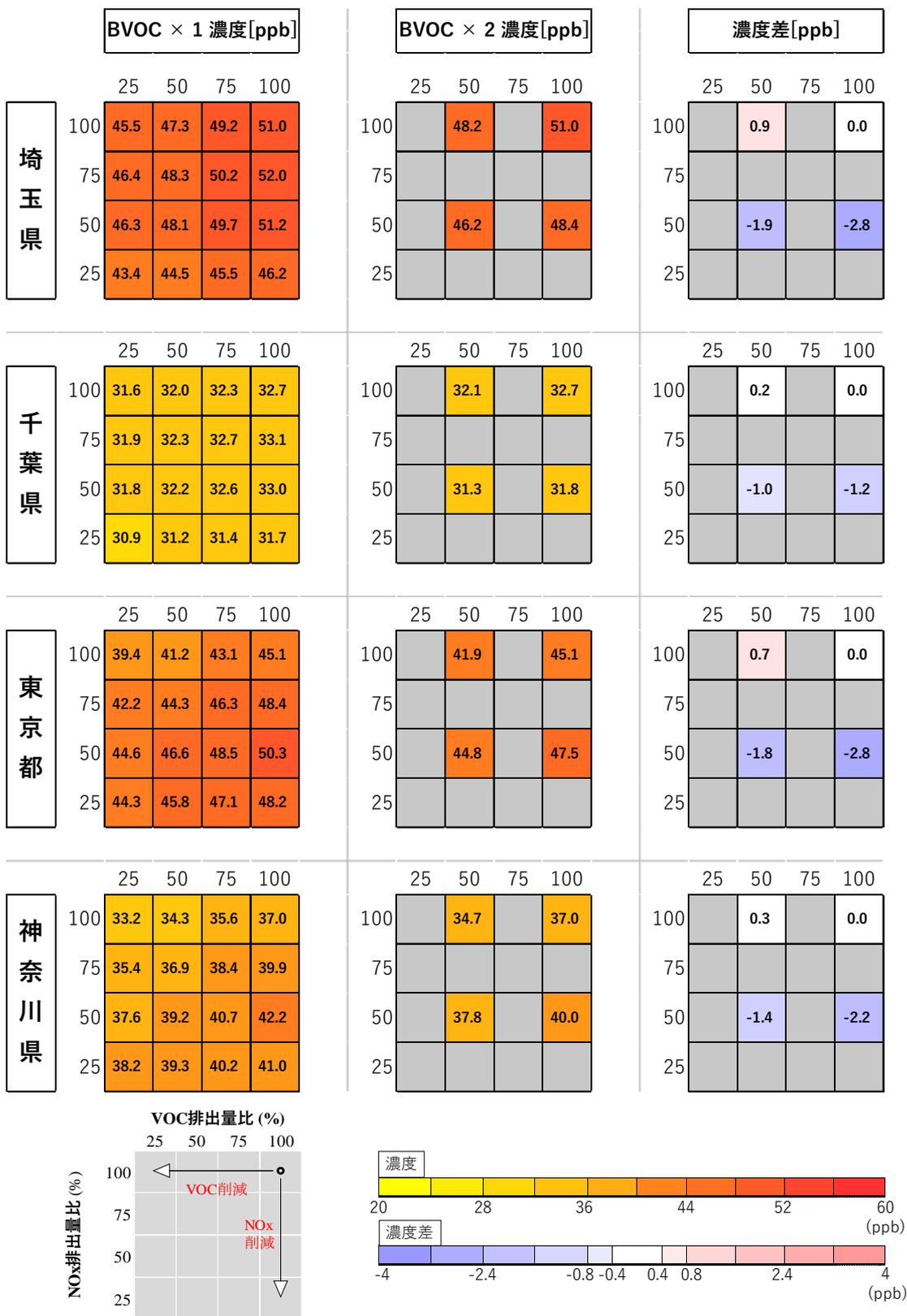


図 3-34(2) 都県別のOx日最高8時間値の8月平均値
 (左:BVOC × 1 における推定値、中央:BVOC × 2 における推定値、右:差分)

(2) 未把握 VOC 発生源・成分 (Missing VOC) の影響検討

「2.5 シミュレーションモデルの再現性の確認」で整理したとおり、本調査におけるシミュレーションモデルでは、NMHC が測定値に比較すると過小評価となっている。シミュレーションモデルによる NMHC の過小評価は他の先行事例でも見られ、モデルで考慮する VOC 成分を増やすと、NMHC の計算値と測定値の乖離が小さくなる事例が報告されている (Kanaya et al., 2007)。NMHC の過小評価は、本調査で使用した排出インベントリでは「2.3 排出インベントリデータの整理」で記載のとおり、植物起源・人為起源ともに、現時点で把握しうる VOC 発生源からの排出量を考慮しているものの、未把握の発生源・物質が存在している可能性を示唆している。また、既知の発生源についても排出量の推定については不確かさがあり、これが NMHC の過小評価に関連している可能性もある。

大気中には、数百種以上の VOC が存在するとされるが、全成分について濃度を把握することは困難である。過去の調査事例では埼玉県内の 100 成分の個別 VOC の積算値が NMHC 濃度のおよそ 7 割に相当する事例 (埼玉県, 2016) や千葉県内の 43 成分の個別 VOC 濃度の積算値が NMHC 濃度の 4 割程度であった事例 (竹内ら, 2010)、関東地方での 63 成分の個別 VOC 濃度の積算値が NMHC 濃度の 5 割程度であった事例 (佐々木ら, 2009) 等が報告されている。したがって、NMHC の測定濃度をシミュレーションモデルで精度よく再現するためには、NMHC として寄与が大きい VOC 成分を把握し、排出インベントリやモデル上で考慮する必要がある。

このように、光化学オキシダントの重要な前駆物質である VOC は、もう一方の前駆物質である NO_x と比較すると、排出インベントリについて、排出量、組成、空間・時間配分において、現状では不確実性が大きく、精緻化が必要と考えられる。また、最近の研究では、NMHC 濃度とは別に、大気成分の個別濃度の測定結果と各成分の OH ラジカル反応性を考慮して積算した OH 反応性についても、実測された OH 反応性と比較すると小さいことが指摘されている (中嶋ら, 2009; Chatani et al., 2009)。これは、大気中にはオキシダント生成に関わる未把握 VOC (Missing VOC) が存在することを示唆しており、これらの未把握 VOC については、現状の大気質シミュレーションモデルでは考慮されていない。

すなわち、一次排出の VOC 及び、大気中での反応過程において二次的に生成する VOC について、未把握の VOC が存在していると考えられ、本調査ではこれらを Missing VOC と定義して、光化学オキシダント生成に与える影響を考察した最近の調査事例について、文献整理を行った (参考資料 表 28 ~ 表 31)。

これら既往調査の結果から、Missing VOC の存在は、シミュレーションモデルにおける、O_x 濃度の再現性及び前駆物質排出量を変化させた場合の感度にも影響する可能性が示唆された。しかしながら、NMHC 濃度や OH 反応性における計算値と測定値との乖離が何に起因しているかは、現時点では明確となっていない。したがって、今後シミュレーションモデル結果の信頼性を向上させる上では、Missing VOC の実態解明ならびにモデルへの反映にも取り組む必要があると考えられる。

4 今後の調査研究のあり方と課題

4.1 モニタリングに関する課題

光化学オキシダント対策を検討するためには、前駆物質の継続的なモニタリングデータを蓄積するとともに、光化学オキシダントのモニタリングの精度管理を適切に行うことが不可欠である。

特に、VOC については、本調査の関東地域を対象に実施したシミュレーションにおいて、VOC の削減は、将来の光化学オキシダント濃度の低減に重要な役割を果たすことが示された。また、VOC は、PM_{2.5} の成分として重要な二次有機エアロゾル (SOA, secondary organic aerosol) の原因物質でもあるが、我が国では光化学オキシダントや NO_x などに比して、時間的、空間的に十分な測定データが得られていない。VOC は主要なものだけでも数十種類以上に及び、発生源ごとにその組成が異なるとともに、それぞれの成分の光化学反応性、PM_{2.5} 生成能等が異なっており、光化学オキシダントの生成機構を科学的に理解し、シミュレーションモデルを検証するためには、VOC 成分の測定データを質的・量的にさらに強化する必要がある。特に、都市汚染ならびに越境汚染の影響が大きな地域において、光化学オキシダントの生成に関係する主要な VOC 成分の長期的・連続的なデータと 3 次元の短期的な時系列データを集積することが望まれる。前者に関しては、光化学オキシダントや PM_{2.5} に関連する大気質濃度や、気象要素と併せて総合的にモニタリングするスーパーサイトを設置し、観測を継続すること、後者に関しては航空機等を利用した集中観測を実施することが有効である。

4.2 シミュレーションモデルに関する課題

(1) 再現性の向上

本調査で使用したシミュレーションモデルは、再現性に関する設定目標を概ね満たし、既存の調査研究用モデルと同等の再現性を有している。また、長期観測データの解析から示唆されたオゾン濃度の長期トレンドに影響を及ぼす 3 つの要因に対する応答を基本的に再現できている。これらのことから、O_x 濃度の長期トレンドに影響を及ぼす要因の解析や排出削減効果の感度解析等には使用できると考えられる。

しかしながら本調査で用いたシミュレーションモデルは、現在我が国で用いられている多くのモデルと共通に次のような課題があることから、その原因を把握し、さらに改良を継続することが必要である。

- ・関東、九州の両地域ともに、シミュレーションモデルの予測による暖候期の平均濃度が実測値と比べて光化学オキシダントは過大に、NO₂ は過小に、NMHC は過小に推計すること。また、光化学オキシダントの新指標値についても過大に推計すること。
- ・主要 VOC 成分のうち、特にトルエンとエチレン等を実測値と比べて過小に推計すること。

今後、NO_x、VOC 削減に伴う将来にわたる光化学オキシダント濃度の変動の議論のためには、大気中のエアロゾルと前駆物質との相互作用等によって生じる反応メカニズム、汚染物質

の輸送・沈着プロセス、前駆物質の排出実態などについての解明をさらに進める必要があると考えられる。また、モニタリングデータや衛星観測データの活用、海外のシミュレーションモデルとの比較検討等により、シミュレーションモデルの再現性を総合的に検証することが望まれる。

(2) 排出削減による光化学オキシダントの感度評価の妥当性の検証

シミュレーションモデルを都市における光化学オキシダント汚染に適用する場合には、常時監視局等の測定データによる検証が必須である。さらにシミュレーションモデルを利用して前駆物質の削減対策の効果を評価しようとする場合には、これに加えて、前駆物質の変化に対する光化学オキシダント濃度等の応答（即ち、モデル感度）をシミュレーションモデルが正しく表現できているかを VOC と NO_x の排出量比が変化することによって生じる、週末の光化学オキシダント高濃度現象（週末効果）や大気中の光化学反応性の指標となる OH ラジカル濃度の実測との比較などの形で検証する必要がある。

(3) 排出削減効果の感度解析に関する課題

本調査では、前駆物質の排出削減による感度解析において、関東地域内の排出量のみを削減し、域外の排出量を固定して実施した。一方、部分的な解析結果によると、域外排出量を削減した効果は、特に春季に一定程度あることが示唆された。このため、今後、域外排出量を削減した場合の感度を確認する必要がある。また、関東以外の地域では、大気汚染物質の排出状況、気象場、越境汚染の影響などが関東地域とは異なると考えられることから、それらの地域における感度解析を進める必要がある。

4.3 インベントリに関する課題

排出インベントリは、大気汚染対策の根幹に関わる基礎情報であり、光化学オキシダント対策のみならず、大気汚染対策を総合的に推進するためには、大気汚染物質の排出インベントリの整備・更新を継続して行う必要がある。環境省では、2013 年度（平成 25 年度）から「PM_{2.5} 排出インベントリ及び発生源プロファイル策定検討会」において、JEI-DB (JATOP Emission Inventory Data Base) をベースとした大気汚染物質排出インベントリの整備を進めているところであるが、排出量及び大気中での反応性の観点から重要な排出源に関するインベントリの更なるデータ拡充は重要な課題である。例えば、温室効果ガスに関しては条約に基づき各国の排出量の提出が義務付けられていることから、我が国では国立環境研究所内に温室効果ガスインベントリオフィスが設置されている。これまで温室効果ガスの排出インベントリでは大気汚染物質についても副次的に取り扱われてきたが、大気汚染物質は短寿命気候汚染物質としても重要性を増していることから、今後より組織的・継続的にインベントリが整備されることが望ましい。

光化学オキシダントとの関係においては VOC と NO_x が重要である。特に VOC に関しては、Missing VOC を把握することや野外観測によって植物起源 VOC の不確実性をさらに低減させる

ことが望まれる。また、インベントリの不確実性の評価において、衛星・地上観測データに基づき逆推計した排出量と比較する手法の活用を研究すべきものと思われる。

4.4 今後の国際協力に関する課題

「3.3.1 日本国内における Ox 濃度の長期変動要因」や「3.3.2 前駆物質排出量削減の感度解析」で記したように、光化学オキシダント対策としては、国内対策と越境汚染対策の両面を考慮することが必要である。越境汚染に対する国際的な取組は具体的には、「光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会報告書 ー中間報告ー」(平成 19 年 12 月)において、(1) 調査研究面での国際協力、(2) アジア諸国との協力の下、東アジア酸性雨モニタリングネットワーク(EANET)の枠組みにおけるオゾンモニタリング、(3) 大気汚染対策に関する近隣諸国との協力、(4) 長距離越境大気汚染条約・半球移動タスクフォース(TF HTAP)等の地球規模の国際的な枠組みとの連携等が挙げられている。今後は、米国の大気モデル研究の取り組み等も参考にし、シミュレーションモデルに係わる共通の問題点の国際的な議論や、諸外国と情報交換するための場を設けることが有効である。

4.5 今後の光化学オキシダント対策に関する提言

(1) 新たな指標の更なる活用

我が国においては、大気汚染防止のための様々な取組の強化によって、VOC や NO_x の大気中濃度が多くの地域で減少しているにも関わらず、光化学オキシダントについては、昼間の日最高1時間濃度の年平均値の漸増傾向や注意報発令地域の広域化が見られ、環境基準達成率も極めて低い水準にとどまってきた。このような中で、これまで光化学オキシダント濃度の指標として「環境基準の達成状況」、「光化学オキシダント注意報等の発令状況」、「昼間の日最高1時間濃度の年平均値」等を用いてきたが、気象要因による年々変動が大きく、長期的な環境改善効果を適切に示す指標となり得ないことが問題点として指摘されてきたため、本検討会では、光化学オキシダントに関する環境改善効果を適切に示すための統計的に堅牢な指標として、日最高8時間平均値の年間99%値の3年平均値を指標として活用することを平成26年3月に提案した。今後、この指標に基づく対策効果の把握を推進することが適当である。

なお、我が国では光化学オキシダントの環境基準値は設定後40年以上が経過しており、その間、蓄積されてきた健康影響や汚染実態に関する最新の科学的知見や諸外国の対策の状況等を踏まえ、上記の新指標に基づく光化学オキシダントの目標のあり方等を検討していくことが必要である。

(2) 国内における前駆物質の削減対策への取り組み

中央環境審議会大気・騒音振動部会微小粒子状物質等専門委員会において取りまとめられた「微小粒子状物質の国内における排出抑制策の在り方について ー中間取りまとめー」

(2015年3月)において提言されているように、短期的課題とされているVOCやNO_xについて、排出規制等の取組状況、排出実態や排出抑制技術の状況等を踏まえ、追加的な対策の可能性を検討するとともに、総合的な対策に取り組む上での基礎となる現象解明や情報整備等の中長期的課題に取り組む必要がある。

また、高濃度の光化学オキシダントの発生を抑制するためには、VOCとNO_xの排出量比を十分に考慮して両者を削減する必要性が示唆されたことなどの本調査結果を踏まえ、光化学オキシダント対策のさらなる推進について、具体的に検討する必要がある。

(3) 光化学オキシダントとPM_{2.5}の総合的対策の展開

現在、微小粒子状物質(PM_{2.5})は光化学オキシダントとともに環境基準を超過している大気汚染物質の一つであり、環境基準の達成が喫緊の政策課題となっている。

PM_{2.5}の主要成分である硝酸塩(NO₃⁻)と有機二次粒子(SOA)の前駆物質はそれぞれNO_x、VOCであり、光化学オキシダントの前駆物質と共通するものが多い。また、PM_{2.5}を構成する二次粒子の多くは、大気中の光化学反応でオキシダントと同時に生成する。このため、実際の解析には共通のシミュレーションモデルを用いて解析することが望ましく、両者を共に制御する視点からの複眼的な対策が求められる。

資料1 光化学オキシダント調査検討会・解析作業部会名簿

資料-表 1-1 光化学オキシダント調査検討会委員(五十音順 敬称略)

氏名	所属	職名	期間
○秋元 肇	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	所長	2014～2016年度
	国立研究開発法人 国立環境研究所	客員研究員	
板野 泰之	大阪市立環境科学研究所 調査研究課	研究主任	2014～2016年度
井上 和也	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 環境暴露モデリンググループ	主任研究員	2014～2016年度
指宿 堯嗣	一般社団法人 産業環境管理協会	技術顧問	2014～2016年度
岩崎 好陽	公益社団法人 におい・かおり環境協会	会長	2014～2015年度
浦野 紘平	環境資源システム総合研究所	所長 (横浜国立大学名誉教授)	2014～2016年度
大原 利真	国立研究開発法人 国立環境研究所 福島支部準備室	総括(研究担当)	2014～2016年度
	国立研究開発法人 国立環境研究所	フェロー	
小野 和則	JX日鉱日石エネルギー株式会社 社会環境安全部	担当マネージャー	2015年度
金谷 有剛	国立研究開発法人 海洋研究開発機構 地球表層物質循環研究分野	分野長代理	2014～2016年度
古関 恵一	東燃ゼネラル石油株式会社研究所 中央研究所 戦略企画・調査部	部長	2016年度
坂本 和彦	埼玉県環境科学国際センター	総長	2014～2016年度
	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	所長	
下原 孝章	福岡県保健環境研究所 環境科学部 大気課	課長	2014年度
紫竹 益吉	一般社団法人 日本化学工業協会 環境安全部	部長	2014～2016年度
竹内 庸夫	埼玉県環境科学国際センター 研究企画室	室長	2014～2015年度
橋本 光正	一般社団法人 日本塗料工業会	専務理事	2014～2015年度
八田 拓士	JX日鉱日石エネルギー株式会社 社会環境安全部	チームスタッフ	2014年度
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 環境資源研究科	副参事研究員	2014～2016年度
向井 人史	国立研究開発法人 国立環境研究所 地球環境研究センター	センター長	2014～2016年度
米原 洋一	一般社団法人 日本塗料工業会	専務理事	2016年度
若松 伸司	愛媛大学 農学部	名誉教授	2014～2016年度

○: 座長

期間中に所属に変更のあった委員は両方を記載した。また職名は各所属での最終的なものを記載した。

資料-表 1-2 光化学オキシダント解析作業部会委員(五十音順 敬称略)

氏名	所属	職名	期間
井上 和也	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 環境暴露モデリンググループ	主任研究員	2014～2016年度
○大原 利眞	国立研究開発法人 国立環境研究所 福島支部準備室	総括(研究担当)	2014～2016年度
	国立研究開発法人 国立環境研究所	フェロー	
梶野 瑞王	気象庁 気象研究所 環境・応用気象研究部	主任研究官	2016年度
金谷 有剛	国立研究開発法人 海洋研究開発機構 地球表層物質循環研究分野	分野長代理	2014～2016年度
黒川 純一	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大気圏研究部	主任研究員	2015～2016年度
滝川 雅之	国立研究開発法人 海洋研究開発機構 北極環境変動総合研究センター 北極化学物質循環研究ユニット	ユニットリーダー	2016年度
茶谷 聡	国立研究開発法人 国立環境研究所 地域環境研究センター大気環境モデリング研究室	主任研究員	2016年度
永島 達也	国立研究開発法人 国立環境研究所 地域環境研究センター	主任研究員	2014～2016年度
速水 洋	一般財団法人 電力中央研究所 環境科学研究所	上席研究員	2014～2016年度
森川 多津子	一般財団法人 日本自動車研究所	主任研究員	2014～2016年度

○: 部会長

期間中に所属に変更のあった委員は両方を記載した。また職名は各所属での最終的なものを記載した。

資料 2 検討会・解析作業部会の開催状況

資料 2.1 平成 26 年度（2014 年度）

資料 2.1.1 検討会

第 1 回（平成 26 年 9 月 12 日）

- (1) 平成 26 年度 光化学オキシダント調査検討について
- (2) シミュレーションによる要因の検討について
- (3) シミュレーションによる対策の検討について
- (4) その他

第 2 回（平成 26 年 12 月 24 日）

- (1) シミュレーションを用いた解析結果について
- (2) 今後の予定について
- (3) その他

第 3 回（平成 27 年 3 月 16 日）

- (1) 光化学オキシダント解析作業部会における検討状況
- (2) シミュレーションを用いた解析結果について
- (3) 次年度の作業計画(案)について
- (4) その他

資料 2.1.2 解析作業部会

第 1 回（平成 26 年 10 月 3 日）

- (1) 光化学オキシダントシミュレーションによる解析作業部会について
- (2) シミュレーションを用いた解析方法についての検討
- (3) その他

第 2 回（平成 26 年 12 月 9 日）

- (1) シミュレーションを用いた解析結果について
- (2) その他

第 3 回（平成 27 年 2 月 23 日）

- (1) 今年度の解析項目について
- (2) シミュレーションを用いた解析結果について
- (3) 次年度の作業計画(案)について
- (4) その他

資料 2.2 平成 27 年度 (2015 年度)

資料 2.2.1 検討会

第 1 回 (平成 27 年 9 月 4 日)

- (1) 光化学オキシダント調査検討について
- (2) 平成 26 年度の解析結果について
- (3) 平成 27 年度の解析計画について
- (4) その他

第 2 回 (平成 28 年 1 月 15 日)

- (1) これまでの検討内容と対応状況について
- (2) シミュレーションモデルの構築・改善について
- (3) シミュレーションモデルを用いた解析について
- (4) その他

第 3 回 (平成 28 年 3 月 25 日)

- (1) これまでの検討内容と対応状況について
- (2) シミュレーションを用いた解析結果について
- (3) その他

資料 2.2.2 解析作業部会

第 1 回 (平成 27 年 9 月 24 日)

- (1) 光化学オキシダントシミュレーションによる解析作業部会について
- (2) 平成 26 年度調査における計算結果の精度について
- (3) 平成 27 年度解析計画について
- (4) シミュレーションモデルの構築・改善について
- (5) その他

第 2 回 (平成 27 年 10 月 30 日)

- (1) 追加検討項目及び対応状況について
- (2) 再現性向上に関する作業について
- (3) 60 km 格子における計算結果を対象とした解析結果
- (4) 10 km 格子における計算結果を対象とした解析結果
- (5) 他モデルとの比較結果について
- (6) その他

第3回（平成27年11月10日）

- (1) 追加検討項目及び対応状況について
- (2) 再現性向上に関する作業について
- (3) 60 km 格子における計算結果を対象とした解析結果
- (4) 10 km 格子における計算結果を対象とした解析結果
- (5) 平成27年度の解析計画について
- (6) その他

第4回（平成27年12月2日）

- (1) 追加検討項目及び対応状況について
- (2) 排出量データの比較について
- (3) 60 km 格子における計算結果を対象とした解析結果
- (4) 10 km 格子における計算結果を対象とした解析結果
- (5) 平成27年度の解析計画について
- (6) その他

第5回（平成28年2月16日）

- (1) 指摘事項及び対応状況について
- (2) 指摘事項に対する解析結果
- (3) シミュレーションモデルを用いた解析結果
- (4) 第3回検討会の議題について
- (5) その他

資料 2.3 平成 28 年度 (2016 年度)

資料 2.3.1 検討会

第 1 回 (平成 28 年 9 月 21 日)

- (1) 平成 28 年度の解析作業計画について
- (2) 光化学オキシダント調査検討会報告書の作成について
- (3) その他

第 2 回 (平成 29 年 1 月 13 日)

- (1) オキシダント前駆物質削減効果の検討結果について
- (2) 光化学オキシダント調査検討会報告書(案)について
- (3) その他

第 3 回 (平成 29 年 3 月 14 日)

- (1) 光化学オキシダント調査検討会報告書(案)について
- (2) その他

資料 2.3.2 解析作業部会

第 1 回 (平成 28 年 8 月 26 日)

- (1) 平成 28 年度光化学オキシダント調査検討業務について
- (2) 平成 28 年度の解析作業計画について
- (3) 光化学オキシダント調査検討会報告書の作成について
- (4) その他

第 2 回 (平成 28 年 10 月 11 日)

- (1) オキシダント前駆物質(VOC 及び NO_x)削減効果の検証に関する解析結果
- (2) NO タイトレーション効果の解析結果
- (3) シミュレーションの精度検証に関する解析結果
- (4) 光化学オキシダント調査検討会報告書(素案)について
- (5) その他

第 3 回 (平成 28 年 12 月 9 日)

- (1) オキシダント前駆物質削減効果の検証結果(追加事項)
- (2) 他モデルの計算結果との比較検討結果
- (3) モデル精度向上のための検討結果(BVOC 不確実性シミュレーション)
- (4) 光化学オキシダント調査検討会報告書案について
- (5) 指摘事項への対応結果
- (6) その他

資料 3 参考文献

- Bao, H., Kondo, A., Kaga, A., Tada, M., Sakaguti, K., Inoue, Y., Shimoda, Y., Narumi, D., Machimura, T., Biogenic volatile organic compound emission potential of forests and paddy fields in the Kinki region of Japan, *Environ. Res.*, **106** (2), 156-169, (2008)
- Chatani, S., Shimo, N., Matsunaga, S., Kajii, Y., Kato, S., Nakashima, Y., Miyazaki, L., Ishii, K., Ueno, H., Sensitivity analyses of OH missing sinks over Tokyo metropolitan area in the summer of 2007, *Atmos. Chem. Phys.*, **9**, 8975-8986, (2009)
- 井上和也, 安田龍介, 吉門洋, 東野晴行, 関東地方における夏季地表オゾン濃度の NO_x, VOC 排出量に対する感度の地理分布 第 I 報 大小 2 種類の植物起源 VOC 排出量推定値を入力した場合の数値シミュレーションによる推定, *大気環境学会誌*, **45**, 183-194, (2010)
- Guenther, A., Karl, T., Harley, P., Wiedinmyer, C., Palmer, P. I., Geron, C., Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature), *Atmos. Chem. Phys.*, **6**, 3181-3210, (2006)
- 海洋政策研究財団, 排出規制海域設定による大気環境改善効果の算定事業 報告書(平成 25 年 3 月)(2013)
- 環境省, 微小粒子状物質(PM_{2.5})対策のあり方検討調査 報告書(平成 22 年 3 月)(2010a)
- 環境省, 揮発性有機化合物(VOC)の浮遊粒子状物質及び光化学オキシダントの生成に係る調査 報告書(平成 22 年 3 月), (2010b)
- 環境省, 光化学オキシダント調査検討会 報告書 -今後の対策を見すえた調査研究のあり方について- (平成 24 年 3 月), (2012)
- 環境省, 光化学オキシダント調査検討会 報告書 ~光化学オキシダントの解析と対策へ向けた指標の提言~ (平成 26 年 3 月), (2014)
- Kanaya, Y., Cao, R., Akimoto, H., Fukuda, M., Komazaki, Y., Yokouchi, Y., Koike, M., Tanimoto, H., Takegawa, N., Kondo, Y., Urban photochemistry in central Tokyo: 1. Observed and modeled OH and HO₂ radical concentrations during the winter and summer of 2004, *J. Geophys. Res.*, **112**, D21312, (2007)
- 神成陽容, 関東・関西地域における光化学オキシダント濃度の週末効果に関する解析 第 1 報 二種類の週末効果反転現象の発見, *大気環境学会誌*, **45**, 209-219, (2006)
- Kiriyama, Y., Hayami, H., Itahashi, S., Shimadera, H., Miura, K., Nakatsuka, S., Morikawa, T., Effect of NO_x and VOC Controls for Surface Ozone Concentration in Summertime in Kanto Region of Japan, *J. Jpn. Soc. Atmos. Environ.*, **50**, 8-15, (2010)
- Kurokawa, J., Ohara, T., Morikawa, T., Hanayama, S., Janssens-Maenhout, G., Fukui, T., Kawashima, K., Akimoto, H., Emissions of air pollutants and greenhouse gases over Asian regions during 2000–2008: Regional Emission inventory in ASia (REAS) version 2, *Atmos. Chem. Phys.*, **13**, 11019-11058, (2013)

- 黒川純一, 猪股弥生, 光化学オキシダント生成に関わる未計測 VOC の探索 (3)化学モデルによる未計測 VOC の光化学オキシダント生成能の評価, 環境省環境研究総合推進費終了研究等成果報告書(平成 28 年 5 月, 環境省), pp.63-84, (2016)
- Ohara, T., Akimoto, H., Kurokawa, J., Horii, N., Yamaji, K., Yan, X., Hayasaka, T., An Asian emission inventory of anthropogenic emission sources for the period 1980 - 2020, *Atmos. Chem. Phys.*, **7**, 4419-4444, (2007)
- 埼玉県, 平成 26 年度 大気環境調査事業報告書, pp37-56, (2016)
- 佐々木寛介, 木下輝昭, 石井康一郎, 坂本和彦, 大気中 VOC 組成と発生源寄与の解析, *大気環境学会誌*, **44**, 136-146, (2009)
- Skamarock, W.C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D. M., Duda, M.G., Huang, X.-Y., Wang, W., Powers, J.G., A description of the advanced research WRF version 3, NCAR/TN-475+STR, 126pp, (2008)
- Sudo, K., Takahashi, M., Kurokawa, J., Akimoto, H., CHASER: A Global Chemical Model of the Troposphere 1. Model Description, *J. Geophys. Res.*, **107**, (2002)
- 石油エネルギー技術センター自動車・新燃料部, JATOP 技術報告書 大気改善研究自動車排出量推計(平成 24 年 3 月), (2012a)
- 石油エネルギー技術センター自動車・新燃料部, JATOP 技術報告書 大気改善研究 PM2.5 広域シミュレーション用発生源組成プロファイル(VOC、PM 及び NOx)(平成 24 年 3 月), (2012b)
- 竹内和俊 渡邊剛久 石井克巳 内藤季和 中西基晴, 揮発性有機化合物の光化学反応に関する一考察, 平成 22 年度千葉県環境研究センター年報, (2011)
- 松永壮, 高分子量生物起源揮発性有機化合物(BVOC)の放出と特徴, *低温科学*, **68**, 41-44, (2010)
- 松永壮, 中塚誠次, 茶谷聡, 望月智貴, 谷晃, Muller, O, 高分子量生物起源揮発性有機化合物の放出と国内インベントリ, *大気環境学会誌*, **47(1)**, A6-A8, (2012)
- 中嶋吉弘, 松田裕明, 井出滋雄, 宮崎洸治, 山崎晃司, 岡崎創, 長田拓也, 田島洋介, Suthawaree, J., 加藤俊吾, 下紳郎, 松永壮, Apel, E., Greenberg, J., Guenther, A., 上野広行, 佐々木啓行, 星純也, 吉野彩子, 横田久司, 石井康一郎, 梶井克純, OH ラジカル寿命観測による都市大気質の診断 II - 東京都心部における総合観測 -, *大気環境学会誌*, **44**, 33-41, (2009)
- U.S.EPA, Guidance on the Use of Models and Other Analyses for Demonstrating Attainment of Air Quality Goals for Ozone, PM2.5, and Regional Haze, EPA -454/B-07-002, (2007)

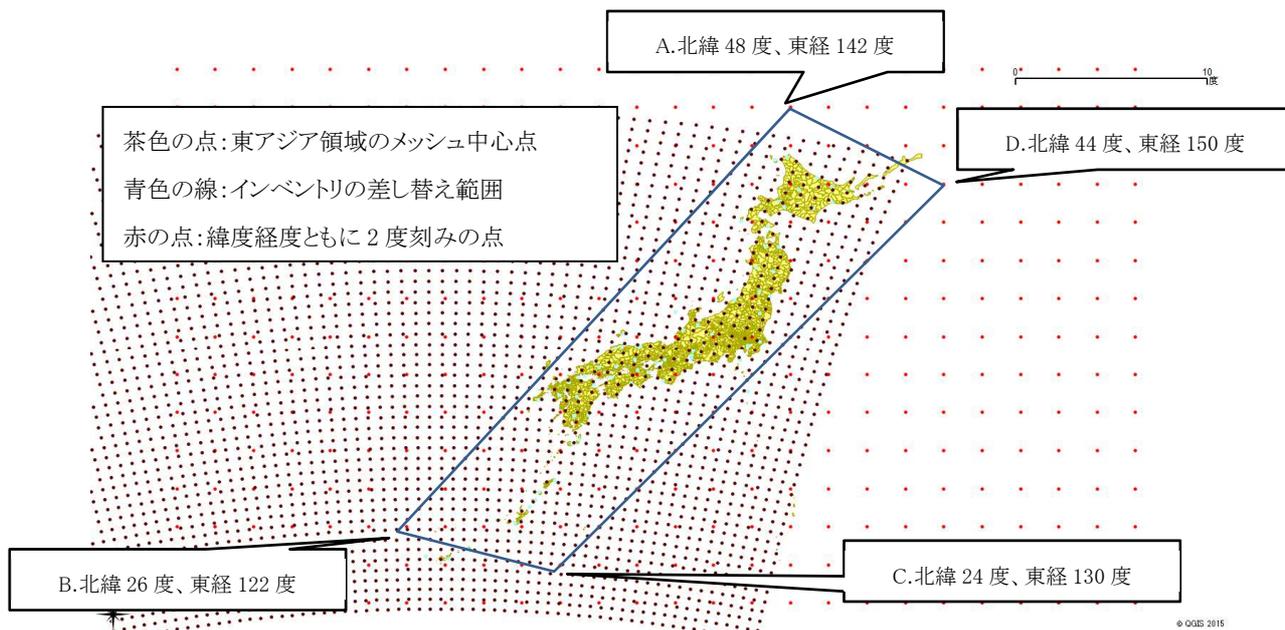
參考資料

図目次

参考資料-図 1	日本付近のインベントリの置き換え範囲	1
参考資料-図 2	測定値と計算値の月平均値経年変化図(気温及び風速、父島)	2
参考資料-図 3	精度評価指標による評価結果(気温及び風速、父島)	2
参考資料-図 4	EANET モニタリングサイトにおける測定値と計算値の経年変化図(月平均値)	3
参考資料-図 5	EANET モニタリングサイトにおける測定値と計算値の散布図(月平均値)	3
参考資料-図 6	EANET モニタリングサイトにおける測定値と計算値の比較(期間別)	4
参考資料-図 7	EANET モニタリングサイトにおける測定値と計算値の年の差分の散布図(期間別) ..	4
参考資料-図 8	PO 月平均値(暖候期平均値、上:関東地域、下:九州地域)	31
参考資料-図 9	NO ₂ 月平均値(暖候期平均値、上:関東地域、下:九州地域)	32
参考資料-図 10	Ox 時別平均値(暖候期平均値、上:関東地域、下:九州地域)	33
参考資料-図 11	PO 時別値(暖候期平均値、上:関東地域、下:九州地域)	34
参考資料-図 12	NO _x 時別値(暖候期平均値、上:関東地域、下:九州地域)	35
参考資料-図 13	NO ₂ 時別値(暖候期平均値、上:関東地域、下:九州地域)	36
参考資料-図 14	NMHC 時別値(暖候期平均値、上:関東地域、下:九州地域)	37
参考資料-図 15	Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98% 値の濃度比(ケース A' / ケース C')	38
参考資料-図 16	オゾン反応レジームの概念図	39
参考資料-図 17	BVOC を変化させた場合の Ox 日最高 8 時間値 8 月平均値の変化.....	40
参考資料-図 18	基準ケース(V100-N100)との Ox 濃度比(日最高 8 時間値 8 月平均値)	41
参考資料-図 19(1)	都県別 Ox 日最高 8 時間値の 8 月平均値	42
参考資料-図 20	前駆物質削減による NMHC、NO _x 濃度の変化 北関東	44
参考資料-図 21	前駆物質削減による NMHC、NO _x 濃度の変化 南関東	44

表目次

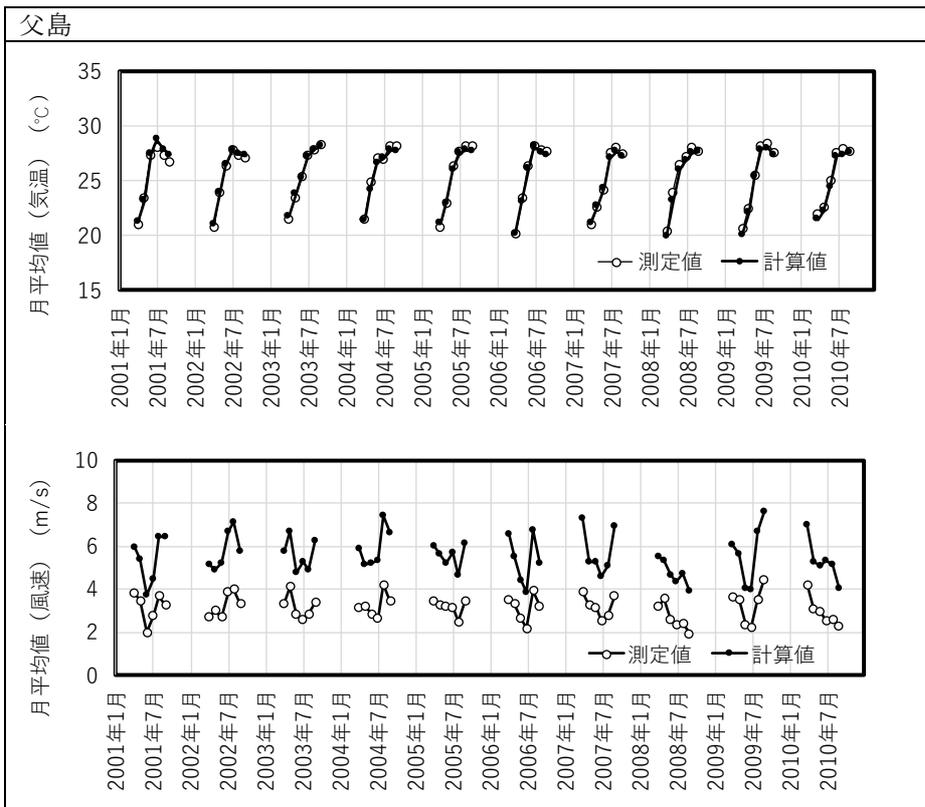
参考資料-表 1 CHASERとCMAQの成分対応表	1
参考資料-表 2 精度評価指標による評価結果(2001年 60 km 格子計算値 関東地域)	5
参考資料-表 3 精度評価指標による評価結果(2002年 60 km 格子計算値 関東地域)	6
参考資料-表 4 精度評価指標による評価結果(2003年 60 km 格子計算値 関東地域)	7
参考資料-表 5 精度評価指標による評価結果(2004年 60 km 格子計算値 関東地域)	8
参考資料-表 6 精度評価指標による評価結果(2005年 60 km 格子計算値 関東地域)	9
参考資料-表 7 精度評価指標による評価結果(2006年 60 km 格子計算値 関東地域)	10
参考資料-表 8 精度評価指標による評価結果(2007年 60 km 格子計算値 関東地域)	11
参考資料-表 9 精度評価指標による評価結果(2008年 60 km 格子計算値 関東地域)	12
参考資料-表 10 精度評価指標による評価結果(2009年 60 km 格子計算値 関東地域)	13
参考資料-表 11 精度評価指標による評価結果(2010年 60 km 格子計算値 関東地域)	14
参考資料-表 12 精度評価指標による評価結果(2001年 60 km 格子計算値 九州地域)	15
参考資料-表 13 精度評価指標による評価結果(2002年 60 km 格子計算値 九州地域)	16
参考資料-表 14 精度評価指標による評価結果(2003年 60 km 格子計算値 九州地域)	17
参考資料-表 15 精度評価指標による評価結果(2004年 60 km 格子計算値 九州地域)	18
参考資料-表 16 精度評価指標による評価結果(2005年 60 km 格子計算値 九州地域)	19
参考資料-表 17 精度評価指標による評価結果(2006年 60 km 格子計算値 九州地域)	20
参考資料-表 18 精度評価指標による評価結果(2007年 60 km 格子計算値 九州地域)	21
参考資料-表 19 精度評価指標による評価結果(2008年 60 km 格子計算値 九州地域)	22
参考資料-表 20 精度評価指標による評価結果(2009年 60 km 格子計算値 九州地域)	23
参考資料-表 21 精度評価指標による評価結果(2010年 60 km 格子計算値 九州地域)	24
参考資料-表 22 精度評価指標による評価結果(2009年 10 km 格子計算値 関東地域)	25
参考資料-表 23 精度評価指標による評価結果(2009年 10 km 格子計算値 都県別)	26
参考資料-表 24 精度評価指標による評価結果(2009年 10 km 格子計算値 都県別)	27
参考資料-表 25 精度評価指標による評価結果(2009年 10 km 格子計算値 都県別)	28
参考資料-表 26 精度評価指標による評価結果(2009年 10 km 格子計算値 都県別)	29
参考資料-表 27 他モデルとの比較における、各モデルの詳細設定条件	30
参考資料-表 28 Missing VOCに関連する既往調査事例(1)	45
参考資料-表 29 Missing VOCに関連する既往調査事例(2)	46
参考資料-表 30 Missing VOCに関連する既往調査事例(3)	49
参考資料-表 31 Missing VOCに関連する既往調査事例(4)	51



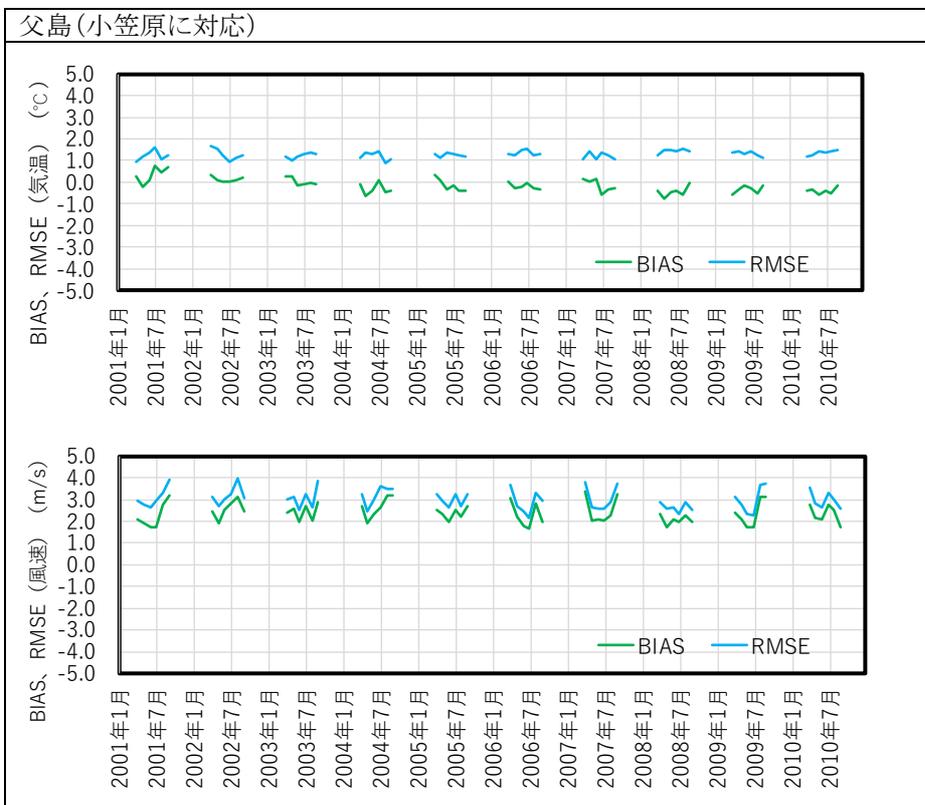
参考資料-図 1 日本付近のインベントリの置き換え範囲

参考資料-表 1 CHASER と CMAQ の成分対応表

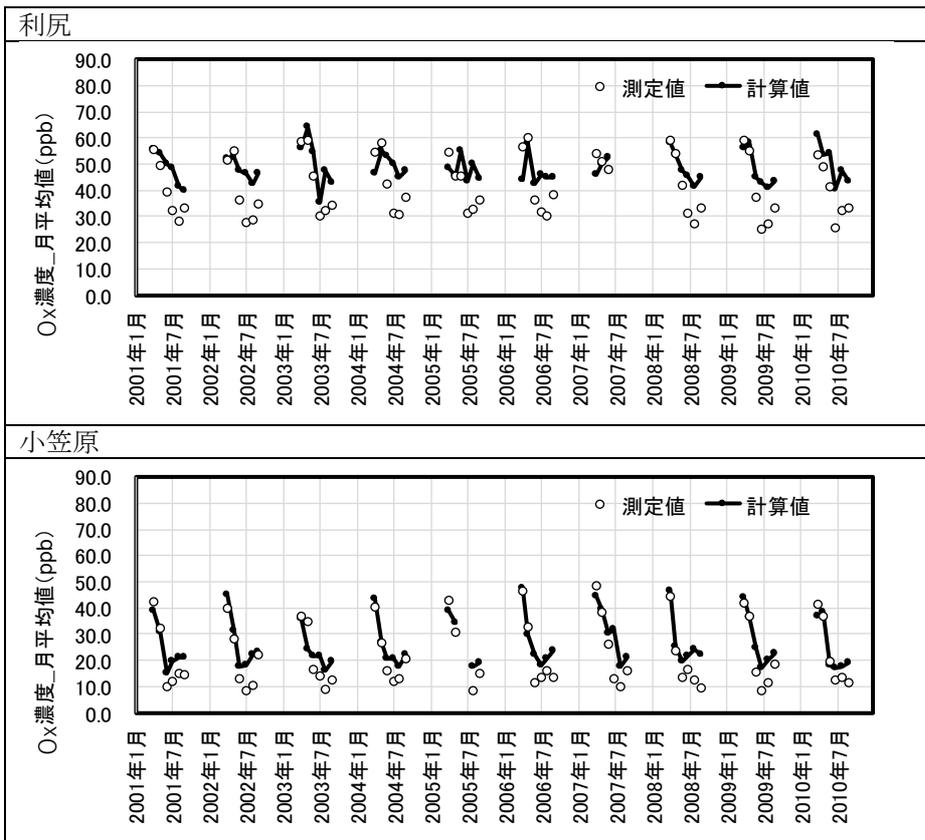
CHASER 化学種	CMAQ 化学種
C10H16 テルペン	TRP1
C2H4	ETHENE
C2H6	ALK1
C3H8	ALK2
C5H8 イソプレン	ISOPRENE
CH2O	HCHO
CH3CHO	CCHO
CH3COCH3	ACET
CH3OH	MEOH
CH3OOH	COOH
CO	CO
DMS	SO2
H2O2	HO2H
HNO3	HNO3
HNO4	HNO4
BC 質量濃度	AECJ
ダスト 質量濃度	ASOIL
硝酸塩(NH4NO3)粒子 質量濃度	ANO3J
OC 質量濃度	AORGPAJ
海塩粒子 質量濃度	ACLK:ANAK=3:2で分配
SOA 質量濃度	AOLGB
硫酸塩((NH4)2SO4)粒子 質量濃度	ASO4J
MPAN	MA PAN
N2O5	N2O5
NH4	ANH4J
NO	NO
NO2	NO2
NO3	NO3
O3	O3
その他のNMVOC	ALK3:ALK4:ALK5=1:1:1で分配
PAN	PAN
SO2	SO2



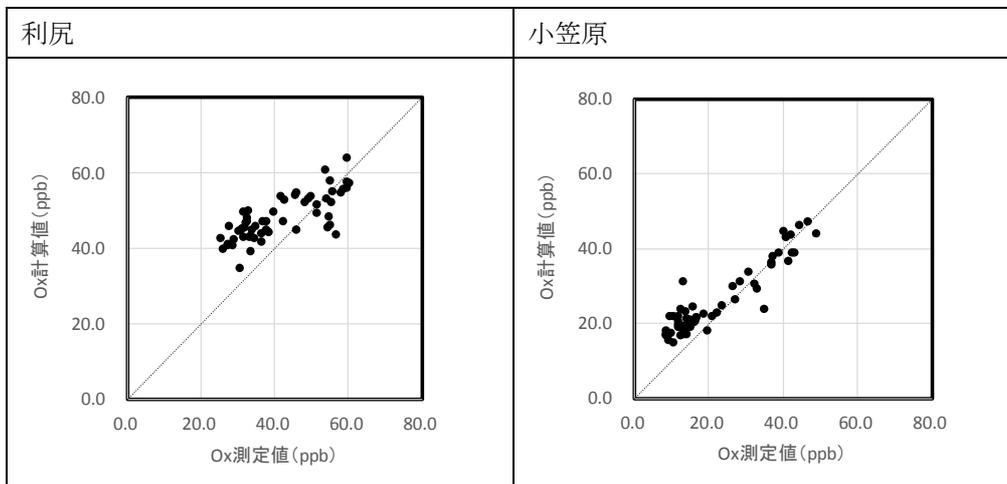
参考資料-図 2 測定値と計算値の月平均値経年変化図(気温及び風速、父島)



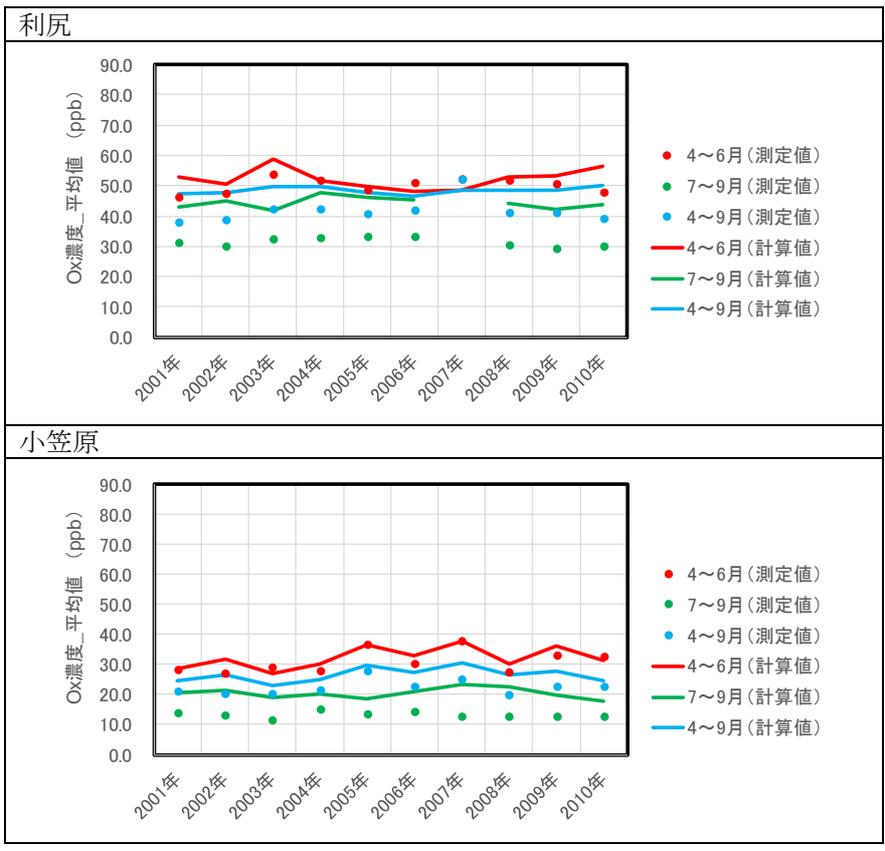
参考資料-図 3 精度評価指標による評価結果(気温及び風速、父島)



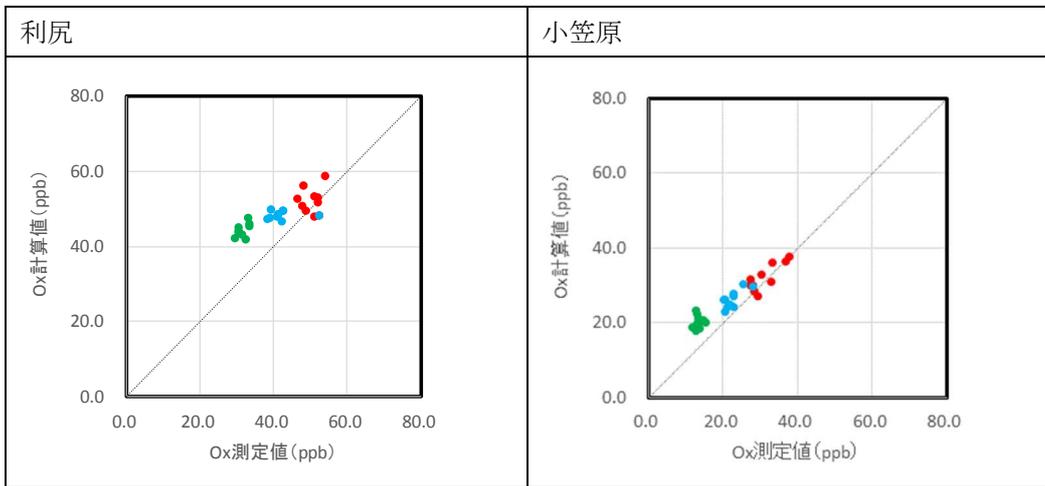
参考資料-図 4 EANET モニタリングサイトにおける測定値と計算値の経年変化図(月平均値)



参考資料-図 5 EANET モニタリングサイトにおける測定値と計算値の散布図(月平均値)



参考資料-図 6 EANET モニタリングサイトにおける測定値と計算値の比較(期間別)

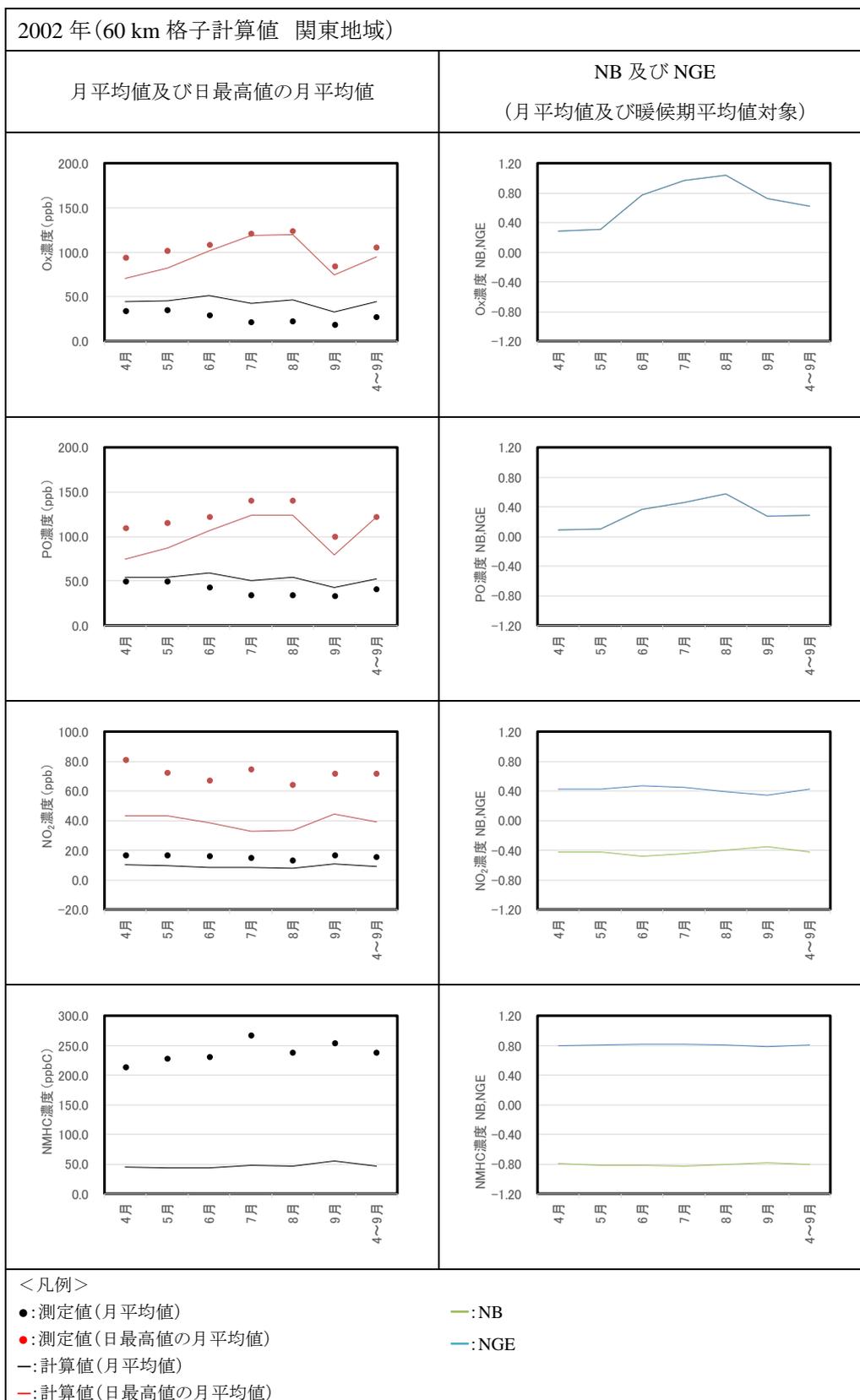


参考資料-図 7 EANET モニタリングサイトにおける測定値と計算値の年の差分の散布図(期間別)

参考資料-表 2 精度評価指標による評価結果(2001年 60 km 格子計算値 関東地域)

2001年(60 km 格子計算値 関東地域)	
月平均値及び日最高値の月平均値	NB 及び NGE (月平均値及び暖候期平均値対象)
<p><凡例></p> <ul style="list-style-type: none"> ●:測定値(月平均値) ●:測定値(日最高値の月平均値) —:計算値(月平均値) —:計算値(日最高値の月平均値) —:NB —:NGE 	

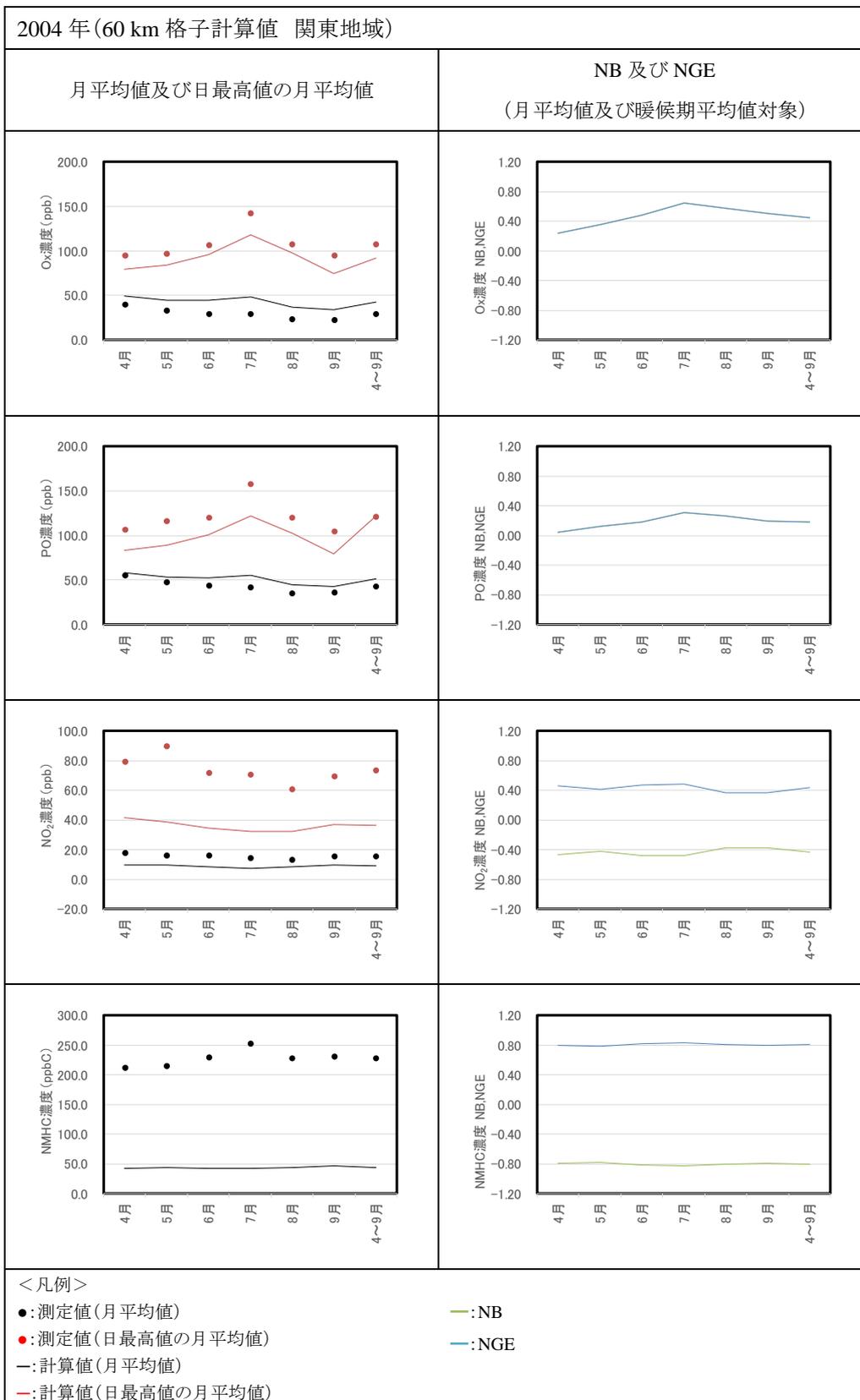
参考資料-表 3 精度評価指標による評価結果(2002年 60 km 格子計算値 関東地域)



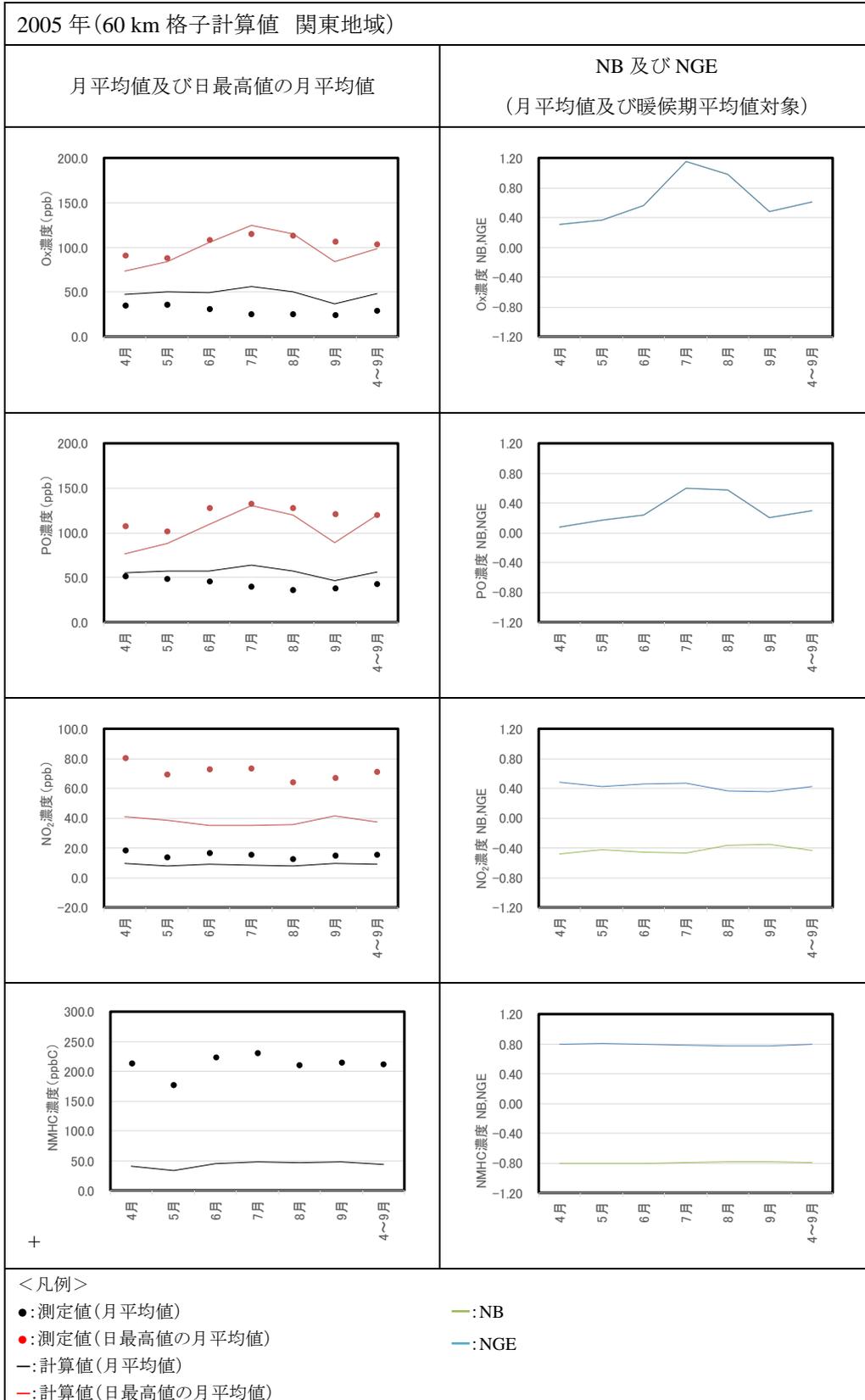
参考資料-表 4 精度評価指標による評価結果(2003年 60 km 格子計算値 関東地域)

2003年(60 km 格子計算値 関東地域)	
月平均値及び日最高値の月平均値	NB 及び NGE (月平均値及び暖候期平均値対象)
<p>O₃濃度 (ppb)</p>	<p>O₃濃度 NB/NGE</p>
<p>PO濃度 (ppb)</p>	<p>PO濃度 NB/NGE</p>
<p>NO₂濃度 (ppb)</p>	<p>NO₂濃度 NB/NGE</p>
<p>NMHC濃度 (ppbC)</p>	<p>NMHC濃度 NB/NGE</p>
<p><凡例></p> <ul style="list-style-type: none"> ●:測定値(月平均値) ●:測定値(日最高値の月平均値) —:計算値(月平均値) —:計算値(日最高値の月平均値) —:NB —:NGE 	

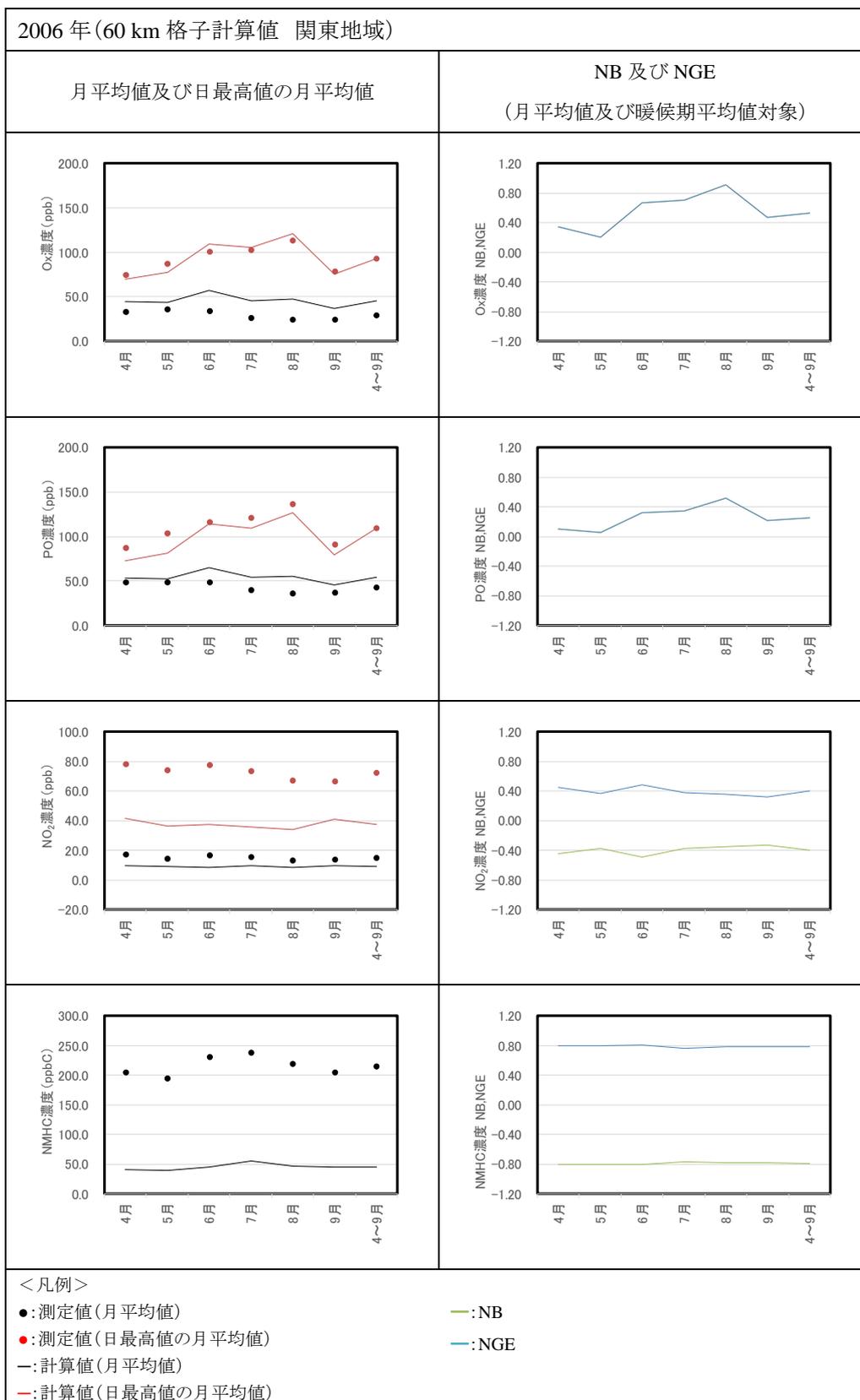
参考資料-表 5 精度評価指標による評価結果(2004年 60 km 格子計算値 関東地域)



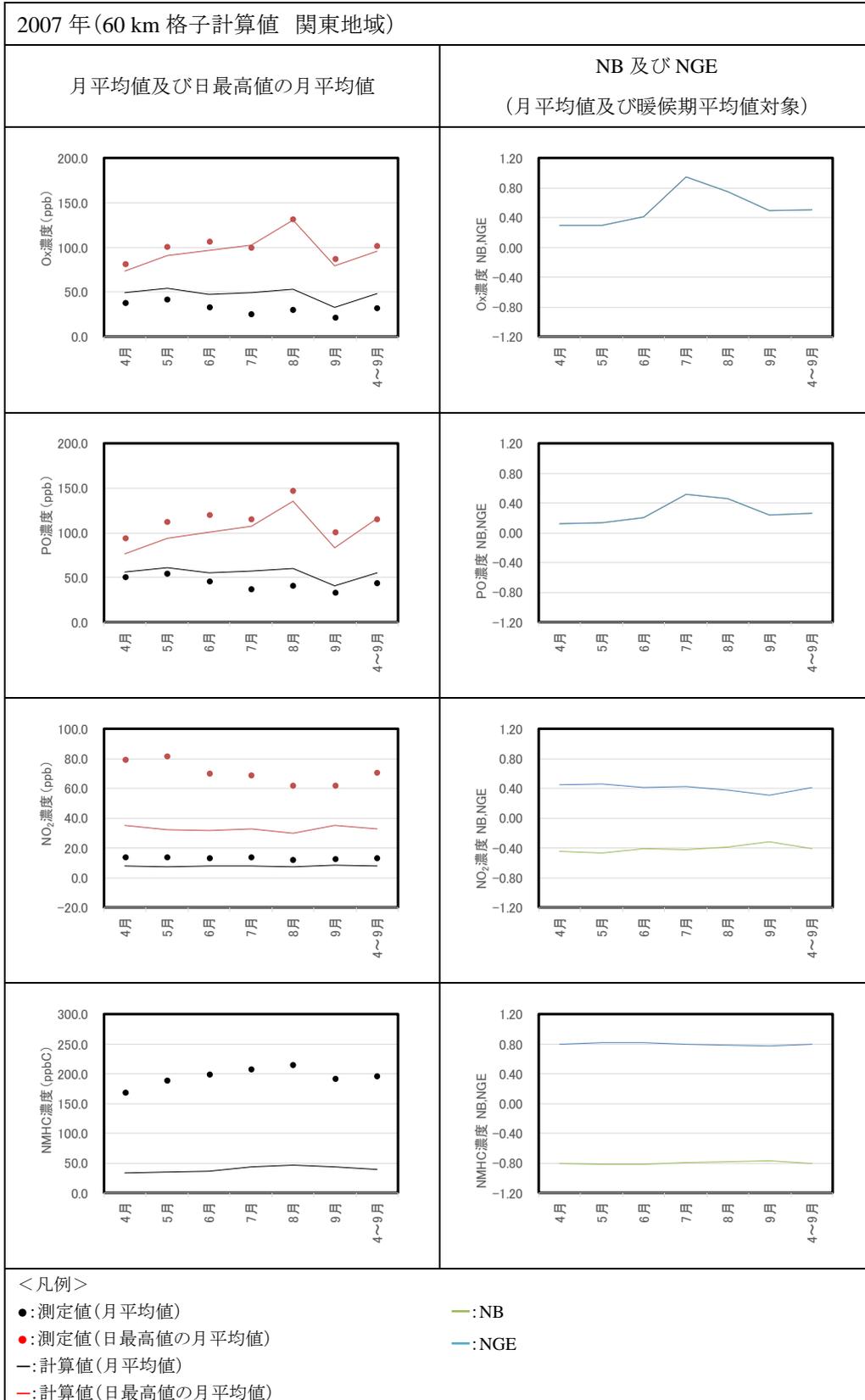
参考資料-表 6 精度評価指標による評価結果(2005年 60 km 格子計算値 関東地域)



参考資料-表 7 精度評価指標による評価結果(2006年 60 km 格子計算値 関東地域)



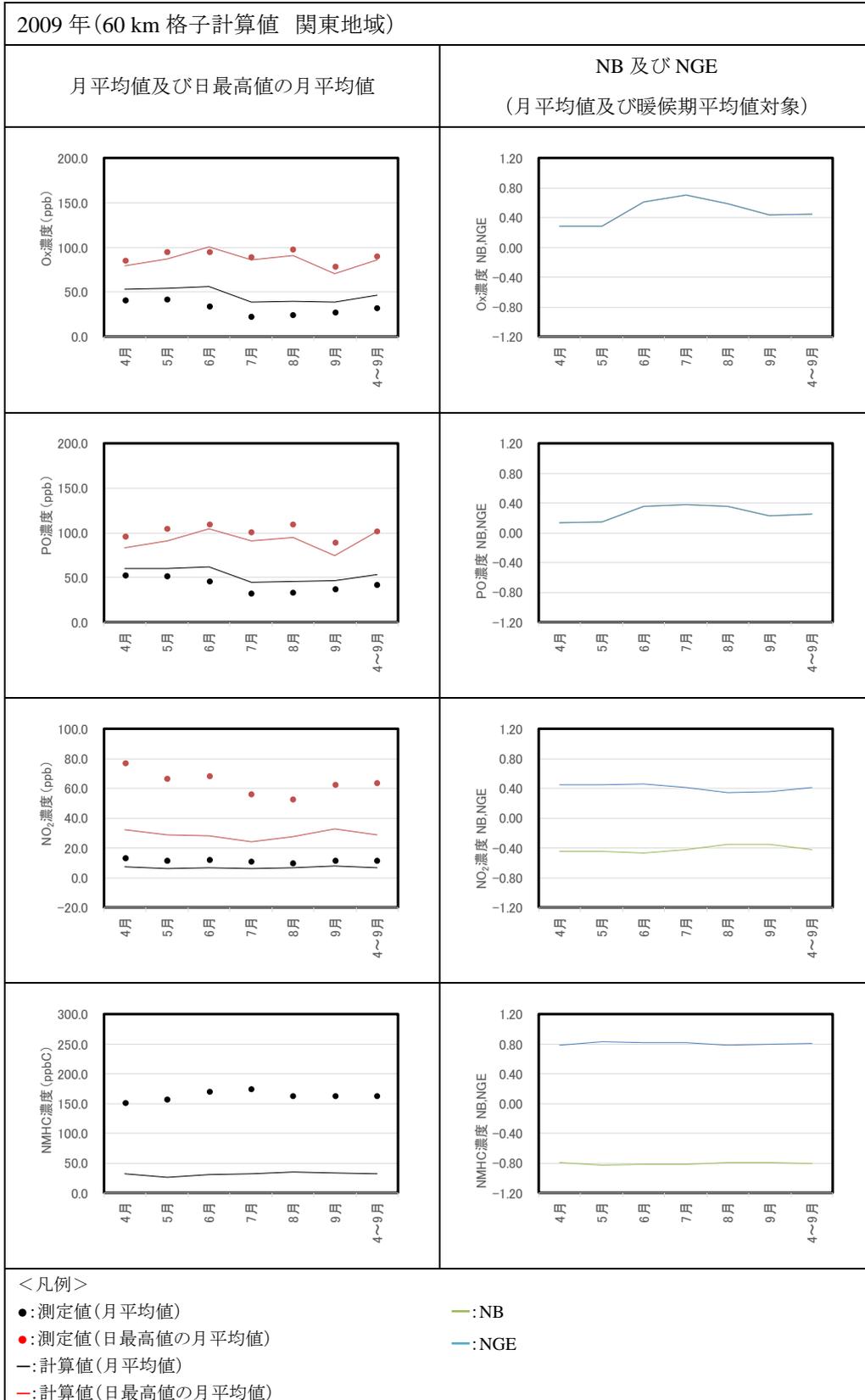
参考資料-表 8 精度評価指標による評価結果(2007年 60 km 格子計算値 関東地域)



参考資料-表 9 精度評価指標による評価結果(2008年 60 km 格子計算値 関東地域)

2008年(60 km 格子計算値 関東地域)	
月平均値及び日最高値の月平均値	NB 及び NGE (月平均値及び暖候期平均値対象)
<p><凡例></p> <ul style="list-style-type: none"> ●:測定値(月平均値) ●:測定値(日最高値の月平均値) —:計算値(月平均値) —:計算値(日最高値の月平均値) —:NB —:NGE 	

参考資料-表 10 精度評価指標による評価結果(2009年 60 km 格子計算値 関東地域)



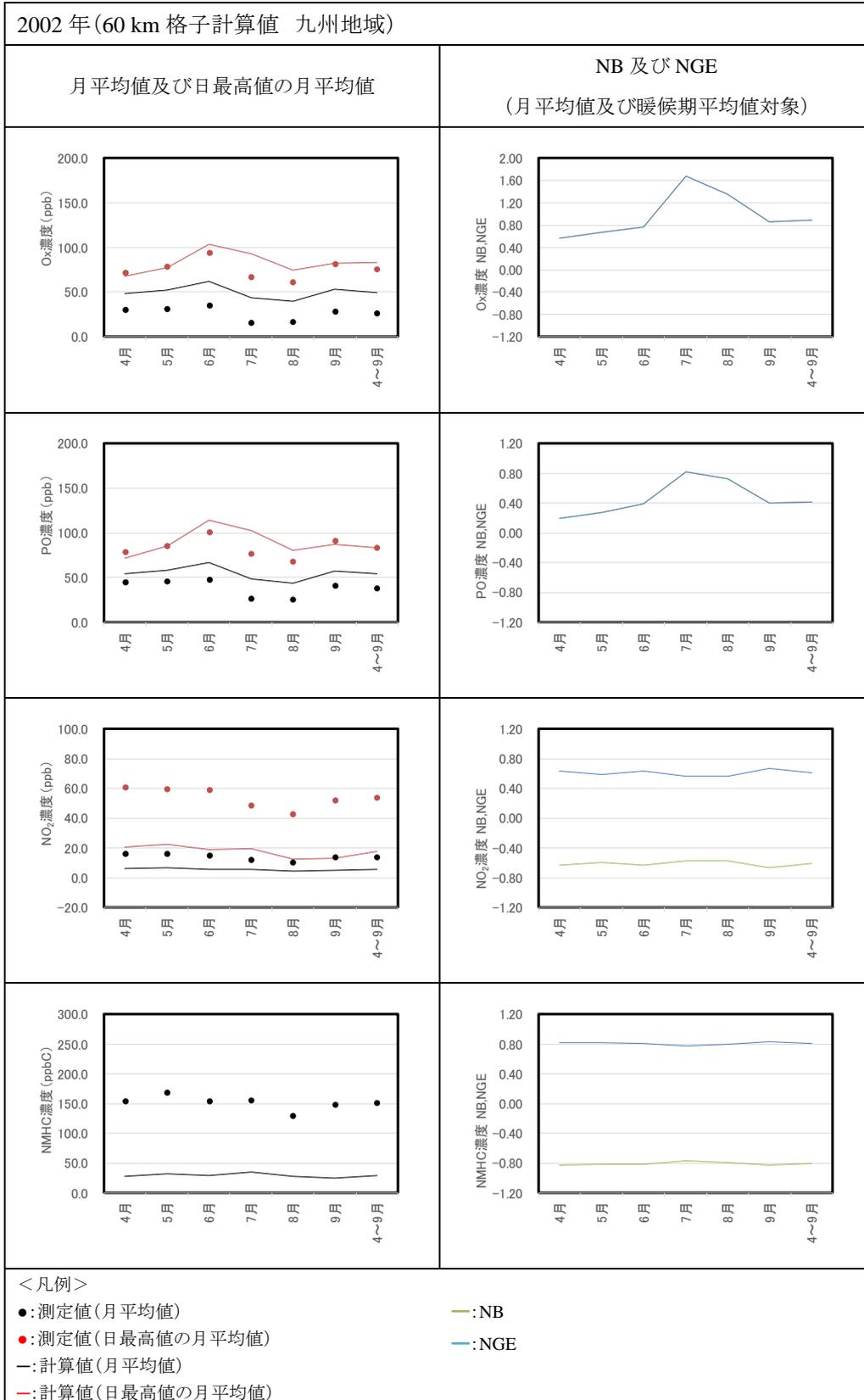
参考資料-表 11 精度評価指標による評価結果(2010年 60 km 格子計算値 関東地域)

2010年(60 km 格子計算値 関東地域)	
月平均値及び日最高値の月平均値	NB 及び NGE (月平均値及び暖候期平均値対象)
<p><凡例></p> <ul style="list-style-type: none"> ●:測定値(月平均値) ●:測定値(日最高値の月平均値) —:計算値(月平均値) —:計算値(日最高値の月平均値) —:NB —:NGE 	

参考資料-表 12 精度評価指標による評価結果(2001年 60 km 格子計算値 九州地域)

2001年(60 km 格子計算値 九州地域)	
月平均値及び日最高値の月平均値	NB 及び NGE (月平均値及び暖候期平均値対象)
<p><凡例></p> <ul style="list-style-type: none"> ●:測定値(月平均値) ●:測定値(日最高値の月平均値) —:計算値(月平均値) —:計算値(日最高値の月平均値) —:NB —:NGE 	

参考資料-表 13 精度評価指標による評価結果(2002年 60 km 格子計算値 九州地域)



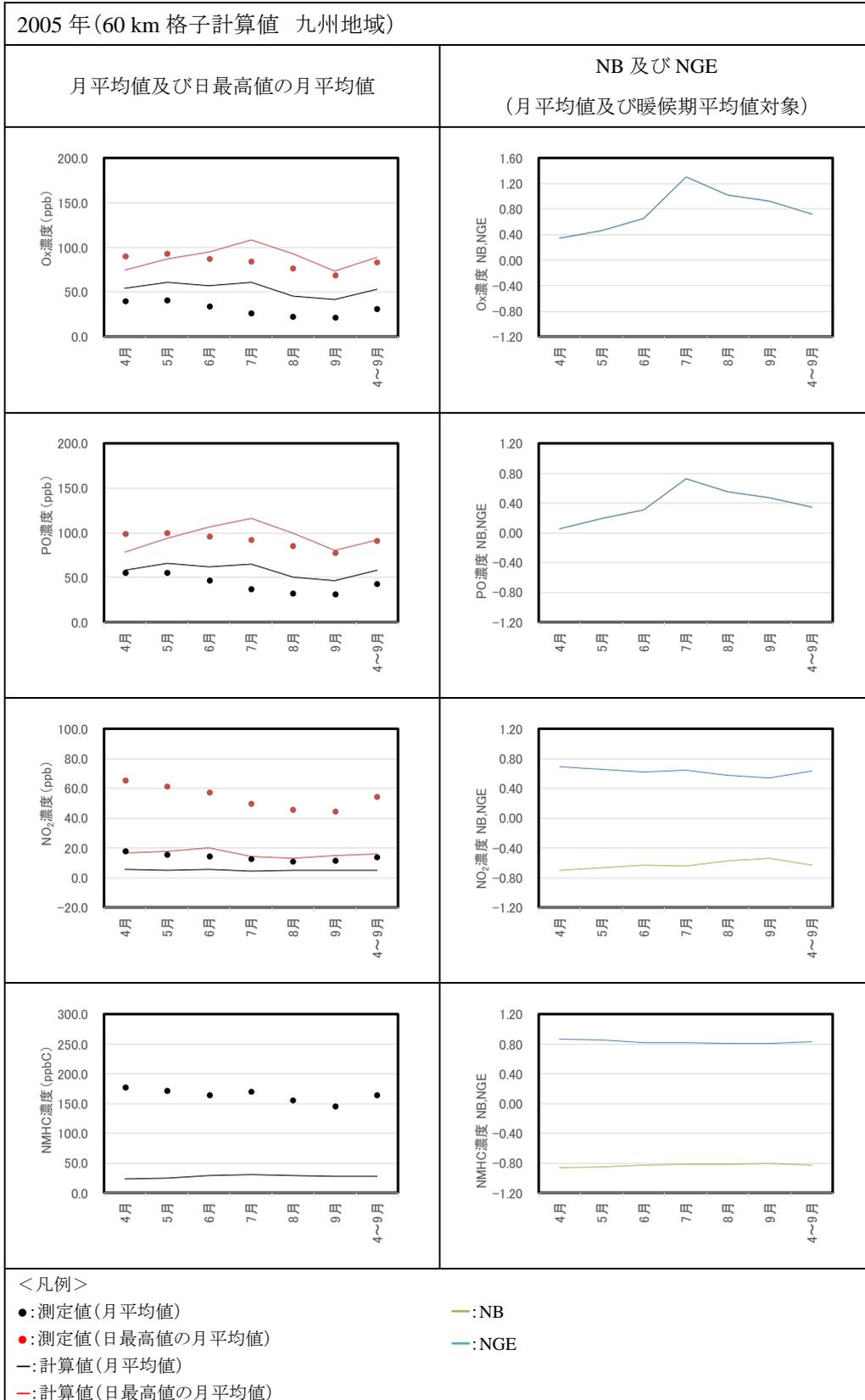
参考資料-表 14 精度評価指標による評価結果(2003年 60 km 格子計算値 九州地域)

2003年(60 km 格子計算値 九州地域)	
月平均値及び日最高値の月平均値	NB 及び NGE (月平均値及び暖候期平均値対象)
<p>< 凡例 ></p> <ul style="list-style-type: none"> ●: 測定値(月平均値) ●: 測定値(日最高値の月平均値) —: 計算値(月平均値) —: 計算値(日最高値の月平均値) —: NB —: NGE 	

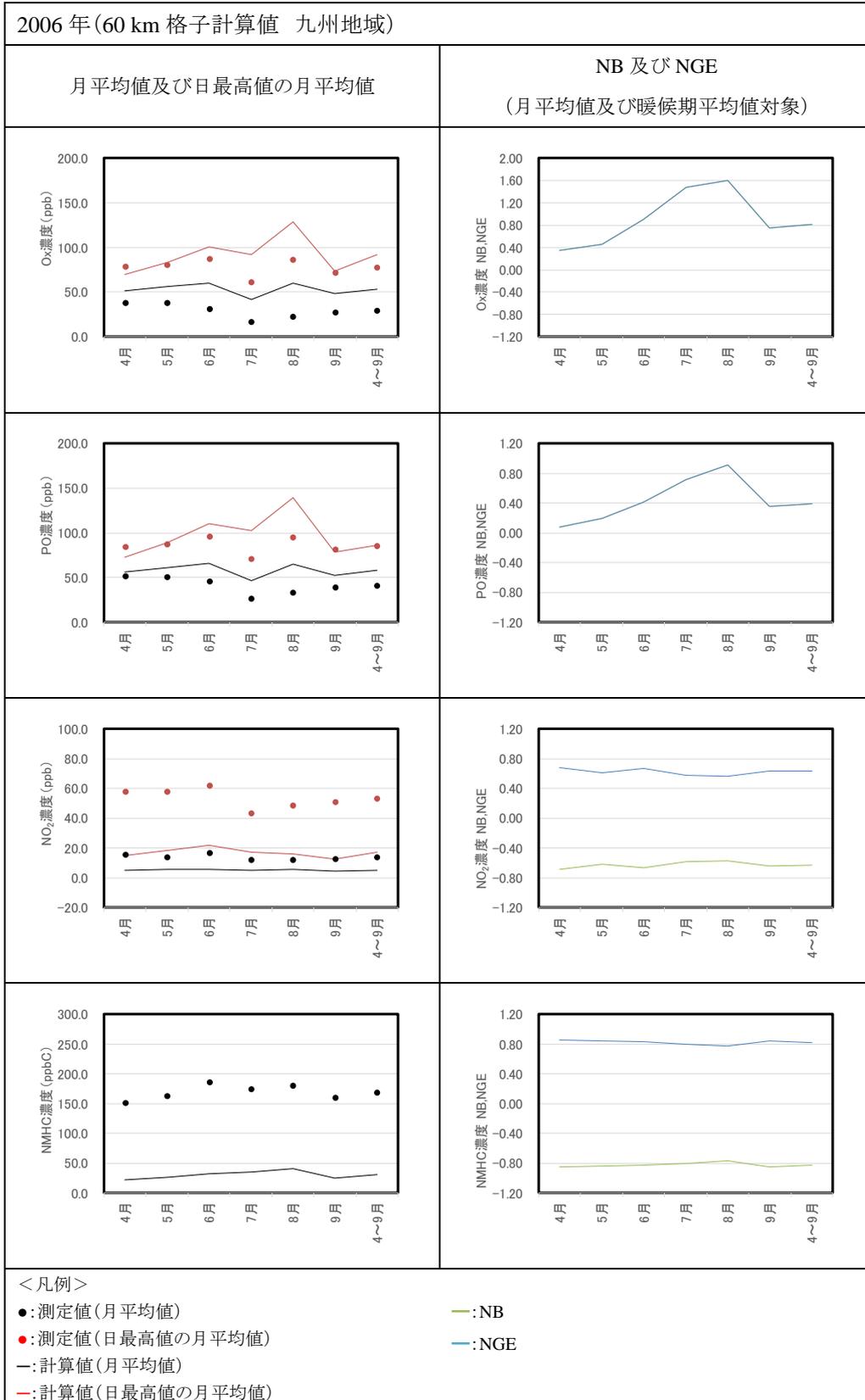
参考資料-表 15 精度評価指標による評価結果(2004年 60 km 格子計算値 九州地域)

2004年(60 km 格子計算値 九州地域)	
月平均値及び日最高値の月平均値	NB 及び NGE (月平均値及び暖候期平均値対象)
<p><凡例></p> <ul style="list-style-type: none"> ●:測定値(月平均値) ●:測定値(日最高値の月平均値) —:計算値(月平均値) —:計算値(日最高値の月平均値) —:NB —:NGE 	

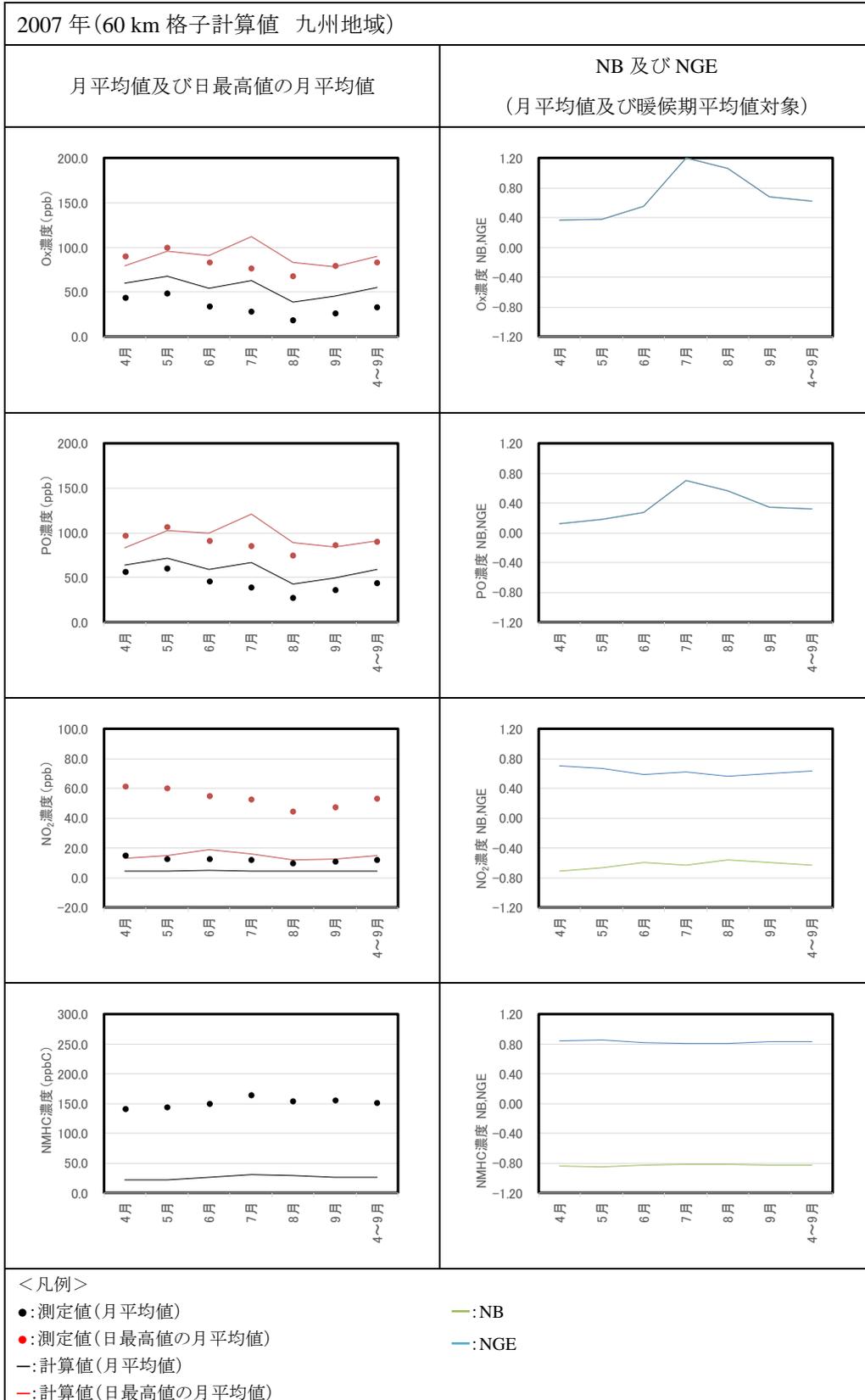
参考資料-表 16 精度評価指標による評価結果(2005年 60 km 格子計算値 九州地域)



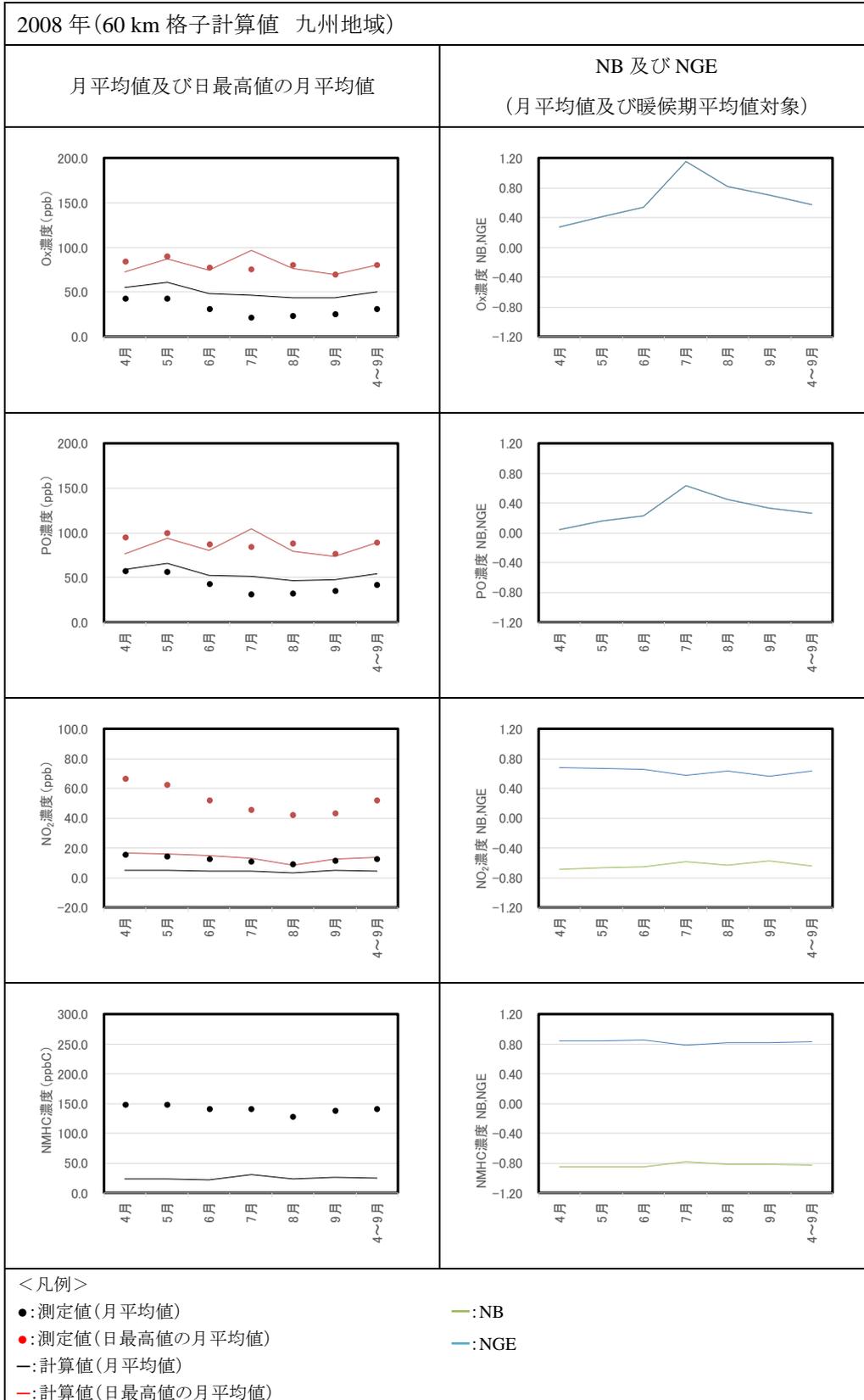
参考資料-表 17 精度評価指標による評価結果(2006年 60 km 格子計算値 九州地域)



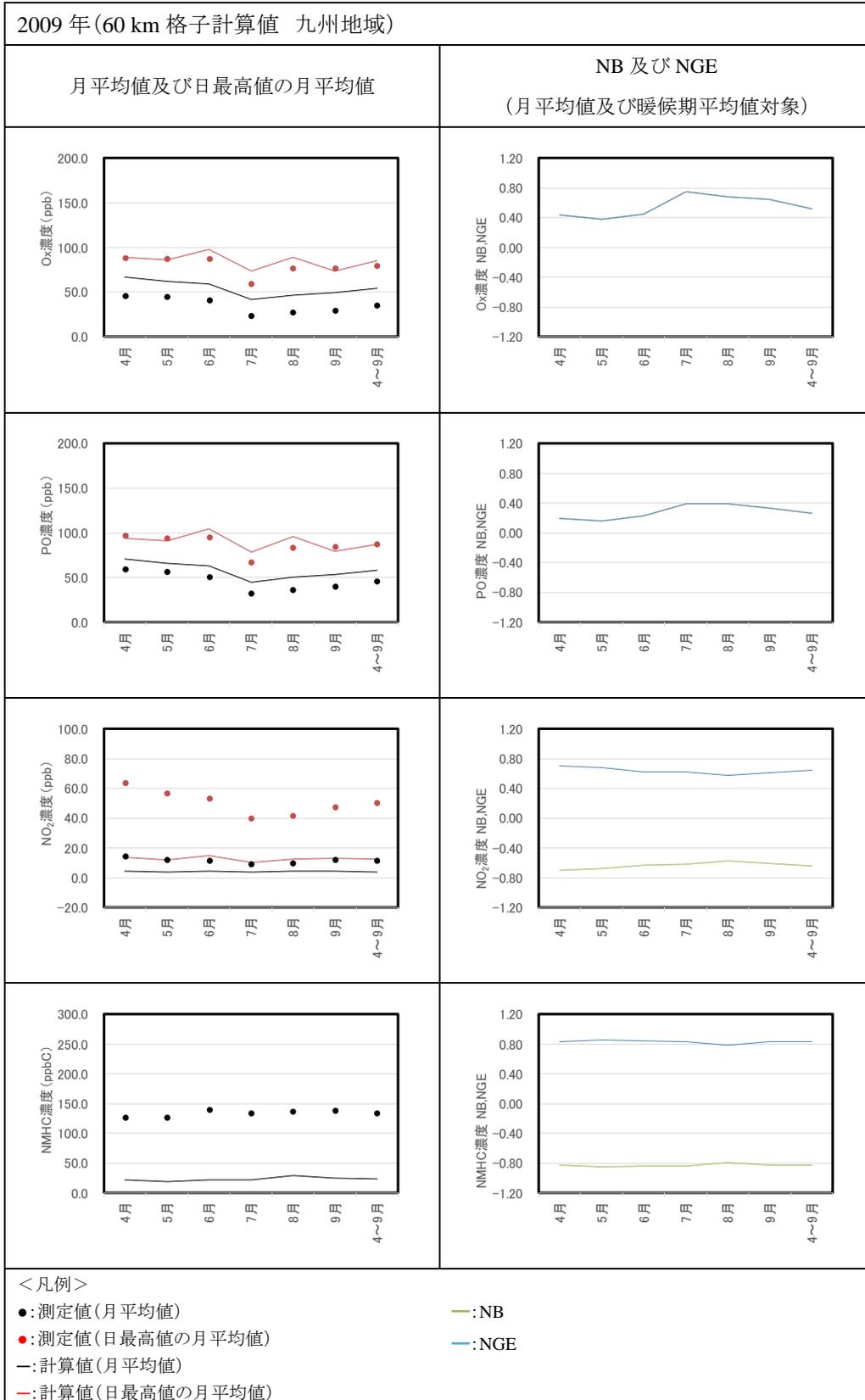
参考資料-表 18 精度評価指標による評価結果(2007年 60 km 格子計算値 九州地域)



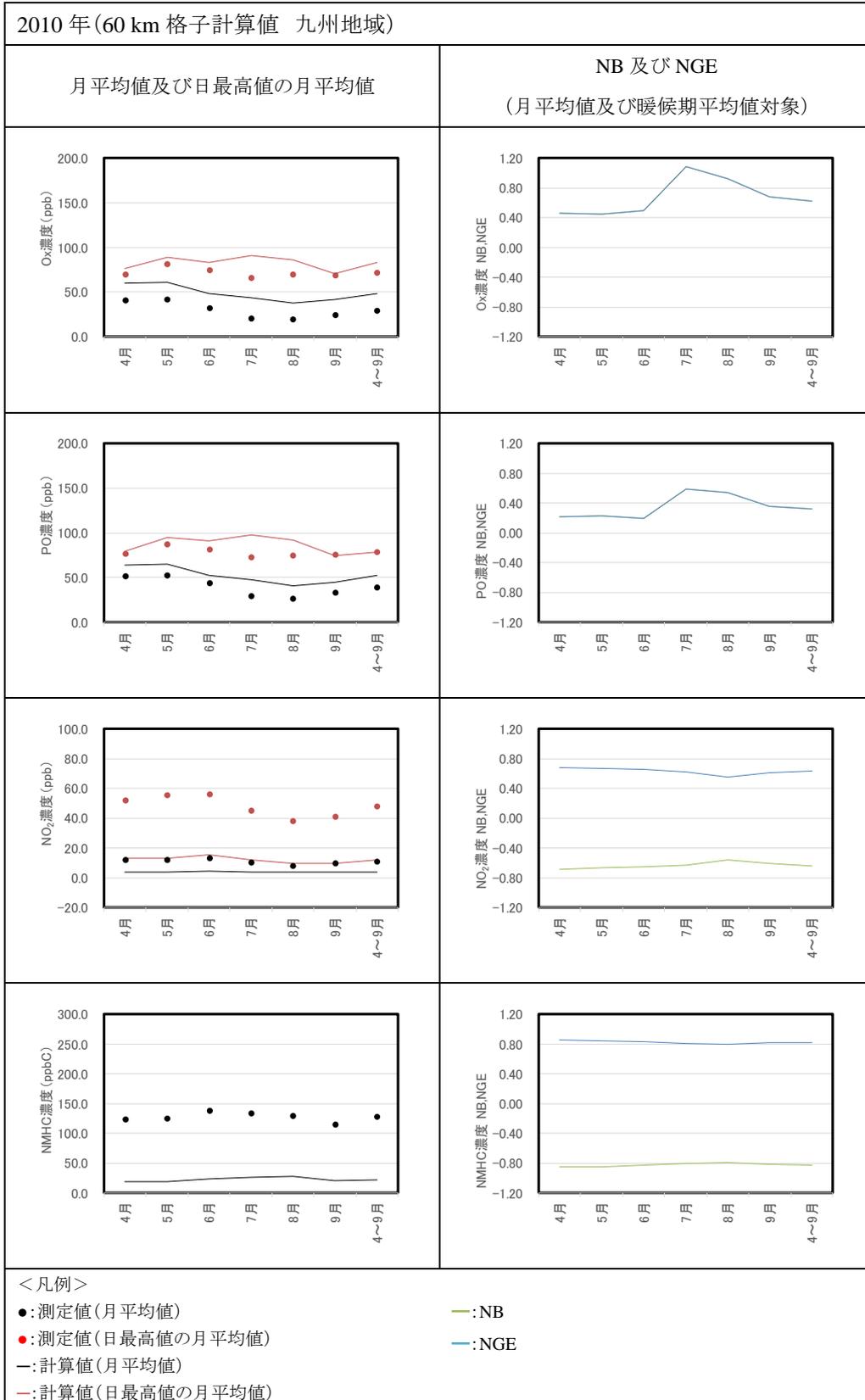
参考資料-表 19 精度評価指標による評価結果(2008年 60 km 格子計算値 九州地域)



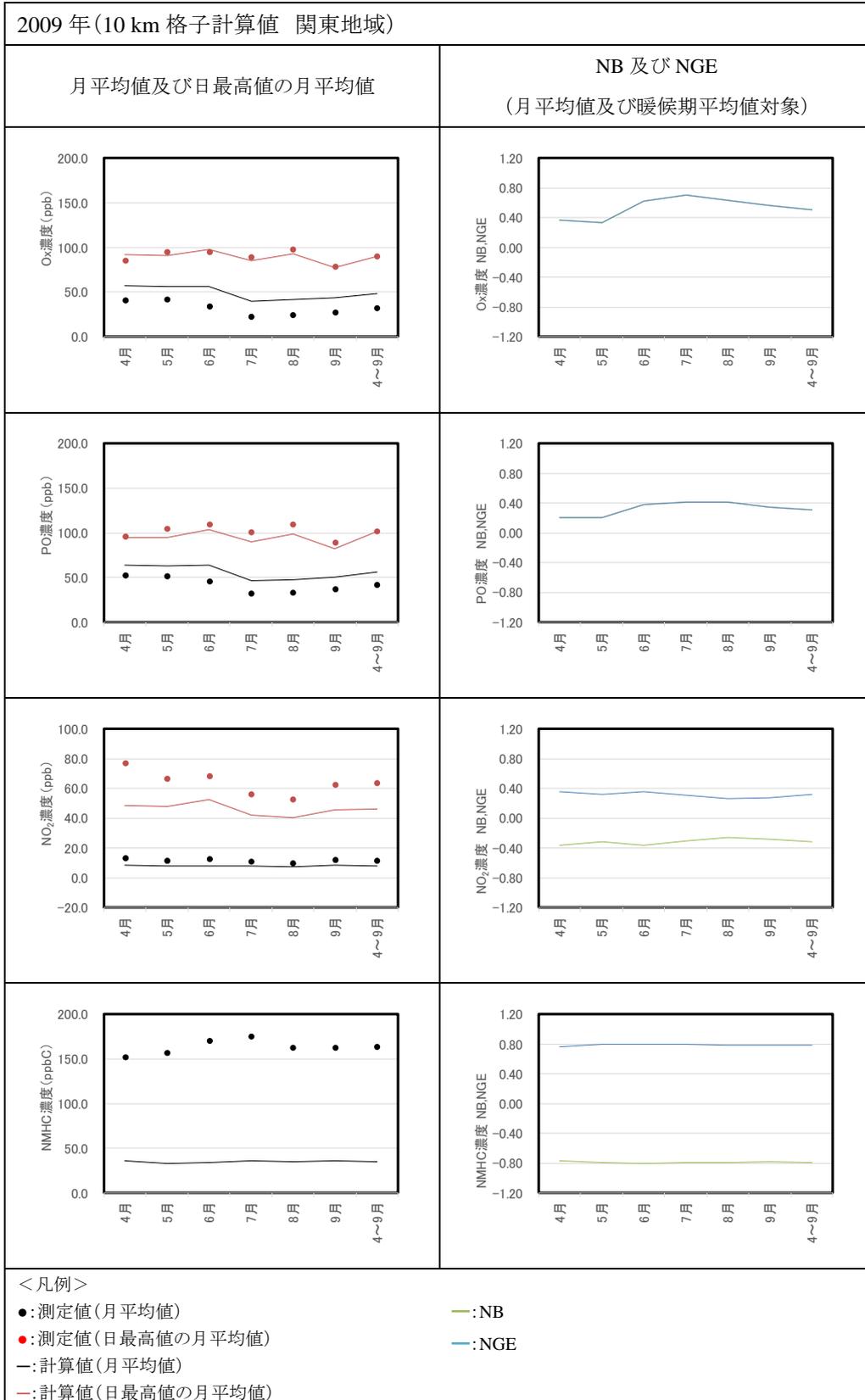
参考資料-表 20 精度評価指標による評価結果(2009年 60 km 格子計算値 九州地域)



参考資料-表 21 精度評価指標による評価結果(2010年 60 km 格子計算値 九州地域)



参考資料-表 22 精度評価指標による評価結果(2009年 10 km 格子計算値 関東地域)



参考資料-表 23 精度評価指標による評価結果(2009年 10 km 格子計算値 都県別)

Ox																																																										
平均値	評価指標(NB)	評価指標(NGE)																																																								
<p>関東地域</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>2009年</th> <th>測定値(ppb)</th> <th>計算値(ppb)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4月</td><td>41.6</td><td>56.7</td></tr> <tr><td>5月</td><td>41.8</td><td>55.8</td></tr> <tr><td>6月</td><td>34.8</td><td>56.6</td></tr> <tr><td>7月</td><td>23.1</td><td>39.5</td></tr> <tr><td>8月</td><td>25.2</td><td>41.3</td></tr> <tr><td>9月</td><td>27.6</td><td>43.2</td></tr> <tr><td>4～9月</td><td>32.4</td><td>48.9</td></tr> </tbody> </table>	2009年	測定値(ppb)	計算値(ppb)	4月	41.6	56.7	5月	41.8	55.8	6月	34.8	56.6	7月	23.1	39.5	8月	25.2	41.3	9月	27.6	43.2	4～9月	32.4	48.9	<p>関東地域</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>対象期間</th> <th>NB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4月</td><td>0.36</td></tr> <tr><td>5月</td><td>0.33</td></tr> <tr><td>6月</td><td>0.62</td></tr> <tr><td>7月</td><td>0.71</td></tr> <tr><td>8月</td><td>0.64</td></tr> <tr><td>9月</td><td>0.57</td></tr> <tr><td>4～9月</td><td>0.54</td></tr> </tbody> </table>	対象期間	NB	4月	0.36	5月	0.33	6月	0.62	7月	0.71	8月	0.64	9月	0.57	4～9月	0.54	<p>関東地域</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>対象期間</th> <th>NGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4月</td><td>0.36</td></tr> <tr><td>5月</td><td>0.33</td></tr> <tr><td>6月</td><td>0.62</td></tr> <tr><td>7月</td><td>0.71</td></tr> <tr><td>8月</td><td>0.64</td></tr> <tr><td>9月</td><td>0.57</td></tr> <tr><td>4～9月</td><td>0.54</td></tr> </tbody> </table>	対象期間	NGE	4月	0.36	5月	0.33	6月	0.62	7月	0.71	8月	0.64	9月	0.57	4～9月	0.54
2009年	測定値(ppb)	計算値(ppb)																																																								
4月	41.6	56.7																																																								
5月	41.8	55.8																																																								
6月	34.8	56.6																																																								
7月	23.1	39.5																																																								
8月	25.2	41.3																																																								
9月	27.6	43.2																																																								
4～9月	32.4	48.9																																																								
対象期間	NB																																																									
4月	0.36																																																									
5月	0.33																																																									
6月	0.62																																																									
7月	0.71																																																									
8月	0.64																																																									
9月	0.57																																																									
4～9月	0.54																																																									
対象期間	NGE																																																									
4月	0.36																																																									
5月	0.33																																																									
6月	0.62																																																									
7月	0.71																																																									
8月	0.64																																																									
9月	0.57																																																									
4～9月	0.54																																																									
-	<p>各都県(月平均値を対象とした評価指標の分布範囲)</p> <p style="text-align: center;">-1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0 1.5 NB (Ox)</p>	<p>各都県(月平均値を対象とした評価指標の分布範囲)</p> <p style="text-align: center;">-1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0 1.5 NGE (Ox)</p>																																																								
<ul style="list-style-type: none"> ・関東地域における月平均値を対象とした NB から、計算値は測定値と比べると過大(33～71%)であった。 ・関東地域における暖候期を対象とした NB から、計算値は測定値と比べると過大(54%)であった。 ・精度評価指標 NB および NGE の値から、相対的に精度レベルの高い都県(上位3都県)として、東京都、埼玉県及び茨城県があげられる。 																																																										

参考資料-表 24 精度評価指標による評価結果(2009年 10 km 格子計算値 都県別)

PO																																																										
平均値	評価指標(NB)	評価指標(NGE)																																																								
<p>関東地域</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>2009年</th> <th>測定値(ppb)</th> <th>計算値(ppb)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4月</td><td>53.3</td><td>64.2</td></tr> <tr><td>5月</td><td>51.9</td><td>62.7</td></tr> <tr><td>6月</td><td>46.0</td><td>63.6</td></tr> <tr><td>7月</td><td>32.6</td><td>46.1</td></tr> <tr><td>8月</td><td>33.9</td><td>47.9</td></tr> <tr><td>9月</td><td>37.8</td><td>50.7</td></tr> <tr><td>4~9月</td><td>42.6</td><td>55.9</td></tr> </tbody> </table>	2009年	測定値(ppb)	計算値(ppb)	4月	53.3	64.2	5月	51.9	62.7	6月	46.0	63.6	7月	32.6	46.1	8月	33.9	47.9	9月	37.8	50.7	4~9月	42.6	55.9	<p>関東地域</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>対象期間</th> <th>NB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4月</td><td>0.21</td></tr> <tr><td>5月</td><td>0.21</td></tr> <tr><td>6月</td><td>0.38</td></tr> <tr><td>7月</td><td>0.41</td></tr> <tr><td>8月</td><td>0.41</td></tr> <tr><td>9月</td><td>0.34</td></tr> <tr><td>4~9月</td><td>0.33</td></tr> </tbody> </table>	対象期間	NB	4月	0.21	5月	0.21	6月	0.38	7月	0.41	8月	0.41	9月	0.34	4~9月	0.33	<p>関東地域</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>対象期間</th> <th>NGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4月</td><td>0.21</td></tr> <tr><td>5月</td><td>0.21</td></tr> <tr><td>6月</td><td>0.38</td></tr> <tr><td>7月</td><td>0.41</td></tr> <tr><td>8月</td><td>0.41</td></tr> <tr><td>9月</td><td>0.34</td></tr> <tr><td>4~9月</td><td>0.33</td></tr> </tbody> </table>	対象期間	NGE	4月	0.21	5月	0.21	6月	0.38	7月	0.41	8月	0.41	9月	0.34	4~9月	0.33
2009年	測定値(ppb)	計算値(ppb)																																																								
4月	53.3	64.2																																																								
5月	51.9	62.7																																																								
6月	46.0	63.6																																																								
7月	32.6	46.1																																																								
8月	33.9	47.9																																																								
9月	37.8	50.7																																																								
4~9月	42.6	55.9																																																								
対象期間	NB																																																									
4月	0.21																																																									
5月	0.21																																																									
6月	0.38																																																									
7月	0.41																																																									
8月	0.41																																																									
9月	0.34																																																									
4~9月	0.33																																																									
対象期間	NGE																																																									
4月	0.21																																																									
5月	0.21																																																									
6月	0.38																																																									
7月	0.41																																																									
8月	0.41																																																									
9月	0.34																																																									
4~9月	0.33																																																									
—	<p>各都県(月平均値を対象とした評価指標の分布範囲)</p> <p style="text-align: center;">-1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0 1.5 NB (PO)</p>	<p>各都県(月平均値を対象とした評価指標の分布範囲)</p> <p style="text-align: center;">-1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0 1.5 NGE (PO)</p>																																																								
<ul style="list-style-type: none"> ・関東地域における月平均値を対象とした NB から、計算値は測定値と比べると過大(21 ~ 41%)であった。 ・関東地域における暖候期を対象とした NB から、計算値は測定値と比べると過大(33%)であった。 ・関東地域及び全都県で計算値が測定値と比べると過大であるが、Ox と比較すると過大の程度が低減した。 ・精度評価指標 NB および NGE の値から、相対的に精度レベルの高い都県(上位 3 都県)として、東京都、埼玉県及び神奈川県があげられる。 																																																										

参考資料-表 25 精度評価指標による評価結果(2009年 10 km 格子計算値 都県別)

NO ₂																																																										
平均値	評価指標(NB)	評価指標(NGE)																																																								
<p>関東地域</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>2009年</th> <th>測定値(ppb)</th> <th>計算値(ppb)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4月</td><td>13.2</td><td>8.4</td></tr> <tr><td>5月</td><td>11.6</td><td>7.9</td></tr> <tr><td>6月</td><td>12.6</td><td>8.1</td></tr> <tr><td>7月</td><td>11.0</td><td>7.6</td></tr> <tr><td>8月</td><td>10.2</td><td>7.5</td></tr> <tr><td>9月</td><td>12.0</td><td>8.7</td></tr> <tr><td>4~9月</td><td>11.7</td><td>8.0</td></tr> </tbody> </table>	2009年	測定値(ppb)	計算値(ppb)	4月	13.2	8.4	5月	11.6	7.9	6月	12.6	8.1	7月	11.0	7.6	8月	10.2	7.5	9月	12.0	8.7	4~9月	11.7	8.0	<p>関東地域</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>対象期間</th> <th>NB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4月</td><td>-0.36</td></tr> <tr><td>5月</td><td>-0.32</td></tr> <tr><td>6月</td><td>-0.36</td></tr> <tr><td>7月</td><td>-0.30</td></tr> <tr><td>8月</td><td>-0.26</td></tr> <tr><td>9月</td><td>-0.28</td></tr> <tr><td>4~9月</td><td>-0.31</td></tr> </tbody> </table>	対象期間	NB	4月	-0.36	5月	-0.32	6月	-0.36	7月	-0.30	8月	-0.26	9月	-0.28	4~9月	-0.31	<p>関東地域</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>対象期間</th> <th>NGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4月</td><td>0.36</td></tr> <tr><td>5月</td><td>0.33</td></tr> <tr><td>6月</td><td>0.62</td></tr> <tr><td>7月</td><td>0.71</td></tr> <tr><td>8月</td><td>0.64</td></tr> <tr><td>9月</td><td>0.57</td></tr> <tr><td>4~9月</td><td>0.54</td></tr> </tbody> </table>	対象期間	NGE	4月	0.36	5月	0.33	6月	0.62	7月	0.71	8月	0.64	9月	0.57	4~9月	0.54
2009年	測定値(ppb)	計算値(ppb)																																																								
4月	13.2	8.4																																																								
5月	11.6	7.9																																																								
6月	12.6	8.1																																																								
7月	11.0	7.6																																																								
8月	10.2	7.5																																																								
9月	12.0	8.7																																																								
4~9月	11.7	8.0																																																								
対象期間	NB																																																									
4月	-0.36																																																									
5月	-0.32																																																									
6月	-0.36																																																									
7月	-0.30																																																									
8月	-0.26																																																									
9月	-0.28																																																									
4~9月	-0.31																																																									
対象期間	NGE																																																									
4月	0.36																																																									
5月	0.33																																																									
6月	0.62																																																									
7月	0.71																																																									
8月	0.64																																																									
9月	0.57																																																									
4~9月	0.54																																																									
—	<p>各都県(月平均値を対象とした評価指標の分布範囲)</p> <p style="text-align: center;">-1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0 1.5 NB (NO₂)</p>	<p>各都県(月平均値を対象とした評価指標の分布範囲)</p> <p style="text-align: center;">-1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0 1.5 NGE (NO₂)</p>																																																								
<ul style="list-style-type: none"> ・関東地域における月平均値を対象とした NB から、計算値は測定値と比べると過小(-36 ~ -26%)であった。 ・関東地域における暖候期を対象とした NB から、計算値は測定値と比べると過小(-31%)であった。 ・精度評価指標 NB および NGE の値から、相対的に精度レベルの高い都県(上位3都県)として、千葉県、東京都及び神奈川県があげられる。 																																																										

参考資料-表 26 精度評価指標による評価結果(2009年 10 km 格子計算値 都県別)

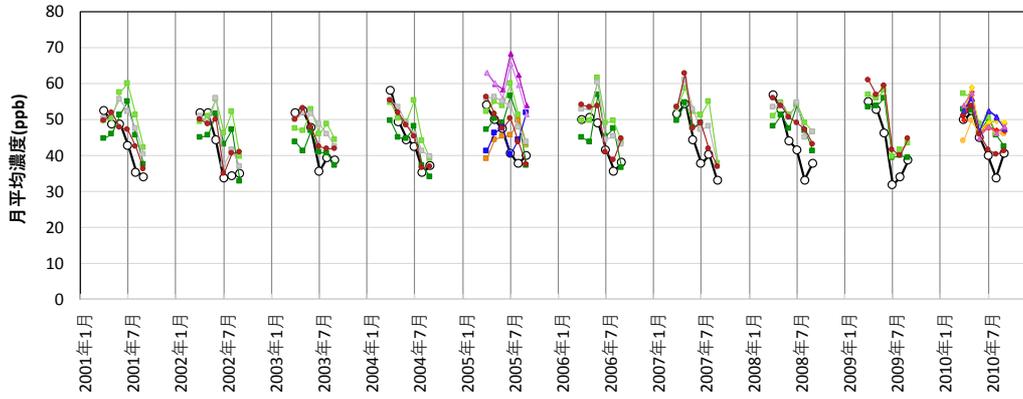
NMHC																																																										
平均値	評価指標(NB)	評価指標(NGE)																																																								
<p>関東地域</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>2009年</th> <th>測定値(ppb)</th> <th>計算値(ppb)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4月</td><td>152.2</td><td>35.6</td></tr> <tr><td>5月</td><td>157.5</td><td>32.5</td></tr> <tr><td>6月</td><td>170.9</td><td>34.0</td></tr> <tr><td>7月</td><td>175.2</td><td>35.6</td></tr> <tr><td>8月</td><td>162.8</td><td>34.8</td></tr> <tr><td>9月</td><td>163.1</td><td>36.0</td></tr> <tr><td>4~9月</td><td>163.6</td><td>34.6</td></tr> </tbody> </table>	2009年	測定値(ppb)	計算値(ppb)	4月	152.2	35.6	5月	157.5	32.5	6月	170.9	34.0	7月	175.2	35.6	8月	162.8	34.8	9月	163.1	36.0	4~9月	163.6	34.6	<p>関東地域</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>対象期間</th> <th>NB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4月</td><td>-0.77</td></tr> <tr><td>5月</td><td>-0.79</td></tr> <tr><td>6月</td><td>-0.80</td></tr> <tr><td>7月</td><td>-0.80</td></tr> <tr><td>8月</td><td>-0.79</td></tr> <tr><td>9月</td><td>-0.78</td></tr> <tr><td>4~9月</td><td>-0.79</td></tr> </tbody> </table>	対象期間	NB	4月	-0.77	5月	-0.79	6月	-0.80	7月	-0.80	8月	-0.79	9月	-0.78	4~9月	-0.79	<p>関東地域</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>対象期間</th> <th>NGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4月</td><td>0.77</td></tr> <tr><td>5月</td><td>0.79</td></tr> <tr><td>6月</td><td>0.80</td></tr> <tr><td>7月</td><td>0.80</td></tr> <tr><td>8月</td><td>0.79</td></tr> <tr><td>9月</td><td>0.78</td></tr> <tr><td>4~9月</td><td>0.79</td></tr> </tbody> </table>	対象期間	NGE	4月	0.77	5月	0.79	6月	0.80	7月	0.80	8月	0.79	9月	0.78	4~9月	0.79
2009年	測定値(ppb)	計算値(ppb)																																																								
4月	152.2	35.6																																																								
5月	157.5	32.5																																																								
6月	170.9	34.0																																																								
7月	175.2	35.6																																																								
8月	162.8	34.8																																																								
9月	163.1	36.0																																																								
4~9月	163.6	34.6																																																								
対象期間	NB																																																									
4月	-0.77																																																									
5月	-0.79																																																									
6月	-0.80																																																									
7月	-0.80																																																									
8月	-0.79																																																									
9月	-0.78																																																									
4~9月	-0.79																																																									
対象期間	NGE																																																									
4月	0.77																																																									
5月	0.79																																																									
6月	0.80																																																									
7月	0.80																																																									
8月	0.79																																																									
9月	0.78																																																									
4~9月	0.79																																																									
—	<p>各都県(月平均値を対象とした評価指標の分布範囲)</p> <p>茨城 栃木 群馬 埼玉 千葉 東京 神奈川 山梨</p> <p>-1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0 1.5 NB (NMHC)</p>	<p>各都県(月平均値を対象とした評価指標の分布範囲)</p> <p>茨城 栃木 群馬 埼玉 千葉 東京 神奈川 山梨</p> <p>-1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0 1.5 NGE (NMHC)</p>																																																								
<ul style="list-style-type: none"> ・関東地域における月平均値を対象とした NB から、計算値は測定値と比べると過小(-80 ~ -77%)であった。 ・関東地域における暖候期を対象とした NB から、計算値は測定値と比べると過小(-79%)であった。 ・精度評価指標 NB および NGE の値から、相対的に精度レベルの高い都県(上位 3 都県)として、東京都、千葉県及び埼玉県があげられる。 																																																										

参考資料-表 27 他モデルとの比較における、各モデルの詳細設定条件

設定項目	モデルA	モデルB	モデルC	モデルD	モデルE1	モデルE2	モデルF	モデルG	本調査
気象モデル	RAMS4.4	WRF-Chem	WRF	WRFV3.7	WRFV3.3.1	WRFV3.5.1	WRFV3.3.1	WRFV3.3.1	WRFV3.5.1
化学輸送モデル	ADMER-PRO	WRF-Chem	RAQM2	CMAQV5.0.2	CMAQV4.7.1	CMAQV5.01	CMAQV4.7.1	CMAQV4.7.1	CMAQV4.7.1
気層反応モジュール	CB4	RADM2	SAPRC99	SAPRC07tc	SAPRC99	SAPRC07tc	SAPRC99	SAPRC99	SAPRC99
粒子化モジュール	なし	SORGAM	MADMS/ ISORROPIA2	AERO6	AERO5	AERO6	AERO5	AERO5	AERO5
発生源データ	人為起源 (アジア領域)	なし	MICS-Asia Phase III	REASv2.1 (2008)	REAS,INTEX-B,GEIA	[中国] 清華大学 [中国以外のアジア]	REASv2.1	REASv2.1	REASv2.1
	人為起源 (日本露翼記)	ADMER-PRO内蔵	MICS-Asia Phase III	JEI-DB2014	JATOP	IIASA-GAINS	REASv2.1	JATOP	JEI-DB
バイオマス 燃焼	ADMER-PRO内蔵	FINN	MICS-Asia Phase III	GFED v4.1 日本域はJEI-DB2014	なし	GFEDv4.0, アジア領域のみ	GFEDv3.1	GFEDv3.1	-
	ADMER-PRO内蔵 (気象条件による補正 はADMER-PRO気象場 にてオンラインで実 施)	MEGAN	MICS-Asia Phase III	MEGAN v2.1 日本域はMEGAN v2.04+JEI-DB	MEGAN2.04 (日本領域は樹木を JATOP データに代替 し土地利用を変更) (EF はMEGAN2.1で設 定されたものを使用)	MEGANver2.1 +JATOP + WRF気象 場	MEGANv2.04 (+WRF気象場)	MEGANv2.1 (+WRF気象場)	MEGANv2.1.0
火山起源	なし	なし	MICS-Asia Phase III	JEI-DB2014	JMA	JMAのみ12火山考慮	ACCESS+JMA (日本域)	AEROCOM+JMA (日本域)	なし
東アジア領域の境界値	境界値データはオンソ ンのみ日本域のオンソ ンデータより作成	-	MRI-CCM2/ MASINGARmk2	MOZART-4	MOZART月平均値 (CO ₂ 及びO ₃)	MOZART月平均値 (CO ₂ , O ₃ のみ)	CHASER	CHASER	CHASER
メッシュサイズおよび 計算対象年	東アジア	東アジア(80 km) 2005年	アジア(45 km) 2010年	アジア(45 km) 2010年	東アジア(40 km) 2010年	東アジア(40 km) 2010年	東アジア(80 km) 2001~2008年	東アジア(60 km) 2001~2010年	東アジア(60 km) 2001~2010年
	日本	日本域(20 km)	日本(15 km) 2010年	日本(15 km) 2010年	日本(20 km) 2005年	日本(20 km) 2010年			
関東/九州	関東、九州(5 km) 2005年			関東(5 km) 2010年	関東(5 km) 2005年	関東(5 km) 2010年			関東(10 km) 2001~2010年

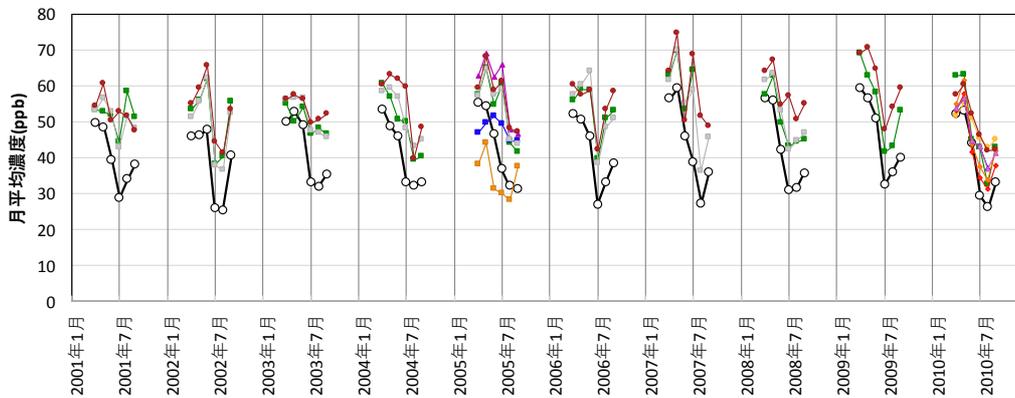
関東地域

- 測定値_月平均値
- 計算値_本調査モデル(60km)
- ▲ 計算値_本調査モデル(10km)
- 計算値_A(5 km)
- 計算値_B(80 km)
- ▲ 計算値_C(45 km)
- 計算値_D(45 km)
- ▲ 計算値_D(5 km)
- ▲ 計算値_D(15 km)
- ▲ 計算値_E1(20 km)
- ▲ 計算値_E1(5 km)
- ▲ 計算値_E2a(20 km)
- ▲ 計算値_E2b(20 km)
- ▲ 計算値_E2b(5 km)
- ▲ 計算値_F(80 km)
- ▲ 計算値_G(60 km)



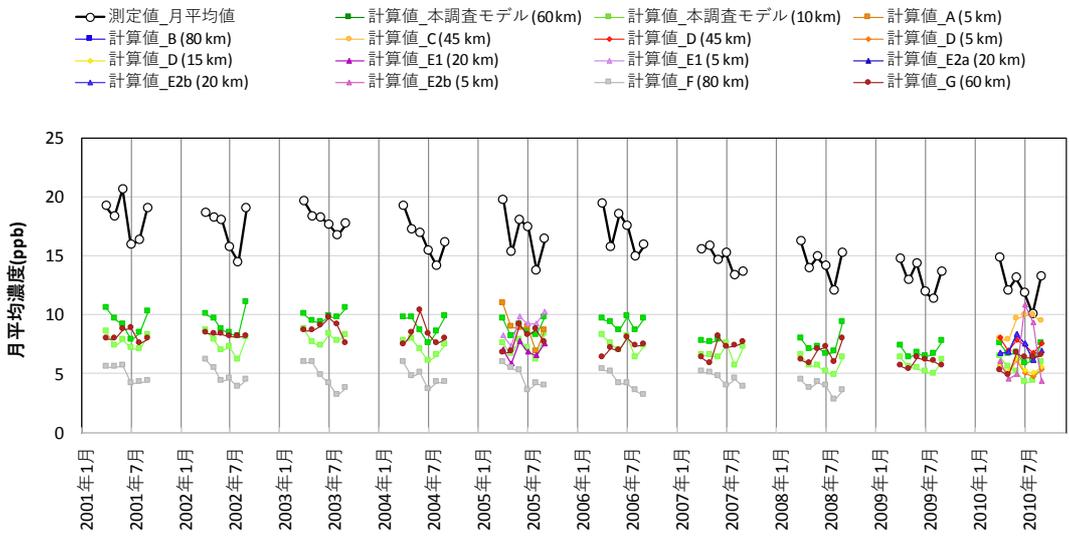
九州地域

- 測定値_月平均値
- 計算値_本調査モデル(60km)
- ▲ 計算値_A(5 km)
- 計算値_B(80 km)
- ▲ 計算値_C(45 km)
- 計算値_D(45 km)
- ▲ 計算値_D(15 km)
- ▲ 計算値_E1(20 km)
- ▲ 計算値_E2a(20 km)
- ▲ 計算値_E2b(20 km)
- ▲ 計算値_F(80 km)
- ▲ 計算値_G(60 km)

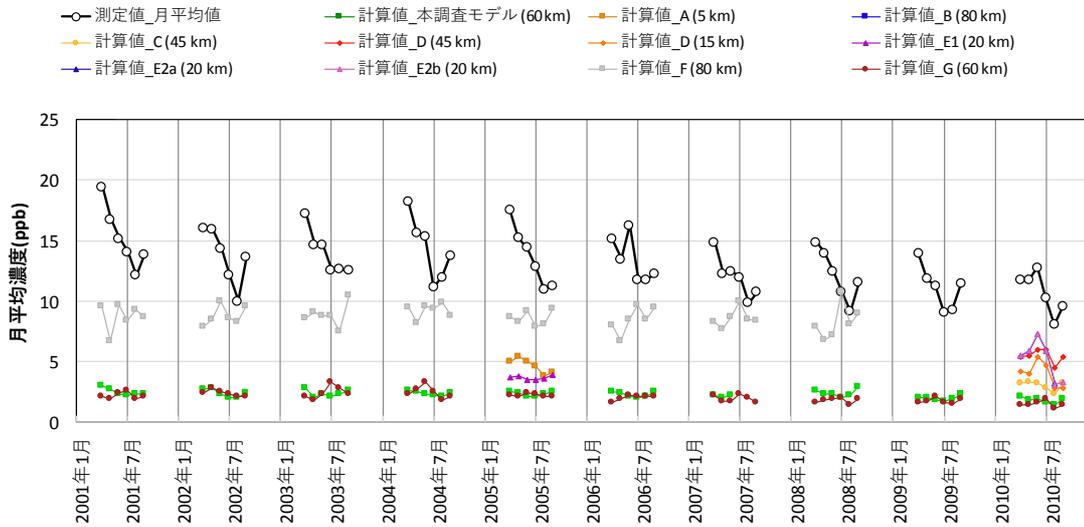


参考資料-図 8 PO 月平均値(暖候期平均値、上:関東地域、下:九州地域)

関東地域

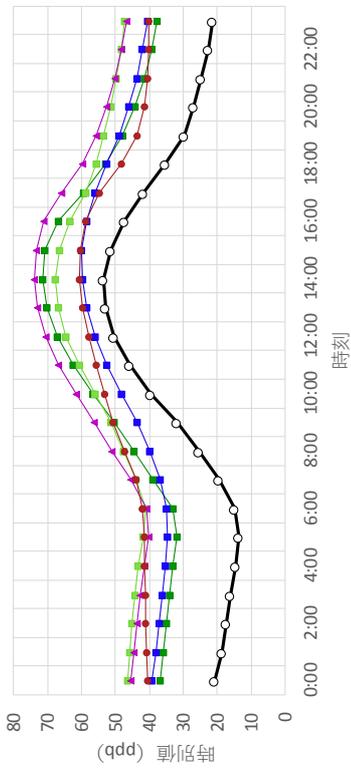


九州地域

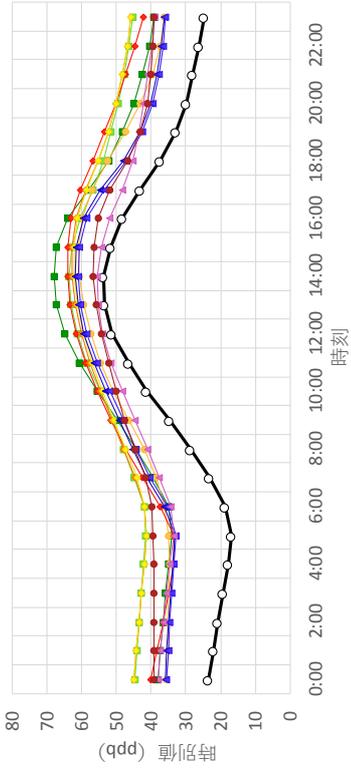


参考資料-図 9 NO₂ 月平均値(暖候期平均値、上:関東地域、下:九州地域)

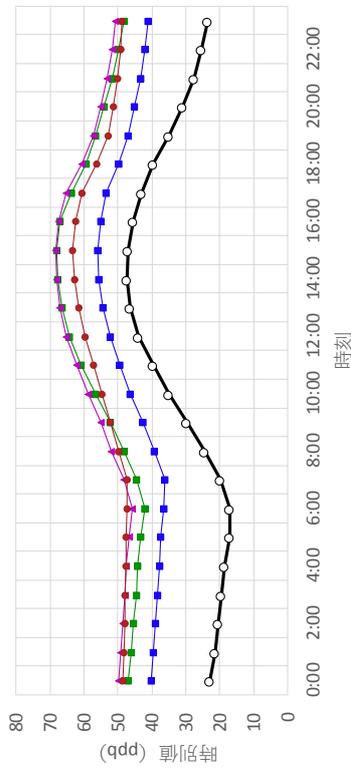
関東地域 2005年



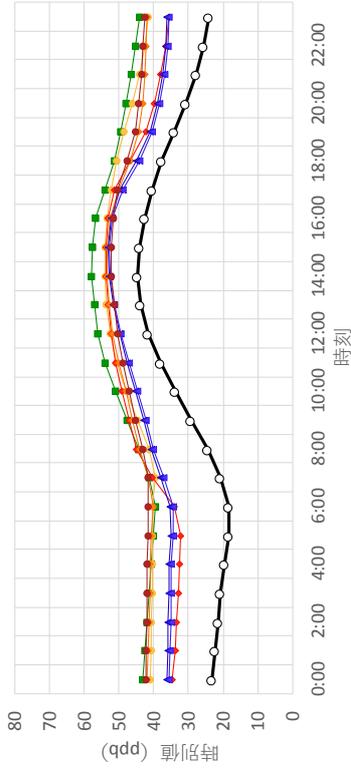
関東地域 2010年



九州地域 2005年



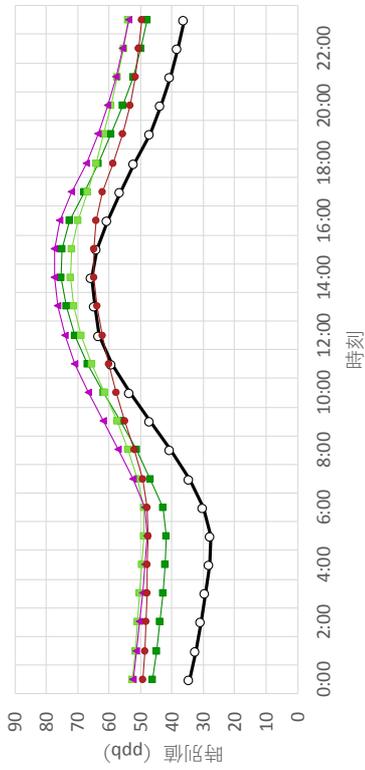
九州地域 2010年



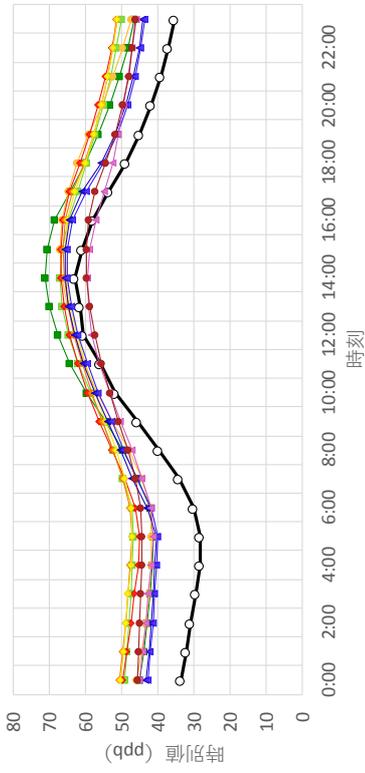
- 測定値
- ◆ 計算値_D (45 km)
- 計算値_本調査モデル (60 km)
- 計算値_本調査モデル (80 km)
- ◆ 計算値_D (15 km)
- ◆ 計算値_D (5 km)
- ◆ 計算値_D (20 km)
- ◆ 計算値_E2b (5 km)
- ◆ 計算値_E2b (20 km)
- ◆ 計算値_G (60 km)
- ◆ 計算値_C (45 km)
- ◆ 計算値_E2a (20 km)

参考資料-図 10 Ox 時別平均値(暖候期平均値、上: 関東地域、下: 九州地域)

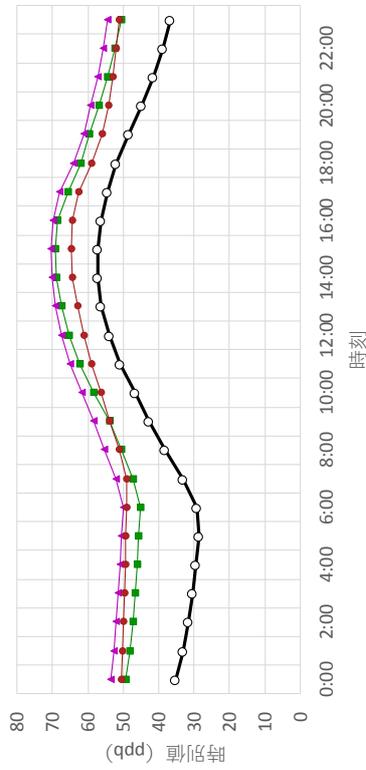
関東地域 2005年



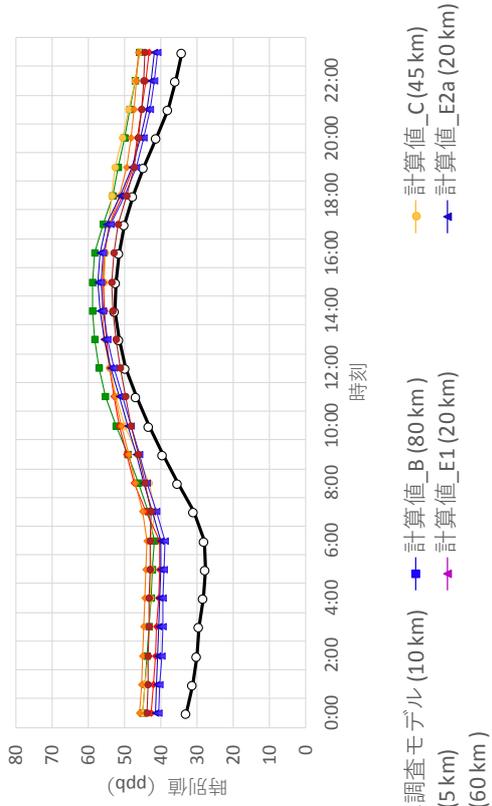
関東地域 2010年



九州地域 2005年



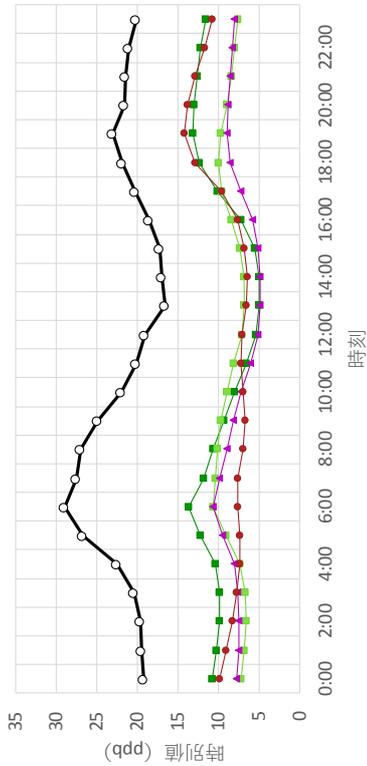
九州地域 2010年



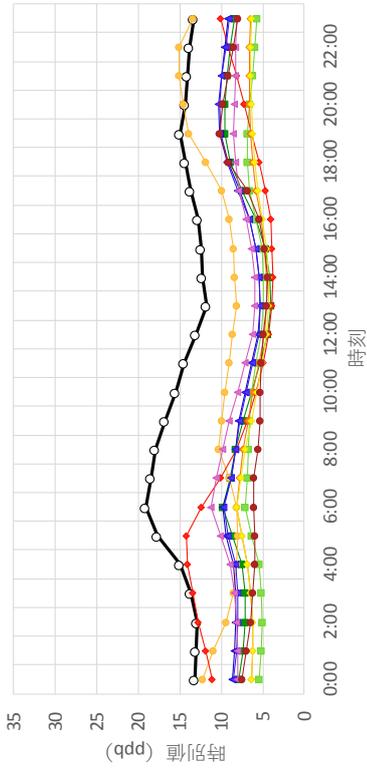
- 測定値
- ◆ 計算値_D (45 km)
- ◆ 計算値_D (60 km)
- ◆ 計算値_D (80 km)
- ◆ 計算値_D (10 km)
- ◆ 計算値_D (15 km)
- ◆ 計算値_D (20 km)
- ◆ 計算値_D (25 km)
- ◆ 計算値_E2a (45 km)
- ◆ 計算値_E2a (60 km)
- ◆ 計算値_E2a (80 km)
- ◆ 計算値_E2a (10 km)
- ◆ 計算値_E2a (15 km)
- ◆ 計算値_E2a (20 km)
- ◆ 計算値_E2a (25 km)

参考資料-図 11 PO 時別値(暖候期平均値、上:関東地域、下:九州地域)

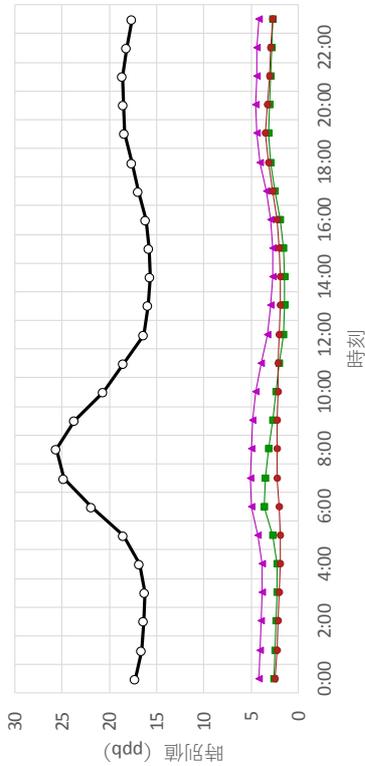
関東地域 2005年



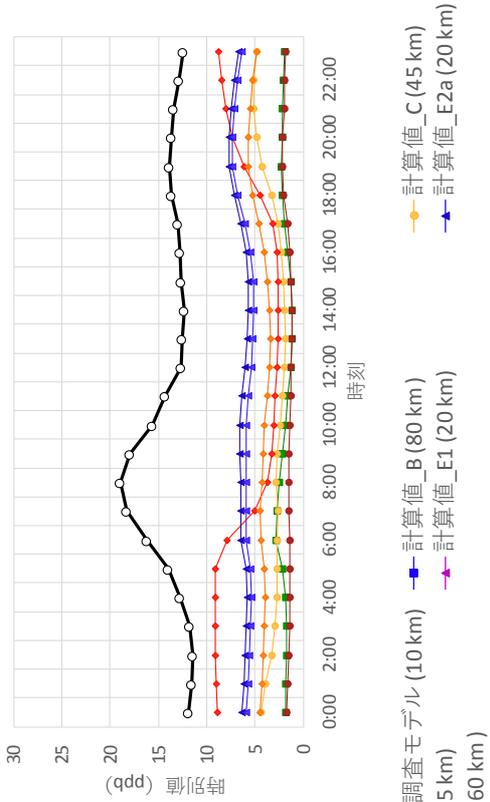
関東地域 2010年



九州地域 2005年



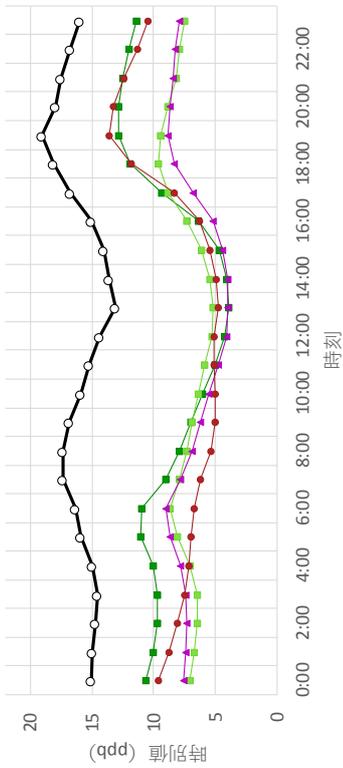
九州地域 2010年



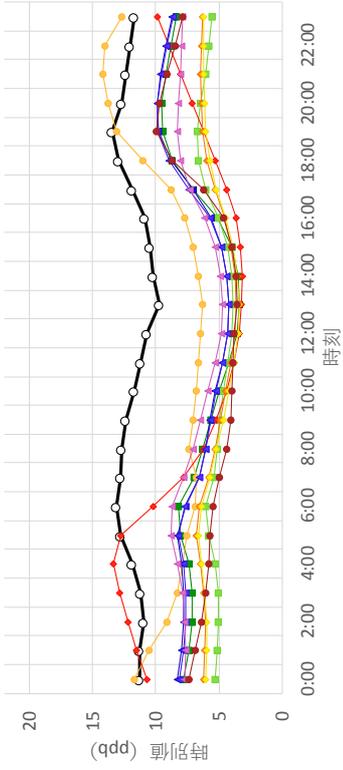
- 測定値
- 計算値_D (45 km)
- 計算値_本調査モデル (60 km)
- 計算値_本調査モデル (10 km)
- 計算値_B (80 km)
- 計算値_C (45 km)
- 計算値_D (15 km)
- 計算値_D (20 km)
- 計算値_E1 (20 km)
- 計算値_E2a (20 km)
- 計算値_E2b (5 km)
- 計算値_G (60 km)

参考資料-図 12 NOx 時別値(暖候期平均値、上:関東地域、下:九州地域)

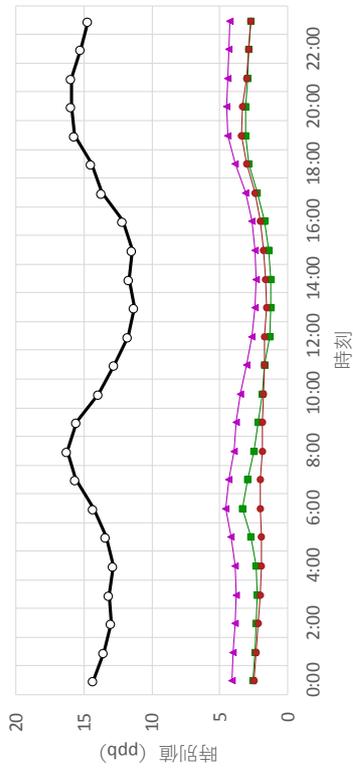
関東地域 2005年



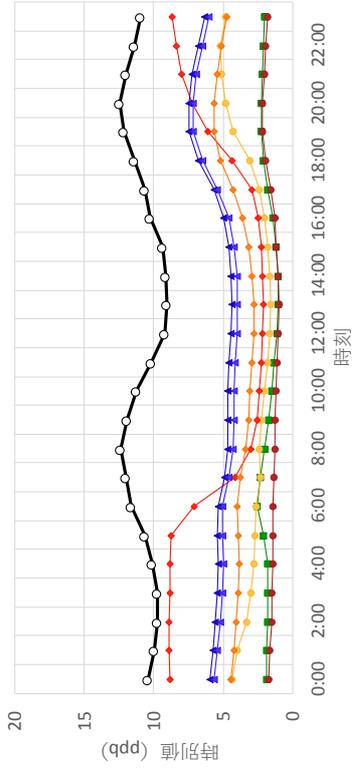
関東地域 2010年



九州地域 2005年



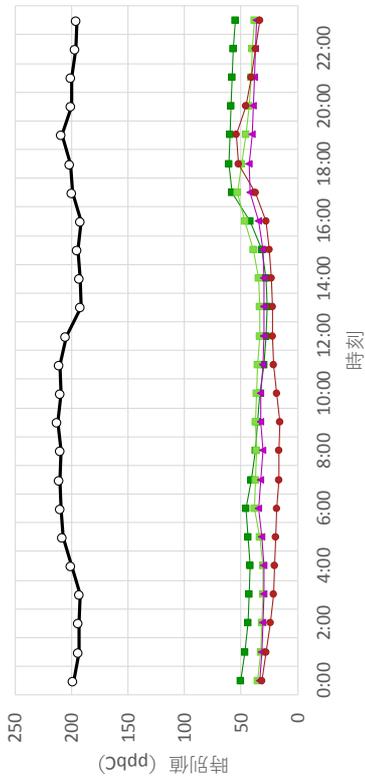
九州地域 2010年



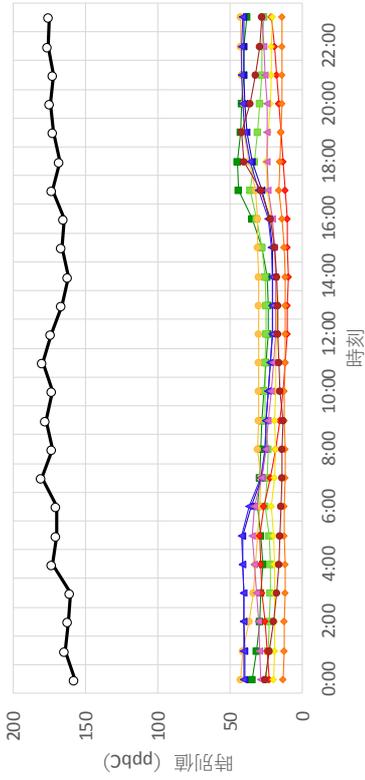
- 測定値
- ◆ 計算値_D (45 km)
- 計算値_本調査モデル (60 km)
- 計算値_B (80 km)
- ◆ 計算値_C (45 km)
- ◆ 計算値_D (15 km)
- ◆ 計算値_D (5 km)
- ◆ 計算値_D (20 km)
- ◆ 計算値_E1 (20 km)
- ◆ 計算値_E2a (20 km)
- ◆ 計算値_E2b (5 km)
- ◆ 計算値_G (60 km)

参考資料-図 13 NO₂ 時別値(暖候期平均値、上: 関東地域、下: 九州地域)

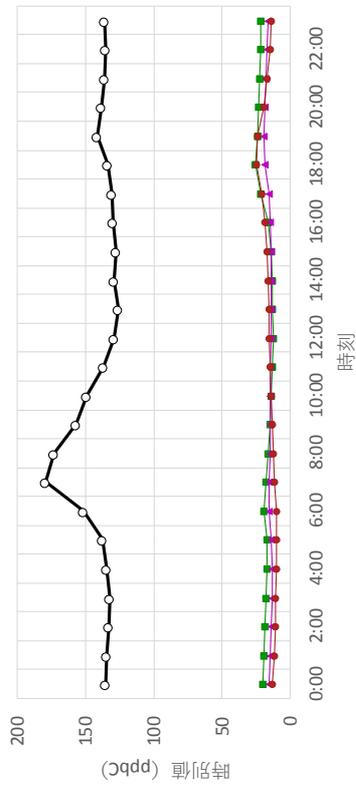
関東地域 2005年



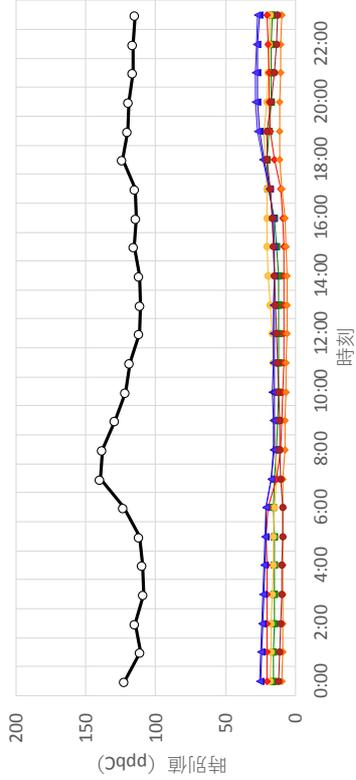
関東地域 2010年



九州地域 2005年

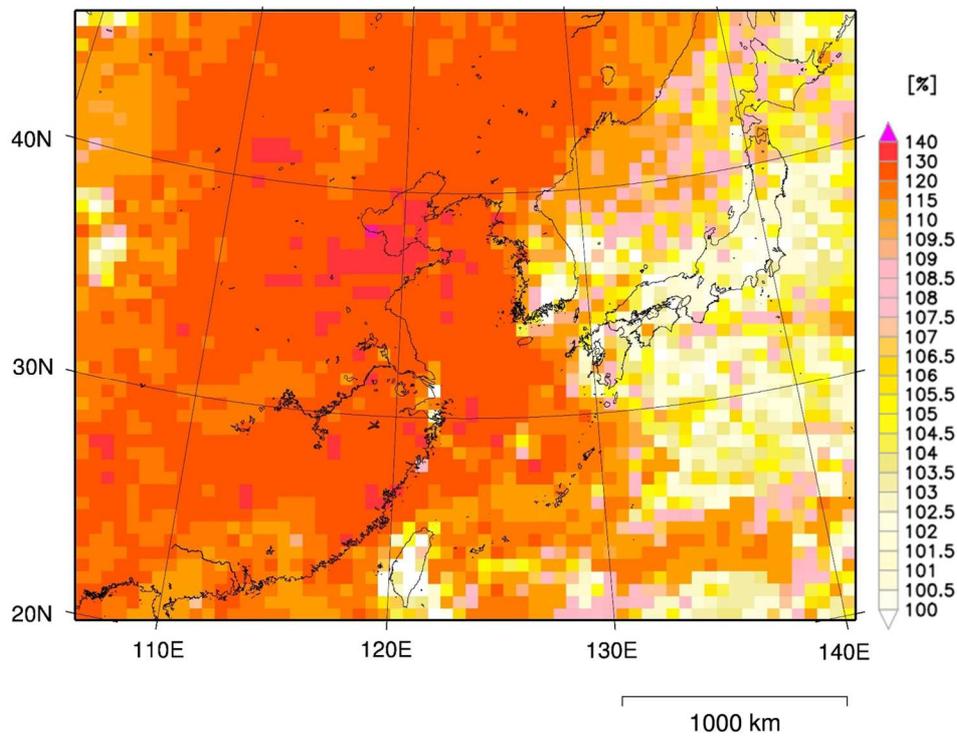


九州地域 2010年

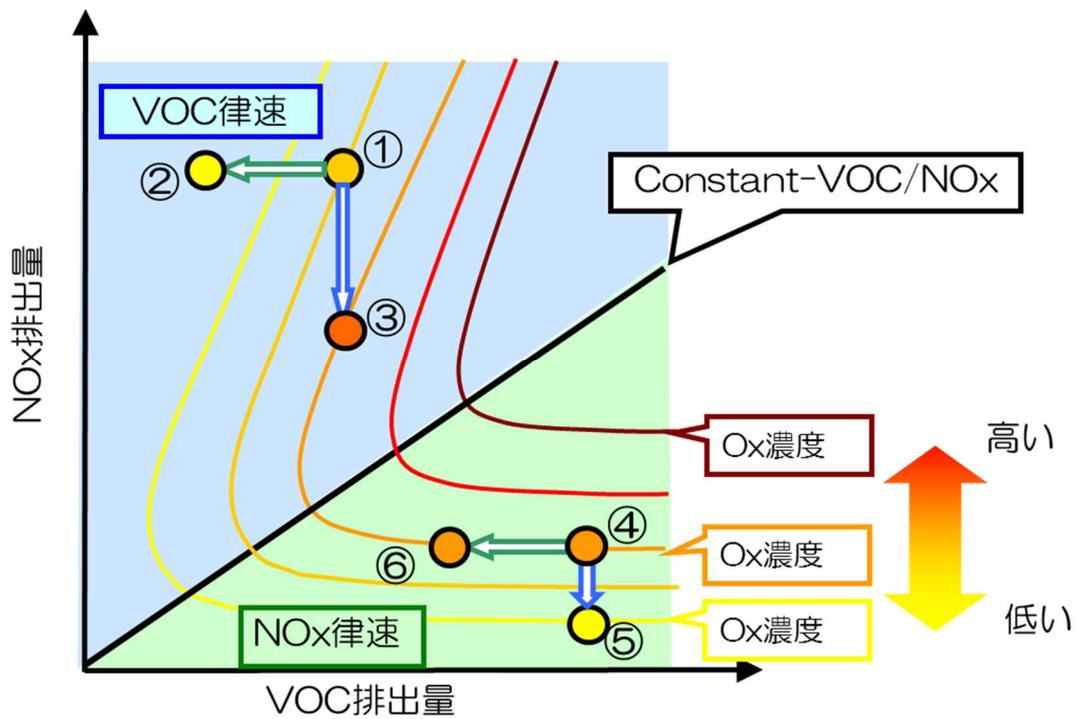


- 測定値
- 計算値_D (45 km)
- 計算値_D (60 km)
- 計算値_D (80 km)
- 計算値_D (15 km)
- 計算値_D (20 km)
- 計算値_D (5 km)
- 計算値_D (5 km)
- 計算値_D (5 km)
- 計算値_E2a (20 km)
- 計算値_E1 (20 km)
- 計算値_E2b (20 km)
- 計算値_E2c (45 km)
- 計算値_E2a (20 km)

参考資料-図 14 NMHC 時別値(暖候期平均値、上:関東地域、下:九州地域)



参考資料-図 15 Ox 日最高 8 時間値の暖候期 98%値の濃度比(ケース A' / ケース C')

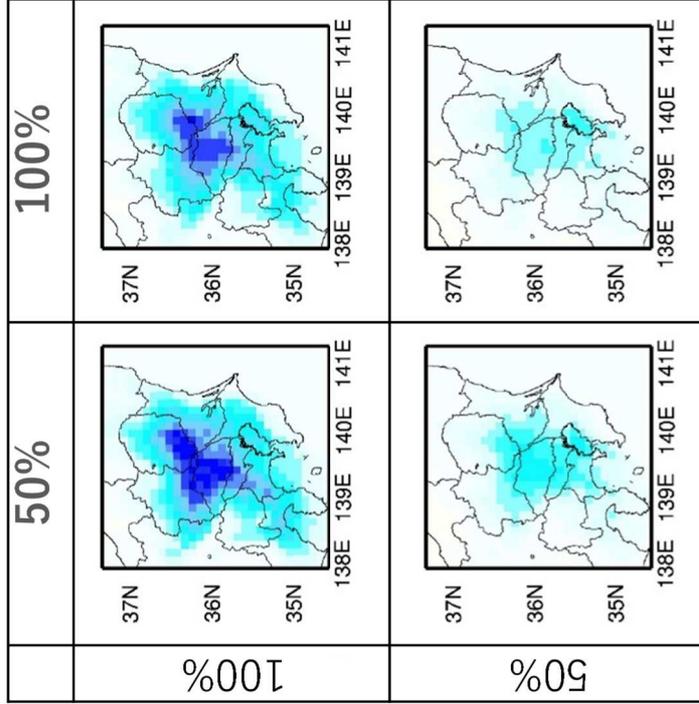


【VOC-律速】 VOC排出量の低下で O_3 濃度は低下する(①→②)が
 NO_x 排出量の低下では O_3 濃度はほとんど変化しないか増加する(①→③)。
 【NOx-律速】 NO_x 排出量の低下で O_3 濃度は低下する(④→⑤)が、
 VOC排出量が低下しても O_3 はほとんど変化しない(④→⑥)。

参考資料-図 16 オゾン反応レジームの概念図

$BVOC \times 0.5 - BVOC \times 1$

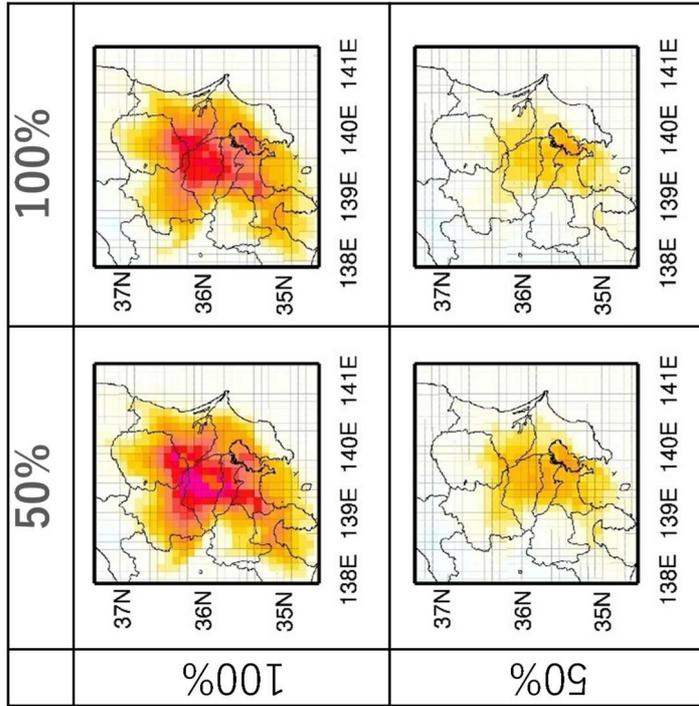
VOC排出量比



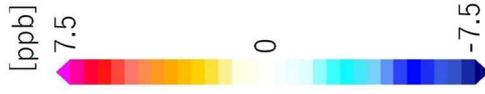
NOx排出量比

$BVOC \times 2 - BVOC \times 1$

VOC排出量比



NOx排出量比

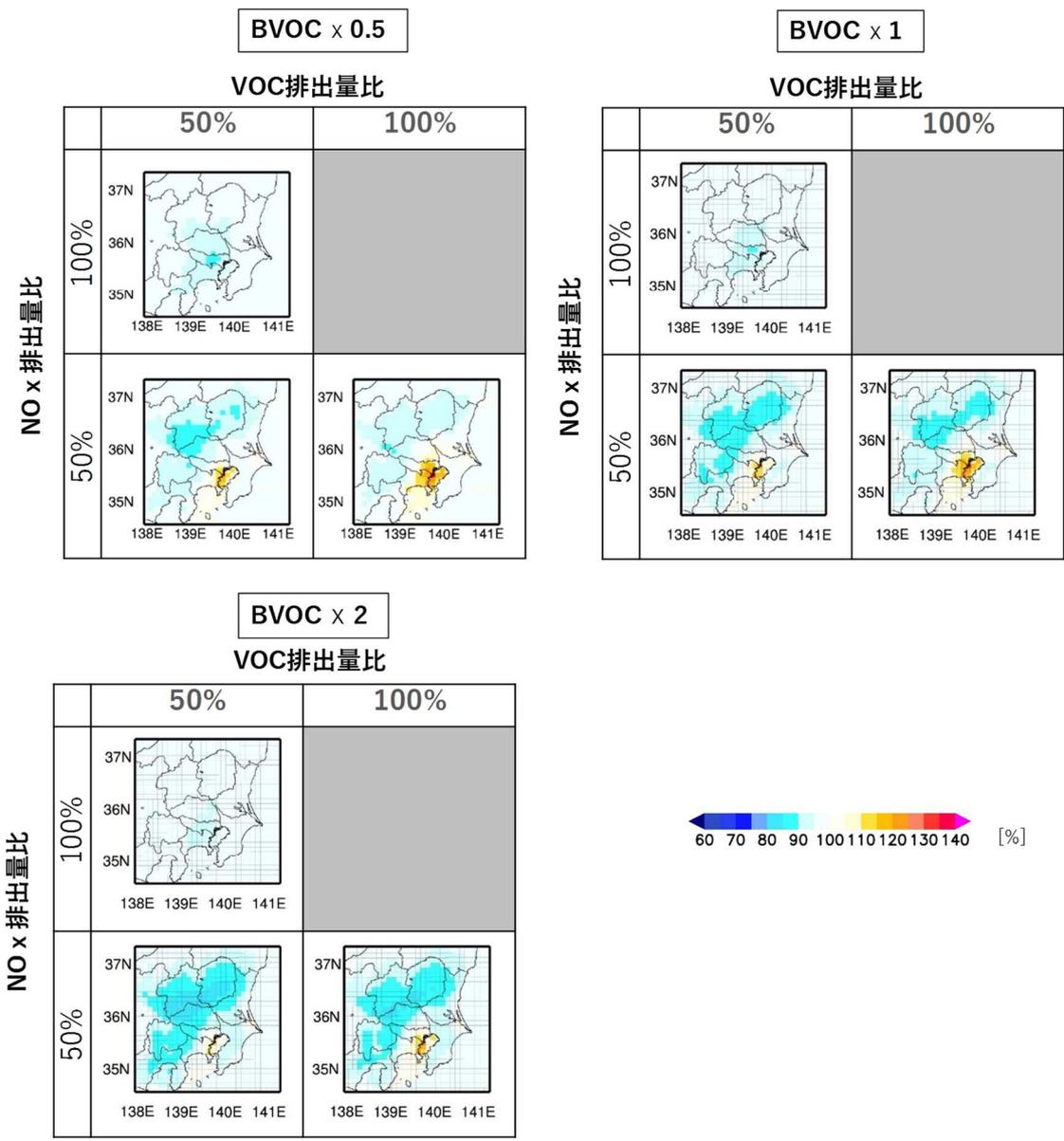


50 km

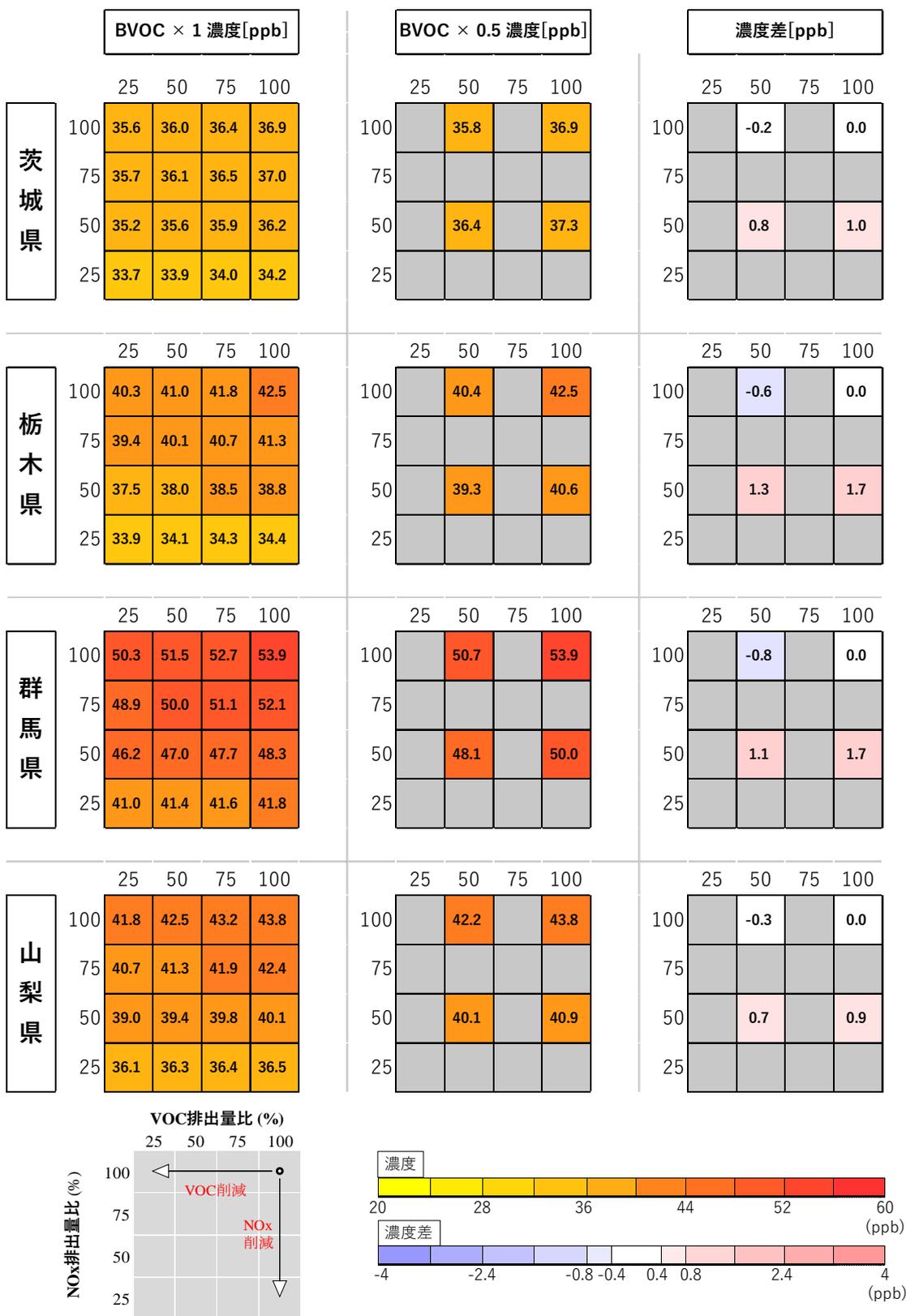
50 km

参考資料-図 17 BVOC を変化させた場合の O_x 日最高 8 時間値 8 月平均値の変化

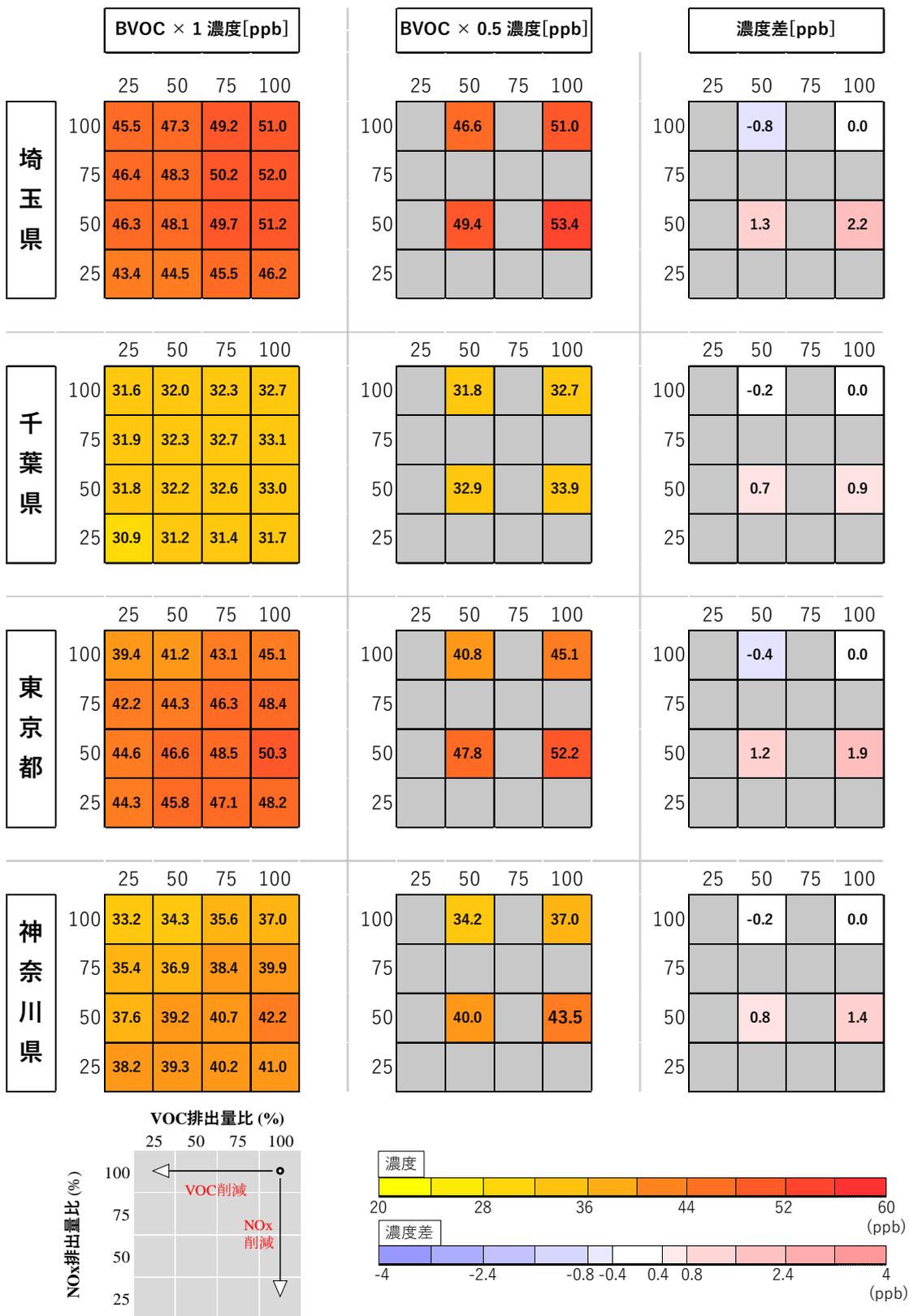
(左: $BVOC \times 2 - BVOC \times 1$ 、右: $BVOC \times 0.5 - BVOC \times 1$)



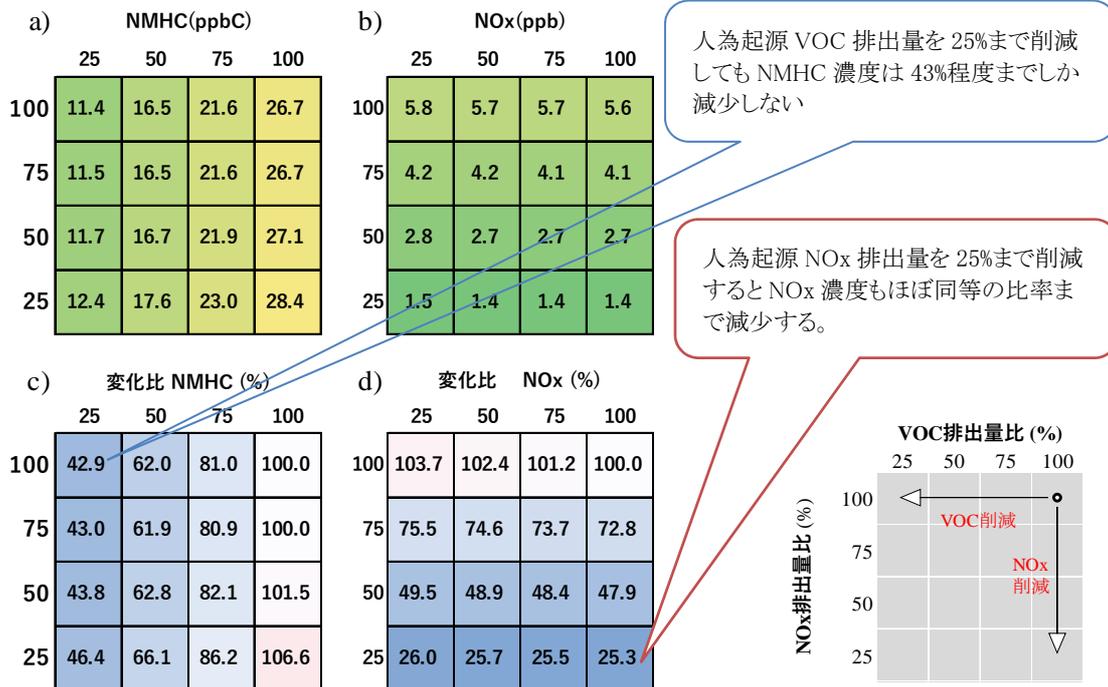
参考資料-図 18 基準ケース(V100-N100)とのOx濃度比(日最高8時間値 8月平均値)
 (左上:BVOC × 0.5、右上:BVOC × 1、左下:BVOC × 2)



参考資料-図 19(1) 都県別 Ox 日最高 8 時間値の 8 月平均値
 (左:BVOC × 1 における推定値、中央:BVOC × 0.5 における推定値、右:差分)

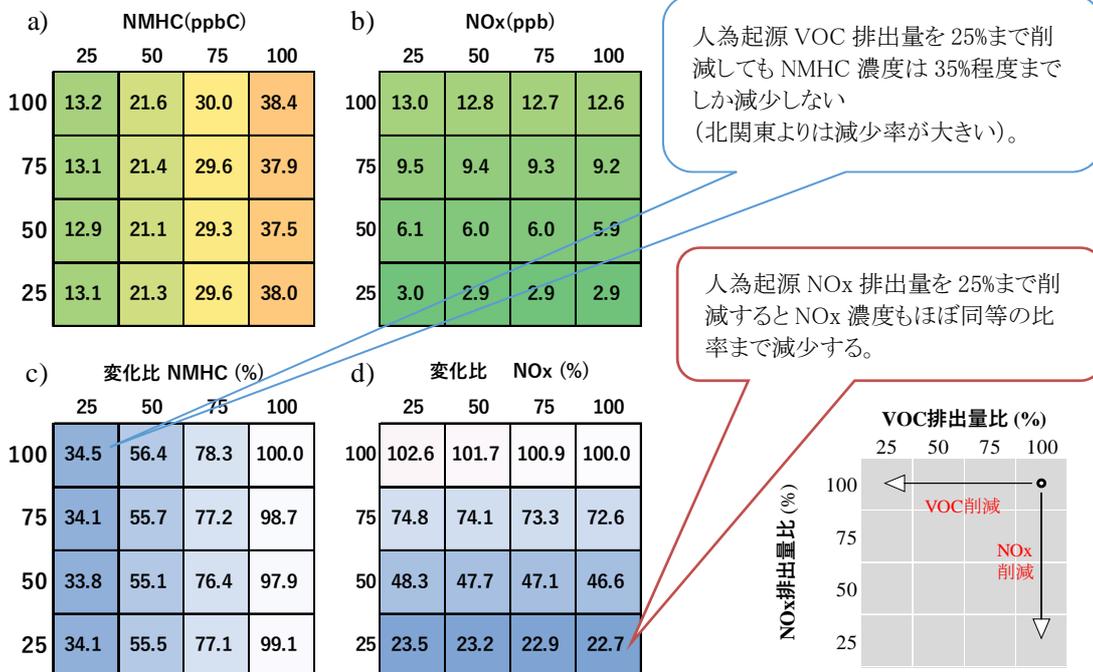


参考資料-図 19(2) 都県別 Ox 日最高 8 時間値の 8 月平均値
 (左:BVOC × 1 における推定値、中央:BVOC × 0.5 における推定値、右:差分)



参考資料-図 20 前駆物質削減による NMHC、NOx 濃度の変化 北関東

a) NMHC、b) NOx、c) NMHC の変化比(%)、d) NOx の変化比(%)



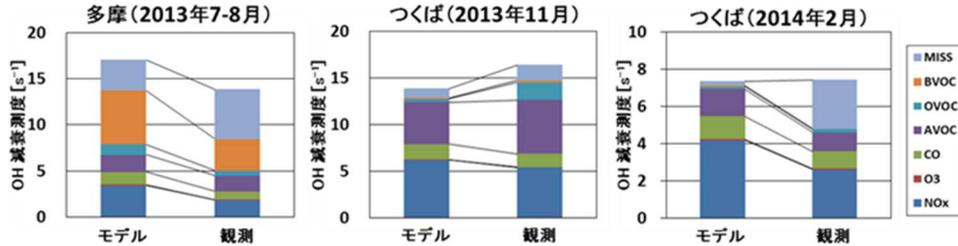
参考資料-図 21 前駆物質削減による NMHC、NOx 濃度の変化 南関東

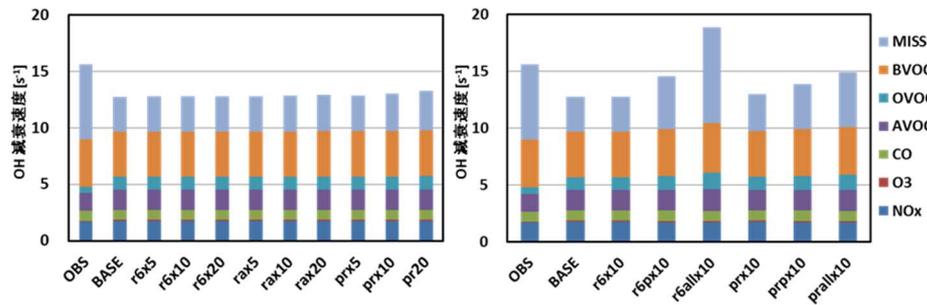
a) NMHC、b) NOx、c) NMHC の変化比(%)、d) NOx の変化比(%)

参考資料-表 28 Missing VOC に関連する既往調査事例(1)

タイトル	Urban photochemistry in central Tokyo: 1. Observed and modeled OH and HO ₂ radical concentrations during the winter and summer of 2004																																							
著者	Y. Kanaya, R. Cao, H. Akimoto, M. Fukuda, Y. Komazaki, Y. Yokouchi, M. Koike, H. Tanimoto, N. Takegawa and Y. Kondo																																							
出典	J. Geophys. Res., 112, D21312, 2007																																							
概要	2004 年の冬季及び夏季に、都内において OH ラジカル及び HO ₂ ラジカル濃度を測定した。また、ボックスモデルを用いて計算値と観測値の比較を行った。NMHC に着目した場合、モデル上での VOC については、測定した VOC 成分に加え未測定成分についても考慮したところ、計算値と観測値の差が小さくなり再現性が向上した。																																							
内容	<p>2004 年の冬季及び夏季に都内(駒場)において OH ラジカル及び HO₂ ラジカル濃度を測定した。また、ボックスモデル(RACM)を用いて計算値と観測値の比較を行った。観測では、夏季は 14 成分、冬季は 30 成分の VOC を測定したが、日本の他都市も含む文献から、存在するであろう他の VOC を、アセチレン濃度の関数などの形で考慮し、モデルでは合計 50 数種の VOCs を取り込んだケースについても計算した。未測定成分は 2001 ~ 2002 年に駒場で得られたデータセットから、アセチレンに対する濃度比として推定した(Table 2)。</p> <p>世田谷における NMHC 濃度の観測値と駒場における計算値の比率(計算値/観測値)に着目すると、未計測成分をモデル上で考慮することにより、冬季は 0.58→0.77 夏季は 0.43→0.71 となり、再現性が向上した(Figure 2)。</p> <p>世田谷と駒場の CO 濃度比から、CO と NMHC の発生源が同じかつ、同程度に寄与しているものと仮定すると、観測された NMHC の 84 ~ 91% がモデル上で再現できることが示された。</p> <div data-bbox="901 869 1364 1211" style="text-align: right;"> </div> <p>Figure 2. Temporal variations in observed concentrations of total NMHCs at Setagaya (shaded bars) compared with the summed concentrations of measured NMHCs at Komaba (gray line) and the summed concentrations of measured and assumed NMHCs at Komaba (black line) in (a) winter and (b) summer.</p> <p>Table 2. Observed and Assumed Hydrocarbons in Categories of RACM^a</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">RACM Category</th> <th style="text-align: left;">Observed Species</th> <th style="text-align: left;">Assumed Species</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ETH</td> <td>ethane</td> <td></td> </tr> <tr> <td>HC3</td> <td>acetylene, propane, n-/i-butane, methanol [W]</td> <td>2,2-dimethylbutane (0.3), 2,2-dimethylhexane (0.15)</td> </tr> <tr> <td>HC5</td> <td>n-/i-pentane, n-hexane</td> <td>2-/3-methylpentane (0.4, 0.2), 2,3-dimethylbutane (0.2), 3,3-dimethylpentane (0.2), cyclopentane (0.05)</td> </tr> <tr> <td>HC8</td> <td></td> <td>methylcyclopentane (0.2), cyclohexane (0.05), 2-methylhexane (0.069), 2,3-dimethylpentane (0.027), 3-methylhexane (0.3), n-heptane (0.25), methylcyclohexane (0.1), 2-/3-methylheptane (0.027, 0.05), n-octane (0.15), nonane (0.032), decane (0.041)</td> </tr> <tr> <td>ETE</td> <td>ethene</td> <td></td> </tr> <tr> <td>OLT</td> <td>propene, 1-butene, styrene [W], isobutene [W]</td> <td>2-methyl-1-butene (0.0321), 1-pentene, 3-methyl-1-butene, 4-methyl-1-pentene, styrene [S]</td> </tr> <tr> <td>OLI</td> <td>trans-2-butene [W], cis-2-butene</td> <td>2-methyl-2-butene, trans-/cis-2-pentene, cyclopentene, trans-/cis-2-hexene, trans-2-butene [S]</td> </tr> <tr> <td>DIEN</td> <td>1,3-butadiene [S]</td> <td>1,3-butadiene [W]</td> </tr> <tr> <td>ISO</td> <td>isoprene</td> <td></td> </tr> <tr> <td>LIM</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>TOL</td> <td>benzene, toluene, ethylbenzene (C₈ × 29.3%) [W], styrene [W]</td> <td>ethylbenzene (toluene × 18.7%) [S], styrene [S]</td> </tr> <tr> <td>XYL</td> <td>p-/m-xylene (C₈ × 46.2%) [W], o-xylene (C₈ × 24.6%) [W], 1,3-/1,2-/1,4-ethylmethylbenzene (C₉ × 44.7%) [W], 1,2,3-/1,2,4-/1,3,5-trimethylbenzene (C₉ × 55.3%) [W]</td> <td>p-/m-xylene (toluene × 29.5%) [S], o-xylene (toluene × 15.7%) [S], 1,3-/1,2-/1,4-ethylmethylbenzene (toluene × 12.2%) [S], 1,2,3-/1,2,4-/1,3,5-trimethylbenzene (toluene × 15.1%) [S]</td> </tr> </tbody> </table> <p>^a[W], winter; [S], summer. Values in parentheses are factors used to scale their concentrations to acetylene. See text for details.</p>	RACM Category	Observed Species	Assumed Species	ETH	ethane		HC3	acetylene, propane, n-/i-butane, methanol [W]	2,2-dimethylbutane (0.3), 2,2-dimethylhexane (0.15)	HC5	n-/i-pentane, n-hexane	2-/3-methylpentane (0.4, 0.2), 2,3-dimethylbutane (0.2), 3,3-dimethylpentane (0.2), cyclopentane (0.05)	HC8		methylcyclopentane (0.2), cyclohexane (0.05), 2-methylhexane (0.069), 2,3-dimethylpentane (0.027), 3-methylhexane (0.3), n-heptane (0.25), methylcyclohexane (0.1), 2-/3-methylheptane (0.027, 0.05), n-octane (0.15), nonane (0.032), decane (0.041)	ETE	ethene		OLT	propene, 1-butene, styrene [W], isobutene [W]	2-methyl-1-butene (0.0321), 1-pentene, 3-methyl-1-butene, 4-methyl-1-pentene, styrene [S]	OLI	trans-2-butene [W], cis-2-butene	2-methyl-2-butene, trans-/cis-2-pentene, cyclopentene, trans-/cis-2-hexene, trans-2-butene [S]	DIEN	1,3-butadiene [S]	1,3-butadiene [W]	ISO	isoprene		LIM			TOL	benzene, toluene, ethylbenzene (C ₈ × 29.3%) [W], styrene [W]	ethylbenzene (toluene × 18.7%) [S], styrene [S]	XYL	p-/m-xylene (C ₈ × 46.2%) [W], o-xylene (C ₈ × 24.6%) [W], 1,3-/1,2-/1,4-ethylmethylbenzene (C ₉ × 44.7%) [W], 1,2,3-/1,2,4-/1,3,5-trimethylbenzene (C ₉ × 55.3%) [W]	p-/m-xylene (toluene × 29.5%) [S], o-xylene (toluene × 15.7%) [S], 1,3-/1,2-/1,4-ethylmethylbenzene (toluene × 12.2%) [S], 1,2,3-/1,2,4-/1,3,5-trimethylbenzene (toluene × 15.1%) [S]
RACM Category	Observed Species	Assumed Species																																						
ETH	ethane																																							
HC3	acetylene, propane, n-/i-butane, methanol [W]	2,2-dimethylbutane (0.3), 2,2-dimethylhexane (0.15)																																						
HC5	n-/i-pentane, n-hexane	2-/3-methylpentane (0.4, 0.2), 2,3-dimethylbutane (0.2), 3,3-dimethylpentane (0.2), cyclopentane (0.05)																																						
HC8		methylcyclopentane (0.2), cyclohexane (0.05), 2-methylhexane (0.069), 2,3-dimethylpentane (0.027), 3-methylhexane (0.3), n-heptane (0.25), methylcyclohexane (0.1), 2-/3-methylheptane (0.027, 0.05), n-octane (0.15), nonane (0.032), decane (0.041)																																						
ETE	ethene																																							
OLT	propene, 1-butene, styrene [W], isobutene [W]	2-methyl-1-butene (0.0321), 1-pentene, 3-methyl-1-butene, 4-methyl-1-pentene, styrene [S]																																						
OLI	trans-2-butene [W], cis-2-butene	2-methyl-2-butene, trans-/cis-2-pentene, cyclopentene, trans-/cis-2-hexene, trans-2-butene [S]																																						
DIEN	1,3-butadiene [S]	1,3-butadiene [W]																																						
ISO	isoprene																																							
LIM																																								
TOL	benzene, toluene, ethylbenzene (C ₈ × 29.3%) [W], styrene [W]	ethylbenzene (toluene × 18.7%) [S], styrene [S]																																						
XYL	p-/m-xylene (C ₈ × 46.2%) [W], o-xylene (C ₈ × 24.6%) [W], 1,3-/1,2-/1,4-ethylmethylbenzene (C ₉ × 44.7%) [W], 1,2,3-/1,2,4-/1,3,5-trimethylbenzene (C ₉ × 55.3%) [W]	p-/m-xylene (toluene × 29.5%) [S], o-xylene (toluene × 15.7%) [S], 1,3-/1,2-/1,4-ethylmethylbenzene (toluene × 12.2%) [S], 1,2,3-/1,2,4-/1,3,5-trimethylbenzene (toluene × 15.1%) [S]																																						

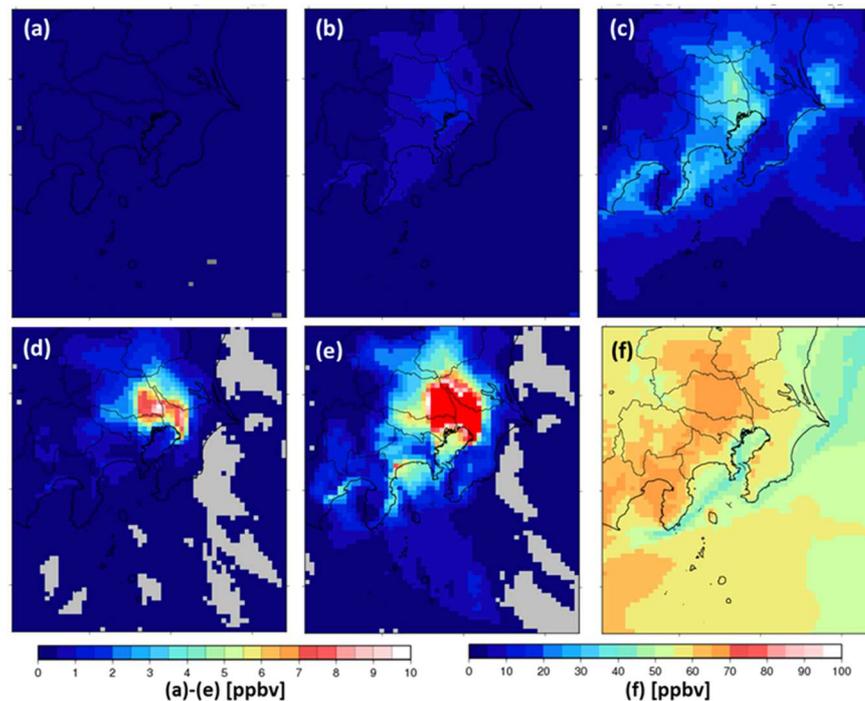
参考資料-表 29 Missing VOC に関連する既往調査事例(2)

<p>タイトル</p>	<p>光化学オキシダント生成に関わる未計測 VOC の探索 (3) 化学モデルによる未計測 VOC の光化学オキシダント生成能の評価</p>
<p>著者</p>	<p>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 黒川純一・猪股弥生</p>
<p>出典</p>	<p>環境省環境研究総合推進費終了研究等成果報告書(平成 28 年度 5 月, 環境省)</p>
<p>概要</p>	<p>大気中の OH 減衰速度について、標準インベントリデータによる CMAQ の計算値と観測値を比較したところ、Missing 分は計算値が過小となった。この過小分の Missing VOC について、スギから排出される未同定テルペン類や二次生成 VOC における未同定物質を想定し、CMAQ を用いて OH 減衰速度やオゾン生成に対する感度解析を行った。</p>
<p>内容</p>	<p>大気中の OH 減衰速度について、標準インベントリデータによる CMAQ の計算値と観測値を比較したところ、Missing 分は計算値が過小となった(図(3)-6)。</p>  <p>図(3)-6 各野外观測における OH 減衰速度の標準実験結果と観測結果の比較。Missing は、観測結果では全未計測物質による OH 減衰速度への寄与分、モデル計算結果では「モデル内で定義されている変数の内観測データが存在しないもの」による寄与分</p> <p>そこで、計測物質について、OH 反応性が観測値と計算値でほぼ一致するように排出量と境界値を調整して行ったシミュレーションを基準とし、以下の感度実験を行った。</p> <p>(a) スギ起源 VOC 排出量の更新 スギから排出される BVOC について、これまで考慮されていなかった未同定テルペン類またはセスキテルペン類を TERP または SQT としてモデルに追加 →スギのテルペン類は夏季に排出量が少なく、OH 減衰速度、O₃ 濃度に対する影響はほとんど見られなかった。</p> <p>(b) 未同定 VOC 二次生成物の類似物質として、SAPRC-07 で定義されている R6OOH、RAOOH、PROD2 を想定し、これらの生成係数を大きくした。 →R6OOH の生成係数操作に対する OH 減衰速度の感度は、芳香族から生成される R6OOH に対してのみではほとんど見られず、少なくとも全ての一次 VOC から生成される未同定二次 VOC を考慮する必要があることが示された(図(3)-12)。</p>



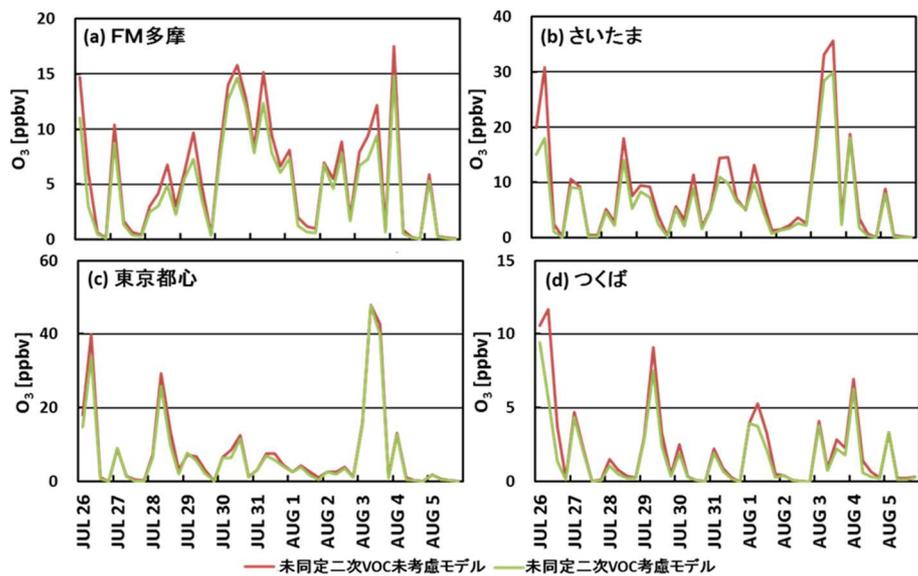
図(3)-12 未同定 VOC 二次生成物に対する感度実験の OH 減衰速度の比較(FM 多摩における夏季集中観測期間平均値)。OBS: 観測結果、BASE: 基準実験結果、(r6/ra/pr)x#: 芳香族 VOC と OH との反応に対する感度実験結果、(r6/ra/pr)px##: 全一次 VOC と OH との反応に対する感度実験結果、(r6/ra/pr)allx#: 全 VOC と OH との反応に対する感度実験結果、r6: R6OOH、ra: RAOOH、pr: PROD2、x5/x10/x20: SAPRC-07 における生成係数に対する倍数

また、上記 (b) 感度解析ケースでオゾン濃度を計算したところ、夏季観測期間平均で 1~4 ppbv、応答の大きい日では 8 ppbv 程度の差がみられた(図(3)-13)。



図(3)-13 (a) ~ (e) R6OOH 生成係数 10 倍感度実験と基準実験におけるオゾン濃度の差。(a) 芳香族 VOC 実験との差、(b)、(d) 全一次 VOC 実験との差、(c)、(e) 全 VOC 実験との差、(f) 基準実験オゾン濃度。(a) ~ (c) 及び (f): 日中夏季期間平均値、(d)、(e): 応答の大きかった 2013 年 7 月 22 日 12 時の値

さらに、VOC 排出量を基準ケースから 0.5 倍及び 1.5 倍したケースのオゾン濃度の差分(感度)については、未同定二次生成 VOC を考慮しないと過大評価する可能性が示唆された(図(3)-14)。



図(3)-14 夏季における全人為起源 VOC 排出量 1.5 倍・0.5 倍感度実験間のオゾン濃度の差の、未同定 VOC 二次生成物考慮モデル(一次 VOC 起源 R6OOH 生成係数 10 倍モデル)・考慮なしモデル間の比較。(a)FM 多摩、(b)さいたま、(c)東京都心、(d)つくば。

参考資料-表 30 Missing VOC に関連する既往調査事例(3)

<p>タイトル</p>	<p>Sensitivity analyses of OH missing sinks over Tokyo metropolitan area in the summer of 2007</p>
<p>著者</p>	<p>S. Chatani, N. Shimo, S. Matsunaga, Y. Kajii, S. Kato, Y. Nakashima, K. Miyazaki, K. Ishii and H. Ueno</p>
<p>出典</p>	<p>Atmos. Chem. Phys., 9, 8975–8986, 2009</p>
<p>概要</p>	<p>2007年夏季の東京を対象として、大気中のOH反応性を計測した。計測されたOH反応性をWRF/CMAQによる計算結果と比較したところ、計算値の方がOH反応性が小さかった。これは、個別VOC成分のOH反応性と、OHのMissing sinkを過小評価しているためと考えられた。未知の二次生成VOC成分をMissing sinkと仮定してシミュレーションしたところ、オゾン生成が促進されたことが示唆された。</p>
<p>内容</p>	<p>2007年夏季の東京を対象として、大気中のOH反応性を計測した。計測されたOH反応性をWRF/CMAQによる計算結果と比較したところ、計算値の方がOH反応性が小さかった (Fig. 2.)。また、計測されたOH反応性の29%が未同定の”Missing sink”であった (Fig. 3.)。</p> <p>VOCのモデル対象成分ごとに観測値と計算値の比率で、排出量及び境界濃度を補正してシミュレーションを行ったところ、全OH反応性は、測定値に近づいたが、Missing Sinkについては、約 3.0 s^{-1} 過小であった (Fig. 7.)。</p> <p>そこで、二次的に生成されるVOCのモデル対象成分のうち、RCHO、DCB1、PROD2のOH反応性に 3.0 s^{-1} を加算してシミュレーションを実施した。この結果、Missing sinkは、二次エアロゾルの生成を抑制する一方、オゾン生成を促進することが示唆された (Fig. 10.)。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="406 705 774 1019"> </div> <div data-bbox="805 705 1364 1019"> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="406 1041 774 1198"> </div> <div data-bbox="805 1041 1364 1198"> </div> </div> <p>Fig. 2. Directly measured and calculated total OH reactivity, of which calculations are obtained from concentrations and reaction rate coefficients of the measured species on 21 August.</p> <p>Fig. 3. Contribution of species groups to directly measured OH reactivity which is averaged over the target period.</p> <p>Fig. 7. Measured and simulated OH reactivity of species groups which is averaged over the target period before and after application of scaling factors. Contribution of species groups except for missing sinks in measured OH reactivity is obtained from measured concentrations of species and their reaction rate coefficients. OH reactivity of missing sinks in measured OH reactivity is obtained by subtracting sum of OH reactivity of species groups from directly measured OH reactivity.</p>

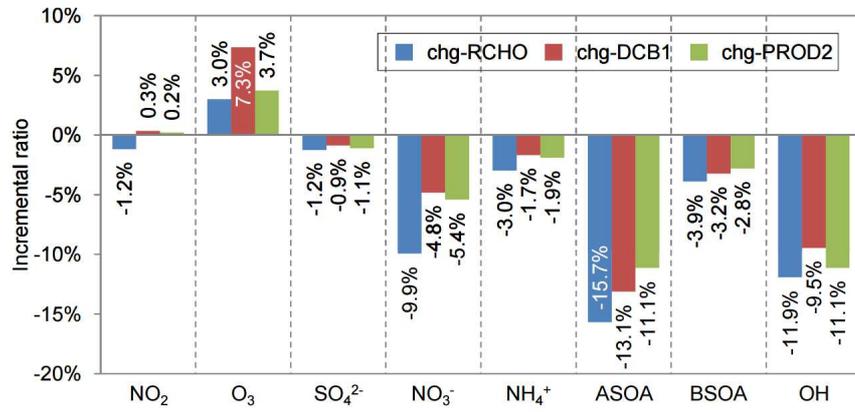
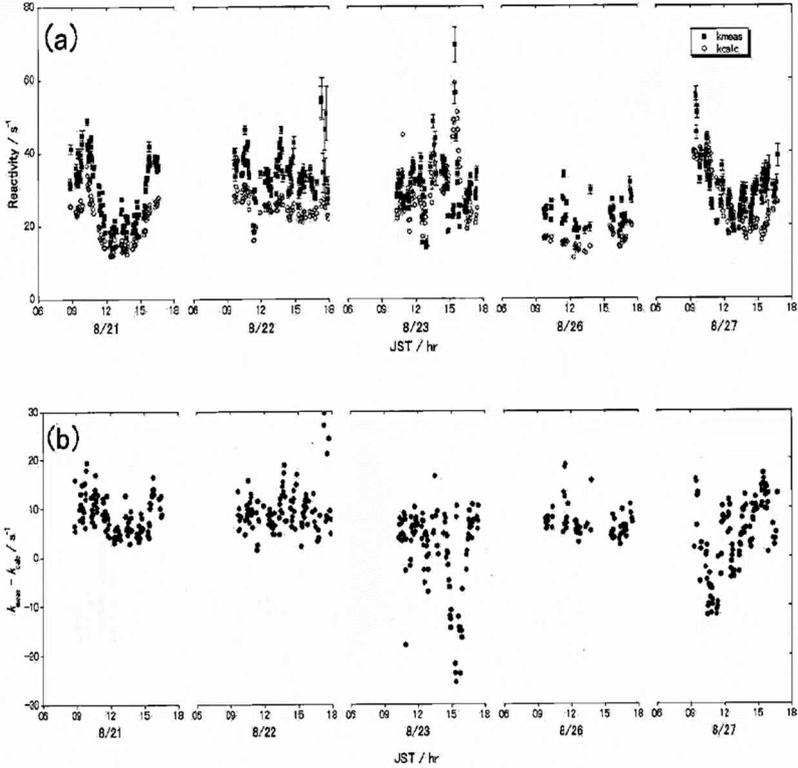


Fig. 10. Incremental ratios of concentrations of NO₂, O₃, OH and secondary aerosol components in the chg-RCHO, chg-DCB1 and chg-PROD2 cases compared to those in the base case, which are averaged over the target period.

参考資料-表 31 Missing VOC に関連する既往調査事例(4)

タイトル	OH ラジカル寿命観測による都市大気質の診断Ⅱ－東京都心部における総合観測－
著者	中嶋吉弘, 松田裕明, 井出滋雄, 宮崎洗治, 山崎晃司, 岡崎創, 長田拓也, 田島洋介, J. Suthawaree, 加藤俊吾, 下紳郎, 松永壮, E. Apel, J. Greenberg, A. Guenther, 上野広行, 佐々木啓行, 星純也, 吉野彩子, 横田久司, 石井康一郎, 梶井克純
出典	大気環境学会誌, 44, 33-41, 2009
概要	2007年夏季に東京都江東区においてレーザーポンプ・プローブ法を用いたOHラジカル寿命測定および大気微量成分濃度の観測を行った。OHラジカル反応性の実測値と大気微量成分濃度の測定により得られた計算値との間には差異がみられ、OHラジカルとの未知の反応物質が存在することが確認された。
内容	<p>2007年夏季に東京都江東区においてレーザーポンプ・プローブ法を用いたOHラジカル寿命測定及び大気微量成分濃度の観測を行った。OHラジカル反応性の実測値と大気微量成分濃度の測定により得られた計算値を比較した(Fig.4)。Fig.4(b)に示す、OHラジカル反応性の実測値(K_{meas})及び計算値(K_{calc})の差は、OH + NO₂反応速度定数の誤差やエアロゾルの関与では説明することが困難な、OHラジカルと反応する未知の化学物質であると考えられる。この未知の化学物質について、植物起源VOCにみられるような日変動は顕著に現れなかった。この結果は、未知の化学物質が植物起源VOCsのような日変動を示す化学物質とは異なる発生源であることを示唆している。未知の化学物質によるOHラジカル反応性の寄与は、全ての観測期間で確認され、その大きさはOHラジカル反応性の26.3%を占めていた。</p>  <p>Fig. 4 (a) Diurnal profiles for the measured (solid square) and the calculated (open circle) OH loss rate. Error bar stands for the 1σ standard deviation. (b) Diurnal profile for the differences between observed and calculated OH loss rate.</p>