

平成 27 年度
光化学オキシダント調査検討会
の検討結果

目次

1. 調査の概要	1
1.1. 調査の目的.....	1
1.2. 調査の項目.....	1
1.2.1. 調査項目について.....	1
1.2.2. 検討会及び作業部会の実施.....	1
2. 調査の結果	3
2.1. シミュレーションモデルの改善等.....	3
2.1.1 シミュレーションモデルの改善.....	3
2.1.2 シミュレーションモデルの精度レベルの確認.....	4
2.1.3. 精度レベルの確認結果とシミュレーションへの反映.....	5
2.2. シミュレーションモデルを用いた 3 つの要因の解析.....	10
2.2.1. 越境大気汚染の影響.....	12
2.2.2. 越境大気汚染の影響(基準年を変えた場合の影響の検討).....	17
2.2.3. 光化学オキシダント前駆物質(NO_x 、 VOC (NMHC))濃度の影響.....	20
2.3. これまでの光化学オキシダント排出抑制対策の効果等の把握.....	23
2.3.1. 固定蒸発 VOC 排出量削減の影響の解析.....	23
2.3.2. O_3 の濃度レンジによる感度の違いについて.....	25
2.4. シミュレーションモデルを用いた解析のまとめ.....	27
2.5. 今後の課題.....	28

要 約

- 国内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主な要因であることが示唆された「越境大気汚染の増加」、「オゾン前駆物質排出量の減少」および「NO タイトレーション効果の低下」の寄与の大きさを定量的に求め、これまでの光化学オキシダント対策の効果および今後の対策について検討することを目的としてシミュレーションを用いた解析を実施した。なお、日最高8時間平均値の暖候期(4～9月)98パーセンタイル値を指標として評価を行った。
- 解析を行うにあたって、平成26年度に構築したモデルの改良を行った。主な改良点は、東アジア領域の境界値データ、東アジア領域における日本付近のインベントリおよび植物起源VOC排出量の設定方法である。
- 改良を行ったシミュレーションモデルは、O₃、NO₂、NMHCの絶対値の精度には一部課題があるものの、10年間(2001～2010年)のトレンドは概ね再現していた。また、他機関が研究で用いているモデルと精度について比較した結果、同等の精度を有していることが明らかとなった。
- 改良したモデルを用いて、「越境大気汚染の影響」、「前駆物質濃度の影響」および「固定蒸発VOC削減対策の効果」について解析を行った。「越境大気汚染の影響」は、関東よりも九州地域の方が大きいことを確認した。「前駆物質濃度の影響」は、NO_xおよびVOCの排出量の変化の組み合わせの違いによって、O₃濃度が上昇もしくは低下する地域が異なることが示唆された。また、「固定蒸発VOC削減対策」によって、関東地域全域でO₃濃度が低下していたことを確認した。
- 光化学オキシダントの環境改善効果を適切に示すための新指標の算出方法を確定し、各都道府県の新指標の値を算出した。

1. 調査の概要

1.1. 調査の目的

「光化学オキシダント調査検討会」において、平成 25 年度に光化学オキシダントの環境改善効果を適切に示すための指標(日最高 8 時間値平均値の年間 99 パーセンタイル値の 3 年平均値)が示され、その指標により、過去の光化学オキシダント濃度を解析した結果、長期トレンドは、越境大気汚染の増加、前駆物質排出量の減少、NO タイトレーション効果の低下が光化学オキシダント生成に影響を及ぼす主な要因であることが示唆された。

本検討会では、3 つの要因の寄与割合について、シミュレーションを用いて定量的に解析をすることで、これまでの対策の効果および今後の対策に資する調査検討を実施するものである。

1.2. 調査の項目

1.2.1. 調査項目について

調査項目は以下の項目からなる。

<シミュレーションモデルについて>

- ① シミュレーションモデルの改善等
- ② シミュレーションモデルを用いた 3 つの要因の解析
 - ・越境大気汚染の影響
 - ・光化学オキシダント前駆物質(NO_x、VOC(NMHC))濃度の影響
 - ・NO タイトレーション効果の低下の影響
- ③ これまでの光化学オキシダント排出抑制対策の効果等の把握
- ④ シミュレーションモデルを用いた解析のまとめ

(なお、光化学オキシダントの環境改善効果を適切に示すための指標に関して、統計処理方法の確定及び全国測定データを対象とした解析も実施したが、本資料からは省略する)

1.2.2. 検討会および作業部会の実施

平成 26 年度に引き続き、「光化学オキシダント調査検討会」の他に、シミュレーションを用いた解析の方針、具体的な解析内容および解析結果について、より専門的な視点からの検討を行うため「シミュレーション解析作業部会」を実施した。なお、平成 27 年度は、作業部会長を設置し、作業部会における議事進行、作業部会におけるアウトプットのとりまとめ、検討会への情報の還元等を担って頂いた。(名簿を次ページに示す。)

平成 27 年度 光化学オキシダント調査検討会委員名簿

氏名	所属	職名
秋元 肇※	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
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
指宿 堯嗣	一般社団法人 産業環境管理協会	技術顧問
岩崎 好陽	公益社団法人 におい・かおり環境協会	会長
浦野 紘平	国立大学法人 横浜国立大学	名誉教授
大原 利眞	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
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
坂本 和彦	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
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
竹内 庸夫	埼玉県環境科学国際センター 研究企画室	室長
橋本 光正	一般社団法人 日本塗料工業会	専務理事
星 純也	公益財団法人 東京都環境科学研究所 調査研究科	主任研究員
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
若松 伸司	国立大学法人 愛媛大学 農学部	教授

(五十音順 敬称略 ※は座長)

平成 27 年度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委員名簿

氏名	所属	職名
井上 和也	独立行政法人 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
大原 利眞※	独立行政法人 国立環境研究所	フェロー
金谷 有剛	独立行政法人 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
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
永島 達也	独立行政法人 国立環境研究所 地域環境研究センター	主任研究員
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
森川 多津子	一般財団法人 日本自動車研究所	主任研究員

(五十音順 敬称略 ※は部会長)

2. 調査の結果

2.1. シミュレーションモデルの改善等

2.1.1. シミュレーションモデルの改善

構築したシミュレーションモデルに対して、現時点で実施可能な改善作業を行った結果、以下のような成果が得られた。

東アジア領域(60km)の計算

O₃の相関係数による評価から、隠岐における再現性が向上し、日本付近のO₃の再現性が向上していることが示唆された。関東・九州地域においては、O₃新指標相当値のトレンドの再現性(測定値と計算値の比較による評価)が向上した。また、主要VOC成分についても、測定値と計算値の比の評価から、関東地域の再現性(測定値と計算値の比の評価)が向上した。

関東領域(10km)の計算

O₃日最高濃度の再現性(精度評価指標MPAによる評価)が向上した。主要VOC成分のうち、ARO1およびARO2の再現性(測定値と計算値の比の評価)に向上はみられなかったが、ALK4およびHCHOの再現性は向上した。

O₃およびNO₂の月平均濃度

他モデルとの比較結果から、O₃およびNO₂の月平均値について最新の研究レベルのモデルと同等の再現性(測定値と計算値の比較による評価)を有していることが確認できた。

2.1.2. シミュレーションモデルの精度レベルの確認

2.1.2.1. シミュレーションモデルの再現性の目標水準

第一回検討会において、オキシダント対策の検討に用いることのできるシミュレーションモデルのおおよその再現性の目標水準として、以下の4項目を設定した。シミュレーションモデルには様々な不確実性が含まれるため、実測との差が生じることは避けられない。これらのことを考慮し、シミュレーションモデルの改善は、一指標として当目標水準を達成することを目指して実施した。なお、ここでいう「再現性」とは、測定値と計算値の一致レベルのことを意味する。

- ① O_x、NO_x、NMHC の過去のトレンドの再現
- ② O_x 新指標(日最高8時間値の年間99パーセンタイル値の3年平均値)での再現性が数十パーセント以内
- ③ NO₂ の日平均値の再現性が数十パーセント以内
- ④ 主要 VOC 成分の再現性が50～200パーセント

2.1.2.2. 新指標統計値について

新指標の定義は、「日最高8時間値の年間99パーセンタイル値の3年平均値」である。暖候期(4～9月)を対象とした計算値の場合、新指標「日最高8時間値の年間99パーセンタイル値の3年平均値」と「日最高8時間値の暖候期98パーセンタイル値の3年平均値」の値が概ね一致することが、平成25年度における解析結果で明らかになっている。このことから、本解析においては、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ことから、測定値と計算値を比較するにあたっては、新指標相当値として、「日最高8時間値の暖候期98パーセンタイル値の3年平均値」で比較することとした。

2.1.2.3. シミュレーションモデルの再現性の確認

計算値を対象に、目標水準(①～④)を指標として、精度レベルの確認を行った。

2.1.3. 精度レベルの確認結果とシミュレーションへの反映

2.1.3.1. 精度レベルの確認結果

計算値を対象とした再現レベルについて以下に整理した。

① O_x、NO_x、NMHC の過去のトレンドの再現

- ・ O_x、NO₂ および NMHC ともに過去のトレンドは概ね再現。
- ・ 関東地域における計算値の暖候期平均濃度は、O_x は過大(測定値に対して+50～+80%程度)、NO₂ は過小(測定値に対して-50%程度)、VOC(NMHC)は過小(測定値に対して-50%程度)の傾向がみられた。
- ・ 九州地域については、O_x は過大(測定値に対して+60～100%程度)、NO₂ は過小(測定値に対して-70%程度)、VOC(NMHC)は過小(測定値に対して-80%程度)の傾向がみられた。

② O_x 新指標での再現性が数十パーセント以内

【関東地域】

- ・ 10年間のトレンドは概ね再現
- ・ 単年度の変化傾向についても概ね再現
- ・ 絶対値はすべての年で測定値に対して26～37%の過大評価
- ・ 単年度(2009年)で測定値に対して12%の過大評価*

【九州地域】

- ・ 10年間のトレンドは概ね再現
 - ・ 単年度の変化傾向についても概ね再現
 - ・ 絶対値はすべての年で測定値に対して25～45%の過大評価
- *10km 格子での計算結果

③ NO₂ の日平均値の再現性が数十パーセント以内

【関東地域】

- ・ NB による評価で、すべての年で30～40%の過小評価*

【九州地域】

- ・ NB による評価で、すべての年で大幅(60%程度)な過小評価
- *60km 格子および10km 格子(2009年)の計算結果

④ 主要 VOC 成分の再現性が50～200パーセント

【関東地域】

- ・ 2010年の評価事例では、主要VOC成分*のうちETHE,ARO1が全体的に過小評価、他の成分は概ね目標水準を満たす
- ・ 2009年の評価事例では、主要VOC成分のうち、ETE,ARO1,ARO2について(10km格子でも同傾向)は全体的に過小傾向であるが、他の成分は概ね目標水準を満たす

*MIRと平均濃度の積の上位5成分を対象とした

2.1.3.2. 60km 計算値と 10km 計算値の再現性について

60km 計算値と 10km 計算値の再現性の比較については、再現性の目標水準②～④を対象に実施した。なお、①「O_x、NO_x、NMHC の過去のトレンドの再現」については、格子間隔 60km の計算は 2001 年～2010 年を対象としたが、格子間隔 10km の計算は 2009 年のみを対象としたため、60km 計算値と 10km 計算値の再現性比較は行っていない。再現性の目標水準②～④について 60km 計算値と 10km 計算値の再現性について整理した結果、10km 計算値の再現性が高い傾向がみられた。

② 新指標での再現性が数十パーセント以内

- ・ 関東地域 60km 計算値(2009 年)の場合、3 年平均値を算出する前の単年の統計値は 21%過大であった。
- ・ 関東地域 10km 計算値(2009 年)の場合、3 年平均値を算出する前の単年の統計値は 12%過大であった。

③ NO₂ の日平均値の再現性が数十パーセント以内

- ・ 関東地域 60km 計算値(2009 年)の場合、NB による評価では、NO₂ は 41%過小であった。
- ・ 関東地域 10km 計算値(2009 年)の場合、NB による評価では、NO₂ は 34%過小であった。

④ 主要 VOC 成分の再現性が 50～200 パーセント

【関東地域】

- ・ 関東地域 60km 計算値(2009 年)の場合、主要 VOC 成分のうち、ETHE,ARO1,ARO2 は過小の事例が多いが、その他の成分は目標水準を満たした。
- ・ 関東地域 10 km の計算値(2009 年)の場合、主要 VOC 成分のうち、ETHE,ARO1,ARO2 は過小の事例が多いが、ETHE,ARO2 は 60km 計算値と比較すると、目標水準を満たす事例の割合が高い。

2.1.3.3. 改善作業を反映したシミュレーションモデル設定内容

改善作業を反映した気象モデルおよび化学輸送モデルの設定内容を表 2-1 に、計算対象領域を図 2-1 および図 2-2 に示した。なお、表中の網掛け部分は、平成 26 年度の設定との相違点を示す。

表 2-1 気象モデルおよ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)を対象 ・60km 計算は、過去 10 年間トレンドを含む再現性評価を行うために、2001～2010 年の暖候期(4～9 月)を対象とした。 ・10km 計算は、O ₃ や O ₃ の前駆物質計算値の再現性評価を行うために、気象的に異常年でなく、NMHC の測定データが存在する 2009 年の暖候期(4～9 月)を対象とした。
解析地域	関東地域および九州地域 ・60km 計算は、関東地域および九州地域を対象 ・10km 計算は、NMHC の測定値との比較検証が可能である関東地域を対象
気象モデル	WRF 気象モデルバージョン:WRFV3.5.1 水平格子点数:72×59(東アジア領域) 水平格子点数:45×45(関東・九州領域) 鉛直層数:30 層 初期値・境界値:東アジア領域(60km 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 初期値・境界値:関東領域(10km 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 大気データ: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 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:7 日 連続計算時間:4～9 月の 6 か月間
化学輸送モデル	CMAQ 大気質モデルバージョン:CMAQ4.7.1 水平格子点数:62×49(東アジア領域)

	水平格子点数:30×30(関東・九州領域) 鉛直層数:30層 水平拡散:multiscale 鉛直拡散:acm2 気相反応:SAPRC99 粒子化:AERO5 沈着 :areo_depv2 Cloud:cloud acm ae5 スピンアップ時間:7日 連続計算時間:4~9月の6か月間
計算対象領域 (化学輸送モデル)	東アジア領域:東西 3,840km×南北 2,580km×鉛直 16km 関東領域:東西 300km×南北 300km×鉛直 16km
解像度	東アジア領域:水平格子 60km 関東領域:水平格子 10km 鉛直方向:20m~6kmの可変格子とする
ネステイング	CMAQについては、関東領域は親領域からのネステイングを実施した
境界値	東アジア領域の境界値は、全球化学輸送モデル CHASER の出力値使用。
排出インベントリ	東アジア領域 人為起源排出量:JEI-DB ¹ (日本付近のみ適用、内訳は関東領域の項目参照)、REAS2.1 ² (日本付近を除く全域) 植物起源排出量:MEGAN ³ 計算値(WRF(気象モデル)の計算値をとりこむ) 関東領域 船舶:海洋政策研究財団作成 DB ⁴ 船舶以外:JEI-DB

¹ 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)
 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以外排出量推計」(平成 24 年 3 月)

² Kurokawa, J., Ohara, T., Morikawa, T., Hanayama, S., Janssens-Maenhout, G., Fukui, T., Kawashima, K., and Akimoto, H., Emissions of air pollutants and greenhouse gases over Asian regions during 2000–2008: Regional Emission inventory in ASia (REAS) version 2, Atmospheric Chemistry Physics, 13, 11019–11058 (2013)

³ Guenther, A., Karl, T., Harley, P., Wiedinmyer, C., Palmer, P.I., and 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)

⁴ 海洋政策研究財団「平成 24 年度 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」

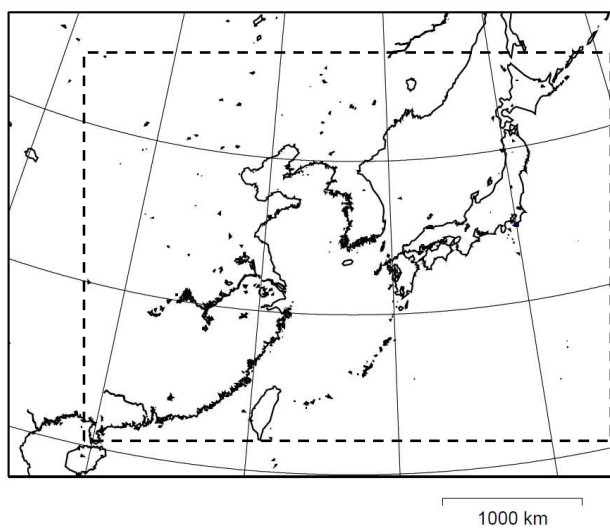


図 2-1 東アジア領域(60km 格子)

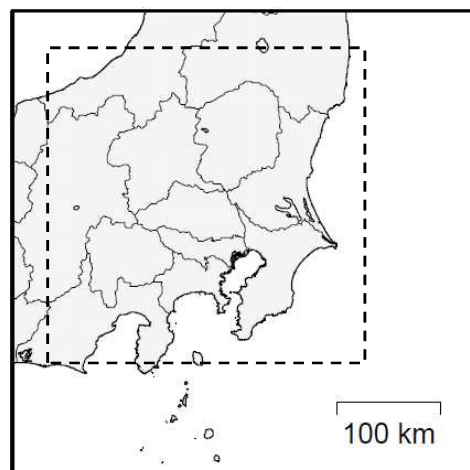


図 2-2 関東領域(10km 格子)

2.2. シミュレーションモデルを用いた3つの要因の解析

改良・構築したシミュレーションモデルを用いて、国内の光化学オキシダント濃度に影響を与えると推測された主な要因のうち、「越境大気汚染の影響」および「光化学オキシダント前駆物質 (NO_x、VOC (NMHC)) 濃度の影響」の解析を実施した。

なお、「NO タイトレーションの効果の低下の影響」については、60km の計算においては、NO_x 濃度が平均化されるため、ローカルスケールで生じていると考えられる NO タイトレーション効果の低下の影響について適切に評価することが難しいと判断された。また、10km 計算値を対象とした 2009 年関東の解析結果では、NO_x は全体的に過小であり、また、タイトレーション効果による夜間の O₃ 濃度の低下が適切に再現されないことが示唆された。以上のことから「NO タイトレーション効果の低下の影響」の解析については、次年度以降モデルの精度向上に取り組むとともに、10km 格子による 10 年分の計算結果を対象にしたポテンシャルオゾン (PO) と O₃ についての評価を行ったのち、濃度差に着目した解析を行うこととする。

解析項目とその目的について表 2-2 に整理した。解析対象地域として設定した、関東地域および九州地域について、格子間隔 60km における解析対象メッシュとその中心位置を図 2-4 に示した。また、関東領域 (10km 格子) におけるメッシュの中心位置と測定局を図 2-5 に示した。関東領域 (10km 格子) においては、測定局を含むメッシュを解析対象メッシュとした。

表 2-2 シミュレーションを用いた解析項目とその目的
(国内の光化学オキシダント濃度に影響を与えると推測された主な要因の解析)

解析項目	解析の目的	備考
越境大気汚染の影響	2001 年から 2009 年までの東アジア大陸の大気汚染物質排出量の変化 (図 2-3 参照) が国内の光化学オキシダント濃度におよぼす影響の程度を明らかにすること 基準年 (実際の状況を再現するために、気象場および大気汚染物質排出量ともに同年のものを設定し計算する。この計算結果を基準として、条件を変えて実施した計算結果と比較する) が異なることで、越境大気汚染の増加の影響の解析結果 (越境汚染の増加の影響は、関東地域よりも九州地域の方が大きいこと) が変化しないか確認すること	<ul style="list-style-type: none"> 基準年: 2009 年暖候期 (4~9 月) 計算格子間隔: 60km 解析対象地域: 関東・九州 <ul style="list-style-type: none"> 基準年: 2001 年暖候期 (4~9 月) 計算格子間隔: 60km 解析対象地域: 関東・九州
光化学オキシダント前駆物質 (NO _x 、VOC (NMHC)) 濃度の影響	今後の関東地域の光化学オキシダント対策を検討するうえで、NO _x 削減と VOC 削減の光化学オキシダント濃度に対するそれぞれの感度を明らかにすること	<ul style="list-style-type: none"> 基準年: 2009 年暖候期 (4~9 月) 計算格子間隔: 10km 解析対象地域: 関東 関東 NO_x および VOC 排出量を 5 ケース設定する。

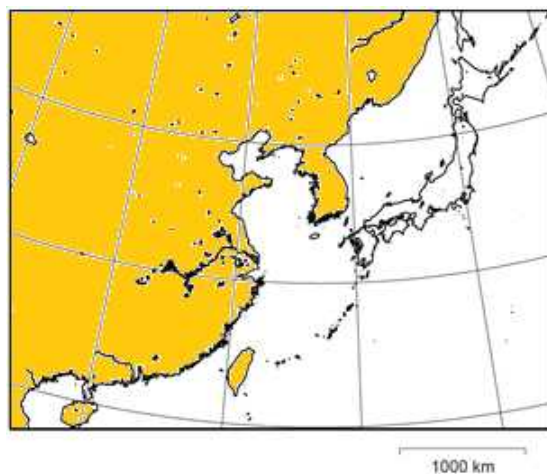


図 2-3 越境大気汚染の増加の影響の解析で大気汚染物質排出量を変化させた地域(山吹色)

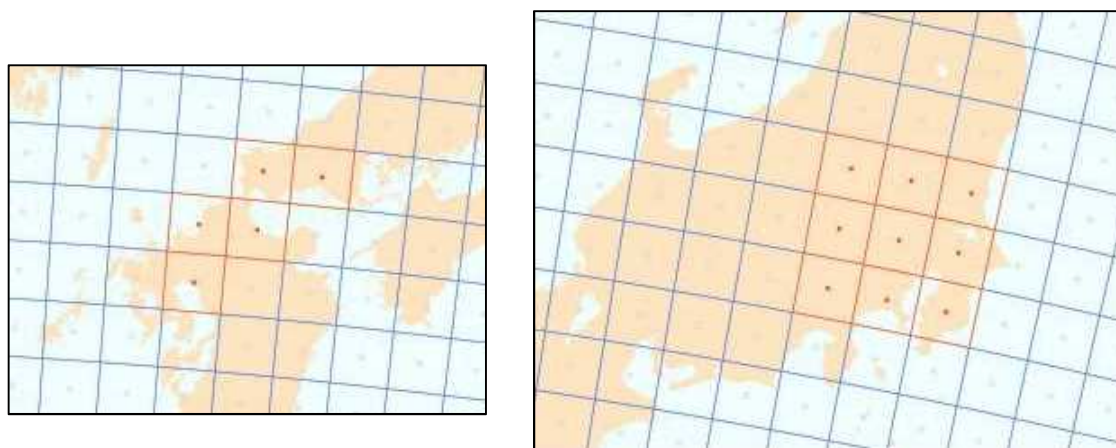


図 2-4 東アジア領域(60km 格子)における解析対象メッシュ
(左図:九州地域、右図:関東地域)

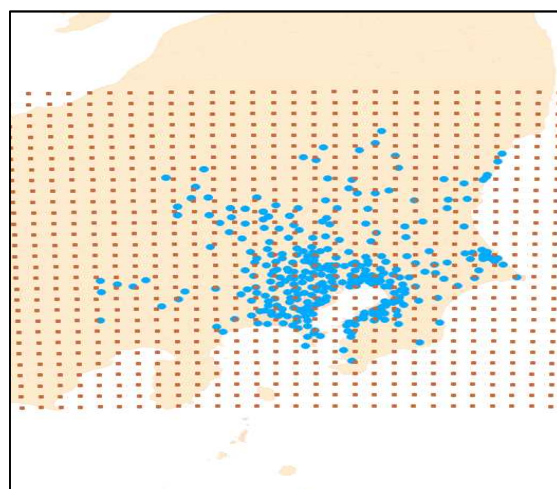


図 2-5 関東領域(10km 格子)におけるメッシュの中心位置(■)と測定局(●)

2.2.1. 越境大気汚染の影響

2.2.1.1. 解析の目的

2001年から2009年までの東アジア大陸からの大気汚染物質排出量の変化が国内の光化学オキシダント濃度におよぼす影響の程度を把握することを目的とする。

2.2.1.2. シミュレーションの設定条件

シミュレーションの設定条件(大気汚染物質排出量および気象場の設定年)を表 2-3 に示した。気象場およ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について 2009 年の排出量を設定した場合(ケース A)と東アジア大陸からの大気汚染物質排出量について 2001 年の排出量を設定した場合(ケース C)の国内の光化学オキシダント濃度を比較した。2001 年と 2009 年における東アジア大陸(シミュレーション)における NO_x 排出量の比は 1.48 程度、VOC 排出量の比は 1.19 程度であった。

本解析は、気象場の設定を 2009 年⁵とし、広域スケールを対象としていることから、関東領域 60km 格子における計算結果を対象に解析を行った。

表 2-3 大気汚染物質排出量および気象場の設定内容

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)】 越境大気汚染の増加の影響の把握
C	2001 年			

2.2.1.3. 解析結果

(1) O₃ の日最高 8 時間値の暖候期 98 パーセンタイル値

東アジア領域の O₃ 計算値について、計算メッシュごとに O₃ 新指標相当値を算出した。図 2-6 に「すべての大気汚染物質排出量を 2009 年に設定」した場合と「東アジア大陸からの大気汚染物質排出量を 2001 年に設定」した場合の O₃ 新指標相当値の分布図を示した。また、図 2-7 に「すべての大気汚染物質排出量を 2009 年に設定」した場合の O₃ 新指標相当値と「東アジア大陸からの大気汚染物質排出量を 2001 年に設定」した場合の O₃ 新指標相当値の濃度比を示した。併せて、日本付近を拡大した図(凡例も変更)を示した。

図 2-7 の広域の分布図より、日本付近の O₃ 新指標相当値の濃度比(ケース A/ケース C)は、沖縄から九州といった、東アジア大陸に近い地域ほど大きくなっている。また、図 2-7 の日本付近の分布図より、濃度比が大きい地域は、九州地方(ただし九州北部を除く)、中国地方西部、中部地方内陸部、東北地方～北海道にかけての一部の地域であった。ただ

⁵ 参考資料 4 の「3.異常年検定について」において、気象場に関する異常年検定の検定結果について示した。

し、東北地方～北海道にかけては、O₃ 新指標相当値の絶対値が小さいことに留意する必要がある。

九州地域および関東地域の O₃ 新指標相当値から濃度比(ケース A/ケース C)を算出した結果を図 2-8 に示した。図 2-8 から、九州地域の濃度比は 1.08、関東地域の濃度比は 1.02 と算出された。

以上のことから、これまでの東アジア大陸からの大気汚染物質排出量増大によって、日本国内の広い範囲で O₃ 新指標相当値が増加したことが確認された。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。

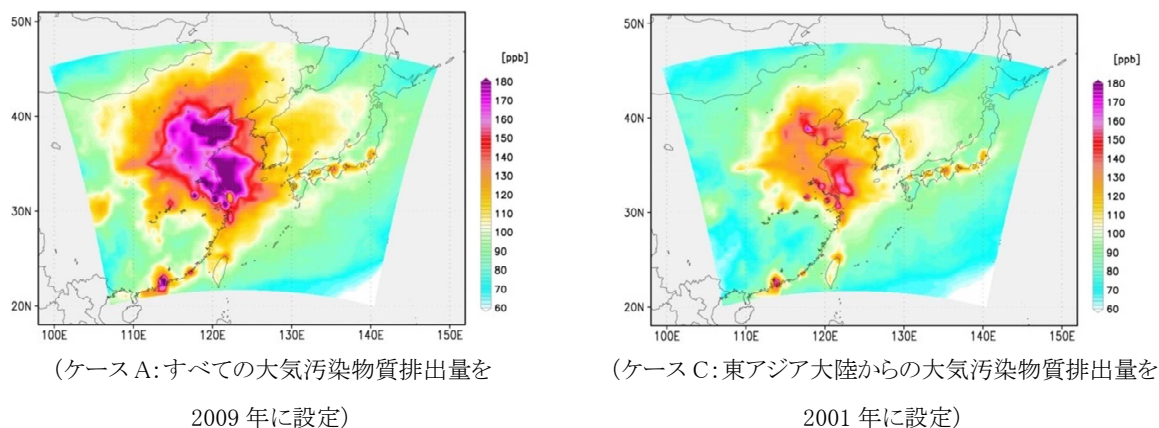
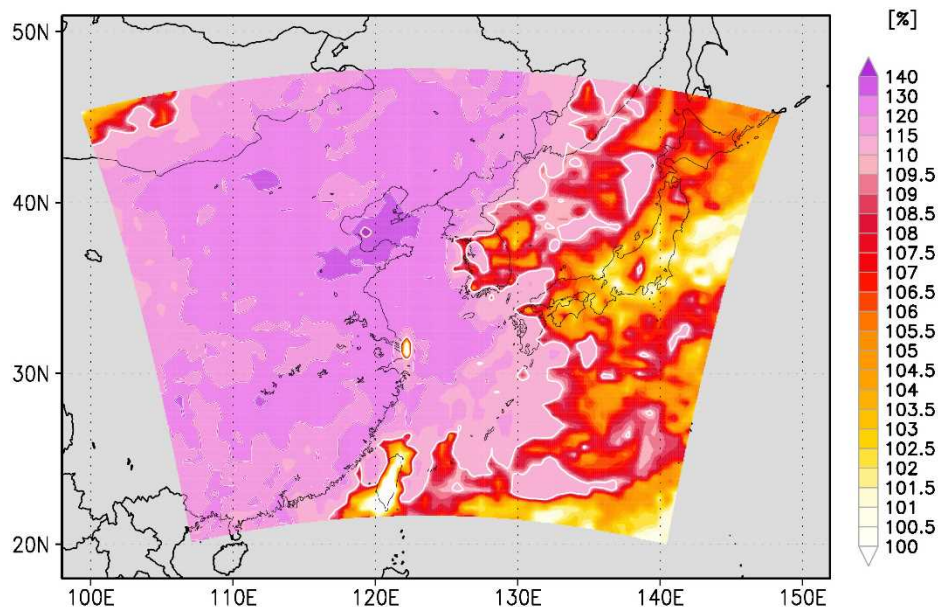
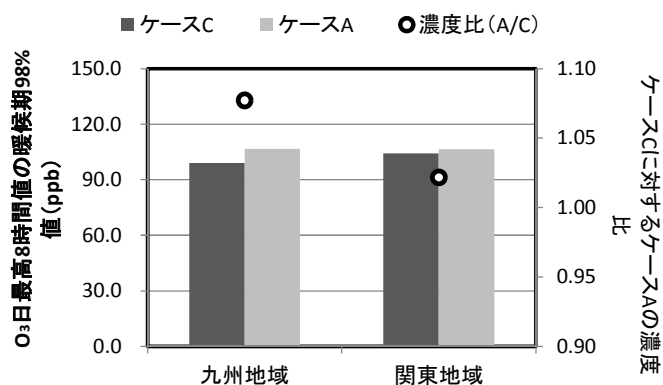


図 2-6 O₃ 新指標相当値の分布状況



ケース A:すべての大気汚染物質排出量を 2009 年に設定
 ケース C: 東アジア大陸からの大気汚染物質排出量を 2001 年に設定

図 2-7 O₃ 新指標相当値の濃度比(ケース A/ケース C)



ケース A: すべての大気汚染物質排出量を 2009 年に設定
 ケース C: 東アジア大陸からの大気汚染物質排出量を 2001 年に設定

図 2-8 九州および関東地域の O₃ 新指標相当値および濃度比(ケース A/ケース C)

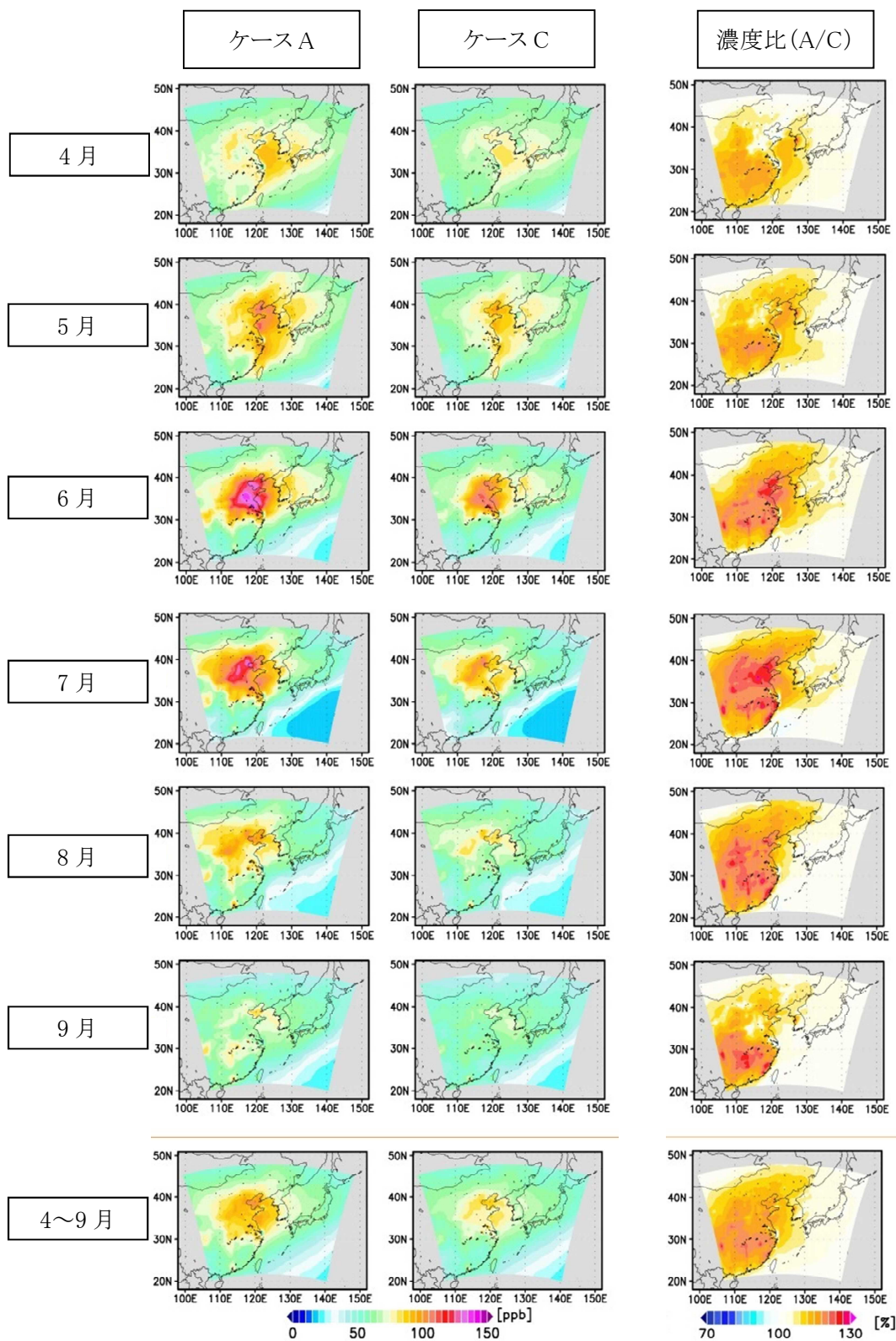
(2) O₃ の日最高 8 時間値の月平均値

東アジア領域の O₃ 計算値について、計算メッシュごとに日最高 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状況と両ケースの日最高 8 時間値の月平均値の濃度比(ケース A/ケース C)の分布状況を図 2-9 に示した。また、九州および関東地域の日最高 8 時間値の月平均値および濃度比を図 2-10 に示した。

図 2-9 の濃度比の分布図より、日本の沖縄～九州地域に着目すると、4～7 月にかけての濃度比が比較的大きいことが分かる。また、O₃ 新指標相当値と同様、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。

図 2-10 から、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 6～7 月にかけて特に大きくなり、値は 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、九州地域と同様、6～7 月にかけて大きくなったが、値は 1.04 程度であり、九州地域よりも小さい結果となった。

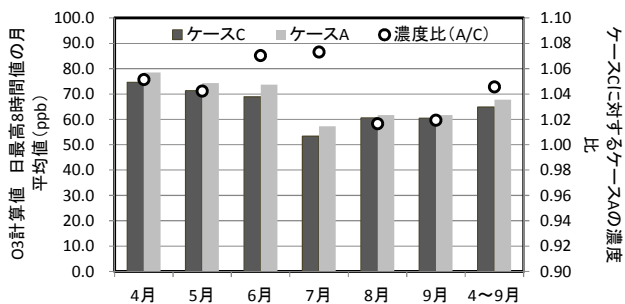
以上のことから、東アジア大陸からの大気汚染物質排出量が増大したことによる O₃ の日最高 8 時間値の月平均値に及ぼす影響は、関東地域よりも九州地域の方が大きいことが確認された。また、両地域とも 6～7 月にかけて、その影響が大きくなる傾向がみられた。



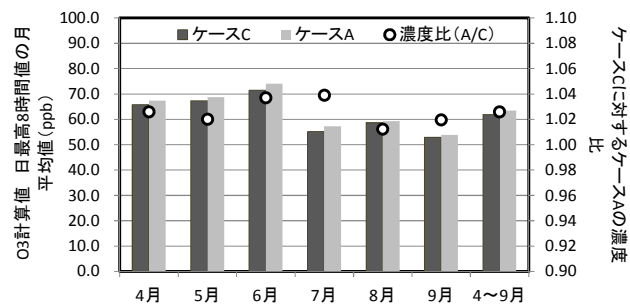
ケース A: すべての大気汚染物質排出量を 2009 年に設定
 ケース C: 東アジア大陸からの大気汚染物質排出量を 2001 年に設定

図 2-9 O₃ の日最高 8 時間値の月平均値および濃度比(ケース A/ケース C)

九州地域



関東地域



ケース A: すべての大気汚染物質排出量を 2009 年に設定
 ケース C: 東アジア大陸からの大気汚染物質排出量を 2001 年に設定

図 2-10 九州および関東地域の O₃ の日最高 8 時間値の月平均値および濃度比(ケース A/ケース C)

2.2.2. 越境大気汚染の影響(基準年を変えた場合の影響の検討)

2.2.2.1. 解析の目的

基準年が異なることで、越境大気汚染の増加の影響が変化しないことを確認することを目的とする。

2.2.2.2. シミュレーションの設定条件

シミュレーションの設定条件(大気汚染物質排出量および気象場の設定年)を表 2-4 に示した。気象場および国内大気汚染物質排出量を 2001 年で固定し、東アジア大陸からの大気汚染物質排出量を 2009 年の排出量を設定した場合(ケース A')と 2001 年の排出量を設定した場合(ケース C')の国内の光化学オキシダント濃度を比較し、ケース A と C の解析結果と同様の傾向がみられるか確認した。

表 2-4 越境大気汚染の増加の影響の解析の設定ケース

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	2001 年	2001 年	気象場が異なることで、(A と C)の解析結果(越境汚染の増加の影響は、関東地域よりも九州地域の方が大きいこと)が変化しないことの確認【基準ケース(2001 年)】
C'	2001 年			

2.2.2.3. 解析結果

(1) O₃ の日最高 8 時間値の暖候期 98 パーセンタイル値

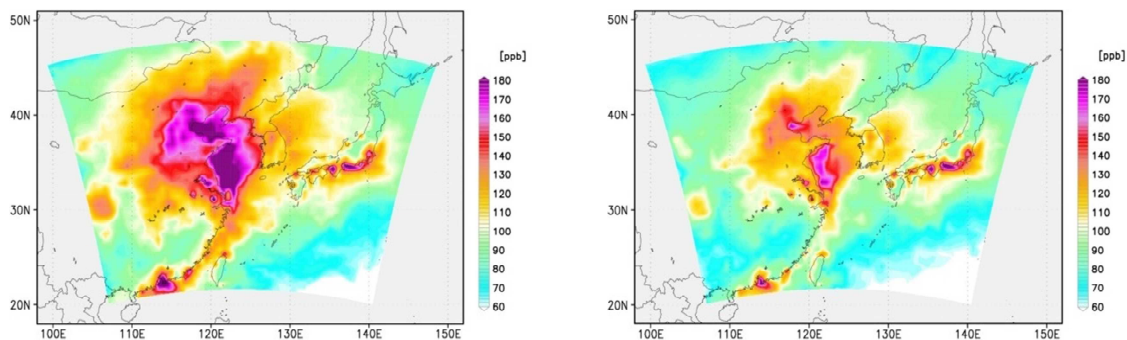
東アジア領域の O₃ 計算値について、計算メッシュごとに O₃ 新指標相当値を算出した。図 2-11 に「東アジア大陸からの大気汚染物質排出量を 2009 年に設定」した場合と「すべての大気汚染物質排出量を 2001 年に設定」した場合の O₃ 新指標相当値の分布図を示した。また、図 2-12 に両ケースの O₃ 新指標相当値の濃度比を示した。併せて、日本付近を拡大した分布図を示した。

図 2-12 の広域の分布図より、日本付近の O₃ 新指標相当値の濃度比(ケース A'/ケース C')は、東アジア大陸に近い地域ほど大きくなっている。また、図 2-12 の日本付近の分布図より、濃度比が大きい地域は、沖縄地方、九州地方東部、中国地方西部、東北地方～北海道にかけての一部の地域であった。ただし、東北地方～北海道にかけては、O₃ 新指標相当値の絶対値が小さいことに留意する必要がある。

九州地域および関東地域の O₃ 新指標相当値を算出し、濃度比(ケース A'/ケース C')を算出した。結果を図 2-13 に示した。図 2-13 から、九州地域の濃度比は 1.03、関東地域の濃度比は 1.01 と算出された。

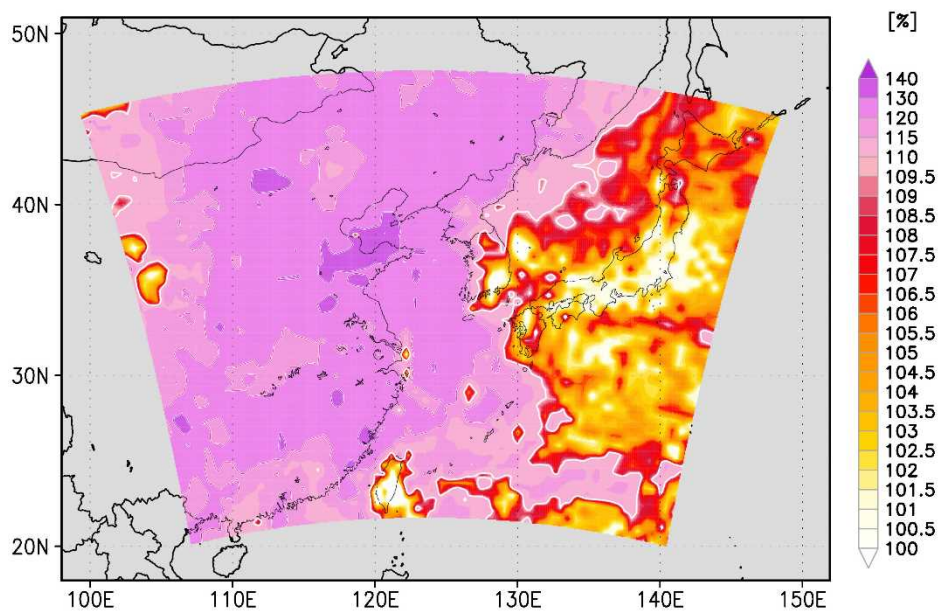
以上のことから、東アジア大陸の大気汚染物質排出量の増大は、日本国内の O₃ 新指標相当値の増加に寄与することが確認された。また、基準年を 2001 年に設定した

場合でも、越境大気汚染の増加の影響の傾向(O₃新指標相当値の増加割合は、九州地域の方が関東地域よりも大きい)に変化はみられないことも確認された。



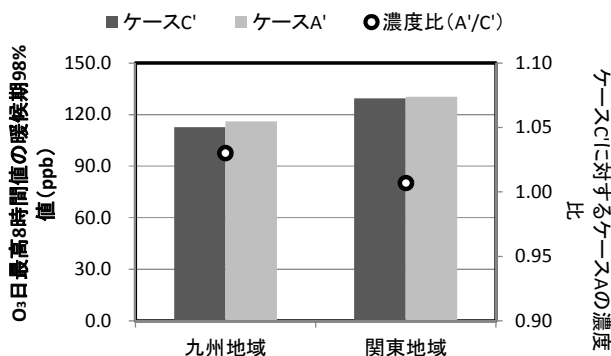
ケース A': 東アジア大陸からの大気汚染物質排出量を 2009 年に設定
 ケース C': すべての大気汚染物質排出量を 2001 年に設定

図 2-11 O₃ 新指標相当値の分布状況



ケース A': 東アジア大陸からの大気汚染物質排出量を 2009 年に設定
 ケース C': すべての大気汚染物質排出量を 2001 年に設定

図 2-12 O₃ 新指標相当値の濃度比(ケース A'/ケース C')



ケース A': 東アジア大陸からの大気汚染物質排出量を 2009 年に設定
 ケース C': すべての大気汚染物質排出量を 2001 年に設定

図 2-13 九州および関東地域の O₃ 新指標相当値および濃度比 (ケース A'/ケース C')

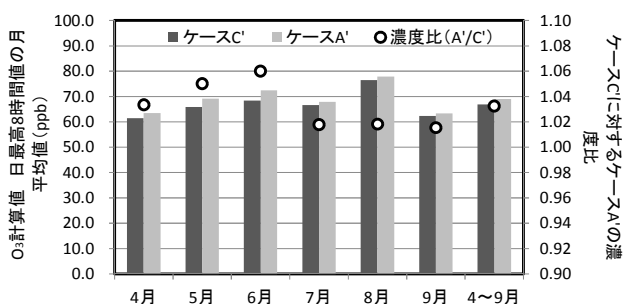
(2) O₃ の日最高 8 時間値の月平均値

両ケースの九州および関東地域の日最高 8 時間値の月平均値および濃度比を算出した。結果を図 2-14 に示した。

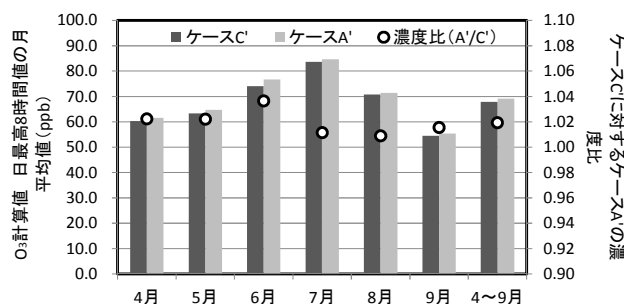
九州地域における日最高 8 時間値の月平均値の濃度比は 5~6 月にかけて大きくなり、値としては 1.05~1.06 程度であった。一方、関東地域における日最高 8 時間値の月平均値の濃度比は、6 月に大きくなり、値としては 1.04 程度であり、九州地域と比較すると、やや小さい結果となった。

以上のことから、東アジア大陸からの大気汚染物質排出量が増大したことによる O₃ の日最高 8 時間値の月平均値に及ぼす影響は、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。また、両地域とも 6 月にその影響が大きくなる傾向がみられた。この傾向は、基準年が異なっても同様であることが確認された。

九州地域



関東地域



ケース A': 東アジア大陸からの大気汚染物質排出量を 2009 年に設定
 ケース C': すべての大気汚染物質排出量を 2001 年に設定

図 2-14 九州および関東地域の O₃ の日最高 8 時間値の月平均値および濃度比 (ケース A'/ケース C')

2.2.3. 光化学オキシダント前駆物質(NO_x、VOC(NMHC))濃度の影響

2.2.3.1. 解析の目的

今後の光化学オキシダント対策を検討するうえで、関東地域を対象に NO_x 削減と VOC 削減の光化学オキシダント濃度に対するそれぞれの感度を明らかにすることを目的とする。また、VOC 削減対策の効果について、VOC 削減量と O₃ 新指標相当値の変化の大きさとの関係から評価した。

2.2.3.2. シミュレーションの設定条件

表 2-5 にシミュレーションの設定条件(大気汚染物質排出量および気象場)を示した。本解析では 2009 年を基準年として、関東を対象とした前駆物質(VOC および NO_x)削減の感度を把握した(ケース A を基準として、ケース D~F と比較)。また、ケース G は「関東人為起源 VOC のうち固定蒸発 VOC のみ 2009 年排出量比で半分にした場合」を設定した。「関東人為起源 VOC を 2009 年排出量比で半分にした」ケース D と比較することで、VOC 削減対象成分と感度の関係について評価した。なお、ケース G の関東領域(シミュレーション)における人為起源 VOC 排出量のケース A に対する比は 0.73 程度であった。また、光化学反応性を考慮した場合の人為起源 VOC 排出量の比は 0.78 程度であった。

本解析は、地域的なスケールを対象としていることから、関東領域 10km 格子における計算結果を対象に解析を行った。

表 2-5 大気汚染物質排出量および気象場の設定内容

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	関東人為起源 VOC	関東 NO _x	関東 ⁶ 左記以外		
A	2009 年	2009 年	2009 年	2009 年	2009 年	【基準ケース(2009 年)】
D		2009 年×1/2	2009 年			関東における人為起源 VOC 削減の感度の把握
E		2009 年	2009 年×1/2			関東における NO _x 削減の感度の把握
F		2009 年×1/2	2009 年×1/2			関東における人為起源 VOC・NO _x 同時削減の感度の把握
G		固定蒸発 VOC のみ 2009 年×1/2	2009 年			ケース D との比較により感度の差異をみる

※関東領域の境界値は変化させていない

⁶ 関東左記以外の物質は、SO_x、CO、植物起源 VOC、粒子状物質、NH₃

2.2.3.3. 解析結果

(1) O₃ の日最高 8 時間値の暖候期 98 パーセンタイル値

関東領域の O₃ 計算値について、計算メッシュごとに O₃ 新指標相当値を算出し、図 2-16 に分布状況を示した。また、図 2-17 にケース D～G のケース A に対する O₃ 新指標相当値の濃度比を示した。

図 2-17 より、「VOC 排出量を 2009 年排出量の 50%に設定」した場合、関東地域全域で O₃ 新指標相当値は小さくなった。一方、「NO_x 排出量を 2009 年排出量の 50%に設定」した場合、東京湾を中心とした NO_x 排出量が多いと考えられる地域において、O₃ 新指標相当値が大きくなる傾向がみられたが、他の地域では O₃ 新指標相当値は小さくなった。「VOC および NO_x 排出量ともに 2009 年排出量の 50%に設定」した場合、O₃ 新指標相当値は、東京湾を中心とする地域では、ほとんど変化が無いかやや大きくなる傾向がみられたが、埼玉県西部や東京都西部などの郊外では O₃ 新指標相当値は「VOC 排出量を 2009 年排出量の 50%に設定」した場合よりも小さくなった。

関東地域では「VOC 排出量を 2009 年排出量の 50%に設定」した場合、O₃ 新指標相当値が全域で低減することが示唆された。さらに一部地域では「VOC および NO_x 排出量ともに 2009 年排出量の 50%に設定」した場合、最も低減割合が大きくなることが示唆された。一方、「NO_x 排出量を 2009 年排出量の 50%に設定」した場合は、東京湾周辺を中心に O₃ 新指標相当値は増大するが、その他の地域では現状通りもしくは低減する可能性が示唆された。

(2) VOC 排出量と O₃ 新指標相当値の関係について

「VOC 排出量を 2009 年排出量の 50%に設定」した場合(ケース D)と「固定蒸発 VOC 排出量を 2009 年排出量の 50%に設定」した場合(ケース G)で、関東地域における VOC 排出量比と O₃ 新指標相当値の濃度比を比較した(図 2-15)。図 2-15 より、両ケースの VOC 排出量比の大きさと O₃ 新指標相当値の濃度比の大きさを比較すると、O₃ の濃度減少の程度は、VOC の削減比に対応していることが示唆された。

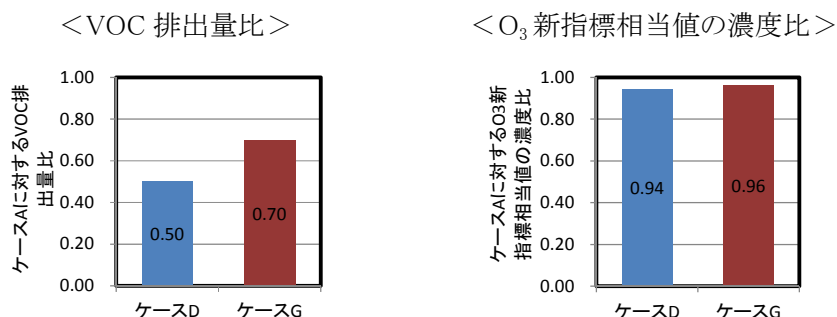


図 2-15 VOC 排出量比と O₃ 新指標相当値の濃度比

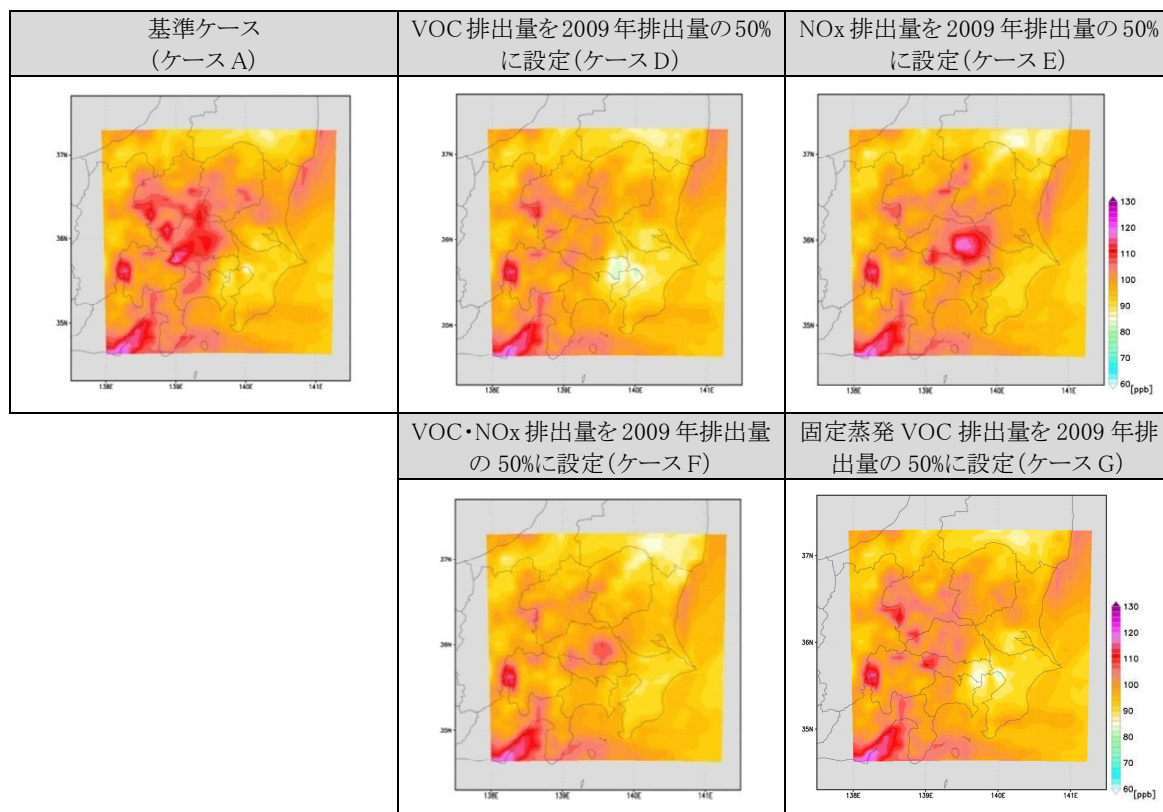


図 2-16 O₃ の新指標相当値の分布状況

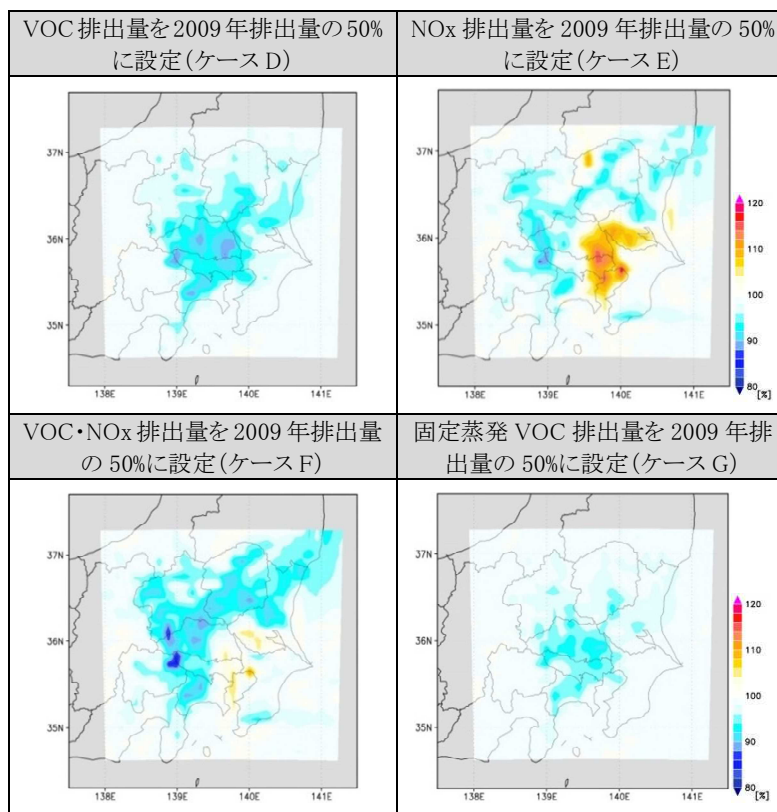


図 2-17 O₃ の新指標相当値の基準ケースに対する濃度比

2.3. これまでの光化学オキシダント排出抑制対策の効果等の把握

2.3.1. 固定蒸発 VOC 排出量削減の影響の解析

2.3.1.1. 解析の目的

関東の高濃度域の光化学オキシダント濃度の変化に対して、これまでの大気汚染物質排出抑制対策がどのような影響を与えたか明らかにする。具体的には、平成 18 年度(2006 年度)より施行された「揮発性有機化合物(VOC)の排出抑制制度」による関東地域における固定蒸発 VOC 排出量削減の影響の程度を把握することを目的とする。

2.3.1.2. シミュレーションの設定条件

シミュレーションの設定条件(大気汚染物質排出量および気象場の設定年)を表 2-6 に示した。関東の固定蒸発 VOC 排出量について、対策前の排出量として 2001 年の排出量を設定し、対策後の排出量として 2009 年の排出量を設定した場合の光化学オキシダント濃度を比較する。2001 年と 2009 年の関東領域(シミュレーション)における人為起源 VOC 排出量の比は 0.73 程度であった。また、光化学反応性を考慮した場合の人為起源 VOC 排出量の比も 0.73 程度であった。

本解析は、気象場の設定を 2009 年とした。また、地域的なスケールを対象としていることから、関東領域 10km 格子における計算結果を対象に解析を行った。

表 2-6 大気汚染物質排出量および気象場の設定内容

ケース	大気汚染物質排出量 ⁷ の設定年			気象場の設定年	備考
	東アジア大陸	関東固定蒸発 VOC	関東 ⁸ 左記以外		
A	2009 年	2009 年	2009 年	2009 年	基準ケース(2009 年)
B		2001 年			関東固定蒸発 VOC 削減影響の把握

※関東領域の境界値は変化させていない

2.3.1.3. 解析結果

(1) O₃ の日最高 8 時間値の暖候期 98 パーセンタイル値

関東領域の O₃ 計算値について、計算メッシュごとに日最高 8 時間値の暖候期 98 パーセンタイル値(以下、O₃ 新指標相当値と記述)を算出した。図 2-18 に分布状況を示した。また、図 2-19 に「すべての大気汚染物質排出量を 2009 年に設定」した場合と「関東の固定蒸発 VOC 排出量を 2001 年に設定」した場合の O₃ 新指標相当値の濃度比を示した。

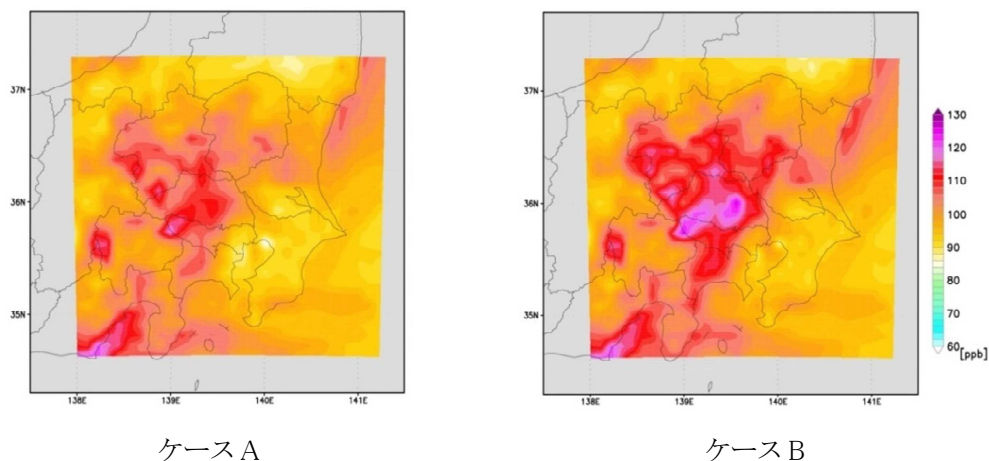
図 2-19 より、「すべての大気汚染物質排出量を 2009 年に設定」した場合、「関東の固定蒸発 VOC 排出量を 2001 年に設定」した場合よりも、関東全域で O₃ 新指標相当値が

⁷ モデル(関東領域)に入力する大気汚染物質排出物質は、NO_x、SO_x、CO、人為起源 VOC(固定蒸発 VOC およびその他 VOC)、植物起源 VOC、粒子状物質、NH₃

⁸ 関東左記以外の物質は、NO_x、SO_x、CO、固定蒸発以外の人為起源 VOC、植物起源 VOC、粒子状物質、NH₃

小さくなった。東京都東部～埼玉県南東部にかけて、特に濃度比が小さくなっていることが分かる(濃度比 0.85～0.90 程度)。

これまでの固定蒸発 VOC 排出量の削減対策により、関東地域では O₃ 新指標相当値が低下したことが確認された。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確認された。



(すべての大気汚染物質排出量を 2009 年) (関東固定蒸発 VOC 排出量を 2001 年)

図 2-18 O₃ 新指標相当値の分布状況

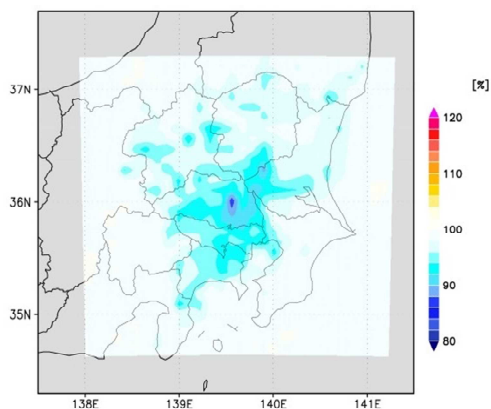


図 2-19 O₃ 新指標相当値の濃度比(ケース A/ケース B)

2.3.2. O₃の濃度レンジによる感度の違いについて

2.3.2.1. 解析の目的

2.2.3の解析項目について、O₃の高濃度レンジを代表する日最高8時間値の暖候期98パーセンタイル値の他に、O₃の中濃度レンジを代表する日最高8時間値の暖候期50パーセンタイル値を算出し、それぞれの感度に差があるか確認することを目的とする。

2.3.2.2. シミュレーションの設定条件

解析項目で設定したケースD～Gについて、関東地域を対象に、以下のパーセンタイル値を算出した。また、①および②の統計値について、それぞれのケースD～GのケースAに対する濃度比を算出した。

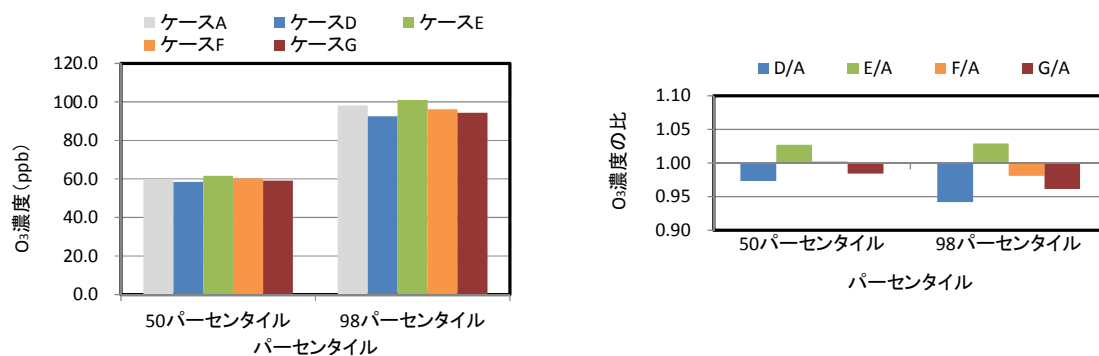
- ・ O₃高濃度レンジの代表値
 - ①日最高8時間値の暖候期98パーセンタイル値
- ・ O₃中濃度レンジの代表値
 - ②日最高8時間値の暖候期50パーセンタイル値

2.3.2.3. 解析結果

ケースD～Gについて、関東地域の測定局を含むメッシュを対象に①および②の値を算出し、さらに、それらを平均値化し関東地域の①および②の値とした。図2-20の左図に、関東地域の①および②の値を示した。また、図2-20の右図に、各値についてケースD～GのケースAに対する比を示した。図2-20の右図から明らかとなった事項を表2-7に整理した。

表 2-7 設定ケースと濃度レンジの感度について

ケース	大気汚染物質排出量の設定年		濃度レンジの感度
	関東人為起源 VOC	関東 NO _x	
D	2009年×1/2	2009年	中濃度レンジと比較すると高濃度レンジの方がO ₃ 濃度の感度が高い。
E	2009年	2009年×1/2	中濃度レンジと高濃度レンジでO ₃ 濃度の感度に大きな違いはみられない。
F	2009年×1/2	2009年×1/2	中濃度レンジと比較すると高濃度レンジの方がO ₃ 濃度の感度が高い。
G	固定蒸発 VOCのみ 2009年×1/2	2009年	中濃度レンジと比較すると高濃度レンジの方がO ₃ 濃度の感度が高い。



ケース A : 基準ケース
 ケース D : VOC 排出量を 2009 年排出量の 50% に設定
 ケース E : NOx 排出量を 2009 年排出量の 50% に設定
 ケース F : VOC および NOx 排出量ともに 2009 年排出量の 50% に設定
 ケース G : 固定蒸発 VOC 排出量を 2009 年排出量の 50% に設定

図 2-20 O₃濃度レンジ別の感度(ケース A およびケース D~G)
 (左図:O₃濃度 右図:O₃濃度の比)

2.4. シミュレーションモデルを用いた解析のまとめ

国内の光化学オキシダント濃度に影響を与えると推測された 3 要因のうち、「越境大気汚染の影響」および「光化学オキシダント前駆物質 (NO_x、VOC (NMHC)) 濃度の影響」について解析を実施した。また、「これまでの光化学オキシダント排出抑制対策の効果等の把握」についても解析を実施した。それぞれの解析結果を整理した。なお、下記の結果は、定性的にはこれまでの研究報告等と矛盾するものではないが、解析に用いたシミュレーションモデルでは、O₃ や O₃ の前駆物質である NO_x および VOC 主要成分の精度について課題がみられる。このため、排出量を基準ケースから変化させた本解析の結果について、O₃ 濃度が上昇・低下する範囲やその変動幅については誤差が生じる可能性があることに留意する必要がある。

【「越境大気汚染」の影響】

これまでの東アジア大陸からの排出量の増大によって、日本国内の広い範囲で O₃ 新指標相当値が増加したことが確認された。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。

【「光化学オキシダント前駆物質 (NO_x、VOC (NMHC)) 濃度」の影響】

関東地域では「VOC 排出量を 2009 年排出量の 50% に設定」した場合、O₃ 新指標相当値が全域で低減することが示唆された。さらに一部地域では「VOC および NO_x 排出量ともに 2009 年排出量の 50% に設定」した場合、最も低減割合が大きくなることが示唆された。一方、「NO_x 排出量を 2009 年排出量の 50% に設定」した場合、東京湾周辺を中心に O₃ 新指標相当値は増大するが、その他の地域では現状通りもしくは低減する可能性が示唆された。

【「これまでの光化学オキシダント排出抑制対策」の効果】

これまでの固定蒸発 VOC 排出量の削減対策により、関東地域では O₃ 新指標相当値が低下したことが確認された。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確認された。

2.5. 今後の課題

本シミュレーションモデルは、精度について一部課題を有している(主な課題として、九州地域の O₃ のトレンド(2001～2010 年で O₃ 濃度が上昇傾向)が再現できていない、関東地域における O₃ の絶対値の再現の精度が低いなど)が、現時点で実行可能な改善作業を行い、最新の研究レベルのモデルと同等の再現性を有していることを確認した。

今後、測定値と計算値の比較方法や指標の算出方法について検討するとともに、シミュレーションモデルが有する課題や以下に示した精度に影響を及ぼすと推測される要因を考慮した解析方法を設定し、解析を進めていくこととする。

【排出インベントリに関連するもの】

- ・ 大気汚染物質排出量の絶対量や空間・時間配分
- ・ 発生源別 VOC の成分組成
- ・ MissingVOC などの未把握物質

【シミュレーションモデルに関連するもの】

- ・ 気象場の再現性
- ・ 東アジア領域の境界濃度
- ・ 未考慮の反応スキーム

【検証用モニタリングデータ関連するもの】

- ・ VOC 成分別濃度データの不足
- ・ VOC 成分別毎時データの不足
- ・ 測定値の空間代表性

なお、本検討会の詳細を含む光化学オキシダント関連情報については

http://www.env.go.jp/air/osen/pc_oxidant.html

にて公開している情報を参照されたい。