

平成 28 年度 光化学オキシダント調査検討会解析作業計画

1. はじめに

本年度は、今後のオキシダント対策に資する知見を得ることを目的として、平成 27 年度に構築および改善作業を実施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に影響を及ぼす要因の解析、および NO_x、VOC 排出量削減の効果について定性的、定量的評価を実施する。また、モデルの精度向上のための解析作業をあわせて実施する。

2. 解析作業項目

今年度の主な解析作業は以下の項目とする。

① シミュレーションモデルによる解析・検討

- ・ オキシダントの前駆物質（VOC 及び NO_x）の削減効果の検討
- ・ NO タイトレーション効果の低下の影響

② モデルの精度向上のための解析

- ・ 本調査で用いたモデルと他モデルの既存の計算結果の比較
- ・ 10km 格子による長期トレンドの確認
- ・ 九州地域の再現性の再評価(対象領域の拡大)
- ・ モデル不確実性の検討
- ・ モデルの設定変更による濃度変化への影響の把握

2.1. シミュレーションモデルによる解析・検討

2.1.1. オキシダントの前駆物質（VOC 及び NO_x）の削減効果の検証

2.1.1.1. 解析の目的

O₃ の高濃度事例発生日数および新指標相当値（日最高 8 時間平均値の年間 99 パーセントイル値）を指標として、O₃ 前駆物質（NO_x、VOC）の削減効果についてシミュレーションを用いた解析によって明らかにし、対策立案のための基礎資料を得ることを目的とする。

2.1.1.2. シミュレーションモデルの設定

シミュレーションモデル（気象モデルおよび化学輸送モデル）は、平成 27 年度に構築・改良したモデルを用いる。設定内容について、表 2-4 (p.12)に整理した。

■解析対象地域

昨年度の業務で実施した、シミュレーションモデルの精度レベルの確認結果を踏まえて、解析対象地域は関東地域（10km メッシュ計算値）を設定する。

■解析対象年

2009 年を対象とする。

■排出量の設定方法

O₃ 前駆物質（人為起源 NO_x もしくは人為起源 VOC）の排出量は、図 2-1 に示すように 19 ケース（○で示した排出量比率）を設定する。なお、関東領域における排出量について、図 2-1 で設定した排出量の条件で計算を実施する。

なお、親領域である東アジア領域の計算において排出量は変化させない(関東領域の境界値は変化しない)こととするが、NO_x、VOC 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日本域の排出量を変化させた条件でも計算を行い、両者の比較を行う。

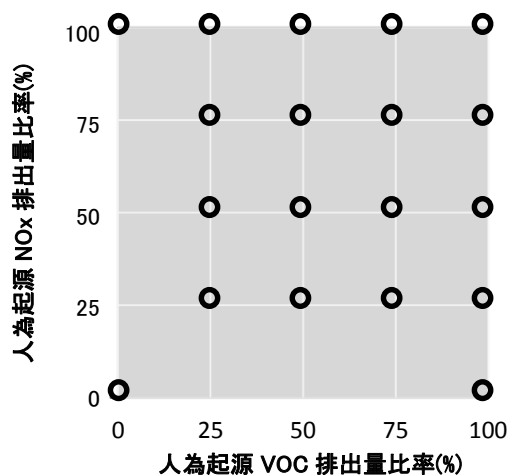


図 2-1 NO_x 排出量および VOC 排出量の設定ケース

2.1.1.3. 評価方法

■新指標相当値による評価

図 2-1 に示した 19 ケースの条件でシミュレーションを実施し、NO_x と VOC の削減割合を変えた場合における対象地域の O₃ の新指標相当値を算出する。算出にあたっては、モデルの絶対値において O₃ を過大評価する傾向があるため、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評価を行う。

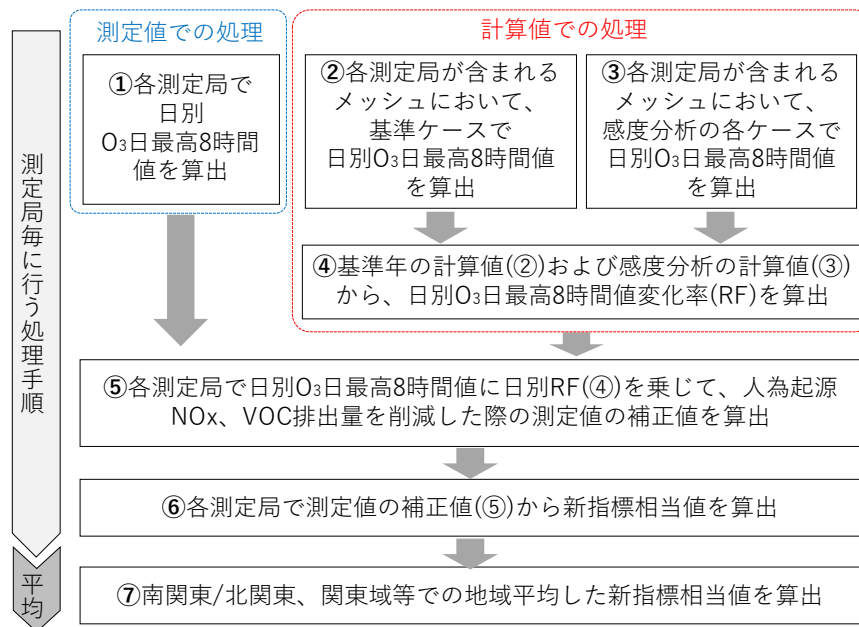


図 2-2 新指標相当値算出のフローチャート(日別RF)

なお、RF の算出に当たっては以下の点(a~c)について考慮する。

- a O₃の他に PO を対象にして、RF を算出する。
- b RF の値が、算出する期間(計算値と測定値の比をとる期間(時間、日、暖候期など))によって変化するか確認し、適切な算出期間について検討する*。
- c RF の値について、都心や郊外といった地域によって差が見られないか確認する。

*想定しているパターンは以下のとおり

- 1). O₃ 日最高 8 時間値で RF を算出(日別 RF) ← 図 2-2 の方法
- 2). O₃ 日最高 8 時間値の暖候期 98 パーセンタイル値で RF を算出(年間 RF)

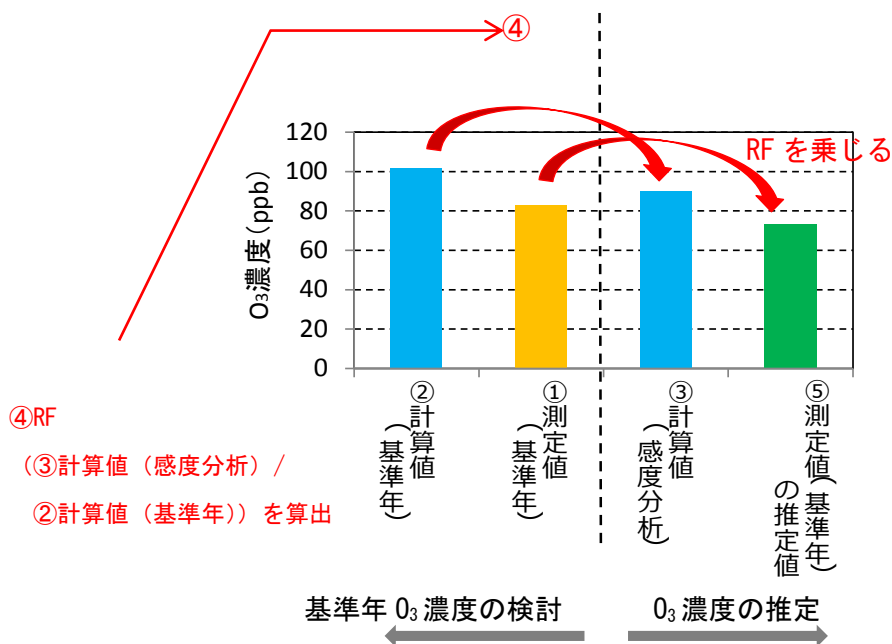


図 2-3 RF を用いた計算値の補正方法

■高濃度発生日数による評価

評価指標として、O₃高濃度発生日数（日最高8時間値）を設定する。

O₃の高濃度として、まず1時間値120ppb以上を設定する。さらに、平成25年度検討業務における昼間の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2-4および表2-1）を参考に、昼間の1時間最高値60、80、120ppbに相当する日最高8時間値として50、70、100ppbを設定し、この値以上となった日数を算出する。

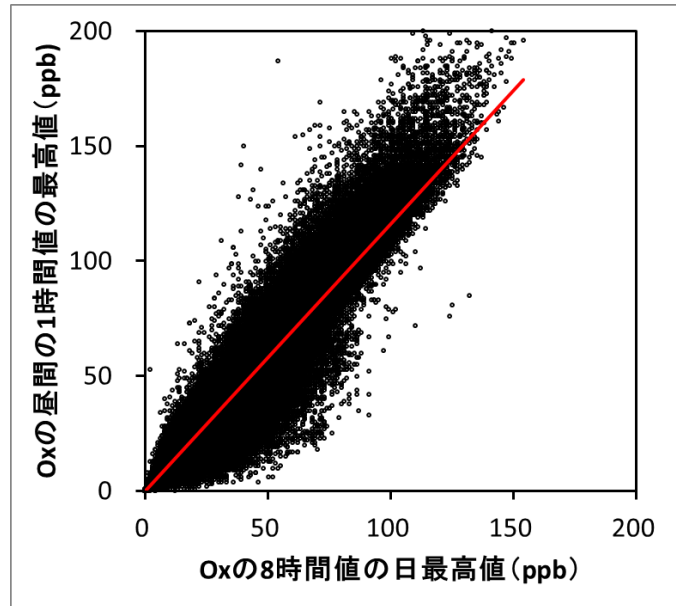


図2-4 昼間の1時間最高値と日最高8時間値の関係(関東地域全体)

表 2-1 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	1時間値	1時間値	1時間値
		$Y = 1 \text{ 時間値}$ $X = 8 \text{ 時間値}$	=60 ppb	=80 ppb	=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
	愛知県	$Y = 1.12 X + 0.87$	53.0	70.9	106.7
	三重県	$Y = 1.08 X + 1.55$	54.1	72.6	109.7
	大阪府	$Y = 1.14 X + 0.58$	52.2	69.7	104.8
	京都府	$Y = 1.12 X + 0.82$	52.7	70.5	106.1
	福岡県	$Y = 1.03 X + 3.63$	54.8	74.3	113.2
	山口県	$Y = 1.06 X + 2.57$	54.2	73.1	110.9

2.1.1.4. アウトプットイメージ

①および②について、関東域、南関東、北関東域などのコンター図を作成する。地域平均値を算出する前に、各メッシュや測定局におけるコンター図等を作成することにより、地域特性（NO_x-limited なのか VOC-limited なのか）を把握し、適切な地域を設定し平均値を算出する。平均値のほか、ケース毎に関東域の測定局における確率密度分布を算出し、NO_x、VOC 比の変化が発生頻度、濃度に及ぼす影響を調査する。

①および②のアウトプットイメージについて整理した。

アウトプット①

O₃ 前駆物質（NO_x もしくは VOC）の排出量に対応した O₃ 新指標相当値について等値線図（図 2-5）を作成する。これによって NO_x および VOC 排出量が増加した場合、O₃ の新指標相当値がどのように変化するか把握できる。

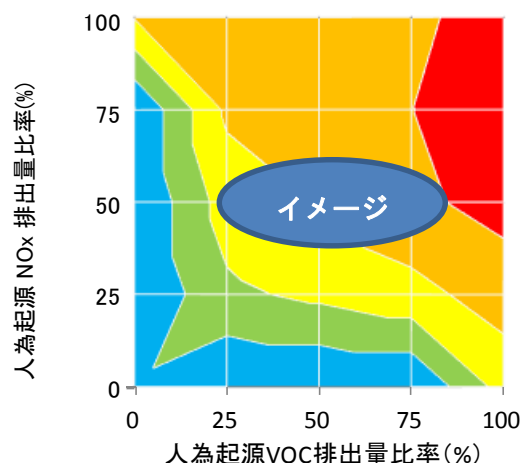
アウトプット②

O₃ 前駆物質（NO_x もしくは VOC）の排出量と、O₃ の高濃度の発生日数（日最高 8 時間値で 50ppb、70ppb、100ppb 以上）を表形式もしくは等値線図（図 2-5）で提示する。

NO_x および VOC 排出量が増加した場合の高濃度の発生日数について把握することができる。また、等値線図を用いることで幅を持たせた評価が可能となる。

アウトプット①の例

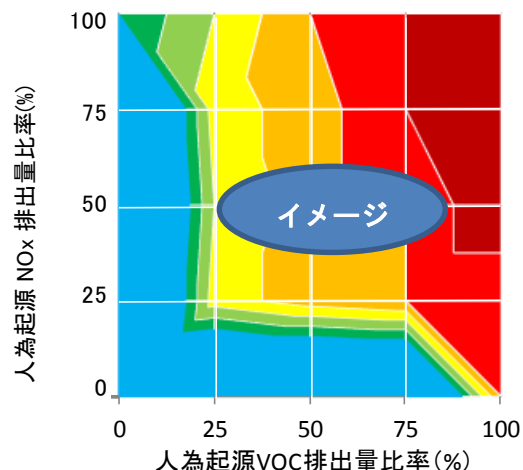
:O₃ 新指標相当値



O ₃ 新指標相当値 (ppb)	
■ 90~100	■ 80~90
■ 70~80	■ 60~70
■ 50~60	■ 0~50

アウトプット②の例

: 日最高 8 時間値 50ppb 以上の発生日数



高濃度（日最高 8 時間値が 50ppb 以上）の発生日数 (日)	
■ 22~24	■ 20~22
■ 18~20	■ 16~18
■ 14~16	■ 12~14
■ 10~12	■ 0~10

図 2-5 O₃ 新指標相当値（左） および O₃ 高濃度の発生日数（右）の等値線図（例）

2.1.2. NO タイトレーション効果の検証

2.1.2.1. 解析の目的

昨年度実施した解析結果を対象に、オキシダントとポテンシャルオゾンの濃度差や挙動の違いを解析するなどして、「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の程度を解析する。

2.1.2.2. 評価方法

■O₃およびPOの増加量に着目した評価方法について

基準ケースから排出量等条件を変更したケースの計算結果（O₃およびPO¹）に関して、基準ケースの計算結果からの増加量（ ΔO_3 および ΔPO ）を算出した場合、図 2-6 に示すように ΔO_3 に比べ ΔPO が小さい場合は NO による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 O₃が増加したと考えられる。以上のような考察のもと、昨年度実施した計算結果を対象に解析を実施する。

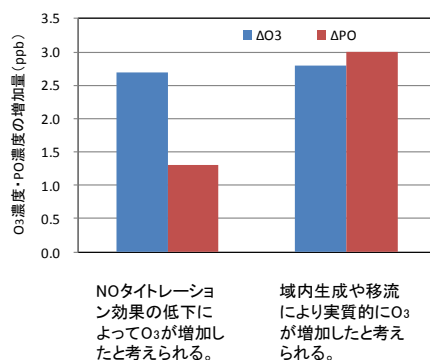


図 2-6 ΔO_3 と ΔPO を用いた解析の模式図

■解析対象地域

解析対象地域は、東アジア領域（60km 格子）および関東領域（10km 格子）とする。

■解析評価ケース

昨年実施した計算ケースの中で、東アジア域の大気汚染物質排出量を 2001 年に設定したケースと 2009 年(基準年)に設定したケースを対象に解析を実施する(表 2-2)。

また、2001～2010 年の東アジア 60km および関東 10km の計算結果から 2001 年と 2009 年の結果についても同様の解析を実施する。

¹ ポテンシャルオゾン濃度[PO]の算出方法は、オキシダント濃度[O₃]、二酸化窒素濃度[NO₂]、窒素酸化物濃度[NO_x]を用いて次式で定義する。[PO]= [O₃]+ [NO₂]-0.1×[NO_x]

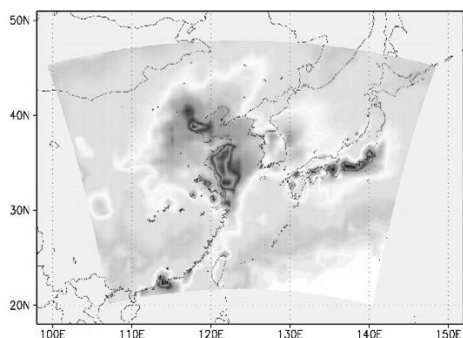
表 2-2 越境大気汚染の増加の影響の解析の設定ケース

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	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			

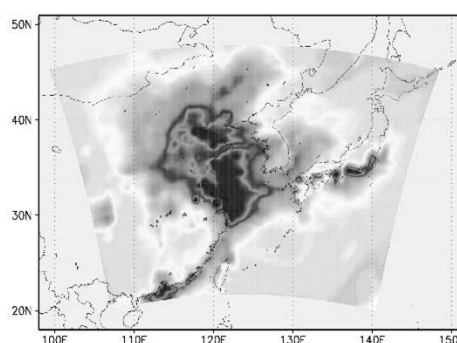
2.1.2.3. アウトプットイメージ

図 2-7 に示したような (ΔO_3 - ΔPO) の分布図 (月平均値など) を作成することによって、面的な評価を実施する。

a) ΔO_3 (※イメージ)



b) ΔPO (※イメージ)



c) $\Delta O_3 - \Delta PO$ (※イメージ)

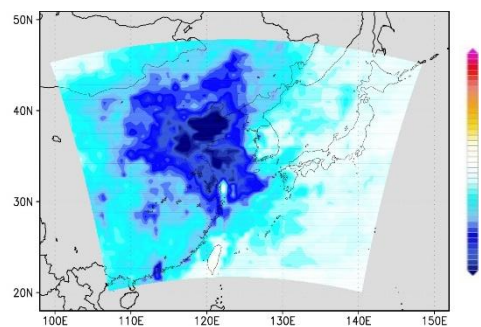


図 2-7 ΔO_3 、 ΔPO の分布図 (例) a) ΔO_3 、b) ΔPO 、c) $\Delta O_3 - \Delta PO$

ΔO_3 と ΔPO の差が大きい場合 (濃)

⇒NO による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。

ΔO_3 と ΔPO の差が小さい場合 (薄)

⇒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 が増加したと考えられる

2.2. モデルの精度向上のための解析

H27年度作業で構築・改善したシミュレーションモデルの主な課題としては、以下の項目が挙げられる。

- ・ O₃濃度が過大評価
- ・ VOC や NO_x 濃度が過小評価
- ・ 九州地域の長期トレンドの再現性が不十分

これらを解決し、シミュレーションモデルの改善に結びつくと考えられる解析項目として以下の作業を実施する。

- ・ 本調査で用いたモデルと他モデルの既存の計算結果の比較
- ・ 10km 格子による長期トレンドの確認
- ・ 九州地域の精度再評価(対象領域の拡大)
- ・ モデル不確実性の検討
- ・ モデルの設定変更による濃度変化への影響の把握

なお、上記の作業の項目・順序については、「2.1. シミュレーションモデルによる解析・検討」や検討会報告書の進捗状況に応じて、適宜変更する場合があります。

2.2.1. 本調査で用いたモデルと他モデルの既存の計算結果の比較

本調査で用いたモデルと他モデルの既存の計算結果の比較を行うことによって、本調査で用いたモデルの精度レベルの確認を行うとともに、精度レベルに差が見られた場合、その差が何に起因するのか検討することで、モデルの精度向上に資する知見を得ることを目的とする。

他モデルによる既存の計算結果(表 2-3)について、作業部会委員の方に時間データもしくは統計済みデータを提供していただき、本調査で用いたモデルの精度レベルと比較する。精度レベルに顕著な差が見られた場合、その差が何に起因するのか(モデル、モデルのバージョン、サブモデル、格子間隔など)を考察しモデル精度向上につなげる。比較する推計値を以下に示す。

■解析対象地域

関東地域および九州地域

■解析対象期間

2001年～2010年の暖候期のうちデータ入手可能な年

表 2-3 入手可能な他モデル計算結果

モデル		モデルA	モデルB	モデルC	モデルD	モデルE	モデルF	モデルG1	モデルG2	本調査
化学輸送モデル		ADMER -PRO※1	RAQM	WRF -Chem	CMAQ					
最小時間 解像度	月平均値	○	-	-	-	○	-	-	-	-
	時別値	-	○	○	○	-	○	○	○	○
要素	O3	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	NO	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	NO2	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	VOC※2	○	○	○	-	○	○	○	○	○
対象 年度 ※3	2001	-	-	-	-	○	○	-	-	◎
	2002	-	-	-	-	○	○	-	-	◎
	2003	-	-	-	-	○	○	-	-	◎
	2004	-	-	-	-	○	○	-	-	◎
	2005	◎	-	○	-	○	◎	-	◎	◎
	2006	-	-	-	-	○	○	-	-	◎
	2007	-	-	-	-	○	○	-	-	◎
	2008	-	-	-	-	○	○	-	-	◎
	2009	-	-	-	-	-	◎	-	-	◎
	2010	-	○	-	◎	-	◎	◎	-	◎
空間 解像度	東アジア	-	45km	80km	45km	80km	60km	40km	-	60km
	日本	20km	-	-	15km	-	15km	20km	20km	-
	関東	5km	-	-	5km	-	-	5km	5km※4	10km

※1：気象モデルと気層反応モジュールを結合した独自モデル

※2：VOCの成分についてはデータ取得後に解析可能な要素を検討する。

※3：◎は複数の領域(東アジア、日本、関東etc)でデータが存在する年、○は一つの領域でのみデータが存在する年

※4：関東域は日平均データのみ

■比較する推計値

・月別平均濃度(O₃、NO₂、NO_x、PO、VOC、NMHC) 対象モデル: A,B,C,D,E,F,G1,G2

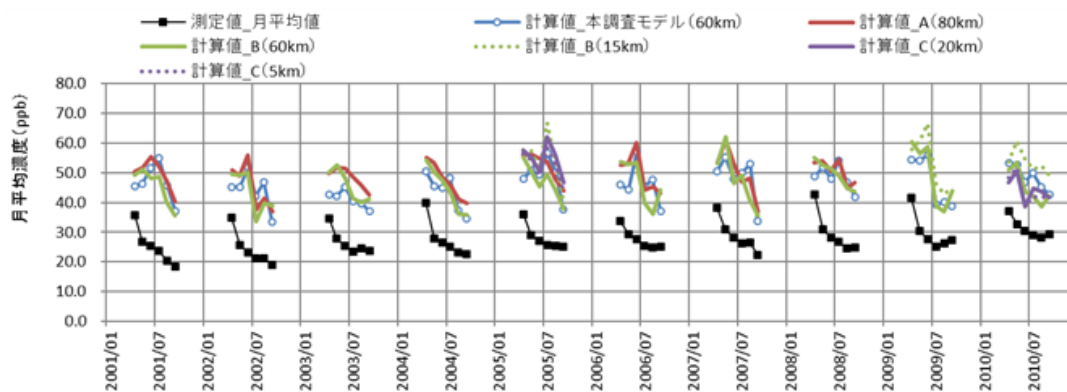


図 2-8 月平均濃度の比較 (イメージ)

・時刻別平均濃度(O₃, NO₂, NO_x, PO, VOC, NMHC) 対象モデル: B,C,D,F,G1,G2

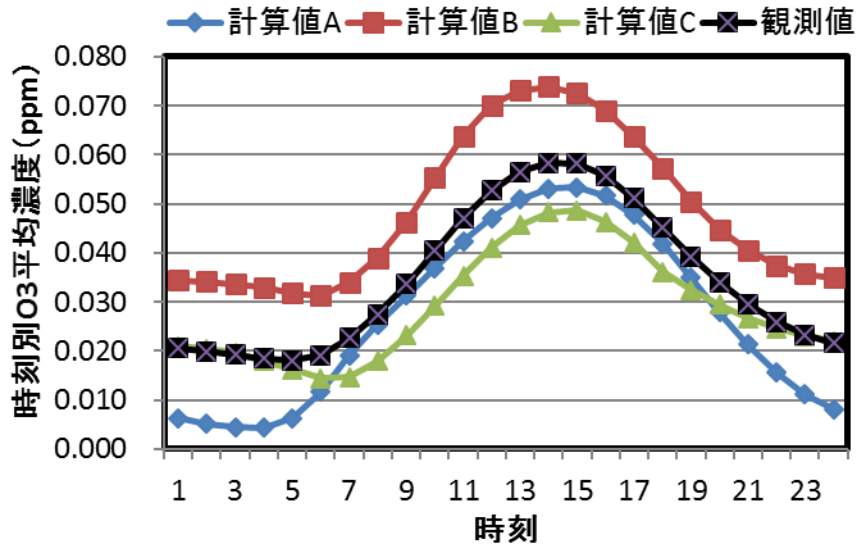


図 2-9 時刻別平均濃度の比較 (イメージ)

・O₃日最高8時間値の暖候期98パーセンタイル値(新指標)のトレンド 対象モデル: F

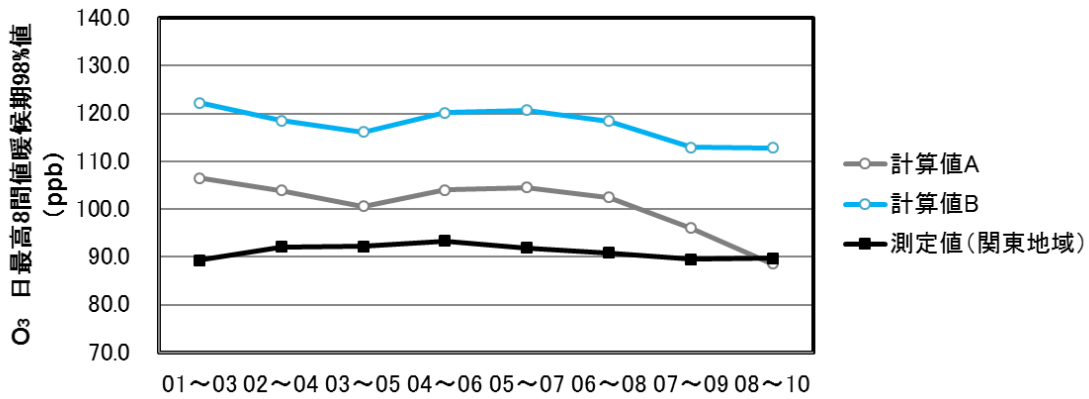


図 2-10 O₃日最高8時間平均値の暖候期98パーセンタイル値の比較 (イメージ)

■解析方法

解析領対象域に含まれるメッシュ毎の毎時データ(入手可能な場合)から推計値を算出し、領域平均をとった値を比較する。

2.2.2. 10km 格子による長期トレンドの確認

H27 年度作業では、10km 格子にシミュレーションは関東地方を対象として 2009 年のみ実施した。今年度作業では、関東地方を対象に、2001 年～2010 年までの再現計算を実施し、Ox 濃度の長期トレンドの再現性を評価する。

■解析対象地域

解析対象地域は、関東領域（10km 格子）とする。

■解析対象年

2001 年～2010 年の暖候期を対象とする。

■評価項目

Ox 新指標および、Ox、NO₂、NMHC 平均濃度の推移
NOx/VOC 比の推移

2.2.3. 九州地域の再現性の再評価(対象領域の拡大)

H25 年度までに行った新指標策定時の解析対象と整合をとるため、九州地域の解析対象は、これまで福岡県及び山口県を対象としていた。今年度は、九州地域としての代表性がより向上するよう、解析対象として以下の県も追加し、九州全体での再現性の評価(測定値と計算値の比較)を実施する。

■追加する解析対象

佐賀県、長崎県、熊本県、大分県、宮崎県、鹿児島県

■解析対象年

H27 年度作業で計算した 2001 年～2010 年の東アジア域(60km 格子)の計算結果を対象とする。

2.2.4. モデル不確実性の検討

シミュレーションモデルにはさまざまな不確実性を伴う。特に本調査の目的としている光化学オキシダントの削減対策検討に関連しては、以下の不確実性の評価が重要と考えられる。

- ・ Missing VOC の存在
- ・ BVOC 排出量の不確実性

上記 2 項目に関連する既往調査事例のレビューを実施し、モデル不確実性の定性的評価を行う。

BVOC 排出量の不確実性に関しては、「2.1.1.オキシダントの前駆物質 (VOC 及び NOx)

の削減効果の検証」で実施する O_x 濃度に対する感度への影響を評価するため、BVOC 排出量を変化させ、下記のようにシミュレーションを実施する。

■対象ケース

2.1.1.2 の 19 ケース中で代表的となるような数ケース

■対象期間

暖候期(4~9月)中の1ヶ月

■BVOC 排出量の変化幅

基準年(2009年)の1/2倍、2倍

2.2.5. モデルの設定変更による濃度変化への影響の把握

本調査で使用しているシミュレーションモデル(WRF/CMAQ)については、設定やバージョンの変更により、 O_x 濃度が変化する可能性がある。そこで、モデルの設定が O_x 濃度の変化にどの程度影響するかを把握することについて検討する。

設定変更の候補としては以下が想定され、具体的な項目は 2.2.1 におけるモデル相互比較の結果を勘案した上での検討事項とする。現状のモデル設定を表 2-4 に示す。

- ・ WRF (気象モデル) の設定変更
 - 雲物理・放射スキームの変更、ナッジング係数の変更 など
- ・ CMAQ (化学輸送モデル) のバージョンアップ
 - Ver4.7.1 → Ver. 5.0.1
- ・ CMAQ のサブモデルの変更
 - SAPRC99 → SAPRC07
- ・ 計算領域の拡大
 - 関東領域(10km 格子)の計算領域を拡張

表 2-4 本調査で用いたモデルの設定内容

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。
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	<u>WRF</u> 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

	<p>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</p> <p>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</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udging：格子点ナudging スピンアップ時間：7 日 連続計算時間：4～9 月の 6 か月間</p>
化学輸送モデル	<p>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</p>
計算対象領域 （化学輸送モデル）	<p>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</p>
解像度	<p>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</p>
ネスティング	<p>CMAQ については、関東領域は親領域からのネスティングを実施した</p>
境界値	<p>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。</p>
排出インベントリ	<p><u>東アジア領域</u> 人為起源排出量：JEI-DB（日本付近のみ適用、内訳は関東領域の項目参照）、REAS2.1（日本付近を除く全域） 植物起源排出量：MEGAN 計算値（WRF（気象モデル）の計算値をとりこむ）</p> <p><u>関東領域</u> 船舶：海洋政策研究財団作成 DB 船舶以外：JEI-DB</p>

3. 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

本業務では、検討会のもとで、解析の方針や具体的な解析内容、特にシミュレーションに関して、より専門的な視点から検討を行うことを目的として「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」を設置する。作業部会の委員を表 3-1 に示した解析作業部会では、シミュレーションによる解析の方針、具体的な解析内容および解析結果について検討する。また、今年度は H26 年度以降の成果をとりまとめた報告書の監修についてもご指導賜りたい。

表 3-1 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委員

氏名	所属	職名
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
大原 利眞 (部会長)	国立研究開発法人 国立環境研究所 企画部	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
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
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
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
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
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 大気環境モデリング研究室	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)

4. 検討会および作業部会のスケジュール（案）

今年度の検討会の議題（案）を図 4-1 に整理した。また、解析作業スケジュールおよび作業部会・検討会の開催予定時期を表 4-1 に整理した。

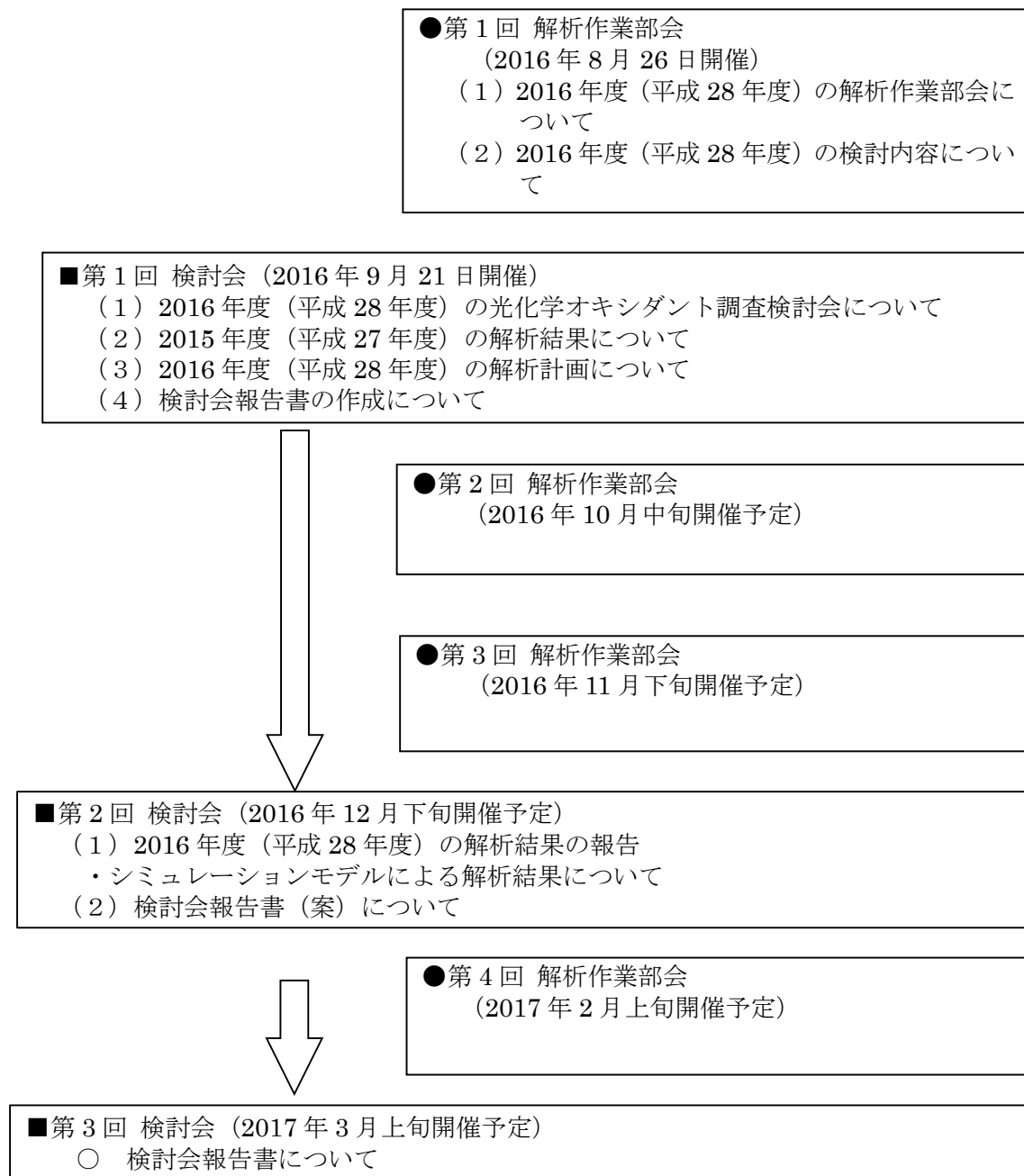


図 4-1 検討会および作業部会における議題(案)

表 4-1 スケジュール (案)

			8月			9月			10月			11月			12月			2017年1月			2月			3月		
			上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
① シミュレーションモデルによる解析・検討	オキシダントの前駆物質(VOC及びNOx)の削減効果の検証	関東領域計算	←			→																				
		RF・平均化手法検討				←			→																	
		解析							←			→														
	NOタイトレーション効果の検証					←			→																	
② モデルの精度向上のための解析	九州地域の精度再評価					←			→																	
	モデルの設定変更による感度解析											←			→											
	モデル不確実性の検討								←			→														
	10km格子による長期トレンドの確認					←			→																	
	他モデルとの比較								←			→														
報告書作成	報告書案作成					←			→																	
	報告書案修正														←			→								
検討会								①									②									③
作業部会					①						②			③						④						