

VOC 排出削減効果の定量的評価
に向けた検討等業務
報告書

令和4年3月

一般社団法人産業環境管理協会

目次

1	調査の目的	1
2	調査の概要	1
2-1.	実施体制	1
2-2.	実施内容	2
(1)	定量的評価等の検討	2
2-3.	検討会の設置	4
2-4.	報告書作成	5
3	調査結果（ADMER-PRO における BVOC 設定の課題整理と改善）	6
3-1.	本調査の目的と概要	6
3-2.	調査内容	6
(1)	BVOC 設定における改善可能性の検討	6
(2)	ADMER-PRO に入力する BVOC インベントリデータの更新	6
3-3.	調査結果	7
(1)	BVOC 設定における改善可能性の検討	7
(2)	ADMER-PRO に入力する BVOC インベントリデータの更新	8
4	調査結果（定量的評価）	12
4-1.	今年度定量評価調査の目的	12
4-2.	今年度定量評価調査の共通的事項	12
4-3.	オゾン年間平均値に係る削減効率指標値算出と気象パターンによる変動性検討	15
(1)	本節における解析の背景と目的	15
(2)	計算対象と計算条件	15
(3)	気象場に関する計算結果	21
(4)	年間平均のオゾン濃度、感度、指標値に関する計算結果	26
(5)	指標値の気象パターンによる変動性に関する計算結果	29
(6)	オゾン存在量低減効率の変動性に係る要因解析	33
(7)	本節における解析のまとめと今後の課題	33
4-4.	狭い領域での削減効率指標値算出	34
(1)	本節における解析の背景と目的	34
(2)	狭い領域での削減効率指標値算出の方法と対象削減領域の選定	34
(3)	計算対象と計算条件	35
(4)	気象場に関する計算結果	37
(5)	オゾン濃度、感度、指標値に関する計算結果	39
(6)	「狭い領域」ごとの指標値変動に係る要因解析	49
(7)	BVOC 設定の更新による指標値等への影響検討	51
(8)	本節における解析のまとめと今後の課題	60
4-5.	実測値と計算値の比較による各 BVOC 設定の妥当性検討	60
(1)	本節における解析の背景と目的	60

(2)	計算対象と計算条件.....	61
(3)	実測値と計算値との整合性検討方法.....	62
(4)	気象場に関する計算結果.....	63
(5)	各化学種濃度に関する計算結果と実測値との整合性検討結果.....	64
(6)	本節における解析のまとめと今後の課題.....	73
4-6.	外部削減シナリオや BVOC 不確実性も考慮した事業所大幅排出削減に関する検討.....	73
(1)	本節における解析の背景と目的.....	73
(2)	計算対象と計算条件.....	74
(3)	気象場に関する計算結果.....	76
(4)	オゾン濃度、感度、指標値に関する計算結果.....	77
(5)	環境改善便益の試算.....	86
(6)	本節における解析のまとめと今後の課題.....	88
5	業界団体未加入事業者の状況調査.....	89
5-1.	アンケートの目的.....	89
5-2.	自主的取組に関する経緯等の整理.....	89
(1)	化学業界の「レスポンスブル・ケア」と自主的取組の発足経緯.....	89
(2)	自主的取組における業界団体の役割.....	90
(3)	自主的取組における業界未加盟企業の参加方法.....	91
5-3.	アンケート実施概要.....	91
5-4.	アンケート送付先企業の抽出方法.....	91
5-5.	個別回答の傾向.....	92
(1)	業界団体への所属の有無.....	92
(2)	環境規制等の情報入手経路.....	93
(3)	サプライチェーンを通じた情報提供.....	93
(4)	法規制以外の追加的な環境対策や自主的取組の実施.....	93
(5)	VOC の自主的取組の認知度.....	93
5-6.	効果的な普及啓発の方法について.....	93
(1)	商工会議所の活用.....	93
(2)	サプライチェーンを通じての普及啓発.....	93
(3)	環境規制等の情報を提供する方法.....	93
(4)	自主的取組の認知度.....	93
6	まとめ.....	94
6-1.	令和3年度調査結果のまとめ.....	94
(1)	定量的評価.....	94
(2)	業界団体未加入事業者の状況調査.....	94

6-2.3	年間の成果のまとめ.....	95
7	今後の検討事項.....	99
(1)	今後の検討事項の概要.....	99
(2)	検討会等における今後の検討事項のまとめ.....	99

1 調査の目的

平成18年4月に大気汚染防止法(昭和43年法律第97号)が改正され、揮発性有機化合物(VOC)について、法規制と産業界による自主的取組の両輪(ベストミックス)による排出削減により、平成22年度におけるVOC 排出量は、当初の目標(平成22年度までに平成12年度比で3割程度削減)を超える4割以上の排出削減を達成した。平成23年度以降は、少なくとも平成22年度比で悪化しないよう VOC 排出抑制のための自主的取組を継続している。直近の令和元年度実績では、平成22年度に比べて約3割削減するなど、更なるVOC 排出削減に貢献した。

これにより、光化学オキシダント注意報等の発令延べ日数の減少傾向や、新指標に基づく長期的な改善傾向が示唆されるなど、自主的取組は大気環境の改善にも一定の効果があったものと推測されるが、我が国大気環境中の光化学オキシダント(Ox)濃度の環境基準達成状況は極めて低い水準で推移している。このため、前駆物質(NOx 及び VOC)の排出量と Ox の大気濃度の関係をより明確にしていく必要があり、それら知見を踏まえ、事業者の負担に留意し、自主的取り組みについては効率的に進めていく必要がある。

令和元年度においては、VOC の排出を削減した場合の Ox の大気濃度の低減効果を定量的に評価するための調査事業を行った。また、令和2年度においては、NOx 削減に係る Ox 濃度の低減効果を定量的に評価するための調査事業、植物由来 VOC の知見の整理、将来の VOC 排出量の推定等の事業を行った。

今年度においては、昨年度までの事業を踏まえ、気象パターンを変えてのオゾン存在量低減効率の計算、また、狭い地域で排出削減を行った場合のオゾン存在量低減効率の検討等を行う。さらに、前駆物質から Ox 大気濃度を計算に要するシミュレーションにおける植物起源 VOC の設定に関する検討等を行った。

2 調査の概要

2-1. 実施体制

本調査は(一社)産業環境管理協会(人材育成・出版センター)が請け負い、指標の検討を行う上で必要なシミュレーション計算については(国研)産業技術総合研究所安全科学研究部門(担当者:環境暴露モデリンググループ 井上和也主任研究員)に外注して実施した。また、本年度の実施事項のうち、植物由来 VOC (BVOC)に関する検討について、東京都環境科学研究所(担当者:環境資源研究科大気環境チーム 國分優孝研究員(主任))に、産総研との共同研究の形でご参画いただいた。

事業実施体制を図 2-1 に示す。

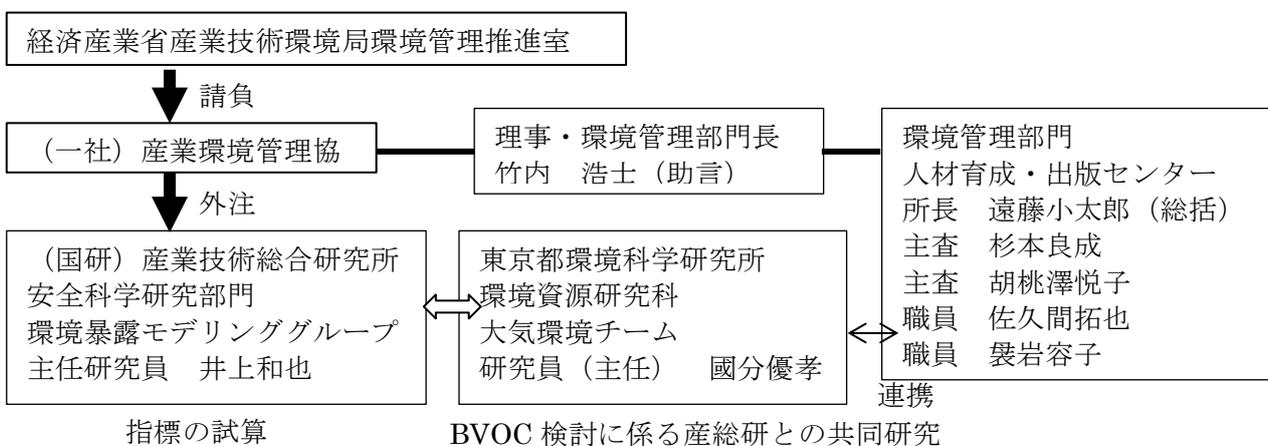


図 2-1 事業実施体制

2-2. 実施内容

(1) 定量的評価等の検討

1) 定量的評価の検討

1-1) 気象パターンを変化させてのオゾン存在量低減効率の計算（継続事業）

- ・令和2年度事業においては、春及び夏における気象パターンによりオゾン存在量低減効率について関東、近畿、東北の各地域について求め、気象ケースの違いについて、NO_x及びVOC削減時のオゾン存在量低減効率（VOC削減によるオゾン存在量低減効率を「オゾン存在量低減効率（VOC）」、NO_x削減によるものは「オゾン存在量低減効率（NO_x）」とする）の計算を行った。この結果、夏季にはNO_x律速、春季にはVOC律速が強まる傾向にて、関東及び近畿では夏季にオゾン存在量低減効率（NO_x）がオゾン存在量低減効率（VOC）より大きくなったが、春季ではこの逆となった。
- ・以上を踏まえ、さらに細かく季節変動によるオゾン存在量低減効率の差異を把握した。具体的には、地域は関東及び近畿地域とし、気象パターンをさらに10気象パターン程度にて実施した。削減ケースについては固定発生源からのVOC及びNO_xの排出を10パーセント削減、削減を行わないケース（ベースケース）を想定した。
- ・計算ケース数については、10気象パターン×2地方（関東及び近畿）×3削減ケース（ベースケース、VOC10%削減、NO_x10%削減）=60ケース程度を想定して実施した。
- ・以上の結果を用いて、1年間を通じての平均的なオゾン存在量低減効率を算定するとともに、気象パターンごとのオゾン存在量低減効率について考察した。

1-2) 狭い地域でのオゾン存在量低減効率の検討

- ・過去2年間の事業において、オゾン存在量低減効率は、関東、近畿といった地方毎にはもちろん、より細かいスケール（例えば東京都の23区とそれ以外など）においても大きく変動する可能性があることが分かった。そのため、より狭い領域での排出量の変化に基づくオゾン存在量低減効率の算出を行えば、地方毎の削減に基づく算出結果以上に、オゾン濃度低減のための効率的な削減対策の検討に資する可能性がある。具体的には、都市部と都市部以外のオゾン存在量低減効率の違いが、各地方間のオゾン存在量低減効率の違いより大きい等の結果が得られることが想定される。
- ・このため、関東及び近畿地方における都市部、市街地-森林混在部、森林地域等の領域毎に排出削減量を変え、関東及び近畿地方におけるO_x濃度を算定し、これから両地方におけるオゾン存在量低減効率の計算を行う。排出削減ケースについては固定発生源からのVOC及びNO_xの排出を10パーセント削減、削減を行わないケース（ベースケース）を想定する。気象パターンは春、夏の2ケースとし、対象地方は関東、近畿の2地方とした。
- ・計算ケース数については、都市化3パターン（都市部、混在、森林）×3削減ケース（ベース、固定発生源VOC10%削減、固定発生源NO_x10%削減）×2気象パターン（春、夏）×2地方（関東及び近畿地方）=36ケース程度とした。

1-3) 植物起源VOC設定に関する検討

- ・植物起源VOC（BVOC）は固定発生源以外の無視できない大きさのVOCの主要発生源である。VOC排出量への影響だけでなく、この設定次第でオゾン生成レジームが変わり、未把握BVOC成分や反応メカニズムが解明されていないBVOC成分も存在する。令和2年度事業において、BVOC設定の違いによるオゾン存在量低減効率への影響を確認した。この結果、BVOC排出量の設定によりオ

ゾン存在量低減効率は大きく変わり、BVOCの排出量をどのように設定するかは今後も更なる検討が必要であることが分かった。

・このため、今年度については次の①及び②の事業を行った。

① BVOCモデルの改善

・前駆物質（NO_x 及び VOC）等から Ox 濃度の大气濃度を計算するシミュレーションモデルにおいて用いられる植物由来 VOC モデルの設定について、最新の知見を踏まえ実際に近いものとなるよう、改良についての検討を行う。

・上記の検討により BVOC モデルの改善が可能となった場合については、固定発生源の VOC 及び NO_x の排出量を 10 パーセント削減した場合の Ox 濃度からオゾン存在量低減効率を計算し、改善前と比較すること等により考察を行う。この際、BVOC の設定や気象パターン等を変化させることにより、計算ケースは 20~30 程度を想定して実施した。

② 実測値と比較

・上記①による BVOC の設定モデルを使用して、BVOC からの排出量を変更し、Ox 大气濃度を算出する。これと Ox 大气濃度の実測値を比較することにより、実際の BVOC の排出量等がどの程度であるかの推定を行った。

・計算ケースについては、BVOC の設定、比較する地点、気象パターン等を変更することにより、30 ケース程度を想定した。

1-4) 長期的な NO_x 及び VOC の削減についての検討事項

・VOC と NO_x を直近の排出量から 0 パーセント、50 パーセント及び 100 パーセント削減を行った場合について大气中の Ox を計算し、Ox 濃度の低減による便益（単位：円）について試算を行った。

・Ox の低減による便益については、上記により計算された大气中の Ox 濃度と削減前の Ox 濃度を比較し、Ox 濃度が低減したことによる健康影響及び農作物の影響を金銭に換算したものとす。これは、例えば Ox の低減による被害者数の低減、農作物の収量増加を金銭に換算したもの等とした。

・計算ケースは 50~60 程度を想定して実施した。

・上記の試算結果について考察を行い、長期的な削減はどのような方法が効率的であるか等の考察を行った。

1-5) 業界団体未加入事業者の状況調査について

①事業者の実態調査

・工業会等に未加入の事業者への対応として、(一社)産業環境管理協会に「自主的取組支援ボード」を設立し、VOC の削減量等の報告を受けてきた。しかしながら、参加事業者が増えておらず、更なる VOC 排出量の削減余地があると考えられるため、これまでリーフレットの配布等により周知活動を行ってきたが、こちらからの情報がどれほど当該事業者には伝わっているか等が不明確である。また、今後の周知活動を効率的に行うためには対象となる事業者の業種や規模等が明確になっている必要があるが、これらも必ずしも明確ではない。

・このため、業界団体未加入者についての業種や規模等や、どのようにこれら事業者が情報を取得しているか等についての調査を行った。

②サプライチェーンの上流側及び顧客からの周知の可能性の検討

・未加入事業者については、サプライチェーンの上流側や顧客からの周知を行うことが考えられるが、その可能性について①と合わせて検討を行った。

2-3. 検討会の設置

上記の調査を実施するに当たり、調査の背景及び目的の整理、調査対象の範囲や実施方法を明確化し、実際に各事業の検討を行うとともに、進捗管理、結果の取りまとめ方法について議論及び整理等をするため、検討会を設置した。検討会委員を表 2-1 に、検討会開催実績を表 2-2 に示す。

表 2-1 検討会委員

氏名	所属	役職
◎梶井 克純	京都大学大学院 地球環境学堂および人間・環境学研究科	教授
金谷 有剛	国立研究開発法人 海洋研究開発機構 地球表層システム研究センター	センター長代理
亀屋 隆志	横浜国立大学大学院 環境情報研究院	教授
谷 晃	静岡県立大学食品栄養科学部環境生命科学科	教授
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
奈良 恒雄	一般社団法人 日本化学工業協会 VOC 検討 SWG(～R3 年9月)	主査
原川 浩美	一般社団法人 日本塗料工業会	常務理事
三浦 安史	石油連盟	安全管理部長
森川 多津子	一般財団法人 日本自動車研究所 エネルギー・環境研究部	主任研究員
森 二郎	一般社団法人 日本化学工業協会 VOC 検討 SWG(R3 年 10月～)	主査

◎は委員長、五十音順、敬称略

表 2-2 検討会開催実績

回数	主目的	準備事項・検討内容	検討会後の対応
1回目 令和3年 9月3日(金)	<ul style="list-style-type: none"> 調査計画の提示 計算結果の検討① BVOC 検討① 	<ul style="list-style-type: none"> 昨年度成果と本年度事業内容説明 検討結果 <ul style="list-style-type: none"> ①気象条件を変化させた場合のオゾン低減指標の変動(産総研) ②ADMER-PRO における BVOC 設定の課題整理及び都内 BVOC 基礎放出量データの更新結果(都環研) 	<ul style="list-style-type: none"> 更新された BVOC 基礎放出量における指標計算(産総研)
2回目 令和3年 11月15日 (月)	<ul style="list-style-type: none"> 計算結果の検討② 	<ul style="list-style-type: none"> 検討結果 <ul style="list-style-type: none"> ③狭い領域での前駆物質の排出削減による低減効率について(産総研) ④BVOC 設定の改善による低減効率の検討結果(産総研) 今後の検討予定 <ul style="list-style-type: none"> ①BVOC 設定を変更しての実測値との比較 ②長期削減検討のシナリオ案提示 	<ul style="list-style-type: none"> BVOC 設定を変更しての実測値との比較(産総研) 長期的排出削減に関する検討(産総研) 事業者アンケート(情報伝達方法)の実施(事務局) 産構審小委員会発表資料の作成(事務局・METI・産総研)
3回目 令和4年 2月1日(火)	<ul style="list-style-type: none"> 計算結果の検討③ 事務局報告事項 	<ul style="list-style-type: none"> 検討結果 <ul style="list-style-type: none"> ⑤BVOC 設定を変更しての実測値との比較(産総研) ⑥長期的排出削減に関する検討(産総研) 報告事項 <ul style="list-style-type: none"> ①事業者アンケート(情報伝達方法) ②産構審小委資料案の提示 	<ul style="list-style-type: none"> 今後の検討課題の意見収集(事務局) 報告書案の作成(事務局・産総研・都環研)
4回目 令和4年 3月10日(木)	<ul style="list-style-type: none"> 産構審小委報告 報告書案の検討 	<ul style="list-style-type: none"> 産構審小委員会発表の件(報告) 今後の課題の整理 報告書案の提示 	<ul style="list-style-type: none"> 報告書の完成(事務局) 要約版の作成(事務局) 3年間のまとめ資料の作成(事務局)

2-4. 報告書作成

VOC 自主的取組の成果をレビューしている産業構造審議会産業技術環境分科会産業環境対策小委員会の第10回(令和4年3月7日)において、本業務の成果の一部を発表した。配布資料の URL は以下のとおりである。発表資料は資料 2-2 である。これは、報告書の概要版に相当する。この資料を別添する。

https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/sangyo_kankyo/010.html

3 調査結果（ADMER-PRO における BVOC 設定の課題整理と改善）

3-1. 本調査の目的と概要

昨年度の調査によって、植物起源 VOC（BVOC）についての知見は、まだ国レベルや都市部といった地域レベルでの植物量の把握、放出量の把握のいずれにおいても不足していることが明らかになった。また、ADMER-PRO に現在実装されている BVOC の基礎放出量や放出量の計算方法は、ADMER-PRO の開発当時（2008 年ごろ）における最新知見を用いているが、その後の知見の進展等を反映して、より精度の高いデータや計算方法に改善できる可能性がある。

本調査では、まず「(1) BVOC 設定における改善可能性の検討」として、現状の ADMER-PRO で採用されている BVOC 排出量推計の設定がより実際に近いものとなるよう、今後のモデル改良の可能性について文献調査を行い、改善案を検討した。具体的には、昨年度の専門家からのヒアリングに基づく意見を踏まえながら、最近の研究状況から、日本の植生の BVOC 基礎放出量や、代表的な BVOC であるモノテルペンの広葉樹の放出特性、生育面積が広いイネの基礎放出量の知見等をもとに、ADMER-PRO における BVOC 設定の課題を整理した。

さらに、「(2) ADMER-PRO に入力する BVOC インベントリデータの更新」として、現状の ADMER-PRO に内蔵されている BVOC インベントリデータにおいて、これまで考慮されていなかった都市部にあたる部分を、東京都環境科学研究所が作成を進めている首都圏市街地の緑化樹木の BVOC インベントリデータを用いて更新した。その結果、昨年度に課題として挙げられた「都市部の植物量の過少設定」を改善する ADMER-PRO シミュレーションを可能とした。

3-2. 調査内容

(1) BVOC 設定における改善可能性の検討

現状の ADMER-PRO における BVOC 設定について、昨年度の専門家からの意見を踏まえて次の①～④の課題を整理した。

- ①基礎放出量の設定に関して、水田の稲の値が大きめの設定となっている可能性がある。
- ②基礎放出量の設定に関しては、樹種別ではなく、「広葉樹」「針葉樹」等の樹木タイプのグルーピングで基礎放出量を設定しているため、イソプレンもモノテルペンも放出しない地域（例えばブナの純林）からも BVOC が放出されるシミュレーション結果となっており、放出量が過大評価となる。
- ③基礎放出量の設定に関して、現状では樹木タイプごとに通年一定の値を設定している。季節が異なると植物の活量が異なり、そのため一般に基礎放出量の値も季節変動するが、このことが考慮されていない。
- ④代表的な BVOC であるモノテルペンの放出量推計の設定に関して、特に広葉樹については、最近の知見に基づいた改善（葉温と光量の両方の影響を考慮した放出量推計の設定）が可能ではないか。

(2) ADMER-PRO に入力する BVOC インベントリデータの更新

現状の ADMER-PRO シミュレーションにおいては、都市部の街路樹や公園といった緑化樹木からの BVOC 放出の影響が十分に考慮されていないのではないか、という昨年度の専門家の意見を踏まえ、「都市部の植物量の過少設定」を改善するため、首都圏市街地の BVOC インベントリ（基礎放出量値の分布）を ADMER-PRO に追加設定できるか検討した。

3-3. 調査結果

(1) BVOC 設定における改善可能性の検討

①基礎放出量の検討：イネからの BVOC の放出についての文献調査および専門家（静岡県立大学・谷教授）へのヒアリング結果：

下記の文献から、イネの基礎放出量は極めて微量あるいは無放出と判断された。

- ・ M. Winer et al. (1992) Emission rates of organics from vegetation in California's Central Valley, Atmospheric Environment. Part A. General Topics, Vol. 26, Issue 14, pp. 2647-2659, doi:10.1016/0960-1686(92)90116-3.

通気チャンバー法による測定の結果、イネからのモノテルペンとセスキテルペンの放出は確認されなかった。

- ・ K.R. Redeker et al. (2003) Gaseous emissions from flooded rice paddy agriculture, J. Geophys. Res., Vol. 108, No. D13, 4386, doi:10.1029/2002JD002814.

水田のイネにチャンバーを被せる測定の結果、微量のイソプレン放出が認められたが、水田に発生した藻類から出ている可能性を著者は指摘している。

- ・ 谷晃ら (1999) 矮性イネから放出される微量ガス種の同定およびガス交換速度の測定. CELSS JOURNAL, 第 12 巻, pp. 15-20.

イネ（品種：むつほまれ）からのエチレンの放出を中心とした測定の結果、苗の生育段階においてのみ、イネからリナロールの低い放出が認められた。ただ、栄養成長期、開花期、それ以降において BVOC（テルペン類）の放出は確認されなかった。

改善案：

ADMER-PRO に設定されている稲の基礎放出量をゼロまたは極めて小さい値とする。

②基礎放出量の検討：樹種別の放出量設定についての文献調査結果：

国内の広葉樹において BVOC を放出するものは、主要な森林広葉樹 10 種のうち 8 種、主要な街路樹 10 種（全て広葉樹）のうち 4 種、都内 2 3 区の街路樹本数上位 20 種（全て広葉樹）のうち 9 種であるなど、樹種により放出するものと全く放出しないものがある。また、その放出量と成分（イソプレン、モノテルペン、セスキテルペン）も樹種により大差がある。

改善案：

ADMER-PRO では、植生分類を「針葉樹」、「広葉樹」のような大きな括りで基礎放出量を設定しているが、BVOC の放出域と無放出域を地理的に精緻化するため、基礎放出量の設定を樹種毎に設定する。これにより、ブナの純林で見られたような、イソプレンもモノテルペンも放出しない地域における BVOC 放出の過大評価の改善が期待できる。

③基礎放出量の検討：季節による樹木の活量変化についての文献調査結果：

広葉樹の多くの樹種で、基礎放出量の季節変化が認められている（図 3-1）。また、ADMER-PRO の設定のもとになっている Bao らの BVOC 基礎放出量は、夏季に収集されたデータに基づいていると考えられる。

改善案：

現状の ADMER-PRO における広葉樹の基礎放出量の設定においては、夏季の値が他の季節にも適用

されることで、放出量推計の過大評価が懸念される。夏季以外のシミュレーションを行う場合、基礎放出量の季節変化を考慮した方が良いと判断する。

④についての文献調査結果：

広葉樹のモノテルペン放出量は、一般的に葉温と光量の両方に影響を受けるとされているが、ADMER-PRO では、温度のみを因子とする放出量推定モデル（温度依存モデル）が採用されている。しかし、静岡県立大学谷教授のグループによる最近の文献や、東京都環境科学研究所による街路樹の測定結果（図 3-2）によると、多くの樹種でモノテルペンの放出が温度だけでなく光量にも依存することが明らかになりつつある。温度依存モデルでは、日射がなくとも気温が高ければ BVOC を大量に放出するという予測になるため、特に夏の夜間等において、ADMER-PRO のモノテルペン放出量が過大評価となる可能性がある。

改善案：

広葉樹のモノテルペン放出量推定に、温度・光量依存モデル（図 3-2 において青色の点線で示したモデル）を採用する。

(2) ADMER-PRO に入力する BVOC インベントリデータの更新

森林（広葉樹、針葉樹）、田（稲、麦類）、農用地（豆類、飼料作物等）の植物量が反映されている ADMER-PRO の BVOC インベントリデータ（基礎放出量分布データ）において（図 3-3）、現状では考慮されていない首都圏市街地にあたる部分を、東京都環境科学研究所が作成を進めている街路樹や公園樹木の BVOC インベントリデータ（図 3-4）を用いて更新した。その結果、BVOC の無放出地域であった都心部の BVOC 放出量のインベントリが精緻化された（図 3-5～図 3-7）。更新した BVOC インベントリデータは、ADMER-PRO 仕様の 3 次メッシュ入力データ形式として整備した。

これらにより、昨年度に課題として挙げられた「都市部の植物量の過少設定」を改善する ADMER-PRO シミュレーションを可能とした。更新された都市部の BVOC の基礎放出量データを用いてオゾン低減効率等をシミュレーションした結果は、4.4 章（7）にて示す。

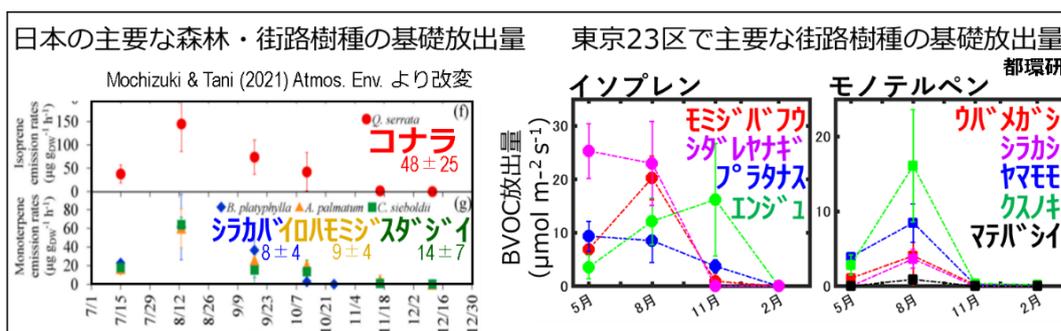


図 3-1 広葉樹のイソプレン・モノテルペン基礎放出量の季節変動
 (左図) 国内の主要な広葉樹の基礎放出量 (右図) 東京区部の主要な街路樹の基礎放出量

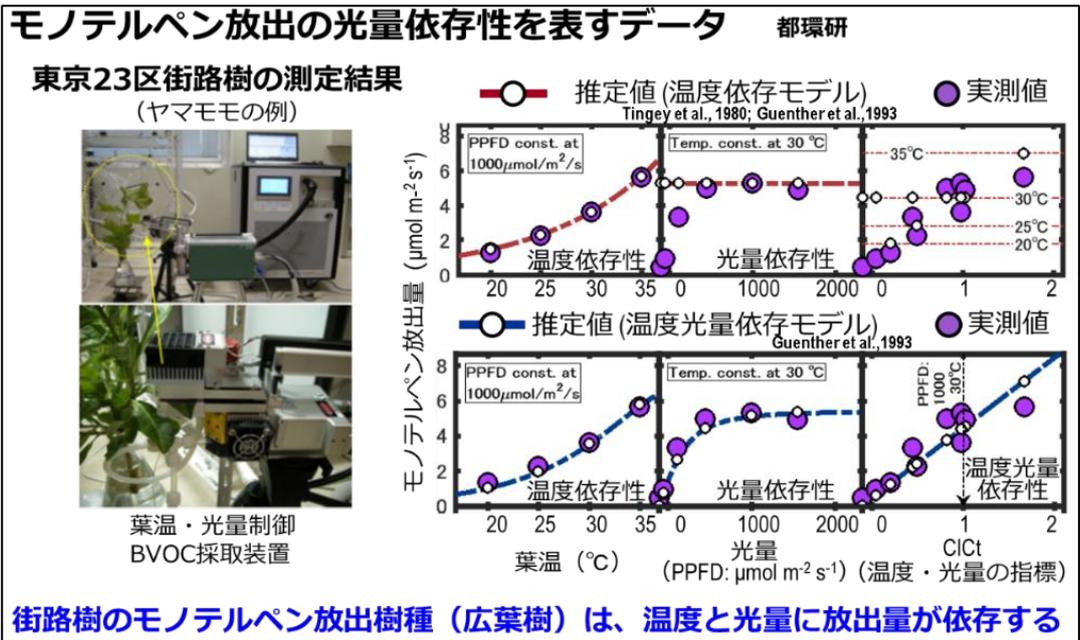


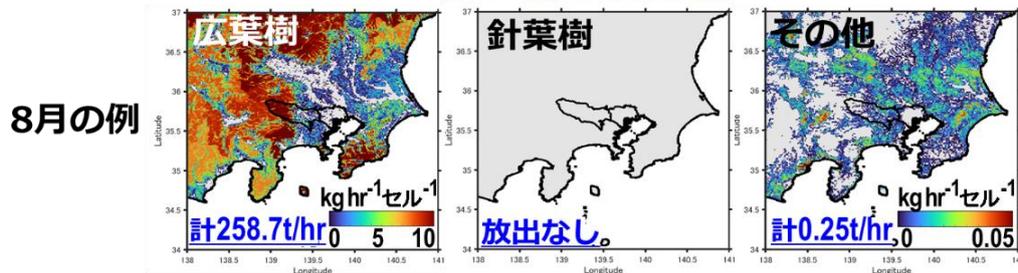
図 3-2 光量と温度に依存したモノテルペン放出量の測定例

(注1) 紫色プロットは、モノテルペン放出量の実測値、赤色の点線は現状の ADMER-PRO に採用されている温度依存モデルによる放出量の推定値 (右上段)

(注2) 青色の点線は G93 の温度・光量依存モデル (右上段) で計算された放出量の推定値

現状のADMER-PRO基礎放出量データ

・イソプレン基礎放出量分布 (30°C・光量1000PPFD環境下での放出量)



・モノテルペン基礎放出量分布 (30°C・光量1000PPFD環境下での放出量)

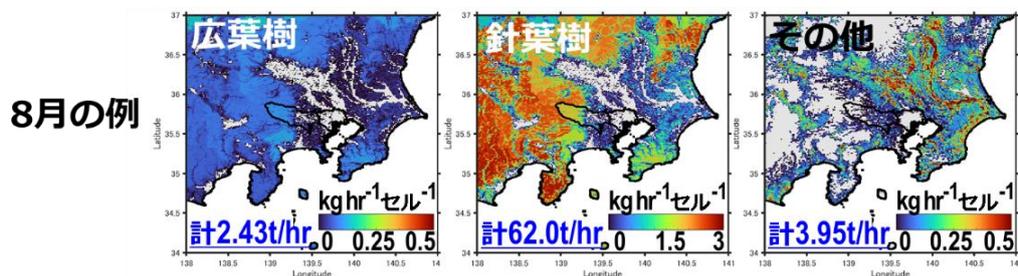
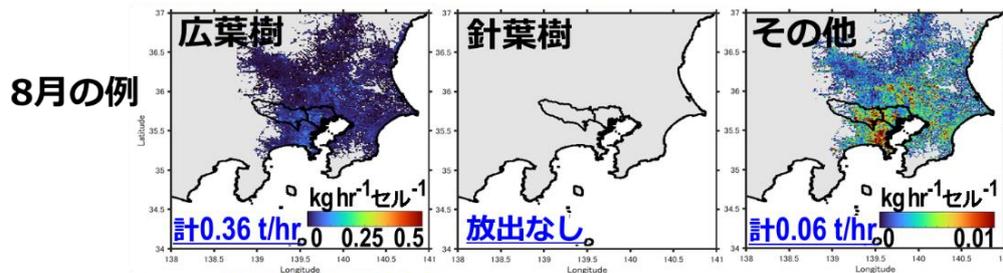


図 3-3 現状の ADMER-PRO の BVOC インベントリデータ (8月の例)

(注1) 広葉樹、針葉樹、その他植生のイソプレン基礎放出量の分布 (上段)

(注2) モノテルペン基礎放出量の分布 (下段)

・イソプレン基礎放出量分布 (30℃・光量1000PPFD環境下での放出量)



・モノテルペン基礎放出量分布 (30℃・光量1000PPFD環境下での放出量)

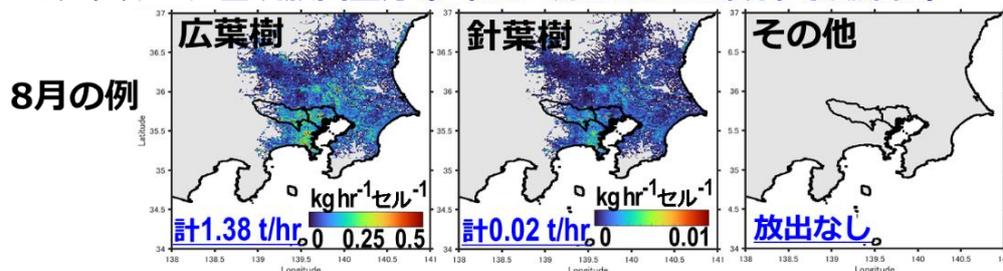


図 3-4 ADMER-PRO の BVOC インベントリデータの更新に用いた東京都環境科学研究所作成の首都圏市街地の BVOC インベントリデータ (8月の例)

- (注 1) 広葉樹、針葉樹、その他植生のイソプレン基礎放出量の分布 (上段)
 (注 2) モノテルペン基礎放出量の分布 (下段)

ADMER-PROのBVOC基礎放出量データ更新結果 (イソプレン)

更新したデータ：春季 (4月平均, 5月平均) 夏季 (7月平均, 8月平均)

・首都圏緑化樹木を考慮したイソプレン基礎放出量データ (8月の例)

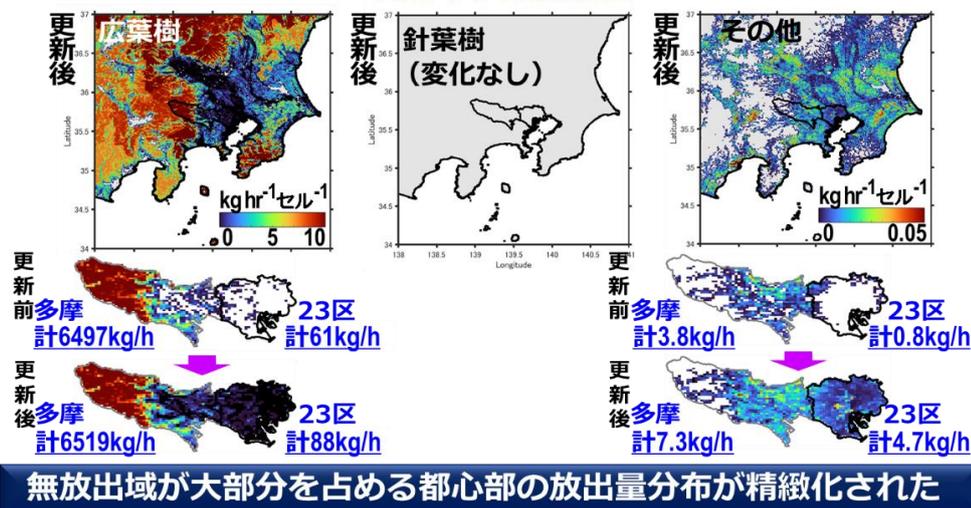


図 3-5 ADMER-PRO の BVOC (イソプレン) インベントリデータの更新結果 (8月の例)

- (注 1) 関東地域における広葉樹、針葉樹、その他植生のイソプレン基礎放出量の更新結果 (上段)
 (注 2) 東京都内における更新前のイソプレン基礎放出量分布 (中段)
 (注 3) 東京都内における更新後のイソプレン基礎放出量分布 (下段)

ADMER-PROのBVOC基礎放出量データ更新結果（モノテルペン）

更新したデータ：春季（4月平均，5月平均） 夏季（7月平均，8月平均）

・首都圏緑化樹木を考慮したモノテルペン基礎放出量データ（8月の例）

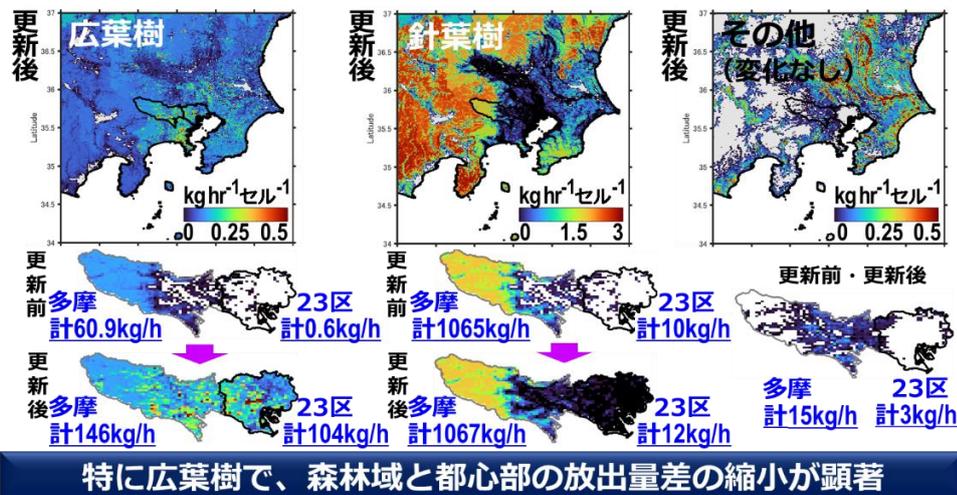


図 3-6 ADMER-PRO の BVOC（モノテルペン）インベントリデータの更新結果（8月の例）
 (注 1) 関東地域における広葉樹、針葉樹、その他植生のモノテルペン基礎放出量の更新結果（上段）
 (注 2) 東京都内における更新前と更新後のモノテルペン基礎放出量分布（下段）

4. ADMER-PRO基礎放出量データに組み込む

24/25

ADMER-PROのBVOC基礎放出量データ更新結果（その他BVOC）

更新したデータ：春季（4月平均，5月平均） 夏季（7月平均，8月平均）

・首都圏緑化樹木を考慮した「その他BVOC」基礎放出量（8月の例）

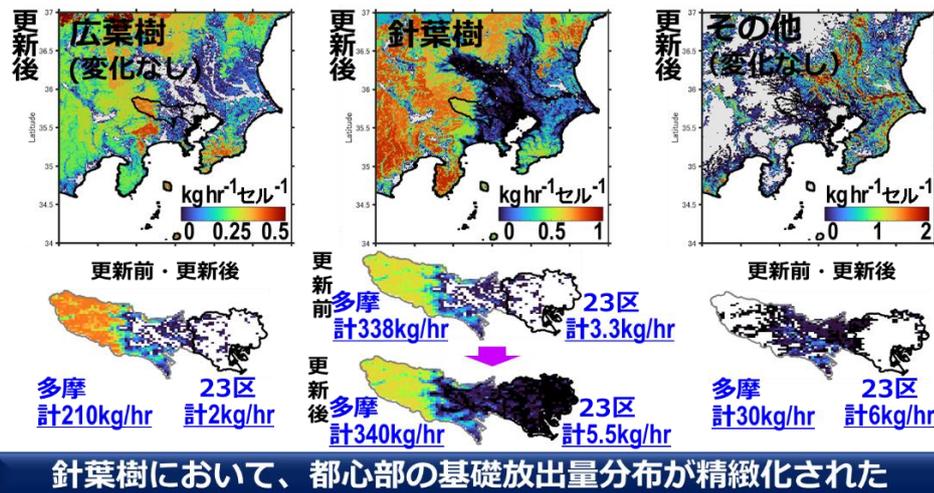


図 3-7 ADMER-PRO の BVOC（セスキテルペン）インベントリデータの更新結果（8月の例）
 (注 1) 関東地域における広葉樹、針葉樹、その他植生のセスキテルペン基礎放出量の更新結果（上段）
 (注 2) 東京都内における更新前と更新後のセスキテルペン基礎放出量分布（下段）

4 調査結果（定量的評価）

4-1. 今年度定量評価調査の目的

今年度定量評価調査では、昨年度までの定量評価調査において課題となっていた以下の4点について検討を進めた。1 つめは、昨年度までの業務では対象となしえなかった年間を対象とした「削減効率指標値」（以下単に「指標値」と呼ぶことがある）の算出である。2 つ目は、昨年度までの地方単位の指標値ではなく、より狭い範囲で前駆物質を削減した場合の指標値の算出を行うことである。3 つ目は、オゾンや BVOC 濃度の計算値と実測値との比較に基づく BVOC 設定の整合性検討である。そして 4 つめは将来の外部（対象発生源以外の）排出シナリオや BVOC 不確実性も考慮した点源排出量大幅削減時の検討である。なお、3 つ目、4 つ目の解析には 3 章で示された知見を取り入れ BVOC 設定の更新を行った場合の各前駆物質やオゾン濃度、オゾン濃度の感度、算出される指標値への影響についても検討している。以下では共通の計算条件等について述べた後、各解析により得られた成果の詳細について述べる。

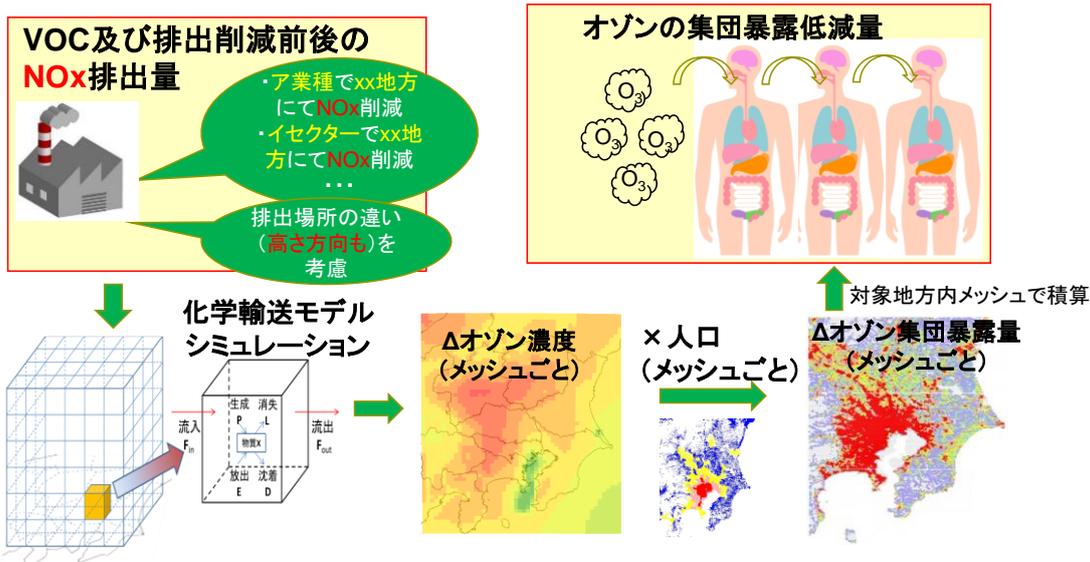
4-2. 今年度定量評価調査の共通的事項

<算出指標>

算出指標については昨年度調査と同様、VOC 削減に対するオゾン存在量低減効率およびオゾン集団暴露存量低減効率、NOx 削減に対するオゾン存在量低減効率およびオゾン集団暴露量低減効率の4種とした。

<指標の算出方法>

各指標の算出方法や指標算出の意義については、過年度報告書にも記載しているが、一例として NOx 削減に対する指標（以降、単に「NOx 削減指標」と呼ぶことがある）の算出イメージを図 4-1 に再掲する。図 4-1 にはオゾン集団暴露量存在効率の算出イメージが示されているが、図 4-1 の右下の図において「 Δ オゾン濃度」との積をとる変数を「人口」から「面積」に代えれば、オゾン存在量低減効率の推定イメージに置き換わる。また、図中の「NOx 削減」、「NOx の排出削減量」の部分それぞれ「VOC 削減」、「VOC の排出削減量」に代えれば、VOC 削減に対する指標の算出イメージに置き換わる。



- モデルシミュレーションを行い、業種・セクターごと、地方ごと、年代ごとに下式で算出
- オゾン集団暴露量低減効率 = オゾンの集団暴露低減量 (ppb・人) / NOxの排出削減量 (ton)

図 4-1 NOx 削減に係るオゾン集団暴露低減効率の算出イメージ

※オゾン濃度としては最下層 (0~50m) の計算値を使用している。

※下の図において「Δオゾン濃度」との積をとる変数を「人口」から「面積」に代えれば、オゾン存在量低減効率の推定イメージに置き換わる。

※また、図中の「NOx 削減」、「NOx の排出削減量」の部分それぞれ「VOC 削減」、「VOC の排出削減量」に代えれば、VOC 削減に対する指標の算出イメージに置き換わる。

<シミュレーション条件>

今年度定量評価調査におけるシミュレーションの条件について共通事項を中心に表 4-1 にまとめた。共通事項以外のシミュレーション条件については 4-3 節以降で示される各解析内容についての記述を参照頂きたい。また、表 4-2 には、ベースケース排出量データとして一部解析を除き共通的に使用した人為起源排出量インベントリ (表 4-1 にて提示) の内容についてより詳細に示した。さらに、表 4-3 に、同インベントリにおける各物質の全国排出量推定値を示した。このインベントリは昨年度調査で使用したものと同一である。

表 4-1 今年度定量評価調査におけるシミュレーションの条件（共通事項中心）

- 使用モデル:ADMER-PRO(井上 & 東野, 2015)
- 対象地方(※1):関東、近畿(一部解析では関東のみ)
- 対象気象パターンとその代表日(※2):気象パターン類型化手法(吉門ら, 2006)を用いて決定
- オゾン濃度の平均化時間:昼間の8時間(10~18時)値
- 気象の対象年度:2016年度(一部解析では2005、2015、2017年度データも使用)
- ベースケース排出量データ(人為):2016年度詳細推計版(一部解析では外部排出シナリオ2030年度想定)
- 植物起源VOC(BVOC)基礎放出量データ:ADMER-PRO内蔵(一部解析では異なる)

※1:評価対象であり、計算自体ほぼ日本全体を覆う親領域についても行っている(過年度報告書参照)。

※2:評価対象であり、計算は各気象パターン代表日の51時間前から行っている。

表 4-2 共通的に(一部解析を除き)使用した排出量インベントリの内容

- 2016年度:詳細推計版を利用
 - 固定蒸発VOC発生源:環境省VOC排出インベントリの発生源品目別・業種別全国排出量(2016年度)をメッシュ配分
 - 大規模固定燃焼発生源:2010年度大気汚染物質排出量総合調査結果を業種別に年次補正(2010→2014【2014年度大気汚染物質排出量総合調査】→2016【総合エネルギー統計】)
 - その他の発生源(移動発生源、民生分野など):2005年度インベントリを各種統計データや排出係数データ等を用いて発生源ごとに年次補正。メッシュ配分も入手可能な直近の統計データに基づく。

表 4-3 共通的に（一部解析を除き）使用した排出量インベントリにおける各物質の全国排出量推計値

		ton				
		NO _x	S ₀₂	CO	NM _{VOC}	NH ₃
大規模固定燃焼発生源	発電所	219,361	163,571	24,745	6,788	4,318
	発電所以外	350,882	178,527	909,322	31,486	495
民生		62,556	20,908	50,645	3,275	
船舶		251,258	126,603	23,827	10,883	
航空機		18,759	117	13,987	4,062	
小型焼却炉		280	111	3,405	1,355	
野焼き		3,574	576	72,524	10,319	1,873
固定蒸発VOC発生源	化学品				41,632	
	食料品（発酵等）				16,014	
	燃料（蒸発ガス）				137,445	
	塗料				260,473	
	印刷インキ				38,507	
	接着剤				40,668	
	工業用洗浄剤				37,144	
	ドライクリーニング溶剤				20,838	
	製造機器類洗浄用シンナー				28,024	
	その他				47,646	
アンモニア発生源	農業					265,798
	人・ペット					64,441
	その他					33,194
自動車		397,343	972	1,177,726	162,807	5,840
オフロード		45,261	82	70,744	4,638	
計（2016年度）		1,349,274	491,468	2,346,925	904,005	375,959

注：NH₃は本定量評価調査の解析においては使用していない。NMVOCはNon-Methane VOC（メタンを除くVOC）であり一般に定義されるVOCと同一である。

4-3. オゾン年間平均値に係る削減効率指標値算出と気象パターンによる変動性検討

(1) 本節における解析の背景と目的

過年度の調査では主に高濃度オゾンを生成する気象パターンに着目していたが、健康リスク評価の観点では、オゾン高濃度日以外の濃度も重要である(例えば Huangfu, 2020)。そこで、本節における解析では、年間を通じて出現する気象パターンについても計算を行い、年間平均濃度に対する削減効率指標値を算出する。また削減効率指標値の気象パターンによる変動性と変動要因についても明らかにする。

(2) 計算対象と計算条件

本節の解析における計算対象を表 4-4 に示す。

表 4-4 本節の解析における計算対象

1. 対象期間 (排出量データ)	・近年（自主的取組目標年度以降） (排出量：2016年度ベース) 〔2016年度ベース排出量は、令和元年度 事業にて推計した詳細推計版を使用〕
2. 削減対象発生源 と削減率	VOC:環境省 VOC 排出インベントリ(2016) における上位業種のうち立地特性の異なる 2 業種（業種 A、業種 B）、削減率は 10% NOx：大気汚染物質排出量総合調査（2014 年度）の排出量上位業種のうち高度分布の有 無が異なる 2 業種（業種 C、業種 D）、削減 率は 10%
3. 対象地方	2地方（関東、近畿）
4.気象パターン、 平均化時間	2005年度の頻出12パターン、オゾン濃度 は昼間の8時間（10-18時）値として計算

※対象業種 (VOC) : A 業種 (湾岸地域に偏在)、B 業種 (地理的に分散して立地)

※対象業種 (NOx) : C 業種 (大規模排出源、高度分布あり)、D 業種 (大規模排出源、高度分布なし)

※後述の計算結果のグラフの図示においては、業種 D、業種 C の順になっていることがある。

表 4-4 に示した通り、気象パターンについては 2005 年度頻出の上位 12 パターンを対象とした。削減対象発生源は、VOC、NOx 発生源のそれぞれについて、昨年度調査と同様の 2 業種を選定した。ここで、VOC 発生源の 2 業種は、環境省 VOC 排出インベントリ(2016 年度)における上位業種のうち立地特性の異なる 2 業種として、NOx 発生源の 2 業種は、大気汚染物質排出量総合調査(2014 年度)の排出量上位業種のうち煙突高の分布が異なる 2 業種として選定した。選定された各業種の排出(削減)量分布については追って提示する。

各対象気象パターンの内容と代表日の選定結果、その他気象の情報を、関東、近畿地方について、それぞれ、表 4-5、表 4-6 に示す。

表 4-5 本節の解析における対象気象パターンと代表日の選定結果およびその他気象情報(関東)

頻度 順位	気象パ ターン	出現頻度 (%)	積算出現 頻度 (%)	代表日	平均風速 (m/s)	平均気温 (°C)	平均相対 湿度 (%)
1	CNNs	4.45	4.45	1月8日	2.98	0.88	49.34
2	CSWm	2.67	7.12	8月30日	3.22	25.50	58.91
3	CNEs	2.67	9.79	12月29日	2.72	2.41	50.54
4	DNEs	2.37	12.17	9月5日	2.70	22.21	83.91
5	DNEs	2.37	14.54	12月11日	2.68	3.36	57.51
6	BSWw	2.08	16.62	10月30日	1.89	14.39	63.80
7	DSWm	1.78	18.40	6月8日	2.39	20.34	61.72
8	CNNm	1.78	20.18	12月20日	1.97	4.24	53.08
9	CNEw	1.78	21.96	12月1日	1.86	7.61	50.21
10	CNEm	1.48	23.44	6月5日	2.68	21.16	62.09
11	DSEm	1.48	24.93	5月11日	3.82	14.84	56.25
12	DNWw	1.48	26.41	6月30日	2.03	25.53	71.53

注: 気象パターンについては最初の1文字が日射量(B:強、C:中、D:弱)、次の2文字が地衡風向、最後の1文字が地衡風速(s:強、m:中、w:弱)を示す。平均風速、平均気温、平均相対湿度はシミュレーションによる地表付近の推定日平均値を関東地方で平均して導出。

表 4-6 本節の解析における対象気象パターンと代表日の選定結果およびその他気象情報(近畿)

頻度 順位	気象パ ターン	出現頻度 (%)	積算出現 頻度 (%)	代表日	平均風速 (m/s)	平均気温 (°C)	平均相対 湿度 (%)
1	DNNs	4.34	4.34	12月26日	4.66	1.94	73.08
2	DNEs	4.05	8.38	2月12日	4.33	1.41	65.85
3	DNNm	3.47	11.85	1月8日	3.15	0.61	68.52
4	DNEm	2.31	14.16	2月15日	1.95	11.40	76.20
5	DNWs	2.31	16.47	12月23日	5.67	2.07	69.80
6	BSWw	2.02	18.50	8月4日	2.32	30.32	55.16
7	DEEm	2.02	20.52	10月11日	2.45	18.69	77.34
8	BWWm	1.73	22.25	4月5日	4.65	13.25	52.86
9	CEEm	1.73	23.99	10月26日	1.55	15.74	59.51
10	DEEm	1.73	25.72	1月31日	1.62	5.50	84.74
11	DNWm	1.73	27.46	11月22日	2.78	9.64	59.66
12	BXXc	1.73	29.19	7月20日	2.81	28.66	53.85

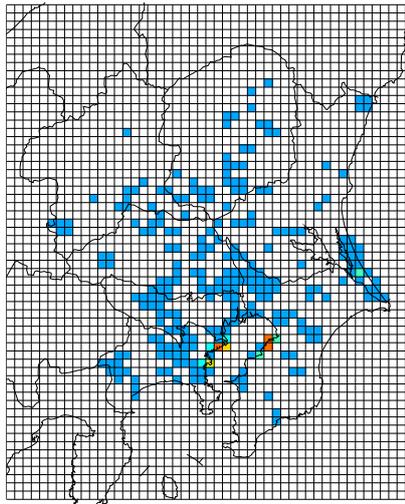
注:気象パターンについては最初の1文字が日射量(B:強、C:中、D:弱)、次の2文字が地衡風向、最後の1文字が地衡風速(s:強、m:中、w:弱)を示す。なお、地衡風向と風速の組み合わせが XXc となっている気象パターン(頻度 12 位の気象パターン)は地衡風が静穏であることを示す。平均風速、平均気温、平均相対湿度はシミュレーションによる地表付近の推定日平均値を関東地方で平均して導出。

オゾンの年間平均濃度は、各気象パターンにおける代表日のオゾン濃度より各気象パターンの出現頻度で重みづけ平均して推定した。2002年の関東を対象とした検討では、本解析より少ない10の気象パターンを考慮した重みづけ平均でも高い精度($R^2=0.86$)で年間平均濃度を算出できることが知られており(産総研安全科学研究部門, 2011)、本解析においても十分な精度で年間平均濃度が推定可能であると考えられる。

<排出削減量分布>

VOC、NO_xそれぞれの削減対象発生源における排出削減量の地理分布(8月)を、図 4-2～図 4-5 に示した。これらの図には8月の排出削減量が示されているが、定性的な分布の特徴は他の月でも同様である。

業種 A (VOC) (湾岸部に偏在)



業種 B (VOC) (広域に分散して立地)

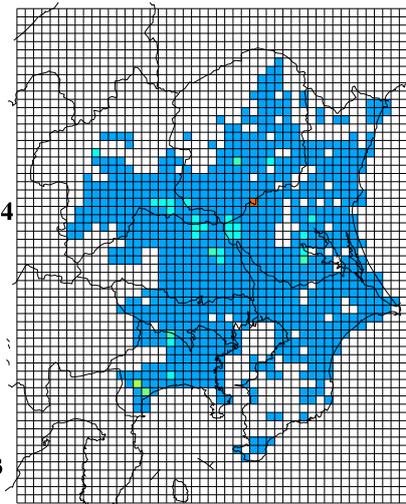
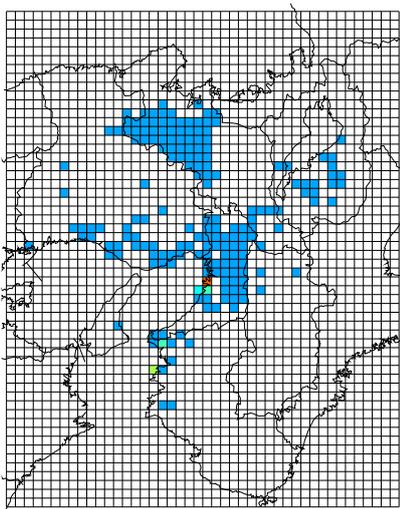


図 4-2 VOC 排出削減量の地理分布 (関東、8月)

業種 A (VOC) (湾岸部に偏在)



業種 B (VOC) (広域に分散して立地)

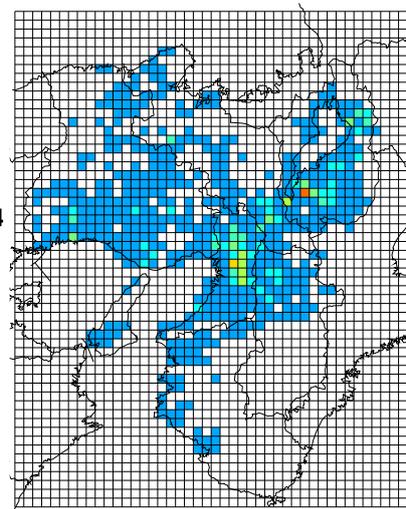


図 4-3 VOC 排出削減量の地理分布 (近畿、8月)

図 4-2、図 4-3 によると、関東、近畿とも、業種 A からの排出(削減)量は湾岸部に集中していること、業種 B からの排出(削減)量は内陸にも分散していることがわかる。

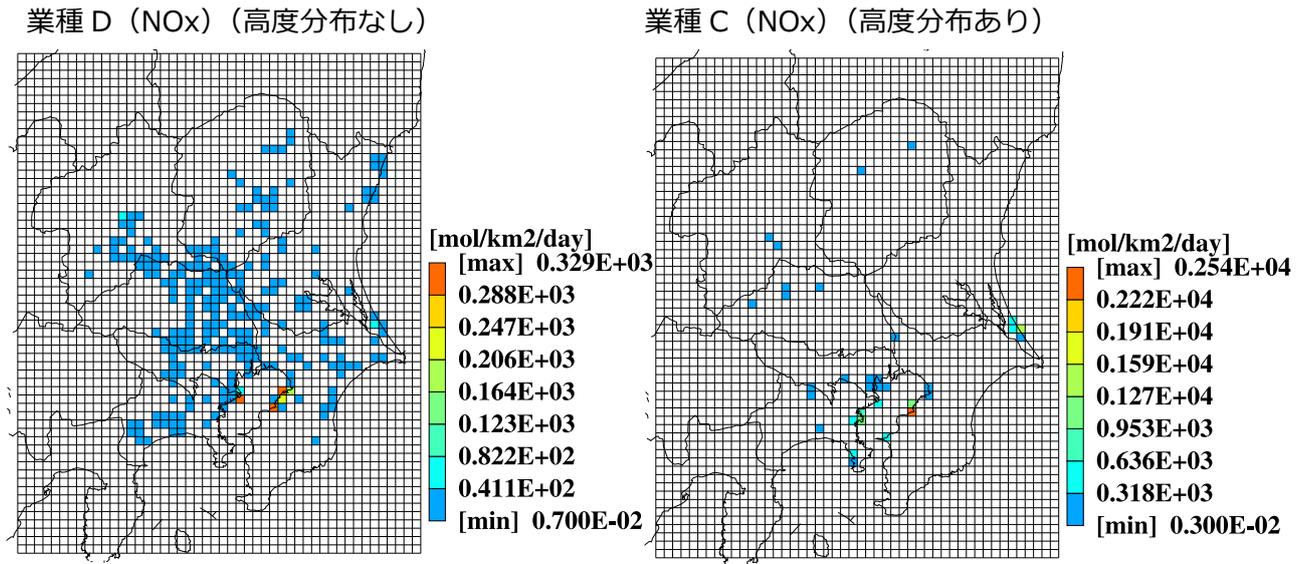


図 4-4 NO_x 排出削減量の地理分布 (関東、8月)

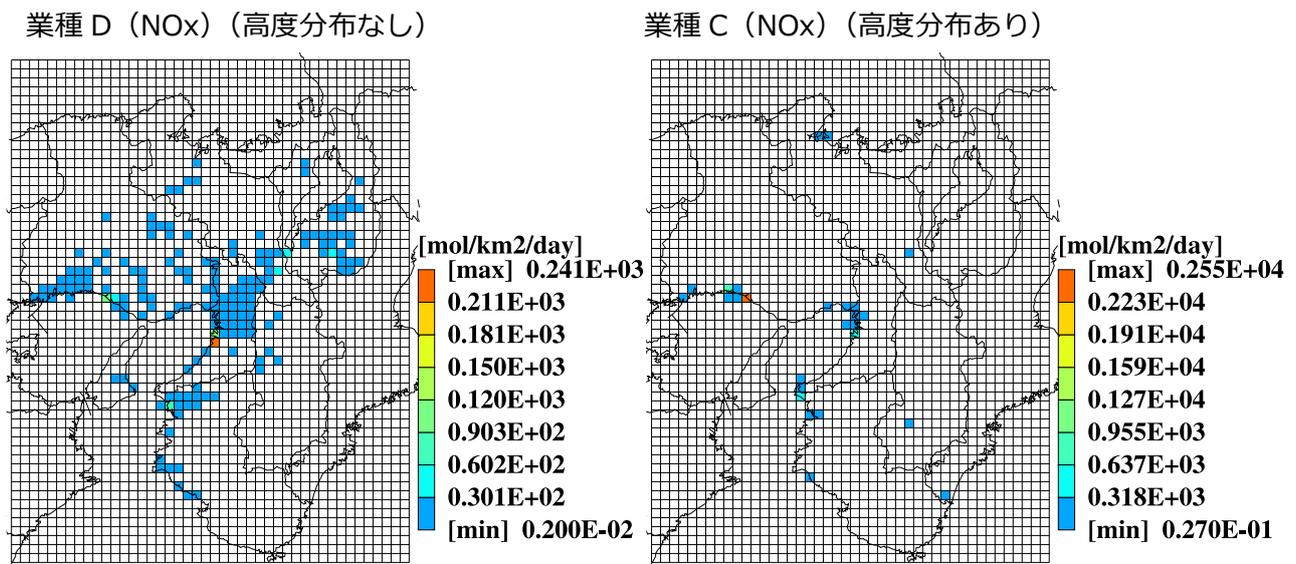


図 4-5 NO_x 排出削減量の地理分布 (近畿、8月)

図 4-4 によると、関東ではいずれの NO_x 排出業種(業種 D、業種 C)とも排出(削減)量は湾岸部に集中していることがわかる。一方、図 4-5 によると、近畿では両業種で排出(削減)量の集中する場所が異なっていることがわかる。

図 4-6 には、NO_x 削減対象発生源における排出削減量の高度分布(関東、8月)を示す。この図には8月の排出削減量が示されているが、定性的な分布の特徴は他の月でも同様である。

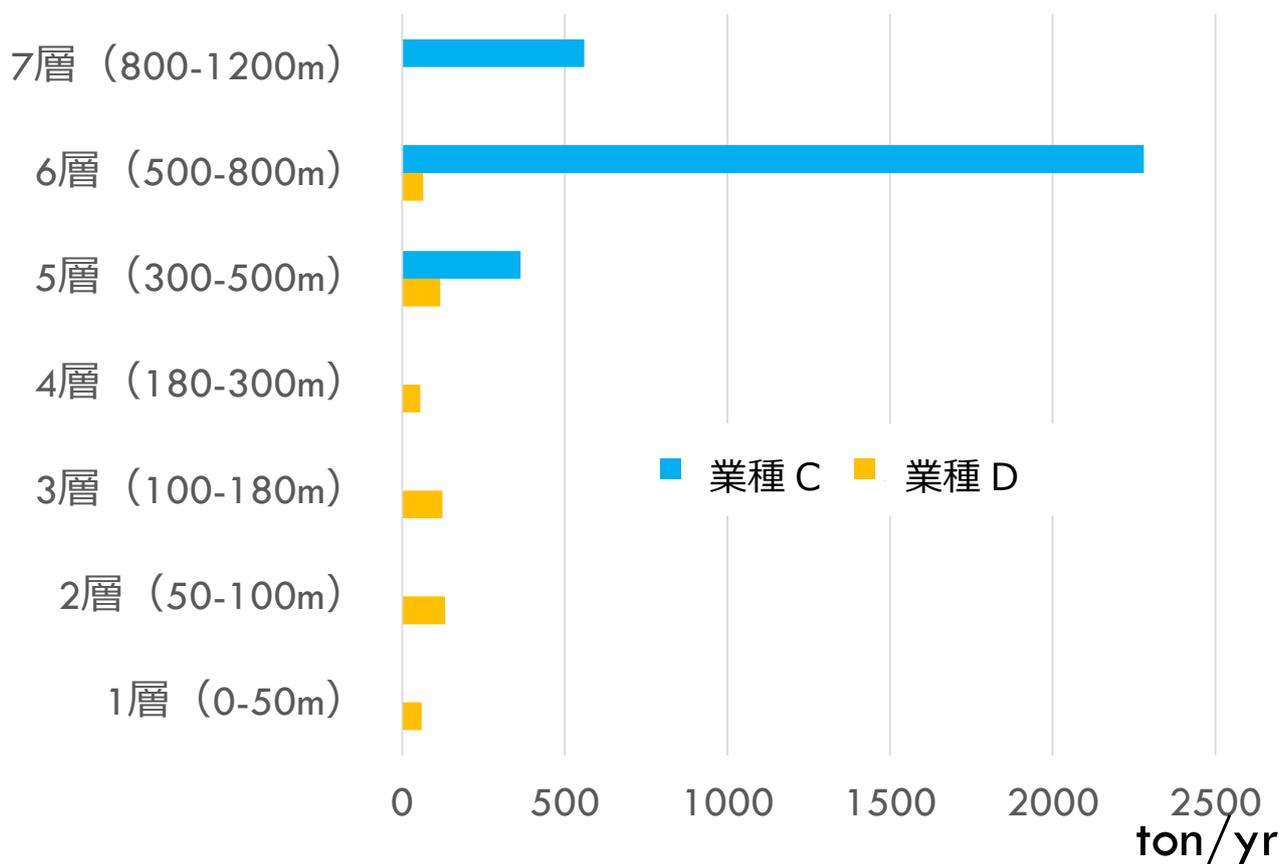


図 4-6 NOx 削減対象発生源における排出削減量の高度分布（関東、8月）

図 4-4 に示した通り、関東では対象発生源によらず NOx 排出削減量の地理分布は同様であったが、高度分布には大きな違いがあり、業種 C は業種 D に比べて高い高度（高煙突）から排出（削減）されていることがわかる。

(3) 気象場に関する計算結果

表 4-5 で示した関東地方における対象気象パターンのうち、春（3～5 月）、夏（6～8 月）、秋（9～11 月）、冬（12～2 月）の各季節で出現頻度が最も高い気象パターンについてその代表日の午後 3 時における気温と風（最下層：0～50 m）の地理分布推定結果を、それぞれ、図 4-7～図 4-10 に示す。また、近畿地方における対象気象パターンについて、同様に図 4-11～図 4-14 に示す。なお、各図の左側には、参考のため大気汚染常時監視測定局にける実測値も示している。

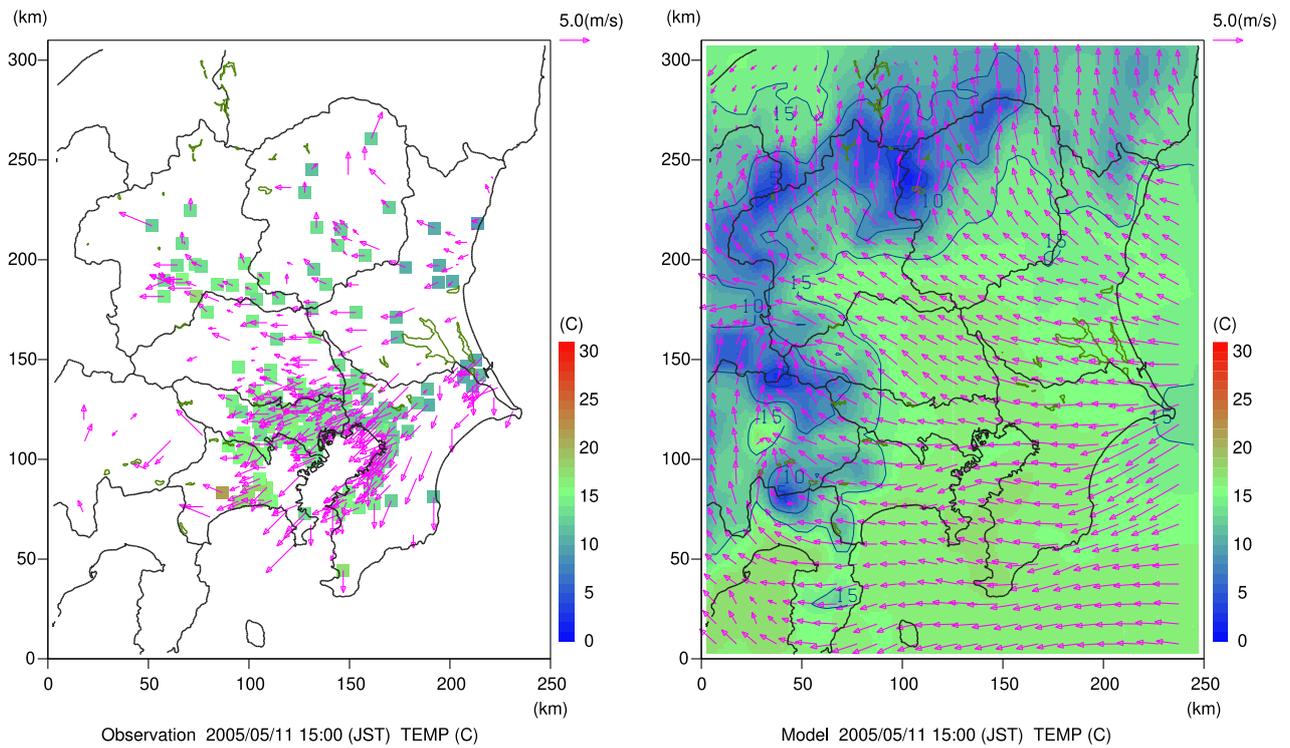


図 4-7 春季 (3~5月) における最高出現頻度の気象パターン代表日の気温と風の分布 (関東、15時)

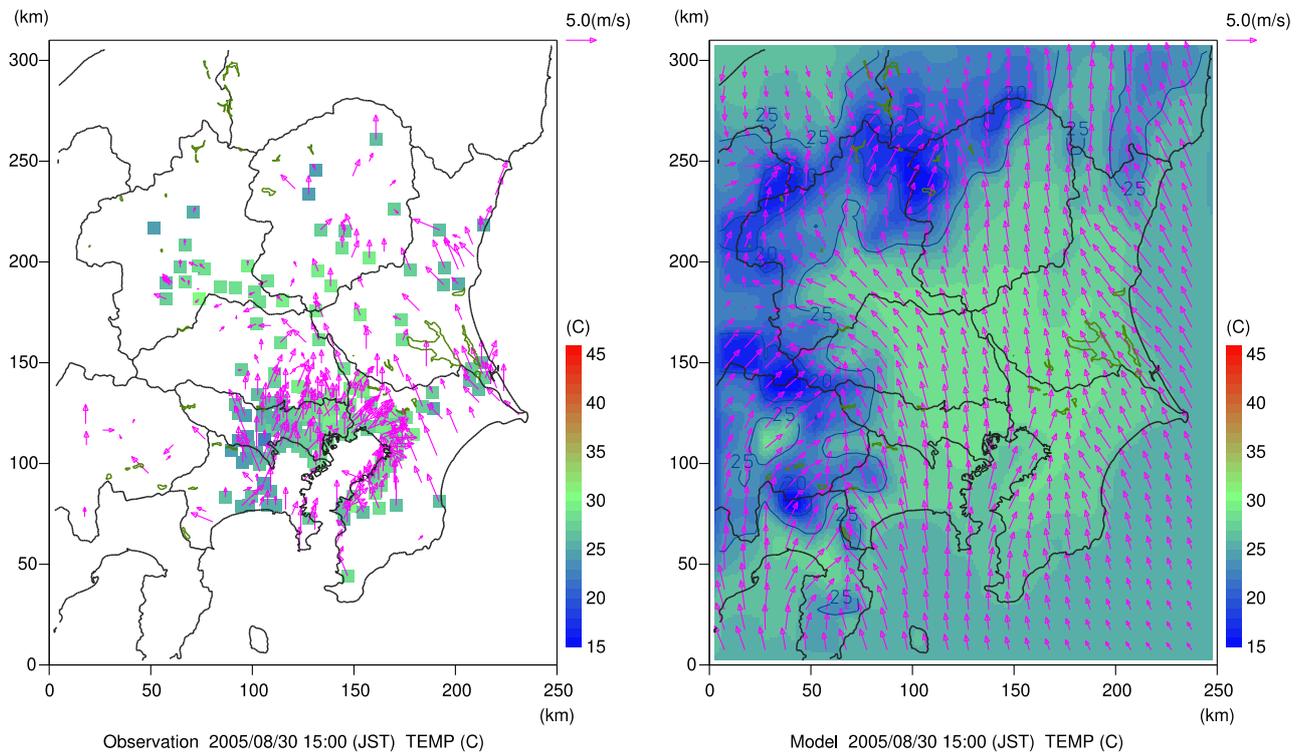


図 4-8 夏季 (6~8月) における最高出現頻度の気象パターン代表日の気温と風の分布 (関東、15時)

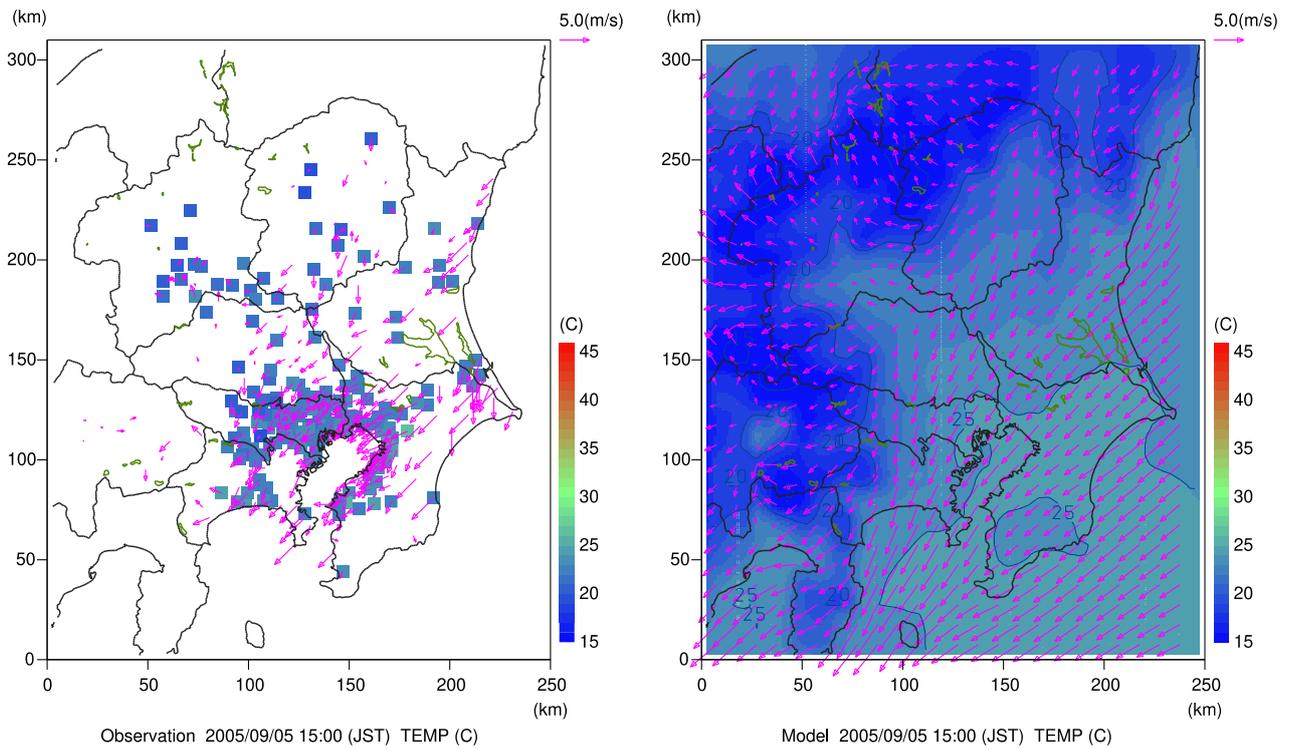


図 4-9 秋季（9～11月）における最高出現頻度の気象パターン代表日の気温と風の分布（関東、15時）

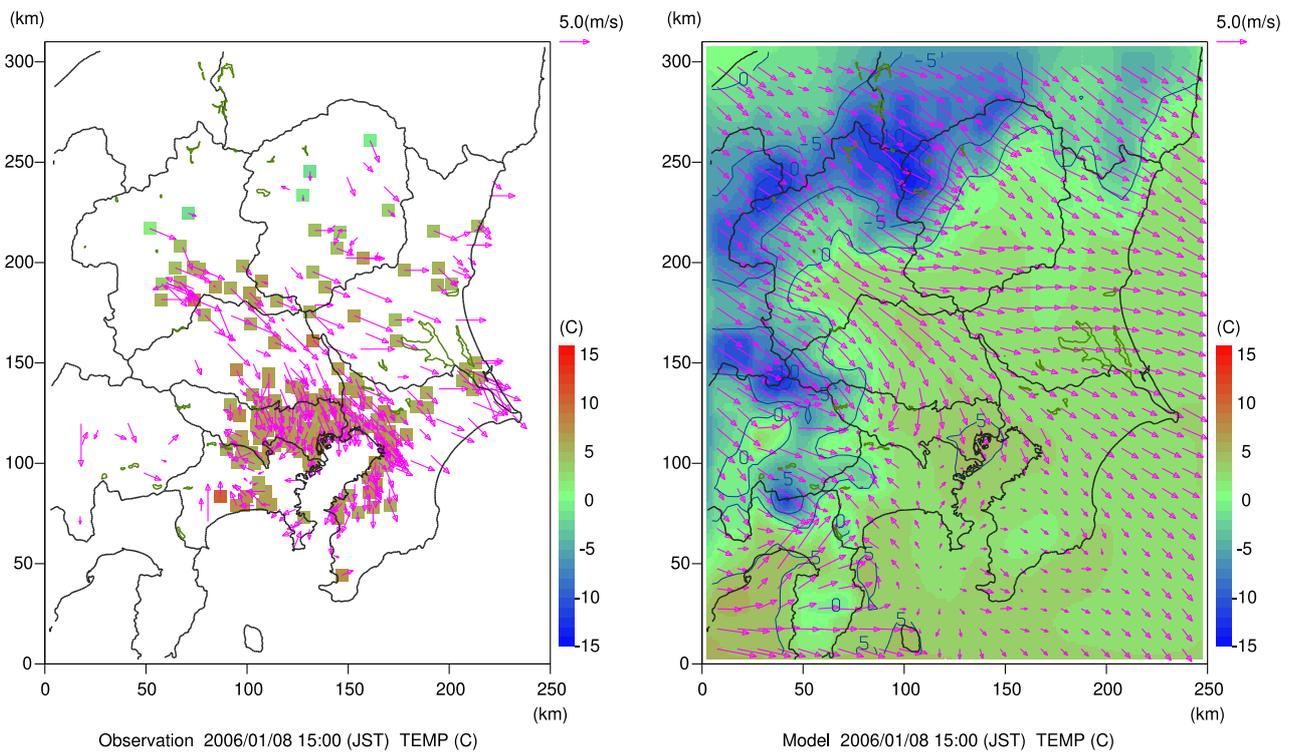


図 4-10 冬季（12～2月）における最高出現頻度の気象パターン代表日の気温と風の分布（関東、15時）

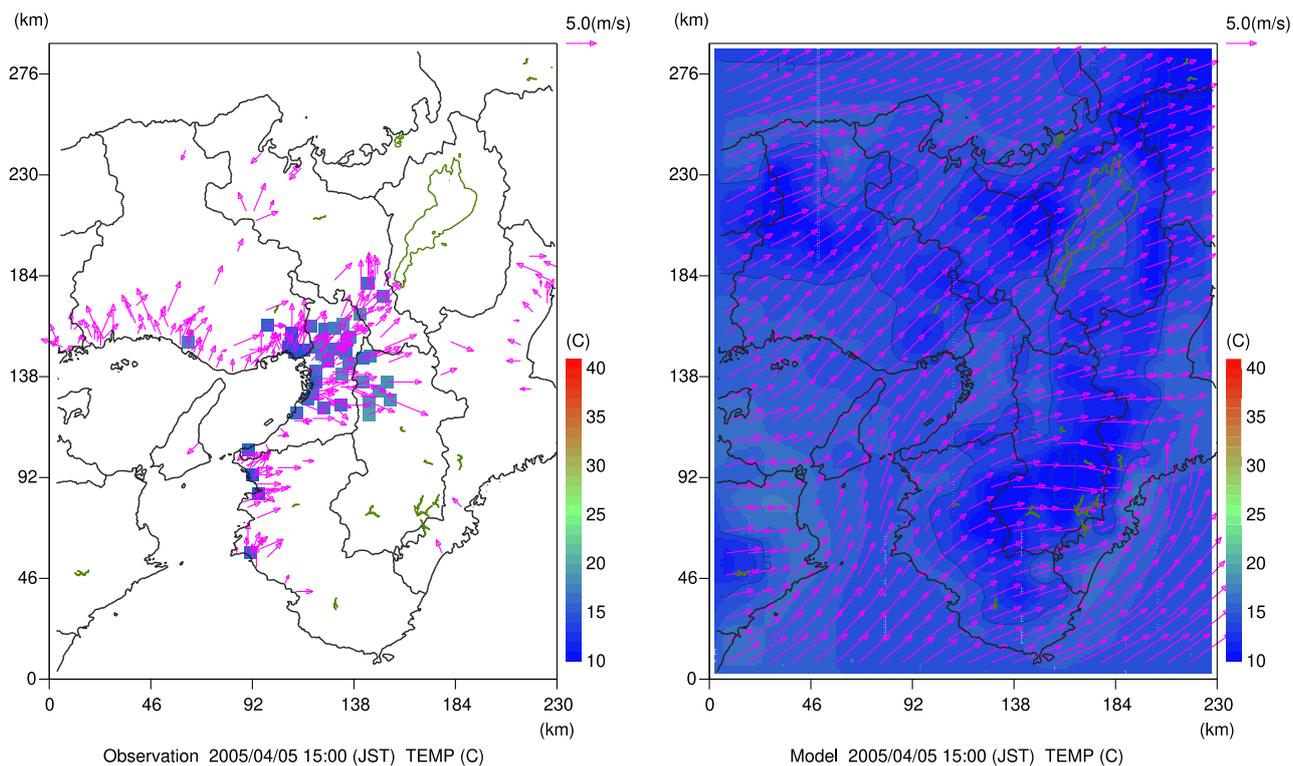


図 4-11 春季（3～5月）における最高出現頻度の気象パターン代表日の気温と風の分布（近畿、15時）

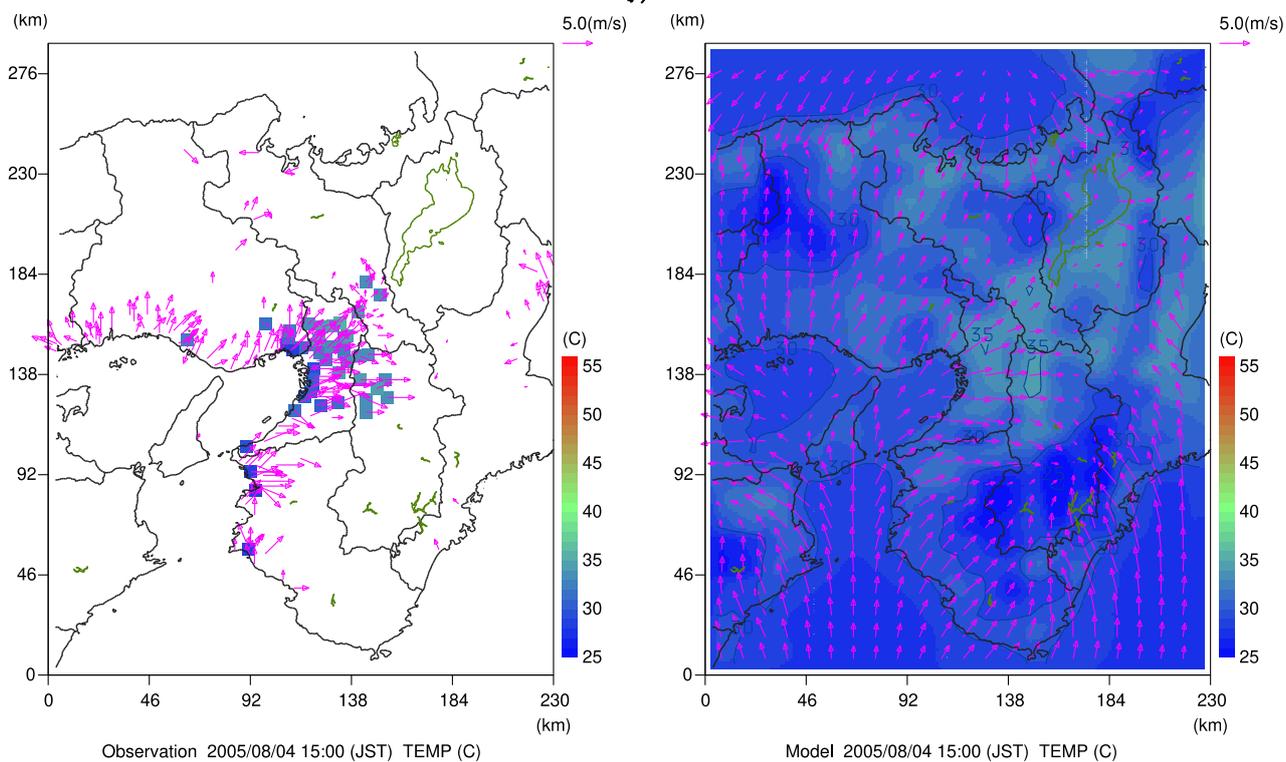


図 4-12 夏季（6～8月）における最高出現頻度の気象パターン代表日の気温と風の分布（近畿、15時）

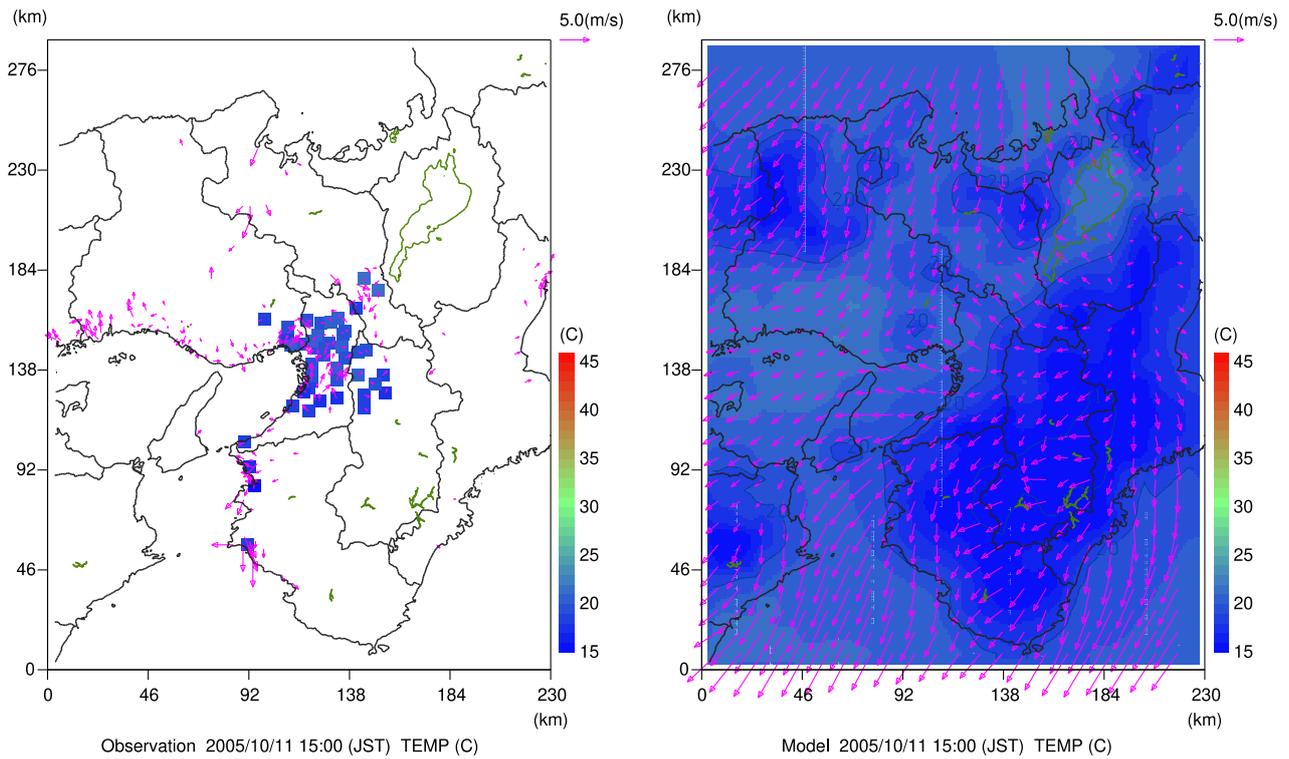


図 4-13 秋季（9～11月）における最高出現頻度の気象パターン代表日の気温と風の分布（近畿、15時）

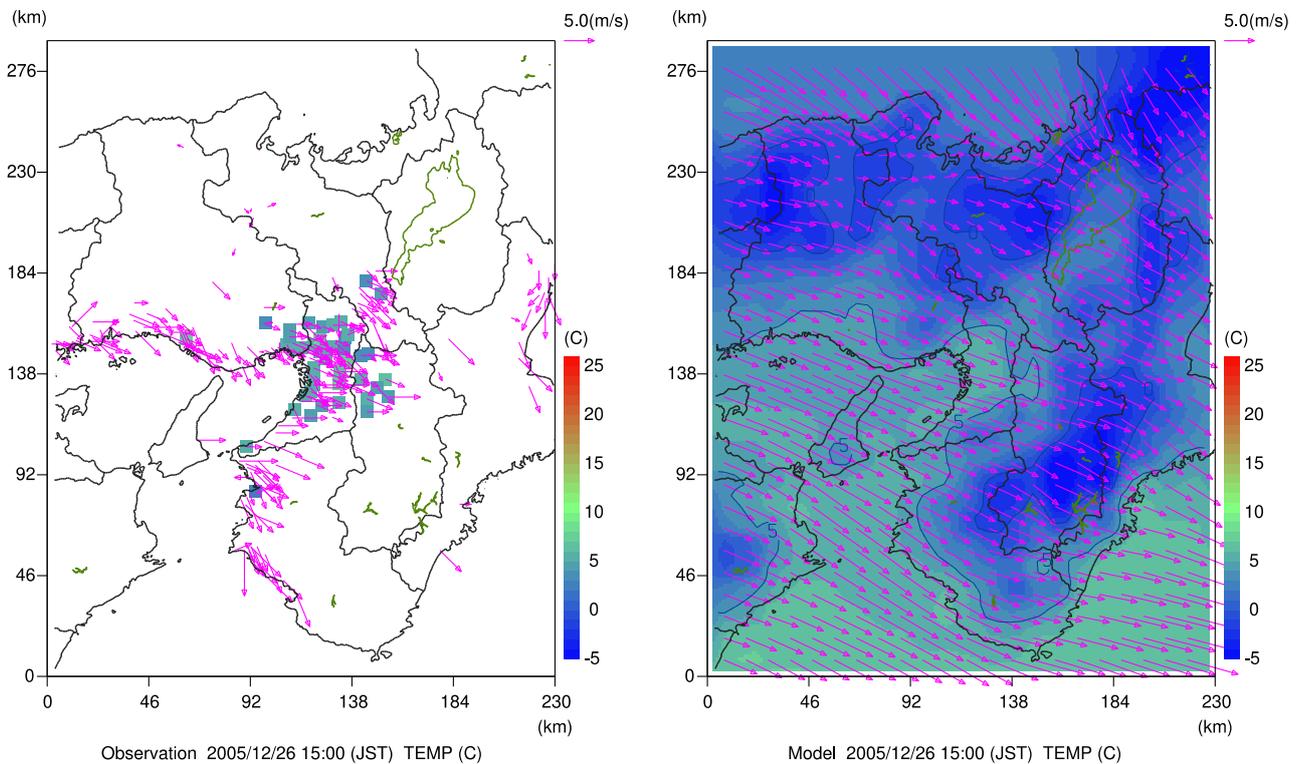


図 4-14 冬季（12～2月）における最高出現頻度の気象パターン代表日の気温と風の分布（近畿、15時）

図 4-7～図 4-14 によると、冬季は関東、近畿とも致道全体が強い北西風で覆われているのに対し、夏季は関東では大規模海風（関東全体で南寄りの風）が出現し、近畿では各沿岸部でそれぞれ海風が出現していることなどがわかる。

(4) 年間平均のオゾン濃度、感度、指標値に関する計算結果

図 4-15 には、関東、近畿におけるベースケースのオゾン濃度(最下層(0~50m);特に断らない限り以降に示す濃度分布図もすべて同様)の年間平均値の地理分布を示す。

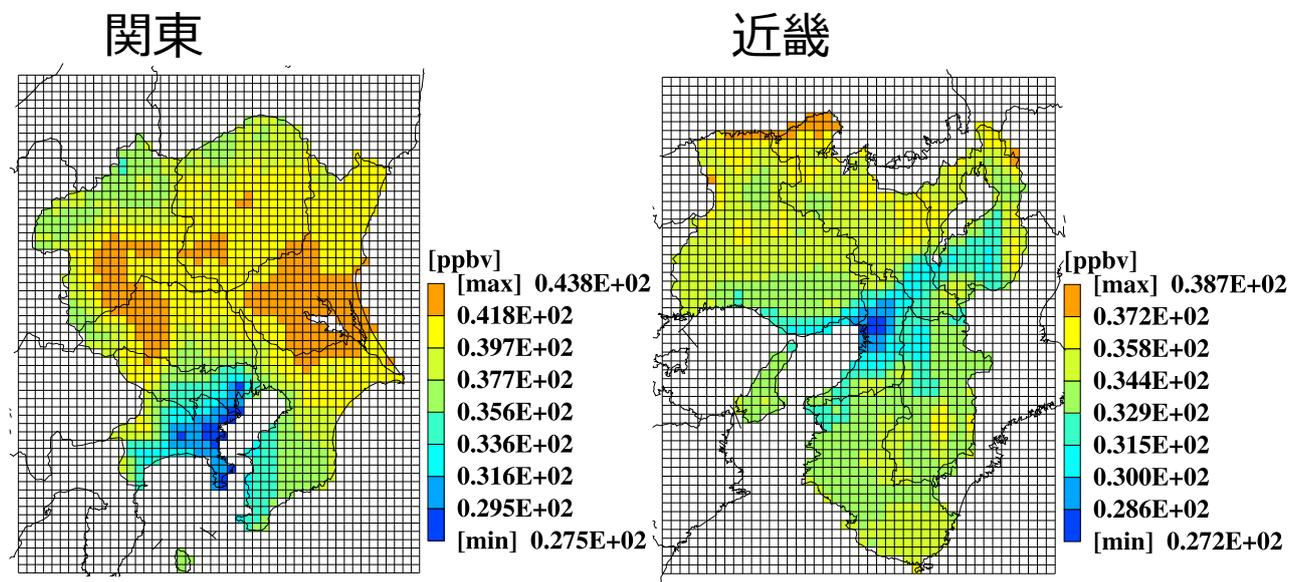


図 4-15 関東、近畿におけるベースケースオゾン濃度(年間平均)の地理分布

図 4-16、図 4-17 には、各削減ケースにおける年間平均オゾン感度の地理分布をそれぞれ関東、近畿について示す。ここで年間平均オゾン感度は(各削減ケースの年間平均オゾン濃度—ベースケースの年間平均オゾン濃度)/(NOx or VOC の年間排出削減量)である。

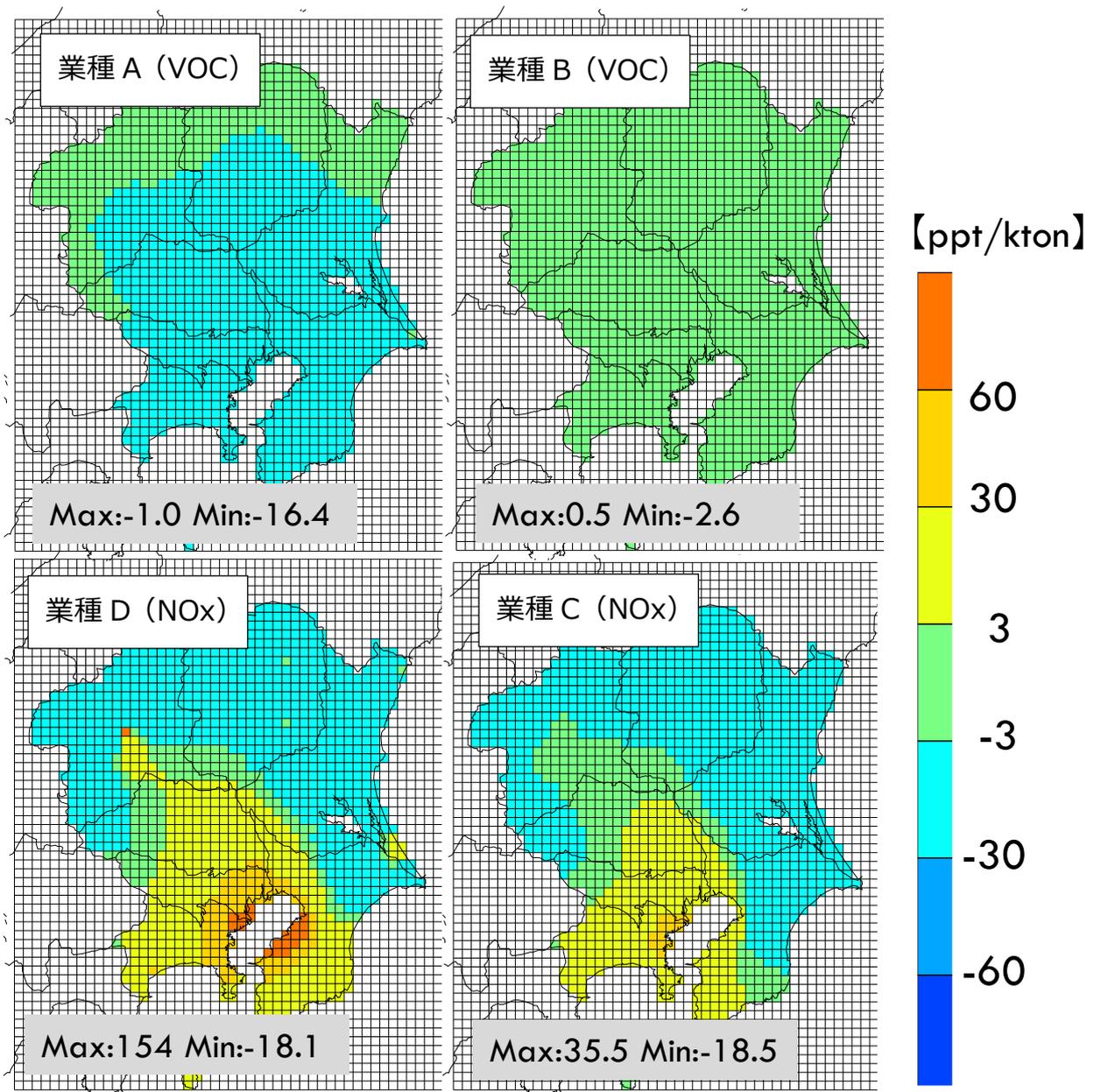


図 4-16 年間平均オゾン感度の地理分布（関東）

図 4-16 によると、VOC 削減については、業種 A(湾岸偏在)では広域的にオゾン濃度が低下しているのに対し、業種 B(広域に分散立地)ではほぼ変化がないことがわかる。また、NOx 削減ではいずれの業種の排出削減でもオゾン濃度が増加する領域と低下する領域があり、その広域的な分布傾向は概して同様である。これは図 4-4 で示した通り、両業種における排出(削減)量の地理分布が同様であったことを反映していると考えられる。一方、詳細に比較すると、業種 D の NOx 削減では業種 C の NOx 削減に比べて顕著に増加する領域が東京湾岸部や群馬県、千葉県内に局所的に存在することがわかる。これは図 4-6 で示したように、業種 D では業種 C に比べて低所の排出源が多いことから、NOx の排出削減によるオゾン消失(titration)量低減の影響をより強く受けた結果と考えられる。

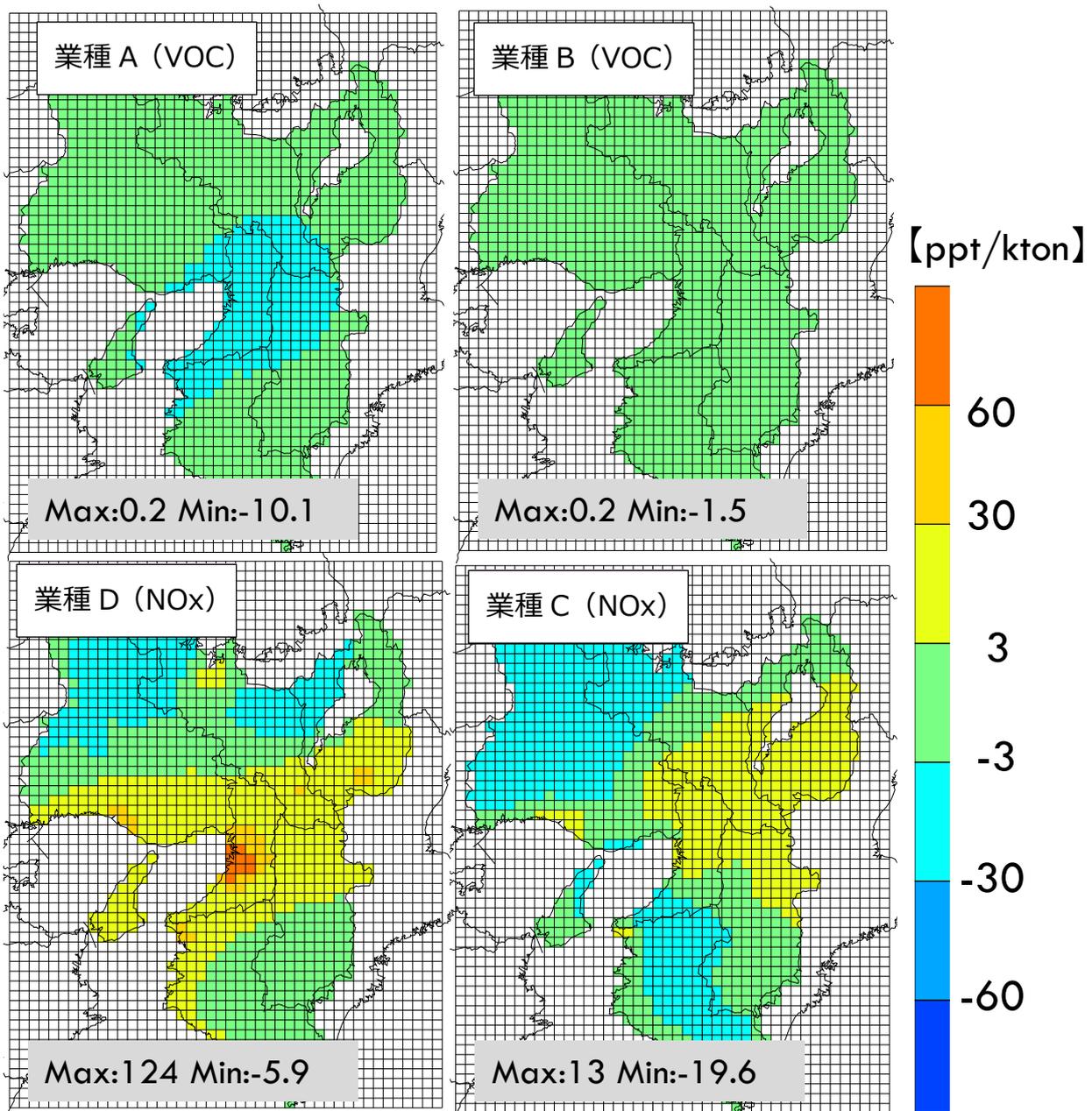


図 4-17 年間平均オゾン感度の地理分布（近畿）

図 4-17 によると、近畿地方では、業種 A の VOC 削減でオゾン濃度が低下する領域は関東より小さいことがわかるが、その他の特徴は関東と大きくは異なっていないことがわかる。

図 4-18 には算出された関東、近畿における年間平均のオゾン存在量低減効率を、図 4-19 には同集団暴露量低減効率を示す。

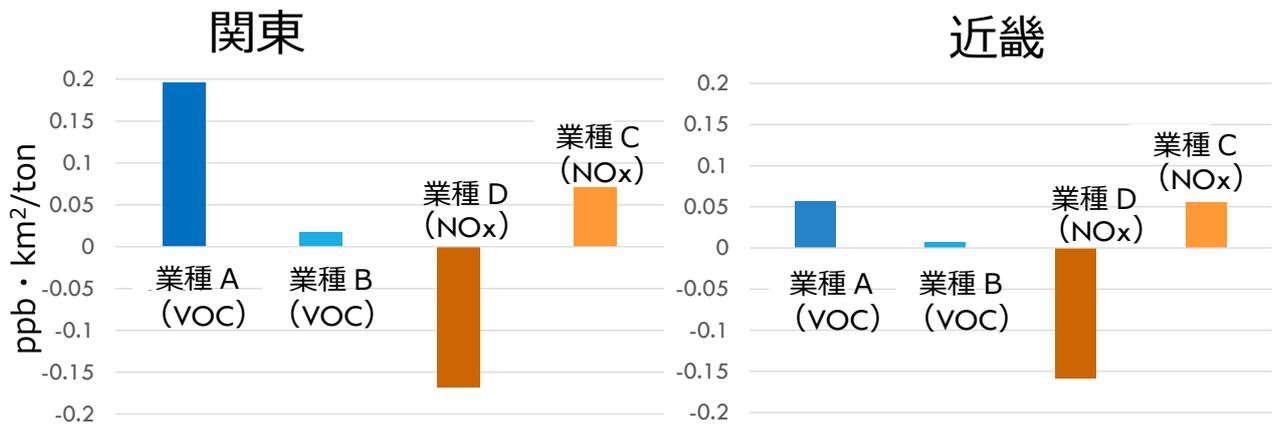


図 4-18 算出された関東、近畿における年間平均のオゾン存在量低減効率

図 4-18 によると、VOC 削減に対するオゾン存在量低減効率は、関東 > 近畿であることがわかる。また、NOx 削減に対するオゾン存在量低減効率は、両地方とも業種 D (NOx) の存在量低減効率は負値であるが業種 C (NOx) のそれは正值となっており、改めて、両業種における排出量の高度分布が異なることの影響は大きいことが示唆される。さらに、両地方とも業種平均の存在量低減効率は、VOC 指標 > NOx 指標であることがわかるが、これは過年度業務において夏季高濃度オゾン生成日を対象とした算出結果とは逆の関係になっている。

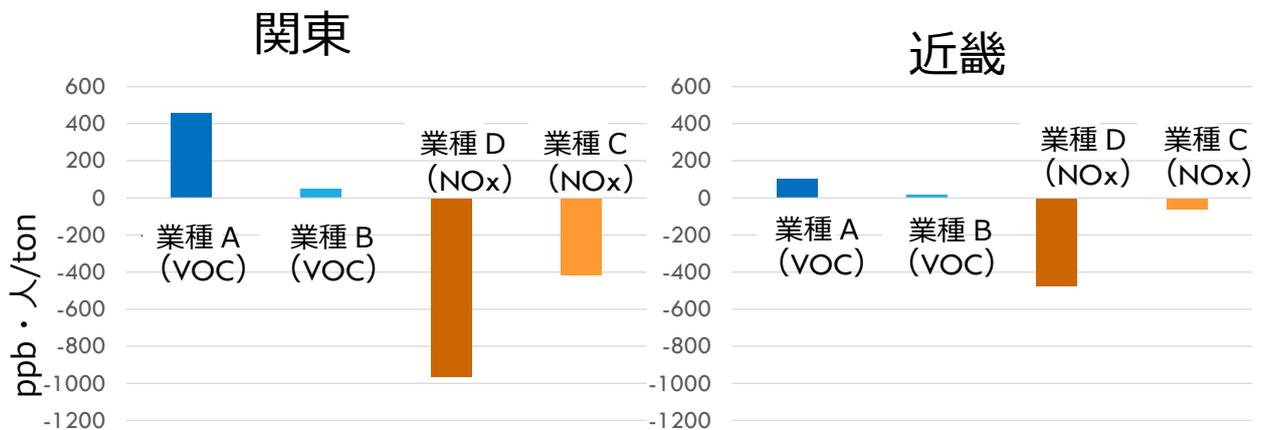


図 4-19 算出された関東、近畿における年間平均のオゾン集団暴露量低減効率

図 4-19 によると、オゾン集団暴露量低減効率でも存在量低減効率と概して同様の傾向がみられるが、業種 C (NOx) の値が負値である点は存在量低減効率と異なっている。

(5) 指標値の気象パターンによる変動性に関する計算結果

算出されたオゾン存在量低減効率の気象パターンによる変動性を関東、近畿についてそれぞれ図 4-20、図 4-21 に示す。

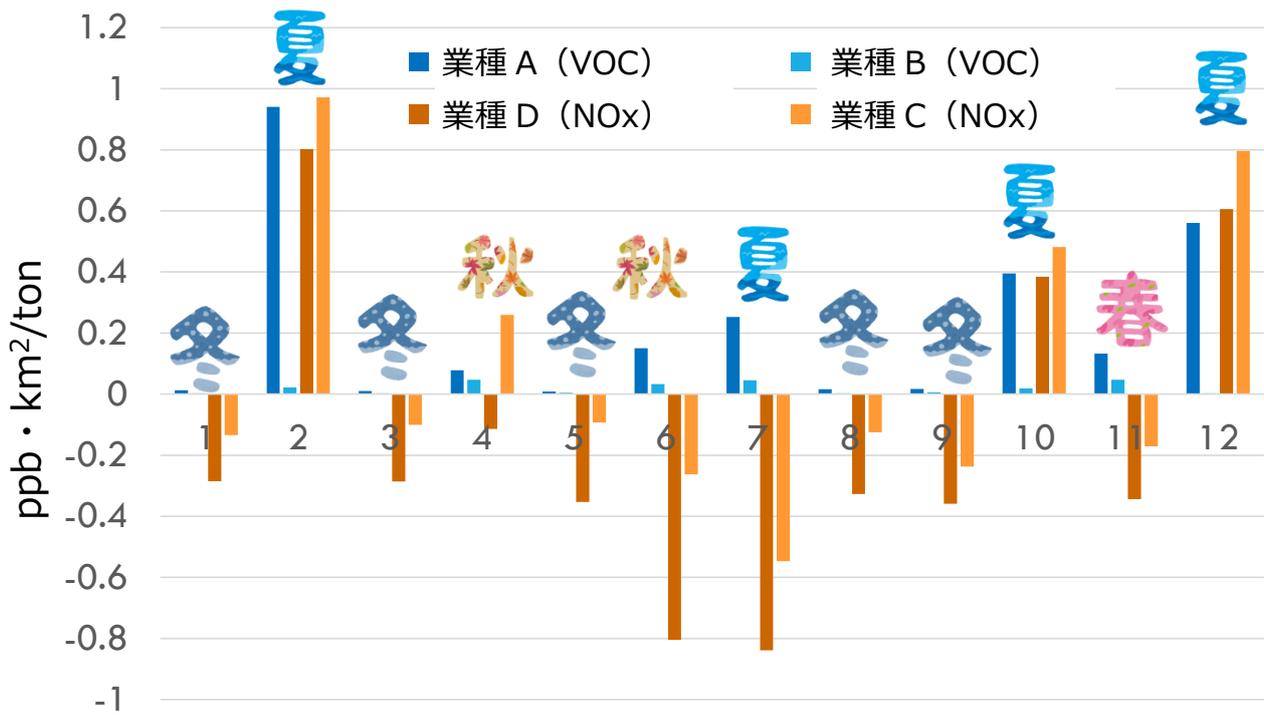


図 4-20 オゾン存在量低減効率の気象パターン別変動（関東）。

※横軸の数値は各気象パターンの出現頻度順位を示す。各気象パターン代表日の季節も付記した。

図 4-20 によると、関東では、夏季は VOC、NOx 指標とも正值で大きいこと、冬は VOC 指標がほぼゼロで NOx 指標が負値であること、春季、秋季は VOC 指標が正值で小さく、NOx 指標は負値になりやすいことなどがわかる

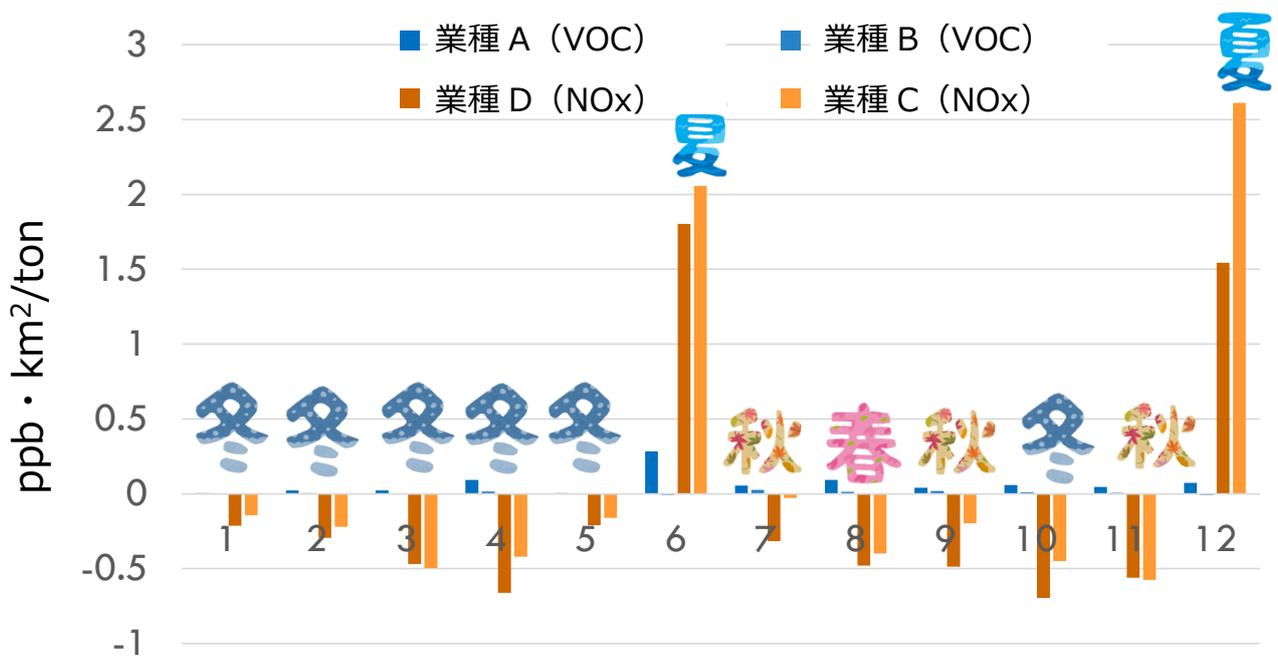


図 4-21 オゾン存在量低減効率の気象パターン別変動（近畿）。

※横軸の数値は各気象パターンの出現頻度順位を示す。各気象パターン代表日の季節も付記した。

図 4-21 によると、近畿では、夏は NOx 指標が正值で大きく、かつ、VOC 指標よりずっと大きいことがわかる。また、その他の季節は関東と同様の変動傾向であることがわかる。

同量の排出量を削減した場合のオゾン低減に対する VOC 削減の NOx 削減に対する相対的優位性を示す指標として、「VOC 削減相対優位性指標」を、(VOC 指標の対象業種平均値 - NOx 指標の対象業種平均値)として定義し、その気象パターンによる変動を関東、近畿について、それぞれ、図 4-22、図 4-23 に示す。

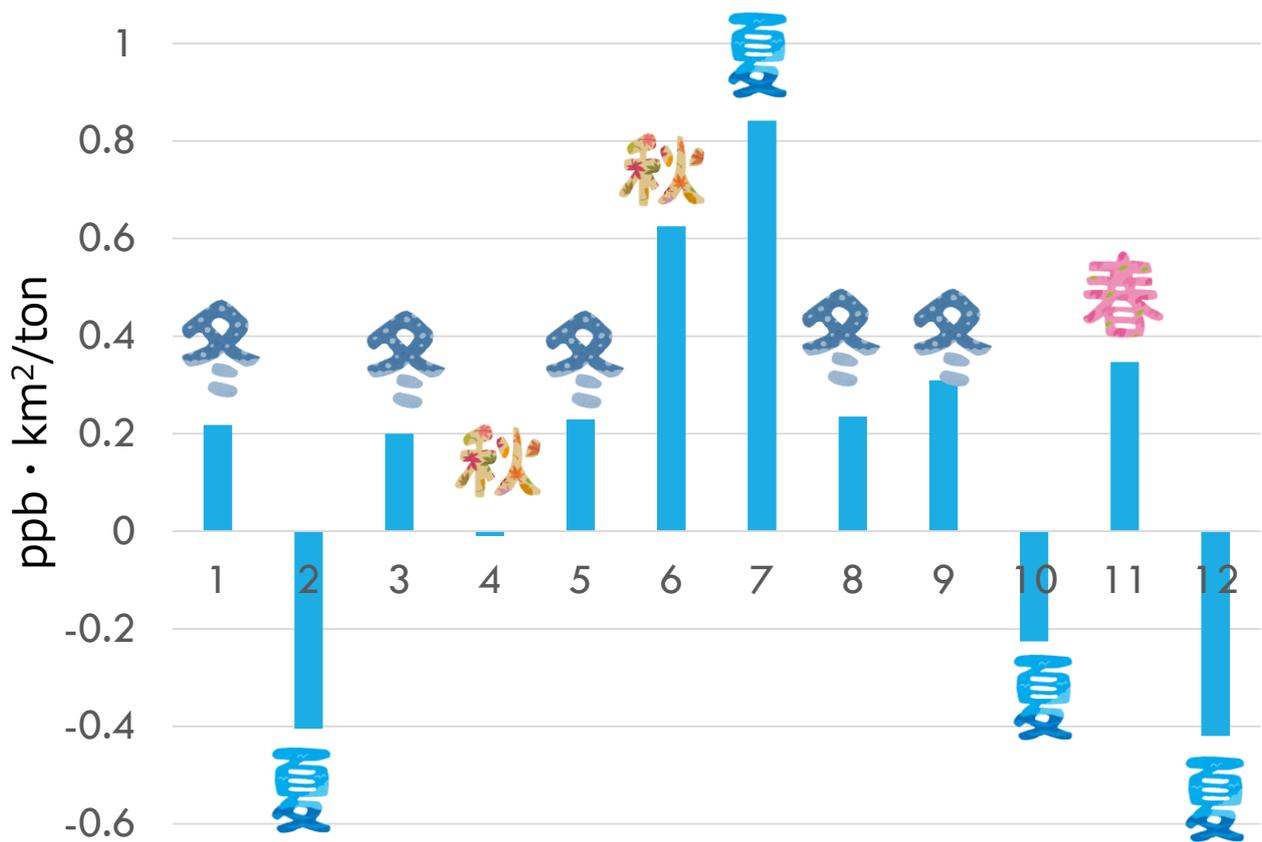


図 4-22 VOC 削減相対優位性指標の気象パターン別変動（関東）

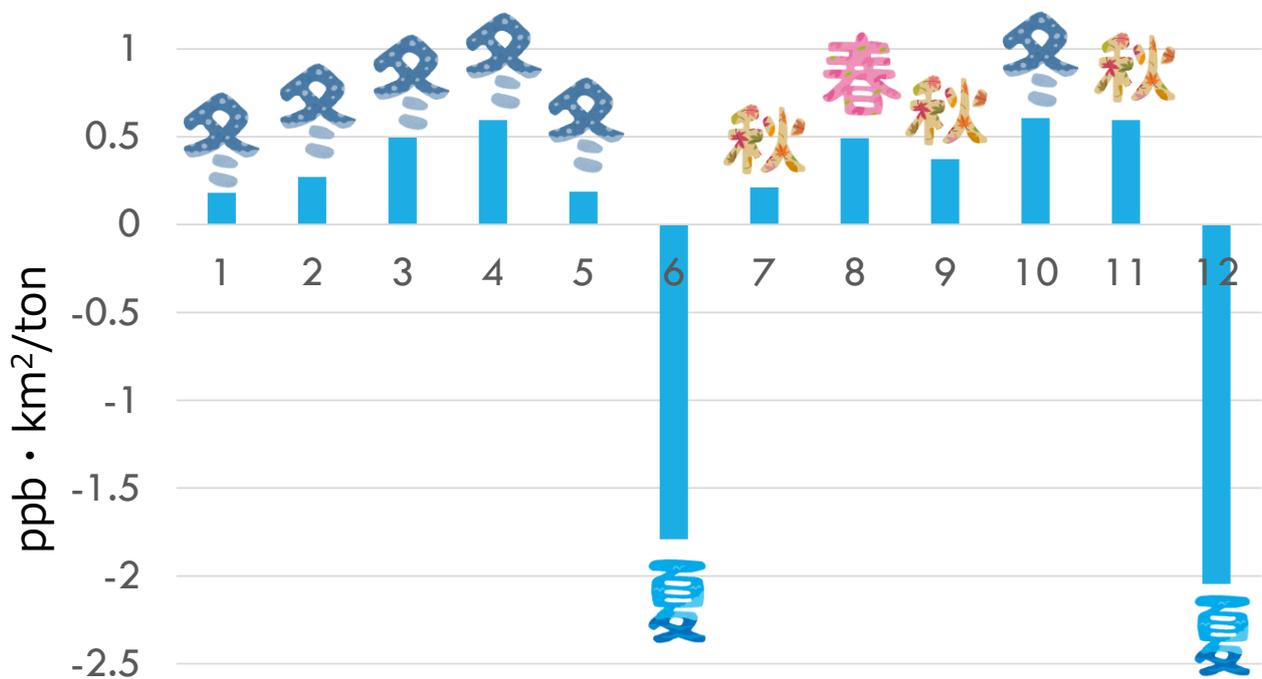


図 4-23 VOC 削減相対優位性指標の気象パターン別変動（近畿）

図 4-22、図 4-23 によると、関東、近畿の両地方とも、VOC 削減相対優位性指標が負の値になっている、すなわち、同量の排出量を削減した場合のオゾン低減に対し NOx 削減のほうが VOC 削減に比べて優位になるのは夏のみであることがわかる。

(6) オゾン存在量低減効率の変動性に係る要因解析

(5)項で示したオゾン存在量低減効率等指標値の気象パターンや地方による変動は何に起因するのかを明らかにすべく、ここでは、VOC 削減相対優位性指標と気象要素や前駆物質濃度比等との相関分析を行った。相関分析に使用した要素は気温、相対湿度、TOL (ADMER-PRO の化学反応メカニズム CB99 の化学種のひとつでモノアルキルベンゼン類、人為起源 VOC の代表として選定)/NO_x モル濃度比、ISOP (ADMER-PRO の化学反応メカニズム CB99 の化学種のひとつでイソプレン、植物起源 VOC の代表として選定)/NO_x モル濃度比の 4 つである。ここで、気温、相対湿度、TOL、ISOP、NO_x はいずれもモデル最下層における推定値の各気象パターン代表日における各地方の平均値として算出した。相関分析結果を図 4-24 に示す。

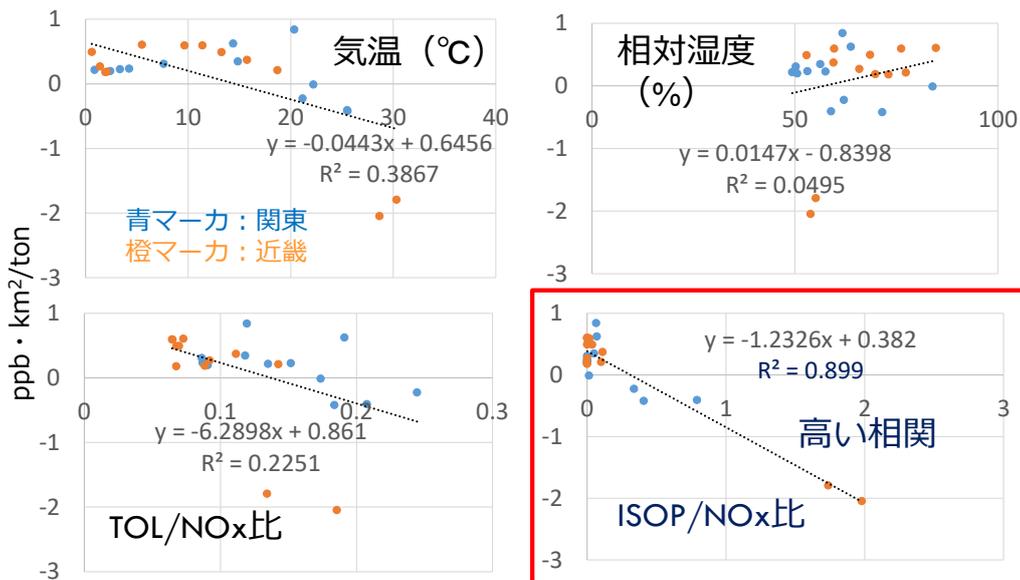


図 4-24 相関分析結果 (対 VOC 削減相対優位性指標)

図 4-24 によると、VOC 削減相対優位性の気象パターン・地方による変動は、気象要素の中では気温と相関していること、他のどの要素よりも ISOP/NO_x 比と強く相関していることがわかる。以上より、VOC 削減相対優位性の変動には気温(天候)が関わっているものの、より直接的な影響を与えているのは植物起源の VOC 排出量であることが示唆される。

(7) 本節における解析のまとめと今後の課題

年間を通じて頻出する各気象パターンについて削減効率指標値を算出し、気象パターン(季節)による変動性を把握するとともに、年間平均濃度に対する削減効率指標値を算出した。気象パターンにより VOC 削減と NO_x 削減に対する指標値は大きく異なり、対象業種平均の存在量低減効率については NO_x 削減指標 > VOC 削減指標となるのは夏季だけであること、年間平均濃度に対する対象業種平均の指標値は関東、近畿のいずれにおいても VOC 削減指標 > NO_x 削減指標であり、かつ NO_x 削減指標は負値であり、過年度調査において主として着目していた高濃度オゾン生成日とは様相が大きく異なることがわかった。また、同量の排出量を削減した場合のオゾン低減に対する VOC 削減の NO_x 削減に対する相対的優位性の、気象パターンや地方による変動に関して要因解析を行い、その変動には植物起源 VOC 排出量が重要な寄与をしていることが示唆された。今後の課題としては、今回の解析で示唆された排出削減量の高度分布の違いによる算出指標値への影響について、より理解を深めることが必要と考える。

4.4. 狭い領域での削減効率指標値算出

(1) 本節における解析の背景と目的

過年度調査においては、各削減効率指標(オゾン存在量低減効率等)を、関東、近畿といった地方単位で算出してきたが、より細かいスケール(例えば東京都の23区とそれ以外など)においても、オゾン生成感度は大きく変動する可能性が指摘されている(Inoue et al., 2019)。そこで、より狭い領域、具体的には、20×20 km²メッシュの各領域での排出量削減に伴うオゾン存在量低減効率の算出を行う。ここで指標値の上記細かいスケールの変動に対しては4-3節での解析なども参考にすると、BVOC 放出量(自然起源)やそのNO_x 排出量(人為起源)との比率が大きく影響している可能性があるため、排出削減対象領域としては、都市部、郊外部、およびそれらの混合部を選定し、各領域の指標値を比較することとする。

また、得られた結果を施策策定につなげるべく、上記指標値の変動要因を、既知の、あるいは観測可能なデータと結びつける試みも行う。

さらに、3章に示されている通り、都市の街路樹等から無視できない量のBVOCが放出されており、これらは上記各領域(特に都市部や混在部)の指標値に影響を与える可能性があるため、これらを考慮した場合に各領域の指標値がどの程度異なるのかについても検討する。

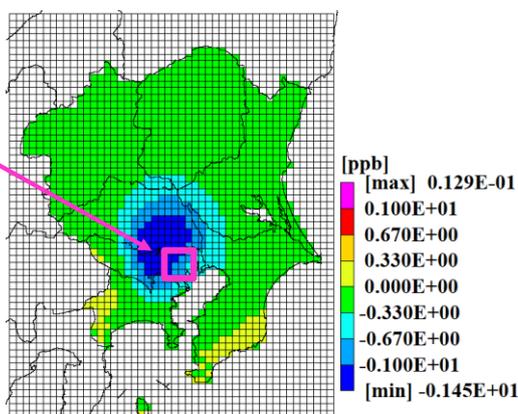
(2) 狭い領域での削減効率指標値算出の方法と対象削減領域の選定

<狭い領域での指標値算出方法>

図 4-25 に狭い領域での削減効率指標値算出方法のイメージを示す。

1. この矩形領域内のみの前駆物質排出量(VOC or NO_x)を削減してシミュレーション
2. ベースケースからのオゾン濃度変化量を推定(右図に結果例)
3. 以下の式で上記矩形領域の各指標値を算出

算出指標	算出式
オゾン存在量低減効率(pppt・km ² /ton)	Σ (オゾン濃度低減量×メッシュ面積) / (排出削減量)
オゾン集団暴露量低減効率(pppt・人/ton)	Σ (オゾン濃度低減量×メッシュ人口) / (排出削減量)



矩形領域を変えて上記の計算を順次行い、それぞれの矩形領域の指標値を得る

図 4-25 狭い領域ごとの指標値の算出方法 (イメージ図)

図 4-25 に示した通り、狭い領域の削減効率指標推定にあたっては、矩形領域(20 km×20 km メッシュ)ごとに前駆物質の削減を行うが、オゾン濃度低減量については地方全体について考慮する。これは、狭い領域の前駆物質削減の効果は当該領域にとどまらず広域に及ぶためである。

<削減対象領域の設定>

図 4-26 に関東、近畿における都市率の地理分布と本解析で選定した前駆物質削減対象領域を示した。こ

ここで削減対象領域は、(1)で示したように、都市部、郊外部、(都市、郊外の)混合部からなる各 20 km×20 km メッシュを、それぞれ、都市率>0.8、0.8>都市率>0.6、0.2>都市率を満たすメッシュとして選定することとし、かつ、それらを連続するメッシュから選定した。ここで、連続するメッシュから選定することにしたのは、指標値が都市部から郊外部へと離れるに伴い連続的にどのように変動するのかを把握しようとしたためである。

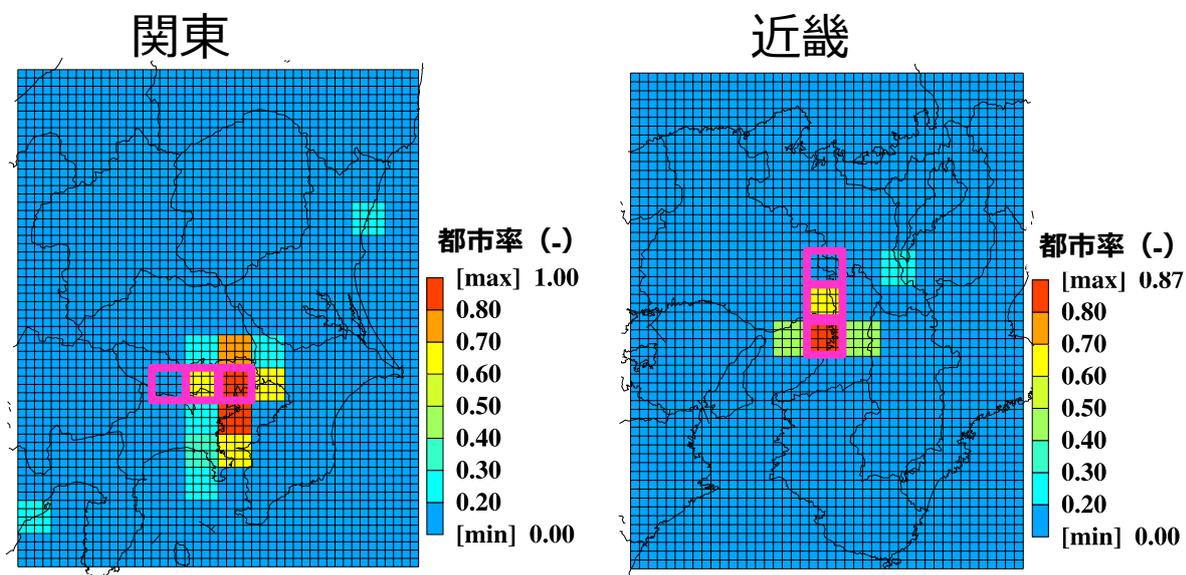


図 4-26 関東、近畿における都市率の地理分布と本解析で選定した前駆物質削減対象領域（ピンク色で囲まれた領域）。

※都市率は ADMER-PRO の気象モデル RAMS において使用されている土地利用データに基づいて計算した。

(3) 計算対象と計算条件

本節での解析における計算対象について表 4-7 に示す。

表 4-7 本節での解析における計算対象

1. 対象期間 (排出量データ)	近年（自主的取組目標年度以降） (排出量：2016年度ベース) 〔2016年度ベース排出量は、令和元年度事業にて推計した詳細推計版を使用〕
2. 削減対象発生源と削減率※1	VOC：各選定狭領域における全発生源からのTOL※2 (1層目)、削減率は100% NOx：各選定狭領域における全発生源からのNO _x (1層目)、削減率は100%
3. 対象地方	2地方（関東、近畿）
4. 気象パターン、平均化時間	2016年度※3の2つの気象パターン（夏季、春季の高濃度オゾン生成）、オゾン濃度は昼間の8時間（10-18時）値として計算

※1:表に示したものの他、比較のため、これまで対象としてきたのと同様に地方毎に全域で各物質を削減するケースも計算し、地方毎の指標値も算出している

※2:ADMER-PRO の化学反応メカニズム(CB99)上の化学種でモノアルキルベンゼン構造を示す(典型例は

トルエン)

※3:表 4-8 に示す通り、2016 年度から適切な気象パターンが選択できない場合には 2015 年度からも選定している

本節の解析においては、表 4-7 で示した通り以下の点がこれまでの解析とは異なる。

- 1) VOC の削減対象物質として VOC 全体ではなく ADMER-PRO の化学反応メカニズム(CB99)上の化学種のひとつである TOL(モノアルキルベンゼン構造を示す、典型例はトルエン)を削減対象としている
- 2) 1 層目(0~50 m)のみを削減対象としている。削減対象を上記の通りとしたのは、純粋に削減領域(矩形)の違いによる指標値の変化を見るために、その他の条件(VOC の反応性(オゾン生成能)や高さ方向の分布)を揃えるためである。また化学種として特に TOL を対象としたのは同化学種は人為起源の一般的な排出化学種であるためである。

また、表 4-7 で示した通り、本節の解析(以降の解析を含む)においては、気象パターンの対象年度をこれまでの 2005 年度から 2016 年度に更新したため、排出量データと気象パターンの対象年度が同一となっている。このため、ベースケースのシミュレーションでは実際に 2016 年度のオゾンやその他化学物質の濃度を推定していることになる。したがって、これらの推定濃度を 2016 年度の実測値と比較して整合性を検討することを以降では随所で行っている。

表 4-8 には、本節の解析で対象とした気象パターンとそれらの代表日の設定について示した。ここで気象パターンの選定については昨年度調査の夏季(7, 8 月)、春季(4, 5 月)別解析で対象としたそれぞれのオゾン高濃度生成気象パターンを踏襲した。

表 4-8 本節の解析で対象とした気象パターンとそれらの代表日の選定

	関東	近畿
夏季高濃度生成	●日射強、地衡風静穏 2016年8月5日(金) ※代表日としては2016年7月10日が選定されるが日曜日のため次点の上記を選択	●日射強、地衡風静穏 2015年8月1日(土) ※2016年は7月31日が代表日として選定されるがその日は日曜日であり、次点はないので、2015年より選定。代表日の8月15日はお盆期間なので次点の8月1日を選択
春季高濃度生成	●日射強、地衡風静穏 2015年5月11日(月) ※2016年にはこのパターンの出現がないため2015年より選定	●日射強、地衡風弱(sw) 20016年5月13日(月)

表 4-9、表 4-10 には、それぞれ、関東、近畿について各狭領域における各前駆物質の排出削減量を示した。

表 4-9 各狭領域における排出削減量(関東)

排出削減量 (ton/yr)	5月		8月	
	NOx	TOL	NOx	TOL
関東全体10%	16,675	4,440	14,342	4,742
都市部	19,461	4,807	17,108	5,404
混合部	7,995	2,086	6,498	2,393
郊外部	4,640	1,260	3,836	1,402

表 4-10 各狭領域における排出削減量(近畿)

排出削減量 (ton/yr)	5月		8月	
	NOx	TOL	NOx	TOL
近畿全体10%	9,116	2,233	7,956	2,356
都市部	12,531	2,056	11,683	2,277
混合部	10,284	2,585	9,052	2,769
郊外部	434	74	361	83

(4) 気象場に関する計算結果

表 4-8 で示した気象パターンの代表日の午後 3 時における気温と風の地理分布推定結果を、関東について図 4-27、図 4-28 に示した。また、近畿地方における対象気象パターンについて同様に図 4-29、図 4-30 に示した。なお、各図には、参考のため大気汚染常時監視測定局にける実測結果も示している。

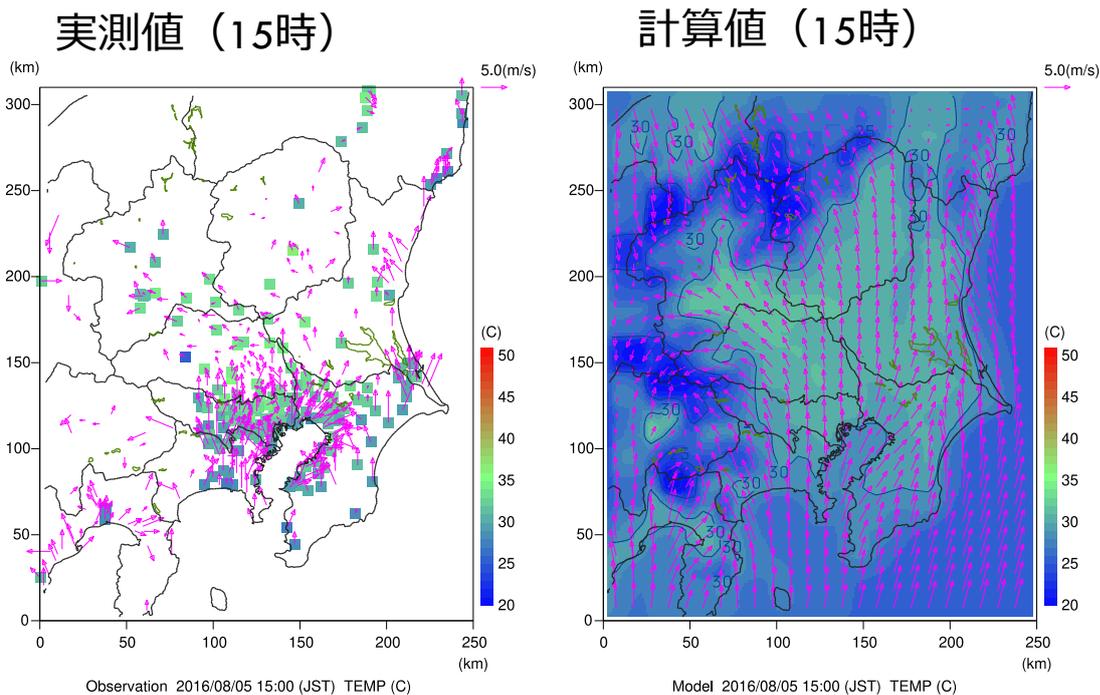
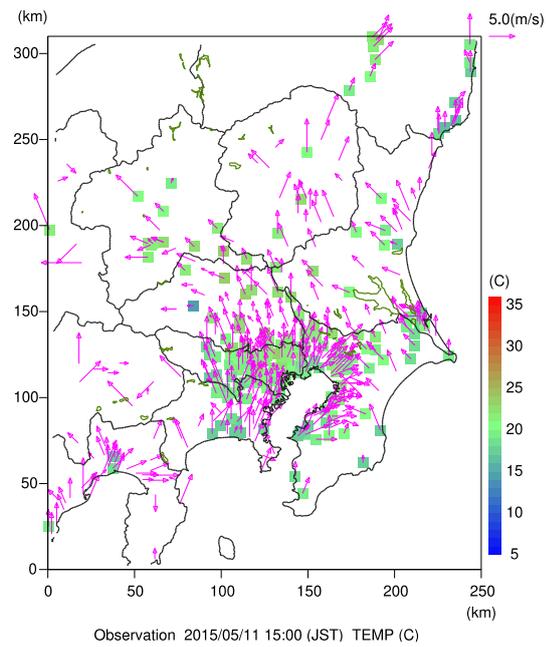


図 4-27 夏季 (7, 8 月) 高濃度オゾン生成気象パターン代表日の気温と風の分布 (関東、15 時)

実測値 (15時)



計算値 (15時)

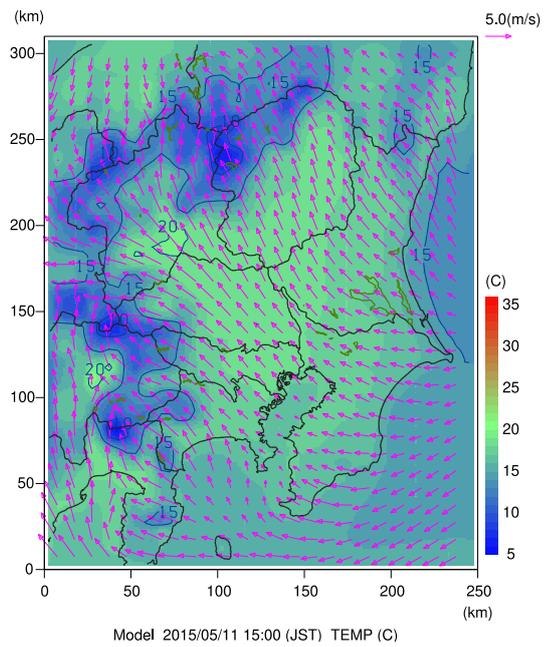
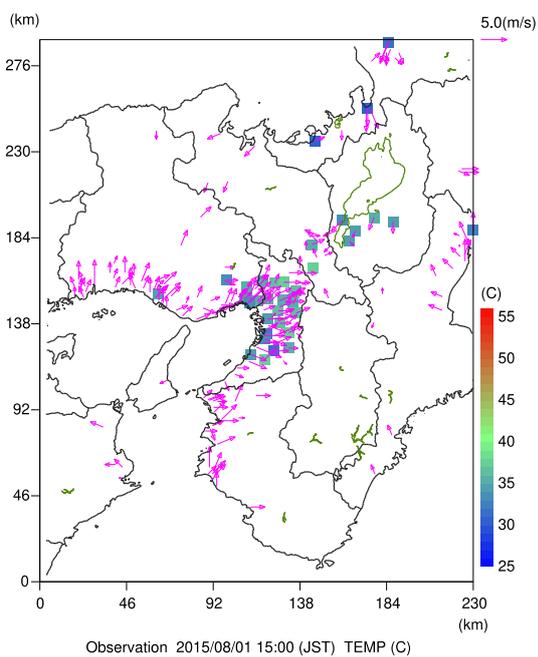


図 4-28 春季 (4, 5 月) 高濃度オゾン生成気象パターン代表日の気温と風の分布 (関東、15 時)

実測値 (15時)



計算値 (15時)

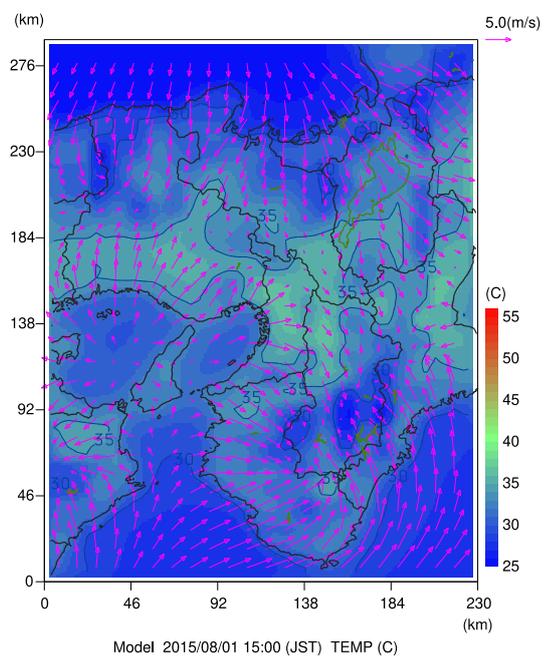


図 4-29 夏季 (7, 8 月) 高濃度オゾン生成気象パターン代表日の気温と風の分布 (近畿、15 時)

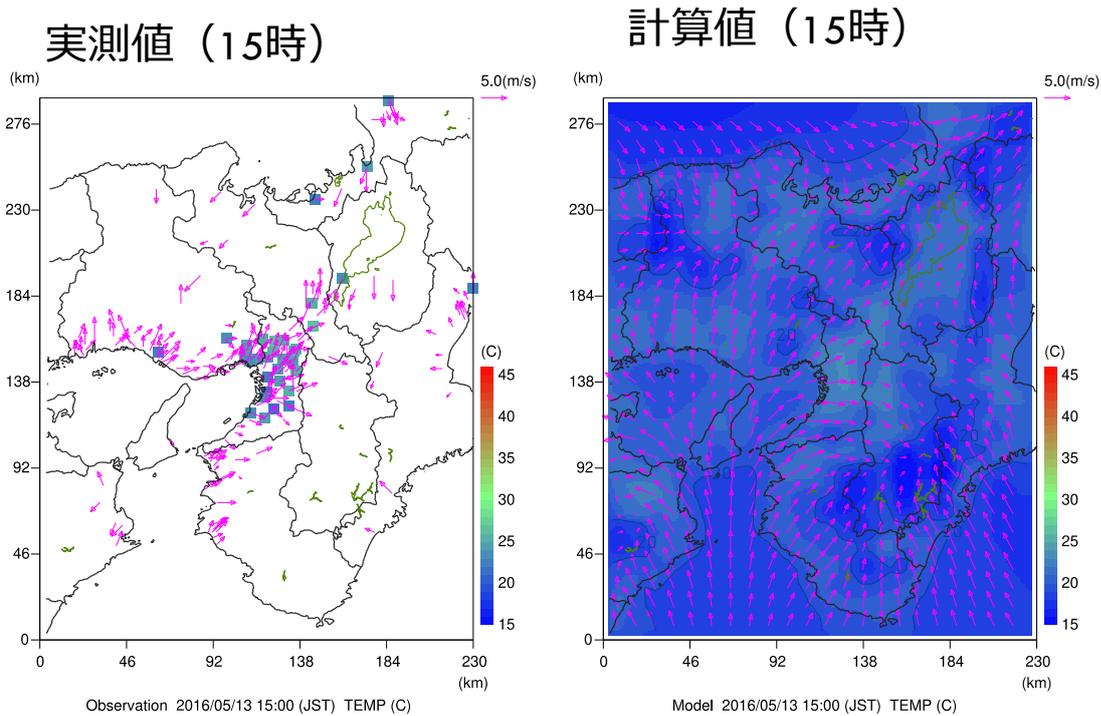


図 4-30 春季（4, 5 月）高濃度オゾン生成気象パターン代表日の気温と風の分布（近畿、15 時）

図 4-27～図 4-30 によると、夏季、春季のいずれにおいても、関東では大規模海風が出現し、近畿では各沿岸部で海風が出現していることがわかる。

(5) オゾン濃度、感度、指標値に関する計算結果

図 4-31、図 4-32 にそれぞれ、夏季高濃度オゾン生成気象パターン代表日、春季高濃度オゾン生成気象パターン代表日におけるベースケースのオゾン濃度(10-18 時の 8 時間値)を実測値と比較して示した。

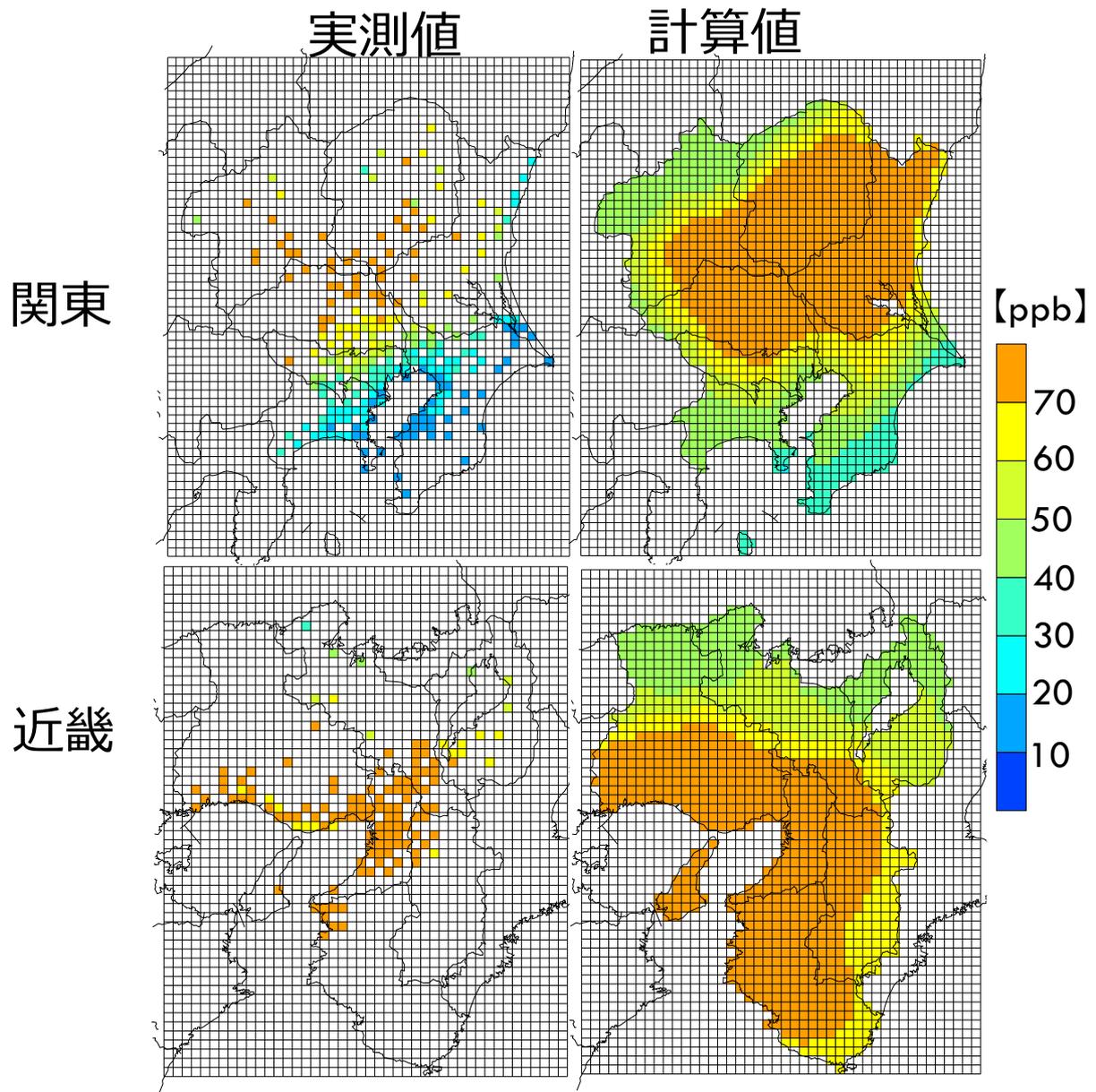


図 4-31 夏季高濃度オゾン生成気象パターン代表日におけるオゾン 8 時間値の実測計算値地理分布比較

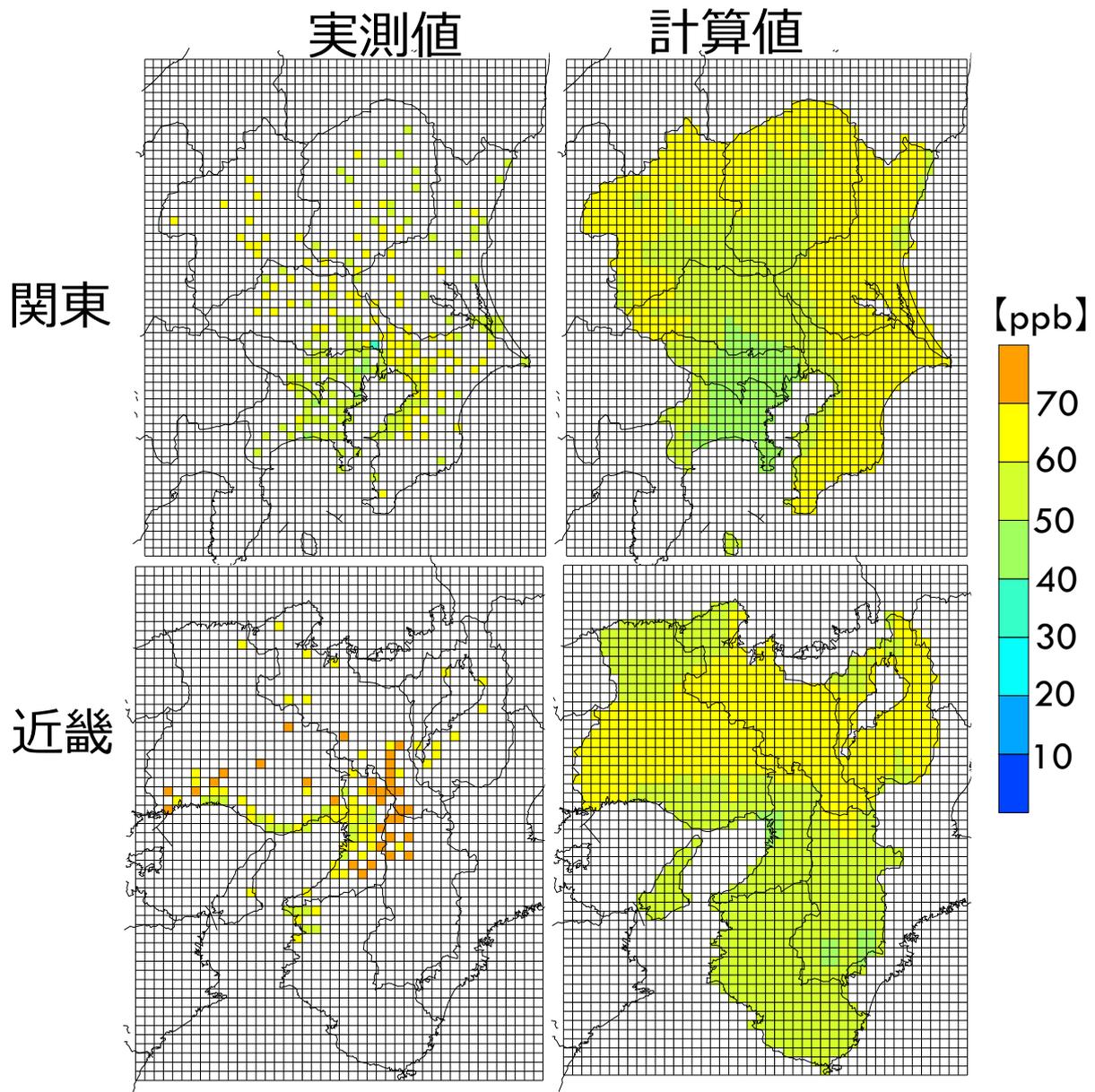


図 4-32 春季高濃度オゾン生成気象パターン代表日におけるオゾン 8 時間値の実測計算値地理分布比較

図 4-31、図 4-32 によると、オゾン濃度実測値の夏季、春季の違い(夏季は春季より高い)や地理分布に関する大まかな傾向は計算値でも再現されているのがわかる。

図 4-33、図 4-34 には、関東における都市部、混合部、郊外部のそれぞれ、NO_x、VOC 削減によるオゾン感度の地理分布を、図 4-35、図 4-36 には同様に近畿地方における図を示した。

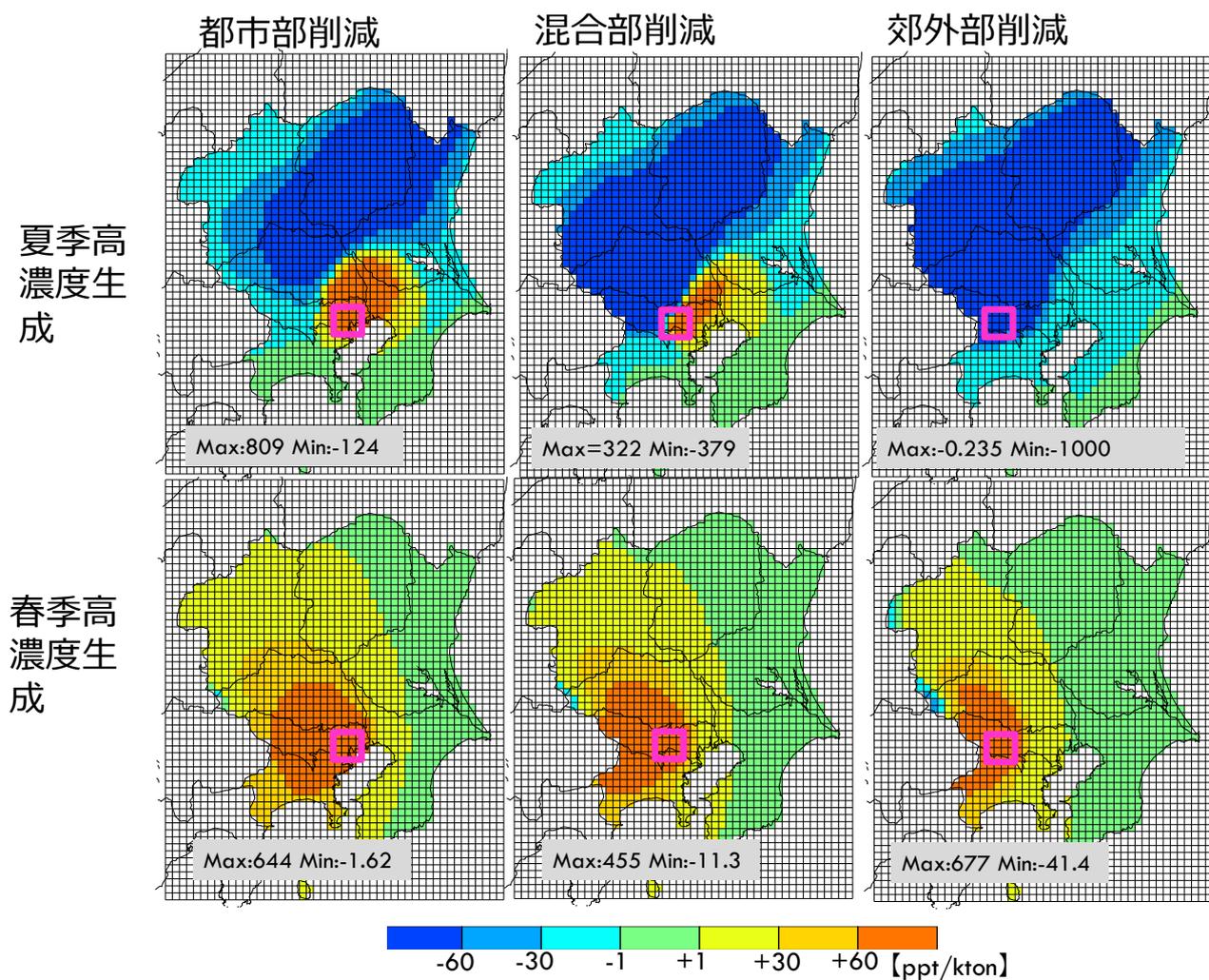


図 4-33 NOx 削減によるオゾン感度の推定結果 (関東)

図 4-33 によると、削減を行う領域によりオゾンの感度は大きく異なり、夏季も春季もオゾンの低減量(面積)は都市部<混合部<郊外部削減の順(増加量はこの逆)になっていることがわかる。

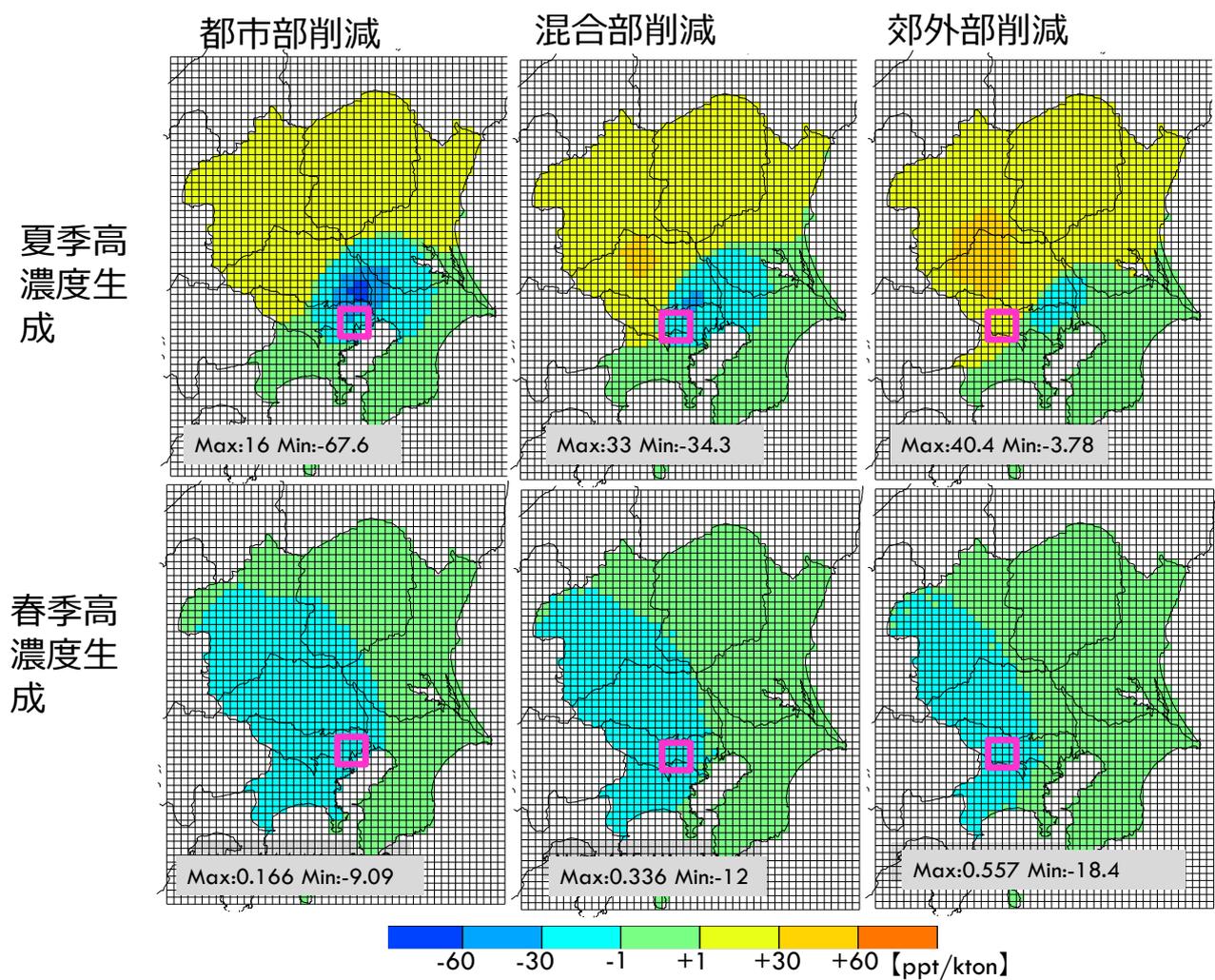


図 4-34 VOC 削減によるオゾン感度の推定結果 (関東)

図 4-34 によると、夏季は削減を行う領域によりオゾンの感度は大きく異なり、オゾンの低減量(面積)は NOx 削減の場合と逆順で都市部 > 混合部 > 郊外部削減の順(増加量はこの逆)になっていることがわかる、また、春季のオゾン低減面積の順序は夏季と同様であるが、オゾンの減少幅は都市部よりむしろ郊外部で大きくなっていることがわかる。

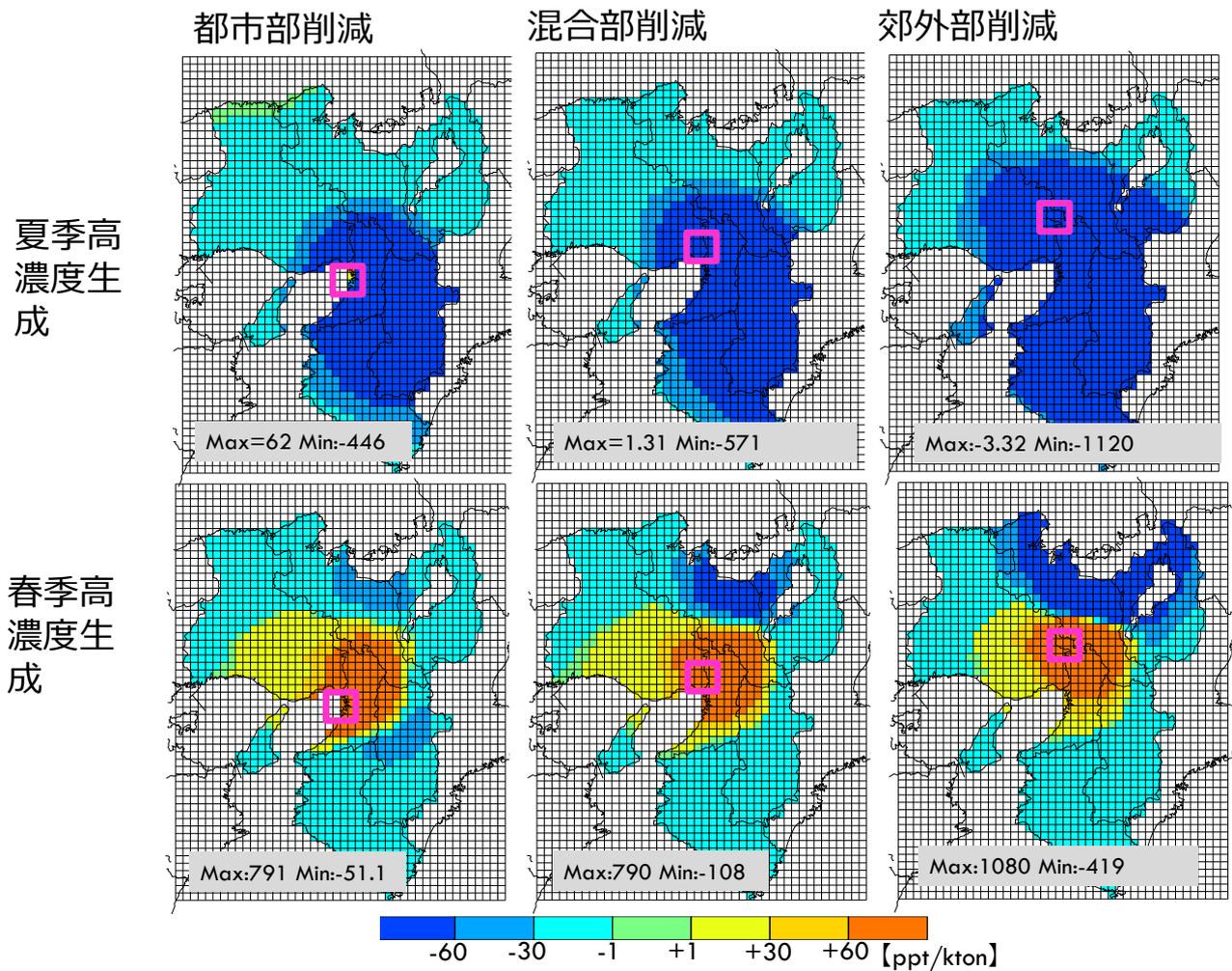


図 4-35 NOx 削減によるオゾン感度の推定結果 (近畿)

図 4-35 によると、夏季は関東でみられたようなオゾンが増加する領域はみられない。また、狭領域ごとの指標値の大きさの順番は夏季、春季とも関東と同様である。

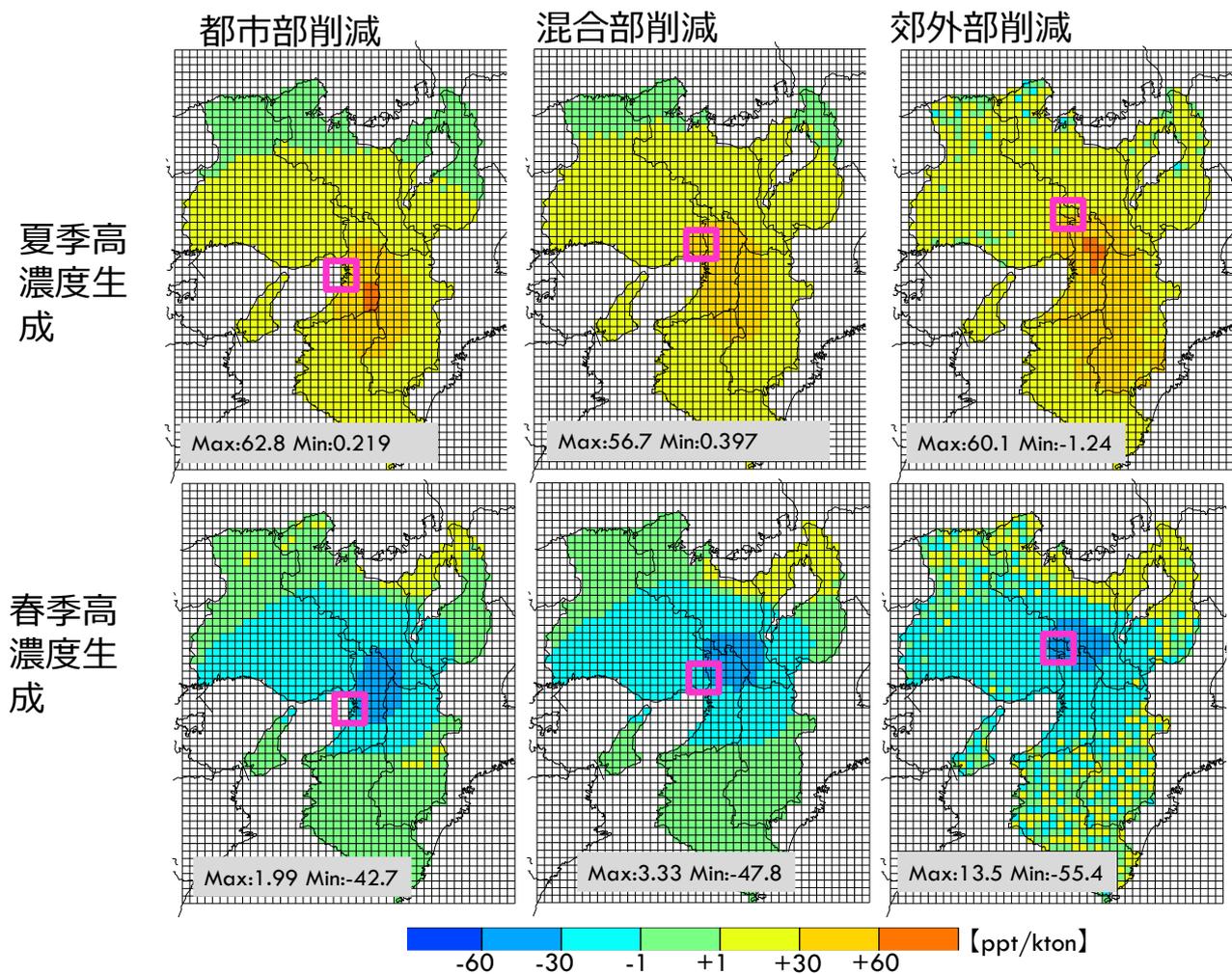


図 4-36 VOC 削減によるオゾン感度の推定結果 (近畿)

図 4-36 によると、夏季は関東よりオゾンが増加する面積が多いが、オゾンが増加する面積の各狭領域ごとの順番は関東と同様の傾向である。一方、春季のオゾンが減少する面積の各狭領域ごとの順番については関東と同様の傾向はみられない。

図 4-37、図 4-38 には、それぞれ夏季、春季高濃度生成気象パターンにおけるオゾン存在量低減効率の算出結果を示す。

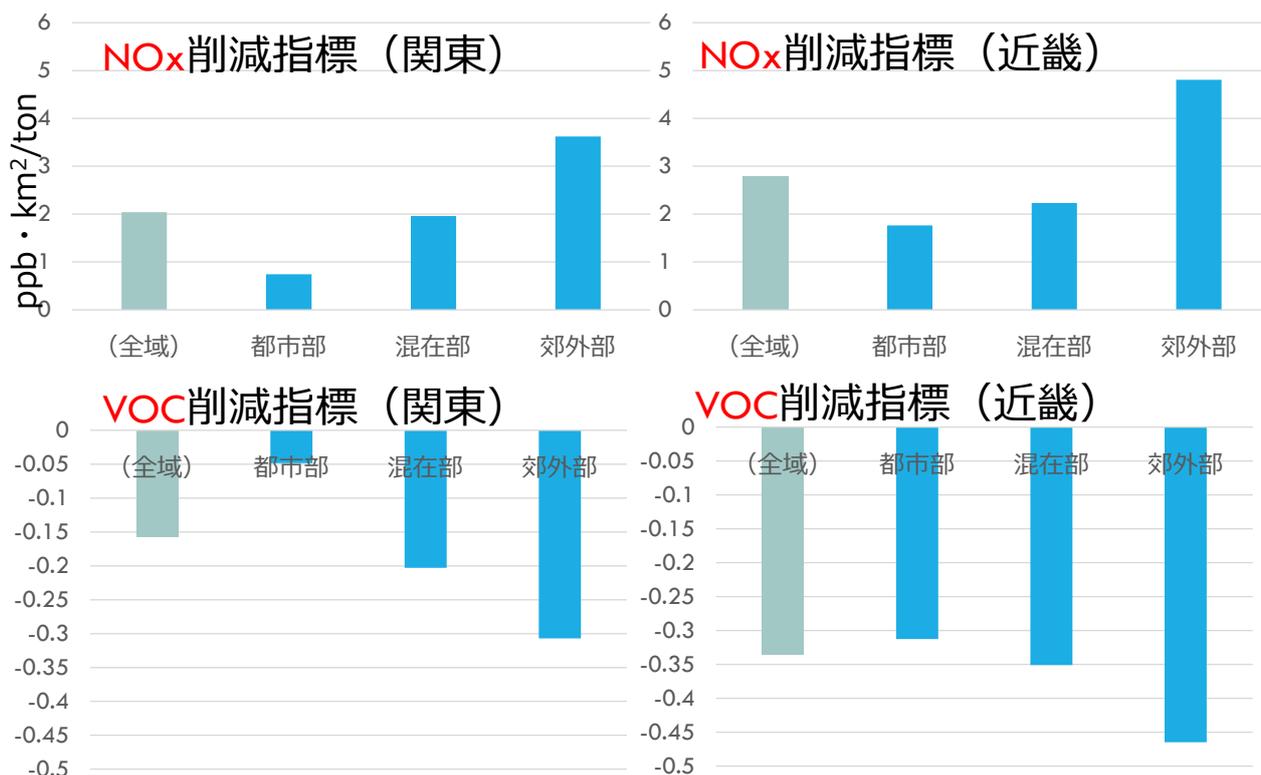


図 4-37 夏季高濃度生成気象パターンにおける存在量低減効率算出結果（各地方全域削減での結果も示されている）

図 4-37 によると、夏季(の特に関東)では、都市部、混在部、郊外部で算出されるオゾン存在量低減効率が大きく異なることがわかる。NO_x 削減指標は都市部<混在部<郊外部となっており、VOC 削減指標はこの逆順になっている。また、夏季の VOC 削減指標はすべて負の値であることがわかる。関東でVOC削減指標が負値となるのは過年度調査の結果と異なるが、これは今回の解析では対象物質をオゾン生成能が小さめのTOLに限定したのが主因と考えられる。

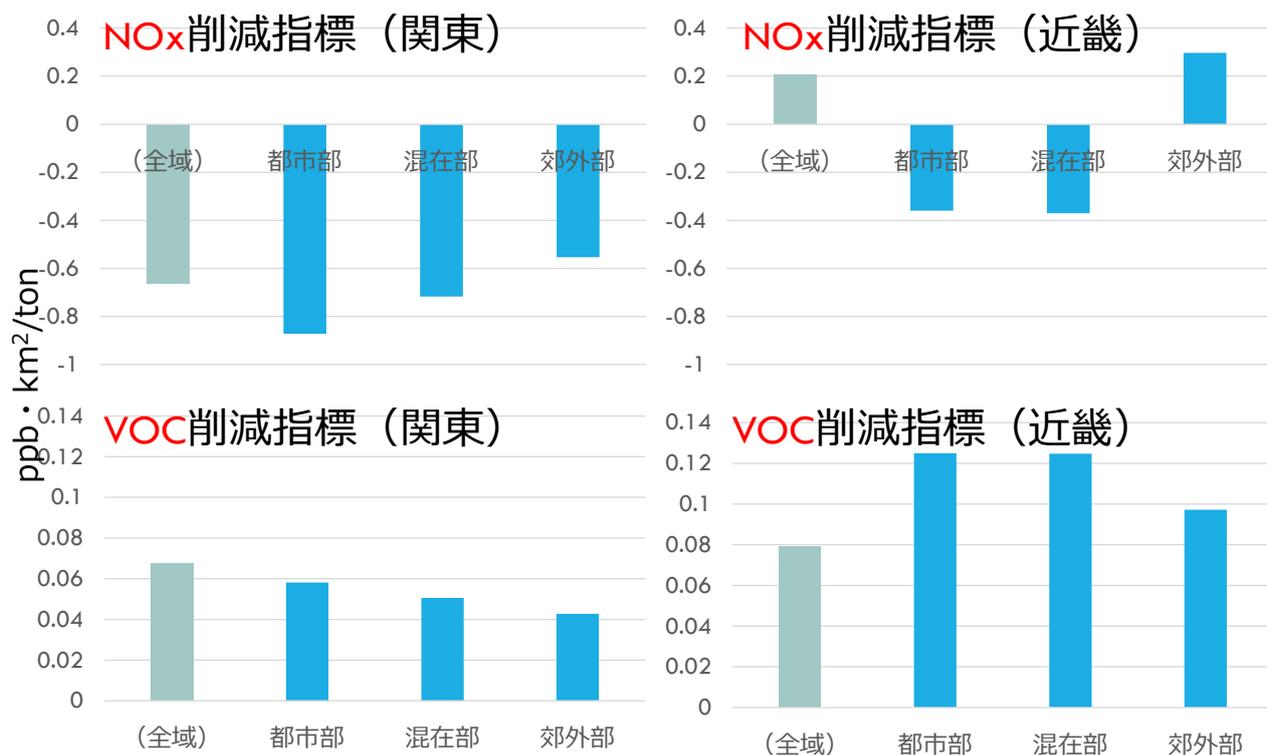


図 4-38 春季高濃度生成気象パターンにおける存在量低減効率算出結果各地方全域削減での結果も示されている

図 4-38 によると、春季は夏季と異なり VOC 削減指標は正に、NOx 削減指標は負になる(近畿の郊外部と全域を除く)が、狭領域ごとの指標値の大きさの順番は夏季とほぼ同様の傾向がみられる。

図 4-39、図 4-40 には、それぞれ夏季、春季高濃度生成気象パターンにおけるオゾン集団暴露量低減効率の算出結果を示す。

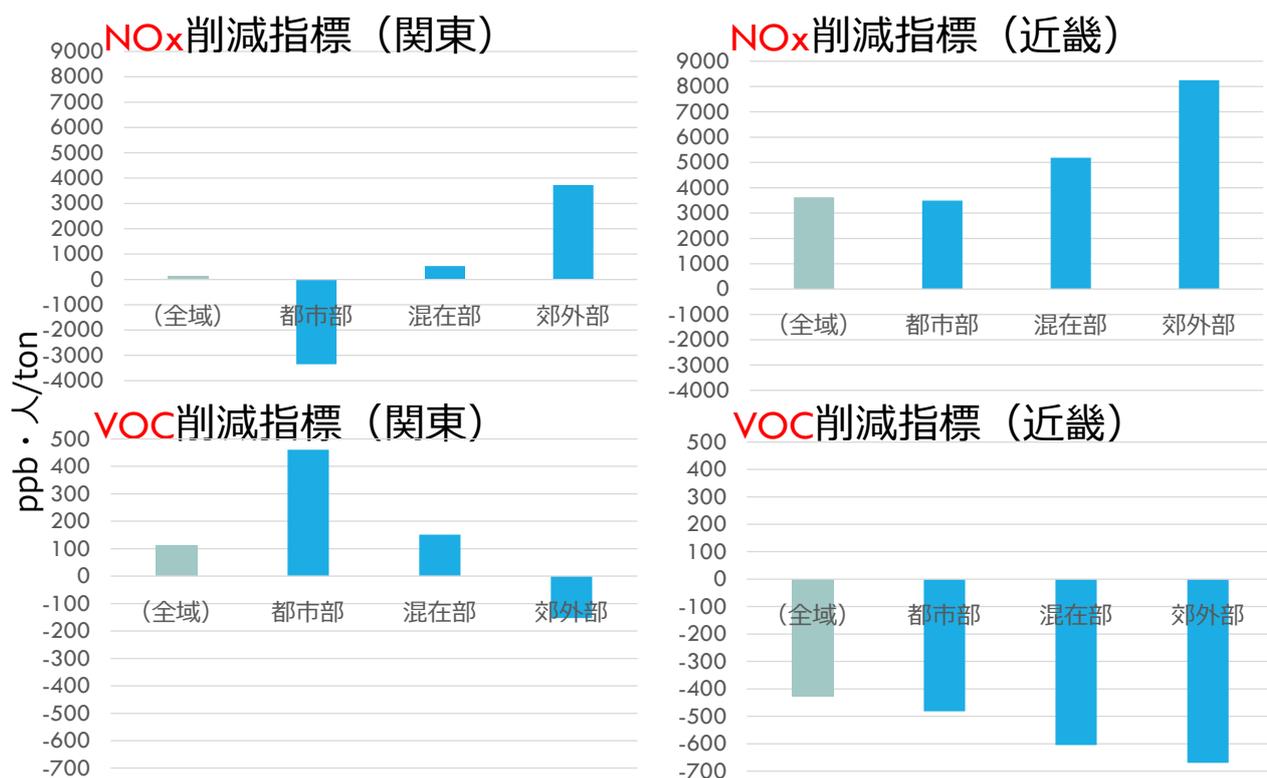


図 4-39 夏季高濃度生成気象パターンにおける集団暴露量低減効率算出結果（各地方全域削減での結果も示されている）

図 4-39 によると、夏季は領域ごとのオゾン集団暴露量低減効率の大きさの順番については概して存在量低減効率と同様の変動傾向であることがわかる。また、関東の NOx、VOC 削減指標は都市部と郊外部で正負が逆転していることがわかる。

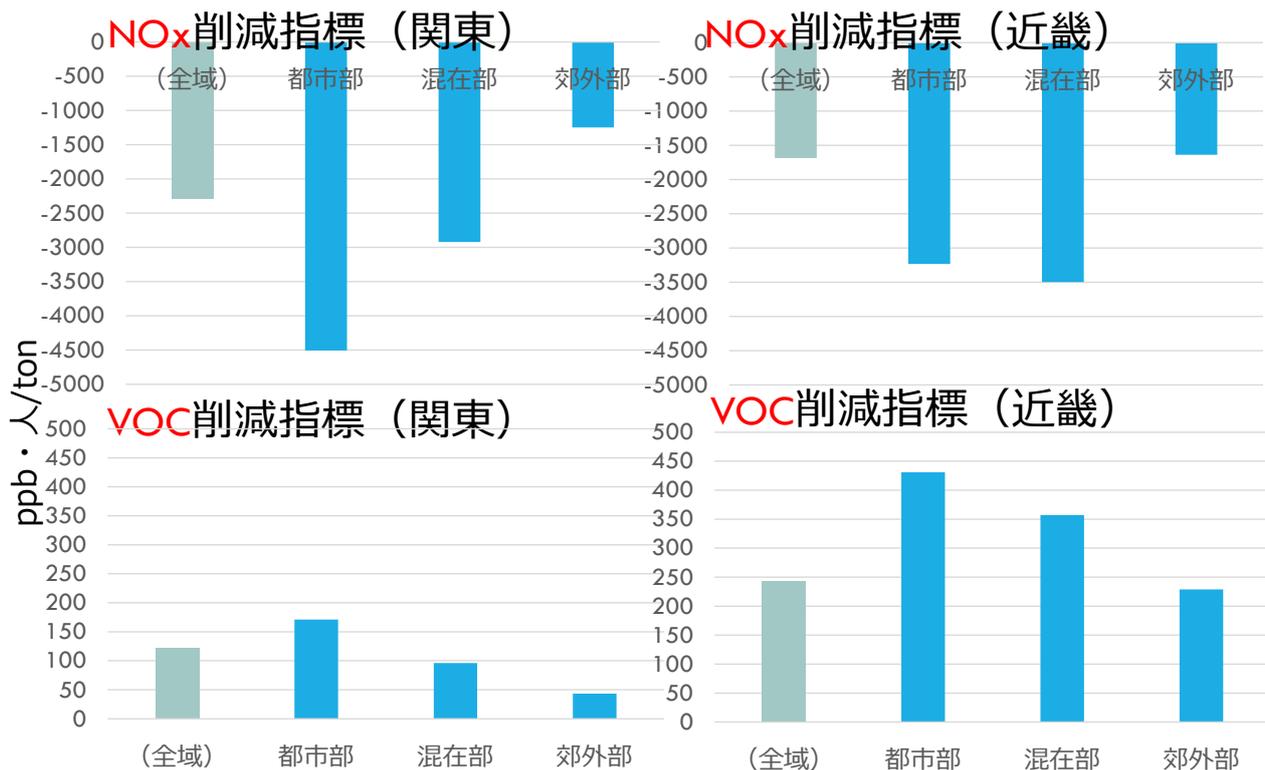


図 4-40 春季高濃度生成気象パターンにおける集団暴露量低減効率算出結果（各地方全域削減での結果も示されている）

図 4-40 によると、春季も領域ごとのオゾン集団暴露量低減効率の変動は概して夏季と同様の傾向であることがわかる。ただし夏季の関東で生じていた都市部と郊外部での正負の逆転は起こっていない。

(6) 「狭い領域」ごとの指標値変動に係る要因解析

(5)で狭い領域ごとや季節ごとに各削減指標値は大きく変動することが明らかになった。これら指標値の変動を既知の、あるいは、観測可能なデータを用いて推定することができれば、政策決定上有意義であると考えられる、

そこで、オゾン存在量低減効率と以下で示す各要素について相関分析を行った。相関分析に使用した要素は、都市率、NO_x（人為起源の代表として選定）濃度、ISOP（植物起源の代表として選定）濃度、NMHC/NO_x 濃度比、HCHO/NO₂ 濃度比である。ここで ISOP、NO_x、NMHC、HCHO はいずれもモデル最下層における推定値の、各気象パターン代表日、各地方ごとの平均値として算出した。なお NMHC 濃度 (ppbc) は、ADMER-PRO の化学反応メカニズム CB99 の各化学種濃度から、井上&東野 (2015) と同じ式を用いて計算した。

各指標値と都市率の相関分析結果を図 4-41 に、指標値と他の要素との相関分析結果を図 4-42 に示す。

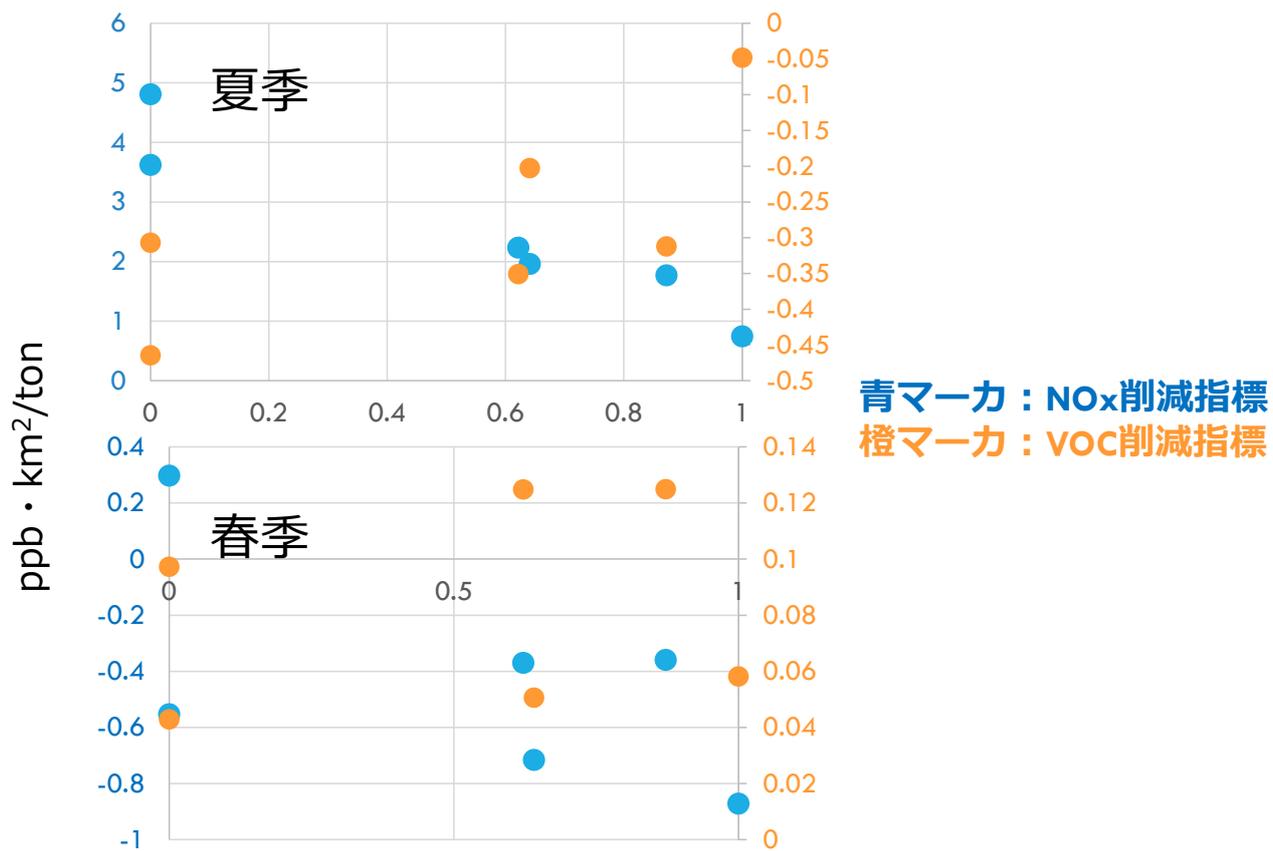


図 4-41 算出されたオゾン存在量低減効率と都市率の関係

図 4-41 によると、春季と夏季にわけても、オゾン存在量低減効率と都市率との関連性は弱く、都市率のみからオゾン存在量低減効率を推定することは困難と考えられる。

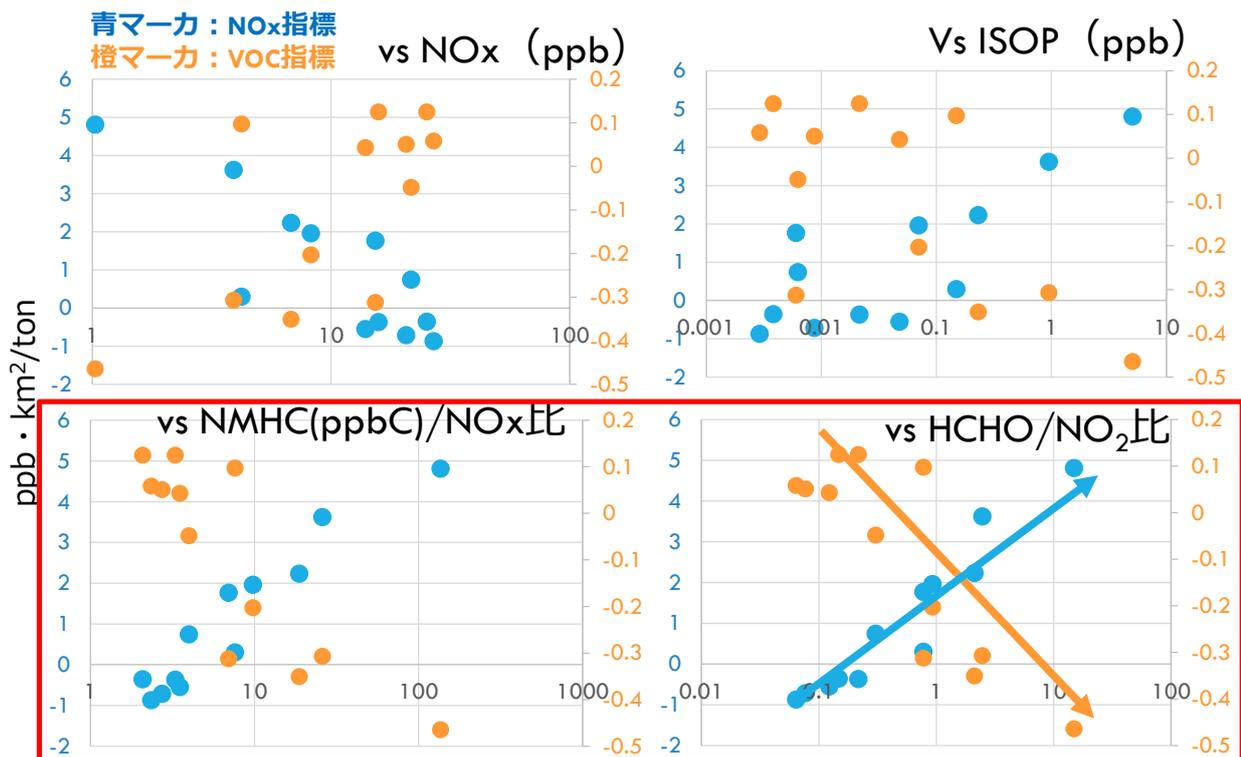


図 4-42 算出されたオゾン存在量低減効率と都市率以外の各要素との関係

図 4-42 によると、人為起源の代表として選定した NO_xと自然起源の代表として選定した ISOP 濃度はそれぞれ単独ではオゾン存在量低減効率との間に強い相関がみられない。一方、下段に示した NMHC/NO_x と HCHO/NO₂ 濃度比は、地方や季節をまたいでも存在量低減効率とそれぞれ関連性があるため、それらの指標から各狭領域、各季節の指標値を精度よく推定される可能性があり、これらの濃度比情報は地域性や季節性を考慮した削減戦略策定に有用であることが示唆される。

(7) BVOC 設定の更新による指標値等への影響検討

<本項における検討の背景と検討内容>

3章に示されている通り、都市街路樹等からの BVOC が無視できない量で放出されており、これらは上記各領域(特に都市部や混在部)に対する指標値に影響を与える可能性がある。そこで、ここでは、都市街路樹等からの BVOC 設定更新を考慮した場合に各狭領域に対する指標値がどの程度異なるのかを検討する。検討内容(3章の内容を含む)と方法の概略を表 4-11 に示す。

表 4-11 BVOC 設定更新による指標値等への影響検討内容と方法の概略

- ADMER-PRO内蔵のBVOC基礎放出量データを國分先生による推計データを用いて更新（3.3章）
- 上記更新によるオゾン濃度等や指標値への影響を検討
- 計算対象日や計算条件は基本的に（3）項で示したものと同一（ただし、対象地方は関東のみに限定）

<BVOC 設定の更新が BVOC 基礎放出量に与える影響>

図 4-43～図 4-46 に、BVOC 設定更新による各 BVOC 成分へ基礎放出量への影響を示した。

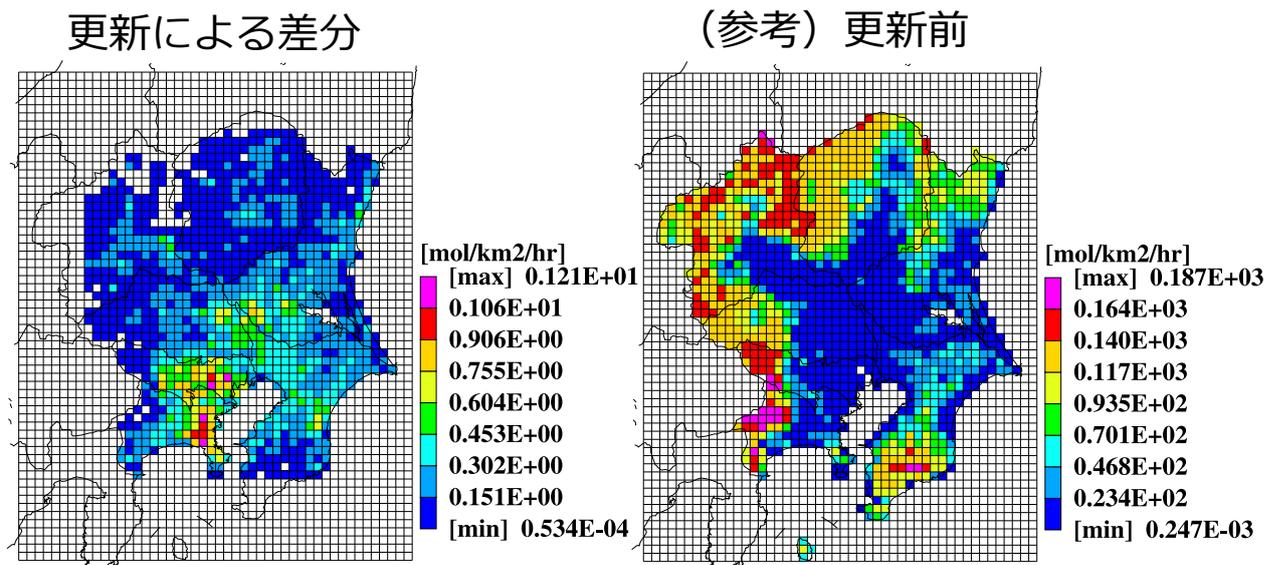


図 4-43 BVOC の設定更新による ISOP (イソプレン) 基礎放出量への影響 (8 月)。更新による差分 (左) のほか参考として更新前の値 (右) も示している。

図 4-43 によると、BVOC 設定の更新により、8 月における ISOP 基礎放出量は都市周辺部を中心に最大 1.21 mol/km²/hr 増加しているが、全体量に対する相対的な影響はわずかであることがわかる。

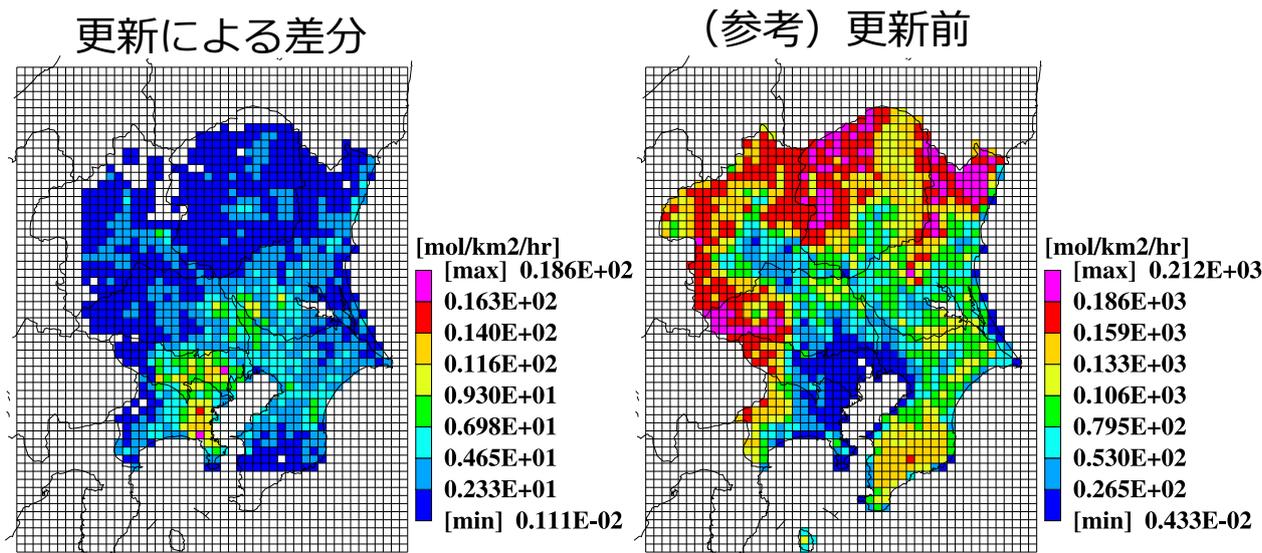


図 4-44 BVOC の設定更新による ISOP 以外の BVOC 配分 CB99 化学種基礎放出量への影響 (8 月)。

※更新による差分 (左) のほか参考として更新前の値 (右) も示している。ここで、ISOP 以外の BVOC 配分化学種は OLE、PAR、ALD2 である。

図 4-44 によると、BVOC 設定の更新により、8 月における ISOP 以外の BVOC 配分 CB99 化学種基礎放出量は都市周辺部を中心に最大 18.6 mol/km²/hr 増加しており一部のメッシュでは相対的に顕著な増加がみられる。

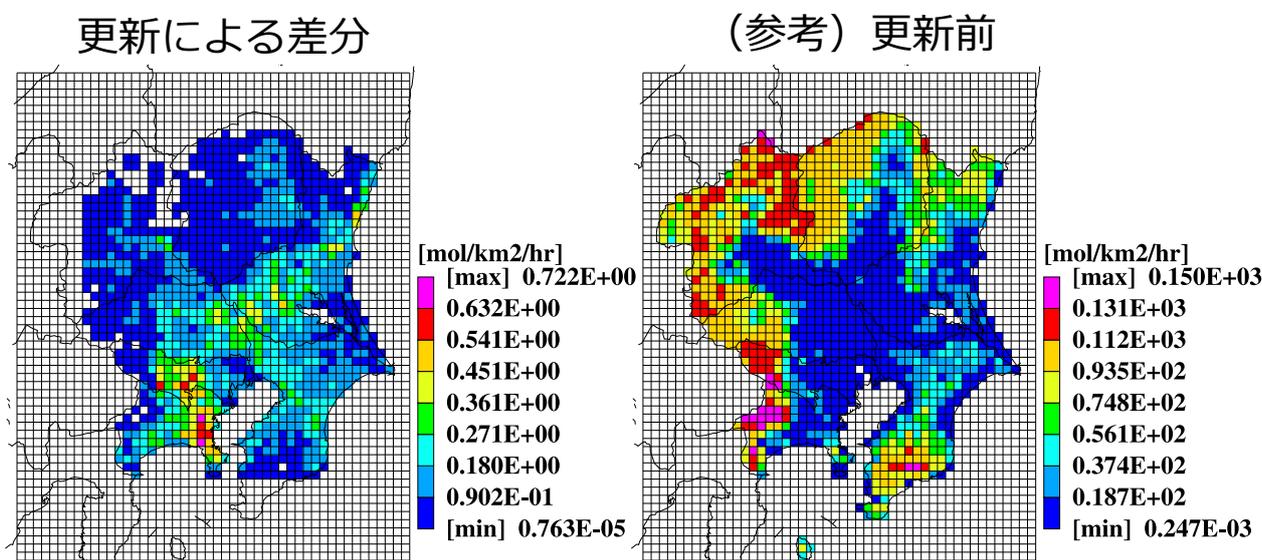


図 4-45 BVOC の設定更新による ISOP (イソプレン) 基礎放出量への影響 (5 月)。

※更新による差分 (左) のほか参考として更新前の値 (右) も示している。

図 4-45 によると、BVOC 設定の更新による 5 月における ISOP 基礎放出量の差分は 8 月よりわずかに小さいことがわかる。

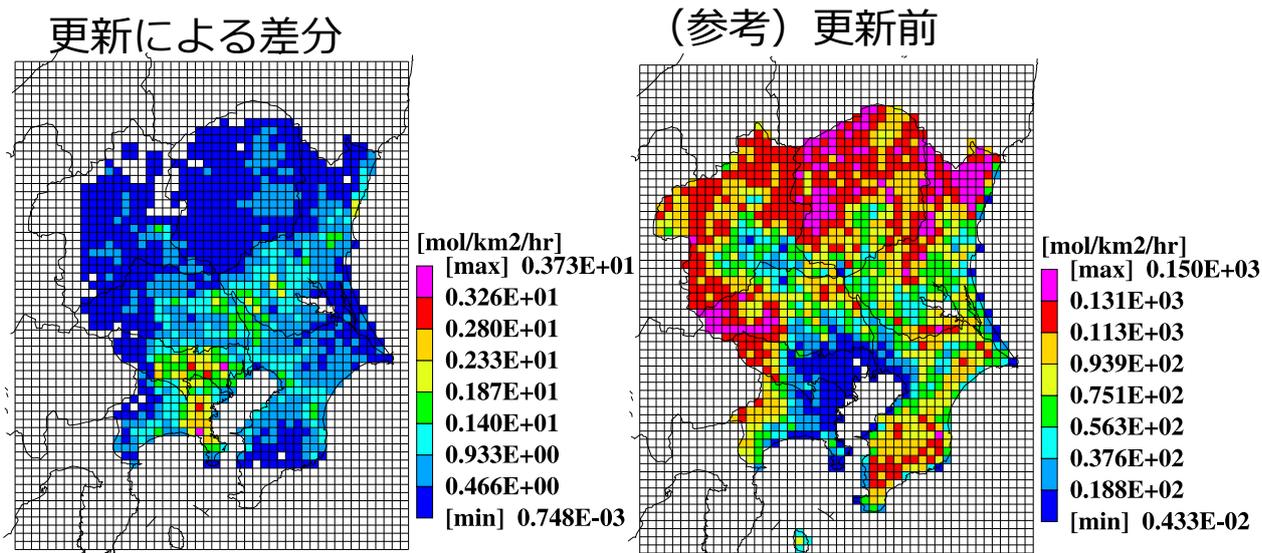


図 4-46 BVOC の設定更新による ISOP 以外の BVOC 配分 CB99 化学種基礎放出量への影響 (5 月)。

※更新による差分 (左) のほか参考として更新前の値 (右) も示している。ここで、ISOP 以外の BVOC 配分化学種は OLE、PAR、ALD2 である。

図 4-46 によると、BVOC 設定の更新による 5 月における「ISOP 以外の BVOC 配分 CB99 化学種基礎放出量」の差分は 8 月より小さいことがわかる。

<BVOC 設定の更新による各 BVOC 配分化学種濃度への影響>

図 4-47～図 4-50 には、BVOC 設定更新による各 BVOC 成分濃度(最下層)への影響を示した。

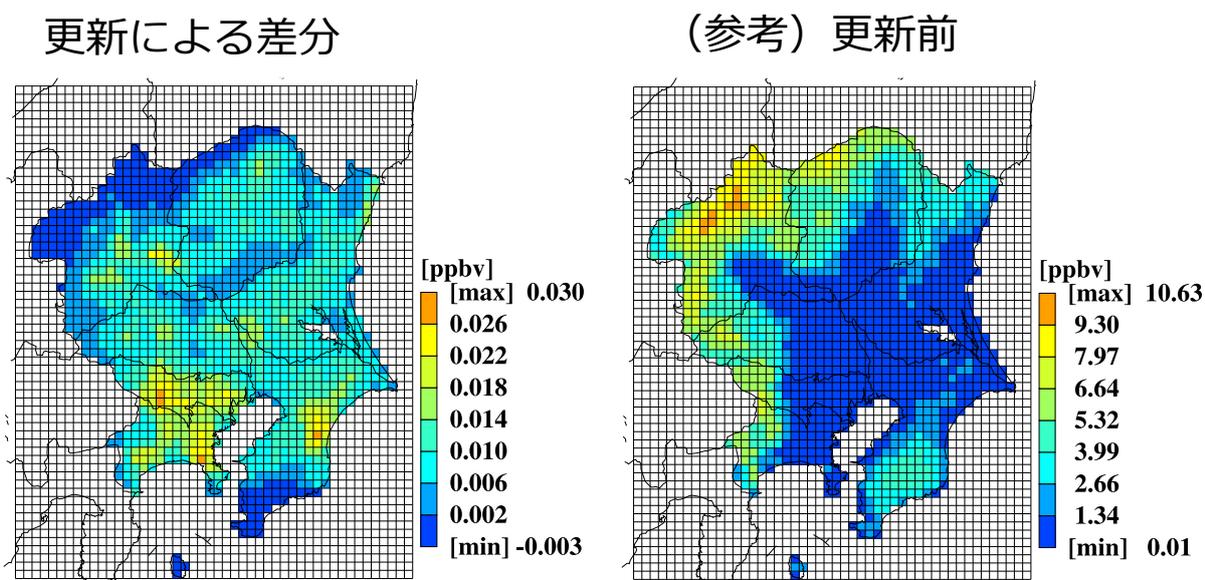


図 4-47 BVOC の設定更新による ISOP (イソプレン) 濃度 (最下層) への影響 (夏季高濃度生成気象パターン代表日における 14 時の値)。

※更新による差分 (左) のほか参考として更新前の値 (右) も示している。

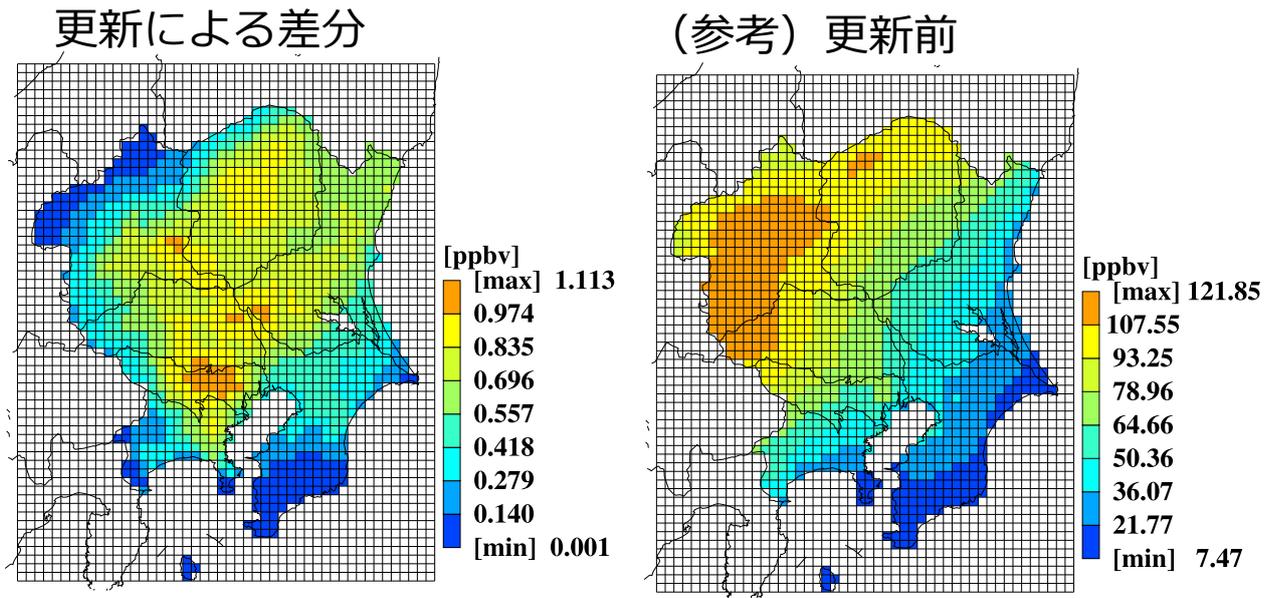


図 4-48 BVOC の設定更新による ISOP 以外の BVOC 配分 CB99 化学種濃度（最下層）への影響（夏季高濃度生成気象パターン代表日における 14 時の値）。
 ※更新による差分（左）のほか参考として更新前の値（右）も示している。ここで、ISOP 以外の BVOC 配分化学種は OLE、PAR、ALD2 である。

図 4-47、図 4-48 によると、夏季高濃度生成気象パターンの代表日においては、BVOC 設定の更新により、ISOP 濃度（最下層）は最大で 0.03ppb、ISOP 以外の BVOC 配分 CB99 化学種濃度は最大で 1.113ppb 増加することがわかる。

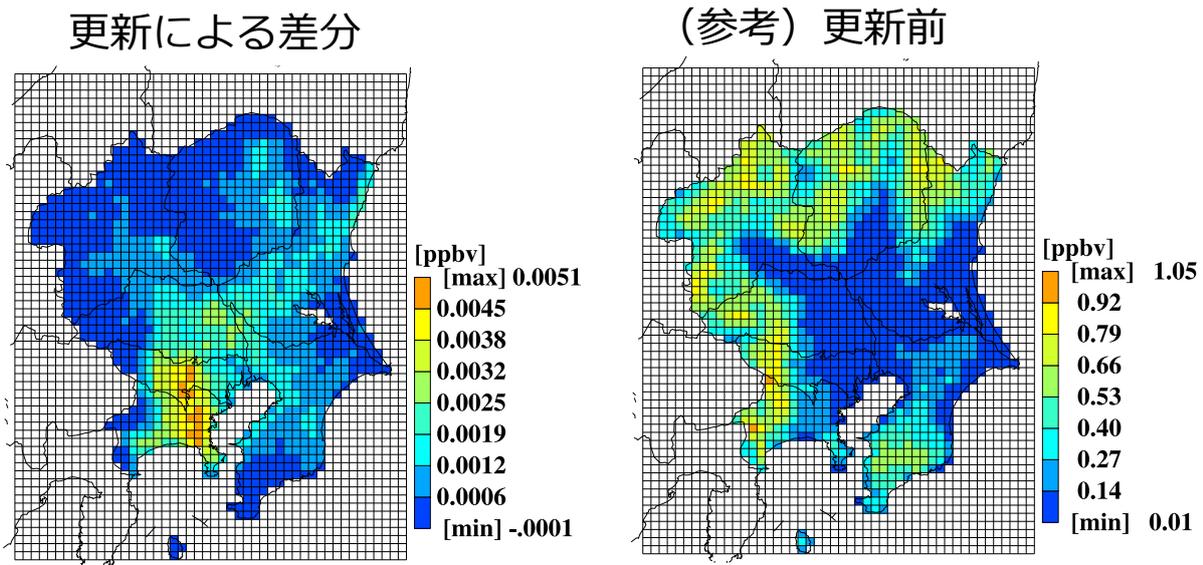
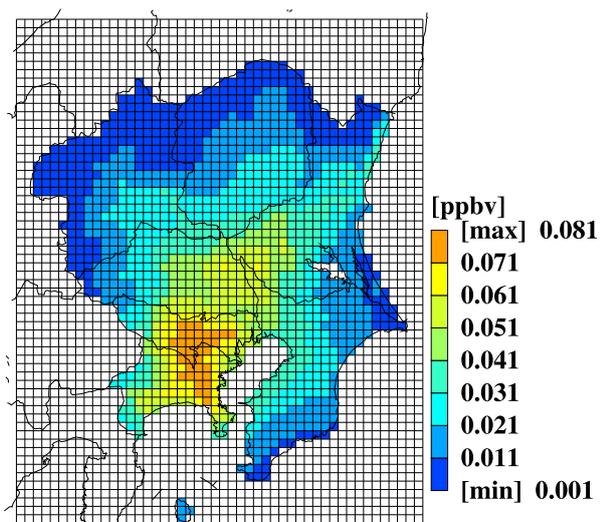


図 4-49 BVOC の設定更新による ISOP（イソプレン）濃度（最下層）への影響（春季高濃度生成気象パターン代表日における 14 時の値）。
 ※更新による差分（左）のほか参考として更新前の値（右）も示している。

更新による差分



(参考) 更新前

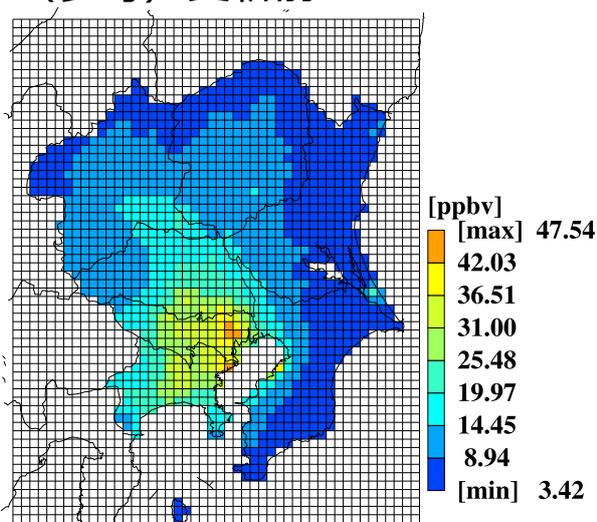


図 4-50 BVOC の設定更新による ISOP 以外の BVOC 配分 CB99 化学種濃度（最下層）への影響（春季高濃度生成気象パターン代表日における 14 時の値）。

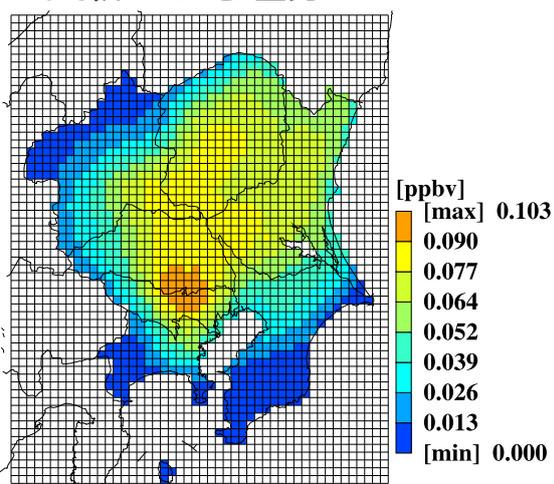
※更新による差分（左）のほか参考として更新前の値（右）も示している。ここで、ISOP 以外の BVOC 配分 CB99 化学種は OLE、PAR、ALD2 である。

図 4-49、図 4-50 によると、春季高濃度生成気象パターンの代表日においては、BVOC 設定の更新による BVOC 濃度の変化量は夏季高濃度生成気象パターンの代表日より小さいことがわかる。特に、ISOP 以外の BVOC 配分化学種濃度の変化量は、夏季にくらべて 2 けた小さくなっている。

<BVOC 設定の更新によるホルムアルデヒド濃度への影響>

図 4-51、図 4-52 には、BVOC 設定更新によるホルムアルデヒド濃度（最下層）への影響を示した。

更新による差分



(参考) 更新前

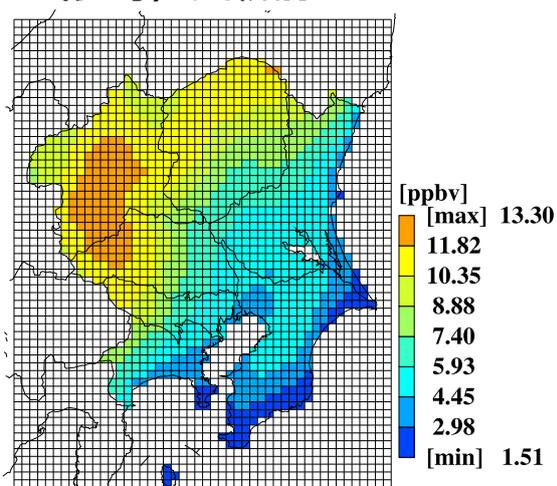


図 4-51 BVOC の設定更新によるホルムアルデヒド濃度（最下層）への影響（夏季高濃度生成気象パターン代表日における 14 時の値）。

※更新による差分（左）のほか参考として更新前の値（右）も示している。

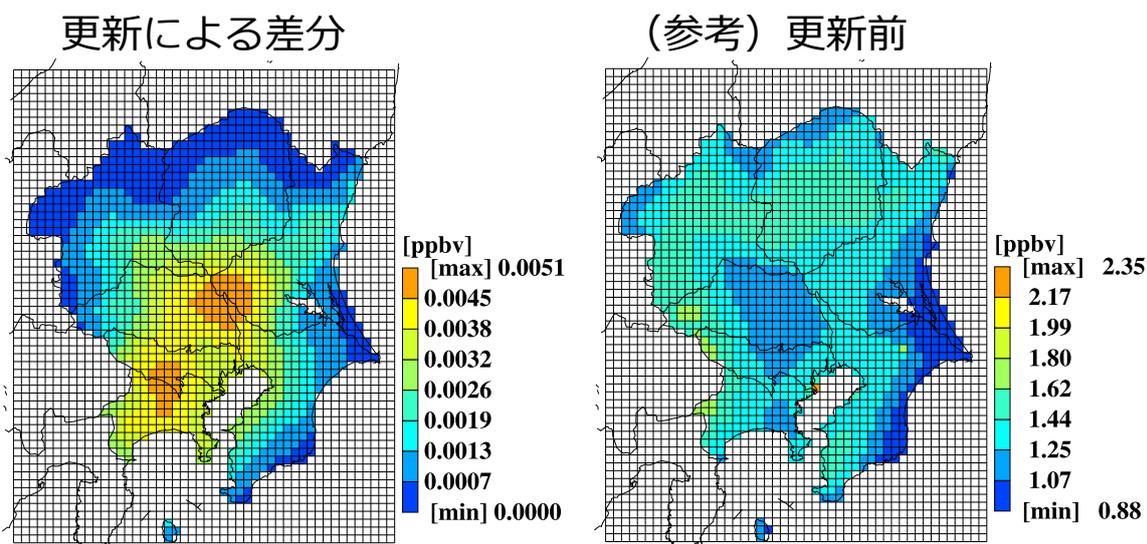


図 4-52 BVOC の設定更新によるホルムアルデヒド濃度（最下層）への影響（春季高濃度生成気象パターン代表日における14時の値）。

※更新による差分（左）のほか参考として更新前の値（右）も示している。

図 4-51、図 4-52 によると BVOC 設定の更新によるホルムアルデヒド濃度の変化量は、夏季高濃度生成気象パターンの代表日において最大で 0.1ppb 程度であり、春季高濃度生成気象パターンの代表日にはそれより2けた小さくなることわかる。

<BVOC 設定の更新によるオゾン濃度への影響>

図 4-53、図 4-54 には、BVOC 設定更新によるオゾン濃度（最下層）への影響を示した。

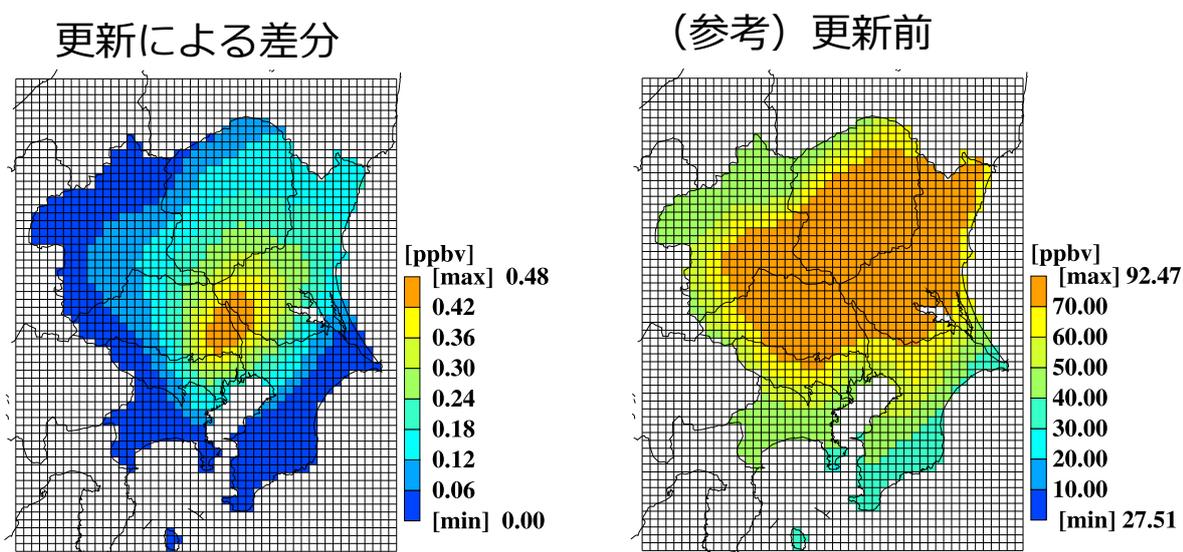
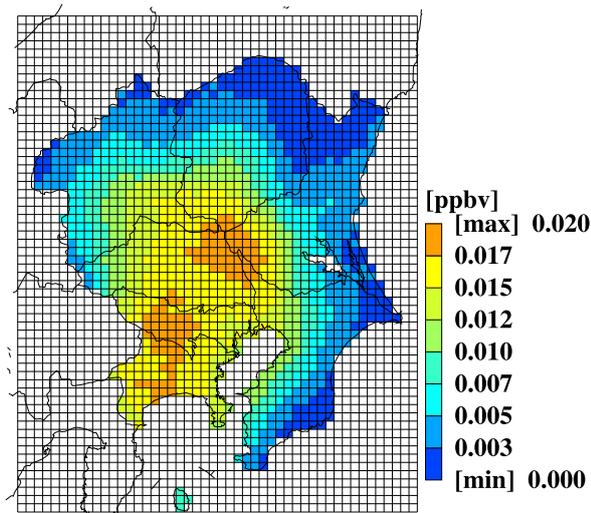


図 4-53 BVOC の設定更新によるオゾン濃度（最下層）への影響（夏季高濃度生成気象パターン代表日における昼間（10～18時）の8時間値）。

※更新による差分（左）のほか参考として更新前の値（右）も示している。

更新による差分



(参考) 更新前

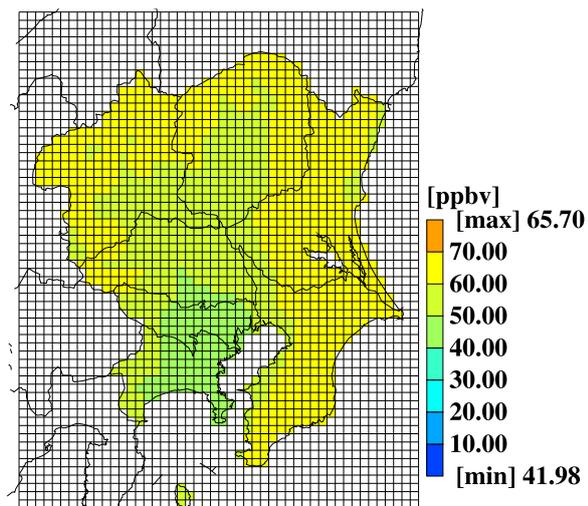


図 4-54 BVOC の設定更新によるオゾン濃度（最下層）への影響（春季高濃度生成気象パターン代表日における昼間（10～19時）の8時間値）。

※更新による差分（左）のほか参考として更新前の値（右）も示している。

図 4-53、図 4-54 によると BVOC 設定の更新によるオゾン濃度の変化量は、夏季高濃度生成気象パターンの代表日において最大で 0.48ppb 程度であり、春季高濃度生成気象パターンの代表日にはそれより 1 けた小さくなることわかる。

<BVOC 設定の更新による削減効率指標値への影響>

図 4-55、図 4-56 に、それぞれ、BVOC 設定の更新によるオゾン存在量低減効率への影響、同オゾン集団暴露量低減効率への影響を示す。

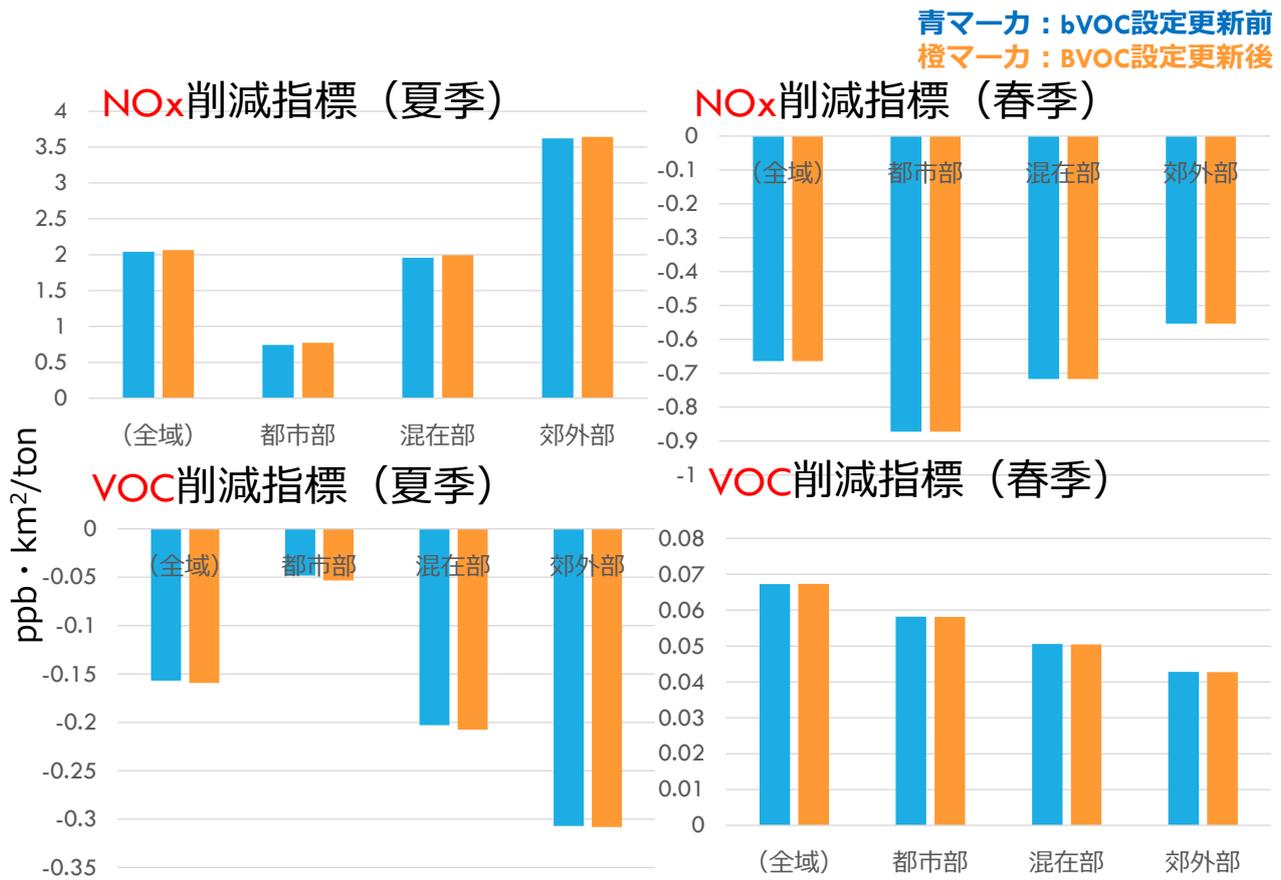


図 4-55 BVOC の設定更新によるオゾン存在量低減効率への影響

図 4-55 によると、BVOC 設定更新によるオゾン存在量低減効率への影響は軽微であることがわかる。

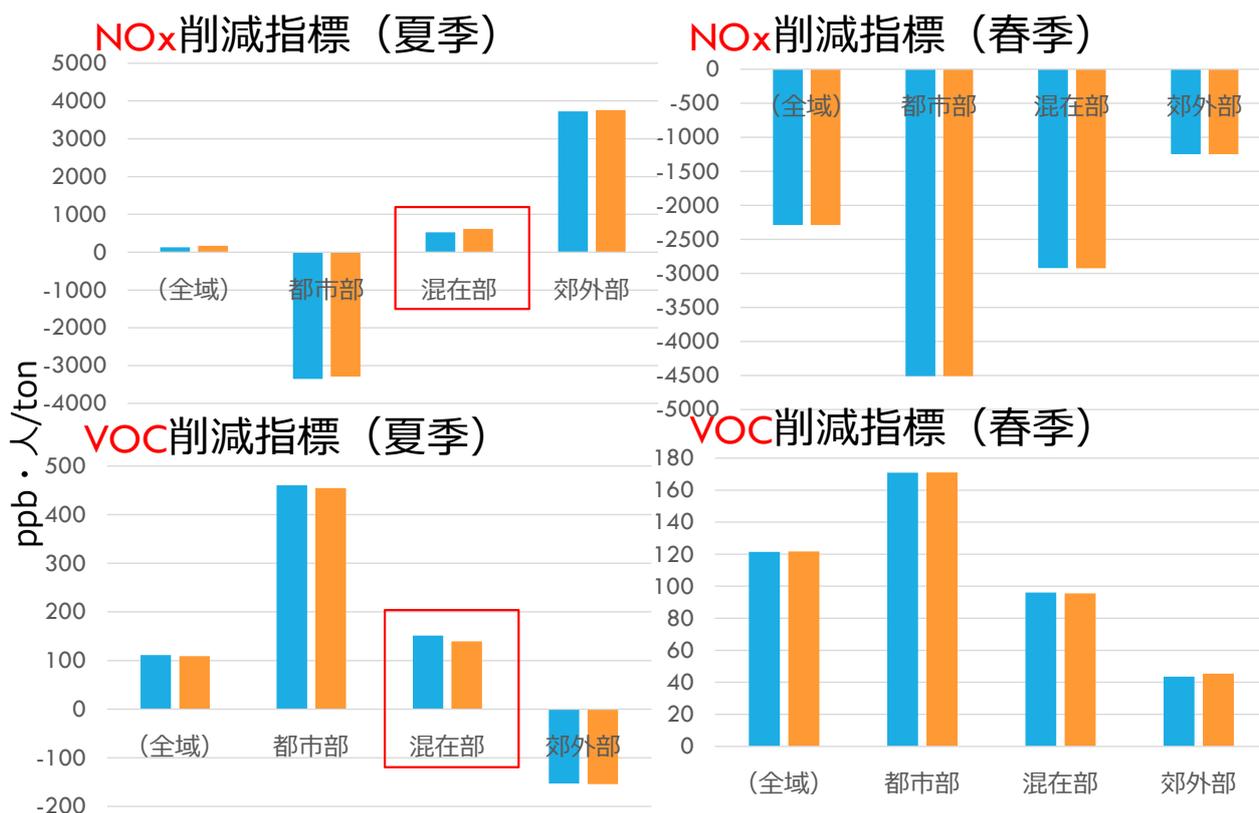


図 4-56 BVOC の設定更新によるオゾン集団暴露量低減効率への影響

図 4-56 によると、BVOC 設定更新により夏季の混在部の指標値が若干変化する(NOx 指標は増加、VOC 指標は減少)ことがわかる(赤い枠で囲まれた部分)。

(8) 本節にける解析のまとめと今後の課題

都市部、混在部、森林部からなる隣り合う狭領域(20 km×20 km メッシュ)ごとに各削減効率指標値を推定し、各指標値は隣り合うメッシュにおいても大きく変化することを明らかにした。領域、季節ごとの上記指標値と各要素の間相関分析を行ったところ、NMHC/NOx と HCHO/NO₂ 濃度比は、地方や季節をまたいでも存在量低減効率とそれぞれ関連性があり、地域性や季節性を考慮した削減戦略策定に資する可能性があることがわかった。また今回の都市部における樹木等の BVOC 更新による各指標値への影響は軽微であることがわかった。今後の課題としては、より多くの狭領域を対象とした指標値算出を行い、上記 NMHC/NOx と HCHO/NO₂ 濃度比とオゾン存在量低減効率等の関係がより一般的にも成立するのかが確認することが必要である。また、都市部の街路樹等の BVOC 設定更新の影響に関しては、不確実性の高い ADMER-PRO 内蔵の「都市部以外の BVOC 設定」を変更しても同様の結果が得られるのかの検討も必要である。

4-5. 実測値と計算値の比較による各 BVOC 設定の妥当性検討

(1) 本節における解析の背景と目的

過年度調査において、不確実な BVOC 設定により(特に関東地方では)算出される削減効率指標値が大きく異なることが明らかにされており、妥当な BVOC 設定値を把握することの重要性が指摘されている。そこで、

環境省による「揮発性有機化合物(VOC)成分自動測定」が開始された 2017 年度を対象として、BVOC 設定を 1/2 倍、2 倍等に変えてシミュレーションを実施し、上記の観測結果等との比較を行い、BVOC 設定をいずれにしたときに計算結果が実測値と整合的であるのかを把握する。

(2) 計算対象と計算条件

対象とした BVOC 放出シナリオや計算条件を表 4-12 に示す。ここで、「BVOC 都環」については、4-4 節で使用したデータと同一である。「BVOC その他 0」については、既存文献(例えば、Redeker et al., 2003)を参照すると、ADMER-PRO の BVOC 設定において、イネからの BVOC 放出量が大幅に過大設定されている可能性が示唆されたので、イネを含むその他植生からの放出量をすべてゼロにしてシミュレーションを行うことにより、現状の ADMER-PRO におけるイネの BVOC 基礎放出量の過大設定が与える影響を、大きめに見積もってこのぐらいという判断が可能となるように追加した。

表 4-12 対象とした BVOC 放出シナリオと計算条件

<ul style="list-style-type: none">●対象BVOC放出シナリオ<ul style="list-style-type: none">✓ADMER-PRO内蔵→「ベース」と呼ぶ✓BVOC設定を都環研データに更新→「BVOC都環」と呼ぶ✓BVOC設定につき「その他」植生※からの放出をすべてゼロ化→「BVOCその他0」と呼ぶ✓BVOC設定0倍✓BVOC設定0.5倍✓BVOC設定2倍●人為起源排出量データ：2016年度詳細推計版●対象気象パターン：夏季のオゾン高濃度生成気象パターンの2017年における代表日（7月8日）●対象地方：関東

※「広葉樹」、「針葉樹」以外の植生

図 4-57、図 4-58 には ADMER-PRO に内蔵されている、計算対象日(である 7 月)における全植生、および、その他植生からの BVOC 基礎放出量の地理分布を、それぞれ、ISOP、ISOP 以外の BVOC 配分 CB99 化学種について示す。

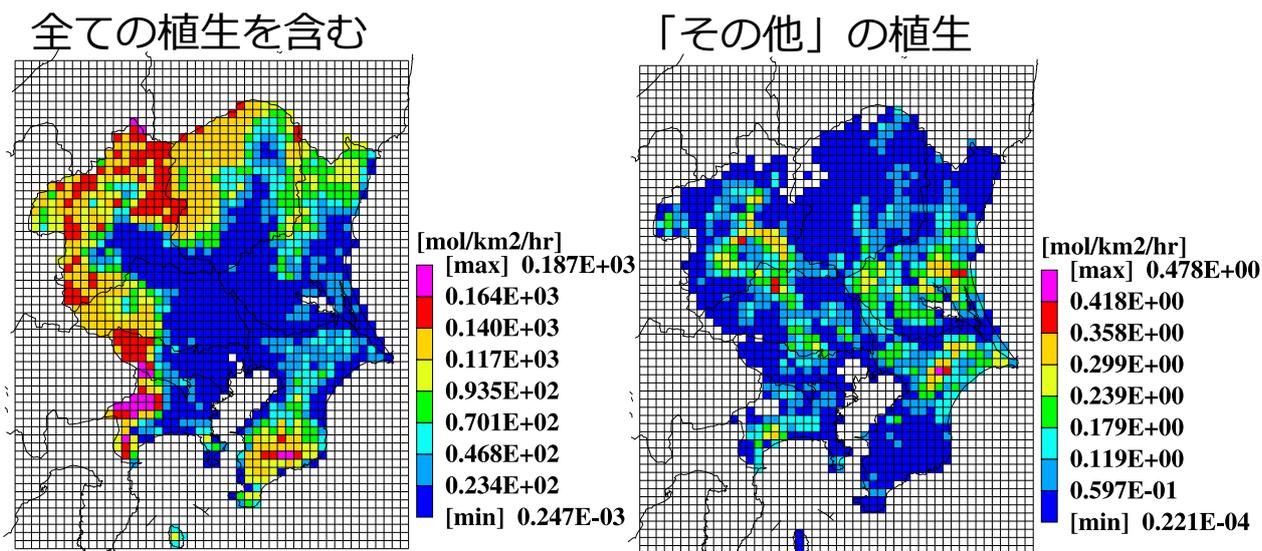


図 4-57 ADMER-PRO 内蔵の ISOP 基礎放出量 (7月)

図 4-57 によると、「その他」の植生からの ISOP 基礎放出量の全ての植生からの基礎放出量に対する割合はきわめて小さいことがわかる。

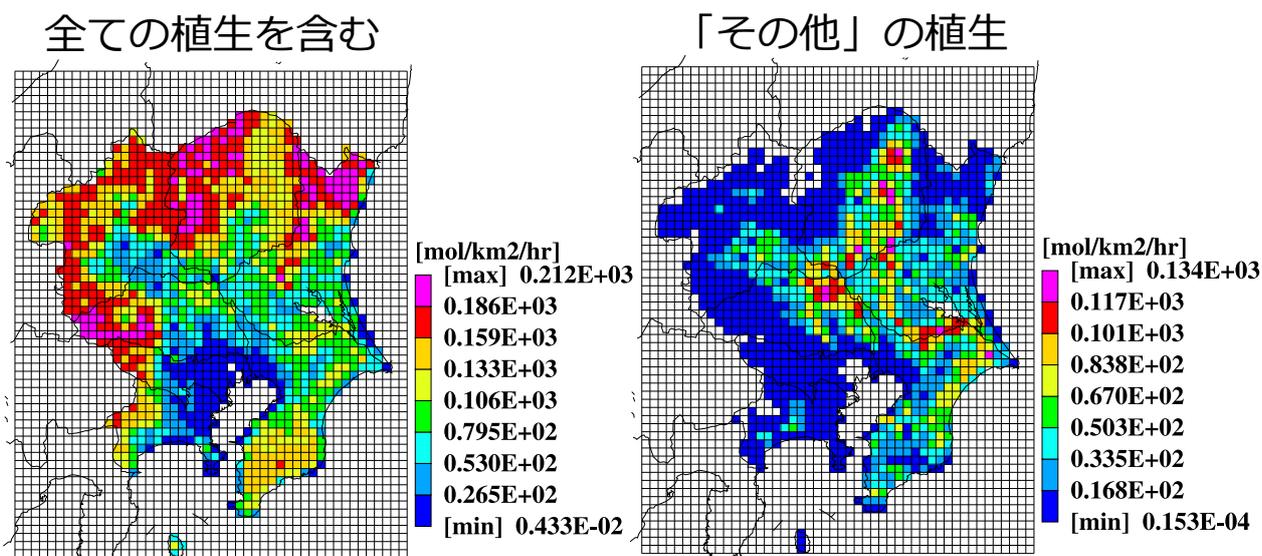


図 4-58 ADMER-PRO 内蔵の ISOP 以外の BVOC 配分 CB99 化学種基礎放出量 (7月)

図 4-58 によると、「その他」の植生からの ISOP 以外の BVOC 配分 CB99 化学種放出量は、田の分布を反映して平野部で多く最大で 134 mol/km²/hr に達することがわかる。ただし、領域全体でみると「その他」植生からの放出割合はやはり小さい。

(3) 実測値と計算値との整合性検討方法

表 4-13 に実測値と計算値の比較項目と整合性検討方法を示す。また、表 4-13 に記載されている「環境省 VOC 成分自動測定」の概要を図 4-59 に示す

表 4-13 実測値と計算値の比較項目と整合性検討方法

- 大気汚染常時監視測定局におけるオゾン濃度
- 環境省VOC成分自動測定局※におけるイソプレン濃度
- 上記項目について以下の統計指標も算出
 - ✓NMB : $\Sigma(\text{計算値}_i - \text{観測値}_i) / \Sigma \text{観測値}_i$ (→絶対値が小さいほど一致性が良い)
 - ✓NME : $\Sigma |(\text{計算値}_i - \text{観測値}_i)| / \Sigma \text{観測値}_i$ (→値が小さいほど一致性が良い)

※環境省 VOC 成分自動測定の概要は図 4-59 に示している

- 2017年より測定開始
- 測定時刻は2時と14時の1日2回
- 測定地点は下図の通り（関東にも3地点あり）
- 測定対象物質は56物質（イソプレンも含まれる）



図 4-59 環境省 VOC 成分自動測定の概要と本解析での検証対象地点(環境省 水・大気環境局 大気環境課, 2020 を改変)

(4) 気象場に関する計算結果

図 4-60 に計算対象日の午後 3 時における気温と風の地理分布を示した。

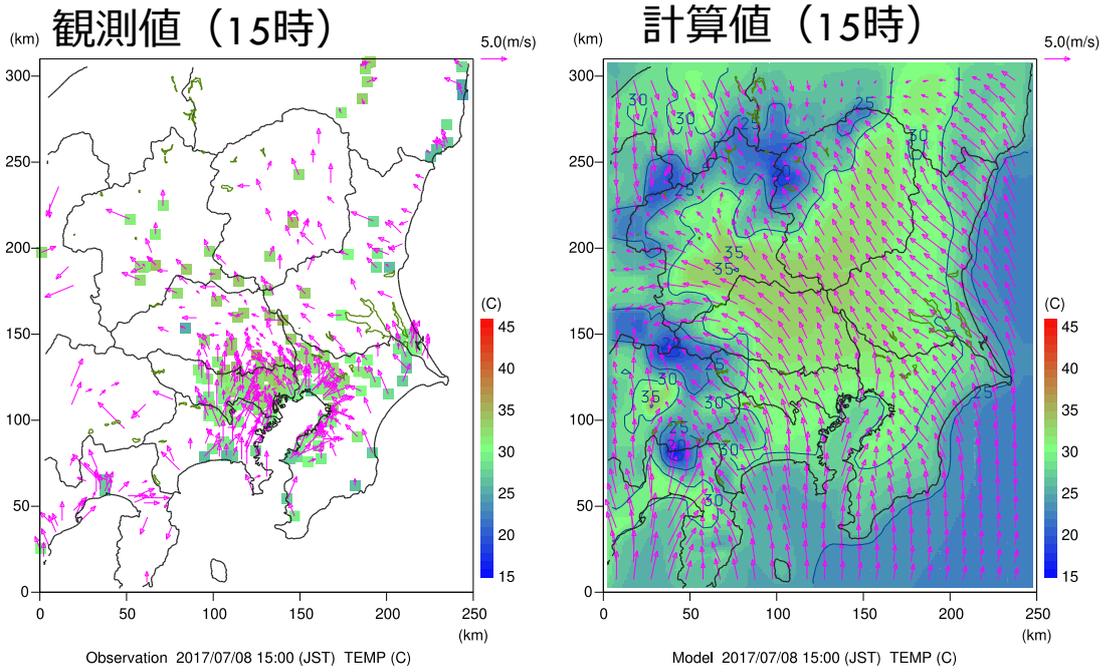


図 4-60 計算対象日の気温と風の分布 (午後 3 時)。

※左図には大気汚染時常時監視測定局における実測値も示している。

図 4-60 によると、関東地方全体で南よりの風が卓越している(大規模海風が出現している)ことがわかる。

(5) 各化学種濃度に関する計算結果と実測値との整合性検討結果

<各化学種濃度の地理分布推定結果>

図 4-61 に各 BVOC 設定とした場合に計算されるオゾン濃度の地理分布を示す。

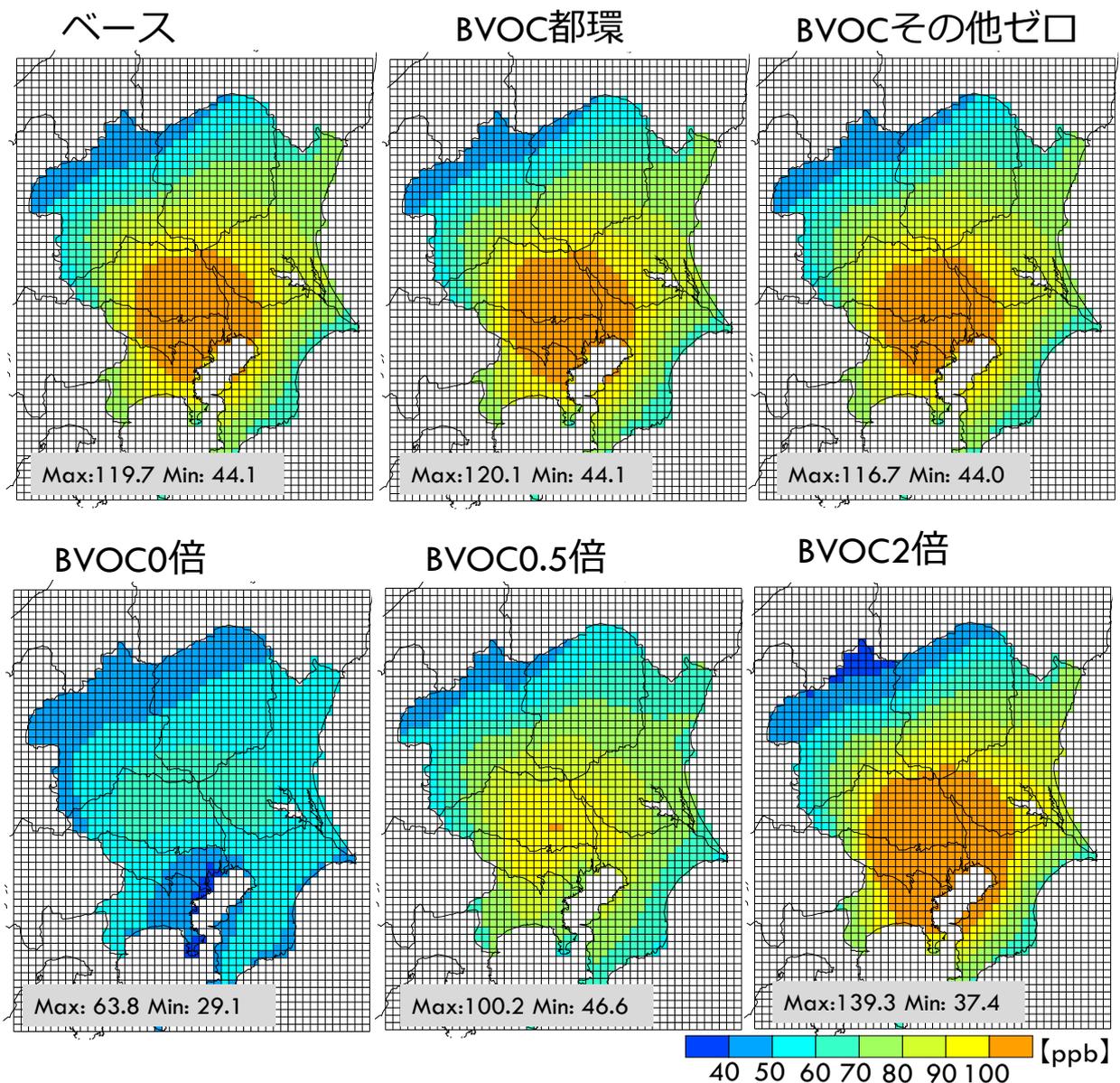


図 4-61 各 BVOC 設定の場合のオゾン濃度（昼間の 8 時間値）推定結果

図 4-61 によると、「ベース」、「BVOC 都環」、「BVOC その他ゼロ」のオゾン濃度地理分布の傾向はいずれも似ており、最大値も数 ppb 以内の違いである。一方、「BVOC 0 倍」、「BVOC 0.5 倍」、「BVOC 2 倍」では、地理分布の傾向、最大値とも大きく異なる。

上記の通り、「BVOC 都環」と「BVOC その他 0」の計算結果は「ベース」の計算結果とほとんど変わらないことが分かったので、以下の検討については、「BVOC 都環」と「BOC その他 0」のシナリオは検討対象から除外することとする。

各 BVOC 設定とした場合に計算された、イソプレン濃度とホルムアルデヒド濃度の地理分布をそれぞれ図 4-62、図 4-63 に示す。

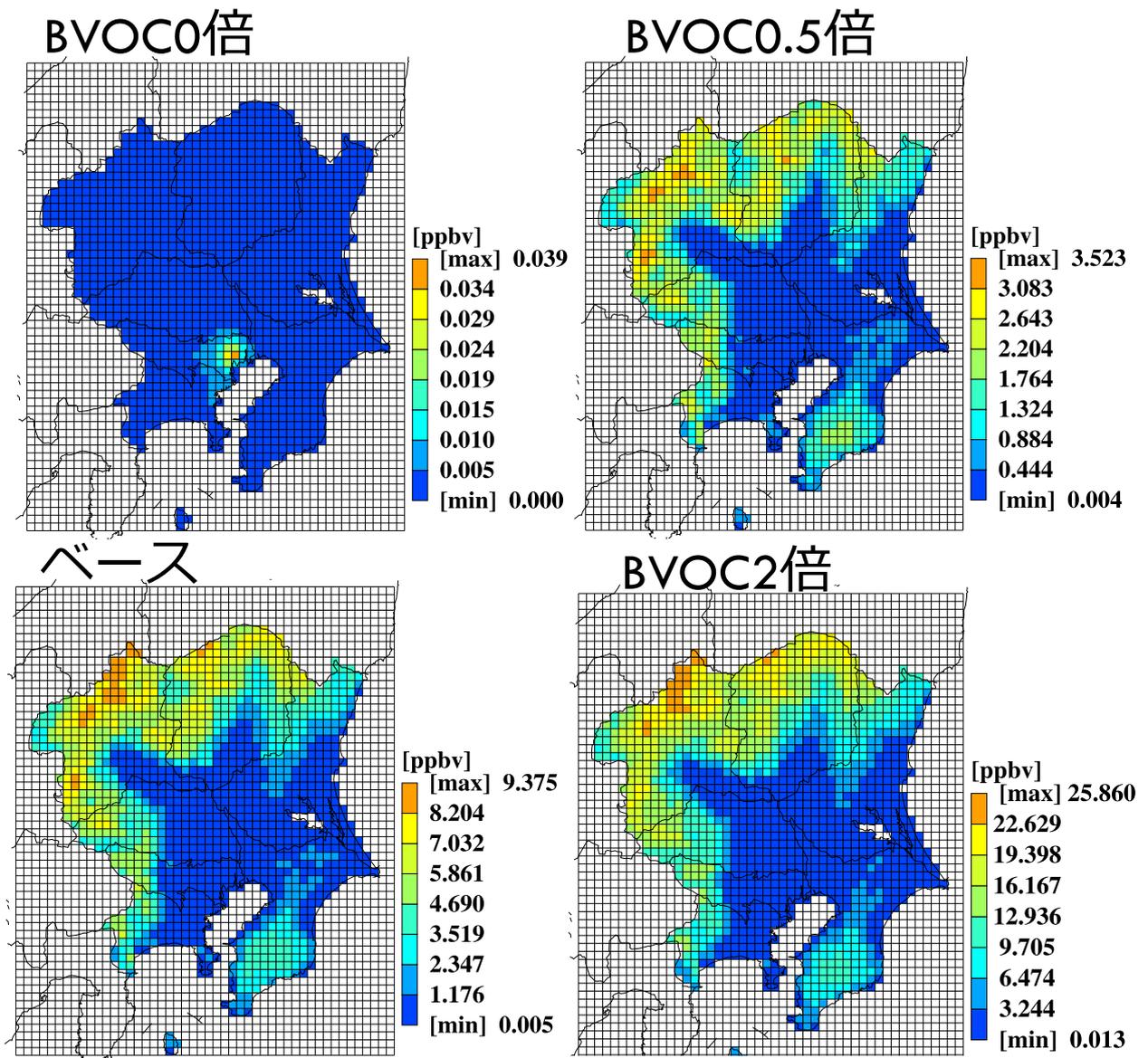


図 4-62 各 BVOC 設定の場合のイソプレン濃度 (14 時) 推定結果

図 4-62 によると、BVOC 0 倍ケースは他のケースと地理分布が全く異なる。また、BVOC 放出量が増加すればイソプレン濃度も増加するものの、イソプレン濃度は局所的に大きく変動していることがわかる。これは、限られた測定地点におけるイソプレン濃度の実測値と計算値の比較により、イソプレン放出量の妥当性を判断するのは難しいことを示唆していると考えられる。

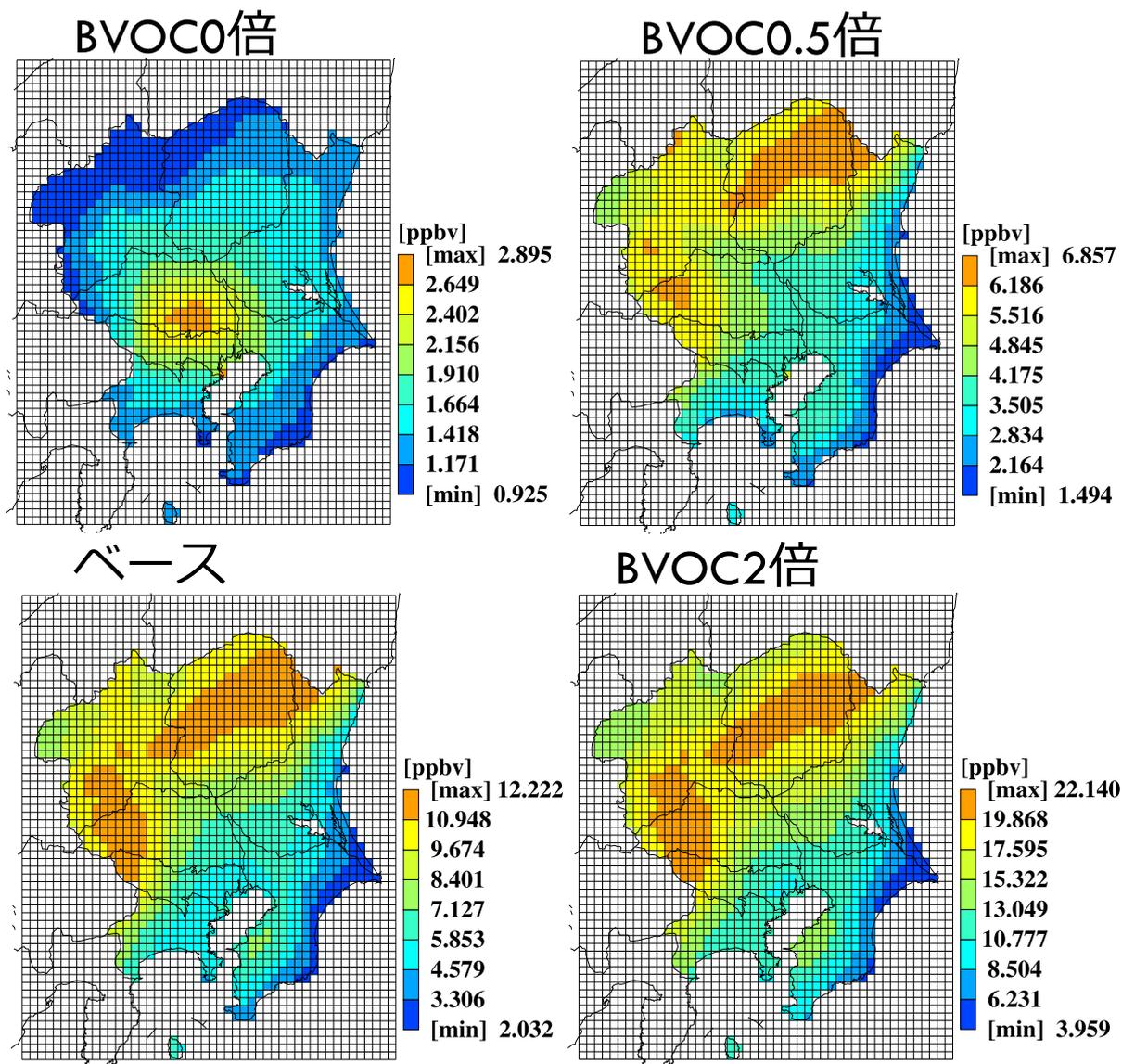


図 4-63 各 BVOC 設定の場合のホルムアルデヒド濃度 (14 時) 推定結果

図 4-63 によると、BVOC0 倍ケースは他のケースと分布が全く異なることがわかる。また、BVOC 放出量の増加に伴いほぼ線形にホルムアルデヒド濃度が増加していること、ホルムアルデヒドの濃度変動は広域的であることがわかる。これは、限られた測定地点におけるホルムアルデヒド濃度の実測値と計算値の比較により BVOC 放出量の妥当性を検討できる可能性があることを示唆していると考えられる。

<オゾン濃度地理分布の実測計算値比較>

図 4-64 には各 BVOC 設定の場合のオゾン濃度(昼間の 8 時間値)推定結果(図 4-61 で提示済み)と観測値の比較結果を示す。

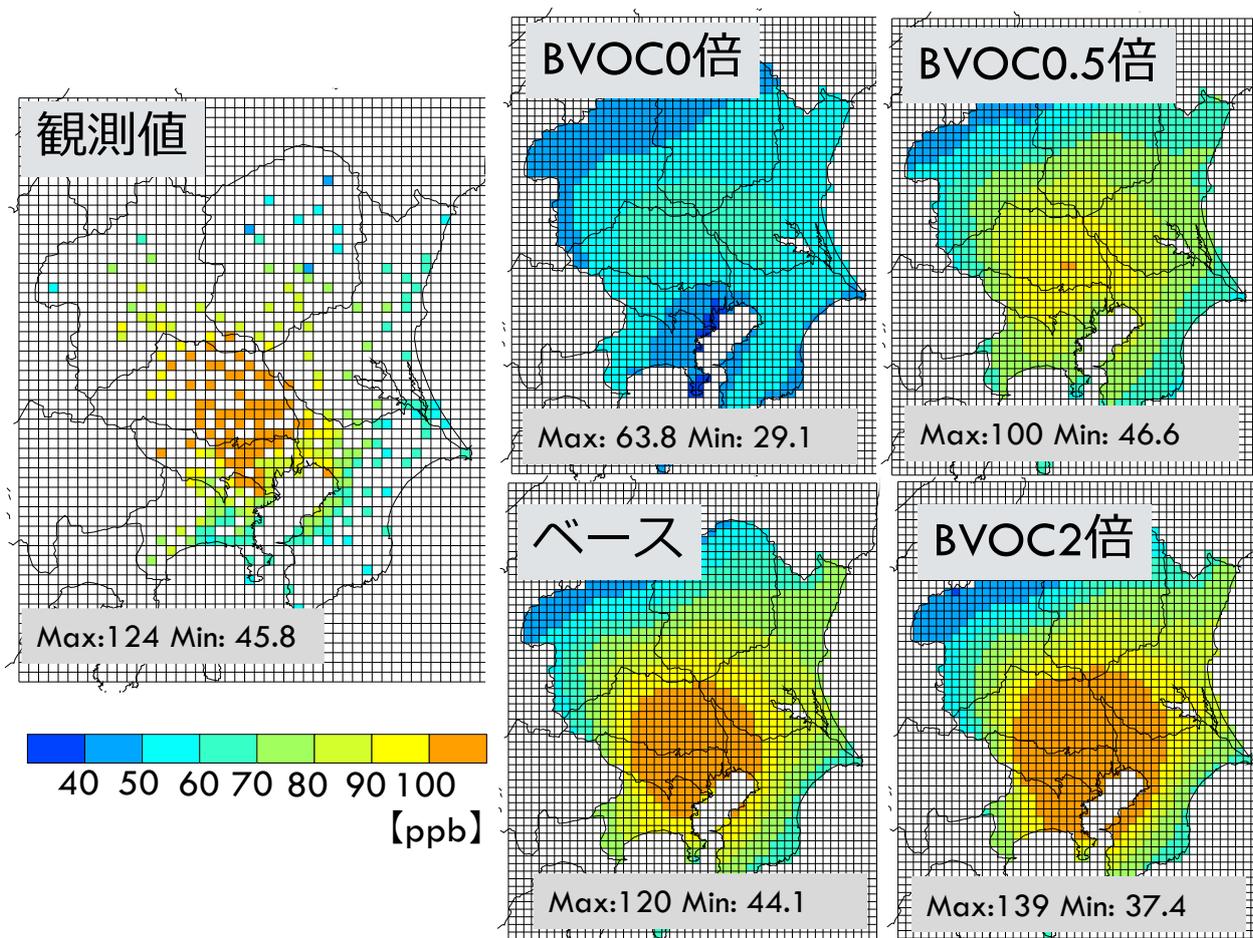


図 4-64 各 BVOC 設定の場合のオゾン濃度（昼間の 8 時間値）推定結果（右図）と観測値（左図）の比較

図 4-64 によると、最高濃度のオゾンが観測値と計算値でよく一致しているのはベースケースの計算値であり、BVOC 0 倍、BVOC 0.5 倍の計算値では観測値の最高濃度が再現されないことがわかる。

図 4-65 には各 BVOC 設定とした場合のオゾン濃度（昼間の 8 時間値）推定結果と観測値の散布図を、また表 4-14 には、表 4-13 に示した各統計指標を計算した結果を示す。

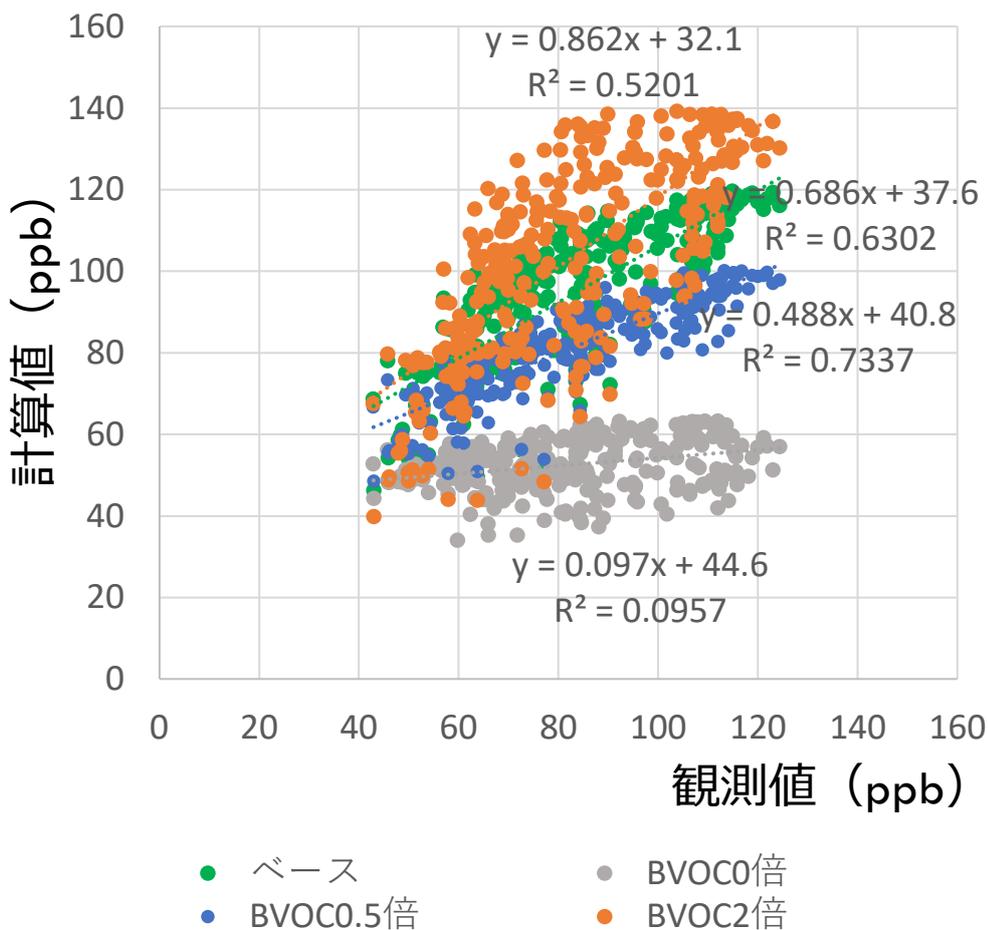


図 4-65 各 BVOC 設定の場合のオゾン濃度（昼間の 8 時間値）推定結果と観測値の散布図。
 ※各プロットは関東における各測定局の値を示す。

表 4-14 常時監視測定局におけるオゾン濃度(昼間 8 時間値)の観測値・計算値比較に関する統計指標

	NMB	NME
ベース	0.145	0.175
BVOC 0倍	-0.359	0.362
BVOC 0.5倍	-0.013	0.124
BVOC 2倍	0.254	0.279

注：もっとも良い統計指標値をピンクで 2 番目に良い統計指標値を青で示している。

図 4-65、表 1-14 によると、計算値と観測値との一致性は BVOC0.5 倍やベースケースの場合に高く、それらに比較して BVOC0 倍や BVOC2 倍のケースでは低いことがわかる。

< VOC 測定地点におけるイソプレン濃度の実測値と計算値の比較 >

図 4-66～図 4-68 にそれぞれ、群馬県衛生環境研究所、埼玉県環境科学国際センター、東京都環境科学研究所(それぞれ、以下では、単に「群馬県」、「埼玉県」、「東京都」と呼ぶ)における各 BVOC でのイソプレン濃度計算結果と実測値を合わせて示す。

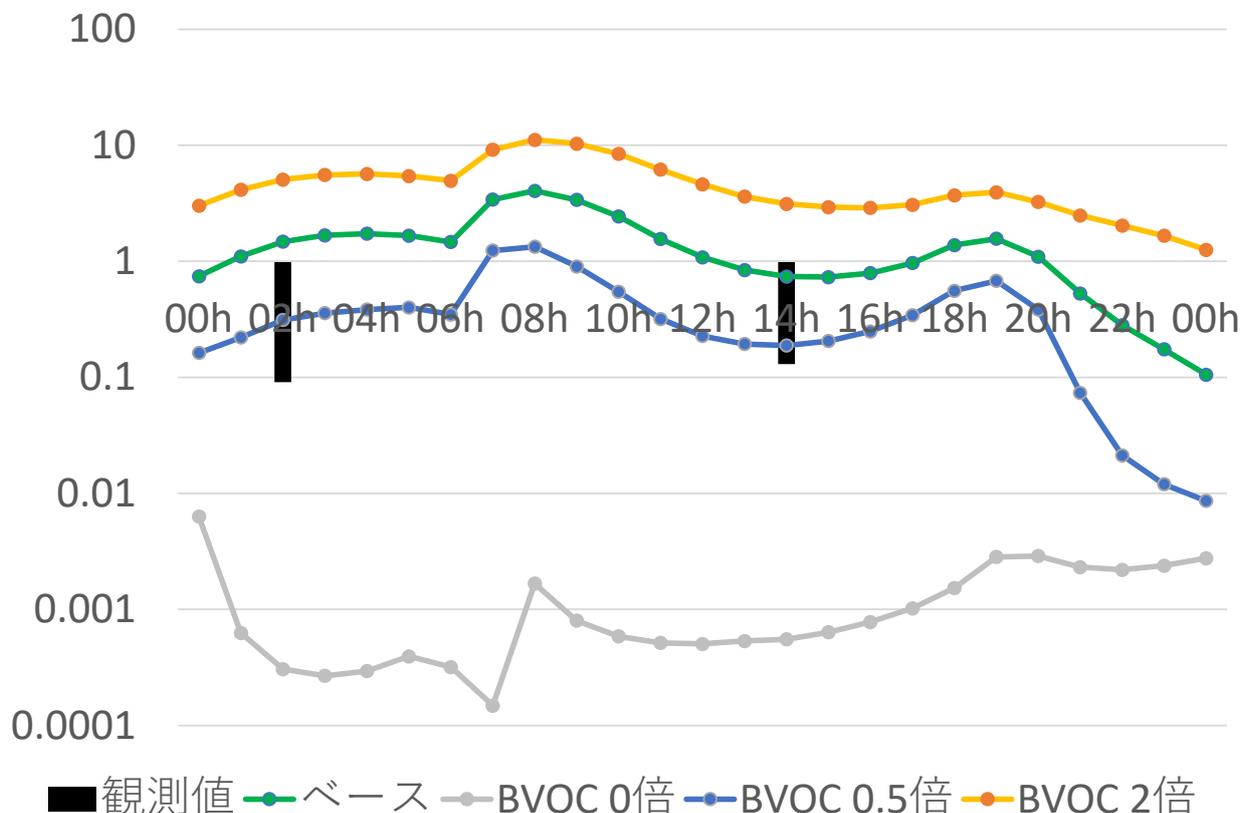


図 4-66 群馬県環境研究所におけるイソプレン濃度実値と各 BVOC 設定の場合の ISOP 濃度推定結果 (単位は ppb)

図 4-66 によると、BVOC 0.5 倍のケースが観測値と最も近いことがわかる。また、BVOC0 倍以外の場合の計算値は 8 時頃と 19 時頃の 2 回高濃度となることが特徴的であるが、この傾向は、以下のふたつの図で示す通り、他の測定地点における計算値でも同様にみられていた。このように植物起源のイソプレン濃度が朝と夕方方のダブルピークを示す結果は他のシミュレーション研究でも得られており、OH ラジカルとの反応による消失、大気境界層高さ、放出量のバランスで説明されている (Vieno et al., 2010)。

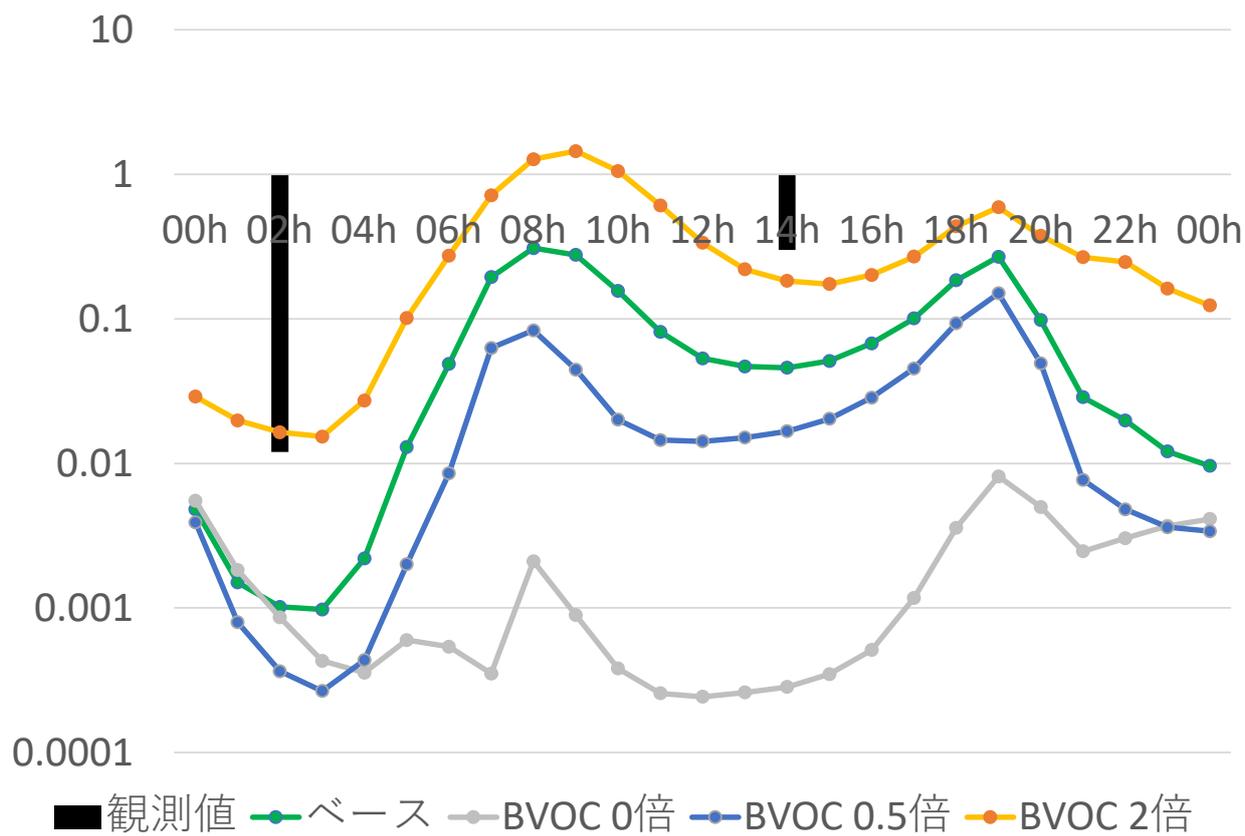


図 4-67 埼玉県都環境研究所におけるイソプレン濃度実値と各 BVOC 設定の場合の ISOP 濃度推定結果（単位は ppb）

図 4-67 によると、BVOC 2 倍の場合の計算値が観測値と最も近い。

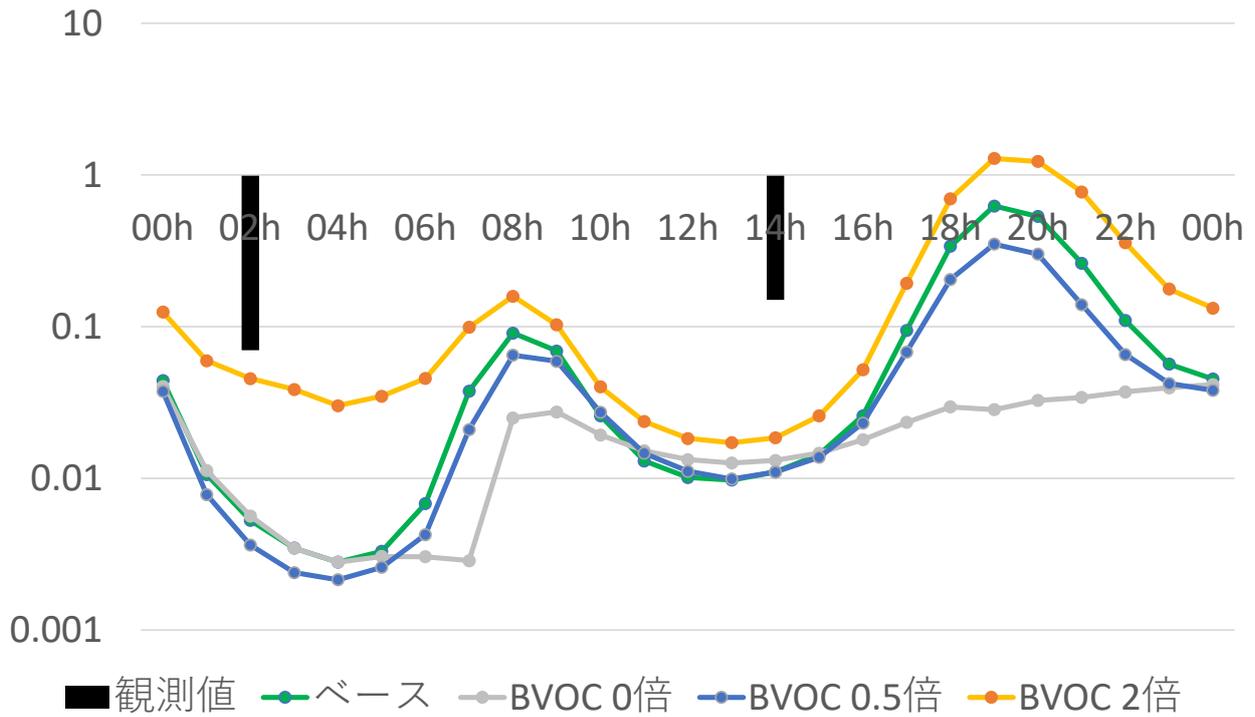


図 4-68 東京都環境研究所におけるイソプレン濃度実値と各 BVOC 設定の場合の ISOP 濃度推定結果 (単位は ppb)

図 4-68 によると、BVOC 2 倍の場合の計算値が観測値と最も近い。

図 4-69 には、各測定地点におけるイソプレン濃度の実測・計算値比較結果をまとめて示し、表 4-15 には表 4-13 で示した統計指標を計算した結果を示す。なお本節の解析の主な目的は BVOC の整合性検討であるので、BVOC の放出量が多い日中(14 時)の濃度だけを比較の対象とした。

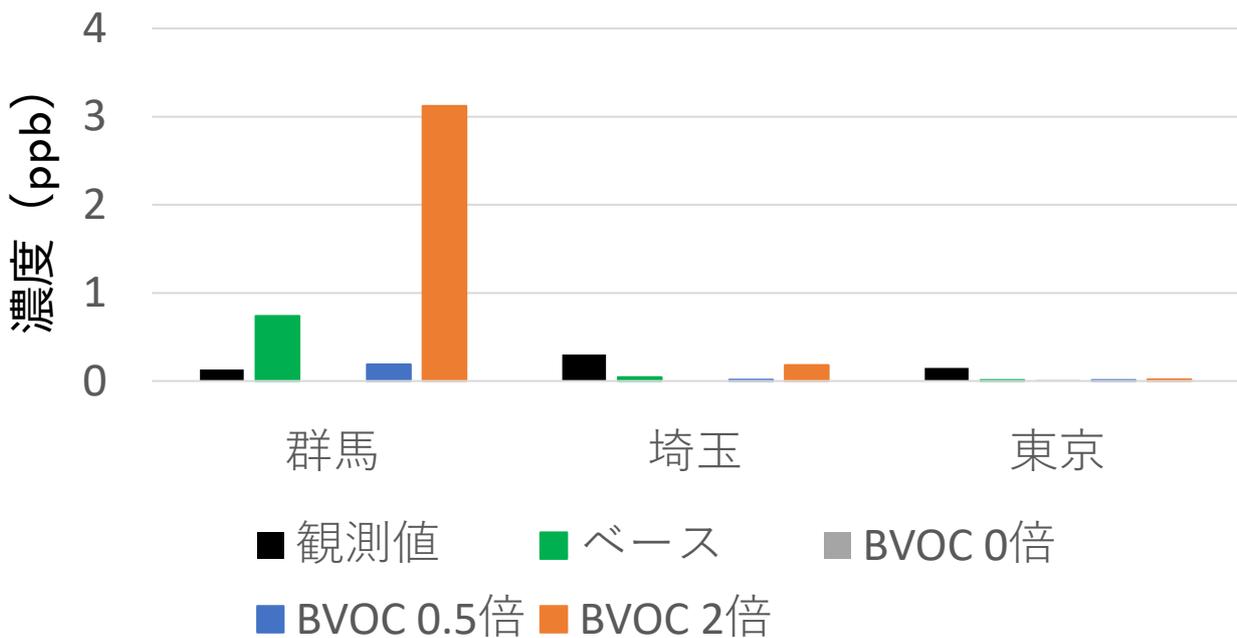


図 4-69 VOC 成分自動測定局におけるイソプレン濃度 (14 時) の観測・計算値比較

表 4-15 VOC 成分自動測定局におけるイソプレン濃度(14 時)の観測・計算値比較に関する統計指標

	NMB	NME
ベース	0.371	1.727
BVOC 0倍	-1.348	1.355
BVOC 0.5倍	-1.000	1.000
BVOC 2倍	4.728	5.585

注:もっとも良い統計指標値をピンクで2番目に良い統計指標値を青で示している

図 4-69 によると、群馬では BVOC 0 倍以外のすべてのケースで観測値<計算値であること、埼玉、東京ではすべてのケースで観測値>計算値であることがわかる。また、表 4-15 の統計指標によると、観測値と計算値との一致性はベースや BVOC0.5 倍の場合にほかのケースより高いことがわかる。

(6) 本節における解析のまとめと今後の課題

BVOC 0 倍や BVOC2 倍の各物質濃度の計算値は観測値との乖離が大きく、それらの BVOC 設定は妥当でない可能性が示唆された。一方、BVOC0.5 倍、ベースの場合の計算値と観測値との一致性の優劣は検証項目により異なっており、その優劣は決めがたい。なお、イソプレン濃度とその反応生成物質であるホルムアルデヒド濃度の地理分布推定結果を比較したところ、後者は前者に比べて明らかに局所的な変動が少なく少数の測定局における観測値が広域の測定値を代表している可能性が示唆された。今後の課題としては、より多くの地点、期間におけるイソプレン濃度の実測値と計算値を比較することや、ホルムアルデヒド濃度の実測値と計算値を比較することにより、BVOC 放出妥当性評価の信頼性を向上させることが挙げられる。

4.6. 外部削減シナリオや BVOC 不確実性も考慮した事業所大幅排出削減に関する検討

(1) 本節における解析の背景と目的

昨年度調査では、排出量を 2016 年ベース固定として、固定発生源の NOx、VOC をそれぞれ 0%、50%、100%削減とする検討を行った。

排出量が 2005 年と 2016 年で変わったのに伴い、指標値(オゾン存在量低減効率等)も大きく異なっていたので、同様に、2016 年と(例えば)2030 年では、排出量、指標値が大きく異なる可能性がある。

そこで、自動車など固定発生源以外の発生源に関する将来の排出削減シナリオ(「外部シナリオ」と呼ぶ)を想定し、ベースケース排出量を調整した上で、固定発生源(点源)の NOx、VOC をそれぞれ 0%、50%、100%削減したら存在量低減効率等の指標値がどのようになるのかを検討する。ここでは、4-5 節で BVOC の設定として 0.5 倍、1 倍の妥当性が高かったことを勘案し、BVOC0.5 倍とした際の検討も行っている

また、上記削減シナリオについて、環境改善便益の試算も行った。

(2) 計算対象と計算条件

シミュレーション対象の排出シナリオを表 4-16 に、その他の計算条件を表 4-17 に示す。

表 4-16 本節の解析におけるシミュレーションの対象排出シナリオ

<ul style="list-style-type: none">●ベースケース（2016年度）→「2016ベース」と呼ぶ<ul style="list-style-type: none">➢VOC点源（※1）削減ケース10%、50%、100%➢NO_x点源（※2）削減ケース10%、50%、100%●外部シナリオ2030年度ケース→「外部2030ベース」と呼ぶ<ul style="list-style-type: none">➢VOC点源削減10%、50%、100%➢NO_x点源削減10%、50%、100%●ベースケースBVOC0.5倍（2016年度）→「2016ベースBVOC0.5倍」と呼ぶ<ul style="list-style-type: none">➢VOC点源削減10%➢NO_x点源削減10%●外部シナリオ2030年度ケースBVOC0.5倍→「外部2030ベースBVOC0.5倍」と呼ぶ<ul style="list-style-type: none">➢VOC点源削減10%➢NO_x点源削減10%

※1 VOC 削減の対象点源は「固定蒸発 VOC 発生源(家庭を除く)」

※2 NO_x 削減の対象点源は「大規模固定燃焼発生源」

表 4-17 本節の解析におけるその他の計算条件

<ul style="list-style-type: none">●対象気象パターンと平均化時間：夏季のオゾン高濃度生成気象パターンの2016年における代表日（8月5日）、オゾン濃度は昼間の8時間（10-18時）値として計算●対象地方：関東
--

表 4-18 には、外部シナリオ 2030 年度ケースで各発生源に対して設定された 2016 年度ベースケースに対する排出量比率を示す。

表 4-18 外部シナリオ 2030 年度ケースで各発生源に対して設定された 2016 年度ベースケースに対する排出量比率(出典:東京都大気中微小粒子状物質検討会報告書(令和元年 7 月)の「まとめ」
https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/air/air_pollution/torikumi/pm25_ox-report2019.files/1.4.pdf の表 4.2、表 4.3 より)

	自動車	船舶・漁船	航空機	建設・産業・農業機械	燃焼家庭	燃焼業務	蒸発家庭
VOC	0.41	1.25	1.25	0.5	1.0	1.0	0.98※
NOx	0.33	1.02	1.17	0.38	0.69	0.86	1.0

※出典(東京都大気中微小粒子状物質検討会報告書)の「民生部門」の値を採用

ここで、表 4-18 に示されていない発生源の排出量比率についてはすべて 1(すなわち 2016 年度ベースケースと同じ)と仮定している。

図 4-70 には、ベースケース(2016 年度)と外部シナリオ 2030 年度ケースにおける排出量(全国値)を比較して示す。

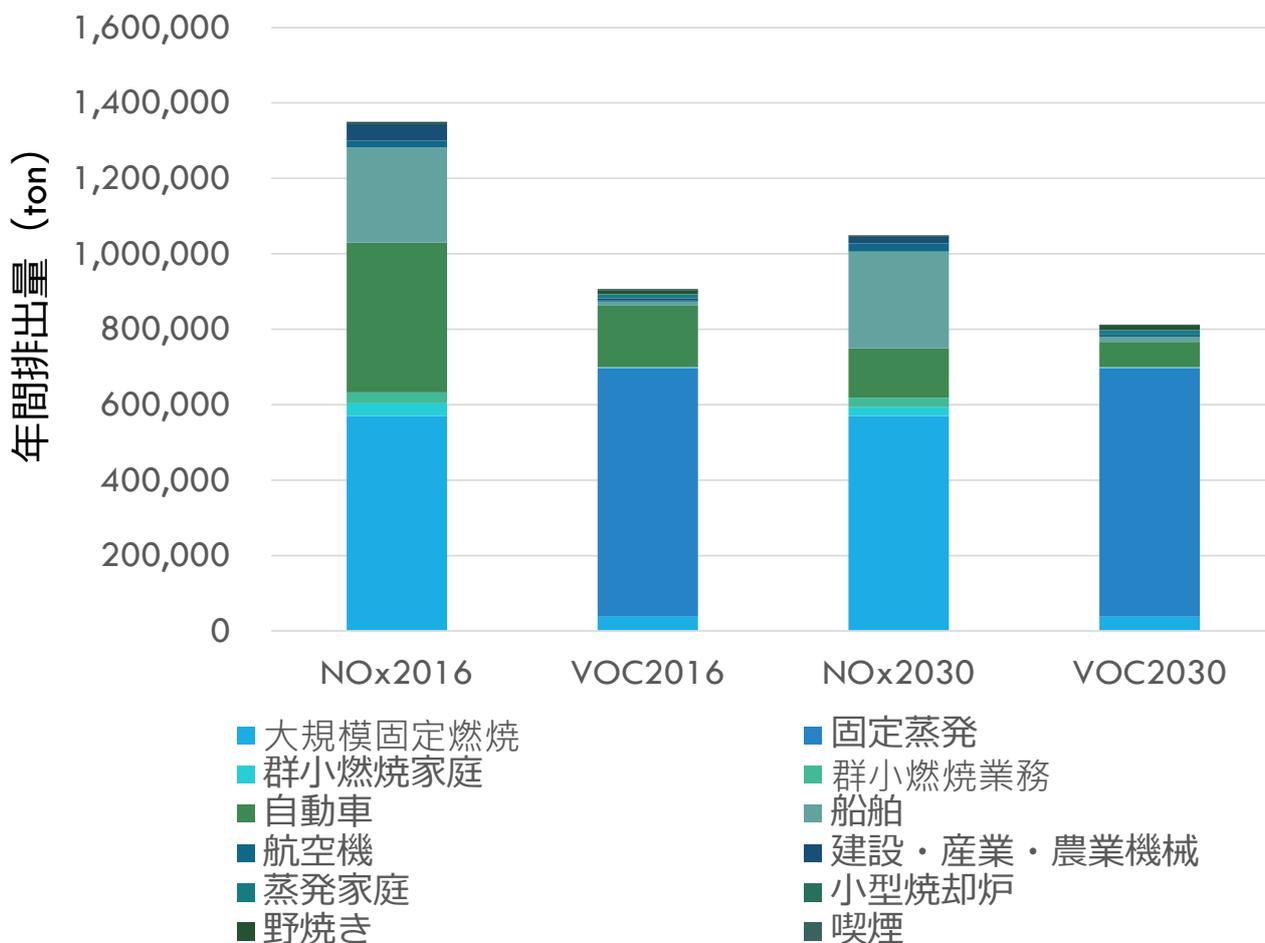


図 4-70 ベースケース(2016 年度)と外部シナリオ 2030 年度ケースにおける NOx、VOC 排出量(全国値)

図 4-70 によると、外部シナリオ 2030 年度ケースでは 2016 年度と比較して NOx、VOC とも減少するが、減少率は NOx のほうがやや大きいことがわかる。

(3) 気象場に関する計算結果

計算対象日の午後 3 時における気温と風の地理分布推定結果を図 4-71 に示す。

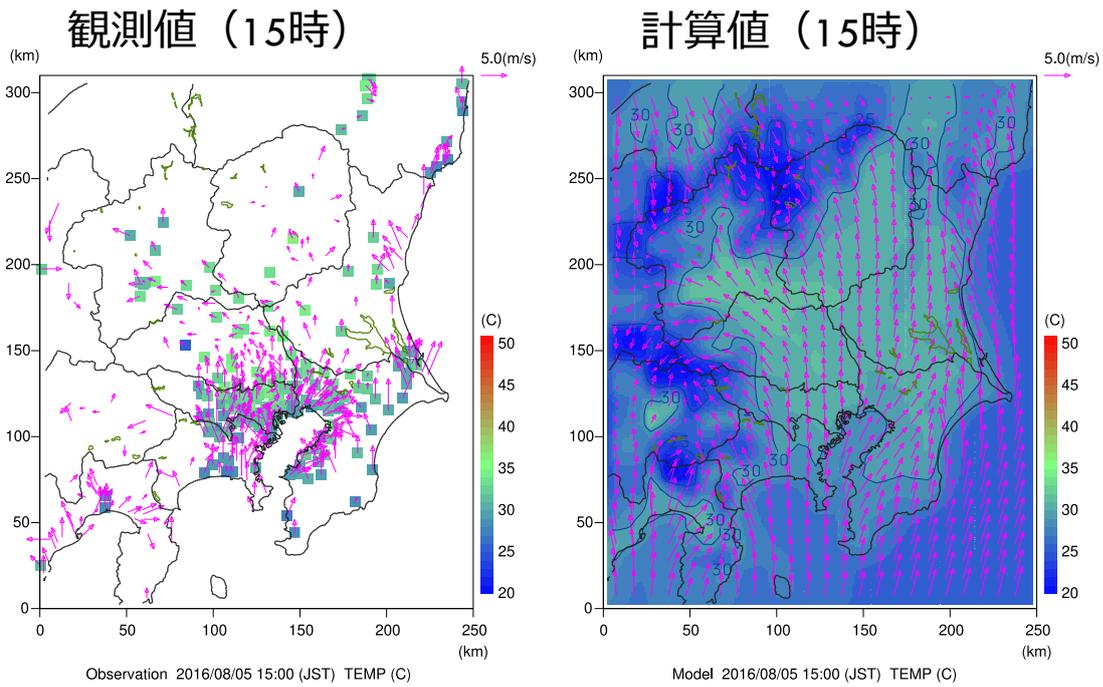


図 4-71 計算対象日の午後 3 時における気温と風の地理分布推定結果。左図に常時監視測定局における実測値も併わせて示す。

図 4-71 によると、関東地方全体で南よりの風が卓越している、つまり、大規模海風が出現していることがわかる。

(4) オゾン濃度、感度、指標値に関する計算結果

図 4-72 には、2016 年度ベースケースのオゾン濃度推定結果を観測値と比較して示す。表 4-16 に示した通り 2016 年度については BVOC を 0.5 倍に設定したベースケース(2016 ベース BVOC0.5 倍)のシミュレーションも実施しているのでこの結果も併わせて示している。

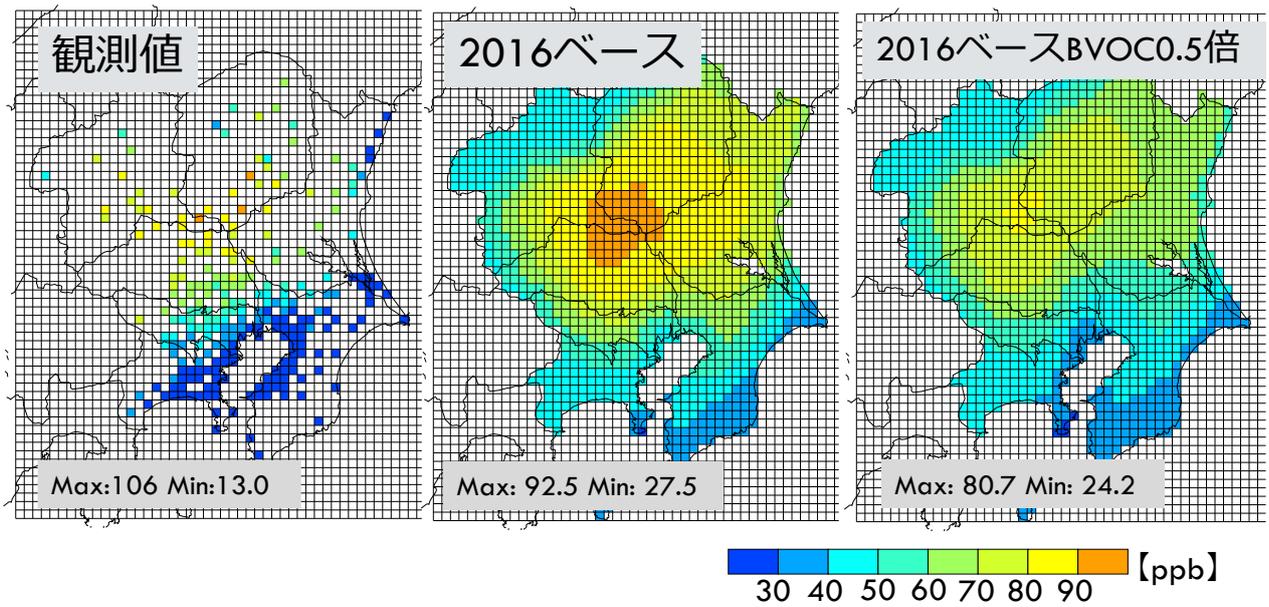


図 4-72 ベースケース（2016年度）オゾン濃度（昼間8時間値）の推定結果と観測値との比較

図 4-72 によると、4-5 節での解析同様、オゾン濃度の最高値は「2016 ベース(BVOC1 倍)」のほうが「2016 ベース BVOC0.5 倍」のケースより観測値との一致性が高いことがわかる。

図 4-73 には、「2016 ベース」、「外部 2030 ベース」、「外部 2030 ベースから VOC 点源 100%削減」、「外部 2030 ベースから NOx 点源 100%削減」の各ケースについて推定されたオゾン濃度の地理分布を示す。

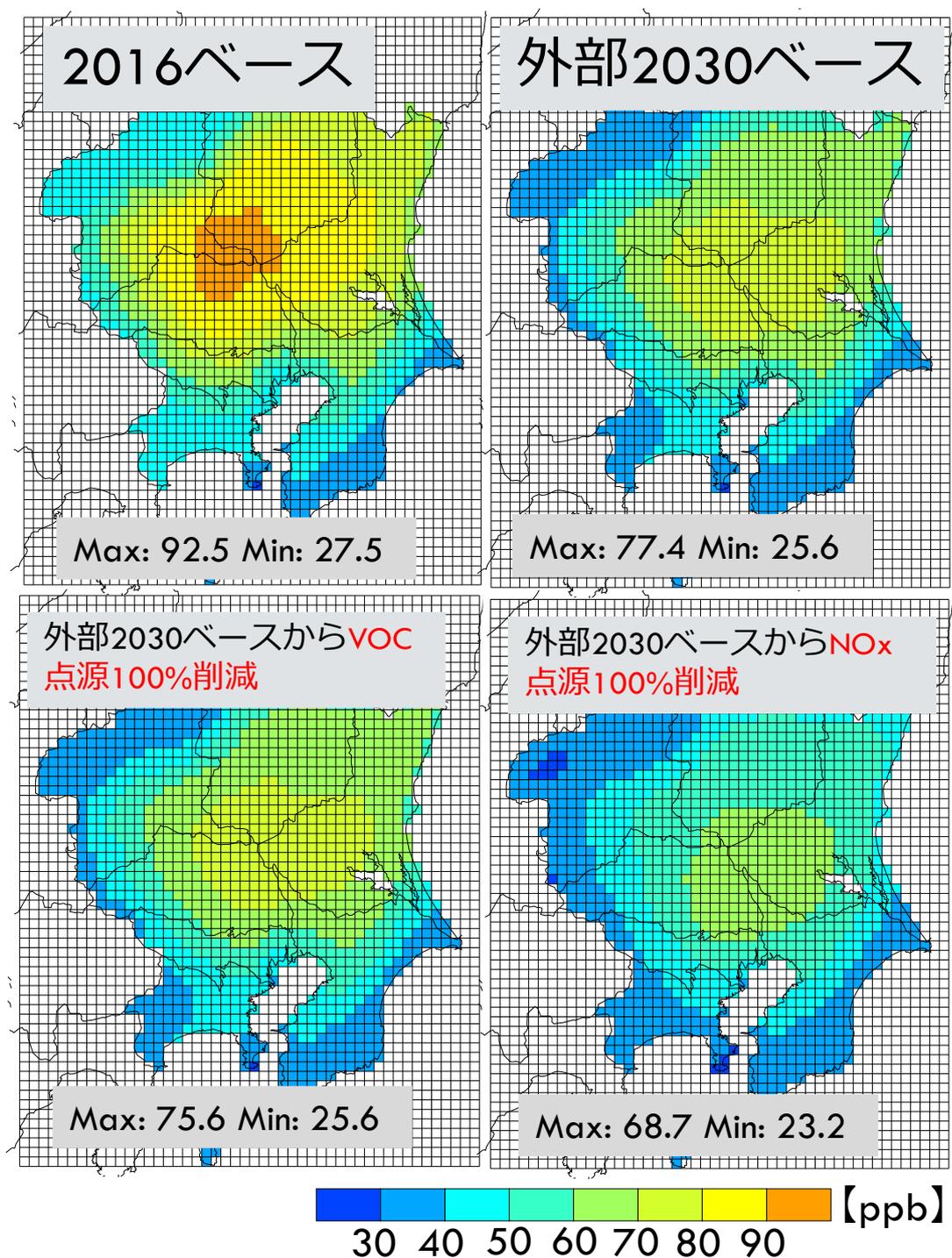


図 4-73 「2016 ベース」、「外部 2030 ベース」、「外部 2030 ベースから VOC 点源 100%削減」、「外部 2030 ベースから NOx 点源 100%削減」の各ケースについて推定されたオゾン濃度の地理分布

図 4-73 によると、外部 2030 ベースでは 2016 ベースに比べてオゾン高濃度は大幅に低減すること、外部 2030 ベースからさらに VOC 点源排出量を 100%削減してもオゾン濃度はあまり変わらないこと、外部 2030 ベースからさらに NOx 点源排出量を 100%削減すればオゾン濃度はさらに低減することがわかる。

図 4-74 には、図 4-73 に示した「外部 2030 ベース」、「外部 2030 ベースから VOC 点源 100%削減」、「外部 2030 ベースから NOx 点源 100%削減」の各ケースの「2016 ベース」からのオゾン濃度(昼間 8 時間値)変化量を示す。

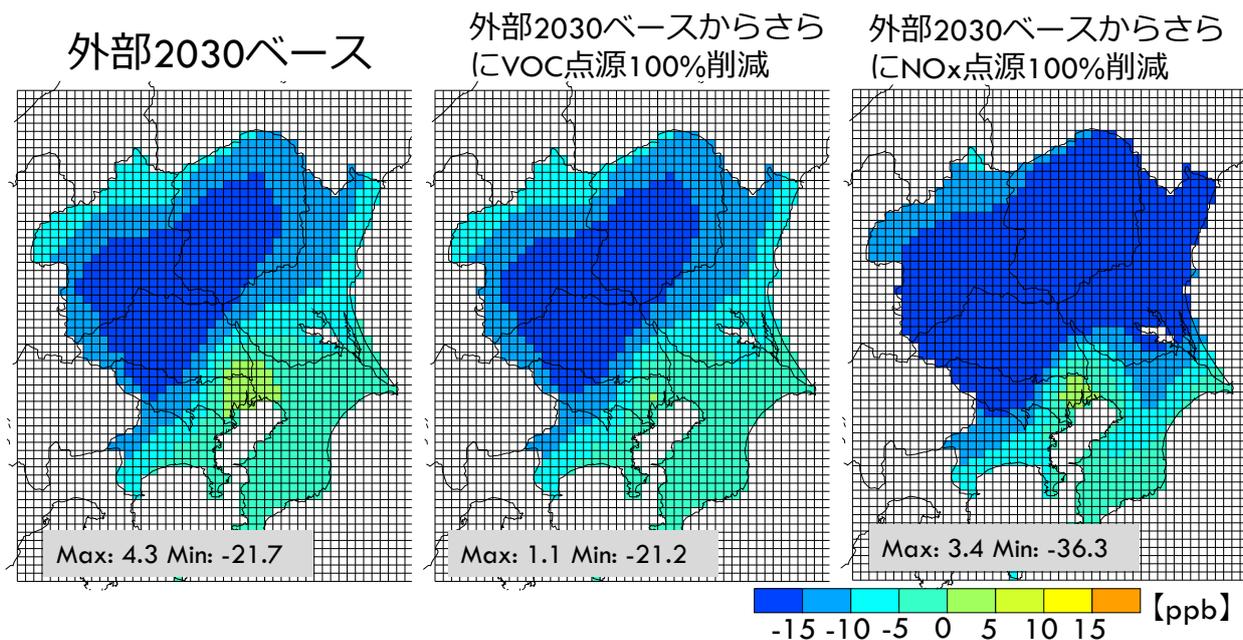


図 4-74 「外部 2030 ベース」、「外部 2030 ベースから VOC 点源 100%削減」、「外部 2030 ベースから NOx 点源 100%削減」の各ケースの「2016 ベース」からのオゾン濃度（昼間 8 時間値）変化量

図 4-74 によると、外部 2030 ベースでは郊外部で減少、都心部でわずかに増加すること、外部 2030 ベースからさらに VOC 点源排出量を 100%削減すると都心部の増加幅が緩和されること、外部 2030 ベースからさらに NOx 点源排出量を 100%削減すると郊外部の減少幅がさらに大きくなることなどがわかる。

図 4-75 には、「2016 ベース」、「外部 2030 ベース」各ケースから点源 VOC、点源 NOx をそれぞれ 10%削減した際のオゾン感度地理分布を示す。

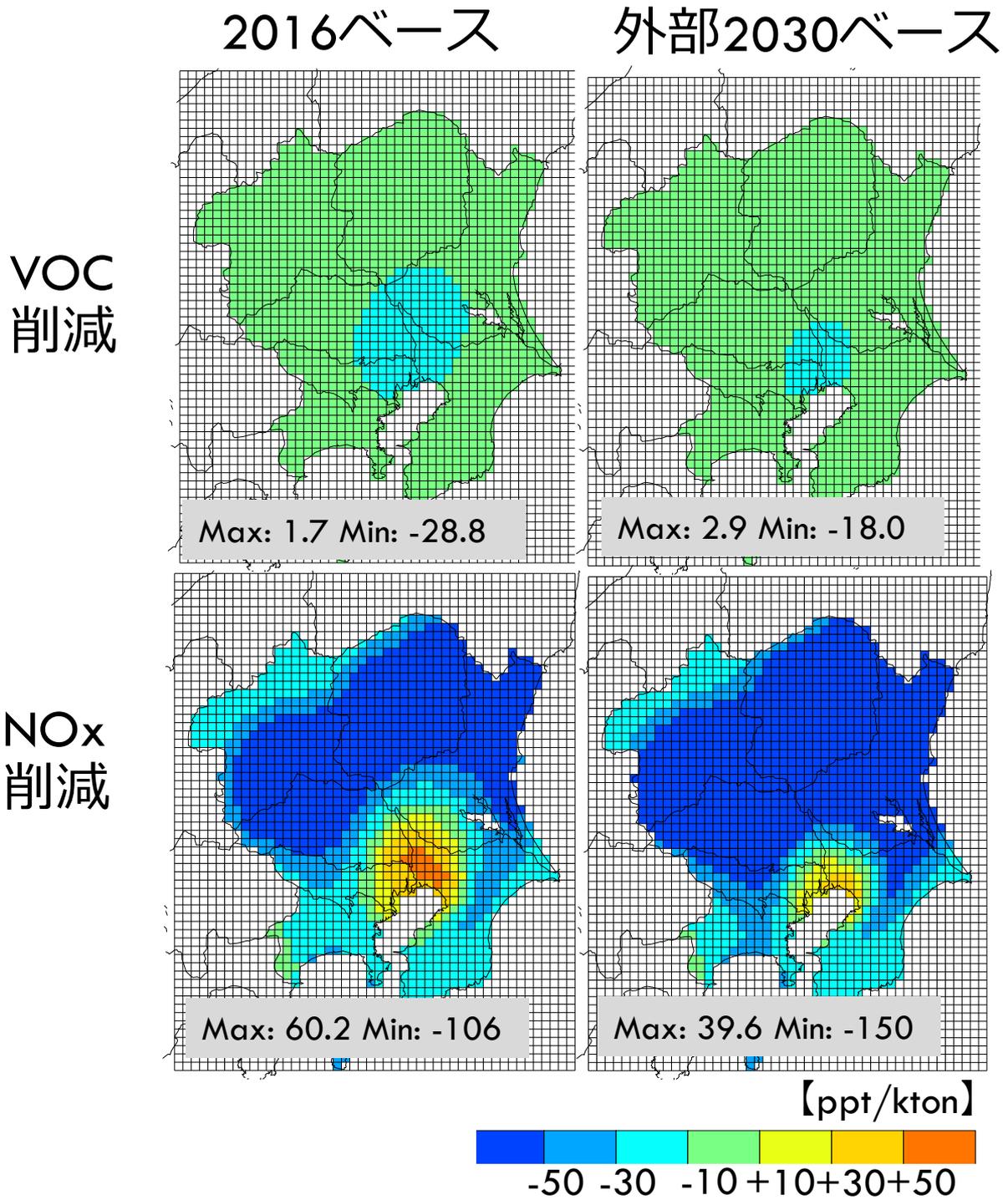


図 4-75 「2016 ベース」、「外部 2030 ベース」の各ケースから点源 VOC、点源 NO_x をそれぞれ 10% 削減した際のオゾン感度地理分布推定結果

図 4-75 によると、2030 年度の外部シナリオを想定すると、2016 年度に比べて、オゾン低減に対し VOC 削減はより効きにくくなり、NO_x 削減はより効きやすくなることわかる。

図 4-76 には、各ベースケースの BVOC 設定を 0.5 倍にして計算した際の図 4-75 と同様の図を示す。

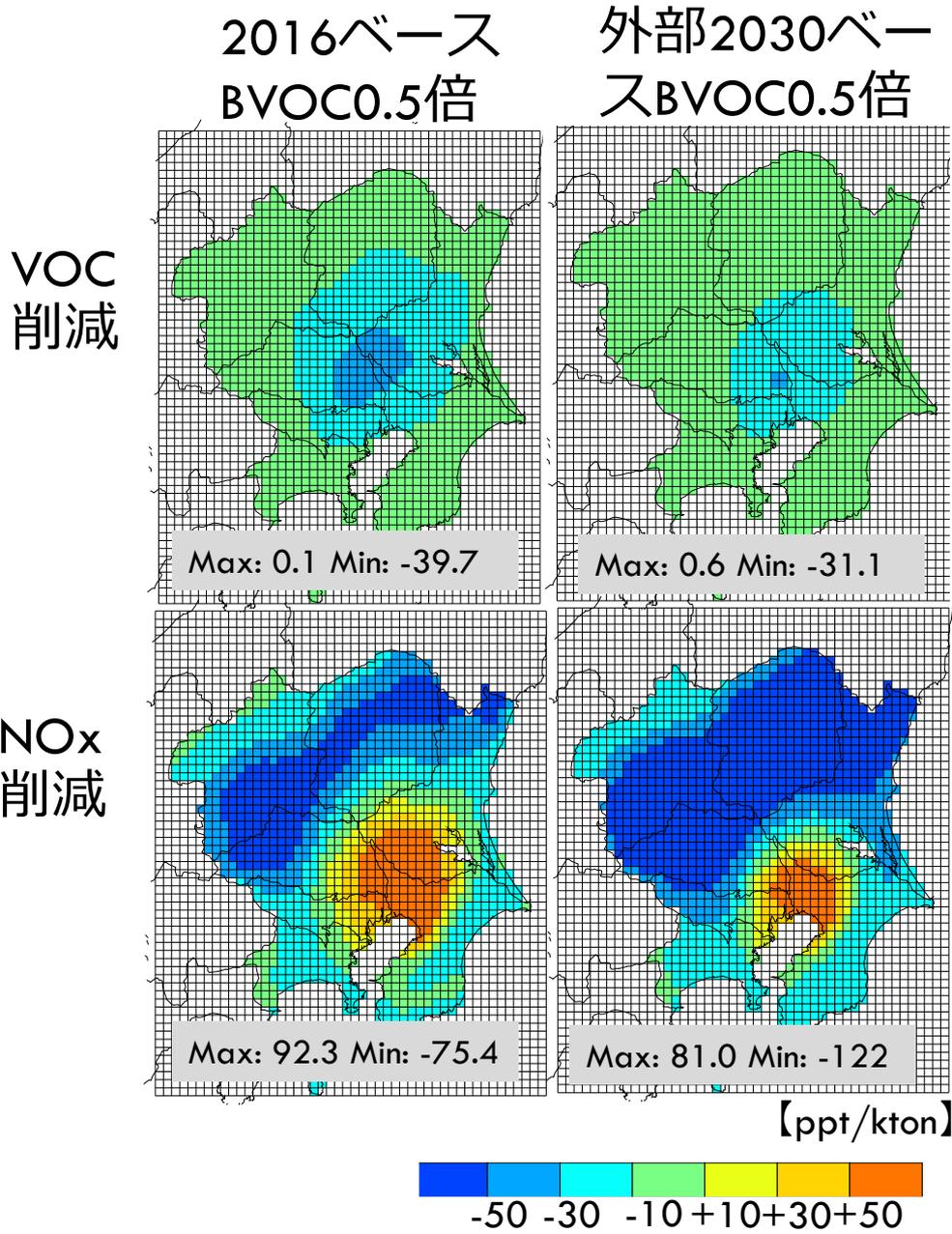


図 4-76 「2016 ベース BVOC0.5 倍」、「外部 2030 ベース BVOC0.5 倍」の各ケースから点源 VOC、点源 NO_x をそれぞれ 10%削減した際のオゾン濃度感度地理分布推定結果

図 4-76 によると、図 4-75 と同様に、2030 年度の外部シナリオを想定すると、2016 年度に比べて、オゾン低減に対し VOC 削減はより効きにくくなり、NO_x 削減はより効きやすくなることわかる。また、図 4-75 と比較すると、BVOC1 倍の時と比べて、オゾン低減に対し VOC 削減はより効きやすくなり、NO_x 削減はより効きにくくなることわかる。

図 4-77、図 4-78 には、「2016 ベース」、「外部 2030 ベース」各ケースから点源 VOC、点源 NO_x をそれぞれ 10%、50%、100%削減した際に計算されるオゾン存在量低減効率、オゾン集団暴露量低減効率を示す。

VOC削減
指標

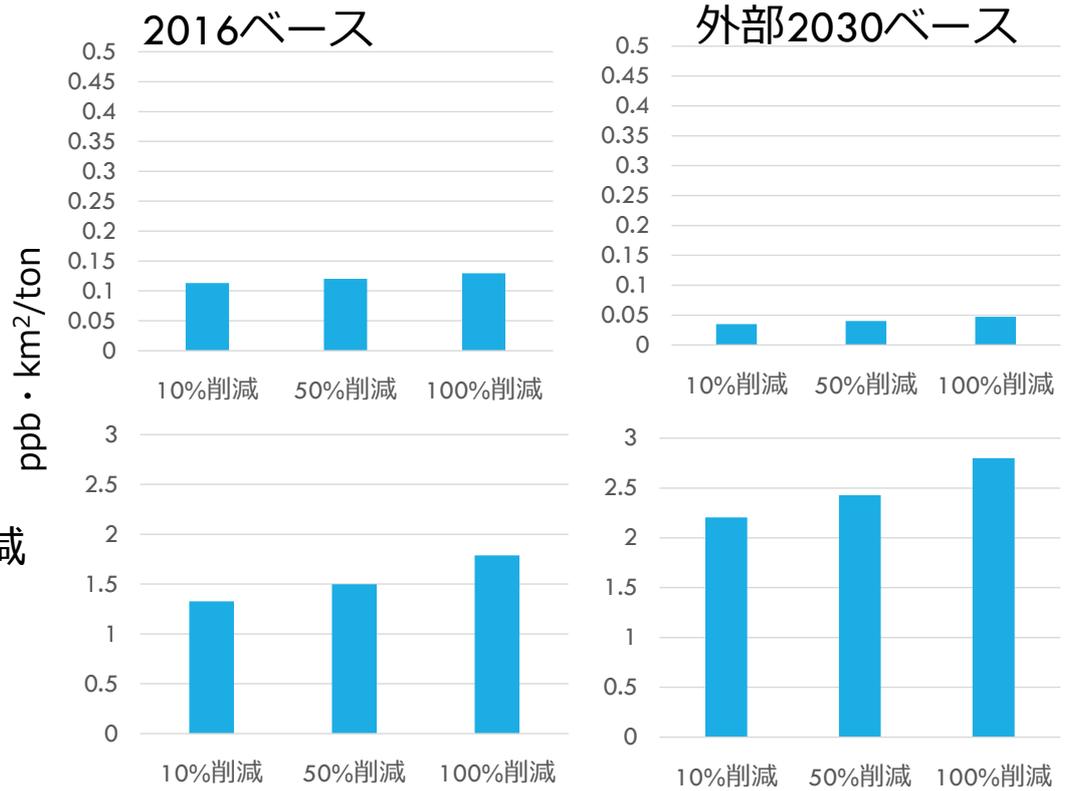


図 4-77 「2016 ベース」、「外部 2030 ベース」各ケースから点源 VOC、点源 NO_x をそれぞれ 10%、50%、100%削減した際に計算されるオゾン存在量低減効率

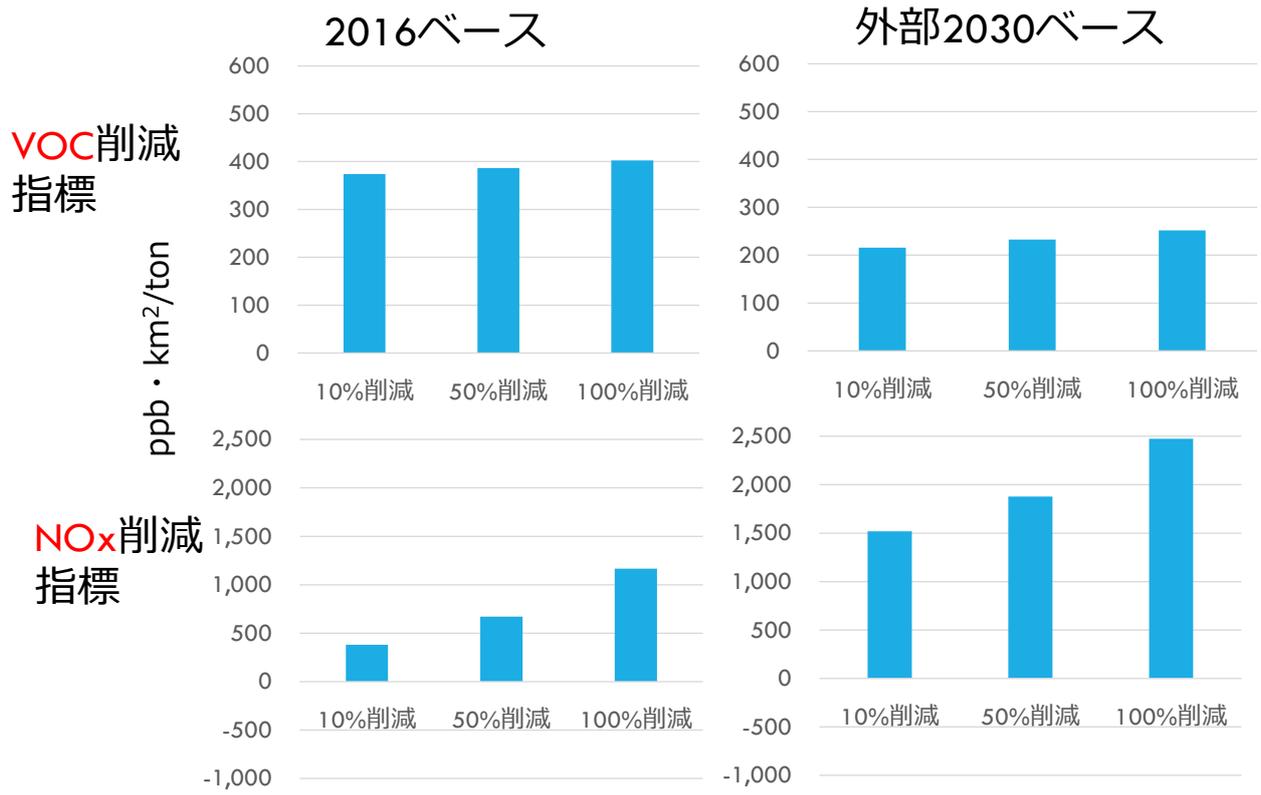


図 4-78 「2016 ベース BVOC0.5 倍」、「外部 2030 ベース BVOC0.5 倍」各ケースから点源 VOC、点源 NOx をそれぞれ 10%、50%、100%削減した際に計算されるオゾン集団暴露量低減効率

図 4-77、図 4-78 によると、外部 2030 年度シナリオを想定すると、2016 年度より VOC 削減指標は小さくなり、NOx 削減指標は大きくなることからわかる。

図 4-79、図 4-80 には、BVOC 設定を変更した場合に点源 VOC、点源 NOx をそれぞれ 10%削減したデータから計算されるオゾン存在量低減効率、オゾン集団暴露量低減効率がどの程度変化するかを示す。

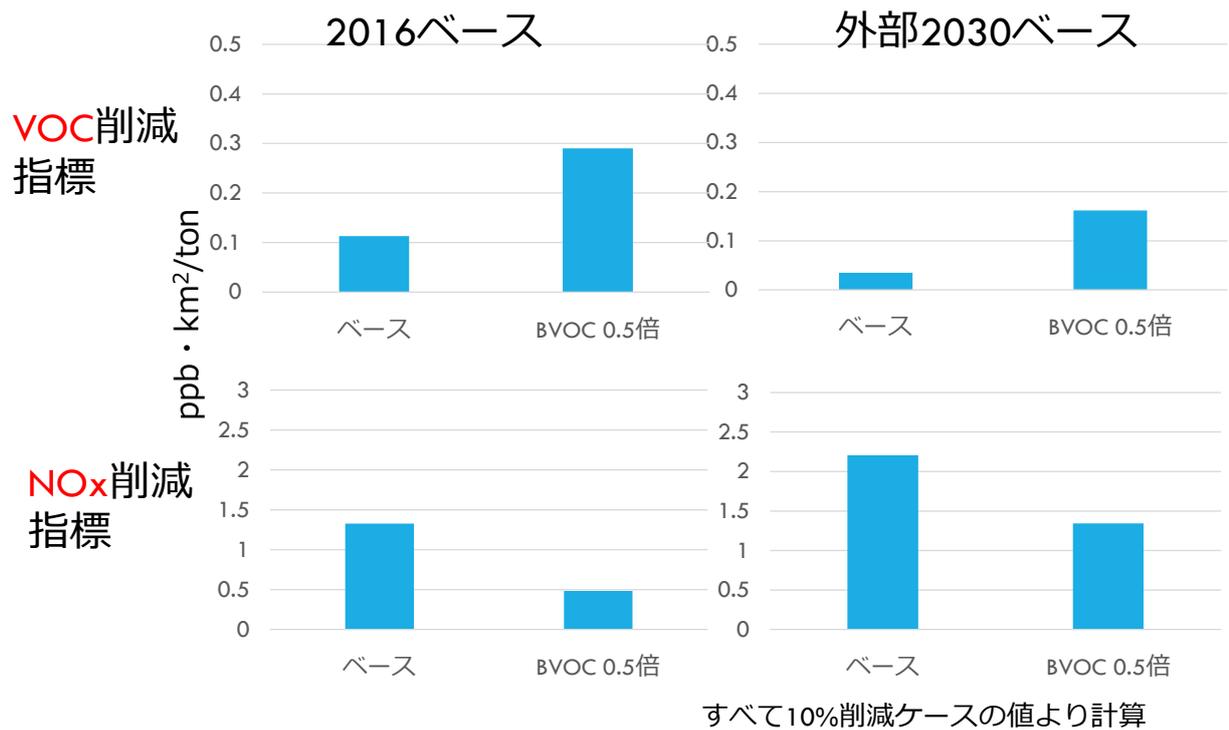


図 4-79 BVOC 設定がオゾン存在量低減効率に与える影響

図 4-79 によると、BVOC 設定がオゾン存在量低減効率に与える影響は 2016 年でも、外部シナリオ 2030 年想定でも小さくないことがわかる。しかし、同時に以下の関係性は BVOC 設定によって変わらないこともわかる。外部シナリオ 2030 年度想定では 2016 年度に比べて、VOC 削減指標が小さくなり、NOx 削減指標が大きくなること、外部シナリオ 2030 年度想定では VOC 削減指標より NOx 削減指標がずっと大きくなること、である。

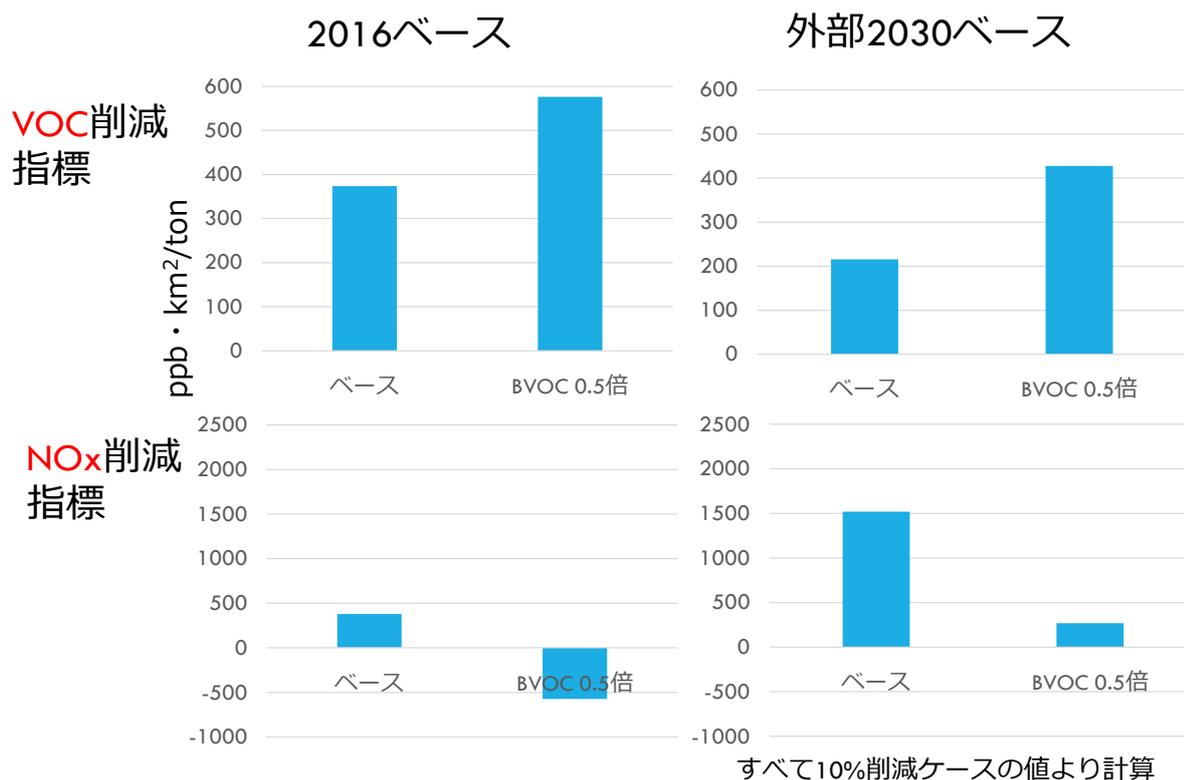


図 4-80 BVOC 設定がオゾン集団暴露量低減効率に与える影響

図 4-80 によると、BVOC 設定がオゾン集団暴露量低減効率に与える影響は 2016 年、外部シナリオ 2030 年想定いずれにおいても小さくないこと(特に 2016 年は BVOC 設定により NOx 削減指標の正負が逆転すること)がわかる。一方で以下の事項は BVOC 設定によって変わらないことも同時にわかる。外部シナリオ 2030 年度想定では 2016 年度に比べて、VOC 指標が小さくなり、NOx 指標が大きくなること、外部シナリオ 2030 年度想定では NOx 指標は正值であること、である。

(5) 環境改善便益の試算

本節における解析の最後に、参考として「2016 ベース」、「外部 2030 ベース」の各ケースから点源 VOC、点源 NOx をそれぞれ 10%、50%、100%削減した場合に得られる環境改善便益を試算した。ここで、環境改善便益としては、昨年度調査と同様、年間死亡者数低減便益、年間コメ収量増収便益を考慮し、オゾン濃度変化から各便益への変換は、昨年度調査と同様、産総研で開発されている「大気汚染対策便益評価ツール」にて同様のパラメータを用いて行った。今回算出される各推計値にも、昨年度業務報告書で示した通り、大きな不確実性があり、それらの推自体は信頼に値するものではないが、ベースケース設定、削減物質設定、削減割合設定に伴う定性的な変動傾向を把握することは可能と考える。

図 4-81 には、環境改善便益(年間死亡者数低減便益と年間コメ収量増収便益の和)の試算結果を、図 4-82 にはそれらを排出削減量で規格化した値を示す。なお、ここで、死亡者数低減便益とコメ収量増収便益の内訳は昨年度報告書で記した通り、死亡者数低減便益 >> コメ収量増収便益であり、環境改善便益 ≒ 死亡者数低減便益である。

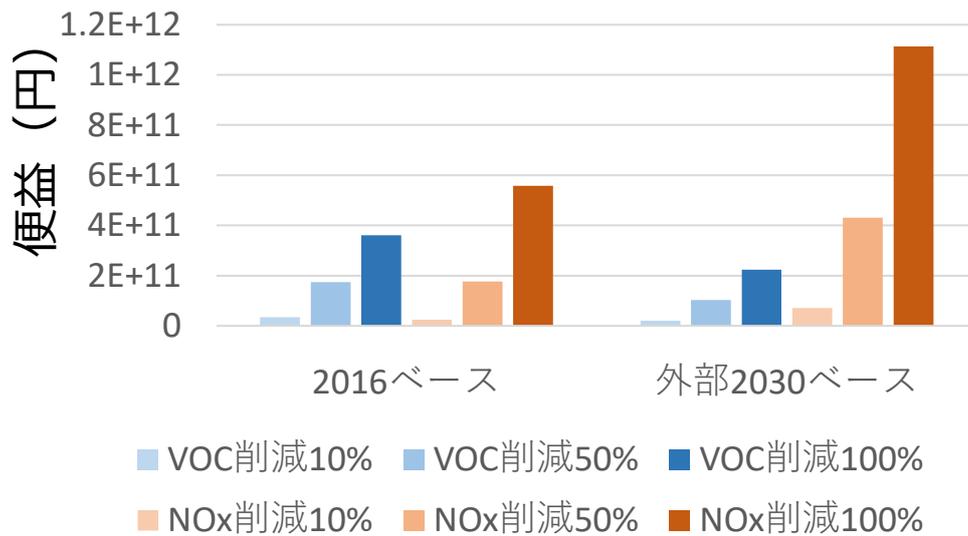


図 4-81 各前駆物質削減シナリオでの環境改善便益推定結果

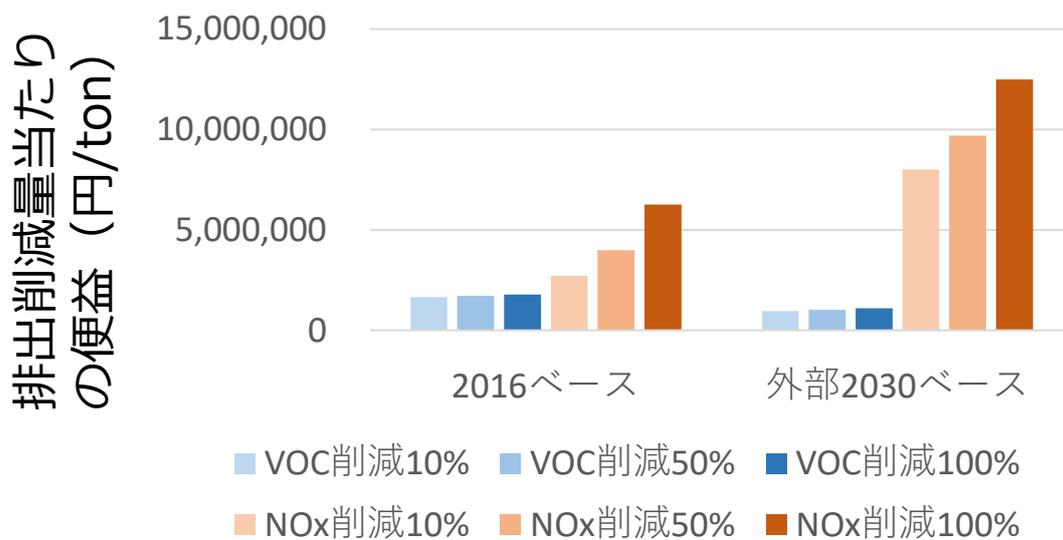


図 4-82 各前駆物質削減シナリオでの単位排出削減量あたりの環境改善便益

図 4-81 によると、大幅削減ケースとして例えば両物質について 100%削減のケースに着目すれば、2016 ベース、外部 2030 ベースのいずれのケースからの削減においても得られる便益は NOx 削減の方が VOC 削減より大きく、この傾向は外部 2030 ベースからの削減でより顕著になることがわかる。それに伴い、ある程度多大な(例えば 1 兆円)の便益を得るためには、VOC 削減では実現不可能であり、NOx 削減、しかも外部 2030 ベースからの削減でのみ実現可能であることがわかる。

また、図 4-82 によると、すべての削減シナリオについて、VOC 削減より NOx 削減の方が同じ排出削減量で高い便益を得られること、外部 2030 ベースからの削減シナリオでは、その傾向がより強まることがわかる。

(6) 本節における解析のまとめと今後の課題

本節における解析により以下のことが示された。2030年の外部排出シナリオを想定すれば、それに対し追加的にVOC点源の排出量を削減することによる得られるオゾン濃度や暴露量の低減効率は、2016年時点でVOC点源の排出量を削減することにより得られる同効率より小さい。それに対し、追加的にNO_x点源の排出量を削減することにより得られるオゾン濃度や暴露量の低減効率は、2016年時点でNO_x点源の排出量を削減することにより得られるオゾン濃度低減効果より大きい。また、ベースケースのBVOC設定を0.5倍に変えて計算しても、定性的には上記の結果と変わらない。今後の課題としては、不確実な外部シナリオについて他の想定でも同様の結果が得られるのかを検討する必要があると考えられる。また、便益推計については今年度調査では試算レベルにとどまったが、今後、各パラメータやオゾン感度推計の不確実性等も考慮してより本格的な推計を行うことが必要と考える。

【参考文献】

- 井上和也, 東野晴行 (2015). 2次生成対応大気モデル ADMER-PRO の開発と検証. 大気環境学会誌, 50, 278-291.
- 環境省 水・大気環境局 大気環境課 (2020). 揮発性有機化合物 (VOC) 成分自動測定機データ取扱要領書. <http://www.env.go.jp/air/osen/voc/VOCData%20handling%20instructions.pdf>
- 産総研 安全科学研究部門 (2011). ADMER PRO Version 0. 8β 技術解説書. https://riss.aist.go.jp/wp-content/uploads/sites/15/2015/08/ADMER-PRO_V08B_techdisc.pdf
- 吉門 洋, 白川泰樹, 中野俊夫, 工藤泰子, 鈴木基雄 (2006). メソスケール気象モデルを用いた長期平均濃度評価手法の検討(I)気象パターン分類と関東平野のNO_x評価, 大気環境学会誌, 41, 1-14.
- Huangfu, P., Atkinson, R. (2020). Long-term exposure to NO₂ and O₃ and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 144, 105998.
- Inoue, K. et al. (2019). Modeling study on the spatial variation of the sensitivity of photochemical ozone concentrations and population exposure to VOC emission reductions in Japan, *Air Quality, Atmosphere & Health*, 12, 1035–1047.
- Redeker, K. R. et al. (2003), Gaseous emissions from flooded rice paddy agriculture, *J. Geophys. Res.*, 108(D13), 4386.
- Vieno, M. et al. (2010). Modelling surface ozone during the 2003 heat-wave in the UK, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 7963–7978.

5 業界団体未加入事業者の状況調査

VOC 自主的取組の参加事業者を増やす上では、業界団体未加入の事業者に、どのように普及啓発を行うかが重要である。このため、事業者における「環境対策についての情報取得方法等に関するアンケート」を実施し、これに基づいて、サプライチェーンを通じた情報伝達の可能性、効果的な普及啓発の方法について検討した。

5-1. アンケートの目的

本調査の一環として、「環境対策についての情報取得方法等に関するアンケート」を実施した。この調査は、経済産業省が取りまとめる VOC 自主的取組への参加企業を増やす上で、どのような周知・啓発の方法が事業者に対して効果的かを検討するため、特に業界団体に未加盟の事業者が、平素、どのように環境規制や対策についての情報を取得・入手しているかを把握するためのものである。

前置きとして、自主的取組の発端、業界団体の役割、未加盟事業者が VOC 自主的取組に参加するための方法について整理しておく。

5-2. 自主的取組に関する経緯等の整理

(1) 化学業界の「レスポンシブル・ケア」と自主的取組の発足経緯

「自主管理」または「自主的取組」という方法は、その源流を辿れば、化学業界における「レスポンシブル・ケア」活動に端を発していると言える。20 世紀の後半、人類が取り扱う化学物質の種類、量は激増した。化学物質を分類・識別する CAS (Chemical Abstract Service) 番号の登録物質数は、1965 年に発足したのち 1990 年ごろまでに 10 万物質、2005 年ごろまでに 2500 万物質が登録され、2019 年 5 月には 1 億 5 千万物質を突破した。化学物質の毒性評価についても、動物実験等による暴露評価試験が、新規に創出される化学物質数に全く追いつかない、という状況が、1990 年ごろから顕在化した。

レスポンシブル・ケア(RC)は、「製品のすべてのライフサイクルにおいて、健康・安全・環境に配慮することを経営方針のもとで公約し、自主的に環境安全対策の実行、改善をはかっていく」取組である。最低限の遵法のみでよい、という考え方から、市民との対話や情報公開を重視し、法律以上の倫理的に正しいことを自主的に実行し、継続的に改善を図っていくやり方である。RC 活動は 1985 年にカナダ化学品生産者協会 (CCPA: Canadian Chemical Producers' Association) が提唱したのが始まりである。1978 年のラブカナル事故、1984 年のポパール事故なども RC 活動の推進を後押しするきっかけとなった。1990 年には日米欧の化学工業協会が集まり、RC を世界に普及させる目的で ICCA (International Council of Chemical Associations) を設立した。通商産業省(当時)は 1991 年、経団連と共同で「経団連・環境自主行動計画 (VPE)」をスタートさせ、化学業界では 1995 年 3 月に日本レスポンシブル・ケア協議会 (JRCC) を設立した。1992 年のリオ・サミットで採択された Agenda21 の「第 19 章」には、化学物質管理に関する実行内容が記載され、RC は有効であると評価された。

自主管理に主軸において化学物質管理を実施する方法は、このような世界的な化学業界の動きから生じており、1996(平成 8)年の大気汚染防止法改正による有害大気汚染物質の自主管理や、2001(平成 13)年に本格運用を開始した PRTR 制度も、この流れの中にある。

有害大気汚染物質の自主管理については、従来の法規制によるばい煙規制等と比べても、法令上の規定の仕方として、以下のように大きな違いがある。大気汚染防止法上で有害大気汚染物質はもともと法規制を緩やかに規定しており、法律の章題も「規制」ではなく、「対策の推進」としている。一部の責務規定を除いて、具体的な規制内容は附則第 9 条に記述されている。法規制の対象は、指定物質の 3 つ(ベンゼン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン)だけでありこれらを一定規模以上で排出する施設を「指定物質排出施設」と呼び、それに対して遵守すべき排出濃度を「指定物質排出抑制基準」として、「排出基準」とは語句を区別して規定している。また、「指定物質排出抑制基準」をオーバーしても罰則はなく、自治体による勧告のみである。

表 5-1 有害大気汚染物質に関する大気汚染防止法上の扱い方の違い

	ばい煙規制 (法規制主体)	有害大気汚染物質 (自主管理主体)	VOC (ベストミックス)
①法律の章題	ばい煙の規制	有害大気汚染物質対策 の推進	揮発性有機化合物の規 制
②主要な法令条文	法第 3 条～第 17 条の 2	附則第 9 条、法第 18 条 の 41～第 18 条の 45	法第 17 条の 3～第 17 条 の 15
③規制物質	ばい煙(いおう酸 化物、ばいじん、 有害物質)	指定物質(3 物質)	揮発性有機化合物(定性 的に定義し、除外 8 物質 を明示)
④規制対象施設	ばい煙発生施設	指定物質排出施設	VOC 排出施設
⑤排出基準に相当 するもの	排出基準	指定物質抑制基準	排出基準(法規制対象の み)
⑥罰則の取扱い	直罰	勧告	改善命令→罰則

有害大気汚染物質は、中央環境審議会において候補物質、優先取組物質が選定され、そのうち 12 物質が、自主管理の対象であった。自主管理対象 12 物質のうち 11 物質は化学物質であり、(一社)日本化学工業協会が幹事団体を代表し、30 の幹事団体をとりまとめる形で主導した。ニッケル化合物は粉じん様であり、(一社)日本鉱業協会が幹事団体となった。

表 5-2 有害大気汚染物質の自主管理/VOC の自主的取組の概要

	有害大気汚染物質の自主管理		VOC の自主的取組
法令	大気汚染防止法(H8 改正)		大気汚染防止法(H16 改正)
時期	第 1 期:H9～11、第 2 期:H13～15		H18～(基準年度:H12)
削減対象 物質	11 化学物質	ニッケル化合物	VOC 全般(業界団体が削減物質を指定 するケースもあり)
業界団体	日本化学工業協会	日本鉱業協会	41 団体
成果	2 期を通じ、11 化学物質について平均 78%排出削減(ニッケル化合物を除く)		3 割目標年度までに法規制+自主で 45%、自主で 45%排出削減

(2) 自主的取組における業界団体の役割

VOC 自主的取組は、有害大気汚染物質の自主管理を成功事例として行われている。VOC は大気汚染防止法では定性的な定義であり、除外 8 物質のみが明示されている。このため対象範囲が非常に広く、業界団体も多様である。業界団体は、自主的取組において、自主行動計画を取りまとめ、企業からの排出量や対策報告を集計している。取りまとめ役・推進役であるとともに、個別企業の詳細は秘匿し、それを合計した団体単位での内容のみを経済産業省に報告することによって、社会への情報公開性・検証性と、個別企業の秘匿性を両立している。自主的取組は、個別企業がバラバラに対策を講じているだけではなく、情報の公開や検証の仕組みを内在させることが求められている(中央環境審議会意見具申、平成 16 年 2 月 3 日、揮発性有機化合物の排出抑制のあり方について)。レスポンシブル・ケアの考え方から言っても情報公開性、コミュニケーションは重要であり、排出物質の種類や量の詳細な公開は、ライバル会社からの製造方法・原料の類推につながったり、工場周辺での無用な風評(有害物質の排出)につながり得る点は留意が必要である。

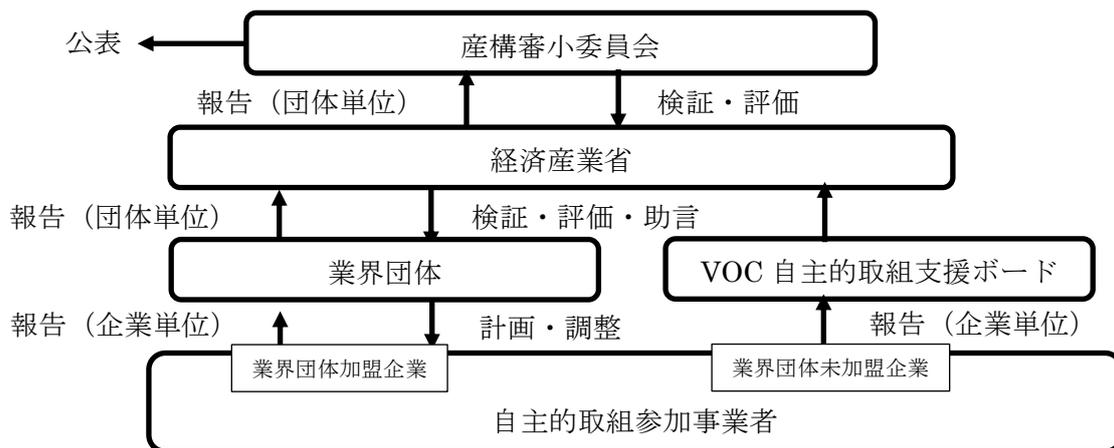


図 5-1 自主的取組の仕組み

(3) 自主的取組における業界未加盟企業の参加方法

前項で、業界団体が、自主的取組において、とりまとめ役と共に、重要なフィルター役を果たしていることを述べた。しかし、個別の企業が、何らかの業界団体に加盟しているかどうかは、あくまでも任意である。そこで、業界団体に加盟していない企業が、経済産業省が取りまとめる自主的取組に参加できるよう、報告の受け皿となるよう、平成 19 年 10 月に設置されたのが(一社)産業環境管理協会の VOC 自主的取組支援ボードである。支援ボード参加企業は、1 年に 1 回、排出量報告を行い、それを集計したものが経済産業省に報告される。

5-3. アンケート実施概要

本アンケートの実施概要は、以下の通りである。

- ・アンケート送付先:1,980 社
- ・アンケート期間:自・令和 3 年 12 月 10 日(金)～至・令和 4 年 1 月 14 日(金)
- ・アンケート方式:Google Forms によるオンラインアンケート+Word メール添付による回答
- ・回収状況:有効回答 135 件(回答が一部欠落していた 3 件を除いた件数)

5-4. アンケート送付先企業の抽出方法

アンケートの送付先は、(株)東京商工リサーチに外注し、1,980 件の送付先リストを抽出・作成していただいた。まず、この企業リストの作成方法について述べる。

アンケート送付先企業のリストの内訳を表 5-3 に示す。

表 5-3 のうち、太線より上、No.1～9 の業種は、経済産業省の VOC 自主的取組に参加している団体の業種であり、かつ、捕捉率が低い業種である。捕捉率とは、次の定義による。

捕捉率=経済産業省 VOC 自主的取組で報告されている業種別排出量/環境省 VOC インベントリで報告されている業種別排出量 (%)

表 5-3 アンケート送付先企業の内訳

業種分類 (標準産業分類)		H30 捕捉率	送付先 企業数	送付先リストから除外する所属団体 (経済産業省の VOC 自主的取組参加団体)
1	自動車整備業	1%	300	日本自動車車体整備協同組合連合会
2	家具・装備品製造業	8%	300	日本オフィス家具協会
3	パルプ・紙・紙加工 品製造業	11%	200	日本製紙連合会
4	金属製品製造業	18%	200	ドラム缶工業会等 9 団体 ※1
5	非鉄金属製造業	20%	150	日本伸銅協会、日本電線工業会、日本アルミニウム協会
6	プラスチック製品 製造業	32%	150	日本プラスチック工業連盟、日本粘着テープ工業会
7	繊維工業	37%	100	日本染色協会
8	ガス業	39%	80	日本ガス協会
9	輸送用機械器具製 造業	44%	100	日本自動車車体工業会、日本自動車部品工業会、日本自動車工業会
10	土木工事業		100	
11	建築工事業		100	
12	(塗装工事業)		100	
13	洗濯業		100	
		合計	1,980	

例えば、最上行の自動車整備業を例にとると、平成 30 年度の VOC 自主的取組実績として日本自動車車体整備協同組合連合会から経済産業省に報告されている平成 30 年度排出量は 260 トン（321 社合計）であり、一方、同年度の環境省 VOC インベントリで報告されている自動車整備業の業種別排出量は 17,892 トンである。したがってこの捕捉率は $260 / 17,892 \times 100 = 1.4 \approx 1 (\%)$ となる。このように排出量ベースでの捕捉率が低い業種(捕捉率 50%未満)を抽出し、その企業リストの中から、経済産業省の VOC 自主的取組の参加団体への加盟企業を除外した上で、中欄にある送付先企業数に調整して、アンケート送付先リストとした。

また、No.10～13 の業種は、経済産業省の VOC 自主的取組に参加している団体が無い業種であるが、環境省 VOC インベントリでは業種別排出量で比較的上位にランクしている業種である。これについては、企業リストからランダム抽出して、中欄にある送付先企業数に調整した。

なお、表中、ガス業については、元々の企業数が少ないため、日本ガス協会の所属企業を除くと 80 件となっている(100 社に満たない)。そのため、送付先企業数の合計は 1,980 件となっている。

上記のようなアンケート送付先の抽出方法としたのは、「どの業界団体にも加盟していない企業」を抽出することが出来ないためである。このため、回答者には、「業界団体未加盟の企業」と、「自主的取組参加団体には加盟していないが他の団体には加盟している企業」が混在する。

5-5. 個別回答の傾向

(1) 業界団体への所属の有無

- ・業界団体に全く加盟していない事業者も一定数見られた。
- ・業界団体に加盟している事業者では、その具体的な所属団体名は、商工会議所、商工会が比較的多かつ

た。

(2) 環境規制等の情報入手経路

- ・業界団体加盟企業でも、未加盟企業でも、情報入手経路は、取引先からの情報提供が多かった。
- ・業界団体加盟企業では、業界団体や、経済団体からの情報入手が多い。
- ・未加盟企業では、省庁や自治体からの情報を入手している。一方で、環境規制等の情報入手はしていない、との回答も一定数あった。

(3) サプライチェーンを通じた情報提供

- ・直接の取引先からの情報入手として、サプライチェーンを通じた情報提供が一定数見られた。
- ・業界団体に加盟している場合は、直接の取引先ではなくても、他社の会員でサプライチェーンの上流・下流の企業が情報発信していれば、情報共有に繋がる可能性がある。

(4) 法規制以外の追加的な環境対策や自主的取組の実施

- ・業界団体加盟／未加盟に関わらず、関心はあるが、費用・人手・時間等の制約で手が回らないとの回答が多かった。未加盟企業では「法的義務のない環境対策にそもそも関心がない」との回答も多い。
- ・付加的な環境対策に関心を持つための条件としては、補助金を挙げる回答が多かった。これは、法規制以外の対策に予算を計上・確保することが難しい(=優先度が低い)ケースを示唆していると考えられる。

(5) VOC の自主的取組の認知度

- ・自主的取組の内容まで知っている事業者は極めて少なかった。

5-6. 効果的な普及啓発の方法について

(1) 商工会議所の活用

日本商工会議所のご協力を得ての周知啓発は有効と考えられる。所属業界団体名として商工会議所・商工会を挙げているケースがあった。日本商工会議所は、全国約 550 の商工会議所とイントラネットを共有しており、ここへの記事やお知らせの投稿により、周知啓発を図ることができる。

(2) サプライチェーンを通じての普及啓発

取引先企業からの情報入手は行われており、直接的なコミュニケーションの中で、規制動向などの情報が伝達されている可能性がある。

ただし、サプライチェーンの関係企業であっても、直接の取引先であっても、まずは彼らに一次情報が提供できなければ、具体的な情報はその先の事業者には伝わらないことに留意すべきである。一定数の事業者に情報提供ができれば、サプライチェーンを通じて、その取引先へと伝達される効果はある程度期待できる。

(3) 環境規制等の情報を提供する方法

事業者に、環境規制等の情報を届ける方法としては、リーフレットやメールマガジンなど、放っておいても事業者の手元に届くような形態の情報経路を活用することが有効と考えられる。省庁、自治体、業界団体等でもホームページは整備されているが、ホームページには、以下の短所がある。

- ①一定の頻度で、事業者側がアクセスしないと、情報が入手できない。
- ②アクセスしても、見るべき情報がどれなのか、どこにあるかを探さなくてはならない。
- ③前回アクセスした時から、どこが更新されているかを分別しなくてはならない。

省庁・自治体や、経済団体を通じ、リーフレットやメールマガジンを援用して、事業者の手元に形のある情報が届く方法を活用することが有効と考えられる。

(4) 自主的取組の認知度

経済産業省の VOC 自主的取組に参加していない事業者においては、未だ自主的取組の認知度は低い。法規制情報であれば、事業者が対応すべき法的義務に関心が及ぶが、自主的取組の場合は、「そもそも自主的取組とは何なのか」「それに参加する義務やメリットがあるのか」と言った観点で、知りたい、あるいは知らなければならぬ、という動機が働きにくい点もある。

引き続き、平易で、参加動機が働くような、普及・啓発の工夫が必要であると考えられる。

6 まとめ

6-1. 令和3年度調査結果のまとめ

(1) 定量的評価

① 気象パターンを変化させてのオゾン存在量低減効率の計算

- 関東では、夏は VOC 及び NOx 削減ともオゾン濃度低減に寄与するが、NOx の方が効果が高い。冬は VOC 削減がオゾン濃度低減に寄与せず、NOx を削減するとオゾン濃度は増加する。
- 近畿では、夏は NOx削減の効果が高い。冬は VOC 削減がオゾン濃度低減に寄与せず、NOx を削減するとオゾン濃度は増加する。

② 狭い地域での(前駆物質削減による)オゾン存在量低減効率の検討

- どの場所で前駆物質を削減するかにより、オゾンの削減効果は大きく変動する。

③ 植物起源 VOC の評価

- 基礎放出量を与える樹種分類の細分化、植物の季節による放出量変動の加味、モノテルペン類の光量依存性の加味など、ADMER-PRO のモデルの改善課題が明らかにされた。
- 都環研の知見を活かし、ADMER-PRO の都区内の BVOC 基礎放出量データを更新した。広葉樹のモノテルペンの基礎放出量等が大幅に改善された。ただし、これを加味したオゾン低減効率等は、大きくは変化しなかった。
- 我が国においては、精緻な植生データの整備、植物から放出される BVOC の測定値などの面で、科学的知見が不足している。
- ADMER-PRO においては、BVOC が過大評価されている可能性がある。

④ 将来外部排出シナリオを想定した場合のオゾン存在量低減効率の検討

- 将来外部排出シナリオを想定した場合には、現状の排出量を想定した場合に比べ、オゾン低減に対する点源の NOx 削減の効率性はより高く、点源の VOC 削減の効率性はより低くなる。

(2) 業界団体未加入事業者の状況調査

- 経済産業省の自主的取組未参加の企業を対象にアンケートを行い、以下の結果を得た。

① 業界団体に加盟していても加盟していなくても、取引先から規制情報等入手している場合が多い。

② 商工会議所や商工会に加盟している企業は多く、商工会議所を通じての情報提供は効果があると期待される。

③ ホームページへの情報掲載は、事業者がアクセスしなければ情報を得られないので、リーフレットやメールマガジンなど、事業者の手元に情報が届く方法を活用することが望まれる。

6-2.3 年間の成果のまとめ

本事業は、令和元年度から3年度にわたって実施し、各年度の調査結果の概要は、当該年度の産構審小委にてそれぞれ以下の資料にて報告している。

(令和3年度の調査概要)

https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/sangyo_kankyo/pdf/010_02_02.pdf

(令和2年度の調査概要)

https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/sangyo_kankyo/pdf/009_02_02.pdf

(令和元年度の調査概要)

https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/sangyo_kankyo/pdf/008_02_02.pdf

3年間を通じて、地方、立地、気象条件、ベース排出データの設定、前駆物質の削減設定、BVOC設定など、様々な条件を設定してシミュレーション計算し、前駆物質の排出削減が、オゾン低減効率に及ぼす影響を検討してきた。また、検討会での議論を受けて、計算値の妥当性、実測値との比較などの検証も実施した。シミュレーション計算による定量的評価に係る調査内容を、表6-1および表6-2に整理した。

ADMER-PROの開発当時の2008年ごろは、BVOCに関する知見が不足しており、その後の知見の進展はあるものの、現在なお知見の不足が認められる。そのような中でもADMER-PROのBVOC設定値、計算方法の改善を図っていく余地があり、改善の方向性を本事業で整理した。しかしながら、現在のBVOC設定の下での定量評価シミュレーションにおいても、将来を含め、VOCの排出削減がオゾン低減に及ぼす効果が、地方、立地、時期、季節、気象条件などの条件によって大きく変化することが確認出来た。

VOCの排出削減によるオゾン低減効率は、夏季の高濃度オゾン生成気象条件下では関東>近畿>東北の順に大きく、過去(2005年)よりも近年(2016年)の方が低下し、NO_x-Limited(=NO_xを削減した方がオゾン低減に効果がある)側に移行しており、このような長期の変化傾向は、今後の将来についても言えると考えられる。また、排出場所の地方や立地によって、オゾン低減効率が異なることが示されている。そのような傾向にある中で、どのような条件下で、VOC削減がオゾン低減に効果があるかを更に詳細に検討していく必要がある。VOCを削減しても、条件によっては、意に反してオゾン濃度が上昇する可能性があることが示されており、事業者のVOC排出削減が、オゾン濃度の低減に資するケース、しないケースを見出し、その費用対効果、費用便益分析等を行うことが必要である。多くの場合トレードオフ関係にある環境対策のメリット・デメリットを定量的に整理することは、環境政策の方向性を検討するための有用な方法であり、VOC以外の環境問題についても、同様な方法論を適用できる可能性がある。政策判断に留まらず、事業者に対して、効果的な対策が可能なのかを、判断できる材料を示していくことは、今後ますます重要である。

かつての地域公害のように、特定の物質が高濃度に排出されて人健康被害をもたらす場合とは異なり、光化学オキシダントの問題は、前駆物質が化学反応によりオゾンを生成すること、前駆物質の削減がそのままオゾンの低減に繋がらない場合があることなど、複雑な現象である。

シミュレーション計算以外の調査として、広報資料(VOC排出削減のための取組事例について)の作成(令和元年度)、将来VOC排出量の推計、効果的なオゾン濃度の低減方法の検討、工業会等に未加入の事業者への対応(リーフレット配布による普及啓発)(令和2年度)、業界団体未加入事業者等における「環境対策についての情報取得方法等に関するアンケート」による規制等の情報入手の実態把握(令和3年度)を通じ、事業者の現状把握や分析、自主的取組の今後の更なる推進に向けての基礎資料を整理した。

表 6-1 VOC 排出削減効果の定量的評価に向けた検討等業務(メイン検討項目)

大項目	年度	実施事項	結果	今後の課題
1. 前駆物質削減によるオゾン低減効率(VOC 指標、NOx 指標)の計算	R1	1-1. VOC 指標の計算 時期:2005(初期)、2016(近年) 地方:関東、近畿、東北 気象:夏期高濃度	近年、VOC 指標は低下 VOC 指標は 関東>近畿>東北の順に大きい	
	R2	1-2. NOx 指標の計算	VOC 削減指標と逆の傾向を確認 近年、NOx 指標は上昇 NOx 指標は 東北>近畿>関東の順に大きい	
	R3	1-3. より狭い領域で前駆物質を削減した場合の指標値の変動	[夏期] 都市部、混在部、郊外部で大きく異なる NOx 削減指標は都市部<混在部<郊外部 VOC 削減指標は逆順 [春期] 狭地域の指標順番は夏とほぼ同じ NOx 削減指標(近畿)は都市部と郊外部で正負が逆転	
2. VOC 指標の業種間変動要因の推定	R1	2-1. VOC 指標と MIR、立地パラメータの相関分析	個別の相関は低いが、(MIR×立地パラメータ)との積との相関は高い	・夏期高濃度でない気象パターンで、立地との相関はどうなるか? ・立地パラメータの整備(他の地方、季節)
3. 他の気象パターンにおける低減効率の検討	R1	3-1. 夏期高濃度と、夏期頻出気象での指標値の比較(関東)	オゾン集団暴露量低減効率は大きく変化し、オゾン存在量低減効率はあまり変化しない	
	R2	3-2. 春期の高濃度/再頻出、夏期の高濃度/再頻出、の 4 気象パターンでの検討	[関東及び近畿] 夏季 NOx 指標>VOC 指標 春季では逆。 [東北] 夏季及び春季とも NOx 指標>VOC 指標 →夏季には NOx 律速、春季には VOC 律速が強まる	ADMER-PRO では、51 時間助走計算を行った後に対照日の計算をしているが、この間の気象パターンが異なる場合に、差は生じるのか?例えば、晴→晴→高濃度日のような条件と、雨→雨→高濃度日、のような条件では結果は異なるのか?
	R3	3-3. 年間を代表できる 12 気象パターンでの指標値算出	2 業種年間平均値では、 VOC 指標:関東>近畿 VOC 指標>NOx 指標 cf.夏期高濃度気象条件では、VOC 指標<NOx 指標であった。	

	R3	3-4. 年間気象パターンによる指標値の変動	[関東] 〔夏期〕VOC、NOx 指標とも正值で大、VOC<NOx 指標 〔冬期〕VOC 指標がほぼゼロで NOx 指標が負値 〔春・秋〕VOC 指標が正值で小さく、NOx 指標は負値 [近畿] 〔夏期〕NOx 指標が VOC 指標より非常に大きい ※NOx 削減が、VOC 削減に比べて優位となるのは夏のみ。	
4. 前駆物質の大幅削減、および将来予測	R2	4-1. 前駆物質 (VOC、NOx) をそれぞれ 50%、100%削減した場合の指標計算	NOx を大幅削減した方が、関東地域全体のオゾン低減効果が高い領域が増加 大幅削減時、NOx 指標は大幅に上昇、VOC 指標は変わらない	
	R3	4-2. 長期的な NOx、VOC の削減検討	2016 年ベースと将来の 2030 年排出量を設定した上で、固定発生源の VOC、NOx を削減して比較すると、 ・VOC 削減指標は小さくなり、NOx 削減指標が大きくなる。 ・BVOC 設定を 0.5 倍として同様に計算すると、前項よりは指標が VOC-Limited 側に変化するが、年代による定性的な傾向は変わらない。	・将来起こり得る排出量シナリオの検討(電気自動車の普及、カーボンニュートラル、エネルギー転換、技術革新など) ・オゾン低減、コスト、リスク低減の面で、排出削減シナリオの比較
5. 植物起源 VOC の検討	R2	5-1. BVOC 推計の課題調査(ヒアリング)	基礎放出量データ(Bao et. al)は過大評価の可能性 植物の活量による季節変化が未反映 知見不足(フラックスデータ、植生の細分)	
	R2	5-2. BVOC のトップダウン推計	米国では衛星 HCHO とイソプレンの計算値が合致するが、日本では合わない。	・近い将来、新たな衛星データの利用が期待できるようなのでキャッチアップする。
	R2	5-3. BVOC 設定値の変動計算(0.5倍、1倍、2倍)	BVOC 設定を大きくすると、NOx 律速が強まる。 VOC 指標漸減、NOx 指標増加	
	R3	5-4. BVOC 設定の課題抽出(都環研)	①広葉樹の BVOC 設定方法が粗い(提案:樹種ごと基礎放出量の実装、植生マップ精緻化) ②基礎放出量の季節変化を加味すべき ③モノテルペンの放出量の光量依存性を加味すべき	・植生分布データの整備(外部) ・基礎放出量の樹種別の分類を細分化 ・基礎放出量測定データの整備(外部) ・季節による植物の活量変動の加味
	R3	5-5. 都環研データによる、ADMER-PRO の都市部 BVOC 基礎放出量データの更新(都環研)	都環研の街路樹基礎放出量データ、葉面積分布推定データから、ADMER-PRO の分類に合わせた基礎放出量データを更新。	・ADMER-PRO における BVOC 設定の全体的な更新
	R3	5-6. 前項(5-5.)の設定更新後の指標値の算出	BVOC 設定更新による指標の変動は軽微(都市部街路樹の更新による総 BVOC 排出量の変動が小さいためと思われる)	

表 6-2 VOC 排出削減効果の定量的評価に向けた検討等業務(サブ項目)

大項目	年度	実施事項	結果	今後の課題
(1)他の手法や調査、実測値との比較	R1	(1-1)衛星観測との比較(1-1.関係) 時期、地方による VOC 指標の傾向を衛星観測レジーム分析と比較	1-1の結果と整合 (VOC 指標は関東>近畿>東北の順で近年低下)	・衛星観測で、VOC、PM2.5 研究に役立てられるリソースを整理しておくとい。
	R1	(1-2)環境省光化学オキシダント調査検討会報告書(H29.3 月、CMAC モデル)と比較(1-1.関係)	関東地方の VOC、NOx10%削減によるオゾン低減濃度が概ね整合する。	
	R2	(1-3)予測と実測によるオゾン濃度経年変化地理分布の整合性検討	年代、地方別の VOC 指標、NOx 指標低減効率の傾向は、船舶排出量の設定、BVOC の設定、オゾン測定方法の変化(乾式法の普及)等を加味すれば、定性的に整合	
	R3	(1-4)環境省 VOC 成分自動測定値との比較	・BVOC 設定が 0 倍、または 2.0 倍の場合、観測値と計算値の乖離が大きい。 ・BVOC 設定が 0.5 倍、または 1.0 倍の場合、観測値と計算値の一致性が高い。どちらが高いかは評価項目による。	・イソプレンの計算値の時間変動パターンに関する検討
(2)指標値の性質、計算方法の確認	R1	(2-1)指標値の線形性確認	VOC 削減率を 10%としても、実際の削減量に変えても VOC 指標は同じ	・線形性が崩れるのは、どこからか？
	R1	(2-2)指標の加算性の確認	①VOC10%削減、②NOx10%削減、③VOC と NOx を同時に 10%ずつ削減では、指標値に①+②=③の関係が成り立つ。	
	R1	(2-3)オゾンの平均化時間の確認 指標の算出において、オゾン濃度を 1 時間値と 8 時間平均値とした比較	オゾン濃度が 1 時間値でも 8 時間平均値でも VOC 指標は同じ	
	R2	(2-4)オゾンの初期条件、境界条件が計算に与える影響の確認	オゾンの初期値を 0 と設定して指標値を計算したが、有意差は認められなかった。	
(3)計算環境の整備	R1	(3-1)排出量の 2016 年詳細インベントリの作成	排出量データを 2015 簡易版(2005 年比 60%)と 2016 詳細版として指標値を比較したが、殆ど同じであった。	
	R2	(3-2)VOC 発生源の対象業種の拡大	R2 年度より、2 業種を追加し、環境省インベントリの上位 10 業種として計算(ただし、洗濯業は配分不能のため除外した)	
(4)費用対効果の試算	R2	(4-1)費用対効果、費用対便益の計算	関東地方、VOC10%削減時、便益は+128 億円、NOx10%削減時、便益は-257 億円。 人口が多い南関東で便益大。	・オゾンの疫学的知見(閾値及びその有無)、及び各種対策コストに関する情報が不足。 ・VOC、オゾン、PM2.5、NOx を横断的にリスク、費用、便益まで長期評価。

7 今後の検討事項

(1) 今後の検討事項の概要

産構審小委での報告資料(資料 2-2、p.18)より、今後検討すべき事項の概要は以下のとおりである。

[1] BVOC 設定の精緻化

- ADMER-PRO における BVOC 設定は、現在よりも知見が不足していた 2009 年頃の知見に基づいている。夏季の基礎放出量を通年使用するなどの問題があり、放出量データの見直しや変動設定の加味など、引き続き改善検討を行うことが望ましい。
- ボトムアップ推計に加え、衛星データからのトップダウンによる BVOC 排出量推定の可能性など、引き続き最新知見を調査する。

[2] リスク及び費用対効果の検証

- これまでの本調査の実績を踏まえ、オゾンの疫学的知見の収集、オゾン低減に係る対策費用の効率の変化(費用対効果)について検証を行ってはどうか。

(2) 検討会等における今後の検討事項のまとめ

本事業の検討会において、今後検討が必要と思われる事項について委員意見が出たので、それを表 4-2 に整理しておく。また、産構審小委(第 10 回)の委員のご意見としては、引き続き知見を深め、効果のある条件や対策について探求すべき、知見を深めるべき、とのご意見が大勢であった。

表 7-1 今後の検討事項(検討会でのご意見)

分類	課題事項	ご意見・ご提案
1. 各種条件におけるオゾン低減効率計算	1-1. 夏以外の季節における排出源の立地特性との関係	・夏期高濃度でない気象パターンでは、立地との関係はどうなるか？(ただし、実施するには、関東以外の地方・夏以外の季節における立地パラメータの整備が必要)
	1-2. 計算期間内の細かな気象変化の影響	・ADMER-PRO では、51 時間助走計算を行った後に対象日の計算をしているが、この間の気象パターンが異なる場合、結果は異なるのか？同じ代表日の条件で、助走計算期間中の気象条件(晴雨、風向風速)が異なるケースを複数抽出し、結果の比較を行ってはどうか。
2. BVOC の知見の充実および設定の改善	2-1. Bao 氏らの基礎放出量データの更新	・測定作業を伴う調査は意義がある。 ・基礎放出量のデータは少ないが、更新は可能と思う。ただし、実装に関しては十分な検討が必要。
	2-2. 広葉樹の基礎放出量設定を細分化(樹種ごと)。	・広葉樹には、樹種により「放出するもの」と「全く放出しないもの」があり、さらに「放出するもの」でも、樹種により放出量と成分(イソプレン・モノテルペン)に大差がある。
	2-3. 植生マップの精緻化。	・環境省生物多様性センターの植生分類図にもとづいて、ADMER-PRO の広葉樹を樹種レベルに細かく分類することは可能と思う。 ・ただし、環境省の植生分類図が扱っているのは群落の優占樹種のみであるため、樹種構成が複雑になるほど、実際の多種樹木からの放出とは違ってくる。
	2-4. 基礎放出量に	・多くの樹種において、基礎放出量自体が季節変化する(気温と光量

	<p>関して、樹種の活量変化に基づく季節変動を加味。</p> <p>2-5. 広葉樹のモデルペンについて、温度依存モデルを、温度・光量依存モデルに変更。</p> <p>2-6. 都市部の樹木量を加味し、他県都市部の BVOC 基礎放出量データを変更</p> <p>2-7. イソプレンの計算値と実測値の比較</p>	<p>が同じでも、季節により異なる)。</p> <ul style="list-style-type: none"> •ADMER-PRO の BVOC データは夏季の測定データであり、これを通年一定と見なして基礎放出量を設定している。 •温度依存モデルにより、日射がなくとも気温が高ければ BVOC を放出するという予測となる。特に夏の夜間には放出量の過大評価となることが懸念される。 •東京都以外の他県のデータ更新が、可能なのであればできるが、都環研次第。 •BVOC の定点の時系列変化が計算と違うのは気になる。Scientific に知りたい。集中的な観測や、他の領域計算のモデル計算も含めて。 •集中観測以外に、過去の文献を含め、利用可能なデータを洗いなおすことも意義がある。 •現場観測としては、有害大気汚染物質の測定でホルムアルデヒドの 24 時間値を季節別に測っているところがあると思う。 •混合層高さ、VOC 排出、光化学反応性によって、朝夕にピークを示す場合がある、という報告もある。
	<p>2-8. 衛星観測データを利用したトップダウン推計</p>	<ul style="list-style-type: none"> •衛星観測では、韓国の GEMS で静止衛星から日変化も含めてホルムアルデヒドを測っている。来年まで検証中。近い将来、時系列データが使えるかも知れない。 •GOSAT (Greenhouse gases Observing SATellite) GW で NO₂ を測ることになっている。2023 年末よりも先なら 1km 四方で NO₂ が測れるかも知れない。
3. 環境対策の費用効果・便益分析	<p>3-1. 費用対効果、費用対便益分析</p>	<ul style="list-style-type: none"> •本事業でも少し触れており、引き続き検討することが有益である。 •対策費用の見積もりについては、文献(有害大気汚染物質対策の経済性評価調査(経済産業省、平成 15 年度)、PM2.5 検討会報告書(東京都、平成 30 年度))がある。 •産総研でも「環境対策費用便益分析ツール」開発をはじめており、そのベース技術を生かせる可能性がある。
4. 将来予測	<p>4-1. 将来予測において加味すべき事項</p>	<ul style="list-style-type: none"> •令和 3 年 11 月微小専で検討され、2 月の大気騒音部会で報告にあった、「気候変動・大気環境改善のための光化学オキシダントの総合対策」の“今後の取組事項”の中に、この検討会の知見を反映させて欲しい。 •BVOC と今後の規制動向による VOC、NO_x 排出動向を加味した将来予想を行い、追加的に何が真に効果的でコストパフォーマンスな優れた対策なのかという視点は重要。 •将来予測において、我が国の固定発生源だけでなく、カーボンニュートラルによるパラダイムシフト、エネルギー転換、中国、韓国等も含めた技術革新他の部分も合わせて総合的にみるべき。