

VOC排出削減効果の定量的評価等 に関する調査

令和4年3月7日

定量的評価に関する調査検討会

調査の目的及びこれまでの調査内容

(調査の背景及び目的)

- 引き続きVOC排出抑制が求められる中、自主的取組については効率的に実施していく必要がある。このため、VOC排出削減による光化学オキシダントの低減効果を定量的に評価する方法について検討が必要

(これまでの調査内容)

<令和元年度>

VOC排出削減による光化学オキシダントの低減効果を定量的に評価するための調査を行った。具体的にはVOCについて、排出削減前後のオゾン濃度※を計算し、「オゾン存在量低減効率」により、効果を定量的に評価した。 ※以下はオゾン濃度と記載

<令和2年度>

- ① 窒素酸化物(NO_x)の排出削減による効果の定量的評価: 前年度に続き、もう一つの前駆物質である NO_x を排出削減した場合の、オゾンの低減効果を定量的に評価した。
- ② 気象パターンによる変動: 夏季及び春季の4つの気象条件における「オゾン存在量低減効率」を求め、その違いについて検証を行った。
- ③ 前駆物質の大幅削減の試算: VOC及び NO_x の固定発生源からの排出量を大幅削減した場合の「オゾン存在量低減効率」を計算した。
- ④ 植物起源VOCの評価: 植物起源VOC(BVOC)について過去の調査を踏まえ、知見の整理を行った。又、BVOCの排出量推計値の違いが、「オゾン存在量低減効率」に与える影響についての検証を行った。

今年度調査内容

過年度の成果と課題を踏まえ、今年度は以下の事項を実施した。

【実施事項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

昨年度までの気象パターンの検討をさらに拡大し、年間の全ての気象条件を代表できると考えられる12パターンの気象条件でオゾン存在量低減効率を計算し、その変動を評価した。

【実施事項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

従来、地方単位でVOC・NOxを削減設定⇒地方単位でオゾン存在量低減効率等を計算してきたが、これを、より狭い地域でVOC・NOxを削減設定⇒地方単位でオゾン存在量低減効率を計算し、効果の違いを比較した。

【実施事項3】植物起源VOC設定に関する検討

昨年度の事業により、BVOCの設定によりオゾン存在量低減効率は大きく変わることが分かった。このため、以下の事項を実施した。

- ・ADMER-PROにおけるBVOC設定の改善可能性について、文献調査等により課題を整理した。
- ・一部のデータや設定を変更して、オゾン存在量低減効率を計算した。
- ・BVOC設定を変更した場合のオゾン濃度及びBVOC濃度を観測値と比較検討した。

調査体制

- 調査体制としては以下のとおり。
- 有識者や産業界委員からなる検討会を設置。

定量的評価に関する調査検討会委員

(○:委員長、五十音順、敬称略)

事務局
(一社)
産業環境
管理協会

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	(国研)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
原川 浩美	一般社団法人 日本塗料工業会	常務理事
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	(国研)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
森 二郎	一般社団法人 日本化学工業協会 VOC検討SWG	主査
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

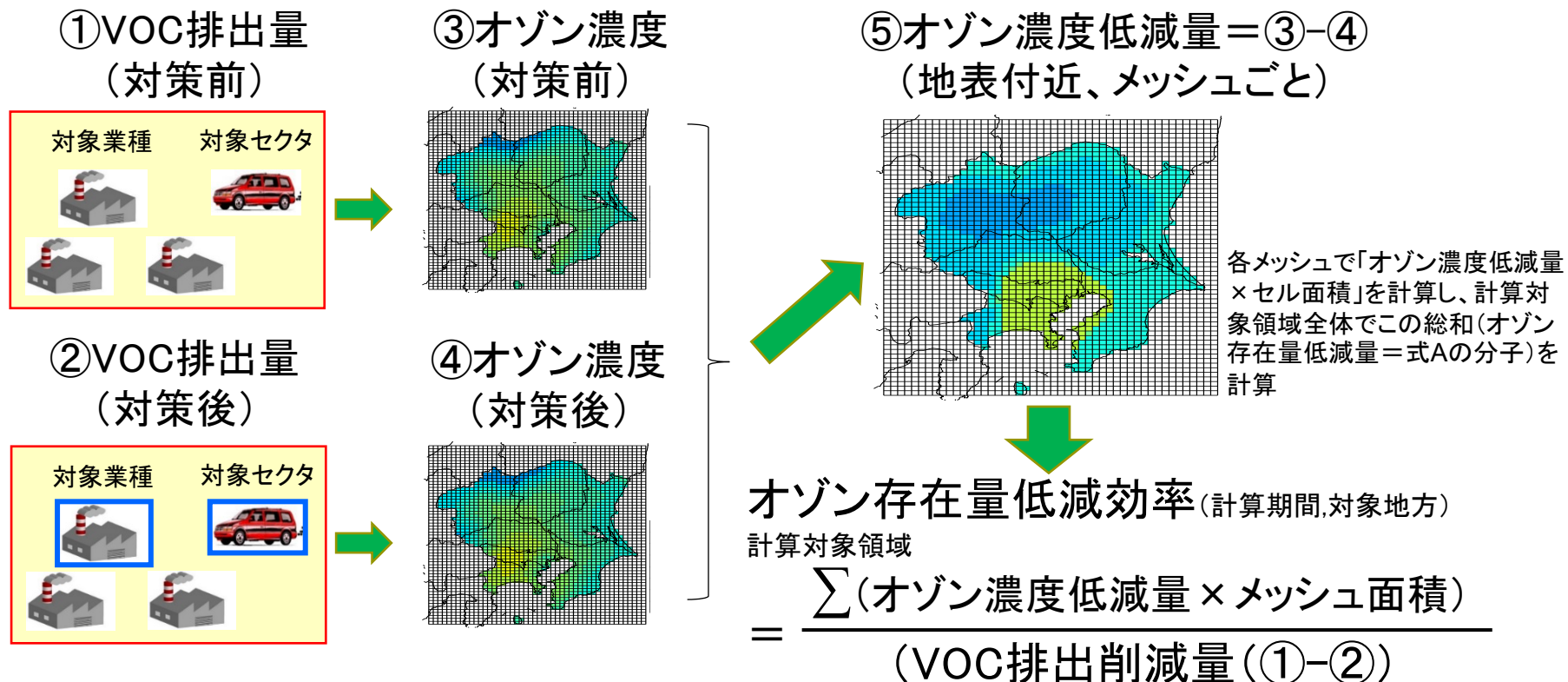
共同研究

外注

氏 名	所 属	役 職
井上 和也	(国研)産業技術総合研究所 安全科学研究部門	主任研究員
氏 名	所 属	役 職
國分 優孝	東京都環境科学研究所環境資源研究科 大気環境チーム	研究員(主任)

前駆物質の排出削減による効果の定量的評価(評価・計算方法)

- 排出削減前後のオゾン濃度を計算し、過年度と同じく、評価式は「オゾン存在量低減効率」を用い、オゾンの低減効果を定量的に評価した。シミュレーションモデルは「ADMER-PRO」とした。
- 具体的な計算方法は以下のとおり。



… (式A)

(オゾン存在量低減効率の意味)

VOC排出量を削減した場合、地表付近でオゾン濃度がどれだけ低減するか
→値が大きいほど、VOCの単位削減量あたりのオゾン濃度の低減効果が高い
(注) 前駆物質としてVOCでなくNOxを削減した場合も、同様に計算できる。

①気象パターンを変化させての計算(計算対象)

- 過年度の業務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た。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。
- 今年度は年間を通じて出現する12の気象パターンについて、オゾン存在量低減効率を関東及び近畿地方にて算出した。計算条件は下表のとおり。

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(A業種(湾岸地域に偏在)、B業種(地理的に分散して立地))、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2業種(C業種(大規模排出源、高度分布なし)、D業種(大規模排出源、高度分布あり※)、削減率は10% ※煙突の高さの差が大きい
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12パターン(次頁)、オゾン濃度は昼間の8時間(10-18時)値として計算

①気象パターンを変化させての計算(計算条件)

- 選定した気象条件(12パターン)は下表のとおり※。
 - 各季節(春:3-5月、夏:6-8月、秋:9-11月、冬:12-2月)を網羅している。
- ※10パターン程度の気象パターンを用いても、オゾン濃度の年間平均値を再現できることは確認済み。

選定した気象条件

(関東)

頻度 順位	気象パターン			出現頻度 (%)	代表日	季節	平均気温 (℃)
	日射	風向	風速				
1	C	NN	s	4.45	1/8	冬	0.88
2	C	SW	m	2.67	8/30	夏	25.50
3	C	NE	s	2.67	12/29	冬	2.41
4	D	NE	s	2.37	9/5	秋	22.21
5	D	NE	s	2.37	12/11	冬	3.36
6	B	SW	w	2.08	10/30	秋	14.39
7	D	SW	m	1.78	6/8	夏	20.34
8	C	NN	m	1.78	12/20	冬	4.24
9	C	NE	w	1.78	12/1	冬	7.61
10	C	NE	m	1.48	6/5	夏	21.16
11	D	SE	m	1.48	5/11	春	14.84
12	D	NW	w	1.48	6/30	夏	25.53

(近畿)

頻度 順位	気象パターン			出現頻度 (%)	代表日	季節	平均気温 (℃)
	日射	風向	風速				
1	D	NN	s	4.34	12/26	冬	1.94
2	D	NE	s	4.05	2/12	冬	1.41
3	D	NN	m	3.47	1/8	冬	0.61
4	D	NE	m	2.31	2/15	冬	11.40
5	D	NW	s	2.31	12/23	冬	2.07
6	B	SW	w	2.02	8/4	夏	30.32
7	D	EE	m	2.02	10/11	秋	18.69
8	B	WW	m	1.73	4/5	春	13.25
9	C	EE	m	1.73	10/26	秋	15.74
10	D	EE	m	1.73	1/31	冬	5.50
11	D	NW	m	1.73	11/22	秋	9.64
12	B	XX	c	1.73	7/20	夏	28.66

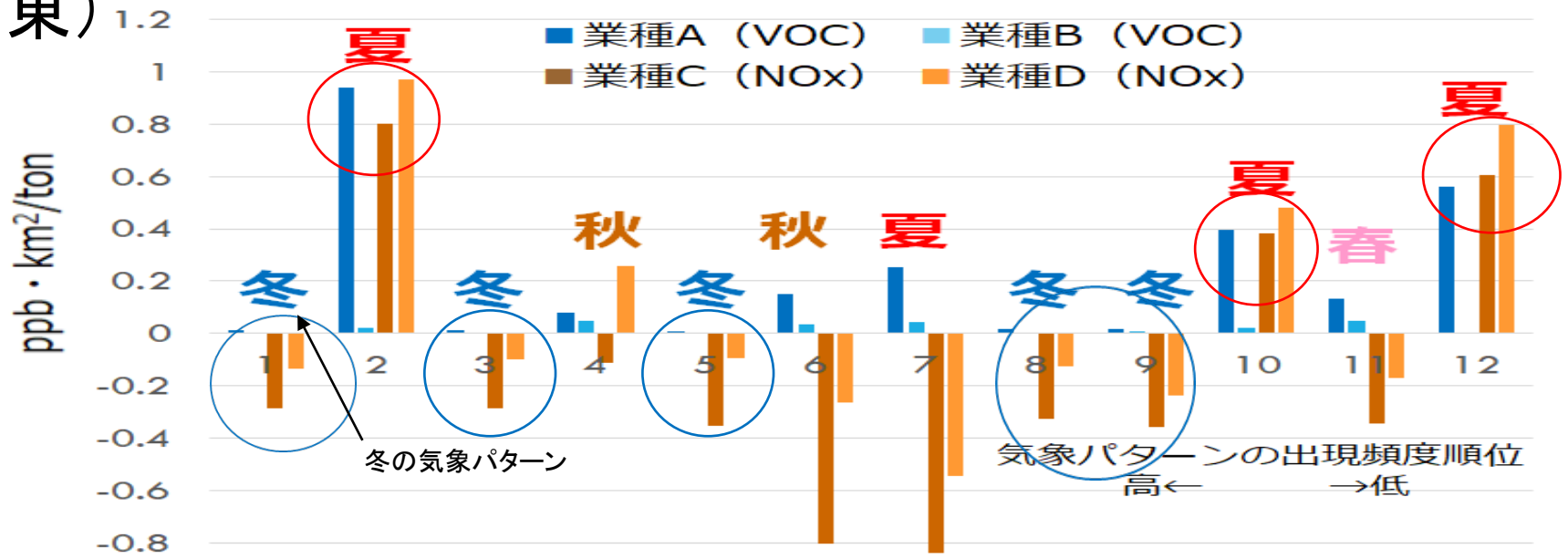
日射:B=強、C=中、D=弱 風向:16方位 風速:s=強、m=中、w=弱 なお、風向=XX、風速=cは静穏状態

①気象パターンを変化させての計算(気象パターン別変動の結果)

- 関東地方における12の気象パターンでのオゾン存在量低減効率(NOx)※及びオゾン存在量低減効率(VOC)※は下図のとおり。
- 夏の気象パターンでは、オゾン存在量低減効率(VOC)、オゾン存在量低減効率(NOx)とも大きく、オゾン存在量低減効率(VOC) < オゾン存在量低減効率(NOx)となる傾向(○印)
→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
- 冬の気象パターンでは、オゾン存在量低減効率(VOC)がほぼゼロで、オゾン存在量低減効率(NOx)が負の値となる傾向(○印)
→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

※ オゾン存在量低減効率は、NOx削減によるものは「オゾン存在量低減効率(NOx)」と表記(VOC削減によるものも同様)

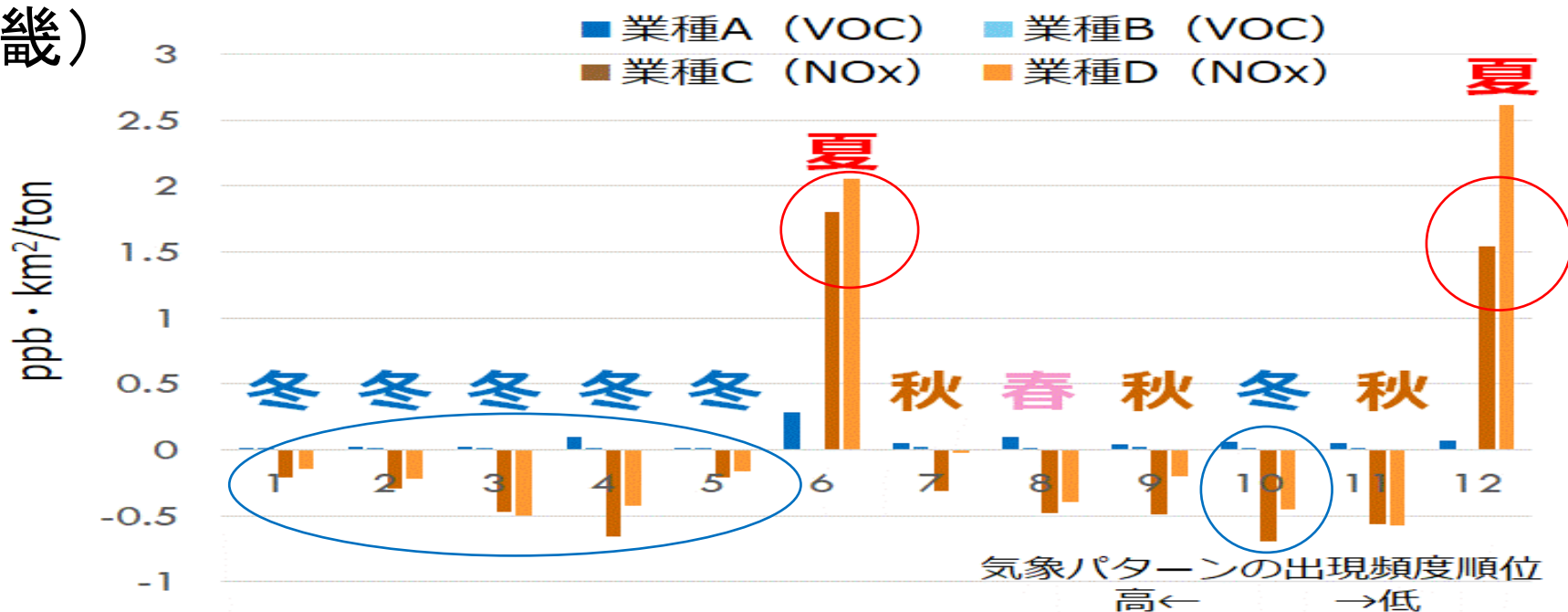
(関東)



オゾン存在量低減効率の気象パターン別変動(関東)

- 近畿地方における12の気象パターンでのオゾン存在量低減効率(NOx)及び(VOC)は下図のとおり。
- 夏の気象パターンでは、オゾン存在量低減効率(NOx)が大きく、オゾン存在量低減効率(VOC) < < < オゾン存在量低減効率(NOx)となる傾向(○印)
→夏はNOx削減の効果が高い
- 冬の気象パターンでは、オゾン存在量低減効率(VOC)がほぼゼロで、オゾン存在量低減効率(NOx)が負の値となる傾向(○印)
→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

(近畿)



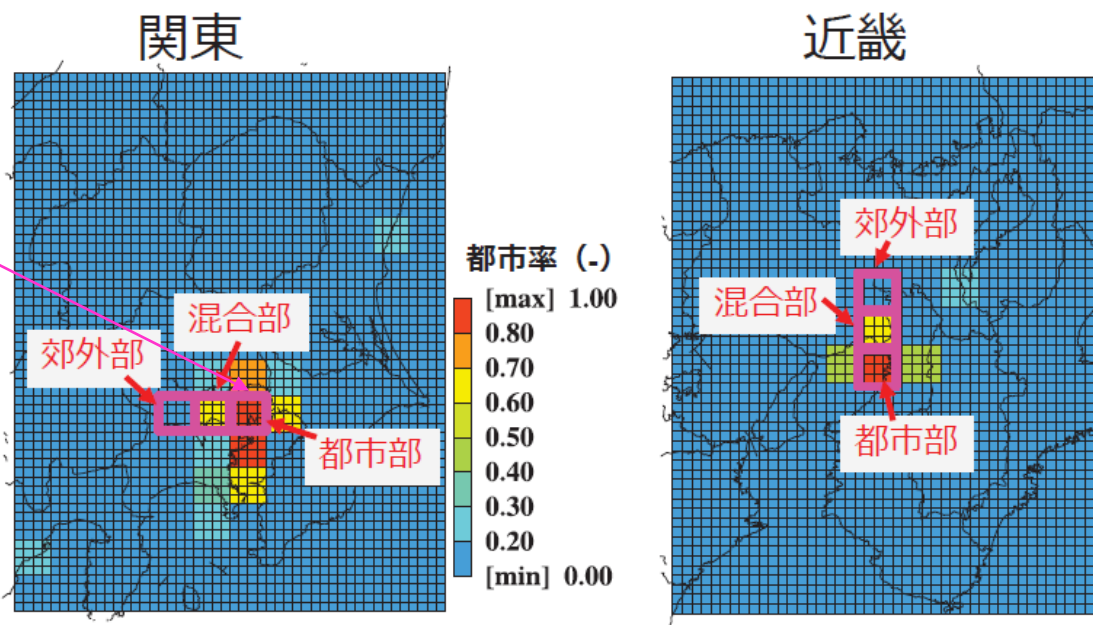
オゾン存在量低減効率の気象パターン別変動(近畿)

②狭い地域でのオゾン存在量低減効率の検討(計算条件)

- これまでの事業においては、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推計してきたが、これより狭い範囲において、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。
- このため、より狭い領域における排出量削減に伴うオゾン存在量低減効率の算出を行う。

狭領域で前駆物質を削減する場合の計算イメージ

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
3. 矩形領域を都市部、混合部、郊外部と変えて、それぞれオゾン存在量低減効率を算出



- 20km四方のメッシュごとの都市率分布を参考にして、関東、近畿、それぞれ都市率が異なる連続する3つの狭領域(それぞれ、**都市部**、**混合部**、**郊外部**と呼ぶ)を選定

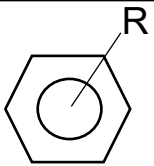
②狭い地域でのオゾン存在量低減効率の検討(計算対象)

- 計算対象は以下のとおり。
- 狭領域の選定として、それぞれ都市率(選定領域における「土地利用区分＝市街地」の割合)が異なる場所として、都市部、混在部、郊外部の3つを設定した。

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:各選定狭領域における全発生源からのモノアルキルベンゼン類※ ¹ (1層目※ ²)、削減率は100% NO _x :各選定狭領域における全発生源からのNO _x (1層目※ ²)、削減率は100% ※それぞれ、都市部、混在部、郊外部の20kmセル内の発生源の排出量を削減設定。
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(or2015)年度の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:モノアルキルベンゼン類:トルエンなど、ベンゼン環に1つのアルキル基が付いた構造のVOC(右図)。

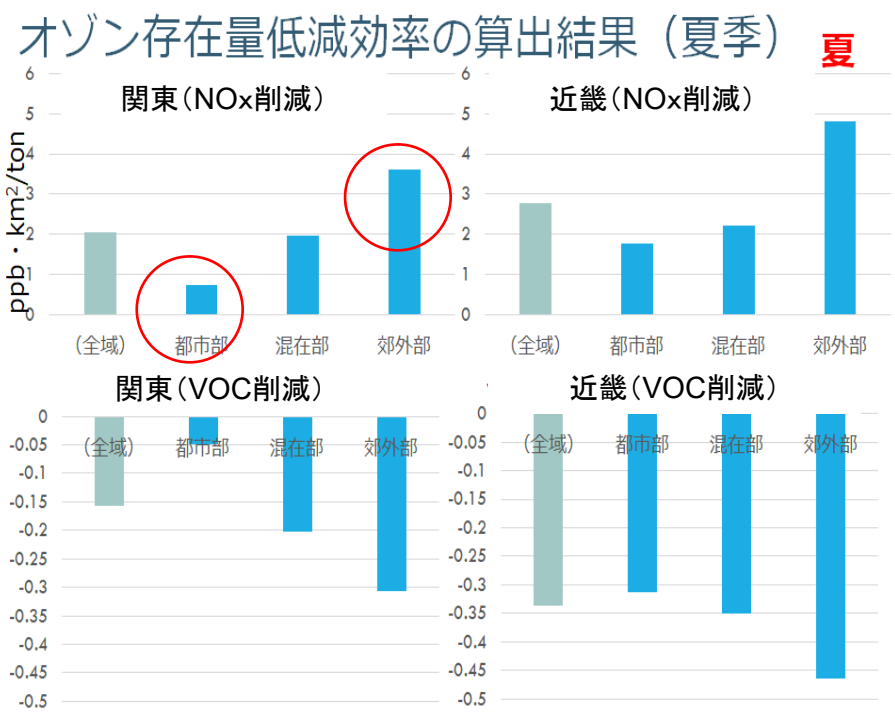
※2:1層目:地表に接した最下層の計算セル(高度50mまで)



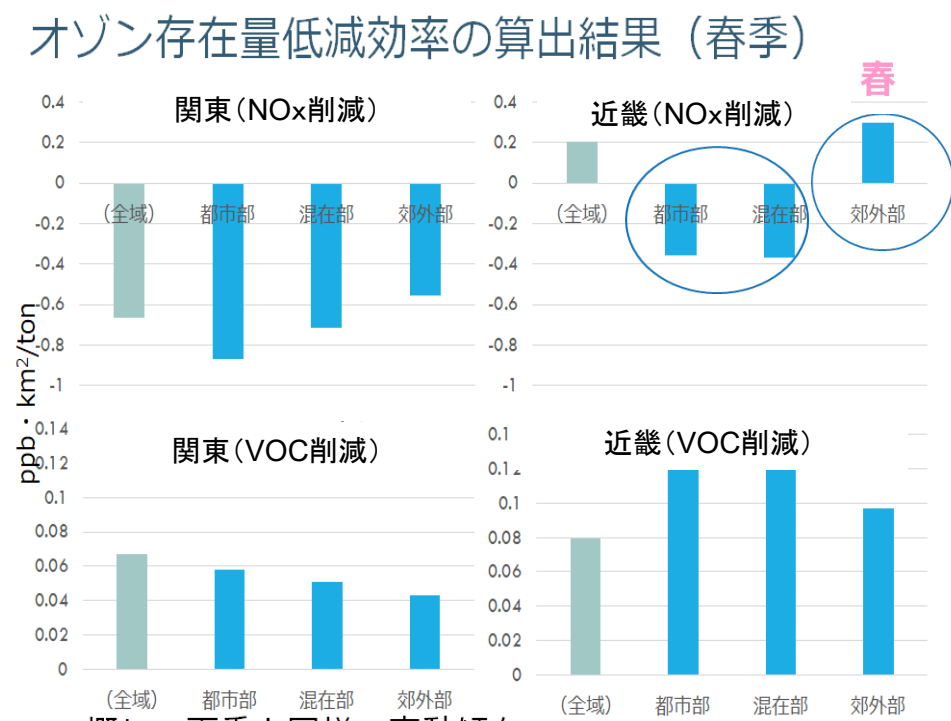
◆この他に、比較のため、これまで対象としてきたのと同様に地方毎に全域で各物質を削減するケースも計算し、地方毎のオゾン存在量低減効率も算出

②狭い地域でのオゾン存在量低減効率の検討(結果)

- 関東、近畿での夏季及び春季のオゾン存在量低減効率の結果は下図のとおり。
- 都市部、混在部、郊外部での削減により、オゾン存在量低減効率は大きく異なる。都市部と郊外部で4倍程度の差が生じる場合(○印)や正負が異なる場合(○印)もある。
→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。



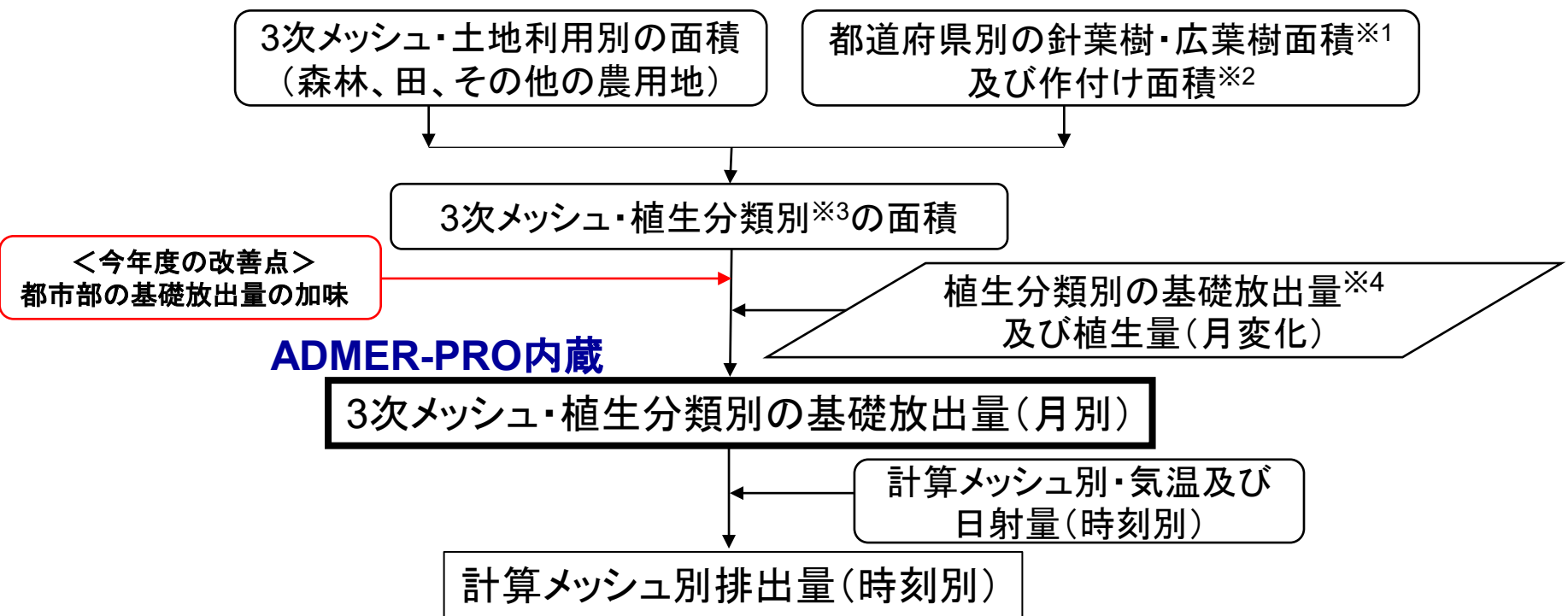
- 都市部、混在部、郊外部で大きく異なる
オゾン存在量低減効率(NOx)は都市部<混在部<郊外部
(オゾン存在量低減効率(VOC)は逆順)



- 概して夏季と同様の変動傾向
近畿でのオゾン存在量低減効率(NOx)は都市部と郊外部で正負が逆転

③植物起源VOC設定に関する検討

- (検討項目1) ADMER-PROにおけるBVOC設定の改善可能性について、文献調査等により課題を整理する。
- (検討項目2) 基礎放出量の一部のデータを更新して(下図□)、オゾン存在量低減効率を計算する。
- (検討項目3) BVOCの設定を変えて、オゾン濃度及びBVOC濃度の観測値と比較する。



＜今年度の改善点＞
都市部の基礎放出量の加味

ADMER-PRO内蔵

ADMER-PROにおけるBVOC設定(現状及び改善点)

※1 農水省経済局統計情報部動態統計課
※2 農水省経済局統計情報部生産統計課
※3 広葉樹、針葉樹、稲、麦類、豆類、飼肥料、工芸農作物、その他(野菜)
※4 基礎放出量 標準状態(光量(光合成有効光量子束密度PPFD=1000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、葉温30 $^{\circ}\text{C}$)での放出量。
ADMER-PROでは、神成ら(2007)のデータを、Bao et. al(2009)に基づき、日本の植生に更新して使用。

③植物起源VOC設定に関する検討(文献調査等による課題抽出)

- ADMER-PROにおけるBVOC設定の改善可能性について、文献調査等により課題を整理した結果は以下のとおり。(検討項目1) (注)課題の整理のみであり、改善は未実施

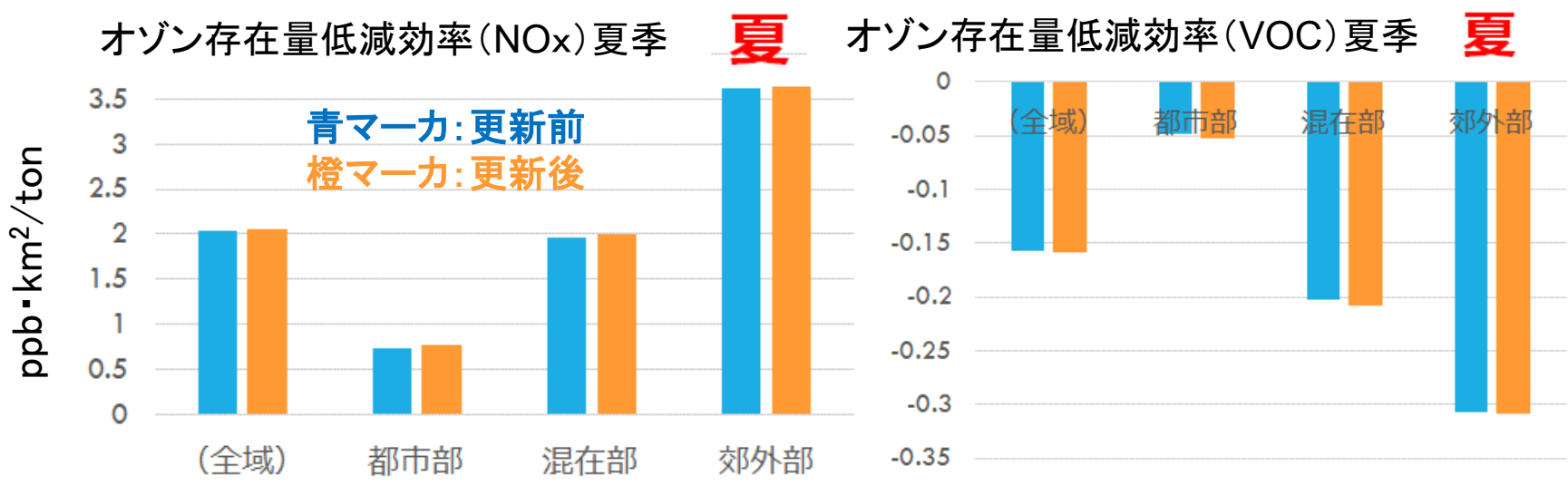
	指摘内容	改善提案
指摘1: 広葉樹の分類の細分化	● 広葉樹には、樹種により「放出するもの」と「全く放出しないもの」があり、さらに「放出するもの」でも、樹種により放出量と成分(イソプレン・モノテルペン)に大差がある。	● 「広葉樹」という括りではなく、より精緻化した樹種ごとの放出量設定を推奨。 ● 植生マップを精緻化する。
指摘2: 基礎放出量の季節変化について	● 多くの樹種において、基礎放出量自体が季節変化する(気温と光量が同じでも、季節により異なる)。 ● ADMER-PROのBVOCデータは夏季の測定データであり、これを通年一定と見なして基礎放出量を設定している。	● 夏以外の季節をシミュレーションする場合、季節変動も考慮して設定する。
指摘3: モノテルペン放出量の光量依存性	● 広葉樹から放出されるモノテルペン類は、温度だけでなく光量によっても放出量が変化する。 ● 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が懸念される。	● 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」を採用する。

③植物起源VOC設定に関する検討(都市緑化樹木の加味)

- 都環研の成果を活用し、都市緑化樹木を加味してADMER-PROのBVOC基礎放出量を更新し、関東地方を対象にオゾン存在量低減効率等を計算した。(検討項目2)
- 都市部の基礎放出量が精緻化されたが、オゾン存在量低減効率は殆ど変化しなかった。



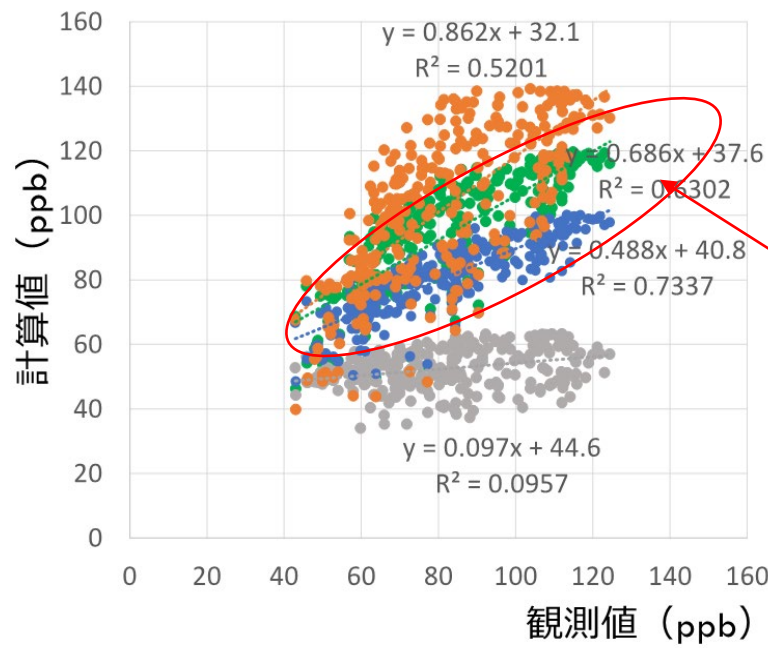
広葉樹・モノテルペンの更新例



③植物起源VOC設定に関する検討(設定変更時の実測との比較)

- 2017年を対象に、BVOCの設定を0倍、0.5倍、1倍(以下「ベースケース」という)、2倍としてオゾン濃度及びBVOC濃度を計算し、観測値との整合性を比較した。(検討項目3)
 - オゾン濃度において、BVOCの設定を0.5倍及びベースケースとした場合に一致性が高い(下図)。
 - BVOC(イソプレン)濃度※においても、同様の結果が得られた。
→BVOCが過大評価されている可能性がある。
- ※ 環境省により、2017年度からVOC56成分の自動測定が行われている。

オゾン濃度 (昼間8時間値) の観測・計算値比較



観測値との一致性は0.5倍(青色)、ベースケース(緑色)とした場合が高い

- ベース
- BVOC0.5倍
- BVOC0倍
- BVOC2倍

今年度事業のまとめ及び今後調査すべき事項

(今年度事業のまとめ)

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
- ・ 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

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。
- ・ 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。

今後調査すべき事項

[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。

3年間の成果を通じて

本事業においては、前駆物質(VOC、NO_x)を削減した際、オゾン濃度がどの程度、どのように低減するか等を定量的に評価することを目的として事業を実施した。

その結果、評価式を「オゾン存在量低減効率」として定量的な評価を行うことは可能であり、同式を用いることにより次が分かった。

- シミュレーションによる計算によれば、全国的にはVOCよりNO_xの方がオゾン濃度の低減効果が高く、近年では特にその傾向が強い。
- 関東や近畿といった地方、それよりも狭い地域で前駆物質を削減した場合、季節による違いについても評価した。その結果、VOCとNO_xのどちらの削減が有効かは、削減する場所や季節によっても異なる。



今後の光化学オキシダント対策の議論に際しては、上記の成果を踏まえた、前駆物質(VOC、NO_x)の違いによるオゾン濃度の低減効果の差、前駆物質を削減する場所等も考慮した細かな検討とともに、更なる多角的検証が必要と考えられる。