

# VOC 排出削減効果の検討等業務 報告書

令和6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.	シミュレーションモデルと計算条件	2
2-3.	実施内容	5
(1)	オゾン生成シミュレーションにおける検証等	5
(2)	植物由来 VOC (BVOC) の設定についての検討	5
(3)	費用対便益についての検討	6
(4)	VOC 自主的取組についての今後の広報についての課題・検討	6
(5)	検討会の開催	7
(6)	報告書作成	9
3	調査結果（オゾン生成シミュレーションにおける検討等）	10
3-1.	本章における調査の背景と目的	10
3-2.	業種ごとのオゾン低減効率と MIR、排出源の立地特性との関係についての追加検討	10
(1)	追加検討内容と方法	10
(2)	オゾン低減効率地理分布の再計算結果	11
(3)	業種ごとのオゾン存在量低減効率と排出場所に関するパラメータとの相関分析再実施結果	12
(4)	相関分析再実施結果に関する考察	13
3-3.	オゾン低減効率の符号が変わるケースの詳細解析	15
(1)	検討方法	15
(2)	検討結果	16
3-4.	本章における解析のまとめと今後の課題	19
4	調査結果（BVOC の設定についての検討①：BVOC のトップダウン推計、ボトムアップ推計の改善検討）	21
4-1.	本章における調査の背景と目的	21
4-2.	トップダウン推計の改善試行	21
(1)	異なる水平解像度での再グリッド化とその妥当性検討	21
(2)	複数年、複数季節を対象とした解析～一般性とボトムアップ知見との整合性確認～	25
4-3.	ボトムアップ推計の改善試行	27
(1)	BVOC 基礎放出フラックスの推定方法	27
(2)	竹林の面積分率の推定結果	29
(3)	竹林からの基礎放出フラックス推定結果	32

4-4. シミュレーションによるボトムアップ推計の改善検証 .....	36
(1) つくば集中観測期間(AQUAS-Tsukuba campaign)を対象とした検証 .....	36
(2) 有害大気汚染物質測定局データを対象とした検証 .....	37
4-5. 本章における調査のまとめと今後の課題 .....	42
5 調査結果 (BVOC の設定についての検討②: 文献調査及び実測による BVOC 基礎放出量の整理)	44
5-1. 本章の目的 .....	44
5-2. 植物材料と方法 .....	44
(1) シラカシ ( <i>Quercus myrsinifolia</i> ) .....	44
(2) アラカシ ( <i>Quercus glauca</i> ) .....	46
(3) スダジイ ( <i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>sieboldii</i> ) .....	47
(4) クリ ( <i>Castanea crenata</i> ) .....	48
(5) ブナ ( <i>Fagus crenata</i> ) .....	49
5-3. テルペン類の採取方法 .....	49
(1) リーフキューベット(LC)法 .....	49
(2) バイアル(VA)法 .....	52
5-4. テルペン類の分析方法 .....	53
5-5. 結果と考察 .....	54
(1) 夏季の放出速度 .....	54
(2) 季節変化 .....	62
5-6. まとめと今後の課題 .....	66
6 調査結果 (BVOC の設定についての検討③: BVOC 排出量の算定方法に関する検討 .....	67
6-1. 本検討の目的 .....	67
6-2. 本調査で用いている植生調査データ .....	68
(1) 森林生態系多様性基礎調査(林野庁) .....	68
(2) 環境省生物多様性センターの植生調査データ(環境省)及びその3次メッシュ加工データ .....	69
6-3. BVOC 算定における植生割り当て方法に関する検討 .....	71
(1) 樹種ごとの BVOC 放出の傾向とそれに応じた樹種分類の検討 .....	71
(2) 樹種分類のグルーピング、または細分類の検討 .....	72
(3) 環境省生物多様性センターデータの3次メッシュ加工データの活用方法の検討 .....	75
(4) 植生分類と基礎放出量の配分方法に関するまとめ .....	76
6-4. BVOC 算定における補正方法等の検討 .....	76
(1) 針葉樹の葉重量から葉面積への変換(A) .....	77

(2)	季節変動も含めた LAI データ (B) .....	77
(3)	葉の重なり補正 (C) .....	78
(4)	葉の傾き補正 (D) .....	79
(5)	混合林の面積配分の割り当て (E) .....	79
(6)	温度、日射依存性 (F) .....	79
7	調査結果（費用対便益についての検討等） .....	81
7-1.	本章における解析の背景と目的 .....	81
7-2.	VOC 対策の費用対効果、費用対便益の試算方法 .....	81
7-3.	費用対効果、費用対便益の試算における前提条件、計算結果の見方に関する注意点 .....	82
(1)	オゾンの健康影響に関する疫学的知見 .....	83
(2)	計算日、地域、季節、年代について .....	83
(3)	VOC と NO <sub>x</sub> の削減設定について .....	83
(4)	対策費用について .....	83
7-4.	VOC 対策の費用対効果、費用対便益の試算結果 .....	83
7-5.	コロナ禍における大気汚染物質の影響についての文献調査 .....	87
7-6.	本章における調査のまとめと今後の課題 .....	96
8	調査結果（VOC 自主的取組についての今後の広報についての課題・検討） .....	97
8-1.	本章における調査の目的 .....	97
8-2.	調査方法 .....	97
8-3.	調査結果 .....	97
(1)	優先的に広報の対象とする分野の選定 .....	97
(2)	アンケート及びヒアリングの実施 .....	100
(3)	広報対象に対する簡単な広報の実施 .....	107
8-4.	本章の調査結果のまとめ（VOC 自主的取組についての今後の広報についての課題・検討） ...	107
9	調査結果のまとめと今後の課題 .....	109

## 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（以下、「VOC」という。）について、法規制と産業界の自主的取組の両輪（ベストミックス）による排出削減が行われることとなった。これにより、平成 22 年度における VOC 排出量は、平成 12 年度比で 3 割程度削減という目標を超える 4 割以上の削減を達成した。その後は、平成 22 年度比で悪化しないよう自主的取組が継続され、平成 22 年度から 10 年が経過した令和 2 年度では平成 22 年度に比べて約 3 割削減している。

他方、光化学オキシダント（以下、「Ox」という。）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つたものと推測されるが、我が国における大気環境中の 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、自主的取組については、科学的知見を踏まえ、前駆物質である VOC 及び窒素酸化物（以下、「NOx」という。）の排出と Ox 濃度の関係をより明確に把握し、事業者の負担に留意しつつ効率的に進めていく必要がある。

令和元年度から令和 3 年度に実施した「VOC 排出削減効果の定量的評価に向けた検討等業務」及び令和 4 年度に実施した「VOC 排出削減効果の検討等業務」（以下、令和元年度から令和 4 年度の調査について、「過年度調査」、または単年度の調査について、調査した年度を付して「令和〇年度調査」という。）において、前駆物質から Ox 濃度を計算するシミュレーションモデルについては、オゾン生成シミュレーションにおける検証等や植物由来 VOC（以下、「BVOC」という。）の設定に関する検討が必要であることが分かった。

このため、今年度は、オゾン低減効率に影響を及ぼす因子の詳細分析、ホルムアルデヒド（HCHO）濃度等の実測・計算値間の整合性検討、BVOC のトップダウン推計・ボトムアップ推計の改善検討、BVOC 排出量の算定方法に関する検討、BVOC の実測及び基礎放出量データベースの作成等を行う。

また、効率的な対策のためには、原因物質の排出削減対策に要した費用とその成果を踏まえた評価が重要であるため、VOC 対策の費用対便益の試算等を実施する。

また、VOC 対策について事例集の作成等を行う。

## 2 調査の概要

### 2-1. 実施体制

令和 5 年度調査は（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及び費用対便益の検討については、（国研）産業技術総合研究所（以下、「産総研」という。）安全科学研究部門（担当者：環境暴露モデリンググループ 井上和也グループ長）に外注して実施した。

また、BVOC に関して、実際の植物からの放出量の実測と文献調査を合わせて基礎放出量データベースを構築するため、静岡県公立大学法人静岡県立大学（担当者：食品栄養科学部環境生命科学科植物環境研究室・谷 晃教授）への研究委託を行った。

さらに、BVOC に関する検討について、放出量測定とシミュレーションの両方の知見を持つ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。

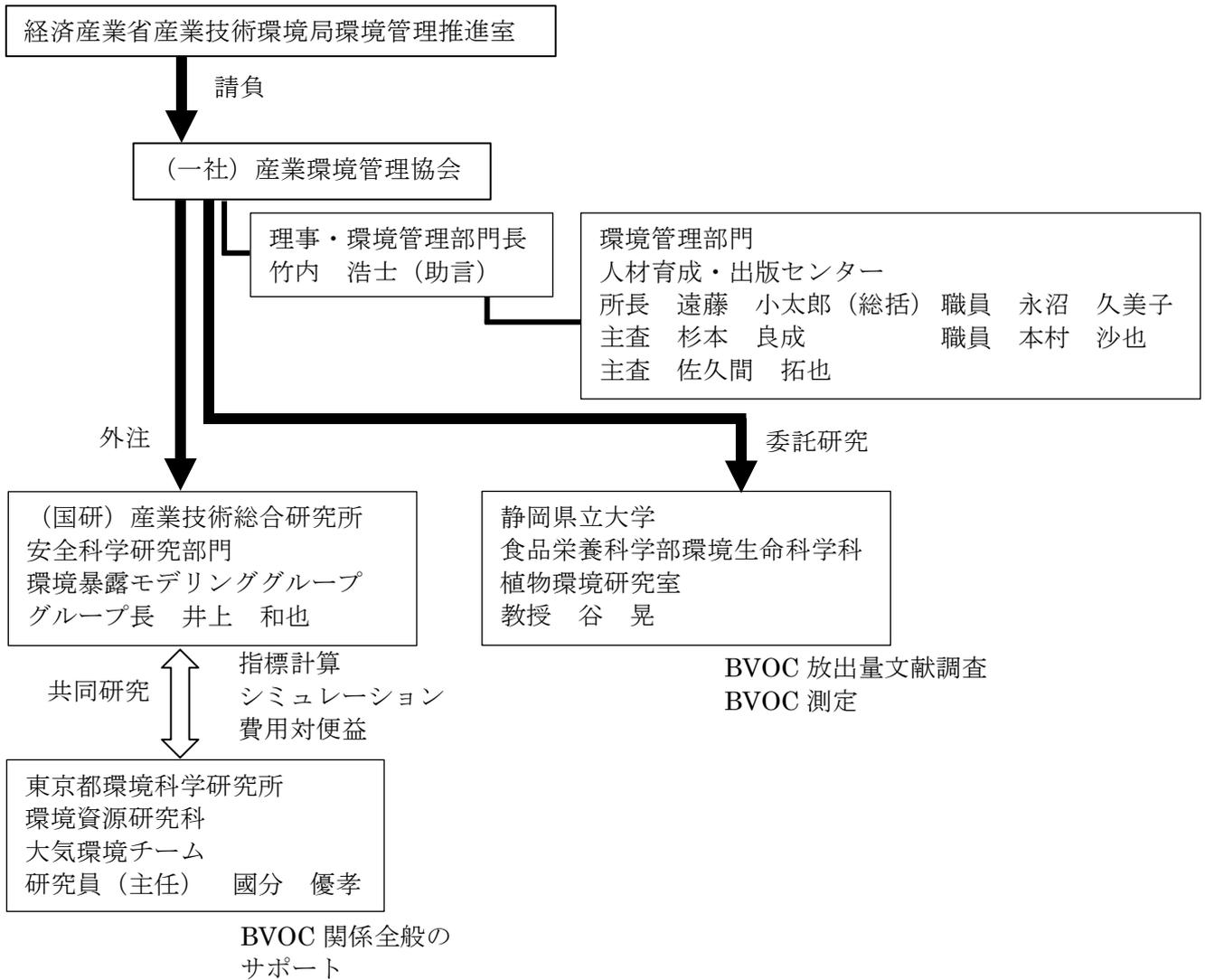
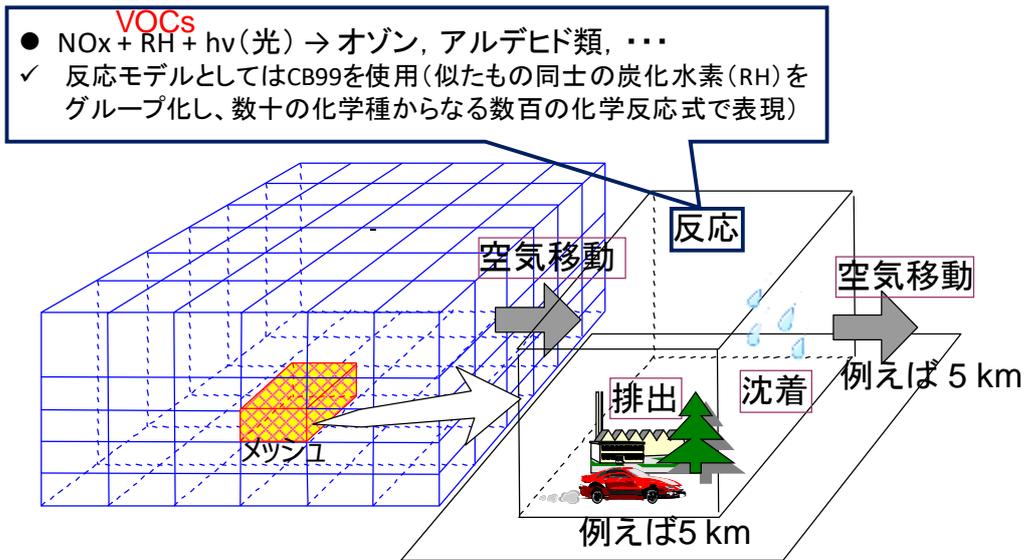


図 2-1 事業実施体制

## 2-2. シミュレーションモデルと計算条件

令和5年度調査のシミュレーションで用いる大気化学輸送モデルは、過年度調査と同様、産総研のADMER-PROである(図2-2)。ADMER-PROには3次メッシュ(約1km<sup>2</sup>)単位の排出量データが内蔵されている。デフォルトで2005年度排出量を備えており、令和元年度調査において2016年度排出量詳細推計データを整備し、近年の状況に合わせた計算が可能となった。また、気象パターン類型化機能が備わっており、特定期間(例えば夏季)の代表日等の情報も提供できるなど、シミュレーションを行うにあたって必要なデータや便利な機能が実装されている。



- 化学物質諸過程の計算に必要な気象場も同時に計算し、各メッシュの時々刻々の値を計算に反映
- 排出量等のデータを内蔵し、これ一つで排出削減効果を推定可能
- 気象パターン類型化機能(吉門ら, 2006a)が搭載されており、指定期間の典型気象パターンや各気象パターンの代表日を選出することが可能

図 2-2 シミュレーションに供するモデル (ADMER-PRO; 井上&東野, 2015)

本調査では、シミュレーションにより、VOC や  $\text{NO}_x$  等の前駆物質を削減するごとにオゾンがどの程度低減されたかを示すオゾン存在量低減効率及びオゾン集団曝露量低減効率という、2つのオゾン低減効率指標を定義して計算している。図 2-3 は、VOC を削減した場合のオゾン存在量低減効率(地表付近のオゾン濃度の低減効率)の計算手順である。まず ADMER-PRO に排出量を与えて対策前(以下、「ベースケース」という。)のオゾン濃度を計算し、次に VOC や  $\text{NO}_x$  を削減した条件で対策後のオゾン濃度を求め、対策前後におけるオゾン濃度の差分を前駆物質の排出削減量で割れば、オゾン低減効率指標であるオゾン存在量低減効率を求めることができる。また、図 2-3 中の式 A において、メッシュの面積をメッシュ内の人口に置き換えれば、オゾン集団曝露量低減効率(オゾン濃度低減によるヒト健康影響の低減効率)の計算式となる。さらに、VOC を  $\text{NO}_x$  に置き換えれば、 $\text{NO}_x$  の削減によるオゾン低減効率指標となる。

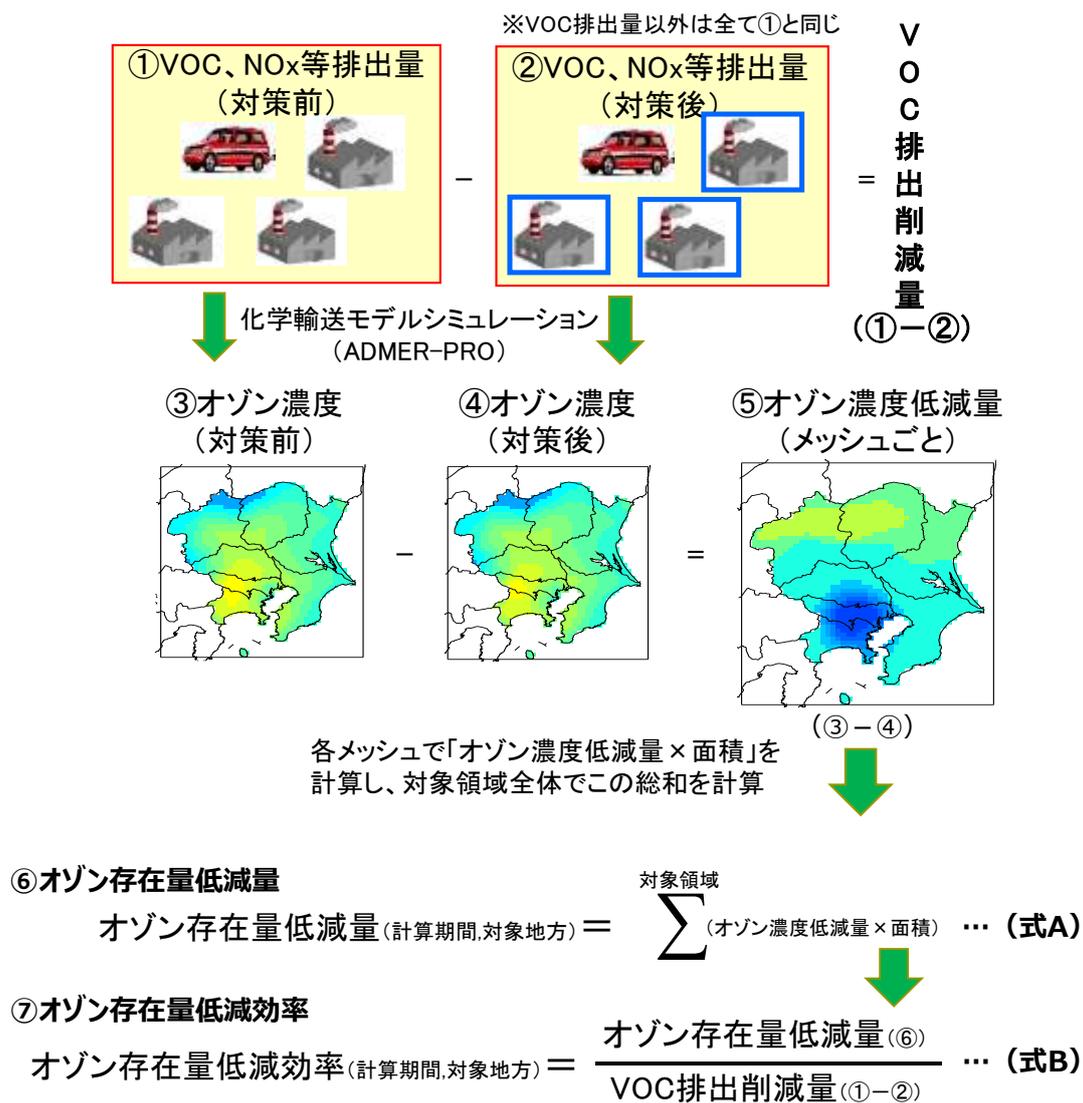


図 2-3 オゾン低減効率指標の算出手順

シミュレーションにおける計算条件を表 2-1 に示す。ここでは共通事項として示し、詳細は各項にて記述する。これらの条件は、基本的に過年度調査と同じである(※の項目は一部変更して計算)。

表 2-1 シミュレーションの計算条件(共通事項)

対象地域	関東、近畿
対象気象パターンとその代表日	春季、夏季の高濃度オゾン発生気象パターン(気象パターン類型化機能により決定)
オゾン濃度の平均化時間	昼間の8時間平均値(10~18時)
気象の対象年度	2016年度※
ベースケースの排出量データ	2016年度詳細推計版※
植物起源VOC基礎放出量データ	ADMER-PRO内蔵

## 2-3. 実施内容

### (1) オゾン生成シミュレーションにおける検証等

#### ① オゾン低減効率に影響を及ぼす因子の詳細分析

過年度調査において、前駆物質削減によるオキシダント削減効果について評価したところ、2005年/夏季/関東の条件において、MIR (Maximum Incremental Reactivity) だけでなく排出源の立地状況についても大きく影響することが判明した。

そのため、令和4年度調査では、2016年における季節（春、秋）、地域（関東、近畿）の条件を変えて、上記結果が一般的に成り立つかを確認したところ、夏季/関東、春季/近畿については一般性が確認されたが、夏季/近畿、春季/関東については相関が弱く、一般性を確認することができなかった。なお、なぜ郊外部より湾岸部でVOC削減によるオゾン低減効率が大きいという理論と異なる結果になったのか追加解析を行い（令和4年度報告書「3-6 追加解析」参照）、夏季/近畿の解析では、計算対象日を土曜日にしていましたが、平日にすれば理論どおりとなることから、出現頻度の高い湾岸部、郊外部の代表メッシュにおいて確認できた。

令和4年度調査の結果を踏まえ、一般性を確認するためには、代表メッシュだけではなく全域の確認が必要であるため、令和5年度調査では夏季近畿の全域のメッシュで計算対象日を平日にした場合について追加解析を実施した。

また、過年度調査における解析において、オゾン低減効率の正負の符号が変わる解析結果が確認されており（令和3年度報告書（令和元～令和3年度のまとめ）の「5-1、5-3」参照）、オゾン低減効率に影響を与える因子（時期、季節、地域、立地場所等）のうち、どの因子が、正負の符号が変わるケースにおける低減効率値に影響を与えているかについて検討した。

#### ② ホルムアルデヒド（HCHO）濃度等の実測・計算値間の整合性検討

令和3年度調査において、イソプレン濃度は局所的変動が強いため、実測値と計算値の比較によるBVOC排出量の妥当性に係る検証が難しい一方で、その反応生成物であるホルムアルデヒド（HCHO）濃度は局所的変動が弱いため、実測値と計算値を比較することによりBVOC排出量の妥当性に係る検証が比較的容易にできる可能性が示唆された（令和3年度報告書「4-5（6）」参照）。

このため、令和5年度調査では、ホルムアルデヒド（HCHO）濃度及びホルムアルデヒド（HCHO）濃度、NO<sub>x</sub>濃度の比（HCHO/NO<sub>2</sub>）の実測値と計算値を比較した。計算ケースは関東地方・近畿地方において、それぞれ10パターン程度の気象条件を想定して実施した。なお、本項目の結果は、以降に示す(2)①BVOCのトップダウン推計、ボトムアップ推計の改善検討と合わせて報告する。

### (2) 植物由来VOC（BVOC）の設定についての検討

#### ① BVOCのトップダウン推計、ボトムアップ推計の改善検討

過年度調査において、米国では、トップダウン推計（衛星によるBVOC排出量分布の推計）がボトムアップ推計（大気濃度の測定によるBVOC排出量分布の推計）と概ね一致すること等が判明した。一方で、我が国では両推計の結果に乖離があったため、令和4年度調査では、両推計の結果が異なる理由について専門家にヒアリングを行い、課題となっている点を明らかにした。こうした状況を踏まえ、令和5年度調査ではトップダウン及びボトムアップ推計を複数条件下で行い、それらの結果を比較検討した。また、ADMER-PROに入力してシミュレーションを行い、実測濃度との比較も行った。なお、計算ケースは濃度比較地点として3箇所程度とした。

## ② BVOC 排出量の算定方法に関する検討

過年度調査において、シミュレーションに使用している ADMER-PRO における BVOC モデルの基礎放出量に課題があることが分かった。具体的には、広葉樹には樹種により BVOC を「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の中でも、樹種により放出量や成分が異なる一方で、ADMER-PRO においては「広葉樹」として一括りで設定されているため、より精緻化した樹種ごとの放出量設定が必要になることが判明し、植生マップをさらに精緻化する必要性が示唆された。

その課題へ対応するため、令和 5 年度調査においては、現時点の知見を踏まえた基礎放出量データ及び植生配分データを基に、どのように計算メッシュにおける BVOC 排出量を計算するかという観点から検討を行った。具体的には、令和 4 年度調査で検討する際に参照した環境省生物多様性センターの植生データを加工したデータと、次項③で作成する基礎放出量データベースの樹種データを関連付ける方法及び補正計算の方法について検討した。

## ③ BVOC の実測及び基礎放出量データベースの作成

多くの樹種において、基礎放出量自体が季節によって変化するものであるが、ADMER-PRO の BVOC データは夏季の測定データであり、これを通年一定とみなして基礎放出量を設定している。そのため、今後シミュレーションの精度を高めるという観点から、複数年の期間に分けて BVOC の実測を行うこととされた。令和 5 年度調査では、BVOC の実測を行うとともに、BVOC の基礎放出量データベースの作成を進めた。

## (3) 費用対便益についての検討

令和 4 年度調査において、国内外における環境対策及びそれ以外の対策を含めた費用対便益分析事例について文献調査を行った。令和 5 年度調査では、以下の調査を実施した。

### ① VOC 対策の費用の検討等

VOC の対策費用についての調査を実施した。また、コロナ禍における大気汚染物質の影響に関する論文や記事等が出てきているため、その観点についても調査を行った。

### ② VOC 対策の費用対便益の試算

VOC 対策の費用対便益の試算を実施した。

## (4) VOC 自主的取組についての今後の広報についての課題・検討

VOC 自主的取組への参加企業を増やしていくため、排出量や業種別の参加率などを参考にしつつ、今後の広報についての現状把握と課題の整理（優先的に広報の対象とすべき業種の選定や自主的取組への参加可否、VOC 対策に関する業界の取組状況の把握、広報手段の検討等）を行った。また、優先的に広報の対象とすべき業種を選定後、アンケート調査を実施し、回答があった団体等のうち 3 団体に対してヒアリングを実施した。なお、優先的に広報の対象とすべき業種として、VOC 自主的取組についての簡単な広報を実施する予定であったが、アンケート及びヒアリングの結果、広報課題に関する示唆は限定的であったため、経済産業省環境管理推進室と調整を行い、新たなチラシや事例集を作成することは時期尚早であり、さらなる知見の収集が必要であるため、令和 5 年度調査で

は見送ることとした。

### (5) 検討会の開催

上記(1)～(3)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、実際に各調査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 2-2 に、検討会開催実績を表 2-3 に示す。

表 2-2 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	教授
金谷 有剛	国立研究開発法人 海洋研究開発機構 地球環境部門 地球表層システム研究センター	センター長
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	主幹研究員
森川 多津子	一般財団法人 日本自動車研究所 環境研究部	主席研究員
深山 貴文	森林総合研究所 森林研究部門 森林防災研究領域 気象 研究室	主任研究員
岸本 充生	大阪大学 データビリティフロンティア機構	教授
嶋寺 光*	大阪大学工学研究科 環境エネルギー工学専攻環境システム学講座 共生環境評価領域	准教授
森 二郎	一般社団法人 日本化学工業協会 VOC 検討 SWG	主査
児島 與志夫	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

◎は委員長、敬称略

\*は令和 5 年度より新たに参画いただいた委員

表 2-3 検討会開催実績

回数	主目的	報告事項・検討内容	検討会後の対応
<p>第1回 令和4年 9月4日 (月)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・令和5年度実施内容説明</li> <li>・計算結果の検討①</li> <li>・BVOC実測・DB構築の検討①</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本年度事業内容説明</li> <li>・検討結果</li> <li>①「業種ごとのオゾン低減効率とMIR、排出源の立地特性との関係についての追加検討」の結果報告(産総研)</li> <li>②「BVOCのトップダウン推計、ボトムアップ推計の改善検討～BVOC放出量推計の改善検討～」の進捗報告(産総研)</li> <li>③「VOC対策費用の検討等～コロナ禍における大気汚染物質の影響についての文献調査～」の進捗報告(産総研)</li> <li>④BVOCの実測及び基礎放出量データベースの作成(静岡県立大)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オゾン低減効率指標値とMIR、排出源の立地特性との関係についての検討(継続)(産総研)</li> <li>・ボトムアップ、トップダウン推計の改善検討(継続)(産総研)</li> <li>・コロナ禍における大気汚染物質の影響についての文献調査(継続)(産総研)</li> <li>・VOC対策の費用対効果、費用対便益の試算(産総研)</li> <li>・BVOCの実測及び基礎放出量データベースの作成(継続)(静岡県立大)</li> <li>・BVOC排出量の算定方法に関する検討(事務局)</li> <li>・VOC自主的取組についての今後の広報についての課題・検討(優先業種選定、アンケート設計)(事務局)</li> </ul>
<p>第2回 令和5年 12月20日 (水)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計算結果の検討②</li> <li>・BVOC実測・DB構築の検討②</li> <li>・BVOC排出量の算定方法に関する検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・検討結果</li> <li>①業種ごとのオゾン低減効率とMIR、排出源の立地特性との関係についての追加検討(産総研)</li> <li>②BVOCのトップダウン推計、ボトムアップ推計の改善検討(産総研)</li> <li>③VOC対策の費用対効果、費用対便益の試算(産総研)</li> <li>④BVOCの実測及び基礎放出量データベースの作成(静岡県立大)</li> <li>⑤BVOC排出量の算定方法に関する検討(事務局)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一部の計算結果に関する再検討(産総研)</li> <li>・BVOCのトップダウン推計、ボトムアップ推計の改善検討(継続)(産総研)</li> <li>・オゾン低減効率指標値の変動要因解析(産総研)</li> <li>・報告書要約版の作成(事務局)</li> </ul>
<p>第3回 令和6年 3月5日 (火)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計算結果の検討③</li> <li>・BVOC実測・DB構築の検討③</li> <li>・産構審小委関係の報告</li> <li>・年度のまとめと今後の課題の整理</li> </ul>	<p>検討結果</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①BVOCのトップダウン推計、ボトムアップ推計の改善検討(産総研)</li> <li>②オゾン低減効率指標値の変動要因解析(産総研)</li> <li>③BVOCの実測及び基礎放出量データベースの作成(静岡県立大)</li> <li>④産構審小委員会委員レクの件(事務局)</li> <li>⑤今年度のまとめと課題の整理(事務局)</li> </ul>	<p>報告書の完成(事務局)</p>

## (6) 報告書作成

過年度調査では、VOC 自主的取組をフォローアップ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（以下、「産環小委」という。）において、本調査の成果をとりまとめ、概要について報告を行ってきた。

令和5年度の第12回産環小委（令和6年2月20日開催）に向けて、令和5年度調査の概要を取りまとめ、資料を作成したが、産環小委事務局（経済産業省環境管理推進室）の判断により、第12回産環小委での報告は実施しないこととされた。なお、この資料は令和5年度調査における第3回検討会において、“参考資料2”として検討会委員に共有した。本資料は報告書巻末の添付資料1に別添する。

### 3 調査結果（オゾン生成シミュレーションにおける検討等）

#### 3-1. 本章における調査の背景と目的

過年度調査において、業種ごとの VOC 排出削減によるオゾン低減効率指標値（以下、「オゾン存在量低減効率」という。）の変動要因を検討したところ、業種ごとの VOC 組成から決まる MIR (Maximum Incremental Reactivity) だけでなく、オゾン生成能が領域ごとに異なることから、業種ごとの排出源の立地場所もオゾン存在量低減効率に大きく影響することが判明した。令和 4 年度調査において、2016 年を対象に、対象とする季節・地域を増やして、上記の一般性を確認したところ、夏季/近畿、春季/関東については立地場所との関係性が弱く、全体としての一般性は確認されなかった。そのため、令和 5 年度調査の中で、それぞれの季節/地方において、立地場所とオゾン存在量低減効率の関係性が弱くなった要因について検討を行った。その結果、春季/関東については、今回対象とした気象パターンが、そもそも春季を代表していないため、それが原因の一つと推察された。一方で、夏季/近畿については、「オゾン低減効率地理分布」の計算対象日を、業種別オゾン存在量低減効率の計算対象日である平日でなく土曜日としていたことが原因の一つと推察されたが、明確な原因を特定するまでには至らなかった。そのため、上記原因を特定することを目的として、夏季/近畿について、平日を対象としたオゾン存在量低減効率の再計算等を行った。

また、これまでの解析において、オゾン低減効率の正負の符号が変わる解析結果が複数確認されている。令和 5 年度調査では、これらのケースで、オゾン低減効率に影響を与える因子（時期、地方、季節、立地場所等）のうち、どの因子がオゾン存在量低減効率に影響を与えているかについても検討も行った。

なお、仕様書上は、「ホルムアルデヒド (HCHO) 濃度等の実測・計算値間の整合性検討」についても、本章で記述する実施項目「オゾン生成シミュレーションにおける検討等」の中に含まれているが、本報告書では解析の流れを理解しやすくするため、「ホルムアルデヒド (HCHO) 濃度等の実測・計算値間の整合性検討」については、第 4 章「調査結果 (BVOC のトップダウン推計、ボトムアップ推計の改善検討)」に記述することとした。

#### 3-2. 業種ごとのオゾン低減効率と MIR、排出源の立地特性との関係についての追加検討

##### (1) 追加検討内容と方法

業種ごとのオゾン低減効率と排出源の立地特性との関係について、令和 5 年度調査において追加で検討した内容とその方法を表 3-1 に示した。なお、表 3-1 に示した以外の計算条件等は、すべて令和 4 年度調査と同様であり、例えば削減対象物質も ADMER-PRO の化学メカニズム上の TOL (VOC の一つで「モノアルキルベンゼン構造」、代表例はトルエン) としている。また、表 3-2 にはオゾン低減効率地理分布推定の計算対象パターンと対象日を、令和 4 年度調査の解析対象も含めて、まとめて示した。

表 3-1 業種ごとのオゾン低減効率と排出源の立地特性との関係についての今年度の追加検討内容と方法

- 追加検討対象は近畿/夏季（高濃度生成パターン）
- 平日を対象にしてオゾン低減効率地理分布を再計算  
 ▶ベースケースの排出量データとしては昨年度の検討と同じく2016年度のものを使用
- 排出場所（立地）に関するパラメータを再計算
- 業種ごとのオゾン存在量低減効率（昨年度の結果を利用）と排出場所に関するパラメータ（今秋の再計算結果）との相関分析を再実施

表 3-2 昨年度と今年度調査におけるオゾン濃度低減効率地理分布推定の対象気象パターンと計算対象日

	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）	●日射強、地衡風静穏 ・2015年8月1日（土） ・2015年8月7日（金） （今回の計算対象）
春季高濃度生成	●日射強、地衡風静穏 ・2015年5月11日（月）	●日射強、地衡風弱（SW） ・2016年5月13日（月）

（2）オゾン低減効率地理分布の再計算結果

図 3-1 には、オゾン低減効率地理分布の再計算結果（平日を対象）を令和4年度の結果（休日を対象）も併せて示した。

## 再計算結果

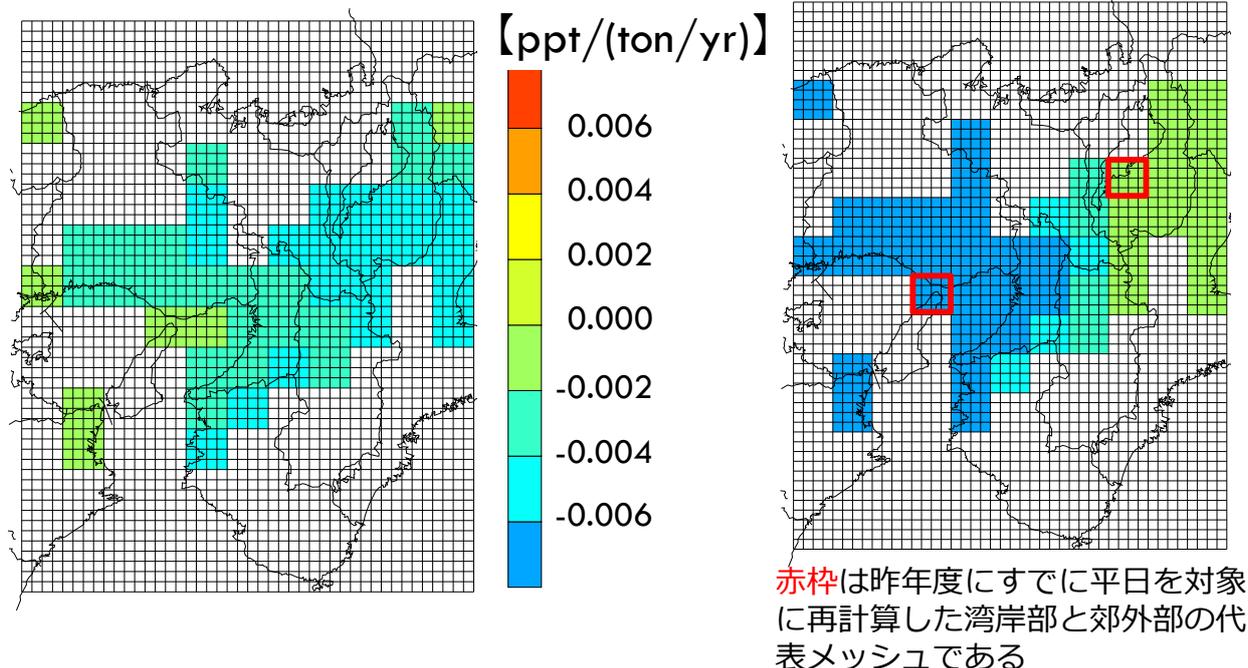


図 3-1 オゾン低減効率地理分布の再計算結果(左図)。右図には参考のため昨年度の結果も示す。  
なお、右図の赤枠のメッシュは昨年度にすでに平日を対象にして再計算済みである。

図 3-1 によると、再計算結果では、令和 4 年度調査の結果で見られた通常理論と逆の傾向（湾岸部<郊外部）は見られなくなっていることがわかる。

### (3) 業種ごとのオゾン存在量低減効率と排出場所に関するパラメータとの相関分析再実施結果

オゾン低減効率地理分布の再計算結果（図 3-1）から、既往の解析と同様に、各業種の立地パラメータを計算し、立地パラメータと業種ごとのオゾン存在量低減効率との相関分析を実施した。ここで、業種ごとのオゾン存在量低減効率についても、令和 5 年度調査におけるオゾン存在量低減効率地理分布推定の対象期間に合わせて再計算し、図 3-2 に相関分析結果を示した。

なお、令和元年度調査では、2005 年/夏季/関東について、①オゾン低減効率と MIR、②オゾン低減効率と排出場所のパラメータ、③オゾン低減効率及び MIR と排出場所のパラメータの積について相関をとっているが、令和 5 年度調査では排出場所のパラメータが負の値となったため、②のオゾン低減効率と排出場所のパラメータの相関分析を行っている。

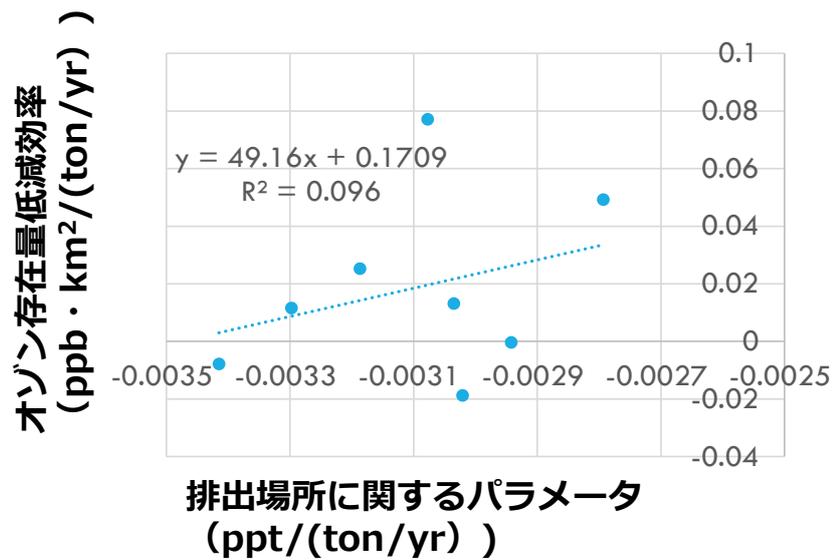


図 3-2 業種ごとのオゾン存在量低減効率と排出場所に関するパラメータとの相関分析再実施結果

図 3-2 によると、業種ごとのオゾン存在量低減効率と排出場所に関するパラメータとの間に一定の相関はあると考えられるが、その決定係数は夏季/関東 ( $R^2 = 0.73$ ) や春季/近畿 ( $R^2 = 0.70$ ) の結果と比べると小さい ( $R^2 = 0.096$ ) ことがわかった。以上のことから、令和 4 年度調査で明らかとなった「夏季/近畿における業種ごとのオゾン存在量低減効率と排出場所に関するパラメータとの相関関係が弱かった」原因は、オゾン低減効率地理分布の計算対象日を土曜日としていたことではなく、別の要因がある可能性が示唆された。

次項ではこの別の要因について検討していく。

#### (4) 相関分析再実施結果に関する考察

まず、図 3-3 には、今回のオゾン濃度低減効率地理分布の推定結果を、既往の計算結果と比較して示した。

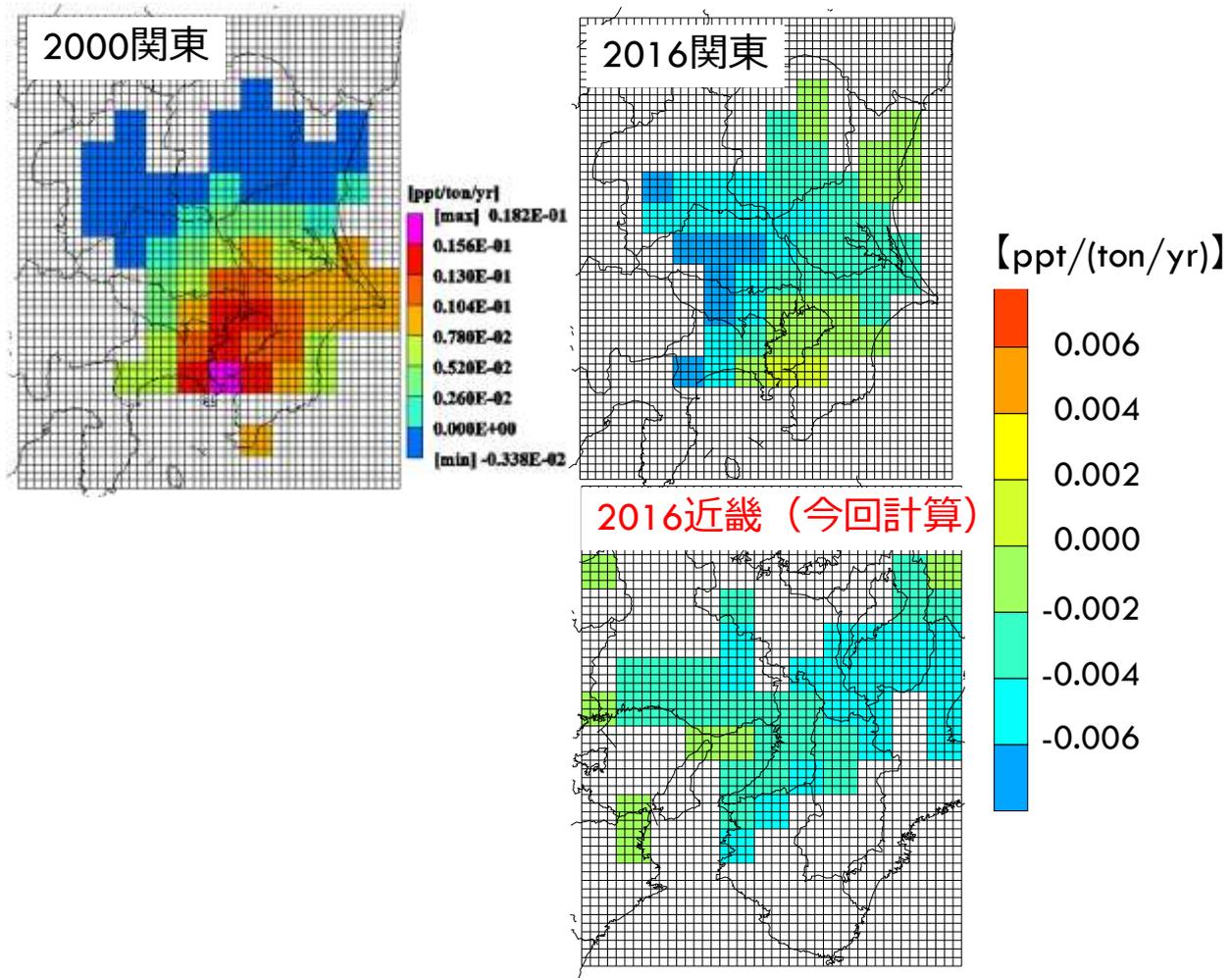


図 3-3 今回計算結果（2016 年/夏季/近畿）と既往のオゾン濃度低減効率地理分布推定結果（夏季）の比較

図 3-3 によると、今回の 2016 年/近畿における再計算結果では、既往の関東における計算結果に比べてオゾン低減効率地理分布のコントラストが小さくなっており、都市域と郊外間の変化が小さいことがわかる。これが夏季/近畿における業種ごとのオゾン存在量低減効率と排出場所に関するパラメータとの相関係数が、他の季節・地域より小さかった直接的な原因と推察される。オゾン低減効率地理分布のコントラストが小さくなった理由については、以下で述べる。

図 3-4 には過年度調査で得られた OMI (Ozone Monitoring Instrument: 米国の Aura 衛星に搭載されたオゾン観測装置) の衛星観測データ解析に基づき診断された 2005, 06 年から 2015, 16 年にかけてのオゾン感度レジーム地理分布の推移を示す。

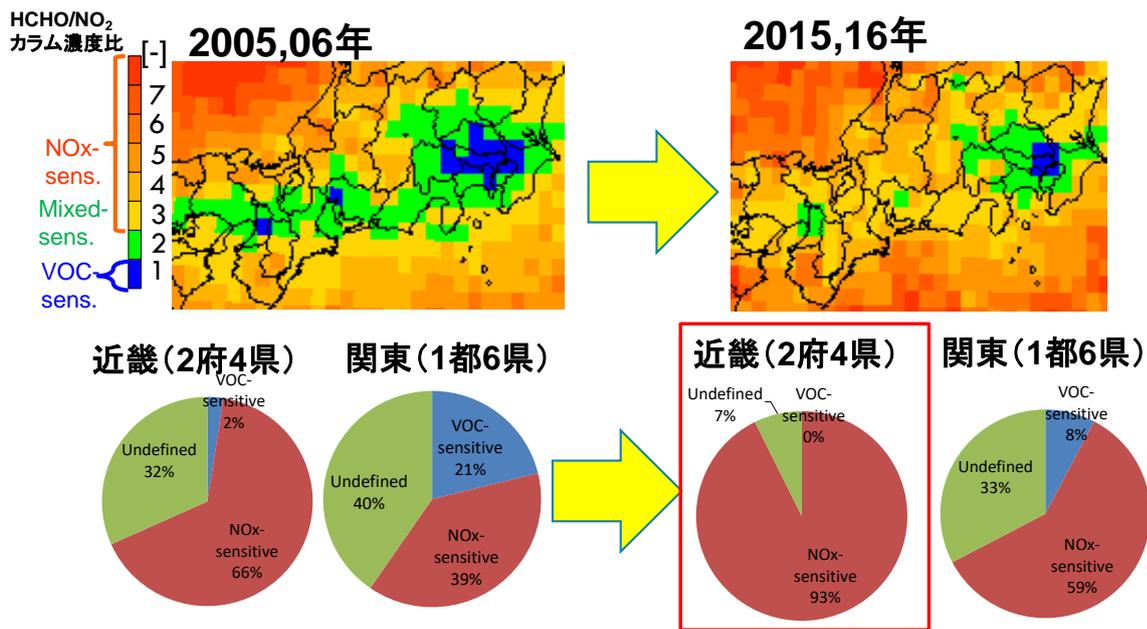


図 3-4 オゾン感度レジームの近年の変動傾向

図 3-4 によると、2015, 16 年の近畿では、他の年代・地域と異なり、undefined や VOC-sensitive (以下、「VOC 律速」という。) の領域が少なく、ほとんどの領域においてオゾン濃度が VOC 排出削減に対して感度を示さない、NOx-sensitive (以下、「NOx 律速」という) の領域であることがわかる。

以上のことから、2016 年/夏季/近畿において、他の季節・地域のように、業種ごとの指標値に立地特性の影響が表れなかったのは、オゾン感度レジームが他の季節・地方と比べて NOx 律速が強まる傾向であり、それに伴い、オゾン濃度低減効率の地理的な分布幅が、他の季節・地域と比べて小さくなっていることが一因と考えられる。

### 3-3. オゾン低減効率の符号が変わるケースの詳細解析

これまでの解析において、オゾン濃度低減効率の正負の符号が変わる解析結果が複数確認されている。本節では、オゾン濃度低減効率に影響を与える因子(時期、地域、季節、立地場所等)のうち、どの因子が、正負の符号が変わるケースにおけるオゾン濃度低減効率値に影響を与えているか、さらには、オゾン濃度低減効率値の変動を統一的に説明しうる変数はあるのかについて検討した。

#### (1) 検討方法

今回計算分も含めて、既往のオゾン濃度低減効率地理分布推定結果を地域・季節・計算対象日の曜日(平日・休日)別に整理するとともに、全体を通じて支配するパラメータの抽出を目指し、その因子として重要と考えられるレジームに関する複数の指標(HCHO/NO<sub>2</sub>濃度比等)とオゾン濃度低減効率の相関分析を行った。相関分析の方法は表 3-3 に示した通りである。

表 3-3 相関分析の方法

- 検討対象：既往のオゾン濃度低減効率地理分布推定時のデータ（計算対象日は表3-2の通り）
- 各20 kmメッシュ毎の各パラメータ値とオゾン濃度低減効率（ppb/(ton/yr)）との相関を調べる
- 検討したパラメータ：NMHC/NO<sub>x</sub><sup>※1</sup>、MIR<sub>i</sub>VOC<sub>i</sub>/NO<sub>2</sub><sup>※2</sup>、HCHO/NO<sub>2</sub>

※1 NMHC 濃度は ADMER-PRO 化学メカニズムの VOC 化学種（ETH, OLE, PAR, TOL, XYL, FORM, ALD2, ISOP, UNR）のうち FORM と ALD2 を除いた化学種の濃度（ppb）を足しあわせて求めた。NO<sub>x</sub> 濃度は NO+NO<sub>2</sub> の濃度として求めた。これらは過年度調査と同様の扱いである。

※2 各 VOC 化学種の MIR<sub>i</sub>（mol/mol）の値としては以下を用いた。ETH:2.328, OLE:4.831, PAR:0.3458, TOL:0.5139, XYL:2.383, FORM:5.771, ALD2:3.007, ISOP:4.375, UNR:0。これらは過年度調査と同様の扱いである。

## （2）検討結果

図 3-5 に令和 5 年度調査における推定分も含め、既往のオゾン低減効率地理分布推定結果を示した。

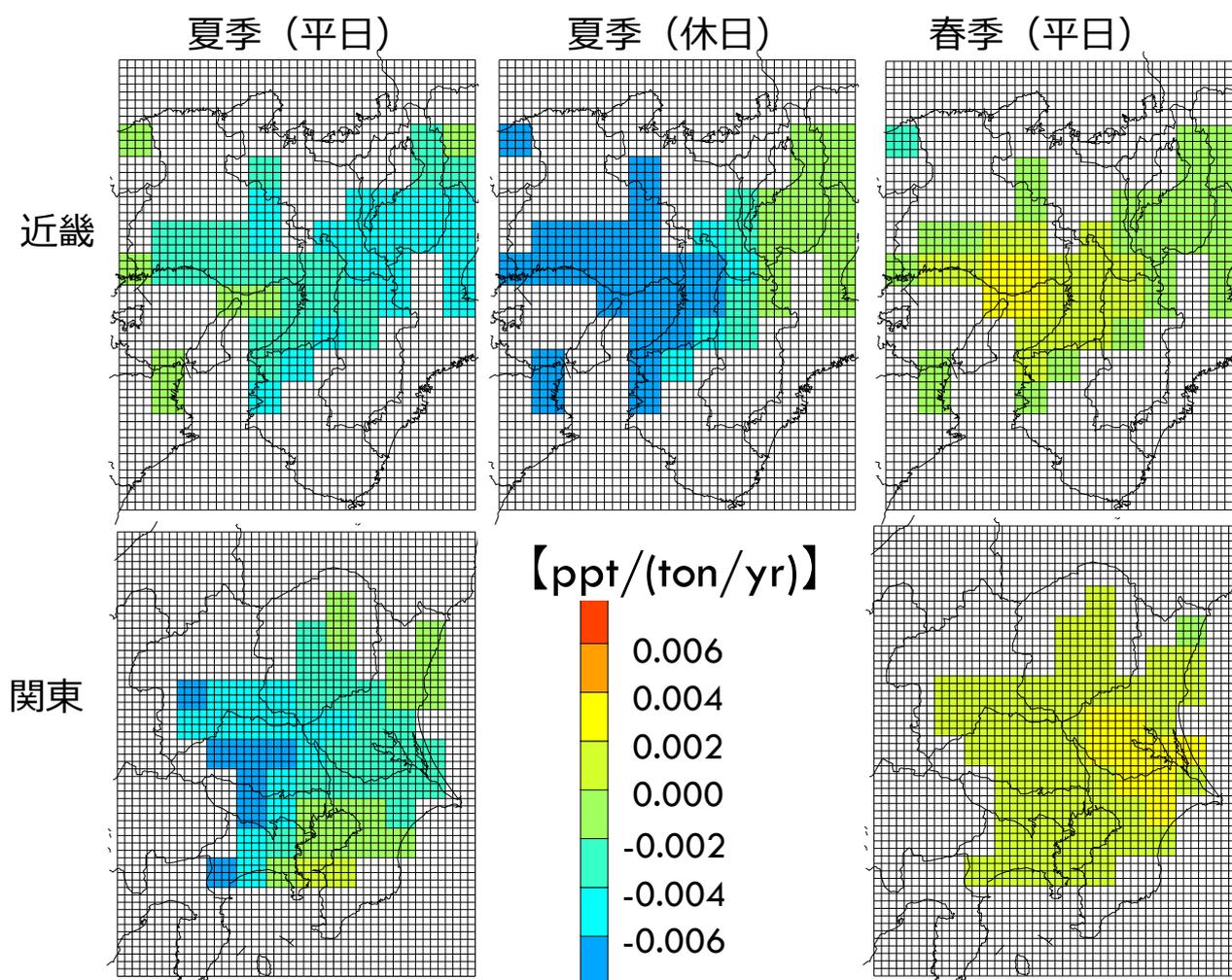


図 3-5 既往のオゾン濃度低減効率地理分布の推定結果

図 3-5 によると、オゾン濃度低減効率の値についておおむね以下の傾向があることがわかる。

- ・関東 > 近畿 (ただし最小値は逆)
- ・平日 > 休日
- ・春季 > 夏季

上記のオゾン濃度低減効率値の変化傾向は、VOC 律速が強まる傾向と整合的である。ここで、平日の方が休日より VOC 律速が強まる傾向となるのは、休日には NO<sub>x</sub> が少なくなるからである。

また、同じく図 3-5 によると、オゾン濃度低減効率の値が負になるのは夏季 (特に休日) に多く、春季はおおよそ負の値にならないこともわかる。

以上のことから、地域、季節、計算対象日の曜日 (平日・休日) は、いずれもオゾン濃度低減効率の変動に影響を与えていることは明らかである。しかし、図 3-5 を見ても、それらの因子のみでオゾン濃度低減効率の変動を説明しつくすことは不可能であり、地域内の場所やその他の因子も影響を与えていると考えられる。

次に、本項内の考察により、全体を通じて支配する背後にあるパラメータとしては、オゾン生成レジームに関連するものが候補となるため、HCHO/NO<sub>2</sub> 濃度比等とオゾン濃度低減効率との相関分析を実施した。その結果を図 3-6 に示した。

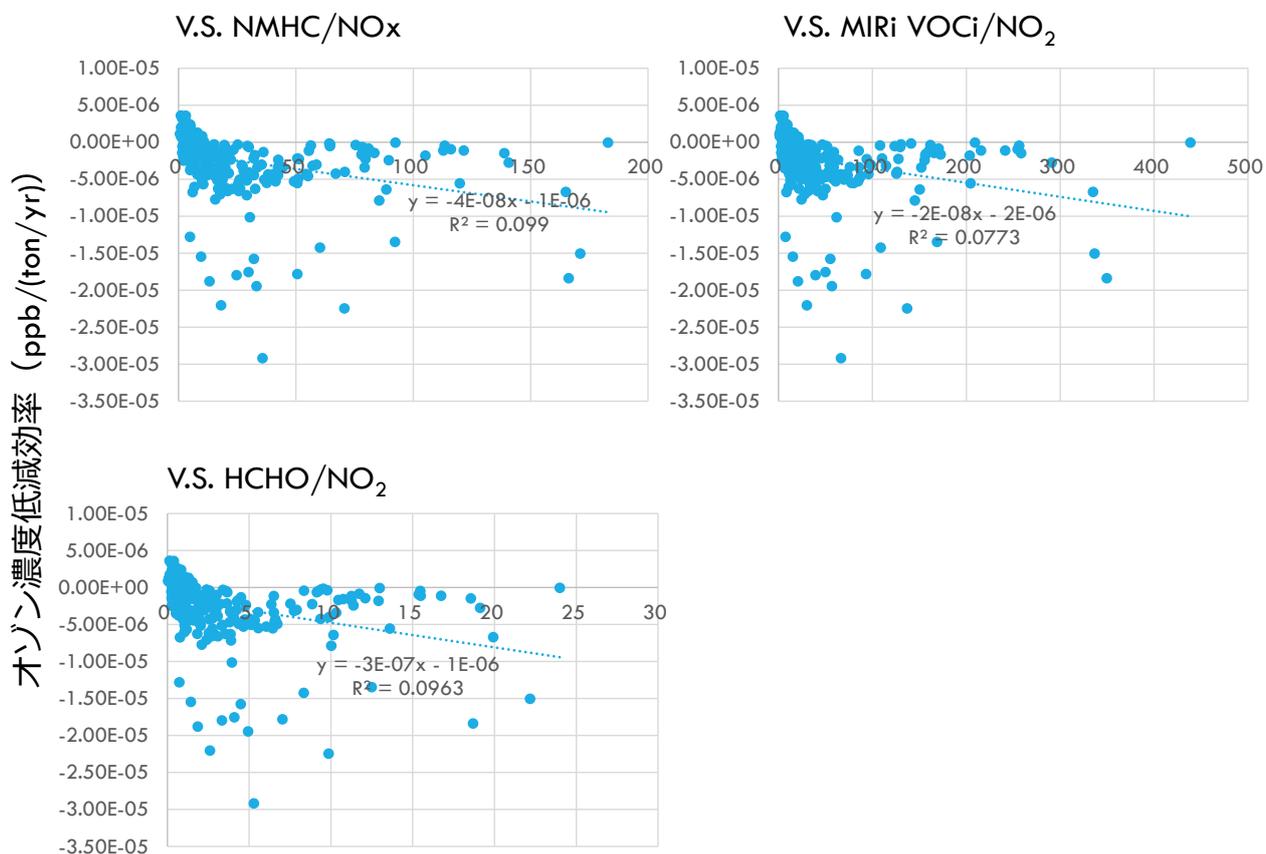


図 3-6 オゾン濃度低減効率と各パラメータの散布図（全データ）

図 3-6 によると、オゾン濃度低減効率と各パラメータはほとんど相関がないことがわかる。一方で、3-2.(4)項で述べた通り、他の季節・地域に比較してNO<sub>x</sub> 律速が強まる傾向になっていた夏季/近畿のデータを除いて相関分析を実施したところ、図 3-7 の散布図が得られた。

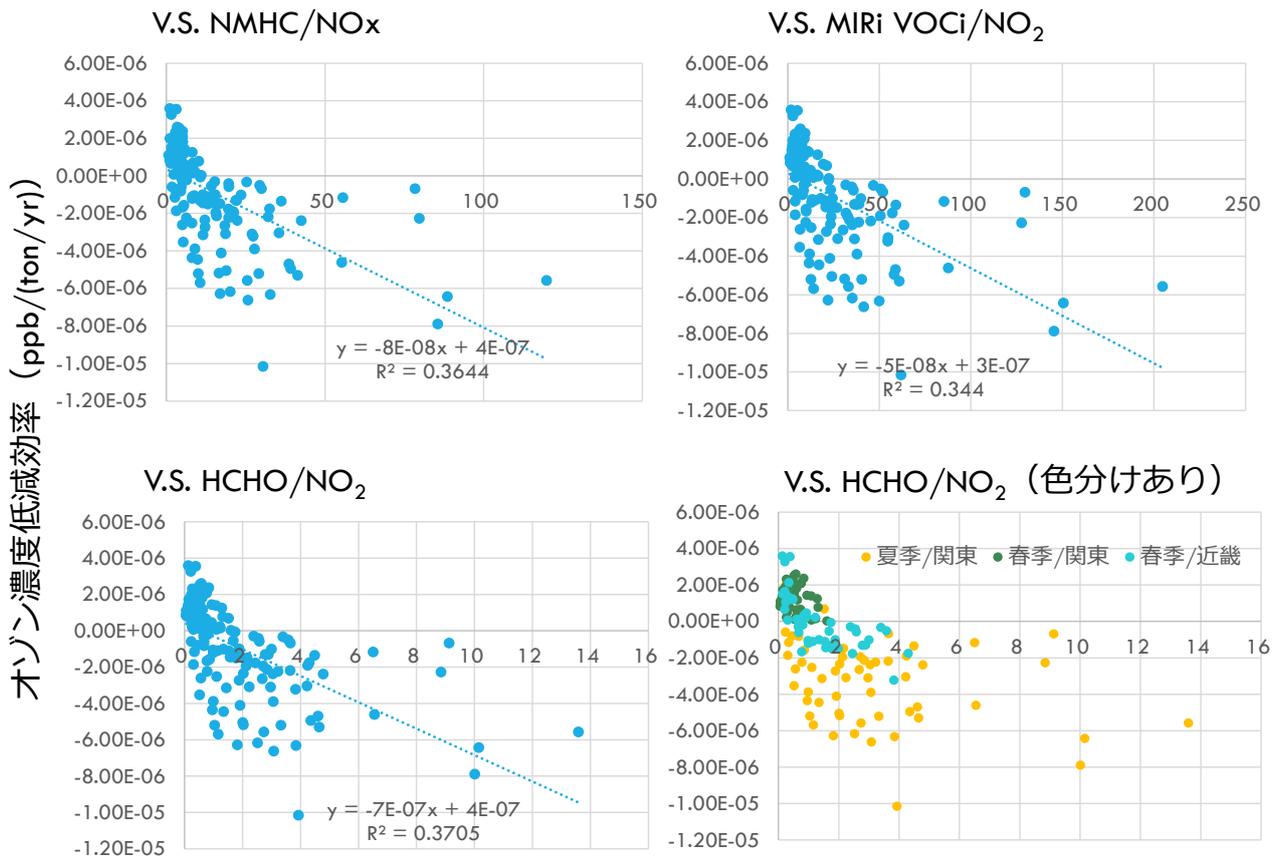


図 3-7 オゾン濃度低減効率と各パラメータの散布図（夏季の近畿のデータを除く。オゾン濃度低減効率と HCHO/NO<sub>2</sub> 濃度比の散布図については季節・地域別に色分けしたのもも示している）

図 3-7 によると、理論から推測される通り、オゾン濃度低減効率はいずれのパラメータとも負の相関があることがわかる。また、それぞれの決定係数の値を参照すると、オゾン濃度低減効率指標値変動の30%以上がこれらのパラメータで説明されうることもわかる。なお、季節・地域によってマーカーの色分けをしている図 3-7 の右下の図を見ると、回帰直線からのずれを生じさせているデータは、夏季/関東のデータに多く見られ、対象を春季に限定すれば、さらに強い負の相関が得られることが期待される。

本節での解析結果をまとめると、オゾン濃度低減効率は、地域、季節、時期、地域内の削減場所のいずれにも影響されるが、それはオゾン生成レジームに関連するパラメータの変動によるところが大きく、オゾン生成レジームに関連するパラメータ値が一定の値以上であれば（例えば HCHO/NO<sub>2</sub> 濃度比が2以上なら）、オゾン濃度低減効率が負の値になる。

### 3-4. 本章における解析のまとめと今後の課題

令和5年度調査では、他の季節・地域のように、2016年/夏季/近畿において、業種ごとのオゾン存在量低減効率に立地特性の影響が表れなかった原因について追加検討を行い、オゾン感度レジームが他の季節・地域と比べてNO<sub>x</sub> 律速が強まる傾向になるため、オゾン濃度低減効率の地理的な分布幅が

他の季節・地域と比べて小さくなることが一因であると考えられるに至った。

また、これまでの解析において、オゾン濃度低減効率の正負の符号が変わる結果が確認されているが、本章では、オゾン濃度低減効率に影響を与える因子（地域、季節、時期、立地場所等）のうち、どの因子が、正負の符号が変わるケースにおけるオゾン低減効率値に影響を与えているか、さらには、オゾン濃度低減効率値の変動を統一的に説明しうる変数はあるのかについても検討した。その結果、オゾン濃度低減効率は、地域、季節、時期、立地場所のいずれの因子にも影響されるが、オゾン生成レジームに関連するパラメータの変動によるところが大きく、その値がある一定の値以上（例えば HCHO/NO<sub>2</sub> 濃度比 (ppb/ppb) が 2 以上）であれば、オゾン濃度低減効率が負の値になるという結論を得た。

なお、本章の解析に用いたオゾン濃度低減効率は、VOC の一種としてとして ADMER-PRO 化学メカニズムの TOL（代表例はトルエン）を削減させたシミュレーション結果から計算したが、表 3-3 の脚注に示した通り、他の VOC 化学種では TOL より大きい MIR 値を持つものが多いため、他の化学種では必ずしもオゾン濃度低減効率が負の値になるとは限らない点には注意する必要がある。

## 4 調査結果 (BVOC の設定についての検討① : BVOC のトップダウン推計、ボトムアップ推計の改善検討)

### 4-1. 本章における調査の背景と目的

過年度調査では、大気化学輸送モデルに入力する BVOC の不確実性と、それに伴うオゾン存在量低減効率算出値への影響について調査した結果、不確実な BVOC の設定値により、算出されるオゾン存在量低減効率の値に大きな影響があることがわかった。また、BVOC の中でも、特にオゾン生成への影響が高いイソプレンについて、本調査で基本的に用いているボトムアップ推計値 (ADMER-PRO 内蔵) に基づく地理分布と、OMI の衛星観測による対流圏ホルムアルデヒド (HCHO) カラム密度 (BVOC 由来のイソプレン放出量に比例するためトップダウン推計に用いられる。以下、「HCHO カラム」と言う。) の地理分布を比較し、両者が全く異なることを示した。

以上のことから、トップダウン、ボトムアップの両 BVOC 放出量推計手法について、それぞれ精緻化することが必要という結論を得た。

令和 4 年度調査では、トップダウン、ボトムアップ放出量推計を精緻化するため、専門家へのヒアリング及び文献調査を実施し、トップダウン推計においては水平風がある場合の滲み効果等を勘案し、適用スケールを小さくしすぎないようにすることが必要であるという結論を得た。

また、ボトムアップ推計に関しては、イソプレンの高放出樹種はコナラや竹であるが、竹からのイソプレン放出について、これまで大気質シミュレーションにおいて明示的に考慮されたことがないため検討に値すること、森林におけるフラックス測定では、個葉レベルの積み重ねで計算したものより小さい場合があるなどの結論を得た。

さらに、今後精緻化段階の BVOC 設定を用いたシミュレーションを行う際の基礎 (参照) データを得るため、BVOC 成分濃度を含む化学物質や気象要素が測定されている「つくば集中観測期間 (AQUAS-Tsukuba campaign)」(2017 年 8 月) を対象としたシミュレーションも行った。

上記を踏まえ、令和 5 年度調査では、トップダウン推計については、種々の水平解像度でグリッド化を行い、それらの妥当性や最適な水平解像度の検討や対象年度や対象季節を広げ、一般性やボトムアップ推計からの知見との整合性の確認を行った。

また、ボトムアップ推計については、竹林からの放出量推計の精緻化を行い、当該手法によって推定された竹林からの基礎放出量等を入力したシミュレーションを実施した。

加えて、令和 4 年度調査においては、つくば集中観測期間の実測値と、ADMER-PRO 内蔵 BVOC 設定でのシミュレーション結果を比較検討したが、令和 5 年度調査では、BVOC 設定として新たに「ADMER-PRO 内蔵×0.5」や「竹林を加味した条件」でもシミュレーションを行い、同様につくば集中観測期間の実測値と比較し、現況再現性が向上するかを検討した。

### 4-2. トップダウン推計の改善試行

#### (1) 異なる水平解像度での再グリッド化とその妥当性検討

先述した令和 4 年度調査の結果 (「滲み効果のため適用スケールに注意すべき」等) に基づいて水平解像度を変え、それに応じて OMI の HCHO カラムデータを再グリッド化し、それぞれの解像度ごとに、

多量のイソプレン放出が確認されている植物種（コナラ群落と竹林）の地理分布と比較することにより、それぞれの解像度ごとのトップダウン推計の妥当性を検討した。

図 4-1 に種々の水平解像度でのホルムアルデヒド (HCHO) カラムの地理分布を、図 4-2、図 4-3 には各水平解像度における HCHO カラムと、竹林面積分率及びコナラ群落面積分率との散布図を示す。なお、各植生面積分率の推定にあたっては、令和 4 年度調査と同じく、茶谷委員からご提供いただいた、環境省環境省生物多様性センターの植生分類図から各植生分類の面積比率を 3 次メッシュ単位で整理したデータソースを活用した。

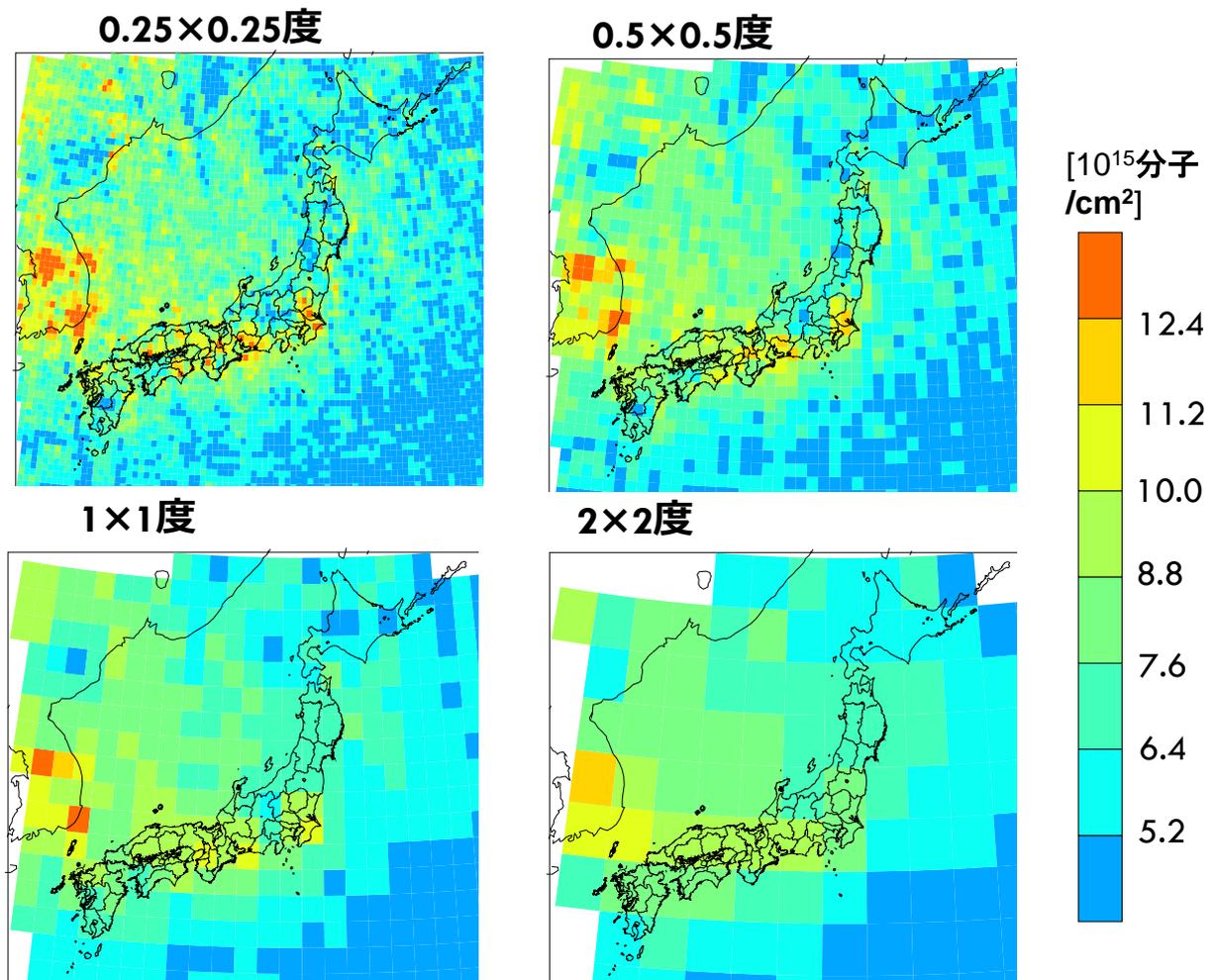


図 4-1 異なる水平解像度での HCHO カラムの再グリッド化

図 4-1 によると、0.25×0.25 度～1×1 度グリッドまでは、太平洋沿岸の平野部において HCHO カラムが高いという特徴があるが、2×2 度グリッドでは、その特徴が見られなくなっていることがわかる。

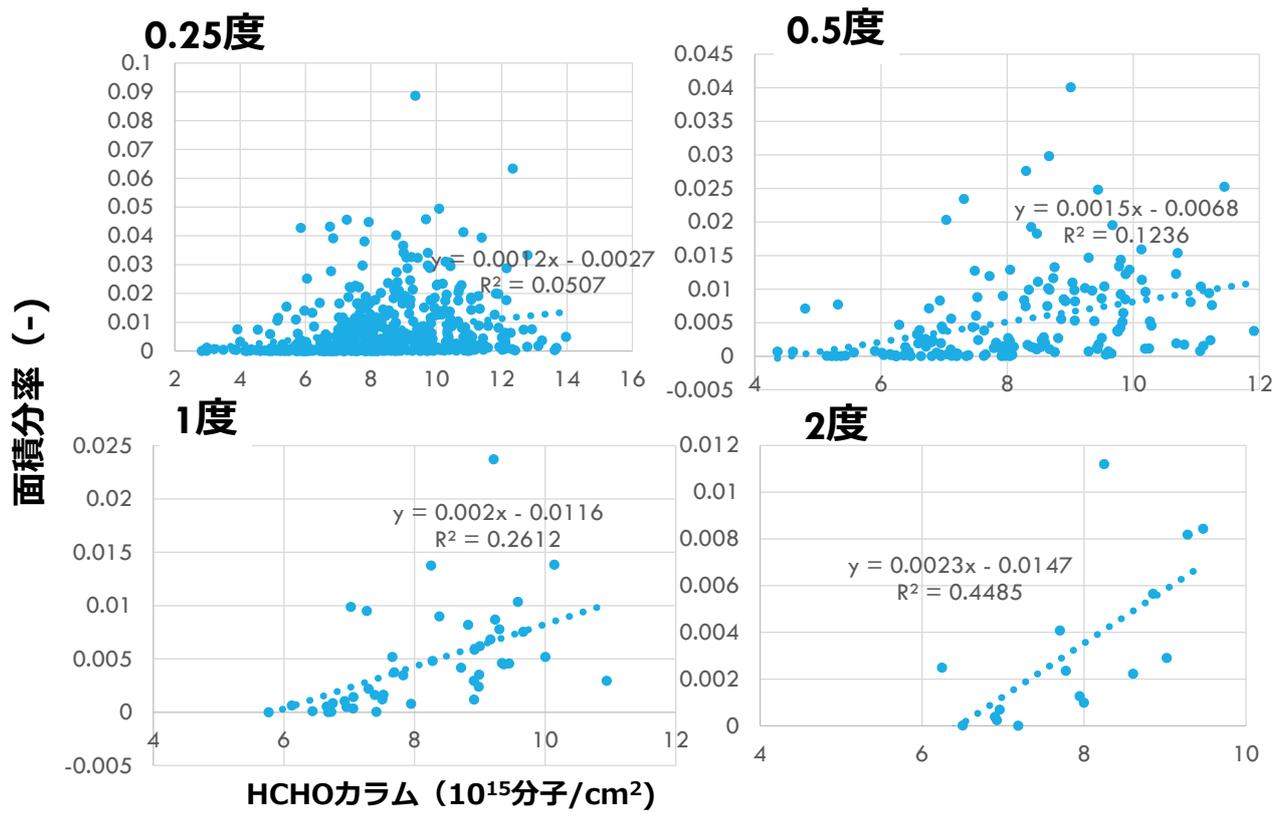


図 4-2 各解像度での HCHO カラムと竹林面積分率との散布図

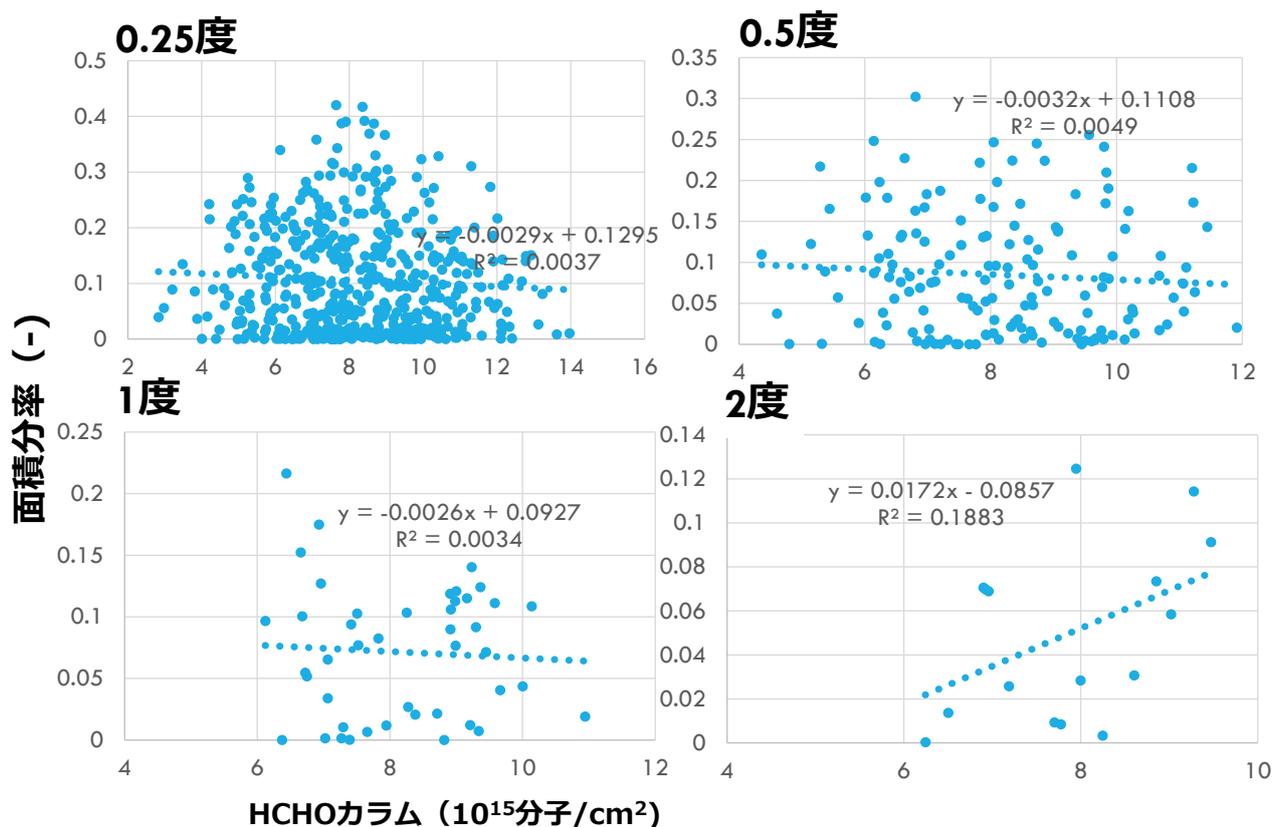


図 4-3 各解像度での HCHO カラムとコナラ群落面積分率との散布図

図 4-2 によると、HCHO カラムと竹林の面積分率の関係については、0.25 度、0.5 度グリッドでは相関がほぼないが、1 度、2 度グリッドでは相関がみられ、相関係数も水平解像度が粗くなるほど高くなることからわかる。一方で、図 4-3 によると、HCHO カラムとコナラ群落の面積分率の関係については、水平解像度が粗くなるほど相関が高くなるわけではなく、2 度の場合にのみ弱い相関がみられる。

以上のことから、竹林は実際に相当程度のイソプレンを放出しており、その地理分布を推定するためには、令和 4 年度調査におけるヒアリングでのご意見や先行研究の適用例から予想される通り、HCHO カラムと竹林面積分率で一定の相関が見られた 100~200 km（今回の場合では 1~2 度程度）が適切である可能性が示唆された。一方、コナラ群落は、実際には個葉レベルの放出量測定から推定されるほど多量のイソプレンを放出しているわけではなく、そのため、水平解像度を粗くしても相関係数が高くならなかったと考えられる。なお、2 度グリッドの場合に相関が出ている理由は不明であるが、竹林の面積分率と HCHO カラムに比べて相関係数は小さいため、交絡因子の影響である可能性が考えられる。

1 度と 2 度のどちらが、よりトップダウン推計に適した解像度であるか決定することは難しいが、2 度グリッドでは図 4-1 で示したように、地理分布に関する情報量がかなり限定されたものになるため、今後の解析には基本的には 1 度グリッドのデータを用いることにした。

図 4-4 には、1 度グリッドにおける HCHO カラムと各植生の面積分率地理分布を比較して示した。

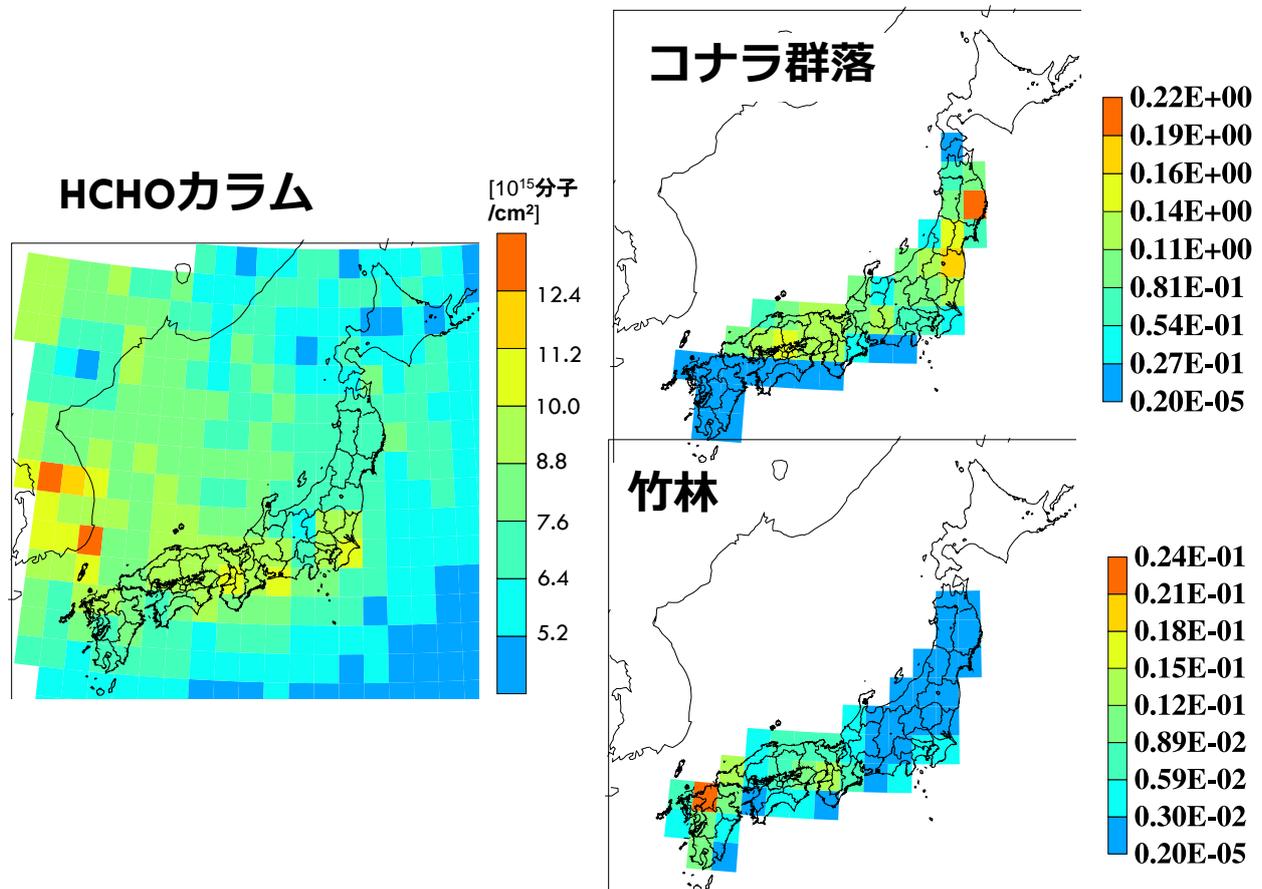


図 4-4 HCHO カラムと各植生の面積分率(1×1 度グリッド)

図 4-4 によると、HCHO カラムの地理分布は竹の面積分率のそれとは定性的に対応しているが、コナラの地理分布とは対応していないことが改めて明らかになった。

## (2) 複数年、複数季節を対象とした解析～一般性とボトムアップ知見との整合性確認～

本項では、対象年や対象季節を広げ、前項で挙げた地理分布の特徴の一般性やボトムアップ知見との整合性を確認した。図 4-5 には、HCHO カラムの経年変化と季節変化を示した。

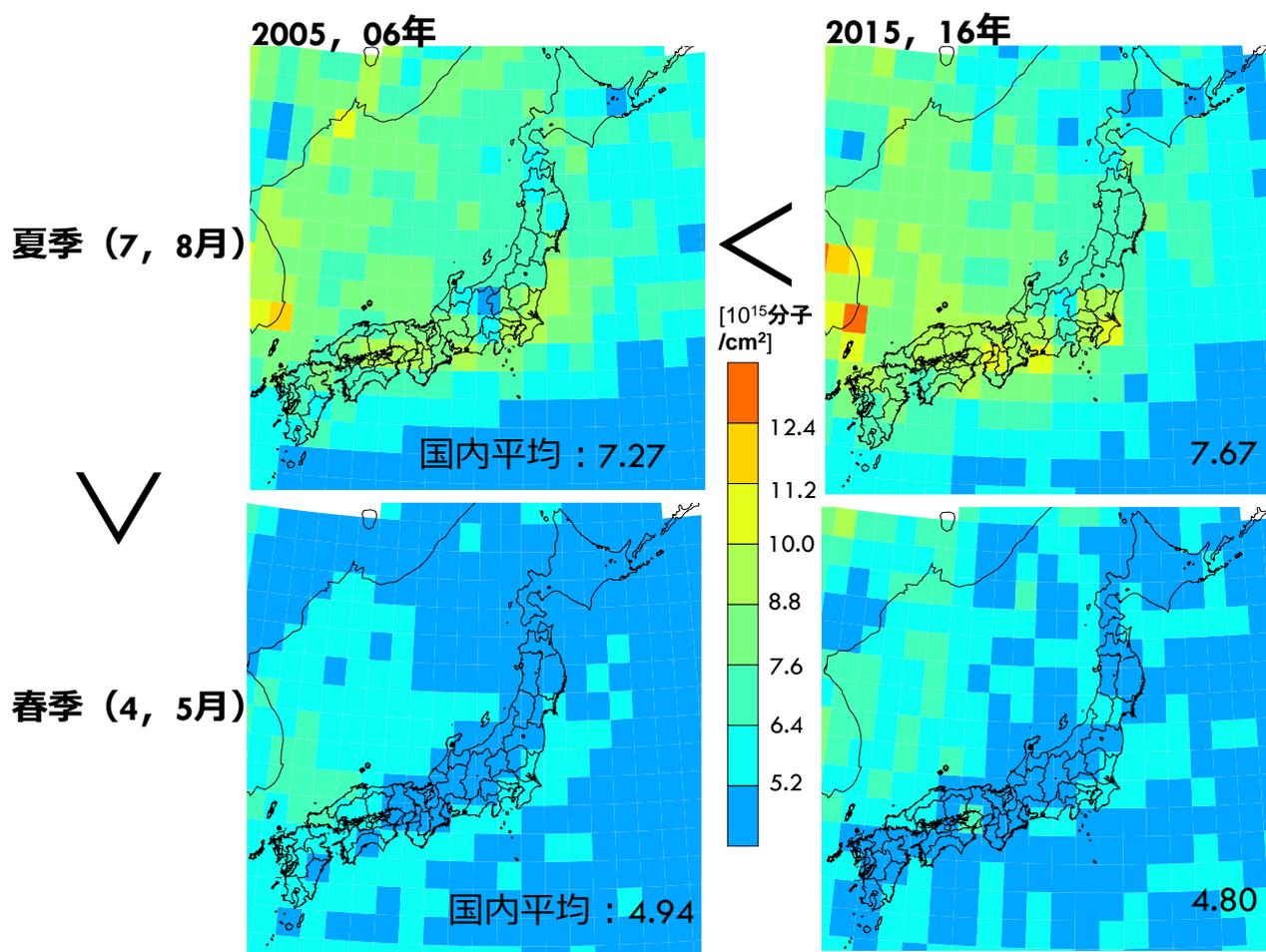


図 4-5 各 HCHO カラム地理分布の経年変化と季節変化。  
日本国内における平均値も各図の右下に示している。

図 4-5 によると、2015,16 年にみられた HCHO カラム地理分布の特徴(太平洋沿岸部で高い)は 2005,06 年にもみられ、一般性があることが確認された。また、同じく図 4-5 によると、季節変化に関しては春季より夏季の方が高いこと、春季には夏季でみられたような地理分布の特徴は、必ずしもみられないことがわかる。

図 4-6 には、各季節における HCHO カラムと竹林の面積分率との散布図を示した。

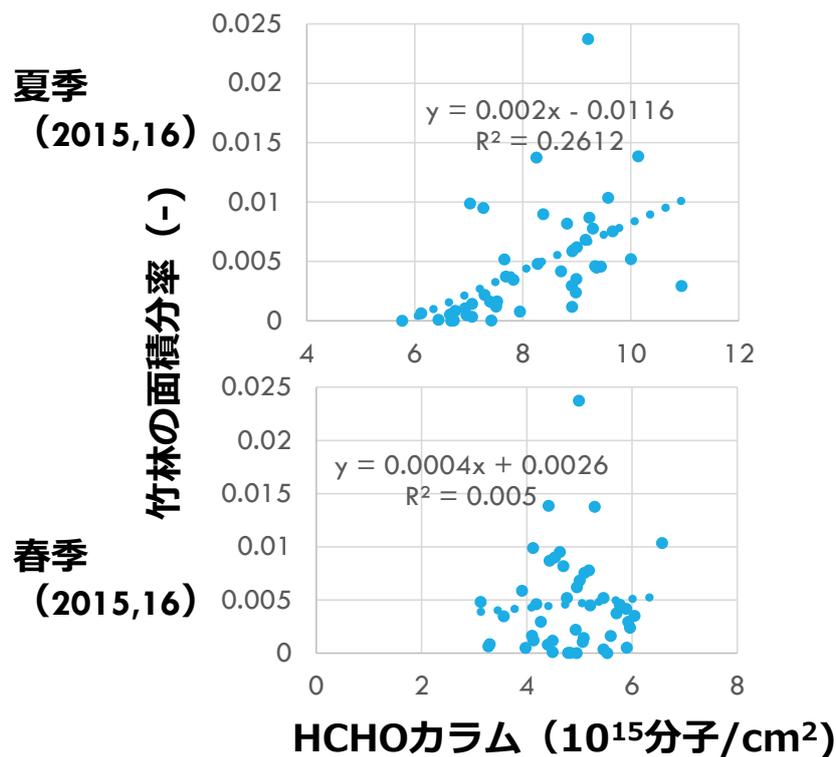


図 4-6 各植生分類の面積分率と HCHO カラムの散布図

図 4-6 によると、春季には夏季でみられた HCHO カラムと竹林面積分率の相関が消失していることがわかる。これは、4-3 節の (3) 項で述べる、竹林からの放出量の季節変化に関するボトムアップ知見と整合的である。

#### 4-3. ボトムアップ推計の改善試行

4-2 節で示した通り、トップダウン推計では、竹林は実際にイソプレンを多量に放出していることが示唆されたため、令和 5 年度調査では、竹林からの BVOC 放出量を昨年度より精緻な方法で推定することとした。その際には、竹林からの基礎放出量推定に必要な竹林の面積分率は、令和 4 年度とは異なるデータソースも活用して推定した。

##### (1) BVOC 基礎放出フラックスの推定方法

関東、近畿地方について大気質モデル (ADMER-PRO) の解像度に合わせ、5 km メッシュ及び 20 km メッシュで BVOC 基礎放出フラックス (土地単位面積あたりの基礎放出速度) を月ごとに推定した。推定方法及び ES (葉面積あたりの基礎放出速度) と LAI (葉面積指数) の月ごとの設定値をそれぞれ、表 4-1、表 4-2 に示した。

表 4-1 BVOC 基礎放出フラックス推定方法

- 土地面積あたりの基礎放出フラックス (ES\_land) を竹林からのイソプレンのみを考慮して以下の式で算出
- ES\_land = ES (葉面積あたりの基礎放出量) ×LAI (葉面積指数) ×竹林の面積分率
- 竹林からのイソプレンのESは、昨年度検討会報告書に記載のデータ※1を参考にして、LAIはJi et al. (2021)※2のデータを参考にして表4-2のように設定

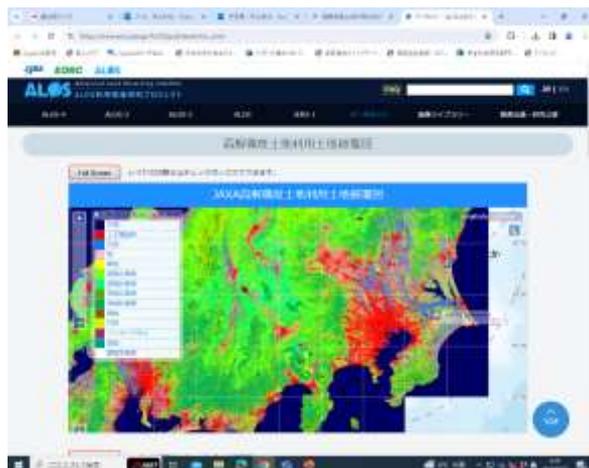
※1 : 令和4年度報告書図 6-9 のモウソウチク、マダケを参考に8月の値を 50 nmol/m<sup>2</sup>/s と仮定し、月変動パターンは令和4年度報告書図 6-10 のモウソウチクのものを用いる

※2 : Ji et al. (2021): Multiscale leaf area index assimilation for Moso bamboo forest based on Sentinel-2 and MODIS data, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 104.

表 4-2 竹林の ES(葉面積あたりの基礎放出速度)と LAI(葉面積指数)の月ごとの設定値

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
ES (nmol/m <sup>2</sup> /s)	0.0	0.0	0.2	3.6	7.0	21.0	35.0	50.0	25.0	2.0	6.0	10.0
LAI	1.5	1.5	1.5	2.8	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	2.8	1.5

竹林の面積分率については、ソースデータとして、令和4年度調査と同じく、茶谷委員からご提供いただいた環境省生物多様性センター植生分類図から3次メッシュ単位で集計したものに加え、最近JAXA から公開された土地利用土地被覆図データも使用した。JAXA から公開された土地利用土地被覆図データの概要を図 4-7 に示した。



- Ver.21.11（日本域10m解像度、2018~2020年、12分類）※を利用
- ✓2021年11月にリリース
- ✓同年3月にリリースされたひとつ前のバージョンより「ソーラーパネル」と「竹林」のカテゴリが追加されている
- ✓衛星搭載光学センサとしてSentinel-2衛星のMultispectral Instrument (MSI)を利用して推計

図 4-7 今年度調査で新たに竹林面積分率推定に用いたデータソース  
(JAXAの高解像度土地利用土地被覆図)

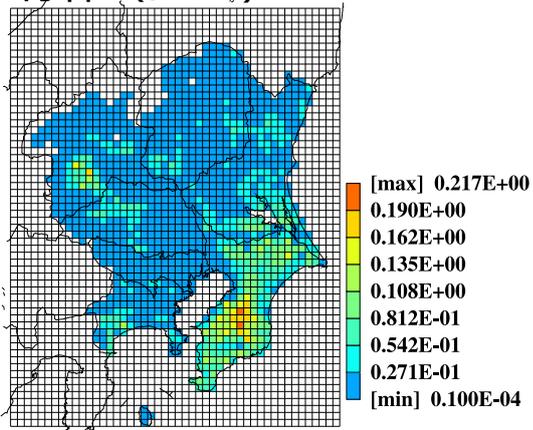
※平山ら(2022): JAXA 高解像度土地利用土地被覆図日本域 21.11 版 (HRLULC-Japan v21.11) の作成, 日本リモートセンシング学会誌, 42(3), 199-216.

図 4-7 で示したデータを基に、竹林の面積分率を 3 次メッシュ単位で整理したうえ、5 km メッシュおよび 20 km メッシュで集計し、以降の解析に使用した。

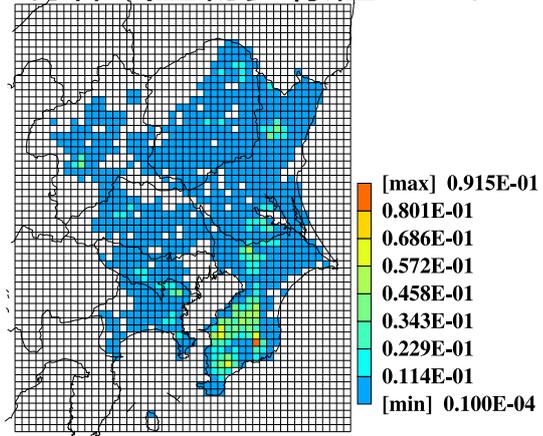
## (2) 竹林の面積分率の推定結果

竹林面積分率の関東地方（5 km メッシュ）における推定結果を図 4-8 に、近畿地方（5 km メッシュ）における推定結果を図 4-9 にそれぞれ示した。また、図 4-10 には、20km メッシュの大領域における推定結果も示した。以下、植生分布として、JAXA の高解像度土地利用土地被覆図のデータを用いた場合は“竹林 (JAXA)”、「茶谷委員からご提供いただいた、環境省生物多様性センターの植生分類図から各植生分類の面積比率を 3 次メッシュ単位で整理したデータ」を用いた場合は“竹林 (環境省生物多様性センター)”のように凡例を示す。

竹林 (JAXA)



竹林 (生物多様性センター)



参考：コナラ群落 (生物多様性センター)

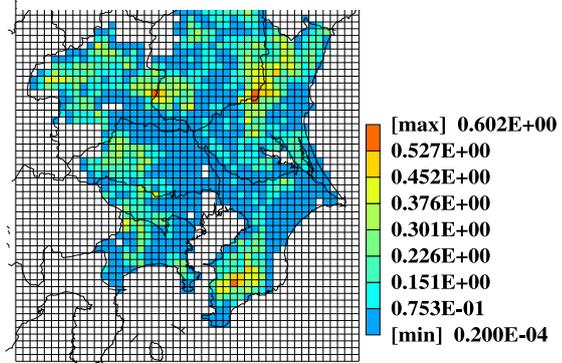
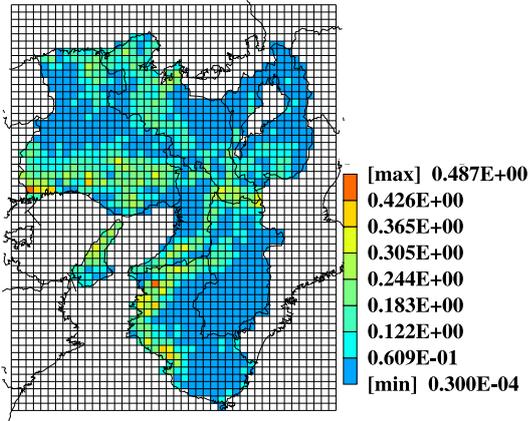
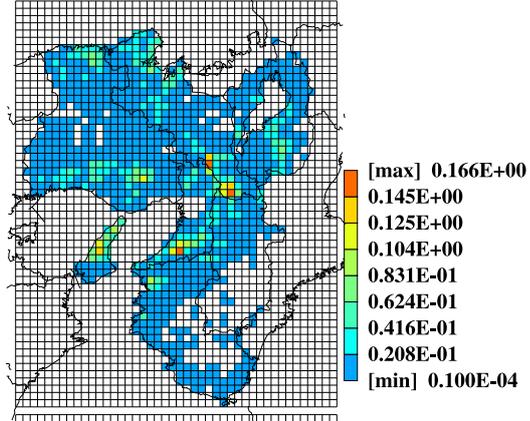


図 4-8 竹林面積分率地理分布推定結果(関東、5km メッシュ)。  
参考としてコナラ群落の面積分率推定結果も示している。

竹林 (JAXA)



竹林 (生物多様性センター)



参考：コナラ群落 (生物多様性センター)

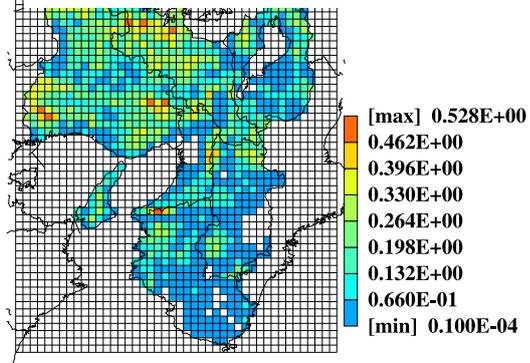


図 4-9 竹林面積分率地理分布推定結果(近畿、5km メッシュ)。参考としてコナラ群落の面積分率推定結果も示している。

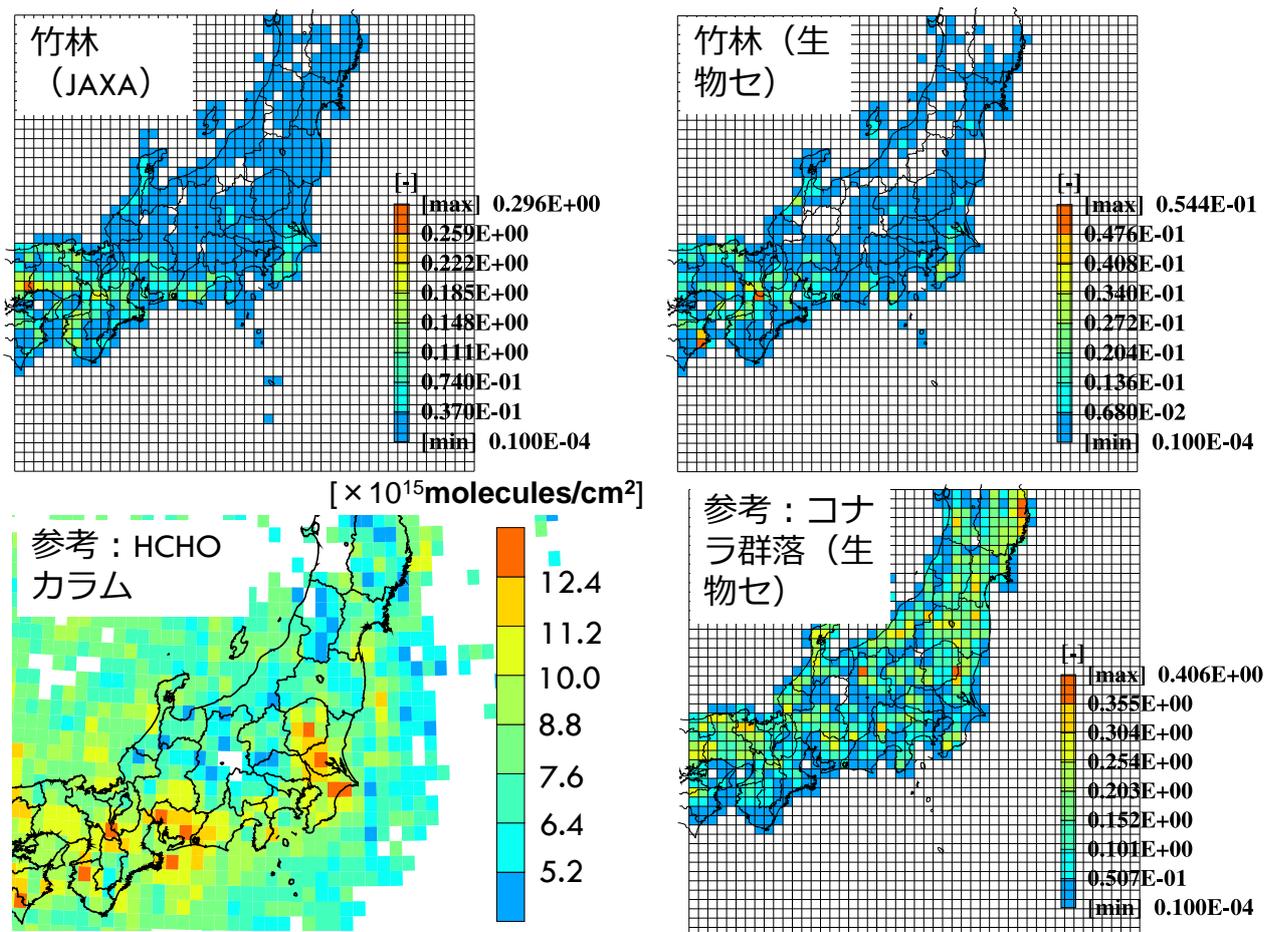


図 4-10 竹林面積分率地理分布推定結果(20km メッシュの関東含む大領域)。参考としてコナラ群落の面積分率推定結果、及びトップダウン推計による地理分布推定結果(OMI による HCHO 対流圏カラム密度観測値(2015, 16 年の7,8月平均値、観測時刻は 13:30)の地理分布)も示している。

図 4-8、図 4-9 によると、関東、近畿のいずれの地方においても、図 4-7 で示した JAXA データを用いた「竹林 (JAXA)」の面積分率推定結果の方が、環境省生物多様性センターのデータを用いた「竹林 (環境省生物多様性センター)」の結果より大きいことがわかる。一方で、図 4-10 によると、地理分布の定性的な特徴は「竹林 (JAXA)」と「竹林 (環境省生物多様性センター)」で大きく異なることはなく、いずれも参考として示したトップダウン推計によるイソプレン放出量地理分布と同様の傾向であることがわかる。

### (3) 竹林からの基礎放出フラックス推定結果

関東、近畿の夏季(8月)における竹林からの基礎放出フラックス推定結果を図 4-11 に、春季(4月)における同推定結果を図 4-12 に示した。

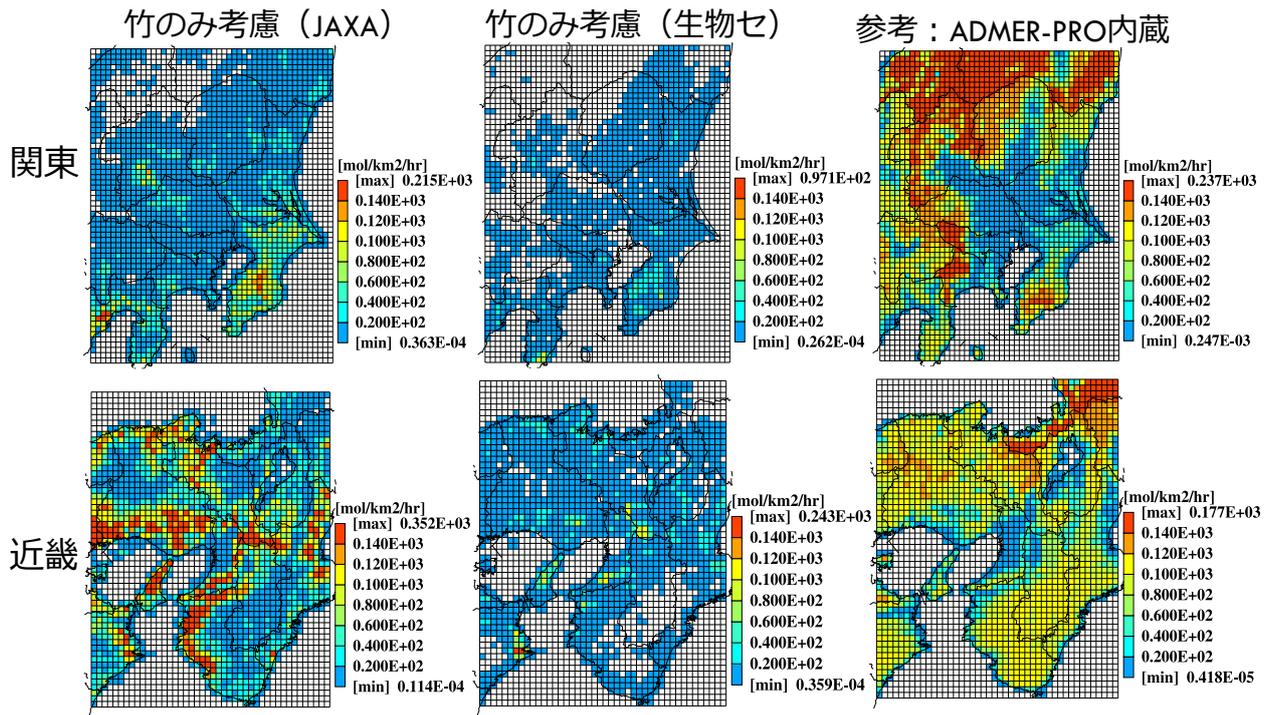


図 4-11 竹林からのイソプレン基礎放出フラックス推計結果(8月、5kmメッシュ)。参考として、ADMER-PRO内蔵データから推計した全植生を考慮したイソプレン基礎放出フラックスも示している。

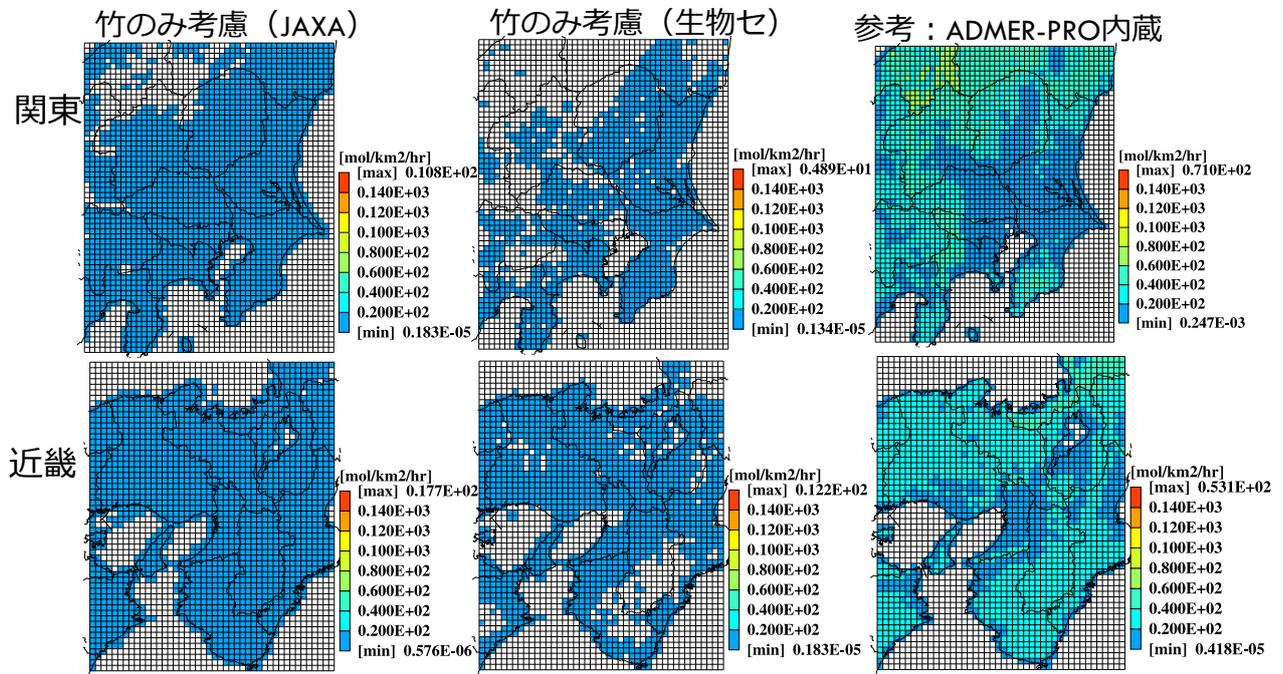


図 4-12 竹林からのイソプレン基礎放出フラックス推計結果(4月、5kmメッシュ)。参考として、ADMER-PRO内蔵データから推計した全植生を考慮したイソプレン基礎放出フラックスも示している。

図 4-11 によると、夏季（8月）のイソプレン基礎放出フラックス推定値について、「竹のみ考慮（JAXA）」は「竹のみ考慮（環境省生物多様性センター）」より大きく、参考として示した ADMER-PRO 内蔵データから推計した全植生を考慮したイソプレン基礎放出フラックスより大きいメッシュもある（特に近畿では多くある）。一方で、図 4-12 によると、春季（4月）のイソプレン基礎放出フラックス推定値について、「竹のみ考慮（JAXA）」、「竹のみ考慮（環境省生物多様性センター）」ともに夏季より小さいことがわかる。

図 4-13 には、竹林からのイソプレン基礎放出フラックス推定結果を、全人為起源の VOC 成分の排出フラックス推定結果（ADMER-PRO 内蔵データより算出）と比較して再掲した。

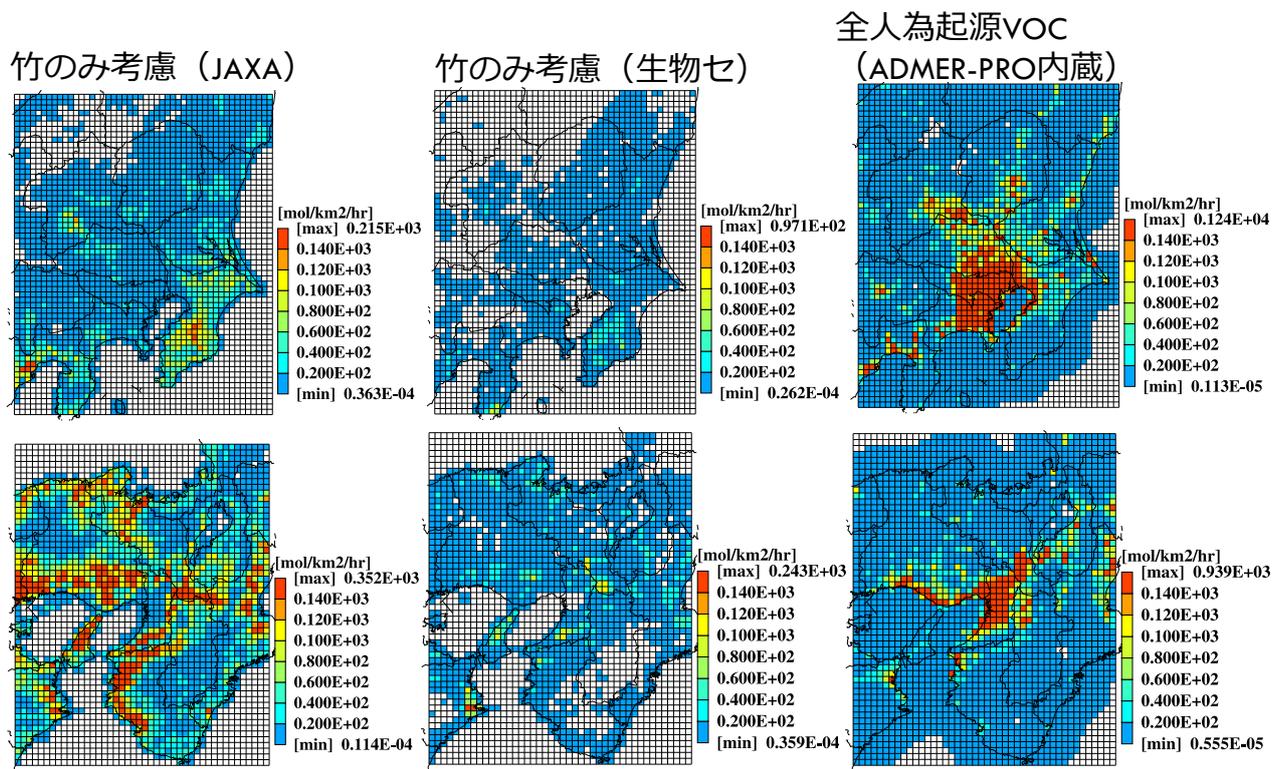


図 4-13 竹林からのイソプレン基礎放出フラックス推計結果と全人為発生源の全 VOC 排出フラックスとの比較（8月、5 km メッシュ）。人為起源の排出フラックスは 14 時の値を示している。

図 4-13 によると、「竹のみ考慮（環境省生物多様性センター）」は、関東、近畿ともほとんどのメッシュにおいて、全人為起源の VOC 排出フラックスより少ないが、「竹のみ考慮（JAXA）」は、全人為起源の VOC 排出フラックスを上回るメッシュが多数あることがわかる。

図 4-14、図 4-15 には、それぞれ、図 4-12、図 4-13 で示した関東、近畿地方領域内のすべての竹林からの基礎放出量を集計し、人為起源排出量の領域内合計値と比較した結果を示した。なお、図 4-12、図 4-13 には、VOC 総量のほか、VOCs の各化学種の量に各化学種の MIR（値は表 3-3 の脚注参照）を乗じて足し合わせた量も示している。これは、領域内のオゾン生成総量という意味合いを持つ。

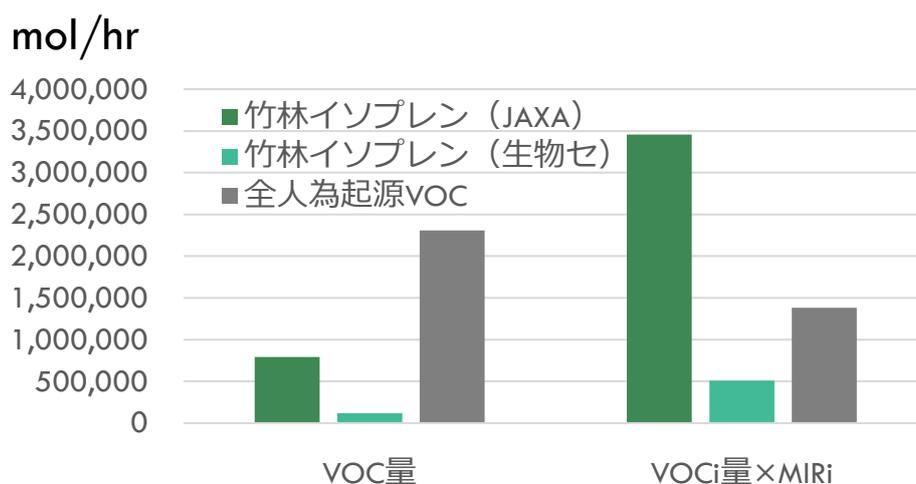


図 4-14 関東地方領域における竹林からのイソプレン基礎放出量と人為起源の全 VOC 排出量との比較 (8 月)。人為起源の VOC 排出量は 14 時の値である。VOC 総量のほか、VOCs の各化学種の量に各化学種の MIR をかけて足し合わせた値も示している。

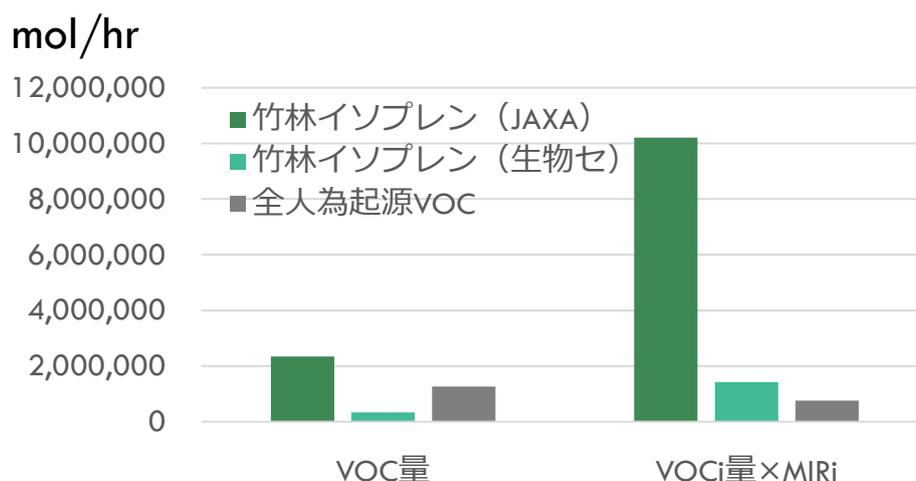


図 4-15 近畿地方領域における竹林からのイソプレン基礎放出量と人為起源の全 VOC 排出量との比較 (8 月)。人為起源の VOC 排出量は 14 時の値である。VOC 総量のほか、VOCs の各化学種の量に各化学種の MIR をかけて足し合わせた値も示している。

図 4-14 によると、関東の VOC 量で見ると、竹林イソプレン (JAXA)、竹林イソプレン (環境省生物多様性センター) とともに全人為起源の VOC 排出量より小さいが、オゾン生成総量の意味合いを持つ  $\sum \text{VOC}_i \text{量} \times \text{MIR}_i$  でみれば、竹林イソプレン (JAXA) が全人為起源の VOC 排出量を上回っていることがわかる。また、図 4-15 によると、近畿地方の VOC 量で見ると、竹林イソプレン (JAXA) > 全人為起源 VOC > 竹林イソプレン (環境省生物多様性センター) であるが、オゾン生成総量 ( $\sum \text{VOC}_i \text{量} \times \text{MIR}_i$ ) でみると、竹林イソプレン (JAXA)、竹林イソプレン (環境省生物多様性センター) とともに全人為

起源の VOC を上回っていることがわかる。

以上のように、JAXA の土地利用土地被覆図データより推定した場合は、関東、近畿の地方領域によらず、竹林からのイソプレン基礎放出量が全人為起源の VOC 排出量以上にオゾン生成に寄与しており、環境省生物多様性センターの植生図データより推定した場合でも、近畿の地方領域では竹林からのイソプレン基礎放出量が全人為起源の VOC 排出量以上にオゾン生成に寄与しており、竹林はオゾン生成にとって極めて重要な放出源であることが示唆された。

#### 4-4. シミュレーションによるボトムアップ推計の改善検証

##### (1) つくば集中観測期間 (AQUAS-Tsukuba campaign) を対象とした検証

令和4年度調査では、つくば集中観測期間 (AQUAS-Tsukuba campaign) を対象に、BVOC 設定としては ADMER-PRO 内蔵データ、人為起源の VOC 排出量データとしては 2016 年度推計値を用いてシミュレーションを行い、HCHO 濃度が観測値に対して 2 倍程度に過大推計されること、時間的な変動パターンも計算値と観測値で整合しないことを明らかにした。令和5年度調査では、BVOC の基礎放出量設定について、「竹のみ考慮 (面積比率を JAXA データより推定)」、「竹のみ考慮 (竹林の面積比率を環境省生物多様性センターデータより推定)」、「ADMER-PRO 内蔵×0.5 倍」の3つの条件でシミュレーションを行い、HCHO 濃度について実測値と計算値の比較を行ったうえで、それぞれのケースの現況再現性を確認した。

図 4-16 には、HCHO 濃度の観測値と計算値の比較結果を示した。

#### 観測値 (Li et al., 2020, Science of the Total Environment)

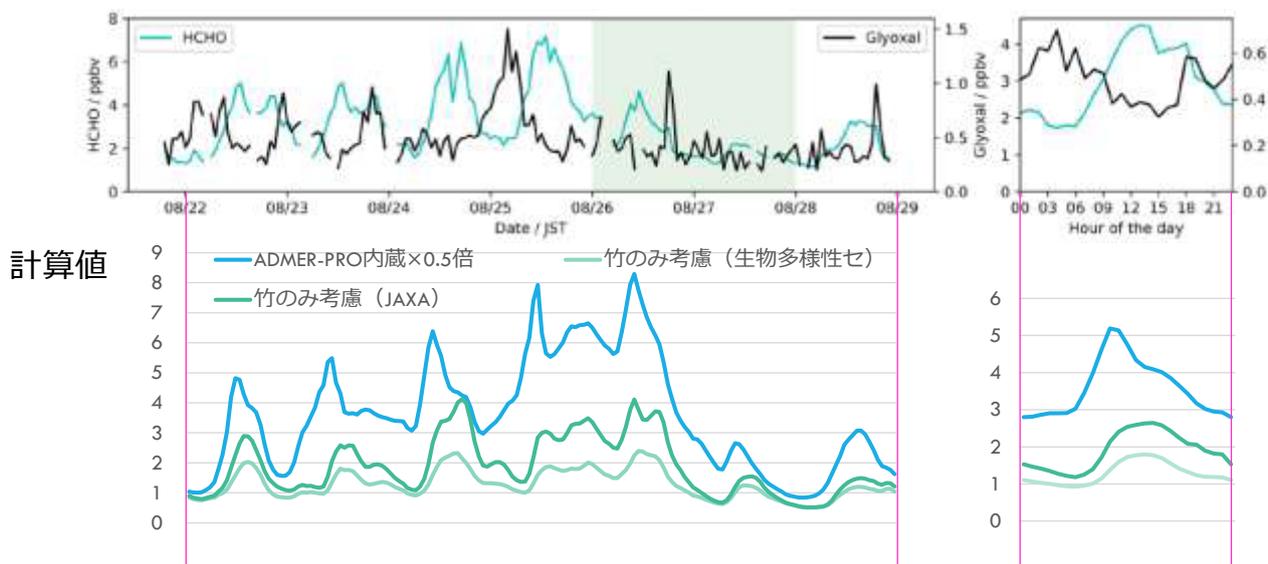


図 4-16 HCHO 濃度の観測値・計算値の比較結果。観測値の出典は Li, J. et al., 2020: Total hydroxyl radical reactivity measurements in a suburban area during AQUAS-Tsukuba campaign in summer 2017, Science of the Total Environment, 740, 139897.

図 4-16 によると、「ADMER-PRO 内蔵×0.5 倍」では、令和 4 年度調査の「ADMER-PRO 内蔵」でみられた 2 倍程度の過大評価は改善されているが、日内変化傾向は令和 4 年度調査結果と同様に、実測値と整合していないことがわかる（実測では夕方まで減少しないのに対し、計算値では午前 11 時には減少しはじめている）。一方で、「竹のみ考慮（JAXA、生物多様性セ）」における HCHO 濃度の日内変化傾向は実測値と類似しており、「竹のみ考慮（JAXA）」については、HCHO 濃度の値自体も実測値に近づいていることがわかる。

上記、「ADMER-PRO 内蔵」系と「竹のみ考慮」系による日内変化傾向の違いについてさらに検討するため、図 4-17 には観測期間の代表日として 2016 年 8 月 24 日の 15 時における各 BVOC 設定における HCHO 濃度の地理分布推定結果を風系と併せて示した。

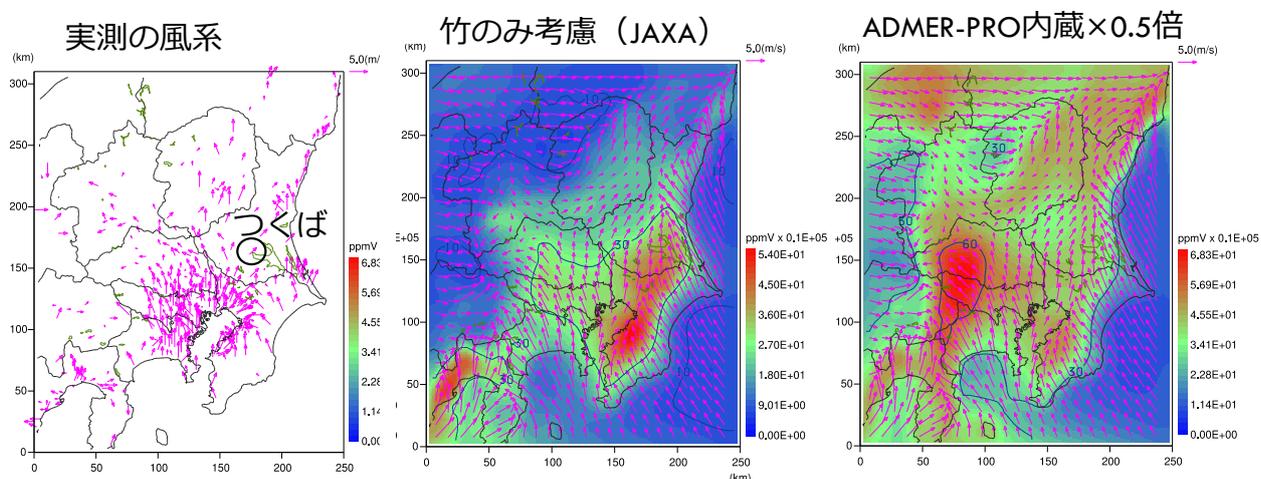


図 4-17 実測の風系と各 BVOC 設定で推定される HCHO 濃度の地理分布（2016 年 8 月 24 日 15 時）

図 4-17 によると、まず風系については、実測値、計算値のいずれにおいても、つくばを含む関東南部は 15 時には南寄りの風に覆われていることがわかる。また、HCHO 濃度の地理分布については、「竹のみ考慮（JAXA）」では、つくば付近の HCHO 濃度は南＞北となっているのに対し、「ADMER-PRO 内蔵×0.5 倍」ではそのようなコントラストがみられない。以上のことから、「竹のみ考慮（JAXA）」は、南風によるつくばへの HCHO 供給があったため、観測値と同様に 15 時でも減少しない一方、「ADMER-PRO 内蔵」は南風による供給がないため、観測値の傾向と反して、15 時には減少していたと推察される。その結果、「竹のみ考慮」の方が、実際の HCHO 濃度分布、ひいては、イソプレン放出量の地理分布をより正しく反映している可能性が示唆される。しかし、すでに図 4-16 で述べたように、「竹のみ考慮（JAXA）」、「竹のみ考慮（環境省生物多様性センター）」のいずれにおいても量的にはホルムアルデヒドの観測濃度レベルを再現しておらず、BVOC 放出量のレベルは過小推計されている可能性が高いと考えられる。

## （2）有害大気汚染物質測定局データを対象とした検証

表 4-3 に示した内容でシミュレーションを行い、有害大気汚染物質測定局のホルムアルデヒド濃

度実測値と比較した。なお、有害大気汚染物質は年間 12 回測定されているので、比較する実測値データは、4 月から 9 月までの暖候期（計 6 回）の実測値の平均値として導出した。

表 4-3 有害大気汚染物質測定局データを対象としたシミュレーションの内容

- 2016年度暖候期（4~9月）を対象にシミュレーションを実施
- 対象地方は関東、近畿
- 対象気象パターンは積算頻度が50パーセント以上となる上位の頻出気象パターン（関東、近畿、各19気象パターン）
- BVOC放出量データとしては「ADMER-PRO内蔵」、「ADMER-PRO内蔵×0.5倍」、「竹のみ考慮（生物多様性センター）」のものを使用

なお、表 4-3 で示した通り、有害大気汚染測定局データを対象としたシミュレーションにおいては BVOC 設定について、「竹のみ考慮」は竹林の面積分率を環境省生物多様性センターのデータを用いて推定したもののみを使用して検討しているが、(2) 項で示した通り、竹林の面積分率の地理的な分布特性は JAXA データを用いて推定した場合でも、定性的には同様の傾向であったため、本項内の計算値と観測値の地理分布の比較において、「竹のみ考慮（環境省生物多様性センター）」に関することは、「竹のみ考慮（JAXA）」の結果に関しても同様のことが成り立つと考えられる。

図 4-18、図 4-19 に、それぞれ、関東、近畿におけるホルムアルデヒド（HCHO）濃度地理分布の観測値と計算値の比較結果を示す。

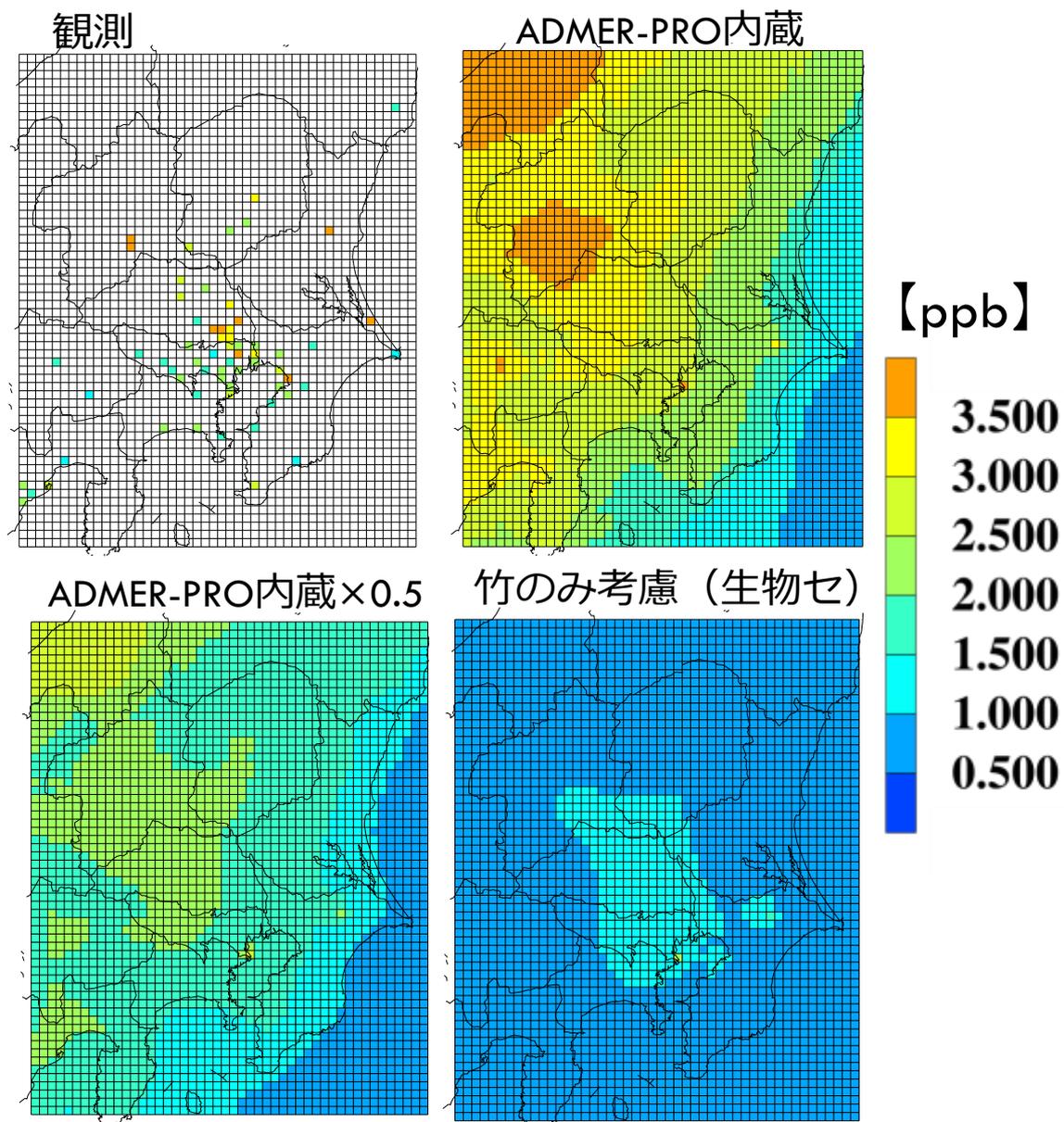


図 4-18 HCHO 濃度地理分布の観測値と計算値の比較 (関東)

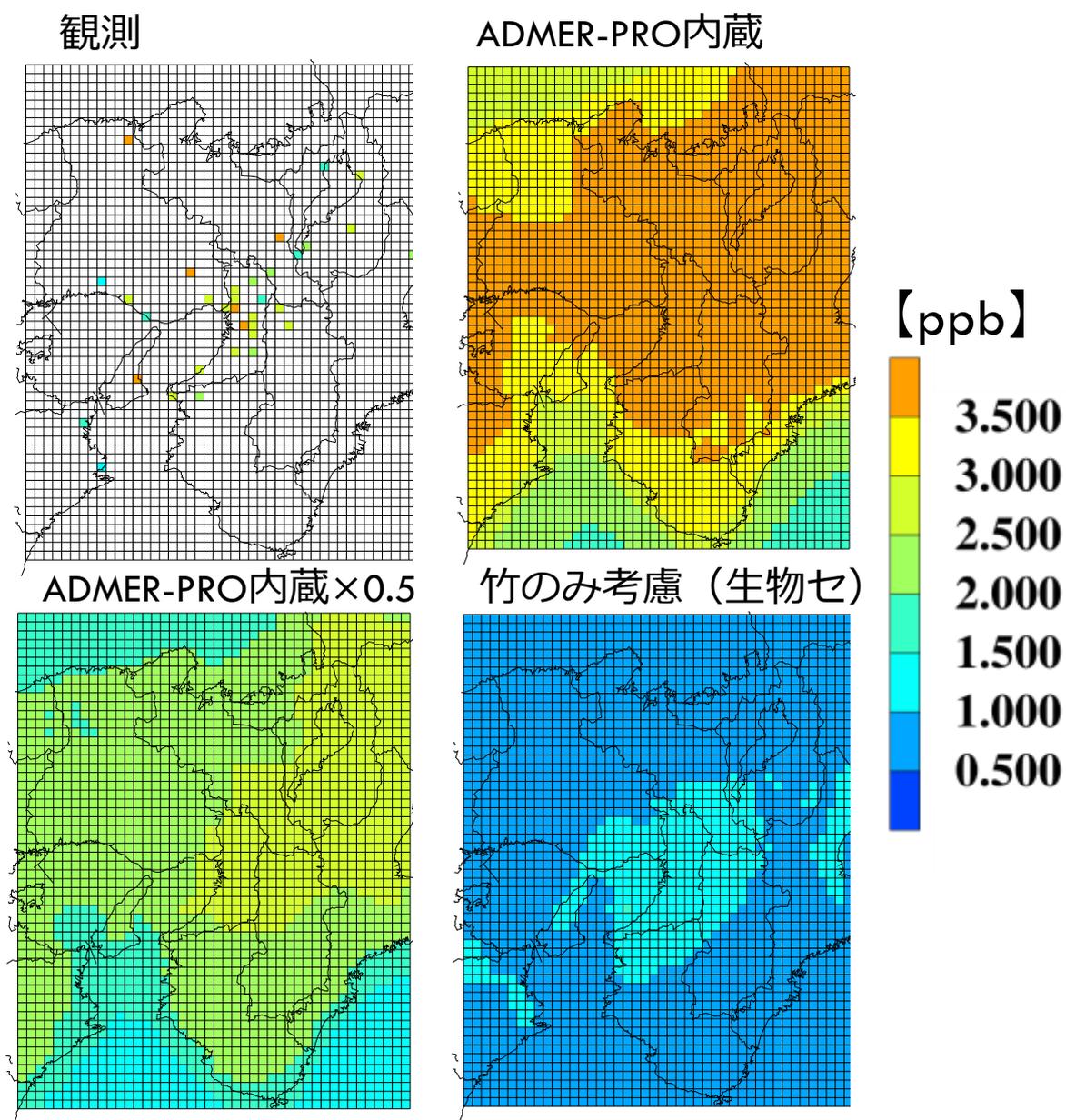


図 4-19 HCHO 濃度地理分布の観測値と計算値の比較 (近畿)

図 4-18、図 4-19 によると、HCHO 濃度地理分布の推定結果は、「ADMER-PRO 内蔵」系と「竹のみ考慮」で大きく異なること、濃度レベルについては「竹のみ考慮」は「ADMER-PRO 内蔵」系より小さいことがわかる。一方で、観測値との一致性については、観測値にはっきりとした地理分布の特徴がみられないため、判定しづらい。図 4-20 には関東と近畿における実測値と計算値の散布図を示した。

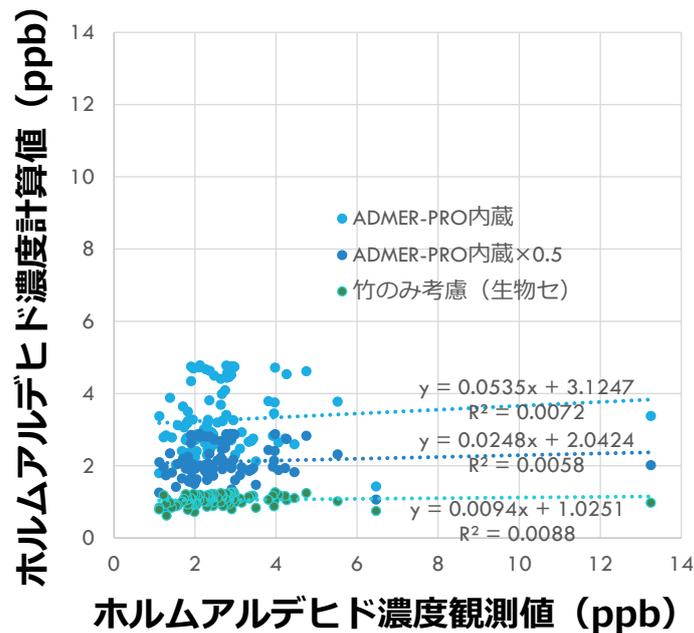


図 4-20 HCHO 濃度観測値と計算値の散布図(関東+近畿)

図 4-20 によると、いずれの計算値も観測値との一致性はあまりないこと、「竹のみ考慮（環境省生物多様性センター）」は、「ADMER-PRO 内蔵」や「ADMER-PRO 内蔵×0.5 倍」に比べて観測値より小さい傾向が目立つが、観測値との決定係数は最も高いことがわかる。

図 4-21 には、関東、大領域における HCHO 濃度地理分布推定結果（14 時における値の 4～9 月の平均値）と、OMI の衛星観測による HCHO カラムの地理分布（4～9 月の平均値、観測時刻は 13:30 である）を比較して示した。

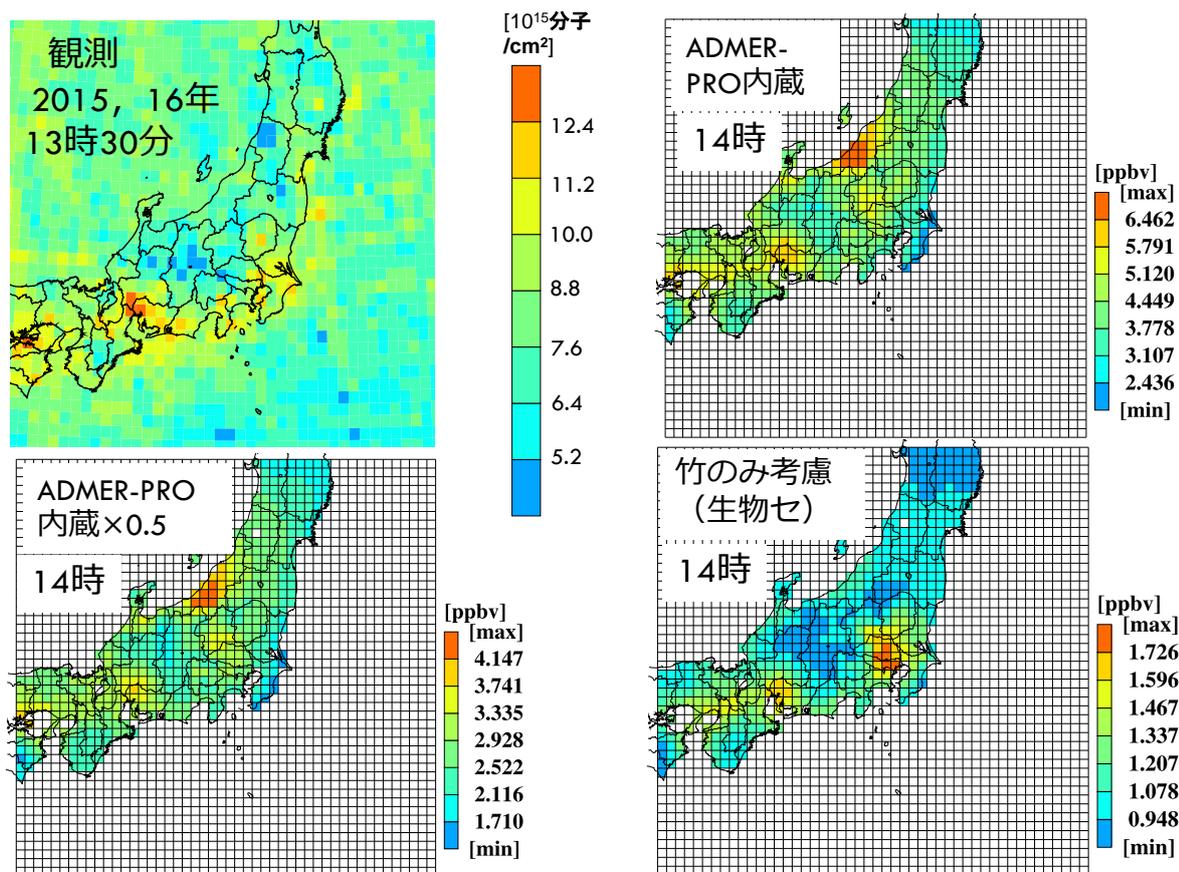


図 4-21 HCHO 濃度地理分布推定結果（関東、大領域）と OMI の衛星観測による HCHO カラム地理分布の比較。衛星観測による HCHO カラムは 2015, 16 年 4～9 月の平均値である。

図 4-21 によると、「ADMER-PRO 内蔵」系の HCHO 濃度地理分布推定結果は、OMI の衛星観測による HCHO カラムの地理分布と傾向が一致していないが、「竹のみ考慮（環境省生物多様性センター）」の HCHO 濃度地理分布推定結果は、OMI の衛星観測による HCHO カラムの地理分布の傾向と整合していることがわかる。

前項での解析（AQUAS-Tsukuba Campaign を対象とした検証）の結果と同様に、本項の解析からも、イソプレン放出量地理分布の傾向は、「竹のみ考慮」の場合に現実との一致性が高いことが示唆される。

#### 4-5. 本章における調査のまとめと今後の課題

植物起源のイソプレン放出量のトップダウン推計に関しては、複数の解像度でグリッド化を行い、1 度（約 100 km）程度の解像度が適切であるとの結論を得た。また、1 度メッシュで HCHO カラムと竹林、コナラ群落の面積分率との相関関係を調べたところ、HCHO カラムと竹林の面積分率には相関がみられたが、コナラ群落の面積分率との相関はみられなかったため、コナラ群落ではなく、竹林が植物起源のイソプレン放出量の時空間分布を主に規定している可能性が示唆された。

BVOC 放出量のボトムアップ推計に関しては、上記のトップダウン知見も参考に、竹林からのイソプ

レン放出量推計を精緻化した。その際、竹林の面積分率を推定するために使用するデータソースは、令和4年度調査で使用したもの（環境省生物多様性センター）と別のもの（JAXA）も活用した。その結果、8月のイソプレン基礎放出量推計結果によると、竹林の面積分率推定に使用したデータソースにより異なるが、近畿あるいは、関東・近畿の両方において、竹林から放出されるイソプレンによるオゾン生成への寄与が、全植生から放出されるイソプレンや全人為起源発生源から排出される VOCs 成分によるオゾン生成への寄与よりも大きいことが示された。

また、「ADMER-PRO 内蔵」系や「竹のみ考慮」系の数種類の BVOC 設定値を入力して、「つくば集中観測期間（AQUAS-Tsukuba Campaign）」や有害大気汚染物質測定局データを対象として、HCHO 濃度の現況再現性評価を行ったところ、「竹のみ考慮」系で地理分布の定性的な特徴は再現されうるが、濃度レベルは実測値と比較して過小となること、「ADMER-PRO 内蔵」系は観測値の地理分布が定性的にも再現されることがわかった。以上のことから、「竹のみ考慮」系のイソプレン放出量地理分布推計結果は、定性的には現実のイソプレン放出量地理分布の特徴を反映しているが、そのレベルは現実より小さい可能性があることが示唆された。

今後は、BVOC データベースに基づき、竹林からのイソプレン放出量の精緻化や他植生からの BVOC 放出量推計を行い、トップダウン推計値との整合性やシミュレーション結果の現況再現性が向上するかを確認する必要がある。竹林から放出されるイソプレンが、BVOC 排出量やその分布において、無視できないほどの影響があることが確認されたため、イソプレン放出量の精緻化に関し、竹林の面積分率推定や LAI（葉面積指数）設定について検証・高精度化することは喫緊かつ最重要な課題であると考えられる。

## 5 調査結果 (BVOC の設定についての検討②) : 文献調査及び実測による BVOC 基礎放出量の整理)

### 5-1. 本章の目的

令和4年度調査で収集した文献データに基づき、データが不足していると思われる主要樹木について、テルペン類の基礎放出速度を実測により求める測定計画を策定した(表 5-1)。これに基づいて、令和5年度調査では、モノテルペンを放出する樹種を対象として測定を実施した。放出速度が最大となる夏季に優占順位6位のブナ、13位のスダジイ、14位のクリ、17位のアラカシ、52位のシラカシを用いて測定した。ブナ及びクリは、モノテルペンを放出するという文献と放出しないという文献があるが、静岡県立大学・谷研究室の過去の測定ではモノテルペンを含むテルペン類の放出を認めないという結果であった。令和5年度調査においては、再確認の意味で、放出速度が最大となる夏季に測定した。シラカシは樹種ランクでは52位であるが、街路樹や道路樹木、緑化樹として、都市や郊外で多く植栽されており、都市大気質の悪化に係る可能性があるため、測定対象とした。また、テルペン類の基礎放出速度の季節変化データを収集し、年間の放出速度の予測に用いるため、スダジイとシラカシのモノテルペン放出速度を、年間を通して測定した。

表 5-1 日本の主要樹種ランキングと測定対象樹種

樹種	優占順位	基礎放出速度	季節変化	測定計画	備考
スギ	1	●	●	-	-
ヒノキ	2	●	●	-	-
コナラ	3	●	△	R6	通年で季節変化を測定
トドマツ	4	×	×	-	*1
他 広葉樹	5	×	×	-	-
アカマツ	6	●	●	-	-
ブナ	7	●	-	R5	夏季に測定を実施(無放出樹種であることの検証)
ミズナラ	8	●	△	R6	夏季の放出ピークを測定
カラマツ	9	●	●	-	-
ダケカンバ	10	×	×	-	*1
カエデ類	11	●	×	-	イロハモミジの季節変化を適用
シナノキ	12	×	×	-	*1
スダジイ	13	●	×	R5	通年で季節変化を測定
クリ	14	●	×	R5	夏季の放出ピークを測定
ハンノキ類	15	△	×	-	*1
シデ類	16	●	●	-	-
アラカシ	17	●	×	R5	夏季の放出ピークを測定; 季節変化はシイ・カン類の傾向を適用
ツブラジイ	18	×	×	-	スダジイの基礎放出速度・季節変化を適用
イタヤカエデ	19	●	×	-	イロハモミジの季節変化を適用
モウソウチク	20	△	△	R6	通年で季節変化を測定 <sup>*2</sup>
以下、20位圏外					
マダケ	24	△	△	R6	初夏～盛夏の基礎放出速度のピークを測定 <sup>*2</sup>
シラカシ	52	●	×	R5	通年で季節変化を測定
イネ	-	●	×	-	成長量に比例させて基礎放出速度を適用

●: データ有、△: データ不十分、×: データ無 R5: 令和5年度に実施予定、R6: 令和6年度に実施予定 - 測定計画なし又は未定

\*1 高山帯や北海道など局所的に生育しており、O<sub>3</sub>生成への影響度は小さいことから対象外

\*2 ササ・タケ類に関して季節変化の放出データは報告されているものの、放出のピークが想定される初夏～盛夏のデータが不足

### 5-2. 植物材料と方法

#### (1) シラカシ (Quercus myrsinifolia)

##### ① シラカシのテルペン類基礎放出速度季節変化

使用した個体は静岡県立大学芝生園地(北緯 34° 59' 40"、東経 138° 26' 38"、標高 58m)に隣接する緑地内に植えられている5個体である。各個体の写真を図 5-1 に示す。2023年5月、7月、9月、

10月、11月、12月、2024年2月にテルペン類放出速度を測定した。各月の測定期間を表5-2に示す。測定する直前に、陽当たりが良好の枝を30cmほど切り落とし、水が入った容器に浸し、水面下で枝の切り口を切り直し、5分以内に実験室に運んだ。測定方法としてリーフキュベット(LC)法(5-3(1))を参照)を使用した。キュベット内における環境条件はPPFD 1,000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、CO<sub>2</sub>濃度 400 ppm、葉温 30°Cに設定した。ただし、2023年11月~2024年2月は葉温 30°Cの設定において光合成速度及び気孔コンダクタンスの低下が認められたため、葉温 25°Cに設定した。



図 5-1 テルペン放出速度季節変化測定に用いた5個体のシラカシ  
右上の写真に2個体が写っている。

表 5-2 シラカシのテルペン放出速度季節変化測定における各月の測定期間

	測定期間
2023 年 5 月	5/8-5/12
2023 年 7 月	7/3-7/7
2023 年 9 月	9/5-9/8
2023 年 10 月	10/3-10/6
2023 年 11 月	10/30-11/6
2023 年 12 月	12/13-12/17
2024 年 2 月	2/26-2/28

② シラカシのテルペン類放出の夏季集中測定

当測定に使用した個体は、静岡県立大学前の道路（北緯 34° 59' 40"、東経 138° 26' 38"、標高 58m）に植えられている丈約 5 m のシラカシ 44 個体、及び静岡県立美術館駐車場内（北緯 34° 59' 40"、東経 138° 26' 31"、標高 53m）丈約 10 m のシラカシ 4 個体である。県立大前の道路の測定は、2023 年 8 月 7 日から 9 日までに行い、1 個体あたり 1 枚の葉を用いた。美術館駐車場内の測定は 2023 年 9 月 19 日に行い、1 個体あたり 3 枚の葉を用いた。測定する直前に、陽当たりが良好の枝を 30 cm ほど切り落とし、水が入った容器に浸し、水面下で枝の切り口を切り直し、5 分以内に実験室に運んだ。実験室へ持ち帰った後、傷害のない葉を選定しバイアル（VA）法（5-3（2）節を参照）へ供試した。なお、インキュベーション時間は予備測定の結果から 40 分とした。

また、夏季集中測定より前に、予備試験としてシラカシにおけるバイアル（VA）法の適用性評価を 2023 年 7 月上旬に行った。使用したシラカシ個体は上記図 5-1 の季節変化測定における個体のうちの 3 体である（LC 結果は共通）。リーフキュベット（LC）法による測定が終了した直後、キュベット部に挟んでいた箇所を 2 cm<sup>2</sup> 程度（1 cm×2 cm）缺で裁断し、10ml のガラス製バイアルに封入した。インキュベーション時間は 10 分及び 40 分に設定しバイアル内部の空気全量を採取管に捕集した。バイアル（VA）法によるモノテルペン基礎放出速度に関して、リーフキュベット（LC）法への変換係数を算出し、夏季集中測定の測定値は LC 法を用いた場合の値に換算した。

（2）アラカシ（*Quercus glauca*）

① アラカシのテルペン類放出の夏季集中測定

当測定に使用した個体は、静岡県立大学芝生園地（北緯 34° 59' 40"、東経 138° 26' 38"、標高 58m）付近の 4 個体、静岡県舞台芸術公園内（北緯 34° 58' 51"、東経 138° 26' 55"、標高 144 m）の 6 個体、及び静岡県有度山総合公園内（北緯 34° 58' 23"、東経 138° 26' 25"、標高 78m）の 7 個体である。県立大芝生園地の測定は 2023 年 8 月 9 日と 22 日に、舞台芸術公園内の測定は 2023 年 8 月 13 日と 14 日に、有度山総合公園内の測定は 2023 年 8 月 22、29、30 日に行い、1 個体あたり 3 枚の葉を測定に用いた。測定する直前に、陽当たりが良好の枝を 30 cm ほど切り落とし、水が入った容器に浸し、水面下で枝の切り口を切り直し、5 分以内に実験室に運んだ。実験室へ持ち帰った後、傷害のない葉を選定しバイアル（VA）法へ供試した。インキュベーション時間は 40 分とした。バイアル（VA）法の適用性評価を、2023 年 7 月 23 日と 8 月 3 日に行った。使用した個体は、県立大学芝生園地 4 個体と舞台芸術公

園内2個体である。リーフキュベット（LC）法による測定が終了した直後、キュベット部に挟んでいた箇所を2 cm<sup>2</sup>程度（1 cm×2 cm）鉋で裁断し、10ml のガラス製バイアルに封入した。インキュベーション時間は40分に設定し、バイアル内部の空気全量を採取管に捕集した。バイアル（VA）法によるモノテルペン基礎放出速度に関して、リーフキュベット（LC）法への変換係数を算出し、夏季集中測定の測定値はリーフキュベット（LC）法を用いた場合の値に換算した。

### （3）スダジイ (*Castanopsis cuspidata* var. *sieboldii*)

#### ① スダジイのテルペン類基礎放出速度季節変化

測定は、2023年4月から2024年12月にかけて1~2ヶ月ごとに行った。サンプルは静岡県立大学周辺芝生園地（北緯34°59'40"、東経138°26'38"、標高58m）付近に生育するスダジイ成木から、5個体を選定し（図5-2）、陽当たりの良い地上5m程度の高さに位置する枝を、1個体当たり3本採取した。採取した直後、枝は水中で切り口から3cm程度を再度切断し、導管内の通水性を維持した。その後、採取した枝を実験室内に持ち帰り、リーフキュベット（LC）法へ供試した。キュベット内における環境条件は、光合成有効光量子束密度（PPFD：Photosynthetic Photon Flux Density）1,000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、CO<sub>2</sub>濃度400 ppm、葉温30℃に設定した。ただし、2023年12月~2024年2月の冬季は、葉温30℃の設定において光合成速度の低下が認められたため、葉温25℃に設定した。



図 5-2 静岡県立大学芝生園地周辺のスダジイの様子

#### ② スダジイのテルペン類放出の夏季集中測定

夏季集中測定より前に、予備試験としてスダジイにおけるバイアル（VA）法の適用性評価を、2023年7月中旬に行った。サンプルとしたスダジイ個体は、上記①の季節変化測定における7月測定時と同様である。リーフキュベット（LC）法による測定が終了した直後、キュベット部に挟んでいた箇所を2 cm<sup>2</sup>程度（1 cm×2 cm）鉋で裁断し、10ml バイアルに封入した。インキュベーション時間は10分及び40分に設定し、バイアル内部の空気全量を採取管に捕集した。バイアル（VA）法によるモノテルペン基礎放出速度に関して、リーフキュベット（LC）法への変換係数を算出し、夏季集中測定の測定値は、LC法を用いた場合の値に換算した。

夏季集中測定は、2023年8月中旬（8月21日~24日）に行った。サンプルは、季節変化測定に用いた個体とは異なるものを対象として、静岡県立大学芝生園地（北緯34°59'40"、東経138°26'38"、標高58m）付近の12個体、静岡県舞台芸術公園内（北緯34°58'51"、東経138°26'55"、標高144 m）

の8個体(図 5-3)から、陽当たりの良い地上5m程度の高さに位置する枝を、1個体当たり3本採取した。採取した直後、枝は水中で切り口から3cm程度を再度切断し、導管内の通水性を維持した。実験室へ持ち帰った後、傷害のない葉を1枚/枝選定しバイアル(VA)法へ供試した。なお、インキュベーション時間は予備測定の結果から40分とした。



図 5-3 夏季集中測定における静岡県舞台芸術公園内のスダジイの様子

#### (4) クリ (*Castanea crenata*)

##### ① クリの夏季集中測定(無放出種であるかの確認)

測定方法はLC法として、2023年8月8日(2個体)及び8月21日(3個体)にモノテルペン基礎放出速度を測定した。サンプルは、いずれも静岡県静岡市駿河区日本平付近(しずおか里山体験学習施設 遊木の森:北緯 $34^{\circ}58'11''$ 、東経 $138^{\circ}27'23''$ 、標高185m)の成木5個体を対象に、陽当たりの良い地上3m程度の高さに位置する枝を、1個体当たり3本採取した(図 5-4)。採取した直後、枝は水中で切り口から3cm程度を再度切断し、導管内の通水性を維持した。実験室へ持ち帰った後、傷害のない葉を1枚/枝選定しLC法へ供試した。



図 5-4 夏季集中測定における静岡市日本平周辺のクリの様子

## (5) ブナ (*Fagus crenata*)

### ① ブナの夏季集中測定（無放出種であるかの確認）

測定は2023年8月19日及び2023年8月30日に行い、いずれも枝チャンバー法及びリーフキュベット（LC）法によってモノテルペンの放出を測定した。2023年8月19日に、静岡県立大学薬草園内（北緯34°59'36"、東経138°26'56"、標高116m）の成木2個体から、陽当たりの良い地上5m程度の高さに位置する枝を、1個体当たり3本採取した（図5-5（A））。採取した直後、枝は水中で切り口から3cm程度を再度切断し、導管内の通水性を維持した。また、2023年8月29日に、静岡県静岡市葵区井川付近（井川県民の森：北緯35°14'29"、東経138°16'54"、標高1,489m）の成木3個体から、陽当たりの良い地上3m程度の高さに位置する枝を、1個体当たり3本採取した（図5-5（B））。水中で水切りし通水性を維持した後、静岡県立大学内の実験室へ持ち帰り、翌日にモノテルペン放出測定へ供試した。



図 5-5 夏季集中測定における(A)静岡県立大学薬草園内及び(B)静岡県静岡市井川地区のブナ

## 5-3. テルペン類の採取方法

### (1) リーフキュベット（LC）法

純光合成速度、気孔コンダクタンス、細胞間隙のCO<sub>2</sub>濃度、葉温等の測定に、携帯型光合成蒸散測定装置（LI-6400、Li-COR社）を用いた（図5-6）。装置へ供給される空気は、以下の方法でVOCを分解除去したものである。外気をポンプ（APN-240NAN-1、イワキ）で吸引し、7～10℃に冷却した水ペットボトルを沈めた除湿装置に通すことにより、水蒸気濃度を低下させた。この空気を、400℃に加熱した白金触媒（白金触媒STタイプ、島津製作所）に通し、VOCを分解除去した。リーフキュベット出口にT-ジャンクションテフロンチューブを取り付けることで、VOC捕集することを可能にした。



図 5-6 携帯型光合成・蒸散測定装置 (LI-6400、Li-COR 社)

気体の捕集には、200 mg Tenax TA (GL Sciences) と 100 mg Carbotrap (Supelco Incorporation) を充填した加熱脱着チューブ (Stainless Steel ATD Sample Tubes、PerkinElmer) を用いた (図 5-7)。捕集前に加熱脱着チューブを 280°C で 10 分前処理することで、チューブ内の VOC を取り除いた。捕集後は分析するまでチューブを冷蔵庫で保管した。



図 5-7 加熱脱着チューブ

リーフキュベット法での葉面積あたりの放出速度  $Flux_L$  ( $\text{nmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) は式 1 に従って算出した。

$$Flux_L = \frac{[C_{out}(1-w_{in}/1-w_{out})-c_{in}] \times F}{S_L} \dots (式1)$$

ここで、 $C_{out}$  はキュベット内のモノテルペン濃度 ( $\text{nmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )、 $w_{in}$  は流入空気の水蒸気濃度 ( $\text{nmol m}^{-2}$ )、 $w_{out}$  は流出空気の水蒸気濃度 ( $\text{nmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )、 $C_{in}$  は流入空気の水蒸気濃度 ( $\text{nmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) を示す。 $F$  はリーフキュベットへの通気量 ( $= 500 \times 10^3 \text{ nmol s}^{-1}$ )、 $S_L$  はリーフキュベットに挟む部分の葉面積 ( $= 6 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ) を示す。

本測定での水蒸気濃度  $w_{in}$  および  $w_{out}$  は 0.5~2% の範囲であり、 $(1 - w_{in}) / (1 - w_{out})$  は 1 としてみなすことができる (式 2)。

$$\frac{1-w_{in}}{1-w_{out}} \approx 1 \dots (式2)$$

また、 $C_{in}$  及び  $C_{out}$  は式 3 に従って算出した。

$$C_{in} = \frac{k \times S_{M/T}}{N_{air}} \quad C_{out} = \frac{k \times S_{M/T}}{N_{air}} \quad \dots (式3)$$

ここで、 $k$  はモノテルペン標準ガスを用いて作成した検量線の傾き (nmol) であり、表 5-3 に化合物ごとの値を示す。 $C_{in}$  における  $S_{M/T}$  は、ブランクを測定した際のモノテルペンと標準物質の Toluene-D8 とのピーク面積比、 $C_{out}$  における  $S_{M/T}$  は、サンプルを測定した際のモノテルペンと標準物質の Toluene-D8 とのピーク面積比である。サンプルの  $S_{M/T}$  が検出限界 (Limit of Detection, LOD) 以下の場合は、ゼロとみなした。LOD は、ブランクを測定した際の  $S_{M/T}$  の標準偏差を 3 倍した値である。表 5-4 に各月の LOD の値を示す。 $N_{air}$  は採取管に通気した空気の物質質量 (nmol) を示す。

表 5-3 モノテルペンごとの検量線の傾き

$\alpha$ -Pinene	Sabinene	$\beta$ -Pinene	$\beta$ -Ocimene
0.51	0.58	0.45	1.29

単位：nmol

表 5-4 各月の LOD

	$\alpha$ -Pinene	Sabinene	$\beta$ -Pinene	$\beta$ -Ocimene
4 月	0.00	0.59	0.06	0.00
5 月	0.44	0.48	0.43	2.48
7 月	2.56	4.02	2.22	16.37
9 月	0.85	4.92	0.77	6.16
10 月	17.83	3.90	2.64	4.85
11 月	1.59	1.66	0.43	0.00
12 月	5.88	0.78	0.51	0.00

単位：pmol

$N_{air}$  は式 4 に従って算出した。

$$N_{air} = \frac{V_{air}}{22.4} \times 10^9 \quad \dots (式4)$$

ここで、 $V_{air}$  は採取管に通した全体の空気の体積 (= 2 L)、22.4 (L mol<sup>-1</sup>) は標準状態 (温度 0°C、気圧 1 atm) での理想気体の状態方程式で得た 1 mol あたりの気体体積を示す。

秋季及び冬季のモノテルペン放出速度測定では、リーフキュベット内の葉温を 20°C あるいは 25°C に設定した。以下に示す G93 モデルを用いて、葉温  $T$  (K)、PPFD  $L$  ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) における  $Flux_L$  を  $E_s$  (葉温  $T_s = 30^\circ\text{C}$  (303 K)、PPFD = 1,000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  における放出速度) に換算した (式 5)。

$$E_S = \frac{Flux_L}{C_L \cdot C_T} \dots (式5)$$

$C_L$ は以下の式で定義される (式6)。

$$C_L = \frac{\alpha C_{L1} L}{\sqrt{1 + \alpha^2 L^2}} \dots (式6)$$

ここで、 $\alpha$  (= 0.0027) と  $C_{L1}$  (= 1.066) は経験的に得られる係数である。

$C_T$ は以下の式で定義される (式7)。

$$C_T = \frac{\exp \frac{C_{T1}(T-T_S)}{RT_S T}}{1 + \exp \frac{C_{T2}(T-T_M)}{RT_S T}} \dots (式7)$$

ここで、 $R$ は気体定数 (= 8.31 J K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup>) であり、 $C_{T1}$  (= 95000 J mol<sup>-1</sup>)、 $C_{T2}$  (= 230000 J mol<sup>-1</sup>)、 $T_M$  (= 314 K) は経験的に得られる係数である。

## (2) バイアル (VA) 法

植物から葉を1枚切り取り、葉面積3 cm<sup>2</sup> (3 × 1 cm) 程度に切断した葉切片を、内部にテフロンメッシュシート (FLON INDUSTRY) を敷いた容積10 mL のバイアル (HEAD SPACE SCREW VIAL、GL Sciences) に封入した。バイアル内の温度を一定に保つために、恒温水槽に沈め、葉切片がモノテルペンを活発に放出する温度 (30°C) に水温を維持した (図 5-8)。白色 LED パネル (21.1 × 20.0 cm) を恒温水槽の上に被せ、光を照射したときにバイアル底面のPPFDが1,000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>になる場所にバイアルを設置し、一定時間インキュベートした。その後、バイアルを水槽から取り出し内部の気体を捕集した (図 5-9)。バイアルのセプタムにニードルを2本刺し、1本のニードルから、バイアルとシリンジの間に取り付けた採取管に内部空気を吸引して捕集した。他方ニードルは、清浄空気を含むフッ素樹脂バックに接続し、バイアル内の自然流入するようにした。このセプタムはガス採取をするごとに交換した。ガス採取には「一斉ガス採取装置」を採用した。一斉ガス採取装置は当研究室が製作した装置で、シリンジを最大6本までセットできるため、効率よくガスを捕集できる。インキュベート時間はプレインキュベート30分間、本インキュベート10分間とした合計40分間が、予備実験により適切であると判断した。



図 5-8 葉切片を封入したバイアル(左)とバイアルを沈めた恒温水槽(右)



図 5-9 白色 LED パネルを恒温水槽に被せた様子(左)と一斉ガス採取装置(右)

#### 5-4. テルペン類の分析方法

分析については、加熱脱着装置 (TurboMatrix 650ATD、パーキンエルマー) を装備したガスクロマトグラフ質量分析計 (GCMS-QP5050A、島津製作所) を用いて定量した (図 5-10)。採取管の吸着剤に吸着したガスサンプルは、熱脱着装置を用いて 280 °C で 10 分間加熱脱着し、-20 °C の低温に保たれたトラップチューブで再度トラップした (クライオフォーカス処理)。採取管のガスサンプルの脱着が終了後、トラップチューブを 280 °C に急速に加熱し、60 m×0.25 mm×0.1 μm のキャピラリーカラム (SH-I-5MS、島津製作所) にスプリット比 16 : 1 で注入し分析した。カラム温度は、35 °C でガスサンプルを注入後、60 °C まで 5 °C min<sup>-1</sup>、250 °C まで 40 °C min<sup>-1</sup> で上昇させ、250 °C で 10 分間維持した。キャリアガスには G1 グレードのヘリウム (99.99995%) を使い、カラム流速は 1 ml min<sup>-1</sup> とした。



図 5-10 加熱脱着装置付きガスクロマトグラフ質量分析計

## 5-5. 結果と考察

### (1) 夏季の放出速度

#### ① シラカシ

リーフキュベット (LC) 法で求めたモノテルペン放出速度を縦軸、バイアル (VA) 法で求めたモノテルペン放出速度を横軸として、化合物ごと及び合計を、図にプロットした (図 5-11)。インキュベーション時間 10 分では、リーフキュベット (LC) 法で求めた放出速度に正の相関がみられたが、決定係数は 0.25~0.74 の範囲であった。インキュベーション時間 40 分でも正の相関があり、決定係数は全ての化合物でインキュベーション時間 10 分よりも高くなった (0.74~0.95)。この結果を受け、バイアル (VA) 法はシラカシからのモノテルペン放出程度を粗く評価する方法として適切なことを確認した。したがって、夏季集中におけるシラカシのモノテルペン基礎放出速度は、インキュベーション時間 40 分として、バイアル (VA) 法によるモノテルペン放出速度の値をリーフキュベット (LC) 法の値に換算した。

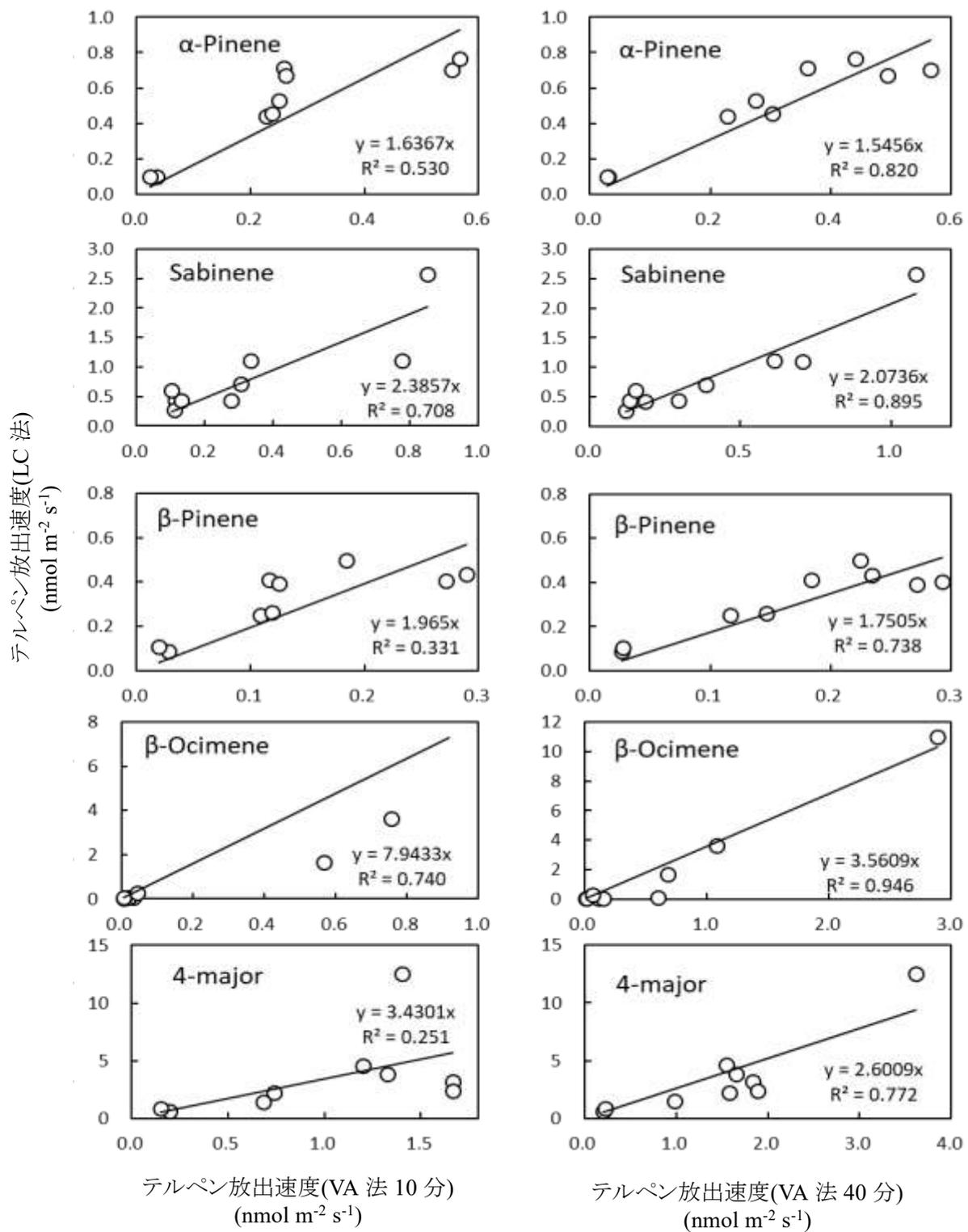


図 5-11 化合物ごとのリーフキュベット (LC) 法とバイアル (VA) 法のモノテルペン放出速度の関係

左列：バイアル法 10 分間インキュベート、右列：バイアル法 40 分間インキュベート

バイアル (VA) 法による夏季集中測定の結果、静岡県立大学前の道路の 44 個体では  $4.71 \pm 7.50 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、県立美術館駐車場内の 4 個体では  $10.55 \pm 3.36 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  のモノテルペン基礎放出速度を示した (図 5-12)。また、季節変化測定に使った静岡県立大学芝生園地 5 個体の 7 月分の測定結果 (LC 法) では、 $4.26 \pm 2.31 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  のモノテルペン基礎放出速度を示した (図 5-13)。先行研究におけるシラカシのモノテルペン基礎放出速度 ( $7.8 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ;  $n=3$ ; Mochizuki et al. 2020. J For Res 25, p 339-346) の値を含め、測定個体数に関して加重平均を算出した結果、夏季のシラカシによるモノテルペン基礎放出速度は  $5.25 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  と推定された。

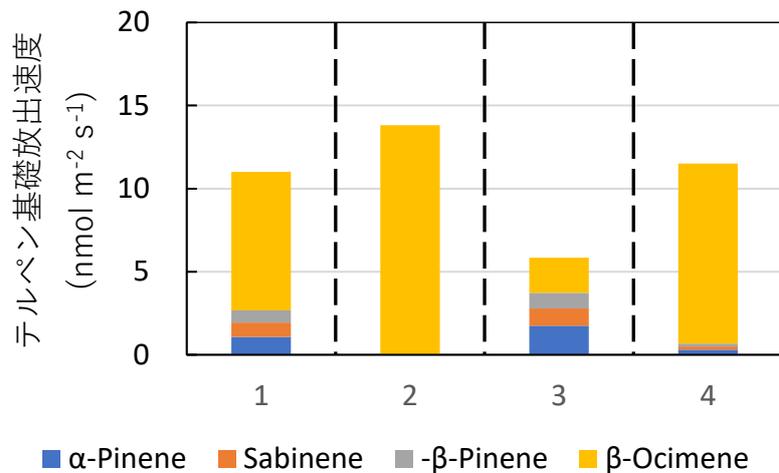


図 5-12 夏季集中測定における静岡県立美術館駐車場内シラカシ 4 個体のモノテルペン基礎放出速度

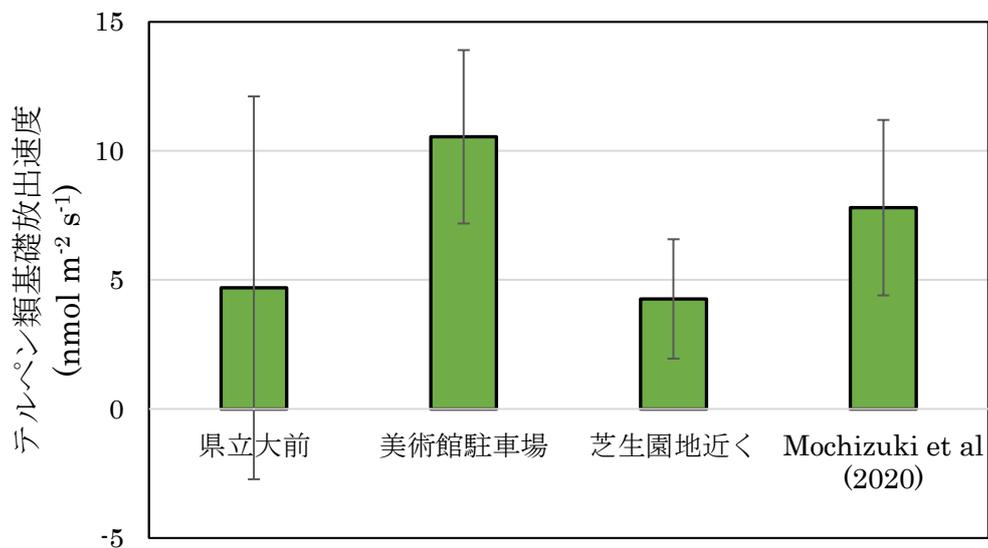


図 5-13 4か所のシラカシのモノテルペン基礎放出速度

Mochizuki et al. 2020 (J For Res 25, p 339-346) の値を右端に示す。エラーバーは標準偏差を示す (県立大前:  $n=44$ 、美術館駐車場:  $n=4$ 、芝生園地近く:  $n=5$ 、Mochizuki et al. (2020):  $n=3$ )

モノテルペンの組成比を図 5-14 に示した。組成比は個体、場所によって大きくバラツキがあった。 $\alpha$ -Pinene、Sabinene、 $\beta$ -Pinene、Ocimene (Mochizuki et al (2020) においては others) はそれぞれ 7.4—49.8%、5.0—25.2%、4.4—19.5%、5.5—83.2% の範囲を示した。

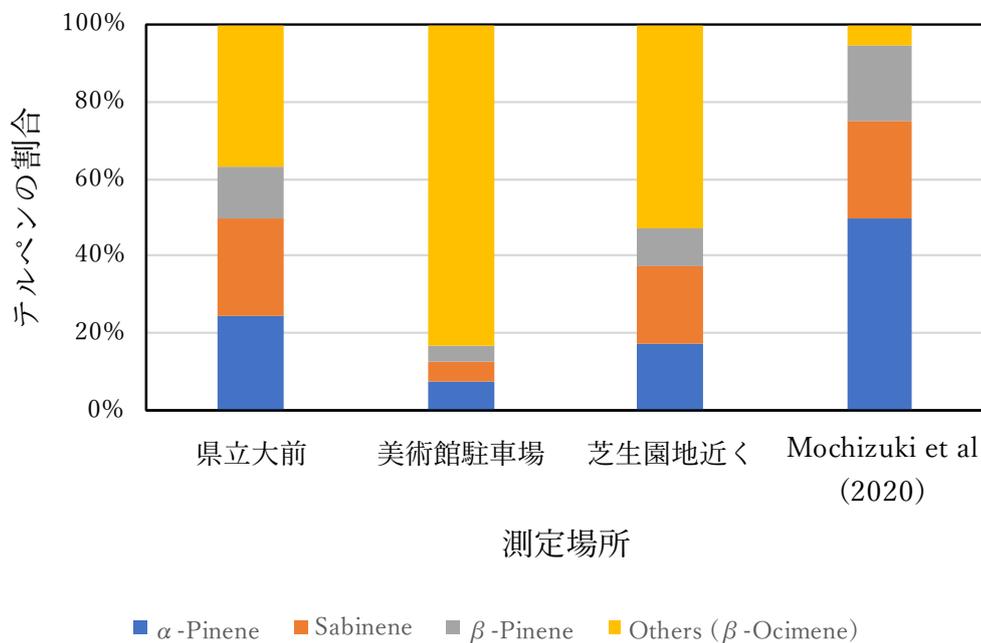


図 5-14 シラカシの夏季集中測定における各場所のモノテルペン放出組成比

① アラカシ

アラカシが放出したテルペン類は、主に  $\alpha$ -Pinene、Sabinene、 $\beta$ -Pinene、Ocimene であった。LC 法で求めたモノテルペン放出速度を縦軸、バイアル (VA) 法で求めたモノテルペン放出速度を横軸として、化合物ごと及び合計値を、図にプロットした (図 5-15)。化合物ごとでは、バイアル (VA) 法で求めた放出速度と LC 法で求めた放出速度の間に、決定係数が 0.542~0.884 の正の相関がみられた。全量のモノテルペン放出速度では低い決定係数 (0.028) を示したため、夏季集中測定において、放出速度の変換には化合物ごとの変換式を使用した。

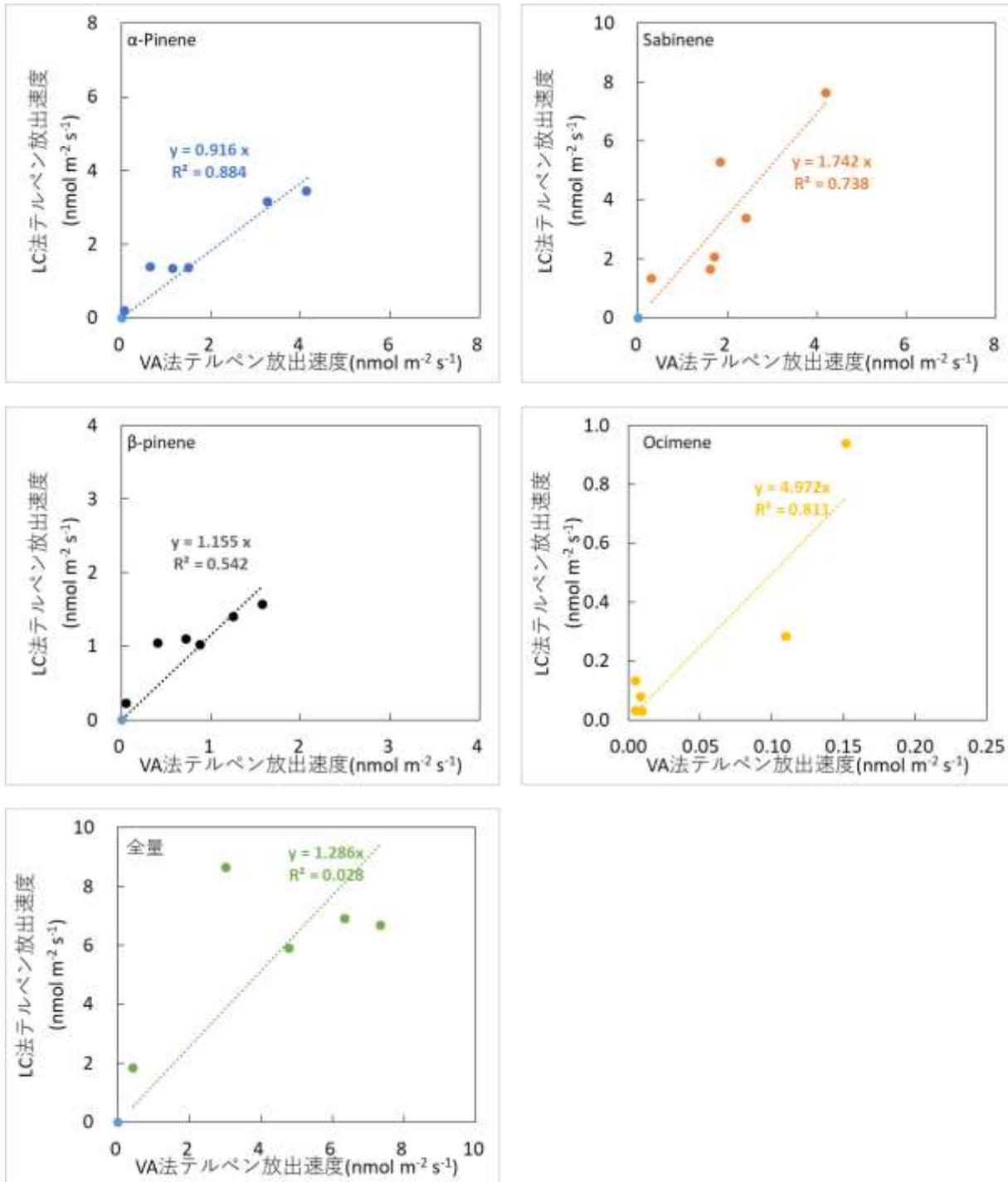


図 5-15 化合物ごとと合計で示した、リーフキュベット (LC) 法とバイアル (VA) 法のモノテルペン放出速度の関係

バイアル (VA) 法による夏季集中測定の結果、静岡県立大学芝生園地 4 個体では  $4.99 \pm 4.24 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、舞台芸術公園の 6 個体では  $1.25 \pm 1.73 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、有度山総合公園の 7 個体では  $2.49 \pm 3.12 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  のモノテルペン基礎放出速度を示した (図 5-16)。先行研究におけるシラカシのモノテルペン基礎放出速度 ( $8.0 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ;  $n=3$ ; Mochizuki et al. 2020. J For Res 25, p 339-346) の値を含め、測定個体数に関して加重平均して算出した結果、夏季のシラカシによるモノテルペ

ン基礎放出速度は  $3.44 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  と推定された。

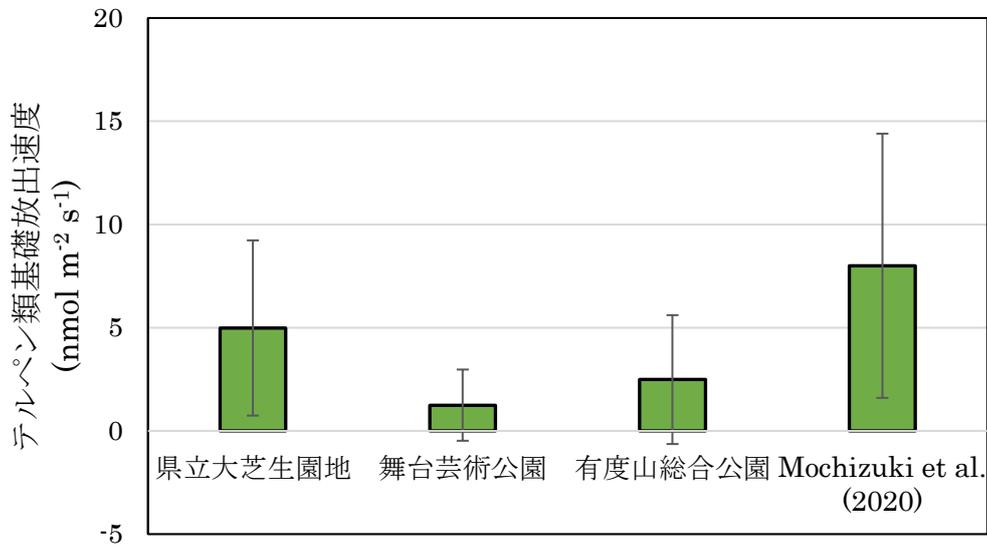


図 5-16 4か所のアラカシのモノテルペン基礎放出速度

Mochizuki et al. 2020 ( J For Res 25, p 339-346) の値を右端に示す。エラーバーは標準偏差を示す(県立大芝生園地:n=4、舞台芸術公園:n=6、有度山総合公園:n=7、Mochizuki et al. (2020): n=3)

アラカシのモノテルペンの組成比を図 5-17 に示した。組成比は個体、場所によって大きくバラツキがあった。 $\alpha$ -Pinene、Sabinene、 $\beta$ -Pinene、Ocimene (Mochizuki et al (2020)においては others) はそれぞれ 3.6—52.8%、17.80—65.5%、3.0—18.8%、1.8—75.5%の範囲を示した。舞台芸術公園の個体は、高いOcimeneの割合を示した。

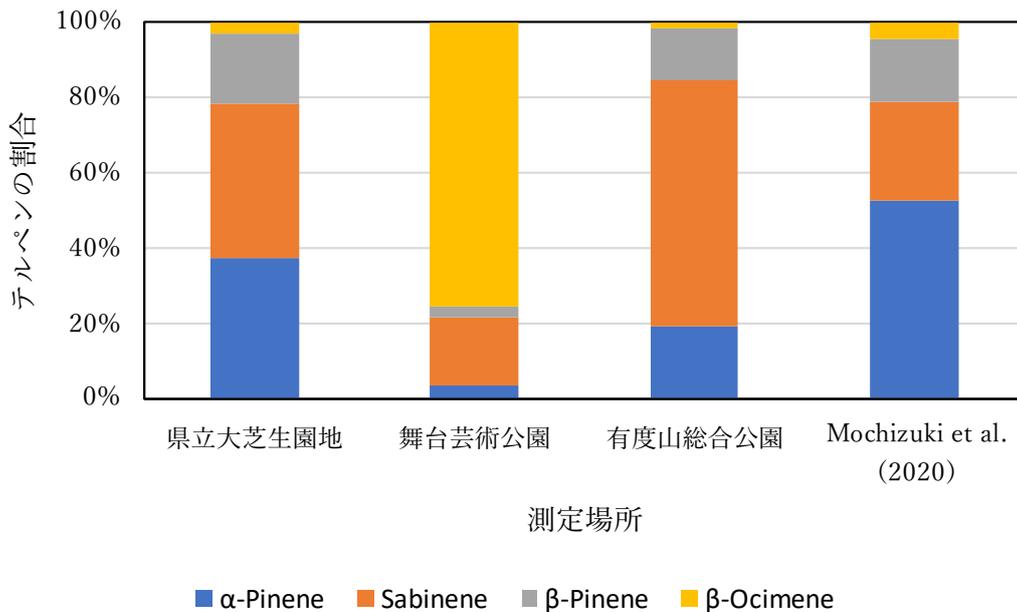


図 5-17 アラカシの夏季集中測定における各場所のモノテルペン放出組成比

① スダジイ

はじめに、スダジイのモノテルペン放出におけるバイアル (VA) 法の適用性評価の結果を示す (図 5-18)。従来の測定手法 (リーフキュベット (LC) 法) に対して、インキュベーション時間が 10 分の場合 (決定係数  $R^2 = 0.887$ ) よりも、40 分の場合 (決定係数  $R^2 = 0.962$ ) で高い相関が認められた。また、インキュベーション時間 40 分において、 $\beta$ -linalool (モノテルペンアルコール:  $C_{10}H_{18}O$ ) を除くモノテルペン化合物は決定係数  $R^2 > 0.95$  の高い相関を示した (表 5-5)。ただし、 $\beta$ -linalool は一定以上の相関 (決定係数  $R^2 = 0.789$ ) を示している他、スダジイのモノテルペン放出において最大数%程度の放出組成比率であることから、全モノテルペン基礎放出速度の推定における  $\beta$ -linalool 由来の誤差は小さいと判断した。したがって、夏季集中におけるスダジイのモノテルペン基礎放出速度は、インキュベーション時間 40 分としてバイアル (VA) 法によるモノテルペン放出速度の値をリーフキュベット (LC) 法の値に換算した。

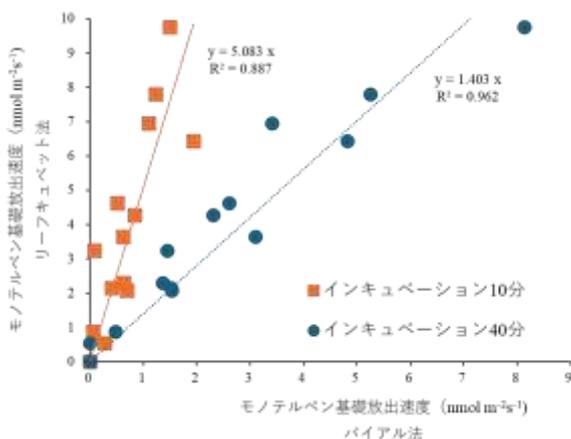


図 5-18 スダジイのモノテルペン放出における VA 法の適用性評価

基礎放出速度：光合成有効光量子束密度  $1,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、葉温  $30^\circ\text{C}$ における放出速度

リーフキュベット法によるモノテルペン基礎放出速度を縦軸、バイアル法によるモノテルペン基礎放出速度を横軸にした際の、単回帰式の決定係数及び傾きを表 5-5 に示す。

表 5-5 スダジイのモノテルペン放出におけるバイアル法の適用性評価

	$\alpha$ -pinene	$\beta$ -pinene	sabinene	limonene	$\alpha$ -phellandrene	$\beta$ -phellandrene	trans- $\beta$ -ocimene	cis- $\beta$ -ocimene	$\beta$ -linalool
決定係数	0.982	0.973	0.973	0.971	0.980	0.971	0.973	0.953	0.789
傾き	1.280	1.615	1.513	1.990	1.222	2.018	1.343	4.480	7.920

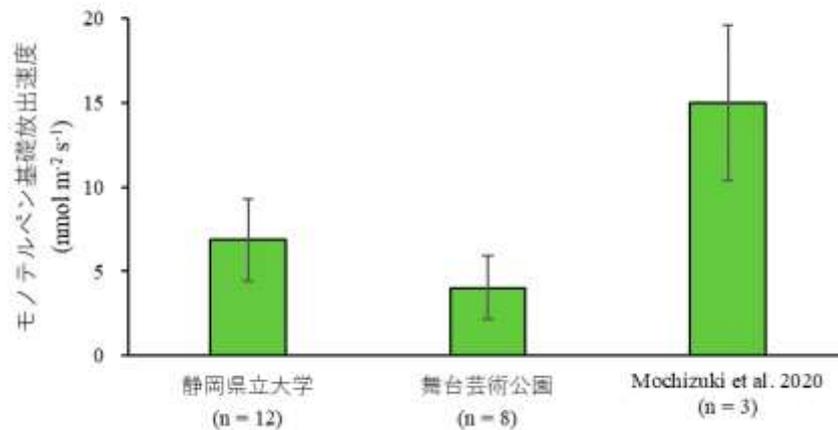


図 5-19 スダジイの夏季集中測定におけるモノテルペン基礎放出速度

エラーバーは標準偏差を示す。静岡県立大学及び舞台芸術公園はバイアル法による本研究の測定値、先行研究 Mochizuki et al. 2020 はリーフキュベット法による測定値を示す。Mochizuki et al, 2020 (J For Res 25, p 339-346)

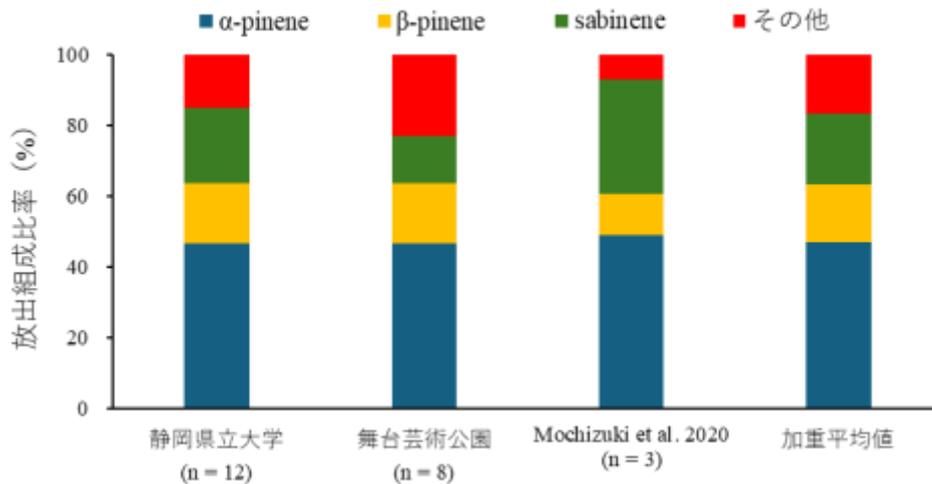


図 5-20 スダジイの夏季集中測定におけるモノテルペン放出組成比

Mochizuki et al, 2020 (J For Res 25, p 339-346) のデータも示す。静岡県立大学及び舞台芸術公園はバイアル法による本研究の測定値、先行研究 Mochizuki et al. 2020 はリーフキュベット法による測定値を示す。Mochizuki et al, 2020 (J For Res 25, p 339-346)

バイアル (VA) 法による夏季集中測定の結果、静岡県立大学芝生園地周辺 (12 個体) では  $6.85 \pm 2.41 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、舞台芸術公園内 (8 個体) では  $4.03 \pm 1.90 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  のモノテルペン基礎放出速度を示した (図 5-19)。また、過去の先行研究におけるスダジイのモノテルペン基礎放出速度 ( $15.0 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  : n=3 : Mochizuki et al. 2020. J For Res 25, p 339-346) の値を含め加重平均を算出した結果、夏季のスダジイによるモノテルペン基礎放出速度は  $7.27 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  と推定された。

放出組成 (図 5-20) は、いずれの地点や先行研究でも α-pinene、β-pinene、sabinene を主体に

構成されており、大きな差は認められなかった。

#### ④ クリ

静岡市駿河区日本平付近の5個体に関して、モノテルペン基礎放出速度をLC法で測定した結果、基礎放出速度の合計値は $0.76 \pm 0.68 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ と極めて小さいものの、モノテルペンの放出が認められた。なお、放出成分(平均放出組成比率)は主に $\alpha$ -pinene (28.8%)、 $\beta$ -pinene (24.6%)、sabinene (40.3%)であった。クリは過去にテルペン類無放出樹種として報告されている一方で(Tani and Mochizuki 2021, J Agric Meteorol 77, p 66-80)、夏季のモノテルペンを放出するという報告( $1.1 \pm 1.1 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ : n=3 : Mochizuki et al. 2020. J For Res 25, p 339-346)が存在する。この先行研究でのモノテルペン放出組成は、 $\alpha$ -pinene (39.6%)、 $\beta$ -pinene (19.8%)、sabinene (31.8%)であり、放出速度、放出組成ともに本研究と大きな差は認められなかった。したがって、クリはモノテルペンを放出するが、低放出樹種の部類に入り、その他樹種(シラカシやスダジイ)と比較した際のモノテルペン放出源としての影響度は、限定的であると考えられた。

#### ⑤ ブナ

静岡県立大学薬草園(2個体)、静岡市葵区井川付近(3個体)のいずれも、ブナの葉からモノテルペンの放出は認められなかった。また、イソプレンを含む他のテルペン類の放出も認められなかった。ブナはテルペン類無放出種(Mochizuki et al. 2020; Tani and Mochizuki 2021)として報告されている一方で、モノテルペン(定量データなし:Hagiwara et al. 2021. Ecology and Evolution 11, p 12445-12452)やイソプレン( $0.79 \mu\text{g g}_{\text{dw}}^{-1} \text{ h}^{-1}$ : Bao et al. 2008. Environ Res 106, p 156-169)の微量な放出を報告する論文がある。ただし、これらの先行研究では、葉の状態(純光合成速度や気孔開度)に関する情報が欠落している他、測定法の制約で周辺大気からのテルペン類の流入を排除できていない可能性がある。本研究では、光合成蒸散測定装置を用いたLC法により、基礎放出速度の条件(PPFD  $1,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、葉温  $30^{\circ}\text{C}$ )において、高い純光合成速度を認めた( $6.52 \pm 1.14 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )。また、葉をキュベット(LC法)やチャンバー内(枝チャンバー法)に含めない状態の測定では、テルペン類は検出していない。このように本測定では、葉の生理状態や測定環境に異常はなかったため、ブナはテルペン類を放出しない無放出種であると結論づけてよい。

## (2) 季節変化

### ① シラカシ

シラカシのモノテルペン基礎放出速度の季節変化を図 5-21 に示す。2023年5月、当年葉の展葉が完了する頃は、モノテルペン基礎放出速度は極めて小さかった( $0.42 \pm 0.54 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )が、その後、7月( $4.26 \pm 2.31 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )から9月( $10.71 \pm 6.24 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )にかけてモノテルペン基礎放出速度は大きく増加し、10月にモノテルペン基礎放出速度が減少しはじめ( $7.36 \pm 4.75 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )、11月( $2.16 \pm 1.31 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )と12月( $0.23 \pm 0.24 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )に著しく下がった。2024年2月は $0.06 \pm 0.09 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ と最も低く、一部の個体でモノテルペン放出が認められなかった。

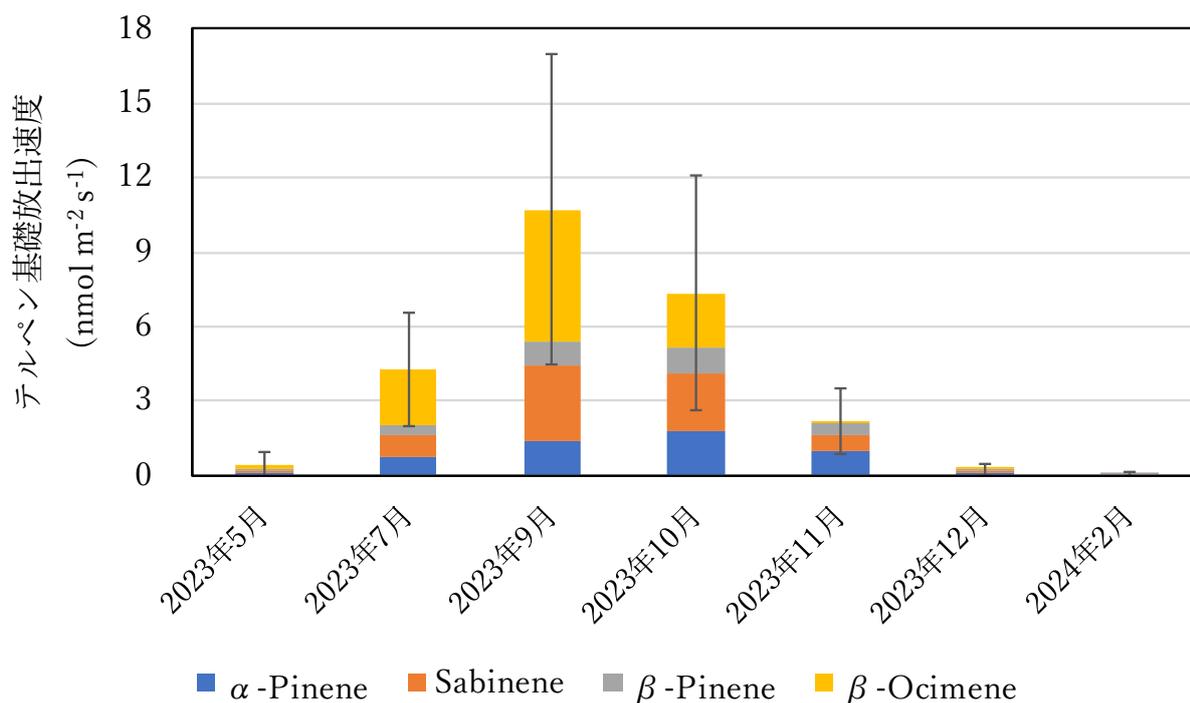


図 5-21 シラカシ当年葉のモノテルペン基礎放出速度の季節変化 (2023年5月～2024年2月)  
棒グラフはモノテルペン基礎放出速度の個体間平均値、エラーバーは標準偏差を示す (n=5)。

放出組成比の季節変化を図 5-22 に示す。2023年5月から10月の暖かい時期は、β-ocimene の割合が高かった。11月以降はβ-ocimene の割合が急激に減少し、12月でほとんどの個体がβ-ocimene を放出しなくなった。α-pinene、sabinene 及びβ-pinene の組成は11月から2024年2月にかけてあまり変化しなかった。

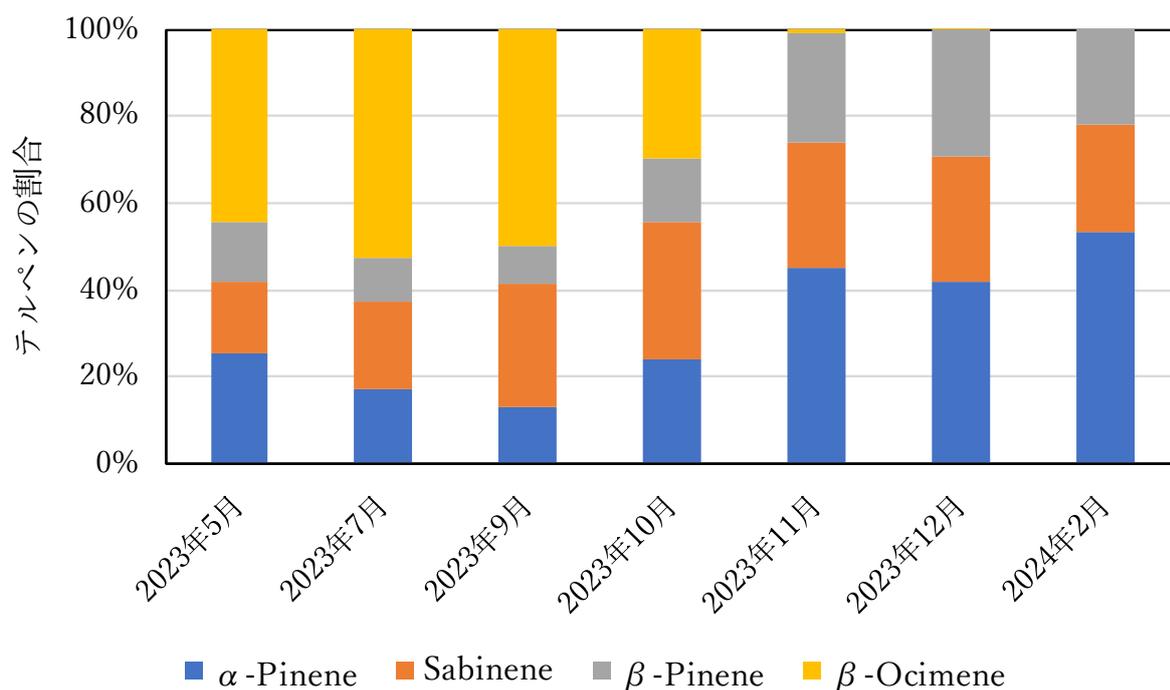


図 5-22 シラカシのモノテルペン放出組成の季節変化

## ② スダジイ

スダジイのモノテルペン基礎放出速度の季節変化を図 5-23 に示す。当年葉は、2023 年 5 月に展葉が完了した。5 月のモノテルペン基礎放出速度は極めて小さかった ( $0.20 \pm 0.18 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) /が、7 月 ( $3.66 \pm 1.21 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) から 9 月 ( $5.82 \pm 1.51 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) にかけて、モノテルペン基礎放出速度は大きく増加し、8 月の加重平均値において、モノテルペン基礎放出速度が  $7.27 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  を示したため、スダジイにおけるモノテルペン基礎放出速度のピークは、8 月から 9 月の夏季に存在すると考えられる。

また、10 月 ( $2.71 \pm 0.98 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) 以降については、基礎放出速度は低下する傾向を示し、12 月 ( $0.04 \pm 0.01 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) のモノテルペン基礎放出速度は極めて小さくなり、2024 年 2 月はモノテルペンの放出は全く認められなかった。

放出組成比の季節変化を図 5-24 に示す。展葉直後の 2023 年 5 月及びモノテルペン基礎放出速度の低い 12 月は、α-pinene 及び β-pinene の放出のみ認められた。一方で、2023 年 7 月～11 月は、夏季集中測定と同様に、α-pinene 及び β-pinene の他に sabinene やその他モノテルペン (β-ocimene、limonene など) も放出され、この期間の放出組成に差はほとんど見られなかった。

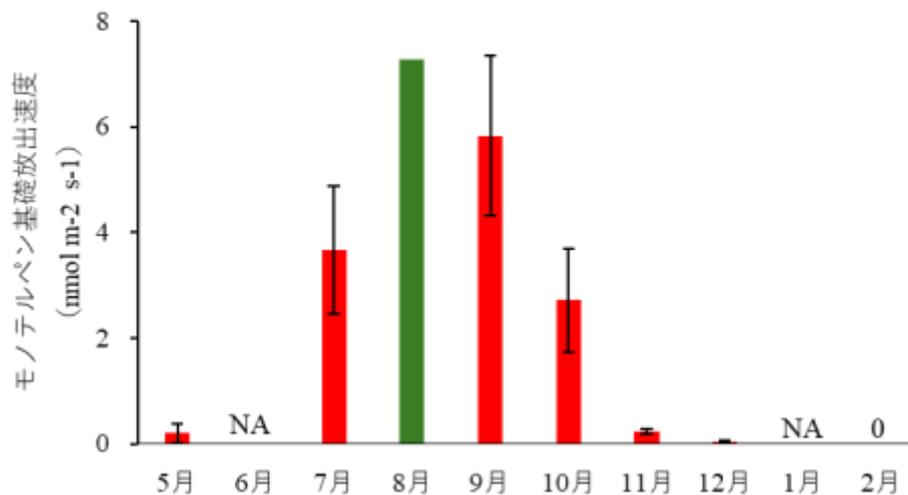


図 5-23 スダジイ当年葉のモノテルペン基礎放出速度の季節変化 (2023 年 5 月～2024 年 2 月)

棒グラフはモノテルペン基礎放出速度 (光合成有効光量子束密度 1,000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>、葉温 30°C) の平均値、エラーバーは標準偏差を示す (n=5)。但し、2023 年 12 月の値は葉温を 25°C に変更した条件下で測定した。8 月 (緑色) は夏季集中測定における加重平均値を使用した。NA: 測定データなし、0: 放出なし。

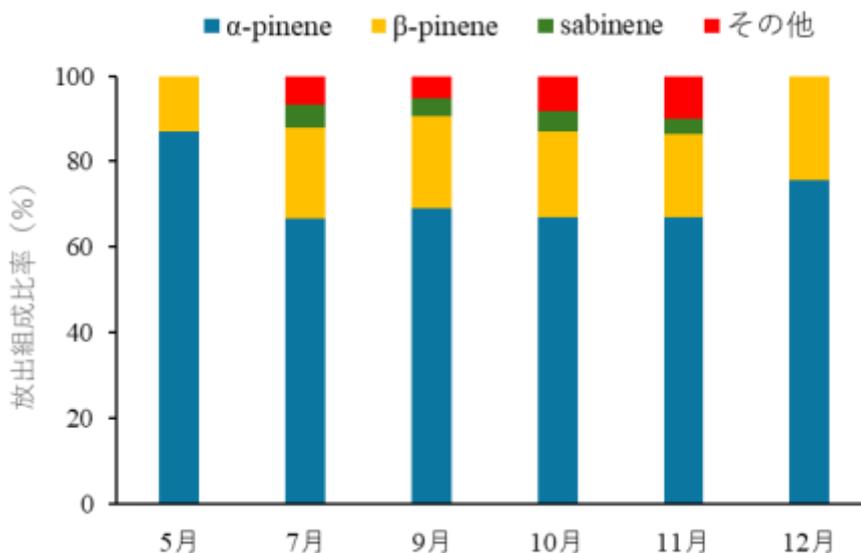


図 5-24 スダジイ当年葉のモノテルペン放出組成の季節変化 (2023 年 5 月～2024 年 2 月)

静岡県立大学芝生園地周辺におけるスダジイ成木 (5 個体) のみを対象とした。2023 年 8 月の夏季集中測定によるデータは別個体のため本グラフには含まれていない。

### 5-6. まとめと今後の課題

令和5年度調査における測定によって、表5-1の樹種ランキング6位のブナ、13位のスダジイ、14位のクリ、17位のアラカシ、52位のシラカシのテルペン類基礎放出速度の夏季の最大値を下記のように求めることができた。

表 5-6 ブナ、スダジイ、クリ、アラカシ及びシラカシのテルペン類基礎放出速度の夏季の最大値

	イソプレン	モノテルペン
ブナ	0	0
スダジイ	0	7.27
クリ	0	0.76
アラカシ	0	3.44
シラカシ	0	5.25

単位:  $\text{nmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

また、スダジイとシラカシについて、テルペン類基礎放出速度の季節変化データを取得できた。

今後は、表5-1に示したように、第3位のコナラ、第8位のミズナラ、第20位のモウソウチク、第24位のマダケのテルペン類基礎放出速度の夏季の最大値の測定、コナラとモウソウチクのテルペン類基礎放出速度の季節変化データの測定が必要である。また、これらの必要な測定値がすべて得られた時点で、それまでに取得したアラカシ、シラカシ、コナラ、モウソウチクのテルペン類基礎放出速度の季節変化データを用いて、季節変化の傾向を他の樹種へ適用するための最適な計算式を導出することが必要である。

## 6 調査結果 (BVOC の設定についての検討③) : BVOC 排出量の算定方法に関する検討

### 6-1. 本検討の目的

ADMER-PRO は、2011 年に発表されたシミュレーションモデルであるが、開発当時は BVOC に関する知見が不足していたこともあり、過年度調査では、現在の ADMER-PRO における BVOC 排出量の計算方法に、いくつかの課題があることが指摘されている。

現在の ADMER-PRO における BVOC 排出量の計算フローを図 6-1 に、BVOC 排出係数 (標準状態における葉面積当たりの基礎放出量) を表 6-1 に示す。

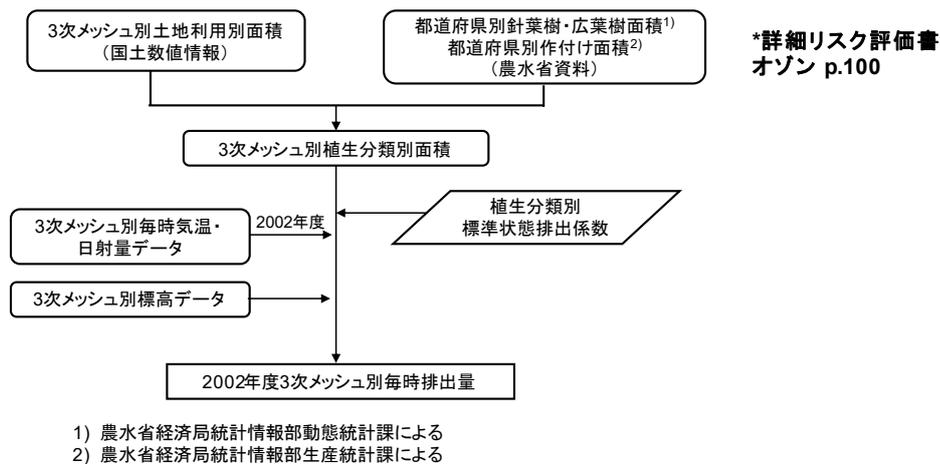


図 6-1 ADMER-PRO での現在の BVOC 排出量推計フロー

表 6-1 ADMER-PRO での現在の BVOC 排出係数

表IV.3 Kannaraら(2007)において各植生分類に対して設定された標準状態の植生面積あたり排出係数 (落葉なしの状態)(神成と馬場 私信)と日本の植物種のデータ更新結果(太字)(単位:μg/m<sup>2</sup>/h)

植生分類	イソプレン	モノテルペン	その他のVOCs	NMVOC計
広葉樹	2,112	360	872	3,353
	<b>21,435</b>	<b>193</b>	<b>690</b>	<b>22,318</b>
針葉樹	1,548	1,565	1,038	4,150
	<b>0</b>	<b>3,886</b>	<b>1,234</b>	<b>5,120</b>
稲	102	255	153	510
	<b>0</b>	<b>567</b>	<b>2,410</b>	<b>2,977</b>
麦類	12	12	10	34
豆類	22	0	0	22
飼肥料	47	118	71	235
工芸農作物	0	59	235	294
その他	56	141	84	281

注: 太字は日本の植物種データを用いた更新結果であることを示す。

表 6-1 に示した BVOC の基礎放出量 (広葉樹、針葉樹、稲に関してはそれぞれ下段の太字の値) は、Bao ら (2008) の結果に基づいているが、放出量を高めに見積もっている可能性が高いと指摘されている。また、広葉樹を 1 区分で設定しているため、例えば無放出種であるブナ (落葉広葉樹) 林から

大量のイソプレンが放出される計算結果になるなど、局所的には誤った計算値が導出されることになる。そこで、基礎放出量に関しては、5章において対象とした主要な樹種について、BVOCの基礎放出量を測定等により見直すとともに、植生をどのように分類して基礎放出量を割り当てるかを検討する必要がある。

一方で、BVOC放出量を計算するためには、この基礎放出量テーブルに加えて、少なくとも以下の3つのデータ・計算が必要である。

#### ① 土地利用（植生、市街地等）ごとの面積分布

シミュレーショングリッド内に、どのような植生の樹種が、どの程度の面積を占有しているか。または、市街地、畑等の土地利用区分ごとに、どの程度の面積を占有しているか。

#### ② 葉面積指数（LAI : Leaf Area Index）

土地面積あたりの葉面積の合計値。例えば、 $LAI = 3$  ( $\text{km}^2/\text{km}^2$ ) であれば、 $1 \text{ km}^2$ の土地面積に、 $3 \text{ km}^2$ の葉があることを示す。

#### ③ 温度、日射、葉の重なりや傾き、季節変化等による補正

基礎放出量は、標準状態（温度 $=30^\circ\text{C}$ 、光強度 $=1,000\text{PPFD}$ ）の値であるため、実際の気温（葉温）、日射で補正する必要がある。また、葉の重なりを考えた場合、樹冠部と下部では日当たりが異なるため、一定の補正が必要である。さらに、季節によって温度、日射が変化するが、それ以外にも樹木自体の活性の変化による季節変化があり、同じ温度、日射量でも季節によって異なるため、これも加味する必要がある。

本章では、5章で作成する基礎放出量データベースを元に、上記①～③を含め、どのようにBVOC排出量を計算するか、植生データの活用方法を中心に検討を行った。

## 6-2. 本調査で用いている植生調査データ

令和5年度調査では、主に2つの植生調査データを用いている。それについて、以下(1)、(2)に示す。いずれの植生調査の目的も、植生ごとの面積占有率を算出するためではなく、樹種ごとのBVOCの放出量や放出形態には関連するものでもないが、林野庁で実施されている森林生態系多様性基礎調査において、調査地点を代表する樹種は調べられているため、令和4年度調査では優占樹種の選出に活用した。一方で、環境省生物多様性センターのデータも、「森林の保護上重要かどうかでグリッドを代表させているため、これも樹種ごとの面積は表さない（深山委員コメント）」が、後述のように、この調査データを元に作成された3次メッシュ加工データが利用できるため、当面のBVOC算定の改善検討においては、この加工データを活用して樹種の面積分布を設定することを念頭に検討することとした。

### (1) 森林生態系多様性基礎調査（林野庁）

林野庁が「持続可能な森林経営の推進に資する観点から、森林の状態とその変化の動向を全国統一した手法に基づき把握・評価することにより、森林計画における森林の整備・保全に係る基本的な事項等を定めるのに必要な客観的資料を得る」ことを目的に実施している調査であり、平成11～15年度

を第1期とし、5年間で全国を調査するサイクルになっている。現在利用できる最新の調査結果は、第4期（平成26～30年度）のものである。

図6-2に示すように、全国を4kmメッシュの格子状に区分し、その交点が森林内に入っている場合に調査を行う。調査点を中心に、小円（半径5.64m）、中円（半径11.28m）、大円（半径17.84m）を描き、それぞれの円上の格子点（小円上20点、中円上60点、大円上120点）において、優占種（2種類まで）、または土地利用区分（林道など）を記録・集計したデータとなっている。これは、4km<sup>2</sup>メッシュ（160,000m<sup>2</sup>）に対して0.1ha（1,000m<sup>2</sup>=大円の面積）内の調査データであり、優先樹種が2種ある場合でも、その面積比は表していない。ただし、これを全国（約15,000調査点）で集計したデータを用いて、ランキングとして整理することにより、全国レベルの占有率が高い樹種を推定できるのではないかと考えられたため、令和4年度調査において全国レベルの上位20種の優占樹種を抽出した。これに、以下を加味して、5章の基礎放出量データベース構築対象樹種としている。

- ①追加：イソプレンの基礎放出量が高いと考えられるマダケ（24位）、モノテルペン（非貯蔵）を放出し、街路樹によく利用されるシラカシ（52位）、土地利用が水田の場合で、少量のBVOC放出が想定されるイネ
- ②削除：高山帯や北海道に偏在し、光化学オキシダント生成の観点からは除外して良いと考えられるものとして、トドマツ（4位、北海道偏在種）、ダケカンバ（10位、高山帯偏在種）、ハンノキ類（15位、高山帯偏在種）

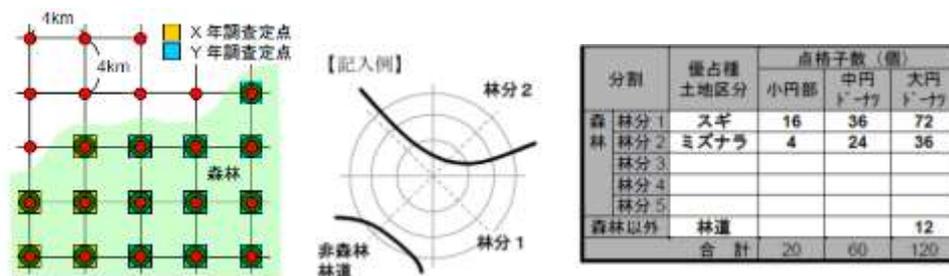


図 6-2 森林生態系多様性基礎調査(林野庁)の調査イメージ

## （2）環境省生物多様性センターの植生調査データ（環境省）及びその3次メッシュ加工データ

環境省生物多様性センターの植生調査は、植物社会学に基づいて群落単位を地形図上に表現した植生図であり、環境アセスメント及び自然環境保全施策立案のための重要な基礎情報として位置づけられている。全国の植生の現況を把握して現存植生図を全国的に整備するほか、詳細な現地調査に基づき、我が国の生物多様性に関する基礎情報を収集する目的で行われている。

この調査は1973（昭和48）年から実施されており、令和2年度の調査結果が最新である。なお、全国を2次メッシュレベル（5km<sup>2</sup>ごと）に分け、調査地点データ（緯度、経度）と植生分類データを入手可能である。

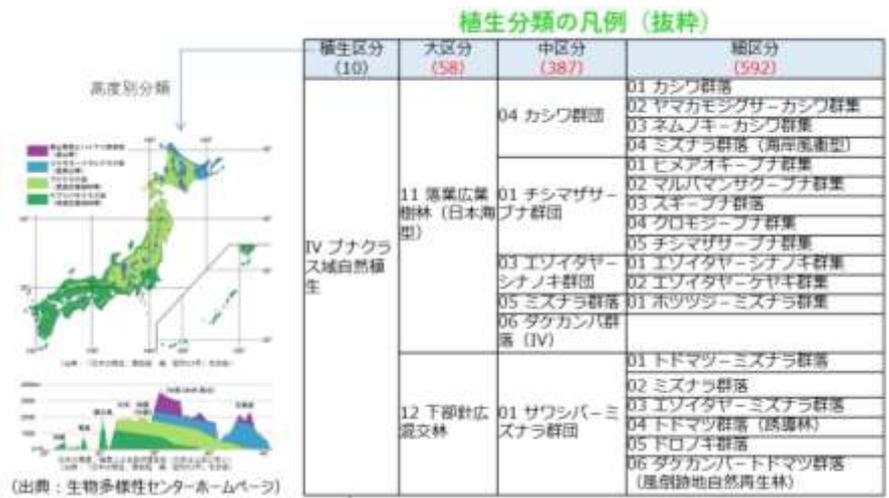


図 6-3 環境省生物多様性センターの植生調査データのイメージ

この植生データでは、図 6-3 左のように、まず高度によって植生を区分し、さらにそれを大区分 58、中区分 387、細区分 592 に分けている。図 6-3 では、細区分を示しているが、細区分名称は必ずしも代表的な樹種を表さない場合もある。

茶谷委員らは、この植生データの中区分までを、3次メッシュに配分した加工データを作成しており、このデータを利用して、世界的によく使われている MEGAN モデル (植生を含めた土地利用 15 分類ごとに排出係数 (Emission Factor) を設定している) におけるデフォルト設定と、植生や排出係数を変更した場合の BVOC 排出量推計やオゾンシミュレーション結果を比較した論文を公表している (Chatani et al. (2018), Atmosphere)。その中で BVOC については、イソプレンとモンテルペン類の排出係数は MEGAN モデルのデフォルト設定より減少し、セスキテルペン類は増加する傾向が結果として示されている。

茶谷委員らが環境省生物多様性センターの植生データを加工した 3次メッシュデータのイメージを図 6-4 に示す。

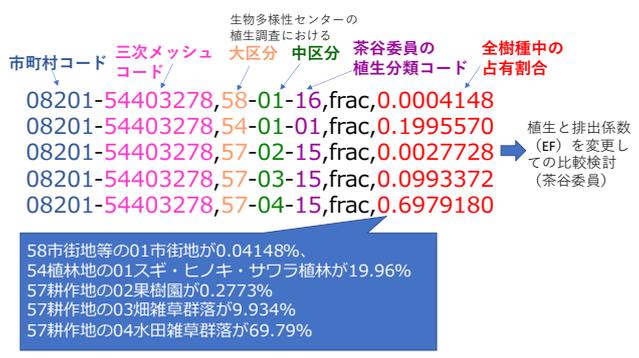


図 6-4 環境省生物多様性センターの植生データを茶谷委員らが加工した 3次メッシュデータのイメージ

このメッシュデータは、令和 4 年度調査期間に茶谷委員よりご提供いただいたものであるが、図 6-4 中の大区分、中区分が環境省生物多様性センターの分類に対応し、「茶谷委員の植生分類コード」

は、MEGAN モデルの 15 区分と「その他」を合わせて 16 分類となっている。4 章で、「竹のみ考慮（環境省生物多様性センター）」等と表記しているのは、植生の土地面積あたり占有率として、この 3 次メッシュ加工データを利用していることを表している。

### 6-3. BVOC 算定における植生割り当て方法に関する検討

本節では、主に植生分類を、BVOC 放出の観点からどのように分類するかについて検討した。環境省生物多様性センターの加工データにおいては、中区分で約 380 の分類名となるが、そもそも BVOC の基礎放出量が測定されている樹種自体が少ないため、個々の樹種や群落に対して BVOC 基礎放出量を割り当てることは現実的ではなく、計算も煩雑になることが想定される。

#### (1) 樹種ごとの BVOC 放出の傾向とそれに応じた樹種分類の検討

既往の知見から、BVOC の基礎放出量のインパクトを整理すると、表 6-2 のようになる。

今後「BVOC 基礎放出量データベース」で整理する約 20 樹種については、個々の基礎放出量を当てはめれば良いが、その他も含めると、概ねこのような分類が想定される。

表 6-2 樹種の大まかな分類または土地利用区分ごとの BVOC 基礎放出量のインパクト

植生または土地利用	具体的な樹種	BVOC の基礎放出特性
落葉広葉樹	コナラ等	イソプレン 多
	ブナ、カエデ類の一部	無放出
落葉針葉樹	カラマツ	モノテルペン 少
常緑広葉樹	スタジイ等	モノテルペン 中
常緑針葉樹	スギ、ヒノキ等	モノテルペン 少
イネ科植物	稲	モノテルペン 少
	タケ類	イソプレン 多
その他作物	—	一般に BVOC 放出 少
市街地等	—	0

なお、BVOC の放出形態について、モノテルペン放出種に関しては貯蔵タイプと非貯蔵タイプがあり、タイプによって温度・日射の依存特性が異なるため、BVOC との関連では①イソプレン放出種、②モノテルペン放出種（貯蔵タイプ）、③モノテルペン放出種（非貯蔵タイプ）に分類する必要がある。静岡県立大・谷教授の助言も得て、優占樹種の上位 20 種程度について、放出特性をまとめると表 6-3 のようになる。

表 6-3 基礎放出量データベース構築の対象となっている優占樹種の BVOC 放出形態

順位	優占樹種	放出成分	MT 放出特性	備考
1	スギ	モノテルペン	貯蔵	
2	ヒノキ	モノテルペン	貯蔵	
3	コナラ	イソプレン	—	
4	トドマツ	モノテルペン	貯蔵	対象外
5	その他広葉樹	樹種依存	—	
6	アカマツ	モノテルペン	貯蔵	
7	ブナ	無放出	—	
8	ミズナラ	イソプレン	—	
9	カラマツ	モノテルペン	貯蔵	常緑針葉樹はこれのみ
10	ダケカンバ	モノテルペン (推定)	貯蔵 (推定)	対象外
11	カエデ類	モノテルペン	非貯蔵 (推定)	無放出種あり
12	シナノキ	不明	不明	対象外
13	スダジイ	モノテルペン	非貯蔵	
14	クリ	モノテルペン	不明	無放出の報告もあり
15	ハンノキ類	モノテルペン	貯蔵	
16	シデ類	モノテルペン	不明	
17	アラカシ	モノテルペン	非貯蔵 (推定)	
18	ツブラジイ	モノテルペン (推定)	非貯蔵 (推定)	
19	イタヤカエデ	モノテルペン	非貯蔵	
20	モウソウチク	イソプレン	—	
24	マダケ	イソプレン	—	
52	シラカシ	モノテルペン	非貯蔵	
—	イネ	モノテルペン	不明	

## (2) 樹種分類のグルーピング、または細分類の検討

深山委員より、「植生分類については、他人の空似で植物が古い図鑑で、間違っただけで分類されていたことが遺伝子解析でわかってきていることから、最新の APG 体系 (Angiosperm Phylogeny Group (被子植物系統グループ) を調べないといけない (ネット上の古い情報だけでは処理できない)」とのご意見をいただき、参考文献として「APG 原色樹木大図鑑」をご紹介いただいた。この図鑑では、属、学名、針葉/広葉、落葉/常緑、高木~低木の情報が掲載されている。

優占樹種上位 20 種程度について、この APG 図鑑を元に分類を整理したものを表 6-4 に示す。

表 6-4 優占樹種上位 20 種程度に関する APG 図鑑による分類

整理番号	優占樹名	属	該当樹種	区分	樹高*
1	スギ	スギ属	スギ、ミドリスギ等 7 種	常緑針葉樹	低木 (1 ~ 4 m) ~高木 (10m 以上)
2	ヒノキ	ヒノキ属	ヒノキ、サワラ、ヒバ 類等 14 種	常緑針葉樹	低木 (1 ~ 4 m) ~高木 (10m 以上)
3,8 ミズナ ラ,17 ア ラカシ, 52 シラ カシ	コナラ	コナラ属	コナラ、ミズナラ、カ シワ、クヌギ、カシ類 等 17 種	常緑広葉樹	小高木 (5 ~ 9 m) ~高木 (10m 以上)
6	アカマツ	マツ属	アカマツ、シロマツ 等 18 種	常緑針葉樹	低木 (1 ~ 4 m) ~高木 (10m 以上)
7	ブナ	ブナ属	ブナ、イヌブナ等 3 種	落葉広葉樹	高木 (10m 以上)
9	カラマツ	カラマツ属	カラマツ	落葉針葉樹	高木 (10m 以上)
11,19 イタヤ カエデ	カエデ類	カエデ属	イロハモミジ、イタ ヤカエデ等 37 種	落葉広葉樹	低木 (1 ~ 4 m) ~高木 (10m 以上)
12	シナノキ	シナノキ属	シナノキ、ボダイジ ュ等 8 種	落葉広葉樹	高木 (10m 以上)
13,18 ツブラ ジイ	スダジイ	シイ属	スダジイ、ツブラジ イ 2 種	常緑広葉樹	高木 (10m 以上)
14	クリ	クリ属	クリ、アマグリ等 4 種	落葉広葉樹	高木 (10m 以上)
15	ハンノ キ類	ハンノキ属	ハンノキ、ヤシャブ シ等 10 種	落葉広葉樹	低木 (1 ~ 4 m) ~高木 (10m 以上)
16	シデ類	シデ属	アカシデ、サワシバ 等 5 種	落葉広葉樹	低木 (1 ~ 4 m) ~高木 (10m 以上)

\*成木の樹高は樹種ごとに異なる。

表 6-4 のように、基本的に樹種は、「属」のレベルでグルーピングすることを想定する。ただし、「コナラ属」は、イソプレン放出種であるコナラと、モノテルペン放出種であるアラカシ、シラカシ等に分かれる。また、カエデ類の中にはモノテルペン放出種と無放出種があるため、この2つの「属」については、BVOC 放出特性に応じた細分化が必要である。

また、タケ類は「属」のレベルでも表 6-5 のように多くの分類となっているため、「属」という分類が、BVOC 放出特性と必ずしも関係ないことに注意が必要である。そのため、今後の実測等の結果を踏まえ、グルーピングや割り当て方法を検討する必要がある。

表 6-5 タケ・ササ類の APG 図鑑による分類

属	該当樹種
ホウライチク属	ホウライチク 1 種
マダケ属	モウソウチク (20 位)、24 マダケ (24 位)、クロチク等 8 種
ナリヒラダケ属	ナリヒラダケ 1 種
トウチク属	トウチク 1 種
オカメザサ属	オカメザサ 1 種
ササ属	チシマザサ、クマザサ等 7 種
ヤダケ属	ヤダケ 1 種
アズマザサ属	アズマザサ 1 種
メダケ属	メダケ、リュウキュウチク等 7 種
カンチク属	カンチク、シホウチク 2 種

(3) 環境省生物多様性センターデータの 3 次メッシュ加工データの活用方法の検討

茶谷委員らが、環境省生物多様性センターの植生データを 3 次メッシュの面積比率に加工したデータを用いて、環境省生物多様性センターの植生調査の中分類 (約 380 分類) について、全国の占有面積の合計値を算出し、ランキングに整理した。上位 30 位までを表 6-6 に示す。

表 6-6 環境省生物多様性センターの 3 次メッシュ加工データの中分類に基づく占有面積のランキング

ランク	分類番号	積算km2	植生区分	区分名	大コード	大コード名称	中コード	中コード名称	MEGAN CODE	MEGAN分類名
1	54-01-01	80182.7	IX	植林地・耕作地植生	54	植林地	01	スギ・ヒノキ・サワラ植林	01	Needleleaf Evergreen Temperate Tree
2	57-04-15	39058.6	IX	植林地・耕作地植生	57	耕作地	04	水田雑草群落	15	Crop
3	58-01-16	32630.6	X	市街地等	58	市街地等	01	市街地	16	Others
4	422-01-07	24787.7	V	ブナクラス域代償植生	22	落葉広葉樹二次林	01	ブナ・ミズナラ群落	07	Broadleaf Deciduous Temperate Tree
5	512-01-01	22198.3	IV	ブナクラス域自然植生	12	下部針広混交林	01	サワシバー・ミズナラ群団	01	Needleleaf Evergreen Temperate Tree
6	641-01-07	21785.8	VII	ヤブツバキクラス域代償植生	41	落葉広葉樹二次林	01	コナラ群落	07	Broadleaf Deciduous Temperate Tree
7	757-03-15	20107.5	IX	植林地・耕作地植生	57	耕作地	03	畑雑草群落	15	Crop
8	822-05-07	15046.9	V	ブナクラス域代償植生	22	落葉広葉樹二次林	05	コナラ群落	07	Broadleaf Deciduous Temperate Tree
9	954-07-03	13398.4	IX	植林地・耕作地植生	54	植林地	07	カラマツ植林	07	Broadleaf Deciduous Temperate Tree
10	1011-01-07	13124.8	IV	ブナクラス域自然植生	11	落葉広葉樹林(日本海型)	01	チシマザサ・ブナ群団	03	Broadleaf Deciduous Temperate Tree
11	1140-01-05	12643.4	VII	ヤブツバキクラス域代償植生	40	常緑広葉樹二次林	01	シイ・カシ二次林	05	Broadleaf Evergreen Temperate Tree
12	1258-06-16	11965.1	X	市街地等	58	市街地等	06	開放水域	16	Others
13	1342-01-01	11030.1	VII	ヤブツバキクラス域代償植生	42	常緑針葉樹二次林	01	アカマツ群落	01	Needleleaf Evergreen Temperate Tree
14	1422-11-07	9549.3	V	ブナクラス域代償植生	22	落葉広葉樹二次林	11	ミズナラ群落	07	Broadleaf Deciduous Temperate Tree
15	1556-02-15	9390.3	IX	植林地・耕作地植生	56	牧草地・ゴルフ場・芝地	02	牧草地	15	Crop
16	1623-01-01	8910.53	V	ブナクラス域代償植生	23	常緑針葉樹二次林	01	アカマツ群落	01	Needleleaf Evergreen Temperate Tree
17	1754-05-01	7836.36	IX	植林地・耕作地植生	54	植林地	05	トドマツ植林	01	Needleleaf Evergreen Temperate Tree
18	1804-01-02	7240.18	II	コケモートウヒクラス域自然植生	04	亜高山帯針葉樹林(北海道)	01	エゾマツ群団	02	Needleleaf Evergreen Boreal Tree
19	1957-02-15	6618.06	IX	植林地・耕作地植生	57	耕作地	02	果樹園	15	Crop
20	2054-02-01	4033.62	IX	植林地・耕作地植生	54	植林地	02	アカマツ植林	01	Needleleaf Evergreen Temperate Tree
21	2105-01-02	3701.99	II	コケモートウヒクラス域自然植生	05	亜高山帯針葉樹林	01	オオシラビソ群団	02	Needleleaf Evergreen Boreal Tree
22	2258-07-16	3579.2	X	市街地等	58	市街地等	07	自然裸地	16	Others
23	2306-01-08	3440.5	II	コケモートウヒクラス域自然植生	06	亜高山帯広葉樹林	01	ミドリユキザサ・ダケカンバ群団	08	Broadleaf Deciduous Boreal Tree
24	2458-03-16	3275.62	X	市街地等	58	市街地等	03	工場地帯	16	Others
25	2510-00-11	3116.99	III	コケモートウヒクラス域代償植生	10	伐採跡地群落	00		11	Broadleaf Deciduous Boreal Shrub
26	2657-01-15	2976.82	IX	植林地・耕作地植生	57	耕作地	01	路傍・空地雑草群落	15	Crop
27	2758-04-16	2450.19	X	市街地等	58	市街地等	04	造成地	16	Others
28	2806-03-08	2360.65	II	コケモートウヒクラス域自然植生	06	亜高山帯広葉樹林	03	エゾマシダーウコンウツギ群団	08	Broadleaf Deciduous Boreal Tree
29	2955-00-05	2261.56	IX	植林地・耕作地植生	55	竹林	00		05	Broadleaf Evergreen Temperate Tree
30	3056-01-15	2137.81	IX	植林地・耕作地植生	56	牧草地・ゴルフ場・芝地	01	ゴルフ場・芝地	15	Crop

表 6-6 の中の分類番号の上位 2 デジット (例えば 54-01) (図 6-33、図 6-44 を参照) が、中分類を示している。3 次メッシュの全体面積は 457,392km<sup>2</sup> に達するが、表 6-6 に示すように、例えば 1 位は大分類 54: 植林地、中分類 01: スギ・ヒノキ・サワラ植林で、この植生が占める面積の合計値

は約 8 万 km<sup>2</sup> に達する。このように、ランキング上位から積算すると、上位 30 位までで 3 次メッシュ全体の 87.6%、60 位までで 94.9%、100 位までで 98.2% の面積をカバーする。したがって、中分類の約 380 分類に対して、全て基礎放出量の割り当てをする必要はなく、多くとも上位 100 位までの中分類に対して基礎放出量の割り当てをすれば十分であると言える。なお、上位の中分類については、比較的樹種名を特定しやすい中コード名称になっており、今後詳細な割り当てについて検討を進める必要があると考えられる。

#### (4) 植生分類と基礎放出量の配分方法に関するまとめ

以上の検討より、植生分類と基礎放出量の配分方法に関して、今後の整理の方向性として、以下のようによまとめることができる。

- ①基礎放出量データベースをまとめる樹種、及びこれに類する樹種については、データベースの値を割り当てる。
- ②コナラ属、カエデ類、ササ・タケ類は、属よりも 1 つ下のレベルで細分化することを検討することが必要。
- ③上記以外の樹種等は、平均値（例えば、常緑広葉樹の平均値）、0 等を適用する。
- ④落葉／常緑、針葉樹／広葉樹、その他の作物稲等の分類を設定し、さらに、イソプレン放出種、モノテルペン放出種（貯蔵／非貯蔵）に分類することが必要。
- ⑤環境省生物多様性センターの 3 次メッシュ加工データを使う場合、上位 100 位までの中分類に対しての割り当てを設定すれば、面積占有率として十分に全国をカバー出来ると考えられる。

#### 6-4. BVOC 算定における補正方法等の検討

6-1 節の冒頭に示したように、BVOC 排出量の計算をするためには、LAI 等のデータや複数の補正計算が必要となるが、これに必要な項目を図 6-5 にまとめた。図 6-5 は、図 6-1 を更新したものに相当する。以下図中の A~F の項目について、検討した結果を整理する。

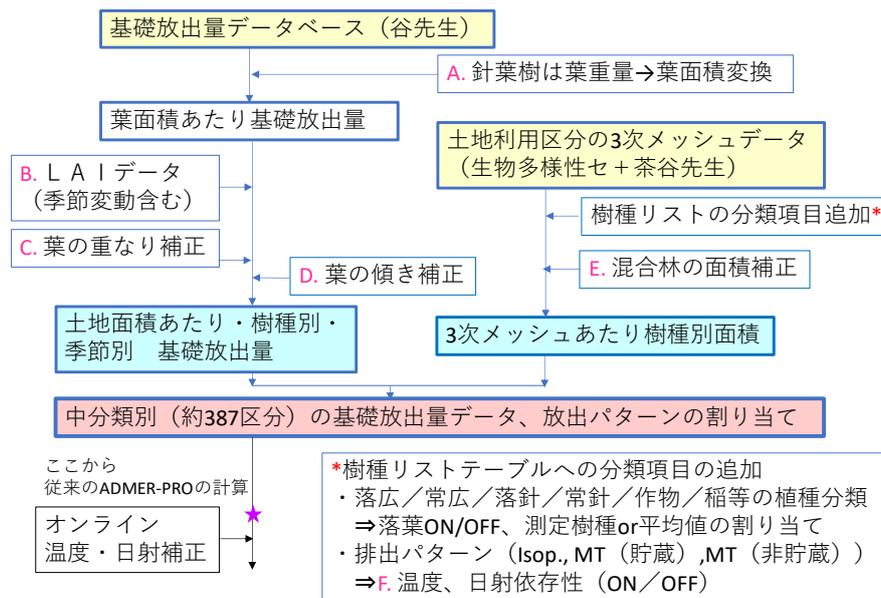


図 6-5 BVOC 放出量の改良後計算フロー (案)

### (1) 針葉樹の葉重量から葉面積への変換 (A)

深山委員より、森林総研の成果として、「スギ・ヒノキ形質データベース検索システム」をご紹介いただいた。この中の葉の乾物重 1g 当たりの葉面積である比葉面積 (specific leaf area, SLA,  $\text{cm}^2/\text{g}$ ) のデータの平均値を使って重量から葉面積に変換することができる。379 個体のスギの平均 SLA が 4.9、244 個体のヒノキの SLA が 5.83 となっている。

<スギ・ヒノキ形質データベース検索システム (森林総研) >

<https://db.ffpri.go.jp/SugiHinoki-TraitDB/index.html>

### (2) 季節変動も含めた LAI データ (B)

共同実施者である東京都環境科学研究所・國分研究員より、一般が利用可能な LAI データについて、2つ紹介いただいた。

#### ① MEGAN モデルの LAI<sub>v</sub> データ

MEGAN モデル (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature) は Guenther らが 2002 年に発表した自然由来のガスとエアロゾルの排出推定モデルであり、BVOC の計算には世界的に広範に利用されている。

若干古いデータではあるが、樹種の区別はつかないが、典型的な LAI 季節変化データとして、下記の MEGAN の Web サイトにおいて、全球の月平均 LAI データ (2003 年、解像度 1 km) が公開されている。

<MEGAN モデルで提供されている LAI<sub>v</sub> データ >

URL : <https://bai.ess.uci.edu/megan/data-and-code/lai>

データ名 : Global, monthly ~1-km LAI<sub>v</sub> for year 2003 (MEGANLAI<sub>v</sub>05)

MEGAN モデルのデータは、メッシュ内の樹種ごとの LAI<sub>v</sub>（メッシュの平均 LAI を、その樹種のメッシュ内の植生被覆率 VCF (Vegetation Cover Fraction) で割ったもの）である。LAI<sub>v</sub> の概念を図 6-6 に示す。この計算メッシュにおける LAI が 2 とし、植生の被覆率 VCF が 0.4 (=40%) で、それ以外が市街地など植生以外の土地利用の場合、植生部分の LAI<sub>v</sub> は  $2/0.4=5$  と計算される。つまり、植生部分の LAI が 5、ということである。このように、計算メッシュ内に森林ではない土地利用が含まれる場合、メッシュの平均 LAI を使うと大きな誤差になる。

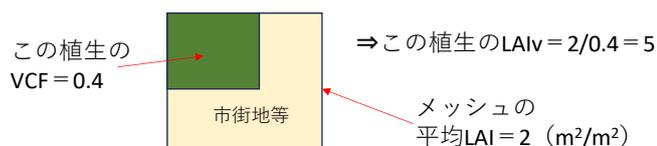


図 6-6 MEGAN モデルの LAI<sub>v</sub> データの概念

## ② 欧州宇宙機関の LAI データ

もう 1 つは、欧州宇宙機関 (ESA : European Space Agency) のコペルニクス計画による Sentinel-3 衛星の LAI 分布データ、土地利用データである。いずれも無償で利用できる (全球を月毎に数回撮影)。ESA から、1 km、300m メッシュでの LAI データが近年のものが公開されている。

<欧州宇宙機関 (ESA) より提供されている LAI データ>

<https://land.copernicus.eu/global/products/lai>

Sentinel 衛星は、米国 NASA の Aura 衛星よりも低軌道を周回しているため、地球周回周期が短く、同じ時間であればより多くの地表データを撮影できる。LAI データが新しいこともあり、欧州宇宙機関の LAI データを利用する方向で検討する。

## (3) 葉の重なり補正 (C)

深山委員より、樹木の樹冠部と下部での光減衰に関するモデル化について紹介いただいた。

樹冠内部の光環境については、ランベルト・ベールの法則を使った門司-佐伯モデル (下記 URL) で近似するため、樹冠内の葉の分布や光の減衰を層別刈り取り法で調べた報告が多く存在する。

<門司-佐伯モデル>

<https://photosyn.jp/pwiki/?%E9%96%80%E5%8F%B8%E3%81%A8%E4%BD%90%E4%BC%AF%E3%81%AE%E3%83%A2%E3%83%87%E3%83%AB>

また、文献検索で各植生の層別刈り取り法による各層の葉面積や減光係数 (吸光係数) が見つかるので、その結果を使うのも一案である。

#### (4) 葉の傾き補正 (D)

樹木の樹冠部と下部で、葉の傾きが異なることにより、日の当たり方が異なる。

補正項目 C, D は現在の ADMER-PRO に内蔵されているので、知見が古くないかを確認し、必要に応じて更新を検討する。

#### (5) 混合林の面積配分の割り当て (E)

人工林なら代表樹種 100%としてもよいが、自然林は一般に混合林となっている。自然林だと、例えば優占樹種 2 種の場合、1 位=40%、2 位=30%、その他=30%のような割合で配分することが妥当ではないかと考えられる（静岡県立大・谷先生コメント）。

そこで、深山委員（森林総研）にご意見を求めたが、毎木調査は行う林分ごとに違いが大きく、気候や標高が大きく異なる全ての森林で毎木調査を行っている研究者はいない、地域や樹種を指定すれば探せるかも知れない、とのことであった。

参考資料として林野庁が、人工林面積として、スギ・ヒノキの面積割合について下記の①を、自然林の割合について②の資料を公表している。ただし資料①は、ヒノキが尾根に分布が集中する実態を十分反映していない、県境ごとに大きな差ができる可能性がある。資料②は、課題：地域森林計画対象外の民有林等の面積も各都道府県で 2～3 割は存在するがそれらの情報が反映されていない、とのことであった。

<人工林、自然林の割合についての林野庁データ>

①都道府県別スギ・ヒノキ人工林面積の資料（林野庁）

[https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin\\_riyou/kafun/pdf/sugihinoki\\_menseki.pdf](https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin_riyou/kafun/pdf/sugihinoki_menseki.pdf)

②天然林樹種別蓄積【計画対象森林】（林野庁）

<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/attach/pdf/6-1.pdf>

#### (6) 温度、日射依存性 (F)

AMEDAS のオンラインデータから温度、日射データを取り込み、それに応じて BVOC 放出量を補正する仕組みは、現在の ADMER-PRO に内蔵されているが、樹種の放出パターン（イソプレン／MT 貯蔵／MT 非貯蔵）により、温度、光依存性が異なるので、樹種分類のテーブルで、この種別を割り当てる必要がある。

BVOC の放出物質、放出形態、依存特性をおおよそまとめると、表 6-7 のようになる。

表 6-7 放出物質・放出形態・温度光依存特性を整理した例

放出物質	放出形態	依存特性	大まかな該当樹種	樹種 of 具体例
イソプレン	非貯蔵	温度・光	多くの広葉樹、草木	コナラ、ミズナラ、カシワ、ナラガシワ、ミツマタ、クズ、モミジバフウ、ホルトノキなど
モノテルペン	貯蔵	温度	殆どの針葉樹、一部広葉樹、ハーブ植物	スギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツ、モニ、トウヒ、クスノキ、ユーカリ、ハッカ、ローズマリーなど
	非貯蔵	温度・光	一部広葉樹	ウバメガシ、コジイ、スダジイなど
無放出		—	上記以外の広葉樹、針葉樹	ブナ、クヌギ、イチョウ、サクラ、アベマキ、クリ、ハナミズキ、クロガネモチ、サルスベリ、キョウチクトウ、ケヤキ、ユリノキなど

繰り返しになるが、我が国における BVOC 放出量に関する測定データは、様々な進歩を認めつつも、今なお不足している。従って、BVOC 基礎放出量データベース構築の対象樹種を除けば、例えば「その他落葉広葉樹の平均値」を割り当てるなどし、例えば様々な値に調整して試算を行い、「この平均値の何%に設定する」などの調整をするくらいかと思われる。常緑／落葉、広葉樹／針葉樹の別くらいは一般的な植生調査で分かると思われるが、イソプレン／モノテルペン貯蔵／モノテルペン非貯蔵などの別は、BVOC 基礎放出量データベースや、文献等がある限られた樹種についてしか分からないと考えられる。

## 7 調査結果（費用対便益についての検討等）

### 7-1. 本章における解析の背景と目的

環境対策の費用対効果、費用対便益分析は、合理的な対策策定を行うため、諸外国において数多く実施されている。令和4年度調査では3つの文献調査（「海外における環境対策の費用便益分析実施例調査」、「我が国における環境対策の費用便益分析実施例調査」、「我が国における環境対策以外の費用便益分析実施例調査」）を行った。令和5年度調査では、我が国におけるVOC排出削減対策の費用対効果や費用対便益について実際に試算を行い、令和4年度調査で紹介した算出結果例と比較することとした。また、現実の世界における、前駆物質削減によるオゾン濃度の変化を把握するため、その参考として、コロナ禍における大気汚染物質の影響に関する文献調査も行った。

### 7-2. VOC対策の費用対効果、費用対便益の試算方法

表7-1に、費用対効果、費用対便益の算出対象を示した。また、VOC削減シナリオにおける地方ごとのVOC排出削減量を表7-2に示した。

表 7-1 費用対効果、費用対便益の算出対象

<ul style="list-style-type: none"><li>●対象地方：関東、近畿</li><li>●対象期間：2016年暖候期（4~9月）（各地方につき計19気象パターン）</li><li>●対象シナリオ：ベースケースから固定蒸発発生源（全業種）のVOC排出量10%削減シナリオ（排出削減量は表7-2のとおり）</li><li>●ベースケースは、人為起源排出量：2016年度、BVOC設定「ADMER-PRO内蔵×0.5倍」（ベースケースの計算結果は4.4節（2）項で紹介済）</li></ul>
---

表 7-2 各地方におけるVOC排出削減量

	近畿	関東
排出削減量 (ton/yr)	9,280	19,758

VOC削減対策によって得られる環境影響低減効果及びその便益については、産総研で開発している大気環境対策便益評価ツールを用いて、ヒト死亡者数の低減とコメ収量の増収を対象として計算した。計算式は以下のとおりである。

$$\begin{aligned} \text{年間死者数の低減量} &= Y0 \times \beta(\text{ozone}) \times \Delta \text{ozone}_{24h} \\ \text{年間死者数の低減便益} &= \text{VSL} \times \text{年間死者数の低減量} \\ \text{年間コメ収量増加量} &= -W0 \times \gamma(\text{ozone}) \times \Delta \text{ozone}_{8h} \\ \text{年間コメ収量増加便益} &= \text{VW} \times \text{年間コメ収量増加量} \end{aligned}$$

ここで、上式中のパラメータの意味は以下及び表 7-3 に示したとおりである。

Y0：ベースライン死亡者数（暖候期（4～9月）、通年死亡者数×0.5）

W0：ベースラインコメ収量

$\Delta \text{ozone}_{24h}$ ：暖候期 24 時間平均オゾン濃度の低減量

$\Delta \text{ozone}_{8h}$ ：暖候期 8 時間平均オゾン濃度の低減量

表 7-3 上式中におけるパラメータの意味と設定値

評価対象	パラメータ	意味	設定値
死亡影響	$\beta(\text{ozone})$	暖候期24時間平均オゾン濃度1ppb増加あたりの死亡数増加率	0.00196/ppb（最近のメタ解析で算出された値（Huangfu & Atkinson, 2020 <sup>※1</sup> ））
	VSL	確率的生命の価値	4億円/人（BenMAP <sup>※2</sup> に搭載されている日本人に対する値）
コメ減収影響	$\gamma(\text{ozone})$	暖候期8時間平均オゾン濃度1ppb増加あたりのコメ減収率	0.0034/ppb（オゾン詳細リスク評価書 <sup>※3</sup> ）
	VW	コメ1 kgの価格	240円/kg（オゾン詳細リスク評価書 <sup>※3</sup> ）

※1 Huangfu & Atkinson (2020): Long-term exposure to NO2 and O3 and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. 過年度調査で健康影響の専門家の先生よりご紹介いただいた論文である。

※2 米国環境保護庁で開発された便益評価システム

※3 オゾン詳細リスク評価書、中西ら(2009)

### 7-3. 費用対効果、費用対便益の試算における前提条件、計算結果の見方に関する注意点

本章における費用対効果・費用対便益の計算においては、費用対効果の試算を行うことを優先したため、文献調査で入手できるデータを使って分析を行った。なお、データについては、すべてが最新データではなく、2010年までの対策費用等のデータ等を使って分析しているため、不確実性があることに留意が必要である。

また、3章の結論からも、オゾン生成についてはVOC律速からNOx律速に変化していることが示唆される状況であるが、その分布や影響は未だ明確ではないため、今回の計算結果には考慮していない。そのため、VOC排出削減を行うことにより、オゾンが低減する条件での結果である。実際は、VOC律速からNOx律速に変化してきていることが示唆されているため、仮にVOCを削減したとしても、

今回の計算結果で見込むほどのオゾンの低減効果や便益は見込めないことに留意する必要がある。以下、注意点について記述する。

### (1) オゾンの健康影響に関する疫学的知見

表 7-3 に示した通り、 $\beta$  (ozone) については Huangfu & Atkinson (2020) による最近のメタ解析で算出された値を用いている。この研究では、ピーク  $O_3$  指標 (オゾンシーズン (暖候期である 4 ~ 9 月) のオゾン平均濃度) を用いた場合には、オゾン暴露と全死亡の間に有意な関連性が示されたが、同じ  $O_3$  指標を用いても、既存の報告で多く示唆されていたオゾン暴露と呼吸器疾患による死亡との間の有意な関連性は示されなかった。また、オゾン暴露と死亡等の関連性に関する結果は、メタ解析の対象論文ごとの異質性が高いことが示されており、エビデンスの確実性については、中程度または低レベルであると評価されている。以上のことから、ここで設定した  $\beta$  (ozone) の値については、大きな不確実性があると考えられ、その値を用いて推定される死亡者数低減効果やその便益の値も、それに伴い、大きな不確実性があることに留意する必要がある。

### (2) 計算日、地域、季節、年代について

この計算は「2016 年、関東・近畿、暖候期 (4 ~ 9 月)」を対象としたものであり、VOC 排出削減によるオゾン低減効果が見込めるような条件下の結果である。過年度調査で示してきたように、地域的には、関東・近畿は他の地域に比べて VOC 律速寄りであるが、年代的には、近年 VOC 律速から  $NO_x$  律速が強まる傾向に変化してきているため、全国かつ直近年 (例えば 2023 年等) を対象とすれば、オゾン低減効果はこれより低くなる (したがって便益は小さくなる) と考えられる。

### (3) VOC と $NO_x$ の削減設定について

令和 5 年度調査の計算では、 $NO_x$  の値は固定し、VOC のみ削減した場合におけるオゾン濃度の変化を計算しているが、実環境ではもう一つの前駆物質である  $NO_x$  も同時に削減されることが多い。そのため、ここで算出されるオゾン濃度の低減効果が、実環境において現れる訳ではないことに留意する必要がある。具体的には、人口が多い地域においては、 $NO_x$  削減はオゾン濃度の増加につながるため、そうした地域では、オゾン濃度低減効果が計算結果より低くなる (したがって便益は小さくなる) と考えられる。

### (4) 対策費用について

対策費用については、文献より、VOC 1 トン削減するための費用として 32 万円を設定しているが、「蓋閉めによる密閉化」など 0 ~ 数千円程度で済む工程内の工夫から、「排ガス処理装置 (燃焼装置、吸着装置など) 導入」など数千万円 ~ 数億円程度要するエンドオブパイプ対策まで、対策費用には大きな幅があり、どの程度対策を行うかによって費用は変化する。仮に平均値として取り扱う場合でも、計算で用いた 2010 年までの対策費用より、近年の対策費用は上昇している可能性が高いと考えられる。

## 7-4. VOC 対策の費用対効果、費用対便益の試算結果

図 7-1 には VOC 10%削減によるオゾン濃度の低減量を、図 7-2 には、上式で推定した、死亡者数低減効果、コメ収量増収の地理分布推定結果を示した。また、表 7-4 には、各地方における死亡者

数低減効果、コメ増収量と便益の算出結果を示した。

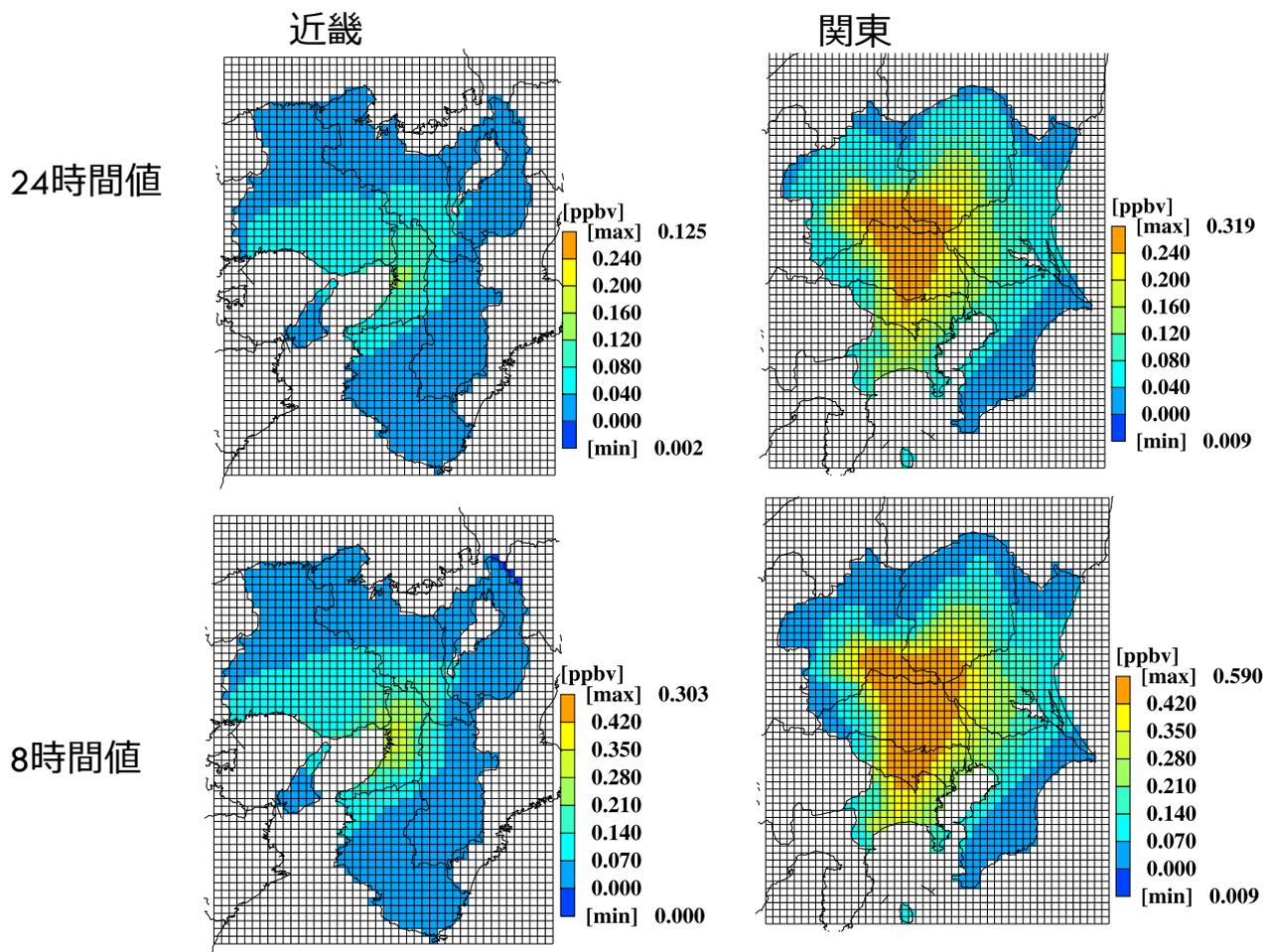


図 7-1 オゾン濃度低減量地理分布推定結果

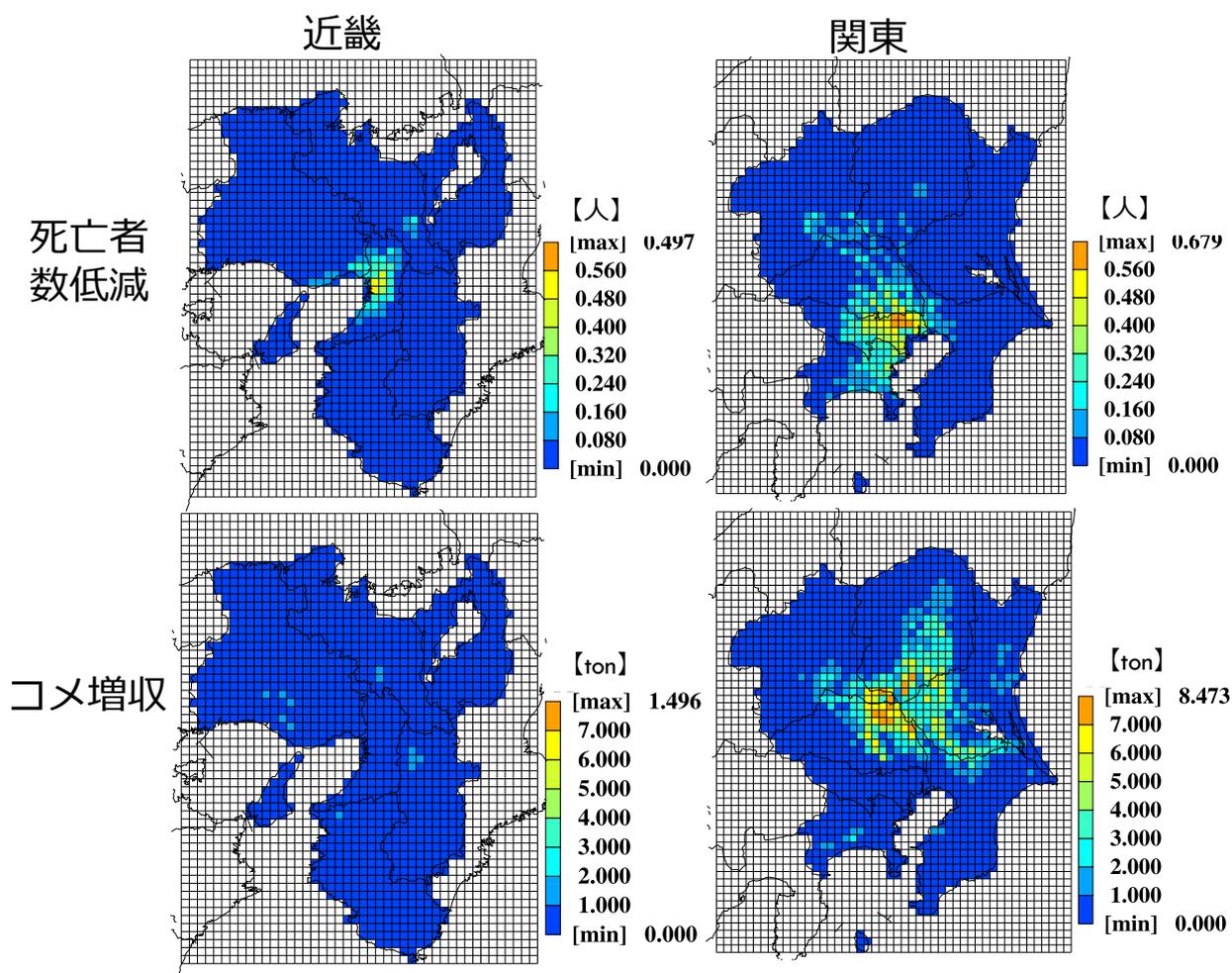


図 7-2 死亡者数低減効果、コメ収量増収地理分布の推定結果

表 7-4 各地方における死亡者数低減効果、コメ増収量と便益算出結果

評価項目	近畿	関東
死亡者数低減量 (人/年)	14.6	55.7
コメ増収量 (ton/年)	131	1,051
死亡者数低減便益 (億円/年)	58.4	223
コメ増収便益 (億円/年)	0.31	2.52
合計便益 (億円/年)	58.7	226

図 7-1 によると濃度低減量地理分は 24 時間値でも 8 時間値でも同様であり、関東>近畿であること、図 7-2、表 7-4 によると、死亡者数低減効果、コメ増収量、それらの金銭価値額（便益）とも関東>近畿であることがわかる。

VOC 排出削減の対策費用については、文献調査を行った結果 VOC 1 トン削減するための費用として 32 万円を要するというデータ※が得られたため、この値と表 7-2 の各地方における排出削減量の算出結果を用いて、各地方における VOC 排出削減対策費用を計算し、その結果を表 7-5 に示した。

※オゾン詳細リスク評価書参考資料、産総研安全科学研究部門 web ページ、  
[https://riss.aist.go.jp/wp-content/uploads/2021/07/20090915\\_0zone\\_appendix8.pdf](https://riss.aist.go.jp/wp-content/uploads/2021/07/20090915_0zone_appendix8.pdf)

表 7-5 各地方における排出削減対策費用の算出結果

排出削減対策費用	近畿	関東
	21億円	45億円

表 7-4 で示した各地方における死亡者数低減効果とその便益、コメ増収便益、合計便益の算出結果と表 7-5 で示した各地方における排出削減費用の算出結果に基づき、各地方における費用対便益、費用対効果を試算し、結果を表 7-6 に示した。

表 7-6 各地方における費用対便益、費用対効果の試算結果

評価項目	近畿	関東
便益（死亡者数低減）/費用比	2.8	5.0
便益（コメ増収）/費用比	0.015	0.056
合計便益（死亡者数低減+コメ増収）/費用比	2.8	5.0
死亡者数1人削減費用	1.4億円/人	0.81億円/人

※「7-3. 費用対効果、費用対便益の試算における前提条件、  
 計算結果の見方に関する注意点」に留意

表 7-6 によると、費用対便益は地域により異なり、費用対便益の試算値は関東で 5.0、近畿で 2.8 であることがわかる。これらの値は、昨年度の文献調査より得られた米国の過去の対策の範囲内であるが、日本の過去のほとんどの対策よりは大きい値であった。すなわち関東、近畿を対象にした VOC 排出削減対策は、過去我が国で行われた他の対策に比べて、費用対便益に優れるという結果が得られたことになる。しかし、 $\beta$  (ozone) の値をはじめ、今回の計算に用いた各パラメータの値には大きな不確実性があるため、今回の計算結果についても同様に、大きな不確実性を有するものであるということに注意する必要がある。

### 7-5. コロナ禍における大気汚染物質の影響についての文献調査

過年度調査のシミュレーションでは、前駆物質削減、特に NOx 削減によるオゾン濃度低減効果は正負を含めて大きな地域性があることを示してきた。一方で、実社会において、前駆物質の排出削減実験を行ってオゾン濃度の応答を見ることは、社会に多大な不便等をもたらすため、一般的には実現不可能であるが、昨今のコロナ禍では、社会活動を抑制せざるを得なくなり、それに伴い VOC や NOx 等の排出量が強制的に削減される状況となった。そこで本節では、実社会における前駆物質削減によるオゾン濃度の応答について把握する一助とするため、コロナ禍における大気汚染物質の影響に関する文献調査を行った。

対象文献は表 7-7 に示した方法で選定した 43 件に、第 2 回検討会において、金谷委員よりご紹介いただいた 2 つの文献を追加し、計 45 報とした。これらの対象文献を表 7-8 に示した。ここで、表 7-8 中の文献番号欄に記載の番号が付録の文献番号に対応している。5 ではじまる番号のものは化学工学からの引用文献、3 ではじまる番号のものは Google Scholar にて “Ozone”, “NOx”, “VOC”, “Sensitivity” をキーワードとして検索し、ヒットした文献の中から、COVID-19 について解析されているものとして選定したもの、「委員紹介」ではじまる番号のものは金谷委員から紹介いただいたものであることを示している。

表 7-7 コロナ禍における大気汚染物質の影響に関する対象文献の選定方法と選定された文献数

- 化学工学第86巻第9号の記事「COVID-19による世界的なロックダウンは大気汚染にどのように影響したか？」で引用されている文献（すべて）→4報
- Google Scholarにて“Ozone”, “NOx”, “VOC”, “Sensitivity”をキーワードとして検索しヒットした文献の中から、COVID-19について解析されているものを選定→39報

表 7-8 コロナ禍における大気汚染物質の影響に関する対象文献の選定結果

文献 番号※	筆頭著者	資料名タイトル	邦題
5-1-1 世界 1	M. Bauwens, et al., 2020	Impact of Coronavirus Outbreak on NO <sub>2</sub> Pollution Assessed Using TROPOMI and OMI Observations	TROPOMI 及び OMI 観測を用いた コロナウイルス感染症大流行の NO <sub>2</sub> 汚染への影響評価
5-1-2 欧州 1	Ordóñez C, et al., 2020	Early spring near-surface ozone in Europe during the COVID-19 shutdown: Meteorological effects outweigh emission changes.	COVID-19 閉鎖時のヨーロッパ早 春における地表オゾン：気象の 影響が排出量の変化を上回る
5-1-3 世界 2	Zander S. Venter, et al., 2020	COVID-19 lockdowns cause global air pollution declines	COVID-19 ロックダウンにより世 界の大気汚染が減少
5-1-4 欧州 2	Rochelle Schneider, et al., 2022	Differential impact of government lockdown policies on reducing air pollution levels and related mortality in Europe	欧州の大気汚染レベルと関連死 亡率の低減に関する政府のロッ クダウン政策影響の違い
3-46-2 日本 1	Yuki Okazaki, et al., 2021	Health Risk of Increased O <sub>3</sub> Concentration Based on Regional Emission Characteristics under the Unusual State of the COVID-19 Pandemic	COVID-19 パンデミックの異常な 状況下における地域の排出特性 に基づく O <sub>3</sub> 濃度上昇の健康リス ク
3-4-10 中国 1	Shanshan Liu, et al., 2021	Distinct Regimes of O <sub>3</sub> Response to COVID-19 Lockdown in China	中国における COVID-19 ロック ダウンに対する O <sub>3</sub> 反応の異なる レジーム
3-5-6 中国 2	Dan, Yang-bin, et al., 2021	The change of atmospheric ozone formation sensitivity in Fujian Province based on OMI satellite data during the period of COVID-19	COVID-19 流行時における OMI 衛 星データに基づく福建省の大気 オゾン生成感度の変化
3-5-7 中国 3	Shengqiang Zhu, et al., 2021	Comprehensive Insights Into O <sub>3</sub> Changes During the COVID-19 From O <sub>3</sub> Formation Regime and Atmospheric Oxidation Capacity	COVID-19 流行時の O <sub>3</sub> 生成レジ ームと大気酸化能による O <sub>3</sub> 変化に 関する包括的洞察
3-6-1	Yu Wang, et	Enhanced atmospheric	揚子江デルタにおける COVID-19

中国 4	al., 2021	oxidation capacity and associated ozone increases during COVID-19 lockdown in the Yangtze River Delta	ロックダウン時の大気酸化能の向上とそれに伴うオゾンの増加
3-7-3 中国 5	Mingjie Kang, et al., 2021	On the Relevancy of Observed Ozone Increase during COVID-19 Lockdown to Summertime Ozone and PM2.5 Control Policies in China	COVID-19 ロックダウン期間に観測されたオゾンの増加と中国における夏季のオゾン及び PM2.5 制御政策との関連性について
3-13-6 中国 6	Hao Yin, et al., 2021	Opposite impact of emission reduction during the COVID-19 lockdown period on the surface concentrations of PM <sub>2.5</sub> and O <sub>3</sub> in Wuhan, China	COVID-19 ロックダウン期間中の排出削減が中国武漢の PM <sub>2.5</sub> と O <sub>3</sub> の地表濃度に与える相反する影響
3-17-5 中国 7	Chuanhua Ren, et al., 2021	Nonlinear response of nitrate to NO <sub>x</sub> reduction in China during the COVID-19 pandemic	COVID-19 パンデミック時の中国における NO <sub>x</sub> 削減に対する硝酸塩の非線形応答
3-17-10 中国 8	Nan Wang, et al., 2021	Air Quality During COVID-19 Lockdown in the Yangtze River Delta and the Pearl River Delta: Two Different Responsive Mechanisms to Emission Reductions in China	長江デルタと珠江デルタにおける COVID-19 ロックダウン時の大気質：中国における排出削減への 2 つの異なる応答メカニズム
3-23-5 中国 9	Shuang Fu, et al., 2021	Ozone pollution mitigation in Guangxi (south China) driven by meteorology and anthropogenic emissions during the COVID-19 lockdown	COVID-19 ロックダウン時の気象と人為的排出による広西チワン族自治区(中国南部)のオゾン汚染の緩和
3-23-8 中国 10	Jipeng Qi, et al., 2021	An observation approach in evaluation of ozone production to precursor changes during the COVID-19 lockdown	COVID-19 ロックダウン時の前駆物質変化に対するオゾン生成の評価における観測アプローチ
3-27-3 中国 11	Shengqiang Zhu, et al., 2020	The seesaw impacts between reduced emissions and enhanced AOC on O <sub>3</sub> during the COVID-19	COVID-19 中の O <sub>3</sub> に対する排出量削減と AOC 向上の間のシーソー・インパクト
3-43-10	Kun Zhang, et al., 2022	Insights into the significant increase in ozone during	中国の典型的な都市における COVID-19 流行時のオゾンの著し

中国 12		COVID-19 in a typical urban city of China	い増加に関する洞察
3-46-4 中国 13	Lei Tong, et al., 2022	Surface ozone changes during the COVID-19 outbreak in China: An insight into the pollution characteristics and formation regimes of ozone in the cold season	中国の COVID-19 流行時における地表オゾンの変化：寒冷期におけるオゾンの汚染特性と生成レジームに関する洞察
3-49-6 中国 14	Rui Li, et al., 2023	Elucidating the mechanisms of rapid O <sub>3</sub> increase in North China Plain during COVID-19 lockdown period	COVID-19 ロックダウン期間中の華北平原における O <sub>3</sub> の急激な増加メカニズムの解明
3-50-4 中国 15	Rui Li, et al., 2023 ※3-49-6 と殆ど同じ内容	The impact of COVID-19 lockdown on ozone budget and radical chemistry in a typical industrial city of China	COVID-19 ロックダウンが中国の典型的な工業都市におけるオゾン収支とラジカル化学に与える影響
3-55-9 中国 16	Bingqing Lu, et al., 2023	Unraveling the O <sub>3</sub> -NO <sub>x</sub> -VOCs relationships induced by anomalous ozone in industrial regions during COVID-19 in Shanghai	上海の COVID-19 下における工業地域の異常なオゾンが引き起こす O <sub>3</sub> -NO <sub>x</sub> -VOC 関係の解明
3-59-3 中国 17	Elly Arukulem Yaluk, et al., 2023	Changes in first- and second-order sensitivities of ozone concentration to its precursors over the Yangtze River Delta region of China due to COVID-19 lockdown: Insights from CMAQ-HDDM modeling study	COVID-19 ロックダウンによる中国長江デルタ地域におけるオゾン濃度の前駆物質に対する一次及び二次感度の変化：CMAQ-HDDM モデリング研究からの洞察
3-2-10 インド 1	A. Rathod, et al., 2023	Anomalous behaviour of ozone under COVID-19 and explicit diagnosis of O <sub>3</sub> -NO <sub>x</sub> -VOCs mechanism	COVID-19 の下でのオゾンの変則的な挙動と O <sub>3</sub> -NO <sub>x</sub> -VOC メカニズムの明示的診断
3-7-4 インド 2	Nikhil Korhale, et al., 2020	Disparity in ozone trends under COVID-19 lockdown in a closely located coastal and hilly metropolis of India	インドの近隣に位置する大都市間(沿岸と丘陵)における COVID-19 ロックダウン下でのオゾントレンドの相違
3-23-6	Meghna Soni, et	Impact of COVID-19 lockdown	光化学ボックスモデリングに基

インド 3	al., 2020	on surface ozone build-up at an urban site in western India based on photochemical box modelling	づくインド西部の都市部における COVID-19 ロックダウンの地表オゾン増加への影響
3-27-4 インド 4	Arindam Datta, et al., 2021	Did the COVID-19 lockdown in Delhi and Kolkata improve the ambient air quality of the two cities?	デリーとコルカタでの COVID-19 ロックダウンは、両都市の大気質を改善したのか？
3-31-4 インド 5	Fei Ye, et al., 2022	Integrated process analysis retrieval of changes in ground-level ozone and fine particulate matter during the COVID-19 outbreak in the coastal city of Kannur, India	インドの沿岸都市カヌールにおける COVID-19 流行時の地表オゾン及び微小粒子状物質の変化に関する統合プロセス解析リターン
3-33-10 インド 6	D. Meidan, et al., 2022	Nocturnal Atmospheric Oxidative Processes in the Indo-Gangetic Plain and Their Variation During the COVID-19 Lockdowns	インド・ガンジス平野における夜間の大気酸化プロセスとそれらの COVID-19 ロックダウン時の変化
3-37-3 インド 7	Sujit Das, et al., 2022	Trends in Summer-Time Tropospheric Ozone during COVID-19 Lockdown in Indian Cities Might Forecast a Higher Future Risk	インドの都市における COVID-19 ロックダウン時の夏季対流圏オゾンのトレンドは、将来のより高いリスクを予見する可能性がある
3-48-8 インド 8	Latha R, et al., 2023	On the transition of major pollutant and O <sub>3</sub> production regime during Covid-19 lockdowns	Covid-19 ロックダウン時の主要な汚染物質と O <sub>3</sub> 生成レジームの移行について
3-60-10 インド 9	Behrooz Roozitalab, et al., 2022	Elucidating the impacts of COVID-19 lockdown on air quality and ozone chemical characteristics in India	インドにおける COVID-19 ロックダウンが大気質とオゾン化学特性に及ぼす影響の解明
3-37-9 東アジア 1	Masoud Ghahremanloo, et al., 2021	Impact of the COVID-19 outbreak on air pollution levels in East Asia	COVID-19 アウトブレイクによる東アジアの大気汚染レベルへの影響
3-42-9 欧州 3	Chenyue Zhang, et al., 2022	Characteristic changes of ozone and its precursors in London during COVID-19	COVID-19 ロックダウン時のロンドンにおけるオゾンとその前駆物質の特徴的な変化とオゾン急

		lockdown and the ozone surge reason analysis	増の原因分析
3-9-10 欧州 4	Vigneshkumar Balamurugan, et al., 2021	Tropospheric NO <sub>2</sub> and O <sub>3</sub> Response to COVID-19 Lockdown Restrictions at the National and Urban Scales in Germany	ドイツの全国及び都市規模での COVID-19 ロックダウン規制に対する対流圏 NO <sub>2</sub> 及び O <sub>3</sub> の応答
3-16-1 欧州 5	Stuart K. Grange, et al., 2021	COVID-19 lockdowns highlight a risk of increasing ozone pollution in European urban areas	COVID-19 によるロックダウンはヨーロッパの都市部におけるオゾン汚染を増加させるリスクを強調する
3-26-6 米国 1	Li, M. et al., 2020	Ozone Changes Over the United States Due to COVID-19	COVID-19 による米国のオゾンの変化
3-42-8 米国 2	Daniel A. Jaffe, et al., 2022	NO <sub>x</sub> and O <sub>3</sub> Trends at U.S. Non-Attainment Areas for 1995-2020: Influence of COVID-19 Reductions and Wildland Fires on Policy-Relevant Concentrations	1995-2020 年の米国の汚染基準未達成地域における NO <sub>x</sub> 及び O <sub>3</sub> のトレンド: COVID-19 による減少と森林火災が政策関連濃度に与える影響
3-49-10 米国 3	Lynsey Karen Parker, et al., 2022	Ozone Trends and the Ability of Models to Reproduce the 2020 Ozone Concentrations in the South Coast Air Basin in Southern California under the COVID-19 Restrictions	COVID-19 規制下における南カリフォルニア・サウスコースト大気盆地のオゾン動向及びモデルが 2020 年オゾン濃度を再現する能力
3-28-6 米国 4	Patrick C. Campbell, et al., 2021	Impacts of the COVID-19 economic slowdown on ozone pollution in the U.S.	COVID-19 による経済減速が米国のオゾン汚染に与える影響
3-1-3 中南米 1	Oscar Peralta, et al., 2021	Ozone over Mexico City during the COVID-19 pandemic	COVID-19 パンデミック時におけるメキシコシティのオゾン
3-51-5 中南米 2	Rodrigo J. Seguel, et al., 2022	Photochemical sensitivity to emissions and local meteorology in Bogota, Santiago, and Sa~o Paulo: An analysis of the initial COVID-19 lockdowns	ボゴタ、サンティアゴ、及びサンパウロにおける排出ガスと局所気象に対する光化学感度: COVID-19 の初期ロックダウンの分析
3-26-1 世界 3	Franck Fu, et al., 2020	Impact of the COVID-19 Pandemic Lockdown on Air	COVID-19 パンデミック時のロックダウンが世界の主要 20 都市

		Pollution in 20 Major Cities around the World	の大気汚染に与えた影響
3-28-4 世界 4	Benjamin Gaubert, et al., 2021	Global Changes in Secondary Atmospheric Pollutants During the 2020 COVID-19 Pandemic	2020 年の COVID-19 パンデミック時の大気二次汚染物質の地球規模での変化
委員紹介 1 世界 5	Kazuyuki Miyazaki, et al., 2021	Global tropospheric ozone responses to reduced NOx emissions linked to the COVID-19 worldwide lockdowns	新型コロナウイルス感染症による世界的なロックダウンに関連した NOx 排出量の減少に対する世界的な対流圏オゾンの反応
委員紹介 2 世界 6	Takashi Sekiya, et al., 2023	The worldwide COVID-19 lockdown impacts on global secondary inorganic aerosols and radiative budget	新型コロナウイルス感染症による世界的なロックダウンは、世界的な二次無機エアロゾルと放射予算に影響を与える

※文献番号欄に記載のものが付録の文献番号に対応している。5 ではじまる番号のものは化学工学からの引用文献、3 ではじまる番号のものは Google Scholar にて“Ozone”, “NOx”, “VOC”, “Sensitivity” をキーワードとして検索し、ヒットした文献の中から、COVID-19 について解析されているものとして選定したもの、「委員紹介」ではじまる番号のものは金谷委員から紹介いただいたものであることを示す。また対象地域ごとの番号も併記している。

表 7-8 に示した通り、世界の各国・地域でコロナ禍における大気汚染物質の影響に関する報告例があった（計 45、内訳は全球 2、世界 4、中国 17、インド 9、欧州 5、北米 4、中南米 2、東アジア 1、日本 1）。これら、全 45 報について概要やその日本語訳等を巻末添付資料 2 に示した。

表 7-9 には、45 報の論文から国・地域ごとに主要な論文をピックアップし、各論文で得られている主な解析結果を示した。

表 7-9 コロナ禍における大気汚染物質の影響に関する主要論文 8 報の主な解析結果

文献番号※	筆頭著者	対象地域	主な結果
委員紹介 1	Kazuyuki Miyazaki, et al., 2021	世界（全球）	2020 年 4～5 月に人為起源 NO <sub>x</sub> は 15%以上減少し、自由対流圏の O <sub>3</sub> 濃度は最大 5 ppb 減少した。全球の対流圏オゾン負荷量は 2020 年 5～6 月に 6TgO <sub>3</sub> （約 2%）減少した。高いオゾン生成効率を有するアジアとアメリカでの NO <sub>x</sub> 排出削減が効いたものと思われる。
5-1-3	Zander S. Venter, et al., 2020	世界（各地）	気象変動の影響を取り除いたうえで、世界的なロックダウンにより、34 か国の人口加重平均濃度として NO <sub>2</sub> が 60%、粒子状物質が 31%減少したが、O <sub>3</sub> 濃度は 4%の増加が認められた。
5-1-2	Ordóñez C, et al., 2020	ヨーロッパ	2020 年 3～5 月の欧州大気質データベースを分析したところ、日最大 NO <sub>2</sub> 濃度は 80%のサイトで 5～55%の範囲で減少した。日最大 8 時間平均オゾン濃度 (MDA8-03) は、イベリア半島では減少し、他の場所では増加した（北西～中央ヨーロッパの都市部バックグラウンドステーションで 10～22%増加）。この O <sub>3</sub> 増加は、気温の上昇、相対湿度の低下、日射量の上昇と関連していた。
3-46-2	Yuki Okazaki, et al., 2021	日本（大阪市）	大阪市内を対象に、2020 年の緊急事態宣言期間における NO <sub>2</sub> 、VOC、O <sub>3</sub> 濃度を推定したところ、前年比で交通量が 26～28%減少し、大阪市内の 89%のグリッドで NO <sub>2</sub> が平均 0.962ppb 減少したが、O <sub>3</sub> 濃度は平均 1.0ppb 増加した。
3-46-4	Lei Tong, et al., 2022	中国	2020 年 1～4 月のロックダウン期間に、中国の全国規模では NO <sub>2</sub> は 54%減少したが、O <sub>3</sub> の日最大 8 時間平均濃度は 39%増加した。O <sub>3</sub> レベルは北部と中部地域で増加し、南部地域では減少した。一般的に、NO <sub>x</sub> レベルの空間的な違いが、場所特有の冬季における O <sub>3</sub> 生成レジームを規定していた。
3-37-3	Sujit Das, et al., 2022	インド	インド全域で大気汚染度が高い 30 都市につき分析した。2020 年 1～3 月（ロックダウン前）に比べて 3～5 月（ロックダウン中）の対流圏オゾン濃度が 19 都市で上昇した。NO <sub>x</sub> 減少によるタイトレーション低下が O <sub>3</sub> 上昇を引き起こ

			すことが知られているが、その他の要因 (VOC 濃度、反応性、オキシダント濃度、気象条件、季節変動) にもかなり依存する。
3-42-8 米国 2	Daniel A. Jaffe, et al., 2022	アメリカ	1995～2020 年にかけて米国内の汚染基準未達成地域 (NAA) 32 か所の NO <sub>x</sub> と O <sub>3</sub> のトレンドを分析した。長期的には NO <sub>x</sub> は着実に減少し、多くの NAA は NO <sub>x</sub> 律速に移行している。東部 NAA は O <sub>3</sub> 基準 (70ppb) 達成に向けて前進しているが、中西部と西部の NAA は 2010 年ごろから O <sub>3</sub> ピーク濃度が改善していない。コロナ禍の規制により NO <sub>x</sub> は大幅に減少したが、O <sub>3</sub> 濃度について、東部 NAA は大幅に減少、中西部は増・減が混在、西部は大幅に上昇した。西部 NAA の O <sub>3</sub> 増加は、広範囲の原野火災の影響を受けている。
3-51-5 中南米 2	Rodrigo J. Seguel, et al., 2022	中南米	2020 年のロックダウン期間におけるボゴタ (コロンビア)、サンティアゴ (チリ)、サンパウロ (ブラジル) の 3 都市の大気の変化を分析した。VOC、NO <sub>x</sub> 、PM <sub>2.5</sub> は大幅に減少した。大気中の NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> 比が増加し、レジームがシフトしたことを示した。8 時間平均最大オゾン濃度は 3 都市で 56～90% 増加し、一般化加法モデルによる分析結果は、これが主に排出量の変化によって引き起こされたことを示している。

※文献番号欄に記載のものが付録の文献番号に対応している。5 ではじまる番号のものは化学工学からの引用文献、3 ではじまる番号のものは Google Scholar にて“Ozone”, “NO<sub>x</sub>”, “VOC”, “Sensitivity” をキーワードとして検索し、ヒットした文献の中から、COVID-19 について解析されているものとして選定したもの、「委員紹介」ではじまる番号のものは金谷委員から紹介いただいたものであることを示す。また対象地域ごとの番号も併記している。

表 7-9 によると、以下のように総括することが可能である。

- ・コロナ禍の影響で、前駆物質である NO<sub>x</sub> や VOC の大気中濃度は世界的に減少した。
- ・一方、オゾン濃度は全球平均では減少したものの、世界の各都市で増加したという報告も見られる。
- ・ロックダウン期が 2020 年の冬季～春季であったことから、ロックダウン前後のオゾンの濃度変化には気象条件の影響もあるが、気象変動の影響を取り除いても、世界 34 か国の人口加重平均濃度としてオゾン濃度は 4 % の増加が認められる。

このように、過年度調査のシミュレーションで明らかにしてきた、前駆物質削減、特に NO<sub>x</sub> 削減によるオゾン濃度低減効果の正負を含めた地域性は、現実の場でも確認されたことになる。

## 7-6. 本章における調査のまとめと今後の課題

本章では、我が国における VOC 排出削減対策の費用対効果、費用対便益を試算し、結果は関東で 5.0、近畿で 2.8 となった。これらの値は、昨年度の文献調査より得られた米国の過去の対策の範囲内であるが、日本の過去のほとんどの対策よりは大きい値であった。しかし、上記の計算に用いた各パラメータの値には大きな不確実性があるため、計算結果についても同様に、大きな不確実性を有するものであるということに注意する必要がある。また、コロナ禍における大気汚染物質の影響に関する文献調査により、過年度調査のシミュレーションで明らかにしてき、前駆物質削減、特に NOx 削減によるオゾン濃度低減効果の正負を含めた地域性は、実社会においても確認された。

費用対便益の推計に関する今後の課題としては以下が挙げられる。

- ・オゾン濃度低減効果推定に大きな影響を与える BVOC 設定を精緻化したうえで、費用対便益の再計算を実施する必要がある。
- ・計算結果は、不確実性の幅を考慮して提示する必要がある。特に、疫学調査から導出される用量反応関係（ $\beta$  値）の不確実性は必ず考慮すべきである。
- ・将来の VOC 削減対策やそれに要する費用を明らかにする上で有益な情報が得られると考えられるため、今後は、VOC 排出削減の進捗等と便益／費用の関係を分析することが必要と考えられる。

## 8 調査結果（VOC 自主的取組についての今後の広報についての課題・検討）

### 8-1. 本章における調査の目的

VOC 自主的取組への参加企業を増やしていくため、排出量や業種別の参加率などを参考にしつつ、今後の広報についての現状の把握と課題の整理（優先的に広報の対象とすべき業種の選定や自主的取組への参加可否、VOC 対策に関する業界の取組状況の把握、広報手段の検討等）を行う。

### 8-2. 調査方法

優先的に広報の対象とすべき業種を選定後、2～3分野に対してヒアリングを実施する。その結果を踏まえ、優先的に広報の対象とすべき業種に対して、VOC 自主的取組についての簡単な広報を実施する。優先的に広報の対象とすべき業種の選定については、「揮発性有機化合物（VOC）排出抑制に係る自主的取組の促進に関する調査（平成 20 年度）」、「揮発性有機化合物（VOC）排出抑制に係る実践的自主的取組支援方策に関する調査（平成 21 年度）」（いずれも経済産業省環境指導室（当時）、請負先＝当協会）における、「未参加構造調査」の手法を参考とする。広報資料については、既存の広報資料を俯瞰的に整理し、詳細情報は個別リンクを介して紹介するような資料の作成を想定する。

本節の調査を進めるに当たっては、経済産業省環境管理推進室と事前に相談及び調整しながら進める。

### 8-3. 調査結果

#### （1）優先的に広報の対象とする分野の選定

VOC 自主的取組で広報・啓発対象を抽出し、より多くの事業者の参加を促す試みは、経済産業省において過去の調査でも行われている。例えば、平成 20 年度と平成 21 年度に実施した上述の調査では、「未参加構造調査」と名付けて、広報・啓発の対象とする業種を割り出している。

この「未参加構造調査」の結果の一例を図 8-1 に示す。

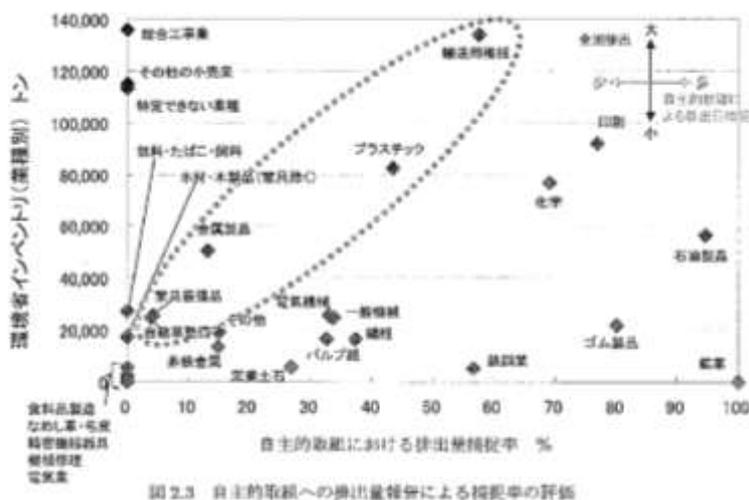


図 8-1 経済産業省の過去の調査における未参加構造調査の例（平成 20 年度）

図 8-1 の横軸の「補足率」は、環境省の「VOC 排出インベントリ」における業種別排出量に対して、経済産業省がとりまとめる VOC 自主的取組における業種別排出量が、どの程度の割合を占めるかを以

下の式で求めたものである。

$$\text{自主的取組における排出量捕捉率} = \frac{\Sigma (\text{業界団体の当該業種分の自主的取組排出量報告値 (配分値)})}{\text{当該業種の VOC インベントリ排出量}}$$

なお、「業界団体の当該業種分の自主的取組排出量報告値（配分値）」とは、業界団体単位で報告された排出量を、その業界の業種分類別に分けた上で、同一業種の排出量を合算したものである。例えば、電気・電子4団体は、平成20年当時は業種分類が「電気機械器具製造業」と「一般機械器具製造業」の2つとなっていたため、まず電気・電子4団体の報告排出量を2つに等配分した（何らかの指標に基づいて業種別の配分割合を決定する方法が無かったため便宜的に2等分している）。その他に「電気機械器具製造業」や「一般機械器具製造業」に分類される団体があれば、同様に業界団体の報告排出量を業種の数に等配分した上で、それぞれ業種別に足し合わせた。例えば、「化学工業」の業種では、日本塗料工業会、日本化学工業協会、日本表面処理機材工業会、日本接着剤工業会、印刷インキ工業会の団体ごとの排出量を、その団体の「化学工業」に配分した上で足し上げたものである。

このように整理すると、図8-1において、プロットが左上のエリアにある業種（経済産業省の自主的取組での捕捉率が低く、環境省インベントリの値が高い）ほど、自主的取組による排出量について、未把握の割合が大きく、VOC排出量としては大きいと推計されている業種ということになり、優先的に広報すべき対象となると考えられる。平成20年度の調査においては、その他の小売業や、特定できない業種を除き、図8-1において左上に近い点線で囲ったエリアの5業種（輸送用機械器具製造業、プラスチック製品製造業、金属製品製造業、家具・装備品製造業、自動車整備業）を、当時の普及啓発の対象候補として抽出している。

経済産業省ではVOC自主的取組のフォローアップ報告を行う産環小委において、近年は、各業界団体に主要業種を1つ対照させ、業種別の合計値について、環境省インベントリの業種別排出量と比較した資料を示している。例えば、電気・電子4団体は、電気機械器具製造業として整理している。

そこで、令和3年度のVOC自主的取組の報告値に対して、未参加構造調査を適用するにあたって、次の2つの方法を試みた。

- ①近年の経済産業省の産環小委資料のように、「主要業種1つ」だけによる分類を行った場合
- ②平成20年度調査のように、業界団体によっては複数業種に配分の上で業種別合計を行った場合

なお、②の配分方法を適用した5団体を表8-1に示す。表8-1にない業種は、①でも②でも、結果は変わらないことになる。

表 8-1 複数業種に配分を行った団体

団体名	業種名と配分方法
日本鉄鋼連盟	23 鉄鋼業、25 金属製品製造業の2つに等配分
電気・電子4団体	27 電気機械器具製造業、26 一般機械器具製造業の2つに等配分
日本建材・住宅設備産業協会	25 金属製品製造業、15 パルプ・紙・紙加工品製造業、22 窯業・土石製品製造業の3つに等配分
石油連盟	18 石油製品・石炭製品製造業、54 その他の卸売業、60 その他の小売業の3つに等配分
軽金属製品協会	24 非鉄金属製造業、25 金属製品製造業の2つに等配分

①、②の2つの方法で未参加構造調査を行った結果を図8-2、図8-3に示す。

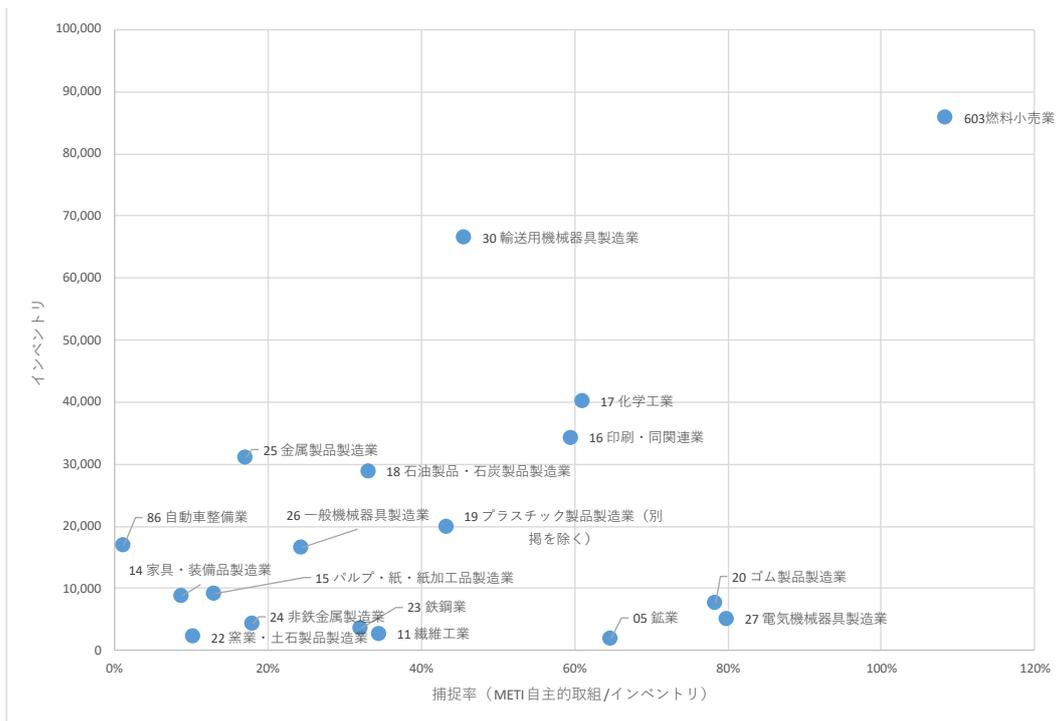


図 8-2 平成 20 年度の調査に準じて一部業界団体の排出量を複数業種に配分した場合

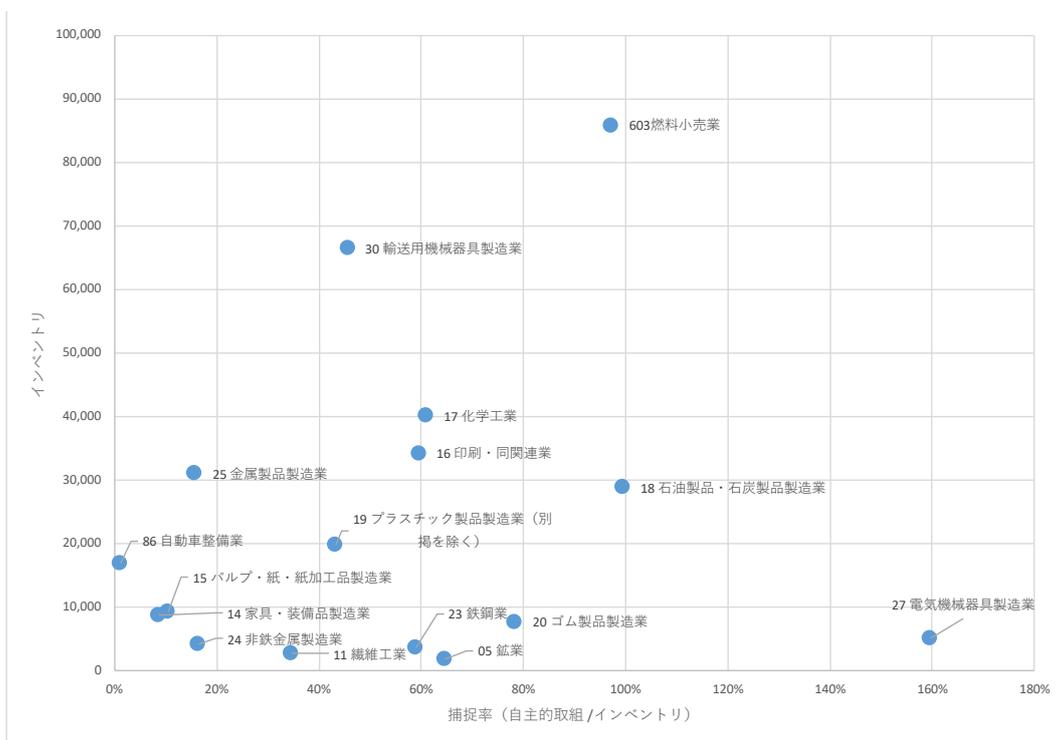


図 8-3 現在の産構審小委資料のように業界団体を主要業種 1 つで整理した場合

図 8-2、図 8-3 いずれにおいても、プロットが左上にあり、捕捉率が比較的低い業種としては、自動車整備業、金属製品製造業等が挙げられる。

「金属製品製造業」は、VOC 自主的取組に参加している団体が9団体（全国鍍金工業組合連合会、日本建材・住宅設備産業協会、ドラム缶工業会、軽金属製品協会、プレハブ建築協会、日本工業塗装協同組合連合会、日本金属ハウスウェア工業組合、日本金属洋食器工業組合、日本ガス石油機器工業会）あるが、環境省インベントリ調査に対する自主的取組の捕捉率は「金属製品製造業」の合計値として15～20%程度である。一方、「自動車整備業」は、VOC 自主的取組に参加している団体は1団体（日本自動車車体整備協同組合連合会）だけであり、環境省インベントリ調査に対する自主的取組の捕捉率は1%程度である。自動車整備業については、業界団体への加盟率が低く、大企業はなく、中小企業が全国に多数分布する業態と考えられる。

そのため、経済産業省と相談し、令和5年度調査の広報調査の対象としては、「金属製品製造業」を選択した。調査を行うにあたっては、経済産業省環境管理推進室から同省金属課経由で協力を仰ぎ、現在のVOC自主的取組への参加団体、未参加団体、未参加企業（未参加団体の会員企業）を対象に、まずアンケート調査を行い、続いて回答者の中から、業界団体にヒアリングを行った。「金属製品製造業」であれば、VOC自主的取組への参加団体と未参加団体の両方に調査ができるため、両者で何が異なるのか、参加／不参加を分けた条件は何か分かるのではないかと考えた。

## （2）アンケート及びヒアリングの実施

アンケートについては、当協会ホームページ上にアンケートサイトを浮島サイト（当協会のホームページのトップページからは辿れない）の形で設け、専用サイト上に

- ①Google Forms アンケート（オンラインアンケート）へのリンク
- ②Google Forms アンケートの回答方法（操作マニュアル）
- ③Word形式でのアンケート様式（ダウンロード用）
- ④Word形式でのアンケートの回答見本

を掲載した。

Google Formsによるアンケートは、回答結果が自動的に分析されるので便利であり、回答者も何度も一度送付した回答を上書き修正することが可能である。しかし、企業によっては、セキュリティ等の観点から、Google関連のサイトへのアクセスが制限されている場合もあるため、word様式をダウンロードし、回答を記入してメール（またはFAX）で回答する方法も用意した。

それぞれのアンケートの質問項目を表 8-2 に示す。

表 8-2 広報課題に関するアンケートの設問と選択肢

<p><b>Q1. VOCの自主的取組を知っていますか？</b></p> <p>①知っている ②言葉は聞いたことがあるが、内容は知らない。 ③知らない</p>
<p><b>Q2. VOCの自主的取組への参加を検討したことがありますか？</b></p> <p>①検討したことがある ②検討したことはない。</p>
<p><b>Q3. 経済産業省が取りまとめるVOC自主的取組への参加に至らない理由において、広報の観点で障害となっている事項がありましたら教えてください（複数回答可）</b></p> <p>①VOCの自主的取組に全く関心がない、または関心が低い。（理由：自由記載） ②VOCに関心がないわけではないが、どこに相談すればいいかわからない。</p>

<p>③VOC 自主的取組支援ボードという相談できるところがあることは知っているが、相談には至っていない。  (理由：(例) 東京までいけない、どういう支援をしてもらえるかわからないので連絡しにくい、無料であることを知らなかった、など。)</p> <p>④VOC に関心がないわけではないが、どうすれば必要な情報が手に入るのかわからない。</p> <p>⑤VOC について検索したが、経産省、環境省の VOC 対策の HP、審議会、セミナー、パンフレット、等 VOC についての情報が載っているところには、欲しい情報がなかった。  (欲しかった情報は何か：他社の成功事例、投資コスト、投資回収に要した期間、削減方法についてのもっと詳しい情報、取組を進めるための社内調整の仕方、その他 (自由記載))</p> <p>⑥VOC について情報を集め、団体内で検討したことはあるが、参加には至らなかった。(参加に至らなかった理由：自由記載)</p> <p>⑦その他 ( )</p>
<p><b>Q4. 貴団体 (貴社) で VOC 自主的取組について、以下の情報のうち、(利用・閲覧したことがある/自主的取組への参加を後押しする契機となった有益な情報) 情報はどれですか？教えて下さい (複数回答可)</b></p> <p>①経済産業省の VOC 施策担当部署 (環境管理推進室 (旧・環境管理室)) または原課からのメール等</p> <p>②経済産業省の審議会への委員参加、傍聴、ホームページ情報等</p> <p>③環境省の審議会への委員参加、傍聴、ホームページ情報等</p> <p>④経済産業省の VOC 対策のホームページ</p> <p>⑤環境省の VOC 対策のホームページ</p> <p>⑥経済産業省、経済産業局等のセミナー</p> <p>⑦先行して自主的取組に参加している団体からの情報入手</p> <p>⑧各種団体のホームページ、パンフレット、セミナー等 (→具体的に)</p> <p>⑨その他 ( )</p>
<p><b>Q5. 貴団体 (貴社) では、(VOC に限らず) 環境に関する規制、対策、動向等について、普段、ように情報収集を図っていますか？</b></p> <p>①法規制情報提供などの有料サービス</p> <p>②インターネットによるキーワード検索</p> <p>③国の審議会情報、法改正情報</p> <p>④自治体のホームページ (→何県?)</p> <p>⑤メールマガジン (→名称またはどこのメルマガか?)</p> <p>⑥新聞 (→新聞名?)</p> <p>⑦雑誌 (→雑誌根名?)</p> <p>⑧商工会議所、商工会</p> <p>⑨国や自治体からの情報提供 (電子メールや郵便物)</p> <p>⑩その他 ( )</p> <p>⑪情報収集は、団体としては行っていない (各社に任せている)。(⑪は団体のみへの選択肢)</p>
<p><b>Q6. 貴団体では、Q5 で収集した環境規制等の情報を、どのような形で会員企業に提供していますか？ (複数回答可) (団体のみに対する設問)</b></p> <p>①メールマガジン</p> <p>②ホームページへの掲載</p> <p>③団体の雑誌、リーフレットなど</p> <p>④環境委員会等の会合の場での周知</p> <p>⑤会員向けの研修会、セミナー等</p> <p>⑥その他 ( )</p>
<p><b>Q7. ご意見・ご提案・ご要望</b></p> <p>我が国では、有害大気汚染物質、揮発性有機化合物 (VOC)、水銀について、自主的取組が行われています。このような法規制ではない施策手法が、より効果的 (周知・広報、多数の参加、負担の公平性、必要な情報の共有、効率的な対策の推進等) に実施されるようにするためには、どのようなことが必要と思いますか？ (広報の障害事項を解消するための方策、また効果的な広報の方法について、ご意見、ご提案がございましたらぜひお書きください (VOC について社会的な関心をもっと高まる、支援制度の充実、セミナーなどが近くで開催される、等)。それ以外のことで結構です)</p>

アンケートは令和6年1月10日に配布し、令和6年1月31日を締切として回収した。団体・企業より計9件の回答を得た。以下に分析結果を示す。

① VOC 自主的取組の認知と参加検討の有無、広報上の障害事項

まず、自主的取組の認知と参加検討の有無、自主的取組に参加できていないことに関する広報上の障害事項について聞いた結果を表 8-3 に示す。

表 8-3 自主的取組の認知と参加検討の有無、広報上の障害事項に関する選択肢回答

	整理番号								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q1. VOC の自主的取組を知っていますか？									
①知っている		●		●	/	/	/	/	/
②言葉は聞いたことがあるが、内容は知らない。	●		●		/	/	/	/	/
③知らない					/	/	/	/	/
Q2. VOC の自主的取組への参加を検討したことがありますか？									
①検討したことがある					/	/	/	/	/
②検討したことはない。	●	●	●	●	/	/	/	/	/
Q3. 経済産業省が取りまとめる VOC 自主的取組への参加に至らない理由において、広報の観点で障害となっている事項がありましたら教えてください（複数回答可）									
①VOC の自主的取組に全く関心がない、または関心が低い。（理由：自由記載）					/	/	/	/	/
②VOC に関心がないわけではないが、どこに相談すればいいのかわからない。	●		●		/	/	/	/	/
③VOC 自主的取組支援ボードという相談できる場所があることは知っているが、相談には至っていない。 （理由：（例）東京までいけない、どういう支援をしてもらえるかわからないので連絡しにくい、無料であることを知らなかった、など。）		●			/	/	/	/	/
④VOC に関心がないわけではないが、どうすれば必要な情報が手に入るのかわからない。			●		/	/	/	/	/
⑤VOC について検索したが、経産省、環境省の VOC 対策の HP、審議会、セミナー、パンフレット、等 VOC についての情報が載っているところには、欲しい情報がなかった。 （欲しかった情報は何か：他社の成功事例、投資コスト、投資回収に要した期間、削減方法についてのもっと詳しい情報、取組を進めるための社内調整の仕方、その他（自由記載））					/	/	/	/	/
⑥VOC について情報を集め、団体内（社内）で検討したことはあるが、参加には至らなかった。 （参加に至らなかった理由：自由記載）				●	/	/	/	/	/
⑦その他（ ）					/	/	/	/	/

Q1の「自主的取組を知っているか？」については、全く知らない、という回答は無かったが、Q2では参加を検討したことがある団体・企業は無かった。

Q3の「自主的取組参加の障害となった広報の観点での障害事項」については、回答にばらつきがあるが、整理番号4のように、情報を集めて社内検討をしたが参加に至らなかった、という回答以外は、どこに相談すれば良いか、どこから情報を得れば良いか分からなかった、という回答が多い。選択肢⑤の、個々の技術、コスト、事例等の踏み込んだ具体的な手法等の点が障害になった訳ではなく、それ以前の段階で参加検討に至っていないことが窺われる。

なお、Q3の選択肢③については、若干回答の設計が曖昧であった。実際には、以下の3つのケースがあることが考えられるからである。ケース2とケース3を区別できる選択肢になっていなかった。

(ケース1) VOC 自主的取組支援ボードという相談できる場所があることは知っているが、相談には至っていない。

(ケース2) VOC 自主的取組支援ボードという相談できる場所があることは知っており、実際に相談を行ったことがある。

(ケース3) VOC 自主的取組支援ボードを知らなかったため、相談には至っていない。

整理番号2のQ3の選択肢③では、補足として、「団体としては自主的取組をやっておらず、個々の会員企業でやっている」という回答があった。自主的取組は、中環審大気環境部会の意見具申（平成16年2月3日）において、「情報公開性と検証性を担保することが望ましい」とされているが、十分に浸透しているように思われない。自主的取組には、認識不足の課題に関する2つがあると思われる。

(課題1) 上記の補足回答のように、VOC 対策を個社個別に実施していれば、それが自主的取組であるという誤解が生じ得る（対策しているが、公開や報告を行わないケース）。さらに、個社がVOCへの取組をホームページや年度報告書で公表している場合、「情報公開性と検証性」が担保されていると言えなくもない（経済産業省に報告する、ということが規定されていない）。

(課題2) 自主的取組は、業界団体が間に入って取りまとめることが望ましい（＝守秘性と情報公開性の両立）ということが認知されていないケースがある。また、業界団体が、VOC のフォローアップの事務負担を負えない場合には、参加できない。

## ② VOC 自主的取組に関連した情報の利用状況

VOC 自主的取組に関する情報源について、利用したことがあるか、または自主的取組参加の後押しとなった有益な情報はどれだったかという設問で、同一の選択肢で聞いた。取りまとめたものを表8-4に示す。

表 8-4 利用したことがある情報、または自主的取組参加の契機となった情報

	整理番号								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q4. VOC 自主的取組について、以下の情報のうち、利用・閲覧したことがある情報（または自主的取組参加の後押しとなった有益な情報）はどれですか？教えてください（複数回答可）									
①経済産業省のVOC施策担当部署（環境管理推進室（旧・環境管理室））または原課からのメール等		●				●	●	●	
②経済産業省の審議会への委員参加、傍聴、ホームページ情報等					●	●			
③環境省の審議会への委員参加、傍聴、ホームページ情報等						●			
④経済産業省のVOC対策のホームページ		●				●			●
⑤経済産業省、経済産業局等のセミナー									
⑥先行して自主的取組に参加している団体からの情報入手			●		●	●			
⑦各種団体のホームページ、パンフレット、セミナー等（※補足設問欄にご記入ください）				●					
⑧その他	●								

整理番号6のように、おそらく法規制検討時（平成16～17年度ごろ）の国の審議会の委員会等に参画していた団体もある一方、よく利用されている情報や、自主的取組参加の決定打となった情報を識別できるほどの回答とはなっていない。

整理番号1の⑧その他では、記述として、「業界団体としての（VOCに関する）情報収集は近年行っていない。」となっている。

### ③ 環境に関する規制、対策、動向等の情報収集状況、団体から会員企業への情報提供の状況

表8-5より、VOC施策に限らず、環境規制、技術、動向に関する情報収集は、様々な方法があり、回答もばらつきがある。比較的良好に使われているのは、②インターネットによるキーワード検索、③国の審議会情報、法改正情報、⑨国や自治体からの情報提供（電子メールや郵便物）であった。また、⑤メールマガジンは、一般的な商業向けのメールマガジンも含まれるため、ここでは利用されていないような回答となっている可能性があり、経済産業省や環境省等のメールマガジンは、⑨に含まれている可能性がある。

⑥新聞、⑦雑誌は、環境に特化した、または業界に特化した媒体であれば、法改正等の制度が変更になるタイミングで記事が掲載されると思われるが、インターネット検索によって、殆どの情報をタイムリーに得ることができ、国や審議会等の一次情報源を確認の方が確実であるため、相対的に利用率が高くないと考えられる。

⑧商工会議所、商工会は、商工会議所のネットワークが流す情報の中で、環境に関する情報はごく一部であるため、環境情報収集用にはそれほど利用されていないものと考えられる。

なお、業界団体から会員企業への情報提供の方法は、ホームページへの掲載や環境委員会等の会合の場での周知が主であるが、自主的取組に参加しているかどうかによって、特に違いは認められない。

表 8-5 環境規制・対策・動向に関する情報収集、情報提供について

	整理番号								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q5 貴団体（貴社）では、(VOCに限らず) 環境に関する規制、対策、動向等について、普段、どのように情報収集を図っていますか？利用しているものをお答えください。（複数回答可）									
①法規制情報提供などの有料サービス				●					
②インターネットによるキーワード検索	●		●		●	●	●		
③国の審議会情報、法改正情報			●			●		●	●
④自治体のホームページ（※自治体名を Q5 補にご記入ください）						● ※1			● ※2
⑤メールマガジン（※メルマガ名称を Q5 補にご記入ください）									
⑥新聞（※新聞名を Q5 補にご記入ください）		●							
⑦雑誌（※雑誌名を Q5 補にご記入ください）									
⑧商工会議所、商工会									
⑨国や自治体からの情報提供（電子メールや郵便物）		●	●		●	●	●	●	●
⑩情報収集は、団体としては行っていない（各社に任せている）									
⑪その他	● ※3								
Q6. 貴団体では、Q5 で収集した環境規制等の情報を、どのような形で会員企業に提供していますか？（複数回答可） ※団体のみに対する設問									
①メールマガジン							●		
②ホームページへの掲載	●				●	●			●
③団体の雑誌、リーフレットなど	●					●			
④環境委員会等の会合の場での周知	●					●	●	●	
⑤会員向けの研修会、セミナー等	●	●				●			
⑥その他					● ※4				

※1：東京都、大阪府、愛知県、神奈川県等 ※2：東京都環境局 条例・計画・審議会等

※3：SuMPO の賛助会員として情報収集している ※4：参加各社へのメール周知

④ ご意見・ご提案・ご要望及びヒアリング結果

アンケートの最終設問において、「自主的取組のような法規制ではない施策手法が、より効果的（周知・広報、多数の参加、負担の公平性、必要な情報の共有、効率的な対策の推進等）に実施されるようにするためには、どのようなことが必要か？」について自由記述でご意見を伺ったところ、5件の回答があった。

また、アンケートに回答いただいた団体のうち3団体について、さらに深掘りをするため、ヒアリングを行った。一部広報という観点に留まらない内容も含まれるが、共通した意見も出たため、上記のアンケートの自由記述意見とヒアリング結果を総合し、内容に応じて整理して以下 a)～f)に示す。

a) 中小企業としての対応の限界

業界団体または会員企業が中小零細であるため、法規制ではないことに対応できない（そこまでの人的、時間的、経済的余裕がない）という意見が多かった。自主的取組は、大元を辿れば1985年にカナダ化学品製造協会のレスポンシブル・ケア活動から始まり、それが世界の化学業界に広まって、我が国では平成8年ごろからの有害大気汚染物質の自主管理につながっているが、今般のVOCの自主的取組ではきわめて多くの中小企業が対象として含まれている。ヒアリングを行った団体は、いずれも、「会員に大企業がない」か「自主的取組参加企業に大企業がない」のいずれかであった。団体も企業も、業種によっては業績の悪化や人手不足の問題を抱えており、その中でVOC自主的取組への対応の優先順位は高くないようである。

VOCの排出削減対策を行うことに加え、それを数値化して報告することにはもう1つハードルがある。少量多品種や、毎年取り扱う製品が異なるような場合、VOC製品の購入量や使用量を把握し、個別に排出係数を設定し、集計するだけでもかなりの手間になる。

b) 中小企業から排出量報告を行う意味

令和3年度実績として、環境省インベントリ調査による全国VOC排出量は56.7万トン、経済産業省が取りまとめる自主的取組フォローアップにおける合計値は22.3万トンである。現在の段階でも、自主的取組全体の1%（≒2,200トン）に満たない業界団体は多くあり、参加している40団体のうち、年間排出量が1,000トン以上の団体は16団体、2,000トン以上の団体に至っては12団体しかない。一方、環境省インベントリは、この推計をもって、自主的取組以外も含めた我が国の年間排出量を評価し、その推移によって、我が国全体の排出削減量を評価する位置づけとなっている。業界団体や企業からの直接報告値ではなく、推計値も含まれるが、いわば自主的取組への未参加企業分も含め、推計・評価されている、と捉えることも出来る。つまり、未参加企業においては、自分たちが自主的取組のフォローアップ報告をしなくても、環境省がインベントリ推計の中で全体推移は評価してくれていることになる。

経済産業省として、環境省のインベントリ調査に任せるだけでなく、自ら調査や把握の必要はあると考えられるが、中小零細の団体や企業にとっては、報告しても排出量として殆ど寄与しないのであれば、参加の動機付けは働きにくいと考えられる。

c) 対策の余地がないこと、主体的な対策が打ちにくいこと

これもヒアリング団体に共通していたが、それぞれ対策として打てる手は打っており、現在の排出量は生産量や業績に応じて変動しているだけで、これ以上の削減は難しいとのことであった。

金属製品製造業の場合、業種として特徴的なのは、金属の製品や部材に塗装や印刷を行う場合、その仕様は発注者が決めるため、VOC削減については、塗料やインキメーカー、あるいは塗装機械・印刷機械メーカーに依存することになり、一定の制約を受けているようであった。

例えば、金属表面への粉体塗装は、粉体塗料の微粒子化によりかつての「ゆず肌」（表面が凸凹）は改善されてきているが、それでもチョーキング（紫外線、熱、風雨等の影響で塗膜が劣化し、粉を吹く現象）が起り、色ムラは起きにくいものの、塗装面の風合いが変化する。この点を、発注者、施工者などが受容できるかがポイントとなる。製品仕様や塗膜性能の点で、まだ低VOC製品の改良の余地は残されているようである。

d) 金銭的な援助を求める声

低利貸し付けではなく、補助金や税制優遇など、中小企業に経済的メリットがあるような援助の在り方を求める声が多かった。法的義務ではないことにわざわざお金をかけることは、企業では実施しづらいとの意見があった。対策を実施したり、対策装置を導入したり、自主的取組報告を行うことには金銭的な支出を伴うので、それを補うような補助金制度、報奨金制度などがあれば、少しは対策実施の動機づけになるのではないかと。また、補助金申請の手続きはなるべく簡素化し、中小零細企業でも申請しやすくすることが望ましい。

e) 光化学オキシダントの有害性情報の曖昧さ

光化学オキシダント、あるいは光化学スモッグについて、平素は殆ど耳にすることは無くなっている。このVOCに関連する経済産業省（局）や自治体のセミナー等で、久し振りに耳にするくらいとなっている。光化学オキシダントの有害性は、身近なところでは殆ど報告されておらず、疫学的には証左があるようであるが、実感として知覚出来るだけの情報に接しない。このため、光化学オキシダントを減らす必要がある、ということに関して、理解が得にくくなって来ている。本調査の中で明らかになりつつある「VOCの排出削減が、オゾン低減に効きづらくなっている」という点を踏まえると、VOC排出削減の動機付けは今後ますます困難になっていくと推測される。

f) 情報環境の変化に伴う工夫

若い人が特にテレビや新聞を見なくなり、それよりはSNSなどが見られていると考えられるので、例えば著名なSNS発信者（インフルエンサー）の協力を得てPRするなどは一法としてあるのではないかと。情報発信の手段は多様化している。

セミナーもWebセミナーの形で定期的を開催してはどうか。SDGsなど、流行している言葉を関連付けて発信することも1つの工夫である。

### （3） 広報対象に対する簡単な広報の実施

優先的な広報対象に対して、VOC自主的取組についての簡単な広報を実施する予定であったが、アンケート及びヒアリングの結果、広報課題に関しての示唆は限定的であったため、これを全体的な傾向と解釈して新たなチラシや事例集の作成を行うことについては、経済産業省と調整した結果、時期早々であり、さらなる知見の収集が必要であるとの判断であったため、本調査では見送ることとした。

なお、業界団体にヒアリングを行うにあたり、過去に経済産業省の調査事業等（本調査以外のVOCが関連する調査を含む）で作成されたVOC自主的取組のリーフレットを持参し、説明を行った。

## 8-4. 本章の調査結果のまとめ（VOC自主的取組についての今後の広報についての課題・検討）

平成20年度に経済産業省が実施した過去の調査における手法を参考に、代表的な1業種に割り当てる方式と、一部業界団体を複数業種に配分する方式で「未参加構造調査」を実施し、広報の優先対象となる業種を抽出したが、いずれの方式を使用した場合においても、広報対象となる業種として、金属製品製造業、自動車整備業が一次候補として考えられた。その候補の中から、経済産業省とも相談し、自主的取組に参加／未参加のいずれの団体も含まれ、広報の工夫によって新規参加の可能性があるとと思われる「金属製品製造業」について、アンケート及びヒアリングを行った。

アンケートについては多くの回答を得られなかったため、広報課題を抽出するためには代表性が薄

く、更なる検討が必要である。一方で、中小企業が極めて多い我が国の特性に基づく課題や、企業において VOC 排出抑制に対する追加的な対策の余地がなくなっていること、光化学オキシダントの有害性に基づく対策の動機づけが薄いこと、経済的援助を求める声など、個別業界団体の VOC 自主的取組に対する現時点での意見、スタンスをある程度把握することが出来たと考えられる。

## 9 調査結果のまとめと今後の課題

令和5年度の第12回産環小委（令和6年2月20日開催）に向けて、令和5年度調査の概要を取りまとめ、資料を作成したが、経済産業省事務局の判断により、第12回産環小委での報告は実施しないこととされた。なお、この資料は、令和5年度調査における第3回検討会において“参考資料2”として共有した。また、第3回検討会では、令和5年度実施事項とその結果、及び今後の方向性について事業実施者としての案を示した。これを編集したものを表9-1に示す。

表 9-1 令和5年度「VOC 排出削減効果の検討等業務」 実施事項とその結果、及び次年今後の方向性 (案)

項目	実施内容	R5 年度 結果の要約	今後の方向性
①立地特性の影響の一般性の追加確認	<p>・排出場所の立地特性のオゾン低減効率との関係について<b>夏季-近畿全域の計算</b>を行い確認する。 (第1回) (第2回)</p>	<p>■立地特性の影響の一般性の確認 (第1回)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2016年/近畿全域/夏季を対象に、計算対象日を平日として再検討したが、オゾン低減効率の地理分布の湾岸/内陸部のコントラストは弱く、オゾン存在量低減効率(業種別)と立地パラメータの相関は小さいままであった。</li> <li>・衛星観測の結果から、2016年ごろの近畿では、VOC-sensitiveの領域が無くなっているためと考えられる。</li> </ul> <p>■立地特性の影響の一般性の確認 (第2回)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・第1回の結果に加えさらに、オゾン存在量低減効率(業種別)と立地パラメータの計算日を揃えて再分析を試みたが、相関は若干改善したが弱いまま。</li> </ul>	<p>①近畿の2005年夏季(過去)について、2016年夏季との比較のために計算してはどうか?(現在より、オゾン低減効率地理分布のメリハリがあるのかどうか?立地パラとの相関は大きいか)</p>
②オゾン低減効率の符号が変わるケースの詳細解析	<p>・既往の計算結果のうち、<b>オゾン低減効率が正負の値を取る場合、何が影響しているか</b>分析する。 (第3回)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オゾン濃度低減効率地理分布と、オゾン生成レジームに関連するパラメータ(NMHC/NO<sub>x</sub>、MIR<sub>i</sub> × VOC<sub>i</sub>/NO<sub>2</sub>、HCHO/NO<sub>2</sub>)の相関を調べた。この比の値が高いほど、NO<sub>x</sub>-Limitedになるので、理論的には負の相関を示すはずである。</li> <li>・全データでの相関は、いずれのパラメータとも弱い負の相関。</li> <li>・立地分布の検討で理論と異なった夏季の近畿のデータのみで相関をとると、弱い相関となり理論と矛盾。</li> <li>・夏季の近畿のみを除いたデータでは、負の相関となり、理論と合致</li> <li>・HCHO/NO<sub>2</sub>比が2以上ならオゾン低減効率は負になる、と言えるかも知れない。</li> </ul>	<p>②レジームの変化を検討するため、NMHC/NO<sub>x</sub>比について、ADMER-PROと実測値の比較(年代による分布の違い)を試みる。加えて、可能な範囲でHCHO/NO<sub>2</sub>比(よりレジーム診断に適、ただし実測値少ない)についても可能な範囲で検討する。</p>
2)ホルムアルデヒド濃度等の実測・計算値間の整合性検討	<p>・関東・近畿の夫々年間10気象パターンにつき<b>ホルムアルデヒド濃度等を実測値と計算値で比較</b> (第1回) (第2回) (第3回) ※第2回後に再計算</p>	<p>以下について (2) -1) の実施項目と併せて検討</p> <p>■ホルムアルデヒドの有害大気汚染物質測定局での実測値(6か月の平均)分布と計算値(2016年暖候期)の比較(BVOC=ADMER-PRO内蔵(1回目)、ADMER-PRO内蔵×0.5/竹のみ考慮(生物多様性セ)(2回目))</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ADMER-PRO内蔵では、計算値&gt;実測値となるケースが多く、地理分布は合わない。</li> <li>・HCHO濃度は「ADMER-PRO内蔵系」&gt;「竹のみ考慮」</li> <li>・観測値と計算値の一致性は判定しづらい。</li> <li>・暖候期のHCHO衛星観測データとは、「竹のみ考慮」の方が「ADMER-PRO内蔵系」より整合性がある。</li> </ul> <p>■つくば集中観測と計算値の比較</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「ADMER-PRO内蔵×0.5」は、ピーク値は合うが日変化は合わない</li> <li>・「竹のみ考慮(生物多様性セ)」は、計算値は小さいが、日変化は観測値と類似</li> </ul>	<p>③近畿地方において「つくば集中観測」のような実測データがあれば、それと計算値を比較することは一考に値するのではないか。</p> <p>④BVOCデータベース構築に基づき、竹林や他植生からのBVOC放出量推計を行い、トップダウン推計との整合性や現況再現性が向上するかを確認。</p>

		<p>する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「竹のみ考慮 (JAXA)」は、「竹のみ考慮 (生物多様性セ)」より計算値は実測値に近づき、日変化は観測値と類似する。</li> </ul>	
<p>1) BVOC のトップダウン推計、ボトムアップ推計の改善検討 (産総研)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>トップダウン: 複数年度につき計算</b></li> <li>・ <b>ボトムアップ: ブナ、竹林等を加味して計算</b> (第1回) (第2回) (第3回)</li> <li>※第2回後に再計算</li> </ul>	<p>■竹のみ考慮 (生物多様性セ) での検討</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ OMI の HCHO カラムデータに対しては、コナラ群落の面積分率より、竹林の面積分率の方が相関が高い (第1回)。</li> <li>・ イソプレン基礎放出フラックスの比較では、ADMER-PRO 内蔵と竹のみ考慮 (生物多様性セ) では、地理分布は「竹のみ」 &gt; 「ADMER-PRO 内蔵」となる (第2回)。</li> </ul> <p>■竹のみ考慮 (JAXA) での検討</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ JAXA の高解像度土地利用土地被覆図 (2018~2020、10m 解像度) で竹林の分類が示されている。これを3次メッシュデータに加工して検証すると、「竹のみ考慮 (生物多様性セ)」より、竹林のデータが増加する (小規模の竹林も拾うため?)。</li> <li>・ 竹林の面積分率が増加し、近畿では領域全体でコナラ群落に匹敵。</li> <li>・ イソプレン基礎放出フラックスは、関東では「竹のみ考慮 (生物多様性セ)」より「竹のみ考慮 (JAXA)」が上昇するが、全体量は「ADMER-PRO 内蔵」 &gt; 「竹のみ考慮 (JAXA)」。</li> <li>・ 一方近畿では、「竹のみ考慮 (JAXA)」 &gt; 「ADMER-PRO 内蔵」のメッシュが多数現れる。</li> <li>・ 近畿では、「竹林からのイソプレン基礎放出量フラックス (JAXA)」 &gt; 「全人為起源 VOC 排出フラックス (ADMER-PRO 内蔵)」となるメッシュが多い。</li> <li>・ 関東では VOC 量は竹林 &lt; 人為だが、MIR も考慮すると竹林 &gt; 人為。</li> <li>・ 近畿では、VOC 量も、MIR を加味した量でもいずれも竹林 &gt; 人為。</li> </ul>	<p>⑤JAXA の分類 (落葉広葉樹、落葉針葉樹、常緑広葉樹、常緑針葉樹等) について、生物多様性セのデータとどの程度の差異があるのか検討 (竹林のみ JAXA データを使えるのかの検証)</p>
<p>2) BVOC 排出量の算定方法に関する検討 (産環協)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>植生分類</b>の割り当て方法の検討</li> <li>・ <b>基礎放出量DB と植生の結び付け方法</b>の検討 (第2回)</li> </ul>	<p>■植生への放出量割り当ての方針</p> <p>DB 構築結果を見て、以下を具体的に検討する必要がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 谷先生のデータベースの樹種への割り当て</li> <li>・ コナラ属、カエデ類、ササ・タケ類は細分化を検討</li> <li>・ 上記以外の樹種等は、平均値、0等を適用。</li> <li>・ 落葉/常緑、針葉樹/広葉樹、その他の作物稲等の分類を設定する。これに基づき、イソプレン放出種、モノテルペン放出種 (貯蔵/非貯蔵) に分類。</li> <li>・ 環境省生物多様性センターの3次メッシュ加工データは、上位100位くらいまでの中分類への割り当てを検討すれば面積率で98%をカバーできる。</li> </ul> <p>■補正項目に関する検討</p>	<p>⑥DB の構築がもう少し進んだ段階で、実装に向けた検討として、整理を進めるすることが適当と思われる。</p>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>・針葉樹の葉重量→葉面積変換は、森林総研のスギ・ヒノキ形質DBを参考に変換できそう。</li> <li>・LAI データは、欧州のSentinel3 衛星の提供データが利用可能性あり。</li> <li>・葉の重なり、傾き補正はADMER-PRO に既に内蔵。</li> <li>・混合林の面積配分の割り当ては、毎木調査が地域ごとに分かれており、全国一括的に扱うのは容易ではない。引き続き調査要。</li> <li>・樹種の特性として、放出パターン（イソプレン/MT 貯蔵/ MT 非貯蔵）と、温度依存の型（測定日温度/積算温度）を考慮の要あり。</li> </ul>	
3) BVOC の実測及び基礎放出量データベースの作成（静岡県立大）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>実測</b>と、必要に応じて文献調査により<b>基礎放出量データベース</b>を作成する。（第1回）（第2回）（第3回）</li> </ul>	<p>R5 年度はモノテルペン放出種を中心に、スダジイ、アラカシ、シラカシ、ブナ、クリについて実測。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■季節変化測定 スダジイ、シラカシについて実測し、季節変化をモデル化。</li> <li>■夏季の平均放出速度の測定 アラカシ、スダジイ、シラカシについて、夏季のピーク値を精度よく把握。</li> <li>■無放出種の確認 ブナは無放出種であることを確認。クリは文献により異なるが、モノテルペンの放出を認めた。</li> </ul>	⑦R6 年度は、当初計画どおり、イソプレン放出種（コナラ、タケ類）を中心に実測、DB 構築を進める。
1) VOC 対策の費用の検討等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>VOC 対策費用、コロナ影響の文献調査</b>（第1回）（第2回）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■コロナ影響の文献調査 <ul style="list-style-type: none"> <li>・化学工学 Vol. 86, No. 9 掲載の4 報、Google Scholar で” Ozone” , ” NOx” , ” VOC” , ” Sensitivity” でヒットする 39 報、金谷委員ご紹介の2 報を合わせた 45 論文の内容を整理。</li> <li>・コロナ禍における NOx、VOC 等の減少に伴い、粒子状物質は減少したが、オゾンが増加した、という報告が多い。</li> <li>・全球評価をした論文では、オゾン負荷量はコロナ禍で減少したと評価されている。</li> </ul> </li> <li>■VOC 対策費用 <ul style="list-style-type: none"> <li>・文献値（オゾン詳細リスク評価書付録（産総研））を参考に、VOC1 トン辺り 32 万円と設定。</li> </ul> </li> </ul>	<p>⑧対策費用の調査が可能か？（既往文献は、「有害大気汚染物質の経済性評価調査（FY13-15、経済産業省）」と、「大気中微小粒子状物質検討会 報告書 資料編3、対策事例調査（R1.7 月、東京都）」くらい） <a href="https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/air/air_pollution/torikumi/pm2_5/pm2_5.html">https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/air/air_pollution/torikumi/pm2_5/pm2_5.html</a> ※対策の種類ごとの費用（装置コスト、ランニングコスト）に加え、対策の適用割合が必要と思われる。</p>
2) VOC 対策の費用便益比の試算	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>VOC 削減による費用対便益比の計算</b>（第2回）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・BVOC 設定を「ADMER-PRO 内蔵×0.5」とし、2016 年を対象に関東、近畿について、それぞれ全 VOC の 10%を削減したと仮定すると、（死亡者数低減+コメ増収の便益）/費用比は近畿で 2.8、関東で 5.0 となり、米国の過去の対策の範囲内であるが、日本の過去の殆どの対策よりは大きくなった。</li> </ul>	⑨精緻化された BVOC 導出インベントリを入力データとして、ベースケース、人為起源 VOC 削減ケース、竹林からのイソプレン放出量削減ケースのシミュレーションを行い、各対策

			<p>の費用便益比を算出する</p> <p>⑩上記について、ベースケースを10年程度前としたシミュレーションも行い、人為起源VOC削減ケースについて算出された費用便益比を比較する</p> <p>⑪NO<sub>x</sub>とVOCを0%から100%まで変更したらオゾン濃度がどのように変わるのかを示したのがオゾン等値線図である（前提条件は設定必要）が、これに加え、便益等値線図、あるいは、費用便益比等値線図を作成し、より政策決定に役立つ情報として整理する。</p>
--	--	--	---

## 添付資料

1. 報告書要約版（産構小委第 12 回に向けた委員レク資料）
2. コロナ禍における大気汚染物質の影響についての文献抄訳（産総研）

# 令和 5 年度 VOC排出削減 効果の検討等業務 ～経過報告～

令和 6 年 2 月 20 日  
VOC排出削減効果の検討等業務調査検討会

1

## ■ 目的と令和5年度実施内容

【目的】 VOC自主的取組については科学的知見を踏まえ、前駆物質(NO<sub>x</sub> 及びVOC)の排出と光化学オキシダント濃度の関係をより明確に把握し、事業者の負担に留意しつつ効率的に進めていく必要がある。

### 【実施内容】

- (1) オゾン生成シミュレーションにおける検証等
  - ・立地場所の影響の一般性の確認等  
(2005関東夏季→2016/関東・近畿/夏季・春季)
- (2) BVOC のトップダウン推計、ボトムアップ推計の改善検討
  - ・トップダウン推計、ボトムアップ推計の試み
  - ・設定を変更したADMER-PROシミュレーション値と実測値の比較
- (3) BVOC 排出量の算定方法に関する検討等
  - ・算定方法に関する検討、追加測定、基礎放出量データベースの作成(継続)
- (4) その他
  - ・コロナ禍における大気汚染物質の影響についての文献調査

2

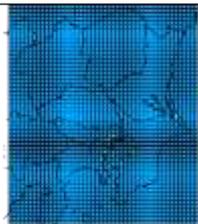
## ■ (1) オゾン生成シミュレーションにおける検証等

### ○立地場所の影響の一般性の確認等

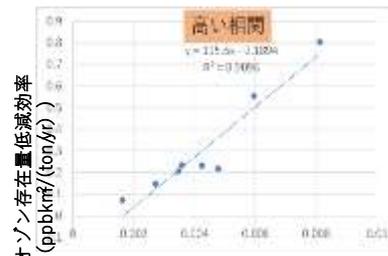
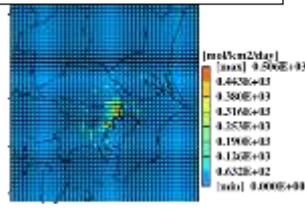
- ・ VOCの排出場所の立地は、業種によって、オゾン濃度低減効果が高い湾岸部に集中している、湾岸部以外にも広域に拡散している等の特徴がみられる。
- ・ 排出削減時期：2005年ベース、地方：関東、季節：夏季について、立地場所も考慮した相関分析を行った結果、排出削減場所の立地の影響も大きいことを確認。
- ・ 一般性を確認するため、昨年度、2016年ベース、関東/近畿、春季/夏季に条件を拡大して検証を行ったところ、相関が弱かったため今年度理由を検討。

#### 各業種の排出量分布例 (2005年度)

湾岸部に集中する業種



湾岸部以外にも分散する業種



MIR (mol/mo) × 排出場所に関するパラメータ (ppt/(tony<sup>1/2</sup>))

#### オゾン低減効率と立地パラメータの相関係数(R<sup>2</sup>)

計算対象	夏季	春季
2016年、関東	0.73(中)	0.18(低)
2016年、近畿	0.0003(低)	0.70(中)



夏季近畿は著しく  
相関が低い

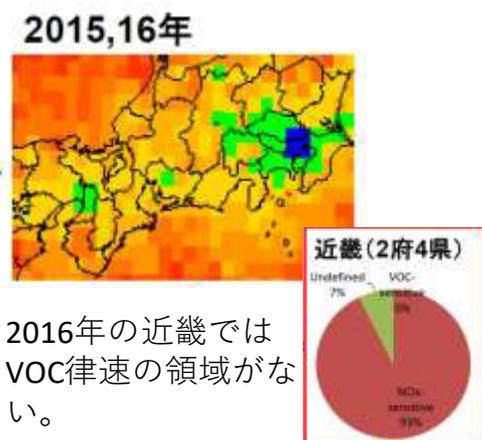
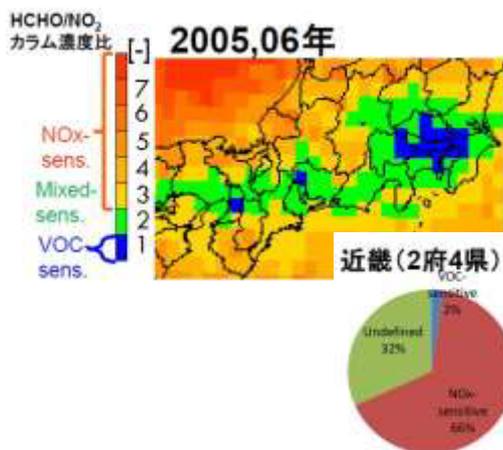
3

## ■ (1) オゾン生成シミュレーションにおける検証等

### ○立地場所の影響の一般性の確認等

- ・ 相関が弱くなった理由を検討したところ、2016年ベース 夏季、近畿では、NOx律速寄りに移行し、VOC律速の領域が減少。近畿ではVOC律速の領域がなくなっている。
- ・ こうしたことから、VOC排出場所の立地の影響が小さくなったと考えられる。

#### オゾン生成レジームの変化



2016年の近畿では  
VOC律速の領域がな  
い。

## (2) BVOC のトップダウン推計、ボトムアップ推計の改善検討

### ■ トップダウン推計の改善の試み

#### 専門家ヒアリング、文献調査により、抽出された改善ポイント

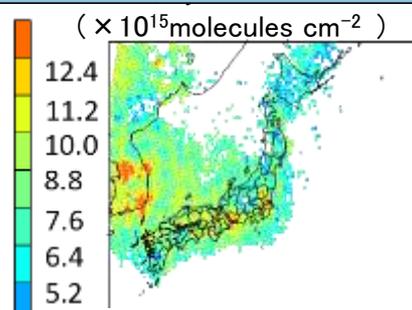
- VOC排出濃度、VOC→HCHO※1への収率、大気中寿命がある程度大きくないと、移流・希釈・消失等により衛星観測で捉えられない。
- これらが相対的に大きいイソプレンで、10~100kmの解像度で、衛星観測によるHCHOカラムにより、北米のイソプレン放出量をマッピングできるはず。
- OMI※2による衛星観測では、検出限界はHCHO < 4×10<sup>15</sup>分子数/cm<sup>2</sup> (条件①)
- NO<sub>2</sub>カラム > 1×10<sup>15</sup> 分子数/cm<sup>2</sup> (条件②) の場所では、NOx濃度によってイソプレン放出量とHCHOカラムの関係性が変わらない。

- ※1 ホルムアルデヒド。大気中で、VOC→ホルムアルデヒドに反応。
- ※2 米国NASAのAura衛星搭載のオゾン観測装置。

- 条件①かつ条件②を満たすカラムを、OMIによる衛星観測データから抽出すると、日本の陸域の殆どはカバーされる(右図)。



- 日本でも、トップダウン推計ができる可能性はある。
- ただし、10~100kmの解像度となる。



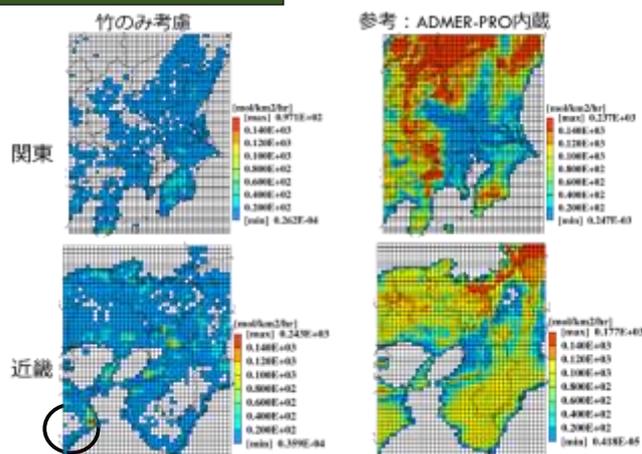
5

## (2) BVOC のトップダウン推計、ボトムアップ推計の改善検討

### ■ ボトムアップ推計の改善の試み

- タケ類は、主要なイソプレン放出樹種である落葉広葉樹(コナラ等)と葉の面積当たりでは同程度のイソプレンを放出することが知られている。
- 今回、タケの樹木量、葉面積指数※を加味して基礎放出量を推計したところ、全体に影響を与えるほどではないが、局所的には、ADMER-PRO内蔵の放出量を上回るインパクトを有していることが分かった。
- ※葉面積指数：単位土地面積あたりの葉の面積の合計

#### イソプレン基礎放出フラックス推計結果(月)

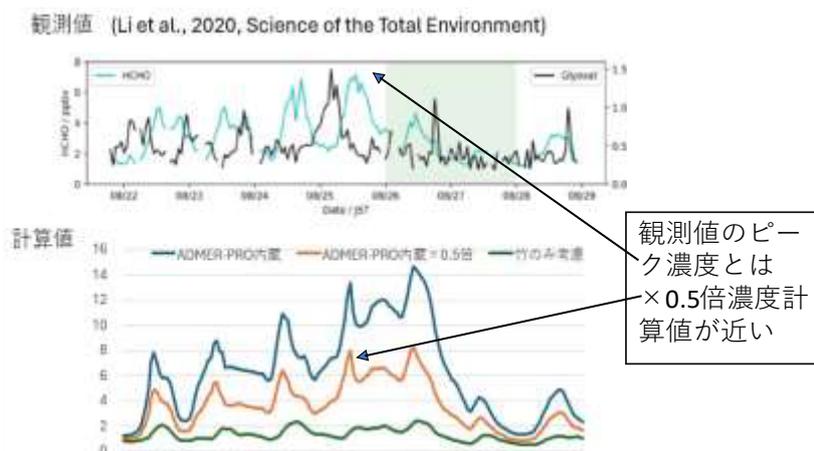


6

## (2) BVOC のトップダウン推計、ボトムアップ推計の改善検討

### ■ 設定を変更したシミュレーション値と実測値の比較

- ・イソプレンから生成するホルムアルデヒド (HCHO) について、つくば集中観測期間 (AQUAS-Tsukuba campaign, 2017年8月22日~28日) における実測値と、同期間を対象としたADMER-PROによるシミュレーションを実施。
- ・現行のADMER-PRO内蔵のBVOC設定で計算すると、ピーク値が実測値の2倍程度を示すことが認められる。
- ・「ADMER-PRO内蔵×0.5倍」の方が、現行設定よりは濃度計算値は近い。



7

## (2) BVOC のトップダウン推計、ボトムアップ推計の改善検討

### ■ トップダウン、ボトムアップ推計の改善に関するまとめ

- ・我が国でも、衛星観測によるトップダウン推計ができる可能性があるが、その場合、10~100kmグリッドでの粗いものとなり、精緻なマッピングは難しいと考えられる。
- ・イソプレンの放出が大きい竹林は、全体に影響を与えるほどではないが、局所的には、ADMER-PRO内蔵の放出量を上回るインパクトを有していることが分かった。
- ・今後、BVOCデータベース構築の進展に伴い、ボトムアップ推計を引き続き改善するとともに、トップダウン推計や実測値との整合性が向上するかの確認が必要。

8

### (3) BVOC 排出量の算定方法に関する検討等

R4年度に選定した全国上位の優占樹種約20種について、文献データが不足の項目を測定

順位	樹種	基礎放出速度	季節変化	測定計画	備考
1	スギ	●	●	—	—
2	ヒノキ	●	●	—	—
3	コナラ	●	●	R6	通年で季節変化を測定
4	トドマツ	×	×	—	*1
5	その他広葉樹	×	×	—	—
6	アカマツ	●	●	—	—
7	ブナ	●	—	R5	夏季に測定を実施(無放出樹種であることの検証)
8	ミズナラ	●	●	R6	夏季の放出ピークを測定
9	カラマツ	●	●	—	—
10	ダケカンバ	×	×	—	*1
11	カエデ類	●	×	—	イロハモミジの季節変化を適用
12	シナノキ	×	×	—	*1
13	スダジイ	●	×	R5	通年で季節変化を測定
14	クリ	●	×	R5	夏季の放出ピークを測定;季節変化はシイ・カン類の傾向を適用
15	ハンノキ類	△	×	—	*1
16	シデ類	●	●	—	—
17	アラカシ	●	×	R5	夏季の放出ピークを測定;季節変化はシイ・カン類の傾向を適用
18	ツブラジイ	×	×	—	スダジイの近縁種であるため、スダジイの基礎放出速度・季節変化を適用
19	イタヤカエデ	●	×	—	イロハモミジの季節変化を適用
20	モウソウチク	△	●	R6	通年で季節変化を測定*2
以下、20位圏外					
24	マダケ	△	●	R6	初夏～盛夏の基礎放出速度のピークを測定*2
52	シラカシ	●	×	R5	通年で季節変化を測定
—	イネ	●	×	—	成長量に比例させて基礎放出速度を適用

- : データ有、△: データ不十分、×: データ無 R5: 令和5年度に測定 R6: 令和6年度に測定  
 \*1 高山帯や北海道など局所的に生育しており、O3生成への影響度は小さいことから対象外とする。  
 \*2 ササ・タケ類の季節変化に関して放出のピークが想定される初夏～盛夏のデータが不足しているため。

9

### ■ 追加測定と基礎放出量DBの作成

令和5年度測定結果(赤字)を含め、樹種・植物種における放出速度をまとめると、概ね以下の傾向が認められた。

種類	該当する樹種	放出するBVOC	基礎放出速度
落葉広葉樹	コナラ、ミズナラ	イソプレン	高
タケ類(イネ科)	モウソウチク、マダケ		高
落葉針葉樹	カラマツ	モノテルペン	低
常緑針葉樹	アカマツ		低
常緑広葉樹	アラカシ、シラカシ、スダジイ、ウバメガシ		中
落葉広葉樹	イロハモミジ、コブカエデ、クリ		低～中
水稻(イネ科)	イネ		低
落葉広葉樹	ブナ		無放出

基礎放出程度( $\text{nmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )の凡例 高: 10以上、中: 3~10、低: 3以下

⇒落葉広葉樹およびタケ類からのイソプレンと  
 常緑広葉樹からのモノテルペン類の放出速度が大きい

10

## (4) その他

### コロナ禍における大気汚染物質の影響についての文献調査

- ・世界的なコロナ禍でのロックダウンによるオゾン(O<sub>3</sub>)の前駆物質の排出減少に伴い、O<sub>3</sub>濃度がどのように変化したのかを調査
- ・化学工学第86巻第9号(COVID-19による世界的なロックダウンは大気汚染にどのように影響したか?)の引用文献4報を含め、45報の論文を入手(全球2、世界4、中国17、インド9、欧州5、北米4、中南米2、東アジア1、日本1)。

#### [総括]

- ・コロナ禍の影響で、前駆物質であるNO<sub>2</sub>やVOCの大気中濃度は世界的に減少した。
- ・粒子状物質濃度は減少した一方、O<sub>3</sub>濃度は増加したという報告が世界各地で見られる。なお、全球評価ではオゾン負荷は低下。
- ・通常は都市部はVOC律速、郊外部はNO<sub>x</sub>律速だが、ロックダウン時は急激にNO<sub>x</sub>律速に移行した。
- ・ロックダウン期が2020年の冬季～春季であったことから、気象条件、NO<sub>x</sub>タイトレーション低下、大気酸化能(AOC)の増加、NO<sub>x</sub>飽和レベル等も関係している。地域差もあり複雑な様相を呈している。

添付資料2 コロナ禍における大気汚染物質の影響についての文献抄訳（産総研）

文献番号	5-1-1
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Impact of Coronavirus Outbreak on NO <sub>2</sub> Pollution Assessed Using TROPOMI and OMI Observations
邦題	TROPOMI 及び OMI 観測を用いたコロナウイルス感染症大流行の NO <sub>2</sub> 汚染への影響評価
著者、作者	M. Bauwens, S. Compernelle, T. Stavrou, J.-F. Müller, J. van Gent, H. Eskes, P. F. Levelt, R. van der A, J. P. Veefkind, J. Vlietinck, H. Yu, C. Zehner
出版年	2020
出典	Geophysical Research Letters, Volume47, Issue11, 16 June 2020, e2020GL087978
URL	<a href="https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2020GL087978">https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2020GL087978</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1029/2020GL087978">https://doi.org/10.1029/2020GL087978</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	世界：世界
抄録 (英文)	Spaceborne NO <sub>2</sub> column observations from two high-resolution instruments, Tropospheric Monitoring Instrument (TROPOMI) on board Sentinel-5 Precursor and Ozone Monitoring Instrument (OMI) on Aura, reveal unprecedented NO <sub>2</sub> decreases over China, South Korea, western Europe, and the United States as a result of public health measures enforced to contain the coronavirus disease outbreak (Covid-19) in January-April 2020. The average NO <sub>2</sub> column drop over all Chinese cities amounts to -40% relative to the same period in 2019 and reaches up to a factor of ~2 at heavily hit cities, for example, Wuhan, Jinan, while the decreases in western Europe and the United States are also significant (-20% to -38%). In contrast with this, although Iran is also strongly affected by the disease, the observations do not show evidence of lower emissions, reflecting more limited health measures.
抄録 (和文)	<p>Sentinel-5 プリカーサーに搭載された対流圏監視装置 (TROPOMI) と Aura に搭載されたオゾン監視装置 (OMI) の 2 つの高分解能装置による衛星搭載 NO<sub>2</sub> カラム観測により、2020 年 1 月から 4 月にかけてコロナウイルス感染症の大流行 (Covid-19) を封じ込めるために実施された公衆衛生措置により中国、韓国、西ヨーロッパ、及び米国で前例のない NO<sub>2</sub> の減少が明らかになった。</p> <p>中国全都市の平均 NO<sub>2</sub> カラムの減少は、2019 年同時期比で-40%に達し、例えば武漢、済南など打撃の大きい都市では最大で約-50% (a factor of ~2) に達する一方、西ヨーロッパと米国での減少も著しい (-20%~ -38%)。これとは対照的に、イランもこのウイルスの影響が大きいものの、より限定的な防疫対策を反映して、観測結果では排出量が減少したというエビデンスは見られない。</p>

文献番号	5-1-2
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Early spring near-surface ozone in Europe during the COVID-19 shutdown: Meteorological effects outweigh emission changes.
邦題	COVID-19 閉鎖時のヨーロッパ早春における地表オゾン：気象の影響が排出量の変化を上回る
著者、作者	Ordóñez C, Garrido-Perez JM, García-Herrera R
出版年	2020
出典	The Science of the Total Environment, 28 Jul 2020, 747:141322
URL	<a href="https://europepmc.org/article/med/32781318">https://europepmc.org/article/med/32781318</a>
DOI	10.1016/j.scitotenv.2020.141322
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	欧州：欧州
抄録 (英文)	<p>This paper analyses the impact of the control measures during the COVID-19 lockdown in Europe (15 March-30 April 2020) on 1-h daily maximum nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) and maximum daily 8-h running average ozone (MDA8 O<sub>3</sub>) observations obtained from the European Environment Agency's air quality database (AirBase). Daily maximum NO<sub>2</sub> decreased consistently over the whole continent, with relative reductions ranging from 5% to 55% with respect to the same period in 2015-2019 for 80% of the sites considered (10th - 90th percentiles). However, MDA8 O<sub>3</sub> concentrations showed a different pattern, decreasing over Iberia and increasing elsewhere. In particular, a large region from northwestern to central Europe experienced increases of 10-22% at urban background stations, reaching typical values of the summer season. The analysis of the expected NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> concentrations in the absence of the lockdown, using generalised additive models fed by reanalysis meteorological data, shows that the low NO<sub>2</sub> concentrations were mostly attributed to the emission reductions while O<sub>3</sub> anomalies were dominated by the meteorology. The relevance of each meteorological variable depends on the location. The positive O<sub>3</sub> anomalies in northwestern and central Europe were mostly associated with elevated temperatures, low specific humidity and enhanced solar radiation. This pattern could be an analogue to study the limits of pollution control policies under climate change scenarios. On the other hand, the O<sub>3</sub> reduction in Iberia is mostly attributable to the low solar radiation and high specific humidity, although the reduced zonal wind also played a role in the proximity of the Iberian Mediterranean coast.</p>

抄録 (和文)	<p>本論文では、欧州における COVID-19 ロックダウン（2020 年 3 月 15 日～4 月 30 日）中の制御措置が、欧州環境庁の大気質データベース（AirBase）から得られる 1 時間日最大二酸化窒素（NO<sub>2</sub>）と最大日 8 時間移動平均オゾン（MDA8 O<sub>3</sub>）の観測値に与える影響を分析する。</p> <p>日最大 NO<sub>2</sub> は大陸全域で一貫して減少し、検討したサイトの 80%（10～90 パーセントイル）で 2015～2019 年の同時期に対して 5%～55%の範囲で相対的減少が見られた。しかし、MDA8 O<sub>3</sub>濃度は異なるパターンを示し、イベリア半島で減少し、他の場所では増加した。</p> <p>特に、北西ヨーロッパから中央ヨーロッパにかけての広い地域では、都市部のバックグラウンドステーションで 10～22%の増加が見られ、夏季の典型的な値に達した。再解析気象データを用いた一般化加法モデルを用いて、ロックダウンがない場合に予想される NO<sub>2</sub> 及び O<sub>3</sub> 濃度を分析したところ、NO<sub>2</sub> 濃度の低下はほとんど排出削減に起因し、O<sub>3</sub> 偏差（O<sub>3</sub> anomalies）は気象に支配されていることを示した。</p> <p>各気象変数の関連性は、場所によって異なる。ヨーロッパ北西部と中央部における正の O<sub>3</sub> 偏差は、ほとんどが気温の上昇、低い比湿、日射の増強と関連していた。</p> <p>このパターンは、気候変動シナリオ下での汚染防止政策の限界を研究するためのアナロジーでありうる。一方、イベリア半島における O<sub>3</sub> の減少は、イベリア地中海沿岸に近いため帯状風の減少も一役買っているものの、そのほとんどが低い日射量と高い比湿度に起因している。</p>
------------	---

文献番号	5-1-3
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	COVID-19 lockdowns cause global air pollution declines
邦題	COVID-19 ロックダウンにより世界の大気汚染が減少
著者、作者	Zander S. Venter, Kristin Aunan, Sourangsu Chowdhury, Jos Lelieveld
出版年	2020
出典	PNAS, 117 (32) 18984-18990
URL	<a href="https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.2006853117">https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.2006853117</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1073/pnas.2006853117">https://doi.org/10.1073/pnas.2006853117</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	世界：世界
抄録 (英文)	<p>The lockdown response to coronavirus disease 2019 (COVID-19) has caused an unprecedented reduction in global economic and transport activity. We test the hypothesis that this has reduced tropospheric and ground-level air pollution concentrations, using satellite data and a network of &gt;10,000 air quality stations. After accounting for the effects of meteorological variability, we find declines in the population-weighted concentration of ground-level nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>: 60% with 95% CI 48 to 72%), and fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>: 31%; 95% CI: 17 to 45%), with marginal increases in ozone (O<sub>3</sub>: 4%; 95% CI: -2 to 10%) in 34 countries during lockdown dates up until 15 May. Except for ozone, satellite measurements of the troposphere indicate much smaller reductions, highlighting the spatial variability of pollutant anomalies attributable to complex NO<sub>x</sub> chemistry and long-distance transport of fine particulate matter with a diameter less than 2.5 μm (PM<sub>2.5</sub>). By leveraging Google and Apple mobility data, we find empirical evidence for a link between global vehicle transportation declines and the reduction of ambient NO<sub>2</sub> exposure. While the state of global lockdown is not sustainable, these findings allude to the potential for mitigating public health risk by reducing “business as usual” air pollutant emissions from economic activities.</p>

抄録 (和文)	<p>コロナウイルス感染症 2019 (COVID-19) に対するロックダウン対応により、世界の経済活動や輸送活動はかつてないほど減少した。このことが対流圏及び地表レベルの大気汚染濃度を低下させたという仮説を、衛星データと 1 万を超える大気質観測所のネットワークを用いて検証する。</p> <p>気象変動の影響を考慮した結果、5 月 15 日までのロックダウン期間中、34 カ国において、地表レベルの二酸化窒素 (<math>\text{NO}_2</math>: 60%、95%信頼区間: 48~72%)、微小粒子状物質 (<math>\text{PM}_{2.5}</math>: 31%、95%信頼区間: 17~45%) の人口加重濃度 (population-weighted concentration) が低下し、オゾン (<math>\text{O}_3</math>: 4%、95%信頼区間: -2~10%) はわずかに上昇した。</p> <p>オゾンを除き、対流圏の衛星観測では、減少幅はもっと小さく、複雑な <math>\text{NO}_x</math> 化学と直径 <math>2.5 \mu\text{m}</math> 未満の微小粒子状物質 (<math>\text{PM}_{2.5}</math>) の長距離輸送に起因する汚染物質偏差 (pollutant anomalies) の空間変動性が強調されている。</p> <p>Google と Apple のモビリティデータを活用することで、世界的な自動車輸送量の減少と大気中 <math>\text{NO}_2</math> 曝露の減少との関連性を示す経験的証拠を見つけた。</p> <p>世界的なロックダウンの状態は持続可能なものではないが、これらの調査結果は、経済活動から排出される大気汚染物質の「通常 (business as usual)」の排出量を削減することにより、公衆衛生リスクを軽減する可能性を示唆している。</p>
------------	--

文献番号	5-1-4
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Differential impact of government lockdown policies on reducing air pollution levels and related mortality in Europe
邦題	欧州の大気汚染レベルと関連死亡率の低減に関する政府のロックダウン政策影響の違い
著者、作者	Rochelle Schneider, Pierre Masselot, Ana M. Vicedo-Cabrera, Francesco Sera, Marta Blangiardo, Chiara Forlani, John Douros, Oriol Jorba, Mario Adani, Rostislav Kouznetsov, Florian Couvidat, Joaquim Arteta, Blandine Raux, Marc Guevara, Augustin Colette, Jérôme Barré, Vincent-Henri Peuch & Antonio Gasparrini
出版年	2022
出典	Scientific Reports volume 12, Article number: 726 (2022)
URL	<a href="https://www.nature.com/articles/s41598-021-04277-6">https://www.nature.com/articles/s41598-021-04277-6</a>
DOI	
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	欧州：欧州
抄録 (英文)	<p>Previous studies have reported a decrease in air pollution levels following the enforcement of lockdown measures during the first wave of the COVID-19 pandemic. However, these investigations were mostly based on simple pre-post comparisons using past years as a reference and did not assess the role of different policy interventions. This study contributes to knowledge by quantifying the association between specific lockdown measures and the decrease in NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and PM<sub>10</sub> levels across 47 European cities. It also estimated the number of avoided deaths during the period. This paper used new modelled data from the Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) to define business-as-usual and lockdown scenarios of daily air pollution trends. This study applies a spatiotemporal Bayesian non-linear mixed effect model to quantify the changes in pollutant concentrations associated with the stringency indices of individual policy measures. The results indicated non-linear associations with a stronger decrease in NO<sub>2</sub> compared to PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> concentrations at very strict policy levels. Differences across interventions were also identified, specifically the strong effects of actions linked to school/workplace closure, limitations on gatherings, and stay-at-home requirements. Finally, the observed decrease in pollution potentially resulted in hundreds of avoided deaths across Europe.</p>

抄録 (和文)	<p>これまでの研究で、COVID-19 パンデミックの第一波における封鎖措置の実施に伴い、大気汚染レベルが低下したことが報告されている。しかし、これらの調査のほとんどは、過去数年間を基準とした単純な事前事後比較に基づいており、異なる政策介入の役割を評価していなかった。</p> <p>本研究は、ヨーロッパ 47 都市における特定のロックダウン措置と <math>\text{NO}_2</math>、<math>\text{O}_3</math>、<math>\text{PM}_{2.5}</math>、及び <math>\text{PM}_{10}</math> レベルの減少との関連を定量化することにより、事実認識の向上に寄与する。また、この期間中に回避された死亡者数を推定した。</p> <p>本論文では、コペルニクス大気モニタリングサービス (CAMS) からの新しいモデリングデータを用いて、日々の大気汚染傾向の通常 (business-as-usual) とロックダウンのシナリオを定義した。本研究では、時空間ベイズ非線形混合効果モデルを適用し、個々の政策措置の厳格度インデックスに関連する汚染物質濃度の変化を定量化した。</p> <p>その結果、非常に厳しい政策レベルでは、<math>\text{PM}_{2.5}</math> や <math>\text{PM}_{10}</math> 濃度に比べて <math>\text{NO}_2</math> がより強く減少するという非線形な関連性が示された。また、介入策による違いも確認され、特に、学校・職場の閉鎖、集会の制限、ステイホームの要件に関連した行動の強い効果が確認された。最後に、観測された汚染の減少は、ヨーロッパ全体で数百人の死亡を回避した可能性がある。</p>
------------	---

文献番号	3-46-2
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Health Risk of Increased O <sub>3</sub> Concentration Based on Regional Emission Characteristics under the Unusual State of the COVID-19 Pandemic
邦題	COVID-19 パンデミックの異常な状況下における地域の排出特性に基づく O <sub>3</sub> 濃度上昇の健康リスク
著者、作者	Yuki Okazaki, Lisa Ito, Akihiro Tokai
出版年	2021
出典	Atmosphere 2021, 12(3), 335
URL	<a href="https://www.mdpi.com/2073-4433/12/3/335">https://www.mdpi.com/2073-4433/12/3/335</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.3390/atmos12030335">https://doi.org/10.3390/atmos12030335</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	日本：日本
抄録 (英文)	<p>Photochemical oxidant concentration increases with the decrease in nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) concentration in volatile organic compound (VOC)-sensitive areas with several automobiles and factories. We aimed to quantify the changes in health risks from ozone (O<sub>3</sub>) and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) using disability-adjusted life years (DALY) in Osaka City, which is one of the major cities in Japan. ADMER-PRO version 1.0, an atmospheric model for secondary products, was used to estimate the concentration distribution of NO<sub>2</sub>, VOC, and O<sub>3</sub> using the year-on-year change of traffic during the declaration of the state of emergency in response to the coronavirus disease 2019 (7 April to 21 May 2020). NO<sub>2</sub> concentration decreased by an average of 0.962 ppb in 88.9% of the grids in Osaka City, whereas O<sub>3</sub> concentration increased by an average of 1.00 ppb in all the grids with a 26-28% reduction of traffic volume due to the pandemic. We also found three intensities for the VOC-sensitive condition depending on the different regional emission characteristics, with the DALYs of health risks from the decrease in NO<sub>2</sub> exceeding those from the increase in O<sub>3</sub>, reaching 811.4 and 55.90 total DALYs in the city, respectively.</p>

抄録 (和文)	<p>自動車や工場が密集する揮発性有機化合物 (VOC) 感度の高い地域では、窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) 濃度の減少に伴い光化学オキシダント濃度が上昇する。日本の大都市の一つである大阪市において、オゾン (O<sub>3</sub>) と二酸化窒素 (NO<sub>2</sub>) による健康リスクの変化について、障害調整生存年数 (DALY) を用いて定量化を目的とする。</p> <p>二次生成物大気モデルである ADMER-PRO バージョン 1.0 を用い、コロナウイルス感染症 2019 の緊急事態宣言期間 (2020 年 4 月 7 日から 5 月 21 日) の交通量の前年比を用いて、NO<sub>2</sub>、VOC、O<sub>3</sub> の濃度分布を推計した。</p> <p>大阪市では、NO<sub>2</sub> 濃度は 88.9% のグリッドで平均 0.962 ppb 減少したのに対し、O<sub>3</sub> 濃度はパンデミックにより交通量が 26-28% 減少した全てのグリッドで平均 1.00 ppb 増加した。また、VOC 感度の強さは地域ごとの排出特性の違いにより 3 つの強度があり、NO<sub>2</sub> の減少による健康リスク DALY は O<sub>3</sub> の増加による健康リスクを上回り、大阪市の合計 DALY はそれぞれ 811.4、55.90 に達した。</p>
------------	--

文献番号	3-4-10
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Distinct Regimes of O <sub>3</sub> Response to COVID-19 Lockdown in China
邦題	中国における COVID-19 ロックダウンに対する O <sub>3</sub> 反応の異なるレジーム
著者、作者	by Shanshan Liu, Cheng Liu, Qihou Hu, Wenjing Su, Xian Yang, Jinan Lin, Chengxin Zhang, Chengzhi Xing, Xiangguang Ji, Wei Tan, Haoran Liu and Meng Gao
出版年	2021
出典	Atmosphere, Volume 12, Issue 2 (the Special Issue New Developments in Ozone Pollution across Local, Regional, and Global Scales)
URL	<a href="https://www.mdpi.com/2073-4433/12/2/184">https://www.mdpi.com/2073-4433/12/2/184</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.3390/atmos12020184">https://doi.org/10.3390/atmos12020184</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：中国
抄録 (英文)	Restrictions on human activities remarkably reduced emissions of air pollutants in China during the COVID-19 lockdown periods. However, distinct responses of O <sub>3</sub> concentrations were observed across China. In the Beijing-Tianjin-Hebei (BTH) and Yangtze River Delta (YRD) regions, O <sub>3</sub> concentrations were enhanced by 90.21 and 71.79% from pre-lockdown to lockdown periods in 2020, significantly greater than the equivalent concentrations for the same periods over 2015-2019 (69.99 and 43.62%, $p < 0.001$ ). In contrast, a decline was detected (-1.1%) in the Pearl River Delta (PRD) region. To better understand the underlying causes for these inconsistent responses across China, we adopted the least absolute shrinkage and selection operator (Lasso) and ordinary linear squares (OLS) methods in this study. Statistical analysis indicated that a sharp decline in nitrogen dioxide (NO <sub>2</sub> ) was the major driver of enhanced O <sub>3</sub> in the BTH region as it is a NO <sub>x</sub> -saturated region. In the YRD region, season-shift induced changes in the temperature/shortwave radiative flux, while lockdown induced declines in NO <sub>2</sub> , attributable to the rise in O <sub>3</sub> . In the PRD region, the slight drop in O <sub>3</sub> is attributed to the decreased intensity of radiation. The distinct regimes of the O <sub>3</sub> response to the COVID-19 lockdown in China offer important insights into different O <sub>3</sub> control strategies across China.

抄録 (和文)	<p>COVID-19 のロックダウン期間中、中国では人の活動を制限することで大気汚染物質の排出量が大幅に減少した。しかし、<math>O_3</math> 濃度については、中国全土で異なる反応が見られた。北京・天津・河北 (BTH) 地域と長江デルタ (YRD) 地域では、2020 年のロックダウン前からロックダウン期間にかけて、<math>O_3</math> 濃度が 90.21% と 71.79% 上昇し、2015 年から 2019 年の同じ期間に相当する濃度 [equivalent concentrations] よりも有意に大きくなった (69.99% と 43.62%, <math>p &lt; 0.001</math>)。</p> <p>一方、珠江デルタ (PRD) 地域では減少 (1.1%) していた。本研究では、このような中国全土での一貫性のない反応の根本的な原因を理解するために、最小絶対値収縮・選択演算子 (Lasso) と通常の線形二乗法 (OLS) を採用した。統計解析の結果、BTH 地域は <math>NO_x</math> 飽和地域であるため、二酸化窒素 (<math>NO_2</math>) の急激な減少が <math>O_3</math> 増加の主な要因であることが分かった。</p> <p>YRD 地域では、季節シフトにより温度/短波放射フラックスが変化し、ロックダウンによって <math>O_3</math> の増加に起因する <math>NO_2</math> の減少が起きた。PRD 地域の <math>O_3</math> のわずかな減少は放射強度の低下によるものである。中国における COVID-19 ロックダウンに対する <math>O_3</math> 反応の異なるレジームは、中国における <math>O_3</math> 制御戦略の違いについて重要な洞察を与えてくれる。</p>
------------	--

文献番号	3-5-6
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	The change of atmospheric ozone formation sensitivity in Fujian Province based on OMI satellite data during the period of COVID-19
邦題	COVID-19 流行時における OMI 衛星データに基づく福建省の大気オゾン生成感度の変化
著者、作者	Dan, Yang-bin, Yu, Rui-lian, Bian, Ya-hui, Chen, Jin-sheng, Hu, Gong-ren.
出版年	2021
出典	China Environmental Science ; 41(5):2056, 2021.
URL	<a href="https://search.bvsalud.org/global-literature-on-novel-coronavirus-2019-ncov/resource/en/covidwho-1257729">https://search.bvsalud.org/global-literature-on-novel-coronavirus-2019-ncov/resource/en/covidwho-1257729</a>
DOI	
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：中国
抄録 (英文)	<p>Based on the OMI satellite data, the characteristics of atmospheric ozone sensitivity in Fujian province and its nice municipalities during the period of COVID-19 epidemic were assessed with HCHO and NO<sub>2</sub> vertical column densities as proxies for ozone sensitivity. The results showed that Fujian Province was dominated by VOCs-limited regime before the pandemic with the controlled area proportion of 46.5%. The other two regimes NO<sub>x</sub>-VOCs-limited regime and NO<sub>x</sub>-limited regime, controlled 25.0% and 28.5% of the area, respectively. The area proportion controlled by VOCs-limited regime was highest in Xiamen and lowest in Nanping. During the period with strict pandemic control policies, VOCs-limited regime, NO<sub>x</sub>-VOCs-limited regime and NO<sub>x</sub>-limited regime controlled 29.5%, 21.1%, and 49.4% of the area, respectively. The area proportion controlled by NO<sub>x</sub>-limited regime was highest in Ningde and lowest in Putian. During the stable period, VOCs-limited regime, NO<sub>x</sub>-VOCs-limited regime and NO<sub>x</sub>-limited regime controlled 23.1%, 29.1%, and 47.8% of the area, respectively. NO<sub>x</sub>-limited regime was the dominant regime with highest area proportion controlled in Nanping and lowest area proportion in Xiamen. Compared with the before pandemic period, the area proportion of Xiamen controlled by VOCs-limited regime was obviously reduced (38.1% less) during the period with strict control policies, and the lowest reduction was in Sanming with a moderate decrease of 7.9%. According to the conversion results, Putian, Quanzhou, and Xiamen were categorized into the first city group where changes in ozone sensitivity were jointly influenced by its precursors including formaldehyde (HCHO) and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), while other cities could be categorized into the second group where ozone sensitivities were mainly affected by NO<sub>2</sub> column concentrations. Therefore, effective strategies for ozone reduction would be more complex in the first group of cities.</p>

抄録 (和文)	<p>OMI 衛星データに基づいて、COVID-19 の流行期間中の福建省とその適切な (nice) 自治体における大気中のオゾン感度の特徴を、HCHO と NO<sub>2</sub> の鉛直柱密度をオゾン感度の代用 [proxies] として評価した。その結果、福建省はパンデミック前には VOC 律速領域が支配的であり、管理区域の比率は 46.5%であった。他の 2 つのレジームの NO<sub>x</sub>-VOC 律速領域と NO<sub>x</sub> 律速領域は、エリアのそれぞれ 25.0%、28.5%をコントロールした。VOC 律速領域により制御されているエリアの割合は、厦門で最も高く、南平で最も低かった。厳格なパンデミック対策が実施されている期間中、VOC 律速領域、NO<sub>x</sub>-VOC 律速領域、NO<sub>x</sub> 律速領域は、それぞれ地域の 29.5%、21.1%、49.4%を制御していた。NO<sub>x</sub> 律速領域の支配地域の割合は、寧徳で最も高く、莆田で最も低い。安定期には、VOC 律速領域が 23.1%、NO<sub>x</sub>-VOC 律速領域が 29.1%、NO<sub>x</sub> 律速領域が 47.8%のエリアを支配していた。NO<sub>x</sub> 律速領域が最も支配的であり、南平での支配エリア比率が最も高く、厦門での支配エリア比率が最も低かった。</p> <p>パンデミック前と比較して、厳格な制御政策期間において VOC 律速領域によってコントロールされた厦門のエリア比率は明らかに減少した (38.1%減)。減少が最も少なかったのは三明で、7.9%の緩やかな減少にとどまった。換算結果 [conversion results]によると、莆田、泉州、厦門は、ホルムアルデヒド (HCHO) や二酸化窒素 (NO<sub>2</sub>) などの前駆物質の影響を受けてオゾン感度が変化する第 1 の都市群に分類され、その他の都市は主に NO<sub>2</sub> のカラム濃度の影響を受ける第 2 の都市群に分類された。一方、その他の都市は、主に NO<sub>2</sub> のカラム濃度がオゾン感度に影響する第 2 のグループに分類される。そのため、第 1 グループの都市では、オゾン削減のための効果的な戦略がより複雑になる。</p>
------------	---

文献番号	3-5-7
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Comprehensive Insights Into O <sub>3</sub> Changes During the COVID-19 From O <sub>3</sub> Formation Regime and Atmospheric Oxidation Capacity
邦題	COVID-19 流行時の O <sub>3</sub> 生成レジームと大気酸化能による O <sub>3</sub> 変化に関する包括的洞察
著者、作者	Shengqiang Zhu, James Poetzscher, Juanyong Shen, Siyu Wang, Peng Wang, Hongliang Zhang
出版年	2021
出典	Geophysical Research Letters, Volume48, Issue10, 28 May 2021, e2021GL093668
URL	<a href="https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2021GL093668">https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2021GL093668</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1029/2021GL093668">https://doi.org/10.1029/2021GL093668</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：中国
抄録 (英文)	Economic activities and the associated emissions have significantly declined during the 2019 novel coronavirus (COVID-19) pandemic, which has created a natural experiment to assess the impact of the emitted precursor control policy on ozone (O <sub>3</sub> ) pollution. In this study, we utilized comprehensive satellite, ground-level observations, and source-oriented chemical transport modeling to investigate the O <sub>3</sub> variations during the COVID-19 pandemic in China. Here, we found that the significant elevated O <sub>3</sub> in the North China Plain (40%) and Yangtze River Delta (35%) were mainly attributed to the enhanced atmospheric oxidation capacity (AOC) in these regions, associated with the meteorology and emission reduction during lockdown. Besides, O <sub>3</sub> formation regimes shifted from VOC-limited regimes to NO <sub>x</sub> -limited and transition regimes with the decline of NO <sub>x</sub> during lockdown. We suggest that future O <sub>3</sub> control policies should comprehensively consider the effects of AOC on the O <sub>3</sub> elevation and coordinated regulations of the O <sub>3</sub> precursor emissions.

抄録 (和文)	<p>2019年新型コロナウイルス (COVID-19) パンデミックにおいては、経済活動とそれに伴う排出が大幅に減少しており、前駆物質排出規制政策がオゾン (<math>O_3</math>) 汚染に与える影響を評価する自然 [natural] の実験が行われた。本研究では、中国の COVID-19 パンデミックにおける <math>O_3</math> 変動を調査するために、包括的な衛星、地上レベルの観測、及び発生源指向 (source-oriented) の化学輸送モデルを利用した。</p> <p>その結果、華北平原 (40%) と長江デルタ (35%) で <math>O_3</math> が大幅に上昇したのは、ロックダウン期間中の気象条件や排出量の削減に伴い、これらの地域で大気酸化力 (AOC) が高まったことが主な原因であることが分かった。また、ロックダウン期間中は、<math>NO_x</math> の減少に伴い、<math>O_3</math> の生成レジームが VOC 律速領域から <math>NO_x</math> 律速領域及び遷移領域へと変化した。今後の <math>O_3</math> 制御政策は、AOC が <math>O_3</math> 上昇に与える影響を包括的に考慮し、<math>O_3</math> 前駆物質の排出規制を調整する必要があると考える。</p>
------------	--

文献番号	3-6-1
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Enhanced atmospheric oxidation capacity and associated ozone increases during COVID-19 lockdown in the Yangtze River Delta
邦題	揚子江デルタにおける COVID-19 ロックダウン時の大気酸化能の向上とそれに伴うオゾンの増加
著者、作者	Yu Wang, Shengqiang Zhu, Jinlong Ma, Juanyong Shen, Pengfei Wang, Peng Wang, Hongliang Zhang
出版年	2021
出典	Science of The Total Environment, Volume 768, 10 May 2021, 144796
URL	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720383297">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720383297</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144796">https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144796</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：中国
抄録 (英文)	Aggressive air pollution control in China since 2013 has achieved sharp decreases in fine particulate matter (PM <sub>2.5</sub> ), along with increased ozone (O <sub>3</sub> ) concentrations. Due to the pandemic of coronavirus disease 2019 (COVID-19), China imposed nationwide restriction, leading to large reductions in economic activities and associated emissions. In particular, large decreases were found in nitrogen oxides (NO <sub>x</sub> ) emissions (>50%) from transportation. However, O <sub>3</sub> increased in the Yangtze River Delta (YRD), which cannot be fully explained by changes in NO <sub>x</sub> and volatile organic compound (VOCs) emissions. In this study, the Community Multi-scale Air Quality model was used to investigate O <sub>3</sub> increase in the YRD. Our results show a significant increase of atmospheric oxidation capacity (AOC) indicated by enhanced oxidants levels (up to +25%) especially in southern Jiangsu, Shanghai and northern Zhejiang, inducing the elevated O <sub>3</sub> during lockdown. Moreover, net P(HO <sub>x</sub> ) of 0.4 to 1.6 ppb h <sup>-1</sup> during lockdown (Case 2) was larger than the case without lockdown (Case 1), mainly resulting in the enhanced AOC and higher O <sub>3</sub> production rate (+12%). This comprehensive analysis improves our understanding on AOC and associated O <sub>3</sub> formation, which helps to design effective strategies to control O <sub>3</sub> .

抄録 (和文)	<p>中国では 2013 年以降、積極的な大気汚染対策により、微小粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>) が大幅に減少したもののオゾン (O<sub>3</sub>) の濃度が上昇した。中国ではコロナウイルス感染症 2019 (COVID-19) パンデミックにより、全国的な規制が行われ、経済活動とそれに伴う排出量が大幅に削減された。特に、交通機関からの窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) 排出量が大幅に減少 (50%以上) した。しかし長江デルタ (YRD) では O<sub>3</sub> が増加しており、これは NO<sub>x</sub> と揮発性有機化合物 (VOC) の排出量の変化では完全に説明できない。本研究では、コミュニティ・マルチスケール大気質モデルを用いて、YRD における O<sub>3</sub> の増加を調査した。</p> <p>その結果、特に江蘇省南部、上海、浙江省北部では、オキシダントレベルの向上 (最大+ 25%) によって示される大気酸化力 (AOC) が大幅に増加し、ロックダウン時の O<sub>3</sub> の上昇を誘発していることが分かった。さらに、ロックダウン中 (ケース 2) のネット P (HO<sub>x</sub>) は、ロックダウンを行わなかった場合 (ケース 1) よりも 0.4 ~1.6ppb h<sup>-1</sup> 多く、主に AOC の向上と O<sub>3</sub> 生成率の上昇 (+12%) につながった。この包括的な分析により、AOC とそれに伴う O<sub>3</sub> の生成に関する理解が深まり、O<sub>3</sub> を制御するための効果的な戦略の立案に役立つ。</p>
------------	--

文献番号	3-7-3
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	On the Relevancy of Observed Ozone Increase during COVID-19 Lockdown to Summertime Ozone and PM <sub>2.5</sub> Control Policies in China
邦題	COVID-19 ロックダウン期間に観測されたオゾンの増加と中国における夏季のオゾン及びPM <sub>2.5</sub> 制御政策との関連性について
著者、作者	Mingjie Kang, Jie Zhang, Hongliang Zhang*, and Qi Ying
出版年	2021
出典	Environmental Science & Technology Letters, 2021, 8, 4, 289-294
URL	<a href="https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.estlett.1c00036">https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.estlett.1c00036</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00036">https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00036</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：中国
抄録 (英文)	<p>In February 2020, China's strict lockdown policies led to significant reductions in anthropogenic nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) emissions, and notable increases in surface ozone (O<sub>3</sub>) followed in many urban areas, raising concerns about potential rises in summertime O<sub>3</sub> due to NO<sub>x</sub> emission controls. On the basis of O<sub>3</sub> isopleths from a series of air quality simulations under different levels of NO<sub>x</sub> and volatile organic compound (VOC) emission reductions, we found that such concerns are not necessary. As NO<sub>x</sub> emissions have been reduced in recent years for particulate matter control, future NO<sub>x</sub> reductions are generally favorable for summertime maximum daily average 8-h (MDA8) O<sub>3</sub> reductions. Decreases in summertime O<sub>3</sub> due to NO<sub>x</sub> reductions will also lead to lower atmospheric oxidation capacity, characterized by decreased OH and NO<sub>3</sub> concentrations, resulting in further reduction of secondary inorganic aerosols (nitrate, sulfate, and ammonium ion, NSA) formation. VOC emission reductions help to further reduce MDA8 O<sub>3</sub> and are needed to control HCHO and primary air toxics simultaneously, but they are ineffective in reducing NSA. This study indicates that a nationwide NO<sub>x</sub> emission reduction policy has great potential in controlling O<sub>3</sub> and PM<sub>2.5</sub> simultaneously. However, its effectiveness could be greatly reduced when applied on a limited spatial scale.</p>

抄録 (和文)	<p>2020年2月、中国では厳格なロックダウン政策により、人為的な窒素酸化物 (<math>\text{NO}_x</math>) の排出量が大幅に削減され、多くの都市部で地表オゾン (<math>\text{O}_3</math>) が顕著に増加したことから、<math>\text{NO}_x</math> 排出規制による夏季の <math>\text{O}_3</math> 上昇の可能性が懸念される。しかし、<math>\text{NO}_x</math> と揮発性有機化合物 (VOC) の排出量を異なるレベルで削減した場合の一連の大気質シミュレーションによる <math>\text{O}_3</math> 等値線を基に、このような懸念は不要であることが分かった。</p> <p>近年、粒子状物質対策のために <math>\text{NO}_x</math> の排出量が削減されてきていることから、今後の <math>\text{NO}_x</math> 削減は、夏季の最大日平均8時間 (MDA8) の <math>\text{O}_3</math> 削減にとって概して好都合である。また、<math>\text{NO}_x</math> の削減による夏季の <math>\text{O}_3</math> の減少は、OH や <math>\text{NO}_3</math> 濃度の低下によって特徴づけられる大気酸化能の低下につながり、その結果、二次的な無機エアロゾル(硝酸塩、硫酸塩、アンモニウムイオン、NSA) の生成をさらに減少させることになる。</p> <p>VOC の排出削減は、MDA8 の <math>\text{O}_3</math> をさらに削減するのに役立ち、HCHO と一次大気有害物質を同時に制御するために必要であるが、NSA の削減には効果がない。本研究は、全国規模の <math>\text{NO}_x</math> 排出削減政策が、<math>\text{O}_3</math> と <math>\text{PM}_{2.5}</math> を同時に抑制する上で大きな可能性を持つことを示している。しかし、限られた空間スケールで適用すると、その効果は大きく低下する可能性がある。</p>
------------	---

文献番号	3-13-6
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Opposite impact of emission reduction during the COVID-19 lockdown period on the surface concentrations of PM <sub>2.5</sub> and O <sub>3</sub> in Wuhan, China
邦題	COVID-19 ロックダウン期間中の排出削減が中国武漢の PM <sub>2.5</sub> と O <sub>3</sub> の地表濃度に与える相反する影響
著者、作者	Hao Yin, Cheng Liu, Qihou Hu, Ting Liu, Shuntian Wang, Meng Gao, Shiqi Xu, Chengxin Zhang, Wenjing Su
出版年	2021
出典	Environmental Pollution, Volume 289, 15 November 2021, 117899
URL	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749121014810">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749121014810</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117899">https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117899</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：中国
抄録 (英文)	To prevent the spread of the COVID-19 epidemic, the Chinese megacity Wuhan has taken emergent lockdown measures starting on January 23, 2020. This provided a natural experiment to investigate the response of air quality to such emission reductions. Here, we decoupled the influence of meteorological and non-meteorological factors on main air pollutants using generalized additive models (GAMs), driven by data from the China National Environmental Monitoring Center (CNEMC) network. During the lockdown period (Jan. 23 - Apr. 8, 2020), PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , and CO concentrations decreased significantly by 45 %, 49 %, 56 %, 39 %, and 18 % compared with the corresponding period in 2015-2019, with contributions by S(meteos) of 15 %, 17 %, 13 %, 10 %, and 6 %. This indicates an emission reduction of NO <sub>x</sub> at least 43 %. However, O <sub>3</sub> increased by 43 % with a contribution by S(meteos) of 6 %. In spite of the reduced volatile organic compound (VOC) emissions by 30 % during the strict lockdown period (Jan. 23 - Feb. 14, 2020), which likely reduced the production of O <sub>3</sub> , O <sub>3</sub> concentrations increased due to a weakening of the <u>titration</u> effect of NO. Our results suggest that conventional emission reduction (NO <sub>x</sub> reduction only) measures may not be sufficient to reduce (or even lead to an increase of) surface O <sub>3</sub> concentrations, even if reaching the limit, and VOC-specific measures should also be taken.

抄録 (和文)	<p>COVID-19 の感染拡大を防ぐため、中国の巨大都市・武漢では 2020 年 1 月 23 日から緊急封鎖措置がとられた。これは、このような排出削減に対する大気質の反応を調査するための自然の実験となった。ここでは、中国国家環境モニタリングセンター (CNEMC) ネットワークのデータを用いて、一般化加法モデル (GAM) を用いて、主要な大気汚染物質に対する気象的及び非気象的要因の影響を切り離した。</p> <p>ロックダウン期間 (2020 年 1 月 23 日～4 月 8 日) において、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、CO 濃度は 2015～2019 年の対応期間と比較して 45 %、49 %、56 %、39 %、18 %と大幅に減少し、S (meteos) による寄与は 15 %、17 %、13 %、10 %、6 %となった。これは、NO<sub>x</sub> の排出量を少なくとも 43%削減したことを示している。しかし、O<sub>3</sub> は 43%増加し、S(meteos)の寄与は 6%であった。厳重なロックダウン期間 (2020 年 1 月 23 日～2 月 14 日) には揮発性有機化合物 (VOC) の排出が 30 %減少し、O<sub>3</sub> の発生が抑制されたと考えられるが、O<sub>3</sub> 濃度は NO の滴定効果が弱まり、増加した。</p> <p>この結果から、従来 of 排出削減対策 (NO<sub>x</sub> 削減のみ) では、限界に達したとしても、地表 O<sub>3</sub> 濃度を削減するには不十分である (あるいは上昇にさえつながる) 可能性があり、VOC に特化した対策も必要であることが示唆される。</p>
------------	---

文献番号	3-17-5
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Nonlinear response of nitrate to NO <sub>x</sub> reduction in China during the COVID-19 pandemic
邦題	COVID-19 パンデミック時の中国における NO <sub>x</sub> 削減に対する硝酸塩の非線形応答
著者、作者	Chuanhua Ren, Xin Huang, Zilin Wang, Peng Sun Xuguang Chi, Yue Ma, Derong Zhou, Jiantao Huang, Yuning Xie, Jian Gao, Aijun Ding
出版年	2021
出典	Atmospheric Environment, Volume 264, 1 November 2021, 118715
URL	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231021005379">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231021005379</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118715">https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118715</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：中国
抄録 (英文)	<p>In recent years, nitrate plays an increasingly important role in haze pollution and strict emission control seems ineffective in reducing nitrate pollution in China. In this study, observations of gaseous and particulate pollutants during the COVID-19 lockdown, as well as numerical modelling were integrated to explore the underlying causes of the nonlinear response of nitrate mitigation to <u>nitric oxides</u>(NO<sub>x</sub>) reduction. We found that, due to less NO<sub>x</sub> <u>titration</u> effect and the transition of ozone (O<sub>3</sub>) formation regime caused by NO<sub>x</sub> emissions reduction, a significant increase of O<sub>3</sub> (by ~ 69%) was observed during the lockdown period, leading to higher atmospheric oxidizing capacity and facilitating the conversion from NO<sub>x</sub> to oxidation products like <u>nitric acid</u> (HNO<sub>3</sub>). It is proven by the fact that 26-61% reduction of NO<sub>x</sub> emissions only lowered surface HNO<sub>3</sub> by 2-3% in Hebi and Nanjing, eastern China. In addition, ammonia concentration in Hebi and Nanjing increased by 10% and 40% during the lockdown, respectively. Model results suggested that the increasing ammonia can promote the gas-particle partition and thus enhance the nitrate formation by up to 20%. The enhanced atmospheric oxidizing capacity together with increasing ammonia availability jointly promotes the nitrate formation, thereby partly offsetting the drop of NO<sub>x</sub>. This work sheds more lights on the side effects of a sharp NO<sub>x</sub> reduction and highlights the importance of a coordinated control strategy.</p>

抄録 (和文)	<p>近年、硝酸塩はヘイズ汚染においてますます重要な役割を果たしており、中国における硝酸塩汚染の低減には厳しい排出規制が有効でないようである。本研究では、COVID-19 ロックダウン期間中のガス状及び粒子状汚染物質の観測と数値モデリングを統合し、一酸化窒素 (<math>\text{NO}_x</math>) 削減に対する硝酸塩削減の非線形応答の根本原因を探った。</p> <p>その結果、<math>\text{NO}_x</math> の滴定効果が少なく、<math>\text{NO}_x</math> 排出量削減によるオゾン (<math>\text{O}_3</math>) 生成レジームの移行により、ロックダウン期間中に <math>\text{O}_3</math> が大幅に増加 (約 69%) し、大気の酸化能力が高く、<math>\text{NO}_x</math> から硝酸 (<math>\text{HNO}_3</math>) などの酸化生成物への変換を促進したことが分かった。それは、<math>\text{NO}_x</math> 排出量を 26~61%削減しても、中国東部の鶴壁と南京では表面の <math>\text{HNO}_3</math> が 2~3%しか低下しなかったことから証明される。また、ロックダウン中に鶴壁と南京のアンモニア濃度はそれぞれ 10%と 40%上昇した。モデルの結果から、アンモニアの増加はガスと粒子の分離を促進し、硝酸塩の生成を最大で 20%促進することが示唆された。</p> <p>大気中の酸化能力の向上とアンモニアの利用可能性が増えることにより、硝酸塩の生成が促進され、<math>\text{NO}_x</math> の減少が一部相殺された。この研究は、<math>\text{NO}_x</math> の急激な減少の副作用に光を当て、協調的な制御戦略の重要性を強調している。</p>
------------	---

文献番号	3-17-10
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Air Quality During COVID-19 Lockdown in the Yangtze River Delta and the Pearl River Delta: Two Different Responsive Mechanisms to Emission Reductions in China
邦題	長江デルタと珠江デルタにおける COVID-19 ロックダウン時の大気質：中国における排出削減への2つの異なる応答メカニズム
著者、作者	Nan Wang, Jiawei Xu, Chenglei Pei, Rong Tang, Derong Zhou, Yanning Chen, Mei Li, Xuejiao Deng, Tao Deng, Xin Huang, and Aijun Ding
出版年	2021
出典	Environ. Sci. Technol. 2021, 55, 9, 5721-5730
URL	<a href="https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.0c08383">https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.0c08383</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1021/acs.est.0c08383">https://doi.org/10.1021/acs.est.0c08383</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：中国
抄録 (英文)	<p>Despite the large reduction in anthropogenic activities due to the outbreak of COVID-19, air quality in China has witnessed little improvement and featured great regional disparities. Here, by combining observational data and simulations, this work aims to understand the diverse air quality response in two city clusters, Yangtze River Delta region (YRD) and Pearl River Delta region (PRD), China. Though there was a noticeable drop in primary pollutants in both the regions, differently, the maximum daily 8 h average ozone (O<sub>3</sub>) soared by 20.6-76.8% in YRD but decreased by 15.5-28.1% in PRD. In YRD, nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) reductions enhanced O<sub>3</sub> accumulation and hence increased secondary aerosol formation. Such an increment in secondary organic and inorganic aerosols under stationary weather reached up to 36.4 and 10.2%, respectively, which was further intensified by regional transport. PRD was quite the opposite. The emission reductions benefited PRD air quality, while regional transport corresponded to an increase of 17.3 and 9.3% in secondary organic and inorganic aerosols, respectively. Apart from meteorology, the discrepancy in O<sub>3</sub>-VOC-NO<sub>x</sub> relationships determined the different O<sub>3</sub> responses, indicating that future emission control shall be regionally specific, instead of one-size-fits-all cut. Overall, the importance of regionally coordinated and balanced control strategy for multiple pollutants is highly emphasized.</p>

抄録 (和文)	<p>COVID-19 の発生により人為的活動が大幅に減少したにもかかわらず、中国の大気質はほとんど改善されず、地域格差が大きいのが特徴である。本研究は、観測データとシミュレーションを組み合わせることで、中国の長江デルタ地域 (YRD) と珠江デルタ地域 (PRD) の 2 つの都市群における大気質の多様な応答を理解することを目的とする。</p> <p>両地域で一次汚染物質の顕著な減少が見られたが、最大日 8 時間平均オゾン (<math>O_3</math>) は YRD で 20.6-76.8 % 上昇し、PRD で 15.5-28.1 % 減少したのが異なる。YRD では、窒素酸化物 (<math>NO_x</math>) の減少が <math>O_3</math> の蓄積を促進し、その結果、二次エアロゾルの生成が増加した。定常気象下での二次エアロゾルの増加は、有機物で 36.4%、無機物で 10.2% に達し、地域間輸送によってさらに増加した。</p> <p>PRD は全く逆であった。排出削減は PRD の大気質に便益を与えたが、地域輸送は、二次有機エアロゾルと無機エアロゾルをそれぞれ 17.3% と 9.3% 増加させることとなった。気象とは別に、<math>O_3</math>-VOC-<math>NO_x</math> 関係における相違が <math>O_3</math> 応答の違いを決定づけた。これは、将来の排出制御が、画一的なものではなく、地域によりスペシフィックであるべきことを示す。全体として、複数の汚染物質に対して、地域的に調整され、バランスのとれた制御戦略の重要性が強調される。</p>
------------	--

文献番号	3-23-5
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Ozone pollution mitigation in Guangxi (South China) driven by meteorology and anthropogenic emissions during the COVID-19 lockdown
邦題	COVID-19 ロックダウン時の気象と人為的排出による広西チワン族自治区（中国南部）のオゾン汚染の緩和
著者、作者	Shuang Fu, Meixiu Guo, Linping Fan, Qiyin Deng, Deming Han, Ye Wei, Jinmin Luo, Guimei Qin, Jinping Cheng
出版年	2021
出典	Environmental Pollution, Volume 272, 1 March 2021, 115927
URL	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749120366161">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749120366161</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115927">https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115927</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：中国
抄録 (英文)	<p>With the implementation of COVID-19 restrictions and consequent improvement in air quality due to the nationwide lockdown, ozone (O<sub>3</sub>) pollution was generally amplified in China. However, the O<sub>3</sub> levels throughout the Guangxi region of South China showed a clear downward trend during the lockdown. To better understand this unusual phenomenon, we investigated the characteristics of conventional pollutants, the influence of meteorological and anthropogenic factors quantified by a multiple linear regression (MLR) model, and the impact of local sources and long-range transport based on a continuous emission monitoring system (CEMS) and the HYSPLIT model. Results show that in Guangxi, the conventional pollutants generally declined during the COVID-19 lockdown period (January 24 to February 9, 2020) compared with their concentrations during 2016-2019, while O<sub>3</sub> gradually increased during the resumption (10 February to April 2020) and full operation periods (May and June 2020). Focusing on Beihai, a typical Guangxi region city, the correlations between the daily O<sub>3</sub> concentrations and six meteorological parameters (wind speed, visibility, temperature, humidity, precipitation, and atmospheric pressure) and their corresponding regression coefficients indicate that meteorological conditions were generally conducive to O<sub>3</sub> pollution mitigation during the lockdown. A 7.84 μg/m<sup>3</sup> drop in O<sub>3</sub> concentration was driven by meteorology, with other decreases (4.11 μg/m<sup>3</sup>) explained by reduced anthropogenic emissions of O<sub>3</sub> precursors. Taken together, the lower NO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub> ratios (1.25-2.33) and consistencies between real-time monitored primary emissions and ambient concentrations suggest that, with the closure of small-scale industries, residual industrial emissions have become dominant contributors to local primary pollutants. Backward trajectory cluster analyses show that the slump of O<sub>3</sub> concentrations in Southern Guangxi could be partly attributed to clean air mass transfer (24-58%) from the South China Sea. Overall, the synergistic effects of the COVID-19 lockdown and meteorological factors intensified O<sub>3</sub> reduction in the Guangxi region of South China.</p>

抄録 (和文)	<p>COVID-19 規制の実施とそれに伴う全国的な封鎖による大気環境の改善により、中国ではオゾン (O<sub>3</sub>) 汚染が全体的に増幅された。しかし、中国南部の広西チワン族自治区全域の O<sub>3</sub> 濃度は、ロックダウン期間中に明らかな減少傾向を示した。この異常な現象をよりよく理解するために、我々は、従来の汚染物質の特性、多重線形回帰 (MLR) モデルによって定量化された気象及び人為的要因の影響、連続排出量モニタリングシステム (CEMS) と HYSPLIT モデルに基づくローカル発生源と長距離輸送のインパクトについて調査した。</p> <p>その結果、広西では、COVID-19 のロックダウン期間 (2020 年 1 月 24 日～2 月 9 日) は 2016～2019 年の濃度と比較して従来の汚染物質が概ね減少し、再開期間 (2020 年 2 月 10 日～4 月) 及びフル稼働期間 (2020 年 5、6 月) は O<sub>3</sub> が徐々に増加することが分かった。</p> <p>広西チワン族自治区の代表的な都市である北海に焦点を当て、日中の O<sub>3</sub> 濃度と 6 つの気象パラメータ (風速、視程、気温、湿度、降水量、気圧) の相関とそれに対応する回帰係数は、ロックダウン中の気象条件が O<sub>3</sub> 汚染の軽減に概して寄与していたことを示している。</p> <p>O<sub>3</sub> 濃度の 7.84 μg/m<sup>3</sup> の低下は気象によるもので、その他の低下 (4.11 μg/m<sup>3</sup>) は O<sub>3</sub> 前駆物質の人為的排出の減少によって説明される。NO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub> 比の低下 (1.25 - 2.33)、及びリアルタイムモニタリングされた一次排気ガスと大気濃度の一致から、小規模産業の閉鎖に伴い、残留する産業排出物が地域の一次汚染物質の主要因となったことが示唆される。</p> <p>後方軌道クラスター分析により、広西チワン族自治区南部における O<sub>3</sub> 濃度の低迷は、南シナ海からの清浄空気の大量移動 (24 - 58%) に一部起因していることが示された。全体として、COVID-19 のロックダウンと気象的要因の相乗効果により、中国南部の広西チワン族自治区における O<sub>3</sub> 削減が強まった。</p>
------------	---

文献番号	3-23-8
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	An observation approach in evaluation of ozone production to precursor changes during the COVID-19 lockdown
邦題	COVID-19 ロックダウン時の前駆物質変化に対するオゾン生成の評価における観測アプローチ
著者、作者	Jipeng Qi, Ziwei Mo, Bin Yuan, Shan Huang, Yibo Huangfu, Zelong Wang, Xiaobing Li, Suxia Yang, Wenjie Wang, Yiming Zhao, Xuemei Wang, Weiwang Wang, Kexuan Liu, Min Shao
出版年	2021
出典	Atmospheric Environment, Volume 262, 1 October 2021, 118618
URL	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231021004404">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231021004404</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118618">https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118618</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：中国
抄録 (英文)	<p>The increase of surface ozone during the <u>Corona Virus Disease 2019 (COVID-19)</u> lockdown in China has aroused great concern. In this study, we combine 1.5 years of measurements for ozone, volatile organic compounds (VOCs), and <u>nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>)</u> at four sites to investigate the effect of COVID-19 lockdown on surface ozone in Dongguan, an industrial city in southern China. We show that the average concentrations of NO<sub>x</sub> and VOCs decreased by 70%-77% and 54%-68% during the lockdown compared to pre-lockdown, respectively. Based on the <u>source apportionment</u> of VOCs, the contribution of industrial solvent use reduced significantly (86%-94%) during the lockdown, and climbed back slowly along with the re-opening of the industry after lockdown. A slight increase in mean ozone concentration (3%-14%) was observed during the lockdown. The rise of ozone was the combined effect of substantial increase at night (58%-91%) and small reduction in the daytime (1%-17%). These conflicting observations in ozone response between day and night to emission change call for a more detailed approach to diagnostic ozone production response with precursor changes, rather than directly comparing absolute concentrations. We propose that the ratio of daily O<sub>x</sub> (i.e. ozone + NO<sub>2</sub>) enhancement to solar radiation can provide a diagnostic parameter for ozone production response during the lockdown period. Smaller ratio of daily O<sub>x</sub>(ozone + NO<sub>2</sub>) enhancement to solar radiation during the lockdown were observed from the long-term measurements in Dongguan, suggesting significantly weakened <u>photochemistry</u> during the lockdown successfully reduces local ozone production. Our proposed approach can provide an evaluation of ozone production response to precursor changes from restrictions of social activities during COVID-19 epidemic and also other regional air quality abatement measures (e.g. public mega-events) around the globe.</p>

抄録 (和文)	<p>中国におけるコロナウイルス感染症 2019 (COVID-19) ロックダウン中の地表オゾンの増加は、大きな懸念となっている。本研究では、中国南部の工業都市である東莞において、1.5年間にわたる4地点でのオゾン、揮発性有機化合物 (VOC)、窒素酸化物 (<math>\text{NO}_x</math>) の測定を組み合わせ、COVID-19 ロックダウンが地表オゾンに及ぼす影響を調査した。</p> <p>ロックダウン中、<math>\text{NO}_x</math> と VOC の平均濃度はロックダウン前に比べ、それぞれ 70%~77%、54%~68%減少していることが分かった。VOC の発生源配分によると、工業用溶剤の寄与はロックダウン中に大きく減少し (86%-94%)、ロックダウン後の工業再開とともに徐々に上昇した。ロックダウンの間、平均オゾン濃度のわずかな上昇 (3%-14%) が観察された。オゾンの上昇は、夜間の大幅な上昇 (58%-91%) と昼間のわずかな減少 (1%-17%) の複合効果であった。排出量変化に対する昼夜のオゾン反応におけるこれらの相反する観測結果は、絶対濃度を直接比較するのではなく、前駆物質の変化に伴うオゾン生成応答を診断するための、より緻密なアプローチを必要とする。</p> <p>我々は、日射量に対する日次 [daily] <math>\text{O}_x</math> (オゾン+<math>\text{NO}_2</math>) の増加の比率が、ロックダウン期間中のオゾン生成応答を診断するパラメータになることを提案する。東莞での長期観測から、ロックダウン期間中の日射量に対する日 <math>\text{O}_x</math> (オゾン+<math>\text{NO}_2</math>) 増加の比率は小さく、ロックダウン期間中に光化学が弱まり、局所的なオゾン生成を減少させることに成功したことが示唆される。提案する手法は、COVID-19 流行時の社会活動制限による前駆物質変化に対するオゾン生成応答や、世界の他地域での大気質緩和策 (例: 公的のメガイベント [public megaevents]) を評価することができる。</p>
------------	---

文献番号	3-27-3
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	The seesaw impacts between reduced emissions and enhanced AOC on O <sub>3</sub> during the COVID-19
邦題	COVID-19 中の O <sub>3</sub> に対する排出量削減と AOC 向上の間のシーソー・インパクト
著者、作者	Shengqiang Zhu, James Poetzscher, Juanyong Shen, Siyu Wang, Peng Wang, Hongliang Zhang
出版年	2020
出典	Cornell University, arXiv:2009.11714 [physics.ao-ph]
URL	<a href="https://arxiv.org/abs/2009.11714">https://arxiv.org/abs/2009.11714</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.48550/arXiv.2009.11714">https://doi.org/10.48550/arXiv.2009.11714</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：中国
抄録 (英文)	<p>Due to the lockdown measures during the 2019 novel coronavirus (COVID-19) pandemic, the economic activities and the associated emissions have significantly declined. This reduction in emissions has created a natural experiment to assess the impact of the emitted precursor control policy on ozone (O<sub>3</sub>) pollution, which has become a public concern in China during the last decade. In this study, we utilized comprehensive satellite, ground-level observations, and source-oriented chemical transport modeling to investigate the O<sub>3</sub> variations during the COVID-19 in China. Here we found that the O<sub>3</sub> formation regime shifted from a VOC-limited regime to a NO<sub>x</sub>-limited regime due to the lower NO<sub>x</sub> during the COVID-19 lockdown. However, instead of these changes of the O<sub>3</sub> formation region, the significant elevated O<sub>3</sub> in the North China Plain (40%) and Yangtze River Delta (35%) were mainly attributed to the enhanced atmospheric oxidant capacity (AOC) in these regions, which was different from previous studies. We suggest that future O<sub>3</sub> control policies should comprehensively consider the synergistic effects of O<sub>3</sub> formation regime and AOC on the O<sub>3</sub> elevation.</p>

抄録 (和文)	<p>2019年の新型コロナウイルス（COVID-19）パンデミック時のロックダウン措置により、経済活動とそれに伴う排出量は大幅に減少した。この排出量の減少は、過去10年間に中国で国民の懸念事項となっているオゾン（<math>O_3</math>）汚染に対する排出された前駆物質制御政策の影響を評価するための自然の実験となった。</p> <p>本研究では、包括的な衛星、地上観測、及び発生源指向の化学輸送モデリングを活用して、中国におけるCOVID-19時の<math>O_3</math>変動を調査した。ここでは、COVID-19のロックダウン期間中に<math>NO_x</math>が減少したため、<math>O_3</math>生成レジームがVOC律速領域から<math>NO_x</math>律速領域に移行したことを明らかにした。</p> <p>しかしながら、こうした<math>O_3</math>生成地域の変化とは別に、華北平原（40%）と長江デルタ（35%）での著しい<math>O_3</math>上昇は、主にこれらの地域での大気酸化能（AOC）の向上に起因しており、これまでの研究とは異なっていた。今後の<math>O_3</math>制御政策は、<math>O_3</math>生成レジームとAOCが<math>O_3</math>上昇に及ぼす相乗効果を総合的に考慮する必要があることを提案したい。</p>
------------	--

文献番号	3-43-10
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Insights into the significant increase in ozone during COVID-19 in a typical urban city of China
邦題	中国の典型的な都市における COVID-19 流行時のオゾンの著しい増加に関する洞察
著者、作者	Kun Zhang, Zhiqiang Liu, Xiaojuan Zhang, Qing Li, Andrew Jensen, Wen Tan, Ling Huang, Yangjun Wang, Joost de Gouw, Li Li
出版年	2022
出典	Atmospheric Chemistry and Physics, 22, 4853-4866, 2022
URL	<a href="https://acp.copernicus.org/articles/22/4853/2022/">https://acp.copernicus.org/articles/22/4853/2022/</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.5194/acp-22-4853-2022">https://doi.org/10.5194/acp-22-4853-2022</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：中国
抄録 (英文)	<p>The outbreak of COVID-19 promoted strict restrictions to human activities in China, which led to a dramatic decrease in most air pollutant concentrations (e.g., PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> and CO). However, an obvious increase in ozone (O<sub>3</sub>) concentrations was found during the lockdown period in most urban areas of China. In this study, we conducted field measurements targeting ozone and its key precursors by utilizing a novel proton transfer reaction time-of-flight mass spectrometer (PTR-TOF-MS) in Changzhou, which is representative of the Yangtze River Delta (YRD) city cluster of China. We further applied the integrated methodology including machine learning, an observation-based model (OBM) and sensitivity analysis to obtain insights into the reasons causing the obvious increase in ozone. Major findings include the following: (1) by deweathered calculation, we found changes in precursor emissions contributed 1.46 ppbv to the increase in the observed O<sub>3</sub> during the full-lockdown period in 2020, while meteorology constrained 3.0 ppbv of O<sub>3</sub> in the full-lockdown period of 2019. (2) By using an OBM, we found that although a significant reduction in O<sub>3</sub> precursors was observed during the full-lockdown period, the photochemical formation of O<sub>3</sub> was stronger than that during the pre-lockdown period. (3) The ratio dropped dramatically from 1.84 during the pre-lockdown to 0.79 in the full-lockdown period, which switched O<sub>3</sub> formation from a VOC-limited regime to the boundary of a NO<sub>x</sub>- and VOC-limited regime. Additionally, box model results suggested that the decrease in the ratio during the full-lockdown period could increase the mean O<sub>3</sub> by 2.4 ppbv. Results of this study give insights into the relationship between O<sub>3</sub> and its precursors in urban area and demonstrate reasons for the obvious increase in O<sub>3</sub> in most urban areas of China during the COVID-19 lockdown period. This study also underlines the necessity of controlling anthropogenic oxygenated volatile organic compounds (OVOCs), alkenes and aromatics in the sustained campaign of reducing O<sub>3</sub> pollution in China.</p>

抄録 (和文)	<p>COVID-19 の発生により、中国では人の活動が厳しく制限され、ほとんどの大気汚染物質濃度 (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO など) が劇的に減少した。しかし、中国のほとんどの都市部では、ロックダウン期間中にオゾン (O<sub>3</sub>) 濃度の明らかな上昇が確認された。本研究では、中国の長江デルタ (YRD) 都市クラスターを代表する常州において、新しいプロトン移動反応飛行時間型質量分析計 (PTR-TOF-MS) を用いて、オゾンとその主要な前駆物質を対象としたフィールド測定を実施した。</p> <p>さらに、機械学習、観測に基づくモデル (OBM)、及び感度解析を含む統合的な方法論を適用し、オゾンの明らかな増加を引き起こす原因について洞察を得た。主な成果は以下の通り。</p> <p>(1) 気象要因除去 [deweathered] 計算により、2019 年のフルロックダウン期間では気象学的に 3.0 ppbv の O<sub>3</sub> が制約されていたのに対し、2020 年のフルロックダウン期間では前駆物質排出量の変化が 1.46 ppbv の増加に寄与していることが分かった。</p> <p>(2) OBM を用いることにより、完全なロックダウン期間では O<sub>3</sub> 前駆物質の大幅な減少が見られたが、O<sub>3</sub> の光化学的生成はロックダウン前と比較して強いことが分かった。</p> <p>(3) 比率は、ロックダウン前の 1.84 からロックダウン後は 0.79 と大幅に低下し、O<sub>3</sub> 生成は VOC 律速領域から NO<sub>x</sub> 律速・VOC 律速領域の境界へと切り替わった。</p> <p>さらに、ボックスモデルの結果は、完全なロックダウン期間中の比率の減少により、平均 O<sub>3</sub> が 2.4 ppbv 増加する可能性があることを示唆した。本研究の結果は、都市部における O<sub>3</sub> とその前駆物質の関係についての洞察を与え、COVID-19 のロックダウン期間中に中国のほとんどの都市部で O<sub>3</sub> が明らかに増加した理由を示している。また、本研究は、中国における持続的な O<sub>3</sub> 汚染削減キャンペーンにおいて、人為的な酸素化揮発性有機化合物 (OVOC)、アルケン、及び芳香族を制御する必要性を強調している。</p>
------------	---

文献番号	3-46-4
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Surface ozone changes during the COVID-19 outbreak in China: An insight into the pollution characteristics and formation regimes of ozone in the cold season
邦題	中国の COVID-19 流行時における地表オゾンの変化：寒冷期におけるオゾンの汚染特性と生成レジームに関する洞察
著者、作者	Lei Tong, Yu Liu, Yang Meng, Xiaorong Dai, Leijun Huang, Wenxian Luo, Mengrong Yang, Yong Pan, Jie Zheng, Hang Xiao
出版年	2022
出典	Journal of Atmospheric Chemistry (2022)
URL	<a href="https://link.springer.com/article/10.1007/s10874-022-09443-2">https://link.springer.com/article/10.1007/s10874-022-09443-2</a>
DOI	
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：中国
抄録 (英文)	<p>The countrywide lockdown in China during the COVID-19 pandemic provided a natural experiment to study the characteristics of surface ozone (O<sub>3</sub>). Based on statistical analysis of air quality across China before and during the lockdown, the tempo-spatial variations and site-specific formation regimes of wintertime O<sub>3</sub> were analyzed. The results showed that the O<sub>3</sub> pollution with concentrations higher than air quality standards could occur widely in winter, which had been aggravated by the emission reduction during the lockdown. On the national scale of China, with the significant decrease (54.03%) in NO<sub>2</sub> level from pre-lockdown to COVID-19 lockdown, the maximum daily 8-h average concentration of O<sub>3</sub>(MDA8h O<sub>3</sub>) increased by 39.43% from 49.05 to 64.22 μg/m<sup>3</sup>. This increase was comprehensively contributed by attenuated NO<sub>x</sub> suppression and favorable meteorological changes on O<sub>3</sub> formation during the lockdown. As to the pollution states of different monitoring stations, surface O<sub>3</sub> responded oppositely to the consistent decreased NO<sub>2</sub> across China. The O<sub>3</sub> levels were found to increase in the northern and central regions, but decrease in the southern region, where the changes in both meteorology (e.g. temperature drops) and precursors (reduced emissions) during the lockdown had diminished local O<sub>3</sub> production. The spatial differences in NO<sub>x</sub> levels generally dictate the site-specific O<sub>3</sub> formation regimes in winter, with NO<sub>x</sub>-titration/VOCs-sensitive regimes being dominant in northern and central China, while VOCs-sensitive/transition regimes being dominant in southern China. These findings highlight the influence of NO<sub>x</sub> saturation levels on winter O<sub>3</sub> formation and the necessity of VOCs emission reductions on O<sub>3</sub> pollution controls.</p>

抄録 (和文)	<p>COVID-19 パンデミック時の中国での全国的な封鎖は、地表オゾン (<math>O_3</math>) の特性を研究するための自然の実験を提供した。ロックダウン前とロックダウン中の中国全土の大気質の統計分析に基づいて、冬季の <math>O_3</math> の時間・空間変動とサイト固有の生成レジームが分析された。その結果、大気質基準を上回る濃度の <math>O_3</math> が冬季に広く発生する可能性があり、これはロックダウン中の排出削減によって悪化していることを示した。</p> <p>中国の全国規模では、ロックダウン前から COVID-19 ロックダウン期間にかけての <math>NO_2</math> レベルの大幅な減少 (54.03%) に伴い、<math>O_3</math> の日最大 8 時間平均濃度 (MDA8h <math>O_3</math>) は 49.05 から 64.22 <math>\mu g/m^3</math> へと 39.43% 増加した。この増加は、ロックダウン中の <math>NO_x</math> 抑制の減衰 [attenuated <math>NO_x</math> suppression] と <math>O_3</math> 生成に有利な気象変化が総合的に寄与している。各モニタリング局の汚染状況を見ると、中国全土で <math>NO_2</math> が一貫して減少しているのに対し、地表の <math>O_3</math> は反対の応答を示している。</p> <p><math>O_3</math> レベルは北部と中部地域で上昇し、南部地域で低下したことが分かった。これは、ロックダウン期間中の気象条件 (気温低下など) と前駆物質 (排出量減少) の変化により、局所的な <math>O_3</math> 生成量が減少したことによる。<math>NO_x</math> レベルの空間的な違いは、一般的に冬のサイト特有の <math>O_3</math> 生成レジームを規定し、中国北部と中部では <math>NO_x</math> 滴定/VOC 感度レジームが優勢であり、中国南部では VOC 感度/遷移レジームが優勢であった。これらの結果は、冬季の <math>O_3</math> 生成における <math>NO_x</math> 飽和レベルの影響と、<math>O_3</math> 汚染対策における VOC 排出量削減の必要性を強調している。</p>
------------	--

文献番号	3-49-6
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Elucidating the mechanisms of rapid O <sub>3</sub> increase in North China Plain during COVID-19 lockdown period
邦題	COVID-19 ロックダウン期間中の華北平原における O <sub>3</sub> の急激な増加メカニズムの解明
著者、作者	Rui Li, Yining Gao, Gehui Wang
出版年	2023
出典	Authorea. March 28, 2023
URL	<a href="https://www.authorea.com/doi/full/10.1002/essoar.10512328.3">https://www.authorea.com/doi/full/10.1002/essoar.10512328.3</a>
DOI	DOI: 10.1002/essoar.10512328.3
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：中国
抄録 (英文)	<p>Ozone (O<sub>3</sub>) levels in North China Plain (NCP) suffered from rapid increases during the COVID-19 period. Many previous studies have confirmed more rapid NO<sub>x</sub> reduction compared with VOCs might be responsible for the O<sub>3</sub> increase during this period, while the comprehensive impacts of each VOC species and NO<sub>x</sub> on ambient O<sub>3</sub> and their interactions with meteorology were not revealed clearly. To clarify the detailed reasons for the O<sub>3</sub> increase, a continuous campaign was performed in a typical industrial city of NCP. Meanwhile, the machine-learning technique and the box model were employed to reveal the mechanisms of O<sub>3</sub> increase from the perspective of meteorology and photochemical process, respectively. The result suggested that the ambient O<sub>3</sub> level in Tangshan increased from 18.7 ± 4.63 to 45.6 ± 8.52 μg/m<sup>3</sup> (143%) after COVID-19 lockdown, and the emission reduction and meteorology contributed to 77% and 66% of this increment, respectively. The higher wind speed (WS) coupled with regional transport played a significant role on O<sub>3</sub> increase (30.8 kg/s). The O<sub>3</sub> sensitivity verified that O<sub>3</sub> production was highly volatile organic compounds (VOC)-sensitive (Relative incremental reactivity (RIR): 0.75), while the NO<sub>x</sub> showed the negative impact on O<sub>3</sub> production in Tangshan (RIR: -0.59). It suggested that the control of VOCs rather than NO<sub>x</sub> might be more effective in reducing O<sub>3</sub> level in Tangshan because it was located on the VOC-limited regime. Besides, both of ozone formation potential (OFP) analysis and observation-based model (OBM) demonstrated that the alkenes (36.3 ppb) and anthropogenic oxygenated volatile organic compounds (OVOCs) (15.2 ppb) showed the higher OFP compared with other species, and their reactions released a large number of HO<sub>2</sub> and RO<sub>2</sub> radicals. Moreover, the concentrations of these species did not experience marked decreases after COVID-19 lockdown, which were major contributors to O<sub>3</sub> increase during this period. This study underlines the necessity of priority controlling alkenes and OVOCs, which will benefit not just NCP but also other regions in China.</p>

抄録 (和文)	<p>華北平原 (NCP) のオゾン (<math>O_3</math>) レベルは、COVID-19 期間中に急激に上昇した。多くの先行研究で、VOC に比べ <math>NO_x</math> のより急速な減少がこの時期の <math>O_3</math> 上昇の原因であることが確認されているが、各 VOC 種と <math>NO_x</math> の大気中 <math>O_3</math> への包括的影響や気象との相互作用は明確になっていなかった。</p> <p><math>O_3</math> 増加の詳細な理由を明らかにするため、NCP の典型的な工業都市で継続的なキャンペーンを実施した。また、機械学習技術とボックスモデルを用いて、それぞれ気象学と光化学プロセスの観点から <math>O_3</math> 増加のメカニズムを明らかにした。</p> <p>その結果、COVID-19 ロックダウン後、唐山の大気中 <math>O_3</math> レベルは <math>18.7 \pm 4.63</math> から <math>45.6 \pm 8.52 \mu g/m^3</math> (143%) に増加し、排出削減と気象がこの増加にそれぞれ 77% と 66% に寄与していることが示唆された。<math>O_3</math> の増加 (<math>30.8 kg/s</math>) には、地域輸送と相まって高い風速 (WS) が大きな役割を果たした。</p> <p><math>O_3</math> 感度は、<math>O_3</math> 生成に関する揮発性有機化合物 (VOC) 感度が高い (相対増分反応度 (RIR) : 0.75) ことを実証し、一方、<math>NO_x</math> は唐山での <math>O_3</math> 生成にマイナスの影響を与えること (RIR : -0.59) が示された。</p> <p>このことから、唐山市は VOC 律速領域に位置しているため、<math>NO_x</math> よりも VOC の制御が <math>O_3</math> レベルの低減に効果的である可能性が示唆された。さらに、オゾン生成能 (OFP) 分析と観測に基づくモデル (OBM) の両方により、アルケン (36.3 ppb) と人為起源の酸素化揮発性有機化合物 (OVOC) (15.2 ppb) は他の種に比べて高い OFP を示し、これらの反応により多くの <math>HO_2</math> ラジカルと <math>RO_2</math> ラジカルを放出することが示された。</p> <p>さらに、COVID-19 のロックダウン後も、この期間の <math>O_3</math> 増加の主要因であるこれらの化学種の濃度は顕著に減少しなかった。この研究は、アルケンと OVOC を優先的に制御する必要性を強調するものであり、このことは NCP だけでなく中国の他の地域にも有益である。</p>
------------	--

文献番号	3-50-4
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	The impact of COVID-19 lockdown on ozone budget and radical chemistry in a typical industrial city of China
邦題	COVID-19 ロックダウンが中国の典型的な工業都市におけるオゾン収支とラジカル化学に与える影響
著者、作者	Rui Li, Yining Gao, Gehui Wang
出版年	2023
出典	Authorea. March 06, 2023
URL	<a href="https://www.authorea.com/doi/full/10.1002/essoar.10512328.2">https://www.authorea.com/doi/full/10.1002/essoar.10512328.2</a>
DOI	10.1002/essoar.10512328.2
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：中国
抄録 (英文)	<p>Ozone (O<sub>3</sub>) levels in East China suffered from rapid increases during the COVID-19 period. To clarify the reason for the O<sub>3</sub> increase, a continuous campaign was performed in a industrial city in North China Plain (NCP). Meanwhile, the machine-learning technique and the box model were employed to reveal the mechanisms of O<sub>3</sub> increase from the perspective of meteorology and photochemical process, respectively. The result suggested that the ambient O<sub>3</sub> level in Tangshan increased from <math>18.7 \pm 4.63</math> to <math>45.6 \pm 8.52</math> <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> (143%) after COVID-19 lockdown, and the emission reduction and meteorology contributed to 77% and 66% of this increment, respectively. The higher Wind speed (WS) coupled with regional transport played a significant role on O<sub>3</sub> increase (30.8 kg/s). The O<sub>3</sub> sensitivity verified that O<sub>3</sub> production was highly volatile organic compounds (VOC)-sensitive (Relative incremental reactivity (RIR): 0.75), while the NO<sub>x</sub> showed the negative impact on O<sub>3</sub> production in Tangshan (RIR: -0.59). It suggested that the control of VOCs rather than NO<sub>x</sub> might be more effective in reducing O<sub>3</sub> level in Tangshan because it was located on the VOC-limited regime. Besides, both of ozone formation potential (OFP) analysis and observation-based model (OBM) demonstrated that the alkenes (36.3 ppb) and anthropogenic oxygenated volatile organic compounds (OVOCs) (15.2 ppb) showed the higher OFP compared with other species, and their reactions released a large number of HO<sub>2</sub> and RO<sub>2</sub> radicals. Moreover, the concentrations of these species did not experience marked decreases after COVID-19 lockdown, which were major contributors to O<sub>3</sub> increase during this period.</p>

抄録 (和文)	<p>中国東部のオゾン (<math>O_3</math>) 濃度は、COVID-19 の期間中に急激に上昇した。その原因を明らかにするため、華北平原の工業都市で連続キャンペーンを実施した。また、機械学習とボックスモデルを用いて、それぞれ気象学と光化学プロセスの観点から <math>O_3</math> 増加のメカニズムを明らかにした。</p> <p>その結果、唐山の大気中 <math>O_3</math> レベルは、COVID-19 のロックダウン後に <math>18.7 \pm 4.63</math> から <math>45.6 \pm 8.52 \mu g/m^3</math> (143%) に上昇し、排出削減と気象がそれぞれこの上昇の 77% と 66% 寄与していることが示唆された。</p> <p>風速 (WS) が強く、地域的な輸送と相まって、<math>O_3</math> 増加 (<math>30.8 kg/s</math>) に大きな役割を果たした。<math>O_3</math> 感度は、<math>O_3</math> 発生が揮発性有機化合物 (VOC) に非常にセンシティブであることが確認された (相対的増加反応性 (RIR) : 0.75) 一方、唐山での <math>O_3</math> 発生に <math>NO_x</math> は負の影響を示した (RIR : -0.59)。</p> <p>このことから、唐山市は VOC 律速領域に位置しているため、<math>NO_x</math> よりも VOC の制御が <math>O_3</math> レベルの低減に効果的である可能性が示唆された。さらに、オゾン生成能 (OFP) 分析と観測に基づくモデル (OBM) の両方で、アルケン (<math>36.3 \text{ ppb}</math>) と人為起源の酸素化揮発性有機化合物 (OVOC) (<math>15.2 \text{ ppb}</math>) は他の種に比べて高い OFP を示し、これらの反応によって多くの <math>HO_2</math> 及び <math>RO_2</math> ラジカルを放出したことが示された。さらに、これらの化学種の濃度は、COVID-19 のロックダウン後も顕著な減少は見られず、この期間の <math>O_3</math> 増加の主要因となった。</p>
------------	--

文献番号	3-55-9
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Unraveling the O <sub>3</sub> -NO <sub>x</sub> -VOCs relationships induced by anomalous ozone in industrial regions during COVID-19 in Shanghai
邦題	上海の COVID-19 下における工業地域の異常なオゾンが引き起こす O <sub>3</sub> -NO <sub>x</sub> -VOC 関係の 解明
著者、作者	Bingqing Lu, Zekun Zhang, Jiakui Jiang, Xue Meng, Chao Liu, Hartmut Herrmann, Jianmin Chen, Likun Xue, Xiang Li
出版年	2023
出典	Atmospheric Environment, Volume 308, 1 September 2023, 119864
URL	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135223102300290X">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135223102300290X</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.119864">https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.119864</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：中国
抄録 (英文)	<p>The COVID-19 pandemic promoted strict restrictions to human activities in China, which led to an unexpected increase in ozone (O<sub>3</sub>) regarding to <u>nitrogen oxides</u> (NO<sub>x</sub>) and volatile organic compounds (VOCs) co-abatement in urban China. However, providing a quantitative assessment of the <u>photochemistry</u> that leads to O<sub>3</sub> increase is still challenging. Here, we evaluated changes in O<sub>3</sub> arising from photochemical production with precursors (NO<sub>x</sub> and VOCs) in industrial regions in Shanghai during the COVID-19 lockdowns by using machine learning models and box models. The changes of <u>air pollutants</u> (O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, VOCs) during the COVID-19 lockdowns were analyzed by de-weathering and detrending machine learning models with regard to meteorological and emission effects. After accounting for effects of meteorological variability, we find increase in O<sub>3</sub> concentration (49.5%). Except for meteorological effects, model results of detrending the business-as-usual changes indicate much smaller reduction (-0.6%), highlighting the O<sub>3</sub> increase attributable to complex photochemistry mechanism and the upward trends of O<sub>3</sub> due to clear air policy in Shanghai. We then used box models to assess the photochemistry mechanism and identify key factors that control O<sub>3</sub> production during lockdowns. It was found that empirical evidence for a link between efficient radical propagation and the optimized O<sub>3</sub> production efficiency of NO<sub>x</sub> under the VOC-limited conditions. Simulations with box models also indicate that priority should be given to controlling industrial emissions and vehicle exhaust while the VOCs and NO<sub>x</sub> should be managed at a proper ratio in order to control O<sub>3</sub> in winter. While lockdown is not a condition that could ever be continued indefinitely, findings of this study offer theoretical support for formulating refined O<sub>3</sub> management in industrial regions in Shanghai, especially in winter.</p>

抄録 (和文)	<p>COVID-19 のパンデミックにより、中国では人の活動が厳しく制限され、その結果、中国都市部では窒素酸化物 (<math>\text{NO}_x</math>) と揮発性有機化合物 (VOC) の共削減により、オゾン (<math>\text{O}_3</math>) が予想以上に増加した。しかし、<math>\text{O}_3</math> の増加につながる光化学の定量的な評価はまだ難しく今後の課題となっている。ここでは、機械学習モデルとボックスモデルを用いて、COVID-19 によるロックダウン中に上海の工業地帯における前駆物質 (<math>\text{NO}_x</math> と VOC) による光化学生成に起因する <math>\text{O}_3</math> の変化を評価した。</p> <p>COVID-19 によるロックダウン時の大気汚染物質 (<math>\text{O}_3</math>、<math>\text{NO}_x</math>、VOC) の変化を、気象と排出ガスの影響に関して、気象除去及びトレンド除去 [by deweathering and detrending] の機械学習モデルによって解析した。気象変動性 [meteorological variability] の影響を考慮した結果、<math>\text{O}_3</math> 濃度の上昇 (49.5%) が確認された。気象の影響を除けば、通常時の変化をトレンド除去したモデルの結果は、減少幅が非常に小さく (-0.6%)、複雑な光化学メカニズムによる <math>\text{O}_3</math> の増加と、上海の大気浄化政策による <math>\text{O}_3</math> の上昇傾向が明確になった。</p> <p>次に、ボックスモデルを用いて光化学メカニズムを評価し、ロックダウン時の <math>\text{O}_3</math> 生成を制御する主要因を特定した。その結果、VOC 律速条件下での効率的なラジカル増加 [propagation] と <math>\text{NO}_x</math> の最適化された <math>\text{O}_3</math> 生成効率との間に関連性があることを示す経験的証拠が得られた。</p> <p>また、ボックスモデルによるシミュレーションでは、冬季の <math>\text{O}_3</math> を抑制するためには、工業排出ガスと自動車排ガスの抑制を優先し、VOC と <math>\text{NO}_x</math> を適切な割合で管理する必要があることが示された。ロックダウンは無期限に継続できるわけではないが、本研究の結果は、上海の工業地帯における、特に冬季の洗練された <math>\text{O}_3</math> 管理を策定するための理論的裏付けを提供する。</p>
------------	--

文献番号	3-59-3
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Changes in first- and second-order sensitivities of ozone concentration to its precursors over the Yangtze River Delta region of China due to COVID-19 lockdown: Insights from CMAQ-HDDM modeling study
邦題	COVID-19 ロックダウンによる中国長江デルタ地域におけるオゾン濃度の前駆物質に対する一次及び二次感度の変化：CMAQ-HDDM モデリング研究からの洞察
著者、作者	Elly Arukulem Yaluk, Yangjun Wang, Sen Jiang, Ling Huang, Guibin Lu, Ansheng Zhu, Jinting Bian, Jin Xue a, Yufei Du, Nan Chen, Kasemsan Manomaiphobon, Hui Chen, Kun Zhang, Li Li
出版年	2023
出典	Atmospheric Environment, Volume 309, 15 September 2023, 119931
URL	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231023003576">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231023003576</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.119931">https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.119931</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：中国
抄録 (英文)	<p>Elevated ozone (O<sub>3</sub>) concentration during the COVID-19 lockdown is a matter of great concern, but the changes of its sensitivities to key precursors remains unclear. This study utilized the Community Multiscale Air Quality (CMAQ) model coupled with the Higher-order Decoupled Direct Method in Three Dimensions (HDDM-3D) and the process analysis (PA) modules to reveal in detail the changes in O<sub>3</sub>-precursors sensitivities and the contribution of major chemical and physical processes to O<sub>3</sub> formation/loss during the month-long COVID-19 lockdown in early 2020 over the Yangtze River Delta (YRD) region of China. The results indicate that the contributions (absolute value) of gas-phase chemistry to O<sub>3</sub> and O<sub>x</sub>(i.e., O<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>) were reduced by 35-50% and 8-24%, respectively, under lockdown-specific (LCD) scenario compared with the business-as-usual (BAU) scenario in the highly urbanized areas of eastern and central YRD. Under the BAU (LCD) scenario, the first-order and second-order O<sub>3</sub>-NO<sub>x</sub> sensitivities averaged about -25 (-36) μg/m<sup>3</sup> and about 8 (28) μg/m<sup>3</sup>, respectively. These 1<sup>st</sup>- and 2<sup>nd</sup>-order sensitivities of O<sub>3</sub> to NO<sub>x</sub> were both intensified due to COVID-19 lockdown, which potentially contributed to O<sub>3</sub> increases of between 5 and 10 μg/m<sup>3</sup>. In other words, the concentration of O<sub>3</sub> and its rate of increase were both amplified due to COVID-19 lockdown. Overall, this study highlighted a significant wintertime “NO<sub>x</sub> reduction disbenefit” phenomenon over YRD because of both strong 1<sup>st</sup>-order (negative) and 2<sup>nd</sup>-order (positive) O<sub>3</sub> sensitivities to NO<sub>x</sub> emissions, which were further reinforced due to COVID-19 lockdown.</p>

抄録 (和文)	<p>COVID-19 によるロックダウン中のオゾン (<math>O_3</math>) 濃度の上昇は大きな懸念事項であるが、主要な前駆物質に対する感度の変化は依然として不明である。本研究では、CMAQ (コミュニティマルチスケール大気質) モデルと HDDM-3D (3次元高次分離直接法) 及びプロセス解析 (PA) モジュールを組み合わせ、2020年初頭に中国の長江デルタ (YRD) 地域における1ヶ月間にわたる COVID-19 ロックダウン中の <math>O_3</math>-前駆物質感度の変化と、<math>O_3</math> 生成/損失に対する主要な化学的・物理的プロセスの寄与を詳細に明らかにした。</p> <p>その結果、YRD 東部及び中部の高度に都市化した地域では、ロックダウン特化シナリオ (LCD) の下で、<math>O_3</math> 及び <math>O_x</math> (すなわち、<math>O_3+NO_2</math>) に対する気相化学の寄与 (絶対値) が、通常 (BAU) シナリオに比べて、それぞれ 35-50%、8-24%減少した。BAU (LCD) シナリオでは、1次及び2次の <math>O_3-NO_x</math> 感度の平均は、それぞれ約-25 (-36) <math>\mu g/m^3</math>、約 8 (28) <math>\mu g/m^3</math> であった。</p> <p>COVID-19 のロックダウンによって、<math>NO_x</math> に対する <math>O_3</math> のこれらの1次及び2次の感度の両方が高まり、<math>O_3</math> が 5~10 <math>\mu g/m^3</math> 増加したことに寄与した可能性がある。言い換えれば <math>O_3</math> 濃度とその増加率は、COVID-19 のロックダウンによってともに増幅された。全体として、この研究は、<math>NO_x</math> 排出に対する強い1次 (負) と2次 (正) の <math>O_3</math> 感度の両方が COVID-19 のロックダウンによってさらに強化されたため、YRD における冬季の著しい「<math>NO_x</math> 削減の不利益 [disbenefit]」現象を強調している。</p>
------------	---

文献番号	3-2-10
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Anomalous behaviour of ozone under COVID-19 and explicit diagnosis of O <sub>3</sub> -NO <sub>x</sub> -VOCs mechanism
邦題	COVID-19 の下でのオゾンの変則的な挙動と O <sub>3</sub> -NO <sub>x</sub> -VOC メカニズムの明示的診断
著者、作者	A. Rathod, S. K. Sahu, S. Singh, G. Beig
出版年	2021
出典	Heliyon, Volume 7, Issue 2, February 2021, e06142
URL	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844021002474">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844021002474</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06142">https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06142</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：インド
抄録 (英文)	<p>Air pollution is linked to higher rates of human mortality especially those infected with COVID 19. Ozone is a harmful pollutant and is responsible for many health issues. However, some reports suggest that ozone is a strong disinfectant, and can kill the viruses. We hereby, report on the vulnerability of ozone due to COVID-19 lockdown whose levels flutter from surging to saturation in a highly polluted Indian capital, due to significant decline in anthropogenic emissions of ozone precursors. Average observed levels stabilized at 30 ppb, 12 ppb, 740 ppb, and 900 ppb for ozone (O<sub>3</sub>), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), carbon monoxide (CO) and volatile organic compounds (VOCs) respectively during lockdown period from 27<sup>th</sup> March to 10<sup>th</sup> April 2020. The NO<sub>2</sub>, CO and VOC declined by 50 %, 37 %, 38 % respectively during the lockdown period of 2020 as compared to similar period in 2019. The anomalous response of ozone during the lockdown is explained by resolving the poorly known complex O<sub>3</sub>-NO<sub>x</sub>-VOCs mechanism with the help of data from air monitoring stations in Delhi, India. The data obtained from this study advances the fundamental understanding of ozone chemistry that may lead to improved ozone parameterization in chemical transport models and better planning of ozone risk management strategies for any global mega cities.</p>

抄録 (和文)	<p>大気汚染は、特に COVID 19 に感染している人の死亡率の上昇に関連している。オゾンは有害な汚染物質であり、多くの健康問題の原因となっている。しかし、幾つかの報告はオゾンが強力な殺菌剤であり、ウイルスを殺すことができることを示唆している。ここに、オゾン前駆物質の人為的排出の大幅な減少により、汚染度の高いインドの首都でレベルが急上昇から飽和状態に不規則に変化する、COVID-19 ロックダウン時におけるオゾンの脆弱性 [vulnerability] について報告する。</p> <p>2020 年 3 月 27 日から 4 月 10 日までのロックダウン期間中、オゾン (<math>O_3</math>)、二酸化窒素 (<math>NO_2</math>)、一酸化炭素 (CO)、揮発性有機化合物 (VOC) の平均観測レベルは、それぞれ 30 ppb、12 ppb、740 ppb、900ppb で安定していた。2020 年のロックダウン期間中の <math>NO_2</math>、CO、VOC は、2019 年の同様の期間と比較して、それぞれ 50%、37%、38% 減少した。</p> <p>ロックダウン中のオゾンの不規則な反応は、インドのデリーにある大気モニタリングステーションからのデータを用いて、あまり知られていない複雑な <math>O_3</math>-<math>NO_x</math>-VOC メカニズムを解決することによって説明される。この研究から得られたデータは、オゾン化学の基本的な理解を促進し、化学物質輸送モデルにおけるオゾンパラメータ化の改善や、世界の大都市のオゾンリスク管理戦略の改善につながる可能性がある。</p>
------------	--

文献番号	3-7-4
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Disparity in ozone trends under COVID-19 lockdown in a closely located coastal and hilly metropolis of India
邦題	インドの近隣に位置する大都市間（沿岸と丘陵）における COVID-19 ロックダウン下でのオゾントレンドの相違
著者、作者	Nikhil Korhale, Vrinda Anand & Gufran Beig
出版年	2020
出典	Air Quality, Atmosphere & Health volume 14, pages533-542 (2021)
URL	<a href="https://link.springer.com/article/10.1007/s11869-020-00958-9">https://link.springer.com/article/10.1007/s11869-020-00958-9</a>
DOI	
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：インド
抄録 (英文)	<p>The outbreak of COVID-19, a global health challenge faced by countries worldwide, led to a lockdown in India, thereby bringing down the emissions of various air pollutants. Here, we discuss the behaviour of surface ozone (O<sub>3</sub>) concentrations and its precursors, oxides of nitrogen (NO<sub>x</sub>), carbon monoxide (CO), and volatile organic compounds (VOC) at two Indian megacities namely Mumbai and Pune, closely located yet vastly differing in meteorology due to their locations. Although levels of CO, NO<sub>2</sub>, and VOC declined sharply after the lockdown in both cities, with NO<sub>2</sub> showing the highest reduction, ozone concentration in Pune remained unaffected, whereas Mumbai exhibited a mixed trend, touching even a maximum in between the lockdown. On a diurnal scale, the magnitude of O<sub>3</sub> levels during the lockdown period is higher at almost all hours in Mumbai, and in Pune, it is almost identical except during night hours when it is marginally higher in the lockdown period as compared to the normal period. On a whole, the pollution levels were brought down significantly which can be used as a benchmark in the future for the implementation of policies related to air quality management and emission control in Indian megacities by the policymakers. These results also can pave a way for the scientific community for local air quality modelling.</p>

抄録 (和文)	<p>世界各国が直面しているグローバルな健康課題である COVID-19 感染症の蔓延により、インドではロックダウンが行われ、それによって様々な大気汚染物質の排出量が減少した。ここでは、インドの2つのメガシティ、ムンバイとプネーにおける地表オゾン (<math>O_3</math>) 濃度とその前駆物質である窒素酸化物 (<math>NO_x</math>)、一酸化炭素 (<math>CO</math>)、揮発性有機化合物 (VOC) の挙動について考察する。ムンバイとプネーは地理的に近い場所にありながら、そのロケーションにより気象条件が大きく異なる都市である。</p> <p><math>CO</math>、<math>NO_2</math>、VOC の濃度は両都市ともロックダウン後に急激に減少し、中でも <math>NO_2</math> の減少率が最も高かったが、オゾン濃度はプネーでは影響を受けず、ムンバイではロックダウンの間に最大値を記録するなど、様々な傾向 [a mixed trend] が見られた。日周期で見ると、ムンバイではほぼすべての時間帯でロックダウン期間の <math>O_3</math> 濃度が高くなっており、プネーでは夜間を除いてほぼ同じで、ロックダウン期間中は通常期間に比べてわずかに高くなっている。</p> <p>全体として汚染レベルは大幅に低下した。この結果は、将来政策立案者がインドの巨大都市における大気質管理や排出ガス規制に関連する政策を実施する際のベンチマークとして利用することができる。また、これらの成果により科学コミュニティが地域の大気質をモデル化するための道を開くことも可能にする。</p>
------------	---

文献番号	3-23-6
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Impact of COVID-19 lockdown on surface ozone build-up at an urban site in western India based on photochemical box modelling
邦題	光化学ボックスモデリングに基づくインド西部の都市部における COVID-19 ロックダウンの地表オゾン増加への影響
著者、作者	Meghna Soni, Narendra Ojha, Imran Girach
出版年	2021
出典	CURRENT SCIENCE, VOL. 120, NO. 2, 25 JANUARY 2021
URL	<a href="https://www.researchgate.net/profile/Narendra-Ojha/publication/348678457_Impact_of_COVID-19_lockdown_on_surface_ozone_buildup_at_an_urban_site_in_western_India_based_on_photochemical_box_modelling/links/600fddffa6fdccdc87f3c6f/Impact-of-COVID-19-lockdown-on-surface-ozone-build-up-at-an-urban-site-in-western-India-based-on-photochemical-box-modelling.pdf">https://www.researchgate.net/profile/Narendra-Ojha/publication/348678457_Impact_of_COVID-19_lockdown_on_surface_ozone_buildup_at_an_urban_site_in_western_India_based_on_photochemical_box_modelling/links/600fddffa6fdccdc87f3c6f/Impact-of-COVID-19-lockdown-on-surface-ozone-build-up-at-an-urban-site-in-western-India-based-on-photochemical-box-modelling.pdf</a>
DOI	
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：インド
抄録 (英文)	Elevated ozone (O <sub>3</sub> ) near the earth's surface causes adverse impacts on human health and vegetation, besides impacting air chemistry and climate. Intense lockdown to contain the spread of Coronavirus disease 2019 (COVID-19) offered a rare opportunity to delineate the anthropogenic impact on urban O <sub>3</sub> build-up. In this regard, we incorporated observations of chemical species and environmental conditions into a photochemical box model (NCAR Master Mechanism) to study the O <sub>3</sub> changes at a semi-arid urban site in western India (Ahmedabad; 23° N, 72.6° E). In contrast with primary pollutants, daytime O <sub>3</sub> build-up is observed to be enhanced during the lockdown by ~39%. Model, driven by lower nitrogen oxides (NO <sub>x</sub> ) during the lockdown, also simulated enhanced O <sub>3</sub> (by ~41%) showing the role of nonlinear dependence of O <sub>3</sub> on NO <sub>x</sub> . Further, a sensitivity simulation unravelled an important role of the meteorological changes in the O <sub>3</sub> enhancement (by ~16%) during the lockdown. The results highlight that the lockdown impacts can be modulated profoundly by the complex chemistry plus meteorological changes, offsetting the benefits of lower precursor levels in the context of O <sub>3</sub> pollution.

抄録 (和文)	<p>地表付近で高められたオゾン (<math>O_3</math>) は、大気化学や気候に影響を与えるほか、人の健康や植生に悪影響を及ぼす。コロナウイルス感染症 2019 (COVID-19) の蔓延を抑えるための厳しいロックダウンは、都市部の <math>O_3</math> 増加に対する人為的影響を明らかにする貴重な機会を提供した。</p> <p>この機会を活用し、化学種の観測結果と環境条件を光化学ボックスモデル (NCAR マスターメカニズム) に組み込み、インド西部の半乾燥都市サイト (アーメダバード; 北緯 23 度、東経 72.6 度) における <math>O_3</math> 変化を研究した。一次汚染物質とは対照的に、日中の <math>O_3</math> 増加はロックダウン中に約 39% 増強されることが観測された。ロックダウン中の窒素酸化物 (<math>NO_x</math>) の減少により、モデルも <math>O_3</math> の増加 (約 41%) をシミュレートし、<math>O_3</math> の <math>NO_x</math> に対する非線形依存性の役割を示している。</p> <p>さらに、感度シミュレーションにより、ロックダウン中の <math>O_3</math> 増加 (約 16%) には気象の変化が重要な役割を果たしていることが明らかになった。この結果は、ロックダウンの影響は、複雑な化学反応と気象変化によって大きく変化し、<math>O_3</math> 汚染コンテキストにおける前駆物質レベルの低下の便益を相殺することを強調している。</p>
------------	--

文献番号	3-27-4
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Did the COVID-19 lockdown in Delhi and Kolkata improve the ambient air quality of the two cities?
邦題	デリーとコルカタでの COVID-19 ロックダウンは、両都市の大気質を改善したのか？
著者、作者	Arindam Datta, Md. Hafizur Rahman, R. Suresh
出版年	2021
出典	Journal of Environmental Quality, Volume50, Issue2, March/April 2021, Pages 485-493
URL	<a href="https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jeq2.20192">https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jeq2.20192</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1002/jeq2.20192">https://doi.org/10.1002/jeq2.20192</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：インド
抄録 (英文)	<p>To control the spread of COVID-19, the government of India imposed a nationwide lockdown on all nonessential activities from 22 Mar. to 3 May 2020. Daily ambient particulate matter <math>\leq 10 \mu\text{m}</math> in diameter (PM<sub>10</sub>), particulate matter <math>\leq 2.5 \mu\text{m}</math> in diameter (PM<sub>2.5</sub>), NO, NO<sub>2</sub>, and O<sub>3</sub> concentrations in Delhi and Kolkata from 1 March to 3 May in both 2019 and 2020 were collected from different monitoring stations along with meteorological data to study the impact of the COVID-19 lockdown on ambient pollutant concentrations. In 2020, average ambient concentrations of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> were significantly decreased (Delhi: 59 and 43%, respectively; Kolkata: 49 and 50%, respectively) during the lockdown period compared with the same period during 2019 in both cities. Average ambient O<sub>3</sub> concentration in Delhi was significantly lower in 2020 (<math>38.5 \mu\text{g m}^{-3}</math>) compared with 2019 (<math>44.7 \mu\text{g m}^{-3}</math>) during the study period. However, average ambient O<sub>3</sub> concentration was significantly higher during 2020 (<math>46.9 \mu\text{g m}^{-3}</math>) compared with 2019 (<math>31.4 \mu\text{g m}^{-3}</math>) in Kolkata. Effect size analysis of different predictive variables reveals that the lockdown period explains maximum variation in ambient concentrations of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> during 2020 in both cities. However, maximum variation in ambient O<sub>3</sub> concentrations in both cities was explained primarily by spatial variation rather than by the lockdown period. This study suggests that major policy implementation related to the transport and industrial sectors that aims to address the ambient air pollution problem in India may reduce the ambient particulate matter concentrations, although it may not have a significant effect on other ambient air pollutants such as O<sub>3</sub> in major Indian cities.</p>

抄録 (和文)	<p>COVID-19 の蔓延を抑制するため、インド政府は 2020 年 3 月 22 日から 5 月 3 日まで、全国的に不要不急の活動を封鎖した。COVID-19 のロックダウンが大気の大気汚染物質濃度に与える影響を調べるために、2019 年と 2020 年の両年の 3 月 1 日から 5 月 3 日までのデリーとコルカタにおける直径 10 <math>\mu\text{m}</math> 以下の粒子状物質 (PM<sub>10</sub>)、直径 2.5 <math>\mu\text{m}</math> 以下の粒子状物質 (PM<sub>2.5</sub>)、NO、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub> 濃度の日変化を気象データとともに様々なモニタリングステーションから収集した。</p> <p>2020 年、両都市のロックダウン期間中の PM<sub>10</sub> と PM<sub>2.5</sub> の平均大気濃度は、2019 年の同時期と比較して有意に低下した (デリー：それぞれ 59% と 43%、コルカタ：それぞれ 49% と 50%)。デリーの平均大気 O<sub>3</sub> 濃度は、調査期間中、2019 年 (44.7 <math>\mu\text{g m}^{-3}</math>) に比べ、2020 年 (38.5 <math>\mu\text{g m}^{-3}</math>) に有意に低下した。しかし、コルカタでは 2019 年 (31.4 <math>\mu\text{g m}^{-3}</math>) と比較して 2020 年 (46.9 <math>\mu\text{g m}^{-3}</math>) の期間に平均大気 O<sub>3</sub> 濃度が有意に高くなった。</p> <p>様々な予測変数の効果量分析 [effect size analysis]により、両市の 2020 年の PM<sub>10</sub> と PM<sub>2.5</sub> 濃度の最大変動は、ロックダウン期間によって説明されることが明らかになった。しかし、両市の O<sub>3</sub> 濃度の最大変動は、ロックダウン期間ではなく、主に空間的変動によって説明された。</p> <p>本研究は、インドの主要都市において、O<sub>3</sub> などの他の大気汚染物質には大きな影響を与えないかもしれないが、インドの大気汚染問題に対処することを目的とした交通・産業部門に関する主要な政策実施が、環境中の粒子状物質濃度を減少させる可能性があることを示唆している。</p>
------------	--

文献番号	3-31-4
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Integrated process analysis retrieval of changes in ground-level ozone and fine particulate matter during the COVID-19 outbreak in the coastal city of Kannur, India
邦題	インドの沿岸都市カヌールにおける COVID-19 流行時の地表オゾン及び微小粒子状物質の変化に関する統合プロセス解析リトリーバル
著者、作者	Fei Ye, Dipesh Rupakheti, Lin Huang, Nishanth T, Satheesh Kumar MK, Lin Li, Valsaraj KT, Jianlin Hu
出版年	2022
出典	Environmental Pollution, Volume 307, 15 August 2022, 119468
URL	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749122006820">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749122006820</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119468">https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119468</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：インド
抄録 (英文)	<p>The Community Multi-Scale Air Quality (CMAQ) model was applied to evaluate the air quality in the coastal city of Kannur, India, during the 2020 COVID-19 lockdown. From the Prel (March 1-24, 2020) period to the Lock (March 25-April 19, 2020) and Tri (April 20-May 9, 2020) periods, the Kerala state government gradually imposed a strict lockdown policy. Both the simulations and observations showed a decline in the PM<sub>2.5</sub> concentrations and an enhancement in the O<sub>3</sub> concentrations during the Lock and Tri periods compared with that in the Prel period. Integrated process rate (IPR) analysis was employed to isolate the contributions of the individual <u>atmospheric processes</u>. The results revealed that the vertical transport from the upper layers dominated the surface O<sub>3</sub> formation, comprising 89.4%, 83.1%, and 88.9% of the O<sub>3</sub> sources during the Prel, Lock, and Tri periods, respectively. <u>Photochemistry</u> contributed negatively to the O<sub>3</sub> concentrations at the surface layer. Compared with the Prel period, the O<sub>3</sub> enhancement during the Lock period was primarily attributable to the lower negative contribution of photochemistry and the lower O<sub>3</sub> removal rate by horizontal transport. During the Tri period, a slower consumption of O<sub>3</sub> by gas-phase chemistry and a stronger vertical import from the upper layers to the surface accounted for the increase in O<sub>3</sub>. Emission and aerosol processes constituted the major positive contributions to the net surface PM<sub>2.5</sub>, accounting for a total of 48.7%, 38.4%, and 42.5% of PM<sub>2.5</sub> sources during the Prel, Lock, and Tri periods, respectively. The decreases in the PM<sub>2.5</sub> concentrations during the Lock and Tri periods were primarily explained by the weaker PM<sub>2.5</sub> production from emission and aerosol processes. The increased vertical transport rate of PM<sub>2.5</sub> from the surface layer to the upper layers was also a reason for the decrease in the PM<sub>2.5</sub> during the Lock periods.</p>

抄録 (和文)	<p>2020年のCOVID-19 ロックダウン期間中のインド沿岸部の都市カヌールの大気環境を評価するために、コミュニティ・マルチスケール大気質 (CMAQ) モデルを用いた。Pre1 (2020年3月1日～24日) 期間から Lock (2020年3月25日～4月19日) 及び Tri (4月20日～5月9日) 期間にかけて、ケララ州政府は徐々に厳しいロックダウン政策を課した。シミュレーションと観測の結果、Lock 期間と Tri 期間では、PM<sub>2.5</sub> 濃度は Pre1 期間に比べて低下し、O<sub>3</sub> 濃度は上昇した。</p> <p>個々の大気プロセスの寄与を分離するために統合プロセス率 (IPR) 解析を行った。その結果、地表の O<sub>3</sub> 生成は上層からの鉛直輸送が支配的であり、Pre1, Lock 及び Tri 期間においてそれぞれ 89.4%, 83.1%, 88.9% の O<sub>3</sub> 発生源を占めていた。光化学は表層での O<sub>3</sub> 濃度に負の影響を与えた。Pre1 期間と比較して、Lock 期間での O<sub>3</sub> 増加は、光化学の負の寄与が少ないことと、水平輸送による O<sub>3</sub> 除去率が低いことに主に起因している。</p> <p>Tri 期間中、気相化学による O<sub>3</sub> の消費が遅くなり、上層から地表への鉛直輸送が強くなったことが O<sub>3</sub> の増加を説明した。地表 PM<sub>2.5</sub> は排出ガスとエアロゾルプロセスによる寄与が大きく、Pre1、Lock、Tri の各期間において、それぞれ 48.7%、38.4%、42.5% であった。Lock 期間と Tri 期間における PM<sub>2.5</sub> 濃度の減少は、主に排出ガスとエアロゾルによる PM<sub>2.5</sub> の生成が弱まったことで説明される。また、Lock 期間では、表層から上層への PM<sub>2.5</sub> の鉛直輸送量が増加したことも、PM<sub>2.5</sub> の減少の要因であることが分かった。</p>
------------	---

文献番号	3-33-10
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Nocturnal Atmospheric Oxidative Processes in the Indo-Gangetic Plain and Their Variation During the COVID-19 Lockdowns
邦題	インド・ガンジス平野における夜間の大気酸化プロセスとそれらの COVID-19 ロックダウン時の変化
著者、作者	D. Meidan, S. S. Brown, V. Sinha, Y. Rudich
出版年	2022
出典	Geophysical Research Letters, Volume49, Issue7, 16 April 2022, e2021GL097472
URL	<a href="https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2021GL097472">https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2021GL097472</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1029/2021GL097472">https://doi.org/10.1029/2021GL097472</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：インド
抄録 (英文)	This study investigates selected secondary atmospheric responses to the widely reported emission change attributed to COVID-19 lockdowns in the highly polluted Indo-Gangetic Plain (IGP) using ground-based measurements of trace gases and particulate matter. We used a chemical box-model to show that production of nighttime oxidant, NO <sub>3</sub> , was affected mainly by emission decrease (average nighttime production rates 1.2, 0.8 and 1.5 ppbv hr <sup>-1</sup> before, during and relaxation of lockdown restrictions, respectively), while NO <sub>3</sub> sinks were sensitive to both emission reduction and seasonal variations. We have also shown that the maximum potential mixing ratio of nitryl chloride, a photolytic chlorine radical source which has not been previously considered in the IGP, is as high as 5.5 ppbv at this inland site, resulting from strong nitrate radical production and a potentially large particulate chloride mass. This analysis suggests that air quality measurement campaigns and modeling explicitly consider heterogeneous nitrogen oxide and halogen chemistry.

抄録 (和文)	<p>本研究では、高度に汚染されたインド・ガンジス平野 (IGP) における、広く報告されている COVID-19 のロックダウンに起因する排出量変化について、地表ベースでの微量ガスと粒子状物質の測定結果を用いて、選択された二次大気応答を調査する。</p> <p>化学ボックスモデルを用いて、夜間のオキシダントである NO<sub>3</sub> の生成は、主に排出量の減少に影響されることを示した (ロックダウン規制前、規制中、及び緩和時の夜間の平均生成率は、それぞれ 1.2, 0.8, 1.5 ppbv hr<sup>-1</sup>) であった。一方、NO<sub>3</sub> 吸収源は排出量減少と季節変動の両方にセンシティブであった。</p> <p>また、これまで IGP では考慮されていなかった光分解性塩素ラジカル源である塩化ニトリルの潜在的な最大混合比が、この内陸のサイトでは 5.5 ppbv と高く、これは強い硝酸ラジカル生成と潜在的に大きな粒子状塩化物量の可能性に起因していることを示した。この分析から、大気質測定キャンペーンとモデリングでは、不均一な窒素酸化物やハロゲンの化学を明示的に考慮する必要があることが示唆される。</p>
------------	---

文献番号	3-37-3
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Trends in Summer-Time Tropospheric Ozone during COVID-19 Lockdown in Indian Cities Might Forecast a Higher Future Risk
邦題	インドの都市における COVID-19 ロックダウン時の夏季対流圏オゾンのトレンドは、将来のより高いリスクを予見する可能性がある
著者、作者	Sujit Das, Abhijit Sarkar, Usha Mina, Senjuti Nandy, Md Najmus Saadat, Ganesh Kumar Agrawal, Randeep Rakwal
出版年	2022
出典	Atmosphere 2022, 13(7), 1115
URL	<a href="https://www.mdpi.com/2073-4433/13/7/1115">https://www.mdpi.com/2073-4433/13/7/1115</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.3390/atmos13071115">https://doi.org/10.3390/atmos13071115</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：インド
抄録 (英文)	High concentrations of tropospheric ozone (O <sub>3</sub> ) is a serious concern in India. The generation and atmospheric dynamics of this trace gas depend on the availability of its precursors and meteorological variables. Like other parts of the world, the COVID-19 imposed lockdown and restrictions on major anthropogenic activities executed a positive impact on the ambient air quality with reduced primary pollutants/precursors load. In spite of this, several reports pointed towards a higher O <sub>3</sub> in major Indian cities during the lockdown. The present study designed with 30 pan-Indian mega-, class I-, and class II-cities revealed critical and contrasting aspects of the geographical location, source, precursor, and meteorological variable dependency of the spatial and temporal O <sub>3</sub> formation. This unexpected O <sub>3</sub> increase in the major cities might forecast the probable future risks for the National Air Quality policies, especially O <sub>3</sub> pollution management, in the Indian sub-continent. The results also pointed towards the severity of the north Indian air quality, followed by the western and eastern parts. We believe these results will definitely pave the way for researchers and policy-makers for predicting/framing regional and/or national O <sub>3</sub> management strategies in the future.

抄録 (和文)	<p>高濃度の対流圏オゾン (<math>O_3</math>) は、インドにおける深刻な懸念事項である。この微量ガスの発生と大気ダイナミクスは、その前駆物質の利用可能性と気象変数に依存する。世界の他の地域と同様に COVID-19 が課したロックダウンと主要な人的活動の制限は、一次汚染物質や前駆物質の負荷を低減し、大気質にプラスの影響を及ぼした。</p> <p>それにもかかわらず、いくつかの報告では、ロックダウン中にインドの主要都市で <math>O_3</math> が上昇したことが指摘されている。本研究では、インド全土のメガシティ、クラス I、クラス II の 30 都市を対象に、空間的・時間的な <math>O_3</math> 生成の地理的位置、発生源、前駆物質、気象変数依存性について、重要かつ異なる側面を明らかにした。</p> <p>主要都市におけるこの予想外の <math>O_3</math> の増加は、インド亜大陸における国家大気質政策、特に <math>O_3</math> 汚染管理に対する将来のリスクを予見している可能性がある。また、この結果は、インド北部の大気質の厳しさを示し、西部と東部がこれに続いている。これらの成果は、研究者や政策立案者が地域や国の <math>O_3</math> 管理戦略を予測・立案する上で、解決への道を開いてくれるものと確信する。</p>
------------	--

文献番号	3-48-8
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	On the transition of major pollutant and O <sub>3</sub> production regime during Covid-19 lockdowns
邦題	Covid-19 ロックダウン時の主要な汚染物質と O <sub>3</sub> 生成レジームの移行について
著者、作者	Latha R, Shahana Bano, Dolly More, Rupal Ambulkar, Trina Mondal, Priyadarshi Maurya, Murthy BS
出版年	2023
出典	Journal of Environmental Management, Volume 328, 15 February 2023, 116907
URL	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147972202480X">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147972202480X</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116907">https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116907</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：インド
抄録 (英文)	<p>Lockdowns enforced amid the pandemic facilitated the evaluation of the impact of emission reductions on air quality and the production regime of O<sub>3</sub> under NO<sub>x</sub> reduction. Analysis of space-time variation of various pollutants (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, O<sub>3</sub> and VOC or TNMHC) through the lockdown phases at eight typical stations (Urban/Metro, Rural/high vegetation and coastal) is carried out. It reveals how the major pollutant (PM<sub>10</sub> or PM<sub>2.5</sub> or O<sub>3</sub>, or CO) differs from station to station as lockdowns progress depending on geography, land-use pattern and efficacy of lockdown implementation. Among the stations analyzed, Delhi (Chandnichowk), the most polluted (PM<sub>10</sub> = 203 μgm<sup>-3</sup>; O<sub>3</sub> = 17.4 ppbv) in pre-lockdown, experienced maximum reduction during the first phase of lockdown in PM<sub>2.5</sub> (-47%), NO<sub>2</sub> (-40%), CO (-37%) while O<sub>3</sub> remained almost the same (2% reduction) to pre-lockdown levels. The least polluted Mahabaleshwar (PM<sub>10</sub> = 45 μgm<sup>-3</sup>; O<sub>3</sub> = 54 ppbv) witnessed relatively less reduction in PM<sub>2.5</sub> (-2.9%), NO<sub>2</sub> (-4.7%), CO (-49%) while O<sub>3</sub> increased by 36% to pre-lockdown levels. In rural stations with lots of greenery, O<sub>3</sub> is the major pollutant attributed to biogenic VOC emissions from vegetation besides lower NO levels. In other stations, PM<sub>2.5</sub> or PM<sub>10</sub> is the primary pollutant. At Chennai, Jabalpur, Mahabaleshwar and Goa, the deciding factor of Air Quality Index (AQI) remained unchanged, with reduced values. <u>Particulate matter</u>, PM<sub>10</sub> decided AQI for three stations (dust as control component), and PM<sub>2.5</sub> decided the same for two but within acceptable limits for stations. Improvement of AQI through control of dust would prove beneficial for Chennai and Patiala; <u>anthropogenic emission</u> control would work for Chandani chowk, Goa and Patiala; emission control of CO is required for Mahabaleshwar and Thiruvananthapuram. Under low VOC/NO<sub>x</sub> ratio conditions, O<sub>3</sub> varies with the ratio, NO/NO<sub>2</sub>, with a negative (positive) slope indicating VOC-sensitive (NO<sub>x</sub>-sensitive) regime. Peak O<sub>3</sub> isopleths as a function of NO<sub>x</sub> and VOC depicting distinct patterns suggest that O<sub>3</sub> variation is entirely non-linear for a given NO<sub>x</sub> or VOC.</p>

抄録 (和文)	<p>パンデミック中に実施されたロックダウンは、排出削減が大気質に与える影響と NO<sub>x</sub> 削減下での O<sub>3</sub> の生成レジームを評価することを容易にした。8 つの代表的なステーション（都市/メトロ、農村/高植生、沿岸）で、ロックダウンのフェーズを通じて様々な汚染物質（PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、NO<sub>x</sub>、CO、O<sub>3</sub>、VOC 又は TNMHC）の時空間変化の分析が実施された。その結果、主要な汚染物質（PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub>、又は CO）が、地理的条件、土地利用パターン、ロックダウン実施の効力によって、ロックダウンの進行とともにステーションごとにどのように異なるかが明らかになった。</p> <p>分析されたステーションの中で、デリー（チャンドニー・チョーック）は、ロックダウン前に最も汚染されていた（PM<sub>10</sub> = 203 μg m<sup>-3</sup>; O<sub>3</sub> = 17.4 ppbv）が、ロックダウンの第一段階で PM<sub>2.5</sub> (-47%)、NO<sub>2</sub> (-40%)、CO (-37%) が最大に減少したが、O<sub>3</sub> はロックダウン前とほぼ同じレベル（2%）のままであった。</p> <p>最も汚染の少ないマハーバレーシュワル（PM<sub>10</sub> = 45 μg m<sup>-3</sup>; O<sub>3</sub> = 54 ppbv）では、PM<sub>2.5</sub> (-2.9%)、NO<sub>2</sub> (-4.7%)、CO (-49%) の減少が比較的少なかったが、O<sub>3</sub> はロックダウン前のレベルより（英文は to pre-lockdown levels）36%増加した。緑が多い地方のステーションでは、O<sub>3</sub> が主要な汚染物質であり、NO のレベルが低いことに加え、植生から放出される植物起源 VOC が原因となっている。</p> <p>他のステーションでは、PM<sub>2.5</sub> 又は PM<sub>10</sub> が主要な汚染物質となっている。チェンナイ、ジャバルプル、マハーバレーシュワル、ゴアでは、大気質指数（AQI）の決定要因は変わらず、値が減少した。粒子状物質、PM<sub>10</sub> は 3 つのステーションで AQI を決定し（制御成分としてダスト）、PM<sub>2.5</sub> は 2 つのステーションで同様に決定したが、他のステーション（stations）では許容範囲内であった。</p> <p>チェンナイとパティアラでは粉塵の制御による AQI の改善が有効であり、チャンドニー・チョーック、ゴア、パティアラでは人為的な排出の抑制が有効であり、マハーバレーシュワとティルヴァナータプラムでは CO 排出の制御が必要である。VOC/NO<sub>x</sub> 比が低い条件下では、O<sub>3</sub> は NO/NO<sub>2</sub> 比によって変化し、負の（正の）傾きは VOC 感度（NO<sub>x</sub> 感度）レジームを示す。NO<sub>x</sub> と VOC の関数としてのピーク O<sub>3</sub> 等値線は、異なるパターンを示し、O<sub>3</sub> の変動は、所与の（given）NO<sub>x</sub> 又は VOC に対して完全に非線型であることを示唆している。</p>
------------	--

文献番号	3-60-10
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Elucidating the impacts of COVID-19 lockdown on air quality and ozone chemical characteristics in India
邦題	インドにおける COVID-19 ロックダウンが大気質とオゾン化学特性に及ぼす影響の 解明
著者、作者	Behrooz Roozitalab, Gregory R. Carmichael, Sarath K. Guttikunda, Maryam Abdi-Oskouei
出版年	2022
出典	Environ. Sci.: Atmos., 2022, 2, 1183-1207
URL	<a href="https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2022/ea/d2ea00023g">https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2022/ea/d2ea00023g</a>
DOI	DOI: 10.1039/D2EA00023G
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：インド
抄録 (英文)	<p>India implemented a stay-at-home order (<i>i. e.</i> lockdown) on 24 March 2020 to decrease the spread of novel COVID-19, which reduced air pollutant emissions in different sectors. The Weather Research and Forecasting model with Chemistry (WRF-Chem) was used to better understand the processes controlling the changes in PM<sub>2.5</sub> and ozone in northern India during the lockdown period, including (1) the contributions of inter-annual variability in meteorology and emissions (dust, biogenic, and biomass burning) and lockdown emissions to changes in PM<sub>2.5</sub> and ozone in northern India and (2) to analyze changes in ozone production regimes due to the lockdown. We found that both meteorology and lockdown emissions contributed to daytime PM<sub>2.5</sub> (-12% and -12%, respectively) and ozone (-8% and -5%, respectively) reduction averaged in April 2020 in the Indo-Gangetic Plain, and in smaller magnitudes in northern India. However, the ozone concentration response to reductions in its precursors (<i>i. e.</i> NO<sub>2</sub> and VOCs) due to the lockdown emissions was not constant over the domain. While the ozone concentration decreased in most parts of the domain, it occasionally increased in major cities like Delhi and in regions with many power plants. We utilized the reaction rate information in WRF-Chem to study the ozone chemistry. We found carbon monoxide, formaldehyde, isoprene, acetaldehyde, and ethylene as the major VOCs that contribute to the ozone formation in India. We used the ratio of radical termination from radical-radical interactions to radical-NO<sub>x</sub> interactions, and its corresponding formaldehyde to NO<sub>2</sub> ratio (FNR) to find the ozone chemical regimes. We showed that the FNR transition range in a region depends on whether it is an urban, rural, or power plant region. Using the FNR information, we found that most parts of India are within the NO<sub>x</sub>-limited regime. We also found that large emission reduction during the lockdown period shifted the chemical regimes toward NO<sub>x</sub>-limited although it did not necessarily change the chemical regime in many VOC-limited regions. The results of this study</p>

	highlight the fact that reducing the exposure to both PM <sub>2.5</sub> and ozone requires air pollution management strategies that consider both NO <sub>x</sub> and VOC emission reductions, and that take into account regional characteristics.
--	---

抄録 (和文)	<p>インドは、2020年3月24日に外出禁止令(ロックダウン)を実施し、新たな COVID-19 感染症の拡大を減らし、様々なセクターでの大気汚染物質の排出を削減した。化学を用いた気象研究・予測モデル(WRF-Chem)は、(1)気象と排出量(粉塵、植物起源、バイオマス燃焼)の経年変動とインド北部の PM<sub>2.5</sub> とオゾンの変化に対するロックダウン排出量の寄与、及び(2)ロックダウンによるオゾン生成レジームの変化の分析など、ロックダウン期間中のインド北部の PM<sub>2.5</sub> とオゾンの変化を制御するプロセスをより深く理解するために用いられた。</p> <p>その結果、気象とロックダウン時の排出の両方が、2020年4月のインド・ガンジス平原における日中の PM<sub>2.5</sub> (それぞれ-12%、-12%) とオゾン (それぞれ-8%、-5%) の減少に寄与しているが、インド北部ではその規模 [magnitudes] が小さいことが分かった。一方、ロックダウン時の前駆物質 (NO<sub>2</sub> と VOC) 排出の減少に対するオゾン濃度の応答は、全領域で一定ではなかった。</p> <p>オゾン濃度は領域内のほとんどの場所で減少したが、デリーのような大都市や発電所の多い地域では時折上昇した。WRF-Chem の反応速度情報を利用して、オゾンの化学反応を調べたところ、一酸化炭素、ホルムアルデヒド、イソプレン、アセトアルデヒド、エチレンが、インドのオゾン生成に寄与する主要な VOC であることが分かった。</p> <p>ラジカル-ラジカル相互作用からラジカル-NO<sub>x</sub> 相互作用へのラジカル終結の比率と、それに対応するホルムアルデヒド対 NO<sub>2</sub> 比 (FNR) を用いて、オゾンの化学レジームを求めた。我々は、ある地域における FNR の遷移範囲が、都市部、農村部、発電所地域のいずれであるかによって異なることを示した。FNR の情報を用いると、インドのほとんどの地域が NO<sub>x</sub> 律速領域内にあることが分かった。</p> <p>また、ロックダウン期間中の大幅な排出削減により、化学レジームが NO<sub>x</sub> 律速の方向にシフトすることが分かったが、多くの VOC 律速地域では必ずしも化学レジームが変化しなかった。本研究の結果は、PM<sub>2.5</sub> とオゾンの両方への曝露を減らすには、NO<sub>x</sub> と VOC の排出削減の両方を考慮し、地域特性に配慮した大気汚染管理戦略が必要であるということを強調している。</p>
------------	--

文献番号	3-37-9
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Impact of the COVID-19 outbreak on air pollution levels in East Asia
邦題	COVID-19 アウトブレイクによる東アジアの大気汚染レベルへの影響
著者、作者	Masoud Ghahremanloo, Yannic Lops, Yunsoo Choi, Seyedali Mousavinezhad
出版年	2021
出典	Science of The Total Environment, Volume 754, 1 February 2021, 142226
URL	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720357557">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720357557</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142226">https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142226</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	アジア：東アジア
抄録 (英文)	<p>This study leverages <u>satellite remote sensing</u> to investigate the impact of the coronavirus outbreak and the resulting lockdown of public venues on air pollution levels in East Asia. We analyze data from the Sentinel-5P and the Himawari-8 satellites to examine concentrations of NO<sub>2</sub>, HCHO, SO<sub>2</sub>, and CO, and the aerosol optical depth (AOD) over the BTH, Wuhan, Seoul, and Tokyo regions in February 2019 and February 2020. Results show that most of the concentrations of pollutants are lower than those of February 2019. Compared to other pollutants, NO<sub>2</sub> experienced the most significant reductions by almost 54%, 83%, 33%, and 19% decrease in BTH, Wuhan, Seoul, and Tokyo, respectively. The greatest reductions in pollutants occurred in Wuhan, with a decrease of almost 83%, 11%, 71%, and 4% in the column densities of NO<sub>2</sub>, HCHO, SO<sub>2</sub>, and CO, respectively, and a decrease of about 62% in the AOD. Although NO<sub>2</sub>, CO, and <u>formaldehyde</u> concentrations decreased in the Seoul and Tokyo metropolitan areas compared to the previous year, concentrations of SO<sub>2</sub> showed an increase in these two regions due to the effect of transport from polluted upwind regions. We also show that meteorological factors were not the main reason for the dramatic reductions of pollutants in the atmosphere. Moreover, an investigation of the HCHO/NO<sub>2</sub> ratio shows that in many regions of East China, particularly in Wuhan, ozone production in February 2020 is less NO<sub>x</sub> saturated during the daytime than it was in February 2019. With large reductions in the concentrations of NO<sub>2</sub> during lockdown situations, we find that significant increases in surface ozone in East China from February 2019 to February 2020 are likely the result of less reaction of NO and O<sub>3</sub> caused by significantly reduced NO<sub>x</sub> concentrations and less NO<sub>x</sub> saturation in East China during the daytime.</p>

抄録 (和文)	<p>本研究では、衛星リモートセンシングを活用して、新型コロナウイルス感染症の発生とそれに伴う公共会場の閉鎖が東アジアの大気汚染レベルに及ぼした影響を調査した。Sentinel-5P 衛星と Himawari-8 衛星のデータを解析し、2019年2月と2020年2月のBTH（北京・天津・河北省）、武漢、ソウル、東京の各地域のNO<sub>2</sub>、HCHO、SO<sub>2</sub>、COの濃度とエアロゾル光学深度（AOD）を調べる。</p> <p>その結果、ほとんどの汚染物質の濃度が2019年2月の濃度より低くなっていることを示した。他の汚染物質と比較して、NO<sub>2</sub>はBTH、武漢、ソウル、東京でそれぞれほぼ54%、83%、33%、19%減少し、最も大きな減少となった。汚染物質が最も減少したのは武漢で、NO<sub>2</sub>、HCHO、SO<sub>2</sub>、COのカラム密度がそれぞれほぼ83%、11%、71%、4%減少し、AODが約62%減少した。</p> <p>ソウルと東京の首都圏では、NO<sub>2</sub>、CO、ホルムアルデヒドの濃度は前年より減少したが、SO<sub>2</sub>の濃度は風上からの輸送の影響により、両地域で増加した。また、大気中の汚染物質が劇的に減少した主な理由は、気象学的要因ではないことも示した。</p> <p>さらに、HCHO/NO<sub>2</sub>比の調査から、中国東部の多くの地域、特に武漢では、2020年2月のオゾン生成は、2019年2月に比べて日中のNO<sub>x</sub>飽和度が低くなっていることを示した。ロックダウン時のNO<sub>2</sub>濃度が大きく減少していることから、2019年2月から2020年2月にかけて華東地域の地表オゾンが大きく増加したのは、NO<sub>x</sub>濃度が大きく減少し、華東地域の日中のNO<sub>x</sub>飽和度が低くなったことにより、NOとO<sub>3</sub>の反応が減少した結果であると考えられることが分かった。</p>
------------	--

文献番号	3-42-9
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Characteristic changes of ozone and its precursors in London during COVID-19 lockdown and the ozone surge reason analysis
邦題	COVID-19 ロックダウン時のロンドンにおけるオゾンとその前駆物質の特徴的な変化とオゾン急増の原因分析
著者、作者	Chenyue Zhang, David Stevenson
出版年	2022
出典	Atmospheric Environment, Volume 273, 15 March 2022, 118980
URL	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231022000450">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231022000450</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.118980">https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.118980</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	欧州：英国
抄録 (英文)	The London COVID-19 lockdown reduced emissions from <u>anthropogenic sources</u> , providing unique conditions for air contamination research. This research uses <u>tropospheric ozone</u> (O <sub>3</sub> ), volatile organic compounds (VOCs) and NO <sub>x</sub> (NO+NO <sub>2</sub> ) hourly monitoring data at the London Marylebone Road station from 2001 to 2020 to investigate the effects of lockdown on (O <sub>3</sub> ) and its precursors. Both NO <sub>x</sub> and VOCs pollution showed a decreasing trend between 2001 and 2021, with a gradual increase in O <sub>3</sub> in contrast. During the COVID-19 lockdown period (from 23rd March to July 4, 2020), there was a surge in O <sub>3</sub> concentration, accompanied by a sharp reduction in NO <sub>x</sub> concentrations. Because all the monitoring VOCs/NO <sub>x</sub> results were less than eight during the lockdown, indicating that O <sub>3</sub> formation in urban London was in the VOC-limited regime. The rapid increase in O <sub>3</sub> concentrations caused by the lockdown was closely related to the rapid decrease in NO <sub>x</sub> <u>emissions</u> .

抄録 (和文)	<p>ロンドンの COVID-19 ロックダウンにより、人為的な発生源からの排出が減少し、大気汚染研究のためのユニークな条件を提供した。本研究では、2001 年から 2020 年までのロンドンメリルボーンロード駅における対流圏オゾン (<math>O_3</math>)、揮発性有機化合物 (VOC)、<math>NO_x</math> (<math>NO+NO_2</math>) の毎時モニタリングデータを用いて、ロックダウンが <math>O_3</math> とその前駆物質に及ぼす影響を調査した。</p> <p><math>NO_x</math> と VOC の汚染はともに 2001 年から 2021 年にかけて減少傾向を示し、対照的に <math>O_3</math> は徐々に増加した。COVID-19 によるロックダウン期間 (2020 年 3 月 23 日～7 月 4 日) には、<math>NO_x</math> 濃度の急激な減少に伴い、<math>O_3</math> 濃度が急増した。それは、ロックダウン期間中、全てのモニタリングの VOC/<math>NO_x</math> の結果は 8 未満であり、ロンドン都市部での <math>O_3</math> 生成が VOC 律速領域にあることを示している。ロックダウンによる <math>O_3</math> 濃度の急激な上昇は、<math>NO_x</math> 排出量の急激な減少と密接に関係していた。</p>
------------	--

文献番号	3-9-10
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Tropospheric NO <sub>2</sub> and O <sub>3</sub> Response to COVID-19 Lockdown Restrictions at the National and Urban Scales in Germany
邦題	ドイツの全国及び都市規模での COVID-19 ロックダウン規制に対する対流圏 NO <sub>2</sub> 及び O <sub>3</sub> の応答
著者、作者	Vigneshkumar Balamurugan, Jia Chen, Zhen Qu, Xiao Bi, Johannes Gensheimer, Ankit Shekhar, Shrutilipi Bhattacharjee, and Frank N. Keutsch
出版年	2021
出典	Journal of Geophysical Research: Atmospheres, e2021JD035440
URL	chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://mediatum.ub.tum.de/doc/1639715/document.pdf
DOI	<a href="https://doi.org/10.1029/2021JD035440">https://doi.org/10.1029/2021JD035440</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	欧州：ドイツ
抄録 (英文)	<p>This study estimates the influence of anthropogenic emission reductions on nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) and ozone (O<sub>3</sub>) concentration changes in Germany during the COVID-19 pandemic period using in-situ surface and Sentinel-5 Precursor TROPospheric Monitoring Instrument (TROPOMI) satellite column measurements and GEOS-Chem model simulations. We show that reductions in anthropogenic emissions in eight German metropolitan areas reduced mean in-situ (&amp; column) NO<sub>2</sub> concentrations by 23 % (&amp; 16 %) between March 21 and June 30, 2020 after accounting for meteorology, whereas the corresponding mean in-situ O<sub>3</sub> concentration increased by 4 % between March 21 and May 31, 2020, and decreased by 3% in June 2020, compared to 2019. In the winter and spring, the degree of NO<sub>x</sub> saturation of ozone production is stronger than in the summer. This implies that future reductions in NO<sub>x</sub> emissions in these metropolitan areas are likely to increase ozone pollution during winter and spring if appropriate mitigation measures are not implemented. TROPOMI NO<sub>2</sub> concentrations decreased nationwide during the stricter lockdown period after accounting for meteorology with the exception of North-West Germany which can be attributed to enhanced NO<sub>x</sub> emissions from agricultural soils.</p>

抄録 (和文)	<p>本研究では、COVID-19 パンデミック中におけるドイツでの人為的排出削減が二酸化窒素 (NO<sub>2</sub>) とオゾン (O<sub>3</sub>) 濃度の変化に与える影響を、現場の地表及びセンチネル-5 前駆物質 TROPosphere モニタリング装置 (TROPOMI) 衛星カラムの測定と GEOS-Chem モデルシミュレーションを用いて推測した。</p> <p>ドイツの 8 つの大都市圏における人為的排出の削減は、気象を考慮した上で、2020 年 3 月 21 日から 6 月 30 日の間に、NO<sub>2</sub> の平均現場 (&amp;カラム) 濃度を 23% (&amp;16%) 減少させたが、対応する O<sub>3</sub> の平均現場濃度は、2019 年と比較して、2020 年 3 月 21 日から 5 月 31 日の間に 4%増加し、2020 年 6 月に 3%減少した。</p> <p>冬と春は、NO<sub>x</sub> によるオゾン生成の飽和度が夏よりも強い。これは、これらの大都市圏で今後 NO<sub>x</sub> 排出量が削減された場合、適切な緩和対策が実施されなければ、冬と春のオゾン汚染が増加する可能性が高いことを示唆している。TROPOMI の NO<sub>2</sub> 濃度は、農地からの NO<sub>x</sub> 排出の増加に起因すると考えられる北西ドイツを除いて、気象を考慮した結果、より厳しいロックダウン期間中に全国的に低下した。</p>
------------	--

文献番号	3-16-1
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	COVID-19 lockdowns highlight a risk of increasing ozone pollution in European urban areas
邦題	COVID-19 によるロックダウンはヨーロッパの都市部におけるオゾン汚染を増加させるリスクを強調する
著者、作者	Stuart K. Grange, James D. Lee, Will S. Drysdale, Alastair C. Lewis, Christoph Hueglin, Lukas Emmenegger, and David C. Carslaw
出版年	2021
出典	Atmos. Chem. Phys., 21, 4169-4185, 2021
URL	<a href="https://acp.copernicus.org/articles/21/4169/2021/">https://acp.copernicus.org/articles/21/4169/2021/</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.5194/acp-21-4169-2021">https://doi.org/10.5194/acp-21-4169-2021</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	欧州：欧州
抄録 (英文)	<p>In March 2020, non-pharmaceutical intervention measures in the form of lockdowns were applied across Europe to urgently reduce the transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2), the virus which causes the COVID-19 disease. The aggressive curtailing of the European economy had widespread impacts on the atmospheric composition, particularly for nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) and ozone (O<sub>3</sub>). To investigate these changes, we analyse data from 246 ambient air pollution monitoring sites in 102 urban areas and 34 countries in Europe between February and July 2020. Counterfactual, business-as-usual air quality time series are created using machine-learning models to account for natural weather variability. Across Europe, we estimate that NO<sub>2</sub> concentrations were 34 % and 32 % lower than expected for respective traffic and urban background locations, whereas O<sub>3</sub> was 30 % and 21 % higher (in the same respective environments) at the point of maximum restriction on mobility. To put the 2020 changes into context, average NO<sub>2</sub> trends since 2010 were calculated, and the changes experienced across European urban areas in 2020 was equivalent to 7.6 years of average NO<sub>2</sub> reduction (or concentrations which might be anticipated in 2028). Despite NO<sub>2</sub> concentrations decreasing by approximately a third, total oxidant (O<sub>x</sub>) changed little, suggesting that the reductions in NO<sub>2</sub> were substituted by increases in O<sub>3</sub>. The lockdown period demonstrated that the expected future reductions in NO<sub>2</sub> in European urban areas are likely to lead to widespread increases in urban O<sub>3</sub> pollution unless additional mitigation measures are introduced.</p>

抄録 (和文)	<p>2020年3月、COVID-19感染症の原因ウイルスである重症急性呼吸器症候群コロナウイルス2 (SARS-CoV-2) の感染を緊急に抑えるため、ロックダウンという形で医薬品以外の介入措置が欧州全域で適用された。欧州経済の積極的な抑制は、大気組成、特に二酸化窒素 (NO<sub>2</sub>) とオゾン (O<sub>3</sub>) に広く影響を及ぼした。</p> <p>このような変化を調べるために、2020年2月から7月にかけて、欧州34カ国、102都市圏の246カ所の大気汚染環境モニタリングサイトのデータを分析した。自然気象の変動性を考慮し、機械学習モデルを用いて反事実的 [Counterfactual] で通常 [business-as-usual] の大気質の時系列を作成した。ヨーロッパ全体では、交通と都市バックグラウンドのそれぞれの地点でNO<sub>2</sub>濃度は予想より34%、32%低く、一方O<sub>3</sub>は移動が最大制限された地点で30%、21%高くなった (同じそれぞれの環境) と推測する。</p> <p>2020年の変化を考えるために、2010年以降のNO<sub>2</sub>の平均的な傾向を計算したところ、2020年にヨーロッパの都市部で経験した変化は、NO<sub>2</sub>の平均減少の7.6年分 (又は2028年に予想される濃度) に相当することが分かった。NO<sub>2</sub>濃度が約3分の1に減少したにもかかわらず、総オキシダント (O<sub>x</sub>) はほとんど変化せず、NO<sub>2</sub>の減少がO<sub>3</sub>の増加に置き換えられたことが示唆された。ロックダウン期間では、ヨーロッパの都市部で将来予想されるNO<sub>2</sub>の削減は、追加の緩和策を導入しない限り、都市部のO<sub>3</sub>汚染の広範囲な増加につながる可能性があることが示された。</p>
------------	--

文献番号	3-26-6
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Ozone Changes Over the United States Due to COVID-19
邦題	COVID-19 による米国のオゾンの変化
著者、作者	Li, M. ; McDonald, B. C. ; McKeen, S. A. ; Peischl, J. ; Aikin, K. C. ; Brown, S. ; Frost, G. J. ; Trainer, M.
出版年	2020
出典	American Geophysical Union, Fall Meeting 2020, abstract #A079-07
URL	<a href="https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020AGUFMA079...07L/abstract">https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020AGUFMA079...07L/abstract</a>
DOI	
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	北米：米国
抄録 (英文)	<p>The COVID-19 pandemic has caused significant changes in emissions of both nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) and volatile organic compounds (VOCs) over U.S. cities, which are precursors of tropospheric ozone formation. We investigate the ozone changes over the continental US due to the emission reductions, and non-linear chemistry during summertime ozone season. A Fuel-based Inventory of Vehicle Emissions and Volatile Chemical Products (FIVE-VCP) inventory was developed specifically and constrained with TROPospheric Monitoring Instrument (TROPOMI) TROPOMI satellite data. We conduct simulations during summer in 2020 using the Weather Research and Forecasting with Chemistry (WRF-Chem) model and compare with simulations from a base case run in 2018. Model simulations in 2020 are conducted using both a business-as-usual and COVID perturbed emission cases, to assess the role of meteorology in interpreting satellite observations versus past years. Ratios of formaldehyde to nitrogen dioxide from TROPOMI is used to assess NO<sub>x</sub> sensitivity for ozone formation, along with ground-based monitoring data. Our preliminary analysis suggests that ozone has likely decreased in most cities due to perturbations in anthropogenic emissions. Considering that NO<sub>x</sub> emissions of transportation have decreased by 30-50%, the decreasing ratios of ozone are relatively lower due to co-reduction of VOCs and non-linear chemistry. Our analyses for COVID-19 provide insights on future ozone control pathways, including those related to the transportation sector.</p>

抄録 (和文)	<p>COVID-19 のパンデミックにより、対流圏オゾン生成の前駆物質である窒素酸化物 (<math>\text{NO}_x</math>) と揮発性有機化合物 (VOC) の米国の都市における排出量が大きく変化している。我々は、排出量削減による米国大陸のオゾン変化と、夏場のオゾンシーズンにおける非線形化学について調査した。</p> <p>車両排出及び揮発性化学製品の燃料ベースのインベントリ (FIVE-VCP) を特別に開発し、TROPOspheric モニタリング装置 (TROPOMI) TROPOMI 衛星データで制約をかけた。2020年の夏に、大気化学結合型気象研究予測 (WRF-Chem) モデルを用いてシミュレーションを行い、2018年に実施されたベースケースのシミュレーションと比較する。</p> <p>2020年のモデルシミュレーションは、通常ケースと COVID 摂動排出ケースの両方を用いて実施し、衛星観測と過去年との解釈における気象の役割を評価した。TROPOMI による二酸化窒素に対するホルムアルデヒドの比率は、地上モニタリングデータとともに、オゾン生成に対する <math>\text{NO}_x</math> の感度を評価するために使用される。</p> <p>予備的な分析によると、人為的な排出の摂動により、ほとんどの都市でオゾンが減少している可能性が高いと示唆される。運輸部門の <math>\text{NO}_x</math> 排出量が 30~50%減少していることを考慮すると、VOC の共減少 (co-reduction) と非線形化学により、オゾンの減少比率は相対的に低くなっている。我々の COVID-19 の解析は、運輸部門に関連するものを含め、将来のオゾン制御経路に関する洞察を与える。</p>
------------	---

文献番号	3-42-8
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	NO <sub>x</sub> and O <sub>3</sub> Trends at U.S. Non-Attainment Areas for 1995-2020: Influence of COVID-19 Reductions and Wildland Fires on Policy-Relevant Concentrations
邦題	1995-2020年の米国の汚染基準未達成地域におけるNO <sub>x</sub> 及びO <sub>3</sub> のトレンド：COVID-19による減少と森林火災が政策関連濃度に与える影響
著者、作者	Daniel A. Jaffe, Matthew Ninneman, Hei Chun Chan
出版年	Volume127, Issue11, 16 June 2022, e2021JD036385
出典	JGR Atmospheres,
URL	<a href="https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2021JD036385?casa_token=C-g9jJSdOEAAAAA%3AxS-FwhGPpa0UTjMBH72G4yLWYmvhYNTjtsFnxI9p0NyI_Usa-MuZS5ksmyoTpiRVW26m7zZ0Py1GrMtkY">https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2021JD036385?casa_token=C-g9jJSdOEAAAAA%3AxS-FwhGPpa0UTjMBH72G4yLWYmvhYNTjtsFnxI9p0NyI_Usa-MuZS5ksmyoTpiRVW26m7zZ0Py1GrMtkY</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1029/2021JD036385">https://doi.org/10.1029/2021JD036385</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	北米：米国
抄録 (英文)	We analyzed NO <sub>2</sub> and O <sub>3</sub> data from 32 U.S. non-attainment areas (NAAs) for 1995-2020. Since 1995, all regions have shown steady reductions in NO <sub>2</sub> and the weekend-weekday pattern indicates that the O <sub>3</sub> production regime in most NAAs has transitioned to a NO <sub>x</sub> -limited regime, while a few NAAs remain NO <sub>x</sub> -saturated. In the eastern U.S., all NAAs have made steady progress toward meeting the current (70 ppb) O <sub>3</sub> standard, but this is less true in midwestern and western NAAs, with most showing little improvement in peak O <sub>3</sub> concentrations since about 2010. Due to COVID-19 restrictions, NO <sub>2</sub> concentrations were substantially reduced in 2020. In the eastern NAAs, we see significant reductions in both NO <sub>2</sub> and peak O <sub>3</sub> concentrations. In the midwestern U.S., results were more variable, with both higher and lower O <sub>3</sub> values in 2020. In the western U.S. (WUS), we see variable reductions in NO <sub>2</sub> but substantial increases in O <sub>3</sub> at most sites, due to the influence from huge wildland fires. The recent pattern over the past decade shows that the large amount of wildland fires has a strong influence on the policy-relevant O <sub>3</sub> metric in the WUS, and this is making it more difficult for these regions to meet the O <sub>3</sub> standard.

抄録 (和文)	<p>1995年から2020年の米国の32の汚染基準未達成地域(NAA)のNO<sub>2</sub>及びO<sub>3</sub>データを解析した。1995年以降、全ての地域でNO<sub>2</sub>は着実に減少しており、週末と平日のパターンから、ほとんどのNAAでO<sub>3</sub>生成レジームがNO<sub>x</sub>律速領域に移行していることを示しているが、いくつかのNAAは依然としてNO<sub>x</sub>飽和状態のままである。</p> <p>米国東部では、全てのNAAが現行のO<sub>3</sub>基準(70ppb)の達成に向けて着実に前進しているが、中西部と西部のNAAではそうではなく、ほとんどのNAAで2010年頃からO<sub>3</sub>ピーク濃度がほとんど改善されずにいる。COVID-19による規制により、2020年のNO<sub>2</sub>濃度は大幅に減少した。東部NAAでは、NO<sub>2</sub>濃度、O<sub>3</sub>ピーク濃度ともに大幅な減少が見られる。</p> <p>米国中西部では、結果はより多様で、2020年のO<sub>3</sub>値は高くも低くもなった。米国西部(WUS)では、NO<sub>2</sub>の減少は様々だが、O<sub>3</sub>はほとんどのサイトで大幅に増加しており、これは広大な原野火災の影響によるものである。過去10年間の最近のパターンは、広範囲の原野火災がWUSの政策に関連するO<sub>3</sub>指標に強い影響を与えており、これがこれらの地域のO<sub>3</sub>基準達成をより困難にしていることを示している。</p>
------------	---

文献番号	3-49-10
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Ozone Trends and the Ability of Models to Reproduce the 2020 Ozone Concentrations in the South Coast Air Basin in Southern California under the COVID-19 Restrictions
邦題	COVID-19 規制下における南カリフォルニア・サウスコースト大気盆地のオゾン動向及びモデルが2020年オゾン濃度を再現する能力
著者、作者	Lynsey Karen Parker, Jeremiah Johnson, John Grant, Pradeepa Vennam, Rajashi Parikh, Chao-Jung Chien and Ralph Morris
出版年	2022
出典	Atmosphere 2022, 13(4), 528
URL	<a href="https://www.mdpi.com/2073-4433/13/4/528">https://www.mdpi.com/2073-4433/13/4/528</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.3390/atmos13040528">https://doi.org/10.3390/atmos13040528</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	北米：米国
抄録 (英文)	<p>The current U.S. emission control requirements for on-road motor vehicles are driven by the ozone problem in the South Coast Air Basin (SoCAB) in southern California. Based on ozone modeling performed for Air Quality Management Plans (AQMPs), the SoCAB ozone attainment plan requires large (&gt;80%) amounts of emission reductions in oxides of nitrogen (NO<sub>x</sub>) from current levels with more modest (~40%) controls on Volatile Organic Compounds (VOC). The shelter in place orders in response to the 2020 COVID-19 pandemic resulted in an immediate reduction in emissions, but instead of ozone being reduced, in 2020 the SoCAB saw some of the highest observed ozone levels in decades. We used the abrupt emissions reductions from 2019 to 2020 caused by COVID-19 to conduct a dynamic model evaluation of the Community Multiscale Air Quality (CMAQ) model to evaluate whether the models used to develop ozone control plans can correctly simulate the ozone response to the emissions reductions. Ozone modeling was conducted for three scenarios: 2019 Base, 2020 business-as-usual (i.e., without COVID reductions), and 2020 COVID. We found that modeled ozone changes between 2019 and 2020 were generally consistent with the observed ozone changes. We determined that meteorology played the major role in the increases in ozone between 2019 and 2020; however, the reduction in NO<sub>x</sub> emissions also caused ozone increases in Los Angeles County and into western San Bernardino County, with more widespread ozone decreases further to the east.</p>

抄録 (和文)	<p>現在、米国で求められているオンロード自動車の排出規制は、南カリフォルニアのサウスコースト大気盆地 (SoCAB) におけるオゾン問題に起因している。大気質管理計画 (AQMP) のために実施されたオゾンモデリングに基づき、SoCAB オゾン達成計画では、揮発性有機化合物 (VOC) についてはより控えめ (約 40%) に、窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) の排出量を現状から大幅に (80%以上) 削減することが求められている。</p> <p>2020 年の COVID-19 パンデミックに対応した外出禁止令により、排出量は直ちに減少したが、オゾンは減少するどころか、2020 年には SoCAB で過去数十年で最も高いオゾンレベルが観測された。我々は、COVID-19 による 2019 年から 2020 年の急激な排出量削減を利用して、地域マルチスケール大気質 (CMAQ) モデルの動的モデル評価を行い、オゾン制御計画の策定に用いるモデルが、排出量削減に対するオゾン応答を正しくシミュレートできるかどうかを評価した。</p> <p>オゾンモデリングは、次の 3 つのシナリオについて実施した: 2019 年ベース、2020 年通常 (つまり、COVID 削減なし)、2020 年 COVID。2019 年から 2020 年にかけてのモデル化されたオゾンの変化は、観測されたオゾンの変化と概ね一致することが分かった。2019 年から 2020 年にかけてのオゾンの増加には気象が大きな役割を果たしたと判断したが、NO<sub>x</sub> 排出量の削減により、ロサンゼルス郡とサンバーナーディーノ郡西部でもオゾンが増加し、さらに東部ではより広範囲でオゾンが減少した。</p>
------------	--

文献番号	3-28-6
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Impacts of the COVID-19 economic slowdown on ozone pollution in the U.S.
邦題	COVID-19による経済減速が米国のオゾン汚染に与える影響
著者、作者	Patrick C. Campbell, Daniel Tong, Youhua Tang, Barry Baker, Pius Lee, Rick Saylor, Ariel Stein, Siqi Ma, Lok Lamsal, Zhen Qu
出版年	2021
出典	Atmospheric Environment, Volume 264, 1 November 2021, 118713
URL	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231021005355">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231021005355</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118713">https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118713</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	北米：米国
抄録 (英文)	<p>In this work, we use observations and experimental emissions in a version of NOAA's National Air Quality Forecasting Capability to show that the COVID-19 economic slowdown led to disproportionate impacts on near-surface ozone concentrations across the contiguous <u>U.S.</u> (CONUS). The data-fusion methodology used here includes both U.S. EPA Air Quality System ground and the NASA <u>Aura satellite</u> Ozone Monitoring Instrument (OMI) NO<sub>2</sub> observations to infer the representative emissions changes due to the COVID-19 economic slowdown in the U.S. Results show that there were widespread decreases in anthropogenic (e.g., NO<sub>x</sub>) emissions in the U.S. during March-June 2020, which led to widespread decreases in ozone concentrations in the rural regions that are NO<sub>x</sub>-limited, but also some localized increases near urban centers that are VOC-limited. Later in June-September, there were smaller decreases, and potentially some relative increases in NO<sub>x</sub> emissions for many areas of the U.S. (e.g., south-southeast) that led to more extensive increases in ozone concentrations that are partly in agreement with observations. The widespread NO<sub>x</sub> emissions changes also alters the O<sub>3</sub>photochemical formation regimes, most notably the NO<sub>x</sub> emissions decreases in March-April, which can enhance (mitigate) the NO<sub>x</sub>-limited (VOC-limited) regimes in different regions of CONUS. The average of all AirNow hourly O<sub>3</sub> changes for 2020-2019 range from about +1 to -4 ppb during March-September, and are associated with predominantly urban monitoring sites that demonstrate considerable spatiotemporal variability for the 2020 ozone changes compared to the previous five years individually (2015-2019). The simulated maximum values of the average O<sub>3</sub> changes for March-September range from about +8 to -4 ppb (or +40 to -10%). Results of this work have implications for the use of widespread controls of anthropogenic emissions, particularly those from mobile sources, used to curb ozone pollution under the current meteorological and climate conditions in the U.S.</p>

抄録 (和文)	<p>この研究では、NOAA の「国家大気質予測能力」のバージョンで観測と実験的排出を用い、COVID-19 による経済減速が米国本土 (CONUS) の地表付近のオゾン濃度に不均衡な影響を与えたことを示した。ここで用いたデータ融合手法は、米国 EPA 大気質システムの地上観測と NASA オーラ衛星オゾン監視装置 (OMI) NO<sub>2</sub> 観測の両方を用いて、米国における COVID-19 の経済減速による代表的な排出量変化を推測した。その結果、2020 年 3 月から 6 月にかけて、米国では人為的 (NO<sub>x</sub> など) 排出量が 2020 年 3-6 月に米国で広く減少し、NO<sub>x</sub> 律速である農村地域のオゾン濃度が広く減少したが、VOC 律速である都市中心部付近では局所的に増加することもあった。</p> <p>その後、6-9 月には、米国の多くの地域 (例えば、南南東部) で NO<sub>x</sub> 排出量のわずかな減少が見られ、相対的に増加する可能性もあったが、オゾン濃度のより広範囲な上昇につながり、観測と部分的に一致している。NO<sub>x</sub> 排出量の広範囲な変化は、O<sub>3</sub> 光化学系生成レジームを変化させ、特に 3-4 月の NO<sub>x</sub> 排出量の減少は、米国本土 (CONUS) の様々な地域で NO<sub>x</sub> 律速 (VOC 律速) 領域を強化 (緩和) させる可能性がある。</p> <p>2020-2019 年の AirNow の全時間帯の O<sub>3</sub> 変化の平均は、3-9 月に約+1~-4 ppb であり、主に都市のモニタリングサイトに関連し、過去 5 年間 (2015-2019) と個別に比較して 2020 年のオゾン変化についてかなりの時空間変動を示している。</p> <p>3 月から 9 月までの O<sub>3</sub> 平均変化のシミュレーション最大値は、約+8 から-4 ppb (または+40 から-10%) の範囲であった。この研究の結果は、現在の米国の気象・気候条件のもとで、オゾン汚染を抑制するために、人為的排出、特に移動体からの排出を広範囲に制御すべきことを示唆している。</p>
------------	--

文献番号	3-1-3
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Ozone over Mexico City during the COVID-19 pandemic
邦題	COVID-19 パンデミック時におけるメキシコシティのオゾン
著者、作者	Oscar Peralta, Abraham Ortínez-Alvarez, Ricardo Torres-Jardón, Manuel Suárez-Lastra, Telma Castro, Luis GerardoRuíz-Suárez
出版年	2021
出典	Environment, Volume 761, 20 March 2021, 143183
URL	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720367139">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720367139</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143183">https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143183</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	中南米：メキシコ <input checked="" type="checkbox"/>
抄録 (英文)	<p>During the COVID-19 pandemic lockdown, emissions of primary criteria pollutants in the Mexico City Metropolitan Area (MCMA) were substantially reduced, as in many other cities in the world. Unexpectedly, the daily average ozone concentration profile was practically indistinguishable from that of the past two years for the same time span in the calendar. So, we compared surface meteorology data, CO, NO<sub>x</sub> and O<sub>3</sub> hourly concentrations in the MCMA from the ozone season (from March 1 to May 31) for the years 2018, 2019, and 2020. Also, TROPOMI satellite data on column count of CO, NO<sub>2</sub> and HCHO, above a sparse grid of surface points in the MCMA, were also compared for March, April, and May 2020 with those from 2019. Population density used as a background variable to increase understanding of the observed differences allowed us to propose that reductions in NO<sub>x</sub> were so drastic that ozone formation moved rapidly from a VOC sensitive region towards a NO<sub>x</sub> sensitive region. The relevance of that unplanned policy provides impacts of contingent short-term emissions control actions during very high pollution episodes. Further analysis of these and other related data concerning VOC speciation and emissions patterns during the coronavirus lockdown may provide guidelines to enhance emission control policies in the post-COVID-19 times to come.</p>

抄録 (和文)	<p>COVID-19 パンデミックによるロックダウン中、世界の他の多くの都市と同様に、メキシコシティメトロポリタンエリア (MCMA) の主要基準汚染物質の排出量が大幅に減少した。予想に反しカレンダーの同じ期間の 1 日の平均オゾン濃度分布は、過去 2 年間の分布と実質的に区別できなかった。</p> <p>そこで、2018 年、2019 年、2020 年のオゾンシーズン (3 月 1 日から 5 月 31 日まで) の MCMA の地表気象データ、CO、NO<sub>x</sub>、O<sub>3</sub> の 1 時間ごとの濃度を比較した。また、MCMA の地表ポイントの疎らなグリッド上の CO、NO<sub>2</sub>、HCHO のカラムカウントに関する TROPOMI 衛星データも、2020 年 3 月、4 月、5 月のものと 2019 年同月のものを比較した。</p> <p>観測された違いの理解を深めるために、バックグラウンド変数として人口密度を用いたことにより、NO<sub>x</sub> の減少が非常に急激で、オゾン生成が VOC 感度領域から NO<sub>x</sub> 感度領域へと急速に移行したということを提案することができた。この計画外の政策の関連性により、非常に高濃度の汚染が発生している間に、偶発的な短期排出規制措置の影響がもたらされる。</p> <p>コロナウイルスにより封鎖中の VOC の種生成と排出パターンに関するこれらのデータ及びその他の関連データをさらに分析することで、新型コロナウイルス感染症収束後の排出規制政策を強化するためのガイドラインが提供される可能性がある。</p>
------------	--

文献番号	3-51-5
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Photochemical sensitivity to emissions and local meteorology in Bogotá, Santiago, and São Paulo: An analysis of the initial COVID-19 lockdowns
邦題	ボゴタ、サンティアゴ、及びサンパウロにおける排出ガスと局所気象に対する光化学感度： COVID-19 の初期ロックダウンの分析
著者、作者	Rodrigo J. Seguel, Laura Gallardo, Mauricio Osses, Néstor Y. Rojas, Thiago Nogueira, Camilo Menares, Maria de Fatima Andrade, Luis C. Belalcázar, Paula Carrasco, Henk Eskes, Zoë L. Fleming, Nicolas Huneeus, Sergio Ibarra-Espinosa, Eduardo Landulfo, Manuel Leiva, Sonia C. Mangones, Fernando G. Morais, Gregori A. Moreira, Nicolás Pantoja, Santiago Parraguez, Jhojan P. Rojas, Roberto Rondanelli, Izabel da Silva Andrade, Richard Toro, Alexandre C. Yoshida
出版年	2022
出典	Elementa: Science of the Anthropocene (2022) 10 (1): 00044.
URL	<a href="https://online.ucpress.edu/elementa/article/10/1/00044/169476/Photochemical-sensitivity-to-emissions-and-local">https://online.ucpress.edu/elementa/article/10/1/00044/169476/Photochemical-sensitivity-to-emissions-and-local</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1525/elementa.2021.00044">https://doi.org/10.1525/elementa.2021.00044</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	中南米：中南米
抄録 (英文)	This study delves into the photochemical atmospheric changes reported globally during the pandemic by analyzing the change in emissions from mobile sources and the contribution of local meteorology to ozone (O <sub>3</sub> ) and particle formation in Bogotá (Colombia), Santiago (Chile), and São Paulo (Brazil). The impact of mobility reductions (50%-80%) produced by the early coronavirus-imposed lockdown was assessed through high-resolution vehicular emission inventories, surface measurements, aerosol optical depth and size, and satellite observations of tropospheric nitrogen dioxide (NO <sub>2</sub> ) columns. A generalized additive model (GAM) technique was also used to separate the local meteorology and urban patterns from other drivers relevant for O <sub>3</sub> and NO <sub>2</sub> formation. Volatile organic compounds, nitrogen oxides (NO <sub>x</sub> ), and fine particulate matter (PM <sub>2.5</sub> ) decreased significantly due to motorized trip reductions. In situ nitrogen oxide median surface mixing ratios declined by 70%, 67%, and 67% in Bogotá, Santiago, and São Paulo, respectively. NO <sub>2</sub> column medians from satellite observations decreased by 40%, 35%, and 47%, respectively, which was consistent with the changes in mobility and surface mixing ratio reductions of 34%, 25%, and 34%. However, the ambient NO <sub>2</sub> to NO <sub>x</sub> ratio increased, denoting a shift of the O <sub>3</sub> formation regime that led to a 51%, 36%, and 30% increase in the median O <sub>3</sub> surface mixing ratios in the 3 respective cities. O <sub>3</sub> showed high sensitivity to slight temperature changes during the pandemic lockdown period analyzed. However, the GAM results indicate that O <sub>3</sub> increases were mainly caused by emission changes. The lockdown led to an increase in the median of the maximum daily 8-h average O <sub>3</sub> of between 56% and 90% in these cities.

抄録 (和文)	<p>本研究では、ボゴタ（コロンビア）、サンティアゴ（チリ）、サンパウロ（ブラジル）において、移動発生源からの排出量の変化と、オゾン（<math>O_3</math>）及び粒子生成に対する局所気象の寄与を分析することにより、パンデミック時に世界的に報告された光化学大気の変化を掘り下げる。</p> <p>コロナウイルスによる初期のロックダウンによって引き起こされた移動（mobility）の低下（50%～80%）の影響は、高解像度の車両排出インベントリ、地表測定、エアロゾルの光学的深度とサイズ、及び対流圏の二酸化窒素（<math>NO_2</math>）カラムの衛星観測によって評価された。</p> <p>また、一般化加法モデル（GAM）を用いて、局所的な気象と都市パターンを、<math>O_3</math>や<math>NO_2</math>の生成に関連する他の要因から分離した。揮発性有機化合物、窒素酸化物（<math>NO_x</math>）、微小粒子状物質（<math>PM_{2.5}</math>）は、自動車移動（motorized trip）が減少したことにより、大幅に減少した。</p> <p>現場 [in situ]での窒素酸化物表面混合比の中央値は、ボゴタ、サンティアゴ、サンパウロでそれぞれ70%、67%、67%減少した。衛星観測による<math>NO_2</math>カラム中央値はそれぞれ40%、35%、47%減少し、これは移動の変化や表面混合比の減少（34%、25%、34%）と一致した。しかし、大気中の<math>NO_2/NO_x</math>比は増加し、<math>O_3</math>生成レジームがシフトしたことを示し、3都市における<math>O_3</math>表面混合比の中央値は51%、36%、30%増加した。</p> <p><math>O_3</math>は、分析されたパンデミック・ロックダウン期間中のわずかな気温変化に対して高い感度を示した。しかしながら、GAMの結果は、<math>O_3</math>の増加は主に排出量の変化によって引き起こされたことを示している。ロックダウンは、これらの都市において、1日8時間平均の最大<math>O_3</math>の中央値を56%から90%増加させることにつながった。</p>
------------	---

文献番号	3-26-1
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Impact of the COVID-19 Pandemic Lockdown on Air Pollution in 20 Major Cities around the World
邦題	COVID-19 パンデミック時のロックダウンが世界の主要 20 都市の大気汚染に与えた影響
著者、作者	Franck Fu, Kathleen L. Purvis-Roberts, Branwen Williams
出版年	2020
出典	Atmosphere 2020, 11(11), 1189
URL	<a href="https://www.mdpi.com/2073-4433/11/11/1189">https://www.mdpi.com/2073-4433/11/11/1189</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.3390/atmos11111189">https://doi.org/10.3390/atmos11111189</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	世界：世界
抄録 (英文)	In order to fight against the spread of COVID-19, the most hard-hit countries in the spring of 2020 implemented different lockdown strategies. To assess the impact of the COVID-19 pandemic lockdown on air quality worldwide, Air Quality Index (AQI) data was used to estimate the change in air quality in 20 major cities on six continents. Our results show significant declines of AQI in NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, PM <sub>2.5</sub> and PM <sub>10</sub> in most cities, mainly due to the reduction of transportation, industry and commercial activities during lockdown. This work shows the reduction of primary pollutants, especially NO <sub>2</sub> , is mainly due to lockdown policies. However, preexisting local environmental policy regulations also contributed to declining NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> and PM <sub>2.5</sub> emissions, especially in Asian countries. In addition, higher rainfall during the lockdown period could cause decline of PM <sub>2.5</sub> , especially in Johannesburg. By contrast, the changes of AQI in ground-level O <sub>3</sub> were not significant in most of cities, as meteorological variability and ratio of VOC/NO <sub>x</sub> are key factors in ground-level O <sub>3</sub> formation.

抄録 (和文)	<p>COVID-19 の蔓延に対抗するため、2020 年春、最も被害の大きかった国々は、様々なロックダウン戦略を実施した。COVID-19 のパンデミックロックダウンが世界の大気質に与える影響を評価するため、大気質インデックス (AQI) データを用いて、6 大陸の主要 20 都市における大気質の変化を推測した。その結果、ロックダウン期間中の交通、工業、商業活動の減少が主な原因で、ほとんどの都市で <math>\text{NO}_2</math>, <math>\text{SO}_2</math>, <math>\text{CO}</math>, <math>\text{PM}_{2.5}</math>, <math>\text{PM}_{10}</math> の AQI が大幅に低下していた。</p> <p>この研究により、一次汚染物質、特に <math>\text{NO}_2</math> の削減は、主にロックダウン政策によるものであることが分かった。しかしながら、特にアジア諸国では、現地の既存の環境政策規制も <math>\text{NO}_2</math>, <math>\text{SO}_2</math>, <math>\text{PM}_{2.5}</math> 排出量の減少に寄与している。また、特にヨハネスブルグでは、ロックダウン期間中の降雨量の増加が <math>\text{PM}_{2.5}</math> の減少を引き起こした可能性がある。一方、地上 <math>\text{O}_3</math> については、気象変動と <math>\text{VOC}/\text{NO}_x</math> の割合が重要な要因であることから、ほとんどの都市で AQI の変化は大きくなかった。</p>
------------	--

文献番号	3-28-4
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Global Changes in Secondary Atmospheric Pollutants During the 2020 COVID-19 Pandemic
邦題	2020年のCOVID-19パンデミック時の大気二次汚染物質の地球規模での変化
著者、作者	Benjamin Gaubert, Idir Bouarar, Thierno Doumbia, Yiming Liu, Trissevgeni Stavrou, Adrien Deroubaix, Sabine Darras, Nellie Elguindi, Claire Granier, Forrest Lacey, Jean-François Müller, Xiaoqin Shi, Simone Tilmes, Tao Wang, Guy P. Brasseur
出版年	2021
出典	JGR Atmospheres, Volume126, Issue8, 27 April 2021, e2020JD034213
URL	<a href="https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2020JD034213">https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2020JD034213</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1029/2020JD034213">https://doi.org/10.1029/2020JD034213</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	世界：世界
抄録 (英文)	<p>We use the global Community Earth System Model to investigate the response of secondary pollutants (ozone O<sub>3</sub>, secondary organic aerosols SOA) in different parts of the world in response to modified emissions of primary pollutants during the COVID-19 pandemic. We quantify the respective effects of the reductions in NO<sub>x</sub> and in volatile organic carbon (VOC) emissions, which, in most cases, affect oxidants in opposite ways. Using model simulations, we show that the level of NO<sub>x</sub> has been reduced by typically 40% in China during February 2020 and by similar amounts in many areas of Europe and North America in mid-March to mid-April 2020, in good agreement with space and surface observations. We show that, relative to a situation in which the emission reductions are ignored and despite the calculated increase in hydroxyl and peroxy radicals, the ozone concentration increased only in a few NO<sub>x</sub>-saturated regions (northern China, northern Europe, and the US) during the winter months of the pandemic when the titration of this molecule by NO<sub>x</sub> was reduced. In other regions, where ozone is NO<sub>x</sub>-controlled, the concentration of ozone decreased. SOA concentrations decrease in response to the concurrent reduction in the NO<sub>x</sub> and VOC emissions. The model also shows that atmospheric meteorological anomalies produced substantial variations in the concentrations of chemical species during the pandemic. In Europe, for example, a large fraction of the ozone increase in February 2020 was associated with meteorological anomalies, while in the North China Plain, enhanced ozone concentrations resulted primarily from reduced emissions of primary pollutants.</p>

抄録 (和文)	<p>COVID-19 のパンデミック時に、一次汚染物質の排出量の変化に応じて、世界各地の二次汚染物質（オゾン O<sub>3</sub>、二次有機エアロゾル SOA）の応答を、地球規模のコミュニティ地球システムモデルを用いて調査した。NO<sub>x</sub> と揮発性有機炭素 [volatile organic carbon] (VOC) の排出量削減によるそれぞれの効果を定量的に評価したところ、ほとんどの場合、酸化剤に正反対の影響を与えることが分かった。</p> <p>モデルシミュレーションにより、2020 年 2 月に中国で NO<sub>x</sub> レベルが概して 40%削減され、2020 年 3 月中旬から 4 月中旬にヨーロッパと北米の多くの地域で同程度削減されたことが示され、宇宙と地上での観測とよく一致することが明らかになった。我々は、排出削減を無視した状況と比較し、ヒドロキシルラジカルとペルオキシラジカルの計算上の増加にもかかわらず、NO<sub>x</sub> によるこの分子の滴定が減少したパンデミックの冬季に、オゾン濃度は少数の NO<sub>x</sub> 飽和地域（中国北部、ヨーロッパ北部、米国）でのみ増加したことを示す。</p> <p>NO<sub>x</sub> 規制のある他の地域では、オゾン濃度が減少した。SOA 濃度は、NO<sub>x</sub> と VOC の排出量の同時減少に対応して減少している。また、このモデルは、パンデミックの間、大気気象の異常が化学種の濃度に大きな変動をもたらしたことを示している。例えば、ヨーロッパでは、2020 年 2 月のオゾン増加の大部分は気象異常に関連していた。一方、華北平野では、オゾン濃度の増加は、主に一次汚染物質の排出量減少に起因していた。</p>
------------	--

文献番号	委員紹介-1
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	Global tropospheric ozone responses to reduced NO <sub>x</sub> emissions linked to the COVID-19 worldwide lockdowns
邦題	新型コロナウイルス感染症による世界的なロックダウンに関連した NO <sub>x</sub> 排出量の減少に対する世界的な対流圏オゾンの反応
著者、作者	Kazuyuki Miyazaki, Kevin Bowman, Takashi Sekiya, Masayuki Takigawa, Jessica L. Neu, Kengo Sudo, Greg Osterman, and Henk Eskes
出版年	2021
出典	Science Advances, Volume9, Issue24, 9 June 2021, eabf7460
URL	<a href="https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abf7460">https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abf7460</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1126/sciadv.abf7460">https://doi.org/10.1126/sciadv.abf7460</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	世界：世界
抄録 (英文)	Efforts to stem the transmission of coronavirus disease 2019 (COVID-19) led to rapid, global ancillary reductions in air pollutant emissions. Here, we quantify the impact on tropospheric ozone using a multiconstituent chemical data assimilation system. Anthropogenic NO <sub>x</sub> emissions dropped by at least 15% globally and 18 to 25% regionally in April and May 2020, which decreased free tropospheric ozone by up to 5 parts per billion, consistent with independent satellite observations. The global total tropospheric ozone burden declined by 6TgO <sub>3</sub> (~2%) in May and June 2020, largely due to emission reductions in Asia and the Americas that were amplified by regionally high ozone production efficiencies (up to 4 TgO <sub>3</sub> /TgN). Our results show that COVID-19 mitigation left a global atmospheric imprint that altered atmospheric oxidative capacity and climate radiative forcing, providing a test of the efficacy of NO <sub>x</sub> emissions controls for co-benefiting air quality and climate.

抄録 (和文)	2019年新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の感染を阻止する取り組みにより、大気汚染物質の排出量が世界的に急速に削減された。我々は、多成分化学データ同化システム (MOM0-Chem) を使用して、対流圏オゾンへの影響を定量化した。人為起源の NO <sub>x</sub> 排出量は、2020年4月と5月に世界で少なくとも15%、地域的には18～25%減少し、自由対流圏のオゾンが最大5 ppb減少し、この結果は独立した衛星観測とも一致した。全球合計の対流圏オゾン負荷量は、2020年5月と6月に6TgO <sub>3</sub> (約2%) 減少した。これは主に、地域的に高いオゾン生成効率 (最大4 TgO <sub>3</sub> /TgN) を持つアジアとアメリカ大陸における NO <sub>x</sub> の排出削減が増幅された結果によるものである。私たちの結果は、新型コロナウイルス感染症の緩和が大気の酸化力と気候の放射強制力を変化させる地球規模の大気の痕跡を残し、NO <sub>x</sub> 排出抑制が、大気の質と気候変動を共に改善するのに有効であることを試験的に示した。
------------	--

文献番号	委員紹介-2
資料種類	原著論文
資料名 タイトル	The worldwide COVID-19 lockdown impacts on global secondary inorganic aerosols and radiative budget
邦題	新型コロナウイルス感染症による世界的なロックダウンは、世界的な二次無機エアロゾルと放射予算に影響を与える
著者、作者	Takashi Sekiya, Kazuyuki Miyazaki, Henk Eskes, Kevin Bowman, Kengo Sudo, Yugo Kanaya, Masayuki Takigawa
出版年	2023
出典	Science Advances, Volume9, Issue30, 28 July 2023, eadh2688
URL	<a href="https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adh2688">https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adh2688</a>
DOI	<a href="https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2688">https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2688</a>
分野	ozone、NO <sub>x</sub> 、VOC、sensitivity
分類	世界：世界
抄録 (英文)	Global lockdown measures to prevent the spread of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) led to air pollutant emission reductions. While the COVID-19 lockdown impacts on both trace gas and total particulate pollutants have been widely investigated, secondary aerosol formation from trace gases remains unclear. To that end, we quantify the COVID-19 lockdown impacts on NO <sub>x</sub> and SO <sub>2</sub> emissions and sulfate-nitrate-ammonium aerosols using multiconstituent satellite data assimilation and model simulations. We find that anthropogenic emissions over major polluted regions were reduced by 19 to 25% for NO <sub>x</sub> and 14 to 20% for SO <sub>2</sub> during April 2020. These emission reductions led to 8 to 21% decreases in sulfate and nitrate aerosols over highly polluted areas, corresponding to >34% of the observed aerosol optical depth declines and a global aerosol radiative forcing of +0.14 watts per square meter relative to business-as-usual scenario. These results point to the critical importance of secondary aerosol pollutants in quantifying climate impacts of future mitigation measures.

抄録 (和文)	2019年新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の蔓延を防ぐための世界的なロックダウン措置により、大気汚染物質の排出量が削減された。新型コロナウイルス感染症(COVID-19)のロックダウンが微量ガスと総粒子状物質の両方に与える影響は広く調査されているが、微量ガスからの二次エアロゾル形成については依然として不明であった。そのために、多成分衛星データの同化とモデルシミュレーションを使用して、NO <sub>x</sub> とSO <sub>2</sub> の排出と硫酸塩・硝酸塩・アンモニウムエアロゾルに対する新型コロナウイルス感染症のロックダウンの影響を定量化した。主要な汚染地域の人為起源排出量は、2020年4月中にNO <sub>x</sub> で19～25%、SO <sub>2</sub> で14～20%削減されたことがわかった。これらの排出削減により、高度に汚染された地域での硫酸塩および硝酸塩エアロゾルが8～21%減少した。観測されたエアロゾルの光学的深さが34%以上減少し、全球エアロゾル放射力は通常シナリオと比較して1平方メートルあたり+0.14ワット増加した。これらの結果は、将来の緩和策が気候変動に与える影響を定量化する上で、エアロゾル二次汚染物質が極めて重要であることを示している。
------------	---