

大気環境の改善に向けた施策に関する調査研究 ～諸外国の光化学オキシダント対策に関するレビュー～

一般社団法人 環境情報科学センター

研究班:

蓮沼英樹^{1, 2)}, Martinez Liliana^{1, 3)}, 小林弘里¹⁾, 会津賢治¹⁾, 大島一憲¹⁾,
渋谷潤¹⁾, 板野泰之⁴⁾, 茶谷聡⁵⁾, 長谷川就一⁶⁾, 山神真紀子⁷⁾, 星純也⁸⁾

1) 環境情報科学センター,

2) 兵庫医科大学,

3) 法政大学大学院公共政策研究科,

4) 大阪市立環境科学研究センター,

5) 国立環境研究所地域環境研究センター,

6) 埼玉県環境科学国際センター,

7) 名古屋市環境科学調査センター,

8) 公益財団法人東京都環境公社東京都環境科学研究所

背景

- わが国の光化学オキシダントの達成状況は依然として低い水準である。
- 地方公共団体を対象に実施したヒアリング調査の研究¹⁾においても、光化学オキシダント対策は地方公共団体の課題となっている。
- 欧米諸国における大気汚染の対策に係る実態については、PM_{2.5}の対策を中心とした報告^{2,3)}があるものの、光化学オキシダントの対策動向については体系的に情報整理されていない。

1) 環境情報科学センター, 2016

2) 山田克之, 2010

3) 加藤順子, 2010

そこで

目的

諸外国における光化学オキシダント対策の実態を明らかにするとともに、諸外国の対策について、わが国の地方公共団体における対策への適用可能性について検討することを目的とする。

研究方法

研究①

米 国

州のSIP*を調査

SIP: State Implementation Plan

研究②

欧 州

NAPCP*を調査

NAPCP: National Air Pollution Control Program

研究③

わが国

国、地方公共団体の
公表情報を調査

研究⑤

中国・韓国

行政機関の公表
情報を調査

研究④

3地域の対策実態
の詳細レビュー

3カ国の対策実態
の詳細レビュー

研究⑥

研究動向に関するレビュー

わが国への適用可能性の検討

成 果

各国の光化学オキシダント等の対策の実態を把握

先進的な対策メニューと
対策効果について情報
整理

わが国の地方公共団体
への適用可能性等につ
いて整理

- 研究① 米国
- 研究② 欧州
- 研究③ 日本
- 研究④ 地域別の詳細レビュー
- 研究⑤ 中国・韓国
- 研究⑥ -1 研究動向に関するレビュー
- 研究⑥ -2 地方公共団体の光化学オキシダント対策への適用可能性についての検討

米国の大気保全施策のフレームワーク

大気浄化法 (Clean Air Act)

- 米国環境保護庁(US EPA)に、大気環境基準 (NAAQS: National Ambient Air Quality Standards) を設定する権限を与えている。
- 州・地方政府には、NAAQSを達成するために必要な措置を講じ、大気環境基準を非達成の州は、SIP (State Implementation Plan) を策定することが義務付け。

①大気環境基準 (NAAQS)

O₃の大気環境基準

基準年	1種規制／2種規制	基準値	備考
1997	1種規制／2種規制	0.08 ppm	年間4番目に高い日最大8時間値の3年平均値が、基準値を超えない
2008	1種規制／2種規制	0.075 ppm	同上
2015	1種規制／2種規制	0.070 ppm	同上

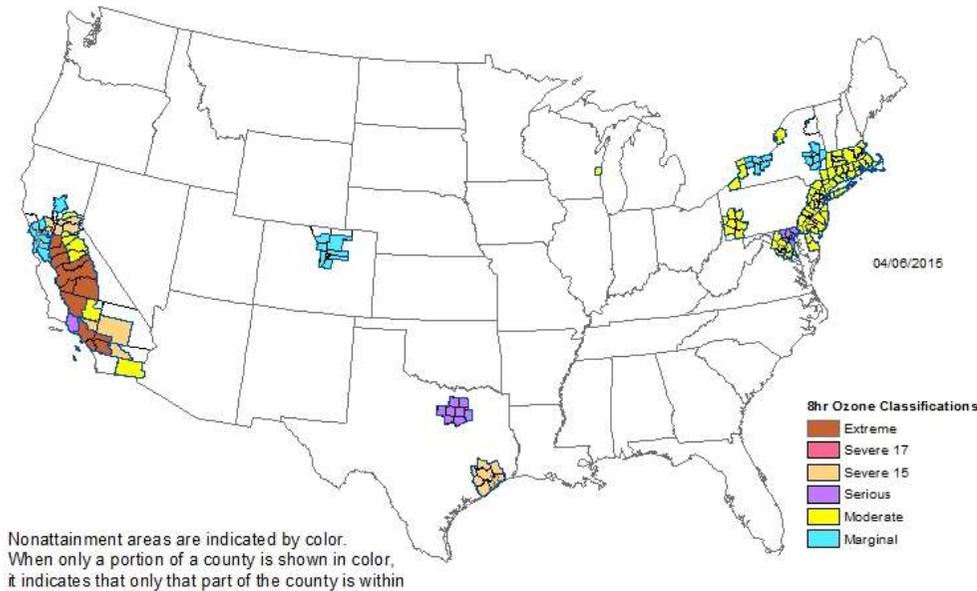
※第1種規制: 国民の健康保護を目的

※第2種規制: 視界、動物、作物、植生や建造物などの公共福祉の保護を目的

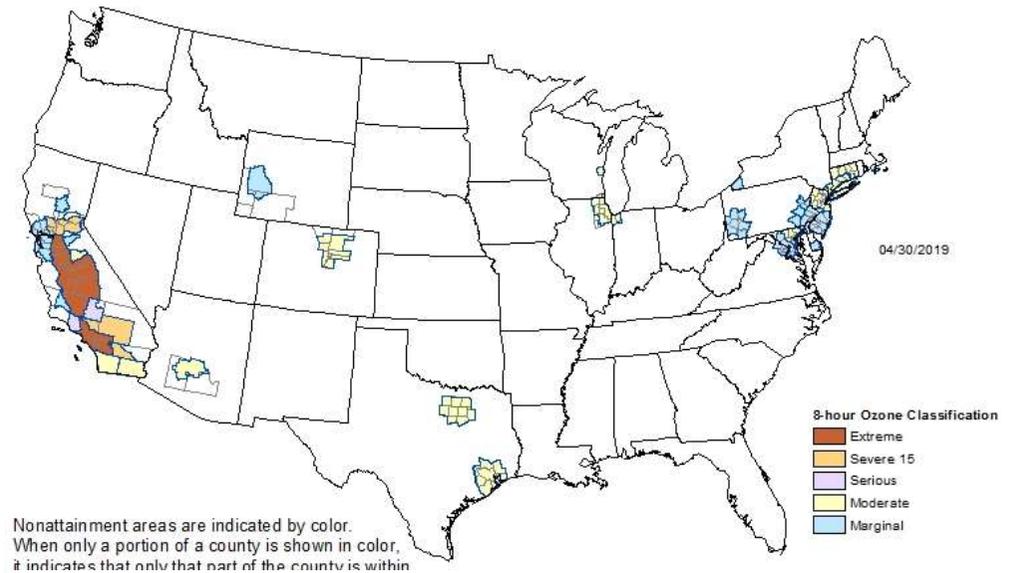
※US EPAは、5年ごとに健康影響など示す科学データを見直し、大気環境基準の変更について検討することを義務付けられている。

オゾン濃度の環境基準 非達成地域

8-Hour Ozone Nonattainment Areas (1997 Standard - Revoked)



8-Hour Ozone Nonattainment Areas (2008 Standard)



図A 1997年基準値のオゾン非達成地域

図B 2008年基準値のオゾン非達成地域



非達成地域は、西海岸と東海岸に、広く分布していた。汚染状況の深刻度に応じた分類、①Marginal、②Moderate、③Serious、④Severe、⑤Extreme で見ると、最も深刻な⑤Extremeは、カルフォルニア州でみられた。

図C 2015年基準値のオゾン非達成地域

- **研究①** **米国**
- 研究② 欧州
- 研究③ 日本
- **研究④** **地域別の詳細レビュー（米国3地域）**
- 研究⑤ 中国・韓国
- 研究⑥ -1 研究動向に関するレビュー
- 研究⑥ -2 地方公共団体の光化学オキシダント対策
への適用可能性についての検討

3地域の対策実態の詳細レビュー

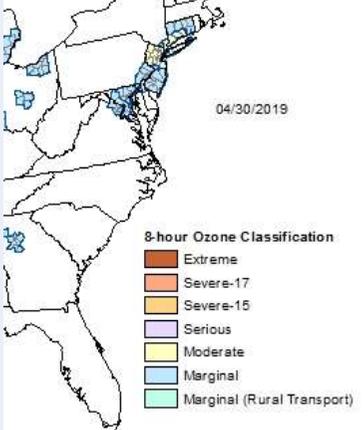
対象地域の選定

- オゾン環境基準非達成の地域は、**東海岸と西海岸**に集中していた。
- オゾンは気象の影響が大きいことから、日本の温暖な気候と似ており、大気汚染への対策と効果がSIPに明記されていた**カルフォルニア州、ワシントンDC、ニューヨーク州**を選定した。
- **カルフォルニア州、ワシントンDC**を対象に、2020年1月に現地ヒアリング調査を実施した。
(ニューヨーク州は、州独自の対策がみられなかったため)

米国のSIP策定にあたっての4つの観点

A	大気環境モニタリング Air Quality Monitoring	<ul style="list-style-type: none">• 汚染の原因や汚染の状況を知る• 大気汚染対策の有効性を評価する
B	発生源インベントリ Emission Inventory	<ul style="list-style-type: none">• 発生源の割合を把握し、定期的に更新する• どの発生源から削減が期待できるか、将来予測を行う
C	大気環境モデル Air Quality Modeling	<ul style="list-style-type: none">• 許容可能な大気汚染レベルを達成するために必要な排出削減量を評価するため、モデル予測を行う
D	規制の戦略 Control Strategy	<ul style="list-style-type: none">• 経済的・技術的・将来的に実行・持続可能性を考慮し、市民・企業・科学者・他国などステークスホルダーを巻き込み、対策を検討する。• Cost-Effective、Long-Investment の観点から検討する• 対策の種類として①規制、②インセンティブ、③自主的取組がある。

地域の対策実態調査

	カルフォルニア州	ワシントンDC
発生源・要因	移動発生源、森林火災、気象、温暖化、地理的要因(山脈と海風)、メキシコからの越境汚染	越境汚染(発電所・石炭燃焼から排出されるNO _x)、移動発生源
取組状況	50年前に大気汚染が深刻であった歴史を有する。大気汚染を克服しなければならない使命を持っており、 全米で最も先進的な取り組み を行っている。	市民の環境保護意識が高いコミュニティであり、自主的取り組みを積極的に行っている地域である。
対策の特徴	全米の対策に加え、州独自の対策として「 移動発生源対策 」を強化している。	全米の対策に加え、独自の対策を「 バランスよく対策 」を実施している。
越境汚染	メキシコからの越境汚染があり、メキシコとWork Group Meetingを行っている。 	1つの州ではオゾン対策ができないため、複数の州からなるOzone Transport Commission (OTC) を組織している。 

米国における対策の特徴

- 州がSIP策定の責任を有するが、地方区・郡(Local District, County)は、州とともにSIPを策定し対策を行っていた。
- カルフォルニア州では、規制も重要であるが、人々を巻き込んだインセンティブプログラムが非常に重要な対策メニューと位置付けており、インセンティブプログラムの予算額が非常に大きくなっていった。
- ワシントンDCでは、下記視点から対策の評価を行っていた。
 - 1)費用対効果 5,000 US\$/ton(NO_x)以下、
 - 2)排出削減量 0.1 ton(NO_x)/day 以上、
 - 3)実現可能・持続可能な対策であること

- 研究① 米国
- **研究② 欧州**
- 研究③ 日本
- 研究④ 地域別の詳細レビュー
- 研究⑤ 中国・韓国
- 研究⑥ -1 研究動向に関するレビュー
- 研究⑥ -2 地方公共団体の光化学オキシダント対策への適用可能性についての検討

環境大気質指令

Ambient Air Quality (AAQ) Directive

大気環境基準を設定
(PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂, O₃, 他)



国別排出上限指令 National Emission Ceiling Directive (NEC指令)

国別排出上限を設定
(NO_x, VOC, SO₂, PM_{2.5}, NH₃)

排出基準に関する指令 Source legislation on emission standards

(例)

- 産業排出指令 (IED指令)
- 自動車の排出ガス規制
- エコデザイン指令
- VOCの排出制限に関する指令



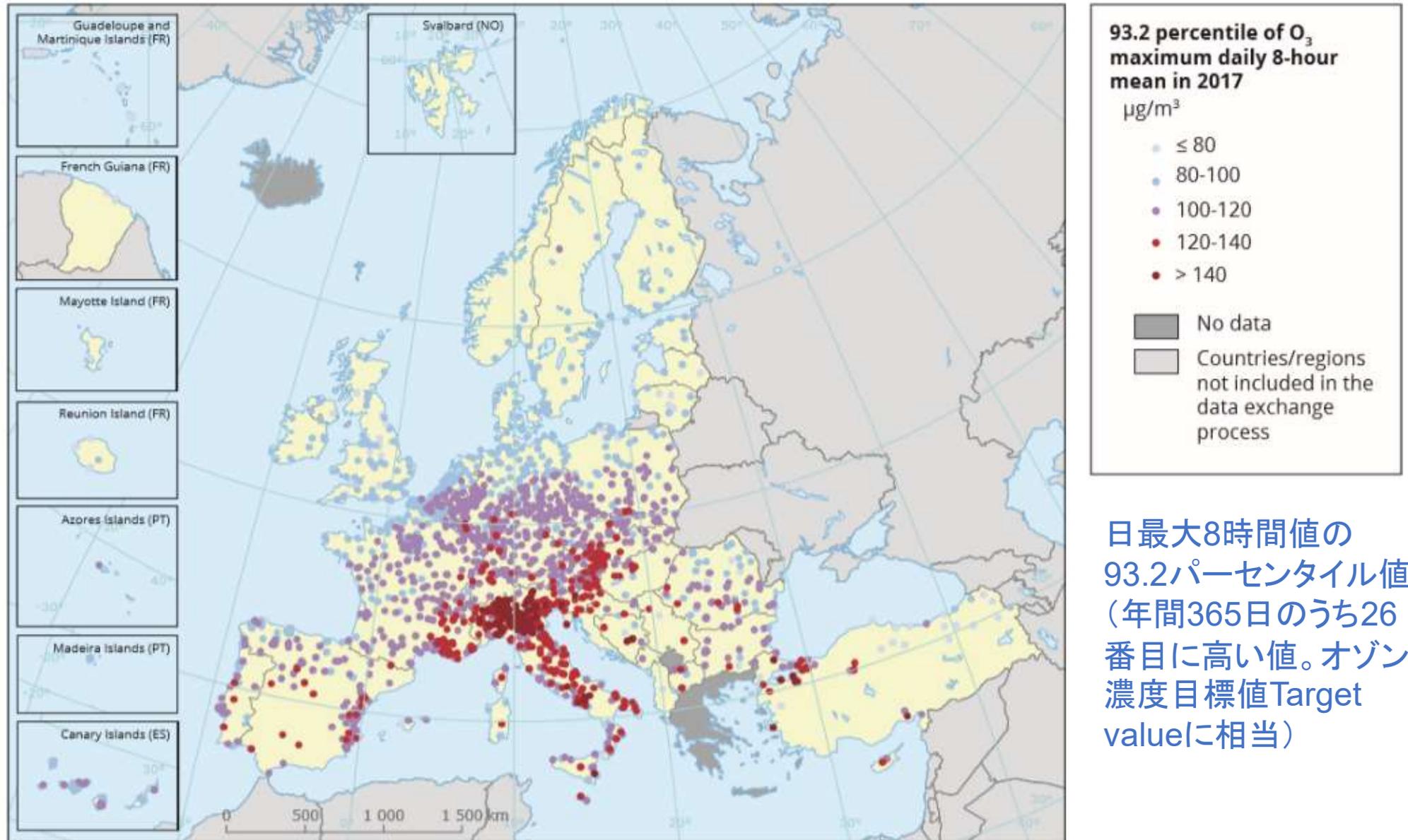
①環境大気質指令 (Ambient Air Quality Directive, 2008/50/EC)

オゾンの大気環境基準

平均期間	濃度	注釈
日最大8時間値	Target Value 目標値: 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3年平均で年間25日を超えないこと ※120 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \div 0.061 \text{ ppm}$ 相当 (わが国におけるOxの環境基準0.06 ppmと同等)
	Long-term objective 長期目標値: 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
1時間値	Information threshold 情報閾値: 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Alert threshold 警戒閾値: 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

NO₂やPM_{2.5}は基準値 (Limit Value)を設定しているが、O₃は目標値 (Target Value)を設定

オゾン濃度(日最大8時間値、Target Value)



地中海地域のオゾン高濃度出現は、都市と農村で頻繁に観察され、都市で排出された前駆物質が、太陽放射と海風循環により都市部から農村地域に輸送されるメカニズムと分析。

出典: Air Quality in Europe 2019 Report.

②国別排出上限指令(NEC指令: National Emissions Ceilings Directive, 2016/2284/EU)

- 2016年12月31日に発効
- NEC指令は、5つの大気汚染物質 (NO_x、VOC、PM_{2.5}、SO₂、NH₃) の国別削減コミットメントを設定する。
- これらの削減コミットメントを10年ごとに見直す。
(ヨーテボリ議定書に基づく)
- NEC指令は、EU加盟国に、国家大気汚染規制プログラム (NAPCP: National Air Pollution Control Program) の計画、採択、実施をしなければならないと規定している。

③排出基準に関する指令(Directive)・規制(Regulation)

排出源	指令(Directive)・規制(Regulation)の例
オンロード	自動車の排出ガス規制。 小型車用Euro 6、大型車用EuroVI。
ノンロード	Non-Road Mobile Machinery (NRMM) Regulation は、 機械の燃焼エンジンの形式認証。 (建設機械、発電機、芝刈り機、チェーンソーなど)
産業施設	Industrial Emissions Directive (IED指令)は、 産業設備からの排出許可の要件を規定している。
エネルギー	Eco-Design Directive(エコデザイン指令)は、製品のエネルギー効率 に関する最低限の必須要件を定めている。
塗料	Paint Directiveは、塗料に含まれる最大VOC含有量を規定している。
海洋輸送	2021年1月から船舶エンジンからのNOx排出量規制Tier III(3次規制) を遵守しなければならない。Tier II(2次規制)と比較して約70%削減。
農業	現在、規制する指令・規制はない。

- 研究① 米国
- 研究② 欧州
- 研究③ 日本
- 研究④ 地域別の詳細レビュー（欧州3カ国）
- 研究⑤ 中国・韓国
- 研究⑥ -1 研究動向に関するレビュー
- 研究⑥ -2 地方公共団体の光化学オキシダント対策への適用可能性についての検討

3カ国の対策実態の詳細レビュー

対象国の選定

- 2020年～2030年までの排出削減コミットメントを満たすための国家大気汚染規制プログラム（**NAPCP: National Air Pollution Control Program**）が、2019年4月を期限として、各EU加盟国から提出された。
- 各EU諸国の **NAPCP** を調査した結果、以下の3か国を詳細レビューに選定した。
- ヒアリング調査は、**ドイツと欧州委員会**の協力が得られ、それぞれ2021年10月13日、11月8日にWEBで実施した。

ドイツ	NAPCPで、オゾン対策を積極的に検討
オーストリア	//
イタリア	オゾン濃度が高い国

3カ国の対策実態調査

	ドイツ	オーストリア	イタリア
発生源・要因	<p>NOxとNMVOCの、排出量はEU全体の15.8%、15.3%を占め、どちらも最大排出国である。NOxは40%が移動発生源。NMVOC排出量は56%が産業プロセスである。</p>	<p>NOxとNMVOCの、排出量はEU全体の1.9%、1.7%を占める。ドイツ、イタリアと比べて排出量が少ない。</p>	<p>NMVOC排出量はEU全体の13.5%を占め2番目の排出国である。NOx, 排出量はEU全体の9.4%を占め第5位である。海上では、O₃を消費する供給源が不足し、蓄積される。</p>
取組状況	<p>NOx、NMVOCともに、移動発生源の対策に最も重点を置く。環境ゾーンや古い車両の廃棄インセンティブにより、車両の更新が行われた。</p>	<p>1980-90年代は、EUの規制に先行して、オゾンや酸性雨対策を実施し、EUの対策に先進的な役割を果たしてきた。NOxは移動発生源、NMVOCは移動発生源、印刷、塗装の排出規制が主要な対策である。</p>	<p>以下の分野で対策措置を講じている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・発電および産業活動 ・都市部の移動発生源 ・家庭の燃焼設備。 <p>特に大気汚染が著しいポー川流域地域で協定を締結して対策を進めている。</p>

ドイツの排出削減コミットメント

排出削減量 コミットメント (2005年基準)	NO _x	NMVOOC	SO ₂	NH ₃	PM _{2.5}
2020–2029	–39 %	–13 %	–21 %	–5%	–26%
2030	–65 %	–28 %	–58 %	–29 %	–43 %
今後の排出削減の優先課題	<ul style="list-style-type: none"> ・石炭による発電の段階的停止 ・大型自動車の改良 				

ドイツ オゾン濃度予測 (2030年と2005年比較)

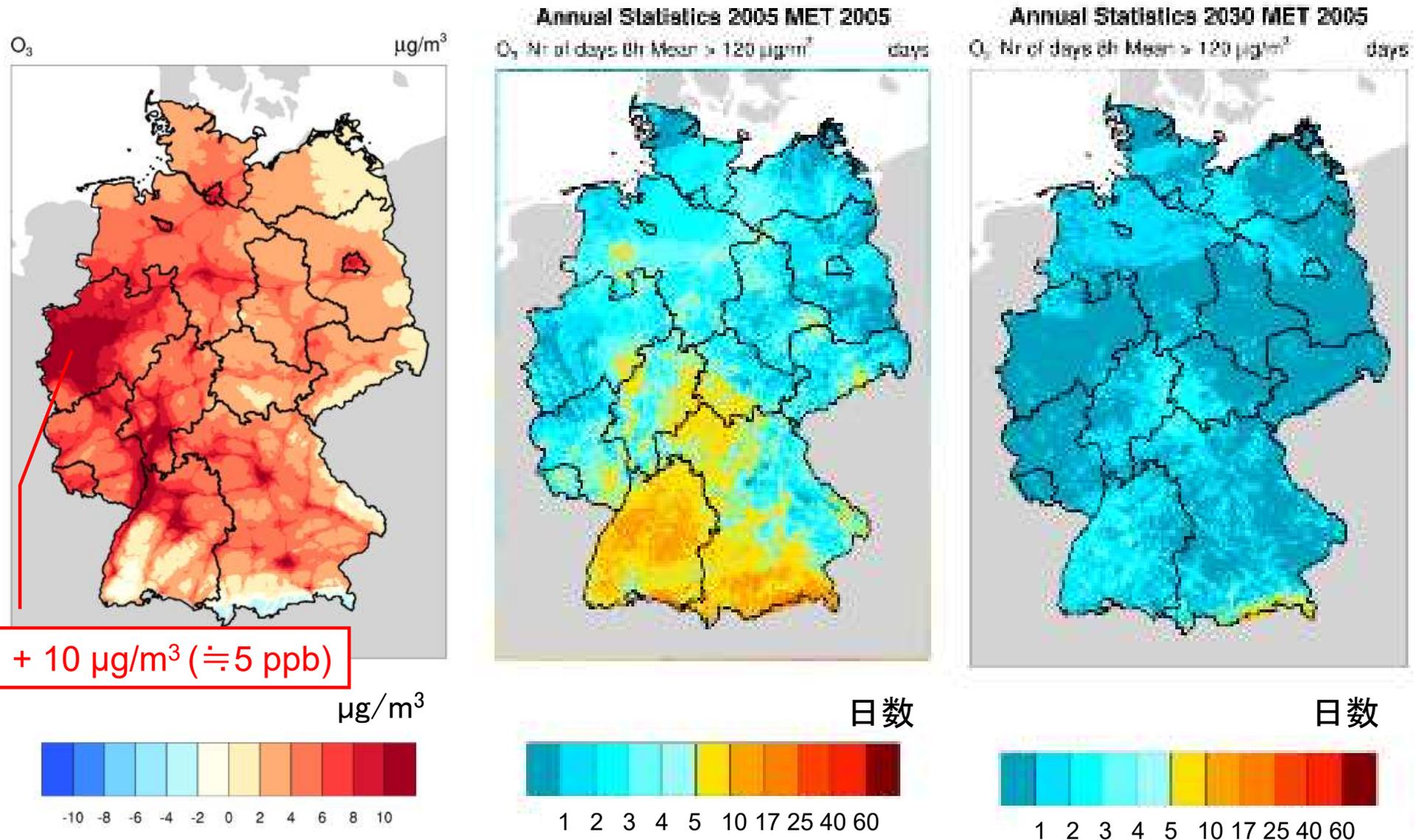


図1
2030年－2005年の
平均濃度変化

図2
Target Value 超過日数
(2005年)

図3
Target Value 超過日数
(2030年)

欧州(全体)での対策の特徴まとめ

対策の特徴

- 大気保全政策とエネルギー政策の一貫性の観点から、省エネルギー・温室効果ガスの排出を削減するWin-Win Solution に主軸を置いている。
- Directive(指令)やRegulation(規制)により、新技術導入やエネルギー消費の削減など長期的な対策を実施。

越境汚染

- 欧州最西端でのオゾンバックグラウンド濃度が増加していることから、移流(長距離輸送や垂直拡散)による影響が大きいことを指摘している。
- NO_xとNMVOCを削減しても、気候変動による気温上昇、東アジアでのオゾン生成の増加、世界的なメタン排出増加によって、相殺されている。

- 研究① 米国
- 研究② 欧州
- **研究③ 日本**
- 研究④ 地域別の詳細レビュー（米国3地域）
- 研究⑤ 中国・韓国
- 研究⑥ -1 研究動向に関するレビュー
- 研究⑥ -2 地方公共団体の光化学オキシダント対策への適用可能性についての検討

日本の対策状況

目的

地方公共団体や国で行われている光化学オキシダント対策メニューを把握する。

方法

情報源のリサーチ対象を以下の通り設定し、国及び調査対象の地方公共団体でどのような対策が実施されているかを整理した。

国	環境省の光化学オキシダント対策まとめページにある資料を収集する。
地方公共団体	光化学オキシダント濃度が注意報レベルより高くなる日数の多い傾向がみられる地方公共団体※のHPから、公害防止計画、環境基本計画、環境白書を検索するとともに、「光化学オキシダント」「対策」のキーワードでサイト内検索した。 ※埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、愛知県、三重県、京都府、大阪府、兵庫県、鳥取県、岡山県、福岡県、さいたま市、千葉市、横浜市、川崎市、名古屋市、京都市、大阪市、堺市、神戸市、福岡市

わが国における光化学オキシダント対策メニュー

国の対策 メニュー	固定発生源対策	総量規制
	移動発生源対策	自動車単体対策と燃料対策
		大都市地域における自動車排出ガス対策
		低公害車の普及促進
		交通流対策
		船舶・航空機・建設機械の排ガス対策
		普及啓発施策
	VOC対策	
監視・観測、調査研究		
地方自治体の 独自対策 メニュー	固定発生源対策	
	移動発生源対策	
	VOC対策	
	高濃度・緊急時対策	
	調査・監視等	

※各対策の詳細は、令和2年度報告書を参照。

- 研究① 米国
- 研究② 欧州
- 研究③ 日本
- 研究④ 地域別の詳細レビュー（米国3地域）
- **研究⑤ 中国・韓国**
- 研究⑥ -1 研究動向に関するレビュー
- 研究⑥ -2 地方公共団体の光化学オキシダント対策への適用可能性についての検討

中国・韓国 の状況

	中国	韓国																									
大気汚染の状況	2017年では、27省(市)のうち、北京など8省(市)で国家基準(日最大8時間値の90%値160ppb)を 非達成 。	2010～2018年では、全首都圏3地域が、環境基準(8時間値60ppb)を 非達成 。																									
発生源・要因	VOCやNOx排出量の統計データが公表されていない。 現時点で発生源・要因を説明することが困難である。	<table border="1"> <caption>NOx and VOCs Emissions (Tons)</caption> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Industry</th> <th>Road Transport</th> <th>Non-road Transport</th> <th>Life</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2016 (基準)</td> <td>~50,000</td> <td>~170,000</td> <td>~50,000</td> <td>~30,000</td> </tr> <tr> <td>2024 (BAU)</td> <td>~40,000</td> <td>~110,000</td> <td>~50,000</td> <td>~40,000</td> </tr> <tr> <td>2016 (基準)</td> <td>~180,000</td> <td>~10,000</td> <td>~10,000</td> <td>~100,000</td> </tr> <tr> <td>2024 (BAU)</td> <td>~190,000</td> <td>~10,000</td> <td>~10,000</td> <td>~110,000</td> </tr> </tbody> </table>	Year	Industry	Road Transport	Non-road Transport	Life	2016 (基準)	~50,000	~170,000	~50,000	~30,000	2024 (BAU)	~40,000	~110,000	~50,000	~40,000	2016 (基準)	~180,000	~10,000	~10,000	~100,000	2024 (BAU)	~190,000	~10,000	~10,000	~110,000
Year	Industry	Road Transport	Non-road Transport	Life																							
2016 (基準)	~50,000	~170,000	~50,000	~30,000																							
2024 (BAU)	~40,000	~110,000	~50,000	~40,000																							
2016 (基準)	~180,000	~10,000	~10,000	~100,000																							
2024 (BAU)	~190,000	~10,000	~10,000	~110,000																							
取組状況	2015年8月に新しい大気法に初めてVOCが含まれた。VOCの排出削減に注力し始めたばかりである。	2024年までにVOC排出量を、2016年基準で7%減を目標とする。																									
対策の特徴	VOCの排出管理が開始されたところである。	2020～2024年までの削減目標量を公表している。(移動発生源19%削減、ノンロード13%削減、生活汚染減19%削減)																									

- 研究① 米国
- 研究② 欧州
- 研究③ 日本
- 研究④ 地域別の詳細レビュー（米国3地域）
- 研究⑤ 中国・韓国
- **研究⑥ -1 研究動向に関するレビュー**
- 研究⑥ -2 地方公共団体の光化学オキシダント対策への適用可能性についての検討

対策に関する研究動向文献レビュー

目的

各対策の科学的根拠やまだ対策に至っていないが今後、導入が期待される対策について知見を得るため、**最新の研究動向**を把握することを目的とする。

方法

「光化学オキシダント」と「対策」に関する用語を掛け合わせ。

	検索データベース	検索キーワード
米国	Web of Science	("ozone" OR "oxidant") AND (strategy or control) AND ("air quality" OR "air pollution") AND 2010-2019 AND (SIP or "State Implementation Plan")
欧州	Web of Science	("ozone" OR "oxidant") AND (strategy or control) AND ("air quality" OR "air pollution") AND 2010-2019 AND Directive
日本	JDreamIII (JSTPlus(1981-))	((光化学汚染物質/AL + オキシダント【環境】/AL + 光化学オキシダント/AL)*対策/AL)*(PY>=2010)
	Web of Science	("ozone" OR "oxidant") AND (strategy or control) AND ("air quality" OR "air pollution") AND 2010-2019

オゾン対策に関する研究動向文献レビュー

結果

- 米国14件、欧州8件、日本20件が抽出された。
- 米国の研究では、**O₃濃度推計モデルの動的評価 (dynamic evaluation)**に関する研究が3件あった。対策による効果を評価するためには、推計モデルが大気汚染物質濃度の変化を評価する能力を有する必要があるためであると考えられる。
- 米国の研究では、**森林制御対策**が3件と多かった。自然由来のBVOC発生の対策をしなければ環境基準を達成できない切実な事情と、広大な土地を有するという州の特徴を表している。
- 欧州の8件中5件で共通していた点は、**EU諸国の前駆物質削減対策では限界があり、移流(長距離移動や対流圏の垂直拡散)**による影響が大きいことを指摘している。

- 研究① 米国
- 研究② 欧州
- 研究③ 日本
- 研究④ 地域別の詳細レビュー（米国3地域）
- 研究⑤ 中国・韓国
- 研究⑥ -1 研究動向に関するレビュー
- **研究⑥ -2 地方公共団体の光化学オキシダント対策への適用可能性についての検討**

考察（日本におけるオゾン対策への適用可能性）

- 米国は、連邦政府が政策を決め、州において実際の対策を行っている。EUにおいても、環境大気質指令、NEC指令などの指令があり、それを各国が実際に対策として実施している。
- 米国連邦政府と州、EUと各加盟国の関係を、日本における国と都道府県・政令市の関係に対比させながら、わが国の地方公共団体における光化学オキシダント対策への適用可能性について、以下の観点から検討した。
 1. 大気環境対策のフレームワーク
 2. 環境基準
 3. 排出インベントリ
 4. 対策の戦略
 5. 対策効果の経年変化をみる指標
 6. オゾン感度レジーム

1. 大気環境政策のフレームワーク

	対策のフレームワーク
米国	<ul style="list-style-type: none">大気浄化法の下、<u>環境基準を非達成の州は、SIPを策定し、それに基づき対策を実施</u>
欧州	<ul style="list-style-type: none">PMとO₃による早期死亡数を半減させることを目標に掲げ、NEC指令により大気汚染物質の<u>排出上限値を国別に設定</u>各国は、排出上限値を超えないよう<u>NAPCPを計画</u>、排出コミットメントを公表
日本	<ul style="list-style-type: none">環境基本法に、“政府は環境基準が確保されるように努めなければならない”と規定VOC対策は、法規制と自主的取組のベストミックス施策として推進され、自主的取組を促進することが基本。

→ **EUのNEC指令に準じたフレームワーク**は、O₃濃度での評価に比べて、大気汚染物質の排出量で管理することから対策による評価（**見える化**）がしやすいであろう。その場合、排出削減量によるデータの科学的妥当性、算出技術、精度管理等が**課題**となる。

米国のフレームワークは、そのまま導入することは**難しい面**がある。（1つの自治体の対策だけでは達成できないこと、基準達成の見通しが現時点で得られていないこと、予算措置上等の観点から）

2. 環境基準 (O_x/O₃)

	健康を守るための環境基準	備考
日本	0.06 ppm (1時間値)	—
米国	0.070 ppm ※年間4番目に高い日最大8時間値の3年平均値	一種規制
欧州	120 μg/m ³ ※日最大8時間値で120μg/m ³ 未満であり、平均3年間で環境基準値を超える日が25日/年以下	≒0.061 ppm 相当
中国	160 μg/m ³ (日最大8時間値)	≒0.082 ppm 相当
韓国	0.06 ppm (日最大8時間値)、 0.1 ppm (1時間値)	—
WHO, 2021	100 μg/m ³ (日最大8時間値) 60 μg/m ³ (日最大8時間値のピークシーズン平均値)	≒0.051 ppm 相当 ≒0.031 ppm 相当

	植生保護等のための環境基準	備考
米国	0.070 ppm	二種規制
欧州	AOT40 目標値 18,000 μg/m ³ ・hours ※8～20時に閾値40ppbを超えたオゾン濃度の積算値	

環境基準 (O_x/O₃) の考え方

	環境基準の考え方
日本	<ul style="list-style-type: none">○常に適切な科学的判断が加えられ、必要に応じて改定。○1973年以降、O_xの基準値は改定なし。
米国	<ul style="list-style-type: none">○5年ごとに健康影響などの科学的知見をレビューし、大気環境基準の変更について検討。○健康保護を目的とした第一種規制、福祉の保護を目的とした第二種規制。
欧州	<ul style="list-style-type: none">○基準値(Limit Value)ではなく目標値(Target Value)。○目標値の他に長期目標、情報閾値、警戒閾値を規定。○健康を守るための環境基準と植生保護の環境基準を規定。

→ 日本の環境基準達成率(H30)は、一般局で0.2%、自排局で0%であり、現時点で環境基準を達成する見通しが得られていないことから、**実現可能な目標を段階的に設定**し、環境基準を達成に導くためのルールを敷くようなことを含めた**フレームワーク**を検討することが望まれる。

植生保護のための基準の追加の必要性なども、地球温暖化によるオゾン上昇による植生への影響が指摘されていることから検討することが望まれる。

3. 排出インベントリと削減目標

- 米国および各州、EUおよび各加盟国は、いずれも排出インベントリを整備しており、米国、EUではインベントリ整備のための支援を行っている。
- EUでは、2030年までにPMとO₃による早期死亡数を2005年と比較して半減することを目指し、排出上限値を国別に設定して削減目標を設定している。
- 日本では、2000年代にVOC削減目標を設定した時期があったが、現在ではそのような削減目標は設定されていない。

2006年法改正大気汚染防止法に基づき、2010年末までに固定発生源からのVOC排出量を2000年比で約3割削減という目標が掲げられた。この期間に約44%削減され目標を達成した。しかし、O_x注意報レベル非超過の測定局の割合は、横ばいのままであった。産業界にとっては経済的な負担が大きく、法の施行は時期尚早ではなかったかとの指摘がある。

→ 削減目標を示さなくても**現状維持の政策**によるオゾン前駆物質の増減について**将来推計**を行うことは、環境基準達成する時期の見通しや追加対策の検討をする上で重要と考える。このため、**地方自治体が主体**となって、当該地域のオゾン濃度を将来予測するためには、**都道府県別の排出インベントリ等**が必要となる。しかしながら、都道府県別に整備することはワシントンD.C.の事例と同様に、コスト・技術面から容易でないことから、国が整備している排出インベントリを活用するなど**国・地方・民間の研究所の連携**が重要となる。

4. 対策の戦略

	オゾン対策の戦略
米国	<ul style="list-style-type: none">○<u>環境基準を達成するため、自然由来BVOC対策も推進</u>(カリフォルニア州とテキサス州)○1つの州・地区だけではオゾン対策ができないため広域で対策に取り組む(ワシントン首都圏政府調整協議会MWCG)。○実践性・持続可能性を考慮し、様々なステークホルダーを巻き込んで規制を検討(カリフォルニア州)
欧州	<ul style="list-style-type: none">○<u>大気保全施策とエネルギー政策の一貫性から、温室効果ガスを排出削減するWin-Win Solution</u>に主軸を置く。○<u>自然由来BVOC対策までは、考えていない。</u>

→ **温室効果ガス対策 Win-Win Solution** を優先的課題として進めていくことは国際社会のコンセンサスであることから、わが国においても優先課題として賛同が得られるであろう。そこで、**第1ステップは、現状維持の対策**で、大気汚染物質が何%削減又は増加するか**将来推計(日本版WMシナリオ)**。**第2ステップは、追加対策**を推進した場合、オゾン濃度がどうなるか推計すること(**日本版WAMシナリオ**)が考えられる。

5. 対策効果の経年変化をみる指標

- EUにおける日最大8時間値の93.2パーセンタイルのオゾン経年変化(2008年～2018年)では、95%の測定局で有意な増減傾向はみられなかった(EEA 2020)。
- EU諸国の前駆物質削減だけでは限界があり、長距離移動や対流圏の垂直拡散による移流、地球温暖化による影響が大きく、オゾンの基準値を超える頻度で評価した場合、対策効果が見えづらいことが報告されている。
- オーストリアのNAPCPでは、NMVOCを削減しても、地球温暖化、東アジアでのオゾン生成の増加、世界的なメタン排出増加によって相殺されていることが報告されている。
- 日本では、8時間値の日最高値の年間99パーセンタイル値の3年平均値が提唱された。この指標でも、気象条件によって越境汚染の影響を強く受けることが近年指摘されており、Fukunagaら (2021) は気象条件によらないローカル地域のオキシダント生成量を評価する新たな指標を提案している。

→ オゾンは移流による影響が大きいことから、東アジア諸国でのインベントリ整備と共有が必要であるとともに、**ローカル地域の対策による効果が見える化ができるような指標**での評価(研究推進)が望まれる。

6. オゾン感度レジーム

	オゾン感度レジームに関する考え方
米国	○ <u>対策に当たりオゾン感度レジームを考慮</u> 。VOCの削減が進み、現在はNOx律速であることを踏まえNOxの削減に取り組んでいた。(ワシントン首都圏政府調整協議会)
欧州	○EUが公開する文書やEU加盟国のNAPCPに <u>オゾン感度レジームに関する言及はみられなかった</u> 。その理由として、VOCとNOxのどちらの濃度も低下させる必要があること、オゾン濃度は基準値ではなく目標値であることが考えられた。

→ オゾン対策をする上で、オゾン感度レジームを考慮する場合には、NOxとNMVOCの排出削減バランスを適切にコントロールすることが考えられるが、その排出削減バランスは、各地方自治体が、当該地域の日本版WMシナリオやWAMシナリオによる排出削減量と濃度推計シミュレーションにより検討することができるであろうと考えられる。

	日本でも取り組むべき対策	日本の事情を踏まえた検討が必要な対策	参考事例
環境基準の考え方	<p>■環境基準の見直し(米国, EU, WHO)</p>	<p>■植生保護等のための環境基準(米国, EU)</p>	<p>■PMとO₃による早期死亡数を半減させること目標に排出上限値を設定(EU)</p>
対策の戦略	<p>■EUの対策戦略</p> <p>◆大気保全施策とエネルギー政策の一貫性から、温室効果ガスを排出削減するWin-Win Solutionが主軸 (EU)</p> <p>◆排出削減コミットメントの達成可能性を現状対策シナリオと追加対策シナリオで推計 (EU)</p>	<p>■米国の対策戦略</p> <p>◆環境基準を達成するため自然由来BVOC対策を推進 (CA, TX州)</p> <p>◆移動発生源に注力した対策 (CA州)</p> <p>◆複数の州からなる協議会を設置し広域で対策を推進 (DC)</p> <p>■SDGsへの位置づけ 大気環境の改善をSDGsの目標11“住み続けられる街づくり”の施策として位置付けて推進(オーストリア)</p>	<p>■オゾン対策としてメタンへの着目</p> <p>◆排出削減コミットメントの対象物質にメタンを入れることについて協議 (EU)</p>

	日本でも取り組むべき対策	日本の事情を踏まえた検討が必要な対策	参考事例
対策のコスト分析・アセスメント	<p>■ 対策コスト等の分析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・費用対効果(5,000 US\$/ton-NOx 以下)や実現可能性から対策の評価を実施(ワシントンDCと周辺州) <p>■ モデル(GAINS)を使用して目標達成するために費用対効果が高い方法を算出(EU)</p>		<p>■ 脱炭素化により大気汚染物質濃度が低減することを分析(EU)</p>
対策実施			<p>■ インセンティブプログラム</p> <p>大型トラックのエンジンをよりクリーンなものに交換(米国)</p> <p>■ ガソリンペーパー</p> <p>燃料システムの密閉を強化しタンクに活性炭フィルター設置(ドイツ)</p> <p>■ 自動車メーカーにZEVの年間販売台数を要求(カリフォルニア州)</p>

※詳細は、報告書を参照。

まとめ（本研究の成果）

- 米国、欧州、中国・韓国におけるオゾン対策の実態を整理した。
- 米国と欧州では、大気汚染対策の**法制度や環境基準の考え方が異なっており、オゾン対策の枠組や方針が異なる**ことが明らかとなった。
- **米国では、オゾン濃度の環境基準を非達成の州はSIPを策定することが義務付けられ、環境基準を達成するまで継続することが法律で義務づけられており、複数の州による広域連携や自然由来のBVOC対策までしなければ環境基準を達成できない切実な事情**がみられた。
- **欧州では、オゾン濃度を基準値 (Limit Value)ではなく目標値 (Target Value)として設定しており、NAPCPにBVOC対策やオゾン感度レジームに関する言及はみられず、大気保全施策とエネルギー政策との一貫性から温室効果ガスと同時に大気汚染物質を排出削減するWin-Win Solution**に主軸を置いていた。
- わが国の環境基準は、1973年に告示されたが、環境基準達成率は一般局で0.2%(H30)と低く、現時点で達成する見通しが得られていないことから、**実現可能な目標を段階的に設定し、環境基準の達成を導くためのルールを敷くようなことを含めたフレームワークを検討**することが望まれる。
- オゾン濃度は、移流による影響が大きいこと、欧米諸国では越境汚染に向けた取組がみられており、東アジアでのオゾン生成の増加が指摘されていることから、わが国においても一層の前駆物質対策とその効果としての前駆物質削減量や濃度予測の必要性が求められると考える。**地方自治体が主体となって、当該地域のオゾン濃度を将来予測するためには、都道府県別の排出インベントリ等が必要になる。しかしながら、コスト・技術面で容易でないことから、国が整備している排出インベントリを活用するなど、国・地方・民間の研究所の連携が重要となる。**気候変動対策を進めていくことは国際社会のコンセンサスであることから、気候変動対策である温室効果ガス削減とのWin-win solutionに基づく日本版WMシナリオ／WAMシナリオの検討が考えられる。

謝辞

ヒアリング調査に協力いただいた欧米の関係機関の方々に感謝の意を表します。

- Dr. Sunil Kumar with Metropolitan Washington Council of Governments (MWCG),
- Dr. Marcel Langner with the German Environment Agency,
- Ms. Viviane Andre with DG Environment, European Commission,
- Mr. Thomas Henrichs with DG Environment, European Commission,
- California Air Resources Board (CARB),
- U.S. EPA North Carolina.

学会発表

- ・ 諸外国の光化学オキシダント対策に関するレビュー, 大気環境学会年会講演要旨集, 60th, 2019.
- ・ 諸外国の光化学オキシダント対策に関するレビュー(第2報), 大気環境学会年会講演要旨集, 61st, 2020.
- ・ 諸外国の光化学オキシダント対策に関するレビュー(第3報), 大気環境学会年会講演要旨集, 62nd, 2021.