

光化学オキシダントに係る
大気汚染状況及び前駆物質の排出状況
について



内容

1. 光化学オキシダントに係る大気汚染状況

- 国内の状況
- 同緯度における諸外国の状況
- 越境汚染の寄与割合

2. 光化学オキシダントの前駆物質の排出状況

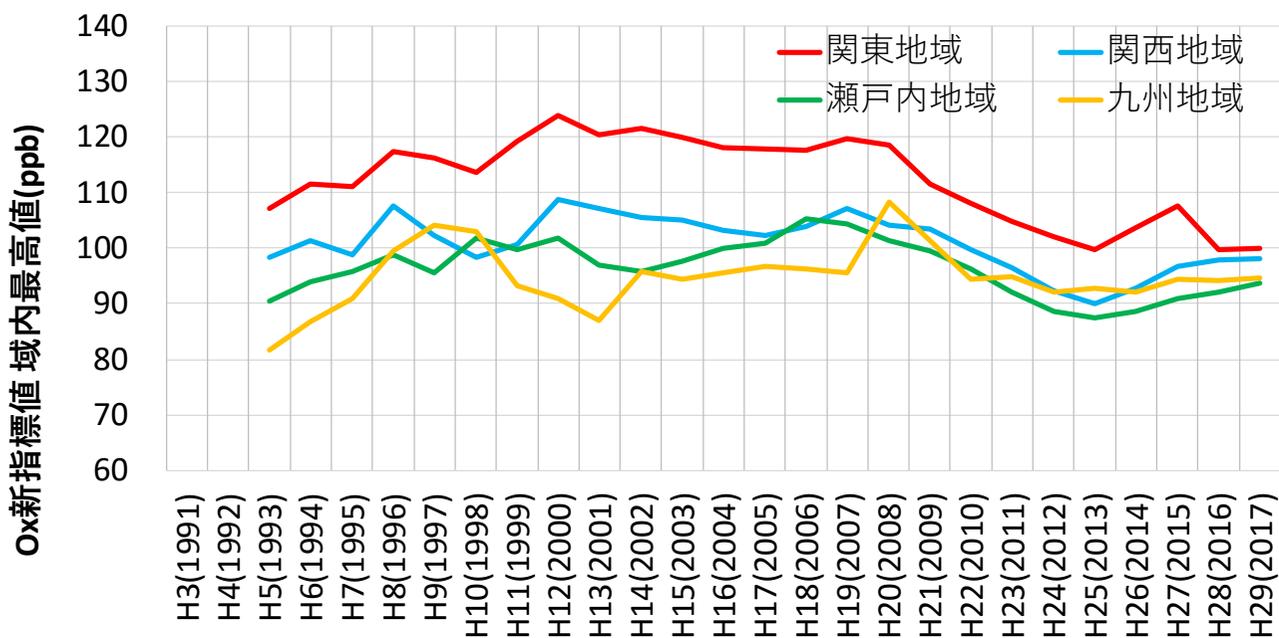
- NO_xの排出状況
- VOCの排出状況
- VOCのオゾン生成能を考慮した評価

3. 国内4地域における前駆物質削減効果に係る感度解析結果

- 感度解析の概要
- 国内での前駆物質削減効果
- 国外での前駆物質削減効果

国内の状況： 国内4地域のOx新指標値の推移

- Ox新指標値は、大気汚染防止法に基づく固定発生源におけるVOC規制を開始したH18年付近から低下傾向にあったが、H25年頃から、関西及び瀬戸内地域については漸増傾向にあるとともに、九州地域は横ばい傾向にある。



	集計対象都府県
関東	茨城、栃木、群馬、埼玉、千葉、東京、神奈川
関西	滋賀、京都、大阪、兵庫、和歌山、奈良
瀬戸内	岡山、広島、徳島、香川、愛媛
九州	山口、福岡、佐賀、長崎、熊本、大分

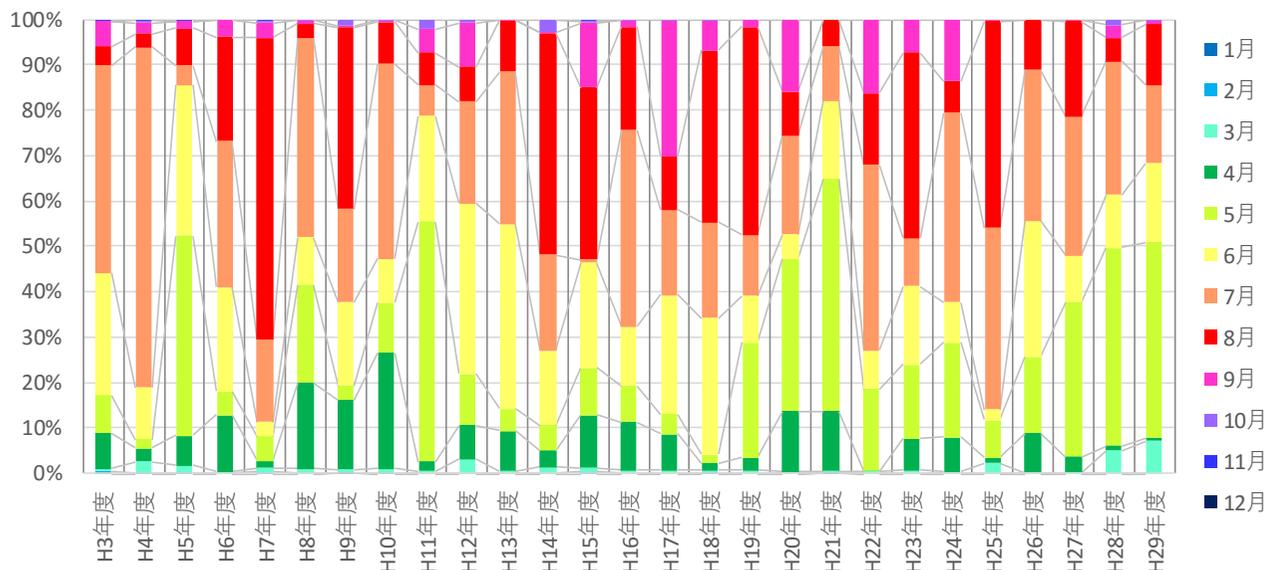
Ox新指標値の経年変化 (域内最高値) (ppb)

※光化学オキシダント新指標値：Ox日最高8時間値の年間99%値の3年平均値

国内の状況： 季節別の傾向（高濃度事例の発生時期）

- 関東、関西、瀬戸内、九州地域では、高濃度事例（Ox日最高8時間値の年間99%値を超過する事例）の約9割以上が春～初秋（3～9月）に発生する。
- 季節別の出現傾向として、関東地域では、年々変動が大きいものの、夏季～初秋（6～9月）の発生頻度がおおむね約4～9割程度を占める（H29年度）。
- 関西、瀬戸内、九州地域では、関東地域と比べて春季（3～5月）の発生頻度が初秋（6～9月）よりも大きい傾向が見られる。

関東地域

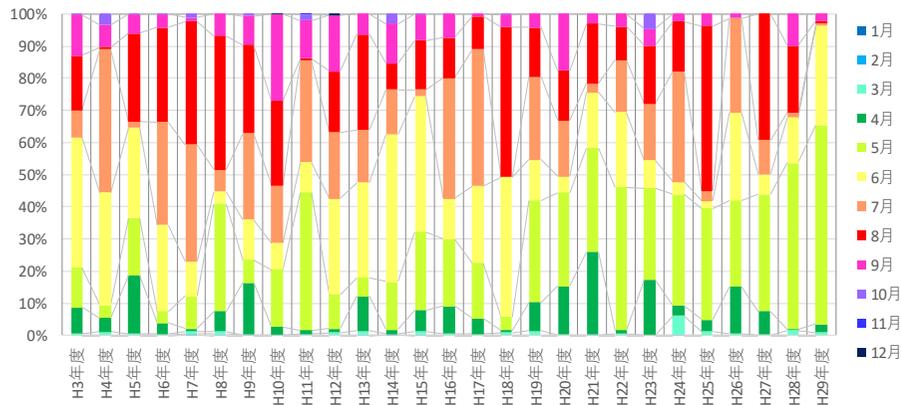


各測定局における日最高8時間値がOx日最高8時間値の年間99%値を超えた日（年間上位5日）の月別割合（%）（関東地域）

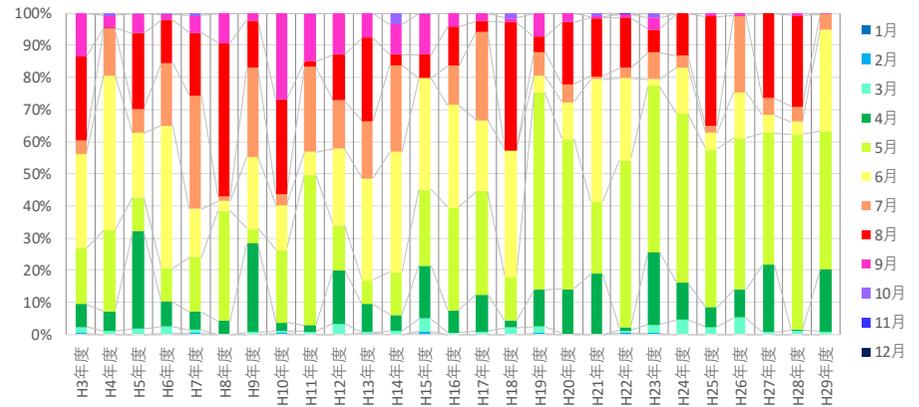
※年間上位第5位 = 年間99%タイム値

国内の状況： 季節別の傾向（関東地域以外）

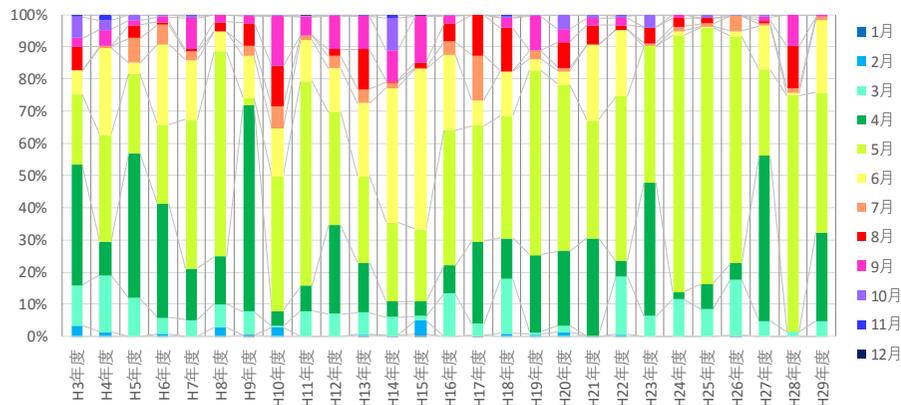
関西地域



瀬戸内地域



九州地域

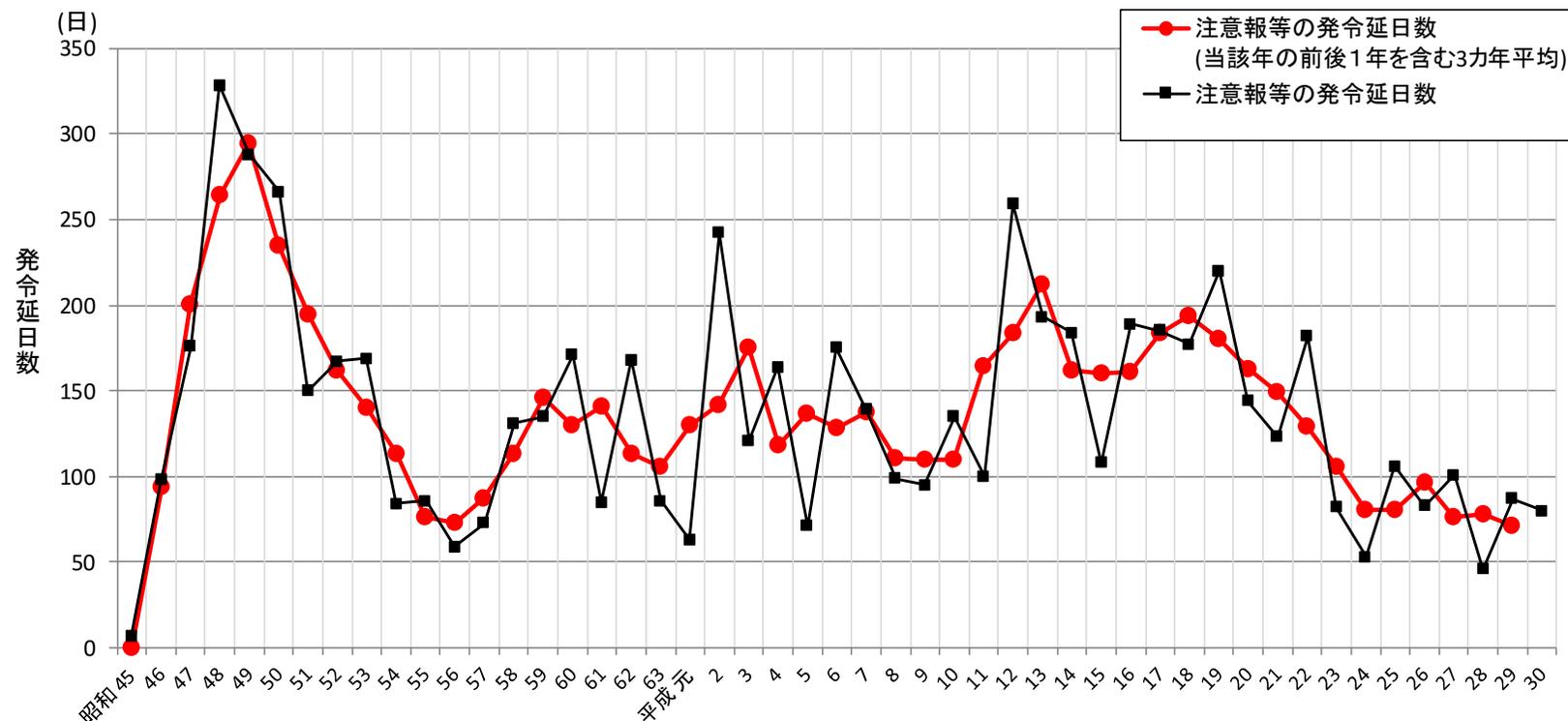


各測定局における日最高8時間値が
Ox日最高8時間値の年間99%値を超えた日
（年間上位5日）
の月別割合（%）
（関西地域、瀬戸内地域、九州地域）

※年間上位第5位 = 年間99%タイル値

国内の状況： 注意報等の発令延日数の推移

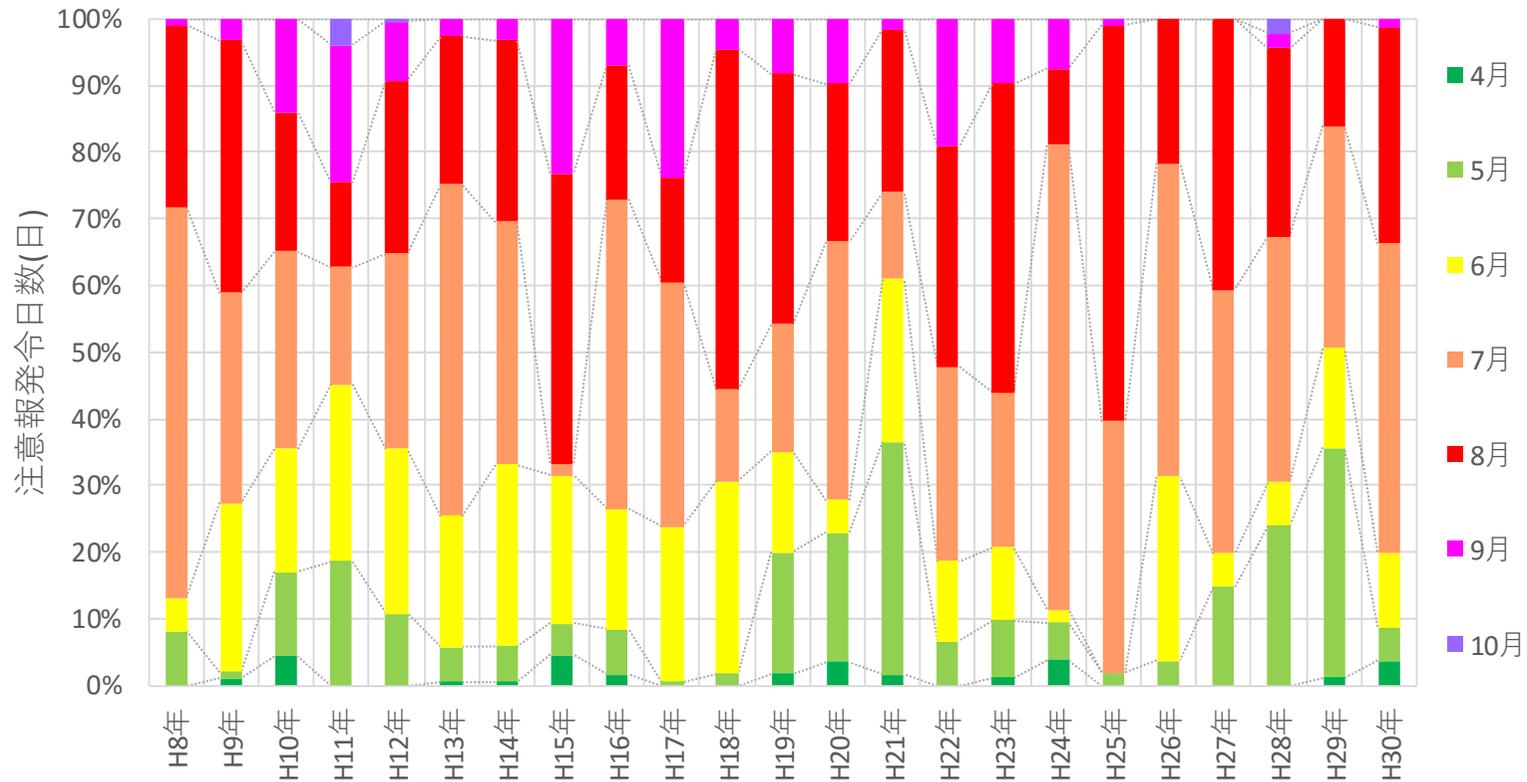
- 全国の注意報等の発令延日数（3年移動平均値）は、H19年頃から減少傾向で推移していたが、近年は約80日／年程度でほぼ横ばいに推移している。
- H29年度の注意報等の発令延日数は、全国では87日であり、都道府県別にみると、埼玉県及び千葉県が最も多い。



光化学オキシダント注意報等の発令延日数の推移（3年移動平均値）

国内の状況： 注意報等の月別発令割合

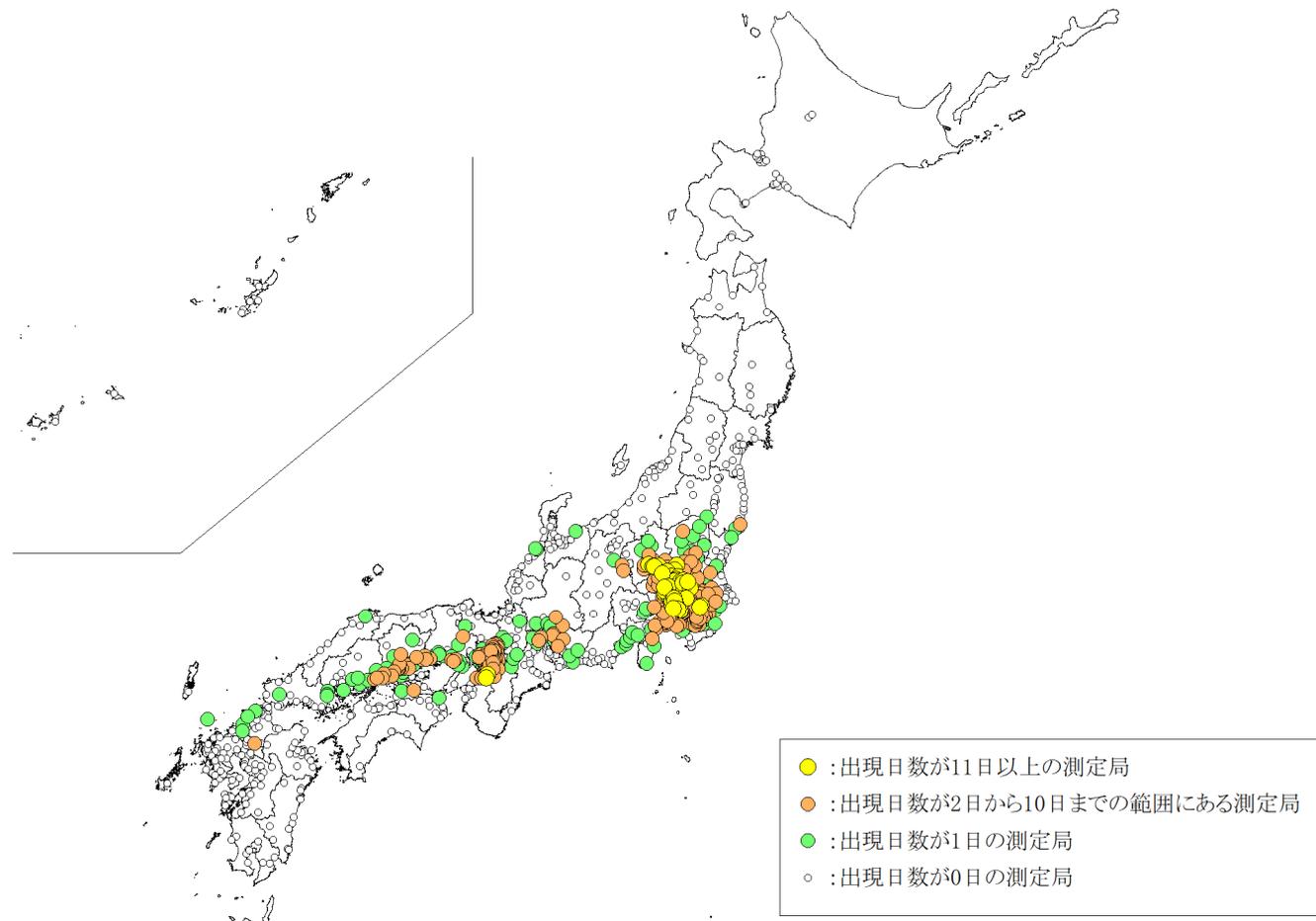
- 全国の注意報発令割合は夏季（6～8月）が5～9割を占め、H30年は約9割の注意報が夏季に発生している。



光化学オキシダント注意報等の月別発令延日数の推移（全国）

国内の状況： 注意報レベル濃度の出現日数分布

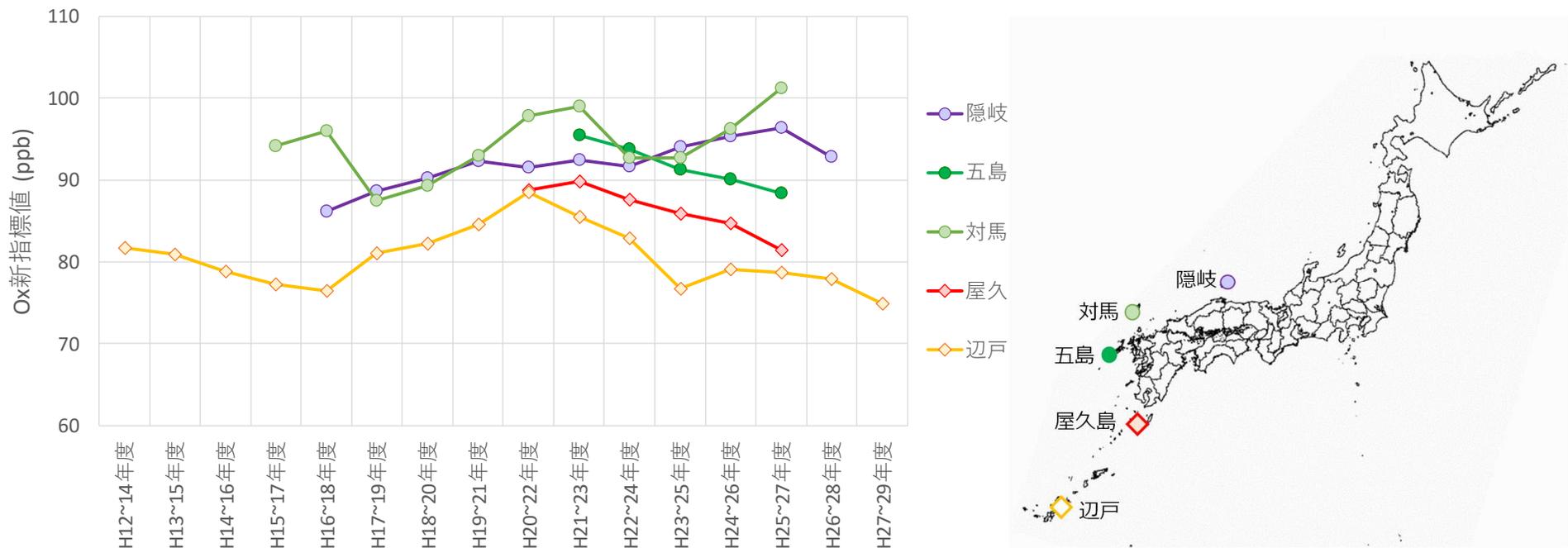
- H27～29年度に光化学オキシダント濃度が注意報レベル（1時間値0.12ppm以上）となった測定局は、主に関東、東海、関西地域の大都市やその周辺部、瀬戸内地域、福岡県周辺に位置している。



注意報レベル（0.12ppm以上）濃度が出現した日数の分布（一般局）（H27～29年度の合計）

国内の状況： 西日本の離島地点での濃度推移

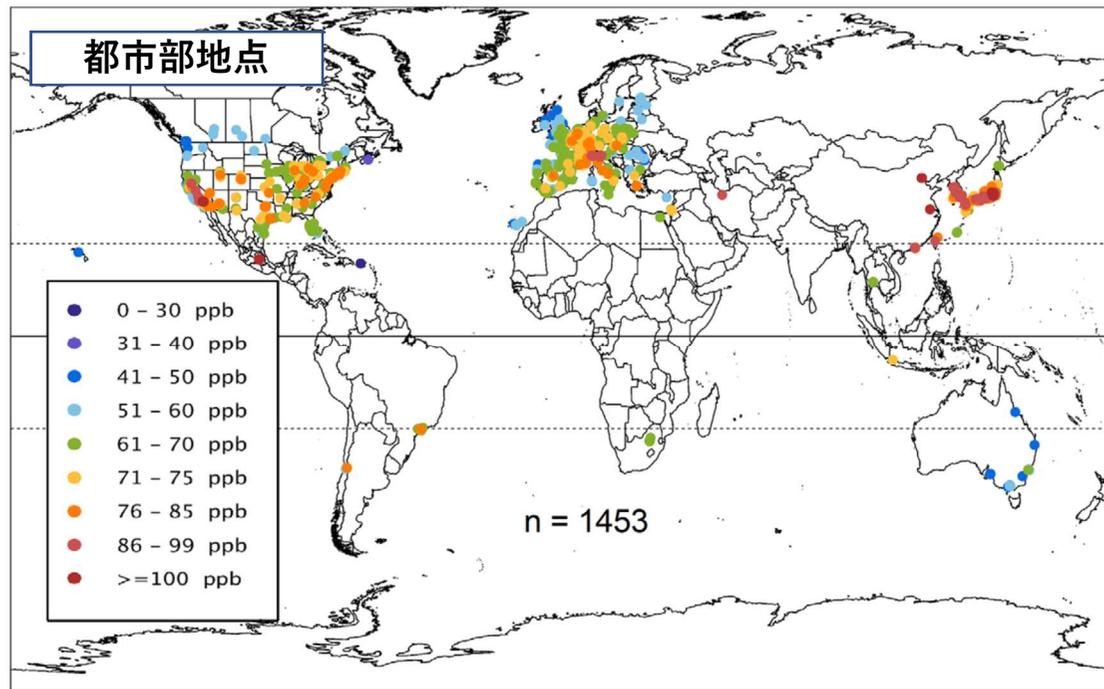
- 西日本の離島地点のOx新指標値は、対馬では近年上昇傾向である一方、五島・屋久島・辺戸ではH23（2011）年以降低下傾向にあり、西日本の離島全体で画一的な傾向は見られていない。



(左) 離島地点におけるOx新指標値の経年変化 (ppb)、(右) 対象地点分布
 ※H12~14年度からH27~29年度の観測データ。プロットがない年度についてはデータ欠測によるもの。

同緯度における諸外国の状況： 日最高8時間値の暖候期98%値（地点別）

- 日本と同緯度地域におけるO₃日最高8時間値の暖候期98%値（2010～2014年平均）は、アメリカ西部、ヨーロッパ南部、日本、韓国及び中国といった地域で高濃度（85 ppb以上）となる。
- 地域別に見た場合、日本を含む東アジア地域で濃度が高く、北米・ヨーロッパでは相対的に濃度が低い傾向にある。

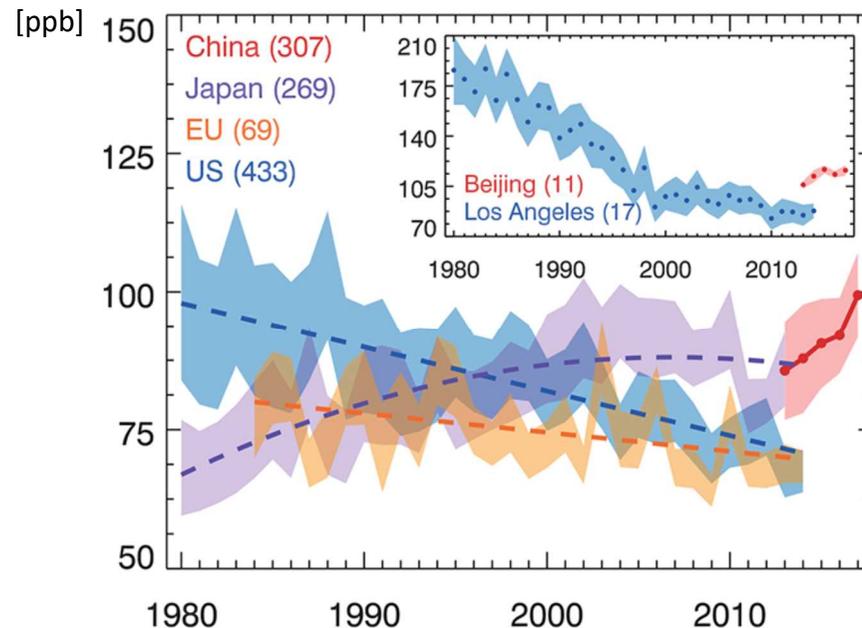


都市部におけるO₃日最高8時間値の暖候期98%値（2010～2014年平均）（Fleming et al., 2018）

※オゾン高濃度事例の多くは暖候期（4～9月）に発生するため、暖候期98%値と年間99%値はほぼ等しくなる。

同緯度における諸外国の状況： 日最高8時間値の暖候期98%値（経年変化）

- O₃日最高8時間値の暖候期98%値のトレンド（1980～2014年）については、アメリカ及びEUは低下傾向にある。
- 日本では2000年代前半までは上昇傾向、その後は横ばい傾向となっている。
- 中国については、近年（2013～2017年）上昇傾向となっている。



国別のO₃日最高8時間値の暖候期98%値の経年変化（Lu et al., 2018）

※各国における対象地点は以下のとおり。

日本、EU、アメリカ：25年間（1980～2014年）以上観測データがある都市部の地点

中国：主要都市において、2013-2017年の間に連続した観測データがある地点

※点線は各地域における近似直線を示す。（EU、アメリカ：線形近似、日本：放物曲線近似）

※陰影部分は、各国の平均値±0.5標準偏差の範囲を示す。

越境汚染の寄与割合

- 日本国内のO₃濃度に対する越境汚染の寄与は、季節に応じて異なる。春季は日中韓以外の発生源（成層圏オゾン、遠隔地域（欧州）など）の寄与が大きい一方、夏季は日本国内の寄与割合が大きい。
- 国内のO₃濃度ランク別に見た場合、春夏ともに高濃度事例ほど日本国内の寄与が大きくなることが示されている。

既往研究による我が国の地表面O₃濃度に対する各発生源の寄与割合（%）

文献	季節	解析対象年	日本国内のO ₃ 濃度ランク	発生源地域			
				日本	中国	韓国	その他 ³⁾
Nagashima et al. (2010) ¹⁾	春	2000~ 2005	全濃度	22	12	6	56
			60~90 ppb	29	14	8	45
			90ppb以上	51	12	6	29
Li et al. (2016) ²⁾		2010	全濃度	6	7	2	81
Nagashima et al. (2010) ¹⁾	夏	2000~ 2005	全濃度	42	10	4	38
			60~90 ppb	51	11	7	28
			90ppb以上	60	10	8	20
Li et al. (2016) ²⁾		2010	全濃度	24	6	2	66

※数値は各発生源で生成したオゾンの寄与割合であり前駆物質排出地域の寄与割合とは異なる。

※集計対象範囲は文献間で異なるため、文献間で厳密な比較はできないことに注意。

1) 表中の寄与割合は、本州・四国・九州周辺地域における寄与割合を示す（北海道、南西諸島は含まない）。

2) 表中の寄与割合は、全国（北海道、南西諸島を含む）における寄与割合を示す。

3) 「その他」発生源には、成層圏オゾン、自由対流圏オゾン、輸送中に海洋上で生成されるオゾン、遠隔地域（欧州等）などを含む。

内容

1. 光化学オキシダントに係る大気汚染状況

- 国内の状況
- 同緯度における諸外国の状況
- 越境汚染の寄与割合

2. 光化学オキシダントの前駆物質の排出状況

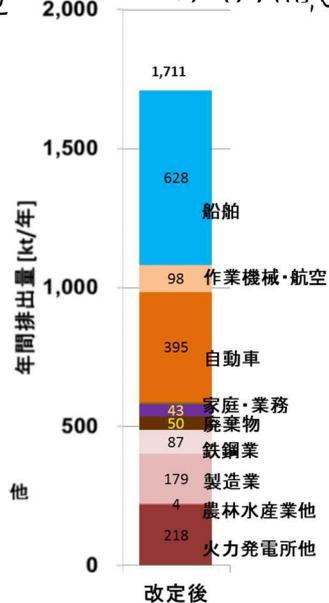
- NO_xの排出状況
- VOCの排出状況
- VOCのオゾン生成能を考慮した評価

3. 国内4地域における前駆物質削減効果に係る感度解析結果

- 感度解析の概要
- 国内での前駆物質削減効果
- 国外での前駆物質削減効果

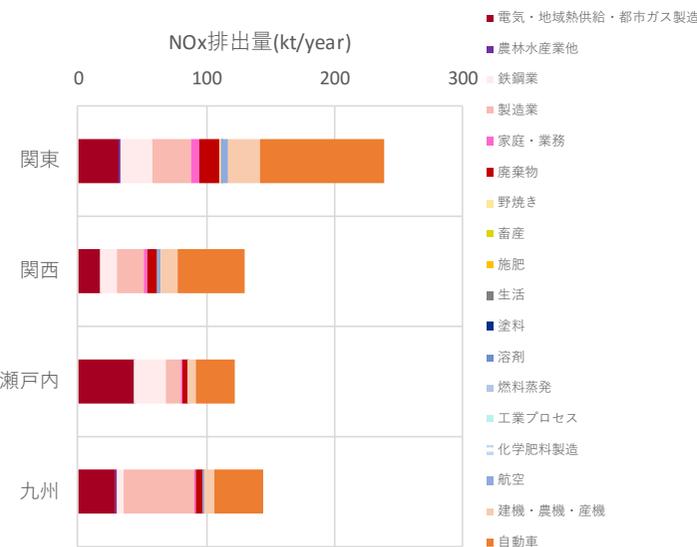
NOxの排出状況： 発生源別排出量

- H27年度のNOx年間排出量（全国）は1,711 kt/年であり、自動車（395 kt/年）、火力発電所他（218 kt/年）、製造業（179kt/年）が主な発生源となっている。
- 地域別に見た場合、船舶以外の発生源内訳は、関東・関西では「自動車」、瀬戸内では「電気・地域熱供給・都市ガス製造」、九州では「製造業」の比率が大きい。
- 船舶については、集計範囲がその他発生源と異なることに注意が必要。（船舶：本土周辺[※]、その他の発生源：陸上）



NOxの発生源別排出量（H27（2015）年度, 全国）

※上記船舶排出量は、大気シミュレーションに活用できるように、日本海の大平・東シナ海の一部等、日本領海以外からの排出量も含まれている。なお、沖縄や小笠原諸島周辺等は対象外となっている。



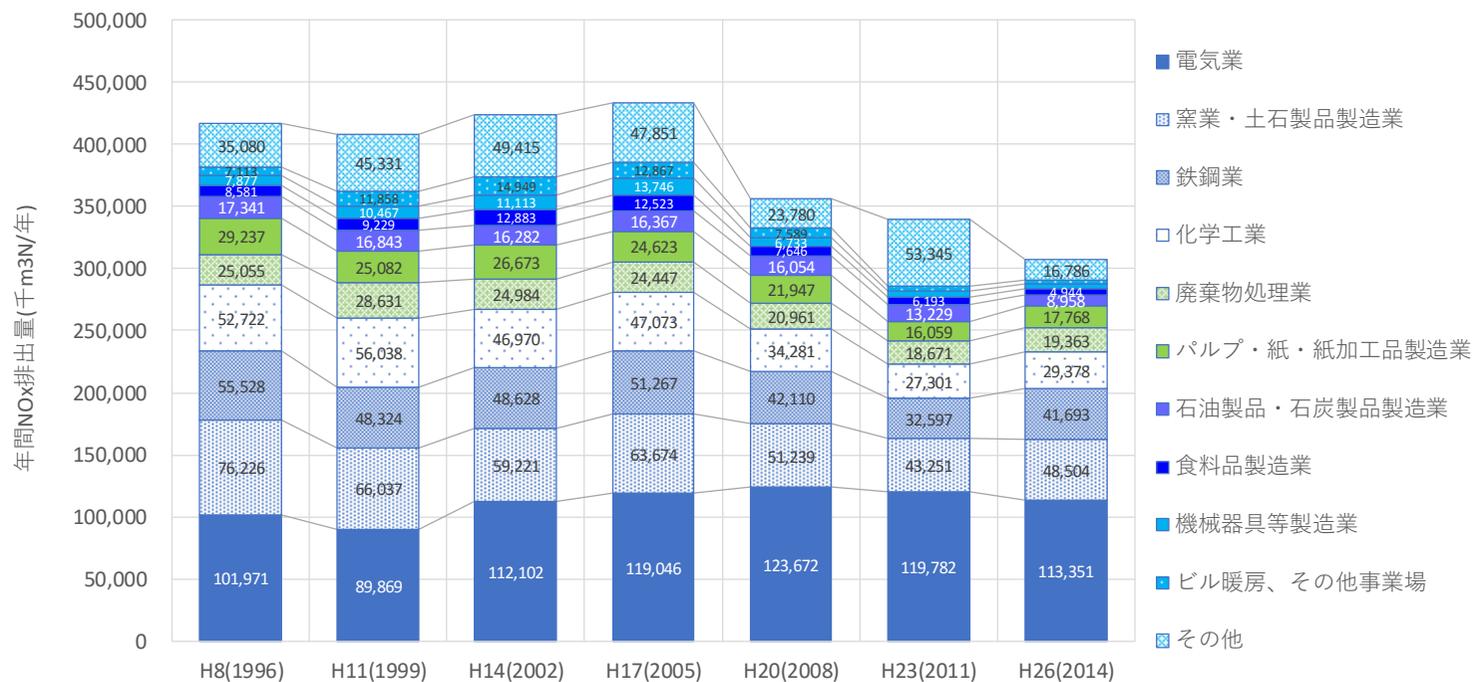
NOxの発生源別排出量（H27（2015）年度, 地域別）

※船舶、植物、火山起源を除く

出典：平成30年度PM2.5インベントリ及び発生源プロフィール策定調査データ

NOxの排出状況： 排出量の経年変化（ばい煙発生施設・業種別）

- 大気汚染防止法上のばい煙発生施設からのNOx 排出量については、1980年代後半から増加傾向にあったものの、2000年代後半からは減少に転じている。
- 排出量が多いのは「電気業」、「窯業・土石製品製造業」などであり、上位4業種で全体の約75%を占める（H26年度）。
- H26年度において、H17年比の変化量が大きい業種は、「窯業・土石製品製造業（-24%）」、「化学工業（-38%）」等である。

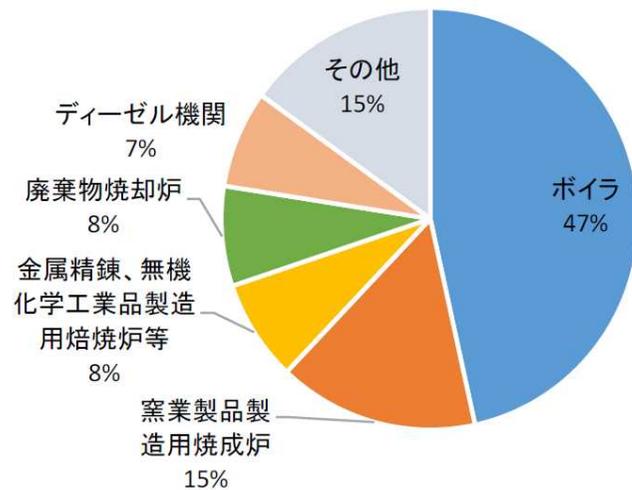


NOxの年間排出量の推移（業種別） 出典：大気汚染物質排出量総合調査データ

※H20年度以降については、調査手法の違い等により、H17年度以前と比べ調査票の回収率が低下しており、排出量の集計値の減少に影響している可能性があることに留意が必要である。

NOxの排出状況： 排出量の内訳（ばい煙発生施設・施設種別）

- 施設種別は「ボイラー」をはじめとした上位5施設からの寄与が全体の85%を占める。
- これまでの調査においては、排出基準値よりも非常に低い排出濃度の施設がある一方で、排出基準値に近い排出濃度の施設も一定数存在すること、及び濃度が相対的に高い排出施設数は比較的少ないものの、施設種ごとのNOxの総排出量に対してこれらの施設の排出量が占める割合が大きい施設種が存在することが分かっている。
- NOx排出濃度が高い上位1%の施設が施設種全体の排出量に比較的大きく寄与している施設としては、「ボイラー」及び「ディーゼル機関」が挙げられる。



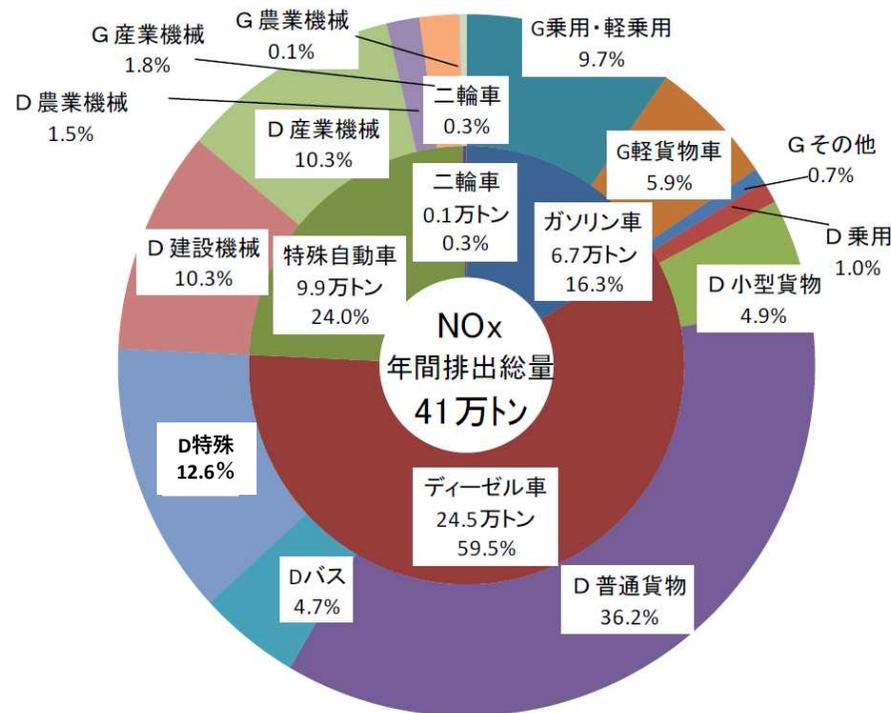
NOxの年間排出量内訳
(施設種別・H26(2014)年度実績)

排出濃度が高い施設（上位1%）における
各施設種の全NOx排出量に占める割合（H26(2014)年度実績）

	割合
ボイラー	<u>20%</u>
窯業製品製造用の焼成炉及び溶融炉	3%
金属精錬・無機化学工業品製造用焙焼炉等	13%
廃棄物焼却炉	4%
ディーゼル機関	<u>15%</u>

NOxの排出状況： 排出量の内訳（自動車）

- H29年度の自動車からのNOx排出量は年間410kt/年であり、ディーゼル車からの排出が約60%、特殊自動車からの排出が24%を占める。
- ディーゼル車の中では普通貨物車（36.2%）及び特殊車（12.6%）の割合が大きく、これらが自動車排出量の約5割を占める。

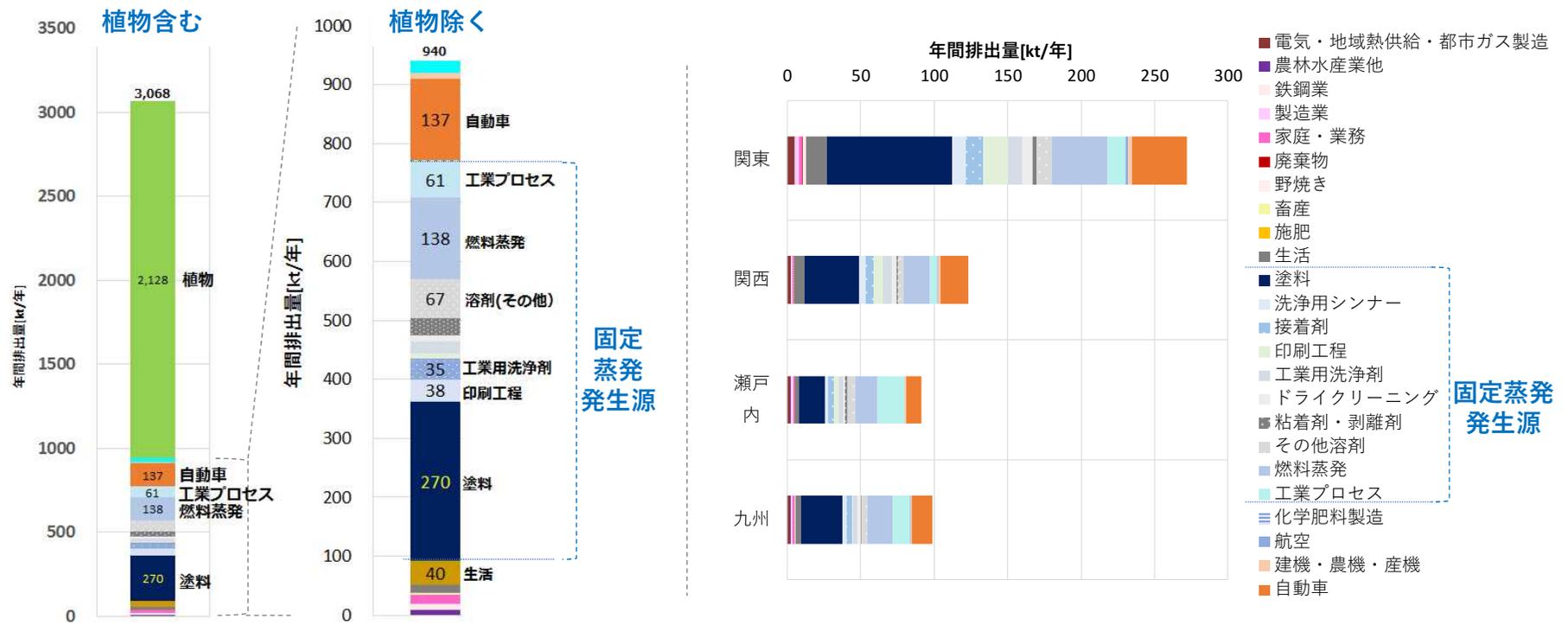


H29年度NOx 排出総量(全国)

出典：平成30年度自動車排出ガス原単位及び総量算定検討調査報告書

VOCの排出状況: 発生源別排出量

- H27年度のVOC年間排出量（全国）は3,068kt/年であり、うち、人為起源の割合は約3割（940 kt/年）を占める。
- 人為起源のうち、塗料（270 kt/年）、燃料蒸発（138 kt/年）、自動車（137 kt/年）が主な発生源となっている。人為起源の中では固定蒸発発生源の割合が約7割を占める。
- 地域別に見た場合、各地域とも「塗料」の比率が大きい。



VOCの発生源別排出量（H27（2015）年度, 全国）

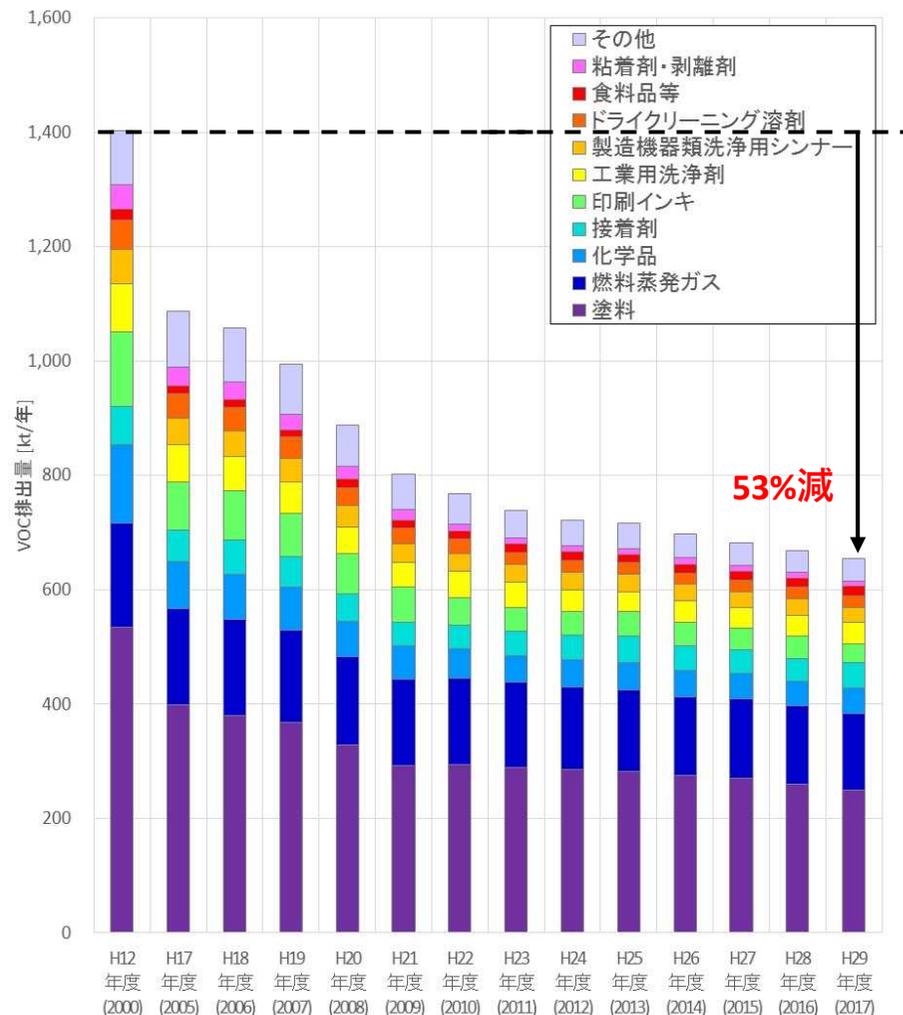
VOCの発生源別排出量（H27（2015）年度, 地域別）

出典：平成30年度PM2.5インベントリ及び発生源プロフィール策定調査データ

※船舶、植物、火山起源を除く

VOCの排出状況： 固定蒸発発生源からのVOC排出量の推移（品目別）

- 固定蒸発発生源からのVOC排出量は、H12年度以降継続して減少傾向にある。
（H29年度の排出量（約654kt/年）はH12年度比で53%削減）
- 排出量（H29年度）は「塗料」、「燃料蒸発ガス」で約6割を占め、上位6品目が全体の8割以上を占める。
- H12年度比の削減率（H29年度）が大きい品目は、「化学品（-67%）」、「印刷インキ（-74%）」、「粘着剤・剥離剤（-82%）」などである。
- H12年度比の削減率（H29年度）が小さい品目は、主に「燃料蒸発ガス（-26%）」、「接着剤（-36%）」などである。

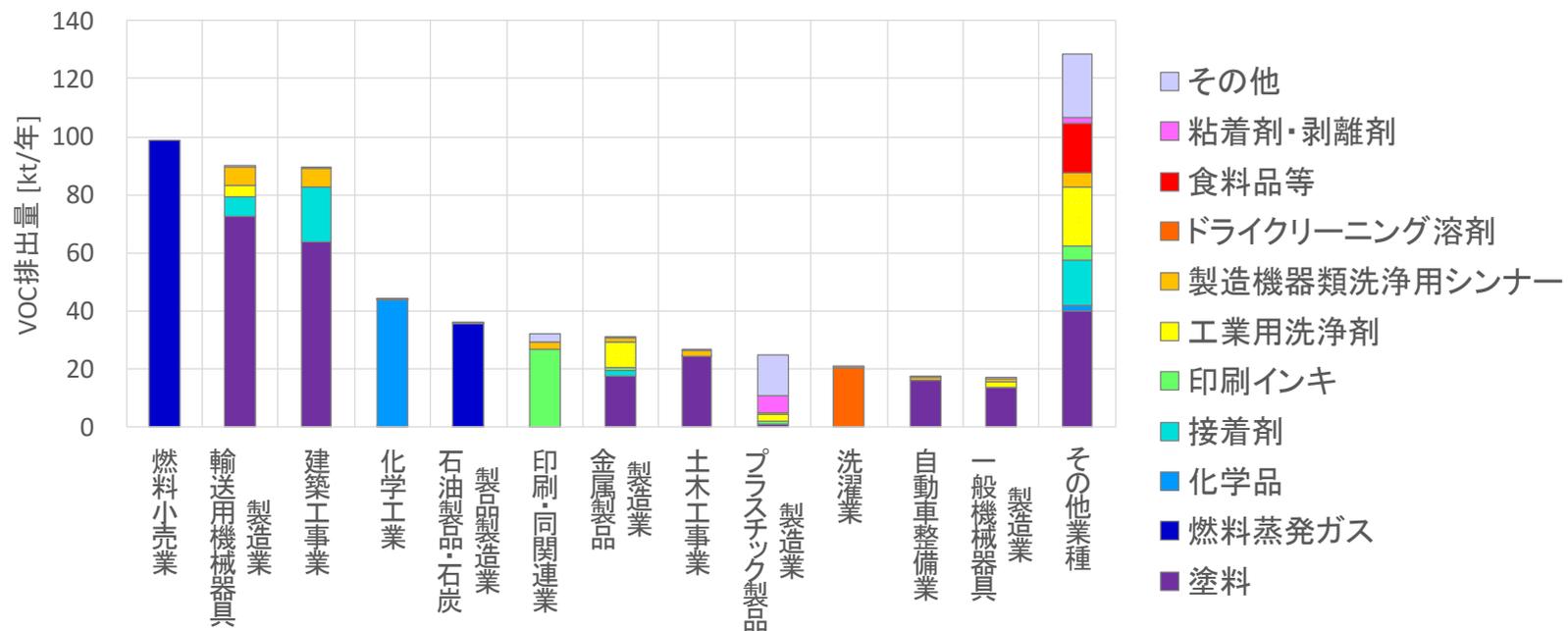


発生源品目別のVOC排出量（固定蒸発発生源）（kt/年）

出典：平成30年度VOC排出インベントリデータ

VOCの排出状況： 業種別・発生源品目別VOC排出量（全国）

- 塗料からの排出量が多い業種は「輸送用機械器具製造業」、「建築工事業」、「金属製品製造業」、「土木工事業」、「自動車整備業」、「一般機械器具製造業」などである。
- 業種別には「燃料小売業」からのVOC排出が最多であり、上位4位業種が全体の約5割を占める。
- 「輸送用機械器具製造業」及び「建築工事業」は塗料及び接着剤からの排出が約9割を占める（H29年度）。



業種別・発生源品目別VOC排出量（H29（2017）年度）

出典：平成30年度VOC排出インベントリデータ

VOCのオゾン生成能 (MIR)

- VOCは組成によりオゾンを生じる程度に差があるため、VOC排出量の大小関係だけでなく、成分毎のオゾン生成能を考慮して評価することが望ましい。
- VOCからのオゾン生成の指標として、MIR (VOC成分単位重量当たりのオゾン生成量) がある。各VOC分量にMIRを乗じることでオゾン生成能の観点から各VOCの影響を評価することができる。

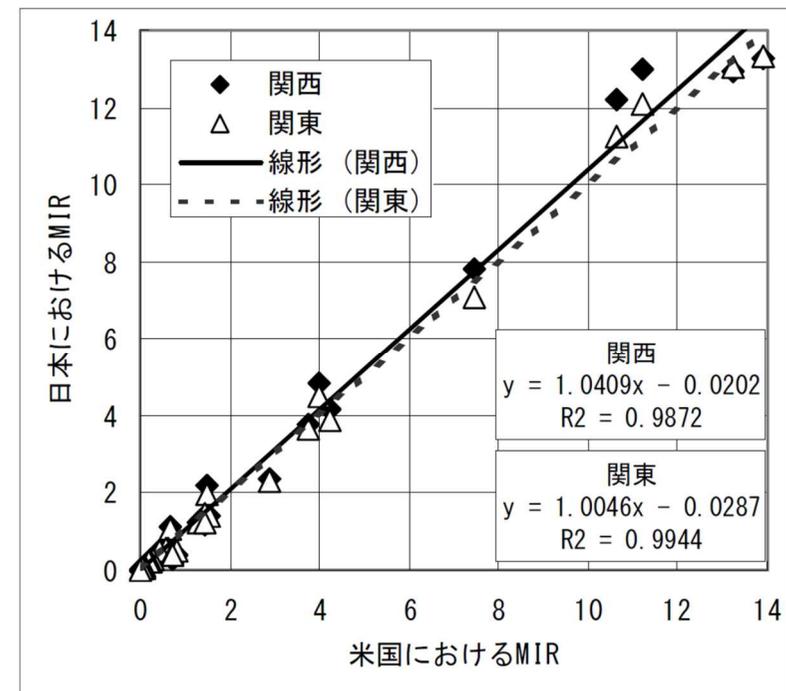
MIR (Maximum Increment Reactivity)

単位重量のVOC成分が生成しうる最大のオゾン量を示す (最大増加反応性)。

VOC成分毎に数値が与えられ、オゾン生成ポテンシャルの指標として用いられる。

- 本資料では、米国でSAPRC-07 を用いて算出されたMIR (Carter, 2010) を使用している (芳香族成分の一部についてはSAPRC-11の数値 (Carter, 2012) を使用)。

※日本におけるMIRが米国におけるMIRと類似したものとなることが確認されている。

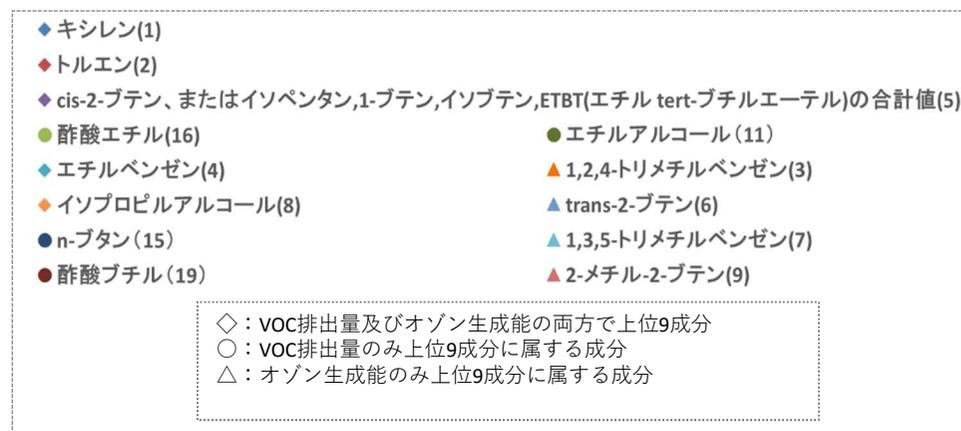
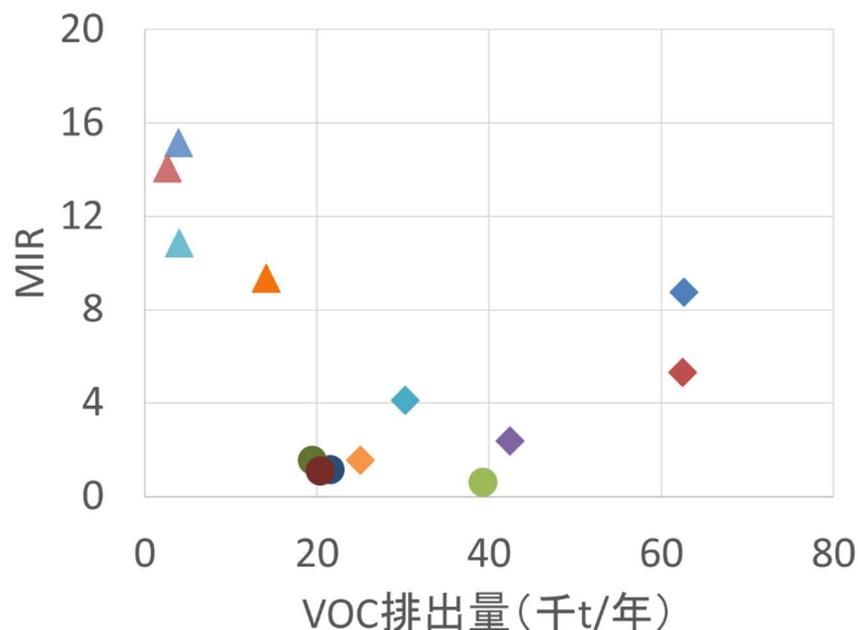


日本と米国のMIRの比較

出典：第4回揮発性有機化合物測定方法専門委員会資料

主要VOC成分のMIR

- 「トルエン」及び「キシレン」等は、排出量が多く、またMIRが比較的大きい。
- 「trans-2-ブテン」や「1,3,5-トリメチルベンゼン」は、排出量は少ないがMIRが高い。
- 「酢酸エチル」や「n-ブタン」、「酢酸ブチル」は、VOC排出量が多い一方MIRが低い。

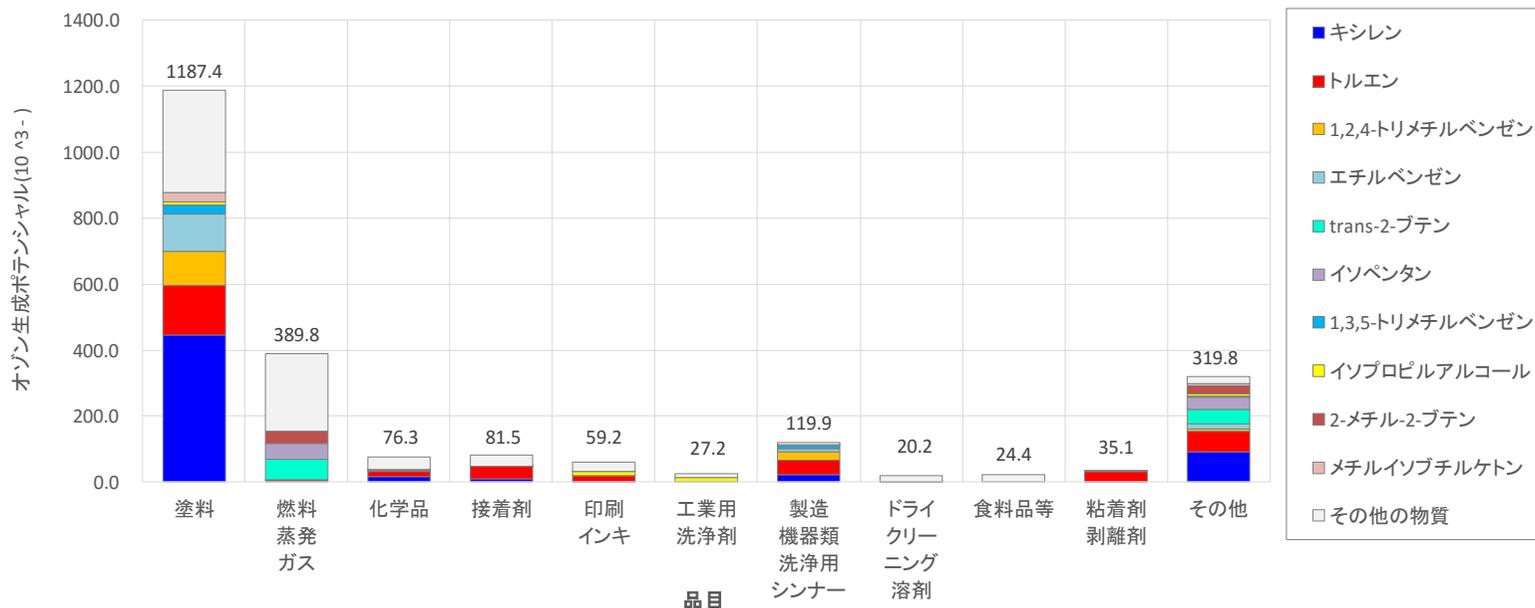


VOC排出量又はオゾン生成能上位9成分のVOC排出量 (H28 (2016) 年度) とMIR

※固定蒸発発生源のVOC排出量又はオゾン生成能の各上位9成分を示す。
 ※凡例の名前の括弧 () 内の数字は、全成分中のオゾン生成能の大きさの順位を示す。

オゾン生成能を考慮した評価： VOC成分・品目別のオゾン生成ポテンシャル（固定蒸発発生源）

- オゾン生成能を考慮した場合に寄与割合が大きい発生源品目は、「塗料」、「燃料蒸発ガス」などである。
- オゾン生成ポテンシャルで見た場合の発生源品目間の大小関係は、VOC排出量で見た場合と類似している。
- 「塗料」が全体に占める割合は、オゾン生成ポテンシャルで見た場合により大きくなる。



VOC成分・発生源品目別のオゾン生成ポテンシャル（固定蒸発発生源・H29（2017）年度）

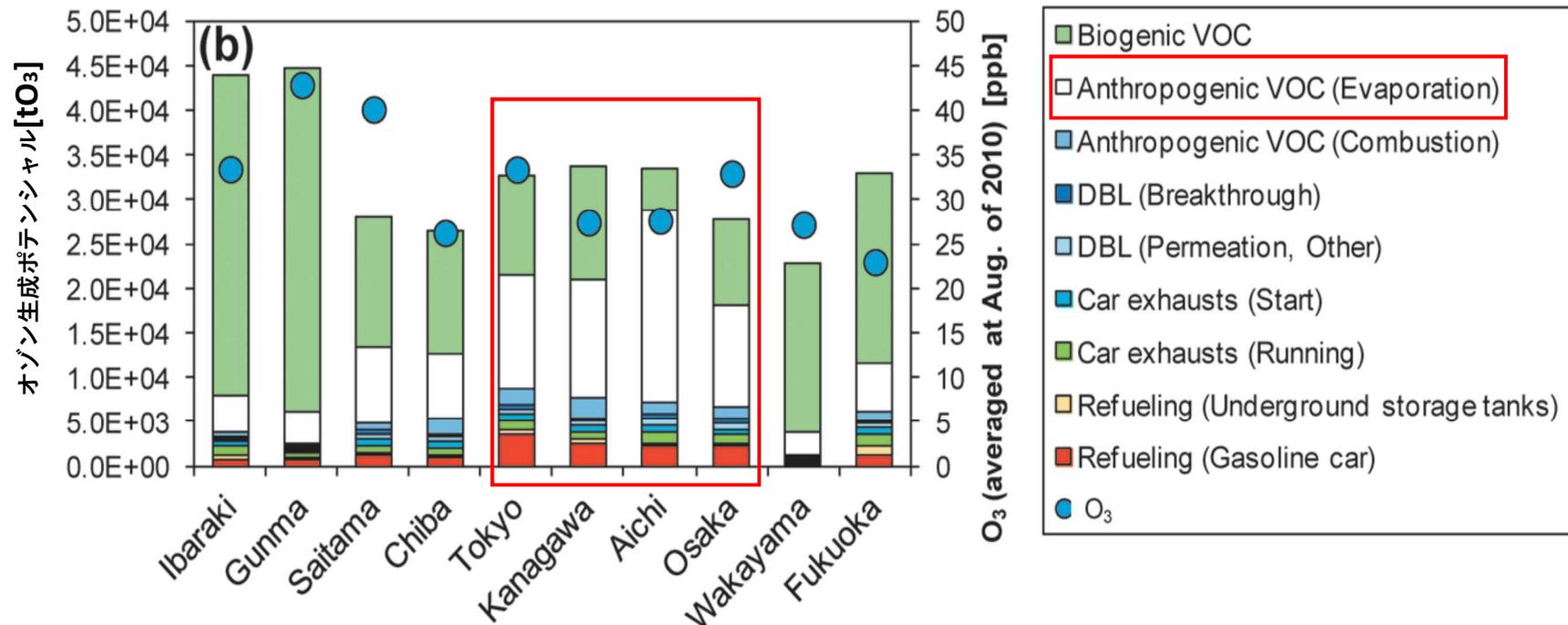
出典：平成30年度VOC排出インベントリデータ

※H29年度のオゾン生成ポテンシャル上位10物質を個別に記載。「その他物質」は11位以降の物質の合計値を示す

オゾン生成能を考慮した評価：

固定蒸発発生源以外も含む各種発生源のオゾン生成ポテンシャル

- 寄与割合は地域によって異なり、大都市圏（東京都、神奈川県、愛知県、大阪府）では人為起源（固定蒸発）の寄与が大半となる。
- その他の県（茨城県、群馬県、和歌山県、福岡県など）では植物起源の寄与が半分以上を占める。



排出量から推計した主要都県別のオゾン生成ポテンシャル（荻野ほか, 2015）

発生源毎のオゾン生成ポテンシャルの積上げグラフと2010年8月の月平均O₃濃度

※ 排出量データは2010年8月、植物起源VOCはJEI-DB又はMEGANの基礎放出量に基づき算出

内容

1. 光化学オキシダントに係る大気汚染状況

- 国内の状況
- 同緯度における諸外国の状況
- 越境汚染の寄与割合

2. 光化学オキシダントの前駆物質の排出状況

- NO_xの排出状況
- VOCの排出状況
- VOCのオゾン生成能を考慮した評価

3. 国内4地域における前駆物質削減効果に係る感度解析結果

- 感度解析の概要
- 国内での前駆物質削減効果
- 国外での前駆物質削減効果

感度解析の概要

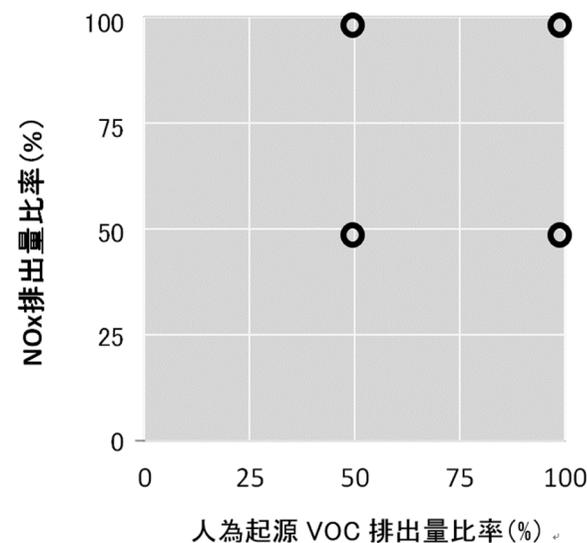
- 日本国内及び国外で人為起源のOx前駆物質（NOx, VOC）を削減した場合に、日本国内のOx濃度に及ぼす影響を確認するため、以下の感度解析を実施。

- ①日本国内全域での人為起源のOx前駆物質を削減
- ②日本国外での人為起源のOx前駆物質を削減

- NOx, VOC排出量を半減した場合の国内4地域のOx濃度に及ぼす影響を解析した。

感度解析計算の設定概要

項目	①	②
使用モデル	WRFv3.5.1、CMAQv4.7.1	
対象年	2008～2010年の暖候期（4～9月）	
解析対象地域	国内4地域（関東、関西、瀬戸内、九州）	
排出量を変化させる範囲	日本国内全域 [東アジアを含む親領域計算で、日本国内の人為起源排出量を変更]	日本国外 [東アジア大陸、東シナ海等日本周辺以外の海域の人為起源排出量を変更]



設定した前駆物質削減ケース
(対象年における排出量を100とする)

参考： 結果解釈上の注意点

- 感度解析で使用したシミュレーションモデルは、関東地域では観測値における減少トレンドを定性的に再現できていたものの、関西及び九州地域では長期トレンドの再現性に課題が見られた。また、地表面オゾン濃度を過大評価する傾向が確認されている。
- 解析では計算値の絶対値は用いず、基準ケース（削減なし）と削減ケースの計算結果の比を測定値に乗じて、各ケースでの濃度変化を評価している。
- そのため、結果の解釈に当たっては、各ケースの個別濃度の絶対値（ppb）ではなく、変化傾向や地域間・ケース間の相対的特徴に着目することが必要。

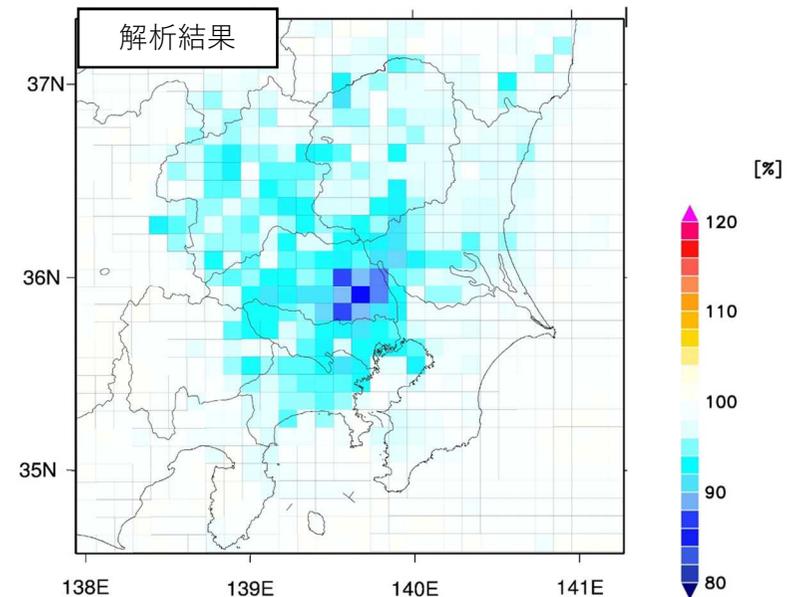
参考： 前駆物質（固定蒸発VOC）削減効果の再現性について

- 関東地域での人為起源VOC排出量削減効果の感度解析を実施。
- 関東地域内の固定蒸発VOC排出量のみを2001年から2009年に変化させた結果（固定蒸発VOCを削減した結果）、関東地域全域、特に東京都東部～埼玉県南東部で顕著な濃度低下が示された。
- 感度解析で示された変化傾向及び変化率は、同期間（2001～2009年）の測定値による解析結果と整合的であり、モデルは関東地域での排出量削減効果をおおよそ再現できていた。

固定蒸発VOC削減の感度解析設定

ケース	人為起源排出量の設定年			気象場の設定年
	東アジア大陸	関東領域 (固定蒸発VOC)	関東領域 (固定蒸発VOC以外)	
A	2009年	2009年	2009年	2009年
B		2001年		

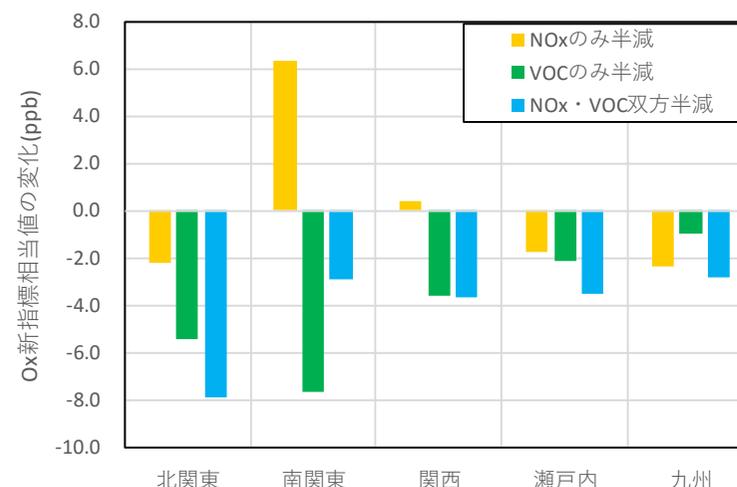
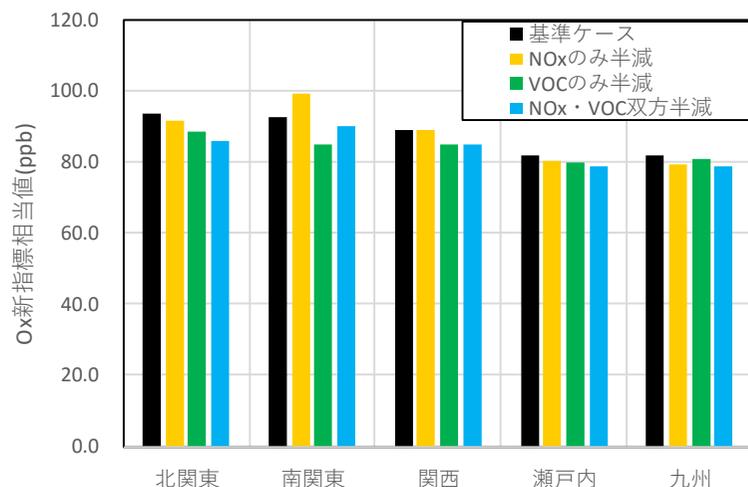
※本感度解析は、関東領域以外の固定蒸発VOC排出量変化させていない



O₃日最高8時間値暖候期98%タイル値の変化(%)
(左表[ケースA]/[ケースB])
(固定蒸発VOC排出量のみを2001年から2009年に変化させた場合の変化率)

国内での前駆物質削減効果

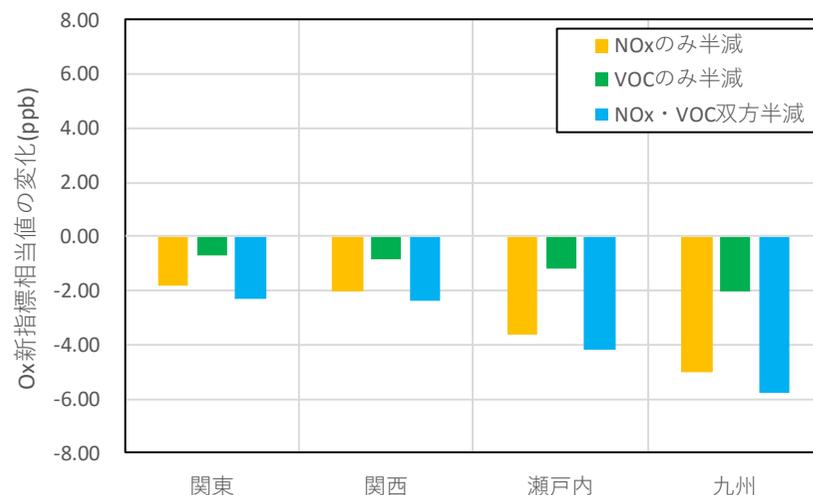
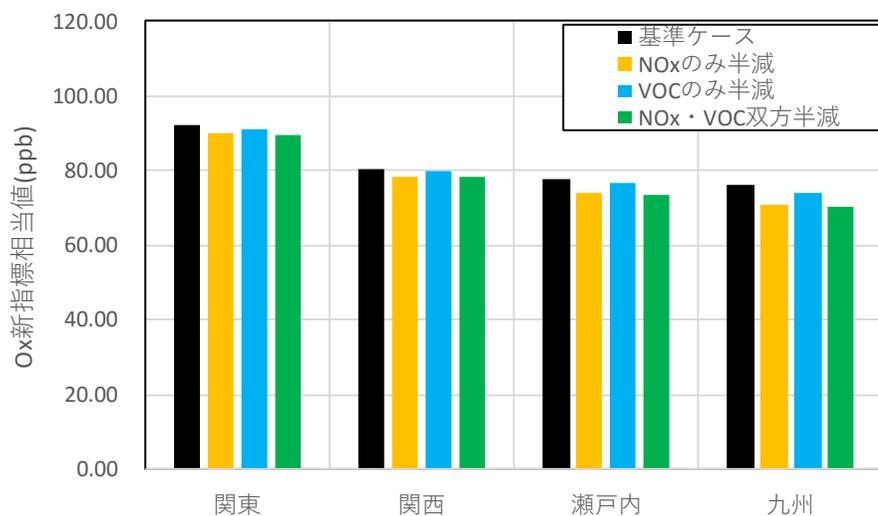
- VOCのみの削減は、全地域でOx濃度低減に寄与する。
- NOxのみの削減は、北関東地域などの郊外域ではOx濃度低減に寄与するものの、都市部（南関東・関西地域）ではOx濃度上昇に寄与し得る。
- 物質別の国内での削減効果に着目すると、関東・関西・瀬戸内地域ではVOC削減が、九州地域ではNOx削減がOx濃度低減に有効と考えられる。
- 季節別に着目した場合、人為起源のOx前駆物質の削減効果は夏季に大きく、夏季の注意報発令日の低減に有効と考えられる。



国内の人為起源のOx前駆物質排出量の削減効果（各領域平均）（10 km格子計算値）
 （左：Ox新指標相当値（ppb）、右：基準ケースからの濃度差（ppb））

国外での前駆物質削減効果

- 国外での前駆物質削減効果は九州地域で最も大きく、東アジア大陸からの空間的距離に応じて瀬戸内、関西及び関東地域の順に小さくなる。
- 物質別にはNOx削減の影響が大きく、国外でのNOx排出量が半減した場合、九州地域ではOx新指標相当値が5.0 ppb（6.5%）程度低下する可能性がある。
- 関東・関西地域においては、国外よりも国内での前駆物質削減がOx濃度低減に有効と考えられる。



国外の人為起源のOx前駆物質排出量の削減効果（各領域平均）（60 km格子計算値）
 （左：Ox新指標相当値（ppb）、右：基準ケースからの濃度差（ppb））

感度解析結果のまとめ

- シミュレーションモデルについては、精度向上に向けた取組が引き続き必要である。
- 排出抑制技術や業種別・地域別排出量等の知見を整理しつつ、具体的な対策分野を検討していくことが必要。
- Ox対策の検討に当たっては、同様に環境基準達成率の改善が必要であり、かつ共通な原因物質を有するPM2.5への影響や双方に効果的な対策を検討することが重要である。