

2 東京都の PM_{2.5}、光化学オキシダントの現状

2.1 都内における PM_{2.5} の現況

2.1.1 経年変化（2001 年度から 2017 年度まで）

東京都では、PM_{2.5} の環境基準が設定された 2009 年度以前から大気中の PM_{2.5} 濃度を測定している。大気環境中濃度の年平均値は、2001 年度からの 10 年間で約 55% 低下しており、それ以降、2017 年度まで低下傾向を示している（図 2-1）⁹。

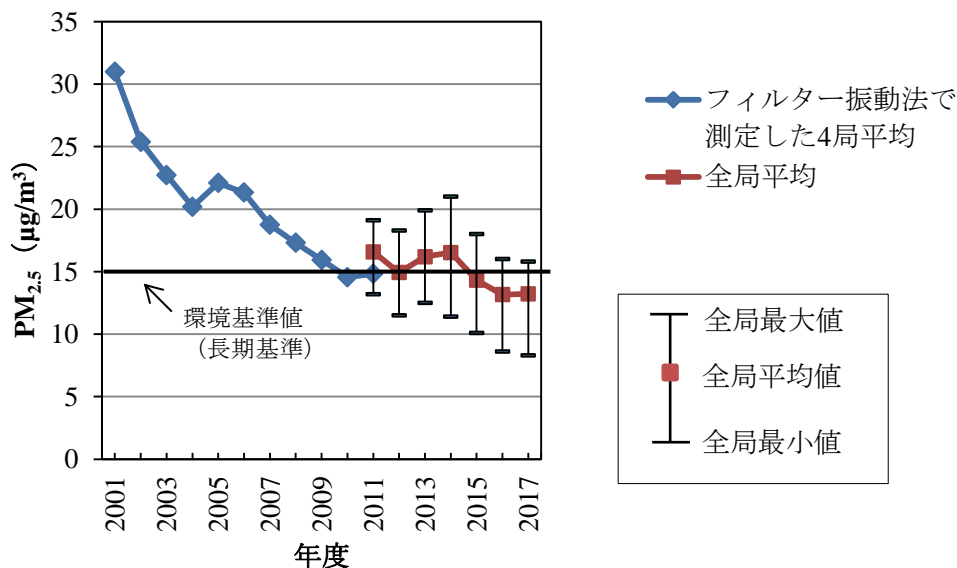


図 2-1 PM_{2.5} 濃度年平均値の推移

※ PM_{2.5} の環境基準は 2009 年に設定。

※ 2001 年度から 2011 年度までは、標準測定法が定められる前に、都内 4 局（一般環境大気測定局：2 局、自動車排出ガス測定局：2 局）でフィルター振動法により測定した結果。当時のフィルター振動法は、測定器の性質上、PM_{2.5} 検出部を 50℃ に加温する必要があった。加温することで PM_{2.5} 中に含まれる半揮発性物質が揮散することから、フィルター振動法による測定値は、標準測定法による測定値と比べて低い濃度を示す傾向がある。2011 年度からは、標準測定法により都内で測定した一般環境大気測定局及び自動車排出ガス測定局の結果。2011 年度は 30 局、2012 年度は 55 局、2013 年度は 80 局、2014 年度は 81 局、2015 年度以降は 82 局。

東京都は、PM_{2.5} について「2024 年度までに、環境基準達成率を 100% に向上させる。」という政策目標を掲げている。

PM_{2.5} の環境基準は、長期基準（年平均値 15 µg/m³ 以下）と短期基準（日平均値 35 µg/m³ 以下）が設定されており、双方を達成して、環境基準の達成となる。

2017 年度は、一般環境大気測定局において、長期基準は 47 局中 46 局、短期基準は 47 局中 41 局が達成し、双方を達成した局は 47 局中 41 局で、環境基準達成率は 87% であった（図 2-2、図 2-3）。2011 年度から 2014 年度までは、短期基準達成率が低いことが要因となり、環境基準達成率を低下させていた。2015、2016 年度では、長期基準と短期基準の達成率は、同程度であったが、2017 年度では短期基準達成率が低いことが要因で再び環境基準達成率を低下させていた。（図 2-3）。

⁹ 2001 年度から 2017 年度までの年平均値は、測定局数、測定方法ともに異なるため、直接の比較はできないが、フィルター振動法による測定値は標準測定法と比べて低い値を出す傾向があることを踏まえ、濃度傾向を考察した。

全国の一般環境大気測定局を集計した結果では、2017年度の長期基準の達成率は92.3%、短期基準の達成率は93.2%であり、環境基準達成は89.9%であった。2014年度までは短期基準達成率が長期基準達成率よりも低い傾向がみられたが、2015年度には長期基準と短期基準の達成率は同程度、2016年度では短期基準達成率が長期基準達成率よりも高くなり、2017年度では長期基準と短期基準は再び同程度となった¹⁰。

一方、2017年度の自動車排出ガス測定局において、2017年度の長期基準は34局中31局、短期基準は34局中27局で達成し、双方を達成した局は34局中27局で、環境基準達成率は79%であった（図2-2、図2-4）。長期基準と短期基準の達成率の経年変化は、一般環境大気測定局のように短期基準が環境基準達成率を低下させるような傾向はみられない（図2-4）。

全国の自動車排出ガス測定局の集計結果では、2017年度の長期基準の達成率は90.6%、短期基準の達成率は89.3%であり、環境基準達成は86.2%であった。2014年度までは短期基準達成率が長期基準達成率よりも低い傾向がみられ、2015年度以降は短期基準達成率が長期基準達成率を上回っていたが、2017年度では長期基準と短期基準は同程度となった¹¹。

環境基準の達成率からも、大気環境中のPM_{2.5}濃度は、改善傾向にあることが示されている。

環境基準達成に向けた対策を検討していく上で、日平均値が高い日に着目し、その日の状況を解析することで、対策に有益な情報を得ることができる。日平均値が35 µg/m³を超える日を低減すれば、短期基準の達成率は上昇する。また、日平均値が低下すれば、年平均値も低下する。

年平均値は、図2-1に示すように長期基準の15 µg/m³付近で推移していることから、環境基準の達成率は年度ごとに大きく変動している。年平均値を現在よりも低減させることで、安定的に環境基準を達成するような状態にすることが求められる。

¹⁰ 環境省：報道発表資料 平成29年度 大気汚染状況について（平成31年3月19日），（2019）

¹¹ 環境省：報道発表資料 平成29年度 大気汚染状況について（平成31年3月19日），（2019）

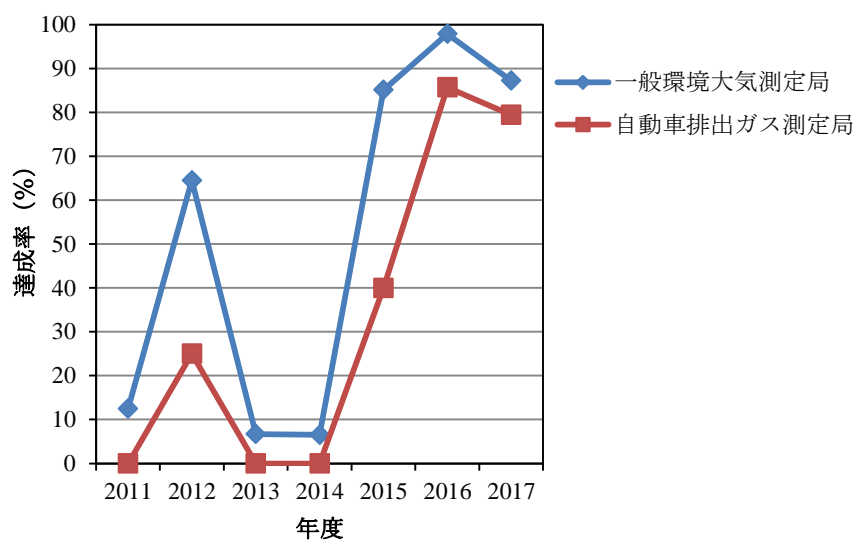


図 2-2 PM_{2.5}の環境基準の達成率

※ 一般環境大気測定局、自動車排出ガス測定局のそれぞれの局数は、以下の表のとおり。

表 一般環境大気測定局（一般局）及び自動車排出ガス測定局（自排局）の測定局数の推移

測定局	2011 年度	2012 年度	2013 年度	2014 年度	2015 年度以降
一般局	16 局	31 局	45 局	46 局	47 局
自排局	14 局	24 局	35 局	35 局	35 局

※ 2017 年度における自動車排出ガス測定局の局数については、休止中の玉川通り上馬局を除いている。

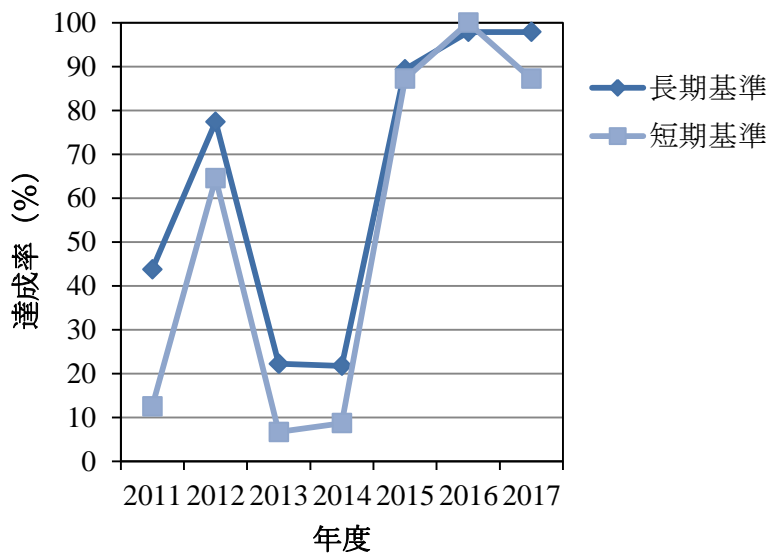


図 2-3 一般環境大気測定局の長期基準、短期基準の達成率

※ 一般環境大気測定局の局数は、図 2-2 に示す表のとおり。

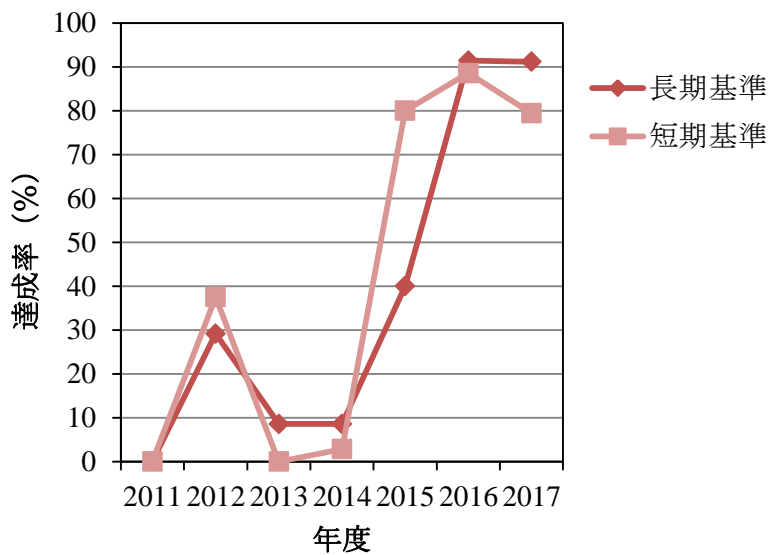


図 2-4 自動車排出ガス測定局の長期基準、短期基準の達成率

※ 自動車排出ガス測定局の局数は、図 2-2 に示す表のとおり。

2.1.2 月別の状況

短期基準の達成状況に季節的な特徴があるかを把握するため、2011年度から2017年度において、短期基準を超過した日数を月ごとに集計した（図 2-5、図 2-6）。9月は短期基準を超過する日が少ないという点が、全ての年度に共通していた。その他の月は、年度により超過する日数に違いはあるが、どの月も短期基準を超過する日があった（図 2-5、図 2-6）。9月は光化学オキシダントも濃度が低い傾向にあり、9月にPM_{2.5}、光化学オキシダント共に濃度が低くなる主な要因は、日照時間や日射量等が少ないことから、気象条件であると考えられる（資料編1：大気環境中濃度データの解析参照）。

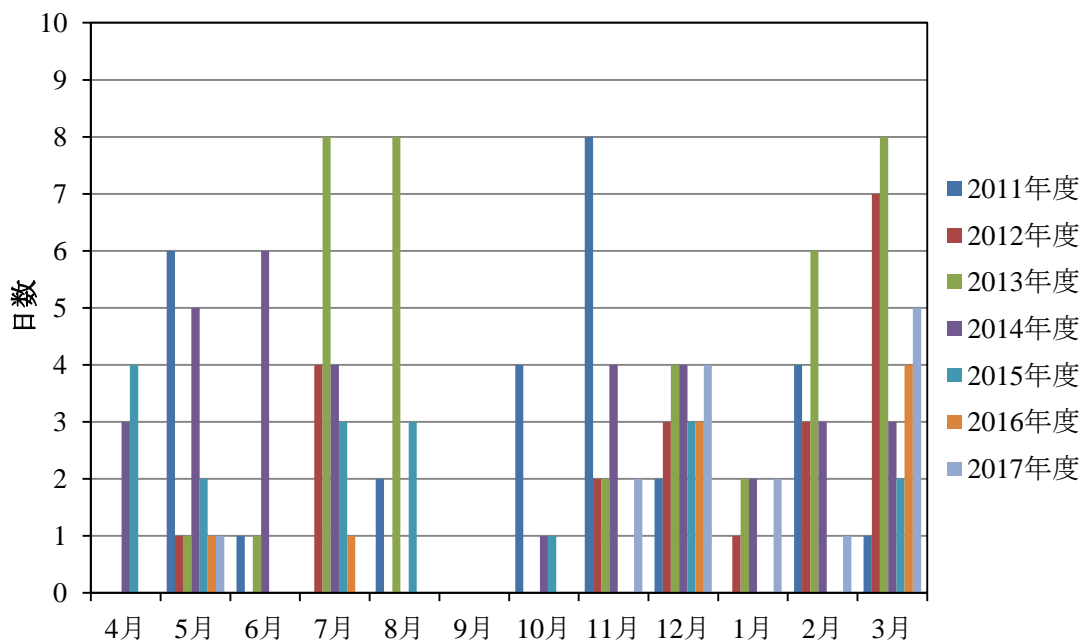


図 2-5 東京都内一般環境大気測定局のPM_{2.5}日平均値が35 µg/m³を超過した日数

※ 都内一般環境大気測定局のうち1局でもPM_{2.5}日平均値が35 µg/m³を超過した日を超過日として計上した。

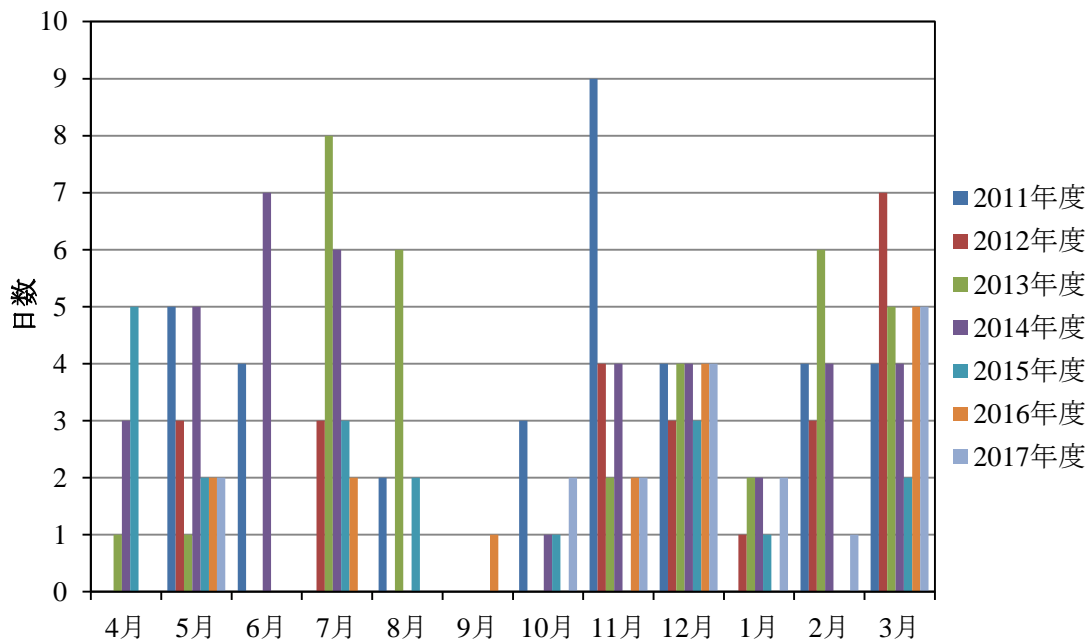


図 2-6 東京都内自動車排出ガス測定局の PM_{2.5} 日平均値が 35 µg/m³ を超過した日数

※ 都内自動車排出ガス測定局のうち 1 局でも PM_{2.5} 日平均値が 35 µg/m³ を超過した日を超過日として計上した。

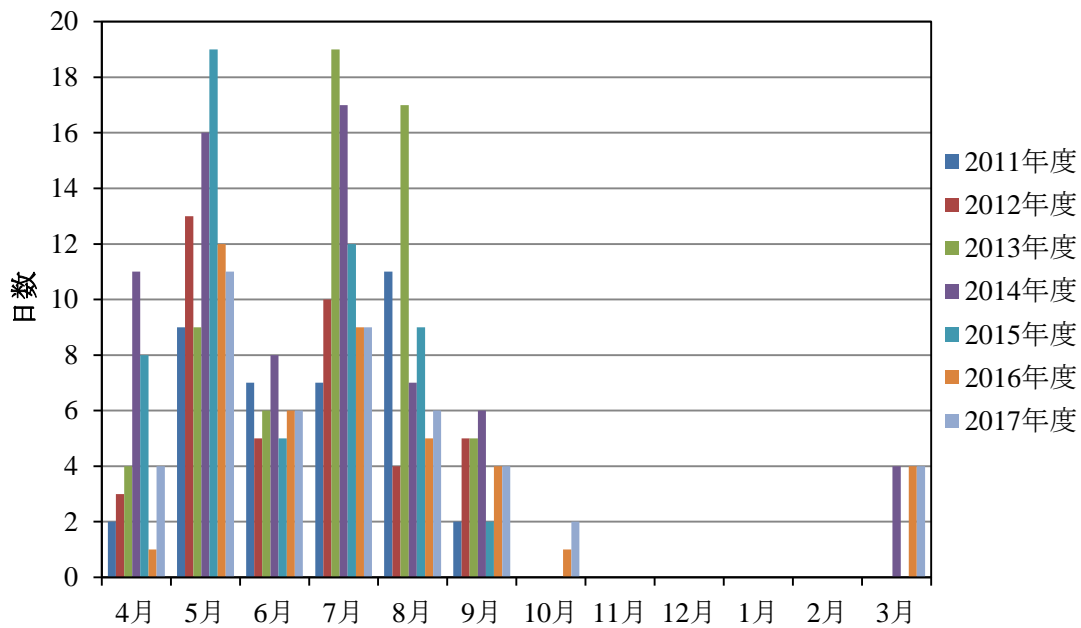


図 2-7 東京都内一般環境大気測定局の光化学オキシダント日最高 8 時間値が 0.070 ppm を超過した日数

※ 都内一般環境大気測定局のうち 1 局でも光化学オキシダント日最高 8 時間値が 0.070 ppm を超過した日を超過日として計上した。

2.1.3 季節的な特徴

(1) PM_{2.5} 成分分析結果

前回の大気中微小粒子状物質検討会（2008年度から2011年度）では、大気中のPM_{2.5}成分の季節的な特徴を次のようにまとめた。

- ・有機炭素（Organic Carbon：OC）と元素状炭素（Elemental Carbon：EC）は、秋季に高かった。
- ・硫酸イオン（SO₄²⁻）は夏季に高かった。これは、光化学反応等により二酸化硫黄（SO₂）が酸化されたものと考えられる。
- ・硝酸イオン（NO₃⁻）と塩化物イオン（Cl⁻）は、秋季と冬季に高かった。これは、アンモニウムイオン（NH₄⁺）と結合した硝酸アンモニウム（NH₄NO₃）と塩化アンモニウム（NH₄Cl）が二次生成され、気温が低いことから粒子状のままになったためであると考えられる。

2008年度からのPM_{2.5}成分分析結果を図2-8、図2-9に示す。東京都では、区部、多摩部において、それぞれ一般環境大気測定局（区部：足立区綾瀬、多摩部：町田市中町（2012年度から多摩市愛宕））、自動車排出ガス測定局（区部：京葉道路亀戸（2016年度から永代通り新川）、多摩部：甲州街道国立）で調査を実施している。

前回の検討会以降も継続して実施している成分分析からも同様の結果が確認された。また、2008年度から年間を通じて有機物（Organic Matter：OM）¹²の割合は約3割と比較的大きい傾向にあった。PM_{2.5}対策を検討する際には、夏季はSO_x、冬季はNO_xやアンモニア、年間を通して有機物（OM）の一次排出物質や二次生成の原因物質であるVOC等の有機化合物を対象にした対策が注目される。

¹² OM（Organic Matter）は、有機炭素（OC）とOCに結合している水素や酸素などを含む有機物。OMは「OC×1.7」として算出した。OCに乗じる係数について、有機物のエージングの度合いは地点（発生源近くや一般環境、バックグラウンド地点）や季節（夏季、冬季等）で異なることから、係数も地点や季節によって異なる*。ここでは、平均的な状況を考察するため、係数として1.7を用いた。

* 環境省：大気中微小粒子状物質（PM_{2.5}）成分測定マニュアル 精度管理解説（2019年5月），（2019）

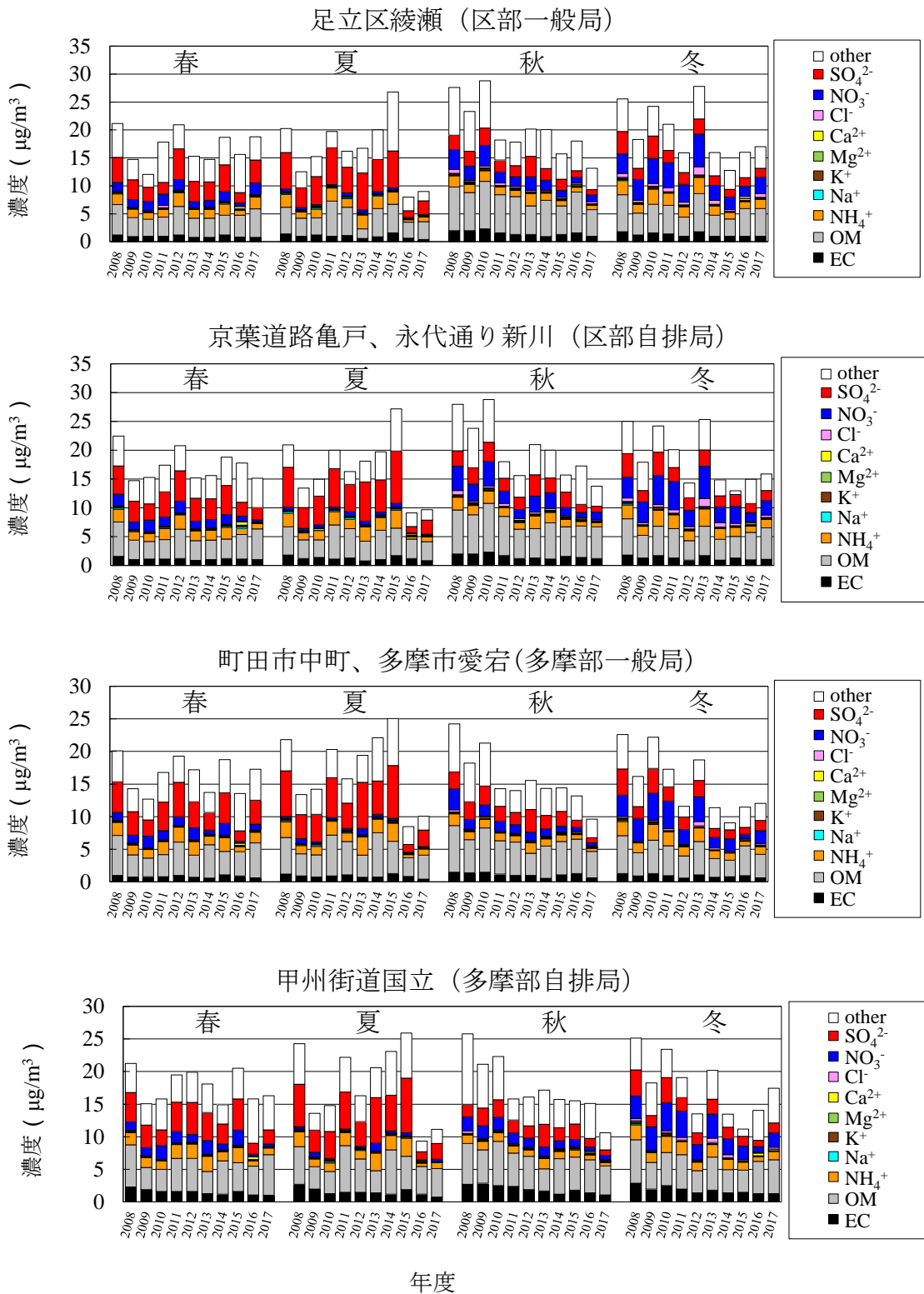


図 2-8 各季節の PM_{2.5} 成分濃度の経年変化

- ※ PM_{2.5}成分分析では、主に春は5月、夏は7月、秋は10月、冬は1月に調査を実施している。
- ※ OM (Organic Matter) は、有機炭素 (OC) と OC に結合している水素や酸素などを含む有機物。OM は「OC × 1.7」として算出した。
- ※ other は、無機元素、水分などを含む。other は、「質量濃度 - 炭素成分 - イオン成分」とした。
- ※ 炭素成分：OM + EC、イオン成分：SO₄²⁻ + NO₃⁻ + Cl⁻ + Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺ + NH₄⁺
- ※ 一般環境大気測定局 (一般局)：足立区綾瀬、町田市中町 (2012年度から多摩市愛宕)
- ※ 自動車排出ガス測定局 (自排局)：京葉道路亀戸 (2016年度から永代通り新川)、甲州街道国立

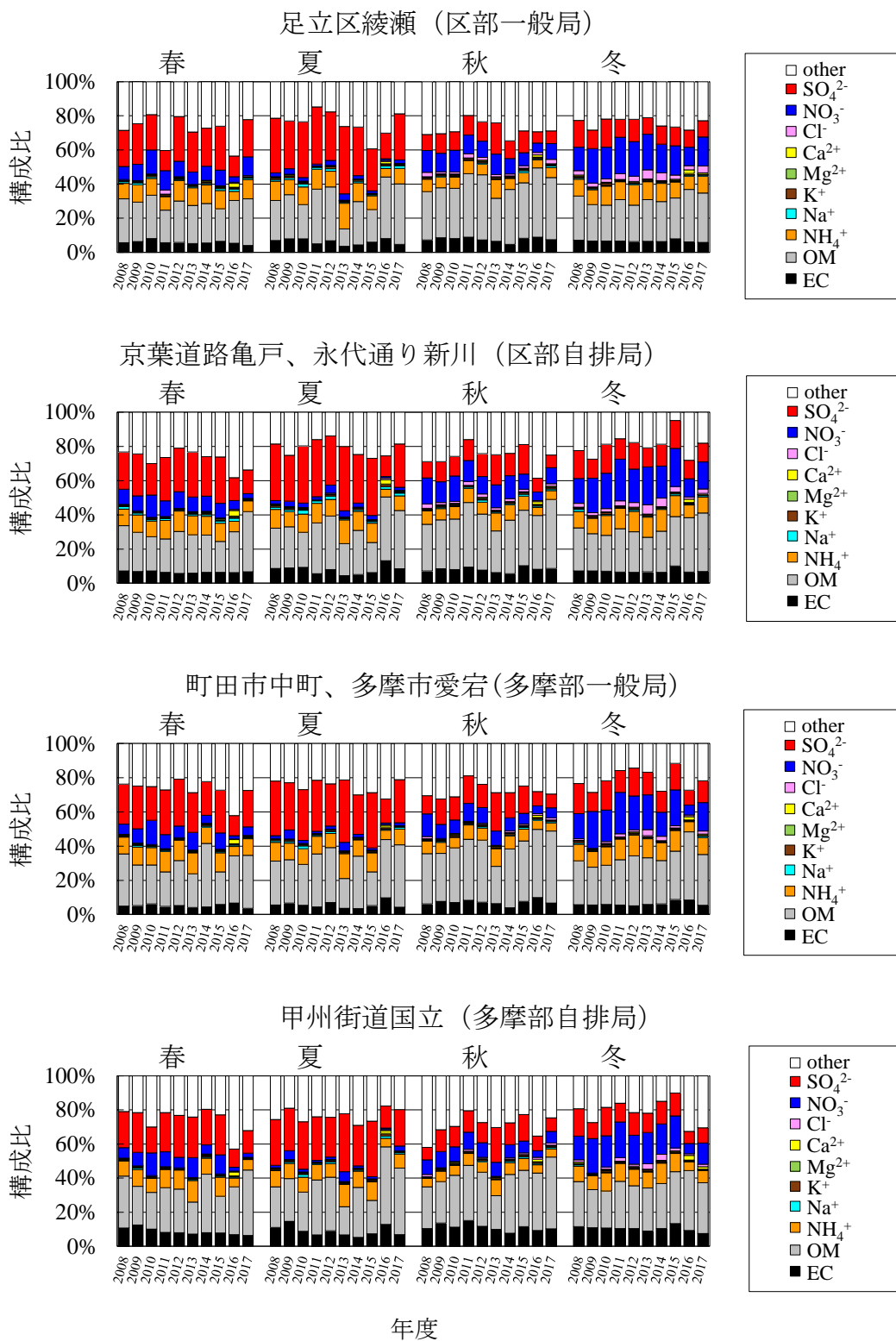


図 2-9 各季節の PM_{2.5} 成分構成割合の経年変化

- ※ PM_{2.5}成分分析では、主に春は5月、夏は7月、秋は10月、冬は1月に調査を実施している。
- ※ OM (Organic Matter) は、有機炭素 (OC) と OC に結合している水素や酸素などを含む有機物。OM は「OC × 1.7」として算出した。
- ※ other は、無機元素、水分などを含む。other は、「質量濃度 - 炭素成分 - イオン成分」とした。
- ※ 炭素成分：OM + EC、イオン成分：SO₄²⁻ + NO₃⁻ + Cl⁻ + Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺ + NH₄⁺
- ※ 一般環境大気測定局 (一般局)：足立区綾瀬、町田市中町 (2012年度から多摩市愛宕)
- ※ 自動車排出ガス測定局 (自排局)：京葉道路亀戸 (2016年度から永代通り新川)、甲州街道国立

PM_{2.5} 成分分析の実施期間は、環境省の「微小粒子状物質（PM_{2.5}）の成分分析ガイドライン」（以下「成分分析ガイドライン」という。）に基づき、春夏秋冬の4季節2週間程度としている。ただし、気象条件等による変動によっては、調査期間が必ずしも各季節の代表性を示しているわけではない。また、調査実施の都合上、事前に調査期間を決めるため、必ずしも調査期間にPM_{2.5}が高濃度になった日が含まれるわけではない。

そこで、成分分析ガイドラインに基づき実施した常時監視のPM_{2.5}成分分析期間及び前後7日間、加えてPM_{2.5}が高濃度であった日の計146日について、東京都環境科学研究所（江東区新砂）で保存している2015年度に捕集したPM_{2.5}ろ紙を対象として分析を実施した（表2-1）。

表 2-1 東京都環境科学研究所で捕集した PM_{2.5} ろ紙を用いて成分分析を実施した対象日（2015年度）

月	日																検体数
4月	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日		13
	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日		
5月	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日		27
	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日	
6月	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日		0
	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日		
7月	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日		19
	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日	
8月	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日		11
	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日	
9月	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日		0
	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日		
10月	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日		22
	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日	
11月	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日		10
	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日		
12月	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日		11
	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日	
1月	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日		20
	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日	
2月	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日		9
	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日			
3月	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日		4
	16日	17日	18日	19日	20日	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日	31日	
計																146	

- 成分分析期間
 - 成分分析期間前後7日間
 - 高濃度イベント期間*
 - その他対象期間
 - 赤 一般局・自排局ともに超過
 - 緑 一般局のみ超過
 - 青 自排局のみ超過
- * 一般局 or 自排局で都内1局以上短期基準（35 μg/m³）を超過した日の前後1日を含む3日間

研究所で採取した 2015 年度における PM_{2.5} は、春季及び夏季に有機物 (OM) 及び硫酸イオン (SO₄²⁻)、秋季では有機物 (OM)、冬季では有機物 (OM) 及び硝酸イオン (NO₃⁻) の割合が高く、成分分析ガイドラインに基づき実施している PM_{2.5} 成分分析期間 (14 日間) とおおむね同様の成分割合の傾向を示した (図 2-10)。

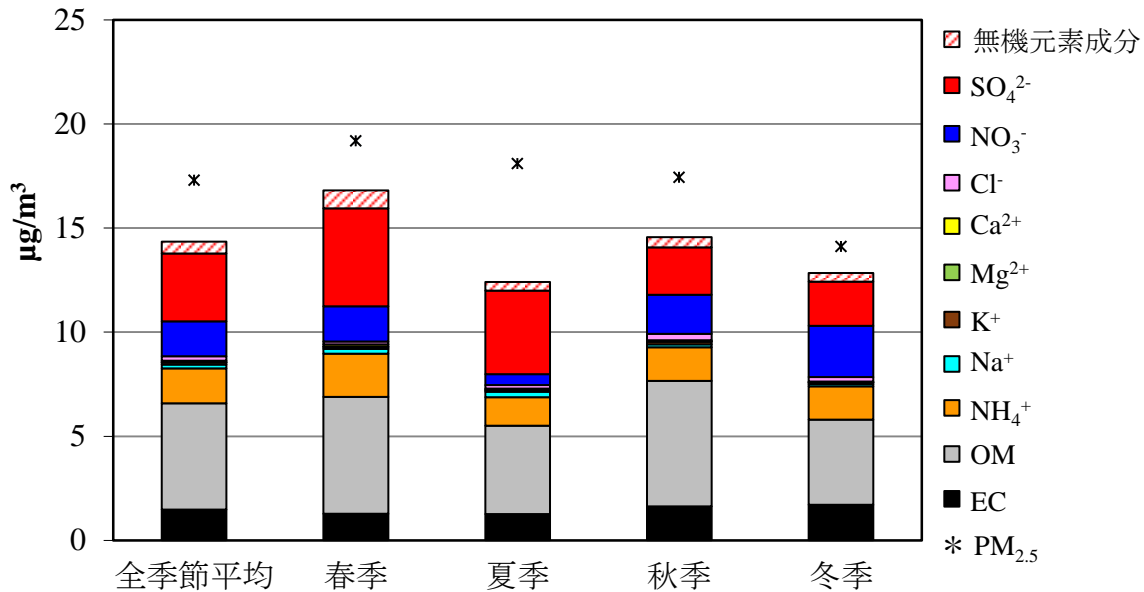


図 2-10 2015 年度の東京都環境科学研究所における PM_{2.5} 成分分析結果

- ※ 分析対象は、成分分析ガイドラインに基づき常時監視として実施した成分分析期間と同期間及びその前後 7 日間、加えて PM_{2.5} が高濃度であった日の計 146 日間 (表 2-1)。
- ※ 年度ごとに集計し考察を行ったため、季節を以下のように区分し整理した。
春季：4～6 月、夏季：7～9 月、秋季：10～12 月、冬季：1～3 月
- ※ 各季節の検体数 *n* は、春季 (*n* = 27)、夏季 (*n* = 30)、秋季 (*n* = 43)、冬季 (*n* = 33)。
- ※ 全季節平均は、春季から冬季までの期間平均を示す。
- ※ OM は「OC × 1.7」として算出した。
- ※ PM_{2.5} 質量濃度は、近隣の一般環境大気測定局 (江東区大島局) における β 線吸収法を用いた PM_{2.5} 自動測定機から算出した。PM_{2.5} の捕集時間 (10 時から 9 時の 23 時間) における 1 時間値の平均値を PM_{2.5} 質量濃度とした。

2015年度の夏季においては、成分割合では成分分析ガイドラインに基づき東京都が実施した常時監視のPM_{2.5}成分分析期間と同期間である14日間と同様の傾向（春季及び夏季に有機物（OM）及び硫酸イオン（SO₄²⁻）の割合が高い）を示すものの、PM_{2.5}質量濃度については、常時監視の14日間では濃度が高い結果となり、前後7日間を含めた28日間ではPM_{2.5}成分濃度の総和に近い結果となった（図 2-11）。

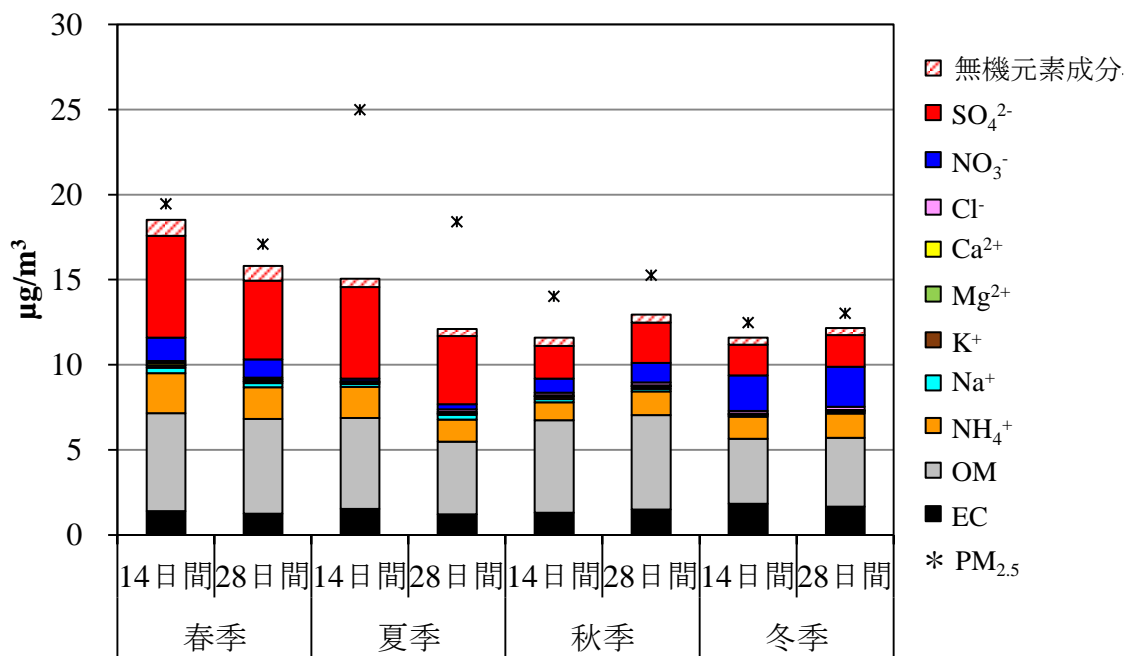


図 2-11 2015年度の東京都環境科学研究所におけるPM_{2.5}の成分割合（常時監視で実施した14日と28日間）

- ※ 14日間は、成分分析ガイドラインに基づき常時監視として実施した成分分析期間と同期間。
- ※ 28日間は、上記14日間に前後7日間を含めた期間。
- ※ OMは「OC × 1.7」として算出した。
- ※ PM_{2.5}質量濃度は、近隣の一般環境大気測定局（江東区大島局）におけるβ線吸収法を用いたPM_{2.5}自動測定機から算出した。PM_{2.5}の捕集時間（10時から9時の23時間）における1時間値の平均値をPM_{2.5}質量濃度とした。

2015年度のPM_{2.5}が高濃度であった日におけるPM_{2.5}成分割合を図2-12に示す。PM_{2.5}質量濃度が1日平均値30 μg/m³を上回る日を高濃度日の対象とした。高濃度日においても、図2-10のPM_{2.5}成分濃度の季節別の特徴と同様の傾向（高濃度日の主成分 夏季：硫酸イオン（SO₄²⁻）、有機物（OM）、冬季：硝酸イオン（NO₃⁻）、有機物（OM））が確認された（図2-12）。

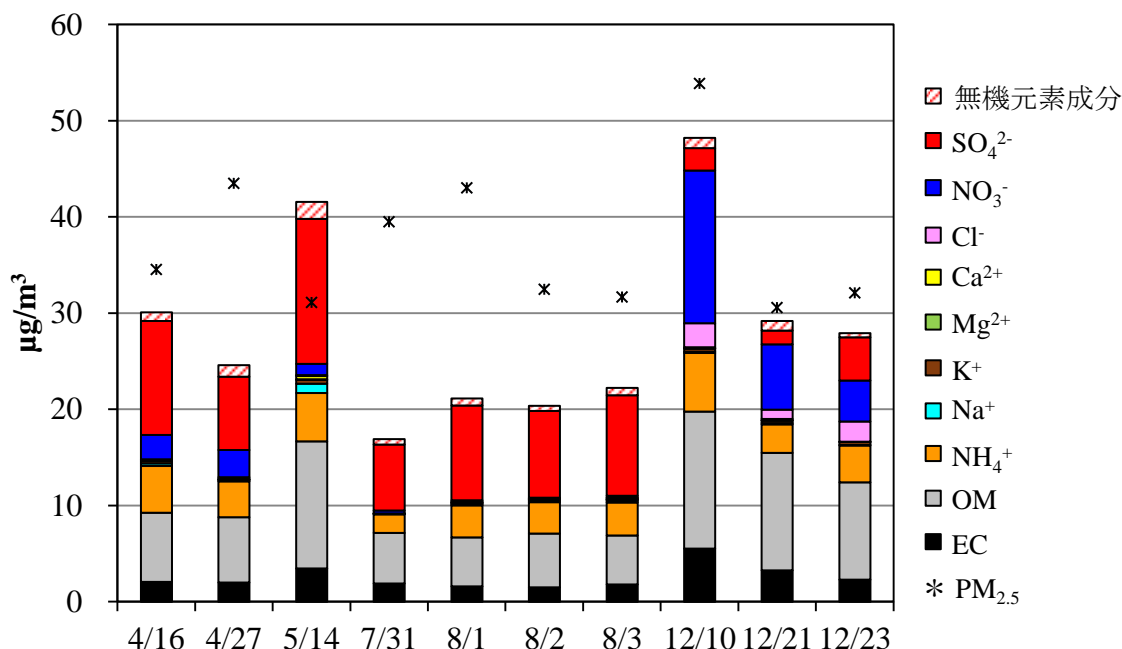


図 2-12 2015年度の東京都環境科学研究所におけるPM_{2.5}質量濃度高濃度日の成分割合

- ※ PM_{2.5}質量濃度が30 μg/m³を上回る日を高濃度日とした。PM_{2.5}質量濃度は、近隣の一般環境大気測定局（江東区大島局）におけるβ線吸収法を用いたPM_{2.5}自動測定機から算出した。PM_{2.5}の捕集時間（10時から9時の23時間）における1時間値の平均値をPM_{2.5}質量濃度とした。
- ※ OMは「OC × 1.7」として算出した。
- ※ 5月14日については、各成分濃度の総和がPM_{2.5}質量濃度を超過している。PM_{2.5}質量濃度は近隣の江東区大島測定局の結果から算出した結果、無機成分及びイオン成分はPTFEろ紙、炭素成分（OC、EC）は石英ろ紙から分析した結果であり、必ずしもPM_{2.5}成分濃度の和とPM_{2.5}質量濃度が一致するわけではないことに留意する必要がある。

(2) シミュレーションモデルを用いた発生源寄与解析

大気汚染物質の発生源寄与の推測や大気汚染物質の影響解析、将来の環境濃度予測を検討する手法の一つとして、シミュレーションモデルが挙げられる。シミュレーションモデルとは、発生源からの大気汚染物質の排出量データを仮定の空間内で、移流・拡散・反応させ計算するものである。

PM_{2.5}の発生源の影響を考察するため、シミュレーションモデルを用いた発生源寄与割合の推計を実施した。今回構築したシミュレーションモデルの概要を表 2-2、図 2-13 に示す。

表 2-2 シミュレーションモデルの設定条件

項目	内容
対象年度	2015 年度
計算対象期間	2015 年度の 1 年間
計算対象領域	東アジア領域：格子解像度 45 km 中日本領域：格子解像度 15 km 関東領域：格子解像度 5 km
気象モデル	WRF Ver. 3.8.1 (Weather Research and Forecasting Model)
化学輸送モデル	CMAQ Ver. 5.1 (Community Multi-scale Air Quality Model)
排出インベントリ	東アジア域 人為起源：HTAP V2 (2010) 森林火災起源：GFED ver.4 (2015) 火山起源：気象庁ホームページ 植物起源：MEGAN v2.0.4 (2015) 日本域・関東域 人為起源：東京都インベントリ (2015)、環境省インベントリ (2012) 人為起源海上：OPRF 船舶排出量データベース (2010)
拡散モデル	ACM2 (鉛直)、Multiscale (水平)
気相モデル	SAPRC07
エアロゾル化学モデル	AERO6
境界条件	東アジア領域：全球モデル CHASER の計算結果 中日本領域・関東領域：親領域の計算結果

- ※ () 内の年度の異なる排出インベントリについては、資源エネルギー庁の総合エネルギー統計等の統計値を用いて年次補正係数を作成し、2015 年度の排出インベントリを算出した。
- ※ HTAP (Hemispheric Transport of Air Pollution) : http://edgar.jrc.ec.europa.eu/htap_v2/
- ※ GFED (Global Fire Emission Database) : <http://www.globalfiredata.org/>
- ※ MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature) : <http://lar.wsu.edu/megan/>
- ※ OPRF：ボートレースの交付金による日本財団の平成 24 年度助成事業「排出規制海域(ECA)設定による大気環境改善効果の算定事業」において笹川平和財団が作成したデータを用いた。
- ※ CHASER (Chemical AGCM for Studies of atmospheric Environment and Radiative forcing) : 名古屋大学 須藤准教授よりご提供いただいた名古屋大学 JAMSTEC の全球化学気候モデル CHASER の計算結果を用いた。
- ※ 日本域における排出インベントリでは、東京都における排出インベントリは東京都が推計した東京都インベントリ、東京都外の排出インベントリは環境省インベントリを使用しており、関東域内で異なるインベントリを使用していることに留意する必要がある。

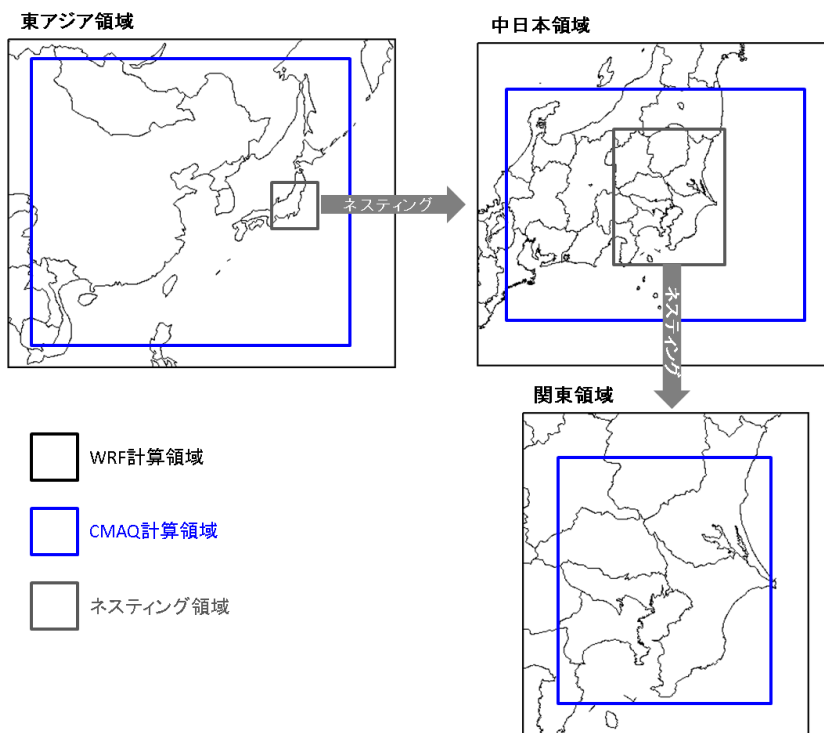


図 2-13 シミュレーションモデルの計算対象領域

シミュレーションモデルを用いた発生源寄与解析の手法として、発生源寄与解析で広く用いられているゼロアウト法は、解析対象とする発生源の排出量をゼロとした場合の推計濃度の変化量を、発生源からの寄与濃度とする手法（感度解析）である（図 2-14）。

一方、PM_{2.5}や光化学オキシダントといった二次生成の影響が大きい場合、発生源からの排出量と濃度の関係が非線形となる原因物質が多く存在する¹³。ゼロアウト法による発生源寄与解析では、排出量と濃度の非線形の効果を大きく受ける可能性がある。本解析では、ゼロアウト法による解析は、排出量の変化（削減）に対する感度を示し、その感度を寄与割合とみなして値を評価していることに留意した上で、発生源寄与割合を推計した。

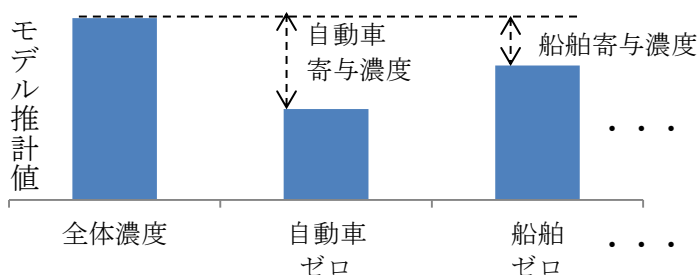


図 2-14 ゼロアウト法のイメージ

※ PM_{2.5}の全体濃度を推計するほか、特定の排出源における排出量をゼロとした場合の濃度（本図では自動車ゼロ、船舶ゼロ…と示した）を推計し、全体濃度と特定の排出源の排出量をゼロとした場合の濃度との比較から寄与濃度を推定する。

¹³ 排出量と濃度が線形とは、排出量と寄与濃度が1対1で対応する関係（例えば、排出量が半分になれば寄与濃度も半分になる等）を言い、反応性の低い一次排出物質や不揮発性が高い物質で成り立つことが多い。PM_{2.5}や光化学オキシダント等の二次生成物質では、原因物質の排出量を低減させた場合、低減割合から予測と異なる濃度低下となる関係（非線形）となることがある。

PM_{2.5} のゼロアウト法による解析期間は、成分分析ガイドラインに基づき実施した PM_{2.5} 成分分析期間とした（表 2-3）。

表 2-3 PM_{2.5} 発生源寄与解析の対象期間

季節	発生源寄与解析の対象期間
春季	2015年5月7日から5月20日
夏季	2015年7月22日から8月4日
秋季	2015年10月21日から11月3日
冬季	2016年1月20日から2月2日

シミュレーションモデルを用いた発生源寄与解析（ゼロアウト法）の対象領域と対象排出源を表 2-4 に示す。ゼロアウト法の対象領域は、東京都のほか、関東地域 6 県における各種排出源に対しても同様の感度解析を行った。また、関東域外の濃度影響を考察するため、関東地域全域（関東 1 都 6 県）における排出インベントリをゼロとした場合の感度解析を実施した。

なお、シミュレーションモデルの PM_{2.5} 推計値は、硝酸塩や有機粒子等、成分構成比には測定結果と差異はあるものの、PM_{2.5} 質量濃度の傾向はおおむね再現できており、本検討会で構築したモデルは PM_{2.5} 濃度影響の考察に活用可能と判断した（資料編 2：シミュレーション解析調査参照）。成分構成比に差異が確認されたことから、本検討会における PM_{2.5} 発生源寄与割合の推計では、測定結果とシミュレーションモデルによる推計値の比率を地点ごと、日ごと、成分ごとに補正係数を算出し、その値を推計値に乗じることで寄与割合を算出した。

表 2-4 発生源寄与解析（ゼロアウト法）の対象領域と対象排出源

解析対象領域	東京都と関東地域 6 県の 2 パターン
解析対象排出源	9 種類×2 ①自動車（自動車排出ガス、タイヤ摩耗、ブレーキ粉塵）、②船舶、③大規模固定煙源（工場等のばい煙発生施設）、④業務・家庭（業務・家庭用燃焼機器、調理、小型焼却炉、民生部門生活用品）、⑤建設機械、⑥VOC 発生施設（蒸発系固定発生源等）、⑦その他の人為起源（航空機、野焼き、鉄道、たばこ、粉じん発生施設）、⑧アンモニア発生源（畜産、化学肥料施肥、人の発汗・呼吸、ペット犬等）、⑨自然起源（植物起源、火山）
	⑩関東以外の排出 関東域における排出インベントリをゼロとして計算した。

シミュレーションモデルを用いた東京都における PM_{2.5} 発生源寄与割合を図 2-15 から図 2-17 に示す。

人為起源の PM_{2.5} 発生源寄与割合は、季節により寄与割合の順位に差はあるものの、主に自動車、大規模固定煙源、アンモニア発生源等が挙げられた。

夏季では、ほかの季節と比べると、大規模固定煙源、船舶の寄与割合が大きかった。夏

季では、一般的に南風が卓越し沿岸部に位置する大規模工場や船舶等から排出された大気汚染物質が輸送されるとともに、光化学反応によりPM_{2.5}が二次生成されたと考えられる。

区部（足立区綾瀬）と多摩部（多摩市愛宕）で比較すると、区部では大規模固定煙源、多摩部では自動車の寄与割合が大きくなる傾向が確認された。区部に位置する足立区綾瀬では、周辺や臨海部に位置する工場等の影響を受ける一方、多摩部に位置する多摩市愛宕では、南側に位置する神奈川県域における自動車排出の影響を受けるため、発生源寄与割合に違いが表れたと考えられる。

また、四季を通じてアンモニア発生源の寄与割合が大きかった。これは、原因物質の排出量と推計濃度の非線形効果が大きく表れた可能性がある。アンモニア発生源より排出されるアンモニア（NH₃）に係るPM_{2.5}の生成反応として、NH₃と硝酸（HNO₃）による硝酸アンモニウム（NH₄NO₃）の粒子化反応がある（NH₃ + HNO₃ ⇌ NH₄NO₃）。しかし、硝酸（HNO₃）や原因物質であるNO_xは、アンモニア発生源とは別の発生源（自動車や大規模固定煙源等）から排出すると考えられ、アンモニア発生源の排出量をゼロとした場合、NO_xの発生源からのPM_{2.5}生成寄与にも影響を与え、結果としてアンモニア発生源のPM_{2.5}発生源寄与割合が大きくなった可能性があることに留意する必要がある。

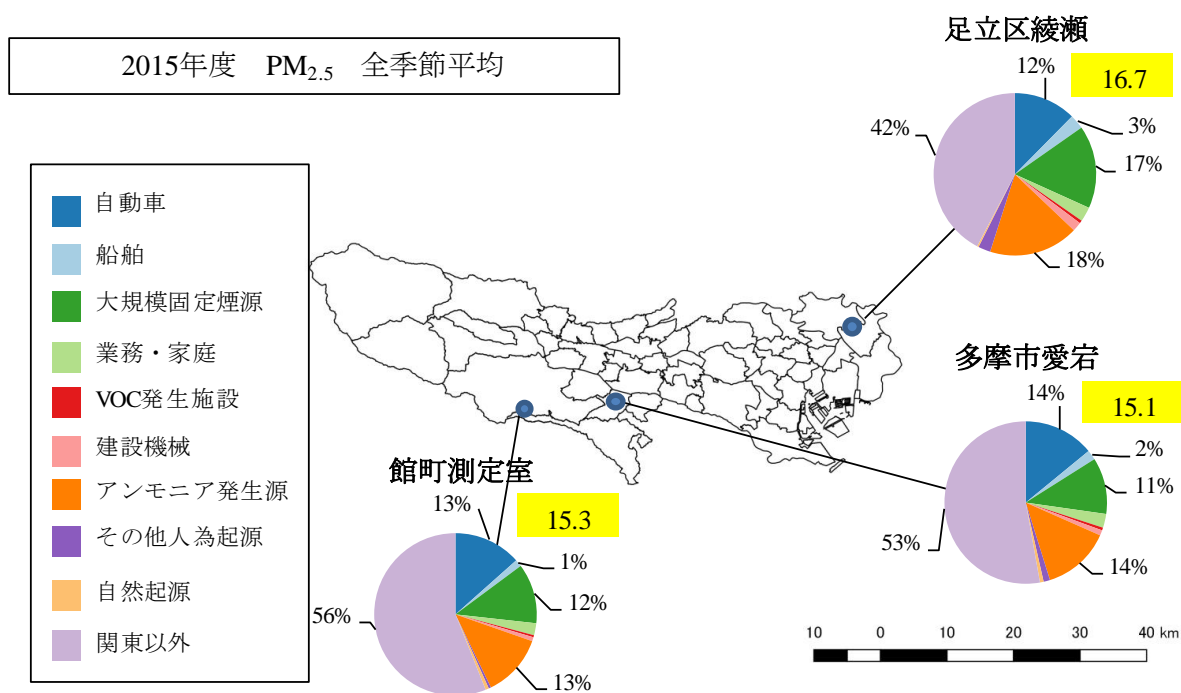
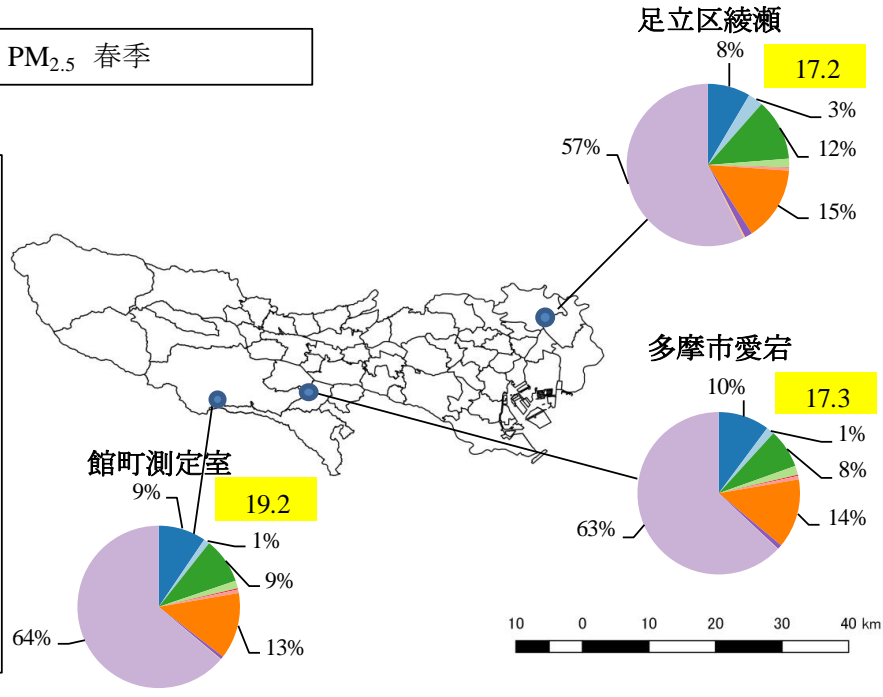
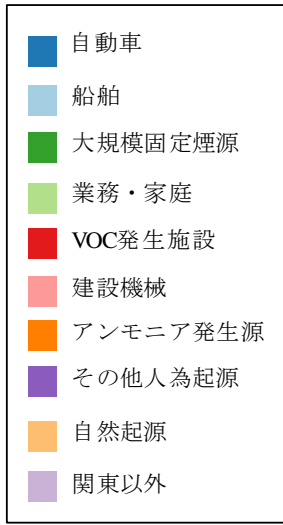


図 2-15 シミュレーションモデルを用いた東京都におけるPM_{2.5}発生源寄与割合推計結果 (2015年度全季節平均)

- ※ 解析対象期間の期間平均。各発生源は、東京都と関東6県の寄与割合を合計した関東全域（1都6県）で示した。
- ※ 黄枠の数値は、各地点におけるPM_{2.5}質量濃度のシミュレーションモデルによる計算値を示す。（単位：μg/m³）。
- ※ PM_{2.5}発生源寄与割合の数値（%）は、自動車、船舶、大規模固定煙源、アンモニア発生源、関東以外について示した。

2015年度 PM_{2.5} 春季



2015年度 PM_{2.5} 夏季

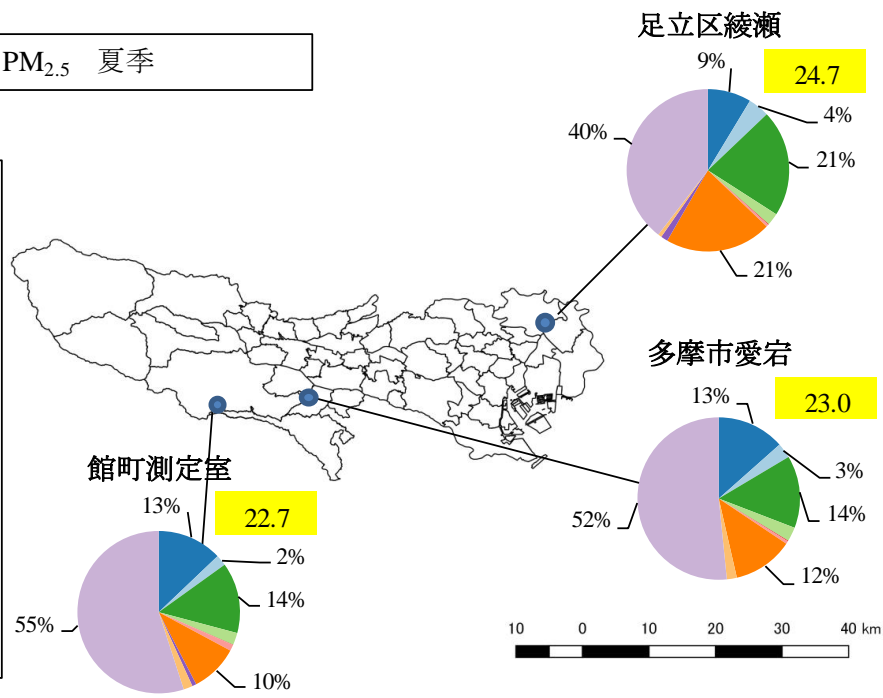
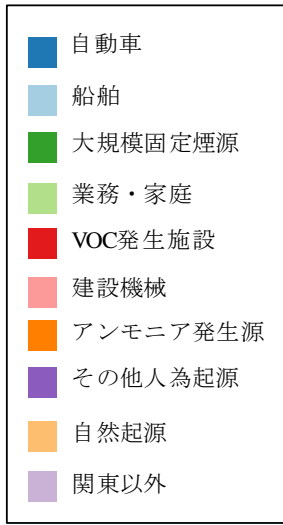
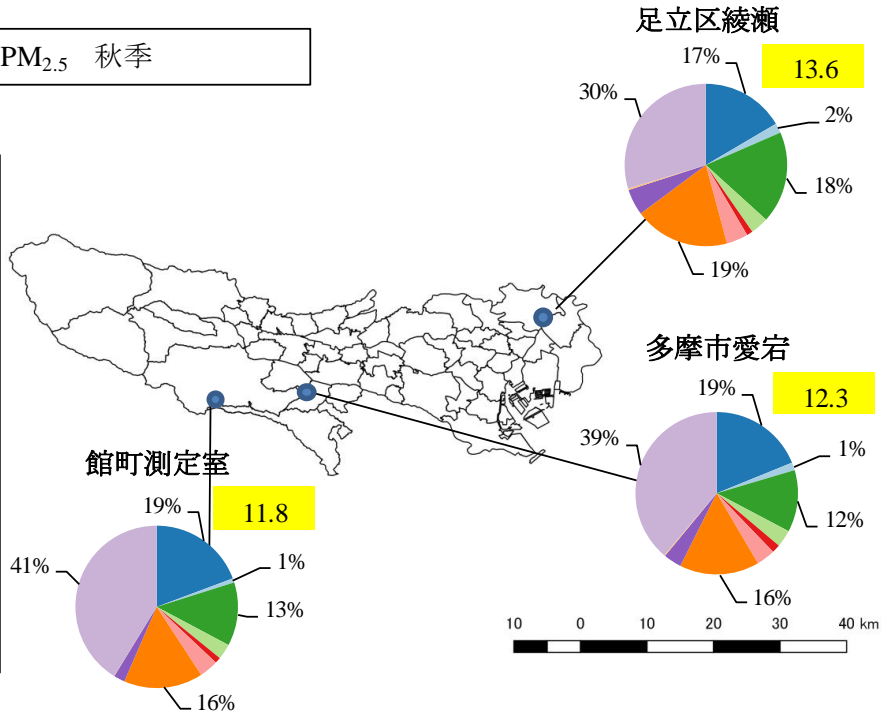
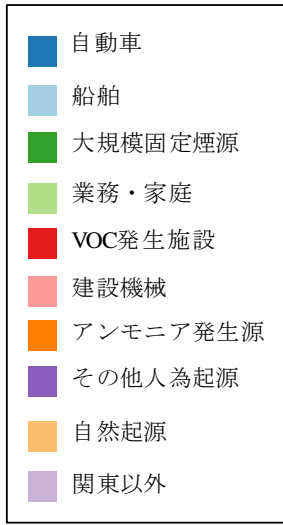


図 2-16 シミュレーションモデルを用いた東京都における PM_{2.5} 発生源寄与割合推計結果 (2015年度) 上図：春季、下図：夏季

- ※ 各季節の期間平均。各発生源は、東京都と関東 6 県の寄与割合を合計した関東全域 (1 都 6 県) で示した。
- ※ 黄枠の数値は、各地点における PM_{2.5} 質量濃度のシミュレーションモデルによる計算値を示す (単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)。
- ※ PM_{2.5} 発生源寄与割合の数値 (%) は、自動車、船舶、大規模固定煙源、アンモニア発生源、関東以外について示した。

2015年度 PM_{2.5} 秋季



2015年度 PM_{2.5} 冬季

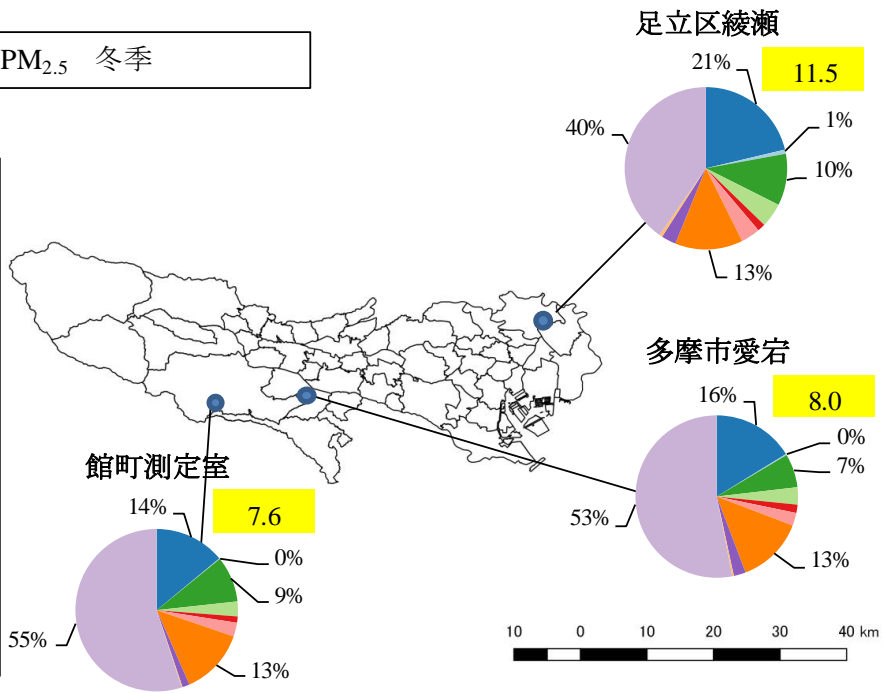
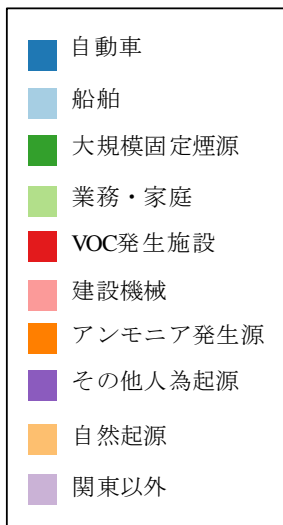


図 2-17 シミュレーションモデルを用いた東京都における PM_{2.5} 発生源寄与割合推計結果 (2015年度) 上図：秋季、下図：冬季

- ※ 各季節の期間平均。各発生源は、東京都と関東 6 県の寄与割合を合計した関東全域 (1 都 6 県) で示した。
- ※ 黄枠の数値は、各地点における PM_{2.5} 質量濃度のシミュレーションモデルによる計算値を示す (単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)。
- ※ PM_{2.5} 発生源寄与割合の数値 (%) は、自動車、船舶、大規模固定煙源、アンモニア発生源、関東以外について示した。

(3) レセプターモデルを用いた発生源寄与解析

PM_{2.5}については、シミュレーションモデルを用いた発生源寄与解析のほかに、環境大気中の測定結果から、辿って発生源寄与濃度を推定する手法であるレセプターモデルがある。上流に位置する多様な発生源（Source）から大気汚染物質が排出され、それらが流下する間に様々な物理化学反応を経て、下流に位置する観測点（Receptor）に到達する。シミュレーションモデルは上流から下流に向かっての解析するソースモデル（フォワードモデル）であるが、レセプターモデルは下流から上流に向かって解析するモデルであり、観測された成分濃度を基に、その濃度に影響を及ぼしたであろう発生源の寄与濃度を統計的に推定するものである（図 2-18）。

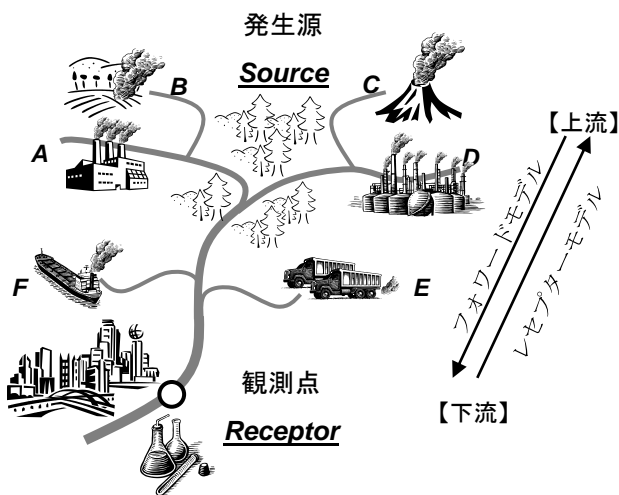


図 2-18 大気質モデルによる発生源寄与解析の概念図

※（飯島（2011）から作成）¹⁴

レセプターモデルは、CMB法（Chemical Mass Balance : CMB）とPMF法（Positive Matrix Factorization : PMF）の大きく二つの手法に分かれる。CMBは、大気環境濃度の測定値と発生源プロファイルと呼ばれる発生源の化学成分データを用い、指標となる成分を関連付けて解析を行う方法である。PMFは、発生源のデータを必要とせず、大気環境濃度の測定値の変動に着目して解析を行う方法である。

¹⁴ 飯島明宏：大気モデルー第5講 レセプターモデルー，大気環境学会誌，46(4)，A53-A60（2011）

本検討会における解析に当たっては、PM_{2.5}成分分析を実施した日本全国の測定局のうち、158測定局及び2.1.3（1）の東京都環境科学研究所における成分分析結果を使用した¹⁵。

CMB解析とPMF解析の結果に共通してみられた傾向は、以下のとおりであった（図2-19から図2-23）。

夏季では、ほかの季節と比べて硫酸アンモニウム（(NH₄)₂SO₄）の寄与割合が大きくなり、SO_xからの二次生成による影響が考えられる（図2-21）。大気環境中におけるSO_x（SO₂等）は、光化学反応により酸化され硫酸（H₂SO₄）となり、NH₃と反応することで硫酸アンモニウム（(NH₄)₂SO₄）が生成されたと考えられる。

また、夏季では、重油燃焼の寄与が大きくなる傾向があった（図2-21）。シミュレーションモデルによる発生源寄与解析でも、大規模固定煙源や船舶の発生源寄与割合が夏季において大きくなったように、重油燃焼は一般的に大規模固定煙源や船舶等の起源が考えられ、シミュレーションモデルによる解析と同様の傾向であることが確認された。

冬季では、ほかの季節と比べて硝酸アンモニウム（NH₄NO₃）の寄与割合が大きくなり、NO_xからの二次生成の影響が考えられる（図2-23）。大気環境中におけるNO_xは、大気中で酸化され硝酸（HNO₃）となり、NH₃と反応することで硝酸アンモニウム（NH₄NO₃）が生成されたと考えられる。

春季では、ほかの季節と比べて道路・地殻の寄与割合が大きくなり、黄砂等の影響も考えられる（図2-20）。

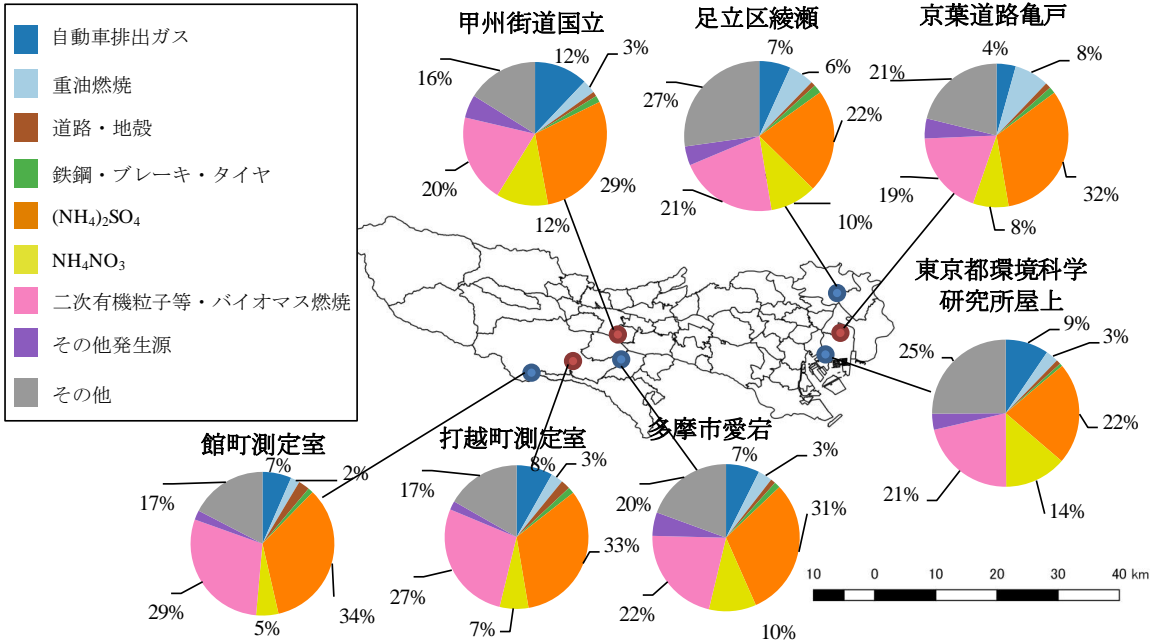
二次有機粒子等は、各季節において一般環境大気環境測定局及び自動車排出ガス測定局ともに、PM_{2.5}質量濃度の約2割から3割を占めていた。また、二次生成粒子（二次有機粒子等、硫酸アンモニウム（(NH₄)₂SO₄）、硝酸アンモニウム（NH₄NO₃）等）の寄与割合は、約6割から7割を占めており、PM_{2.5}の一次粒子よりも全体の割合が大きいことから、二次生成物質の原因物質であるNO_xやSO_x、VOCを含む有機物から生成するPM_{2.5}の影響が大きいと考えられる。

シミュレーションモデルを用いた発生源寄与割合では、関東域における排出源の寄与割合の大きい上位にアンモニア発生源、大規模固定煙源、自動車が確認された。各発生源から排出されるNH₃（アンモニア発生源）、NO_x（大規模固定煙源、自動車）、SO_x（大規模固定煙源）は、大気中で反応し硫酸アンモニウム（(NH₄)₂SO₄）や硝酸アンモニウム（NH₄NO₃）が生成されると考えられ、レセプターモデルでは、分類される発生源と二次生成粒子が区分され、発生源には関東以外からの寄与も含まれる等のシミュレーションモデルとの違いはあるものの、発生源寄与割合はおおむね同様の傾向を示したと考えられる。

¹⁵ CMB解析に当たっては、EPAが公開しているEPA CMB8.2を用い、発生源プロファイルは、「東京都微小粒子状物質検討会報告書（東京都微小粒子状物質検討会、平成23年7月）」のプロファイル（土壌・道路粉じん、海塩、鉄鋼、重油燃焼、廃棄物焼却、自動車排出ガス、ブレーキ粉じん、植物質燃焼類（バイオマス燃焼））を使用した。二次粒子にも含まれる成分（アンモニウムイオン（NH₄⁺）、硫酸イオン（SO₄²⁻）、硝酸イオン（NO₃⁻）、OC）については、発生源プロファイルを基に各発生源を分配し、残りを各二次生成物質（(NH₄)₂SO₄、NH₄NO₃、NH₄HSO₄、二次有機粒子）に配分した。二次有機粒子については、観測値のOC濃度に各発生源の寄与として割り当てられたOC濃度を差し引いて1.7を乗じることで算出した。本手法により算出した二次有機粒子には、二次生成由来の有機粒子のほか、未把握の一次有機粒子が含まれることから、ここでは「二次有機粒子等」と表記した。

PMF解析では、EPAで公開されているEPA PMF 5.0を用い、適切な因子数として9因子（①石炭燃焼、②硫酸アンモニウム、③二次有機粒子・バイオマス燃焼、④道路・地殻、⑤硝酸アンモニウム・塩化物、⑥鉄鋼・ブレーキ・タイヤ、⑦自動車排出ガス、⑧重油燃焼、⑨海塩）を採用した。

2015年度 CMB 全季節平均



2015年度 PMF 全季節平均

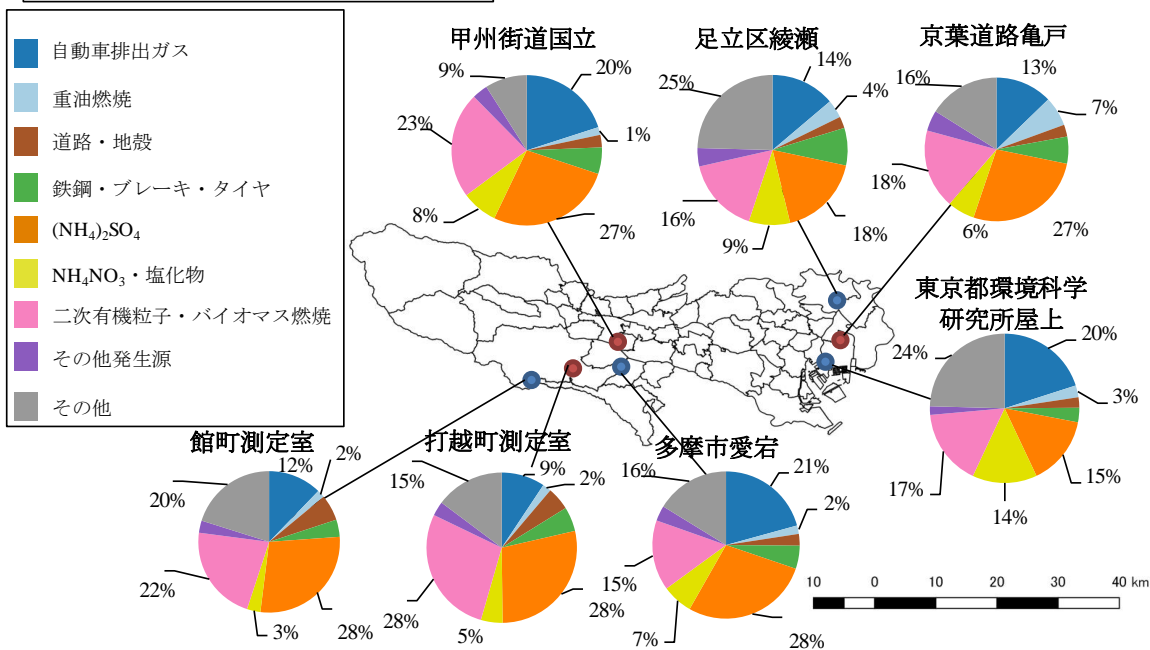


図 2-19 東京都におけるレセプターモデルを用いた発生源寄与割推計結果（2015 年度全季節平均）上図：CMB、下図：PMF

- ※ 発生源寄与割合は各調査地点の期間平均で算出した。
- ※ 青点は一般環境大気測定局、赤点は自動車排出ガス測定局を示す。東京都環境科学研究所は常時監視測定局ではないが、ここでは一般環境大気測定局として示した。
- ※ 発生源寄与割合の数値（%）は、自動車排出ガス、重油燃焼、(NH₄)₂SO₄、NH₄NO₃、二次有機粒子等・バイオマス燃焼、その他について示した。
- ※ CMB 解析や PMF 解析で分類されなかった濃度はその他とした。CMB 解析では、二次有機粒子等とバイオマス燃焼の発生源は個々に区別されたが、PMF 解析では両者の寄与が一つの因子に混在する結果となった。そこで、本図では、CMB 解析の結果についても二次有機粒子等とバイオマス燃焼の寄与を合算し、PMF 解析の結果との比較が容易になるように示した。また、寄与割合の小さい発生源（CMB：海塩、廃棄物焼却、NH₄HSO₄、PMF：石炭燃焼、海塩）は、その他発生源として示した。

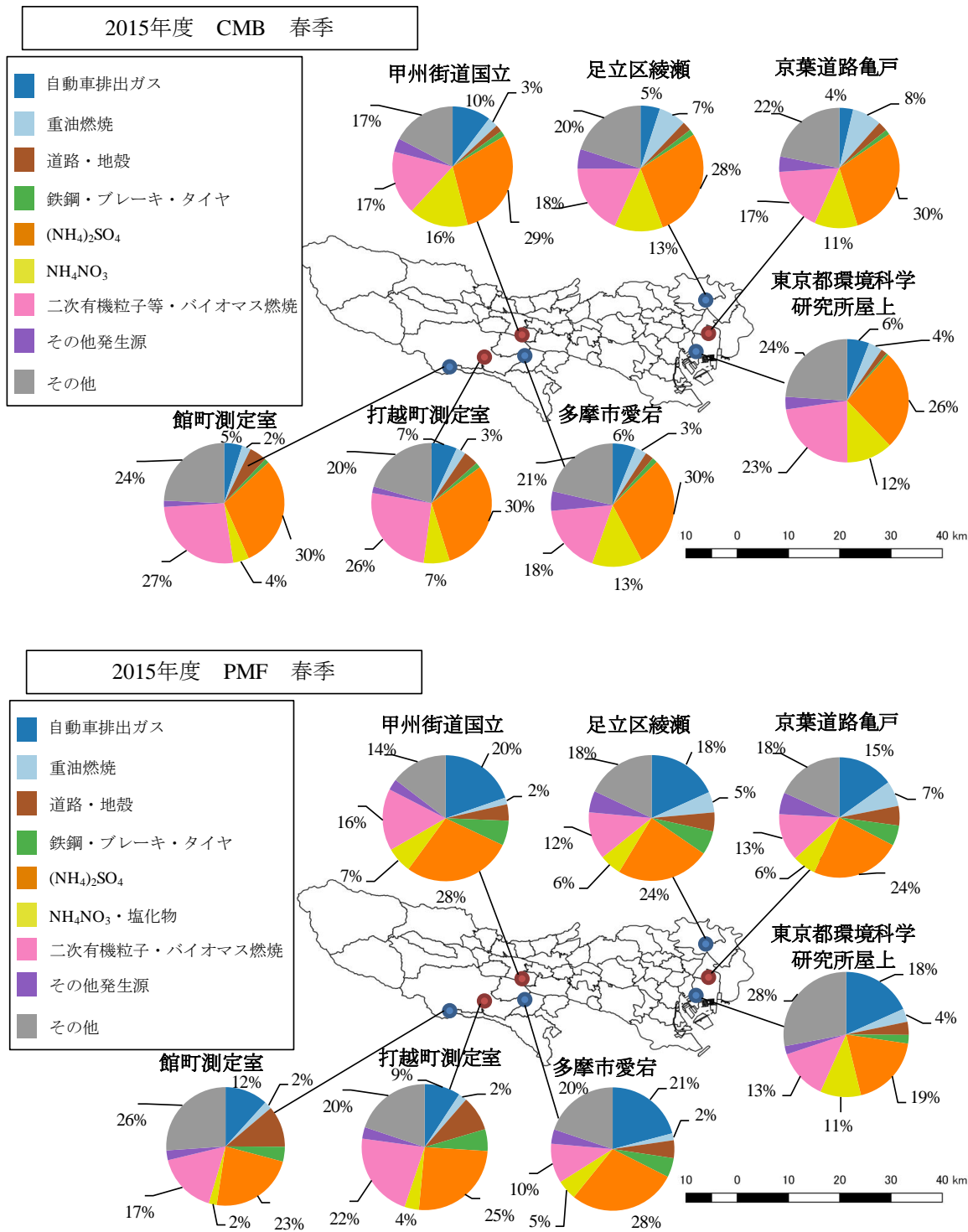


図 2-20 東京都におけるレセプターモデルを用いた発生源寄与割推計結果（2015 年度 春季）上図：CMB、下図：PMF

- ※ 発生源寄与割合は各調査地点の期間平均で算出した。
- ※ 青点は一般環境大気測定局、赤点は自動車排出ガス測定局を示す。東京都環境科学研究所は常時監視測定局ではないが、ここでは一般環境大気測定局として示した。
- ※ 発生源寄与割合の数値 (%) は、自動車排出ガス、重油燃焼、(NH₄)₂SO₄、NH₄NO₃、二次有機粒子等・バイオマス燃焼、その他について示した。
- ※ CMB 解析や PMF 解析で分類されなかった濃度はその他とした。CMB 解析では、二次有機粒子等とバイオマス燃焼の発生源は個々に区別されたが、PMF 解析では両者の寄与が一つの因子に混在する結果となった。そこで、本図では、CMB 解析の結果についても二次有機粒子等とバイオマス燃焼の寄与を合算し、PMF 解析の結果との比較が容易になるように示した。また、寄与割合の小さい発生源 (CMB：海塩、廃棄物焼却、NH₄HSO₄、PMF：石炭燃焼、海塩) は、その他発生源として示した。

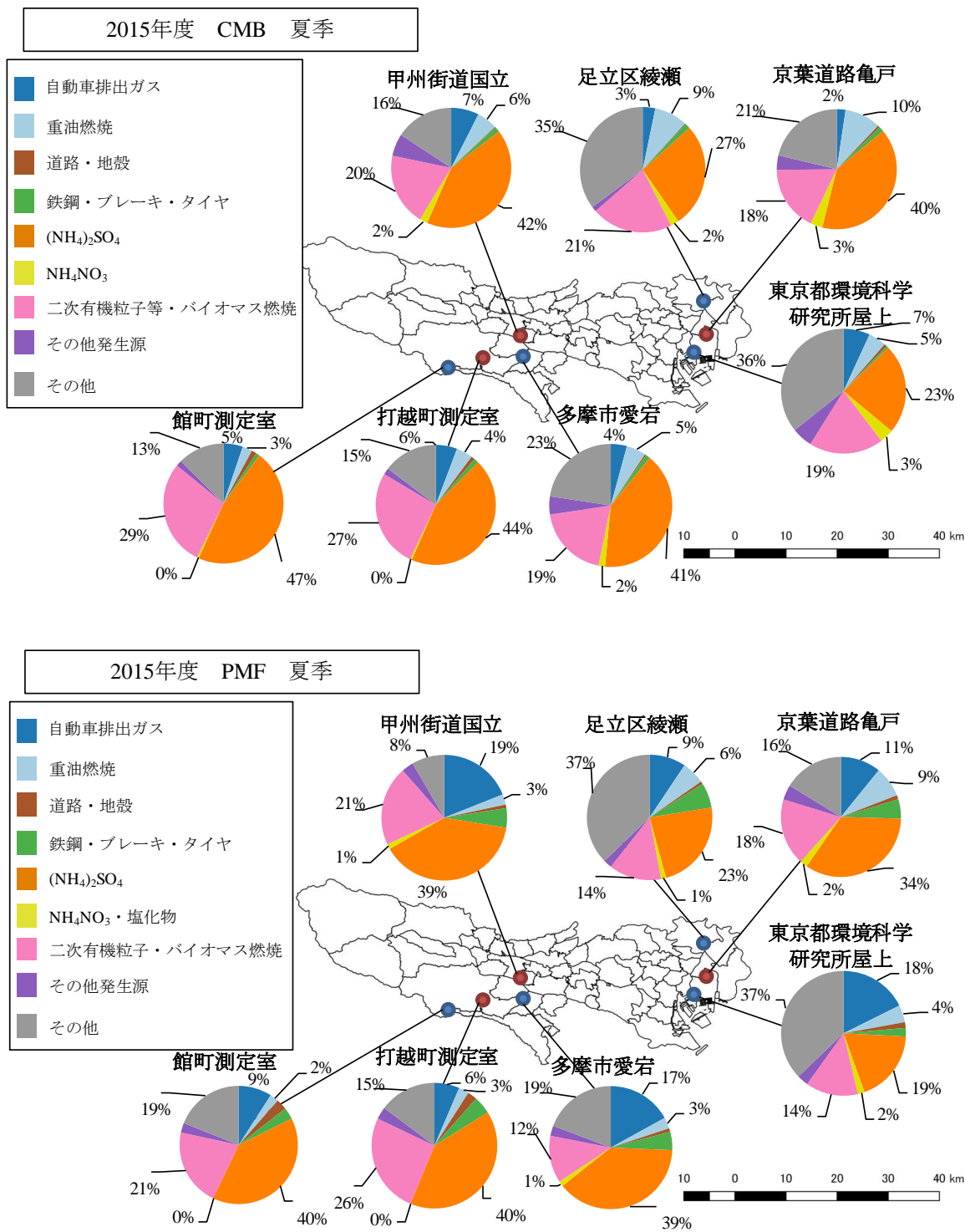


図 2-21 東京都におけるレセプターモデルを用いた発生源寄与割推計結果（2015 年度夏季）上図：CMB、下図：PMF

- ※ 発生源寄与割合は各調査地点の期間平均で算出した。
- ※ 青点は一般環境大気測定局、赤点は自動車排出ガス測定局を示す。東京都環境科学研究所は常時監視測定局ではないが、ここでは一般環境大気測定局として示した。
- ※ 発生源寄与割合の数値（%）は、自動車排出ガス、重油燃焼、(NH₄)₂SO₄、NH₄NO₃、二次有機粒子等・バイオマス燃焼、その他について示した。
- ※ CMB 解析や PMF 解析で分類されなかった濃度はその他とした。CMB 解析では、二次有機粒子等とバイオマス燃焼の発生源は個々に区別されたが、PMF 解析では両者の寄与が一つの因子に混在する結果となった。そこで、本図では、CMB 解析の結果についても二次有機粒子等とバイオマス燃焼の寄与を合算し、PMF 解析の結果との比較が容易になるように示した。また、寄与割合の小さい発生源（CMB：海塩、廃棄物焼却、NH₄HSO₄、PMF：石炭燃焼、海塩）は、その他発生源として示した。

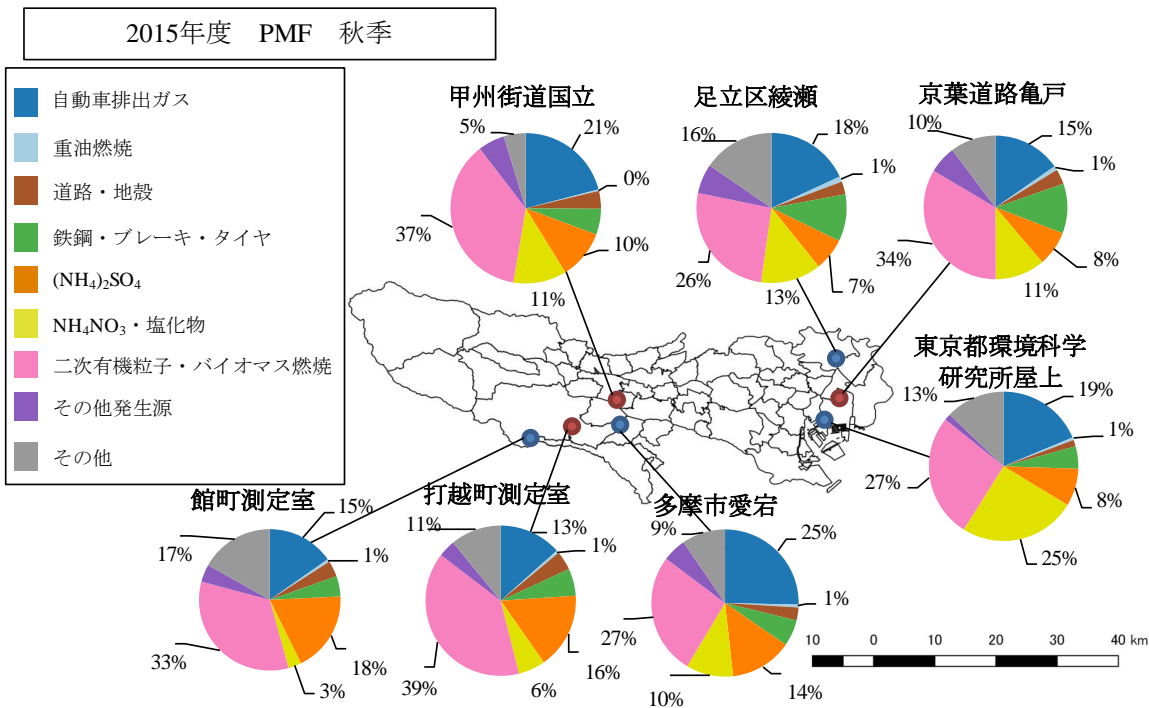
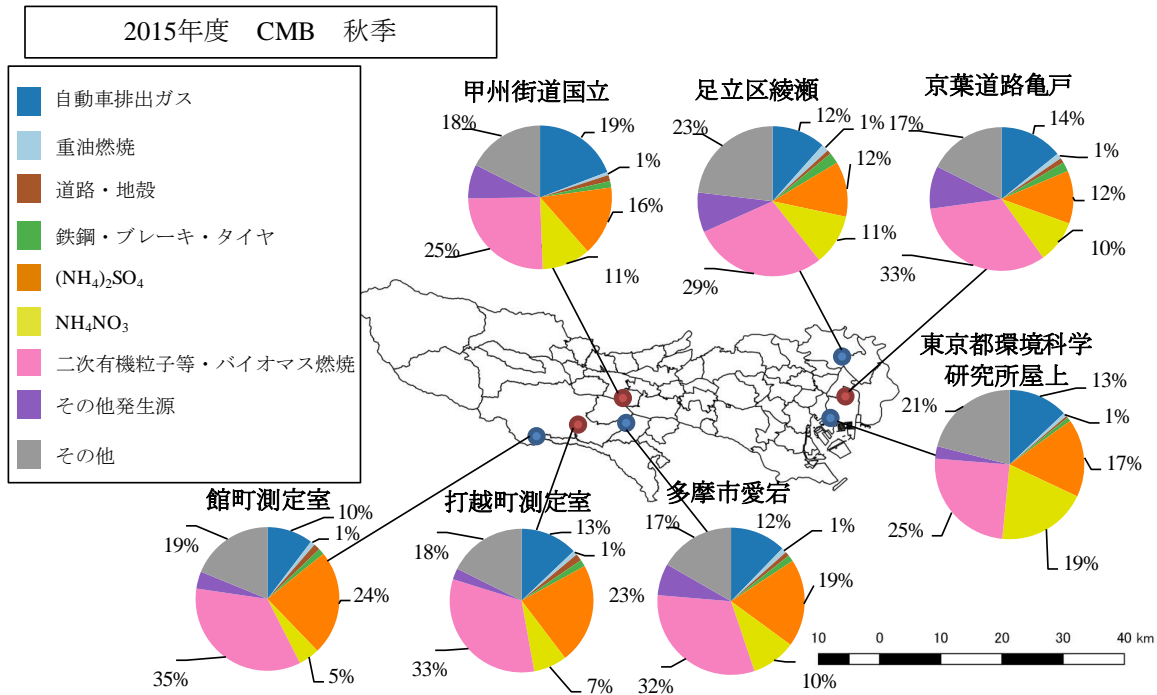


図 2-22 東京都におけるレセプターモデルを用いた発生源寄与割推計結果（2015 年度秋季）上図：CMB、下図：PMF

- ※ 発生源寄与割合は各調査地点の期間平均で算出した。
- ※ 青点は一般環境大気測定局、赤点は自動車排出ガス測定局を示す。東京都環境科学研究所は常時監視測定局ではないが、ここでは一般環境大気測定局として示した。
- ※ 発生源寄与割合の数値（%）は、自動車排出ガス、重油燃焼、(NH₄)₂SO₄、NH₄NO₃、二次有機粒子等・バイオマス燃焼、その他について示した。
- ※ CMB 解析や PMF 解析で分類されなかった濃度はその他とした。CMB 解析では、二次有機粒子等とバイオマス燃焼の発生源は個々に区別されたが、PMF 解析では両者の寄与が一つの因子に混在する結果となった。そこで、本図では、CMB 解析の結果についても二次有機粒子等とバイオマス燃焼の寄与を合算し、PMF 解析の結果との比較が容易になるように示した。また、寄与割合の小さい発生源（CMB：海塩、廃棄物焼却、NH₄HSO₄、PMF：石炭燃焼、海塩）は、その他発生源として示した。

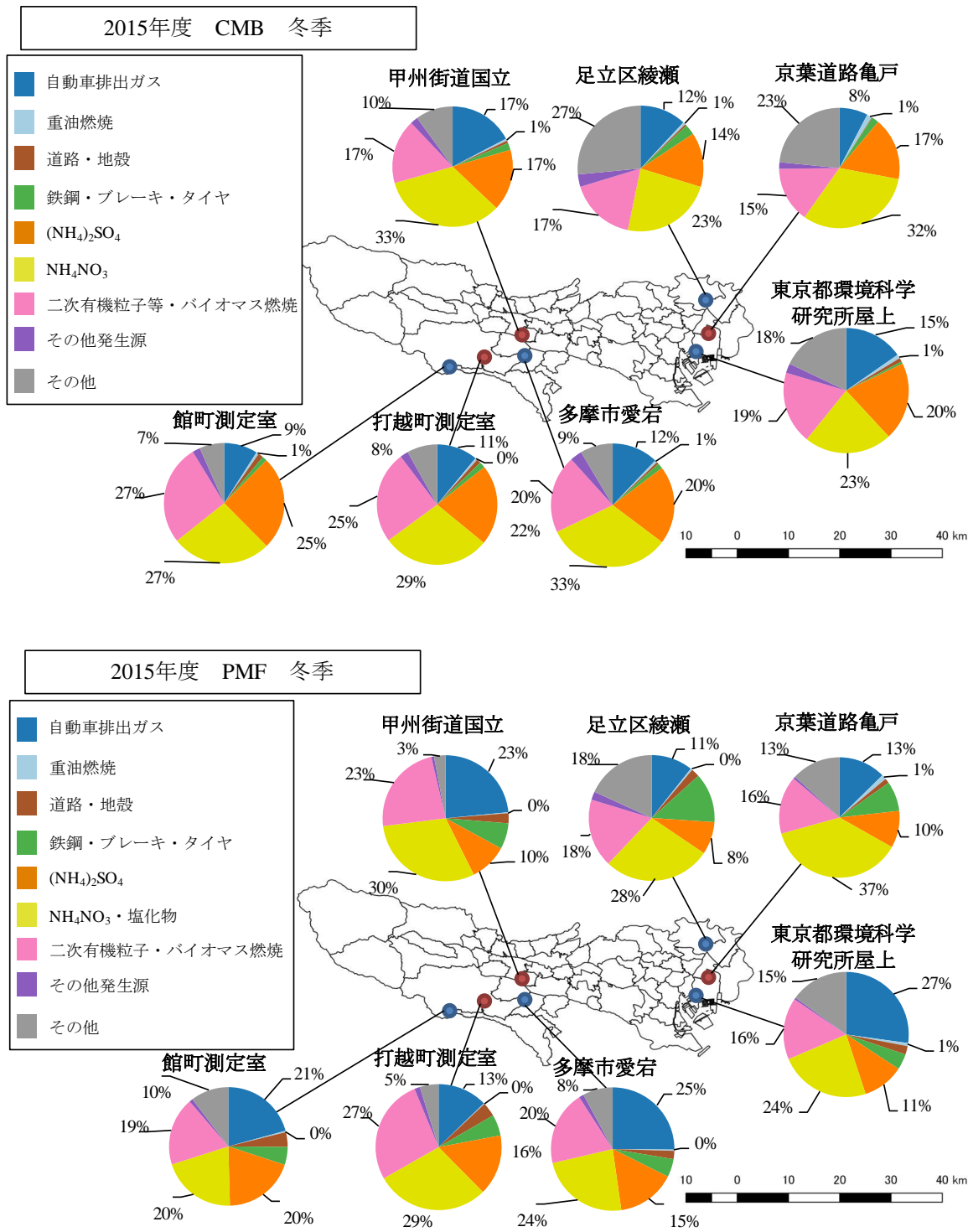


図 2-23 東京都におけるレセプターモデルを用いた発生源寄与割推計結果（2015 年度 冬季）上図：CMB、下図：PMF

- ※ 発生源寄与割合は各調査地点の期間平均で算出した。
- ※ 青点は一般環境大気測定局、赤点は自動車排出ガス測定局を示す。東京都環境科学研究所は常時監視測定局ではないが、ここでは一般環境大気測定局として示した。
- ※ 発生源寄与割合の数値 (%) は、自動車排出ガス、重油燃焼、(NH₄)₂SO₄、NH₄NO₃、二次有機粒子等・バイオマス燃焼、その他について示した。
- ※ CMB 解析や PMF 解析で分類されなかった濃度はその他とした。CMB 解析では、二次有機粒子等とバイオマス燃焼の発生源は個々に区別されたが、PMF 解析では両者の寄与が一つの因子に混在する結果となった。そこで、本図では、CMB 解析の結果についても二次有機粒子等とバイオマス燃焼の寄与を合算し、PMF 解析の結果との比較が容易になるように示した。また、寄与割合の小さい発生源（CMB：海塩、廃棄物焼却、NH₄HSO₄、PMF：石炭燃焼、海塩）は、その他発生源として示した。

2.1.4 広域的な影響

シミュレーションモデルを用いた解析では、東京都における発生源寄与割合推計のほかに、関東域の他県における発生源寄与割合推計による影響解析も可能である。そこで、広域的な影響を考察するため、関東域の他県における発生源寄与割合推計を実施した（図 2-24 から図 2-26）。

PM_{2.5} 濃度に影響が大きい発生源として、自動車、大規模固定煙源、アンモニア発生源が挙げられた。

関東全域で見ると、関東域内全体の排出による寄与割合は、PM_{2.5} 質量濃度全体の 5 割程度と推定された。国内発生源の寄与割合は日本の国内の東側に行くほど大きくなるとの報告があり¹⁶、関東域内においては、PM_{2.5} が高濃度となるような事象では、関東域内の地域汚染の影響も大きいと考えられる。

関東以外の発生源寄与割合は、PM_{2.5} 全体の 5 割程度と推定され、越境汚染を含む関東外からの移流の影響が考えられる。ここで定義している関東以外とは、国外からの越境汚染、関東以外の国内地域からの排出、全球規模のバックグラウンド濃度を含めていることに留意する必要がある。

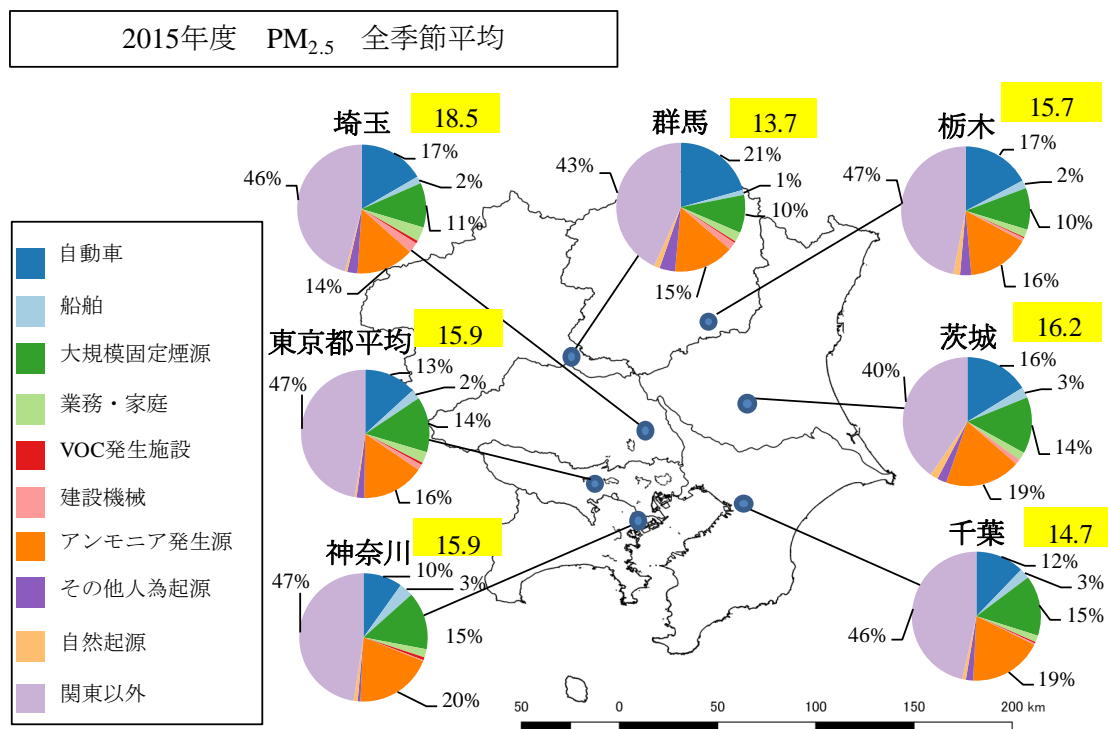


図 2-24 関東地域における PM_{2.5} 発生源寄与割合推計結果 (2015 年度 全季節平均)

- ※ 解析対象期間の期間平均。各発生源は、東京都と関東 6 県の寄与割合を合計した関東全域 (1 都 6 県) で示した。
- ※ 東京都平均は、東京都で実施した成分分析地点である足立区綾瀬と多摩市愛宕の平均を示し、関東 6 県は、神奈川 (磯子区総合庁舎)、埼玉 (大宮測定局)、千葉 (千城台北小学校)、群馬 (衛生環境研究所)、栃木 (真岡市役所)、茨城 (土浦保健所) を示す。
- ※ 黄枠の数値は、各地点における PM_{2.5} 質量濃度のシミュレーションモデルによる計算値を示す (単位: μg/m³)。
- ※ PM_{2.5} 発生源寄与割合の数値 (%) は、自動車、船舶、大規模固定煙源、アンモニア発生源、関東以外について示した。

¹⁶ 中央環境審議会大気・騒音振動部会微小粒子状物質等専門委員会：微小粒子状物質の国内における排出抑制策の在り方について 中間取りまとめ, (2015)

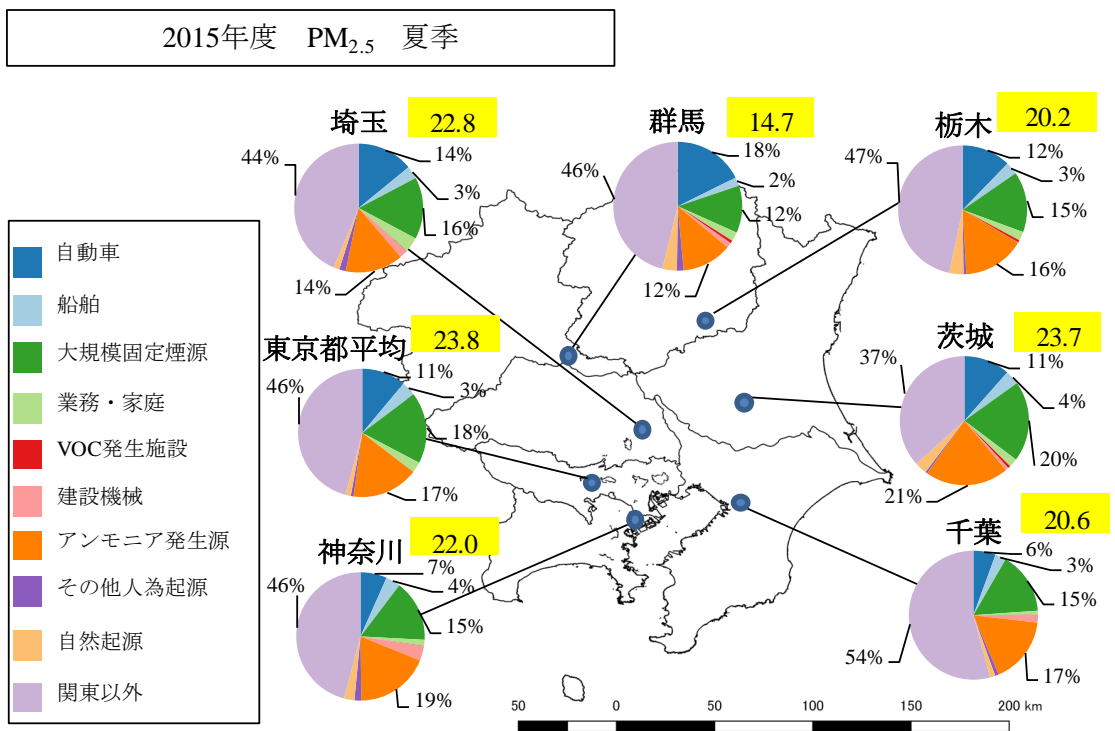
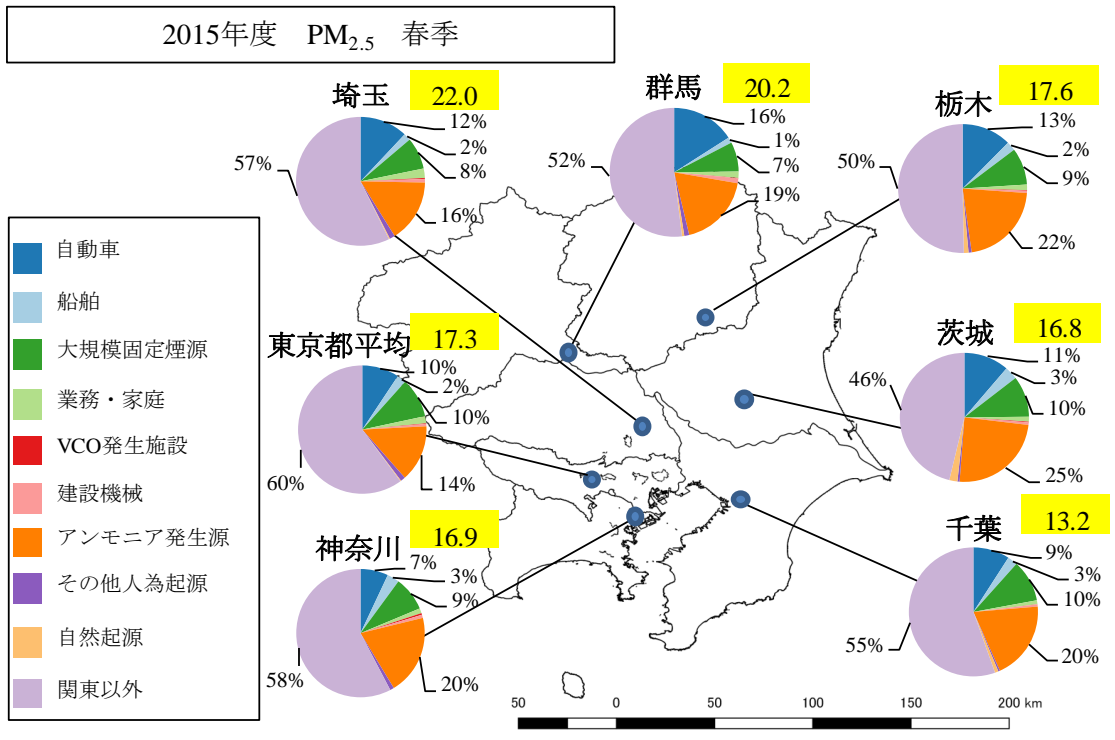
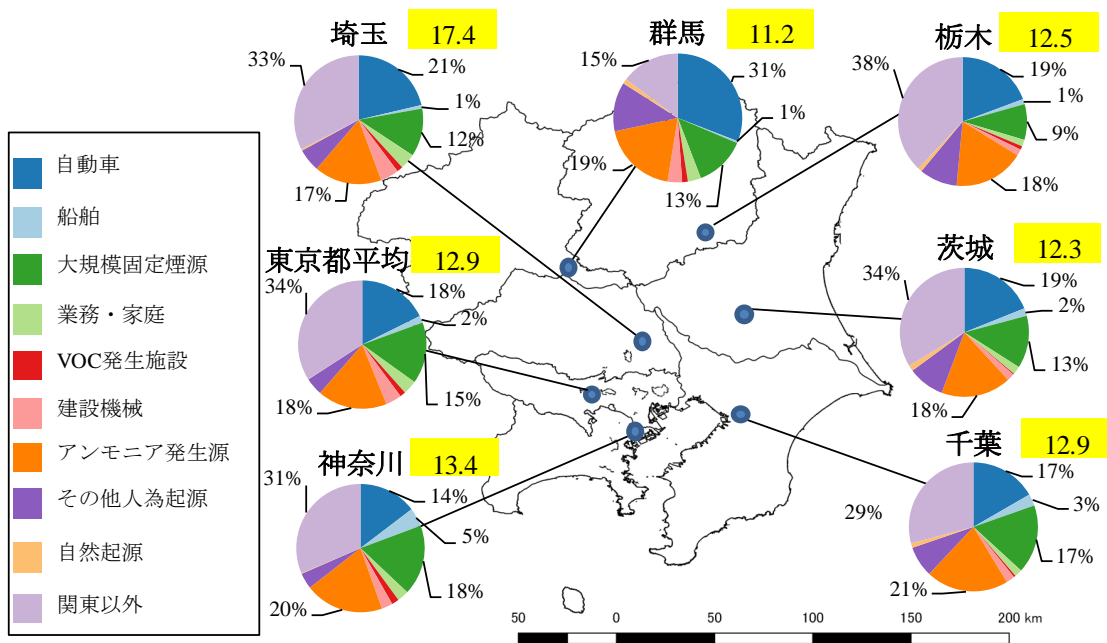


図 2-25 関東地域における PM_{2.5} 発生源寄与割合推計結果 (2015 年度) 上図：春季、下図：夏季

- ※ 各季節の期間平均。各発生源は、東京都と関東 6 県の寄与割合を合計した関東全域 (1 都 6 県) で示した。
- ※ 東京都平均は、東京都で実施した成分分析地点である足立区綾瀬と多摩市愛宕の平均を示し、関東 6 県は、神奈川 (磯子区総合庁舎)、埼玉 (大宮測定局)、千葉 (千城台北小学校)、群馬 (衛生環境研究所)、栃木 (真岡市役所)、茨城 (土浦保健所) を示す。
- ※ 黄枠の数値は、各地点における PM_{2.5} 質量濃度のシミュレーションモデルによる計算値を示す (単位: μg/m³)。
- ※ PM_{2.5} 発生源寄与割合の数値 (%) は、自動車、船舶、大規模固定煙源、アンモニア発生源、関東以外について示した。

2015年度 PM_{2.5} 秋季



2015年度 PM_{2.5} 冬季

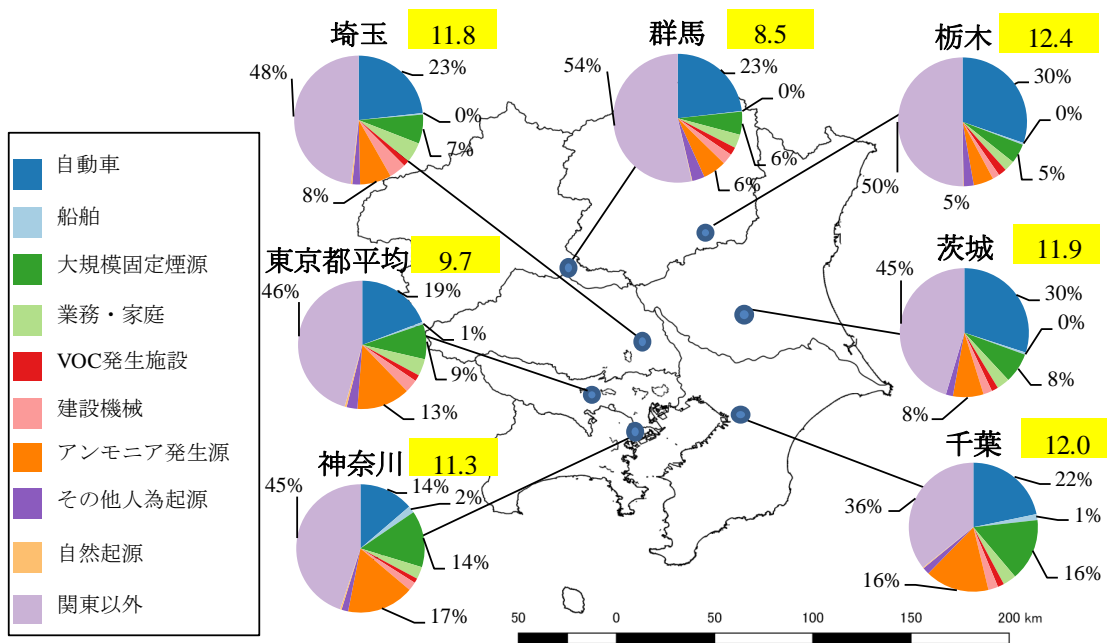


図 2-26 関東地域における PM_{2.5} 発生源寄与割合推計結果 (2015 年度) 上図 : 秋季、下図 : 冬季

- ※ 各季節の期間平均。各発生源は、東京都と関東 6 県の寄与割合を合計した関東全域 (1 都 6 県) で示した。
- ※ 東京都平均は、東京都で実施した成分分析地点である足立区綾瀬と多摩市愛宕の平均を示し、関東 6 県は、神奈川 (磯子区総合庁舎)、埼玉 (大宮測定局)、千葉 (千城台北小学校)、群馬 (衛生環境研究所)、栃木 (真岡市役所)、茨城 (土浦保健所) を示す。
- ※ 黄枠の数値は、各地点における PM_{2.5} 質量濃度のシミュレーションモデルによる計算値を示す (単位 : μg/m³)。
- ※ PM_{2.5} 発生源寄与割合の数値 (%) は、自動車、船舶、大規模固定煙源、アンモニア発生源、関東以外について示した。

2.2 都内における光化学オキシダントの現況

2.2.1 経年変化（2001年度から2017年度まで）

光化学オキシダントの高濃度現象については、次の3つの観点から整理する必要がある。

① 従来型の光化学オキシダント汚染の問題

大都市圏を中心に、基本的に1日単位で起きる局所的な高濃度光化学オキシダントの生成により、濃度が上昇したもの

② 年平均濃度の上昇の問題

アジア域又は全球的に起きているバックグラウンド濃度の上昇を主に反映したもの

③ 大陸からの越境汚染の問題

春季に観測される、広範囲にわたり光化学オキシダント濃度が上昇したもの

東京都は、光化学オキシダントについて、「2020年までに、光化学スモッグ注意報の発令日数をゼロにする。」「2030年までに、全ての測定局における光化学オキシダント濃度を0.07 ppm以下とする（年間4番目に高い日最高8時間値の3年平均）。」という目標を掲げている。

光化学スモッグ注意報は、光化学オキシダント濃度の1時間値が0.12 ppm以上になり、気象条件から、その状態が継続すると認められる場合に発令される。東京都内において、光化学オキシダント濃度が0.12 ppm以上になった延べ日数は減少している。0.12 ppm以上になった延べ日数の2015～2017年度の3年移動平均は118日であり、2001～2003年度比で68%減少した（図 2-27）。

1時間値が0.12 ppm以上になった日が減少しているのと同様に、年間4番目に高い日最高8時間値の3年移動平均も低下傾向にあり、2001～2003年度の0.11 ppmから2015～2017年度の3年移動平均では、0.09 ppmとなった（図 2-28、図 2-29）。

また、全国の光化学オキシダント濃度を集計した結果でも、光化学スモッグ注意報発令レベルの超過割合が多い地域である国内4地域（関東地域、東海地域、阪神地域、福岡・山口地域）において、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2006年付近から、高濃度域における光化学オキシダント濃度は低減傾向にあり、注意報等の発令日数も改善傾向にあることが示されている¹⁷。

これまでの光化学オキシダント対策は、年間4番目に高い日最高8時間値の低減にも効果があると考えられる。

¹⁷ 環境省：中央環境審議会微小粒子状物質等専門委員会（第8回）（平成30年3月28日），（2018）

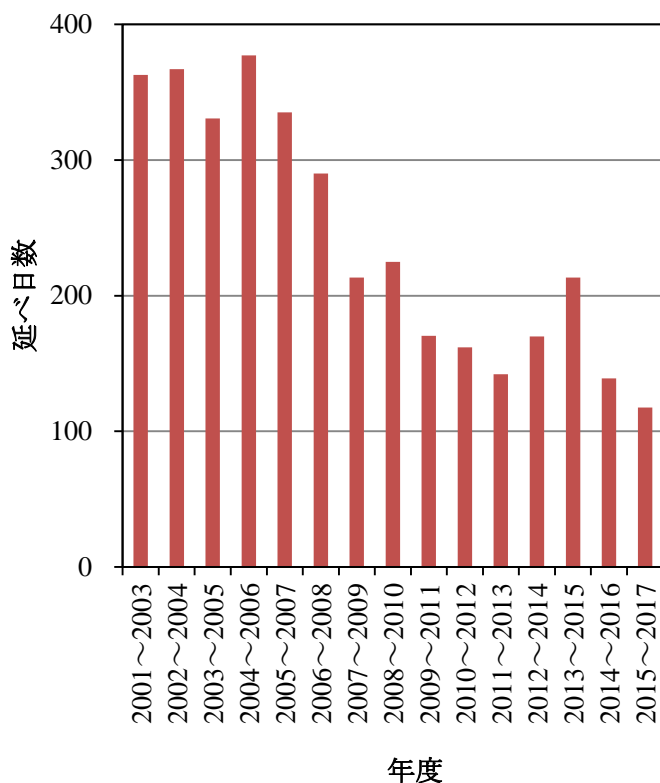


図 2-27 光化学オキシダント濃度が 0.12 ppm 以上であった延べ日数の 3 年移動平均の推移

※ 光化学オキシダント濃度を測定している一般環境大気測定局ごとに 1 時間値が 0.12 ppm 以上になった日を計上し、全測定局（41 局）分を年度ごとに合計した。

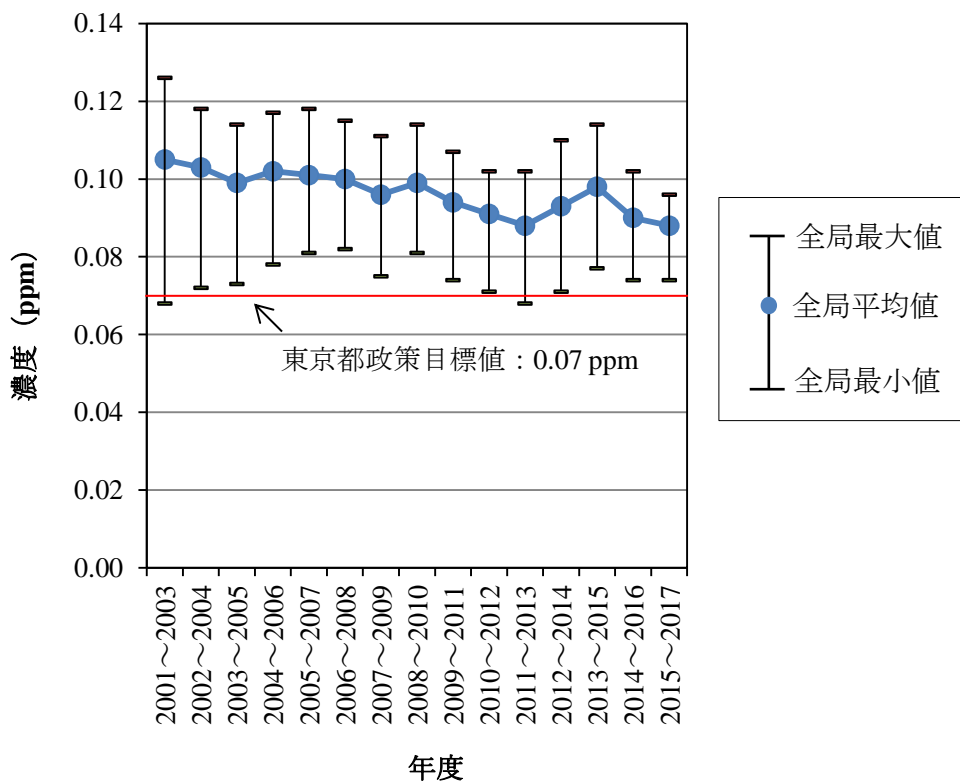


図 2-28 光化学オキシダント濃度の年間 4 番目に高い日最高 8 時間値の 3 年移動平均の推移

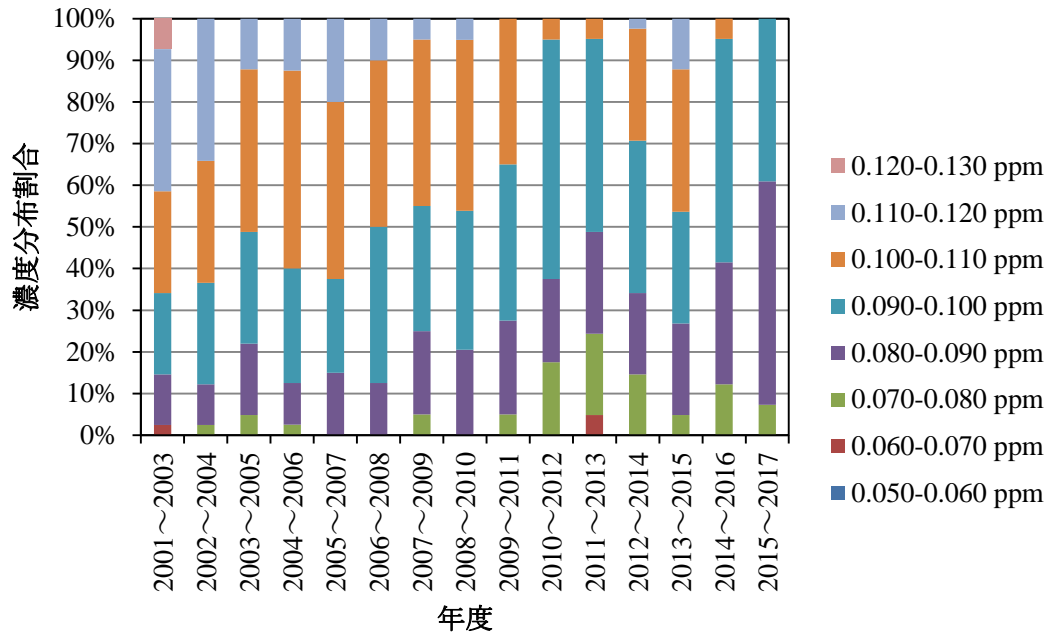


図 2-29 一般環境大気測定局における年間4番目に高い日最高8時間値の3年移動平均の濃度分布割合の推移

2.2.2 月別の状況

光化学オキシダントは光化学反応により生成されるため、光化学スモッグ注意報が発令されるのは、夏季（7月から9月）¹⁸が多い（図 2-30）。

一方、日最高8時間値が0.070 ppmを超過する日は、春季（4月から6月）と夏季が多い（図 2-31）。2008年度から2017年度において、日最高8時間値が0.070 ppmを超過した日は、春季は平均26.9日、夏季は平均26.2日であり、春季も夏季と同じくらい超過日がある。

夏季の日最高8時間値が0.070 ppmを超過する日数を低減させるためには、これまでの夏季を中心とした光化学オキシダント対策が有効であると考えられる。

しかし、春季にも日最高8時間値が0.070 ppmを超過している日があることから、これまでの夏季を中心とした対策だけでは不十分であると考えられる。また、春季の光化学オキシダントについては、関東地域においても大陸からの越境汚染を含む関東地域外からの流入影響が報告されており¹⁹、それらの影響も考慮する必要がある。

¹⁸ 年度ごとに集計し考察を行ったため、季節を以下のように区分し整理した。

春季：4～6月、夏季：7～9月、秋季：10～12月、冬季：1～3月

¹⁹ 環境省：光化学オキシダント調査検討会 報告書（平成29年3月），（2017）

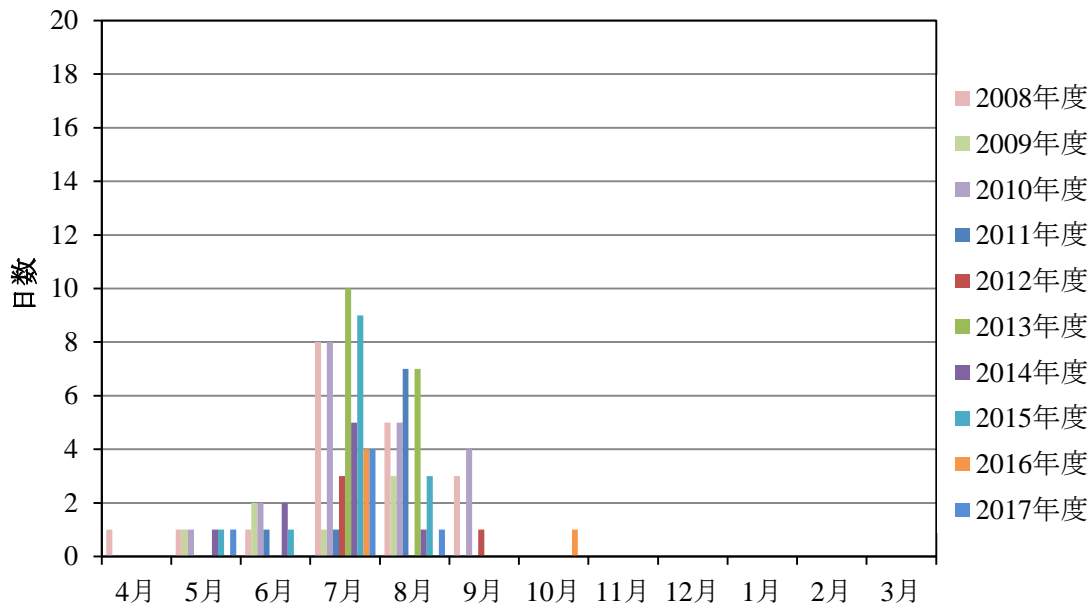


図 2-30 光化学スモッグ注意報発令日数 (東京都：2008年度から2017年度)

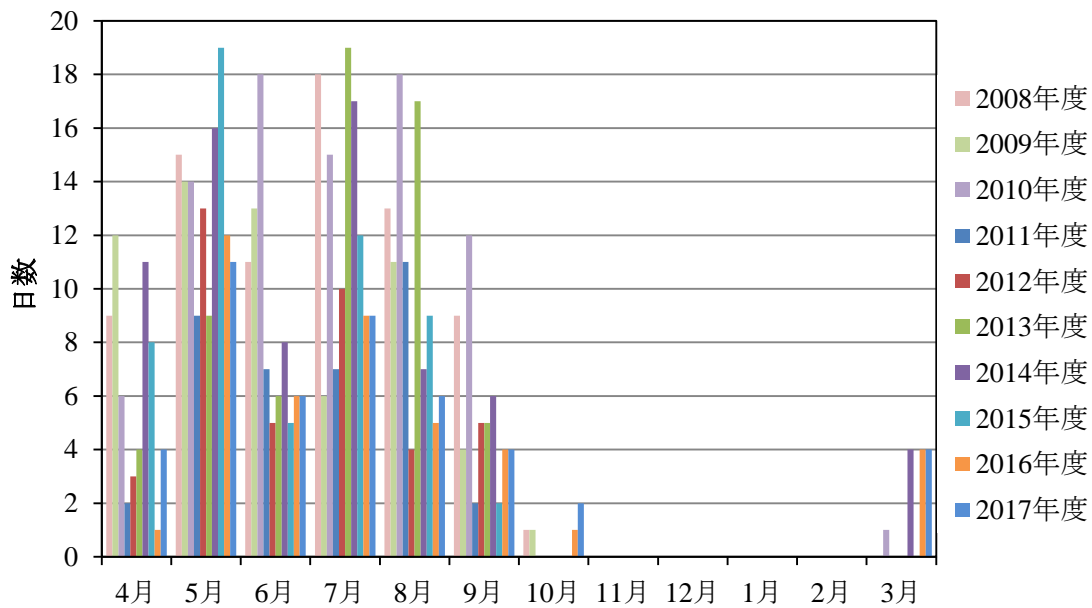


図 2-31 日最高8時間値が0.070 ppmを超過した日数 (東京都：2008年度から2017年度)

※ 都内一般環境大気測定局のうち1局でも光化学オキシダント日最高8時間値が0.070 ppmを超過した日を超過日として計上した。

2.2.3 季節的な特徴

(1) 暖候期における光化学オキシダントの日内変動

季節的な特徴を考察するため、暖候期（4～9月）における光化学オキシダントの日内変動を図 2-32 に示した。春季、夏季ともに、光化学オキシダント濃度は早朝から 14～15 時まで上昇し、その後、翌日の明け方にかけて下降することが確認された。

光化学オキシダント濃度の日内変動の最小値は、夏季よりも春季が高い（図 2-33）。

日内変動の最小値の違いはあるものの、春季、夏季ともに日中に光化学オキシダント濃度が上昇するため、局所的に存在する原因物質が光化学反応により光化学オキシダントを生成すると考えられる。

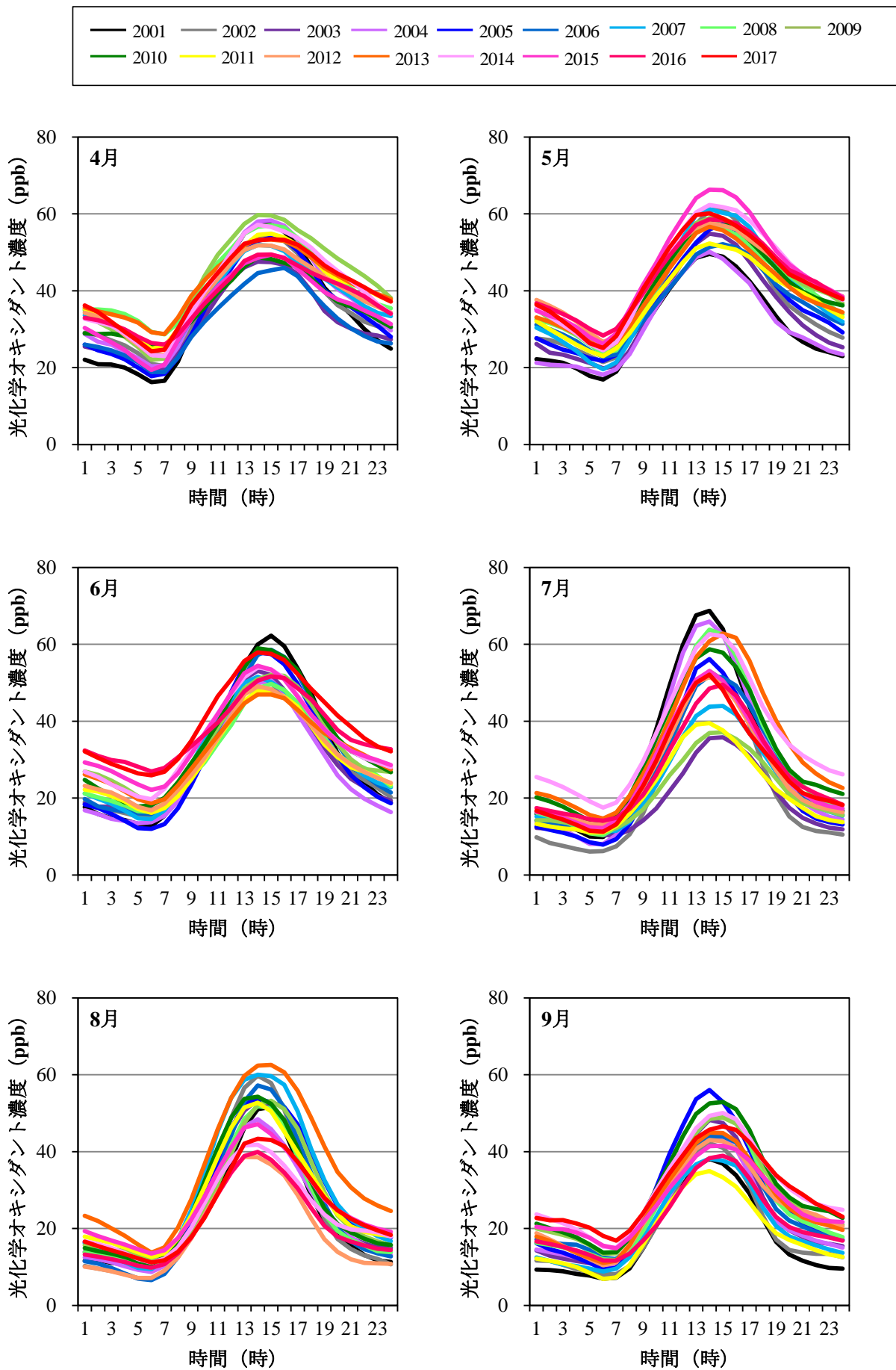


図 2-32 暖候期（4～9月）における光化学オキシダント濃度の日内変動

※ 都内の各一般環境大気測定局の1時間ごとの濃度を月単位で平均し、都内測定局の平均値を算出した。

また、暖候期において光化学オキシダントの日内変動の最小値や夜間濃度（21～24 時）の経年変化は、どの月も上昇傾向にあった（図 2-33、図 2-34）。

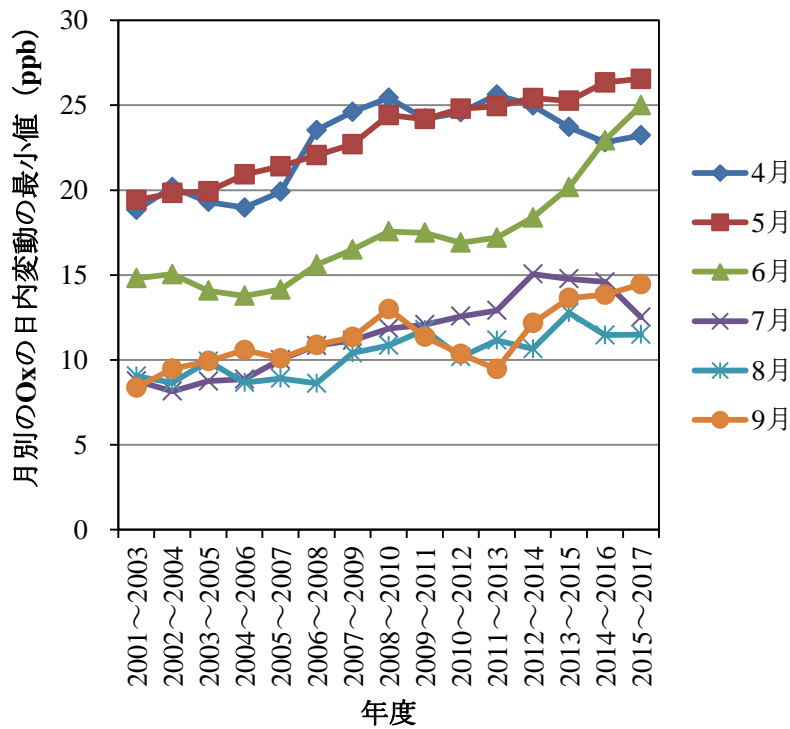


図 2-33 暖候期における月別の光化学オキシダント濃度の日内変動の最小値の3年移動平均の推移

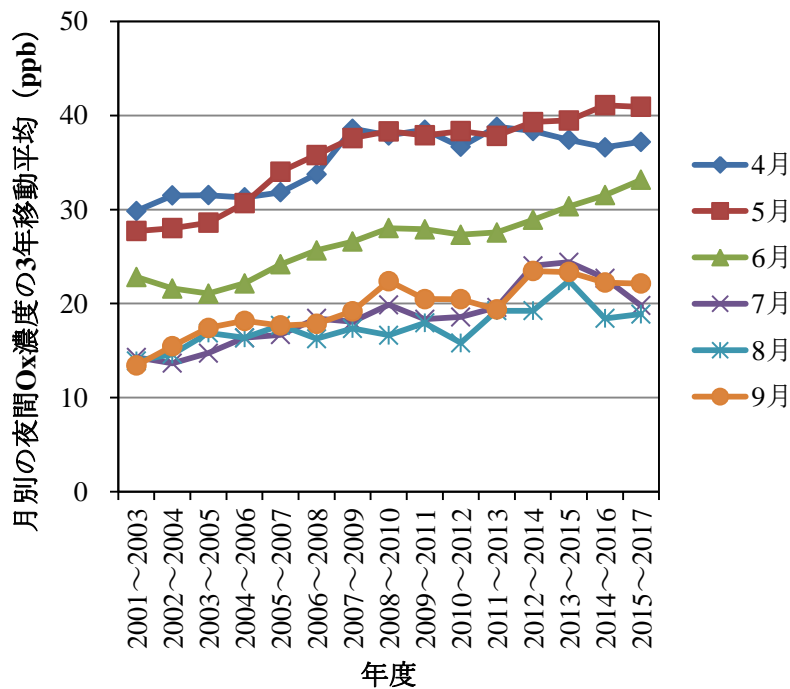


図 2-34 暖候期における月別の夜間光化学オキシダント濃度の3年移動平均の推移

※ 各局の日内変動を求め、都内測定局の平均値を算出した。
 ※ 夜間は21時から24時とした。

一方、暖候期のNO_x、NOの夜間濃度の経年変化は、どの月も下降傾向にあった(図 2-35、図 2-36)。また、ポテンシャルオゾン PO の夜間濃度の経年変化は、光化学オキシダントのような上昇傾向は確認されなかった(図 2-35)²⁰。

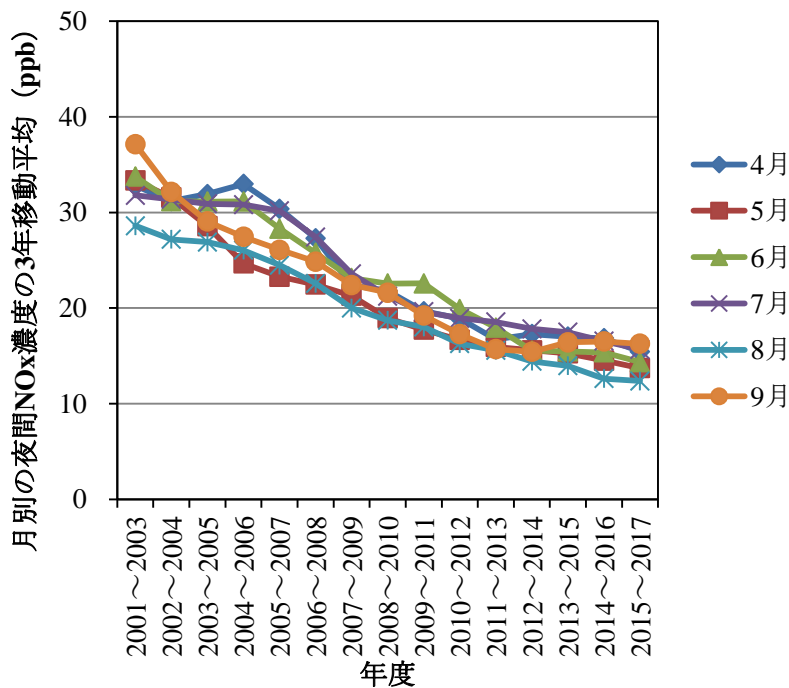


図 2-35 暖候期における月別の夜間 NO_x 濃度の 3 年移動平均の推移

- ※ 各局の日内変動を求め、都内測定局の平均値を算出した。
- ※ 夜間は 21 時から 24 時とした。

²⁰ ポテンシャルオゾン PO

NO が存在しない場合の実質的なオゾン濃度。NO によるタイトレーション反応の影響を除外して、実質的オゾンに対する光化学オキシダント対策効果の有無を検討するために用いる。NO は、オゾン O₃ と反応して O₃ を減少させる (NO + O₃ → NO₂ + O₂)。O₃ の減少を打ち消すため、次式で定義されるが、α は日本で推定されてきた一般的な値である「0.1」を用いた。

$$PO = [O_3] + [NO_2] - \alpha \times [NO_x]$$

α : 一次排出 NO_x 中の NO₂ の比率

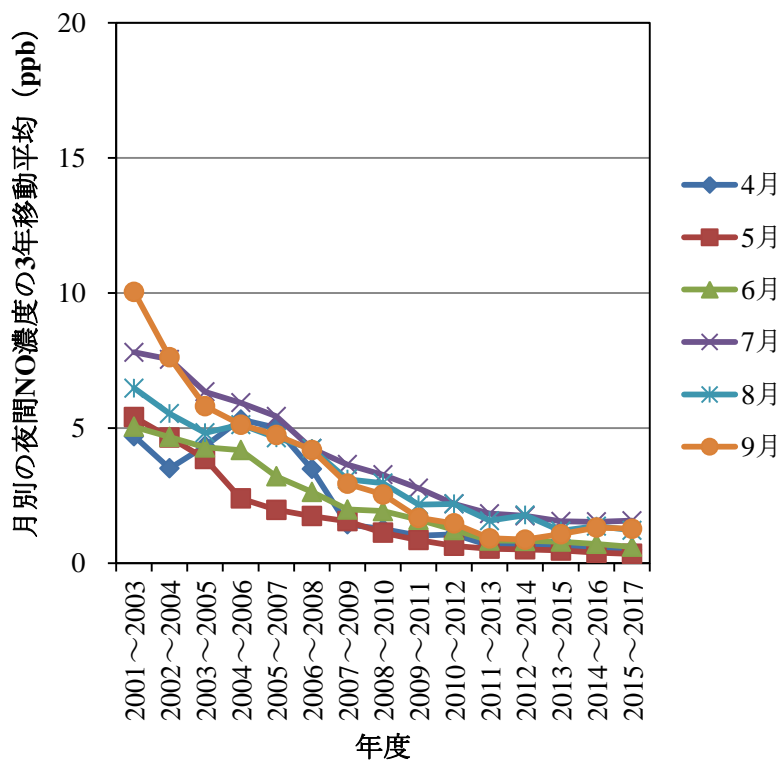


図 2-36 暖候期における月別の夜間 NO 濃度の 3 年移動平均の推移

※ 各局の日内変動を求め、都内測定局の平均値を算出した。

※ 夜間は 21 時から 24 時とした。

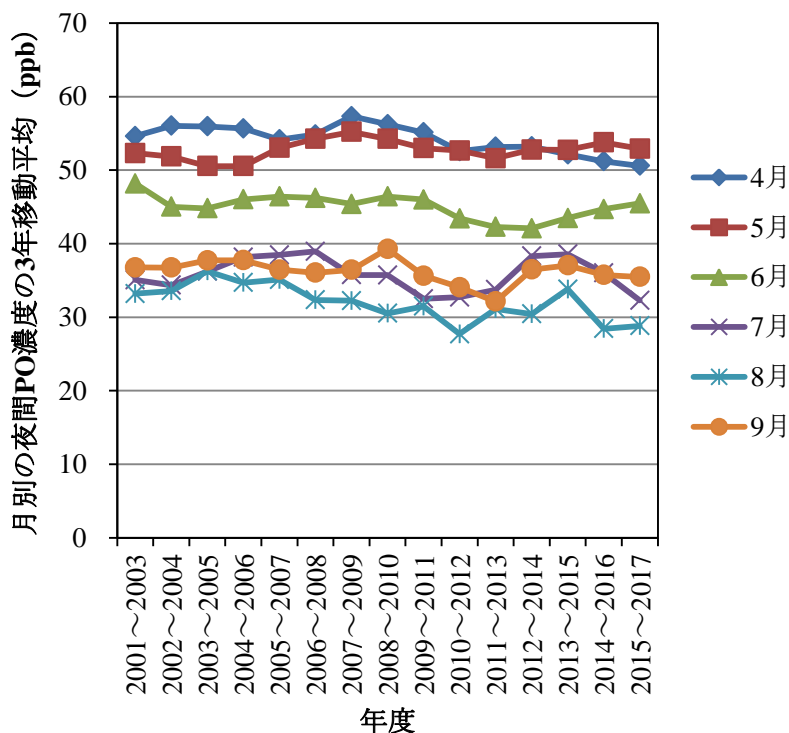


図 2-37 暖候期における月別の夜間ポテンシャルオゾン (PO) 濃度の 3 年移動平均の推移

※ 各局の日内変動を求め、都内測定局の平均値を算出した。

※ 夜間は 21 時から 24 時とした。

これらのことから、光化学オキシダントの夜間濃度の上昇は、NO タイトレーション効果（NO が光化学オキシダントと反応して NO₂ となり光化学オキシダントを減少させる効果）の低下が主な要因であると考えられ、これにより光化学オキシダントの日内変動の最小値も上昇したと考えられる。

しかし、日内変動の最小値や夜間濃度の上昇は、広域的なバックグラウンド濃度の上昇も原因の一つである可能性がある（2.2.4 広域的な影響（2）参照）。

(2) シミュレーションモデルを用いた発生源寄与解析

光化学オキシダントについて、2.1.3 (2) と同手法によるシミュレーションモデルを用いて解析を行い、光化学オキシダントの発生源寄与割合推計を実施した。ゼロアウト法を用いた発生源寄与解析の解析期間は、PM_{2.5}成分分析期間を含む春季及び夏季の1か月を対象期間とした(表 2-5)。なお、シミュレーションモデルの光化学オキシダント推計値は、100 ppb 以上のような高濃度日では、濃度ピークの傾向をおおむね再現できており、本検討会で構築したモデルは、補正等を実施しなくても光化学オキシダント濃度影響の考察に活用可能と考えられた(資料編2：シミュレーション解析調査参照)。

表 2-5 光化学オキシダントの発生源寄与解析対象期間

季節	発生源寄与解析の対象期間
春季	2015年5月1日から2015年5月31日
夏季	2015年7月11日から2015年8月10日

光化学オキシダント濃度は気象等の要因の影響を大きく受けることから、高濃度日の状況を考察することで、光化学オキシダント注意報発令相当の高濃度を低減するための対策に有益な情報を得ることができる。また、東京都の目標値の指標である年間4番目に高い日最高8時間値も光化学オキシダント注意報相当の高濃度日となることから、光化学オキシダント注意報や日最高8時間値の低減対策の検討に当たっては、光化学オキシダントの高濃度日の要因解析に着目する必要がある。シミュレーションモデルによって計算された光化学オキシダント濃度が100 ppbを超過した日を高濃度日とした。

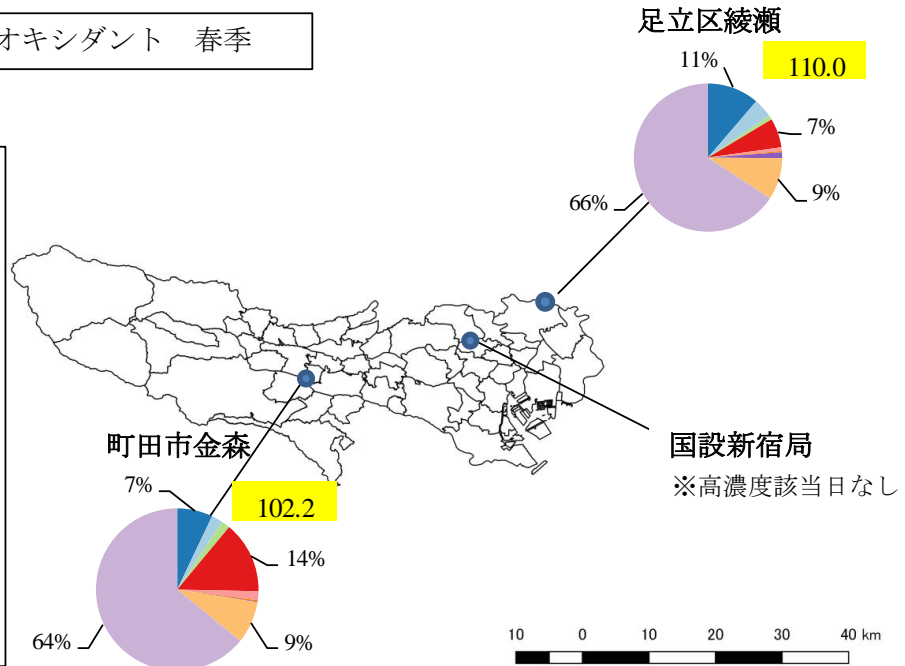
2015年度の高濃度日における光化学オキシダント濃度への影響が大きい発生源は、自動車、VOC発生施設(蒸発系固定発生源等)、自然起源が確認された(図 2-38)。

東京都における高濃度日の光化学オキシダントについて、関東域における人為起源の寄与割合は、春季で約3割、夏季で約5割を占めていた(図 2-38)。

春季では夏季と比べると、関東以外の寄与割合が大きい結果となった(図 2-38)。春季の光化学オキシダントについては、関東地域においても大陸からの越境汚染を含む関東地域外からの流入影響が報告されており、本結果でも春季では越境汚染を含む移流の影響が考えられる²¹。図で示す関東外には、国外からの越境汚染、関東以外の国内排出源からの排出、また、全球規模のバックグラウンド濃度が含まれていることに留意する必要がある。

²¹ 環境省：光化学オキシダント調査検討会 報告書(平成29年3月)，(2017)

2015年度 光化学オキシダント 春季



2015年度 光化学オキシダント 夏季

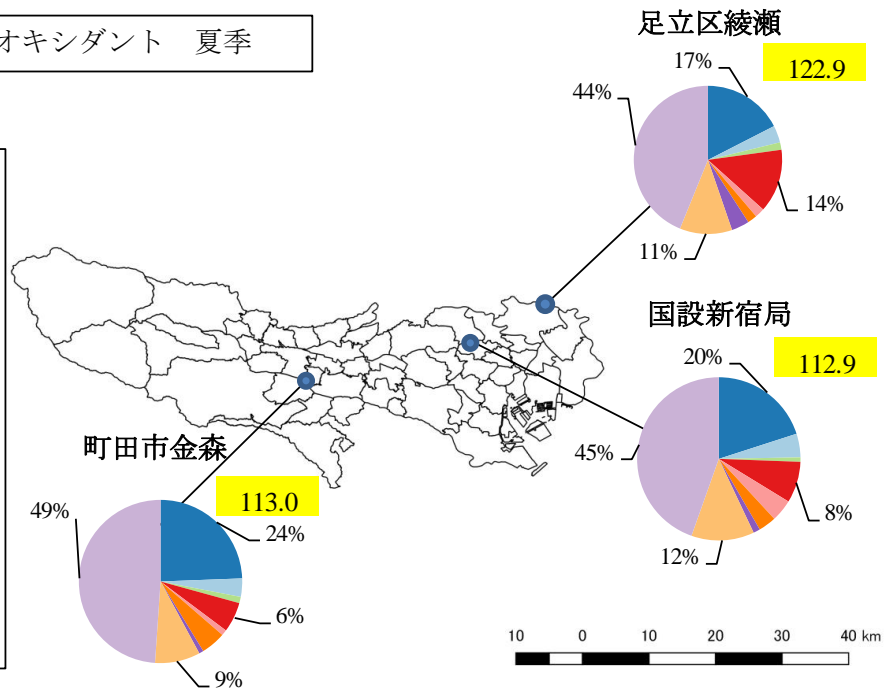


図 2-38 高濃度日における東京都内の発生源寄与割合推計結果(上図: 春季、下図: 夏季)

- ※ 各発生源は、東京都と関東 6 県の発生源寄与割合を合計した関東全域 (1 都 6 県) を示す。シミュレーションモデルの非線形による誤差は、各発生源に配分して算出した。
- ※ 日最高 1 時間値のシミュレーションモデルの計算値が 100 ppb を超過した日を高濃度日とした。春季において国設新宿局の発生源寄与割合が確認されないのは、100 ppb を超過した日なかったためである。
- ※ 黄枠の数値は、各地点の光化学オキシダント日最高 1 時間値のシミュレーションモデルによる計算値を示す (単位: ppb)。
- ※ 光化学オキシダントの発生源寄与割合の数値 (%) は、自動車、VOC 発生施設、自然起源、関東以外について示した。

2.2.4 広域的な影響

(1) シミュレーションモデルを用いた広域的な影響解析

光化学オキシダントは二次生成物質であり、PM_{2.5}と同様に広域的な影響を考察する必要がある。

関東域における人為起源の排出は、夏季で 50 ppb 程度の寄与となり、光化学オキシダント全体の 4 割から 5 割程度を占めていた (図 2-39)。

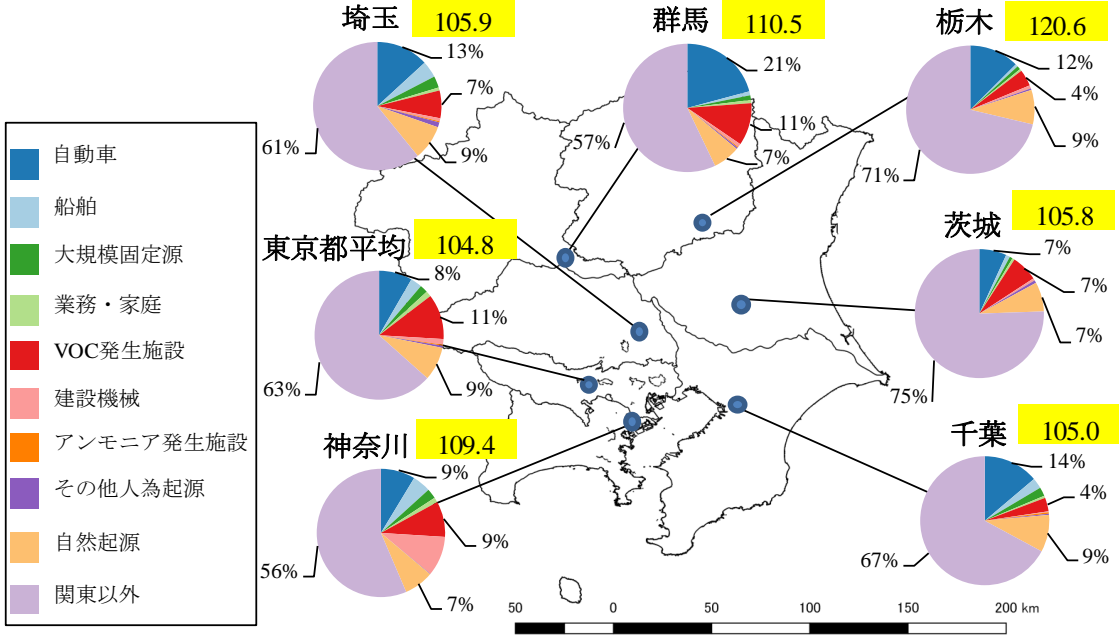
主な人為起源は、東京都と同様に、自動車、VOC 発生施設であった。

北関東では、自動車の寄与割合が南関東よりも大きかった一方、VOC 発生施設の寄与割合が南関東よりも小さい結果となった。

関東域におけるシミュレーションモデルの解析結果では、東京都から北に向かうにつれて、東京都内の発生源寄与割合が大きくなる傾向が確認された (図 2-40)。夏季においては、南風が卓越し、南関東で排出された大気汚染物質が内陸へと輸送される中で、光化学オキシダントの二次生成が進み、高濃度になったと考えられる。

関東域の人為起源の排出が関東域の 5 割程度を占めることから、広域的な対策による光化学オキシダントの濃度低減が求められる。

2015年度 光化学オキシダント 春季



2015年度 光化学オキシダント 夏季

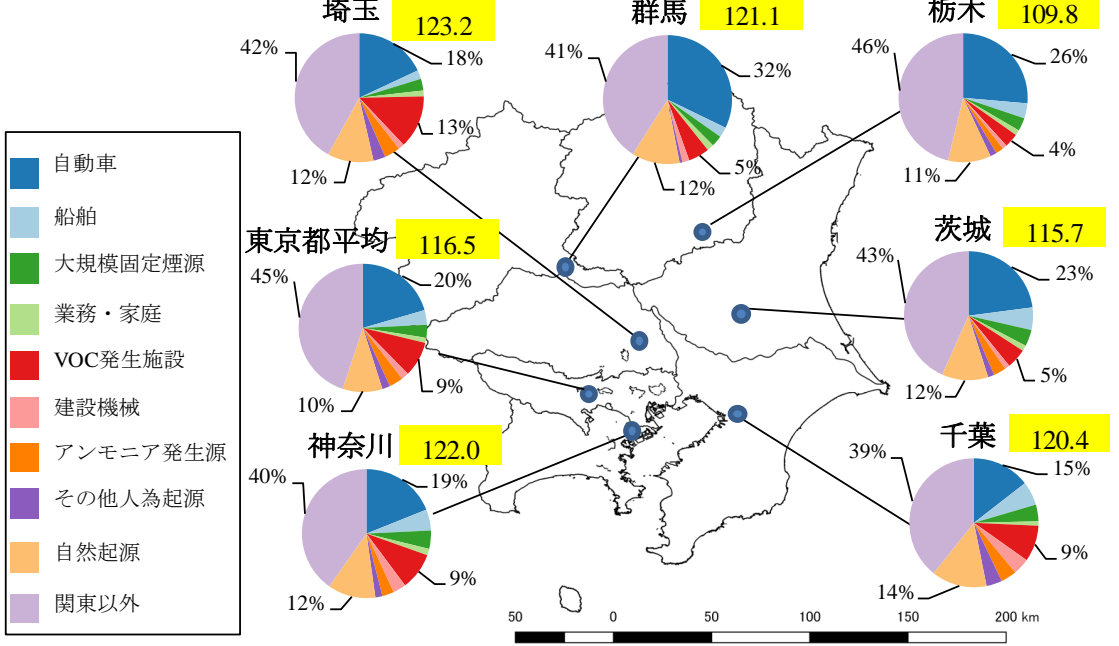


図 2-39 2015 年度の高濃度日における関東域の光化学オキシダント発生源寄与割合推計結果 (上図：春季、下図：夏季)

- ※ 各発生源は、東京都と関東 6 県の発生源寄与割合を合計した関東全域 (1 都 6 県) を示す。シミュレーションモデルの非線形性による誤差は、各発生源に配分して算出した。
- ※ 日最高 1 時間値のシミュレーションモデルの計算値が 100 ppb を超過した日を高濃度日とした。
- ※ 東京都平均は、足立区綾瀬、町田市金森、国設新宿局の高濃度日の平均値を算出した。関東 6 県は、神奈川 (国設川崎局)、埼玉 (さいたま市城南測定局)、千葉 (千城台北小学校)、群馬 (太田市立中央小学校)、栃木 (真岡市役所)、茨城 (土浦保健所) を示す。
- ※ 黄枠の数値は、各地点の光化学オキシダント日最高 1 時間値のシミュレーションモデルによる計算値を示す (単位: ppb)。
- ※ 発生源寄与割合の数値 (%) は、自動車、VOC 発生施設、自然起源、関東以外について示した。

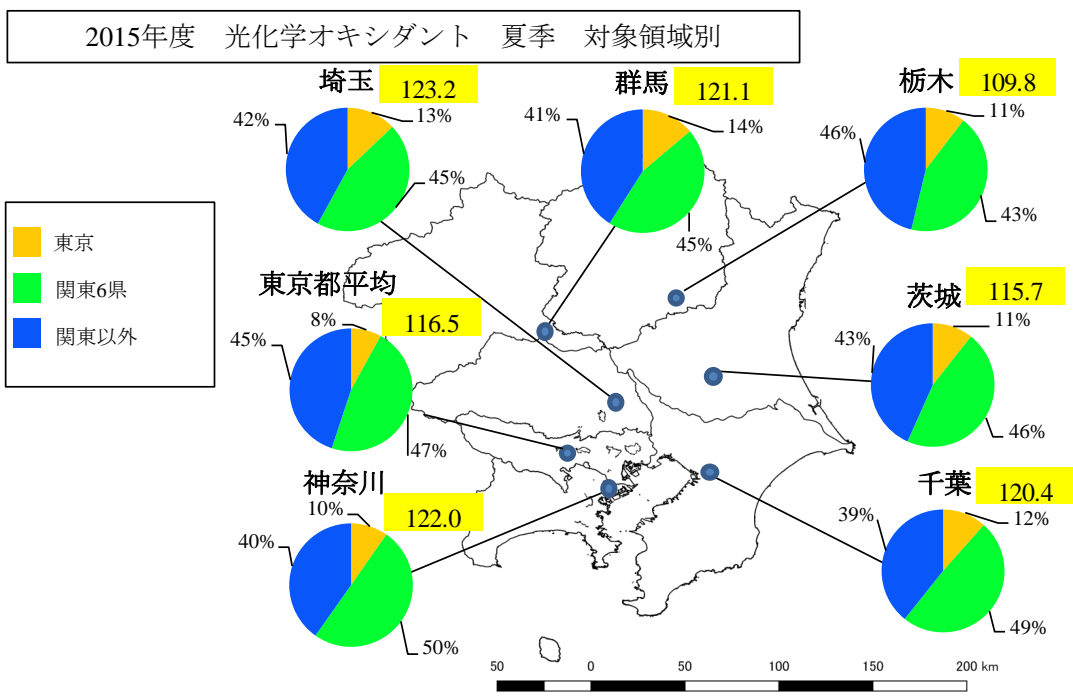
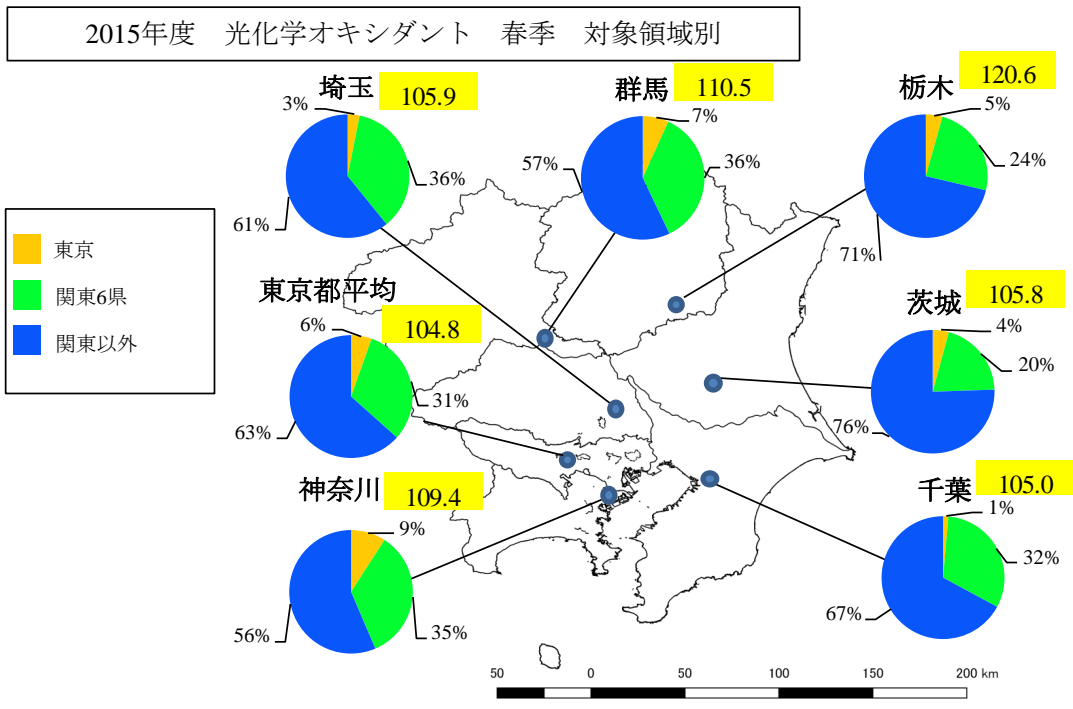


図 2-40 2015 年度の高濃度日における関東域の光化学オキシダント発生源寄与割合推計結果 (対象領域別) (上図：春季、下図：夏季)

- ※ ゼロアウト法を実施した対象領域別 (東京都、関東 6 県、関東以外) における各発生源の寄与割合の合計を「東京」、「関東 6 県」、「関東以外」として示す。シミュレーションモデルの非線形性による誤差は、各発生源に配分して算出した。
- ※ 日最高 1 時間値のシミュレーションモデルの計算値が 100 ppb を超過した日を高濃度日とした。
- ※ 東京都平均は、足立区綾瀬、町田市金森、国設新宿局の高濃度日の平均値を算出した。関東 6 県は、神奈川 (国設川崎局)、埼玉 (さいたま市城南測定局)、千葉 (千城台北小学校)、群馬 (太田市立中央小学校)、栃木 (真岡市役所)、茨城 (土浦保健所) を示す。
- ※ 黄枠の数値は、各地点の光化学オキシダント日最高 1 時間値のシミュレーションモデルによる計算値を示す (単位：ppb)。
- ※ 発生源寄与割合の数値 (%) は、自動車、VOC 発生施設、自然起源、関東以外について示した。

(2) 島しょ部等の大気環境データを用いたバックグラウンド濃度の考察

2.2.3 (1) で述べたように、日内変動の最小値や夜間濃度の上昇は、NO タイトレーション効果の低下が主な要因であると考えられるが、広域的なバックグラウンド濃度の上昇も原因である可能性がある。

そこで、都市域における日中の濃度上昇の影響を切り分け、広域的なバックグラウンド濃度の上昇の影響について考察するため、島しょ部等の大気環境データについて解析を実施した。



図 2-41 島しょ部等のデータ解析に用いた測定地点

※ 国土地理院の電子地形図（タイル）の淡色地図を基に作成した。

島しょ部等と東京都平均のポテンシャルオゾン (PO) は同程度の濃度であり、島しょ部等では光化学オキシダントとポテンシャルオゾン (PO) は同程度の濃度レベルであった (図 2-42、図 2-43)。島しょ部等には発生源がなく、NO_x 濃度が低濃度となるため、光化学オキシダントとポテンシャルオゾン (PO) は同程度となる一方、都市域では自動車や工場等からの排出により一定程度の NO_x が存在するため、NO のタイトレーション効果の影響により、ポテンシャルオゾン (PO) 濃度は光化学オキシダント濃度より高い傾向となると考えられる。

島しょ部等と都市域における光化学オキシダントを考察する場合、都市域の光化学オキシダント濃度は NO のタイトレーション効果により島しょ部等の光化学オキシダント濃度よりも低くなるため、島しょ部等では光化学オキシダント、都市域では NO が存在しない場合の実質的なオゾンであるポテンシャルオゾン (PO) で比較することが妥当である。

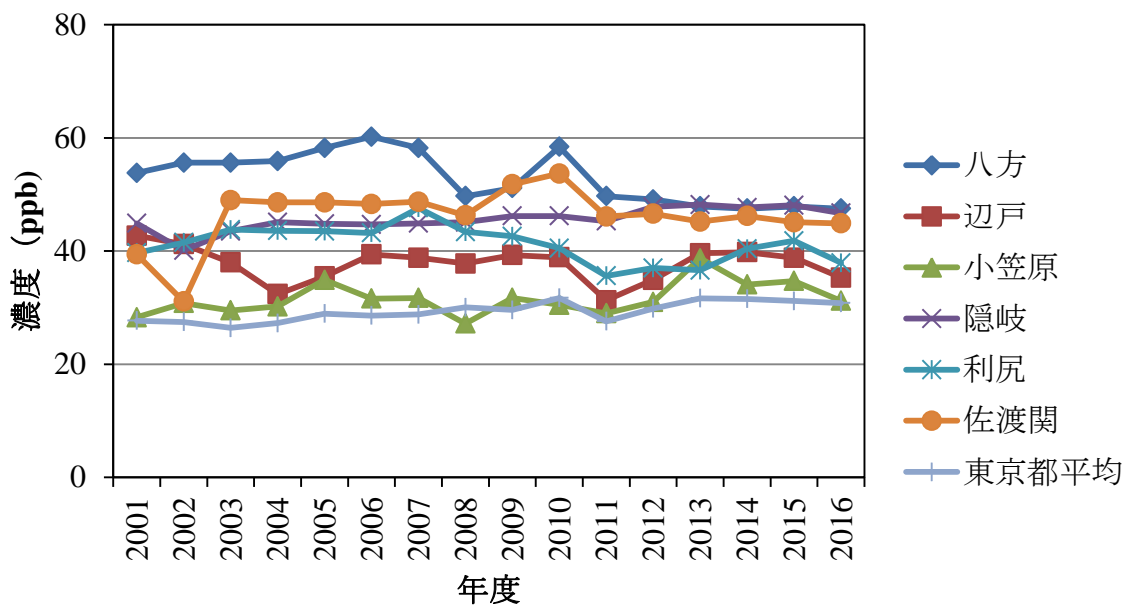


図 2-42 島しょ部等における光化学オキシダント年平均値（昼間 5-20 時）

※東京都平均は東京都内の一般環境大気測定局の平均値

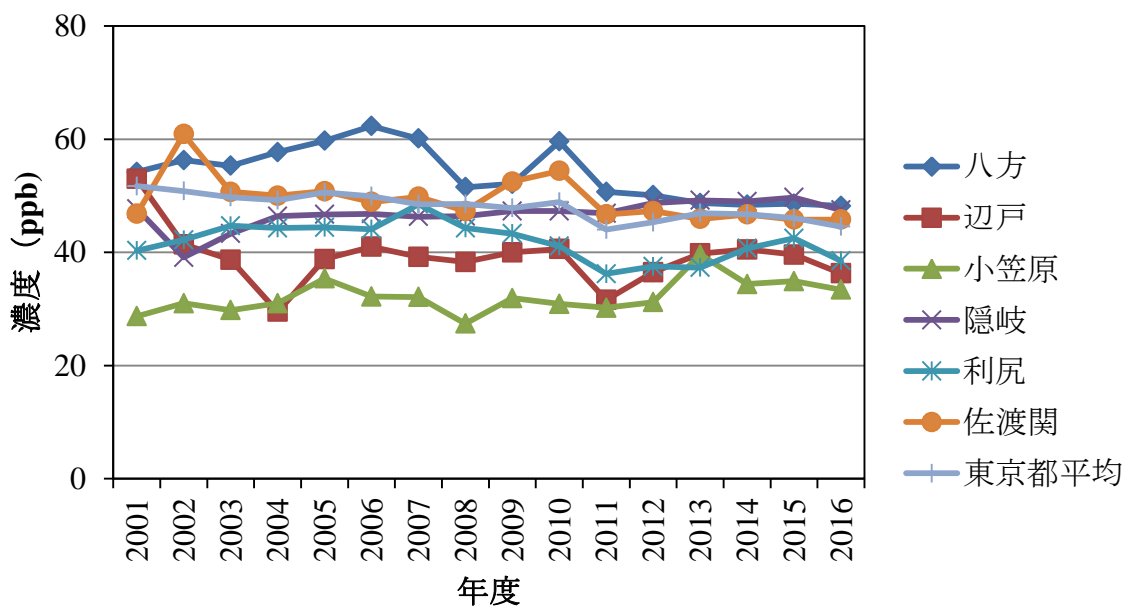


図 2-43 島しょ部等におけるポテンシャルオゾン（PO）年平均値（昼間 5-20 時）

※ 東京都平均は東京都内の一般環境大気測定局の平均値

また、東京都下の小笠原及び日本海に位置する隠岐における光化学オキシダント濃度の日内変動について図 2-44、図 2-45 に示す（その他地点における日内変動については資料編 1：大気環境中濃度データの解析（島しょ部等の大気環境データの解析）参照）。島しょ部では、東京都の日内変動でみられた「早朝から 14～15 時まで濃度が上昇し、翌日の明け方にかけて低下する」ような傾向はみられず、一定の濃度で推移する傾向が確認された（図 2-44、図 2-45）。島しょ部等では、都内と異なり発生源が存在しないため、局所的に存在する原因物質の光化学反応による光化学オキシダント生成はみられないと考えられる。

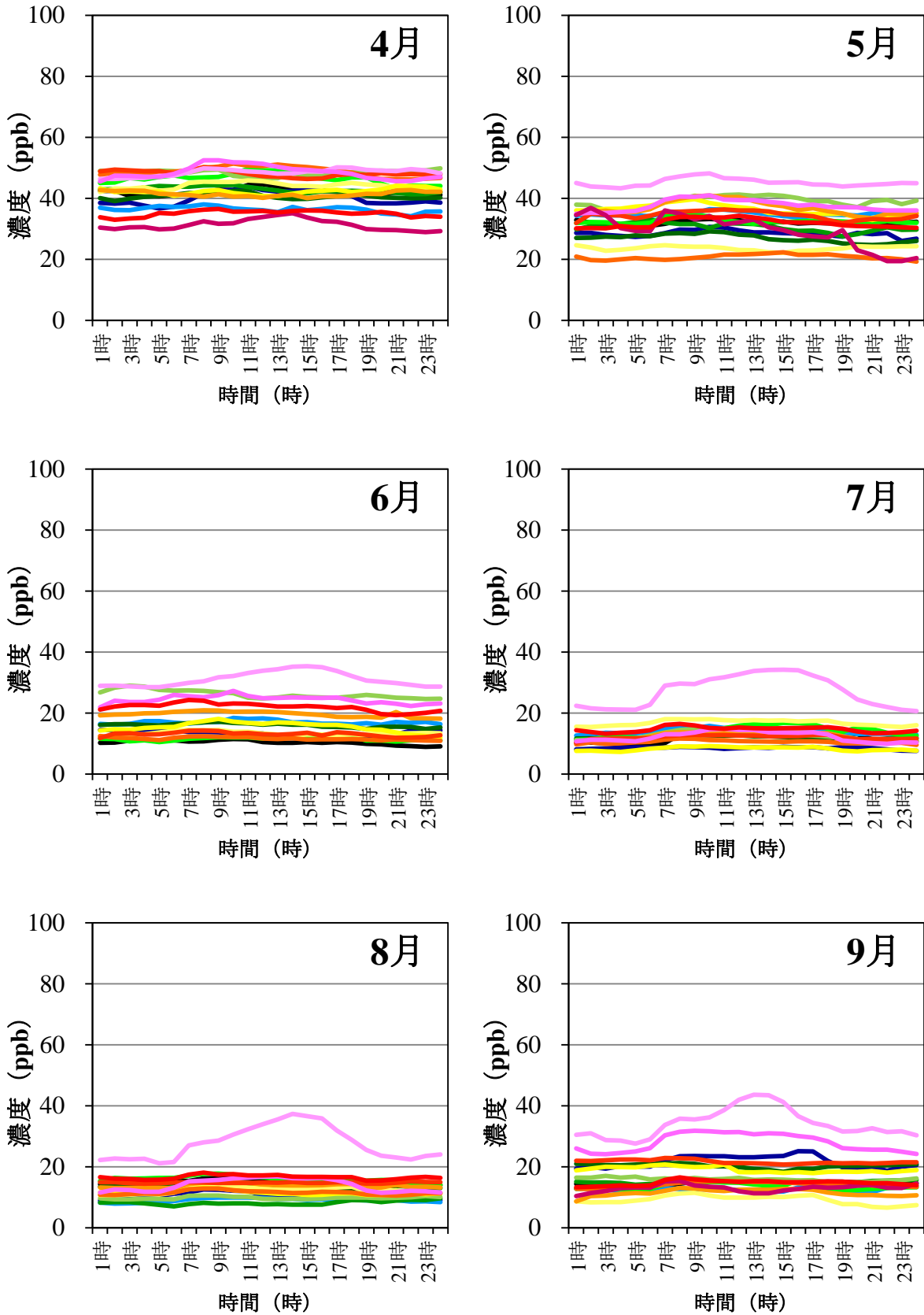
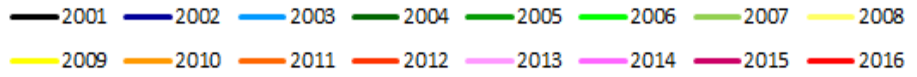


図 2-44 島しょ部等における光化学オキシダント日内変動 (4-9 月) 小笠原

2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008
 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016

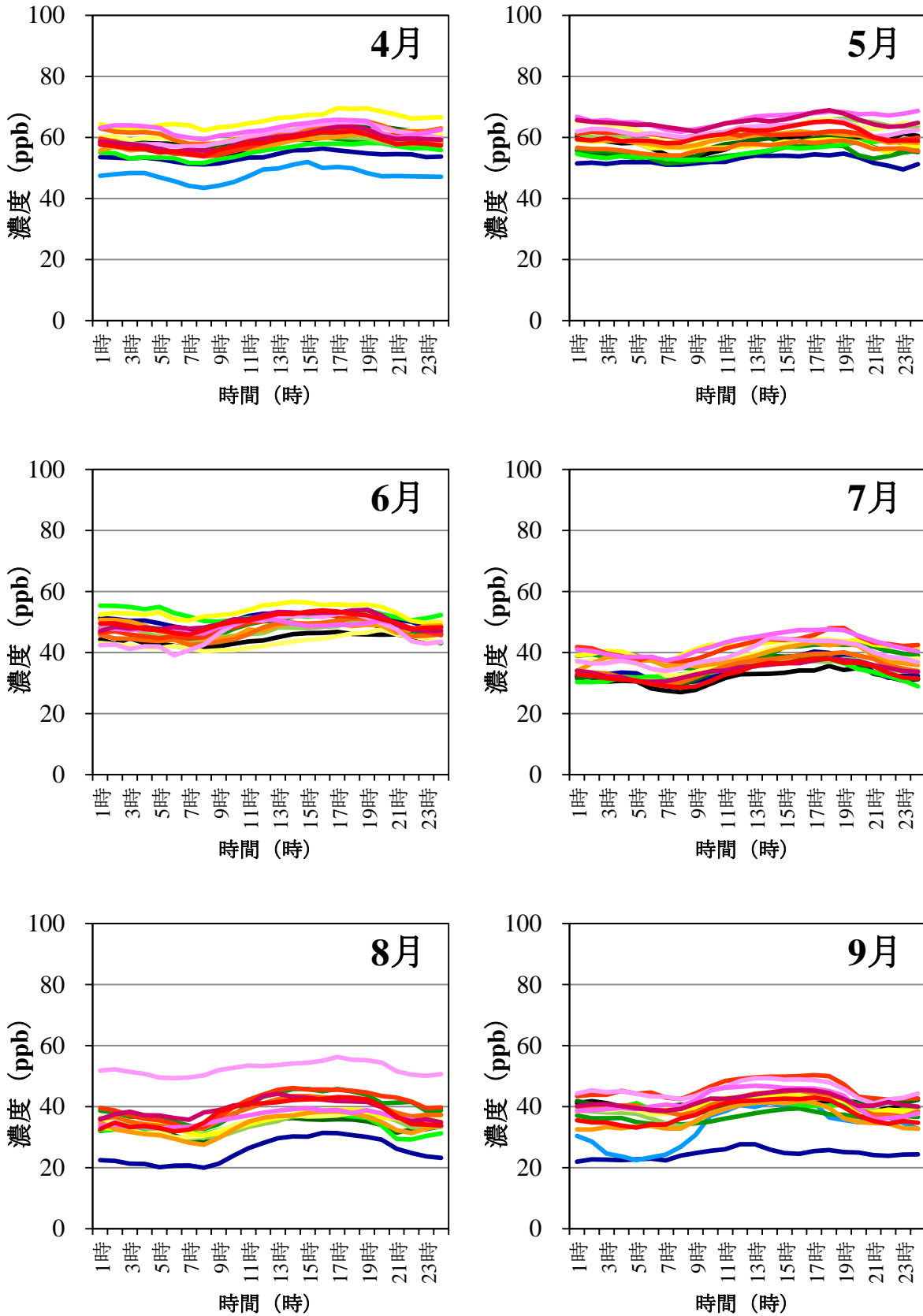


図 2-45 島しょ部等における光化学オキシダント日内変動 (4-9月) 隠岐

解析の結果、解析対象とした島しょ部等全般での光化学オキシダントについて明確な濃度上昇は確認できなかった。東京都内の光化学オキシダントの日内変動の最小値の上昇はNOタイトレーションの影響が大きいと考えられる。ただし、全球的なオゾン濃度の上昇の可能性も考えられ、本解析結果でも大陸からの越境汚染を受けやすい日本海に位置する隠岐、また太平洋側に位置する小笠原において、光化学オキシダント濃度の年平均値の上昇傾向が確認されることから、今後もバックグラウンド濃度の実態について注視していく必要がある。

そこで、東京都のバックグラウンド濃度を考察するため、広域移流の影響は関東地域と同様に受けるが、都市域での排出、生成の影響を受けにくい東京都八丈島における測定結果と東京都内濃度との比較を行った。

その結果、八丈島においても島しょ部等と同様に日中での濃度上昇は確認されず、局所的な光化学オキシダント生成の影響は小さいと考えられる。東京都におけるポテンシャルオゾン(PO)濃度の最小値は、八丈島の光化学オキシダント濃度の日平均値と同程度の傾向であった(図 2-46、図 2-47)。

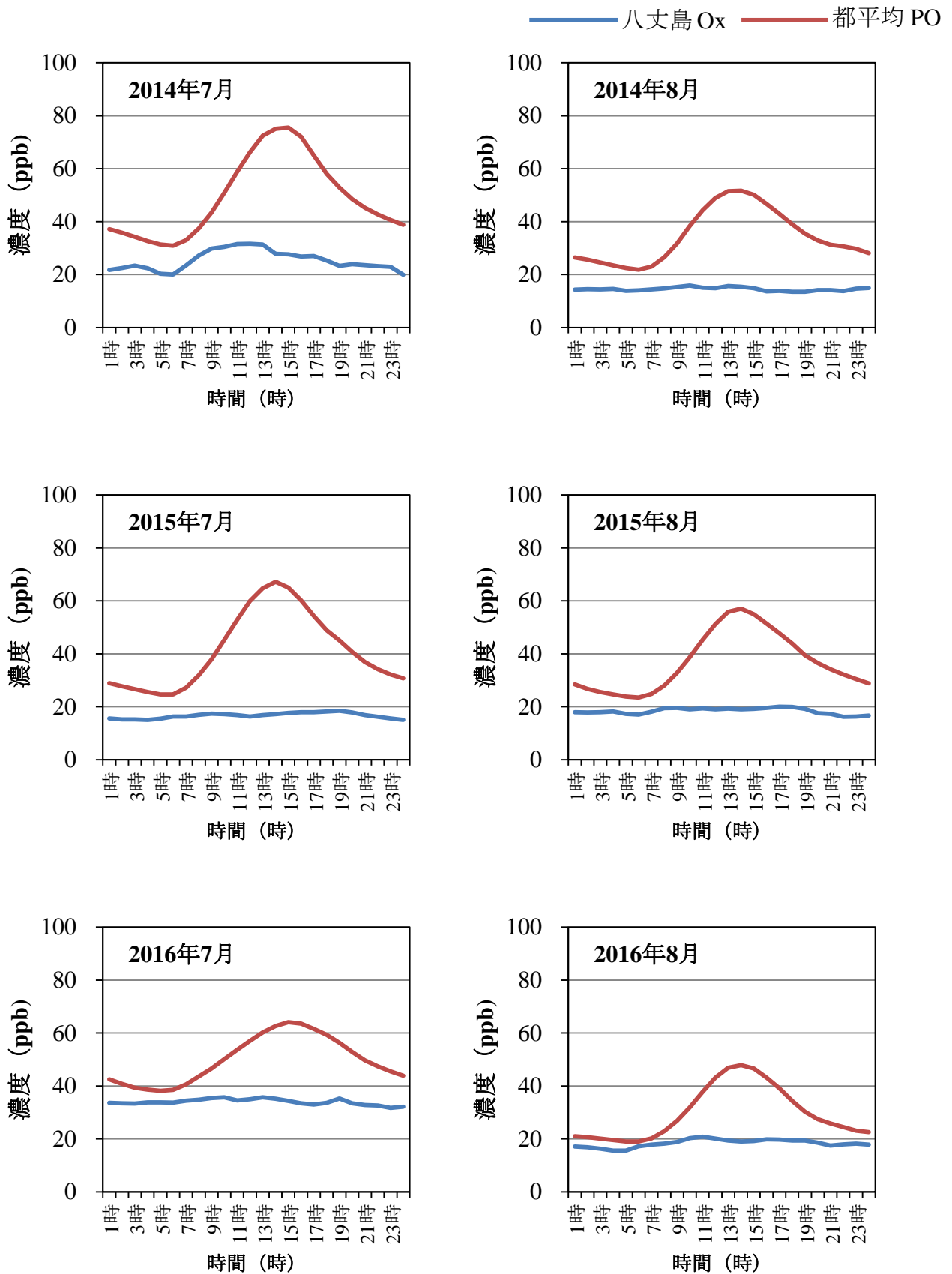


図 2-46 東京都と八丈島における日内変動の比較 (左: 7 月、右: 8 月 (2014 年度から 2016 年度))

※ 東京都は、一般環境大気測定局のポテンシャルオゾン (PO) 濃度の平均値の日内変動を示す。八丈島は、光化学オキシダント (Ox) 濃度の日内変動を示す。
 ※ 2014 年度から 2016 年度の調査結果。

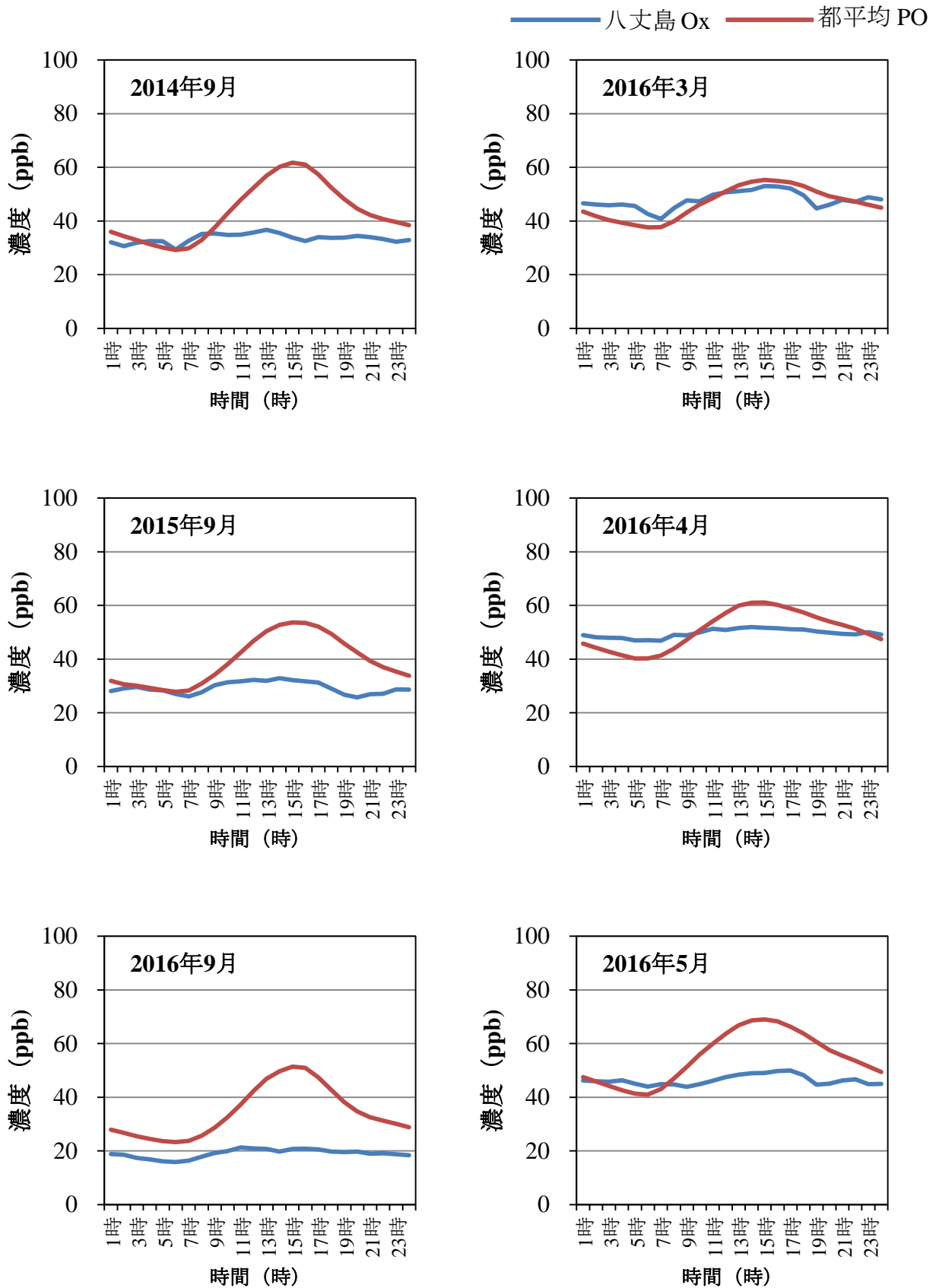


図 2-47 東京都と八丈島における日内変動の比較 (左 : 9 月 (2014 年度から 2016 年度)、右 : 3, 4, 5 月 (2016 年))

※ 東京都は、一般環境大気測定局のポテンシャルオゾン (PO) 濃度の平均値の日内変動を示す。八丈島は、光化学オキシダント (Ox) 濃度の日内変動を示す。
 ※ 2014 年度から 2016 年度の調査結果。

東京都における一般環境大気測定局のポテンシャルオゾン（PO）濃度と八丈島における光化学オキシダント濃度から、以下のとおり都内のバックグラウンド濃度の試算を行った。（イメージを図 2-48 に示す）。

- ・ バックグラウンド濃度：[八丈島における光化学オキシダント日平均値]
- ・ 域内生成濃度：[都内日内変動 PO 最大値] - [八丈島光化学オキシダント日平均値]

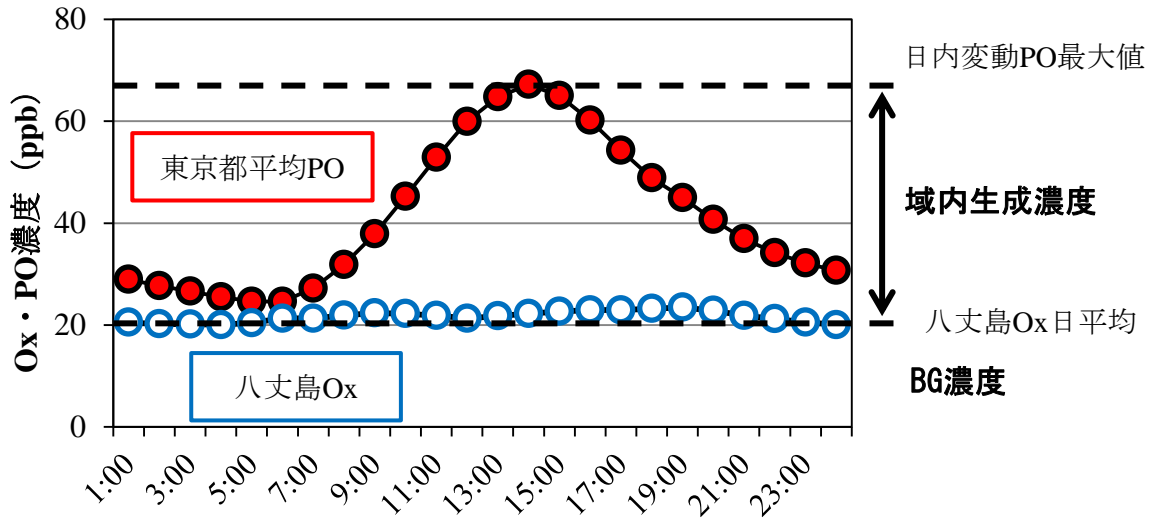


図 2-48 都内光化学オキシダントのバックグラウンド（BG）濃度、域内生成濃度の算出イメージ

※ 東京都は、ポテンシャルオゾン（PO）濃度の日内変動、八丈島は光化学オキシダント（Ox）の日内変動を示す。

試算の結果、バックグラウンド濃度は夏季では約 20 ppb、春季では約 50 ppb となり、季節によってバックグラウンド濃度の違いがみられた (図 2-49)。

光化学スモッグ注意報が確認されるような夏季では、域内での生成濃度が高くなる傾向がみられ、光化学オキシダント高濃度時では、バックグラウンド濃度の影響も一定程度あるものの、域内の生成濃度の影響が大きいと考えられる。

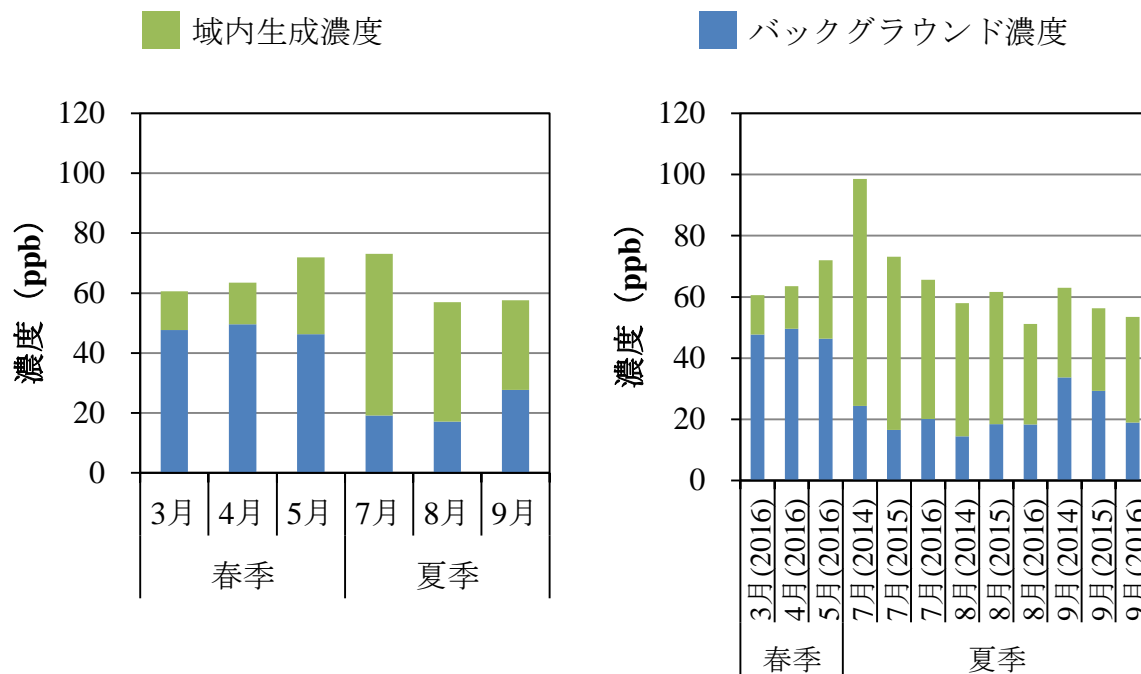


図 2-49 八丈島調査結果から求めた都内バックグラウンド濃度、域内生成濃度

左図：各調査年度を含めた月平均値、右図：各調査年度の月平均値

- ※ 域内生成濃度は、都内ポテンシャルオゾン (PO) 濃度から算出していること留意する必要がある。
- ※ 調査年度は、2014 年度から 2016 年度。2016 年度では 6 月にも調査を実施しているが、春季と夏季の影響を分けて考察するため、集計から除いている。