

大氣中微小粒子状物質検討会

報告書

資料編

令和元年 7 月

大氣中微小粒子状物質検討会

目次

資料編 1	大気環境中濃度データの解析.....	1
資料編 2	シミュレーション解析調査.....	53
資料編 3	対策事例調査.....	261
資料編 4	臨海部大気環境中濃度測定調査.....	443
資料編 5	東京都環境科学研究所における PM _{2.5} 成分分析調査.....	471
資料編 6	中長期的な課題に関する調査研究.....	499

大気中微小粒子状物質検討会

資料編 1

大気環境中濃度データの解析

目次

はじめにー大気環境中濃度データの解析と目的ー	5
1 PM _{2.5}	5
1.1 経年変化（2001年度から2017年度まで）	5
1.2 月別の状況ー短期基準超過の季節的要因ー	9
1.2.1 月別の状況	9
1.2.2 9月におけるPM _{2.5} と光化学オキシダント	11
1.3 季節的な特徴	17
2 光化学オキシダント	20
2.1 経年変化（2001年度から2017年度まで）	20
2.2 月別の状況	23
2.3 季節的な特徴	25
2.4 週末効果	31
2.5 島しょ部等における大気環境中濃度のデータ解析	36
2.5.1 背景と本調査の目的	36
2.5.2 解析方法	36
2.5.3 結果及び考察	37
2.5.4 まとめ	48

はじめに—大気環境中濃度データの解析と目的—

大気環境の実態を把握するためには、大気環境中濃度データの解析を行い、経年変化や季節的な特徴等、現状を把握することが求められる。東京都では、大気汚染の状況を把握するため、大気汚染防止法に基づき、住宅地域等に設置している一般環境大気測定局 47 局と、道路沿道に設置している自動車排出ガス測定局 35 局で大気汚染物質の濃度を測定している。PM_{2.5}については、2011 年度から都内の大気環境中の PM_{2.5} の濃度測定が開始されるなど、モニタリング体制等が整備されており、大気汚染物質の新たな科学的知見やデータが蓄積されてきた。

本章では、都内における PM_{2.5} 及び光化学オキシダントの現況を把握するため、東京都等が測定した大気環境中濃度データの解析を行い、経年変化や季節的な特徴等について整理した。

1 PM_{2.5}

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 1-1）¹。

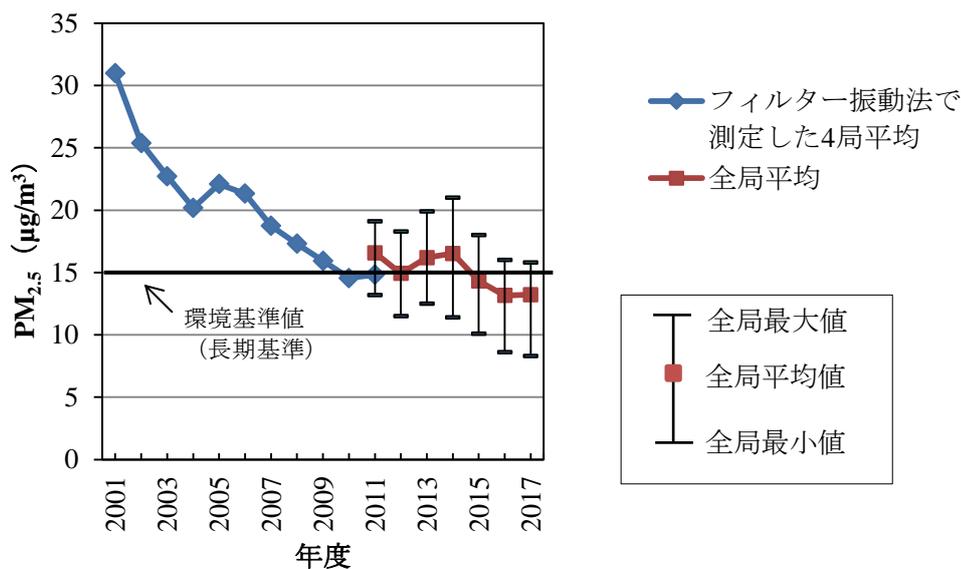


図 1-1 PM_{2.5} 濃度年平均値の推移

※ 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。

¹ 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。

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1-2）。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1-3）。

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、環境基準達成率は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²。

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1-2、図1-3）。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1-3）。

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、環境基準達成率は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³。

2011年度からの環境基準達成率の推移では、有効測定局数が年度ごとに異なるため、PM_{2.5}測定局が比較的整備された2012年度から継続している一般環境大気測定局31局、自動車排出ガス測定局24局の測定局（以下「継続測定局」という。）における環境基準の達成率の推移を考察した。年度ごとの一般環境大気測定局における環境基準達成率の傾向は、2017年度における測定局と継続測定局で大きな違いはみられないが、自動車排出ガス測定局においては、2016年度及び2017年度の環境基準達成率は、現在の測定局数における達成率よりも低かった（図1-4、図1-5）。2016年度及び2017年度で環境基準非達成となった測定局は、継続測定局が多く確認されたと考えられる。

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。

² 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）

³ 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）

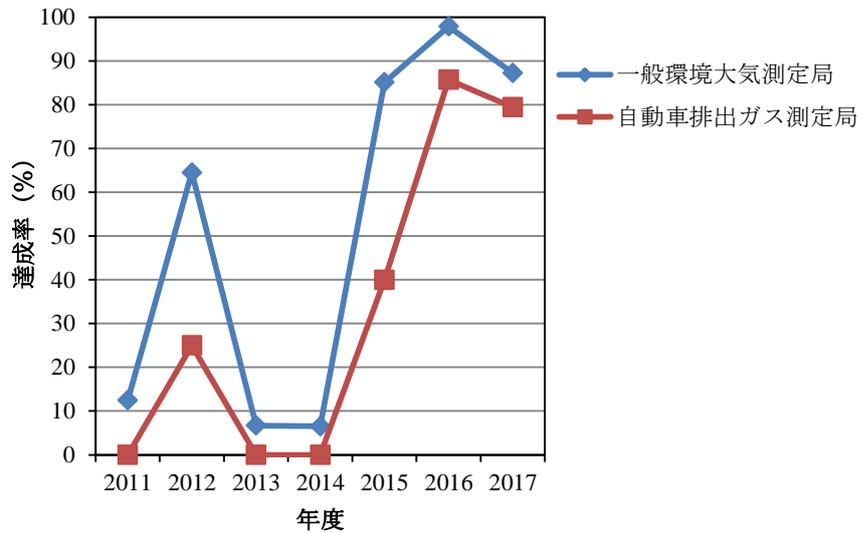


図 1-2 PM_{2.5} 環境基準の達成率

※ 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

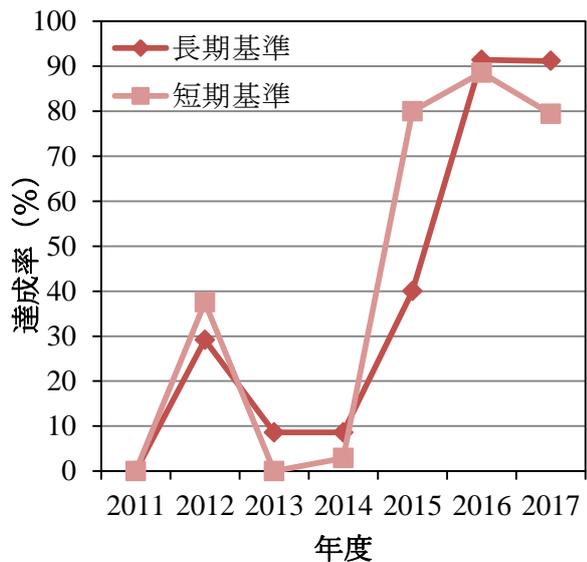
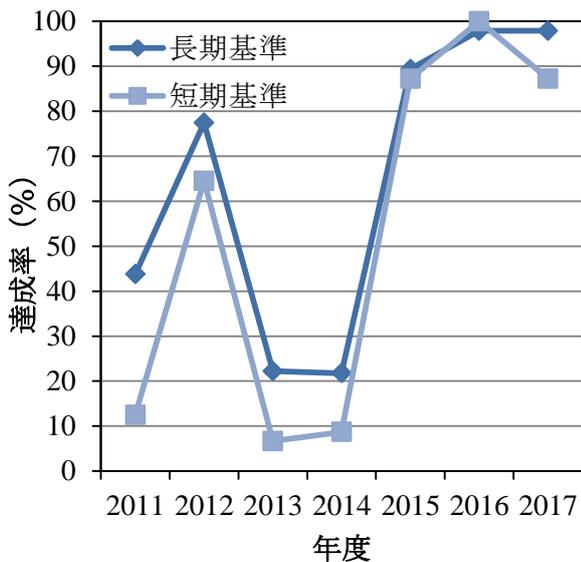


図 1-3 測定局の長期基準、短期基準の達成率

(左図：一般環境大気測定局、右図：自動車排出ガス測定局)

※ 一般環境大気測定局及び自動車排出ガス測定局の局数は、図 1-2 に示す表のとおり。

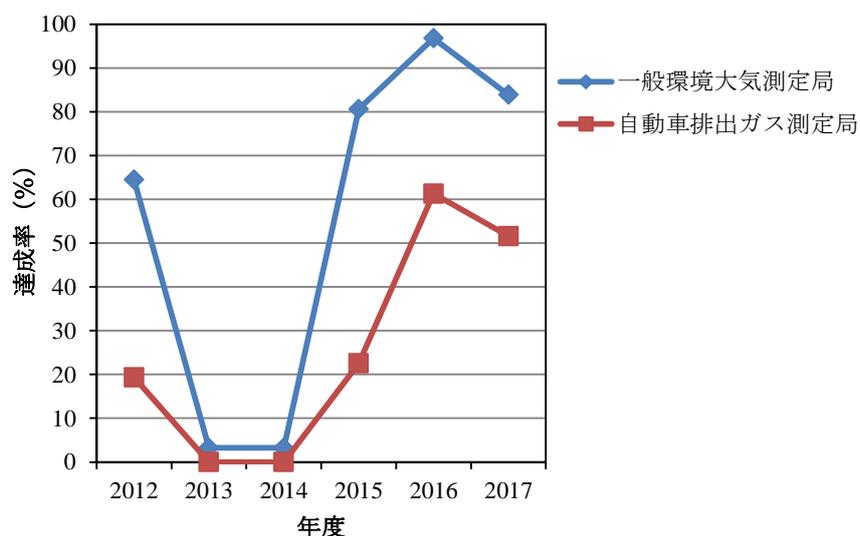


図 1-4 継続測定局における PM_{2.5} 環境基準の達成

※ 2012 年度から継続して測定している有効測定局を継続測定局とした。

※ 一般環境大気測定局 31 局、自動車排出ガス測定局 24 局。

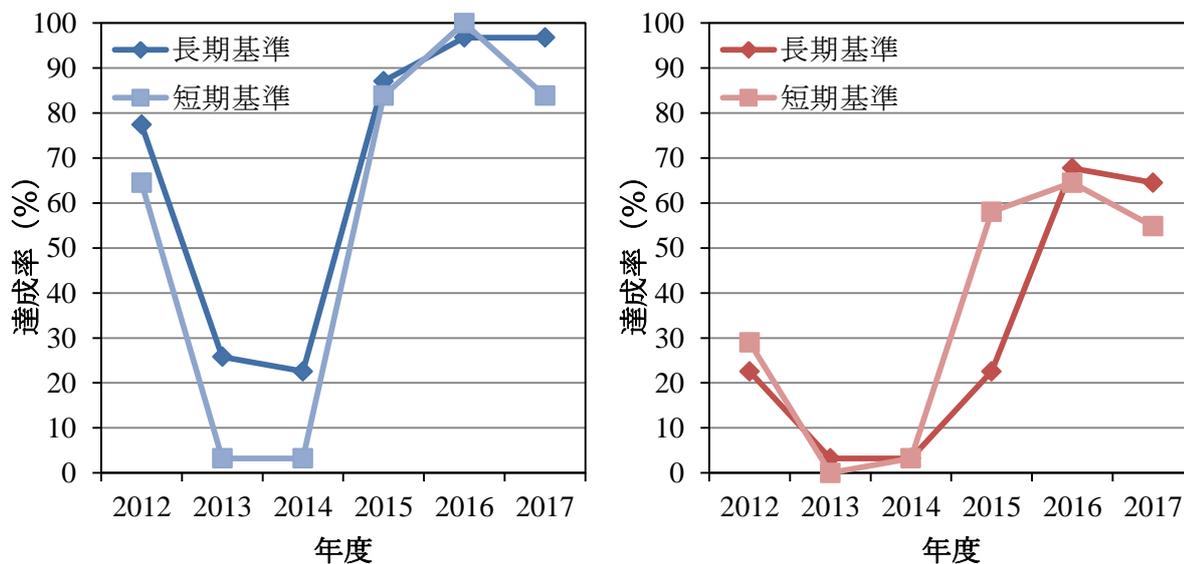


図 1-5 継続測定局における長期基準、短期基準の達成率

(左図：一般環境大気測定局、右図：自動車排出ガス測定局)

※ 2012 年度から継続して測定している有効測定局を継続測定局とした。

※ 一般環境大気測定局 31 局、自動車排出ガス測定局 24 局。

1.2 月別の状況—短期基準超過の季節的要因—

1.2.1 月別の状況

短期基準を超過すること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 1-6、図 1-7）。

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。2011年度以降、9月に短期基準を超過した日は、一般環境大気測定局では0日、自動車排出ガス測定局で1日のみであった（図 1-6、図 1-7）。

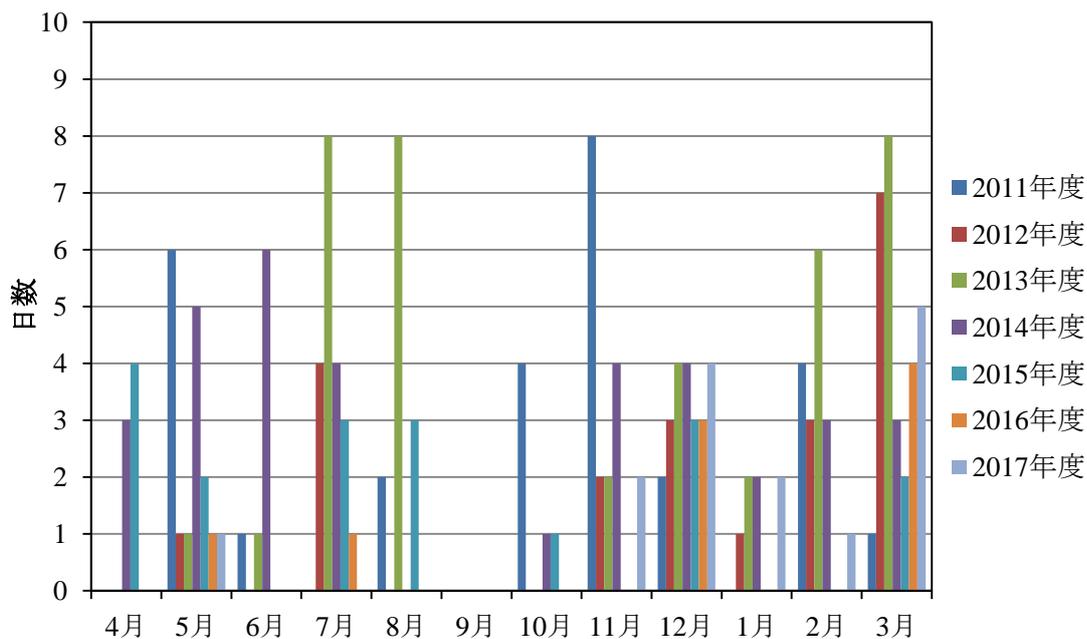


図 1-6 東京都内一般環境大気測定局の PM_{2.5} 日平均値が 35 µg/m³ を超過した日数

※ 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。

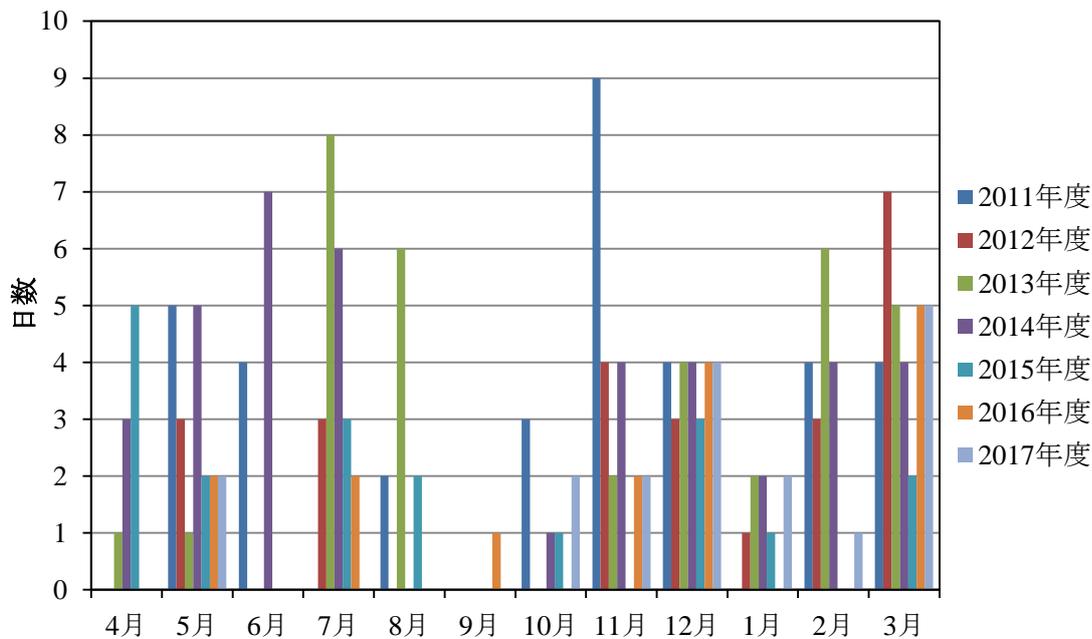


図 1-7 東京都内自動車排出ガス測定局のPM_{2.5}日平均値が35 µg/m³を超過した日数

※ 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。

夏季は、光化学反応によりPM_{2.5}の生成が促進されることが知られている。

夏季のPM_{2.5}と同様に光化学反応による生成が促進される光化学オキシダントについて、東京都の政策目標値の指標として用いられる日最高8時間値が0.070 ppmを超過した日を集計したところ、9月にも一定数確認された（図 1-8）。

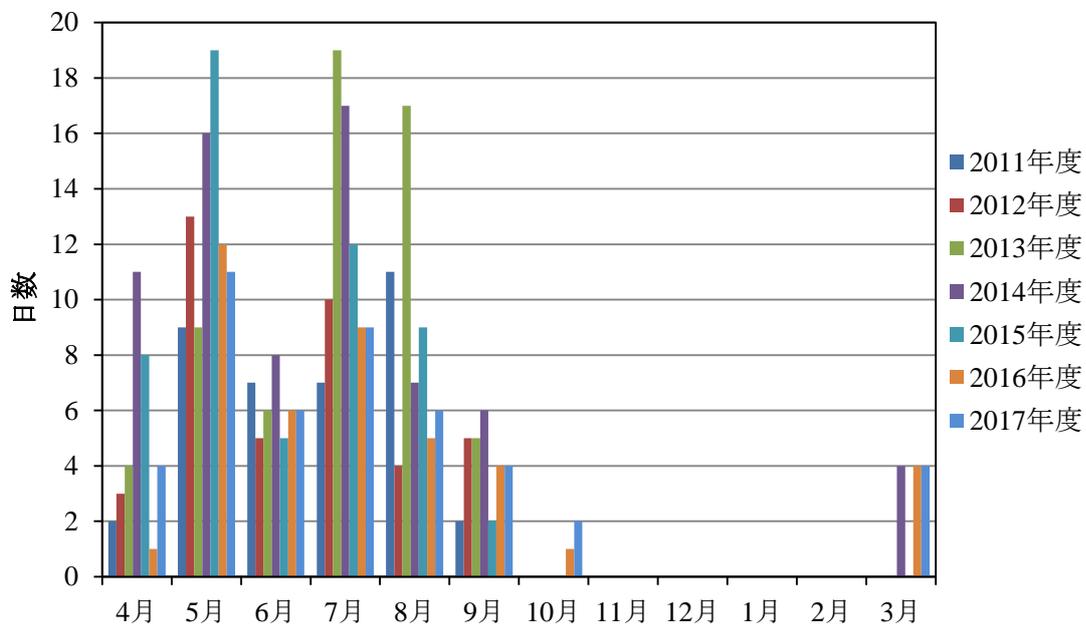


図 1-8 東京都内一般環境大気測定局の光化学オキシダント日最高8時間値が0.070 ppmを超過した日数

※ 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。

1.2.2 9月におけるPM_{2.5}と光化学オキシダント

2011年度から2017年度における一般環境大気測定局のPM_{2.5}日平均値と光化学オキシダント日最高8時間値の関係をみると、暖候期（4月から9月）と寒候期（10月から3月）で異なる挙動を示している（図 1-9）。

暖候期（4月から9月）のPM_{2.5}日平均値と光化学オキシダント日最高8時間値は正の相関を示しており、光化学オキシダント濃度が高い日は、PM_{2.5}濃度も高くなりやすいことを示している。

また、9月は、暖候期（4月から9月）の中でも、PM_{2.5}、光化学オキシダントともに濃度が低い傾向にあることが分かる（図 1-10）。2011年度から2017年度の9月において、PM_{2.5}日平均値の各日の平均値が35 µg/m³を超過した日は1日もなく、光化学オキシダント日最高8時間値の各日の平均値が70 ppbを超過した日は3日のみであった⁴。

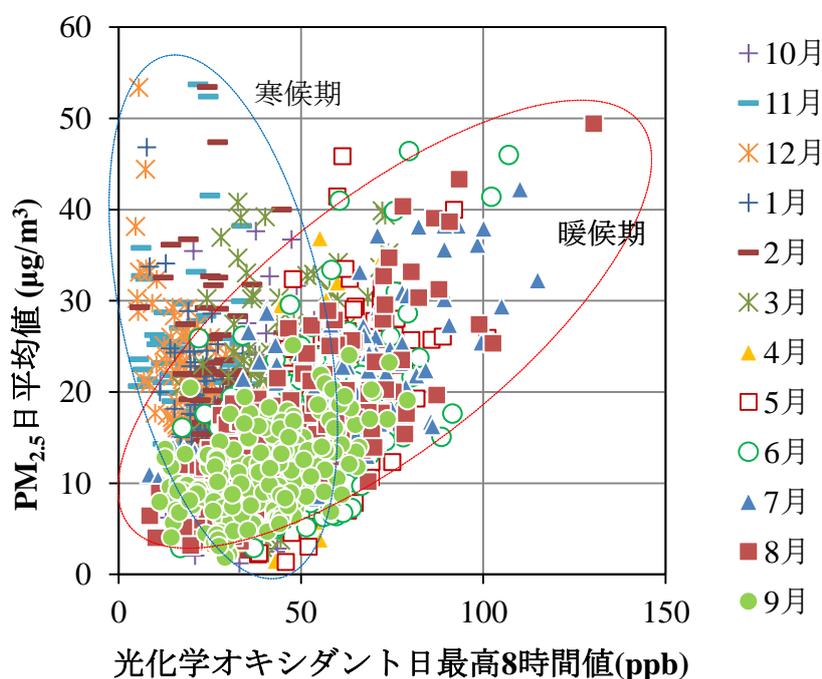


図 1-9 PM_{2.5}日平均値と光化学オキシダント日最高8時間値の関係（2011年度から2017年度）

※ PM_{2.5}と光化学オキシダントの両方を測定している一般環境大気測定局を対象にした。対象局数は、2011年度が14局、2012年度が28局、2013年度から2015年度が40局、2016年度から2017年度が41局。対象年度の各日について、対象局の光化学オキシダント濃度日最高8時間値の平均値とPM_{2.5}濃度日平均値の平均値をプロットした。

⁴ ppb (parts per billion)

10億分の1を単位とする比率。大気汚染物質の環境基準や光化学オキシダントの東京都政策目標ではppm (parts per million: 百万分の一) が用いられており、ppbはppmの1000倍の数値(1 ppm = 1000 ppb)となる(例: 0.070 ppm = 70 ppb)。ppmの表記では、数値が非常に小さくなることから、グラフを見やすくするため、図ではppbを用いた。

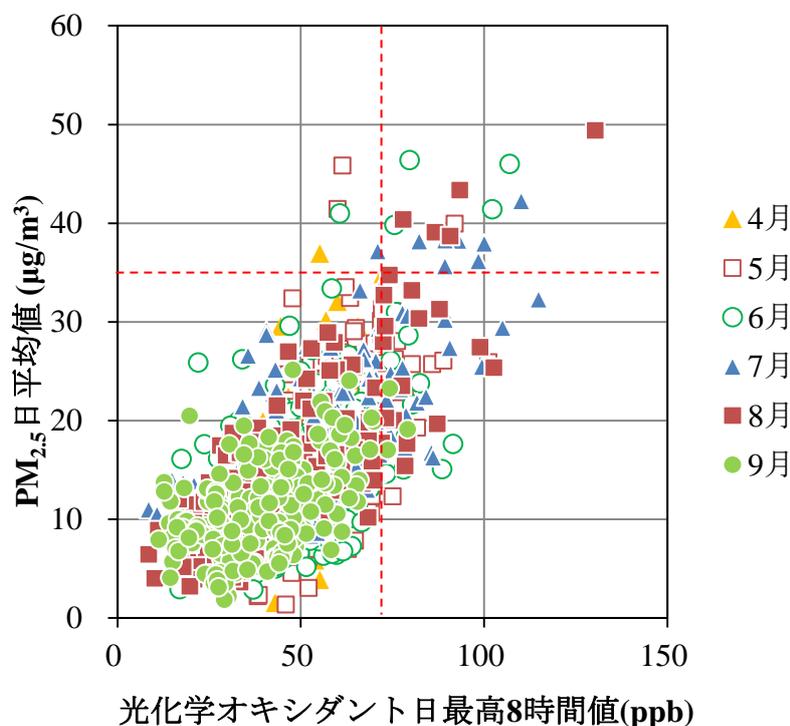


図 1-10 PM_{2.5} 日平均値と光化学オキシダント日最高 8 時間値の関係 (2011 年度から 2017 年度) 暖候期 (4 月から 9 月) を抜粋

※ 図中の赤点線は、PM_{2.5} の短期基準相当 (日平均値 35 µg/m³)、光化学オキシダントの東京都政策目標値相当 (日最高 8 時間値 70 ppb) を示す。

PM_{2.5}、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、日照時間、日射量の影響を受ける。9月の日照時間、平均全天日射量は暖候期(4月から9月)のほかの月よりも少なかった(図 1-11、図 1-12)。このことから、9月は、暖候期(4月から9月)のほかの月よりも光化学反応が促進されにくいため、PM_{2.5}、光化学オキシダントともに濃度が低かったと考えられる。

また、夏季は南寄りの風により、湾岸部から原因物質や PM_{2.5}、光化学オキシダントが内陸部に流れ、内陸部で濃度が上昇することが知られている。9月は、南寄りから北寄りの風に移り変わる時期であることが風配図から読み取れる(図 1-13、図 1-14)。日照時間や日射量だけでなく、風向きも PM_{2.5} や光化学オキシダントが高濃度になりやすい条件が揃いにくい時期になったと考えられる。

一方、月ごとの事業活動に伴う大気汚染物質の排出量の変化では、都内の大規模固定発生源からの NO_x 排出量は、夏季(7、8月)及び冬季(12、1月)に若干の増加傾向があるが、9月の排出量が特段少ないというわけではなく、SO_x 排出量も、年間を通じてほぼ変わらない(図 1-15)。

このことから、事業活動の停滞により、PM_{2.5} の原因物質の排出量が9月に少なくなるとは考えにくい。

したがって、暖候期における9月に PM_{2.5}、光化学オキシダントともに濃度が低くなる主な要因は、日照時間や日射量等の気象条件であると考えられる。

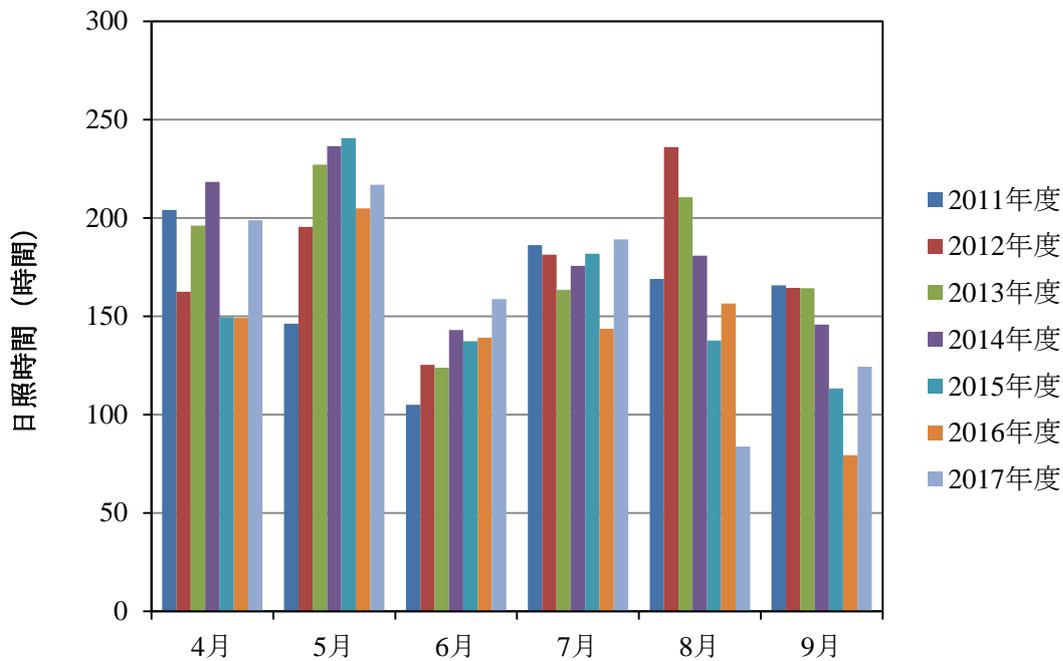


図 1-11 暖候期（4月から9月）における日照時間（2011年度から2017年度）
 ※ 東京管区気象台における月別値

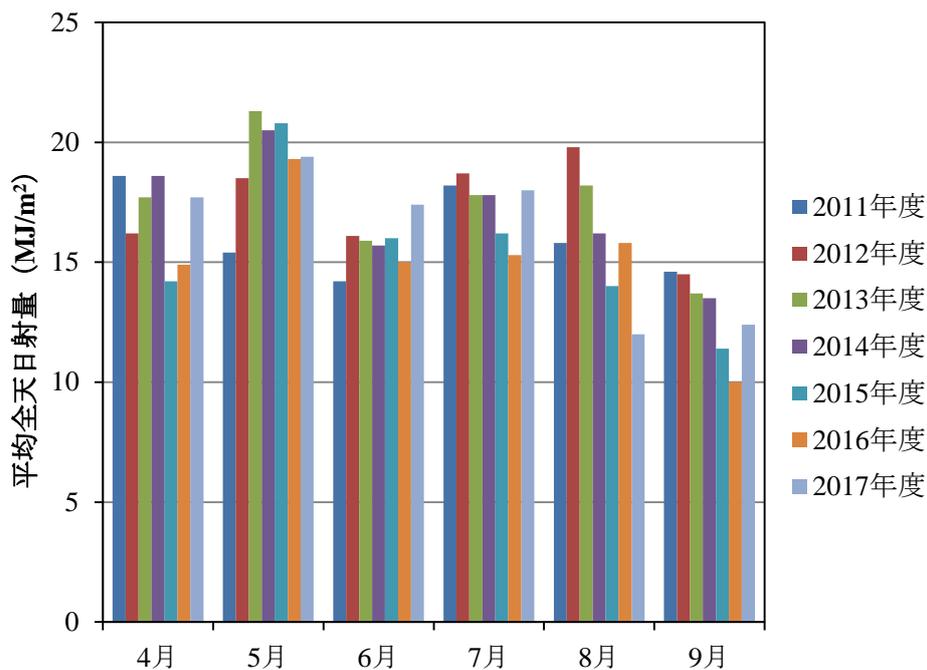


図 1-12 暖候期（4月から9月）における平均全天日射量（2011年度から2017年度）
 ※ 東京管区気象台における月別値

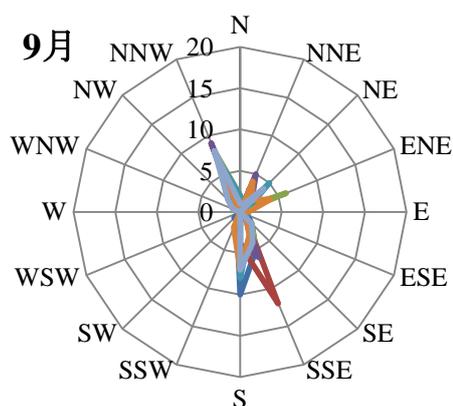
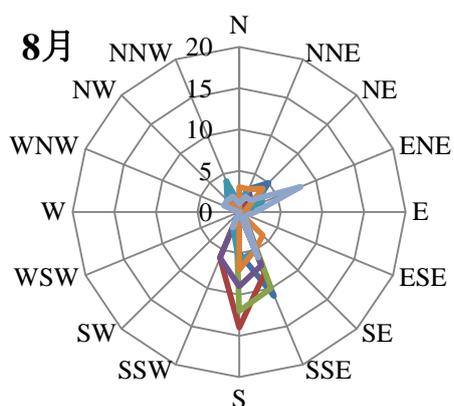
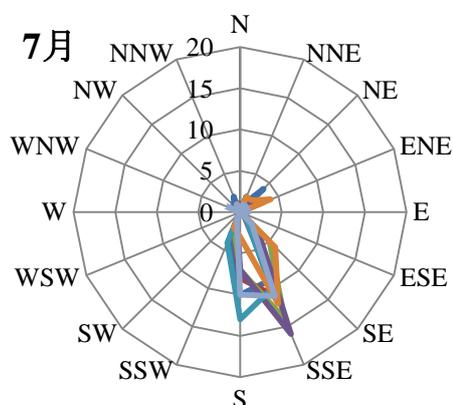
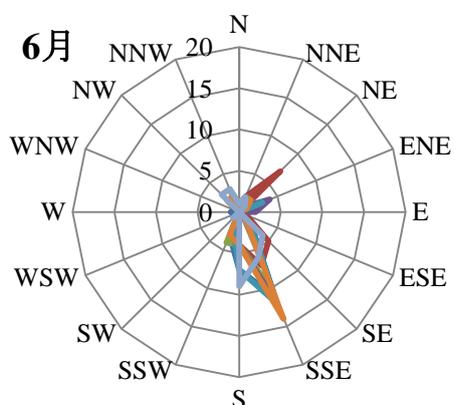
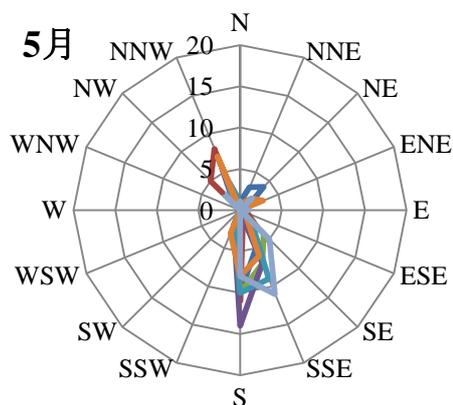
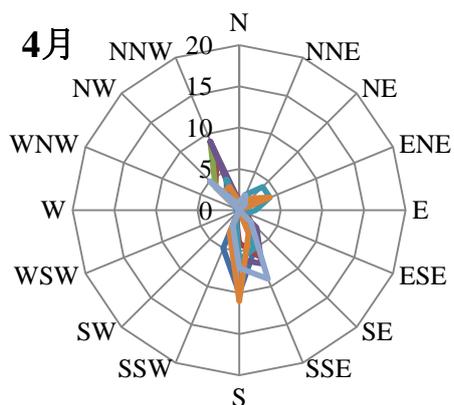


図 1-13 風配図 (4月9月)

※ 東京管区気象台の月別値から算出

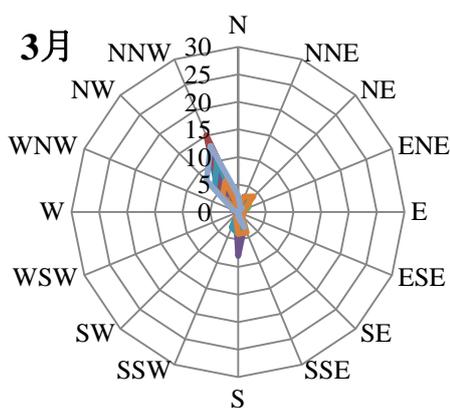
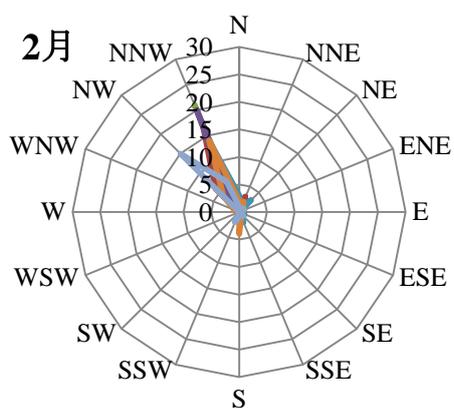
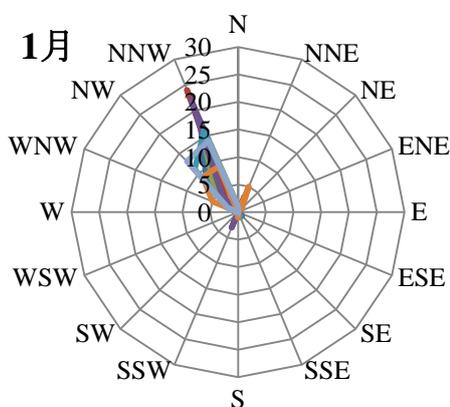
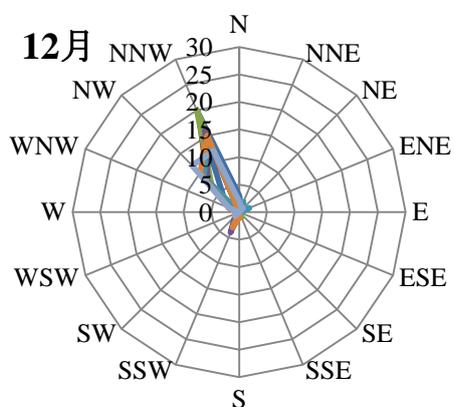
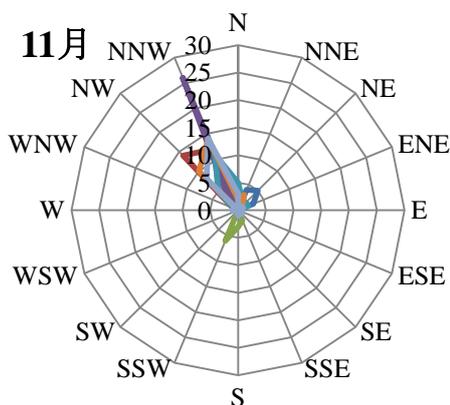
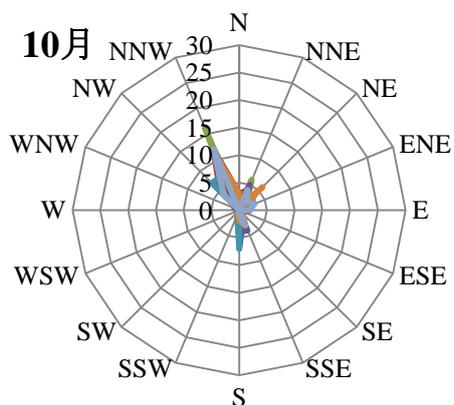


図 1-14 風配図 (10月から3月)

※ 東京管区気象台の月別値から算出。

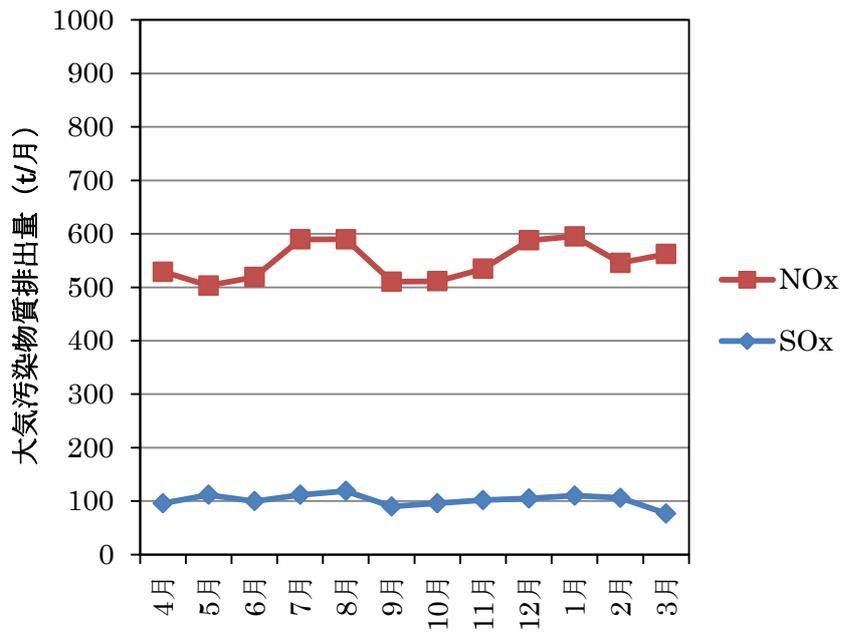


図 1-15 東京都内における大規模固定発生源からの NOx、SOx の月別排出量(2015 年度)
 ※ 大気汚染防止法対象施設からの排出量。排出量の計算に当たっては、NOx は NO₂、SOx は SO₂ として推計している。

1.3 季節的な特徴

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1-16、図1-17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）⁵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。

⁵ 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）

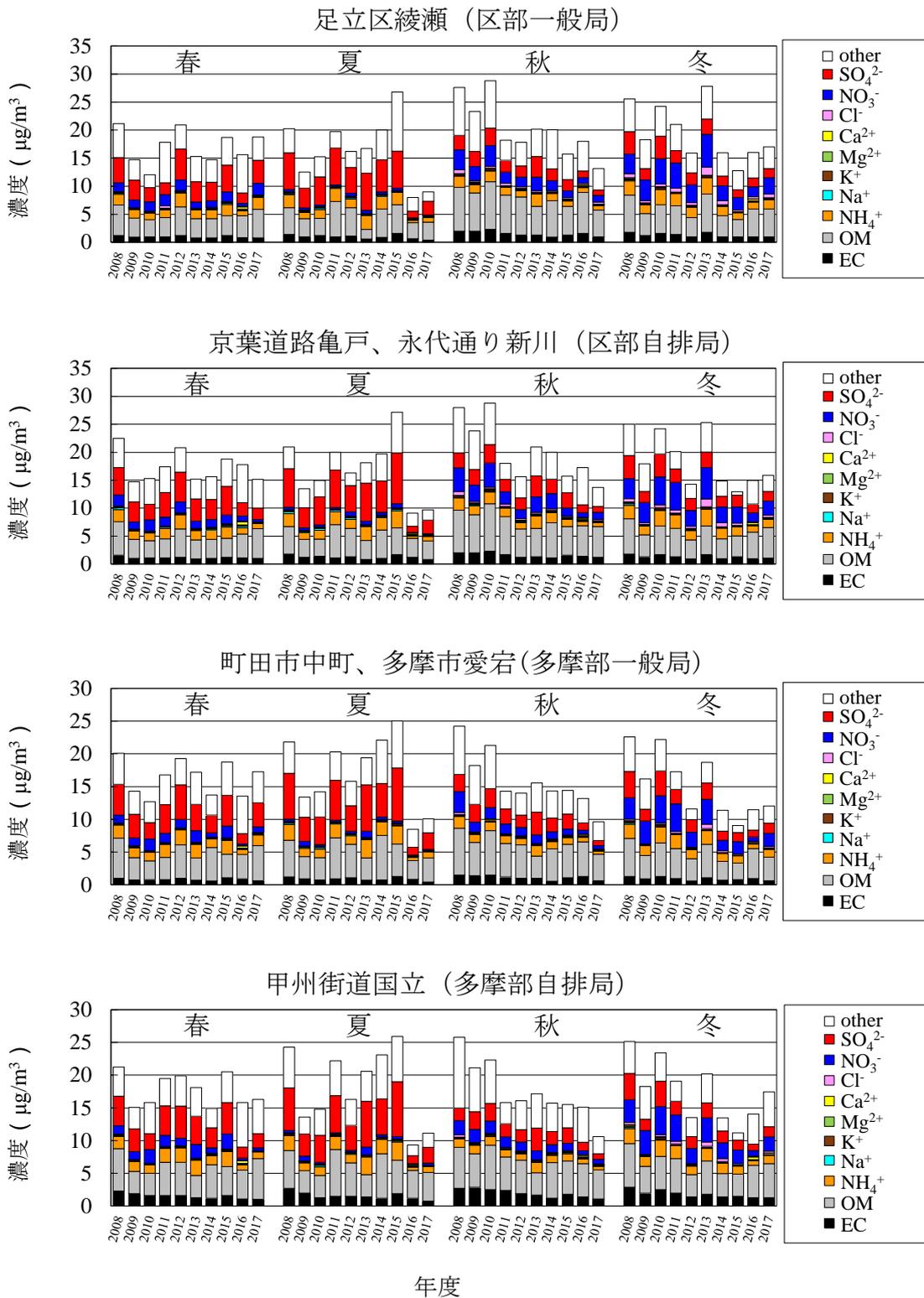


図 1-16 各季節の PM_{2.5} 成分濃度の経年変化

- ※ 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

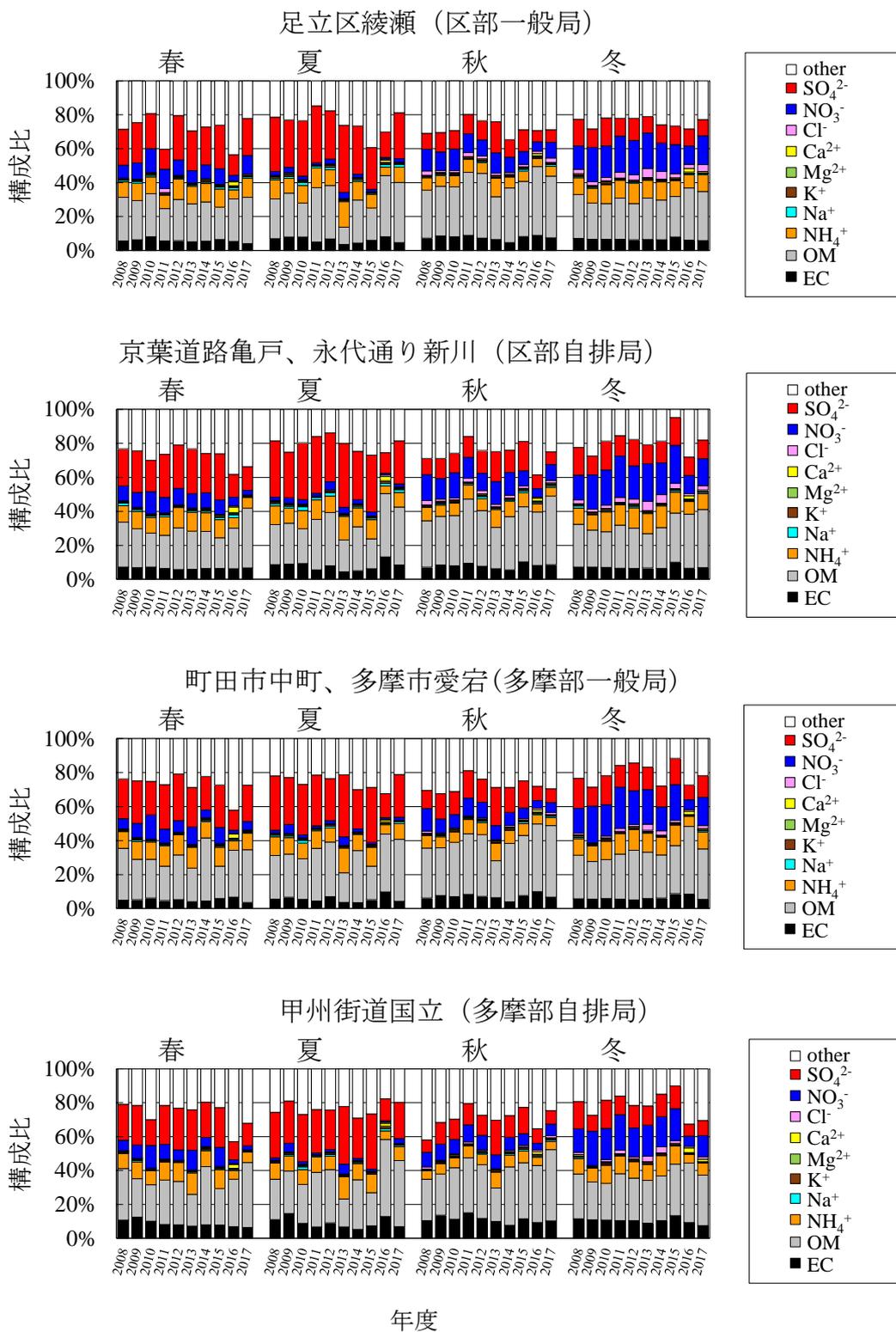


図 1-17 各季節の PM_{2.5} 成分構成割合の経年変化

- ※ 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

2 光化学オキシダント

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 2-1）。

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 2-2、図 2-3）。

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⁶。

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。

⁶ 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）

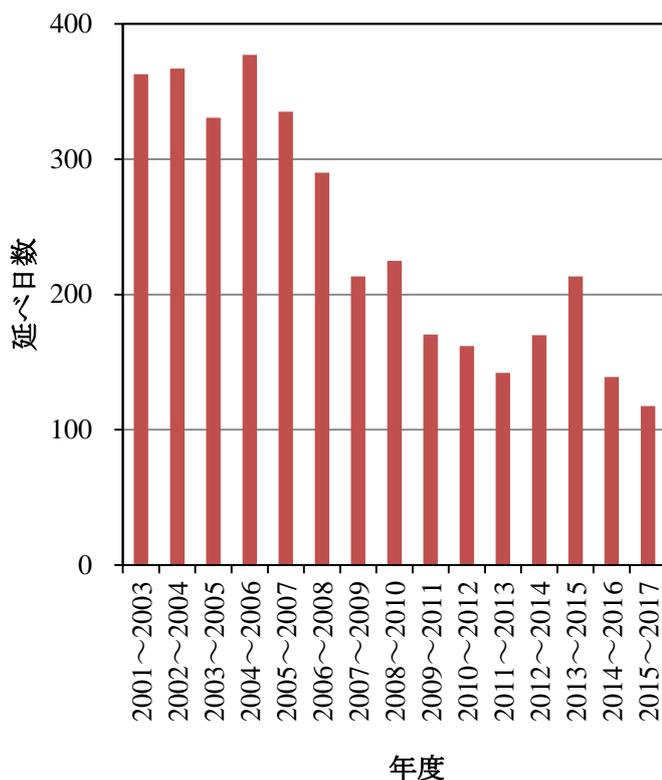


図 2-1 光化学オキシダント濃度が 0.12 ppm 以上であった延べ日数の 3 年移動平均の推移

※ 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。

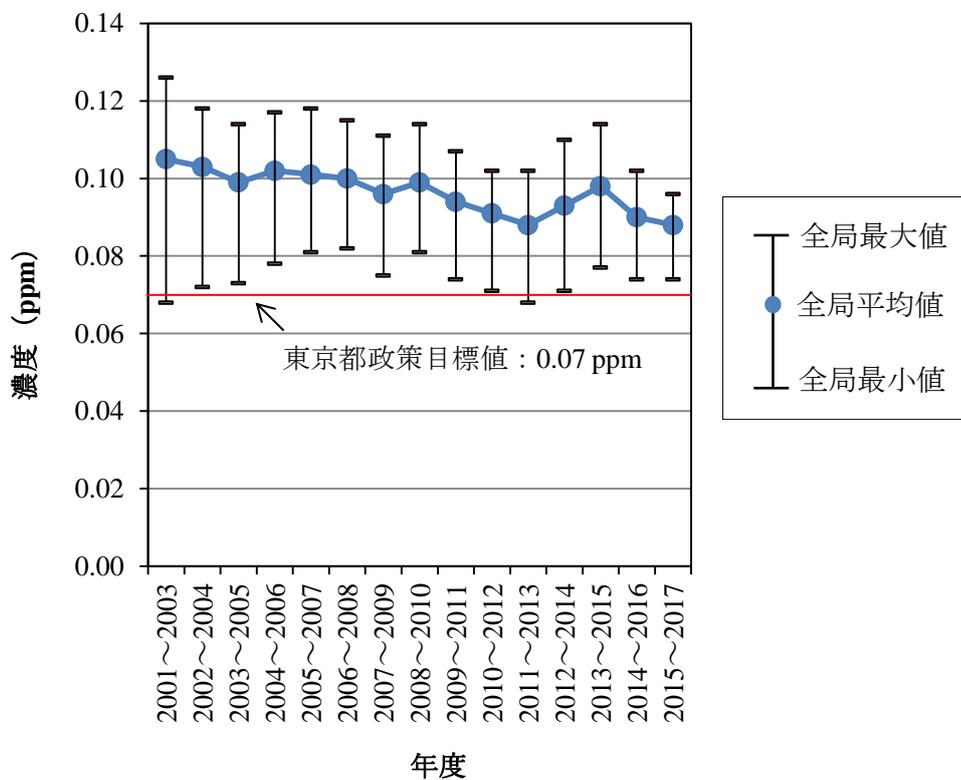


図 2-2 光化学オキシダント濃度の年間 4 番目に高い日最高 8 時間値の 3 年移動平均の推移

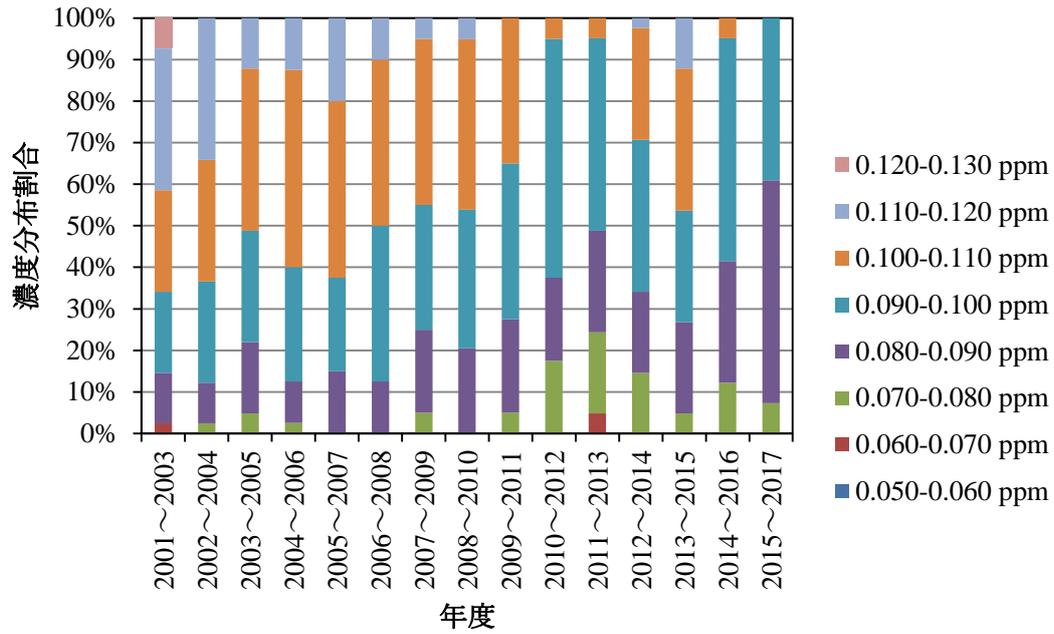


図 2-3 一般環境大気測定局における年間4番目に高い日最高8時間値の3年移動平均の濃度分布割合の推移

2.2 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）⁷が多い（図 2-4）。

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 2-5）。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⁸、越境汚染の影響も考慮する必要がある。

⁷ 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

⁸ 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）

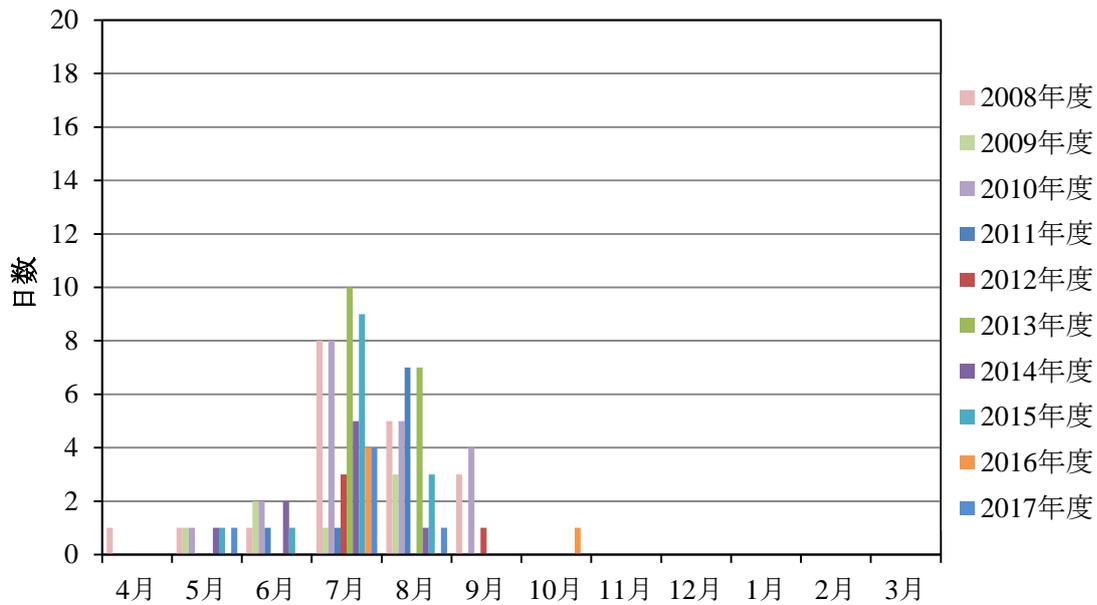


図 2-4 光化学スモッグ注意報発令日数 (東京都: 2008 年度から 2017 年度)

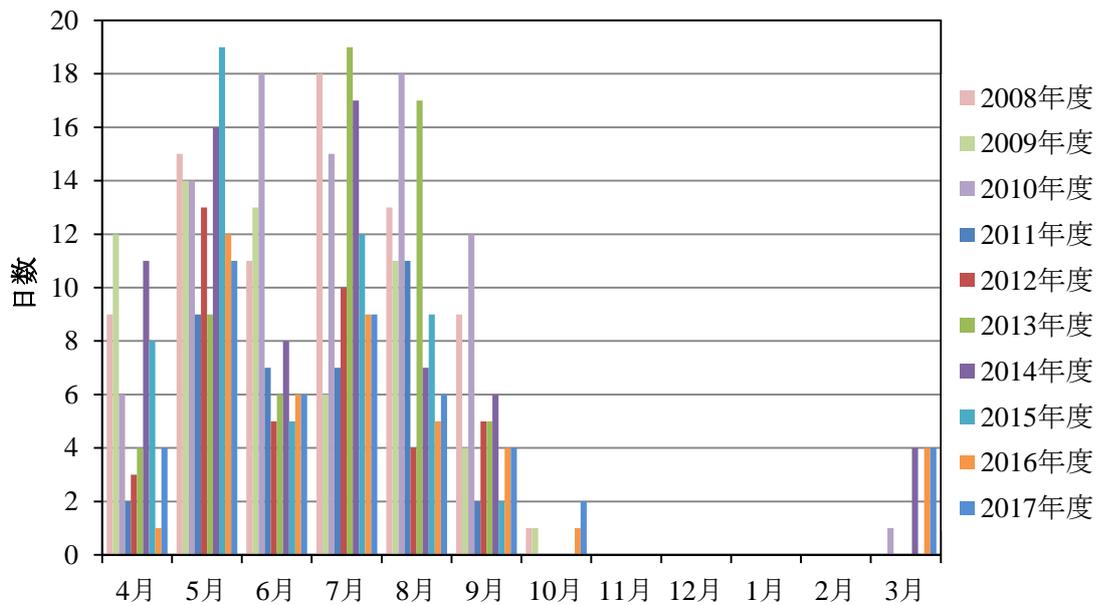


図 2-5 日最高8時間値が0.070 ppmを超過した日数(東京都:2008年度から2017年度)

※ 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。

2.3 季節的な特徴

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 2-6 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 2-7）。

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。

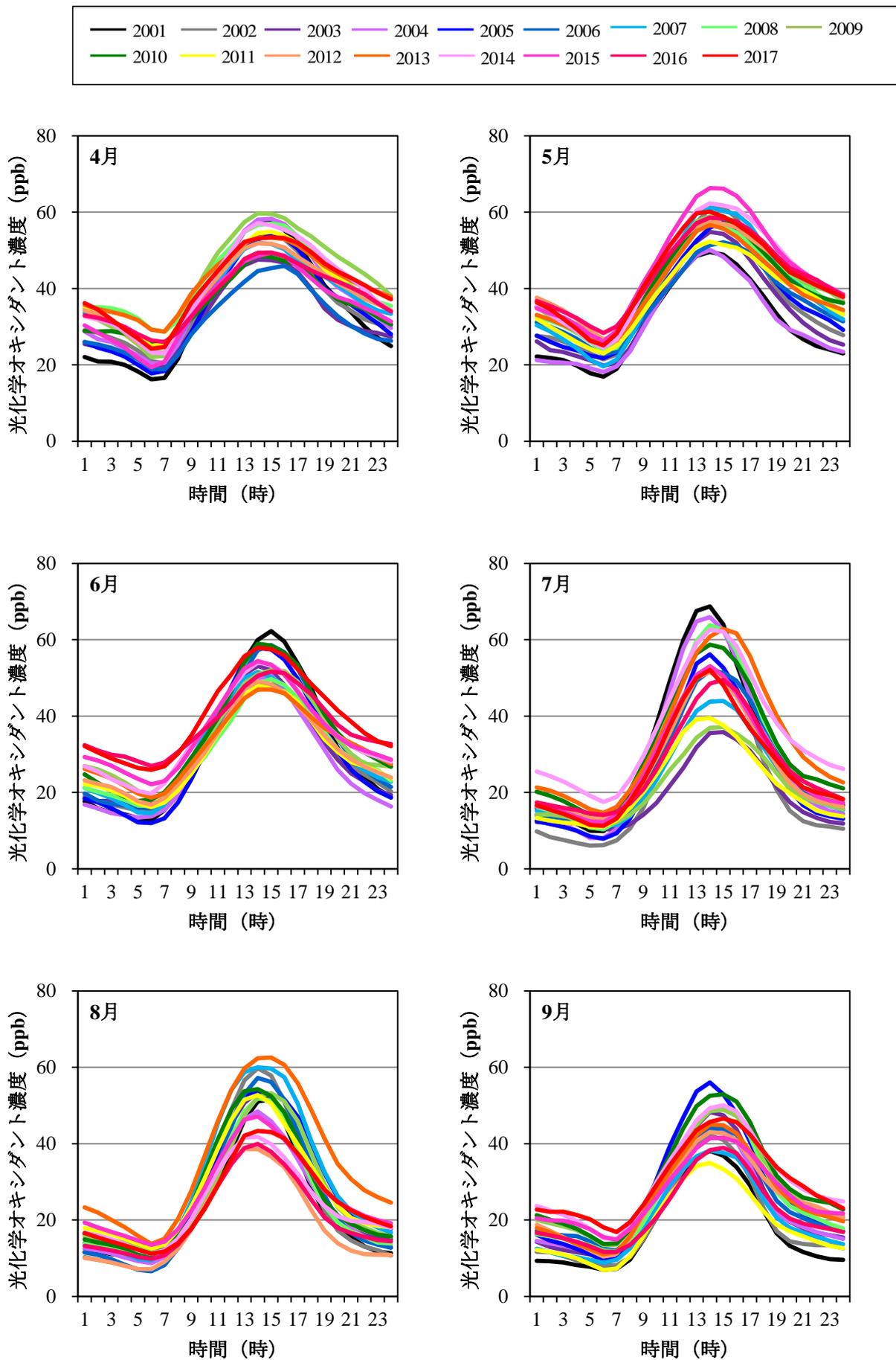


図 2-6 暖候期（4～9月）における光化学オキシダント濃度の日内変動

※ 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 2-7、図 2-8）。

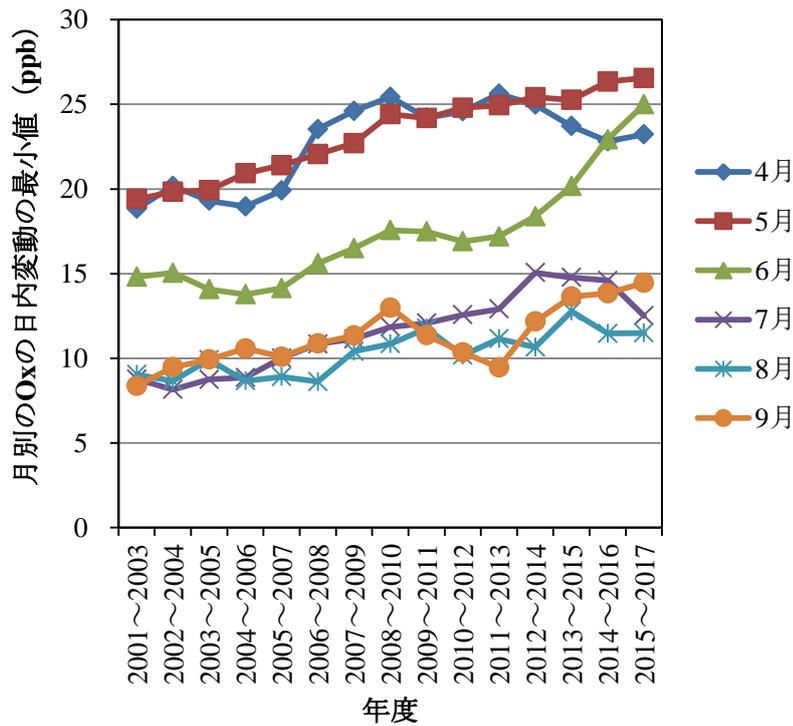


図 2-7 暖候期における月別の光化学オキシダント濃度の日内変動の最小値の3年移動平均の推移

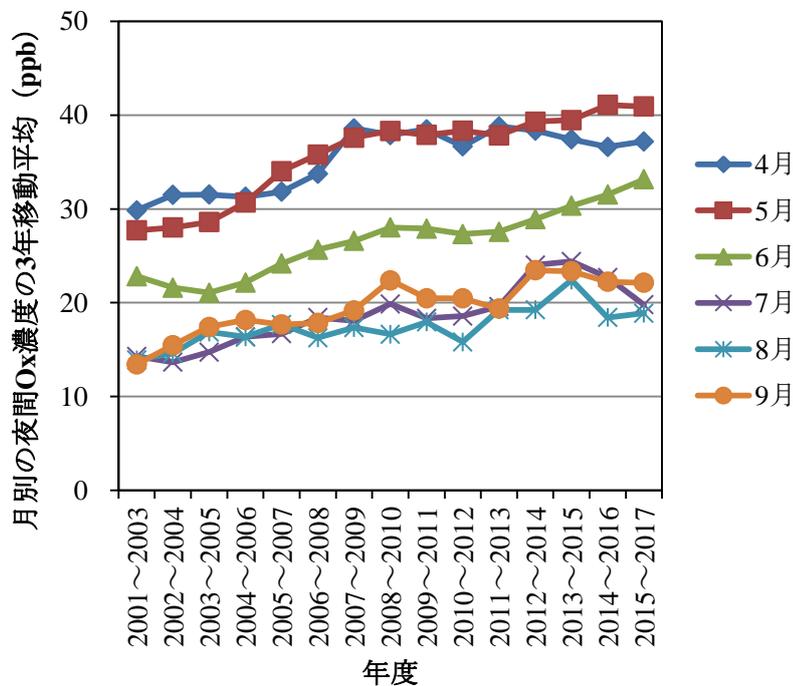


図 2-8 暖候期における月別の夜間光化学オキシダント濃度の3年移動平均の推移

※ 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 2-9、図 2-10)。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 2-9)⁹。

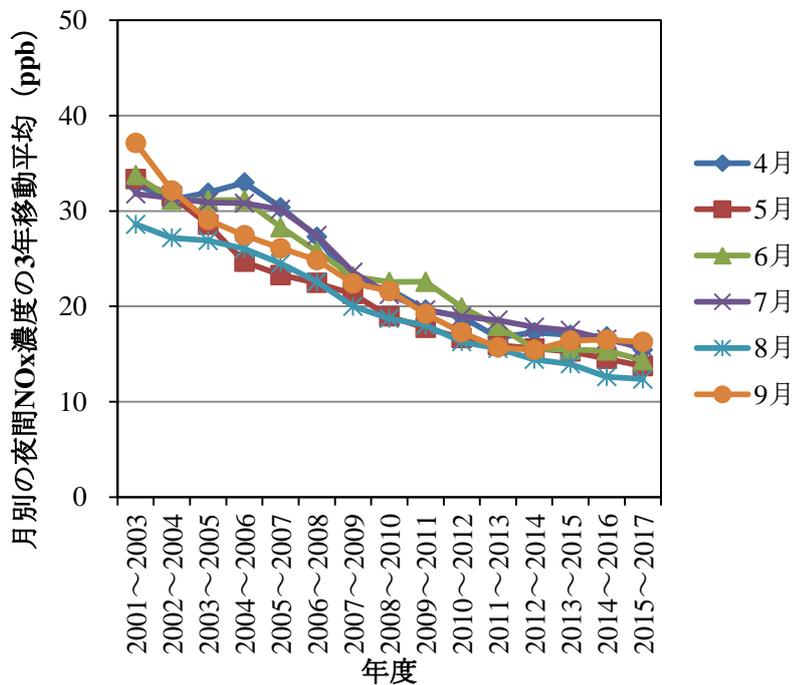


図 2-9 暖候期における月別の夜間 NO_x 濃度の 3 年移動平均の推移

- ※ 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。

⁹ 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

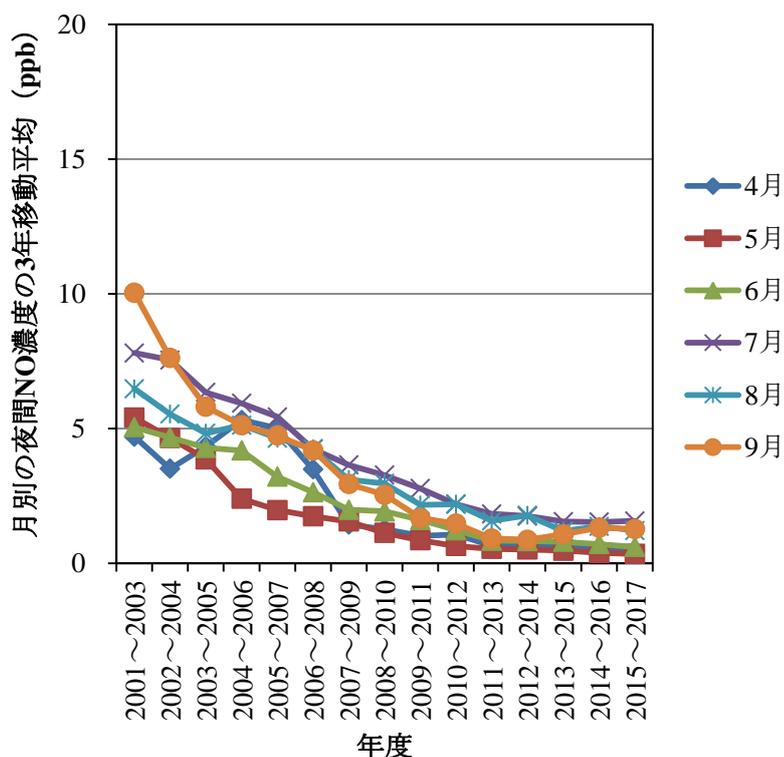


図 2-10 暖候期における月別の夜間 NO 濃度の 3 年移動平均の推移

※ 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。

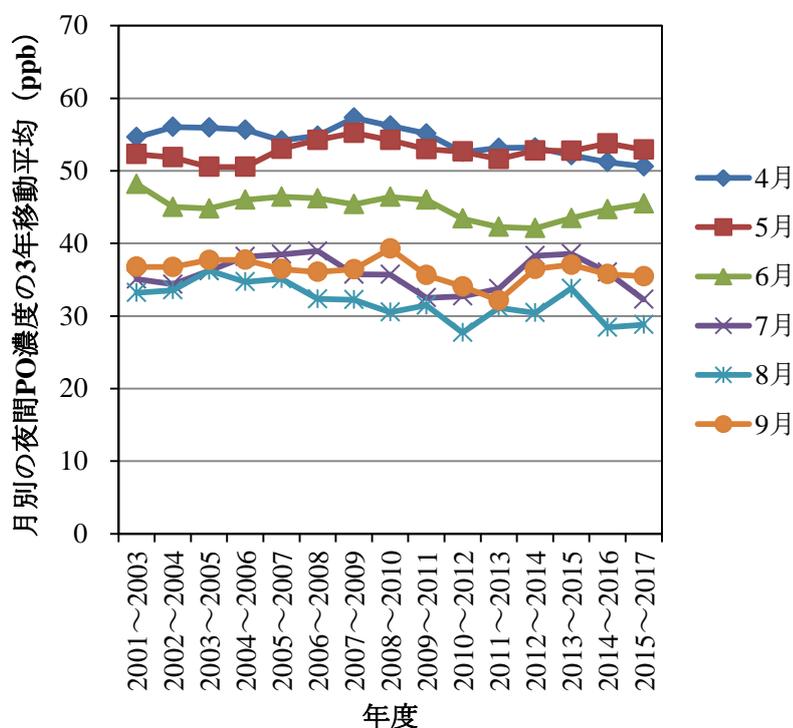


図 2-11 暖候期における月別の夜間ポテンシャルオゾン (PO) 濃度の 3 年移動平均の推移

※ 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（2.5 島しょ部等の大気環境中濃度のデータ解析参照）。

2.4 週末効果

一般的に、光化学オキシダントでは、日曜日に前駆物質が減少する一方、光化学オキシダント濃度が上昇することが知られており、この現象は週末効果と呼ばれている。これは、日曜日は平日に比べて工場の稼働や大型車両の走行台数が減少することから前駆物質の排出量が減少するためと考えられる。

光化学オキシダント濃度について、日最高 8 時間値の月別の推移や東京都政策目標値相当（日最高 8 時間値：0.070 ppm = 70 ppb）を超過する日の推移では、5 月に若干の上昇傾向が確認されるものの、他月の傾向や超過日数等の明確な傾向は確認されなかった（図 2-12）。そこで、光化学オキシダント濃度の日最高 8 時間値を平日と週末で分類した推移について整理し、光化学オキシダントの週末効果の現象を考察した。

2011 年度以降の曜日別の光化学オキシダント濃度では、平日の濃度は日曜日よりも低い傾向にあり、土曜日の濃度は、平日（月～金）の濃度と日曜日の濃度の中間程度であった（図 2-13）。土曜日では、工場等が稼働している業種があり、週末効果は主に日曜日に出現すると考えられる。

そこで、週末を日曜日と定義して分類を行った。気象条件の影響等の年度のばらつきを考慮し、各月の日最高 8 時間値の 3 年移動平均の推移を整理した。週末効果は、平日に発生する NO によるタイトレーション効果の影響が大きいことが主な要因として考えられている。そこで、光化学オキシダントのほか、ポテンシャルオゾン PO についても同様の推移を確認した。

解析の結果、平日と週末（日曜日）で分類した場合、光化学オキシダントでは、各月とも日曜日の濃度は、平日の濃度と比べて高い又は同程度の傾向が確認された（図 2-14）。一方、ポテンシャルオゾン PO では、各月とも日曜日の濃度は、平日の濃度と比べて低い又は同程度の傾向が確認された（図 2-15）。ポテンシャルオゾン PO では、濃度差が確認されなかったことから、都内においては日最高 8 時間値でも、週末に光化学オキシダント濃度が上昇する週末効果の影響が考えられる。

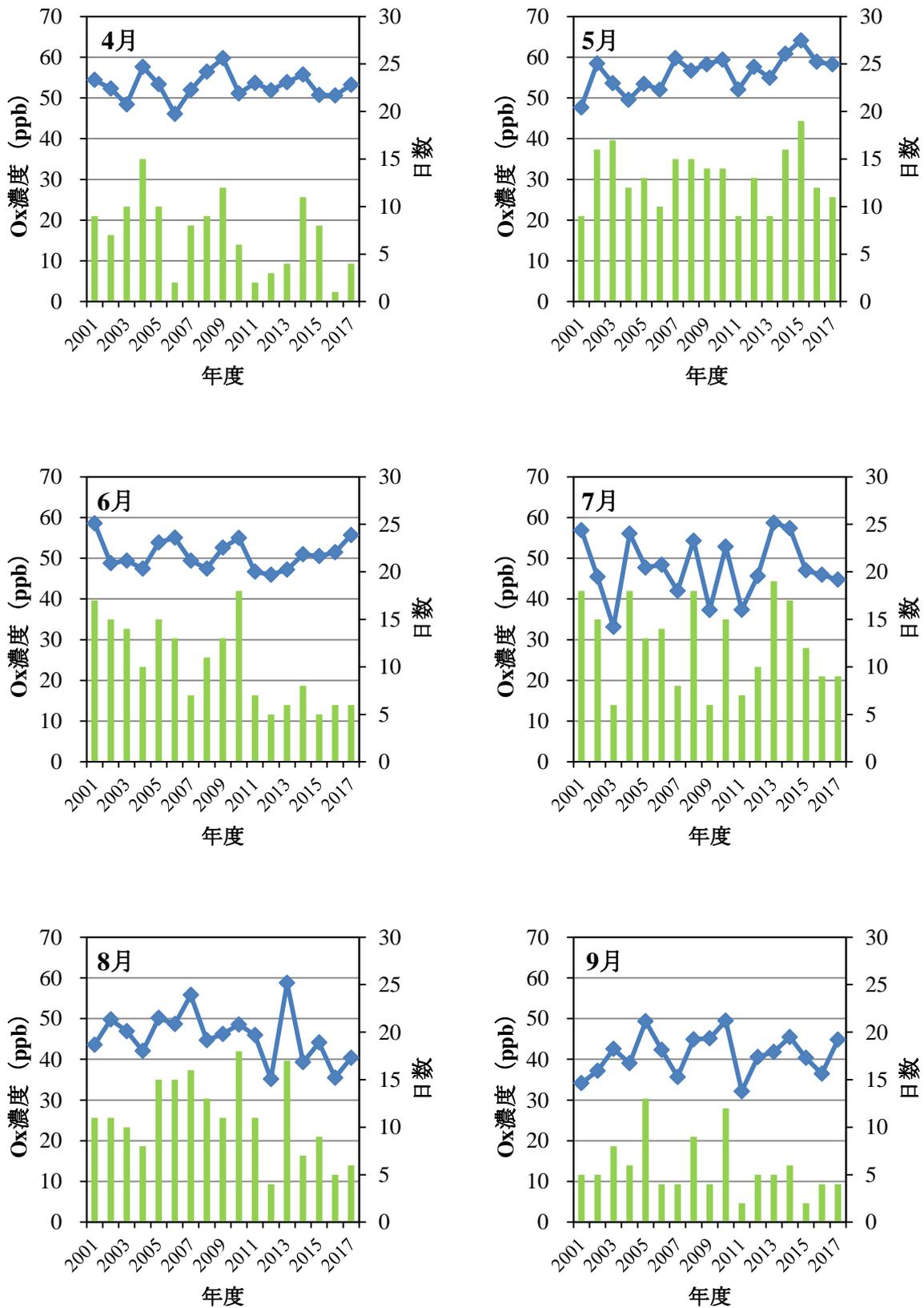


図 2-12 光化学オキシダント (Ox) 濃度の日最高 8 時間値の月別の推移 (4 ~ 9 月)

※ 一般環境大気測定局の各局の日最高 8 時間値の月別平均値を都内測定局で平均して算出した。

※ 都内測定局のうち日最高 8 時間値が 0.070 ppm を 1 局以上超過した日を超過日とした。

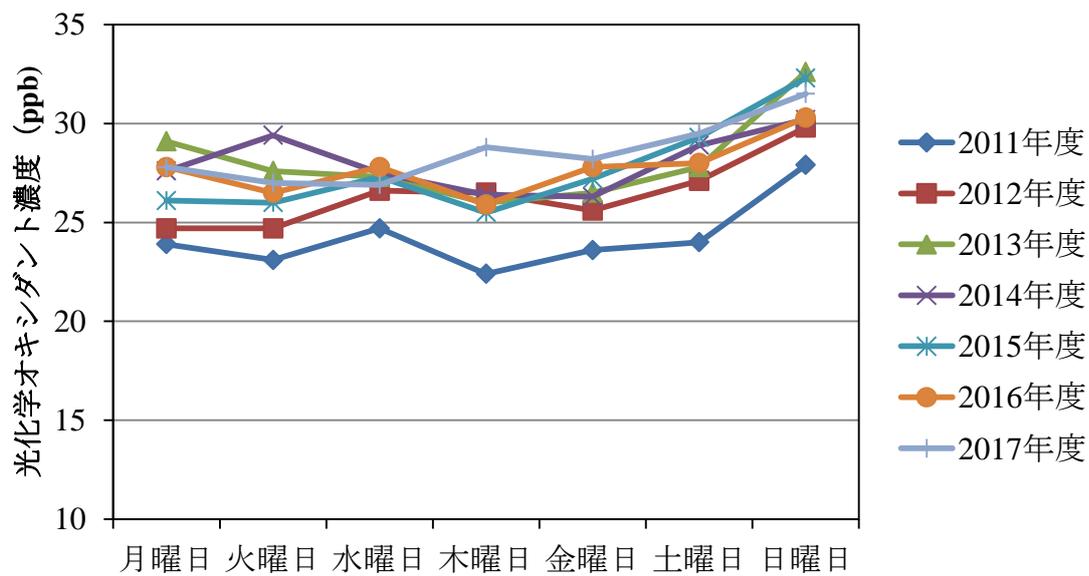


図 2-13 曜日ごとの光化学オキシダント濃度（2011年度から2017年度）

※ 都内測定局の光化学オキシダント濃度の1時間値（1時から24時）の平均値を算出した。

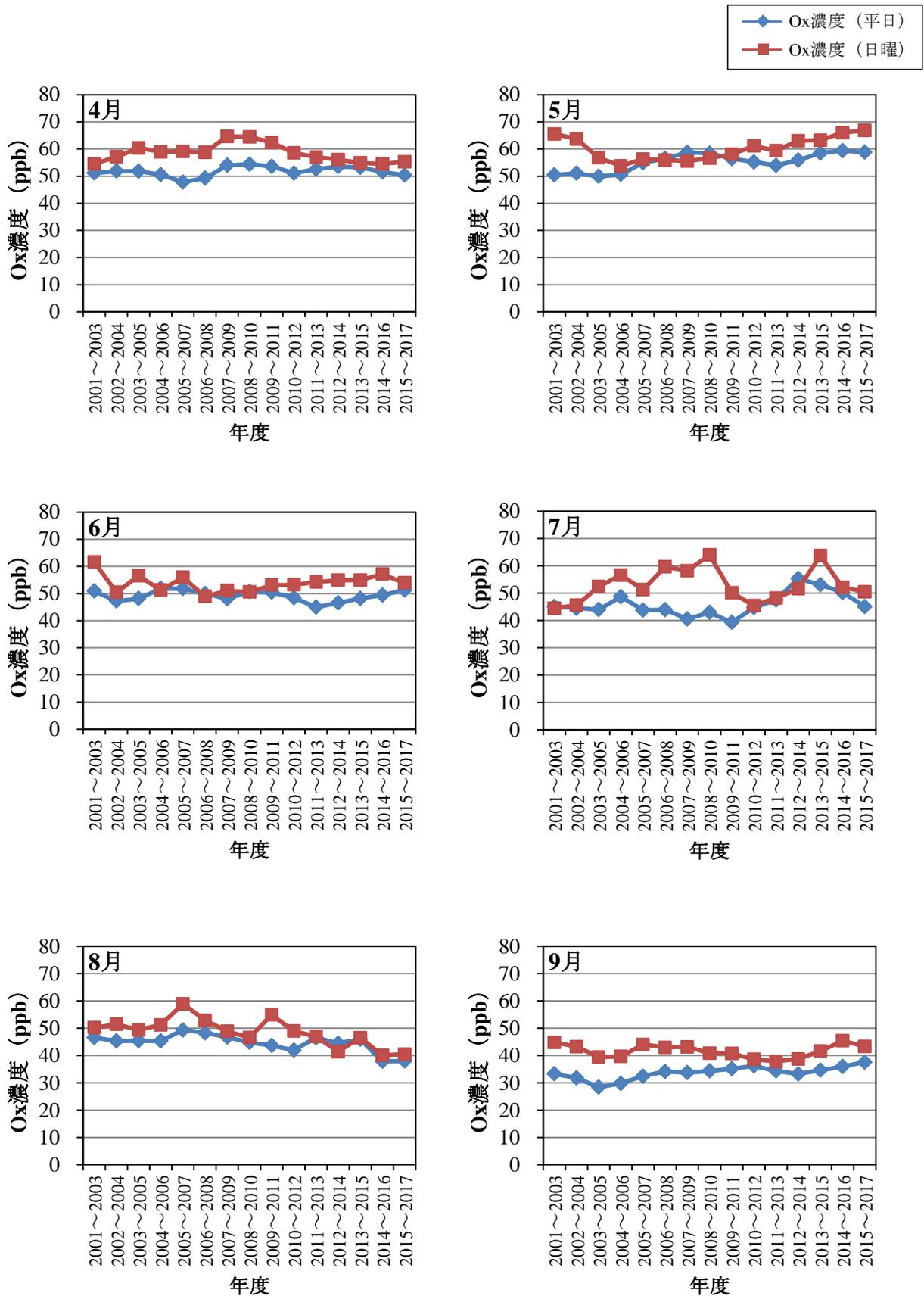


図 2-14 平日と週末（日曜日）で分類した光化学オキシダント（Ox）の日最高 8 時間値の月別の推移（暖候期）

※ 各測定局の日最高 8 時間値の月別平均値を都内測定局で平均して算出した。

※ 年度のばらつきを考慮して 3 年移動平均値で算出した。

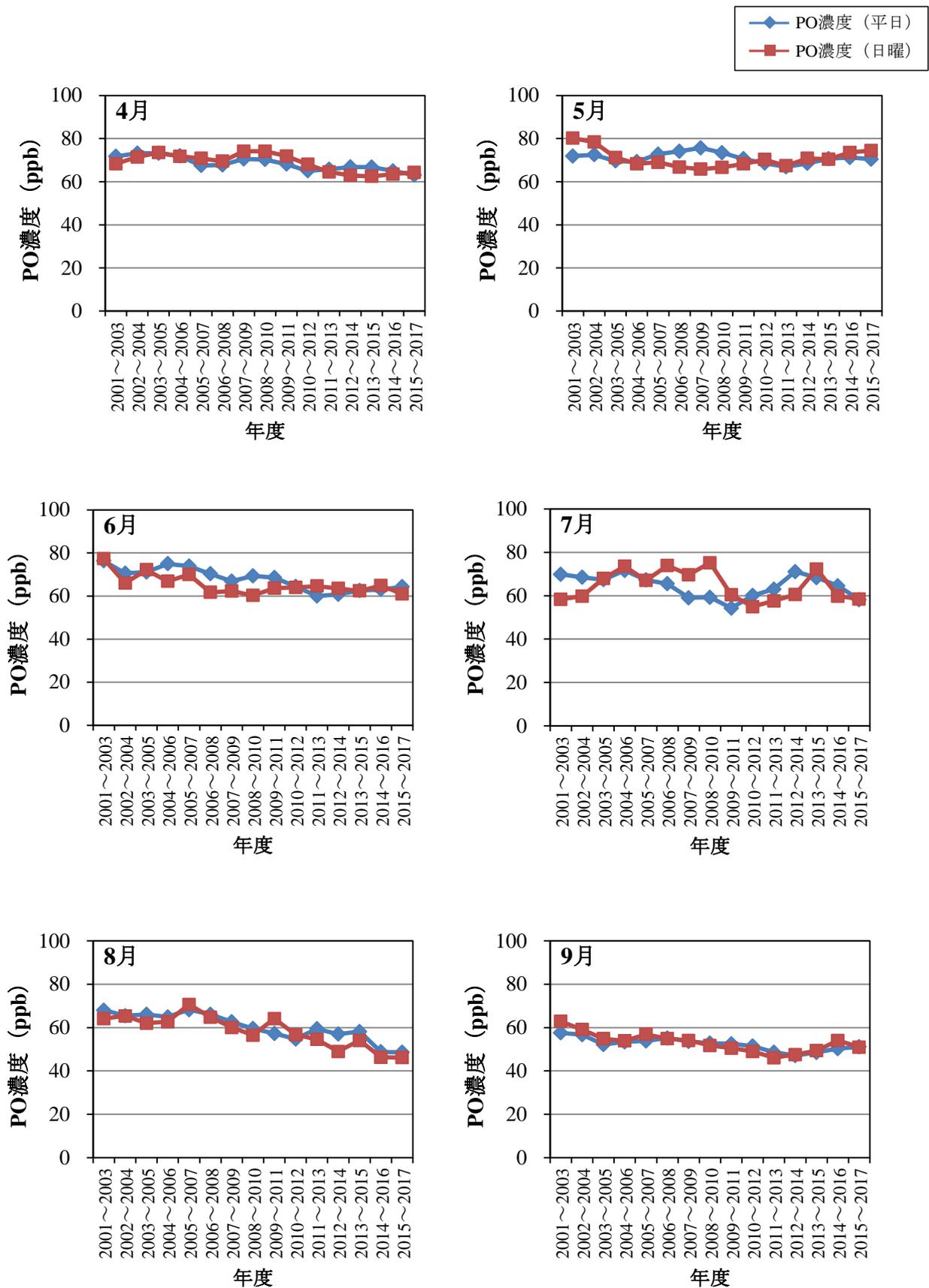


図 2-15 平日と週末（日曜日）で分類したポテンシャルオゾン（PO）日最高 8 時間値の月別の推移（暖候期）

※ 各測定局の日最高 8 時間値の月別平均値を都内測定局で平均して算出した。
 ※ 年度のばらつきを考慮して 3 年移動平均値で算出した。

2.5 島しょ部等における大気環境中濃度のデータ解析

2.5.1 背景と本調査の目的

光化学オキシダントの季節的な特徴を考察するため、暖候期（4～9月）における都内一般環境大気測定局の日内変動を整理した。その結果、春季、夏季ともに光化学オキシダント濃度が日中に上昇することが確認され、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た。また、日内変動の下限値や夜間濃度はどの月も上昇傾向にあり、NOの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）の低下が主な原因であると示唆された。一方、広域的なバックグラウンド濃度の影響も濃度変動の要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影響等を考察するため、島しょ部等におけるデータ解析を実施した。また、都内バックグラウンドの考察に当たって、関東近隣に位置する八丈島の調査結果を用いて、バックグラウンド濃度等の試算を行った。

2.5.2 解析方法

(1) 測定地点

東アジア酸性雨モニタリングネットワーク（EANET）における遠隔地点に分類された測定地点6地点及び八丈島1地点（詳細は表2-1及び図2-16のとおり）。

表 2-1 島しょ部データ解析に用いた測定地点等

調査 No	測定地点	調査機関	地域区分	分類
1	利尻	EANET	北海道	遠隔
2	小笠原	EANET	太平洋側	遠隔
3	佐渡関岬	EANET	本州中北部日本海側	遠隔
4	八方尾根	EANET	本州中北部日本海側	遠隔
5	隠岐	EANET	山陰	遠隔
6	辺戸岬	EANET	南西諸島	遠隔
7	八丈島	東京都環境科学研究所	太平洋側	その他



図 2-16 島しょ部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。

(2) 解析期間

2001 年度～2016 年度（八丈島においては、2014 年度～2016 年度の夏季及び春季）

(3) 解析方法

光化学オキシダントについて、EANET 測定地点における以下の項目の経年変化及び日内変動を整理するとともに、東京都一般環境大気測定局の平均値との比較を行った。また、八丈島調査期間における日内変動を整理し、バックグラウンド濃度の考察を行った。

- ① 年平均値
- ② 年間 4 番目に高い日最高 8 時間値の 3 年移動平均
- ③ 日内変動

2.5.3 結果及び考察

(1) 経年変化

① 年平均値

各測定地点の光化学オキシダント年平均値（昼間 5-20 時）の経年変化を図 2-17 に示す。東京都平均値では微増傾向となり、島しょ部等では山陰に位置する隠岐や太平洋側に位置する小笠原では微増傾向となった一方、八方尾根では低下傾向となった。島しょ部全体でみると、明確な上昇又は低下といった共通の傾向は確認されなかった。また、島しょ部等における年平均値は東京都平均よりも高い傾向にあった。

一方、ポテンシャルオゾン（PO）の年平均値（昼間 5-20 時）の経年変化では、東京都平均は光化学オキシダントと異なり微減傾向にあった。島しょ部等では光化学オキシダントと同様に、山陰に位置する隠岐では微増傾向となり、八方尾根では低下傾向を示した。島しょ部全体でみると、明確な上昇又は低下といった共通の傾向は確認されなかった。また、島しょ部等と東京都平均の 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 PO は同程度の濃度レベルであった（図 2-18）。

各測定地点の光化学オキシダント年平均値（24 時間平均）の経年変化を図 2-19 に、PO の年平均値（24 時間平均）の経年変化を図 2-20 に示す。東京都平均では 24 時間平均の光化学オキシダント、PO とともに、昼間 5-20 時平均に比べて濃度は低いが、濃度推移は同様の傾向を示した（光化学オキシダント：微増傾向、PO：微減傾向）。また、島しょ部等では、昼間 5-20 時平均と 24 時間平均は、光化学オキシダントと PO とともに同程度であり、濃度推移も同様の傾向であった（隠岐・小笠原：微増傾向、八方尾根：低下傾向）。

島しょ部等では近傍に発生源がなく、NO_x が低濃度となるため、光化学オキシダントと PO は同程度となる一方、東京都では自動車や工場等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、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。

島しょ部等と東京都における光化学オキシダントを考察する場合、島しょ部等では光化学オキシダント、東京都では PO で比較することが妥当であると考え、以後の考察を行った。

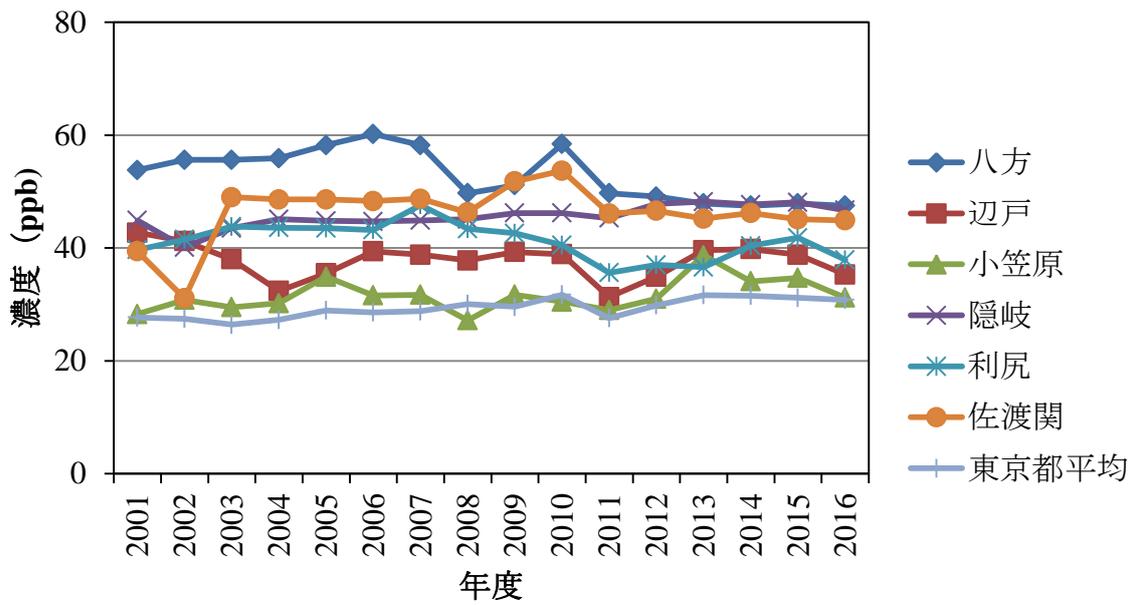


図 2-17 島しょ部等における光化学オキシダント年平均値（昼間 5-20 時）

※ 東京都平均は東京都内の一般環境大気測定局の平均値

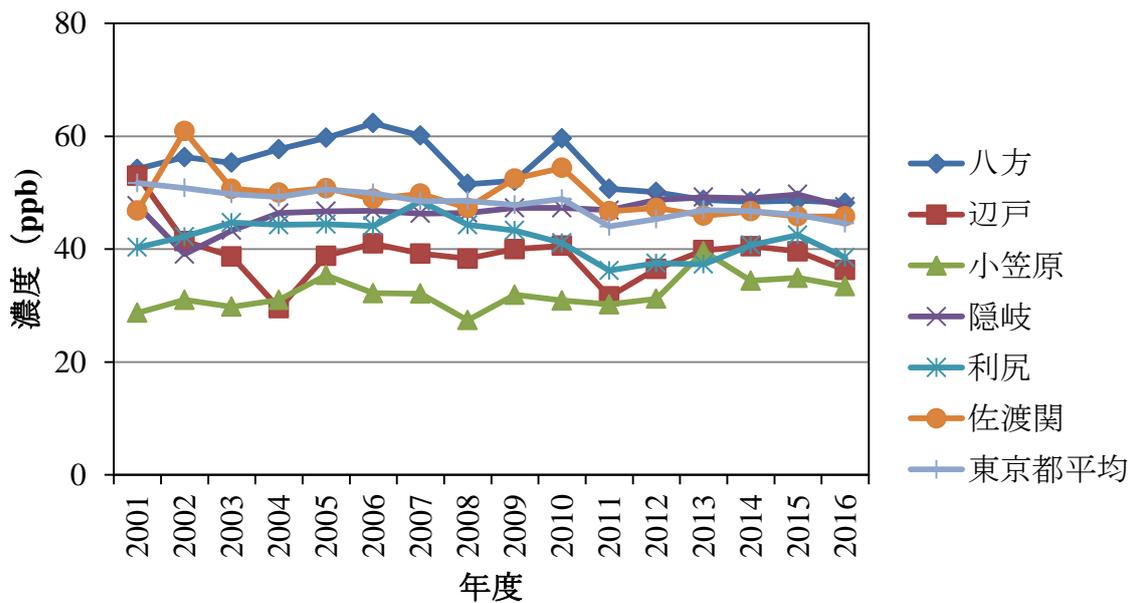


図 2-18 島しょ部等におけるポテンシャルオゾン PO 年平均値（昼間 5-20 時）

※ 東京都平均は東京都内の一般環境大気測定局の平均値

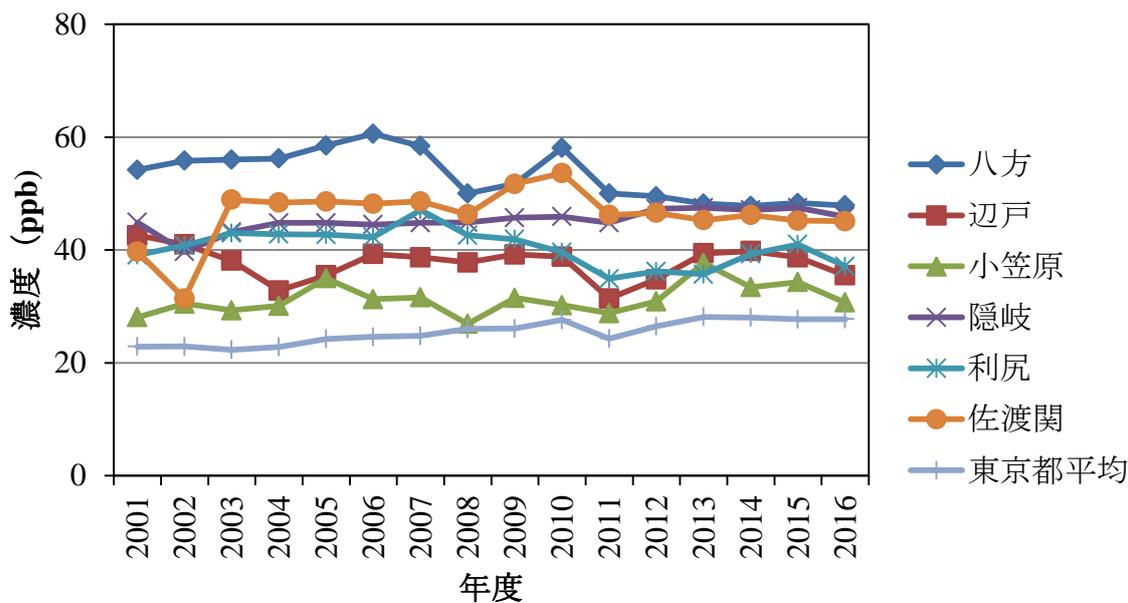


図 2-19 島しょ部等における光化学オキシダント年平均値 (24 時間 : 1-24 時)

※ 東京都平均は東京都内の一般環境大気測定局の平均値

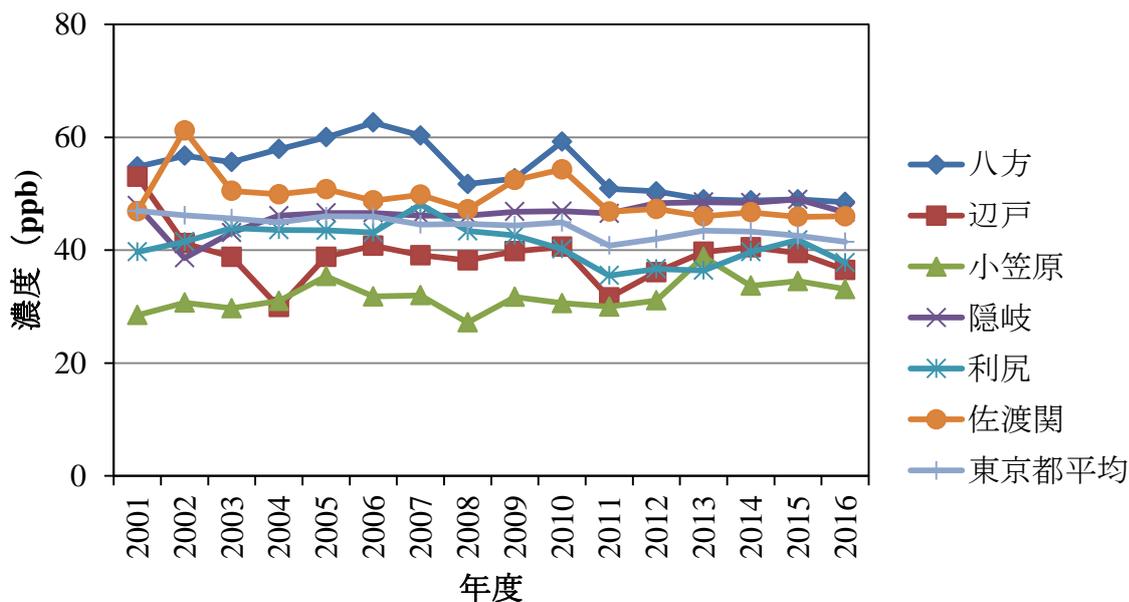


図 2-20 島しょ部等におけるポテンシャルオゾン PO 年平均値 (24 時間 : 1-24 時)

※ 東京都平均は東京都内の一般環境大気測定局の年平均値

② 年間4番目に高い日最高8時間値の3年移動平均

光化学オキシダントの年間4番目に高い日最高8時間値の3年移動平均の経年変化では、東京都平均値では低下傾向を示す一方、島しょ部等では明確な上昇又は低下傾向は確認されなかった（図 2-21）。

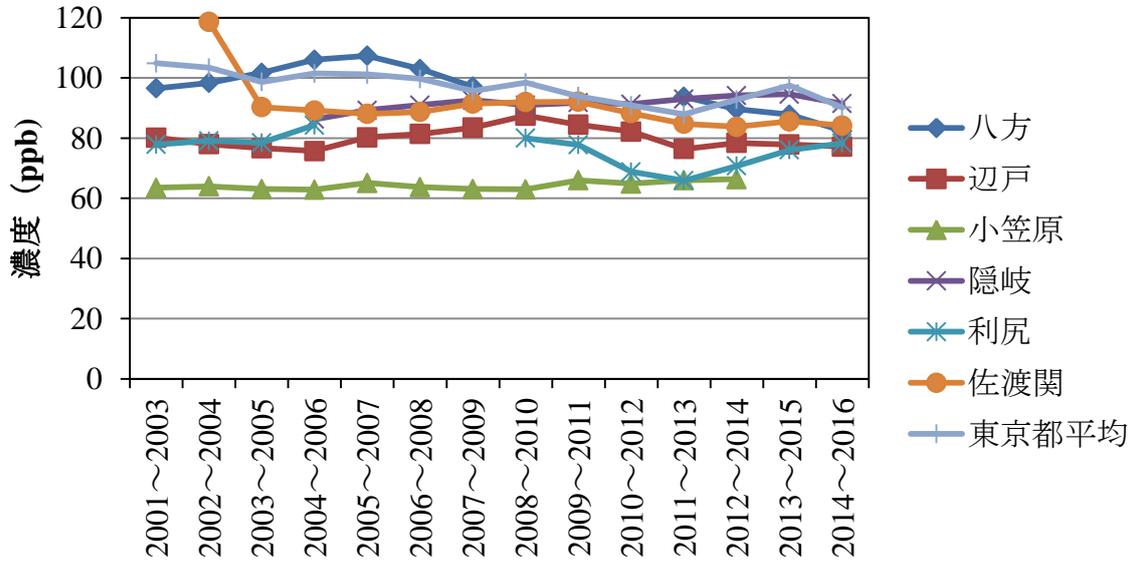


図 2-21 島しょ部等における年間4番目に高い日最高8時間値の3年移動平均の推移
(光化学オキシダント)

※ 東京都平均は東京都内の一般環境大気測定局の平均値
 ※ データの空欄は、欠測等により有効日数が足りなかったため。

(2) 日内変動

各調査地点における光化学オキシダントの日内変動を図 2-22 及び図 2-23 に示す。小笠原及び隠岐のみ示し、その他の島しょ部等の日内変動は参考図 1～参考図 4 に示した。島しょ部等では、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、一定の濃度推移が確認された。島しょ部等では、都内と異なり近傍に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。

日内変動の最小値（島しょ部等では変動がないため平均値として扱う）では、夏季よりも春季で高くなる傾向は東京都の光化学オキシダント日内変動の最小値と同様であった。島しょ部等では、太平洋側に位置する辺戸、小笠原における光化学オキシダント濃度は低く、日本海側に位置する隠岐、佐渡関、八方等における光化学オキシダント濃度は太平洋側よりも高い傾向にあった。日本海側の遠隔測定地点では、国内外を含む何らかの汚染排出による気塊の影響を受けていると考えられる。

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。

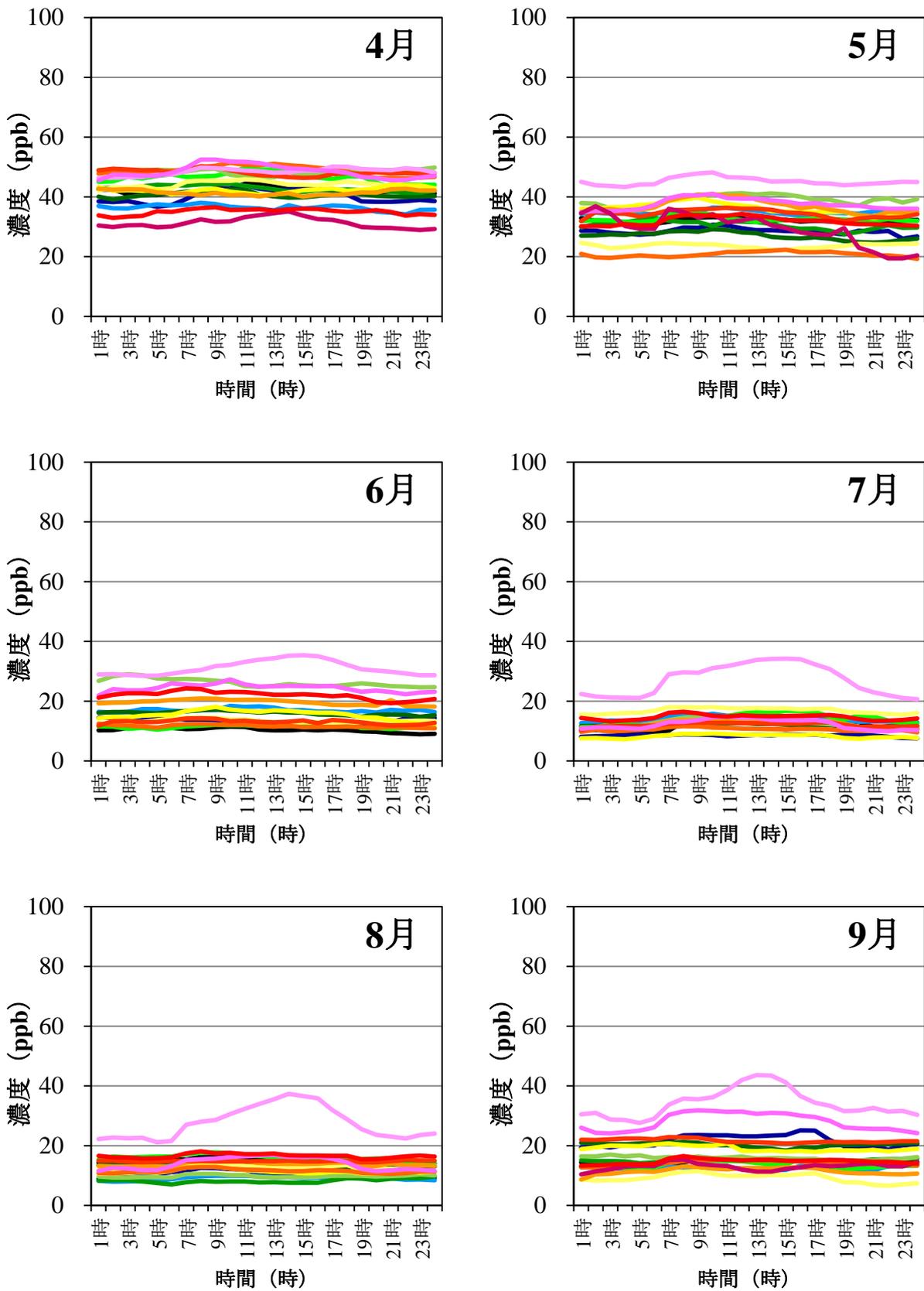
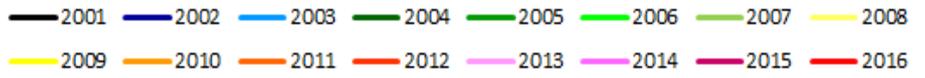


図 2-22 島しょ部等における光化学オキシダント日内変動 (4-9 月) 小笠原

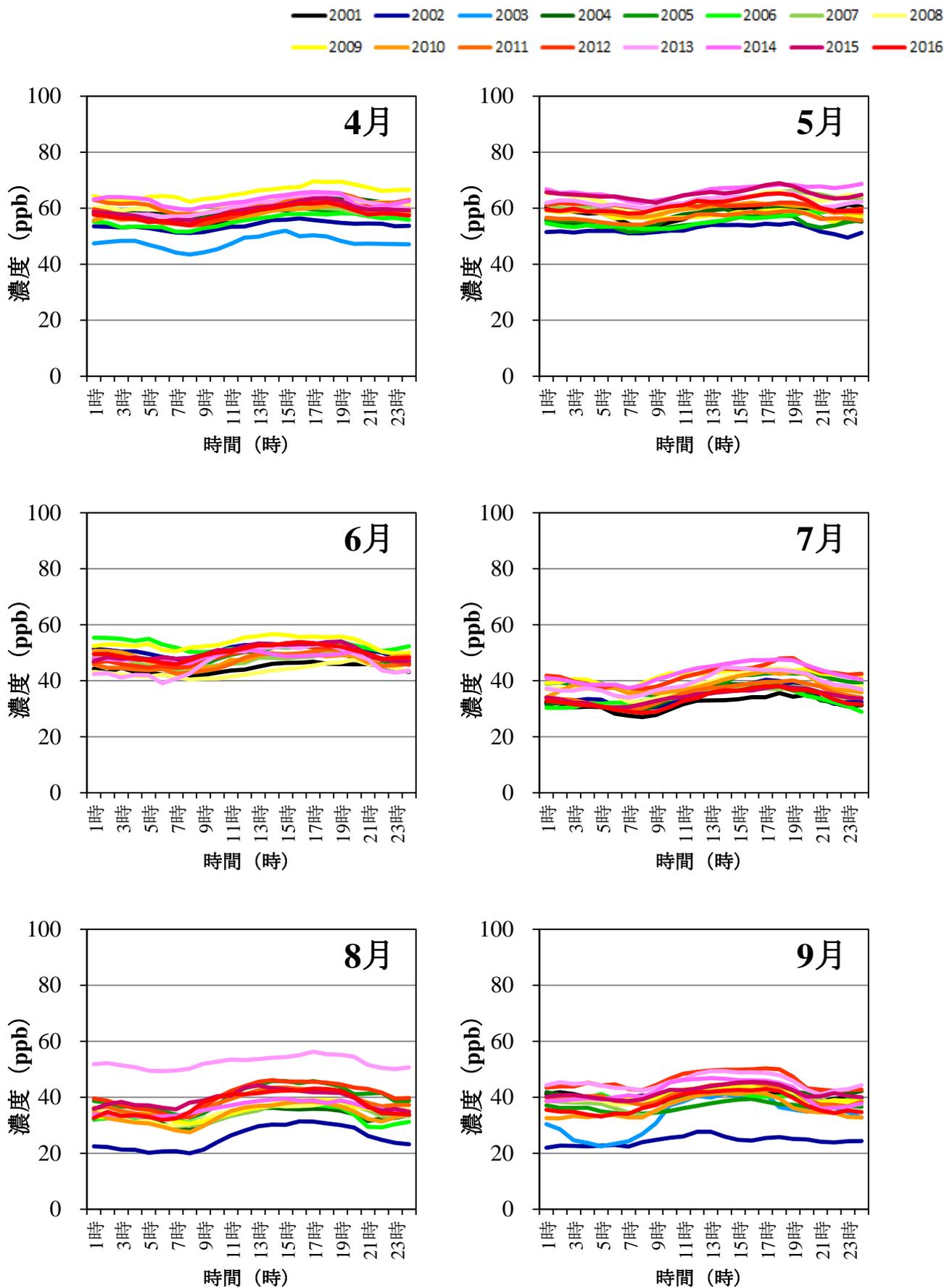


図 2-23 島しょ部等における光化学オキシダント日内変動（4-9月）隠岐

(3) 八丈島における光化学オキシダント

① 概要

上記解析では、日本海側の島しょ部等における光化学オキシダントは太平洋側の島しょ部等よりも濃度が高い傾向にあり、小笠原等の測定地点は全球的なバックグラウンド濃度の影響考察には適していると考えられる。しかし、都内バックグラウンド濃度を考察するには、地点間の距離が離れすぎている点に注意が必要である。

そこで、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観測結果を用いて、東京都内濃度との比較やバックグラウンド濃度の考察を行った。

② 解析期間（八丈島調査年度）

2014年7月23日14時～9月24日14時

2015年7月3日11時～10月9日10時

2016年3月17日12時～2016年9月22日10時

③ 日内変動

各月の八丈島及びEANET測定地点の光化学オキシダント、東京都平均POの日内変動を図2-24及び図2-25に示す。八丈島においても、EANET遠隔測定地点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。東京都における日内変動PO濃度の最小値は、春季、夏季ともに小笠原、辺戸、八丈島の光化学オキシダント日平均値と同程度の濃度であり、八丈島における日内変動の光化学オキシダント平均値は夏季よりも春季で高かった。

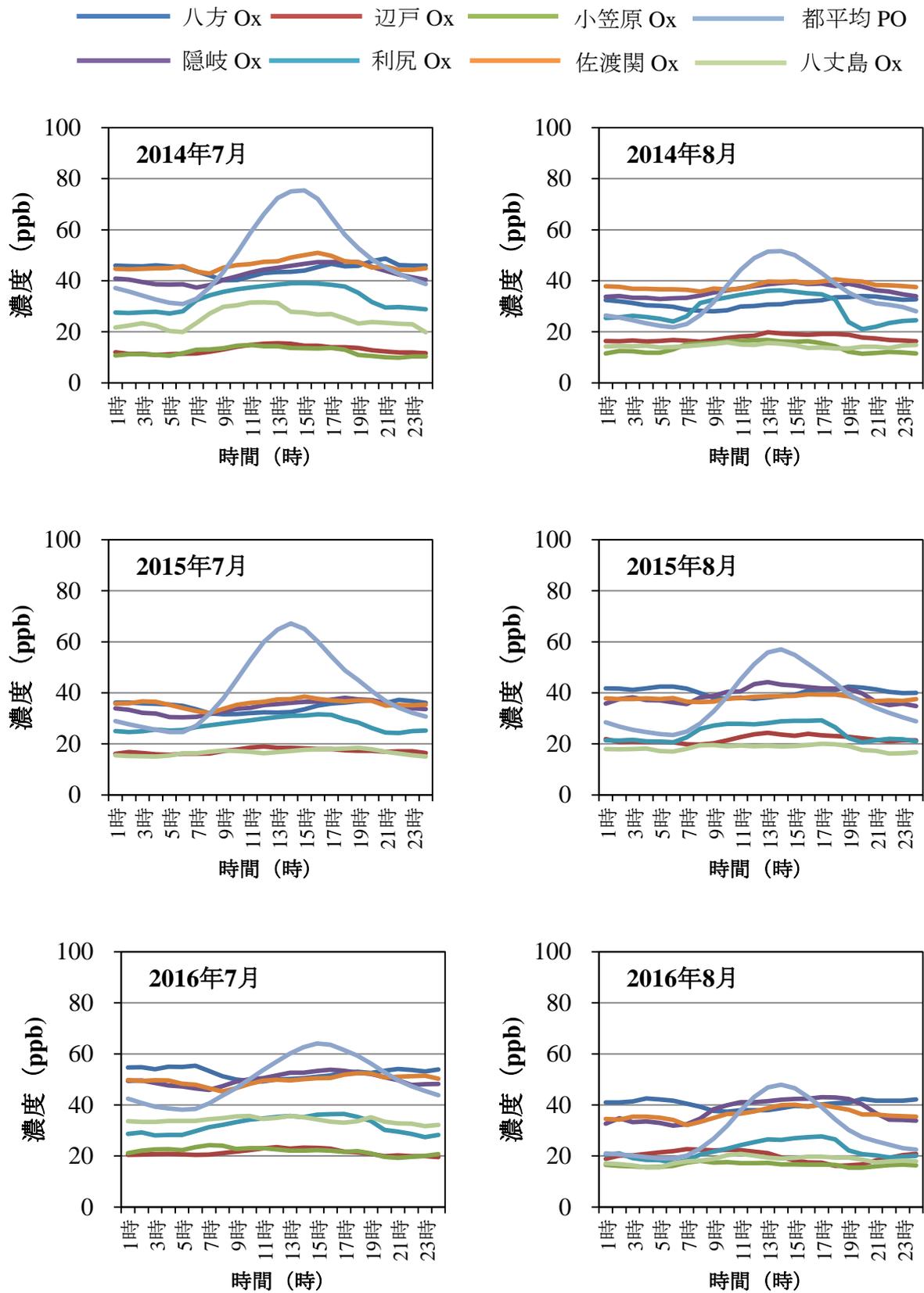


図 2-24 八丈島調査年度における八丈島及び Eanet 測定地点の光化学オキシダントと東京都平均 PO の日内変動 (左 : 7 月、右 : 8 月 (2014 年度から 2016 年度))

※ 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。八丈島及び Eanet 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。

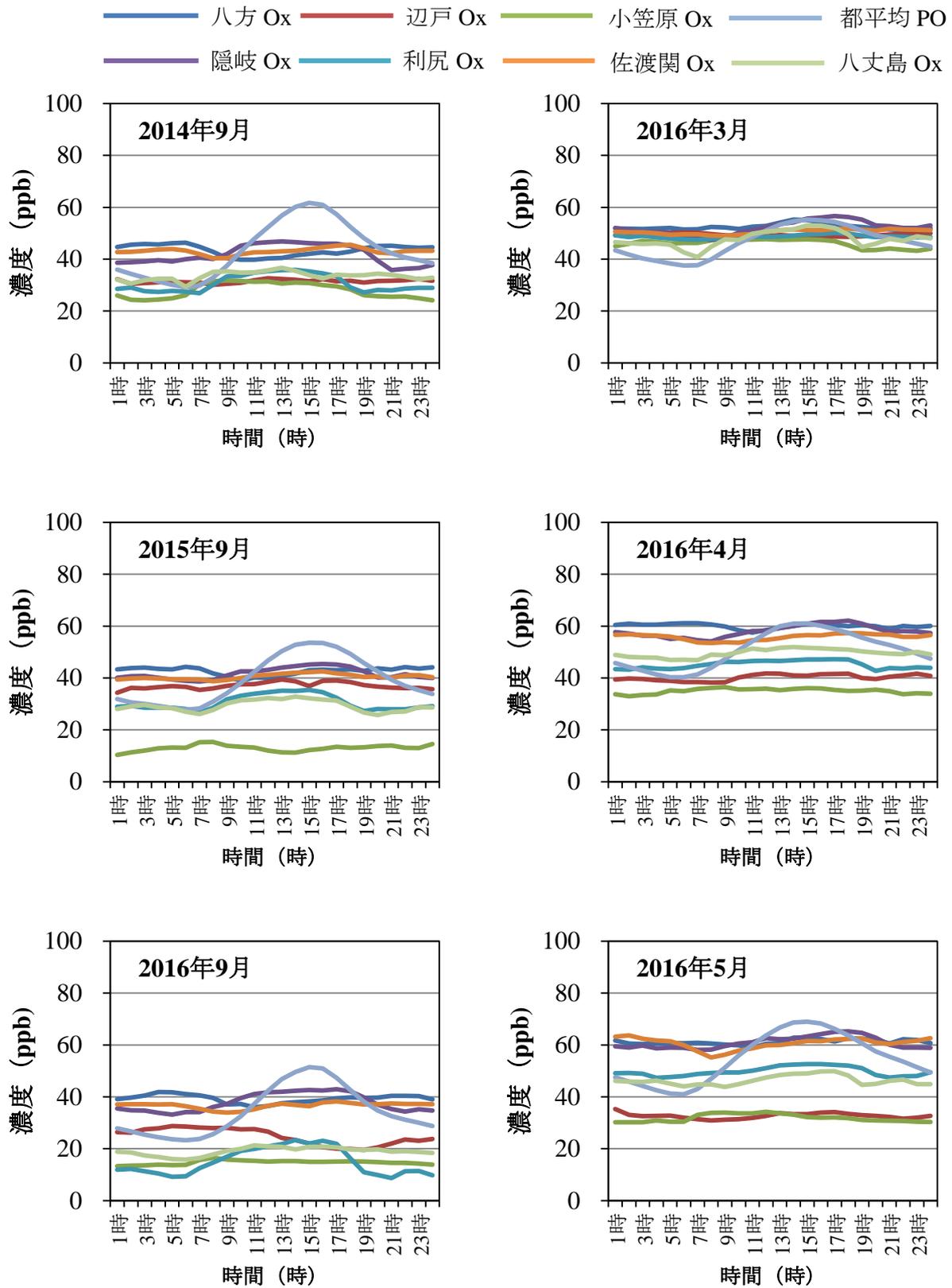


図 2-25 八丈島調査年度における八丈島及び EANET 測定地点の光化学オキシダントと東京都平均 PO の日内変動 (左: 9 月 (2014 年度から 2016 年度)、右: 3, 4, 5 月 (2016 年))

※ 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。

④ バックグラウンド濃度の推定

東京都における日内変動の PO 濃度の最小値が八丈島の日平均値と同程度であったことから、東京都平均 PO 濃度と八丈島の光化学オキシダント濃度変動の結果から都内光化学オキシダントバックグラウンド濃度の推計を試みた。推計に当たっては、バックグラウンド濃度、域内生成濃度を以下のように仮定して算出した（図 2-26）。

- ・ バックグラウンド濃度：[八丈島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]

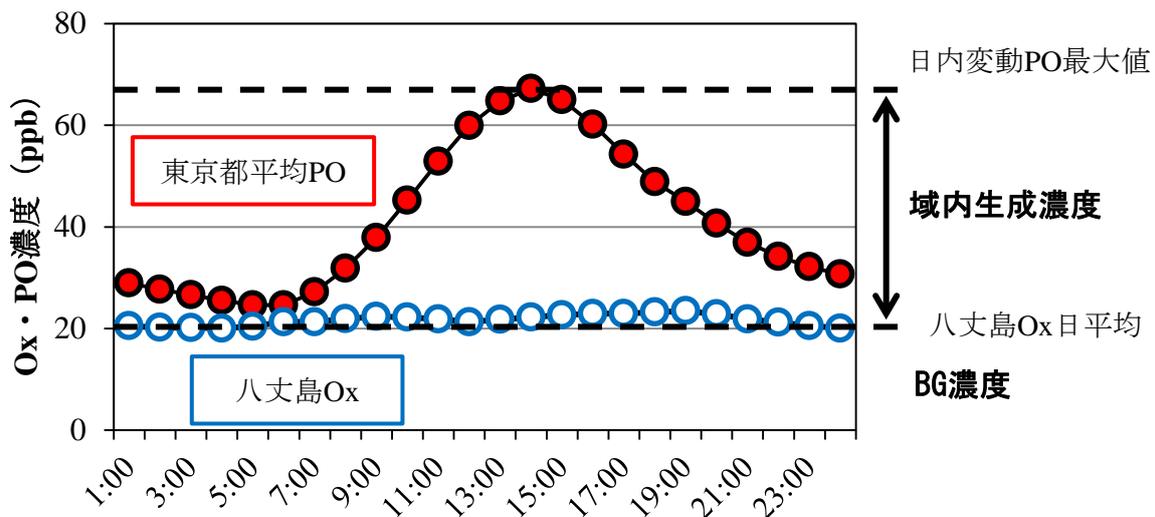


図 2-26 都内光化学オキシダントのバックグラウンド（BG）濃度、域内生成濃度の算出イメージ

※ 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。

バックグラウンド濃度、域内生成濃度を図 2-27 に示す。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。また、光化学スモッグ注意報発令日が確認されるような夏季では域内生成濃度が高くなる傾向がみられた。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。

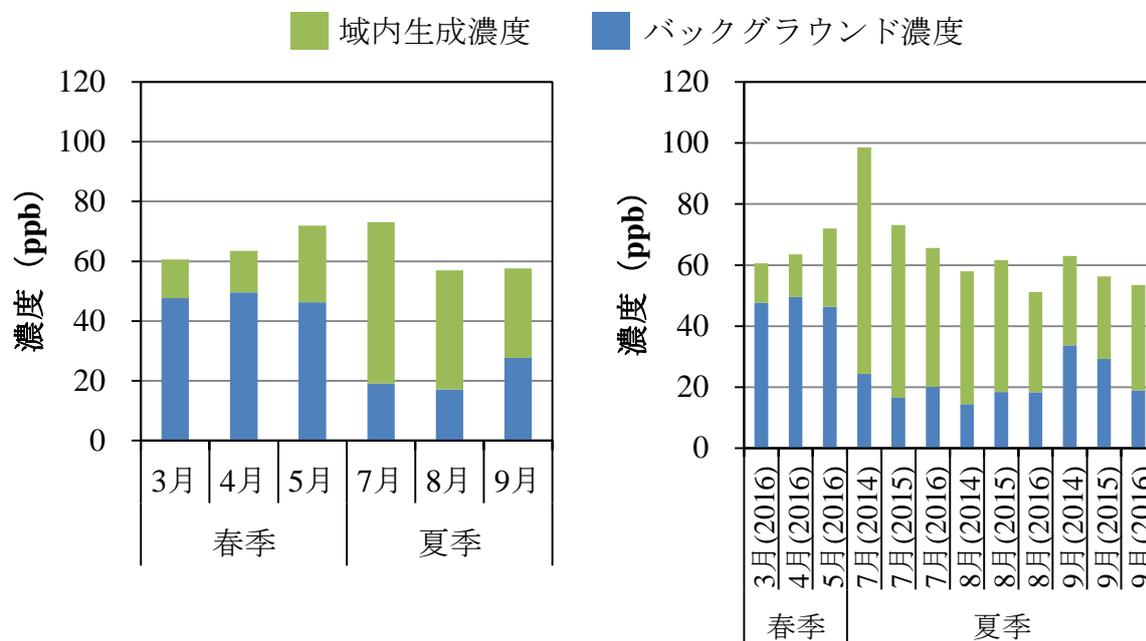


図 2-27 八丈島調査結果から求めた都内バックグラウンド濃度、域内生成濃度

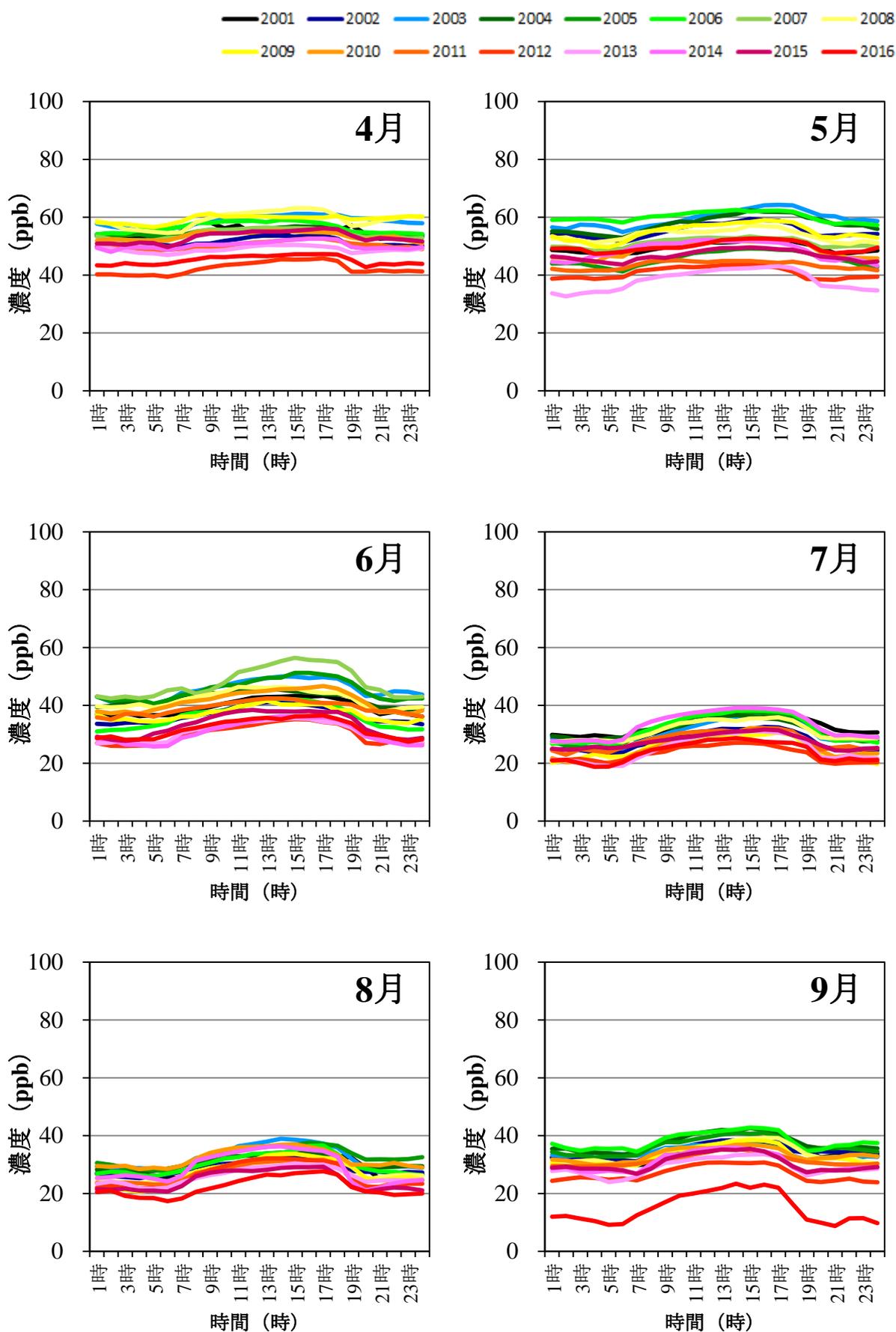
左図：各調査年度を含めた月平均値、右図：各調査年度の月平均値

※ 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。

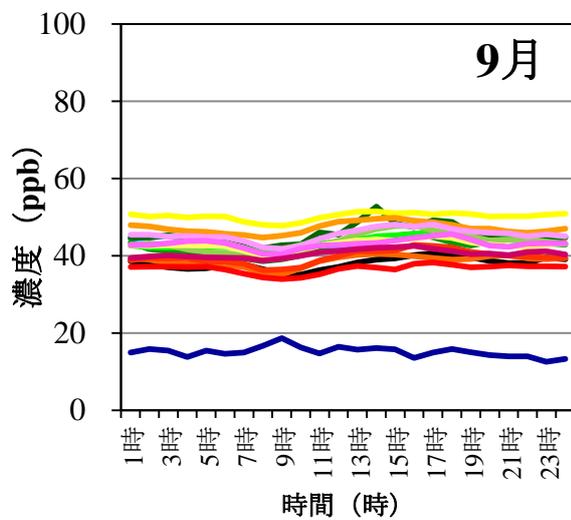
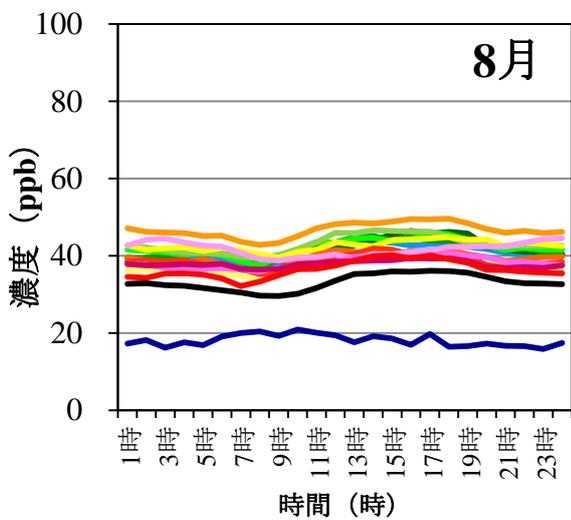
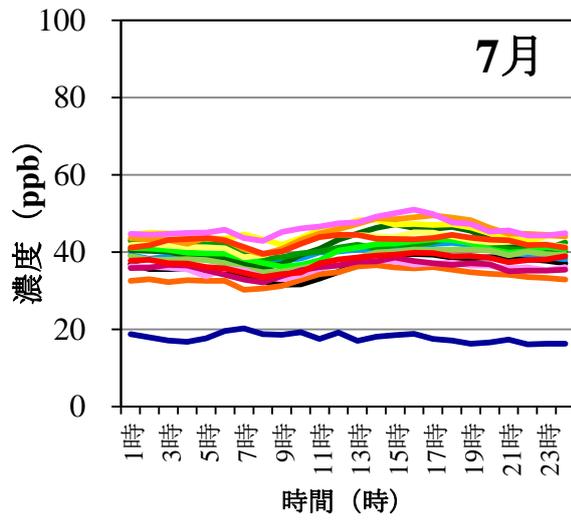
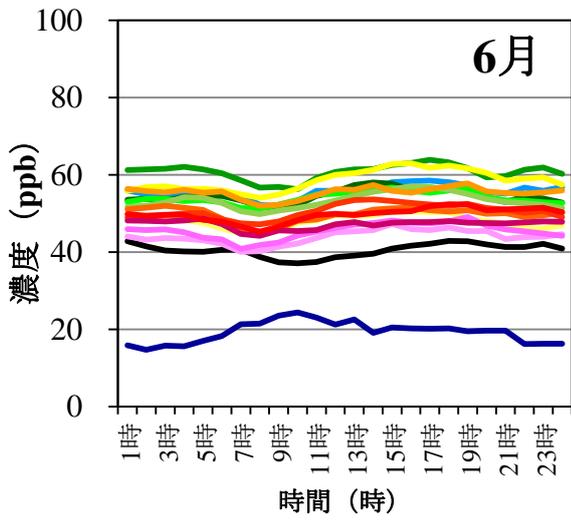
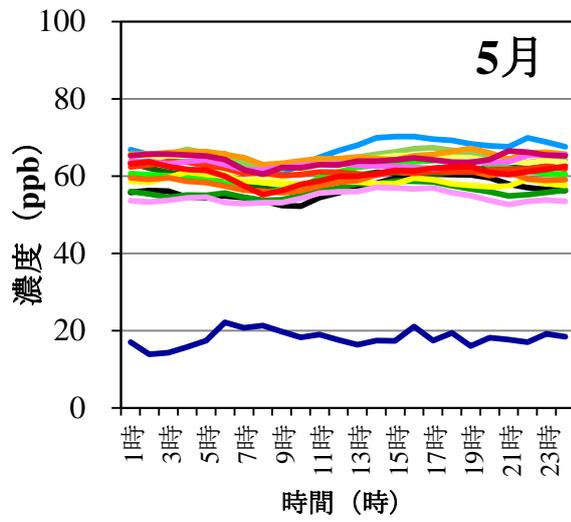
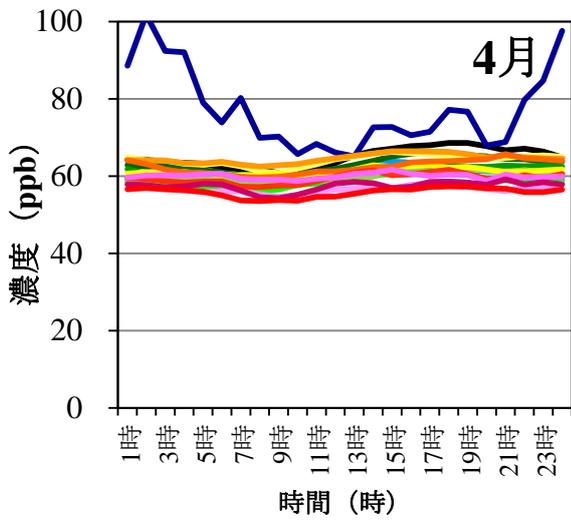
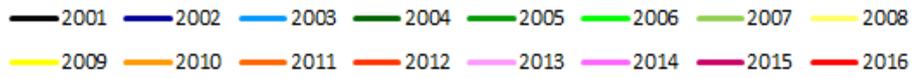
2.5.4 まとめ

島しょ部等における本データ解析結果のまとめを以下に示す。

- ・ 島しょ部等との光化学オキシダント濃度の考察に当たっては、都内では PO 濃度での評価が妥当であると考えられた。
- ・ 日本海側に位置する隠岐等の光化学オキシダント濃度は、太平洋側に位置する小笠原等の光化学オキシダント濃度よりも高い傾向にあり、日本海側に位置する島しょ部等では、ローカルな発生源以外の影響が考えられた。
- ・ 都内日内変動 PO の最小値は八丈島と同程度であった。
- ・ 八丈島光化学オキシダントと都内 PO を用いた都内バックグラウンド濃度の考察を行ったところ、都内バックグラウンド濃度の試算では、夏季で約 20 ppb、春季で約 50 ppb となり、季節間で違いがみられた。
- ・ 光化学オキシダント高濃度時が確認される夏季において、域内生成濃度の影響が大きくなったことから、都内における光化学オキシダント高濃度時は、関東域内における局所的な生成の影響が示唆された。

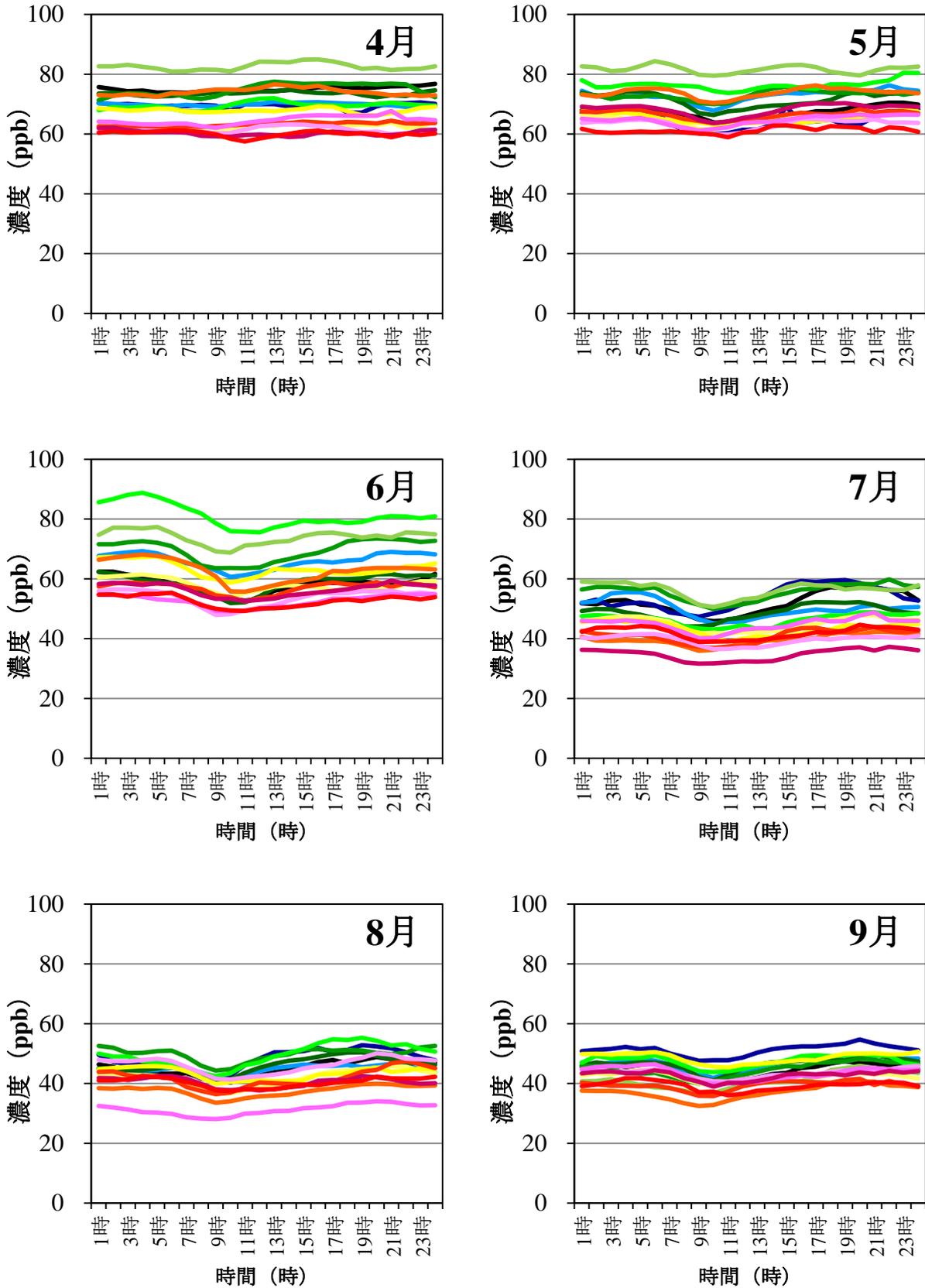


参考図 1 島しょ部等における Ox 日内変動 (4-9 月) 利尻

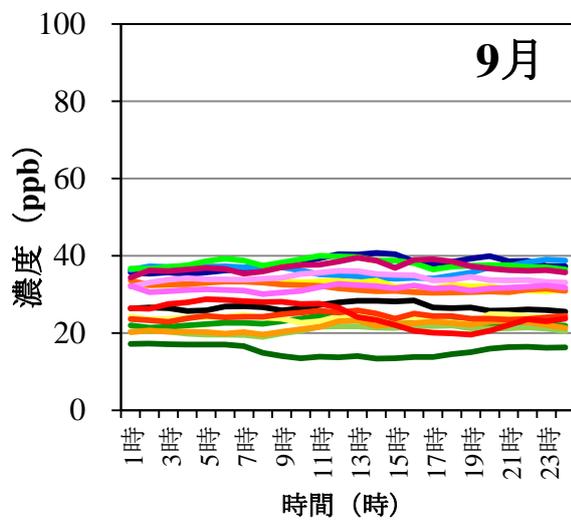
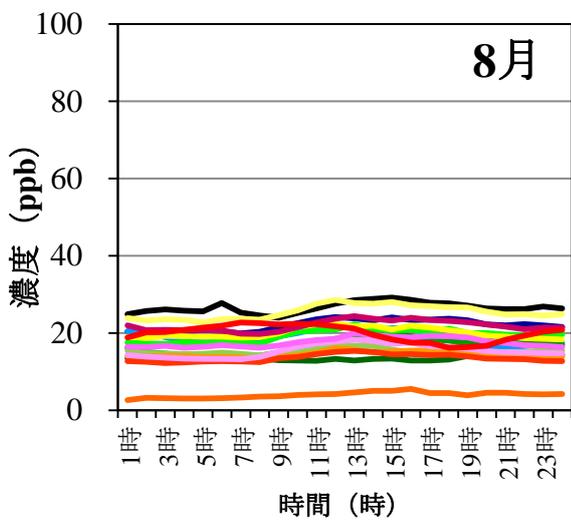
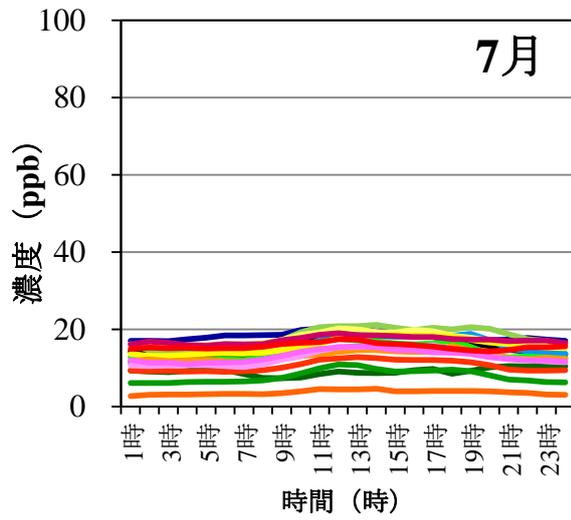
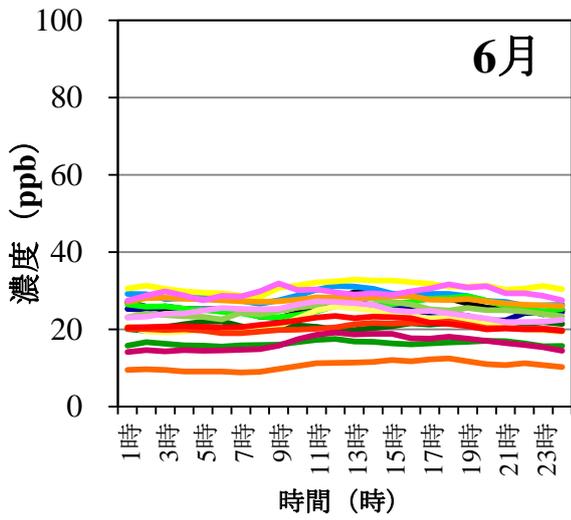
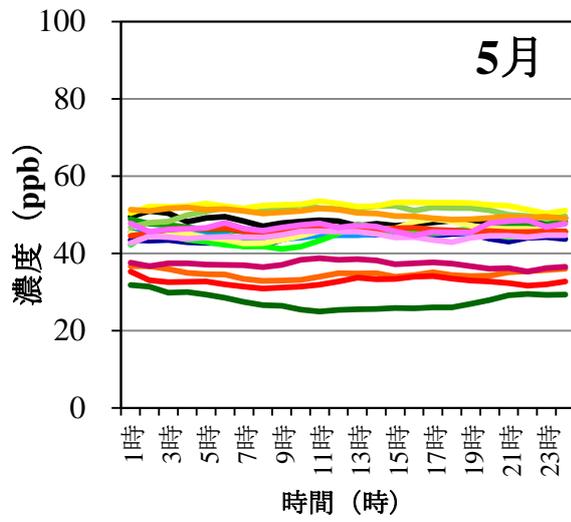
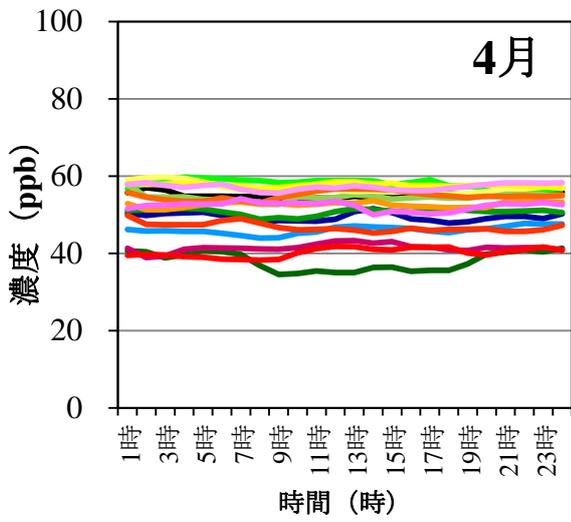
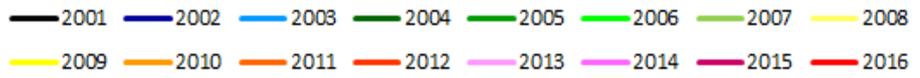


参考図 2 島しょ部等における Ox 日内変動 (4-9 月) 佐渡関岬

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



参考図 3 島しょ部等における Ox 日内変動 (4-9 月) 八方尾根



参考図 4 島しょ部等における Ox 日内変動 (4-9 月) 辺戸岬