

大気中微小粒子状物質検討会

資料編 2

シミュレーション解析調査

目次

1	はじめに.....	57
1.1	目的.....	57
1.2	調査の概要.....	57
2	シミュレーションモデルの設定.....	58
2.1	シミュレーションモデルの設定.....	58
2.1.1	使用したインベントリと年次補正手法.....	58
2.1.2	シミュレーションの計算期間及び対象領域.....	60
2.1.3	気象モデル (WRF) のシミュレーションの設定方法.....	60
2.1.4	化学輸送モデル (CMAQ) のシミュレーションの設定方法.....	60
2.2	シミュレーションモデルの性能評価について.....	63
2.2.1	気象モデルの性能評価.....	63
2.2.2	化学輸送モデルによる大気汚染物質濃度シミュレーションの性能評価.....	67
3	シミュレーションモデルによる発生源寄与割合の推計.....	82
3.1	発生源寄与解析の実施手法.....	82
3.1.1	発生源寄与解析の対象発生源及び計算期間.....	82
3.2	2008年度発生源寄与割合の推計.....	85
3.2.1	PM _{2.5} 発生源寄与割合推計結果.....	85
3.2.2	光化学オキシダント発生源寄与割合推計結果.....	96
3.3	2015年度発生源寄与割合の推計.....	106
3.3.1	PM _{2.5} 発生源寄与割合推計結果.....	106
3.3.2	光化学オキシダント発生源寄与割合推計結果.....	126
3.4	2008年度と2015年度の比較について.....	141
3.4.1	2008年度と2015年度のPM _{2.5} 発生源寄与割合の比較.....	141
3.4.2	2008年度と2015年度の光化学オキシダント発生源寄与割合の比較.....	143
3.5	シミュレーションモデルにおける排出インベントリと気象の影響解析.....	145
3.5.1	PM _{2.5} における排出インベントリと気象の影響解析について.....	145
3.5.2	光化学オキシダントにおける排出インベントリと気象の影響解析について.....	150
3.6	自動車の光化学オキシダントへの影響に関する詳細解析.....	152
3.6.1	自動車詳細解析の背景及び手法.....	152
3.6.2	自動車詳細解析の結果.....	154
3.7	発生源寄与割合推計のまとめ.....	161
4	レセプターモデルを用いたPM _{2.5} の発生源寄与割合の推計.....	163
4.1	成分測定データに対する前処理.....	163
4.1.1	データの取得と基本的な確認.....	163
4.1.2	各地点における各成分の有効な測定値数の確認.....	163
4.1.3	解析に使用する成分の選定.....	165
4.1.4	解析に使用するレコードの選定.....	168

4.1.5	検出限界未満の測定値の取り扱い.....	169
4.2	CMB 解析の実施.....	169
4.3	PMF 解析の実施.....	172
4.3.1	不確かさの算出.....	172
4.3.2	統計的に最適な因子数の選択.....	172
4.3.3	因子プロファイルの可視化.....	173
4.4	CMB 解析及び PMF 解析の結果.....	177
5	シミュレーションモデルとレセプターモデルの比較について.....	188
5.1	シミュレーションモデルとレセプターモデルの結果の比較.....	188
5.2	シミュレーションモデルとレセプターモデルを用いた発生源寄与割合の試算 (参考).....	190
5.2.1	シミュレーションモデルによる計算結果の補正.....	190
5.2.2	発生源寄与割合推計結果の補正.....	192
5.2.3	PM _{2.5} 発生源寄与割合の推計結果.....	195
6	シミュレーションモデルを用いた将来シナリオにおける将来濃度推計.....	197
6.1	シナリオにおける将来濃度推計と目的.....	197
6.2	将来シナリオにおける将来濃度推計の計算結果.....	202
6.2.1	2024 年度における PM _{2.5} の将来濃度推計結果.....	202
6.2.2	2030 年度における光化学オキシダントの将来濃度推計結果.....	213
6.3	対策事例調査に基づく削減対策事例による大気汚染物質濃度の低減効果の考 察.....	233
6.3.1	削減対策事例を基とした排出インベントリについて.....	233
6.3.2	削減対策事例を適用した場合の光化学オキシダント濃度の低減効果の推 計.....	234
6.4	シミュレーションモデルを用いた将来シナリオにおける濃度推計のまとめ	238
7	PM _{2.5} 及び光化学オキシダントの高濃度イベントの類型化.....	239
7.1	解析に使用するデータの準備.....	239
7.2	主成分分析を用いた高濃度イベントの類型化.....	244
7.2.1	PM _{2.5} の類型化.....	244
7.2.2	光化学オキシダントの類型化.....	251
8	シミュレーション解析調査のまとめ.....	259
8.1	発生源寄与割合推計.....	259
8.2	将来シナリオにおける大気汚染物質の将来濃度推計.....	259

1 はじめに

1.1 目的

本調査は、PM_{2.5}及び光化学オキシダントの大気環境中濃度を再現するシミュレーションモデルを構築し、構築したシミュレーションモデルを用いたシミュレーション解析により各発生源のPM_{2.5}及び光化学オキシダントへの影響を明らかにすることで、東京都政策目標達成に向けた施策を検討するための基礎資料とすることを目的とした。

1.2 調査の概要

本調査では、2008年度及び2015年度のPM_{2.5}及び光化学オキシダントに対する発生源寄与割合を算出することを目的としている。まず、シミュレーションモデルを構築し、2008年度及び2015年度の基準計算を実施した。

2章では、シミュレーションによる基準計算の精度や不確実性等を議論するため、大気汚染物質の濃度計算のインプット条件となるインベントリのデータ間の確認や気象場及び大気汚染物質濃度の再現性の確認を行った。

3章では、シミュレーションモデルの再現性の確認を実施した上で、PM_{2.5}及び光化学オキシダントの発生源寄与解析を実施し、関東地域の主要な汚染物質の排出源について考察した。発生源寄与割合の算出に当たっては、各発生源の排出量をゼロにした計算を都度実施していくゼロアウト法を採用した。また、追加的な検討として、気象場を統一した状態で2008年度と2015年度の発生源寄与解析を実施し、気象場の影響を議論するとともに、光化学オキシダントの前駆物質の主要な排出源の一つとされた自動車について、より詳細な発生源寄与解析を実施した。

4章では、2015年度のPM_{2.5}成分分析結果を基に発生源寄与割合を統計的に算出するレセプターモデルを適用し、発生源寄与割合を推計した。

5章では、レセプターモデルとシミュレーションモデルの定性的な比較を行った。また、2008年度から2011年度の大気中微小粒子状物質検討会で実施したシミュレーションモデルとレセプターモデルを用いた推計手法とおおむね同様の考え方で、本解析結果についてPM_{2.5}発生源寄与割合を試算した。

6章では、将来シナリオの排出量を設定し、シミュレーションモデルを用いて2024年度及び2030年度における将来濃度推計を実施し、東京都政策目標の達成状況について考察した。また、対策事例調査の結果を適用した場合の濃度推計を実施し、対策事例が大気環境濃度に及ぼす影響についても考察した。

7章では、大気汚染物質濃度の変動や気象条件を整理することで、高濃度日の類型化を実施し、高濃度日イベントの事例解析の整理方法を提示するとともに、高濃度日イベントについて、測定値の主成分分析によって類型化した結果を整理した。

8章でシミュレーション解析調査のまとめを行った。

2 シミュレーションモデルの設定

本章では、大気汚染物質濃度の予測シミュレーションモデルの構築を行った。本モデルは、気象シミュレーションモデルである WRF (Weather Research and Forecasting Model) で再現された気象場と排出インベントリを入力データとして、化学輸送モデルである CMAQ (Community Multi-scale Air Quality Model) を用いて大気汚染物質濃度を予測するものである。

本章では、入力データとなる排出インベントリやシミュレーションを実施する対象領域、各モデルの設定を示し、それらの設定を基にシミュレーションを実施した場合の再現性について考察した。

2.1 シミュレーションモデルの設定

2.1.1 使用したインベントリと年次補正手法

2008 年度と 2015 年度の大気汚染物質濃度シミュレーションでは、表 2-1 に示す排出インベントリを使用した。人為起源（船舶以外）として用いた環境省「平成 28 年度 PM2.5 排出インベントリ及び発生源プロファイル業務」で作成された排出インベントリデータ（以下「環境省インベントリ」という。）は、2012 年度を対象として集計されているため、各排出量について、各排出源における活動量を基に年次補正を実施した。国外の排出について、2008 年度の国外人為起源ではインベントリの対象年度が 2008 年度のため年次補正は実施せず、2015 年度の国外人為起源では 2010 年度から 2015 年度にかけての中国統計年鑑を参考に年次補正を実施した。中国以外の国においては、明確な排出量データが確認できなかったことから、年次補正は実施せずに 2010 年度時点の排出量を使用した。また、人為起源（船舶）として用いた「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作成した船舶からの排出データベース」¹ (OPRF 船舶排出量データベース) は、2010 年度を対象として集計されているが、明確な補正係数の算出手法などがないことから、排出量について年次補正を実施せずに使用した。

東京都内の排出量データについては、2008 年度と 2015 年度を対象に作成された排出インベントリを使用した。

¹ 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。

表 2-1 シミュレーションモデルに使用した排出インベントリと排出量年次補正の有無

対象地域	発生源	排出インベントリ	排出量年次補正
東アジア 域外	境界条件として 利用	CHASER ²	年次補正なし
東アジア 域	人為起源	HTAP V2 ³ (2008, 2010)	中国統計年鑑 ⁴ を参 考に補正
	森林火災起源	GFED ⁵ ver.4	年次補正なし
	火山起源	AEROCOM ⁶	年次補正なし
	植物起源	MEGAN ⁷ v2.0.4	年次補正なし
日本域 (関東1 都6県以 外)	人為起源 (船舶以外)	環境省インベントリ	活動量により補正
	人為起源(船舶)	OPRF 船舶排出量データベ ース (2010)	年次補正なし
	森林火災起源	GFED ver.4	年次補正なし
	火山起源	気象庁ホームページ	年次補正なし
	植物起源	MEGANv2.0.4	年次補正なし
関東1都 6県(東京 都以外)	人為起源 (船舶以外)	環境省インベントリ ⁸	活動量により補正
	人為起源(船舶)	OPRF 船舶排出量データベ ース (2010)	年次補正なし
	森林火災起源	GFED ver.4	年次補正なし
	火山起源	気象庁ホームページ	年次補正なし
	植物起源	MEGANv2.0.4	年次補正なし
東京都内	東京都インベントリ ⁹		年次補正なし

※ 東京都内は人為起源・自然起源ともに東京都インベントリを使用している。

² 名古屋大学・JAMSTECの全球化学気候モデル CHASERの計算結果を名古屋大学須藤准教授よりご提供いただき使用した。

³ Hemispheric Transport of Air Pollution(HTAP) : http://edgar.jrc.ec.europa.eu/htap_v2/

⁴ <http://www.spc.jst.go.jp/statistics/stats2015/>

⁵ Global Fire Emission Database(GFED) : <http://www.globalfiredata.org/>

⁶ <https://aerocom.met.no/emissions.html>

⁷ Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature (MEGAN) : <http://lar.wsu.edu/megan/>

⁸ 環境省「平成28年度PM2.5排出インベントリ及び発生源プロファイル業務」で作成された排出インベントリデータ(2012年度を対象)

⁹ 2008年度 :

- 東京都微小粒子状物質検討会 : 東京都微小粒子状物質検討会報告 資料集(平成23年7月), (2011)

2015年度 :

- 一般財団法人計量計画研究所: 東京都環境局委託平成28年度大気汚染物質排出量実態調査委託報告書(平成29年3月), (2017)
- 株式会社現代企画社 : 東京都環境局委託平成29年度都内自動車排出ガス量等算出調査委託(平成29年11月), (2017)

2.1.2 シミュレーションの計算期間及び対象領域

感度解析を実施するための基準計算の計算期間は、2008年度では、2008年4月から2009年3月、2015年度では2015年4月から2016年3月のそれぞれ1年間とした。計算期間におけるシミュレーションモデルの計算値と観測結果を比較し、シミュレーションモデルの精度検証を行った。発生源寄与割合推計の計算期間についての詳細は3章で整理した。

シミュレーションの対象領域を図 2-1 に示す。計算領域は3段階でネスティングを実施し、東アジア領域、中日本領域、関東領域の3区分を設けた。

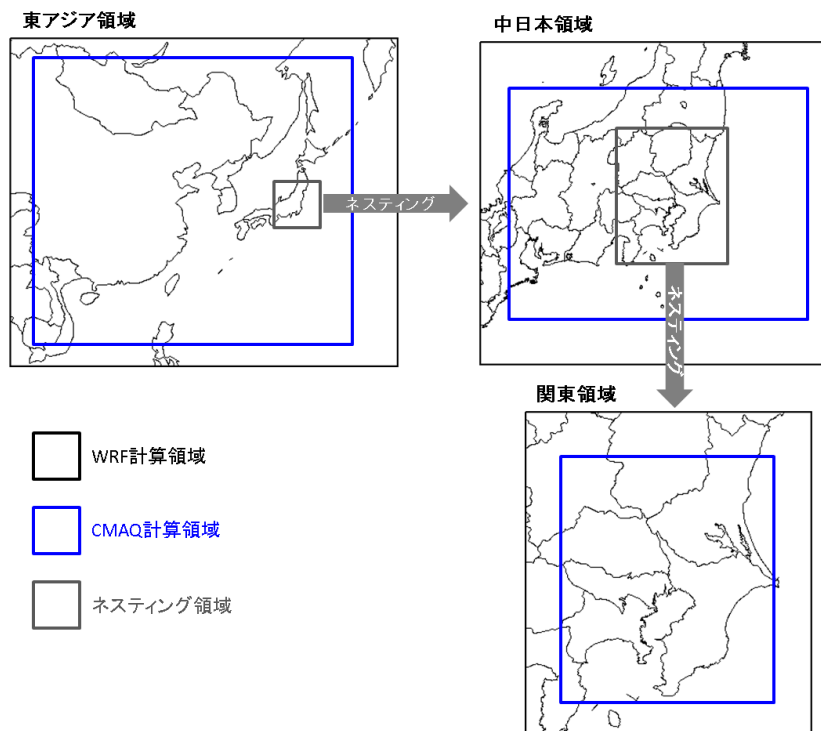


図 2-1 シミュレーション対象領域

2.1.3 気象モデル (WRF) のシミュレーションの設定方法

本調査で使用した WRF の設定を表 2-2 に示す。

2.1.4 化学輸送モデル (CMAQ) のシミュレーションの設定方法

本調査で使用した CMAQ の設定を表 2-3 に示す。

表 2-2 気象モデル WRF のパラメータ設定

モデル	WRF Ver. 3.8.1	
投影法	ランベルト正角円錐図法	
計算領域	図 2-1 のシミュレーション設定に従う。	
格子設定 (解像度)	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
鉛直層	20~30 層程度 最下層の層厚：約 25 m	
気象の境界条件	NCEP-FNL JWA-GSM+SST	
積雲対流モデル (積雲の発達・減衰、それに伴う対流による 上昇・下降気流などを計算)	Kain-Fritsch モデル	
雲微物理モデル (雲粒・雨粒、雪などの成長を計算)	WSM 5	
短波・長波放射モデル (太陽・地球放射による熱の変動を計算)	Dubhia/RRTM モデル	
大気境界層モデル (境界層内の乱流の生成・衰退などを計算)	MYJ TKE モデル	
陸面モデル (陸面の状態、陸面の大気への影響を計算)	Noah LSM モデル	
解析値ナッジング	一部あり	
海面温度更新	あり	
ネスティング	1 way	

表 2-3 化学輸送モデル CMAQ の計算設定

モデル	CMAQ Ver.5.1		
気象データ	気象モデル WRF の計算結果		
計算領域	図 2-1 のシミュレーション設定に従う。		
格子設定 (解像度)	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	
発生源データ	東アジア域	人為起源	HTAP V2
		森林火災起源	GFED ver.4
		火山起源	気象庁ホームページより
		植物起源	MEGANv2.0.4 ただし、気相モジュールで扱えるように変換
	日本域・関東域	人為起源 (船舶以外)	環境省インベントリ
		人為起源 (船舶)	OPRF 船舶排出量データベース
		国外の排出、森林火災起源、火山起源、植物起源は東アジア域と同様	
		東京都内は人為起源 (船舶以外)、人為起源 (船舶)、自然ともに東京都インベントリを使用	
濃度の境界条件	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：親領域の計算結果を適用		
移流モデル	Yamartino		
水平拡散モデル	Multiscale		
鉛直拡散モデル	acm2		
光解離定数	Inline		
反応ソルバー	Ebi		
エアロゾル化学モデル	AERO6		
気相モデル	SAPRC07		
液相モデル	cloud_acm_ae6		
沈着モデル	M3dry		

2.2 シミュレーションモデルの性能評価について

2.2.1 気象モデルの性能評価

気象モデルの性能評価として、東京都管区気象台のデータと WRF による計算値を比較した。比較項目は、大気中の輸送及び化学反応の計算において重要と考えられる要素である風向、風速、気温、湿度、日射量及び降雨量とし、風向、風速、気温については、1 か月ごとの比較を実施した。2008 年度、2015 年度において PM_{2.5} の成分測定が実施された 5 月、8 月、11 月、2 月の 4 か月間の風向、風速、気温の気象モデルによる計算値と観測値との比較結果¹⁰（年間値）を（1）、（2）にそれぞれ示す。

比較の結果、計算領域に含まれる関東全域において、局所的な降雨イベントなどは捉えられないことがあるもの、風況や気温等の気象条件の平均値の比較では、表 2-4 に示した NMB（Normalized Mean Bias：平均値のずれを数値化した指標）からもわかるように数%程度で観測値と一致しているなど、WRF による気象計算結果は気象観測値と矛盾のないものであることを確認し、本調査における気象モデル（WRF）の出力値を大気質シミュレーションモデルの入力データとして使用することは可能であると判断した。

（1）2008 年度における気象場の再現性

2008 年度における気象モデルによる計算値と観測値との比較結果（年間統計値）を表 2-4 に、5 月、8 月、11 月、2 月の 4 か月間の風向、風速、気温の時系列比較を表 2-5 にそれぞれ示す。

表 2-4 2008 年度の気象モデル WRF の計算値の観測値との比較（年間統計値）

項目	Ave(Obs)	Ave(Model)	NMB	NME	NRMSE
風速 (m/s)	2.84	3.09	0.09	0.53	0.37
気温 (°C)	16.67	16.76	0.01	0.19	0.05
湿度 (%)	60.96	58.36	-0.04	0.26	0.09
日射量 (MJ/m ²)	0.87	0.63	-0.58	1.26	1.36
降雨量 (mm)	1.06	0.07	-0.55	1.20	1.22

※ 観測値は、東京管区気象台のデータを用いた。

¹⁰ 統計値の説明

Ave(Obs)：観測値の平均値

Ave(Model)：シミュレーション値の平均値

NMB：Normalized Mean Bias

$$\frac{\sum_{i=1}^N (\text{Model}_i - \text{Obs}_i)}{\sum_{i=1}^N \text{Obs}_i}$$

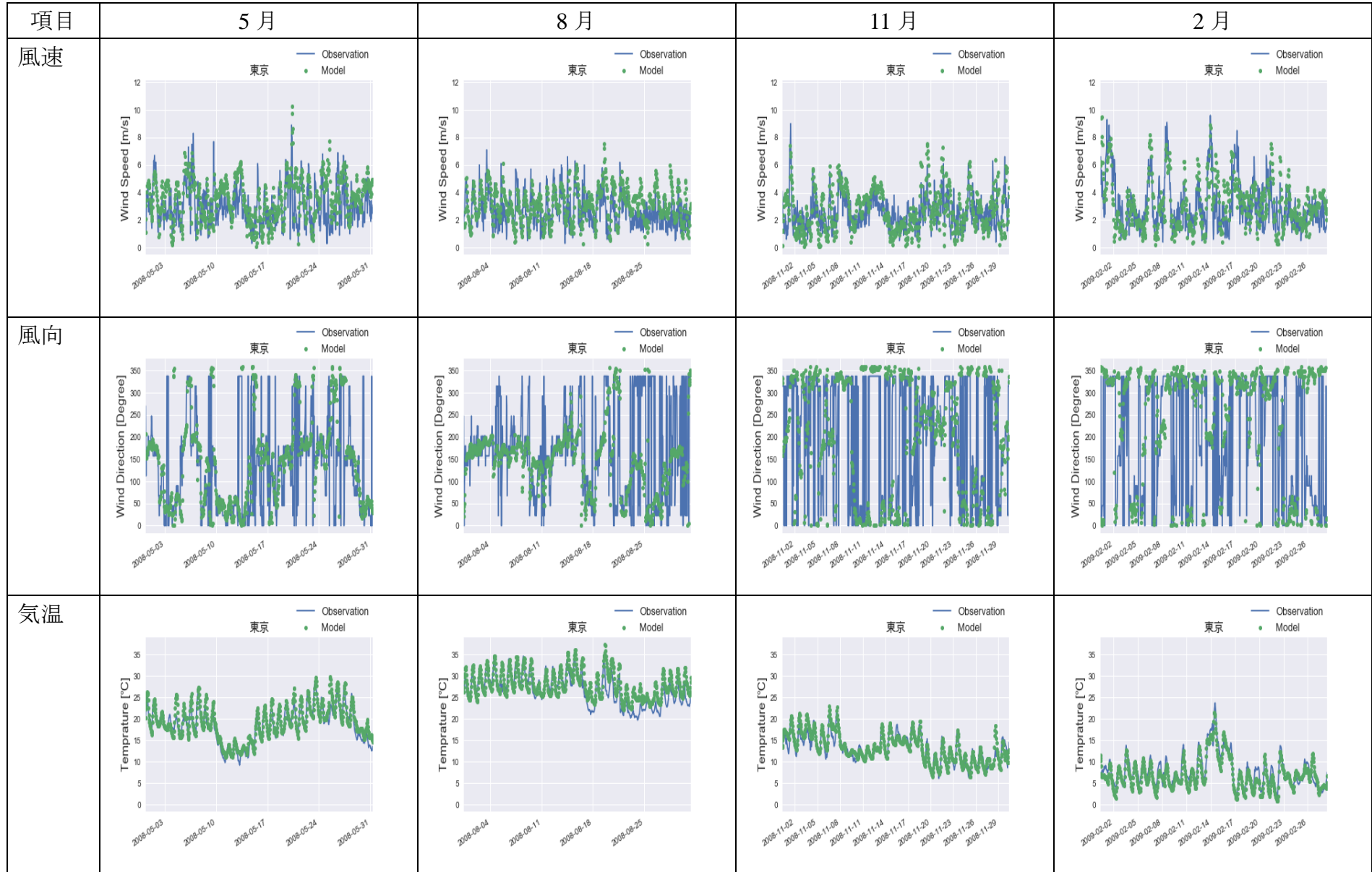
NME：Normalized Mean Error

$$\frac{\sum_{i=1}^N |\text{Model}_i - \text{Obs}_i|}{\sum_{i=1}^N \text{Obs}_i}$$

NRMSE：Normalized Root Mean Square Error

$$\sqrt{\frac{1}{N} \frac{\sum_{i=1}^N (\text{Model}_i - \text{Obs}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (\text{Obs}_i^2)}}$$

表 2-5 2008 年度の気象モデル WRF の計算値と観測データの時系列比較



(2) 2015 年度における気象場の再現性

2015 年度における気象モデルによる計算値と観測値との比較結果(年間統計値)を表 2-6 に 5 月、8 月、11 月、2 月の 4 か月間の風向、風速、気温の時系列比較を表 2-7 にそれぞれ示す。

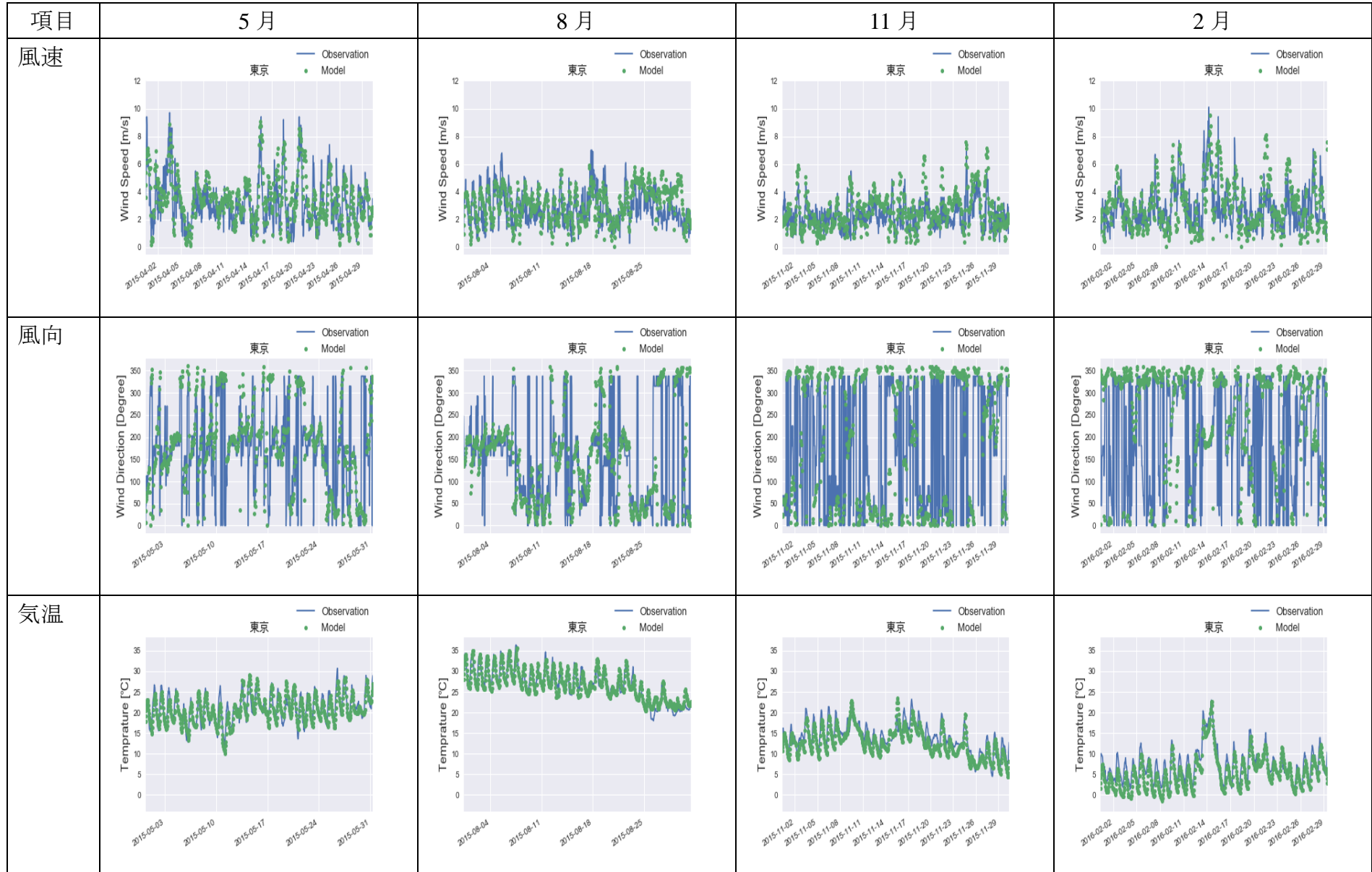
表 2-4、表 2-6 などからもわかるように、気象場の再現性は 2008 年度、2015 年度ともにおおむね同等の結果となり、気象場はどの年度においても安定した計算結果を供給できると考えられる。

表 2-6 2015 年度の気象モデル WRF の計算値の観測値との比較 (年間統計値)

項目	項目	Ave(Obs)	Ave(Model)	NMB	NME	NRMSE
風速 (m/s)	風速	2.76	3.09	0.12	0.54	0.39
気温 (°C)	気温	16.56	15.91	-0.04	0.22	0.06
湿度 (%)	湿度	67.82	62.73	-0.08	0.27	0.10
日射量 (MJ/m ²)	日射量	0.91	0.66	-0.60	1.23	1.31
降雨量 (mm)	降雨量	0.97	0.13	-0.56	1.15	1.14

※ 観測値は、東京管区気象台のデータを用いた。

表 2-7 2015 年度の気象モデル WRF の計算値と観測データの時系列比較



2.2.2 化学輸送モデルによる大気汚染物質濃度シミュレーションの性能評価

(1) 2008 年度及び 2015 年度の化学輸送モデル計算結果の再現性

計算対象年度である 2008 年度及び 2015 年度における化学輸送モデルの計算値と観測値の比較について、表 2-8 に示す地点で実施した。

表 2-8 計算対象年度の再現性確認項目一覧表

項目	対象地点	対象物質	図表番号
バックグラウンド濃度の比較	隠岐	NO _x ,O _x ,SO ₂ , PM _{2.5} (質量濃度)	時系列：図 2-2 図 2-3 統計値： 表 2-9
関東の大気汚染物質濃度の比較	国設川崎	NO _x ,O _x ,SO ₂ , PM _{2.5} (質量濃度)	時系列：図 2-4 図 2-5 統計値：表 2-10
PM _{2.5} の成分濃度の比較	足立区綾瀬 多摩市愛宕	PM _{2.5} 成分濃度と 成分構成比	図 2-6 図 2-7 統計値：表 2-11 表 2-12

※ バックグラウンド地点の濃度に関する整理は東アジア領域(45 km メッシュ)の計算結果を利用し、それ以外の地点は関東領域(5 km メッシュ)の計算結果を利用した。

PM_{2.5}の成分濃度の比較について、シミュレーションモデルによる計算値では一次有機炭素(Primary Organic Carbon: POC)と二次有機粒子(Secondary Organic Aerosol: SOA)が分離されるが、観測値では一次と二次を含めた有機炭素(Organic Carbon: OC)として分析されるため OC のみで示した。計算値の「その他」は、計算結果として「その他」として出力された濃度で、観測値のその他は PM_{2.5} 総質量濃度と成分濃度の差を「その他」として示した。また、「金属」の計算値は計算結果として出力される金属成分の濃度の和、観測値は成分分析データの金属成分の濃度の和である。

(2) 2015 年度の光化学オキシダントの高濃度日の再現性について

光化学オキシダントの高濃度日における再現性について考察した。2015 年度における高濃度日が集中的に出現した 2015 年 7 月 26 日～8 月 7 日を対象としてシミュレーションモデルの再現性を確認した。

この期間の光化学オキシダントの再現性を図 2-8 に示す。ここでは、都市域の代表地点として国設新宿局、町田市金森、国設川崎局の比較結果を示した。全ての高濃度イベントを捉えられているわけではないが、100 ppb 以上の高濃度日はおおむね良い精度で再現されていると考えられる。

(3) 再現性の比較により得られたシミュレーションモデルの傾向

2008年度と2015年度の基準計算の再現性を比較したところ、ガス状物質については、両年度におけるモデル間の再現性はおおむね同様の傾向を示した。PM_{2.5}の成分については、2015年度では2008年度よりも再現性が高かったと思われる成分も確認されるものの、両年度間で同様のシミュレーションモデルの再現性に係る課題が抽出される傾向を示した。

両年度の基準計算結果の比較より得られたシミュレーションモデルの傾向について、以下に示す。

- ① バックグラウンド地点の再現性 (図 2-2、図 2-3、表 2-9)
 - ・ バックグラウンド地点 (ここでは隠岐とした) においては、2008年度と2015年度の両年度におけるシミュレーションモデルの再現性は同程度であった。
 - ・ 夏季と冬季では、冬季において再現性が高い傾向にあった (図 2-2、図 2-3)。

- ② 関東内の常時監視測定局 (国設川崎局) の再現性 (図 2-4、図 2-5、表 2-10)
 - ・ 夏季と冬季では、冬季においてシミュレーションモデルの再現性が高い傾向にあった (図 2-4 及び図 2-5)。
 - ・ PM_{2.5} については、夏季の高濃度イベントにおいて濃度ピークをシミュレーションモデルで一部捉えきれないことがあるが、冬季では濃度変動や濃度ピークの値を捉えている傾向にあった。
 - ・ 光化学オキシダントについては、計算値では夜間のオキシダントの濃度低下の再現性が不十分であることが多く、日平均濃度等は観測値よりも高くなるものの、濃度ピークなどの高濃度イベントについてはおおむね捉えられている傾向にあった。

- ③ PM_{2.5}成分濃度の再現性について (図 2-6、図 2-7、表 2-11、表 2-12)
 - ・ 2008年度と2015年度の基準計算を比較すると、計算値と観測値の比較結果の全体的な傾向は変わらないものの、2015年度の基準計算ではPM_{2.5}成分濃度の再現性が高くなったと思われる成分が確認された (図 2-6 及び図 2-7)。
 - ・ 冬季では、PM_{2.5}総質量濃度はおおむね再現できているものの、夏季では過小評価となる傾向があった。
 - ・ 夏季、冬季ともに硝酸塩の計算値が過大評価となり、有機炭素の計算値が過小評価となる傾向にあった。
 - ・ 成分構成比については、夏季の硝酸塩と有機炭素の計算値と観測値の差異が課題として残るものの、冬季においてはおおむね観測値と計算値で一致していた。

(4) シミュレーションモデルの発生源寄与割合推計への適用について

上述したように本調査におけるシミュレーションモデルは、一部再現性に課題が残る結果とはなっているものの、夏季の光化学オキシダントの高濃度イベントの傾向把握、冬季において $PM_{2.5}$ の再現性が高い傾向など、全体的な傾向は再現できていると考えられる。本調査では、2008年度から2015年度における $PM_{2.5}$ 及び光化学オキシダントの発生源寄与割合の傾向を捉えることを目的としており、本モデルによりその目的を達成できると考えられる。

確認された課題の多くは、大気質シミュレーションにみられる一般的な課題であり、シミュレーションモデル内部の物理化学現象の改良や排出インベントリの精緻化が今後も求められると考えられる。モデルの改善の必要はあるものの、計算値と観測値の比率を $PM_{2.5}$ 感度解析結果に乗じるといった補正手法等を用いて発生源寄与割合の推計を実施することで、排出削減の対策効果を検討する等の活用に本モデルは有用であると考えられる。

以上より、本モデルを用いて $PM_{2.5}$ 及び光化学オキシダントの発生源寄与割合推計を実施することとした。

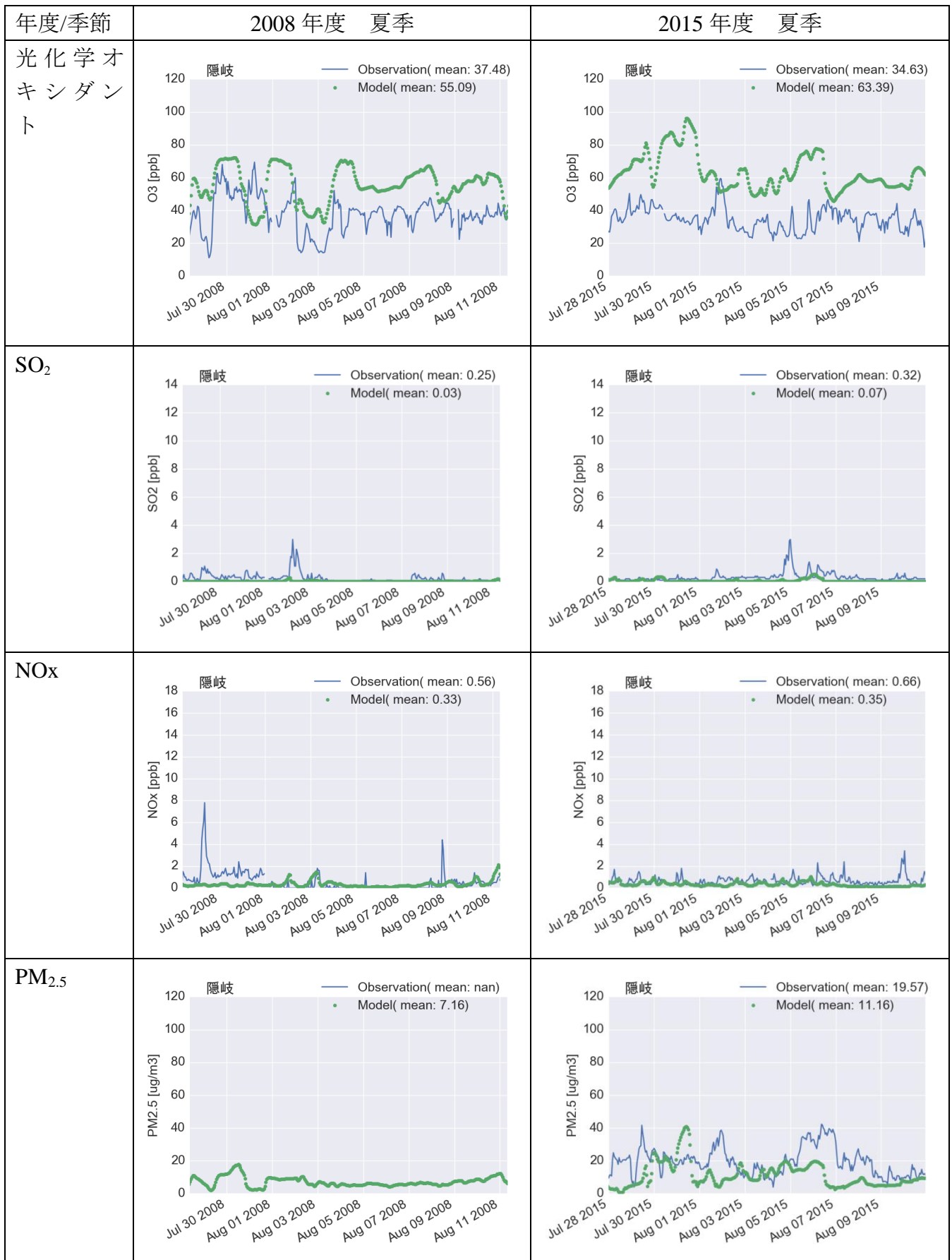


図 2-2 隠岐における大気汚染物質の観測値とシミュレーション計算値の時系列図(夏季)

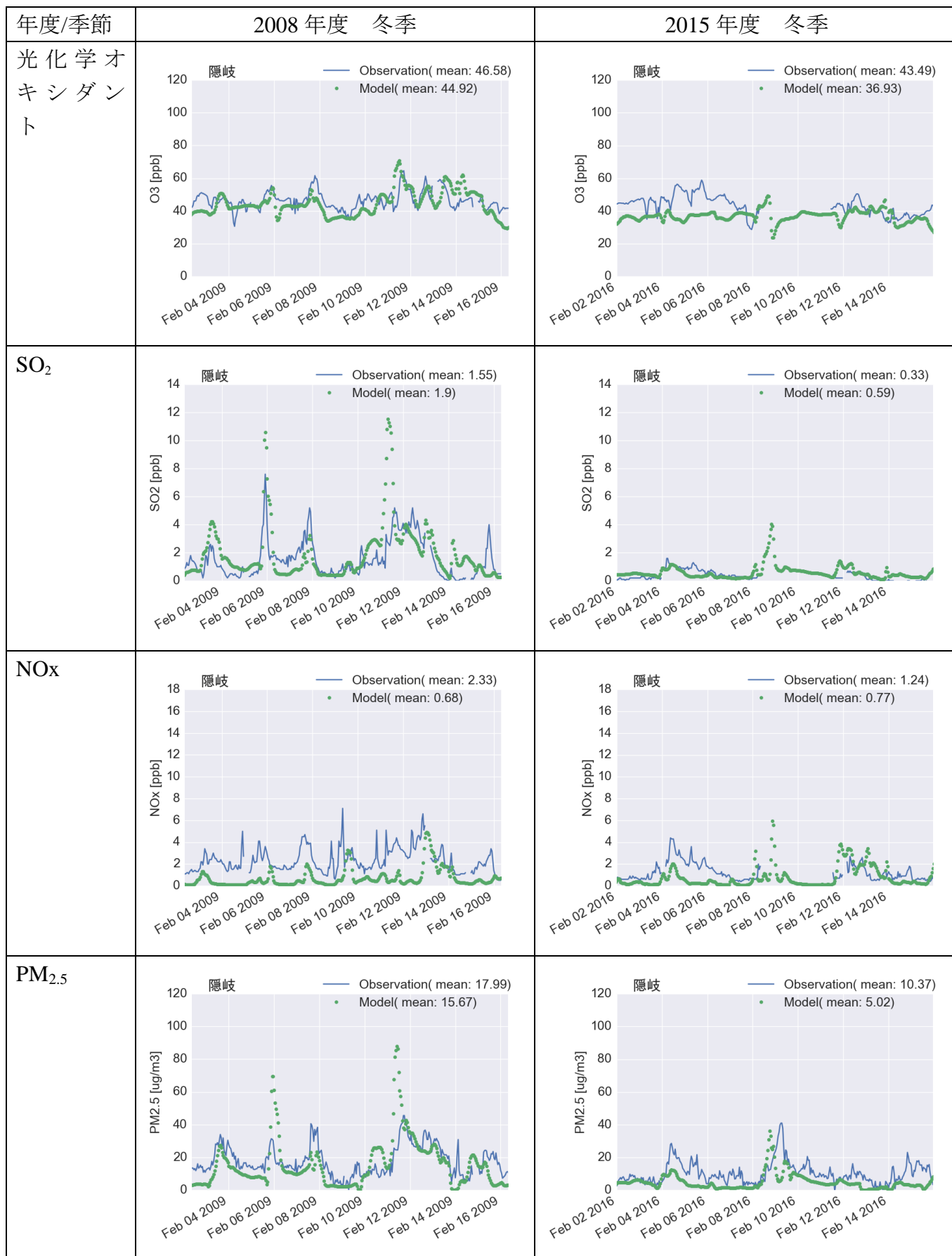


図 2-3 隠岐における大気汚染物質の観測値とシミュレーション計算値の時系列図 (冬季)

表 2-9 バックグラウンド地点（隠岐）の観測値とシミュレーション計算値の統計量¹¹のまとめ

成分	季節	年度	観測値 (平均)	計算値 (平均)	比率	NME	NRMSE
O ₃ (ppb)	夏季	2008	37.48	55.09	1.47	0.53	0.31
		2015	35.61	63.18	1.77	0.79	0.71
	冬季	2008	46.58	44.92	0.96	0.12	0.02
		2015	43.17	36.5	0.85	0.19	0.05
SO ₂ (ppb)	夏季	2008	0.25	0.03	0.1	0.94	0.93
		2015	0.33	0.06	0.2	0.87	0.86
	冬季	2008	1.55	1.9	1.22	0.73	0.69
		2015	0.31	0.61	1.94	1.11	0.85
NO _x (ppb)	夏季	2008	0.56	0.33	0.6	0.99	0.8
		2015	0.66	0.34	0.52	0.59	0.52
	冬季	2008	2.33	0.68	0.29	0.74	0.62
		2015	1.27	0.82	0.65	0.73	0.6
PM _{2.5} (μg/m ³)	夏季	2008	-	7.16	-	-	-
		2015	19.74	11.05	0.56	0.55	0.4
	冬季	2008	17.99	15.67	0.87	0.5	0.4
		2015	10.35	5.16	0.5	0.6	0.46

※ 観測値及び計算値は期間平均値を示す。

¹¹ 統計値の説明

平均値(観測) : 観測値の平均値

平均値(計算値) : シミュレーション値の平均値

比率 : Normalized Mean Bias

$$\frac{\sum_{i=1}^N (\text{Model}_i - \text{Obs}_i)}{\sum_{i=1}^N \text{Obs}_i}$$

NME : Normalized Mean Error

$$\frac{\sum_{i=1}^N |\text{Model}_i - \text{Obs}_i|}{\sum_{i=1}^N \text{Obs}_i}$$

NRMSE : Normalized Root Mean Square Error

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\text{Model}_i - \text{Obs}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (\text{Obs}_i^2)}}$$

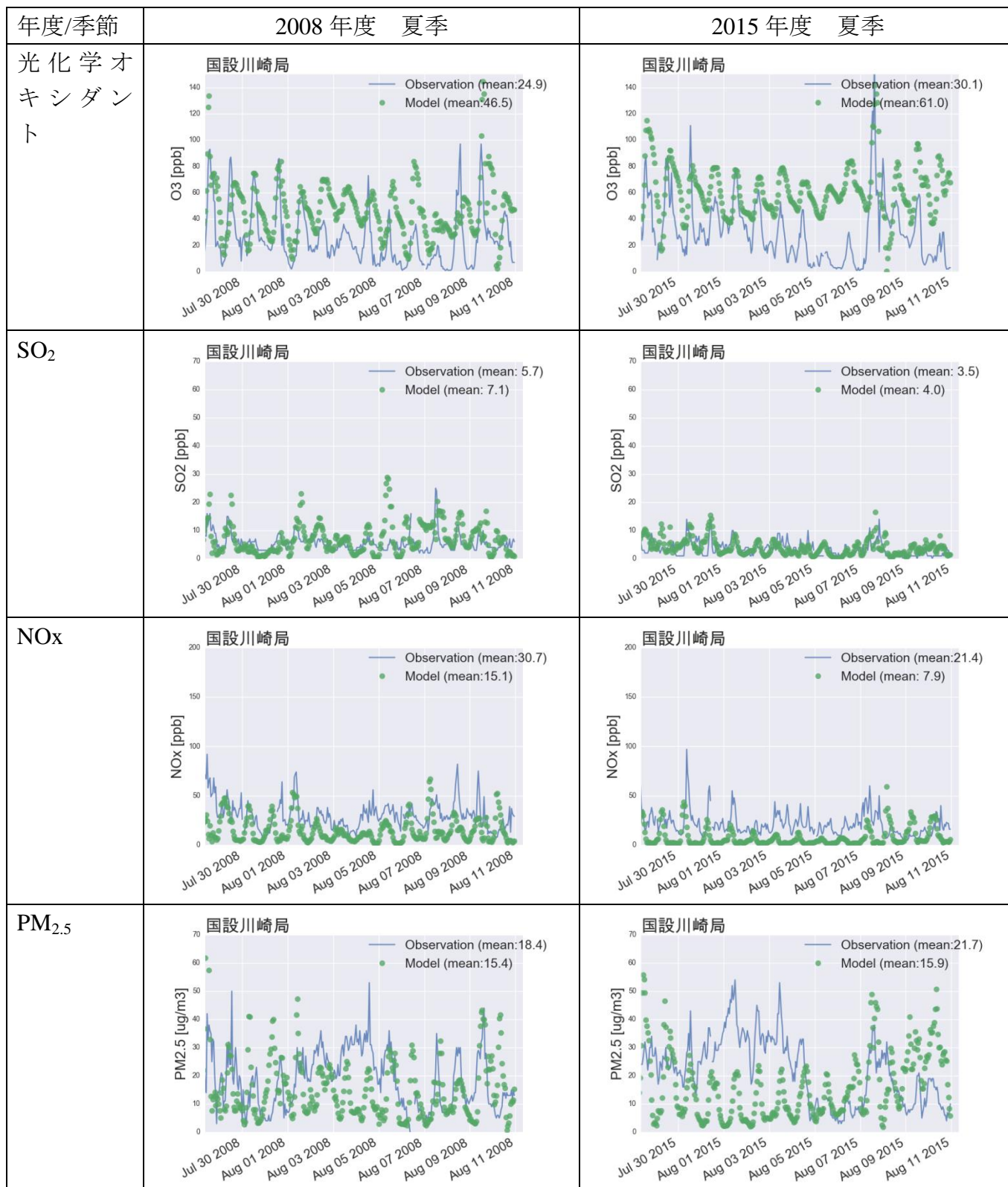


図 2-4 国設川崎局における大気汚染物質の観測値とシミュレーション計算値の時系列図 (夏季)

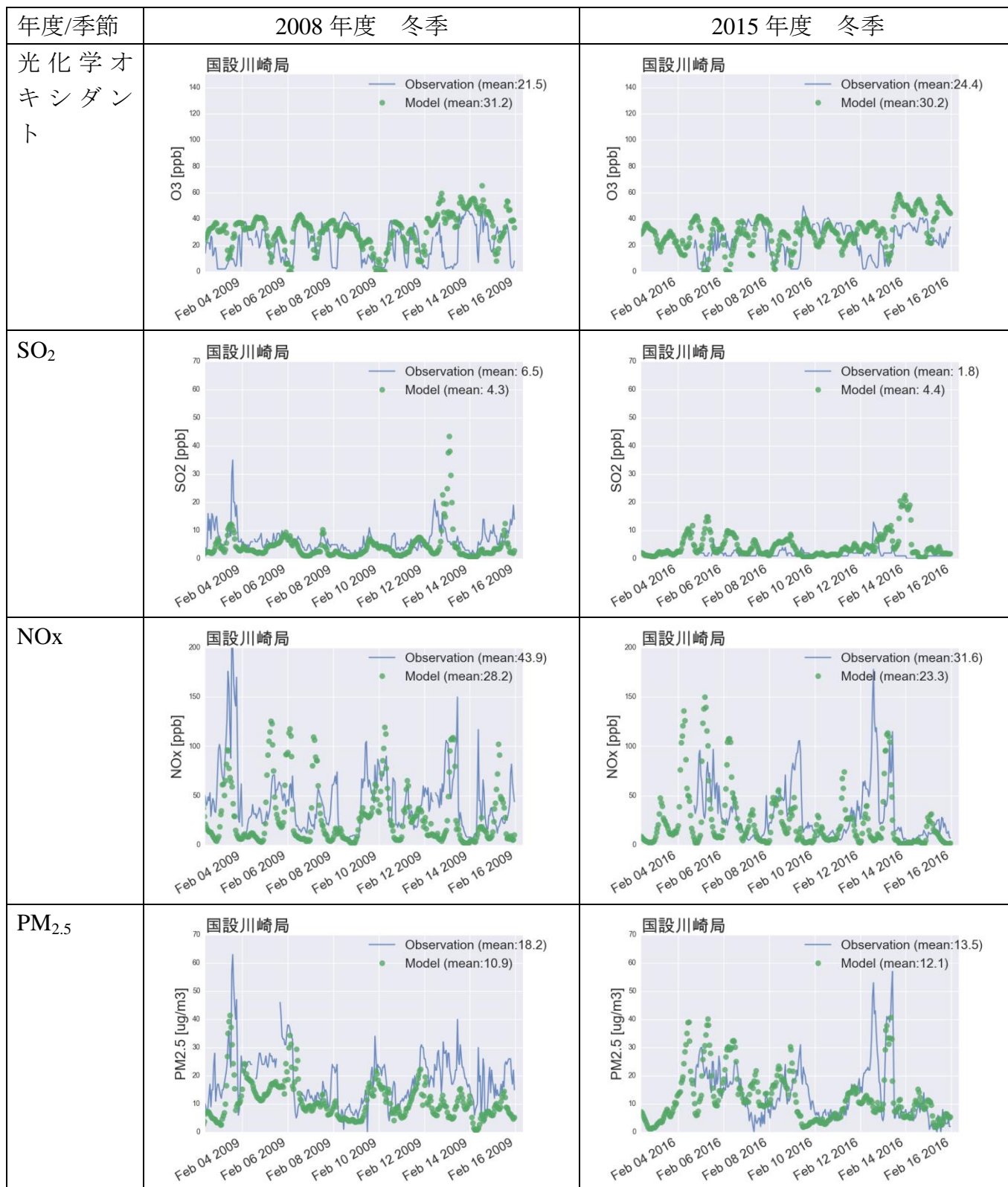


図 2-5 国設川崎局における大気汚染物質の観測値とシミュレーション計算値の時系列図 (冬季)

表 2-10 常時監視測定局（国設川崎局）での観測値と計算値の統計量のまとめ

成分	季節	年度	観測値 (平均)	計算値 (平均)	比率	NME	NRMSE
O ₃ (ppb)	夏	2008	25.1	45.5	1.81	1.13	1.2
		2015	28.96	59.13	2.04	1.26	1.42
	冬	2008	21.37	30.89	1.45	0.72	0.57
		2015	24.75	31.24	1.26	0.62	0.46
SO ₂ (ppb)	夏	2008	5.76	6.9	1.2	0.83	0.96
		2015	3.36	3.95	1.18	0.81	0.8
	冬	2008	6.58	4.21	0.64	0.59	0.56
		2015	1.77	4.26	2.4	1.71	3.99
NO _x (ppb)	夏	2008	31.15	15.31	0.49	0.68	0.58
		2015	20.97	8.26	0.39	0.76	0.71
	冬	2008	43.87	27.1	0.62	0.76	0.7
		2015	30.68	22.13	0.72	0.82	0.8
PM _{2.5} (μg/m ³)	夏	2008	18.82	15.86	0.84	0.74	0.69
		2015	20.87	15.92	0.76	0.75	0.65
	冬	2008	17.89	10.47	0.59	0.53	0.36
		2015	12.94	11.54	0.89	0.62	0.48

※ 観測値及び計算値は期間平均値を示す。

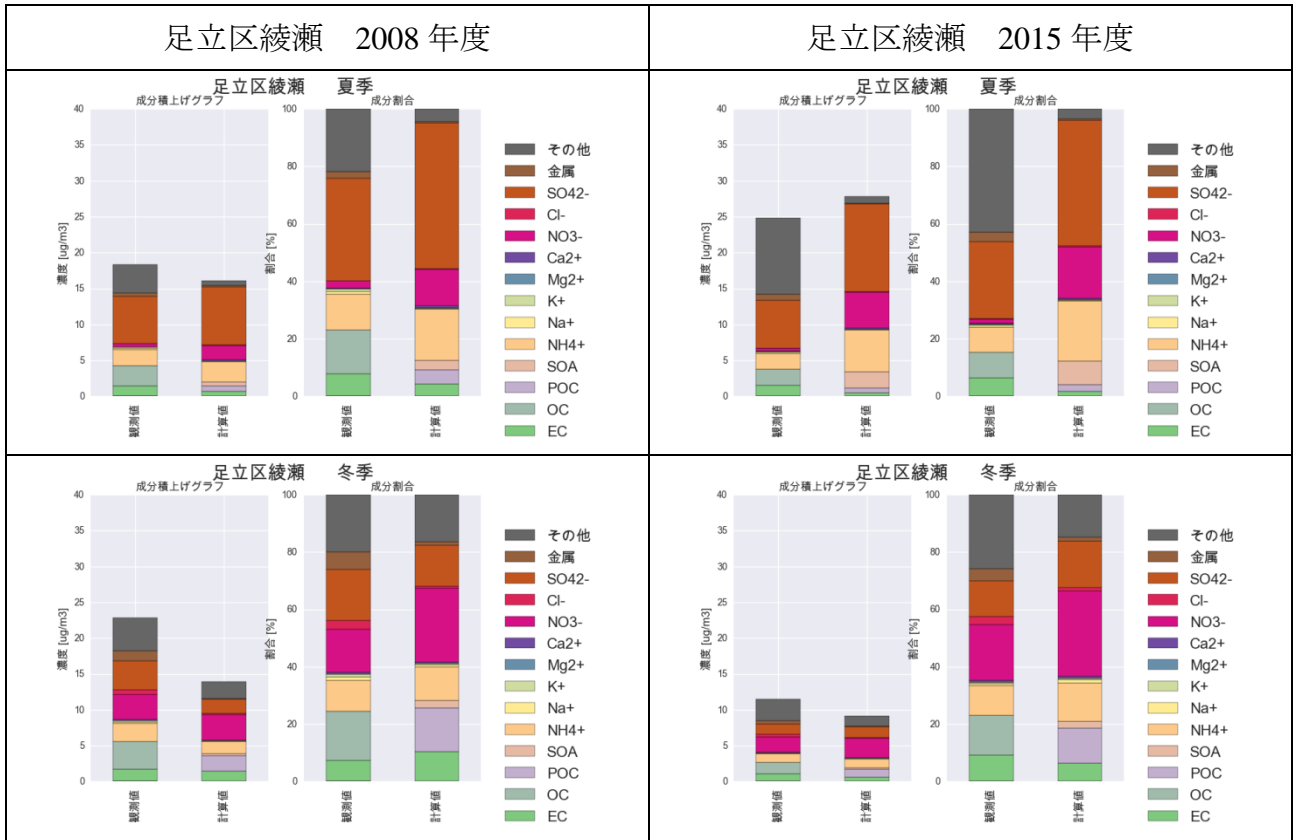


図 2-6 足立区綾瀬における PM_{2.5} 成分の観測値と計算値の比較

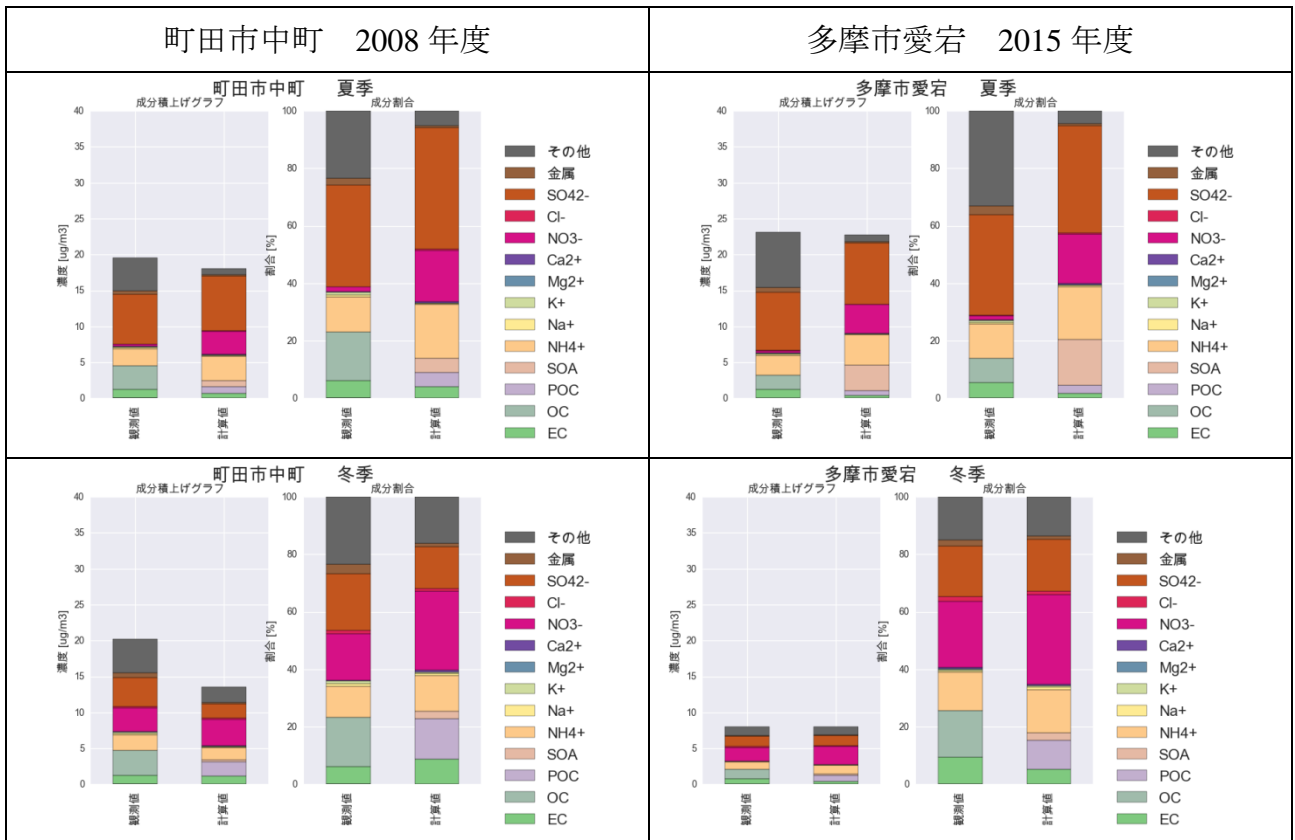


図 2-7 多摩市愛宕（2008 年度は町田市中町）における PM_{2.5} 成分の観測値と計算値の比較

表 2-11 足立区綾瀬における PM_{2.5} 成分濃度の観測値とシミュレーション計算値の比較

季節区分	夏季						冬季					
	2008 年度			2015 年度			2008 年度			2015 年度		
項目	観測値 (平均)	計算値 (平均)	比率	観測値 (平均)	計算値 (平均)	比率	観測値 (平均)	計算値 (平均)	比率	観測値 (平均)	計算値 (平均)	比率
質量濃度	18.34	15.91	0.87	24.66	24.44	0.99	22.8	13.79	0.6	11.46	11.63	1.01
EC	1.43	0.7	0.49	1.58	1.08	0.68	1.7	1.44	0.85	1.06	1.37	1.29
OC	2.81	0.77	0.27	2.21	1.23	0.56	3.91	2.13	0.54	1.6	1.56	0.97
NH ₄ ⁺	2.26	2.87	1.27	2.2	4.67	2.12	2.46	1.65	0.67	1.18	1.43	1.21
Na ⁺	0.19	0.04	0.21	0.14	0.07	0.52	0.23	0.08	0.34	0.06	0.07	1.29
K ⁺	0.16	0.03	0.2	0.09	0.06	0.6	0.22	0.07	0.3	0.07	0.06	0.83
Mg ²⁺	0.01	0	0.51	0.02	0.01	0.37	0	0.01	-	0.01	0.01	0.97
Ca ²⁺	0.04	0.13	3.01	0.05	0.15	2.77	0.15	0.08	0.55	0.07	0.09	1.36
Cl ⁻	0	0.05	-	0.05	0.09	1.84	0.69	0.12	0.18	0.31	0.11	0.36
NO ₃ ⁻	0.46	2.04	4.39	0.39	4.34	11.12	3.46	3.56	1.03	2.24	3.75	1.67
SO ₄ ²⁻	6.54	8.12	1.24	6.6	10.67	1.62	4.04	1.97	0.49	1.44	1.23	0.86
金属	0.45	0.1	0.22	0.83	0.22	0.27	1.38	0.16	0.12	0.47	0.25	0.53
その他	3.99	0.7	0.18	10.66	1.21	0.11	4.56	2.28	0.5	2.97	1.58	0.53

表 2-12 多摩市愛宕（2008年度は町田市中町）におけるPM_{2.5}成分濃度の観測値とシミュレーション計算値の比較

季節区分	夏季						冬季					
	2008年度			2015年度			2008年度			2015年度		
項目	観測値 (平均)	計算値 (平均)	比率	観測値 (平均)	計算値 (平均)	比率	観測値 (平均)	計算値 (平均)	比率	観測値 (平均)	計算値 (平均)	比率
質量濃度	20.07	14.93	0.74	22.96	15.91	0.69	19.77	12.26	0.62	8.04	9.02	1.12
EC	1.31	0.53	0.4	1.27	0.7	0.55	1.43	1.02	0.71	0.77	0.74	0.97
OC	3.17	0.63	0.2	1.93	0.86	0.45	3.41	1.7	0.5	1.3	0.95	0.73
NH ₄ ⁺	2.3	2.94	1.28	2.75	3	1.09	2.29	1.61	0.7	1.07	1.31	1.23
Na ⁺	0.1	0.04	0.36	0.13	0.05	0.35	0.18	0.05	0.31	0.04	0.05	1.25
K ⁺	0.14	0.03	0.24	0.17	0.03	0.2	0.18	0.05	0.27	0.05	0.03	0.6
Mg ²⁺	0	0	-	0.03	0	0.19	0	0.01	-	0	0.01	1.29
Ca ²⁺	0.01	0.06	8.31	0.04	0.07	1.96	0.09	0.05	0.53	0.04	0.05	1.17
Cl ⁻	0	0.04	inf	0.06	0.03	0.57	0.21	0.1	0.46	0.13	0.08	0.62
NO ₃ ⁻	0.34	2.49	7.26	0.31	2.67	8.62	3.29	3.48	1.06	1.86	3.47	1.86
SO ₄ ²⁻	6.44	6.81	1.06	8.06	6.39	0.79	4.02	1.81	0.45	1.41	0.99	0.7
金属	0.46	0.09	0.2	0.7	0.15	0.21	0.64	0.12	0.19	0.16	0.13	0.83
その他	5.79	0.7	0.12	7.65	1.02	0.13	4.03	2.04	0.5	1.21	1.09	0.9

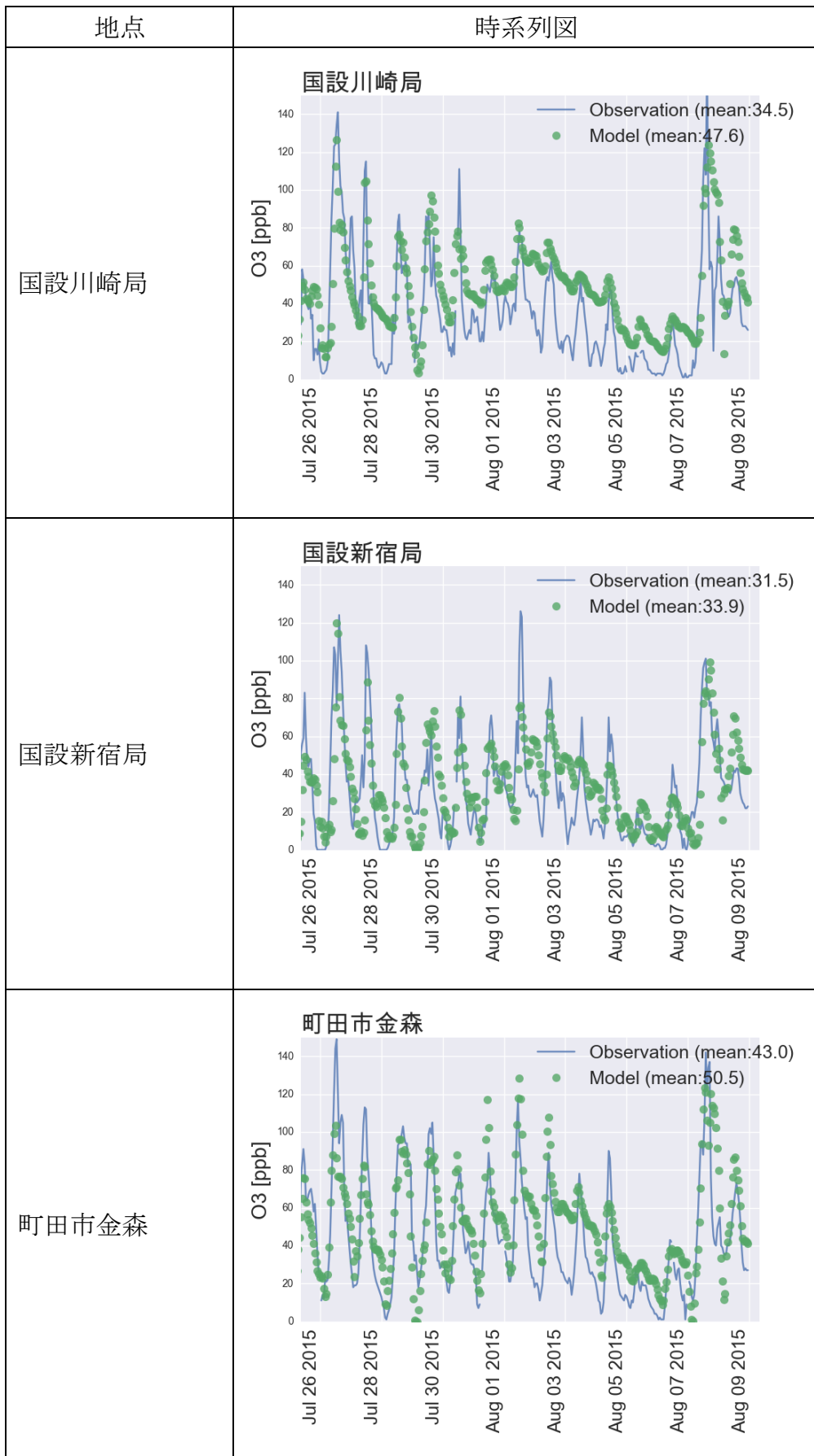


図 2-8(1/3) 2015 年度の光化学オキシダント高濃度日における観測値とシミュレーション計算値の時系列図

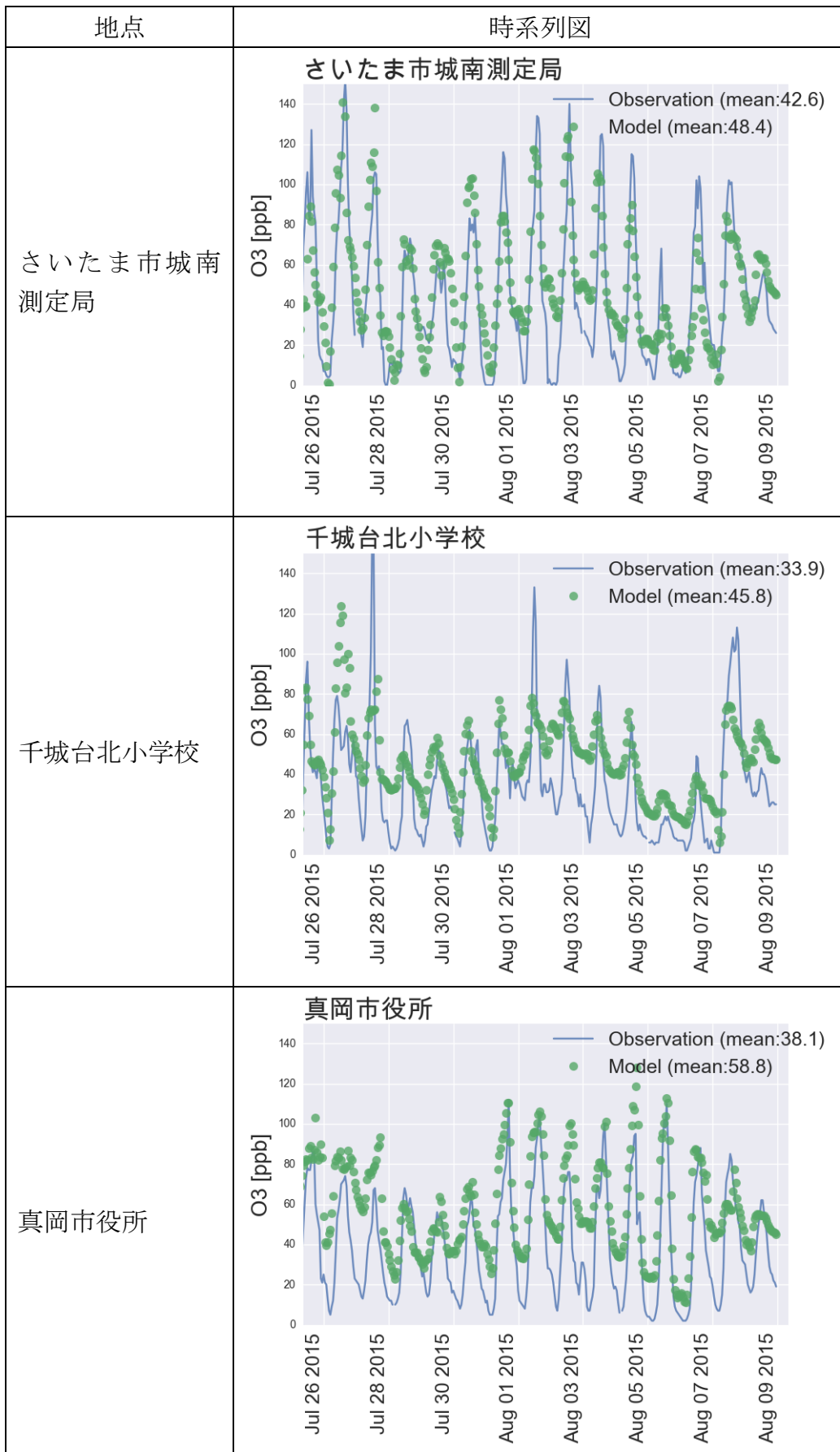


図 2-8 (2/3) 2015 年度の光化学オキシダント高濃度日における観測値とシミュレーション計算値の時系列図

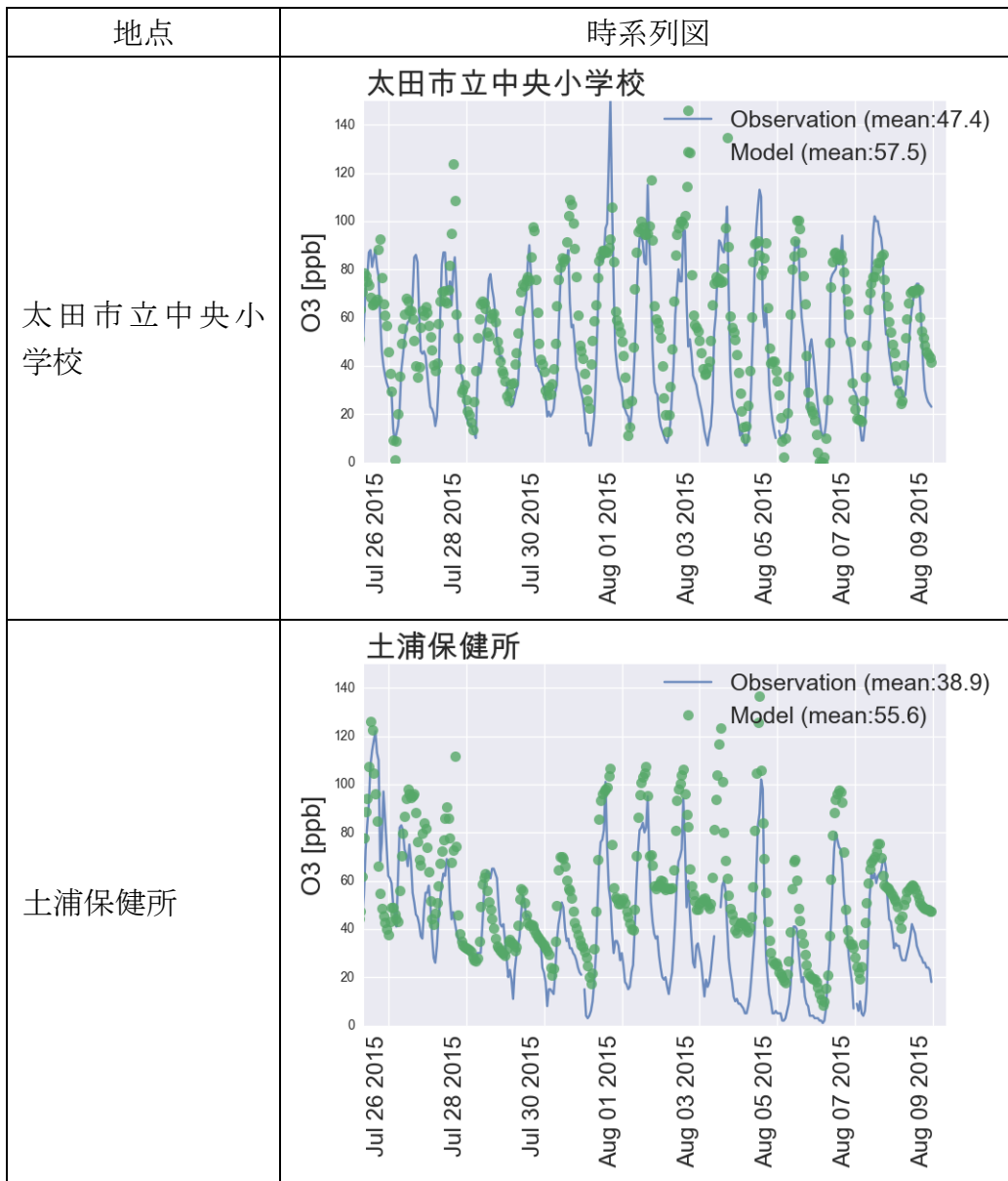


図 2-8 (3/3) 2015 年度の光化学オキシダント高濃度日における観測値とシミュレーション計算値の時系列図

3 シミュレーションモデルによる発生源寄与割合の推計

3.1 発生源寄与解析の実施手法

3.1.1 発生源寄与解析の対象発生源及び計算期間

大気汚染物質の各発生源が、大気中の汚染物質濃度に与えている影響を評価するため、各発生源からの排出量が PM_{2.5} 及び光化学オキシダント濃度に与える発生源寄与解析を行うことで、発生源寄与割合を推計した。発生源寄与解析を実施する対象排出源を表 3-1 に示し、各排出源について東京都インベントリ及び環境省インベントリを分類した。本調査では、発生源寄与解析は、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（感度）を、発生源からの寄与割合とするゼロアウト法（感度解析）を採用した。ゼロアウト法の対象領域は、東京都のほか、関東地域 6 県においても同様の感度解析を実施した。なお、関東からの排出以外の影響を考察するため、関東全域の排出量を全てゼロとした場合の解析も実施した。

表 3-1 発生源寄与解析（感度解析）の対象領域、対象排出源及び解析手法

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 種類へ分類 ①自動車（自動車排出ガス、タイヤ摩耗、ブレーキ粉じん）、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）
解析手法	ゼロアウト法（対象発生源の発生量をゼロとして寄与を調べる）

感度解析を実施した解析期間は、PM_{2.5}については常時監視として実施した PM_{2.5}成分分析期間に合わせた各季節 2 週間とし、光化学オキシダントについては、PM_{2.5}成分分析期間を含む春季、夏季の 1 か月を解析対象期間とし、光化学オキシダントが高濃度となる期間を多く含む期間を選定した。PM_{2.5}、光化学オキシダントそれぞれの各季節の解析期間を表 3-2 に示す。

東京都インベントリと環境省インベントリは、発生源分類が完全に一致しているわけではないため、類似の発生源を識別する必要があるため、表 3-3 に示した発生源分類表のように、感度解析の対象排出源を分類した。

表 3-2 発生源寄与解析の解析対象期間¹²

季節	年度	PM _{2.5}	光化学オキシダント
春季	2008	5/19-6/1	5/1-5/31
	2015	5/7-5/20	5/1-5/31
夏季	2008	7/22-8/4	7/11-8/10
	2015	7/28-8/11	7/11-8/10
秋季	2008	11/4-11/17	-
	2015	10/21-11/3	
冬季	2008	2/2-2/16	
	2015	1/20-2/2	

表 3-3 発生源分類表

対象排出源	東京都インベントリ	環境省インベントリ, OPRF
自動車 ¹³	自動車	自動車
船舶	船舶	OPRF
大規模固定煙源	ばい煙	01-電気業、02-地域熱供給、03-都市ガス、04-農林業、05-水産業、06-鉱業、07-建設業、08-製造業、15-廃棄物焼却
業務・家庭	調理、小型焼却炉、群小燃焼施設、民生 VOC	09-家庭、10-業務、16-小型焼却炉、29-調理、81-エアロゾール、19-E-防虫剤
建設機械（建機）	作業機械	11-機械
VOC 発生施設	固定蒸発発生源	17-工業プロセス、17-B 工業プロセス、18-燃料蒸発、19-(A-D)-VOC 関係
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	13-航空、22-野焼き、25A-たばこ
アンモニア発生源	アンモニア発生源	20-家畜、21-化学肥料施肥、23-土壌、26-ペット犬、25B-発汗・呼吸、27-化学肥料製造、28-排水処理（し尿）
自然起源	植物起源、火山	植物起源（MEGAN）、火山

¹² 春季における PM_{2.5} 解析対象期間では、千城台北小学校については、PM_{2.5} 成分分析期間が他地点と異なることから成分分析期間に合わせて 5/9-5/22 で集計を行った。3.2 節以降の集計においても同様。

¹³ ここでの自動車は、自動車排出ガス、タイヤ摩耗、ブレーキ粉じんの寄与を和算したものを表す。自動車からの NO_x 排出の NO₂/NO_x の排出比は台数平均で 0.21 である。

(1) PM_{2.5}の発生源寄与割合推計の基本方針

本調査で構築した大気質シミュレーションモデルでは、大気中のPM_{2.5}の成分構成比の再現性に課題を残す等の理由から、観測値と計算値の比率を地点ごと、日ごと、成分ごとに適用した補正係数について、その比率を計算値に乗じることで発生源寄与割合推計の補正を実施した。

2008年度では、PM_{2.5}成分分析が実施された東京都内9地点で発生源寄与割合を推計した。2015年度では、PM_{2.5}成分分析が実施された地点が2008年度と異なっており、2015年度内3か所と関東地方の約10地点で発生源寄与割合を推計した。本調査では、2008年度と2015年度の発生源寄与割合を比較するに当たり、2008年度と2015年度の両年度で調査を実施した同様の地点（足立区と多摩市（2008年度は町田市））において、発生源寄与割合を推計し、2008年度と2015年度の発生源寄与割合の変化を取りまとめた。

2015年度の計算では、東京都以外の関東地域においてもPM_{2.5}成分分析が実施されているため、上記の補正係数に乗じる手法により関東内の各地域における発生源寄与の推計が可能である（ただし、発生源は東京都からの排出とその他の関東6県からの排出という分類となる）。本調査では、広域的な影響を考察するため、東京都外の関東地域においても発生源寄与割合の推計を実施した。

(2) 光化学オキシダントの発生源寄与割合推計の基本方針

光化学オキシダントについては、高濃度日において濃度傾向をおおむね再現できていると考えられ、補正係数等を用いた補正を実施せずに発生源寄与割合を推計した。よって、関東地域のどの地点でも発生源寄与割合を推計することができる。

また、PM_{2.5}環境基準の短期基準や光化学スモッグ注意報等、PM_{2.5}や光化学オキシダントには高濃度事象の要因解析も重要であることから、高濃度日における発生源寄与割合の推計を実施することとした。