

平成27年度浮遊粒子状物質 合同調査報告書

関東におけるPM2.5のキャラクタリゼーション（第8報）

（平成27年度調査結果）

平成29年3月

関東地方大気環境対策推進連絡会
浮遊粒子状物質調査会議

まえがき

環境省の「平成 26 年度 大気汚染状況報告書」によれば、平成 26 年度における浮遊粒子状物質の環境基準達成率は、一般局で 99.7%、自排局で 100%となり、平成 25 年度と比較して一般局ではやや改善、自排局では改善しました。また、年平均値については、一般局、自排局とも近年ほぼ横ばいで推移しています。

そして、微小粒子状物質 (PM2.5) の環境基準達成率は、一般局で 37.8%、自排局で 25.8%であり、一般局、自排局ともに平成 25 年度と比較して改善しましたが、依然として低い水準でした。また、有効測定局数は 870 局（一般局 672 局、自排局 198 局）となり、平成 25 年度の 673 局（一般局 492 局、自排局 181 局）より大幅に増加しています。

こうした中で、最近では中国の経済発展に伴う深刻な大気汚染がメディアでも問題視され、特に西日本を中心として PM2.5 の越境汚染が懸念されています。PM2.5 については粒子状物質の中でも特に呼吸器疾患や循環器疾患等の健康影響が指摘されていることから、大気汚染物質の中でも喫緊の対策が求められている重要課題のひとつであり、汚染実態の把握や生成機構の解明が強く求められています。

浮遊粒子状物質に対する広域的な取組として、関東地域の自治体を中心に、昭和 56 年度に、一都三県公害防止協議会を母体とした、1 都 3 県 2 市（東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県、横浜市、川崎市）による「南関東浮遊粒子状物質合同調査」が開始され、後に山梨県と千葉市が参加、平成 7 年度に栃木県と群馬県が参加し、1 都 6 県 3 市で構成された「関東 SPM 検討会」として調査を実施しました。翌年には茨城県、平成 12 年度には長野県と静岡県が参加し、「関東地方環境対策推進本部大気環境部会」の中に「浮遊粒子状物質調査会議」が組織され、継続的な調査を実施しました。その後、平成 15 年度にはさいたま市、平成 18 年度には静岡市、平成 20 年度には浜松市、平成 22 年度には相模原市が加わり、現在の 1 都 9 県 7 市の体制となっています。

このような長い歴史を持つ本調査会議は、平成 19 年度までを一つの区切りとし、平成 20 年度からは、PM2.5 に着目した調査を始めました。特に夏季の PM2.5 中の二次生成粒子の高濃度化現象に焦点をあて、広域的な濃度レベルの把握に加え、二次生成粒子成分濃度とその前駆物質を同時に観測、比較し、広域汚染のメカニズムについて検討してきました。

今年度は、平成 27 年度に実施した各季節における成分分析調査等の解析結果並びに年間を通した高濃度事象の発生状況及び当該高濃度事象について詳細解析を行った結果を記載しています。

本報告書が、PM2.5 に関する一資料として、広く活用して頂ければ幸いです。

最後に、共同調査の実施及び報告書の取りまとめにあたり、御協力をいただいた関係各位に、深く感謝いたします。

平成 28 年度 浮遊粒子状物質調査会議幹事 茨城県

平成 27 年度及び 28 年度 調査会議担当者

茨城県生活環境部環境対策課	間弓 敦子	仲田 弘美	宮下 勇二
茨城県霞ヶ浦環境科学センター	宇津野 典彦	前田 良彦	
栃木県環境森林部環境保全課	桐原 広成	齋藤 裕亮	
栃木県保健環境センター	舘野 雄備	飯島 史周	
群馬県環境森林部環境保全課	北村 光弘		
群馬県衛生環境研究所	熊谷 貴美代	田子 博	
埼玉県環境部大気環境課	池上 真人	本庄 隆成	
埼玉県環境科学国際センター	米持 真一	長谷川 就一	
千葉県環境生活部大気保全課	木村 剛	荻原 由紀恵	
	大伴 正人	浅川 達志	
千葉県環境研究センター	内藤 季和	石井 克巳	
東京都環境局環境改善部計画課	折原 岳朗	唐木 良子	
	藤島 明日香	長澤 祐樹	
(公財)東京都環境公社 東京都環境科学研究所	秋山 薫	星 純也	齊藤 伸治
	礒島 智恵子	國分 優孝	
神奈川県環境農政局環境部大気水質課	出澤 晃一	前田 敏哉	
神奈川県環境科学センター	小松 宏昭	武田 麻由子	
山梨県森林環境部大気水質保全課	野中 美香	櫻林 智	和田 政一
山梨県衛生環境研究所	吉澤 一家	大橋 泰浩	土橋 正徳
長野県環境部水大気環境課	町田 哲	橋詰 祐希	
長野県環境保全研究所	花岡 良信	山崎 賢	
静岡県くらし・環境局環境部生活環境課	中村 孝寛	柳 尚仁	八木 聡子
静岡県環境衛生科学研究所	三宅 健司	本間 信行	
さいたま市環境局環境共生部環境対策課	谷 友樹	米澤 義徳	
さいたま市健康科学研究センター	城 裕樹		
千葉市環境保全部環境規制課	福井 隆弘	浅野 雄紀	
千葉市環境保健研究所	古川 博	岡本 誓志	坂元 宏成
横浜市環境創造局環境保全部環境管理課	植松 義博	白砂 裕一郎	
横浜市環境科学研究所	石原 充也	志村 徹	福崎 有希子
	小森 陽昇	小宇佐 友香	
川崎市環境局環境対策部環境対策課	平山 学		
川崎市環境総合研究所	田中 佑典	鈴木 義浩	
相模原市環境経済局環境共生部環境保全課	秋元 諒	伊達 司	池川 智子
相模原市衛生研究所	望月 有	池川 智子	
	高木 尊大	高梨 直人	
静岡市環境局環境保全課	伊藤 誠		
静岡市環境保健研究所	原 弘		
浜松市環境部環境保全課	畑 潤平	松下 佳代	
浜松市保健環境研究所	無州 孝哲		

目 次

I 本 編

1	はじめに	1
2	調査方法	
2.1	調査時期	2
2.2	参加自治体及び調査解析地点	2
2.3	試料の採取方法及び測定方法	4
3	各季節の概況	
3.1	春季	6
3.2	夏季	19
3.3	秋季	35
3.4	冬季	48
3.5	四季の比較	61
4	年間のPM2.5高濃度発生状況	
4.1	常時監視データによるPM2.5高濃度日出現状況の把握	62
4.2	PM2.5高濃度事象の詳細解析（春季）	67
4.3	PM2.5高濃度事象の詳細解析（夏季）	76
4.4	PM2.5高濃度事象の詳細解析（秋季）	87
4.5	PM2.5高濃度事象の詳細解析（冬季）	94
4.6	高濃度イベントのまとめ	101
5	発生源寄与の推定	103
6	今後の課題	116

II 資料編

1	試料採取要領	117
2	測定方法及び検出下限・定量下限	119
3	調査期間の常時監視データ	152
4	成分分析測定結果	179
5	調査地点の概況	240
6	精度管理結果	264
7	本編4章の解析地点	268
8	調査結果の発表及び投稿一覧	270

I 本 編

1 はじめに

本調査会議は、広域的な課題である微小粒子状物質（以下、「PM2.5」という。）の大気汚染に対する取り組みの一環として、その汚染実態や発生源等を把握し、今後の対策に資することを目的に、関東甲信静1都9県7市の自治体が共同して調査を行うこととしている。

これまでの調査結果によると、平成15年のディーゼル車運行規制以降のPM2.5に対する自動車排出ガスの寄与は減少傾向にあるが、二次生成粒子の寄与については顕著な変化が見られていない。特に、夏季における二次生成粒子の高濃度化は関東広域に広がる傾向にあり、その由来等については解析が必要であることが明らかとなった。

一方、平成22年度の環境省の事務処理基準改正により、PM2.5の成分分析は自動測定機による質量濃度測定と同様に常時監視項目に位置づけられ、平成25年度以降全国の各自治体で分析が行われている。

こうした経緯の中で、本会議においては、平成23年度までは調査会が2日間または3日間で試料採取し、分析項目毎に担当自治体が全地点の分析を行っていた。平成24年度以降は原則、各自治体が24時間で試料採取、分析を行い、分析結果を集約し、本調査会議において解析を行うというスタイルへと変更した。

調査解析時期等については、平成26年度までは一般環境における夏季の梅雨明け後を中心としていたが、平成27年度は四季ごとに解析を行った。さらに、調査解析時期以外の期間における高濃度事例について、自動測定機によるPM2.5の質量濃度測定結果に加え、気象データ及び大気常時監視データを用い、時間分解能を高めた高濃度要因の解析を行った。

また、PM2.5調査に加え、一部自治体においてはフィルターバック法により捕集される、二次生成粒子の主な前駆物質と考えられているSO₂、HNO₃、HCl、NH₃（以下、「ガス状成分」という。）、及びエアロゾルと呼ばれる気体中に浮遊する微小な液体又は固体の粒子に含まれる成分の内、SO₄²⁻、NO₃⁻、Cl⁻、NH₄⁺、Na⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺（以下、これらを「エアロゾル成分」という。）についての調査を夏季に実施した。

本報告では、広域的なPM2.5濃度実態等の把握を中心に、二次生成粒子の成分濃度とその前駆物質成分濃度（ガス状成分濃度）も測定し、年間を通じた広域的な二次生成粒子汚染のメカニズムの解明に資することを目的とした。

2 調査方法

2.1 調査時期

調査時期は原則として表 2-1-1-1 のとおり環境省が設定した調査時期（試料捕集期間）に従い、季節毎で2週間に24時間採取を連続して実施した。また、同表で示す各1週間をコア期間として解析を行った。

表 2-1-1-1 調査時期(試料採取の開始時刻は原則として10時とした)

	試料採集期間	コア期間
春季	平成27年5月7日(木)～5月21日(木)	5月11日(月)～5月18日(月)
夏季	平成27年7月22日(水)～8月5日(水)	7月27日(月)～8月3日(月)
秋季	平成27年10月21日(水)～11月4日(水)	10月26日(月)～11月2日(月)
冬季	平成28年1月20日(水)～2月3日(水)	1月25日(月)～2月1日(月)

2.2 参加自治体及び調査解析地点

(1) 参加自治体

茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、長野県、山梨県、静岡県、各都県及びさいたま市、千葉市、横浜市、川崎市、相模原市、静岡市、浜松市の各市

(2) 調査解析地点

調査解析地点名、場所、沿岸・内陸の区分及び担当自治体を表 2-2-1-1 に、調査解析地点については図 2-2-1-1 に示した。

これまでの報告書によると、沿岸・内陸でPM_{2.5}の成分や発生源に違いが見られていることから、本報告書においても、沿岸・内陸による違いを明らかにすることを目的に、区分を分けた比較・解析を行なった。

各調査解析地点の周辺の状況については「Ⅱ資料編」に示した。

表 2-2-1-1 調査解析地点名、場所及び担当自治体について

番号	地点名	場所	沿岸・内陸	担当自治体	番号	地点名	場所	沿岸・内陸	担当自治体
1	土浦*	土浦保健所	内陸	茨城県	14	大和*	大和市役所	沿岸	神奈川県
2	真岡*	真岡市役所	内陸	栃木県	15	横浜*	磯子区総合庁舎	沿岸	横浜市
3	前橋*	群馬県衛生環境研究所	内陸	群馬県	16	川崎*	田島測定局(田島こども文化センター)	沿岸	川崎市
4	館林	館林市民センター	内陸		17	相模原*	相模原市役所	内陸	相模原市
5	鴻巣*	鴻巣市役所	内陸	埼玉県	18	甲府*	山梨県衛生環境研究所	内陸	山梨県
6	幸手	幸手測定局	内陸		19	吉田	富士吉田合同庁舎	内陸	
7	さいたま	大宮測定局	内陸	さいたま市	20	長野*	長野県環境保全研究所	内陸	長野県
8	市原*	千葉県環境研究センター	沿岸	千葉県	21	富士*	富士市救急医療センター	沿岸	静岡県
9	勝浦*	勝浦市立北中学校	沿岸		22	湖西	湖西市役所	沿岸	
10	富津	富津市立富津中学校	沿岸		23	静岡*	静岡市立服織小学校	沿岸	静岡市
11	千葉*	千葉市立千城台北小学校	沿岸	千葉市	24	浜松*	浜松市立葵が丘小学校	沿岸	浜松市
12	綾瀬*	東綾瀬公園	沿岸	東京都					
13	多摩*	愛宕測定局	内陸						

* 固定測定地点

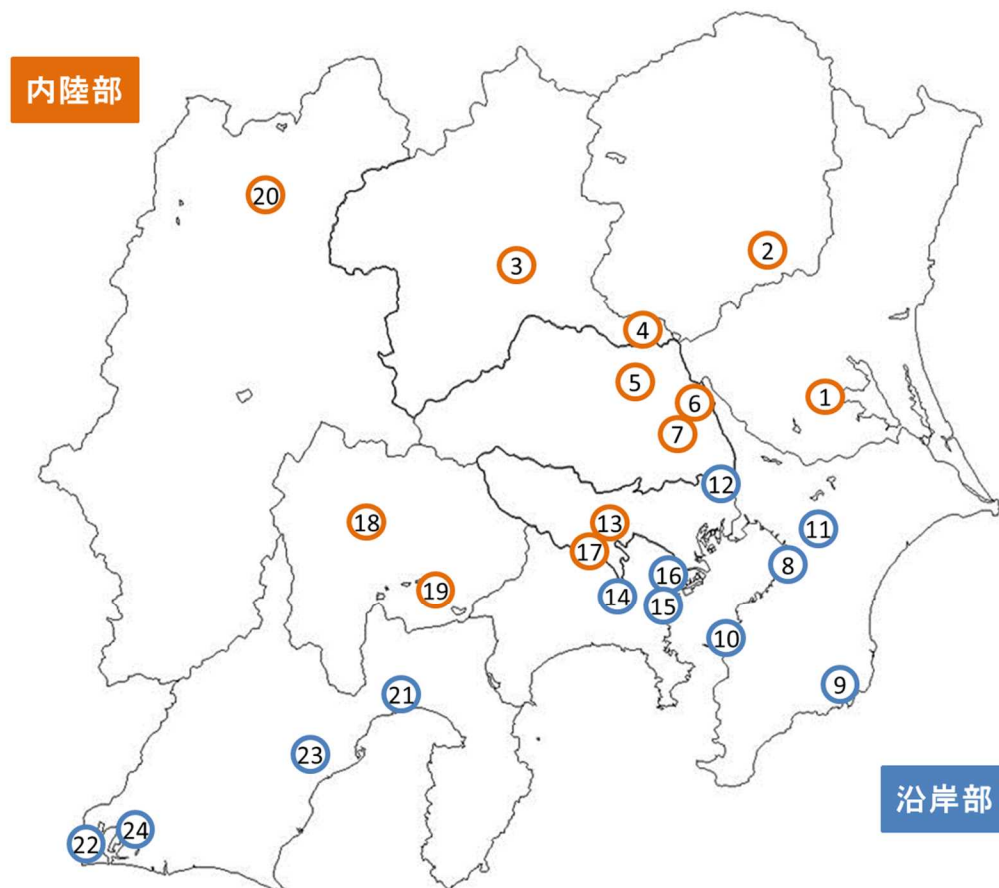


図 2-2-1-1 調査解析地点

2.3 試料の採取方法及び測定方法

(1) 試料の捕集方法（試料採取方法の詳細は、「Ⅱ資料編」に示した）

- ・PM2.5 調査：

PTFE ろ紙及び石英繊維ろ紙を装着した PM2.5 サンプラー又はこれと同等なサンプラーを用いて、PM2.5 を捕集した。

- ・フィルターパック法による調査：

ガス状物質についてはフィルターパック法を用いて調査を行った。

(2) 測定項目と測定方法

事務処理基準の改正により、都道府県及び政令市の自治体は平成 25 年度までに PM2.5 の成分分析調査（PM2.5 濃度、水溶性イオン成分、炭素成分[元素状炭素成分、有機炭素成分]及び無機元素成分を測定する調査）の体制を整備することになっており、平成 27 年度は、原則、各自治体の責任により分析を実施した。また、フィルターパック法による調査は、夏季のコア期間について実施可能な自治体でガス状成分とエアロゾル成分を測定した。測定項目及び分析実施状況を表 2-3-1-1 に示した。

なお、測定方法は基本的には環境省が平成 24 年 4 月 19 日に策定し、平成 25 年 6 月 28 日付けで一部改訂された「大気中微小粒子状物質(PM2.5)成分測定マニュアル」に準拠しているが、詳細については自治体間で多少違いがある。なお、詳細は、「Ⅱ資料編」に示した。

表 2-3-1-1 測定項目及び分析実施状況

番号	地点名	質量濃度	イオン	炭素	水溶性 有機炭素 WSOC	無機元素	ガス状物質
1	土浦	○	○	○	○	○	○
2	真岡	○	○	○	○	○	—
3	前橋	○	○	○	○	○	○
4	館林	○	○	○	○	○	—
5	鴻巣	○	○	○	—	○	○
6	幸手	○	○	○	—	○	—
7	さいたま	○	○	○	—	○	—
8	市原	○	○	○	○	○	○
9	勝浦	○	○	○	○	○	—
10	富津	○	○	○	○	○	—
11	千葉	○	○	○	○	○	—
12	綾瀬	○	○	○	—	○	○
13	多摩	○	○	○	—	○	—
14	大和	○	○	○	○	○	—
15	横浜	○	○	○	—	○	—
16	川崎	○	○	○	○	○	—
17	相模原	○	○	○	—	○	—
18	甲府	○	○	○	○	○	○
19	吉田	○	○	○	○	○	—
20	長野	○	○	○	—	○	○
21	富士	○	○	○	—	○	○
22	湖西	○	○	○	—	○	—
23	静岡	○	○	○	○	○	—
24	浜松	○	○	○	—	○	—

注)「○」:各自治体が分析を実施 「—」:未測定

3 各季節の概況

3.1 春季

3.1.1 気象概況

風速等の観測値について、午前10時を起点に集計した。観測値は気象庁ホームページから引用、転載した。観測値は、各気象観測所（つくば、真岡、前橋、熊谷、千葉、東京、横浜、甲府、長野、静岡）の特別値（時間値）を用いた。

春季調査期間中の気象の概要

春季調査期間中の関東甲信地方及び東海地方の平均気温及び日照時間はどちらも平年と比較して平均気温は高く、日照時間は長かった。

5月12日に東京及び静岡で激しい雨（1時間雨量30mm以上～50mm未満）、5月12日につくば、5月16日に静岡で強い雨（1時間雨量20mm以上～30mm未満）、5月12日に真岡及び横浜、5月16日に長野、5月19日に静岡、5月21日に真岡及び千葉でやや強い雨（1時間雨量10mm以上～20mm未満）が降った。

表3-1-1-1に調査期間中の観測値を示す。

表 3-1-1-1 春季調査期間の各気象観測所の観測値

測定日	都県	気 象 観測所	最多風向	平均風速 (m/s)	平均気温 (℃)	日照時間 (h)	降水量 (mm)
5/7 ～ 5/8	茨城県	つくば	東北東	1.8	17.9	6.8	0.0
	栃木県	真岡	北北東	1.1	18.3	9.2	0.0
	群馬県	前橋	北西	2.9	20.1	6.8	0.0
	埼玉県	熊谷	南南東	2.1	20.5	9.2	0.0
	千葉県	千葉	西南西	2.7	20.2	9.9	0.0
	東京都	東京	北北東	1.9	19.6	5.9	0.0
	神奈川県	横浜	南西	2.4	19.8	9.8	0.0
	山梨県	甲府	西北西	2.5	19.5	9.1	0.0
	長野県	長野	北北西	2.8	17.1	8.5	0.5
	静岡県	静岡	南、北北西	1.7	19.2	5.2	0.0
5/8 ～ 5/9	茨城県	つくば	東	2.0	18.5	7.8	0.0
	栃木県	真岡	北東	1.7	18.4	6.5	0.0
	群馬県	前橋	北西	2.3	21.3	5.3	0.0
	埼玉県	熊谷	南南東	2.2	21.3	7.4	0.0
	千葉県	千葉	南西	3.1	20.2	7.0	0.0
	東京都	東京	南	2.6	20.7	7.9	0.0
	神奈川県	横浜	南西	3.1	19.9	7.9	0.0
	山梨県	甲府	南西、西	2.6	20.3	7.4	0.0
	長野県	長野	北	2.5	17.0	7.8	0.0
	静岡県	静岡	南	1.9	19.1	8.0	0.0

表 3-1-1-1 続き

測定日	都県	気 象 観測所	最多風向	平均風速 (m/s)	平均気温 (°C)	日照時間 (h)	降水量 (mm)
5/9 ～ 5/10	茨城県	つくば	東北東	2.3	16.8	4.9	0.0
	栃木県	真岡	北北東、東北東	1.3	16.6	3.7	0.0
	群馬県	前橋	北西	3.0	17.4	4.7	0.0
	埼玉県	熊谷	東	2.6	17.9	4.8	5.0
	千葉県	千葉	北北西	2.4	18.5	4.6	4.5
	東京都	東京	北西	2.6	18.5	4.6	0.0
	神奈川県	横浜	北	2.5	18.4	4.6	3.0
	山梨県	甲府	西南西	1.6	17.6	4.6	0.0
	長野県	長野	東北東	2.7	13.3	1.4	0.0
	静岡県	静岡	西北西	1.3	18.1	4.5	0.0
5/10 ～ 5/11	茨城県	つくば	北西	2.9	16.2	10.1	0.0
	栃木県	真岡	北北東	1.5	15.3	12.2	0.0
	群馬県	前橋	北西、北北西	4.9	15.2	13.0	0.0
	埼玉県	熊谷	北西	3.8	17.0	12.9	0.0
	千葉県	千葉	北北東、北東	3.2	18.2	10.8	0.0
	東京都	東京	北北西	3.5	18.7	10.2	0.0
	神奈川県	横浜	北	4.3	18.5	10.6	0.0
	山梨県	甲府	西北西	3.8	18.1	12.9	0.0
	長野県	長野	北東	3.5	10.5	11.1	0.0
	静岡県	静岡	北北東、北東、東北東、南	2.9	19.2	12.8	0.0
5/11 ～ 5/12	茨城県	つくば	南	3.2	17.7	7.5	0.0
	栃木県	真岡	南南西	2.0	17.1	8.5	0.0
	群馬県	前橋	北西	2.6	17.6	7.5	0.0
	埼玉県	熊谷	南東	2.4	17.7	6.8	0.0
	千葉県	千葉	南	6.2	18.4	8.2	0.0
	東京都	東京	南	5.1	18.7	7.6	0.0
	神奈川県	横浜	南南西	5.1	18.0	8.4	0.0
	山梨県	甲府	南西	2.9	17.5	9.4	0.0
	長野県	長野	西南西	4.8	18.8	7.7	0.0
	静岡県	静岡	南	2.0	17.6	7.1	0.0
5/12 ～ 5/13	茨城県	つくば	南南西	4.7	20.2	4.6	47.0
	栃木県	真岡	南南西	2.4	19.7	5.5	24.5
	群馬県	前橋	北西	2.8	18.6	5.5	8.0
	埼玉県	熊谷	西	2.5	18.6	4.4	16.5
	千葉県	千葉	南西	10.2	21.7	4.1	11.5
	東京都	東京	南	5.4	20.7	3.6	58.5
	神奈川県	横浜	南南西、南西	7.3	20.4	4.0	31.0
	山梨県	甲府	南東	2.3	18.4	4.7	30.0
	長野県	長野	西南西	3.8	17.2	3.9	17.0
	静岡県	静岡	南西	3.0	19.7	5.1	138.5

表 3-1-1-1 続き

測定日	都県	気象観測所	最多風向	平均風速 (m/s)	平均気温 (℃)	日照時間 (h)	降水量 (mm)
5/13 ～ 5/14	茨城県	つくば	南南西	2.5	20.2	12.3	0.0
	栃木県	真岡	東北東	1.7	19.4	11.5	0.0
	群馬県	前橋	北西	4.2	22.3	12.5	0.0
	埼玉県	熊谷	西	2.6	22.3	12.7	0.0
	千葉県	千葉	南西	5.8	22.6	12.9	0.0
	東京都	東京	南	3.0	22.8	13.0	0.0
	神奈川県	横浜	南西	5.2	22.7	13.1	0.0
	山梨県	甲府	北西	3.3	20.1	12.2	0.0
	長野県	長野	西	2.7	19.1	10.2	0.0
	静岡県	静岡	西南西	3.2	22.4	13.0	0.0
5/14 ～ 5/15	茨城県	つくば	南	2.6	21.5	10.4	0.0
	栃木県	真岡	南南西	1.2	22.2	12.2	0.0
	群馬県	前橋	北西	2.8	24.2	12.1	0.0
	埼玉県	熊谷	南東	2.3	23.9	10.5	0.0
	千葉県	千葉	南西	4.8	22.6	9.1	0.0
	東京都	東京	東北東、南	3.0	23.2	9.8	0.0
	神奈川県	横浜	南南西	3.8	22.9	9.2	0.0
	山梨県	甲府	南南西、西南西、西	2.0	21.3	9.3	0.0
	長野県	長野	東北東	2.3	19.1	11.1	0.0
	静岡県	静岡	北北東	2.2	23.0	7.4	0.0
5/15 ～ 5/16	茨城県	つくば	東	2.3	20.5	4.5	3.5
	栃木県	真岡	北東	1.8	20.6	4.7	2.5
	群馬県	前橋	北西	2.4	22.7	4.9	3.0
	埼玉県	熊谷	東北東	2.4	22.8	4.4	2.5
	千葉県	千葉	南西	5.1	23.1	4.6	9.5
	東京都	東京	南南東	3.3	22.7	4.3	3.5
	神奈川県	横浜	南西	4.7	22.2	4.7	8.0
	山梨県	甲府	南西、西	2.1	23.2	5.1	2.0
	長野県	長野	南西	2.3	21.4	4.7	15.0
	静岡県	静岡	南	2.0	22.7	5.4	27.5
5/16 ～ 5/17	茨城県	つくば	東南東	1.6	19.5	3.7	0.0
	栃木県	真岡	東北東	1.3	19.5	3.8	0.0
	群馬県	前橋	北西	2.9	21.4	7.6	0.0
	埼玉県	熊谷	南南東、西北西	2.8	21.5	4.3	0.0
	千葉県	千葉	北北東、北東	3.0	20.2	3.5	2.0
	東京都	東京	南南東	2.3	20.8	3.4	0.0
	神奈川県	横浜	北北東	2.3	20.6	2.8	0.5
	山梨県	甲府	北西	2.3	21.3	5.1	0.0
	長野県	長野	北	1.9	16.3	8.8	0.5
	静岡県	静岡	北北東	1.6	21.0	1.2	0.0

表 3-1-1-1 続き

測定日	都県	気 象 観測所	最多風向	平均風速 (m/s)	平均気温 (°C)	日照時間 (h)	降水量 (mm)
5/17 ～ 5/18	茨城県	つくば	南南東	2.1	20.8	11.4	0.0
	栃木県	真岡	北北東	1.5	20.8	9.5	0.0
	群馬県	前橋	北北西	3.3	21.0	10.2	0.0
	埼玉県	熊谷	北西、北北西	2.5	22.2	12.5	0.0
	千葉県	千葉	南	3.8	22.2	10.5	0.0
	東京都	東京	南	3.2	22.0	9.0	0.0
	神奈川県	横浜	南	2.9	21.5	9.7	0.0
	山梨県	甲府	南西	2.6	21.9	10.8	0.0
	長野県	長野	西	2.4	17.2	11.5	0.0
	静岡県	静岡	南南西	1.8	20.8	8.7	0.0
5/18 ～ 5/19	茨城県	つくば	南南東	2.9	20.7	2.6	13.5
	栃木県	真岡	東南東	1.9	20.5	3.4	28.0
	群馬県	前橋	東南東	3.8	20.3	1.5	7.5
	埼玉県	熊谷	南東	3.3	21.4	3.0	2.0
	千葉県	千葉	南南東	5.2	21.9	3.2	6.5
	東京都	東京	南南東	3.5	20.7	2.5	8.0
	神奈川県	横浜	南南東	3.6	20.5	2.4	6.0
	山梨県	甲府	南南西	2.5	20.0	1.7	10.0
	長野県	長野	西南西、西	4.0	18.6	2.6	22.5
	静岡県	静岡	北西	2.1	20.3	3.3	34.5
5/19 ～ 5/20	茨城県	つくば	北東	2.1	19.0	2.6	0.0
	栃木県	真岡	東北東	1.3	19.5	3.2	0.0
	群馬県	前橋	北北西	1.7	20.3	3.4	0.0
	埼玉県	熊谷	東北東	1.6	21.0	1.1	0.0
	千葉県	千葉	北東、西南西	4.1	21.2	1.4	0.0
	東京都	東京	北東	2.2	21.2	2.7	0.0
	神奈川県	横浜	南南西	3.2	21.0	2.0	0.0
	山梨県	甲府	西	1.4	20.9	6.4	0.0
	長野県	長野	東	2.5	17.8	8.9	0.0
	静岡県	静岡	北東	2.1	21.9	4.1	0.5
5/20 ～ 5/21	茨城県	つくば	東南東	2.0	19.0	10.2	24.0
	栃木県	真岡	北北東、東北東、東南東	1.7	19.5	7.7	20.0
	群馬県	前橋	北北西	4.6	20.2	8.0	1.0
	埼玉県	熊谷	西北西、北西	3.8	21.3	9.3	8.0
	千葉県	千葉	東南東	2.9	20.6	8.0	25.5
	東京都	東京	北北西	3.2	21.1	8.3	9.0
	神奈川県	横浜	北	3.8	20.4	9.3	10.0
	山梨県	甲府	南西、西北西	4.0	21.2	11.5	4.5
	長野県	長野	東北東	4.7	16.5	10.2	0.0
	静岡県	静岡	南南東、南	2.4	21.2	10.3	0.5

3.1.2 質量濃度及び組成

(1) 測定値の妥当性の検証

①イオンバランスの確認

春季調査のコア期間にあたる5月11日から5月18日を対象に、各地点の各日のデータから求めた陽イオン (Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+}) 及び陰イオン (Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-}) それぞれの合計当量濃度の比較を示す(図 3-1-2-1)。なお、検出下限値未満のデータに関しては、検出下限値の 1/2 とした。全体的に、陰イオン当量濃度合計/陽イオン当量濃度合計は概ね 0.8~1.2 に収まっていたが、さいたまの 5 月 11 日と 5 月 17 日は陰イオンに比べて陽イオンが多く 0.7 未満となった。

②マスキロージャーモデルによる検証

図 3-1-2-2 に、コア期間中の各地点の各日のデータから次式により推定した質量濃度と、標準測定法による質量濃度の比較を示す。

$$\begin{aligned} \text{質量濃度 } M = & 1.375[\text{SO}_4^{2-}] + 1.29[\text{NO}_3^-] + 2.5[\text{Na}^+] + 1.6[\text{OC}] + [\text{EC}] \\ & + 9.19[\text{Al}] + 1.40[\text{Ca}] + 1.38[\text{Fe}] + 1.67[\text{Ti}] \end{aligned}$$

なお、 $[\text{OC}]$ の係数は都市域の平均的な値として挙げられている $1.6^2)$ とした。また、①と同様、検出下限値未満のデータに関しては、検出下限値の 1/2 とした。土浦の Ca、前橋と館林の Ti が未測定であったため、それぞれ濃度を 0 として適用した。

全体としては、標準測定法による質量濃度に対する推定質量濃度の比は概ね 0.8~1.2 の範囲に収まっていたが、綾瀬の 5 月 16 日、富津の 5 月 12 日で 0.7 未満となった。

※今回は陰イオン当量濃度合計/陽イオン当量濃度合計は 0.8~1.2 の範囲外のものについてもマスキロージャーモデルを適用し、図示した。また、以後の節の解析でもそのまま使用した。

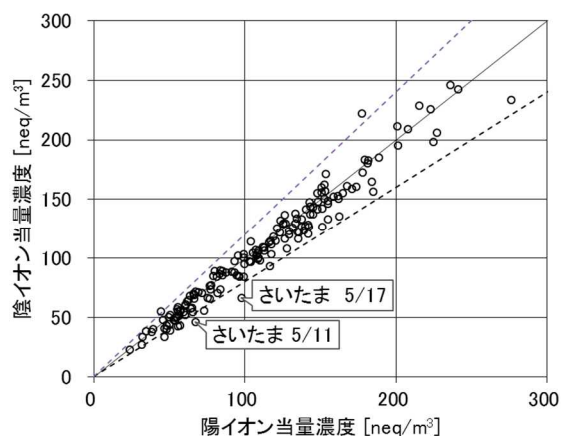


図 3-1-2-1 イオンバランス

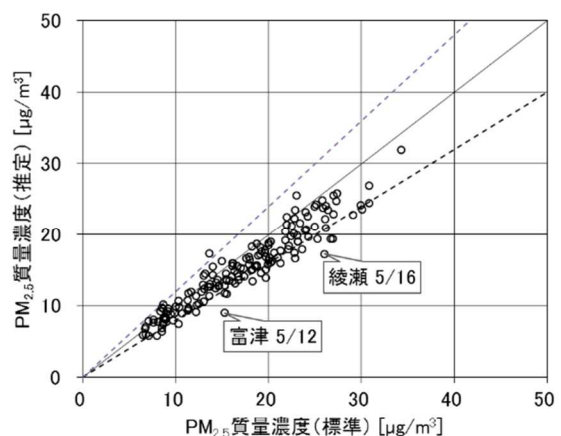


図 3-1-2-2 マスキロージャーモデル

参考文献

- 1) 環境省：大気中微小粒子状物質（PM_{2.5}）測定方法暫定マニュアル 改定版、平成 19 年 7 月
- 2) Turpin & Ho-Jin Lim: Species Contributions to PM_{2.5} Mass Concentrations: Revisiting Common Assumptions for Estimating Organic Mass, Aerosol Science and Technology, 35, 602-610 (2001)

（２）季節平均濃度と組成の分布

図 3-1-2-3 に、コア期間中の各地点の PM_{2.5} 平均濃度を地図に示す。なお、図は国立環境研究所 曾我稔氏によるデータ解析支援ソフト「見え見えくん」により作成した。また、一部の地点については、PM_{2.5} 主要成分（イオン成分、炭素成分）の組成を円グラフに示す。PM_{2.5} 平均濃度は、関東平野の北部に位置する前橋とさいたまの 2 地点で 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上となり、全体的に 15～20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となっていた。PM_{2.5} 濃度に占める主要成分の組成は、全体的に SO_4^{2-} の割合が最も高く、次いで OC、 NH_4^+ 、EC、 NO_3^- の順となり、これら 5 成分で組成の 6 割以上を占める傾向がみられた。一方、PM_{2.5} 濃度が高かった前橋の組成は、OC の割合が最も高く、次いで SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 、EC、 NO_3^- の順となった。なお、長野、前橋では主要成分の占める割合が他の地点と比較して低く、5 割程度となっていた。

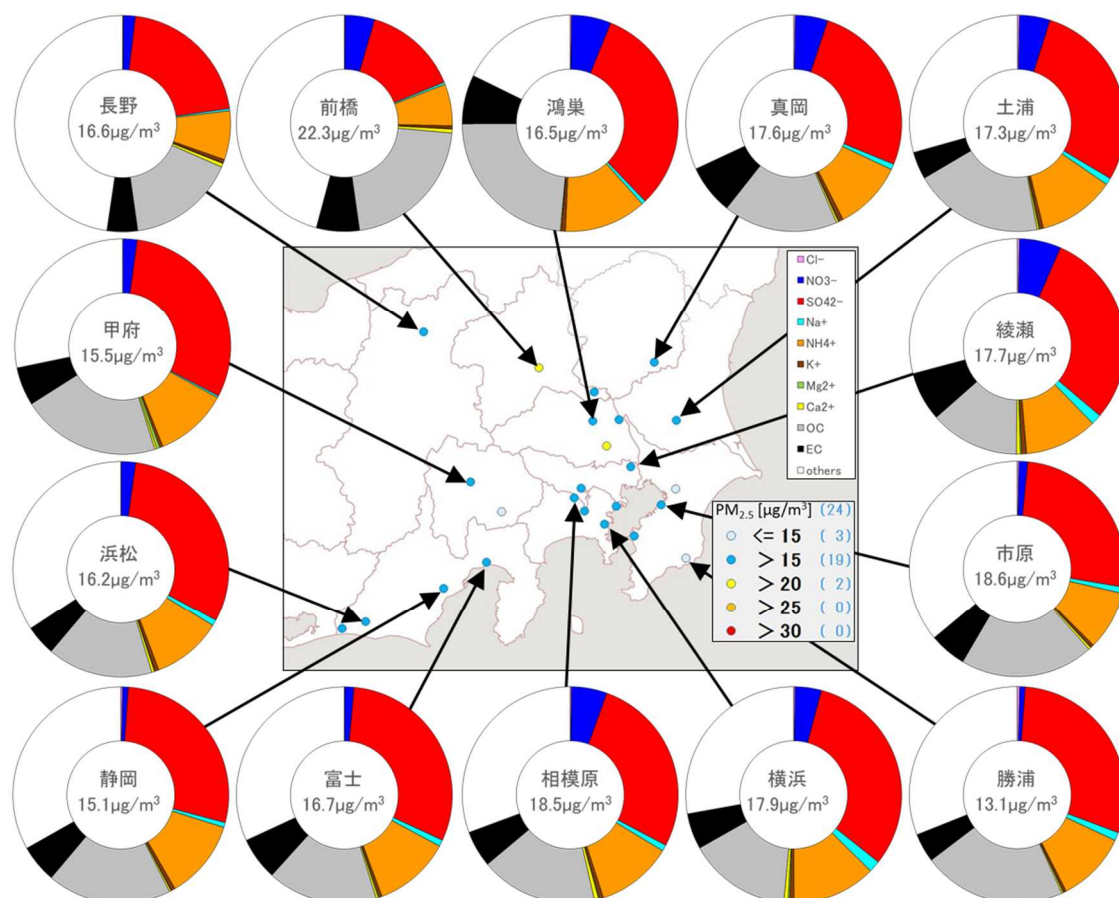


図 3-1-2-3 PM_{2.5} 平均濃度(地図)と PM_{2.5} 主要成分組成(円グラフ)

3.1.3 水溶性イオン成分濃度

図 3-1-3-1 に、コア期間中の SO_4^{2-} および SO_2 の平均濃度分布を示す。 SO_2 は関東甲信静地域の南部で高い傾向がみられ、内陸部の相模原では 5.6ppb となり特に高かった。 SO_4^{2-} の傾向は SO_2 と同じとは限らず、関東平野北部から南部の静岡県沿岸部にかけて全体的に $4\sim 6\mu\text{g}/\text{m}^3$ となった。バックグラウンドとされる沿岸の勝浦や、内陸部の前橋、さいたま、長野、吉田で $4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満となった。

図 3-1-3-2 に、コア期間中の NO_3^- および NO_x の平均濃度分布を示す。 NO_x は東京・神奈川・埼玉と、千葉の東京湾周辺を中心に高い傾向だが、静岡県沿岸部の富士でも高かった。 NO_x が特に高かったのは綾瀬 (22.6ppb)、大和 (20.9 ppb)、川崎 (20.7 ppb)、富士 (23.8 ppb) であった。 NO_3^- は東京の綾瀬で $1.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、多摩で $1.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ となった以外は、すべて $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下と低かった。図 3-1-3-3 に、コア期間中の Cl^- の平均濃度分布を示す。 Cl^- も NO_3^- と同様に、すべて $0.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下と低かった。図 3-1-3-4 に、コア期間中の K^+ の平均濃度分布を示す。 K^+ は大和で $0.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上と最も高くなったが、その分布に明確な傾向はみられなかった。

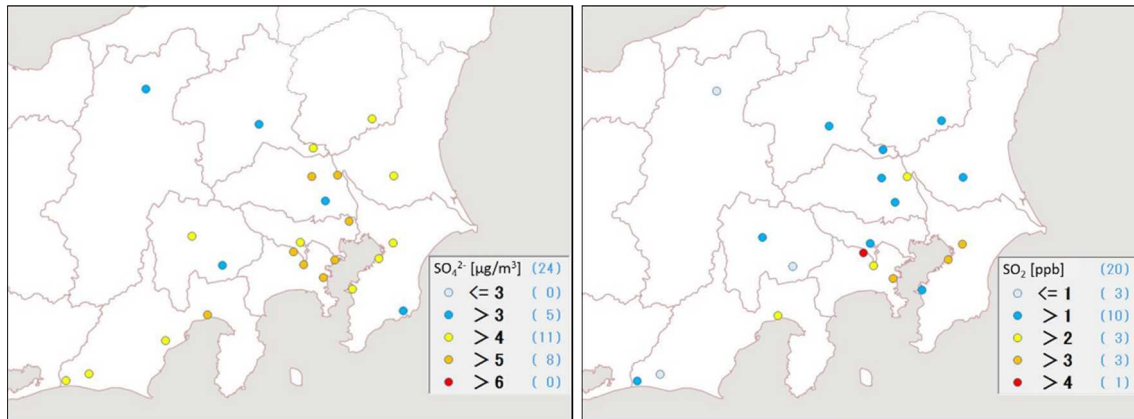


図 3-1-3-1 SO_4^{2-} (左) および SO_2 (右) の平均濃度分布

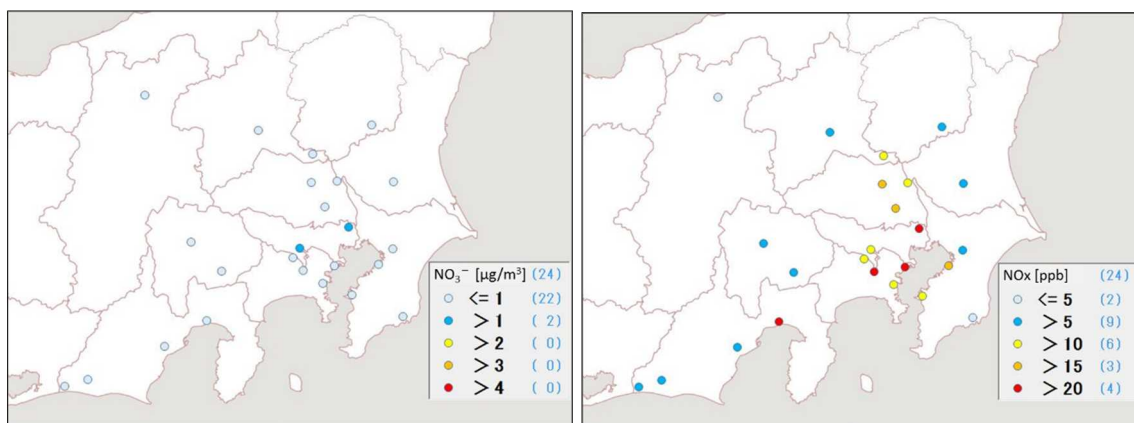


図 3-1-3-2 NO_3^- (左) および NO_x (右) の平均濃度分布

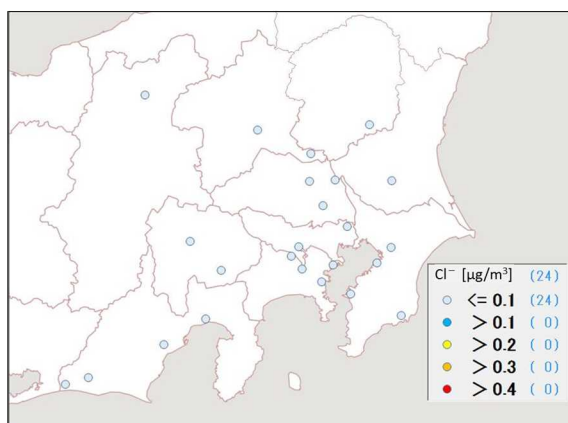


図 3-1-3-3 Cl⁻の平均濃度分布

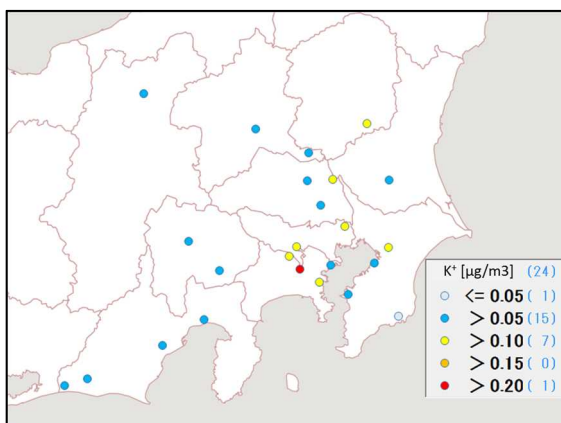


図 3-1-3-4 K⁺の平均濃度分布

3.1.4 炭素成分濃度

図 3-1-4-1 に、コア期間中の EC および OC の平均濃度分布を示す。EC はすべての地点で $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下となり、地域的な濃度差は小さかった。OC は長野県を除いた関東甲信静地域の北部で高い傾向がみられた。図 3-1-4-2 に、コア期間中の WSOC および Ox の平均濃度分布、図 3-1-4-3 に OC に占める WSOC の割合 (WSOC/OC) および TC に占める OC の割合 (OC/TC) の分布を示す。WSOC については、千葉県で $1\sim 2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、それ以外の地域では比較的高く $2\sim 3\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲となった。WSOC/OC が特に高かったのは、値が 80% を超えた真岡 (89%)、大和 (87%)、川崎 (82%)、静岡 (82%) であった。OC/TC は土浦、さいたま、勝浦、富津で比較的高く 80% 以上であったが、全体的にも 60% 以上となり顕著な傾向はみられなかった。また、EC や OC、WSOC、WSOC/OC、OC/TC、Ox の分布に関して互いに傾向が類似する点はみられなかった。図 3-1-4-4 に、コア期間中の NMHC の平均濃度分布を示す。NMHC の分布に特徴的な傾向はみられなかったが、比較的高かったのは大和と幸手であった。なお、大和と幸手の OC 濃度は中程度であった。図 3-1-4-5 に OC と Ox および OC と NMHC の関係を示す。OC と Ox に明確な相関関係は見出せず、光化学二次生成による大きな寄与は認められなかった。OC と NMHC に関しても明確な関係はみられなかった。図 3-1-4-6 に、OC と K⁺ および WSOC と K⁺ の関係を示す。OC と K⁺、WSOC と K⁺、ともに明確な関係はみられなかった。図 3-1-4-7 に、char-EC と K⁺ の関係を示す。char-EC と K⁺ に明確な関係はみられなかった。なお、K⁺ は大和で特異的に高かった。これは、大和の検出下限値が他の地点と比較して高かったためであり、大和の K⁺ はコア期間中の全ての日で検出下限値の $0.58\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満であった。

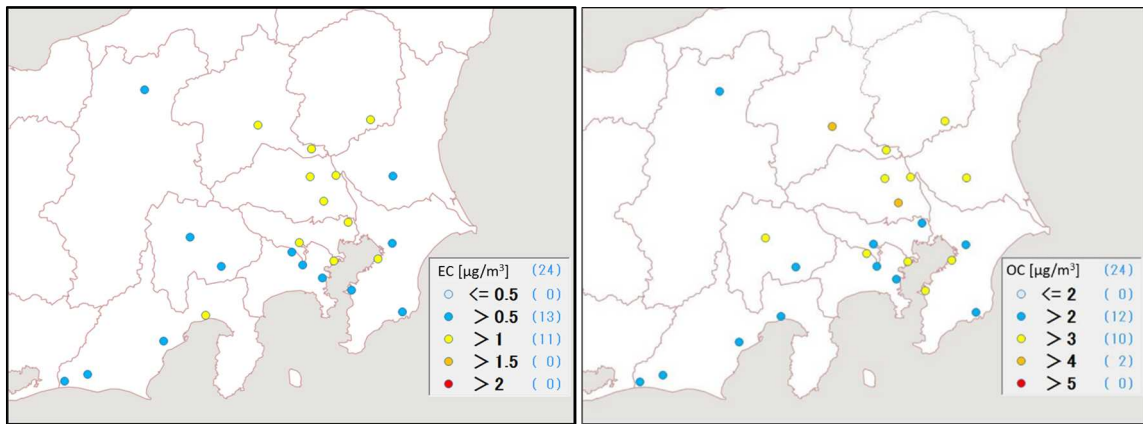


図 3-1-4-1 EC(左)および OC(右)の平均濃度分布

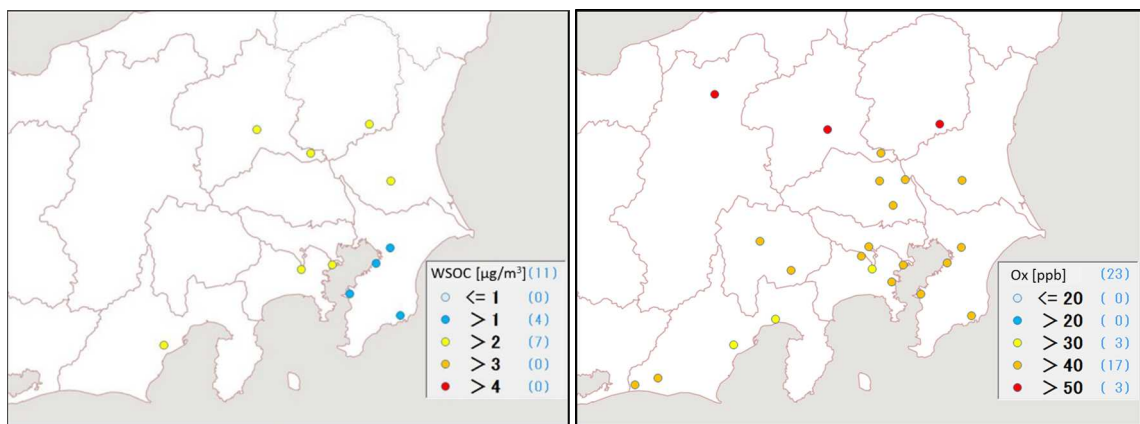


図 3-1-4-2 WSOC(左)および Ox(右)の平均濃度分布

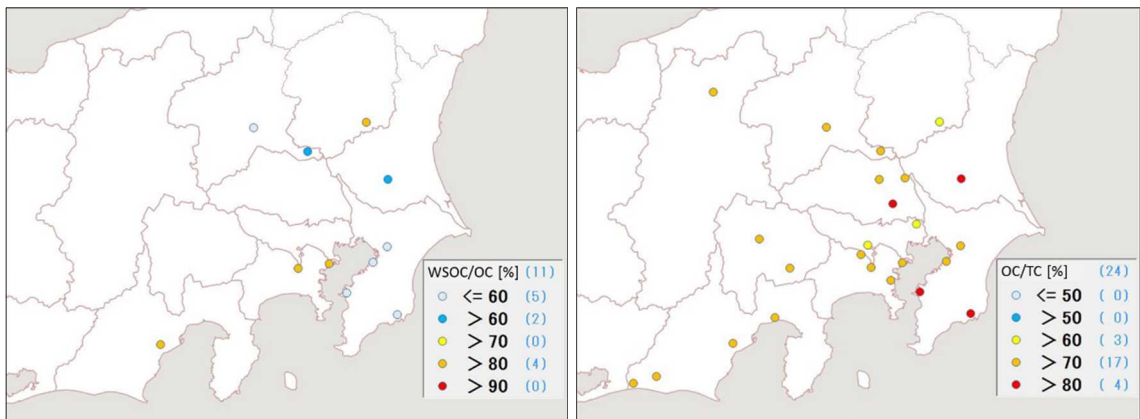


図 3-1-4-3 WSOC/OC(左)および OC/TC(右)の平均分布

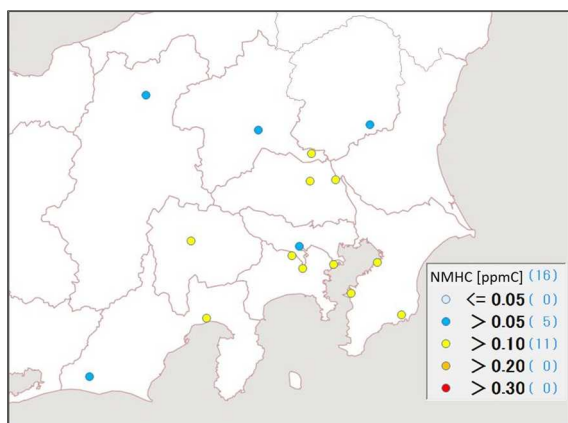


図 3-1-4-4 NMHC の平均濃度分布

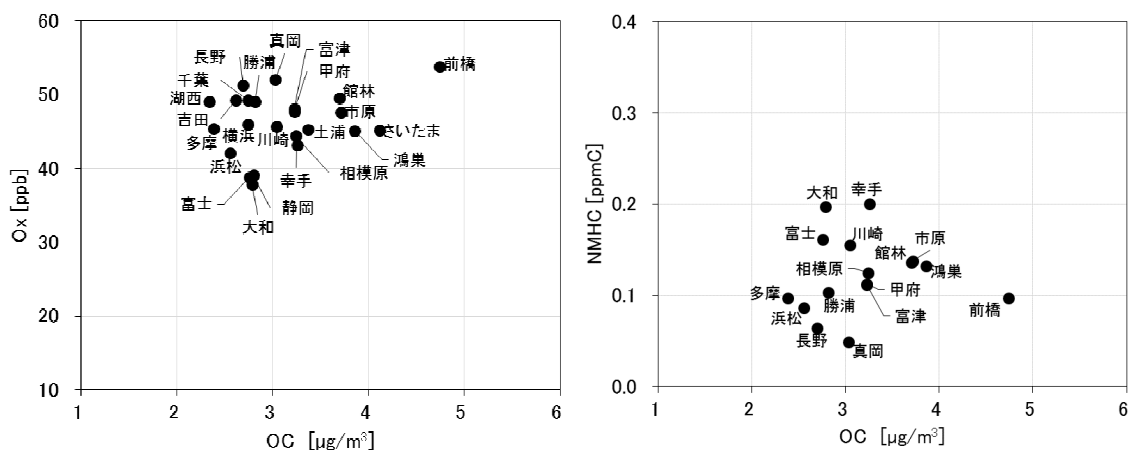


図 3-1-4-5 OC と Ox(左)および OC と NMHC(右)の関係

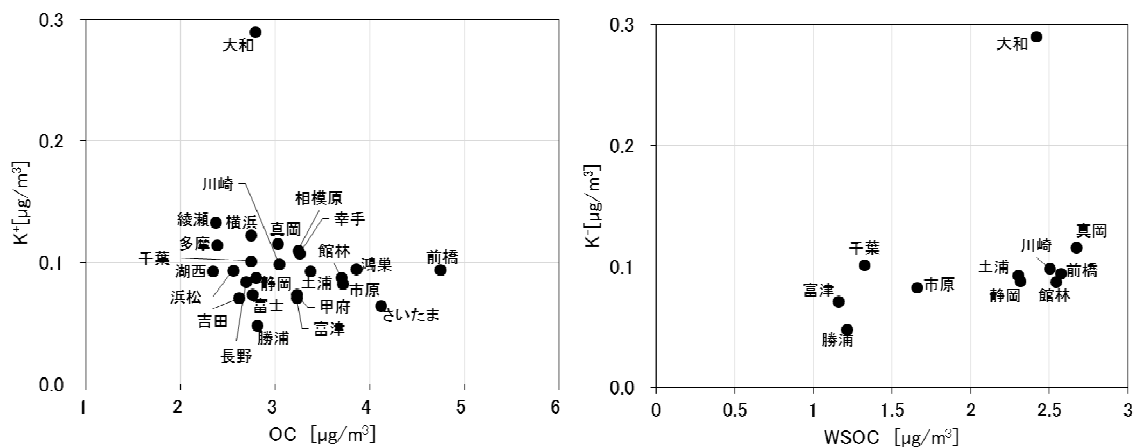


図 3-1-4-6 OC と K⁺(左)および WSOC と K⁺(右)の関係

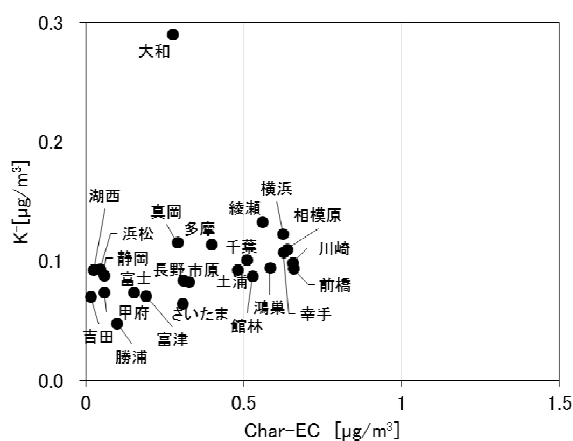


図 3-1-4-7 Char-EC と K^+ の関係

3.1.5 無機元素濃度

図 3-1-5-1～14 に、コア期間中のナトリウム (Na)、アルミニウム (Al)、カリウム (K)、カルシウム (Ca)、バナジウム (V)、クロム (Cr)、マンガン (Mn)、鉄 (Fe)、ニッケル (Ni)、銅 (Cu)、亜鉛 (Zn)、ヒ素 (As)、セレン (Se)、鉛 (Pb) の平均濃度分布をそれぞれ示す。Na については沿岸部で高い傾向がみられ、海塩粒子の影響であると考えられる。V についても沿岸部で高い傾向がみられ、船舶や臨海部の石油燃焼施設等の影響であることが推測される。また、Cr、Mn、Fe、Pb は沿岸部や都市部などで相対的に高い傾向がみられ、工業活動や都市活動との関連が示唆される。なお、Cu の平均濃度は大和で 13ng/m^3 と特異的に高かった。これは 5 月 11 日に大和で Cu が 80ng/m^3 と突出して高くなったためであり、コア期間中のそれ以外の日は検出下限値の 3.6ng/m^3 未満であった。5 月 11 日に突出して高濃度となった金属成分は Cu のみであった。

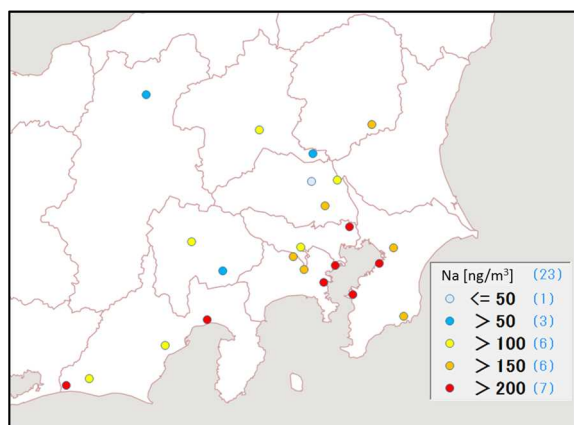


図 3-1-5-1 ナトリウムの平均濃度分布

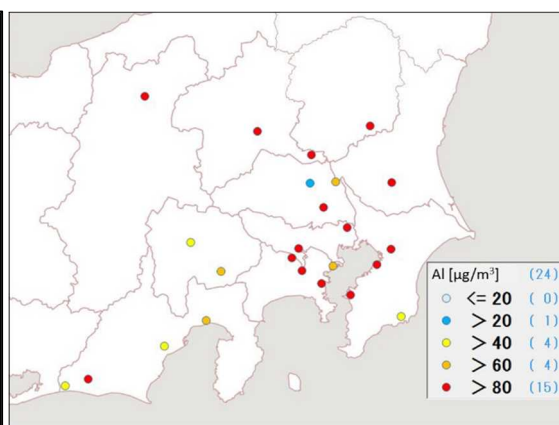


図 3-1-5-2 アルミニウムの平均濃度分布

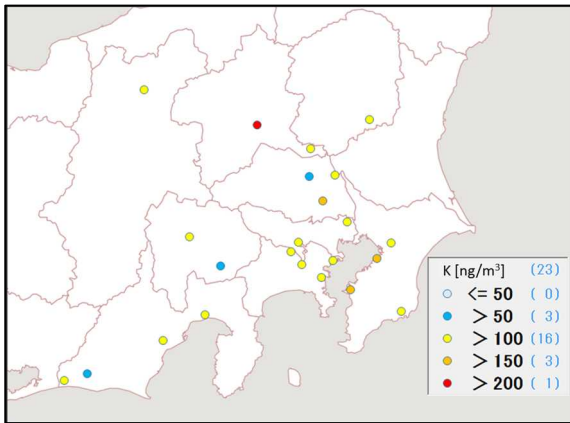


図 3-1-5-3 カリウムの平均濃度分布

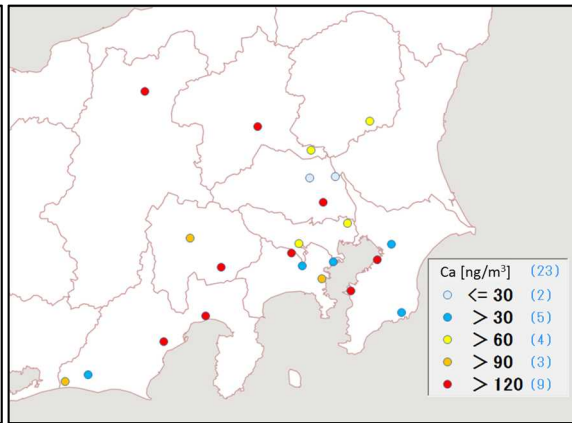


図 3-1-5-4 カルシウムの平均濃度分布

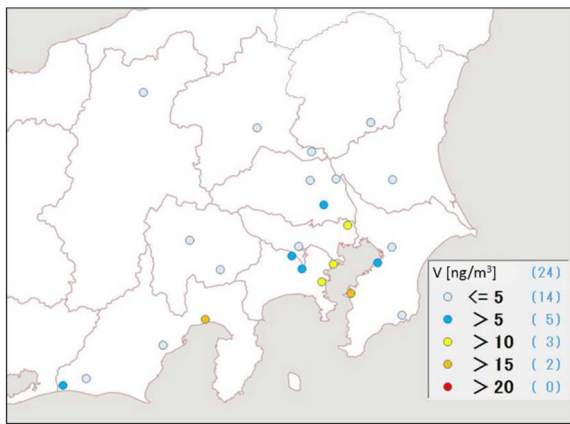


図 3-1-5-5 バナジウムの平均濃度分布

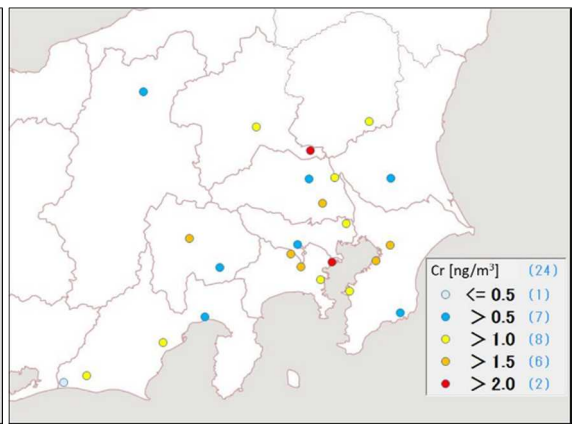


図 3-1-5-6 クロムの平均濃度分布

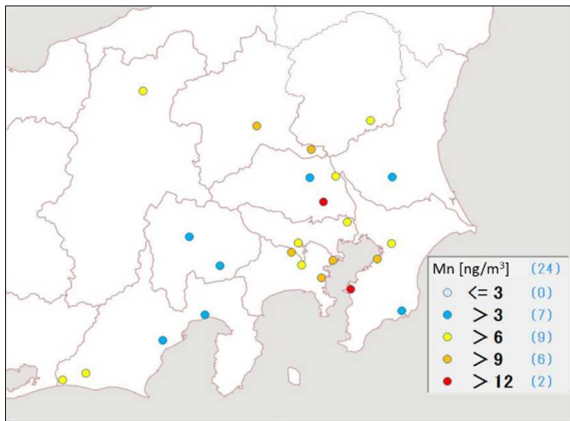


図 3-1-5-7 マンガンの平均濃度分布

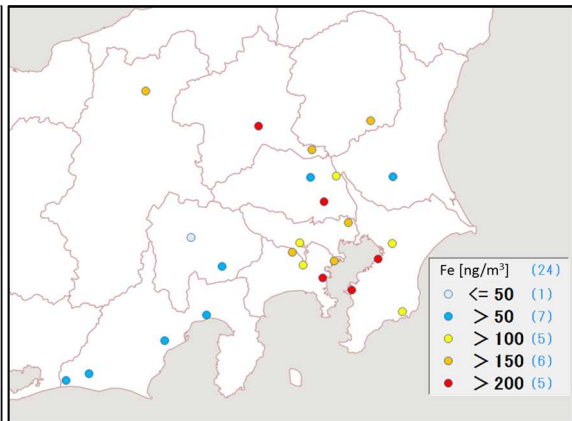


図 3-1-5-8 鉄の平均濃度分布

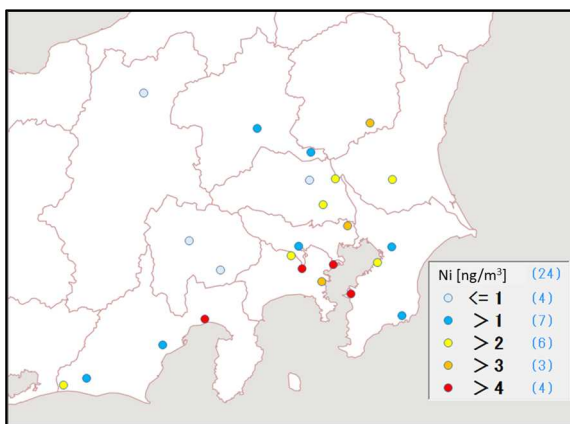


図 3-1-5-9 ニッケルの平均濃度分布

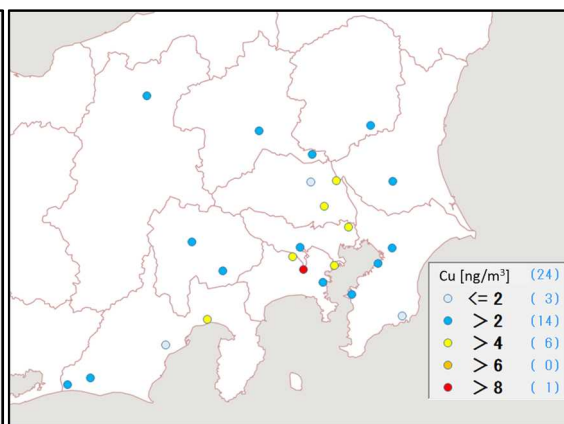


図 3-1-5-10 銅の平均濃度分布

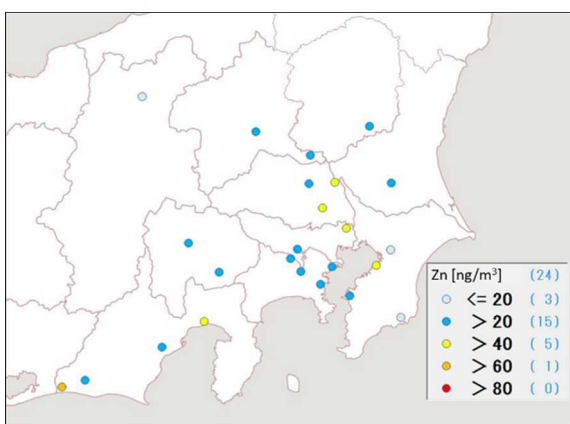


図 3-1-5-11 亜鉛の平均濃度分布

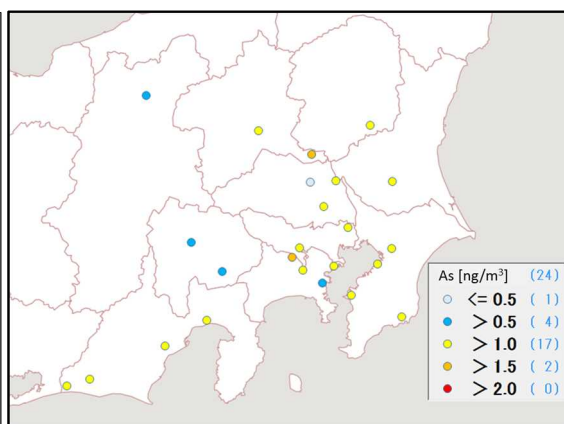


図 3-1-5-12 ヒ素の平均濃度分布

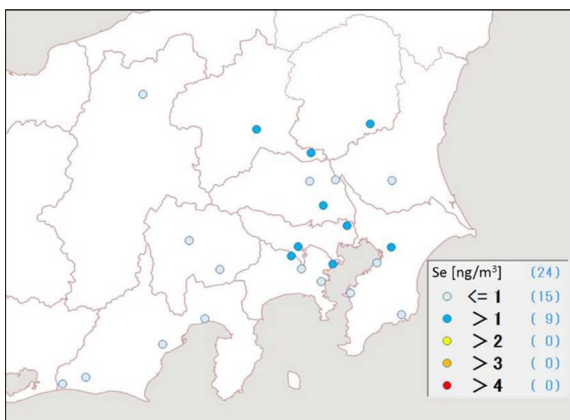


図 3-1-5-13 セレンの平均濃度分布

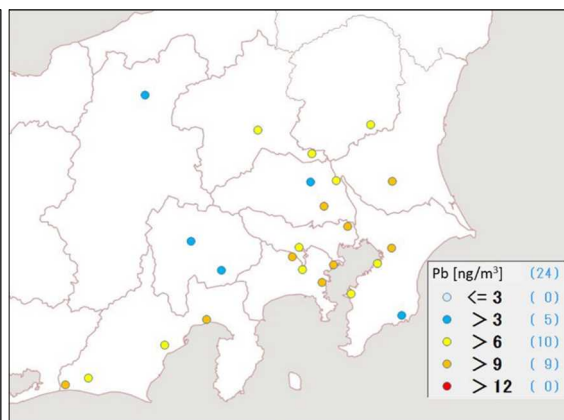


図 3-1-5-14 鉛の平均濃度分布

3.2 夏季

3.2.1 気象概況

梅雨入りは、関東甲信地方は6月3日ごろ（平年より5日早い）、東海地方は6月3日（平年より5日早い）、梅雨明けは関東甲信地方は7月10日ごろ（平年より11日早い）、東海地方は7月24日（平年より3日遅い）であった。

夏季調査期間中の関東甲信地方及び東海地方の平均気温及び日照時間はどちらも平年と比較して平均気温は高く、日照時間は長かった。

7月24日につくば、7月28日に甲府で激しい雨（1時間雨量30mm以上～50mm未満）、7月23日に真岡、7月28日に前橋でやや強い雨（1時間雨量10mm以上～20mm未満）が降った。

表3-2-1-1に調査期間中の観測値を示す。

光化学スモッグ注意報発令状況

夏季調査期間中の気象観測所周辺における光化学スモッグ注意報発令状況については、以下のとおりである。

7月25日：茨城県（土浦地域）

7月26日：埼玉県（県北中部地域）、千葉県（千葉地域）、東京都（多摩南部地域）、神奈川県（横浜地域）

7月27日：埼玉県（県北中部地域）、千葉県（千葉地域）、神奈川県（横浜地域）、

7月31日：埼玉県（県北中部地域）、千葉県（千葉地域）、

8月1日：埼玉県（県北中部地域）、千葉県（千葉地域）

8月4日：埼玉県（県北中部地域）

表3-2-1-1 気象観測所の観測値及び光化学スモッグ注意報の発令状況

測定日	都県	気象観測所	最多風向	平均風速 (m/s)	平均気温 (℃)	日照時間 (h)	降水量 (mm)	光化学スモッグ注意報 発令の有無
7/22 ～ 7/23	茨城県	つくば	南南西	4.8	28.1	8.4	2.0	－
	栃木県	真岡	南南西	2.3	28.4	7.7	0.5	－
	群馬県	前橋	北西	2.1	30.0	7.8	1.5	－
	埼玉県	熊谷	南	2.7	30.1	8.7	3.5	－
	千葉県	千葉	南西	9.4	27.9	8.5	2.5	－
	東京都	東京	南南西	6.6	28.3	8.7	4.5	－
	神奈川県	横浜	南南西	6.8	27.4	8.4	5.0	－
	山梨県	甲府	南南西、南西	2.8	27.2	4.1	7.0	－
	長野県	長野	西	2.8	27.0	2.8	17.5	－
	静岡県	静岡	南西	2.8	26.6	0.3	5.0	－

表 3-2-1-1 続き

測定日	都県	気象観測所	最多風向	平均風速 (m/s)	平均気温 (℃)	日照時間 (h)	降水量 (mm)	光化学スモッグ注意報 発令の有無
7/23 ～ 7/24	茨城県	つくば	南南西	2.0	26.8	5.9	2.5	－
	栃木県	真岡	北東、東北東、南西	1.1	26.7	2.7	20.0	－
	群馬県	前橋	北西	2.4	28.1	4.0	8.0	－
	埼玉県	熊谷	北西	1.6	28.8	4.6	0.0	－
	千葉県	千葉	南西	5.2	27.2	6.4	0.0	－
	東京都	東京	南南西	2.8	27.6	5.6	0.0	－
	神奈川県	横浜	南西	3.3	26.7	3.1	0.5	－
	山梨県	甲府	西南西	1.7	26.6	4.5	0.0	－
	長野県	長野	東	1.3	24.2	0.2	9.0	－
	静岡県	静岡	南西	2.3	26.8	5.7	0.0	－
7/24 ～ 7/25	茨城県	つくば	北東、南東、南南東	1.3	26.4	6.1	42.0	－
	栃木県	真岡	東北東	0.9	26.4	1.2	0.0	－
	群馬県	前橋	北西、北北西	2.1	28.9	5.4	2.5	－
	埼玉県	熊谷	東	2.1	29.5	7.1	0.0	－
	千葉県	千葉	西南西	2.5	28.3	6.3	0.0	－
	東京都	東京	南南東	2.0	27.9	3.2	7.0	－
	神奈川県	横浜	南東	2.0	28.2	6.5	0.0	－
	山梨県	甲府	南西	2.1	28.4	6.8	0.0	－
	長野県	長野	北	1.7	25.8	5.0	0.0	－
	静岡県	静岡	東北東	1.7	28.2	8.6	0.0	－
7/25 ～ 7/26	茨城県	つくば	東南東、南南東、南、南南西	1.4	29.1	10.7	0.0	○(土浦地域)
	栃木県	真岡	北北東	1.0	28.9	9.5	0.0	－
	群馬県	前橋	北西	2.7	31.0	11.7	0.0	－
	埼玉県	熊谷	北北西	2.0	31.5	11.7	0.0	－
	千葉県	千葉	西南西	2.7	29.3	12.7	0.0	－
	東京都	東京	南東、南南東	2.2	29.4	11.9	0.0	－
	神奈川県	横浜	南南東	2.4	29.3	12.3	0.0	－
	山梨県	甲府	西、西北西	2.1	28.9	11.7	0.0	－
	長野県	長野	北北西	2.1	26.8	12.4	0.0	－
	静岡県	静岡	北東	2.0	28.9	8.2	0.0	－
7/26 ～ 7/27	茨城県	つくば	南南東	2.1	29.1	12.8	0.0	－
	栃木県	真岡	北東	1.3	29.4	12.6	0.0	－
	群馬県	前橋	東	2.3	32.1	12.6	0.0	－
	埼玉県	熊谷	東北東	2.4	31.6	12.7	0.0	○(県北中部地域)
	千葉県	千葉	南東	2.8	30.0	13.0	0.0	○(千葉地域)
	東京都	東京	南南東	2.6	30.5	12.6	0.0	○(多摩南部地域)
	神奈川県	横浜	南	2.4	30.2	12.4	0.0	○(横浜地域)
	山梨県	甲府	南西	2.3	30.0	12.5	0.0	－
	長野県	長野	北北西、北	2.2	27.7	12.7	0.0	－
	静岡県	静岡	北東	2.1	28.6	9.1	0.0	－

表 3-2-1-1 続き

測定日	都県	気 象 観測所	最多風向	平均風速 (m/s)	平均気温 (℃)	日照時間 (h)	降水量 (mm)	光化学スモッグ注意報 発令の有無
7/27 ～ 7/28	茨城県	つくば	東	2.1	28.0	8.3	0.0	－
	栃木県	真岡	北東	1.7	28.3	8.6	0.0	－
	群馬県	前橋	北西	2.4	30.6	8.4	15.5	－
	埼玉県	熊谷	東	2.5	30.6	7.1	0.0	○(県北中部地域)
	千葉県	千葉	南南東、西南西	3.6	29.6	8.3	0.0	○(千葉地域)
	東京都	東京	南南東	2.7	30.3	9.3	0.0	－
	神奈川県	横浜	南南西、南西	3.3	29.7	9.4	0.0	○(横浜地域)
	山梨県	甲府	南西	2.7	29.9	7.3	0.0	－
	長野県	長野	北	2.4	26.9	6.9	10.5	－
	静岡県	静岡	南	2.0	29.4	7.4	0.0	－
7/28 ～ 7/29	茨城県	つくば	東北東	1.6	27.4	6.1	0.0	－
	栃木県	真岡	北東	1.1	27.4	5.8	2.5	－
	群馬県	前橋	北西	1.8	29.1	5.6	2.0	－
	埼玉県	熊谷	北西	2.1	29.5	4.7	1.5	－
	千葉県	千葉	北北東	2.6	28.9	7.8	0.0	－
	東京都	東京	北東	2.5	29.8	6.1	0.0	－
	神奈川県	横浜	東	2.5	29.6	7.2	0.0	－
	山梨県	甲府	南西	2.3	28.9	5.6	34.0	－
	長野県	長野	北西	1.9	25.9	3.8	0.0	－
	静岡県	静岡	南南東、北西	1.8	29.4	5.8	0.0	－
7/29 ～ 7/30	茨城県	つくば	東南東	1.5	27.1	6.3	0.5	－
	栃木県	真岡	北東	1.0	27.6	5.0	0.0	－
	群馬県	前橋	東南東	2.6	29.1	6.2	2.0	－
	埼玉県	熊谷	東	2.8	29.3	5.7	0.0	－
	千葉県	千葉	東南東	2.4	29.0	4.9	0.0	－
	東京都	東京	南南東	2.3	29.2	4.0	0.0	－
	神奈川県	横浜	南西	2.2	29.0	7.0	0.0	－
	山梨県	甲府	南西	2.4	29.4	9.2	0.0	－
	長野県	長野	北	2.4	26.6	5.5	8.5	－
	静岡県	静岡	南	1.8	29.3	6.1	0.0	－
7/30 ～ 7/31	茨城県	つくば	東、東南東	1.5	27.7	7.5	0.0	－
	栃木県	真岡	東	0.9	26.9	4.6	0.5	－
	群馬県	前橋	東南東	2.0	29.3	6.2	0.0	－
	埼玉県	熊谷	東	2.2	29.2	6.2	0.0	－
	千葉県	千葉	南東	2.5	29.7	8.3	0.0	－
	東京都	東京	南	2.3	29.1	3.9	0.0	－
	神奈川県	横浜	南西	2.3	29.1	8.4	0.0	－
	山梨県	甲府	北北東、南西	1.9	28.8	8.0	10.0	－
	長野県	長野	北東、北北西	1.8	27.4	8.1	0.0	－
	静岡県	静岡	南	1.5	28.9	5.2	0.0	－

表 3-2-1-1 続き

測定日	都県	気象観測所	最多風向	平均風速 (m/s)	平均気温 (℃)	日照時間 (h)	降水量 (mm)	光化学スモッグ注意報 発令の有無
7/31 ～ 8/1	茨城県	つくば	南	1.7	29.6	9.1	0.0	－
	栃木県	真岡	南	1.0	29.7	11.0	0.0	－
	群馬県	前橋	東南東	2.3	31.2	11.5	0.0	－
	埼玉県	熊谷	南南東	2.0	31.2	11.0	0.0	○(県北中部地域)
	千葉県	千葉	西南西	3.6	29.9	10.2	0.0	○(千葉地域)
	東京都	東京	南	2.6	30.4	11.1	0.0	－
	神奈川県	横浜	南西	2.9	29.8	11.4	0.0	－
	山梨県	甲府	南西	2.2	30.3	10.2	0.0	－
	長野県	長野	東南東	1.9	28.4	10.9	0.0	－
	静岡県	静岡	南南東、南	2.0	29.8	8.3	0.0	－
8/1 ～ 8/2	茨城県	つくば	南	1.9	30.1	7.9	0.0	－
	栃木県	真岡	南南西	1.2	30.6	9.7	0.0	－
	群馬県	前橋	北西	2.6	30.5	10.1	0.5	－
	埼玉県	熊谷	西南西	2.0	31.1	10.0	0.0	○(県北中部地域)
	千葉県	千葉	西南西	4.0	30.4	10.7	0.0	○(千葉地域)
	東京都	東京	南	2.6	30.5	7.9	0.0	－
	神奈川県	横浜	南西	3.1	30.0	10.9	0.0	－
	山梨県	甲府	西	2.3	29.4	11.6	0.0	－
	長野県	長野	北	2.2	28.2	11.8	0.0	－
	静岡県	静岡	南	1.9	29.6	8.4	0.0	－
8/2 ～ 8/3	茨城県	つくば	南	2.0	28.7	9.3	0.0	－
	栃木県	真岡	南	1.0	27.1	8.3	0.0	－
	群馬県	前橋	北西	3.4	28.0	10.0	7.5	－
	埼玉県	熊谷	北西	2.8	28.7	9.7	0.0	－
	千葉県	千葉	西南西	4.3	30.2	11.4	0.0	－
	東京都	東京	南南東	2.6	30.1	11.4	0.0	－
	神奈川県	横浜	南西	3.3	29.8	11.3	0.0	－
	山梨県	甲府	南西	2.4	29.9	9.4	0.0	－
	長野県	長野	北東	2.2	27.2	12.0	0.0	－
	静岡県	静岡	南	2.0	29.7	8.2	0.0	－
8/3 ～ 8/4	茨城県	つくば	南南西	2.1	29.3	11.5	0.0	－
	栃木県	真岡	南南西	1.3	29.2	11.3	0.0	－
	群馬県	前橋	北西	2.2	30.5	10.2	0.0	－
	埼玉県	熊谷	南東、南南東	1.8	30.7	11.3	0.0	－
	千葉県	千葉	西南西	4.5	30.1	12.9	0.0	－
	東京都	東京	南南西	3.3	30.1	12.2	0.0	－
	神奈川県	横浜	南南西	3.7	29.9	12.4	0.0	－
	山梨県	甲府	南西	2.5	29.8	7.4	0.0	－
	長野県	長野	東	1.9	26.0	8.3	0.5	－
	静岡県	静岡	南	2.1	29.4	9.0	0.0	－

表 3-2-1-1 続き

測定日	都県	気象観測所	最多風向	平均風速 (m/s)	平均気温 (°C)	日照時間 (h)	降水量 (mm)	光化学スモッグ注意報 発令の有無
8/4 ~ 8/5	茨城県	つくば	南南西	2.1	29.6	10.2	0.0	－
	栃木県	真岡	南南西	1.1	29.4	7.6	0.0	－
	群馬県	前橋	北西	2.0	29.8	9.5	1.5	－
	埼玉県	熊谷	南南東	2.1	30.8	9.4	0.0	○(県北中部地域)
	千葉県	千葉	西南西	5.1	30.0	12.4	0.0	－
	東京都	東京	南	3.9	30.2	11.8	0.0	－
	神奈川県	横浜	南南西、南西	4.2	29.7	11.9	0.0	－
	山梨県	甲府	西	2.1	29.4	7.2	0.0	－
	長野県	長野	南西、西南西、西	2.0	28.2	11.2	0.0	－
	静岡県	静岡	南	2.0	29.2	10.5	0.0	－

3.2.2 質量濃度及び組成

(1) 測定値の妥当性の検証

①イオンバランスの確認

図 3-2-2-1 に、コア期間中の各地点の各日のデータから求めた陽イオン (Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+}) 及び陰イオン (Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-}) それぞれの合計当量濃度の比較を示す。データの取り扱いは春季 (3.1.2 (1)) と同様である。全体的に、陰イオン当量濃度合計/陽イオン当量濃度合計は 0.8~1.2 に収まっていたが、富士の 8/2、湖西の 7/31 と 8/1 はこの範囲の外側に分布し、陰イオンに比べて陽イオンが多かった。

②マスキロージャーモデルによる検証

図 3-2-2-2 に、コア期間中の各地点の各日のデータから推定した質量濃度と、標準測定法による質量濃度の比較を示す。推定式とデータの取り扱いは春季 (3.1.2 (1)) と同様である。全体としては、標準測定法による質量濃度に対する推定質量濃度の比は概ね 0.8~1.2 となっていたが、前橋の 7/28、綾瀬の 7/28、7/29、7/30、8/1、8/2、多摩の 7/28 は 0.7 未満となっていた。

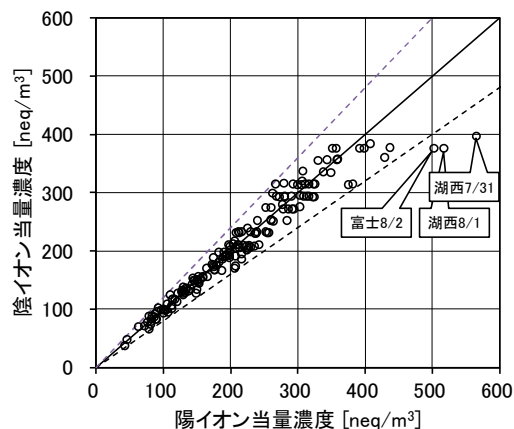


図 3-2-2-1 イオンバランス

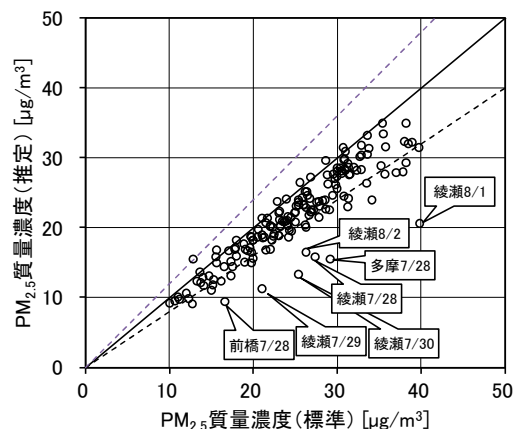


図 3-2-2-2 マスキロージャーモデル

(2) 季節平均濃度と組成の分布

図 3-2-2-3 に、コア期間中の各地点の PM_{2.5} 平均濃度を地図に示す。また、一部の地点については、PM_{2.5} 主要成分（イオン成分、炭素成分）の組成を円グラフに示す。PM_{2.5} 平均濃度は、関東甲信静地域の北部に位置する前橋と長野、および南部の房総半島（外房）に位置しバックグラウンド地点とされる勝浦を除き、20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上となっており、全体的に濃度が高めとなっていたが、中でも関東平野南部から静岡県にかけての沿岸部で相対的に高くなっていた。主要成分組成は、全体的に SO_4^{2-} が高くなっており、PM_{2.5} 濃度が高い関東平野南部から静岡県の地点では SO_4^{2-} の割合が若干高めの傾向がみられた。一方、土浦、真岡、鴻巣、甲府などの内陸部では、OC の割合が高い傾向がみられた。NO₃⁻ と Cl⁻ については、夏季で気温が高いため、濃度は非常に低かった。なお、綾瀬については、前項で示したマスキロージャーモデルによる検証結果でも表れているように、PM_{2.5} 濃度に占める主要成分の割合がコア期間の平均で 5 割程度となっていた。

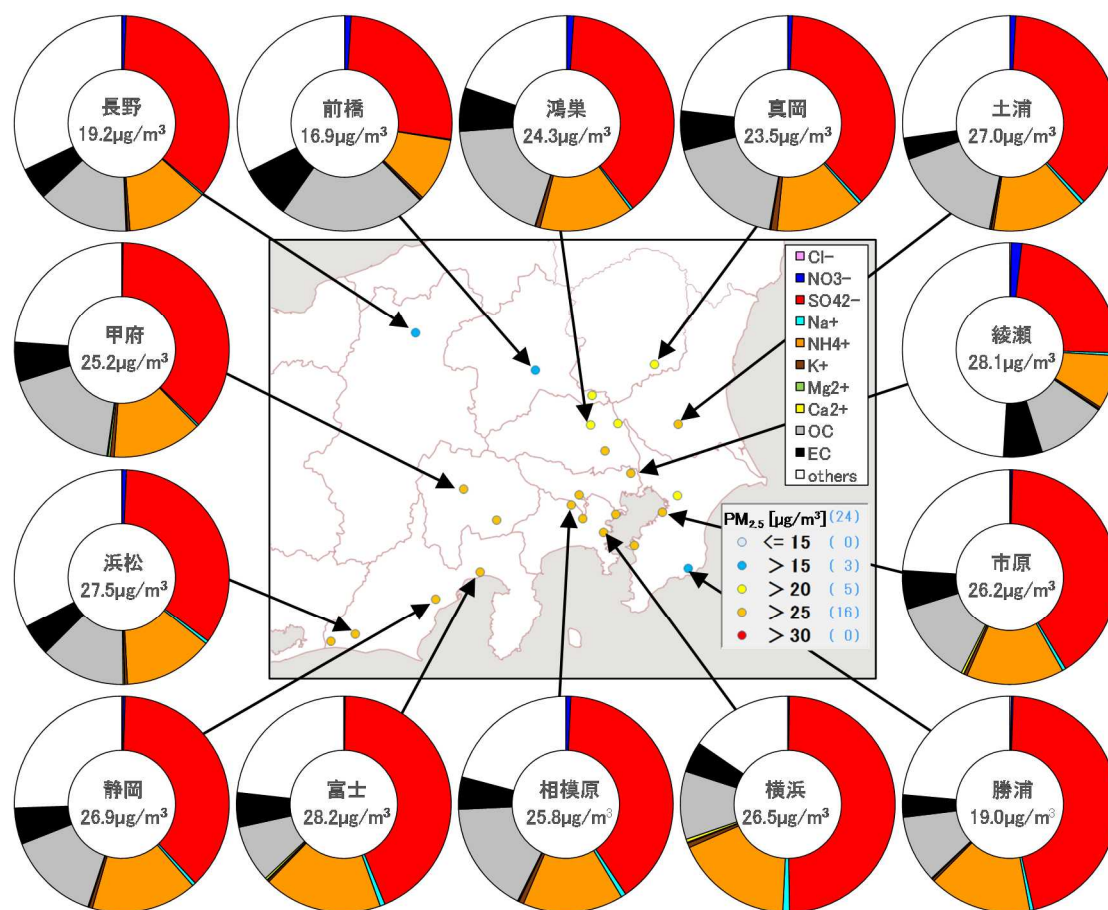


図 3-2-2-3 PM_{2.5} 平均濃度(地図)と PM_{2.5} 主要成分組成(円グラフ)

3.2.3 水溶性イオン成分濃度

図 3-2-3-1 に、コア期間中の SO_4^{2-} および SO_2 の平均濃度分布を示す。 SO_2 は東京湾周辺で高い傾向がみられるが、 SO_4^{2-} が高い地点はそれと同じとは限らず、関東平野南部から静岡県にかけての沿岸部で高く、また、群馬県や長野県を除く内陸部でも比較的高かった。特に高かったのは横浜 ($13.1\mu\text{g}/\text{m}^3$)、湖西 ($12.6\mu\text{g}/\text{m}^3$)、川崎 ($12.5\mu\text{g}/\text{m}^3$)、富士 ($12.3\mu\text{g}/\text{m}^3$) であった。

図 3-2-3-2 に、コア期間中の NO_3^- および NO_x の平均濃度分布を示す。 NO_x は東京・神奈川・千葉・埼玉の 1 都 3 県を中心に高い傾向だが、 NO_3^- は、夏季で高温のためガス・粒子平衡がガスへ偏って粒子になりにくいため、すべて $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下と低かった。図 3-2-3-3 に、コア期間中の Cl^- の平均濃度分布を示す。 Cl^- も NO_3^- と同様に、夏季で高温のためガス・粒子平衡がガスへ偏って粒子になりにくいため、すべて $0.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下と低かった。図 3-2-3-4 に、コア期間中の K^+ の平均濃度分布を示す。相対的には栃木・埼玉・神奈川で高い傾向がみられた。

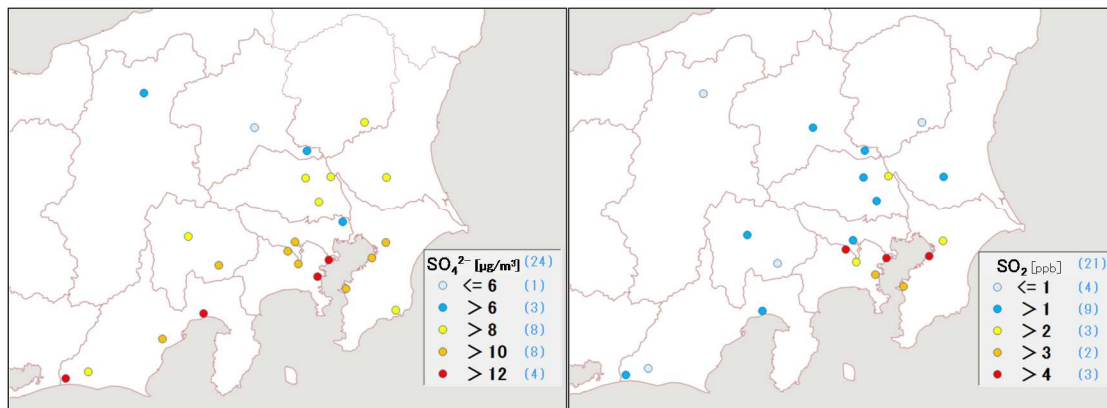


図 3-2-3-1 SO_4^{2-} (左) および SO_2 (右) の平均濃度分布

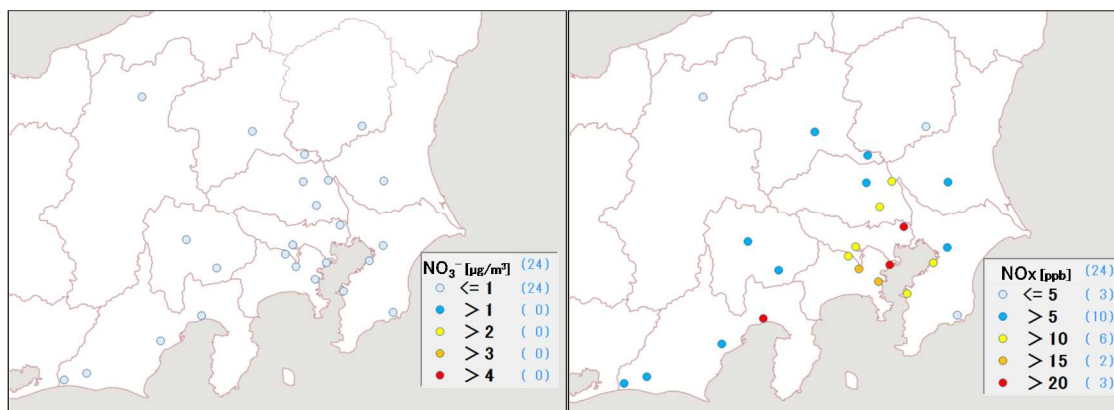


図 3-2-3-2 NO_3^- (左) および NO_x (右) の平均濃度分布

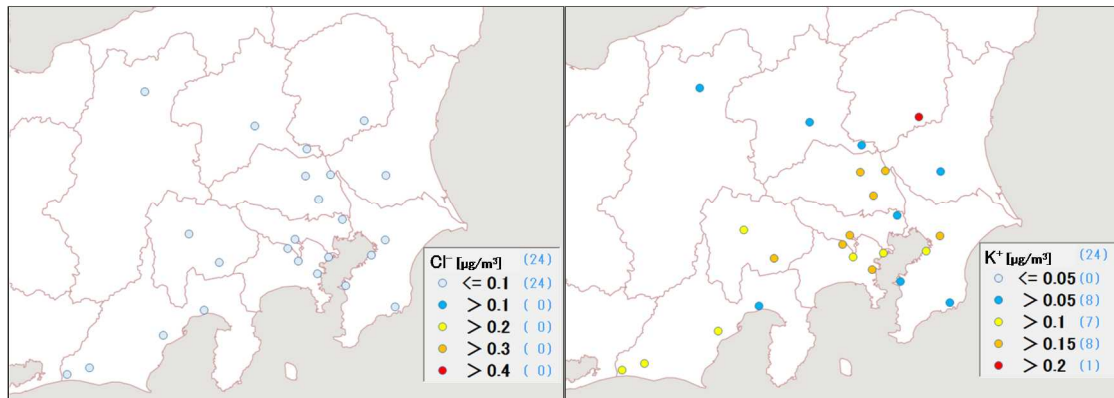


図 3-2-3-3 Cl⁻の平均濃度分布

図 3-2-3-4 K⁺の平均濃度分布

3.2.4 炭素成分濃度

図 3-2-4-1 に、コア期間中の EC および OC の平均濃度分布を示す。EC はすべての地点で $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であり、地域的な濃度差はみられなかった。OC は内陸部で高い傾向がみられ、館林で $5.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ であったほか、 $4\sim 5\mu\text{g}/\text{m}^3$ の地点も 8 地点と多かった。図 3-2-4-2 に、コア期間中の WSOC および Ox の平均濃度分布、図 3-2-4-3 に TC に占める OC の割合 (OC/TC) および OC に占める WSOC の割合 (WSOC/OC) の分布を示す。WSOC については、内陸部で相対的に高い傾向がみられるが、WSOC/OC が 80% を超える地点が半数を占めており、特に大和 (101%)、吉田 (112%) では 100% を超え、真岡 (91%)、甲府 (94%)、静岡 (96%) でも 100% 近くとなった。OC/TC は内陸部を中心に 70% 以上となっていたが、全体的には顕著な傾向はみられなかった。また、OC や WSOC、OC/TC を Ox の分布と比較すると、OC が高い地点では Ox が高い傾向がみられたが、WSOC と OC/TC については必ずしも傾向が類似してはいなかった。図 3-2-4-4 に、コア期間中の NMHC の平均濃度分布を示す。NMHC は市原、大和、幸手で高かったが、いずれも OC の濃度は中程度であった。図 3-2-4-5 に OC と Ox および OC と NMHC の関係を示す。OC と Ox は正の相関がみられ、光化学二次生成の寄与が示唆される。ただし、湖西をはじめ、前橋、浜松、多摩、富士、横浜、長野については、Ox が高くても OC は相対的に低いため、これらの地点では OC の光化学二次生成が少なかったことが示唆される。一方、OC と NMHC には明確な関係はみられなかった。図 3-2-4-6 に OC と K⁺ および WSOC と K⁺ の関係を示す。OC と K⁺ は、土浦・前橋・館林および多摩・横浜は全体の傾向からやや外れているが、正の相関がみられる。また、WSOC と K⁺ も、ばらつきはあるが概ね正の相関がみられる。図 3-2-4-7 に char-EC と K⁺ の関係を示す。全体として char-EC と K⁺ には関係性はみられなかった。

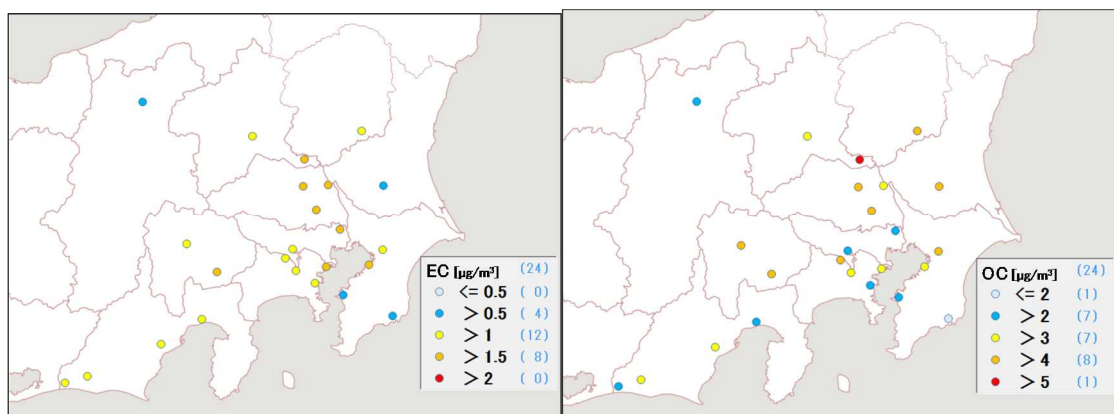


図 3-2-4-1 EC(左)および OC(右)の平均濃度分布

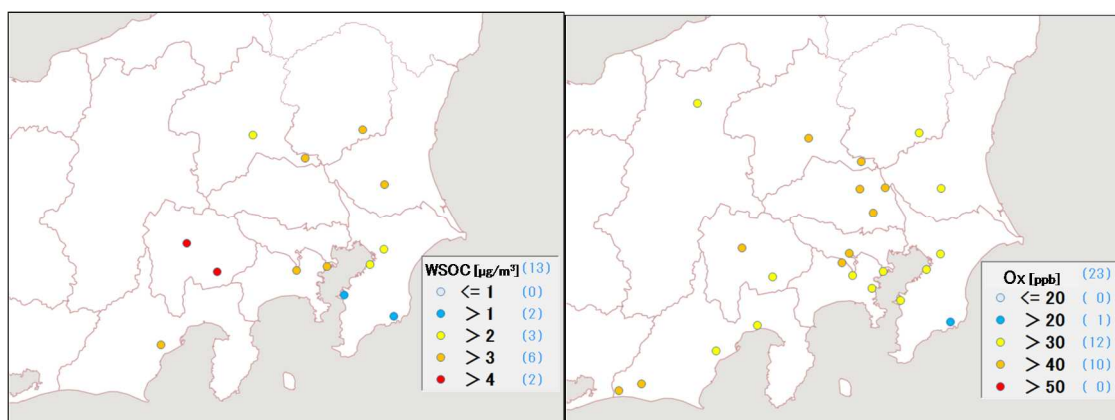


図 3-2-4-2 WSOC(左)および Ox(右)の平均濃度分布

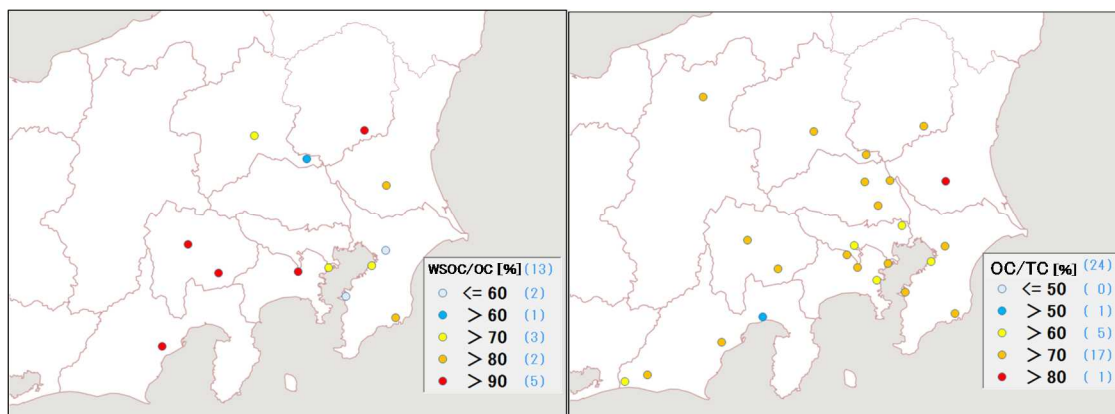
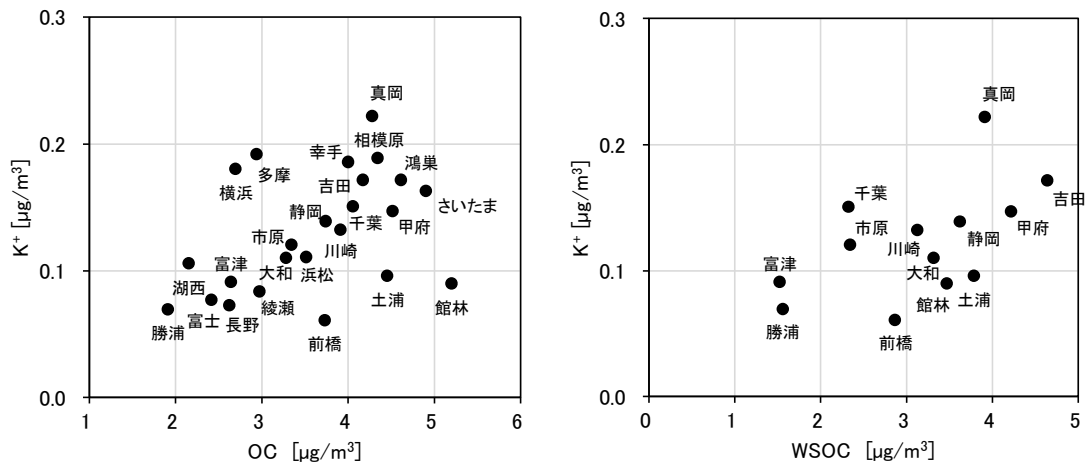
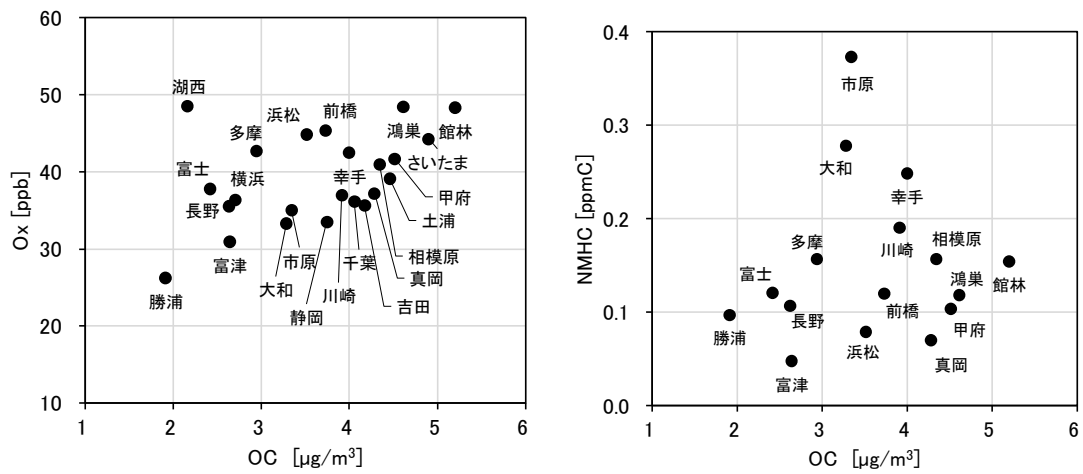
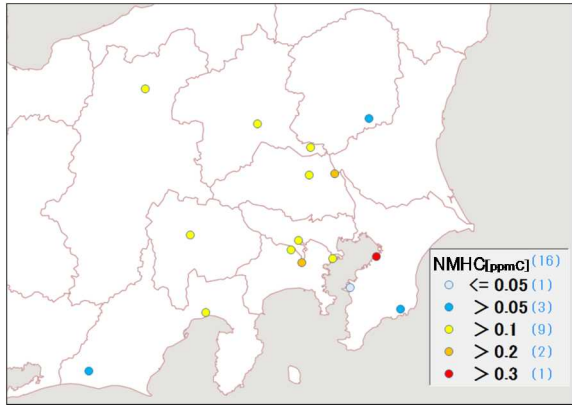


図 3-2-4-3 WSOC/OC(左)および OC/TC(右)の平均分布



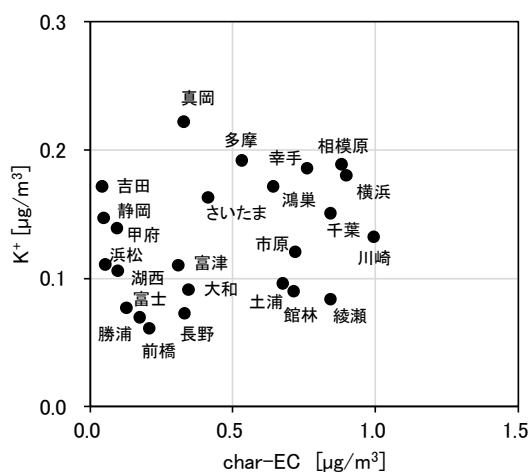


図 3-2-4-7 char-EC と K^+ の関係

3.2.5 無機元素濃度

図 3-2-5-1～14 に、コア期間中のナトリウム (Na)、アルミニウム (Al)、カリウム (K)、カルシウム (Ca)、バナジウム (V)、クロム (Cr)、マンガン (Mn)、鉄 (Fe)、ニッケル (Ni)、銅 (Cu)、亜鉛 (Zn)、ヒ素 (As)、セレン (Se)、鉛 (Pb) の平均濃度分布をそれぞれ示す。Na については沿岸部で高い傾向がみられ、海塩粒子の影響であると考えられる。V についても沿岸部で高い傾向がみられ、石油燃焼起源（船舶等）の影響であることが推測される。また、Cr、Mn、Fe、Pb は沿岸部や都市部などで相対的に高い傾向がみられ、工業活動や都市活動との関連が示唆される。なお、大和の Cu は平均濃度が 68ng/m^3 と特異的に高かった。8/1 の 290ng/m^3 が突出して高かったが、それを除いても平均値は 31ng/m^3 とほかの地点に比べて高かった。

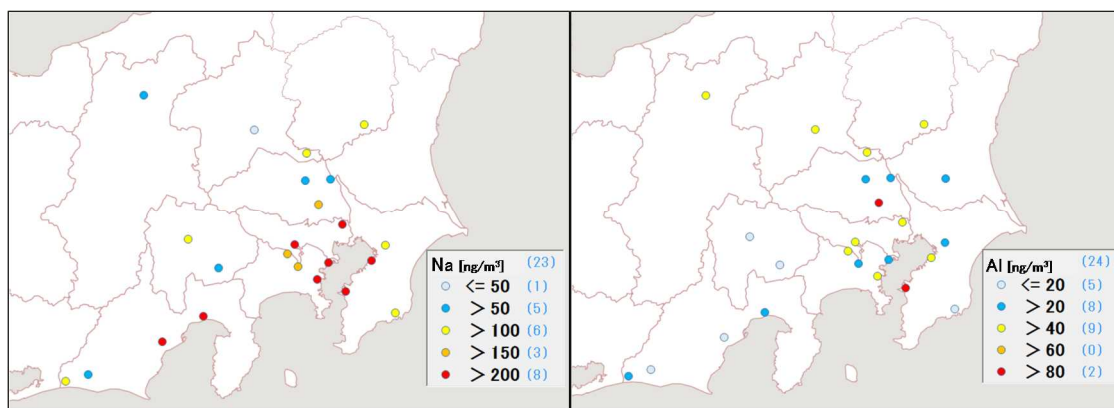


図 3-2-5-1 ナトリウムの平均濃度分布 図 3-2-5-2 アルミニウムの平均濃度分布

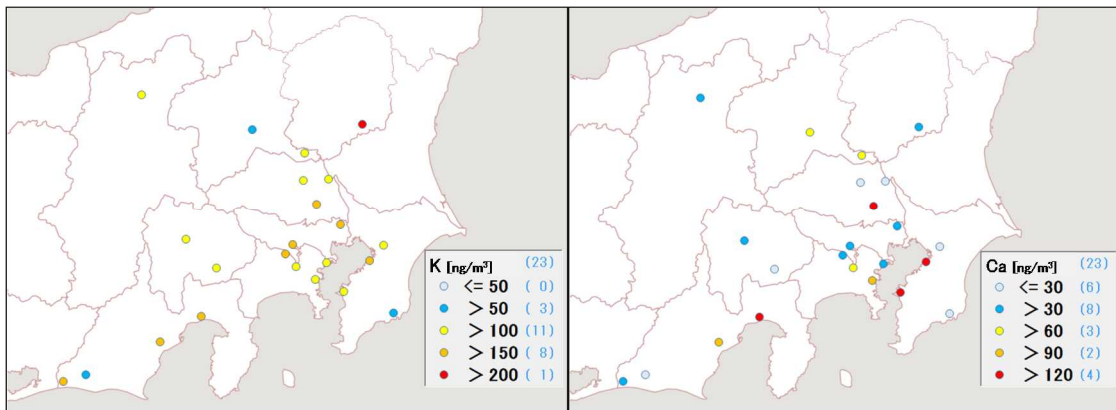


図 3-2-5-3 カリウムの平均濃度分布

図 3-2-5-4 カルシウムの平均濃度分布

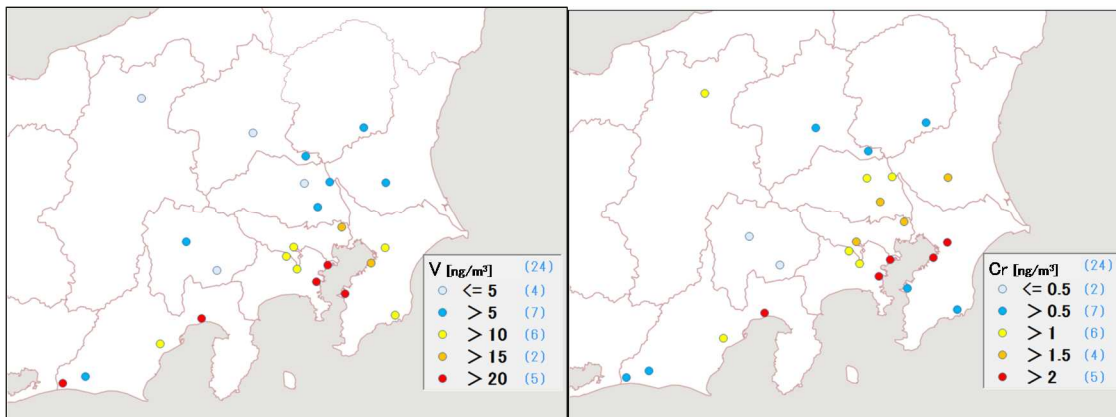


図 3-2-5-5 バナジウムの平均濃度分布

図 3-2-5-6 クロムの平均濃度分布

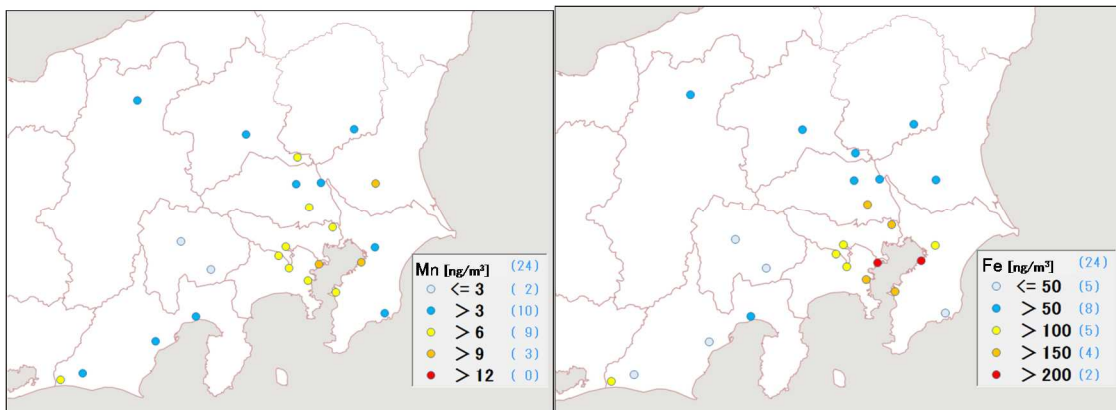


図 3-2-5-7 マンガンの平均濃度分布

図 3-2-5-8 鉄の平均濃度分布

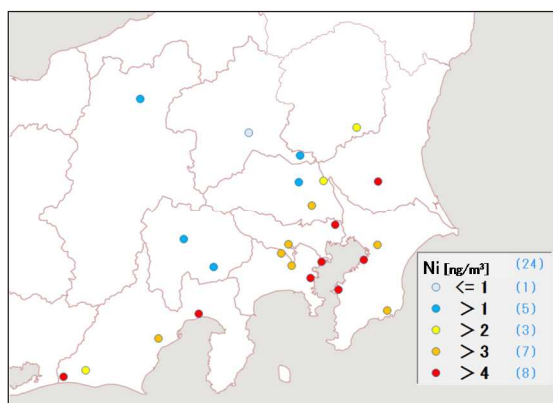


図 3-2-5-9 ニッケルの平均濃度分布

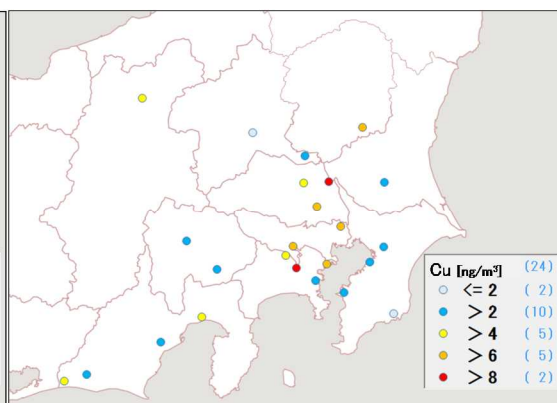


図 3-2-5-10 銅の平均濃度分布

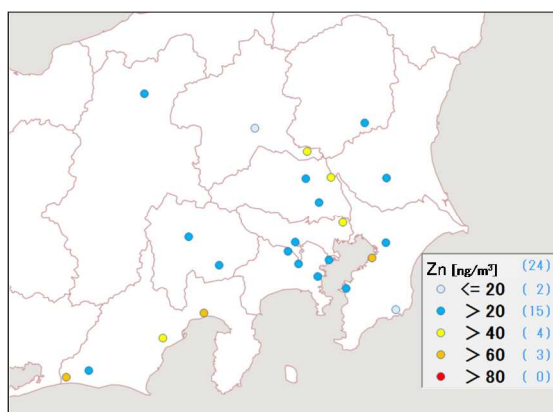


図 3-2-5-11 亜鉛の平均濃度分布

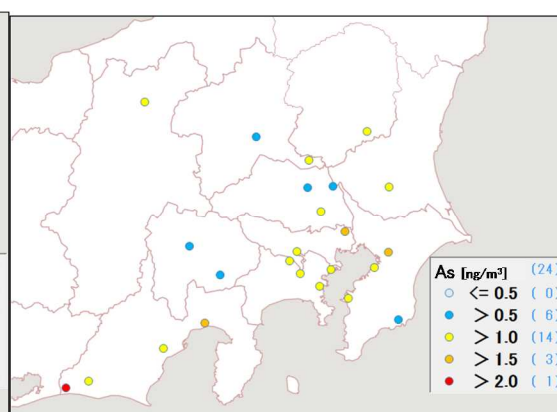


図 3-2-5-12 ヒ素の平均濃度分布

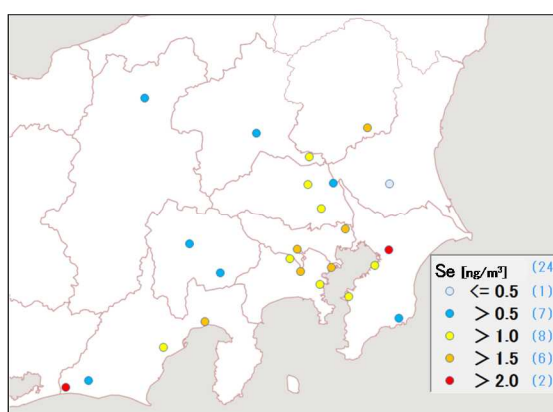


図 3-2-5-13 セレンの平均濃度分布

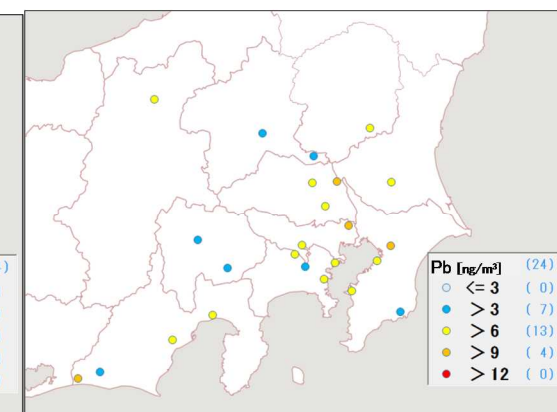


図 3-2-5-14 鉛の平均濃度分布

3.2.6 ガス成分濃度

フィルターパック法（以下「FP 法」）により二次生成粒子のガス状前駆物質である SO_2 、 HNO_3 、 HCl 、 NH_3 およびエアロゾル成分である SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 NH_4^+ の測定を行った。調査は 1 都 7 県の計 8 自治体が参加した。FP 法の詳細については資料編に記載した。

解析にあたっては、海塩の影響を受けやすく、 SO_2 などの発生源も多い沿岸部（市原、綾瀬、富士）と、首都圏等からの移流が懸念される内陸部（土浦、前橋、鴻巣、甲府、長野）に分けて比較を行った。なお、本文中のガス状成分濃度はフィルターパックの F1-F3

に捕集された成分の合計濃度を、エアロゾル成分は F0 に捕集された成分の濃度を用いた。ただし、FP 法では分級を行っていないため、F0 は粗大粒子も含めた全粒子となる。また、粒子化率は、F0-F3 に捕集された各成分の合計濃度中の F0 における濃度の割合として求めた。図 3-2-6-1 から図 3-2-6-4 に、各地点のガス状成分の濃度、エアロゾル成分の濃度、粒子化率の平均値を示す。

SO₂ は沿岸部の市原と綾瀬で高い傾向が見られた。沿岸部に位置する SO₂ 発生源（工業地帯や船舶等）の影響を受けているものと考えられる。SO₄²⁻ は市原で高いが、そのほかの地点ではあまり濃度差がなかった。粒子化率は、沿岸部に比べて内陸部で高い傾向にあった。

HNO₃ は市原で高く、NO₃⁻ も同様であった。粒子化率については富士など沿岸部でやや高い傾向にあった。例年、粒子化率は沿岸部で高い傾向が見られるが、本年度はその傾向が明確ではなかった。一般に、沿岸部で粒子化率が高くなるのは、海塩粒子と HNO₃ との反応によって粒子態である NaNO₃ が増加し、逆に内陸部で粒子化率が低下するのは、HNO₃ と反応する海塩粒子が少なく、NH₃ と反応して NH₄NO₃ を形成したとしても、平衡反応により大部分がガス態に解離してしまうためと考えられる。図 3-2-6-5 に各地点の全硝酸（HNO₃+NO₃⁻）濃度、NO₂ 濃度（常時監視データ）、および粗大粒子領域の Na⁺濃度を示す。粗大粒子領域の Na⁺濃度は F0 における Na⁺濃度から PM2.5 の Na⁺濃度を差し引いて求めた。全硝酸は市原で高かったが、NO₂ はさほど高くなかった。また、NO₂ 濃度が高かった綾瀬の全硝酸は市原の半分以下だった。一方、粗大粒子領域の Na⁺は市原、富士で高かった。このため、市原では NO₃⁻ が高く、また、富士では全硝酸は低いものの粒子化率は比較的高かったと考えられる。

HCl は市原で顕著に高かった。Cl⁻ は沿岸部の市原、富士で相対的に高かった。Cl⁻ は海塩中に多く含まれ、海塩のクロールンロスから HCl が発生するほか、廃棄物焼却など人為起源の発生源からも HCl や Cl⁻ が発生する。沿岸部で Cl⁻ が高くなった要因の一つとして、海塩の影響が大きいことが考えられる。粒子化率については沿岸部の富士で高かった（長野も高いが、HCl が 0 であり、Cl⁻ も非常に低い）。市原では海塩は多いものの HNO₃ や SO₂ が高かったため、クロールンロスが卓越したものと考えられる。内陸部では海塩粒子が少ないが粒子化率は低かった。

NH₃ は前橋、市原、綾瀬で高い傾向にあった。NH₃ の主な排出源は畜産や肥料、自動車等が考えられるが、前橋は前者が主である可能性が考えられる。粒子化率については、主要な対イオンである SO₄²⁻ の粒子化率と類似した傾向だが、前橋については過剰に NH₃ が存在するため、それよりも低かった。

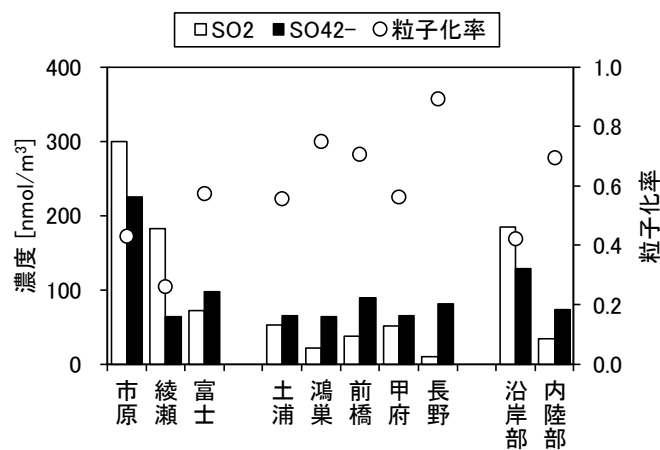


図 3-2-6-1 SO₂、SO₄²⁻の濃度および粒子化率の平均値

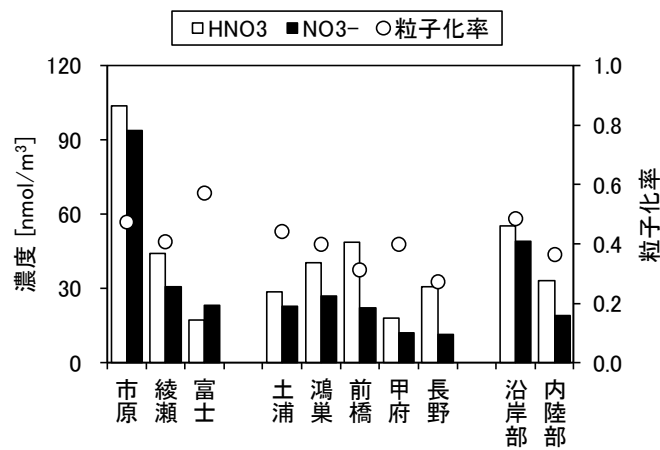


図 3-2-6-2 HNO₃、NO₃⁻の濃度および粒子化率の平均値

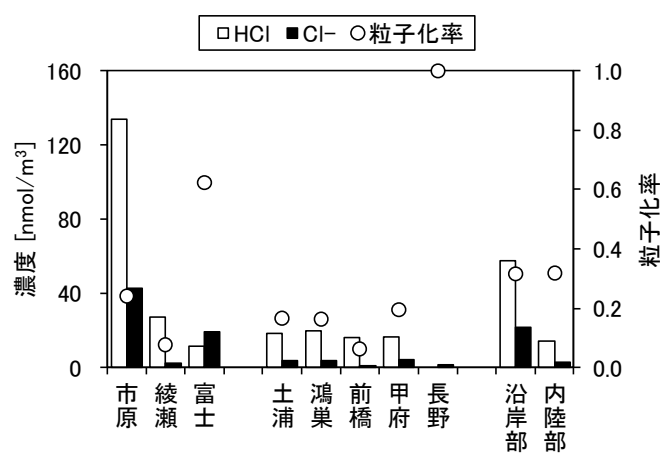


図 3-2-6-3 HCl、Cl⁻の濃度および粒子化率の平均値

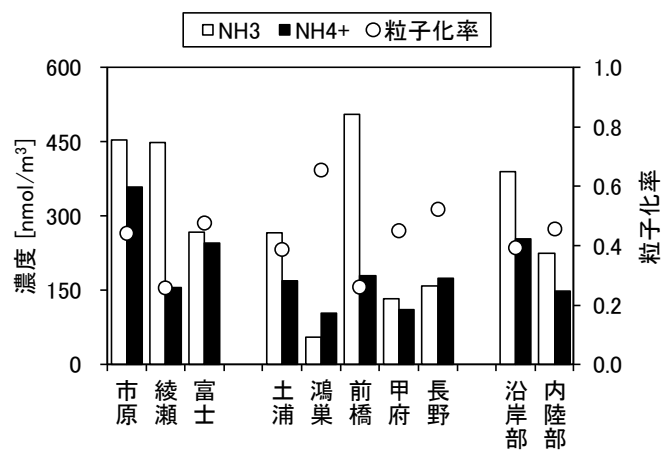


図 3-2-6-4 NH₃、NH₄⁺の濃度および粒子化率の平均値

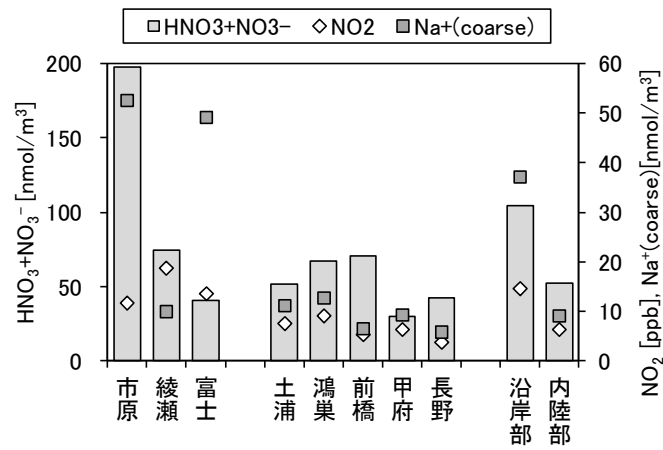


図 3-2-6-5 全硝酸、NO₂、粗大粒子領域の Na⁺の濃度の平均値

3.3 秋季

3.3.1 気象概況

秋季調査期間中の関東甲信地方及び東海地方の平均気温及び日照時間はどちらも平年と比較して平均気温は高い日が多く、日照時間は長かった。

11月2日に真岡及び東京でやや強い雨(1時間雨量10mm以上～20mm未満)が降った。

表3-3-1-1に調査期間中の観測値を示す。

表 3-3-1-1 秋季調査期間の各気象観測所の観測値

測定日	都県	気象観測所	最多風向	平均風速 (m/s)	平均気温 (℃)	日照時間 (h)	降水量 (mm)
10/21 ～ 10/22	茨城県	つくば	東北東、北西	2.0	14.3	6.7	0.0
	栃木県	真岡	北東、東北東、東南東	0.9	13.6	3.5	0.0
	群馬県	前橋	東南東	2.2	15.8	4.7	0.0
	埼玉県	熊谷	東南東、南	1.6	15.6	3.6	0.0
	千葉県	千葉	北北東	2.6	17.5	8.6	0.0
	東京都	東京	北東	1.9	16.7	5.3	0.0
	神奈川県	横浜	北	2.1	17.5	8.1	0.0
	山梨県	甲府	南西	1.7	17.3	8.9	0.0
	長野県	長野	西南西	2.3	15.7	7.9	0.0
	静岡県	静岡	西北西	2.1	18.9	9.7	0.0
10/22 ～ 10/23	茨城県	つくば	東北東	2.5	16.5	3.4	0.0
	栃木県	真岡	北北東	1.2	15.9	2.6	0.0
	群馬県	前橋	東南東	2.4	17.2	4.7	0.0
	埼玉県	熊谷	東南東	2.2	17.6	4.9	0.0
	千葉県	千葉	北東	3.9	18.0	5.1	0.0
	東京都	東京	北北東、東北東	2.6	17.9	4.0	0.0
	神奈川県	横浜	北	3.2	18.4	5.8	0.0
	山梨県	甲府	南西	1.9	19.4	6.6	0.0
	長野県	長野	東	2.3	13.9	5.3	0.0
	静岡県	静岡	北北東	2.2	20.3	7.8	0.0
10/23 ～ 10/24	茨城県	つくば	東、北西	1.6	16.3	3.9	0.0
	栃木県	真岡	東南東	0.8	16.1	4.8	0.0
	群馬県	前橋	北西	1.7	16.4	5.7	0.0
	埼玉県	熊谷	北西	1.3	17.5	3.5	0.0
	千葉県	千葉	北東	2.0	17.9	3.4	0.0
	東京都	東京	南東	1.7	18.0	2.4	0.0
	神奈川県	横浜	北	1.8	18.5	4.4	0.0
	山梨県	甲府	西南西	1.6	18.0	2.7	0.0
	長野県	長野	南東	1.4	14.4	8.9	0.0
	静岡県	静岡	西北西	1.7	19.3	8.4	0.0

表 3-3-1-1 続き

測定日	都県	気象観測所	最多風向	平均風速 (m/s)	平均気温 (°C)	日照時間 (h)	降水量 (mm)
10/24 ～ 10/25	茨城県	つくば	北西	2.5	17.1	9.5	0.0
	栃木県	真岡	北北東	1.1	16.5	9.0	0.0
	群馬県	前橋	北西、北北西	3.9	17.3	9.7	0.0
	埼玉県	熊谷	北西	3.5	18.1	10.0	0.0
	千葉県	千葉	南西、北西	6.2	19.4	9.8	0.0
	東京都	東京	北北西	4.3	18.6	9.2	0.0
	神奈川県	横浜	北	5.9	19.3	10.2	0.0
	山梨県	甲府	西北西	2.8	17.9	10.1	0.0
	長野県	長野	東北東、北	3.9	14.6	9.4	1.5
	静岡県	静岡	南西	2.0	19.3	9.1	0.0
10/25 ～ 10/26	茨城県	つくば	西北西	2.5	11.3	10.6	0.0
	栃木県	真岡	東北東、東南東	0.7	10.4	10.3	0.0
	群馬県	前橋	西北西、北北西	4.7	13.2	10.2	0.0
	埼玉県	熊谷	西北西	5.6	14.3	10.6	0.0
	千葉県	千葉	北西	5.6	15.6	10.3	0.0
	東京都	東京	北西	4.7	15.2	10.0	0.0
	神奈川県	横浜	北	5.0	15.4	8.6	0.0
	山梨県	甲府	北西	3.1	12.7	10.2	0.0
	長野県	長野	北北東	2.7	9.1	9.8	0.0
	静岡県	静岡	北西	1.6	17.3	8.3	0.0
10/26 ～ 10/27	茨城県	つくば	東北東	1.4	12.2	10.0	0.0
	栃木県	真岡	北東	0.8	11.9	9.8	0.0
	群馬県	前橋	北西	2.6	14.4	9.4	0.0
	埼玉県	熊谷	西	1.9	14.8	9.8	0.0
	千葉県	千葉	南南東	2.3	16.9	9.8	0.0
	東京都	東京	南	2.1	15.6	9.5	0.0
	神奈川県	横浜	南南西、北	2.3	16.5	9.7	0.0
	山梨県	甲府	南西	1.1	13.6	9.5	0.0
	長野県	長野	東	2.0	11.4	9.6	0.0
	静岡県	静岡	北西	2.0	17.6	6.0	0.0
10/28 ～ 10/29	茨城県	つくば	北東	2.7	18.1	5.7	0.5
	栃木県	真岡	北東、東北東	2.1	17.6	5.1	0.5
	群馬県	前橋	北北西	3.7	18.3	4.4	0.0
	埼玉県	熊谷	西北西	2.1	18.9	3.4	3.0
	千葉県	千葉	北北東	3.9	19.9	7.1	0.0
	東京都	東京	北北東	2.8	19.8	5.3	0.0
	神奈川県	横浜	北北東、北	2.9	19.9	6.3	3.5
	山梨県	甲府	西北西	2.5	19.1	6.6	0.0
	長野県	長野	東北東	2.7	12.6	3.5	0.0
	静岡県	静岡	北東、東北東	1.7	21.0	8.0	0.0

表 3-3-1-1 続き

測定日	都県	気 象 観測所	最多風向	平均風速 (m/s)	平均気温 (°C)	日照時間 (h)	降水量 (mm)
10/29 ～ 10/30	茨城県	つくば	東南東	1.3	14.7	2.5	0.0
	栃木県	真岡	北東	0.6	14.7	3.2	0.0
	群馬県	前橋	北西	2.8	15.7	6.9	0.0
	埼玉県	熊谷	西北西	2.1	16.1	2.9	0.0
	千葉県	千葉	北東	1.9	17.3	2.0	0.0
	東京都	東京	南南東、北西	2.0	17.0	1.3	0.0
	神奈川県	横浜	北	2.3	17.4	3.2	0.0
	山梨県	甲府	南西	1.6	15.6	5.3	0.0
	長野県	長野	北北東、北	1.9	11.2	6.7	0.0
	静岡県	静岡	南南東	1.8	17.7	6.2	0.0
10/30 ～ 10/31	茨城県	つくば	北東	2.1	15.0	5.8	0.0
	栃木県	真岡	北東	1.8	13.6	4.9	0.0
	群馬県	前橋	北西	3.6	14.6	5.9	0.0
	埼玉県	熊谷	北西	2.2	15.8	6.9	0.0
	千葉県	千葉	北東	2.9	17.2	4.6	0.0
	東京都	東京	北東	2.3	16.4	5.4	0.0
	神奈川県	横浜	北	2.4	17.2	5.4	0.0
	山梨県	甲府	北北西	2.0	14.3	8.2	0.0
	長野県	長野	東南東	2.3	10.1	7.0	0.0
	静岡県	静岡	西南西	2.8	17.5	5.7	0.0
10/31 ～ 11/1	茨城県	つくば	北東	1.9	10.5	5.0	0.0
	栃木県	真岡	北北東	1.0	9.4	3.8	0.0
	群馬県	前橋	西北西	2.2	11.2	6.7	0.0
	埼玉県	熊谷	北西	1.7	11.4	3.9	0.0
	千葉県	千葉	北北東	3.2	13.4	3.9	0.0
	東京都	東京	北北東	2.3	13.2	4.4	0.0
	神奈川県	横浜	北北東	2.6	13.9	3.5	0.0
	山梨県	甲府	西北西	1.7	11.9	7.2	0.0
	長野県	長野	北北東	2.1	6.9	8.0	0.0
	静岡県	静岡	北北東	2.0	14.5	5.0	0.0
11/1 ～ 11/2	茨城県	つくば	北北西	1.7	11.9	5.5	20.5
	栃木県	真岡	北東	0.9	10.8	6.0	20.5
	群馬県	前橋	北西	2.3	12.5	5.7	7.0
	埼玉県	熊谷	北西	1.7	12.6	5.2	17.5
	千葉県	千葉	東、北	2.7	14.5	4.7	19.0
	東京都	東京	北西、北北西	2.1	13.3	5.3	28.5
	神奈川県	横浜	北	3.0	14.0	4.3	25.0
	山梨県	甲府	南	1.3	12.5	4.5	15.0
	長野県	長野	南西	2.4	10.5	5.3	9.5
	静岡県	静岡	北北西	2.0	15.3	5.3	17.5

表 3-3-1-1 続き

測定日	都県	気 象 観測所	最多風向	平均風速 (m/s)	平均気温 (°C)	日照時間 (h)	降水量 (mm)
11/2 ～ 11/3	茨城県	つくば	北西	1.8	12.8	0.2	23.5
	栃木県	真岡	北北東	0.5	11.5	0.0	19.0
	群馬県	前橋	西北西、北西	2.7	12.3	3.5	6.5
	埼玉県	熊谷	北西	1.9	12.5	3.3	12.0
	千葉県	千葉	北西	3.4	14.3	2.7	5.5
	東京都	東京	北北西	2.2	13.6	2.2	9.5
	神奈川県	横浜	北	3.1	14.3	2.6	5.0
	山梨県	甲府	南東、西南西	1.4	11.4	1.1	5.0
	長野県	長野	北東、東、東南東、北	1.1	9.5	1.6	6.5
	静岡県	静岡	西北西	1.2	15.0	3.3	1.0
11/3 ～ 11/4	茨城県	つくば	北西	1.3	12.3	9.0	0.0
	栃木県	真岡	北東	1.0	11.3	8.2	0.0
	群馬県	前橋	北北西	3.8	13.2	9.9	0.0
	埼玉県	熊谷	北西	3.0	14.2	10.2	0.0
	千葉県	千葉	北	2.2	15.9	9.5	0.0
	東京都	東京	北北西	2.6	15.4	9.8	0.0
	神奈川県	横浜	北	3.6	16.3	9.9	0.0
	山梨県	甲府	西北西	1.9	12.6	9.8	0.0
	長野県	長野	北東	2.4	9.5	6.1	0.0
	静岡県	静岡	北北西	1.6	16.2	10.1	0.0

3.3.2 質量濃度及び組成

(1) 測定値の妥当性の検証

①イオンバランスの確認

図 3-3-2-1 に、コア期間中の各地点の各日のデータから求めた陽イオン (Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+}) 及び陰イオン (Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-}) それぞれの合計当量濃度の比較を示す。データの取り扱いは春季 (3.1.2 (1)) と同様である。陰イオン当量濃度合計/陽イオン当量濃度合計は、概ね 0.8~1.2 に収まっていたが、吉田の 10/27、湖西の 10/31、浜松の 10/27、10/28、10/30、10/31 は 0.7 未満で、陰イオンに比べて陽イオンが多かった。また、勝浦の 10/26 は 1.3 を超えていて、陽イオンに比べて陰イオンが多かった。

②マスクロージャーモデルによる検証

図 3-3-2-2 に、コア期間中の各地点の各日のデータから推定した質量濃度と、標準測定法による質量濃度の比較を示す。推定式とデータの取り扱いは春季 (3.1.2 (1)) と同様である。

全体としては、標準測定法による質量濃度に対する推定質量濃度の比は概ね 0.8~1.2 となっていたが、勝浦の 10/27、幸手の 10/28、富津の 10/30 は 0.7 未満となっていた。また、幸手の 10/29 は 1.3 を超えていた。

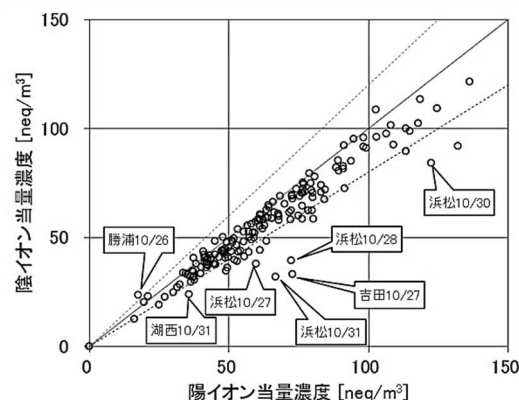


図 3-3-2-1 イオンバランス

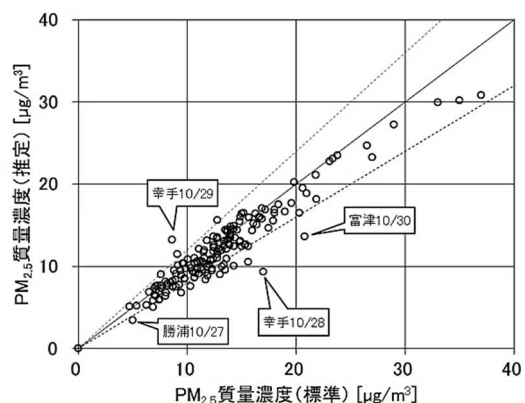


図 3-3-2-2 マスクロージャーモデル

(2) 季節平均濃度と組成の分布

図 3-3-2-3 に、コア期間中の各地点の PM_{2.5} 平均濃度を地図に示す。また、一部の地点については、PM_{2.5} 主要成分 (イオン成分、炭素成分) の組成を円グラフに示す。PM_{2.5} 平均濃度は、関東平野の北部に位置する館林、鴻巣、幸手、さいたま、および関東甲信静地域の南西部に位置する浜松の 5 地点は 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上であったが、それ以外の 19 地点は 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満となっており、全体的に濃度が低めとなっていた。主要成分組成は、全体的に OC の割合が高い傾向がみられ、1 地点を除き OC の割合が最も高かった。なお、浜松については、主要成分の占める割合が他の地点と比較して低く、5 割程度となっていた。

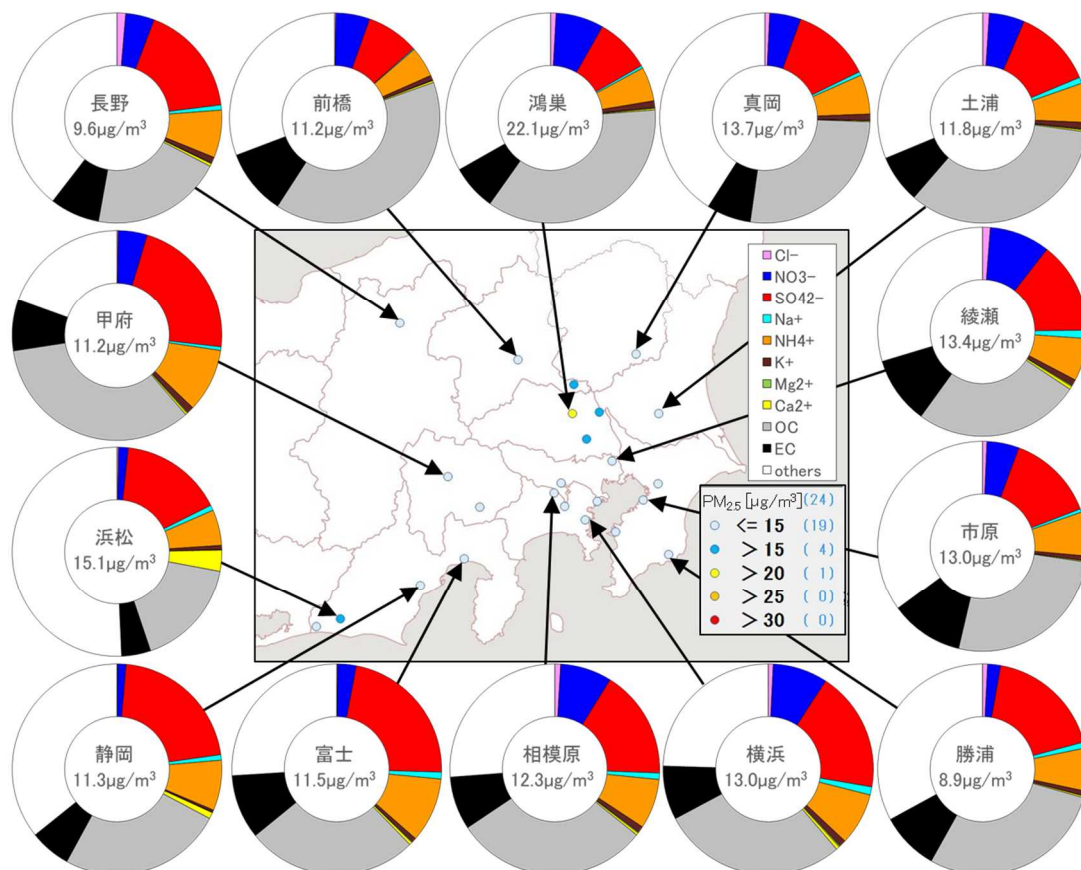


図 3-3-2-3 PM_{2.5} 平均濃度（地図）と PM_{2.5} 主要成分組成（円グラフ）

3.3.3 水溶性イオン成分濃度

図 3-3-3-1 に、コア期間中の SO_4^{2-} および SO_2 の平均濃度分布を示す。 SO_4^{2-} は神奈川県、山梨県、静岡県で高めであったが、 SO_2 は東京湾周辺で高い傾向がみられ、 SO_4^{2-} と SO_2 で傾向が異なっていた。

図 3-3-3-2 に、コア期間中の NO_3^- および NO_x の平均濃度分布を示す。 NO_3^- と NO_x のいずれも東京・神奈川・千葉・埼玉の 1 都 3 県を中心に高い傾向であった。図 3-3-3-3 に、コア期間中の Cl^- の平均濃度分布を示す。 Cl^- はすべて $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満と低かった。図 3-3-3-4 に、コア期間中の K^+ の平均濃度分布を示す。 K^+ は埼玉県で高く、埼玉県の周辺の都県と神奈川県、山梨県でやや高かった。

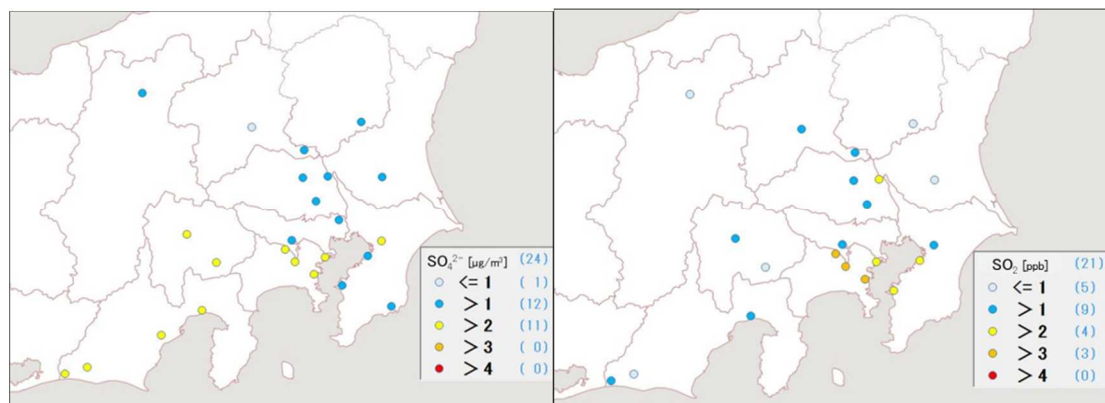


図 3-3-3-1 SO_4^{2-} (左) および SO_2 (右) の平均濃度分布

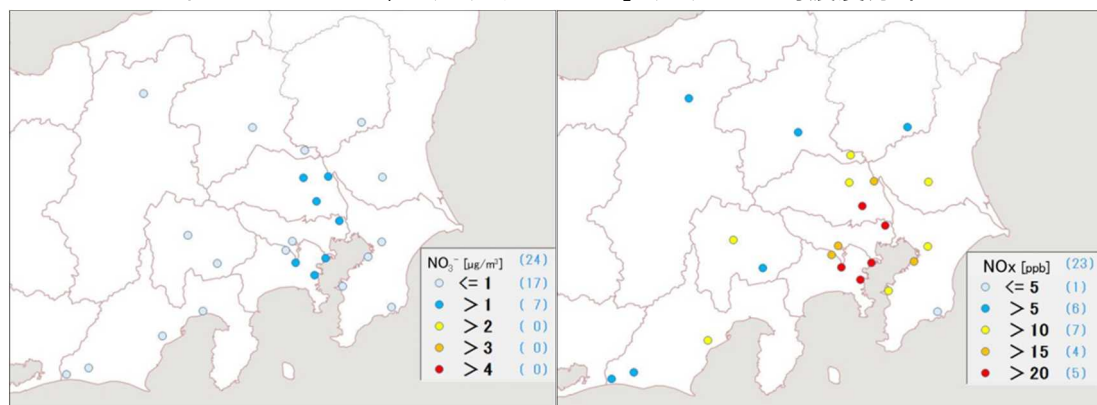


図 3-3-3-2 NO_3^- (左) および NO_x (右) の平均濃度分布

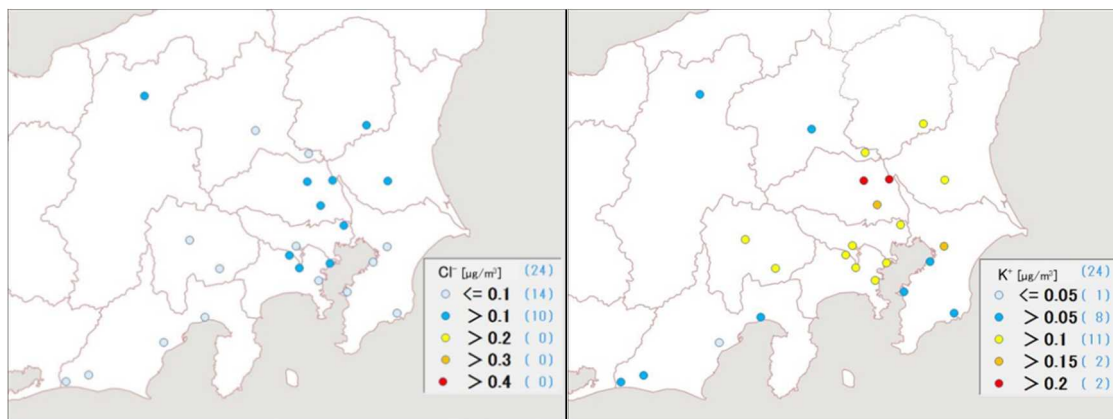


図 3-3-3-3 Cl^- の平均濃度分布

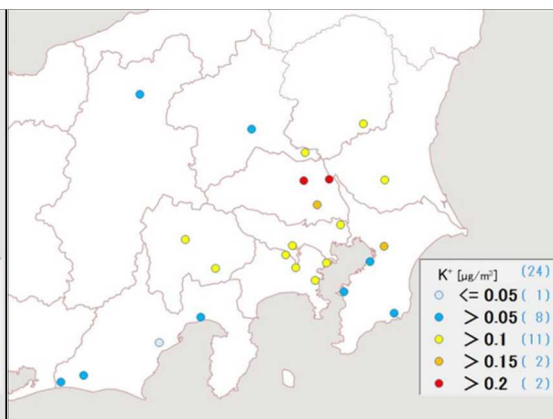


図 3-3-3-4 K^+ の平均濃度分布

3.3.4 炭素成分濃度

図 3-3-4-1 に、コア期間中の EC および OC の平均濃度分布を示す。EC はすべての地点で $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下と低かったが、東京・神奈川・千葉・埼玉・群馬の 1 都 4 県でやや高かった。OC は東京湾岸から関東の内陸部で高い傾向がみられ、 $4\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた地点も 8 地点と多かった。特に高かったのは鴻巣 ($8.0\mu\text{g}/\text{m}^3$)、館林 ($7.3\mu\text{g}/\text{m}^3$)、幸手 ($6.5\mu\text{g}/\text{m}^3$)、さいたま ($5.8\mu\text{g}/\text{m}^3$) の 4 地点であり、この 4 地点は、 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度も $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上と他の地点と比べて高かった。図 3-3-4-2 に、コア期間中の WSOC および Ox の平均濃度分布、図 3-3-4-3 に TC に占める OC の割合 (OC/TC) および OC に占める WSOC の割合 (WSOC/OC) の

分布を示す。WSOC については、地域的な濃度差はみられず、WSOC/OC も地域的な傾向はみられなかった。OC/TC は概ね 70%以上となっていたが、全体的には顕著な傾向はみられなかった。また、OC や WSOC、OC/TC を O_x の分布と比較したが、 O_x と OC、WSOC、OC/TC の間に相関はみられなかった。図 3-3-4-4 に、コア期間中の NMHC の平均濃度分布を示す。東京湾岸から神奈川県、山梨県、静岡県東部、埼玉県、群馬県東部で若干高い傾向がみられた。図 3-3-4-5 に、OC と O_x および OC と NMHC の関係を示す。OC と O_x には明確な関係はみられず、光化学二次生成による大きな寄与は認められなかった。また、OC と NMHC に関しても明確な関係はみられなかった。図 3-3-4-6 に、OC と K^+ および WSOC と K^+ の関係を示す。OC と K^+ には正の相関がみられ（相関係数 0.77）、また、千葉を除くと WSOC と K^+ には正の相関がみられ（相関係数 0.72）、植物質燃焼との関連が示唆される。図 3-3-4-7 に、char-EC と K^+ の関係を示す。char-EC と K^+ には正の相関がみられ（相関係数 0.78）、植物質燃焼との関連が示唆される。

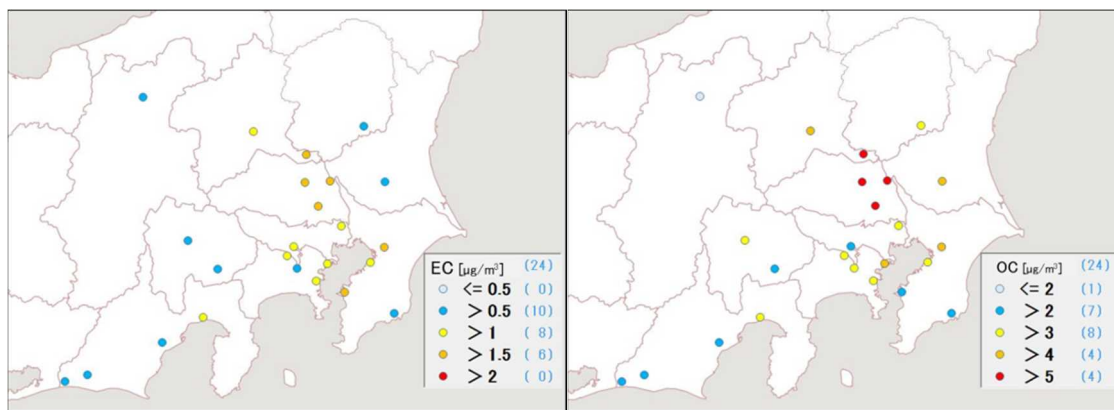


図 3-3-4-1 EC (左) および OC (右) の平均濃度分布

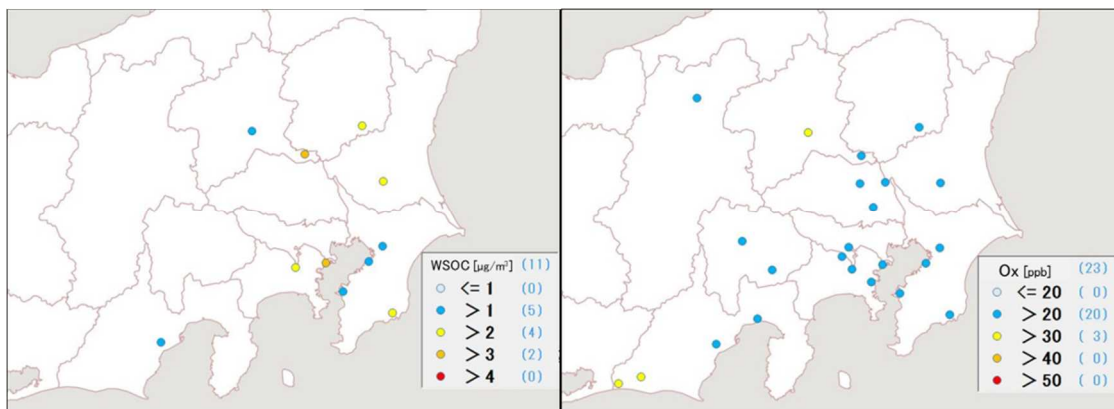


図 3-3-4-2 WSOC (左) および O_x (右) の平均濃度分布

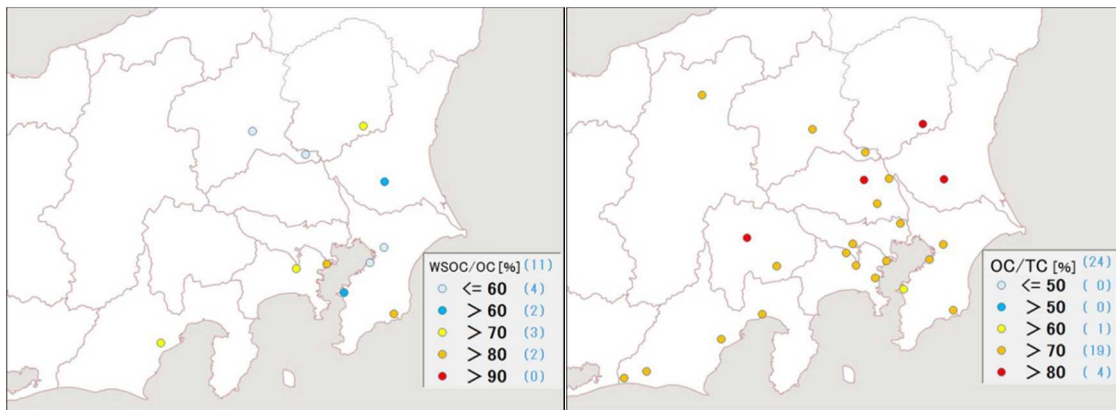


図 3-3-4-3 WSOC/OC (左) および OC/TC (右) の平均分布

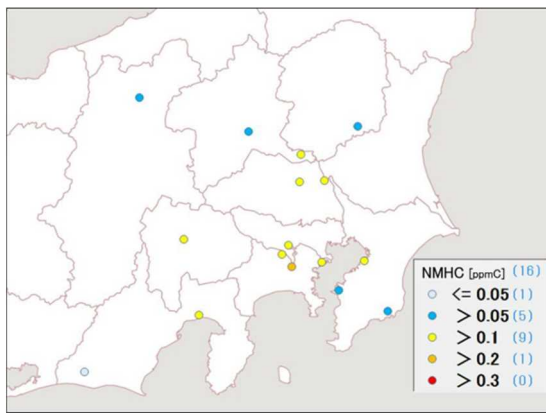


図 3-3-4-4 NMHC の平均濃度分布

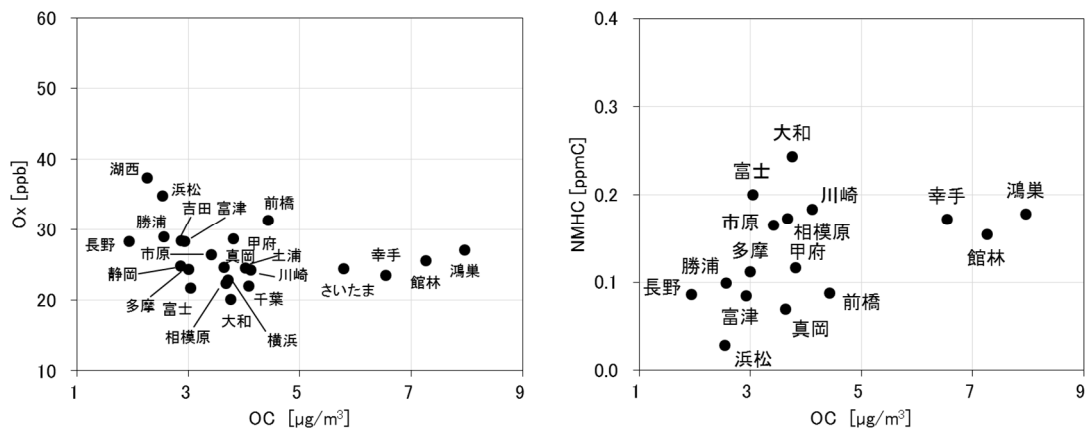


図 3-3-4-5 OC と Ox (左) および OC と NMHC (右) の関係

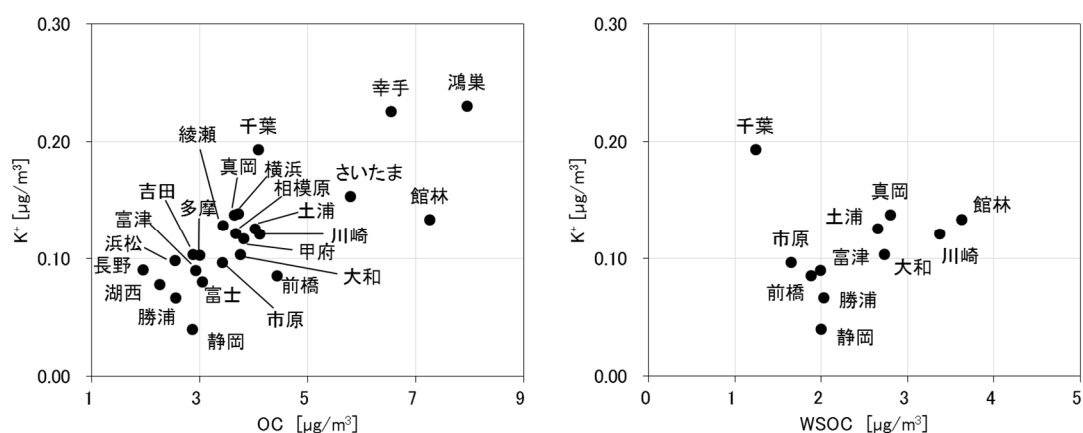


図 3-3-4-6 OC と K^+ (左) および WSOC と K^+ (右) の関係

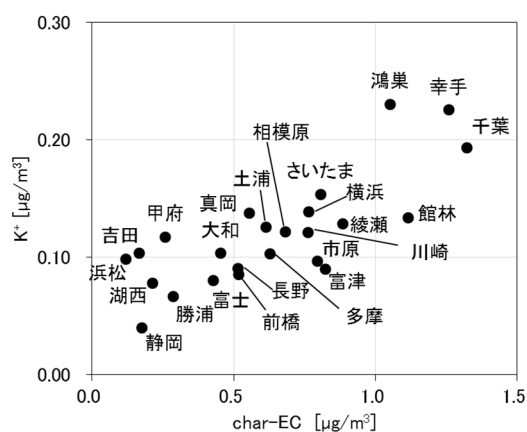


図 3-3-4-7 char-EC と K^+ の関係

3.3.5 無機元素濃度

図 3-3-5-1～14 に、コア期間中のナトリウム (Na)、アルミニウム (Al)、カリウム (K)、カルシウム (Ca)、バナジウム (V)、クロム (Cr)、マンガン (Mn)、鉄 (Fe)、ニッケル (Ni)、銅 (Cu)、亜鉛 (Zn)、ヒ素 (As)、セレン (Se)、鉛 (Pb) の平均濃度分布をそれぞれ示す。Na については沿岸部で高い傾向がみられ、海塩粒子の影響であると考えられる。V についても沿岸部で高い傾向がみられ、石油燃焼起源 (船舶等) であることが推測される。また、Cr、Mn、Fe、Pb は沿岸部や都市部などで相対的に高い傾向がみられ、工業活動や都市活動との関連が示唆される。

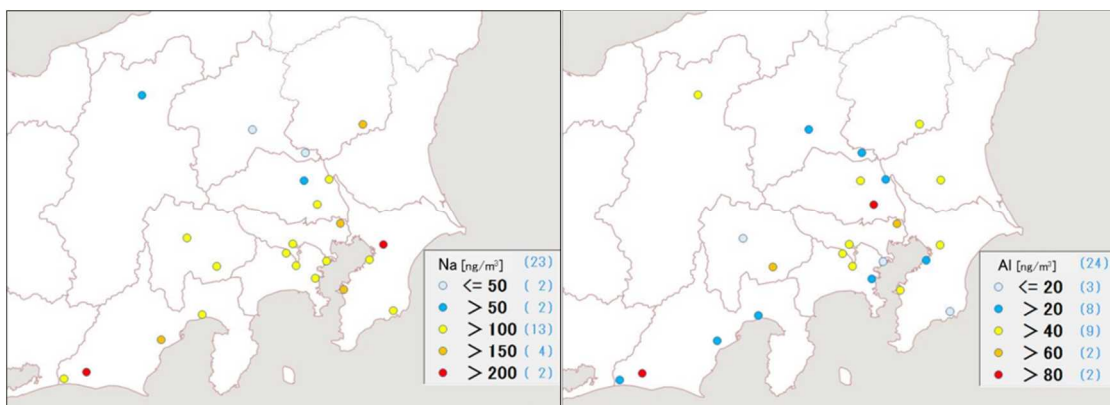


図 3-3-5-1 ナトリウムの平均濃度分布 図 3-3-5-2 アルミニウムの平均濃度分布

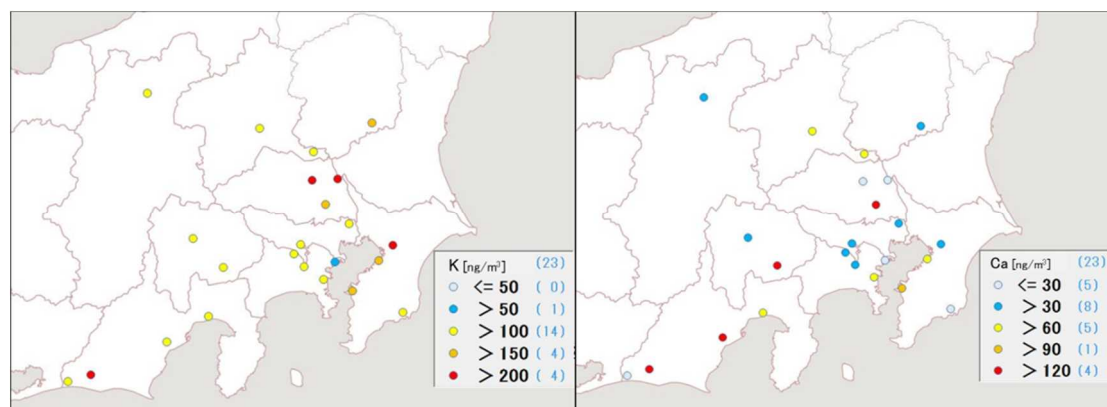


図 3-3-5-3 カリウムの平均濃度分布 図 3-3-5-4 カルシウムの平均濃度分布

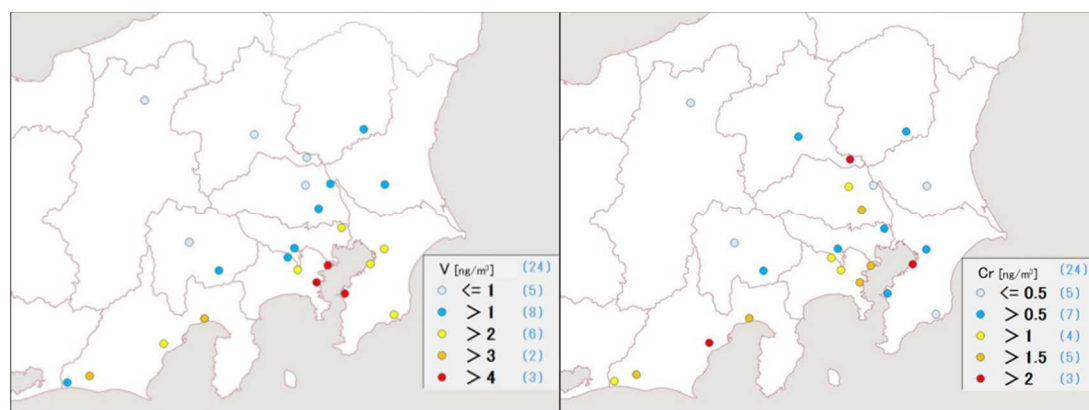


図 3-3-5-5 バナジウムの平均濃度分布 図 3-3-5-6 クロムの平均濃度分布

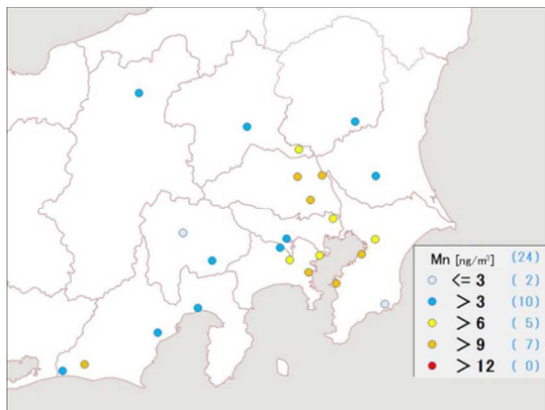


図 3-3-5-7 マンガンの平均濃度分布

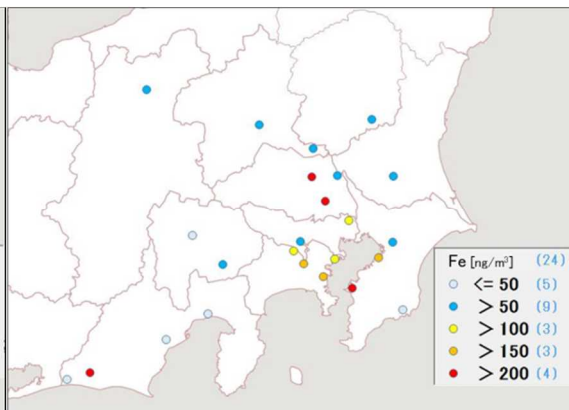


図 3-3-5-8 鉄の平均濃度分布

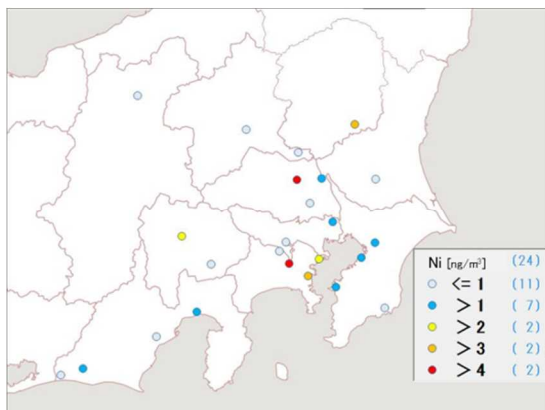


図 3-3-5-9 ニッケルの平均濃度分布

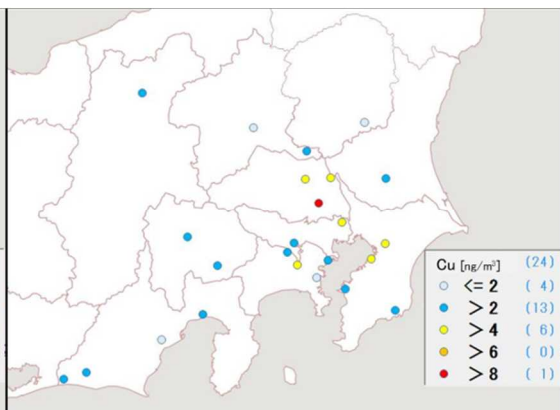


図 3-3-5-10 銅の平均濃度分布

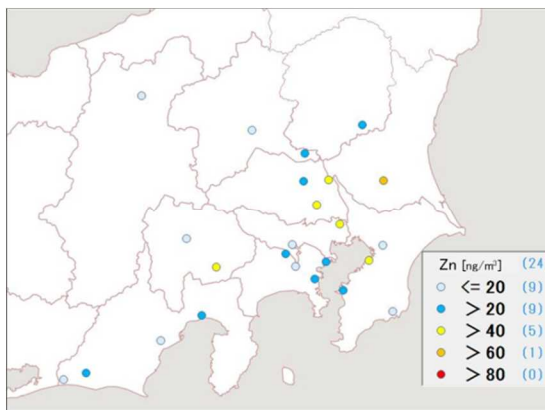


図 3-3-5-11 亜鉛の平均濃度分布

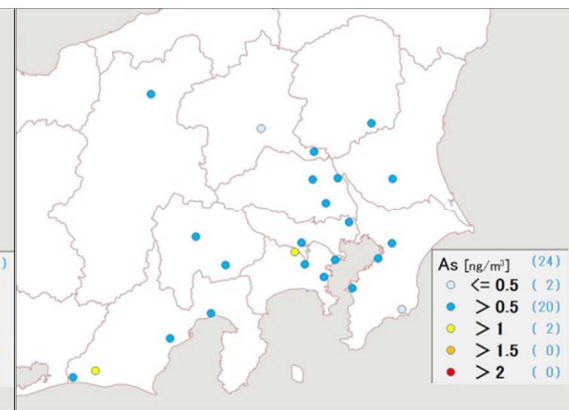


図 3-3-5-12 ヒ素の平均濃度分布

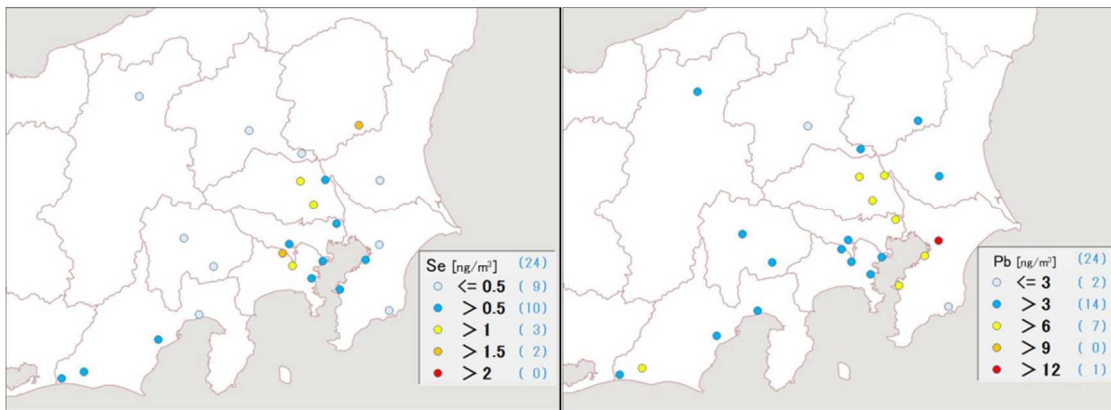


図 3-3-5-13 セレンの平均濃度分布

図 3-3-5-14 鉛の平均濃度分布

3.4 冬季

3.4.1 気象概況

冬季調査期間中の関東甲信地方及び東海地方の平均気温及び日照時間について、前半はどちらも平年と比較して平均気温は低く、日照時間は長い日が多かった。後半はどちらも平年と比較して平均気温は高く、日照時間は短い日が多かった。

1月29日に静岡でやや強い雨（1時間雨量10mm以上～20mm未満）が降った。

表3-4-1-1に調査期間中の観測値を示す。

表 3-4-1-1 冬季調査期間の各気象観測所の観測値

測定日	都県	気 象 観測所	最多風向	平均風速 (m/s)	平均気温 (°C)	日照時間 (h)	降水量 (mm)
1/20 ～ 1/21	茨城県	つくば	西北西	2.5	1.5	9.7	0.0
	栃木県	真岡	北東	1.3	0.8	7.0	0.0
	群馬県	前橋	北西	3.3	0.6	6.0	3.5
	埼玉県	熊谷	西北西	4.3	2.6	9.4	0.0
	千葉県	千葉	北西	7.1	5.9	9.6	0.0
	東京都	東京	北西	3.7	4.8	9.3	0.0
	神奈川県	横浜	北	3.6	5.7	7.5	0.0
	山梨県	甲府	北北西	3.3	1.0	8.8	0.0
	長野県	長野	東、西南西	1.5	-2.1	1.1	9.5
	静岡県	静岡	北西	2.3	5.4	9.6	0.0
1/21 ～ 1/22	茨城県	つくば	西北西	2.4	3.4	8.3	0.0
	栃木県	真岡	北東	0.8	1.2	7.0	0.0
	群馬県	前橋	北北西	3.2	2.5	6.4	0.0
	埼玉県	熊谷	西北西	3.9	4.1	8.0	0.0
	千葉県	千葉	北北西	3.5	6.5	6.3	0.0
	東京都	東京	北西	3.1	5.9	7.0	0.0
	神奈川県	横浜	北	3.8	6.4	6.9	0.0
	山梨県	甲府	北西	1.1	1.9	8.2	0.0
	長野県	長野	北北東、東北東	1.4	-1.9	5.5	0.0
	静岡県	静岡	北西	1.1	6.4	7.4	0.0
1/22 ～ 1/23	茨城県	つくば	北西	2.5	3.0	6.6	0.0
	栃木県	真岡	北	0.8	0.4	5.3	0.0
	群馬県	前橋	北北西	3.4	2.2	7.7	0.0
	埼玉県	熊谷	西北西	4.1	3.6	7.0	0.0
	千葉県	千葉	北北西	3.2	5.6	6.4	0.0
	東京都	東京	北北西	3.1	5.3	5.8	0.0
	神奈川県	横浜	北	3.8	5.8	6.4	0.0
	山梨県	甲府	北西	2.2	2.3	6.5	0.0
	長野県	長野	東北東	1.9	-2.6	3.6	0.0
	静岡県	静岡	北北西	1.8	6.9	6.4	0.0

表 3-4-1-1 続き

測定日	都県	気 象 観測所	最多風向	平均風速 (m/s)	平均気温 (°C)	日照時間 (h)	降水量 (mm)
1/23 ～ 1/24	茨城県	つくば	西北西	2.1	2.1	2.3	0.0
	栃木県	真岡	北北東、東	1.0	0.6	1.7	1.5
	群馬県	前橋	北西	3.2	1.5	6.7	0.0
	埼玉県	熊谷	西北西	2.5	2.7	6.6	0.0
	千葉県	千葉	北北西	2.6	3.7	1.1	0.0
	東京都	東京	北西	2.1	3.6	2.4	0.0
	神奈川県	横浜	北	2.6	4.5	2.9	0.0
	山梨県	甲府	西北西	1.6	1.2	2.3	0.0
	長野県	長野	西南西	1.8	-1.6	3.3	0.0
	静岡県	静岡	北西	2.4	5.0	2.8	0.5
1/24 ～ 1/25	茨城県	つくば	西北西	4.6	1.4	9.9	0.0
	栃木県	真岡	西南西、西	2.0	-1.1	9.7	0.0
	群馬県	前橋	北西	4.0	-0.4	8.8	0.0
	埼玉県	熊谷	西北西	5.1	1.7	9.8	0.0
	千葉県	千葉	北西	6.1	3.5	9.5	0.0
	東京都	東京	北西	3.7	2.4	9.6	0.0
	神奈川県	横浜	西北西	3.9	2.8	8.8	0.0
	山梨県	甲府	北北西	4.3	-1.7	8.1	0.0
	長野県	長野	西南西	2.7	-5.1	3.9	0.5
	静岡県	静岡	西	4.0	0.9	9.6	0.0
1/25 ～ 1/26	茨城県	つくば	西	2.7	0.3	9.9	0.0
	栃木県	真岡	東北東、西南西	1.0	-1.3	8.1	0.0
	群馬県	前橋	北西	3.7	0.7	9.4	0.0
	埼玉県	熊谷	西北西	3.7	2.0	9.8	0.0
	千葉県	千葉	北北西	2.9	4.0	9.6	0.0
	東京都	東京	北西	2.6	3.4	9.6	0.0
	神奈川県	横浜	北	2.4	4.0	9.6	0.0
	山梨県	甲府	北北西	2.1	-1.1	9.4	0.0
	長野県	長野	西	1.6	-4.6	8.5	0.0
	静岡県	静岡	西北西	1.5	2.8	9.7	0.0
1/26 ～ 1/27	茨城県	つくば	西北西	2.0	1.4	9.3	0.0
	栃木県	真岡	北東	0.9	0.3	9.9	0.0
	群馬県	前橋	北西	2.9	2.7	10.0	0.0
	埼玉県	熊谷	西北西	1.9	3.1	9.8	0.0
	千葉県	千葉	北北西	2.4	5.3	6.7	0.0
	東京都	東京	北西	1.8	4.5	8.5	0.0
	神奈川県	横浜	西	2.3	5.4	9.2	0.0
	山梨県	甲府	南、南西	1.0	-0.1	9.5	0.0
	長野県	長野	西南西	1.3	-2.5	9.2	0.0
	静岡県	静岡	北西	1.6	4.2	9.8	0.0

表 3-4-1-1 続き

測定日	都県	気 象 観測所	最多風向	平均風速 (m/s)	平均気温 (°C)	日照時間 (h)	降水量 (mm)
1/27 ～ 1/28	茨城県	つくば	西、西北西	2.1	4.3	9.9	0.0
	栃木県	真岡	東	0.9	2.3	9.7	0.0
	群馬県	前橋	西北西	3.1	5.3	8.7	0.0
	埼玉県	熊谷	西北西	2.5	6.4	9.7	0.0
	千葉県	千葉	西南西、北北西	2.1	7.4	9.8	0.0
	東京都	東京	北西	2.3	7.4	9.4	0.0
	神奈川県	横浜	北	2.2	8.3	9.7	0.0
	山梨県	甲府	南南東	1.0	1.8	9.5	0.0
	長野県	長野	北北東、東	1.3	-0.3	9.3	0.0
	静岡県	静岡	北西	1.5	6.1	9.4	0.0
1/28 ～ 1/29	茨城県	つくば	北東、東北東、南東	1.9	6.7	6.7	0.0
	栃木県	真岡	北東	1.1	5.5	6.6	0.0
	群馬県	前橋	北北西、北	2.4	7.4	0.1	0.0
	埼玉県	熊谷	西	2.2	8.2	6.7	0.0
	千葉県	千葉	北北東	1.9	9.0	6.6	0.0
	東京都	東京	西、北	1.8	8.5	6.7	0.0
	神奈川県	横浜	北	2.4	9.0	6.8	0.0
	山梨県	甲府	南	0.9	5.1	6.4	1.0
	長野県	長野	東南東	1.4	2.2	6.4	1.5
	静岡県	静岡	西北西	1.4	8.7	6.7	9.0
1/29 ～ 1/30	茨城県	つくば	北東	3.0	2.6	0.0	17.5
	栃木県	真岡	東北東	2.3	1.5	0.0	19.0
	群馬県	前橋	北北西	1.1	2.5	0.0	19.5
	埼玉県	熊谷	北西	1.7	2.9	0.0	12.0
	千葉県	千葉	北北東、北北西	3.8	4.0	0.0	18.5
	東京都	東京	北北東	3.3	3.6	0.0	15.0
	神奈川県	横浜	北北東	4.5	4.1	0.0	24.5
	山梨県	甲府	南南東	0.8	4.4	0.0	19.5
	長野県	長野	東	1.5	-0.1	0.0	19.5
	静岡県	静岡	北東	3.6	7.2	0.0	69.0
1/30 ～ 1/31	茨城県	つくば	北北東	1.4	2.8	3.1	0.0
	栃木県	真岡	北北東、東北東	0.6	0.6	0.0	0.0
	群馬県	前橋	西南西、西、西北西	1.3	3.1	2.8	0.0
	埼玉県	熊谷	北東	1.2	3.6	3.1	0.0
	千葉県	千葉	北	2.2	4.5	2.0	0.0
	東京都	東京	北北東	1.6	4.1	1.7	0.0
	神奈川県	横浜	北	2.5	4.8	0.0	0.0
	山梨県	甲府	南東	1.4	4.9	2.3	0.0
	長野県	長野	北	1.4	-0.7	0.5	0.0
	静岡県	静岡	北北東	2.4	7.1	0.1	0.0

表 3-4-1-1 続き

測定日	都県	気象観測所	最多風向	平均風速 (m/s)	平均気温 (°C)	日照時間 (h)	降水量 (mm)
1/31 ～ 2/1	茨城県	つくば	北北東、北東	1.6	4.7	6.7	0.0
	栃木県	真岡	北北東	1.2	2.6	6.6	0.0
	群馬県	前橋	北北西	2.7	5.6	6.8	0.0
	埼玉県	熊谷	西北西	2.1	5.9	6.7	0.0
	千葉県	千葉	北北東	2.3	6.6	1.9	0.0
	東京都	東京	北	2.0	6.2	3.4	0.0
	神奈川県	横浜	北北東、北	2.9	6.8	1.1	0.0
	山梨県	甲府	南南西	1.5	4.5	6.7	1.5
	長野県	長野	東	2.2	1.0	5.9	0.0
	静岡県	静岡	南	1.7	7.4	4.3	0.0
2/1 ～ 2/2	茨城県	つくば	※	1.4	2.6	2.4	0.0
	栃木県	真岡	東北東	0.8	1.7	3.8	0.0
	群馬県	前橋	西	2.9	3.7	5.8	0.0
	埼玉県	熊谷	西北西	2.9	4.5	4.6	0.0
	千葉県	千葉	北北西	2.5	4.7	1.6	0.5
	東京都	東京	北北西	2.2	4.7	2.2	0.0
	神奈川県	横浜	北	3.3	5.0	1.7	0.0
	山梨県	甲府	東、南南東	1.3	2.7	1.8	0.5
	長野県	長野	北北東	2.4	-1.4	1.5	0.0
	静岡県	静岡	北東	2.2	7.0	1.8	0.0
2/2 ～ 2/3	茨城県	つくば	北西	2.2	2.9	9.9	0.0
	栃木県	真岡	東北東	1.0	0.6	9.7	0.0
	群馬県	前橋	北	3.2	3.2	8.9	0.0
	埼玉県	熊谷	西北西	4.3	4.4	9.8	0.0
	千葉県	千葉	北北西	2.9	5.7	7.3	0.0
	東京都	東京	北北西	3.3	5.7	7.6	0.0
	神奈川県	横浜	北	4.0	6.0	6.7	0.0
	山梨県	甲府	西北西	2.6	3.2	7.6	0.0
	長野県	長野	東、東南東	2.1	-2.4	4.5	0.0
	静岡県	静岡	西北西、北北西	1.9	6.5	6.4	0.0

※：北北東、東北東、東、東南東、南南東、南、西、北西、北北西

3.4.2 質量濃度及び組成

(1) 測定値の妥当性の検証

①イオンバランスの確認

図 3-4-2-1 に、コア期間中の各地点の各日のデータから求めた陽イオン (Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+}) 及び陰イオン (Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-}) それぞれの合計当量濃度の比較を示す。データの取り扱いは春季 (3.1.2 (1)) と同様である。全体的に、陰イオン当量濃度合計／陽イオン当量濃度合計は概ね 0.8～1.2 に収まっていたが、全 167 データ中、18 データがこの範囲の外側に分布していた。中でも吉田の 1/27、富士の 1/26、29、湖西の 1/30 の 4 データは 0.7 未満で、陰イオンに比べて陽イオンが多かった。また、幸手の 1/25 は 1.3 を超えており、陽イオンに比べて陰イオンが多かった。

②マスキロージャーモデルによる検証

図 3-4-2-2 に、コア期間中の各地点の各日のデータから推定した質量濃度と、標準測定法による質量濃度の比較を示す。推定式とデータの取り扱いは春季 (3.1.2 (1)) と同様である。全体としては、標準測定法による質量濃度に対する推定質量濃度の比は概ね 0.8～1.2 となっていたが、綾瀬の 1/31、勝浦の 1/31 は 0.7 未満となっていた。

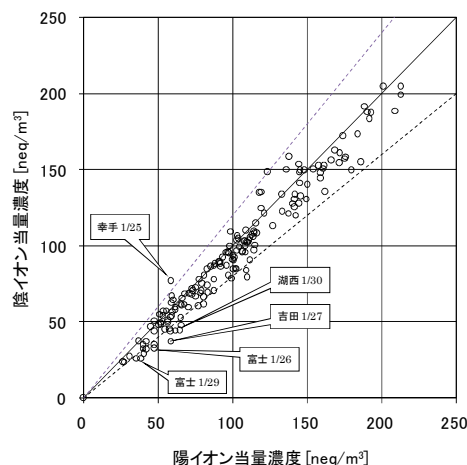


図 3-4-2-1 イオンバランス

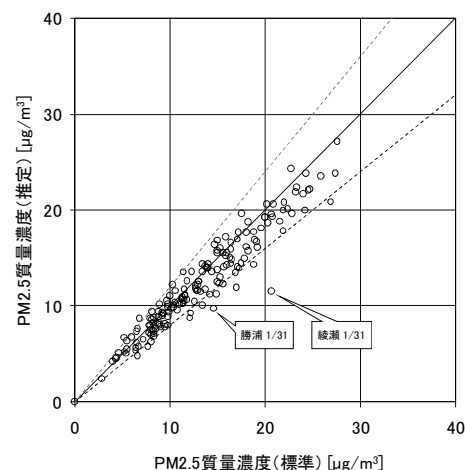


図 3-4-2-2 マスキロージャーモデル

(2) 季節平均濃度と組成の分布

図 3-4-2-3 に、コア期間中の各地点の PM2.5 平均濃度を地図に示す。また、一部の地点については、PM2.5 主要成分（イオン成分、炭素成分）の組成を円グラフに示す。PM2.5 平均濃度は、房総半島（外房）に位置しバックグラウンド地点とされる勝浦を除いた関東の中部及び東部地域では $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ より高くなったが、全体的に濃度は低めであった。主要成分組成は、全体的に NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ の 3 つのイオン比率が拮抗する傾向となっており、甲府を除いた前橋から長野、静岡にわたる西寄りの地点では SO_4^{2-} の割合が若干高めの傾向が見られ、勝浦と市原を除いた関東の中部及び東部地域では、 NO_3^- の割合が高い傾向が見られた。OC と EC については、地域的な傾向は見られなかった。

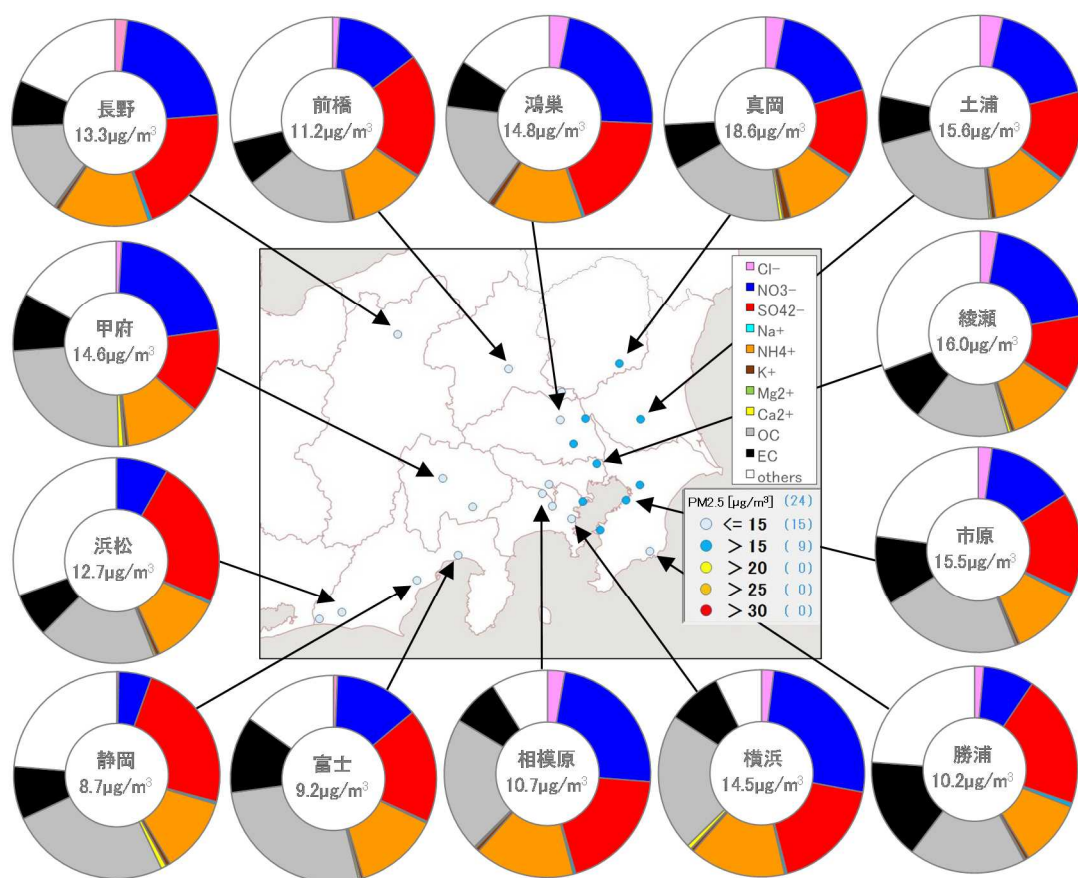


図 3-4-2-3 PM2.5 平均濃度(地図)と PM2.5 主要成分組成(円グラフ)

3.4.3 水溶性イオン成分濃度

図 3-4-3-1 に、コア期間中の SO_4^{2-} および SO_2 の平均濃度分布を示す。 SO_4^{2-} は湖西でやや高かったが他は濃度差が小さく、 SO_2 は東京湾周辺と甲府でやや高い傾向が見られたが、 SO_4^{2-} と SO_2 の分布は異なっていた。

図 3-4-3-2 に、コア期間中の NO_3 および NO_x の平均濃度分布を示す。 NO_x は前橋、勝浦、吉田、静岡を除いた地点で全体的に高い傾向で、 NO_3 は、関東の中部及び東部地域と甲府、長野等の内陸部でやや高く、前橋、吉田、静岡県、千葉県南部ではやや低い傾向が見られ、概ね NO_x の傾向と類似した分布となった。図 3-4-3-3 に、コア期間中の Cl^- の平均濃度分布を示す。 Cl^- は、低温になる冬季には粒子成分として捕捉されやすく、勝浦、多摩、相模原、横浜を除いた関東の中部及び東部地域の地点で $0.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ より高くなり、PM2.5 平均濃度と類似した分布となった。図 3-4-3-4 に、コア期間中の K^+ の平均濃度分布を示す。 K^+ は真岡、土浦、幸手、鴻巣で $0.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ より高く、特に真岡は $0.22\mu\text{g}/\text{m}^3$ で高い濃度となった。

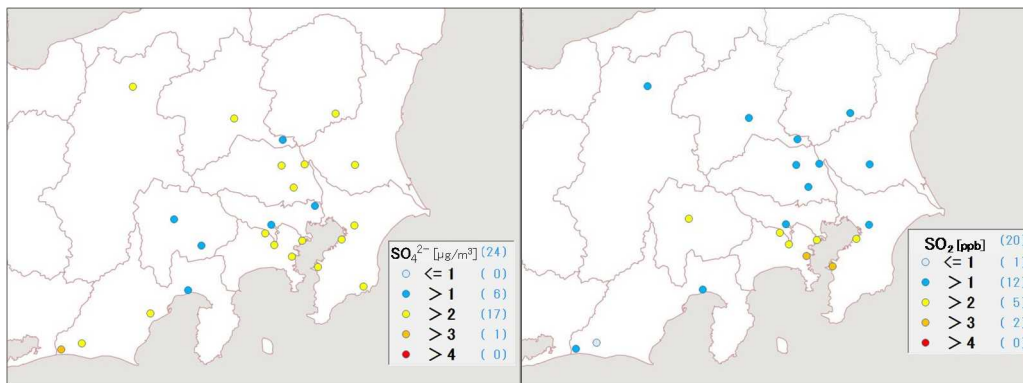


図 3-4-3-1 SO_4^{2-} (左)および SO_2 (右)の平均濃度分布

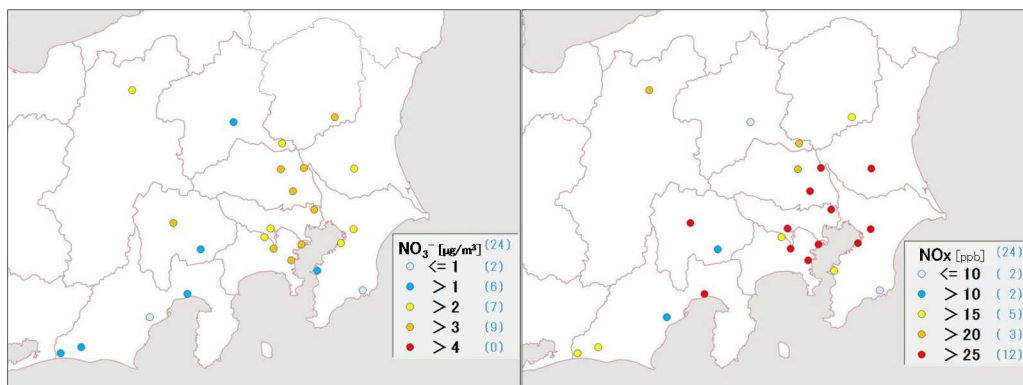


図 3-4-3-2 NO_3^- (左)および NO_x (右)の平均濃度分布

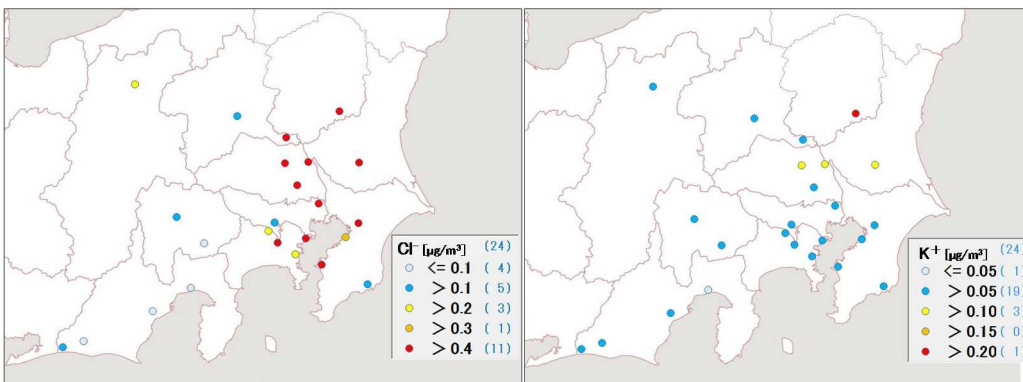


図 3-4-3-3 Cl^- の平均濃度分布

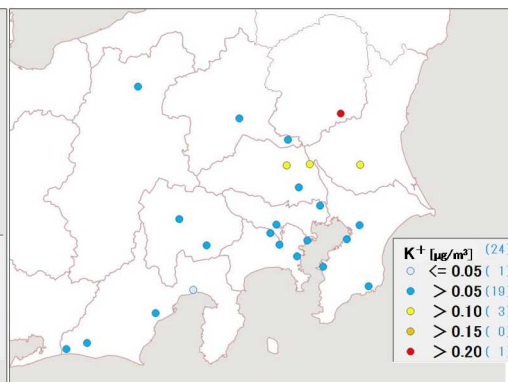


図 3-4-3-4 K^+ の平均濃度分布

3.4.4 炭素成分濃度

図 3-4-4-1 に、コア期間中の EC および OC の平均濃度分布を示す。EC は前橋、多摩、相模原を除いた関東地方と甲府及び富士で $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ より高い濃度となったが、その中で千葉の 4 地点は何れも $1.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ より高い濃度であった。OC は東京湾周辺や真岡、土浦、さいたま、甲府で $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上となったが、全体的に濃度差は小さかった。図 3-4-4-2 に、コア期間中の WSOC および Ox の平均濃度分布、図 3-4-4-3 に OC に占める WSOC の割合 (WSOC/OC) および TC に占める OC の割合 (OC/TC) の分布を示す。WSOC については、真岡や東京湾周辺の富津、川崎で $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ より高い濃度となったが、全体的に濃度差は小さく、 WSOC/OC についても 80%を超える地点は無かった。Ox も全地点で $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満であ

り、濃度差は小さかった。OC/TC は勝浦を除いた地点で 60%～80%の範囲に収まり、比率の差は小さく、全体的に顕著な傾向は見られなかった。図 3-4-4-4 に、コア期間中の NMHC の平均濃度分布を示す。NMHC は川崎、市原、大和、甲府、富士で $0.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ より高い濃度となり、川崎は $0.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ で特に高い濃度となった。図 3-4-4-5 に OC と Ox および OC と NMHC の関係を示す。OC と Ox の関係では真岡を除いた多くの地点が軸に近い円弧状の分布を示し、OC と Ox には関係が認められず、冬季については光化学二次生成の寄与は小さいことが示唆された。一方 OC と NMHC の関係では、右上がりの傾向（相関係数 0.4）が見られたが、分布の広がりやや大きく明確な関係とは認められなかった。図 3-4-4-6 に、OC と K^+ および WSOC と K^+ の関係を示す。OC と K^+ 、WSOC と K^+ ともに明確な関係はみられなかった。図 3-4-4-7 に、char-EC と K^+ の関係を示す。char-EC と K^+ にも明確な関係はみられなかった。

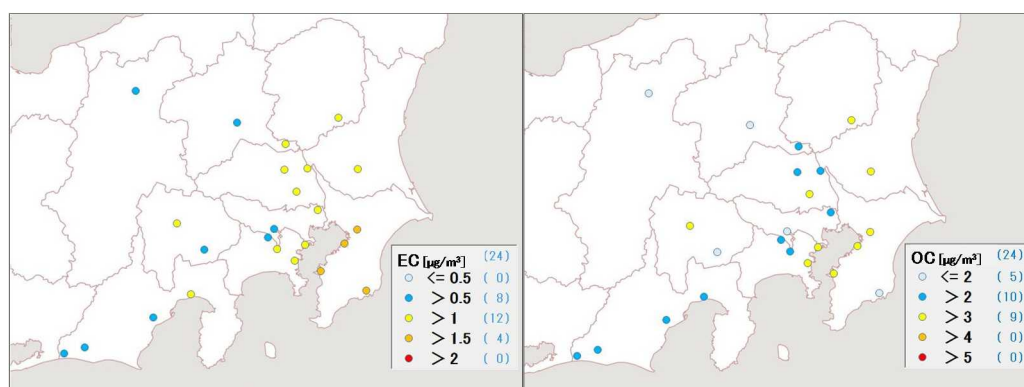


図 3-4-4-1 EC(左)および OC(右)の平均濃度分布

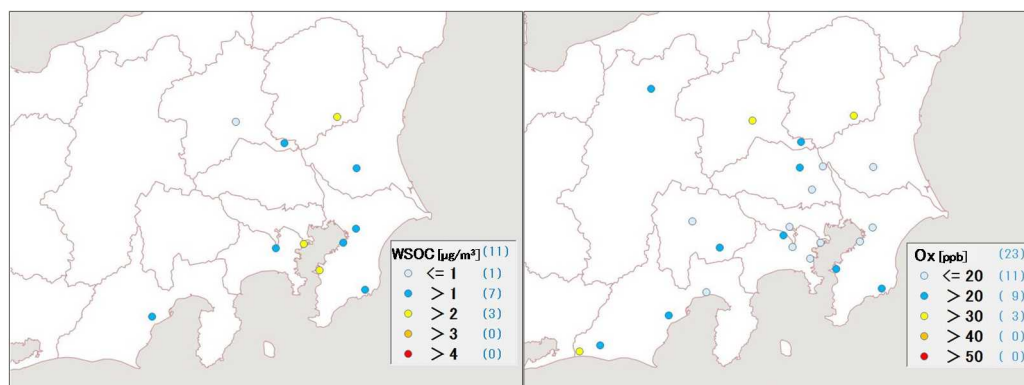


図 3-4-4-2 WSOC(左)および Ox(右)の平均濃度分布

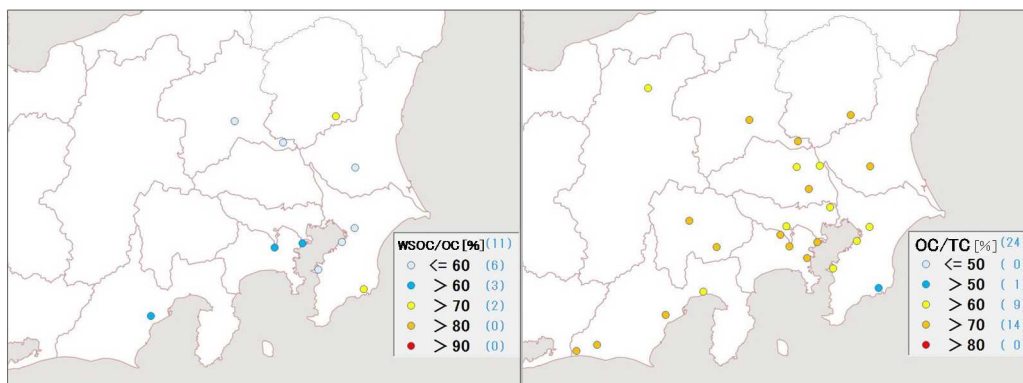


図 3-4-4-3 WSOC/OC(左)および OC/TC(右)の平均分布

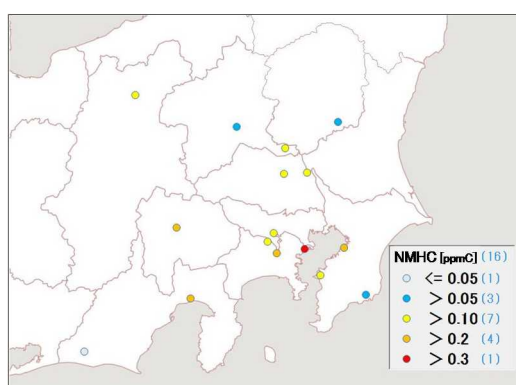


図 3-4-4-4 NMHC の平均濃度分布

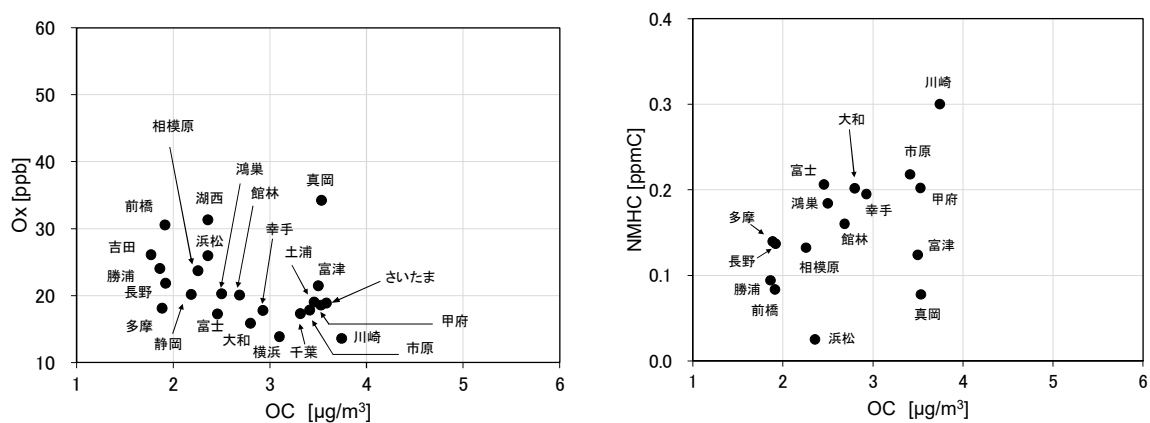


図 3-4-4-5 OCとOx(左)および OCとNMHC(右)の関係

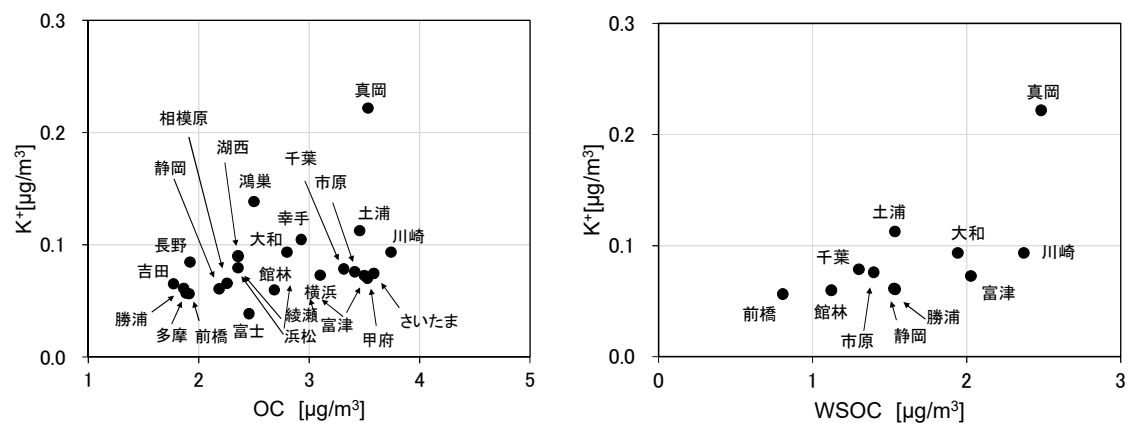


図 3-4-4-6 OC と K^+ (左)および WSOC と K^+ (右)の関係

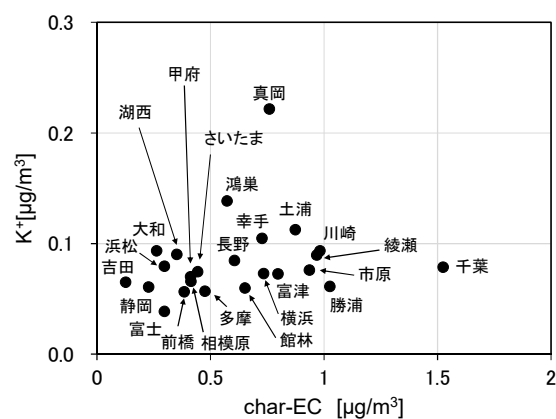


図 3-4-4-7 char-EC と K^+ の関係

3.4.5 無機元素濃度

図 3-4-5-1～14 に、コア期間中のナトリウム (Na)、アルミニウム (Al)、カリウム (K)、カルシウム (Ca)、バナジウム (V)、クロム (Cr)、マンガン (Mn)、鉄 (Fe)、ニッケル (Ni)、銅 (Cu)、亜鉛 (Zn)、ヒ素 (As)、セレン (Se)、鉛 (Pb) の平均濃度分布をそれぞれ示す。V、Cr、Mn、Fe、Zn、Pb は沿岸部や都市部などで相対的に高い傾向が見られ、工業活動や都市活動との関連が示唆される。Cu についても沿岸部や都市部などで相対的に高い傾向が見られ、大和と土浦が高かったが、大和は $1/25$ の $200\text{ng}/\text{m}^3$ が突出して高く、同様の現象が春季にも見られた。Na、K、As は地域的な差は小さく顕著な傾向は見られなかった。また、Al、Ca、Ni については、Al で土浦とさいたまが、Ca で富津と湖西が、Ni で土浦と湖西がいずれも高い結果であったが、地域的な傾向は見られなかった。Se については、神奈川県 の 4 地点と鴻巣で $1.0\text{ng}/\text{m}^3$ より高い濃度となった。

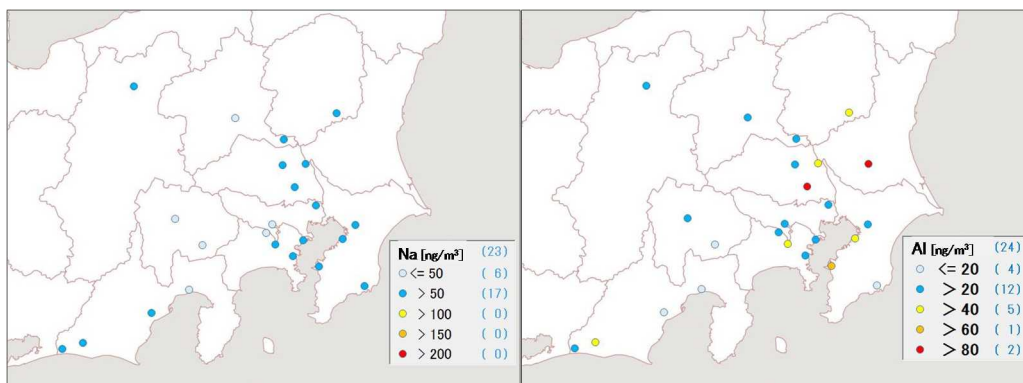


図 3-4-5-1 ナトリウムの平均濃度分布 図 3-4-5-2 アルミニウムの平均濃度分布

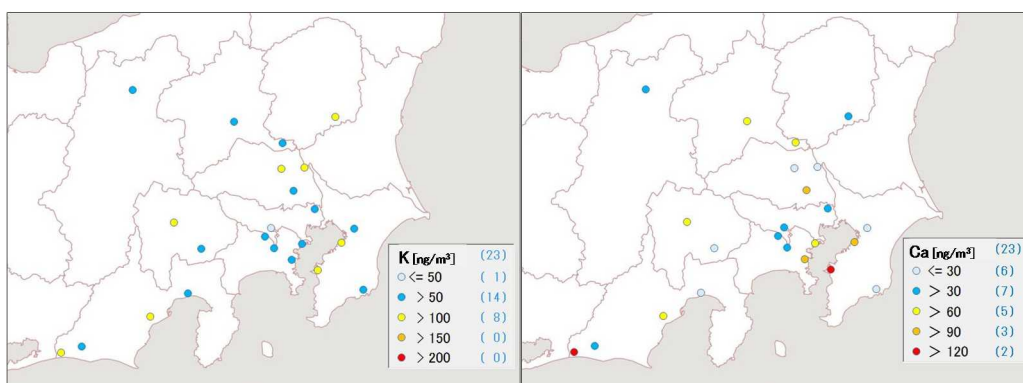


図 3-4-5-3 カリウムの平均濃度分布 図 3-4-5-4 カルシウムの平均濃度分布

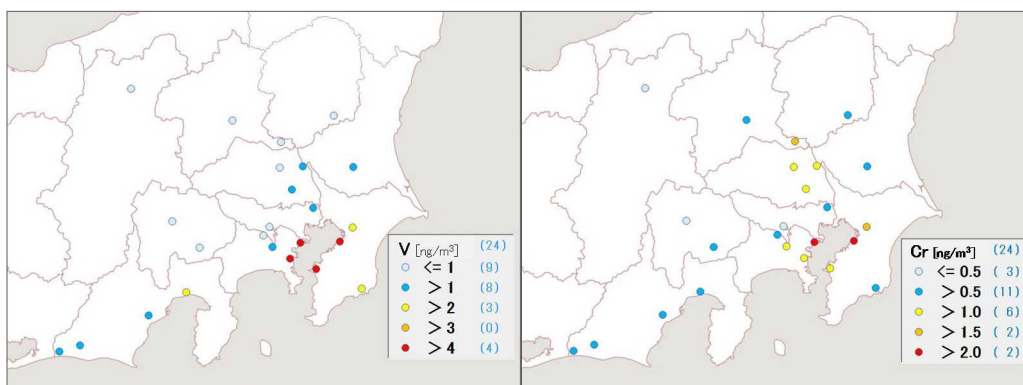


図 3-4-5-5 バナジウムの平均濃度分布 図 3-4-5-6 クロムの平均濃度分布

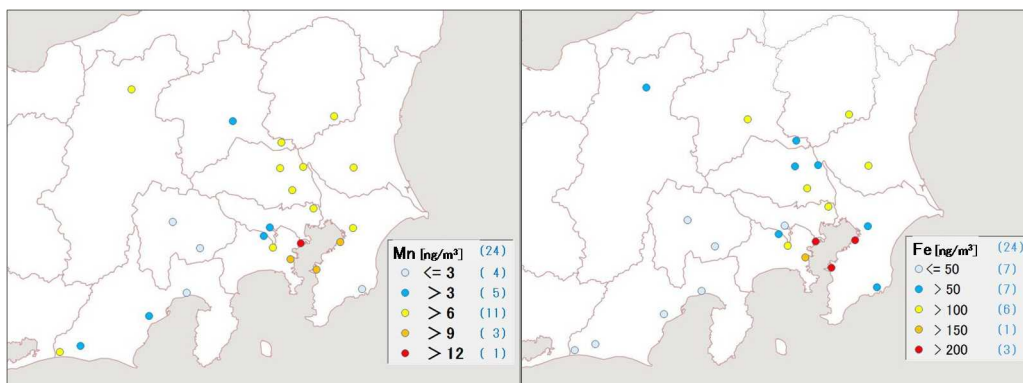


図 3-4-5-7 マンガンの平均濃度分布

図 3-4-5-8 鉄の平均濃度分布

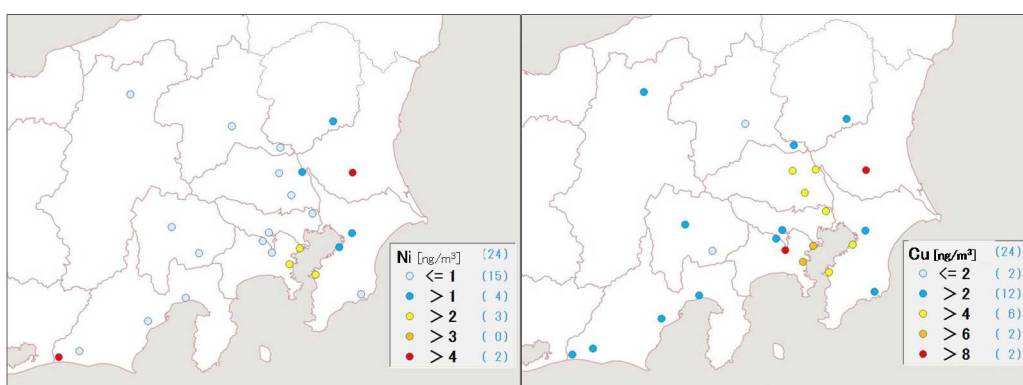


図 3-4-5-9 ニッケルの平均濃度分布

図 3-4-5-10 銅の平均濃度分布

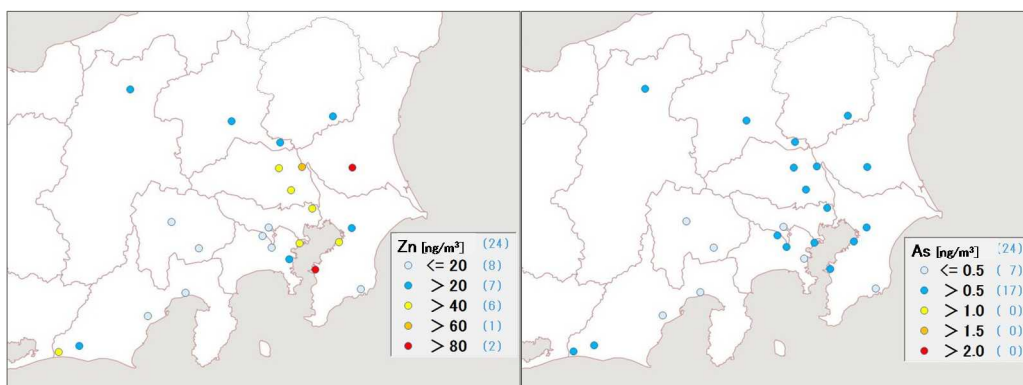


図 3-4-5-11 亜鉛の平均濃度分布

図 3-4-5-12 ヒ素の平均濃度分布

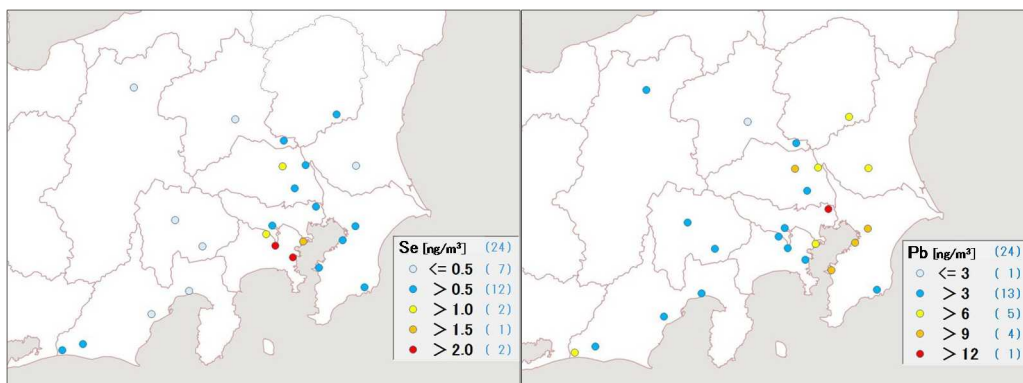


図 3-4-5-13 セレンの平均濃度分布

図 3-4-5-14 鉛の平均濃度分布

3.5 四季の比較

コア期間における各季節のPM_{2.5}平均濃度の全体的な傾向は、夏季＞春季＞冬季＞秋季であった。特に、夏季は、期間平均濃度が25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過した地点が24地点中13地点となっていた。一方、秋季は24地点中19地点が15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満となっていた。主要成分組成については、夏季は $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ が5～6割程度を占めている地点が多く、春季も夏季ほどではないが $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ が主体となっていた。一方、冬季は、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ が2～3割程度となり、夏季・春季に比べて割合は下がるが、 NH_4NO_3 の割合が他の季節に比べて大きく、2～3割程度を占めていた。また、秋季は、PM_{2.5}濃度が低いものの、OCの割合が他の季節より大きく、3～4割程度を占めていた。

SO_4^{2-} について四季を通してみると、東京湾岸から静岡県にかけての沿岸部で相対的に高い分布となる傾向であったが、前駆体である SO_2 の分布とは必ずしも同じ傾向ではなかった。このため、地域内での移流・生成、および広域的な移流が複合的に影響していることが考えられる。 NO_3^- については、濃度が低い春季・夏季を除いて秋季・冬季についてみると、神奈川県・東京都・埼玉県で相対的に高い傾向であり、前駆体である NO_x の分布とも概ね同じ傾向であった。このため、都市部における燃焼発生源が寄与し、地域内で生成したものによる影響が大きいと考えられる。 Cl^- についても、濃度が低い春季・夏季を除いて秋季・冬季についてみると、神奈川県・東京都・埼玉県・茨城県・栃木県といった平野部全般で高い傾向であった。

ECについては、神奈川県東部・東京都・千葉県・埼玉県・群馬県東部といった辺りで相対的に高い傾向であったが、冬季は中でも千葉県でより高くなっていた。これは、冬季に卓越する北寄りの風による移流が影響した可能性が考えられる。OCについては、春季から秋季は埼玉県・茨城県・栃木県・群馬県といった関東平野の内陸部で高い傾向であり、夏季は同様に内陸部である山梨県でも高い傾向であった。OCとOxの関係を比較すると、春季と夏季は、秋季と冬季に比べてOCとOxが相関する傾向がみられた。このため、春季と夏季は全般的に光化学二次生成による寄与が示唆される。一方、OCとNMHCの関係を比較すると、秋季と冬季は、春季と夏季に比べてOCとNMHCが弱いながらも相関する傾向がみられた。このため、光化学によらない二次有機粒子、あるいはNMHCとともに発生する一次有機粒子が影響している可能性が考えられる。ただし、秋季の鴻巣・館林・幸手・さいたまはOC濃度が非常に高いが、NMHCはさほど高くない（さいたまは未測定）ことから、他の地点よりも寄与が大きい一次粒子の発生源が存在していることが示唆される。これは、秋季のOCと K^+ の関係を考慮すると、植物質燃焼の寄与が大きかったことが推測される。

無機元素については特徴がみられたものを挙げると、Naは、沿岸部において、海風が卓越する春季・夏季に高い傾向がみられた。Alは、関東（1都6県）において春季に高かった。Vは、他の季節に比べて夏季に東京湾岸や静岡県の沿岸部の一部において高かったが、他の季節についても相対的な濃度分布としては同様であった。As・Pbは、全般的に秋季・冬季に比べて春季・夏季の方が高い傾向であった。Cuは、春季・夏季・冬季に大和において高く、各期間中に突出して高い濃度（8/1に290 ng/m^3 、1/25に200 ng/m^3 など）もみられた。

4 年間の PM2.5 高濃度発生状況

本章では、年間の PM2.5 高濃度発生状況を把握することを目的に、PM2.5 常時監視測定データ（日平均値）を用いて解析を行った。4.1 節では、各都県の高濃度日発生状況ならびに広域的高濃度事象について報告する。4.2 節～4.5 節では、4.1 節で把握された PM2.5 高濃度事象の中から各季節の代表的な事象を対象に、大気汚染常時監視項目データ（1 時間値）や成分調査期間に該当する場合には成分データを用いた解析結果について報告する。

4.1 常時監視データによる PM2.5 高濃度日出現状況の把握

4.1.1 解析方法

使用データは、平成 27 年 4 月 1 日～28 年 3 月 31 日の PM2.5 自動測定データから得られた日平均値（速報値）、解析対象地点は一般局 139 局である（測定局一覧は資料編に示す）。表 4-1-1-1 に都県別の測定局数および日平均値データ数、図 4-1-1-1 に測定局の位置を示す。

各測定局の欠測日の割合は、139 局中 133 局が 5%以下であり、6 局は 8～19%であったが全局で有効日数 250 日以上を満たしていた。高濃度日の定義は、日平均値の環境基準である $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた日とし、それぞれの発生頻度を集計した。

表 4-1-1-1 解析対象局数および
PM2.5 日平均値データ数（のべ日数）

都県	測定局数	データ数
茨城県	16	5660
栃木県	12	4391
群馬県	8	2928
埼玉県	32	11505
千葉県	20	7249
東京都	8	2871
神奈川県	15	5322
山梨県	4	1446
長野県	6	2135
静岡県	18	6453
合計	139	49960

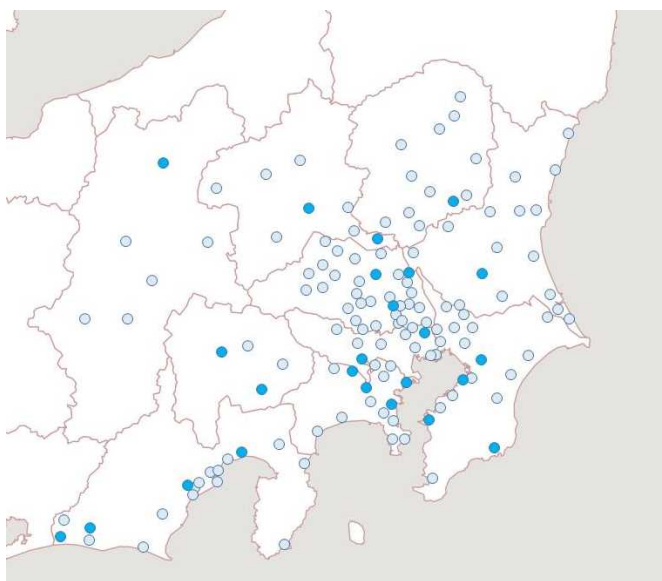


図 4-1-1-1 解析対象地点（色付は成分分析実施地点）

4.1.2 結果

(1) 高濃度日の発生状況

日平均値が $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過した高濃度日は、328 日（のべ日数）であり全測定データの 0.7%であった。この日数は前年度（990 日、2.4%、解析対象 116 局）に比べて少なかった。年間の高濃度日発生状況を見るため、都県別に日平均値 $>35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となった局数を集計した結果を表 4-1-2-1 に示す。また都県別の日平均値の最大値の推移を図 4-1-2-1 に、全測定局

63



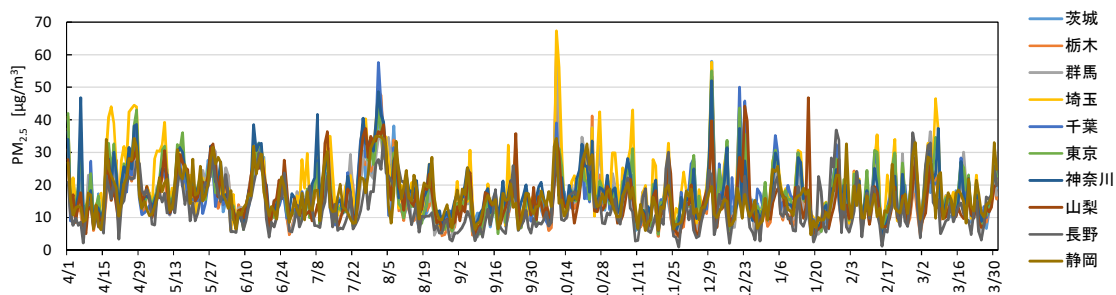


図 4-1-2-1 都県別の PM2.5 日平均値の最大値の推移

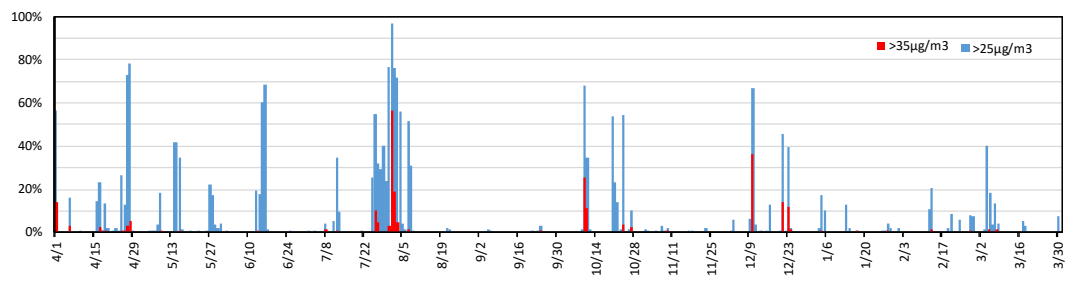


図 4-1-2-2 PM2.5 日平均値が $>35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ または $>25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となった地点数の割合(全都県)

数に対する $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過局数の割合を図 4-1-2-2 に示す。なお、図 4-1-2-2 には参考として $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過した局数の割合も示す。

表 4-1-2-1 から、27 年度は 4 月、7～8 月、10 月、12 月に関東地域を中心に 1 日～数日間 にわたる比較的規模の大きい高濃度事象が発生していた（表中の⇔）。図 4-1-2-1 に示す とおり日平均値の最大値は $67.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （2015/10/10、埼玉県幸手局）であり、 $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過 した日はなかった。主な高濃度事象の具体的な発生期間と発生地域を表 4-1-2-2 にまとめた。 高濃度の発生範囲は関東地域内が多く、いくつかの事例で山梨県まで拡大していた。図 4-1-2-2 と合わせて見ると、4 月 25～28 日や 7 月 26 日～8 月 3 日の事例など、日環境基準 は超えないまでも $>25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の比較的高い濃度となった測定局が多く存在していた。いずれ も広域的に濃度が高くなり、その中の一部で $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えたという状況であったと推察 される。

表 4-1-2-2 主な PM2.5 高濃度事象

期間	発生範囲	詳細解析
2015/4/1	南関東を中心に 5 都県	4.2 節
4/25～28	南関東を中心に 5 都県	
7/26～8/3 ※	関東+山梨県	4.3 節
10/10～11	北関東+埼玉県、千葉県	4.4 節
10/24 ※	栃木県、群馬県、埼玉県	
12/10	関東+山梨県	4.5 節
12/21～23	南関東および茨城県	

※ 成分分析期間中に発生した高濃度事象。

(2) 都県別の高濃度日発生率

自治体によって解析対象とする測定局数に偏りがあるため、都県別に高濃度発生率（ $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過データ数／全データ数）で高濃度日の発生状況を比較した。都県別の年間の発生率を図 4-1-2-3 に、月別に集計した高濃度発生率を図 4-1-2-4 に示す。

図 4-1-2-3 から、高濃度日発生率で最も高かったのは東京都（1.1%）で、次いで埼玉県（0.9%）であった。静岡県では高濃度日に該当する日はなく 0%、長野県でも該当日数は少なく発生率は低い値であった。前年度の同様の集計結果では 0.8～4.1%の範囲であったので、それと比較すると 27 年度は全体的に低い発生率であったと言える。また、図 4-1-2-4 から月別の高濃度日発生率は、いずれの都県においても 4 月、8 月、10 月、12 月に分散しており、明瞭な季節傾向は見られなかった。25～27 年度の結果を比較すると、図 4-1-2-5 に示すように、25 年度は 7、8 月と 2 月、26 年度は 6 月に突出して高く、季節によって違いが見られていた。25、26 年度とも多数の地点で日環境基準を超える大規模な高濃度事象が発生したため、その月の発生率が高くなったが、27 年度はそこまで規模の大きい事象は発生しなかったため、全体的に低い値で明確な季節傾向は見られなかったと考えられる。

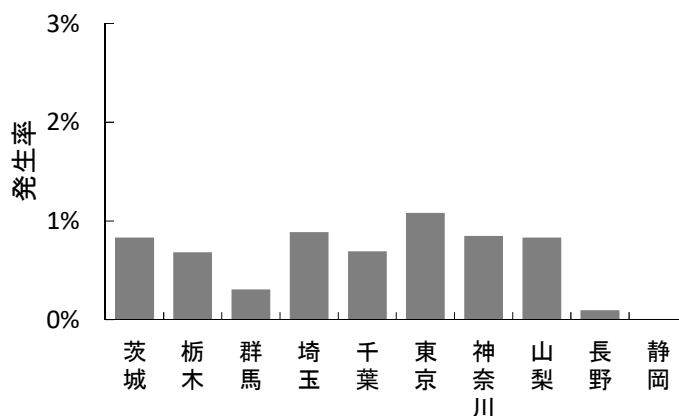


図 4-1-2-3 都県別の PM2.5 高濃度日発生率(日平均値 $>35\mu\text{g}/\text{m}^3$)

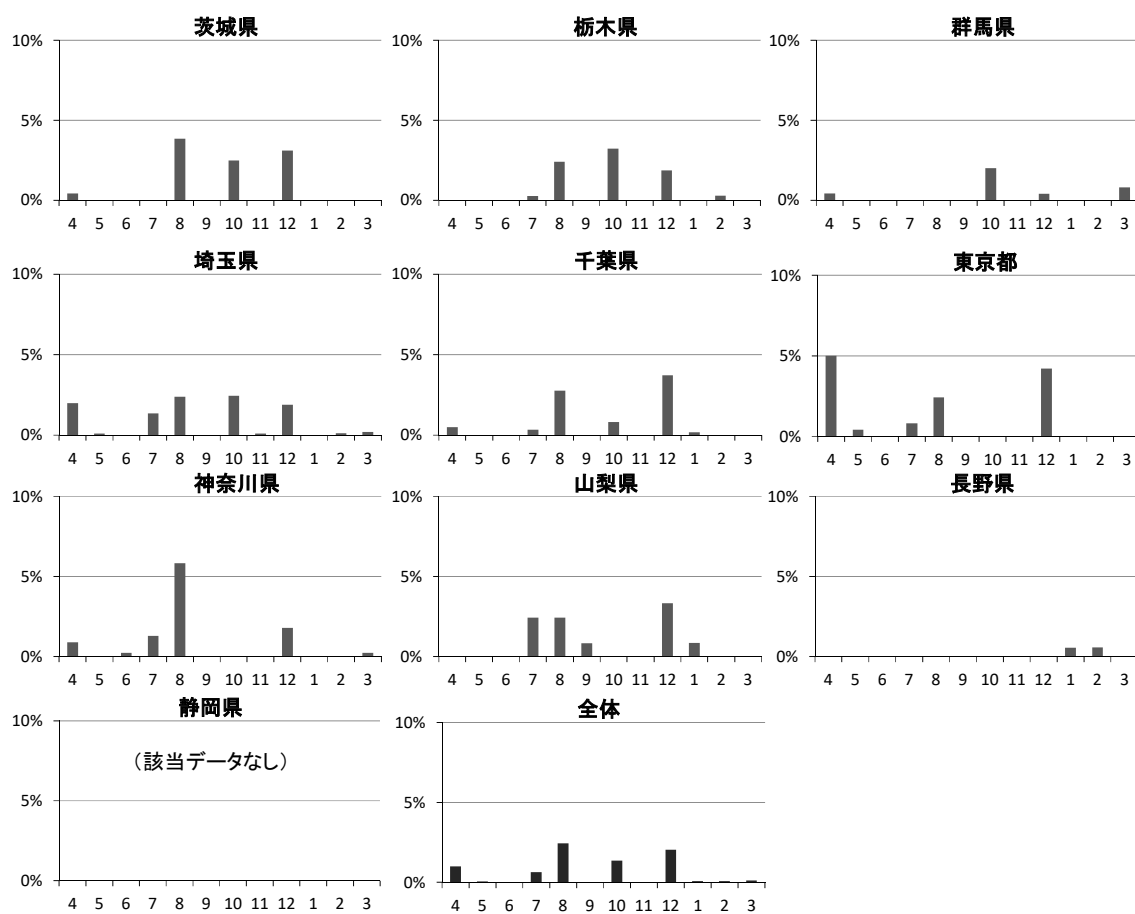


図 4-1-2-4 月別の PM2.5 高濃度日発生率(日平均値 $>35\mu\text{g}/\text{m}^3$)

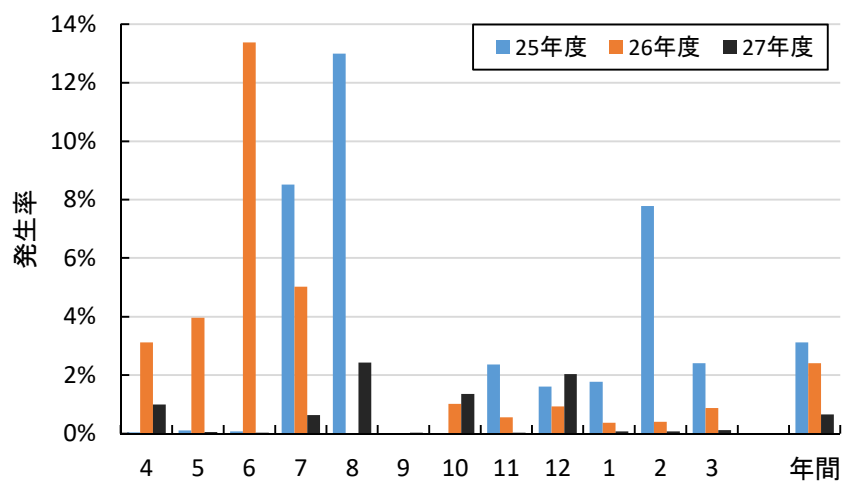


図 4-1-2-5 25～27 年度の月別 PM2.5 高濃度日発生率

4.2 PM2.5 高濃度事象の詳細解析（春季）

4.2.1 解析方法

解析対象は表 4-1-2-2 に示した主な PM2.5 高濃度事象のうち季節的な特徴を考慮して春季（4 月 1 日前後）、夏季（7 月 26 日及び 8 月 1 日前後）、秋季（10 月 10 日前後）、冬季（12 月 10 日前後）とした。解析対象地点は図 4-1-1-1 に示したとおりである。解析には大気汚染常時監視項目（PM2.5、NOx、SO₂、Ox、NMHC、風向、風速、温度、湿度）の 1 時間値を使用した。

PM2.5 の環境基準の評価では日平均値（常時監視データ）は 0 時を起点にした 24 時間平均値が用いられるが、成分分析では 10 時を起点とした 24 時間で評価する地点が多く、同日でも PM2.5 質量濃度は異なる場合がある。また、PM2.5 の 1 時間値の精度は保証されておらず、今回の解析では経時変化等を把握するうえでの参考として使用した。

高濃度の発生時刻や期間中の濃度変化を把握するために、調査地点を東京湾沿岸部や太平洋沿岸部、甲信地方等の 5 区域に分け、事象別に PM2.5 の質量濃度の推移を解析した。

各地点は常時監視測定項目や成分分析実施の有無、地理的分布を踏まえて選定した。選定地点と区域を図 4-2-1-1 及び表 4-2-1-1 に示す。

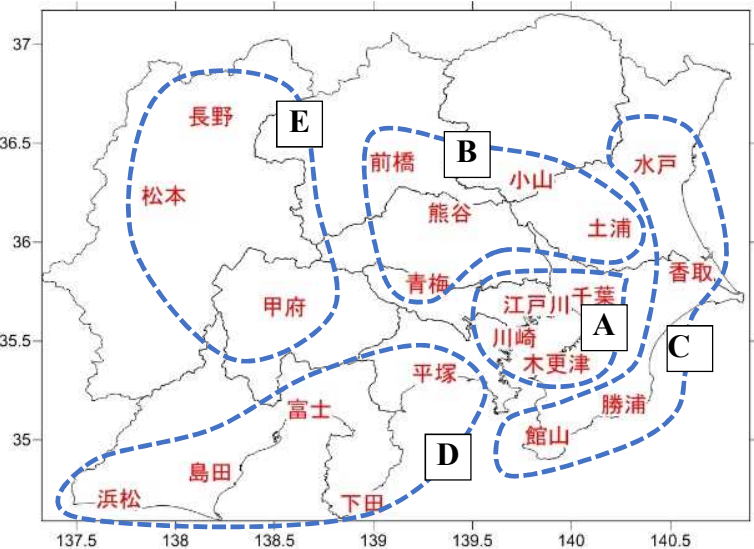


図 4-2-1-1 区域及び選定地

表 4-2-1-1 5 区域と選定地点

区域	名 称（測定局名）	区域	名 称（測定局名）
A 東京湾 沿岸部	木更津(木更津中央)	D 太平洋 沿岸部②	平塚(旭小学校)
	千葉(千城台北小学校)		下田(下田市役所)
	江戸川(江戸川区南葛西)		富士(救急医療センター)
	川崎(国設川崎)		島田(島田市役所)
B 関東平野 中央及び 内陸部	前橋(衛生環境研究所)	E 甲信部	浜松(浜松中央測定局)
	小山(小山市役所)		長野(環境保全研究所)
	土浦(土浦保健所)		松本(松本)
	熊谷(熊谷)		甲府(甲府富士見)
C 太平洋 沿岸部①	青梅(青梅市東青梅)		
	水戸(水戸石川)		
	香取(香取羽根川)		
	勝浦(勝浦小羽戸)		
	館山(館山亀ヶ原)		

4.2.2 高濃度の発生状況（日平均値 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超を高濃度とする）

事象別にPM2.5質量濃度（日平均値）の分布状況を示す。

春季高濃度事象（図4-2-2-1）について、3月31日はほぼ全域で $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超え $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であったが、4月1日は主に埼玉県東部、東京都東部地域で $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える高濃度が発生した。4月2日には静岡県内の1地点を除き $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下と濃度が大きく低下した。

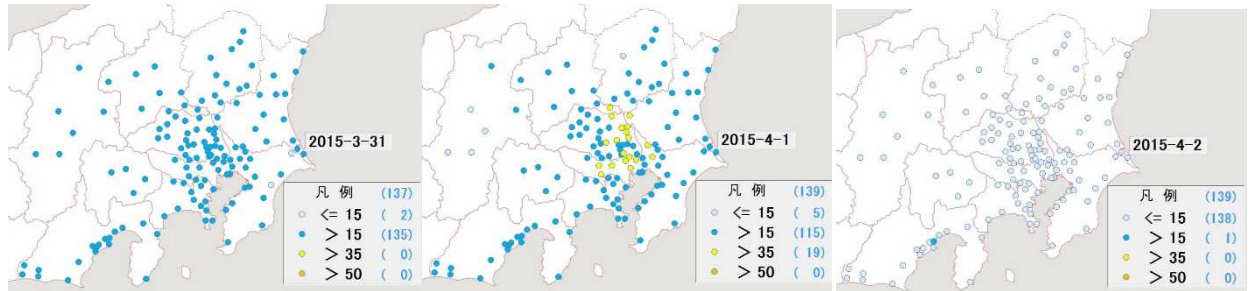


図4-2-2-1 PM2.5質量濃度分布（単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）

4.2.3 高濃度の発生時刻や濃度変化の把握

高濃度は主に3月30日から4月1日にかけて発生した（図4-2-3-1）。

30日は、A区域（東京湾沿岸部）が午前中に濃度が上昇し午後に低下するパターンであった。B区域（関東平野中央及び内陸部）は熊谷で濃度が上昇していたが他地点で上昇はみられず、C区域（太平洋沿岸部①）は水戸が午後に濃度が急上昇していたが、他地点は上昇していなかった。D区域（太平洋沿岸部②）とE区域（甲信部）では午後と夜間に濃度が上昇していたが、甲府は逆に夜間に濃度が低下していた。

31日はA区域の江戸川と川崎、B区域の土浦、C区域の水戸、E区域の各地点で午前中に濃度が上昇した。D区域では島田の濃度が高く18時に $46\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

4月1日は全区域で高濃度となったが、区域によって濃度の上昇する時間帯が異なっていた。A区域は午前中と夜間に濃度が上昇し、B区域は夜間に上昇し、C区域では午後に上昇した。D区域では深夜に上昇し、下田では $72\mu\text{g}/\text{m}^3$ と急上昇した。E区域では長野と甲府で午後に濃度が上昇したが、松本はその時間帯は低下していた。全区域ともに1日の夜間から深夜にかけて急激に濃度が低下するパターンであった。

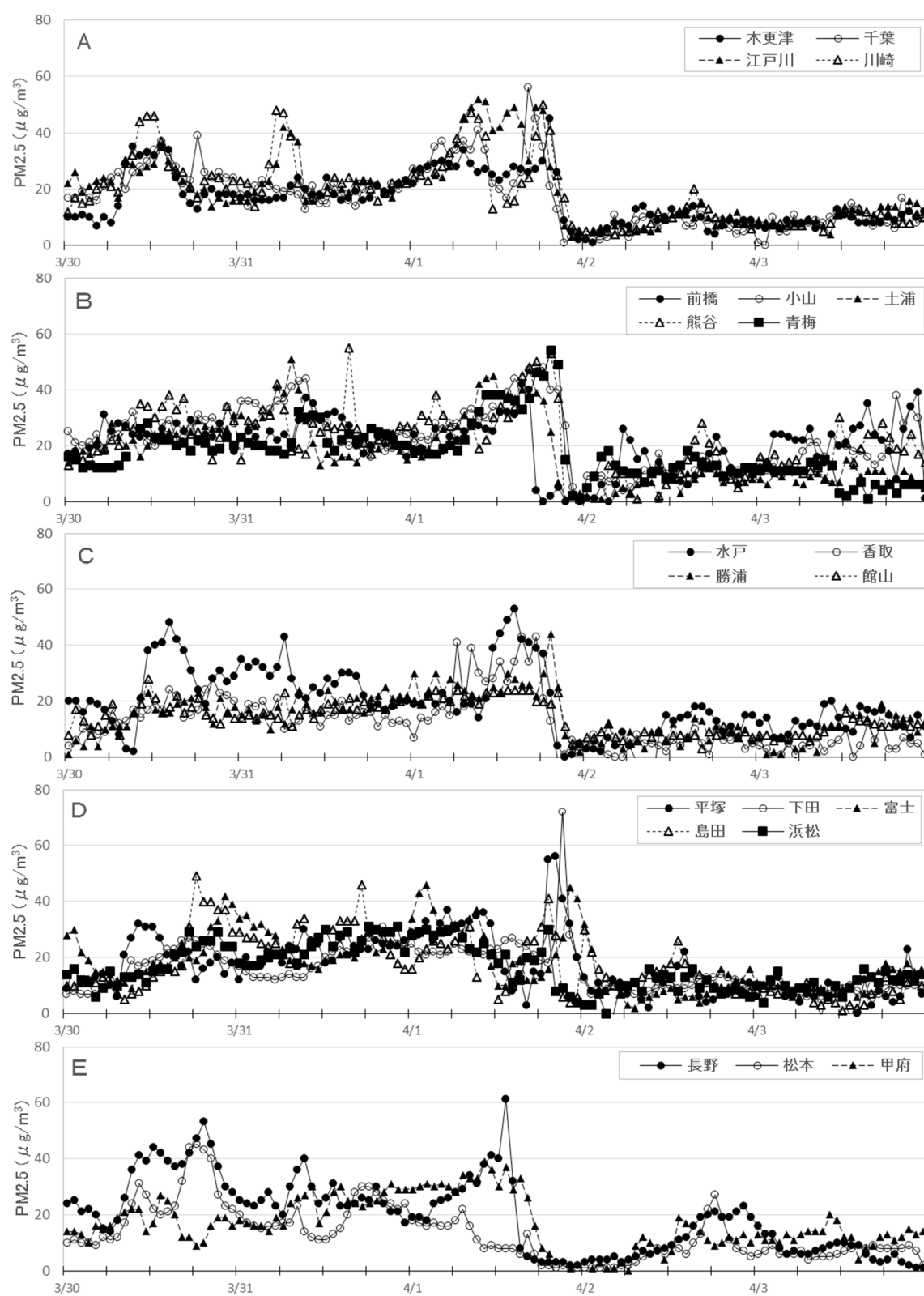


図 4-2-3-1 PM2.5 質量濃度の推移

4.2.4 気象を含めた詳細解析

(1) 気象概要

3月31日は本州では高気圧に広く覆われ、晴れて最高気温が高くなった。4月1日は本州を寒冷前線が南下し、ほぼ全国的に雨。最高気温は概ね前日より低下した。2日は移動性高気圧に広く覆われ、晴れて日中は気温が上昇した。天気図を図4-2-4-1に示す。

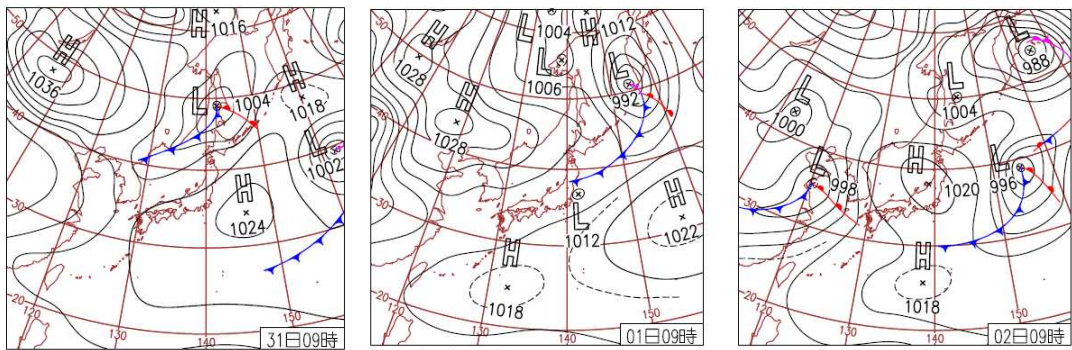


図 4-2-4-1 天気図（気象庁 <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/>）

(2) PM2.5 や関連物質の挙動

図 4-2-2-1 において、多くの地点で高濃度がみられた 4 月 1 日を中心に検討した。

31 日 24 時は東京湾からやや強い南西の風が吹いており、PM2.5 濃度は概ね $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であった。NOx 濃度は埼玉県、東京都の一部地点及び富士で 40ppb を超過していた（図 4-2-4-2①左）。

1 日の 6 時は関東平野で弱い北系の風となり、主に関東平野中央部（茨城県南西部、栃木県南部、埼玉県東部）及び南部（東京都東部、千葉県西部、神奈川県東部）で PM2.5、NOx 及び NMHC 濃度が上昇した（図 4-2-4-2①右）。なお、相対湿度を観測している 27%の地点が 90%以上の高湿度であった。

12 時は駿河湾、東京湾からやや強い南西の風が吹き込んでいたが、関東平野北部（茨城県北部、栃木県北部）では北東の弱い風が吹き、関東平野中央部に風の収束線がみられ、PM2.5 の高濃度域が関東平野中央部から北部に出現した。また、NOx、NMHC の高濃度域も概ね東京湾北部沿岸部から内陸部に集中し、東京湾北部沿岸部で NOx 濃度が 100ppb を超過する地点もみられた。なお、SO₂ 濃度が 8ppb を超過する地点が長野県、茨城県南東部及び千葉県の内房にみられた（図 4-2-4-2②左）。

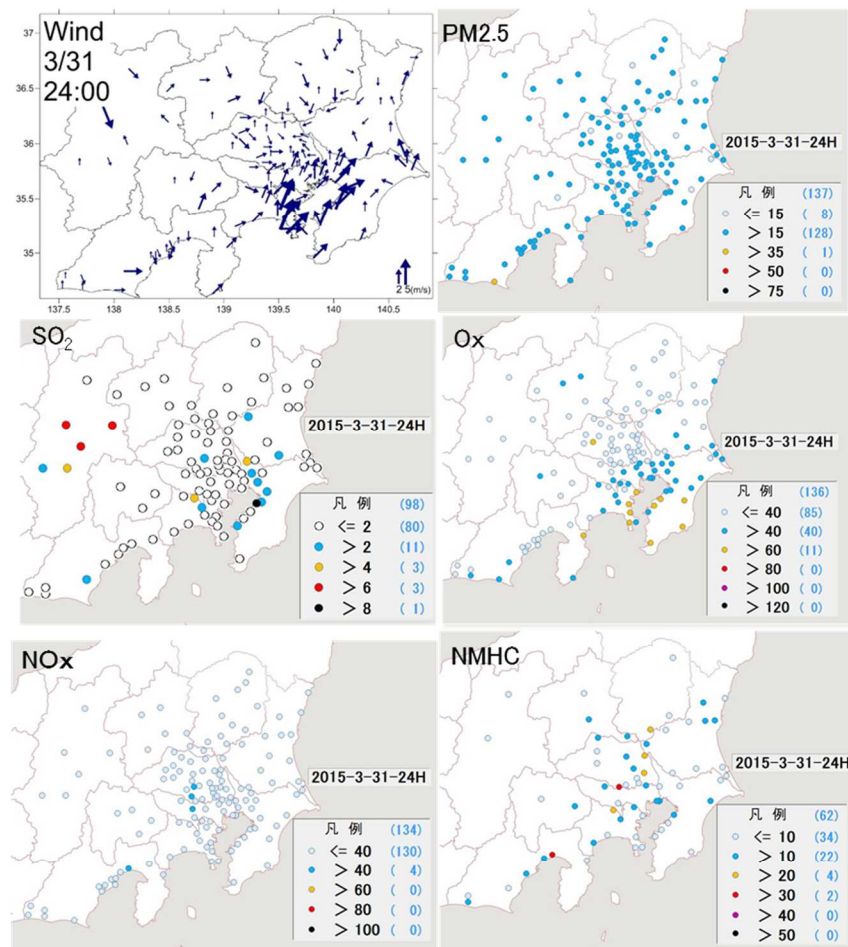
15 時は駿河湾、東京湾からの南西の風と鹿島灘からの北東の風が吹いており、12 時と同様に風の収束線付近である関東平野中央部から北部で PM2.5 が高濃度となり、NOx、NMHC は東京湾北部沿岸部で高濃度となっていた。Ox 濃度は関東平野北部、群馬県及び山梨県で 60ppb を超過する地点がみられた。また、SO₂ 濃度が 8ppb を超過する地点が佐久（長野県）、千葉県の内房、北東部及び茨城県南東部にみられた（図 4-2-4-2②右）。

18 時は駿河湾からの南西の風と鹿島灘からの北東の風であり、12 時、15 時と同様に PM2.5 は関東平野中央部に高濃度域があり、神奈川県北部では NOx 濃度が 40ppb を超

過し、NMHC 濃度が 0.3ppmC を超過していた。Ox 濃度は主に関東平野中央部で 60ppb を超過する地点がみられた。SO₂ 濃度は低下傾向にあり 8ppb を超過する地点はなかった（図 4-2-4-2③左）。

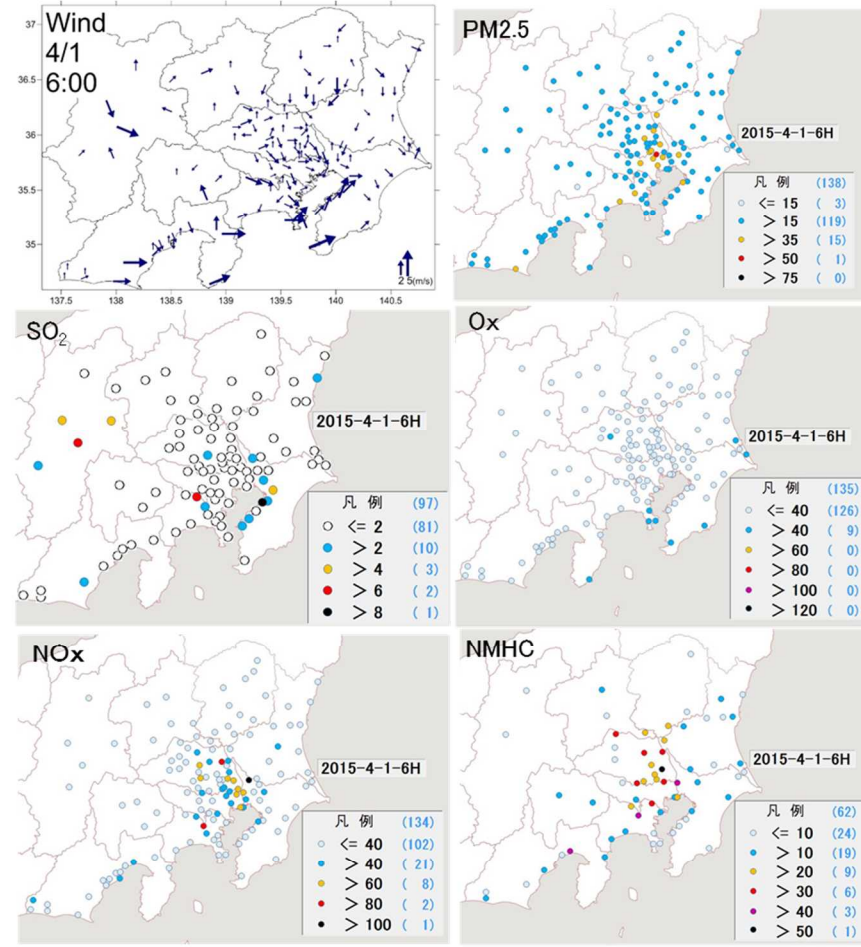
21 時は鹿島灘からの北東の風が卓越し、PM2.5 が 50μg/m³ を超過する高濃度域は関東平野を南下しており、降雨の影響もあって NOx 濃度は全地点が 40ppb 以下となり、NMHC 濃度も低下して概ね 0.2ppmC 以下となった。Ox 濃度も低下し、60ppb を超過したのは、主に神奈川県東部及び千葉県の内房であった（図 4-2-4-2③右）。

さらに、図 4-2-4-3 に示す東京タワーの高度別気温¹⁾ をみると、1 日の午後から大気が安定し、高度 103m 付近では気温の逆転も観測された。この時間帯の東京湾北部沿岸部及びその周辺部で NOx 及び NMHC 濃度が高くなっており、また、Ox 濃度が 60ppb を超過する地点が関東平野中央部から北部にみられた。このとき、駿河湾及び東京湾からの南西風と鹿島灘からの北東風により関東平野中央部に収束域がみられており、地域内で発生した PM2.5 やその原因物質が関東平野中央部を中心に蓄積し、さらに逆転層の形成も確認されたことから、PM2.5 等がこの地域に滞留したと考えられた。



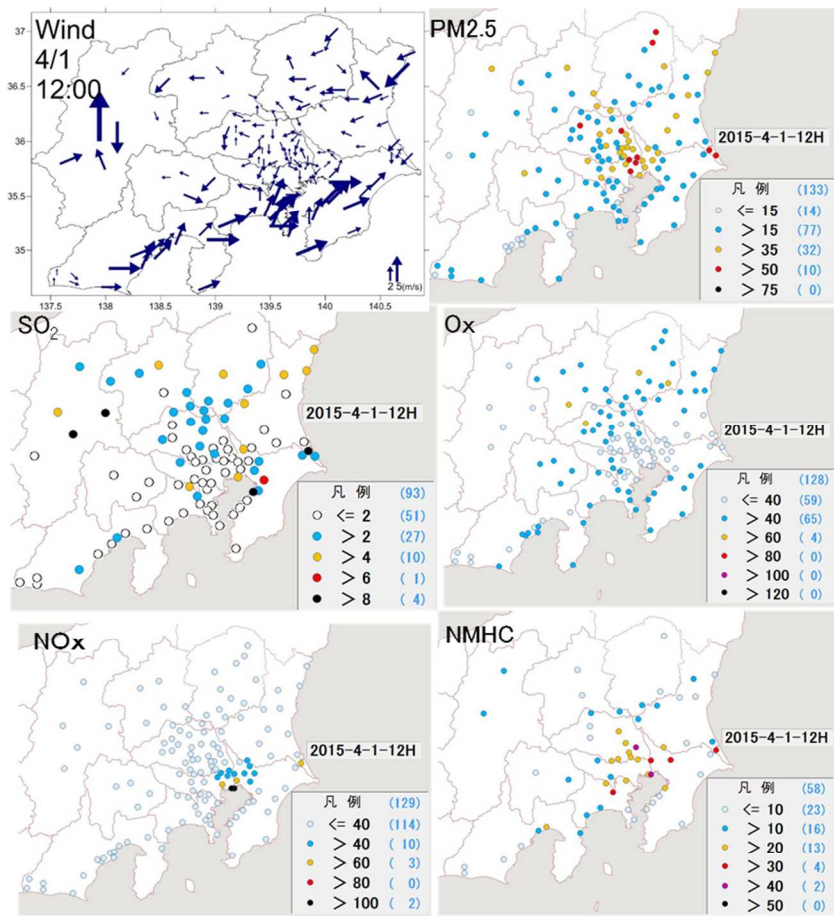
【3月31日 24:00】

図4-2-4-2① PM2.5質量濃度等の分布状況①



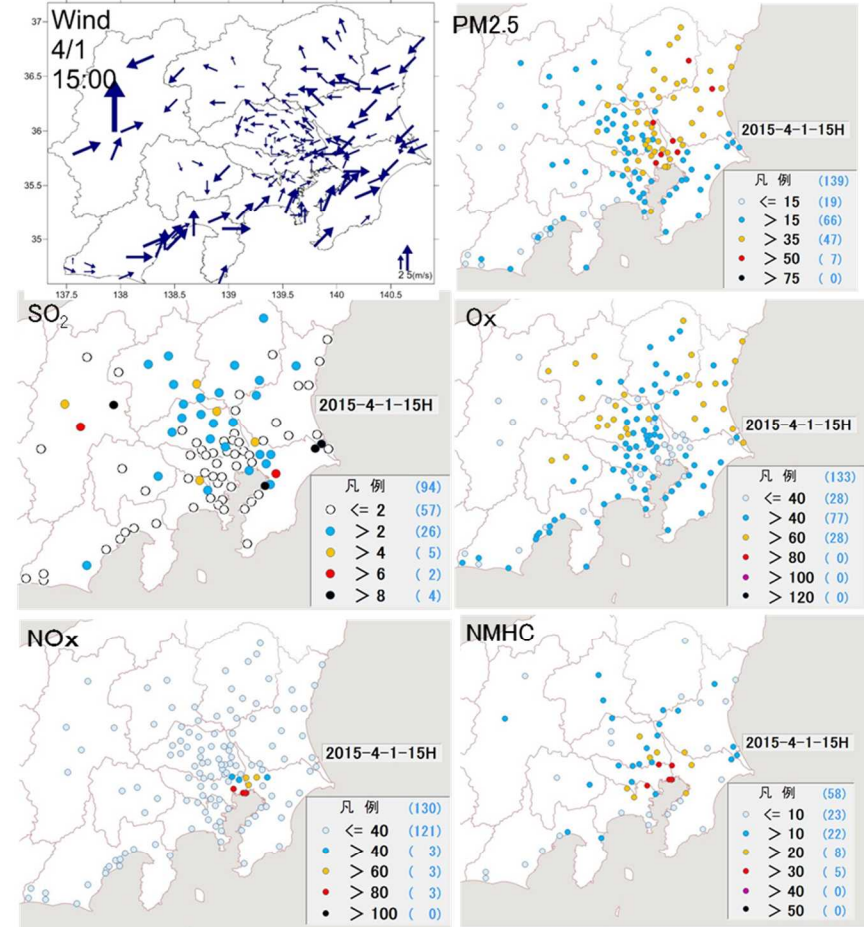
【4月1日 6:00】

(単位 PM2.5: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、NMHC: 0.01ppmC、その他: ppb)



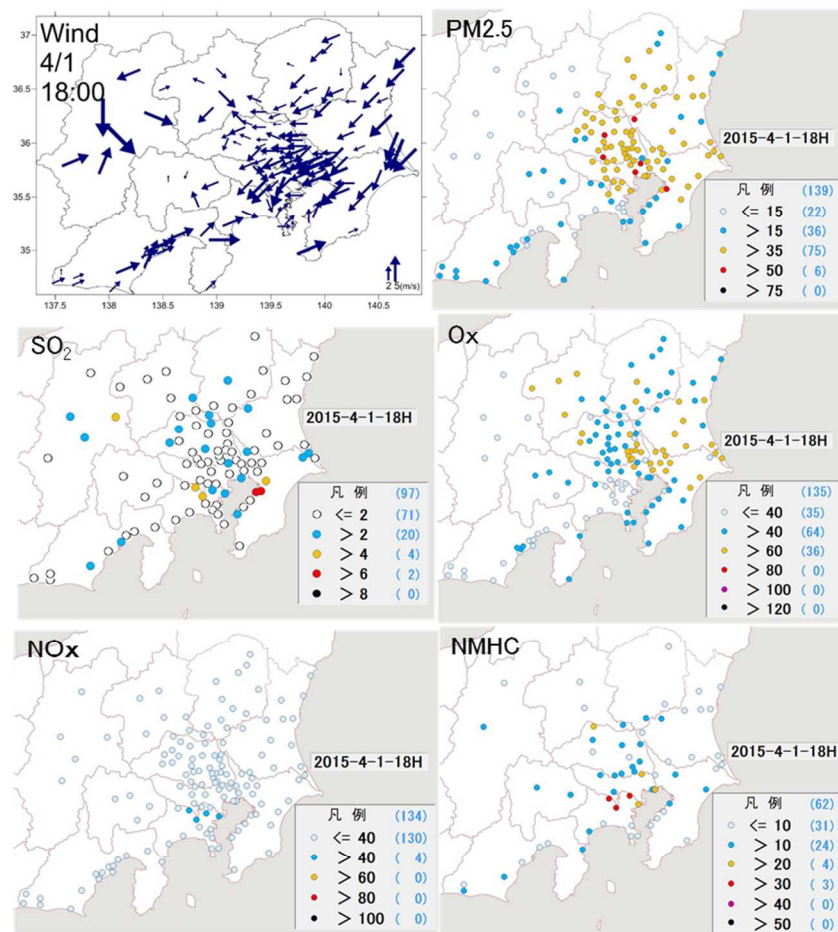
【4月1日 12:00】

図4-2-4-2② PM2.5質量濃度等の分布状況②



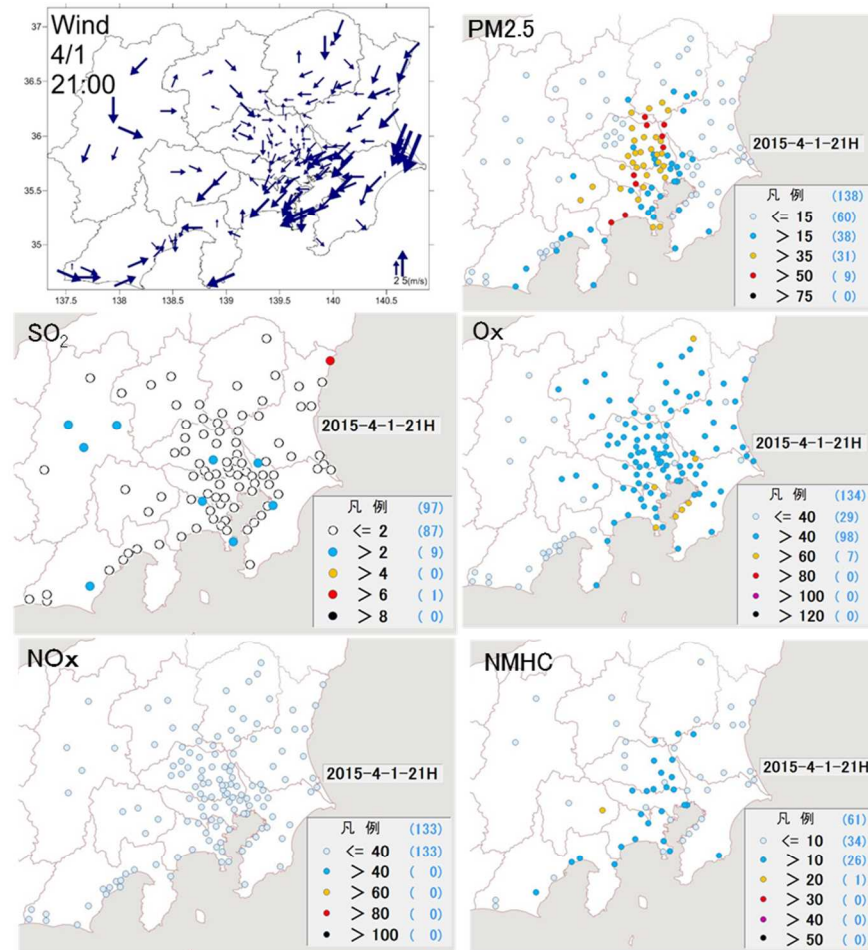
【4月1日 15:00】

(単位 PM2.5: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、NMHC: 0.01ppmC、その他: ppb)



【4月1日 18:00】

図4-2-4-2③ PM2.5質量濃度等の分布状況③



【4月1日 21:00】

(単位 PM2.5: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、NMHC: 0.01ppmC、その他: ppb)

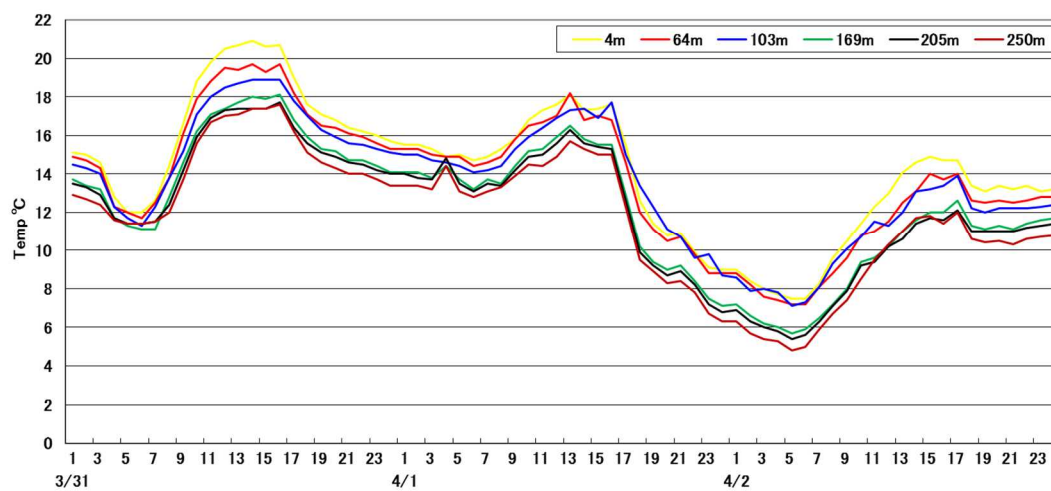


図 4-2-4-3 東京タワーの高度別気温

参考文献

- 1) 東京都環境局 大気汚染測定結果（月報データ）

https://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/air_pollution/result_measurement.html

4.3 PM2.5 高濃度事象の詳細解析(夏季)

4.3.1 高濃度の発生状況 (日平均値 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超を高濃度日とする)

夏季に複数の地点で高濃度日が発生したのは7月26、27日と7月31日～8月3日にかけてであった(表4-1-2-1)。このうち7月26、27日の事例をS1、7月31日～8月3日の事例をS2とする。

事例S1についてみると、7月26日に主に神奈川県東部と埼玉県南東部を中心とした地域で高濃度が発生し、翌27日は埼玉県西部で高濃度が発生した。また山梨県大月では両日とも高濃度となった(図4-3-1-1)。

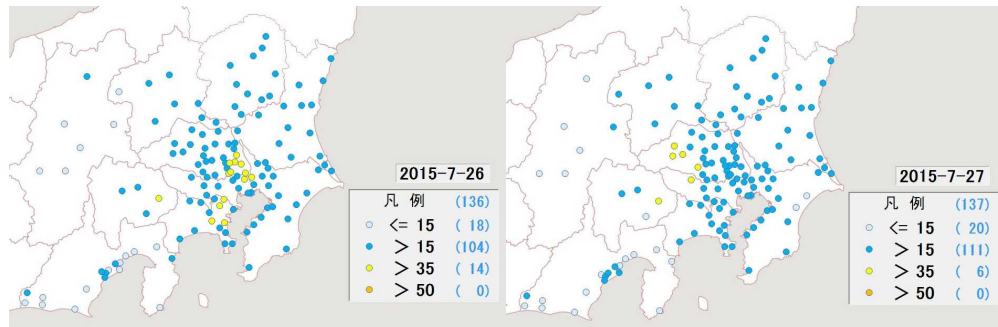


図4-3-1-1 PM2.5 質量濃度分布(S1) (単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

事例S2についてみると、7月31日に高濃度となったのは4地点であったが、翌8月1日には関東平野の広い範囲で高濃度が発生した。千葉県松戸では日平均値 $57.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ の高濃度を記録した。翌2日になると高濃度の発生地域は減少し、茨城、栃木の一部や神奈川県南部の相模湾沿いに発生した。8月3日にはさらに高濃度の発生地域は減少し、主に関東平野南部に発生した(図4-3-1-2)。

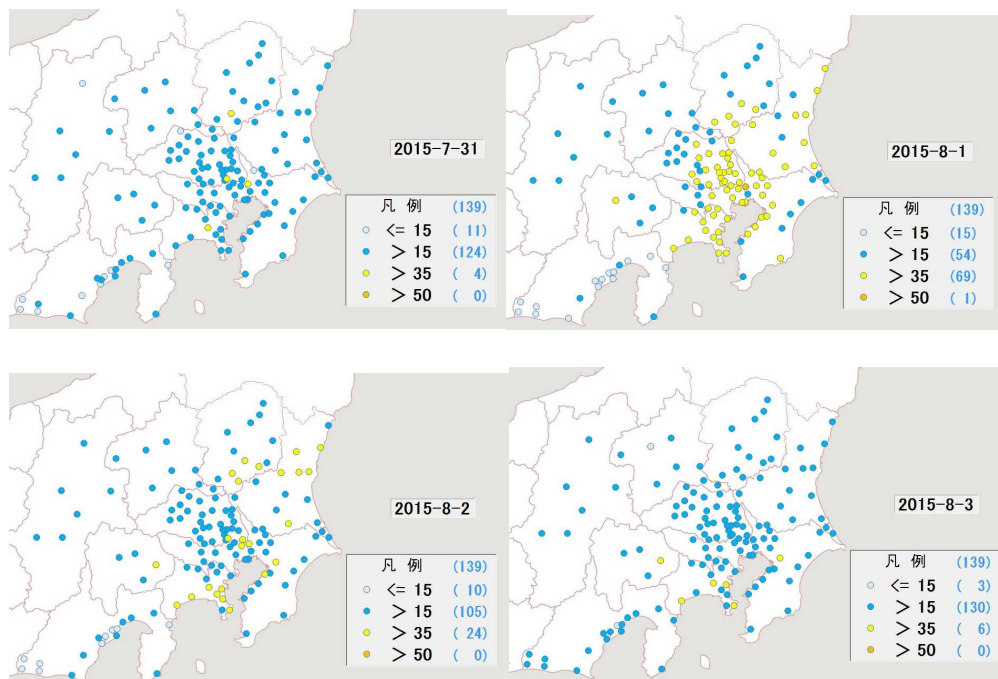


図4-3-1-2 PM2.5 質量濃度分布(S2) (単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

4.3.2 高濃度の発生時刻や濃度変化の把握

事例 S1 についてみると、7 月 26 日は主に A、B、C 区域で日中の PM2.5 質量濃度の上昇が見られた(図 4-3-2-1)。A 区域では正午頃に $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える濃度となり、夜間になっても濃度は $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度までしか低下しなかった。翌 27 日にも日中の濃度上昇が見られたが、夜間の濃度が低下しており、日平均値としては高濃度日とはならなかった。D、E 区域も日中は濃度が上昇する傾向を示したものの他区域ほどは濃度が上がらず、また夜間には濃度が低下したことから日平均値としては高濃度日とはならなかった。

事例 S2 については、7 月 31 日の午前中に濃度が上昇し正午頃にピークとなったのち、濃度が低下するものの、多くの地点では夜間も $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度までしか下がらず、翌 1 日には再び濃度が上昇した。このように夜間に濃度が十分低下しないまま、翌日の日中に濃度が上昇することによって、連続して高濃度日が発生したと考えられた。

A 区域ではどの地点もこの傾向がみられた。B 区域は 8 月 2 日の午後に急激な濃度低下がみられたが、前橋や小山では雷雨や降雨が観測されており、地域的な気象の影響を受けたものと考えられた。C 区域では水戸で日中の濃度が上昇していた。日平均値の分布図でも 8 月 1、2 日は水戸付近の地点で濃度が高いことが確認できた(図 4-3-1-2)。これは C 区域のうち、8 月 1 日の夜間に南風によって関東北部(栃木、茨城)に PM2.5 が移動し濃度が高まったこと(後述の図 4-3-3-5 左)、千葉の太平洋側では強い海風の進入によって光化学オキシダントや PM2.5 濃度が低下したが、茨城の太平洋側ではこうした状況が起らなかったこと(後述の図 4-3-3-5 右)などが影響したと考えられた。E 区域は日中の濃度上昇がみられるものの、A～C 区域ほどは上昇せず、また夜間に濃度が低下したことから日平均値としては高濃度日とはならなかった。

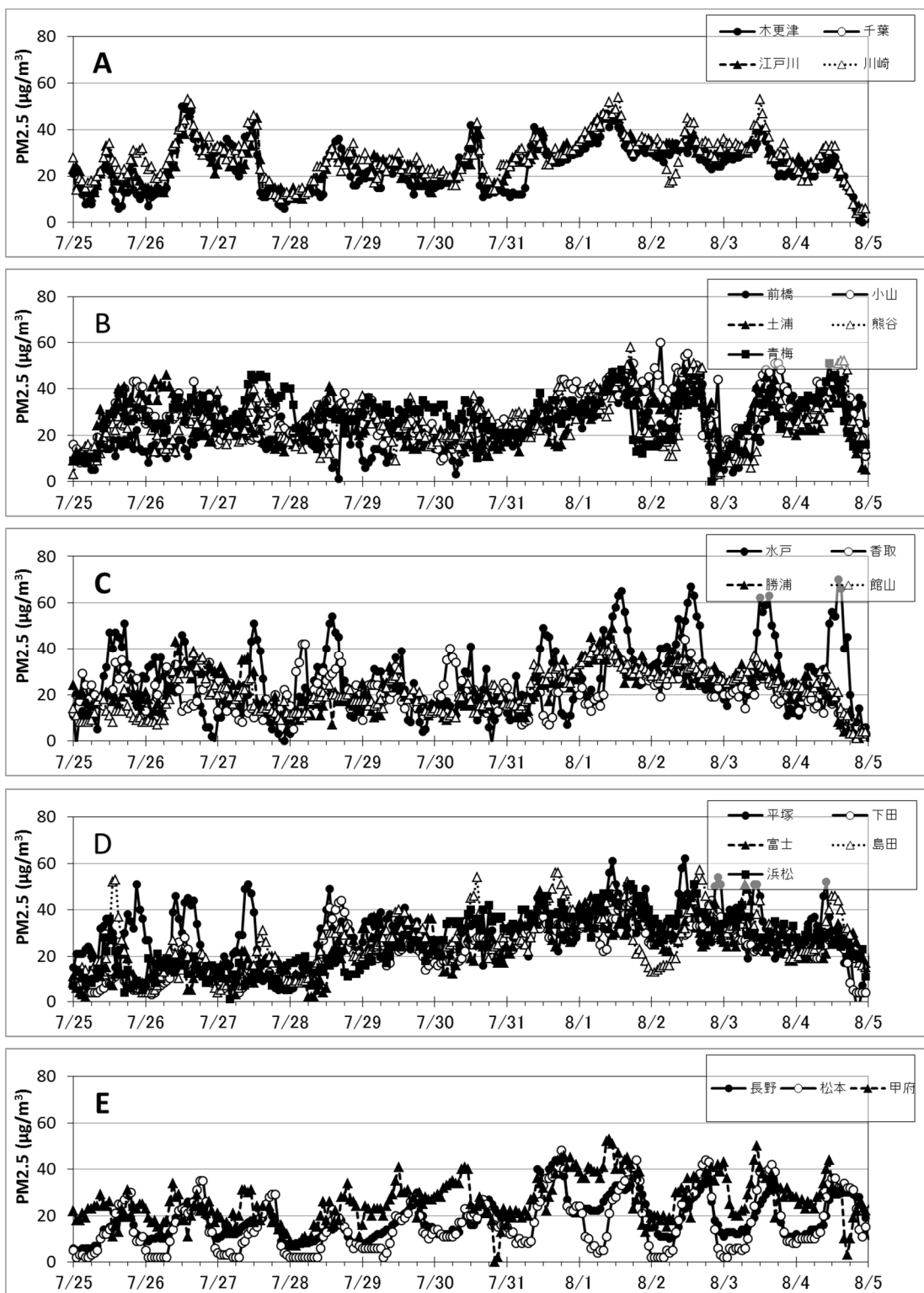


図 4-3-2-1 PM2.5 質量濃度の推移

4.3.3 気象を含めた詳細解析

(1) 気象概要

事例 S1 の発生期間において、7 月 26 日は長崎県に台風 12 号が上陸(のち熱帯低気圧に変化)したものの、全国 129 地点*で猛暑日となった。東京では今年初めての猛暑日となった。翌 27 日も東日本は晴れて、群馬県館林では 38.7℃を記録するなど関東甲信では 40 地点*で猛暑日となった。天気図を図 4-3-3-1 に示す。

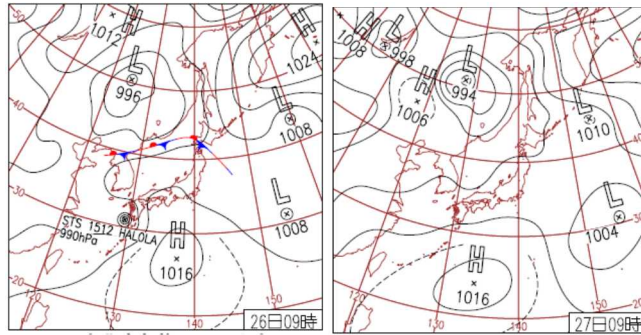


図 4-3-3-1 天気図（気象庁 <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/>）

事例 S2 の発生期間において、7 月 31 日は西日本から東日本にかけて 157 地点で猛暑日となった。翌 8 月 1 日も東日本の内陸部を中心に気温が上昇し、全国 223 地点*で猛暑日となり、群馬県館林では気温 39.4℃を記録した。2 日も引き続き気温が上昇し、全国 179 地点*で猛暑日となった。3 日も高気圧に覆われたことから西日本から東日本にかけて気温が上昇し、全国 132 地点*で猛暑日となった。天気図を図 4-3-3-2 に示す。

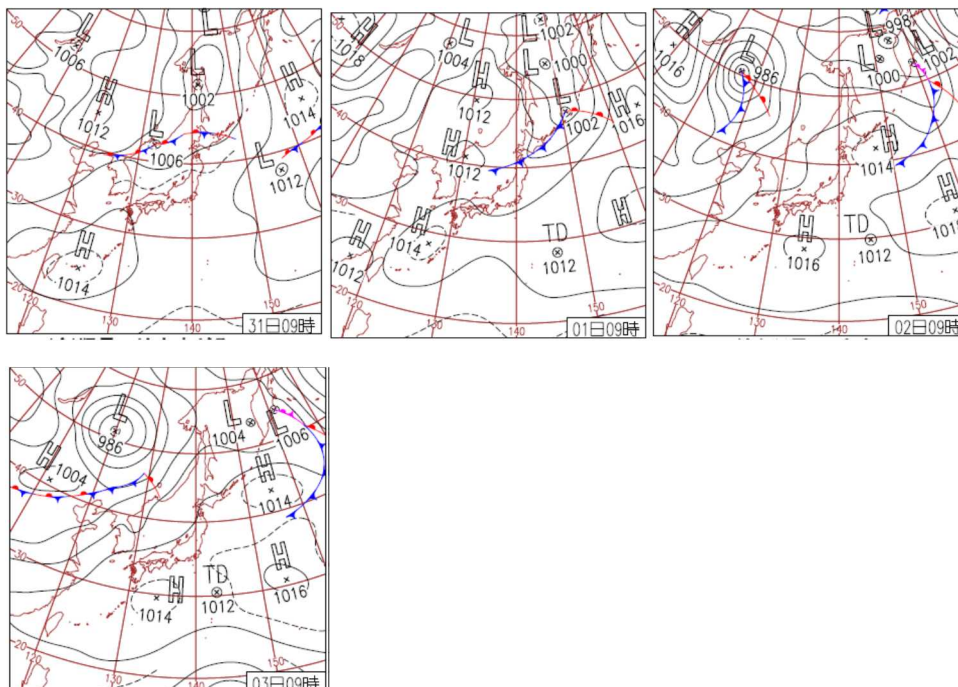


図 4-3-3-2 天気図（気象庁 <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/>）

*地点数は気象庁気象観測所における気温の測定地点

(2) PM2.5 や関連物質の挙動

事例 S1、2 の発生期間を含む夏季の PM2.5 成分分析から、主要成分は SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 、OC であることが確認された(3.2「夏季解析」及び後述の 4.3.3(3)「成分分析結果」を参照)。ここでは PM2.5 質量濃度のほかに主要成分の前駆物質である SO_2 や NMHC と、これら前駆物質からの二次粒子の形成に影響を及ぼす光化学オキシダントを中心に解析した。

①事例 S1

7 月 26 日は関東平野内の各地で気温が上昇し、埼玉、東京、千葉、神奈川では光化学スモッグ注意報が発令されており、光化学反応による二次粒子の形成が盛んに起こったと考えられた。PM2.5 質量濃度は正午頃に最も高くなったことから(図 4-3-2-1)、この時刻の状況をみると PM2.5 は東京湾沿岸部及びその周縁部の濃度が高く、光化学オキシダントの濃度分布とも概ね一致した(図 4-3-3-3 左)。風向は相模湾海風と東京湾海風によって東京と神奈川の境を中心に収束線がみられており、光化学オキシダント濃度等はこの付近で高かった。また気温は埼玉、東京で 35°C を超えた分布を示した。一方、この時茨城や千葉の太平洋側では海風が吹いており、これら沿岸部では PM2.5 や光化学オキシダント濃度は低かった。 SO_2 と NMHC をみると、 SO_2 は東京湾沿岸部の千葉県側で高く、NMHC は東京湾沿岸部の神奈川県側で高い分布を示した。21 時になっても概ね同様の風向を示し、収束域は埼玉へと移動した(図 4-3-3-3 右)。夜間であっても埼玉、東京、神奈川では同時刻に光化学オキシダント濃度が 80ppb を超えていた。翌 27 日正午も 26 日と同様の風向や気温分布を示し、PM2.5 や光化学オキシダント濃度の高い状況が続いた。

②事例 S2

7 月 31 日は気温が上昇し、各地で猛暑日となった。光化学スモッグ注意報が埼玉、千葉、茨城で発令されており、事例 S1 と同様に光化学反応による二次粒子の形成が盛んであったと考えられた。夜間になると光化学オキシダント濃度は低下するものの PM2.5 質量濃度は $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える地点が多く、8 月 1 日の午前 3 時(図 4-3-3-4 左)の時点でも関東平野の中央部付近を中心に高い濃度が継続していた。また、平野部では 25°C を超える地点が多かった。1 日正午には(図 4-3-3-4 右)、東京湾の沿岸部や静岡から千葉、茨城にかけての太平洋側でやや強い海風が吹いているものの、平野部の風は比較的弱く、東京や埼玉では風の収束域がみられるとともに気温が 35°C を超えていた。この時 PM2.5 質量濃度は関東平野中央部(埼玉、東京)付近を中心に広い地域で高濃度となっており、光化学オキシダント濃度が 100ppb を超える地点が東京、埼玉、千葉でみられた。千葉や神奈川の一部では SO_2 の濃度が 10ppb を超え、これらの地域では NMHC も 0.3ppmC を超える濃度となった。午後 9 時には海風が強くなり(図 4-3-3-5 左)、関東平野の広い地域で南風となった。このとき、PM2.5 質量濃度が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える地点が関東平野北部の栃木、茨城でもみられており、南風の影響を受けて高濃度域が移動したと考えられた。翌 2 日も気温が上昇し、埼玉や千葉では光化学スモッグ注意報が発令されるなど、活発な光化学反応により二次粒子が形成されたと考えられた。風向や気温分布、また、PM2.5 や光化学オキシダント濃度分布も 1 日と概ね同じ傾向にあった。(図 4-3-3-5 右)。

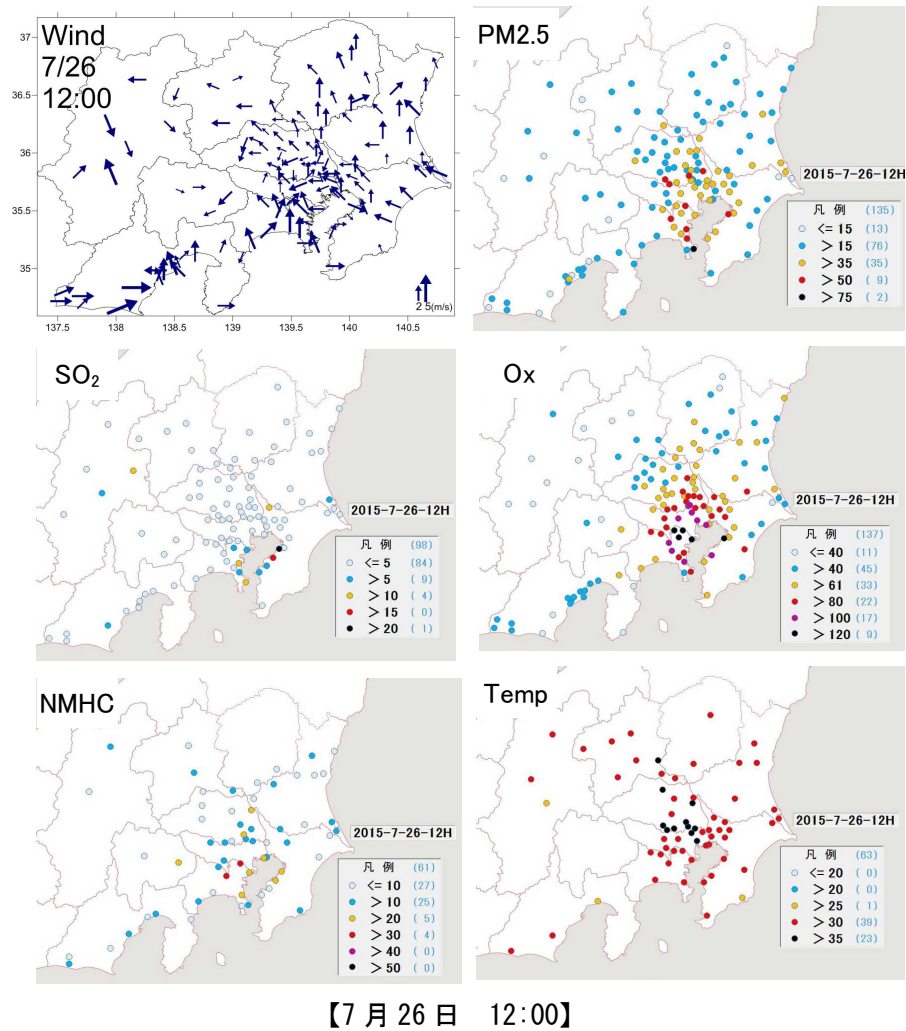
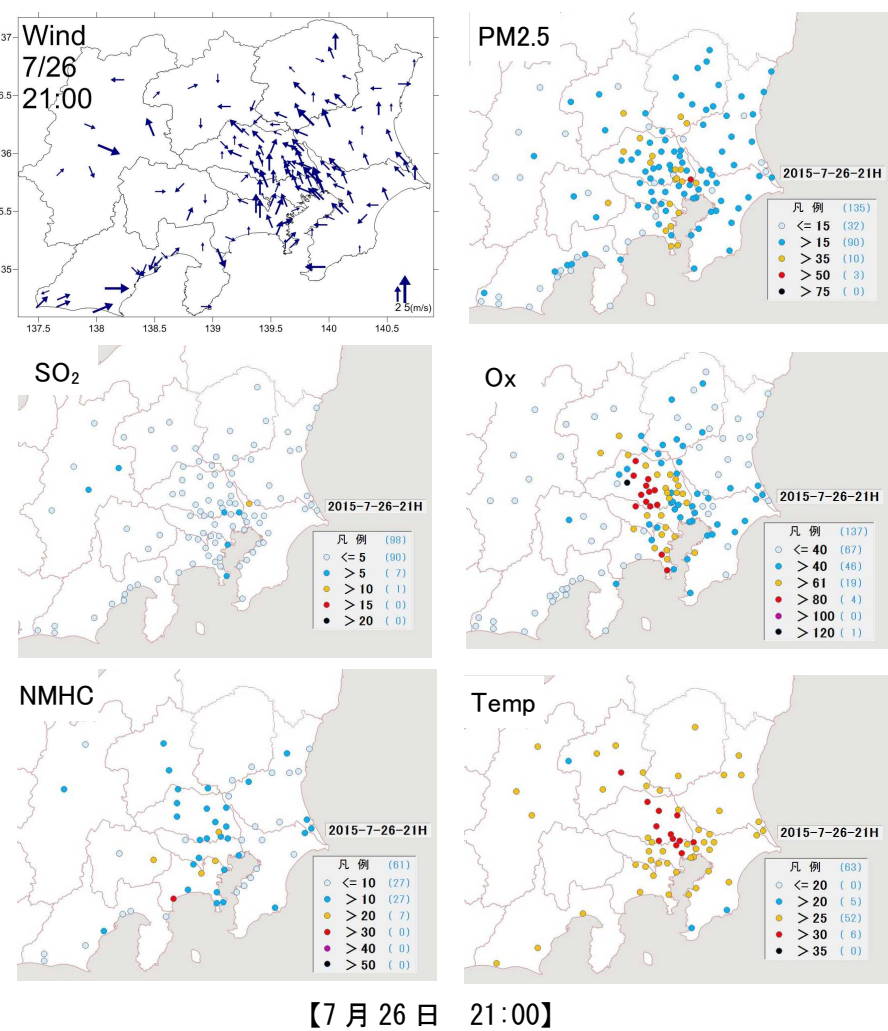
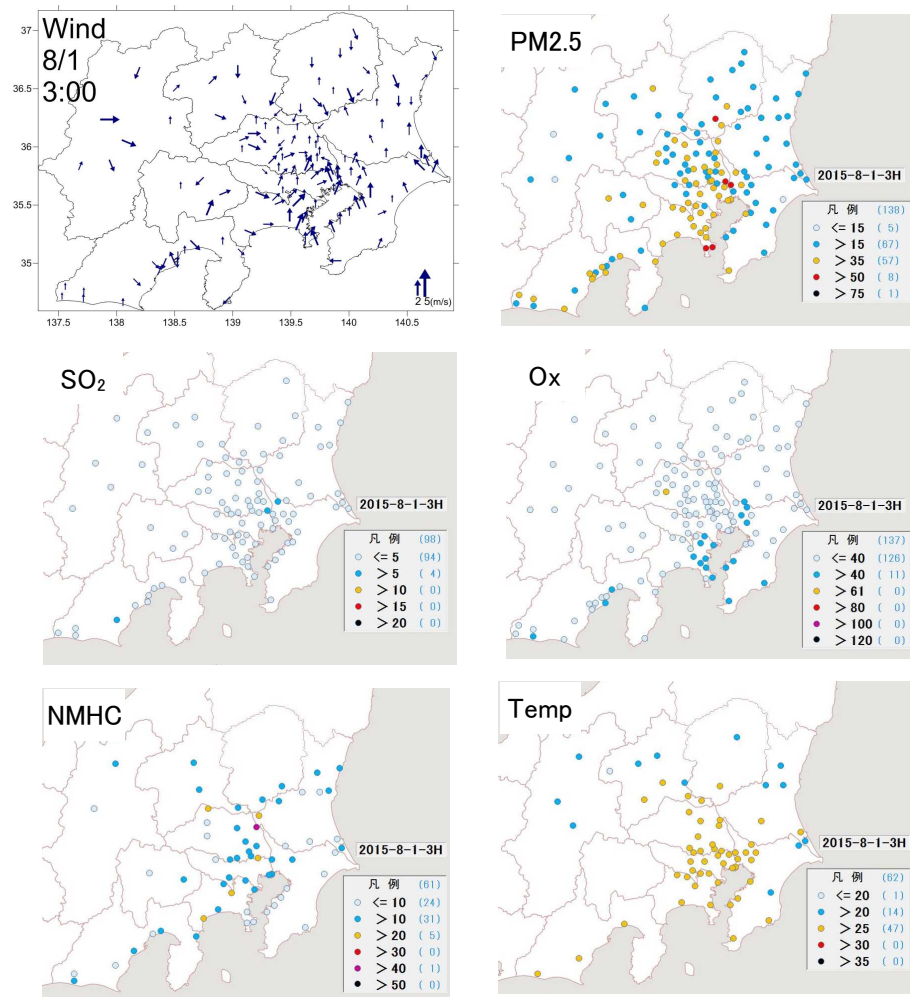


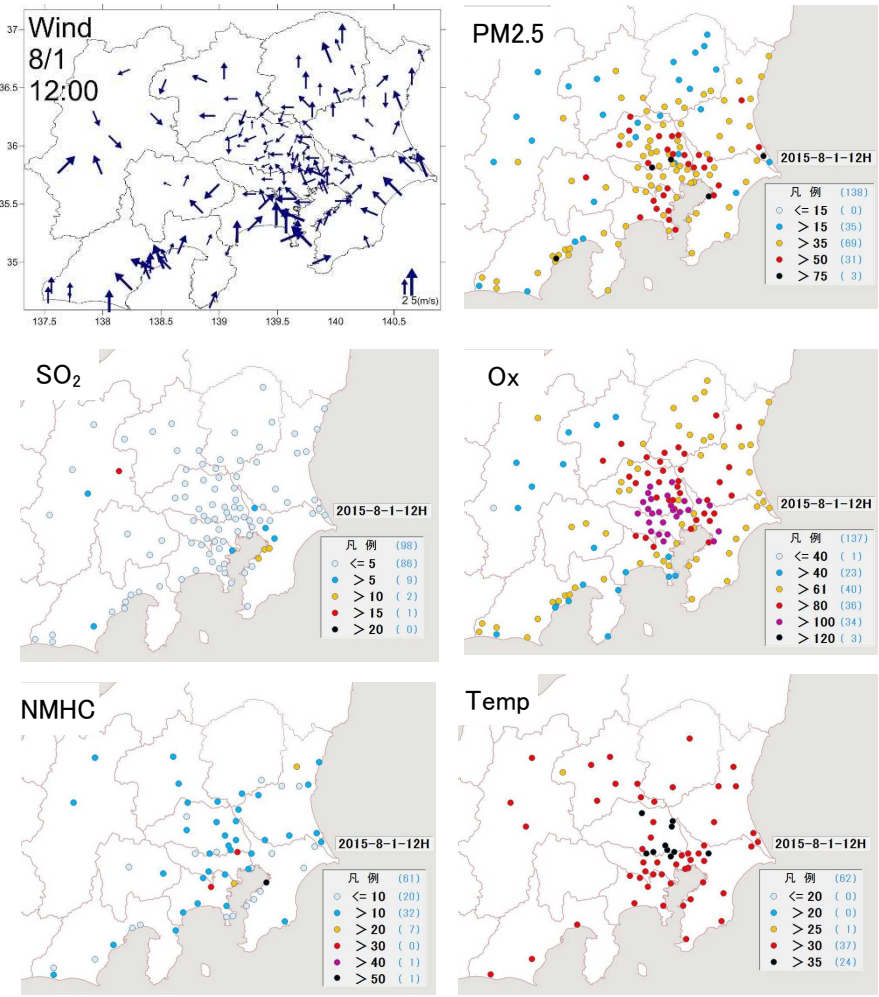
図 4-3-3-3 PM2.5 質量濃度等の分布状況(事例 S1 7月26日)

(単位 PM2.5: $\mu\text{g}/\text{m}^3$, NMHC: 0.01ppmC, 気温: $^{\circ}\text{C}$, その他: ppb)



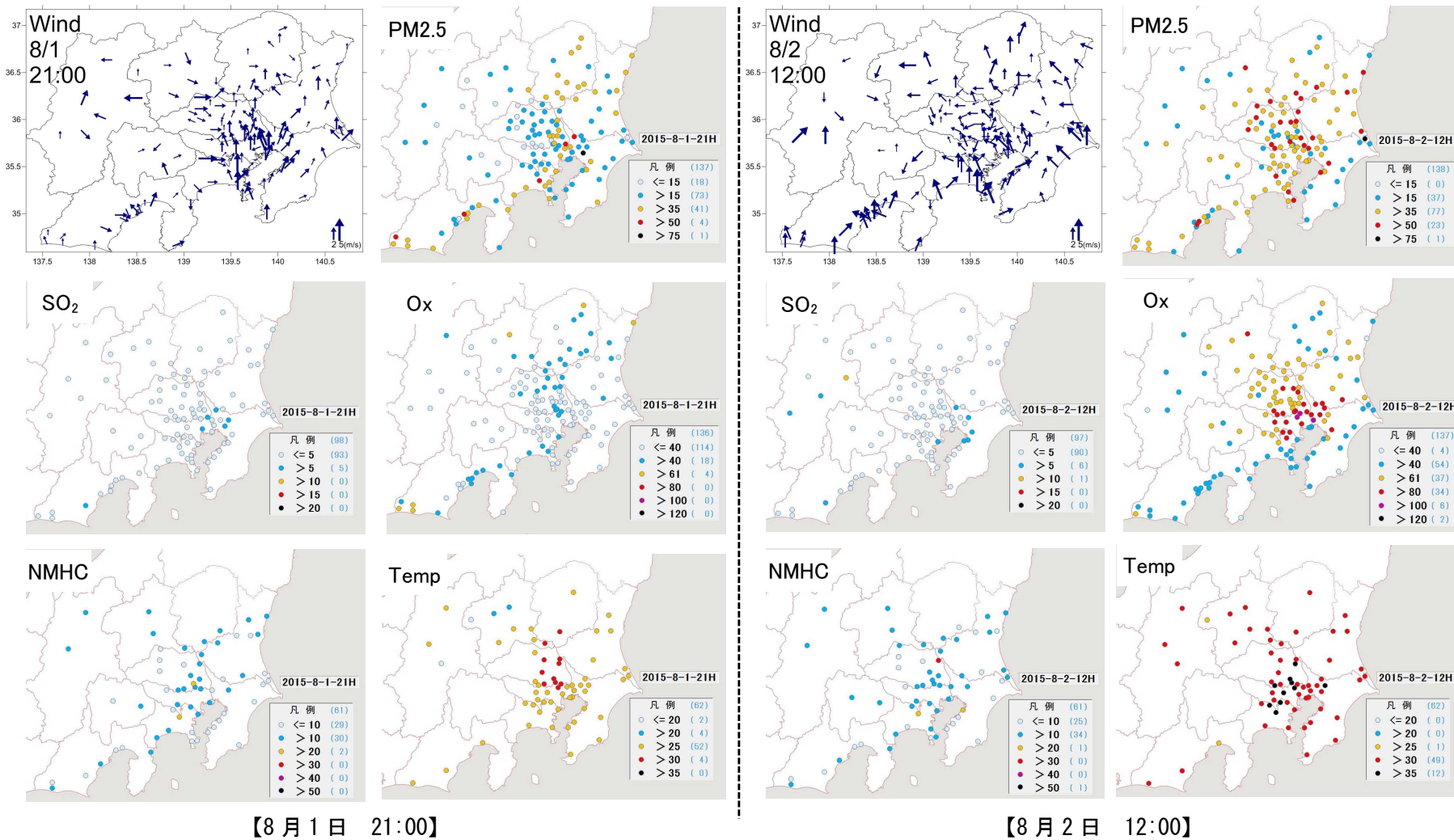
【8月1日 3:00】

図 4-3-3-4 PM2.5 質量濃度等の分布状況(事例 S2 8月1日)



【8月1日 12:00】

(単位 PM2.5: $\mu\text{g}/\text{m}^3$, NMHC: 0.01ppmC, 気温: °C, その他: ppb)



(3) 成分分析結果(夏季成分分析)

夏季成分分析期間における PM2.5 中の成分濃度を地点別に図 4-3-3-7 に示す。また、 SO_4^{2-} と OC の濃度推移を地点別に図 4-3-3-8 として示す。

成分分析の結果から、主要成分は SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 、OC であることが確認された。

SO_4^{2-} は S2(7 月 31 日～8 月 2 日)で濃度が高く、OC は 7 月 25、26 日の濃度が高い傾向にあり、両成分の濃度がピークとなる日には違いが見られた。

(なお、成分分析は 10 時～翌日 10 時を起点として算出されており、自動濃度測定機の測定日とのずれが生じる)

SO_4^{2-} についてみると多くの地点で成分分析期間の開始日である 7 月 22 日以降は降雨が観測された 7 月 27 日を除き、日を追うごとに概ね増加傾向にあった。

OC も SO_4^{2-} と同様に 7 月 22 日以降は増加傾向を示すものの、 SO_4^{2-} とは異なり 28 日以降の濃度上昇はみられなかった。気温が上昇する日が連続したことから、OC が揮発しやすく PM2.5 中の粒子として存在しにくい条件下にあった可能性が考えられた。

PM2.5 の高濃度日が連続して発生した S2 期間について後方流跡線解析を行ったところ(図 4-3-3-6)、東京上空(都庁上空 2,000 m)を起点とする大気は、 SO_4^{2-} 濃度が増加した 7 月 31 日から 8 月 2 日にかけて朝鮮半島方面を経由していたことが明らかとなった。ただし越境汚染など、関東域外の影響をどの程度受けていたかは不明であり、さらなる検討が必要である。

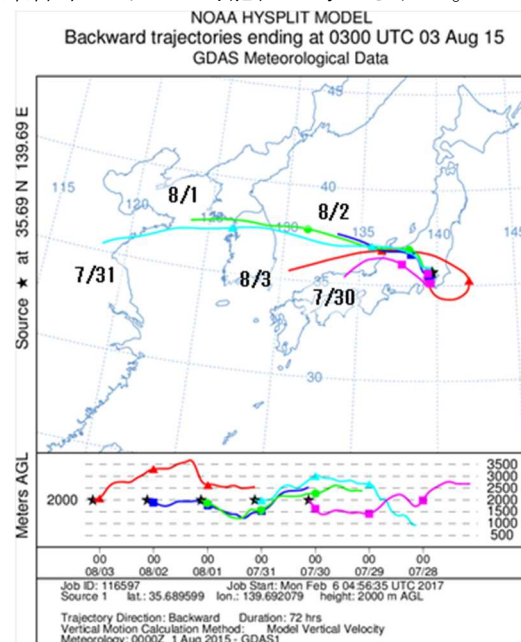


図 4-3-3-6 後方流跡線解析結果

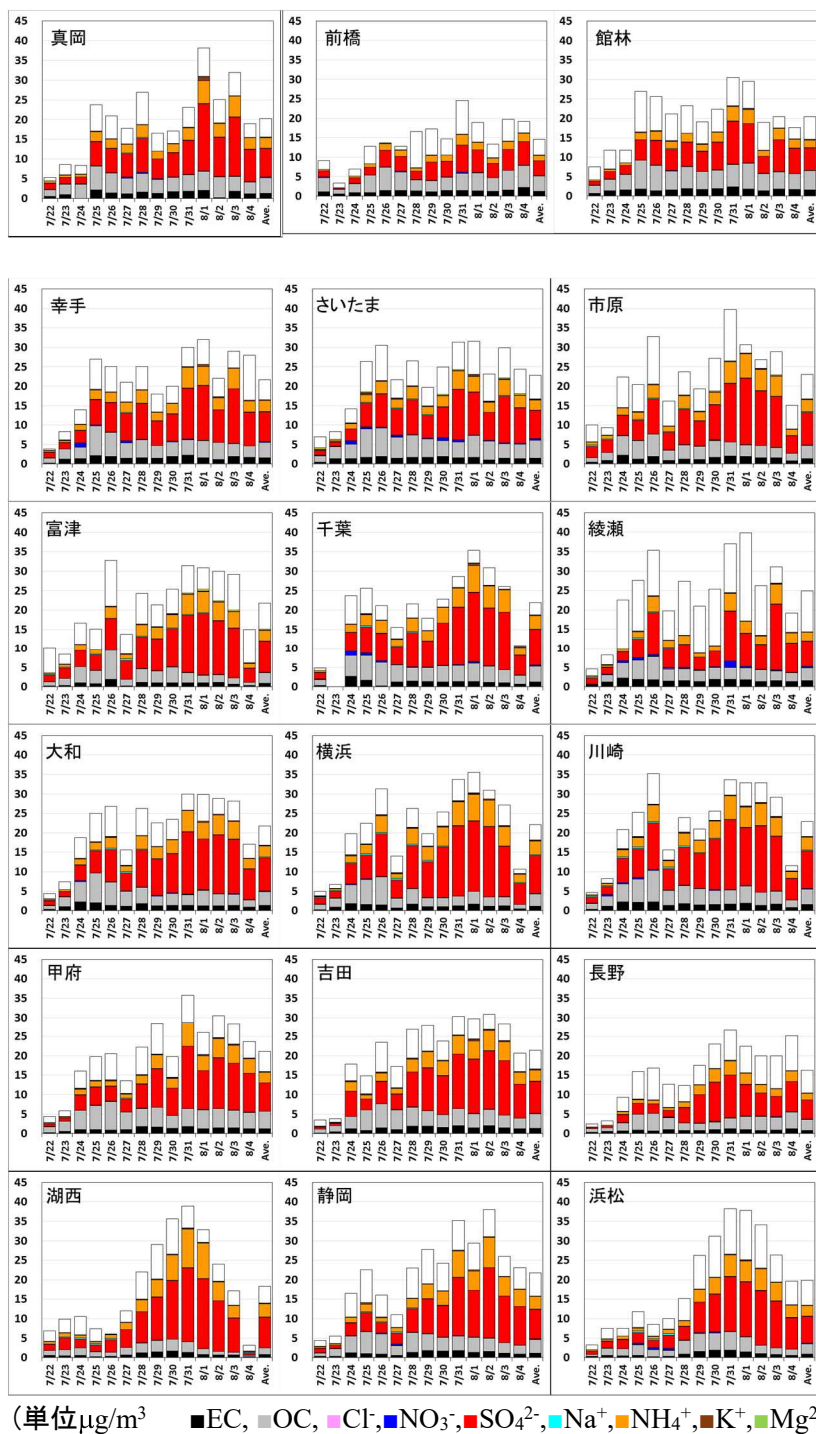


図 4-3-3-7 PM2.5 中の成分濃度(夏季成分分析期間)

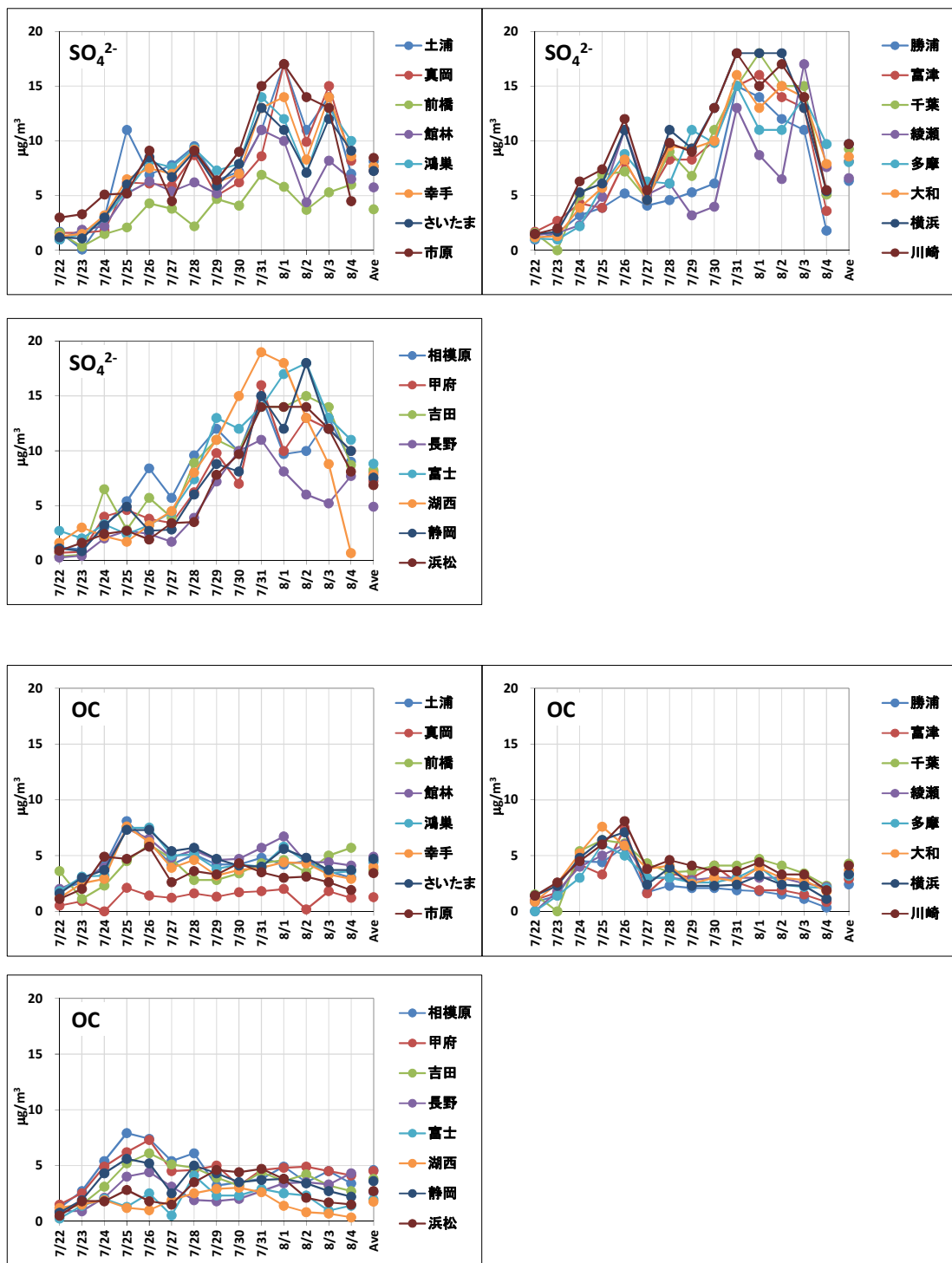


図 4-3-3-8 硫酸イオン及び有機炭素濃度の推移(夏季成分分析期間)

4.4 PM2.5 高濃度事象の詳細解析（秋季）

4.4.1 高濃度の発生状況

秋季に複数の地点で高濃度を示したのは、10月10日及び11日であった。9日から広域で濃度がやや上昇し、翌10日には栃木南部、埼玉東部、茨城、千葉北部で高濃度が発生した。特に、栃木南部、埼玉東部では日平均値 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える高濃度であった。11日には埼玉東部で高濃度となり、前日の高濃度地点がやや南側へと変化した(図 4-4-1-1)。

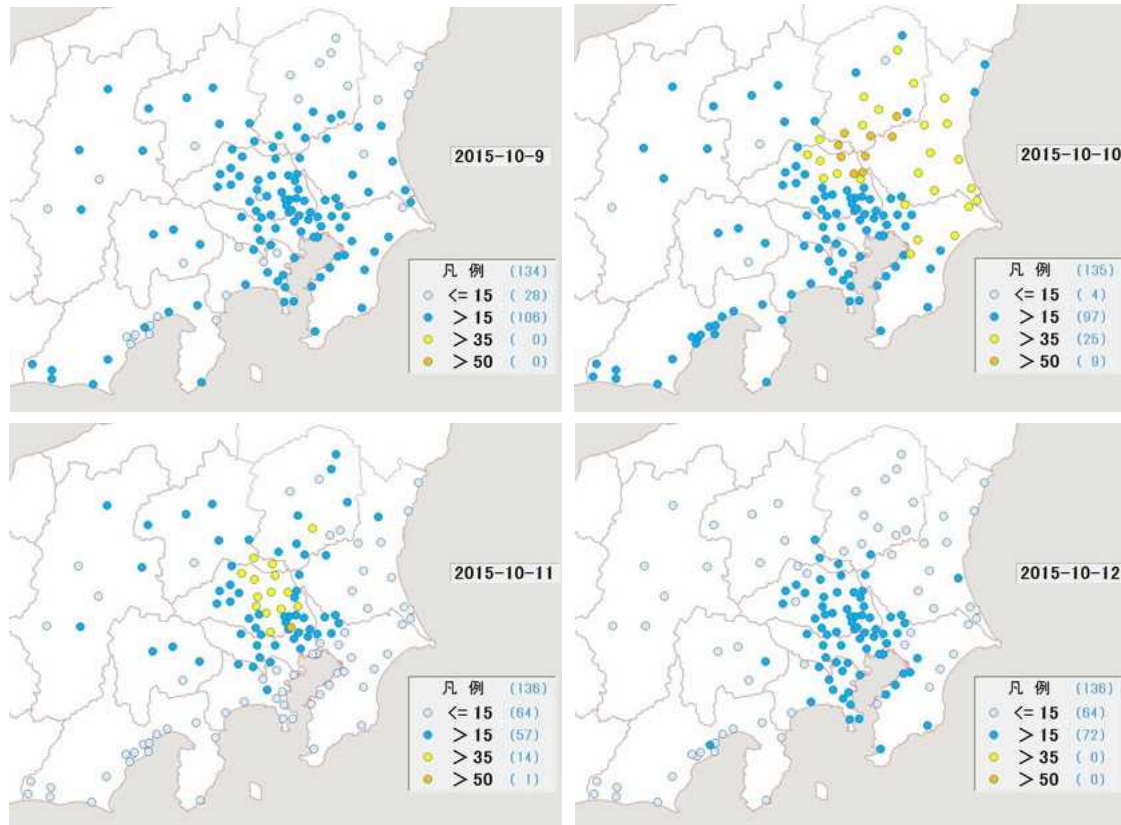


図 4-4-1-1 PM2.5 質量濃度分布(単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

4.4.2 高濃度の発生時刻や濃度変化の把握

調査地点を前節と同じ5区域に分け、PM2.5の質量濃度の推移を解析した(図 4-4-2-1)。高濃度が発生したのは、10月10日、11日であった。特に10月10日午後から11日未明にかけては、A、B、C区域において濃度が非常に高くなった。この事象でピークとなった時間は、A区域では10日の15時頃、B区域では10日の18時から24時頃、C区域では場所によって異なるが、10日の正午から21時頃であり、全般的に、濃度の高い地点が時間とともに北上していく傾向がみられた。特にB区域では、小山でピーク時に $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後の濃度となったほか、土浦を除いて11日も比較的濃度が高い状態が継続した。一方、A区域では一旦濃度が下がったものの、11日の午後から濃度が上がり始め、江戸川と川崎では11日の24時から12日の3時頃にかけて再度ピークとなった。

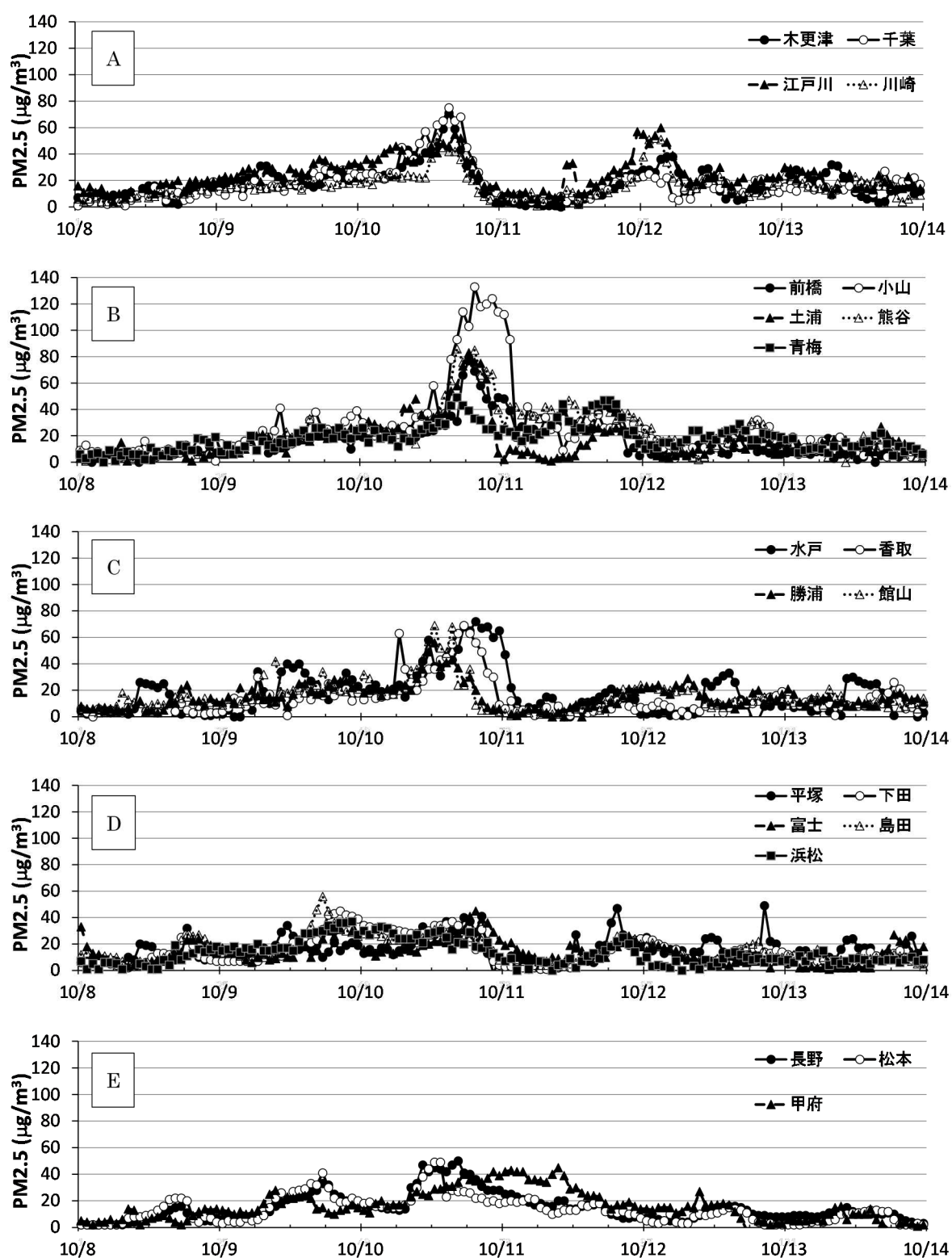


図 4-4-2-1 PM2.5 質量濃度の推移

4.4.3 気象を含めた詳細解析

(1) 気象概要

10月10日は、前線の影響で西日本から東日本で雲が多く、関東でも夕方から太平洋側の沿岸部で雨の所があった。11日は、二つの低気圧がそれぞれ北東へ進み、午前中は東海から関東にかけて広く雨となったが、関東では午後から次第に曇りとなった。12日は、発達した低気圧に寒気が流れ込み、西日本から東日本の太平洋側は晴れや曇りとなった。

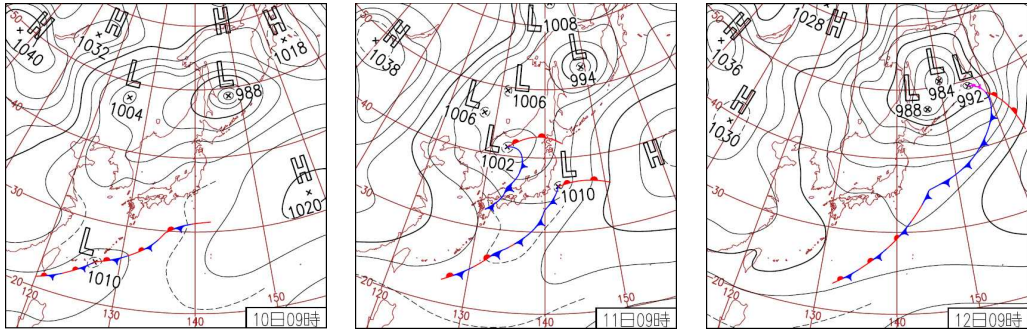


図 4-4-3-1 天気図（気象庁 <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/>）

(2) PM_{2.5} や関連物質の挙動

図 4-4-2-1 において、高濃度のピークが確認された 10 月 10 日の午後を中心に解析した。PM_{2.5} 濃度、NO_x、湿度（RH）、NMHC、温度（Temp）の分布状況及び風向風速を図 4-4-3-2 ①～③に示す。

10 日は早朝から全域で北風が吹いていたが、正午頃から関東では南風が吹き始めた。正午に(図 4-4-3-2①左)PM_{2.5} は広域で濃度が上昇し始め、15 時には(図 4-4-3-2①右)、埼玉東部と千葉の東京湾沿岸部で特に濃度が高くなった。一方、NO_x、NMHC は東京湾沿岸部で高濃度となった。また、関東全域で南風が吹くようになり、18 時には(図 4-4-3-2②左)、PM_{2.5} 濃度の高い地点は栃木南部、茨城へと北上し、特に小山では、100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える濃度となった。NO_x、NMHC 濃度の高い地点も、東京東部、埼玉東部、千葉西部へと北上した。21 時には(図 4-4-3-2②右)、栃木で北風が吹くようになり、関東南部からの南風との収束域が栃木南部、埼玉東部でみられ、その地域で PM_{2.5} 濃度が継続して高くなった。特に埼玉東部では、11 日になっても 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える比較的濃度の高い地点が多く見られた。

この事象では、まず、10 日正午にかけて全域で PM_{2.5} 濃度が上昇した。その後、埼玉東部や千葉の東京湾沿岸部等で濃度の高い地点がみられるようになり、南風により栃木南部、茨城へと北上した。そして、21 時からの栃木での北風の進入により、栃木南部、埼玉東部で PM_{2.5} が滞留し、濃度が高くなったと考えられる。

他文献において、加須（埼玉県）と幸手で、10 日に WSOC や地域汚染の指標とされる NO₃⁻ 濃度が高かったことが報告されており、今回の PM_{2.5} 濃度の高い地点が、NO_x や NMHC 濃度の高い地点と重なる部分がある点も考慮すると、本事象は、硝酸系二次粒子や有機粒子による地域汚染の影響を受けていると推測される。なお、10 日の 18 時頃からは湿度が上昇し、ほとんどの場所で気温が 20℃未満と高くなかった（図 4-4-3-2②左）ことから、硝酸塩が生成しやすい状況であったと考えられる^{2),3)}。一方、8 日から 12 日は四国から関東にかけて PM_{2.5} 濃度が高く、奈良県や愛知県など、SO₄²⁻濃度が高く越境汚染の影響が疑われる

地域もあったことが報告されている⁴⁾。また、加須において、10 日にかけて越境汚染の指標とされる As/V、Pb/Zn、及び SO_4^{2-} 濃度が高くなったことも報告されている⁵⁾ことから、関東においても、地域汚染だけでなく越境汚染の影響もあったと推測される。

なお、図 4-4-2-1 で、11 日 24 時頃に東京湾沿岸部（A 区域）でのみ $\text{PM}_{2.5}$ 濃度のピークが確認されたことについては、11 日 21 時頃に、栃木や埼玉で北風となり、前述した 11 日の埼玉東部の濃度の高い地点が南下したためと考えられる。また、NMHC 濃度の高い地点と一致することから(図 4-4-3-2③)有機粒子の影響もあったと推測される。

参考文献

- 1) 長谷川 第 57 回大気環境学会年会講演要旨集, 191 (2016)
- 2) Jacob,D.J. Introduction to atmospheric chemistry, Princeton University Press, New Jersey, 212-215(1999)
- 3) 速水ら 大気環境学会誌, **39**, 77 (2004)
- 4) 中島ら 第 57 回大気環境学会年会講演要旨集, 352 (2016)
- 5) 米持ら 埼玉県環境科学国際センター報 第 16 号, 110 (2016)

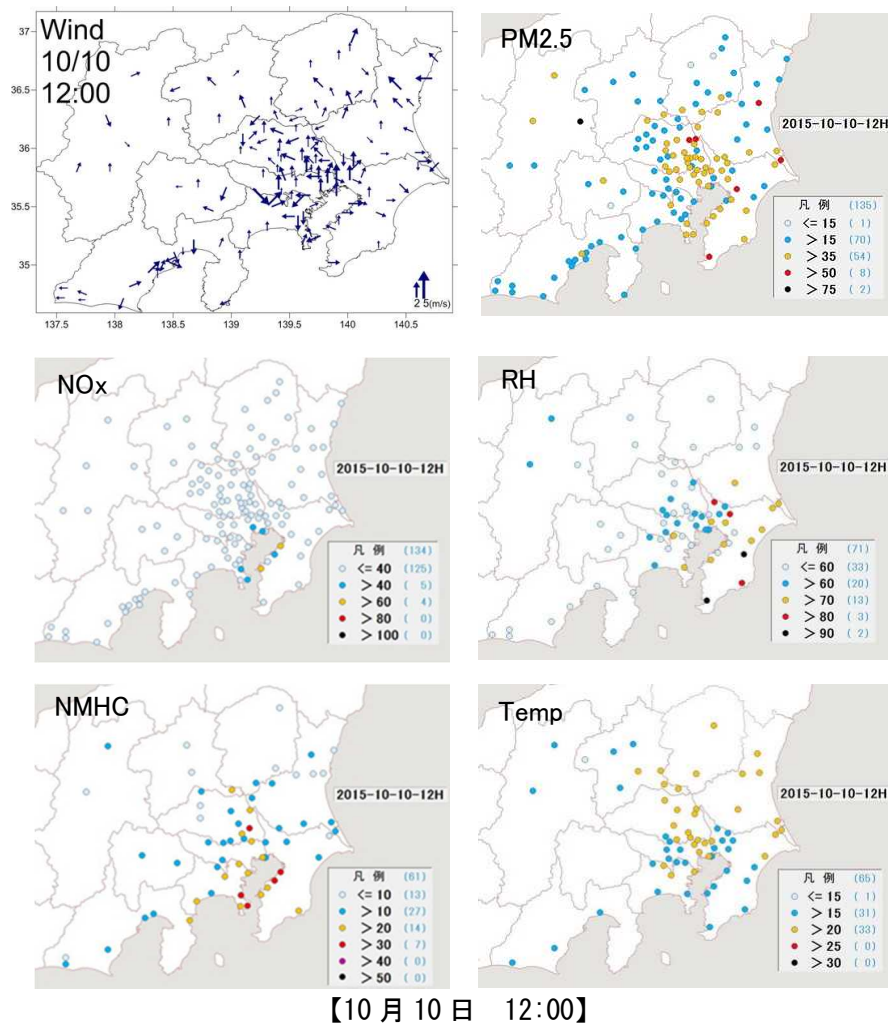
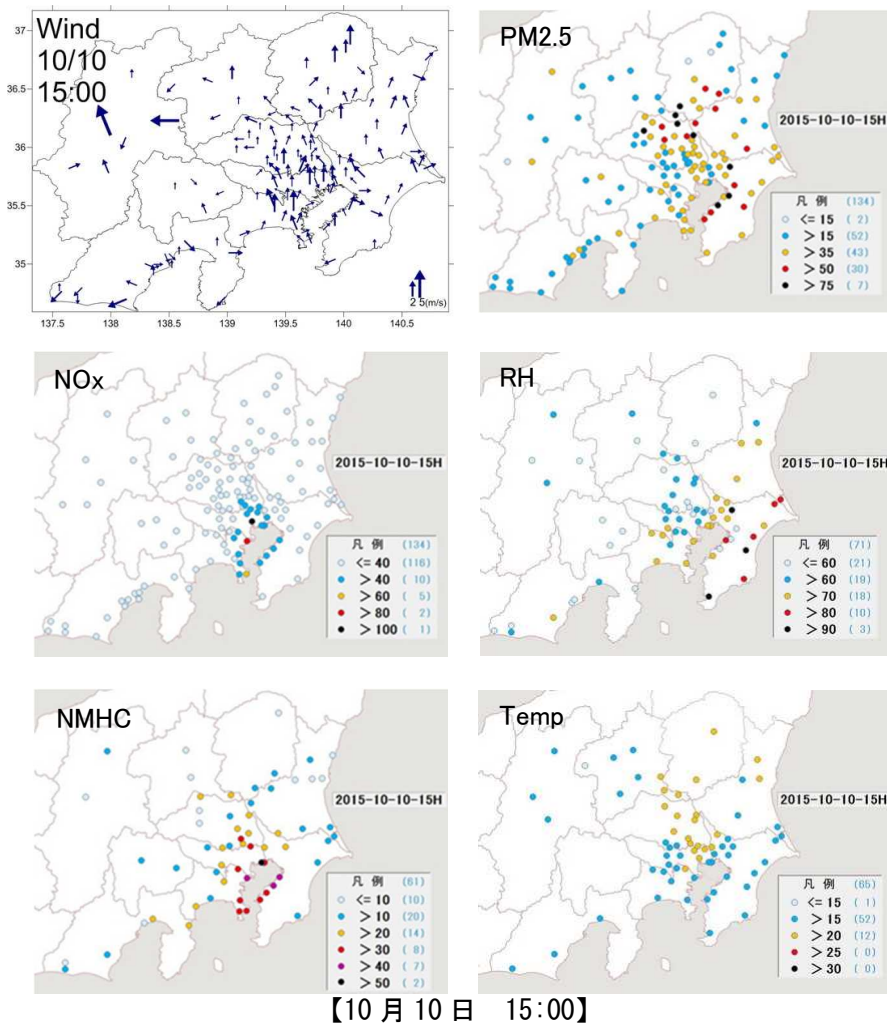
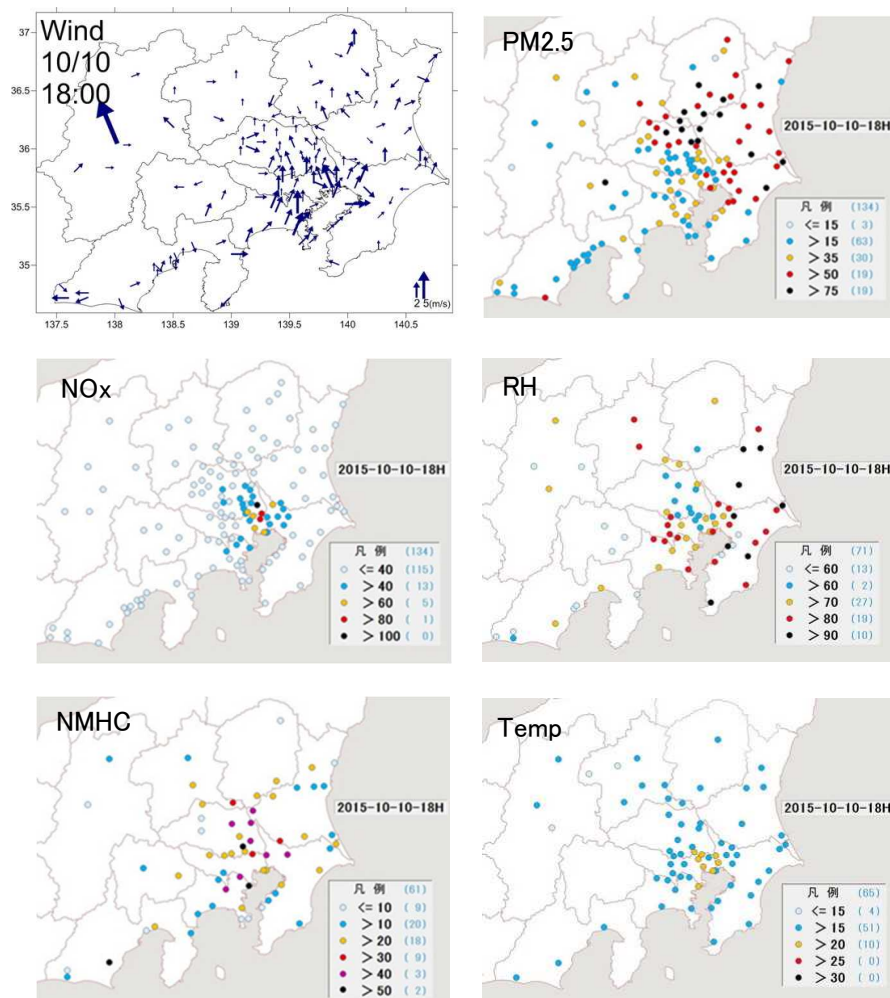


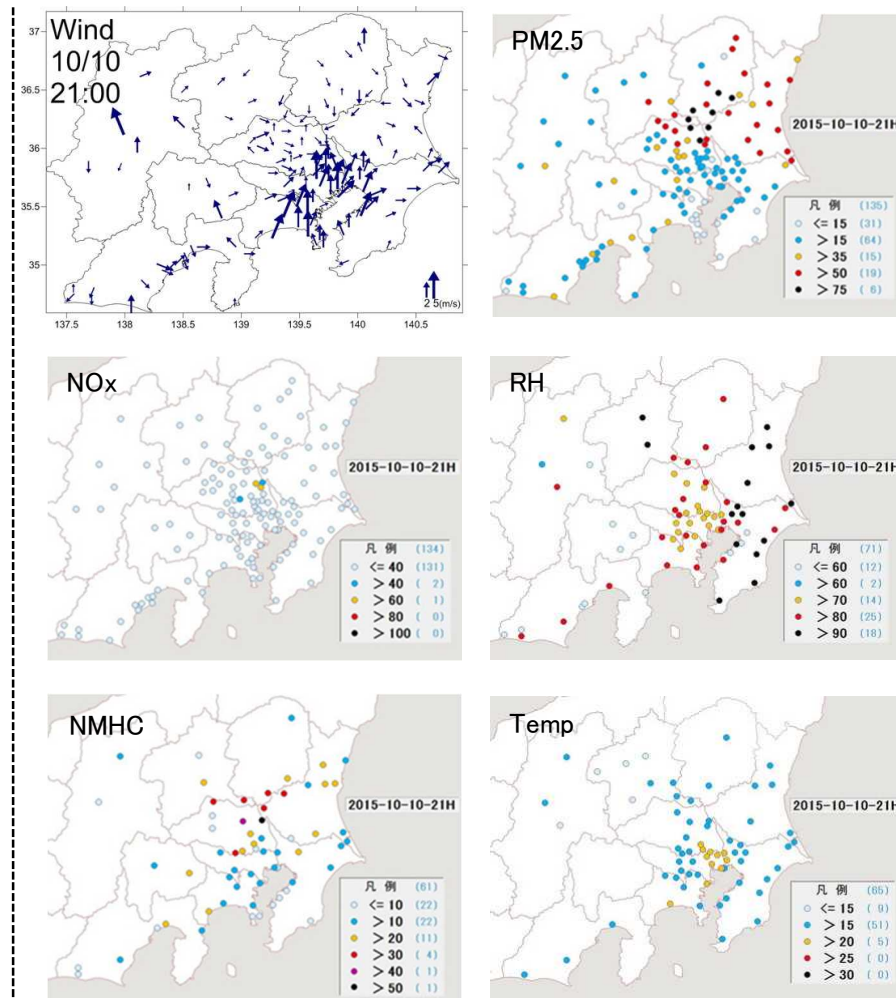
図4-4-3-2① PM2.5質量濃度等の分布状況①

(単位 PM2.5:μg/m³, NMHC:0.01ppmC, RH:%, Temp:°C, その他:ppb)



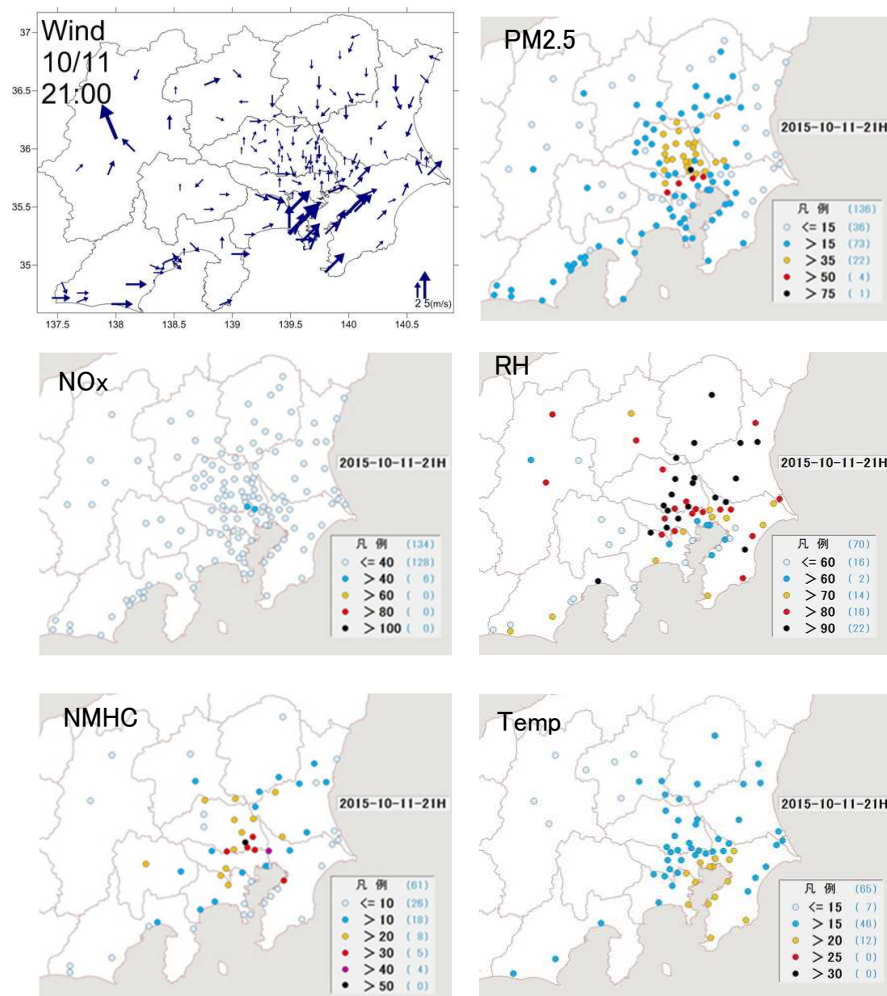
【10月10日 18:00】

図4-4-3-2② PM2.5質量濃度等の分布状況②



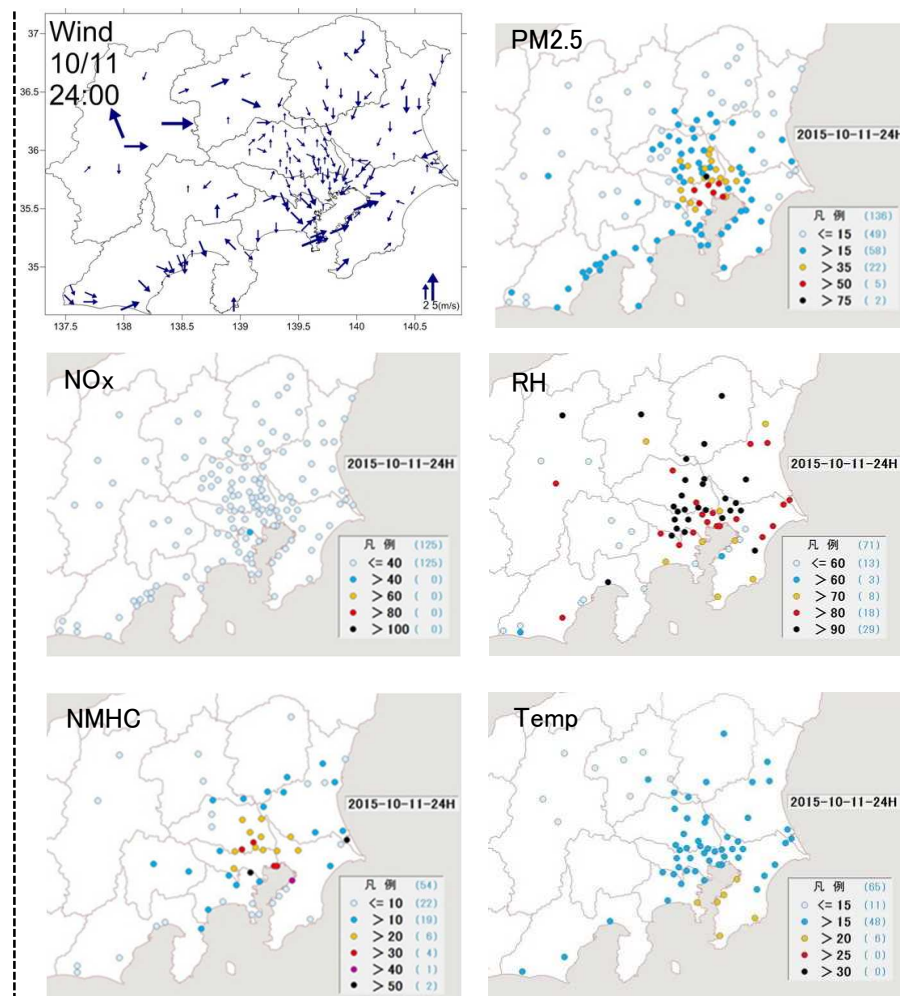
【10月10日 21:00】

(単位 PM2.5:μg/m³, NMHC:0.01ppmC, RH:%, Temp:°C, その他:ppb)



【10月11日 21:00】

図4-4-3-2③ PM2.5質量濃度等の分布状況③



【10月11日 24:00】

(単位 PM2.5:μg/m³, NMHC:0.01ppmC, RH:%, Temp:°C, その他:ppb)

4.5 PM2.5 高濃度事象の詳細解析（冬季）

4.5.1 高濃度の発生状況（日平均値 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超を高濃度日とする）

冬季に複数の地点で高濃度を示したのは、12月10日であった。関東平野中央部（茨城県南西部、栃木県南部、埼玉県東部）から南部（東京都東部、千葉県西部、神奈川県東部）で高濃度が発生した（図4-5-1-1）。

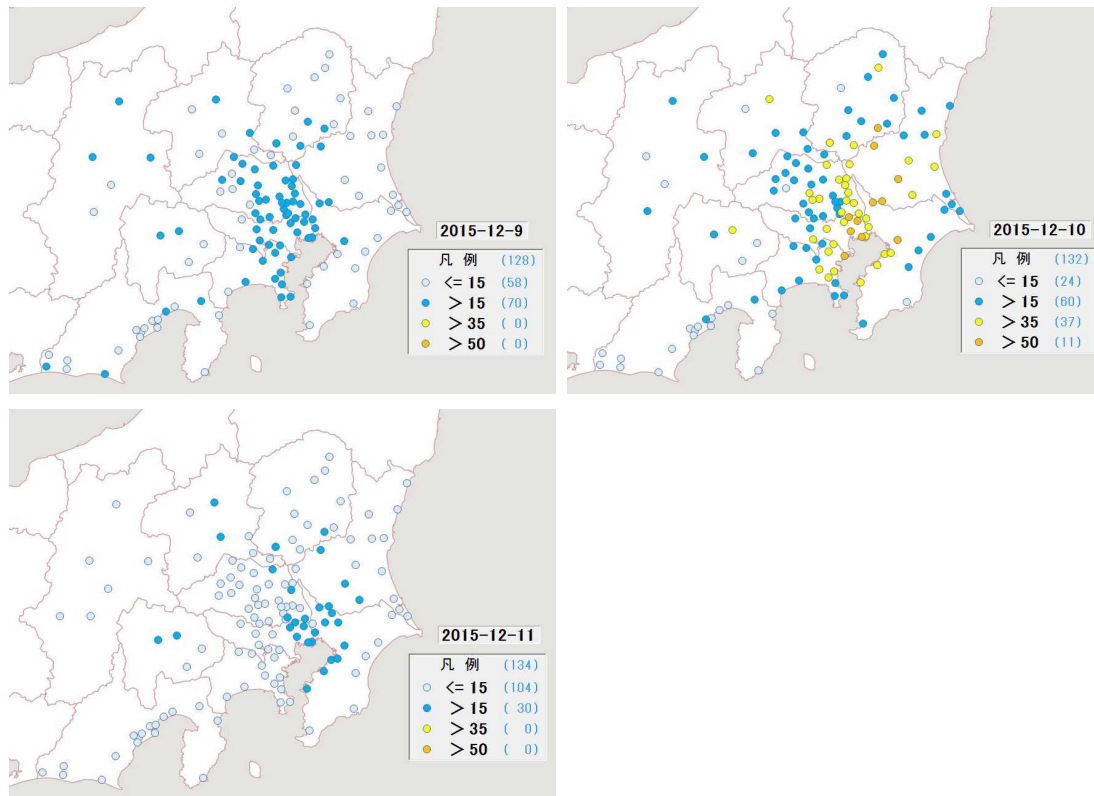


図 4-5-1-1 PM2.5 質量濃度分布(単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

4.5.2 高濃度の発生時刻や濃度変化の把握

高濃度は主に12月10日から11日にかけて発生した（図4-5-2-1）。濃度の高い地点は主にA区域にあり、時間とともに濃度が上昇し、その後急激に濃度が低下するパターンを示した。A区域では9日23時頃から濃度が高く、時間の経過とともに継続的に濃度が上昇し、千葉、江戸川では10日24時頃にピークがみられた。各地点とも同様の推移を示すものの、川崎は10日15時及び20時にピークがみられ、他の地点より早い時間に濃度が低下した。なお、木更津はこの間欠測であった。B区域では、小山と土浦でA区域と同様の濃度上昇がみられたが、前橋、熊谷、青梅では濃度上昇は緩やかであり、10日16時から20時をピークとして濃度が低下した。C区域は、水戸と香取で10日20時頃をピークとする濃度上昇がみられた。D区域は、平塚で10日正午及び11日1時に濃度上昇がみられたが、他の地点では濃度上昇はみられなかった。E区域では、甲府で10日から11日にかけて緩やかな濃度上昇がみられた。長野では10日14時から18時にかけて濃度が上昇し、その後急激に低下した。この時間は煙霧が観測されていた。

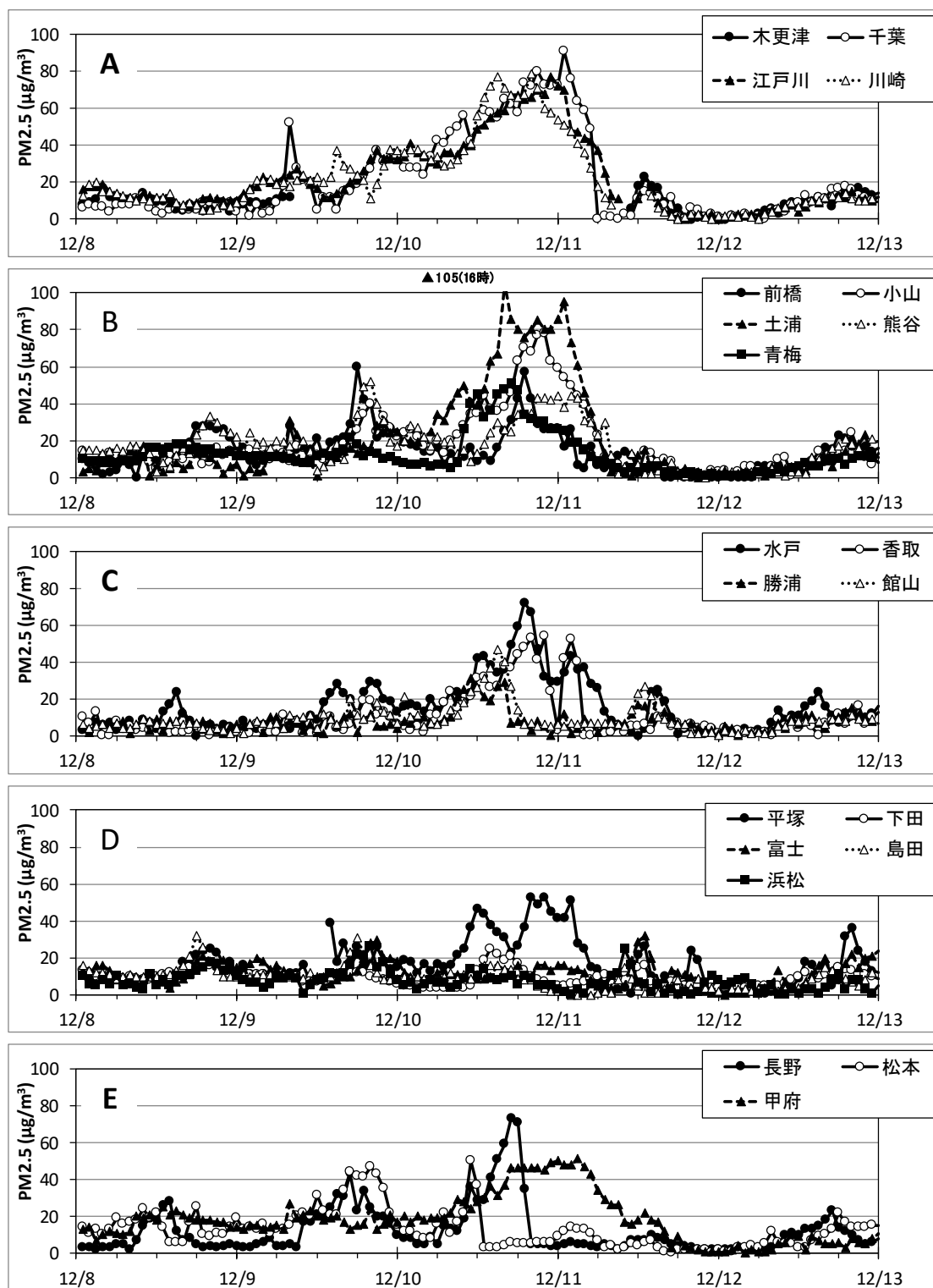


図 4-5-2-1 PM2.5 質量濃度の推移

4.5.3 気象を含めた詳細解析

(1) 気象概要

12月9日は高気圧に広く覆われ、全国的に晴れて冷え込んだ。10日は西から次第に雨雲が広がり、関東甲信では昼頃から雲に覆われ、深夜から雨が降りだした。茨城、栃木、東京、千葉、長野では煙霧が観測され、神奈川、山梨、静岡では靄が観測された。11日は発達した低気圧の影響で各地で大雨や暴風となった。天気図を図4-5-3-1に示す。

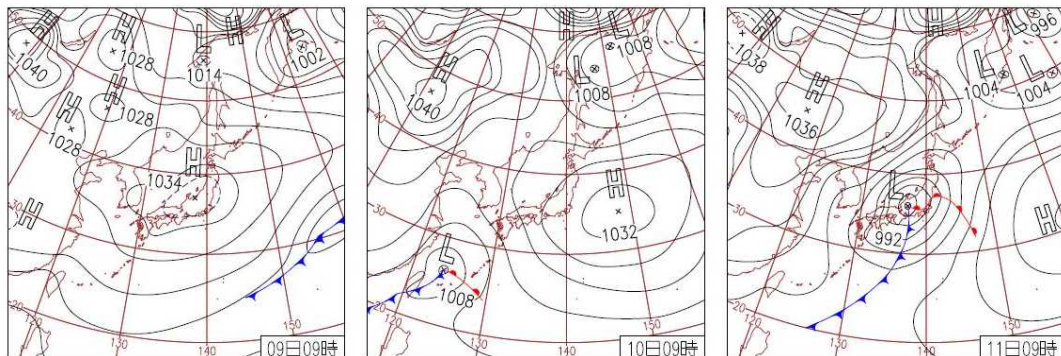


図4-5-3-1 天気図（気象庁 <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/>）

(2) PM_{2.5} や関連物質の挙動

図4-5-1-1において多くの地点で高濃度がみられた12月10日を中心に検討した。PM_{2.5} 濃度、NO_x、湿度（RH）、NHMC、O_x の分布状況及び風向風速を図4-5-3-4①～③に示す。

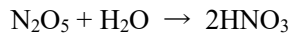
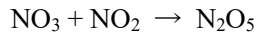
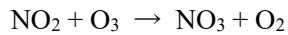
9日21時（図4-5-3-4①左）は埼玉県、東京都、神奈川県では北西風、千葉県では北東風が吹き、風の収束域である関東平野南部でPM_{2.5} 濃度が上昇した。また、NO_x、NMHCが高かった。

10日3時から11時頃に（図4-5-3-4①右、図4-5-3-4②左）北西風が吹き、それに伴い埼玉県でPM_{2.5} 濃度が低下する一方、東京湾沿岸部でPM_{2.5} 濃度が上昇した。NO_x、NMHCも東京湾沿岸部で高い値を示した。

正午から18時頃に（図4-5-3-4②右）東京湾からの海風が内陸部に向けて吹き込み、埼玉県東部では西風が吹いた。風の収束域が関東平野中央部から南部でみられ、収束域を中心にPM_{2.5} 濃度が上昇した。この時間はNO_x 濃度も高い値を示した。図4-5-3-2に示すNO₂ 濃度の推移（4.2.1で示した地点のうち、PM_{2.5}(日平均値)35μg/m³以上の地点を対象とした）によると、この時間での濃度上昇が確認できる。発生源から排出されたNOは、O₃と反応しNO₂となる。一方、NO₂は光によりNOに分解される⁹⁾。正午頃から雲に覆われ日照がなくなり、NO₂の光分解が抑制されたことが、NO₂高濃度の要因と考えられる。

さらに、図4-5-3-3に示す東京タワーの高度別気温²⁾によると、19時頃から逆転層が生じており、大気が引き続き安定していたことから、関東平野中央部から南部ではPM_{2.5} 濃度のさらなる上昇がみられ、20時から翌2時（図4-5-3-4③左）にかけてピークを示した。湿度が上昇していたことから、次の式に示す反応が進行し硝酸塩の生成

が促進されたものと考えられる¹⁾。



特に PM2.5 濃度の高かった関東平野南部では、10 日 23 時頃から降雨があり、濃度は下がり始めた。11 日 6 時頃（図 4-5-3-4③右）から雨が強まるとともに北風が強まり、濃度は急激に下がった。

本現象においては、PM2.5 濃度が高くなった地域が NO_x や NMHC 濃度の高い地域と概ね一致したことから、高濃度は硝酸塩や有機粒子の影響を受けたものと考えられた。なお、埼玉県においては成分測定が行われており、NO₃⁻、OC、WSOC、char-EC が高く、Cl⁻も相対的に上昇していたことから、バイオマス燃焼や廃棄物焼却が影響した可能性を指摘している³⁾。限られた地域において濃度が上昇していることから、大気が安定した状態である中で、粒子化が促進されたことによる地域汚染によるものと考えられた。

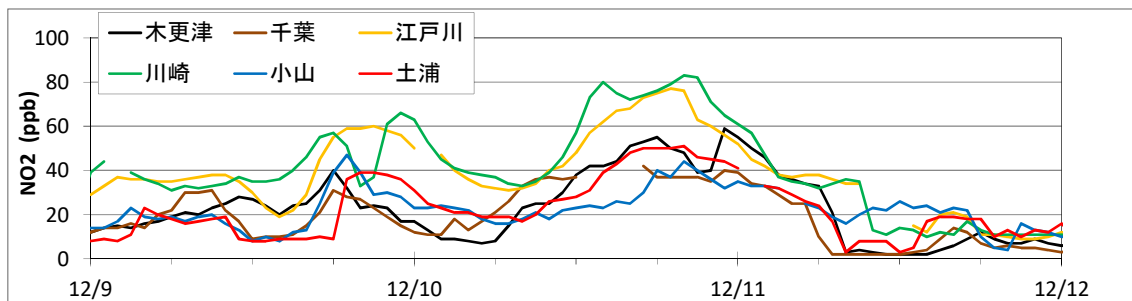


図 4-5-3-2 NO₂ 濃度の推移

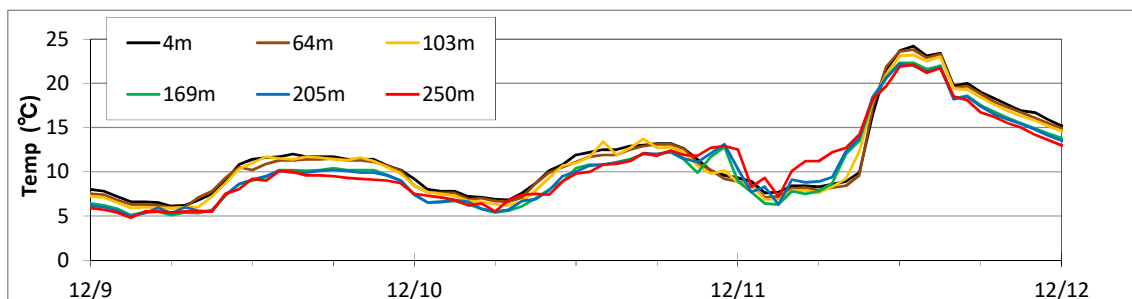


図 4-5-3-3 東京タワーの高度別気温

参考文献

- 1) Jacob, D.J. Introduction to atmospheric chemistry, Princeton University Press, New Jersey, 212-215(1999)
- 2) 東京都環境局, 大気汚染測定結果
http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/air_pollution/result_measurement.html
- 3) 長谷川 第 57 回大気環境学会年会講演要旨集, 191(2016)

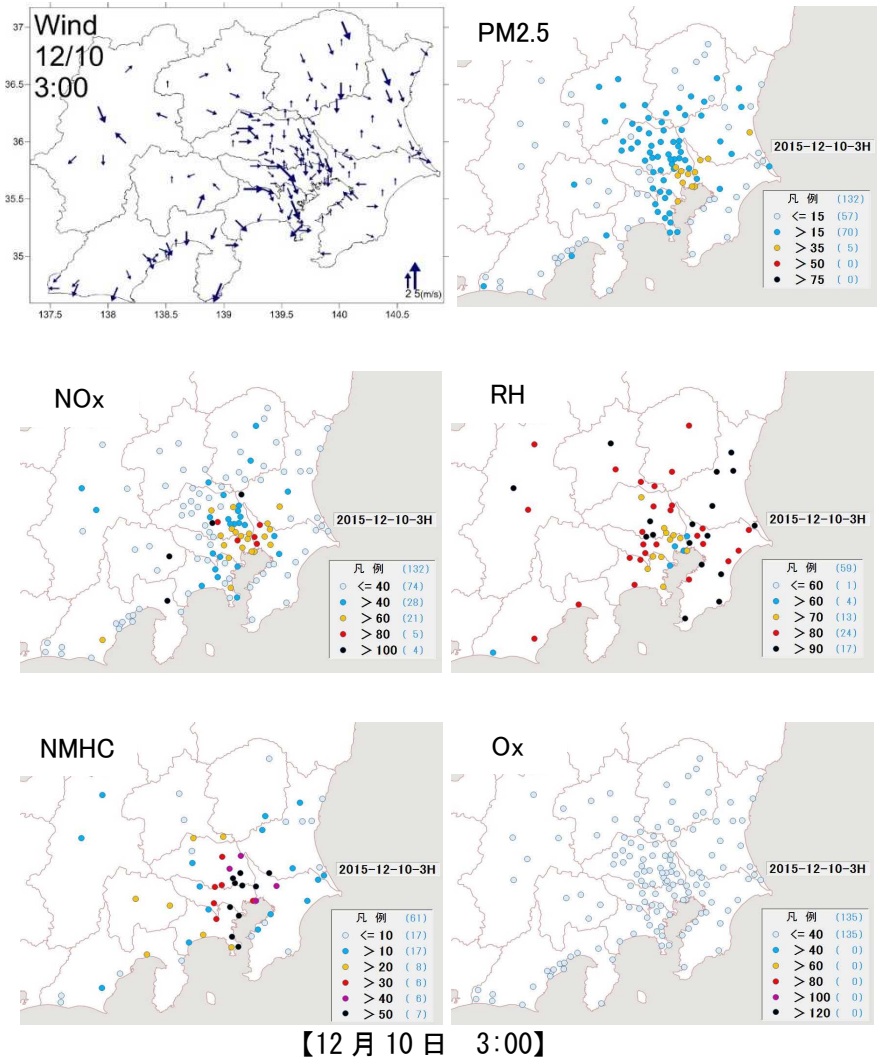
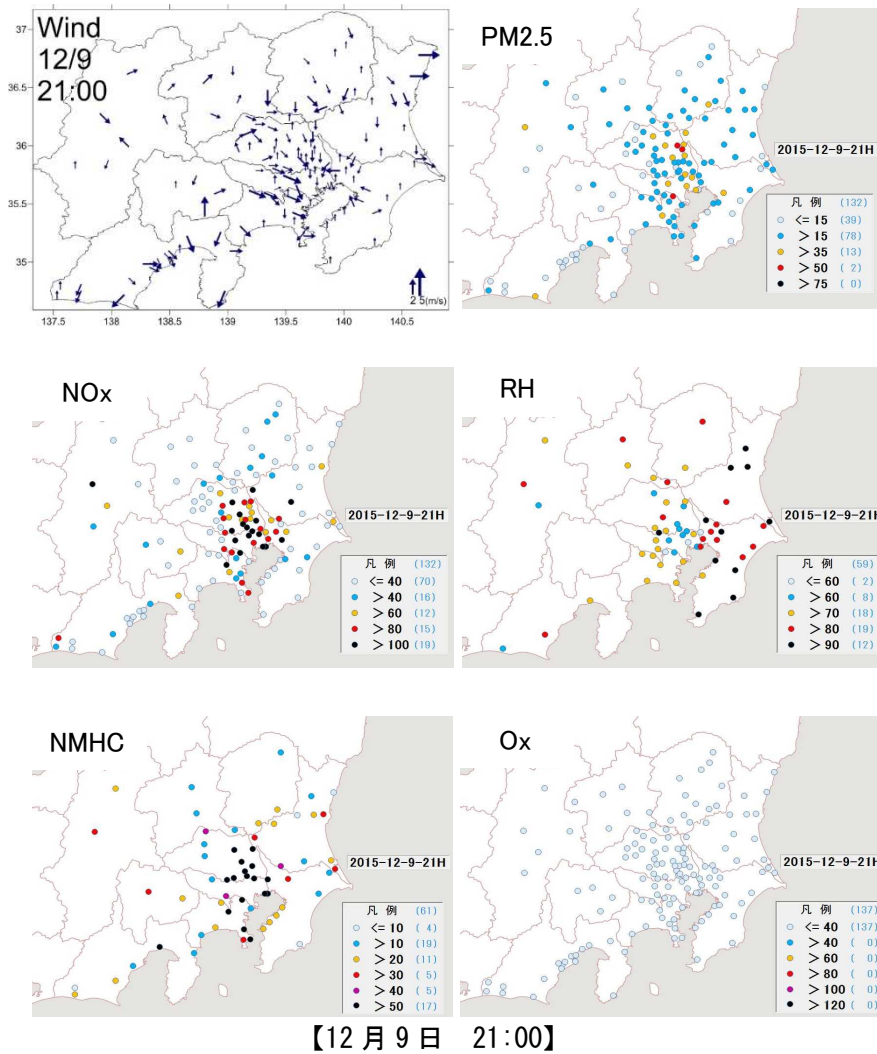
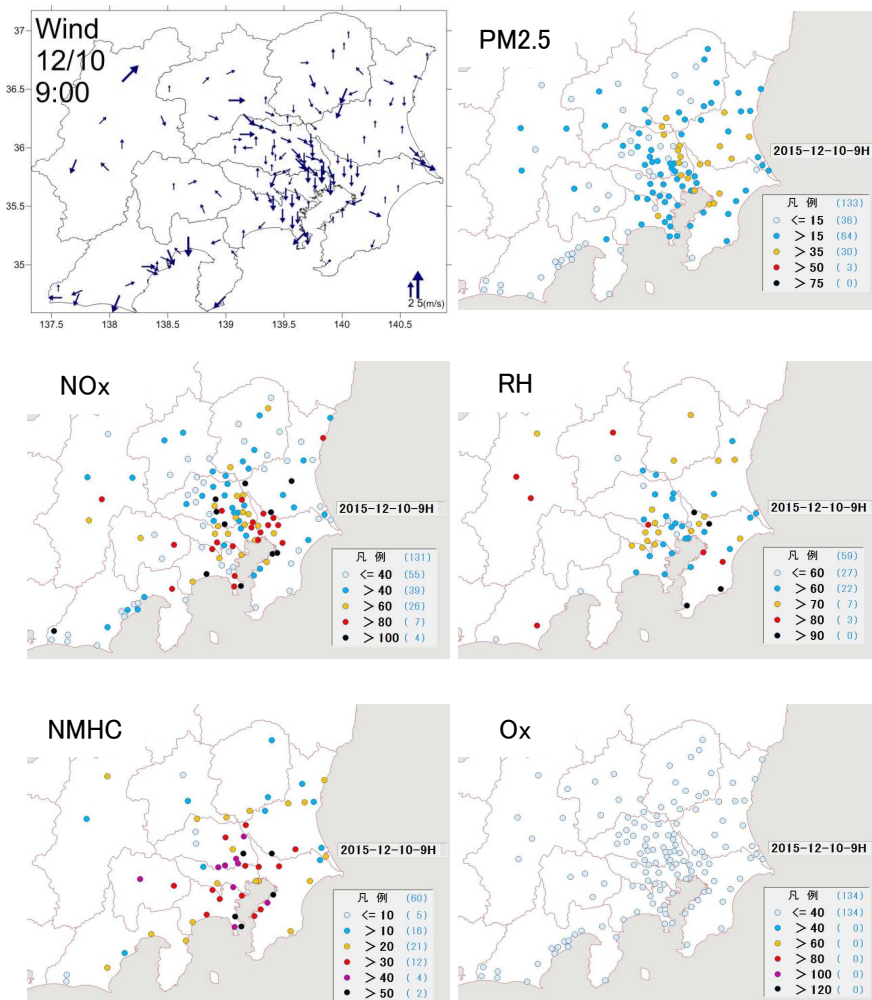


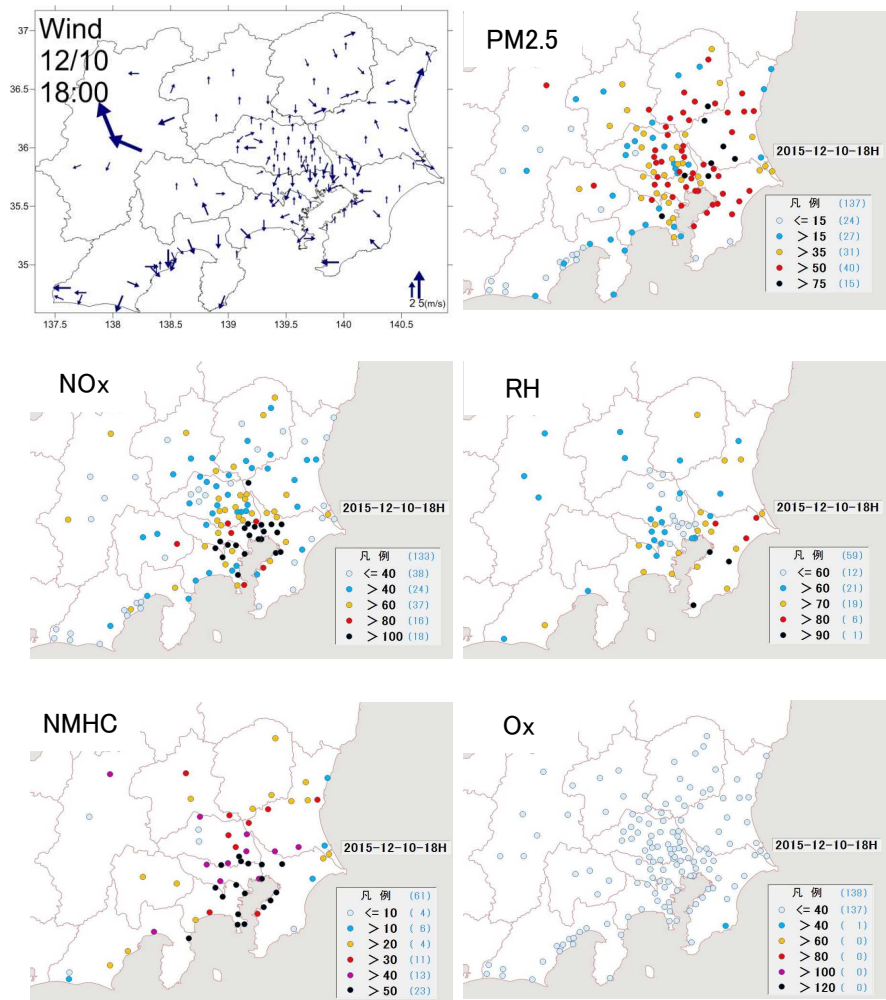
図 4-5-3-4① PM2.5 質量濃度等の分布状況①

(単位 PM2.5: $\mu\text{g}/\text{m}^3$, NMHC: 0.01ppmC, RH: %, その他: ppb)



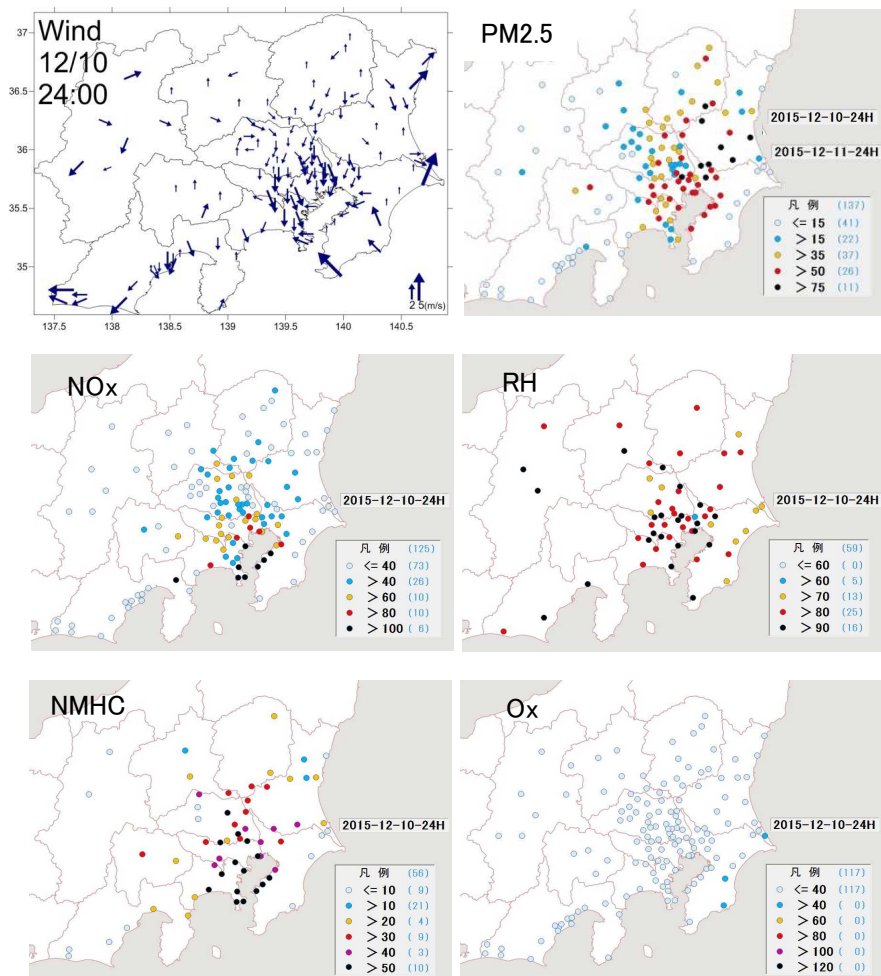
【12月10日 9:00】

図 4-5-3-4② PM2.5 質量濃度等の分布状況②



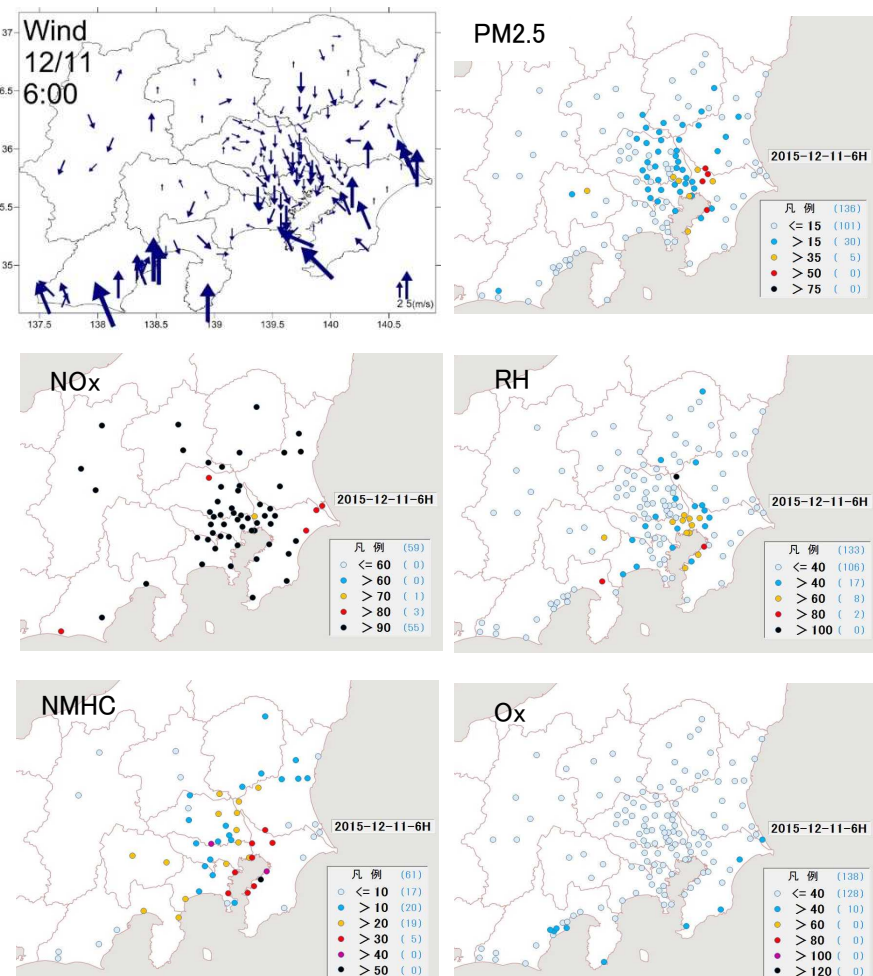
【12月10日 18:00】

(単位 PM2.5: $\mu\text{g}/\text{m}^3$, NMHC: 0.01ppmC, RH: %, その他: ppb)



【12月10日 24:00】

図 4-5-3-4③ PM2.5 質量濃度等の分布状況③



【12月11日 6:00】

(単位 PM2.5: $\mu\text{g}/\text{m}^3$, NMHC: 0.01ppmC, RH: %, その他: ppb)

4.6 高濃度イベントのまとめ

・PM2.5 常時監視データ(日平均値)を用いて、平成 27 年度における PM2.5 高濃度日の発生状況について調査した。その結果、4 月、7～8 月、10 月、12 月には関東地域を中心に 1 日～数日間にわたる比較的規模の大きい高濃度事象が発生していた。6 月、9 月と 11 月は、高濃度日数が少なかった。高濃度発生率としては、規模の大きい事象が発生した 4、8、10、12 月に分散して高く、明瞭な季節傾向は見られなかった。前年度の結果と比較すると、5 月～7 月の高濃度発生率は大きく減少しており、また 9 月の高濃度発生率は引き続き小さかった。大規模な高濃度事象の発生状況は年によって異なっており、今後も複数年に対して同様の集計を行い、データを蓄積した上で、再度検討していく必要がある。

・常時監視データ(1 時間値)を用いて高濃度事象の詳細解析を行った結果、以下のことが確認された。また、表 4-6-1-1 に発生規模とともに推定される生成要因を整理した。

3 月 31 日～4 月 1 日の事象(春季)は、関東平野中央部で高濃度化した。31 日は気温が上昇し、一部の地域で夜間から NOx の高濃度化が観察された。1 日には寒冷前線の南下に伴い雨へと転じ、駿河湾と東京湾からやや強い南西の風が吹き込んでいたが、のちに鹿島灘から北東の弱い風が吹き関東平野の中央部に風の収束域が形成された。また 14 時ごろから東京タワーの高度別気温において、103 m 以下で逆転層が生じ、その後も大気が安定したことで、PM2.5 の高濃度化が起こった。その後北東の風が卓越し、PM2.5 の高濃度地域が南下したと考えられた。以上のとおり、PM2.5 の高濃度化が限定した地域で発生し、ほぼ同時間帯の同地域で NOx の濃度が高くなったことから、地域汚染の影響を受けたと考えられた。

7 月 26 日～7 月 27 日の事象(夏季 S1)は、東京、神奈川の境を中心に風の収束域が形成され、神奈川県東部と埼玉県南東部を中心に高濃度化した。関東甲信では 40 地点で猛暑日を観測し、埼玉、東京、千葉、神奈川では光化学スモッグ注意報が発令されており、光化学反応による二次生成が活発であったと考えられた。PM2.5 の高濃度地域では SO₂ および NMHC が高い地点もあった。これらのことから、本事象は光化学反応による二次粒子生成の影響を受け高濃度化したものと考えられた。

7 月 31 日～8 月 3 日の事象(夏季 S2)では、東京や埼玉で風の収束域が形成され、関東平野の広い範囲で高濃度化した。この期間、西日本から東日本にかけて広い範囲で猛暑日を記録し、茨城、埼玉、千葉では光化学スモッグ注意報が発令された。夜間になると光化学オキシダント濃度は低下するものの、PM2.5 濃度は関東平野の中央付近を中心に夜間でも高い濃度が維持された。翌日も気温が上昇し、光化学反応によって濃度が上昇することで連日の高濃度化を引き起こしたと考えられた。

また、成分分析の結果から、主要成分は SO₄²⁻、NH₄⁺、OC であった。SO₄²⁻は夏季 S1 及び夏季 S2 において濃度の上昇が見られたが、OC は夏季 S2 において上昇が見られなかった。気温が上昇する日が連続したことから、OC が揮発しやすく粒子として存在しにくい条件下にあったためと推察された。また、SO₄²⁻の高濃度化から光化学反応による PM2.5 の高濃度化が支持された。

10月10～11日の事象(秋季)は、10月9日から広範囲でやや濃度が上昇し、10日に栃木、埼玉、茨城、千葉で高濃度化した。さらに10日正午ごろから吹き始めた南風の影響を受け濃度の高い地点が北上し、21時ごろからは栃木での北風の進入により、栃木南部、埼玉東部で風の収束域を形成し、濃度が高くなったと考えられた。10日正午前後の広範囲における濃度上昇から広域的な汚染が示唆され、また、その後のPM2.5の高濃度化地点にNO_x、NMHCの高濃度化地点と重なる部分があることから硝酸系二次粒子や有機粒子の影響も受けたと考えられた。一方、8日から12日は四国から関東にかけて、PM2.5濃度が高く、加須において越境汚染の指標とされるAs/V、Pb/Zn、及びSO₄²⁻濃度が高くなったなどの報告もあることから、越境汚染と地域汚染の複合事例と推察された。

12月10日の事象(冬季)は、関東平野中央部で高濃度化した。10日正午ごろから夕方にかけて関東平野の中央部で風の収束域が形成され、PM2.5濃度が上昇した。またこの時間から雲に覆われて日照がなくなったことからNO₂の光分解反応が抑制され、NO₂の濃度が上昇した。加えて東京タワーの高度別気温に、逆転層が観察され、安定した大気の中で湿度の上昇に伴い硝酸塩の生成が促進されたことで高濃度化したと考えられた。また限られた地域において濃度が上昇していることから大気が安定した状態にある中で粒子化が促進されたことによる地域汚染と考えられた。

平成27年度に観測された高濃度化要因は、安定した大気中での二次粒子並びに有機粒子生成が主であり、昨年度までと同様、地域汚染の影響が大きいものであった。地域内での発生源対策が重要である。

表 4-6-1-1 高濃度事例の特徴と推測される要因

事象	規模	特 徴	推測される要因
春季	小	関東平野中央部で高濃度化 NO _x の高濃度地域と合致	関東平野中央部に風の収束域が形成 地域汚染による影響 逆転層の形成による大気の安定化
夏季 S1	小	神奈川県東部と埼玉県南東部を中心 に高濃度化 埼玉、東京、千葉、神奈川で光化学 スモッグ注意報が発令 高濃度化地域の一部でSO ₂ および NMHCも高濃度化	東京、神奈川の境を中心に風の収束域が形成 光化学反応による二次粒子生成の影響
夏季 S2	中	関東平野の広い範囲で高濃度化 期間を通して猛暑日 夜間も高濃度を維持	東京、埼玉に風の収束域が形成 光化学反応による二次粒子生成の影響
秋季	小	広範囲でやや濃度が上昇 その後栃木、埼玉、茨城、千葉で高 濃度化 PM2.5高濃度地域はNO _x とNMHC の高濃度地域と一部合致	栃木南部、埼玉北部に風の収束域が形成 硝酸系二次粒子や有機粒子の形成 越境汚染と地域汚染の複合影響
冬季	中	関東平野中央部で高濃度化	関東平野中央部に風の収束域を形成 日照の減少に起因するNO ₂ の光分解抑制による硝酸系二次粒子生成 逆転層の形成による大気の安定化

発生規模の目安:調査地点の3割未満:小、3～6割未満:中、6割超:大

5 発生源寄与の推定

5.1 計算方法

昨年の報告書で、従来より使用してきた線形計画法と米国 EPA が提唱している有効分散最小二乗法（EPA-CMB8.2）を比較して、全体的に CMB8.2 の方が妥当な結果が得られる傾向があり、計算の妥当性を示す評価指数も複数あり、マニュアルも整備されていることから、今後は EPA-CMB8.2 により、発生源寄与の推定を行うこととなった。

昨年と同様に東京都微小粒子状物質検討会報告書⁽¹⁾の発生源データを引用して計算した山神らの報告⁽²⁾を参考にして、表 5-1-1 の 8 発生源×20 項目の発生源データを用いて計算を行った。フィッティング（CMB 法の適合計算）に用いたのは SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 NH_4^+ 、OC を除いた 15 項目である。昨年度は検出下限値未満の多い Sc をフィッティングから外した 14 項目で計算したが、今回のデータでは、全地点で計算が中断することなく計算結果が得られた。

環境データは、各調査期間の全期間にあたる 14 個のデータを平均し、検出下限値以下のデータについては、検出下限値の半分とした。測定誤差については、14 個のデータの標準偏差を用いた。14 個全てが検出下限値以下の場合には標準偏差がゼロになるが、ゼロでは計算できないため、平均値と同じ検出下限値の半分とした。昨年度はコア期間の 7 個のデータで計算をしたために標準偏差のバラツキが大きく、いくつか計算が進まない事例が見られた。

二次粒子の計算については、昨年は SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 NH_4^+ の合計に OC の 1.4 倍を加えた後、寄与率計算で得られた一次粒子分を差し引いて計算したが、今回はより詳細に二次粒子の挙動を調べるために 4 種類の二次粒子を計算した。まず、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 NH_4^+ の当量濃度を比較して NH_4^+ 過剰であれば、 SO_4^{2-} と NO_3^- と Cl^- の当量濃度を元に硫酸アンモニウム $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ と硝酸アンモニウム $[\text{NH}_4\text{NO}_3]$ と塩化アンモニウム $[\text{NH}_4\text{Cl}]$ を計算し、過剰の NH_4^+ をその他とした。 NH_4^+ が不足の場合は、 NH_4^+ 濃度を元に SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- を当量濃度比に配分して $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ と NH_4NO_3 と NH_4Cl を計算した後、過剰の SO_4^{2-} と NO_3^- と Cl^- をその他とした。 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ は硫酸塩の二次粒子であるため、二次（硫酸塩）と表記する。同様に NH_4NO_3 は二次（硝酸塩）、 NH_4Cl は二次（塩化物）と表記する。有機エアロゾルの二次粒子については、OC の 1.6 倍を乗じて、寄与率計算で得られた一次粒子分を差し引いて計算した。差し引く OC についても 1.6 倍とした。係数を 1.4 から 1.6 としたのは、3 章と同様に都市域の平均的な値としたためである。この二次粒子については二次（OC）と表記する。

その他と表記する分については、不明分や水分が含まれるが、前述のように二次粒子の過剰分も含まれている点に注意が必要である。

CMB8.2 の計算では、Best Fit 等、いくつかのオプションが付けられるが、今回も昨年同様 Source Elimination のみを選択した。これは「負となる発生源について除外して再計算する」ものである。

以上、昨年度からの変更点をまとめると、以下のようになる。

- ① フィッティング項目で Sc を追加して 14 項目から 15 項目とした。
- ② コア期間だけでなく、14 日間のデータを用いた。

- ③ 二次粒子の計算を4種に細分化し、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ や NH_4NO_3 などを当量的に整合するように計算した。
- ④ その結果、「その他」については、無機の二次粒子の当量的に整合しない過剰分が含まれるため、無機の二次粒子が昨年度よりは少なくなる。
- ⑤ 二次粒子のOCの計算時に炭素濃度を有機エアロゾルに変換する係数を1.4から1.6に変更したため、二次粒子(OC)は昨年度よりも多くなる。

表 5-1-1 発生源データ (単位: g/g)

	SO ₄		NO ₃		Cl		Na		K	
道路粉じん	5.68x10 ⁻⁴	4.49x10 ⁻⁴	1.93x10 ⁻⁴	1.18x10 ⁻⁴	3.35x10 ⁻⁴	1.53x10 ⁻⁴	1.25x10 ⁻²	2.66x10 ⁻³	1.27x10 ⁻²	3.39x10 ⁻³
海塩粒子	7.80x10 ⁻²	1.60x10 ⁻²	0.00	0.00	0.551	2.75x10 ⁻²	0.304	1.52x10 ⁻²	1.10x10 ⁻²	1.10x10 ⁻³
鉄鋼工業	0.00	0.00	0.00	0.00	3.41x10 ⁻²	6.82x10 ⁻³	1.36x10 ⁻²	2.72x10 ⁻³	1.32x10 ⁻²	2.64x10 ⁻³
石油燃焼	0.318	0.160	0.00	0.00	9.20x10 ⁻⁴	9.20x10 ⁻⁴	1.00x10 ⁻²	5.00x10 ⁻³	8.50x10 ⁻⁴	8.50x10 ⁻⁴
廃棄物焼却	0.00	0.00	0.00	0.00	0.270	2.70x10 ⁻²	0.120	1.20x10 ⁻²	0.200	2.00x10 ⁻²
自動車排ガス	2.16x10 ⁻²	2.16x10 ⁻³	0.00	0.00	2.00x10 ⁻⁴	2.00x10 ⁻⁵	7.64x10 ⁻⁵	7.64x10 ⁻⁶	1.97x10 ⁻⁴	1.97x10 ⁻⁵
プレーキ粉じん	4.90x10 ⁻³	1.52x10 ⁻⁴	0.00	0.00	1.25x10 ⁻²	2.50x10 ⁻³	7.60x10 ⁻³	2.50x10 ⁻³	3.50x10 ⁻³	7.00x10 ⁻⁴
植物燃焼	1.61x10 ⁻²	3.22x10 ⁻³	2.03x10 ⁻³	4.06x10 ⁻⁴	2.59x10 ⁻²	5.18x10 ⁻³	6.55x10 ⁻³	1.31x10 ⁻³	6.32x10 ⁻²	1.26x10 ⁻²

	Ca		NH ₄		OC		EC		Al	
道路粉じん	5.52x10 ⁻²	2.62x10 ⁻²	6.05x10 ⁻³	9.68x10 ⁻⁴	6.90x10 ⁻²	2.83x10 ⁻²	1.28x10 ⁻²	4.10x10 ⁻³	6.11x10 ⁻²	7.66x10 ⁻³
海塩粒子	1.17x10 ⁻²	5.85x10 ⁻⁴	0.00	0.00	0.00	0.00	2.80x10 ⁻⁸	2.80x10 ⁻⁸	2.90x10 ⁻⁷	2.90x10 ⁻⁸
鉄鋼工業	4.51x10 ⁻²	9.02x10 ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00x10 ⁻³	5.00x10 ⁻³	9.99x10 ⁻³	2.00x10 ⁻³
石油燃焼	8.50x10 ⁻⁴	4.30x10 ⁻⁴	0.00	0.00	0.00	0.00	0.300	0.125	2.10x10 ⁻³	1.10x10 ⁻³
廃棄物焼却	1.10x10 ⁻²	2.20x10 ⁻³	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00x10 ⁻²	5.00x10 ⁻²	4.20x10 ⁻³	8.40x10 ⁻⁴
自動車排ガス	1.46x10 ⁻³	1.46x10 ⁻⁴	0.00	0.00	0.247	2.47x10 ⁻²	0.494	4.94x10 ⁻²	1.57x10 ⁻³	1.57x10 ⁻⁴
プレーキ粉じん	3.18x10 ⁻²	6.36x10 ⁻³	0.00	0.00	7.98x10 ⁻²	3.07x10 ⁻²	0.153	7.60x10 ⁻²	1.94x10 ⁻²	3.88x10 ⁻³
植物燃焼	4.15x10 ⁻⁴	8.30x10 ⁻⁵	1.27x10 ⁻²	2.54x10 ⁻³	0.415	8.29x10 ⁻²	9.71x10 ⁻²	1.94x10 ⁻²	3.70x10 ⁻⁴	7.40x10 ⁻⁵

	Sc		V		Cr		Mn		Fe	
道路粉じん	1.33x10 ⁻⁵	3.52x10 ⁻⁶	1.08x10 ⁻⁴	3.45x10 ⁻⁵	2.79x10 ⁻⁴	1.55x10 ⁻⁴	1.06x10 ⁻³	3.86x10 ⁻⁴	5.31x10 ⁻²	6.42x10 ⁻³
海塩粒子	1.20x10 ⁻⁹	6.00x10 ⁻¹⁰	5.80x10 ⁻⁸	1.74x10 ⁻⁸	1.50x10 ⁻⁹	4.50x10 ⁻¹⁰	5.80x10 ⁻⁸	1.74x10 ⁻⁸	2.90x10 ⁻⁷	8.70x10 ⁻⁸
鉄鋼工業	1.32x10 ⁻⁶	2.64x10 ⁻⁷	1.25x10 ⁻⁴	2.50x10 ⁻⁵	3.16x10 ⁻³	6.32x10 ⁻⁴	2.20x10 ⁻²	2.20x10 ⁻³	0.157	1.57x10 ⁻²
石油燃焼	9.00x10 ⁻⁸	4.50x10 ⁻⁸	6.38x10 ⁻³	3.19x10 ⁻³	2.10x10 ⁻⁴	1.05x10 ⁻⁴	1.20x10 ⁻⁴	4.00x10 ⁻⁵	4.60x10 ⁻³	2.30x10 ⁻³
廃棄物焼却	4.60x10 ⁻⁷	9.20x10 ⁻⁸	2.70x10 ⁻⁵	1.35x10 ⁻⁵	8.50x10 ⁻⁴	8.50x10 ⁻⁴	3.30x10 ⁻⁴	3.30x10 ⁻⁴	6.10x10 ⁻³	6.10x10 ⁻³
自動車排ガス	1.19x10 ⁻⁷	1.19x10 ⁻⁸	7.25x10 ⁻⁶	7.25x10 ⁻⁷	1.16x10 ⁻⁵	1.16x10 ⁻⁶	1.93x10 ⁻⁵	1.93x10 ⁻⁶	9.89x10 ⁻⁴	9.89x10 ⁻⁵
プレーキ粉じん	4.00x10 ⁻⁶	8.00x10 ⁻⁷	5.90x10 ⁻⁵	1.18x10 ⁻⁵	4.21x10 ⁻⁴	8.42x10 ⁻⁵	7.20x10 ⁻⁴	1.44x10 ⁻⁴	9.12x10 ⁻²	1.82x10 ⁻²
植物燃焼	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00x10 ⁻⁵	2.00x10 ⁻⁶	1.00x10 ⁻⁴	2.00x10 ⁻⁵

	Zn		As		Se		Sb		La	
道路粉じん	1.31x10 ⁻³	7.96x10 ⁻⁴	1.13x10 ⁻⁵	4.19x10 ⁻⁶	1.43x10 ⁻⁶	5.50x10 ⁻⁷	1.30x10 ⁻⁵	7.42x10 ⁻⁶	3.13x10 ⁻⁵	1.05x10 ⁻⁵
海塩粒子	2.90x10 ⁻⁸	8.70x10 ⁻⁹	2.90x10 ⁻⁸	8.70x10 ⁻⁹	1.20x10 ⁻⁷	3.60x10 ⁻⁸	1.40x10 ⁻⁸	4.20x10 ⁻⁹	9.00x10 ⁻⁹	2.70x10 ⁻⁹
鉄鋼工業	5.15x10 ⁻²	1.03x10 ⁻²	1.03x10 ⁻⁴	1.03x10 ⁻⁴	5.11x10 ⁻⁵	5.11x10 ⁻⁵	9.00x10 ⁻⁵	9.00x10 ⁻⁵	9.75x10 ⁻⁶	9.75x10 ⁻⁶
石油燃焼	4.00x10 ⁻⁴	2.00x10 ⁻⁴	2.30x10 ⁻⁵	1.20x10 ⁻⁴	4.80x10 ⁻⁵	4.80x10 ⁻⁵	6.90x10 ⁻⁶	3.50x10 ⁻⁶	4.00x10 ⁻⁵	4.00x10 ⁻⁵
廃棄物焼却	2.60x10 ⁻²	1.30x10 ⁻²	1.50x10 ⁻⁴	1.50x10 ⁻⁴	0.00	0.00	9.52x10 ⁻⁴	4.80x10 ⁻⁴	7.70x10 ⁻⁶	7.70x10 ⁻⁶
自動車排ガス	6.24x10 ⁻⁴	6.24x10 ⁻⁵	3.69x10 ⁻⁶	3.69x10 ⁻⁷	1.67x10 ⁻⁶	1.67x10 ⁻⁷	1.96x10 ⁻⁵	1.96x10 ⁻⁶	3.41x10 ⁻⁷	3.41x10 ⁻⁸
プレーキ粉じん	3.26x10 ⁻³	6.52x10 ⁻⁴	2.20x10 ⁻⁵	4.40x10 ⁻⁶	3.50x10 ⁻⁶	1.75x10 ⁻⁶	2.13x10 ⁻³	4.26x10 ⁻⁴	7.00x10 ⁻⁶	1.40x10 ⁻⁶
植物燃焼	1.00x10 ⁻⁴	2.00x10 ⁻⁵	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

右側の数字は誤差

太字:フィッティングに使用した項目

SO₄~NH₄は水溶性イオンのデータ

5.2 春季の計算結果

EPA-CMB8.2による春季の計算結果を図 5-2-1 に示す。PM_{2.5}濃度が四季の中で2番目に高く、全24地点中19地点で15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超え、前橋とさいたまで20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた。千葉と川崎でその他がマイナスとなった。マップ上に円グラフで示した結果を図 5-2-2 に示す。このマップでは、グラフの重なりを減らして見やすくするためにいくつかの地点の位置を

調整している。また、円グラフ表示では、その他がマイナスの場合は二次（OC）をその分だけ減らして調整した。

大和で植物燃焼の寄与が約 23%と非常に大きい結果であったが、これは K^+ 濃度が非常に高いことが原因である。また、前橋とさいたまで道路粉じんの寄与率が 17%近いという特徴があり、これは Al と Ca^{2+} 濃度が高いことを反映している。二次（塩化物）はほぼゼロであったが、二次（硫酸塩）はどの地点でも 3 割以上を占めることが多く、二次（OC）は 2 割以上を占めることが多かった。また、関東中央部で二次（硝酸塩）が多い傾向がある。

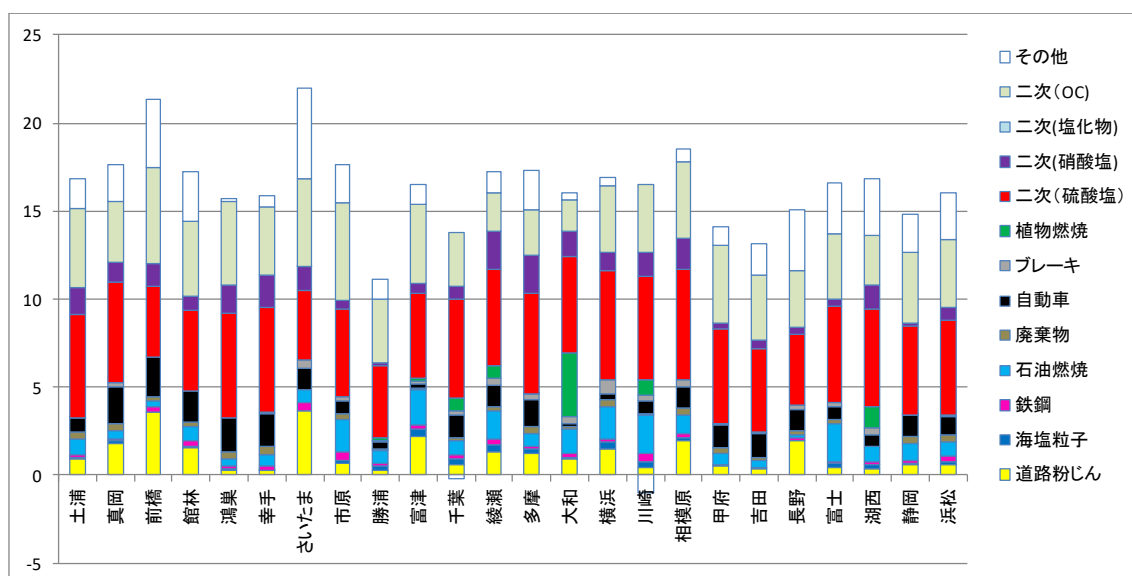


図 5-2-1 2015 年春季の発生源寄与量の推定結果（単位： $\mu g/m^3$ ）

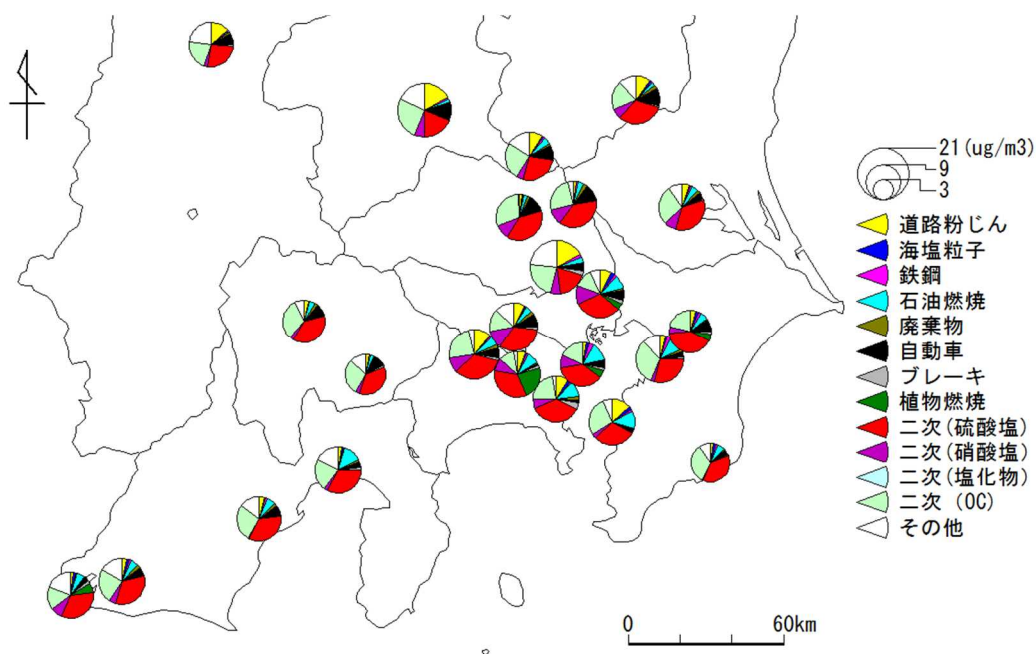


図 5-2-2 2015 年春季の発生源寄与率の推定結果（マップ）

5.3 夏季の計算結果

夏季の計算結果を図 5-3-1 及び図 5-3-2 に示す。PM2.5 濃度が四季の中で最も高く、全 24 地点中 19 地点で $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えていた。千葉、横浜、川崎でその他がマイナスとなった。二次（硫酸塩）が四季で最も多く、3 割から 5 割以上を占め、平均で $9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の量があった。その一方で、二次（硝酸塩）は四季で最も少なく、二次（塩化物）はほぼゼロで、二次（OC）は二次（硫酸塩）の半分程度であった。石油燃焼は四季で最も多く、東京湾や駿河湾周辺で多い傾向があり、川崎が全データで最も多い結果となった。また、川崎は海塩粒子と鉄鋼も全データで最も多い結果となった。

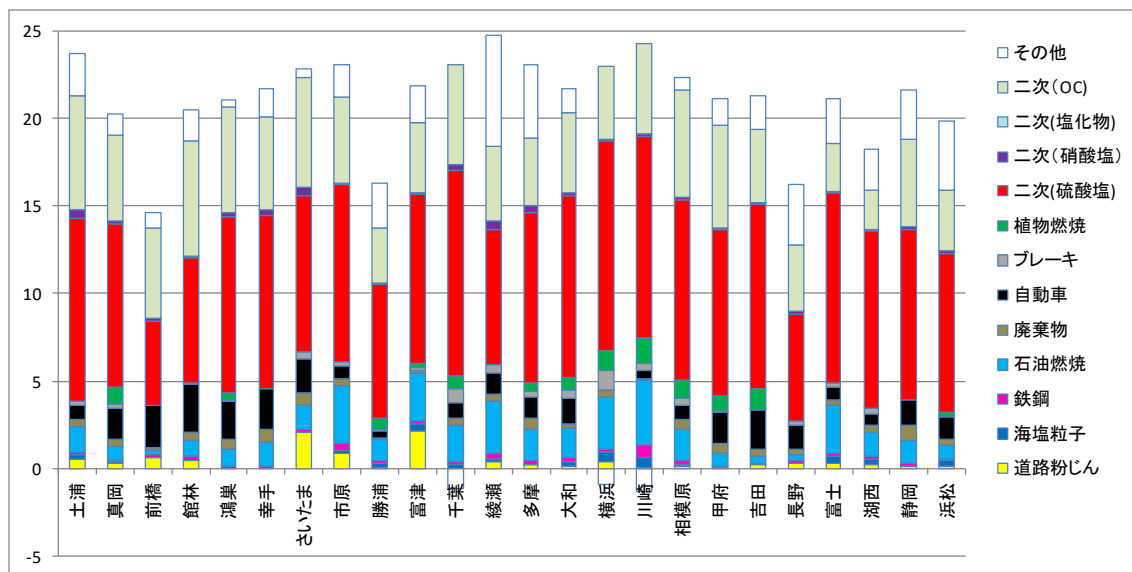


図 5-3-1 2015 年夏季の発生源寄与量の推定結果（単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）

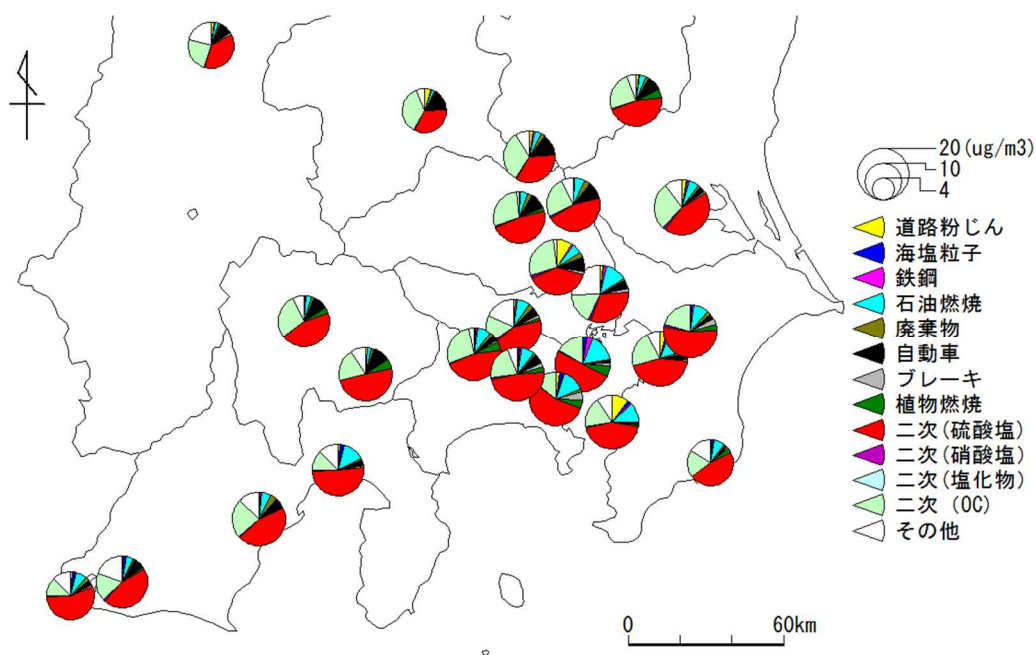


図 5-3-2 2015 年夏季の発生源寄与率の推定結果（マップ）

5.4 秋季の計算結果

秋季の計算結果を図5-4-1及び図5-4-2に示す。PM2.5濃度が四季で2番目に低く、 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えたのは真岡、館林、鴻巣、幸手、さいたま、浜松の6地点であった。その他が $0.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上のマイナスとなったのは、さいたま、千葉、横浜、川崎、大和、甲府、吉田の7地点であった。

秋季の最大成分は二次（OC）で、15地点で3割を超え、ほぼ3分の1を占めていた。鴻巣が全データで最大となり粒子の半分近くを占めた。二番目に多い成分は二次（硫酸塩）で14地点で2割を超え、ほぼ4分の1を占めていた。二次（硝酸塩）はほとんど1割未満で、二次（塩化物）は春、夏に続いてほぼゼロであった。自動車の寄与量が四季の中で秋季が最も多く、館林では全データで最も高い結果となった。植物燃焼の寄与も四季の中で最も多く計算されており、千葉では18%を超える結果が得られている。一方、3.3及び3.5では埼玉県の高濃度のOCの原因として植物質燃焼を挙げているが、埼玉県の3地点で植物燃焼の寄与が計算されていない。植物燃焼の寄与を正確に評価するためにはレボグルコサンのような項目の測定が必要であるが、特に K^+ の濃度が高くなく、ECとの比についても目立った特徴は見られなかった。結果的に埼玉県の3地点については、自動車排ガスの寄与が大きくなったことから、各項目の濃度のバランスにより植物燃焼の寄与の一部が自動車排ガスとして計算された可能性がある。同様な事例は静岡県内の3地点でも見られている。

また、さいたまと浜松でAlと Ca^{2+} 濃度が高いことを反映して、道路粉じんの寄与量がかなり大きい結果となっている。さいたまは四季を通じて Ca^{2+} が高く、道路粉じんも多い結果となった。

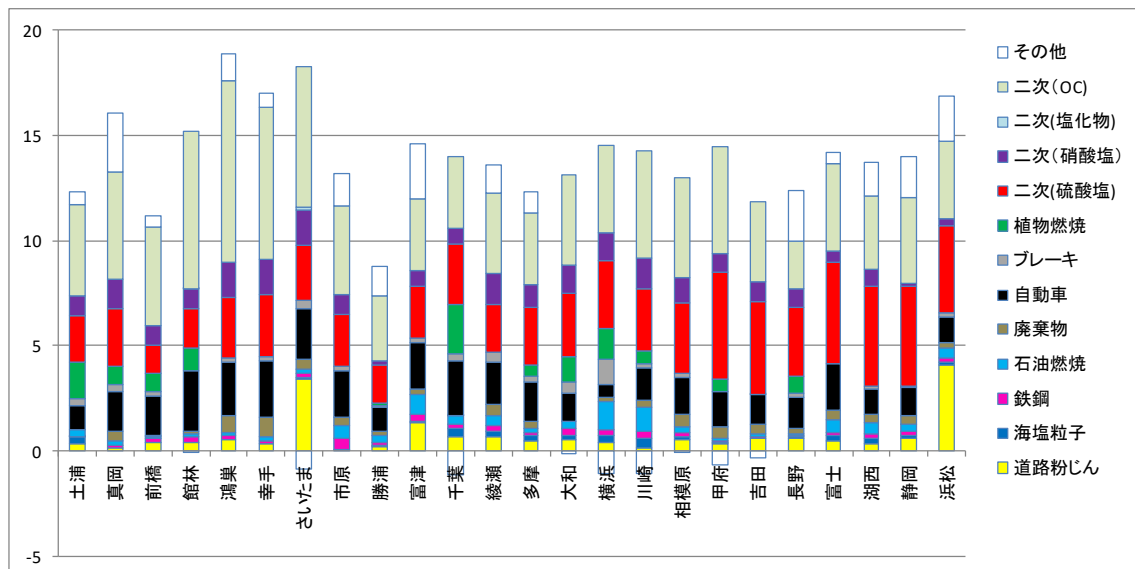


図5-4-1 2015年秋季の発生源寄与量の推定結果（単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）

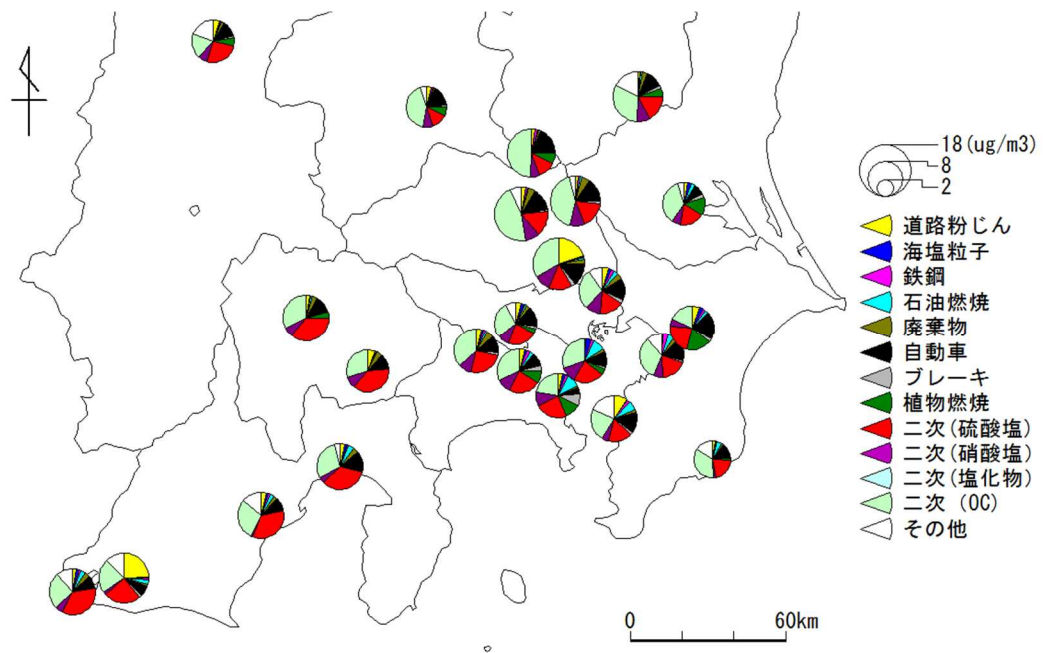


図 5-4-2 2015 年秋季の発生源寄与率の推定結果（マップ）

5.5 冬季の計算結果

冬季の計算結果を図 5-5-1 及び図 5-5-2 に示す。PM2.5 濃度が四季の中で最も低く、 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えたのは真岡のみであった。ただし、真岡については測定期間が異なっている点に注意が必要である。その他がマイナスになる地点が多く、 $0.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上のマイナスとなった地点は、幸手、さいたま、多摩、富津、千葉、大和、横浜、川崎、相模原、富士、甲府、吉田の 12 地点と四季で最多であった。

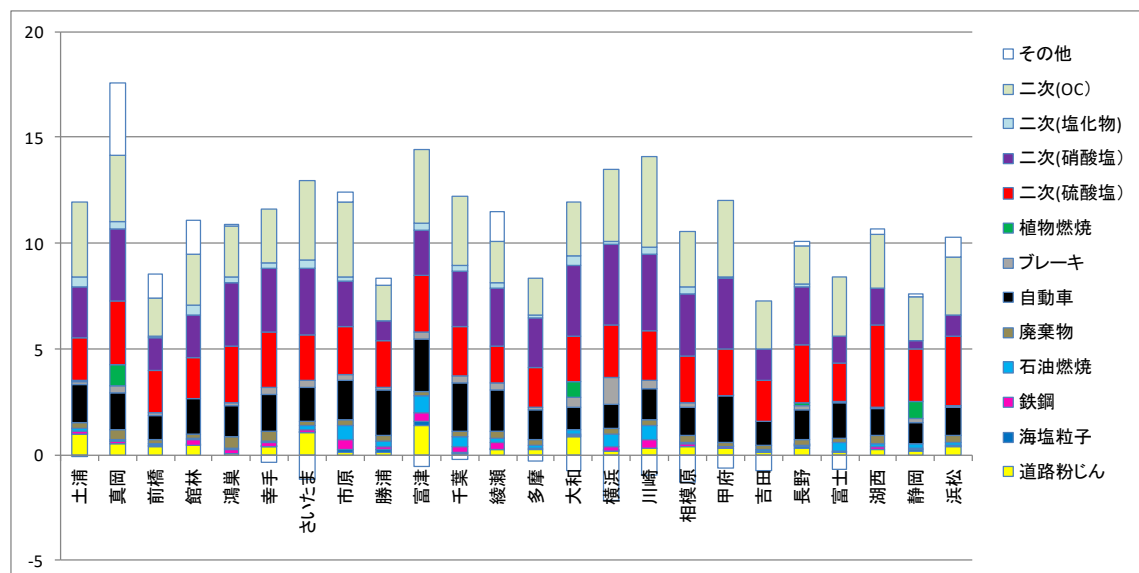


図 5-5-1 2015 年冬季の発生源寄与量の推定結果（単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）

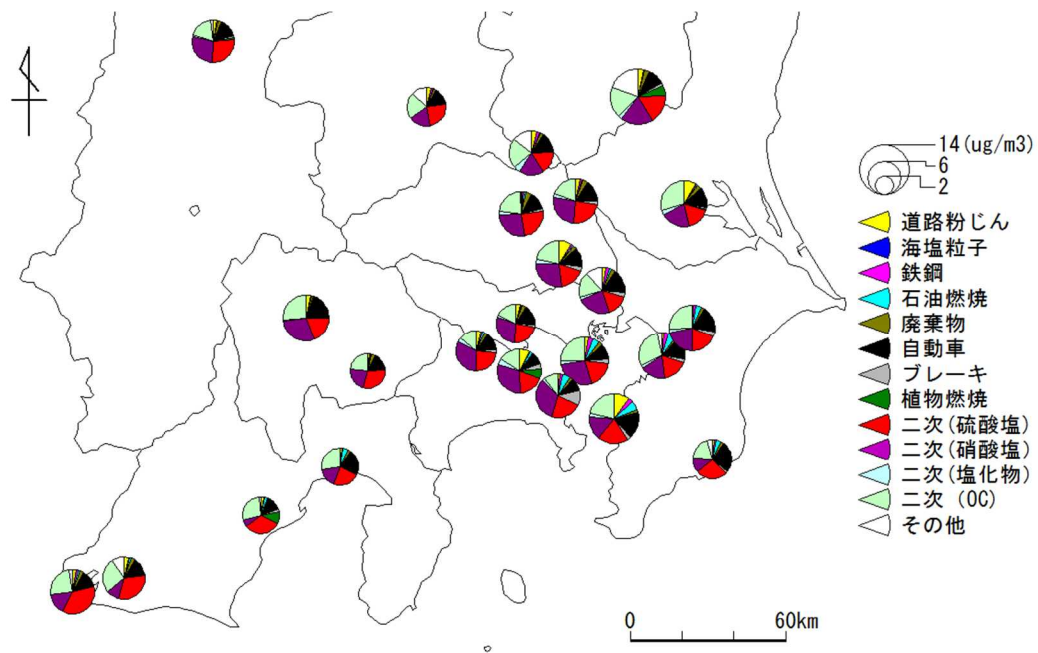


図 5-5-2 2015 年冬季の発生源寄与率の推定結果（マップ）

二次（硝酸塩）の寄与が四季の中で最大で、20 地点で二次（硫酸塩）を上回る結果となった。二次（硫酸塩）が 2 割を超えたのは 13 地点であったが、二次（硝酸塩）が 3 割を超えたのは 20 地点であった。二次（塩化物）が計算されるようになったが、20 地点で $0.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満と少ない結果であった。また、二次（OC）が 2 割を超えたのは 20 地点であった。一方、自動車の寄与量が秋季に次いで多い結果で、寄与率で見ると四季で最大であった。横浜のブレーキ粉じんが全データで最大で 10%を超えた。

5.6 四季の結果の妥当性について

四季の計算の妥当性の評価値を表 5-6-1 に示す。 R^2 はフィッティングに用いた項目の誤差で重み付けした実測値と計算値の相関係数の二乗である。マニュアル⁽³⁾では、0.8 未満ではよく説明できていないと書かれている。 χ^2 は実測値と計算値の差の二乗和を誤差で重みづけした後、自由度（＝項目数－発生源数）で除したものである。マニュアルでは、1 未満が良い適合で、1～2 なら受け入れ可、4 以上なら一つ以上の項目がよく説明されていないと書かれている。

%MASS は計算された寄与量が実測値の PM2.5 濃度に占める割合であり、今回は二次粒子の計算を後で行ったため、二次粒子分を加えた値を示した。マニュアルには PM2.5 濃度が $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満でなければ、80～120%の範囲で受け入れ可とある。

表 5-6-1 四季の計算結果の妥当性

	春季			夏季			秋季			冬季		
	R ²	χ^2	%MASS	R ²	χ^2	%MASS	R ²	χ^2	%MASS	R ²	χ^2	%MASS
土浦	0.840	0.83	90.3%	0.930	0.26	89.8%	0.714	1.47	95.3%	0.870	0.60	100.3%
真岡	0.851	0.98	88.2%	0.825	0.63	94.2%	0.814	1.01	82.5%	0.856	0.66	80.5%
前橋	0.803	1.39	81.9%	0.803	0.91	94.1%	0.794	1.15	95.1%	0.845	0.65	87.0%
館林	0.874	0.70	83.7%	0.815	1.52	91.2%	0.893	0.58	100.2%	0.843	0.44	85.7%
鴻巣	0.852	0.45	99.2%	0.828	1.00	98.1%	0.798	0.83	93.1%	0.738	1.06	99.3%
幸手	0.827	0.59	95.9%	0.848	0.63	92.4%	0.844	0.54	95.9%	0.853	0.63	103.0%
さいたま	0.775	1.07	76.6%	0.897	0.79	98.0%	0.868	0.84	105.0%	0.747	1.41	109.5%
市原	0.859	0.93	87.8%	0.900	0.63	92.1%	0.815	1.04	88.4%	0.801	0.94	96.5%
勝浦	0.654	1.57	89.9%	0.764	1.17	84.0%	0.766	1.17	84.0%	0.812	0.87	95.8%
富津	0.790	1.12	93.4%	0.848	0.92	90.5%	0.744	1.47	81.9%	0.783	1.73	104.0%
千葉	0.873	0.66	101.4%	0.816	0.84	105.2%	0.805	1.13	108.6%	0.719	1.46	102.0%
綾瀬	0.901	0.91	93.2%	0.881	0.89	74.5%	0.785	1.57	90.2%	0.654	2.17	88.0%
多摩	0.842	1.53	87.1%	0.883	1.13	81.8%	0.816	1.57	92.2%	0.799	1.02	103.6%
大和	0.663	2.31	97.4%	0.903	1.01	93.6%	0.907	0.68	101.0%	0.753	1.25	106.8%
横浜	0.801	0.99	97.2%	0.899	0.63	104.2%	0.858	0.96	108.2%	0.823	0.92	119.2%
川崎	0.875	0.96	106.5%	0.905	0.56	105.8%	0.851	1.07	108.2%	0.869	0.41	107.4%
相模原	0.871	0.96	96.3%	0.887	1.19	96.7%	0.828	1.22	100.0%	0.860	0.77	113.6%
甲府	0.849	0.99	92.8%	0.912	0.56	92.7%	0.883	0.44	104.8%	0.731	0.85	105.4%
吉田	0.747	1.52	86.6%	0.907	0.51	91.0%	0.853	0.55	103.1%	0.684	1.11	111.3%
長野	0.856	1.11	77.1%	0.908	0.66	78.6%	0.836	0.73	80.5%	0.842	0.61	98.1%
富士	0.832	0.86	82.5%	0.895	0.49	87.7%	0.864	0.69	96.2%	0.909	0.46	108.7%
湖西	0.815	0.96	81.0%	0.839	0.68	87.5%	0.846	0.67	88.5%	0.870	0.41	97.3%
静岡	0.887	0.87	85.3%	0.870	0.51	86.9%	0.874	0.76	86.0%	0.862	0.80	98.6%
浜松	0.845	0.81	83.3%	0.782	0.62	80.5%	0.860	0.72	87.2%	0.868	0.38	90.5%

R²が0.8未満は春季が5例、夏季が2例、秋季が6例、冬季が9例で、濃度が最も高い夏季で適合性が高く、濃度が最も低い冬季の適合性が低かった。四季を通じて χ^2 が4を超えることはなく、2を超えたのも春季の大和と冬季の綾瀬のみであった。%MASSが80%未満は春季が2例、夏季は2例、秋季と冬季は1例もなく、120%以上は四季を通じてなかった。四季を通じて不適合とならなかったのは10地点で、1例のみ不適合となったのは6地点で、2例のみは4地点であった。最も多い3例の不適合はさいたまと綾瀬と勝浦と富津の4地点であった。全体的に計算が良好に行われたと考えられる。

5.7 季節別・区分別の発生源寄与について

5.7.1 寄与量について

表 5-7-1-1 に季節別、区分別の傾向をまとめた。この表で「最大データ」というのは、全計算結果の寄与量($\mu\text{g}/\text{m}^3$)の最大値である。春と夏に多くなるものが多く、道路粉じん、海塩粒子、鉄鋼、石油燃焼、廃棄物焼却、二次(硫酸塩)、二次(OC)が挙げられる。秋に多くなる発生源は自動車と植物燃焼、二次(OC)で、冬に多くなる発生源は二次(硝酸塩)と二次(塩化物)だけであった。

表 5-7-1-1 季節別・区分別の発生源寄与量

	最大データ	春	夏	秋	冬	区分別
道路粉じん	浜松/秋	1.16	0.42	0.74	0.39	春は内陸＞沿岸
海塩粒子	川崎/夏	0.18	0.17	0.14	0.04	沿岸＞内陸
鉄鋼	川崎/夏	0.20	0.20	0.22	0.17	沿岸＞内陸
石油燃焼	川崎/夏	1.03	1.62	0.40	0.82	沿岸＞内陸
廃棄物焼却	幸手/秋	0.25	0.41	0.37	0.26	内陸＞沿岸
自動車排ガス	館林/秋	1.12	1.28	1.79	1.60	冬を除いて内陸＞沿岸
ブレーキ粉じん	横浜/冬	0.23	0.27	0.25	0.25	沿岸＞内陸
植物燃焼	大和/春	0.31	0.42	0.51	0.12	春は沿岸＞内陸
二次(硫酸塩)	横浜/夏	5.25	9.45	3.13	2.37	やや沿岸＞内陸
二次(硝酸塩)	横浜/冬	1.05	0.19	1.01	2.38	内陸＞沿岸
二次(塩化物)	館林/冬	0.00	0.00	0.01	0.21	やや内陸＞沿岸
二次(OC)	鴻巣/秋	3.85	4.74	4.60	2.75	冬を除いて内陸＞沿岸
その他	綾瀬/夏	1.73	1.79	0.71	0.01	春は内陸＞沿岸

注) 数値は全地点の平均濃度 (μg/m³) 色の凡例: 最も多い・二番目に多い・最も少ない

区分別にみると、内陸＞沿岸となるのは春の道路粉じん（黄砂や土壌の舞い上がりが含まれると考えられる。）、廃棄物焼却、冬を除く自動車排ガス、二次（硝酸塩）、冬を除く二次（OC）が挙げられる。内陸＞沿岸の傾向が見られるものとしては、二次（塩化物）が挙げられる。沿岸＞内陸となるものは、海塩粒子、鉄鋼、石油燃焼、ブレーキ粉じん、春の植物燃焼で、沿岸＞内陸の傾向が見られるものは、二次（硫酸塩）であった。

5.7.2 寄与率について

図 5-7-2-1 に春季の沿岸・内陸の区分別の平均寄与率を示す。四季で最も道路粉じんの割合が多く、内陸が沿岸より高くなっている。石油燃焼はコンビナートや工場が多い沿岸が内陸よりも高くなっているが、自動車は逆に内陸＞沿岸であり、ディーゼル車運行規制地域外が多い影響が考えられる。二次（硫酸塩）はやや沿岸＞内陸で、二次（OC）はやや内陸＞沿岸の傾向がある。

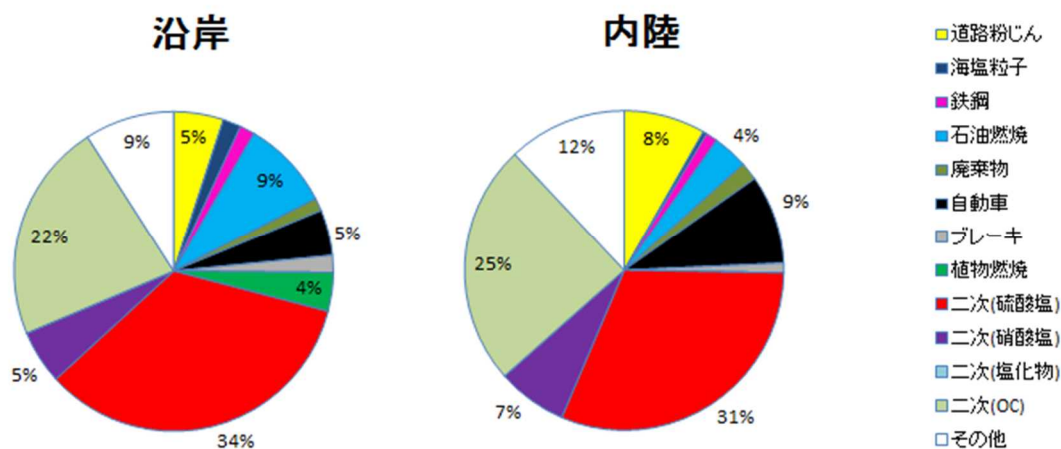


図 5-7-2-1 春季の沿岸・内陸の区分別の寄与率

図 5-7-2-2 に夏季の沿岸・内陸の区分別の平均寄与率を示す。四季で最も PM2.5 濃度が高い時期であり、最大成分は二次（硫酸塩）で、沿岸が内陸よりも高い傾向である。2 番目の成分である二次（OC）は春季と同様に内陸＞沿岸である。3 番目は沿岸では石油燃焼で、内陸では自動車である。石油燃焼の寄与率は沿岸が内陸の 2 倍で、自動車の寄与率は内陸が沿岸の 2 倍以上であった。

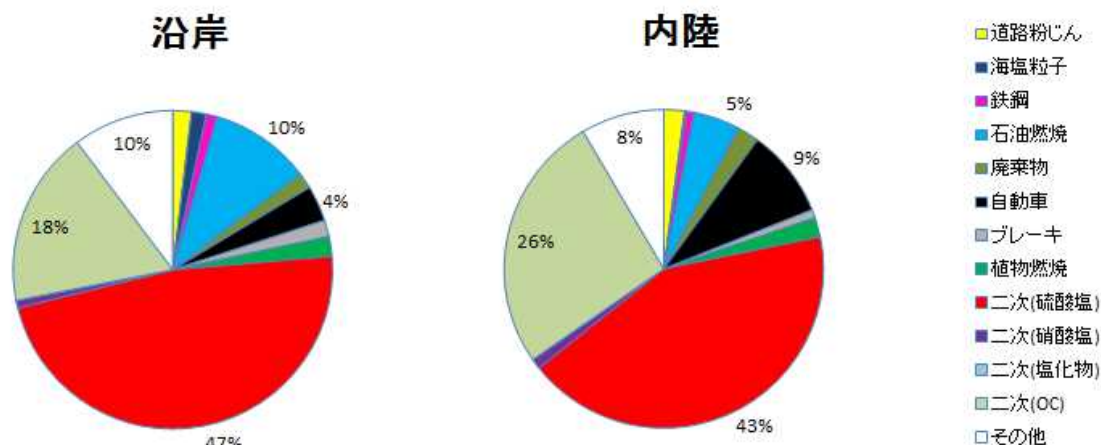


図 5-7-2-2 夏季の沿岸・内陸の区分別の寄与率

図 5-7-2-3 に秋季の沿岸・内陸の区分別の平均寄与率を示す。二次（OC）が秋季の最大成分で、春季・夏季同様に内陸＞沿岸である。2 番目の成分である二次（硫酸塩）は沿岸＞内陸である。自動車の寄与量は四季で最大であるが、寄与率では冬に次いで 2 番目であり、やや内陸＞沿岸である。夏季にほとんど見られなかった二次（硝酸塩）が寄与率としては 4 番目の成分となった。石油燃焼は春季・夏季同様に沿岸＞内陸であるが、寄与率としては大きくはない。

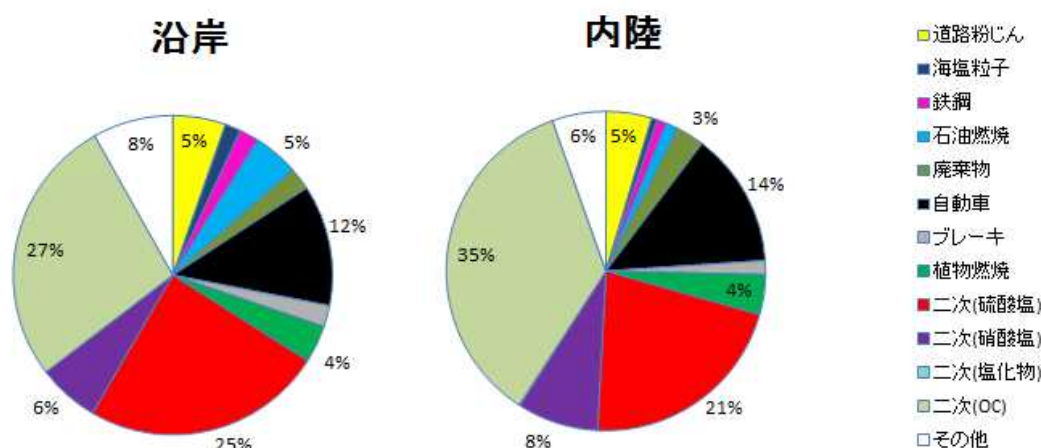


図 5-7-2-3 秋季の沿岸・内陸の区分別の寄与率

図 5-7-2-4 に冬季の沿岸・内陸の区分別の平均寄与率を示す。沿岸では最大成分は二次（硫酸塩）であるが、二次（OC）とほとんど変わらず、二次（硝酸塩）も接近している。内陸の最大成分は二次（硝酸塩）であるが、二次（OC）と二次（硫酸塩）も接近している。4 番目はいずれも自動車であるが、沿岸と内陸で同じ寄与率となった。石油燃焼は四季全てについて沿岸＞内陸であった。

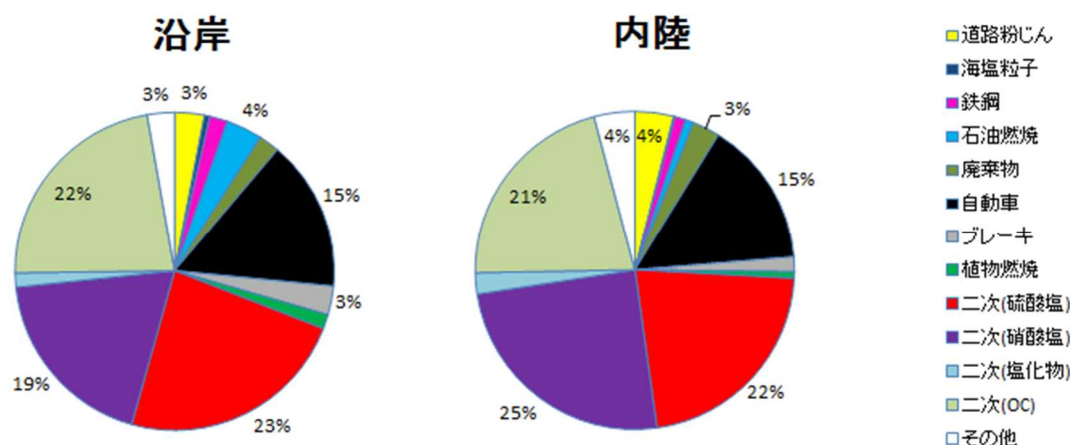


図 5-7-2-4 冬季の沿岸・内陸の区分別の寄与率

5.8 二次粒子の計算方法について

今回の計算では、15 項目×8 発生源で CMB8.2 の計算を行ってから NH_4^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} のデータと OC の分析値から二次粒子の計算を別に行うこととしたが、二次粒子を 4 種類に分けたため、当量濃度を確認して NH_4^+ が過剰なのか不足なのかを判断して計算する必要があり、実測値と計算値の関係などもあって計算がやや複雑になった。CMB8.2 のマニュアルでは計算例として示されている発生源データとして、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ と NH_4NO_3 と NaNO_3 があり、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ は SO_4^{2-} が 72.7% で NH_4^+ が 27.3% の組成で、 NH_4NO_3 が NO_3^- が 77.45% で NH_4^+ が 22.55% の組成で、 NaNO_3 が NO_3^- が 72.95% で Na^+ が 27.05% の組成としたデータセットが例として示され、不確かさについてはいずれも 1/10 が設定されている。そこで、今後の参考のために表 5-1-1 の 20 項目から OC のみフィッティングから外して、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ と NH_4NO_3 と NaNO_3 を発生源として加えた 19 項目×11 発生源で CMB8.2 の計算を行ってみた。

その結果、 NaNO_3 については、冬季はほとんど計算されず、その他の季節でも平均して 1% 程度の寄与率しか計算されなかった。この結果から、寄与の少ない NaNO_3 の代わりに NH_4Cl (NH_4^+ : 33.65%, Cl^- : 66.35%) を発生源データとして入れて再計算した。図 5-8-1 に二次（硫酸塩）の結果を示す。この図から発生源データに $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 等を入力して求めた二次（硫酸塩）の推定値は、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 NH_4^+ の当量濃度から別計算で求めたものほとんど変わらなかった。

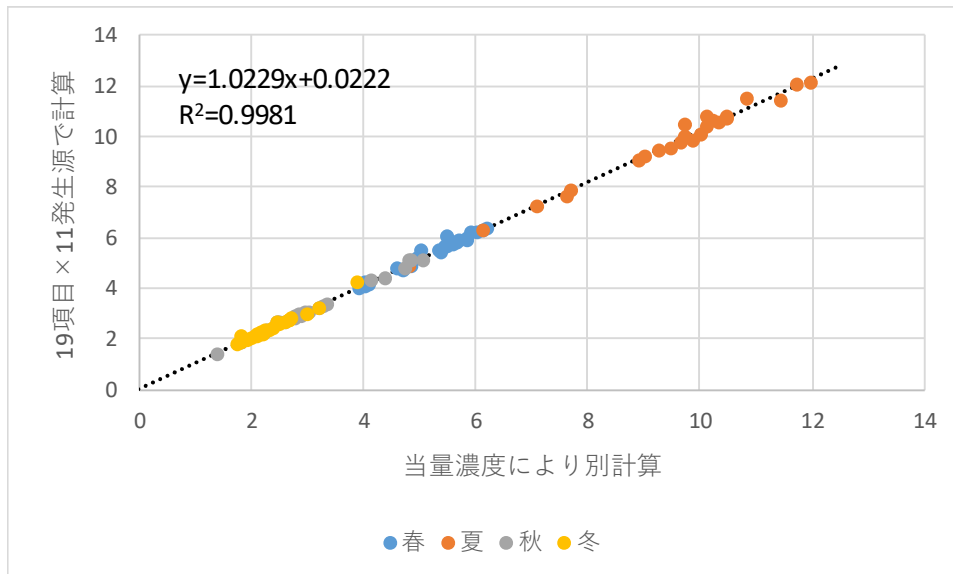


図 5-8-1 二つの方法による二次（硫酸塩）の推定値の比較（単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）

また、二次（硝酸塩）についても、図 5-8-2 に示すように非常に良く一致していた。ただし、二次（塩化物）については、ほぼ冬季のみしか計算されず、濃度も低いこともあり、図 5-8-3 に示すようにややばらついた傾向となった。

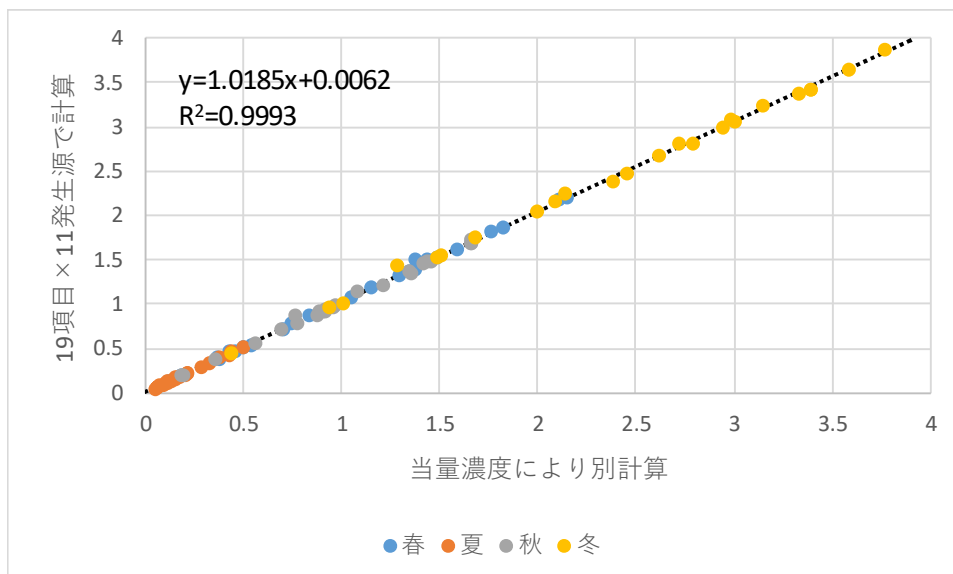


図 5-8-2 二つの方法による二次（硝酸塩）の推定値の比較（単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）

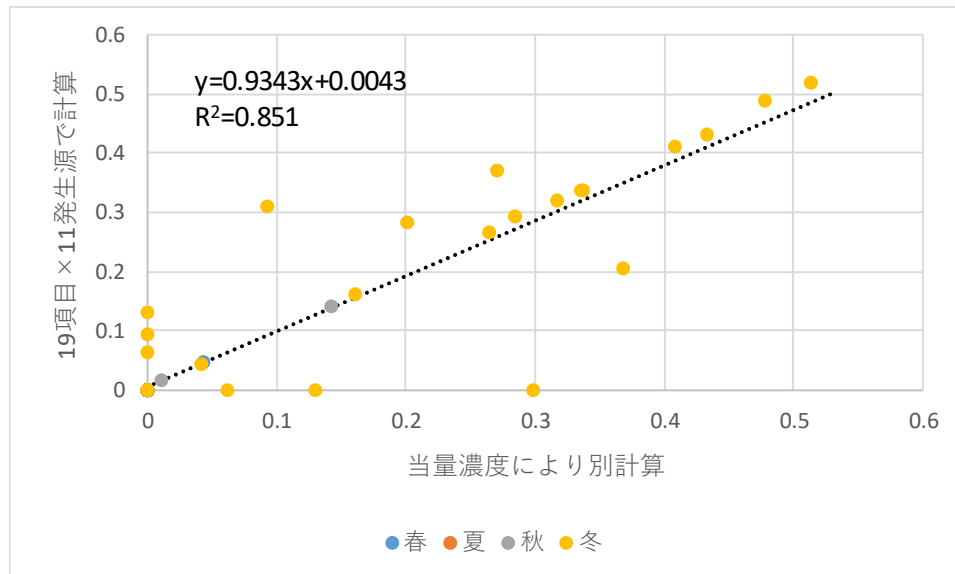


図 5-8-3 二つの方法による二次（塩化物）の推定値の比較（単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）

二次粒子の計算方法としては、発生源データに $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 等を入力する19項目×11発生源での計算の方が簡単である。100%OCという発生源を想定する武田らの方法⁴⁾を採用すれば、二次（OC）の計算も可能となる。ただ、輸送中に変質しないという前提条件と合致するかという問題もあり、今後検討すべき課題である

参考文献

- 1) 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書（2011）
<http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/pm25v23.pdf>
- 2) 山神真紀子、久恒邦裕、池盛文数：微小粒子状物質（PM2.5）の発生源寄与率の推定．名古屋市環境科学調査センター年報．1. p.20-25（2012）
- 3) EPA：EPA-CMB8.2 User's Manual
<http://www3.epa.gov/ttn/scram/models/receptor/EPA-CMB82Manual.pdf>
- 4) 武田麻由子、小松宏昭：神奈川県における微小粒子状物質（PM2.5）の特徴について（平成24年度）（2）CMB法を用いた発生源寄与の推定．神奈川県環境科学センター研究報告 第36号 18～26頁（2013）

6 今後の課題

本調査会議は、昭和 56 年から浮遊粒子状物質に係る調査研究を開始し、平成 20 年度以降は PM2.5 に着目した新たな調査を実施してきたところである。一方で平成 21 年には環境基準が告示され、その後、環境省により平成 24 年には成分測定マニュアルが策定されるなど、国の動きを受け、全国の自治体では常時監視としての成分分析の体制整備が進められた。さらに、平成 28 年 4 月には成分測定マニュアルの一部が改訂され、水溶性有機炭素成分及びガス成分の測定方法が通知された。

近年、本調査会議では、PM2.5 の成分分析の分析体制はほぼ整備されたことから、各自治体が常時監視として実施する成分分析調査の結果を持ち寄り、解析を行う活動に移行している。本年度においても、平成 27 年度の調査結果を持ち寄ってデータの解析を行うとともに、平成 28 年度の調査を実施した。また、自治体間での分析手法の統一や精度の確保のほか、PM2.5 が高濃度となる要因の解析手法の検討などの新たな課題も浮上している。

また、平成 27 年度から、報告書の構成を従来の成分毎から、季節毎に変更し、それぞれの季節について各自治体が執筆担当することとした。この変更により、各自治体を取り扱うデータ量が大幅に増えたこともあり、報告内容に統一感を持たせる工夫が必要となった。

このため、今後は次に挙げる事項について検討していきたい。

- ・ 年間を通じた解析（調査結果解析）方法
- ・ 自治体間の分析精度の確保
- ・ 成分測定マニュアル改訂への対応
- ・ 報告書の構成変更に伴う執筆内容の工夫

これらの事項に対して、本調査会では、自動測定機による常時監視データ及び成分分析結果等による高濃度事例の解析、精度管理試料を用いた自治体間での分析精度の確保に努めており、今後も継続的な検討が必要と思われる。また、国民への情報発信強化のため平成 26 年度に新たにホームページを作成しており、今後も本調査会の活動及び調査結果について情報提供を続けていく方針である。