

日中都市間連携協力事業  
川崎市-瀋陽市 **PM2.5** 共同研究  
合同報告書

川崎市環境総合研究所  
瀋陽環境科学研究所 瀋陽市環境監測センター

2019年3月

## 都市間連携協力事業 参加者名簿

川崎市（環境局環境総合研究所）

所属	役職	氏名	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度
環境総合研究所	所長	川村 真一					○
	理事・所長	横田 覚	○	○	○	○	
環境総合研究所 事業推進課	課長	藤巻 浩					○
	担当部長	武藤 良博				○	
	担当部長	川村 真一			○		
	担当部長	北野 浩祥	○	○			
	担当係長	山口 廣美				○	○
	課長補佐	小森 章一		○	○		
	担当係長	末繁 泰弘		○			
	課長補佐	北村 裕一	○				
	技術職員	近藤 玲子			○	○	○
	技術職員	笠松 志保	○	○			
	嘱託員	牧 葉子	○				
環境総合研究所 地域環境・公害監 視課	課長	喜内 博子				○	○
	課長	鴨志田 均	○	○	○		
	担当係長	山田 大介			○	○	○
	課長補佐	三澤 隆弘	○	○			
	課長補佐	富樫 眞一		○			
	技術職員	田邊 智弘					○
	技術職員	鈴木 義浩	○	○	○		
環境総合研究所 環境リスク調査課	課長	原 美由紀		○			
	技術職員	藤田 一樹			○		
環境対策部 大気環境課	課長補佐	齋藤 武弥					○
	課長補佐	塚本 浩子	○				

瀋陽市（生態環境局）

所属	役職	氏名	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度
生態環境局 国際合作处	処長	趙 虹	○	○	○	○	○
瀋陽市環境技術評価センター	工程師	王 劍虹	○	○	○	○	○
瀋陽市生態環境事務サービスと行政法執行センター	副主任科員	周 明遠				○	○
瀋陽市環境監測センター	センター長/教授級高級工程師	張 嘉治				○	○
	副センター長/教授級高級工程師	林 宏			○	○	
	副センター長/教授級高級工程師	曲 健			○	○	○
	主任/高級工程師	劉 閩			○	○	○
	副主任/高級工程師	王 帥			○	○	○
	高級工程師	候 樂			○		○
	副主任/高級工程師	杜 毅明				○	
	高級工程師	楊 碧波				○	
	工程師	王 男					○
	主任/高級工程師	李 晶		○		○	
	高級工程師	王 成輝				○	
	工程師	李 哲				○	
	主任/工程師	鄭 興宝		○		○	
	副主任/工程師	張 晶				○	
	工程師	許 云竹				○	
瀋陽環境科学研究院	院長	邵 春岩			○	○	○
	主任/副総工程師	王 維寬			○	○	○
	副主任/工程師	趙 帝			○	○	○
	工程師	卞 思思			○	○	○
	工程師	王 帆					○
	工程師	祝 勝男				○	○
	工程師	李 一倬					○
	工程師	刘 岩				○	○

プラットフォーム

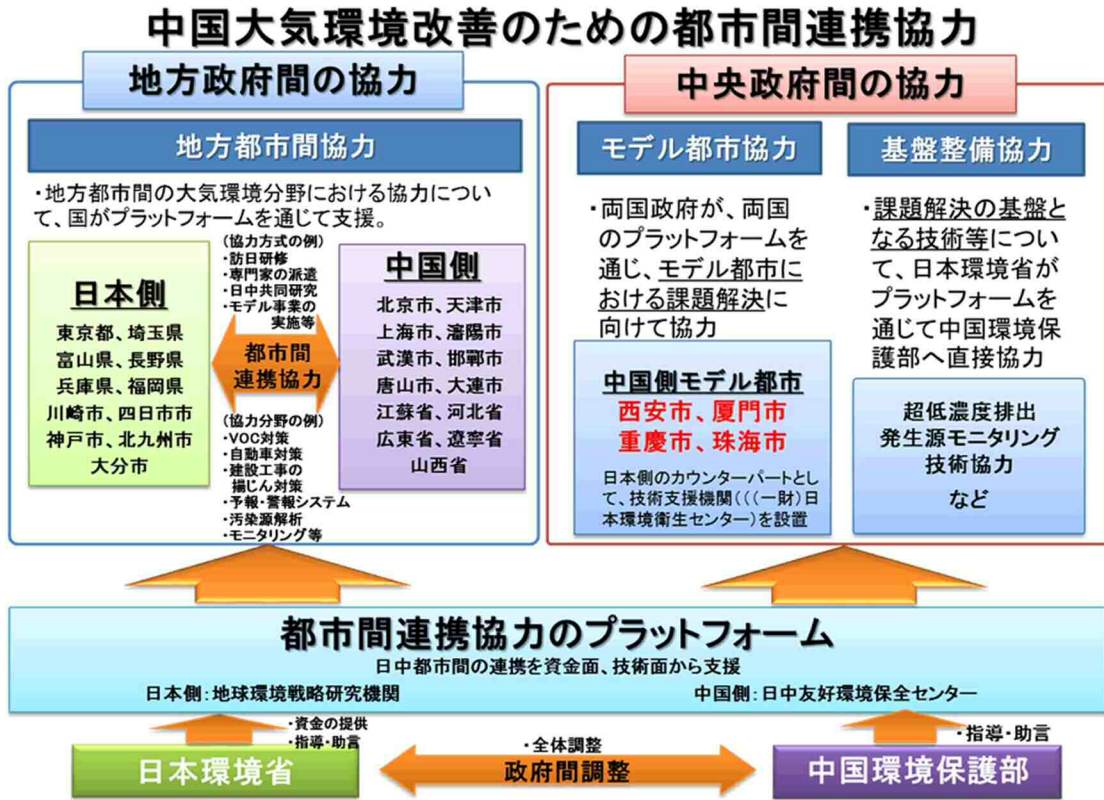
所属	役職	氏名	2014 年度	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度
(公財) 地球環境 戦略研究機関	北京事務所 長	小柳 秀明	○	○	○	○	○
	北京事務所 事務主任	本郷 綾子	○	○	○	○	○
(一財) 日本環境 衛生センター	部長	塩崎 卓哉			○	○	○
	次長	高橋 克行			○	○	○
	職員	市川 喜美			○	○	○

# 目次

1	はじめに	5
2	実態把握調査結果	
2.1	川崎市の調査結果	6
2.2	瀋陽市の調査結果	8
2.3	両市の調査結果の比較	9
3	PM2.5 発生要因の解明	
3.1	川崎市で推測される要因	10
3.2	瀋陽市で推測される要因	12
3.3	両市の発生要因の比較	15
4	大気環境の改善に向けたこれまでの取組	
4.1	川崎市のこれまでの取組	17
4.2	瀋陽市のこれまでの取組	20
5	共同研究の結果に基づく今後の取組	
5.1	川崎市のこれまでの効果検証及び今後の対策・施策	21
5.2	瀋陽市のこれまでの効果検証及び今後の対策・施策	21
5.2.1	瀋陽市のこれまでの効果検証	21
5.2.2	瀋陽市の今後の対策・施策	22
5.2.3	評価方法	23
5.3	両市のこれまでの効果検証及び今後の対策・施策の比較	23
6	共同研究の成果・まとめ	
6.1	全体の成果・まとめ	25
6.1.1	技術の応用及び学術研究	25
6.1.2	環境管理及び政策の策定	26
7	謝辞	26

1 はじめに

環境省では、2014 年度から中国大気環境改善のための協力事業として、既存の日中友好都市等の良好な交流協力関係等を基礎とし、両都市間の大気汚染対策分野での交流協力を更に一歩進めていくことを目的として、都市間連携協力事業を行っている。



川崎市と瀋陽市は、1981 年に友好関係を締結以降、様々な交流を重ねて友好関係を醸成してきた。

このような友好関係・交流協力関係を基盤として、両市は 2014 年度から環境省の都市間連携協力事業に参画し、大気環境の改善に資するための研修や情報交換、協議等を行った。これらの取組を踏まえて 2016 年度からは、瀋陽市の喫緊の課題である微小粒子状物質 (PM2.5) の改善を目指し、PM2.5 共同研究を開始した。

PM2.5 共同研究では、実態把握調査解析として、両市において PM2.5 サンプルング及び成分分析を行った。その結果を用いて発生源解析を行うことで発生源寄与率を推計し、推測される主要な汚染要因に効果的な対策を検討して施策・計画に反映させる等により、瀋陽市の PM2.5 をはじめとする大気環境を改善することができた。

この合同報告書は、川崎市及び瀋陽市で実施した PM2.5 実態把握調査の結果や両市におけるこれまでと今後の取組等をまとめるとともに両市の比較を行い、最後に共同研究の成果をまとめている。

## 2 実態把握調査結果

### 2.1 川崎市の調査結果

川崎市の市内3地点（一般環境大気測定局（一般局）：田島、高津、自動車排出ガス測定局（自排局）：池上）においてPM2.5の成分分析調査を実施した結果を基に、川崎市の2017年度の各季節における環境実態を解析した。

PM2.5濃度の年平均値は田島10.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、高津10.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、池上13.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、全地点で環境基準値である15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を下回った（なお、環境基準の評価は自動測定機により実施するため、参考として示している）。最も高濃度となったのは3地点とも春季であり、最も低濃度となったのは3地点とも夏季であった。

イオン成分は、二次生成粒子の代表的な成分である $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NH}_4^+$ が大半を占めており、PM2.5の約半分（43%～50%）を占めていた。夏季の $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度は、2016年度と同様に低く、2015年度以前と比べて顕著に低かった（3地点平均で2015年度9.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、2016年度2.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、2017年度2.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）。この理由として、夏季に曇りや雨の日が多かったため、光化学オキシダントが低く二次生成が進まなかったと考えられる。そのため、夏季のPM2.5濃度が低下したと推測される。

炭素成分は、有機炭素（OC）では、季節ごとの差は少なく、ほぼ同程度の濃度であった。調査地点で比較すると、高津でやや高い傾向が見られたが、顕著なものではなかった。元素状炭素（EC）では、秋季に濃度が高く夏季に濃度が低い傾向を示し、自排局である池上で高い濃度を示した。炭素成分は、PM2.5の約1/3（33～38%）を占めていた。

無機元素は、自然発生源に由来するNa、Al、K、Ca、Feが高い濃度を示した。南風が卓越する春季や夏季に、臨海部の田島や池上で濃度が増加する成分は、海塩粒子に多く含まれる成分と、臨海部の工業地帯に発生源がある成分になるが、2017年度では夏季の南風の頻度が少なかったため濃度があまり増加せず、春季に高い傾向を示した。海塩粒子の指標となるNa、セメントや土壌の指標となるCa、重油燃焼の指標となるV、Ni、鉄鋼業の指標となるMn、Feは、春季に最も高い濃度を示した。また、ブレーキ粉じんの指標となるCu、Sbは自排局の池上で高い濃度を示した。

レボグルコサンは、田島及び高津とも春季及び夏季で低く、秋季及び冬季で高い傾向にあった。2地点とも濃度は同程度であったが、季節ごとの平均値及び年平均値をみると、全て高津の方が高かった。

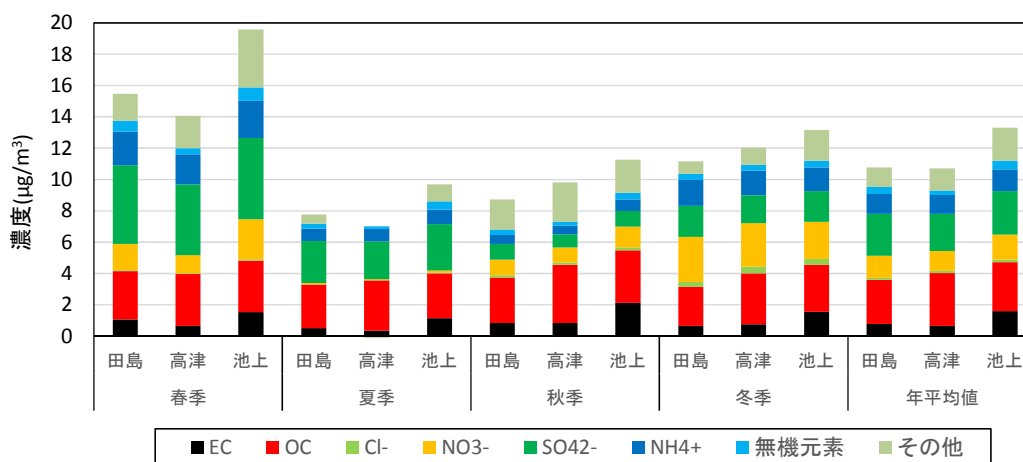


図1 川崎市のPM2.5中の各種成分の濃度の季節及び年平均値

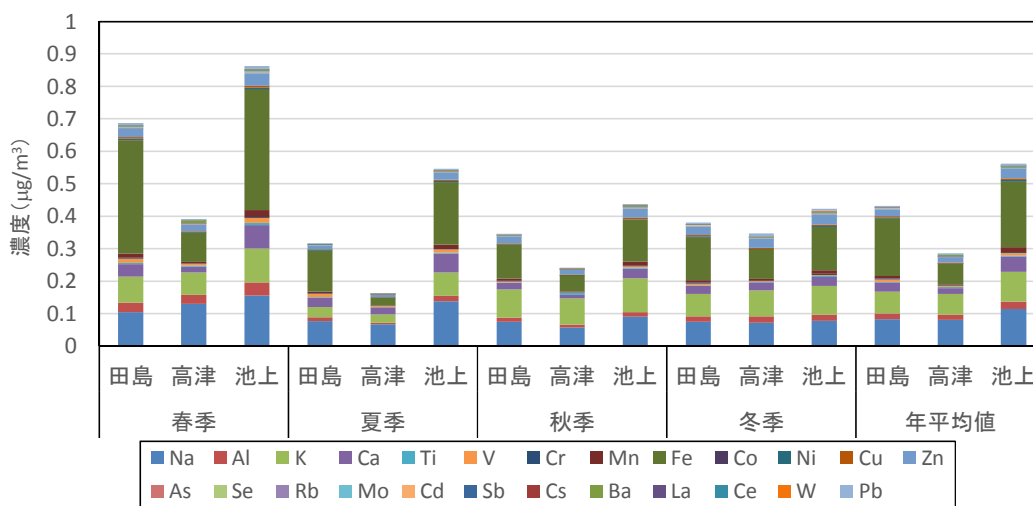


図2 図1の無機元素部分の詳細

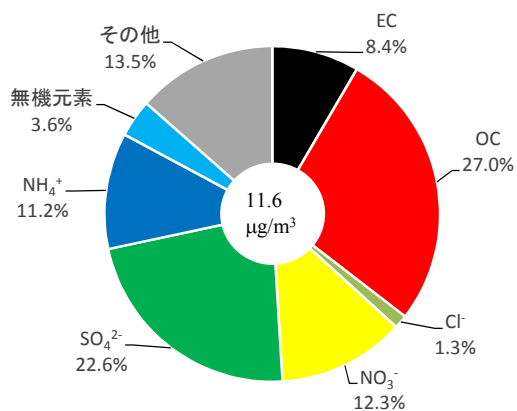


図3 川崎市の各種成分の年平均値の割合



## 2.2 瀋陽市の調査結果

瀋陽市内の3つの地点を選び（中山公園、環境保護局、滄海路）、PM2.5の成分について分析調査を行った。かつ、その結果に基づき、瀋陽市の2017年度の各季節のPM2.5汚染状況について分析を行った。観測で得られたPM2.5質量濃度の平均値は、中山公園地点77  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、環境保護局地点71  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、滄海路地点93  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、すべての観測地点のPM2.5濃度の年平均値が環境大気品質二級標準（35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；GB 3095-2012）を超えていた。測定期間中の瀋陽市の各測定地点における環境大気のPM2.5質量濃度の範囲は27～129  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、季節では夏季の濃度が最も低く、秋季の濃度が最も高く、地点では環境保護局の濃度が最も低く、滄海路の濃度が最も高かった。

水溶性イオン濃度で見ると、測定期間中の瀋陽市の各測定地点における環境大気のPM2.5中、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NH}_4^+$ の3種のイオン濃度がその他イオンを遥かに上回っている点から、PM2.5中のイオンが主として硫酸アンモニウムと硝酸アンモニウムの2つの形態で存在していることが分かった。イオン総濃度は、季節では夏季が最も低く、秋季が最も高く、地点では中山公園が最も低く、滄海路が最も高かった。

炭素成分濃度で見ると、瀋陽市の各測定地点における環境大気のPM2.5中のOC濃度はEC濃度を遥かに上回った。炭素総濃度は、季節では夏季が最も低く、秋季が最も高く、地点では環境保護局が最も低く、滄海路が最も高かった。

無機元素濃度で見ると、瀋陽市の各測定地点における環境大気のPM2.5中、濃度が高い元素はCa、K、Fe、Al、Mg、Naであった。無機元素総濃度は、季節では夏季が最も低く、春季が最も高く、地点では春は中山公園が最も高く、夏、秋、冬の三季は滄海路が最も高かった。

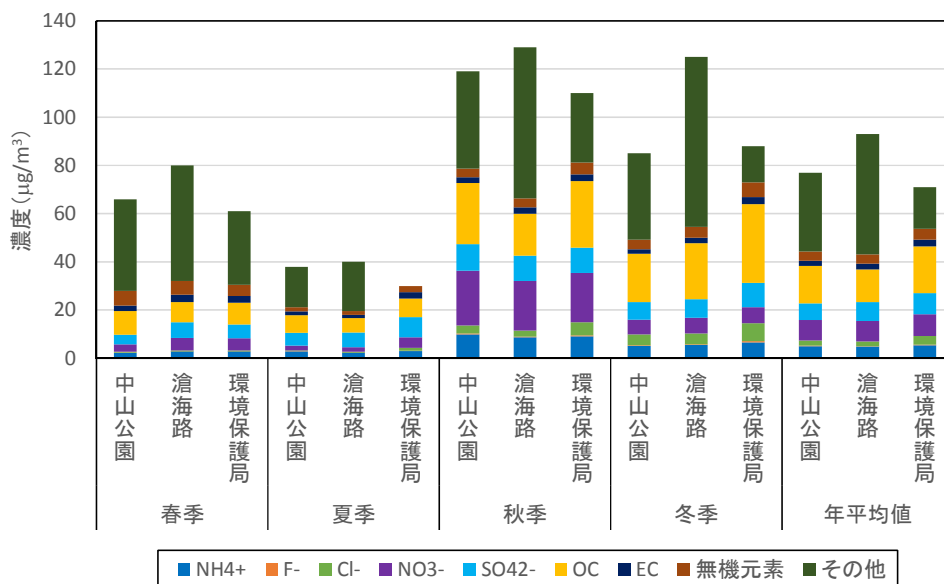


図4 瀋陽市PM2.5中の各成分濃度の季節平均値及び年平均値

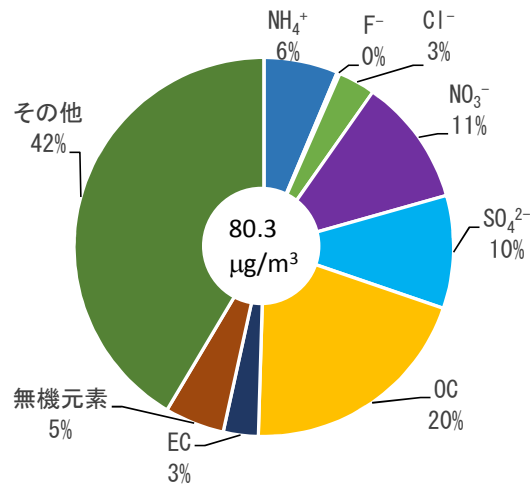


図5 瀋陽市各成分の年平均値の割合

以上の結論をまとめると、瀋陽市の環境大気 PM<sub>2.5</sub> の成分は比較的明確な季節性を呈しており、夏季の汚染度が最も低く、秋と冬の汚染度が最も高くなっており、これは秋・冬に暖房供給や野焼きなどの事象が多発することと関係していることが分かる。空間分布で見ると、滄海路地点の汚染度がその他地区より明らかに高く、これは工場からの排出が瀋陽市の環境大気 PM<sub>2.5</sub> 濃度に重要な影響を及ぼしていることを示すものである。

### 2.3 両市の調査結果の比較

川崎市と瀋陽市の PM<sub>2.5</sub> 濃度を比較すると、3地点の年平均値で川崎市は 11.6 µg/m<sup>3</sup>、瀋陽市は 80.3 µg/m<sup>3</sup> であり、瀋陽市が川崎市より 6.9 倍高かった。季節で見ると、瀋陽市が特に高かったのは秋季で 12 倍（瀋陽市 119 µg/m<sup>3</sup>、川崎市 9.9 µg/m<sup>3</sup>）であり、次いで冬季の 8.2 倍（瀋陽市 99.3 µg/m<sup>3</sup>、川崎市 12.1 µg/m<sup>3</sup>）、夏季の 4.3 倍（瀋陽市 35.0 µg/m<sup>3</sup>、川崎市 8.1 µg/m<sup>3</sup>）、春季の 4.2 倍（瀋陽市 69.0 µg/m<sup>3</sup>、川崎市 16.4 µg/m<sup>3</sup>）であった。瀋陽市の PM<sub>2.5</sub> 濃度は、秋季で最も高く夏季に最も低くなったが、夏季は川崎市も低い濃度であったため、濃度差の倍率は春季のほうが低くなった。

イオン成分では、両市とも二次生成粒子の指標成分となる NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup> の濃度が高い割合を示したが、濃度そのものは瀋陽市のほうが高く、3地点の年平均値では瀋陽市が NO<sub>3</sub><sup>-</sup> で 6.2 倍、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> で 2.9 倍、NH<sub>4</sub><sup>+</sup> で 3.9 倍高かった。また、その他のイオン成分では、瀋陽市と川崎市の差は更に大きく、Cl<sup>-</sup> では 17 倍、K<sup>+</sup> では 15 倍、Mg<sup>2+</sup> では 17 倍、Ca<sup>2+</sup> では 26 倍と、Na<sup>+</sup>（3.7 倍）を除いて大きな差を示した。瀋陽市のイオン成分について、秋季で最も高濃度を示した成分は NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup> で、冬季で最も高濃度を示した成分は Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup> であり、春季と夏季で高くなったものはなかった。特に、秋季の NO<sub>3</sub><sup>-</sup> は非常に高く（21.3 µg/m<sup>3</sup>）、瀋陽市の秋季の PM<sub>2.5</sub> の増加の一因となった。

炭素成分では、OC、EC とも瀋陽市が高く、3地点の年平均値では OC は 5.2 倍、EC は 2.5 倍で

あった。瀋陽市の OC は、秋季 ( $23.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) と冬季 ( $25.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) に非常に高くなっており、川崎市の OC が 1 年を通して大きな変化がなかったのと対照的であった。また、EC は瀋陽市では大きな季節変化は見られなかったが、春季に高く夏季に低下していた。EC は自動車排気の指標成分であり、1 年を通して川崎市よりも濃度が高いことから、自動車排気の寄与濃度が川崎市よりも高いと推測される。

無機元素では、瀋陽市と川崎市の 3 地点の平均値を比較して、瀋陽市側で特に高かった成分は Ca (38 倍)、Al (21 倍)、K (9.6 倍)、Pb (8.7 倍)、As (7.2 倍) であり、低かった成分は V (0.45 倍)、Ni (0.90 倍) であった。Ca と Al は土壌系の指標物質であり、瀋陽市では両成分とも春季に高かったが、主に瀋陽市郊外の裸地地帯からの移流が原因と推測される。K はバイオマス燃焼の指標物質であるが、秋季と冬季に高くなっており、農作物残渣の焼却が原因と推測される。Pb と As は石炭燃焼、V と Ni は石油燃焼の指標物質であるが、瀋陽市では Pb と As が高く、V と Ni が低いことから、燃料としては石炭が広く使われ、石油はあまり使われないことを示している。石炭燃焼と石油燃焼の指標となる  $\text{As}/\text{V}^{1)}$  (大きいと石炭燃焼、小さいと石油燃焼) では、瀋陽市で 1.9、川崎市で 0.13 と極端な差がみられ、特に、瀋陽市の秋季で 3.6 (川崎市 0.22)、冬季で 2.3 (川崎市 0.20) と大きな値を示し、寒候期の秋季と冬季での石炭燃焼の影響が大きいことを示した。これらから、Pb と As の高濃度は寒候期の石炭燃焼が原因と推測される。また、これらのバイオマス燃焼と石炭燃焼が、秋季及び冬季の OC や  $\text{NO}_3$  等の増加を引き起こす要因になった可能性も高いと考えられる。

以上の比較から、瀋陽市では川崎市に比べて、春季に土壌系の粉じん、秋季及び冬季に農作物残渣のバイオマス燃焼と石炭燃焼、通年で自動車排気の影響が大きく、これらの要因により  $\text{PM}_{2.5}$  が増加するものと推測される。

- 1) Yonemochi S., Chen X., Miao P., Lu S., Oh K., Umezawa N.: Characterization of high concentration of  $\text{PM}_{2.5}$  and  $\text{PM}_1$  collected in Beijing in January, 2013, *J. Jpn. Soc. Atmos. Environ.*, **48**, 140-144 (2013) [in Japanese].

### 3 $\text{PM}_{2.5}$ 発生要因の解明

#### 3.1 川崎市で推測される要因

川崎市内 3 地点において  $\text{PM}_{2.5}$  の成分分析調査を実施した結果を基に、Positive Matrix Factorization (PMF) 法による発生源解析を実施した。

発生源は、7 種類 (自動車排気+ブレーキ粉塵、石油燃焼、鉄鋼工業+土壌粒子、廃棄物焼却+石炭燃焼、バイオマス燃焼+有機粒子、硫酸系二次粒子+海塩粒子、硝酸系二次粒子) に分離できた。自動車排気+ブレーキ粉塵の因子の主成分は自動車排気と思われるが、どちらも自動車の影響を強く受けるため、同じ因子になったと考えられる。これは、秋季及び冬季に高い寄与率を示し、特に秋季の自排局の池上で 20%と高い寄与率を示した。石油燃焼と鉄鋼業+土壌粒子は、1 年を通して寄与が低かった。しかしながら、廃棄物焼却+石炭燃焼は最大で春季の高津で 20%と高い寄与率を示していた。

バイオマス燃焼+有機粒子は、春季に低く、秋季に高い寄与率を示した。主に、野焼きなどのバイオマス燃焼と二次有機粒子によるものと考えられるが、秋季の寄与率は24~37%と高く、特に秋季はバイオマス燃焼の指標となるレボグルコサンの濃度にも示されるように、野焼きの寄与が大きいと考えられる。硫酸系二次粒子+海塩粒子の因子の主成分は硫酸系二次粒子と思われるが、春季と夏季で高い寄与率を示した。硝酸系二次粒子は、冬季に高い寄与を示していた。

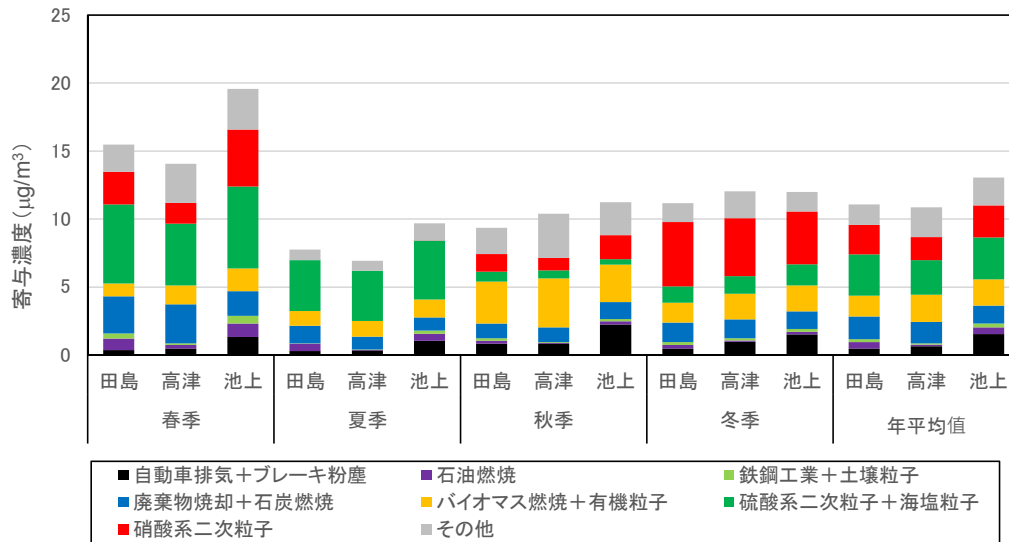


図6 川崎市のPM2.5の発生源寄与濃度 (PMF法)

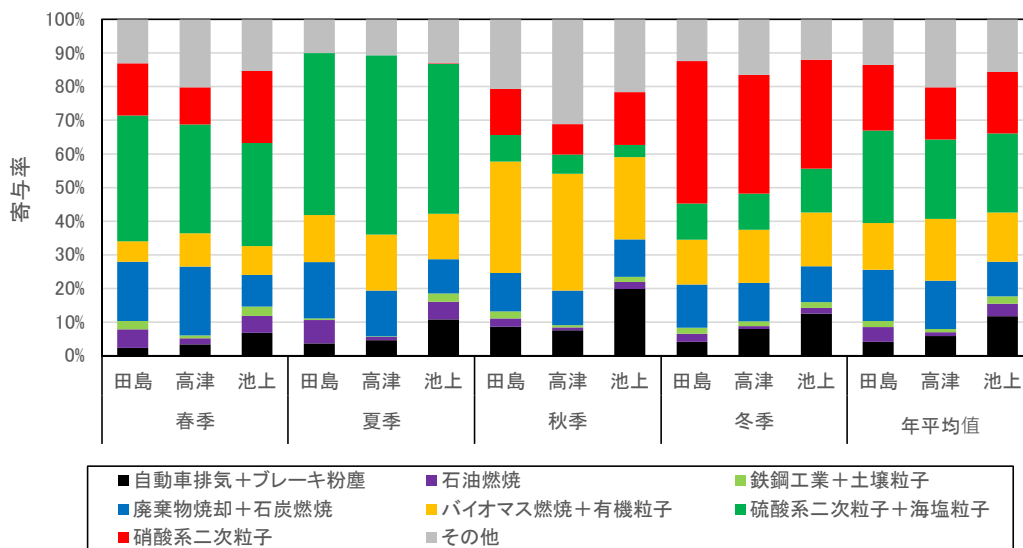


図7 川崎市のPM2.5の発生源寄与率 (PMF法)

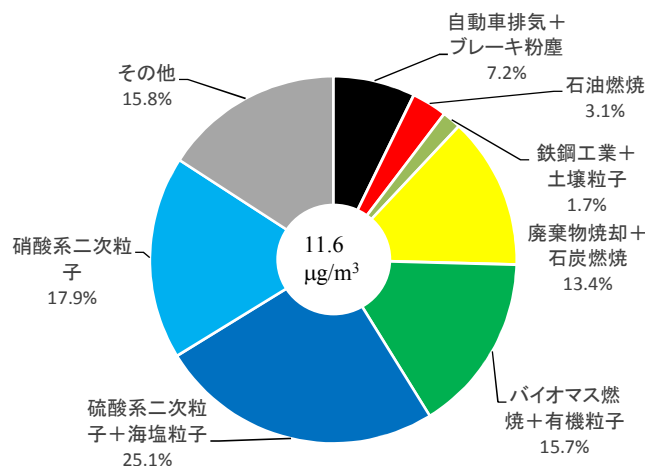


図8 川崎市の各発生源寄与率の年平均値の割合

### 3.2 瀋陽市で推測される要因

瀋陽市市内で3つの地点を選びPM2.5の成分分析調査を行い、PMFモデルで発生源解析を行った。解析で得られた発生源は7種類であった。それぞれのPM2.5年平均寄与率は、その他(39.2%)を除いて寄与率を計算すると、順に二次硝酸塩(27.4%)>自動車排ガス+バイオマス燃焼(21.0%)>石炭燃焼(17.6%)>二次硫酸塩+重油燃焼(16.1%)>工業(8.5%)>土壌粉塵(5.8%)>ブレーキ粉塵(3.6%)であった。

工場のPM2.5年平均寄与率は3地点でほぼ同じであり、環境保護局地点は他の2地点よりやや高かった。一年を通して、工場からのPM2.5への寄与率は3.3%(滄海路冬季)と23.7%(環境保護局夏季)の間であった。

二次硫酸塩+重油燃焼のPM2.5年平均寄与率は、環境>滄海路>中山公園の順番であった。環境保護局地点の北部少し西寄りの3-5km範囲内に、燃料<sup>[yi1]</sup>を主要のエネルギーとするいくつかの製薬企業<sup>1</sup>が分布しており、これらの企業が生産過程で排出する汚染物が環境保護局地点の二次硫酸塩+重油燃焼の寄与率を高くしている原因であったと考えられる。一年を通して、二次硫酸塩+重油燃焼がPM2.5への寄与率は5.8%(滄海路冬季)と67.6%(環境保護局夏季)の間であった。

二次硝酸塩のPM2.5年平均寄与率は、中山公園>環境保護局>滄海路の順番であった。中山公園は市中心地区に位置しており、人口が集中していて、交通量も比較的多い。本地点の周辺交通は中小型家庭用ガソリン車が主であり、NOxの排出量が比較的高く、そのため本地点のPM2.5中の二次硝酸塩の寄与率が高くなっている。環境保護局地点の二次硝酸塩の主な発生源は周辺にあった、燃料企業とガソリン車の排出であった。季節変化を見ると、秋季の二次硝酸塩の寄与率が最も高い。原因としては、瀋陽市周期は晴天乾燥の気候が主であり、NOxが二次硝酸塩へ変化しやすい。一年を通して、二次硝酸塩のPM2.5の寄与率は1.7%(中山公園夏季)と59.1%(環保局夏季)

<sup>1</sup> データ元：瀋陽市2016年大気発生源排出インベントリー、瀋陽環境科学研究院

の間であった。

石炭燃焼の PM2.5 年平均寄与率は、中山公園＞滄海路＞環境保護局の順番であった。石炭燃焼の寄与率の順位は各地点周辺にあった、石炭燃焼暖房供給焼却炉の数量<sup>2</sup>と一致している。中山公園周辺には太原熱源工場、砂山熱源工場、瀋陽航空航天大学燃焼炉等比較的大規模の石炭燃焼暖房供給焼却炉がある。滄海路周辺には何個か小規模の石炭燃焼暖房供給焼却炉がある。環境保護局周辺にはほとんど石炭燃焼暖房供給焼却炉がない。季節変化を見ると、冬季の石炭燃焼寄与率は他の季節より遥かに高かった。原因は、瀋陽市は冬季に石炭燃焼暖房供給焼却炉が瀋陽市石炭消耗総量の 70%以上の石炭を消費しているためであった。一年を通して、石炭燃焼の PM2.5 寄与率は 0%（中山公園夏季、環境保護局夏季と春季）と 43.2%（中山公園冬季）の間であった。

ブレーキ粉塵の PM2.5 年平均寄与率は、滄海路＞中山公園＞環境保護局の順番であった。これは 3 地点周辺の交通状況に関係している。滄海路周辺は企業が運送用に使用している大型ディーゼル貨物車が多い。中山公園は市中心地区にあり、交通量は比較的多く、渋滞が発生しやすい。環境保護局周辺の道路は広く、交通量も少ないため、渋滞が起りにくい。一年を通して、ブレーキ粉塵の PM2.5 寄与率は 0.3%（中山公園秋季）と 7.1%（滄海路夏季）の間であった。

自動車排ガス+バイオマス燃焼の PM2.5 年平均寄与率は、中山公園＞滄海路＞環境保護局の順番であった。原因は 2 つあり、自動車排ガスで言うと、中山公園と滄海路の交通量が環境保護局より多い。バイオマス燃焼で言うと、中山公園の周辺は大量の植物があり、滄海路周辺は村などがあり、落ち葉、農作物の茎、薪などを燃やすことで発生しやすい。一年を通して、自動車排ガス+バイオマス燃焼の PM2.5 寄与率は 0%（環境保護局夏季）と 26.9%（中山公園春季）の間であった。

土壌粉塵の PM2.5 年平均寄与率は、環境保護局＞中山公園＞滄海路の順番であった。環境保護局周辺には施工途中の建築地があり、中山公園は植物が枯れた後に裸地となる。そのため、この二地点の巻上げ粉塵の寄与率が高い。季節変化を見ると、春季の土壌粉塵の寄与率が最も高かった。原因としては、瀋陽市の春季の時、冬季の雪が溶け、植物は枯れた状態で土だけがあらわれる。同時に春季は風が強い季節であるため、粉塵の巻上げが起りやすい。一年を通して、土壌粉塵の PM2.5 寄与率は 0.4%（環境保護局秋季）と 30.2%（環境保護局春季）の間であった。

---

<sup>2</sup> データ元：瀋陽市 2016 年大気発生源排出インベントリー、瀋陽環境科学研究院

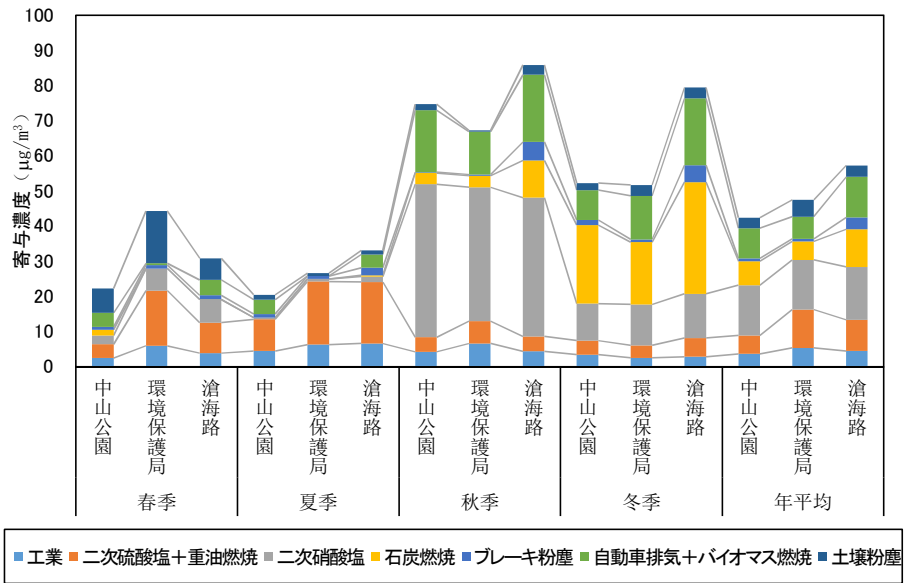


図9 瀋陽市のPM2.5発生源寄与濃度 (PMF法)

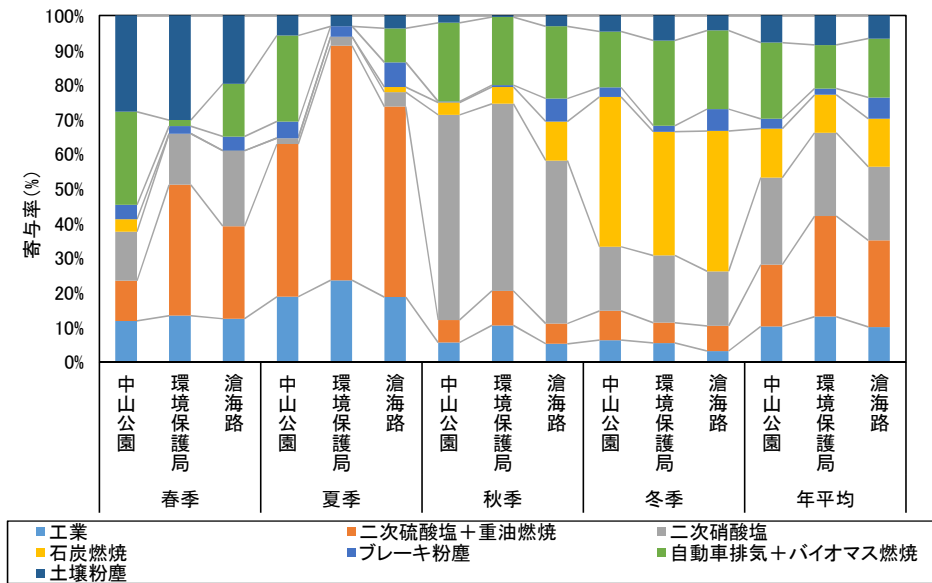


図10 瀋陽市PM2.5の発生源寄与率 (PMF法)

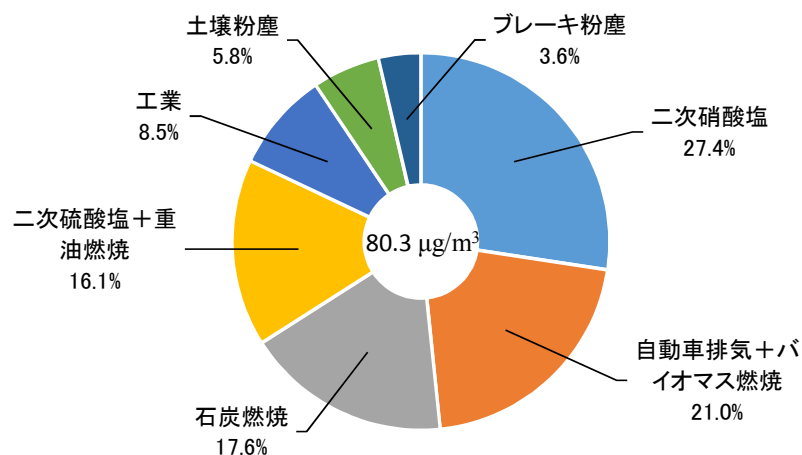


図 11 瀋陽市の PM2.5 年平均寄与率

### 3.3 両市の発生要因の比較

川崎市と瀋陽市の発生源解析結果について、同定できなかったその他を省いて比較すると、最も高い寄与率を示したのは川崎市では硫酸系二次粒子+海塩粒子（30%）、硝酸系二次粒子（21%）、バイオマス燃焼+有機粒子（19%）で二次生成粒子の寄与が大きいのに対し、瀋陽市では二次硝酸塩（27%）、自動車排気+バイオマス燃焼（21%）、石炭燃焼（18%）で二次生成粒子だけでなく、一次粒子の寄与も大きいことが判明した。

瀋陽市の寄与率が高い発生源について川崎市のそれと比較した。最初に、一次粒子で最も寄与が高かった自動車排気+バイオマス燃焼についてみると、秋季（16 µg/m³）と冬季（13 µg/m³）に高い寄与を示した。自動車排気については、指標となる EC の濃度範囲が 1.9~2.8 µg/m³ と季節差が少ないことから、自動車排気の寄与は季節によって大きく変化せず一定の寄与と考えられるため、秋季と冬季の増加分の大半はバイオマス燃焼によると推測される。瀋陽市の郊外ではトウモロコシなどの農業が盛んで収穫後にその残渣を燃やしたり、他にも落ち葉や薪などを燃やすことを反映したものと考えられる。川崎市でも秋季（バイオマス燃焼+有機粒子として 3.2 µg/m³）にバイオマス燃焼の寄与が大きくなるが、川崎市の農地面積は 2015 年度で 5 市域面積の 4.0%（約 580 ha）と少なく、レボグルコサンの濃度も田島と高津で大きく変わらないことから、本市だけでなく他の地域の影響も受けた広域汚染と推測される。また、自動車排気（+ブレーキ粉塵）の寄与は、0.55~1.3 µg/m³ であった。これらの発生源の寄与濃度を年平均で比較すると、瀋陽市の自動車排気+バイオマス燃焼+ブレーキ粉塵の合計の年平均の寄与濃度が 10 µg/m³、川崎市の自動車排気+ブレーキ粉塵+バイオマス燃焼+有機粒子の合計の寄与濃度が 2.7 µg/m³ であり、瀋陽市側で 3.9 倍高くなっていた。

次に、石炭燃焼についてみると、瀋陽市では秋季（5.7 µg/m³）と冬季（24 µg/m³）、特に冬季に高い寄与を示しており、寒候期における暖房用の石炭燃焼が主な原因と考えられ、瀋陽市の暖房用の燃料として、石炭の割合が大きいことを示していると推測される。川崎市では、廃棄物焼却+石炭



燃焼となったため、石炭燃焼だけの影響とはいえないが、冬季 ( $1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) よりも春季 ( $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) に最も高い寄与濃度を示した。この理由として、川崎市では暖房用に石炭を使うことはほとんどないこと、石炭燃焼よりも廃棄物焼却の影響のほうが大きい可能性があることがあげられる。これらの発生源の寄与濃度を比較すると、瀋陽市の石炭燃焼の年平均の寄与濃度が  $7.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、川崎市の廃棄物焼却+石炭燃焼の寄与濃度が  $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であり、瀋陽市側が 2.9 倍ほど高くなっていた。

次に、瀋陽市の二次生成粒子について比較した。瀋陽市の二次硝酸塩は、秋季 ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) と冬季 ( $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )、特に秋季に高い寄与を示した。二次硝酸塩の基となる窒素化合物 ( $\text{NO}_x$ ) は、大気中の窒素由来のサーマル  $\text{NO}_x$  と燃料由来のフューエル  $\text{NO}_x$  とがあるが、どちらも燃焼により発生する。瀋陽市では、1年を通して自動車排気や工業から  $\text{NO}_x$  が排出されるが、更に、秋季と冬季にバイオマス燃焼や石炭燃焼が大きく増加して  $\text{NO}_x$  も大量に排出されるため、秋季と冬季に多くの二次硝酸塩が形成されたと考えられる。二次硝酸塩の主成分である硝酸アンモニウムは、気温が高いと気化し、気温が低いと粒子化するため、寒候期の瀋陽市では、多く形成された二次硝酸塩の大半が粒子化し、寄与率が大きく増加したと推測される。川崎市では、瀋陽市と同様に寒候期に二次硝酸塩の寄与が増加するが、2017年度では冬季 ( $4.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) と春季 ( $2.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) に寄与が大きくなった。これらの二次硝酸塩の寄与濃度を比較すると、瀋陽市の年平均の寄与濃度が  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、川崎市の年平均の寄与濃度が  $2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であり、瀋陽市で 7.1 倍高くなっていた。

次に、瀋陽市の二次硫酸塩は、重油燃焼と同一因子に含まれており、瀋陽市内の重油燃焼と関連していると考えられる。また、春季 ( $9.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) と夏季 ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )、特に夏季に大きく寄与濃度が増加することから、光化学オキシダントからの二次生成の影響も受けていると考えられる。川崎市の硫酸系二次粒子 (+海塩粒子) も春季と夏季に高くなる傾向がみられ、主に光化学オキシダントからの二次生成によって生じる広域汚染とされている。これらの二次硫酸塩の寄与濃度を比較すると、瀋陽市の年平均の寄与濃度が  $8.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、川崎市の年平均の寄与濃度が  $3.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であり、瀋陽市側が 2.7 倍ほど高くなっていた。

他に、工業は、瀋陽市では寄与濃度が夏季 ( $5.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) に最も高く、冬季 ( $2.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) に最も低くなっており、通年で一定の寄与を示した。川崎市では、石油燃焼と鉄鋼工業 (+土壌粒子) の合計を工業とすると、春季 ( $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) に最も高くなった。これらの寄与濃度を比較すると、瀋陽市の年平均の寄与濃度が  $4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、川崎市の年平均の寄与濃度が  $0.77 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であり、瀋陽市側が 7.9 倍ほど高くなっていた。また、土壌粉塵については、川崎市では鉄鋼工業と同じ因子になっているため直接の比較は困難だが、瀋陽市では春季に高い寄与濃度を示しており ( $9.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )、年平均 ( $2.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) と比較して顕著に高い寄与を示した。

以上から、2017年度の瀋陽市の  $\text{PM}_{2.5}$  は、秋季と冬季の寒候期に石炭燃焼、バイオマス燃焼、二次硝酸塩の影響を強く受けており、春季には瀋陽市郊外の裸地などからの粉じんの移流、年間を通じて自動車排気及び工業の影響を受けていたと推測される。これらは、主として瀋陽市内の発生源の寄与が高いと推測され、今後はこれらの発生源に対して対策を実施することで、 $\text{PM}_{2.5}$  の低減が進むと考えられる。

## 4 大気環境の改善に向けたこれまでの取組

### 4.1 川崎市のこれまでの取組

#### 【創成期】

京浜工業地帯の中核として繁栄していた川崎市の工場は、太平洋戦争末期の本土空襲により壊滅状態となったが、朝鮮戦争を契機とし、戦前からの鉄鋼・機械工業の再生・復興に加え、発電所の建設、石油コンビナートの形成が進む中で、これらの工場群から排出されるばい煙や汚水は、複合して広範囲にわたり被害を与えることになった。1950年頃から大気汚染に関する市民の苦情が現れはじめ、高度成長期に入ると公害苦情件数も飛躍的に増加した。こうした状況から、従来の特定の加害工場と周辺被害住民との関係だけでは律しきれない公害問題を生じ、国や自治体もこれに積極的に対応せざるをえないような状況になった。1951年には、神奈川県が「事業場公害防止条例」を制定し、工場に対する規制を開始した。

川崎市では、高度成長期に産業公害が激化していく中で、1960年10月には、公害防止条例制定の運動が起こり、市議会に条例制定直接請求書が提出された。直接請求の条例案は、臨時市議会でも否決されるが、12月には、市提案による「川崎市公害防止条例(旧条例)」を公布・施行した。しかしながら、排出規制は伴わず、公害防止対策としては不十分なものであった。1965年の大師測定局のSO<sub>2</sub>の年平均値は0.110 ppm (0°C, 1 atm で 314 µg/m<sup>3</sup>) であり、大気汚染は依然として激しかった。1970年には、川崎区の大師、田島地区は公害病認定地区に指定され、1972年には、東海道線以東の全域が指定地区になった。本市における公害病とは、「慢性気管支炎」、「気管支ぜんそく」、「ぜんそく性気管支炎」、「肺気腫」であり、いずれも大気汚染による閉塞性呼吸器疾患である。

#### 【産業型公害への対応】

国においても1962年に「ばい煙の排出の規制等に関する法律」を制定するなど諸法令の整備を行った。1967年に典型6公害を包括した公害対策基本法を制定し、大気汚染に係る環境基準を設定したが、環境の保全に関して経済の発展との健全な調和を図るという経済調和条項が含まれており、公害問題を長期化、深刻化させる一因となった。翌1968年に大気汚染防止法を制定し、排出基準を定め、地方自治体の横出し規制を容認した。更に1970年の改正で、これらの法令から経済調和条項を全て削除した。

また、川崎市を含む京浜工業地帯では、1970年前後から市民活動による公害反対運動が顕在化し、「川崎市から公害をなくす会」、「京浜に青空を取り戻す会」といった公害反対運動の住民運動の組織が結成され、陳情が繰り返された。それに応じて周辺自治体では公害対策が進み、企業に対して公害防止のため、ばいじんや硫黄酸化物をはじめとする汚染物質の排出抑制を強く要請した。それに対し、企業も地域住民ないし自治体あってこそその企業と考え、地域社会への協力や理解を願うと同時に公害対策に真剣に取り組み、法条例以上の汚染物質排出抑制に自主的に取り組みはじめた。1964年に横浜市が行った、企業の自主的な公害防止対策を求めた自治体と企業との公害防止協定の締結も広まってきた。

本市では、1970年に硫黄酸化物排出量が10m<sup>3</sup>N/h以上の大手工場等37社(39工場)と「大気汚染防止に関する協定」を締結し、更に1972年に硫黄酸化物排出量が5m<sup>3</sup>N/h以上10m<sup>3</sup>N/h未満の

工場等の大手 8 社（8 工場）と「大気汚染防止に関する覚書」を締結し、発生源対策を強化した。また、1970 年に神奈川県、横浜市、川崎市による三者協議会（扇島連絡協議会）が、製鉄業大手の日本鋼管（現 JFE）と京浜製鉄所の扇島移転に伴う「公害防止協定」を締結し、硫黄酸化物の排出量の大幅な低減を図った。

1972 年 3 月に「川崎市公害防止条例」が公布された。これは、大気汚染防止法に抵触しない手法で深刻な大気汚染問題を克服するため、「環境目標値」を掲げるとともに、全国に先駆けて「総量規制方式」を導入した。これは、市民の健康の保護と生活環境の保全に必要な「環境目標値」を定め、次にこの目標値を維持するための市域の汚染負荷量を勘案して、地区ごとに許容排出量を設定し、この地区別許容量が維持されるように工場等から排出される大気汚染物質の排出量を定めたものである。総量規制方式の対象は、当初は硫黄酸化物と浮遊粒子状物質であったが、1978 年に窒素酸化物も対象に加えた。また、有機化合物も規制対象に追加し、設備基準を規定した（排出基準はなし）。総量規制については国も追随し、1974 年に硫黄酸化物、1981 年に窒素酸化物を総量規制の対象とした。

これらの国、企業、本市の公害防止対策と、市民の公害防止運動により、ばいじん、硫黄酸化物、窒素酸化物の排出抑制が進んだ。特に、総量規制を契機に、脱硫装置及び脱硝装置の開発・設置が進んだとされている。また、1962 年頃から始まった高度経済成長期から燃料の石炭から石油への転換が進み、更に 1973 年のオイルショックを契機に良質な燃料であるガスへの転換が進んだ（図 12）。

その結果、1979 年に二酸化硫黄濃度が市内全局で環境目標値（＝国の環境基準値 日平均値 0.04 ppm（0℃, 1 atm で 114  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ））を達成した。

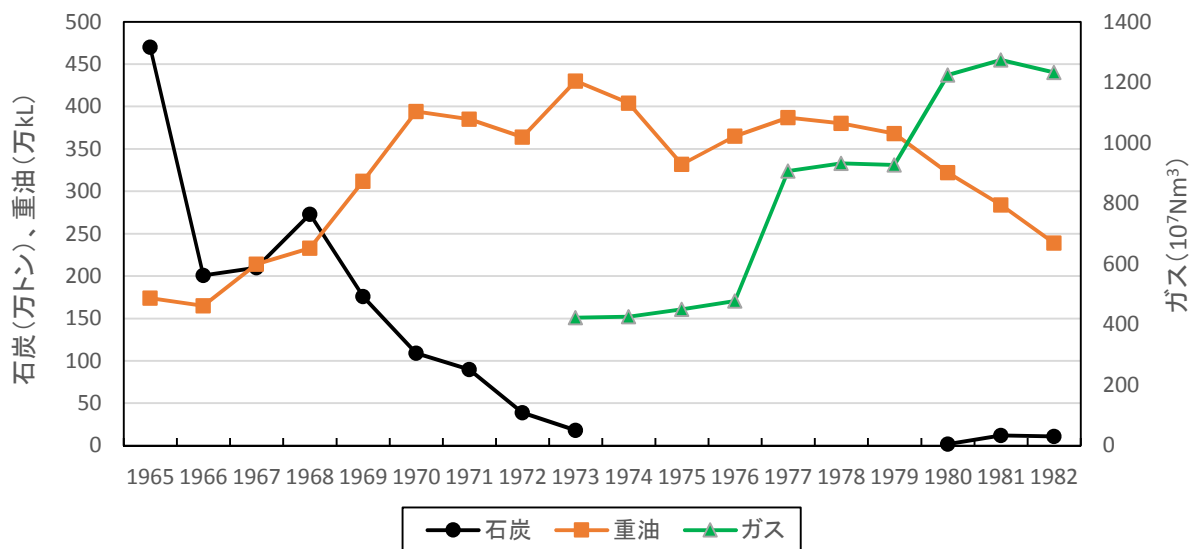


図 12 1965 年～1982 年の川崎市の工業用燃料使用量の変遷

(※川崎市の公害（1968～1983 年発行）を参照。1974 年～1979 年の石炭使用量及び 1965 年～1972 年のガスはデータなし)

#### 【都市生活型公害への対応】

1970年代後半に入ると、これまでの工場・事業場を主な発生源とするいわゆる産業公害については、国、自治体による諸法令の整備、規制などの制定により、かなりの改善が見られた。一方、社会経済の発展、生活水準の向上に伴い、都市への人口集中、自動車交通量の増大等が顕著となり、生活騒音、生活排水、合成洗剤問題、自動車排出ガスなど、都市・生活型公害が顕在化した。また、有害化学物質による地下水汚染が社会的な問題として取り上げられた。

自動車対策としては、国は1992年に自動車（ディーゼル車及びバスやトラックのガソリン車）から排出される窒素酸化物による大気汚染の防止を目的として「自動車NO<sub>x</sub>法」を制定し、更に2001年に粒子状物質も発がん性などの健康影響が懸念されることから削減対象に追加し、「自動車NO<sub>x</sub>・PM法」に改正した。本法により、排ガスの基準値に満たない車は、川崎市などの対象地域内での登録が出来なくなった。しかしながら、排ガスの基準値に満たない車でも対象地域内での運行は可能なことから、2003年に東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県で公害対策の条例を改正し、排ガスの基準値に満たない車の運行を禁止する「ディーゼル車運行規制」を実施した。これらの法令と事業者の基準を満たした車への買い換えや排ガス処理装置の追加といった対応により、自動車公害は大きく低減され、川崎市を含む首都圏でのNO<sub>2</sub>や浮遊粒子状物質（粒径10 μm以下の大気中の粒子；SPM）の環境基準達成がほぼ常態化した。

#### 【総合域環境行政への対応】

1980年代後半に入ると、全国的にも都市・生活型公害問題、先端技術産業の進展に伴う化学物質による環境汚染問題が大きくクローズアップされるようになり、そのうち自動車対策に関しては、1992年9月には「川崎市自動車公害防止計画」を策定し、自動車公害の改善に向けた本格的な施策の展開を図った。

1992年6月にブラジルのリオデジャネイロで「環境と開発に関する国連会議(地球サミット)」が開催され、アジェンダ21(環境と開発に関するリオ宣言の諸原則を実行するための行動計画)など多くの国際的合意が得られた。我が国においても、1993年11月に「公害対策基本法」を廃止し環境政策の基本理念等、新たな枠組みを示す「環境基本法」が制定された。市では、1991年12月には、市民の健康を保護し、安全な生活環境を確保することを政策理念とした「川崎市環境基本条例」を制定・公布し、総合的環境行政の制度づくりに向けた取組を推進し、それに基づいて1994年2月に環境行政の基本方針となる「川崎市環境基本計画」を策定し、「人と環境が共生する都市・かわさき」の実現をめざし、諸施策を推進することにした。

更に、1999年12月に、現行の条例である「川崎市公害防止等生活環境の保全に関する条例」を施行した。これは、「川崎市環境基本条例」の政策理念である市民の健康を保護し、安全な生活環境を確保する分野を担うための政策実施条例で、地域の環境管理に一義的に責任を持つものとして施行された。これは、従来の硫黄酸化物、ばいじん、窒素酸化物、有機化合物等の規制に加え、化学物質の適正管理、温室効果ガスの排出抑制など現代の環境対策を含むとともに、事業場における環境負荷の低減のための自主管理を促す手法も整備した。

また、国はオキシダント及SPMの低減を目的として、2006年に揮発性有機化合物（VOC）の排

出規制及び事業者の自主的取組を組み合わせた対策を開始し、工場等の固定発生源からの VOC 排出量を、2010 年度までに 2000 年度比で 3 割程度抑制することを目指し、最終的には 4 割程度の抑制になった。

更に、国は、粒径 2.5  $\mu\text{m}$  以下の微小粒子状物質 (PM2.5) 対策として、2009 年に環境基準値を設定した。

企業も、2000 年代に経団連や経済同友会などの複数の財界団体が「企業の社会的責任 (CSR)」の意味合いと重要性を提起してから、環境対策として法条例を遵守するだけでなく、CSR を果たすための一環として地域社会への自主的な貢献を行ったり、地域住民にリスクコミュニケーションを通じて生産活動や環境対策の情報を周知するなどして、自主的な地域住民等への貢献や環境対策を推し進める企業も増えてきた。本市でもその活動を後押ししている。

※本章は、公害防止条例の研究 (人見剛、横田覚、海老名富夫 編著) の「4 川崎市における公害行政と組織の変遷」(P219~223) を基に、一部加筆修正を加えたものである。

## 4.2 瀋陽市のこれまでの取組

瀋陽市は中国の従来型重工業拠点の中心都市の 1 つである。1953 年に国民経済の最初の 5 か年計画が実施され、当時、瀋陽市は中国国内で最も重要な重工業および装備製造業の拠点として、中華人民共和国における工業のスタートに顕著な貢献をした。建国初期、十分な産業基盤を備えていた瀋陽市は「共和国の工業における長男」と称され、中華人民共和国の経済成長のために、さまざまな「最初」を成し遂げてきた。

遼寧省は 1949 年から 1980 年代末まで中国最大の経済規模を持つ省、また国有企業の規模が最大の省であり、さらに最も重要な重工業拠点、エネルギー拠点、軍需産業拠点であった。1960 年代および 1970 年代、遼寧省の工業生産額は中国の工業総生産額の 4 分の 1 から 3 分の 1 前後を占め、瀋陽市はそのうちのかなりの割合を占めた。1980 年代以降、市場化改革の推進に伴い、瀋陽市は産業構造の大きな調整を経験し、産業構造における重工業の割合が次第に低下し、ハイテク産業が急速に成長したことで、装備製造業、自動車産業、医薬化学産業、電子情報産業、農産物加工業などの産業を主とした産業クラスターが形成されるとともに、中国東北地域の重要な交通・通信の枢軸および金融・ビジネスの中心地となった。

工業発展の前期、瀋陽市の大気汚染はばい煙による汚染が主であったが、改革開放後に産業構造が徐々に転換していくにつれ、次第に複合汚染へと変化していった。

1980 年代初期、瀋陽市の大気汚染対策は、主に集中暖房および企業の石炭ボイラーからの煤じん・粉じんおよび SO<sub>2</sub> 排出に対するもので、主な対策は石炭の品質改良、石炭ガスへの変更、先進の燃焼装置およびばい煙浄化装置の普及といったものであった。

1990 年代になると、瀋陽市の大気汚染対策の重点は、石炭から徐々に飲食サービス業、自動車排ガス、建設工事現場、都市部の粉じんの巻き上げ、生産工程における排ガスによる汚染などさまざまな面に拡大された。1995 年に「瀋陽市大気汚染防止条例」、1998 年に「瀋陽市環境保護における違法行為調査弁法」などの法律文書が公布され、大気汚染防止のための法規体系が整備された。

2000年代には、瀋陽市は経済構造の転換と大気汚染防止活動を組み合わせて、産業の構造および配置の調整、エネルギー構造の調整、新興産業の成長などにより、大気汚染物質の排出を徐々に低減させた。

2010年代から現在まで、瀋陽市は大気汚染防止を徐々に強化している。石炭ボイラーによる汚染の対策では、非発電業者における35t以上の石炭ボイラーの脱硫性能の向上、重点火力発電企業におけるボイラー排煙技術の高度化、瀋陽煉焦煤気有限公司などの移転、生産設備が立ち遅れた工業炉および小規模発電用ボイラーの操業停止などを行った。自動車および燃料による汚染の対策では、緑標区（高排出ガス車の通行禁止エリア）の設置、高排出ガス車の廃棄、自動車燃料の硫黄含有量を基準に適合させるための管理監督、新エネルギー自動車の普及、ガソリンペーパーの回収事業建設など一連の対策を実施している。粉じんによる汚染の対策では、市街地幹線道路の清掃作業機械化率を大幅に高め、都市部の日常の清掃作業に重点地域での撒水による洗い流し作業を取り入れ、市街地での工事現場には囲いの設置を、粉じんが発生しやすい資材は密閉して輸送することを求めている。

上述の対策の実施により、瀋陽市の環境大気質は大きく改善されている。2017年、瀋陽市の「大気優良」（AQI $\leq$ 100）日数は256日に達し、2016年から7日増えた。11月、12月の集中暖房期間には「重汚染」天気は見られず、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>の3つの汚染指標はそれぞれ前年同期比で5.6%、6.4%、21.3%減少し、2013年以降で最も低い水準となった。

## 5 共同研究の結果に基づく今後の取組

### 5.1 川崎市のこれまでの効果検証及び今後の対策・施策

川崎市のPM<sub>2.5</sub>調査・分析から、本市の全測定局で環境基準を達成した理由について、石油燃焼や鉄鋼工業などの固定発生源、自動車排気の移動発生源の寄与が低く、これまでの固定発生源対策、移動発生源対策が効果を示したものと考えられた。また、夏季及び秋季の気象状況の影響を受けて減少した可能性が高いこともわかった。

今後も継続して環境基準を達成するには、1年を通して寄与が高い二次生成粒子や、秋季に寄与が高くなる野焼き等をはじめとするバイオマス燃焼の低減が必要になると思われる。そのために、国等の動向に注視すると共に、関係する自治体等との広域的な連携を推進することにより、二次生成粒子の低減等に関する情報収集を進め、効果的な対策について検討する必要があると思われる。

### 5.2 瀋陽市のこれまでの効果検証及び今後の対策・施策

#### 5.2.1 瀋陽市のこれまでの効果検証

解析結果を見ると、現在瀋陽市の大気複合型汚染の特徴は顕著であり、2015年と比較すると、2017年の瀋陽市PM<sub>2.5</sub>中の石炭燃焼の寄与率は大幅に下がっているが、PM<sub>2.5</sub>発生源の一つであることがわかった。土壌粉塵、工業、自動車排ガス+バイオマス燃焼の寄与率は少しだけ下がっている。二次無機塩の寄与率は大幅に上がっている。上記結果から、近年瀋陽市は小規模の焼却炉を解体し、建築地の監視監督を強化し、重度汚染車両の廃止、農作物焼却の禁止などの対策に明ら

かな成果があり、一次粒子状物質を減らすことができたと言える。一方、PM2.5 濃度の低下により大気の可視度が向上し、その結果としてNOx、SO<sub>2</sub>等の気体汚染物の光化学反応が促進され、二次粒子状物質へ変化する。一次粒子の削減が進んだが、二次粒子、特に硝酸塩の削減が進んでいないため、二次無機塩の寄与率が相対的に増加している。そのため、今後瀋陽市がPM2.5 対策を行う際には、二次粒子状物質の汚染を重視し、NOx、SO<sub>2</sub>などの気体汚染物の排出規制を強化すべきである。

## 5.2.2 瀋陽市の今後の対策・施策

### 5.2.2.1 目標

2020年までに、全市の環境大気中のPM2.5年平均濃度を2017年の濃度から15%以上削減する。

### 5.2.2.2 対策・施策

#### (1) 自動車の汚染防止(自動車汚染は自動車排気及びブレーキ粉じんを含む)

- ①ディーゼル重量車汚染物質排出の監視を強化する。ディーゼル重量車と建設機械について、車両汚染物質のオンライン監視・GPS装置を強制的に据え付け、リアルタイムの監視を実現する。
- ②動力付き車両の排出監視を強化する。ハイエミッター車(通常走行では見られない高排出量車)が通行する主な交差点に、動力付き車両排出監視設備を据え付け、基準を超過した車両について法により厳重な処罰を下す。
- ③市民による監督を奨励する。スマートフォンアプリ高速通報システムの周知と普及促進を強化し、市民による重度汚染車両の通報を奨励する。
- ④環境に配慮した公共交通を発展させる。公共交通システムのクリーン化を推進し、公共路線の設置を整備し、市民が公共交通システムを使用して移動する割合を高める。

#### (2) バイオマス燃焼による汚染の防止

- ①作物残渣の综合利用の推進。作物残渣の肥料化、飼料化、燃料化、基材化、原料化利用と収集・貯蔵・輸送サービスシステムの構築を推進し、作物残渣の総合利用水準を高める。
- ②作物残渣焼却の総合管理の強化。衛星、無人航空機などの新しい技術を用いて、農業地域で全天候型・死角なしの監視を実施し、不法に作物残渣を焼却する行動を厳格に取り締まる。

#### (3) 石炭燃焼の汚染防止

- ①全市の石炭消費総量の制御。瀋陽市石炭総量規制計画を作成し、諸段階の石炭総量規制目標を決定する。企業が工程技術改善の方式でエネルギー効率を高め、生産量の単位当たりのエネルギー消費量を低減するよう奨励する。クリーンエネルギー、再生可能エネルギーの供給能力を高め、企業、住民が石炭の代わりに新エネルギーを使用するよう奨励する。
- ②熱供給ボイラーの起動・試験運転期間の汚染防止の加速。毎年10月末の熱供給ボイラーの起動・試験運転期間の汚染物質排出を厳格に規制し、巡回法執行を強化し、良質な石炭によるボイラー起動を求める。ピーク時を避けたボイラー起動を推進し、集中的なボイラー起動

による汚染物質の集中排出を避ける。

③熱供給設備の更新・改造の推進。都市熱供給のパイプライン配置の改造、熱源プラントなどの新規建設を通じて、汚染が深刻な分散小型ボイラーの代わりに集中型熱供給を利用する。

④石炭ボイラーからの窒素酸化物排出の規制を強化する。石炭ボイラーの脱硝設備の建設を急ぎ、石炭ボイラーの窒素酸化物排出特別規制値の設定を全面的に実施する。

#### (4) 重油燃焼による汚染の防止

①重油を消費する企業の管理監督を強化する。重油を消費する企業のリストを作成し、重油を消費する企業に対する特別調査を実施して、各企業における重油の消費総量、汚染物質の排出状況を評価する。

②重油の燃焼禁止区域を設ける。高汚染燃料に関する国、省、市の管理規定に従い、重油の燃焼禁止区域を設定し、巡回検査・法執行を強化し、重油燃焼に関する違法行為を厳しく取り締まる。

③重油販売市場に対する監督を強化する。瀋陽市の重油市場への参入基準を定め、市内で販売中の重油の品質を定期的に抜き取り検査し、瀋陽市における低品質の重油の販売・使用を禁止する。

#### (5) 工業による汚染の防止

①産業構造を調整する。国および地方の業界規格に従い、重点産業における立ち遅れた生産能力削減の実施計画を定め、立ち遅れた生産能力および過剰な生産能力を段階的に削減する。

②企業からの排出に対する管理監督を強化する。汚染物質排出許可制度を押し広め、法に基づき審査した上で企業に汚染物質排出許可証を発給し、排出事業者責任を強化し、企業における汚染物質排出の各段階について細かく管理する。

#### (6) 土壌粉じんの汚染防止

①施工時に発生する粉じんの監督を厳格に実施する。都市の主要な建築現場にて監視カメラを据え付ける。施工の裸地土壌、堆積地など、粉じんが生じやすい場所については、被覆、ウォータージェット、フェンス設置などの発じん抑制措置を講じる。

②春、秋の裸地土壌粉じん対策を強化する。春、秋の植生が希少で、風が強い天気が頻発する季節において、未整備地に対して被覆、硬化などの対策を実施し、粉じんの発生を防止する。

### 5.2.3 評価方法

PM2.5 発生源解析を継続し、瀋陽市の PM2.5 発生源解析データベースを作成し、成分組成及び発生源の寄与率の変化により、PM2.5 汚染対策の効果について評価し、評価結果に基づき適時政策の方向性を調整する。

### 5.3 両市のこれまでの効果検証及び今後の対策・施策の比較

瀋陽市の成分分析結果及び発生源解析結果から、瀋陽市の主要な PM2.5 発生源は、春季の土壌粉じん、秋季及び冬季の石炭燃焼、農作物残渣等植物のバイオマス燃焼及び二次硝酸塩、年間を通



しての自動車排気及び工業であった。そのため、これらの発生源に対する対策を整備する必要がある。

川崎市では、1950～1960年代まで主に石炭燃焼に由来すると思われる降下ばいじんの影響を強く受けていたが、川崎市内のエネルギー源は1970年頃まで石炭、1970～1980年代が重油、1990年代以降はガスが主流となっていた。現在の瀋陽市は冬季の石炭使用量が多いことから、1970年頃までの川崎市と同様な状況にあると推察される。更に、川崎市では1980年代以降に深刻化した自動車排気に加えて川崎市では主要な発生源にならなかったバイオマス燃焼や自然由来による粉じんも同時に瀋陽市では重要な発生源となっており、これら複数の発生源に対して総合的に対策を講ずる必要があると考えられるが、川崎市が経験した重油燃焼に伴う二酸化硫黄による甚大な大気汚染を経ることなく、大気環境の改善対策に取り組むことが、川崎市の経験を瀋陽市に活かすことに繋がるものとする。

川崎市では、1970年代に固定発生源に対して総量規制などの法・条例の整備が進んだ結果、市内の企業が①良質エネルギーへの転換（石炭→石油、天然ガス）、②煤煙対策（脱硫装置、脱硝装置、集じん機の設置）の導入といった対策を進め、固定発生源からの大気汚染物質の排出量は大きく減少し、激甚な大気汚染公害から脱却することができた。また、自動車排ガスに対しては、国において、大気汚染防止法に基づく、自動車排出ガスの量の規制値の設定（単体規制）、自動車NOx・PM法に基づく、自動車の排出ガス中のNOxやPM等汚染物質の自動車公害の激しい地域に対して基準を満たさない車両の新規、移転及び継続登録を許可しない規制（車種規制）を実施した。さらに、2003年に首都圏（東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県）の自治体が連携して条例により自動車排ガスの基準を満たさない車両の運行を制限（運行規制）し、川崎市を含む自治体が的確に運用したことにより、自動車公害の大幅な改善に成果を挙げるとともに、国が定める法律の規制強化等の見直しに繋がった。瀋陽市においても、国が定めた基準の適用とともに、市独自の取組が進められているが、川崎市を含む自治体による連携した取組は、瀋陽市の大気環境改善対策の参考になると考えられる。

瀋陽市においては、更なる大気環境の改善を図るため、5.2に表記された自動車の汚染防止、バイオマス燃焼による汚染の防止、石炭燃焼の汚染防止、重油燃焼による汚染の防止、工業による汚染の防止、土壌粉じんの汚染防止は、本件共同研究の成果として、成分分析及び発生源解析からPM2.5の発生源と判明したもので、二次硝酸塩の基となるNOxの排出抑制にもつながり、規制対象として妥当と考えられる。また、規制内容も川崎市で効果があった施策を取り入れ、さらに瀋陽市独自の対策も組みこまれており、これまでの対策に加えて5.2の対策を実施することで、PM2.5がさらに減少することが期待される。

一方、これらの対策を確実に推進し、成果を挙げるためには、川崎市が市民、事業者、行政等が連携して計画的に地域環境の改善に取り組んできたように、瀋陽市においても市民、事業者、行政等の各主体の役割を明確にして、実践的な取組を促す必要がある。そのためには、情報の共有化の推進により、環境問題への意識の向上を図り、理解を深めながら、実践的な行動に繋げ、各主体が緊張感をもって地域環境の改善に取り組む必要がある。

今後は、本件共同研究の成果を踏まえ、瀋陽市が主体となって瀋陽市やその周辺自治体の PM2.5 調査・発生源解析を行い、対策の評価とそれを踏まえた改善を行うことで、大気環境の改善が進み、川崎市と同様に、都市と産業が共生した世界に誇る環境モデル都市に成長するとともに、途上国の環境改善に貢献する都市となることを共に期待したい。

## 6 共同研究の成果・まとめ

### 6.1 全体の成果・まとめ

川崎市と瀋陽市の共同研究により、瀋陽市ではこれまでの管理政策の有効性を検証するとともに、新たな管理政策を打ち出すことができた。それらの管理政策の成果もあり、瀋陽市の大気の優良日数は 2014 年の 191 日から 2018 年の 285 日と大幅に改善された。

また、川崎市と瀋陽市の共同研究の実施を通じて、瀋陽市における環境大気中の PM2.5 発生源解析の技術は大きく進歩した。瀋陽市の環境分野の技術者は、日本側専門家の指導により、PM2.5 のサンプリング、成分分析、発生源解析に関する技術的方法を習得し、単独で環境大気中の粒子状物質発生源解析を実施する能力を身につけた。この向上した技術・能力は、持続的に瀋陽市の科学研究事業および管理業務に応用され、瀋陽市の大気環境対策において重要な役割を果たしていく。

また、共同研究事業の実施過程では、瀋陽市が複数回にわたり技術者および管理者を日本に派遣して学習・交流を行い、川崎市の大気環境対策分野での有益な経験を学びとり、双方の協力関係も深まり、今後双方がさらなる交流・協力を進めていくための基盤を固めた。

今回の共同研究事業の研究成果は、すでに瀋陽市において学術および管理の両面で活用されている。具体的には次のとおりである。

#### 6.1.1 技術の応用及び学術研究

- (1) 瀋陽市は、共同研究で習得した環境大気中の PM2.5 発生源解析技術を用い、2017 年 10 月から業務として PM2.5 および PM10 の発生源解析を開始した。当該業務は、瀋陽市において持続的に PM2.5 および PM10 のサンプリング・分析を行い、瀋陽市の環境大気中の PM2.5 および PM10 の成分に関するビッグデータのデータベースを構築するとともに、PMF モデルを用いて PM2.5 および PM10 の発生源を解析することで、政府による PM2.5 および PM10 汚染防止対策の策定のために長期的な技術支援を提供するものである。
- (2) 瀋陽市側から共同研究に参加した技術機関である瀋陽環境科学研究院および瀋陽市環境監測センターは、共同研究で習得した発生源解析技術と研究成果を、2017 年度国家重点研究開発計画「遼寧省中部都市群の連携による大気汚染防止のための技術集積および応用モデル」プロジェクトの研究に応用している。当該プロジェクトは、遼寧省中部都市群の地域における大気汚染対策が直面する技術的な難問を解決する取り組みであり、研究成果は今後の中国の地域性を踏まえた大気汚染対策に応用される。現在、事業チームは遼寧省中部都市群の 7 都市（瀋陽市、鞍山市、營口市、撫順市、鉄嶺市、本溪市、遼陽市）における粒子状物質の発生源解析に関する研究を行っているところで、解析結果は、遼寧省中部都市群の大気汚染の特徴の分析、汚染対策の策定を支える重要な役割を果たす。

### 6.1.2 環境管理及び政策の策定

- (1) 共同研究に参加し、川崎市の専門家の指導および双方の意見交換・交流を通じて、瀋陽市は環境監測能力、管理水準などの面においていずれも向上がみられた。
- (2) 共同研究の結果により、瀋陽市におけるボイラー規制や自動車排ガス対策などの措置は確実に効果があることが検証された。瀋陽市は引き続き業務として PM2.5 および PM10 の発生源解析を行い、関連データを蓄積し、大気汚染対策の効果の評価および今後の政策の策定・調整のために、継続的に科学的根拠を提供していく。
- (3) 共同研究で実施した発生源解析により把握した主要な汚染要因に効果的な対策を検討し、技術的支援を提供したことにより、瀋陽市の「瀋陽市環境空気治理達標方案（瀋陽市環境大気基準達成対策案）」、「瀋陽市藍天保衛戰作戰方案（瀋陽市青空防衛戰作戰案）」などの新たな管理政策を策定することができた。

## 7 謝辞

本共同研究は、環境省が 2015 年度から 2018 年度に実施した「中国でのコベネフィット型大気汚染対策のための共同研究等推進業務」の一環として、環境省、公益財団法人地球環境戦略研究機関、一般財団法人日本環境衛生センター、中華人民共和国生態環境部、日中友好環境保全センターの協力のもと実施された。

本研究の実施にあたって、ご協力いただいた全ての関係者の方に深謝の意を表す。