

中日城市间合作项目
川崎市-沈阳市 **PM_{2.5}** 共同研究
共同报告书

川崎市环境综合研究所
沈阳环境科学研究院 沈阳市环境监测中心

2019 年 3 月

城市间合作项目 参与者名单

沈阳市（生态环境局）

所属	职位	姓名	2014 年度	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度
生态环境局 国际合作处	处长	赵 虹	○	○	○	○	○
沈阳市环境技术 评估中心	工程师	王 剑虹	○	○	○	○	○
沈阳市生态环境 事务服务与行政 执法中心	副主任科员	周 明远				○	○
沈阳市环境监测 中心站	站长/教授级高 级工程师	张 嘉治				○	○
	副站长/教授级 高级工程师	林 宏			○	○	
	副站长/教授级 高级工程师	曲 健			○	○	○
	主任/高级工程 师	刘 闽			○	○	○
	副主任/高级工 程师	王 帅			○	○	○
	高级工程师	候 乐			○		○
	副主任/高级工 程师	杜 毅明				○	
	高级工程师	杨 碧波				○	
	工程师	王 男					○
	主任/高级工程 师	李 晶		○		○	
	高级工程师	王 成辉				○	
	工程师	李 哲				○	
	主任/工程师	郑 兴宝		○		○	
	副主任/工程师	张 晶				○	
	工程师	许 云竹				○	
沈阳环境科学研 究院	院长	邵 春岩			○	○	○
	主任/副总工程 师	王 维宽			○	○	○
	副主任/工程师	赵 帝			○	○	○
	工程师	卞 思思			○	○	○
	工程师	王 帆					○
	工程师	祝 胜男				○	○
	工程师	李 一倬					○
	工程师	刘 岩				○	○

川崎市（环境局环境综合研究所）

所属	职位	姓名	2014 年度	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度
环境综合研究所	所长	川村 真一			○		○
	理事・所长	横田 觉	○	○	○	○	
环境综合研究所 事业推进课	课长	藤卷 浩					○
	部长	武藤 良博				○	
	部长	川村 真一			○		
	部长	北野 浩祥	○	○			
	股长	山口 广美				○	○
	课长辅助	小森 章一		○	○		
	股长	末繁 泰弘		○			
	课长辅助	北村 裕一	○				
	技术员	近藤 玲子			○	○	○
	技术员	笠松 志保	○	○			
	非正式职员	牧 叶子	○				
环境综合研究所 地域环境公害监 视课	课长	喜内 博子				○	○
	课长	鸭志田 均	○	○	○		
	股长	山田 大介			○	○	○
	课长辅助	三泽 隆弘	○	○			
	课长辅助	富樫 真一		○			
	技术员	田边 智弘					○
	技术员	鈴木 义浩	○	○	○		
环境综合研究所 环境风险调查课	课长	原 美由纪		○			
	技术员	藤田 一树			○		
环境对策部 大气环境课	课长辅助	齐藤 武弥					○
	课长辅助	塚本 浩子	○				

平台

所属	职位	姓名	2014 年度	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度
（公财）地球环境 战略研究机构	北京事务所 所长	小柳 秀明	○	○	○	○	○
	北京事务所 事务主任	本乡 綾子	○	○	○	○	○
（一财）日本环境 卫生中心	部长	盐崎 卓哉			○	○	○
	副部长	高桥 克行			○	○	○
	技术员	市川 喜美			○	○	○

目录

1 前言	4
2 实情把握调查结果	
2.1 川崎市的结果	5
2.2 沈阳市的结果	6
2.3 两市结果的比较	7
3 PM2.5 发生因素的阐明	
3.1 在川崎市所推测的因素	9
3.2 在沈阳市所推测的因素	10
3.3 两市的发生因素的比较	13
4 到目前为止为了改善大气环境（PM2.5 的改善）所做的活动	
4.1 到目前为止川崎市所做的活动	14
4.2 到目前为止沈阳市所做的活动	17
5 基于共同研究结果的今后的活动内容	
5.1 川崎市的到目前为止的效果验证以及今后的对策与政策	18
5.2 沈阳市的到目前为止的效果验证以及今后的对策与政策	19
5.2.1 沈阳市的到目前为止的效果验证	19
5.2.2 沈阳市今后的对策与政策	19
5.2.3 评价方法	20
5.3 两市此前的 PM2.5 污染治理措施的效果评价以及未来的治理对策比较	20
6 共同研究的成果与总结	
6.1 整体的成果与总结	22
6.1.1 技术应用与学术研究	22
6.1.2 环境管理与政策制定	22
7 谢辞	23

1 前言

自 2014 年度起,日本环境省基于现有的中日友好城市等良好的交流合作关系,启动了旨在改善中国大气环境的合作项目,其中开展的城市间协作项目旨在进一步加强两市在大气污染治理方面的沟通与合作。

改善中国大气环境的城市间协作



川崎市与沈阳市自 1981 年缔结友好关系以来,通过开展多种形式的交流活动而使得这种友好关系得到了进一步巩固和提高。

在这种友好关系及交流合作关系的基础上,两市自 2014 年度起开始参与到由两国环境部主导的城市间合作项目中,开展了一系列致力于改善大气环境的培训、信息交流、共同协商等活动。在此基础上,自 2016 年度起针对沈阳市所面临的紧迫课题,即改善细颗粒物(PM_{2.5})污染问题,启动了 PM_{2.5} 共同研究。

在开展 PM_{2.5} 共同研究时,需要进行实情把握调查分析,为此我们分别在两市进行了 PM_{2.5} 的采样及成分分析。然后利用分析结果进行了污染源解析,据此推算出各类污染源的贡献率,针对所推断出的主要污染因素探讨行之有效的治理方案,并使其在相关政策措施及计划中得以体现,从而推动了沈阳市 PM_{2.5} 污染等大气环境问题的改善。

在本《联合报告书》中,我们对已在川崎市和沈阳市实施完成的 PM_{2.5} 实情把握调查结果以及两市此前及今后的治理措施等进行了汇总。同时,通过将两市情况相比较,对共同研究的成果做出了最终总结。

2 实情把握调查结果

2.1 川崎市的调查结果

我们在川崎市市内选择了 3 个地点（一般环境大气监测站（一般站）：田岛、高津；机动车尾气排放监测站（自排站）：池上），就 PM2.5 的成分开展了分析调查，并根据其结果对川崎市 2017 年度各季节的环境实态进行了解析。测得 PM2.5 浓度的年平均值分别为：田岛 $10.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、高津 $10.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、池上 $13.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，3 个地点的监测值均低于 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 这一环境标准值。（环境标准评估是通过自动检测机来进行的，仅供参考）。3 个地点的最高浓度均出现在春季，而最低浓度均出现在夏季。

离子成分以二次颗粒物的代表性成分 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 为主，同时他们也大约占到了 PM2.5 的一半（43%—51%）。夏季的 SO_4^{2-} 浓度与 2016 年度相同，处于较低水平，且明显低于 2015 年度以前的水平（3 处调查地点的平均浓度为：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 $2.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）。我们分析其原因在于：夏季多为阴雨天气，导致光化学氧化剂浓度较低，二次颗粒物形成缓慢。据此可以推测出夏季的 PM2.5 浓度较低。

在碳成分中，有机碳（OC）浓度的季节性差异较小，基本处于同一水平。从各调查地点的浓度对比来看，高津稍高于其他地点，但并不明显。元素碳（EC）则呈现秋季浓度高、夏季浓度低的特点，其中池上自排站浓度较高。碳成分约占 PM2.5 的三分之一（32%—36%）。

无机元素中，来自自然污染源的 Na、Al、K、Ca、Fe 呈现出高浓度。进入南风强劲的春夏两季后，在位于沿海地区的田岛与池上，出现浓度上升的成分包括海盐颗粒中所含主要成分、以及源自沿海地区工业地带的污染成分。2017 年度的夏季由于南风较少，因此其浓度基本未有明显上升，春季则呈现较高浓度。作为海盐颗粒指标物的 Na、作为水泥及土壤指标物的 Ca、作为重油燃烧指标物的 V 和 Ni、作为钢铁行业指标物的 Mn 和 Fe，在春季均呈现出最高浓度。

此外，刹车粉尘标志物 Cu 与 Sb 在池上自排站呈现较高浓度。

田岛及高津的左旋葡聚糖浓度均呈现春夏低、秋冬高的趋势。另一方面，两地浓度虽然基本处于同一水平，但从各季节的平均值及年平均值来看，高津均高于田岛。

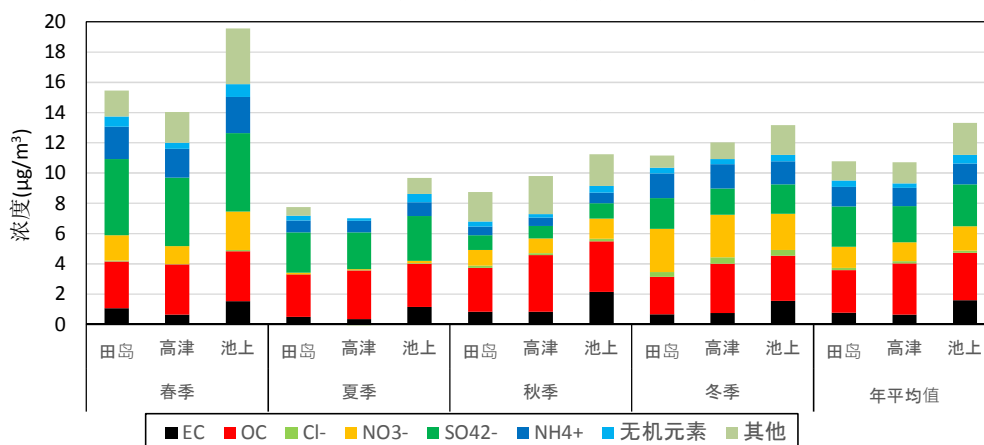


图 1 川崎市 PM2.5 中各成分的浓度的季节平均值及年平均值

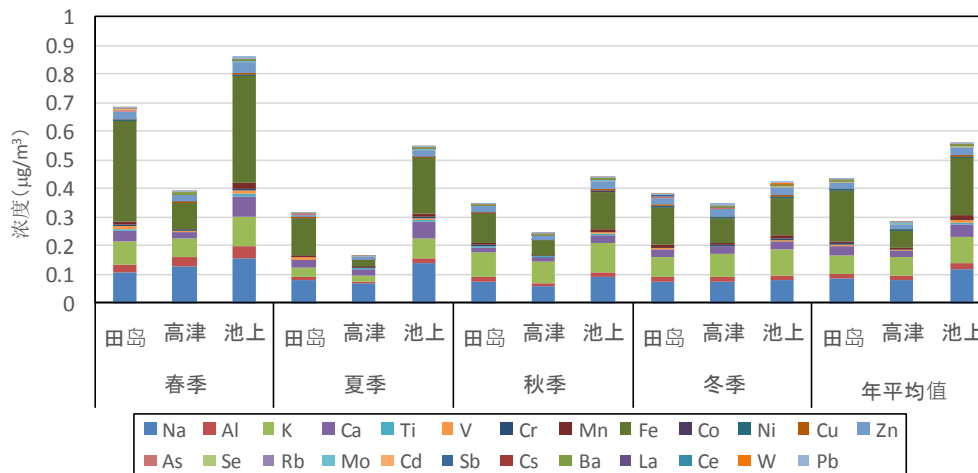


图2 图1中无机元素部分的详细浓度

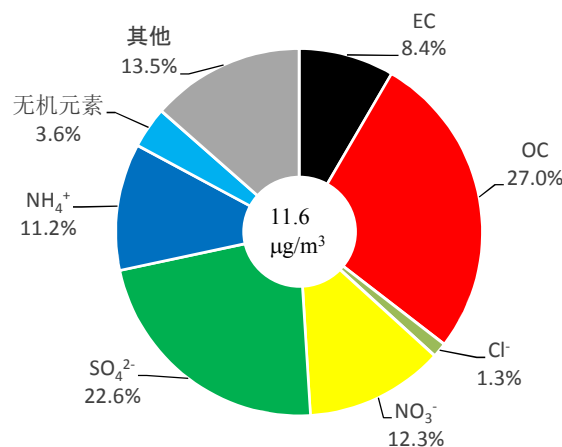


图3 川崎市的各成分的年平均值所占比例

2.2 沈阳市的结果

我们在沈阳市内选择了3各地点（中山公园、市环保局、沧海路），对PM_{2.5}的成分开展了分析调查，并根据其结果对沈阳市2017年度个季节的PM_{2.5}污染现状进行了分析。通过观测获得的PM_{2.5}质量浓度均值为：中山公园点位77 μg/m³、环保局点位71 μg/m³、沧海路点位93 μg/m³，所有观测点位的PM_{2.5}年均浓度值均超过环境空气质量二级标准（35 μg/m³；GB 3095-2012）。观测期间沈阳市各观测点位环境空气PM_{2.5}质量浓度范围为27~129 μg/m³；夏季浓度最低，秋季浓度最高；环保局点位浓度最低，沧海路点位浓度最高。

从水溶性离子浓度来看，观测期间沈阳市各观测点位环境空气PM_{2.5}中NO₃⁻、SO₄²⁻、NH₄⁺三种离子的浓度远高于其他离子，表明PM_{2.5}中离子主要以硫酸铵和硝酸铵两种形式存在；夏季离子总浓度最低，秋季离子总浓度最高；中山公园点位离子总浓度最低，沧海路点位离子总浓度最高。

从碳成分浓度来看，沈阳市各观测点位环境空气PM_{2.5}中OC浓度远远高于EC浓度；夏季碳总浓度最低，秋季碳总浓度最高；环保局点位浓度最低，沧海路点位浓度最高。

从无机元素浓度来看，沈阳市各观测点位环境空气 PM2.5 中 Ca、K、Fe、Al、Mg、Na 元素浓度较高；夏季无机元素总浓度最低，春季无机元素总浓度最高；春季中山公园点位浓度最高，夏、秋、冬三季沧海路点位浓度最高。

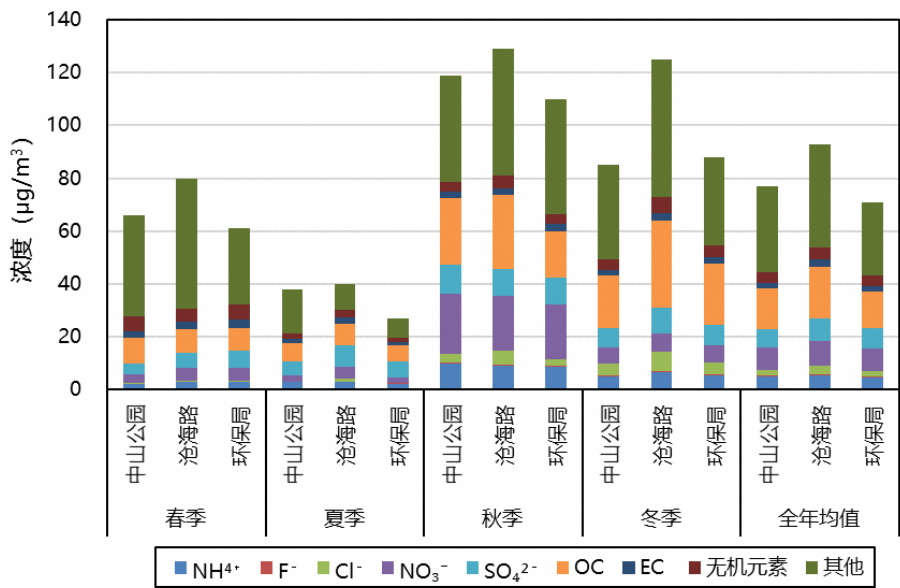


图 1 沈阳市 PM2.5 中各成分浓度的季节平均值与年平均值

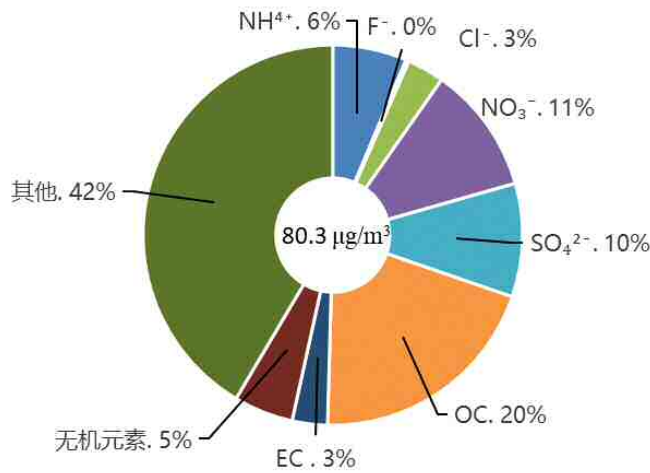


图 2 沈阳市的各成分的年平均值所占比例

综合上述结论可知，沈阳市环境空气 PM2.5 的组成呈现较为明显的季节特征，夏季污染程度最轻，秋冬季污染程度最重，这与秋冬季供暖、秸秆焚烧等现象的多发有关。从空间分布来看，沧海路点位的污染明显重于其他地区，这表明工厂的排放对沈阳市环境空气 PM2.5 浓度具有重要的影响。

2.3 两市结果的比较

通过对川崎市与沈阳市的 PM2.5 浓度进行比较可以发现，3 个监测地点的年平均浓度分别为：川崎市 $11.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、沈阳市 $80.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、沈阳市为川崎市的 6.9 倍之多。从季节来看，沈阳市秋季的浓度最高，达到川崎市的 12 倍（沈阳市 $119 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、川

崎市 $9.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$); 冬季次之, 为川崎市的 8.2 倍 (沈阳市 $99.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、川崎市 $12.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$); 夏季为川崎市的 4.3 倍 (沈阳市 $35.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、川崎市 $8.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$); 春季为川崎市的 4.2 倍 (沈阳市 $69.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、川崎市 $16.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$)。沈阳市 PM_{2.5} 浓度的最高值出现在秋季, 最低值则出现在夏季, 同样川崎市也是夏季浓度较低, 因此从浓度差的倍率来看, 春季最低。

从离子成分来看, 作为二次颗粒物指标成分的 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ , 在两市均呈现较高的浓度占比, 且沈阳市的浓度高于川崎市, 从 3 处调查地点的年平均值来看, 沈阳市的 NO_3^- 浓度高达川崎市的 6.2 倍, SO_4^{2-} 为 2.9 倍, NH_4^+ 为 3.9 倍。再从其他离子成分来看, 沈阳市的浓度更是远远高于川崎市, 其中 Cl^- 为川崎市的 17 倍、 K^+ 为川崎市的 15 倍、 Mg^{2+} 为川崎市的 17 倍、 Ca^{2+} 为川崎市的 26 倍; 除 Na^+ (3.7 倍) 以外, 均显示出较大差距。从沈阳市的离子成分来看, 秋季呈最高浓度的成分为 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} , 冬季呈最高浓度的成分为 Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} , 春夏两季所有成分浓度均保持较低水平。特别是进入秋季后, NO_3^- 浓度上升到一个极高的水平 ($21.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 这成为沈阳市秋季 PM_{2.5} 上升的一大因素。

从碳成分来看, OC、EC 浓度均为沈阳市较高, 从 3 个监测地点的年平均值来看, OC 为川崎市的 5.2 倍、EC 为川崎市的 2.5 倍。沈阳市的 OC 在秋季 ($23.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 和冬季 ($25.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 达到一个极高的浓度水平, 而川崎市的 OC 则一年四季均无明显变化。此外, 沈阳市的 EC 未见明显的季节变化, 呈现春季上升、夏季下降的趋势。EC 是机动车尾气的指标成分, 在沈阳市, 其浓度全年均高于川崎市, 由此可以推断, 沈阳市的机动车尾气的影响更大, 其贡献浓度要高于川崎市。

从无机元素来看, 将沈阳市与川崎市各自 3 个监测地点的平均值进行比较后可以发现, 沈阳市浓度极高的成分为 Ca (38 倍)、Al (21 倍)、K (9.6 倍)、Pb (8.7 倍)、As (7.2 倍), 低浓度成分为 V (0.45 倍)、Ni (0.90 倍)。Ca 与 Al 是土壤类的指标物, 这两种成分在沈阳市均呈现春季高浓度的特点, 我们推断这主要来自沈阳市郊外的裸地地带的土壤迁移。K 作为生物质燃烧的指标物, 进入秋冬两季便会上升, 可以推断农作物秸秆的焚烧是其主要原因。Pb 与 As 为燃煤的指标物, V 与 Ni 为燃油的指标物, 在沈阳市 Pb 与 As 较高、V 与 Ni 较低, 这表明煤炭仍被作为主要燃料而广泛使用、而石油却鲜为应用。从作为燃煤与燃油指标的 (高值为燃煤、低值为燃油) As/V 来看, 沈阳市为 1.9、川崎市为 0.13, 差距悬殊。特别是沈阳市在秋季达到 3.6 (川崎市 0.22)、冬季达到 2.3 (川崎市 0.20) 的高值, 可见进入寒冷期的秋冬两季后燃煤污染之严重。据此可以推断出 Pb 与 As 的高浓度主要是受到寒冷期的燃煤的影响。此外, 我们认为, 上述生物质燃烧与燃煤很可能是引起秋冬两季 OC 和 NO_3^- 等成分浓度上升的主要原因。

通过上述比较可以发现, 与川崎市相比, 沈阳市在春季主要受土壤类粉尘的影响、在秋冬两季则主要受农作物秸秆的生物质燃烧及燃煤的影响, 全年则主要受机动车尾气的影响, 这些因素的共同作用造成了 PM_{2.5} 的上升。

- 1) Yonemochi S., Chen X., Miao P., Lu S., Oh K., Umezawa N.: Characterization of high concentration of PM_{2.5} and PM₁ collected in Beijing in January, 2013, *J. Jpn. Soc. Atmos. Environ.*, **48**, 140-144 (2013) [in Japanese].

3 PM_{2.5} 发生因素的阐明

3.1 在川崎市所推测的因素

我们就川崎市市内的3个监测地点开展了PM_{2.5}的成分分析调查,并利用其结果,通过 Positive Matrix Factorization (PMF) 法对污染源进行了解析。

污染源可分为7类(机动车尾气+刹车粉尘、石油燃烧、钢铁行业+土壤颗粒、废弃物焚烧+煤炭燃烧、生物质燃烧+有机颗粒、硫酸盐二次颗粒物+海盐颗粒、硝酸盐二次颗粒物)。汽车尾气+刹车粉尘的因子的主成分是汽车尾气,但其他的污染成分也都在很大程度上受机动车影响,因此可认为属于同一种污染因子。这导致秋冬两季贡献率较高,特别是池上自排站在秋季的贡献率高达 20%。石油燃烧与钢铁行业+土壤颗粒全年贡献率均处于较低水平。然而,废弃物焚烧+煤炭燃烧最大贡献率则出现在春季的高津,高达 20%。

生物质燃烧+有机颗粒呈现春季低贡献率,秋季高贡献率的特点。这主要是由于烧荒等生物质燃烧及二次有机颗粒所致。其中秋季的贡献率高达 24%至 37%,特别是内醚糖作为生物质燃烧的指标物,通过其进入秋季后所呈现的浓度可以发现,烧荒对此有较大的贡献。硫酸类二次颗粒物+海盐颗粒的因子的主成分为硫酸类二次颗粒物,但在春夏两季也呈较高的贡献率。硝酸盐二次颗粒物在冬季的贡献率较高。

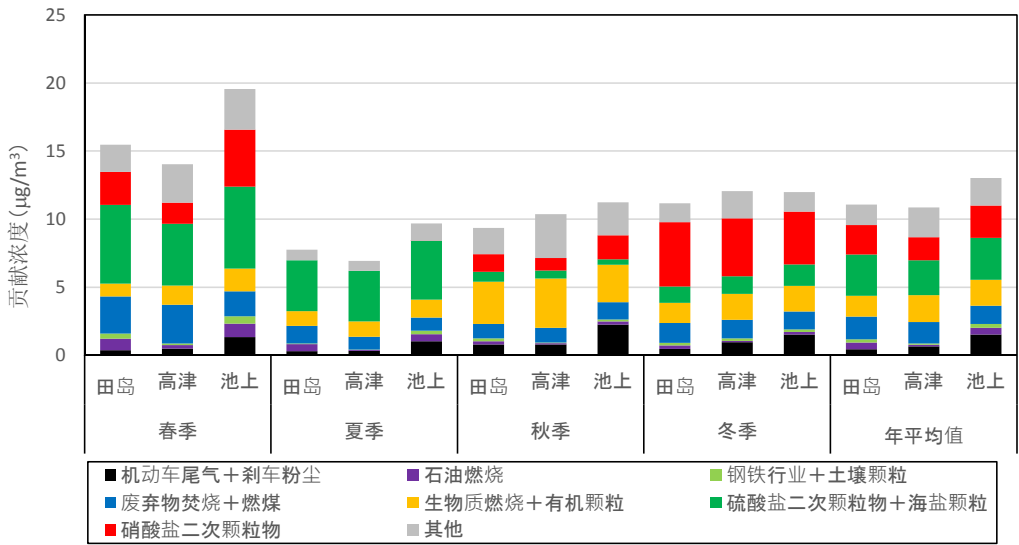


图6 川崎市 PM_{2.5} 的污染源贡献浓度 (PMF 法)

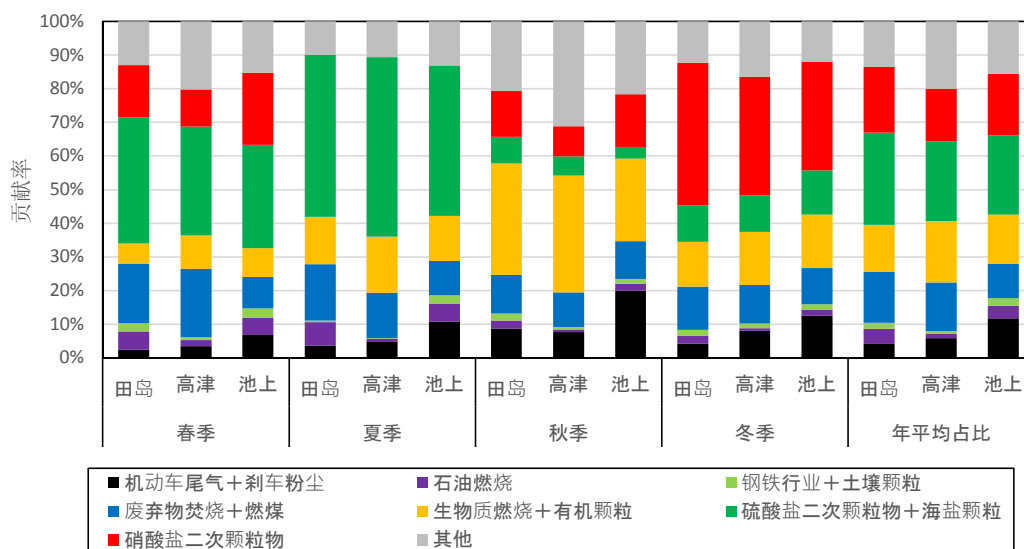


图7 川崎市 PM2.5 的污染源贡献率 (PMF 法)

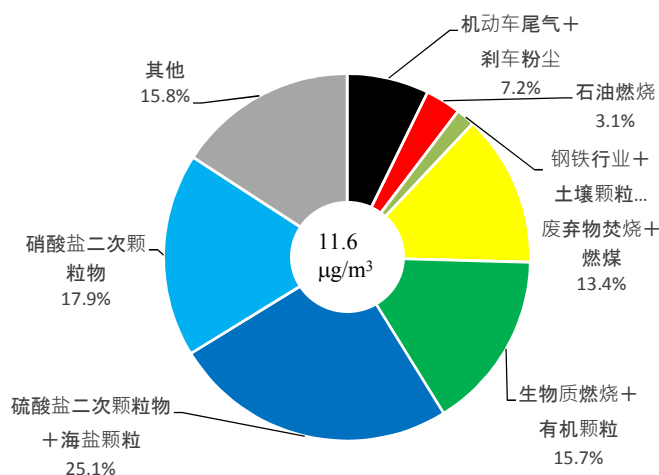


图8 川崎市各污染源贡献率的年平均占比

3.2 在沈阳市所推测的因素

我们在沈阳市内选择了3个点位进行PM_{2.5}的成分分析调查，并通过PMF模型进行了污染源解析。解析所获得的污染源为7类，其对PM_{2.5}的年平均贡献率，除了其他（39.2%），再次计算的结果依次为：二次硝酸盐（27.4%）>机动车尾气+生物质燃烧（21.0%）>燃煤（17.6%）>二次硫酸盐+重油燃烧（16.1%）>工业（8.5%）>土壤扬尘（5.8%）>刹车粉尘（3.6%）。

三个点位工业对PM_{2.5}的年平均贡献率比较接近，环保局点位略高于其他两个点位。全年中，工业对PM_{2.5}的贡献率在3.3%（沧海路冬季）与23.7%（环保局夏季）之间。二次硫酸盐+重油燃烧对PM_{2.5}的年平均贡献率为环保局>沧海路>中山公园。环保局点位北

部偏西的 3-5km 范围内，分布着一些以燃料油为主要能源的制药企业¹，这些企业在生产过程中排放的污染物是造成环保局点位二次硫酸盐+重油燃烧源的贡献率较高的原因。全年中，二次硫酸盐+重油燃烧源对 PM_{2.5} 的贡献率在 5.8%（沧海路冬季）与 67.6%（环保局夏季）之间。

二次硝酸盐对 PM_{2.5} 的年平均贡献率为中山公园>环保局>沧海路。中山公园位于市中心地区，人口集中，交通流量较大，该点位周边交通以中小型家用汽油车为主，NO_x 的排放量较高，因而导致该点位 PM_{2.5} 中二次硝酸盐的贡献率较高；环保局点位的二次硝酸盐主要来源于周边的燃油企业和汽油车的排放。从季节变化来看，秋季二次硝酸盐贡献率最高，这是因为沈阳市秋季以晴朗干燥的气候为主，有利于 NO_x 向二次硝酸盐的转化。全年中，二次硝酸盐对 PM_{2.5} 的贡献率在 1.7%（中山公园夏季）与 59.1%（环保局夏季）之间。

燃煤对 PM_{2.5} 的年平均贡献率为中山公园>沧海路>环保局。燃煤贡献率的排序与点位周边的燃煤供暖锅炉房数量²一致，中山公园周边分布有太原热源厂、砂山热源厂、沈阳航空航天大学锅炉房等规模较大的燃煤供暖锅炉房；沧海路周边只有数个规模相对较小的燃煤供暖锅炉房；环保局周边几乎没有燃煤供暖锅炉房。从季节变化来看，冬季燃煤贡献率远远高于其他季节，这是由于沈阳市冬季燃煤供暖锅炉所消耗的煤炭，占沈阳市煤炭消耗总量的 70% 以上。全年中，燃煤对 PM_{2.5} 的贡献率在 0.0%（中山公园夏季，环保局夏季、春季）与 43.2%（中山公园冬季）之间。

刹车粉尘对 PM_{2.5} 的年平均贡献率为沧海路>中山公园>环保局。这与三个点位周边的交通状况有关，沧海路周边企业运输的大型柴油货车数量较多；中山公园位于市中心地区，交通流量较大，容易出现交通拥堵；环保局周边道路宽阔，车流量较小，不易出现拥堵现象。全年中，刹车粉尘对 PM_{2.5} 的贡献率在 0.3%（中山公园秋季）与 7.1%（沧海路夏季）之间。

机动车尾气+生物质燃烧对 PM_{2.5} 的年平均贡献率为中山公园>沧海路>环保局。造成这种现象的原因有两个：对于机动车尾气来说，是由于中山公园和沧海路的交通流量大于环保局；对于生物质燃烧来说，是由于中山公园周边拥有大量植被，沧海路附近存在村庄、棚户区等，容易出现焚烧树叶、秸秆、劈柴等生物质的现象。全年中，机动车尾气+生物质燃烧对 PM_{2.5} 的贡献率在 0.0%（环保局夏季）与 26.9%（中山公园春季）之间。

土壤扬尘对 PM_{2.5} 的年平均贡献率为环保局>中山公园>沧海路。环保局周边分布着一些正在施工过程中的建筑工地，中山公园周边的植被枯萎后容易出现裸露土地，因此这两个点位的土壤扬尘贡献率相对较高。从季节变化来看，春季土壤扬尘贡献率最高，这是因为沈阳市在春季的时候，冬季的积雪随着气温升高逐步融化，但植被仍处于枯萎状态，从而暴露出裸露的土地，同时春季又是大风多发的季节，因此极易发生扬尘污染。全年中，土壤扬尘对 PM_{2.5} 的贡献率在 0.4%（环保局秋季）与 30.2%（环保局春季）之间。

¹ 数据来源：沈阳市 2016 年大气污染源排放清单，沈阳环境科学研究院

² 数据来源：沈阳市 2016 年大气污染源排放清单，沈阳环境科学研究院

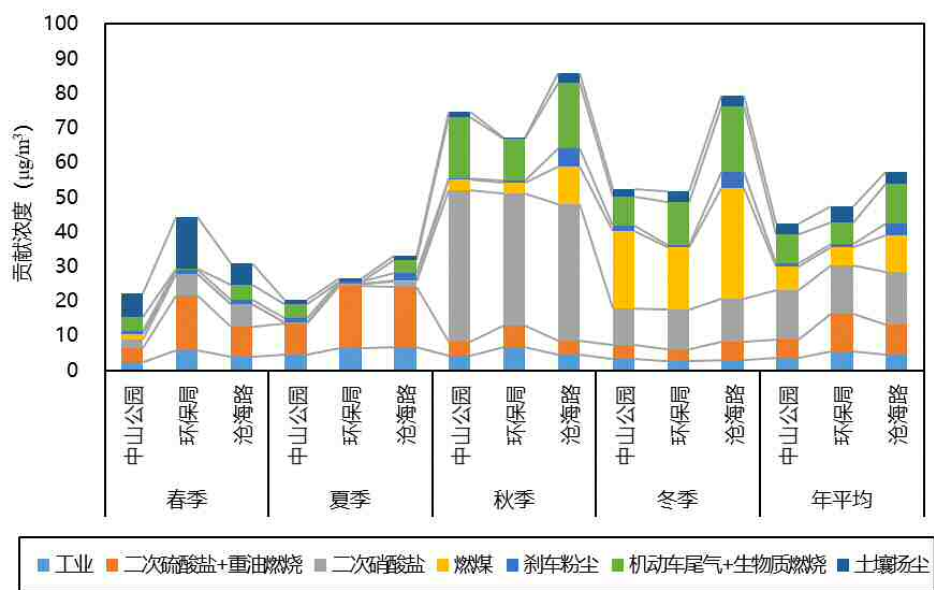


图 3 沈阳市 PM_{2.5} 的污染源贡献浓度 (PMF 法)

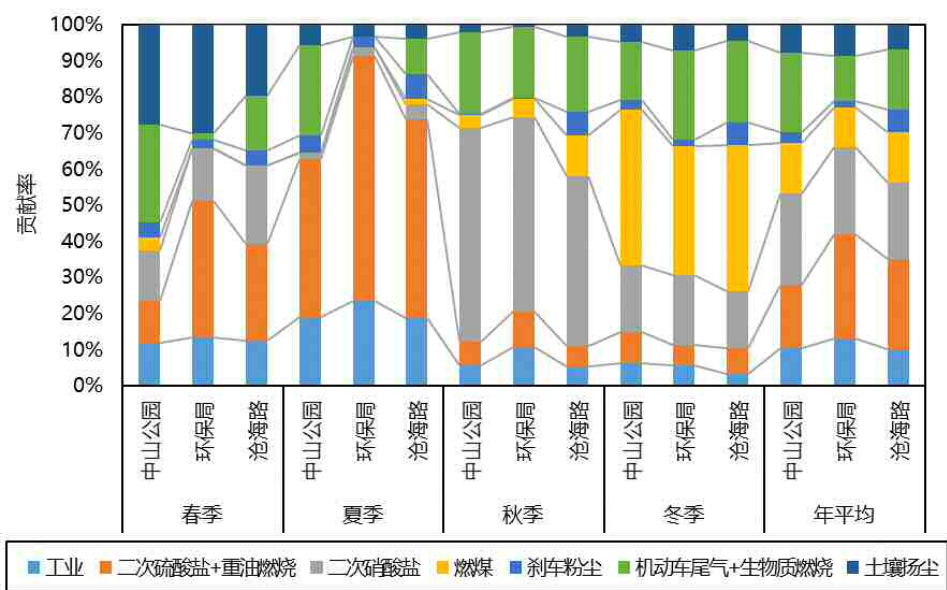


图 4 沈阳市 PM_{2.5} 的污染源贡献率 (PMF 法)

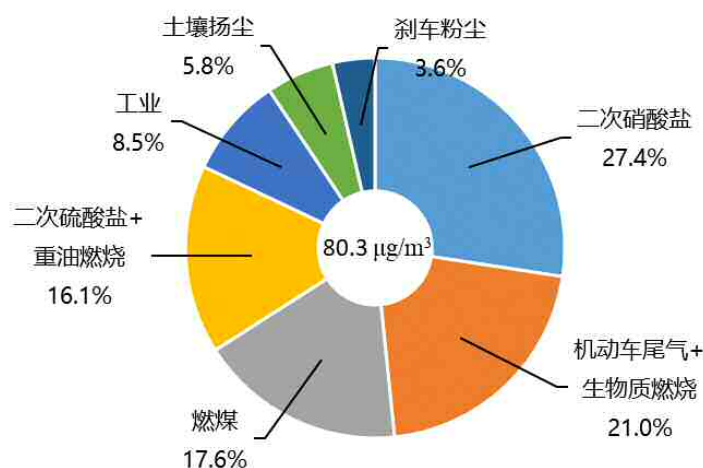


图 5 沈阳 PM_{2.5} 年平均贡献率

3.3 两市的发生因素的比较

对于川崎市与沈阳市的污染源解析结果，刨除那些无法确定类别的其他类物质后，经过比较可以发现，川崎市呈最高贡献率的分别为硫酸盐二次颗粒物+海盐颗粒（30%）、硝酸盐二次颗粒物（21%）、生物质燃烧+有机颗粒（19%），它们对二次颗粒的形成均有很大贡献。而在沈阳市，贡献较大的不仅包括二次硝酸盐（27%）、机动车尾气+生物质燃烧（21%）、燃煤燃烧（18%）所形成的二次颗粒物，一次颗粒物也有很大贡献。

我们对沈阳市与川崎市贡献率较高的污染源进行了比较。首先，从一次颗粒物贡献最大的机动车尾气+生物质燃烧来看，其在秋季（16 μg/m³）与冬季（13 μg/m³）呈高贡献率。

关于机动车尾气，作为其指标的 EC 的浓度范围为 1.9 μg/m³–2.8 μg/m³，季节差较小，因此机动车尾气的贡献并不会随着季节而有较大改变，而是保持一个较为稳定的贡献率。由此，我们推断秋冬两季之所以出现浓度上升，其多半是由于生物质燃烧所致。这主要体现为在沈阳市的郊外，玉米等农作物丰收后人们会将其残渣进行焚烧，或将落叶、木柴等进行焚烧。同样，川崎市在进入秋季后（生物质燃烧+有机颗粒 3.2 μg/m³），生物质燃烧的贡献率也会出现上升，但 2015 年度川崎市的耕地面积较少，相当于 5 个市区面积的 4.0%（约 580 公顷），且田岛与高津的内醚糖的浓度也基本相同，据此我们推断其原因不仅在于川崎市自身，应该是同时受到了其他地区的影响，受大范围污染所致。此外，机动车尾气（+刹车粉尘）的贡献为 0.55 μg/m³–1.3 μg/m³。通过将上述污染源的贡献浓度的年平均值进行比较后可以发现，沈阳市的机动车尾气+生物质燃烧+刹车粉尘的年平均贡献浓度的合计值为 10 μg/m³，川崎市的机动车尾气+刹车粉尘+生物质燃烧+有机颗粒的贡献浓度的合计值为 2.7 μg/m³，沈阳市高达川崎市的 3.9 倍。

其次，从燃煤燃烧情况来看，沈阳市进入秋季（5.7 μg/m³）和冬季（24 μg/m³）后，特别是在冬季呈现出较高的贡献率，寒冬时节用于取暖的燃煤燃烧为其主要原因。据此可以推断出在沈阳市通常所使用的取暖燃料中，燃煤占有相当大的比例。在川崎市，由于同时存在废弃物焚烧+燃煤燃烧，因此并不能断定其影响全部来自于燃煤燃烧。与冬季（1.4 μg/m³）相比，最高浓度（2.5 μg/m³）出现在春季。其原因在于，川崎市基本上不使用燃煤进行取暖，与燃煤燃烧相比，废弃物焚烧的影响可能性会更大。通过将上述污染源的贡献浓度进行

比较后可以发现，沈阳市的燃煤燃烧的年平均贡献浓度达到 $7.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，川崎市的废弃物焚烧+燃煤燃烧的贡献浓度仅为 $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，沈阳市高达川崎市的 2.9 倍之多。

接下来我们对沈阳市的二次颗粒物进行了比较。沈阳市的二次硝酸盐在进入秋季（ $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）和冬季（ $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）后，特别是在秋季呈现较高贡献率。作为可形成二次硝酸盐的氮氧化物（ NO_x ），包括大气中氮所形成的热力型 NO_x 以及来源于燃料的燃料型 NO_x ，二者均是通过燃烧而生成的。在沈阳市，除去贯穿全年的机动车尾气中所含 NO_x 及工业排放的 NO_x ，进入秋冬两季后生物质燃烧及燃煤燃烧明显增多，随之排放出大量的 NO_x ，由此导致秋冬两季形成大量的二次硝酸盐。硝酸铵作为二次硝酸盐的主要成分，会随着气温上升而发生气化，随着气温下降而形成颗粒，因此在寒冬时节的沈阳市，此前大量形成的二次硝酸盐的大部分会结为颗粒，从而导致其贡献率大幅上升。与沈阳市的情况相同，川崎市在进入寒冬后，二次硝酸盐的贡献率也会出现上升，但 2017 年度冬季（ $4.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）和春季（ $2.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）均呈现出较高的贡献率。通过将上述二次硝酸盐的贡献浓度进行比较后可知，沈阳市的年平均贡献浓度为 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，川崎市的年平均贡献浓度为 $2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，沈阳市高达川崎市的 7.1 倍之多。

其次，沈阳市的二次硫酸盐与重油燃烧含有同一因子，因此我们认为这与沈阳市内的重油燃烧密切相关。此外，进入春季（ $9.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）与夏季（ $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）后，特别是在夏季其贡献浓度大幅上升，据此可认为这也是受到了二次污染物光化学氧化剂的影响。川崎市的硫酸盐二次颗粒物（+海盐颗粒）呈春夏两季浓度上升的趋势，这主要是由于光化学氧化剂这种二次污染物所引起的大范围污染所致。通过对以上二次硫酸盐的贡献浓度进行比较后可知，沈阳市的年平均的贡献浓度为 $8.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，川崎市的年平均的贡献浓度为 $3.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，沈阳市高达川崎市的 2.7 倍左右。

此外，沈阳市在工业上的贡献浓度在夏季（ $5.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）达到峰值，冬季（ $2.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）则变为最低。如果用石油燃烧与钢铁工业（+土壤颗粒）的合计值来表示川崎市工业的贡献浓度，则春季（ $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）达到峰值。通过将上述贡献浓度比较后可以发现，沈阳市的年平均贡献浓度为 $4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，川崎市的年平均贡献浓度为 $0.77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，沈阳市高达川崎市的 7.9 倍之多。此外，从土壤粉尘的情况来看，因其与川崎市的钢铁工业具有相同的因子而难以进行直接比较，但其在春季的沈阳市则呈现较高的贡献浓度（ $9.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ），与年平均值（ $2.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）相比，贡献明显较高。

综上所述，我们可以推测得出：沈阳市的 $\text{PM}_{2.5}$ 在 2017 年度秋冬两季的寒冷期间，受燃煤燃烧、生物质燃烧及二次硝酸盐的影响较大；春季所受影响则主要来自沈阳市郊外裸地等的粉尘迁移以及贯穿全年的机动车尾气排放。可以认为其中尤以沈阳市内的污染源的贡献最为突出，今后应通过对其进行治理来推动 $\text{PM}_{2.5}$ 减排。

4 到目前为止为了改善大气环境所做的活动

4.1 到目前为止川崎市所做的活动

【创建期】

川崎市的工厂位于京滨工业地带的核心区域，曾盛极一时。太平洋战争末期则因本土空袭而遭受了毁灭性打击。后以朝鲜战争为契机，战前就已形成规模的钢铁与机械工业得以重振复兴，发电站建设及石油联合企业的形成步伐不断加快。在此过程中，工厂

群所排放的烟尘和污水造成的双重污染已危及周边的广大区域。于是从 1950 年左右开始出现针对大气污染的市民投诉，进入高速增长期后，公害投诉数量更是呈爆发式增长。在此之前，特定的排放工厂与周边受害居民一般会通过双方私下交涉来加以解决，但仅凭这种方式已难以应对当时的公害问题，为此国家和地方政府也不得不积极应对。神奈川县于 1951 年制定了《事业场公害防止条例》，开始对工厂采取管制措施。

川崎市在进入经济高速增长期后，工业公害问题愈演愈烈。对此，民间于 1960 年 10 月掀起了要求制定公害防止条例的运动，并向市议会提交了有关条例制定的直接请愿书，直接请愿的条例草案被临时市议会否决。但同年 12 月，公布和实施了由市政府提出的《川崎市公害防止条例（旧条例）》。然而，由于其内容未涉及排放管控，称不上是完善的公害防治措施。1965 年大师监测站的 SO_2 的年平均值高达 0.110 ppm (0°C , 1 atm で $314 \mu\text{g}/\text{m}^3$)，大气污染形势依然严峻。1970 年，川崎区的大师及田岛地区被指定为公害病认定区域。1972 年，东海道线以东全线成为指定区域。本市认定的公害病包括“慢性支气管炎”、“支气管哮喘”、“哮喘性支气管炎”以及“肺气肿”，这些疾病全部属于大气污染所引起的阻塞性呼吸系统疾病。

【应对产业型公害】

国家也于 1962 年制定了《关于烟尘排放规制等的法律》；于 1967 年制定了涵盖 6 大典型公害的《公害对策基本法》，设定了大气污染环境标准，但其中也包括谋求环境保护与经济发展和谐共存的经济协调条款，从而导致此后公害长期持续并进一步恶化。在接下来的 1968 年制定的《大气污染防治法》中，不仅规定了排放标准，还规定允许地方政府自行拟定管控标准。进而在 1970 年进行修订时，将上述法律法规中的经济协调条款全部删除。自此，实现了从经济增长优先路线向以人为本路线的转移。

此外，自 1970 年左右开始，在包括川崎市的京浜工业地带开展的市民活动等反公害运动日益高涨，社会上陆续出现了“川崎市消除公害协会”、“还京滨一片蓝天协会”等以反公害为宗旨的民众运动组织，各种上书请愿活动接连不断。在这种局面下，周边地方政府为加快公害治理的步伐和加强对企业的公害防治，强制要求企业加大对煤尘及硫氧化物等污染物的排放控制。对此，企业也认识到自身的发展离不开当地居民乃至地方政府的支持，在谋求地区社会的配合及理解的同时，开始正视公害问题，自主采取积极措施加以治理，包括制定比现行法律条例更为严格的污染物排放管控规定。自 1964 年横滨市与企业签订了要求企业自主实施公害防治对策的协议以来，这种地方政府与企业之间签订公害防治协议的做法也得到了推广。

我市与硫氧化物排放量超出 $10\text{m}^3/\text{h}$ 的 37 家大型企业（39 家工厂）签订了《大气污染防治协定》，还于 1972 年与硫氧化物排放量介于 $5\text{m}^3/\text{h}$ – $10 \text{ m}^3/\text{h}$ 之间的 8 家大型企业（8 家工厂）签订了《大气污染防治备忘录》，加强了污染源治理。1970 年，由神奈川县、横滨市与川崎市所组成的三方协议会（扇岛联络协议会）与制铁行业巨头日本钢管（现 JFE）就京滨制铁所迁至扇岛一事达成一致，签署了《公害防止协定》，力求大幅降低硫氧化物的排放量。

1972 年 3 月发布的《川崎市公害防止条例》为了采用不与《大气污染防治法》相抵触的手法克服严重的大气污染问题，在提出“环境目标值”的同时，还在全国率先引进了“总量控制方式”。即首先设定一个保护市民健康和生活环境所需的“环境目标值”，为确保该实现目标值根据全市的污染负荷总量来分别设定各地区的允许排放量，而为了确保该地区的允许排放量达标，就需要规定工厂等的大气污染物排放量。“总量控制方式”的实施对象最初只包括硫氧化物和悬浮颗粒物，1978 年又将氮氧化物纳入其中。此外，有机化合物也被列为管控对象，并对其设备标准做出了规定（未制定排放标

准)。在总量控制方面，国家也继而分别于1974年将硫氧化物、1981年将氮氧化物纳入了总量控制范围之中。

通过国家、企业、川崎市实施公害防治措施并开展市民反公害运动，煤尘、硫氧化物及氮氧化物的排放控制不断得到加强。尤其是通过总量控制，脱硫装置与脱硝装置的研发和配备日益得到普及。此外，日本自1962年左右进入经济高速增长后期后，燃料逐渐由燃煤转换为石油，1973年受石油危机影响又逐步改用燃气这种优质燃料（图12）。

最终，到1979年，市内所有监测站监测到的二氧化硫浓度均达到了环境目标值（＝国家的环境标准值 日平均值0.04 ppm（0℃，1 atm条件下为114 μg/m³））。

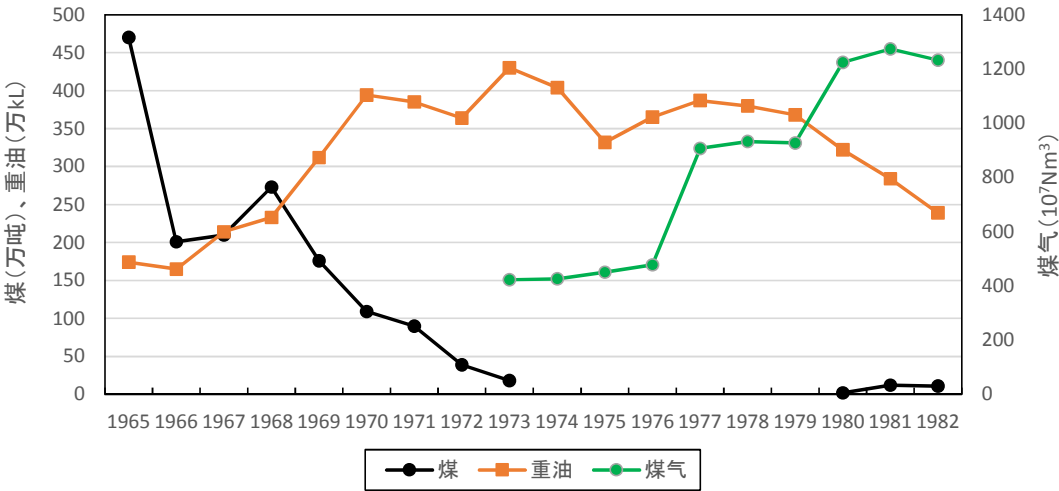


图 12 1965 年-1982 年川崎市工业用燃料的使用量变化情况
（※参见《川崎市的公害》（1968-1983 年公布）。1974 年-1979 年的燃煤使用量及 1965 年-1972 年的煤气使用量无数据可查）

【应对城市生活型公害】

进入 20 世纪 70 年代后半期后，随着国家和地方政府各项法律法规的不断完善以及管控措施的逐步增强，此前以工厂和企业为主要污染源的工业污染得到了极大的改善。另一方面，随着社会经济的发展以及生活水平的提高，人口向城市集中，机动车交通量激增等问题日益凸显；生活噪音、生活排水、合成洗涤剂问题、机动车尾气排放等城市生活型公害愈发凸显。此外，有害化学物质造成的地下水污染也成为了一项社会性问题。

在机动车治理方面，国家于 1992 年制定了《机动车 NO_x 法》，旨在以此防治机动车（柴油车、公交车和汽油动力卡车）排放氮氧化物造成的大气污染。此后又出于颗粒物具有致癌风险等健康方面的考虑，于 2001 年将颗粒物增列为减排对象，将其修订为《机动车 NO_x 与 PM 法》。该法规定凡是不符合排放标准值要求的车辆，将无法在川崎市等适用该法的区域内进行登记注册。然而事实上一些不符合要求的车辆仍有可能在相应区域内运行，因此东京都、神奈川县、千叶县、埼玉县于 2003 年分别修订了公害治理条例，并实施了“柴油车运行管控”，禁止不符合尾气排放标准值要求的车辆上路行驶。人们开始纷纷购买满足上述法律法规要求及经营者排放标准的车辆、或加装尾气排放处理装置。在此推动下，机动车公害大幅减少，在包括川崎市在内的首都圈，NO₂ 与悬浮颗粒物（粒径 10 μm 以下的大气中的粒子；SPM）的环境质量达标已基本成为一种常态。

【应对综合地区环境行政工作】

进入 20 世纪 80 年代后半期后，在全国范围内，城市生活型公害问题、以及尖端技

术发展催生的化学物质引起的环境污染问题逐渐为世人所瞩目。其中，我市针对机动车尾气排放于 1992 年 9 月制定了《川崎市机动车公害防止计划》，开始正式采取措施以改善机动车公害问题。

1992 年 6 月在巴西里约热内卢召开的《联合国环境与发展会议（地球峰会）》上，各国通过了 21 世纪议程（旨在落实里约环境与发展宣言中的各项原则的行动计划），达成多项国际共识。日本也于 1993 年 11 月废除了《公害对策基本法》，重新制定《环境基本法》，表明了环境政策基本理念等新的框架。我市也于 1991 年 12 月制定并公布了以保护市民健康、营造安全的生活环境为政策理念的《川崎市环境基本条例》，同时积极致力于建设综合性环境行政制度，并在此基础上，于 1994 年 2 月制定了环境行政基本方针《川崎市环境基本计划》。该计划以实现“人与环境共生的城市-川崎”为目标，以此来推进各项措施。

此后又于 1999 年 12 月出台了现行的《川崎市公害防止等生活环境保护条例》。该条例是一项政策实施条例，肩负着完成《川崎市环境基本条例》的政策理念，即保护市民健康和营造安全的生活环境的使命，对地区环境管理全权负责。该条例不仅包括已有的针对硫氧化物、粉尘、氮氧化物、有机化合物等的管控，还增加了妥善管理化学物质、控制温室气体排放等当代环境治理，还完善了鼓励企业通过自主管理减小环境负荷的手段。

此外，为实现减少氧化剂及SPM的目的，国家从 2006 年开始采取将挥发性有机化合物（VOC）的排放限制与企业的自主减排相结合的治理方式。并制定了到 2010 年，来自工厂等固定污染源的VOC排放量与 2000 年度相比下降约 3 成的减排目标，最终实现了 4 成左右的减排。此后，为对粒径小于 2.5 μm 的细颗粒物（PM2.5）进行治理，国家于 2009 年设定了相应环境标准值。

经团联及经济同友会等多家经济界团体于 21 世纪前十年开始强调“企业社会责任（CSR）”的意义及重要性，这促使越来越多的企业在进行环境治理时，不仅要遵守法律条例，还应作为履行CSR的一个重要环节，主动为当地社会的发展做出贡献，同时通过与当地居民开展风险沟通来增进民众对其生产活动及环境治理信息的了解，通过此类举措，主动造福当地居民并不断加大环境治理力度。

本市也对此类活动给予了大力支持。

※本章在《公害防止条例的研究》（人见刚、横田觉、海老名富夫 编著）“4 川崎市的公害行政工作与组织机构变迁》（P219—223）的基础上进行部分增加、修改而成。

4.2 到目前为止沈阳市所做的活动

沈阳市是中国传统重工业基地的中心城市之一。1953 年，国民经济第一个五年计划实施，作为当时国内最重要的重工业与装备制造业的基地，沈阳为共和国工业的起跑做出了有目共睹的贡献。在建国初期，拥有着雄厚工业基础的沈阳被人们称之为“共和国的工业长子”，它为共和国的经济发展创造了许多个第一。

1949 年至 1980 年代末期，辽宁省是全中国最大的经济省份，最大的国有企业省份，最重要的重工业基地、能源基地和军工基地，1960 年代和 1970 年代，辽宁省工业产值占全中国的工业生产总值的 $\frac{1}{4}$ 到 $\frac{1}{3}$ 左右，沈阳在其中占有相当比重。1980 年代以后，随着市场化改革的推进，沈阳市经历了产业结构的重大调整，重工业在产业结构中的比重逐渐下降，高新技术产业得到长足发展，形成了装备制造业、汽车产业、医药化工产业、电子信息产业

和农产品加工业等产业为主的产业集群，并成为东北地区重要的交通通信枢纽与金融商贸中心。

工业发展前期，沈阳市大气污染以煤烟型污染为主；改革开放后，随着产业结构的逐渐转型，沈阳市大气污染逐渐转变成复合型污染。

1980 年代早期，沈阳市的大气污染治理主要针对供暖和企业燃煤锅炉的烟粉尘和SO₂ 排放，主要采取的措施包括改进燃煤品质、改用煤气、推广先进的燃烧设备和烟尘净化设备。

1990 年代，沈阳市对大气污染的治理重心由燃煤逐步扩展到餐饮服务业、机动车尾气、建筑施工现场、城市地面扬尘、工艺尾气污染等多个方面。沈阳市于 1995 年出台了《沈阳市大气污染防治条例》，1998 年出台了《沈阳市环境保护违法行为查出办法》等法律文件，完善了大气污染防治的法规体系。

2000 年代，沈阳市将经济的转型与大气污染防治工作相结合，利用调整产业结构和布局、调整能源结构、发展新兴产业等方式，逐步降低大气污染物的排放。

2010 年代至今，沈阳市逐渐加强大气污染防治的工作力度。在燃煤锅炉污染治理方面，实施了 35 吨以上非电燃煤锅炉脱硫改造、重点火电企业锅炉烟气排放升级改造、沈阳炼焦煤气有限公司等搬迁改造及落后产能工业炉窑及小发电锅炉的关停等工作。在机动车及燃油污染治理方面，实施了绿标区（高排放车辆禁行区）设定、淘汰高排放车辆、机动车燃油含硫量达标监管、新能源汽车推广以及油气回收工程建设等一系列措施。在扬尘污染防治方面，大幅度提升城区内主干道机械化吸扫作业比重，将重点地区实施洒水冲洗作业纳入城市环卫日常工作内容，要求城区内施工工地设置围挡，对易扬尘物料进行封闭运输。

通过上述措施的实施，沈阳市环境空气质量得到很大改善。2017 年，沈阳市大气优良（AQI≤100）天数达到 256 天，比 2016 年增加 7 天，11、12 月供暖期未出现重污染天气，PM_{2.5}、PM₁₀ 和SO₂ 三项主要污染指标分别同比下降 5.6%、6.4%和 21.3%，创下 2013 年以来最好水平。

5 基于共同研究结果的今后的活动内容

5.1 川崎市的到目前为止的效果验证以及今后的对策与政策

通过开展 PM_{2.5} 的调查及分析可知，川崎市所有监测站均能够达到环境标准的原因在于：石油燃烧及钢铁工业等固定污染源、机动车尾气这一移动污染源的贡献较低，这表明此前针对固定污染源和移动污染源的治理取得了一定的成效。

同时，这种浓度下降也极有可能是因为受夏秋两季气象条件的影响所致。

为了今后能够持续达到环境标准的要求，应对全年均呈现高贡献率的二次颗粒物及秋季呈现高贡献率的烧荒等生物质燃烧加以控制。为此，在密切关注国家等有关部门动向的同时，还应加强与相关地方政府等在广泛地区开展的合作，进一步收集二次颗粒物的减排信息，探讨污染治理的有效措施。

5.2 沈阳市的到目前为止的效果验证以及今后的对策与政策

5.2.1 沈阳市的到目前为止的效果验证

从解析结果来看，当前沈阳市大气复合型污染特征较为明显。与 2015 年相比较，2017 年沈阳市 $PM_{2.5}$ 中，燃煤的贡献率出现显著下降，但仍是主要的 $PM_{2.5}$ 来源之一；土壤扬尘、工业、机动车尾气+生物质燃烧的贡献率出现小幅下降；二次无机盐的贡献率出现显著上升。上述结果表明，近年来沈阳市采取的拆除燃煤小锅炉、强化建筑工地监管、淘汰重污染车辆、推行秸秆禁烧等治理措施取得了明显的成效，有效地降低了一次颗粒物的排放。另一方面， $PM_{2.5}$ 浓度的降低使得大气能见度逐步提升，促进了 NO_x 、 SO_2 等气态污染物通过光化学反应向二次颗粒物的转化。虽然一次颗粒物减少，但二次颗粒物，尤其是硝酸盐没有下降，从而导致二次无机盐的贡献率增加。因此，今后沈阳市在 $PM_{2.5}$ 治理过程中，应该更加重视二次颗粒物的污染，加强对 NO_x 、 SO_2 等气态污染物排放的控制。

5.2.2 沈阳市今后的对策与政策

5.2.2.1 防治目标

到 2020 年，全市环境空气 $PM_{2.5}$ 年均浓度在 2017 年的基础上下降 15%以上。

5.2.2.2 对策措施

（1）机动车污染防治

机动车污染包括机动车尾气和刹车粉尘，

- I. 加强重型柴油车排污监控监管。对于重型柴油车辆和工程机械，强制安装车载污染物在线监控与卫星定位装置，实现实时监控。
- II. 加强机动车尾气遥感监测。在高排放车辆通行的主要路口，安装机动车尾气遥感监测设备，对超标车辆依法实施严厉处罚。
- III. 鼓励市民实施监督。加大对手机 APP 快速举报系统的宣传与推广，鼓励市民举报重污染车辆。
- IV. 发展绿色公共交通。推进公交系统清洁化，完善公交线路设置，提升市民使用公交系统出行的比例。

（2）生物质燃烧污染防治

- I. 推进农作物秸秆综合利用。推进秸秆肥料化、饲料化、燃料化、基料化、原料化利用和收贮运服务体系建设，进一步提高秸秆综合利用水平。
- II. 加强秸秆焚烧综合管控。利用卫星、无人机等新技术手段，对农业区实施全天候无死角监控，严查非法焚烧秸秆的行为。

（3）燃煤污染防治

- I. 控制全市煤炭消费总量。制定沈阳市燃煤总量控制规划，确定各阶段燃煤总量控制目标。鼓励企业通过改进工艺技术的方式提高能效，降低单位产能的能源消耗量。提高清洁能源、可再生能源的供应能力，鼓励企业、居民采用新能源替代燃煤。
- II. 加强供暖锅炉起炉调试期间的污染防治。严控每年 10 月底供暖锅炉起炉调试期间污染物排放，加强巡查执法，要求使用优质煤炭起炉；推行错峰起炉，避免集中起炉造成污染物集中排放。
- III. 推行供暖设施的升级改造。通过改造城市供暖管网布局，新建大型热源厂等方式，利用集中式供暖替代污染严重的分散小锅炉。
- IV. 加强燃煤锅炉氮氧化物排放管控。加快推进燃煤锅炉脱销设施建设，全面实行燃煤锅炉氮氧化物特别排放限值。

（4）重油燃烧污染防治

- I. 加强对重油消费企业监管。建立重油消费企业名录，对重油消费企业开展专项调查，评估各企业重油消费总量、污染物排放情况。
- II. 设立重油禁燃区。按照国家、省、市对高污染燃料的管理规定，划定重油禁燃区，加强巡查执法，严查非法燃烧重油的行为。
- III. 加强重油销售市场监督。出台沈阳市重油市场准入标准，对全市在售重油品质开展定期抽检，禁止劣质重油在沈阳市销售与使用。

（5）工业污染防治

- I. 调整产业结构。按照国家及地方行业标准，出台重点行业淘汰落后产能实施计划，逐步淘汰落后产能和过剩产能。
- II. 加强企业排放监管。推行污染物排放许可制度，依法对企业核发排污许可证，强化排污者责任，对企业排污的各个环节实施精细化管理。

（6）土壤扬尘污染防治

- I. 严格施工扬尘监管。在城市主要工地安装视频监控，对于施工的裸土、料堆等易扬尘区域应采取覆盖、喷水、设置围挡等抑尘措施。
- II. 加强春秋季节裸土扬尘治理。在春秋季节植被稀少、大风天气频发的季节，对于裸露土地实施覆盖、硬化等措施，防止起尘。

5.2.3 评价方法

继续开展 PM_{2.5} 源解析工作，建立沈阳市 PM_{2.5} 源解析数据库，通过组分构成与污染源贡献的变化，对 PM_{2.5} 污染治理措施的效果进行评估，并根据评估结果适时调整政策方向。

5.3 对两市此前的治理措施的成效进行验证并对今后的治理措施及政策进行比较

通过沈阳市的成分分析结果及污染源解析结果可以发现，沈阳市主要的 PM_{2.5} 污染源来自于春季的土壤粉尘、秋冬两季的燃煤燃烧、农作物残渣等植物类的生物质燃烧、二次硝酸盐、以及贯穿全年的机动车尾气排放和工业排放。为此有必要针对这些污染源制分

别制定相应的治理方案。

在 20 世纪 50 年代-60 年代，川崎市的环境质量所受影响主要来自燃煤燃烧所产生的煤尘，直至 70 年代左右，川崎市内的能源来源仍为燃煤，70 年代-80 年代则变为柴油，90 年代以后燃气成为了主流。目前沈阳市冬季的燃煤使用量仍然较大，推测与川崎市 20 世纪 70 年代左右的情况相似。进入 80 年代以后，川崎市的机动车尾气排放日益严重，此外，生物质燃烧及自然由来的粉尘虽然并未成为川崎市的主要污染源，但在同一时期却成为沈阳市的一项重要污染源。对于以上各类污染源，需要通过综合治理手段加以治理。此外，川崎市曾经历过因重油燃烧产生二氧化硫而造成的大气污染，沈阳市却并未经历过，在这种情况下进行大气环境的改善治理时，可对川崎市的相关经验加以借鉴。

进入 20 世纪 70 年代后，川崎市针对固定污染源出台了总量控制等法规条例，从而推动了市内企业采取相关措施。①改用优质能源（燃煤→石油、天然气）、②引进煤烟防治措施（安装脱硫装置、脱硝装置、除尘机）。来自固定污染源的大气污染物的排放量大幅下降，从而摆脱了严重的大气污染公害。此外，针对机动车尾气排放，国家依据《大气污染防治法》设定了机动车尾气排放量的管控值（单体管控），同时依据《机动车 NO_x 与 PM 法》，对于因机动车尾气中的 NO_x 及 PM 等污染物而导致机动车公害严重的地区，规定该地区内的尾气排放不达标车辆不予进行新车、过户或续期登记（车型管控）。此外，在 2003 年，首都圈（东京都、神奈川县、埼玉县、千叶县）各地方政府联合起来，依据相关条例限制不符合机动车尾气排放标准的车辆上路行驶（行驶管控），由于包括川崎市在内的各地方政府对各项措施执行到位，机动车公害问题得到大幅改善，同时推动了国家级法规的修订步伐以加强管控。沈阳市在进行大气环境治理时，不仅采用了国家级标准，自身也出台了一些特有措施。除此之外，包括川崎市在内的各地方政府的合作机制对于沈阳市的大气环境改善而言也不失为一种参考。

为了进一步改善大气环境，沈阳市推出了 5.2 中所列的各项措施，包括防止燃煤污染、防止生物质燃烧污染、防止动力车辆污染、防止餐饮油烟污染以及粉尘污染。本项共同研究的成果上，我们通过成分分析及污染源解析查明了 PM_{2.5} 的污染源，并据此来控制 NO_x 的排放，从而减少二次硝酸盐基的形成，因此我们认为将上述污染源作为管控对象是妥当的。此外，在管控内容方面，沈阳市也借鉴了川崎市的成功经验，并结合自身的特有举措，在现有治理措施的基础上同时实施 5.2 中所列举的各项治理措施，有望进一步削减 PM_{2.5}。

另一方面，为了推进落实上述各项措施并切实取得成效，沈阳市应该学习川崎市通过市民、企业、政府部门各方联手有计划地推动地区环境改善的做法，明确市民、企业、政府部门等各主体的职责分工，推出实践性的举措。为此，我们应加强信息的互通共享，以此提高对环境问题的认识，加深理解，并付诸实践行动。各主体应始终严加注意，努力实现区域环境的改善。

今后我们将在本项共同研究成果的基础上，以沈阳市为主体，在沈阳市及其周边省市开展 PM_{2.5} 调查及污染源解析，通过对防治措施开展评估及进行相应的调整来促进大气环境的改善。我们希望沈阳市能够与川崎市一样，成长为一个闻名于世的城市与产业共生的环境示范城，同时为改善发展中国家的环境做出贡献。

6 共同研究的成果与总结

6.1 整体的成果与总结

通过沈阳-川崎共同研究项目的开展,沈阳市在环境空气 $\text{PM}_{2.5}$ 源解析技术方面获得了极大的提升。在日方专家的指导下,沈阳市环境领域技术人员掌握了 $\text{PM}_{2.5}$ 采样、组分分析、模型解析的技术方法,具备了独立开展环境空气颗粒物来源解析的能力,研究成果将持续应用于沈阳市科研项目和管理工作中,为沈阳市未来的大气环境治理发挥重要作用。此外,在共同研究项目开展的过程中,沈阳市派出了多批技术与管理人员到日本进行学习交流,学习到了川崎市在大气环境治理领域的有益经验,也增进了双方的合作关系,为双方进一步开展交流合作奠定了基础。

本次共同研究项目的研究成果,已经从学术和管理两个方面在沈阳市得到了应用。

6.1.1 技术应用与学术研究

(1) 沈阳市通过运用在共同研究中所掌握的环境空气 $\text{PM}_{2.5}$ 源解析技术,于 2017 年 10 月启动了业务化的 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 源解析工作。该项工作将在沈阳市持续开展 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 采样分析,建立沈阳市环境空气 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 组分大数据库,并利用 PMF 模型解析 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 来源,为政府制定 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 污染防治对策提供长期性的技术支撑。

(2) 沈阳市方面参与共同研究的技术单位沈阳环境科学研究院与沈阳市环境监测中心站,将共同研究中所掌握的源解析技术与研究成果,应用于 2017 年度国家重点研发计划“辽宁中部城市群大气污染联防联控技术集成与应用示范”项目的研究工作中。该项目致力于解决辽宁中部城市群区域大气污染治理所面临的技术难题,研究成果将应用于中国未来的区域性大气污染治理工作。目前,项目团队正在开展辽宁中部城市群 7 个城市(沈阳、鞍山、营口、抚顺、铁岭、本溪、辽阳)的颗粒物来源解析研究,解析结果对分析辽宁中部城市群大气污染特征,制定污染治理对策具有重要的支撑作用。

6.1.2 环境管理与政策制定

(1) 通过参与共同研究,通过川崎市专家的指导以及双方的交流沟通,沈阳市在大气环境监测能力、管理水平等方面均得到了提升。

(2) 共同研究的结论验证了沈阳市在锅炉管控和汽车尾气治理等方面采取的措施是切实有效的,沈阳市将继续开展业务化的 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 源解析工作,积累相关数据,持续地

为大气污染治理措施成效的评估以及未来政策的制定与调整提供科学依据。

（3）共同研究的直接成果，以及沈阳市应用源解析技术获得的新成果，已经为沈阳市制定《沈阳市环境空气治理达标方案》、《沈阳市蓝天保卫战作战方案》等管理政策提供了技术支撑。

7 謝辞

此共同研究是从 2015 年度到 2018 年度环境省所实施的“在中国的协同效应型大气污染治理的共同研究等推进业务”中的一部分，与中华人民共和国生态环境部，日本环境省[yi1]，中日友好环境保护中心，公益财团法人地球环境战略研究机关，一般财团法人日本环境卫生中心的合作下所实施。

衷心的感谢所有合作次研究的相关人员。