

大気環境改善のための費用対効果分析を活用した排出コントロール戦略
に関する調査研究

株式会社 環境情報コミュニケーションズ

大気環境改善のための費用対効果分析を活用した 排出コントロール戦略に関する調査研究

株式会社 環境情報コミュニケーションズ

【調査の目的】

平成 22 年度の NO_x、SPM の大気汚染濃度は近年緩やかな改善傾向がみられる。一方、平成 22 年度に環境基準が設定された PM_{2.5} の環境基準達成率は低い傾向がみられる。全国における PM_{2.5} の年平均値は、基準値が 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であるのに対し、一般環境大気測定局（一般局）で 15.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、自動車排出ガス測定局（自排局）で 17.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、環境基準の達成が厳しい状況であることが明らかになった。また、最近の研究では、現行の大気汚染防止法や自動車 NO_x・PM 法による排出規制が着実に行われても、関東圏で 2020 年までに PM_{2.5} は環境基準以下にならない（達成 GAP が生じる）地域が多く残ることが示唆されている（JATOP 第 2 回成果報告, 2012）。

東京都による調査研究では、PM_{2.5} などの粒子状物質は、汚染物質の排出量が少ない地域でも気象、周辺の排出実態・特性などから大気環境中濃度が高くなる場合があると推察される。

以上を踏まえると、PM_{2.5} の高濃度汚染地域の大気環境改善のための計画や戦略コントロール戦略を費用対効果が高く、合理的に策定する場合には、広域の対策や削減計画を踏まえた上で局所的な汚染地域における有効な対策・計画を検討することが求められる。さらに、PM_{2.5} は多岐に亘る発生源があり、複数の前駆物質やその他の物質などが関与していることを考慮すると、着実に高濃度汚染地域の大気環境改善を行うためには、従前の発生源別の排出規制等の対策を講じる必要があるが、汚染物質の排出抑制手段ごとにその効果と費用を定量的に扱うことが可能である費用対効果分析を用いることにより対象とする（局所）地域とそこに影響を及ぼす地域の排出実態や地域特性を考慮した合理的な対策を立案する手法・アプローチについてわが国でも検討・構築していくことが必要であり喫緊の課題となっている。

このような背景から、本研究では大気汚染物質の削減対策に関する費用対効果分析の手法を研究し、大気汚染物質が高濃度となっている局所的な大気汚染地域を対象とし、費用対効果及び GAP 分析を用いた排出コントロール戦略に関する研究を行うことを目的とする。これらの研究の成果をマニュアル等に取りまとめことにより、大気汚染物質の高濃度汚染地域を持つ地方公共団体が、局所的な大気汚染地域における費用対効果の高い大気環境改善計画や適切な排出削減対策を効率的かつ合理的に策定することを可能とするように本研究の成果の活用方法の方向性を示すことを目的とする。

【調査の方法】

平成 24、25 年の 2 年間で大気汚染物質（本研究では主に PM_{2.5} を扱う）の削減対策に関する費用対効果分析モデルの研究を行い、以下に提案する研究項目について、東京都における対象地域として具体的な事例研究を行い、これらの研究成果に基づき費用対効果分析及び GAP 分析を用いた局所的な大気汚染地域における合理的な排出コントロール戦略手法を検討する。

その成果を取りまとめることにより、旧指定地域を中心とする地方公共団体に活用できるように合理的かつ効率的な大気環境改善の計画・対策を講じる手法の方向性を提示する。

本研究調査で重点とする研究項目

- ① 削減対策の費用対効果分析モデルの研究
- ② 地域内の排出抑制（削減量）の最適化に関する検討（1年目：1次生成粒子，2年目：2次生成粒子の前駆物質）
- ③ ギャップクロージャークロージャーアプローチによる地域内の削減量の再最適化及び局所汚染地域の追加対策の検討手法に関する検討
- ④ 将来、局所的な大気汚染地域を持つ地方公共団体に活用できる「排出コントロール戦略手法」の検討

上記重点研究項目を検討するための項目

- ⑤ 対象とする東京都及びそれに影響を及ぼす周辺地域の排出量（インベントリ）データの収集・集計
- ⑥ 地域内の限界削減費用と削減ポテンシャルに関する検討（1年目：1次生成粒子，2年目：2次生成粒子の前駆物質）
- ⑦ 戦略効果テスト（最適化した削減対策の効果検証）

本研究成果を踏まえ、局所的な大気汚染地域や地方公共団体に於ける大気環境改善の対策・計画、環境基準達成計画等への適用を図るため本研究成果の実用的活用方法の方向性を提示するとともに、将来本研究成果を具体的な計画・施策に活用されるよう調査研究終了後に整備すべき支援ツールや取り組むべき課題など提示し、本研究の展開を図るものとする。

1. 平成24年度

平成24年度は、費用対効果分析に用いるデータの収集、分析モデルを整備し、東京都内の大気汚染物質の高濃度汚染地域（以下、「対象地域」とする）を研究対象地域として選定し、その地域とその地域の大气環境中濃度に寄与している周辺地域（東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県、横浜市、川崎市、相模原市、千葉市、さいたま市）におけるPM_{2.5}（主に1次生成粒子）の排出について、削減技術・施策の費用対効果分析モデルを検討し、それを活用した限界削減費用から地域ごとに削減ポテンシャルを推定し、総削減費用を均衡化し、最小化させる手法について主に検討を行う。

以下に研究項目を示す。

- 1) 関東圏の排出量データの収集・整理
- 2) 1次生成粒子の削減対策DBの整備
- 3) 費用対効果分析モデルの研究
- 4) 1次生成粒子の排出抑制（削減量）の最適化に関する研究
- 5) 2次生成粒子の各地域への寄与割合の推定

2. 平成 25 年度

平成 25 年度は、前年度に引き続き実施する PM_{2.5} の 2 次生成粒子の寄与割合の検討の結果に基づき、1 次生成粒子とともに 2 次生成粒子の前駆物質の排出抑制について、最適化する地域ごとに削減ポテンシャルを推定し、対象地域の大気環境改善や大気環境基準の達成を実現させ、かつ各地域での総削減費用を最小化かつ地域間で均衡化させる手法（以下「最適化」という）について検討する。

最適化された 1 次生成粒子及び前駆物質の削減量について、対象地域での戦略効果テストを実施し、ギャップクロージャアプローチを適用することにより、特定の局地汚染地域において環境基準の達成に必要な周辺排出源の排出削減量を最適化する手法について、局所的な大気汚染地域で活用されることを想定し検討を行う。これらの研究成果に基づき、局所汚染地域での環境基準達成、大気環境改善を可能とする排出コントロール戦略（削減手段の組合せ）の手法を検討する。本研究の成果が、地方公共団体が行う局所汚染対策に活用されるよう本研究成果を理解しやすいよう取りまとめるとともに、研究成果の活用方法、戦略の検討プロセス、あるいは活用する際の課題などについて、本研究で行った検討事例を例示しながらわかりやすく取りまとめる。併せて、地方公共団体において、実際の活用に向けた取り組むべき課題・調査研究について検討し、提示する予定である。

以下に研究項目を示す。

- 1) 2次生成粒子の各地域への寄与割合の推定
- 2) 2次生成粒子前駆物質（SO_x、NO_x、NH₃）の削減対策DBの整備¹
- 3) 前駆物質の排出抑制（削減量）の最適化に関する研究
- 4) 戦略効果テストの実施
- 5) ギャップクロージャアプローチによる削減量の最適化
- 6) 排出コントロール戦略手法の検討
- 7) 調査研究の取りまとめ

3. 研究体制

本研究は、明治大学を研究代表とし、分担研究機関として早稲田大学、高崎経済大学、国士舘大学、金沢工業大学からなる研究グループにより実施し、研究事務局を（株）環境情報コミュニケーションズに置き、本研究調査を実施した。

また、独立行政法人産業技術総合研究所、財団法人・石油産業活性化センター、一般財団法人日本自動車研究所の協力を得て研究を実施した。

調査研究の実施に当たり、研究の内容に関して助言・アドバイスを受ける目的で、大気環境関連分野の 5 名の専門家からなる検討会を設置した。

¹ VOC は、二次生成粒子の生成メカニズム、オゾンとの相互作用など科学的に不明確な部分が多く残っていることから、本研究では定量的な効果を把握することが困難であるため、定性的な把握に留める。

【調査の結果】

1. 関東圏の排出量データの収集・整理

1.1 排出インベントリの概要

本調査研究では、基本的には、JCAPII 及び G-BEAMS（以下、JATOP 推定値）の排出量を使用するが、インベントリ推計には不確実性が疑われるものについては、下記のインベントリと比較を行った。本研究では、不確実性はあるものの費用対効果に関する研究に重きを置く研究であることから、研究の効率性を考慮し、現状で最も整備が進んでいる下記のインベントリを使用した。

- ・微小粒子状物質（PM_{2.5}）等排出インベントリ報告書（東京都）
- ・環境省 大気汚染物質排出量総合調査（平成 20 年度実績）

尚、JATOP 推定値には最新の 2005 年データと 2000 年データがある。排出量の経年変化の傾向を見るために 2000 年、2005 年データとも集計し比較することとした。

集計する物質は、PM_{2.5} の 1 次生成粒子及び 2 次生成粒子（SO_x、NO_x、VOC、NH₃）とした。また、本調査研究で対象とする大気汚染物質は、環境基準を大幅に超過している PM_{2.5} とした。削減ポテンシャルの推定、対策費用の算定、費用対効果分析に用いるため、これらのインベントリを発生源区分、物質ごとに都県市（茨城県、栃木県、群馬県、東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県、横浜市、川崎市、相模原市、千葉市、さいたま市）ごとに排出量の集計を行った。なお、環境基準を大きく超過している地点などの検討においては、最近傍の汚染物質の排出状況を把握することが必要なこともあることから、インベントリを「統計に用いる標準地域メッシュ及び標準地域メッシュコード」の第 3 次地域区画（GIS3 次メッシュ）ごとに集計し、それらを上述した地域ごとに集計する 2 段階集計法を用いて集計を行った。自動車のインベントリは JATOP で詳細に検討されていることから、将来インベントリを推計することはしないこととした。また、行政が対策を講じられない船舶、飛行機や火山などの排出量は本研究では検討しないこととした。

1.2 インベントリの集計方法

インベントリの集計を以下の手順で行った。

- 手順1) 対象地域（茨城県、栃木県、群馬県、東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県、横浜市、川崎市、相模原市、千葉市、さいたま市）の3次メッシュの整備
- 手順2) JATOP 排出量データ（1時間値）を汚染物質ごと、燃料別、3次メッシュごとに抽出し、データベースを作成
- 手順3) 24時間のデータを集計し、日排出量を算出
- 手順4) 日排出量を月配分係数があるものについては、その係数を乗じて月ごとの日排出量を算出し、年間排出量を算出、係数がないものは、365を乗じて年間排出量を算出
- 手順5) 燃料別の年間排出量を合計して、各部門の年間排出量を算定。

但し、粒子状物質の場合は、燃料別のPM_{2.5}への換算係数を用いて、燃料別のPM_{2.5}の年

間排出量を求めてから各部門の年間排出量を行っている。

手順6) 製造部門、それ以外の部門ごとに年間排出量合計値を算出、それらを合算することにより全年間排出量を算出し、GISデータベースを作成し関東圏の排出実態（排出量マップ）を把握

手順7) 3次メッシュ排出量データから都県市ごとの排出量の合計値を算出

手順8) 各部門の年間排出量を全年間排出量で割ることにより各部門の排出割合を算出

1.3 インベントリの集計結果

1.2 で述べた集計手順により求めた関東圏における 2000 年、2005 年の PM_{2.5} の排出量に換算する前の粒子状物質（PM）の排出量を集計し、排出量の経年変化や不確実性について検討を行った。

関東圏の対象地域から排出される PM の全量は、2000 年に 20,589 トン/年、2005 年に 22,621 トン/年となり、2000 年の 1 割程度増となった。非製造業より、製造業の方が多く PM を排出している。地域別の排出量は、千葉県が最も多く、次に茨城県と東京が大きいことが分かった。茨城県と千葉県は、工業地域が多くあり、特に鉄鋼業の寄与が大きいため、他県に比べて排出量が多くなっている(表 1)。

排出量が少ない県と多い県では 2000 年で 10 倍、2005 年で 7.5 倍の開きがある。このため排出抑制戦略上では、このような地域間の違いを考慮する必要があると考えられる。部門別に集計を行った結果を図 1 に示す。部門別の PM 排出量は、各年とも鉄鋼業が最も多く、一般廃棄物、化学工業と続いて排出量が大きくなっている。業務部門、家庭部門も排出量が大きくなっていることが着目される。

表 1 関東圏における 2000、2005 年の PM 排出量

県	製造業		非製造業		合計	
	2000	2005	2000	2005	2000	2005
茨城	2,867	2,875	1,406	2,387	4,273	5,262
栃木	210	266	484	760	695	1,026
群馬	162	164	455	735	618	900
埼玉	928	831	1,565	1,688	2,493	2,519
千葉	5,071	5,193	1,122	1,510	6,193	6,703
東京	1,601	1,499	2,415	2,342	4,016	3,840
神奈川	1,184	1,040	1,274	1,331	2,459	2,371
合計	12,024	11,867	8,722	10,753	20,746	22,621

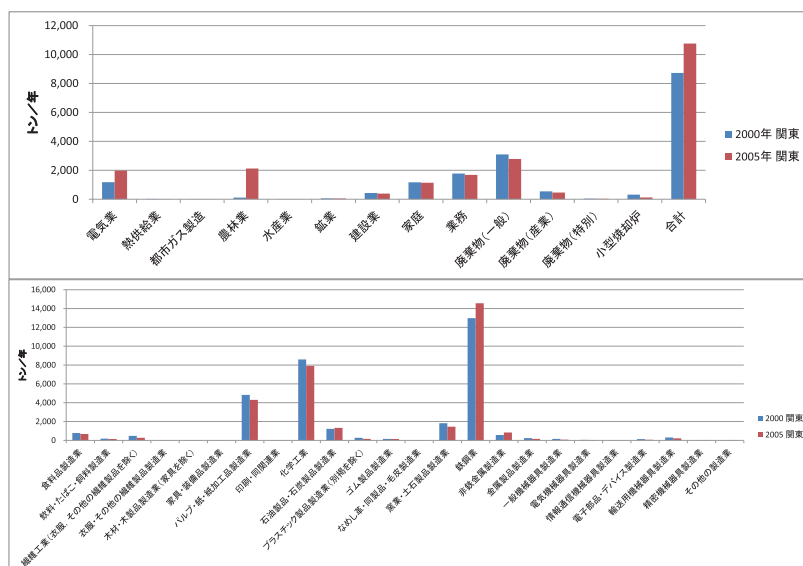


図1 各部門の年間PM排出量の経年変化

PM2.5 排出量の大きい部門の排出量分布を把握するため、鉄鋼、化学工業、一般廃棄物、発電所、家庭、業務、パルプ・紙製品製造、石炭・石油製品製造の8部門の排出マップを作成したところ、発電所、鉄鋼、石炭・石油製品製造の排出量に非常に大きな局在性があった。図2に発電所、鉄鋼の排出マップを示す。このように排出量マップを活用することにより、汚染物質の局在性と広がりを両方把握することが可能となる。

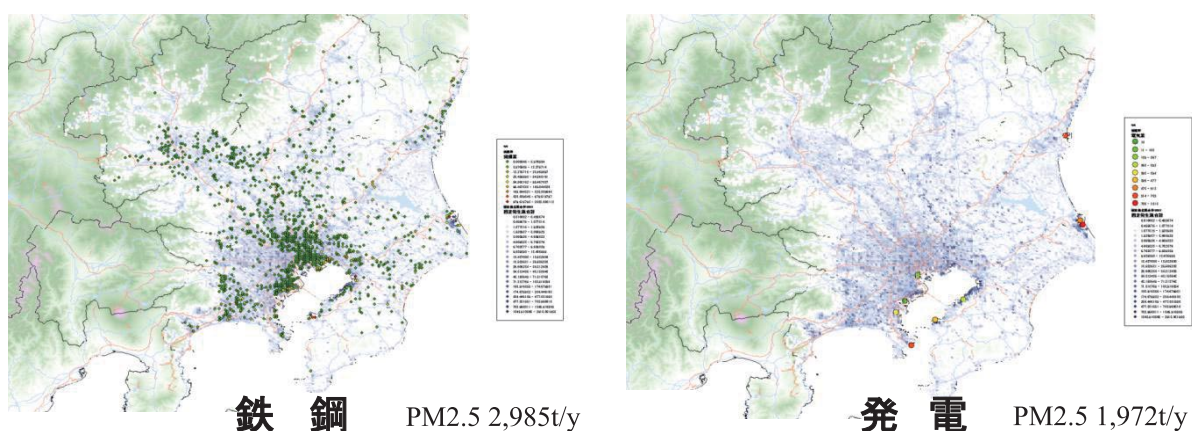


図2 排出量の多い部門の2005年のPM2.5排出量マップ

1.4 2000年と2005年の比較

関東圏におけるPMの自動車以外の発生源の全年間排出量は、各々20,589トン/年、22,621トン/年であった。集計によれば、農林水産業の排出量が2000年と2005年で大きく違っているが、この間生産量や農林業の就労者はほとんど変わっていないことから、農林水産業は、2章以降の検討には考慮しないこととした(図1)。また、鉄鋼業、化学工業、電力など2000年と2005年で排出量の変化が見られるものの、全年間排出量はほとんど変化がないため、近年のPM排出量は大きな変化を伴わず推移しているとして、本研究では2005年を基準年として、その排出実態に対する汚染物質の削減対策について議論することとする。

1.5 削減ポテンシャルを推定する部門の考え方と選定

本研究では、地域ごと、部門ごとの排出量から PM2.5 の汚染物質の現状の削減率、削減ポテンシャル及び削減費用を推定することは研究の基礎となる。一方、これらの推定には、時間と費用が掛かることから、実際に地域レベル、自治体レベルにおいて排出コントロール戦略を検討する際にはなるべく排出実態を考慮しながらも検討を簡略化することが求められる。そこで、関東圏における自動車以外の発生源から排出される年間 PM2.5 排出量の累積排出量データをもとに、全体の 95.8% を占める食品製品製造業から鉄鋼業までを解析対象とする。

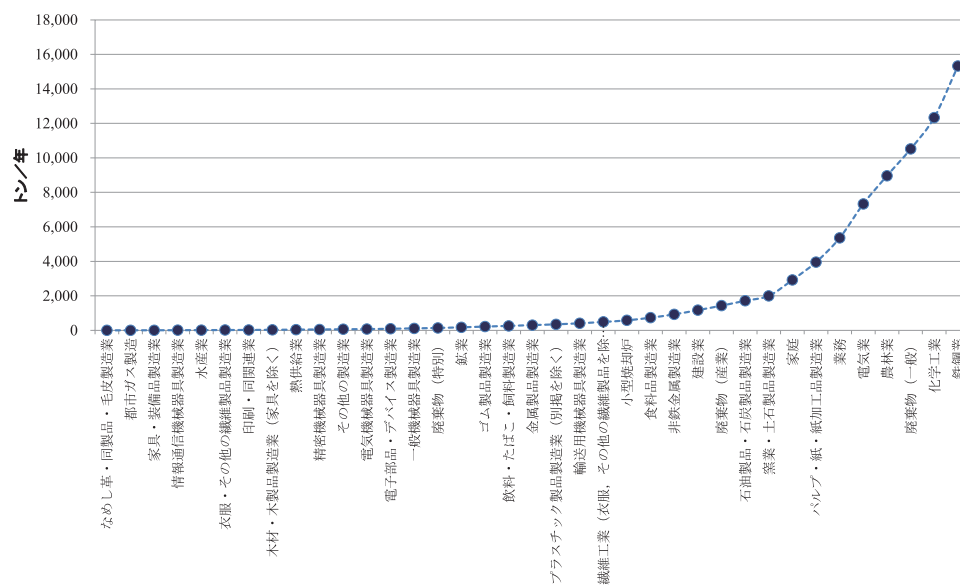


図3 関東圏における自動車以外の年間 PM2.5 排出量の累積曲線

自動車からの PM 排出については、JATOP が 2005 年の排出量と自動車 NOx・PM 法などの規制による削減効果を考慮した 2020 年の排出量の比較検討を行っているため、本研究では対象としないこととする。飛行機、船舶、火山などは、自治体に対策を行うことが困難であることから検討の対象外とする。

2. 1 次生成粒子の削減対策 DB の整備

本研究では、国内外の信頼性の高い排出コントロールリストを用いて、発生源区分、物質ごとに適用可能な削減対策を整理する。また、限界削減費用を算出するため、排出される物質ごとに削減効率及び 1 トン当たりの削減費用を併せて整理する。

2.1 削減対策と削減効果、費用データ

米国環境保護局（EPA）では、固定発生源に関する削減対策と削減効果、費用、大気濃度への影響等のシミュレーション用システム Control Strategy Tool(CoST)を構築している。このシステムの中には、1 次生成粒子をはじめ、SOx、NOx、VOC などの大気汚染種の発生源、発生源ごとの排出削減技術・手法、削減効果、削減費用などシミュレーションのデータベースが搭載

されている。このシステムに使用されているデータベースのうち、削減対策、削減効果、費用に関するデータについては、そのデータの根拠が AirControlNET ver.4.1 Control Measure Documentation Report (AirControlNET) の中にまとめられている²⁾。国内でも、1次生成粒子ならびに SOx、NOx 等 2次生成粒子の前駆物質に関する削減技術と削減率のデータが整備されつつある^{3),4)}が、削減率や対策費用の網羅的な調査には至っていないため、本研究では、米国 EPA のデータを参照した。なお、発生源並びに削減技術の国内と米国の相違による解析結果への影響を検討するために、鉄鋼部門等の国内の対策の実例やその他の緒元データと比較することで不確実性の評価を行うこととしている。

2.2 1次生成粒子削減ポテンシャル・削減費用の推計

1次生成粒子削減ポテンシャルは、以下の方法による算出する方法を導出した。

$$Q_{ij} = \sum_k C_k (J_{ijk} - E_{ijk} \times U_k \times (1 - R))$$

但し、 Q_{ij} : 地域 i^a 、産業 j 、燃料種 k^b の削減ポテンシャル、 C_k : 燃料種 k の PM2.5/PM 換算係数、 J_{ijk} : 地域 i 、産業 j における燃料種 k 由来の PM 排出量^c、 E_{ijk} : 地域 i 、産業 j における燃料種 k の消費量^d、 U_k : 燃料種 k の削減技術非導入時 PM 排出係数^e、 R : BACT による PM 排出削減率^f

地域、産業（部門）については、前章で述べたものを対象としている。燃料種は、JATOP 技術報告書「大気改善研究自動車以外排出量推計」の燃料種分類に従った。燃料種消費量は、「総合エネルギー統計」「石油等消費構造統計表」を参照した。PM 排出係数は、2.1 で述べたデータを採用した。

1次生成粒子の削減技術を導入する費用は、以下の方法により算出した。

$$Cost_{ij} = \sum_k \left(\frac{B_{jk} \times Q_{ijk} \times R}{R - Q_{ijk} / E_{ijk} \times U_k \times C_k} \right)$$

但し、 B_{jk} : 産業 j 燃料種 k の BACT 導入時の PM2.5 削減重量当たりのコスト、EPA Air-ControlNET4.1 の削減技術別費用より選出。

算出した 1次生成粒子削減ポテンシャル並びに 1次生成粒の削減費用の空間的配分（3次メッシュ）データは、1次生成粒子（PM）インベントリ⁵⁾の 3次メッシュ配分比率に従って配分している。

2.3 1次生成粒子削減ポテンシャル・削減費用の推計結果

1次生成粒子削減ポテンシャルの推計結果を図 4 に示す。削減ポテンシャル合計は 8,072 トン

² AirControlNET ver.4.1 Control Measure Documentation Report, 2006, 米国環境保護庁 (Environmental Protection Agency)。

³ 平成 22 年度 微小粒子状物質 (PM2.5) 対策のあり方検討調査業務報告書, 2011 年, 株式会社環境情報コミュニケーションズ・千代田アドバンスト・ソリューションズ株式会社。

⁴ 微小粒子状物質対策等に係る費用対効果分析調査委託報告書, 2011 年, 中央復建コンサルタンツ株式会社。

⁵ JATOP 技術報告書「大気改善研究自動車以外排出量推計」, 2012.3, (社) 石油エネルギー技術センター自動車・新燃料部。

/年であった（集計で検討できなかった農業部門及び費用コストが高すぎて解析対象外とした家庭部門を除く）。概ね排出量が多い部門のほうが排出量に対する排出ポテンシャル比が低くなった。その理由として、削減技術導入が進んでいる可能性があることが示唆されるが、排出ポテンシャルが3番目に高い化学工業については、排出削減余地が高めになっている。

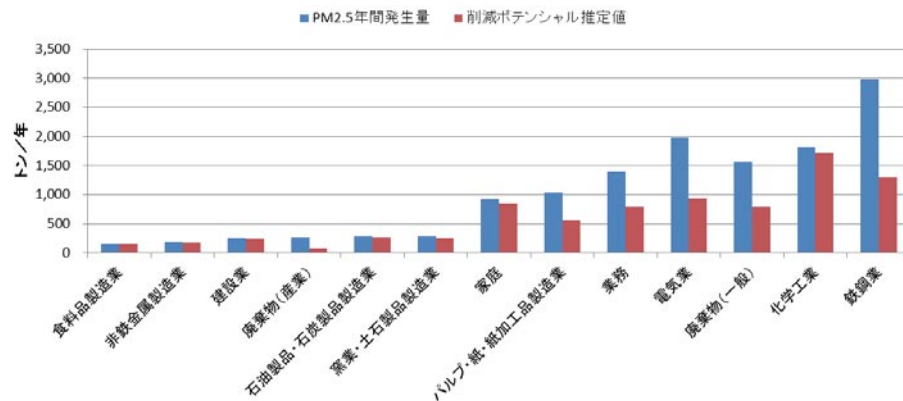


図4 1次生成粒子削減ポテンシャルの推計結果

1次生成粒子削減費用の推計結果を表2に示す。削減費用の部門間の差異が非常に大きい。なお、家庭部門については、個別家庭に適用するため非常に費用が高くなることから費用対効果が得られなく、本年度の研究では推定対象外とした。

表2 1次生成粒子削減費用の推計結果

	推定削減費用(¥/トン・年)	
	最小削減費用	最大削減費用
食料品製造業	34,778	
非鉄金属製造業	28,198	
建設業	27,880	
廃棄物(産業)	4,219,290	26,590,025
石油製品・石炭製品製造業	66,075	
窯業・土石製品製造業	129,690	
パルプ・紙・紙加工品製造業	17,284	
業務	596,202	
電気業	2,301,218	5,330,096
廃棄物(一般)	1,470,862	9,269,392
化学工業	32,055	
鉄鋼業	1,811,584	2,069,796

本研究の対象部門における1次生成粒子の削減ポテンシャルの総計は8,072トンとなり、2005年の自動車以外の全1次生成粒子排出量の52.8%であった。家庭部門を除いてすべての削減ポテンシャル排出量を削減するための費用は、最小削減費用を適用した場合で約65.3億円となった（図5）。最小削減費用とは、各部門で規模の違い、削減プロセス等の違いにより幅のある削減費用のうち最小費用を適用した場合のケースである。

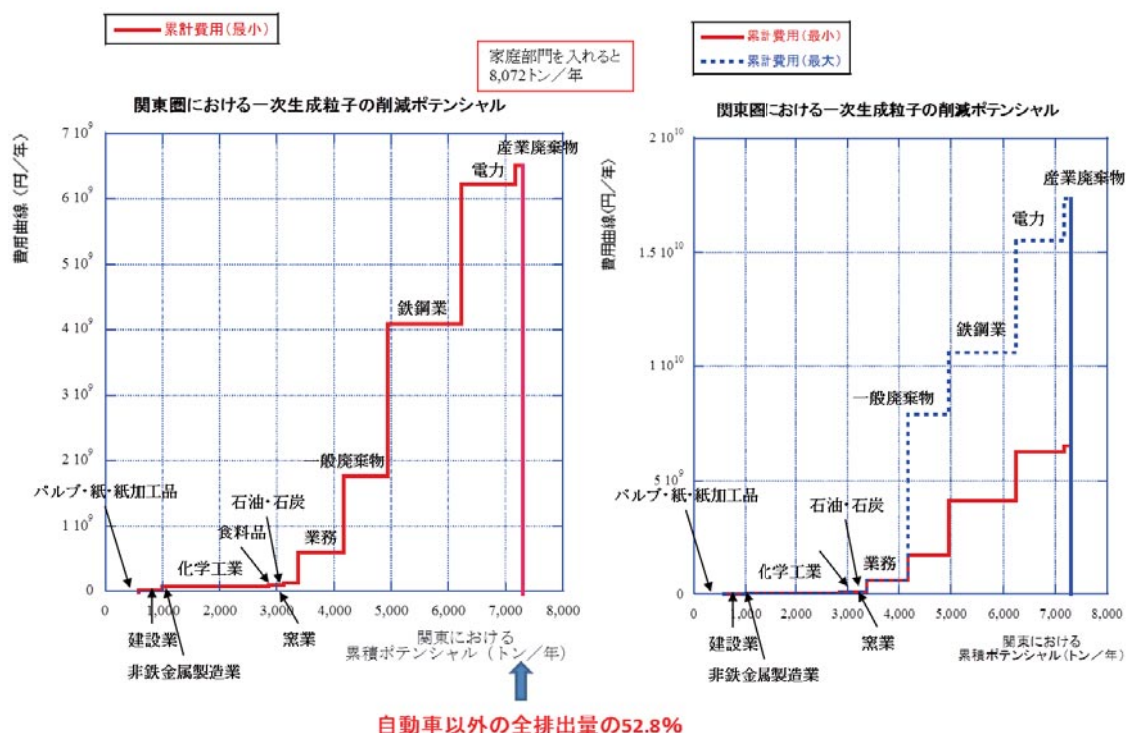


図5 関東圏における1次生成粒子の削減ポテンシャルおよび費用の累積曲線

本研究で推計した1次生成粒子削減ポテンシャルの地理分布をみたところ、固定発生源の多く（鉄鋼業、化学工業、電気業、石油・石炭製品製造業、窯業・土石製品製造業）は製造拠点が局在化しており、これに伴って1次生成粒子削減ポテンシャルが局在化するが、一般廃棄物は、削減ポテンシャルが広域的に分布する。業務、家庭、建設業部門も、削減ポテンシャルが面的に広がる。図6に鉄鋼業と一般廃棄物の1次生成粒子削減ポテンシャルの地理分布を示す。

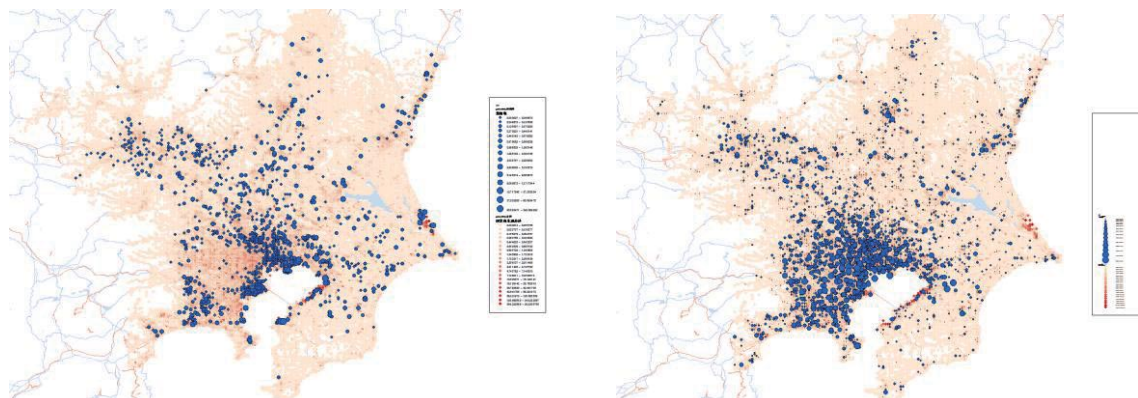


図6 鉄鋼業（左）と一般廃棄物（右）削減ポテンシャルの地域分布

2.4 鉄鋼業を事例とした大気汚染削減対策の削減率と費用の検証

本研究で推計した1次生成粒子削減費用の妥当性検討のため、大手製鉄業3社の大気汚染削減対策費用と効果を調査し、本研究の推計値との比較を行った。日本の鉄鋼大手3社の大気保全対策費用を各社環境会計より調査し、2.2で示した推計法で求めた2005年のPM生量推定値（排出技術なし）と同年のPM排出インベントリより削減量当たりの費用を推算したところ、年間1トン削減あたり45～134万円となった（表3）。本研究で推計した鉄鋼業部門の1次生成粒子削減費用は年間1トン当たり181.1万円となっており、この削減費用推定法は現時点では、おおむね実態に即した値となると考えられる。

表3 大気保全費用から推計したPM削減量当たりの削減費用

	PM発生推定 (トン/年) (2005)	PM排出推定 (トン/年) (2005)	PM除去量 (トン/年)	年間設備投資 (億円)*	年間維持 (億円)	PM除去量当たり コスト (万円/トン・年)
N社	56,989	830	54,399	449	282	134
J社	82,856	1024	78,478	180	171	45
S社	33,811	1052	32,000	157	80	74

3. 費用対効果分析モデルの研究

汚染物質の1単位削減に必要な追加的費用（限界削減費用）が均等化すると費用が最小になることが知られており、環境政策もこの視点から議論されていることが多い。このような効率性の視点からの検討による事前の政策評価が適切に行われることにより、より効率よく、少ない費用で、環境保全目標が達成できることが報告されている。

本研究では、PM_{2.5}の排出削減を効率よく達成するための政策を検討する。初年度は、1次粒子にフォーカスをあて、排出削減ポテンシャルと削減費用から費用対効果を明らかにする。初年度は、地域間移動のデータもまだ入手できないことなどから、濃度ではなく削減量にフォーカスを当てた分析を行う。

3.1 本年度の分析枠組み

3.1.1 分析データの概要

分析に用いた基データは、表4に示す11部門の関東地方におけるPM_{2.5}排出量である。各部門でのPM_{2.5}排出量データは、関東圏を対象に3次メッシュごとの地域に分類されている。メッシュデータから、関東地方の12都県市のどの自治体と対応しているかを区分することができる。

表4 部門一覧

食料品製造業部門	電気部門
パルプ紙製造業部門	業務部門
化学工業製造部門	一般廃棄物部門
石油石炭製造部門	産業廃棄物部門
窯業製造部門	
鉄鋼業製造部門	
非鉄金属製造部門	

PM_{2.5}排出の原因となる燃料種一覧は表5にまとめた。例えば鉄鋼業では、鉄鋼の生産の際に1メッシュ内で最多で13種類の燃料種が使用されている。具体的には灯油、A重油、C重油、

LPG（液化石油ガス）、石油コークスといった燃料種が使用されている。1つの業種では通常複数の燃料種が使われている。これら燃料種によってPM2.5の排出量、削減可能な量、削減のための費用が異なっている。

表 5 燃料種一覧

原油	潤滑油	コークス炉ガス	廃タイヤ
NGL(天然ガス)	アスファルト	高炉ガス	木材
ナフサ	他重質油・パラフィン等	転炉ガス	再生油
ガソリン	LPG(液化石油ガス)	電気炉ガス	RDF(廃棄物固形燃料)
ジェット燃料油	石油コークス	製油所ガス	廃棄物
灯油	石炭	MXG(混合ガス)	RPF
軽油	原料炭	天然ガス	感染性廃棄物
重油	一般炭	LNG(液化天然ガス)	分類なし
A重油	石炭コークス	都市ガス	
C重油	コールタール	回収黒液	

3.1.2 排出削減量（トン/年）と削減費用（円/年）

本研究では各業種の燃料種によって異なる費用と排出量を比較することによって分析をすすめている。図7は分析モデルのイメージを表している。例えば業種Aのある1メッシュ地域には、いくつかの排出源が存在する。この削減費用は1つの排出源で使用されている1燃料種ごとに異なっている。排出源ごとに可能な削減量と、その削減のために必要な技術の費用とをそれぞれ集計して比較することで費用対効果を概観することが可能となる。分析では、1つのメッシュの1業種を1つの排出源として扱う。

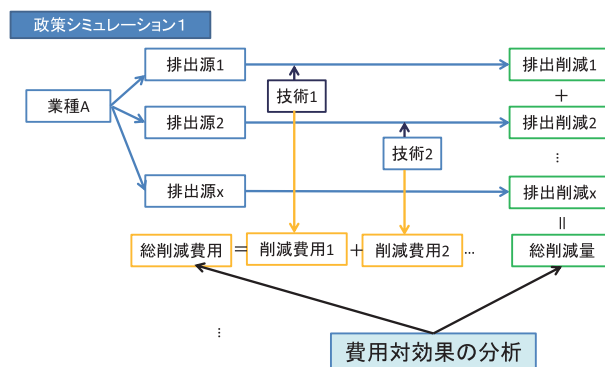


図 7 費用対効果モデルイメージ

表 6 に各業種での PM2.5 排出源数、総排出量（トン/年）、排出源当たりの平均排出量（トン/年）、削減可能な総量（トン/年）、その際にかかる総削減費用（円/年）、1 トン当たり削減費用（円/トン）についてまとめた。1 トン当たり費用で比較すると最も高いのが産業廃棄物部門の 15,405（千円/トン）で、最も低いのが非鉄金属部門の 28（千円/トン）であった。

表 6 業種別集計データ

部門	排出源数	総排出量 (トン/年)	排出源当たり 平均排出量(トン/年)	削減可能総量 (トン/年)	総削減費用 (百万円/年)	1トン当たり費用 (千円/トン)
電気	9	1,904	212	332	2,828	8,520
食品	37,482	244	0.007	150	5	35
パルプ	14,848	1,118	0.075	952	318	334
化学	6,358	2,671	0.420	1,661	55	33
石油石炭	1,371	448	0.326	264	17	66
窯業	40,813	419	0.010	241	32	132
鉄鋼	14,302	2,790	0.195	1,272	2,674	2,102
非鉄金属	13,832	286	0.021	180	5	28
業務	219,197	1,398	0.006	793	473	596
一般廃棄物	3,051	1,556	0.510	790	4,242	5,370
産業廃棄物	3,098	259	0.084	68	1,055	15,405
11部門合計	354,361	13,094	0.037	6,703	11,703	1,746

3.1.3 限界削減費用（円/トン）

次節で行うモデル分析では、各産業のそれぞれの燃料種で PM2.5 を削減するのに必要な費用を 1 トン当たりに換算した費用（限界費用）（千円/トン）の大きさの比較が重要となる。削減を効率的に行うには、限界費用が低い技術から使用することが望ましい。図 8 に化学部門と鉄鋼業部門での燃料種ごとの限界削減費用（千円/トン）のグラフを示した。縦軸が 1 トン当たりの限界削減費用（千円/トン）であり、横軸は累積削減量を示している。仮にこの 2 部門の合計値として 2,000 トン削減しなければならないとすると、鉄鋼業部門で 400 トン分、化学部門で 1,600 トン分を限界削減費用が低い技術から優先的に使用することで、全体での削減費用を小さくすることができる。次項以降のシミュレーションはこの考えのもと進めている。

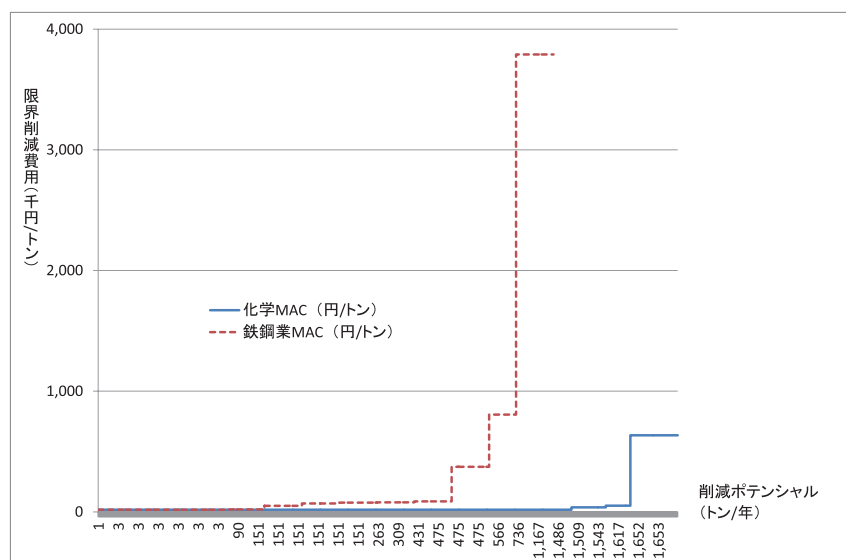


図 8 化学部門と鉄鋼業部門の燃料種別限界削減費用（千円/トン）比較

3.2 政策シミュレーション

3.2.1 業種別 50%削減目標

第 1 の政策シナリオは、業種別に削減を行って目標を達成するケースである。削減量の目標

を最小費用で達成すると仮定し、各業界団体が 50%の削減をすることで、全体でも削減可能な総量のうち 50%削減を達成することができる。

表 7 に、業種別削減目標のシミュレーションの結果を示した。各業界が目標を達成した場合には全体で年当たり 3,466 トンの削減効果があることが分かった。そのための削減費用は 4,851 百万円であることが分かった（1 トン当たり費用でみると 1,400 千円/トンであった）。

表 7 業種別削減費用：各業種 50%削減ケース

部門	排出源数	総削減量 (トン/年)	削減費用 (百万円/年)	1トン当たり費用 (千円/トン)
電気	9	171	1,346	7,862
食品	37,482	75	1	18
パルプ	14,848	478	1	3
化学	6,358	836	15	18
石油石炭	1,371	133	3	19
窯業	40,813	121	5	43
鉄鋼	14,302	736	641	872
非鉄金属	13,832	90	2	17
業務	219,197	397	186	469
一般廃棄物	3,051	395	2,123	5,370
産業廃棄物	3,098	34	528	15,405
11部門合計	354,361	3,466	4,851	1,400

3.2.2 地域別 50%削減目標

第 2 の政策シナリオは、各自治体がそれぞれで削減目標を達成する場合のシミュレーションである。関東地方における 12 都県市それぞれの自治体が目標を達成することで、全体でも削減可能な総量の 50%を削減することができる。表 8 は、表 6 で業種別に集計したデータを自治体別の集計しなおしたものである。自治体ごとの総削減量やそのための削減費用を比較した場合、業種ごとに比較した場合に比べてばらつきが小さくなっていることが分かる。

表 8 自治体別集計データ

地域	排出源数	総排出量 (トン/年)	排出源当たり 平均排出量(トン/年)	削減可能総量 (トン/年)	総削減費用 (百万円/年)	1トン当たり費用 (千円/トン)
茨城県	74,046	3,596	0.049	1,556	3,446	2,215
栃木県	44,825	309	0.007	180	312	1,736
群馬	38,229	262	0.007	146	354	2,430
埼玉県	58,774	800	0.014	454	1,002	2,206
千葉県	63,449	4,226	0.067	2,378	2,374	999
東京都	31,496	1,395	0.044	704	1,767	2,511
神奈川県	22,446	1,148	0.051	602	1,296	2,153
さいたま市	4,110	82	0.020	44	128	2,874
千葉市	1,335	26	0.019	13	38	3,024
相模原	2,801	76	0.027	45	73	1,606
川崎市	3,760	313	0.083	188	215	1,143
横浜市	9,090	862	0.095	394	697	1,772
12都県市合計	354,361	13,094	0.037	6,703	11,703	1,746

表 9 には、地域別削減目標シミュレーション(2)の結果を示した。12 都県市それぞれの結果の合計値についてみると、各自治体が目標を達成した場合に全体で年当たり 3,363 トンの削減効果があることが分かった。そのための削減費用は 198 百万円で、1 トン当たり費用でみると 59 千円/トンであることが分かった。

表9 地域別削減費用：各地域 50%削減ケース

地域	排出源数	総削減量 (トン/年)	削減費用 (百万円/年)	1トン当たり費用 (千円/トン)
茨城県	74,046	782	21	27
栃木県	44,825	90	8	89
群馬	38,229	73	15	206
埼玉県	58,774	227	39	173
千葉県	63,449	1,195	13	11
東京都	31,496	352	76	215
神奈川県	22,446	301	3	11
さいたま市	4,110	22	9	404
千葉市	1,335	7	5	720
相模原市	2,801	23	0.2	10
川崎市	3,760	94	1	13
横浜市	9,090	197	8	41
12都県市合計	354361	3,363	198	59

3.3 考察

業界別に PM2.5 の削減ポテンシャルのうちの 50%削減を行った場合、業界全体では 1 トン当たり 1,400 千円の費用がかかった。一方で 12 都県市別に 50%の削減を行った場合、全体では 1 トン当たり 59 千円の費用がかかった。これは自治体ごとに削減を行った方が、はるかに費用が低く効率的であることを意味する。この理由は、各業種間で削減費用に大きなばらつきが存在するのに対し、自治体ごとの目標達成であればより費用の低い削減法が採用できるためである。

4. 1 次生成粒子の排出抑制（削減量）の最適化に関する研究

3.において、PM2.5 の排出量を削減するために各産業での業界が別々に行うような場合と、地方自治体が別々に行う場合についてシミュレーションを行った。本章では、1 次生成粒子の排出抑制（削減量）の最適化に関する研究を行い、最後に来年度の計画を述べる。PM2.5 の排出量削減に向けた政策立案の際に、どのような政策を行えば経済学的に最も効率が良いかを考察するためのシミュレーションを行って確かめた。

4.1 全体での排出 50%削減と削減費用

業種や自治体の区切りはなく全体で 50%削減を達成するようなケースについて考える。表 10 には、全体で 50%削減のケースのシミュレーション結果を示している。50%削減目標時に達成される総削減量 3,421 トン/年を削減するために 55 百万円/年の費用がかかることが分かる。費用を 1 トン当たりに換算すると 16 千円/トンであった。各部門での内訳をみると、部門ごとに削減量・削減費用が異なり、年当たり総削減量を見ると、最も削減しているのは化学部門で 1,625 トンであった。年当たり 1 トン当たり費用ともにパルプ部門が最も安い。削減ポテンシャル量に対する総削減量の比率を見ると、パルプ部門、非鉄金属部門では 99%、食品部門、化学部門では 98%と、ほとんど削減が行われたことが分かる。一方、鉄鋼業部門では 15%と業界内の一部分でしか削減が行われていない。さらに、電力部門、業務部門、一般廃棄物部門、産業廃棄物部門での削減は全く行われない。理由はこれら部門での削減費用が高いためである。全体で削減を行った場合、より削減費用が低い部門から削減を行うことで、削減費用が高い部門での削減の必要がなく目標を達成することができることを示している。

表 10 全体で 50%削減ケース

部門	排出源数	総削減量 (トン/年)	総削減量/削減 ポテンシャル	削減費用 (百万円/年)	1トン当たり費用 (千円/トン)
電気	9	0		0	
食品	37,482	147	98%	5	31
パルプ	14,848	944	99%	1	1
化学	6,358	1,625	98%	32	20
石油石炭	1,371	153	58%	3	21
窯業	40,813	186	77%	6	30
鉄鋼	14,302	189	15%	4	19
非鉄金属	13,832	177	99%	4	24
業務	219,197	0		0	
一般廃棄物	3,051	0		0	
産業廃棄物	3,098	0		0	
全体	354,361	3,421		55	16

4.2 地域別費用負担均等化

地域間での費用負担均衡化を考慮に入れたモデルを考える。実際に排出削減を実施するのであれば、現実的には自治体からの助成が必要となることも考えられ、削減費用が各自治体から得られる助成額の大きさに依存することが考えられる。そこで全体での削減を達成するための費用を、自治体の財政規模を考慮したモデルによる分析をおこなった。12 都県市全体での削減費用を案分する方法として、各地方自治体別の歳出額を使用している。総務省の「平成 22 年度地方財政統計年報」より作成した 12 都県市別の歳出額の比率（表 11）から、それぞれの自治体が負担する費用をもとめることができる。

表 11 平成 22 年度 12 都県市別の歳出額と比率

地域	歳出額	比率
茨城県	1,057,229,427	6%
栃木県	774,337,741	5%
群馬	800,397,541	5%
埼玉県	1,647,798,678	10%
千葉県	1,590,675,658	9%
東京都	6,012,273,417	36%
神奈川県	1,863,346,447	11%
さいたま市	427,555,739	3%
千葉市	370,573,485	2%
相模原	226,601,995	1%
川崎市	599,464,716	4%
横浜市	1,377,851,232	8%
12都県市合計	16,748,106,076	100%

表 12 に地域別費用負担均衡化のケースのシミュレーション結果を示した。最も年当たり削減量が多かったのが千葉県で 1,301 トンであり、最も削減量が少なかったのは千葉市で 6 トンであった。案分した削減費用を見ると、最も高い東京都の年当たり削減費用（56 百万円）は、最も削減費用が少ない千葉市と相模原市の 28 倍であった。1 トン当たりの削減費用にすると、最も高いさいたま市は、最も安い千葉県の約 30 倍であった。削減費用に対して削減量が最も多い千葉県は、1 トン当たりの削減費用が他よりも低い。全体で見た場合、目標達成時の削減量 3,352 トン/年を削減費用 153 千円/トンで行われ、1 トン当たりの費用に換算すると 46 千円/トンである。

表 12 地域負担均等化で 50%削減ケース

地域	排出源数	削減量 (トン/年)	削減費用 (百万円/年)	1トン当たり費用 (千円/トン)
茨城県	74,046	636	10	15
栃木県	44,825	88	7	82
群馬	38,229	58	7	125
埼玉県	58,774	180	15	85
千葉県	63,449	1,301	15	11
東京都	31,496	315	56	177
神奈川県	22,446	384	17	45
さいたま市	4,110	13	4	303
千葉市	1,335	6	2	283
相模原市	2,801	28	2	75
川崎市	3,760	136	5	40
横浜市	9,090	207	13	61
12都県市合計	354,361	3,352	153	46

4.3 考察

4.1 で行った「全体で 50%削減達成」ケースのシミュレーションでは、削減ポテンシャルの 50%削減を達成する場合 1 トン当たり 16 千円/トンの費用となり、3.の業界別の 1 トン当たり費用 1,400 千円/トン、自治体別の 1 トン当たり 59 千円/トンという値に比べて非常に小さい額である。業界の壁や自治体の壁がなければ、削減費用の低い業種や地域から優先的に削減を行うことができるため、全体で削減に取り組むことによって経済学的には最も効率がよく削減目標を達成することができることが示された。現実的な政策の実施を想定して、各地域の財政規模を考慮し、地域負担が均等になるような条件のもとで削減目標を達成させる「地域別費用負担均衡化」ケースの場合、1 トン当たり 46 千円/トン費用がかかり、「全体で 50%削減達成」ケースの 3 倍近い値である。しかし、3.で得た 2 つのシミュレーション結果に比べると小さい額であることが分かる。業界別または地域別に削減するよりも、各地域での費用負担が均等になるよう考慮しながら全体で削減を行った方が効率の良いことが示された。

5. 2 次生成粒子の各地域への寄与割合の推定

PM2.5 の 2 次生成粒子の前駆物質は、光化学反応等により 2 次生成粒子に変化することにより PM2.5 濃度に寄与している。関東圏でどのぐらい寄与するか定量的に評価するためには、CMAQ 等を使った大気化学輸送モデルを用いてゼロアウト計算を行うことが望ましい。

しかしながら、本研究では県または政令指定都市で解析することから、ある程度多くのケースを実施する必要があるとあり、時間と労力が掛かり、自治体などが排出コントロール戦略を検討する場合適切な手法ではないと考えられる。そこで、本研究では、2 次生成物質の成分分析及び既往の知見などを活用し、2 次生成粒子の PM2.5 濃度の寄与や排出寄与補正係数を検討した。

5.1 2 次生成粒子の前駆物質の排出量の集計結果

1.では、関東圏における 1 次生成粒子の排出量を集計した。この節では、同じ集計方法により 2 次生成粒子の前駆物質のうち、PM2.5 の濃度寄与が大きい窒素酸化物 (NO_x) 及び硫黄酸化物 (SO_x) について 44 部門の排出量を集計した。また、建設機械、船舶、飛行機、火山などインベントリは対象とはしないこととした。

5.1.1 窒素酸化物 (NO_x)

2005 年に関東圏の対象地域から排出される NO_x の全量は、261,083 トン/年となった。製造

業が 109,828 トン / 年であり、非製造業が 151,255 トン / 年と、1 次生成粒子の排出量と異なり非製造業の方が多く窒素酸化物を排出している結果となった。

地域別の排出量を表 13 に示す。千葉県が最も多く 72,833 トン / 年である。次に茨城県と東京が大きい。最も排出量が多い千葉県と最も小さい群馬では、約 10 倍の差がある。しかしながら、内陸部でも PM2.5 の 2 次生成粒子の高い濃度が測定されており、この排出量の分布の差が排出コントロール戦略の検討において重要となると考えられる。つまり、このことは地域の削減効果が別の地域で発現されることを意味しており、特に 2 次生成粒子の削減対策の場合、これらの地域間の差を考慮しなければならないと考えられる。

1 次生成粒子で解析したように NOx 排出量の GIS データを用いて、関東圏における NOx 排出量マップを作成した。その結果を図 9 に示す。表 13 で示した地域間の差があることが、この排出量マップにより工業地域、都市部に排出量が多い地域があることに起因していることがより詳しく把握できる。

表 13 関東圏における 2005 年の NOx 排出量

県	排出量		
	製造業	非製造業	合計
茨城	23,162	32,159	55,322
栃木	3,017	5,725	8,741
群馬	1,956	4,970	6,926
埼玉	7,262	18,769	26,030
千葉	47,847	24,986	72,833
東京	15,058	40,224	55,281
神奈川	11,526	24,406	35,933
合計	109,828	151,239	261,067

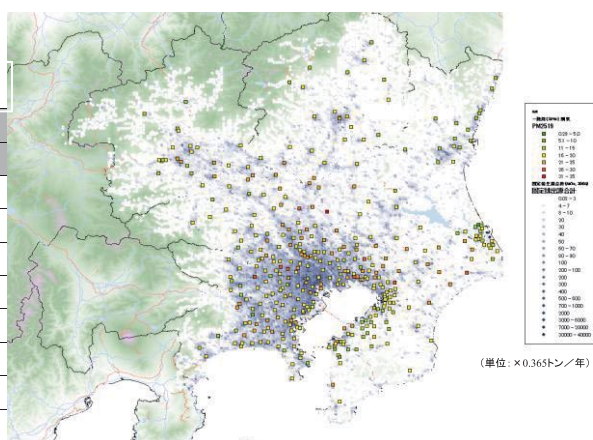


図 9 2005 年の NOx の排出量マップ

5.1.2 硫黄酸化物 (SOx)

2005 年に関東圏の対象地域から排出される SOx の全量は、178,852 トン / 年となった。製造業が 97,505 トン / 年であり、非製造業が 81,346 トン / 年と、1 次生成粒子の排出量と同じく製造業の方が多く硫黄酸化物を排出している結果となった。

地域別の排出量を表 14 に示す。1 次生成粒子と NOx とは異なり、茨城県が最も多く 61,894 トン / 年である。次に千葉県と東京都、神奈川県が大きい。最も排出量が多い茨城県と最も小さい群馬では、約 11 倍の差があり、NOx と同じ結果となった。

1 次生成粒子で解析したように SOx 排出量の GIS データを用いて、関東圏における SOx 排出量マップを作成した。その結果を図 10 に示す。表 14 で示した地域間の差があることが、この排出量マップにより工業地域、都市部に排出量が多い地域があることに起因していることがより詳しく把握できる。

本研究で解析したすべての汚染物質の排出量は、局在性があることが把握された。

表 14 関東圏における 2005 年の SOx 排出量

県	排出量		
	製造業	非製造業	合計
茨城	31,952	29,942	61,894
栃木	2,384	3,643	6,027
群馬	1,242	3,001	4,244
埼玉	6,723	8,376	15,099
千葉	35,770	10,653	46,423
東京	12,977	11,481	24,458
神奈川	6,457	14,249	20,707
合計	97,505	81,346	178,852

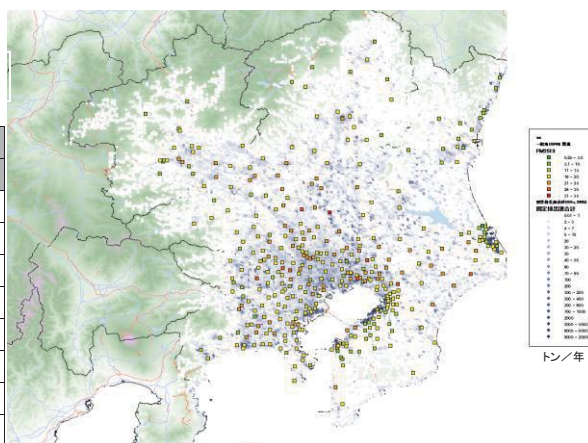


図 10 2005 年の SOx の排出量マップ

5.1.3 1 次生成粒子と前駆物質の排出量の比較

本研究で排出インベントリを集計した 1 次生成粒子及び 2 次生成粒子の前駆物質である SOx、NOx は、最終的に各測定地点では PM2.5 濃度として測定される。つまり、PM2.5 は様々な汚染物質から構成されており、それらの濃度への寄与を考慮した削減を検討しなければならない。そこで、まずは 1 次生成粒子及び 2 次生成粒子の前駆物質である SOx、NOx の関東圏における年間排出量を比較、検討を行った。

(1) 年間排出量の比較

1 次生成粒子と NOx の年間排出量については、ほとんどの部門で NOx の方が 1~27 倍多く排出をしている。部門によって排出量の差（倍率）に大きな違いがあることが分かった。1 次生成粒子と SOx についても、同じ傾向を示しており、2~25 倍 SOx の方が多く排出している。

2005 年の各部門の SOx、NOx 年間排出量が小さい方から順番に積算した年間 PM2.5 排出量の累計曲線を求めた。SOx、NOx と同じような累計曲線が得られたことから、まずは 1 次生成粒子で検討した通り高排出量の部門の対策を優先して検討することが合理的であると考えられる。

(2) 関東圏における排出量割合

関東圏における自動車以外の各部門の SOx と NOx の排出寄与割合を求めた。本研究では、累計曲線で排出量が多くなる排出量が全体の 1%以上の部門に限って解析をした。ここで、着目する点としては、SOx と NOx の両方とも 1 次生成粒子と比較して排出量の大小の順序と各部門の寄与割合が大きく異なる点である。特に排出量が多い部門、ワースト 10 に入る部門が SOx 及び NOx は 1 次生成粒子と大きく異なることが明らかになった。特に、SOx については、家庭、建設業、一般廃棄物、食料品、鉄鋼業、電力などで寄与割合が大きく異なることが分かった。NOx については、発電所、業務、鉄鋼業、一般廃棄物、パルプ・紙製造で寄与割合が大きく異なる。SOx と NOx とで寄与割合が異なる部門が違っても着目される。このことは、これらの汚染物質で構成される PM2.5 の対策の費用対効果分析及び排出コントロール戦略の検討の上では考慮する必要がある、逆にそれらを実施することを難しくする要因である。

5.2 2次生成粒子の排出の濃度寄与の検討

PM2.5 の対策の費用対効果分析、あるいはそれに基づいた排出コントロール戦略を検討する場合、1次生成粒子や2次生成粒子の前駆物質の排出量がどの程度各地点のPM2.5濃度に寄与することを把握することが非常に重要となる。PM2.5の2次生成粒子の前駆物質は、光化学反応等の非線形的なメカニズムにより2次生成粒子に変化することによりPM2.5濃度に寄与している。そのため、これまでの研究では前駆物質の排出が関東圏でどのぐらいPM2.5濃度に寄与しているか定量的に評価するために、CMAQ等を使った大気化学輸送モデルを用いてゼロアウト計算を行っている事例が多いが、高度なモデリング技術が必要であることと費用や時間が多く掛かる。そこで、本年度では、これまで測定された2次生成物質の成分濃度のデータや大気化学輸送モデルを用いたPM2.5の寄与濃度の既往の研究結果などを活用し、2次生成粒子(SO_x、NO_x)の排出のPM2.5濃度寄与について検討を試みた。

5.2.1 大気化学輸送モデルを用いた研究事例による寄与濃度

本調査研究では、東京都微小粒子状物質検討会シミュレーションワーキングで実施された大気化学輸送モデルを用いた発生源寄与推定結果を用いて、東京都の代表地点における発生源別の寄与濃度について検討を行った。都内の大気環境中PM2.5における発生源別の寄与濃度を推定するために、関東地方の8種類の発生源(自動車、船舶、大規模固定発生源、民生(業務用・家庭用)、建設機械、VOC発生施設、その他の人為発生源、アンモニア発生源及び自然発生源)の排出量に対するゼロアウト感度計算を実施している。発生源削除の対象としたのは、関東地方全域であり、本研究の対象地域と同じであることから、これらの結果を用いる。

5.2.2 関東地域のPM2.5成分別環境濃度

関東地域を対象に、国及び自治体を実施した成分別濃度測定の測定値を収集し、関東地域における成分別濃度の地域性について解析を行った。これらの成分別濃度を活用し、その地理的分布を把握するため、測定地点とその成分別濃度を把握した。使用したデータの調査年、調査時期は異なるが、この研究では夏季、冬季に分けて分布状況を把握することとした。

5.3 2次生成粒子の排出寄与率とコスト補正係数

5.3.1 関東圏の成分別寄与濃度割合

5.2で検討した発生源別寄与濃度推定から、1次生成粒子と2次生成粒子の前駆物質の排出の濃度寄与の検討を行う。1次生成粒子は関東以外の寄与は少ないと推定されている。したがって、関東で発生した1次生成粒子が関東地域におけるPM2.5濃度に寄与していると考えても良い。一方、2次生成粒子の前駆物質であるSO_x、NO_xは、関東以外の発生源の排出も関東圏でのPM2.5濃度に寄与している。このことを考慮し、発生源別寄与濃度推定結果から関東圏で発生した1次生成粒子、SO_x、NO_xによる都内での寄与濃度割合を求めた。図11に関東地域の代表的な地域の寄与濃度割合を示す。寄与濃度割合には地域ごとに若干の違いがあるもののほぼ同じ傾向を示していることが分かる。地域別に各汚染物質の排出量に局在性があるが、寄与濃度割合はほぼ同じ程度になっていることが着目される。このことは、2次生成粒子が複雑な生成メカニズムがあるが、前駆物質の排出のPM2.5濃度の寄与割合だけを考える場合、関東圏では一定と仮定することがある程度妥当であるということを示していると考えられる。

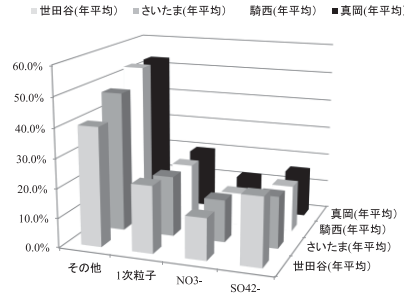


図 11 関東圏の成分別寄与濃度割合

5.3.2 2次生成粒子の排出濃度寄与率とコスト補正係数

5.3.1 で求めた寄与濃度割合を用いて関東圏における排出量のうち PM2.5 濃度への寄与分を示す補正排出量を計算することが出来る。また、補正排出量を用いて 2 次生成粒子の前駆物質の排出濃度寄与率とコスト補正係数を定義することが出来る。

補正排出量 (トン/年)

$$CPE_{SO_x, NO_x, i} = PE_{SO_x, NO_x, i} \times \frac{\sum_i PE_{SO_x, NO_x, i} / CR_{SO_x, NO_x, j} \times 100}{\sum_i PE_{PM2.5, i} / CR_{PM2.5, j} \times 100} \quad (\text{定義式 1})$$

排出濃度寄与率 (%)

$$CRE_{SO_x, NO_x, i} = \frac{CPE_{SO_x, NO_x, i}}{\sum_i PE_{SO_x, NO_x, i}} \quad (\text{定義式 2})$$

コスト補正係数

$$CRC_{SO_x, NO_x, i} = \frac{1}{CRE_{SO_x, NO_x, i}} \quad (\text{定義式 3})$$

但し、PE：各汚染物質の排出量 (トン/年)、i:地点・地域、j:部門、CR：寄与濃度割合 (%)

(1) SOx と NOx の補正排出量

関東の各地域の補正排出量を算出すると、関東のほとんどの地域では大気中で前駆物質が 2 次生成粒子となることにより PM2.5 濃度に寄与している排出量 (補正排出量) は、ほとんど 1 次生成粒子の排出量と同程度まで少なくなるという結果が得られた (図 12)。

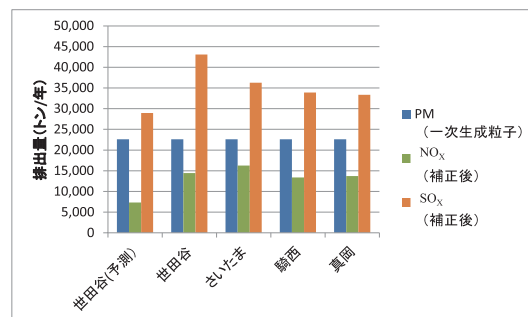


図 12 関東圏における NOx と SOx の補正排出量 (PM2.5 濃度寄与分の排出量)

(2) 排出濃度寄与率 (%) とコスト補正係数

(1)の結果は、SOx、NOx 及び 1 次生成粒子の排出量を仮に同量削減しても、PM2.5 濃度に対して同じ効果が得られないということを意味している。そこで、その効果を示す指標として排

出濃度寄与率を定義した。また対策費用を検討する際に、この効果を考慮するためにコスト補正係数を定義した。この補正係数は、PM2.5 を 1 トン削減するのと同じ効果が得られるために必要な NO_x と SO_x の削減量の倍数である。

本研究で明らかになった排出濃度寄与率を表 15、コスト補正係数を表 16 に示す。

表 15 関東圏における各地域の排出濃度寄与率

地域	PM (一次生成粒子)	NO _x (補正前)	NO _x (補正後)	排出濃度寄与率	SO _x (補正前)	SO _x (補正後)	排出濃度寄与率
都市部	22,621	261,083	7,342	2.8%	178,859	28,968	16.2%
都市部			8,269	3.2%		24,688	13.8%
埼玉, 群馬			9,363	3.6%		20,889	11.7%
北環境			7,760	3.0%		19,634	11.0%
北環境			7,750	3.0%		18,860	10.5%

表 16 関東圏における各地域のコスト補正係数

地域	コスト補正係数 NO _x	コスト補正係数 SO _x
都市部	35.6	6.2
都市部	31.6	7.2
埼玉, 群馬	27.9	8.6
北環境	33.6	9.1
北環境	33.7	9.5

【まとめ】

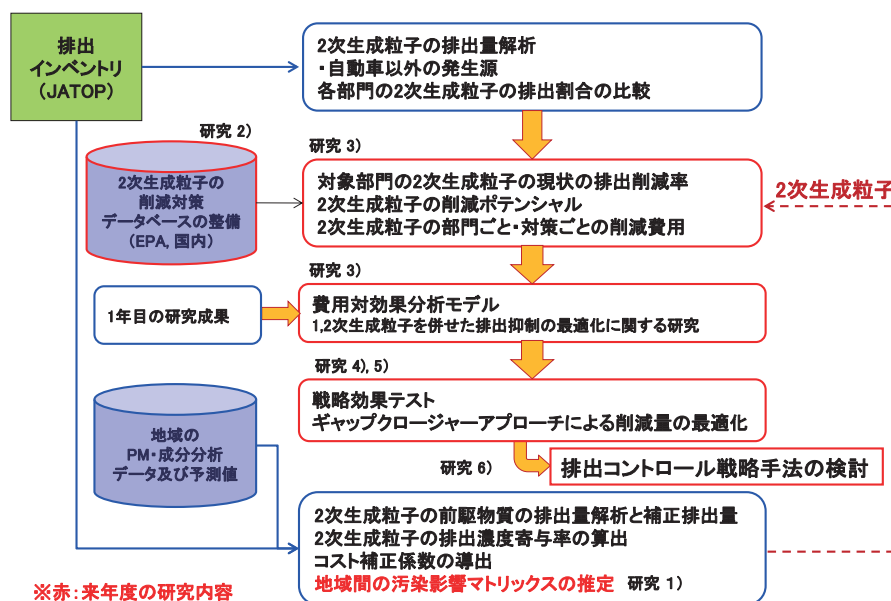
本調査研究により、主に以下の成果が得られた。

- ・ 関東圏における 2000 年、2005 年の PM2.5 の排出量に換算する前の粒子状物質 (PM) の排出量 (インベントリ) を集計し、排出量の経年変化や地域・部門間について比較検討を行った。関東圏の対象地域から排出される PM の全量は、2000 年に 20,589 トン/年、2005 年に 22,621 トン/年となった。地域間の排出量の差は、製造業業種、施設規模によるものと考えられる。1%以上の排出割合の部門を対象すると総排出量の 95.8%を占めることが分かり、これらの部門を合理的な排出コントロール戦略を検討する対象部門とした。
- ・ 米国環境保護局 (EPA) の固定発生源に関する削減対策と削減効果、費用、大気濃度への影響等のシミュレーション用システム Control Strategy Tool(CoST)に搭載されたデータに基づき、1 次生成粒子削減ポテンシャルと削減対策費用を推計する手法を確立した。解析対象部門の削減ポテンシャル合計は 8,072 トン/年で、自動車以外の 1 次生成粒子排出量の 52.8%であった。削減費用の部門間の差異が非常に大きく、最小で約 2.8 万円/トン 最大で約 422 万円/トンとなった。このすべての削減ポテンシャル排出量を削減するための費用は、最小費用を適用した場合で約 65.3 億円となった。固定発生源の多くは製造拠点に依存して、PM2.5 排出量削減ポテンシャルが局在化するが、一般廃棄物等は、削減ポテンシャルが広域的に分布することが把握できた。

- ・ 費用対効果の高い PM2.5 排出削減を検討するため、50%の排出削減を目標とした 4 種の削減シナリオを設定し、限界削減費用によるシミュレーションを実施した。それぞれの削減効果と費用は全業種が一律 50%の削減を行う「業種別 50%削減」ケースでは 1,400 千円/トンで 3,466 トンの削減、「地域別 50%削減」ケースが 59 千円/トンで 3,363 トン、「全体で 50%削減」ケースは 16 千円/トンで 3,421 トン/年、「地域別費用負担均衡化」のケースが 46 千円/トンで 3,352 トン/年であった。このことから、目標を業種ごと地域ごとに切り分けて、より費用対効果の高い排出削減シナリオを選択することで、効率的な排出削減が可能であることが示された。この成果によって排出削減費用のあり方について検討できると考えられる。
- ・ 関東圏における PM2.5 濃度に寄与する排出量は、1 次生成粒子、2 次生成粒子の前駆物質ともに同じ程度と推定される。この結果、2 次生成粒子の削減を行う場合、1 次生成粒子と同じ削減効果にするためには、SOx で 6.2～9.5 倍、NOx で 27.9～35.6 倍の量を削減しなければならないことが明らかになった。PM2.5 の対策を立案する場合は、これらのことを考慮し、汚染対策の費用負担とも関連する定量的な費用対効果が必要であると示された。また、関東地域では、地域ごとにその係数には多少のばらつきはあるものの、同程度であるという結果が得られた。このことから、汚染物質の削減戦略を立案する場合、関東を 3 つのブロック（都市部、北関東、群馬・埼玉）程度に分けて、この係数を使用できることが把握された。

【今後の調査研究】

平成 25 年度は、本年度行った研究成果を反映し、本年度課題となった事項を踏まえながら、2 カ年の研究計画を着実に実施できるよう図 13 に示す通り次年度の研究を進める。各調査研究項目については、アドバイザー委員会及び環境再生保全機構の助言を反映し、実施する。



- 研究 1) 2次生成粒子の各地域への寄与割合の推定
- 研究 2) 2次生成粒子の削減対策 DB の整備
- 研究 3) 前駆物質の排出抑制（削減量）の最適化に関する研究
- 研究 4) 戦略効果テストの実施
- 研究 5) ギャップクロージャアプローチによる削減量の最適化
- 研究 6) 排出コントロール戦略手法の検討
- 研究 7) 調査研究の取りまとめ

図 13 2年度目（平成 25 年度）の研究計画