

性ダストも含めたインベントリの整備は急務であると考えられる。

(3) 生成メカニズム

① 新たに得られた知見

PM_{2.5} 中の二次生成粒子は、多くの割合を占めており、二次粒子の生成機構を明らかにすることは、その原因物質を明らかにし、削減対策を検討する上で、たいへん重要である。二次生成粒子は、硫黄酸化物(SO_x)、窒素酸化物(NO_x)、塩酸(HCl)及び揮発性有機化合物(VOC)等のガス状の大気汚染物質が、主として環境大気中での化学反応により蒸気圧の低い物質に変化して粒子化したものであると考えられている*。

* 中央環境審議会大気環境部会微小粒子状物質環境基準専門委員会報告(平成21年7月)より、引用

二次生成機構研究などにより、現時点で次のような知見が新たに得られている。

夏季には、オキシダント(O_x)濃度が高くなると PM_{2.5} 濃度も高くなる傾向があり、O_x 濃度の高い地点では二次生成有機粒子の指標である水溶性有機炭素(WSOC)も高くなっていた。このことから、都内においても光化学反応により有機粒子が酸化生成されているものと考えられた。

JATOPの広域観測では、夏季の南風時にSO₄²⁻濃度上昇によるPMの高濃度がみられるとともに、風下である郊外でOCが高濃度となる傾向が見られた。また、ヘリコプターによる上空の観測結果からも内陸部での二次粒子の生成を確認している。

関東甲信静の16自治体が夏季に合同で実施した広域調査では、PM_{2.5}成分では、南関東よりも北関東甲信静の方がOC及びWSOCの濃度が高いことから、関東地方の地域内で有機粒子が酸化生成されていることが考えられるとしており、これもJATOPの結果と一致している。

このように、夏季の有機粒子は、都内あるいは関東平野といった比較的広い範囲で酸化生成しているものと考えられる。

秋・冬季のPM_{2.5}濃度は、NO_x濃度と相関関係がある場合が多かった。この季節には大気が安定し、NO_xと同様に一次粒子も拡散が抑制されるためと考えることができる。春季には高濃度PM_{2.5}が観測され、その成分は、硫酸塩の割合が高くなっていた。西日本でも高濃度SPMが観測されていることから広域移流の影響が表れている可能性も考えられる。

② 高濃度日の原因

PM_{2.5}濃度の日平均値が35μg/m³を越えた日(高濃度日)と35μg/m³以下の日の成分濃度構成比を季節別に比較すると、一般環境と道路沿道では大きな差異は見られなかったが、季節間では差が認められた。春季では、高濃度日にSO₄²⁻の構成比が大きくなっており、秋・冬季については、NO₃⁻の構成比が大きくなっていた。このことから、高濃度日には、二次生成が大きく関与していることが推察される。

(4) 将来における環境濃度について

平成20年度のPM_{2.5}大気環境調査結果等を用いて、数値型シミュレーションモデルにより将来(平成28年度)における環境濃度を予測した。その結果、現況の一般局におけるPM_{2.5}の濃度は19.1*μg/m³であるが、既定の対策のみを継続した場合(BaU)、17.2*μg/m³という予測結果となった。

* 相対湿度35%に換算

(5) 現状及び将来における発生源寄与について

平成 20 年度の PM_{2.5} 大気環境調査結果を用いて、レセプターモデル(PMF モデル、CMB モデル)により発生源寄与割合を推定した。

PMF モデルは発生源のデータを必要とせず、環境データの変動に着目して解析を行う方法である。指標となる元素に着目して解析を行った結果、明確な区分はできなかったが、バイオマス燃焼と考えられる寄与が相当程度あり、未把握の発生源の影響も無視できないことが示唆された。

CMB モデルによる計算では、PMF モデルで新たな発生源として示唆されたバイオマス燃焼類を追加し、7 つの発生源プロファイルによる計算を行った。その結果、既存発生源(一次粒子)の寄与濃度の割合は 1/3 程度であった。一方、二次生成粒子の寄与割合は PM_{2.5} 全体の約 2/3 を占めており、排出インベントリ調査で明らかになったように PM_{2.5} 原因物質の発生源は多岐にわたることが裏付けられた。一般環境と道路沿道と比較したところ、道路沿道では自動車排出ガスやブレーキ粉じんの寄与が大きく、また、区部と多摩部を比較したところ、区部では石油燃焼、多摩部ではバイオマス燃焼類の寄与が相対的に大きかった。

レセプターモデル(CMB モデル)による解析結果及び数値型シミュレーションモデルの計算結果を統合して、現状及び将来における PM_{2.5} の発生源寄与を試算した。その結果は、以下のとおりである。

現況(平成 20 年度)の東京都の大気環境中 PM_{2.5} の都内発生源別寄与割合は、人為的発生源が約 11%、自然発生源等が約 4%、都外*が約 53%であった。

一方、東京都の大気環境中 PM_{2.5} の関東地方発生源別寄与割合は、人的発生源が約 34%、自然発生源等が約 15%、関東外*が約 18%であった。なお、水分、海塩・土壌、二次有機粒子等については発生源を区別することが困難であった。

単純将来予測(平成 28 年度)の東京都の大気環境中 PM_{2.5} の都内発生源別寄与割合は、人為的発生源が約 8%、自然発生源等が約 4%、都外*が約 53%であった。

一方、東京都の大気環境中 PM_{2.5} の関東地方発生源別寄与割合は、人的発生源が約 30%、自然発生源等が約 15%、関東外*が約 20%であった。人為的発生源のうち、自動車、建設機械の寄与が低減し、相対的に船舶、大規模固定発生源の寄与が増加していた。なお、現況と同様に水分、海塩・土壌、二次有機粒子等については発生源を区別することが困難であった。

* 排出量の増減に比例して濃度が増減しない非線形の場合に、感度解析(ゼロアウト法)による各発生源の寄与濃度を合計しても実測濃度にならない場合がある。その場合の過不足分を非線形性のため生じた濃度と考える。特に、硝酸イオン(NITR)と二次有機粒子(v-OC)で注意が必要である。なお、都外、関東外にはこの補正が含まれている。

(6) 今後の技術的な課題

① 大気中の挙動や二次生成機構の研究の推進

PM_{2.5} やその原因物質の大気中の挙動、SO_x、NO_x、VOC 等の原因物質から PM_{2.5} への二次生成のメカニズム、二次有機粒子(v-OC)の発生源別寄与割合などについて、今回、同時期に大学、他自治体、研究機関等と連携しながら調査・研究を実施し、広域的な生成メカニズムなどを明らかにした。しかし、未だ解明されていない部分があるため、今後、国、他の区市、研究機関と連携しながら、さらに、科学的知見の集積に努めていく必要がある。

② 排出インベントリの拡充と精度向上

今回、多くの発生源の調査を実施し、これまで未把握であった発生源を追加するなど、排出イ

ンベントリを整備してきた。しかし、未だ排出インベントリの情報が不足していることから、微小粒子状物質(凝縮性ダスト*を含む。)の発生源測定法の標準化、発生源プロファイル(発生源における PM_{2.5} 及びその原因物質の排出状況)の整備及びインベントリのデータベース化を進めていく必要がある。

* 凝縮性ダスト:燃焼直後は高温のため気体であるが、放出された大気中で冷却され粒子となる物質

③ シミュレーションの精度向上

今回、将来濃度や発生源別寄与割合の推計を最新の数値型シミュレーションモデルで実施し、発生源別寄与割合をきめ細かく推計するなど、現時点で最高レベルの結果を得ている。しかし、二次有機粒子の再現の精度などの課題がある。また、将来濃度推計は、中部日本領域までの排出量のトレンドを反映しているが、日本全国(中部日本領域外)や東アジアの変化を反映していないため、誤差があると考えられる。

4-2 対策の方向性

(1) PM_{2.5}の大気環境濃度の推移と発生源別寄与割合の推計結果

- ① 平成20年度のPM_{2.5}濃度は、一般局平均19.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、自排局平均21.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、新たに設定された環境基準値を上回っているが、ディーゼル車規制などこれまでの対策により平成13年度と比較して大幅に改善している(図4-1)。
- ② 平成28年度のPM_{2.5}濃度については、①既定の対策を継続した場合(BaU)、②全ての発生源において費用対効果の最も高い技術(RACT/RACM)を適用した場合、③全ての発生源において削減効果の最も高い技術(BAT)を適用した場合の3つのシナリオを想定(表4-1)し、シミュレーションモデル(数値型)を利用して推計した。その結果、平成28年度のPM_{2.5}濃度(一般局平均)は、それぞれBaUで17.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、RACT/RACMで14.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、BATで13.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と推計される(図4-1)。

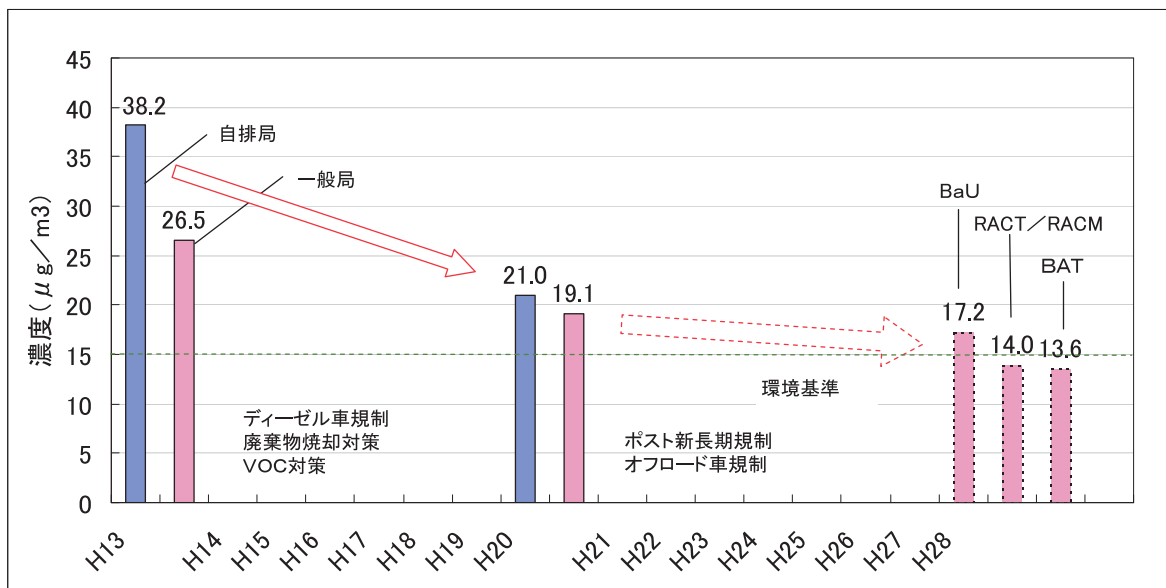


図4-1 東京都におけるPM_{2.5}の大気環境濃度の推移と将来予測

※ 相対湿度は35%に換算している。H13は年間12回、7日間/回の1週間値(PM_{2.1}濃度)で調査地点は一般局、自排局各5局である。

表4-1 推計の前提条件

シナリオ	シナリオ設定の前提	主な技術/手法の例	適応範囲・条件
BaU (既定の対策を継続)	・既定の対策を継続	・自動車のポスト新長期規制、建設機械のオフロード規制等	・関東地方で実施 ・中部日本領域で自動車、建設機械の排出量減少を見込む。
RACT/RACM (合理的で適用可能な技術/手法)	・全ての発生源において費用対効果の最も高い技術を適用	・大規模固定煙源:ガス化 ・自動車(ガソリン車):HV化	・関東地方で100%実施 ・中部日本領域で自動車、建設機械の排出量減少を見込む。
BAT(適用可能な最良の技術)	・全ての発生源において削減効果の最も高い技術を適用	・大規模固定煙源:電化 ・自動車(ガソリン車):EV化	・関東地方で100%実施 ・中部日本領域で自動車、建設機械の排出量減少を見込む。

※BaU:Business as Usual

RACT/RACM: Reasonably Available Control Technology/Reasonably Available Control Measures

BAT:Best Available Technology

- ③ 東京の大気環境中の PM_{2.5} の発生源別寄与割合 (H20) は、都内の発生源による寄与が約 2 割、都を除く関東地方 (関東 6 県) が約 3 割、関東地方外 (国外を含む) が約 2 割であった。その他に二次有機粒子 (約 2 割)、海塩・土壌、水分 (計約 1 割) がある (図 4-2、表 4-2、4-3)。
- ④ 東京の大気環境中の PM_{2.5} の発生源別寄与割合は、自動車など人為発生源の寄与は都内発生源で約 11%、関東 6 県の発生源で約 23% である (図 4-2、表 4-2、4-3)。
- また、関東 6 県発生源別寄与割合は、都内発生源別寄与割合と比べると、大規模固定煙源の寄与割合が相対的に大きくなるなど、都内と異なる発生源の特色があると推定している (図 4-2、表 4-2)。
- ⑤ アンモニア発生源 (農業・畜産を含む)、火山などの自然発生源等の寄与割合は都内発生源で約 4%、関東 6 県の発生源で約 11% である (図 4-2、表 4-2)。

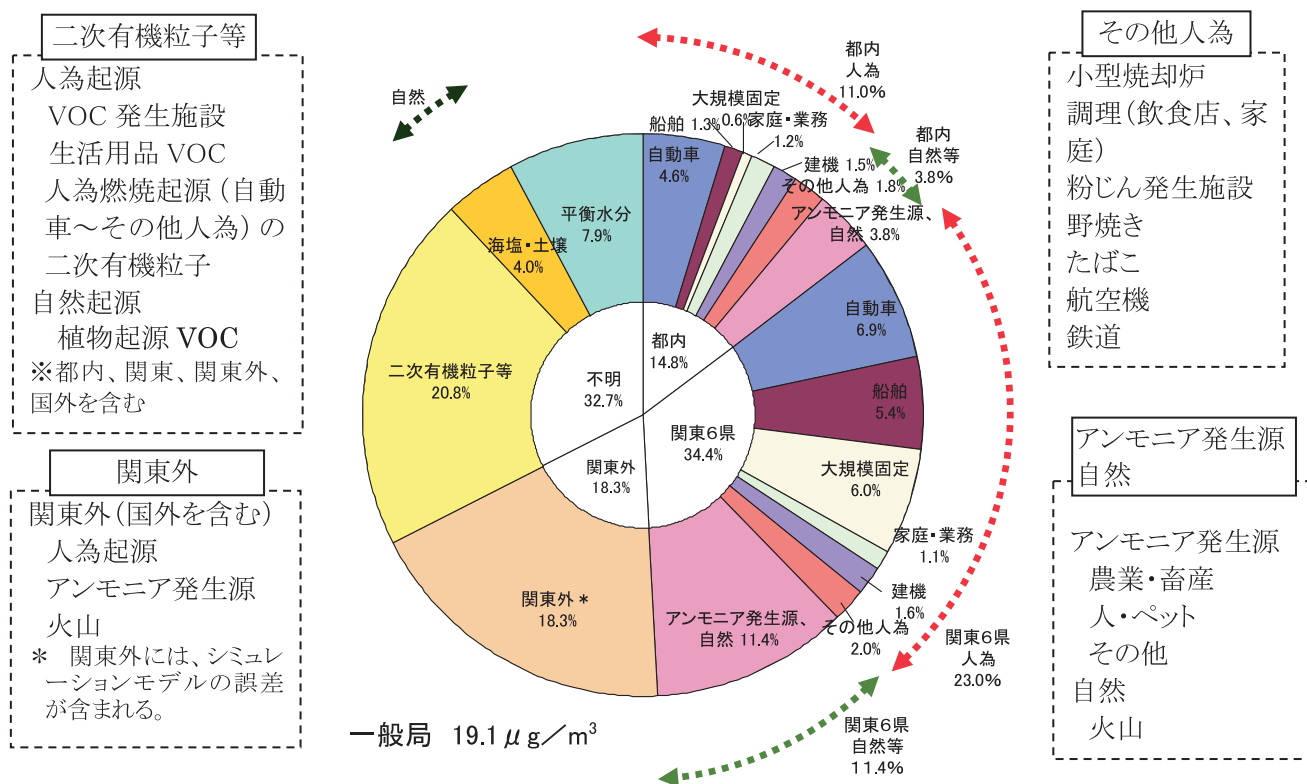


図 4-2 東京都の大気環境中の発生源別寄与割合 (H20 都内・関東 6 県発生源別)

表 4-2 発生源別寄与割合の都内と関東地方との比較

発生源	都内	関東 6 県
自動車	4.6%	6.9%
船舶	1.3%	5.4%
大規模固定煙源	0.6%	6.0%
家庭・業務	1.2%	1.1%
建設機械	1.5%	1.6%
その他人為	1.8%	2.0%
人為由来小計	11.0%	23.0%
アンモニア発生源・自然	3.8%	11.4%
計	14.8%	34.4%

表 4-3 地域別、人為・自然別の寄与割合

	計	人為	自然等
都内	14.8%	11.0%	3.8%
関東 6 県	34.4%	23.0%	11.4%
関東外	18.3%	不明	不明
二次有機粒子	20.8%	不明	不明
海塩・土壌	4.0%	0.0%	4%
水分	7.9%	不明	不明
計	100.2%*	(34.0%)	(19.2%)

* 四捨五入で合計が 100% とならない。
※ 国外の人為起源は 23 区で 26% (文献より)

(2) 基本的な対策の方向性

① 大気中のPM_{2.5}濃度は年々改善していることから、ディーゼル車規制等これまで実施してきた削減対策を着実に推進していくことが重要である。しかし、既定の対策を継続した場合の将来（平成28年度）のPM_{2.5}濃度は、一般局平均でも17.2 μ g/m³となり環境基準を上回ると推計されることから、既定の対策に加え、新たな対策又は対策の強化が必要である。

② 都内の対策

- 二次生成粒子の寄与割合がPM_{2.5}全体の約2/3を占めることから、二次生成粒子の原因物質であるNO_x、SO_x、VOCにも着目した対策を推進すべきである。例えば、VOCでは、総量を更に削減することに加え、粒子生成能の高い物質の削減に着目する必要がある。
- 都内のPM_{2.5}濃度に対する都内の発生源別寄与割合をみると、将来予測として、これまでの対策により自動車や建設機械の寄与が減少するのに対して、効果的な対策が行われていない船舶や家庭・業務の寄与が相対的に増加することが想定される。また、新たに確認された発生源（野焼き、タバコの煙、厨房・家庭台所における調理など）からの排出量が一定量あることも判明した。このことから、より多様な発生源に対するきめ細かな対策を推進していくべきである。
- 化石燃料の燃焼の削減は、PM_{2.5}とその原因物質の削減とともに地球温暖化対策にもつながることから、都の温暖化対策の実施計画である「カーボンマイナス東京10年プロジェクト」に併せた大気汚染物質の削減対策（コベネフィット・アプローチ）を推進していくことが必要である。

また、これは、オキシダント(O_x)やNO₂などの大気汚染物質の低減も期待できる。

③ 広域対策

- 都内の大気環境中のPM_{2.5}濃度は、その約5割が東京都外の発生源に起因すると推計されるなど、東京都以外における様々な活動による影響が極めて大きいことが今回明らかになった。このことは他県においても同様であることが想定されるため、PM_{2.5}濃度を削減するための対策を考えるに当たっては、都県域を超えた広域的な視点が不可欠である。
- 東京都外からの影響のうち、関東6県による影響は全体の約3割を占めるため、関東地域内における重点的な対策が効果的である。まずは関東6県などとの連携を図ることが重要である。ただし、発生源のインベントリや発生源別寄与割合からみても、都県における産業構造の相違が明らかであり、一律な対策内容が必ずしも効果的とは限らないことに留意する必要がある。まずは、PM_{2.5}に関する知見、測定結果等の情報を共有し、効果的な対策を連携して実施できるように検討する場を都が他の自治体に呼びかけて設けることが求められる。
- 一方、関東地域外の影響も全体の約2割を占め、また国外の人為発生源の影響も無視できないことから、これらについても対策を講ずる必要がある。都としては、今回の知見に基づき、国に対して、国内のみならず、国外からの移流の影響やその発生源の実態等についての解明、さらにはその影響を低減させる手段を講じるよう求めるべきである。

④ 最後に、対策の実施に当たっては、対策効果の検証を継続して行うことが重要となる。PM_{2.5}濃度については、東京都内においては平成23年4月から27測定局において本格的な測定がスタートしたところである。そして、平成25年4月以降、都内全測定局における測定体制が完備する予定である。また、成分測定については、生成メカニズムや発生源の更なる解明に必要なことから、平成20年度から都内4測定局で実施した本事業による測定を今後も継続して実施すべきである。これらの測定データを十分に活用し、対策効果の検証や発生源対策等に活かす必要がある。

なお、今回の調査検討は、東日本大震災発生前の状況をもとに行っていることから、その影響が勘案されていない。大気環境中のPM_{2.5}濃度への影響という観点からは、減少する要因、増加する要因がさまざま考えられるが、短期的な影響のほか、エネルギー政策をはじめ大きな変革が進むと予想されるため、長期的な影響も相当程度考えられる。このことから、長期的な方向性が見える一定期間後には、発生源別寄与や将来濃度の推計等の解析を改めて行い、施策の更なる展開を行うべきである。

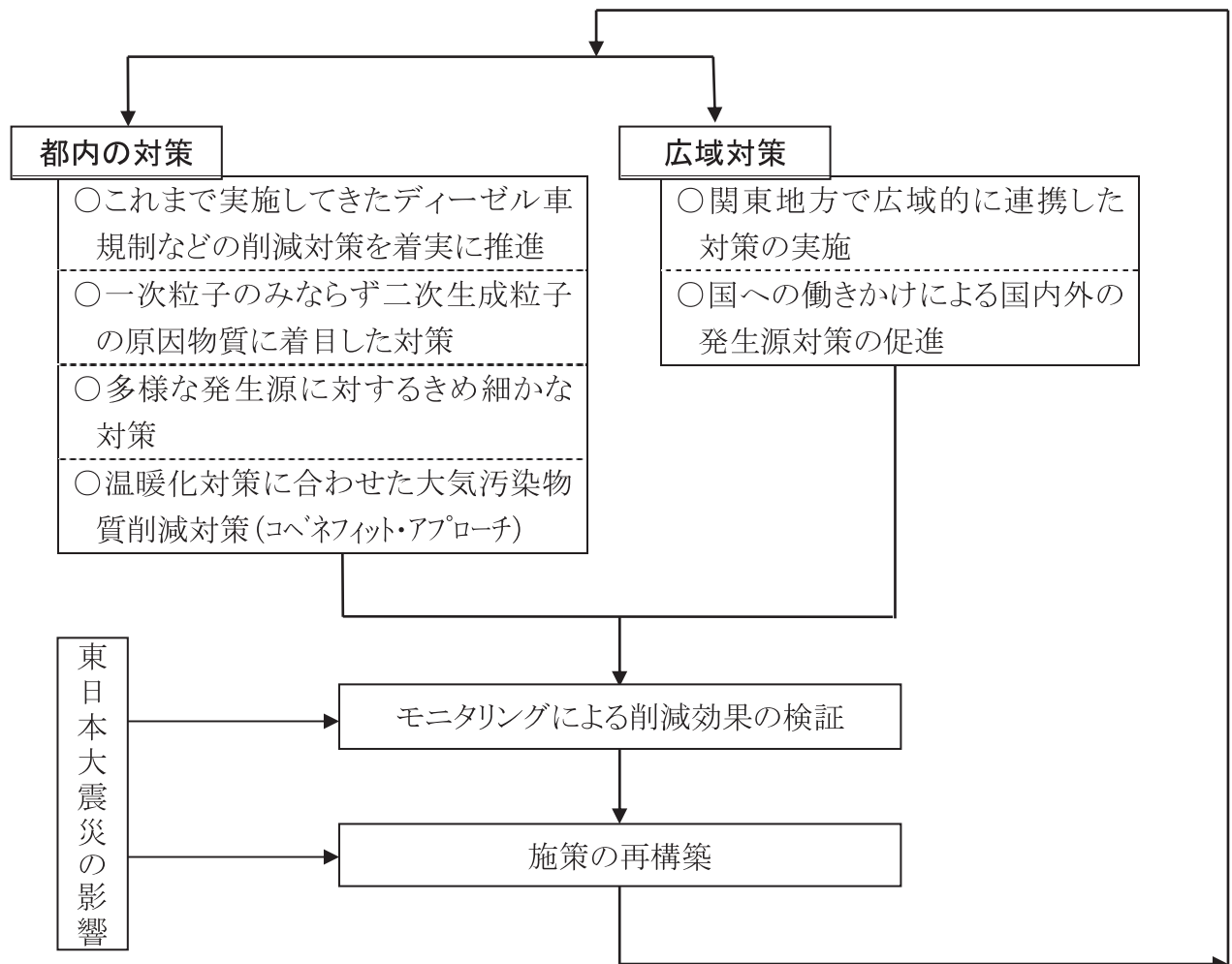


図 4-3 対策等のフロー

参考情報

東京都

- 東京都環境局公式ホームページ
<http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/>
- 東京都微小粒子状物質検討会
http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/conference/particulate_matter/index.html
- 大気汚染測定結果ダウンロードのページ
http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/air_pollution/result_measurement.html
- 東京都環境科学研究所年報
<http://www.tokyokankyo.jp/kankyoken/results.htm>

環境省

- 微小粒子状物質曝露影響調査報告書(平成 19 年 7 月)
<http://www.env.go.jp/air/report/h19-03/index.html>
- 微小粒子状物質健康影響評価検討会報告書(平成 20 年 4 月)
<http://www.env.go.jp/air/report/h20-01/index.html>
- 大気汚染に係る粒子状物質による長期曝露影響調査報告書(平成 21 年 3 月)
<http://www.env.go.jp/air/report/h20-09/index.html>
- 微小粒子状物質に係る環境基準の設定について(答申)
微小粒子状物質環境基準専門委員会報告
微小粒子状物質測定法専門委員会報告
<http://www.env.go.jp/council/toshin/t07-h2102.html>

その他

- 関東地方浮遊粒子状物質合同調査
http://sky.geocities.jp/kantokoshinsei_spm_official/index.html
- (独)国立環境研究所 化学環境研究領域
<http://www.nies.go.jp/gaiyo/bunya/chem.html>
- (国)埼玉大学 環境制御研究室
<http://www.env.gse.saitama-u.ac.jp/labs/junkan/framemain.htm>
- (国)東京大学 環境健康システム学分野研究室
<http://www.envhlth.k.u-tokyo.ac.jp/>
- JATOP (財)石油産業活性化センター
http://www.pecj.or.jp/japanese/jcap/index_j.asp

平成23年9月発行

平成23年度

登録番号第42号

環境資料第23022号

東京都微小粒子状物質検討会報告書

編集発行 東京都環境局環境改善部計画課

TEL 03-5388-3482

