

自動車排ガス中PM削減対策による沿道大気中 SPM濃度の低減

Particulate emission reduction from
motor vehicle to improvement in SPM
Air quality in roadside areas

小川 和雄

Kazuo Ogawa

要 旨

浮遊粒子状物質による大気汚染は長期間にわたって高濃度横ばいの状態が続いており、特に埼玉、東京等、1都3県の自動車排ガス測定局の大半は環境基準が達成されていない。しかしそうした沿道大気に及ぼす自動車走行起源の粒子の影響については十分に解明されておらず、沿道での浮遊粒子状物質環境基準の達成に必要な自動車排ガス中粒子の削減目標量は明らかにされていない。

そこで、本論では広域拡散シミュレーション手法を用いずに、全国の自動車排ガス測定局の浮遊粒子状物質濃度等測定結果等を解析することにより、沿道大気中の浮遊粒子状物質環境基準達成に必要な自動車排ガス中の粒子削減量を推定した。その結果、道路近傍における大気中の浮遊粒子状物質濃度への自動車走行の寄与率は概ね41～63%、自動車排ガスのみ寄与率は33～55%の所が多く、全国の自動車排ガス測定局の大半が環境基準を達成するために必要な自動車排ガス中粒子の削減量は概ね75%程度であると推定された。

1 はじめに

長期間にわたって浮遊粒子物質（直径 $10\mu\text{m}$ 以下の粒子のことで以下SPMと示す）による大気汚染は高濃度横ばいの状態が続いており¹⁾、特に道路近傍では著しい汚染状態となっている²⁾。同様に高濃度横ばいの汚染状況が続いているNO₂汚染については、対策の効果が眼にみえて現れているとはいえないが、既に20年以上の自動車排ガス対策の歴史がある。しかし、SPM汚染対策としての自動車排ガス規制はようやく始まったばかりであり、早急な実効性のある対策が求

められている。

SPM中で大きな割合を占めると言われるディーゼル排気微粒子は呼吸器系疾患の原因になるばかりでなく、発ガン性を有することも既に嵯峨井らの動物実験³⁾で明らかにされており、過去40年間に日本男性の呼吸器系ガンが5倍以上に急増していること⁴⁾との関連性が危惧されている。

一般に、大気汚染物質の対策を立案、検討する場合、発生源と環境濃度の関係を拡散モデル⁵⁾やリセプターモデル⁶⁾によって解明し、大気中濃度への発生源寄与を明らかにすることによって行われる。しかし、SPM

は NO_x 以上に発生源が多様であることから、発生源別の排出実態が十分に把握されておらず、拡散モデルやリセプターモデルへの入力データが極めて不足しているため、現段階では NO_2 や SO_2 なみのシミュレーション精度は得られていない^{7) 8)}。特に「1時間値の1日平均値が $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 以下であり、かつ1時間値が $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ 以下」という環境基準値を著しく超過している沿道大気中のSPM汚染に及ぼす自動車排ガスの影響については、早急な説明が求められている。

そこで、本論では従来のシミュレーションモデル⁵⁾による方法とは別に、全国の自動車排ガス測定局（以下、自排局という）で常時監視されたSPM濃度等を解析して、沿道における大気中SPM濃度の環境基準達成に必要な自動車排ガス中粒子の削減量を推定した。

2 方 法

平成8年度版自動車排出ガス測定局測定結果報告²⁾に掲載されている有効測定局のSPM及び NO_x 、 NO_2 濃度測定結果を用いて集計解析した。

同報告書によれば平成8年度の全国自排局のうち、年間6000時間以上の測定時間を有する有効測定局数は、SPMが227局、 NO_x が373局であった。また、一般環境のSPM及び NO_x 濃度については平成8年度版一般環境大気測定局測定結果報告書¹⁾から、SPMの有効測定局1533局、 NO_x の有効測定局1461局のデータを用いた。

また、自動車排ガス中の粒子と自動車走行による道路からの巻き上げ粒子の割合を検討するため、国道4号沿いの草加花栗自排局と、道路から200m離れた草加保健所一般環境局（以下、環境局という）、国道17号沿いの鴻巣天神自排局と800m離れた鴻巣市役所環境局のコンテナ上にアンダーセンサンプラーを設置し、それぞれ各1週間ずつ4回にわたってSPMを分級採取し、粗大粒子、微小粒子濃度を求めた。

3 結果及び考察

3・1 自排局及び環境局におけるSPM及び NO_x 濃度

自排局及び環境局の環境基準達成局数の推移を図1に示した。環境局は平成8年度の有効測定局1533局中1070局が達成、463局が非達成、自排局は有効測定局227局中95局が達成、132局が非達成であった。

環境局の環境基準達成率の推移をみると、平成2年度以降、わずかに達成率の向上が見られ平成5年度か

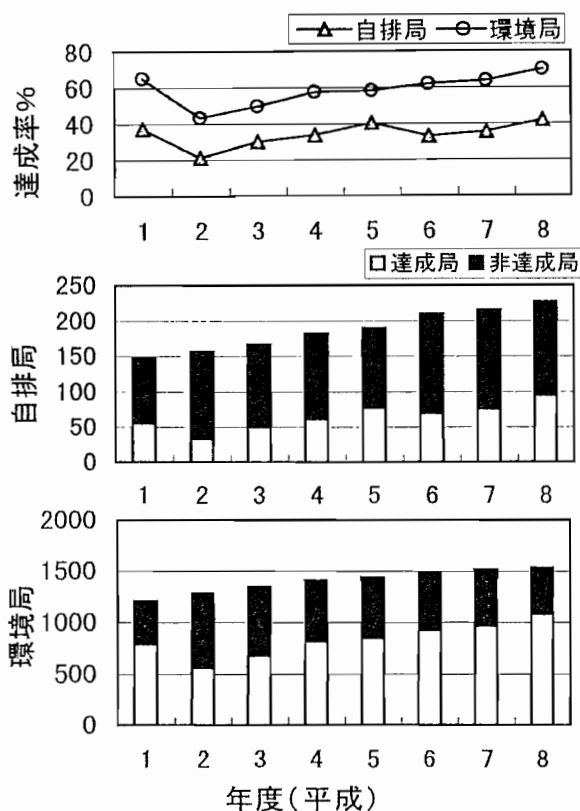


図1 日本全国のSPM環境基準達成状況の推移
平成8年度全国一般環境局測定結果報告及び平成8年度全国自動車排ガス測定局測定結果報告（環境庁）により作図

らは概ね60%台を維持、平成8年度は69.8%に上昇した。一方、自排局の達成率は環境局に比べると変動が大きく、平成2年度以降は徐々に達成率が向上したが、平成5年度の41%以降、平成8年度の41.9%まで概ね横這い傾向を示した。特に、埼玉、東京、千葉の自排局は、平成7年度までの数年間、全局が環境基準非達成で、平成8年度になってようやく千葉、東京の各1局ずつが達成したという状態であり²⁾、関東地方におけるSPM環境基準達成率は NO_2 以上に低く、深刻な状況となっている。環境局でも平成8年度の達成率は東京18.4%、埼玉8.8%、千葉19.5%、神奈川32.1%であり、全国平均と比べると極めて低かった¹⁾。

表1に解析対象とした自排局と環境局の有効測定局全局の平成8年度のSPM及び NO_2 、 NO_x 濃度の平均値を示した。自排局のSPM濃度年平均値は平均 $47.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ で環境局との濃度差は $12.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、環境局濃度に対する自排局濃度の比では1.36倍であった。これは NO_2 濃度の差及び比の15.5ppb、1.90倍、 NO_x 濃度の差及び比の52.9ppb、2.71倍と比べると著しく小さく、沿道環境と一般環境のSPM濃度の差が

表1 全国常時監視測定局のSPM, NO₂, NO_x濃度測定結果平均値

	SPM (μg/m ³)		NO ₂ (ppb)		NO _x (ppb)	
	自排局	一般局	自排局	一般局	自排局	一般局
有効測定局数	227局	1533局	373局	1461局	373局	1461局
日平均値*	101.2	79.0	53.9	34.6	—	—
年平均値	47.2	34.6	32.8	17.3	83.9	31.0
(自排局濃度) - (一般局濃度)		12.6		15.5		52.9
濃度比(自排局濃度/環境局濃度)		1.36倍		1.90倍		2.71倍

* SPMは2%除外値、NO₂は98%
 一般局の値は、平成8年度全国一般環境局測定結果報告(環境庁)の濃度階級別出現分布図から計算した。

NO_x, NO₂濃度に比べて小さいことが示された。
 なお、サンプル数が環境局の1461~1533局に対し、自排局が227~373局と少なく、設置都市等の分布に偏りがあれば大きな誤差要因となる可能性があるが、概ねこの差が沿道局対象道路からの自動車走行の直接影響と考えられよう。したがって沿道大気中のSPM濃度への自動車走行の汚染寄与率は、SPMの距離減衰がNO_xより小さいこと⁹⁾¹⁰⁾を考慮しても、NO_xよりはかなり低くなることが示唆された。

3・2 SPM濃度の年平均値と「日平均値の2%除外値」及びNO_x濃度年平均値との関係

一般にSPM等による大気汚染の慢性的健康影響を考える場合、あるいはSPM, NO_x対策として発生源からの排出量と濃度の関係を明らかにする場合には、より安定した数値である年平均値が用いられる。しかしSPMの環境基準の達成、非達成は長期的評価と呼ばれる「日平均値の2%除外値」で評価されることになっている。即ち、1年間測定された日平均値を高濃度順に並べて、高い方から2%を除外して、その次に高い日平均値が環境基準値0.1mg/m³(100μg/m³)を超過したかどうかで評価される。したがってこの「日平均値の2%除外値」と、より安定性のある年平均値の関係を解析して環境基準値である「日平均値の2%除外値」に相当する年平均値を対策の目標値として明らかにしておく必要がある。

そこで、SPMの年平均値と「日平均値の2%除外値」の回帰式を求めた結果(図2)、年平均値をXとすると「日平均値の2%除外値」Yは

$$Y = 1.95X + 8.9, \quad r = 0.92 \quad \dots\dots ①$$

で表された。したがって、「日平均値の2%除外値」で評価されるSPM環境基準値100μg/m³に相当す

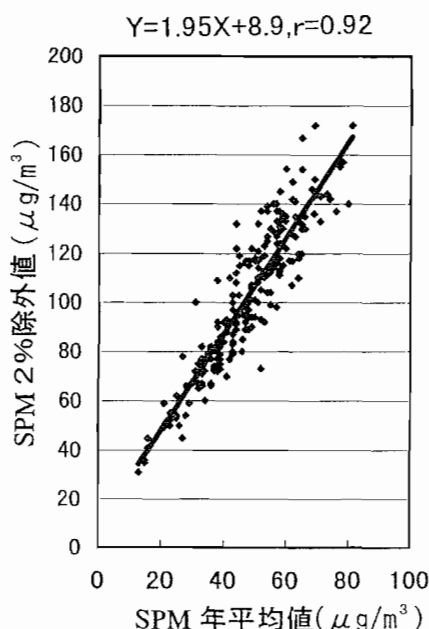


図2 自排局におけるSPM濃度の年平均値と2%除外値の関係(n=227)
 平成8年度全国自動車排ガス測定局測定結果報告(環境庁)により作図

る年平均値は①式から46.7μg/m³と算定された。

一方、自動車排ガス削減の効果の大きさを検討するため、自動車排ガスの指標として従来からよく研究されてきたNO_x濃度とNO₂及びSPM濃度(年平均値)との関係についても、最も高い相関係数となるよう回帰式を作成した。図3に示したようにNO₂濃度はNO_x濃度が高濃度となるに従って伸びが徐々に小さくなるべき乗近似式

$$Y = 2.02X^{0.63}, \quad r = 0.90 \quad \dots\dots ②$$

で表された。このことは、高濃度地域では、NO₂生成に関与するO₃量に対して、既に過剰なNOがあるため、NO_x排出量を低下させてもNO₂濃度が直線的には低下しないことを示しており、これがNO₂汚

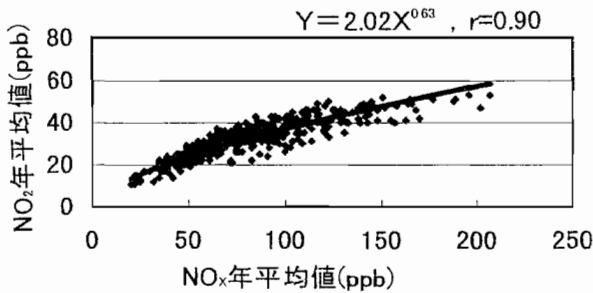


図3 自排局におけるNO₂濃度とNO_x濃度(年平均値)の関係(n=373)
平成8年度全国自動車排ガス測定局測定結果報告(環境庁)により作図

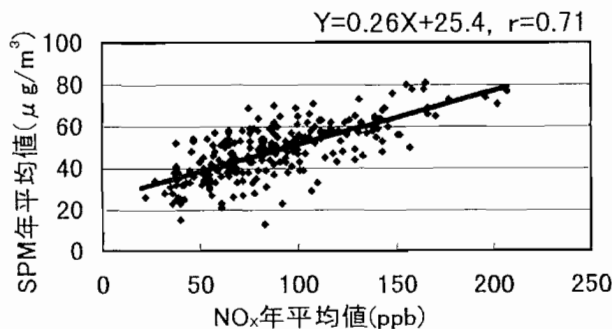


図4 自排局におけるSPM濃度とNO_x濃度(年平均値)の関係(n=227)
平成8年度全国自動車排ガス測定局測定結果報告(環境庁)により作図

染の改善しない原因の一つとなっている。一方、SPM濃度とNO_x濃度の関係はべき乗近似よりは直線回帰式である。

$$Y = 0.26X + 25.4, r = 0.71 \dots\dots③$$

で表された(図4)。本来、自動車排ガス中に含まれる一次汚染物質としての粒子状物質は炭素成分等が中心¹¹⁾であり、NOのように沿道でただちにNO₂等の他物質に変化していくような性質でないことを考えれば、沿道でのSPM濃度は自動車排ガス中の粒子状物質(以下、自動車排出PMという)の削減によって直接的に低下するものと考えられる。即ち、SPMは発生源が多様ではあるが、真剣に発生源寄与率が大きいと考えられる自動車排ガス中PMの削減対策を行うならば、二次生成粒子の削減は困難としても、NO₂よりは濃度レベルを低下させ易いことが示唆された。

3・3 沿道大気中SPM濃度に占める自動車排出PMの寄与率

SPM環境基準達成等に必要な自動車排出PM削減量を明らかにするため、全国自排局及び環境局の測定結果を基礎として、沿道大気中における自動車排出PMの寄与率を推定した。

表1から、SPM濃度年平均値は自排局が47.2μg/m³、環境局が34.6μg/m³なので、前述のようにその差12.6μg/m³が平均的な沿道での自動車走行(自動車排出粒子及び巻き上げ粒子)の直接的な寄与分と考えられる。

これまで一般環境における自動車排出PMの寄与率については新井¹⁰⁾が横浜市内で24.2%、鎌滝¹²⁾が都内平均として47.7%程度であると報告している。また、南関東9地点で行われた貨物輸送の少なくなる正月前後の調査¹³⁾では、自動車排出PM寄与率は32.2~48.5%、平均38%と報告されている。これらの知見から、全国環境局の平均値34.6μg/m³に占める自動車排出PMの寄与分を20~50%と設定すると、SPM濃度では6.9~17.3μg/m³となった。

ところで、自動車排出PMのみの規制強化で環境基準を達成しようとする場合、自動車走行中に主として自動車から排出される微小粒子と、主として自動車走行に伴って巻き上げられる粗大粒子を区別する必要がある。そこで表2に国道17号(鴻巣市内)と国道4号(草加市内)の沿道とその後背地においてSPMを粒

表2 沿道とその後背地における粗大、微小粒子別濃度、濃度差及び自動車走行による粗大粒子の巻き上げ率

		粒子濃度平均値(μg/m ³)		
		粗大	微小	合計
草加市 (国4号)	沿道	26.68	57.48	84.16
	後背地	22.67	46.33	69.00
	濃度差	4.01	11.15	15.16
	巻き上げ率平均 同 max, min	26.5% (30.9~25.4%)		
鴻巣市 (国17号)	沿道	27.41	56.95	84.36
	後背地	17.58	36.99	54.57
	濃度差	9.83	19.96	29.79
	巻き上げ率平均 同 max, min	33.0% (36.3~26.8%)		

巻き上げ率：沿道のSPM濃度から後背地の同濃度を差し引いた濃度を当該道路の自動車寄与分とし、そのうちの粗大粒子の割合を走行に伴う巻き上げ率とした。

max, min は各4回行った調査の巻き上げ率の最高、最低を示した。

径2 μm 以上の粗大粒子と2 μm 未満の微小粒子とに分級採取した結果を示した。沿道と後背地のSPM(合計)濃度差を対象道路の直接の自動車走行寄与分とし、粗大粒子の濃度差を走行に伴う巻き上げ分と考え、沿道での自動車走行寄与に占める巻き上げの寄与は最低25.4%から最高36.3%、平均約30%であった。

したがって、全国常時監視結果による自動車走行寄与分である12.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ のうち、自動車排出PM寄与分は、約30%の巻き上げ分を除くと8.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となり、環境局の自動車排出PM寄与分6.9~17.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に加えると15.7~26.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となって、自排局平均濃度である47.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の33~55%に相当することが推察された。これまで、沿道での自動車排出PMの寄与率については新井¹⁰⁾が横浜市内の平日で56.3%、休日で33.4%、鎌滝らが¹²⁾都内沿道の平均で60.7%と報告しているが、本調査結果はこれらの結果とも概ね類似しており、自排局の設置されているような比較的交通量の多い沿道での自動車排出PMの寄与率は平均的には33~55%、大きいところでは60%を超える地点があるものと考えられる。

3・4 SPM環境基準達成に必要な自動車排出PMの削減

SPMの環境基準値達成のために必要な自動車排出PMの削減率を、自動車排出PMの沿道大気中寄与率の知見を基に推定した。

平成8年度の全国自排局のうち、SPMの有効測定局数227局全て(100%)の環境基準を達成しようとする時のSPM濃度平均値の最高値は81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (表3)であり、自動車排出PMの寄与濃度は寄与率を3・3項から55%と仮定すると44.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と推定される。達成すべき回帰式上の年平均値は3・2項より46.7

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ であるから、その他の発生源の寄与分である36.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に自動車排ガス寄与分を加えて46.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となればよく、その差10.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ にまで自動車排ガス寄与分を削減すればよい。即ち44.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を10.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に、つまり77%削減すれば環境基準を達成できるものと推定された。

同様に2%除外値で100%の自排局環境基準を達成する時の、平成8年度の最高SPM濃度は172 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、そのうち自動車排ガス寄与率を55%とすると、その寄与濃度は94.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、その他の寄与濃度が77.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。したがって環境基準100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を達成するためには、その他の寄与濃度との差22.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ にまで自動車排ガス寄与濃度を削減しなければならない。これは76%の削減に相当し、年平均値を用いた推定と殆ど一致した。

即ち、全自排局の環境基準達成を目標とした場合、自動車排ガス寄与率を55%とすると自動車排出PMの削減必要量は、年平均値でも2%除外値でも概ね76~77%程度と考えられる。都内での平均値として報告されている自動車排出粒子寄与率約60%¹²⁾を想定した場合は、その削減率は当然小さくなり、年平均値でも2%除外値でも概ね70%程度であった。

さらに、同様に計算すると全国自排局数の84%達成を目標とした場合、現在の目標となるSPM濃度の年平均値は60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に相当し、その中の自動車排ガス寄与率を33~55%とすると、必要削減量は年平均値で40%~67%、2%除外値では同様に44~74%と推定された。その他、達成目標濃度とそれに応じた自動車排出PMの削減量推定結果を併せて表3に示した。

いずれの想定にしても、日本の自排局のSPM環境基準を達成するためには、自動車排ガス中PMの75%程度を削減すれば、概ね可能であることが推察された。

表3 全国自排局のSPM環境基準達成に必要な自動車排出PMの推定削減率

想定した環境基準達成率	左欄達成率に相当するクリアすべき平成8年度のSPM濃度*	目標となるSPM濃度	自動車排出PMの寄与率に応じた自動車排出PM削減率		
			33%寄与	45%寄与	55%寄与
100%	年平均値 81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	46.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	不可能	94%	77%
	2%除外値 172 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	不可能	93%	76%
94%	年平均値 68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	46.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	95%	70%	57%
	2%除外値 142 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	90%	66%	54%
84%	年平均値 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	46.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	67%	49%	40%
	2%除外値 132 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	74%	54%	44%

*クリアすべきSPM濃度は平成8年度全国自動車排ガス測定局測定結果報告の有効測定局227局を高濃度順に並べ、環境基準の想定達成率となる順番の測定局の濃度

4 終わりに

S P Mの環境基準達成に必要な自動車排ガス中P Mの必要削減量は、常時監視結果等を解析した結果、概ね75%程度、最大でも95%程度であることが推定された。しかし、その前提にはいくつかの仮定があり、しかも、あくまで高濃度地点の自動車排ガスの寄与率が45%を超えていることが前提である。仮に、周辺都市等で自動車排ガスの寄与率が33%と低く、年平均値が $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過するような高濃度地点があるとすれば、今回推定した削減率95%では計算上は達成が不可能である。しかし一般的には、大規模幹線道路の自動車排出P Mの寄与率は高濃度地点ほど大きいと考えられることから、概ね75%の自動車排出P Mの削減は妥当なレベルと考えられよう。

いずれにしても、すでにS P Mの主要成分であるディーゼル排気微粒子が呼吸器系疾患の原因となり、かつ発ガン性を持つことは明らかになっており、現排出量の75%の削減を目標に、早急に排ガス規制を強化していくことが必要であろう。

含酸素化合物を混入した軽油でP Mが20~30%低減するという報告¹⁴⁾ や大型ディーゼル車にD P Fを装着するとP Mが86%低減したという報告¹⁵⁾ 等もあり、自動車排出P Mの大幅削減は技術的には可能な段階にきているものとみられる。また、自動車排出P Mの規制を実施して現環境基準が達成できない地点がいくつか残ったとしても、75%程度の削減ができれば、最も有害なディーゼル排気微粒子等微小粒子の大気中濃度は大幅に低減でき、健康影響は確実に低下するものと考えられる。

文 献

- 1) 環境庁大気保全局自動車環境対策第二課：平成8年度全国自動車排ガス測定局測定結果報告，1998
- 2) 環境庁大気保全局大気規制課：平成8年度全国一般環境局測定結果報告，1988
- 3) 国立環境研究所：粒子状物質を主体とした大気汚

染物質の生体影響評価に関する実験的研究，特別研究報告書，S R - 14，1994

- 4) 厚生省：国民衛生の動向，厚生統計協会，1994
- 5) 環境庁大気保全局・窒素氧化物総量規制マニュアル，公害研究対策センター，1982
- 6) M.S.Miller, S.K.Friedlander and G.M.Hidy : A Chemical Element Balance for the Pasadena Aerosol, Journal of Colloid and Interface Science, 39(1), 165-176, 1972
- 7) 岡本眞一，森口寛：D E Pを中心とした浮遊粒子状物質の汚染予測における問題点〔I〕，資源環境対策，31(8)，1-5，1995
- 8) 岡本眞一，森口寛：D E Pを中心とした浮遊粒子状物質の汚染予測における問題点〔II〕，資源環境対策，31(9)，57-63，1995
- 9) 小川和雄，石井達三，竹内庸夫：道路周辺における浮遊粉じん汚染について（I）埼玉県公害センター年報，9，43-48，1982
- 10) 新井久雄：道路近傍における自動車排出粒子の汚染実態とその影響，大気汚染研究協会関東支部予測計画部会講演要旨集，1-8，1994
- 11) 中島徹：ディーゼル機関より排出される粒子状物質について，大気環境学会誌，28(6)，A117-127，1993
- 12) 鎌滝裕輝，秋山薫，渡辺巧美，石井康一郎，塚田泰久，風間秀泰，吉野昇：浮遊粒子状物質の地域別リセプターモデルによる発生源の環境への負荷率推定，東京都環境科学研究所年報，18-26，1995
- 13) 1都3県公害防止協議会：平成七年度関東浮遊粒子状物質合同調査結果報告書，1997
- 14) 赤坂行男，内田充：各種環境対応軽油排出ガス比較，平成10年度埼玉県環境研究フォーラム資料集，1999
- 15) 横田久司，飯田靖雄，小谷野真司：大型トラックへのD P Eの適用性について，第38回大気環境学会講演要旨集，607，1997