

報告 (Note)

神奈川県における大気中微小粒子の経年的動向 (第2報) - ディーゼル車運行規制実施に伴う低減効果について -

小山恒人
(環境保全部)

Annual trend of ambient fine particles in Kanagawa Prefecture (Part.2) - Estimation on the emission reduction through anti-diesel measures -

Tsunehito KOYAMA
(Environmental Conservation Division)

キーワード：微小粒子, PM2.5, 低減効果, 炭素成分組成

1 はじめに

首都圏一斉に開始されたディーゼル車の運行規制(2003年10月)から半年を過ぎ、ディーゼル車から大気中に排出される粒子状物質の低減に伴う、大気中の微小粒子(PM2.5など)濃度の改善が期待されている。浮遊粒子状物質(SPM)については環境基準の設定(昭和47年1月)以来、種々の取り組みが適用されてきた。最近のSPM年平均値は長期的にみて低下傾向で推移しており¹⁾、今回、粒子状物質(特に微小粒子)の主要な人為発生源であるディーゼル車に対し、排出規制強化となる運行規制が実施されたことにより、汚染改善に向けた取り組みも転換期にさしかかっている。

本報告は県内の道路沿道や一般環境地点で実施した大気中微小粒子(PM2.5等)に関連した測定、(1)国設厚木自動車交通環境測定所(国設厚木)におけるPM2.5定点測定、(2)平塚における微小粒子定点測定、の結果からディーゼル車の運行規制前後期間における微小粒子濃度の変化等を調べ低減効果について検討した。

2 方法

2.1 国設厚木におけるPM2.5定点測定

国道246号線沿道の国設厚木(片側3車線,交通量82,000台/日,大型車混入率31%)において、2002年9月から2004年4月までの規制前後の期間に、表1に示したような2,3週間隔の測定期間に主に月～金、金～月の周期で簡易サンプラー²⁾によりPM2.5等を採用した。粒子状物質は3段階(上段より粒径10μm以上(PM(>10)),粒径2.5～10μm(PM(2.5-10)),粒径2.5μm以下(PM2.5))に分級捕集した。PM2.5試料中の炭素成分はCHNコーダーを用いた熱分離分析法により、ヘリウム気流中600℃で有機炭素と元素状炭素を分離し分析した。

2.2 平塚における微小粒子定点測定

一般環境における定点観測³⁾として、平塚市(環境科学センター屋上)で2000年度から2003年度までの4年間、アンダーセンサンプラーにより微小粒子を採用した。サンプリングは通年、月～金、金～月の周期で連続して実施した。3粒径範囲別(粒径11μm以上の粒子,粒径2.1～11μmの粒子(粗大粒子),粒径2.1μm以下の粒子(微小粒子))に粒子状物質を分級捕集した。

3 結果

3.1 国設厚木におけるPM2.5定点測定

3.1.1 PM2.5濃度及び炭素成分濃度の期間変化

図1に国設厚木における規制開始前後の期間の2002年9月から2004年4月までの粒子状物質の濃度変化を示した。粗大粒子のPM(>10)及びPM(2.5-10)濃度は、それぞれ $13.2 \pm 4.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $13.5 \pm 3.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ とほぼ同レベルであり、その濃度変動も類似していた。一方、ディーゼル排気粒子や二次生成粒子と関連深い微小粒子のPM2.5⁴⁾⁵⁾の濃度変化は $35.5 \pm 9.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、2003年の2～5月で高く、9～10月で低い濃度が観測される変化パターンとなっていた。

PM2.5中の炭素成分濃度の期間変化を図2に示した。全測定期間中のPM2.5中の有機炭素(OC)濃度は $3.9 \pm 1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、元素状炭素(EC)濃度は $12.0 \pm 3.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、EC濃度はOC濃度の3倍程高い濃度で推移していた。道路沿道の国設厚木ではディーゼル車から一次的に排出される排気粒子の影響を強く受けているものと考えられる。排気粒子は炭素成分が主体となり、大気環境中の微小粒子(PM2.5)に偏在するものと考えられ、また、排気粒子の核となるECは大気中において変

表 1 国設厚木におけるPM2.5測定期間

期間	測定期間	測定回数	期間	測定期間	測定回数
2002年9月	9/13 ~ 30	5	2003年7~8月	7/7 ~ 8/12	9
2002年11月	11/11 ~ 25	4	2003年9~10月	9/19 ~ 10/3	5
2002年12月	12/13 ~ 27	4	2003年11~12月	11/21 ~ 12/15	5
2003年1~2月	1/20 ~ 2/7	8	2004年正月前後	12/26 ~ 1/16	5
2003年3月	3/10 ~ 28	5	2004年2~3月	2/9 ~ 3/26	6
2003年4~5月	4/21 ~ 5/12	6	2004年4月	4/19 ~ 30	3

質の少ないことから排出強度を示す指標性の高いことが知られている⁶⁾。

3.1.2 規制の実施に伴う低減効果

規制の開始から半年ほど過ぎた時期において、規制前後期間における道路沿道でのディーゼル排気粒子の濃度を算出し、その変化から規制の実施に伴う低減効果について検討した。なお、ディーゼル排気粒子濃度の期間変化はすべてが規制の実施によるものと仮定した。

ディーゼル排気粒子の大気環境への負荷は、指標成分として一般的に用いられている EC を使用して、次式により概算した。

ディーゼル排気粒子濃度=(PM2.5中のEC濃度 / ディーゼル排気粒子中のEC含有率) × 100
 ディーゼル排気粒子負荷率=(PM2.5中のEC含有率 / ディーゼル排気粒子中のEC含有率) × 100
 ディーゼル排気粒子中の EC 含有率として発生源データ(55.7 % , 関東地方環境対策推進本部:浮遊粒子状物質合同調査報告書⁷⁾)を採用した。

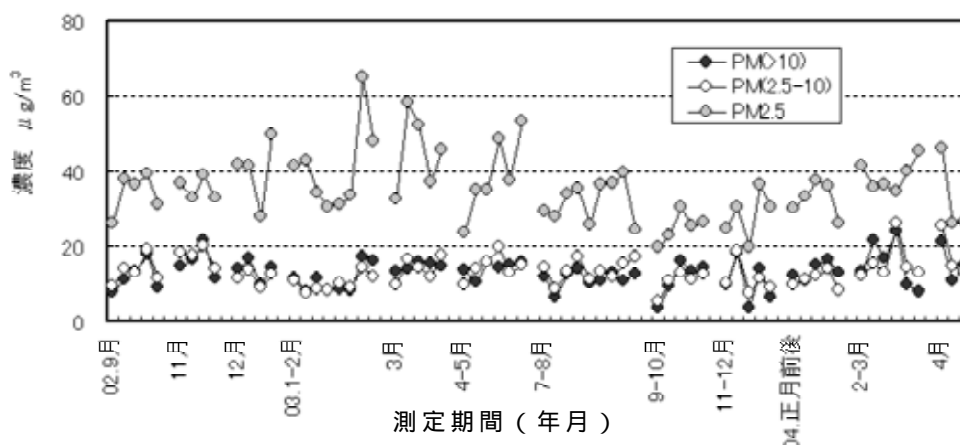


図 1 国設厚木における大気中粒子状物質の濃度変動

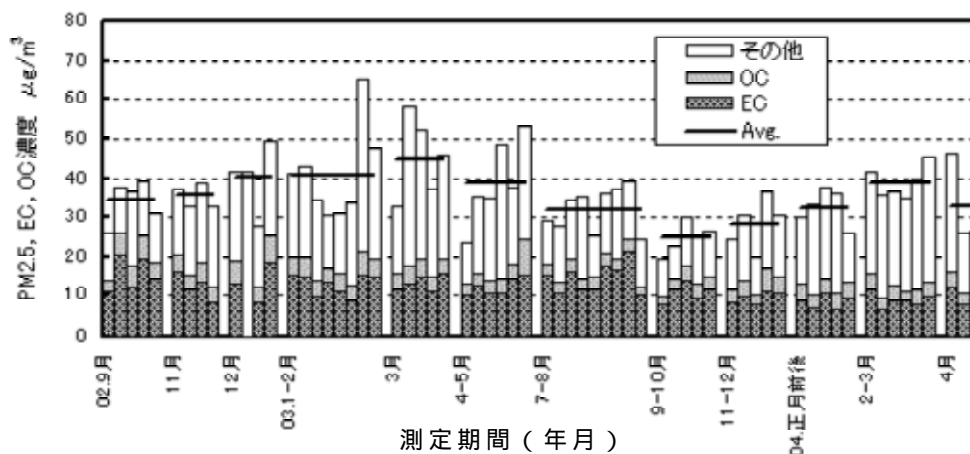


図 2 国設厚木におけるPM2.5中炭素成分の濃度変動

表 2 ディーゼル車運行規制前後期間別PM2.5, EC, DEP濃度及び低減率

期間 No.	測定 測定 回数 日数	算術平均 PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	加重平均		
			PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	EC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)(%)	DEP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)(%)
'02年9月~'03年3月	26 81	39.4 ± 9.3	38.6	13.3 (34.5%)	24.2 (62.7%)
'03年4~10月	20 79	32.3 ± 9.7	31.7	12.9 (40.7%)	23.2 (73.2%)
'02年9月~'03年10月	46 160	36.3 ± 9.6	35.2	13.1 (37.2%)	23.7 (67.3%)
'03年11月~'04年4月	19 69	33.5 ± 7.2	33.6	9.0 (26.8%)	16.2 (48.2%)
低減率 (-)/ × 100			13.0 %	32.3 %	33.0 %
" (-)/ × 100			4.5 %	31.3 %	31.6 %

道路周辺では EC の発生源はディーゼル車が特質的であると考えられるが、その他にも燃焼にかかわる発生源が広く想定されるため、単一発生源からの排出とした本計算の場合では過大評価となる可能性を含むことになる。

表 2 に測定期間をディーゼル車運行規制以前の期間 :2002 年 9 月 ~ 2003 年 3 月, 期間 :2003 年 4 月 ~ 10 月及び期間 :2002 年 9 月 ~ 2003 年 10 月, 規制以降の期間 :2003 年 11 月 ~ 2004 年 4 月に区分して、各測定期間毎に PM2.5 濃度(算術及び加重平均)及び PM2.5 中の EC, ディーゼル排気粒子(DEP)の濃度, 含有率を求め示した。各測定期間とも実測定の合計日数は測定期間全体の 40 %程に相当していた。

PM2.5 の期間別平均(加重平均)濃度は、規制以前の期間 , では、それぞれ 38.6, 31.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、両期間を通じた期間 では 35.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。規制以降の期間 では 33.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となり、規制以前の期間 及び期間 と比べると PM2.5 濃度の低減率は、それぞれ 13 %, 4.5 %と計算された。

PM2.5 中の EC 濃度は規制以前の期間 , では、それぞれ 13.3 ± 3.2(変動係数 0.24), 12.9 ± 3.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (変動係数 0.26)とよく一致していたが、規制以降の期間 では 9.0 ± 1.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (変動係数 0.19)となり変動係数も小さく、規制以前の期間 と比べ EC 濃度は低下しているものと考えられた。それに伴い、PM2.5 中の EC の含有率は期間 , から期間 に向け、それぞれ 7.7, 13.9 %の減少として計算された。

PM2.5 中の EC を指標成分として前述の式により概算した DEP 濃度の期間変化を図 3 に示した。DEP 濃度は、規制以前の期間 , で、それぞれ 24.2, 23.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 期間 では 23.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。規制以降の期間 では 16.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、規制以前のほぼ 1 年間となる期間 と比べても濃

度の低下が明らかであった。これらの結果から規制以降の期間 における DEP 濃度の低減率は規制以前の期間 と比較すると 31.6 %と推定された。PM2.5 中への DEP による負荷を見積もると規制以前の期間 では 67 %であったのに対して、規制以降の期間 では 48 %と低くなった。

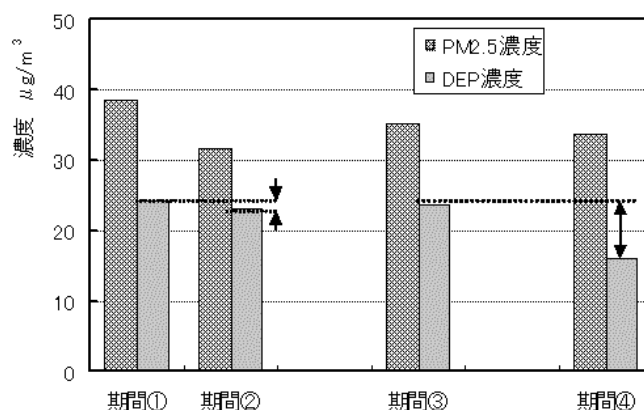


図 3 規制前後期間における DEP 濃度の低減

3.1.3 炭素成分組成の期間変化

微小粒子(PM2.5)中の炭素成分組成は、ディーゼル排気粒子によって受ける影響を反映していると考えられ、一般環境と道路沿道における違いや道路周辺における距離減衰による違いが報告されている⁷⁾⁸⁾。ディーゼル排気粒子の負荷については、EC を指標として評価する方法がとられている⁹⁾。

各測定期間中の全データから、PM2.5 中の全炭素(TC)濃度と EC の関係を求め図 4 に示した。炭素成分間の関係は、よく対応しているものの期間別に違いがみられている。全炭素に占める EC の含有率は回帰直線の傾きによって示されるが、規制以前の期間 , では EC の含有率はそれぞれ 75,79 %であったのに対して、規制以降の期間 では 71 %と低下しており、また測定された濃度

値もほぼ半減していた。こうした炭素成分の組成（質的）変化に関しては、ディーゼル車運行規制における排ガス対策(DPF, 酸化触媒の装着等)の手段の違いに起因することも考えられる。炭素成分の低減効果は DPF 装着では元素状炭素で高く有機炭素で低い、酸化触媒では逆に有機炭素で高く、元素状炭素で低い結果が得られている¹⁰⁾。さらには最新の低減対策である高圧噴射による微細化した「ナノ粒子」の排出などの影響によることも考えられる。現状では、継続して規制効果の状況を把握していくためには微小粒子中の元素状炭素を指標として評価する手法が適切と考えられるため、発生源負荷推定のためのいわゆる発生源データ、ディーゼル排気粒子の炭素成分の組成についても併せて検討していく必要がある。

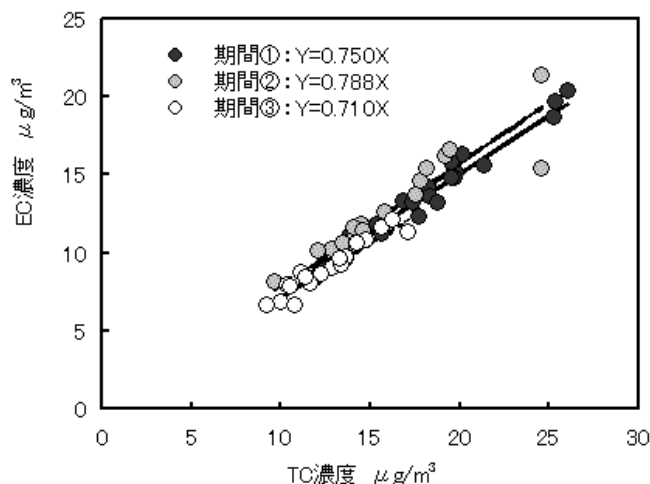


図4 PM2.5中のTCとECの関係

3.2 平塚における微小粒子定点測定

3.2.1 微小粒子濃度の経年変化

一般環境における微小粒子の濃度変動については、平塚で行った定点観測の結果を基にして検討した。図5に、規制開始時期を含む最近4年間(2000～2003年度)の粗大粒子及び微小粒子の濃度変動を示し、表3には、年度別の期間平均(加重平均)濃度を示した。

多くが土壌や海塩粒子といった自然起源に由来すると考えられる粗大粒子はほぼ毎年春先に濃度が上昇し、特に2002年度では著しく高い濃度が観測されているが、黄砂の影響によるものと考えられた(気象庁ホームページによる)。こうした濃度上昇もみられたが、この4年間では年間12～17 μg/m³の低い濃度範囲で経年的には僅かに減少傾向となる推移であった。

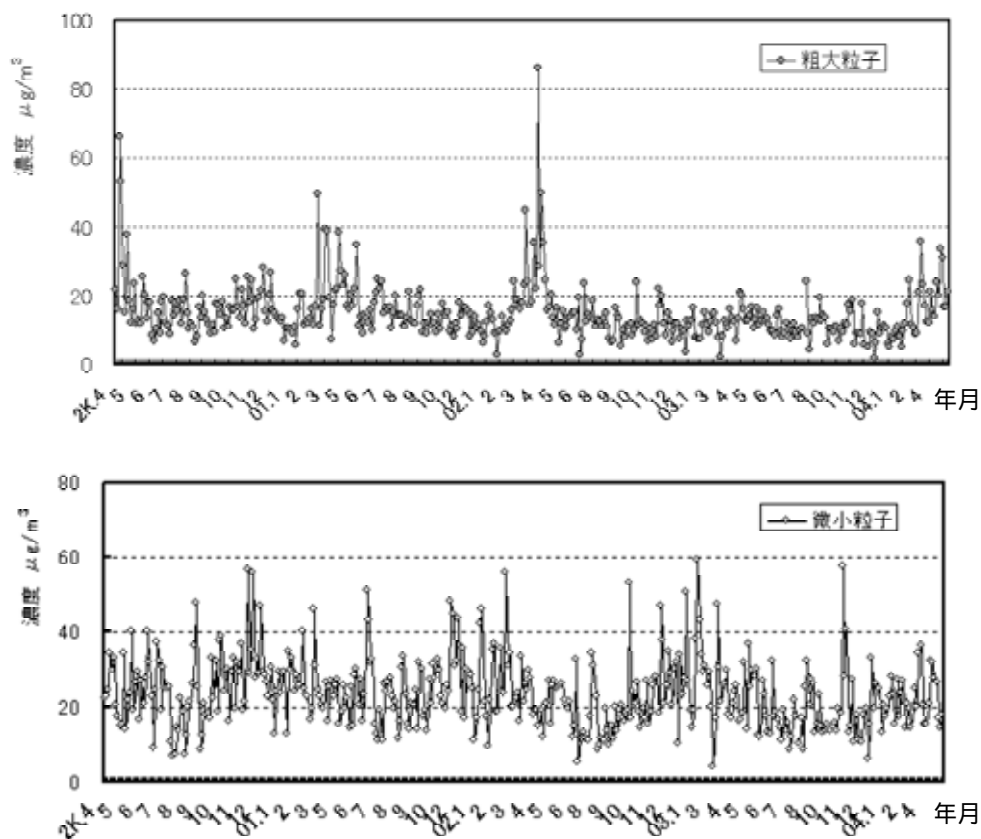


図5 最近4年間における粗大粒子及び微小粒子の濃度変動

表3 微小粒子及び粗大粒子濃度の推移(期間平均濃度 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

年度	2000	2001	2002	2003	
微小粒子(年間)	25.5	24.9	22.6	20.2	
(夏期)	21.4	21.5	16.3	16.8	(7 ~ 8月)
(冬期)	30.8	29.3	26.1	20.6	(11 ~ 12月)
粗大粒子(年間)	16.9	15.7	13.9	12.0	

一方、ディーゼル排気粒子や二次生成粒子などの人為起源由来と関連深い微小粒子は、粗大粒子とは独立した濃度変動を示していた。この4年間の観測濃度のピークは $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度であり、これ以前には $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程の高い濃度が特に冬期に多く観測されていた³⁾のと比較するとピーク濃度の低下が明らかであり、濃度変動は以前のような夏期で低め、冬期で高めとなる明瞭なパターンとはなっていない。2000、2001年度では夏期、冬期及び年間の濃度ともほぼ同程度であった。2002、2003年度では2001年度に比べ夏期の濃度が低下し、また、2003年度の冬期濃度は年間平均濃度に低下していた。微小粒子濃度は2000～2003年度の4年間で年間 $20.2 \sim 25.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度範囲であり、 $5.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度低下がみられ、経年的には減少傾向で推移し、前年度からの低減率は2001年度2.4%、2002年度9.0%、2003年度10%であった。

図6に、2000～2003年度の微小粒子について月平均値による濃度変動を示した。図中には移動平均(5ヵ月)及びその回帰直線を求め示した。この4年間の微小粒子濃度の経年変化は毎年 $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程の低下として示された。

1994～2001年度において微小粒子の年平均濃度と県内の一般環境大気測定局全局におけるSPM年平均値とを比較した結果³⁾では、両者の経年変化はよく対応していた。また、県内一般局の年度別環境基準(長期的評価)達成率とも相互に対応がよく、環境基準の達成率100%に対応する年平均値(目標値)としてSPMが $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、微小粒子が $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と求められた。

規制以前の2002年度では、微小粒子の年平均濃度が $22.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、SPMの年平均値が $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、さらに10月より規制が開始された2003年度では、それぞれ $20.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と低下した。環境基準達成状況を判断するための目安とした目標値に到達してきたが、県内の達成率は2002年度では56.7%、2003年度でも73.8%となり、必ずしも予期された達成率の改善を伴っていない。環境基準達成率については、近年、「環境基準(日平均値 $0.10\text{mg}/\text{m}^3$)を2日以上連続した場

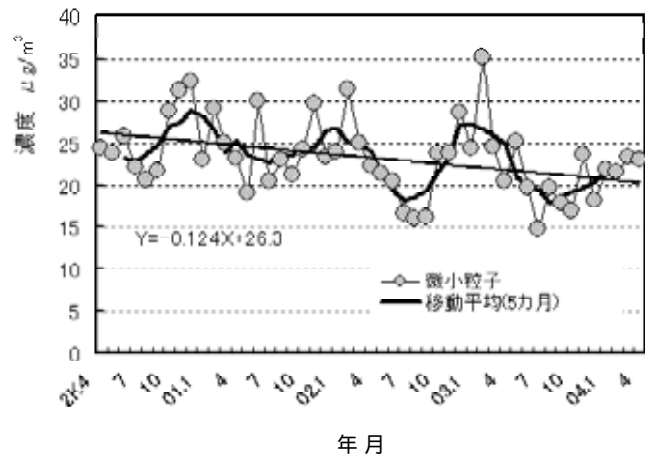


図6 微小粒子濃度の月別変動

合」の適用により非達成となる状況の増えていることがあげられ、日平均値の年間2%除外値あるいは年平均値による改善の予測を難しくしている。

3.2.2 微小粒子濃度の低減状況の推定

ディーゼル車の運行規制開始による一般環境における微小粒子濃度の低減効果について、次の表4のように2通りに規制前後の期間を区分して推定した。

期間区分(1)では規制以前の2002年度と10月以降の6ヵ月間の規制期間を含む2003年度の年平均値の比較であり、微小粒子の濃度差は $2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (低減率10.6%)であった。期間区分(2)では、規制前後の2年間について6ヵ月間ごとに期間を対応させて比較したところ、規制以前の2002年5月～10月と2003年5月～10月の期間では微小粒子の濃度差はみられていない。一方、規制以前の2002年11月～2003年4月の期間と比べ規制以降の2003年11月～2004年4月の期間では $5.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (低減率19.2%)の濃度減少となった。

大気中の微小粒子は、ディーゼル排気粒子と二次生成粒子が主体となっており、平塚における発生源の負荷は共同調査⁷⁾の中で推定され、2001年度夏期(ディーゼル排気粒子33%、二次生成粒子51%)、冬期(40%、36%)、2002年度夏期(ディーゼル排気粒子30%、二次生成粒子49%)、冬期(44%、34%)であった。この結果から平塚の

表4 微小粒子の測定期間別平均濃度

期間区分	測定期間	微小粒子 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	測定期間	微小粒子 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
(1) [規制以前]	02年4月～03年3月	22.6	[規制以降]	03年4月～04年3月	20.2	
(2) [規制以前]	02年5月～10月	19.1	[規制以前]	02年11月～03年4月	27.1	
	[規制以前]	03年5月～10月	19.2	[規制以降]	03年11月～04年4月	21.9

測定期間中における微小粒子中に占めるディーゼル排気粒子と二次生成粒子の割合は平均値である79%程度と考えられる。

そこで、表4の規制前後に生じた微小粒子の濃度差の79%が今回の規制実施に伴うディーゼル排気粒子濃度の低減(二次生成粒子濃度は変わらず)によると仮定した。規制実施によるディーゼル排気粒子濃度の低減率は前述の国設厚木における結果(32%)から、期間区分(1)では2003年度の半年が規制実施期間と考えられるので16%とし、期間区分(2)の規制前後に対応する11月～4月の期間では32%として微小粒子濃度の低減状況を推定した。

例えば、期間区分(1)では、規制前後で低減した微小粒子濃度の79% ($(22.6 - 20.2) \times 0.79 = 1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)は、ディーゼル排気粒子濃度が16%低減したことによると考え、規制以前のディーゼル排気粒子濃度を($1.9 / 0.16 = 11.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)と算出した。二次生成粒子濃度は($22.6 \times 0.79 - 11.9 = 6.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$)及びその他の濃度は($22.6 \times (1 - 0.79) = 4.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$)と算出した。一方、規制以降のディーゼル排気粒子濃度は($11.9 - 1.9 = 10.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、二次生成粒子濃度は規制前後で変わらないと仮定し $6.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、その他の濃度は($20.2 \times (1 - 0.79) = 4.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$)と算出した。このようにして算出した推定結果を表5に示した。なお、その他は廃棄物焼却や重油燃焼等の発生源からの負荷としている。

規制区分(2)の場合では、規制以前となる2年間、2002、2003年の5月～10月の期間で濃度が低く濃度差のなかったことから、規制前後の2002、2003年11月～4月の期間における濃度差が低減効果を

表しているものと思われた。ディーゼル排気粒子濃度は規制以前の2002年11月～2003年4月の期間から規制以降の2003年11月～2004年4月の期間にかけて、 $12.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ から $8.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ への低減が推定された。また、微小粒子への負荷は47%から39%と低下しており、二次生成粒子と拮抗している。なお、規制以降の2003年11月～2004年4月の期間のディーゼル排気粒子濃度は国設厚木では表2に示したように $16.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、平塚のほぼ倍の濃度に相当していた。

4 まとめ

首都圏一斉により開始されたディーゼル車の運行規制(2003年10月)から半年を過ぎた時期に、県内の道路沿道及び一般環境における規制前後期間の微小粒子(PM2.5)濃度の変化から規制の実施に伴う低減効果について検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

1) 道路沿道の国設厚木における2002年9月～2004年4月の規制前後期間のPM2.5濃度は $35.5 \pm 9.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。PM2.5中の有機炭素濃度は $3.9 \pm 1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、元素状炭素濃度は $12.0 \pm 3.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、元素状炭素濃度の期間変動は有機炭素濃度と比べ、3倍程高い濃度で推移していた。

2) 国設厚木におけるPM2.5濃度は規制以前の2002年9月～2003年10月で $35.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、規制以降の2003年11月～2004年4月で $33.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。PM2.5中の元素状炭素濃度は、規制以前の2002年9月～2003年10月では $13.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であったが、規制以降の2003年11月～2004年4月では $9.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、規制以降の期間で低下していると考えられた。

表5 規制前後期間における微小粒子組成の内訳

期間区分	測定期間	ディーゼル排気粒子 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	二次生成粒子 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	その他 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
(1)	[規制以前] 02年4月～03年3月	11.9	6.0	4.7
	[規制以降] 03年4月～04年3月	10.0	6.0	4.2
(2)	[規制以前] 02年11月～03年4月	12.8	8.6	5.7
	[規制以降] 03年11月～04年4月	8.7	8.6	4.6

3) 国設厚木における PM2.5 中の元素状炭素を指標成分として概算したディーゼル排気粒子濃度は、規制以前のほぼ 1 年間となる 2002 年 9 月～2003 年 10 月では $23.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であったが、規制以降となる 2003 年 11 月～2004 年 4 月では $16.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と明らかな濃度低下が認められ、規制の実施に伴うディーゼル排気粒子の低減率が 31.6 % と推定された。

4) 一般環境の平塚における微小粒子濃度は規制開始時期を含む最近の 4 年間(2000～2003 年度)では、年間 $20.2 \sim 25.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度範囲であり、 $5.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の低下がみられ、経年的には減少傾向で推移しており、前年度からの低減率は 2001 年度 2.4 %、2002 年度 9.0 %、2003 年度 10 % であった。

5) 平塚における 2 年間の微小粒子濃度を 6 ヶ月ごとに期間を対応させて比較すると、規制以前の 2002、2003 年の 5～10 月では濃度差はみられていない。一方、規制以前の 2002 年 11 月～2003 年 4 月と比べ、規制以降の 2003 年 11 月～2004 年 4 月では $5.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (低減率 19.2 %) の濃度減少となった。

6) 現状ではディーゼル排気粒子の負荷については、元素状炭素を指標とした評価が適切と考えられ、継続して規制効果を明らかにしていくためには、微小粒子(PM2.5)中の炭素成分組成の把握と共に、最近のディーゼル車の排ガス対策等により成分組成の変化の考えられる、いわゆる発生源データについてもあわせて検討していく必要がある。

7) ディーゼル車の運行規制から半年を過ぎた時期における低減状況の検討から、道路沿道における観測では、ディーゼル排気粒子の低減は 31.6 % と推定され、一方、一般環境では微小粒子濃度の低減が 19.2 % と推定されるなど、SPM の低減、環境基準への適合に向け、今後の低減対策の着実な展開が望まれる。

参考文献

- 1) 神奈川県：神奈川の大気汚染(2000～2003)
- 2) 神奈川県臨海地区大気汚染協議会：神奈川県臨海地区大気汚染調査報告書(平成 12 年度)
- 3) 小山恒人：神奈川県環境科学センタ - 研究報告,25,93-98(2002)
- 4) W.E.Wilson：The U.S Environmental Protection Agency Promulgates New Standards For Fine Particles, 大気環境学会,33(1998)
- 5) フジテクノシステム：地球環境調査計測辞典, 第 2 巻陸域編(2003)
- 6) 浮遊粒子状物質対策検討会(環境庁監修)：浮遊粒子状物質汚染予測マニュアル,東洋館出版社(1997)
- 7) 関東地方環境対策推進本部：平成 13,14 年度浮遊粒子状物質合同調査報告書(2003,2004)
- 8) 神奈川県公害防止推進協議会：浮遊粒子状物質対策調査事業報告書(PM2.5 に係る実態調査)(2004)
- 9) 小山恒人：環境管理,37,24-28(2001)
- 10) 小山恒人, 武田麻由子, 齋藤剛：第 45 回大気環境学会年会講演要旨集(2004)