

ディーゼル車走行規制と大気汚染の改善効果について

石井康一郎* 月川憲次**

東京都は、大気汚染を改善するため、首都圏の八都府市と連携し2003年10月から粒子状物質(PM)排出基準を満たさないディーゼル車の都内での運行を条例により禁止した。その効果を把握するため2003年11月に、自動車専用トンネル内で微小粒子中の元素状炭素(EC)濃度を調査し、トンネル内を走行するディーゼル車のEC排出係数を求めたところ、2001年と比較して0.092g/台/kmから0.047g/台/kmへと49%低下しており、この規制による排出量の低減効果と考えられた。

Improvement in Air Quality by the Diesel Vehicle Regulation Implemented in Tokyo Metropolitan Area

Koichiro ISHII* Kenji TSUKIGAWA**

In order to improve the severe air pollution, The Tokyo Metropolitan Government, in cooperation with the 7 prefectures and major cities in the greater Metropolitan area, has banned the travel of the diesels since October 2003 that fail to meet the stringent particulate matter (PM) standards set in the Ordinance. The elemental carbon (EC) concentrations of the fine particulate in a tunnel exclusive for automobile vehicles were measured in November to estimate the effect of the present regulation. The EC emission factor of the diesels that traveled in the tunnel was calculated to be 0.092g/vehicle/km from the measurements. The factor decreased by 49% from 0.047g/vehicle/km calculated in 2001 and we concluded the decrease is a result of the emission control by the regulation.

1. はじめに

東京都の大気汚染は深刻で、一刻も猶予のならない状況にある。大気汚染の主要な発生源は自動車排出ガスであり、特に、ディーゼル車から排出される粒子状物質(DEP)は、発がん性や気管支ぜん息、

花粉症などとの関連が指摘されており、その削減は、都民の生命と健康を守るため早急に解決すべき課題である。

このため、都は首都圏の八都府市と連携し、2003年10月からディーゼル車走行規制を実施した。規制開始から6ヶ月が経過したが、事業者などの理解と協力により、違反率は3%を下回っており、また、大気汚染の大幅な改善が確認されるなど、首都圏自治体の連携による成果を目に見える形で示すことができた。

そこで、本稿では、ディーゼル車規制と大気汚染の改善効果などについて紹介する。

* 東京都環境科学研究所基盤研究部長
Director for Basic Research Division,
Tokyo Metropolitan Research Institute for
Environmental Protection

** 東京都環境局自動車公害対策部参事
Senior Director for Transport Demand Management,
Automotive Pollution Control Division, Bureau of
Environmental, Tokyo Metropolitan Government
原稿受理 2004年4月16日

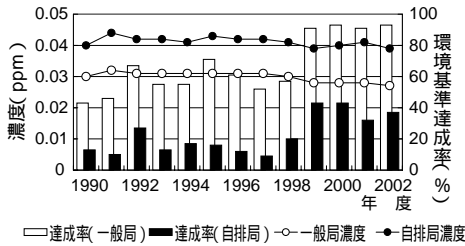
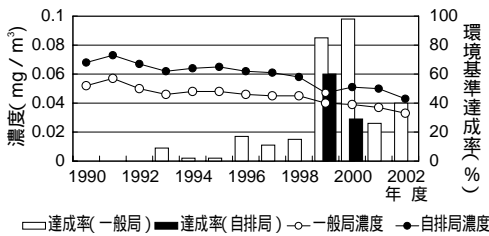
Fig. 1 NO₂年平均濃度と環境基準達成率の推移

Fig. 2 SPM年平均濃度と環境基準達成率の推移

2. ディーゼル車規制の経緯

2-1 東京都の大気汚染の状況

東京都内の大気汚染状況は、二酸化硫黄(SO₂)や一酸化炭素(CO)については、大幅に改善し、環境基準を達成しているが、二酸化窒素(NO₂)、浮遊粒子状物質(SPM)については、改善が進まず、依然として厳しい状況にある。

NO₂及びSPMによる大気汚染の現状は次のとおりである。

1) NO₂の状況

年平均濃度の経年変化は、一般環境大気測定局(一般局)及び自動車排出ガス測定局(自排局)ともに、横ばいが続いている。環境基準達成率は一般局では、1999年度から4ヵ年連続して90%以上であるが、自排局では、4割前後に止まっている(Fig.1)。

2) SPMの状況

年平均濃度の経年変化をみると、一般局及び自排局ともに、ここ数年低下傾向にある。環境基準の達成率は、1999、2000年度に改善がみられたが、2001、2002年度には低下し、自排局では都内35測定局全てで非達成であった(Fig.2)。

2-2 国の規制の遅れが根本的な原因

こうした大気汚染の根本的な原因は、国の自動車排出ガス規制の遅れにある。

ディーゼル車から排出されるPMに対する国の規

Table 1 環境確保条例による規制の概要

適用開始日	2003年10月1日から
排出規制物質	粒子状物質(PM)
対象地域	都内全域(島しょを除く)
規制内容	PM排出基準に適合しないディーゼル車の運行禁止
対象車種	貨物自動車(トラック・バン)、乗合自動車(バス)、特殊用途自動車(冷凍冷蔵車等)ただし乗用車等を除く
猶予期間	初度登録から7年間
指定装置	知事が指定するPM減少装置の装着により、条例規制に適合するものとみなす
罰則等	運行責任者に運行禁止命令 命令に従わない場合は、氏名公表及び50万円以下の罰金

制は、米国に6年、欧州に2年遅れた1994年(重量車)から開始されたが、新たに設けられた規制値についても、欧米に比べて約2倍以上緩やかなものであった。このため、都内のディーゼル車(トラック、バス)の約3割が規制のなかった時期に製造された「元年規制」以前の車となっている(2002年度末現在)。深刻な大気汚染を一刻も早く改善するためには、こうした使用過程車に対する対策が急務である。

2-3 環境確保条例による使用過程車対策の実施

そこで都は、「PMなどの排出量の多いディーゼル車は、今のままでは東京での利用は適さない」として、1999年8月に「ディーゼル車NO作戦」を開始した。その後、東京都環境審議会への諮問、答申を経て、東京都公害防止条例を全面改正し、2000年12月「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例」(環境確保条例)を制定した。この条例に基づき、2003年10月からPM排出基準を満たさないディーゼル車の都内での運行を禁止するという世界でも例を見ない使用過程車の走行規制を実施した。

条例の最大の特徴は、国の「自動車NOx・PM法」(「自動車から排出される窒素酸化物及び粒子状物質の特定地域における総量削減等に関する特別措置法」,2001年6月制定)の規制対象が、対策地域内で登録された車両のみであるのに対して、都内の環境改善には流入車対策が不可欠であることから、全国からの流入車を規制対象にしたことである(Table 1)。

2-4 首都圏の連携でディーゼル車規制の実施

東京都に続いて、首都圏の埼玉県、千葉県、神奈川県(三県)においても、ほぼ同様の条例が制定された。一都三県と、横浜市、川崎市、千葉市の七都県市(2003年4月からさいたま市を加え八都県市)は、

Table 2 「違反ディーゼル車一掃作戦」とその展開状況

	展開状況
【作戦1】 ディーゼル車の ユーザーを動かす	<ul style="list-style-type: none"> ・20台以上使用の約4,000社全社に立入指導を実施 ・都内の全ディーゼル車所有者に対して、ダイレクトメールで、規制内容を周知 ・都内各地で、地域説明会、個別相談会、主要中小企業団体等への説明会を約300回実施。また、11中央市場、24都内地方市場で説明会実施 ・総合相談窓口、休日等における臨時相談窓口で、都内・全国からの相談に対応（電話対応・来庁者件数、1日平均約400件）
【作戦2】 荷主側から働きかける	<ul style="list-style-type: none"> ・全国100の荷主等事業者団体に、個別訪問要請。会報誌・チラシ等による会員事業者への周知。24団体には説明会を実施 ・2003年4月から全庁的に配送・工事等で「規制適合車の使用」を実施。全ての都監理団体・区市町村について、10月以降の適合車使用を契約仕様書等に明記する意向を確認。国の各府省庁へも取組を要請 ・東証1部・2部上場企業（約2,000社）にアンケート調査を実施し、規制への対応・協力を要請。また、企業の取組を募集し、環境局HPにて紹介
【作戦3】 整備事業者のチェックで 早める	<ul style="list-style-type: none"> ・(独)東京都自動車整備振興会と連携し、各支部の会員事業者への規制に係る講習会を実施。車両の点検・整備時にユーザーへの働きかけを展開 ・(独)日本自動車整備振興会と連携し、全国の会員事業者への規制内容の周知及びPM減少装置装着代理店募集会(全国8ブロックで9回実施、参加事業者数約1,500)を開催し、全国的な装着体制を拡充
【作戦4】 自動車メーカーや 装置メーカーと 共同して広める	<ul style="list-style-type: none"> ・自動車メーカー(7社)に対し、社会的責任を踏まえ、事業者の負担軽減に配慮した買換え促進を図るよう要請 ・PM減少装置の供給・装着体制の整備等について個別に装置メーカーを指導 ・DPF15社20型式、酸化触媒9社31型式まで指定装置を拡充(2003年9月4日指定現在)
【作戦5】 石油メーカーに協力を 求める	<ul style="list-style-type: none"> ・PM減少装置の装着促進のため、石油連盟に低硫黄軽油の全国供給(2003.10)のさらなる前倒しを要請し、2003年4月からの全国供給が実現
【作戦6】 首都圏全体で取り組む	<ul style="list-style-type: none"> ・七都県市(現在は八都県市)首脳会議で「ディーゼル車対策推進本部」を設置(2002.9)し、首都圏の連携を強化 ・国への自動車排出ガス規制強化・支援策充実等、全国の自治体への事業者支援等、自動車メーカーや関係業界団体等への取組み協力などを共同で要請 ・八都県市規制開始100日前・50日前広報イベントの開催、横断幕・新聞・ラジオ・ポスター・チラシ等による周知など、各種周知活動を共同で展開
【作戦7】 監視・取締りを徹底する	<ul style="list-style-type: none"> ・市場・路上・工事現場等でビデオカメラ等を活用した模擬取締りを実施 ・規制開始後における取締りに加え、違反車両を使わせない取組を実施

首都圏のディーゼル車規制の開始を1年後に控え、七都県市首脳会議において、「ディーゼル車対策推進本部」を設置し、相互に連携を強化し、規制対応の促進を図った。このように首都圏3,400万人を対象にした八都県市の連帯した行動、ディーゼル車規制は、地方主導の先駆的環境行政のモデルともいえるものである。

3. 条例規制への対応の進捗

3-1 国の法規制の適用延期により規制対象車 が大幅に増加

国は「自動車NOx・PM法」の施行に当たって、当初、都条例とほぼ同時期に規制を適用する考えを示していた。しかし、PMの早期かつ大幅な改善が喫緊の課題にもかかわらず、最終的には最大で2年半適用を延期した。その結果、法規制に先行して都条例の規制が適用されるディーゼル車が大幅に増加し、都内登録だけでも202,000台(2002年3月末時点での推計)の車両が2003年10月の規制対象となった。

3-2 違反ディーゼル車一掃作戦を展開

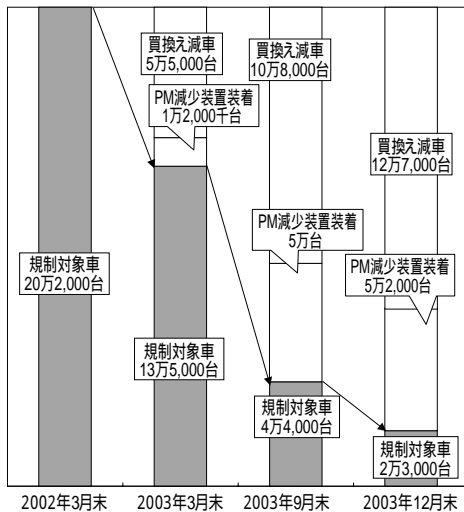
規制対象ディーゼル車を使用する事業者は、条例

とNOx・PM法それぞれの規制適用日を把握し、車両の使用期間や経営動向を勘案しながら、CNG車、LPG車、ガソリン車等の非ディーゼル車への代替、最新規制適合ディーゼル車への更新、都知事が指定するPM減少装置(DPFまたは酸化触媒)の装着のいずれかの対応が必要となった。

都は、買換えや装置装着等の対応を促進するため、規制開始1年前の2002年9月から、「違反ディーゼル車一掃作戦」として、多方面から取り組んだ。具体的には、事業者への直接の働きかけとして、事業所への立入指導、ダイレクトメールの送付、地域別・事業者団体別の説明会、都庁内の総合相談窓口の設置等を行った。また、建設業、製造業等の全国団体や東京証券取引所一部・二部上場企業等の荷主に働きかけるとともに、自動車整備業界、自動車メーカー及びPM減少装置メーカーに協力を要請するなど、広く民間を巻き込んだ取組を展開した(Table 2)。

3-3 補助、融資あっせんにより事業者を支援

厳しい経営環境の中で対応する事業者に対し、都は、経済的支援策として、PM減少装置の装着補助、新車への買換えのための融資あっせんを実施した。



注) 各時点における進捗率は、2003年3月末は33%、2003年9月末は78% (推計)、2003年12月末は88% (推計) である。

Fig. 3 規制対象ディーゼル車 (都内登録車) の対応状況

特に、PM減少装置の装着について、補助の申請実績をみると、2002年度が9,000台の予算規模に対して約13,000台、さらに2003年度は28,200台の予算規模に対し、4月から9月まででこれを大幅に上回る約38,000台に達した。

また、一都三県を含む全国の17都府県でPM減少装置の装着補助を実施し、八都府県だけでも、9月末までに約91,000台の補助申請があるなど、10月1日の規制開始に向け、事業者の対応は着実に進んだ。

3-4 規制開始までに規制対象車の8割が条例対応

これらの結果、規制開始までに、都内登録の規制対象車両202,000台のうち、約8割が、2003年末までには約9割が対応を図ったと推計している (Fig. 3)。

事業者の対応が進んだことにより、都内における自動車からのPM排出量は、1997年には約4,200t/年であったが、2003年9月末には約1,900t/年と半分以下に減少していることになる (500ml入りペットボトルに換算すると、1日当たり約12万本分から約5万本分に)。

3-5 取締り状況

規制開始日の2003年10月1日、午前0時を期して中央卸売市場築地市場への立入りを行ったのを皮切りに、警視庁と合同した路上での取締り、トラックターミナルや埠頭等の物流拠点での取締り、ビデオカメラによる車両ナンバーの撮影など、厳正な取締

りを実施している。2004年3月末までの路上及び物流拠点等での取締り実績をみると、都内走行車両のうち違反車の割合は、都外からの流入車も含めて、2.7%に止まる。

4. 大気汚染の改善効果

4-1 改善効果の把握について

今回の規制によりDEPの排出量が削減され、長期的には常時監視されているSPMの濃度が低下していく。

しかしながら、SPMは発生源が多岐にわたり二次生成もあるため、DEPのSPMへの濃度寄与は、道路沿道においても高くても50%程度である¹⁾。そのため、排出量が仮に規制前に比べ50%低減し、他の発生源に変化が無いとしても、風などの気象条件による濃度変動が無視できず、短期間のデータで規制実施の効果をSPMの濃度低下として確実に捉えることは困難である。

DEPは、SPMのうち動力学直径 $2.5\mu\text{m}$ 以下の微小粒子であり、成分としては元素状炭素 (EC) や有機炭素が大部分である²⁾。微小粒子中のECはディーゼル車以外からの発生量は少ないため、自動車排出ガスの濃度寄与の大きい道路沿道では、ディーゼル車走行規制対策後の濃度低下が最も大きい成分であると考えられる。

また、大気汚染物質の濃度は風など気象条件の影響を受けて大きく変化するため、道路沿道であっても、短期間の調査で規制の効果を確認しようとする場合、風の影響を受けないような方法で調査を計画することが必要である。

4-2 効果検証の考え方

自動車専用トンネル内部は外界の気象の影響を受けずに直接自動車排出ガス濃度を測定することができる利点があるため、しばしば自動車起源化合物の調査に用いられている³⁻⁵⁾。

トンネル内の大気汚染物質の濃度は、進入方向に通気していれば入口より濃度が高くなり、その差はトンネル内を採取地点まで走行した自動車から排出された物質の濃度となるので、この濃度差に通気量を乗ずれば、排出量を求めることができる。

さらに、通過したディーゼル車の台数で排出量を割ることによって、1台あたりの排出係数 (EF) を求めることができる。この数字を、規制前の係数と比較することにより対策効果を評価することができる。シャーシダイナモメーターによって求めた排出

係数が特定の自動車の排出係数を精度よく測定したものであるのに対して、この調査手法で得られる排出係数は、200～800台のディーゼル車の平均的な排出係数を求めていることになり、規制年次が異なり、整備状況も異なる実走行車の道路上での排出実態を反映するものと考えられる。

東京都環境科学研究所では、国立環境研究所との共同研究として2001年3月に今回の調査と同様な調査⁶⁾を実施しており、この時期はディーゼル車走行規制導入前であった。このため、今回得られたデータと前回のデータとの比較を行うことにより、ディーゼル車走行規制による排出量削減効果を定量的に明らかにすることとした。

ここでは、調査結果のうち今回の規制で最も低減効果の大きいと考えられる微小粒子中のECについて報告する。

5. 調査

5-1 調査地点

調査は2003年11月9日(日)及び10日(月)に、環状八号線井荻トンネル内において行った。調査に際しては、Fig.4に示すようにトンネルの入口から200m地点(P2)及び中間地点付近の換気用排出ダクト内(P1)に測定器を設置して、試料採取及び濃度測定を行った。なお、比較対照とした調査は、2001年3月11日(日)及び12日(月)に実施したものである。

5-2 トンネルの概要

井荻トンネルは、一般道路に設けられた片側2車線の自動車専用のトンネルで、延長は約1.26km、片側断面積約40m²の大きさである。トンネルはほぼ南北の方向に位置しており、北方向(外回り)の路線と南方向(内回り)の路線は隔壁で仕切られ、空気の行き来はない。また、トンネルの換気システムは南北で独立しており、それぞれトンネル内上部に設置された2ヶ所のジェットファンおよび出口近くに設けられた排風機によって換気されている。排風機の排風量は可変で、トンネル内の汚染物質濃度をあるレベル以下にするように運転される。

トンネル内には3ヶ所に超音波風向風速計が設置されており、このデータにより断面風速が計算され

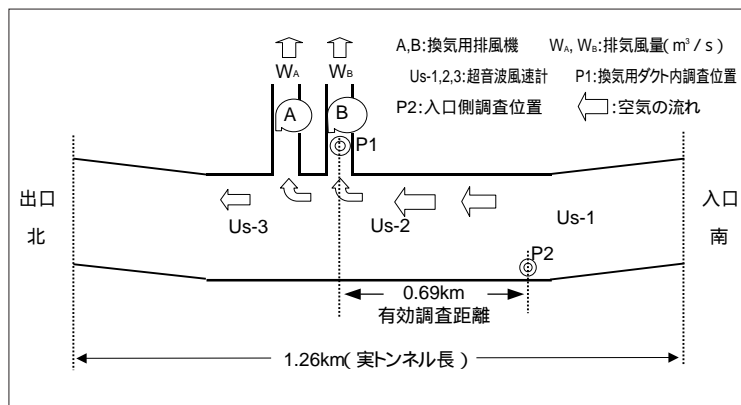


Fig. 4 トンネル概要

ている。

交通量は、超音波方式により車種別（大型車、小型貨物車、小型乗用車）に計測されている。調査に使用した外回り線の平均的な日交通量は約24,000台である。

5-3 試料採取

排風機風量の変化が少なく、通気量の安定する午前10時から午後6時の間に、2時間毎に粉じんを捕集し、日曜日4サンプル、月曜日3サンプルを得た。

アンダーセンハイボリウムサンプラーを使用して、粒径別に粉じんをサンプリングした。粒径区分は、巨大粒子(>11μm)、粗大粒子(2.1μm < < 11μm)及び微小粒子(<2.1μm)の3区分とし、各区分に直径80mmの石英ろ紙を装着して試料を採取した。採取流速は28.3ℓ/minとした。

5-4 ECの分析条件

直径80mmの石英ろ紙上に採取した微小粒子のサンプルから1/4を切り出し、試料を電気炉に入れ、酸素存在下室素気流中で加熱し、350℃までの昇温・保持時間(5分間)内に生じたCO₂量から計算したC量を有機炭素とした。その後、さらに900℃までの昇温・保持時間(5分間)内に生じたCO₂量から計算したC量を元素炭素とした。CO₂濃度は赤外分光法により測定し、装置は理学電気㈱のRF-8900システムを使用した。

6. 結果及び考察

6-1 交通量

今回及び前回の各調査日における粉じん採取時間帯の車種別交通量及び大型車混入率の時間変化をFig.5に示す。前回も含め両日とも総交通量は2時間あたり2,500台前後であり、この時間帯としては

車種別も含め平均的な交通量の日であった。前回同様今回も、大型車の走行割合が日曜日は5%程度と低く、月曜日は30%程度と高かった。このように、車種別走行特性の異なる日時を選択することによって、複数の条件下でディーゼル車走行量とEC排出量との関係を検証するための調査が可能となった。

6-2 トンネル内通気量

トンネル内へは、排風機の吸引及び走行する車に伴って入口から外気が流入する。排気は、換気塔からの排出と、車の走行に伴うトンネル出口からの流出とがある。なお、排風機の吸引風量が大きくなると、出口から外気が吸引されることもあるが、本調査の時間ではUs 3の風向は常に出口に向いており、トンネル出口から外気の流入はなかった。

トンネル内を通気する風量($W_T: m^3/h$)は、換気塔A,Bの排気風量($W_A, W_B: m^3/s$)と測定点(Us 3)における空気の線速度($V_3: m/s$)と断面積($S: 40m^2$)との積の和として次式で求めることができる。

$$W_T = \{ (W_A + W_B) + V_3 \times S \} \times 3,600$$

この計算値は、トンネル入口の流入空気量($V_1 \times 40 \times 3600$; V_1 はUs 1における空気の線速度(m/s))とほぼバランスがとれており、出口からの外気の吸い込みがないことを示しており、排出量を求める方法として適当であると考えられた。

6-3 トンネル内濃度

トンネル内排風機ダクト(P1)及び入口(P2)にお

けるEC濃度の時間変化をFig. 6に示した。トンネル内部の濃度は、入口の濃度より十分に高く、この差をとることによってトンネル内で排出された物質濃度を求めることができると考えられた。またEC濃度レベルは前回と比べ今回は低く、特に、トンネル内は明らかに低いことが分かる。

6-4 排出量

トンネル内で排出されるEC量(Q_{EC})は、6-3で求めた濃度差にそのときの通気量を乗ずることによって次式から求めることができる。

$$Q_{EC} = (C_{ex} - C_{in}) \times W_T$$

2時間ごとに求めた Q_{EC} を大型車混入率に対してプロットし、Fig. 7に示した。 Q_{EC} は大型車の走行が多いときほど高い値を示しており、各時間帯の交通量に大差がないことから、EC濃度は大型車の寄与が大きい排出物質であることが分かる。

6-5 排出係数(EF)

6-4で求めた2時間あたりの排出量 Q_{EC} を、ディーゼル車の走行台数及び調査区間長0.69kmで除すことにより、全ディーゼル車の平均排出係数として求めた。なお、ディーゼル車の台数は、大型車台数に、小型貨物車4台を大型車1台に換算した走行台数を加えた台数とした。小型貨物車の大型車への換算方法は、当研究所での試験実績では、小型貨物車の等価慣性重量が大型貨物車の4分の1であることによる。

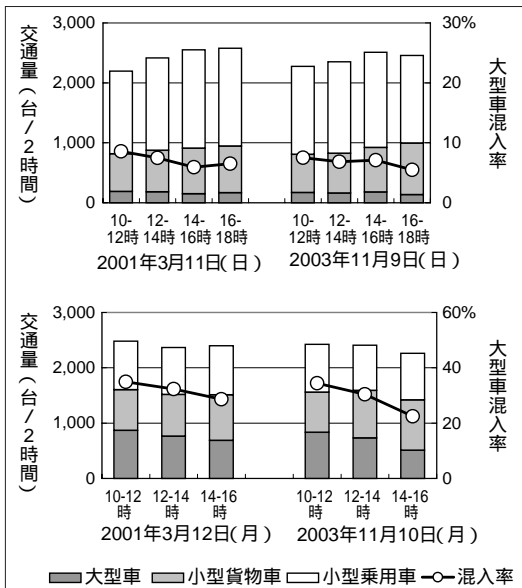


Fig. 5 車種別交通量と大型車混入率の関係

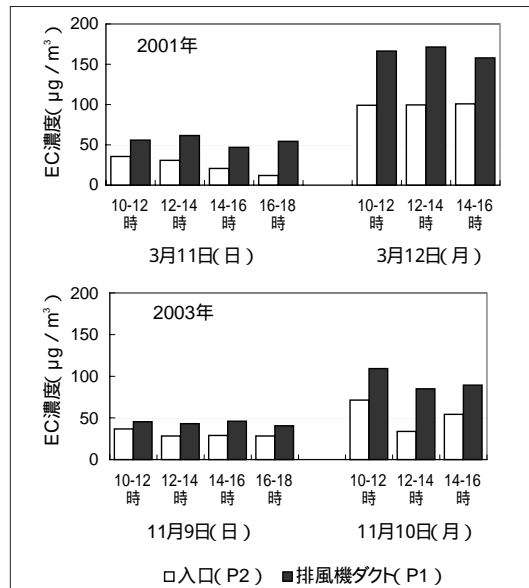


Fig. 6 トンネル入口、排風機ダクトにおけるEC濃度

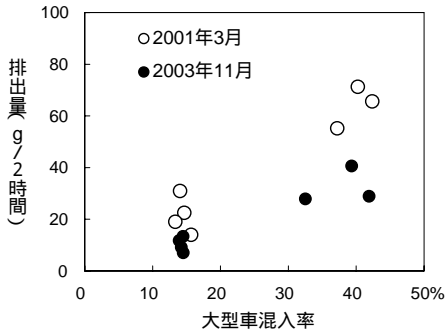


Fig. 7 EC排出量と大型車混入率との関係

Table 3 排出係数の比較 単位:(g/台/km)

	データ数	平均値	標準偏差	最高値	最低値
2001年3月	7	0.092	0.019	0.124	0.059
2003年11月	7	0.047	0.010	0.062	0.031

6-6 排出係数の変化から推定した対策効果

前回と今回の調査から得られた排出係数の平均値、最大値及び最小値をTable 3に示した。平均値から、排出係数の削減率(D)を次式により求めたところ、49%となった。

$$D = (EF_{2001} - EF_{2003}) / EF_{2001}$$

この数値は、東京都環境局が、本規制の効果を折り込んで排出量変化を予測したグラフ⁷⁾(DEP都内排出量「2000年度:約3,200t」「2003年度:約1,900t」)から求めた低減率の40%と極めて近い数値となる。

7. おわりに

2003年10月から首都圏自治体との連携で開始されたディーゼル車走行規制の経緯、意義及び実施状況を明らかにすると共に、規制による大気環境の改善効果について調査したところ、排出係数として49%の削減率であることを示した。

この結果は東京都の予測した排出量の低減率とほぼ同程度であることを明らかにした。

ディーゼル車走行規制については、今後も、事業者の協力を得て規制への対応を進めるとともに全国からの流入車への重点的な取締りを行うなど、着実な推進を図り、大気汚染の早期改善を目指していく。

また、大気汚染の改善効果については、規制開始後1ヶ月の1ヶ所におけるものであることから、年間を通じた環境濃度の推移を踏まえ、対策の効果を評価していく。

参考文献

- 1) 東京都「ディーゼル車排出ガスと花粉症の関連に関する調査委員会報告書」『別冊ディーゼル車排出ガス関連環境調査』pp 32-35, 2003年
- 2) 横田久司「ディーゼル車からのPM排出特性とD_{PF}の開発研究」『空気清浄』38(3)pp 24-29, 2000年
- 3) E. Weingratner et al: Aerosol Emission in a Road Tunnel, Atmos. Environ., 31(3), pp. 451-462, 1997
- 4) 石井康一郎他「自動車トンネルを利用した排出ガス調査()」『東京都環境科学研究所年報1999』pp 40-45
- 5) S. Hausberger et al: Emission factors for heavy duty vehicles and validation by tunnel measurements, Atmos. Environ., 37, pp 5237-5245, 2003
- 6) 星純也他「自動車トンネルを利用した排出ガス調査() 一般道トンネルを利用した調査結果」『東京都環境科学研究所年報2002』pp. 12-19
- 7) 東京都『東京都自動車排出窒素酸化物及び自動車排出粒子状物質総量削減計画』P. 6, 2004年