

自動車トンネルを利用した排出ガス調査（II） —粒子状物質中の金属および炭素成分を中心として—

石井康一郎 井原真理子* 星 純也 中村 健** 泉川碩雄***
桜井健郎**** 森口祐一**** 田辺 潔**** 若松伸司****
(*非常勤研究員, **現環境改善部, ***元主任研究員,
****国立環境研究所)

要 旨

道路を走行する自動車から排出され、またその走行に伴って発生する巻き上げ粉じんなどの粒子状物質の排出量に関して検討することを目的として、自動車専用トンネルを利用した排出実態調査を行った。トンネルから排気される空气中およびトンネルへの送気空気中の粒子状物質を3つの粒径別に捕集し、それらの濃度と送気風量とから粒径別の排出量を求め、計測した交通量との関係から大型車・小型車別の排出係数(EF)を得た。

微小粒子 ($D_p < 2.1 \mu m$) : 大型車 $0.41 g/km$, 小型車 $0.04 g/km$

粗大粒子 ($2.1 < D_p < 10 \mu m$) : 大型車 $0.17 g/km$, 小型車 $0.03 g/km$

巨大粒子 ($D_p > 10 \mu m$) : 大型車 $0.09 g/km$, 小型車 $0.04 g/km$

D_p : Aerodynamic diameter

さらに、捕集した粒径別サンプル中の炭素成分および金属成分を分析し、粒子状物質と同様の方法で、各成分の粒径別排出量を求め、特に微小粒子中の主要な成分の排出係数や元素比率を求めた。その結果、排出微小粒子成分の中では元素状炭素の割合が最も高いことが明らかになり、大型車の元素状炭素の排出係数は $0.22 g/km$ 、排出元素比率は 0.55 と推定された。

キーワード：自動車排出ガス、粒子状物質排出係数、微小粒子、元素状炭素、トンネル排気ガス、金属成分

1 はじめに

東京都における浮遊粒子状物質(SPM)に係る大気環境は、ここ7年近く年平均値ベースで横ばいから緩やかな減少で推移してきた。平成11年度には例年以上の濃度低下がみられ、環境基準の達成率も自動車排出ガス測定局で60%、一般大気測定局で85%と大幅に上昇した。しかし、かなりの測定局では環境基準が未達成であること、この濃度低下は気象等の一時的な要因によるところが大きいとされた¹⁾ことから、現在新たな東京都浮遊粒子状物質削減計画の策定に向けた作業が進められている。

都における環境中のSPM濃度に対する自動車の寄与率は大きく²⁾、早急な排出ガス対策技術の確立と削減計画策定のための正確な発生源データが必要とされている。

自動車専用トンネルを利用して自動車排出ガスを調査する手法は^{3~6)}、道路沿道などの野外の調査に比べて気象条件の影響を受けることが少ない、実際に走行している車の平均的な排出ガスを調査できる点や排気管以外から発生する大気汚染物質の調査もできる点等で優れている。本方法とシャーシダイナモーターを用いた台上試験方法とを相互に補完し用いることにより正確な排出実態が把握できることと考えられる。

特に、粒子状物質の場合、道路沿道調査^{7,8)}やトンネル内^{5,6,9~11)}の調査により巻き上げ粉じんやタイヤ磨耗等の自動車の走行に伴い発生する粒子を含めた元素組成の特徴付けがなされているが、粉じん発生量についてまで検討した例は少ない。

1998年に実施された本調査は、自動車からの大気汚染物質の排出量を求めるために必要な、トンネル内の濃度と共に、トンネル内へ送気される空気流量とその中の汚染物質濃度を測定している。

本稿では前報¹²⁾で報告しなかった粒径別に捕集した粒子状物質およびその中の炭素成分について、発生起源別の特徴を踏まえて解析し、当面の課題となっている排気管からの排出量や走行に伴う発生量に関する検討をおこなった。次に、各粒径の金属成分を分析し、レセプターデルへの反映を目的として、自動車から排出される成分の特徴付けを試みた。

2 実験

2.1 調査トンネルの概要

トンネルの詳細については既に報告した¹²⁾が、片側3車線、長さ1.3km、断面積約60m²の大きさで、日交通量約6万台の自動車専用である。換気システムは走行方向別に独立しており、送気は2系統、排気は1系統それぞれ設置されている(図1)。調査は週日及び週末の2回(各24時間)行われた。調査中は各時間帯(表1)ごとに送気流量と排気流量とが一定に保たれており、サンプル採取は一定の希釈条件の下で行われた。

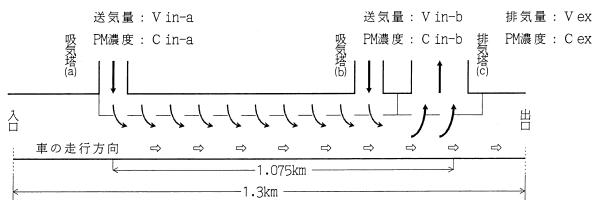


図1 調査トンネルの概要

2.2 粒子状物質のサンプリング

トンネル排気ガス中の粒子状物質の採取は排気塔の点検孔(道路面からの高さ約50m)に粒子採取用の管(直径30mm)を挿入して行った。バックグランドとして、送気空气中の粒子状物質を、2つの空気取り入れ口付近からそれぞれ採取した。粒子状物質の採取には、3段構成としたアンダーセン・ローボリュームエアーサンプラーを使用し、11μm以上(巨大粒子:L粒子)、

表1 調査時間帯と交通量観測結果

採取日	採取場所	採取時間帯(m3/s)	番号	送気流量サンプル 交通量(手動計測):台/時間		
				合計	大型車	小型車
	トンネル	15-17時	515	T-1	4,096	1,644
火曜日	トンネル	17-19時	515	T-2	-	-
	送気口	9-19時		E-1	-	-
	トンネル	9-10時	515	T-3	-	-
	トンネル	11-12時	515	T-4	4,384	2,292
水曜日	トンネル	13-14時	515	T-5	3,996	1,984
	トンネル	15-16時	515	T-6	4,212	1,692
	送気口	9-16時		E-2	-	-
	トンネル	14-16時	275	T-7	4,684	904
土曜日	トンネル	16-18時	275	T-8	3,292	408
	送気口	14-18時		E-3	-	-
	トンネル	9-11時	275	T-9	3,904	296
日曜日	トンネル	12-14時	275	T-10	4,028	302
	送気口	9-14時		E-4	-	-

注1) T-1サンプルは採取時に一部ミスがあったため参考値として扱った。

注2) E-1,2,3,4サンプルは2つの送気口の平均である。

2.1~11μm(粗大粒子:M粒子)、2.1μm以下(微小粒子:F粒子)の3つの粒径範囲別に分別捕集した。採取時の捕集流量は28.3l/minとした。サンプルの採取時間は、トンネル排気で1~2時間、送気空気で4~7時間であった。装着ろ紙は、石英纖維ろ紙(Pallflex 2500QAT-UP直徑80mm)を600°Cで8時間以上処理したもの用いた。

ろ紙はサンプル採取前に温度20°C、湿度50%の恒温恒湿槽に24時間以上保持した後秤量した値と、採取後に同様にして秤量した値との差を捕集量とした。

2.3 炭素成分の分析¹³⁾

採取ろ紙の1/6を切り取り試料とした。試料を酸素存在下室素気流中で加熱し、350°C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°C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量を元素状炭素とした。CO₂の測定分析には理学電気株のRF-8900システムを使用した。

2.4 金属成分分析

1) 試料抽出法

採取ろ紙の1/4を切り出し、細断してTFM(テトラフルオロメタキシール)製分解容器へ入れ、硝酸5mlを加えて1時間放置後、更にフッ化水素酸を1ml加え、表2の条件でマイクロウェーブにより高温高压下で酸分解した。試料を冷却後、表3の条件で減圧濃縮

表2 マイクロウェーブによる酸分解条件

ステップ	時間(分)	出力(W)	ステップ	時間(分)	出力(W)
1	2	250	1	5	250
2	2	0	2	5	450
3	6	250	3	5	650
4	5	400	4	20	800
5	5	600			

表3 濃縮条件

を行った。通常、この操作で試料は直径2mm程度大きさの液滴にまで濃縮された。

濃縮後、分解容器の内部を2%硝酸溶液で洗い、洗液を定量ろ紙にてろ過した後、25mlに定容して分析用試料とした。分解用の酸試薬は関東化学(株)製の超高純度のものを使用した。酸分解と濃縮は、MILESTONE社製マイクロウェーブサンプル前処理システムETHOS 900を用いて行った。

2) 分析法

試料の定量分析には、原子吸光分析装置およびICP-MS分析(高周波プラズマ質量分析)装置を用いた。原子吸光分析では、Varian社SpectraAA800を使用し、Fe, Al, Cdを分析した。Feは空気-アセチレンフレーム中で248.3nmにて、Alはアセチレン-亜酸化窒素フレーム中で309.3nmにて、フレーム吸光法により測定した。またCdはD₂ランプによるバックグラウンド補正を行い、フレームレス法で228.8nmにて測定した。

ICP-MS分析装置はHEWLETT PACKARD社のHP4500を使用し、次の分析条件で測定を行った。

分析元素及び質量	Na : 23, K : 39, Ca : 43, Sc : 45, Cr : 52, Mn : 55, Co : 59, Ni : 60 Cu : 63, Zn : 66, Sr : 88, Pb : 208, Ti : 47, V : 51, Sb : 121, Ba : 137
高周波出力	1200W
ガス及び流量	アルゴンガス プラズマガス 15 l/min キャリヤーガス 1.25 l/min 補助ガス 1.0 l/min
積分時間	質量数毎 0.30sec
繰り返し測定回数	3回

3 結果および考察

3.1 粒子状物質(PM)

(1) 濃度と粒径分布

採取時間毎に、トンネル内と送気空気中の粒子状物質濃度を対比して図2上段に示した。時間帯や粒径により程度の差はあるが、どの粒径においてもトンネル内の濃度の方が高い値を示しており、トンネル内を走行する車両の影響を受けていることが理解される。微小粒子は、排出ガスの影響を最も強く受けていると考えられるが、トンネル内部は送気空気に対して3~11倍濃度が高く、0.2~0.6mg/m³の濃度差があることが

読み取れる。粗大および巨大粒子は、車両の走行に伴って発生する道路粉じん、タイヤやブレーキ磨耗じんおよびそれらの再飛散の影響を強く受けていると報告^{5~8)}されているが、トンネル排気と送気空気との濃度差は0.02~0.32mg/m³(粗大粒子)および0.02~0.25mg/m³(巨大粒子)であり、微小粒子にみられる差よりは小さくなっている。送気空気との差引濃度の粒径別割合は、微小粒子で(41~85%, 平均56%), 粗大粒子で(7~30%, 平均24%)および巨大粒子で(8~30%, 平均20%)であった。このように、トンネル排気中の粒子状物質濃度は送気空気の濃度に比べ高く、自動車に発生起源を有する物質の調査に有効であると考えられた。

(2) 排出係数

トンネル内のPM濃度は1、2時間の平均値として採取・測定されており、1時間当たりの排出量Q(g/hr)は、対応する粒径毎に次式で求めることができる。

$$Q = (C_{ex} - (C_{in-a} + C_{in-b}) / 2) \times V_{in} \times 3600$$

ここで、C_{ex}は図1の排気塔で測定したトンネル内PM濃度(mg/m³)、C_{in-a}, C_{in-b}は2つの空気取り入れ口におけるPM濃度、V_{in}は単位時間当たりの総送気量(m³/s)であり、図1に示した各空気取り入れ口からの送気量の和(V_{in-a}+V_{in-b})である。ただし、V_{in-a}=V_{in-b}である。また、送気流量を排気流量よりかなり大きく設定している¹²⁾ことにより、トンネル入口からの呼び込み風は無視できると考えられる。

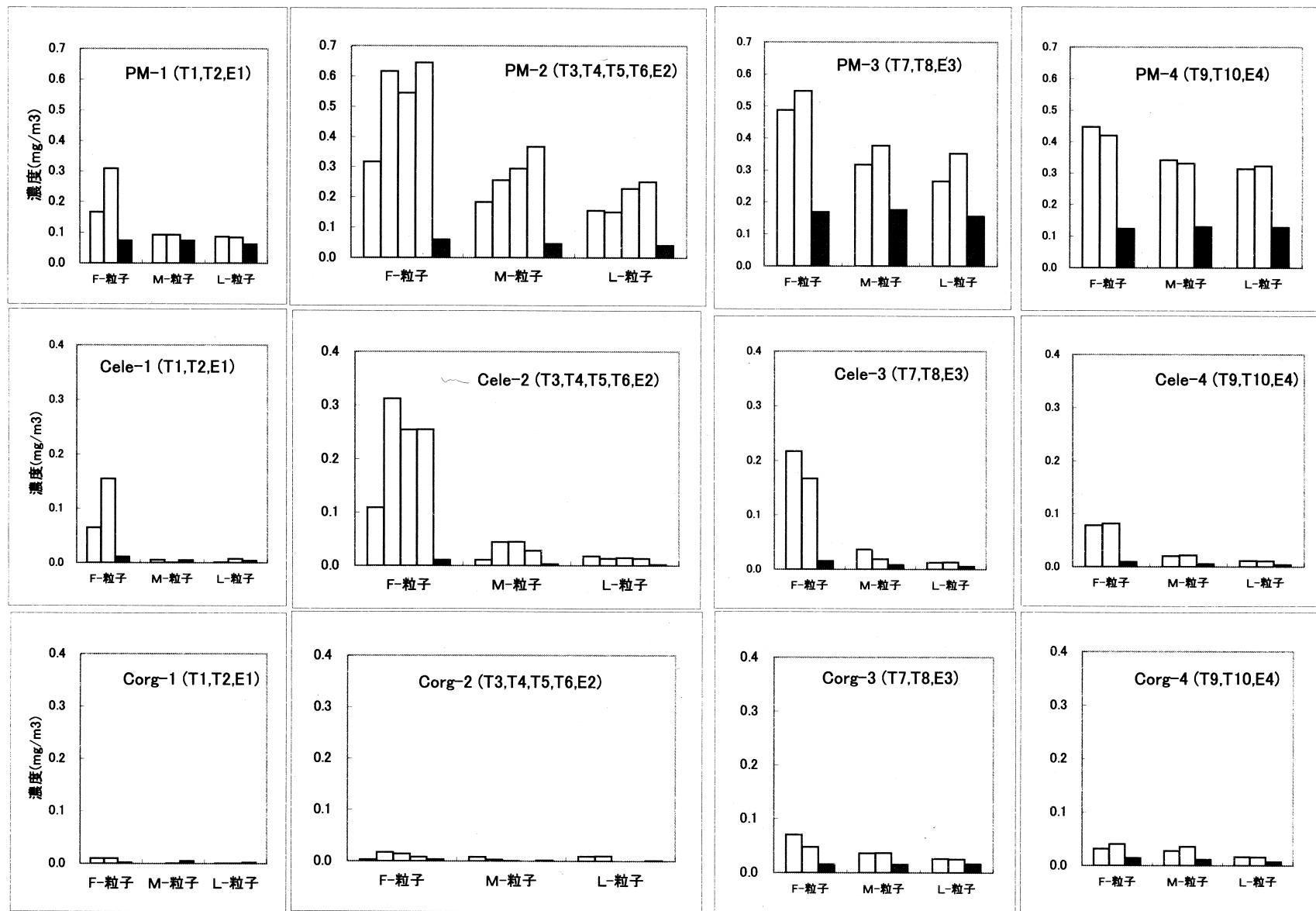
さらに、表1に示した交通量(手動計測、1時間合計値:N)で粒子状物質排出量を除し、車両当たり、走行距離当たりの平均的な排出係数(EF:g/km・台)を求めた。

$$EF = Q / (1.075 \times N)$$

ここで、1.075はトンネルへの送気の吹き出し口から排気口までの距離(km)である。この排出係数を粒径別に求め、大型車混入率に対してプロットした(図3上段)。この間の総交通量は時間あたり4000台前後と大きな変動はない。各排出係数は混入率が増加するにつれて値が上昇する傾向が認められた。

ここで、各排出係数を大型車(主にディーゼル車)と小型車(主にガソリン車)別に求めてみる。PMの排出量(Q)を大型車の台数(N₁)と小型車の台数(N₂)を説明変数とする重回帰式

$$Q = q_1 \times N_1 + q_2 \times N_2$$



注)各グラフのバーは右上()内のサンプル番号順に示した。黒いバーは送気空気のサンプルである。

図2 トンネル内の濃度と送気空气中濃度の対比 (PM,C_{ele},C_{org}の粒径別濃度分布)

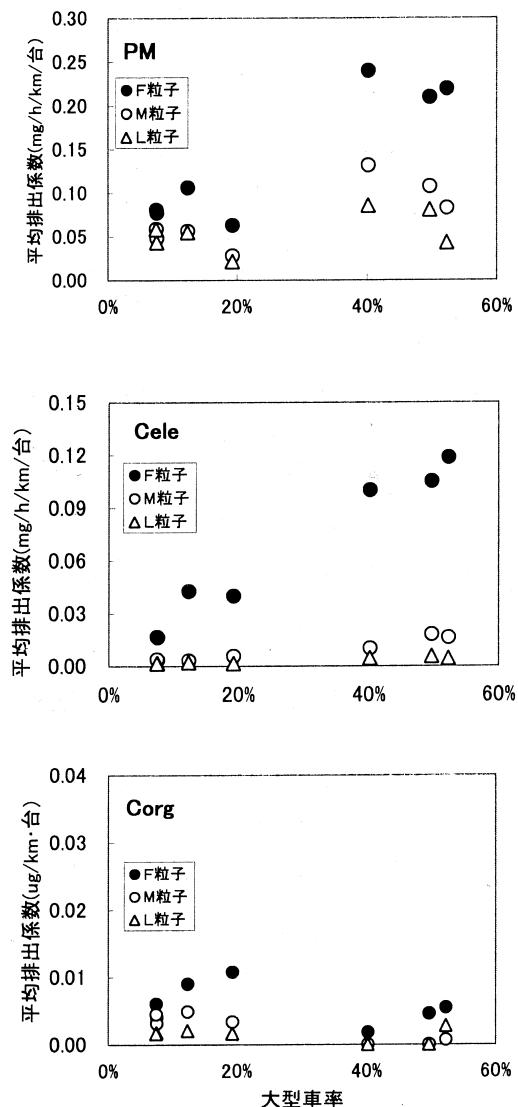


図3 平均排出係数と大型車混入率との関係

で表し、大型車の排出係数 (q_1) 及び小型車の排出係数 (q_2) を推定し、既に報告された値及び東京都環境局で設定した値とともに表4に示した。

本推定値のうち巻き上げ粉じん等の走行に係る排出係数を、粗大粒子と巨大粒子の和(大型車 : 0.26g/km, 小型車 : 0.07g/km) として、文献値と比較すると、トンネル内の状況が異なるため単純に比較するのは適切でないが、伊瀬ら⁴⁾の値(混合排出係数 : 0.590g/km) よりはかなり小さい。また、道路沿道で行われた北林の報告値¹⁴⁾のTSPとSPMとの差(大型車 : 0.48g/km, 小型車 : 0.10g/km) と比較してもかなり小さい。しかし、東京都が浮遊粒子状物質削減計画の策定に際して使用した設定値¹⁵⁾(普通貨物車 : 巷き上げ0.10g/km, タイヤ磨耗0.20g/km, 乗用車 : 巷き上げ0.06g/km, タイヤ磨耗0.03g/km) は本推定値と同程度である。

トンネル内では、一般に、走行や強制換気によって生ずる風の影響が大きく、野外より大きな値が得られると考えられる。

しかし、本トンネルは内部での土壤の堆積が比較的少なく粗大・巨大粒子の発生量自体が野外より小さい可能性があること、トンネルの排気口からサンプリング位置までの鉛直距離が約50mと長いため巨大粒子が捕集されにくかったこと等の別の要因も考慮する必要がある。これらの種々の要因を含め、今回得られたこの排出係数を議論するためには、指標成分分析などの詳細な解析が必要とされる。

都内の幹線道路を走行する平均的な普通貨物車の大きさが等価慣性重量で8.5tとした調査結果¹⁶⁾を基に、台上試験結果から排出係数¹⁷⁾を計算すると、元年規制車で0.48g/km, 6年規制車で0.28g/kmとなる。今回得られた大型車の微小粒子排出係数(0.41g/km)は、元年規制とほぼ同程度である。6年規制車の走行割合がそれほど高くないこと、トンネル内にはコンテナ車等の大型車が多く流入しており車両重量の設定が都内平均より高い可能性もあること、トンネル内の車速(>60km/h)は台上試験より速いこと等を考慮すると、実際に走行している大型車の排出係数としては妥当な数値と思われた。

3.2 炭素成分

(1) 濃度と粒径分布

粒子状物質と同様に、採取時間毎のトンネル内濃度と送気空気の濃度を対比して図2中段(元素状炭素(C_{ele})), 図2下段(有機炭素(C_{org}))に示した。

C_{ele} はPMと異なり微小粒子のみに顕著な濃度差(0.07~0.5 mg/m³)が認められた。濃度は送気空気の3~10倍であった。 C_{ele} は主にディーゼル車から排出され、環境中微小粒子に占める割合が大きいが、トンネル内微小粒子に占める割合はこれより高く20~63%であった。

表4 PM排出係数の比較 (g/km)

報告者	文献	大型車	小型車	混合	調査場所
伊瀬ら 4)	-	-	-	0.59(巻上げ)	トンネル
北林 14)	1.6(SPM)	0.32(SPM)	-	-	道路沿道
北林 14)	2.08(TSP)	0.42(TSP)	-	-	道路沿道
東京都 15)	0.10(巻上げ)	0.06(巻上げ)	-	-	設定値
東京都 15)	0.20(タイヤ磨耗)	0.03(タイヤ磨耗)	-	-	設定値
小谷野ら 17)	0.057(トンあたり、平成元年規制車)	-	-	-	台上試験
小谷野ら 17)	0.033(トンあたり、平成6年規制車)	-	-	-	台上試験
本調査	0.41(D _p <2.1μm)	0.04(D _p <2.1μm)	-	-	トンネル
本調査	0.17(2.1<D _p <10μm)	0.03(2.1<D _p <10μm)	-	-	トンネル
本調査	0.09(D _p >10μm)	0.04(D _p >10μm)	-	-	トンネル

注1) 東京都の大型車は普通貨物車、小型車は乗用車のデータを用いた。

注2) 小谷野らのデータはいずれも、東京都実走行パターンNo.10(平均車速46.39km/h)での値である。

割合の低い時間帯は大型車の少ない週末にみられた。粗大、巨大粒子におけるそれぞれの濃度差は最大値で41, 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 粒子に占める割合は0~17%, 0~11%であった。送気空気との差引濃度の粒径別分布は、微小粒子で平均83%, 粗大粒子で平均12%および巨大粒子で平均5%であった。

C_{org} は C_{ele} に比べて微小粒子では送気空気との濃度差は小さく、トンネル内微小粒子に占める割合は1~14%であった。粗大、巨大粒子では小型車の多い週末に比較的濃度が高く、トンネル内の各粒子に占める割合は0~11%, 1~10%であった。

(2) 排出係数

PMと同様にして、平均的な排出係数を求め大型車混入率に対してプロットした(図3中・下段)。 C_{ele} の3つの粒径毎の排出係数と大型車混入率との相関はPMに比べ良好であった。重回帰式により大型車と小型車の排出係数を求めたところ、次の値とその標準偏差が得られた。いずれも単位は $\text{g}/(\text{km} \cdot \text{台})$ である。

微小粒子：

大型車(0.22 ± 0.01), 小型車(0.002 ± 0.005)

粗大粒子：

大型車(0.030 ± 0.003), 小型車(0.0004 ± 0.001)

巨大粒子：

大型車(0.009 ± 0.001), 小型車(0.0008 ± 0.0005)

しかし、 C_{org} の排出係数と大型車混入率との関係は明確ではなかった。

3.3 金属成分

(1) 濃度と粒径分布

分析対象とした19元素のトンネル内の濃度と送気空気の濃度との対比例を図4に示した。使用したデータは水曜日のT3~T6およびE2である。分析した元素のトンネル内と送気空気との濃度差の全データは表5に示した。粗大または巨大粒子で送気空気との間で安定して高い濃度差がみられた金属(Al, Ba, Co, Cu, Fe(粗大), Mn, Na, Ni, Sb, Sc, Sr, V, Zn)の多くは他の道路沿道^{7,8)}やトンネル内^{3,5,8,10,18)}における調査でも、周辺環境濃度に比べ濃度が高い、土壤に比べ濃縮係数が大きいという結果が報告されている。このうちAlは土壤からの、Znはタイヤ磨耗の、Fe, Cu, Sb, Baはブレーキの作動時の寄与が大きいとされている。なお、Pbはこのような調査では粗大粒子側の濃度が高い金属として報告されることが多いが、本調査では全

般的に低濃度であった。この原因については、分析方法を含めて検討中である。また、巨大粒子のFeは欠測である。

微小粒子中で送気空気との濃度差が大きかった金属(Al, Fe, Cu, Mn, Ni, V)は、自動車排出ガス中に存在している可能性がある。トンネル内で粒径別の濃度分布報告⁹⁾、ディーゼル燃料、ガソリン、オイル中の当該元素の含有量からの試算結果⁵⁾、Target transformation factor analysisによる解析結果¹¹⁾等からも、これらの元素が自動車排出ガス中に存在することが支持される。

(2) 排出係数

PMおよび C_{ele} は重回帰分析により3.1と3.2で大型車、小型車別に排出係数を推定したが、比較的濃度の高いAl, V, Mnの微小粒子について同様に排出係数を推定した(表6)。

AlとVは大型車の寄与が非常に大きく、大型車の排出係数および標準偏差として

Al : $0.037 \pm 0.007 \text{mg}/\text{km}$ ($R=0.916$)

V : $0.058 \pm 0.006 \mu\text{g}/\text{km}$ ($R=0.982$)

を得た。また、Mnは大型車、小型車別に次の排出係数および標準偏差を得た。

大型車 : $0.009 \pm 0.004 \mu\text{g}/\text{km}$

小型車 : $0.001 \pm 0.002 \mu\text{g}/\text{km}$ ($R=0.836$)

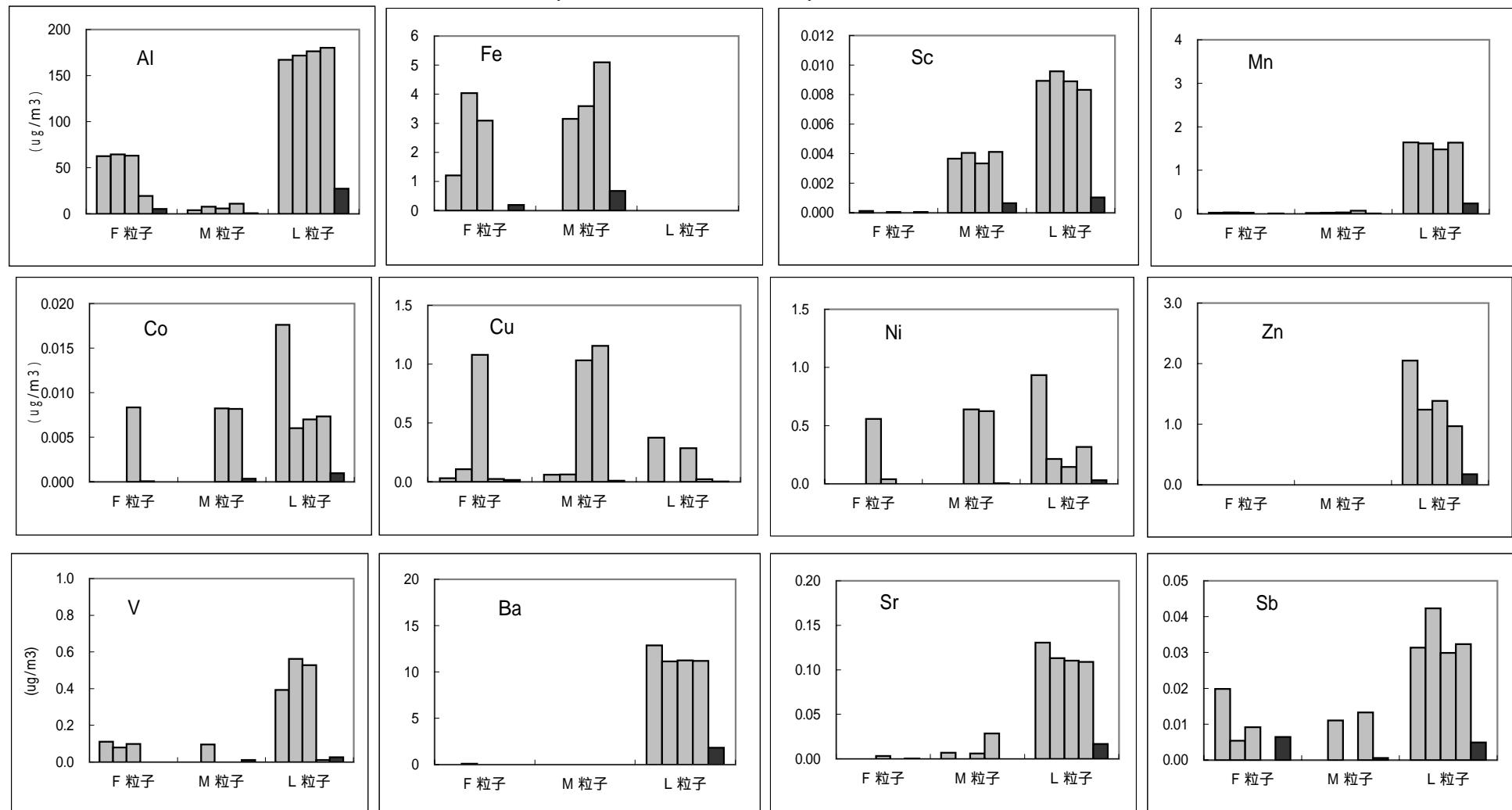
3.4 自動車排出粒子状物質の元素比率

レセプターモデルによる環境濃度への寄与率計算に用いる発生源データとの比較のため、本調査結果の微小粒子のデータを使用して、排出ガス中の元素比率を求めた。一連のサンプルから各元素のPMに対する濃度比を計算し、平均値、最大値および最小値を表6に示した。この他に C_{ele} , Al, Mn, Vは大型車・小型車別に求めた排出係数から元素比率を計算し、表6に加えた。

表6の右端には関東地方環境対策推進本部大気環境部会のSPM会議で使用している自動車の発生源データ¹⁹⁾を文献値として示した。

文献値の自動車はディーゼル車を対象としており²⁰⁾、本調査の大型車とほぼ同様と考えられる。両者の C_{ele} 成分比率は、厳密には分析条件の違いを考慮して比較する必要があるが、よく一致している。 C_{ele} 以外の成分は、自動車としての数値を単純に比較すると、Alはやや本調査の方が文献値より低い値、Mnは4桁低い値、Vは

図4 トンネル内の濃度と送気空气中濃度との対比（金属成分の粒径別濃度分布）



注) 各グラフ中の4本の白いバーはトンネル内の濃度(左から順にT3,T4,T5,T6)を示し、右端の黒いバーは送気空気(E2)の濃度を示す。

**表6 自動車から排出される粒子状物質の元素比率
(大型車混入率 7~25%)**

	平均値	最大値	最小値	データ数	大型車	小型車	文献19)
Cele	0.42	0.63	0.20	7	0.55	0.050	0.557
Cor _g	0.062	0.17	0.007	7	-	-	-
Al	4.7E-05	1.2E-04	1.8E-05	7	9.0E-05	-	2.0E-04
Sc	8.1E-10	2.4E-09	1.6E-11	5	-	-	-
Mn	3.5E-08	8.6E-08	2.7E-08	5	2.1E-08	2.4E-08	1.2E-04
Sr	4.2E-08	6.7E-08	3.0E-08	5	-	-	-
V	9.4E-08	1.7E-07	2.4E-08	4	1.0E-07	-	5.0E-05

500倍低い値であった。いずれも、大型車・小型車の差以上に低い値となっている。文献値は作成の元データが古く、調査当時と燃料やオイルへの添加物の変化・減少、排出ガス規制の強化等自動車を取り巻く状況も変わっており、数値が大きく変化する可能性はあると思われる。この点については、新たな調査の必要性が再三強調されており、今後この種のデータを蓄積していく必要があろう。

5 まとめ

自動車用トンネルを利用して、排出ガス中の粒子状物質を粒径別に採取・測定することによって、自動車から排出される微小粒子状物質と走行に伴って発生する粗大粒子状物質の排出係数を大型車、小型車別に求めた。

また、自動車排出粒子に含まれる元素状炭素や金属成分等の構成成分を分析することによって、走行に伴い発生する元素の組成を確認し、排出ガス中の元素の比率を示した。これらの値は、実際に走行している自動車を対象に解析し得られたものであり、今後の粒子状物質削減計画策定にとって貴重なデータとなると考えられる。

謝 辞

ICP-MSでの分析にあたっては、基盤研究部の山崎正夫主任研究員及び分析研究部の櫻島智恵子研究員の指導と助言を受けた。千葉県環境研究センターの内藤季和主席研究員には、原稿に対しての意見をいただいた。ここに感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 東京都環境局：平成11年度大気汚染測定結果検討会報告書（2000）
- 2) 東京都環境保全局大気保全部：東京都浮遊粒子状物質削減計画（1996）
- 3) 伊瀬洋昭ら：粒子状物質等汚染物質の発生源寄与

に関する調査－トンネル調査による大型ディーゼル車の排出実態の検討－東京都公害研究所年報1981pp46-53

- 4) 伊瀬洋昭ら：自動車排出汚染物質の排出実態に関するトンネル調査－第一報－、東京都公害研究所年報1983 pp3-10
- 5) W. R. Pierson and W. W. Brachaczek : Particulate Matter Associated with Vehicles on the Road II : Aerosol Sci. Technol. 2, pp1-40 (1983)
- 6) E. Weingratner et al : Aerosol Emission in a Road Tunnel, Atmos. Environ. 31(3), pp451-462 (1997)
- 7) ナスルツラフ ニザールら：道路沿い土壤中の重金属含有量からみた自動車走行粉塵の影響(第1報) 道路構造および植栽の影響について、大気環境学会誌30(3), pp157-168 (1995)
- 8) 溝畠朗ら：道路沿道における大気浮遊粒子状物質の物理・化学的特性、大気環境学会誌35(2), pp77-102 (2000)
- 9) P. R. Buerki et al : Source Analysis of Heavy Metals Absorbed on Aerosols as a Function of Their Size Distribution, J. Aerosol Sci. 18(6), pp809-812 (1987)
- 10) H. Stechmann and W. Danncker : Characterization and Source Analysis of Vehicle-Generated Aerosols, J. Aerosol Sci. 20(1), pp287-290 (1990)
- 11) A. Mizohata et al : Quantitative Determination of the Airborne Particulate Matter Sources by Motor Vehicles Using TFA, J. Jpn. Soc. Atmos. Environ. 30(4), pp243-255 (1995)
- 12) 石井康一郎ら：自動車トンネルを利用した排出ガス調査(I)、東京都環境科学研究所年報1999, pp40-45
- 13) 秋山薰ら：浮遊粒子状物質中の有機炭素成分の二次生成について、東京都環境科学研究所年報1993, pp14-18
- 14) 北林興二：道路近傍における粉じん濃度の解析－自動車走行に伴う排出量の推定－、大気汚染学会誌17(5・6), pp362-369 (1982)
- 15) 東京都：自動車粒子状物質排出量調査報告書pp. 33-35 (1993)
- 16) 東京都環境保全局：都内自動車走行量および自動車排出ガス量算出調査報告書 (1999)

- 17) 小谷野眞司ら：大型ディーゼル車の平成6年排出ガス規制によるNO_x等の低減効果(速報), 東京都環境科学研究所年報1997, pp165-169
- 18) W. Dannecker *et al*: Organic and Inorganic Substances in Highway Tunnel Exhaust Air, Sci. Total Environ. 93, (1990) pp293-300
- 19) 関東地方環境対策推進本部大気環境部会：平成11年度関東浮遊粒子状物質合同調査報告書p33, (2001)
- 20) 一都三県公害防止協議会：平成元年南関東浮遊粒子状物質合同調査結果報告pp36-38 (1991)

A Study on Motor-Vehicle Exhaust from a Road Tunnel (II) —On Metal and Carbon Components in Particulate Matter —

Koichiro Ishii, Mariko Ihara*, Junya Hoshi, Ken Nakamura**, Sekio Izumikawa***, Takeo Sakurai****, Yuichi Moriguchi****, Kiyoshi Tanabe**** and Shinji Wakamatsu****
(* Associate Researcher, ** Environmental Improvement Division
*** Ex. Senior Researcher, **** National Institute for Environmental Studies)

Summary

In order to study the emission of particulate matter (PM) exhausted from or generated by traveling motor vehicles, we carried out measurements of ventilation gas concentration in a motor vehicle tunnel. The size separated PM samples from ventilation and inlet air were collected and we obtained the emission of exhausted PM from the concentration of three sample sizes of PM (mg/m³) and inlet air flow rate (m³/s) of the tunnel. The emission factor of large and small vehicles were obtained from the relationship between those PM quantities and counted traffic volume, as follows

Fine particulate (D _p <2.1 μ m)	: large 0.41g/km, small 0.04g/km
Medium particulate (2.1<D _p <10 μ m)	: large 0.17g/km, small 0.03g/km
Large particulate (D _p >11 μ m)	: large 0.09g/km, small 0.04g/km
D _p : Aerodynamic diameter	

By analysis of carbon and metal components in the PM samples, we obtained the exhausted emission of these components in the similar way applied for PM, and emission factors and elemental ratios on main components of the fine particulates. The elemental carbon was dominant among the exhausted fine particulate components, its emission factor of large vehicles and its elemental ratio were estimated at 0.22g/km and 0.55 respectively.

Keywords: automobile exhaust gas, fine particulate, elemental carbon, particulate emission factors, tunnel exhaust gas, metal components

2001 東京都環境科学研究所年報 正誤表

誤	正
P16 表1 日曜日トンネル9 - 11時の交通量 <u>3,904 296 1,863</u>	<u>3,598 312 3,286</u>
P20 図4 落丁	<u>追加(別紙)</u> 「図4 トンネル内の濃度と送気空气中濃度との対比(金属成分の粒絆別濃度分布)」
P112 要旨6行目 <u><100 ~ 460pg / g - wet</u>	<u><100 ~ 460ng / g - wet</u>
P119 4まとめ6行目 <u><100 ~ 460pg / g - wet</u>	<u><100 ~ 460ng / g - wet</u>