

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

伊 瀬 洋 昭 朝来野 国 彦 渡 辺 武 春
 小野塚 春 吉 菅 邦 子 泉 川 碩 雄
 舟 島 正 直 石 黒 辰 吉

1 はじめに

都内の浮遊粒子状物質濃度は、1975年頃からはほぼ横ばいの傾向を示し、いまだに環境基準を達成していない。この間、工場など固定発生源に対する規制が一定の成果をあげてきたが、一方でディーゼル車の増加傾向がみられ、都市における粒子状物質の発生源としてディーゼル車は大きな負荷要因となりつつある。そのため、当公害研究所ではディーゼル車の排出実態に関する実験・研究を実施し、その解明につとめてきたが、シャーシダイナモ等実験設備上の制約から、主に小型ディーゼル車を対象とせざるを得なかった¹⁾。大型ディーゼル車はその多くが直接噴射式ディーゼルエンジンを搭載しており、各汚染物質の排出量が多く、汚染寄与が大きいといわれているが、その排出実態は必ずしも明らかにされていない。大型ディーゼル車の排出係数について、トンネルを利用してフィールド調査結果から算出する方法は、すでに鈴木ら²⁾が浮遊粉じん、窒素酸化物、一酸化炭素および炭化水素を対象に、Piersonら³⁾が亜硫酸ガスおよび硫酸根を対象にそれぞれ試みている。

われわれは粒子状物質の実態把握と発生源寄与に関する調査研究を昭和44年以来実施し、都市部および清浄地において環境調査を行ってきたが、今回、移動発生源の寄与に関する知見を得るため、中央自動車道笹子トンネルの調査を実施し、大型ディーゼル車から排出される粒子状物質を中心に、その排出実態を検討したので報告する。

2 調査の概要

調査は、1980年1月17日(木)から23日(水)

まで中央自動車道笹子トンネル上り線坑内で実施した。

(1) トンネルの概要および換気方式

笹子トンネル上り線は、延長4,417m、2車線、設計交通量1,820台/時、最大断面積139m²、1.6%の上り勾配および0.4%の下り勾配をもつ自動車専用トンネルである。トンネルの概要を図1に示す。トンネル内の換気は横流換気方式を利用し、時間帯によって、横流(強制送気および強制排気)、半横流(強制送気のみ)およびそれらの組み合わせの三つのパターンのいずれかに設定されている。換気風量は交通量、一酸化炭素濃度および煙霧透過率などのデータを用いてコンピュータ制御されている。トンネル断面は図2に示すとおりである。本調査では、半横流パターンが保たれ、かつ大型車混入率が大きく変化する時間帯を中心に測定を行った。

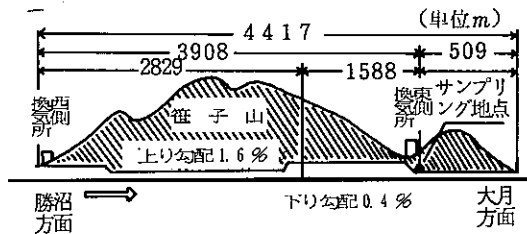


図1 笹子トンネル上り線縦断面図

(2) 測定地点

粒子状物質およびガス状物質の測定は、上り線出口から約500m坑内へ入った地点(東側換気所地下)、路面から約1.5mの高さで行った。なお、大気バックグ

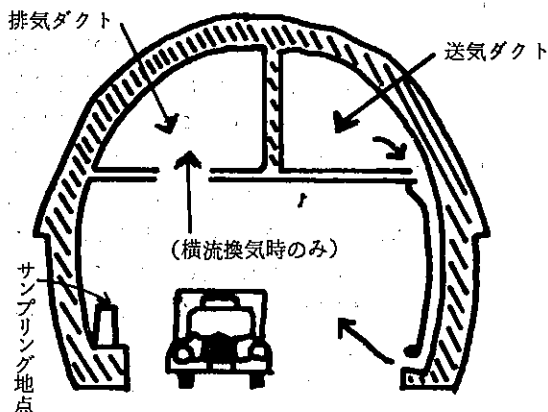


図2 トンネル内換気状況図

ラウンド値として、東側換気所構内で採取した試料の分析結果および小河内貯水池での測定値を用いた。

(3) 測定項目

① 粒子状物質濃度

浮遊粉じん、光散乱粒子、サブミクロン粒子、浮遊粒子状物質の粒径分布

② 浮遊粉じんに含まれる汚染物質の濃度

ベンゾ(a)ピレン (BaP)、硫酸根 (SO_4^{2-})、重金属類 (Fe、Zn、Pb および Mn)

③ ガス状物質濃度

窒素酸化物 (NO_x)、亜硫酸ガス (SO_2)、一酸化炭素 (CO)、総アルデヒド (T-CHO)

(4) 測定機器および捕集・分析方法

ア 粒子状物質の捕集

浮遊粉じんは、ハイポリウムエアサンプラー (紀本電子工業(株)製) を用いて、石英繊維ろ紙 (Pallflex 2500QAST, 10×8インチ) 上に4時間250 m^3 吸引、または、ローポリウムエアサンプラー (日京製作所製) を用いて、セルローズ繊維ろ紙 (AP-20, 47mmφ) 上に8時間約10 m^3 吸引し、捕集した。

光散乱粒子はデジタル粉じん計AP-632 (柴田化学器械工業(株)製) を使用し、一時間値を測定、サブミクロン粒子は凝結核測定器 (Environment One Co. 製CNモニター) を使用し測定した。

また、浮遊粒子状物質の粒径分布はアンダーセンサンプラーを用いて、メンブランフィルター (TM-80) およびバックアップフィルター (AP-20) 上に9

段階に分級捕集して測定した。流速は28.3ℓ/分に保った。

ろ紙は、温度20℃湿度50%で恒量処理をしたのち秤量した。

イ 浮遊粉じんの分析

浮遊粉じん中のBaPは、1インチ×9インチに分割したろ紙について、真空昇華、高速液体クロマトグラフィ-およびけい光分光を行い、定量した⁴⁾。また重金属類は、2インチ×9インチに分割したろ紙について、塩酸-過酸化水素水を用いて抽出し、原子吸光分析により定量した。硫酸根は、2インチ×9インチに分割したろ紙について、水で抽出し、ゼラチン-硫酸バリウム法により定量した。

ウ ガス状物質の分析

NO_x (NO_2 および NO) は、Bendix 8101-B (ケミルミネッセンス NO_x 計) を用いて、COはエコライザー (東京プロセス社製) を用いて、それぞれ測定した。また、 SO_2 およびT-CHOについては、パラロザニリン法およびMBTH法を用いて、オートエアサンプラー (捕集液10ml流速1ℓ/min, 1時間捕集) で捕集し、分析した。

(5) 交通量および換気状況の把握

トンネル内の交通量、換気装置作動状況等のデータは、日本道路公団八王子支所大月管理事務所コントロールセンターの記録を利用した。交通量は路面に設置されたループコイルによって車軸間距離約4.5m以上の車両を大型車、それ以外のものを小型車と区分し、計測したデータを利用した。また、トンネル内の風速については、車両交通安全上、トンネル内部で連続して測定することができなかったため、典型的な風の流れる時に、熱線型風速計 (日本科学工業(株)製) を用いて、風速を測定し、車両の通行により生じる風 (以下「走行風」という) と交通量との関係をもとめた。

3 計 算 方 法

半横流換気時には、強制送気された空気はトンネル坑口から排気される仕組みになっている。笹子トンネルでは、図2に示すように、トンネルの壁面下部にある送気口からはほぼ均等な風量で送気されるよう設計されており、通常は、走行風によりトンネル出口方向へ向って風が流れている。

そこで、単位時間あたりに走行する全車両の排出係

数の平均（以下「混合排出係数」という）をもとめるため、つぎの(1)式を用いた。

$$Q = \left\{ F + \frac{S(W_N + W_D)}{L \times N} \right\} (C - C_0) \dots\dots(1)$$

Q : 混合排出係数(g/km台) C : トンネル内濃度
 F : 換気総合係数(m³/台) C₀ : バックグラウンド濃度
 S : トンネル断面積(m²) N : 交通量(台/時)
 W_N : 自然風風速(m/時) W_D : 走行風風速(m/時)
 L : トンネル入口から測定点までの距離(m)

ここで換気総合係数Fは、(2)式によって定義される。

$$F = \frac{W_B}{L_0 \times N} \dots\dots(2)$$

W_B : 強制送気風量(m³/時) L₀ : トンネル全長(m)

また、走行風W_Dは、つぎのとおりあらわすことができる。

$$W_D = \frac{k \times N}{S^2} \times \{ (1-R) \times A_s \times E_s + R \times A_L \times E_L \} (V - V_0)^2 \dots\dots(3)$$

R : 大型車混入率 k : 比例定数
 A_L : 大型車抵抗面積 A_s : 小型車抵抗面積
 E_L : 大型車補正係数 E_s : 小型車補正係数
 V : 車両速度 V₀ : トンネル内風速

(3)式は、V ≫ V₀、Vが一定、A_L = 5、A_s = 2、E_L = 1、E_s = 0.5、比例定数をk'とおくと、近似的に(4)式であらわすことができる。

$$W_D = k' \times N \times (4R + 1) \dots\dots(4)$$

k'は、トンネル内風速の実測値および同時刻における強制送気風量から7.2 m/台程度であることがわかったので、この数値を用いた。なお、自然風風速は、日本道路公団が、冬期、交通遮断時に計測した値2.0 m/秒（トンネル出口方向）を用いた。

(1)式でもとめた混合排出係数と大型車混入率との関係をグラフにプロットし、回帰直線を大型車混入率0%および100%に外挿すれば、それぞれ小型車および大型車の排出係数としてもとめることができる。

4 結 果

(1) 交通量および大型車混入率

調査期間中の交通量および大型車混入率の時間変化の一例を図3に示す。半横流換気は、午後5時から午前9時までつづき、調査期間中、この時間帯において横流換気になることはなかった。交通量は51~835台/時、大型車混入率は4~81%の範囲で変動し、ハイボリウムエアサンプラーで浮遊粉じんの捕集を行った午後10時から翌朝2時までの時間帯においては、大型車混入率は4時間平均で最高41.5%、最低15.7%であった。また車両走行速度は、モニターテレビによる計測の結果、おおむね80 km/時であった。

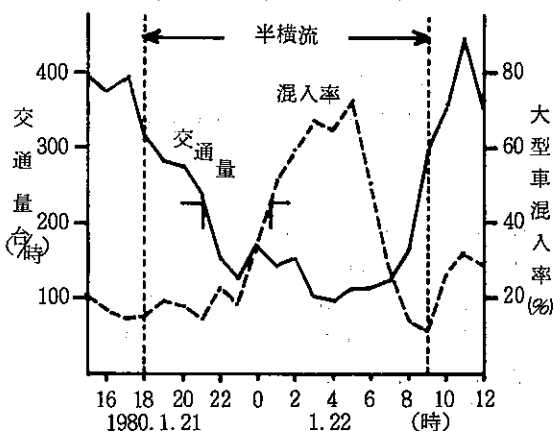


図3 交通量および大型車混入率の変化

(2) 粒子状物質濃度

表1に、浮遊粉じん（ローボリウムエアサンプラー使用）、光散乱粒子およびサブミクロン粒子のトンネ

表1 粒子状物質のトンネル内濃度

粒子の種類	トンネル内濃度*3 (μg/m ³)	平均交通量 (台/時)	大型車混入率 (%)	サンプリング回数
浮遊粉じん*1	610 ~ 1630	101 ~ 185	16 ~ 45	6
光散乱粒子*2	148 ~ 357	68 ~ 835	4 ~ 81	45
サブミクロン粒子*2	5 ~ 12 × 10 ⁵			

(注) *1 8時間値、*2 1時間値、
 *3 サブミクロン粒子は(個/cc)

ル内濃度、交通量および大型車混入率を示す。つぎに、計算によって求めたこれらの混合排出係数と大型車混入率との関係を図4～6に示す。いずれも大型車の割合が増えるにしたがって、粒子状物質の排出係数が増大する傾向を示し、相関係数はそれぞれ0.545, 0.756, 0.977であった。光散乱粒子濃度は浮遊粉じん濃度に比べて1/5程度であるが、これはデジタル粉じん計では図7に示すように、0.3 μ付近に最大感度をもち、1 μ, 0.05 μでは最大感度の1/10程度になるなど、散乱光強度が粒径によって著しく異なるためであると考えられる。⁵⁾

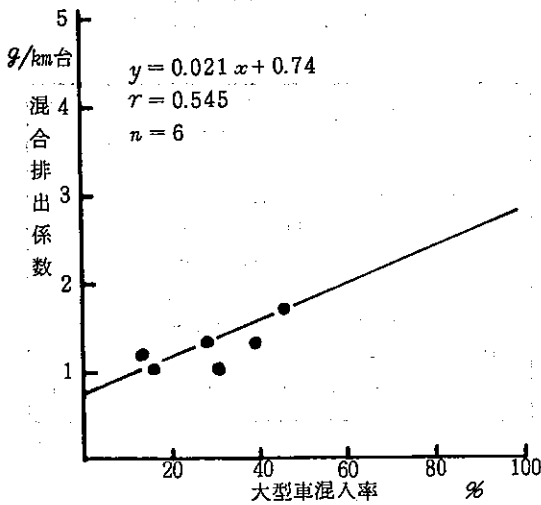


図4 浮遊粉じんの混合排出係数と大型車混入率の関係

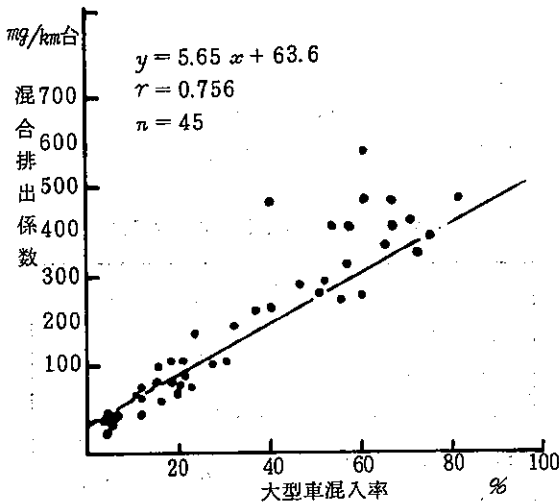


図5 光散乱粒子の混合排出係数と大型車混入率の関係

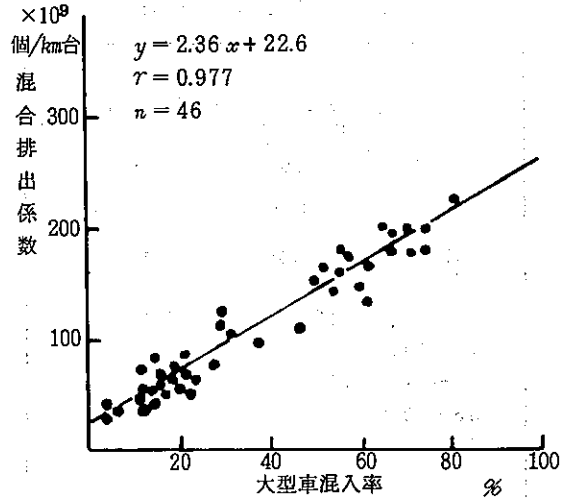


図6 ザブミクロン粒子の混合排出係数と大型車混入率の関係

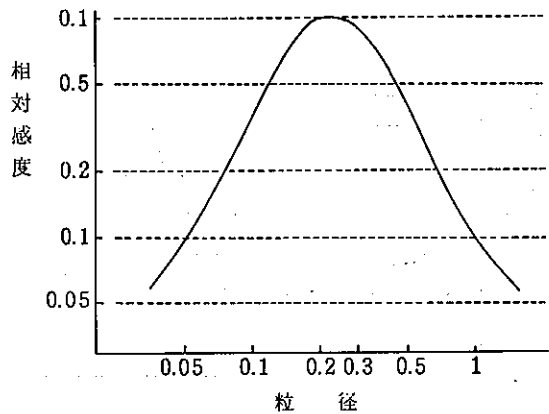


図7 光散乱強度に及ぼす粒子状物質の粒径の効果

(3) 粒子状物質の粒径分布

トンネル内の粒子状物質をアンダーセンサンプラーを用いて、大型車混入率の異なる夜間と昼間に分級捕集した結果を表2に示す。図8はこれらの粒径スペクトルで、比較のため当研究所の屋上で捕集した浮遊粒子状物質の粒径スペクトルを示した。

一般にディーゼル機関から排出される粒子状物質は、粒径の小さいものの割合が大きく、バックアップフィルターで捕集される0.43 μ以下の粒子は、重量濃度で全体の80%程度であることが知られている⁶⁾。本

表2 粒子状物質の粒径分布

		昼		夜	
採取期間		1月20日, 21日 10:00~15:00		1月22日 17:30 ~23日 6:00	
平均交通量		395台/時		163台/時	
大型車混入率		13.6%		34.6%	
トンネル内 浮遊粉じん濃度		3.96 mg/m ³		1.34 mg/m ³	
分級 ステ ージ 含有 率 (%)	11μ<	12.3		7.4	
	7.0~11μ	13.1		6.0	
	4.7~7.0μ	17.0	64.4%	16.2	45.4%
	3.3~4.7μ	14.4		8.8	
	2.1~3.3μ	7.7		7.2	
1.1~2.1μ	-		15.7		
0.65~1.1μ	9.9	35.6%	5.8	54.6%	
0.43~0.65μ	11.9		5.9		
< 0.43	13.8		27.2		

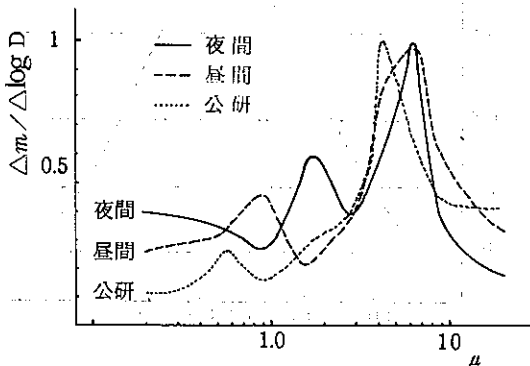


図8 トンネル内の粒子状物質の粒径スペクトルの比較

調査で捕集された粒子は、大型車混入率34.6%のとき、2.1μ以下のものが55%を占め、粒径の大きい領域と小さい領域の両方に特徴のあるスペクトルをもっている。このうち、粗大粒子の多くは、車両の走行によって舞い上げられる路面上の土やほこりに由来するものであると思われる。

(4) 浮遊粉じん中のBaP, 硫酸根および重金属類

ハイポリウムエアサンプラーで捕集した浮遊粉じん、BaP, 硫酸塩および重金属類のトンネル内濃度を混合排出係数とともに表3に示す。これらの濃度は、清

浄地濃度と比較して、浮遊粉じん22倍、BaP10倍、硫酸根5倍、鉄17倍、亜鉛3倍、鉛46倍、マンガン10倍と、トンネル内で高濃度であることがわかる。浮遊粉じんの捕集にあたっては、粉じんによるろ紙の目づまりによる流量の低下のため、必ずしも正確な平均濃度を求めることができなかったこと、検体数が少なかったこと、4時間値であるため大型車混入率が15.7~41.5%と幅が狭いなどの理由から、混合排出係数のままで検討した。

表3 BaP, 硫酸根および重金属類のトンネル内濃度および混合排出係数

物質名	トンネル内濃度 ^{*2} (μg/m ³)	平均値 ^{*3}	混合排出係数 ^{*4} (mg/km台)	混入率41.5% 時の混合 排出係数
浮遊粉じん ^{*1}	370~1290	870 (22)	460~1190	910
BaP	0.7~1.3	1.0 (10)	0.8~1.2	0.8
SO ₄ ²⁻	24~86	50 (5)	19~74	59
Fe	2.4~9.3	6.0 (17)	2.9~8.7	6.0
Zn	0.22~0.54	0.42 (3)	0.10~0.38	0.34
Pb	0.30~3.37	1.38 (46)	0.36~3.27	0.36
Mn	0.05~0.15	0.10 (10)	0.06~0.14	0.09

(注) *1 サンプル回数4回。平均交通量および大型車混入率はそれぞれ①94台/時15.7%, ②165台/時24.7%, ③189台/時41.5%, ④204台/時34.6%であった。

*2 BaPのみ単位がng/m³。

*3 ()内の数値は、バックグラウンド濃度の何倍かを示す。

*4 BaPのみ単位がμg/km台。

(5) ガス状物質

NO_x, CO, SO₂およびT-CHOのトンネル内濃度を交通量および大型車混入率とともに表4に示す。

表4 ガス状物質のトンネル内濃度

	トンネル内濃度 (ppm) *1	平均交通量 (台/時)	大型車混入率 (%)
NO	1.48~3.65	65~609	10~79
NO ₂	0.01~0.05		
CO	3~33	51~741	4~79
SO ₂	278~509	69~397	13~78
T-CHO	29~78		

(注) *1 SO₂およびT-CHOの単位はμg/m³

つぎに、計算によって求めた混合排出係数と大型車混入率との関係を図9～12に示す。なお、NO_xについてはNO₂換算で混合排出係数を求めた。NO_xおよびSO₂の混合排出係数と大型車混入率との相関係数は、それぞれ0.890、0.893と、比較的良好な相関を示す。一方、COおよびT-CHOについては、相関係数がそれぞれ0.402、0.638と必ずしもよくないが、大型車混入率の増大とともに排出係数が増加する傾向を示すことがわかった。

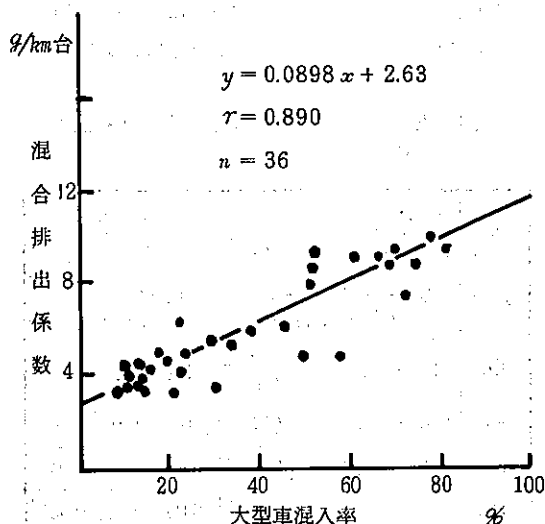


図9 NO_xの混合排出係数と大型車混入率の関係

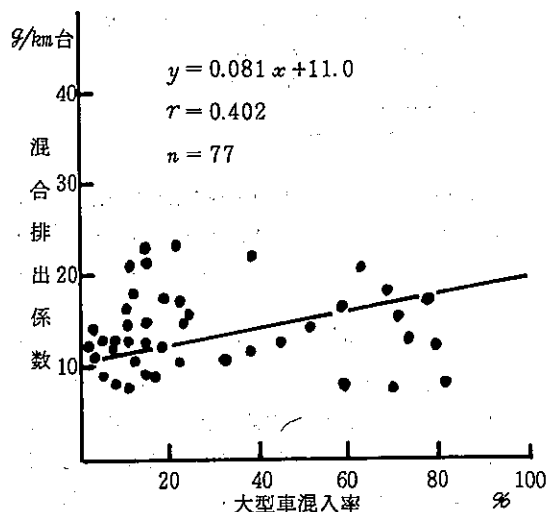


図10 COの混合排出係数と大型車混入率の関係

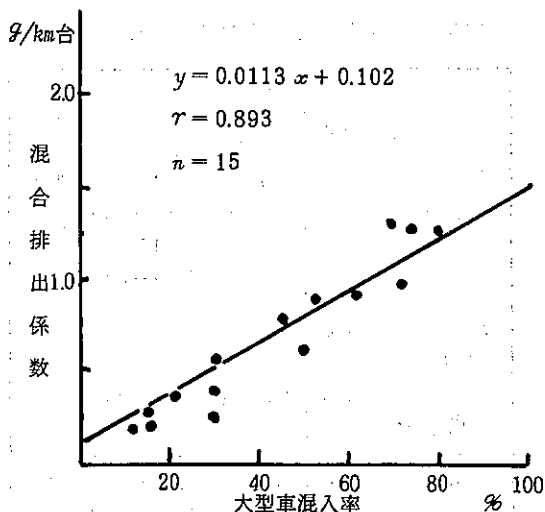


図11 SO₂の混合排出係数と大型車混入率の関係

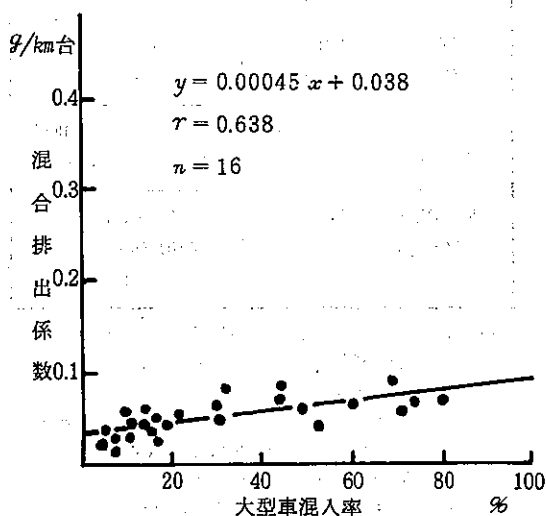


図12 T-CHOの混合排出係数と大型車混入率の関係

5 考 察

混合排出係数と大型車混入率との関係から、大型車および小型車の排出係数を試算した結果を、すでに報告されている値とともに表5に示す。ここでいう大型車、小型車は、車軸間距離4.5mを境に区分したものであるため大型車のほぼ全部がディーゼル車で、そのうち大部分が直接噴射式ディーゼル車であると考えられる。一方、小型車には、ガソリンエンジンの乗用車、貨客車、小型貨物車およびディーゼルエンジンの乗用

表5 粒子状物質およびガス状物質の排出係数

	排出係数試算値		排出係数に関する報告例*1
	大型車	小型車	
浮遊粉じん (g/km台)	2.85	0.74	① 大型車1.20 小型車0.20 ② 大型ディーゼル1.9 ③ 大型車1.5 ④ 小型ディーゼル0.26
光散乱粒子 (g/km台)	0.629	0.064	
サブミクロン粒子 ($\times 10^4$ 個/km台)	2.59	0.23	⑤ 小型ディーゼル110
NO _x (g/km台)	10.6	2.6	① 大型車8.43 小型車2.43 ④ 小型ディーゼル3.45 ⑥ 大型ディーゼル 49年規制車12~15 52年規制車10.5~11.5
SO ₂ (g/km台)	1.21	0.10	③ 大型車1.5 ④ 小型ディーゼル0.85
CO (g/km台)	19	11	① 大型車5.64 小型車10.64 ④ 小型ディーゼル1.56
T-CHO (mg/km台)	83	38	⑦ 小型ディーゼル HCHO 69.9 ⑧ 大型ディーゼル29~74

(注) *1 報告例の条件等は、①鈴木ら²⁾ 都夫良野トンネル80km/時
② Bainesら⁷⁾ (全積載 平均50km/時)
③ Piersonら⁸⁾
④ 福岡ら¹⁾ 渦室式ディーゼル車(3ℓ, 2t車)80km/時
⑤ 朝来野ら⁸⁾ 渦室式ディーゼルエンジン(3.6ℓ) 80km/時
⑥ 正森ら⁹⁾ 勾配0% 80km/時 定常走行
⑦ 福岡ら¹⁾ 渦室式ディーゼル車(3ℓ, 2t車)走行モード
M-15
⑧ Hareら¹⁰⁾ 直噴式ディーゼル車(10.4ℓ)

車、小型貨物、普通貨物車の一部が含まれると考えられる。

浮遊粉じんの排出係数は、大型車2.85g/km台、小型車0.74g/km台と、他の報告値と比較して高いが、走行によって舞い上げられる土などをも含めた車両1台、1km走行当りの排出量であることから、シャーシダイナモ実験値より高くなることは推測できることである。

NO_xについては、鈴木ら²⁾が都夫良野トンネルで

の調査をもとに算出した排出係数と比較してわずかに高いが、正森ら⁹⁾が実験によってもとめた52年規制大型貨物ディーゼル車の80km/時走行時の排出係数とよい一致をみた。

COについては、排出係数が他の報告値と比較して高いことのほかに、鈴木ら²⁾が排出係数と大型車混入率が負の相関をもつことを示した1977年当時の傾向と異なる結果が得られた。

つぎに、浮遊粉じん中に含まれるBaP、硫酸根および重金属類の混合排出係数ならびに浮遊粉じん中含有率について、関連する報告値とともに表6に示す。

表6 BaP、硫酸根および重金属類の排出係数の比較

	混合排出係数 試算値 (mg/km台)	報告値に基づく 計算値 (mg/km台)	浮遊粉じん中含有率(%)	
			試算値	報告値
BaP	0.8 ~ 1.2 μg/km台	ディーゼル率*1 1.75 μg/km台	0.8~2.4 ppm	6 ppm
SO ₄ ²⁻	19 ~ 74	大型車*2 30	2.1~7.3	-
Fe	2.9 ~ 8.7	0.027 *3	0.5~0.9	-
Zn	0.10~0.38	0.30 *3	0.02~0.04	0.04*4
Pb	0.36~3.27	0.045 *3	0.04~0.32	0.52*4
Mn	0.06~0.14	1.00 *3	0.008~0.013	0.27*4

(注) *1 Williamsら¹¹⁾ 1978年型5.7ℓ
*2 Piersonら⁸⁾
*3 日本自動車研究所⁶⁾ 直噴式エンジン(10ℓ 6V)
1150 r.p.m, 54 kg.mにおける排ガス中の金属濃度を用いて、排ガス量5m³/kmと仮定して計算。
*4 Hareら¹⁰⁾ 大型ディーゼル車(10ℓ V-8)
燃料EM-238-F

BaPの混合排出係数は0.8~1.2μg/km台、浮遊粉じん中含有率は0.8~2.4ppmと、Williamsら¹¹⁾の報告値と比べ、いずれもやや小さいがオーダーの一致する結果が得られた。

硫酸根の混合排出係数は、大型車混入率41.5%において58.7mg/km台である。この混入率におけるSO₂の排出係数は0.573g/km台であることから、総S分に占める硫酸根の割合はS換算で6.4%となる。東京都公害局の調査¹²⁾によれば、都内で販売されている軽油中のS分は平均0.410wt%、ガソリン中のS分は平均0.008wt%である。大型ディーゼル車の燃

料消費量を $5.0 \text{ km}/\ell$ 、軽油の比重を 0.84 であるとすると、S分の排出係数は $0.68 \text{ g}/\text{km}$ 台である。このうちS換算で 6.4% が硫酸根となると仮定すると、 SO_2 および硫酸根の排出係数は、それぞれ $1.27 \text{ g}/\text{km}$ 台および $131 \text{ mg}/\text{km}$ 台となり、 SO_2 については本調査結果とよい一致を示し、S分の収支のうえからも妥当な結果であることがわかる。

浮遊粉じん中に含まれる重金属類の混合排出係数を、日本自動車研究所でもとめたエンジン排ガス中の金属濃度⁶⁾から試算した排出係数と比較すると、鉄、鉛およびマンガンの混合排出係数が著しく高く、亜鉛はほぼ一致することがわかる。このことから、鉄、鉛およびマンガンについてはディーゼル機関からの排出による寄与が低いこと、反対に、亜鉛については内燃機関からの排出による寄与が少なくないことが考えられる。一般に、エンジンオイルには酸化防止剤、極圧剤としてジアルキルジチオリン酸亜鉛(ZDTP)が添加されているため、燃焼によって亜鉛が排出されるものと思われる。また、タイヤゴムの摩耗による亜鉛の排出もあわせて考えることができる。鉄の排出係数は $2.9 \sim 8.7 \text{ mg}/\text{km}$ 台と高いが、主に車両の走行に伴う土等の舞上がりおよび機械の摩耗によるものであると考えられる。また、鉛の排出係数は $0.36 \sim 3.27 \text{ mg}/\text{km}$ 台と比較的大きなばらつきを示しているが、大型車混入率が 41.5% の時に最も低く、ガソリン車に一部使用されている有鉛ガソリンに由来するものと思われる。

以上、調査結果にもとづき検討を加えてきたが、本調査では、トンネル内の風速を連続的に実測することができなかったため、自然風および走行風について仮定をたて計算せざるを得なかったことから、あくまでも試算の域を出ていない。

本調査は、ディーゼル車の排出実態をフィールド調査を通じて解明する第一段階であり、今後、トンネルにおける調査手法を確立するうえで改善すべき課題として、トンネル内風速の測定および換気風量の正確な把握、路面からの舞上がり寄与をアルミニウムや鉄成分を用いて補正することなどがあげられよう。

今後、本調査の結果を基礎に、限定された2,3の車種のディーゼル車のみが通行する専用トンネルでの調

査を実施し、ディーゼル車の排出実態および汚染物質の移流中の変化等について明らかにする予定である。おわりに、本調査を実施するにあたって、日本道路公団八王子支局大月管理事務所の全面的な協力をいただいたことに厚く謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 福岡三郎ほか：小型ディーゼル車からの汚染物質排出実態，東京都公害研究所年報（1981）。
- 2) 鈴木忠男ほか：高速道路における自動車排出ガスの排出係数，自動車技術会学術講演前刷集 782, 719, (1978)。
- 3) Pierson, W. R. et. al.: Sulfate Emissions from Vehicles on the Road, A.P.C.A. 28, 2 (1978)。
- 4) 菅那子ほか：高速液体クロマトグラフィを用いた多環芳香族炭化水素の迅速分析，東京都公害研究所年報（1981）。
- 5) 財団法人環境衛生センター：浮遊粒子状物質の測定法に関する調査報告書，39（1977）。
- 6) 鈴木忠男ほか：ディーゼル機関より排出される粒子状物質の測定，自動車研究 2, 2, 45（1980）。
- 7) Baines, T.M. et. al.: Heavy Duty Diesel Particulate Emission Factors A.P.C.A. 29, 6, 616（1979）。
- 8) 朝来野国彦：燃焼に伴うエアロゾルの発生 日本気象学会1980年度春季大会講演予稿集(1980)。
- 9) 正金栄吉ほか：高速道路における自動車排出ガスの排出係数(その3)自動車技術会学術講演会前刷集 782, 729（1978）。
- 10) Hare, C.T.: Characterization of Heavy Duty Diesel Gaseous and Particulate Emissions, and Effects of Fuel Composition SAE paper 790490。
- 11) Williams, R.L. and Swarin, S.J.: Benzo (a) Pyrene Emissions from Gasoline and Diesel Automobiles SAE paper 790419。
- 12) 東京都公害局大気保全部：自動車公害ハンドブック 37（1980）。