

自動車用トンネルを利用した排出ガス調査 (I)

石井 康一郎 泉川 碩雄 中村 健* 星 純也
桜井 健郎** 田辺 潔** 森口 祐一** 若松 伸司**
(*現大気保全部 **国立環境研究所)

要 旨

トンネルの換気塔を利用して、その中を走行する車両からの排出ガスの調査を行った。平日と休日(週末)の交通量、車種及び求めたCO, NO_x, PMの排出量等を解析して、各日の特性を検討し、次の結果を得た。

- (1) CO, NO_xの排出量は、平日には大型車の多い朝から夜にかけて多いが、大型車の少ない休日では終日ほぼ一定で平日の深夜や早朝程度に低い。
- (2) PMの排出量は、大型車の交通量との相関が高い。
- (3) (NO₂/NO_x) 比率は休日に低く平日に高い。
- (4) 本実験で求めたNO_xとPMの排出量は、東京都の排出係数から計算した値とほぼ一致した。

キーワード：自動車排出ガス，トンネル排ガス，一酸化炭素，窒素酸化物，粒子状物質，二酸化窒素

A Study on Motor-Vehicle Exhaust from a Road Tunnel (I)

Koichiro Ishii, Sekio Izumikawa, Ken Nakamura*, Junya Hoshi, Takeo Sakurai**,
Kiyoshi Tanabe**, Yuichi Moriguchi** and Shinji Wakamatsu**

* Air Quality Protection Division **National Institute for Environmental Studies

Summary

Measurements of Carbon monoxide (CO), Nitrogen Oxides (NO_x), and Particulate Matters (PM) emitted from motor vehicles running in a road tunnel were carried out at a ventilation stack of the tunnel. By analyzing traffic-volume, traffic-composition data in the tunnel and calculated emission rates of the pollutants, the following characteristics were obtained:

- (1) Heavy-duty (HD) vehicles dominate on weekdays, day and night, when emission rates of CO and NO_x were high. Light-duty vehicles dominate on weekends, all day, when emission rates were constant and as low as those on weekdays, from midnight to early morning.
- (2) Emission rates of PM correlated highly with the traffic-volume of HD vehicles.
- (3) The ratio of NO₂/NO_x was low on weekends, but high on weekdays.
- (4) The measured emission rates of NO_x and PM closely matched those calculated, using the emission factors provided by the Tokyo Metropolitan Government.

Keywords : automobile exhaust gas, tunnel exhaust gas, carbon monoxide, nitrogen oxides, particulate matters, nitrogen dioxide

1 はじめに

自動車は東京等の大都市における主要な大気汚染源であり、その種類と量を把握するための調査研究が行われている。その手法としては、シャーシダイナモメータを用いて測定した自動車排出ガスをベースとする方法が広く用いられている。我々はこうした手法の一つとして自動車用トンネルを利用する調査方法¹⁻⁴⁾が、現実に行走する車両からの排出量を直接求めることができ、また前記の方法で求めた排出量を实地に検証できる等の利点もあることに着目して今回の調査を行った。この方法は車種構成や交通量の特性が異なるトンネルで実施することによって更に实地検証の有効性を高めることができ、またある程度経年的に調査を継続することによって、新しい自動車排出ガス規制の効果の検証をも期待できると考えられる。

本稿は、調査のうちCO, NO_x, PMについてのデータを中間的にまとめたもので、調査日の交通量特性と汚染物質の排出特性との関係や、既存の排出量算出手法による数値との比較検討を行った結果等について報告する。

2 調査

調査は都内のトンネルを利用して平成10年9月の平日（火曜日午後から水曜日午後まで）及び休日（土曜日午後から日曜日午後まで）に各1回実施した。トンネル及び調査方法の概要を以下に示した。

(1) トンネル

調査に利用したトンネルは、全長約1.3km、片側3車線の自動車専用である。トンネルの勾配は、入口から4%の下り区間、水平区間、出口まで4%の登り区間となっている。通過交通量（以下、単に「交通量」という。）は1日約6万台である。図1にその概略を示した。トンネルの換気用に、トンネルの入口付近に送風塔(a)、出口付近に送風塔(b)及び排気塔(c)が設置されている。換気シ

ステムは走行方向別に独立して設けられている。トンネルの断面積は約60m²である。

(2) 調査方法

入口における外気の走行風による持ち込みを出来るだけ少なくするために、トンネルの換気は、送風量>排風量の条件で行った。その際、トンネル内安全走行のため大気汚染物質を一定濃度以下に保ち、かつ排気塔ガスと外気との濃度差を出来るだけ大きくするように、送風量と排風量のバランスを設定した。すなわち、トンネルにおける過去の走行量と換気条件のデータを踏まえ、A〔送風量：275m³/sで排風量：190m³/s〕とB〔送風量：515m³/sで排風量：360m³/s〕の2条件を選定した。（送風量と排風量は定格値である。）調査時には、平日は13時に条件Bに設定して14時から測定を開始し、19時から20時の間に条件Aに変更し、翌日8時から9時の間に再度Bに変更した。休日は条件Bで終日実施した。このように換気条件を一定に保つことにより、一定の希釈条件下で多くのサンプルを採取することが可能になった。

(3) サンプルングおよび分析

トンネルの排気ガスは排気塔(c)の点検孔からサンプルングした。バックグラウンドとした外気は、2つの送風塔の空気取入口付近において、サンプルングした。

連続測定機で測定した大気汚染物質は、窒素酸化物（ケミルミネセンス法：(a)(b)(c)）、一酸化炭素（非分散赤外吸光光度法：(a)(b)(c)）およびオゾン（紫外吸光光度法：(a)）である（()内は測定原理及び測定地点である）。この他に、本稿に関係する項目として、ハイボリュームエアースンプラーに石英繊維製のろ紙を装着して粒子状物質（PM）のサンプルングを行った。捕集量は、ろ紙をサンプルングの前と後に温度20℃湿度50%の条件下24時間放置後恒量して、サンプル採取の前後の秤量値の差から求めた。このうち炭素を熱的分離法（分離温度350℃）により有機成分と無機成分に分けて定量した。



図1 トンネルの概要図

(4) 排出量の算出

調査測定した大気汚染物質のトンネル内の1時間平均濃度(C)は、トンネル内で発生する燃焼由来のガス量が無視できるため、次式で近似することができる。

$$C = (C_{ex} - (C_{in-a} + C_{in-b}) / 2)$$

ここで、 C_{ex} は排気塔での濃度(ppm)、 C_{in-a} 、 C_{in-b} は採取地点a、bにおける外気の濃度(ppm)を表す。ただし、 NO_2 濃度に対しては、オゾン濃度の補正を行った。

Cに送風量 V_m (m^3/h)を乗じて、質量に換算することにより1時間平均排出量を求めた。

(5) 交通量計測

トンネル内に設置された計測器(超音波方式)により、全時間帯で全走行台数及び大型・小型の車種区分が計数されている。この他、目視により7車種区分の測定を行った。

3 結果及び考察

(1) 交通量

2回の調査日における交通量の計測結果及び大型車混入率の時間変化を図2、3に示した。これらの図はトン

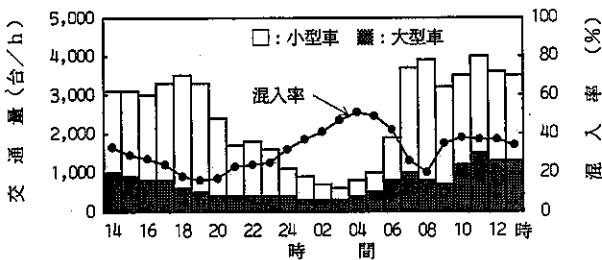


図2 平日の大型・小型別交通量と大型車混入率

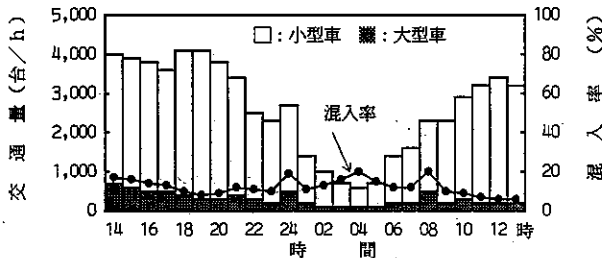


図3 休日の大型・小型別交通量と大型車混入率

ネルにおける平均的な交通量の変化パターンを示しており、平日・休日(土曜日の午後から日曜日の午後までの時間帯)別の交通量特性が表されていると考えられる。なお、土曜日と日曜日はいずれも休日であるが、それらの交通量特性は異なっており、厳密には土曜日と日曜日とを分けて扱う必要があると思われる。しかし、ここで

は平日と異なる交通量の変化パターンであることが以下の検討を進める上で重要であると考え、このように表した。

ア 全交通量

平日と休日の1日全交通量はほぼ同程度であり、全交通量が2、3時に最低となる変化パターンは共通していた。14時から20時までは、平日休日ともに全交通量の多い時間帯であり、平日は3,000台/hをやや上回っているが、休日はそれより常時300~1,700台/h程度多かった。また、21~24時にはそれより減少するが、平日で平均1,500台/h、休日で平均2,800台/hであった。

深夜から早朝6時までの全交通量はともに600台/h程度であったが、7時の交通量は平日が3,700台/hで、休日と2,100台/hの違いがあった。以後13時までは、平日は3,600台/h程度の一定した交通量であったが、休日の交通量は8時の2,300台/h程度から徐々に増加し、午後には平日のレベルに達していた。

このように、平日休日の一日の変化パターンはよく似ているが、早朝から午前中は平日の交通量の方が多く、午後は休日の交通量の方が多いという特徴が認められる。

イ 大型車交通量および大型車混入率

大型車は、休日は全ての時間帯で平日より交通量が少なく、その変化も少ない。14~17、24、8時に700~500台/hとやや多い交通量となる。また、全交通量に占める大型車の割合(大型車混入率)は日平均で14%程度と平日に比べ低い。

平日の朝から午後早くにかけて大型車の交通量は平均1,100台/hと多く、午後遅くから夜、深夜にかけては400台/hまで減少した。一方、大型車混入率は早朝4時には50%程度と最も高くなり、8時に20%まで低下した後、大型車の交通量が1,500台/hと最大である11時には40%になった。平日の大型車混入率は日平均で30%程度である。

ウ 車種別交通量

各種大気汚染物質の排出量に関する検討を行うためには、大型・小型の2車種分類のみでは不十分であり、詳細な車種分類の交通量データが必要となる。そこで、トンネル入口付近において、走行車両の車種を7区分で判定し、記録した。観測時間は各時間帯のうち15分間とした。結果を車種別交通量として表1に示した。

表1 車種別交通量観測結果

(単位: 台/15min)

車種	火曜 15時	水曜 9時	水曜 11時	水曜 13時	水曜 15時	土曜 14時	日曜 9時	日曜 10時	日曜 12時	日曜 13時
軽自動車	22	24	24	23	22	36	20	21	32	19
乗用車	418	325	251	231	369	747	570	782	788	867
バス	35	20	6	19	16	16	36	20	20	12
小型貨物	105	140	115	101	69	20	13	7	5	9
貨客車	142	180	219	224	200	144	101	71	68	44
大型貨物	271	426	452	376	338	190	53	47	50	55
LPG	31	29	29	25	39	18	30	28	26	19
合計	1024	1144	1096	999	1053	1171	823	976	989	1025

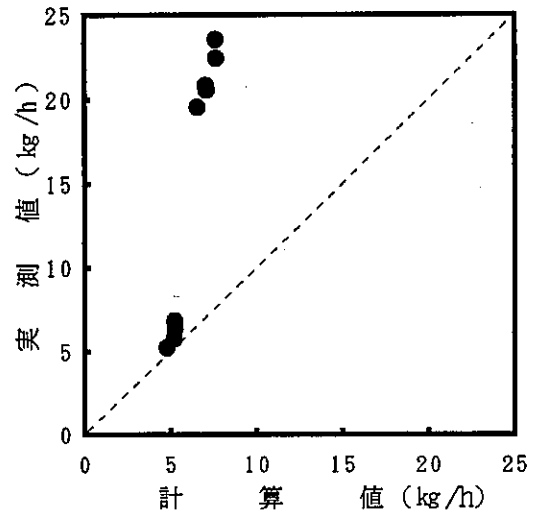


図5 CO排出量の実測値と計算値との比較

(2) 大気汚染物質

ア CO

各調査日におけるCO排出量の時間変化を図4に示した。平日の変動パターンは全交通量の変化パターンと対

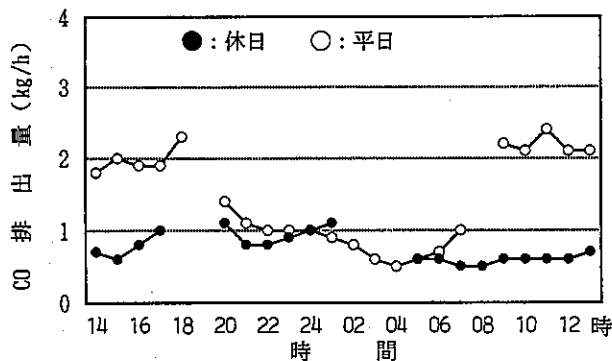


図4 CO排出量の時間変化

応している。休日は排出量の多い時間帯が欠測となっているため、全体的な傾向ははっきりしないが、平日に排出量の多い14~20時、9~13時には、いずれも休日の排出量がそれらの半分以下に低くなっている。

東京都で設定した車種別排出係数⁵⁾及び表1の車種別交通量を用いて、車種別交通量を観測した時間毎にトンネル内で排出されたCOの量を車速70km/h(幹線道路)の条件で計算し、測定データと比較した(図5)。大型車の寄与が大きい排出量を示す領域において、計算値の方がかなり低い値になっている。

イ NOx

各調査日におけるNOx排出量の時間変化を図6に示

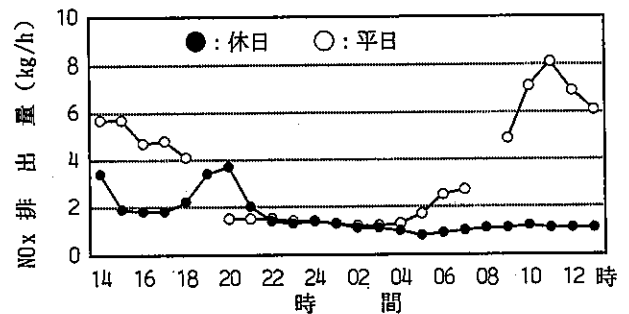


図6 NOx排出量の時間変化

した。平日の排出量は6時から急激に増加し、11時の8.1kg/hを最高に以後夜までは徐々に低下し、20時になって急激に深夜のレベル1.5kg/hまで低下した。深夜から早朝の間はほぼ一定であった。この変化パターンは大型車の交通量の変化パターンとよく対応している。休日の排出量は土曜日の20時で最大3.7kg/hになるが、日曜日は平日の深夜から早朝の低いレベル1.2~0.8kg/hで一定している。

(NO₂/NO_x)比率の時間変化を図7に示した。ディーゼル車と考えられる大型車の交通量の多い平日に高く、交通量の少ない休日に低くなっている。このような休日の比率の特性は神成と山本⁶⁾が環境濃度を解析した結果として報告しているが、図7には道路そのものからの排出の特徴として明瞭に現れている。しかし、平日深夜か

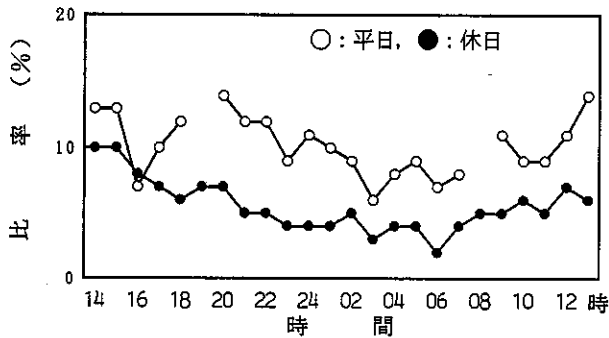


図7 (NO₂/NO_x) 比率の時間変化

ら早朝にかけて大型車混入率が高い時間帯に低く、18~20時の混入率が低い時間帯に高い等必ずしも両者の対応はよくない。そこで、(NO₂/NO_x) 比率に対する大型車混入率を図8にプロットし、両者の関係について検討した。全てのプロットの相関はよくないが、図8に示すよ

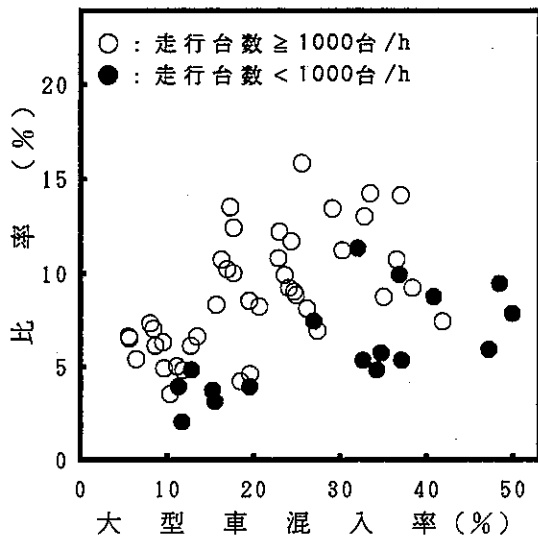


図8 (NO₂/NO_x) 比率と大型車混入率との関係

うに、●印(全交通量が1000台未満:高速時)と○印(全交通量が1000台以上:中高速時)に分けてみると、大型車混入率との相関はよくなる。深夜等の交通量の少ない高速走行時にはディーゼル車のNO₂排出量が中高速時に比較して大きく低下する⁷⁾ため、(NO₂/NO_x) 比率も低くなるものと考えられる。

COと同様にして、車種別排出係数と表1の車種別交通量によりNO_xの排出量を計算し、測定データと比較した(図9)。風量等の計算条件を考慮すると両者はよく一致している。

ウ 炭素成分およびPM

ハイボリュームエアサンプラーで採取したPM中の

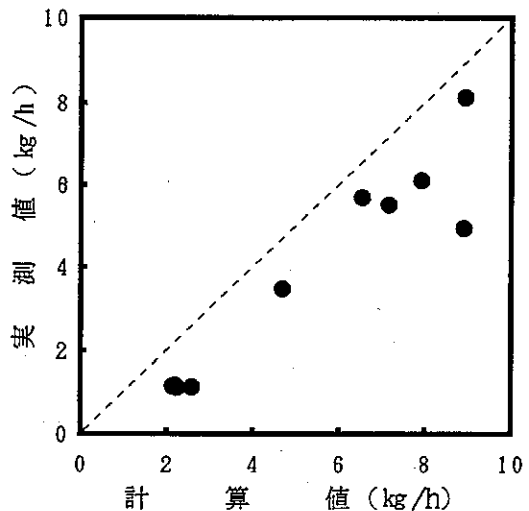


図9 NO_x排出量の実測値と計算値との比較

炭素成分量(有機炭素と無機炭素との和)は82~95%であった。炭素成分の主な排出源である大型車(ディーゼル車)の交通量と両炭素濃度の関係を図10に示した。

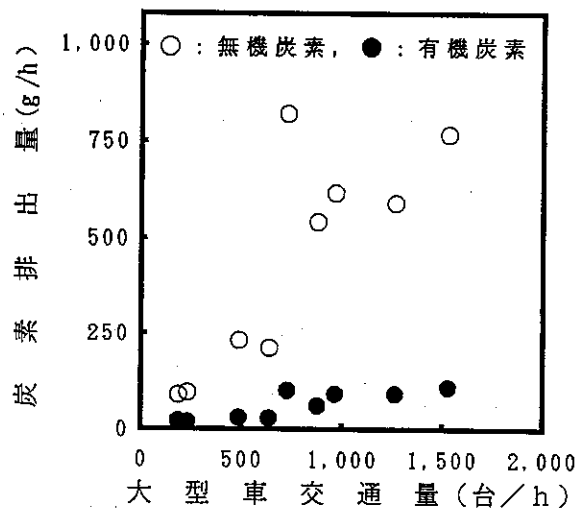


図10 炭素排出量と大型車交通量との関係

有機炭素成分と無機炭素成分とも交通量とよい相関にあることが分かる。

また、排出係数と交通量により計算したPMの排出量を、測定データと比較した(図11)。排出量の少ない領域において計算値の方がやや低い値を示している。

4 おわりに

トンネル調査から得られた交通量データ及び自動車排出ガスデータの解析を行い、平日と休日で交通量や走行車両の特性が異なること、それに伴い変化する自動車排

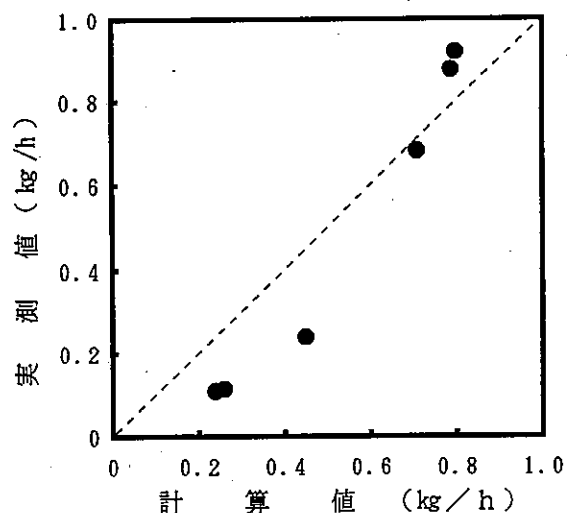


図11 炭素排出量の実測値と計算値との比較

出ガスの排出特性を明らかにした。特に、ディーゼル車から大量に排出されるNO₂やPM中の炭素成分については、大型車交通量とのよい相関関係を示すことができた。また、このトンネルにおける高速走行領域のNO_xやPMの排出量は東京都の排出係数から計算された値と近くなった。今後は、交通量観測機の計測特性の把握や排出量算出精度の向上を図るとともに、走行車種の特性や車速の異なる条件下での調査を行う必要があると考える。

引用文献

- 1) 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'83, p3-10
- 2) Johanness, S. et.al : Emission factors from roadtraffic from a tunnel study (Gubrist tunnel, Switerland) Part I : concept and first results, The Science of the Total Environment, 169 (1995) , p141-147
- 3) W.R.Pierson et.al : Real-World Automotive Emissions - Summary of Studies in the Fort McHenry and Tuscarora Mountain Tunnels, Atmos. Environ., 30 (12) , p2223-2256 (1996)
- 4) Roberto Bellasio : Modelling traffic air pollution in road tunnels, Atmos. Environ., 31 (10) , p1539-1551 (1997)
- 5) 東京都環境保全局大気保全部：平成9年都内自動車走行量及び排出係数算出調査 (1998)
- 6) 神成 陽容, 山本 宗一：東京における休日の大気環境の特性, 大気環境学会誌 33(6), p384-390 (1998)

- 7) 石井 康一郎, 飯田 靖雄：ディーゼルトラックから排出される二酸化窒素 (NO₂) について, 第37回大気環境学会予稿集, p522 (1996) (大気環境学会誌 (印刷中))