自動車用トンネルを利用した排出ガス調査（I）

石井 廖一郎 泉川 碩雄 中村 健* 星 純也
桜井 健郎** 田辺 潔** 森口 拓一** 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, NOx, 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, NOx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) (NOx/NO)比率は休日に低く、平日に高い。
(4) 本実験で求めたNOxとPMの排出量は、東京都の排出係数から計算した値とはほぼ一致した。

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 (NOx), 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 NOx 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 NOX/NO was low on weekends, but high on weekdays.
(4) The measured emission rates of NOx 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

東京都環境科学研究所年報 1999
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、シャーシダイナモーメータを用いて測定した自動車排出ガス量をベースとする方法が広く用いられている。われわれはこうした手法の一つとして自動車用トンネルを利用した調査方法を考案し、現実に走行中の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実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を適検することで更に実地検証の有効性を高めることができ、またある程度を超えた調査を必要とすることによって、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, NOx, PMについてのデータを対象にまとめたもので、調査日の交通量特性と汚染物質の排出特性との関係、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日実施した。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にその概要を示した。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)及び排風塔(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60㎡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、かつ排風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、排風量：190m³/s】とB【送風量：515m³/s、排風量：360m³/s】の2条件を設定した。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Aを設定し14時から測定を開始し、19時から20時までの間に条件Aに変更し、翌日8時からは9時の間に再度Bに変更した。休日は条件Bを終日実施した。このように換気条件を一定に保つことにより、一定の統計条件下でのサンプルを採取することが可能になった。

(3) サンプリングおよび分析

トンネルの排気ガスは排気塔(c)の点検孔からサンプリングした。バックアップとした外気は、2つの送風塔の空気取入口付近において、サンプリングした。

連続測定器で測定した大気汚染物質は、酸素酸化物（ケミカルミクセーション法: (0)(0)(0))、一酸化炭素（非分散赤外吸光光度法：(0)(0)(0))およびオゾン（紫外吸光光度法：(0)(0)(0))である（(0)(0)(0)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、ハイパリアルサイズサンプラーに石英繊維製のろ紙を装着して粒子状物質（PM）のサンプリングを行った。捕集量を、ろ紙をサンプリングの前と後に温度20℃時湿度50%の条件下24時間放置後恒温室、サンプル採取の前の捕集量の差から求めた。このうち炭素を熱的分解法（分解温度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

東京都環境科学研究所年報 1999
(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。

\[ C = (C_{a} - (C_{a} + C_{b}) / 2) \]

ここで、C_aは排気管での濃度（ppm）、C_{a}, C_{b}は採取地点a, bにおける外気の濃度（ppm）を表す。ただし、NOx濃度については、オゾン濃度の補正を行った。

Cに送風量V_s（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、目標により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合率の時間変化を図2, 3に示した。これらの図はトン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（土曜日の午後に次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 交通量

平日と休日の1日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、平日休日ともに交通量の多い時間帯であり、平日は3,000台/勿をやや上回っているが、休日はそれより時計300〜1,700台/勿程度多かった。

また、21〜24時にはそれより減少するが、平日で平均1,500台/勿、休日で平均2,800台/勿であった。

深夜から早朝6時までの交通量は600台/勿程度であったが、7時の交通量は平日が3,700台/勿で、休日と2,100台/勿の違いがあった。以後13時まで、平日は3,600台/勿程度一定した交通量であったが、休日の交通量は2時間0台/勿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、平日休日のある一日の交通量パターンは高似ているが、早朝から午前中は平日の交通量の方が多く、午後に休日の交通量の方が多いという帯状が認められる。

イ 大型車交通量及び大型車混合率

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/勿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（大型車混合率）は日平均で14%程度で平日に比べ低い。

平日の朝から午後早くかけて大型車の交通量は平均1,100台/勿以上多く、午後遅くから夜、深夜にかけては400台/勿まで減少した。一方、大型車混合率は早朝4時には60%程度と最も高く、8時に20%まで低下した後、大型車の交通量が1,500台/勿と最大である11時には40%になった。平日の大型車混合率は日平均で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、結果を車種別交通量として図1に示した。
表1 車種別交通量観測結果

<table>
<thead>
<tr>
<th>車種</th>
<th>純自動車</th>
<th>小型商用車</th>
<th>大型商用車</th>
<th>LPG</th>
<th>合計</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>級別</td>
<td>水曜日</td>
<td>水曜日</td>
<td>水曜日</td>
<td>水曜日</td>
<td>火曜日</td>
</tr>
<tr>
<td>9時</td>
<td>22</td>
<td>22</td>
<td>22</td>
<td>22</td>
<td>22</td>
</tr>
<tr>
<td>11時</td>
<td>23</td>
<td>23</td>
<td>23</td>
<td>23</td>
<td>23</td>
</tr>
<tr>
<td>13時</td>
<td>23</td>
<td>23</td>
<td>23</td>
<td>23</td>
<td>23</td>
</tr>
<tr>
<td>15時</td>
<td>23</td>
<td>23</td>
<td>23</td>
<td>23</td>
<td>23</td>
</tr>
<tr>
<td>17時</td>
<td>23</td>
<td>23</td>
<td>23</td>
<td>23</td>
<td>23</td>
</tr>
<tr>
<td>19時</td>
<td>23</td>
<td>23</td>
<td>23</td>
<td>23</td>
<td>23</td>
</tr>
</tbody>
</table>

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に対応している。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時になった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。

(NOx/NOx)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下している。このような休日の比率の特性は神経と山本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確に現れている。しかし、平日夜は
なら早朝にかけて大型車混入率が高い時間帯に低く、18～20時の混入率が高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、（NOx/NOx）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り、図8に示すように、○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）に分けそしてみると、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NOx排出量が中高速時と比較して大きく低下するため、（NOx/NOx）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NOx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。

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は図10に示した。

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釈を行い、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
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NOx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车辆のNOx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かった。今後は、交通量観測機の計数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）伊藤 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
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年度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(3), p384-390（1998）