自動車トンネルを利用した排出ガス調査（Ⅲ）
－ 一般道トンネルを利用した調査結果 －

星　純也　石井康一郎　井原真理子*　小島茂喜*
桜井健郎**　森口祐一**　田邉　潔**　若松伸司**
（*非常勤研究員　**国立環境研究所）

要　旨

一般道路の自動車専用トンネルを利用して、道路を走行している自動車から排出される有害物質の排出実態調査を行った。本調査ではトンネル出入口において、浮遊粉じん（TSP）、微小粒子、粗大粒子、二酸化炭素、アンモニア、揮発性有機化合物等の広範な成分について測定を行い、大型車、小型車別に下記の排出係数を得た。

TSP　　小型車：0.06g/(台･km)、大型車：0.18g/(台･km)

ベンゼン　　小型車：4.4mg/(台･km)、大型車：4.2mg/(台･km)

ホルムアルデヒド　　小型車：0.15mg/(台･km)、大型車：14mg/(台･km)

TSP、微小粒子、粗大粒子、不飽和炭化水素類では小型車に比べ大型車の排出係数が高く、これらの成分は大型車（ディーゼル車）からの排出が多いという結果がトンネル調査からも得られた。また、著者らが1998年に高速道路トンネルで行った調査結果と比較すると、炭化水素類はほぼ同等の排出係数となったが、TSP、微小粒子、粗大粒子、アルデヒドでは前回調査に比べ1/4～1/3の排出係数となった。

キーワード：自動車排出ガス、揮発性有機化合物、微小粒子、粗大粒子、排出係数

1　はじめに

東京都における浮遊粒子状物質はここ数年、平均濃度では若干の減少傾向を示している。しかし、環境基準の長期評価では道路沿道を中心に環境基準を達成できない状況が続き、平成13年度の環境基準達成率は一般環境大気測定局で26％、自動車排出ガス測定局では０％であった[1)]。浮遊粒子状物質の発生源別排出量のうち80％以上は自動車からの排出と推定されており[2)]、浮遊粒子状物質排出量削減のためには自動車排出ガス対策のための正確な発生源データが必要とされている。

また、都内の光化学オキシダントについてもここ10年以上、環境基準達成率が短期評価で０％となっており、早急に対策が必要とされる。光化学オキシダントの生成要因の一つである炭化水素類は自動車からの排出も多く[3)～5)]、光化学オキシダント対策の面からもこれら炭化水素の発生源対策が必要となってくる。一方、炭化水素はそれ自体が発ガン性などを有する有害大気汚染物質に指定されているものもあり[6)]、大気中の炭化水素についても今後、正確な発生源データが必要となってくる。

著者らは自動車から排出される様々な有害物質の排出量を把握するために、これまで高速道路トンネルでの調査を行い、結果を報告してきた[7)～9)]。トンネルを用いた調査では、道路沿道における調査に比べ気象条件の影響を受けにくく、バックグランドの処理が容易である点や、実際に走行している車両の平均的な排出ガスを把握できる点などで優れている。著者らは平成

12年度に新たに一般道路の自動車専用トンネルを用いて無機成分、有機成分等の広範な成分について自動車からの排出量調査を行った。本報告では、平成12年度の一般道路における調査結果を平成10年度に行った高速道路調査結果との比較も含めて報告する。

2　調査方法

⑴　対象トンネル概要

調査対象としたトンネルは一般道に設置された片側２車線の自動車専用トンネルで、トンネル延長は約1.26km、断面積約40m²の大きさである（図１）。トンネルはほぼ南北の位置に設置されており、北方向への走行路と南方向の走行路は隔壁によって仕切られ、両走行路の間では空気は行き来しない構造になっている。トンネルの換気システムは方向別に独立しており、トンネル内２箇所に設置されたジェットファンおよび車両走行方向での出口付近に設けられた排気設備によって行われている。また、トンネル内には３ヶ所に超音波風向風速計が設置され、トンネル内の風向と風速のモニターを行っている。本研究では南から北へ向かう走行車線のトンネルを利用して調査を行った。

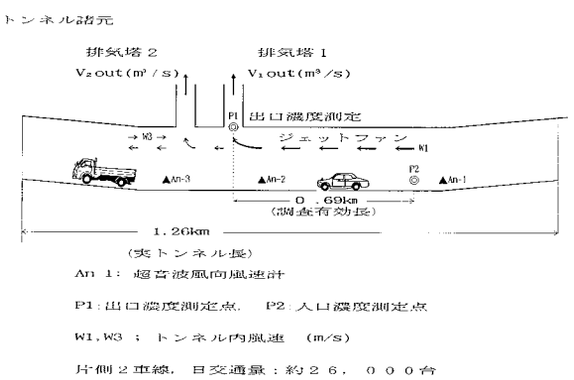

図１　調査トンネル概要

⑵　測定対象成分

本調査では二酸化炭素（CO_2）、浮遊粉じん（TSP）、粒子状物質（微小粒子、粗大粒子）、元素状炭素（EC）、アンモニア、炭化水素類53成分、アルデヒド類２成分を測定対象成分とした（表３）。

⑶　試料の採取

試料はトンネル内の車両走行方向入口（南側）から約200mトンネル内に入った地点にある非常駐車帯（トンネル入口：P2）および走行方向出口（北側）より約400m手前のトンネル天井に設けられた排風機室内（トンネル出口：P1）において採取した（図１）。

調査は2001年３月10日（土）～３月13日（火）の計４日間で行い、土曜、日曜および平日において試料を採取するように日程を設定した。また、CO_2については自動測定機による連続測定を行い、その他に成分については２時間で１試料の採取とした。試料採取は、基本的にはトンネル入口（P2）とトンネル出口（P1）で同時に行った。

TSP、粒子状物質、アンモニア、アルデヒドは３月10日から12日までは10:00～18:00の間に２時間づつ、１日４試料を採取した。３月13日は10:00～16:00まで３試料を採取した。計15試料のうち排出係数の算出に用いたデータは、成分によって異なるが、10～13試料であった。炭化水素は３月10日10:00～18:00（４試料）、３月11日12:00～14:00（１試料）、３月12日10:00～22:00（６試料）、３月13日12:00～16:00（２試料）の計13試料を採取した。

⑷　交通量および車速の測定

トンネル内の交通量の計測はトンネル内の監視カメラ２地点にビデオを接続しトンネル内交通量を録画したテープの解析によって行った。録画ビデオの解析では二輪車、軽乗用車、軽貨物車、乗用車、貨客車、バス、小型貨物車、普通貨物車の８区分に分けて計測を行った。

また、車速の計測は２台のビデオの間の距離をビデオに映った自動車が通過する時間を測定することによって行った。

⑸　試料の採取・分析方法

各成分の測定方法は以下のとおりであった。

ア）CO_2の測定

CO_2は非分散赤外吸収法による自動測定機により、トンネル出入口において調査期間中の連続測定を行った。

イ）浮遊粉じん（TSP）および粒子状物質の測定

TSPはハイボリュームエアーサンプラによって石英繊維ろ紙に２時間捕集した。粒子状物質はアンダーセン・ボリュームエアーサンプラーにより11μm以上（巨大粒子）、2.1～11μm（粗大粒子）、2.1μm以下（微小粒子）の３つの粒径範囲別に採取した。ろ紙は捕集

前に温度20℃、湿度50％の恒温恒湿槽に24時間以上保持した後、その重量を秤量した。試料捕集後にも同様にしてろ紙重量を秤量し、その差からTSPおよび粒径別の粒子状物質の値を求めた。

ウ）元素状炭素

元素状炭素はTSPおよび粒子状物質を採取したろ紙を秤量した後、以下の方法で分析した。試料を酸素存在窒素気流下で加熱し、350℃まで昇温･保持時間（５分間）内に生じたCO_2量から計算した炭素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CO_2量から計算した炭素量を元素状炭素とした。

エ）アンモニア

アンモニアの測定は基本的には松本[10]の方法に準じて行った。すなわち、試料大気を直列に接続したテフロンろ紙及びリン酸を含浸させたカートリッジに約１L/minの速度で通し、粒子状アンモニア、及びガス状アンモニアを捕集した。捕集後のろ紙及びカートリッジ中のアンモニアは、イオン交換水に抽出・溶出させイオンクロマトグラフィーにより定量した。

オ）炭化水素類

炭化水素類は内部を不活性化処理したステンレス容器（キャニスター）を真空に減圧し、マスフローコントローラによって採取流量を制御しながら試料を２時間採取した。キャニスターを実験室に持ち帰った後、約150kPaまで加圧し、試料を濃縮してガスクロマトグラフ質量分析計（GC/MS）によって分析した。GC/MSの分析条件を表１に示した。

表１　炭化水素類の分析条件

濃縮条件	トラップ1:-180℃濃縮 → 20℃脱着
	トラップ2:-10℃濃縮 → 180℃脱着
	トラップ3:-180℃濃縮 → 100℃脱着
分析カラム	100%　dimethyl polysiloxane (HP-1)
	長さ60m　内径0.32mm　膜厚1.0 μm
キャリアーガス	He　1.0ml/min
昇温条件	40℃（4min)―5℃/min→140℃―15℃/min→220℃（5min）
インターフェイス温度	260℃
検出モード	Scan

カ）アルデヒド類

アルデヒド類は2,4－ジニトロフェニルヒドラジン（DNPH）を含浸させた市販のカートリッジに試料を２時間吸着採取した。試料を採取したカートリッジは実験室に持ち帰った後、アセトニトリルを用いてアルデヒドのDNPH誘導体を溶出させ高速液体クロマトグラフ（HPLC）を用いて分析した。HPLCの分析条件を表２に示した。

表２　アルデヒド類の分析条件

分析カラム	octadecylsilyl (LC-PAH)
カラム温度	40℃
移動相	アセトニトリル/水　（60：40）　1.0ml/min
検出器	UV　360nm

3　結果および考察

(1)　トンネル交通量および車速

図２に休日（３月11日）と週日（３月12日）の交通量を示した。総交通量は休日，週日とも大きな違いはなかった。しかし、大型車の混入率は休日では変動が少なく、概ね20％以下であるのに対し、週日では20～50％と時間帯によって大きく異なっていた。

車速は計測を行った時間内の平均で68km/hとなり、東京都内の平均車速に比べ速かった。３月10日19時～23時、３月12日７時～８時、３月13日７時～８時に渋滞が見られ、車速が10km/h程度にまで低くなったがその他の時間帯は渋滞はなく、おおむね60～80km/hの車速であった。

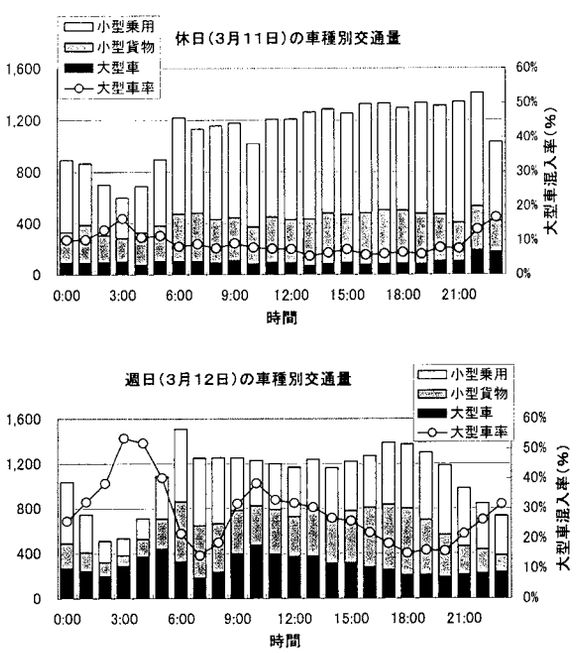

図２　トンネルの交通量
（休日（3月11日）および週日（3月12日））

(2)　トンネル排風量

トンネルから排気される空気量は、トンネルに設置

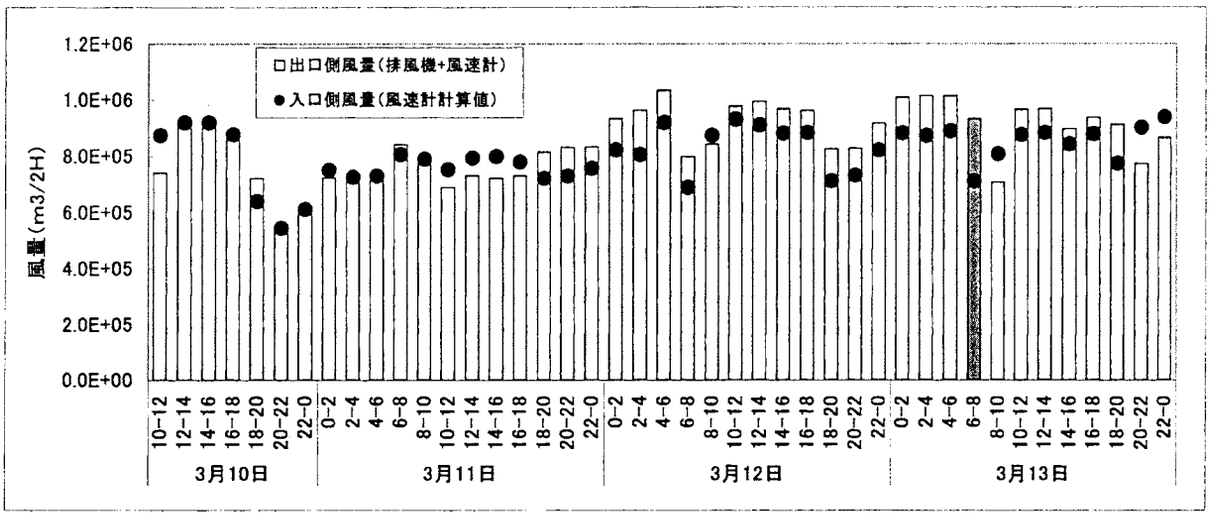

図３　トンネル排風量（トンネル出入口の比較）

された排風機の排気量およびトンネル出口から走行する自動車と一緒に持ち出された空気量の合計とし、下記の式により算出した。

$V=V_{1}out+V_{2}out\pm W3\times D$

V：出口側排風量（m^3/s）

V1out：排気塔１の排風量（m^3/s）

V2out：排気塔２の排風量（m^3/s）

W3：超音波風向風速計(Sn-3)の風速測定値(m/s)

Ｄ：トンネル断面積（m2）

排風機による排風量は排風機の運転状況と排気能力から算出した。トンネル出口から持ち出される空気量については、出口側に設置された風向風速計（An-3）の風速とトンネル断面積から求めた。風速は５分毎のデータについて１時間毎に移動平均を求めて用いた。排出係数の算出の際は排風機による排気、トンネル出口からの排気とも試料採取時間の合計を求めて計算に用いている。

また、排気量の精度を検証するためトンネル入口側の風速計の風速から求めたトンネル流入空気量を下記の式によって求めた。

$Vin=W1\times D$

Vin：入口側風量（m^3/s）

W1：超音波風向風速計(An-1)の風速測定値(m/s)

Ｄ：トンネル断面積（m^2）

図３にVとVinの２時間合計値を比較して示した。この結果、流入と排気ではほぼ等しい値が得られ、両者の値は３月13日６時－８時を除いて20％以上の相違は見られなかった。３月13日６時－８時はAn-3の風速計がマイナスの値を示し、トンネル出口側から空気が流入していた時間帯であり、出口からの持ち出し量が正確に把握されていないことが予想される。しかし、この時間帯はCO_2以外の成分は採取しておらず、排出係数の算出に影響を及ぼす風量データではなかった。

⑶　トンネル内空気中の汚染物質濃度

表３にトンネル内出入口で観測された空気中の有害物質濃度を一覧に示した。トンネル内では有害物質濃度は入口に比べ出口ではおおむね２倍程度の濃度が観測された。すなわち、この出口濃度と入口濃度の差がトンネル内で自動車によって付加された濃度であり、この濃度差が分析の定量下限と比べ、十分に大きい濃度である成分について後で述べるように自動車からの排出係数の算出を行った。なお、先に述べたようにトンネル入口（P2）の測定地点は実際に自動車がトンネルに進入する入口から200mほどトンネル内に入った地点であり、この200mの間に走行する自動車から付加された有害物質濃度も含めた濃度となっている。そのため、例えばベンゼンでは8.8μg/m^3となっており、道路沿道での平成12年度の平均濃度[11]と比べても高い値となっている。

⑷　総交通量に対する排出係数

排出係数を算出するにはトンネル内で付加された有害物質濃度が分析の定量下限と比較して十分に大きな値でなければならない。そこで、排出係数の算出はトンネル出入口の有害物質濃度差が全ての試料で、分析

表３　トンネル出入口の空気中濃度

（μg/m³）

	入口(Cin)		出口(Cout)			入口(Cin)		出口(Cout)	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差		平均	標準偏差	平均	標準偏差
無機成分					有機成分				
二酸化炭素(CO_2)(ppm)	495	35	643	77	不飽和炭化水素(18成分)				
アンモニア(ガス状)	155	33	333	75	ﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ	11	3.0	22	6.3
アンモニア(粒子状)	8.1	6.0	11	7.9	1-ﾌﾞﾃﾝ	5.9	1.3	13	3.6
有機成分					1,3-ﾌﾞﾀｼﾞｴﾝ	2.5	0.66	4.9	1.7
飽和炭化水素					ﾄﾗﾝｽ-2-ﾌﾞﾃﾝ	1.3	0.36	2.5	0.91
ｲｿﾌﾞﾀﾝ	8.2	2.1	15	4.3	ｼｽ-2-ﾌﾞﾃﾝ	1.1	0.29	2.1	0.87
ﾌﾞﾀﾝ	9.0	2.3	15	4.9	3-ﾒﾁﾙ-1-ﾌﾞﾃﾝ	0.43	0.11	0.87	0.29
ｲｿﾍﾟﾝﾀﾝ	8.7	2.3	16	5.5	1-ﾍﾟﾝﾃﾝ	1.4	0.46	3.1	0.90
n-ﾍﾟﾝﾀﾝ	9.2	2.7	17	6.3	ｲｿﾌﾟﾚﾝ	0.68	0.40	0.92	0.84
2,2-ｼﾞﾒﾁﾙﾌﾞﾀﾝ	0.71	0.26	1.4	0.55	ﾄﾗﾝｽ-2-ﾍﾟﾝﾃﾝ	1.3	0.47	2.5	1.0
2,3-ｼﾞﾒﾁﾙﾌﾞﾀﾝ	1.2	0.44	2.3	0.89	ｼｽ-2-ﾍﾟﾝﾃﾝ	0.81	0.27	1.6	0.6
2-ﾒﾁﾙﾍﾟﾝﾀﾝ	6.9	2.4	13	4.6	2-ﾒﾁﾙ-2-ﾌﾞﾃﾝ	1.6	1.1	1.5	1.7
3-ﾒﾁﾙﾍﾟﾝﾀﾝ	5.8	2.0	11	4.0	ｼｸﾛﾍﾟﾝﾃﾝ	0.33	0.11	0.67	0.22
n-ﾍｷｻﾝ	5.2	2.2	9.9	4.3	4-ﾒﾁﾙ-1-ﾍﾟﾝﾃﾝ	<0.15		0.17	0.07
ﾒﾁﾙｼｸﾛﾍﾟﾝﾀﾝ	1.9	0.8	3.5	1.2	2-ﾒﾁﾙ-1-ﾍﾟﾝﾃﾝ	1.2	0.45	2.7	0.80
2,4-ｼﾞﾒﾁﾙﾍﾟﾝﾀﾝ	0.49	0.26	0.95	0.45	ﾄﾗﾝｽ-2-ﾍｷｾﾝ	0.58	0.23	1.1	0.48
ｼｸﾛﾍｷｻﾝ	0.62	0.26	0.97	0.41	ｼｽ-2-ﾍｷｾﾝ	0.23	0.12	0.48	0.20
2-ﾒﾁﾙﾍｷｻﾝ	2.7	1.2	4.7	1.7	α-ﾋﾟﾈﾝ	0.05	0.04	0.06	0.05
2,3-ｼﾞﾒﾁﾙﾍﾟﾝﾀﾝ	0.89	0.37	1.6	0.56	β-ﾋﾟﾈﾝ	<0.05		0.06	0.02
3-ﾒﾁﾙﾍｷｻﾝ	3.1	1.7	5.2	2.0	芳香族炭化水素(12成分)				
2,2,4-ﾄﾘﾒﾁﾙﾍﾟﾝﾀﾝ	1.5	0.6	2.9	1.4	ﾍﾞﾝｾﾞﾝ	8.8	1.9	17	4.2
ﾍﾌﾟﾀﾝ	2.8	2.1	4.2	2.1	ﾄﾙｴﾝ	33	10	55	16
ﾒﾁﾙｼｸﾛﾍｷｻﾝ	0.92	0.42	1.6	0.58	ｴﾁﾙﾍﾞﾝｾﾞﾝ	6.8	3.5	11	4.6
2,3,4-ﾄﾘﾒﾁﾙﾍﾟﾝﾀﾝ	0.63	0.25	1.2	0.56	m,p-ｷｼﾚﾝ	7.0	2.5	13	4.1
2-ﾒﾁﾙﾍﾌﾟﾀﾝ	0.87	0.41	1.7	0.58	ｽﾁﾚﾝ	0.95	0.49	1.8	0.73
3-ﾒﾁﾙﾍﾌﾟﾀﾝ	0.77	0.36	1.5	0.54	o-ｷｼﾚﾝ	5.0	1.8	9.3	2.8
n-ｵｸﾀﾝ	0.77	0.33	1.5	0.55	ｲｿﾌﾟﾛﾋﾟﾙﾍﾞﾝｾﾞﾝ	0.21	0.11	0.41	0.14
ﾉﾅﾝ	2.1	0.8	4.1	1.6	4-ｴﾁﾙﾄﾙｴﾝ	1.4	0.39	2.7	0.62
アルデヒド(2成分)					n-ﾌﾟﾛﾋﾟﾙﾍﾞﾝｾﾞﾝ	0.86	0.25	1.6	0.37
ﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ	9.7	3.4	20	7.2	1,3,5-ﾄﾘﾒﾁﾙﾍﾞﾝｾﾞﾝ	1.7	0.53	3.2	0.75
ｱｾﾄｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ	5.6	2.3	10	5.1	1,2,4-ﾄﾘﾒﾁﾙﾍﾞﾝｾﾞﾝ	7.2	2.1	14	2.9

の定量下限の２倍を超える成分について行った。この結果、粗大粒子、巨大粒子のEC、粒子状のアンモニア、飽和炭化水素のうちの10成分、不飽和炭化水素類のうちの12成分、芳香族炭化水素のうち１成分については排出係数の算出を行わなかった。この他の測定対象成分については以下の方法で総交通量に対する排出係数の算出を行った。

EFmix=（Cout－Cin）×V÷T÷L÷1000

ただし

EFmix：排出係数（mg/(台･km)）

Cout：トンネル出口（P1）空気中濃度（μg/m³）

Cin：トンネル入口（P2）空気中濃度（μg/m³）

V：トンネル排風量（m³）

T：総交通量（台）

L：測定地点間長さ（km）

排出係数の算出は各測定時間帯ごとに行い、表４に各時間帯の排出係数の平均値を示した。総交通量に対する排出係数では有機成分ではトルエンが最も大きく（11mg/(台･km)）、ついでm+p-キシレン（5.7mg/(台･km)）、プロピレン（5.7mg/(台･km)）、ホルムアルデヒド（5.2mg/(台･km)）となった。平成10年度に著者らが高速道路トンネルで行った調査結果[9]では有機成分のうちホルムアルデヒドが最も排出係数が高く（9.9mg/(台･km)）、ついでトルエン（8.8mg/(台･km)）となり、今回も平成10年度調査の結果と同じオーダーの測定結果となった。

表４　総交通量に対する排出係数

	平均		平均
無機成分(g/(台･km))		有機成分(mg/(台･km))	
二酸化炭素	147	不飽和炭化水素類	
浮遊粉じん（TSP）	0.09	ﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ	5.7
浮遊粉じん（Dp<2.1um）	0.09	1-ﾌﾞﾃﾝ	3.4
浮遊粉じん（2.1<Dp<10um）	0.04	1,3-ﾌﾞﾀｼﾞｴﾝ	1.2
元素状炭素（EC）（Dp<2.1um）	0.05	1-ﾍﾟﾝﾃﾝ	0.88
アンモニア（ガス状）	0.11	ﾄﾗﾝｽ-2-ﾍﾟﾝﾃﾝ	0.56
有機成分(mg/(台･km))		2-ﾒﾁﾙ-1-ﾍﾟﾝﾃﾝ	0.73
飽和炭化水素		芳香族炭化水素	
ｲｿﾌﾞﾀﾝ	3.2	ﾍﾞﾝｾﾞﾝ	4.3
ﾌﾞﾀﾝ	2.9	ﾄﾙｴﾝ	11
ｲｿﾍﾟﾝﾀﾝ	3.7	ｴﾁﾙﾍﾞﾝｾﾞﾝ	2.2
n-ﾍﾟﾝﾀﾝ	3.9	m,p-ｷｼﾚﾝ	5.7
2,2-ｼﾞﾒﾁﾙﾌﾞﾀﾝ	0.34	ｽﾁﾚﾝ	0.44
2-ﾒﾁﾙﾍﾟﾝﾀﾝ	3.0	o-ｷｼﾚﾝ	2.1
3-ﾒﾁﾙﾍﾟﾝﾀﾝ	2.5	n-ﾌﾟﾛﾋﾟﾙﾍﾞﾝｾﾞﾝ	0.37
n-ﾍｷｻﾝ	2.3	4-ｴﾁﾙﾄﾙｴﾝ	0.61
ﾒﾁﾙｼｸﾛﾍﾟﾝﾀﾝ	0.83	1,3,5-ﾄﾘﾒﾁﾙﾍﾞﾝｾﾞﾝ	0.77
3-ﾒﾁﾙﾍｷｻﾝ	1.1	1,2,4-ﾄﾘﾒﾁﾙﾍﾞﾝｾﾞﾝ	3.3
2,2,4-ﾄﾘﾒﾁﾙﾍﾟﾝﾀﾝ	0.66	アルデヒド	
3-ﾒﾁﾙﾍﾌﾟﾀﾝ	0.35	ﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ	5.2
ﾉﾅﾝ	1.1	ｱｾﾄｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ	2.4

(5)　車種別の排出係数

次に小型車、大型車（一部小型貨物を含む）の車種別排出係数の算出を行った。小型車は主にガソリン乗用車で構成され、大型車はディーゼル車で構成されており、それぞれの排出係数はエンジン形式の違いに

よる排出ガスの性質の違いを反映していると考えられる。

車種別排出係数の算出は以下のように行った。各成分のトンネル内での排出量をQ（mg)、とし、小型車の台数（N_1)、大型車の台数（N_2）を説明変数とする重回帰式

$Q=EF_1\times N_1\times L+EF_2\times N_2\times L$

L：調査地点間の距離（0.69km）

で表し、小型車の１台、１kmあたりの排出係数EF_1(mg/(台･km))、大型車の１台、１kmあたりの排出係数EF_2(mg/(台・km))を算出した。ここでQ(mg)は

Q=（Cout－Cin）×V÷1000

Cout：トンネル出口（P1）空気中濃度（μg/m³）

Cin：トンネル入口（P2）空気中濃度（μg/m³）

V：トンネル排風量（m³）

から求めた。

表５　車種別排出係数

	本調査（一般道路） 排出係数 小型車	大型車	平成10年度調査（高速道路） 排出係数 小型車	大型車
無機成分(g/(台･km))				
浮遊粉じん（TSP）	0.06	0.18		
浮遊粉じん（Dp<2.1um）	0.01	0.10	0.04	0.41
浮遊粉じん（2.1<Dp<10um)	0.03	0.05	0.04	0.17
元素状炭素（EC）（Dp<2.1um)		0.16		
有機成分(mg/(台･km))				
飽和炭化水素				
ｲｿﾌﾞﾀﾝ	2.7	3.9	2.8	0.97
ﾌﾞﾀﾝ	3.5	2.0	5.2	2.4
ｲｿﾍﾟﾝﾀﾝ	4.8	2.1	7.3	0.31
n-ﾍﾟﾝﾀﾝ	4.8	2.5	2.5	1.1
2,2-ｼﾞﾒﾁﾙﾌﾞﾀﾝ	0.46	0.17	0.40	
2-ﾒﾁﾙﾍﾟﾝﾀﾝ	4.0	1.6	3.1	0.65
3-ﾒﾁﾙﾍﾟﾝﾀﾝ	3.1	1.6	1.3	0.76
n-ﾍｷｻﾝ	2.9	1.4		
ﾒﾁﾙｼｸﾛﾍﾟﾝﾀﾝ	1.0	0.55	0.57	0.23
3-ﾒﾁﾙﾍｷｻﾝ	1.5	0.45	0.61	0.59
2,2,4-ﾄﾘﾒﾁﾙﾍﾟﾝﾀﾝ	1.4	-	0.79	
3-ﾒﾁﾙﾍﾌﾟﾀﾝ	0.34	0.35		
ﾉﾅﾝ	－	3.0		2.2
不飽和炭化水素類				
ﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ	2.4	11	2.0	15
1-ﾌﾞﾃﾝ	2.7	4.4	2.6	6.6
1,3-ﾌﾞﾀｼﾞｴﾝ	1.7	0.37	0.80	7.6
1-ﾍﾟﾝﾃﾝ	0.49	1.5	0.29	1.9
ﾄﾗﾝｽ-2-ﾍﾟﾝﾃﾝ	0.91	0.02	0.67	
2-ﾒﾁﾙ-1-ﾍﾟﾝﾃﾝ	0.56	0.99		
芳香族炭化水素				
ﾍﾞﾝｾﾞﾝ	4.4	4.2	4.7	8.2
ﾄﾙｴﾝ	14	5.5	9.4	6.7
ｴﾁﾙﾍﾞﾝｾﾞﾝ	3.0	0.76		
m,p-ｷｼﾚﾝ	8.1	1.9		
ｽﾁﾚﾝ	0.66	0.07	0.35	0.83
o-ｷｼﾚﾝ	2.8	0.97		
n-ﾌﾟﾛﾋﾟﾙﾍﾞﾝｾﾞﾝ	0.31	0.44		
4-ｴﾁﾙﾄﾙｴﾝ	0.58	0.63		
1,3,5-ﾄﾘﾒﾁﾙﾍﾞﾝｾﾞﾝ	0.61	0.99	0.72	0.62
1,2,4-ﾄﾘﾒﾁﾙﾍﾞﾝｾﾞﾝ	2.7	4.2	2.4	3.0
アルデヒド				
ﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ	0.15	14		40
ｱｾﾄｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ	－	7.7		

計算の結果、得られた排出係数を表５に示した。表５には比較のため著者らが平成10年度に高速道路トンネルで行った調査で得られた排出係数も併記した。

平成10年度調査、本調査とも飽和炭化水素、芳香族炭化水素は小型車の排出係数が大きく、不飽和炭化水素、アルデヒドは大型車の排出係数が大きくなる傾向が認められた。個々の成分について見てみると、微小粒子のEC、ホルムアルデヒド、1,3-ブタジエンの大型車においては、平成10年度調査にくらべ、排出係数が1/2以下の値となった。その他の不飽和炭化水素についても全般に本調査結果が平成10年度調査結果より、低い排出係数が得られた。本調査では大型車からの排出が多いと考えられる成分が平成10年度調査よりも排出係数が低くなる傾向が認められた。

しかし、全ての測定成分で平成10年度調査と今回の調査では同じオーダーでの排出係数が得られた。平成10年度調査では今回とトンネルの換気システムが異なり、トンネルへの送気量を制御できるシステムになっている。調査の際は排風機による排気量に比べ過剰に空気を送気し、送気量をトンネル内での排出量を求めるための空気量として用いた。風速の計測による補正も平成10年度調査では行っていない。また、大型車と小型車の比率も本調査と異なり、平成10年度調査では大型車の比率が高くなっている。このように多くの条件が異なる２つのトンネル調査の結果で、ほぼ同じオーダーの排出係数が得られたことから、トンネル調査によって比較的高い精度で排出係数を測定できることを示していると考えられる。

(6)　台上試験との比較

本調査で得られた排出係数と平成10年度調査で得られた排出係数を、当研究所でこれまで行われてきたシャシーダイナモメータを用いた台上試験結果と比較した。先に述べたように、トンネル内の車速が早いため、比較した台上試験の結果もある程度データが蓄積されている走行パターンの中で、最も車速の早い東京都実走行パターンNo.10の値と比較した（図４）。台上試験のデータは大型車（ディーゼル車）のECについては平成４年の竹永ら[12]の測定結果から筆者が算出した値（430mg/(台･km)：n=10）を用い、その他の成分は平成９年～平成12年に測定された値を用いた[3)~5)]。トンネル調査の結果はおおむねシャシーダイナモ

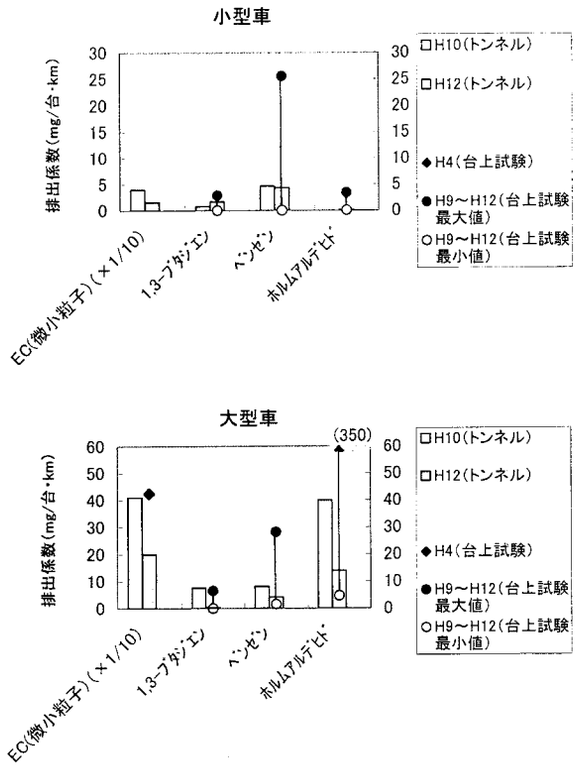

図４　台上試験とトンネル調査の排出係数の比較
台上試験小型車　1,3-ブタジエン(n=8)、ベンゼン(n=9)、ホルムアルデヒド(n=3)
台上試験大型車　1,3-ブタジエン(n=18)、ベンゼン(n=18)、ホルムアルデヒド(n=10)

メータを用いた試験結果と同レベルの排出係数かあるいはシャシーダイナモメータ試験の範囲内の排出係数となり、妥当な結果であると考えられる。シャシーダイナモメータの結果は最大値と最小値に大きな差が見られ、試験車両によって排出係数が大きく異なっていることが伺える。一方、２回のトンネル調査の結果では排出係数にそれほど大きな差異は見られない。これは、トンネル内の走行状況が速度の早い定速運転に近く、加減速の少ない走行であることも影響していると思われるが、トンネルを用いることにより、個々の車両の排出ガス性状の影響が少なくなり、比較的高速の条件ではあるが、実走行車の平均的排出係数を得ることができた結果と考えられる。

4　おわりに

一般道の自動車専用トンネルを用いた自動車排出ガス調査を行い、二酸化炭素、浮遊粉じん、元素状炭素、アンモニア、揮発性有機化合物の自動車からの排出係数を得た。トンネルを用いることにより、実走行車の平均的な排出係数を得ることができ、今後、自動車からの有害物質の排出量を推定する際の貴重なデータになり得ると考える。

しかし、平成10年度調査および今回のトンネル調査では車速が比較的速い状態での排出係数となっている。トンネル調査の場合、車速が遅く、渋滞している状況ではトンネル内換気風量を頻繁に変えるため測定上の困難を伴うが、試料採取の日時の設定を工夫することにより中低速時の排出係数を得ることが今後必要であろう。

引用文献

1）東京都環境局：平成13年度大気汚染状況の測定結果について，東京都環境局報道発表資料，平成14年８月（http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/kansi/press/14taiki/14press.htm）

2）東京都：東京都環境白書2000（資料集），pp32-34

3）吉野昇ら：自動車からの微量化学物質の排出状況と環境濃度への影響について－自動車排出ガスに係る化学物質総合調査結果－，東京都環境科学研究所年報1998，p141-152

4）泉川碩雄ら：自動車からの有害大気汚染物質の排出量，東京都環境科学研究所年報1999，p159-170

5）上野広行ら：自動車から排出される1,3-ブタジエンについて，東京都環境科学研究所年報2001，p169-174

6）中央環境審議会中央環境審議会大気部会専門委員会報告，pp11-22

7）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，p40-45

8）石井康一郎ら：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－，東京都環境科学研究所年報2001，p15-23

9）桜井健郎ら：高速道路トンネル交通車両からの揮発性有機化合物の排出係数，大気環境学会誌，37(1)，pp47-74，2002

10）松本光弘：含浸カートリッジ法補集－イオンクロマトグラフィーによる環境大気中アンモニアおよびアンモニュウム塩の測定，大気汚染学会誌，24，

227-233，1989

11）東京都：平成12年度有害大気汚染物質モニタリング調査報告書，2002

12）竹永裕二ら：大型ディーゼル車汚染物質排出実態について⑵粒子状物質，東京都環境科学研究所年報1993，pp158-161

A Study on Motor-Vehicle Exhaust from a Road Tunnel (Ⅲ)
－ Measurement in an urban road Tunnel －

Junya Hoshi, Koichiro Ishii, Mariko Ihara*,Shigeki Kojima*,
Takeo Sakurai**,Yuichi Moriguti**, Kiyoshi Tanabe**,
Shiji Wakamatsu**
(*Associate Researcher, **National Institute for Environmental Studies)

Summary

We carried out measurement of toxic substances emitted from motor-vehicles in a roadway tunnel. Total suspended particulate matter (TSP), fine and coarse particulate matter, carbon dioxide, ammonia, volatile organic compounds etc are measured.

The emission factors of these compounds were obtained as follows:

TSP ： small 0.06g/(vehicle･km), large 0.18g/(vehicle･km)

Benzene ： small 4.4mg/(vehicle･km), large 4.2mg/(vehicle･km)

Formaldehyde ： small 0.15mg/(vehicle･km), large 14mg/(vehicle･km)

The emission factors of large vehicles of TSP, fine and coarse particulate matter, and olefins are larger than those of small vehicles. The emission factors of hydrocarbons obtained in this study with those in a highway tunnel conducted in 1998 are in good agreement. However, the emission factors of TSP, fine and coarse particulate matter and aldehydes are 1/4 to 1/3 of our previous study.

Keywords：automobile exhaust gas, volatile organic compounds, fine particulate matter, coarse particulate matter, emission factor