

ディーゼル車走行規制による自動車排出ガス中 多環芳香族炭化水素等の低減効果について

三矢 律子 石井康一郎 飯村 文成 木瀬 晴美*
吉野 彩子* 木下 輝昭 (*非常勤研究員)

要 旨

ディーゼル車走行規制による排出ガス低減効果を検討するため、3つの調査を行い以下の結果を得た。(1) シャンダイナモを用いたディーゼルトラックの排出ガス調査により、酸化触媒は高い効率で多環芳香族炭化水素 (PAHs) を除去することを確認した。(2) 自動車専用トンネル (井荻) 調査の結果から、2004 年も 2003 年に引き続き、大型車混入率の高い平日において自動車からの PAHs 排出量が低減していることを確認した。(3) 道路沿道調査結果をトンネル調査と比較することにより、自動車からの排出の寄与が大きいと推定される元素状炭素 (EC)、PAHs などの汚染物質について、道路沿道における排出量の低減を確認した。

キーワード：PAHs、VOCs、ディーゼル車走行規制、ディーゼル車排出ガス、酸化触媒

Reduction of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by the Diesel Vehicle Regulation

MITSUYA Ritsuko, ISHII Koichiro, IIMURA Fuminari,
KISE Harumi *, YOSHINO Ayako *, KINOSHITA Teruaki
* Associate researcher

Summary

To evaluate the effect of the Diesel Vehicle Regulation, we carried out three studies and obtained the following results.

(1) The test of diesel trucks on chassis dynamometer showed that the oxidation catalyst which is a diesel particulate matter reduction system had high catalyst efficiency for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). (2) After enforcement of the Regulation, PAHs emissions from automobiles traveled in Iogi tunnel have decreased on weekday when many heavy-duty vehicles run through the tunnel. (3) Comparing the data of roadside studies with those of the tunnel studies, we confirmed that the automobile emissions of Elemental Carbon (EC), PAHs, and other pollutants at the roadside were reduced as well as in the tunnel.

Key words : PAHs, VOCs, diesel vehicle regulation, diesel exhaust gas, oxidation catalyst

1 はじめに

東京都は、自動車排出ガスによる深刻な大気汚染を改善するため、首都圏の八都県市と連携し、2003年10月より環境確保条例によるディーゼル車走行規制を開始した。これはディーゼル車から排出される粒子状物質（PM）を対象とした規制であり、PM規制を遵守できない平成6年規制以前のトラック、バスは、PM減少装置を着けなければ、都外からの流入車を含めて都内走行が禁止された。この規制開始直後の大気汚染改善効果については自動車専用トンネル調査により、主にディーゼル車から排出される元素状炭素（EC）、発ガン性が疑われている多環芳香族炭化水素（PAHs）、光化学オキシダントの原因物質であり人体への有害性を持つ揮発性有機化合物（VOCs）等の排出係数が規制前と比較して低下していることが報告されている^{1, 2)}。

また、この規制開始以降、浮遊粒子状物質の環境基準を達成した都内の自動車排出ガス測定局が、2002年度では35局中0局だったのに対し、2004年度では34局中33局に大幅に増加した³⁾。さらに都民からも「空気がきれいになった」、「空が澄んでいる」等の声が寄せられるなど、実感をも伴った大気汚染の改善に大きな効果をあげている⁴⁾。

このように、ディーゼル車規制導入後のディーゼル排出ガス低減効果は当初予測したPM以外の成分についても認められているが、規制後のVOCs排出量の低下は、酸化触媒の普及による効果が大きいと思われる。酸化触媒はVOCsの低減効果が確認されており⁵⁾、また規制対象のディーゼル車を継続して使用する場合に装着が義務付けられているPM減少装置のうちで現在最も多く使用されている装置である。

本稿では、酸化触媒によるディーゼル車排出ガス低減特性に着目し、PM及びPAHsの低減効果を直接評価し、その結果とトンネル調査での排出係数低減効果特性について比較・検討した。さらに、沿道調査により道路からのPAHs等の排出量を評価し、トンネル調査と比較することにより、本規制による沿道大気汚染の改善効果を検討した。

2 調査方法

(1) ショッピングダイナモを用いた大型ディーゼル車の排出ガス調査

ア 試料採取

大型ディーゼル車を当研究所のショッピングダイナモ（C/D）上で走行させ⁶⁾、あらかじめ450℃で5時間焼成した石英繊維ろ紙上に流量880ℓ/minでPMを採取した。表1に測定対象車両の主要諸元を示す。D1については酸化触媒を取り外した状態（原車）の排出ガスからも試料採取を行った。走行条件は東京都実走行パターンNo.2（平均車速8.4km/h）、No.5（同17.9km/h）、No.8（同28.5km/h）、No.10（同44.4km）を用いた（D1についてはNo.5のみ）。

表1 測定対象車両の主要諸元

No.	車種	規制年次	排出ガス対策	排気量(cc)	等価慣性重量(kg)
D1	普通貨物	H6年	酸化触媒(後付け)	7961	5785
D2	普通貨物	H15年	酸化触媒EGR	4777	3810
D3	普通貨物	H10年	酸化触媒EGR	4777	4830
D4	普通貨物	H10年	なし	5249	3690
D5	普通貨物	H10年	なし	6634	6345
D6	普通貨物	H10年	EGR	9203	6585
D7	普通貨物	H10年	EGR	7540	6615
D8	普通貨物	H10年	EGR	4985	4870

EGR: 排ガス再循環

イ 測定項目

PM及びPM中のPAHsについて測定を行った。PAHsは多くの種類が存在するが、発ガン性に着目した久保らの方法⁷⁾により選定された6成分、すなわちベンゾ（a）アントラセン（B(a)A）、ベンゾ（b）フルオランテン（B(b)F）、ベンゾ（k）フルオランテン（B(k)F）、ベンゾ（a）ピレン（B(a)P）、ジベンゾ（a, h）アントラセン（DB(a, h)A）、インデノ（1, 2, 3-cd）ピレン（IP）に、東京都のモニタリング調査で1986年から測定を継続しているベンゾ（g, h, i）ペリレン（B(g, h, i)P）を加えた7成分について分析を行った（ただしDB(a, h)Aは、妨害物質によって定量できない車両があったため、解析対象からは除外した）。

ウ 測定方法

① PM

試料採取前後のろ紙重量を測定し、その差を採取量とした。重量測定の際の恒量条件は、温度25℃、湿

度 50%、放置時間は 24 時間（採取前）または 48 時間（採取後）である。

② PAHs

ディーゼル車から排出される PM は大気環境試料に比べ炭素質（EC）を多く含むため、大気環境試料と同じジクロロメタンによる超音波抽出法⁸⁾では抽出効率が低下する恐れがある。そのため、抽出はソックスレー法を用いた。抽出溶媒は、事前に行ったソックスレー抽出による B(a)P 回収実験において、ジクロロメタンは回収率が 70%程度だったのに対し、トルエンは 80%程度と比較的良好だったため、トルエンを採用した。

抽出液の一部を分取してジメチルスルホキシド（DMSO）を 50 μ l 加え、窒素気流下で抽出溶媒を揮散させアセトニトリル 1 ml に転溶した（DMSO は乾固防止のために加えているが、測定結果に影響がないことを事前に確認してある）。蛍光検出器付の高速液体クロマトグラフィー（HPLC）によりこの試料中の PAHs 濃度を測定した⁹⁾。

(2) 自動車専用トンネル調査

2004 年 11 月 12 日～16 日に自動車専用トンネル調査を行った。このトンネル調査は、気象の影響を受けないこと、トンネル出口濃度と入口濃度との差を取ることによりバックグラウンドの影響を除去できること、トンネル内を実際に走行している自動車からの総排出量を計算できること等の利点がある¹⁾。

測定項目及び測定方法は上野らの方法¹⁾に従った。また、解析には 2001 年 3 月及び 2003 年 11 月に行われた同調査のデータ^{1,10)}も使用した。

(3) 道路沿道調査

ア 概要

道路沿道調査は、明治通りに隣接する東京都土木技術研究所（江東区新砂一丁目 9 番 10 号）及び東京都環境科学研究所（江東区新砂一丁目 7 番 5 号）にて、2005 年 2 月 21 日～25 日に行った。大気試料は、道路端から 5 m、20 m、35 m（土木技術研究所）、及び後背地として道路端から 125 m（環境科学研究所）の 4 ヶ所で採取を行った。今回調査対象とした明治通りは、西側 3 車線・東側 2 車線で、平日の交通量は約 35,000 台/日、大型車混入率は 1 日平均で 41 %、朝のピーク時で 50%であった。調査地点の概略を図 1 に示す。

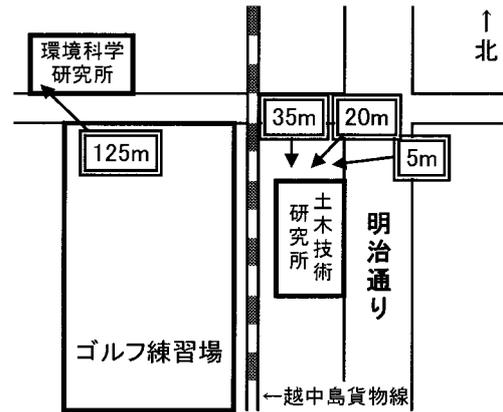


図 1 調査地点概略

イ 測定対象項目

測定の対象としたのは、風向、風速、PM、窒素酸化物（NOx）、粒径 2.5 μ m 以下の粒子状物質（PM2.5）中の EC、PAHs（C/D 試験と同じ 7 成分）、アルデヒド類、VOCs である。

VOCs は、米国環境保護局の PAMS（Photochemical Assessment Monitoring Stations）測定対象物質のうち低沸点炭化水素を除いた 54 成分に、自動車から多く排出されることが知られている 1, 3-ブタジエンを加えた 55 成分について分析を行った。なお、m-キシレンと p-キシレン、m-エチルトルエンと p-エチルトルエンは、ピークの分離が困難だったため 2 成分をひとつとして定量した。

ウ 試料採取

- ・ハイボリュームエアサンプラーを用い、あらかじめ 450 $^{\circ}$ C で 5 時間焼成した石英繊維ろ紙上に流量 700 ℓ /min で所定の時間採取した PM を PAHs の分析に供した。
- ・NOx は、ガステック社製のディフュージョンサンプラーに NOx 吸収液を注入し¹¹⁾ 大気中に 23 時間暴露した。
- ・炭素成分は、R & P 社の PM2.5 サンプラーを用い、 ϕ 47 mm の石英繊維ろ紙上に PM2.5 を流量 16.7 ℓ /min で 23 時間採取した。
- ・アルデヒド類は、2,4-ジニトロフェニルヒドラジン（DNPH）含浸カートリッジに大気を流速 100 ml /min で 23 時間通気し、DNPH 誘導体として採取した。
- ・VOCs は、ステンレス製キャニスターとマスフローコントローラーを用い、約 3 ml /min で 23 時間採取

を行った。

エ 測定方法

- ・ 風向と風速は、土木技術研究所で30分ごとに測定している自動観測データを用いた。
- ・ PMの測定方法はC/D試験と同様である。
- ・ PAHsは、PMを採取したろ紙の一部を細断し、環境省のB(a)P測定マニュアル⁸⁾に準じてジクロロメタンを使用した超音波抽出を行った。抽出液の一部を分取した後の操作はトンネル調査と同様である。
- ・ NOxは、ディフュージョンサンプラーによって大気に暴露した後の吸収液に発色液を加え、吸光光度法(波長540nm)で濃度を測定した¹¹⁾。
- ・ ECは、PM2.5を採取したろ紙の一部について、熱分離法を用いて測定した¹⁾。
- ・ アルデヒド類は、試料採取後のDNPHカートリッジをアセトニトリルで抽出し、紫外可視分光光度検出器を備えたHPLCで濃度を測定した¹²⁾。
- ・ VOCsは、試料採取後のキャニスターに窒素ガスを注入加圧後、300～500mlを採取、濃縮し、ガスクロマトグラフ質量分析計(GC/MS)に導入して濃度を測定した¹³⁾。

3 結果及び考察

(1) 酸化触媒のPAHs低減特性

ア 酸化触媒の着脱による比較

酸化触媒装着前後のPM及びPAHs排出量の違いを検討するため、D1について東京都実走行パターンNo.5で排出ガス測定を行った(図2)。

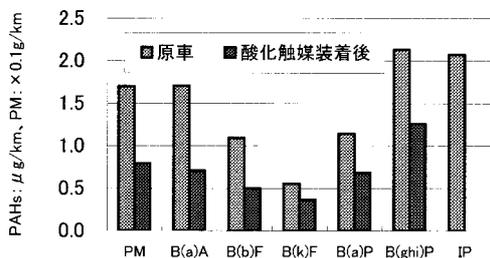


図2 酸化触媒装着前後のPM及びPAHs排出原単位

その結果、酸化触媒を装着することにより、原車に比べPM排出量は54%、PAHs排出量は平均で55%程度低下していた。これにより、酸化触媒はPMの他PAHsに対しても低減効果があることが確認できた。

イ 使用過程車の排出原単位による比較

自動車からの排出量はエンジン出力に依存するため、

D2～D8については得られた排出原単位を各車の等価慣性重量で除した値を相互に比較した(表2)。その結果、PM及びPAHsは、平均車速が低くなると排出量が増加する傾向が見られた。これはアルデヒドやVOCsでも見られる傾向である¹⁴⁾。

都内の平均的な走行パターンであるNo.5のPM排出原単位を相互に比較すると、D4～D8は13～45(平均27)mg/km/tであったのに対し、酸化触媒装着車(D2、D3)は6.3及び7.0mg/km/tと、他の車両に比べ明らかに低い値を示した。この傾向は他の走行パターンにおいても見られた。D3～D8はすべて平成10年規制車であるが、同じ規制年次の車両であっても酸化触媒を装着している車両はPM排出レベルが低かったといえる。

さらに、発ガン性が指摘されているB(a)Pの排出原単位について見ると、D4～D8は0.049～0.30(平均0.20)µg/km/tであったのに対し、酸化触媒装着

表2 大型ディーゼル車の等価慣性重量あたりのPM及びPAHs排出原単位

No.	パターン	排出ガス対策	PM	BaA	BbF	BkF	BaP	BghiP	IP
D2	No.2	EGR	15	12	28	7.0	18	37	n.d.
	No.5		6.3	5.7	17	3.0	7.1	18	n.d.
	No.8	酸化触媒	5.0	3.3	n.d.	1.8	4.2	9.0	n.d.
	No.10		5.0	3.9	5.7	1.2	2.2	4.9	n.d.
D3	No.2	EGR	21	21	19	8.9	23	32	n.d.
	No.5		7.0	5.9	6.4	3.4	7.9	18	n.d.
	No.8	酸化触媒	6.8	5.2	4.6	1.9	3.8	8.3	n.d.
	No.10		8.1	2.8	3.1	1.0	1.6	3.8	n.d.
D4	No.2	なし	60	59	67	13	43	73	85
	No.5		38	13	n.d.	3.9	25	33	25
	No.8		32	9.5	16	2.4	9.7	12	n.d.
	No.10		29	11	18	2.0	6.5	11	n.d.
D5	No.2	なし	26	17	n.d.	6.8	14	34	n.d.
	No.5		13	7.2	n.d.	2.7	4.9	17	n.d.
	No.8		12	12	n.d.	2.0	4.8	9.0	n.d.
	No.10		20	11	n.d.	1.2	3.4	5.5	n.d.
D6	No.2	EGR	26	66	54	19	34	55	n.d.
	No.5		17	28	n.d.	7.5	16	26	n.d.
	No.8		14	35	33	6.7	12	20	21
	No.10		15	30	26	6.9	9.4	12	14
D7	No.2	EGR	63	95	n.d.	21	43	83	n.d.
	No.5		45	42	n.d.	10	30	55	33
	No.8		41	56	n.d.	6.7	18	28	27
	No.10		40	42	n.d.	5.2	12	26	19
D8	No.2	EGR	44	70	n.d.	12	27	62	62
	No.5		22	50	n.d.	8.7	22	52	20
	No.8		22	28	n.d.	4.0	10	27	14
	No.10		34	27	n.d.	2.8	6.8	17	10

(×10⁻²µg/km/t)

n.d.: 不検出 EGR: 排ガス再循環

平均車速は、No.2: 8.4、No.5: 17.9、No.8: 28.5、No.10: 44.4(単位km/h) PMの単位はmg/km/t

車 (D2, D3) は 0.071 及び 0.079 $\mu\text{g}/\text{km}/\text{t}$ と、他の車両より低い傾向を示した。その他の PAHs についても全走行パターンを通じて概ね同様の傾向が見られたことから、既に報告されているベンゼン、1,3-ブタジエン、アルデヒド類等と同様に⁵⁾ PAHs についても酸化触媒によって排出レベルが低減されたと考えられた。

(2) トンネルにおける PAHs 低減と休平日との関係
ディーゼル車走行規制開始後の PAHs の低減について検討するため、規制開始前の 2001 年と規制開始後の 2003 年及び 2004 年のトンネル調査結果から全走行車両平均の PAHs 排出係数を算出した。2004 年は 2003 年に引き続き、PAHs 排出係数の低下が確認された (図 3)。

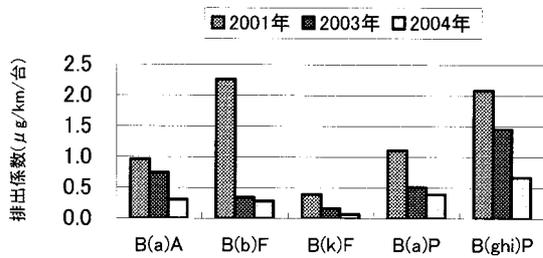


図 3 トンネルの PAHs 排出係数

次に大型車混入率が異なる平日と休日とに分けて各年を比較した (代表として、発ガン性が指摘されている B(a)P について図 4 に示した)。規制開始以降、B(a)P 排出係数は休日、平日ともに低下していたが、低減率では平日が休日を上回っていた。このような傾向は、B(a)P の他、B(a)A と B(g, h, i)P でも見られた。平日における高い低減率は、ディーゼル車走行規制の開始に伴い、酸化触媒等 PM 減少装置が急速に普及したことや排出ガス量が多い元年規制車等の新車代替が促進されたことにより、ディーゼル車から排出される B(a)P 等が大幅に低減されたことが大きな要因と考えられる。B(b)F と B(k)F については、平日と休日

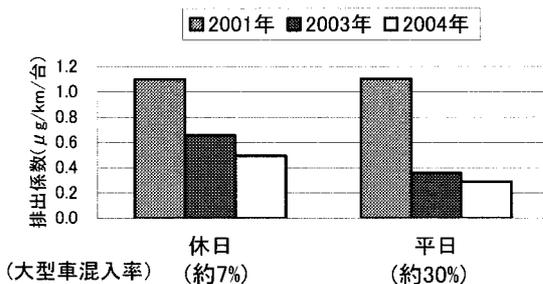


図 4 トンネルにおける B(a)P 排出係数

に低減率の差は見られなかったものの、図 3 に示した通り規制開始後に明らかな排出係数の低減を示した。

しかし、今回測定したすべての PAHs 排出係数は大型車混入率の低い休日でも大きく低減していることや、PM 減少装置の普及率等から想定される以上に PAHs 排出レベルが低下していることから、ガソリン車やディーゼル乗用車等からの PAHs 排出実態についても調査を進め、最新規制車への代替による排出ガス低減効果等も含めた詳細な検討を行う必要があると思われる。

(3) 道路沿道における自動車排出ガス低減の評価
ア 沿道調査の風向・風速条件

2月21及び22日の午後から夜にかけてと24日の早朝から夜にかけては道路から調査地点に向かって吹き込む東風(直交風)が比較的安定して吹いていた。一方、2月23日は直交風がほとんどなく、さらに春一番が吹いたため風速もかなり高かった。このため本調査の解析は、風向風速の条件がよくなかった23日を除き、21、22、24日の3日間を対象に行うこととした(図5)。

イ 過去の測定結果との比較

今回調査を行った土木技術研究所及び環境科学研究所において、1992年10月に泉川らがPAHsを測定している¹⁵⁾。表3に当時の値と今回の測定結果を示した。これらを比較すると、B(a)A、B(b)F、B(k)F、

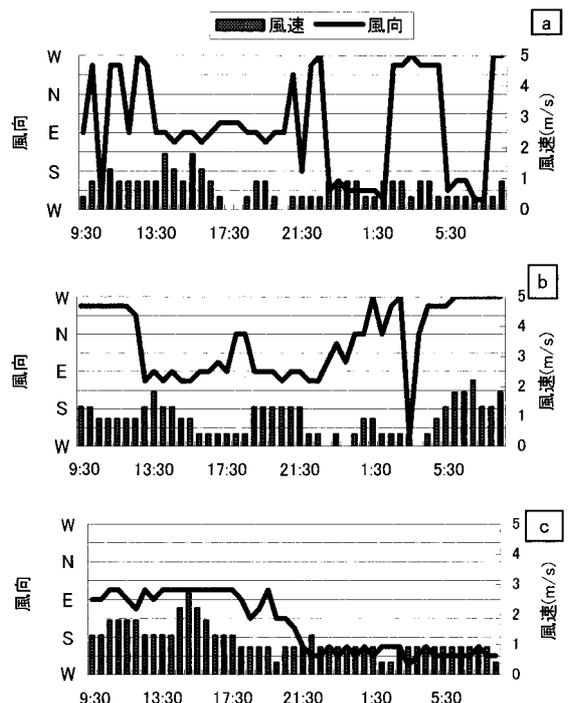


図 5 風向・風速 (a : 2/21、b : 2/22、c : 2/24)

B(a)Pについてはいずれも濃度レベルが風速の違いから想定されるよりも大幅に低下しており、1992年の調査以降これらPAHsの排出量が低減したものと考えられる。一方、B(g, h, i)Pについては明らかな違いは見られなかった。

表3 沿道及び後背地のPAHs濃度

	沿道(土木技術研究所)		後背地(環境科学研究所)	
	1992年	2004年	1992年	2004年
B(a)A	0.99~2.03	0.38	0.32~1.26	0.18
B(b)F	2.08~6.42	0.66	1.27~5.60	0.54
B(k)F	0.39~9.47	0.25	0.30~1.37	0.20
B(a)P	0.67~2.88	0.53	0.47~2.69	0.34
B(g,h,i)P	0.76~3.02	1.1	0.70~3.63	0.69

(ng/m³)

ウ 道路沿道における自動車排出物質量の評価

① 解析の考え方

沿道濃度と道路からの大気汚染物質の排出量とを関係付ける手法としては、北林¹⁶⁾が試みた複数の汚染物質間の相関から算出する方法、Okamoto et al¹⁷⁾、水野ら¹⁸⁾が行ったエアートレーサーを使用する方法などが報告されている。これらはいずれも以下のような考え方に基づいている。

道路近傍においては、測定点までの移流時間が短く排出物質の沈着、変質などが無視できるため、道路の風下側近傍における排出物質Aの濃度(C_A)およびBの濃度(C_B)は、当該道路以外の寄与分(C_{A0}, C_{B0})を差し引くと、道路内でのそれぞれの排出量(Q_A, Q_B)に比例するという関係が成り立つ。

$$Q_A/Q_B = (C_A - C_{A0}) / (C_B - C_{B0}) \dots\dots (1)$$

この関係は、道路に直角方向に配置した一連の測定点における濃度データ(C_{Ai}, C_{Bi})の相関をとることによってY = aX + b (Y - Y₀ = a × (X - X₀))の形に整理され、C_{A0}, C_{B0}を求めることなく統計的に排出量比aを決定する事ができる。

本研究においては排出量比aを用いて自動車排出物質量の評価を試みた。

② 排出量比の基準物質の選定及び調査対象物質との相関

排出量比を用いて2つの調査結果を比較し、排出量の削減効果を議論しようとする場合、基準となる分母に用いる汚染物質の排出条件はできるだけ変化の少ないことが望ましい。

2003年10月に実施された環境確保条例に基づくデ

ィーゼル車走行規制は、PM排出量を短期間に削減するため使用過程車や都内流入車をも規制対象とした対策であり、最新規制車への代替を主とするNO_x排出量の削減はこれに比べて少ないと考えられる。また、現在走行している大型ディーゼル車両は主として平成6年規制車と平成10年規制車と考えられるが、これらのNO_x排出原単位については大きな差が見られないことが環境省から報告されている¹⁹⁾。

そこで、2003年及び2004年のトンネル調査データから、通過車両数(約1200台/時とほぼ一定)で平均したNO_x排出係数を大型車混入率に対してプロットし、図6に示した。

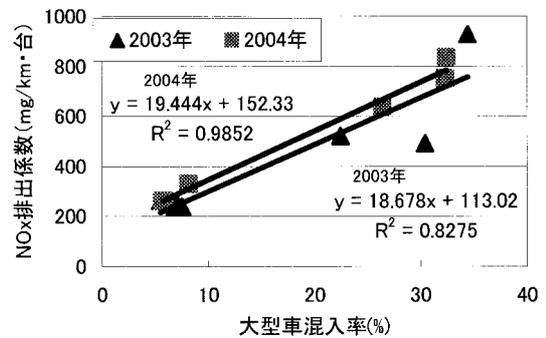


図6 NO_x排出係数と大型車混入率の関係

このNO_x排出係数は大型車混入率と正の比例関係にあり、大型車からの排出の影響を強く受けているが、両年の回帰式はほぼ一致しており、調査データからもNO_xの排出量に大きな変化がないことが確認できた(2001年トンネル調査は、NO_x濃度は欠測であった)。

また、前項に示した(1)式は、道路に直角方向に配置した一連の測定点における濃度データ(C_{Ai}, C_{Bi})の相関が高いことを前提としている。そこで沿道におけるNO_x濃度と他の物質の濃度との相関係数について見てみると、測定対象物質の多くがNO_x濃度と高い相関を示した。一例を図7に示す。

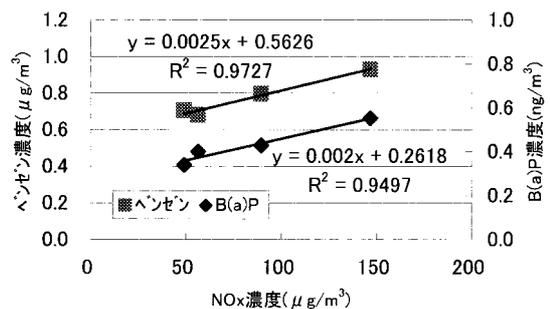


図7 沿道におけるNO_x濃度との相関

以上のことから、沿道における自動車からの排出量を求める際の基準物質としてNOxを採用することとし、NOxと濃度の相関が高かった成分についてNOxに対する排出量比（「対NOx比」とする）を求め、2003年、2004年トンネル調査との比較を行うこととした。

③ トンネル調査結果との比較

沿道調査及びトンネル調査の結果から求めた対NOx比を表4に示す（表にはNOx濃度との相関係数が0.9以上の成分について示した。）。各物質の沿道濃度は前述の通り一般的にNOx濃度との相関係数が高いデー

タとなっており、風向条件を適切に選択したことにより、多くの自動車排出物質とNOxとの排出量比が妥当に求められたと考えられる。トンネルでの濃度は、対象成分の外気濃度を差し引くことによって発生源でのNOx濃度比（排出量比）を求め、沿道調査データと比較した。

その結果、沿道の対NOx比のうち、EC、B(a)AやB(b)FなどのPAHs、ホルムアルデヒド、1,3-ブタジエン、ベンゼンなど自動車からの寄与が大きいと推定される成分については、トンネル調査で得られた対NOx比とほぼ同等の値が得られた（表4中に太字で示

表4 各成分の沿道濃度とNOxに対する排出量比

分類	物質名	5m地点 平均濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	標準偏差 (n=3)	NOxに対する排出量比			A/((B+C)/2)
				沿道調査(A)	トンネル調査		
				2003年(B)	2004年(C)		
粉塵	PM(TSP)	123	29	5.0E-01	7.3E-02	4.8E-02	8.3
炭素	EC(PM2.5中)	8.6	0.41	4.7E-02	3.4E-02	*	1.4
窒素酸化物	NOx(ppm)	0.071	0.0094	---	---	---	
PAHs	B(a)A	3.8.E-04	2.5.E-05	2.2E-06	1.6E-06	4.6E-07	2.1
	B(b)F	6.6.E-04	3.3.E-05	1.3E-06	4.5E-07	5.1E-07	2.7
	B(k)F	2.5.E-04	1.7.E-05	5.4E-07	2.4E-07	1.1E-07	3.2
	B(a)P	5.3.E-04	1.9.E-05	2.0E-06	5.8E-07	4.0E-07	4.0
	B(g,h,i)P	1.1.E-03	6.9.E-05	5.0E-06	1.1E-06	4.6E-07	6.3
アルデヒド	ホルムアルデヒド	5.1	0.062	1.8E-02	1.6E-02	8.3E-03	1.5
アルカン	イソペンタン	5.5	0.26	3.2E-02	3.6E-03	8.6E-04	14
	n-ペンタン	5.5	0.24	2.5E-02	2.1E-03	2.6E-04	21
	3-メチルペンタン	2.1	0.27	9.0E-03	4.6E-04	1.9E-04	27
	n-ヘキサン	3.0	0.84	8.5E-03	6.6E-04	3.4E-04	17
	メチルシクロペンタン	1.4	0.25	5.6E-03	2.8E-04	1.1E-04	29
	2-メチルヘキサン	0.79	0.024	3.9E-03	1.7E-04	2.2E-04	20
	3-メチルヘキサン	1.1	0.15	6.6E-03	4.9E-04	2.5E-04	18
	n-ヘプタン	1.5	0.30	3.9E-03	2.9E-04	1.9E-04	16
	メチルシクロヘキサン	0.71	0.039	2.3E-03	1.6E-04	1.3E-04	16
	2,2,4-トリメチルペンタン	0.49	0.065	1.9E-03	3.3E-04	7.1E-05	9.7
	2,3,4-トリメチルペンタン	0.43	0.015	9.3E-04	1.3E-04	3.9E-05	11
	2-メチルヘプタン	0.45	0.044	2.4E-03	1.6E-04	8.1E-05	19
	3-メチルヘプタン	0.38	0.049	1.6E-03	1.5E-04	8.3E-05	14
n-オクタン	0.55	0.077	1.7E-03	3.0E-04	2.4E-04	6.2	
アルケン	プロピレン	4.7	0.45	1.3E-02	4.7E-03	1.2E-03	4.4
	1,3-ブタジエン	0.42	0.092	2.0E-03	2.6E-04	1.7E-03	2.1
	t-2-ブテン	0.42	0.068	4.1E-03	3.5E-04	3.1E-04	12
	c-2-ブテン	0.33	0.033	3.2E-03	3.2E-04	2.1E-04	12
	t-2-ペンテン	0.58	0.014	2.7E-03	3.7E-04	8.1E-05	12
	c-2-ペンテン	0.27	0.028	1.4E-03	2.9E-04	3.8E-05	8.5
芳香族	ベンゼン	0.94	0.13	2.7E-03	2.6E-03	1.2E-03	1.4
	トルエン	17	1.4	5.6E-02	4.4E-03	3.3E-05	26
	エチルベンゼン	3.1	0.32	9.0E-03	7.8E-04	2.1E-04	18
	m,p-キシレン	4.0	0.31	1.9E-02	2.4E-03	1.2E-03	10
	o-キシレン	1.4	0.095	6.5E-03	9.3E-04	5.5E-04	8.8
	スチレン	0.41	0.014	1.6E-03	2.5E-04	2.0E-04	6.9
	n-プロピルベンゼン	0.29	0.023	2.0E-03	1.6E-04	1.5E-04	13
	m,p-エチルトルエン	1.7	0.096	1.1E-02	6.6E-04	9.3E-04	14
	1,3,5-トリメチルベンゼン	0.39	0.015	3.6E-03	1.2E-04	3.4E-04	16
	o-エチルトルエン	0.36	0.010	2.6E-03	1.7E-04	3.1E-04	11
	1,2,4-トリメチルベンゼン	2.0	0.049	1.3E-02	5.0E-04	1.1E-03	16
	1,2,3-トリメチルベンゼン	0.24	0.0085	1.5E-03	1.5E-04	3.1E-04	6.6

注) 沿道においてNOxとの相関が低かった成分及びトンネル調査で測定しなかった成分は除外してある。

沿道調査のNOx比は3日間の平均値、トンネル調査は平日のみの平均値である。

*: 測定上の問題があり、値が得られなかった。

TSP(Total Suspended Particle): 分級をせずに採取した浮遊粒子状物質。

表5 試料採取時間による沿道排出量比（対NOx）の違いとトンネルとの比較

分類	物質名	沿道 ^注		トンネル		A/((C+D)/2)	B/((C+D)/2)
		24時間(A)	2時間(B)	2003年(C)	2004年(D)		
PAHs	B(a)A	2.2E-06	4.5E-07	1.6.E-06	4.6.E-07	2.1	0.4
	B(b)F	1.3E-06	1.4E-07	4.5.E-07	5.1.E-07	2.7	0.3
	B(a)P	2.0E-06	7.0E-07	5.8.E-07	4.0.E-07	4.0	1.4
	B(g,h,i)P	5.0E-06	2.4E-06	1.1.E-06	4.6.E-07	6.3	3.1
アルカン	2,2,4-トリメチルペンタン	1.9E-03	2.3E-04	3.3.E-04	7.1.E-05	9.7	1.2
	2,3,4-トリメチルペンタン	9.3E-04	4.7E-05	1.3.E-04	3.9.E-05	10.9	0.6
	n-オクタン	1.7E-03	4.9E-04	3.0.E-04	2.4.E-04	6.2	1.8
アルケン	プロピレン	1.3E-02	7.7E-03	4.7.E-03	1.2.E-03	4.4	2.6
	1,3-ブタジエン	2.0E-03	6.3E-04	2.6.E-04	1.7.E-03	2.1	0.7
	t-2-ブテン	4.1E-03	1.2E-03	3.5.E-04	3.1.E-04	12.5	3.6
	t-2-ペンテン	2.7E-03	8.5E-04	3.7.E-04	8.1.E-05	12.1	3.7
	c-2-ペンテン	1.4E-03	1.3E-04	2.9.E-04	3.8.E-05	8.5	0.8
芳香族	ベンゼン	2.7E-03	1.2E-03	2.6.E-03	1.2.E-03	1.4	0.6
	スチレン	1.6E-03	7.0E-04	2.5.E-04	2.0.E-04	6.9	3.1
	1,2,3-トリメチルベンゼン	1.5E-03	6.1E-04	1.5.E-04	3.1.E-04	6.6	2.7

注) 沿道の24時間値は3日間の平均NOx比、2時間値は4日目の9:30~11:30の2時間のデータから算出したNOx比である。

した)。既に2001年及び2003年のトンネル調査結果の比較から、ディーゼル車走行規制によりECを始めとする自動車からの排出物質量が低減していることが明らかにされている^{1, 2)}。したがって上述のEC、B(a)AやB(b)FなどのPAHs、ホルムアルデヒド、1,3-ブタジエン、ベンゼンなど、主要な自動車排出物質については、本調査により道路沿道での排出量低減効果を確認できたと考えられる。

しかしそれ以外の多くの成分については、沿道の対NOx比はトンネルと比べ全般的に高い傾向(4~29倍)があった。この原因のひとつとして、沿道の対NOx比は24時間の平均値として求めたのに対し、トンネル調査の対NOx比は2時間ごとの値として算出されていることが考えられた。そこで、2月24日に行った2時間採取の濃度データを用い、沿道における2時間平均の対NOx比を算出した。その結果、24時間平均の対NOx比に比べ全般的に低い傾向を示し、トンネル調査により得られた対NOx比と同程度の値を示す成分が多く見られた(表5)。沿道における2時間採取は限られた時間帯に1回だけ行ったものではあるが、今後試料の採取時間帯をトンネル調査と同じ時間帯に行うことにより、両者の対NOx比の比較をより精度よく行えると考えられる。

4 まとめ

- ① C/D試験により、酸化触媒によるディーゼル車排出ガス中のPM及びPAHsの排出レベル低減効果が確認された。
- ② トンネル調査結果により、ディーゼル車走行規制開始以降、特に大型車混入率の高い平日においてPAHsの排出量が大きく低減していることが示された。
- ③ 道路沿道における各種自動車排出物質の対NOx比を求め、トンネルデータと比較した結果、過去のトンネル調査で明らかにされたディーゼル車排出物質の低減効果が沿道調査によっても確認できた。

参考文献

- 1) 上野広行ら：自動車用トンネル調査による排出ガス規制の評価、東京都環境科学研究所年報、pp.27-32 (2004)
- 2) 石井康一郎：ディーゼル車規制でPMは減少したのか、第45回大気環境学会年会講演要旨集、pp.162-165 (2004)
- 3) 東京都報道発表資料：<http://www.metro.tokyo.jp/INET/OSHIRASE/2005/06/20f6o400.htm>
- 4) 東京都報道発表資料：<http://www.metro.tokyo.jp/INET/CHOUSA/2004/03/60e3g103.htm>

- 5) 横田久司ら：連続再生式 DPF の排出ガス低減効果等について、エアロゾル研究 18 (3)、pp.185-194 (2003)
- 6) 泉川碩雄ら：ディーゼル車からの多環芳香族炭化水素類の排出量調査、東京都環境科学研究所年報、pp.27-34 (1995)
- 7) 久保隆ら：多環芳香族炭化水素類による大気汚染特性、大気環境学会誌、37 (2)、pp.131-140 (2002)
- 8) 環境庁大気保全局大気規制課：有害大気汚染物質測定方法マニュアル H11.3、(1999)
- 9) 天野冴子ら：都内環境大気における多環芳香族炭化水素類について、東京都環境科学研究所年報、pp.94-98 (2004)
- 10) 星純也ら：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—、東京都環境科学研究所年報、pp.12-19 (2002)
- 11) 青木一幸：分子拡散を利用したサンプリングについて (8) —比色による NOx の測定—、第 27 回大気汚染学会講演要旨集、pp.59 (1986)
- 12) 東京都：有害大気汚染物質モニタリング実施事業報告書 H17.3、pp.47 (2005)
- 13) 木下輝昭ら：東京都における環境大気中の炭化水素成分について、東京都環境科学研究所年報、pp.59-63 (2004)
- 14) 村上雅彦ら：自動車排出ガス中の揮発性有機化合物 (VOC) の排出実態、東京都環境科学研究所年報、pp.49-56 (2004)
- 15) 泉川碩雄ら：道路沿道における多環芳香族炭化水素濃度について、東京都環境科学研究所年報、pp.49-52 (1993)
- 16) 北林興二：道路近傍における粉塵濃度の解析—自動車走行に伴う排出量の推定—、大気汚染学会誌、17 (5.6) pp.362-369 (1982)
- 17) S.Okamoto, et.al. : Comparative Study on Estimation Methods for NOx Emissions from a Roadway, Atmos.Environ.24A (6)、pp.1535-1544 (1990)
- 18) 水野建樹ら：ヨーロピウムを用いた沿道拡散実験、公害、22(3)、pp.197-207 (1987)
- 19) ㈱数理計画：自動車排出ガス原単位及び総量算定検討調査、平成 16 年度環境省委託業務結果報告書、pp.24 (2004)