

自動車からの汚染物質の排出係数についての考察

福岡 三郎 飯田 靖雄 舟島 正直
 茅島 正資 鈴木 正次 梅原 秀夫
 石黒 辰吉

1 はじめに

自動車から排出される汚染物質のなかでも窒素酸化物 (NO_x) は、その対策技術のむづかしさから、排出規制が数次にわたって改訂強化されてきた。しかし、このような排出規制の強化にもかかわらず、環境大気中とくに排出規制の強化がもっとも早く効果を表わすと思われる道路沿道付近のNO_x 濃度の低減は、図1に示すように顕著でなく、濃度が横ばいないし上昇の傾向がみられている。

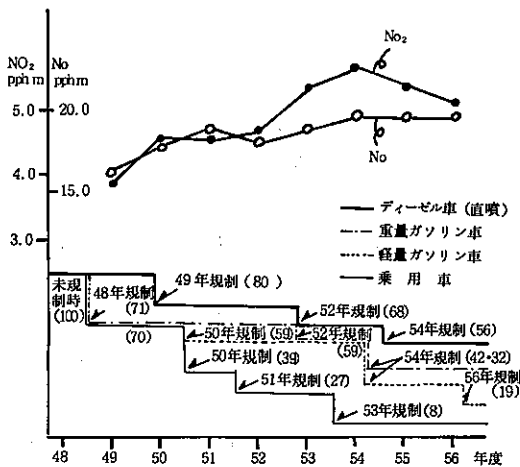


図1 NO_x 排出基準における低減率とNO_x 濃度の推移

注 NO₂, NO_x濃度は自動車排出ガス測定室NO_x濃度上位10局の平均値

自動車排出ガス中の一酸化炭素 (CO) の場合、1966年9月に4モード規制が実施されたが、規制実施後3年目頃より環境大気中のCOの年平均値の低減がみられ、排ガス対策の効果が顕著であった。それに対し、NO_x の場合は数次にわたる排出規制の効果が環境濃度の低減にあらわれていないと思われ、その原因を早

急に解明し、総量規制等総合的なNO_x 対策を確立する必要がある。

総合的なNO_x対策を進める場合、まず必要なことは、地域内のNO_x総排出量を算出し、精度の高い将来予測を行うことである。NO_x総排出量の算出には地域内交通量と個々の自動車からの汚染物質排出量すなわち排出係数 (Emission Factor) の算出が重要でとくに、排出係数は排出規制の強化が直接反映されるもので、その数値は、排出総量算出結果に大きな影響力をもっている。そこで本研究では、これら排出係数に影響を与える要因について検討し、排出係数のもつ意味や問題点を明らかにしたので以下に報告する。

2 排出係数に影響する要因

自動車からの汚染物質の排出係数に影響する要因としては、①車両の型式 ②エンジン型式 ③使用燃料の種類 ④排ガス規制年次 ⑤積載量 (車両重量) ⑥走行モード (車速) ⑦縦断勾配 ⑧車両の既走行距離などが考えられる。このうち、⑥の走行モードは自動車からの汚染物質の排出特性にかかわる基本的要因で、汚染物質排出量は走行モード (車速) によって当然異なるものである。したがって排出係数も平均車速別あるいは車速を変数とした回帰式で表わすことが多い。

⑦の縦断勾配は、自動車の要因ではなく、走行する道路側の条件であるが、地域内のNO_x 総排出量を算出する場合はともかく、道路環境アセスメントを行う際は、汚染物質によってはかなり重要である。建設省土木研究所の調査によると、縦断勾配の排出係数に及ぼす影響は、COについては明確な傾向がみられ、縦断勾配が長く続く区間においては、排出係数の補正を行う必要があるとしている。

また、⑧の既走行距離については、昭和53年度に実施したライトバン調査結果²⁾や、経年的に行っている使用過程車調査結果³⁾から判断すると、正常な点検整備をしている車両では、走行距離の汚染物質排出量に与える影響はあまり大きくないと思われる。

①～⑤の要因については、個々の自動車のもつ排出係数への影響力のほかに、排出係数の集約化（小さな車種グループから大きな車種グループへの統合）における車種構成比等の要因も排出係数に対して大きな影響力をもつものと思われる。そこで、ここでは、東京都のNOx排出係数と他都市や建設省のとりまとめた排出係数との比較を行いながら検討した。

なお、ここで使用している東京都のNOx排出係数は、環境保全局（旧公害局）が、昭和51年度及び55年度に見直しを行い設定したものである。^{4), 5)}

3 車種構成比の排出係数に与える影響

(1) 車両の型式

自動車からの汚染物質排出係数の定義がややあいまいで、一般に使用されている「排出係数」なる言葉にもかなり広い意味が含まれている。排出係数の本来の意味は、原単位当りの汚染物質排出量であり、この原単位に対応する交通量との積が排出総量となる。したがって掛け合わせるべき相手の交通量がどのような形で把握されているかによって、排出係数のまとめ方も変わってくる。

一般に地方自治体では、地域の汚染物質総排出量を算出する際必要な地域内交通量を、建設省の行っている道路交通情勢調査結果から求めている場合が多い。この調査では、車種分類を、①軽乗用車 ②乗用車 ③バス ④軽貨物車 ⑤貨客車 ⑥小型貨物車 ⑦普通貨物車 ⑧特殊車の8車種としているので、地方自治体が自動車からの汚染物質排出係数を設定する場合の車種区分もこの8車種としている。（東京都では、この8車種にLPG乗用車を加えて9車種）

また、建設省が道路環境アセスメント用に設定している排出係数では、3車種（乗用車類、小型貨物車類、大型車類）または、2車種（小型車類、大型車類）分類としている。⁶⁾

このような車種別に、排出係数をまとめる場合、つぎの(2)～(4)の要因をどのような構成比とするかで、排出係数値はかなりちがってくるが、それを検討する前

表1 基本的なNOx排出原単位の比較

単位：g/km(ディーゼル車はg/トン/km)

車種	都市名等	東京都(20)*	大阪市(20)	京都市(23)	建設省(20)
乗用車(53年)		0.35	0.36** 0.21	0.28	0.25
軽中量ガソリン車(54年) ⁴⁾		1.41	0.94	0.83	1.50
重量ガソリン車(54年)		3.56	2.88	2.98	2.81
ディーゼル車(54年渦室)		0.49	0.57	0.67	0.57
"(54年予燃焼)		0.49	0.56	0.85	0.66
"(54年直噴)		0.66	0.78	1.10	0.96

(注) * 都市名等における()内数字は排出係数算出車速

** 上段三元触媒以外の車種の排出係数、下段三元触媒車の排出係数

に、最も基本的な車種におけるNOxの最新規制年次の排出係数値の各都市比較表を表1に示す。この表においても、排出係数値に若干のちがいがみられるが、これは、排出係数がシャーシダイナモ実測に基づいて設定されたものか或いは、排出規制低減率により前回規制年次の排出係数を改訂したものかのちがいの要因によるものと考えられる。

(2) エンジン型式

ガソリン車の場合、レシプロエンジンとロータリーエンジン、2サイクルエンジンと4サイクルエンジン等の型式のちがいがあがるが、何れも、NOx排出量にそれ程の差異がないか或いは、排出量全体に占める割合が少ないことによりあまり問題にならない。それに対しディーゼル車では、渦室式、予燃焼式、直噴式と3つの型式があるが、型式によりNOx排出量にちがいがあがり、普通貨物車、バス、特殊車などの車種区分ではこれらの型式の構成比が大きな問題となる。例えば、排出基準もゆるやかでNOx排出量も多い直噴式の車両の占める割合がこれらの車種の排出係数に大きな影響を与える。

一般的に、車種構成比は、車種別自動車保有台数（走行台キロ）を参考にして算出するが、エンジン型式別には統計がないため、エンジン型式別比率を別の方法で求めている。例えば東京都では、昭和54年度エンジン型式別生産台数調査結果⁷⁾（ディーゼル4社）から車両総重量階級別直噴率を求め、これを全体の貨物車保有台数にあてはめて、直噴式ディーゼル車と副室式ディーゼル車の比率を算出している。また、建設省では、高速道路通行車両のエンジン型式構成比を求め

表2 普通貨物車エンジン型式構成比率 %

都市名等 エンジン型式	東京都	大阪市	京都市	神戸市	建設省
重量ガソリン車	0	0	8	0	10
渦室式	36	36	48	19	30
予燃焼式		43	31	51	32
直噴式	64	21	13	30	28

この比率を全国保有台数ベースにあてはめ、全体のエンジン型式別構成比を算出している⁶⁾。

他の都市でも同様の方法でエンジン型式別構成比を算出していると考えられる。表2に各都市エンジン型式別構成比比較表^{6), 9)}を示す。表2にみるとおり、普通貨物車のエンジン型式別比率は、都市によってかなり異なっていることがわかる。とくに、普通貨物車における直噴率が東京都をのぞいて何れも低く、逆に予燃焼式・渦室式の比率が高い。

(3) 使用燃料

自動車で使用される燃料は、その大部分をガソリン、軽油、LPGで占める。車種構成上問題となるのは、乗用車におけるガソリンとLPG、小型貨物車、普通貨物におけるガソリンと軽油である。ガソリンとLPGについては、燃焼方式が同じで本質的にちがいはなく、NOx排出量もそれ程差異はない。問題となるのは貨物車におけるガソリンと軽油の比率である。

貨物車の使用燃料別車種構成比は、積載量別、燃料別自動車保有台数から算出される。表3は、東京都と建設省の排出係数における小型貨物車の車種構成比である。東京都の場合は、小型貨物車(貨客車を含む)に占めるディーゼル車の割合は13.6%であるが、建設省の排出係数では6%となっている。この比率の違いは、調査年度(東京都:1979年3月末)と統計母体(東京地域と全国)の違いによるものと思われる。また、普通貨物車エンジン型式別構成比の比較表で東京都の重量ガソリン車が0%となっているが、これは保有台数が皆無と言うことではなく、排出係数設定上影響の少ない割合であるので無視することとし0%としている。

(4) 積 載 量

一般に車両総重量が増減すれば、エンジンの負荷率が変り排出係数は影響を受ける。車両重量と汚染物質との間には、正の相関々係があるとされており、とくに車両重量が積載状態によって変る貨物車の場合は重

表3 小型貨物車車種構成比

車種	都市名等 東京都	建設省
軽・中ガソリン車	73.8	82
重量ガソリン車	12.6	12
小型ディーゼル車	13.6	6

要である。

貨物車の走行時積載状態調査によると、積載重量は、平均車両重量に比較して $1/2$ 以下であることから、排出係数を設定する場合も、貨物車の積載状態は半積載として取扱うことが妥当と思われる⁶⁾。また、貨物車の車両重量別保有台数から平均的な車両重量を求めることにより、当該地域の積載状態を $1/2$ とした場合の平均車両重量が得られる。表4は、各機関で算出した貨物車平均車両重量比較表であるが、渦室式ディーゼル車の場合はそれ程の差異はないが、予燃焼式、直噴式ディーゼル車では、平均車両重量に2倍近い差がある。

表4 エンジン型式別車両重量の比較

単位:トン

都市名等 エンジン型式	東京都	大阪市	京都市	建設省
渦室式	3.0	3.0	3.0~3.8	2.0
予燃焼式	4.0	7.0	7.5	4.4
直噴式	8.5	9.5	13.0	6.7

(5) 車種構成比のちがいが排出係数に及ぼす影響試算

以上述べたように、排出係数を設定している機関によって、エンジン型式、使用燃料、車両重量等の取扱いにかなり違いがあることがわかった。それではこの取扱いの違いが実際の排出係数値にどのような影響を及ぼすか、同一のNOx排出原単位を使って試算を行った。

建設省の排出係数における車種分類は、乗用車類、小型貨物車類、大型車類の3車種分類であるが、この3車種に統合する場合の構成比率は、建設省と東京都で表5のようにちがっている。NOxの基本的排出原単位は、東京都設定のものを用い、これに表5の構成比率を掛け合わせて、3車種分類における排出係数を算出した。算出した結果を表6に示すが、表6にみる

とおり、乗用車類、小型貨物車類では建設省の構成比を用いた場合の方が排出係数値が若干大きくなっているがそれ程の差異はない。しかし、大型車類では逆に、東京都の構成比を使用した方が3割程大きな数値となっている。これは、車種構成比のなかの直噴式ディーゼル車の比率のちがいによるものと思われる。

表5 車種構成比比較

区分	車種	都市名等		
		東京都	建設省	
乗用車類	軽用車	0.04	0.15	
	乗用車(ガソリン)	0.70	0.84	
	“(LPG)”	0.26	0.01	
	計	1.00	1.00	
小型貨物車類	軽貨物車	0.06	0.31	
	軽量ガソリン車	0.37	0.44	
	中量 ”	0.27	0.07	
	重量 ”	0.15	0.12	
	小型ディーゼル車	0.16	0.06	
	計	1.00	1.00	
大型車類	バス	渦室式	0.016	0.040
		予燃焼式		0.043
		直噴式	0.107	0.037
	貨物車	重量ガソリン車	0	0.088
		渦室式	0.316	0.264
		予燃焼式		0.282
		直噴式	0.561	0.246
	計	1.000	1.000	

注 特殊車は貨物車に含まれている。

表6 車種構成比を変えた排出係数の比較

単位: g/km

車種区分	項目	都の構成比使用		建設省の構成比使用	
		20k/h	40k/h	20k/h	40k/h
乗用車類		0.32	0.54	0.36	0.67
小型貨物車		1.72	1.77	1.67	1.81
大型車		4.70	3.82	3.38	2.58

4 NOx 排出規制の推移と排出係数との関係

NOx 排出規制は数次にわたって改訂・強化されてきた。このことは、NOx に関する排出係数算出方法を一層複雑なものにしている。また、これらの規制の対象となるものは新型車に限られているために、現実には走行している車両は、さまざまな規制年次が混在す

ることとなる。しかし、この問題については、初年度登録年別自動車保有車両数表から車の残存率が年毎に求めることができるので、これから各年次規制車の比率を推定することは容易である。

そこで、NOx 排出規制の低減率と実際の各年次規制車の排出係数にみる低減率との関係を検討した。

筆者らの調査によれば、53年規制適合乗用車におけるNOx 排出量は、10モードでは排出規制の低減率どおりの排出レベルであったが、実走行モードでは、必ずしも低減率どおりの排出レベルではないとの結果が得られている。この傾向は排出係数にも当然反映されるものである。図2は、乗用車NOx 排出係数にみる各規制年次の低減率の推移を示したものである。図2にみるとおり、排出係数における各規制年次低減率は、排出規制低減率を何れも上廻っており、とくに40km/hの早い速度領域の時に顕著である。

また、表7は、排出係数にみるNOx 低減率を車種別に示したもので、各車種の最新の規制年次における排出係数と前回規制年次の排出係数との間の低減率を表わしたものである。表7にみるとおり、ガソリン車においては、乗用車、小型貨物車、重量ガソリン車ともに排出規制における低減率が排出係数では得られていない。しかし、ディーゼル車では、逆に、排出規制の低減率以上に排出係数でのNOx 排出量の低減がみられている。

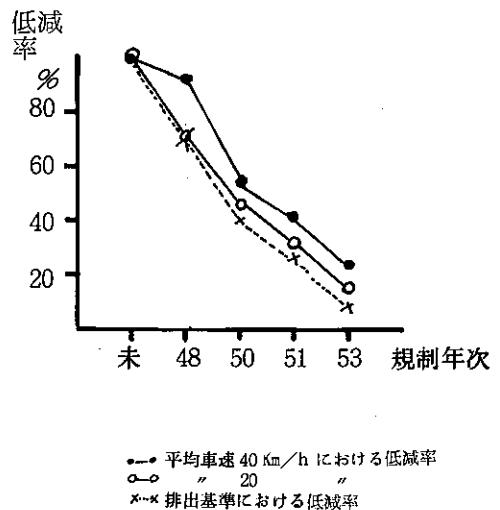


図2 乗用車NOx 排出係数にみる低減率の推移

表 7 排出係数における NOx 低減率

	低減率 算出年次	前回規制年次 の排出係数	最新規制年次 の排出係数	低減率	排出基準の 低減率
乗用車	51-53年	0.97g/km	0.48g/km	51.5%	65.5%
小型貨物車(ガソリン車)	50-54	1.87	1.50	19.8	38.9
重量ガソリン車	52-54	4.02	3.61	10.3	29.0
ディーゼル車(渦室)	52-54	2.41	1.49	38.2	10.5
“(予燃焼)	52-54	7.64	4.73	38.1	10.5
“(直噴)	52-54	7.74	5.53	28.1	16.9

(注) 低減率 = 1 - 最新規制年次の排出係数 / 前回規制年次の排出係数 × 100

七大都市自動車技術評価委員会にディーゼル車メーカー(4社)が提出した資料によれば、昭和54年規制適合車の6モードでの NOx 平均値(ディーゼルメーカー4社の全型式平均)は、直噴式ディーゼル車で 495 ppm、副室式ディーゼル車で 284 ppm であり、これは、52年規制適合車の6モード平均値に比べ直噴式で15%、副室式で9%の低減率しかなく、何れも排出規制低減率を下廻っているが、実走行では反対に排出規制を上廻る低減効果がみられている。このような傾向は、NOx 排出規制当初からみられており、例えば、大阪市の NOx 排出係数では未規制車に対する低減率は、52年規制車で直噴式、予燃焼式ともに56%で、排出規制での低減率32%を上廻っている⁹⁾。

ディーゼル車に比べガソリン車で、NOx 排出係数が排出規制低減率どおりに低減されない理由としては、10モードと実走行モードの違いが主たるものと考えられる。また、現在のガソリン車の NOx 対策が EGR (排出ガス再循環装置)のような車速領域によって、NOx 低減効果の異なる対策が中心になっていることにも原因があると思われる。

それに対して、ディーゼル車では NOx 対策が燃料噴射時期遅延などエンジン改良が中心となっているため、各車速領域で NOx 低減効果にそれ程の差がなく、実走行モードにおける NOx 低減率を下廻ることがないと思われる。

5 燃料と排出係数との関係

自動車から排出される汚染物質の排出係数は、一般的に単位走行距離当りの排出量で表わされるが、もし汚染物質排出量と燃費(この場合は l/km)との相関

が良ければ、排出係数を単位燃料消費量当りの汚染物質排出量(g/l)としてまとめておくことも、地域の燃料消費量から、およその汚染物質総排出量を算出する際などに有効である。

図3は、NOx 排出量と燃費(l/km)との関係を示したものである。図3にみるとおり、ガソリン車においては NOx 排出量と燃費との関係が良くない。それに対してディーゼル車では、NOx 排出量との相関が良く、km当りの燃料消費量が多くなるにしたがって排出量も多くなっている。

NOx 排出量と燃費との相関が良いということから燃料 1 l 当りの NOx 排出量を算出した場合に、車速によってその値が変動しないことが想定される。表8は、平均車速毎に燃料 1 l 当りの NOx 排出量を NOx 排出係数算定回帰式および燃料消費量算定回帰式から算出したものである。表8にみるとおり、ディーゼル車では、車速による排出量の変動はほとんどないが、ガソリン車では、平均車速が増す毎に排出量が増える傾向にあり、単位燃料消費量当りの排出係数も車速別に求める必要がある。

環境保全局では、昭和55年度に都内自動車走行量と燃料消費率から、都内を走行している自動車の車種別燃料消費量を試算している。この車種別燃料消費量に表8の単位燃料消費量当りの NOx 排出量をあてはめて、都内の主な車種の NOx 年間排出量を算出したところ、表9に示すような結果が得られている。なお、ここでは、便宜上各車種とも平均車速 25 km/h の排出係数(20 km/h と 30 km/h の排出係数の平均)を使用している。通常の排出係数(g/Km)と自動車交通量とから求めた年間総排出量も併せて表9に示したが、

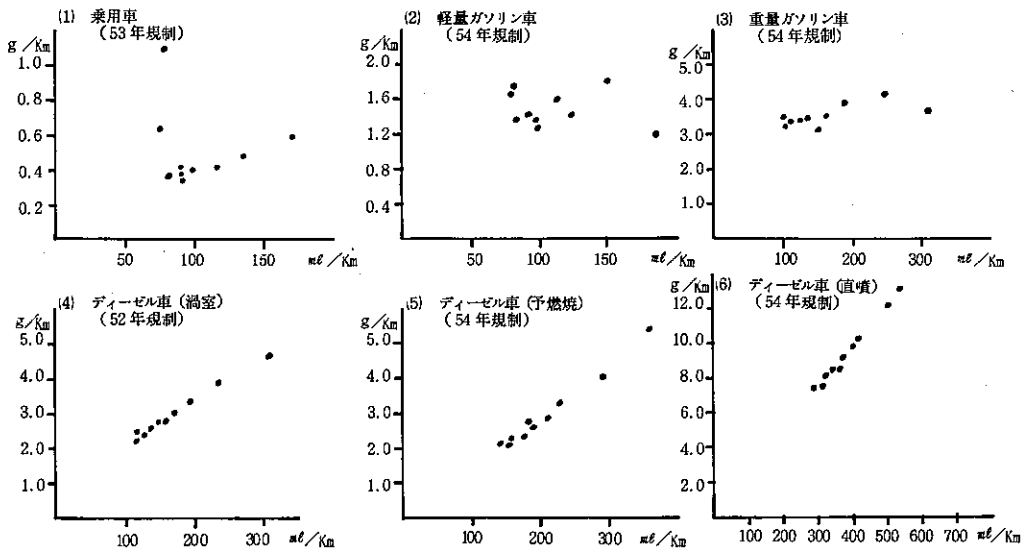


図3 車種別NOx排出量と燃費との関係

表8 燃料1ℓ当りのNOx排出量

単位: g/ℓ

車種	平均車速	平均車速			
		10km/h	20km/h	30km/h	40km/h
乗用車	(50年規制)	6.6	10.7	14.5	19.8
"	(51 ")	4.2	6.6	9.5	14.3
"	(53 ")	2.7	3.6	4.1	9.1
貨客車	(50 ")	10.7	15.3	17.9	21.2
小型貨物車(ガソリン)	(50 ")	11.9	19.2	23.8	29.7
軽量貨物車	(54 ")	10.3	13.6	15.5	18.5
中量 "	(54 ")	10.4	13.7	15.3	17.4
重量 "	(52 ")	22.1	31.3	37.6	42.7
"	(54 ")	17.0	23.4	27.1	30.0
小型貨物車(ディーゼル)	(52 ")	13.6	15.3	16.2	17.3
"	(54 ")	13.5	13.0	12.8	12.7
普通貨物車(副室)	(52 ")	13.6	15.3	16.2	16.8
"	(54 ")	13.5	13.0	12.8	12.7
普通貨物車(直噴)	(52 ")	31.8	31.4	31.4	31.0
"	(54 ")	25.3	24.8	24.5	24.4
バス(副室)	(52 ")	13.6	15.3	16.2	16.8
"	(54 ")	13.5	13.0	12.8	12.7
バス(直噴)	(52 ")	31.8	31.4	31.2	31.0
"	(54 ")	25.3	24.8	24.5	24.4
軽乗用車	(53 ")	5.1	6.3	5.7	6.3
軽貨物車	(54 ")	14.6	19.2	20.5	25.2

表9 燃料消費量からのNOx排出量

車種項目	燃料消費量	燃費からのNOx排出量	交通量からのNOx排出量
乗用車 (ガソリン)	ℓ 988	トン 11,653	トン 11,040
バス	204	5,094	4,800
小型貨物 (軽油,ガソリン)	軽油 187 ガソリン 320	9,280	9,580
貨客車	477	8,087	7,540
普通貨物車	648	16,389	15,980

両者の排出量はほぼ一致している。

6 まとめ

NOx 排出係数に影響を与える要因について検討した結果つぎのようなことがわかった。

- ① NOx 排出係数を設定する場合、個々の自動車のもつ排出係数への影響力のほかに、排出係数を統合化する場合の車種構成比、エンジン型式構成比等の要因も大きな影響力をもつことがわかった。したがって、NOx 排出将来予測を行う場合も、これら構成比の変動を見込んで予測を行う必要がある。
- ② NOx 排出規制の低減率と実際の各年次規制車の排出係数にみる低減率を比較検討した結果、ガソリン車では実際の排出係数における低減率が排出規制の低減率を下廻っていることがわかった。したがって、排出規制の低減比率をもって、未調査年次規制車の排出係数を算出することは、シャーンダイナモ調査等の実測値に基づく排出係数の見直しを行った場合に比較して、排出係数値を低く設定するおそれがある。また、ディーゼル車では、実際の排出規制

における低減率が、排出規制の低減率を上廻っている。

- ③ ディーゼル車では、燃費と NOx 排出量との相関が良く、単位燃料消費量当りの NOx 排出量も車速によってそれ程変化しないことがわかった。
- ④ 単位燃料消費量当りの NOx 排出係数 (g/l) を用いて、都内の車種別 NOx 排出量を試算したが通常排出係数 (g/km) と交通量とから算出された総排出量とほぼ一致している。

参考文献

- 1) 斉木三郎, 齊藤輝男; 高速道路沿線における自動車排出ガス濃度, 高速道路と自動車 vol. 6 (1977) .
- 2) 飯田靖雄ほか; 貨客車(ライトバン)の排出ガス低減に関する研究, 東京都公害研究所年報 1980 年版(1980) .
- 3) 東京都公害研究所大気部; 自動車排出ガス調査結果, (1981) .
- 4) 東京都公害局規制部; 自動車排出ガスに係る排出係数見直し調査結果について, (1978) .
- 5) 東京都環境保全局大気保全部; 東京都内自動車交通量及び自動車排出ガス排出量調査結果, (1982) .
- 6) 建設省道路局; 環境影響予測に用いる自動車排出ガス排出係数, (1978) .
- 7) 七大都市自動車技術評価委員会; ディーゼル自動車の低公害技術開発の現況と見直しについて(1981) .
- 8) 飯田靖雄ほか; 53年規制適合車の排出ガス特性, 東京都公害研究所年報 1981 年版, (1981) .
- 9) 七大都市自動車技術評価委員会; 各都市における自動車排出ガス量の算出及び将来予測の方法, (1980) .