

V 埼玉県における自動車走行状態と大型ディーゼル車の汚染物質排出量について

Relations between Running Mode of the
Traffics and Amount of Pollutants
Emitted from Diesel Engine Truck.

大 気 科 小 川 和 雄

1 はじめに

都市における大気の窒素酸化物汚染は依然として深刻であり、自動車排出ガス規制の実施にもかかわらず、汚染寄与率の6~8割を占めるものと見られている。特にディーゼル車は保有台数に比べて稼働率が高く、排出ガス対策の遅れに加速されて、発生源の主役になってきている。さらに、Table Iのように規制が強化されてきてはいるが、これまで多かった副室式エンジン車がエネルギー効率の良い直噴式エンジン車に変わってきており、規制効果が失われる可能性さえでてきている。

Table I ディーゼル車のNOx排出規制の推移
(6モード・ppm)

エンジン型式	S 4 9	S 5 2	S 5 4	S 5 7	S 5 8
直 噴 式	1,000 (770)	850 (650)	700 (540)	同 左	610 (470)
副 室 式	590 (450)	500 (380)	450 (340)	340 (290)	同 左

備考：()内は平均値

これまで報告された大型ディーゼル車の汚染物質排出量は、エンジンダイナモによる定常運転で近似したものが多く、直接シャーンダイナモ上で過度運転時の汚染物質排出量を測定した¹⁾例は少いようである。

また排出係数の作成にあたって、初度登録年別保有台数表により重みづけをし、 $\frac{1}{2}$ 積載状態を仮定して算出したものが多く、実際の最大積載量別、荷物実積載量別混入率を反映させたもの²⁾も少ないようである。

本県では、NOx拡散シミュレーションを実施するため、昭和53年度に「自動車走行状態調査³⁾」、昭和54年度に「自動車排出ガス実測調査^{4) 5)}」を実施しており、ここではこれらの原資料をもとに、本県の実走行パターンと大型ディーゼル車の汚染物質排出量の関係について検討した結果を報告する。

2 試験方法

2.1 走行調査³⁾

交通量、道路種類等を考慮し、Table IIの路線について、午前、午後のピーク、オフピークおよび深夜を含む時間帯別に18路線3地域について111走行を実施した。車速、吸気負圧、エンジン回転数等は、7チャンネルデータレコーダーに記載し、0.32秒毎にAD変換してコンピューター用MTに納めた。

調査車は49年型トヨタカローラ1,200ccを用いた。

走行モードの解析にあたっての走行状態判定基準はTable IIIのとおりである。

Table II 道路種類別走行調査路線数

道路種類	高 速 道	国 道	主要地方道	細 街 路
県内路線数	2	8	64	不 明
調査路線数	1	5(9)	8	3 地 域

備考：()内はバイパスを含む

Table III 走行状態判定基準

モード種類	判 定 基 準
アイドリング	速度が5Km/h未満
加 速	加速度が1.0Km/h/s以上
減 速	" -1.0Km/h/s以下
定 速	" -1.0~1.0Km/h/s

2.2 試験車及び汚染物質測定法

試験車の主要諸元をTable IVに示す。

試験車は使用過程車の中から任意に借り上げ、特別な整備等を行わなかった。

試験車をTable 5に示すシャーンダイナモに乗せ、走行調査結果を解析して選びだした実走行パターン及びM-15 モードを忠実にトレースするように運転し、

Table IV 試験車の主要諸元

諸元	試験車	A	B	C	D	E	F	G	H
車両重量(kg)		1,780	3,200	3,275	3,280	4,280	5,060	6,900	8,710
最大積載量(kg)		2,000	4,500	4,500	4,500	6,500	6,500	7,500	11,000
排気量(cc)		2,369	5,010	5,785	5,393	5,785	6,557	10,308	13,267
最高出力(ps/rpm)		74/3800	130/3200	160/3200	145/3200	160/3200	160/3000	185/2300	270/2300
既走行距離(km)		6,314	59,460	10,535	8,388	82,963	7,675	9,686	28,124
初度登録年月		54.10	53.3	53.3	54.5	52.6	54.11	54.9	54.6
排ガス対策年度		52	49	49	52	49	52	52	52
燃焼室形状		渦流式	予燃式	直噴式	同左	同左	同左	同左	同左

M-15 モード法に準じて排気管からのガスを直接採取して、ME x A-2,300 で NOx (CLD)、CO (N DIR)、THC (HFID) 等を同時測定した。

試験車の等価慣性質量は、原則として最大積載量の $\frac{1}{2}$ に乗員1名分を加えたものとしてフライホイールを選定した。D, F, G車については他にそれぞれ $0, \frac{2}{2}, 0, \frac{7}{10}, 0, \frac{2}{5}$ 積載の状態について試験を行った。

なお、この測定は、シャーシダイナモを有する外部法人に委託して実施した。

3.1.1 自動車の走行状態

Table V シャーシダイナモの主要諸元

型式	パンザイ BGD 1100E
動力吸収方式	水冷うず電流式
吸収動力	300 ps
ローラ径、軸間距離	370 Ø mm, 500 mm
フライホイール	1,000~10,000kg (250kgピッチ)

3 試験結果及び考察

3.1 自動車の走行状態と代表走行パターンの選定

道路種類及び時間帯別の走行状態についてのまとめを単純平均値で Table VI に示す。

Table VI 道路種類及び時間帯別の走行状態³⁾

道路種類	時間帯	平均車速 (km/h)		モード比率 (%)				シヨート トリップ長 (m)	走行数
		アイドリング 含む	アイドリング 含まず	加速	定速	減速	アイド リング		
高速道	昼	77.4	78.2	2.9	94.3	2.7	0.0	—	2
国道	朝夕	25.4	41.2	18.2	36.7	16.7	28.4	738	37
	昼	29.9	44.6	19.1	42.4	16.4	22.2	958	19
	夜	39.8	50.0	19.6	50.9	18.0	11.5	2,024	3
	平均	27.6	42.7	18.5	39.3	16.7	25.5	874	59
(注) 主要地方道	朝夕	25.5	39.6	16.8	41.3	15.0	26.9	895	26
	昼	30.9	43.4	18.1	47.5	15.9	18.6	1,120	16
	夜	44.8	58.5	18.1	53.7	15.0	13.1	1,446	2
	平均	28.4	41.5	17.3	44.1	15.3	23.2	1,002	44
細街路	朝	12.6	25.7	18.6	23.9	16.0	41.5	209	3
	昼	16.7	28.5	22.5	28.6	16.9	31.9	258	3
	平均	14.6	27.1	20.5	26.2	16.5	36.7	233	6

(注) 一般地方道4走行を含む

各道路とも、アイドリングを除く平均車速は、ほぼその道路の制限車速に近かった。

国道と主要地方道は、車速、モード比率とも大きな差異は認められなかった。時間帯別では、朝夕の方が昼よりも約5 Km/hほど車速が遅く、定速比率が低下し、アイドリング比率が増大した。

高速道はほぼ定速走行、細街路はアイドリング比率が大きく、極端にショートトリップ長が短いという特徴を持ち、他の道路とは明瞭に異なる走行状態であることが示された。

全走行データを用いた、アイドリングを含む平均車速（以下、平均車速という）と各モードの時間比率の関係についてFig.1に示す。

平均車速は、定速およびアイドリングの時間比率と正および負の高い相関関係を示した。特にアイドリング時間比率との間には、ほぼ制限速度に近い43 Km/hを定数項として、アイドリングの比率が高まる程平均車速が低下していく様子が読みとれる。

加速および減速の時間比率との相関は見られなかったが、アイドリングを除いた加速の時間比率との間には、Fig.2に示すような相関関係をみとめることができた。

また、平均車速とショートトリップ長の関係をFig.3に片対数で示す。平均車速10 Km/hから30 Km/hまでは高速化にともなってショートトリップ長が直線的に長くなる関係にあるが、30 Km/h以上では同一車速でもショートトリップ長が大きく異っており、比較的平均車速の早い本県では、走行状態を解析する場合、ショートトリップ長にも着目する必要があることが示唆された。

3.1.2 代表走行パターンの選定

自動車の走行状態は、交差点数や幅員等の道路構造、交通量等によって変化するものであり、同一路線でも同一走行パターンの出現はほとんど有り得ない。

そのような走行パターンを類似したものどうしグループ化して平均化することにより、代表走行パターンを選びだし、平均的なエミッションを求めることが、排出係数を作成するうえで必要となる。

そこで、平均車速、アイドリングを含まない平均車速、平均加速度、平均減速度、平均ショートトリップ長、平均ショートトリップ時間、およびアイドリング、加速、減速、定速の各時間比率のデータを用いて、再配置法によるクラスター分析を試み、8つのクラスターに分類した。さらに、各クラスター間に最も決定的な差異をもたらしたと考えられる平均車速、平均ショートトリップ長

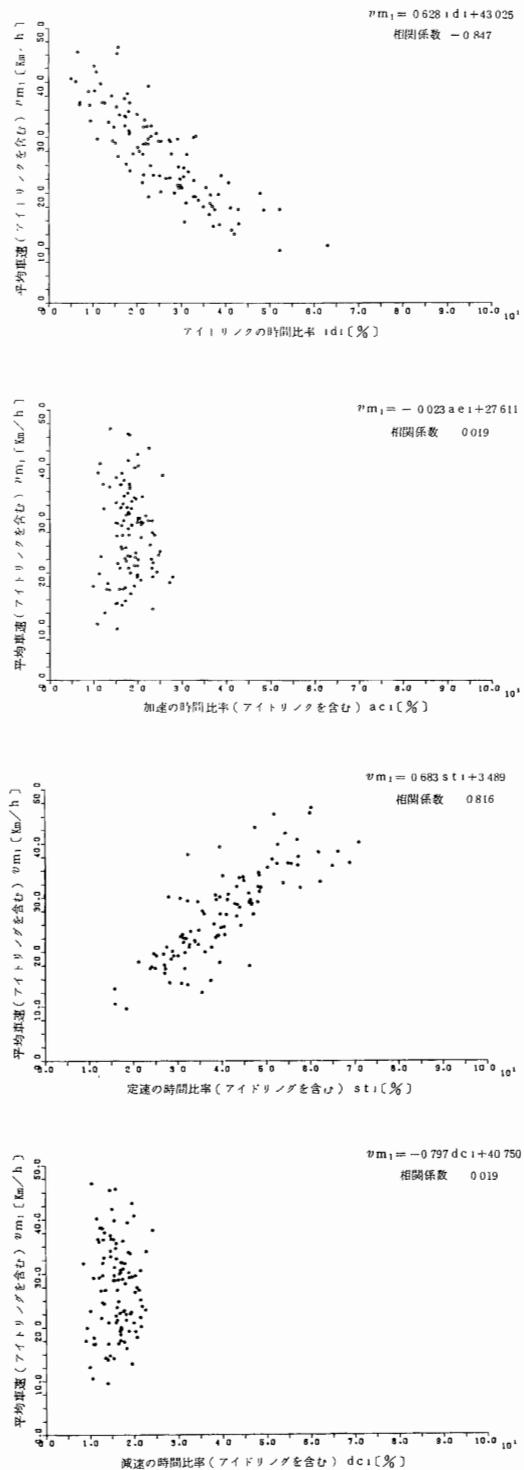


Fig. 1 平均車速と各モードの時間比率³⁾

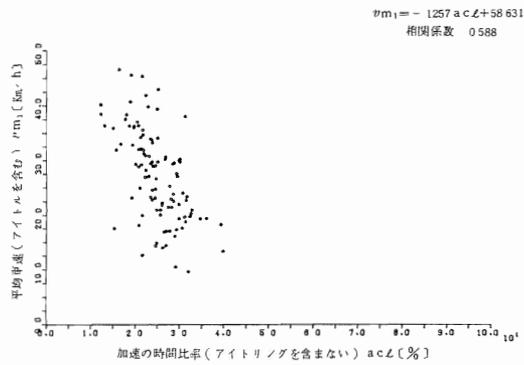


Fig. 2 平均車速とアイドリングを含まない加速時間比率³⁾

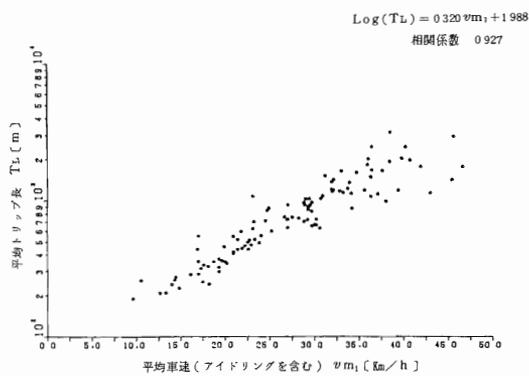


Fig. 3 平均車速と平均ショートトリップ長³⁾

に着目して各クラスターから代表走行パターンを選定し、Table VI、Fig. 4 に示した。

なお、シャーシダイナモ試験には、この8代表走行パターンの他に、一部クラスターを細分して選びだした走行パターン、および道路種類別に選びだした走行パターンの計13パターンを適宜用いた。

3.2 M-15 モードにおける汚染物質排出量

M-15 モードにおける各試験車の汚染物質排出量を Table VII に示す。

M-15 モードを基準モードとして、各試験車の汚染物質排出特性を比較する際には、M-15 モードにおける排出量と各実走行パターンにおける排出量との間に有意な関係が成りたっていないなければならない。

そこで、M-15 モードのNO_x排出量をx、各実走行パターンのNO_x排出量をyとして一次の回帰分析を行ったところ各ケースともxの係数が1より小さく、定数項が正という特徴を示し、定速走行に近い8パターンを除いて、良好な相関関係が得られ、M-15 モードが充分代表性を持つことを確認した。(Table IX)

Table VII 代表走行パターン³⁾

No.	平均車速 (km/h)		平均加速度 (km/h/s)	平均減速度 (km/h/s)	平均ショート トリップ長 (m)	平均ショート トリップ 時間 (sec)	モード比率 (%)			
	アイドリング 含む	アイドリング 含まず					アイド リング	加 速	定 速	減 速
1	140	27.1	173	-2.03	217	56	388	12.4	38.5	10.2
2	18.6	32.8	2.15	-2.65	344	65	31.2	18.7	28.9	18.3
3	261	45.1	212	-2.39	681	99	325	13.4	42.1	11.8
4	30.2	46.7	2.18	-2.30	1,009	119	24.6	16.3	43.3	15.5
5	363	49.0	2.29	-2.73	1,484	147	18.5	16.0	52.4	13.1
6	407	49.2	2.41	-2.17	1,969	174	5.2	17.8	57.0	20.0
7	40.2	46.5	2.33	-2.42	2,453	220	6.2	11.4	70.9	11.5
8	77.1	78.0	1.68	-1.49	(30,073)	(1,404)	0.0	2.3	94.9	2.8

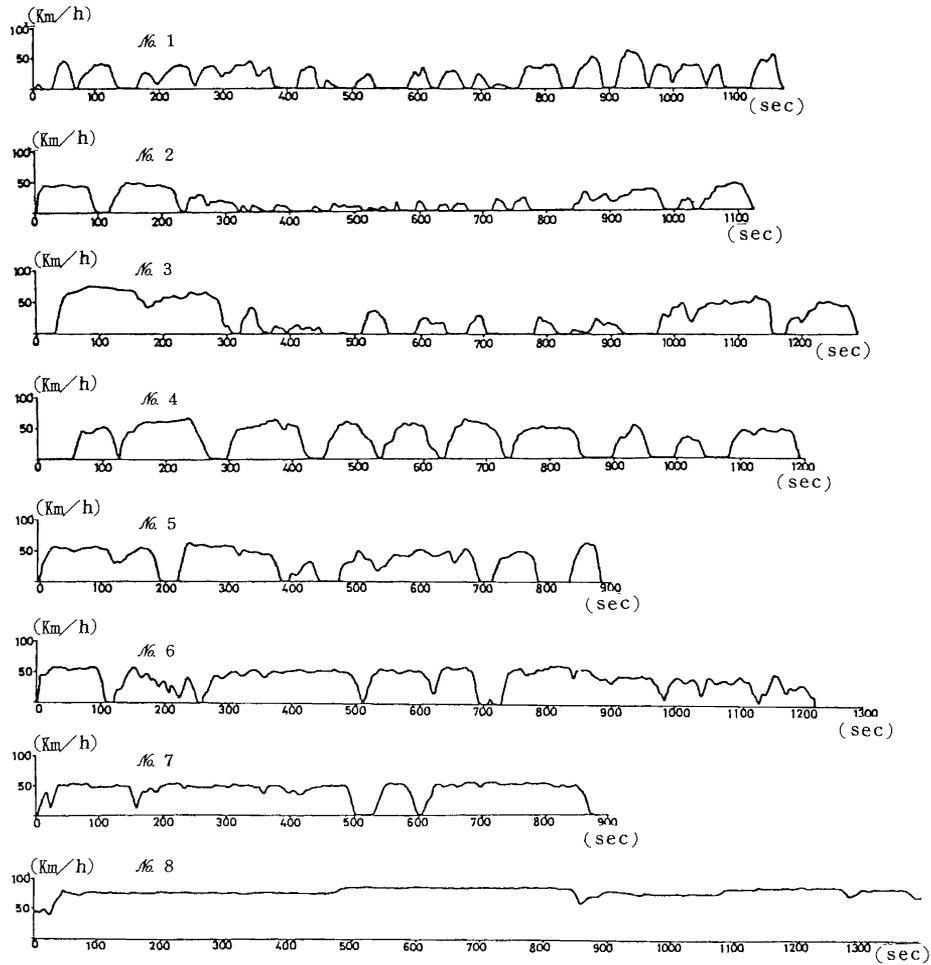


Fig. 4 代表走行パターンの車速変化³⁾

Table VIII M-15モードにおける汚染物質排出量⁴⁾

試験車	規制年次	積載状態	等価性質量(kg)	排出量 (g/Km)		
				NOx	CO	HC
A	52	1/2	2,750	1.69	0.66	0.14
B	49	1/2	5,500	3.40	1.80	0.34
C	49	1/2	5,500	5.20	3.03	0.60
D	52	0	3,500	4.25	2.26	1.09
		1/2	5,500	5.06	2.51	1.46
E	49	2/2	8,000	7.10	3.78	1.12
		1/2	7,500	5.49	4.59	0.89
F	52	0	5,000	7.71	3.13	1.27
		1/2	8,500	10.58	4.89	1.44
G	52	7/10	10,000	11.66	7.40	1.22
		0	7,000	6.88	3.34	1.36
H	52	2/5	10,000	8.41	4.34	1.37
		0	9,000	12.35	3.75	1.42

Table IX NOx 排出量における M-15 モードと実走行モードの関係⁵⁾

モード	車速	n	r	回帰式
1	Km/h 14.0	13	0.99	$y=0.665x+0.937$
2	18.6	13	0.99	$y=0.837x+0.348$
3	26.1	9	0.98	$y=0.588x+0.825$
4	30.2	13	0.98	$y=0.672x+0.199$
5	36.3	9	0.98	$y=0.575x+0.572$
6	40.7	12	0.98	$y=0.566x+0.418$
7	40.2	8	0.95	$y=0.473x+0.671$
8	77.1	13	0.83	$y=0.406x+1.157$

x : M-15 モード NOx 排出量
y : 実走行モード NOx 排出量 (g/Km)

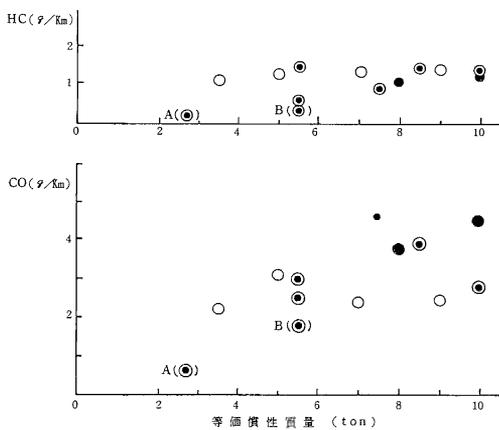
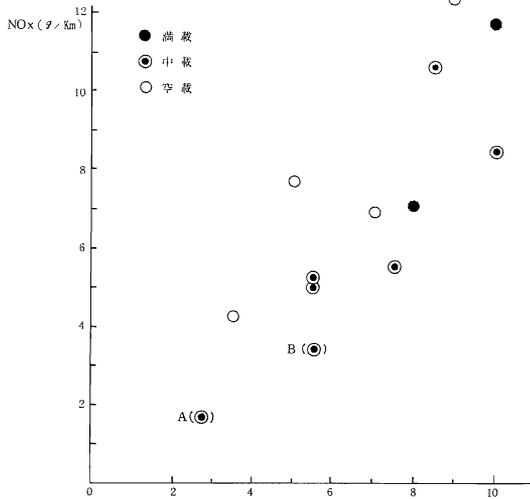


Fig. 5 等価慣性質量とM-15モードにおけるNOx・HC・CO排出量

Fig. 5に直噴式試験車の等価慣性質量とNOx, HC, CO排出量の関係について示す。

NOxは等価慣性質量との間に $y = 1.00x + 0.47$ (x :等価慣性質量(トン), y :NOx排出量)、 $r = 0.77$ なる関係があり、等価慣性質量の増加に1:1の割合で対応する傾向がみとめられた。さらに、52年規制車の4.5tD車のO積載が4.25g/Km、同 $\frac{2}{2}$ 積載が7.10g/Km、6.5tF車のO積載が7.71g/Km、同 $\frac{7}{10}$ 積載が11.66g/Km、また11tH車のO積載が12.35g/Kmと最大積載量および荷物実積載量で排出量に大きな差があり、Fig. 6⁵⁾に示すように大型車が荷物を満載して通過する夜間の幹線道路等では、初度登録年別保有台数で重みづけしただけの排出係数を作成し

た場合、排出量を過少に見積る恐れが強いものと考えられる。

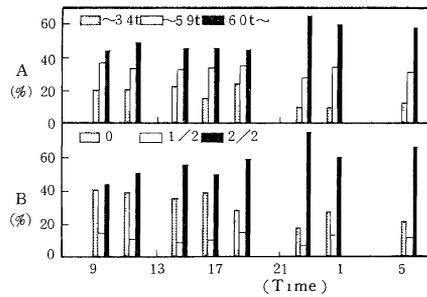


Fig. 6 新大宮バイパスにおける普通貨物車の最大積載量別混入率(A)と6t以上車の荷物積載量別混入率(B⁵⁾)

COは、 $y = 0.52x + 0.13$ (y :CO排出量)、 $r = 0.79$ なる関係にあり、等価慣性質量の増加に対するCOの増加率はNOxにくらべて $\frac{1}{2}$ 程度と小さいが同様の傾向がみられた。ただし、O積載車だけの場合、最大積載量が増加しても排出量の増加はみとめられなかった。

これに対しHCは排出量そのものが少く、等価慣性質量との間には、 $y = 0.04x + 0.91$ (y :HC排出量) $r = 0.33$ なる関係が示され、等価慣性質量の関与する部分が極めて少く、有意な相関関係はみいだせなかった。

なお、試験車はいずれも、積載能力、規制年次、排気量、既走行距離等を異にしており、これらが相関係数を小さくする方向に働いていることも考えられる。

3.3 走行状態と汚染物質排出量

3.3.1 走行状態とNOx排出量

走行状態を特徴づける平均車速や各モード比率と、 $\frac{1}{2}$ 積載車のNOx排出量との関係について、№8高速パターンを除き相関分析した結果をTable Xに示す。

試験パターン数は少なかったが、直噴車のNOx排出量は、ショートトリップ長、平均車速と危険率1%、定速走行時間比率とは同5%の水準で有意な負の相関を示した。ショートトリップ回数とは同1%水準の正の相関を示し、アイドリング時間比率とも5%水準で正の相関を示した。このことからNOx排出量は、加速および減速の時間比率との相関関係が認められなかったものの、アイドリング状態からの加速発進の回数とは深い関係のあることが示唆された。

Table X NOx排出量と走行状態の相関分析結果 ($\frac{1}{2}$ 積載車)

試験車	A	B	C	D	E	F	H
試験パターン数	7	10	7	12	7	10	6
平均車速	-0.77*	-0.83**	-0.87**	-0.93**	-0.87**	-0.71**	-0.87**
平均加速度	-0.86**	-0.73**	-0.67*	-0.74**	-0.62*	-0.44	-0.66
ショートトリップ回数	0.67*	0.80**	0.87**	0.93**	0.93**	0.81**	0.92**
ショートトリップ長	-0.64	-0.81**	-0.81**	-0.91**	-0.97**	-0.80**	-0.90**
アイドリング比率	0.71*	0.91**	0.75*	0.85**	0.87**	0.64*	0.77*
加速比率	-0.59	-0.20	0.14	0.16	0.52	0.46	-0.03
定速比率	-0.40	-0.60*	-0.78*	-0.81**	-0.96**	-0.88**	-0.96**
減速比率	-0.66	-0.41	-0.04	0.08	0.46	0.47	-0.11

*危険率5%水準 **同1%水準

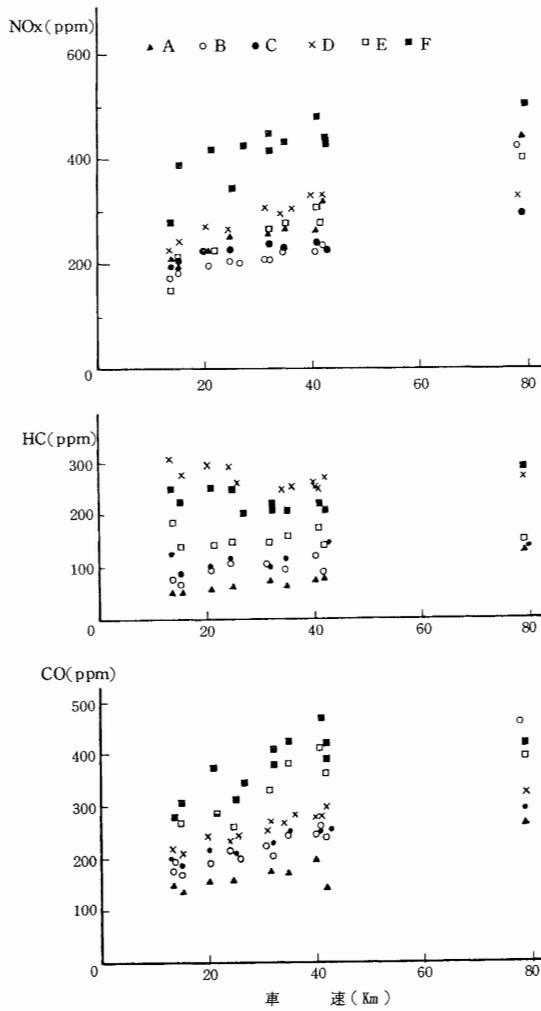


Fig. 7 平均車速とNOx, HC, CO 排出濃度 ($\frac{1}{2}$ 積載車)

3.3.2 平均車速と汚染物質の排出実態

$\frac{1}{2}$ 積載状態の等価慣性質量でシャーンダイナモ試験を行った。A, B, C, D, E, およびF車の平均車速と排出ガス濃度の関係をFig. 7に示す。

C, D, E, Fの直噴車では、NOxとCOは平均車速40km/h付近までは高速になるほど直線的に高濃度となったが、HCはD車で漸減、C, D車で横ばいの傾向を示した。

NOx, CO, HC (g/10min)

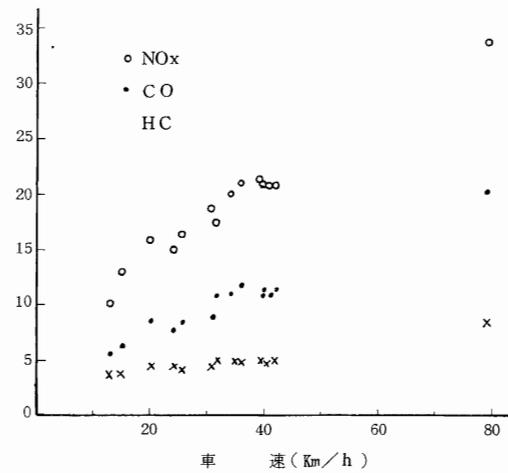


Fig. 8 $\frac{1}{2}$ 積載D車の単位時間当り NOx, HC, CO 排出量

$\frac{1}{2}$ 積載D車を例に、時間当りの汚染物質排出量と平均車速の関係をみると (Fig. 8) NOx, COは高速になるほど排出量が顕著に増加し、HCもわずかながら増加する傾向がみとめられた。

次に、1 Km走行当りの汚染物質排出量と平均車速の関係を Fig. 9 に示す。

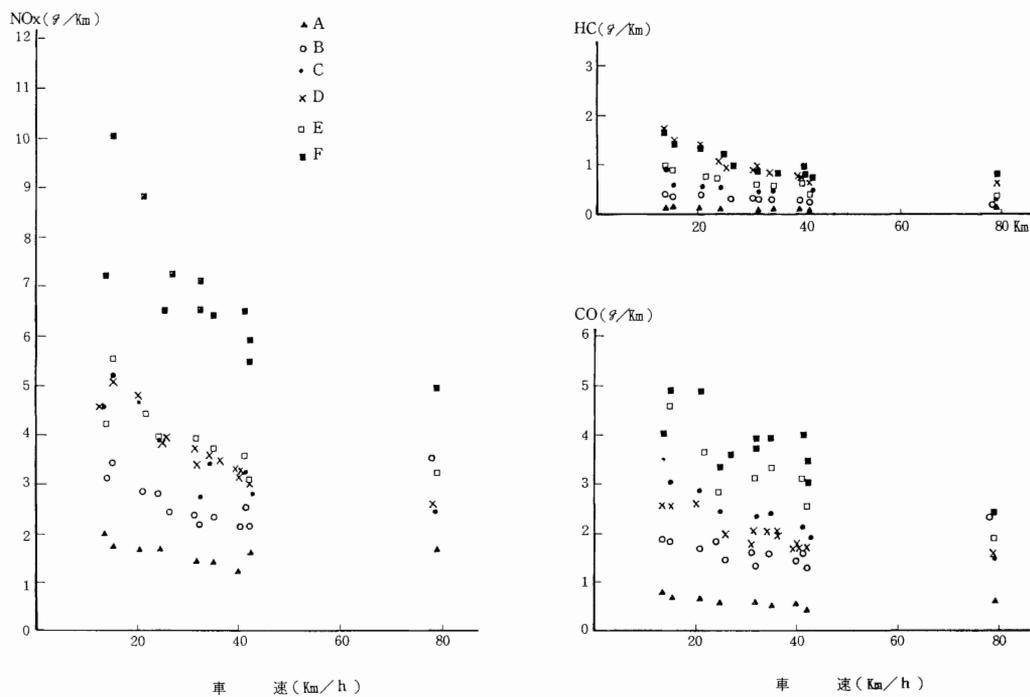


Fig. 9 平均車速とNOx, HC, CO排出量 ($\frac{1}{2}$ 積載車)

NOxは各試験車とも14 Km/h (No.1パターン)をのぞいて、ほぼ40 Km/h以下では低速になるほど排出量が増加する傾向がみられ、40.7 Km/h (No.6パターン)での排出量は、18.6 Km/h (No.2パターン)の排出量よりも約30%前後少くなっており、走行状態の改善により、ディーゼル車の1台当りのNOx排出量が低減する可能性が示された。80 Km/hの高速パターンでの排出量は40 Km/h前後とあまり差はみられなかった。

COはNOxと同様に各試験車とも40 Km/h以下では低速ほど増加し、80 Km/hでは直噴車が漸減か横ばい、予燃式車が増加の傾向を示した。

HCは排出レベルが低いが、直噴車では40 Km/h以下でNOx, COと同様、低車速ほど増加がみられた。

これらのことから、特にNOxとCOは走行速度を増すほど排出濃度が高くなり、時間当りの排出量も急増す

るが、単位距離あたりでは通過時間がより早くなるため、1 Km走行当りの排出量は逆に減少傾向を示すと考えられる。

なお、これまで平均車速15~20 Km/h以下ではNOx排出量が急増する例⁷⁾が報告されているが、今回用いたNo.1パターン(14.0 Km/h)では逆に低下している。そこでNo.1パターンが細街路走行パターンであることを考え、これについて走行調査結果のうちから、同一車速レベルの幹線走行パターンと車速階級別ショートトリップ数の出現割合を比較したところ (Table XI) No.1パターンにおける平均車速10 Km/h未満のショートトリップの割合が69%を占め、幹線パターンの49%を大きく上回った。このことから、No.1パターンで幹線道路の同レベルの車速を代表することは無理があるものと思われる。

Table XI ショートトリップの車速階級別出現割合

区分	項目 路線数	平均車速	平均加速度	平均ショート トリップ数	10Km/h 未	10Km/h 満	~20	~30	~40	~50	計
		Km/h	Km/h/s								
幹線パターン	3	130	2.03	31	49	27	18	4	1	100	
No.1パターン	1	14.0	1.73	26	69	19	4	8	0	100	

3.4 荷物積載量と汚染物質排出量

D車について等価慣性質量を0, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{2}$ 積載状態に変化させ、各走行パターンごとに測定した汚染物質排出量の変化をFig. 10に示す。

荷物積載量が増すほどNOxは各走行パターンにおいて排出量が増加したが、HCはほぼ横ばいであった。COは μ 8高速パターンを除き、 $\frac{1}{2}$ 積載から $\frac{2}{2}$ 積載にかけ増加した。

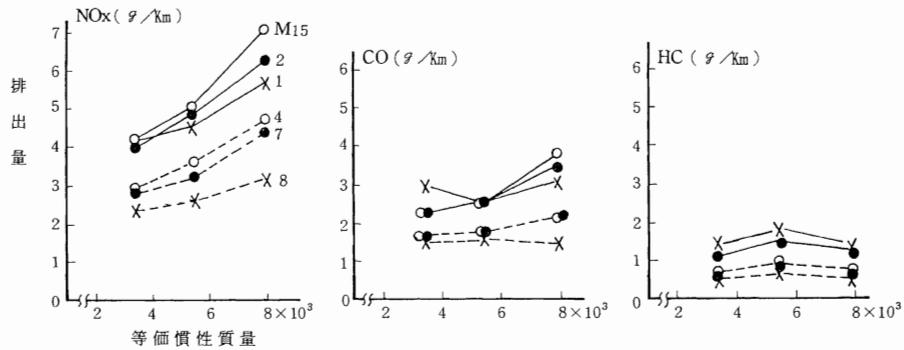


Fig. 10 D車における等価慣性質量と汚染質排出量⁵⁾

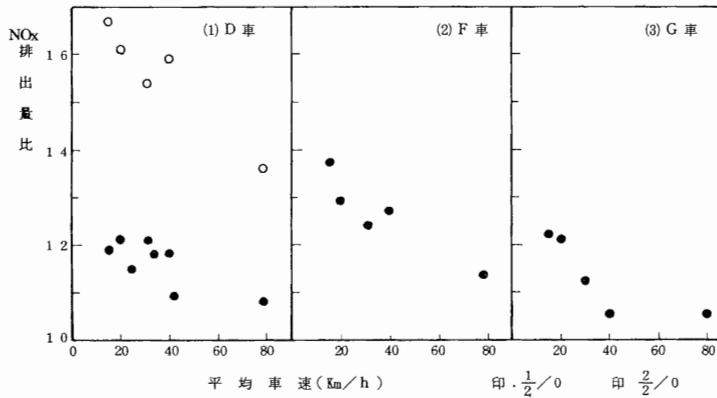


Fig. 11 積載量変化にともなうNOx排出量比と平均車速

また、積載車を変化させて測定したD, F, G車について、0積載状態と積載状態のNOx排出量の比を車速ごとに比較してみると(Fig. 11)、D車では $\frac{1}{2}/0$ 及び $\frac{1}{2}/0$ 積載比とも40km/h以下では、車速との間に明確な関係はみとめ難かったが、F, G車では低速走行ほどNOx排出量比が高くなり、積載車の影響が強く現われる傾向がみられた。

Fig. 12にF車のM-15モード運転時の0積載および $\frac{1}{2}$ 積載状態のNOx濃度の変化を示す。

加速時にNOx濃度が急上昇して、ギアシフト時に急降下するためピークが複数となるが、いずれのピークでも $\frac{1}{2}$ 積載の方が0積載を上回った。アイドリング時の濃

度には両積載状態に有意な差はみられなかった。

4 まとめ

昭和53～54年に筆者らが 大気保全課において実施した「自動車走行状態調査」および「自動車排出ガス量実測調査」の結果にもとづき、本県の走行状態および大型ディーゼル車の汚染物質排出実態について検討した。

(1) 走行状態を道路種類別に整理した結果、国道および主要地方道はほぼ同様の走行状態であったが、高速道はおおむね定速走行であり、細街路はアイドリング比率が大きく、ショートトリップ長が非常に短かった。

(2) 平均車速は定速比率およびショートトリップ長とは正の、アイドリング比率とは負の高い相関関係を示した。

(3) M-15モードにおけるNOx排出量は、高速パターンを除き、実走行パターンのNOx排出量と良好な対応関係にあった。

(4) 等価慣性質量とM-15モードのNOx, CO排出量の間には正の相関があり、等価慣性質量の増加にしたがって排出量も増加した。

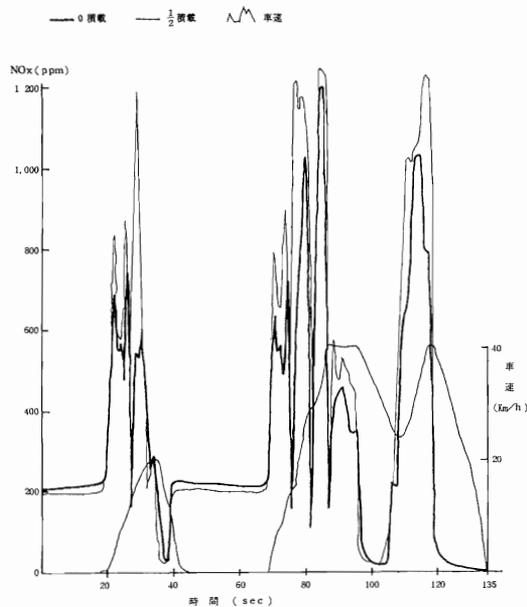


Fig. 12 M-15モードとNOx排出濃度の経時変化(F車)

- (5) 直噴車のNOx排出量は、平均車速、定速走行割合、ショートトリップ長と有意な負の相関を示し、ショートトリップ回数とは正の相関を示した。
- (6) NOx、COは高速になるほど排出濃度が高まったが、単位走行距離あたりの排出量は減少した。
- (7) 各試験車とも平均車速40.7km/hのNOx排出量は18.6km/hの排出量より約30%低く、走行状態の改善による排出量低減の可能性が示された。

(8) 荷物積載量が増すと高速パターンを除いてNOx、CO排出量は増加したが、HCはほぼ横ばいであった。

積載量変化にともなうNOx排出量比は試験車3台中2台が低速走行ほど高くなる傾向を示した。

以上の結果から、大型ディーゼル車のNOx排出量は、最大積載能力、荷物積載状態および走行状態で大きく変化するので、排出係数の作成にあたっては、実際の貨物車の交通実態をふまえて行う必要があるものと思われる。

引用文献

- (1) 神奈川県環境部：自動車排出ガス実態調査(ディーゼルエンジン排出係数調査報告書)(昭和52年11月)
- (2) 産業公害防止協会：移動発生源からのNOx排出量調査
(I)産業公害 Vol.15 №8
- (3) 埼玉県環境部：自動車走行状態調査資料(昭和54年3月・未発表)
- (4) 埼玉県環境部：自動車排出ガス量実測調査報告書(昭和55年3月)
- (5) 小川和雄他：ディーゼル車の走行状態と汚染質排出量の関係，第21回大気汚染学会講演要旨集(1980)
- (6) 小川和雄他：同上、補足資料
- (7) 芳住邦雄他：直噴式ディーゼルエンジンの排気特性 東京都公害研究所年報(1981)