

ディーゼル車から排出される汚染物質の相互関係

—第一報—

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

1 はじめに

ディーゼル車の規制は、ガソリン車に比べゆるやかな規制であり、排出される汚染物質の量も、一般に大型車が多いため1台当りの排出量も多い。

筆者らは、ディーゼル車から排出される汚染物質のうち特に窒素酸化物(以下はNO_xと略す)粒子状物質(以下はDUSTと略す)の環境大気への寄与率を算出するための基礎データ(排出係数)を得る目的でこれまでシャーシダイナモメータを用いて実験をすすめてきた。排出係数は、何台かの車の測定結果から汚染物質の排出量の平均値を求めるが、排出係数の精度を高めるためには、いくつか検討すべき問題点がある。その一つは、車自体の個体差およびエンジン型式の差の問題である。個体差の大きい場合、データの精度を高めるためには、測定データを増やさなければならない。またエンジン型式間の差が大きい場合は、型式別に排出係数を設ける必要もあろう。もう一つは、排出される汚染物質の排出量に関与する何らかの要因を追求することである。もし排出量が等価慣性重量(積載量)に依存しているとすれば、排出係数の算定の中に等価慣性重量をパラメータとして入れると排出量の精度は向上する。これまでの筆者らの測定結果では、汚染物質の排出量は、車自体の個体差が大きくそのままでは、原単位としては使用できないと思われる。そこで排出係数を導き出す前提としてこれらの問題を考慮し、今迄に得られた測定データをもとに因子分析法を用いて検討を加えたので中間的ではあるが、第1報として報告する。なお因子分析法は、多数の変数間(ここでは汚染物質排出量)の相関係数を基礎に少数の因子(各汚染物質排出量を支配する要因)に縮訳し、多数の変数(汚染物質)の変動の内部構造を少数次元の空間に写して解析する方法である。因子分析法によって新しくつ

くり出した軸は、たとえば、等価慣性重量等の物理量と必ずしも対応するとは限らないが、その尺度を要因の究明や各車の評価に用いることは有意義な方法であると考えられる。

2 解析方法

(1) 実験基礎データ

(ア) 実験車仕様

実験に使用したディーゼル車の諸元は、表1に示すとおりである。

(イ) 走行条件

東京都で開発した都内走行パターン¹⁾とM-15モード(乗用車は10モード)をシャーシダイナモメータ上にて実験した。走行モードの内容は、表2に示すとおりである。

表1 実験車諸元

図表記号	エンジン型式	排気量(L)	等価慣性重量(t)	排気ガス規制年次
A車	○ 予燃焼	5.430	5.50	54年
B車	● 渦室	2.977	3.50	52年
C車	△ "	2.970	3.00	52年
D車	▲ 直噴	5.780	8.50	52年
E車	▽ 渦室	1.951	1.25	54年
F車	□ "	2.950	3.00	52年
G車	■ 直噴	11.149	8.50	54年

(2) 解析(因子分析法)²⁾

7台のディーゼル車の各々10~12種類の走行パターン(M-15モードもしくは10モードを含む)で得られた5種類の汚染物質【炭化水素(HC)・一酸化炭素(CO)・NO_x・二酸化炭素(CO₂)・DUST】および燃費(Fuel)の実験値でデータ行列(サンプル77個×変

数6個)を構成し、これより相関行列(6×6)を算出した。

因子分析で用いる相関行列の対角要素には、共通性を入れなければならないが、これの推定値としては、各行の相関係数の最大値を用いた。次にこの相関行列から主因子法により因子負荷行列を求めた。この主因子解を得られた有意義の最大因子数でバリマックス回転し、因子負荷行列を単純構造(それぞれの因子ができるだけ少数の変数で説明できる。)に変換し、最後に最小二乗法により因子得点を推定した。

3 結果および考察

(1) 各車種から排出される汚染物質量の比較

各走行パターンから排出された汚染物質の排出量の平均値を表3に示す。

(ア) エンジン型式による排出汚染物質量の差

実験使用車仕様は、表1よりA車は予燃焼式、B・C・E・F車は渦室式、D・G車は、直噴式である。

A車の汚染物質の排出量は、渦室式車と直噴式車の中間の排出量となっている。渦室式車のうちF車は、燃費も悪くDUST・CO・NO_xの排出量も予燃焼式車および直噴式車なみとなっている。またE車は、乗用車であり各汚染物質の排出量は他車に比べ非常に少ない。直噴式車のD車およびG車は、排気量も大きいので燃費も悪く、他のエンジン型式の車と比較しても各汚染物質の排出量が多い。特にD車は、DUSTの排出量が多くまたG車は、NO_xの排出量が多いのが注目される。

各汚染物質の排出量は、直噴式車が最も多く、次いで予燃焼式、渦室式の順となっていて、一般に言われているエンジンの型式別の燃焼効率の傾向と同じであ

表2 走行パターン

走行パターン	走行距離 km	平均車速 km/h
No 1	1.314	4.67
No 2	1.968	8.41
No 3	3.782	11.58
No 4	5.953	14.61
No 5	5.925	17.56
No 6	6.651	20.45
No 7	8.279	23.61
No 8	9.397	28.37
No 9	10.823	34.82
No10	15.090	44.36
高速(ko)	18.050	42.6
M - 15	0.564 Km/サイクル	15.0
10 mode	0.664 Km/サイクル	17.7

る。

(イ) 車の個体差

渦室式車であるB・C・E・F車の中でも排ガス規制年次は異なるし、排出量を平均値で評価するのは多少無理があるかもしれないが、渦室式で最も高い汚染物質を排出しているF車と最も少ないE車との比較で、DUSTが2.78倍、HCが5.17倍、COが3.20倍、NO_xが4.11倍と多く、また排気量がほとんど同じで、等価慣性重量が同じC車と比較すると、DUST、CO、NO_xの排出量は、20~30%程多くなっている。また直噴式車であるD車およびG車も排気量、排ガス規制年次、等価慣性重量等の差があるが、排出量の差は相当あり、DUSTはD車が25%多くまたNO_xは、G車が80%も多く排出している。以上のことから、同じエンジン

表3 各走行パターンから排出される汚染物質の平均値

単位：DUST, HC, CO, NO_x, CO₂, : g/km
Fuel : l/km

	A車	B車	C車	D車	E車	F車	G車
DUST	698	410	512	750	217	603	606
HC	0.442	0.375	0.528	1.867	0.107	0.553	1.640
CO	2.769	1.719	2.200	3.210	0.875	2.798	3.416
NO _x	3.022	2.110	2.910	4.365	0.934	3.838	7.855
CO ₂	547	494	448	615	270	538	727
Fuel	0.211	0.197	0.171	0.237	0.082	0.253	0.255

型式についての比較は、各条件を同列にしなければ評価できないが、車自体の個体差が大きいことも推測されよう。

(ウ) 排気量(l)と等価慣性重量(kg)の関係

表1よりD車は、排気量に対する等価慣性重量の割合〔kg/l〕が最も大きく、排出されるDUST量が最も多くなっている。またE車の〔kg/l〕値は、最も小さく各汚染物質の排出量も最も少なく、燃費も非常に良い。〔kg/l〕値が次に小さいG車は、排気量が実験車の中では、最も大で、馬力も最も大きく、NOxの排出量も最大で、E車の8倍以上ある。A・C・F車は、〔kg/l〕値は同じ位であり、各汚染質の排出状況は、DUST、NOxでそれぞれ30%程度の差が生じている。

表4 ディーゼル車から排出される汚染物質間の相関係数

	DUST	HC	CO	NOx	CO ₂	Fuel
DUST						
HC	0.608					
CO	0.863	0.795				
NOx	0.595	0.788	0.820			
CO ₂	0.805	0.748	0.937	0.854		
Fuel	0.849	0.629	0.906	0.732	0.926	

n = 77

筆者らが以前、同一車種で等価慣性重量を変えて行った実験でも、DUST、NOxの排出量は、等価慣性重量を重くしていくに従い、20%前後の排出量の増加

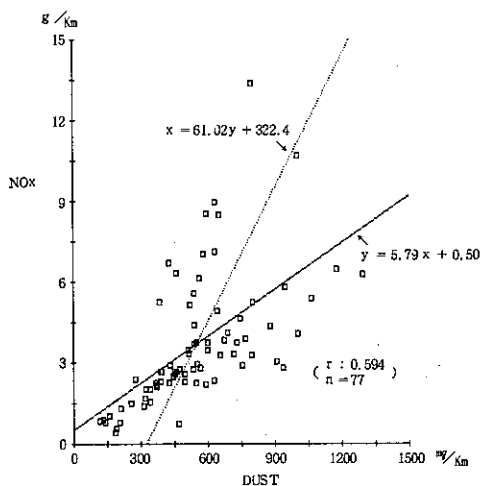


図1 DUSTとNOxの関係

3) することを報告したが、等価慣性重量は、各汚染物質の排出量に大きな影響を与えることがいえる。

(2) ディーゼル車から排出される汚染物質量の相互関係

実験車7台から排出される汚染物質間の相関係数(以下はrとする)を表4に示し、DUSTとNOx、DUSTとFuel、NOxとCO₂、NOxとFuel、COとCO₂の関係を図1～図5に示す。DUSTから他の因子の相関をみると、CO、Fuelとは比較的良好な相関を示し、NOxとの相関は(r: 0.595)悪い。

NOxは、各因子との相関はあまり良くなく、CO₂が相関係数0.854で最も良い。燃費(Fuel)は、CO、CO₂と相関が良く相関係数0.900以上あるが、HCは相関が良くない。CO₂とCOの相関が各因子間で最も良い(r: 0.937)のが、燃焼機構等を考えると注目される結果となっている。

各車種ごとの汚染物質間の相関係数の比較では、A車は、各因子間の相関が良く(r: 0.85以上)特にHCとCOは相関が良く(r: 0.991)、NOxとCO₂も相関係数0.986で良い。しかし、DUSTとNOxは、相関係数0.851である。B車、D車、G車は、DUSTが他の因子と相関が悪い。DUST以外の因子は、相関係数0.920以上と良好な相関を示している。C車は、各因子とも相関が良く相関係数0.920以上である。E車は、HCがCO(r: 0.909)とFuel(r: 0.855)とで割合相関が良いが、他の因子間の相関も悪く特に

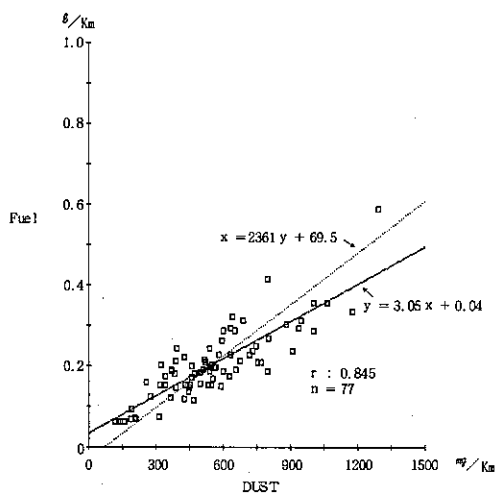


図2 DUSTとFuelの関係

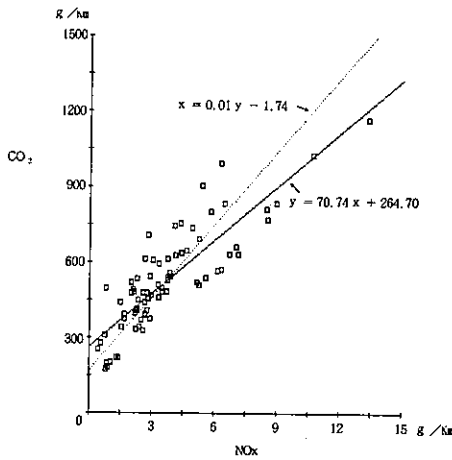


図3 NOxとCO₂の関係

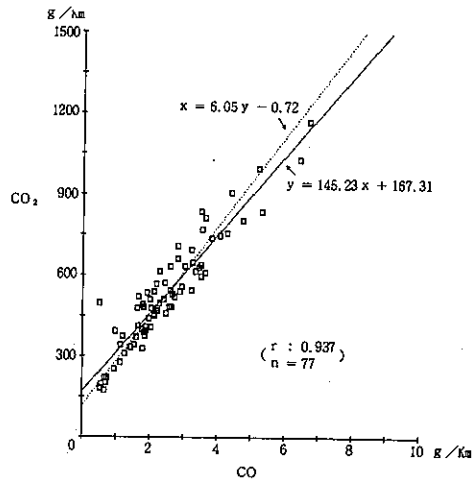


図5 COとCO₂の関係

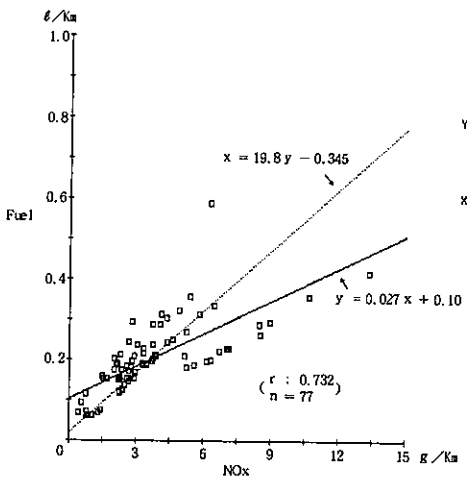


図4 NOxとFuelの関係

DUSTとNOxの相関係数は0.188と非常に悪い。F車は、NOxとDUSTの相関が悪く($r: 0.800$)またFuelとの相関もあまり良くないが、他は良い。以上から、ディーゼル車から排出される汚染物質間の相互関係を大別してグループ分けをすると以下の3つのグループになる。

- ① 排出される汚染物質間の相関が非常に良いもの (C車)
 - ② 排出される汚染物質間の相関が悪いもの (E車)
 - ③ 排出されるDUSTと他の汚染物質の相関は悪いが、DUST以外は相関の良いもの(A, B, D, F, G車)
- (3) 選び出された軸の解釈および汚染質のグルーピング

主因子解をバリマックス回転する際に、因子数を3個に選んだが、バリマックス回転の結果(表5参照)得られた各因子の因子寄与をみると第3因子については、各汚染質間の内部変動を評価する情報がほとんど含まれていないので、ここでは第1因子と第2因子について考察する。

第1因子と第2因子とで構成される因子空間での各変数(汚染物質)を図6に布置した。一般的にある因子と高い相関を持つ変数は、その因子軸の絶対値の大きな領域に表われる。このような変数を手がかりにして因子軸の性質を検討する。図6では、第1軸の正の大きな領域にDUSTとFuelが位置している。したがって第1軸は何かDUST(Fuel)の排出量を大きくする要因に関連した軸であると解釈される。第2軸の大きな領域には、NOxとHCが位置している。したがっ

て第2軸は何かNO_x, HCの排出量を大きくする要因に関連した軸であると解釈される。また、一般的に因子空間において各因子が相互に近い距離に位置している変動(汚染物質)は相関が高く、同じように挙動する同一グループと見ることができる。この観点から図6を見ると、DUSTとFuel, HCとNO_x, COとCO₂を挙動の等しいグループと見ることができる。

(4) 因子得点からみた各車種の特徴

各車種の因子得点の布置を図7に示す。図7の中の数字は、各走行パターンのナンバーである。

図7では、第1軸方向の変動が大きいものすなわち、区間平均車速の変動によりDUSTの変動が大きいもの、第2軸方向の変動が大きいものすなわち区間平均車速の変動によりNO_xの変動が大きいものに大別できる。前者にあてはまるものは、エンジン型式が副室式のA・B・C・E・Fの各車であり、後者にあては

まるものは、エンジンの型式が直噴式のD・G車である。因子空間内で各車とも走行パターンNo1, およびNo2は、他の走行パターンとは多少異なった相対位置を占めており排出される各汚染物質も多い。この現象は、この走行パターン自体の特徴で、走行パターンの中でアイドリング時間(渋滞時間)が占める割合が多いのでアイドリング時に排出される汚染物質が直接排出量として計算されるためである。ここで走行パターンのうちNo1, No2を除いて各車の走行パターンでの排出特性をみると、先に述べた第1軸と第2軸の因子得点での布置から各車の相対位置が比較的せまい領域にまとまっており、各車の特徴がはっきりし、A・B・C・E・F車(副室式)とD・G車(直噴式)のグループ分けがはっきりする。また、各車種とも区間平均車速が速い走行パターンになるにつれて排出される汚染物質の量は少なくなる傾向がある。

因子得点の布置で第1象限に位置する車は、第1, 2軸の因子得点がともに高いので、排出される各汚染物質の量は多い車である。また第3象限に位置する車は、その逆で排出される各汚染物質の量が少ないもので、排出ガスの排出量からみると良い車ということがいえる。図7によると、D車は、第1象限に位置しているので、NO_x, HC, DUSTの排出量が多いことがわかり、E車は、第3象限に位置しているので各汚染物質の排出量が少ないことがわかる。またG車は、DUSTの排出量はあまり多くないがNO_xの排出量が多い。またF車はDUSTの排出量は、区間平均車速による差が大きい。

車の排気量(ℓ)と等価慣性重量(kg)の関係では、D車が[kg/ℓ]値が最も大きくエンジンへの負荷が大きいいためか排出される汚染物量も多く第1象限に位置しており、E車が[kg/ℓ]値が最も小さくエンジンへの負荷が小さいため排出される汚染物質の量が少ないので第3象限に位置している。D車とE車では、エンジンへの負荷の差がこのような差に現われたものと考えられる。しかし他の車は、図7では充分の説明はできない。

DUSTとNO_xは、燃焼に伴い二次的に生成される物質であるので、燃焼効率に非常に左右され排出量も異なってくる。ディーゼル機関でもエンジン型式により差があり、燃焼効率は一般に渦室式がすぐれており予燃焼式、直噴式の順となっている。一般に直噴式ディ

表5 因子負荷量

	1	2	3	共通性
DUST	0.8633	0.3463	0.0641	0.869
HC	0.3732	0.8132	0.0346	0.802
CO	0.7444	0.6304	-0.0810	0.958
NO _x	0.3990	0.7914	-0.2815	0.865
CO ₂	0.7086	0.6092	-0.2858	0.955
Fuel	0.8369	0.4077	-0.2659	0.937
寄与	2.800	2.342	0.243	

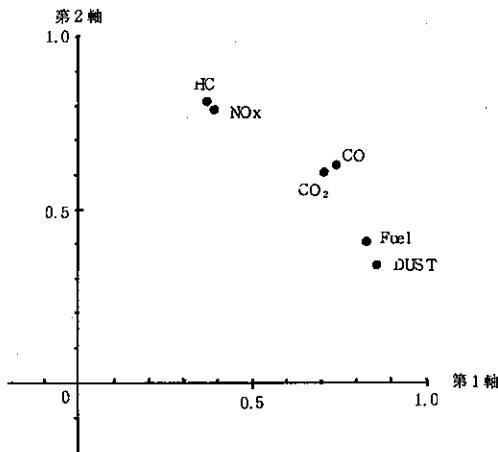


図6 因子空間の布置

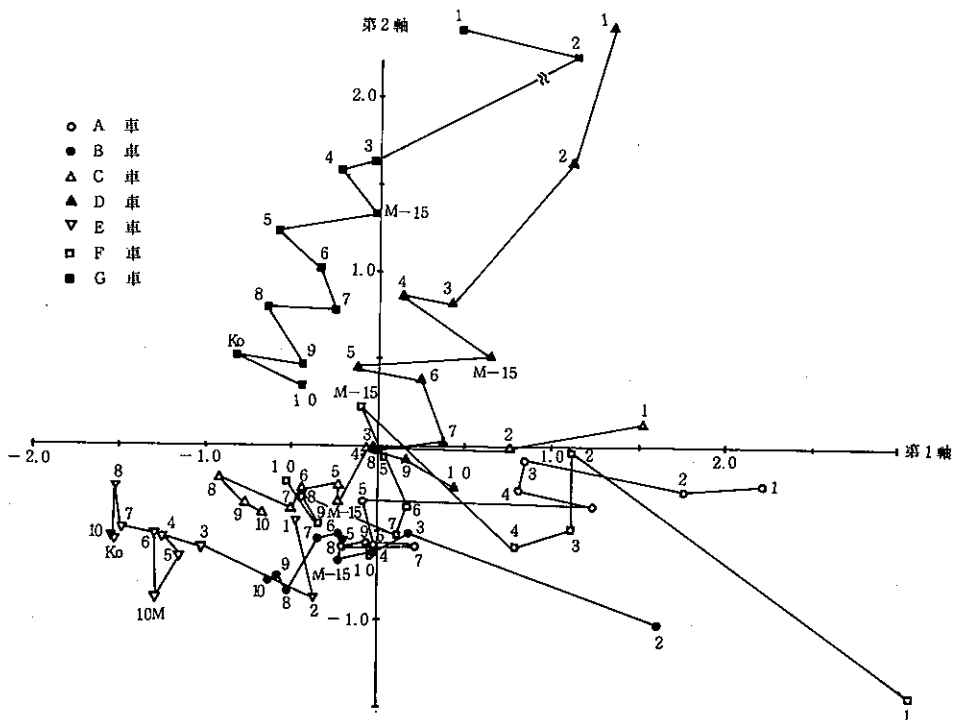


図7 因子得点の布置

ーゼル車は、DUST、NO_x の排出量が多い。

4 まとめ

筆者らが実験した7台のディーゼル車から排出される各汚染物質の量とFuel についての中間的な解析を因子分析法を用いて行った。相関行列等から評価する場合には、各汚染物質の多くの特徴をよみとることは困難である。因子分析法によって新しく作った軸で構成する二次元空間内に因子負荷量および因子得点を配置した図などからは、各汚染物質の挙動の相互関係を比較的容易に読みとることができた。また各車を汚染物質の観点からの評価ならびに直噴式車、副室式車のグループ分けを行うことができた。

5 おわりに

ディーゼル車から排出される汚染物質量は、各車種間の個体差またエンジン型式による差も認められるので、今後基礎データの数を増やして精度の良い排出係数を算出のための実験計画検討をしていきたい。

参考文献

- 1) 芳住邦雄ほか：東京都内走行パターンの解析，公害研究所資料1-4-18，自動車排ガスに関する調査研究，P1，昭和52年3月。
- 2) 芝祐順：因子分析法（改訂版），東京大学出版会，（1979）。
- 3) 舟島正直ほか：大気汚染学会誌抄録，P197 No.327（1979）。