

自動車走行モードに基づく排出ガス量の 予測方式に関する一考察

A Study on Estimation Method of Exhaust Gas Volume Based on Driving Modes

西 村 昂*・日 野 泰 雄**・寺 本 譲***

By Takashi NISHIMURA, Yasuo HINO, Yuzuru TERAMOTO

In a series of studies, the Signal Stop Model and the Vehicle Running Simulation Model have been developed to estimate the driving modes and the exhaust gas volume, especially in the congested traffic flow condition.

In this study, various emission factors based on a kind of chassis-dynamo test were observed and analyzed under some traffic conditions and the exhaust gas volumes estimated by these models were compared. Through these results, it is concluded that these models will be practical in use for such as estimation of exhaust gas from traffic flow and effect of a traffic control scheme on the exhaust gas.

1. はじめに

都市部における慢性的な交通渋滞は、様々な側面から深刻な問題であると言われて久しいが、これらに対する諸対策は、未だ十分な効果をもたらすまでには至っていない。とくに、自動車排出ガスによる大気汚染については、排出ガス規制強化によるエンジンの改良等、ハード面の目覚ましい進歩にもかかわらず、依然芳しくない状況にあるのが実情である。これも、また交通渋滞に影響されるところが大きいと報告されている。このような状況のもとで、一連の研究において、渋滞時を中心にした交通の流れを

再現し、これに基づいて交通渋滞緩和のための交通管制方策を検討すると共に、排出ガス量を予測するために、信号停止モデルや走行シミュレーションモデルを開発してきた。^{1), 2), 3)}

本研究では、主に自動車排出ガス量の推定に焦点をおき、各交通状況の排出ガスを実際の交通流に合わせて分析し、これらのモデルによる排出ガス量の算定プロセスに不可欠となる排出ガス原単位を設定し、さらに、平均速度法を含めた各モデルにこれらを適用することによって排出ガス量の推計精度を検証し、各モデルによる推計値の特性を考察することとした。

* 正会員 工博 大阪市立大学教授 工学部

土木工学科 (〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138)

** 正会員 工修 大阪市立大学助手 工学部

土木工学科 (同上)

*** 学生会員 大阪市立大学大学院

工学研究科 (同上)

2. 自動車走行特性と排出ガス量の分析

2.1 走行特性及び排出ガスデータの概要

本分析に用いた排出ガス量の基礎データは、走行シミュレータ試験により、実際の走行状態に対応するような条件の下で得られたものである。⁴⁾ この試

験装置はエンジン部をコンピュータ制御することにより、あらかじめインプットしておいた実走行状態を再現しようとするもので、原理的にみると実車を用いるシャーシダイナモ試験と同じである。図-1に試験の概要を示す。また、試験に使用したエンジンは昭和53年規制エンジン（表-1参照）である。

なお、主な排出ガス浄化装置は三元触媒、二次空気供給装置（エアポンプ）、EGR（排気ガス再循環装置）等である。

表-1 試験車の概要

規制年度	昭和53年規制
使用燃料	ガソリン
エンジン形式	M-U(トヨタ)
総排気量	1988(cc)
最高出力	110PS/5600rpm
最大トルク	16.0kg・m/3800rpm

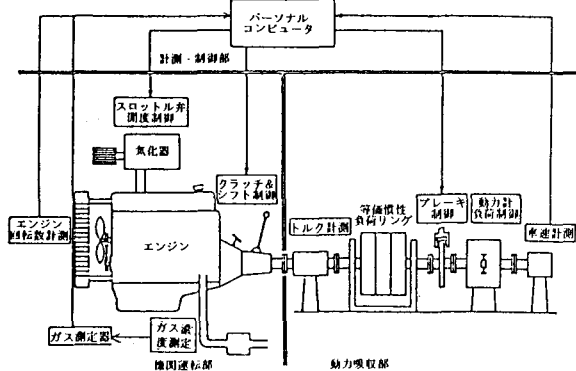


図-1 走行シミュレータ試験の概要

(1) 走行特性に関するデータ

本研究に用いた走行パターンは、タコグラフ装着車による実走行試験より得られた走行パターンの中から、交通流の調査・分析を通じて設定された各交通流の分類（表-2参照）に対応するように抽出した、いわば各交通流ごとの代表的な走行パターンである⁴⁾。表-2には各交通流分類に対応させた実走

表-2 交通流の分類と代表走行パターン

交通流の分類	区間平均速度 (km/h)	代表的モード構成	走行パターン	区間平均速度 (km/h)	流出交通量 (注)	旅行時間 (sec)	停止 (%)	加速 (%)	定速 (%)	減速 (%)
渋滞領域 (I)	~5.0未満	ストップ&ゴー	A	4.60	23.38	764	72.1	11.8	5.1	11.0
渋滞領域 (II)	5.0 ~10.0未満	加速~減速	B	7.31	34.80	498	63.1	13.8	10.6	12.5
中間領域 (I)	10.0 ~15.0未満	(同上)	C	12.11	35.80	293	33.7	25.4	20.2	20.7
中間領域 (II)	15.0 ~25.0未満	加速~定速~減速	-	-	-	-	-	-	-	-
自由走行領域	25.0以上	加速~定速~減速	E	26.26	36.60	133	31.5	20.9	31.0	16.6

(注) ×10⁻²台/青1秒/1車線

行パターンの特性値を、また図-2にはこれを走行シミュレータ試験でこれを再現させたときの走行パターンを示す。

(2) 排出ガス量に関するデータ

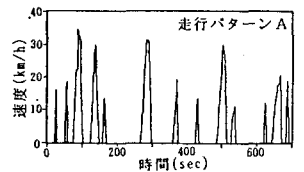
分析の対象とする排出ガスは、窒素酸化物 (NOx)、一酸化炭素 (CO)、炭化水素 (HC) の3種類である。排出ガスの採取は実車の場合と同じとなるように、ガスがマフラーを通った後の排気管出口で行っており、1秒毎の排出ガス濃度 (CO:%, NOx・HC:ppm) が連続測定されている。さらに、これらの濃度は式-(1)により、排出ガス重量に換算されている。

(排出ガス重量:g)

$$= (\text{排出ガス濃度}) \times \{ (\text{吸入空気流量}) \times (\text{比重}) + (\text{燃料量}) \} \quad \text{---- (1)}$$

このとき、排出ガス濃度と吸入空気流量は1秒毎に測定され、燃料量は1秒当りの消費量で計算されることになるので、式-(1)の排出ガス重量は1秒当りの重量で得られる。

図-3には、走行シミュレータ試験による各測定項目の出力例を示す。



2.2 走行特性と排出量との関連分析

(1) 区間平均速度と排出ガス量

各排出ガスの種類毎に、各走行パターンを代表する区間平

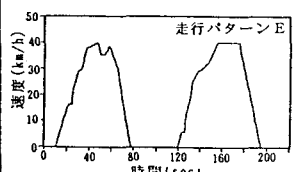
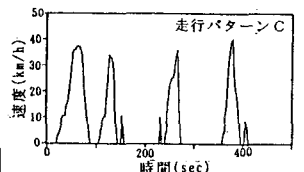
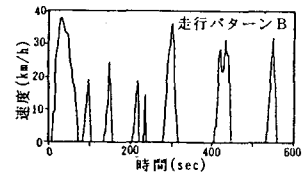


図-2 走行シミュレータに用いた走行パターン

均速度とその時に生じた排出ガス量との関係を見ることとした。その一例を図-4に示す。但し、ここで用いる各排出ガスの単位走行距離当りの排出ガス重量は、各成分毎に計算される単位時間当りの排出ガス重量を一定走行区間積算し、これを走行距離で除したものである（排出ガス原単位については2.3参照）。また、図中には、以前同様の試験に用いた未規制エンジン（総排気量：1000cc）の測定データも参考に示してある。

これより、次のような点が明かである。

- ・未規制エンジンと比較してみると、いずれの排出ガスについても、その値はエンジンの総排気量の大きい規制車の場合に小さくなっており、排出ガス規制の効果は明白である。

- ・この速度範囲においては、平均速度の上昇に伴って排出ガス量は概ね減少傾向にあるが、これは平均速度の上昇が加減速及び停止モードの割合の減少によってもたらされることから説明される。

(2) 10モード走行と排出ガス量

現在、乗用自動車走行の諸元を記述するために、一般に10モード走行試験が用いられている。そこで、本研究においても、これに対応する排出濃度を測定することとした。図-5に試験に用いた10モードの走行曲線とそのときの各排出濃度を示す。これをみると、排出ガスの種類によってその傾

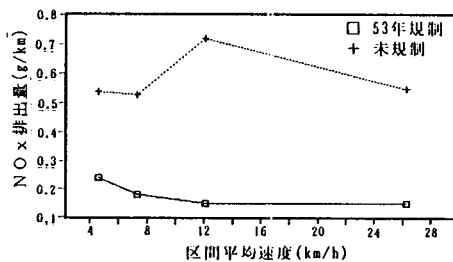


図-4 区間平均速度とNOx排出量

向は多少異なるが、いずれも加減速時に大きな変化が生じていることは明白である。この排出ガス量の変化は、先の平均速度では必ずしも明確に表現できるとは限らず、排出ガス量を詳細に把握しようとする場合には、自動車の走行モードに基づいてこれを観測する必要があるといえる。

(3) 個別走行モードと排出ガス量

区間平均速度、10モード走行と排出ガス量の関係についてそれぞれ示したが、これらより、排出ガスが自動車の走行状態を構成する各モードに密接に対応していることは明かである。そこで、ここでは各走行パターンを個々の走行モードに分解し、さらにそれらの各モードで生じる速度変化（初速度-終速度の組合せ）毎の排出ガス量を算出することとした。図-6にその一例として各走行モード別の速度変化と単位時間当りのNOx排出量についての結果を示す。

ここでは厳密な意味での加減速度を測定してはいないが、この結果をみる限り、加速、減速いずれのモードの場合にも、排出ガス量は（加減速度の大きさに対応する）速度変化の大きさに左右されることがわかる。一方、定速モードでは、低速時より高速時の場合にガス量が大きくなっている。

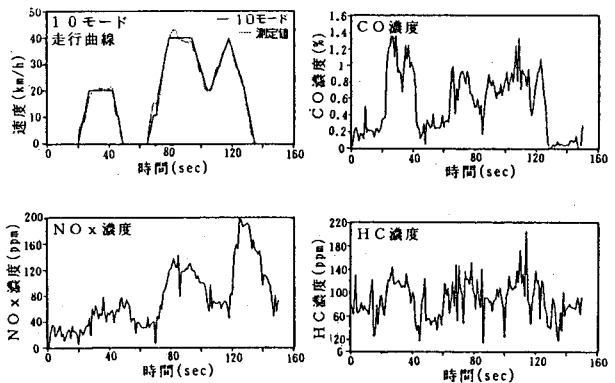


図-5 10モード走行曲線と各排出濃度

t[s]	RS[RPM]	IDS[km/h]	V.SPEED	CO	(x)	HC	(ppm)	NOx	(ppm)	CO(g/sec)	HC(g/sec)	NOx(g/sec)	トータルCO(g)	トータルHC(g)	トータルNOx(g)	キロリ(m)
0	1050	0.0000	0.0000	0.014030	83.5119	31.6746	0.001132	0.000674	0.000255	0.00113	0.00067	0.00025	0.000255	0.00113	0.00025	0.0000
1	1050	0.0000	0.0000	0.024052	88.9078	35.9057	0.001920	0.000710	0.000287	0.00305	0.00138	0.000421	0.00305	0.00138	0.000421	0.0000
2	1050	0.0000	0.0000	0.008358	78.7155	31.0700	0.000667	0.000628	0.000248	0.00372	0.00201	0.0007901	0.00372	0.00201	0.0007901	0.0000
3	1050	0.0000	0.0000	0.042352	96.1025	40.7414	0.003381	0.000767	0.000325	0.00710	0.00278	0.0011164	0.00325	0.0011164	0.000325	0.0000
4	1040	0.0000	0.0000	0.095189	101.4980	25.0254	0.007518	0.000802	0.000158	0.01462	0.00358	0.0013130	0.007518	0.00358	0.0013130	0.0000
5	1050	0.0000	0.0000	0.255488	106.2950	21.7009	0.031193	0.000849	0.000173	0.03681	0.00443	0.0014863	0.031193	0.00443	0.0014863	0.0000
6	1050	0.0000	0.0000	0.014030	91.9056	42.4615	0.001120	0.000724	0.000347	0.03593	0.00518	0.0018332	0.001120	0.00518	0.0018332	0.0000
7	1040	0.0000	0.0000	0.022445	111.6910	27.1410	0.001773	0.000882	0.000214	0.03870	0.00604	0.0020476	0.001773	0.00604	0.0020476	0.0000
8	1030	0.0000	0.0000	0.031576	71.5209	18.9808	0.002468	0.000659	0.000148	0.04117	0.00660	0.0021969	0.002468	0.00660	0.0021969	0.0000
9	1050	0.0000	0.0000	0.043289	73.3195	66.7596	0.003456	0.000585	0.000453	0.04463	0.00719	0.0024490	0.003456	0.00719	0.0024490	0.0000
10	1050	0.0000	0.0000	0.047094	86.5097	28.3499	0.003759	0.000691	0.000226	0.04430	0.00788	0.0027713	0.003759	0.00788	0.0027713	0.0000
11	1040	0.0000	0.0000	0.014755	98.5007	0.0000	0.001165	0.000778	0.000000	0.04956	0.00866	0.0028753	0.001165	0.00866	0.0028753	0.0000
12	1060	0.0000	0.0000	0.008358	84.7110	21.3986	0.000674	0.000628	0.000173	0.05023	0.00934	0.0030479	0.000674	0.00934	0.0030479	0.0000
13	1040	0.0000	0.0000	0.041432	81.7132	13.8428	0.003272	0.000646	0.000109	0.05350	0.00999	0.0031673	0.003272	0.00999	0.0031673	0.0000
14	1050	0.0000	0.0000	0.051983	92.5052	11.1228	0.004160	0.000738	0.000089	0.05768	0.01073	0.0032461	0.004160	0.01073	0.0032461	0.0000
15	1050	0.0000	0.0000	0.060993	111.0910	10.2161	0.004071	0.000887	0.000082	0.06172	0.01161	0.0033276	0.004071	0.01161	0.0033276	0.0000

図-3 走行シミュレーション試験による出力例

これらのことは、CO、HCについても同様の結果となっているが、これらがあくまでも排出ガス原単位についての特性であることに注意すべきである。通常議論される排出ガス量の場合、当該区間の走行時間や走行モードの組み合わせ等が考慮されなければならないことは言うまでもない。

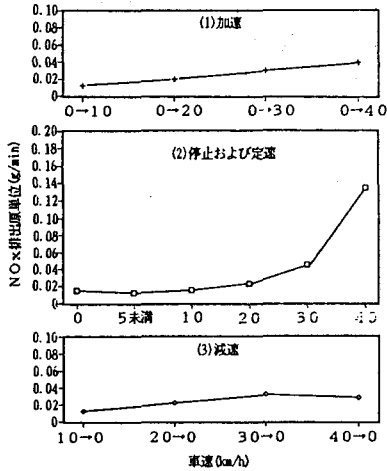


図-6 走行モード別速度変化とNO_x排出量

2.3 排出原単位と走行特性別排出ガス量の算出

排出ガス量の算出（推定）方式は、一般に次の2つに大別される。一つは従来から採用されている区間平均速度別排出係数を用いる方式（方式Ⅰ）であり、これには回帰分析などで求められた平均速度別の排出係数が用いられる。もう一つは信号停止モデルあるいは走行シミュレーションモデルにより、各走行モード構成を推定し、これにモード別排出原単

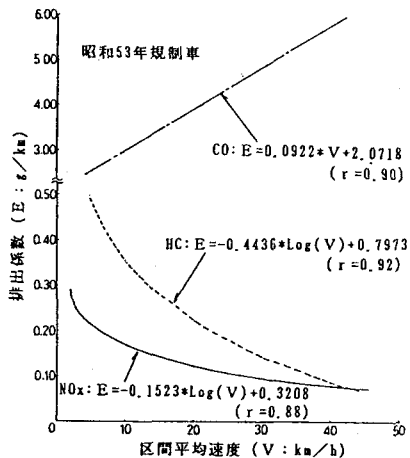


図-7 区間速度別排出係数（回帰結果）

位を乗じて算出する方式（方式Ⅱ）である。

そこで、それぞれの排出ガス量の推定方式に必要な区間平均速度別排出係数及び走行モード別排出原単位を走行シミュレータ試験結果より算出することにした（図-7、表-3：但し一部のみ表示）。なお、本稿においてはこれらを区別するために、前者の単位走行距離当りの排出ガス重量を排出係数（通常 g/km）、後者の単位時間当りの排出ガス重量を排出原単位（同 g/sec）と称することにした。

次に、これらの原単位を用いて両方式による各走行パターンでの排出ガス量を求めることにした。その結果を表-4に示す。但し、走行モード構成にはモデルによって求めたものではなく、各実走行から得られた測定値を用いている。これをみると、両方式に大差はみられない。しかしながら、たとえば、区間速度を平均的な値として捉えるに十分ではないような特定の道路区間や交差点での推計が必要となる場合、あるいは

表-3 走行モード別排出原単位

		($\times 10^{-6}$ g/sec)		
車速(km/h)		CO	HC	NO _x
定速	0	2642	667	226
	10	3435	722	262
	20	2808	863	387
	30	28792	2027	745
	40	55970	2520	2255
加速	0→10	2787	630	215
	0→20	4112	758	335
	0→30	6363	998	507
	0→40	11448	1182	663
	30→40	45992	2330	1030
減速	10→0	1245	490	208
	20→0	2665	708	370
	30→0	7368	887	545
	40→0	15703	1116	488
	40→30	68217	2263	1167

は信号等による交通制御方策の検討を行う場合には、方式Ⅰでは対応できないことから、多少そのプロセスは複雑になるものの、実用的な側面からは方式Ⅱが有利と考えられる。

表-4 排出ガス量算出値の比較

排出ガス種別	走行パターン	測定値(g)	方式Ⅰ(g)	方式Ⅱ(g)
NO _x	A	0.20	0.19	0.20
	B	0.22	0.22	0.21
	C	0.15	0.18	0.16
	E	0.15	0.13	0.15
CO	A	2.10	2.05	2.25
	B	2.88	3.28	3.00
	C	3.35	3.03	2.90
	E	3.87	3.90	3.94
HC	A	0.47	0.43	0.47
	B	0.44	0.49	0.45
	C	0.35	0.39	0.39
	E	0.29	0.25	0.26

そこで、次章以降では、実際の推計を通じて両者を比較するとともに、方式Ⅱによる交通制御方策の検討への適用について考察する。

3. 排出ガス量推定方式とその比較

3.1 排出ガス量推定方式

ここでは、以下に示す3通りの推定方式について比較検討する。

①平均速度法（方式Ⅰ）：区間平均速度により走行状態を代表させようとするもので、その簡便性ゆえに現在広く一般的に用いられている推定方式である。ただし、この方法は前述のように、一定の交通流が平均的走行状態として捉えられないような場合には適しているとはいえない。

②信号停止モデル（方式Ⅱ）：平均速度法が路線別、地区別等、広範囲にわたり平均的な予測に適しているのに対して、時刻別、場所別等の細かい条件にも対応できるものとして開発されたものがある。つまり、このモデルでは、各信号制御部で各車両が強いられるモード変化に着目し、これを平均的に表現できるようにになっている。また、この信号部でのモード変化は全体のモード構成のかなり部分を占めているといえるが、渋滞時には信号部以外のいわゆる単路部でもその影響からモード変化が生じるため、これらを考慮できるような補正係数が交通状況に合わせて用意されている。

③走行シミュレーションモデル（方式Ⅲ）：信号停止モデルによって設定されるモード領域上に車両の走行状況をシミュレートすることによって、個々の車両のモード構成の予測を可能にしたものである。

したがって、道路上を走行する個々の自動車について、車種別、規制年度別等の詳細な排出ガス量を推計することができる。

3.2 各推計値の比較とその特性

ここでは、ケーススタディを通して、各推定方式の精度を比較してみる。

(1) ケーススタディ区間の概要

対象区間は、走行特性等の調査を行った大阪市四つ橋筋の信濃橋～肥後橋間（区間長 916m：5車線北行き一方通行）とした。この区間の概要を図-8に示す。

(2) 推計のための条件

推計対象は、渋滞領域のうちその程度の異なる代表的走行パターン（前出のA、B）とし、表-5、図-8以外の交通条件としては、信濃橋交差点の流入交通量のみが与えられていることとした。なお、排出係数および排出原単位は図-7、表-3に示す値を用いた。また、平均速度法に用いる区間平均速度は、試験走行による実測値としている。したがって、これによる推計値は表-4に与えたものと同一であり、速度と排出量の回帰結果そのものであることから、ここでは参考程度に考えることとした。

(3) 推計結果の比較

表-5に推計結果を示す。ここで、推計値①、推計値②、推計値③は、平均速度、信号停止モデル、走行シミュレーションモデルによる推計値を示す。

表-5 実測値と各推計値の比較

推計項目	走行パターンA (Q=23.38×10 ⁻² 台/青1秒/1車線)	実測値	推計値①	推計値②	推計値③
	算出方法				
旅行時間 (sec)	700	978.5	1451.1	844.59	
停止時間構成率 (%)	67.1	—	65.9	80.36	
加速時間構成率 (%)	10.9	—	—	9.19	
定速時間構成率 (%)	13.1	—	34.1 ¹⁾	3.02	
減速時間構成率 (%)	8.9	—	—	7.43	
区間平均速度 (km/h)	4.28	3.37	2.27	3.92	
NOx排出量 (g)	0.20	0.24	0.35	0.23	
CO排出量 (g)	2.10	2.38	4.23	2.93	
HC排出量 (g)	0.47	0.56	1.00	0.61	

1) 加速、定速、減速の区別が難しいため、これらをあわせて「ノロ」走行とする。

推計項目	走行パターンB (Q=34.80×10 ⁻² 台/青1秒/1車線)	実測値	推計値①	推計値②	推計値③
	算出方法				
旅行時間 (sec)	570	658.2	790.9	536.88	
停止時間構成率 (%)	57.9	—	58.7	73.14	
加速時間構成率 (%)	14.9	—	22.8	12.08	
定速時間構成率 (%)	16.7	—	— ²⁾	5.01	
減速時間構成率 (%)	10.5	—	18.5	9.77	
区間平均速度 (km/h)	7.49	5.01	4.17	6.19	
NOx排出量 (g)	0.22	0.21	0.22	0.16	
CO排出量 (g)	2.88	2.53	2.36	2.32	
HC排出量 (g)	0.44	0.49	0.55	0.41	

2) 一時的に車頭間隔が大きくなるが、定速には達しないため、3モードとする。

(区間内の信号データ)

信号現示	青 (sec)	赤 (sec)	合計 (sec)	オフセット (sec)
①信濃橋	87	63	150	+15
②(I BM前)	98	52	150	—
③朝公園前	104	46	150	0
④京町堀1	98	52	150	+15
⑤(花ふさ前)	98	52	150	+15
⑥江戸堀1	96	54	150	+15
⑦(日日新聞社前)	98	52	150	+15
⑧(肥後橋南)	72	78	150	+15
⑨肥後橋	53	97	150	+16

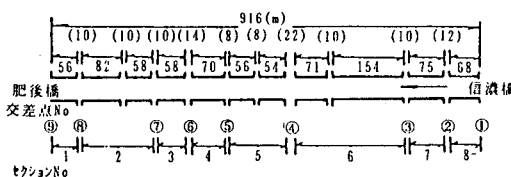


図-8 ケーススタディ区間の概要

この結果をみると、全般的にシミュレーションモデルによる推計精度が高く、とくに渋滞程度のひどいパターンAでは走行状態を忠実に表現できるため、その実用性はさらに高いといえる。また、信号停止モデルの場合、平均的に渋滞の程度が過大に評価されているが、これはその交通流の分類の平均的状态を評価することを目的としているため、当該交通量によっては誤差が大きくなることも当然と言える。ただし、推計の目的にもよるが、実用的にはどちらのモデルについても走行関連指標、排出ガス量ともかなりの精度で推計されていると考えられる。

一方、実測値あるいは平均速度法による値についても、次のような試験上の問題のあることに留意しておく必要がある。つまり、走行シミュレータ試験では、渋滞時特有の走行領域中に断続的に生じる短時間の停止を含む加減速といった細微な動きまでは再現できてないということである。この点について、モデル内では走行領域中の停止割合という形で大まかにではあるが考慮されているが、いずれにしてもさらに詳細に、あるいは目的に応じたモデルの優劣を判断するためには、今後、他の車種についてもデータを増やして検討する必要があるようである。

4. 実用化へ向けて（結論と課題）

本研究では、走行シミュレータ試験による排出ガス測定データを分析し、その結果を用いて、一連の研究結果を通じて提案してきた信号停止モデルと走行シミュレーションモデルによって排出ガス量を推計した。また、その精度は、実測値あるいは平均速度による算出値と比較することによって、ある程度実用的範疇にあることが示された。

さらに、これらの結果を通じて、交通流の状況に対応した信号制御の変更により排出ガス量をコントロールすることも可能と考えられる。

今後モデルの精度向上、さらに面的な課題への対応のために、具体的には次のような課題について検討したい。

①より現実的な排出係数および排出原単位を設定するために、さらに様々な条件下でのデータの収集とその分析を行う。

②現モデルの統合・改良によってより精度の高い総合的予測モデルの開発を検討する。

③面的処理を行うために、ネットワーク上の交通流の分析および各路線（あるいは道路区間）の結節点の処理、さらには幹線道路に囲まれた地区内での排出ガス量の推定方法について検討する。

謝 辞

走行シミュレータ試験の実施および排出ガス量の測定は、大阪市環境保健局並びに大阪市立大学機械工学科秋山貞夫先生のご協力によるものであり、ここに記して感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 西村，日野，海住：信号停止モデルによる自動車走行モードの予測方法に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，No.324, PP.141～149, 1982.8
- 2) 西村，日野，伊藤：渋滞時の自動車走行モード予測方法，土木計画学研究・論文集3，pp.161～168, 1986.1
- 3) 西村，日野，布川：走行シミュレーションモデルによる自動車排出ガス量に関する一考察，土木計画学研究・講演集8，PP.105～112, 1986.1
- 4) (財)大阪都市協会：交通渋滞時における走行特性と排出ガス量の予測方式に関する研究（昭和59年度大阪市委託調査），1985.3
- 5) 秋山，西村，日野：走行シミュレータによる渋滞時の走行の再現と排出ガス量の分析（第2報），自動車技術会学術講演会前刷集，pp.551～554, 1988.10