

走行シミュレーションモデルによる 自動車排出ガス量の算定方式に関する一考察

On A Prediction Model by Computer Simulation
for Emission Gas by Vehicle Traffic Flow

西 村 昂^{*}・日 野 泰 雄^{**}・布 川 貴 一^{***}

By Takashi NISHIMURA, Yasuo HINO, Takakazu FUKAWA

A computer simulation model has been developed for the prediction of the automobile emission gas volume. The model is based on the driving mode of vehicle obtained by the signal-stop condition at the signalized intersection. The model parameters were obtained by the traffic flow surveys. This model is considered to be more precise than the usual model based on the averaged traffic speed.

1. はじめに

大気汚染問題において、自動車排出ガスが移動発生源としてこれに大きく関与していると言われている。これに対して、排出ガス規制等にみられるような自動車のエンジンの改良を中心としたハード面からの対策が講じられ、それに伴う改善効果が期待されている一方、道路密度が高い都市部においては、交通量が多く交通渋滞も多発しているため、交通流制御等のソフト面の対策をも含んだ幅広い対策が必要と言える。

本研究では、このような問題の基礎となる排出ガ

- * 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)

ス量の予測方法を開発することを目指して、シミュレーションモデルによる排出ガス量の算定方法を検討することとした。この方法は交通制御方法を変更した場合の影響などを把握するためにも利用することが可能といえ、実用性のあるモデルと思われる。

2. 排出ガス量算定方式

2-1. 排出ガス量の算定方法

今日、一般に用いられている自動車排出ガス量の算定方式は、次の2つに大別される。

- ①平均走行状態に対応する排出原単位を利用する方法：代表的道路別、走行状態別の交通量を推定し、これに対応する排出原単位を乗ずる。この原単位は、実走行調査により求めた平均的走行状態をシャーシダイナモ試験機で再現させることにより、走行速度等との関連を求められるようにまとめられている。
- ②個別走行モードに対応する排出原単位を利用する

方法：自動車の走行状態を加速、減速、定速、停止の基本走行モードに分解してその量を推定し、これらにモード別原単位を乗ずる。原単位は①と同様にシャーシダイナモ試験機により求める。

これらの方法は、いずれの場合も代表的な実走行事例あるいはその推定値をもとに、平均走行状態を設定して、それに対応する平均的な排出原単位を利用するものであり、路線の平均値で扱う（方法①）かあるいは路線内の各位置による差異を細かくとりあげる（方法②）かの違いに対応するものといえる。したがって、①は、広範囲にわたる排出ガス量推定には容易に適用できるものの、特定地点を問題としたり、交通制御と関連させて任意路線における排出ガス量変化を把握するためには適当とは言えず、これらの目的には②の方法による必要がある。

2-2. 本研究における基本的な考え方

本研究は前述の走行モードに基礎を置いた方法②に対応するものであるが、信号制御の変更等の交通制御の効果を評価することにも利用できるように、信号停止モデルを利用した走行シミュレーションモデルを構築し、これによって得られる走行モード構成に車種別、規制年度別の排出ガス原単位を乗じ、各走行車両毎の（汚染物質別）排出ガス量を算定しようとするものである。ただし、ここでは渋滞時にみられるような複雑な走行特性をも再現させる必要があるため、代表的な路線での実走行調査により求められたいくつかの関係式（例えば、交通量と平均走行速度、停止波、発進波等の関係）等で表わされる交通流特性をそのモデルに内包させることとした。

なお、本研究のプロセスは次の2つに分けられる。

1) 走行シミュレーションモデルの作成

一定道路区間において、信号制御、交通状態に対応した各車両の走行軌跡を求め、走行モードを算出するためのシミュレーションモデルを作成する。

2) シミュレーションの実態

実際の道路区間の走行状態の再現とそれに基づく排出ガス量の算出を行なう。

3. 走行シミュレーションモデルの作成

3-1. モデルの概要

本モデルは、一定延長を有する路線へ適用することを目的としているが、ここではわかり易いように最も簡単な単区間を例に説明する。

都市内道路において、自動車走行に最も大きな影響を与える要因として信号制御が挙げられる。通常の道路網は信号によって制御されており、この状況を距離-時間図上に示すと図-1のようになる。この図に示すように車両の走行モードが変化する時間的、空間的位置関係を表わす停止波、発進波によって、車両の動きを規定する領域（停止、走行（加速、定速、減速）領域）が構成されることになる。

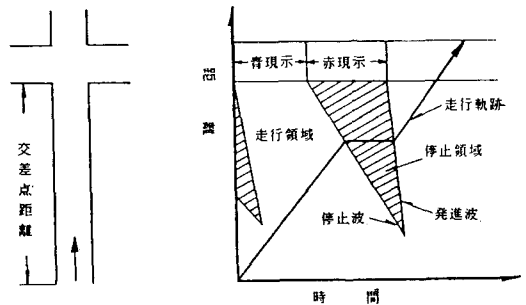


図-1. 距離-時間図

本モデルは、基本的にはこれを基礎に、各車両の走行軌跡を再現しようとするものであり、これに必要なデータは実走行調査より次のように定めることとした。ただし、以下には渋滞時（単位青時間当たり流出交通量 $(Q) \leq 70 \times 10^{-2}$ 台/青1秒/車線 かつ 区間速度 $(V) \leq 10.0$ km/h）の例を示す。

$$\text{停止波の傾き(MI)} = 9.15 - 1.65 \log(Q) \quad (r=0.95) \quad (1)$$

$$\text{発進波の傾き(MC)} = \text{const.} (=4.73) \quad (2)$$

$$\text{平均走行速度(MV:m/sec)} = 0.36Q^{0.59} \quad (r=0.89) \quad (3)$$

$$\text{定速時間構成率(Rc:\%)} = 9.74 + 1.43Q \quad (r=0.64) \quad (4)$$

また、走行領域における加減速比は、調査結果より、走行状態によってあまり変化しないため一定の比率（加速時間/減速時間=1.236）とすることとした。

なお、本モデルのフローは、図-2のようであり、データは各交差点間距離、信号現示時間、信号オフセット、および交通量と言った極めて基本的でかつ設定の容易な指標で構成されている。

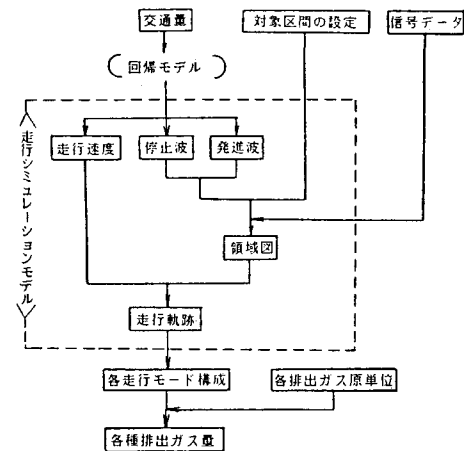


図-2. モデル計算のフロー

3-2. モデルの再現性の検討

(1) ケーススタディの概要

ケーススタディ区間としては、実走行調査を実施して多少の実測値データのある、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）を想定して、諸数値を設定することとした。その概要を図-3、表-1に示す。

表-1. 調査区間における各信号現示

信号現示	青	赤	合計	オフセット
交差点名	(sec)	(sec)	(sec)	(sec)
①信濃橋	87	98	150	+15
②(IBM前)	98	52	150	-
③駒公園前	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

(2) 各種走行特性の評価

本モデルによるアウトプットの一例を図-4、表-2に示す。表-2はある一定時間（ここでは信号1サイクル中の青現示時間）内に、対象区間に流入した車両順の走行特性と排出ガス量を示したものである。（なお、車種、規制年度は実際の保有比率を考慮した乱数により与えることとしている。）このように、本モデルでは車両個々の走行状態が求められるが、実測値の制約を考慮して、個々の実測走行データに対して次の2通りの方法でモデルを評価することとした。

①モデルによって得られた各走行車両の平均値による比較

②モデルによって得られた上・下限値のレンジを考慮した比較

一般に個々のデータによる比較評価(②)では、それぞれの走行状態の差が顕著に現われるため、とくに旅行時間の推定の場合には精度が悪くなると考えられる。そのため、ここでは、走行特性の回帰モデル自体の誤差を含めて20%程度と仮定してみた。その結果、モデルによる計算値の上下限のレンジに

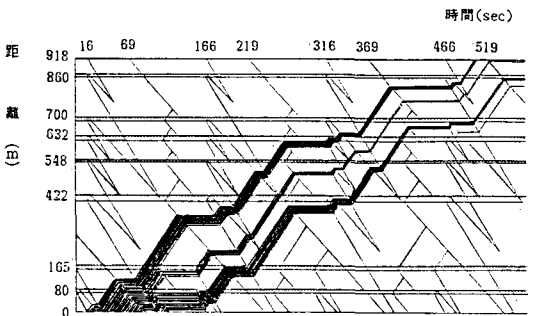


図-4. アウトプットの1例

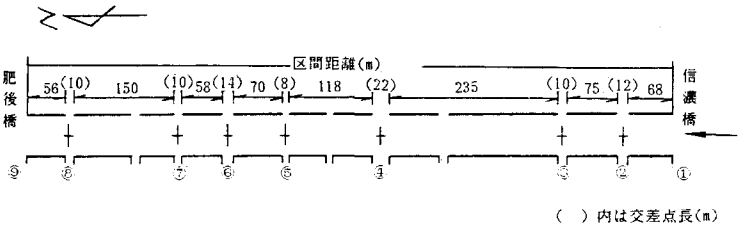


図-3. 調査区間概要（四つ橋筋）

約90%の実測値が含まれることがわかった。また、モデルによる平均値を実測値と比較①してみると、図-5(1)のようにほぼ実用的には問題のない程度の結果（平均誤差率=18.4%）が得られたといえよう。さらに、各走行モード構成率については、図-5(2)に方法①による比較を示すが、これらについてもほぼ実用的な結果と考えられる。（停止、加速、減速、定速の各モード構成率の誤差はそれぞれ5.1%、2.9%、2.9%、7.4%となっている。なお、誤差率については各モード別の母数が小さすぎるため、停止と走行の2つのモードについて求めた。その結果はそれぞれ16.6%、40.0%であった。）

4. シミュレーションモデルによる走行特性の予測と排出ガス量の算定

4-1. シミュレーションの方法

本モデルは、前節の再現性の検討によって、ある程度実用的であると判断されることから、ここでは実際に個別車両の走行状態を再現することによって、走行特性と排出ガス量を推定し、それらの結果を分析・検討することとした。具体的には、対象路線区間と信号制御内容を設定し、これに交通量水準を与えることによって、モデル内で走行状態、排出ガス量が推定されることになる。

表-2. 走行特性及び排出ガス量の推定結果例
[交通量 26.8 (×10台/青1秒/車線)]

到着 順位	車 種	規 制	総停止 時間(sec)	総走行 時間(sec)	総旅行 時間(sec)	空間平均 速度(km/h)	排出ガス量 NOx(g)
1	乗用車(4947cc)	未	497	263	760	4.3	2.789
2	乗用車(4947cc)	53	494	263	757	4.4	0.166
3	普通車(711cc)	52	491	263	754	4.4	8.271
4	普通車(711cc)	52	488	263	751	4.4	8.255
5	乗用車(4947cc)	53	484	263	747	4.4	0.165
6	貨 物 車	50	480	263	744	4.4	1.985
7	貨 物 車	50	485	263	748	4.1	1.987
8	貨 物 車	50	482	263	745	4.4	1.986
9	小型貨物(711cc)	52	479	263	742	4.5	3.587
10	乗用車(4947cc)	53	478	263	741	4.5	0.165
11	乗用車(4947cc)	51	475	263	738	4.5	0.867

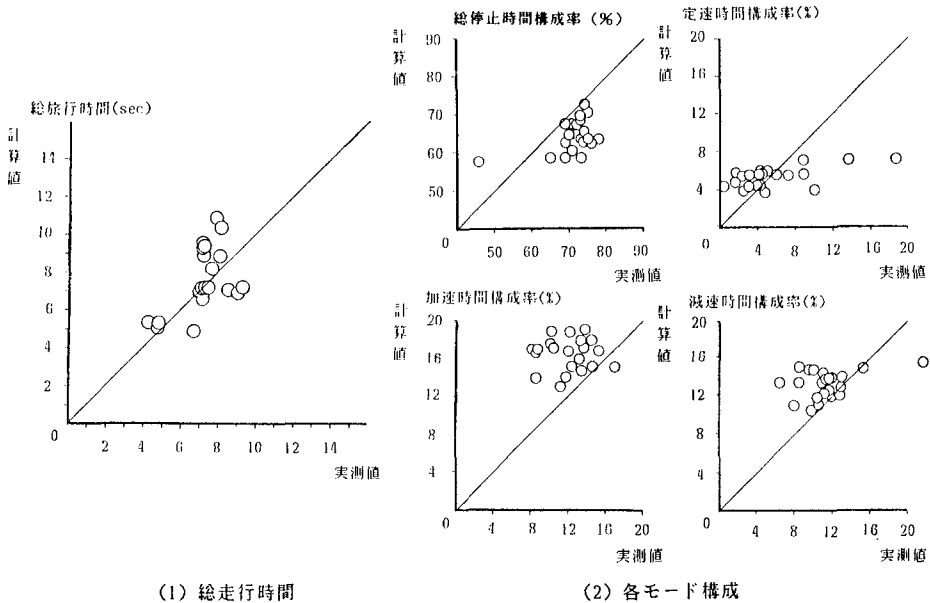


図-5. 方法①による実測値と計算値の比較

4-2. 走行状態の推定

ここでは、一般に走行状態が複雑となる渋滞時を例にとってそれらの走行状態を推定することとし、また、以下に示すような内容について検討することとした。(図-6, 7, 8参照)

- 1) 車両のよる走行状態の差異
- 2) 交通量水準による走行状態の差異
- 3) 信号制御を変更した場合の走行状態の変化

まず、図-6をみると、前述のように信号制御が各車両の走行状態に大きく影響していることがわかる。つまり、信号が赤現示に変化する直前に通過したものと、その後の車両との間に大きな差(信号待ち時間)が生じることになる。また、この差は交通量水準(渋滞の程度)によって異なることもわかる。

次に図-7には、先にも触れた交通量水準別の走行状態を示したが、これをみると交通量が減少する(渋滞がひどくなる)につれて、総旅行時間、停止時間構成率が急増していることがわかる。

さらに、図-8は信号制御の変更に伴う走行特性の変化状況を示したものであるが、ここでは、現況の信号制御に対して、

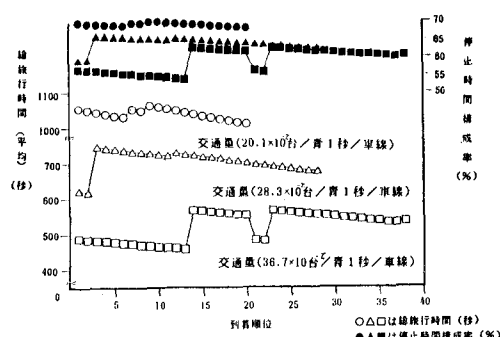


図-6. 各車両到着順位による走行状態の差異

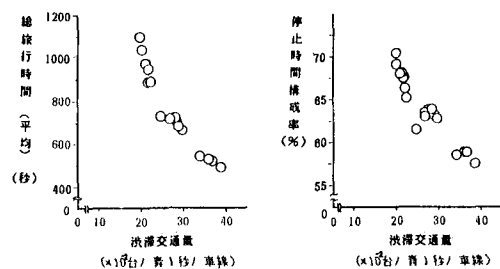


図-7. 交通量水準による走行状態の差異

①信号オフセットをすべて0秒とする。

②赤現示時間をすべて60秒(赤現示比率=0.4)とする。

の2通りのケースを設定してみた。その結果、車両の走行状態は信号制御の変更によって明かに影響されていることがわかる。ただし、実際上は他の路線との接続や交差道路交通量との関係等により、さらに十分な検討が必要であることは言うまでもない。

4-3. 排出ガス量の算定

(1) 排出ガス量算定の方法

基本的には、4-1.でも示したような個々の走行車両の走行状態(走行特性)に対して、シャーシタイモ試験によって求めた排出ガス原単位を適用することになる。

なお、ここで用いる排出ガス原単位は、各車種別、規制年度別に1秒当たりの排出ガス量として、停止、定速、加速、減速の各モード別に求められたものである(表-3参照)。ただし、停止以外のモードの原単位については、各速度別に与えられているため、本モデルで得られたモードをこれに対応するように分割しておく必要がある。ここでは、これに必要な加速、減速、定速の各速度の大きさとその構成時間を、実走行調査により定めた交通量別の定速時ピーク速度($PV = 21.50 + 0.95Q$, $r = 0.57$)と前述の加減速時間比率によってそれぞれ求めることとした(図-9参照)。

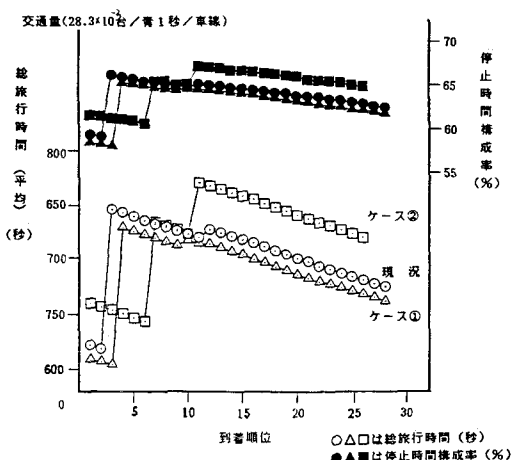


図-8. 信号制御を変更した場合の総旅行時間の差

(2) 各ケースの排出ガス量の算定

ここでは、各車両別および交通量水準別の排出ガス量を算定した(図-10, 11参照)。これらを見ると、いずれの汚染物質についても同様のパターンを示しており、しかも前述の走行特性(旅行時間、停止時間構成率)の場合と類似の結果となっていることがわかる。これらの結果内容の分析は、本稿の本来の目的ではないので詳しくは触れないが、本ケーススタディで扱っている交通データが渋滞時に限られたものであることに注意しておく必要がある。

表-3. 原単位を求めるための表の分類

モードおよび モードの速度分類		各車種および各車種 における規制の分類	
モード構成	速度	車種	規制年
定 速	0		未規制
	10	乗用・	48年
	20	軽乗用車	50年
	30	(4サイクル)	51年
	.		53年
加・減速	.	軽乗用・	未規制
	60	軽貨物	48年
		(2サイクル)	
	0→10	軽乗用・	未規制
	0→20	軽貨物	48年
	0→30	(2サイクル)	
	.	軽貨物	未規制
	10→20	(4サイクル)	
	10→30	小型貨物	48年
	.	バス・	50年
	.	普通貨物	
	.	(ガソリン)	
	.	.	

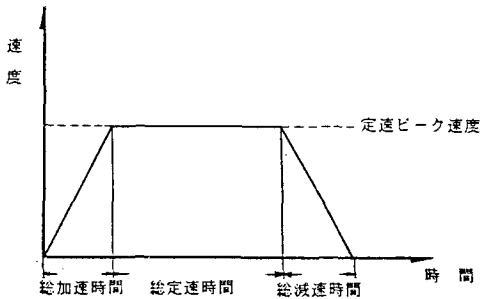


図-9. 走行領域中における各モードの与え方

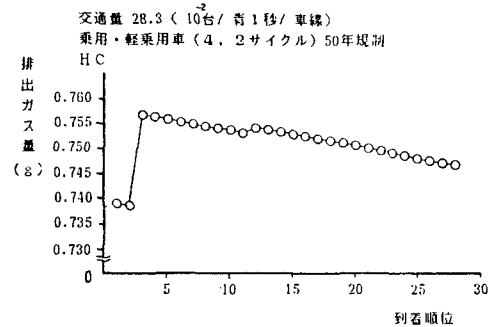
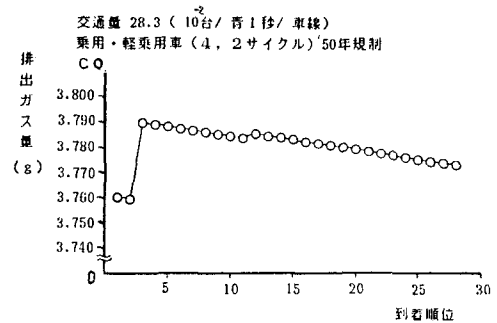
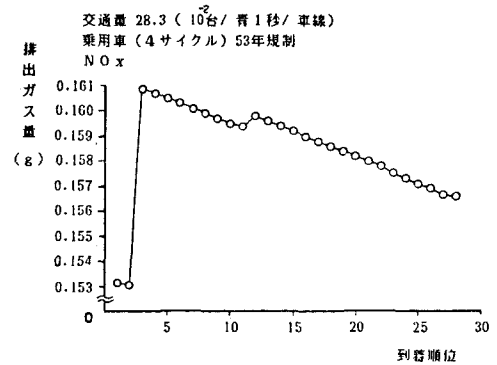


図-10. 各車両別の推定排出ガス量

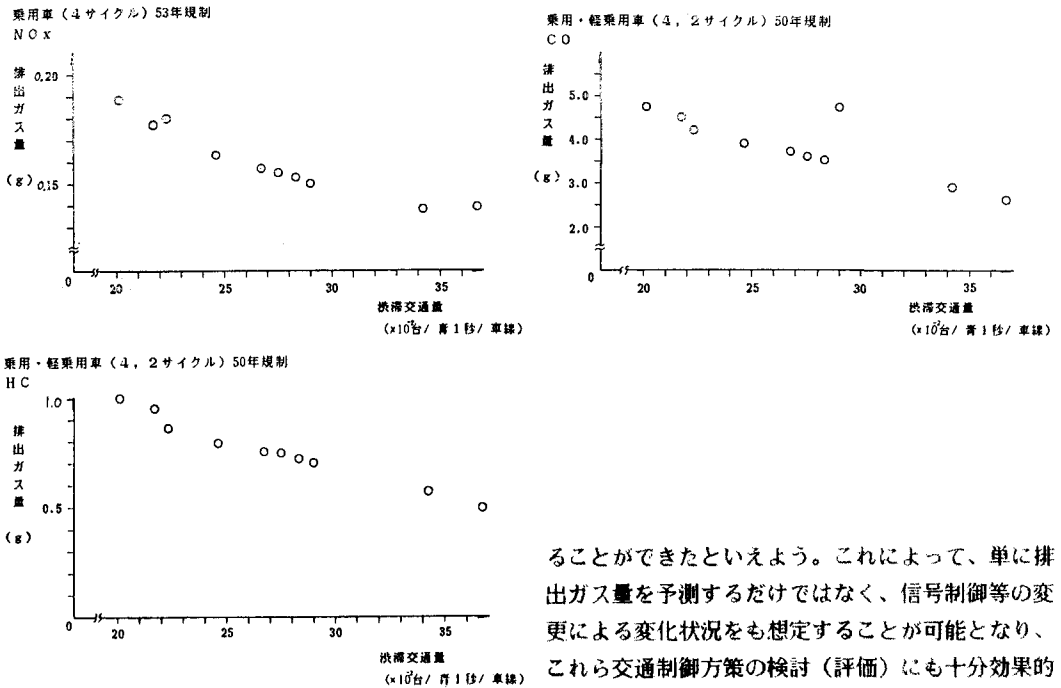


図-1-1 交通量水準別の推定排出ガス量

5. まとめと今後の課題

一般に本研究で扱っているような排出ガス量の推定に関しては、

- 1) 各走行車両からの排出ガス量の測定は実質上不可能に近い。
- 2) 各省庁のたとえば自動車排出ガス測定局等のデータには様々な条件による値が混入しているため、当該路線上の純粋なデータとは言い難い。
- 3) たとえこれらのデータが利用できても、これを直接路線に適用するには疑問がある。

等の理由により実測値の入手が非常に難しく、その評価が困難であると思われる。したがって本研究では、走行状態(特性)を推定し、これを検証することによって間接的にその評価が可能であると考えてモデルの作成を行った。その結果、個々の車両の走行状態を実用的に再現するためのシミュレーションモデルを構築することができ、また、これを基に種々の走行特性を推定・分析するとともに、様々な条件下での排出ガス量を推定するための方法を提案す

ることができたといえよう。これによって、単に排出ガス量を予測するだけでなく、信号制御等の変更による変化状況をも想定することが可能となり、これら交通制御方策の検討(評価)にも十分効果的な手法となり得るものと考えられる。

しかしながら、本研究の最終的な目的である種々の交通制御の基礎的な資料を提供するためには、今後モデルの一般性の確保やモデルに不可欠である交通量データの入手が不可能な(つまり、限られた交通データしか入手できない)場合の交通量予測モデルの検討等が必要といえよう。

参考文献および資料

- 1) 西村, 日野, 伊藤: 自動車排出ガス量予測のための交通流分析, 昭和60年度土木学会関西支部年次学術講演概要集, pp. IV-31-1~2, 1985年5月
- 2) 日野, 西村, 伊藤: 交通渋滞時の走行実態とそのモデル化, 第40回土木学会年次学術講演概要集, pp. 449~450, 1985年9月
- 3) 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, No. 3, 1986年1月(発表予定)
- 4) 大阪府生活環境部公害室: 大阪府域における移動発生源排出ガス量の現状, pp. 40~46, 1980年7月