

渋滞時の自動車走行モード予測方法

Estimation Method of the Driving Modes
on the Congested Traffic Flow

西村 昂^{*}・日野 泰雄^{**}・伊藤 智仁^{***}

By Takashi NISHIMURA, Yasuo HINO, Tomohito ITO

The exhaust gas volume, which is a major factor of the air pollution, is changed by the driving modes of the vehicle. In particular, on the congested traffic flow, its influence is considerable and complicated. Therefore, to establish the method for estimating each mode of the traffic flow is the fundamental problem. Already we have developed a simple model on the free traffic flow. In this paper, we showed a model developed by expanding the former model, to estimate the driving modes on congested flow through some actual surveys.

1. はじめに

都市部における交通渋滞は依然として増加の傾向にあり、しかもその現象は飽和状態にある都心部から周辺部へも波及しつつある。このような状況の中、交通事故、大気汚染、騒音等による交通環境の悪化も一段と深刻になりつつあるといえよう。中でも、自動車排出ガスによる影響の大きい大気汚染については、排出ガスの成分構成や量が自動車の走行モードによって変化することから、交通渋滞と深い係わりをもっているといえる。ところが、渋滞時の自動車の走行状態をみてみると、そのような各モードが明

確には区別され難く、しかも渋滞時特有の走行特性をもつため、自由走行時の予測モデルを直接適用することができないことは明白である。

そこで、本稿では渋滞時の走行モードを予測するために、理論的には自由走行時の予測モデルを基礎にしつつ、これに渋滞時の走行特性を考慮した簡便な予測モデルを提案することとした。

2. 基本的な考え方

(1) 概 説

交通渋滞の程度、とくに本研究のように交通の流れ（個々の車の走行状態）そのものを対象とする場合、例えば「500 m 以上の車列が 30 分以上継続した状態（大阪府警）」といった抽象的な渋滞情報では不十分であり、交通密度、速度（加・減速度を含む）、車の停止・発進の状況や走行領域中の停止状況等十分詳細な情報が必要となる。

そのため本研究では、数年間にわたってこれらに

* 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）

*** 工修 ハジフィコンサルタツ（株）大阪支社
技術部 （〒541 大阪市東区南本町 3-5）

関する基礎資料を収集・検討するため、かなりの回数の調査を実施してきた。以下にその概要を示す。

(2) 基礎調査の概要

前述の渋滞時交通流に関する基礎的項目を把握するため、大阪市道西横堀線（四つ橋筋）、敷津長吉線（長居公園通り）等で次のような基礎調査を実施した。なお、代表的な調査地点として、四つ橋筋の概要を図-1に示す。

a) 定点観測調査

調査区間中の主要交差点における車の流れを観測するもので、以下に示すような調査項目を設定した。（なお、ここでは信号に関する情報についても収集することとしている。）

- ①流出交通量：単位青現示時間あたりに信号部から流出する交通量で、1車線平均値で表わす。
- ②最大密度および平均車頭間隔：停止台数と車列長の関係から求められるが、渋滞とも関連するため、ここでは大型車混入率や交通量ランクを考慮することとした。
- ③停止波および発進波：信号部流入車の停止開始時刻とその位置および停止から走行状態に移る時の時刻と位置を距離-時間図上に表わすことによって得られる各領域の境界線をなすもので、その傾きは渋滞の程度によって変化するものと考えられる。

b) 実走行調査

タコグラフ（24分計）を装着した調査車により、（定点観測調査に対応するように）調査区間を走行

するとともに、テープレコーダを用いて随時必要事項を録音することとした。これにより得られる主な内容は次の通りである。

- ①速度：タコグラフの分析により、区間平均速度、平均走行速度、ピーク速度、平均加減速度等を得る。
- ②走行モード：旅行時間、各モード構成時間を基に、それらの構成率並びに停止回数や3モード（加速-減速-停止）走行状態の割合等の走行モード関連要因を得る。
- ③信号待ち回数：②とも関連するが、車両が信号交差点を通過するまでに要した青現示の回数を信号待ち回数としてとりあげた。なお、集計上は、これを渋滞区間長および信号サイクル長で割って求めた単位区間長・単位時間当たりの値として表わす。
- ④走行領域中停止率：渋滞の程度によって、②の停止回数や③でとりあげた信号待ち回数は当然増加するが、これに伴って、後述するモデル上は走行領域にありながら、実際には停止状態にあるという事象も頻繁に生じることになる。これはモデルの精度とも深く係わるため、とくに走行領域中停止率としてとりあげることとした。

3. 渋滞時走行特性の分析

(1) 交通流の分類と走行実態

ここでは、調査結果を分析することによって、渋滞時の走行特性を定量的に把握し、走行モード予測

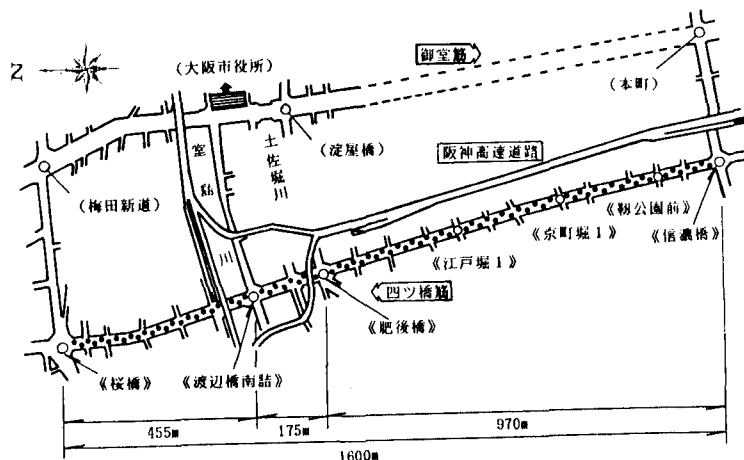


図-1. 調査区間概要例（四つ橋筋）

（信号データ）

現 示	桜橋				肥後橋			
	N	E	W		N	E	W	
直進青矢 (↑)	45	38	18	60				
青 (G)	35	12	36	28				
黄 (Y)	3	3	3	3				
赤 (R)	67	97	93	59				
サイクル (C)	150	150	150	150				

現 示	渡辺橋南詰				信濃橋			
	N	E	W		N	E	W	
G	90	36	50	84	41	54		
Y	3	3	3	3	3	3		
R	57	111	97	63	106	93		
C	150	150	150	150	150	150		

現 示	江戸堀1	京町堀1	粉公園前
G	93	95	101
Y	3	3	3
R	54	52	46
C	150	150	150

* 全て北行きのみ

モデルの各パラメータを設定するための基礎資料とすることを目的としている。したがって、調査データの分析に当たっては、それらの属する交通流の状態を知っておく必要がある。そこで、まず交通量と速度の関係からみてみることにした。図-2にその結果を自由流のデータを含めて示す。図中の曲線は各データの平均的な姿を表わしたもので、ほぼ一般に提唱されているQ-V曲線に類似しているといえよう。

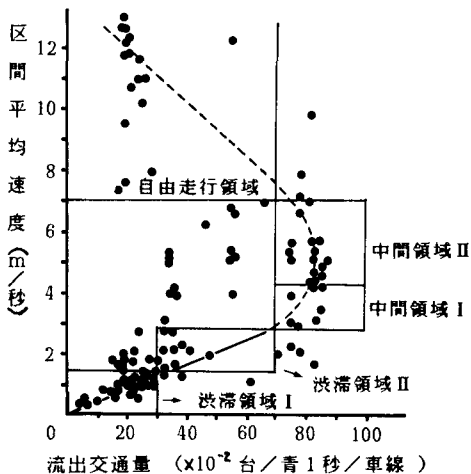


図-2. 調査データによるQ-V関係

また、交通の流れが乱されることの少ない長居公園通りの調査結果を用いて、車の走り方(モード構成)の違いをみると、表-1のように比較的明確に交通の流れが区分されていることがわかる。

そこで本稿では、これらの結果を基にそれぞれの平均的な交通状態を表わす指標として、表-2に示すような交通流の分類を考えることにした。(この分類毎の最大密度等の分析結果を表-3に示す。)

表-2 交通流の分類と走行パターン

交通流の分類	走行特性要因		走行パターン (代表的モード構成)	交通流の状態
	流出交通量	区間平均速度		
渋滞領域Ⅱ	~ 30未満	~ 1.4 未満	自由走行 ~ 停止(2t-t')	飽和状態または、それに近い状態。車頭間隔最小。
中間領域Ⅰ	30 ~ 70未満	1.4 ~ 2.8 未満	加速~減速 ~ 停止(3t-t')	一時的に車頭間隔が長くなる。
中間領域Ⅱ	70 ~ 105未満	2.8 ~ 4.2 未満	(同上)	上に比べ停止の割合が小さく、3t-t'の繰り返しが頻繁。
自由走行領域	~ 105未満	4.2 ~ 7.0 未満	加速~定速~減速 ~ 停止(4t-t')	自由流に近づくが、停止の割合が依然高い。
自由走行領域	~ 70未満	7.0 以上	(同上)	停止の割合が低く、信号以外での停止は、殆どみられない。

注) 流出交通量の単位は、 $\times 10^2$ 台/青1秒/車線、区間平均速度の単位は、m/秒。

表-1. 平均速度別モード構成の分類

区間平均速度 (km/hr)	サンプル数 ¹⁾	モード構成(%)			
		加速	減速	定速	停止
~ 5	63	—	15.0 ²⁾	—	85.0
5 ~ 15	87	12.6	14.5	— ³⁾	72.9
15 ~ 30	79	41.1	22.0	25.4	11.5
30 ~	645	28.8	19.1	51.8	0.3

注1) 小区間(100m)毎に1サンプルとしている。

2) 加速、減速、定速の区別が難しいため、これらをあわせてノロノロ走行とする。

3) 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。

次に、この分類に対応する代表的な走行例を四ツ橋筋の調査結果より抽出して図-3に示す。これから、渋滞へとそのランクが進むにつれて、以下に示すような明らかな変化を読み取ることができる。

- ①密度は次第に大きく、車頭間隔は小さくなる。
(ただし、大型車混入率の影響が大きいため、これを考慮することによって、さらに明確な傾向を示すものと考えられる。)
- ②4モードから3モードへと走行パターンが移行

表-3. 交通流別最大密度と平均車頭間隔

アイテム	カテゴリー	最大密度 (台/100m)	平均車頭間隔 (m)	停止台数と車列長の関係(相関係数)
大型車比率	0	17.2	6.0	$l = 4.38 + 5.48n(0.95)$
型混	0-10	17.3	5.9	$l = 4.22 + 5.64n(0.96)$
車入	10-20	16.1	6.4	$l = 4.57 + 5.81n(0.95)$
率	20-30	15.3	6.8	$l = 3.17 + 6.23n(0.97)$
(%)	30-	13.9	7.4	$l = 2.45 + 6.96n(0.97)$
交通流の分類	自由流	(14.9)	(6.7)	$l = -2.64 + 6.44n(0.97)$
	中間Ⅱ領域	16.4	6.3	$l = -2.40 + 6.44n(0.96)$
	中間Ⅰ領域	16.5	6.2	$l = 6.94 + 5.20n(0.97)$
	渋滞Ⅱ領域	16.1	6.3	$l = 6.75 + 5.48n(0.93)$
	渋滞Ⅰ領域	16.6	6.1	$l = 1.70 + 5.87n(0.97)$

注1) 自由走行時予測モデル作成時のデータ(文献1))による。

2) () 内は回帰式より算出。

3) l, n は各々停止車列長と停止台数を表わす。

し（3モード構成率：0% → 17% → 37% → 37% → 55%）、最も渋滞のひどいランクⅠでは加減速モードも区別され難く、いわゆるノロノロ走行と停止の2モードの走行状態となる。

③区間平均速度（26.3 km/h → 15.8 km/h → 10.2 km/h → 7.7 km/h → 3.9 km/h）、平均ピーク速度（48.3 km/h → 34.4 km/h → 30.5 km/h → 28.7 km/h → 23.7 km/h）、流出交通量（ 36.6×10^{-2} 台/車線/青1秒 → 36.6×10^{-2} → 35.1×10^{-2} → 34.2×10^{-2} → 29.0×10^{-2} ）はいずれも低下する。

④モードセット回数（2.06回/km → 6.19 回/km → 8.25回/km → 8.25 回/km → 20.62 回/km）、停止回数（2.06 回/km → 4.12回/km → 5.15 回/km → 7.22 回/km → 14.43 回/km）は増加する。

⑤渋滞域に入ると走行領域においても停止を強いられるようになるが、その停止時間の全所要時間に占める割合は、0.0% → 9.4% → 10.5% → 33.0% → 34.7% と増加する。

(2) 渋滞時走行特性

車の走行特性は前述のように、それぞれの交通流ランクに応じて大きく変化しており、後述するモデル上はそれらランク毎の平均値によって検討することで十分と考えられるが、ここでは主な指標についてもう少し連続的にみとめることにした。ただし、人手データの関係から、それらを表わすための基本特性としては区間平均速度を用いることとした。

それらの主な結果を表-4に示す。これらから、渋滞時の走行特性を表わす主な指標は、ここに示した基礎的な式を用いて表現することがある程度可能であるといえよう。

表-4. 区間平均速度と諸指標の関係

走行特性指標	$Y = a + bX$			$Y = a + b(\ln X)$		
	a	b	r	a	b	r
走行時間構成率 (%)	21.75	1.97	0.80	-2.73	20.24	0.82
加速時間構成率 (%)	9.05	0.61	0.57	1.95	6.08	0.62
定速時間構成率 (%)	3.11	0.95	0.51	-5.50	8.26	0.48
減速時間構成率 (%)	8.71	0.48	0.50	2.96	4.86	0.56
走行領域中停止時間比率(%)	21.12	-1.27	0.64	36.03	-11.25	0.62
停止回数 (回/km)	15.76	-0.92	0.81	22.83	-7.31	0.85
モードセット回数 (回/km)	19.85	-1.17	0.81	28.57	-9.15	0.83
3モードセット構成率 (%)	75.81	-3.07	0.49	106.67	-28.49	0.49
ピーク速度 (km/h)	21.50	0.95	0.57	8.58	9.80	0.55

注) X は区間平均速度を示す。

4. 渋滞時の走行モード予測

(1) 渋滞時の走行状態と走行モード予測の考え方
渋滞時の走行軌跡の一例を図-4に示す（図-3参照）。これを見ると、信号交差点部以外でも停止を強いられている状況がわかる。本稿では簡単化のため、これを下流側信号交差点による影響と考えるとともに、予測の最小単位をそれら信号交差点間とした。しかし、実用的には路線を予測対象とすることが望ましいと考えられることから、以下では主に比較的長い主要交差点間を予測区間とした場合につ

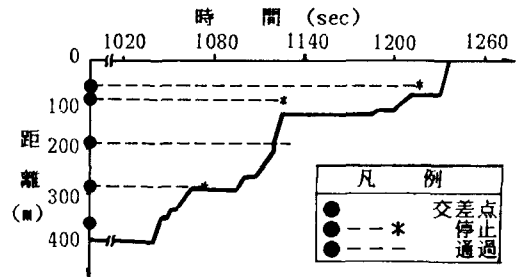


図-4. 距離-時間図上の走行軌跡の一例

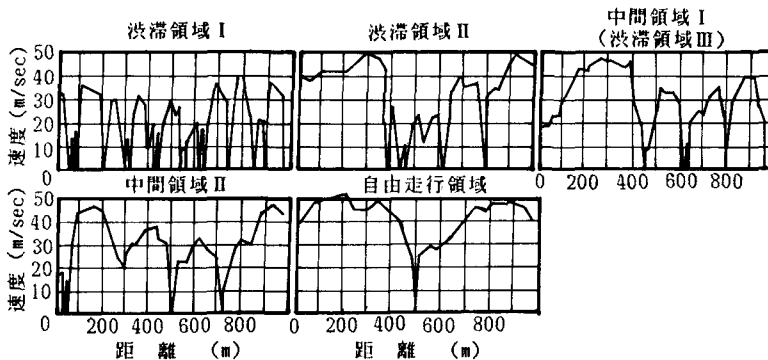


図-3. 代表的走行記録例

いて説明することにする。また、前述の調査結果より、渋滞時の走行パターンとしては、渋滞の程度に応じて3モードと2モードの2種類を設定するのが適当であるとした。

図-5に予測方法の基本的な考え方を示すとともに、以下にはこれに基づいた予測手順を示す。

(STEP 1)当該路線の交通量変動等の分析により予測区間を設定し、これを概ね各信号交差点間を1セクション(予測最小単位)とするように分割する。

(STEP 2)予測区間の全セクションについて、①信号サイクル・オフセット、②時間交通量(流出交通量)を設定する。

(STEP 3)流出交通量により、①停止波・発進波、②信号待ち回数、③走行パターン、④走行領域中の停止率、⑤加減速構成比(3モード時)を設定する。
(STEP 4)各セクション毎に停止、走行の各領域図を作成する。(信号オフセットによる発進の遅れを考慮する。)

(STEP 5)各領域図とセクションの区間長によって、予測区間の平均的セクションの停止、走行の1サイクル平均時間を算出し、これに予測区間通過までの各領域通過回数を乗じることにより、予測区間全体の各モードの平均時間を求める。

(STEP 6)(STEP 3)の各要因を用いて補正し、各モードの補正平均時間およびその構成比を算出する。なお、図-6にはこれら手順に基づいた出力例を示す。

(2) 各パラメータの設定

モデルに必要なパラメータ(4.(1)参照)については、以下のように設定することとした。

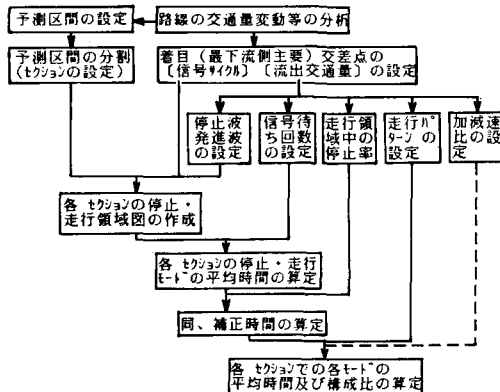
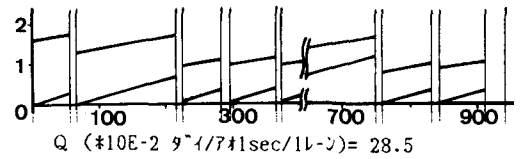


図-5. 渋滞走行モード予測の考え方



No.	S(i)	R(i)	T(i)	T(t)
1	5239.72	71.8%	156.7	218.2
2	15811.30	68.0%	261.0	383.7
3	18623.10	65.0%	298.0	458.1
4	22120.10	63.6%	342.6	538.8
5	27650.70	61.5%	420.3	683.6
6	37468.90	59.7%	559.7	936.9
7	40674.30	59.2%	608.3	1026.9
8	43941.40	58.7%	661.1	1127.2

図-6. コンピュータによる出力例

①停止波・発進波:渋滞時および自由走行時の代表的な停止、発進の状況を図-7に示す。これを見ると、とくに停止波は渋滞の影響を大きく受けることがわかる。そこで、交通量によるそれぞれの波の傾きの変化をみてみると、図-8のように明確にその傾向を知ることができる。したがって、本モデルにおいても、発進波の傾

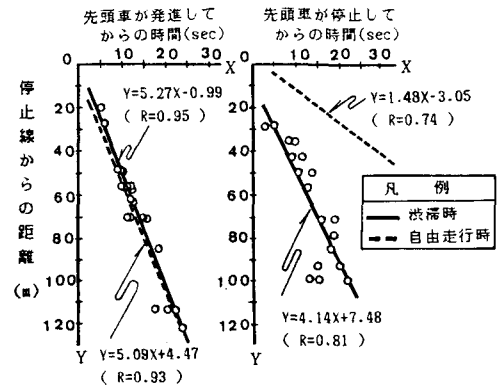


図-7. 代表的な停止、発進の状況

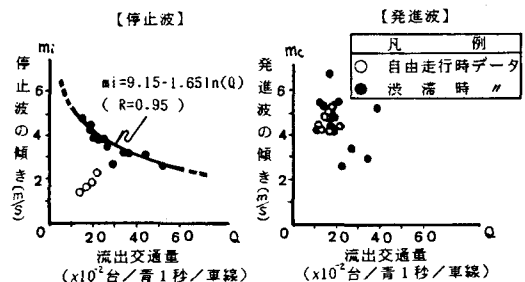


図-8. 停止波、発進波の傾きの変化

きは 4.73 m/s (=各種交通流時の平均値)、
停止波については図-8の回帰式より設定する
こととした。

- ②信号待ち回数(領域通過回数)：信号待ち回数
(n_0)は信号サイクル長(t_{sc})、区間長(l)
等によって異なるため、これらの影響を除く必
要がある。そこで、それぞれの単位長さ当たり
の値を用いてこれを流出交通量によって表わし
てみると図-9のような相関の高い関係が得ら
れた。したがって、本研究ではこの関係式を適
用することとし、領域通過回数(n)について
もこれを基に次式によって算出することとした。

$$(n) = (n_0) \cdot (t_{sc}) \cdot (l)$$

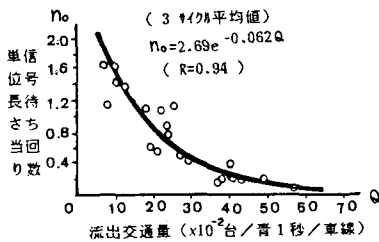


図-9. 流出交通量と
信号待ち回数の関係

- ③走行パターン：原則として前述の交通流の分類
(表-2)に従うものとする。

- ④走行領域中の停止率：これについても交通量と
の間に図-10のような関係が得られているため、
これにより算出することとした。

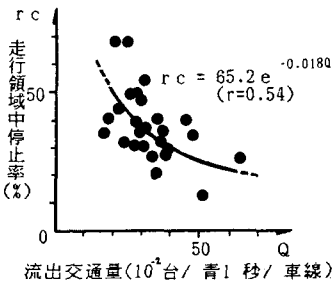


図-10. 流出交通量と
走行領域中の停止率の関係

- ⑤加減速モード構成比：表-1に示したように、
走行モードの構成比は交通の流れに応じて変化
する。しかしながら、加速と減速の時間比率は

図-11に示す通りほとんど変化しないことから、
それらの平均値、

$$(\text{加速構成率})/(\text{減速構成率})=1.236$$

を用いることとした。

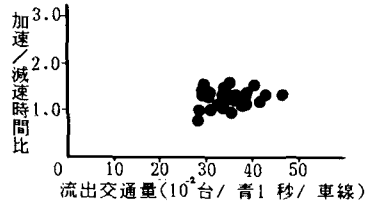


図-11. 加速モード構成比

(3) ケーススタディ

ここでは、前述の通り、セクション単位(短区間)
と路線を想定した長区間の2ケースに対して、本予
測モデルを適用した結果について述べる。

a) 短区間での予測：ここでは、予測の最小単位
となる1信号交差点間(1セクション)として、こ
れまでに実測値の得られている長居、肥後橋、京町
堀の各交差点を取り上げることとした。それらの区
間の諸指標値を表-5に、また予測結果を図-12に
示す。ただし、実測値は各走行の偏りを考慮して、
流出交通量毎に数ケースを平均化することとした。

表-5. モデル適用区間(短区間)
の諸指標値

交差点名	指標			区間長 (m)
	赤	青	信号サイクル(秒)	
長居	90	45	135	300
肥後橋	97	53	150	56
京町堀1	52	98	150	235

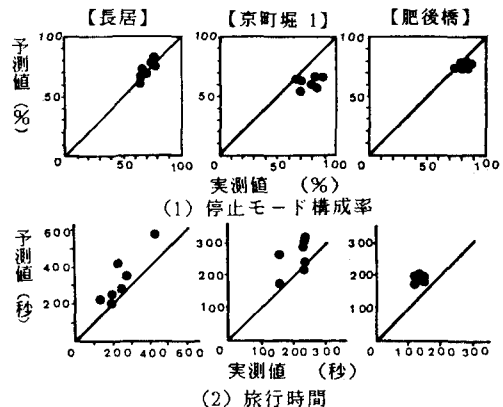


図-12. 予測結果I(短区間適用例)

b) 長区間での予測：モデルの適用区間は、図-13に示す調査実施路線（四つ橋筋）のうち交通量の変動の少ない信濃橋～肥後橋間とした。この区間に含まれる各セクションの信号に関するパラメータを表-1に示す。また、予測結果を図-14に示す。

c) 予測結果に関する考察：本ケーススタディによる結果をまとめると、次のようなことがいえる。

- ①停止モードの構成率について実測値に対する誤差をみてみると、短区間で10%長区間で20%程度と十分実用的な結果といえる。
- ②短区間の中でも、車線数が少なく交通の流れが均一な長居交差点（片側2車線）の方が他（一方通行5車線）より予測精度が高い。
- ③旅行時間については、当然のことながら短区間では信号待ちの影響が大きいため誤差も大きい。逆に長区間ではそれらの誤差が平均化されることによって、結果的に適合度が高くなる。

表-6. 各セクションの信号サイクルとオフセット

交差点No	信号サイクル(秒)			オフセット(秒)
	赤	青	サイクル(秒)	
9	97	53	150	-
8	69	81	150	- 10
7	52	98	150	9
6	54	96	150	0
5	52	98	150	- 4
4	52	98	150	0
3	46	104	150	- 15
2	52	98	150	0
1	63	87	150	15

注) 下流側信号に対する青時間遅れを示す。- は当該信号の青時間の先行。

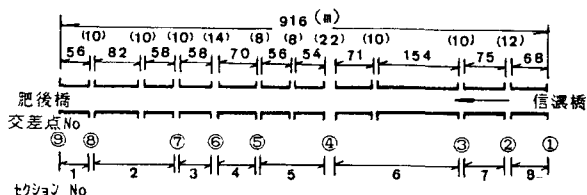
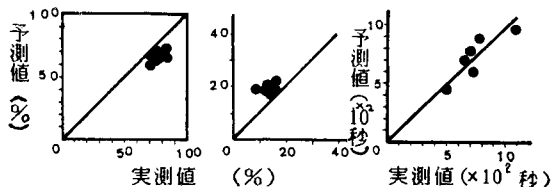


図-13. モデル適用区間（長区間）の概要



(1) 停止モード構成率(2) 加速モード構成率(3) 旅行時間

図-14. 予測結果Ⅱ（長区間適用例）

表-7. 渋滞ランク別走行特性指標値

渋滞 ランク	区間 平均速度 (km/hr)	4t-1t平均 ピーク速度 (km/hr)	流出 交通量 (台/分) (10:45-11:15)	旅行 時間 (sec)	停止時間 構成率(%)			走行時間 構成率(%)			停止 回数 (回/km)	1t-1t 回数 (回/km)	3t-1t 構成率 (%)		
					走行領域	停止領域	計	定速	加速	減速				計	
渋 滞	Ⅰ	4.60	25.71	23.38	764	28.5	43.6	72.1	5.1	11.8	1.0	27.9	13.56	17.08	69
		5.00	26.25	—	698	17.8	52.0	69.6	7.9	11.7	10.8	30.4	10.96	13.74	61
	Ⅱ	7.31	27.41	34.80	498	20.1	43.0	63.1	10.6	13.8	12.5	36.9	9.92	13.74	52
10.00		31.00	—	349	11.5	45.7	57.2	12.6	16.0	14.2	42.8	5.76	6.98	43	
流	Ⅲ	12.11	33.84	35.80	293	6.8	49.5	56.3	13.3	16.7	13.7	43.7	5.52	6.64	32
		15.00	35.75	—	233	5.1	43.1	48.2	17.3	18.4	16.1	51.8	3.02	3.55	29

注 1) 表中のデータは四つ橋筋調査による。

2) 上段はランク別調査データ平均値、下段は回帰式（表-4）による各ランクの境界（限界）値を表す。

3) 渋滞流Ⅲは中間領域に同じ。

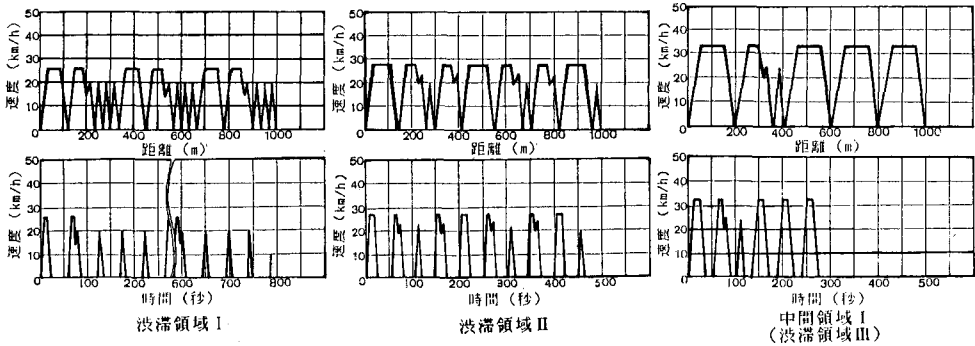


図-15. 渋滞度別走行パターンのモデル化例

れよう。つまり、予め設定された走行パターンに対する排出ガス量が測定されていれば、ある基礎データ（例えば流出交通量等）が与えられることによって、即座に排出ガス量を推定することが可能になることになる。

したがって、今後は（データの蓄積，モデルの改良等によって）本モデルの信頼性を高めるとともに、このようなさらに簡便な予測方法の検討も必要であろう。

最後に、本研究の実施に際してご協力いただいた大阪市環境保健局、（財）鹿島学術振興団に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式に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，No.324，pp.141～149，1982年8月
- 2) 大阪市委託調査：沿道地域における自動車排出ガス量算定調査報告書，（関東洋情報システム），1980年1月
- 3) 日野，西村，津田：信号停止モデルによる渋滞時の走行モード予測について，昭和55年度土木学会関西支部年次学術講演概要集，pp. IV-33-1～2，1980年6月
- 4) 日野，西村：信号停止モデルによる自動車走行モードの予測について，第3回土木計画学研究発表会講演集，pp.311～314，1981年1月
- 5) 日野，西村：信号停止モデルによる路線の走行モードの予測について，第4回土木計画学研究発表会講演集，pp.446～449，1982年1月
- 6) 日野，西村：渋滞時の走行モード予測方法に関する一考察，第5回土木計画学研究発表会講演集，pp.153～156，1983年1月
- 7) 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
- 8) 大阪市委託調査：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，大阪都市協会，1985年5月
- 9) 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