

**投稿論文 (和文)**  
**PAPERS**

# 交通量の変動にもとづいた交通流状態の推定 とその速度分布モデルの構築に関する研究

樗木 武\*・姜 元義\*\*

本研究は、交通量の変動にもとづいて交通流状態の推定と速度分布モデルの構築についてまとめたものである。交通流状態を推定するためには、1分間交通量変動特性のみを用いて非渋滞流と渋滞流を判別する階層モデルを提案した。また、非渋滞流と渋滞流状態での各交通量レベル毎の速度分布特性と交通量の変動を直接関係付けて実際速度分布モデルを構築することによって、交通量のみで速度分布が表現できるようになった。

**Key Words** : speed distribution, traffic flow condition, fluctuation of traffic volume

## 1. はじめに

道路交通流の現象は、交通量、密度、速度、車頭時間などの諸特性とそれら相互の関係にもとづいて把握されるが、中でも速度と交通量との関係は重要である。即ち、交通量—速度関係にもとづいて交通量配分が行われ、道路網の計画や車線数決定の根拠がえられる。あるいは、速度と交通量との関係から交通容量が算定でき、交通容量研究に欠かすことのできないデータを提供する。さらに、交通量レベルに応ずる速度分布は、速度規制のあり方を検討する基礎になるとともに、交通流現象を再現する様々なシミュレーションに活用できる。

ところで、車の速度は個々で異なり一様でない。一方、交通量も時間単位を短くして詳細に考察すれば、リアルタイムに変動するものである。したがって、一概に速度と交通量との関係を求めるにしても工夫が必要であるが、その工夫の違いにより従来の研究に2通りがある。一つは、ある時間単位の平均速度と平均交通量との関係を観測データにもとづいて定式化するものであり<sup>1)~3)</sup>、いま一つは、速度の確率分布を交通量レベルに応じて求めるものである<sup>4),5)</sup>。しかし、これらはいずれもリアルタイムな交通量変動を直接明示的に組み込むものでないため、厳密には得られた観測データに対し有意であるにすぎない。即ち、時間、空間が変われば、同じ交通量レベルでもその変動状態が異なり、そのことが速度分布に変化をもたらすが、この点が必ずしも明確でない。

著者らはこの点に着目し、先に各1分間交通流を渋滞流と非渋滞流とに区分して、その変動を加味した速度分布の把握を行い、1分間交通量の変動を配慮した速度分布を定式化した<sup>6),7)</sup>。しかし、定式化にあたり交通量と

速度との直接的結びつきでなく、まずは交通量の変動と車頭時間分布との関係を解明し、次いで車頭時間と速度分布との関係を求める間接的方法をとったために、式形が複雑化することとなった。また、式中に多数の未知パラメータが含まれ、それらを観測データから逐一定量化したが、当然ながら全てに観測誤差が含まれることから、肝心の速度分布の精度が十分にえられず、適合度検定で棄却されるケースも少なからずあった。しかも、棄却は渋滞流側に片寄る傾向があり、この事実から先の提案は必ずしも十分であるといえるものでない。また、交通流状態の判別基準となる渋滞車割合をうるために、車の速度を逐一求めなければならない問題が残った。個々の車の走行速度を観測することは容易でなく、このことが交通流モデルの実用性を減ずる結果になる。

以上のことから、本研究では、交通量の変動特性にもとづいて交通流状態の推定を行った上で、リアルタイムに変動する交通量のもとでの速度分布を直接明らかにすることを目的とするものである。

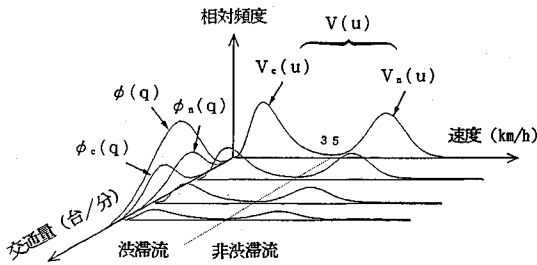
## 2. 研究の方法およびデータの整理

交通流は、非渋滞流と渋滞流とでその性質が異なる<sup>8)~11)</sup>、実際交通流の諸特性を理論的に体系化するには、交通流を状態別に整理する必要がある。その交通流状態の区分は、渋滞車の割合により行うが、任意の設定時間長の中で渋滞車を1台も含まない状態が非渋滞流、渋滞車だけで構成されている状態が渋滞流である。また、渋滞車・非渋滞車の区分は、限界速度を設定し、それ以上で走行する車を非渋滞車、それ以下で走行する車を渋滞車と判定する。

本研究で対象とする道路・交通条件の下での観測結果によれば、非渋滞流と渋滞流の走行速度に関し30~40 km/hを境に比較的明確に分離される。このことから35 km/hを限界速度と設定し、データを非渋滞・渋滞車に

\* 正会員 工博 九州大学教授 工学部建設都市工学科  
(〒812 福岡市東区箱崎 6-10-1)

\*\* 学生会員 九州大学大学院土木工学専攻博士後期課程



図一1 速度分布モデル構築の概念

区分する基準として採用した。また、この区分をもとに一定時間長内の全交通流の中に占める渋滞車の割合を求め、それを  $R_c$  と定義する。

道路交通流の統計的な性質は、集計時間の長さによって異なる<sup>12),13)</sup>。即ち、短い集計時間長を採用するほど交通流の微細な変動を知ることができるが、その分極端な値が生じ易くなり、また、扱いが複雑になる。逆に、長い集計時間長を採用すれば、平均化され安定した値が得られるが、交通流の変動を精度よく知ることができなくなる。したがって、交通流の集計時間は使用目的に応じて適当に設定されなければならない。本研究では、交通流の速度分布特性を精度よく理解することが目的であるから、集計時間長を1分といった短い時間単位を採用した。

本研究の流れは、まず、1分間交通流の渋滞車割合  $r_c$  を交通流変動特性を表現する交通量に関する統計量を用いて推定し、それにもとづいた任意時間長の渋滞車割合  $R_c$  の把握について検討する。

一方、速度分布モデルの構築は、その過程を2段階に分けて行う。第1段階では、交通流状態を非渋滞流と渋滞流に分け、同じ交通量レベルの速度データを集め、その分布特性を分析する。こうすると、交通流状態別の各交通量レベルにおける速度分布が解明できる。第2段階では、設定時間長の交通量分布に交通量レベル毎の速度分布特性を対応させる方法について考察する。

なお、本法は、実際速度分布が、交通量の変動と直接関係付けられる点で興味深いものである。しかし、この方法で、より精度が高い速度分布を得るには、交通量分布を厳密に把握する必要がある。そこで、速度分布モデル構築の前段階として、交通量分布も明らかにする。

以上の速度分布モデル構築の概念を図一1に示す。要は1分間交通量の観測から、基本速度分布を交通量分布に従い重ねて実際速度分布を推定するものである。

本研究の使用データは、良好な線形を有する2車線道路で、信号交差点の間隔が相当長あり、信号によって交通流が完全にとぎれるといったことが少ない道路・交通条件下における交通流を各道路地点にビデオカメラを設置して観測し、得られたものである。その一覧を表一1に示すが、いずれも90分~150分に及び、これより60

表一1 交通流観測データ一覧

データ番号	観測場所	観測日時	平均交通量 (台/分)	交通状態
1	国道190号線 後 湯	1978.11.18 15:30~17:00	13.70	非渋滞
2		1978.11.21 10:20~12:50	9.51	非渋滞
3		1978.11.21 14:04~16:40	9.09	非渋滞
4	国道202号線 福 吉	1981.8.9 15:30~17:40	13.88	渋滞・非渋滞
5	国道3号線 宗 像	1984.11.30 07:00~09:00	15.38	渋滞・非渋滞
6	県道59号線 宗 多	1987.11.22 15:18~17:18	9.86	渋 滞
7	福岡空港線 東 平尾	1987.12.18 07:55~09:55	12.22	非渋滞・渋滞
8	国道3号線	1990.10.15 06:50~08:00	4.29	非渋滞
9	宗 像	1990.10.15 09:00~10:30	7.48	非渋滞
10	県道56号線 海の中道	1988.7.30 14:00~16:00	10.24	非渋滞
11		1991.5.3 12:15~14:16	16.36	非渋滞
12		1991.4.28 13:50~15:53	11.22	渋 滞
13		1991.5.4 12:47~14:50	16.57	渋 滞
14	国道3号線 板 付	1991.10.18 06:23~09:03	10.13	非渋滞・渋滞
15		1991.10.29 06:40~09:28	9.72	非渋滞・渋滞

分単位に切り出して解析のデータとした。なお、これらのうち、データ番号1~3と8~11は非渋滞流に、6・12・13は渋滞流に関するものである。また、それら以外は、非渋滞流と渋滞流とが混在する混合流である。

### 3. 交通量変動にもとづいた交通流状態の推定<sup>14),15)</sup>

#### (1) 交通流状態の推定方法

交通流の変動を考察するために、データ5について1分間交通量とその平均速度との関係を求めれば図一2のとおりである。これより各1分間交通流に関し、交通流状態の変化を考察すれば、図のようにI~IVに区分できるが、IIとIVはデータの数が十分にえられないことから明確には読み取れない。しかし、長時間交通流の観測例<sup>16)</sup>によると、IIとIVの状態は明らかに別のものと解釈され、IIは非渋滞流から渋滞流に移行する際の交通流であり、IVは渋滞が解消する過程であるとしている。この点を踏まえると、結局は、I~IVの四つの交通状態に分けることができる。

- I : 渋滞車を1台も含まない状態 (非渋滞流)
- II : 渋滞車が徐々に増加している状態 (渋滞進展流)
- III : 全て渋滞車である状態 (渋滞流)
- IV : 渋滞車が徐々に減少している状態 (渋滞解消流)

1分間交通流の渋滞車割合  $r_c$  は、理屈の上からは [0, 1] の値をとり、1分間交通流といえども渋滞車と非渋滞車とが混在するケースがある。しかし、観測によってえられた各1分間交通流を非渋滞流と渋滞流とに区分す

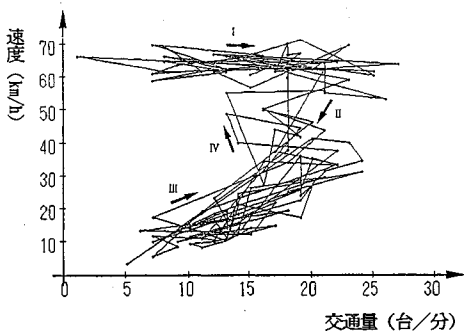


図-2 1分間交通量とその速度との関係

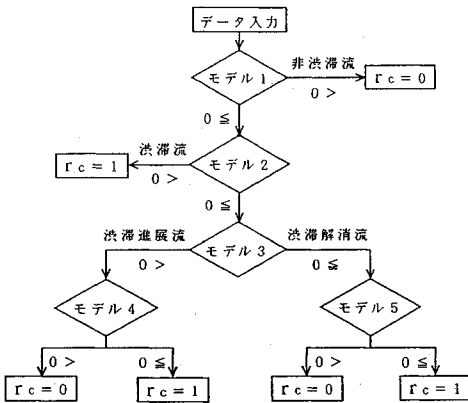


図-3 1分間交通流状態の判別プロセス

表-2 判別分析の説明指標

内 容		I <sup>1)</sup>	II <sup>2)</sup>	III <sup>3)</sup>
A	最大交通量/平均交通量	X <sub>1</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>17</sub>
B	最小交通量/平均交通量	X <sub>2</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>18</sub>
C	平均交通量	X <sub>3</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>19</sub>
D	標準偏差	X <sub>4</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>20</sub>
E	変化率の絶対値の平均	X <sub>5</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>21</sub>
F	変化率の絶対値の標準偏差	X <sub>6</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>22</sub>
G	変動係数 (D/C)	X <sub>7</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>23</sub>
H	変動係数 (F/E)	X <sub>8</sub>	X <sub>16</sub>	X <sub>24</sub>

注. 1)直前のタイムスパンの説明指標  
 2)直後のタイムスパンの説明指標  
 3)推定時間を中心にしたタイムスパンの説明指標

交通流の状態変化が詳細に把握できるタイムスパンを設定することの2点である。交通流の変動特性を表現する指標に関しては、交通量とその変化率に関する様々な統計量の中で表-2に示すA~Hの8指標を考える。表中、A・Bは変動の安定性を、C・Fは変動の大きさを、D・E・G・Hは変動のばらつきを表すものである。また、変化率とは1分間交通量の前後の差を意味する。

他方、タイムスパンは、当該時点を中心にしてその前 (I) および後 (II)、当該時点を含む中央 (III)のいずれを考えるかによりいくつかのケースがある。こうしたタイムスパンのあり方を検討した結果、I、II、III全部を対象とする方法がよいといえる。また、タイムスパンの長さも様々考えられるが、データの最初と最後に生ずる未判別を極力少なくすることと精度の両者を考えて10分と20分の場合を検討した。その結果、10分の場合より20分の場合がより精度よく判別できるという結果をえた。

(2) 判別モデルと考察

1分間交通流状態判別の各モデルは線形2次の形式を採用した。また、相関が強い説明指標がモデルの中で重複することを避けるため、主成分分析を用いて3つのタイムスパン内の24個の説明指標を類別整理し、各モデルの説明指標とした。さらに、モデル4と5は、交通流状態が渋滞進展流および渋滞解消流である場合、それぞれ  $r_c=0$  と  $r_c=1$  の判別を行うものである。そのために、あらかじめ  $r_c$  を指標として、解析データを、 $r_c$  が0と1のものに分け、また、少しでもデータを利用する意味と  $r_c$  が0と1以外のものを0, 1に判別する精度を少しでも上げるとい意味で  $r_c$  が0.2以下と、0.8以上のものを追加して用いた。

以下は得られた各判別モデルであるが、組み込まれた説明変数は結果的に7個である。

a. 判別モデル1: 非渋滞流と渋滞流の判別

$$\begin{aligned}
 H_1 = & -61.747X_2^2 - 7.97X_2X_1 - 3.76X_2X_{14} \\
 & + 45.70X_2X_{15} + 24.736X_1^2 - 3.10X_1X_{14} \\
 & - 23.182X_1X_{15} - 2.20X_{14}^2 - 15.32X_{14}X_{15} \\
 & + 61.14X_{15}^2 + 41.97X_2 - 46.75X_1 \\
 & + 26.71X_{14} + 45.10X_{15} - 33.75
 \end{aligned}$$

b. 判別モデル2: 渋滞流と渋滞進展・解消流の判別

ると、表-1の全体を通じて両者が混在するケースはわずか6%に過ぎず、残りは全て  $r_c=0$  または1のいずれかである。このことから、推定に際し1分間交通流の渋滞率割合は0と1の両ケースのみをとるという仮定を設けるものである。このとき、前述した4つの交通流状態と  $r_c$  の値との対応は次のようになる。

- I: 非渋滞流 →  $r_c=0$  のみ。
- II: 渋滞進展流 →  $r_c=0$  と  $r_c=1$  が混在。
- III: 渋滞流 →  $r_c=1$  のみ。
- IV: 渋滞解消流 →  $r_c=0$  と  $r_c=1$  が混在。

以上を考慮し、4つに区分される交通流状態とそれらを構成する各1分間交通流が  $r_c=0$  か、 $r_c=1$  かを判別するための手順を考えれば、図-3に示す階層的プロセスとなる。すなわち、各1分間交通流の判別に関して、モデル1で非渋滞流と渋滞流の判別を行い、非渋滞流に判別されれば  $r_c=0$  である。また、渋滞流に判別されれば、モデル2でさらに渋滞流と渋滞進展・解消流との判別を行い、渋滞流は  $r_c=1$  である。モデル3は渋滞進展流と渋滞解消流とに区分し、モデル4とモデル5とは、それらにおける  $r_c$  を、0または1のいずれかに判別するプロセスである。

判別モデルの精度向上で重要なことは、ある時間長内の交通流の変動特性を説明できる指標を選ぶことと、交

表-3 1分間交通流状態の推定結果

データ 番号	$r_c$ の実際値の数					$r_c$ の推定値の数 <sup>1)</sup>			
	$r_c=0$	$r_c=1$	I <sup>1)</sup>	II <sup>2)</sup>	III <sup>3)</sup>	$r_c=0$	$r_c=1$	$r_c=0$	$r_c=1$
1	58					58			
2	62			1		61	1	1	
3	80					80			
4	19	65	1	2	5	8	76	1	7
5	42	45	3	15	4	37	50	8	14
6		91			2	1	90		2
7	29	44	3			28	45	2	1

注. 1)  $0 < r_c < 0.2$  2)  $0.2 \leq r_c < 0.8$  3)  $0.8 \leq r_c < 1$   
4) 太線の中は I, II, III の推定結果

表-4 時間交通流に対する理論分布の適合度比較

交通 状態	平均 交通量	正規分布		対数正規分布		アーラン分布		ベータ分布	
		K値	KS	K値	KS	K値	KS	K値	KS
非 渋 滞 流	3.83	3.61	--	1.81	-- <sup>1)</sup>	1.02	** <sup>2)</sup>	0.79	** <sup>3)</sup>
	10.27	1.06	**	1.83	**	1.64	**	1.04	**
	17.35	0.93	**	1.24	**	1.15	**	0.89	**
渋 滞 流	9.96	1.48	**	2.28	**	2.12	**	1.38	**
	13.38	0.82	**	1.03	**	1.08	**	0.79	**
	17.27	2.14	**	3.12	**	2.81	**	1.42	**

注. 1) -: KS検定5%有意水準で棄却  
2) \*: KS検定5%有意水準で採択  
3) \*\*: KS検定1%有意水準で採択

$$H_2 = -28.46X_{17}^2 + 177.58X_{17}X_{15} - 290.46X_{15}^2 + 68.10X_{17} - 108.52X_{15} - 40.68$$

c. 判別モデル3: 渋滞進展流と渋滞解消流の判別

$$H_3 = 130.71X_8^2 + 51.426X_8X_{15} - 389.59X_{15}^2 - 38.04X_8 + 158.68X_{15} - 19.09$$

d. 判別モデル4: 渋滞進展流の  $r_c=0, 1$  の判別

$$H_4 = -17.62X_{14}^2 + 186.51X_{14} - 463.79$$

e. 判別モデル5: 渋滞解消流の  $r_c=0, 1$  の判別

$$H_5 = 4.21X_6^2 - 15.61X_6 + 3.12$$

各モデルの説明指標に対するF検定の結果, 説明指標のすべてが1%の有意水準で棄却でき, 十分な情報を持つといえる。また, 構築された判別モデルを用いて, 観測した交通量データから1分間交通流状態を推定した結果を表-3に示す。

表より, 提案した1分間交通流状態の推定法は, 各状態に適用でき, 非渋滞流, 渋滞流, 渋滞進展流に対して高い精度で推定可能である。渋滞解消流に対しては誤判別されるケースもあり, より多くのデータを集めて詳細に分析することが今後の課題であるものの, 実際の道路交通流では, 渋滞解消流が占める割合が少ないことから, 提案判別モデルでも1分間交通流状態の推定方法として十分に活用できる。

### (3) 設定時間長の渋滞車割合の推定

1分間交通流の渋滞車割合  $r_c$  が推定されれば, これにもとづき設定時間長における渋滞車割合  $R_c$  は次式で算出される。

$$R_c = \frac{\sum_{i=1}^T q_i r_{ci}}{\sum_{i=1}^T q_i} \dots \dots \dots (1)$$

ここに,  $q_i$  は設定時間内の  $i$  番目の1分間交通量を意味し,  $T$  は設定時間長を表す。

すなわち, 提案手法によって1分間交通流の渋滞車割合を交通量のみで推定できることから, 道路交通流において交通量のみを観測すれば, 設定時間長の渋滞車割合が式(1)からえられ, 交通流状態の把握が可能になるものである。

## 4. 交通量分布モデル<sup>17)</sup>

交通量分布に関する従来の研究<sup>18), 19)</sup>は, 結局のところポアソン分布の適用が基本である。しかし, 本分布は, パラメータが1つしかないことから, 交通量変動の違いを精度よく表現できない問題がある。すなわち, 交通量が大きくなり, 車の到着にランダム性が仮定できない場合には適合性が低下する。また, 道路交通流はその状態が一定でなく, 時間帯によって交通流状態が定常・非定常あるいは非渋滞・渋滞と変化するが, この変化に関する検討がないことから, 各交通流状態の交通量分布特性が十分に解明できないでいる。

### (1) 理論分布のあてはめ

交通量の理論分布として, 正規, 対数正規, アーラン及びベータの各分布を用いて, 実際交通量データに対する適合度を比較検討する。また, 理論分布の適合度検定にはKS検定を用い, あるいは, 以下に定義する統計値( $K$ )を使用する。すなわち,  $K$ 値が小さいほどデータに対する理論分布の適合度が高い。

$$K = \sum (\text{実際相対頻度} - \text{理論相対頻度})^2 \times 100 \dots (2)$$

非渋滞流および渋滞流状態別の交通流に対する交通量データに, 上記4つの理論分布をあてはめた結果を表-4に示す。なお, ベータ分布のあてはめは, 観測交通量の最小値0台/分, 最大値27台/分を踏まえ,  $[0, 27]$ を定義域とした。

表より, 平均交通量が極端に小さく, 指数分布的ななる場合を除く通常の交通流では, その交通量分布としてベータ分布が望ましいものと判断する。

### (2) 交通量分布モデルの構築

非渋滞流, 渋滞流別の交通量分布としてベータ分布を用いれば, 次のように表される。

$$\phi_n(q) = \beta(a, b)^{-1} q^{a-1} (1-q)^{b-1} \dots \dots \dots (3)$$

$$\phi_c(q) = \beta(c, d)^{-1} q^{c-1} (1-q)^{d-1} \dots \dots \dots (4)$$

ここに,  $\phi_n(q)$ ,  $\phi_c(q)$ : 非渋滞流と渋滞流での交通量分布の密度関数でサフィックス  $n$  は非渋滞流を,  $c$  は渋滞流を意味する。  $q$ : 交通量 (台/分),  $a, b$ : 非渋滞流で

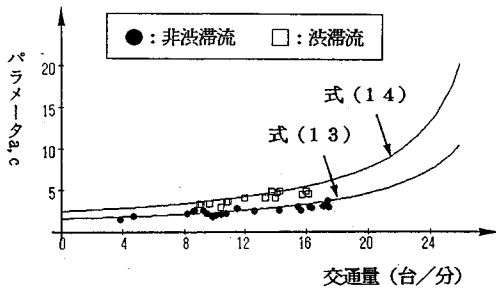


図-4 パラメータ a, c と平均交通量との関係

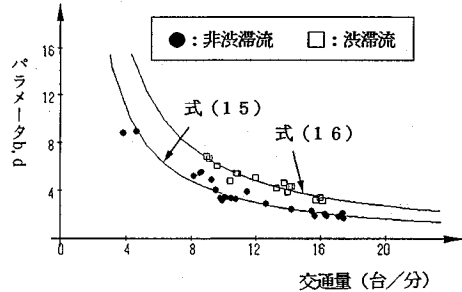


図-5 パラメータ b, d と平均交通量との関係

の分布パラメータ。c, d: 渋滞流での分布パラメータ。  
 $\beta(a, b) = \Gamma(a)\Gamma(b)/\Gamma(a+b)$ 。  $\beta(c, d) = \Gamma(c)\Gamma(d)/\Gamma(c+d)$ 。また、式に含まれるパラメータは、交通量分布の平均、分散と次の関係にある。

$$qm_n = a/(a+b) \dots\dots\dots (5)$$

$$Sd_n^2 = ab/\{(a+b)^2(a+b+1)\} \dots\dots\dots (6)$$

$$qm_c = c/(c+d) \dots\dots\dots (7)$$

$$Sd_c^2 = cd/\{(c+d)^2(c+d+1)\} \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 $qm_n, Sd_n^2$  は非渋滞流、また、 $qm_c, Sd_c^2$  は渋滞流における交通量分布の平均および分散。

式(5)~(8)から、各パラメータは次のように導出される。

$$a = \{qm_n^2(1-qm_n) - qm_n Sd_n^2\} / Sd_n^2 \dots\dots\dots (9)$$

$$b = (a/qm_n) - a \dots\dots\dots (10)$$

$$c = \{qm_c^2(1-qm_c) - qm_c Sd_c^2\} / Sd_c^2 \dots\dots\dots (11)$$

$$d = (c/qm_c) - c \dots\dots\dots (12)$$

式(3), (4)に含まれるパラメータは、交通量分布データの特徴値を上記各式に代入することにより求められ、その結果を図-4, 図-5に示す。

図-4は、パラメータ a, c と交通量分布の平均との関係を示すもので、両交通流状態で異なるものの、平均交通量が大きくなるにつれて大きくなるのが分かる。このことを踏まえ、a, c と平均交通量との関係を回帰すれば次式が得られる。

$$a = -49.019/(qm_n - 30.637) \quad (R=0.82) \dots\dots (13)$$

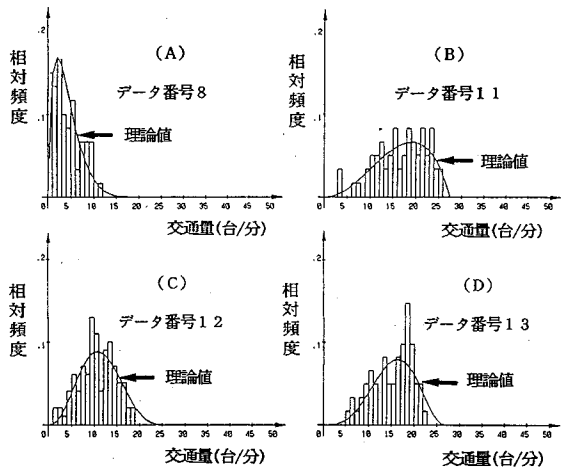


図-6 基本交通量分布モデルの適用例

$$c = -74.074/(qm_c - 29.667) \quad (R=0.89) \dots\dots (14)$$

一方、図-5は、b, d と平均交通量との関係であり、平均交通量が大きくなるにつれて b, d は急減する。そこで、指数曲線を仮定すれば

$$b = 55.737qm_n^{-1.184} \quad (R=0.96) \dots\dots\dots (15)$$

$$d = 82.316qm_c^{-1.145} \quad (R=0.94) \dots\dots\dots (16)$$

すなわち、いずれのパラメータも、平均交通量により推定可能である。このことは、時間交通量と、その渋滞・非渋滞判別さえ明らかであれば、交通量分布が記述できることとなり好都合である。

式(13)~(16)を式(3), (4)に代入すれば、両交通流状態の平均交通量毎の交通量分布が表現でき、これを基本交通量分布モデルと呼ぶこととする。

交通流状態別の交通量データに基本交通量分布モデルを適用すれば図-6のとおりである。図中(A), (B)は、非渋滞流状態での低交通量と高交通量レベルの交通量分布であり、(C), (D)は、渋滞流状態での分布である。図より、両状態での実測交通量分布に対し基本交通量分布モデルがよく適合していることが確認できる。また、KS検定により各データの適合度を調べた結果、全データが有意水準1%以内におさまり、このことから基本交通量分布モデルの有効性が確認できる。

### 5. 速度分布モデルの構築

#### (1) 1分間交通量と速度分布特性との関係<sup>(20), (21)</sup>

道路交通流の速度分布は、交通量が変動するにつれて変化する。そこで、速度分布の解析は、1分間交通流状態を非渋滞流と渋滞流に分けて行う。非渋滞流における交通量レベル毎の速度分布は正規分布が、渋滞流は対数正規分布がよく適合するといえ、次のように表される。

$$S_n(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}d_n} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{u-m_n}{d_n}\right)^2\right\} \dots\dots\dots (17)$$

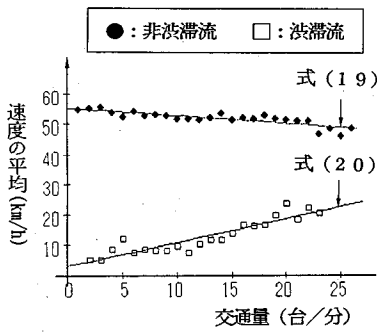


図-7 1分間交通量毎の平均速度と交通量との関係

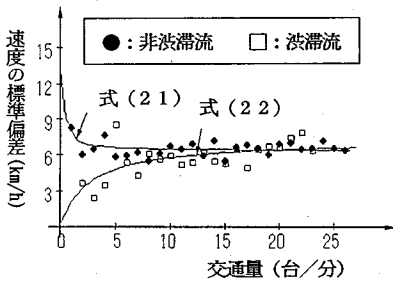


図-8 1分間交通量毎の標準偏差と交通量との関係

$$S_c(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\rho_b u} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln u - \rho_a}{\rho_b}\right)^2\right\} \dots\dots\dots(18)$$

ここに、 $S_n(u)$ 、 $S_c(u)$ ：非渋滞流と渋滞流での1分間交通量レベル毎の速度分布の確率密度関数。 $u$ ：速度。 $m_n$ 、 $d_n$ ：非渋滞流状態での1分間交通量毎の速度の平均と標準偏差。 $\rho_a$ 、 $\rho_b$ ：対数正規分布のパラメータで、渋滞流状態での1分間交通量毎の速度の平均と標準偏差である  $m_c$ 、 $d_c$  との関係は、

$$\rho_a = \ln m_c - \frac{1}{2} \ln \left( \frac{d_c^2}{m_c^2} + 1 \right), \quad \rho_b = \sqrt{\ln \left( \frac{d_c^2}{m_c^2} + 1 \right)}$$

正規分布と対数正規分布のパラメータは、平均と標準偏差で表される。そこで、各交通流状態における1分間交通量毎の速度の平均および標準偏差と交通量との関係を求めれば図-7および図-8のとおりであり、それらを回帰分析すれば以下のとおりである。

$$m_n = 55.056 - 0.255q \quad (RMS=1.16) \dots\dots(19)$$

$$m_c = 3.007 + 0.785q \quad (RMS=2.19) \dots\dots(20)$$

$$d_n = (1.303 + 6.353q)/q \quad (RMS=0.57) \dots\dots(21)$$

$$d_c = q/(0.351 + 0.138q) \quad (RMS=1.69) \dots\dots(22)$$

ここに、 $q$ ：1分間交通量。

すなわち、式(19)~(22)を式(17)、(18)に代入すれば、両状態における1分間交通量レベル毎の速度分布がえられ、これを基本速度分布モデルと呼ぶことにする。また、KS検定の結果、いずれも有意水準1%以内におさまりモデルの有効性が確認できた。

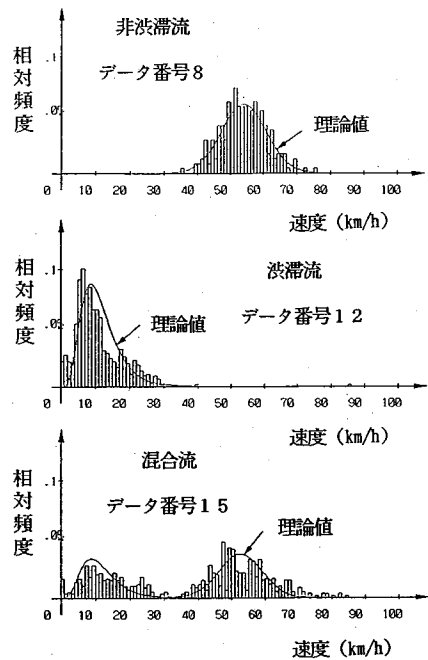


図-9 実際速度分布モデルの適用例

## (2) 実際速度分布モデル

実際の長時間に及ぶ交通流は、大きく分けて非渋滞流、渋滞流および両状態が混在する混合流に分類できる。ここでは、前節までの成果を踏まえ、基本速度分布モデルと交通量の変動特性を同時に考慮することによって、その実際交通流の速度分布に適用できる速度分布モデルの構築について考えるものである。

基本速度分布モデルの構築過程から、速度分布は交通流状態毎の交通量レベルによってその分布特性が異なることが明らかである。すなわち、実際の速度分布は交通量の変動によって変わるといえ、このことに着目し、 $r_c = 0$ と $r_c = 1$ の状態毎の交通量分布と基本速度分布モデルを同時に考慮して、非渋滞流と渋滞流での実際速度分布モデル  $V_n(u)$ 、 $V_c(u)$  を求めれば次のとおりである。

$$V_n(u) = \sum_{i=0}^{q_{max}} \{R_n \cdot \phi_n(i)\} S_{ni}(u) \dots\dots\dots(23)$$

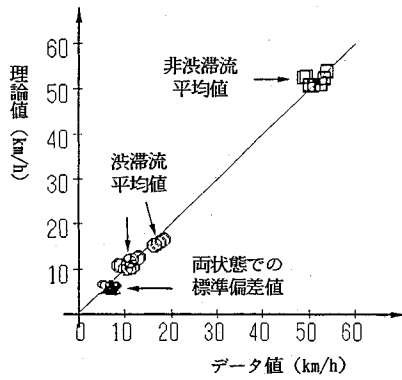
$$V_c(u) = \sum_{i=0}^{q_{max}} \{R_c \cdot \phi_c(i)\} S_{ci}(u) \dots\dots\dots(24)$$

ここに、 $V_n(u)$ 、 $V_c(u)$ ：非渋滞流と渋滞流での実際速度分布の確率密度関数。 $R_c = 1 - R_n$ 。 $\phi_n(i)$ 、 $\phi_c(i)$ ：各交通流状態の交通量分布において交通量が  $i$  の時の確率密度。 $S_{ni}(u)$ 、 $S_{ci}(u)$ ：各交通量状態で交通量が  $i$  の時の基本速度分布モデル。

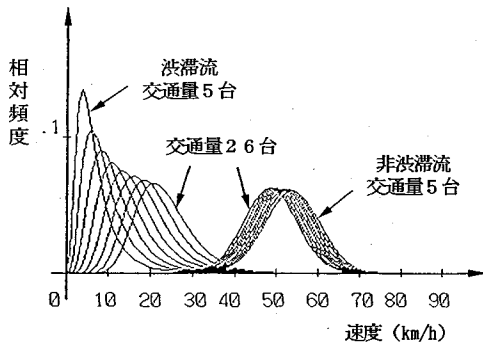
非渋滞流と渋滞流に対する実際速度分布が求められたので、最終的に両状態が混在する混合流の実際速度分布  $V(u)$  は次のようになる。

$$V(u) = V_n(u) + V_c(u) \dots\dots\dots(25)$$





図一10 データ値と理論値との比較



図一11 交通量レベル毎の速度分布

式 (25) に含まれるパラメータは、全てが交通量の関数であるから、観測しやすい交通量が分れば、その時の速度分布が把握でき、ここに本モデルの特色がある。

各交通流状態毎の速度データに対し、実際速度分布モデルをあてはめた例を図一9 に示す。

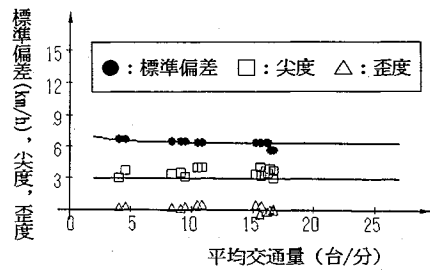
また、設定時間長を1時間として、実際速度分布モデルを用い速度分布の平均と標準偏差を算出した理論値とデータ値とを比較すれば図一10 のとおりである。

図一9, 10 より、各交通流状態における速度データに対しモデルがよく適合することが分かる。また、KS 検定によりモデルの適合度を検定した結果、各交通流状態全てのケースが有意水準1%で棄却されないことから、モデルがデータに対し良好な適合性を示すといえる。

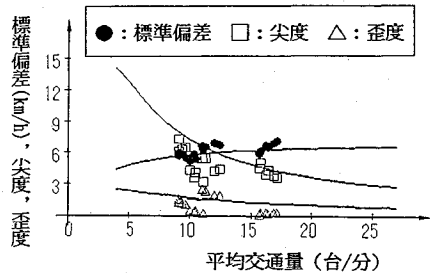
(3) 実際速度分布の諸特性

式 (25) を用いて、非渋滞流と渋滞流状態での各交通量レベル毎の速度分布を導出した結果を図一11 に示す。ここでは、5台/分から26台/分まで1分間交通量を3台づつ増やした場合の実際速度分布の計算結果を表している。この図より、非渋滞流と渋滞流状態での速度分布特性はその状態によって異なり、速度が35 km/h 付近を境にして両者が分離して分布していることが理論的にも確認できる。

また、非渋滞流と渋滞流状態での速度分布に対し標準



図一12 非渋滞流での速度分布特性



図一13 渋滞流での速度分布特性

偏差、歪度、尖度を求めれば、図一12, 13 に示す通りである。これらから、標準偏差と歪度は理論値とデータで大差なく一致しているといえる。一方、尖度に関してみると、非渋滞流ではよく一致しているといえるが、渋滞流のそれは必ずしも十分に一致しているとはいえない。しかし、傾向的には十分に合致しており、極端に異なるとはいえない。分布のばらつき度合いを評価する標準偏差についてみると、非渋滞流では交通量が増加してもあまり変わらないが、渋滞流では交通量が増加するにつれ少しずつ増加する傾向が見える。分布のピーク性を表す尖度と対称性を表す歪度に関してみると、非渋滞流では交通量が変化しても尖度3と歪度0としてほぼ一定であるから、その分布形は平均を中心に対称で、正規分布に近い分布形であることが分かる。渋滞流での尖度と歪度は、交通量の変化につれ大きく変わることが分かる。交通量が小さいと速度はピーク性が高く、ばらつきが小さい分布形になり、交通量が大きくなるにつれ順次平たくなる。すなわち、分布は非対称で歪度、尖度は交通量の増加に従い小さくなる傾向が見える。

さらに、交通流状態が混合している状態で、渋滞車割合  $R_c$  の変化による速度分布特性を図一14 に示す。ここでは、両状態での平均交通量が13台/分である場合の  $R_c=0.25, 0.50, 0.75$  に対する実際速度分布の計算結果を示している。図より、その分布形は、非渋滞流・渋滞流の2つの領域に分割され、当然ながら実際速度分布が2つのピークをもつことになる。また、それぞれの分布形は図一11と同様であり、混合流状態での分布形は交通流状態別の分布形を合わせた形となることもいうま



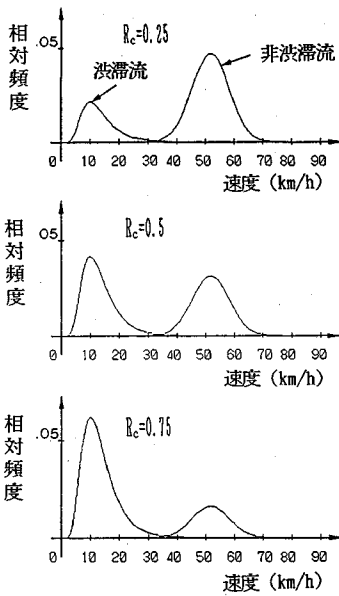


図-14  $R_c$  の変化による速度分布特性

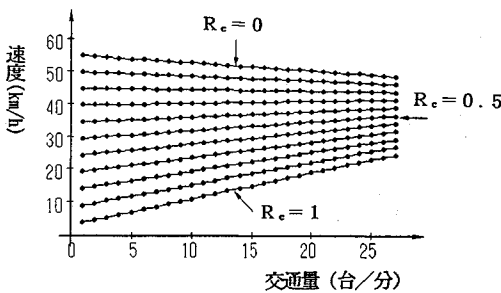


図-15  $R_c$  別の交通量レベル毎の平均速度

でもない。

最後に、渋滞車割合別の交通量レベル毎の平均速度を計算した結果を図-15に示す。ここで、渋滞車割合は0から1までの0.1刻みとし、非渋滞流から混合流そして渋滞流までの連続的な交通流状態の変化を示している。これより、交通流状態と交通量レベルが相互に変化する場合の理論的な平均速度を見出すことができる。

## 6. おわりに

本研究は、道路交通流の実際速度分布を、交通量の変動特性にもとづいて理論的に表現する方法について検討したものである。そのため、交通量の変動を表す説明指標を用いて渋滞車割合の推定を行った。また、実際速度分布モデルの構築は、まず、交通流状態別の交通量レベルに応じた速度分布特性を求めた上で、それらを交通量分布の確率密度に対応して集積する方法を提案したものである。これらは、交通量と速度分布との関係を明らかにすることに主眼があるが、その過程で示した交通流状

態の推定、非渋滞・渋滞の判別、交通量分布それぞれについても、様々な交通流シミュレーションに役立てることができ、その意味で、全体を通じてえられた結果を要約すれば以下のとおりである。

(1) 4つの交通流状態に対する非渋滞流、渋滞流の判別手順として、図-3に示す階層モデルを提案する。その上で、交通流状態の判別モデルは、1分間交通量の変動特性のみを用いて非渋滞流と渋滞流の判別分析を行ったが、いずれも満足いく精度のモデルがえられ、2価的となる交通量と非渋滞流・渋滞流といった交通流状態の追跡が可能になった。

(2) 交通量分布は、交通流状態別によるその分布特性が異なる。すなわち、非渋滞流と渋滞流では交通量レベルによって交通量分布特性が変化することが確認できた。その上で、交通量の理論分布として、正規、対数正規、アーランおよびベータの各分布を用いてデータとの適合度を比較した結果、非渋滞流および渋滞流のいずれもベータ分布がよく適合することがわかった。

(3) 交通量分布モデルに含まれるパラメータはいずれも平均交通量と関係づけられるが、これらを用いた交通量分布モデルの再現性は極めてよいものであった。また、交通量分布が持つ特性を明らかにしたが、基本的には同じ平均交通量でも非渋滞流の交通量分布は、渋滞流と比較してばらつきが大きく、ピーク性が小さいといえる。

(4) 道路・交通条件はさほど変わらないが、交通流特性が異なる複数の交通流の共通的な傾向を明らかにするために、実際の長期間交通流を1分間交通量の大きさ毎に分解し、速度分布と交通量との関係を検討した。その結果、非渋滞流の1分間交通量レベル毎の速度分布は正規分布で、渋滞流のそれは対数正規分布を用いることにより、交通流状態別の基本速度分布モデルが構築できた。

(5) 非渋滞流と渋滞流の速度分布特性と交通量の変動を直接関係付けて実際速度分布モデルを構築したが、モデルに含まれるパラメータは、いずれも交通量との関係から求められ、観測しやすい交通量のみで速度分布が表現できるようになった。

(6) 提案した実際速度分布モデルを用いて、各交通流状態での速度分布が持つ全体的な特性を明らかにすることができたが、非渋滞流での交通量レベル毎の速度分布は交通量が変化してもその分布形はあまり変わらず、その性質は正規分布とよく一致していることが確認できた。一方、渋滞流でのそれは、交通量が小さくなるにつれてばらつきが小さく、ピーク性が大きい分布形になることがわかった。

本研究は、交通流の基本的な性質を明らかにすることを意図して、各車の走行に影響を及ぼす外部要因が少な

い道路・交通条件下での交通流を対象にし、検討を加えたものである。したがって、今後はさらに、一般的な道路・交通条件下の交通流に提案モデルを適用するために、交通流に影響を及ぼす諸要因とモデルのパラメータとの関係を明らかにする必要があり、残された課題である。

#### 参考文献

- 1) 高田 弘：交通容量，技術書院，1967.
- 2) 交通工学研究会：交通工学ハンドブック，pp.123~124，1973.
- 3) 武田宏夫・大島健志：首都高速道路の交通容量に影響を及ぼす要因について，第16回日本道路会議論文集，pp.334~335，1987.
- 4) 高田 弘：首都高速道路の交通現象，交通工学，Vol.3，No.6，pp.4~12，1968.
- 5) 田村洋一・樗木 武：道路交通流の速度分布における自由車・追従車構成について，山口大学工学部研究報告，34，pp.273~279，1984.
- 6) 田村・樗木・三野：交通流の基本速度分布モデルおよび実際速度分布モデルの構築に関する研究，土木学会論文集，No.377，pp.127~135，1987.
- 7) Tamura, Y. and Chishaki, T.: Modeling and study of speed and bunch distributions considering fluctuation of traffic flow, Transportation and Traffic Theory, pp.99~118, Elsevier Science Publishing Co., Inc., 1987.
- 8) 片倉・鍋島・岩崎・浦田：交通流の小時間変動について，土木学会第25回年次学術講演会講演集，pp.123~124，1969.
- 9) H. S. Mika, J. B. Kreer and L. S. Yuan: Dual Mode Behavior of Freeway Traffic, Highway Research Record, No.279, pp.1~13, 1969.
- 10) 越・岩崎・大蔵・西宮：渋滞時の交通流現象に関する研究，土木学会論文報告集，第306号，pp.59~70，1981.
- 11) 姜・樗木・田村・辰巳：道路交通流の基本速度分布モデルについて，土木学会第46回年次学術講演会講演集，pp.190~191，1991.
- 12) 日本道路協会：道路の交通容量，1984.
- 13) OECD：幹線道路の交通容量について，交通工学，Vol.18，No.6，pp.33~44，1983.
- 14) 樗木・姜・田村・辰巳・原：交通量の変動特性にもとづいた交通流状態の推定と非渋滞流と渋滞流の判別，九州大学工学集報，第64巻，第3号，pp.135~141，1991.
- 15) 塩見・樗木・田村：交通流における渋滞車割合の推定に関する研究，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.530~531，1988.
- 16) Ross, P.: Traffic Dynamics, Transpn. Res.-B, Vol.22 B, No.6, pp.421~435, 1988.
- 17) 姜・樗木・李・辰巳：時間交通流における交通量分布について，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.714~715，1992.
- 18) Gerlough, D. L.: Use of Poisson distribution in highway traffic, in "Poisson and Traffic", The Eno-Foundation for Highway Traffic Control, Saugatuch, Conn., 1955.
- 19) Drew, D. R.: Traffic flow theory and control, pp.120~146, McGRAW HILL, 1968.
- 20) 姜・樗木・田村・辰巳：交通量レベルに対応する速度分布モデルに関して，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.590~591，1991.
- 21) 姜・樗木・原・矢野：交通量変動にもとづいた速度分布モデルの構築に関する研究，土木学会第47回年次学術講演会概要集，pp.324~325，1992.

(1992.6.6 受付)

## A STUDY ON THE ESTIMATION OF TRAFFIC FLOW CONDITIONS AND SPEED DISTRIBUTION MODEL BASED ON FLUCTUATIONS OF TRAFFIC VOLUMES

Takeshi CHISHAKI and Weon eui KANG

A speed distribution model of traffic flow is proposed based on fluctuations of traffic volumes. For the estimation of traffic flow conditions, some techniques are examined with respect to the discrimination method which can be defined only with statistic indices extracted from traffic volume's fluctuations. In development of speed distribution model, the statistical properties of the speed distribution are surveyed on each level of traffic volume. Furthermore, the model is based on the relationship between traffic volume distribution and the traffic volume level's speed distribution. Finally, some examples of calculations are provided to demonstrate the usefulness of the proposed model.