

多地点同時観測にもとづく道路交通流に関する研究

A Study on Road Traffic Flow based on Simultaneous Multi-place Observations

田村 洋一*・檉木 武**

By Youichi TAMURA and Takeshi CHISHAKI

A travel-speed distribution model is proposed as a log-normal distribution. Then a travel-time distribution model is induced from the travel-speed distribution model.

As a new characteristic of traffic condition, marginal traffic volume is defined. It is confirmed that parameters of both models are related to marginal traffic volume. Consequently, these models can be calculated only by giving marginal traffic volume.

Models are applied to observed data and those appropriateness are examined.

1. はじめに

道路計画、交通制御の合理化を図る上で、さまざまに変化する交通状況下での旅行速度、旅行時間を正確に知ることが重要な課題となる。

ところで、旅行速度、旅行時間は交通流の空間的な変数であり、これらの分布特性を把握するためには、その前提として、交通流の空間的挙動を解明することが必要である。このため従来では、飛行機、ヘリコプター、飛行船などを用いた航空写真による観測^{1)・2)・3)}が行われて来ているが、この方法は、器材の調達、費用などの点で実施には多くの困難が伴う。

その他の方法として、イベントオシログラフを用いる方法⁴⁾、あるいは、調査員が車のナンバープレートの文字を記録しそれによって旅行時間を推定するといった方法^{5)・6)}も取られている。これらの方法は、航空写真によるものと比較すれば、簡単であり、また、廉価でもあるが、観測によって得られる情報に限界がある。また、車両感知器による方法⁷⁾もあり、これは交通情報検出装置の高度化が進めば将来有力な観測機器になると考えられる。しかし、現状では設置位置も限られており、得られる情報内容にも限界がある。

ところで、最近、新しい観測・解析機器としてビデオレコーダが注目されてきている。これは、現象の長時間連続記録が可能であること、即時的再現性があること、解析の自動化の可能性が高いことなどから、今後、交通流現象解析の有力な道具となる

* 正会員 工博 山口大学助手 工学部建設工学科
(〒755 宇部市常盤台 2557)

** 正会員 工博 九州大学教授 工学部土木工学科
(〒812 福岡市東区箱崎 6-10-2)

と考えられる。そこで本研究では、ビデオレコーダを用いて交通流の多地点同時観測を実施し、その観測・解析機器としての実用性を検討するとともに、得られたデータにもとづいて旅行時間分布、旅行速度分布について研究したものである。

2. ビデオレコーダによる交通流観測

(1) 交通流観測機器が具備すべき要件と従来の観測機器の得失

交通流観測機器が具備すべき要件として次のことが挙げられる。すなわち、

- (1) 現象の正確な記録が可能である、
- (2) 記録し得る情報内容が多いこと、
- (3) 解析が簡単で高精度のデータが得られること、
- (4) 取り扱いが容易であること、
- (5) 観測場所の選定が自由に行えること、
- (6) 費用が安いこと。

先に示した観測方法の内、航空写真による方法は、上記(1)、(2)、(5)を満足し、また、精度の良いデータが得られる点で(3)を満たす。しかしながら、飛行高度、撮影角度の補正が必要であること、あるいは、写真上の車の像が小さくなり易いことなどから、航空写真データの解析は簡単でない。また、飛行機、ヘリコプター、飛行船の使用には制約が大きい。さらに、写真撮影装置、解析装置が高価であること、フィルム購入、現像費用も高く、現像に長時間を要するため観測の成否の確認が現場でできないなどのことから(4)、(6)の要件を満たすとはいえない。

イベントオシログラフを用いる方法は、(1)、(3)、(4)、(6)を概ね満足し得るものであるが、交通変数を選択的に記録するものであるため映像記録を行う場合と比較して情報量が少ない。観測可能区間が短いため、交差点、ボトルネック近傍での車の加減速運動など短区間での交通流観測には適しているが、旅行時間、旅行速度など長い道路区間での交通現象観測には不向きである。また、道路上に検出装置を設置する場合には、設置位置が限られること、

検出装置の設置が交通流に影響を及ぼし易いなどの問題がある。

車のナンバープレートの文字を記録する方法は、旅行時間推定に有効な方法であるが、調査員が目視によってナンバープレートを読み取る場所から、速度の高い交通流の観測は困難であり、また観測精度も良いとはいえない。なお、ビデオ画像から自動的にナンバープレートの文字認識を行おうとする研究⁹⁾も進められているが、まだ実用の域に達していない。

(2) ビデオレコーダによる観測の得失

ビデオレコーダは、近年急速に技術革新が進んだ映像記録解析装置であり、その交通観測器材としてみたときの利点は次のようなものである。すなわち、

- (1) 長時間連続観測が可能である、
- (2) 記録画像がその場で確認できる、
- (3) 運搬が容易で任意地点に設置できる、
- (4) 撮影、解析装置が比較的安価である、
- (5) 記録テープは再利用が可能である。

これらの利点の内(1)、(2)は、交通現象の正確な観測と再現性に関するものである。(3)は、観測の容易さ、(4)、(5)は、経済性からみた利点である。

一方、現在のビデオ機器の短所として次のようなことが挙げられる。

- (1) バッテリーの容量が小さく、一般電源が得られない場合には最長1時間程度の連続記録しか撮れない。
- (2) 画像の解像度において写真に及ばず被写体が小さい場合問題となる。
- (3) 1/2 インチテープの解析では安定した静止画像を得ることが難しい。また、解析において頻繁にテープの走行、停止を繰り返すため再生デッキ内でのテープのもつれ、あるいはテープの破損を生じることがある。
- (4) テレビ画面を長時間注視しなければならないため、解析者の疲労が大きい。

これらの短所の内、(1)については、ポータブル発電機を利用することにより補うことが出来るが、より長時間観測可能な、容量の大きい電池の開発が望まれる。(2)に関しては、路側観測のように比較的大きな被写体が得られる場合には現在の解像力でそれほど問題は生じないが、航空機から観測撮影を行うような場合には問題となろう。(3)については、3/4 インチテープを用いれば良好な静止画像を得ることができる(観測には 1/2 インチテープを用い、解析時にこれを 3/4 インチテープにダビングして使用するとよい)。テープトラブルの防止についてはより安定した機器の開発が待たれる。一方、(3)、(4)については、ビデオ画像の自動解析装置の開発が進められつつあるところから、近い将来人手を煩わすことなくデータ解析を行うことが可能となると考えられる。

以上のように、交通観測、解析機器としてのビデオレコーダは、解決されるべき問題点を残しているものの、現在利用可能な観測機器の中で最も有力なものの一つであり、また、将来性のある器材であるといえる。

3. 旅行速度分布モデルと旅行時間分布モデル

(1) 旅行速度分布モデル

速度は常に正の値を取ること、旅行時間分布との関係づけが可能であることなどを考慮して、本研究では、区間速度分布の確率密度関数として次の対数正規分布を仮定する。

$$S(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \zeta_u u} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(u) - \lambda_u}{\zeta_u} \right)^2 \right\} \quad (1)$$

ここに、 λ_u 、 ζ_u は対数正規分布のパラメータである。

式(1)のパラメータと旅行速度分布の平均 m_u 、分散 s_u^2 との間には

$$\lambda_u = \ln \left(\frac{m_u^2}{\sqrt{m_u^2 + s_u^2}} \right) \quad (2)$$

$$\zeta_u = \sqrt{\ln \left(1 + \frac{s_u^2}{m_u^2} \right)} \quad (3)$$

の関係がある。したがって、旅行速度の観測データから m_u 、 s_u^2 を求めればこれらのパラメータが直ちに計算できる。

(2) 旅行時間分布モデル

車がある区間を走行するに要する旅行時間 t は、その区間長 D と速度 u の商として次式で与えられる。

$$t = \frac{D}{u} \quad (4)$$

旅行速度 u の分布として式(1)を仮定するならば、旅行時間 t の分布は変数変換により次式で求められる。

$$T(t) = S\left(\frac{D}{u}\right) \left| \frac{d}{dt} \left(\frac{D}{u} \right) \right| \quad (5)$$

式(5)に式(1)を適用し演算整理すれば、結局次式が得られる。

$$T(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \zeta_t t} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t) - \lambda_t}{\zeta_t} \right)^2 \right\} \quad (6)$$

ここに、

$$\lambda_t = \ln(D) - \lambda_u \quad (7)$$

$$\zeta_t = \zeta_u \quad (8)$$

すなわち、速度分布として対数正規分布を仮定するとき、旅行時間の分布もまた対数正規分布となる。ところで、式(7)中の D は任意の定数であり、これを単位距離 1 としても一般性は失われない。この

とき、 $\lambda_t = -\lambda_u$ となり、したがって単位距離に対する旅行時間分布は、

$$T(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \zeta_u t} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t) + \lambda_u}{\zeta_u} \right)^2 \right\} \quad (9)$$

で与えられる。

以上のことから、旅行時間分布の平均、分散を知れば、旅行時間分布が直ちに求められる。

(3) 周辺交通量

旅行速度、旅行時間の分布が定式化されたので、交通状態に応じてこれらがどのように変化するかを考察するにあたっては、交通状態をいかなる物理量を指標として表現するかが問題となる。

一般に、交通流の混雑状態を表わす指標として交通密度、オキュパンシー、交通量などが用いられる。これらのうち、交通密度、オキュパンシーの測定は簡単でなく、一方、交通量は簡単に計測できるが、これは地点で指標であり交通流の空間的挙動を表現する場合にはそのまま用いることはできない。

そこで本研究では、交通混雑の指標として、周辺交通量とよぶ新たな概念を定義し、導入する。

ある道路区間を考え、流入点を地点1、流出点を地点2とし、これらの地点を通過する車に到着順にそれぞれ 1, 2, 3, ..., i, ..., n と番号を付す。ここで、地点1、2における i, i+1 番目の車の車頭時間をそれぞれ $t_{i,1}$ 、 $t_{i+1,1}$ および $t_{i,2}$ 、 $t_{i+1,2}$ とするとき、それぞれの地点での車 i に関する周辺交通量 $q_{i,1}$ 、 $q_{i,2}$ を次式で定義し、

$$q_{i,1} = \frac{1}{(t_{i,1} + t_{i+1,1})/2} \quad (10)$$

$$q_{i,2} = \frac{1}{(t_{i,2} + t_{i+1,2})/2} \quad (11)$$

さらに、地点1から2の区間を走行する車 i に対

する周辺交通量を次のように定義する。

$$q_i = \frac{q_{i,1} + q_{i,2}}{2} \quad (12)$$

定義から明らかなように、ここでの周辺交通量とは、1 台の車がある区間を走行するとき、その車が置かれている平均的な交通混雑状況を前後の車との車頭時間により表わしたものである。したがって、区間を通過した全ての車に対する周辺交通量は次式で与えられる。

$$q = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} q_i}{n-1} \quad (13)$$

(4) 旅行速度分布と周辺交通量との関係

周辺交通量と旅行速度の平均、分散との間に次の線形関係を仮定する。

$$m_u = \alpha_m + \beta_m q \quad (14)$$

$$s_u = \alpha_s + \beta_s q \quad (15)$$

式(14)、(15)を式(2)(3)に代入し整理すると、旅行速度分布モデルのパラメータは、q の関数として

$$\begin{aligned} \lambda_u &= \lambda_u(q) \\ &= \ln \left\{ \frac{(\alpha_m + \beta_m q)^2}{\sqrt{(\alpha_m + \beta_m q)^2 + (\alpha_s + \beta_s q)^2}} \right\} \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \zeta_u &= \zeta_u(q) \\ &= \sqrt{\ln \left\{ \frac{(\alpha_m + \beta_m q)^2 + (\alpha_s + \beta_s q)^2}{(\alpha_m + \beta_m q)^2} \right\}} \end{aligned} \quad (17)$$

で与えられる。したがって、これらの回帰定数が定まれば、式(1)の旅行速度分布は周辺交通量を与えるのみで求めることができる。旅行時間分布もまたその誘導過程から明らかのように、 q の関数として計算可能である。

4. 実測データによるモデルの検証と考察

(1) 観測区間の概要

必要なデータを得るために、1984年9月11日に国道9号線山口市宮野、仁保入口交差点、木戸山トンネル山口市側入口の3地点で、交通流の同時観測を実施するとともに、1984年12月12日に阿東町篠目で地点観測を行った。観測区間の概要は図1に示すとおりである。

各観測地点、区間の特徴を述べれば、宮野は周辺が住宅地であり、観測地点上流側約100mの地点に交通信号機が設置されている。仁保入り口交差点は、市街地と効外の境界に位置する三叉交差点で、登坂区間の始点である。木戸山トンネルは、登坂区間の終点であり、国道262号線の分岐点である。篠目は、周囲が農耕地の平坦な効外道路区間である。宮野～仁保入り口区間は、平坦な道路区間であり、仁保入り口～木戸山トンネル区間は、曲線部の多い登坂区間である。なお、仁保入り口と木戸山トンネル間の標高差は約250m、平均勾配、最急勾配はそれぞれ約4%、6%である。

(2) 観測および解析方法

観測は、各調査地点でビデオにより車の流れを撮影記録した。カメラは、宮野では歩道橋上に、また、木戸山トンネル、仁保入口交差点、篠目では道路から約100～150mの見通しの良い場所に据え付けた。なお、観測時には試験車を走行させ各観測地点の通過時刻を記録するとともに、適当な間隔で共通の時計により時刻をビデオに音声記録した。

観測の結果得られたテープ(1/2インチ)を1次テープとして、これより1/10秒表示のデジタル時計をダビングした解析用テープ(3/4インチ)を作成した。解析画像から、各車の各観測地点の通過時刻、車種を読み取った。こうしてえられた時間データにもとづいて、各地点での車頭時間、交通量、

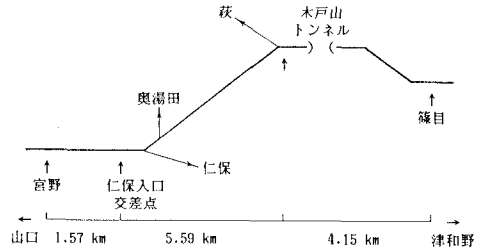


図1 観測区間の概要 (↑:カメラ設置位置)

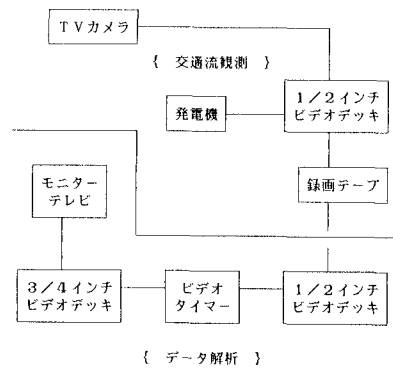


図2 交通観測・データ解析装置

表1 観測データの概要

No.	観測年月日 時間	観測区間	区間長 (Km)	解析台数* (台)	通過台数** (台)
1	1984. 9.11 15:00～16:04	宮野→仁保 入口	1.57	145	529 397
2	1984. 9.11 15:00～16:04	宮野→仁保 入口	1.57	341	529 397
3	1984. 9.11 15:02～16:08	仁保→木戸山 入口	5.50	145	397 225
4	1984. 9.11 15:00～16:04	篠目 津和野→山口	0.075	230	230 230
5	1984. 9.11 15:00～16:04	篠目 山口→津和野	0.075	259	259 259

* : No.1 は No.3 に対応する車に関するデータ。

** : 上段は流入数、下段は流出点での通過台数。

表2 対数正規旅行速度分布モデルのK-S適合度検定結果

No.	データ 数	理論値とデータ値との 最大差	採択限界値 (有意水準 10%)	判定
1	145	0.038	0.101	採 択
2	341	0.031	0.066	採 択
3	145	0.039	0.101	採 択
4	330	0.059	0.067	採 択
5	259	0.045	0.075	採 択

各観測地点間での旅行速度、旅行時間を算出した。

観測データの概要を表1に示す。なお、各地点で観測された車の中には、途中横道にそれたり、ドライブイン等に立ち寄るものもあり、観測区間の流入点と流出点での観測台数は必ずしも一致しない。このため、表1には、流入点と流出点における通過台数を併記している。また、各地点で共通して観測された車の台数を解析台数として示している。宮野、仁保入口、木戸山の3地点全てで観測された台数は145台であった。

(3) モデルの検証と考察

まず、式(1)で仮定した旅行速度の理論分布の適合を検討する。旅行速度分布の実測データから求められた m_u 、 s_u^2 の値、これらを用いて計算した分布パラメータ値、理論分布の実測データに対する適合度検定結果を表2に示す。モデルは、いずれのデータに対しても有意水準10%で採択されている。このことから、旅行速度分布の理論分布として対数正規分布を用いることに問題はないといえる。

周辺交通量と旅行速度および旅行速度の標準偏差との関係をプロットしたのが図2である。なお、旅行速度の標準偏差は、周辺交通量1台/分ごとに整理された速度データに対して計算されたものである。これらの図から、周辺交通量の増加にともない旅行速度ならびにその標準偏差がわずかに減少することが見て取れる。図中の実線はこれらのデータに対して求められた回帰直線である。これらの回帰定数を表3に示す。図より式(14)、(15)の仮定が妥当なものであると判断できる。

これらの諸定数を用いて算出された旅行速度分布、旅行時間分布のパラメータを用いて計算された理論分布とデータとの比較を、それぞれ図3、4に示す。モデルの適合度検定結果は表4に示すとおりである。図よりモデルが実測データとよく適合していることが見て取れる。適合度検定結果からみても、モデルは、区間速度、旅行時間分布のいずれに対しても20%の有意水準で採択されており、現実の交通流を良好に表現していることがわかる。したがって、周辺交通量を与えるのみで、任意の交通状況下の旅行速度、旅行時間分布が求められる。

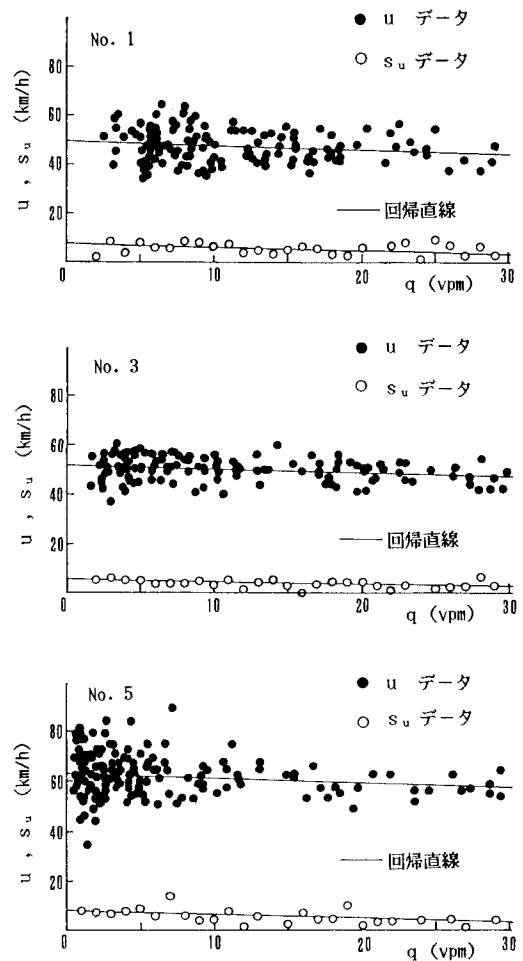


図3 旅行速度と周辺交通量との関係

表3 回帰定数 α_m 、 β_m 、 α_s 、 β_s

No.	α_m (km/h)	β_m (km/h・vpm)	α_s (km/h)	β_s (km/h・vpm)
1	49.3	-0.168	7.61	-0.132
2	47.5	-0.035	6.33	-0.006
3	51.7	-0.147	5.27	-0.075
4	66.9	-0.269	9.35	-0.256
5	63.1	-0.193	8.16	-0.155

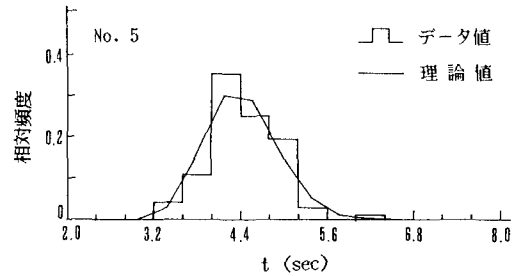
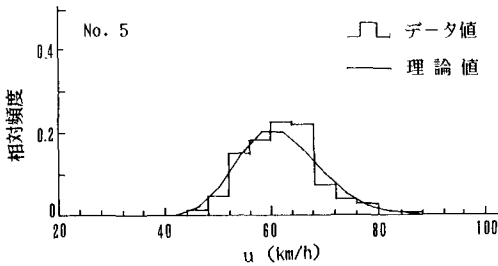
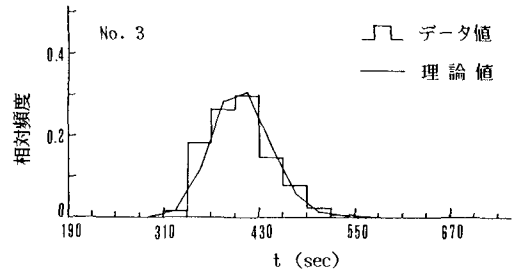
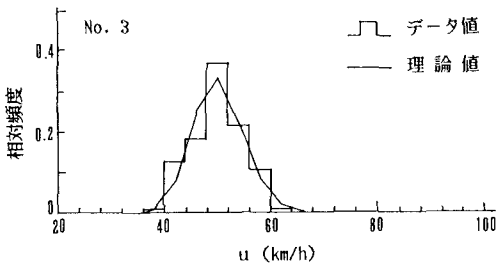
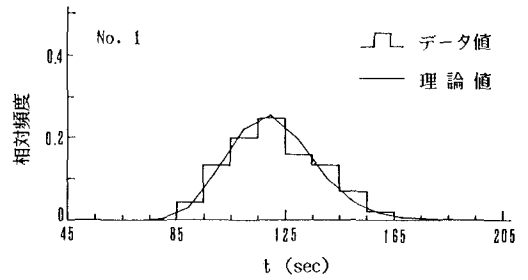
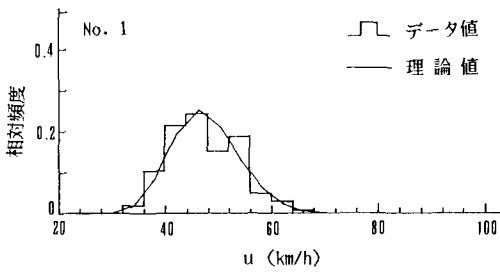


図4 旅行速度分布モデルのあてはめ

図5 旅行時間分布モデルのあてはめ

表4 旅行速度分布モデル、旅行時間分布モデルのK-S適合度検定結果（有意水準 10 %）

No.	データ数	周辺交通量 q vpm	旅 行 速 度				旅 行 時 間				採択限界値	理論値とデータ値との 最大差		判 定	
			m _u (km/h)		s _u (km/h)		m _t (sec)		s _t (sec)			旅行速度	旅行時間	旅行速度	旅行時間
			データ値	推定値	データ値	推定値	データ値	推定値	データ値	推定値					
1	145	11.27	47.5	47.4	6.43	6.12	121.2	121.2	16.5	15.6	0.101	0.051	0.038	採 択	採 択
2	341	16.31	46.9	46.9	6.37	6.43	122.9	122.6	17.6	16.8	0.066	0.027	0.032	採 択	採 択
3	145	12.35	50.0	49.9	4.67	4.35	406.0	407.0	39.2	35.5	0.101	0.048	0.052	採 択	採 択
4	330	14.32	63.5	63.0	7.97	5.68	4.3	4.3	0.5	0.4	0.672	0.053	0.054	採 択	採 択
5	250	8.79	61.5	61.4	7.67	6.80	4.5	4.4	0.6	0.5	0.076	0.042	0.026	採 択	採 択

本研究の対象とした道路区間での旅行速度は、篠目が最も高く 60 km/h 以上であり、宮野～仁保入口間、仁保入口～木戸山トンネル間の約 50 km/h と 10 km/h 以上の差がある。これは、篠目が効外の田園地帯に位置していることからうなずける結果である。また、仁保入口～木戸山トンネル間の平均速度は、長い登坂区間であるにもかかわらず宮野～仁保入口間のそれより約 3 km/h 高くなっている。これは、宮野～仁保入口間が市街地の信号区間に位置していること、大型トラックの走行性能が向上し登坂区間でもそれほど大きな速度低下を生じないことに起因すると考えられる。

旅行速度のばらつきについてみれば、篠目、宮野～仁保入口間での値に大差ない。仁保入口～木戸山トンネル間での旅行速度のばらつきは、他の 2 地点と比較してかなり小さい値を示しているが、これは、この区間で大きな車群が形成されることに起因するものである。なお、この区間での車群形成が交通流に及ぼす影響については現在解析中であるが、大型トラックよりむしろ軽自動車と車群先頭車となる場合が多く観察されている。

5. おわりに

本研究の結果、明らかになった事項を要約すると以下のとおりである。

- (1) 旅行速度分布の理論分布として、対数正規分布が良好な表現を与えることが明らかになった。
- (2) 交通の混雑度を表わす新たな指標として、周辺交通量を定義した。これと旅行速度分布の平均、標準偏差との関係を求めたところ、いずれも線形関係を仮定し得ることが明らかになった。
- (3) (2) の結果にもとづいて、旅行速度分布は周辺交通量を与えるのみで直ちに計算可能となり、モデルが実交通流を良好に表現することが確認できた。
- (4) 旅行速度分布として対数正規分布を仮定するとき、旅行時間分布も対数正規分布となり、そのパラメータは、旅行速度分布のパラメー

タの関数として与えられる。このため、旅行時間分布もまた周辺交通量を与えるのみで計算できる。実測データとモデル計算値との比較の結果、モデルが良好な表現を与えることが確認された。

本研究を進めるにあたり、荒瀬美和氏（当時山口大学学生、現建設省）には、データ整理、計算に多大な援助をいただいた。また、研究に必要な費用の一部に、昭和58年度トヨタ財団研究助成金、ならびに昭和59年度文部省科学研究費奨励研究(A) の援助を受けた。ここに記して、謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) Treiterer, J. and J.A. Myers : The hysteresis phenomenon in traffic flow, Proc. of the 6th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, pp.13-38, 1974
- 2) 萩原・山上・加来 : ヘリコプターによる航空写真を利用した幹線街路における交通流現象の解析について, 第40回土木学会年講講演概要集IV, pp.447-448, 1985
- 3) 栗本・萩野・野田 : 交通流観測機器としての係留飛行船の開発, 交通工学, Vol.16, No.4, pp.3-9, 1981
- 4) 板倉・加来・堀江 : 勾配部における交通現象とモデル化に関する一考察, 交通工学, Vol.6, No.1, pp.20-26, 1976
- 5) 重田・大山・松本 : 旅行時間計測のための交通情報収集・処理システム, 機械技術研究所所報, Vol.30, No.5, pp.53-60, 1976
- 6) 大山・重田・松本 : 実交通流における旅行時間の推定について, 機械技術研究所所報, Vol.34, No.5, pp.26-41, 1980
- 7) 小金平 雄三 : 首都高速道路の車両感知器による交通量、速度、密度相関に関する一考察, 交通工学, Vol.11, No.2, pp.15-24, 1976
- 8) 辻・鈴木・川島 : ナンバープレートの文字認識, 第40回土木学会年講講演概要集IV, pp.447-448, 1985