

車群交通流モデルによる高速道路単路部ボトルネック確率的交通容量推定手法の構築*

Platoon-based Traffic Flow Model to Estimate Stochastic Traffic Capacity on Freeway Bottlenecks*

塩見 康博**・吉井 稔雄**・北村 隆一***

By Yasuhiro SHIOMI**・Toshio YOSHII**・Ryuichi KITAMURA***

1. はじめに

1.1 研究の背景と目的

交通流は多様な走行特性を持つ車両の集合であり、表出する交通現象は確率的な性質を持つ。特に、交通渋滞の発生については、従来、ボトルネックとなる道路断面の交通容量を上回る流入交通需要が生じたときに渋滞が発生するとされてきたが、実現象では渋滞発生時の交通量は、可能交通容量よりも低く大きくばらつくことが明らかとなっている。

本研究では、交通流の多様性は各車両の希望走行速度の差異、すなわち希望走行速度分布によって表現されるとの視座に立ち、その結果として形成される車群の影響で交通状況が確率的性質を帯びると考える。また、その思想に基づいた交通流モデルを「車群交通流モデル」と呼ぶ。このように交通流を車群単位で扱うことにより、マクロ交通流モデルでは表現できなかった交通現象の多様性を考慮しつつ、現象を簡略化することでミクロ交通流モデルにおけるパラメータ依存の問題点を克服することを狙う。本稿では、車群交通流モデルにより、高速道路単路部ボトルネックにおける渋滞発生時交通量が確率的に変動する現象を説明し、確率的交通容量 (Stochastic Traffic Capacity) を推定する手法を構築する。

1.2 既往研究のレビューと本研究の位置づけ

渋滞現象を流入交通量に対して生起する確率現象と位置づけた研究として、Lorenz *et al.*¹⁾、岡村ら²⁾、Brlon *et al.*³⁾、Xingら⁴⁾、Bernard *et al.*⁵⁾などが挙げられる。これらの研究は実観測データに基づき、経験的に流入交通量と渋滞現象との確率的な関係を分析したものである。一方、渋滞を発生させる特定の交通流状態が流入交通量に対して確率的に生起することで、渋滞発生時交通量がばらつきを持つことを説明した研究としてKuhne *et al.*⁶⁾が挙げられる。しかしながら、必ずしも特定の状況でTraffic Breakdownが発生する訳ではなく、当該状況下でのT

raffic Breakdownの発生は確率事象であると考えられる。

そこで本研究では、ボトルネックへ流入する車群が確率的に形成されることに加え、形成された車群によっても、その車群から渋滞が発生するかどうか確率的に決定されると考える。その上で、まず、実交通流データに基づいて車群中を走行する車両の挙動特性を把握する。続いてその知見に基づき、車群がボトルネックを走行中にTraffic Breakdownが発生し渋滞流へと転移する現象を確率事象としてモデル化し、確率的交通容量を推定する手法を構築する。

1.3 用語の定義

本研究では、従来の交通工学上の定義を踏襲し、「交通容量」を「実際の道路及び交通条件のもとで、ある一定の時間中に1方向の車線のある地点を通過しうる車両の最大数⁷⁾」と定義する。それに対し、「渋滞発生確率 (Traffic Breakdown Probability)」は「ある交通需要パターンが与えられた元で、ある限られた時間内にTraffic Breakdownが発生し、交通流が自由流から渋滞流へ転移する確率」と定義し、「確率的交通容量 (Stochastic Traffic Capacity)」については、「無限時間にわたって一定の流入交通流率が与えられた状況下での、単位時間当りの渋滞発生確率の期待値と流入交通流率の関係」とし、厳密に区別して用いる。

2. 走行速度相関に基づく車群判定手法

車群は一般に、” A group of vehicles traveling together as a group, either voluntarily or involuntarily because of signal control, geometrics, or other factors” と定義される交通現象である⁸⁾。高速道路単路部ボトルネックでの渋滞現象解析を行うに当たり、本研究では車群を「自由走行する先頭車両と、それに続く追従走行車両によって構成される車両の連なり」と定義する。以下では、自由走行車両と追従走行車両の判定基準について実データを踏まえて検討する。

2.1 自由走行車両と追従走行車両の判定手法

連続する2車両間の車頭時間が十分に小さい場合、ほぼすべての車両は前方車両に対して追従走行状態にあると考えられる。その場合、連続する2車両間の相対速度は小さく、2車両の走行速度には強い相関が生じると考

* キーワード：渋滞発生確率、確率的交通容量、交通流、車群、

** 正会員、工博、京都大学大学院工学研究科

(京都市西京区京都大学桂C-1-2-434,

TEL 075-383-3235, FAX 075-383-3236)

*** 正会員、PhD、前京都大学大学院工学研究科

えられる。車頭時間が大きくなると追従状態にある車両の割合は減少する一方、前方車両を視認して自由走行から追従走行へと遷移するため、減速状態にある車両の割合が増加する。その結果、観測される相対速度の分散も大きくなり連続する車両の走行速度相関も低くなる。さらに車頭時間が大きくなると、ほぼすべての車両が前方車両に拘束されることなく走行し、その走行速度は前方車両速度とはほぼ独立に決定される状態になる。すなわち、連続する車両の走行速度相関はほぼ0になると考えられる。

以上を勘案すると、車頭時間と連続2車両の走行速度相関、及びある走行状態にある車両の構成比率の間には図1に示すような模式的な関係が存在すると言える。このとき、ある1つの車頭時間閾値によって自由走行、追従走行を判別することを考えると、図1中点Cに対応する車頭時間を閾値とすることで、追従走行車両を自由走行と誤判断する確率を最小化できると考えられる。そこで、以下では点Cに対応する車頭時間未満で走行する車両を追従走行状態、それ以外の車両を自由走行状態と判別する。

2.2 実観測データに基づく車頭時間-走行速度相関関係

上述の推論を確認するため、実観測データに基づき、車頭時間毎に連続する2車両の走行速度相関係数を算出し、その関係を求める。

本研究では、高速道路片側1車線区間として、2004年7月18日(日) 13:00-19:00、及び19日(月、祝) 13:00-17

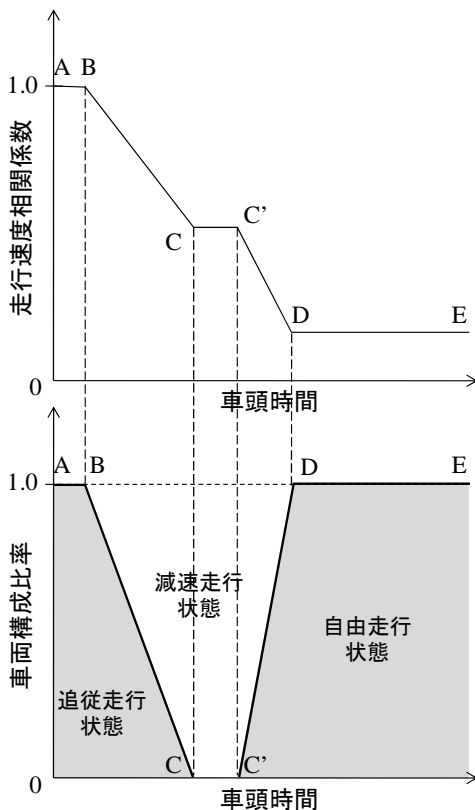
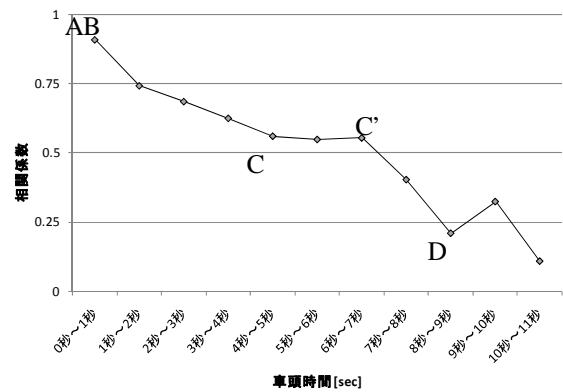


図1 車頭時間と速度相関・車両構成比率の模式的関係

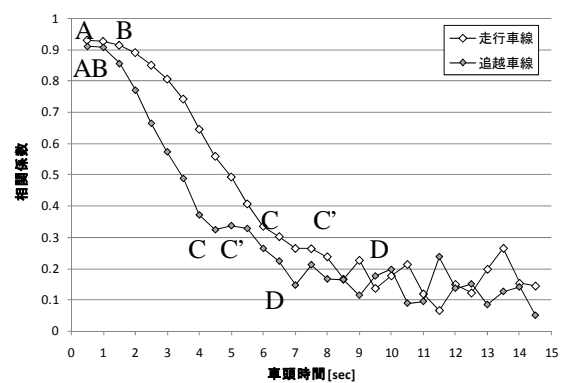
:00の晴天、自由流時を対象に、東海北陸自動車道上り線72.6kp地点(2.1kmの片側1車線区間終端地点)において、ビデオカメラを用いた定点観測で取得されたデータを用いる。ここで、自由流状態、渋滞流状態の判別方法については、山岡ら⁹⁾による簡易な渋滞判別基準を採用し、走行速度40km/h未満の車両が2台連続で観測された時点を渋滞の発生とし、それまでの交通状況を自由流状態と判別した。また、高速道路片側2車線区間として、1994年12月26日~1995年1月9日、1995年4月22日~5月7日、1995年8月9日~8月22日の計46日間の晴天時、昼間時間帯、自由流時を対象に東北自動車道下り線93.2kp地点(93.8kp~94.4kpにかけて存在するサグの直上流地点)における、ループ式車両感知器による交通流パルスデータを用いる。

片側1車線区間に関しては観測数の都合上、車頭時間の水準を1秒間隔で、片側2車線区間では0.5秒間隔で設け、各車頭時間水準毎に連続する2車両の走行速度の相関係数を算出した。その結果を図2に示す。

これより、車線数を問わず車頭時間-走行速度相関は、近似的に図1上図に示したPiece-wise linearの関係にあることが読み取れる。そこで本研究では、図2中、点Cに相当する車頭時間を自由走行/追従走行の閾値とする。具体的には、片側1車線区間に関しては、車頭時間4秒未満、片側2車線区間の走行車線では車頭時間5.5秒未満、そして追越車線では4.0秒未満の車両を追従走行車



(a) 高速道路片側1車線区間



(b) 高速道路片側2車線区間

図2 実観測データに基づく車頭時間-走行速度相関関係

両、それ以上の車両を自由走行車両と定義する。

3. ボトルネック通過時の車両走行特性の把握

3.1 車群中車両の走行速度遷移傾向

高速道路単路部ボトルネックの渋滞発生要因として、越⁹⁾は車群がボトルネック通過時に生じる減速波が増幅伝播し、渋滞流に至ることを指摘している。一方で、必ずしも大きな車群がきっかけとなって渋滞が発生している訳ではないことが、大口ら¹⁰⁾によって報告されている。このことについて上述の車群定義と関連づけて考察すると、以下の推論が得られる。すなわち、車群として車両がボトルネックを通過する際、連続する車両間の走行速度には相関関係が存在し、何らかの関連性を持ちながら、車群内で走行速度が確率的に遷移する。その中で、場合によっては走行速度が急速に低下し、自由流から渋滞流へと転移する。

ここで、実データより渋滞発生時の各車両の走行速度の遷移状況を確認するため、1995年8月19日の8:00～8:30にかけて上述の東北自動車道で観測された車両走行速度の遷移状況を図3に示す。ただし、高速道路片側2車線区間では車線利用率の偏りにより追越車線から渋滞が発生する傾向にあるため、以降ではすべて追越車線での交通現象に着目する。また、図中の赤破線は車群の通過状況を表し、一本の連続した赤線は車群としてまとまって観測断面を車両が通過している様子を示している。

図3より、同一の車群として観測断面を通過する車両であっても走行速度は大きく変動し、Traffic Breakdownの発生直前には強い減速傾向にあり、急速に速度が低下していることが読み取れる。

3.2 車群中車両の相対速度遷移傾向

車群中車両の走行速度が減速傾向にあるか、あるいは加速傾向にあるかは前方車両に対する後方車両の走行速度の大小、すなわち相対速度の正負に依存することとなる。そこで、相対速度を「相対速度 = 後方車両走行速度 - 前方車両走行速度」と定義し、車群内での相対速度の遷移傾向に着目する。

このとき、例えば、前方車両の走行速度が十分に高い場合は、後方車両の希望走行速度が前方車両の走行速

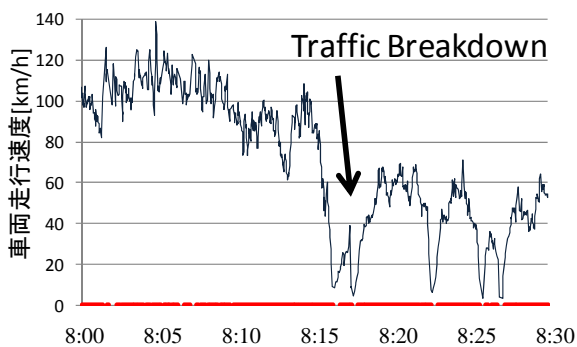
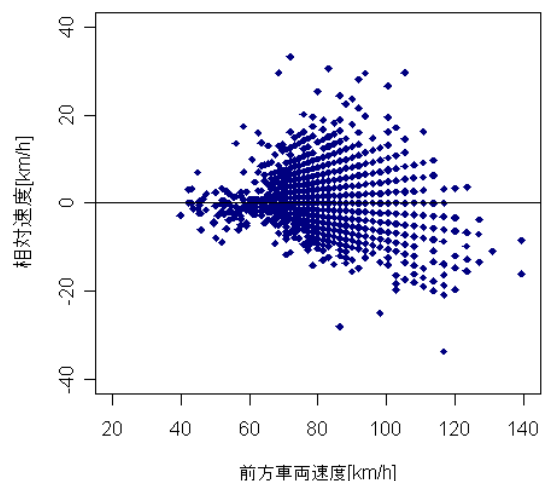


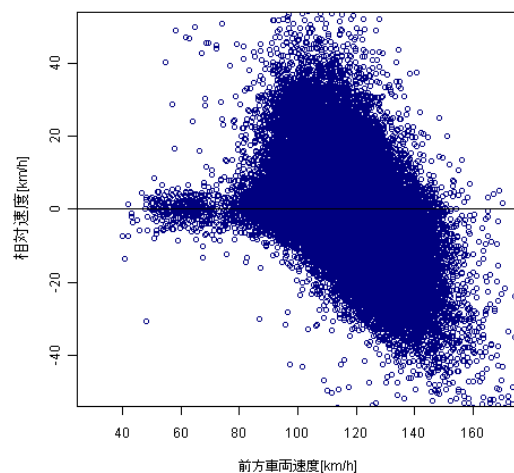
図3 渋滞発生時の走行速度遷移状況

度よりさらに高い確率は小さいため、観測される後方車両の走行速度は前方車両より低く負の相対速度が観測される傾向があると考えられる。その一方で、前方車両の走行速度が低いときは後方車両の希望走行速度が前方車両速度より高い確率が高く、正の相対速度が観測される傾向をもつことが考えられる。さらに、前方車両の走行速度が十分に低くなると、再び負の相対速度となる傾向が生じ、結果として走行速度が急速に低下、Traffic Breakdownへ至ると推察される。すなわち、観測される相対速度は前方車両速度に関連して確率的に決定されると予想される。

この傾向を確認するために、上述のデータを用い、車群として走行する車両に関して前方車両の走行速度と、その後方車両との相対速度の関係を分析した。その結果を図4に示す。また、前方車両走行速度を10[km/h]単位毎に分割し、相対速度の平均、分散を算出した結果を表1にまとめる。これより、上述の推論を支持する傾向にあること、すなわち、相対速度分布は前方車両の走行速度レベルによって異なることが示唆される。



(a) 高速道路片側1車線区間



(b) 高速道路片側2車線区間

図4 前方車両速度と相対速度の関係

表1 前方車両走行速度水準別の相対速度分布

(a) 高速道路片側1車線区間

走行速度水準	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110	110-
N	19	49	162	759	1,539	1,001	296	19
Mean [km/h]	-0.35	-0.32	1.49	1.05	0.23	-0.66	-1.83	-6.04
S.D. [km/h]	3.18	4.48	4.77	4.74	4.94	5.15	6.68	6.00

(b) 高速道路片側2車線区間

走行速度水準	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120	120-
N	19	117	168	150	912	4,673	15,134	20,837	17,951
Mean [km/h]	-3.51	1.41	2.98	2.12	2.58	2.97	2.24	0.26	-3.59
S.D. [km/h]	8.01	9.13	12.45	8.57	6.89	6.83	6.83	6.85	8.78

4. 確率的交通容量推定手法の構築

本章では、上述の分析結果に基づき、車群中車両の走行速度遷移過程をモデル化し、確率的交通容量推定手法を構築する。

4.1 交通流に関する仮定

3.2の分析により、車群中車両の相対速度は、前方を走行する車両の走行速度水準によって異なる分布を持つことが明らかとなった。本研究ではこの結果を踏まえ、交通流に関して以下の仮定を置く。

Assumption 1 :

車群内車両走行速度の遷移過程はマルコフ性を持つ

さらに、Traffic Breakdownの判定基準については、山岡ら⁹⁾を参考に、以下のように設定する。

Assumption 2 :

車群中の車両走行速度がある閾値 (40km/h) 以下となった時点でTraffic Breakdownが完遂し、渋滞流状態へ転移したと見なす

4.2 車群渋滞発生確率の算出法

上記の仮定の下、本項では先頭車両走行速度が v_{top} 、車群台数が k の車群がボトルネックを通過中に車両走行速度が低下し、Traffic Breakdownが発生する確率 $p_{bd}(v_{top}, k)$ について考える。

4.2.1 相対速度分布に基づく車群中車両走行速度分布

まず、車群渋滞発生確率の算出に当たり、車群中 i 番目車両の走行速度分布について考える。ここで、車群先頭車両速度が v_{top} のとき、車群中 i 番目車両走行速度 V_i は累積分布関数 $F_i(v_i|v_{top})$ に従うとする。さらに、車両 $i-1$ の走行速度 $V_{i-1} = v_{i-1}$ のとき、後続の車両 i の相対速度 R_i は確率密度関数 $g(r_i|V_F = v_{i-1})$ に従うとする。

最初に車群先頭車両速度が v_{top} のとき、車群中2台目車両の走行速度 V_2 が v_2 以下となる確率 $\Pr[V_2 \leq v_2 | V_1 = v_{top}] = F_2(v_2|v_{top})$ を考える。車群中 $i-1$ 番目車両、及び i 番目車両の走行速度 V_i 、 V_{i-1} と i 番目車両の相対速度 R_i の関係は、 $V_i = V_{i-1} + R_i$ と書けることより、 $V_2 \leq v_2$ が成立するためには、2台目車両の相対速度 R_2 が $R_2 \leq v_2 - v_{top}$ を満たす必要がある。すなわち、 $\Pr[V_2 \leq v_2 | V_1 = v_{top}]$ は式(1)のように表される。

$$\begin{aligned} \Pr[V_2 \leq v_2 | V_1 = v_{top}] &= \int_{-\infty}^{v_2 - v_{top}} g(r|V_F = v_{top}) dr \\ &= F_2(v_2|v_{top}) \end{aligned} \quad (1)$$

これを一般化すると、車群中 i 番目車両の走行速度分布関数 $F_i(v_i|v_{top})$ は、

$$F_i(v_i|v_{top}) = \int_{-\infty}^{\infty} \cdots \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{v-v_{i-1}} g(r_2|v_1) \cdot g(r_3|v_2) \cdots g(r_i|v_{i-1}) dr_2 dr_3 \cdots dr_i \quad (2)$$

ただし、

$$v_j = \begin{cases} v_{top} & \text{for } j=1 \\ v_{top} + \sum_{k=1}^{j-1} r_{k+1} & \text{for } j=2,3,\dots,i-1 \end{cases} \quad (3)$$

と表される。

ここで、車群内車両走行速度がある閾値 C_0 以下に減速した瞬間にTraffic Breakdownが完遂、それ以降では走行速度 C_0 以下の状態が継続され、渋滞流状態に転ずると定義する。このとき、車群先頭車両速度 v_{top} 、車群台数 k の車群がボトルネックを流出中にTraffic Breakdownが発生、渋滞流に転移する車群渋滞発生確率 $p_{bd}(v_{top}, k)$ は、

$$p_{bd}(v_{top}, k) = F_k(C_0 | v_{top}) \quad (4)$$

と書ける。

4.2.2 吸収マルコフ連鎖モデルへの近似

車群渋滞発生確率は式(4)により算出可能であるが、前方車両速度に対する具体的な相対速度分布形は明らかになっておらず、その推定は不可能である。そこで、事象を簡略化するため、車群内車両の走行速度を離散的に扱う。

走行速度を離散的に扱うために、走行速度水準 S_0, S_1, \dots, S_n を設ける。各走行速度水準の閾値となる速度をそれぞれ C_0, C_1, \dots, C_{n-1} とする。ただし、 $0 < C_0 < C_1 < \dots < C_{n-1}$ とする。その上で、各走行速度水準を以下のように定義する。

$$\begin{aligned} S_0 &= \{\omega | \omega \leq C_0\} \\ S_j &= \{\omega | C_{j-1} < \omega \leq C_j\} \quad \text{for } j=1, \dots, n-1 \\ S_n &= \{\omega | C_{n-1} < \omega\} \end{aligned} \quad (5)$$

このとき、先頭車両速度 v_{top} の車群中 i 番目車両の走行速度が走行速度水準 S_j に属する確率 $p_{S_j}^i (j=0, \dots, n-1)$ は i 番目車両走行速度分布関数 $F_i(v_i|v_{top})$ の関係で以下のように記述される。

$$\begin{aligned}
p_{S_0}^i(v_{top}) &= F_i(C_0|v_{top}) \\
p_{S_j}^i(v_{top}) &= F_i(C_j|v_{top}) - F_i(C_{j-1}|v_{top}), j=1, \dots, n-1 \quad (6) \\
p_{S_n}^i(v_{top}) &= 1 - F_i(C_{n-1}|v_{top})
\end{aligned}$$

次に、先頭車両速度 v_{top} の車群中 i 番目車両の走行速度水準が $S_l(l=0,1,\dots,n)$ という条件の下、直後方車両 $i+1$ の走行速度水準が $S_m(m=0,1,\dots,n)$ に遷移する確率を $p_{S_l S_m}$ と表すと、この遷移確率は i 番目車両走行速度の確率密度関数 $f_i(v_i)$ と相対速度分布の確率密度関数 $g(r_{i+1}|v_i)$ の関係で、

$$p_{S_l S_m} = \begin{cases} \frac{\int_{C_{l-1}}^{C_l} \int_{C_{m-1}}^{C_m} f_i(v_i) \cdot g(r_{i+1}|v_i) dr_{i+1} dv_i}{\int_{C_{l-1}}^{C_l} f_i(v_i) dv_i} & (l \neq 0) \\ 1 & (l=0, m=0) \\ 0 & (l=0, m \neq 0) \end{cases} \quad (7)$$

と表される。ただし、便宜上 $C_{-1}=0, C_n=\infty$ とする。

式(7)から、車群中車両の走行速度水準の遷移確率は前方車両走行速度水準のみに依存して決定されていることが分かる。これより、走行速度を離散的に扱った場合、車群内での車両走行速度の遷移過程は吸収マルコフ連鎖として扱えることとなる。すなわち、先頭車両走行速度 v_{top} の車群の車群中 i 台目車両走行速度分布ベクトル $\mathbf{p}(i|v_{top})$ は、走行速度遷移確率行列 \mathbf{P} と車群先頭車両速度分布ベクトル $\mathbf{p}(1|v_{top})$ を与えることで、

$$\mathbf{p}(i|v_{top}) = \mathbf{p}(1|v_{top})^T \cdot \mathbf{P}^{i-1} \quad (8)$$

により算出可能となる。ただし、 \mathbf{P} は式(9)で表される。

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} p_{S_0 S_0} & p_{S_0 S_1} & \cdots & p_{S_0 S_n} \\ p_{S_1 S_0} & p_{S_1 S_1} & \cdots & p_{S_1 S_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{S_n S_0} & p_{S_n S_1} & \cdots & p_{S_n S_n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ p_{S_1 S_0} & p_{S_1 S_1} & \cdots & p_{S_1 S_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{S_n S_0} & p_{S_n S_1} & \cdots & p_{S_n S_n} \end{pmatrix} \quad (9)$$

このとき、先頭車両走行速度が v_{top} から k 台で構成される車群がボトルネックを通過中に Traffic Breakdown が発生し渋滞流状態に転移する確率 $p_{bd}(v_{top}, k|Q)$ は、車群最後尾である k 台目車両の走行速度水準が S_0 である確率と等しく、式(10)として記述できる。

$$p_{bd}(v_{top}, k|Q) = \left\langle \mathbf{p}(1|v_{top})^T \cdot \mathbf{P}^{k-1} \cdot \mathbf{e}_1 \right\rangle \quad (10)$$

ただし、 \mathbf{e}_1 は単位ベクトル $(1,0,\dots,0)$ を表す。

以上より、実観測により車群内の走行速度遷移確率行列 \mathbf{P} を求めることで、車群渋滞発生確率が算出可能となる。

4.2 確率的交通容量の算出方法

先行研究¹²⁾の手法などにより、対象とするボトルネ

ックへ流入する車群に関して、流入交通流率 Q との関係で車群台数 i 、先頭車両速度分布 v_{top} の車群が形成される確率、すなわち車群形成確率 $\text{Prob}[v_{top}, i|Q]$ は導出可能であるとする。また、単位時間あたりに観測される総車群数 N は、

$$N = \frac{Q}{\sum_i i \cdot \left(\sum_{v_{top}} \text{Prob}[v_{top}, i|Q] \right)} \quad (11)$$

と表され、さらに、車群台数 i 、先頭車両速度分布 v_{top} の車群が観測地点を通過するのに要する時間 $t_{plt}(v_{top}, i)$ も既知であるとする。

1.3 で述べたように、本研究では確率的交通容量を「無限時間にわたって一定の流入交通流率が与えられた状況下での、単位時間当りの渋滞発生確率の期待値と流入交通流率の関係」と定義しているため、この定義に従い、確率的交通容量 $P_{cap}(Q)$ は式(12)として定式化される。

$$P_{cap}(Q) = \sum_i \sum_{v_{top}} \{ N \cdot \text{Prob}[v_{top}, i|Q] \cdot t_{plt}(v_{top}, i) \} \cdot p_{bd}(v_{top}, i|\mathbf{P}) \quad (12)$$

式(12)中、右辺第1項は単位時間あたりにある観測地点を車群 (v_{top}, i) が占める割合の期待値を表す。それに対して、車群 (v_{top}, i) の車群渋滞発生確率をかけることで、確率的交通容量が導出される。

先行研究では車群形成確率を希望走行速度分布の関係で推定する手法を構築している。その手法を援用すると、希望走行速度分布及び走行速度遷移確率行列 \mathbf{P} の関係で確率的交通容量を説明することが可能となる。

5. 確率的交通容量推定ケーススタディ

本章では、第4章で構築した確率的交通容量推定手法を用い、終端がボトルネックとなっている仮想的な高速道路片側1車線区間における確率的交通容量を算出する。

5.1 確率的交通容量推定の計算フロー

式(12)を計算するための具体的な計算フローを以下に示す。

- step 0 流入交通流率、片側1車線区間長、希望走行速度分布、走行速度遷移確率行列を所与とする。
- step 1 区間始点での車頭時間にアーラン分布を仮定し、各車両の車頭時間 h_i^{dep} を式(13)にて算出する。ただし、 K はアーラン分布の位相を表し ($K=2$)、 λ は流入交通流率 Q [veh/h] の関係で $\lambda=KQ/3600$ と表される係数を示す。

$$h_i^{dep} = -\sum_1^K \frac{1}{\lambda} \ln(1 - RND) \quad (13)$$

- step 2 所与の希望走行速度分布に基づき、各車両に希望走行速度をランダムに与える。

- step 3 先行研究¹²⁾の手法により各車両の区間流出時刻を算出する。さらに区間流出時刻に基づき、区間終端での車群形成状況（各車群の先頭車両速度、車群台数、総車群数）を求める。
- step 4 区間終端で形成された全車群に対し、車群渋滞発生確率を計算する。
- step 5 Step1～step4の所作をT時間分を行い、式(14)に従って、近似的に確率的交通容量を算出する。

$$P_{cap}(Q) = \frac{1}{T} \sum_{j=1} t_{pl}(v_{top}^j, k_j) \cdot p_{bd}(v_{top}^j, k_j) \quad (14)$$

5.2 ケーススタディの条件設定

確率的交通容量の推定に当たり、シミュレーション内では1,000時間に渡り車両を発生させる。希望走行速度分布は、 $(\eta, \mu) = (90.7, 0.097)$ のガンベル分布に従うとする。車群内車両の車頭時間は走行速度によらず全車両とも均一に2.0秒として与える。このとき、対象区間ボトルネックの交通容量は1,800[veh/h]になり、流入交通流率が1,800[veh/h]以上となる場合は、常に渋滞が発生する状況となる。また、走行速度遷移確率行列は図4(a)のデータに基づき、走行速度水準を $C_0=40$ [km/h]、 $C_1=50$ [km/h]、 \dots 、 $C_7=110$ [km/h]として、以下の行列Pを用いる。

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0476 & 0.8095 & 0.0952 & 0 & 0.0476 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1094 & 0.7813 & 0.0938 & 0.0156 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0054 & 0.0435 & 0.6467 & 0.2826 & 0.0163 & 0.0054 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0010 & 0.0714 & 0.6945 & 0.2231 & 0.0080 & 0.0020 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0006 & 0.0006 & 0.1585 & 0.6972 & 0.1300 & 0.0093 & 0.0037 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0026 & 0.2718 & 0.5910 & 0.1240 & 0.0105 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0465 & 0.2957 & 0.5615 & 0.0963 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0080 & 0.0560 & 0.3520 & 0.5840 & 0 \end{pmatrix}$$

5.3 確率的交通容量推定結果

上述のパラメータ設定の下、対象片側1車線区間長を2.5km、5.0km、10.0kmと設定し、流入交通流率を1,500[veh/h]から1,850[veh/h]まで変動させ、確率的交通容量を推定した。その結果を図5に示す。

これより、交通容量である1,800[veh/h]以下の交通流率を与えた場合、確率的交通容量曲線は流入交通流率に対して単調増加の関係にあることが読み取れる。また、

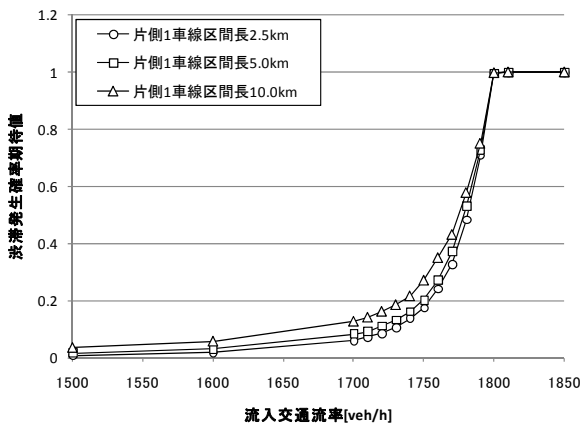


図5 片側1車線区間長と渋滞発生確率の関係

流入交通流率が1,800[veh/h]を越えると、渋滞発生確率の期待値も1となることが読み取れる。さらに、片側1車線区間長と渋滞発生確率期待値の関係に着目すると、片側1車線区間長が長いほど、流入交通流率に対する渋滞発生確率期待値が高くなっていることが読み取れる。これは、既往研究¹³⁾の報告内容を支持する結果である。

6. まとめと今後の課題

本稿では、希望走行速度分布に起因して、ボトルネックの車群形成状況が確率的変動を有することに加え、形成された車群によっても、その車群から渋滞が発生するか否かが確率的に規定されるとの考えに基づき、確率的交通容量を推定する新しい交通流モデルを提案した。

しかし、提案モデルは定点観測データに対応する形で構築されたものである。今後はより現実の状況に即し、時空間的な広がりや考慮して、交通状況の確率的特性を表現可能なモデルへと拡張する必要がある。

参考文献

- 1) Lorenz, M. and L. Elefteriadou: A probabilistic approach to defining freeway capacity and breakdown, The Proceedings of the 4th International Symposium on Highway Capacity, pp.84-95, 2000.
- 2) 岡村秀樹, 渡辺修治, 泉正之: 高速道路単路部の交通容量に関する調査研究(下), 高速道路と自動車, Vol.44, No.3, pp.30-40, 2001.
- 3) Brilon, W., G. Justin and M. Regler: Reliability of freeway traffic flow: A stochastic concept of capacity, The Proceedings of the 17th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, No.7, pp.125-143, 2005.
- 4) Xing J., 佐藤久長, 高橋秀喜, 吉川良一: 高速道路のボトルネック交通容量分布及び渋滞発生確率の推定, 第26回交通工学研究発表会論文報告集, pp.49-52, 2006.
- 5) Bernard, M. and K.W. Axhausen: A proposal for a new design load concept for highway infrastructures, TRB 85th Annual Meeting, 2006.
- 6) Kuhne, R., R. Mahnke and J. Hinkel: Understanding traffic breakdown: A stochastic approach, The Proceedings of Transportation and Traffic Theory 2007 (Edited by R.E. Allsop, M.G.H. Bell and B.G. Heydecker), pp.777-789, 2007.
- 7) (社)交通工学研究会編: 交通工学ハンドブック2005 (CD-ROM), (社)交通工学研究会, 2005.
- 8) National Research Council: Highway Capacity Manual 2000 (CD-ROM), Transportation Research Board Special Report 209, TRB, Washington D.C., 2000.
- 9) 山岡努, 片倉正彦, 大口敬, 鹿田成則: 車両感知器パルスデータによる渋滞検出方法に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No.23-1, pp.559-562, 2000.
- 10) 越正毅: 高速道路のボトルネック容量, 土木学会論文集, No.371/4-5, pp.1-7, 1986.
- 11) 大口敬, 片倉正彦, 鹿田成則: 高速道路単路部をボトルネックとする渋滞発生特性に関する実証的研究, 高速道路と自動車, 第44巻, 第12号, pp.27-34, 2001.
- 12) 塩見康博, 吉井稔雄, 北村隆一: 車群台数と走行速度の観測に基づいた希望走行速度分布推定手法, 第26回交通工学研究発表会論文報告集, pp.53-56, 2007.
- 13) 吉川良一, 塩見康博, 吉井稔雄, 北村隆一: 暫定2車線高速道路のボトルネック交通容量に関する研究, 交通工学43巻5号, pp.48-59, 2008.