

# 追従車の存在を考慮した自由走行速度分布の推定法\*

## An Estimation Model of Free Flow Speed Distribution Considering Car Bunching\*

中村美保子\*\*・喜多秀行\*\*\*

by Mihoko NAKAMURA\*\*・Hideyuki KITA\*\*\*

### 1. はじめに

自由走行速度とは他の交通の影響を全く受けない場合の速度のことであり、個々のドライバーが希望する速度をどの程度実現しているかは道路のサービス水準を評価する上で必要な情報の一つである<sup>1)</sup>。既存の自由走行速度分布の推定法<sup>2)</sup>は自由走行車の速度を観測して推定している。しかし、自由走行車は見方を変えれば前方を走行している車両に追いついていない車両であるため、相対的に低速な車両が多く、過小推定となっている可能性が高いと考えられる。そこで本研究では、追従の発生確率を考慮したモデルを構築し、観測した走行速度から自由走行速度分布を推定する方法を提案する。

### 2. 本推定法の基本的考え方

道路上を相前後して走行している車両が上流から下流に移動するにつれ、高速で走行していた車両が前方の低速で走行している車両に追いつくことで走行速度分布は変化する。

今、相前後して走行する  $n$  台の車列に自由走行速度が  $v_2$  の車両が  $i$  台存在しているとする。この車列が上流から下流に移動するにつれ、追従車両が増加し、速度別車両存在比率が変化する。対象区間に設けられた各観測点(A,B)まで走行する間に車列中の  $v_2(>v_1)$  の車両が前方を走行している

$v_1$  の車両に追いつくと速度  $v_2$  から  $v_1$  へと減速して追従する。区間で追従が発生し、 $v_2$  で走行する車両数が区間入口を通過後、観測点 A に到着するまでに  $i$  台から  $j$  台に変化する。図 - 4 はこの変化のプロセスを模式的に示したものである。

この変化の様子は自由走行速度分布に依存するため、一定の長さを有する道路上の 2 地点(上流・下流断面)観測した各車両間の走行速度と 2 地点間での速度変化のメカニズムから、自由走行速度分布を推定できるものとする。(図 - 1 参照)

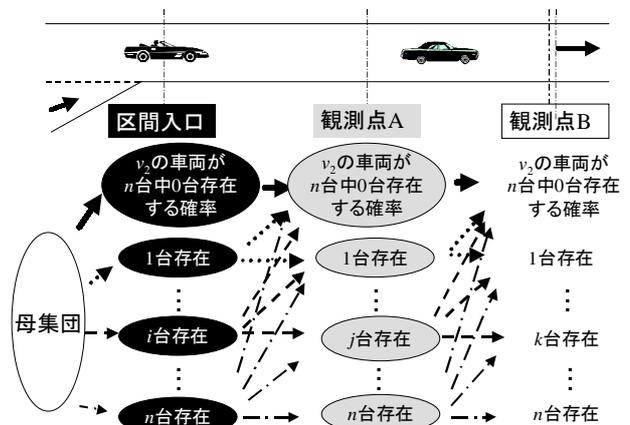


図-1 走行速度分布の変化

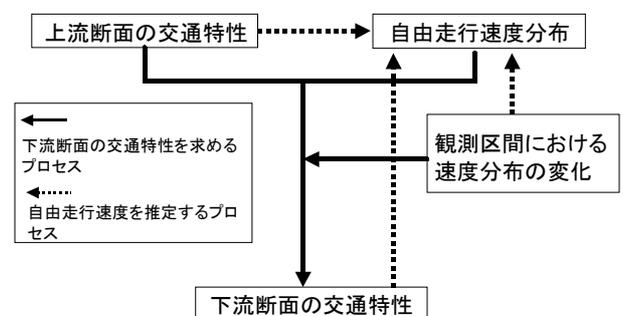


図-2 推定法の基本的な考え方

\*キーワード：交通流，自由走行速度分布

\*\*学生会員 鳥取大学大学院工学研究科社会開発システム工学専攻

(鳥取市湖山町南4丁目101番地，TEL0857-31-5333，FAX0857-31-0882)

\*\*\*正会員 工博 鳥取大学工学部社会開発システム工学科  
(鳥取市湖山町南4丁目101番地，TEL0857-31-5309，FAX0857-31-0882)

### 3. 推定モデル

#### (1) モデルの設定条件

モデル化にあたり，まず最も単純な状況を想定する．対象とする道路区間は追越し不可能である片側1車線の区間，区間入口とは，この地点以前は追越し可能な道路であり，各車両は自由走行している地点である．(図-3参照)

自由走行速度は2種類  $V=\{v_1, v_2\}$  ( $v_1 < v_2$ ) であり，自由走行速度が  $v_2$  である車両の構成比率を  $p$  とする．ドライバーは低速車に追従する場合のみ減速して走行すると考える(図-4参照)．

区間入口では各車頭時間間隔はシフトした指数分布

$$f(\tau_i) = \frac{1}{\bar{\tau} - \tau'} \exp\left(-\frac{\tau_i - \tau'}{\bar{\tau} - \tau'}\right) \quad (1)$$

に従うものとする<sup>3)</sup>．ただし， $\bar{\tau}$  は平均車頭時間， $\tau'$  は追従走行時の車頭時間を表している．

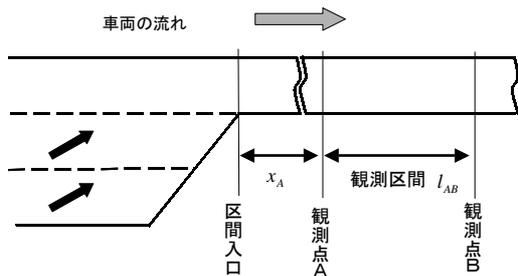


図-3 想定している道路

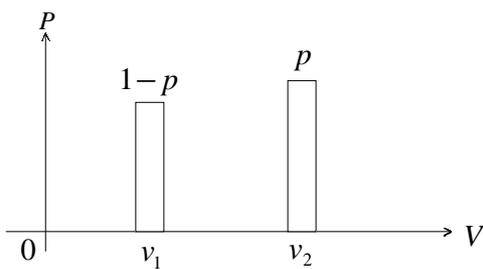


図-4 想定している自由走行速度分布

#### (2) 車両配列パターンの中で観測点Aで高速車の台数が $i$ 台から $j$ 台となっている確率

車両の配列パターンとは， $N$  台の車列における自由走行速度別に見た車両の並び方である．紙面の制約上，すべての配列パターンについて説明することができないため，以下では図-5に示す配列パターン  $m_o$  を例に説明する．

この配列パターン下で区間入口において後方の

3台が速度  $v_2$  であった( $i=3$ )のが，観測点Aに達した時点で速度  $v_2$  の車両が  $j$  台 ( $j=0,1,2,3$ ) となる場合について考える．この配列パターンでは，まず3台目の高速車が2台目の低速車に追いつき，次いで4台目の高速車が減速した3台目に追いつき，さらに5台目の高速車が減速した4台目に追いつくという順序で低速車が増加していく．何台目までの車両が減速するかは，区間入口における各車両の車頭時間間隔により規定される．

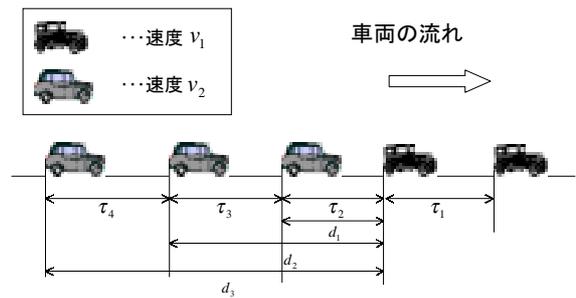


図-5 区間入口の車両配列パターン  $m_o$

まず，3台目の車両が地点Aまでには2台目の車両に追いつかず，1台も減速しない確率， $p_{m_o}(i=3, j=3)$  を求める． $n$  台目を走行している高速車( $n-3$ )が観測点Aに到着する瞬間に前方を走行している直近の低速車である2台目に追いつくような両車の間の車頭時間間隔  $d_{2,n}^*$  は，

$$d_{2,n}^* = \frac{t^*(v_2 - v_1)}{v_1} + (n-2)\tau' \quad (3)$$

ここに， $t^*$  ( $t^*=x_A/v_2$ ) は速度  $v_2$  で走行している車両が区間入口から観測点Aに到着するまでの走行時間である．これより，3台目が2台目に追いつかない確率，すなわち1台も減速しない確率， $p_{m_o}(i=3, j=3)$  は両車の車頭時間間隔が  $d_{2,3}^*$  より長い確率，

$$p_{m_o}(i=3, j=3) = \text{Pr ob}(\tau_2 > d_{2,3}^*) \quad (4)$$

として算定される．

また，3台目の高速車が2台目に追いついて減速する確率，すなわち1台のみが減速する確率， $p_{m_o}(i=3, j=2)$  は両車の車頭時間間隔が  $d_{2,3}^*$  より短く，かつ4台目と2台目の車頭時間間隔が  $d_{2,4}^*$  より長い確率，

$$p_{mo}(i=3, j=2) = \text{Prob}(\{\tau_2 < d_{2,3}^*\} \cap \{\tau_2 + \tau_3 > d_{2,4}^*\}) \quad (5)$$

であり，4台目の高速車が2台目に追いついて減速する確率， $p_{mo}(i=3, j=1)$ ，は両車の車頭時間間隔が $d_{2,4}^*$ より短く，かつ5台目と2台目の車頭時間間隔が $d_{2,5}^*$ より長い確率，

$$p_{mo}(i=3, j=1) = \text{Prob}(\{\tau_2 < d_{2,3}^*\} \cap \{\tau_2 + \tau_3 < d_{2,4}^*\} \cap \{\tau_2 + \tau_3 + \tau_4 > d_{2,5}^*\}) \quad (6)$$

となる．5台目の高速車が2台目に追いついて減速する確率， $prob_{mo}(i=3, j=0)$ ，は両車の車頭時間間隔が $d_{2,5}^*$ より短い確率であり，次式の通りである．

$$prob_{mo}(i=3, j=0) = \text{Prob}(\{\tau_2 < d_{2,3}^*\} \cap \{\tau_2 + \tau_3 < d_{2,4}^*\} \cap \{\tau_2 + \tau_3 + \tau_4 < d_{2,5}^*\}) \quad (7)$$

このようにして，任意の配列パターン $m \in M$  ( $M$ は配列パターンの集合)の下で，観測点Aに到着した時点で*i*台の高速車のうち*j*台が減速している確率， $p_m(i, j)$ ，を算定することができる．

(3) 観測点Aにおいて高速車の台数が*i*台から*j*台となっている確率

配列パターンによらず，区間入口から観測点Aまでに高速車の台数が*i*台から*j*台となる確率， $P_{OA}(i, j|p, x_A, v_1, v_2)$ は，配列パターン*m*の下で高速車の台数が*i*台から*j*台となる確率 $p_m(i, j)$ をすべての配列パターンに関して足し合わせたものである．したがって， $P_{OA}(i, j|p, x_A, v_1, v_2)$ は次式のようになる．

$$P_{OA}(i, j|p, x_A, v_1, v_2) = \sum_{m=1}^{C_i} p_m(i, j) \times \frac{1}{n C_i} \quad (8)$$

(8)式より観測点Aにおいて，*j*台が速度 $v_2$ で走行している確率は次式で示される．

$$P_A(j|p, x_A, v_1, v_2) = \sum_i P_O(i|p) \times P_{OA}(i, j|p, x_A, v_1, v_2) \quad (9)$$

(4) 観測点Bにおいて高速車の台数が*i*台から*k*台となっている確率

観測点Bにおいても観測点Aと同様に考える．観測点Aから観測点Bまでの距離を $l_{AB}$ とする．速度 $v_2$ で自由走行していた車両が観測点Bに到着した瞬間に*q*台前方を走行している直近の低速車

に追いつくような車両間の車頭時間間隔 $d_q^{**}$ は次式のとおりである．

$$d_q^{**} = \frac{(t^* + t^{**})(v_2 - v_1)}{v_1} + q\tau' \quad (10)$$

ここに， $t^{**} (= l_{AB} / v_2)$ は速度 $v_2$ の車両が観測区間ABを走行するのに要した時間である．

観測点Bに到着するまでに*i*台から*k*台に減少する確率 $P_{OB}(i, k|p, x_B, v_1, v_2)$ は区間入口における車頭時間間隔分布と観測点Bまでの距離 $x_B (= x_A + l_{AB})$ から次式のように与えられる．

$$P_{OB}(i, k|p, x_B, v_1, v_2) = \sum_{m=1}^{C_i} prob_m(i, k) \times \frac{1}{n C_i} \quad (11)$$

以上より観測点Bにおいて速度 $v_2$ で走行している車両が*k*台となる確率 $P_B(k|p, x_B, v_1, v_2)$ は次式で示される．

$$P_B(k|p, x_B, v_1, v_2) = \sum_i P_O(i|p) \times P_{OB}(i, k|p, x_B, v_1, v_2) \quad (12)$$

#### 4．自由走行速度分布の推定

観測点Aで*n*台の車列中に速度 $v_2$ の車両が*j*台存在するデータが $n_j^A$ サンプル，観測点Bで*n*台の車列中に速度 $v_2$ の車両が*k*台存在するデータが $n_k^B$ サンプル観測されたとする．ここでは最尤推定法を用いて，そのような観測結果が得られる確率を最大とする車両構成比率*p*として自由走行速度分布を求めることとする．ここに， $n_j^A = N_A$ ， $n_k^B = N_B$ ，であり， $N_A$ ， $N_B$ は観測点A，Bで観測した*n*台からなるサンプルの総数である．

(9)(12)式より尤度関数*L*，

$$L(p, x_A, v_1, v_2) = \prod_j P_A(j|p, x_A, v_1, v_2)^{n_j^A} \times \prod_k P_B(k|p, x_B, v_1, v_2)^{n_k^B} \quad (9)$$

を構成し，対数尤度最大となる*p*と $x_A$ を以下の式を解くことにより求める．

$$\frac{\partial \log L}{\partial p} = 0, \quad \frac{\partial \log L}{\partial x_A} = 0 \quad (10)$$

ここで， $x_A$ に関しても最大化を行うのは以下の理由による．モデルの構築に際しては区間入口が明示されているものとの前提を置いていたが，現実にはこのような状況は稀であり（そうでなけれ

ば単に区間入口で走行速度を観測すればすむ) , 複数の合流点や信号で徐々に車群が形成されてきたと考えるべきであろう . この最大化は 2 箇所の観測点間の速度変化を最もよく説明する仮想の入口を想定していることに相当する .

(10)式を解いて得られた  $p$  の値が自由走行速度  $v_2$  の構成比率 , すなわち自由走行速度分布となる .

## 5 . シミュレーション分析

モデルを検証するためシミュレーション分析を行った . 自由走行速度が  $v_2$  の車両の構成比率を  $p=0.45, 0.50, 0.55$  の 3 種類 , 走行速度を  $v_1=80(km/時)$  ,  $v_2=100(km/時)$  , 区間入口から観測点 A までの距離を  $x_A=833.4m(100km/時 \times 30 \text{ 秒})$  , 追従時の車頭時間間隔を  $\tau=2 \text{ 秒}$  と設定し , 各車両の走行速度を二項分布 , 車頭時間間隔をシフトした指数分布に従う乱数で発生させて 1 組 5 台の車列を 50 組生成した . この車列をシミュレーションモデル上で走行させ , 観測点 A と観測点 B での速度データを読み取った .

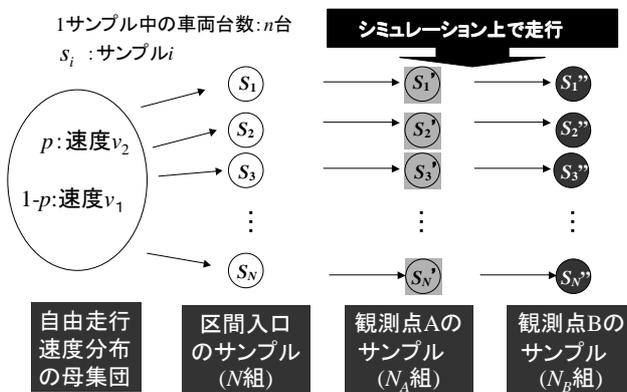


図-6 シミュレーション分析の考え方

この擬似観測データから最初に設定した速度  $v_2$  の車両構成比率  $p$  の値 ,  $\hat{p}$  を推定した . 設定した  $p$  の各値につき , この工程を 10 回繰返し行った . 設定値と推定値の差  $|p - \hat{p}|$  の平均と分散を求めた結果を表 - 2 に示す . いずれも 1% 程度の誤差範囲に収まっており , 提案した推定法により比較的精度よく自由走行速度分布を推定しえたものと考ええる .

表 - 2 自由速度分布の推定結果

$p=0.45$  誤差の平均値 0.038 誤差分散0.009

$\hat{p}$	0.45	0.51	0.48	0.42	0.39
$ p - \hat{p} $	0.00	0.06	0.09	0.15	0.18

$\hat{p}$	0.49	0.50	0.45	0.44	0.55
$ p - \hat{p} $	0.16	0.05	0.00	0.21	0.1

$p=0.50$  誤差の平均値 0.041 誤差分散0.001

$\hat{p}$	0.56	0.53	0.49	0.49	0.58
$ p - \hat{p} $	0.06	0.03	0.01	0.01	0.08

$\hat{p}$	0.51	0.60	0.50	0.47	0.42
$ p - \hat{p} $	0.01	0.10	0.00	0.03	0.08

$p=0.55$  誤差の平均値 0.046 誤差分散0.005

$\hat{p}$	0.63	0.52	0.53	0.40	0.59
$ p - \hat{p} $	0.08	0.03	0.02	0.15	0.04

$\hat{p}$	0.48	0.50	0.56	0.55	0.56
$ p - \hat{p} $	0.07	0.05	0.01	0.00	0.01

## 7 . おわりに

本研究では自由走行速度が 2 種類 , 追越し不可能な片側 1 車線で制限速度がない道路という最も単純な条件下における自由走行速度分布の推定法を提案した . 今後自由走行速度分布を連続分布に , 道路条件を追越し可能な片側 2 車線以上のもにすることにより , より現実的条件で適用可能なモデルへと拡張し , 走行実態調査に基づき自由走行速度分布の推定を行いたい .

### 参考文献

- 1) 喜多秀行 , 塩谷直文 , 前田信幸 : 流入部におけるサービス水準評価と交通容量分析:ITS 技術が及ぼす効果 , 第 37 回土木シンポジウム論文集 , pp.239-244 , 2001 .
- 2) 例えば , 佐野可寸志 , 松本昌二 , 成田純友 : 高速道路の追越車線における車両挙動の分析 , 第 20 回交通工学研究発表会論文報告集 , pp.53-56 , 2000 .
- 3) (社) 交通工学研究会編 : 交通工学ハンドブック 技教堂出版 , pp.166-167 , (1984)