追従走行による減速確率を考慮した自由走行速度分布の推定法

鳥取大学大学院　学生会員　○中村美保子
鳥取大学工学部　正会員　喜多秀行
鳥取大学工学部　正会員　谷本圭志

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．自由走行速度分布は自由走行車の速度を観測して推定しているが，自由走行車は見方を変えれば前方の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．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，観測した走行速度分布から自由走行速度分布を推定する方法を提案する．

2. 基本的な考え方

道路上の 2 地点(上流，下流断面)で各車両の走行速度を観測し，その結果と高速走行していた車両が前方を低速走行している車両に追いつき，減速することで観測区間の走行速度分布は変化する．この変化から自由走行速度分布を推定する．(図 1 参照)

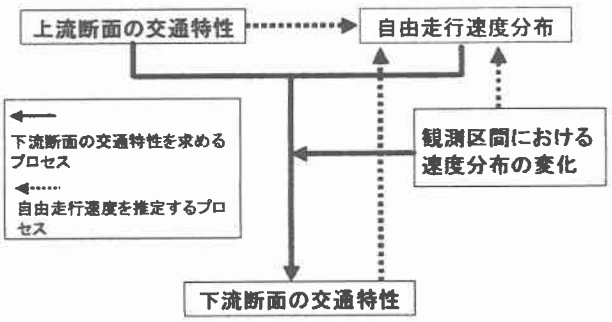

図 1 推定法の基本的な考え方

3. 推定モデル

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，自由走行速度は 2 種類 $V=\{v_1,v_2\}(v_1<v_2)$とし，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．相前後して走行する n 台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．

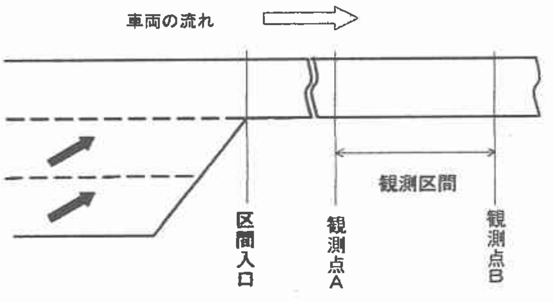

図2　想定している道路

通過交通に占める自由走行速度が v_2 の車両の構成比率を p とすると，区間入口(全車両が自由走行している地点)において n 台からなる車列中に速度 v_2 の車両が i 台存在する確率 $P_O(i|p)$は次式で与えられる．

$$P_O(i|p) = {}_nC_i \times p^i (1-p)^{n-i} \tag{1}$$

対象区間の途中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 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．区間内で追従が発生し，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 台に変化する確率は，当初の車頭間隔分布(各車両間の車頭間隔はシフトした指数分布 $f(t)$に従うものとする)や観測点 A までの距離 x_A に依存する．これを $P_{OA}(i,j|p,x_A,v_1,v_2)$とすると次式のようになる．

$$P_{OA}(i,j|p,x_A,v_1,v_2) = \sum_{m=1}^{{}_nC_i} prob_m(i,j) \times \frac{1}{{}_nC_i} \tag{2}$$

ただし $prob_m(i,j)$は区間入口において，n 台からなる車列中に速度 v_2 の車両が i 台存在する速度の配列パターン(この配列をパターン m と呼ぶ)について，それが観測点 A において速度 v_2 で走行している車両が j 台となる確率である．

例として区間入口において 5 台からなる車列中に速度 v_2 の車両が 3 台存在し，その車列が観測点 A に達した時点で速度 v_2 の車両が 2 台となる場合について考える．区間入口において先頭の 2 台が速度 v_1，それ以外の車両が速度 v_2 であったのが，観測点 A では 3 台目の車

両だけが先行車両に追いつき減速する確率は次式である．

$$\int_0^{U_1^*} f(t)dt \times \int_{U_2^*}^{\infty} g(U_2)dU_2 \qquad (3)$$

ここに$f(t)$は区間入口の各車両間の車頭間隔tに関する確率密度関数，$g(U_2)$は2台前方を先行する車両との車頭間隔U_2をに関する確率密度関数を表しており，上式の$\int_0^{U_1^*} f(t)dt$ は観測点Aに到着するまでに3台目の車両が2台目の車両に追従する確率$\int_{U_2^*}^{\infty} g(U_2)dU_2$は4台目の車両はまだ自由走行している確率である．その他$i=3,j=2$を実現しうる区間入口での車両の順列に対しても同様の考え方により(3)式に相当する式を得る．それらの和をとることにより，$prob(3,2)$が求められる．

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．

$$P_A(j|p,x_A,v_1,v_2)=\sum_i P_O(i|p)\times P_{OA}(i,j|p,x_A,v_1,v_2) \qquad (4)$$

観測点Bにおいても観測点Aと同様に，観測点Aから観測点Bまでの走行距離をd（$=x_A-x_B$）とすると，観測点Bに到着するまでにi台からk台に減少する確率は区間入口における車頭間隔分布と観測点Bまでの距離$x_B=x_A+d$の関数となり$P_{OB}(i,k|p,x_A+d,v_1,v_2)$とすると

$$P_{OB}(i,k|p,x_A+d,v_1,v_2)=\sum_{m=1}^{{}_nC_i} prob_m(i,k)\times\frac{1}{{}_nC_i} \qquad (5)$$

$prob_m(i,k)$は区間入口においてn台からなる車列中(n台中)に速度v_2の車両がi台存在する速度の配列パターンmが観測点Bにおいて速度v_2で走行している車両がj台となる確率である．

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$P_B(k|p,x_A+d,v_1,v_2)$は次式で示される．

$$P_B(k|p,x_A+d,v_1,v_2)=\sum_i P_O(i|p)\times P_{OB}(i,k|p,x_A+d,v_1,v_2) \qquad (6)$$

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（$\sum_j n_j^A=N_A$），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（$\sum_k n_k^B=N_B$）観測されたとすると，そのような状態が生起する確率を最大とする車両構成比率pを最尤推定法で求める．(4)(6)式より尤度関数L,

$$L(p,x_A,v_1,v_2)=\prod_j P_A(j|p,x_A,v_1,v_2)^{n_j^A} \times\prod_k P_B(k|p,x_B,v_1,v_2)^{n_k^B} \qquad (7)$$

を構成し，対数尤度最大となるpとx_Aを

$$\frac{\partial \log L}{\partial p}=0,\qquad \frac{\partial \log L}{\partial x_A}=0 \qquad (8)$$

(8)式を解くことにより求める．得られたpの値が速度v_2の構成比率，すなわち自由走行速度分布となる．

4. 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=0.45,0.55,0.65と3種類，走行速度v_1=80 km/h, v_2=100 km/h 区間入口から観測点Aまでの距離を833.4m(100km/h+30s)と設定し，各車両の走行速度を二項分布，車頭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．この擬似観測データから最初に設定した速度v_2の車両構成比率の値$\hat{p}$を推定した．この工程を各10回繰返し行った．得られた結果は表1のとおりである．この結果よ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る．

表1　分析結果

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
差	0.00	0.06	0.09	0.15	0.18
$\hat{p}$	0.49	0.50	0.45	0.44	0.55
差	0.16	0.05	0.00	0.21	0.1

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
差	0.08	0.03	0.02	0.15	0.04
$\hat{p}$	0.48	0.50	0.56	0.55	0.56
差	0.07	0.05	0.01	0.00	0.01

p=0.65　誤差の平均値 0.021　誤差分散 0.0005

$\hat{p}$	0.65	0.63	0.64	0.66	0.66
差	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01
$\hat{p}$	0.73	0.66	0.66	0.67	0.69
差	0.08	0.01	0.01	0.02	0.04

5. おわりに

本研究では走行速度が2種類，片側1車線という最も単純な状況の自由走行速度分布の推定法を提案した．今後は自由走行速度分布を連続分布，追越し可能な片側2車線以上に適用可能なモデルへと拡張したい．