

高速道路流入部設計のための車線利用率推定法

鳥取大学大学院 学生会員 ○原口 晃
 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. 緒言

高速道路流入部における現行の幾何構造設計指針では上流端における車線利用率を外生的に与えているが、車線利用率は設計しようとする流入部の道路・交通特性に依存するため両者は一体的に検討されるべきである。しかし、流入部上流端の車線利用率を流入部の諸特性と関連づけて推定する方法はまだ構築されていない。

そこで本研究では、ゲーム理論に基づく先行避走行動モデル¹⁾を改良し、流入部の道路・交通特性を踏まえた車線利用率の推定法を提案する。

2. 流入部における交通現象の分析

まず、流入部上流側区間における車線選択に強い影響を及ぼしている流入部の交通現象分析について説明する。流入部で遭遇する流入車1は直近後方の本線車2の行動をみて本線に流入するかしないを決定する。本線車2は流入車1の行動をみて追越車線に避走するかしないを決定する。したがって流入車1と本線車2（図1を参照）は、互いに相手の動きをみて自らの行動を決定する。

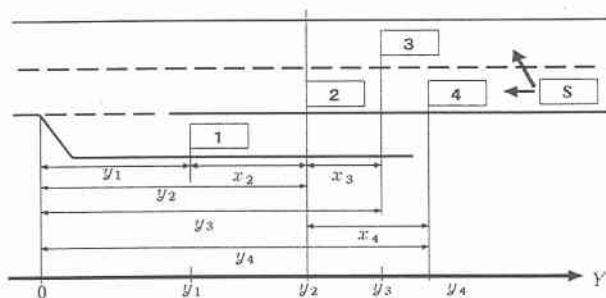


図1: 各車線の車両位置

宮本²⁾は、この状況を双方のドライバーによる一つのゲーム（完備情報下の非協力ゲーム）とみなしてモデル化した（表1参照）。流入車の行動は着目する本線車の前方に「流入する」「流入しない」、本線車の行動は「避走する」「避走しない」である。両者の行動の組み合わせごと

に周辺車両の位置や相対速度により規定される利得が与えられる。この利得の大小関係 ($F_{11} - F_{01} > (<) 0$, $F_{10} - F_{00} > (<) 0$, $G_{11} - G_{10} > (<) 0$) から種々の遭遇状況ごとの本線車が流入車と交錯する均衡解 $(\bar{x}, \bar{y})$ を導出し、生起確率を推定する。ここでは流入車1、本線車2、本線車3、本線車4の速度を v_1, v_2^2, v_3, v_4^4 とし、 $v_1 < v_2^2 (= v_4^4) < v_3$ とする。

表1: 流入・避走ゲームモデル

流入車ドライバーの意思決定	本線車ドライバーの意思決定	
	避走する (y)	避走しない(1-y)
流入する (x)	F_{11}, G_{11}	F_{10}, G_{10}
流入しない (1-x)	F_{01}, G_{01}	F_{00}, G_{00}

F_{ij} : 流入車の利得 $i = \begin{cases} 1: \text{流入する} \\ 0: \text{流入しない} \end{cases}$ $j = \begin{cases} 1: \text{避走する} \\ 0: \text{避走しない} \end{cases}$
 G_{ij} : 本線車の利得

表2: 各ケースにおける均衡解

均衡解	$(\bar{x}, \bar{y})$	$F_{11} - F_{01}$	$F_{10} - F_{00}$	$G_{11} - G_{10}$	$(\bar{x}, \bar{y})$
I	(1,1)	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} > \frac{v_4}{v_1}$	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} > \frac{v_4}{v_1}$	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} < \frac{v_4}{v_1}$	(1,1)
II	(1,0)	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} > \frac{v_4}{v_1}$	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} > \frac{v_4}{v_1}$	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} > \frac{v_4}{v_1}$	(1,0)
III	(1,1), (0,0) (GF)	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} > \frac{v_4}{v_1}$	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} < \frac{v_4}{v_1}$	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} < \frac{v_4}{v_1}$	(1,0)*
IV	(0,0)	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} > \frac{v_4}{v_1}$	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} < \frac{v_4}{v_1}$	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} > \frac{v_4}{v_1}$	(1,0)*
V	(GF)	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} > \frac{v_4}{v_1}$	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} > \frac{v_4}{v_1}$	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} < \frac{v_4}{v_1}$	—
VI	(1,0)	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} > \frac{v_4}{v_1}$	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} > \frac{v_4}{v_1}$	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} > \frac{v_4}{v_1}$	—
VII	(0,0)	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} > \frac{v_4}{v_1}$	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} < \frac{v_4}{v_1}$	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} < \frac{v_4}{v_1}$	(1,0)*
VIII	(0,0)	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} < \frac{v_4}{v_1}$	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} < \frac{v_4}{v_1}$	$\frac{v_2}{v_2 - v_1} > \frac{v_4}{v_1}$	(1,0)*

*: 均衡解と交通現象に一致しないものを示す

3. 車線利用率推定モデル

流入部に向かって走行車線を走行する車両 \$S\$ は、追越車線走行時の期待利得と流入車と交錯する可能性がある走行車線走行時の期待利得の比較によって先行避走を行うか否かの選択を決定すると考えられる。

先行避走意思決定前の本線走行車線と追越車線の交通量、それぞれ \$\lambda_3, \lambda_4\$ (\$\lambda_3 + \lambda_4 = \bar{\lambda}\$) とする。車両 \$S\$ が避走を行う確率を先行避走確率 \$z\$ とする。先行避走した後の各車線の交通量は先行避走確率 \$z\$ に依存し、流入部での本線走行車線と追越車線の交通量は \$\lambda'_4 = (1-z)\lambda_4, \lambda'_3 = z\lambda_4 + \lambda_3\$ となる。

2. で述べたように流入・避走行動はゲームの均衡解として与えられており、各均衡解が生起する確率は車線ごとの車頭間隔分布 \$f_{X_2}(x_2), f_{X_3}(x_3), f_{X_4}(x_4)\$ から導出される。ここでは \$f_{X_2}(x_2)\$ として指数分布、\$f_{X_3}(x_3), f_{X_4}(x_4)\$ としてシフトした指数分布を仮定した。

先行避走を行う場合と先行避走を行わない場合の期待利得、\$EU_3, EU_2\$ はそれぞれ (1), (2) 式により求められる。

$$EU_3 = g_1^3 + g_2^3 + g_3^3 + g_4^3 + h \quad (1)$$

$$EU_2 = g_1^2 + g_2^2 + g_3^2 + g_4^2 \quad (2)$$

\$g_m^n\$ は行動の組み合わせ \$m\$ が生じた場合の車両 \$n\$ (図 1 参照) の期待利得である。例えば「流入する」「避走する」という行動の組み合わせが生じた場合の車両 3 の期待利得 \$g_2^3\$ は (3) 式のように計算される。

$$g_2^3 = \int_{\alpha_4}^{\infty} \int_{\frac{(v_2^2 - v_1)v_1}{v_1}}^{y_1} \int_0^{\frac{v_3 - v_2^2}{v_2^2 - v_1} x_2} \frac{x_3}{v_2 - v_1} f_{X_2}(x_2) f_{X_3}(x_3) f_{X_4}(x_4) dx_3 dx_2 dx_4 \quad (3)$$

また \$h\$ は先行避走を行う時の期待利得で (4) 式で与えられる。

$$h = \int_0^{\infty} \frac{y}{v_3 - v_2} \lambda_3 \exp[-\lambda_3(y - \alpha_3)] dy \quad (4)$$

\$\lambda_3\$ の車頭間隔距離 \$y\$ の分布する交通量、\$\alpha_3\$ は本線追越車線の最小車頭間隔である。

先行避走確率 \$p\$ を変化させ各車線の期待利得の推移の結果を求め、各車線の期待利得が等しくなる交点が流入部上流端における車線利用率となる。これより、

$$EU_2(\lambda_3^*(p), \lambda_4^*(p)) = EU_3(\lambda_3^*(p), \lambda_4^*(p)) \quad (5)$$

$$\bar{\lambda} = \lambda_3^*(p) + \lambda_4^*(p) \quad (6)$$

を連立して解くことにより走行車線と追越車線の車線利用率 \$p'_0 = \frac{\lambda_3^*}{\bar{\lambda}}, p'_1 = \frac{\lambda_4^*}{\bar{\lambda}}\$ を求めることができる。

導出される先行避走確率 \$p'_0\$ が、流入部上流端における

各車線の車線利用率になると考えられる。

4. 流入部における交通条件に及ぼす影響分析

モデルの妥当性を検討をするため観測した現象の説明を試みた。1999年9月9日東名豊田 I.C. の上空にビデオカメラを搭載したラジコンヘリをホバリングさせ流入部区間の交通現象を撮影した。13:33~13:58 の25分間にわたり、ノーズ端を通過する各車線（追越車線、走行車線、流入車線）の交通量とノーズ端から上流 200m 地点までの区間における車線変更挙動を観測した。流入車線、走行車線、追越車線の交通量は \$\lambda_2 = 261, \lambda_3 = 336, \lambda_4 = 312\$ であり、平均速度 (km/h) はそれぞれ \$v_1 = 82.8, v_2 = 85.8, v_3 = 95.7\$ であった。

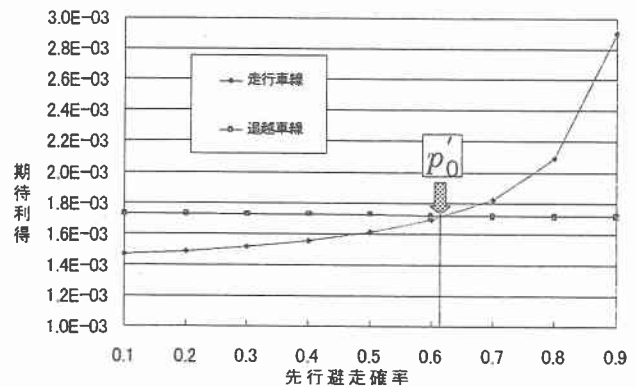


図 2: 各車線の期待利得

観測した車線別交通量と平均速度をモデルに入力して得られた車線利用率は 0.628 であり、実際の車線利用率は 0.218 よりも過大な推計となった。これは混雑による利得の低下を考慮していないためであるが、流入部の交通特性や幾何構造の影響を組み込んだ車線利用率の推定モデルを開発する手がかりは得られたと考えている。

5. 結言

本研究では、流入部の交通特性に基づく車線利用率推定モデルを提案し、流入部の交通特性が上流端の車線利用率に及ぼす影響を検討した。現段階では混雑による利得低下等を考慮していないため実際よりも先行避走をする車両が多く導出される結果となっているが、今後これらの点を踏まえ、より現実に近いモデルに改良したいと考えている。

1) 小笠原 寛人: 高速道路流入部における走行車線分布の導出—先行避走行動に着目して—土木学会第 55 回年次学術講演会 (2000)

2) 宮本 敏行: 高速道路流入部における流入・避走現象のゲーム理論的分析, 鳥取大学工学部社会開発システム工学科・卒業論文 (1998)