

他車との相互作用を考慮した高速道路流入部における交通特性推定モデル

(株)アクア美保 正会員 ○幸坂謙之介
鳥取大学工学部 正会員 喜多秀行
鳥取大学工学部 正会員 福山敬

1. はじめに

高速道路流入部において、互いに影響を及ぼし合うドライバーの行動を一体的に理解することは、交通現象を解明する上で重要である。本研究では、ドライバー間の相互依存的な運転行動をゲーム理論を用いて記述した既存のモデルを基に、ゲームの利得を規定する車両相互の位置関係の生起確率を車頭間隔分布から算定し、行動モデルに基づく運転行動結果と対応づけて集計することにより、避走確率や流入位置分布といった幾何構造設計に必要な交通特性を推計するモデルを構築する。

2. 基礎となる流入・避走挙動モデル

2.1 流入・避走ゲームモデル

既存の研究で、図-1に表されるような流入部において図中の4台の車両を考え、本線に1台の流入車が低速で流入する現象がモデル化されている¹⁾。流入車1と本線車2に着目し、両者がそれぞれの期待利得が最大となるように意思決定を行うとすると、流入部における流入・避走行動は、完全情報下における2人非協力ゲームとして記述できる。

2.2 流入・避走挙動の分類とその成立条件

各ドライバーの利得を周辺車両等との位置関係(TTCの逆数に負号をつけたもの)の関数として特定化し、各ドライバーの最適反応戦略に基づくゲームのナッシュ均衡解として各時点・各走行状況での流入・避走現象を説明すると、流入部全域にわたって繰り返される流入・避走行動は、 $y_4/(v_2^4 - v_1) > (<) X/v_1$, $y_2/(v_2^2 - v_1) > (<) X/v_1$, $y_2/(v_2^2 - v_1) > (<) y_3/(v_3 - v_1)$ という3つの条件式によ

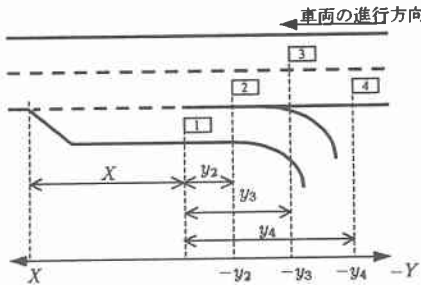


図-1 各車両の位置と車両間距離

表-1 均衡解の成立条件と交通現象の対応

均衡解	$F_{11}-F_{01}$	$F_{10}-F_{00}$	$G_{11}-G_{10}$	$(\bar{x}, \bar{y})$	(t_m, t_g)
I	$\pi_4 > \pi_1$	$\pi_2 > \pi_1$	$\pi_2 < \pi_3$	(1, 1)	(0, 0)
II	$\pi_4 > \pi_1$	$\pi_2 > \pi_1$	$\pi_2 > \pi_3$	(1, 0)	(0, -)
III	$\pi_4 > \pi_1$	$\pi_2 < \pi_1$	$\pi_2 < \pi_3$	(1, 0)	$(\pi_2, -)$
IV	$\pi_4 > \pi_1$	$\pi_2 < \pi_1$	$\pi_2 > \pi_3$	(1, 0)	$(\pi_2, -)$
V	$\pi_4 < \pi_1$	$\pi_2 > \pi_1$	$\pi_2 < \pi_3$	—	—
VI	$\pi_4 < \pi_1$	$\pi_2 > \pi_1$	$\pi_2 > \pi_3$	—	—
VII	$\pi_4 < \pi_1$	$\pi_2 < \pi_1$	$\pi_2 < \pi_3$	(1, 0)	$(\pi_4, -)$
VIII	$\pi_4 < \pi_1$	$\pi_2 < \pi_1$	$\pi_2 > \pi_3$	(1, 0)	$(\pi_4, -)$

って規定され、 $X/v_1 = \pi_1$, $y_2/(v_2^2 - v_1) = \pi_2$, $y_3/(v_3 - v_1) = \pi_3$, $y_4/(v_2^4 - v_1) = \pi_4$ とおくと、表-1のように8つのケースに整理できる²⁾。ここに、 $\bar{x}$, $\bar{y}$ はそれぞれ流入車、本線車の行動を表し、流入(避走)するとき1, 流入(避走)しないとき0で表す。また、 t_m , t_g はそれぞれ流入時刻、避走時刻を表す。

本研究では、この結果を用いて交通特性推定モデルを構築する。

3. 交通特性推定モデルの構築

3.1 各ケースの生起確率

簡単のため、 v_1 , v_2^2 , v_3 , v_2^4 はそれぞれ一定とし、 $v_1 < v_2^2 (= v_2^4) < v_3$ とする。流入・避走挙動モデルにおけるゲームの利得を規定する車頭間隔の生起確率を車頭間隔分布から導出する。

本線走行車線の車頭距離間隔 h_2 、本線追い越し車線の車頭距離間隔 h_3 をそれぞれシフトした指数分布として以下のように与える。(ただし、 $\lambda_2 \neq \lambda_3$)

$$f_{H_2}(h_2) = \lambda_2 \exp[-\lambda_2(h_2 - \alpha_2)] \tag{1}$$

$$f_{H_3}(h_3) = \lambda_3 \exp[-\lambda_3(h_3 - \alpha_3)] \tag{2}$$

ここに、 λ_2, λ_3 :本線走行車線、本線追い越し車線の交通量、 α_2, α_3 :本線走行車線、本線追い越し車線の最小車頭間隔である。(1)式、(2)式から図-1の y_2 , y_3 , y_4 を導くと、それぞれ次式のように与えられる。

$$f_{Y_2}(y_2) = \lambda_2 \exp[-\lambda_2 y_2] \tag{3}$$

$$f_{Y_3}(y_3) = \frac{\lambda_2 \lambda_3}{\lambda_3 - \lambda_2} (\exp[-\lambda_2 y_3] - \exp[-\lambda_3 y_3]) \tag{4}$$

$$f_{Y_4}(y_4) = \lambda_2^2 (y_4 - \alpha_2) \exp[-\lambda_2 (y_4 - \alpha_2)] \tag{5}$$

流入・避走挙動モデルの各ケース (I~VIII) の生起確率は、 $\pi_4 > (<) \pi_1$, $\pi_2 > (<) \pi_1$, $\pi_2 < (>) \pi_3$ という3つの条件式の同時生起確率で与えられる。

3.2 避走確率

本線車2は、ケースIのときのみ避走するので、 $\pi_4 > \pi_1$, $\pi_2 > \pi_1$ の同時生起確率を $P'(a, b)$, $\pi_2 < \pi_3$ の生起確率を $P'(c)$ と表すと、避走確率 P_g は以下のように与えられる。ただし、次式は、本線車2が流入部を通過するまでに流入車が1台しか存在しなかった場合の避走確率を表している。

$$P_g = P_I = P'(a, b) \cdot P'(c) \quad (6)$$

3.3 流入位置分布

流入車1が流入する位置を x_m (ノーズ端から下流方向に測定) とし、加速車線始端で流入する確率を $P'\{a, b\}$ とし、本線車2に追い抜かれて流入する地点の分布を $f_{X_2}(x_m)$, またその確率を $P'\{a, \bar{b}\}$ とする。さらに、本線車2に追い抜かれ、本線車4に追い抜かれて流入する地点の分布を $f_{X_{24}}(x_m)$, またその確率を $P'\{\bar{a}, \bar{b}\}$ とすると、流入位置分布 $f_{X_m}(x_m)$ は次式で与えられる。

$$f_{X_m}(x_m) = \begin{cases} P'\{a, b\} & (x_m = 0) \\ P'\{a, \bar{b}\} \cdot \frac{f_{X_2}(x_m)}{m_2} & (0 < x_m < \alpha_m) \\ P'\{a, \bar{b}\} \cdot \frac{f_{X_2}(x_m)}{m_2} + P'\{\bar{a}, \bar{b}\} \cdot \frac{f_{X_{24}}(x_m)}{m_{24}} & (\alpha_m < x_m < X) \end{cases} \quad (7)$$

また(7)式を0から x_m まで積分することにより、累積流入確率分布を求めることができる。

4. 交通条件が流入・避走特性に及ぼす影響分析

構築したモデルにおいて、(i) 本線走行車線の交通量 λ_2 , 本線追い越し車線の交通量 λ_3 の比率は同じで全体の交通量が増加した場合、(ii) 本線走行車線の交通量 λ_2 のみ増加した場合、(iii) 本線追い越し車線の交通量 λ_3 のみ増加した場合という3つのケースを考え、交通量の変化が交通特性にどのような影響を及ぼすのか分析を行った。

4.1 流入位置分布、累積流入確率分布について

(i) のケースでは、 λ_2 の増加によって、本線走行車線の最小車頭間隔 α_2 が小さくなるため、流入位置分布は、加速車線始端側にシフトするが、本線車4に追い抜かれて流入する確率 $P'(\bar{a}, \bar{b})$ が増加し、全体として加速車線終端側で大きな値をとる。つまり、「危険な流入」の割合が増加する。(ii) のケースにおいても同様の変化が見られる。一方、(iii) のケースでは、流入位置分布、累積流入確率分布

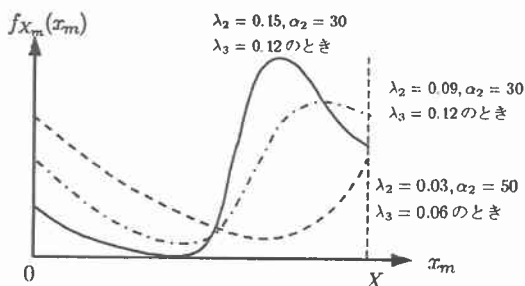


図-2 交通量の変化にともなう流入位置分布の変化

に変化は見られない。

4.2 避走確率について

(i) のケースでは、加速車線始端で流入する確率 $P'(a, b)$ が小さくなり、本線追い越し車線の交通量が増加するため、避走確率は小さくなる。(ii) のケースにおいても、同様に $P'(a, b)$ は小さくなるが、本線追い越し車線の交通量が減少するため、避走確率は、(i) のケースよりは大きくなる。一方、(iii) のケースでは、 $P'(a, b)$ が大きくなり避走する可能性は高いが、本線追い越し車線の交通量が増加するため、避走確率は小さくなるという結果になり実際の避走行動を上手く説明していると考えられる。

以上のことから、本線走行車線および追越し車線の交通量の関係は避走確率に影響を与え、流入位置分布は本線走行車線の交通量にのみ依存することが明らかになった。また、流入位置分布から加速車線終端近くで流入するという「危険な流入」と交通量の関係などを明らかにすることができた。

5. おわりに

本研究では、交通条件が生起する確率を車頭間隔分布から導出し、ミクロからマクロへ関連づけることにより、流入部での相互作用を考慮した交通特性を推定するモデルを構築し、交通条件の変化が交通流に及ぼす影響を数値的に求めることを可能にするとともに、交通条件の変化による交通流の変化のメカニズムを明らかにした。このことは、ドライバー間の相互作用を踏まえたより適切な流入部設計に寄与するものと考えられる。

しかし、本モデルでは、混雑状態を考慮しておらず、速度を全車一定と仮定しているなど、簡単化のための仮定も少なからず残されているため、今後これらを緩めることにより、現実の交通流に近いモデルへと改良することが課題である。

1) 谷淵英嗣ほか: 高速道路流入部における交通行動のゲーム論的解釈, 第49回土木学会中国支部研究発表会・発表概要集, pp.493-494, 1997.

2) 宮本敏行ほか: 高速道路流入部における交通行動のゲーム論的分析, 第50回土木学会中国支部研究発表会・発表概要集, pp.497-499, 1998.