

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

鳥取大学工学部 ○正会員 福山 敬
 鳥取大学工学部 正会員 喜多秀行
 行政システム九州(株) 小笠原寛人

1. はじめに

高速道路流入部本線の上流では、流入部での流入車との錯綜を前もって回避するため、本線車が追越し車線へ車線変更するという先行避走がみられる。このような先行避走の存在が流入部の処理能力や事故の危険性などに大きく影響を与えていると考えられる。本研究では本線車の先行避走に関する意思決定をモデル化する。さらに、構築したモデルより本線流入部付近の車線利用率を求める。

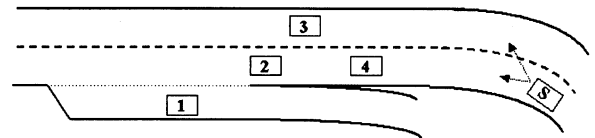


図 1: 高速道路流入部の各車両の位置

2. 本研究の基本的な考え方

本研究では、高速道路流入部でのドライバーの行動を表すモデルとして Kita ら (1999) の高速道路流入部における流入・避走ゲームモデル¹⁾を用いる。Kita らは、その存在と行動が互いに影響を及ぼし合っている流入部を走行する複数車両の意思決定をゲームモデルで表現した。流入部での各車両の位置関係を図-1に与える。流入・避走ゲームモデルにおける「プレイヤー」は、「流入する(しない)」の意思決定を持つ流入車[1]と「避走する(しない)」の意思決定を持つ本線車[2]である。本研究が対象とする先行避走意思決定車は図-1の[S]車であり、本線右車線(以下、「追越し車線」)へ先行避走するか、そのまま本線右側車線(以下、「走行車線」)を走行するかを、車両[1]が観測不可能な時点で意思決定する。先行避走車は、先行避走をせずに走行車線を走行すると流入部において流入・避走ゲームに車両[2]として参加することになり、先行避走を行えば、流入・避走ゲームを避ける(車両[3]となる)こととなる。したがって、先行避走車は、後に流入・避走ゲームの車両[2]となることへの期待利得と、ゲームに参加しない(しかしゲームの影響は受ける)車両[3]になることへの期待利得のうち高い期待利得を与える行動を選択すると考える。

本研究では、まず流入・避走ゲームを定式化し、ゲームの均衡解を求める。次に、先行避走により各車線を走行するときの期待利得を導出し、先行避走に関する意思決定を定式化する。さらに、先行避走に関する安定的均

表 1: 流入避走ゲームの均衡解

均衡解 (「流入」, 「避走」)	条 件 (符 号)		
	$F_{11} - F_{01}$	$F_{10} - F_{00}$	$G_{11} - G_{10}$
(する, する)	+	+	+
(する, しない)	+	+	-
(する, する), (しない, しない), 混合戦略	+	-	+
(しない, しない) 混合戦略	+	-	-
(する, しない)	-	+	+
(しない, しない)	-	+	-
(しない, しない)	-	-	-

衡状態を定義することにより、本線各車線の均衡車線利用率を求める。

3. 流入・避走行動モデル

流入・避走ゲームにおいては、流入車[1]とその直近後方の本線車[2]の2台を、それぞれ「流入する $i = 1$ 」(しない $i = 0$)、「避走する $j = 1$ 」(しない $j = 0$)の意思決定を持つゲームのプレイヤーとして、また、他の車両はゲームを特定化する環境の一部として考える。流入車[1]および本線車[2]の結果 (i, j) 時の利得(それぞれ、 F_{ij} , G_{ij} ; $i, j = 0, 1$)を走行環境変数である TTC(time to collision)により特定化する。TTCとは自動車も他車も現在の速度のままで走行を続けると後何秒に衝突するかを表す指標である。これにより、表-1に示す8つの均衡解が導出される。

4. 先行避走モデルの構築

先行避走に関する意思決定車(以下、「先行避走車」と呼ぶ)は本線走行車線を走行しているものと仮定する。先行

避走車はこの後に流入部のゲームに加わることで、流入部のゲームを避けて追越し車線を走行することを期待利得で評価する。また、利得をTTCと考えTTCの影響を受けないときの利得を0とすると、自車の車線に車線変更（流入・避走）をしてきた車に対するTTCと、その流入・避走が起こる均衡解の生起確率により期待利得が求まる。利得をうける場合は、先行避走を行わない場合は

- [4]となり流入車[1]が前に流入してくる場合
- [2]となり流入車[1]が前に流入してくる場合
- [2]となり追越し車線車[4]前方に避走する場合

先行避走を行う場合は

- 先行避走を行う瞬間
- [3]となり本線車[2]が前に避走してきた場合

の場合に分けられる。ここで、各車線の車頭間隔の確率分布を以下のような指数分布として与える。

$$f_{X_2}(x_2) = \lambda_2 \exp[-\lambda_2 x_2] \quad (1)$$

$$f_{X_3}(x_3) = \lambda_3 \exp[-\lambda_3 x_3] \quad (2)$$

$$f_{X_4}(x_4) = \lambda_4 \exp[-\lambda_4(x_4 - \alpha_4)] \quad (3)$$

ここで、 x_k, λ_k は、それぞれ車両[k]の車線の車頭間隔、交通量である。ただし、 $\lambda_3 = \lambda_4$ とする。この確率分布を用いると表-1中の3つの条件式からなる各均衡解の生起確率が求められる。各車両の速度、最小車頭間隔などのパラメータを与えると、先行避走をしない場合の期待利得 $EU_2(\lambda_2, \lambda_3)$ と先行避走をする場合の期待利得 $EU_3(\lambda_2, \lambda_3)$ を、追越し車線、本線走行車線の各交通量 λ_3, λ_4 の関数であらわすことができる。交通量 λ_3, λ_4 は本線全体の交通量を $\bar{\lambda}$ とおくと、 $\bar{\lambda} = \lambda_3 + \lambda_4$ が成り立つ。ここで、一般に、本線2車線の一方の車線が混雑するとその車線の効用は下がり、もう一方の車線の効用が上がると思われる。こう考えれば、追越し車線と本線走行車線の交通量は、期待利得が同値となるように均衡すると考えられる。以上より本線の車線利用に関する均衡条件として次の連立方程式が成り立つ。

$$\begin{cases} EU_2[\lambda_3] = EU_3[\lambda_3] \\ \bar{M} = \lambda_3 + \lambda_4 \end{cases} \quad (4)$$

これより求められる $\lambda_3(\lambda_4)$ の値が均衡する追越し車線交通量(走行車線交通量)であると考えられる。

5. 数値計算

高速道路流入部のノーズ部を空中撮影されたビデオテープ²⁾を用いてデータ採集をおこなった。このデータより各車線車の速度等のパラメータの値を決めて、求めた結果の一部を図-2に示す。図-2は、変数 λ_3 と各車線走行時の期待利得との関係を示している。

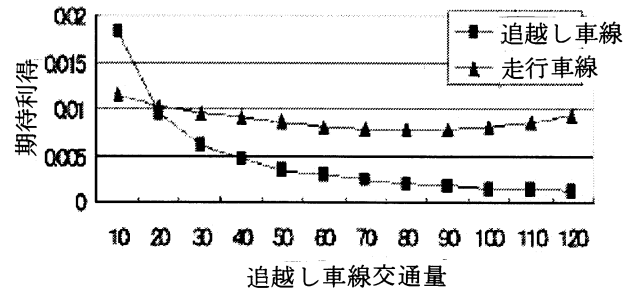


図 2: 各車線走行の期待効用と均衡交通量

「先行避走を行うとき（つまり、追越し車線を走行することを選んだとき）の期待利得」は、追越し車線の交通量が増加すると減少していることがわかる。これは、先の均衡解定義時の仮定と一致しており、

- 追越し車線車が増えることにより、追い越し車線に移動するときの不効用の増大

の効果のためであると考えられる。また、「先行避走を行わないとき（つまり、本線走行車線を走行することを選んだとき）の期待利得」は、追越し車線の交通量が増加すると、減少した後増加することがわかる。これは、自車が本線で[2]車（[4]車）になったときに同じ車線を走る[4]車（[2]車）との間隔が広くなることにより

- 車両[2]となったときに追越し車線に避走するときの不効用の増加

- 流入車から受ける不効用の減少

の2つの効果によるもの（追越し車線車が増加する（つまり、走行車線車が減少する）ことにより、前者と後者の効果の大小が逆転するから）と考えられる。

2つの期待利得の交わる交点 $\lambda_3^* = 19.4$ が、安定的な均衡車線交通量として与えられる。

6. おわりに

流入部でのゲームの均衡解から先行避走車の期待利得を求め、先行避走意思決定をモデル化し、多数の先行避走意思決定車による車線利用に関する均衡を定義することにより均衡車線利用率を求めた。モデルで求めた追越し車線交通量が観測データ $\hat{\lambda}_3 = 55.96(\text{vph})$ より過小であり、これに関する検討が今後の課題の1つである。

参考文献

- 1) Kita, H. and Fukuyama, K, A merging-giveway behavior model considering interactions at expressway on-ramps, In: Transportation and Traffic Theory, pp.173-187, Pergamon, 1999.
- 2) 合流部の設計に関する調査研究委員会, 合流部の設計に関する調査研究報告書(その2), (社)交通工学研究会, 1987.