

高速道路流入部における交通挙動のゲーム論的分析

株式会社エコー ○正員 宮本敏行
鳥取大学工学部 正員 福山 敬
鳥取大学工学部 正員 喜多秀行

1. はじめに

高速道路流入部は、流入車、本線車、追い越し車線車の錯綜がさけられないために、車両同士の追突や接触事故の危険性が高い。したがって、流入部で生起する交通現象や交通挙動を理解することは、高速道路全体の安全性や快適性を向上させる効果的な方策を考える上で重要である。流入部の交通挙動の分析に関してはいくつかの研究がなされているが、流入部における交通挙動の特徴である各車両のしのぎあいに代表される錯綜状況を取り扱っていない。著者らは、流入部における各ドライバーの意思決定の相互作用をゲームモデルを用いて明示的に表現することにより、各行動の発生構造を明らかにしてきた¹⁾。本研究では、高速道路流入部におけるドライバーの流入・避走に関するゲームモデルを、流入部全域にわたって繰り返されるゲームに拡張し、ゲームの均衡解の解釈を通じて、流入部全体にわたるドライバーの流入・避走時点を説明することを試みる。これにより、ドライビング環境の変化に対する各交通現象の発生メカニズムが明らかとなり、流入部設計法の安全性向上に少なからず寄与するものと考えられる。

2. 流入・避走行動モデル

高速道路流入部のある瞬間の車両の位置関係を図-1のように考え、流入車が1台発生したときその流入行動および本線車の避走行動についてモデル化する。各車両の速度は、流入車(図中[1])を v_1 、本線車([2], [4])をそれぞれ v_2^1, v_2^2 、追い越し車線車([3])を v_3 とし、 $v_1 < v_2^1 = v_2^2 < v_3$ の一定速度とする。ゲームのプレイヤーを流入車([1])、本線車([2])とし、プレイヤーの意思決定に影響を与える環境その他の車両は[1]~[4]と考える。流入車の意思決定を(流入する・流入しない)とし、流入確率を x で表す。また本線車の意思決定を(避走する・避走しない)とし、避走確率を y で表す。その他加減速といった流入・避走行動は考えない。このとき、流入車および本線車の利得は、標準型ゲームとして図-2のように表せる。 F_{ij} は流入車の利得、 G_{ij} は本線車の利得を表し、 i は流入車が

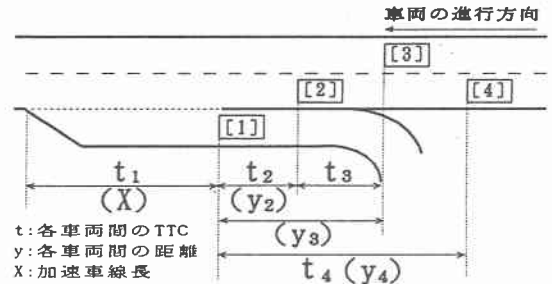


図-1：流入部における走行車両の位置関係

本線車ドライバーの行動選択

流入車 ドライバー の行動選択		本線車ドライバーの行動選択	
		避走する	避走しない
流入する	流入する	F_{11}, G_{11}	F_{10}, G_{10}
	流入しない	F_{01}, G_{01}	F_{00}, G_{00}

図-2：流入・避走ゲームモデル(標準型)

流入するとき1、流入しないとき0であり、 j は本線車が避走するとき1、避走しないとき0である。ゲームは、ある状況(各車両の位置関係)が実現した時点に対して定義する。したがって、全てのプレイヤーのゲームにおける意思決定は1回であると考え。各利得は図-1で与えられる各車両間のTTC($t_1 \sim t_4$)を説明変数とする増加関数で説明できると考え、以下のように表す。

$$\begin{aligned} F_{11} &= f_1(t_4) & F_{01} &= f_2(t_1) \\ F_{10} &= f_3(t_2) & F_{00} &= f_4(t_1) \\ G_{11} &= g_1(t_3) & G_{01} &= g_2(t_3) \\ G_{11} &= g_3(t_2) & G_{00} &= 0 \end{aligned} \tag{1}$$

図-2より、流入車および本線車の期待利得 U_m および U_g はそれぞれ以下のように表される。

$$U_m(x, y) = x\{yF_{11} + (1-y)F_{10}\} + (1-x)\{yF_{01} + (1-y)F_{00}\} \tag{2}$$

$$U_g(y, x) = y\{xG_{11} + (1-x)G_{01}\} + (1-y)\{xG_{10} + (1-x)G_{00}\} \tag{3}$$

本ゲームの均衡解分析を行うと、以下のようなI~VIIIの8ケースの可能なナッシュ均衡解(x^*, y^*)を得る。各均衡解は、 $F_{11} - F_{01} > (<) 0, F_{10} - F_{00} > (<) 0, G_{11} - G_{10} > (<) 0$ の3つの条件式で規定される。

- I. $(x^*, y^*) = (1, 1)$ II. $(x^*, y^*) = (1, 0)$
 III. $(x^*, y^*) = (0, 0)$ IV. $(x^*, y^*) = (0, 0)$
 V. $(x^*, y^*) = (G, F)$ VI. $(x^*, y^*) = (1, 0)$
 VII. $(x^*, y^*) = (0, 0)$ VIII. $(x^*, y^*) = (0, 0)$

3. 均衡解と交通現象の対応付け

利得は、式(1)で与えられる走行環境変数(TTC)自身であるとする、以下のように特定化できる。

$$\begin{aligned} F_{11} &= \frac{v_1 t - (v_2^2 t - y_4)}{v_2^2 - v_1} & F_{01} &= \frac{X - v_1 t}{v_1} \\ F_{10} &= \frac{v_1 t - (v_2^2 t - y_2)}{v_2^2 - v_1} & F_{00} &= \frac{X - v_1 t}{v_1} \\ G_{11} &= \frac{(v_2^2 t - y_2) - (v_3 t - y_3)}{v_3 - v_2} & G_{01} &= \frac{(v_2^2 t - y_2) - (v_3 t - y_3)}{v_3 - v_2} \\ G_{10} &= \frac{v_1 t - (v_2^2 t - y_2)}{v_2^2 - v_1} & G_{00} &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

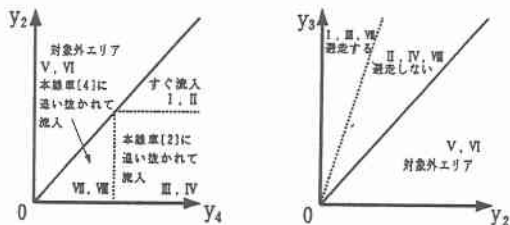
ここで、 t は流入車がゼブラ端に到着してから時間を示し、 y_2, y_3, y_4 は、図-1に示すように、それぞれ、流入車発生時における本線車[2]、追い越し車線車[3]、本線車[4]と、流入車[1]との距離を表し、 X は加速車線長を表す。式(4)を均衡解を規定している3つの条件式に代入すると以下のを得る。

$$\begin{aligned} F_{11} - F_{01} &> (<) 0 &\Leftrightarrow \frac{y_4}{v_2^2 - v_1} > (<) \frac{X}{v_1} \\ F_{10} - F_{00} &> (<) 0 &\Leftrightarrow \frac{y_2}{v_2^2 - v_1} > (<) \frac{X}{v_1} \\ G_{11} - G_{10} &> (<) 0 &\Leftrightarrow \frac{y_2}{v_2^2 - v_1} < (>) \frac{y_3}{v_3 - v_1} \end{aligned}$$

これより、均衡解を各車両の流入部全体における流入・避走行動 $(\bar{x}, \bar{y})$ (ただし、 $\bar{x} = 1(0)$:流入する(しない); $\bar{y} = 1(0)$:避走する(しない))として解釈すると、ゲームの各均衡解に対して以下ようになる。

- I. $(\bar{x}, \bar{y}) = (1, 1)$ II. $(\bar{x}, \bar{y}) = (1, 0)$
 III. $(\bar{x}, \bar{y}) = (1, 1)$ IV. $(\bar{x}, \bar{y}) = (1, 0)$
 V. $(\bar{x}, \bar{y}) = (-, -)$ VI. $(\bar{x}, \bar{y}) = (-, -)$
 VII. $(\bar{x}, \bar{y}) = (1, 1)$ VIII. $(\bar{x}, \bar{y}) = (1, 0)$

ただし“-”は該当する値が存在しないことを表す。ケースI,IIは流入車が加速車線に到着してすぐ流入する場合、ケースIII,IVは本線車[2]に追い抜かれて流入する場合、ケースVII,VIIIは本線車[4]に追い抜かれて流入する場合である。ケースV,VIは車両の位置関係が矛盾することより存在しない。一方、本線車に関しては、ケースI,III,VIIにおいて避走行動が発生することになる。各ケースの流入・避走行動は、流入車のゼブラ端到着時点の車両の位置関係によって図-3(a)および(b)のようにエリア分けできる。



(a) 車両位置と流入行動 (b) 車両位置と避走行動
図-3: 流入・避走行動のエリア分け

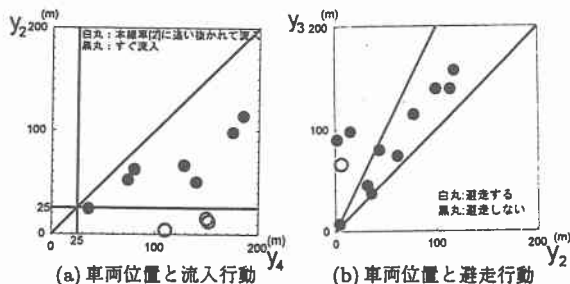
また、各ケースにおいて、流入車のゼブラ端到着時点 $t = 0$ とした時の流入および避走する時刻 (t_m, t_g) は、以下ようになる。

- I. $(t_m, t_g) = (0, 0)$ II. $(t_m, t_g) = (0, -)$
 III. $(t_m, t_g) = (\frac{y_2}{v_2 - v_1}, \frac{y_2}{v_2 - v_1})$ IV. $(t_m, t_g) = (\frac{y_2}{v_2 - v_1}, -)$
 VII. $(t_m, t_g) = (\frac{y_4}{v_2 - v_1}, \frac{y_4}{v_2 - v_1})$ VIII. $(t_m, t_g) = (\frac{y_4}{v_2 - v_1}, -)$

ただし“-”は流入および避走行動をしないことを表す。

4. モデルの妥当性の検討

東名高速名古屋インターチェンジの流入部のビデオテープ(昭和61年10月12日(8:30-9:30)に空中撮影²⁾)より、流入・避走行動のデータ採取した。収集したデータより、各車両の速度を流入車 $v_1 = 80\text{km/h}$ 、本線車 $v_2 = 90\text{km/h}$ 、追い越し車線車 $v_3 = 100\text{km/h}$ 、加速車線長 X を200mとした。画面の揺れが大きかったため、収集できたデータ数は少なく、74データであり、そのうち挙動のエリア分けに必要な車両位置データが揃っているデータセットは、流入に関しては10データセット、避走に関しては12データセットであった。これらのデータを図-3(a)(b)にプロットすることにより、図-4(a)(b)のような結果が得られた。



(a) 車両位置と流入行動 (b) 車両位置と避走行動
図-4: 観測された流入・避走行動データのプロット

これにより、本モデルは実際の流入・避走行動をある程度よく説明していることが示された。

5. おわりに

本研究では、高速道路流入部における流入・避走行動をゲーム論的な視点から考察した。具体的には、流入部における交通現象を生成主体である流入車と本線車の各ドライバーによるゲームとして記述した。さらに、ゲームの利得をTTC自身として特定化し、流入車がゼブラ端に到着したときの各車両の位置により、各ドライバーの行動がどう変化するか(いつ流入、避走するか)をモデル分析した。さらに、提案したモデルに対し実際の流入・避走行動データを照合し、モデルの適合性を吟味した。その結果、今回のような利得をTTC自身であるとする比較的単純な仮定の下でも適合性はかなり高く、ゲーム論的アプローチが有用であることが確認された。

¹⁾ 福山敬, 喜多秀行: 高速道路流入部における流入・避走行動のゲーム論的分析, 土木計画学研究・講演集, 平成9年9月。

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), 社団法人 交通工学研究会, 昭和62年3月。