高速道路流入部における先行避走に関する一考察

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
鳥取大学工学部　　　　　　高木英史

1. はじめに

高速道路は、一般道路に比べ他車との錯綜が少なく、走行しやすいと考えられる。しかしながら、高速走行であるために、一度事故が発生すると重大事故に発展する可能性が高く、事故にしめる死亡事故の割合も一般道路に比べて非常に高い。特に、流入部においては、流入車と本線車および追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・接触事故の危険度が高いと考えられる。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と考えられる。

流入車との錯綜が避けられない高速道路流入部においては、本線車がその危険を回避するために前もって追越し車線に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、流入部の事故危険性や処理能力等に大きく影響を与えていると考えられるが、これまでこのような流入部前での意思決定は考慮されていない。

本研究では、既存の研究の流入部の流入・避走行動モデルを本線車の流入部前での先行避走に関する意思決定を説明できるモデルに拡張し、各車両の先行避走、避走、流入の各行動に関してモデル分析する。

2. 流入・避走挙動モデル

まず、流入部での流入・避走行動をモデル化する。流入部全体の流入・避走行動をモデル化する際に、福山・喜多・谷渕[1)]で導出されたある瞬間の状態における流入・避走ゲームモデルを用いる。図-1で表されるような1流入車線、2本線車線の高速道路流入部を考え、流入車線から本線に1台の流入車が低速で流入する現象をモデル化する。流入部において、流入車ドライバーと本線を走行する本線車ドライバーや追越し車線を走行するドライバーは、互いの行動に関して事前に打ち合わせを行ったり、取り決めを行うことはできない。流入車の利得行列および本線走行車の利得行列は、標準型ゲームとして図-2のように表せる。このとき，流入車の期待利得$U_m(x,y)$は次式で与えられる。

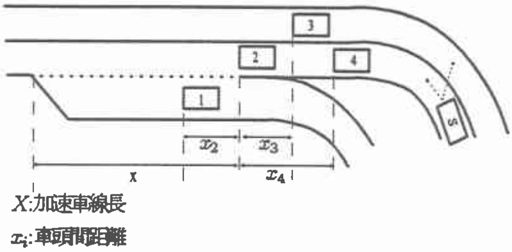

図-1：各車両の位置と車頭間距離

本線車ドライバーの意思決定

流入者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
G_{ij}:本線車の利得

$$i = \begin{cases} 1 : \text{流入する} \\ 0 : \text{流入しない} \end{cases}$$

$$j = \begin{cases} 1 : \text{避走する} \\ 0 : \text{避走しない} \end{cases}$$

図-2：流入・避走ゲームモデル (標準型)

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

一方、本線車の期待利得$U_w(y;x)$は次式のようになる。

$$\begin{aligned} U_w(y,x) &= y\{xG_{11}+(1-x)G_{01}\} \\ &+(1-y)\{xG_{10}+(1-x)G_{00}\} \end{aligned} \tag{2}$$

ここに、x:流入確率、y:避走確率、F_{ij}:流入車の利得、G_{ij}:本線車の利得を表す。F_{ij}、G_{ij}のiは、流入車ドライバーが流入するとき1、流入しないとき0で表すとする。また、jは、本線車ドライバーが避走するとき1、避走しないとき0で表すとする。流入車および本線車はそれぞれの期待利得が最大になるような意思決定を行う。

3. 流入・避走行動の均衡解と交通現象

福山・喜多[2)]は各ドライバーの利得を走行環境(TTC)で特定化し,谷渕の流入・避走挙動モデルによって導かれた均衡解の成立条件を規定する$F_{11}-F_{01}>(<)0$、$F_{10}-F_{00}>(<)0$、$G_{11}-G_{10}>(<)0$の3つの条件式の変化を通じて均衡解がどのような流入・避走現象に対応するか

を調べることによって, 各時点・各走行環境での流入・避走現象を説明した。流入部全体における流入・避走行動をそれぞれ$(\overline{x}, \overline{y})$で表すと、流入・避走ゲームの8とおりの均衡解は、以下のような対応となることがわかる。

I. $F_{11} - F_{01} > 0, F_{10} - F_{00} > 0, G_{11} - G_{10} > 0$のとき、
$(\overline{x}, \overline{y}) = (1, 1)$

II. $F_{11} - F_{01} > 0, F_{10} - F_{00} > 0, G_{11} - G_{10} < 0$のとき、
$(\overline{x}, \overline{y}) = (1, 0)$

III. $F_{11} - F_{01} > 0, F_{10} - F_{00} < 0, G_{11} - G_{10} > 0$のとき、
$(\overline{x}, \overline{y}) = (1, 1)$

IV. $F_{11} - F_{01} > 0, F_{10} - F_{00} < 0, G_{11} - G_{10} < 0$のとき、
$(\overline{x}, \overline{y}) = (1, 0)$

V. $F_{11} - F_{01} < 0, F_{10} - F_{00} > 0, G_{11} - G_{10} > 0$のとき、
$(\overline{x}, \overline{y}) = (-, -)$

VI. $F_{11} - F_{01} < 0, F_{10} - F_{00} > 0, G_{11} - G_{10} < 0$のとき、
$(\overline{x}, \overline{y}) = (-, -)$

VII. $F_{11} - F_{01} < 0, F_{10} - F_{00} < 0, G_{11} - G_{10} > 0$のとき、
$(\overline{x}, \overline{y}) = (1, 1)$

VIII. $F_{11} - F_{01} < 0, F_{10} - F_{00} < 0, G_{11} - G_{10} < 0$のとき、
$(\overline{x}, \overline{y}) = (1, 0)$

4. 先行避走のモデル化

先行避走の意思決定を行う車両Sが図-1で表されているように本線左側車線を走行している本線車4の後方に存在すると仮定する。先行避走を行う車両は前方に流入部が存在すると認識しており、流入部での交通現象が先行避走車の意思決定に大きく影響を及ぼしていると考える。先行避走車は、流入部の状況を見て先行避走の意思決定を行うのではなく、流入部での交通行動を予測し将来本線車2となり、流入・避走ゲームに参加することの期待利得と追い越し車線車3となり、ゲームに参加しないときの期待利得の比較によって、先行避走を行うかどうかの意思決定を行うものと考える。流入部での各均衡解の起こる確率を求めることによって将来本線車2となることの期待利得$EU_2(q)$を求めると

$$EU_2(q) = \sum_{i=I}^{VIII} P_i(q) U_i \tag{3}$$

となる。ここに, $P_i(q)$:流入部でのそれぞれの均衡解が起こる確率、U_i:それぞれの均衡解が起こったときの利得、q:先行避走を行う確率である。追越し車線車の期待利得を$EU_3 = \bar{U_3}$(一定)とおくと、均衡状態において先行避走の意思決定の選択後どの車線を走行しても効用が等くなると考えると, 本線走行時および追い越し車線走行時の期待利得均衡条件より次式が成り立つ。

$$(1 - q) EU_2(q) = q \bar{U_3} \tag{4}$$

(4)式をみたすqが均衡下の先行避走確率q^*である。ここで、

$$P_i(q) = (1 - q) q P_i \tag{5}$$

となるようなP_iを定義すると$EU_2(q)$は次式で与えらる。

$$EU_2(q) = (1 - q)^2 q \sum_{i=I}^{VIII} P_i U_i \tag{6}$$

(4)式より、

$$(1 - q)^2 q \sum_{i=I}^{VIII} P_i U_i = q \bar{U_3} \tag{7}$$

(7)式をみたすqであるq^*を求めると、

$$q^* = 1 - \sqrt{\frac{\bar{U_3}}{\sum_{i=I}^{VIII} P_i U_i}} \tag{8}$$

ただしqは、$0 \leq \frac{\bar{U_3}}{\sum_{i=I}^{VIII} P_i U_i} \leq 1$をみたす。したがって、求めた先行避走確率$q^*$によって先行避走行動を行なっていると考えられる。$q^*$に関して以下が確かめられる。

1. $\dfrac{\partial q^*}{\partial X} < 0$のとき、先行避走確率は大きくなる。
2. $\dfrac{\partial q^*}{\partial y_2} > 0$のとき、先行避走確率は大きくなる。
3. $\dfrac{\partial q^*}{\partial y_3} < 0$のとき、先行避走確率は大きくなる。

5. まとめ

本研究では、高速道路流入部前における走行車の車線選択に関する意思決定を流入部における流入・避走ゲームへの参加不参加の判断としてモデル化し高速道路流入部前で生起する先行避走を説明できるモデルの構築を行った。今後は、追越し車線走行時の利得構造の定式化を行なうことが必要がある。このとき本研究において考慮されていない車線利用率の変化を考慮した追越し車線車の利得を定義することが有用であろう。これにより、本線車両の車線分布というマクロな現象を内省的に説明できるモデルに拡張できる可能性がある。

参考文献

[1] 福山 敬, 喜多秀行, 谷渕 英嗣: 高速道路流入部における交通行動のゲーム論的分析, 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集, 第4部(IV-114), 228-229, 1997.

[2] 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, No. 20(2), 895-898, 1997.