高速道路流入部における交通行動のゲーム論的解釈

(株) 赤鹿建設　○正員　谷渕 英嗣　　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

高速道路の安全性や快適性を向上させるためには、高速道路流入部で生起する交通現象や交通挙動を理解することが重要であると考えられる。本研究では、高速道路流入部を走行する車両のドライバーの意志決定を合理的主体による完全情報下の同時意思決定問題としてとらえ、非協力ゲームを用いてモデル化する。本モデルの均衡解分析より、ドライビング環境が各ドライバーの意思決定及び流入部に発生する現象にもたらす影響が明らかになり、流入部設計法を開発する上で有用な知見を与えるものと考える。

2. モデル構築の基本的な考え方

本研究では、高速道路を走行する流入車と本線車の流入・避走挙動の関係を以下のようにモデル化する。まず加速車線から本線への流入を考えている流入車ドライバーは、加速車線終端に到達してしまう危険と流入する危険を比較して流入するか否かを選択し、一方、本線を走行する本線車ドライバーは、前方に流入車が流入してくる危険と隣の追い越し車線に避走することによる危険を比較し行動を選択する。このとき、各ドライバーのある瞬間におけるこのような選択行動は、瞬時の状況に対してmyopic に行われると考える。また、流入部において、流入車線、本線、追い越し車線を走行する各ドライバーは互いに意思の疎通手段を持たない。各ドライバーは他のドライバーの行動を予測し自らの行動を選択するものと考えられる。したがって、高速道路流入部におけるドライバーの意思決定は非協力ゲームにおけるプレーヤーの意思決定と見なすことができる。

3. 流入・避走ゲーム

図-１に示すように、流入車線、本線、追い越し車線からなる高速道路流入部において、１台の流入車が流入車線から本線に流入する場合についてモデル化する。このとき、流入車線には１台の流入車のみ存在し、流入車 (図中 [1]) より本線車 (図中 [2],[4])、本線車より追い越し車線車 (図中 [3]) の方が高速であるとする。ゲームのプレイヤーを流入車 [1] と本線車 [2] のみとし、各プレイヤーの意思決定に影響を与える車両を図-１の [1]～[4] と考える。このゲームは流入部のある瞬間の状態に対して定義される。したがって、プレイヤーにとって本ゲームは、流入車が本線車の前方に流入するか、本線車が流入しない流入車を追い越すまでの各時点に対して定義可能である。ここではあるゲーム（時点）におけるプレイヤーは、そのゲーム（時点）の状態のみを考慮してそのゲームの行動に関する意思決定を行うと考える。各ゲームにおいて各プレイヤーは１回の意思決定を持つとし、流入車の意思決定を加速車線から本線へ流入する・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追い越し車線へ避走する・避走しないとし、避走確率を y で表す。各車両の減速は考慮しない。本ゲームモデルは標準型ゲームとして図-２のように与えられる。ここで F_{ij} を流入車の利得、G_{ij} を本線車の利得とする。添字 i は、流入車が流入するとき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。

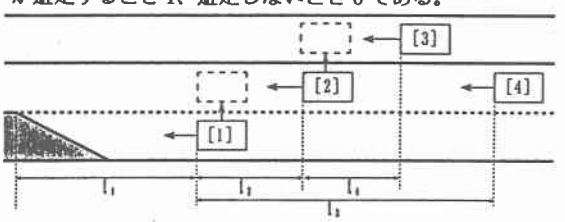


図-1 流入部における走行車の位置関係

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}

図-2 流入・避走ゲームモデル（標準型）

図-２より流入車の期待利得 U_m 及び本線車の期待利得 U_g は以下で与えられる。

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

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

4. 均衡解

各プレイヤーは期待利得の最大化を行い、その安定

的な組み合わせより８ケースの可能なナッシュ均衡解 (x^*, y^*) が得られるが、ここでは本線車避走時に流入車は常に流入しない方がよいという特殊なケース $(F_{11}-F_{01} < 0)$ を除いた４ケースを以下に示す。

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

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

III. $F_{11}-F_{01} > 0, F_{10}-F_{00} < 0, G_{11}-G_{10} > 0$ のとき、$(x^*, y^*) = (1, 1), (0, 0), (G, F)$
ただし $G = -G_{01}/(G_{11}-G_{10}-G_{01}), F = (F_{00}-F_{10})/\{(F_{00}-F_{10})+(F_{11}-F_{01})\}$

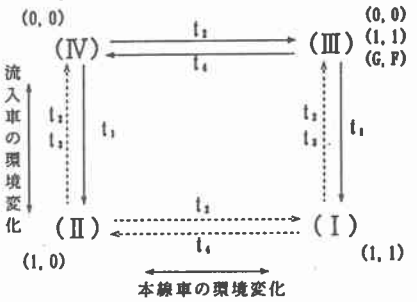
IV. $F_{11}-F_{01} > 0, F_{10}-F_{00} < 0, G_{11}-G_{10} < 0$ のとき、$(x^*, y^*) = (0, 0)$

均衡解Ⅰは流入車にとって加速車線終端まで余裕が無く、本線車にとって追い越し車線の危険が小さいとき (流入する, 避走する) が起こることを表している。均衡解Ⅱは流入車の状況は均衡解Ⅰのときと同じで、本線車にとって追い越し車線の危険が大きいとき (流入する, 避走しない) が起こることを表している。均衡解Ⅲは両車が非常に接近しているとき (流入する, 避走する)(流入しない, 避走しない)、及び混合戦略均衡が起こることを表している。均衡解Ⅳは、本線車の状況が均衡解Ⅱのときと同じで、流入車は本線車との錯綜の危険が大きいとき（流入しない, 避走しない）が起こることを表している。

5. 均衡解の検討

環境パラメータであるTTC(相前後して走行する車両の車頭距離/相対速度) の変化による均衡解の変化を図-３に示す。均衡解がケースⅠ及びⅡの場合は流入車が流入するのでゲームは終了する。ケースⅣの場合、流入車は流入を完了していないので流入ゲームは終了せず次の瞬間にゲームを行うと考えられる。ゲームがケースⅣから始まった場合にゲームが終了するのは、ケースⅡの均衡に移動するか、ケースⅢを経由してケースⅠの均衡に移動するかのどちらかである。ケースⅣからケースⅡへ移動するときは、流入車が加速車線終端までの距離が少なくなってくる（t_1が小さくなる）ことであり、この均衡解の変化は流入車が加速車線の減少による危険の増加のため「流入する」ことを表している。次にゲームがケースⅣからケースⅢを経由してケースⅠへ移動する場合について考える。ケースⅣからケースⅢへ移動するときは、流入車と本線車との距離が近づいてくる（t_2が小さくなる）ことであり、このときケースⅢの均衡解が達成されることになる。ここで、ケースⅢには３つの均衡解が存在する（複数均衡）ことになるか、実際にどれが発生するかは経路依存性を考慮に入れることにより考察できる。(0,0) の均衡解を持つケースⅣからパラメータ t_2が減少し (0,0)、(1,1)、(G,F) の均衡解を持つケースⅢに移動したとする。このときケースⅢでは３つの均衡解が存在するが、実際には均衡解は (0,0) をとると考える。これは初期条件であるケースⅣで流入車ドライバーが流入しない、本線車ドライバーが避走しないを選択しており、この状況の下ではパラメータが変化していっても、他のすべてのドライバーがケースⅣの時の意思決定にしたがって行動していることを所与にすれば、最適反応は流入車ドライバーが流入しない、本線車ドライバーが避走しないということになり、環境変化に関わらず均衡解は (0,0) という結果に落ちつく。

最後に、ゲームが３つの均衡解を持つケースⅢから始まった場合は、実現する均衡解を経路依存性では説明できない。しかしながら、例えば流入車が加速車線に入ってきた瞬間からゲームが始まると考えれば、この初期時点でのゲームの均衡解は流入車は「流入しない」、本線車は「避走しない」であると考えられ、したがってこのときの状態は (0,0) であることになる。これを初期条件とすると、環境が変化しても各ドライバーが初期条件の意思決定に経路依存的であると考えると、結局ケースⅢにおいては、流入車ドライバーが「流入しない」、本線車ドライバーが「避走しない」となる均衡解 (0,0) が選択されることになると考えられる。



注）図中の矢印は添付のTTCの減少による均衡解の移動方向を示している

図-3 TTCの変化による均衡解の変化

6. おわりに

本研究では、流入部における走行車の挙動をゲームモデルを用いて構築し、環境の状況と流入部で発生する状態の関係を明らかにした。また状態の移行を瞬間のゲームの均衡解の変化として説明することにより、高速道路流入部に発生する現象のメカニズムを明らかにできたと考える。