

N-114

高速道路流入部における交通行動のゲーム論的分析

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
赤鹿建設 正員 谷淵英嗣

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となる。しかしながら、久保蘭らによる先駆的研究¹⁾を除けば、個々の交通行動主体の意思決定とその相互作用を明示的に考慮した形で、流入部に発生する現象を説明するモデルはほとんどないのが現状である。本研究では、高速道路流入部に走行する車両のドライバーの意思決定を合理的主体による完全情報下の意思決定問題としてとらえ、非協力ゲーム理論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や流入部に発生する現象にもたらす影響が明らかになる。これにより流入部の設計法を開発する上で有用な知見を与えるものと考ええる。

2. モデル構築の基本的な考え方

各ドライバーの流入や避走等の意思決定には様々な環境要因が影響していると考えられる。本研究では、ドライバーは各時点において周辺の車両及び環境が与える危険を考慮し、走行に関する意思決定を行うと考える。例えば、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、加速車線終端に対して感じる危険と流入することによる危険を比較して本線に流入するか否かを選択するとする。また、このようなある時点での各ドライバーの判断は、その時点での状況（危険性）のみを考慮しておこなわれ、次時点以降に発生するであろう状況に依存しないという意味でmyopicであると考えられる。これは、ドライバーは刻々と変わるドライビング環境に対し、完全予見な意思決定はとうてい不可能であり、瞬時に発生する環境に対し意思決定を行っているとして想定していることを意味している。以上より、互いに意思の疎通手段を持たずに加速車線、本線、追い越し車線を走行する各ドライバーのある時点での意思決定は、環境の危険性で決まる利得を持つ非協力ゲームとしてモデル化できる。

3. 流入避走ゲーム

図-1に与えられるような高速道路流入部を想定する。図-1の各車線は、下方から上方に、加速車線、走行車線(本車線)、追い越し車線である。加速車線に1台

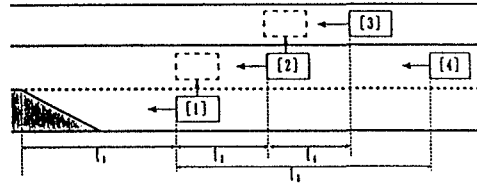


図-1: 流入部における走行車の位置関係

		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)
流入車ドライバーの意思決定	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）

のみ存在する流入車が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(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環境は図-1の車両[1]~[4]及び加速車線終端で与えられると考え、その影響(危険性)はTime to Collision (TTC) [= (対象車両(環境)との距離)/(相対速度)]で表されるとする。また、このゲームは流入部のある時点の状態に対して定義されるので、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。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。簡単化のため各車両の減速による避走は考慮しない。このとき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。

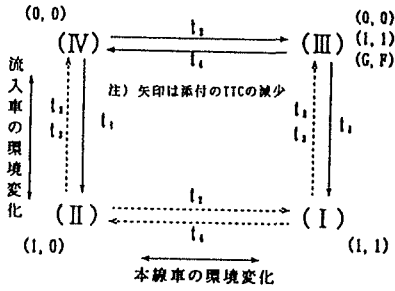


図-3: TTC の変化による均衡解の変化

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。

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

$$U_g(y, x) = y\{xG_{11} + (1-x)G_{01}\} + (1-y)\{xG_{10} + (1-x)G_{00}\} \quad (2)$$

4. ゲームの均衡解

各プレイヤーは期待利得の最大化を行うとすると、8 ケースの可能なナッシュ均衡解 (x^*, y^*) が得られる。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ケース ($F_{11} - F_{01} < 0$) を除いた 4 ケースを示す。

- 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なく、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きとき(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、流入車は流入による本線車との錯綜の危険が大ききとき(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 の変化による均衡解の変化を図-3 に示す。均衡解が 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。IV の場合、流入車は流入を完了していないのでゲームは終了せず次の時点で新たなゲームを行うと考えられる。ゲームが IV から始

まった場合にゲームが終了するのは、II の均衡に移動するか、III を経由して I の均衡に移動するかのどちらかである。IV から 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 (l_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 IV から III を経由して I へ移動する場合について考える。IV から 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 (l_2 が小さくなる) ことであり、このとき III の均衡解が達成されることになる。ここで、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 IV からパラメータ l_2 が減少し (0,0)、(1,1)、(G,F) の均衡解を持つ III に移動したとする。このとき 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ても、他のすべてのドライバーが 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 III から始まった場合、実現する均衡解を説明できない。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」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、結局 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。

6. おわりに

本研究では、高速道路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。状態の移行をゲームの均衡解の変化として説明することにより、流入・避走現象のメカニズムを明らかにできたと考えられる。

1) 喜多・久保蘭, 高速道路流入部における流入・避走挙動のモデル化, 第 14 回交通工学研究発表会論文集, pp. 45-48, 1994.