ドライバーの危険意識の違いと事故発生に関するモデル分析

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
コベルコシステム（株）　保科博靖

1. はじめに

現在日本では飛行機や鉄道，バス，自動車などの交通手段があり，各個人の目的や時間など様々な要因により，その時々で最も便利な交通手段を利用しているものと思われる．中でも特に自動車については普及率が高く最も身近な交通手段の１つと考えられ，多くの人々が手軽に利用でき，自由に行動することができる反面，他の交通手段と比較したとき，より事故発生件数が多いという問題を抱えているのが現状である．その原因の１つとして，多様に異なるドライバーの事故危険に対する意識の違いがあげられ，ドライバーの運転行動と交通事故の間には密接な関係があると考えられる．

そこで本研究では、事故に対して異なる危険意識をもつ複数ドライバーが存在する社会において、ドライバーの厚生水準や事故発生率など、事故危険に関していかなる均衡状態が成立するかをモデル分析する。さらに、より安全な運転状況を誘導するための事故費用負担のあり方について言及する。

2. モデルの前提条件

事故危険に関する認識や態度の異なる複数のドライバーによって形成される社会を考える．つまり，社会に２タイプのドライバーが存在しており，危険な運転を選好する危険愛好的ドライバー（タイプ１）であり、１つは，危険な運転を行なう(Rで表す)か否か($\overline{R}$)の戦略をもつ。他方は、不注意な運転を嫌い，危険を回避することを選好する危険回避的ドライバー（タイプ２）であり、回避行動を行なう(A)か否か($\overline{A}$)の戦略をもつ。各ドライバーは，当該社会で道路ネットワークを走行しており，他のドライバーと（２人）「遭遇」を繰り返す．遭遇は完全にランダムであり，遭遇の相手の情報は記憶されない．ドライバーは，遭遇相手のドライバーのタイプを事前に知ることはできず，「各タイプのドライバーが社会に占める割合」という社会のマクロ情報の下で，各期の戦略を決定する．

3. モデルの定式化

Nを社会全体の人数，n_1，n_2を，それぞれタイプ１，２の人数とする．タイプ１の危険行動の便益をB，タイプ２の回避行動のコストをCとする．pをタイプ１が危険行動を行う確率（$\hat{p}$を自分以外のタイプ１のpの戦略確率），qをタイプ２が回避行動を行う確率とすると，各期の危険愛好的ドライバーの期待利得$U_1(p;\hat{p},q)$と，危険回避的ドライバーの期待利得$U_2(q;p)$は次式で与えられる．

$$\begin{aligned}U_1(p;\hat{p},q)=&\tfrac{n_1}{N}\left[p\left\{B-(P_3-P_0)d_1^{(1,1)}\hat{p}\right\}-P_0d_1^{(1,1)}\right]\\&+\tfrac{n_2}{N}\left[p\left\{B+q(P_2-P_1)d_1^{(1,2)}-(P_2-P_1)d_1^{(1,2)}\right\}-P_0d_1^{(1,2)}\right]\end{aligned}\qquad(1)$$

$$\begin{aligned}U_2(q;p)=&\tfrac{n_2}{N}\left[-P_0d_2^{(2,2)}-Cq\right]\\&+\tfrac{n_1}{N}\left[q\left\{(P_2-P_1)d_2^{(1,2)}p-C\right\}-(P_2-P_0)d_2^{(1,2)}p-P_0d_2^{(1,2)}\right]\end{aligned}\qquad(2)$$

ここで，$P_3=P_{11}^{RR},P_2=P_{12}^{R\overline{A}}=P_{11}^{R\overline{R}},P_1=P_{12}^{RA},P_0=P_{22}=P_{12}^{\overline{R}A}=P_{12}^{\overline{RA}}=P_{11}^{\overline{RR}}(P_3>P_2>P_1>P_0)$はそれぞれ各遭遇時の事故発生確率であり$P_{ij}^{kl}$は遭遇したタイプ$i$と$j$の各ドライバーが，それぞれ$k$と$l$の戦略をとるときの事故確率である．$d_k^{(i,j)}(k=i,j)$は事故が起こったときのタイプ$k$の負担する事故費用である．

4. 最適反応戦略の導出

各タイプのドライバーの最適反応を求めるため，各タイプの期待利得式(1)，式(2)を自身の戦略で偏微分することにより最適反応を求めることができる．

$$\hat{p}\begin{bmatrix}<\\=\\>\end{bmatrix}\frac{B+\frac{n_2}{N}\left\{(P_2-P_1)d_1^{(1,2)}q-(P_2-P_0)d_1^{(1,2)}\right\}}{\frac{n_1}{N}(P_3-P_0)d_1^{(1,1)}}=f(q)$$

$$\Longrightarrow\quad p^{best}=\begin{bmatrix}\text{より大きい方が良い}\\ [0,1]\\ \text{より小さい方が良い}\end{bmatrix}\qquad(3)$$

$$p\begin{bmatrix}>\\=\\<\end{bmatrix}\frac{C}{\frac{n_1}{N}(P_2-P_1)d_2^{(1,2)}}(=W)\Longrightarrow q^{best}=\begin{bmatrix}1\\ [0,1]\\ 0\end{bmatrix}\qquad(4)$$

式(3)における$\hat{p}$の閾値を$f(q)$とおくと，$f(q)$は危険愛好的ドライバーと危険回避的ドライバーの遭遇において，危険愛好的ドライバーが危険運転行動を行なうことによる便益（行わないことによるコスト）表す．この便益はqの関数であり，危険回避的ドライバーが回避行動を行う確率(q)に依存してるため，$f(q)$の大小関係により危険愛

好的ドライバーの戦略が変化する．一方，式(4)におけるpの閾値をWとおくとすると，Wは危険愛好的ドライバーと危険回避的ドライバーの遭遇において，危険回避的ドライバーが回避行動を行うことによる便益を表している．また，分子，分母が共に正の値をとるため常に$W>0$となる．ここで，式(4)に着目すると，Wは定数とみなすことができ，危険回避的ドライバーは，危険愛好的ドライバーの戦略のみにより自分の戦略が決定することがわかる．それに対して，式(3)に着目すると，$f(q)$はqの関数であり，危険愛好的ドライバーは，同タイプのドライバーと危険回避的ドライバーの両方のドライバーの戦略により自身の戦略を決定することがわかる．

$f(q), W$の大小関係によりナッシュ均衡解が異なり，全部で11通りの場合分けができることになる．

5. 均衡解分析

式(3)，式(4)の最適反応より，ナッシュ均衡解(p^*,q^*)を求めた結果をまとめると以下の表－1のようになる．

表－1:社会におけるナッシュ均衡解

	条　件	均衡解 (p^*,q^*)
$W>1$	$f(0)>1$	$(1,0)^*$
	$0<f(0)<1$	$(f(0),0)$
	$f(0)<0$	$(0,0)^*$
$0<W<1$	$W<f(0)<1<f(1)$	$(1,1)^*$
	$0<f(0)<W<1<f(1)$	$(1,1)^*$ $(f(0),0)$ (W,G)
	$f(0)<0<W<1<f(1)$	$(1,1)^*$ $(0,0)^*$ (W,G)
	$W<f(0)<f(1)<1$	$(f(1),1)$
	$0<f(0)<W<f(1)<1$	$(f(1),1)$ $(f(0),0)$ (W,G)
	$f(0)<0<W<f(1)<1$	$(f(1),1)$ $(0,0)^*$ (W,G)
	$0<f(0)<f(1)<W$	$(f(0),0)$
	$f(0)<0<f(1)<W$	$(0,0)^*$

ただし

$$f(0) = \frac{B-\frac{n_2}{N}(P_2-P_0)d_1^{(1,2)}}{\frac{n_1}{N}(P_3-P_0)d_1^{(1,1)}} \tag{5}$$

$$f(1) = \frac{B-\frac{n_2}{N}(P_1-P_0)d_1^{(1,2)}}{\frac{n_1}{N}(P_3-P_0)d_1^{(1,1)}} \tag{6}$$

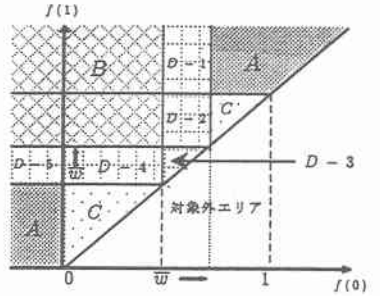
$$W = \frac{G}{\frac{n_1}{N}(P_2-P_1)d_2^{(1,2)}} \tag{7}$$

$$G = \frac{\frac{n_1}{N}(P_3-P_0)d_1^{(1,1)}W+\frac{n_2}{N}(P_2-P_0)d_1^{(1,2)}-B}{\frac{n_2}{N}(P_2-P_1)d_1^{(1,2)}} \tag{8}$$

Wは回避行動を行うことによる便益であり，$f(1), f(0)$はともに危険行動を行なうことによる便益である．この3変数の大小関係により均衡解は異なる．$W>1$のときタイプ2にとり回避行動を行うことが支配戦略となる．$0<W<1$のとき$f(1)$の値が大きいほどタイプ1は危険行動を行う確率が高くなり，$f(0)$の値が大きいほどタイプ2は回避行動を行う確率が高くなる．$f(0)<W<f(1)$のとき複数均衡となる．*は進化論的に安定な均衡を示す．

6. 政策的含意

本節では，$0<W<1$のときの事故が発生したときにドライバーが負担する事故費用の配分を変化させることにより均衡解と各タイプのドライバーの戦略にいかなる変化をもたらすかを考察する．ここで，タイプ1の事故費用負担を増加させたときの均衡解の変化と戦略の変化を考察するため，横軸に$f(0)$，縦軸に$f(1)$をとり，均衡解エリアを色分けした図を図－1に表す．



図－1：タイプ1の事故費用配分の増加に伴う均衡解エリアの変化

エリアAは事故費用負担額の変化に対して，均衡解，戦略が共に不変のエリアである．エリアBは事故費用負担額の変化に対して均衡解は不変である．複数均衡解のうち実現している均衡解によって危険行動を行なう確率が増加，または減少し，回避行動を行なう確率も増加，または減少するエリアである．エリアCは事故費用負担額の変化に対して均衡解は不変である．回避行動を行なう確率は不変であるが，危険行動を行う確率は減少する．エリアDは事故費用負担額の変化に対して，$D-1, D-2$エリアでは均衡解戦略は不変の可能性が高く，$D-3$エリアにおいては危険行動戦略をとる確率は減少し，回避行動を行なう確率も減少する．$D-4, D-5$エリアにおいては両タイプの戦略をとる確率は不変であるか減少するかのどちらかである．

7. まとめ

事故の危険意識の異なる複数ドライバーにより形成される社会において，ドライバーが道路ネットワークを走行する社会をモデル化した．さらに，事故費用負担の配分を変えることによる均衡解の変化を考察した．タイプ1の事故費用負担が少なくなると，多くの場合タイプ1が危険行動を行う確率が減少する．しかしながら，成立している均衡解によっては，タイプ1の事故費用負担の増加が，より多くの危険行動を誘発する場合が認められた．今後の課題として，ドライバーの過去の交通事故や交通ルール違反等の経験により差別化した事故費用負担ルールの効果を分析する必要がある．