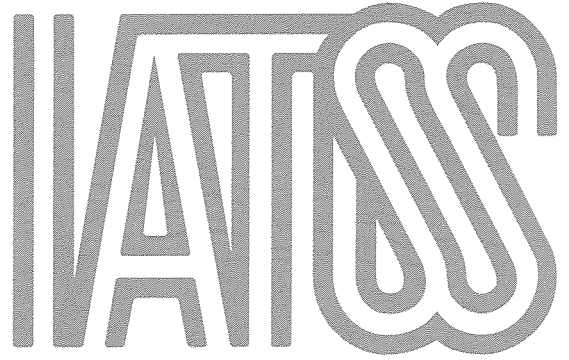


*International Association of Traffic and Safety Sciences*



平成10・11年度研究調査報告書

ドライバーの危険回避行動  
に関する研究

平成12年12月

## 目 次

はじめに .....	2
蓮花一己：運転時のリスクテイキング行動の心理的過程と リスク回避行動へのアプローチ*1 .....	3～13
多々納裕一：認知リスク形成過程を考慮したドライバーの 危険回避行動に関するモデル分析 .....	14～19
喜多秀行、谷本圭志：ドライバーの交通ルール認識と 危険回避行動の推移に関するモデル分析*2 .....	20～28
福山 敬、喜多秀行：ドライバー間の慣習的合図 「パッシング」の危険性に関するモデル分析*3 .....	29～36
小林潔司、横松宗太：不確実性下における交通行動の モデル化*4 .....	37～44

\*1～\*4は、国際交通安全学会誌IATSS  
Review, Vol.26, No.1より転載

## 研 究 組 織

P L	喜多 秀行（鳥取大学工学部教授）
メンバー	桑原 雅夫（東京大学生産技術研究所教授） 蓮花 一己（帝塚山大学人文科学部教授） 小林 潔司（京都大学大学院工学研究科教授） 多々納裕一（京都大学防災研究所助教授） 谷本 圭志（鳥取大学工学部助教授） 福山 敬（東北大学大学院情報科学研究科助教授）
研究協力者	横松 宗太（京都大学大学院工学研究科）
事務局	奈良坂 伸（財団法人国際交通安全学会） 今泉 浩子（財団法人国際交通安全学会）

## はじめに

平成10年度と11年度の2カ年を費やし、ドライバーの危険回避行動に着目した交通安全方策に関する以下の2つの研究プロジェクトを実施した。

### ドライバーの危険回避行動に関する基礎分析

#### —H049プロジェクト—

効果的な交通安全対策を策定するためには、ドライバーの危険回避行動に対する的確な理解が不可欠である。交通事故リスクに対する認識不足やドライバー間での認識のずれが危険回避行動に影響し、事故原因となる場合が少なくないが、ドライバーをとりまく種々の環境が危険回避行動にどのような影響を及ぼしているかということについてはあまり研究の蓄積がないのが現状である。そこで本研究プロジェクトではドライバーの危険回避行動について交通工学、交通心理学、経済学の側面から検討を加え、いくつかの分析を行った。そして、得られた研究成果をもとに交通安全対策のミクロ的なまとめを行うとともに、今後の研究課題を明らかにした。

### ドライバーの危険回避行動に関するモデル分析

#### —H160プロジェクト—

交通安全キャンペーンやドライバー教育などソフトな交通安全施策がかねてより実施されてきているが、適切な評価手法がないこともあり、その有効性は必ずしも明確にされていない。

そこで、本研究では、“ロータリーの交通ルール”と“パッシング”の2つを対象に、まず“さまざまな危険認識を有する2人のドライバーが遭遇した際の相互依存的な危険回避行動の選択”と“危険認識の形成・更新メカニズム”をモデル化した。そして、認識の異なるドライバーが混在している下で両者が遭遇を繰り返しながら行動の選択と認識の更新を繰り返した結果、最終的にどのような状況に落ち着くかをシミュレートするとともに、その状況が社会的に望ましくない場合にいかなる働きかけをすれば改善できるかを検討した。また、数値実験を通して、認識変化の程度に即した教育の事故低減効果が高いなど、危険認識に働きかけるソフトな交通安全対策の有効性と政策評価の可能性を示すことができた。

本報告書は、国際交通安全学会誌IA TSS Review、Vol.26、No.1に掲載された論文をはじめこれまでに発表した研究成果をとりまとめたものである。多くの方々からご指摘やご教示をいただき、さらなる充実を図るとともに、今後の議論の礎としてこの分野の進展に資するものとなれば幸いである。なお、H049プロジェクトについては、平成10年度研究調査報告書「ドライバーの危険回避行動に関する基礎分析」（平成11年6月）も参考にさせていただきたい。

## 運転時のリスクテイキング行動の心理的過程と リスク回避行動へのアプローチ

蓮花一己\*

本論文ではまず、リスクテイキング行動に関する研究を概観した上で、リスク研究の定義と枠組みを紹介した。そしてドライバーのリスクテイキング行動の過程を、リスク知覚、ハザード知覚、運転技能の自己評価、リスク効用という諸側面から、とくにハザード知覚と自己評価の両側面とリスク知覚の関連性について検討した。さらにリスク補償やリスクホメオスタシスの概念と論争について、また、安全性以外の欲求や行動基準が影響している「リスク効用」の問題、とくに、センセーション・シーキングについて最近の研究動向を説明した。最後に、リスクテイキングのメカニズムを提示した上で、ドライバーのリスク回避行動を促進するための有効な対策について提案を行っている。

### Psychological Processes of Risk-Taking Behavior in Driving and New Approach toward Promoting Risk-Avoiding Behavior

Kazumi RENGE\*

The literature on drivers' risk-taking processes was reviewed. Aspects of risk-taking behavior were divided into driver's hazard perception, self-evaluation of their own skill, risk perception, which were then related with each other on the basis of previous research findings. Recent discussion on risk homeostasis and risk compensation was explained. Effect of risk utility, especially Zuckerman's "Sensation Seeking", on the risk-taking behavior was discussed. Finally, psychological processes of risk-taking in driving were presented to propose several possibilities how to improve drivers' risk-avoiding behavior by traffic safety countermeasures in Japan.

#### 1. 交通状況でのリスク研究の必要性と諸概念

人間の空間移動に関わる諸問題を扱うのが交通心理学の役割であり、もちろん交通のリスクについても以前から問題にされてきた。心理学でリスクを扱

う場合、原子力や喫煙、株式など人間社会に無数に存在し、かつ技術革新によって新たに生み出されつつあるリスクを人々がどのように捉え(リスク認知; risk perception)、また関わっているのか(リスクテイキング; risk taking)が扱われる。さらに、原子力問題などのように、行政・組織がリスク情報とリスク管理を直接に取り扱い、住民や個人がリスクを直接には管理できない場合には、国や行政機関がリスク情報をいかに適切に住民に理解させ、住民と行政機関とが共通の問題としてリスク問題を解決するための共通の土俵を作る必要がある。こうしたアプローチをリスク・コミュニケーション (risk communication) と呼び、近年さまざまな研究や提言、

\* 帝塚山大学人文科学部教授  
Professor, Faculty of Humanities,  
Tezukayama University  
原稿受理 2000年5月9日

※この論文は勅国際交通安全学会平成10年度H049プロジェクト「ドライバーの危険回避行動に関する基礎分析」(PL:喜多秀行)および同平成11年度H160プロジェクト「ドライバーの危険回避行動に関するモデル分析」(PL:喜多秀行)の調査研究をもとに執筆された。

具体的な活動が主として欧米を中心として実施されてきた<sup>1-3)</sup>。

交通状況でのリスクは他の領域のリスクと比べて、①多様である、②事故の可能性が高い（高リスクである）、③タイムプレッシャーが高い（意思決定までの時間的余裕が短い）、④運転者の個人的関与度が大きい、という特色がある。自動車運転時のリスク対処やリスク管理には、運転者の心的過程（知覚、認知、意思決定）や運転態度・欲求システムの諸要因が大きく関わっており、個人の問題を中心に扱う心理学の中でも交通心理学でのリスクの問題は際だっている。

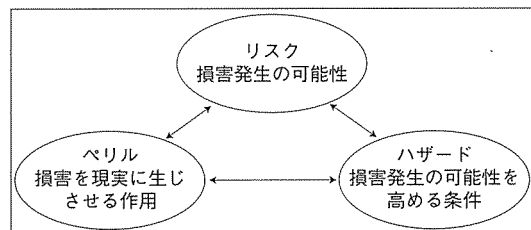
交通心理学では、ドライバーの事故発生に関連する概念として、リスクテイキング（リスク敢行性；risk taking）という用語が長く用いられてきた。この場合、「リスクを承知で行動を行う」というドライバーの傾向性が事故を誘発しやすいのであろうという仮定に基づいている。とりわけ事故の発生率の高い若者集団に対して、その理由として用いられることが多い。行動尺度として、リスクテイキング行動の強い場合をリスクテイキング傾向（リスク敢行傾向）とし、弱い場合をリスクアボイダンス傾向（リスク回避傾向）とする尺度が想定できる。個々のドライバーについてもリスクテイキング傾向の強い者をリスク敢行者と呼び、弱い者をリスク回避者と呼ぶことがある。もちろん、特定のドライバー個人やドライバー集団の事故率が高いことが、直接リスクテイキング傾向の高さと結びつくわけではない。運転している時間が長ければ当然事故に遭う確率は高くなる。若者の事故が多いのは若者が車に乗る時間が単に長いためかもしれない。このようにリスクに曝される程度を表す指標として、リスク暴露度（exposure to risk of an accident）という概念がある。事故統計分析ではきわめて重要な観点である。しかし、これまでの研究により<sup>4)</sup>、リスク暴露度の指標としてよく用いられる走行距離を統制して事故統計分析を行った場合でも、若者の事故率は他の年齢層よりも高く、加齢とともに事故率が低下することを見出している。したがって、特定のドライバー集団や個人に事故が多い原因として、リスクテイキング傾向を設定することは十分な説得力がある。

ここで問題となるのが、リスクをどのように測定するかと言うことである。この場合、客観的リスク（objective risk）と主観的リスク（subjective risk）の区別をしておくべきであろう。客観的リスクとは、

その交通状況や道路区間等の客観的な事故や損失の可能性の程度であり、主観的リスクとは、それをドライバー等が感じ、評価した程度である。客観的リスクを測定する手法としては、大別して、結果の生起確率という意味で事故頻度を用いる手法と専門家のリスク評価を用いる手法がある<sup>5)</sup>。ただし、稀な事象である事故がリスクの指標として適切かどうかについては議論があり、短期間あるいは少数の標本に基づいた研究では十分な評価指標とはなり得ないとする意見が強い。また、別の指標である専門家による評価であっても、どのような標本集団（被験者）を用いるのが問題となり、これも多くの問題を抱えている。現実的な研究アプローチとしては、いくつかの関連研究を進める過程で、異なる角度から異なる手法を用いて研究の知見を補強するのが良い。

リスクテイキングに関連する主な概念としては、リスク(risk)、デンジャー(danger)やペリル(peril)、ハザード(hazard)、リスク知覚（リスクに関する個人の知覚・評価の過程）、ハザード知覚（こうした事象や対象を発見する過程）などがある。日本語では「危険」という用語が一般的に使用されているが、英語ではリスク(risk)、ハザード（交通状況の中で事故発生の可能性を高めるような環境条件、事象、要因；客観的危険条件）、ペリル（差し迫った危険事態）、デンジャー（一般的な危険事態）などに区別されている。

亀井<sup>6)</sup>は、危険という言葉をもっと三つに区別する必要があるとし、①事故発生の可能性または不確実性、②事故それ自体、③事故発生の条件、事情、状況、要因、環境に区分した。第一の事故発生の可能性とは、火災や爆発などが発生する可能性を危険と認識する場合である。英語ではリスク(risk)がこれにあたる。第二の事故それ自体とは、火災や爆発など事故損失や負傷を伴う災害や事件が現実発生した場合で、英語のペリルやデンジャーがこれにあたる。規模が大きく持続的な場合、危機(crisis)



注) 参考文献7) より作成。  
Fig.1 危険の三つの区分

という表現を用いる。第三の事故発生の条件や対象、あるいは状況のことをハザードと呼び、火災を例にすると建物の構造や保管している物品、立地条件などがこれに該当する。Lalley<sup>7)</sup>もこれに似た定義を行っており、リスクを「損害発生の可能性」、ペリルを「損害を現実にしじさせる作用」、ハザードを「損害発生の可能性を高める条件」としている (Fig.1)。デンジャーはこのペリルとほぼ同一の内容と考えて良い。このうち、ハザードという言葉は日本人にはとくになじみのない概念であり分かりにくい。危険源を明確かつ具体的に特定しようとする英語圏諸国の概念であり、リスク研究を理解するためには重要である。

リスクに関する個人の知覚・評価の過程をリスク知覚と呼ぶ。Brown & Groeger<sup>8)</sup>によれば、リスク知覚には二つの入力要素があり、①ハザード知覚からの出力と、②車両コントロール能力に関する自己評価の出力である。ハザード知覚とは、交通状況の中で事故発生の可能性を高めるような環境条件、事象、要因であるハザードを発見する過程であるといえることができる。言い換えると、その交通状況に存在する事故に結びつくかもしれない個々の対象や事象を判別・把握する心的過程が「ハザード知覚」であり、その交通状況全体で事故の発生する可能性がどの程度あるかを評価する心的過程が「リスク知覚」である。この交通状況には自分自身も含まれているので、リスク知覚の場合、事故の発生する可能性を評価する前提として「自分なら大丈夫」といった運転技能の自己評価が関わってくるのである。

## 2. リスクテイキングの定義に関する議論

個人が高いリスクテイキング傾向を示す場合に、何が危ないのか分からないでリスク状況に入り込んでしまう場合と、リスクを承知で受容する場合（たとえばスリルを求めるなどの理由で）とは、同じ行動のように見えても明らかに原因が異なる。たとえば、赤信号を無視して交差点を横切った場合でも、信号があるのに気づかずに交差点に入る場合と、赤であることを承知で無理に入り込む場合との両方が想定できる。長山<sup>9)</sup>は、運転行動を、ドライバーが危険を認知していないまま行動している場合と、危険を認知してあえてその行動をとっている場合とに区別した上で、前者は危険に対する感受性の問題であり、後者はリスクテイキングの問題であると述べている。「危険感受性」という概念は「ドライバーの

リスク知覚能力ないし資質」と考えることができる。最近の研究では「リスク知覚」や「ハザード知覚」の分野がこれに当たる。社会心理学等では、同じ risk perception という用語を「リスク認知」と訳しており、交通心理学では英語に忠実に「リスク知覚」と訳するのが通例である。瞬時の判断を継続して求められる運転事態では知覚という用語の方が適切であろう。

リスクテイキングの研究者の間でも、長山のように、リスクテイキングの定義として、「リスクを承知でリスクを取ろうとする」場合のみをリスクテイキングとして考える立場もあれば、リスクを把握しているかどうかをあまり厳密に考えずに事故発生の可能性のある行動を実行する場合全てをリスクテイキングと呼ぶ立場もある。リスクテイキングに関わる定義の幅が生じる背景には、ドライバーの「リスク知覚」のレベルそのものが不安定であるのに加えて、「ドライバーがある行動を実行しようとする意志決定」に関する情報がドライバー本人にとっても研究者にとっても、不明瞭かつ利用困難であるという理由がある。「追い越し」など明確なマヌーバの場合を除けば、ドライバーは習慣的な運転行動を反復していることが多く、意志決定のプロセスを再現するのが困難である。たとえば、「車間距離が短い」ことは研究レベルでは「リスクテイキング」の有力な指標であるが、ドライバー本人がリスクを取ろうとしている意志決定の結果であるのか、交通の流れにあわせた結果そうになっているのか、先行車の速度が遅くて短くなったのか、研究者も時にはドライバー本人も判断できないのである。

本論では、Trimpopの定義を採用して議論を進めることとする。彼によると、「リスクテイキングとは、ある行動を遂行した場合に生じる結果に関する知覚された不確実さ、ないしは自分あるいは他者の身体的、経済的、心理社会的福利への利得や損失の可能性に関する知覚された不確実さを伴う場合の意識的、無意識的にコントロールされたすべての行動である」。ここでは「不確実性あるいは損失の可能性」が知覚された段階での行動すべてがリスクテイキングとされている。日常生活での行動と違い、交通行動の場合にはほとんどの行動が不確実性を含んでいるので、この定義ではリスクテイキングの領域が広がることになる。いずれにしても、研究領域の名称は「リスクテイキング」であるが、行動の次元としては「リスク敢行一回避」となり、リスク敢行

度の大小が問題となる。さらに、リスク回避傾向のもっとも強い行動、つまり、「意図的に車間距離を開ける」「一時停止をして左右確認する」という安全面でのプラス側に位置する行動の場合には、「リスク回避行動」として研究対象とすることも可能である。

リスクテイキング研究は質問紙調査からフィールドでの行動観察まで多様な研究手法を用いて行われており、行動観察などでは行動の背景にある個人の意図が直接把握する手段がないので、操作的定義として、シートベルト非着用や短い車間距離をリスクテイキングの測度として用いることがよく行われている。

### 3. リスクテイキング行動の諸研究

リスクテイキング行動の研究では、車間距離や速度、右左折のギャップ評価などさまざまな行動指標、また質問紙調査や事故違反記録などの資料が用いられている。Evans and Wasieleski<sup>10)</sup>はフィールド観察法で得られた写真から車間距離を測定し、ドライバー属性や車種別に比較した。彼らの研究では、事故違反ドライバーは短い車間距離をとる傾向が見られたし、また男性ドライバーは女性よりも短い車間距離を示した。車種別には、中型クラスの車で短い車間距離が見られた。Evans et al.<sup>11)</sup>やEvans<sup>12)</sup>の研究では、シートベルト非着用の方が着用者よりも短い車間距離をとっていた。つまり高いリスクテイキング傾向男性は女性よりもリスクを取る傾向が高かった。

Wasieleski<sup>13)</sup>は走行速度を指標として、21歳未満のドライバーが平均76.5km/hで走行しているのに対して、21~70歳のドライバー（推定年齢）が平均70km/hで走行していたと述べている。Sivak, Soler, and Tränkle<sup>14)</sup>はコンピュータシミュレーションによる運転行動に関する国際比較研究を実施している。ここでも若年ドライバーは一貫してリスクを取る傾向が見られた。

Ebbesen & Haney<sup>15)</sup>はT字交差点での左折する場合の左折車と直進車とのタイムギャップ時間を観察した。待ち時間が長いときあるいは後続車がいるときにドライバーは短いタイムギャップで左折する傾向があることを示した。また、同乗者がいるときよりも単独で運転しているときの方が短いタイムギャップとなり、言い換えるとリスクテイキング傾向が強かった。ドライバーは、したいのに左折できな

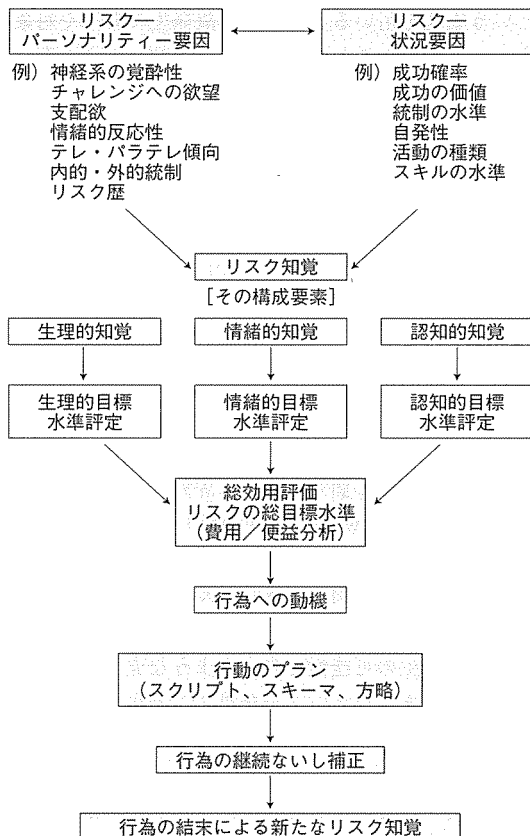


Fig.2 Trimpopのリスクモチベーション理論 (RMT)<sup>5)</sup>

いフラストレーションが高まることで無理な左折をしようとするが、同乗者がいることはそのフラストレーションを低減させるのだと解釈されている。

### 4. リスクテイキング行動の心理的メカニズム

ドライバーがリスク受容したりリスク回避をしたりするのはどのようなメカニズムによるのであろうか。リスクテイキング研究の理論面では、近年、リスク補償説 (risk compensation theory) やリスクホメオスタシス理論 (risk homeostasis theory) をめぐる議論を中心として、リスクテイキング行動を支えるモデルの検討を目指した実証研究が盛んとなった。また、リスク知覚 (risk perception) を成立させる心的過程として、ハザード知覚 (hazard perception)、リスク効用 (risk utility)、自己技能の評価 (self evaluation of driver's own skill) などが重要視されている<sup>16)</sup>。Fig.2はTrimpopが提唱したリスクモチベーション理論 (RMT) におけるリスクテイキングに関わる諸要因の概念図である。

彼のモデルはドライバーに限定したものではない

が、近年のリスクテイキング研究での理論的検討を踏まえて、行為の過程を、行為のリスク知覚と費用・便益分析による効用評価、さらにその行為への動機などの心的過程から説明している。この中で、テレパラテレ傾向性 (telic/paratelic tendency) とは、前者が目標志向的な傾向、後者が活動志向的な傾向のことである。

以下、(1)リスク知覚とハザード知覚、(2)運転技能の自己評価、(3)リスク補償説とリスクホメオスタシス理論、(4)リスク効用という諸側面から研究の流れと考え方を説明する。

### 5. リスク知覚とハザード知覚

Finn and Bragg<sup>17)</sup> は若者の高いリスクテイキングの理由として、

- (1)年長ドライバーよりもリスクをとろうとする傾向が強いこと
- (2)ハザード性の高い状況を年長ドライバーほど危険だとみなさないこと
- (3)その両方

のいずれかであるとしている。この二番目の点がリスク知覚能力である。このリスク知覚の過程もハザード知覚と自己能力の評価過程、さらにそれらを統合してリスク評価を行う過程に分けられる。当初はリスク知覚をあまり細分化せずに、交通状況のリスクを評価させる研究が行われた。Finn and Braggは、運転状況のスライドを被験者に提示して、基本場面と比較した場合の事故リスク (accident risk) をマグニチュード推定法で評定させている。若年ドライバーは運転技能が要求される場面で、リスクを低く知覚するという結果を得ている。

ハザード知覚を扱った先駆的な研究としては、Soliday<sup>18)</sup> は実走行場面でのハザードを口頭で報告させるという手法を用いて、若年ドライバーが交通状況の静的対象を報告する傾向を示すのに対して、年齢や運転経験が増大するに伴いドライバーが動的対象への報告が多くなることを示した。Benda & Hoyos<sup>19)</sup> は写真を用いて、交通状況のハザード性に関して一対比較法で実験を行った。一対の状況のハザードがどの程度類似しているかを6段階評価させ、初心者が場面の細部にこだわった類似性評価を行うのに対して、経験者が状況全体を総合して評価している傾向を示すことを指摘している。

ハザード知覚を扱った運転適性検査の例として、小川、長山、蓮花による『危険感受性診断テストTO

K』<sup>20)</sup> がある。これはビデオ映像を用いて現実の危険事象を評価させる点で斬新な検査法である。20場面が用いられて、回答者はどれほど危険かと、何気になるかを回答する。小川等の結果では、ドライバーのハザード知覚は顕在的なハザードと潜在的なハザード、行動予測のハザードに分けることができる。潜在的なハザードとは交差点の死角などで見えないところに車や人などのハザードが隠れている場面である。この潜在的ハザードの知覚は若年のドライバー層で得点が低く、年齢が増加するにつれて増大している (Fig.3)。この結果は加齢効果と言うよりは経験の効果であると考えられる。つまり運転経験の増大でハザード知覚技能 (スキル) が向上したと推定できるのである。同様のテストを深沢<sup>21,22)</sup> も開発しており、職業ドライバーへのテストと教育を実施して、その後の事故減少に結びつけている。

Renge<sup>23)</sup> はビデオ提示によりドライバーの交通状況へのハザード知覚能力とリスク評価を調べた。さらに、そうした知覚得点とリスク回避傾向の指標として速度調節得点を関連づけた。交通状況へのハザード知覚得点が高いドライバーほどリスクを高く評価し、またリスクの高いものほど速度を低下させようとする傾向を示した。Crick & McKenna<sup>24)</sup> は、反応時間を指標とした「ハザード知覚テスト」を開発し、運転者教育プログラムに参加したドライバーのハザード知覚能力が向上したことを実証した。

### 6. 運転技能の自己評価

危険な対象を予測し、早期に発見する能力は安全運転に大切である。一方で、自分の運転能力を正しく見て取ることも重要であり、これを「自己評価ス

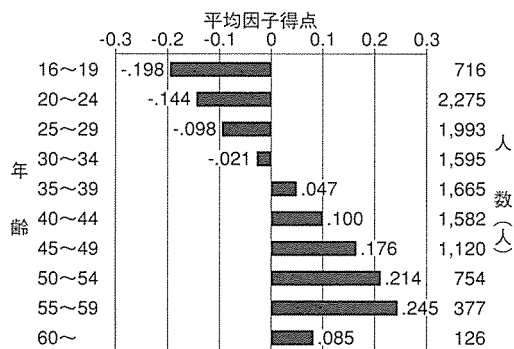


Fig.3 危険感受性テストTOKによる潜在的ハザード知覚の年齢効果<sup>20)</sup>



キル」あるいは「スキルのメタ認知」と呼ぶ。自分の能力を過大に評価する傾向、つまり自己過信傾向は若者や高齢者に強く、そのことがリスクテイキングに影響していると考えられる。こうした過信傾向は、当初それほど注目を集めていたわけではなかったが、いくつかの研究で実証された。Wallach and Kogan<sup>25)</sup>は、若者がそれほど判断の根拠を持っていない場合でも自分たちの決定に自信を持っていることを見出している。Matthews and Moran<sup>26)</sup>の研究では、Solidayと同様の手法を用いて、事故への関与の可能性、運転状況のリスク、自己の運転能力についてドライバーに評価させ、年齢による違いを調べている。その結果、知覚されたリスクと運転能力に関する自己評価が相互に関連していることを見出した。そこで、ハザード知覚を訓練するだけでなく、過信傾向を修正し、正しい自己評価ができるようにすることも重要であるとされている。ただし、松浦<sup>27)</sup>は運転技能の自己評価に関する諸研究を概観して、「自己評価が高すぎるとリスク知覚が甘くなるために、不安全な運転行動を起こしたり、事故を起こしたりしやすくなるという仮説」について、多くの研究者によって指摘されているがそれを実証した研究は少ないと述べている。

しかし、運転者教育の分野では、教育による副作用として、運転技能の自己評価が予想以上に高まることによる初心者のリスクテイキング傾向が高まる懸念が表明され、実際の事故分析で裏付けられている<sup>28)</sup>。そのため、自分の運転技能への評価能力を高めるために、さまざまな手法が考案されつつある。Gregersen<sup>29)</sup>はスウェーデンの運転実技教習の手法を網羅して紹介しているが、そこでもドライバーの過信をどのように修正するかが大きなテーマとなっている。太田<sup>30)</sup>は、高齢者に対してCAI方式でのハザード知覚のテストと訓練を組み合わせた「危険感受性訓練」を実施して、ディスカッションなどの教育プログラムを終了した高齢者が自分の弱点などに気がつくことで自己評価が低下したことを見出している。つまり過信傾向が弱まり、適正な自己評価に近づいたのである。ドライバー自身がテストを行い、コンピュータを通じてフィードバックを受けることにより、直接指導者から教育指導を受ける際に生じやすい心理的反発などが少なかったと解釈されている。

もちろん、「自己評価」という能力がどのような構成要素から成立しているかについて、議論はまだ

充分にはなされていないのが現状である。評価されている運転技能が「操作技能」中心であるのか、「ハザード知覚技能」のような認知的技能であるのか、それとももっと全体的なイメージに近いのか、従来の研究では判別されていない。自分の運転技能の評価だけでなく、状況に応じた自分の性格特性（「かっとなりやすい」「あせりやすい」など）や現時点での気分や状態（「あせている」「疲れている」など）のセルフモニタリング能力も自己評価と強く関連している。さらに、車の運転は典型的なマン・マシン・システムの制御過程であるので、運転行動において自己の運転技能だけでなく、車両性能をどのように評価しているかの「車両性能評価」も自己評価の構成要素に含める必要がある。ABSやエアバッグなどの安全を向上させるための装置がドライバーに過度の安心感をもたらすことで、逆に高いリスクテイキング行動を引き起こす恐れもある。

上述のように、運転技能の自己評価というとき、①操作技能の評価と②認知技能の評価を中心として、③運転態度・性格的な評価と④現時点での自己状態評価、⑤状況に応じた車両性能評価を組み合わせた評価をドライバーは最低限組み合わせている可能性が高い。今後一層の研究を必要とする分野である。

## 7. リスク補償説とリスクホメオスタシス理論

近年のリスク受容やリスク回避に関するもっとも盛んな議論はリスク補償説 (risk compensation) や Wilde<sup>31)</sup> が提唱したリスクホメオスタシス (risk homeostasis) 理論を巡る諸問題であった。Wildeによると、「個人はさまざまな活動における“リスクの目標水準”を持っていて、そのリスク水準を達成あるいは維持するように行動を調整する」のであり、その結果、「リスクの目標値を下げないような安全対策では事故を減らすことができない」とされる<sup>32)</sup>。この主張とその根拠を巡っては多くの議論を招いた。

当初は地域あるいはその国の事故率という誤差の大きい指標を用いていたこともあり、議論が拡散し、理論への賛否両論が入り乱れて混乱した。しかし、その後はフィールド実験やシミュレータを用いた実験が遂行された結果、安全対策を行うことにより、個人の行動がリスクになるという傾向が部分的に立証された。ただし、多くの場合、リスクホメオスタシスというよりもリスク補償傾向が実証されたに過ぎない。

リスク補償傾向とは「何らかの対策による安全面

でのメリットを、交通参加者がよりリスクな行動をとることで相殺あるいは減少させることと呼ばれており、交通経済学では、オフセット行動 (offsetting behavior) という用語を用いる。Streff and Geller<sup>33)</sup> はシートベルト着用と速度などの関係を調べ、部分的に立証にこれを実証した。Smith and Lovgrove<sup>34)</sup> はデンジャー補償効果 (Danger compensation effect) という用語を使用している。二つの連続する無信号交差点での走行速度を調べ、手前の交差点にStop標識を設置することで設置していない交差点での速度が上昇することを見出した。

こうしたリスク補償傾向をEvans<sup>35)</sup> は人間行動フィードバック (human behavior feedback (f)) と命名している。工学者などが行う技術的なアプローチの場合、安全対策に見合うだけの効果が生じるという仮定を立てることが多い。この場合、 $f = 0$  ということになる。彼の言う経済学的アプローチでは ( $-1 < f < 0$ ) となり、安全対策により、交通参加者が安全面でマイナスの方向に行動変化 (たとえば速度上昇や安全確認の省略など) することでせっかく得られるはずであった安全面のメリットが部分的に相殺されてしまう。ワイルドのリスクホメオスタシスでは ( $f = -1$ ) という考えであり、安全面でのメリットと等価な危険方向への行動変化が生じるとされている。しかし、各ドライバーが安全面でのメリットを完全に正しく推定することはあり得ない等の理由でEvans自身はリスクホメオスタシス理論に批判的である。

また、リスク補償がまったく見出されていない研究も多い。Wilson and Anderson<sup>36)</sup> はタイヤの種類を変えることで速度変化が生じるかどうかを調べたが速度変化は生じなかった。この研究ではドライバーにタイヤの種類について説明しておらず、ドライバーの安全性向上への知覚が変化しなかったという疑問がある。逆に、北欧諸国での2段階運転免許制度に伴うスキッド訓練導入によってスリップ事故が若年ドライバーにおいて増大したという研究もある。この場合、Evansの考えに従えば ( $f < -1.0$ ) ということになる。ドライバーの主観的安全が増大したのに対して教育による利得 (スキル向上) が小さいことがその原因と考えられている。

## 8. リスク効用とリスクモチベーション

リスクのある行為を行うことにより、その結果何らかの利得が得られるとすれば、そのリスクは報わ

れることになり、学習理論で言えば、強化される。たとえば、高速で道路を走行することにより目的地までの時間が短縮されるならばその努力は報われる。もしも毎日同様の運転をしていてもまったく危ない目に遭わなければ正の学習が生じその行動が強化されることになる。考え方としては、運転のリスクをとる場合の効用と非効用、リスクをとらない場合の効用と非効用を同時に考慮する必要がある。つまり、事故基準以外の「ストレス発散」や「先急ぎ」など別の基準による利得と損失が運転行動に関わっており、そうした利得や損失がリスク敢行一回避の行動面に影響を及ぼしているのである。むしろ、通常の場合、他の利得や損失が運転行動での前面に出ており、リスク回避の次元は背景に退いていることも多い。こうした側面を「リスク効用; risk utility」と呼ぶ。

リスク効用には人間の動機体系と重なり合うさまざまな種類があり、ストレスの発散、攻撃、自立の表現、覚醒レベル上昇の手段、移動効率 (先を急ぐこと)、大人の権威への反発、仲間からの賞賛というものが挙げられている。さらに、車を購入するに際して、若者は中高年者よりも外見やスタイルを重視するが安全面の特長を重視しない。こうした他の動機が影響はリスクを回避しようとする動機に影響を及ぼすことはよくあると推定される。

とりわけ、近年注目されてきたのがセンセーションシーキング (sensation seeking; 感覚追求) である。Zuckerman<sup>37)</sup> の定義によると、「センセーションシーキングとは、多様で、新奇性があり、複雑かつ激しい感覚や経験への追求、さらには、そうした経験を得ようとして、身体的、社会的、法的かつ金銭的なリスクを取ろうとする意図によって定義される個人の特徴 (trait) である」<sup>38)</sup>。この定義に従うと、センセーションシーキングとはリスクモチベーション (リスク動機) に他ならない。

Zuckerman<sup>39)</sup> がセンセーションシーキングを測定するテスト (Sensation Seeking Scale; SSS) を発表して以降、数回にわたる改訂により、①スリルと冒険追求尺度、②経験追求尺度、③単調感作用尺度、④脱制止 (disinhibition) 尺度という4尺度から構成される「SSS-5型 (Form V)」が一般に用いられている。「脱制止」とは学習心理の用語であり、「無関係な刺激を与えることで制止が一時的に除去されること」 (心理学事典、誠信書房) を意味している。交通心理学の場合には、自動車運転にお

いて、飲酒などの影響で社会的な規範がゆるみ、自己の統制が失われがちになることを表している。

Jonahの文献レビューでは、センセーションシーキングとリスクテイキング傾向には、中程度(0.30-0.40)の相関が見られた。その中でも「スリルと冒険追求尺度」がもっともリスクテイキングと強い関連を持っていた。Burns & Wilde<sup>(9)</sup>はタクシードライバーの運転行動や質問紙でのリスク傾向性やセンセーションシーキング水準、さらには事故違反歴を調べることで相互の関連性を追求した。そして、リスク傾向性が速度超過運転や不注意な車線変更と関連し、センセーションシーキング傾向が速度違反やその他の違反経験に結びついていることを示した。しかしながら、ドライバーの事故経験は質問紙での特性や運転行動特性と関連していなかった。

こうしたリスク効用などの知見が増えるにつれて、ドライバーのリスクテイキング傾向を減少させ、リスク回避傾向を増大させるためには、リスク知覚の改善だけでは限界があることも認識されるようになってきたのである。要するに、ドライバーがなぜそうした行動をとるのかは、リスクの非効用としての事故の可能性だけを取り上げるのではなく、同時にセンセーションシーキングや他者からの賞賛などのリスクの効用を考慮することも大切であるという考え方である。

リスク効用に含まれる内容は多様であり異なる心的過程を取る一方で、これらの多くがリスクを受容させる方向に作用するものとして考えられている。こうしたリスク効用の効果を低減し、リスク回避の方向に人々を導くには、リスクテイキング行動の効用を減少させ非効用を増大させるとともに、リスク回避行動の効用を増大させ非効用を減少させる方策が求められる。つまり、すべての行動や対策の効用と非効用を厳密に考慮することが交通安全対策の基本的立場となる。たとえば、信号現示を調整することにより、50km/hという安定した速度で走行すると、赤信号にかからずもっともスムーズに移動できるとすれば、労力が少なく燃費も良いという効用が生まれる。高速運転の効用を減少し、低速運転の効用を高める方策の例である。また、リスクの高い運転をすることで、同乗者や周りの人々から称賛を受けるのではなく、非難されるとすれば効用が非効用へと転化することになる。こうしたリスク回避行動を促進するための世論形成はマスコミや広報活動で行われることになる。

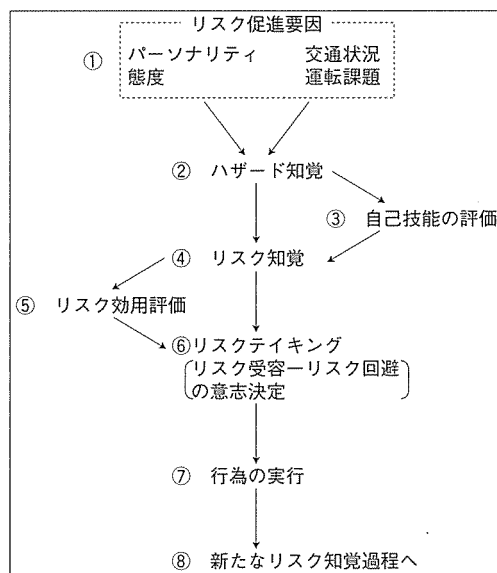


Fig.4 リスク回避行動のモデル図

## 9. リスクテイキング行動の心理学的モデルとリスク回避行動へのアプローチ

これまで、リスクテイキングに関わる交通心理学での諸分野を概観してきた。最近の諸外国で急速に研究が進められている分野ばかりであり、必ずしも日本の交通対策に取り入れられていない分野もある。とりわけ、運転者教育分野での、①リスク知覚分野でのハザード知覚能力、②自己評価能力、③リスク回避行動の能力、④リスク効用の自己コントロール能力をどのように育成すればよいかは、今後早急に検討すべきテーマである。このためには、リスクテイキング行動をいかに減少させるかという従来からのアプローチよりも、「リスク回避行動をいかに促進するか」というアプローチへと視点を転換すべきであると考えられる。

リスク回避行動の心理的過程をモデル的に示したのがFig.4である。分野としてのリスクテイキング行動の諸研究や理論をまとめるとほぼこうした図式になるであろう。リスクテイキング（回避）行動は個人差が大きく、個人のパーソナリティ特性や運転態度等に大きく影響される。また、その個人がおかれている行動環境や社会的状況にも大きく依存する。たとえば、仕事の忙しさとか運転ストレス、周囲の人々の行動などである。ここまではリスクテイキング行動という用語を用いたが、意図的な行為という側面を重視するならば、リスクテイキング行動の対

極には意図的なリスク回避行動があるはずである。減速行動や安全確認、車間距離の保持という、いわゆる「防衛運転」は代表的なリスク回避行動とみなしても良い。

リスク知覚の過程では、ハザード知覚と自己能力の評価が入力要素となり、リスク水準の評定が行われる。ハザード知覚は事故の可能性を高めるような環境条件や対象であり、個別に評価される。一方、そのハザードの総体に対して自分の運転との絡みで事故の可能性としてのリスクが評定されるのであるが、この時に、自分の技能への評価がなされる。自分の技能は運転課題に対して充分に対応できると判断すれば、ハザードを正しく知覚していてもリスクの評価は低いものになる。この場合は行為の実行が行われるであろう。

リスクが高く評価されるのは、ハザードを高く評価した場合、およびそのハザードに自分が適切に対応できる自信がない場合である。この時にはリスクが高く評価される。リスクが高く評価されていても、他の効用が強かった場合、つまり、時間の短縮や他者の賞賛などの効用が上回ればリスクが受容されリスクテイキング行動が生じやすくなる。もしもリスクが上回れば回避の行動となる。つまり、急ぎの動機やスリルを求める気持ちなどの他の効用との関連で最終的な行動方略とリスクテイキングのレベルが意思決定される。そして、行為が遂行され、その結果また新しいリスク知覚が開始されるのである。

今後、日本の運転者教育を含む交通安全対策はこれらのリスクテイキング行動（リスク回避行動）のどの側面を標的にしているのかを明確に認識しなければならない。漠然と実施して、おそらくいろいろな効果があるであろうというやり方ではなく、自己評価なら自己評価、ハザード知覚ならハザード知覚、意思決定なら意思決定というようにテーマと目標を明示して、効果測定を含めて研究を遂行することが望ましい。たとえば、運転者教育の分野でも、イギリスのハザード知覚テスト、スウェーデンでの自己評価の低減を目標とする走行実技訓練、フィンランドでの個別指導によるフィードバック重視の運転者教育・運転免許試験制度など各国での先進的な取り組みを参考にしつつ日本独自の方策を考案すべきである。日本でもシミュレーション教育やヒヤリハット地図を用いた参加型教育など有益と思われる手法が発達してきた。これらをリスク敢行とリスク回避の次元で整理し直して、もっとも効果的な方策へと

展開しなければならない。

ドライバーの自己評価にマイナスの影響を与える対策、つまり過信傾向を促進するような対策が行われていないか、あるいはこれから行われる対策がそのような影響をもたらさないかについて慎重に評価すべきである。スキッド訓練等のように、どちらかといえば、操作スキルに重点を置く傾向がある訓練プログラムの場合、とくに若者ドライバーに対しては、「こんな訓練を受けたから俺はもう安全だ」という過信が生じて、よりリスクの高い行動へと結びつきやすい。これを防ぐにはある教育や訓練が受講者にどのような影響を与えたのかの評価研究を実施しなければならない。

ABSやITSなどの工学的対策も技術者の観点からの安全であるという思いこみに流されるだけでなく、対策の効果だけでなく「副作用」についての評価を組み込むべきである。一般的にいえば、ハザードを明示してリスク知覚を高めるような方策（リスク情報の提示、細街路での交差点の明示など）は効果的であろうし、逆に安全面でのメリットを主張するような方策（たとえばABSやエアバッグ、車線幅の増大など）は、ドライバーの過信を生んで逆効果になりやすいことに留意しなければならない。

ドライバーのリスクテイキング傾向を防ぎ、回避行動を促進させるためには、その行動のハザードやリスクを伝えるだけでなく、何が正しい行動であるかについても理解させ、その行動の型を習得させる必要がある。ドイツ危険学の防衛運転の考え方がこれに該当する<sup>11)</sup>。リスク回避行動としてどのような行動が適切であるかは減速行動や安全確認行動など個別に検討されているもののまだまだ研究すべき点が多く残されている。日本の場合には、「法律に従えば安全が確保される」という常識が関係者やドライバーの間に長く根を下ろしており、「リスクの除去あるいは適切な管理が運転の基本である」というリスク管理の考え方は比較的新しいものの見方である。たとえば、細街路交差点で単に一時停止を行えばよいのではなく、その交差点形状や交差道路、交通量などの特性に応じて、どの程度減速し、どのように確認をすればよいかなどをドライバーが訓練される機会は少ない。本来は不規則交差点や死角の多い交差点では安全確認の型も通常の交差点とは大きく異なっている。これらをリスク回避行動として整理してドライバーのレベルに応じて教授内容・教育手法をマニュアル化する作業はまだほとんど行わ

れていない。同様のことは、合図やポジショニングなどの行動すべてに当てはまるのである。

リスク効用の問題は、我々の車社会、ひいては現代社会が求める価値体系や欲求体系と密接に結びついている。仕事の効率を追い求め、刺激を追求する現代人のあり方が問われるテーマであり、交通心理学の立場からの研究だけでなく、社会学や経済学、工学の専門家などの学際的テーマとして研究を進める必要がある。車が移動効率を追い求める中で誕生し、スピードによる快感をもたらす、現代社会のステータスシンボルとして消費欲求の大きなターゲットである以上、さまざまな現代人の欲求や動機と結びついて利用されることは当然である。リスクの減少をもたらすためには、リスクテイキング行動の効用をいかに減少させ、リスク回避行動の効用を増大できるのかをつねにチェックする態勢が必要となる。

まとめると、ドライバーのリスク回避行動を促進するためには、

- 1) ドライバーのリスク知覚を高める
  - (1) ドライバーのハザード知覚能力を育成する
  - (2) ドライバーの自己評価能力を高める
- 2) ドライバーがハザードに気づきやすい環境を整備する
- 3) リスク回避の意思決定と行動の型を習得させる
- 4) リスクテイキング行動の効用を低減し、非効用を高める
- 5) リスク回避行動の効用を高め、非効用を低減するといった諸側面のいずれかに重点を置いた安全対策や方策が考案されねばならない。これらの諸側面は相互に関連しているため、一面的には効果があったように見えても最後のリスク回避行動に結びつかず、さらには逆にリスクテイキング行動を促進してしまうこともある。そこで、対策効果の有無とその程度をチェックするための効果測定研究が不可欠となるのである。

#### 参考文献

- 1) National Research Council : Improving risk communication. National Academy Press. 1989 / 林裕造、関沢純 (監訳) 『リスクコミュニケーション—前進への提言』化学工業日報社、1997年
- 2) 吉川肇子『リスク・コミュニケーション』福村出版、1999年
- 3) 蓮花一己「現代社会とリスク」向井希宏・蓮花一己 (編) 『現代社会の産業心理学』第8章、福村出版、1999年
- 4) Jonah, B. A. : Accident risk and risk-taking behaviour among young drivers, Accident Analysis and Prevention, Vol.18, No.4, pp. 225-271, 1986
- 5) Trimpop, R. M. : The psychology of risk taking behavior, North-Holland, 1994
- 6) 亀井利明『危機管理と保険理論』法律文化社、1995年
- 7) Lalley, E. P. : Corporate uncertainty and risk management, Risk Management Society Publishing, 1982
- 8) Brown, I. D. & Groeger, J. A. : Risk perception and decision taking during the transition between novice and experienced driver status, Ergonomics, Vol.31, pp.585-597, 1988
- 9) 長山泰久「運転適性における態度の問題」日本心理学会第21回大会発表論文集、P.504、1967年
- 10) Evans, L. & Wasieleski, P. : Risky driving related to driver and vehicle characteristics, Accident Analysis and Prevention, Vol.15, No.2, pp.121-136, 1983
- 11) Evans, L. & Wasieleski, P. : Do accident-involved drivers exhibit riskier everyday driving behavior?, Accident Analysis and Prevention, Vol.14, No.1, pp.57-64, 1982
- 12) Evans, L. : Traffic safety and the driver, New York: Van Nostrand Reinhold, 1991
- 13) Wasieleski, P. : Speed as a measure of driver risk : Observed speed vs. driver and vehicle characteristics, Accident Analysis and Prevention, Vol.16, pp.89-102, 1984
- 14) Sivak, M., Soler, J. & Tränkle, U. : Cross-cultural differences in driver risk-taking, Accident Analysis and Prevention, Vol.21, pp. 363-369, 1989
- 15) Ebbesen, E. B. & Haney, M. : Flirting with death: variables affecting risk taking at intersection, Journal of Applied Social Psychology, Vol.3, No.4, pp.303-324, 1973
- 16) 小川和久「リスク知覚とハザード知覚」『大阪大学人間科学部紀要』第19巻、pp.27-40、1993年

- 17) Finn, P. & Bragg, B.W. E.: Perception of the risk of an accident by young and older drivers, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 18, pp. 289-298, 1986
- 18) Soliday, S. T.: Relationship between age and hazard perception in automobile drivers, *Perceptual and Motor Skills*, Vol. 39, pp. 335-338, 1974
- 19) Benda, H. V. & Hoyos, C. G.: Estimating hazards in traffic situations, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 15, pp. 1-9, 1983
- 20) 小川和久、蓮花一己、長山泰久「ハザード知覚の構造と機能に関する実証的研究」『応用心理学研究』No. 18, pp. 37-54、1993年
- 21) 深沢伸幸「危険感受性(仮称)テストの研究(I)」『応用心理学研究』、No. 8, pp. 1-12、1983年
- 22) 深沢伸幸「危険感受能力の測定と変容の可能性について」*IATSS Review*、Vol. 16 No. 4, pp. 235-248、1990年
- 23) Renge, K.: Drivers' hazard and risk perception, confidence in safe driving, and choice of speed. *IATSS Research*, Vol. 22, No. 2, pp. 103-110, 1998
- 24) Crick, J. & McKenna, F. P.: Hazard perception: can it be trained?, *Behavioural Research in Road Safety*, Vol. 2, pp. 100-107, 1991
- 25) Wallach, M.A. & Kogan, N.: Aspects of judgment and decision-making: Interrelationships and change with age, *Behavioral Science*, Vol. 6, pp. 23-26, 1961
- 26) Matthews, M. L. & Moran, A. R.: Age differences in male drivers' perception of accident risk: the role of perceived driving ability, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 18, pp. 299-313, 1986
- 27) 松浦常夫「運転技能の自己評価に見られる過大評価傾向」『心理学評論』Vol. 42、No. 4、pp. 419-437、2000年
- 28) Keskinen, E.: Why do young drivers have more accidents? *Junger Fahrer und Fahrerinnen, Mensch und Sicherheit Heft M52, Bundesanstalt für Straßenwesen*, 1996
- 29) Gregersen, N.P.: Young car drivers, VTI rapport 409A, Swedish National Road and Transport Research Institute, 1996
- 30) 太田博雄「高齢者向け交通安全教育のための危険感受性訓練C A I システムの開発」『文部省科学研究費補助金研究成果報告書』1997年
- 31) Wilde, G.J.S.: The theory of risk homeostasis: Implications for safety and health, *Risk Analysis*, Vol. 2, pp. 209-225, 1982
- 32) 芳賀繁「リスク・ホメオスタシス説—論争史の開設と展望—」『交通心理学研究』Vol. 9、No. 1、pp. 1-10、1993年
- 33) Streff, F. M. & Geller, E. S.: An experimental test of risk compensation: between-subject versus within-subject analysis, Vol. 20, pp. 277-287, 1988
- 34) Smith, R. G. & Lovegrove, A.: Danger compensation effects of stop signs at intersections, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 15, No. 2, pp. 95-104, 1983
- 35) Evans, L.: Human behavior feedback and traffic safety, *Human Factors*, Vol. 27, No. 5, pp. 555-576, 1985
- 36) Wilson, W. T. & Anderson, J. M.: The effects of tyre type on driving speed and presumed risk taking, *Ergonomics*, Vol. 23, No. 3, pp. 223-235, 1980
- 37) Zuckerman, M.: Behavioural expressions and biosocial bases sensation seeking, University of Cambridge Press: Cambridge, 1994
- 38) Jonah, B.: Sensation seeking and risky driving: a review and synthesis of the literature, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 29, No. 5, pp. 651-665, 1997
- 39) Zuckerman, M., Kolin, I., Price, L. & Zoob, I.: Development of a sensation seeking scale, *Journal of Consulting Psychology*, Vol. 28, pp. 477-482, 1964
- 40) Burns, P. C. & Wilde, G. J. S.: Risk taking in male taxi drivers: relationships among personality, observational data and drivers records, *Personality and Individual Differences*, Vol. 18, No. 2, pp. 267-278, 1995
- 41) 蓮花一己『交通危険学』啓正社、1996年

# 認知リスク形成過程を考慮したドライバーの 危険回避行動に関するモデル分析

多々納裕一\*

本研究では、認知リスクのバイアスがドライバーの危険回避行動に及ぼす影響に関して考察する。人間が主観的に認知するリスク(認知リスク)と観測される客観的なリスク(客観的リスク)の水準は必ずしも一致せず、災害や事故など個人にとって生起確率の低い事象(稀有事象)に関しては、認知リスクが客観リスクを上まわる傾向がある。本研究ではベイズ学習過程としてドライバーの認知リスクの更新過程をモデル化し、認知リスクのバイアスの存在とドライバーの危険回避行動との関係を比較静学分析および見通しの悪い交差点における歩行者対車両の接触事故に関するシミュレーション分析によって明らかにした。

## Learning about Risk of Traffic Accidents, Risk Perception Bias and Drivers Behavior

Hirokazu TATANO\*

The paper focuses on the effect of "risk perception bias" upon drivers' behavior against risk of traffic accidents. The risk perception bias is the gap between the objective risk levels and the subjective ones. Because a traffic accident is a rare event for each driver, their subjective risks of traffic accident are often different from the objective ones. Based on the Bayesian learning process, drivers' subjective risk transformation is modeled and drivers' behavior is also formulated as expected utility maximization behavior with the subjective risks. Comparative static analyses are conducted as to analyze the effect of risk perception bias upon drivers' behavior. Given an context of pedestrian vs. automobile accident at a intersection of two roads, simulation studies are also conducted to illustrate the effects.

### 1. はじめに

道路交通システムは、自動車による高速の移動を可能とし、時間利用方法の多様性を保証するなどの多くの便益を発生させている。しかしながら、その一方でさまざまな負の外部性を発生させている。中でも交通事故は、日本において毎年1万人弱の人命

を損なうなどの大きな外部性を発生させている。交通事故リスクという外部性を減少させ、道路交通システムによってもたらされる純便益の拡大を図ることは重要な課題であろう。

交通事故を減少させ、人命や資産の損傷を軽減することの重要性は広く認識されている。このような認識に基づいて多くの研究が展開されてきている。しかしながら、ドライバーの行動と事故リスクとの関係を合理的に説明しうるモデルに関しては、いまだ十分議論されてきていないようである。交通事故リスクとドライバーの行動とを関連付けて説明しようとするときには、不確実性下の人間行動のモデルとして標準的に使用されている期待効用モデルをそのまま適用することが困難である。

\* 京都大学防災研究所助教授  
Associate Professor, Disaster Prevention  
Research Institute, Kyoto University

※この論文は勸国際交通安全学会平成10年度H049プロジェクト「ドライバーの危険回避行動に関する基礎分析」(PL:喜多秀行)および同平成11年度H160プロジェクト「ドライバーの危険回避行動に関するモデル分析」(PL:喜多秀行)の調査研究をもとに執筆された。

プロスペクト理論<sup>1)</sup>やViscusiの先駆的な研究<sup>2,3)</sup>によれば、人間が主観的に認知するリスク（認知リスク）と観測される客観的なリスク（客観的リスク）の水準は必ずしも一致せず、個人にとって生起確率の低い事象（稀有事象）に関しては、認知リスクが客観的リスクを上まわる傾向がある。交通事故リスクは多くのドライバーにとっては稀有事象であろう。したがって、ドライバーは客観的なリスクを上まわる水準の認知リスクをもとに行動していることになる。交通安全研究分野でも、認知リスクと客観的なリスクとの乖離に関する議論は行われているが、著者の知るかぎり、これらのリスクの乖離がドライバーの危険回避行動にいかなる影響を及ぼすかを分析した理論研究はほとんどないようである。

本研究では、事故の生起に関するドライバーの主観的なリスクの形成過程をモデル化し、ドライバーの危険回避との関連を分析する。以下、2章では認知リスクと客観的リスクが乖離するという現象に関して考察する。3章では認知リスクのバイアスとドライバーの危険回避行動との関係をモデル化し、認知リスクのバイアスがドライバーの危険回避行動に及ぼす影響に関して考察する。4章では見通しの悪い交差点における歩行者対車両の接触事故リスクを事例として取り上げ、シミュレーション実験を行った結果を示す。最後に5章では本研究で得られた知見を整理するとともに、今後の研究に残された課題を示し、まとめとする。

## 2. 認知リスクと客観的リスク

不確実性下では個人が選択した行為とその結果が必ずしも一対一対応しない。複数の結果のうち一つが生じるが、どの結果が生じるのかは事前には確定しない。このような不確実性下の行為の選択に関して広く用いられているのが期待効用理論である。伝統的な期待効用理論では、各々の行為 $a$ に対応した結果 $c \in C$ の生起確率 $P_c(a)$ が既知であるとして、代替的な行為の集合 $A$ からある行為 $a \in A$ を選択する行動を、 $\text{くじ}L_a = \{C, P_c(a)\}$ の選択行動として解釈する。ここで、 $C$ は結果の集合である。

このようにして定義された任意の二つのくじにどちらが選択されるかを与える選好が $\succsim$ と与えられる。この選好がいくつかの性質を満足するとき、結果に対する実数値関数 $u(c)$ が定義できて、任意の行為 $a, b \in A$ に対して以下の関係が成り立つことが示される。

$$La \succsim Lb \Leftrightarrow \sum_{c \in C} P_c(a)u(c) < \sum_{c \in C} P_c(b)u(c)$$

ここで実数値関数 $u(c)$ は効用関数と呼ばれ、 $\sum_{c \in C} P_c(a)u(c)$ は期待効用と呼ばれる。

このとき、代替的な行為の集合 $A$ からある行為 $a \in A$ を選択する行動は、以下のように期待効用最大化行動として定式化される。

$$\max_{a \in A} \sum_{c \in C} P_c(a)u(c)$$

この表現はあくまで形式的に選好の順序に矛盾しないように与えられた形式的表現であることに留意しよう。さらに、各々の行為 $a$ に対応した結果 $c \in C$ の生起確率 $P_c(a)$ は、行為を選択した個人が判断した主観的な確率であり、観察者によって観測される客観的な確率とは必ずしも一致する必要はない。

わが国の総人口は概ね1億2千万人程度であり、年間1万人程度の犠牲者が出ていることから、概ね1万人に1人程度が交通事故で亡くなっていることになる。したがって、交通事故によって死亡するリスクは、年間概ね $10^{-4}$ 程度のオーダーのリスクであることがわかる。このことから、交通事故のリスクが決して小さくないことがわかる。しかしそれでもなお、死亡事故の当事者となるような事象は個人にとっては、きわめて希にしか生じない事象であることもわかる。仮に人生を80年として試算してみよう。このとき、ある個人が一生のうちに一度も死亡事故の当事者とならない確率は $(1 - 10^{-4})^{80} \approx 1 - 80 \times 10^{-4} = 99.2\%$ 程度であり、ほとんどの人が死亡事故の当事者とならずに一生を終えることになる。

Viscusiらの研究<sup>2)</sup>によれば、主観的リスク $q$ と客観的リスク $p$ との関係は次式で与えられる。ただし、原著論文では対象とするリスクが必ずしも交通事故ではない。そこで、交通事故の文脈に沿った導出過程<sup>1)</sup>を付録に示しておく。

$$q = \frac{\gamma q_0 + \xi p}{\gamma + \xi} \quad \dots(1)$$

ここで、 $q_0$ :先験的な主観的リスク、 $\gamma$ 、 $\xi$ :パラメータである。パラメータ $\gamma$ 、 $\xi$ は主観的なリスク（認知リスク）の形成に対する先験的認知リスクと客観的リスクとの相対的な重みを規定するパラメータであり、いずれも正の定数である。特にパラメータ $\xi$ は経験回数 $n$ に関する増加関数であり、 $n \rightarrow \infty$ に対して、 $\xi \rightarrow \infty$ となる。

式(1)からパラメータ $\gamma$ 、 $\xi$ を所与として、認知



リスクと客観リスクとの関係はFig.1の実線で表すことができる。

この図から、生起頻度の低いリスク ( $p \leq p_f$ ) では、認知リスクの水準は客観的なリスク水準に比べて高くなることが読み取れる。逆に、生起頻度の高いリスク ( $p \geq p_f$ ) では認知リスクの水準は客観的なリスク水準に比べて低くなる。

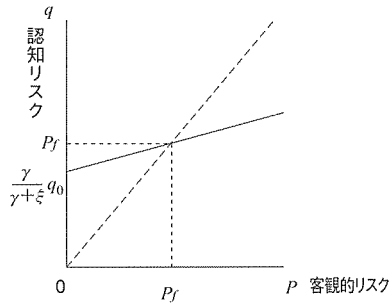


Fig.1 客観的リスクと認知リスクとの関係

### 3. 認知リスクのバイアスとドライバーの危険回避行動

交通事故はそれぞれの個人にとっては希有現象であるから、認知リスクは客観的リスクの水準を上回ると考えて差し支えないであろう。以下では、このような認識の下に交通事故リスクは過大評価されているものとして議論を展開する。

交通事故リスクが過大評価されていれば、そうでない場合に比べて、明らかに、①リスクを取る（危険を冒すこと）が求められた場合、その対価はより大きくなる、②損失の期待値はより大きく評価される、③より大きな保険が購入される、といった結果を生む。このことは、正確な認知がなされている場合に比べて、交通事故リスクをもたらず労働の供給量の減少や交通事故に対する損害保険の需要の増大を招き、労働市場や保険市場に非効率性をもたらすことになる。これらの効果は、認知リスクが客観的なリスクに比べて大きく評価されていることの帰結であり、結果として過剰な反応が引き起こされることがわかる。

しかし、式(1)で与えられるリスク認知の構造は、単にこれだけの影響をもたらすのではない。ある行為によって、客観的なリスクが  $\Delta p$  だけ減少するものとする。この時、この主体が認知するリスクの減少量  $\Delta q$  は式(1)より、

$$\Delta q = \frac{\xi}{\gamma + \xi} \Delta p < \Delta p \quad \dots(2)$$

にとどまる。言い換えれば、認知リスクの限界的な変化は客観的リスクのそれを下回ることになる。このことは交通安全対策が実施されても、そのことによってもたらされるリスクの減少は過小に認識されることを意味している。さらに、ドライバーがとる種々

の危険回避行動の効果は過小に評価され、結果としてドライバーの危険回避行動の水準は最適な水準よりも低い水準の行動にとどまらざるを得なくなる。このことを説明するために、ドライバーが認知リスクを用いて修正した期待効用を最大化するように行動するものとして、以下のモデル(モデルA)を定式化しよう。

$$\max_c \left\{ \left( 1 - \frac{\gamma q_0 + \xi p(c)}{\gamma + \xi} \right) u(y - c) + \frac{\gamma q_0 + \xi p(c)}{\gamma + \xi} u(y - \ell - c) \right\} \quad \dots(3)$$

ここで、 $c$ : 危険回避行動に伴う費用、 $p(c)$ : 費用  $c$  を投下して得られる事故リスクの水準であり、 $p' < 0$ 、 $p'' > 0$  を仮定する。さらに、 $u$ : 効用関数、 $y$ : 所得、 $\ell$ : 事故に伴う損失であり、 $u' > 0$ 、 $u'' < 0$  を仮定する。モデルA (式(3)) は、事故の発生確率を  $q = \frac{\gamma q_0 + \xi p(c)}{\gamma + \xi}$  と認知しているドライバーがいかなる危険回避行動を行うかを表したものである。より安全な行動を選択すると、所要時間の増大や疲労等のコストが増加するものとする。逆に、これ

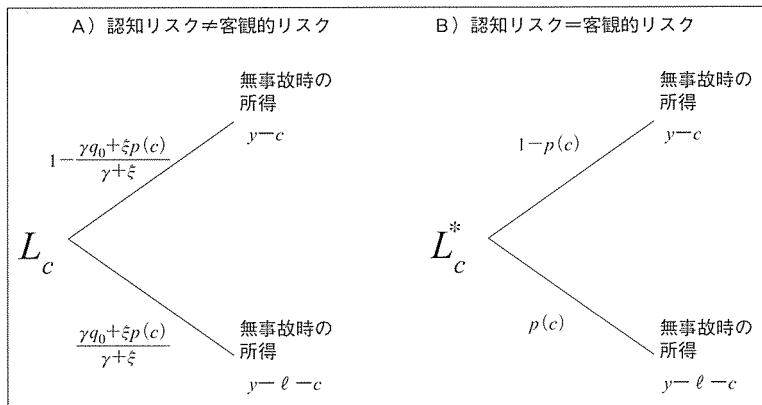


Fig.2 危険回避行動のくじによる表現

らのコストの増加は客観的な事故リスクの減少をもたらすことになる。この関係は $p' < 0$ によって表現されている。すなわち、より安全な行動を選択することによって、上述のコストは増加するが客観的な事故リスクは減少するのである。しかしながら式(2)で示したように、主観的な認知リスクの変化率は客観的なリスクの変化率を下まわる。

ある危険回避行動を選択することは、その危険回避行動に要するコスト $c$ を用いて、Fig.2に示すくじ $L$ を選択することと等価であるとみなすことができる。

モデルAの最適化の一階の条件を求めると、以下のようである。

$$-p'(c) = \frac{\gamma + \xi}{\xi} \left\{ \left( 1 - \frac{\gamma q_0 + \xi p(c)}{\gamma + \xi} \right) u'(y-c) + \frac{\gamma q_0 + \xi p(c)}{\gamma + \xi} u'(y-\ell-c) \right\} \cdot |u(y-c) - u(y-\ell-c)|^{-1} \quad \dots(4)$$

一方、このような選択をするドライバーが直面する客観的な事故リスクは $p(c)$ であるから、コスト $c$ で表わされる危険回避行動はくじ $L^*$ のように与えられる。したがって、コスト $c$ で表わされる危険回避行動を選択した場合に彼が実際に獲得する期待効用は、

$$(1-p(c))u(y-c) + p(c)u(y-\ell-c)$$

で与えられる。

いま、仮に客観的なリスクと認知リスクが一致しているようなドライバーを考えよう。このドライバーは認知リスクに関するバイアスを持たないという意味で理想的な認知を有するドライバーということができる。この時、この理想的なドライバーの危険回避行動をモデル化しよう（以下、モデルBと呼ぶ）。モデルAと同様にして、モデルBは次式で定式化される。

$$\max_c \{ (1-p(c))u(y-c) + p(c)u(y-\ell-c) \} \quad \dots(5)$$

この時、モデルBの最適化の一階条件は次式のように与えられる。

$$-p'(c) = \frac{(1-p(c))u'(y-c) + p(c)u'(y-\ell-c)}{u(y-c) - u(y-\ell-c)} \quad \dots(6)$$

ここで、モデルAの一階条件（式(4)）を変形す

ると、次式を得る。

$$-p'(c) = \frac{(1-p(c))u'(y-c) + p(c)u'(y-\ell-c)}{u(y-c) - u(y-\ell-c)} + \frac{\gamma}{\xi} \frac{(1-q_0)u'(y-c) + q_0u'(y-\ell-c)}{u(y-c) - u(y-\ell-c)} \quad \dots(4')$$

モデルAおよびモデルBの解をそれぞれ、 $c^0$ 、 $c^*$ とおくと、式(4')の右辺第2項は常に正であるから、 $c^0 \leq c^*$ が成り立つことがわかる（Fig.3参照）。さらに $p(c^*) \leq p(c^0)$ であり、リスク認知が正確になるほど、より高い水準の危険回避行動が選択されることがわかる。言い換えれば、式(1)のように認知リスクと客観的なリスクが乖離することによって、最適な水準に比べて低い水準の危険回避行動が選択され、より危険な行動がとられることが読み取れる。

#### 4. 数値事例

ここでは、Fig.4に示すような見通しの悪い交差点における歩行者対車両の接触事故のリスクにさらされるドライバーを想定し、数値計算を通じて上述の分析の結論を具体的に検討してみよう。

いま、速度 $v$ で走行している車両の前方 $l(v)$ の危険区間（≡制動距離）に歩行者が飛び出し、接触事故が生じるような状況を想定する。平均毎時 $\lambda$ 人の歩行者がこの交差点を横断するとして、歩行者による横断の発生がランダムでポアソン分布に従うとする。この時、時間 $t$ の間に、横断が $n$ 回発生する確率は $f(n;t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t}$ で与えられる。この時、接触事故が発生するリスク（「接触事故リスク」（客観的なリスク））は、危険区間を車両が通過する時間内 $H(v) = l(v)/v$ に横断が（1回以上）発生する確率であり、次式で与えられる。

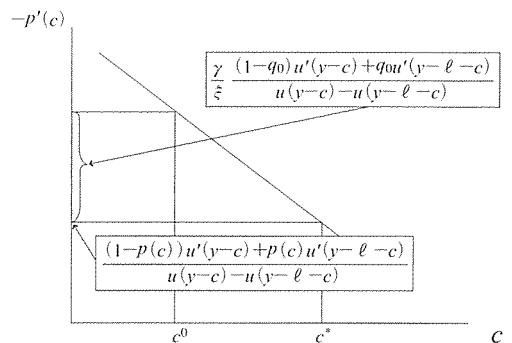


Fig.3 認知リスクのバイアスが存在する場合の危険回避行動の水準 $c^0$ と完全なリスク認知がなされる場合の危険回避行動の水準 $c^*$

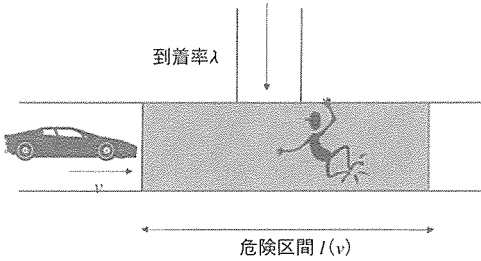


Fig.4 歩行者対車両の接触事故リスク（歩行者が車両の前方の危険区間に飛び出すリスク）

$$P(v; \lambda) = 1 - f(0; H(v)) \quad \dots(7)$$

$$= 1 - \exp(-\lambda H(v))$$

前章までで議論してきたように、ドライバーが自らの走行経験のみに基づいて、接触事故のリスクに関する認知を更新するものとして行った数値実験の結果を以下に示す。ただし、 $l(v)$ は道路構造令で規定されている乗用車の制動距離を用い、歩行者の横断の発生率を  $\lambda = 2$  とした。初期においてドライバーは、 $\lambda = 200$  というかなり高めのリスク水準を想定しているものとした。

Fig.5は、最適速度を常に選択しつづけたドライバーが形成する歩行者の横断の発生率に関する主観的な認知（期待値）の変化を示す（この数値事例では、接触事故リスクに関して完全な認知を獲得している合理的ドライバーの選択速度（＝最適速度）は毎時42kmとなっている）。図中の●印は危険事象（接触事故）の発生を示している。当然のことではあるが、危険事象が発生するまでは、単調にリスクの認知水準は減少し、安全な走行経験をする以前に比べて、より安全性が高いものと誤認する構造が読み取れる。このため、危険事象が生じた時にはその近傍において最も認知リスク水準が低下していることになる。このことはFig.5からもはっきりと読み取ることができる。

また、認知水準は走行経験の増加とともに客観的な水準  $\lambda = 2$  に近づいていくが、走行経験が少ない段階では、危険事象が危険側（すなわち、認知している歩行者の横断発生率が実際の横断発生率よりも低い領域）で発生していることに着目する必要がある。走行経験が少ない段階では、最初の認知水準がきわめて安全側であるこの事例においてさえ、事故は危険側で生じているのである。この場合には走行速度自体の変更はないものとしたので、事故によ

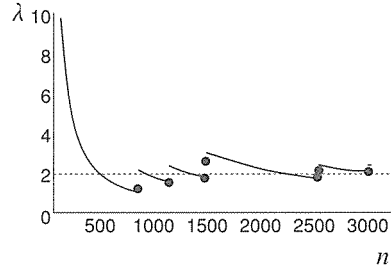


Fig.5 歩行者の横断の発生率に関する主観的な認知水準の更新過程（最適速度で定速度走行する場合）

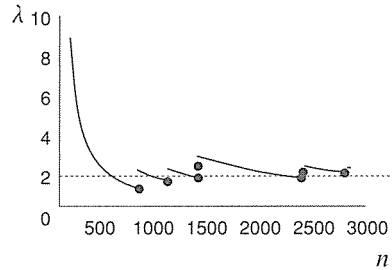


Fig.6 歩行者の横断の発生率に関する主観的な認知水準の更新過程（認知リスクに応じて速度選択をする場合）

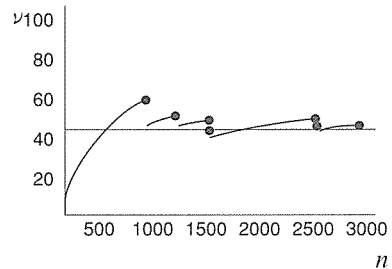


Fig.7 認知リスクに応じて速度選択をする場合に選択される速度

る被害の程度は認知の如何に依存しない。しかしながら、実際には認知の違いは、ドライバーによって選択される速度の違いとなって現れる。

Fig.6は速度選択が可能な場合の歩行者の横断発生率に関する主観的な認知水準の更新過程を示す。傾向としては、速度選択がされない場合とほぼ同様の結果となっている。

しかしながら選択される速度自体は、Fig.7に示すように異なっている。特に走行経験の少ない状況下において、走行速度が最適速度毎時42kmを上まわるところで、危険事象（接触事故）が生じていることに着目したい。このことは、認知リスクのバイアスがより甚大な事故を招く恐れが高いことを示している。

5. おわりに

本研究では、認知リスクと客観的リスクの乖離がドライバーの危険回避行動に及ぼす影響を及ぼすかを分析するための枠組みとして、プロスペクト理論を提示し、同理論に基づいて認知リスクと客観的リスクの乖離とドライバーの危険回避行動を解析した。認知リスクと客観的リスクの乖離の問題は、交通安全研究の分野でも取り上げられていたが、本研究によってこの問題にアプローチするための理論的な基礎が提供されたものと考えている。前章までで行った解析結果を整理すれば、以下のものである。

ドライバーが交通事故に遭遇することが個々のドライバーにとっては比較的稀な出来事であることに着目すれば、式(1)によって表されるような認知リスクのバイアスが生じ、認知されているリスクの水準は特に生起頻度の小さなリスク（死亡事故リスクなど）に関しては過大な認知リスクが形成される。その結果、損失の期待値はより大きく評価され、このようなリスクをとることの補償はより大きな額が必要となる。さらに、正確な認知がなされている場合に比べてより大きな保険が購入されることになる。これらの結果は、認知リスクのバイアスが安全側に作用するような側面を有していることを示している。しかしながら、反面、認知リスクの限界的な変化は客観的なそれよりも小さい。このため、客観的リスクを認知している場合よりも、より危険な行動をとりやすいことがわかった。この点は、認知リスクのバイアスの存在が甚大な事故を招く危険性を増大させるものと言える。

認知リスクの水準を交通安全対策を実施する行政主体が正確に把握することは困難であろう。しかし、認知リスクの限界的な変化が、実際のリスクの限界的な変化を下まわるために危険な行動がとられやすいことを考慮すれば、一定の安全水準を実現するためには、現実にはその水準を上まわる対策を実施することが必要となろう。

ここでは、一人のドライバーの行動のみを考察の対象としたが、今後は複数のドライバーが異なる認知リスクの水準を有している場合に生じる問題に関して、シミュレーション実験等を介して分析の深化を図っていきたいと考えている。

参考文献

1) Kahneman and Tversky: Prospect Theory: An

Analysis Decision under Risk, Econometrica, 47, 263-291, 1979

2) Viscusi, K.W.: Sources of Inconsistency in Social Responses to Health Risks, American Economic review, 80(2), 527-554, 1990  
 3) Viscusi, K.W.: Rational Risk Policy, Oxford University Press, 1998  
 4) 多々納裕一「交通安全施設整備に伴う安心感向上の経済効果計量化のための基礎的研究」交通安全対策振興助成研究報告書、Vol. 9、佐川交通社会財団、pp.77-82、1994年

【参考】

認知リスクの形成過程のモデル化<sup>1)</sup> (式(1)の導出)

客観的なリスクの水準(真値)を $p$ とおこう。しかしながら、個々のドライバーは客観的リスク水準 $p$ を知りえず、自らの走行経験を介して事故等の危険事象が生じたか否か等の情報をもとにリスクの水準を推測するであろう。このため、ドライバーが先験的にリスクの水準 $\theta$ を以下のような密度関数をもつベータ分布に従う確率変数であるとみなすものと仮定する。(ベータ分布でなく正規分布等を仮定することもできる。)

$$f(\theta) = B(\alpha, \beta) \theta^{\alpha-1} (1-\theta)^{\beta-1} \quad \dots(a1)$$

ただし $\alpha, \beta$ はベータ分布のパラメータであり、 $B(\alpha, \beta) = \Gamma(\alpha + \beta) / (\Gamma(\alpha) \Gamma(\beta))$ である。

この時、リスク水準の推定値として、ドライバーが期待値を用いるものとすれば、先験的な主観的リスクの水準 $q_0$ は以下のように与えられる。

$$q_0 = \int_0^1 \theta f(\theta) d\theta = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \quad \dots(a2)$$

ここで、ドライバーが $n$ 回の走行経験の結果、 $s_n$ 回交通事故の危険に直面したものとすると、この時、リスク水準 $\theta$ を所与として、ドライバーがこのような経験をする確率 $f_n(s_n | \theta)$ は以下のように $\theta^n (1-\theta)^{n-s_n}$ に比例する。

$$f_n(s_n | \theta) = C_n \theta^{s_n} (1-\theta)^{n-s_n} \quad \dots(a3)$$

ベイズ定理より、 $n$ 回の走行経験の結果、 $s_n$ 回交通事故の危険に直面したドライバーは、リスク水準に関して以下のような主観的な分布を形成することになる。

$$f_n(\theta | s_n) = \frac{f_n(s_n | \theta) f(\theta)}{\int_0^1 f_n(s_n | \theta) f(\theta) d\theta} = B(\alpha + s_n, \beta + n - s_n) \theta^{\alpha+s_n-1} (1-\theta)^{\beta+n-s_n-1} \quad \dots(a4)$$

したがって、走行経験ののちにドライバーが下すリスク水準に関する推定量 $q_n(s_n)$ は以下のように与えられる。

$$q_n(s_n) = \int_0^1 \theta f_n(\theta | s_n) d\theta = \frac{\alpha + s_n}{\alpha + \beta + n} = \frac{\gamma q_0 + s_n}{\gamma + n} \quad \dots(a5)$$

ここで、 $s_n$ が実際には $f_n(s_n | p)$ に従うことに留意すると、リスクの推定量の期待値は以下のように求められる。

$$q = \sum_{s_n=0}^n q_n(s_n) f_n(s_n | p) = \frac{\gamma q_0 + np}{\gamma + n} \quad \dots(a6)$$

ここで $n \rightarrow \infty$ と置けば、式(1)が得られる。

# ドライバーの交通ルール認識と 危険回避行動の推移に関するモデル分析

—ロータリーの通行方法を例に—

喜多秀行\*

谷本圭志\*\*

ドライバーを取り巻く走行環境や走行経験、交通ルール等がドライバーの危険回避行動に及ぼす影響メカニズムについては未解明な点が多い。本研究では、ロータリーを対象として進入車と周回車が遭遇した際の危険回避行動モデルを構築し、交通ルールがドライバーの運転行動に及ぼす影響を分析した。その際、交通ルールに関して異なる認識を有する二種類のドライバーが混在していると考え、不完備情報下の二人非協力ゲームとしてモデル化を行った。また、他車との遭遇経験を介してタイプ別構成比率に関する主観確率とルール認識を更新するプロセスを組み込んだシミュレーションモデルを用いてルール認識と危険回避行動の変化の様相を分析し、交通安全施策の効果を検討した。

## Model Analysis of Drivers' Traffic Rule Awareness and Changes in Risk-Avoidance Behavior

—Negotiating Roundabouts—

Hideyuki KITA\*

Keishi TANIMOTO\*\*

This study analyzes the influence of drivers recognition on the driving behavior under conflict between merging and diverging cars at a roundabout. The driving behavior is modeled as a two person non-cooperative game under imperfect information to take into consideration the existence of two types of drivers with recognition of different traffic rules. The transition of their rule recognition and the resultant traffic phenomena are traced by using a newly developed self-automata type micro-simulation model with learning function of drivers under several conditions to evaluate traffic safety policies.

### 1. はじめに

効果的な交通安全対策を策定するためには、ドラ

イバーの運転行動に対する理解が不可欠である。なかでも、事故の危険に直面しているドライバーがとる「危険回避行動」は事故の発生に関与する支配的な要因の一つである。しかし、交通事故リスクに関する認識の形成やドライバー間での認識のずれ、さらにはドライバーを取り巻く種々の環境が危険回避行動にどのような影響を及ぼしているかということについては研究の蓄積が十分になされていないのが現状である。このため、危険回避行動を規定する要因やその形成構造に関する検討とともに、ドライバーを取り巻く走行環境や走行経験ならびに交通ルール等がドライバーの危険回避行動に及ぼす影響と事故への関与のメカニズムの分析が重要な課題となっ

\* 鳥取大学工学部教授  
Professor, Faculty of Engineering,  
Tottori University

\*\* 鳥取大学工学部助手  
Research Associate, Faculty of Engineering,  
Tottori University  
原稿受理 2000年8月7日

※この論文は財団法人国際交通安全学会平成10年度H049プロジェクト「ドライバーの危険回避行動に関する基礎分析」(PL:喜多秀行)および同平成11年度H160プロジェクト「ドライバーの危険回避行動に関するモデル分析」(PL:喜多秀行)の調査研究をもとに執筆された。

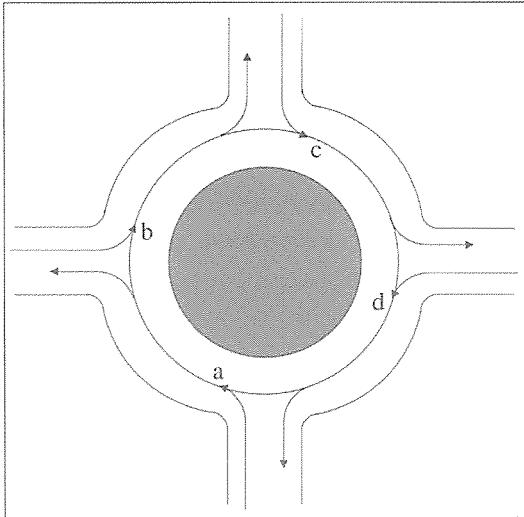


Fig.1 ロータリーの形状と交錯点

ている。

ドライバーの危険回避行動はドライバーの危険認識に大きく依存している。しかしながら、その形成メカニズムには不明な点が多く、十分な説明がなされていないのが現状である。そこで本研究では、所与の危険認識の下でドライバーがとる危険回避行動の選択構造を明らかにするとともに、危険認識の形成メカニズムをモデル化することにより、危険認識に影響を及ぼす諸要因が危険認識の形成を通じて危険回避行動にどのような影響を及ぼすかを検討する。具体的には、ゲーム理論に基づく行動モデルを組み込んだシミュレーションモデルを用いて、

- (1)成り行きに任せた場合にドライバーの認識と危険回避行動はどのように推移していくのか
- (2)その結果もたらされる状況は社会的に望ましいものなのか
- (3)望ましくない場合にどのような施策を行えば改善することが可能なのか

について検討する。

分析の対象として、ロータリー (roundabout) におけるドライバーの危険回避行動とそれを規定するルール認識を取り上げる。わが国ではロータリーがあまり普及しておらず特別な交通ルールが定められていないこともあって、ロータリーの優先通行権に関する認識が必ずしも全てのドライバー間で共通でない。各ドライバーは走行経験に基づいて認識するルールとその時々交通状況に基づき危険回避行動を選択していると考えられ、また、ドライバーのルール認識はロータリーを走行する際の経験 (予期せ

ぬニアミスや譲り合いの発生) によって時間的にも変化していく。そこで、このような状況を表現するマイクロシミュレーションモデルを構築する。このモデルを用いてドライバーの危険認識と交通状態の動的な推移を分析することにより、ドライバー教育や交通キャンペーンといった交通安全施策の効果分析を行うための枠組みを提案する。

以下第2章ではロータリーの特性とわが国におけるロータリーでの交通ルールの認識に関する実態を紹介し、第3章ではルール認識に関する主観確率が所与の場合のロータリーにおけるドライバーの行動をモデル化する。次いで第4章ではルール認識に関するドライバーの学習モデルを内包したマイクロシミュレーションモデルを構築し、それを用いて第5章で交通安全政策がルール認識の変化を通じて事故危険の現象にどのような効果を及ぼすかを検討する。第6章では得られた成果を整理し、今後の交通安全対策に関する若干の提言を行う。

## 2. ロータリーの特性と交通ルール認識

ロータリーは無信号交差点の一種であり、一般的にFig.1のような形をしている。ロータリーの中心には円形ないし楕円形の島があり、進入した車両はこの島を中心に交通ルールで定められた方向に周回し流出してゆく。信号が設置されていないため安全かつ円滑な通行がなされるよう、通常は周回路または進入路の一方に優先権を与えている。非優先側の道路には通常一時停止の標識を設置せず、他方からの車両が走行していても安全に走行できる場所では一時停止による待ちが少なくなるよう配慮されている。

道路のロータリーは通常の交差点に比べて交通量の小さい領域での停止による待ちが少なく、かつ構造特性上車両が進入時に周回車両を確認するという特長を有しているため、近年世界的に再評価される傾向にある。

欧米の多くの国では、進入車に対する周回車・流出車の通行優先権が設定されておりドライバーもそれを認識し走行しているので、上述の安全性と処理能力の両面における利点が発揮されており、比較的ロータリーが多用されている。それに対し日本では数が少ないこともあって特段の交通ルールが定められておらず、一般的な交通ルール (左方優先) が適用されている。つまり、進入車優先となっているが、数がきわめて少ないためにドライバーの多くが明確

Table 1 アンケートの質問項目

1. あなたは免許を持っていますか？ ①はい ②いいえ
2. あなたは鳥取で車を運転しますか？ ①はい ②いいえ
3. 鳥取市内に瓦町ロータリーというロータリーがあります。あなたはこのロータリーを車を運転して通ったことがありますか？ ①はい ②いいえ
4. 一時停止の標識がない道路からこのロータリーに進入する時、周回車を走行するほかの車と衝突する可能性がありますか。図のA、Bどちらに優先権があると思いますか？ ①A ②B ③状況による
5. 優先権の有無を決めているものがあると思いますか？ ①交通ルール ②慣習 ③その他(具体的に) ④ない
6. このロータリーはほかの交差点と比べて安全だと思いますか、危険だと思いますか？ ①危険である ②変わらない ③安全である
7. そう思う理由を書いてください。 [理由]

な優先権を認識しておらず、互いに見合って停止してしまったり減速せず衝突しそうになって急ブレーキを踏むといった状況がかなり発生している。そのため、ロータリーが多用されている国々で高い機能を発揮しているという事実のみから直ちに導入を図ろうとしてもロータリーの機能がしかるべく発揮されると考えてよいかどうかは疑問である。

2-1 ロータリーの交通ルールに関する認識

ロータリーの通行方法に関するアンケート調査結果と鳥取市内のロータリーにおいて実施したビデオ観測調査結果から、わが国のドライバーがロータリーの交通ルールに関してどのような認識を有しているのかを推計した。

まず、ロータリーにおける交通ルールの認識の程度とその内容に関するアンケート調査を行った。調査対象は鳥取大学工学部社会開発システム工学科3年生である。アンケート内容をTable 1、その結果をTable 2に示す。

質問項目4と質問項目5に対し、ロータリーにおける交通ルールを進入車優先と回答した者、すなわちロータリーにおける交通ルールを正確に認識している者は63名中わずか5名(7.9%)であり、残りの58名(92.1%)は周回車・流出車優先や状況によると回答した。ロータリーは危険であると感じている者が多いが、交通ルールを正確に認識している者は10%にも満たないことがこのアンケート結果からわかる。ただし、これは実際に走行していた者に対するアンケートではないので、ロータリーを通行したドライバーの認識とは必ずしも一致していない可能性がある。

Table 2 アンケート結果 (項目4と5に関して)

項目	項目4	項目5	進入車両	周回車両	状況による	計
交通ルール			5	19	3	27
慣習			0	18	3	21
その他			0	3	0	3
なし			0	8	4	12
計			5	48	10	63

Table 3 ビデオ観測結果

事象	$n_{GS}$	$n_{SG}$	$n_{SS}$	$n_{GG}$	$n_E$
発生回数	44	44	18	7	113

そこで、鳥取市内の通称瓦町ロータリーにおける遭遇時の危険回避行動をビデオ観測し(平成10年11月25日実施)、推計を試みた。遭遇の定義は「合流部において進入車と周回車がこのままの速度で走行すると衝突する状態」である。TTC(Time to Collision, 車間距離/相対速度)などによる判定基準を設けて遭遇のデータ収集を行うことができるが、ある観測者がこのままの速度でお互いが走行すれば危険な状態になると感じる時は他の観測者もほぼ同じように感じる事が観測経験からわかっており、そのような状況ではドライバーも概ね危険を感じていると推察される。そこで本研究ではビデオテープより明らかに遭遇状態であると分析者が判断したケースのみを抽出し、データを収集した。遭遇時におけるドライバーの行動は「進行する」か「避譲する」であり、双方のドライバーの行動の組み合わせごとに発生頻度をカウントした。

結果をTable 3に示す。ここに、 $n_{GG}$ は両ドライバーが進行(G)した事象(ただし、実際には衝突しておらず危険な状態になった回数)、 $n_{SS}$ は両ドライバーが避譲(S)した事象、 $n_{GS}$ は進入側が進行(G)し周回側ドライバーが避譲(S)した事象、 $n_{SG}$ は進入側ドライバーが避譲(S)し周回側ドライバーが進行(G)した事象である。また、 $n_E$ は遭遇の総発生回数( $n_E = n_{GG} + n_{GS} + n_{SG} + n_{SS}$ )である。

進入車優先と認識しているドライバーの比率Pは次式で与えられる(推計方法の詳細については文献1を参照されたい)。

$$P \leq \frac{\sqrt{1-4\pi_{GG}} - \sqrt{1-4\pi_{SS}}}{2}$$

Table 3から求めた  $\pi_{GG}$ 、 $\pi_{SS}$ 、

$$\pi_{GG} = \frac{n_{GG}}{n_E} = \frac{7}{113}$$

$$\pi_{ss} = \frac{n_{ss}}{n_r} = \frac{18}{113}$$

を代入すると、 $P \leq 0.132$ となり、進入車優先と認識しているドライバーの比率は高々数10%と推定される。アンケート調査から得られた値(7.9%)とも勘案すると、わが国(鳥取市)のドライバーが進入車優先と認識している確率は概ね10%程度に過ぎないといえる。

### 3. ロータリーにおける危険回避行動のモデル化

#### 3-1 モデル構築の基本的考え方

ロータリーの処理能力や安全性に関する調査研究は精力的に行われてきている<sup>2,3)</sup>。しかし、これらの調査研究はいずれもロータリーを走行する全てのドライバーが交通ルールを認識している、またはドライバーが交通ルールどおりに走行することを前提としている。

そこで本研究では、ドライバーが認識している交通ルールが必ずしも同じでない状況を想定して運転行動モデルを構築し、交通ルール認識の不一致が運転行動に及ぼす影響を明らかにする。具体的には、進入車が優先するとの認識をもつドライバーと周回車が優先するとの認識をもつドライバーが混在する状況下で、進入車と周回車がロータリー入口で遭遇する際、お互い自分にとって最良の結果を得られるように意思決定を行い行動した時に何が起こるかを検討する。ここで注意すべきは、最良の結果をもたらす行動が相手ドライバーがとる行動に依存しているという点である。すなわち“互いに相手のとる行動を予測して自分の行動を決定しなければならない”相互依存の状況が生じているのである。このような状況下でそれぞれのドライバーが結局どのような行動に落ち着くかを分析するにはゲーム理論が有用である。そこで本研究では、ゲーム理論的観点からドライバーの運転行動のモデル化を行う。

進入車は周回路に合流するために減速するので、以下では進入車が周回車の走行速度より低速で進入する場合を考える。これら進入車と周回車との速度の関係はロータリーの形状により左右されると考えられ、進入車が周回車の走行速度より高速で進入する場合へのモデルの変更も可能である。ロータリーにおいて危険な場面や混雑の発生が予想される場所はFig.1のa~dで示すような進入車と周回車・流出車の遭遇する合流点である。本研究では進入車線

が1車線、周回車線が1車線のロータリーにおいて進入車と周回車の合流部における「遭遇」を考える。前述したように、遭遇とは進入車が交差点に進入した時に将来そのままの速度では周回車と衝突する状態のことをいう。遭遇状態下ではドライバーは互いに相手の行動により自分の行動を変化させるといって相互依存関係下におかれる。しかし、優先権に関して異なる認識を有するドライバーが混在しており、かつ相手がどのような認識を持っているかを知るすべがないため、不都合が生じる可能性がある。そこで本研究では、ロータリーの合流部におけるドライバーの運転行動を不完備情報下の非協力ゲームとしてモデル化し、ゲーム理論的観点から双方の車が互いに進行または避譲してしまうケースの発生を分析することにより、ロータリーの安全性や処理能力に関する分析を行う。

#### 3-2 モデルの特定化

ゲーム理論において、個々のゲームは「プレイヤー」「手番」「戦略」「利得」「タイプ」「情報」といった基本要素により特定化される。

##### 1) プレイヤー

ゲームを行う当事者である。本モデルでは遭遇状態にある「進入車ドライバー」と「周回車ドライバー」をプレイヤーと考える。両者は互いの行動に関して事前に打ち合わせを行なったり取り決めを行うことができない。

##### 2) 手番

プレイヤーがとる行動の順序であり、ここでは同時手番を考える。つまり、ドライバーは相手のドライバーの意思決定を知らずに自分の意思決定を行うものとする。

##### 3) 戦略

プレイヤーが置かれている状況と行動との関連づけである。ドライバーの行動は「進行する(G)」か「避譲する(S)」である。各ドライバーは相手のドライバーのタイプと行動を予測し、自らの行動を選択するものとする。

##### 4) 利得

選択した戦略の組み合わせとして生じた結果により規定される。優先権の有無に関するドライバーの認識の違いは“ルール違反を犯し相手の優先権を侵害することに対する不効用”と“(相手が優先権に関する認識を有していないため)自分の優先権を発揮できないことによる不効用”等により考慮する。ドライバーの利得は以下の変数から規定されると考



える。

- c 衝突事故発生による不効用
- v ルール違反をすることに対する不効用
- g<sub>1</sub> 避譲に対する不効用（進入車）
- g<sub>2</sub> 避譲に対する不効用（周回車）
- r 優先車が避譲することに対する不効用

5) タイプ

異なる利得をもつプレイヤーを区別する概念である。交通ルールに関する問題には交通ルール（ここでは優先権）の違いそのものに起因する問題と、交通ルールを正しく認識しているドライバーの比率に起因する問題がある。そこで、ロータリーを走行するドライバーは必ずしも全員が優先権を明確に認識しておらず、交通ルールに基づく正しい優先権（進入車優先）を認識しているドライバー（タイプR）と周回車優先と認識しているドライバー（タイプN）の二種類が混在すると考える。

6) 情報

利得と選択した行動に対するプレイヤーの知識である。ドライバーは自分が二種類のうち、どちらのタイプのドライバーであるかは認識しており、自分とは異なるタイプのドライバーが存在していることも認識しているものとする。しかし遭遇した相手のドライバーがどちらのタイプのドライバーであるかを特定することはできず、その可能性に関する予想（主観確率）のみを有している。この予想は自分がどちらのタイプであるかにより異なるものとする。すなわち、タイプRであるドライバーが相手がタイプRであると予想する確率をX、タイプNであるドライ

バーが相手がタイプRであると予想する確率をYとする。ただし  $(0 \leq X \leq 1, 0 \leq Y \leq 1)$  である。

二人のドライバーが遭遇する場合のタイプの組み合わせとして  $(R, R)$ 、 $(R, N)$ 、 $(N, R)$ 、 $(N, N)$  の四種類が存在する。遭遇時における双方のドライバーがそれぞれどちらのタイプに属するかはランダムであると考え、自然 (E) がタイプに関する四種類の組み合わせを確率  $P_{ij}$  (ただし、i: 進入車ドライバーのタイプ、j: 周回車ドライバーのタイプ) で決定するものとする、本ゲームの展開型表現はFig.2のようになる。

3-3 均衡解とドライバーの行動

Fig.2のゲームの展開形表現より、まず進入車ドライバーと周回車ドライバーの条件付き期待利得を導出する。進入車ドライバーがタイプRである時の条件付き期待利得を例にとろう。進入車ドライバーの戦略がGであり、周回車ドライバーがタイプRの時戦略Gを、タイプNの時戦略Sをとるとしよう。

周回車ドライバーがタイプRであると予想する確率はX、タイプNであると予想する確率は1-Xであるから、タイプRであると予想した時の利得の期待値  $-c \cdot X$  とタイプNであると予想した時の利得の期待値  $0 \cdot (1-X)$  の和がこの場合の進入車ドライバーの条件付き期待利得である。他の場合についても同様にして求めることができる。

この条件付き期待利得から、双方のドライバーの戦略の組み合わせに対する各ドライバーの期待利得を求める。例として戦略の組合せ (GG, GG) に対する進入車ドライバーの期待利得に着目しよう。ここ

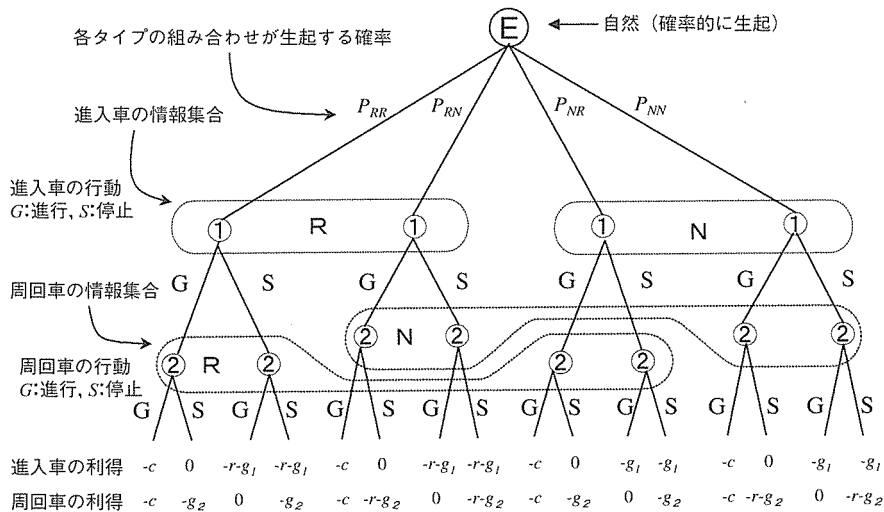


Fig.2 ゲームの展開型

に、 $(L, KL)$  は“進入車ドライバーがタイプRである時戦略Iを、タイプNである時戦略Jを選択し、周回車ドライバーがタイプRである時戦略Kを、タイプNである時戦略Lを選択する”ことを示す表記である。進入車ドライバーがタイプRである確率をPとすると、周回車ドライバーがタイプRであれタイプNであれ戦略Gをとる時に進入車ドライバーが戦略Gをとることの期待利得は  $(-c)P$  である。また、進入車ドライバーがタイプNである確率は  $(1-P)$  であり、上記と同じ戦略をとる周回車ドライバーに対して進入車ドライバーが戦略Gをとることの期待利得は  $(-c+cX)(1-P)$  である。両者の和  $(-c)P + (-c+cX)(1-P)$  が戦略の組合せ  $(GG, GG)$  の時のドライバー1の期待利得となる。その他の場合も同様である。

得られた期待利得より、ナッシュ均衡解を求める。ナッシュ均衡とは、互いに相手の最適戦略に対して、自分にとって最適な戦略を選ぶということである。すなわち各プレイヤーが相手の戦略を一定と見た時自己の期待利得を最大化する戦略が最適戦略であり、互いに最適戦略となる戦略の組合せがナッシュ均衡解である（具体的な算定法については例えば岡田<sup>1)</sup>を参照されたい）。ここでは進入車優先ルールの場合を考え、単純化のため利得の大小関係に関する以下の条件を導入する。交通特性や優先権の違い等に

応じて条件を変更することはもちろん可能である。

$$c \geq 2g_2 \geq g_1 + g_2 \geq 2g_1 \geq g_2 \geq g_1$$

求めた均衡解、すなわち双方のドライバーがとる行動の組み合わせをFig.3に示す。相手ドライバーのタイプに対する主観確率X, Yにより均衡解が異なるものとなっていることに注意されたい。

#### 4. ルール認識の推移と危険回避行動の変化

##### 4-1 ドライバーの学習

主観確率X, Yを有するドライバーが他車と遭遇する際の行動は上記のモデルで与えられるが、ドライバーの主観確率X, Yは走行経験により変化していくであろう。すなわち、主観確率X, Yを上回る比率でタイプRのドライバーと遭遇するならば、このドライバーは“タイプRのドライバーの構成比率は実際には自分が思っているより多そうだ”と考えてX, Yをより大きな値へと更新するであろう。そこで本モデルでは、社会にn人のドライバーが存在する時、遭遇後の主観確率X', Y'は事前の確率X, YよりTable 4に示すように更新されるとする。その際、他車と遭遇したドライバーはタイプ別構成比率に関する主観確率に基づいて均衡解を予測し、予測した均衡解と相手のとった行動から相手ドライバーのタイプを特定する、としている。

また、いずれのタイプのドライバーでも、自分と同じタイプのドライバーの構成比率に関する主観確率がある程度以下となると、“自分の認識しているルールは大多数のドライバーとは違うのではないか”との疑念を抱き、ルール認識（タイプ）を改めるであろう。この変化をモデルに反映させるため、ここではドライバーが直面しているある状況Eに対し、X', Y'の下でドライバーが現在のタイプ  $T \in \{R, N\}$  および他のタイプ  $T' \in \{R, N\}$  で同一の行

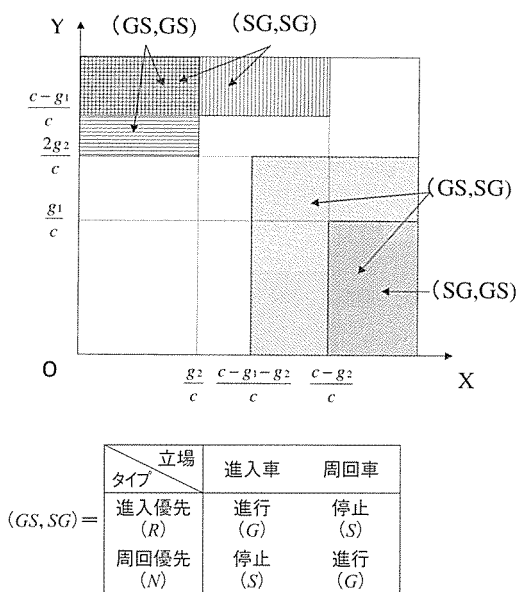


Fig.3 各ドライバーの行動

Table 4 主観確率の更新

	相手をタイプRと予想する	相手をタイプNと予想する
タイプR	$X' = X + \frac{1}{n}$ $Y$ : 更新なし	$X' = X - \frac{1}{n}$ $Y' = Y + \frac{1}{n}$
タイプN	$X' = X - \frac{1}{n}$ $Y' = Y + \frac{1}{n}$	$X$ : 更新なし $Y' = Y - \frac{1}{n}$

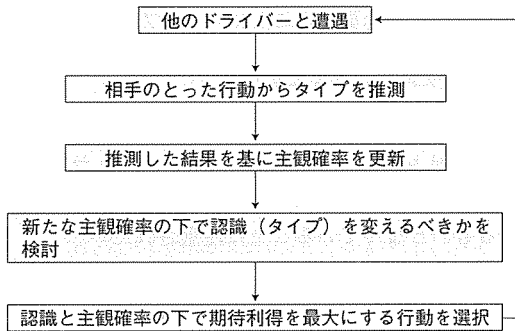


Fig.4 主観確率とタイプの更新

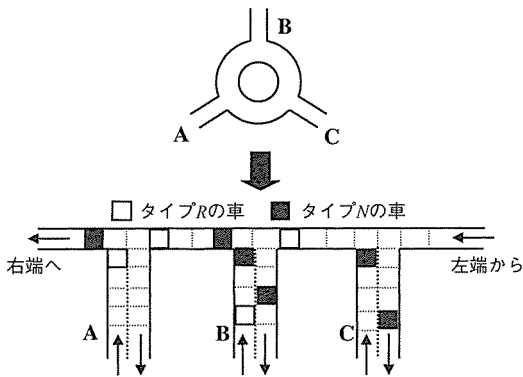


Fig.5 シミュレーションモデルのイメージ

動Aを選択する場合の期待利得 $U(A, E; T)$ と $U(A, E; T')$ を比較し、

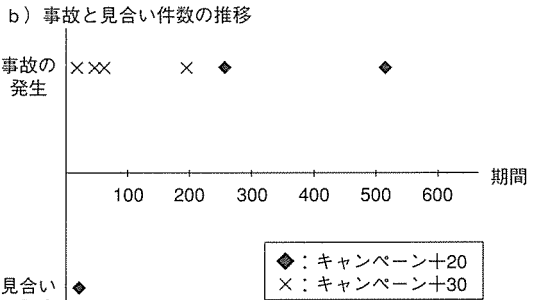
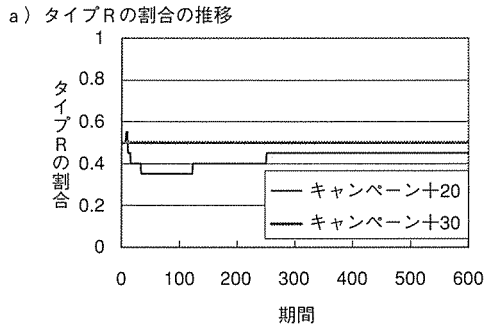
$$U(A, E; T) < U(A, E; T')$$

となった時点でタイプを変更するものとする。

以上のプロセスを整理したものがFig.4である。

#### 4-2 マイクロシミュレーションモデル

前節で述べた相互依存的な動的プロセスが時間の経過とともにどのように変化していくかを追跡するため、セル・オートマタ型のシミュレーションモデルを構築した。ロータリーはFig.5に示すように3箇所の分合流部を有するものを想定した。シミュレーションモデルではこれを変形して図中のような三つのT字型交差点を連続させたものとし、想定したロータリーと同様の車の動きを表現する。水平部分が周回路、鉛直部分が進入路と流出路に相当し、車はこの周回路を右から左に走行し左端に達すると直ちに右端から出てくるものとする。周回路は33のセルに、進入・流出路は $15 \times 2$ のセルに、それぞれ区切ってあり、個々のセルの状態(車両の有無)は周辺のセルの状態変数から構成する関数により規定される。



(注) 事故は1、見合いは0.5の値。

Fig.6 交通キャンペーンの効果分析

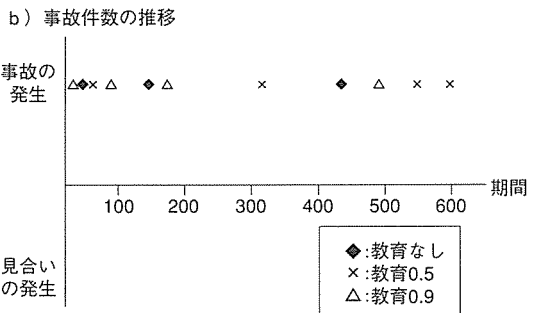
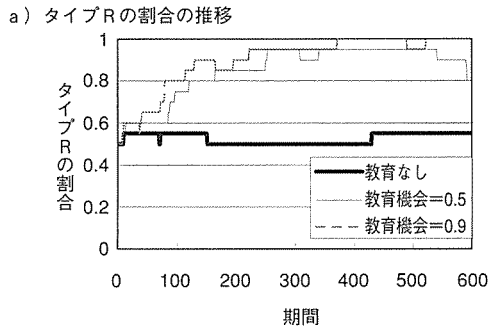


Fig.7 ドライバー教育の効果分析

各車には、ドライバーのタイプ、主観確率 $X, Y$ の情報がそれぞれ与えられており、遭遇の際には進入車と周回車のドライバーのタイプや主観確率の組合せにより、Fig.3に示した行動(の組み合わせ)が生じ、その結果に応じて交差点で事故や見合いが

起こる。また前節で述べた学習メカニズムにしたがってドライバーの有する主観確率とタイプが更新される。

### 5. 走行行動の推移と交通政策の効果分析

進入車優先ルールを採用している社会を想定し、初期条件 ( $n_m=10$ ,  $n_n=10$ ,  $X$ と $Y$ はドライバーごとに異なる)の下で、交通政策の効果分析を行った。“交通キャンペーン”(初期主観確率を高めに設定)および“ドライバーの教育”(ある確率でドライバーを抽出し強制的にタイプ $R$ にする)を実施した場合の認識、ならびに事故と見合い件数の推移を比較した。なお、Fig.6における「キャンペーン+20」「キャンペーン+30」は初期主観確率( $X$ ,  $Y$ )をそれぞれ20、30%高めに設定したケースを、Fig.7における「教育0.5」「教育0.9」はそれぞれ確率0.5、0.9でドライバーを抽出し強制的にタイプ $R$ にするケースを意味している。Fig.6,7の上図から何も交通政策を行わない時や交通キャンペーンのみでは進入車優先と認識するドライバーの比率はあまり変化しないが、ドライバーの教育を行うと確実に増加していくという効果が認められた。またFig.7の下図に示すようにドライバーの教育の機会が高い場合には初期に比較的多くの事故が発生しており、教育の機会をあまり高くすると事故が多発する可能性がある。一方、教育の機会が低い場合、Fig.7の上図の教育機会=0.5のケースにおいて500~600期間の間にタイプ $R$ の割合が減少し事故が増加する傾向も見られ、教育を行うなら徹底的に実施することが必要であるという知見が得られた。

ドライバーの交通ルールに関する認識は教育の実施とともに共通化されていくものの、その過程において必ずしも事故が低減されるわけではないこと、さらには教育の徹底度の違いにより長期的な事故への影響効果は異なり、場合によっては危険な状況をもたらす可能性もあることが指摘される。事故やお見合い件数の推移比較では、Fig.6の下図に示すように交通キャンペーン(初期主観確率を高める政策)が推移に大きな影響を及ぼしていることから、主観確率( $X$ ,  $Y$ )の初期値が推移の変化に関して支配的であることが分かった。

RRL<sup>5)</sup>は横断歩行者優先キャンペーンがドライバーの危険回避行動に及ぼす影響の経時変化を調査し、横断歩行者に対する危険回避行動をとるドライバーの比率がキャンペーン直後に増加し次第に減少

していく様子を報告しているが、この種のキャンペーンによりどのような経時変化のパターンが生じるかを本モデルを用いて検討することも可能ではないかと考えている。

### 6. まとめと提言

本研究では、ロータリー内で進入車と周回車が遭遇した際の危険回避行動モデルを構築し、交通ルールがドライバーの運転行動に及ぼす影響を分析した。その際、交通ルールに関して異なる認識を有する二種類のドライバーが混在していると考え、各ドライバーが相手のドライバーの種類と行動を予想した上で最適な行動を選択するという設定の下でゲーム理論によるモデル化を行った。また、他車との遭遇経験を介してタイプ別構成比率に関する主観確率とルール認識を更新するプロセスを組み込んだシミュレーションモデルを用いて、ルール認識と危険回避行動の変化の様相を検討した。

検討過程を通じて、経験のみで交通ルールの認識が推移する状況下では、放っておくと必ずしも望ましい状態には到達しないとの結果が得られ、規制の制定やドライバー教育、交通安全キャンペーンなどの政策の必要性が示唆された。政策を徹底させる程度の違いにより事故率への影響が異なることも明らかとなり、政策評価の必要性もあわせて指摘された。そこで、政策の実施による事故率への影響・効果をシミュレーションにより推定する方法を提案した。これにより、ドライバー教育、罰則、キャンペーン等が安全性の向上に及ぼす効果の計測可能性を示すことができ、政策評価の新たな可能性を拓いたものと考えている。

もちろん、本研究では多くの単純化がなされ、分析にも限りがあるため、結果の解釈についても限定的なものにならざるを得ない。前提条件のさらなる吟味やドライバーの利得、遭遇時の車両の位置関係と危険回避行動との関係などに関する実証分析を引き続き行う必要があることは言うまでもない。今後は、交通ルールの認識水準に関する動学的な変化をも考慮しようというモデルの拡張を図り、交通ルールの設計方法論の開発へとつなげていくことも重要である。

最後に、得られた知見を今後の交通安全対策に関する若干の提言としてとりまとめた。

(1)走行安全性は交通ルールに対するドライバーの認識の程度や共通性にかかなりの程度依存している。

したがって、走行安全性の比較評価を行う際には道路条件や交通特性のみならず交通ルールの認識についても把握しておくことが望ましい。

(2)他の地域である交通システムが高い機能を発揮しているからといって、それをそのまま導入しても同様の機能を発揮するとは限らず、かえって走行の安全性や円滑性を損なう可能性がある。新たな交通システムを導入するに際しては、ハードウェアのみを分離することなく交通ルールや慣習といったソフトウェアと共に導入するか、さもなければソフトウェアの一部または全部を分離することによる影響を評価した上で導入することが望ましい。

(3)交通ルールの認知はドライバー教育によって改善することが可能である。また、ドライバーが他車と遭遇し衝突の危険性が生じた際に共通の認識の下に結果的に安全が確保される行動が相互にとれるよう教育することの効果は、限定的ではあるものの本研究で示した方法を援用して定量的に評価することが可能であると考えられる。また、ドライバー教育による事故防止効果を可能な限り定量的に評価し、より実効ある内容へと修正していくことが望ましい。

#### [謝辞]

本研究の遂行に当たり、モデル開発と数値実験に関して橋本和茂氏（鳥取大学大学院工学研究科社会開発システム工学専攻）および高井豊文氏（鳥取大学工学部社会開発システム工学科：当時）の協力を得た。また、シミュレーションモデルの構築に当たって松島格也氏（京都大学大学院工学研究科）との討議が有益であった。記して謝意を表したい。

#### 参考文献

- 1) 国際交通安全学会「ドライバーの危険回避行動に関する基礎分析」平成10年度研究調査報告書 H049, pp.52-53、1999年
- 2) Brilon, W. (ed.): Intersections without Traffic Signals II, Springer-Verlag, Berlin, 1991
- 3) Kyte, M. (ed.): Proc. of the 3rd Int. Symp. on Intersections without Traffic Signals, University of Idaho, 1997.
- 4) 岡田章『ゲーム理論』pp.23-29,39-49,155-171、有斐閣、1996年
- 5) Road Research Laboratory: Research on Road Safety, Her Majesty's Stationary House, London, pp.71-73, 1963
- 6) Goyal, Sanjeev and Maarten C.W. Janssen: Non-Exclusive Conventions and Social Coordination, Vol. 77, Journal of Economic Theory, pp 34-57, 1997

## ドライバー間の慣習的合図 「パッシング」の危険性に関するモデル分析

福山 敬\*      喜多秀行\*\*

運転行動において、ハイビームなどを使った法規で定められていないさまざまな慣習的なドライバー間のコミュニケーション手段（カー・ボディ・ランゲージ）が存在する。本研究では、ドライバー間に「ゆずる」「ゆずらない」という相反する二つの認識が存在する「パッシング」というカー・ボディ・ランゲージに着目し、その複数意味性の社会的危険性をモデル分析する。より詳細には、違う認識をローカルに生成した地域に住むドライバーの道路ネットワーク上での「遭遇」のくり返しの結果、長期的に社会にどの認識が生き残るか、あるいは複数の認識が共存するならばどのような形になるのかを明らかにし、パッシングというカー・ボディ・ランゲージの社会的効率性と危険性をゲーム論的モデルを用いて考察する。

### Model Analysis of the Risks of High-Beam Signaling between Drivers

Kei FUKUYAMA\*      Hideyuki KITA\*\*

There exist various communication methods among drivers on the roads using functions of vehicles and drivers' body such as high beam and hand waving. These signals by so-called "Car Body Language (CBL)" have emerged in the drivers' society spontaneously in long term in order to overcome impossibility of communication among drivers on the roads. This study focuses on one of such CBLs, namely "high beam". High beam is used commonly in two opposite meanings; one is 'warning' and the other is 'giving the right of way'. The risk of such a multi-meaning CBL and its social stability in the drivers' society are analyzed by employing a game-theoretic model.

#### 1. はじめに

道路を走行するドライバーの間では、ハイビームやハザードランプなどを使った、法規で定められて

\* 東北大学大学院情報科学研究科助教授

Associate Professor, Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

\*\* 鳥取大学工学部教授

Professor, Faculty of Engineering,  
Tottori University

原稿受理 2000年8月7日

※この論文は財団法人国際交通安全学会平成10年度H049プロジェクト「ドライバーの危険回避行動に関する基礎分析」(PL:喜多秀行)および同平成11年度H160プロジェクト「ドライバーの危険回避行動に関するモデル分析」(PL:喜多秀行)の調査研究をもとに執筆された。

いないさまざまな慣習的な自動車間のコミュニケーション手段が用いられている。“カー・ボディ・ランゲージ(以下、CBL)”と呼ばれるこの種のコミュニケーションは、ドライバーが他のドライバーにその意思を直接伝える手段を持たず、そのために安全で効率的な走行が損なわれているという状況を克服するための手段として、ドライバー社会に自然発生的に生まれ慣習化してきた暗黙のルールであると考えられる。国際交通安全学会による調査によると、身振り、手振り、ホーンなどを使った約20種類の、車両による法規で規定されていないシグナルの発信(CBL)が報告されており、同じ合図が複数の意味で用いられていることが明らかになっている<sup>1)</sup>。

このような慣習ルールは、正規の法規を補完し、より望ましい状況を達成している可能性がある。しかしながら、このようなルールはあくまでも信頼性・拘束性を伴わない「きめごと」であり、当然、すべてのドライバーが従う必要はない。また、同じ「シグナル」がドライバーや地域によって、異なった意味をなす可能性がある。特にCBLに「方言性」が存在することが多々見られる。このように、意味がすべてのドライバーに浸透していなかったり、あるいは方言性があることで、一つのCBLに複数の意味が存在する場合、慣習の存在は、ドライバー社会により不効率な、ときにはより危険な結果を招く可能性がある。

なかでも、ドライバーがヘッドライトをハイビームにすることにより自らの意図を他のドライバーに伝えようとするいわゆる「パッシング」は、対向車に対しては「道をゆずる」「ライトの消し忘れ」「速度取り締まりあり」「注意喚起」の四つの意味で使われていることが報告されている<sup>21</sup>。パッシングによるドライバー間の意思の疎通にはこのように複数の意味が存在し、それが危険性をはらむ運転コミュニケーション法の一つとなっている。本研究では、このように一つのシグナルに慣習的に二つの正反対に近い意味が存在することの社会的危険性をモデル分析する。

より詳細には、パッシングというメッセージに対して二つの違う認識を持ったグループが地域に偏在する場合、グループ（地域）を越えてのドライバーの長期的なコミュニケーションのくり返しの結果、この慣習にまつわるドライバー社会の効率性に関してどのような状態が生じるのか、また、異なる認識を持った複数のドライバーがパッシングに関して学習をくり返した結果、最終的に社会にどの慣習が生き残るか（あるいは共存するならどのような形か）、また、そのように自然に生き残ったパッシングの意味は、社会的に望ましいものであるか、そうでなければ交通政策としてどのように望ましい慣習のあり方に変えられるのか、という問題をモデル分析する。

以下、第2章において本研究の基本的考え方を述べ、第3章ではドライバー二人が道路上でパッシングに関する意思決定を行う場面を非協力ゲームモデルとして定式化しモデル分析する。その結果をもとに第4章ではドライバー社会全体でランダムにくり返される意思疎通の成功と失敗の経験を通じてパッシ

ングの意味に関する認識を更新して行く過程を「ランダムマッチングゲーム」としてモデル化する。以上のモデルを用いて、第5章ではシミュレーション分析を通じてこのようなドライバー間の慣習の合図の安定性と危険性について考察を行う。最後に第6章では本研究の結果のまとめとこれからの課題を述べる。

## 2. 「パッシング」に関する認識とその社会的危険性

前述したように、パッシングには、対向車に対しては「道をゆずる」「ライトの消し忘れ」「速度取り締まりあり」「注意喚起」の四つの意味があるとされる<sup>21</sup>。この四つの意味のうち、「注意喚起」と「道をゆずる」の二つはほぼ相対する意味であり、この調査結果に対して、「場合によってはきわめて危険な事態に陥りかねない」と、国際交通安全学会の報告書ではその危険性を指摘している<sup>11</sup>。Table 1はこの調査結果の一部である。「ゆずる」というパッシングは自らも、またまわりもよくやっており、その使用に関してドライバー内での評価が高い。一方、「ゆずらない」というパッシングはまわりがよくするが自らはせず、ドライバー内での評価は低い。ただし、一概にパッシングの「ゆずる」がいいとは言えず、ゆずり合っている当事者以外の第三者に対して巻き込み事故を起こすかもしれない。「ゆずる」の方が一見、望ましく感じられるが、ドライバー自身とまわりの安全を考えるのなら「ゆずらない」の方がよい可能性もある。問題は、合図のどちらがより良いかにあるのではなく、「パッシング」という合図を全ドライバーが同じ意味で用いているか否かにある。

ここで、パッシングは車社会における一つの慣習として見る事ができる。慣習とは「地域」や「グ

Table 1 パッシングの意味に関するドライバーの認識

	自らする*	周りからされる*	役に立つか、害になるか**
「道をゆずる」	0.863	0.957	0.491
「注意喚起」	0.335	0.333	-0.035

注) 参考文献1)の一般ドライバーに対するアンケート(回答数824名)結果を抜粋。

\*「よくする」=2点、「たまにする(される)」=1点、「あまりしない(あまりされぬ)」=0点とした平均値。したがって、2点に近いほどよく用いられることを示す。

\*\*「役に立つ・良いことだ」=1点、「むしろ害になる」=-1点とした平均値。したがって、1点に近いほど役に立っていると認識されていることを示す。

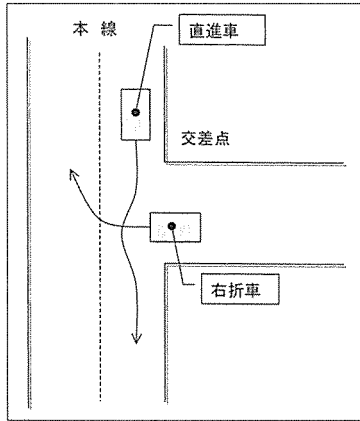


Fig.1 想定するパッシングを用いる状況：T字路

ループ」に特有のもので、地域が違えば慣習も異なる。パッシングも同様で地域によっては「ゆずる」と認識し、違う地域では「ゆずらない」と認識する。このように認識が地域性・グループ性を持つとき、地域間に全く「接触」がなければ認識の違いに起因する問題は発生しないであろう。パッシングを同じ「ゆずる」というメッセージとして認識しているドライバー間では、意思の疎通が可能となり、ドライバーによりスムーズなドライビング環境が実現する。しかし、ある認識のドライバーが同一認識の地域を出て他の地域を含めた社会に対して慣習を使うというような認識の異なる地域同士の慣習の接触が起きるとき、認識の違いに起因する不効率な結果を引き起こす可能性がある。たとえば、ドライバーAが、Aの優先通行権を侵害しようとしているドライバーBの行動に対して危険を感じ、Bに対して警告を伝えようとパッシングをしたとき、Bがそれを「ゆずる」メッセージとして受け取りその侵害行動をエスカレートしてしまうというケースの場合、両ドライバーの誤認識が発生して、パッシングというコミュニケーション手段の存在は、逆に両者の事故危険を高める可能性がある。

近年、社会における慣習や文化の生成や消滅を進化・淘汰の考え方により分析するといった研究が精力的に行われている。特に、文化や制度の違う国や地域同士の長期的交流の結果、それらがどのように統合されていくのかという問題を進化論的ゲーム論の立場から考察するという「比較制度分析」(Comparative Institutional Analysis)の研究が盛んに行われるようになってきた<sup>2)</sup>。Goyal and Janssenは地域間の異なる慣習の接触の結果、社会に複数の慣習が安定的に存在する可能性をモデル分析してい

る<sup>3)</sup>。本研究はドライバーのパッシングに関する認識を異なる慣習を持つ個人の接触としてとらえ、複数「認識」を持つパッシングというCBLの社会的危険性を解析する。

### 3. 遭遇ゲーム

Fig.1に示すようなT字路交差点で右折しようとしている車に直進車が接近してくる状況を例に、各ドライバーによるパッシングの発信と受信およびそのときの運転行動をモデル化してみよう。片側1車線の道路(本線)とそれに垂直に接続する道路(交差点)からなる信号のない交差点を考える。本線を走行する車は交差点の車に対して通行権を優先的に有するとする。この交差点に向かって本線を走る1台の直進車と交差点から本線に入ろうとする車(右折車)が存在し、他の車、二輪車、歩行者など他の交通主体は存在しないと考える。「直進車(あるいは優先車)」および「右折車」のことをドライバーの「立場」と呼ぶことにする。

右折車は左右確認のため、交差点における一時停止線より車体の一部を本線内に少し出している。そのため直進車は安全に通行するために右折車に通行権をゆずり、右折させるか、または少し回避して交差点を通らなければならない。ここで自身の意思(ゆずるかそのまま直進するか)を右折車に伝えるため、本線車はパッシングを発信することになる。

各ドライバーのパッシングに関する認識について定義しよう。パッシングを「ゆずる」メッセージとして認識する直進車のドライバーは、パッシングをしたとき車両を停止させ、右折車に道をゆずる(止まる)。また、「ゆずる」認識のドライバーが右折車である場合、彼はパッシングを受けたとき「ゆずる」シグナルと認識し交差点に必ず「入る」(右折する)ことになる。パッシングを「ゆずらない」メッセージと認識する直進車のドライバーがパッシングしたときの行動は、そのまま「進む」であり、「ゆずらない」メッセージと認識する右折車がパッシングを受けたときの行動は「止まる」(入らない)である。もちろん、ドライバーがパッシングに関して何の認識も持たない場合もあろう。しかしこの場合は直進車がパッシングをコミュニケーション手法として使用せず、したがって右折車はパッシングされず、コミュニケーションは達成されない。

モデル化において、二人のドライバーが道路上でFig.1における直進車と右折車の立場となり、パッ



Table 2 各状況下での戦略

ドライバーの認識	交差点での立場	戦略
「ゆずる」	直進車	パッシングをして止まる パッシングをしないでルールどおりの行動をする
	右折車	(パッシングをされたとき) 進む (パッシングをされなかったとき) ルールどおりの行動をする
「ゆずらない」	直進車	パッシングをして進む パッシングをしないでルールどおりの行動をする
	右折車	(パッシングをされたとき) 止まる (パッシングをされなかったとき) ルールどおりの行動をする
認識を持っていない	直進車	ルールどおりの行動をする
	右折車	ルールどおりの行動をする

シングを発信あるいは受信する状況になることを「遭遇」と呼ぶことにしよう。「遭遇」とは直進車が止まらず、右折車も交差点に入ってきた場合、必ず事故が起るような状況である。3台以上の車両による事故危険を持った遭遇も存在するが、前述したように、ここでは上記のような最も単純な2台の車の遭遇を考えることにしよう。

直進車の立場にあるドライバーは「ゆずる」認識、「ゆずらない」認識のいずれであろうと、「パッシングをする」「パッシングをしない」という二種類の選択肢を持っている。もしパッシングをしないなら、直進車は交通ルールどおり「進む」。一方、右折車はパッシングを受けなければ、自身の運転環境に関する判断により交差点に入るか止まるのかを選択する(ルールどおり行動する)。本線車および右折車ドライバーの「認識」とそのときの「行動(戦略)」およびそのときの結果をTable 2に示す。

いま、パッシングに関して何の認識もないドライバーを考えてみよう。このようなドライバーはパッシングを行わないし、パッシングを受けても「交通ルールどおりの行動を行う」と考えられる。ここで「交通ルールどおりの行動」を次のように定義する。まず、(パッシングに関して認識を持っていない)本線車の「交通ルールどおりの行動」とは、自身は優先車であるので(パッシングをせずに)そのまま交差点に入って行く。一方、(パッシングに関して認識を持っていない)右折車の「交通ルールどおりの行動」とは、自身は優先車ではないので、交差点で安全確認を行い(本線車が「遭遇」の位置にいな

いことを確認できるときのみ)交差点に進み、右折する。ここでモデルの対象としている状況は、すべて直進車・右折車の両方が止まらなければ必ず事故が起るといふ「遭遇」の場面である。このような遭遇の状況において右折車のドライバーが「交通ルールどおり」の行動をしたときに、「右折車が実際には事故が起るといふ遭遇の場面であるのに誤認識して交差点に入ってしまう事故を起してしまう」場合があるとし、その発生確率を $\mu$ とする。

各ドライバーの「遭遇」に関する各立場のドライバーの利得を説明するパラメータをTable 3のように定義する。利得とは、非協力ゲームにおける各結果に対する各ドライバーの「損得」を表すもので、ゲームモデルにおいては各プレイヤーはこの期待値(期待利得)が最大となるようにその行動を選ぶと考える。

直進車と右折車という立場のドライバーが各認識とそれに対応する戦略の下で遭遇したとき発生する状況を、「遭遇ゲーム」と呼ぶ。Fig.2は「遭遇ゲー

Table 3 各立場のドライバーの利得パラメータ

立場	利得パラメータ
直進車	$Ax$ : ゆずることの便益 $Bx$ : ゆずることの費用 $\varepsilon$ : パッシングをする費用 $lx$ : 事故費用
右折車	$Dy$ : ゆずられることの便益 $ly$ : 事故費用

		右折車		
		「ゆずる」としてパッシングを受ける	「ゆずらない」としてパッシングを受ける	パッシングを無視する
直進車	「ゆずる」としてパッシングをする	$Ax - bx - \varepsilon$ $Dy$	$-Bx - \varepsilon$ $-ly$	$Ax\mu - Bx - \varepsilon$ $-ly\mu$
	「ゆずらない」としてパッシングをする	$-lx - \varepsilon$ $0$	$-\varepsilon$ $0$	$-\varepsilon - lx\mu$ $-ly\mu$
	パッシングをしない	$-lx\mu$ $-ly\mu$	$-lx\mu$ $-ly\mu$	$-lx\mu$ $-ly\mu$

注) 各セルにおいて上段が直進車の利得、下段が右折車の利得、網掛けの「結果」はナッシュ均衡解を示す。なおナッシュ均衡解の厳密な定義は、たとえば参考文献4)の第2章を参照のこと。

Fig. 2 直進車と右折車の「遭遇ゲーム」

ム」を標準型ゲームとして表したものであり、図中の各行は直進車の「戦略」（選ぶことのできる行動）であり、各列は右折車のそれである。各列と行の交差する「箱」には、それぞれの戦略が選択されたときの結果と、そのときの各ドライバーの利得がかかっている。ただし直進車がゆずらず、右折車が止まっている状況における本線車および右折車の利得を基準（値0）と考えて、利得が定義されている。

いま、直進車にとって、彼が「ゆずる」認識としてパッシングをし、右折車がそのパッシングを無視するのならば、直進車はパッシングをしない方がよい（利得大きい）と考え、以下を仮定する。

$$Ax\mu - Bx - \epsilon > -Ix\mu$$

ゲームにおける各主体が合理的に行動したときに生起する結果を、ナッシュ均衡解<sup>1)</sup>という。ナッシュ均衡解は、もはや他の主体が戦略を変更しなければ自身の戦略を変更する誘引を持たないような結果のことである。遭遇ゲームのナッシュ均衡（本線車の認識、右折車の認識）を求めると、（ゆずる、ゆずる）（ゆずらない、ゆずらない）（パッシングをしない、パッシングを無視する）の三つが得られる。つまり、これはパッシングが（その意味が何であれ）同一の認識で用いられることが、ドライバー社会において合理的な結果となることを示している。

三つの均衡解における各ドライバーの利得は異なる。いま、すべての利得パラメータは非負であり右折車の利得に関して、 $Dy > 0 > -Iy\mu$  が成立している。直進車にとって「ゆずる」という意味でのパッシングの使い方のほうが「ゆずらない」という意味でのパッシングの使用より望ましく、また、そのどちらの意味でのパッシングも正確に意思疎通ができるのであればそれが存在しないよりは望ましいと考えると、直進車の利得に関して以下が仮定できる。

$$Ax - Bx - \epsilon > -\epsilon > -Ix\mu$$

このとき、「ゆずる」認識であるという均衡解の方が、「ゆずらない」認識同士の均衡解および「パッシングをしない」認識同士の均衡解よりも、両車ともより高い利得を得ることがわかる。つまり、社会的に「ゆずる」認識としてのパッシングは他の均衡解をパレート支配し、社会的に最も望ましい。

#### 4. ポピュレーションゲームモデル

##### 4-1 ドライバーの遭遇と認識の更新

前章では、パッシングに関して「ゆずる」あるいは「ゆずらない」という各認識を持ったドライバーが、直進車あるいは右折車という各「立場」で遭遇したときの意思決定をゲームモデルとして定式化した。しかしながら、各認識を持って他のドライバーと遭遇するドライバーは、遭遇時に右折車になるか直進車になるかという「立場」を事前に決定しない。各ドライバーは、道路ネットワーク上を個々のさまざまな目的の下で走行しながら、あるときは直進車あるときは右折車という立場で、他のドライバーとの遭遇をくり返すものと考えられる。このとき、このような道路ネットワーク上での一ドライバーの意思決定は、複数のドライバーが存在する社会に対してランダムに各立場になり、また認識の異なるドライバーとランダムに遭遇することを想定してパッシングに関する認識を決定・更新するという「一ドライバー対社会全体」のゲーム、いわゆる「ポピュレーションゲーム」とみなすことができる。各ドライバーは道路ネットワーク上でさまざまなタイプのドライバーと「遭遇」をくり返し、自身のパッシングに関する認識を逐次更新していると考えられる。

以下では、地域によって異なった認識を持つドライバーが道路ネットワーク上を走行する中でくり返される他ドライバーとの遭遇を通じて認識を合理的に更新していく社会をモデル化する。

##### 4-2 モデル

社会にN人のドライバーが平面上に等間隔に存在すると考える。ドライバーは存在位置を変えられない。ある認識を持ったドライバーは道路ネットワーク上でさまざまなタイプのドライバーと「遭遇」をくり返し、自身のパッシングに関する認識を更新していくと考える。各ドライバーは1期間にまわり $\phi$ 人のドライバーとしか遭遇する可能性がないとする。Fig.3はこのような各ドライバーの位置関係を示している。

各ドライバーは現在の社会全体に存在する個々人の認識を完全に知っており、したがって遭遇の可能性のある（まわり $\phi$ 人の）ドライバーの認識を完全に知っている。この情報をもとに各ドライバーは自身に最も高い期待利得を与えてくれるであろう認識を選択するが、各ドライバーは他のドライバーが認識を変えることは想定しない。つまり、各個人は社会の認識は徐々にしか変化しない（慣性の法則inertiaが存在するという）と考える。各ドライバーが1期間に遭遇することのできるドライバーはまわり $\phi$

人に限られている（遭遇はローカルである）が  $\delta$  人のそれぞれのドライバーに遭遇する確率は等しい（ランダムマッチング）と考える。社会は、それを構成するドライバーたちが周辺のドライバーと遭遇をくり返すローカルランダムマッチングゲームとして表すことができる。

いま、認識を一にするドライバーは固まって存在するような状況を考える。同じ認識を持つドライバーのかたまりを「地域」と呼ぼう。「危険」認識、「ゆずる」認識、「認識をもたない」、をそれぞれ  $\alpha$ 、 $\beta$ 、Null と呼ぶことにしよう。初期のマッチングゲームでは、 $\alpha$  地域、 $\beta$  地域、Null 地域が存在することになる。

$p_\alpha$  を、ドライバーが  $\alpha$  認識であるとき 1、そうでないとき 0 をとる変数とする。同様にドライバーが  $\beta$  認識であるとき 1、そうでないとき 0 となる変数  $p_\beta$  を定義する。このとき、認識 ( $p_\alpha, p_\beta$ ) のドライバーが他のドライバーと遭遇したときの期待利得  $u(p_\alpha, p_\beta)$  は以下のように定式化できる。

$$u(p_\alpha, p_\beta) = \frac{1}{2} \frac{1}{\delta} \sum_l \{ p_\alpha (\alpha_\alpha X_l + \alpha_\alpha Y_l) + p_\alpha (\alpha_\beta X_l + \beta_\alpha Y_l) + p_\beta (\beta_\alpha X_l + \alpha_\beta Y_l) + p_\beta (\beta_\beta X_l + \beta_\beta Y_l) + (1-p_\alpha)(1-p_\beta)(n_1+n_2) \}$$

ここで

- $l$  : 遭遇可能な相手ドライバー
- $\alpha_\alpha X_l$  : 右折車が  $\alpha$  認識で、自身が  $\alpha$  認識でパッシングをしたときの利得
- $\alpha_\alpha Y_l$  : 直進車が  $\alpha$  認識で、自身が  $\alpha$  認識として行動したときの利得
- $\alpha_\beta X_l$  : 右折車が  $\beta$  認識で、自身が  $\alpha$  認識でパッシングをしたときの利得
- $\beta_\alpha Y_l$  : 直進車が  $\beta$  認識で、自身が  $\alpha$  認識として行動したときの利得
- $\beta_\beta X_l$  : 右折車が  $\beta$  認識で、自身が  $\beta$  認識でパッシングをしたときの利得
- $\beta_\beta Y_l$  : 直進車が  $\beta$  認識で、自身が  $\beta$  認識として行動したときの利得
- $\beta_\alpha X_l$  : 右折車が  $\alpha$  認識で、自身が  $\beta$  認識でパッシングをしたときの利得
- $\alpha_\beta Y_l$  : 直進車が  $\alpha$  認識で、自身が  $\beta$  認識として行動したときの利得
- $n_1$  : パッシングをしなかったときの利得
- $n_2$  : パッシングをされなかったときの利得

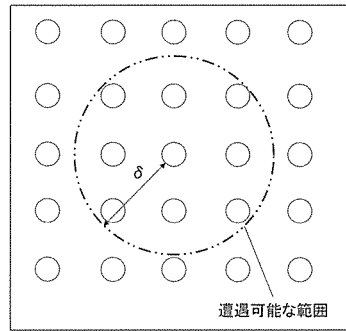


Fig.3 ドライバーの位置関係（○がドライバー）

である。各地域のドライバーは自らの期待利得を最大にするように次期の認識を決定する。

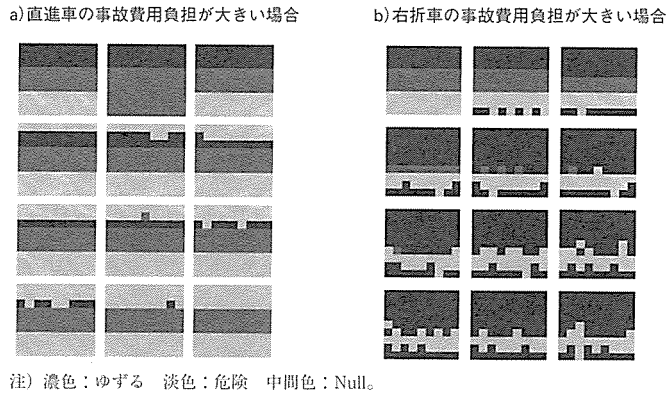
### 5. 社会的に安定な認識パターンに関する検討

ドライバー社会において長期にわたりくり返される遭遇の結果、安定的に存在するドライバーの認識パターンは、多種多様となることが明らかになっている<sup>5)</sup>。以下では、上で定式化したドライバー社会の長期的な挙動をシミュレーション分析により検討する。特に、交通政策を考える上で関係のある「事故費用」と「ゆずる便益」に注目してシミュレーション分析を行った結果を考察する。

シミュレーション分析を行うにあたって、対象とするドライバー社会を表す具体的な状況を以下のようにした。ドライバー社会は  $9 \times 9$  人からなり、一番上の地域に「ゆずる」認識のみを知るドライバー（ $9 \times 3$  人）、中間地域に「Null」認識のドライバー（ $9 \times 3$  人）、下地域に「危険」認識のみを知るドライバー（ $9 \times 3$  人）がそれぞれ固まって存在すると考える。より大きな社会を表現するため社会は上下左右の端が互いにつながっているとす。各ドライバーは縦・横・斜め隣りの 8 人のドライバーとだけ遭遇する可能性がある（Fig.3を参照のこと）。各パラメータ値は基本ケースとして  $Ax=400$ 、 $Bx=400$ 、 $Dy=200$ 、 $\epsilon=1$ 、 $\mu=0.2$  と設定した。

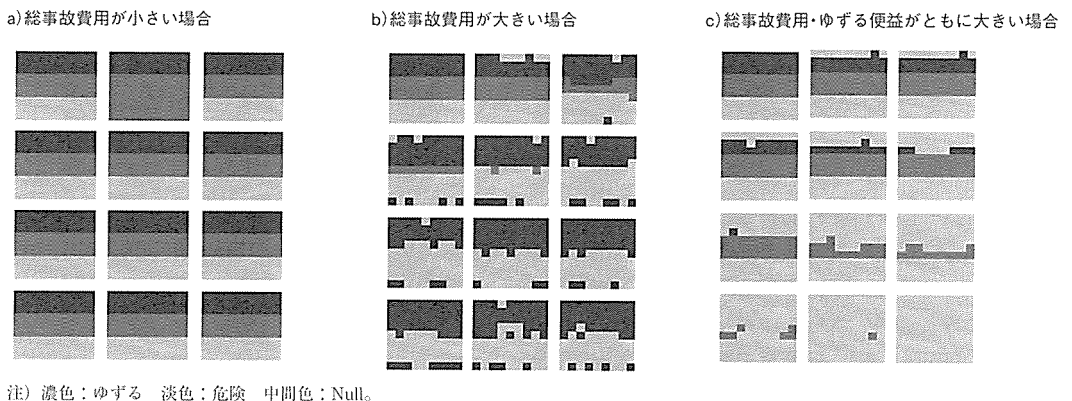
Fig.4およびFig.5は結果の一部である。本シミュレーションにおいては、1 期間に各ドライバーが必ず周辺ドライバーの一人と「遭遇」するモデルであり、240回の遭遇をシミュレーションした。Fig.4、Fig.5の各図はシミュレーションの時間経過20回ごとの状態を示しており、左端上の図が初期状態を表し、左から右へ、右端まできたら 2 段目の左端へ行き最終的に 3 段目右下の状態になる。

Fig.4は、右折車と直進車の事故費用の和を一定



注) 濃色：ゆずる 淡色：危険 中間色：Null。

Fig.4 シミュレーション結果(1)



注) 濃色：ゆずる 淡色：危険 中間色：Null。

Fig.5 シミュレーション結果(2)

にして、右折車と直進車の事故費用負担の比率を変えることが認識の長期的安定の結果にどのように影響を与えているかについてシミュレーションを行った結果である。右折車の事故費用より直進車の事故費用を大きくした場合 [  $I_x=1,490$ ,  $I_y=10$  ] のシミュレーションの結果をFig.4(a)に示す。このとき、240回目の図 (Fig.4(a)中最右下図) において、Null認識ドライバーである中間色と「危険」認識ドライバーである淡色がともに残っている。Null認識のドライバーは「危険」認識のバッシングを無視するので (理解できないので) 二つの異なった認識のドライバーが頻繁に遭遇をくり返す可能性のあるNull認識と「危険」認識の境界線付近は事故危険が高く、社会的に安全な状況とはいえない。

直進車の事故費用より右折車のそれを大きくした場合 [  $I_x=10$ ,  $I_y=1,490$  ] の結果をFig.4(b)に示す。240回の遭遇後 (Fig.4(b)最右下)、ドライバーの社会は「ゆずる」認識、「危険」認識の二つが共存する。「ゆずる」認識と「危険」認識というまったく異なった認識が共存するため、境界線付近のド

ライバーの事故危険が非常に高く、社会的に安全な状況ではないことがわかる。したがって、交通罰金等の上昇による事故費用の上昇は必ずしも事故危険を低下させないことがわかる。

Fig.4(a), (b)の結果を比較すると、右折車の事故費用が直進車のそれより大きい場合、ドライバーは右折車のときに事故が起こる可能性の少ない「ゆずる」認識を選択し、それに対して右折車の事故費用が直進車の事故費用より小さい場合、ドライバーは直進車のときに事故が起こる可能性の少ない「危険」認識を選択していることがわかる。

次に道をゆずるの便益 (直進車が相手に道をゆずるときの便益および右折車が道をゆずられたときの便益) と総事故費用 (右折車の事故費用および直進車の事故費用) の変化が地域間の長期的接触の結果に与える影響についてシミュレーション分析を行った結果をFig.5に示す。

事故費用のみ小さくなった場合 [  $I_x=10$ ,  $I_y=10$  ] をFig.5(a)に示す。このとき、各ドライバーの認識は遭遇をくり返しても元のままで変化せず、後

期的にもドライバー社会において複数の認識が安定的に存在しつづけることになる。

次に、総事故費用のみ大きくなった場合 [ $I_x=1,500$ ,  $I_y=1,500$ ] をFig.5(b)に示す。このとき、最終的に (Fig.5(b)最右下) 危険認識とゆずる認識の中間に存在していたNull認識のドライバーがいなくなり、危険認識とゆずる認識の二地域が安定的に存在することになる。そのため、Fig.4(b)の結果と同様に、二地域の接する地域では認識のずれに起因する事故発生の危険が高いと考えられる。

最後に、ゆずる便益と事故費用をともに大きくした場合 [ $A_x=2,000$ ,  $B_x=2,000$ ,  $I_x=1,500$ ,  $I_y=1,500$ ] の結果をFig.5(c)に示す。このとき、240回の遭遇の結果 (Fig.5(c)最右下)、社会は「危険」認識に収束している。よって社会の安定状況は事故危険が少なく望ましいことがわかる。

## 6. まとめ

ドライバーによって相反する二つの意味で使われる「パッシング」は社会的に危険な状況を招く可能性がある。本研究では、その結果、一回の遭遇で正反対の慣習と遭遇するときはお互いの慣習が共存することは難しく、また、正反対の慣習が地域間で存在する場合、正反対の慣習の間に入る緩衝材的な「認識なし」の地域の存在の重要性が示され、その地域の大きさが社会全体の慣習の分布パターンを支配していることが明らかになった。

本モデル分析を通じて、以下が明らかとなった。

- ・慣習の存在は、必ずしもドライバー社会により効率的で安全な運転環境をもたらすものではない。
- ・認識がドライバー社会全体で「ゆずる」あるいは「ゆずらない (危険)」に統一されてはじめて、パッシングのない社会よりも望ましい状況になる。
- ・長期的な認識の淘汰の結果、一つの認識に収束しない場合、ある認識としてのパッシングの使用の禁止等を実施し、認識が一つにするというような政策が必要である。特にドライバー間の事故費用の負担の方法が、ドライバー社会における長期的な認識のあり方に大きな影響を与える。
- ・認識がドライバー社会の中で最終的に一つに収束するか否かは、各ドライバーの遭遇の幅 (いかにドライバー社会でより多くの異なるドライバーと

の遭遇を経験できるか) に依存する。より多くのドライバーと遭遇するようにする政策を考えるのは容易ではないが、広報活動等を通じてドライバーにパッシングの複数意味に関する認識を高めることが、これを補完する施策といえる。

今後に残された課題も多い。本研究では認識の選択を戦略集合の選択として定義した。しかしながら「ある認識を持ちながら、戦略的に行動選択にそれを反映させない」ような行動も存在しうる。「 $\alpha$  認識の下でパッシングをしない」というような行動を考慮したモデルへの拡張が有効である。また、今回の研究では全ドライバーは  $\alpha$  認識と  $\beta$  認識の両方のパッシングの存在を知っていると仮定している。しかし実際にはドライバーは自身が信じている認識のみを知っており、そのドライバーが違う認識のドライバーと遭遇することによりもう一つの認識の存在を知る可能性がある。さらに、本モデルでは各ドライバーは社会の認識の分布を正確に知っているとは仮定している。これらドライバーの情報収集と学習を明示的に考慮したモデルへ拡張する必要がある。最後にCBL認識の普及に関する実証研究が必要であろう。

## 参考文献

- 1) 財団法人交通安全学会『カー・ボディー・ランゲージの研究』平成3年度研究調査報告書、1992年
- 2) 青木昌彦、奥野正寛 (編著) 『経済システムの比較制度分析』東京大学出版、1996年
- 3) Goyal, Sanjeev and Maarten C.W. Janssen: Non-Exclusive Conventions and Social Coordination, Vol. 77, Journal of Economic Theory, pp 34-57, 1996
- 4) 岡田章『ゲーム理論』有斐閣、1996年
- 5) 財団法人交通安全学会『ドライバーの危険回避行動に関する基礎分析』平成10年度研究調査報告書、1999年
- 6) カーコミュニケーションに関する社会心理学からのアプローチに関しては、蓮花一己『交通行動の社会心理学』8章、北大路書房、2000年を参照のこと。

# 不確実性下における交通行動のモデル化

—期待効用理論を越えて—

小林潔司\*      横松宗太\*\*

期待効用理論は不確実性下の交通行動のモデル化において重要な役割を果たしてきた。期待効用理論の経験的妥当性に関して多くの批判があり、これらの問題点を克服するために期待効用理論の一般化・精緻化が試みられてきた。その一方で、期待効用理論が有する規範的な役割の重要性を指摘する考え方も根強い。本稿では不確実性下における行動モデルとしての期待効用理論の有効性と、その限界に関する代表的な議論を取りまとめるとともに、不確実性下における交通主体の行動分析に関する一つの考え方を提示する。

## Traffic Behavior Modeling under Uncertainty — Beyond Expected Utility Theory —

Kiyoshi KOBAYASHI\*      Muneta YOKOMATSU\*

Expected utility theory has played a decisive role for decision modeling under uncertainty. In order to concur the criticism attacking its empirical relevance, the generalizations of expected utility theory have been extensively made. Yet, many authors still advocate expected utility theory as a normative theory to explain rationality behind decisions under uncertainty. The paper summarizes theoretical issues around the theory in dispute and presents the authors' perspectives on decision modeling under uncertainty.

### 1. はじめに

交通主体は多かれ少なかれ不確実性の下で意思決定を繰り返している。例えばドライバーが経路選択を行う場合、これから選択しようとする複数の経路

の走行時間や走行費用を事前に確定的に把握しているわけではない。目的地に到着する時刻が指定されている場合、途中の所要時間の不確実性を考慮に入れながら出発時刻を選択するだろう。

近年のITS技術の発展は交通主体が直面するリスクや不確実性を減少させ、さまざまな交通行動の合理化が達成できると期待されている。ITS技術の効果を分析したり、より望ましいITS技術を設計するためには、まず不確実性下における交通主体の行動をモデル化する必要がある。さらに、ITS技術の導入による不確実性の減少に対する交通主体の反応行動をモデル化する必要がある。

従来、不確実性下における意思決定行動に対して期待効用理論に基づくアプローチが採用されてきた。このことは交通行動モデリングにおいても例外では

\* 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻教授  
Professor, Graduate School of Civil Engineering,  
Kyoto University

\*\* 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻  
Graduate School of Civil Engineering,  
Kyoto University  
原稿受理 2000年5月9日

※この論文は(財)国際交通安全学会平成10年度H049プロジェクト「ドライバーの危険回避行動に関する基礎分析」(PL:喜多秀行)および同平成11年度H160プロジェクト「ドライバーの危険回避行動に関するモデル分析」(PL:喜多秀行)の調査研究をもとに執筆された。

ない。一方で、期待効用理論に対しては、その経験的妥当性に関してさまざまな批判が提示されてきた。また、期待効用理論に基づかない意思決定理論も提案されている。その一方で、期待効用理論に基づいたアプローチも相変わらず採用されており、不確実性下における意思決定問題へのアプローチは混迷の度合いを深めている。

本稿では伝統的な期待効用理論の基本的な考え方について述べるとともに、期待効用理論の経験的妥当性に対する代表的な批判的見解を紹介する。さらに、期待効用理論に基づかない代表的な意思決定理論を紹介する。その上で、期待効用理論の意義と不確実性下の交通主体の行動に対する望ましいアプローチの方法に関して考察したいと考える。

## 2. 不確実性下での行動モデルの多様性

### 2-1 心理学的アプローチと経済学的アプローチ

毎日の交通行動の局面で、交通主体は多くの不確実性やリスクに直面している。例えばドライバーが車を運転する場合、目的に到達する時間、交通事故を起こす可能性やスピード違反で検挙される可能性等の結果を考慮しながら、スピードを選択している。しかし、実際に事故を起こすか、スピード違反で検挙されるかは不確実であり、また自分が選択したスピードがどのような結果をもたらすかも不確実である。不確実性下における交通主体の行動を記述する場合、次の二つの要素をどのように取り扱うかが問題となる。一つは、交通主体が自ら選択した行動の結果の価値ないし効用をどのように評価するのか（交通主体の「嗜好」「選好」という問題である。いま一つは、交通主体の、それぞれの結果がもたらされる可能性に関する「情報」や「信念」である。このような不確実性やリスクの下での交通主体の行動に関しては、交通心理学や経済学をはじめとして多くの分野で研究が蓄積されてきた。

交通心理学において用いられている「リスク・テイキング」という概念は、危険を承知で行動するというドライバーの傾向性が事故を誘発するという仮定に基づいている。これは経済学でいうところのハイリスク・ハイリターンを志向した選択行動であり、また危険愛好型ないし危険回避度が小さいタイプの選好に他ならない。ドライバーがリスクをテイクする効用として、ジョナ<sup>1)</sup>は、ストレスの発散、自立の表現、覚醒レベル上昇の手段、移動効率、大人

の権威への反発、仲間からの賞賛等をあげている。また激しい感覚や経験やスリルを得ること自体を目的とする「センセーション・シーキング」といわれる性向も注目されている。

交通心理学の分野では「ハザード知覚」「リスク知覚」といわれるリスクの認知の心的過程が重視されている。これはのちに述べるサベージによる主観的期待効用理論における「状態」と「結果」の同定、または「信念」の形成の段階に対応する。またリスク回避的な「行為」としては、減速や安全確認、車間距離の保持やシートベルト着用、初心者マークの提示等が代表例であろう。蓮花<sup>2)</sup>によると交通状況のリスクの特徴は①多様である、②事故の可能性が高い、③タイムプレッシャーが高い（意思決定までの時間的余裕が短い）、④運転者の個人的関与度が大いということである。従って、ドライバーにとっては運転しながら毎時毎時、あるときには瞬時にして不連続に意思決定環境が変化化する。

一方、経済学の分野では期待効用理論は不確実性下での個人の行動モデリングにおいて中心的な役割を果たしてきた。また、期待効用理論は交通行動のモデル化にも適用されてきた実績がある。しかし、期待効用理論に対して、さまざまな批判がよせられてきたことも事実である。例えば、期待効用理論は非現実的な仮定に基づいた理論的なフィクションであり、現実の行動とはしばしばかけ離れているという批判がある。一方で、期待効用理論を擁護する議論も多い。3章で言及するように、期待効用理論では個人の合理性を一連の公理系<sup>\*1)</sup>を用いて定義する。もちろん、期待効用理論の公理系に関しては多くの批判がなされており、必ずしも確固とした公理体系に基づいていないことが明らかにされている。また期待効用理論の公理体系は、のちに例を示すように現実の交通行動とはかけ離れた結果を導き出す可能性もある。

### 2-2 実証的理論と規範的理論

不確実性やリスクに直面した交通主体の行動を記述するモデルは多様であり、確立した手法が存在し

\*1 数学的には公理 (axiom) は理論の前提としての仮定を意味する。公理の集まりである公理系を明確にした理論は公理系理論と呼ばれる。実際には数学においてさえ完全な公理系理論は少ないといわれている。しかし、この公理主義は数理経済学においては圧倒的な支持を得ている。社会科学においては、議論の前提として置かれる公理に対して、合理的な主体であれば反論できないような性格を備えていることが要求されるのである。

ないのが実状である。どのようなモデルを用いるかは分析やアプローチの目的に依存している。不確実性下における交通主体の行動理論の役割として、次の二つがあげられる。一つは、現実の交通主体の行動を表現するようなモデルを築くことであり、いま一つはモデルを用いて交通主体の合理的な行動を説明することである。前者は実証的理論であり、後者は規範的理論という性格を持っている\*2。

概して心理学は実証的・記述的な視点を重視している。例えばトリンポップ<sup>31)</sup>のリスクモチベーション理論では、「リスクパーソナリティ要因」や「リスク状況要因」等の相互作用を明示してリスク知覚を成立させる心的過程を詳細にモデル化し、先述の「リスク・テイキング」を説明している。また心理学における「リスク補償説」、経済学が称する「オフセット仮説」は本来安全性の向上を期待して講じられた対策が、かえってドライバーの過度の安心を生み、結果としてより多くの交通事故を誘発すると主張する。例えばエアバックの設置が、それによる本来の乗員保護性能の向上を相殺するような、ドライバーの安全運転に対する関心の低下を引き起こすことがありうる。このようなモラルハザードは実証的理論を用いて説明されている。

一方、経済学分野では、期待効用理論が多くの経験的事実と相反する場合があることが指摘されているものの、期待効用理論は「最も合理的な選択」のあり方を示す、という規範的な役割を担っていると主張する。期待効用理論に基づかない行動は非合理的な行動であり、合理的な個人による期待効用最大化行動に基づいて経済政策論を検討することが望ましいという立場を採用する場合が多い。

### 3. 期待効用理論

#### 3-1 期待効用理論の意思決定環境

期待効用理論に基づく不確実性下での交通行動の環境は次の三種類の要素により構成される。一つは交通主体が選択する「行為 (act)」 $a_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) の集合Aである。一方で交通主体は自分で (完全には) 制御できない「状態 (state)」 $s_j$  ( $j = 1, \dots, m$ ) の集合Sに直面している。交通主体により選択される行為 $a_i$ と外生的に与えられる状態 $s_j$ より「結果 (outcome)」 $o_{ij}$ がもたらされる。結果 $o_{ij}$ を配列した $n$ 行 $m$ 列の決定行列が得られる。

\*2 多くの哲学者はヒュームが「What is」と「What should be」の区別を明確にしたと考えている。

Table 1 不確実性下の意思決定環境

行為 (選択ルート)	高速道路の状態	
	渋滞なし 60%	渋滞 40%
高速道路	2 (効用10)	8 (効用1)
一般道路	5 (効用6)	4 (効用8)

最も簡単な例をTable 1に示す。いま、自動車である目的地に向かうのに、高速道路を利用するか、一般道を通行するかの二通りの「行為」が考えられるとする。ただし、出発前にいずれのルートに関しても交通量に関する確定的な情報を得ることができない。生じうる「状態」は高速道路に関して、渋滞しているかそうでないかであり、それぞれ確率が40%、60%で起こり得る。渋滞していなければ2時間で目的地に到着でき、10単位の効用を獲得することができる。これが「行為-高速道路」と「状態-渋滞なし」の組み合わせによる「結果-2時間 (効用10)」である。しかし渋滞していれば8時間を要し、効用は1単位に止まる。一般道路は高速道路が渋滞していれば逆に空いており、4時間で到着することが知られている (効用8)。反対に、多くのドライバーが高速道路の渋滞を予想して、高速道路を避けて一般道路を使用すると、高速道路では円滑に交通が流れる。すなわち高速道路が渋滞していないとき、一般道路で目的地に辿り着くには5時間かかる (効用6)。このような環境下で高速道路、一般道路を選択することで得られる期待効用EU (ルート) は以下のように計算される。ただしここでU (時間) は (基礎的) 効用関数を表す。

$$EU(\text{高速道路}) = 0.6U(2) + 0.4U(8) \\ = 0.6 \times 10 + 0.4 \times 1 = 6.4$$

$$EU(\text{一般道路}) = 0.6U(5) + 0.4U(4) \\ = 0.6 \times 6 + 0.4 \times 8 = 6.8$$

従って期待効用水準の比較により、ここでは一般道路が選択される。以上のように二通りの「行為」の選択肢、二種類の起こり得る「状態」によって、最も簡単な不確実性下の意思決定環境が生起する。

#### 3-2 期待効用理論の公理体系

期待効用理論は、不確実性下における個人の合理的な行動に関するいくつかの条件の下で誘導することができる。これらの条件は、個人が合理的であれば従うであろう一連の公理として定式化される。個人の行動が合理的であれば、その個人の行動パターンを「ある効用関数を最大化するような行動」とし



Table 2 独立性公理

状況		状態 S	状態 T
状況 1	行為 a	k	x
	行為 b	k	y
状況 2	行為 c	l	x
	行為 d	l	y

て記述することができる。

期待効用理論の公理的アプローチとしては二つの方法が存在する。一つは確率を所与として扱い、効用関数のみを導出するものである。このアプローチはラムゼイ<sup>4)</sup>によって始められ、後にフォン・ノイマン＝モルゲンシュテルン<sup>5)</sup>によってゲーム理論の基礎として展開された。いま一つの、サベージ<sup>6)</sup>の方法においては、個人の合理的な選択行動の観察を通じて、各々の主体の主観的確率と効用関数が同時に導出される。

サベージが提案した主観的期待効用理論は、不確実性下における交通行動を記述する際にも多くの場合適用することが可能である。そこで以下では、サベージの公理体系を簡単に紹介し、交通行動への適用にあたっての問題点について考察しよう。サベージの主観的期待効用理論は、以下の八つの公理によって構成されている。まず「完全性」の公理は、任意の二つの選択肢は必ず選択可能であることを意味する。第二に、「推移性」は選択行為が首尾一貫しており、選択肢間の堂々巡りを許さない条件である。第三の「独立性公理 (sure-thing principle)」は不確実性の世界に特有の概念であり、また期待効用理論に関する最大の論点の一つとなるので、ここに定義を示し、またマトリックスを用いて概説しよう。

〔独立性公理〕

二つの代替案（行為）の間の選択は、双方が等しい利得（結果）をもたらす状態の、その利得の価値に影響されてはならない。

独立性公理はTable 2において、もし状況 1 において行為 a を行為 b よりも選好するならば、状況 2 において行為 c を行為 d よりも選好することを要求する。すなわちそれぞれの状況下において等しい利得をもたらす状態 S におけるの利得 k、l は意思決定に影響を及ぼさない。この独立性公理により、第三者的な選択肢との相互連関効果は全く考慮されなくなる。第四に「決定からの独立性」は、主体の事後の選好は体験された結果にのみ依存して、仮に他の行為を行ったときに得られたであろう結果には依存しないことを主張する。第五は「期待利得からの

Table 3 独立性公理の反例

状況		晴れ	雨
状況 1	プラン a	自転車	中止
	プラン b	バイク	中止
状況 2	プラン c	自転車	レンタカー
	プラン d	バイク	レンタカー

独立性」であり、同じ賞金 x、y ( $x > y$ ) が設定されたくじの間では、x、y の額にかかわらず、賞金 x を得る確率の大きい方を選択するというものである。第六の「最小限の強い選好」では、主体にとって必ず少なくとも一つは、他の結果の組み合わせよりも強く選好する組み合わせが存在することをいう。第七の仮定「確率の連続性」においては無視可能事象の存在を仮定する。非常に小さい生起確率の事象に関しては、仮にその利得がどれだけ増加しようとも主体は選択を変化させない。換言すれば、ある大きさ以下の確率は確率ゼロとみなされる。最後に「決定からの部分的な独立性」は、もしもあらゆる状態の下で行為 a によりもたらされる結果が、行為 b による結果よりも選好されるとしたら、行為 a は行為 b よりも選好されると考える。

以上の仮定を満足する選好順序が観察されれば、個人が想定している主観的確率と効用関数を（効用関数の 1 次変換を除いて）一意的に決定することができる。これがサベージの主観的効用理論の特徴である。これら八つの公理のうち、独立性公理がもっとも厳しい批判を受けてきた。のちに紹介するようなアレ<sup>7)</sup>の反例やエルスベルグ<sup>8)</sup>のパラドクスにも端的に示されるように、われわれの日常生活において独立性公理が満たされないケースは少なくない。例えばTable 3の事例を考えてみよう。ここでは京都に在住する若いカップルが次の休日のデートについて考えている。状況 1 で彼と彼女が所有する交通手段は自転車とバイクであるとすると、よって雨天時にはデートを中止せざるをえない。一方、晴れた場合には、自転車で京都市内をサイクリングするか、あるいはバイクで大阪や神戸の方面に遠出してみるのもよい。この二人にとってプラン a とプラン b は甲乙を付けがたい。さて、突然、レンタカーを経営する知人より、雨天時に限ってレンタカーを安価で借りられることになった。レンタカーを使えば当然、大阪や神戸を周遊することができる。このような状況 2 において、プラン d がプラン c より魅力的になる可能性がないとはいえない。なぜならプラン d は天候にかかわらず大阪・神戸のデートを約束す

るのに対して、プランcは当日までデートの不確定要素が大きいからである。この例は状況1において自転車とバイクの比較により無差別であった二つの代替案の間の選好が、他の状態（雨天時）の第三の結果が変化したことによって（中止→レンタカー）変化するという現象を表している。このような選好パターンは独立性公理を犯しているのである。

### 3-3 主観的確率

不確実性下における意思決定理論のいま一つの問題は、個人の意思決定環境の不確実性をどのように表現するかという点にある。期待効用理論では、個人の認知する不確実性を「確率」により表現する。ここに、「個人がこのような確率をどのように認知するのか」という問題がある。Table 1の事例において、ドライバーはどのようにそれぞれ道路が渋滞する確率を知ることができるのであろうか？

通常、「確率」は「相対的頻度」として定義される場合が多い。「相対的頻度としての確率」は、試行回数を無限大としていったときの、試行回数に対する生起回数の割合の極限值として計算される。Table 1の例では、ドライバーが走行経験を蓄積し、相対頻度を学習すると考えることもできる。しかし相対頻度を学習できない場面も少なくない。例えば、ドライバーが運転をする場合、死亡事故を引き起こす主観的確率をどのように認知できるのだろうか。ドライバーは他人の死亡事故に遭遇する可能性はあるものの、自分自身が死亡事故に遭遇する経験をするには生きている限り不可能である。この場合、主観的確率を定義しようとすれば、相対的頻度とは異なる定義を用いる必要がある。

いま一つの考え方は、主観的確率が個人の信念 (belief) を表していると考えられる立場である。このような主観的確率の考え方に基けば、意思決定者は観測が不十分な状況の下でも意思決定を行うことができる。合理的な意思決定者であっても、異なる情報を持っていれば、個々人によって異なる信念を形成している可能性がある。しかし個人がどのような信念を持っているかを外部の人間が観測することは困難である。交通心理学等の発達により、交通主体が自分自身をとりまくリスクに関してどのような認知を有しているかという知見が蓄積されることが期待される。しかし個人の信念は本質的に私的な情報であり、それを外部の人間が観測できないという主張もある。多くの適用事例においては、相対頻度として観測できる主観的確率を第一次近似として用い

ている場合が少なくない。

## 4. 期待効用理論の問題点

### 4-1 最大化行動の任意性

主観的期待効用理論が前提とする期待効用最大化原理に対して多くの批判が提示されてきた。サベージの主観的期待効用理論によれば、サベージの公理系を満足する行動であれば、どのような行動であろうと、事後的に観察者によってある効用関数と主観的確率が割り当てられ、その行動は期待効用最大化原理に基づく行動と自動的に解釈されることになる。この点に関してハーサニー<sup>9)</sup>は以下のように弁護する。すなわち、主観的期待効用理論は、「個人が自身で主観的確率を想定し、自らの期待効用関数を最大化する過程を踏んで、最適行動を選択している」ことを想定しているのではない。個人は単にいくつかの公理を侵害しないことだけを意識すればいい。しかし、彼/彼女は、自分がこれらの公理に従っている限り、自分が全ての可能な結果に基数的な効用水準を割り当てて比較しながら行動していることに他ならない、ということは知っている。主観的期待効用理論においては「個人が一連の公理を満足すること」と「個人が期待効用を最大化する」ことは互いに等価である。しかし期待効用理論を支えている一連の公理はそれほど確かなものだろうかという疑問がわいてくる。多くの研究者がサベージの公理が経験的な事実と矛盾する場合があることが指摘されてきた。なかでも、これから紹介するアレのパラドクスやエルスベルグのパラドクスが有名である。

### 4-2 アレのパラドクス

主観的期待効用理論が前提とする公理の中で、とりわけ独立性公理に対しては数多くの批判的検討が1980年代までになされた。その中でも、アレ(1953)のパラドクスが有名である。アレは100%の確率で獲得できる利得は、そうでない利得に比べて過大評価される傾向があると指摘する。ここでは不確実性下の交通手段の選択行動の事例を用いて、アレの主張を紹介しよう。

ある若者が冬のある休日に実家に里帰りしようと考えている。実家は山間地にあるため天気が変わりやすく、若者が都会を出発する際にどのような天候に見舞われるかを確実に知ることはできない。ただし天気予報等を勘案すると、Table 4の状況1に示すように、どうやら10%の確率で晴れに恵まれそうである。そしてそのときのツーリングは気分爽快で

あり、また経済的でもある。最高の満足（5単位の効用で表そう）を獲得できるだろう。しかし晴れていなければ、少なくとも小雪は舞っているだろう。視界も路面も悪いこのようなツーリングは大きな注意力と緊張感を伴う。費用の節約は疲労感によって相殺されてしまうだろう。そして1%ほどの確率でバイクによる通行を断念せざるを得ないような雪が降ることが予想される。山間地へのバスは1日1本であり、朝、バイクで出発した以上、里帰りはあきらめて引き返さなければならない(効用0単位)。他方、都会からバスに乗り込んだ場合には確実に一定のバス代によって実家に到着することができる(効用1単位)。

次に状況2では冬も深まって、山間地では降雪がより厳しい時期を迎えている。Table 4の状況2に示すように、確かに10%の確率で晴れ間がのぞくものの、そうでなければバスが不通になるような大雪によって、山地を前にして里帰りは阻まれる。まれに1%ほどの確率で大雪が弱まってバスの運行が再開する。状況2では、バイクでは晴れている場合にしか通り抜けられない。

アレの洞察を援用すると、多くの若者は状況1においては確実に里帰りを果たせるバスを選択し、いずれにしても実家に辿り着ける可能性が11%以下であるような状況2においては期待効用の大きいバイクを選択する。すなわち、多くの被験者がバイク(1) < バス(1) (括弧内の数字は状況)かつ、バイク(2) > バス(2)という選好を有しているが、それは独立性公理を犯している。独立性公理に従えば89%で生起する小雪や大雪の列の生起確率と効用にかかわらずバイク(1) > (<)バス(1) ⇔ バイク(2) > (<)バス(2)が成立しなければならない。アレのパラドクスのように確率100%の効用に対して付与されるウェイトが、そうでない効用に対して付与されるウェイトに比べて不当に高くなる傾向は「確実性重視効果」とも称されている。

#### 4-3 エルスベルグのパラドクス

エルスベルグ(1961)も「アレの反例」と同様に実験事例を用いて経験的に独立性公理あるいは確率加法的公理が体系的に破綻することを主張した。

またしても、若者が冬のある休日に実家に里帰りしようと考えている。今回は前回とは多少事情が異なっており、最近の実家の近くに大きなテーマパークが建設された。それに伴って高速道路も整備され、行楽日和だと交通量も多い。Table 5に着目しよう。

Table 4 アレのパラドクス

状況1	晴れ10%	小雪89%	雪1%
バイク	5	1	0
バス	1	1	1
状況2	晴れ10%	大雪89%	雪1%
バイク	5	0	0
バス	1	0	1

Table 5 エルスベルグのパラドクス

状況1	晴れ	雨	大雪
	33%	67%	
バイク	1	0	0
バス	0	1	0
状況2	晴れ	雨	小雪
	33%	67%	
バイク	1	0	1
バス	0	1	1

天気予報によると山間地の降水確率は67%である。状況1では、若者は天気予報のひまわり画像の雲の量を睨みながら、雨か大雪であると判断する。大雪であれば高速道路は閉鎖される。バイクで出発した場合、降水があればいずれにしても途中で里帰りを断念せざるを得ない。バスは雨ならば通行することができる。晴れの場合、高速道路は渋滞する。要する時間的コストの大きさから、効用はほとんど0に等しくなる。一方、バイクであれば渋滞をくぐり抜けていくことはできる。しかし排気ガスや、自動車から投げ捨てられてたゴミに満ちた高速道路のツーリングは決して気持ちが良いものではない。効用は無事到着したことによる1に過ぎない。

次に状況2では、ひまわり画像にはそれほど厚い雲が見られない。降水量が67%といっても強くない雨か小雪であろう、と若者は判断する。小雪であればバイクやバスによる通行が可能である。ただし状況1、2において気温は全く同じであり、よって雨が降るか雪が降るかの若者の予測は状況1と状況2の間で等しい。

さて状況1、2において第三列の大雪時、小雪の際に得られる効用は等しいので、交通手段の選択は晴れる確率と雨が降る確率に関する主観的信念の比較のみに依存する。(晴れのバイク、雨のバスとも効用は1なので)被験者の選好が独立性公理を満足するならば意思決定に無関係である雪の存在とは無関係に、バイク(1)を選好する主体はバイク(2)を選択し、バス(1)を選好する主体はバス(2)を選択するはずである。すなわち、バイク(1) > (<)バス(1) ⇔ バイク(2) > (<)バス(2)が成立するはずである。

ところがエルスベルグのパラドクスに従うと、若者が選択する手段の組み合わせはバイク(1)とバス(2)である。エルスベルグは、多くの意思決定者は生起確率が不確実である選択を回避する傾向があると指摘した。従って、効用1を獲得できる確率が0%から67%の間で不確実なバス(1)や、同様に効用1を獲得できる確率が33%から100%の間で不確実なバイク(2)よりも、正確に33%の確率が予想できるバイク(1)や67%のバス(2)が選択されることになる。すなわち情報の「曖昧性」が意思決定者の選好に影響を及ぼしているのである。この傾向は「不確実性回避」と呼ばれる。

## 5. 期待効用理論の批判的検討

### 5-1 期待効用理論の一般化

以上で示したアレのパラドクスやエルスベルグのパラドクスはいずれも期待効用理論の基礎となるサベージの公理が経験的な観察と一致しないことを表している。これら二つの事例以外にも、期待効用理論の公理に対して数多くの批判が提示されている。そこで、1980年代には、主観的期待効用理論が持っている限界を克服することを目的とした一般化期待効用理論に関する研究が盛んになった。しかし、このような研究の蓄積の結果、単一の理論により規範性と実証性の双方の条件を満足するような一般化期待効用理論を見いだすことは不可能であることが分かってきた。分析の目的や規範性、実証性のいずれを重視するかによって、望ましいモデルやアプローチの方法を採用することが必要となる。現在では、対象とする問題に依存して、ある理論が選択的に適用されているのが実状である。紙面の都合上、プロスペクト理論のみを紹介する。

### 5-2 プロスペクト理論

期待効用理論においては、ある結果の価値(効用)の評価は当該結果のみに依存し、他の要因の影響を受けない。カーネマンとトゥベルスキー<sup>10)</sup>は多くの実験結果を提示して、この前提に対して疑問を投げかけた。次のような不確実性下の交通行動に関する意思決定問題を考えよう。

[状況1]

今、財布に帰宅のためのバス代1,000円が入っている。その状態から、

A: バスで帰宅する。

B: 1,000円を原資にパチンコに入り25%の確率でタクシー代4,000円を稼いでタクシーで快適に帰宅

するか、75%の確率でパチンコに失敗する。1,000円の原資を確保したものの最終バスに遅れ、歩いて帰宅する。

AとBのいずれを選択するか。

[状況2]

いま、バーで酒を飲んでいる。自分の計算によると飲み代を支払ったところで、財布にはタクシー代4,000円が残っている。さて帰ろう、と腰を上げると、自分の計算より余分に3,000円高い値段がついていた。この状態から、

C: 速やかに3,000円を支払ってバスで帰宅する。

D: 再計算を要求する。25%の確率で自分の要求が認められタクシーで帰宅できる。75%の確率で要求が受け入れられない。バスに遅れ、歩いて帰宅する。

CとDのいずれを選択するか。

カーネマンとトゥベルスキーの考え方を援用すれば、殆どの被験者が状況1ではAを選択し、状況2ではDを選択する。しかし、期待効用理論に従って評価する限り、この選択行動の組は矛盾していることになる。最終的にはAとCはともに確実にバスで帰宅するという同じポジションを意味し、他方BとDはともに25%の確率でタクシーで帰宅し、75%の確率で歩いて帰宅するという同じ不確実な状態を意味しているからである。このような選択は、決定ルールが最終的な効用の状態のみならず、選択の際に予め見通し(prospect)をもつための準拠点に大きく依存していると考えることにより説明できる。上記の実験においては初期の効用の状態、すなわち状況1ではバス帰宅、状況2ではタクシー帰宅を保証された状態を準拠点と考えるのが自然であろう。カーネマンとトゥベルスキーはプロスペクト理論と称して、代替案を準拠点からの乖離によって評価するという意思決定ルールを提唱した。このような準拠点の概念はサベージやフォン・ノイマン＝モルゲンシュテルンの合理性の公理からは演繹されない。しかし意思決定者がそれぞれ過去の経験、歴史、文化、社会通念等に依存した準拠点を持ち、それに依存した選択を行うということが「非合理的」である、と論じるための強い根拠もまた見つからない。

### 5-3 期待効用理論の意義と限界

経済学の分野では「期待効用理論は不確実性下における意思決定の合理性を定義している」と考える立場が根強い。このような立場に立てば、期待効用理論の公理体系を別のものに置き換えるということは、合理性の仮定を削除することに他ならない。言

い換えれば、非合理的な行動を表現することを意味する。それらのモデルが非合理的な行動を表現しているのであれば、非期待効用理論を用いた規範的な分析は不可能となるだろう。マキーナ<sup>11)</sup>は期待効用理論に関わる近年の論争を以下のように総括している。彼は最近の非期待効用理論の発展を支持する考え方を表明しつつも、期待効用理論は不確実性下の意思決定に関する規範的な分析にとって望ましい理論体系であると断言する。同時に、期待効用理論だけでは深いレベルにおける人間行動を記述できないことも真摯に受け止めるべきである、と主張している。現実の交通主体の行動を見れば非合理的とも思える側面が見受けられるが、このような非合理的な選択行動を期待効用理論を用いて分析することには限界があると言わざるを得ない。

## 6. おわりに

本稿では一連の一般化期待効用理論の発展を動機付けた、主観的期待効用理論に対する代表的な批判について概説した。しかし現時点では、実証的な有用性を持つような一般化期待効用理論が確立されたとは言いがたいのが実状である。不確実性下における意思決定行動をモデル化するためには、何らかの理論を選択する必要がある。どのような理論が望ましいかを議論するためには、まず意思決定モデルの役割を考えることが必要である。不確実性下における意思決定モデルには、少なくとも二つの重要な役割がある。一つは、不確実性下における合理的行動を理解する手段としての役割である。新しい制度やルール設計や、それに関わる社会的合意を形成するためには、合理性に基づいた規範的分析が不可欠である。この意味で期待効用理論の有用性を否定できない。一方で、現実の人間行動は必ずしも合理的とは思えない側面があるのも事実である。非期待効用理論はこのような現実の人間行動を記述するものである。この種の理論を用いて、現実の人間行動がどのような結果を引き起こすかを分析することが可能となる。もし、個人行動の蓄積が社会に望ましくない結果をもたらすのであれば、個人行動を望ましい方向に誘導するために施策を検討することが必要となろう。この意味で、非期待効用理論は政策分析の一つの参照点を与えうると考える。

最後に、本研究は財団法人国際交通安全学会の研究プロジェクトとしてご援助を賜っています。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) Jonah, B. A. : Accident Risk and risk-taking behavior among young drivers, *Accident Analysis and Prevention*, vol. 18, No. 4, pp. 225-271, 1986
- 2) Renge, K. : Drivers Hazard and Risk Perception, Confidence in Safe Driving, and Choice of Speed, *IATSS Research*, Vol. 22, No. 2, pp. 103-110, 1998
- 3) Trimpop, R. M. : *The Psychology of Risk Taking Behavior*, North-Holland, 1994
- 4) Ramsey, F. P. : *The Foundations of Mathematics and Other Logical Essays*, Kegan Paul, London, 1931
- 5) von Neumann, J., and Morgenstern, O. : *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press, 1944
- 6) Savage, L. J. : *The Foundations of Statistics*, Dover Press, New York, 1954
- 7) Allais, M. : Le Comportment de l'homme rationnelle devant le risque, critiques des postulats et axiomes de l'ecole Americaine, *Econometrica*, 21, pp. 503-546, 1953
- 8) Ellsberg, D. : Risk, Ambiguity and the Savage Axioms, *Quarterly Journal of Economics*, 75, 643-669, 1961
- 9) Harsanyi, J. C. : On the Rationale of the Bayesian approach: Comments on Professor Watkins's Paper, in *Foundation Problems in the Special Sciences*, ed by Butts et al., pp. 381-392, 1997
- 10) Kahneman, D. and Tversky, A. : Prospect Theory, *Econometrica*, 47, 263-291, 1979
- 11) Machina, M. J. : Dynamic Consistency and Non-Expected Utility Models of Choice under Uncertainty, *Journal of Economic Literature*, 27, pp. 1622-1668, 1989

非売品

---

## ドライバーの危険回避行動に関する研究

発行日 平成12年12月

発行所 財団法人 国際交通安全学会

東京都中央区八重洲2-6-20 〒104-0028

電話/03(3273)7884 FAX/03(3272)7054

---

許可なく転載を禁じます。



(財)国際交通安全学会

*International Association of Traffic and Safety Sciences*

