

ドライバーの危険回避行動に関する基礎分析

報 告 書

平成 11 年 6 月

財団法人 国際交通安全学会

International Association of Traffic and Safety Sciences

研 究 組 織

プロジェクトリーダー 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 助教授）
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）
福山 敬（鳥取大学工学部 助教授）
蓮花 一己（帝塚山大学人文科学部 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 国際交通安全学会）
今泉 浩子（財 国際交通安全学会）

執筆担当

第1章、第5章、第8章：喜多

第2章：桑原

第3章：蓮花

第4章：多々納

第6章：福山

第7章：小林、横松

目 次

第1章	はじめに	1
第2章	都市内高速道路合流部の交通容量および安全性に関する実証的分析	4
第3章	リスク回避行動の心理的メカニズム～交通心理学的アプローチ～	17
第4章	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	31
第5章	異なるルール下における走行挙動の比較分析～ロータリーを例として～	39
第6章	運転の慣習的合図“カー・ボディ・ランゲージ”の危険性に関する研究	56
第7章	不確実性下での意思決定行動～期待効用理論を超えて～	74
第8章	まとめと提言	90

第1章 はじめに

1.1 研究の背景と目的

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ことはいうまでもない。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」は事故の発生に大きく関与する支配的な要因のひとつである。これは、車を運転するか否かといった選択から、事故を起こさないよう慎重に運転するか否かといった運転態度、さらには差し迫った事故危険を回避するための運転操作にまで及ぶ広範にわたる概念であり、さまざまな段階で事故の発生に大きく関与している。しかし、交通事故リスクに対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あまり研究の蓄積がなされていないのが現状である。これは、「危険の認識」、「危険の受容」、「危険回避技術」等がドライバーにより大きく異なり、かつそれが他のドライバーのそれに少なからず依存しているためと考えられる。

そこで本研究では、危険回避行動を規定する要因やその形成構造に関して検討を加えるとともに、いくつかの状況を対象にドライバーを取り巻く走行環境や事故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を分析し、効果的な交通安全対策策定のための示唆を得ることを目的とする。

1.2 危険回避行動の理解と交通安全方策

危険回避行動とは、ドライバーが認識した危険を回避しようとする行動である。とするならば、それを理解するに当たっては、個々の状況下で“ドライバーがどのような危険認識を抱くか”とともに、“その危険認識の下でドライバーがどのような行動をとるか”の両者を明らかにする必要がある。前者はドライバーを取り巻く種々の条件から経験や学習によってドライバーの危険認識が形成されるメカニズムを探るプロセスであり、後者はドライバーが危険を回避するために使用できる自己の運転技術の中からその局面を開くのにふさわしいと考えて選択する運転行動を探るプロセスである。

多くの研究で指摘されているように、ドライバーが認識する危険は実際に存在する危険と必ずしも一致しない。ドライバーの危険認識の形成に寄与するさまざまな要因が存在し、それがために危険認識は走行環境（道路条件、交通特性、etc.）やドライバーの個人属性、事故やヒヤリハットの経験によって異なったものとなっている可能性がある。ドライバーはこの主観的な危険認識に基づいて危険回避行動をとるため、そこで選ばれる運転行動がドライバーが認識している危険に対しては最適行動となっているかもしれないが、実際の危険を回避するための最適な行動となっているという保証はないのである。両者のギャップが事故の原因となっているという指摘は従前からなされているが、どのような状況でどの程度のギャップが生じ、それが運転行動の選択にいかなる影響を及ぼして事故の発生に

関与しているのか、ということについてはこれまでほとんど何もわかっていなかったと言っても過言ではないであろう。これは、危険認識の形成メカニズム、すなわち危険に対するドライバーの認識が何からどのようにして形成されるかが不明であったためと推察される。また、ドライバー相互間で認識のギャップや不整合が存在することも事故原因として見過ごすことができないが、これらが事故の生起にどのようにかかわっているかについても不明な点が多い。

そこで本研究では、危険回避行動の基本要素としての危険認識に注目し、危険認識の形成メカニズムのモデル化を試みる。さらに危険認識とその下で選択される危険回避行動との対応関係をモデル化し、危険認識の差異が事故発生危険度に及ぼす影響を探る。この一連のプロセスを追うことにより、危険認識の形成に影響を及ぼすであろういくつかの要因の変化、すなわち事故防止方策の効果を分析・評価するひとつの道具立てを提供しうるのはないかと考えている。

ドライバーに適切な危険認識を持たせることを目的としてこれまで多くの交通安全教育や事故防止キャンペーンなどが行われてきた。しかし、主としてドライバーの認識に働きかけようとするこれら交通安全対策とその効果の関連性を把握することが必ずしも容易でなかったため、この種の交通安全方策はともすれば経験的評価のみに委ねられていることが多いように思われる。本研究はまだ理論的研究の第一段階に過ぎず、多くの単純化や仮定が含まれているが、本研究で提案するアプローチが実用化の域に達するならば、さらに効果的な交通安全教育や事故防止キャンペーン等の提案とその客観的評価にも寄与しうると期待している。

1.3 研究の進め方

本研究は以上に述べたような問題意識に基づいて始められた。交通事故の減少を図るため、交通工学、交通心理学、人間工学をはじめとする研究の諸分野で交通安全に関するさまざまな研究が積み重ねられてきている。また、ミクロ経済学やシステム工学などの研究分野においても、人の行動や事故の発生構造といった交通安全研究に密接に関連する多くの研究成果が蓄積されてきている。これらの研究は交通安全方策の策定に関する多くの知見をわれわれに提示してくれるが、各分野とも分析アプローチがある程度確立してしまったためか、例えば交通工学が交通流としての車の動きの時間的空間的様相をより精確に記述することに熱心で車を操作するドライバーの心理や認識にはあまり関心を向けていないのに対し、交通心理学はその逆であるといったように、分析対象が区分されてしまう傾向が見られがちである。研究分野の進化に伴って対象範囲が細分化されて行くことは必ずしも否定すべきことではないが、広範囲にわたる要因が相互に密接に関与して交通事故が発生していることを思い起こすと、既存研究分野の枠に限定されない学際的な検討もまた必要であると感じざるをえない。

そこで本研究では、交通工学、経済学、交通心理学、交通システム工学、リスク分析等を専門とするメンバーが、まず「危険回避行動」というキーワードの下で各分野における研究の系譜と主たる考え方を提示して着眼点の違いや分析の手順、事故危険度との関連づ

けなどについての情報交換を行い、共通点と相違点に関する各メンバーの認識を共有すると共に、類似概念に関する考え方の違いや研究の欠落領域などについて議論する。次いでいくつかの危険回避行動を取り上げてその形成メカニズムとそれが有する事故危険度を評価するモデルを提案し、それぞれの観点から妥当性を吟味し改良を加えることとした。

1.4 本研究の構成

上記の進め方に沿って実施した本研究の内容を、本報告書では以下のように取りまとめる。

第2章では伝統的な交通工学の立場から道路交通流の安全性に対するマクロ評価に関する既往の考え方を整理し、道路構造や交通特性が事故危険度に及ぼす影響を実証的に検討する。

危険回避行動は当該危険の生起確率やそれによってもたらされる損失の大きさ、すなわちリスクの大きさに強く依存する。リスク受容行動やリスク下における選択行動については心理学や経済学の分野で研究の蓄積がなされてきた。そこで第3章では交通心理学における研究の系譜をたどり、リスク受容行動における概念的枠組みや交通事故リスクの諸要因と交通行動との関連性について整理する。

第4章ではリスク下の行動に関する経済学からのアプローチに目を向け、まず伝統的な行動規範である期待効用最大化仮説の下で危険回避行動がどのようにモデル化されてきたかを概観する。そして、一人のドライバーが単独で走行している場合に着目し、接触事故リスクに関わるドライバーの認知リスクの形成プロセスと危険回避行動を分析する。

他方、複数の車が近接して走行し、そこにリスクの認知水準が異なるドライバーが混在している場合には、そのこと自体が新たな危険をもたらす。そこで第5章では交通ルールに関わる認識の差異が運転行動に及ぼす影響を分析し、交通ルールと安全性の関連性についても検討を加える。また、第6章では、法規則として成文化されていない慣習的ルールに着目し、ドライバー相互間の接触による慣習的ルールの伝播とそれに基づく事故危険度評価に関するモデル分析を行う。

以上のモデル分析は主として期待効用最大化の枠組みの上に立っているが、期待効用最大化仮説の下では必ずしも危険回避行動を適切に記述しえない場合があるため、第7章では期待効用最大化仮説によらない新たなアプローチについて展望する。

第8章では、得られた研究成果を要約し、交通安全対策への提言をとりまとめる。

第2章 都市内高速道路合流部の交通容量および安全性に関する実証的分析

2.1 交通事故のマクロ分析における留意事項

本節では、交通事故分析における一般的な留意事項をとりまとめる。事故分析を大別すると、(a)抽出（多発地点箇所の抽出）、(b)診断（要因分析と対策立案）、(c)評価（対策の効果評価）に分けられるが、ここではこれら全般について言える事故分析上の留意点についてまとめる。

2.1.1 ポワソン分布

事故発生件数や死者数などは非常にまれに発生する事象であるので、ポワソン分布にほぼ従うことが確認されている。ポワソン分布の性質を知ることによって、事故を統計的に観察することができる。

単位区間において、単位期間に発生する事故件数（あるいは死者数など）を X とすると、 X は下記に示すように、その期待値 λ をパラメータとするポワソン分布に近似できる：

$$Prob(X=x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!} \quad X = \text{事故件数（あるいは死者数など）}$$

ポワソン分布は、期待値と分散が両方とも λ に等しいという性質がある：

$$E(X) = \lambda, \quad Var(X) = \lambda$$

図2.1は λ が10の場合のポワソン分布を示しているが、期待値 λ 周りの信頼区間を考えたとき、1標準偏差の範囲 ($\lambda \pm \sqrt{\lambda}$) の確率は λ の値によって多少異なるが約70%程度

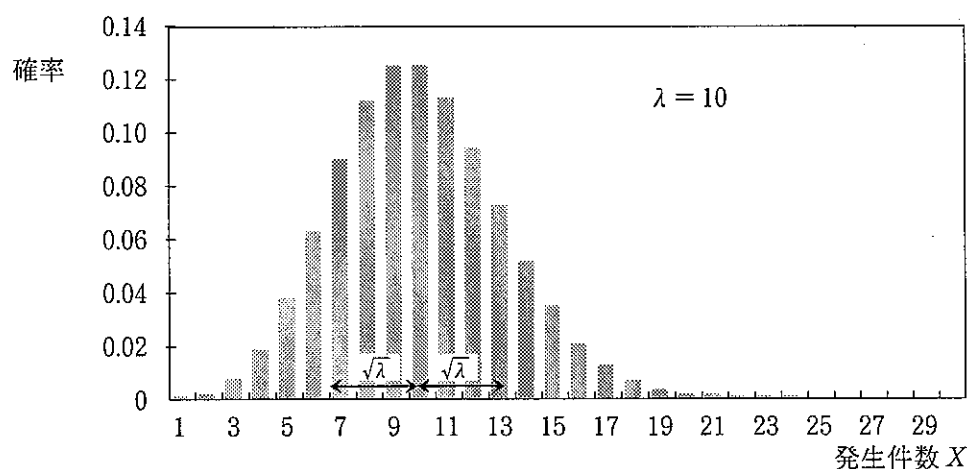


図2.1 ポワソン分布

になるという性質を持っている。

従って、単位区間の単位期間の事故発生件数が10件だったとすると、便宜的に期待値 λ を10と仮定して（真の期待値は分からないことが多いので）、 $10 \pm \sqrt{10}$ 件（7から13件）の範囲の発生確率は約70%というようになりやすといえる。

このことを危険個所の抽出に応用すれば、他区間の同期間の発生件数がこの範囲にあれば、当区間と同程度の事故発生区間、この範囲より大きければ、より事故が多発する区間であるといえよう。同様に、対策の評価に際しては、当区間の対策後の事故件数が上記の範囲よりも小さくなれば、対策が効果的だったと判断できるが、範囲内の場合には、対策が施されなくても十分に確率的に変動しうる件数であり、対策の有効性をはっきりと認めることはできないと結論づけられよう。

現在、我が国では年間の交通事故死者数が約10,000人であるが、この場合には $\sqrt{10000} = 100$ 人死者が増減すれば、確かに事故死者数が増減したと概算することができる。10,000というように数が多い場合には1%（10,000人中の100人）の増減によって、かなりはっきりと統計的に結論を出すことができる。ところが、全国ではなく1都道府県、1市町村の死者数というような場合には、死者数は年間100人、25人といったオーダーになる。このような場合に統計的に有意な差を得るためには、それぞれ $\sqrt{100} = 10$ 人、 $\sqrt{25} = 5$ 人というように、 $10/100 = 10\%$ 、 $5/25 = 25\%$ の増減が必要となり、死者数が小さくなればなるほど、大きな割合の変化が要求される。

事故件数を指標にした危険個所の抽出、対策の評価の他に、交通量当たり、あるいは走行台キロ当たりの事故件数という事故率指標（ R ）を用いた分析も行われている。この単位区間の単位期間の走行台キロ（あるいは交通量）を m とすると、事故率 R は x/m で与えられる。発生件数 x の分散が λ であるから、事故率 R の期待値は λ/m 、分散は λ/m^2 である。従って、発生件数と同様に、事故率の信頼区間も

$$\lambda/m \pm \sqrt{\lambda/m^2} \equiv R \pm \sqrt{R/m}$$

で、与えられる。

2.1.2 平均値への回帰

以上のように、発生事故件数の期待値 λ の真値が分かっているならば、発生件数、事故率の信頼区間が正しく推定できるのであるが、実際には λ の真値は分からない。そこで、真値 λ の代わりに観測された発生件数 x を用いることが多いが、これには注意が必要である。典型的な例として、ある区間ある時期の事故発生件数 x が多かったのもので、そこが危険個所に抽出されたとしよう。この場合、発生件数の期待値 λ はそれ程大きいわけではないのに、確率変動によってたまたま発生件数の多かった期間をみて危険個所に抽出された可能性も否定できないことがある。また、このような区間のたまたま多かった発生件数は、次の期間には減少することが多く、この区間に施された対策の効果を過大に評価してしまう危険性もある。このような事実は「平均値への回帰」と言われ、事故の統計的な分析において古くから言われてきた留意点である。

2.1.3 二対比較法

対策の効果評価に際しては事前事後分析が一般的である。すなわち、対策を実施する前と後との事故発生状況を比較して対策の効果を統計的に分析する方法である。実際の事前事後分析における大きな問題点は、事前と事後で統計的な分析を行おうとすると、ある程度まとまった事故件数を観測することが必要となるが、それには時間がかかるために対策以外の道路条件や交通条件も変化してしまうことである。このような周辺の変化も考慮して事前事後分析を行わなければならない。

このような問題点から提案されている方法に二対比較法がある。これは、対策に影響される事象とされない事象それぞれの事前事後の事故発生状況の変化を見て、対策の効果を推定する方法である。問題点は、如何なる事象が対策に影響され、如何なる事象が影響されないのかが明確にわからないことが多いことである。

2.1.4 錯綜技法

ある特定区間や交差点などの事故分析を行おうとすると、ある程度まとまった事故件数が必要となるがこれには時間がかかることが多く、時間がかかればかかるほど道路条件・交通条件が変化してしまうため、ある要因に着目した分析が複雑になることが多い。そのために実際に発生した事故ではなく、より頻繁に観測できる錯綜事象から事故分析を行うこともある。

交差点における錯綜事象の例としては、信号無視の頻度、急ブレーキの頻度、黄赤での通過頻度、接近速度分布、右折車の利用ギャップ分布、ニアミス頻度、急ハンドル頻度などがあげられる。錯綜技法は、上記のようなメリットがある一方、錯綜事象と実際の事故との関連性を証明しておく必要があるという点が問題である。

2.1.5 効果の時期

事故対策の効果評価を行う場合の注意点は、評価を行う時期の設定である。対策によっては、実施後すぐに効果が現れるものや時間がかかるものがあること、また効果が非常に長く持続するものやすぐに効果が飽和してしまう対策などがある。

2.2 首都高速道路上の合流部における事故率

ここでは、既存研究（交通工学研究会，1990，1991，1992）をレビューして、首都高速道路の合流部の安全性について主要な知見をまとめる。

2.2.1 事故データについて

首都高速道路公団では、高速道路上の事故を「交通事故統計分析システム」に蓄積して

おり、昭和57年～平成元年（暦歴）の計8ヶ年分について分析を行っている。この事故データ及び処理の留意点は次の通りである（交通工学研究会，1991）：

- (1) 人身、物損の区別はしていない。
- (2) 事故形態は「交通事故統計分析システム」による。
- (3) 走行台キロは（ランプ間距離）×（ランプ間断面交通量）より求めた。この交通量については、隔年10月の常時観測データを年平均日交通量とみなした。また年次の途中で供用区間が延伸された場合は、その年次内での供用日数を考慮して日交通量を按分した。
- (4) 合流部及び織り込み区間における事故対象区間は図2.2の通りである。

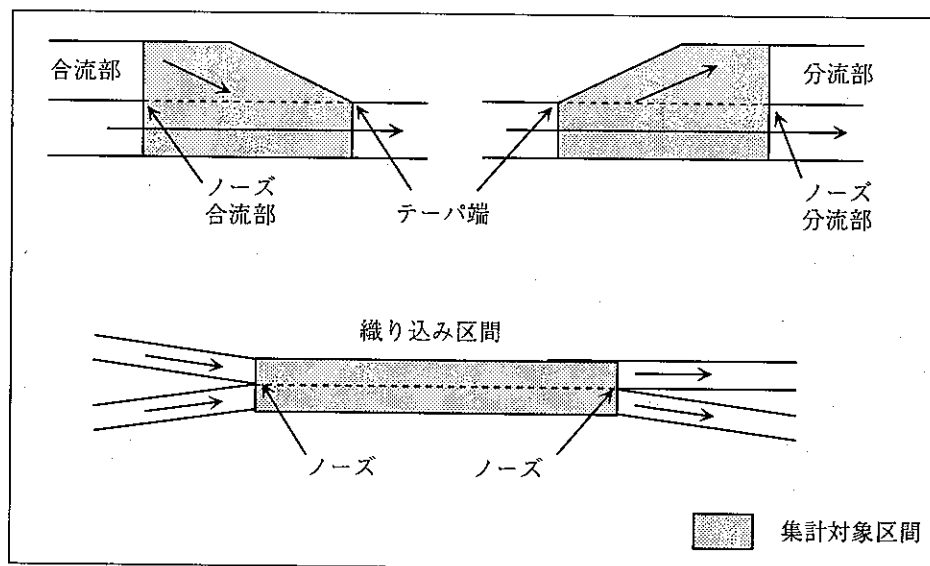


図2.2 合流部及び織り込み区間における事故対象区間*1

2.2.2 本研究で対象とした7区間の事故データ

対象としている7つの合流部に関する基本的な事故データ、交通状況データ、道路幾何構造データは表2.1の通りである。ただし、箱崎（6号線下り）と両国（6、7号線上り）については、データが得られていない。また、葛西、小菅、堀切、池尻は既存の事故分析では織り込み区間として取り扱われている。そのため、前節で示したように事故をカウントする対象区間が異なっていることに注意が必要である。

*1 交通工学研究会(1991)による。

表 2.1 対象とした合流部における事故データ

地 点 名	路線名	方 向	件 数 (8ヶ年)	事故件数/年	事故率 (件/億台キロ)
浜崎橋IC	都心環状線	外廻	39	4.88	216.7
葛西IC	湾岸線	西行	204	25.50	182.4
小菅IC	中央環状線	外廻	194	25.03	181.2
堀切IC	中央環状線	内廻	198	25.55	152.1
池尻ランプ	3号渋谷線	下り	141	17.63	93.1

地 点 名	施設接触・衝突	横転・転覆	車両追突	車両接触	そ の 他
浜崎橋IC	22.2	5.6	61.1	105.6	22.2
葛西IC	25.0	0.9	102.8	43.8	9.8
小菅IC	25.2	0.9	54.2	94.3	6.5
堀切IC	32.3	1.5	65.3	46.1	6.9
池尻ランプ	7.9	0.7	51.4	31.0	2.0

地 点 名	織込区間長 (m)	左 右 カーブ	本線曲線 半径(m)	横断勾配 (%)	織り込み 交通比	織り込み比	交 通 量 (台/日)
浜崎橋IC	110.0 (2)	直	∞	-3.1	0.234 (1)		56026.0
葛西IC	577.0	左	1084.07		0.304	0.497	66382.0
小菅IC	844.0	左	460.95		0.610	0.475	44843.0
堀切IC	862.0	左	153.64	1.4	0.637	0.358	53386.0
池尻ランプ	830.0	左	20000.00	1.0	0.265	0.386	62584.0

(1)合流比
(2)加減速車線長(m)

2.2.3 主要な知見

- (1) 事故率で見ると、分合流部および織り込み区間は単路部の約1.6倍である(図 2.3)。
- (2) 事故形態を構成比で見ると、単路部に比べ分合流部および織り込み区間の方が「車両接触」事故の割合が高くなっている(表 2.2)。

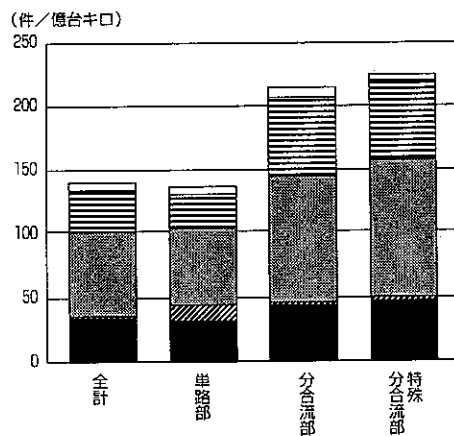


図 2.3 事故率 *2

表 2.2 事故率 (件/億台キロ) *3

	全 計	単路部	分合流部	特殊分合流部
施設接触	33.9	31.9	43.9	47.2
横転・転覆	1.8	12.5	2.3	3.2
追 突	65.8	59.6	98.0	106.5
車両接触	32.0	26.7	61.7	62.2
そ の 他	6.2	6.0	8.0	4.5
合 計	139.7	136.7	214.0	223.6

* 2 ~ 3 交通工学研究会(1991)による。

(3) 事故率を見ると、分合流部および織り込み区間の平均に比べて事故率の高い分合流形態はセンターランプ（合流）、サイドランプ（合流）である（図2.4、表2.3）。

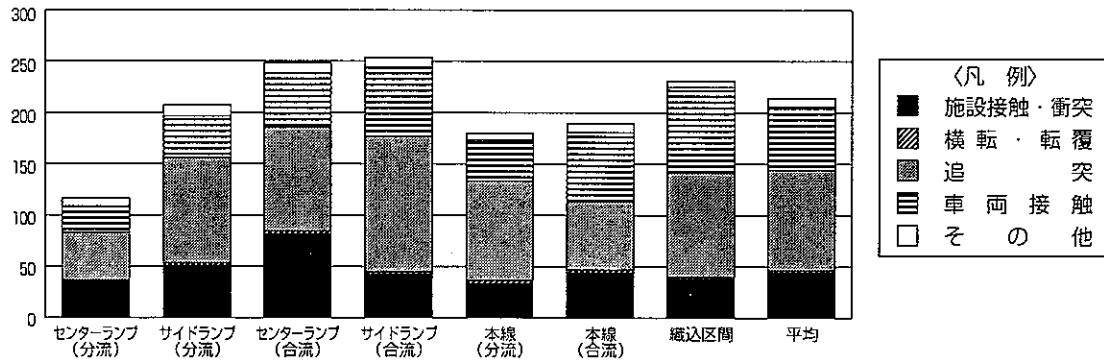


図2.4 分合流形態別事故率（件数／億台キロ）*4

表2.3 分合流形態別事故率（件数／億台キロ）*5

	センターランプ (分流)	サイドランプ (分流)	センターランプ (合流)	サイドランプ (合流)	本線 (分流)	本線 (合流)	織込区間	平均
施設接触・衝突	34.95	51.02	81.35	42.05	33.01	43.84	37.84	43.90
横転・転覆	1.31	2.22	3.26	2.38	3.64	2.78	1.99	2.34
追突	46.77	102.91	101.21	132.10	96.83	66.72	101.87	98.03
車両接触	25.75	40.15	52.78	67.61	39.80	67.15	83.27	61.70
その他	7.88	10.87	9.79	9.51	6.31	8.77	5.85	7.99
合計	116.67	207.18	248.40	253.66	179.59	189.26	230.82	213.95
地点数	29	45	27	37	18	21	23	200

(4) 加減速車線長と事故率との強い相関は見られないものの、加減速車線長が短くなると事故率が高くなる傾向が認められる（図2.5～2.7）。

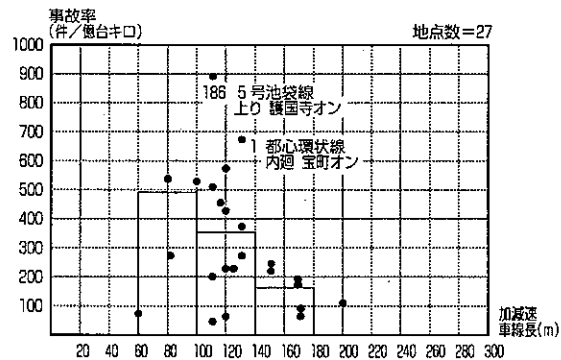


図2.5 加減速車線長と事故率の関係
サイドランプ（合流）*6

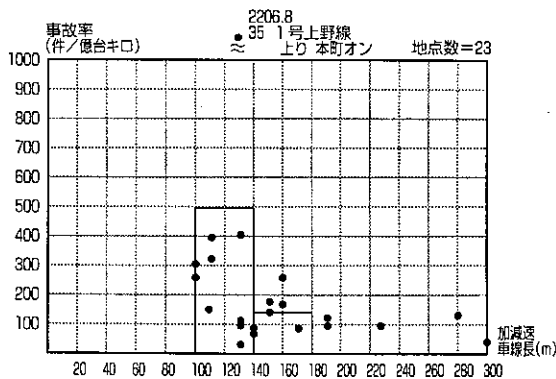


図2.6 加減速車線長と事故率の関係
センターランプ（合流）*7

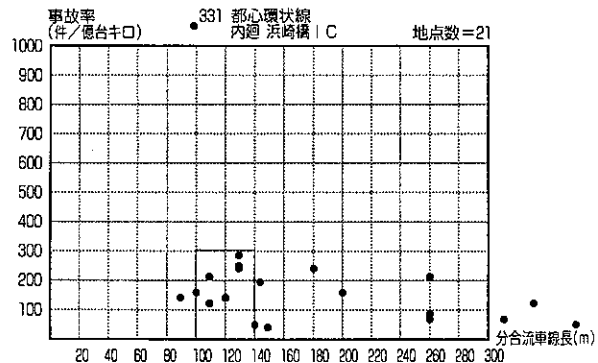


図2.7 本線合流車線長と事故率の関係
（本線合流）*8

*4～8 交通工学研究会(1991)による。

*6～8 図中に示す矩形は、それぞれの矩形の横幅に分布する点の平均事故率を示す。

- (5) 織り込み区間長が短くなると事故率が高くなる傾向が認められる(図2.8)。
- (6) 織り込み区間とサイドランプ合流については、平均値で見ると曲線半径が小さくなると事故が高くなる傾向が見られる(図2.9～2.11)。

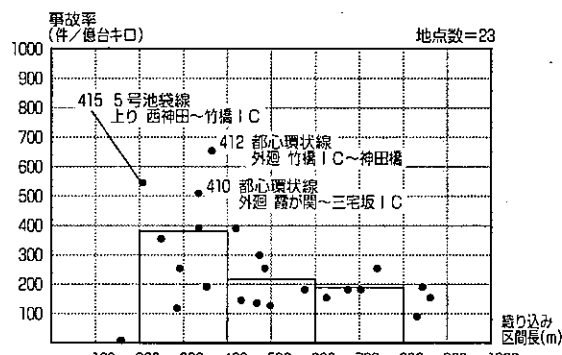


図2.8 織り込み区間長と事故率の関係
織り込み区間 *9

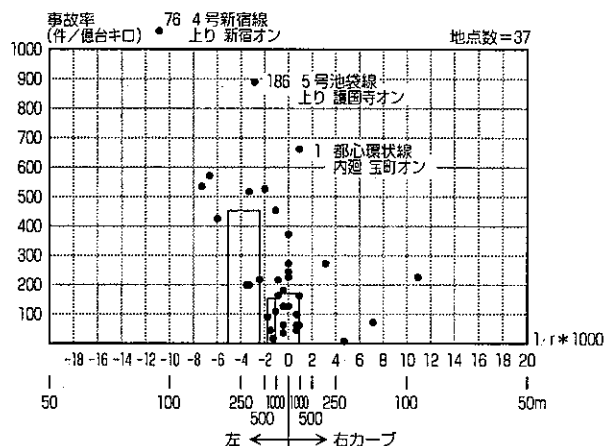


図2.9 本線曲線半径と事故率の関係
サイドランプ(合流) *10

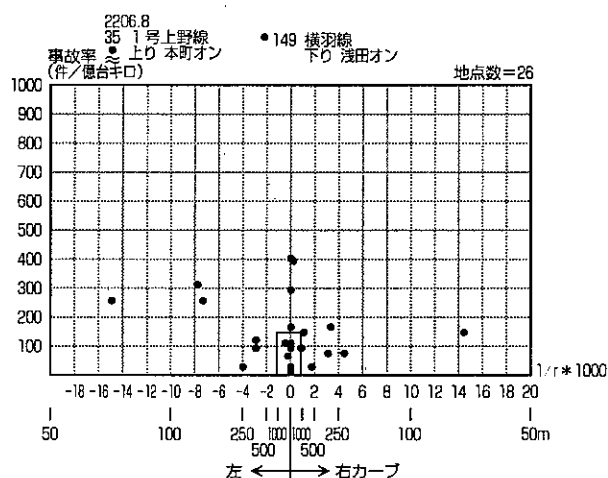


図2.10 本線曲線半径と事故率の関係
センターランプ(合流) *11

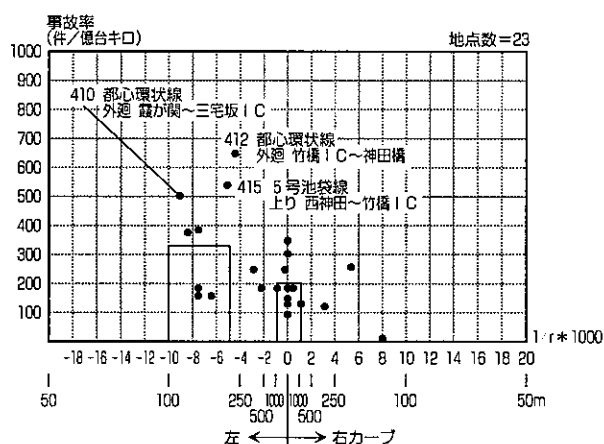


図2.11 区間内の最急曲線半径と事故率の関係
織り込み区間 *12

- (7) 平均値で見ると交通量が多くなると事故率が高くなる傾向が認められる。
- (8) 縦断勾配、分合流比、大型車混入率と事故率には、明らかな関連性は認められない。

*9～12 交通工学研究会(1991)による。図中に示す矩形は、それぞれの矩形の横幅に分布する点の平均事故率を示す。

2.3 首都高速道路合流部の交通容量の分析

2.3.1 はじめに

合流部では（図2.12）、交通渋滞が頻繁に生じる。合流部では車線数が減るので、合流車線では空いているスペースを求めて車が錯綜する。これらの区間は車線の長さや数が十分あれば問題はない。しかし、十分な余裕を持った合流部の建設が困難なときには、これらの区間はボトルネックとなりがちである。こうしたことは、予算・用地の制約が厳しい都市部での建設ではしばしば起こることである。そこで、道路幾何構造と交通条件との関係において合流部の容量を評価することが重要になる。合流部の容量を推定するには、巨視的および微視的方法を使うことができるが、微視的シミュレーション方法を検証するには、巨視的分析により得られる知見がまず必要となる。

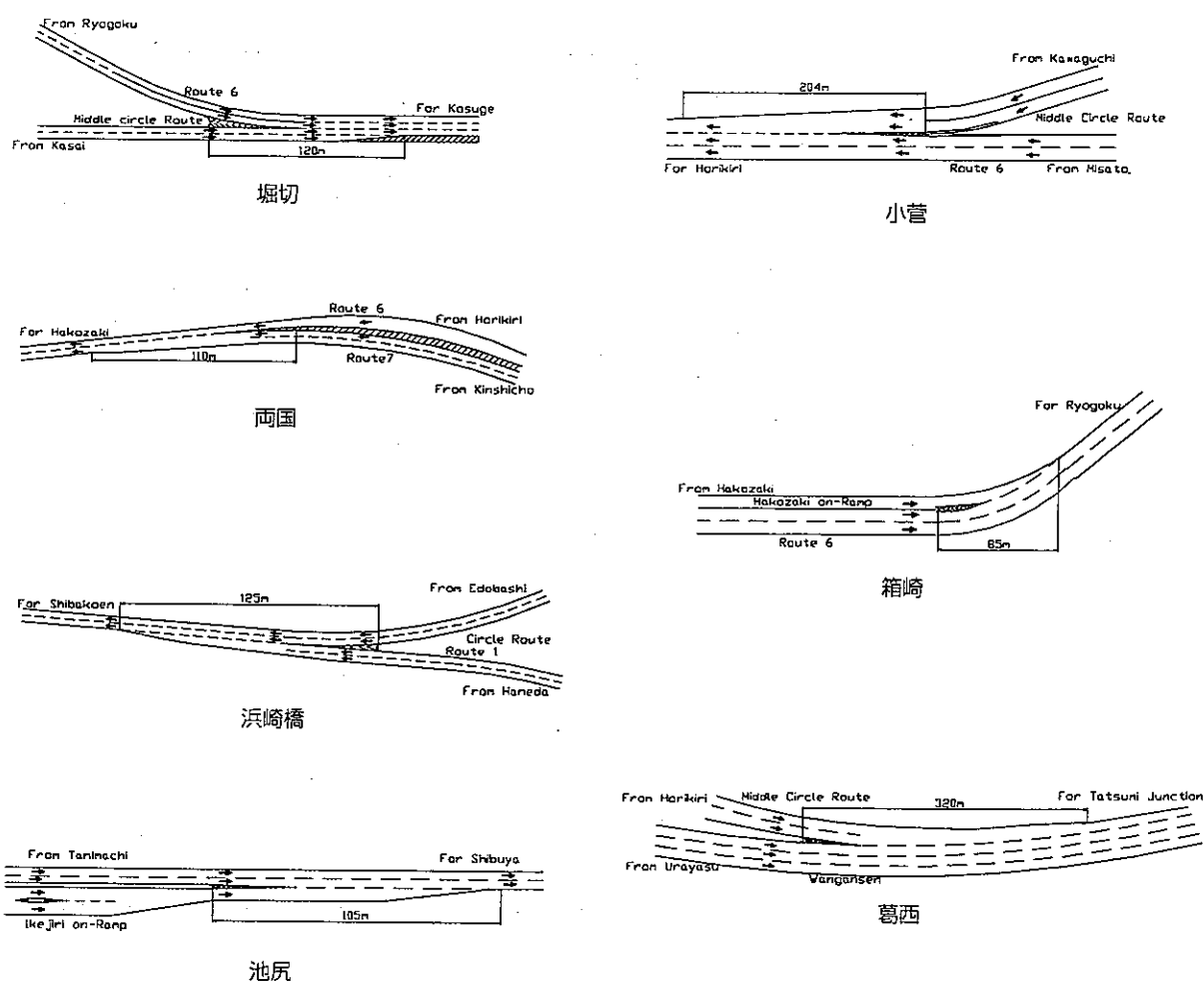


図2.12 首都高速道路の合流部

2.3.2 分析データ

交通容量分析データは次の車両感知器（5分間集計）データである(図2.13)：

浜崎橋	都心環状線外廻り	短期データ(1991、1998)、長期データ(1996)
葛西	湾岸線西行き	短期データ(1991、1998)
箱崎	6号線下り	短期データ(1991、1998)
小菅	中央環状線外廻り	短期データ(1991、1998)
池尻	3号線下り	短期データ(1991、1998)
両国	6、7号線上り	短期データ(1991、1998)
堀切	中央環状線内廻り	短期データ(1991、1998)

短期データ1991＝1991年5月20～26日 5分間集計・車線別

短期データ1998＝1998年5月21～27日 5分間集計・地点別

長期データ1996＝1996年10月21日～12月25日 5分間集計・車線別

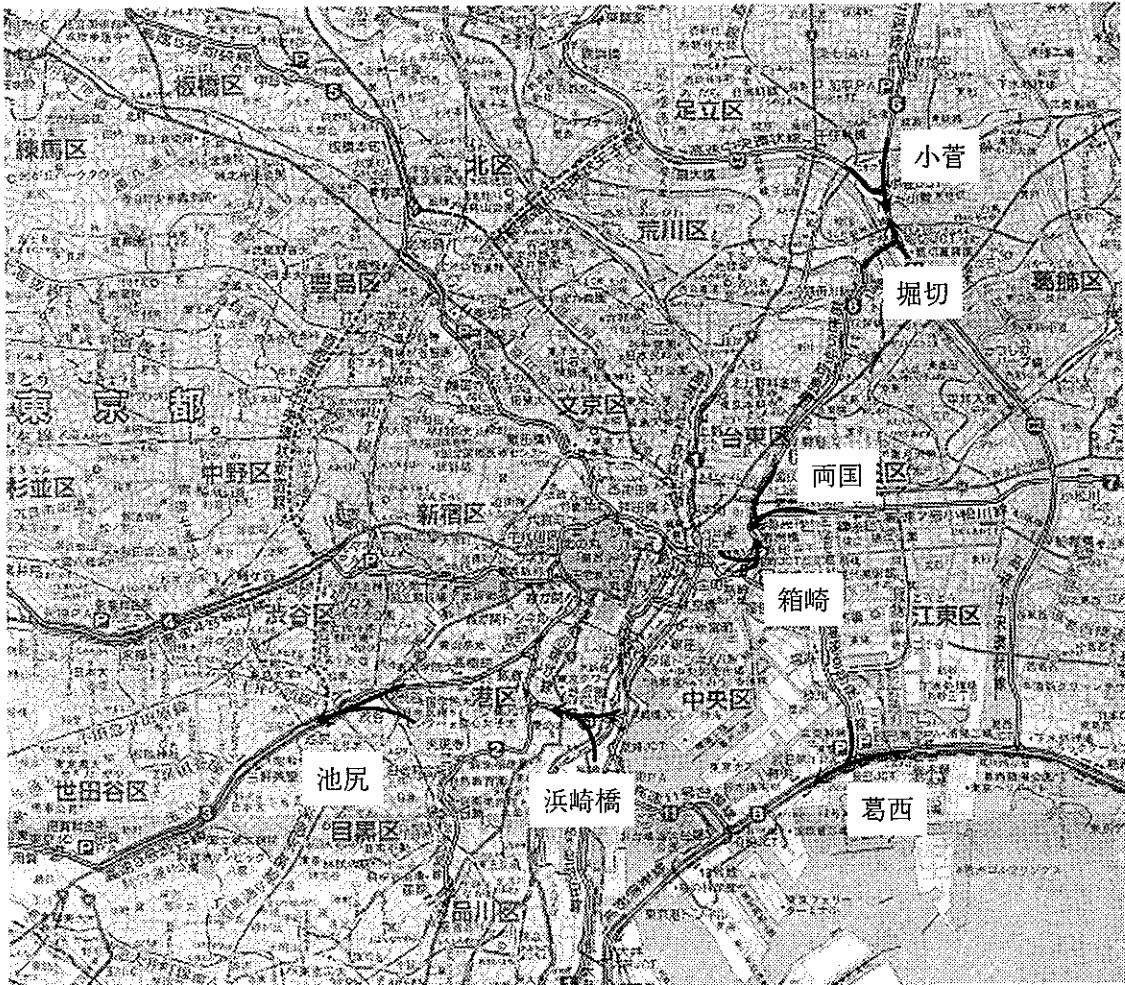


図2.13 データ収集を行った車両感知器の設置個所

2.3.3 合流部と単路部の容量

容量が観察できるように、合流部の上流側で待ち行列ができて下流側が自由流である時間帯における堀切、浜崎橋、池尻、小菅、葛西、箱崎、両国の車両感知器データを収集した。容量を観察するために、7日間にわたり、上流が渋滞していて下流が自由流の場合が15分以上継続する時間帯が選出された。観察された15分の交通量を4倍して1時間当たりの交通量を出し、次に1.7PCU/大型車の乗用車換算係数を用いて乗用車台数(PCU)に調整した。車線の幅、側方余裕、勾配に対しては補正は行わなかった。これは速度が容量状態ではあまり速くなく、これらの補正の影響は大きくないと思われるからである。

この研究では、2組の感知器データが用いられたが、1組のデータは1991年に、もう1組は1998年に集められた。感知器による2組のデータに基づく首都高速道路の平均交通量の最終結果は、表2.4に示したとおりである。箱崎オンランプが2151台/時間/車線の最大容量を有するが、池尻オンランプでは1703台/時間/車線の最小容量が生じた。最大と最小ではほぼ21%の違いとなる容量差はかなり大きいものであった。

合流部と単路部の容量を比較するために、容量観察が首都高速の単路部3箇所で行われた。首都高速の単路部の容量は、一般に約4600PCU/時間/2車線であった。合流部と単路部で容量を比較したところ、両国の容量、1946PCU/時間/車線は単路部の容量より約15%小さく、葛西の容量、2554PCU/時間/車線は、単路部より約11%大きい、7つの区間全部の平均容量、2203PCU/時間/車線は、単路部の容量より約4%小さい。言い換えれば、表2.4に示した7つの区間のうち、5区間の容量は4600PCU/時間/車線よりも小さかった。

表2.4 合流部の合流タイプと交通容量

合流部	合流タイプ	容量 [台/時/車線]		容量 [PCU/時/車線]	
		1991年5月	1998年5月	1991年5月	1998年5月
浜崎橋	直接型	2069	1952	2387	2389
葛西	並行型	1837	2019	2202	2554
小菅	直接型	1824	1861	2181	2096
両国	直接型	1810	1867	1946	2045
堀切	並行型	—	1975	—	2225
箱崎	ランプ合流	2151	2055	2315	2227
池尻	ランプ合流	1840	1703	2069	2002

乗用車換算係数=1.7 [PCU/大型車]

大型車混入率は、1991、1995年のODセンサスによった。

(1) 加速車線長、テーパー長と合流容量の関係

テーパー部分の長さや加速車線の長さの影響をゼブラゾーンがある場合とない場合とで検討するために、各合流部分の7日間における平均容量を示したのが図2.14と図2.15である。先に述べたように、並行および斜めタイプの加速車線はともに首都高速で使用されてきた（テーパー部分の長さは、車線幅が3メートルより狭くなる地点から測定した）。図2.14から分かるように、テーパー部分が長くなると容量は増加する傾向を示した。テーパー部分の長さなどのような、望ましい道路幾何構造は合流過程を緩和すると予想される。図2.15はゼブラゾーンのある場合とない場合を含め合流車線の総距離との関連でみた容量を示している。合流部の容量は、ゼブラゾーンを含むか否かにかかわらず、合流車線の総距離とは明確には関連していなかった。このような結果は、非常に渋滞している状態ではドライバーは加速車線に入るとすぐ合流しようとするという事実から説明がつくと言えるかもしれない。言い換えると、渋滞状態では、ドライバーは目の前に生じた待ち行列のギャップを受け入れるしかなく、自由流状態の合流で経験するように、後で生じるはずのもっとよい切れ目を見つけるまで待てないのである。

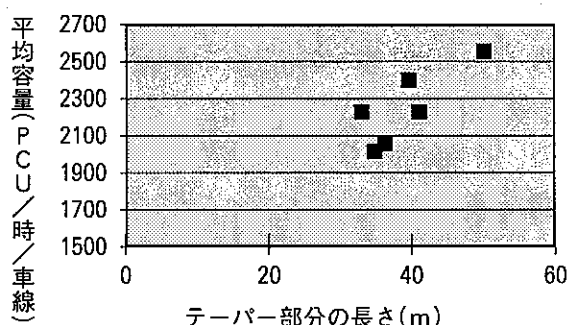


図2.14 テーパー部分の長さや合流容量の関係

(2) 本線・ランプ勾配と合流容量の関係

本線とランプ勾配の影響を検討するために、勾配差（ランプ勾配－本線勾配）との関連でみた各合流部の7日間の平均容量を示しているのが図2.16である。その結果、勾配差が大きくなると容量はやや増加する傾向があることが分かった。これは、ランプ上のドライバーは本線のドライバーより高い位置におり、遠くまで見渡せて視界がきくので、前もって判断し、現在の状態をよりよく理解できるという事実と関連していると言えよう。我々が知るとおり、渋滞状態ではドライバーは合流部に入る前に何度も停車・発進を繰り返さなければならず、したがってドライバーが下り勾配の部分にいれば、発進し加速することはより容易で迅速にできるだろう。しかし、結論を下すには、より多くの地点での視界に関する詳細な分析が必要である。

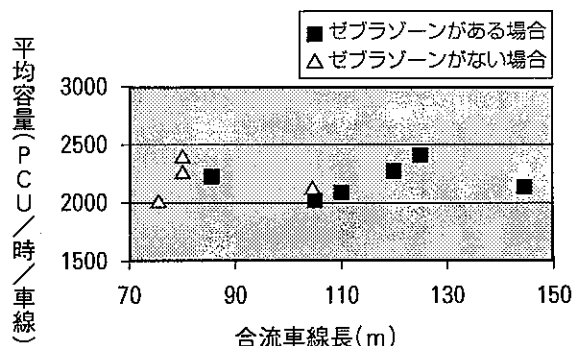


図2.15 合流車線長と合流容量の関係
(ゼブラゾーンがある場合とない場合を含む)

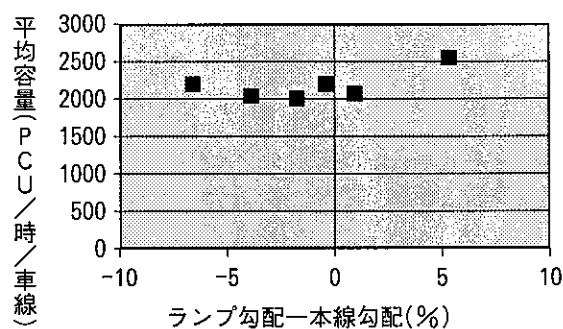


図2.16 勾配差と合流容量との関係

(3) 合流比と合流容量の関係

合流比の影響を検討するために、各合流部分の7日間の平均容量を示したのが図2.17である。容量は各合流部分の幾何学的特徴に影響されるものであり、同じ道路幾何構造での流れの変動を分析するほうがより望ましいが、それでも、容量と合流比との一般的関係を検討することは可能である。その結果、合流容量は合流比と強い相関関係があった。容量は合流比が約0.32まで上昇するときには増加傾向を示したが、その後は、合流比が上昇するにつれて容量は減少し、最大容量は合流比が0.33のときであった。しかし、一般的には合流比がゼロである単路部の方が容量は大きいと考えられ、本結果についてはより長期間のデータ収集と分析が必要であろう。

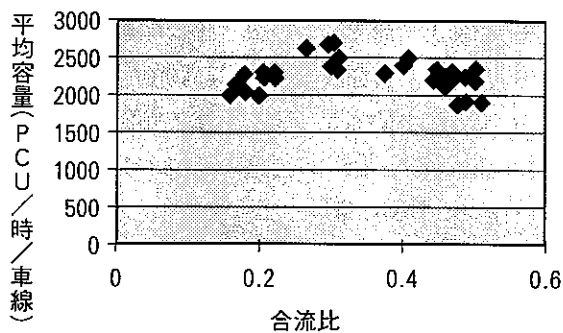


図 2.17 合流比と合流容量の関係

2.3.4 まとめ

合流部の容量を首都高速道路の7合流部に置かれた車両感知器データを用いて分析し、道路幾何構造および交通条件が合流容量に与える影響を検討した。主な結果をまとめる：

- (1) 合流部容量と単路部容量を比較すると、合流容量は7区間全体の平均では4%ほど単路部の容量よりも低かった。
- (2) 合流容量は、テーパー長が伸びると増加する傾向を示した。しかし、加速車線長が伸びても合流容量に大きな変化は認められなかった。
- (3) 合流容量は勾配差（ランプ勾配－本線勾配）が大きくなると幾分増加傾向を示した。
- (4) 合流容量は合流比が0.33のとき最大値を示したが、一般的には合流比がゼロである単路部の方が容量は大きいと考えられ、本結果についてはより長期間のデータ収集と分析が必要である。

謝辞：感知器データを提供して下さった首都高速道路公団に深く感謝いたします。

参考文献(第2章)

- Beaky, J. 1938 Acceleration and deceleration characteristics of private vehicles, Proceeding of the 18th Highway Research Board Annual Meeting, Washington,D.C.
- Hess 1963 Capacity and characteristics of ramp-freeway connections, HRR, 27.
- Highway Capacity Manual, TRB, 1965.
- Highway Capacity Manual, TRB, 1985.
- (社)交通工学研究会 1990 首都高速道路の線形と交通特性に関する検討
- (社)交通工学研究会 1991 首都高速道路の分合流部における幾何構造と交通特性に関する検討
- (社)交通工学研究会 1992 首都高速道路の分合流部における幾何構造と交通特性に関する検討
- Wattleworth, j., et al. 1967 Operation effects of some entrance ramp geometrics on freeway merging, HRR, 208.

第3章 リスク回避行動の心理的メカニズム ～交通心理学的アプローチ～

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、近年様々な研究や提言、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（たとえば、National Research Council, 1989や蓮花, 1999参照）。

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ひとときわ際だっている。

3.1 リスクの回避と受容に関わる諸概念

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ポイダンス傾向（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知れない。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（たとえばStewart & Sanderson, 1984; Jonah, 1986による）、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いうことである。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 (Trimpop, 1994)。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) を用いるのかが問題となり、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であろう。

ところで、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、赤であるの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 (1967; 小川ら, 1993による) 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、「意図的に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、意図性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。Trimpopの定義では、「リスクテイキングとは、その結果に関する知覚された不確かさ、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か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」とされている。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を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はよく行われている。

リスクテイキングに関連する主な概念としては以下のものがある。

- リスク……事故発生の可能性あるいは事故発生の不確実性
- デンジャー (danger) & ペリル (peril) ……現実の事故や災害の状況
- 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
- ハザード知覚……こうした事象や対象を発見する過程
- リスク知覚……リスクに関する個人の知覚・評価の過程

日本語では「危険」という一般的に使用されている言葉があるが、英語ではリスク (risk)、ハザード (客観的危険条件; hazard)、ペリル (差し迫った危険事態; peril)、デンジャー (一般的な危険事態; danger) などに区別されており、こうした区別はリスク研究の理解のためには基礎的な知識として必要である。

亀井 (1995) は、危険という言葉をもっとも3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には発生した場合で、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) 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。レリイ (Lalley, 1982) 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「損害を現実には生じさせる作用」、ハザードを「損害発生の可能性を高める条件」としている (図 3.1)。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欧米ならではの概念と言え、リスク研究を理解するためには重要である。

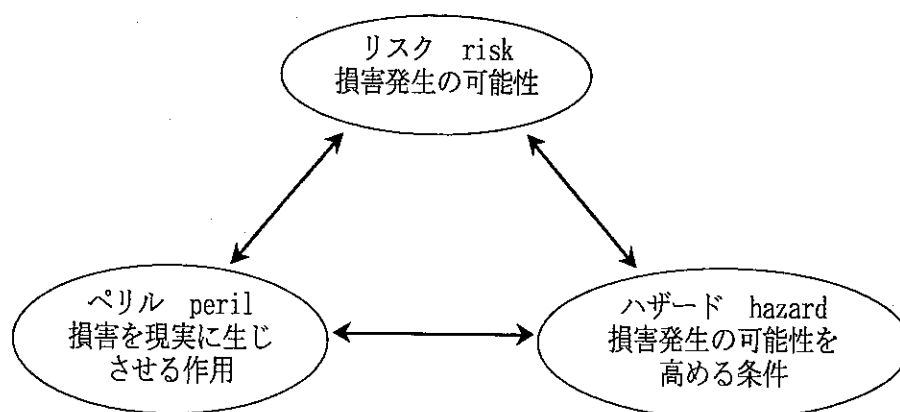


図 3.1 危険の3つの区分 (Lalley, 1982より蓮花が作成)

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 (1988) 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知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」といった自己技能の評価が関わってくるのである。

3.2 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様々な行動指標、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 & Wasieleski (1983) 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. (1982)やEvans (1991)の研究では、シートベルト非着用者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の男性は女性よりもリスクを取る傾向が高かった。

Wasieleski (1984)の走行速度を指標とした研究によると、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歳-70歳のドライバー（推定年齢）が平均70km/hで走行していた。

Sivak, Soler & Tränkle (1989)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 (1973) 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、左折したいのにできな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。

3.3 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を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的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。図 3.2 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。

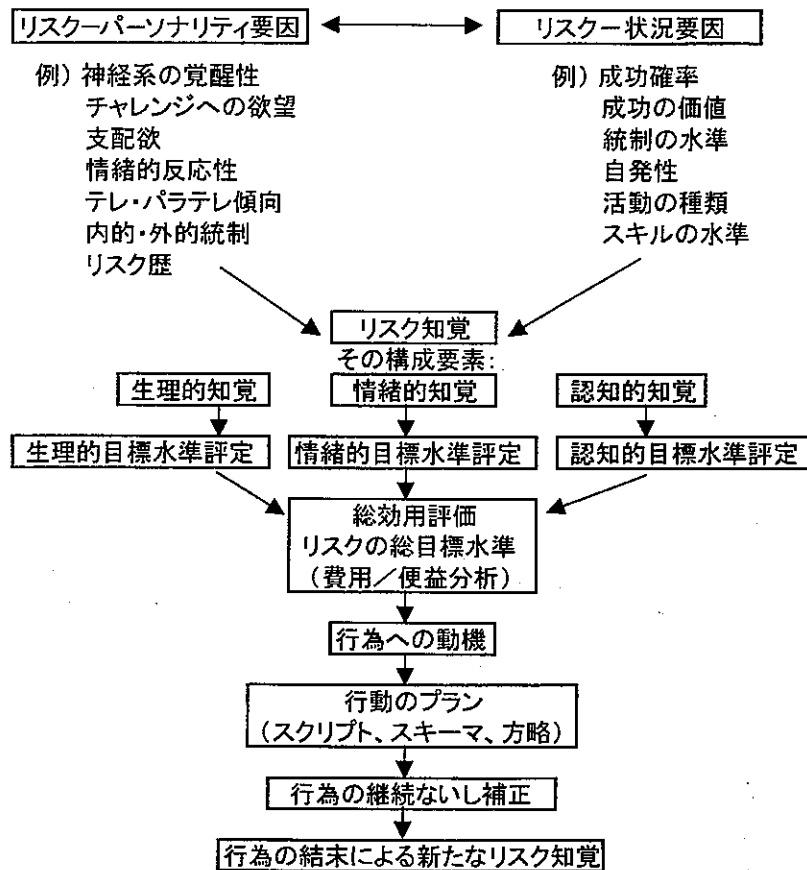


図 3.2 Trimpopのリスクモチベーション理論(RMT)
(Trimpop,1990 ; Trimpop, 1994より)

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 (詳しくはTrimpop, 1994参照のこと)。

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。

3.3.1 リスク知覚とハザード知覚

Finn & Bragg (1986) 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取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見なさないこと、
- (3) その両方、のいずれかであるとしている。

この2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 & Bragg (1986)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。

Brown & Groeger (1988)は、リスク知覚への入力要素として、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の2つを挙げている。言い換えると、事故に結びつくかも知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全体的に評価する心的過程が「リスク知覚」であると言える。

ハザード知覚を扱った先駆的な研究としては、Soliday (1974)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動的対象への報告が多くなることを示した。Benda & Hoyos (1983)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、長山、蓮花による『危険感受性診断テストTOK』(小川・蓮花・長山、1993参照)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、何が気になるかを回答する。小川らの結果では、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(図3.3)。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ることもできる。

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(1983, 1990)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 (1998) はビデオ提示によりドライ

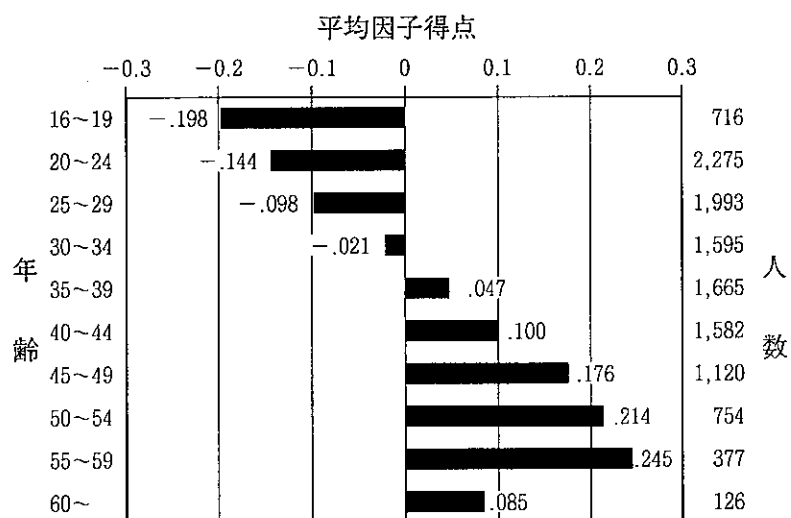


図3.3 危険感受性テストTOKによる潜在的ハザード知覚の年齢効果 (小川ほか、1993)

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のほど速度を低下させようとする傾向を示した。Crick & McKenna (1991) 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。

3.3.2 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 & Kogan(1961)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 & Moran (1986)の研究では、Soliday (1974)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。

自分の運転技能への評価能力を高めるために、様々な手法が考案されつつある。Gregersen (1996)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 (1997) 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。太田の「危険感受性訓練」は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できる。

3.3.3 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やWilde (1982)が提唱したリスクホメオスタシス理論を巡る諸問題であった。ワイルドの考えでは、「個人は様々な活動における“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」(Wilde, 1985 ; 芳賀, 1993による)という主張がなされる。この主張とその根拠を巡っては多くの議論を招いた(芳賀, 1993に詳しい)。

当初は地域あるいはその国の事故率という荒っぽい指標を用いていたこともあり、議論が拡散し、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多くなり、安全対策を行うことで、個人の行動がよりリスク度の高いものになるという傾向が部分的に立証された。その場合、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ことが多い。

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こともある。

Streff & Geller (1988) はシートベルト着用と速度などの関係を調べ、部分的にこれを実証した。Smith & Lovegrove (1983) 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 (1985) 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。このように、3つのアプローチを比較しているが、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 & Anderson (1980) 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 (Keskinen, 1996)。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スキルがそれほど向上していないことがその原因と考えられている。

3.3.4 リスク効用とリスクモチベーション

ある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、強化されることになる。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、運転のリスクを取る場合の効用と非効用、リスクを取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

とは異なる基準の利得と損失が運転行動にも関わっており、そうした利得や損失がリスク取行一回避の行動面に影響を及ぼしていることは明白である。というよりも通常はこれらの他の利得が前面に出ており、リスク回避の次元は背景に退いていることも多いであろう。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様々な種類があり、Hodgdon et al.(1981)は、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を挙げている(Jonah, 1986による)。Jonah & Dawson (1987)の研究では、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という結果であった(Jonah, 1986による)。こうした他の動機が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 (1994) 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、そうした経験をしようとして、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」(Jonah, 1997による)。Zuckerman(1964)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(1997)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、中程度の相関(0.30-0.40)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 (1995)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取るのかは、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。こうした考え方はあまりに一般論と見なされ軽視される傾向があるが、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を交通安全対策の基本的立場としないならば、単なる思いつきや思いこみの対策が幅を利かすことにもなりかねない。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なければならない。これらの対策が個別に行われるのではなく、ドライバー個人あるいはあるドライバー集団のリスク効用体系に適切に位置づけられて実施されることが必要である。

3.4 リスク回避行動の心理学的モデルとリスク回避行動への方略

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。

リスク回避行動の心理的過程をモデル的に示したのが図3.4である。ここではリスクテイキング行動という用語よりもリスク回避行動という用語を用いた。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見なしても良い。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

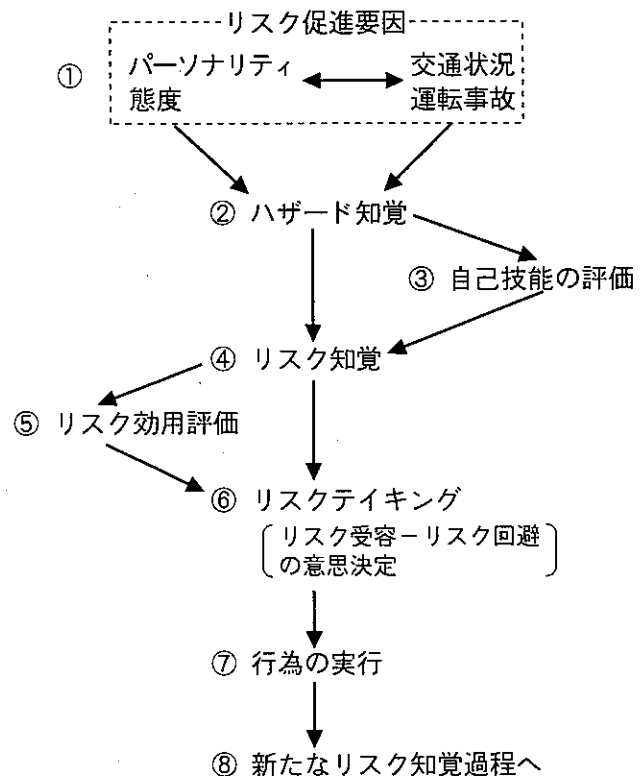


図3.4 リスク回避行動のモデル図

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。

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過程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回避行動（リスクテイキング行動）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れる。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。これらをリスクテイキング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。また、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「逆効果」についての評価を組み込むべきである。一般的に言えば、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（蓮花，1996参照）。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し、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、様々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) ドライバーのハザード知覚能力を育成する、
- 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) ドライバーの自己能力の評価を低減する、
- 4) ドライバーのリスク知覚を高める、
- 5) リスク回避の意思決定と行動の型を習得させる、
- 6) リスクテイキング行動の効用を低減し、非効用を高める、
- 7) 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あるいはそのどれにも重き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ので、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なかったり、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(第3章)—

- Benda, H. V. & Hoyos, C. G. 1983 Estimating hazards in traffic situations. *Accident Analysis and Prevention*, Vol.15, 1-9.
- Brown, I. D. & Groeger, J. A. 1988 Risk perception and decision taking during the transition between novice and experienced driver status. *Ergonomics*, Vol.31, 585-597.
- Burns, P. C. & Wilde, G. J. S. 1995 Risk taking in male taxi drivers: relationships among personality, observational data and drivers records. *Personality and Individual Differences*, Vol.18, No.2, 267-278.
- Crick, J. & McKenna, F. P. 1991 Hazard perception: can it be trained? *Behavioural Research in Road Safety*, Vol.2, 100-107.
- Ebbesen, E. B. & Haney, M. 1973 Flirting with death: variables affecting risk taking at intersection. *Journal of Applied Social Psychology*, Vol.3, No.4, 303-324.
- Evans, L. 1985 Human behavior feedback and traffic safety. *Human Factors*, Vol.27, No.5, 555-576.
- Evans, L. 1991 Traffic safety and the driver. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Evans, L. & Wasielewski, P. 1982 Do accident-involved drivers exhibit riskier everyday driving behavior? *Accident Analysis and Prevention*, Vol.14, No.1, 57-64.
- Evans, L. & Wasielewski, P. 1983 Risky driving related to driver and vehicle characteristics. *Accident Analysis and Prevention*, Vol.15, No.2, 121-136.
- Finn, P. & Bragg, B. W. E. 1986 Perception of the risk of an accident by young and older drivers. *Accident Analysis and Prevention*, Vol.18, 289-298.
- Gregersen, N. P. 1996 Young car drivers, VTI rapport 409A, Swedish National Road and Transport Research Institute.
- 深沢伸幸 1983 危険感受性(仮称)テストの研究(I) 応用心理学研究, No.8, 1-12.
- 深沢伸幸 1990 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, 235-248.
- 芳賀 繁 1993 リスク・ホメオスタシス説—論争史の解説と展望— 交通心理学研究, Vol.9, No.1, 1-10.
- Jonah, B. A. 1986 Accident risk and risk-taking behaviour among young drivers. *Accident Analysis and Prevention*, Vol.18, No.4, 225-271.
- Jonah, B. A. 1997 Sensation seeking and risky driving: a review and synthesis of the literature. *Accident Analysis and Prevention*, Vol.29, No.5, 651-665.
- 亀井利明 1995 危機管理と保険理論 法律文化社
- Keskinen, E. 1996 Why do young drivers have more accidents? *Junger Fahrer und Fahrerinnen, Menschu und Sicherheit Heft M52*, Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Lalley, E. P. 1982 Corporate uncertainty and risk management. Risk Management Society Publishing.
- Matthews, M. L. & Moran, A. R. 1986 Age differences in male drivers' perception of accident risk: the role of perceived driving ability. *Accident Analysis and Prevention*, Vol.18, 299-313.
- National Research Council 1989 Improving risk communication. National Academy Press.
- 林裕造・関沢純(監訳) 1997 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
- 小川和久 1993 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, 27-40.
- 小川和久・蓮花一己・長山泰久 1993 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, 37-54.
- 太田博雄 1997 高齢者向け交通安全教育のための危険感受性訓練CAI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
- 蓮花一己 1996 交通危険学 啓正社
- Renge, K. 1998 Drivers hazard and risk perception, confidence in safe driving, and choice of speed. *IATSS Research*, Vol.22, No.2, 103-110.
- 蓮花一己 1999 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
- Sivak, M., Soler, J. & Trankle, U. 1989 Cross-cultural differences in driver risk-taking. *Accident Analysis and Prevention*, Vol.21, 363-369.
- Smith, R. G. & Lovegrove, A. 1983 Danger compensation effects of stop signs at intersections. *Accident Analysis and Prevention*, Vol.15, No.2, 95-104.

- Soliday, S. T. 1974 Relationship between age and hazard perception in automobile drivers. *Perceptual and Motor Skills*, Vol.39, 335-338.
- Streff, F. M. & Geller, E. S. 1988 An experimental test of risk compensation: between-subject versus within-subject analysis. *Accident Analysis and Prevention*, Vol.20, 277-287.
- Trimpop, R. M. 1994 The psychology of risk taking behavior. North-Holland.
- Wallach, M. A. & Kogan, N. 1961 Aspects of judgment and decision-making: Interrelationships and change with age. *Behavioral Science*, Vol.6, 23-26.
- Wasielewski, P. 1984 Speed as a measure of driver risk: Observed speed vs. driver and vehicle characteristics. *Accident Analysis and Prevention*, Vol.16, 89-102.
- Wilde, G. J. S. 1982 The theory of risk homeostasis: Implications for safety and health. *Risk Analysis*, Vol.2, 209-225.
- Wilson, W. T. & Anderson, J. M. 1980 The effects of tyre type on driving speed and presumed risk taking. *Ergonomics*, Vol.23, No.3, 223-235.
- Zuckerman, M. 1994 Behavioural expressions and biosocial bases sensation seeking. University of Cambridge Press, Cambridge.
- Zuckerman, M., Kolin, I., Price, L. & Zoob, I. 1964 Development of a sensation seeking scale. *Journal of Consulting Psychology*, Vol.28, 477-482.

第4章 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

4.1 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。第7章で小林が述べているように、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。

プロスペクト理論やViscusiの先駆的な研究によれば、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、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。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かい離に関する議論は行われているが、著者の知るかぎり、これらのリスクのかい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。

本章では、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、4.2では、認知リスクと客観リスクがかい離するという現象に関して考察する。4.3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。4.4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4.5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。

4.2 認知リスクと客観リスク

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、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2つのくじにどちらが選択されるかを与える選好が $<_L$ で与えられる。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。

$$L_a <_L L_b \Leftrightarrow \sum_{c \in C} P_c(a) u(c) < \sum_{c \in C} P_c(b) u(c)$$

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1万人に一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、極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ると、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。参考のためにその導出過程を付録に示す。

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

ここで、 q_0 : 先験的な主観的リスク、 γ, ξ : パラメータである。パラメータ γ, ξ 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 ξ は経験回数に関する増加関数であり、 $n \rightarrow \infty$ に対して、 $\xi \rightarrow \infty$ となる。

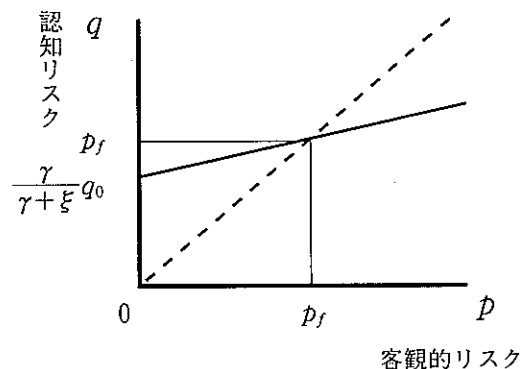


図4.1 客観的リスクと認知リスクとの関係

式(1)からパラメータ γ, ξ を所与として、認知リスクと客観リスクとの関係は図4.1

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。

4.3 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) リスクを取ること（危険を冒すこと）が求められた場合、それに対する見返りはより大きくなる、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、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 Δp 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 Δq は式(1)より、

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

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。

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

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、 ℓ ：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、図4.2に示すくじを選択することと等価であるとみなすことができる。

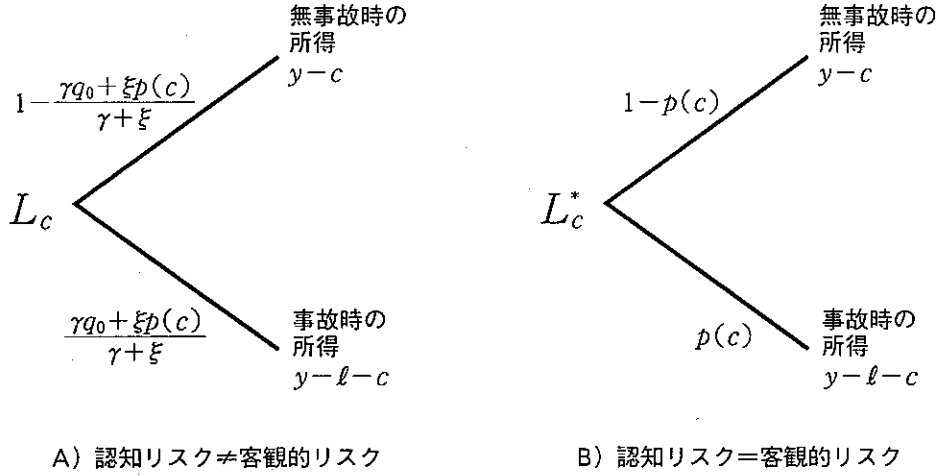


図4.2 危険回避行動のくじによる表現

モデルAの最適化の一階の条件を求めると、以下のようなものである。

$$-p'(c) = \frac{\gamma + \xi}{\xi} \frac{\left(1 - \frac{\gamma q_0 + \xi p(c)}{\gamma + \xi}\right) u'(y-c) + \frac{\gamma q_0 + \xi p(c)}{\gamma + \xi} u'(y-l-c)}{u(y-c) - u(y-l-c)} \quad (4)$$

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_c^* 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、

$$(1-p(c))u(y-c) + p(c)u(y-l-c)$$

で与えられる。

いま、仮に客観的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出来る。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。

$$\max_c (1-p(c))u(y-c) + p(c)u(y-l-c) \quad (5)$$

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。

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

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。

$$\begin{aligned} -p'(c) &= \frac{(1-p(c))u'(y-c) + p(c)u'(y-l-c)}{u(y-c) - u(y-l-c)} \\ &\quad + \frac{\gamma}{\xi} \frac{(1-q_0)u'(y-c) + q_0u'(y-l-c)}{u(y-c) - u(y-l-c)} \end{aligned} \quad (4')$$

モデルA及びモデル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（図4.3参照）。

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ていることがわかる。言い換えれば、式(1)のように認知リスクと客観的リスクがかい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。

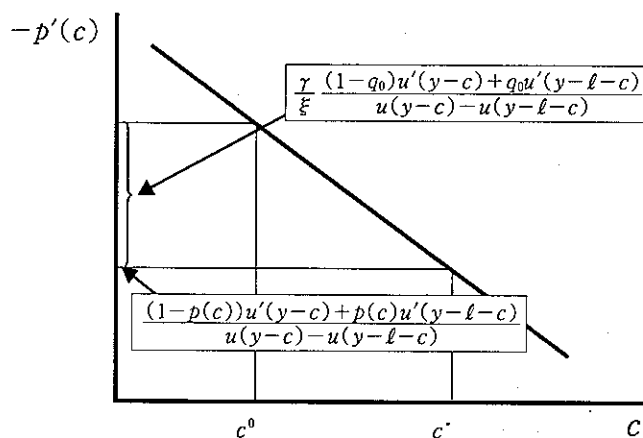


図4.3 認知リスクのバイアスが存在する場合の危険回避行動の水準 c^0 と完全なリスク認知がなされる場合の危険回避行動の水準 c^*

4.4 数値事例

ここでは、図4.4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 λ 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ポアソン分布に従うとすると、接触事故のリスク（客観的リスク）は次式で与えられる。

$$P(v;\lambda) = 1 - \exp(-\lambda H(v)) \quad (7)$$

ただし、 $H(v) = l(v)/v$ である。

前節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

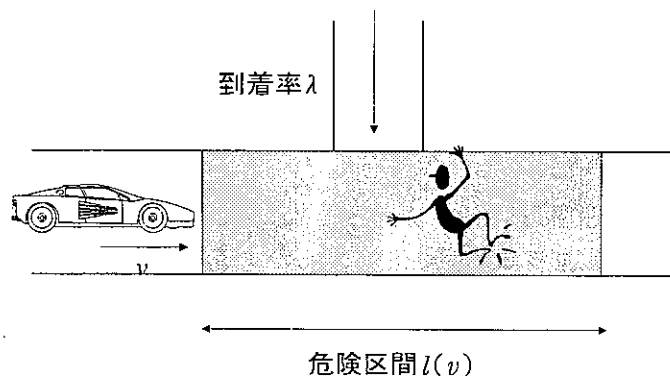


図4.4 歩行者対車両の接触事故リスク
(歩行者が車両の前方の危険区画に飛び出すリスク)

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。

図4.5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42 km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、図4.5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 $\lambda=2$ に近づいて行くが、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、最初の認知水準が極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。

図4.6は、速度選択が可能な場合の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、図4.7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42 km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。

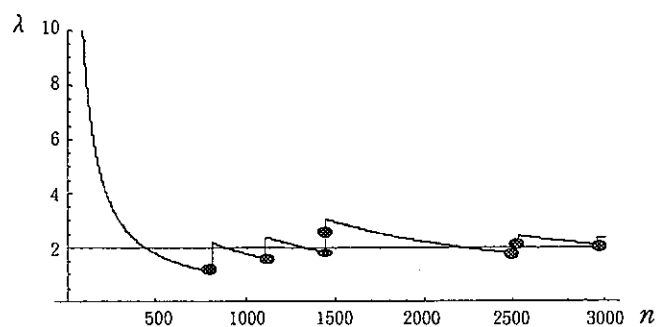


図4.5 歩行者の横断の発生率に関する主観的な認知水準の更新過程
（最適速度で定速度走行する場合）

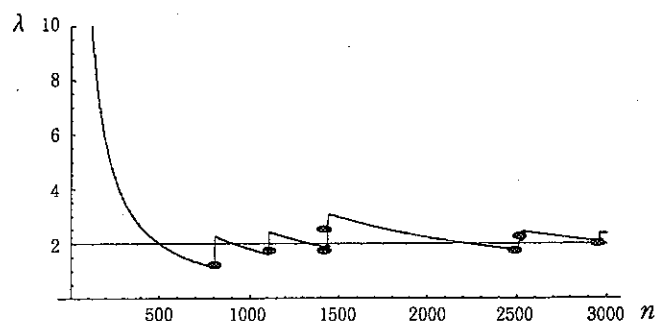


図4.6 歩行者の横断の発生率に関する主観的な認知水準の更新過程
（認知リスクに応じて速度選択をする場合）

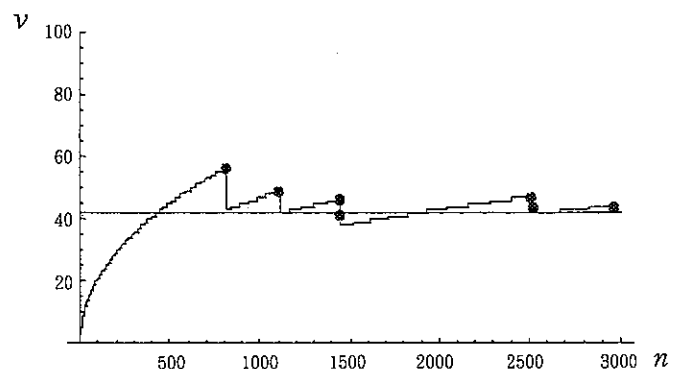


図4.7 認知リスクに応じて速度選択をする場合に選択される速度

4.5 おわりに

本研究では、認知リスクと客観的リスクのかい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かい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かい離の問題は、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。

前節までで行った解析結果を整理すれば、以下のようである。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(第4章)

- Kahneman & Tversky 1979 Prospect Theory: An Analysis Decision under Risk. *Econometrica*, 47, 263-291.
- 多々納裕一 1994 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 佐川交通社会財団交通安全対策振興助成研究報告書, Vol. 9, 77-82.
- Viscusi, K.W. 1998 *Rational Risk Policy*, Oxford University Press.
- Viscusi, K.W. 1990 Sources of Inconsistency in Social Responses to Health Risks. *American Economic review*, 80(2), 527-554.

付録 認知リスクの形成過程のモデル化（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起し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 θ 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）。

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

ただし、 α, β 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。

このとき、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。

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

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。このとき、リスク水準 θ 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 $\theta^{s_n} (1-\theta)^{n-s_n}$ に比例する。

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

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。

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

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。

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

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 $q_n(s_n)$ の期待値 q は以下のように求まる。

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

ここで、 $n = \xi$ とおけば、式(1)が得られる。

第5章 異なるルール下における走行挙動の比較分析 ～ロータリーを例として～

5.1 はじめに

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囲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。

欧米では、進入車に対する周囲車・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ロータリーにおける交通ルールが特に定められておらず、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、ロータリーの設置件数が極めて少ないためにドライバーの多くが明確な優先権を認識しておらず、互いに見合ってしまったたり、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、直ちに日本におい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。

ロータリーの処理能力や安全性に関する調査研究は先進諸国で活発に続けられてきている。しかし、これらの調査研究は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しているという下で行われている。

そこで、本研究では、異なる交通ルール下における走行挙動を観測・整理して比較し、ロータリーにおける運転行動モデルを構築することにより、交通ルールがもたらす運転行動に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

具体的には、ロータリーの領域内で進入車と周囲車が遭遇する状態を考える。この時、ドライバーは必ずしも全員が優先権を正確に認識していないものとする。つまり、進入車と周囲車の各ドライバーが交通ルールを正確に認識しているものとそうでないものに分けられ、これら2種類のドライバーが混在していると考え、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ない行動する。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。また、今後どのようにロータリーを運用すべきかを考察する。

以下、5.2で運転行動をモデル化し、5.3で進入車優先ルールと周囲車優先ルールの下での均衡解の導出を行う。5.4では、アンケート調査と実際の走行挙動の観測にもとづくドライバーのタイプに関する存在確率の推計を行う。5.5では、5.4の結果を基に現在のわが国におけるロータリーで5.3で導出した均衡状態のどれが実現しているかを検討し、今後のロータリー整備と交通ルール整備に関する知見を明らかにする。

5.2 ロータリーにおける運転行動のモデル化

5.2.1 モデル構築の基本的考え方

ロータリーは無信号交差点の一種であり、一般的に図5.1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。一般に非優先側の道路には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。

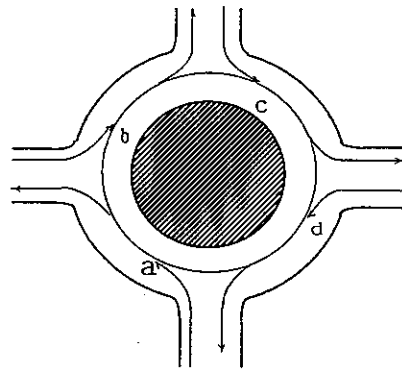


図5.1 ロータリーの概形

進入車は中心の島を周回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、逆の場合へのモデルの拡張も可能である。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ところは、図5.1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。以下、遭遇とは進入車が交差点に進入したとき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。遭遇状況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う相互依存関係におかれる。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を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。

諸外国の多くではロータリーにおける交通ルールが周回車優先となっており、ロータリーを走行するドライバーもそれを認識し走行している。本研究では、周回車優先ルールと進入車優先ルールの下でロータリーの機能を比較対照し、ロータリーの合流部における走行挙動をモデル化する。

5.2.2 モデルの定式化

本ゲームの基本要素を以下に示す。

- プレイヤー：遭遇状態にある「進入車ドライバー」と「周回車ドライバー」を本ゲームのプレイヤーと考える。優先側ドライバーをドライバー1とし、非優先側ドライバーをドライバー2とする。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なうことができない。
- 手番：意思決定は同時になされ则认为。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なうものとする。
- 戦略：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。
- 利得：ドライバーの利得は選択した戦略と生じた結果(衝突事故発生の有無)の組み合わせにより規定され、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则认为。

— c : 衝突事故発生による不効用

— v : ルール違反を行なうことに対する不効用

— g : 避譲することに対する不効用(避譲費用)

— r : 優先車でありながら避譲することに対する不効用

ここで、ドライバー1が避譲することの不効用を $-g = -g_1$ 、ドライバー2のそれを $-g_2$ とし、モデル構築の簡単化のため $-g_1 = -r$ と仮定する。本研究のモデル構築において、ロータリーは一般的に進入車に対し周回車は速度が速いと仮定しているので、周回車優先ルール下では $g_1 \geq g_2$ であり、進入車優先ルール下では $g_2 \geq g_1$ と表される。

- タイプ：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、交通ルールにもとづく正しい優先権を認識しているドライバー(タイプR)とそうでないドライバー(タイプN)の2種類が混在すると考える。
- 情報：ドライバーは自分が2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のドライバーがタイプRであると予想する確率を X 、タイプRであるドライバーが相手のドライバーがタイプNであると予想する確率を $1-X$ とし、タイプNであるドライバーが相手のドライバーがタイプRであると予想する確率を Y 、タイプNであるドライバーが相手のドライバーがタイプNであると予想する確率を $1-Y$ とする。ただし、($0 \leq X \leq 1, 0 \leq Y \leq 1$)である。

2種類のタイプを持つ2人のドライバーが遭遇する状況には、両者の組み合わせである(R, R)、(R, N)、(N, R)、(N, N)の4種類が存在する。それぞれのゲームを標準型で表現すると表5.1のように表される。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4種類の組み合わせを確率 P_{ij} (ただし、 i : ドライバー1のタイプ、 j : ドライバー2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図5.2のようになる。

表5.1 ゲームの標準型

G_{RR} の場合

		ドライバー 2	
ドライバー 1		G	S
	G	$(-c, -c-v)$	$(0, -g_2)$
	S	$(-r-g_1, -v)$	$(-r-g_1, -g_2)$

G_{RN} の場合

		ドライバー 2	
ドライバー 1		G	S
	G	$(-c, -c)$	$(0, -g_2)$
	S	$(-r-g_1, 0)$	$(-r-g_1, -g_2)$

G_{NR} の場合

		ドライバー 2	
ドライバー 1		G	S
	G	$(-c, -c-v)$	$(0, -g_2)$
	S	$(-g_1, -v)$	$(-g_1, -g_2)$

G_{NN} の場合

		ドライバー 2	
ドライバー 1		G	S
	G	$(-c, -c)$	$(0, -g_2)$
	S	$(-g_1, 0)$	$(-g_1, -g_2)$

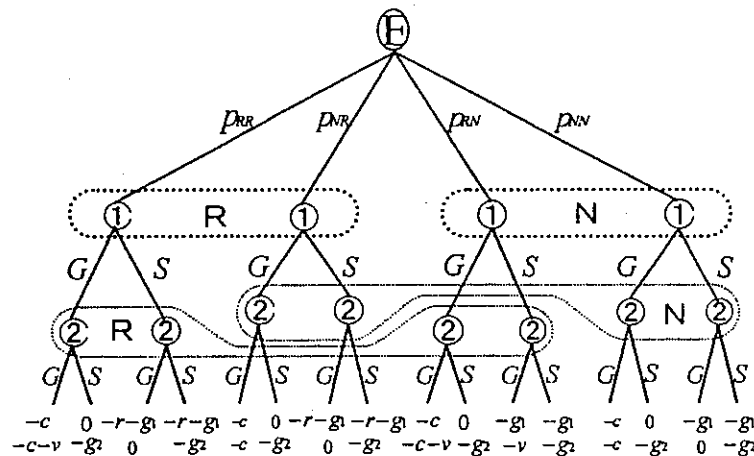


図5.2 ゲームの展開型

5.3 均衡解分析

5.3.1 期待利得の導出

前節でえられた図5.2のゲームの展開型表現より、ドライバー1とドライバー2の条件付き期待利得を導出する。ドライバー1がタイプRであるときの条件付き期待利得を例にとろう。ドライバー1の戦略がGでドライバー2がタイプRのとき戦略G、ドライバー2がタイプNであるとき戦略Sを意思決定するとき、ドライバー2がタイプRであると予想する確率は X であり、ドライバー2がタイプNであると予想する確率は $1-X$ である。また、ドライバー2がタイプRであると予想したときドライバー1が被るであろう利得の期待値は $-c \cdot X$ であり、ドライバー2がタイプNであると予想したときドライバー1が

被るであろう利得の期待値は $0 \cdot (1-X)$ であり、この両者の和がこのときのドライバー 1 の条件付き期待利得である。他の場合についても同様に考えるとドライバー 1 の条件付き期待利得は表 5.2 で、ドライバー 2 の条件付き期待利得は表 5.3 のように表せる。ただし、表中の GS といった表記は、“タイプ R であるとき戦略 G を、タイプ N であるとき戦略 S を選択する” という戦略の組を意味している。

表 5.2 と表 5.3 で得られた条件付き期待利得より、期待利得を導出したものが表 5.4 である。この表は次のようにして得たものである。例として (GG, GG) におけるドライバー 1 の期待利得に着目しよう。表 5.2 より、ドライバー 1 がタイプ R である確率を P

表 5.2 ドライバー 1 の条件つき期待利得

(1) ドライバー 1 がタイプ R					(2) ドライバー 1 がタイプ N				
	GG	GS	SG	SS		GG	GS	SG	SS
G	$-c$	$-cX$	$-c+cX$	0	G	$-c$	$-cX$	$-c+cX$	0
S	$-r-g_1$	$-r-g_1$	$-r-g_1$	$-r-g_1$	S	$-r-g_1$	$-r-g_1$	$-r-g_1$	$-r-g_1$

表 5.3 ドライバー 2 の条件つき期待利得

(1) ドライバー 2 がタイプ R			(2) ドライバー 2 がタイプ N		
	G	S		G	S
GG	$-2c$	$-g_2$	GG	$-c$	$-g_2$
GS	$(-2c+g_1)X-g_1$	$-g_2$	GS	$-cY$	$-g_2$
SG	$(2c-r-g_1)X-2c$	$-g_2$	SG	$-c-cY$	$-g_2$
SS	$-rX-g_1$	$-g_2$	SS	0	$-g_2$

表 5.4 期待利得行例

ドライバー 2		
	GG	GS
ドライバー 1	GG $P(-c) + (1-P)(-c)$ $P(-2c) + (1-P)(-c)$	GG $P(-cX) + (1-P)(-cY)$ $P(-2c) + (1-P)(-g_2)$
	GS $P(-c) + (1-P)(-g_1)$ $P\{(-2c+g_1)X-g_1\} + (1-P)(-cY)$	GS $P(-cX) + (1-P)(-g_1)$ $P\{(-2c+g_1)X-g_1\} + (1-P)(-g_2)$
	SG $P(-r-g_1) + (1-P)(-c)$ $P\{(2c-r-g_1)X-2c\} + (1-P)(-c+cY)$	SG $P(-r-g_1) + (1-P)(-cY)$ $P\{(2c-r-g_1)X-2c\} + (1-P)(-g_2)$
	SS $P(-r-g_1) + (1-P)(-g_1)$ $P(-g_1-rX) + (1-P)(0)$	SS $P(-r-g_1) + (1-P)(-g_1)$ $P(-g_1-rX) + (1-P)(-g_2)$

ドライバー 2		
	SG	SS
ドライバー 1	GG $P(-c+cX) + (1-P)(-c+cY)$ $P(-g_2) + (1-P)(-c)$	GG $P(0) + (1-P)(0)$ $P(-g_2) + (1-P)(-g_2)$
	GS $P(-c+cX) + (1-P)(-g_1)$ $P(-g_2) + (1-P)(-cY)$	GS $P(0) + (1-P)(-g_1)$ $P(-g_2) + (1-P)(-g_2)$
	SG $P(-r-g_1) + (1-P)(-c+cY)$ $P(-g_2) + (1-P)(-c+cY)$	SG $P(-r-g_1) + (1-P)(0)$ $P(-g_2) + (1-P)(-g_2)$
	SS $P(-r-g_1) + (1-P)(-g_1)$ $P(-g_2) + (1-P)(0)$	SS $P(-r-g_1) + (1-P)(-g_1)$ $P(-g_2) + (1-P)(-g_2)$

とすると、ドライバー 2 がタイプ R であってもタイプ N であっても戦略 G をとるときにドライバー 1 が戦略 G をとることの期待利得は $(-c)P$ である。また、ドライバー 1 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ドライバー 2 に対してドライバー 1 が戦略 G をとることの期待利得は $(-c+cX)(1-P)$ である。この 2 つの値の和 $(-c)P + (-c+cX)(1-P)$ が、ドライバー 1 とドライバー 2 の戦略の組の組み合わせ (GG, GG) のときのドライバー 1 の期待利得となる。その他の場合も同様である。

5.3.2 均衡解の導出

得られた期待利得の表 5.4 より、それぞれの戦略の組の組み合わせがナッシュ均衡解である条件を求める。ここで、ナッシュ均衡解とは、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とき自分がどの戦略を取るのが最適であるかを考え、お互いに最適戦略が一致する戦略の組がナッシュ均衡解である。その条件を示したものが表 5.5 である。

表 5.5 を用いて周回車優先ルールと進入車優先ルールについて検討しよう。前者においては $g_1 \geq g_2$ を、後者においては $g_2 \geq g_1$ の関係を用いてナッシュ均衡解になりうる各ドライバーの戦略の組を絞り込めばよい。導出過程は省略するが、(ドライバー 1 の戦略の組, ドライバー 2 の戦略の組) を $(\cdot, \cdot)$ と表記すると、前者では新たにドライバーの戦略の組 (SS, GG) (SS, GS) (SG, GG) (SS, GG) (SS, GS) がナッシュ均衡解から除外される。しかし後者では新たにナッシュ均衡解から除外されるものはない。

表 5.5 ナッシュ均衡解であるための条件

		ドライバー 2			
		GG	GS	SG	SS
ドライバー 1	GG		• $P=0$ のとき E	• $P=1$ のとき E	• E
	GS	• $P=0$ のとき E • $0 \leq P \leq 1$ のとき $\begin{cases} r+g_1 \geq c \\ (-2c+g_1)X+g_2-g_1 \geq 0 \\ (1-P)g_2-cP(1-X) \geq 0 \end{cases}$	• $0 \leq P \leq 1$ のとき E $\begin{cases} r+g_1-cX \geq 0 \\ (-2c+g_1)X+g_2-g_1 \geq 0 \\ (1-P)(-g_1)+cP(1-X) \geq 0 \\ (1-P)(-g_2)+cP(1-X) \geq 0 \end{cases}$	• $P=0$ のとき E • $0 \leq P \leq 1$ のとき $\begin{cases} -c+r+g_1+cX \geq 0 \\ (-2c+g_1)X+g_2-g_1 \leq 0 \\ (1-P)(c-g_1)-cP(1-X) \geq 0 \\ (1-P)(-g_2)+cP(1-X) \leq 0 \end{cases}$	• $P=1$ のとき E
	SG	• $P=1$ のとき $\begin{cases} -c+r+g_1 \leq 0 \\ -r-g_1+g_2 \geq 0 \end{cases}$	• $P=0$ のとき E • $0 \leq P \leq 1$ のとき $\begin{cases} r+g_1-cX \leq 0 \\ (2c-r-g_1)X-2c+g_2 \geq 0 \\ (1-P)(-g_1)+cP(1-X) \leq 0 \\ (1-P)(c-g_2)-cP(1-X) \geq 0 \end{cases}$	• $0 \leq P \leq 1$ のとき E $\begin{cases} -c+r+g_1+cX \leq 0 \\ (2c-r-g_1)X-2c+g_2 \leq 0 \\ (1-P)(c-g_1)-cP(1-X) \leq 0 \\ (1-P)(c-g_2)-cP(1-X) \leq 0 \end{cases}$	• $P=0$ のとき E
	SS	• $P=0$ のとき E • $0 \leq P \leq 1$ のとき $\begin{cases} -c+r+g_1 \leq 0 \\ g_2-g_1-rX \geq 0 \end{cases}$	• $P=1$ のとき $\begin{cases} -c+r+g_1 \leq 0 \\ -r-g_1+g_2 \geq 0 \end{cases}$	• $P=0$ のとき E • $0 \leq P \leq 1$ のとき $\begin{cases} -c+r+g_1+cX \leq 0 \\ g_2-g_1-rX \leq 0 \\ (1-P)(-c+g_1)+cP(1-X) \leq 0 \end{cases}$	

E : 均衡解

5.3.3 設定条件とその下での均衡解

ここで、モデルの簡単化のため、衝突事故発生による不効用 c はどの組み合わせの避譲することに対する不効用よりも大きく、周回車の避譲することに対する不効用は進入車の避譲することに対する不効用の倍以上にはならない、という仮定を導入しよう。すなわち、周回車優先ルールの場合、

$$c \geq 2g_1 \geq g_1 + g_2 \geq 2g_2 \geq g_1 \geq g_2 \quad (1)$$

進入車優先ルールの場合、

$$c \geq 2g_2 \geq g_1 + g_2 \geq 2g_1 \geq g_2 \geq g_1 \quad (2)$$

であるとする。この仮定の下で付録2に示す条件式を導き(導出過程は省略)、進入車優先ルールおよび周回車優先ルールの下での均衡解の範囲を示したものが図5.3と図5.4である(ただし、 $0 \leq P \leq 1$ 、 $0 \leq X \leq 1$ である)。

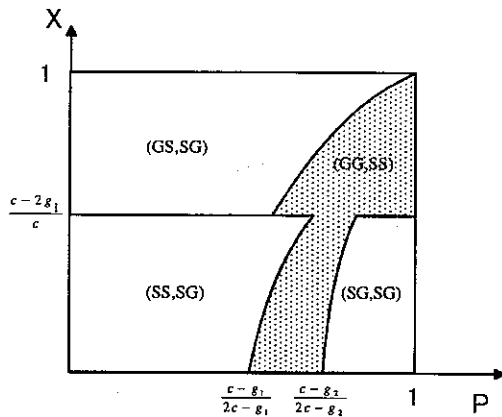


図5.3 均衡解の分布(周回車優先)

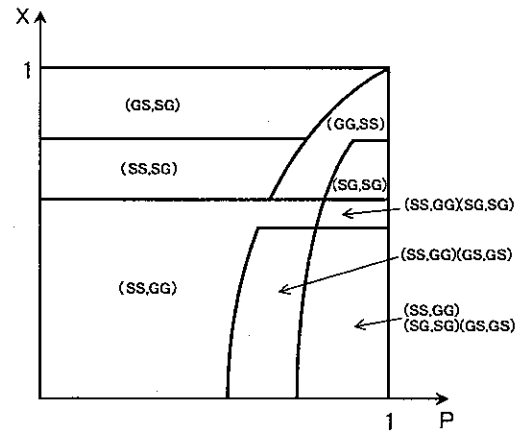


図5.4 均衡解の分布(進入車優先)

5.4 ドライバーのタイプに関する推計

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で実施したビデオ観測調査結果から、ドライバーのタイプ別存在確率の推計を行う。

5.4.1 アンケート調査に基づく推計

本アンケート調査はロータリーにおける交通ルールの認識の程度、および認識の内容を知るという目的で行ったものである。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。アンケート内容を表5.6、アンケート結果を表5.7に示す。

質問4と質問5に対し、ロータリーにおける交通ルールが進入車優先と回答した者は63名中わずか5名であり、残りの58名は周回車・流出車優先や状況によると回答した。つまり、日本の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5名で、正確に認識していない者は58名であった。これから推計すると、タイプRである比率は $5/63 = 0.079$ 、タイプNである比率は $58/63 = 0.921$ である。アンケート結果から、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

表 5.6 アンケートの質問の内容

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ていますか？	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とき、周回路を通行するほかの車と衝突する可能性があります。図の A, B どちらに優先権があると思いますか？	1. A 2. B 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(具体的に書いてください) 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)	

表 5.7 アンケートの結果

	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
ない	0	8	4	12
計	5	48	10	63

たないことがわかった。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。そこで、鳥取市内のロータリーにおけるビデオ観測データを併用して推計を試みる。

5.4.2 交通実態観測調査に基づく推計

鳥取市内の通称瓦町ロータリーにおいて、遭遇時におけるドライバーの運転行動を観測し、ビデオに収録した(平成10年11月25日実施)。遭遇の定義は前述のように「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。定量的な判定基準を設けて遭遇のデータ収集を行うこともできるが、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、このような場合に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。結果を表 5.8 に示す。ここに、 n_{GG} は両ドライバーが進行(G)した事

表 5.8 観測データ

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

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} はドライバー 1 が進行(G)しドライバー 2 が避譲(S)した事象、 n_{SG} はドライバー 1 が避譲(S)しドライバー 2 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。

表 5.8 からドライバーがタイプ R である確率 P を推計する。観測データより、

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

$$\pi_{SS} = \frac{n_{SS}}{n_E} = \frac{18}{113}$$

を付録 2 の式(25)に代入すると、次式を得る。

$$P \leq 0.132 \quad (3)$$

この結果から、ドライバーがタイプ R である確率は概ね 10% である。アンケート調査から得られた値(7.9%)と比較すると、我が国(鳥取市)のロータリーにおけるドライバーがタイプ R である確率は高々 10% と考えることができる。ちなみに、ロータリーが多用されている諸外国の中から、周回者優先ルールを採用しかつわが国と同じ左側通行であるという点で比較対象として選んだオーストラリアにおけるそれはほぼ 100% であった。

5.5 異なる交通ルール下におけるロータリーの性能比較

ここでは 5.3 で得られた均衡解の分布図(図 5.3 と図 5.4)と 5.4 で推計したドライバーがタイプ R である確率 P を用いて、交通ルールがドライバーの運転行動に及ぼす影響について検討する。

均衡解の分布図は、交通ルールを認識しているドライバーの確率 P を横軸に、交通ルールを認識しているドライバーが相手ドライバーも交通ルールを認識していると予想する確率 X を縦軸にとり、均衡解を表示したものである。図 5.5 で表されるように、 P と X のそれぞれの大きさに領域を 4 つに分割する。進入ドライバーと周回ドライバーが遭遇した際の「互いに進行する確率、 $P_{GG}(m)$ 」と「互いに避譲する確率、 $P_{SS}(m)$ 」を「走行安全性」と「効率性」の評価基準として用いた。これらの値は小さい方が望ましい。ただし、 m は A(周回車優先)か J(進入車優先)である。なお、均衡解が重なっている部分は(G, G)と(S, S)の同時確率が大きい方を選んだ。

- 領域 A (P 、 X 共に小さい領域)において、どちらも $P_{GG}(A) = P_{GG}(J) = 0$ であり、どちらも安全である。 $P_{SS}(A) = P^2$ 、 $P_{SS}(J) = 0$ となり周回車優先ルールの方が同時確率は大きくなり、この領域においては進入車優先ルールの方が処理能力は大きいといえる。
- 領域 B (P は大きく、 X が小さい領域)において、周回車優先ルールの均衡解の分布図は複数均衡になっている。確率 P

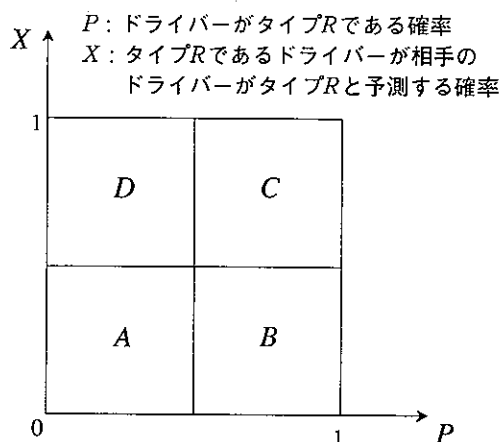


図 5.5 確率 P , X に基づく領域

が大きく、確率 X が小さい領域では $P_{ss}(A) = P_{ss}(J) = P^2$ であり、どちらの交通ルール下においても処理能力は小さい。 $P_{gg}(A) = (1-P)^2$ 、 $P_{gg}(J) = P^2$ であるので、この領域においては進入車優先ルールの方が危険である。

- 領域 C (P 、 X 共に大きい領域)において、 P 、 X が大きい領域においては $P_{gg}(A) = P_{ss}(A) = P_{gg}(J) = P_{ss}(J) = 0$ であり、どちらのルールであっても安全性・処理能力ともに良好である。
- 領域 D (P は小さく、 X が大きい領域)において、 $P_{gg}(A) = P_{ss}(A) = P_{gg}(J) = P_{ss}(J) = P(1-P)$ であり、どちらも安全性・処理能力に差なく、さほど良い状態とはいえない。

前節で得られたわが国における優先権の認識確率に関する推計結果を上記と照らし合わせてみよう。

現在のわが国のように優先権の認識確率 P も X も低い状態では、タイプ R である優先車は安全性を確保するために避譲してしまい、優先権が機能しない状況となってしまう。 X が高い状態であるならば、タイプ R であるドライバーは優先権通りに行動する。しかし、現在のわが国においてタイプ N であるドライバーが多いため、結果として交通ルールを互いに守らない状況が発生し、安全ではあるが効率的な状態であるとはいえない。比較対象として検討したオーストラリアにおいては、優先権の認識確率 P が高くかつ X も高い状況にあるため、現在のわが国よりはるかにロータリーはうまく機能している。ただし、わが国のように P が低く X も低い状態であるならば、周回車優先に比べて進入車優先の方が効率的であると推測される。つまり、現在のわが国における優先権の認識レベルの下では、交通ルールは現行どおり(進入車優先)でよい。しかし、優先権に関するドライバーの認識レベルを向上させることにより、さらにより状況が実現することが期待できる。

5.6 おわりに

本研究では、異なる交通ルール下における走行挙動を観測・整理して比較し、ロータリー内の進入車と周回車の遭遇状態における運転行動のモデルを構築することにより、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、ドライバーには交通ルールを正確に認識している者とそうでない者の2種類が存在していると考え、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自分にとって最良の結果を得られるよう行動を選択するという事実に着目して、ゲーム理論によるモデル化を行った。

モデル化するにあたって、いくつかの仮定および定義をすることでロータリーにおける進入優先ルール下と周回車優先ルール下におけるドライバーの利得を定義することができ、各交通ルール下で遭遇が生じた際に各ドライバーが選択する行動の組み合わせを推計することができた。また、鳥取市瓦町ロータリーにおける2種類のドライバーの存在比率を推計できた。これらから、ロータリーの交通ルールの変更がドライバーの運転行動にどのような影響を及ぼすかが明らかになった。

以上の検討から、交通安全対策の実施に際して以下の提言を行う。

- (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、却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、さもなく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、本研究で示した方法を援用して、限定的ではあるものの定量的に評価することが可能であると考えられる。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。

今後は、前提条件の更なる吟味やドライバーの利得に関する実証分析を行うとともに、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うるよ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きたい。

付録1 均衡解の導出過程

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。相手の戦略を一定と見たとき自分がどの戦略を取るのが最適であるかを見る。ドライバー1についての条件が表-付1で、ドライバー2についての条件が表-付2で表される。次に、表-付1と表-付2を一つにまとめる。つまり各戦略の組の組み合わせがナッシュ均衡であるための条件が表5.5である。導出過程は省略するが、導出にあたって以下の整合性の条件を用いている。

- 整合性：各ドライバーの相手のドライバーのタイプに関する予想が整合的であるならば、両ドライバーのタイプの組み合わせの確率分布 $p(c_1, c_2)$ が存在する。確率分布 p から導かれるドライバーがタイプRである確率を $P(0 \leq P \leq 1)$ とおくと、次の関係式が成立しなければならない。

$$\begin{cases} PX = PX \\ P(1-X) = (1-P)Y \\ (1-P)Y = P(1-X) \\ (1-P)(1-Y) = (1-P)(1-X) \end{cases}$$

これらを整理すると、

$$P(1-X) = (1-P)Y \quad (4)$$

また、上式より、特に、次の関係が成り立つ。

$$\begin{cases} P=0 \text{ のとき} \cdots (X, Y) = (\text{不定}, 0) \\ P=1 \text{ のとき} \cdots (X, Y) = (1, \text{不定}) \end{cases} \quad (5)$$

付録2 設定条件下における均衡解の条件式

周回車優先ルール下で均衡解であるための条件式を以下に示す。

- (GS, SG) が均衡解であるための条件式

$$\begin{cases} X \geq \frac{c-2g_1}{c} \\ X \geq 1 + \frac{g_2}{c} - \left(1 - \frac{g_1}{c}\right) \frac{1}{P} \end{cases} \quad (6)$$

- (SG, SG) が均衡解であるための条件式

$$\begin{cases} X \leq \frac{c-2g_1}{c} \\ X \leq 2 - \frac{g_2}{c} - \left(1 - \frac{g_2}{c}\right) \frac{1}{P} \end{cases} \quad (7)$$

- (SS, SG) が均衡解であるための条件式

$$\begin{cases} X \leq \frac{c-2g_1}{c} \\ X \leq 2 - \frac{g_1}{c} - \left(1 - \frac{g_1}{c}\right) \frac{1}{P} \end{cases} \quad (8)$$

次に進入車優先ルール下で均衡解であるための条件式を以下に示す。

- (GS, GS) が均衡解であるための条件式

$$\begin{cases} X \leq \frac{-g_2+g_1}{-2c+g_1} \\ X \leq 1 + \frac{g_2}{c} - \frac{g_2}{c} \frac{1}{P} \end{cases} \quad (9)$$

- (GS, SG) が均衡解であるための条件式

$$\begin{cases} X \geq \frac{c-2g_1}{c} \\ X \leq 1 + \frac{g_2}{c} - \frac{g_2}{c} \frac{1}{P} \end{cases} \quad (10)$$

- (SG, SG) が均衡解であるための条件式

$$\begin{cases} X \leq \frac{c-2g_1}{c} \\ X \leq 2 - \frac{g_1}{c} - \left(1 - \frac{g_1}{c}\right) \frac{1}{P} \end{cases} \quad (11)$$

- (SS, GG) が均衡解であるための条件式

$$\left\{ X \leq \frac{g_2-g_1}{g_1} \right. \quad (12)$$

- (SS, SG) が均衡解であるための条件式

$$\begin{cases} X \leq \frac{c-2g_1}{c} \\ X \geq \frac{g_2-g_1}{g_1} \\ X \geq 2 - \frac{g_1}{c} - \left(1 - \frac{g_1}{c}\right) \frac{1}{P} \end{cases} \quad (13)$$

付録3 ドライバーのタイプの推計方法

タイプRであるドライバー1が進行する(G)確率を a とし、タイプRであるドライバー1が避譲する(S)確率を $1-a$ とする。同様に、タイプNであるドライバー1が進行する(G)確率を b とし、タイプNであるドライバー1が避譲する(S)確率を $1-b$ とする。 a 、 b は観測によって直接知ることのできない確率である。ドライバー2についても同様に考えるが、ここではドライバーが進入車としてとる行動はドライバーが周回車としてとる行動と対象的であると仮定する。この仮定の下では、タイプRであるドライバー2が進行する(G)確率は $1-a$ であり、タイプRであるドライバー2が避譲する(S)確率は a である。同様に、タイプNであるドライバー2が進行する(G)確率を $1-b$ とし、タイプNであるドライバー1が避譲する(S)確率を b とする。 π_{ij} (i はドライバー1の行動、 j はドライバー2の行動)をそれぞれ4種類の遭遇状態の発生確率を表すとする、進入車がG、周回車がGの行動を選択する確率 π_{GG} は、

$$\begin{aligned}\pi_{GG} &= Pa \times P(1-a) + Pa \times (1-P)(1-b) + (1-P)b \times P(1-a) \\ &\quad + (1-P)b \times (1-P)(1-b) \\ &= \{Pa + (1-P)b\} \{1-Pa - (1-P)b\}\end{aligned}\quad (14)$$

進入車がG、周回車がSの行動を選択する確率 π_{GS} は、

$$\begin{aligned}\pi_{GS} &= Pa \times Pa + Pa \times (1-P)b + (1-P)b \times Pa + (1-P)b \times (1-P)b \\ &= \{Pa + (1-P)b\}^2\end{aligned}\quad (15)$$

進入車がS、周回車がGの行動を選択する確率 π_{SG} は、

$$\begin{aligned}\pi_{SG} &= P(1-a) \times P(1-a) + P(1-a) \times P(1-P)(1-b) \\ &\quad + (1-P)(1-b) \times P(1-a) + (1-P)(1-b) \times (1-P)(1-b) \\ &= \{1-Pa - (1-P)b\}^2\end{aligned}\quad (16)$$

進入車がS、周回車がSの行動を選択する確率 π_{SS} は、

$$\begin{aligned}\pi_{SS} &= P(1-a) \times Pa + P(1-a) \times (1-P)(1-b) \\ &\quad + (1-P)(1-b) \times Pa + (1-P)(1-b) \times (1-P)b \\ &= \{Pa + (1-P)b\} \{1-Pa - (1-P)b\}\end{aligned}\quad (17)$$

となる。ここで、 $Pa + (1-P)b = \alpha$ とおくと上記の4つの式は次のように表される。

$$\pi_{GG} = \alpha(1-\alpha)$$

$$\pi_{GS} = \alpha^2$$

$$\pi_{SG} = (1-\alpha)^2$$

$$\pi_{SS} = \alpha(1-\alpha)$$

上記の仮定の下で、理論的には $\pi_{GG} = \pi_{SS}$ が成立することになるが、実際に観測した結果ではこの関係が成立していない。そこで本研究では、理論的に導かれる(G,G)、(S,S)の発生確率($\alpha(1-\alpha)$)は少なくともこの2つの観測値の間の値を取ると仮定する。すなわち、次式が成立すると考える。

$$\pi_{GG} \leq \alpha(1-\alpha) \leq \pi_{SS}$$

上式は次式のように変形できる。

$$\alpha^2 - \alpha + \pi_{GG} \leq 0 \quad (18)$$

$$\alpha^2 - \alpha + \pi_{SS} \geq 0 \quad (19)$$

これを α について解くと次式を得る。

$$\frac{1-\sqrt{1-4\pi_{GG}}}{2} \leq \alpha \leq \frac{1+\sqrt{1-4\pi_{GG}}}{2} \quad (20)$$

$$\alpha \leq \frac{1-\sqrt{1-4\pi_{SS}}}{2}, \quad \alpha \geq \frac{1+\sqrt{1-4\pi_{SS}}}{2} \quad (21)$$

また、上式を同時に満たす α は次式で表される。

$$\frac{1-\sqrt{1-4\pi_{GG}}}{2} \leq \alpha \leq \frac{1-\sqrt{1-4\pi_{SS}}}{2} \quad (22)$$

$$\frac{1+\sqrt{1-4\pi_{SS}}}{2} \leq \alpha \leq \frac{1+\sqrt{1-4\pi_{GG}}}{2} \quad (23)$$

ここで、 $\alpha = pa + (1-P)b$ より、

- 式(22)が $a \geq b$ であると仮定したとき任意の a 、 b について次式が成立する。

$$b \leq P(1-a) + (1-P)b = P(a-b) + b \leq P+b$$

任意の a 、 b に対して、式(20)が成立するためには次式が成立する必要がある。

$$\frac{1-\sqrt{1-4\pi_{GG}}}{2} \leq b \leq P_a + (1-P)b \leq P+b \leq \frac{1-\sqrt{1-4\pi_{SS}}}{2} \quad (24)$$

式(24)を P について整理すると、次式を得る。

$$P \leq \frac{1-\sqrt{1-4\pi_{SS}}}{2} - b \leq \frac{1-\sqrt{1-4\pi_{SS}}}{2} - \frac{1-\sqrt{1-4\pi_{GG}}}{2} = \frac{\sqrt{1-4\pi_{GG}} - \sqrt{1-4\pi_{SS}}}{2} \quad (25)$$

- 式(22)が $b \geq a$ であると仮定したときも、 P について解くと式(25)と同様の結果が得られる。

式(23)の場合についても式(25)と同様の結果を得る。

表一付1 ドライバー1 についての条件

ドライバー2

	GG	GS
GG	$P \geq 1$ $P(-c+r+g_1) \geq 0$ $P(-c+r+g_1) + (1-P)(-c+g_1) \geq 0$	$(1-P)(g_1-cY) \geq 0$ $P(r+g_1-cX) \geq 0$ $P(r+g_1-cX) + (1-P)(g_1-cY) \geq 0$
GS	$P \leq 1$ $P(-c+r+g_1) + (1-P)(c-g_1) \geq 0$ $P(-c+r+g_1) \geq 0$	$(1-P)(g_1-cY) \leq 0$ $P(r+g_1-cX) + (1-P)(-g_1+cY) \geq 0$ $P(r+g_1-cX) \geq 0$
SG	$P(-c+r+g_1) \leq 0$ $P(-c+r+g_1) + (1-P)(c-g_1) \leq 0$ $P \geq 1$	$P(r+g_1-cX) \leq 0$ $P(r+g_1-cX) + (1-P)(-g_1+cY) \leq 0$ $(1-P) + (g_1-cY) \geq 0$
SS	$P(-c+r+g_1) + (1-P)(-c+g_1) \leq 0$ $P(-c+r+g_1) \leq 0$ $P \leq 1$	$P(r+g_1-cX) + (1-P)(g_1-cY) \leq 0$ $P(r+g_1-cX) \leq 0$ $(1-P)(g_1-cY) \leq 0$

ドライバー1

ドライバー2

	SG	SS
GG	$(1-P)(-c+g_1+cY) \geq 0$ $P(-c+r+g_1+cX) \geq 0$ $P(-c+r+g_1+cX) + (1-P)(-c+g_1+cY) \geq 0$	$P \leq 1$ $P \geq 0$
GS	$(1-P)(-c+g_1+cY) \leq 0$ $P(-c+r+g_1+cX) + (1-P)(c-g_1-cY) \geq 0$ $P(-c+r+g_1+cX) \geq 0$	$P \geq 1$ $P(r+g_1) + (1-P)(-g_1) \geq 0$
SG	$P(-c+r+g_1+cX) \leq 0$ $P(-c+r+g_1+cX) + (1-P)(c-g_1-cY) \leq 0$ $(1-P)(-c+g_1+cY) \geq 0$	$P \leq 0$ $P(r+g_1) + (1-P)(-g_1) \leq 0$
SS	$P(-c+r+g_1+cX) + (1-P)(-c+g_1+cY) \leq 0$ $P(-c+r+g_1+cX) \leq 0$ $(1-P)(-c+g_1+cY) \leq 0$	---

ドライバー1

表一付2 ドライバー2 についての条件

ドライバー2

	GG	GS
GG	---	$P \leq 1$ $P(-2c+g_2) + (1-P)(c-g_2) \geq 0$ $P \leq 0$
GS	$(1-P)(g_2-cY) \geq 0$ $P\{(-2c+g_1)X+g_2-g_1\} \geq 0$ $P\{(-2c+g_1)X+g_2-g_1\} + (1-P)(g_2-cY) \geq 0$	$(1-P)(g_2-cY) \leq 0$ $P\{(-2c+g_1)X+g_2-g_1\} + (1-P)(-g_2+cY) \geq 0$ $P\{(-2c+g_1)X+g_2-g_1\} \geq 0$
SG	$(1-P)(-c+g_2+cY) \geq 0$ $P\{(2c-r-g_1)X-2c+g_2\} \geq 0$ $P\{(2c-r-g_1)X-2c+g_2\} + (1-P)(-c+g_2+cY) \geq 0$	$(1-P)(-c+g_2+cY) \leq 0$ $P\{(2c-r-g_1)X-2c+g_2\} + (1-P)(c-g_2-cY) \geq 0$ $P\{(2c-r-g_1)X-2c+g_2\} \geq 0$
SS	$P \leq 1$ $P(g_2-g_1-rX) \geq 0$ $P(g_2-g_1-rX) + (1-P)(g_2) \geq 0$	$P \geq 1$ $P(g_2-g_1-rX) + (1-P)(-g_2) \geq 0$ $P(g_2-g_1-rX) \geq 0$

ドライバー1

ドライバー2

	SG	SS
GG	$P \geq 0$ $P(-2c+g_2) + (1-P)(c-g_2) \leq 0$ $P \geq 1$	$P \geq 0$ $P \leq 1$
GS	$P\{(-2c+g_1)X+g_2-g_1\} \leq 0$ $P\{(-2c+g_1)X+g_2-g_1\} + (1-P)(-g_2+cY) \leq 0$ $(1-P)(g_2-cY) \geq 0$	$P\{(-2c+g_1)X+g_2-g_1\} + (1-P)(g_2-cY) \leq 0$ $P\{(-2c+g_1)X+g_2-g_1\} \leq 0$ $(1-P)(g_2-cY) \leq 0$
SG	$P\{(2c-r-g_1)X-2c+g_2\} \leq 0$ $P\{(2c-r-g_1)X-2c+g_2\} + (1-P)(c-g_2-cY) \leq 0$ $(1-P)(-c+g_2+cY) \geq 0$	$P\{(2c-r-g_1)X-2c+g_2\} + (1-P)(-c+g_2+cY) \leq 0$ $P\{(2c-r-g_1)X-2c+g_2\} \leq 0$ $(1-P)(-c+g_2+cY) \leq 0$
SS	$P(g_2-g_1-rX) \leq 0$ $P(g_2-g_1-rX) + (1-P)(-g_2) \leq 0$ $P \leq 1$	$P(g_2-g_1-rX) + (1-P)(g_2) \leq 0$ $P(g_2-g_1-rX) \leq 0$ $P \geq 1$

ドライバー1

第6章 運転の慣習的合図“カー・ボディ・ランゲージ” の危険性に関する研究

6.1 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”と名づけられた(国際交通安全学会, 1992による)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。そのような慣習ルールが、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。このように、その意味がすべてのドライバーに浸透していなかったり、複数の意味が存在する場合、このような慣習の存在は、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。

「パッシング」によるドライバー間の意思の疎通は、このようなドライバー社会に複数の意味が存在し、かつそれが危険性をはらむ運転コミュニケーションの方法である。「パッシング」は「ゆずる」と「ゆずらない(危険)」という2つの意味を持った合図としてドライバー間で用いられているという報告がある(国際交通安全学会, 1992)。本章では、このような慣習的に2つの正反対に近い意味が1つのシグナルに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2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)を超えてのドライバーの長期的なコミュニケーションの繰り返しの結果、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繰り返した結果、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より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、6.2において本研究の基本的考え方を述べ、6.3ではドライバー2人が道路上で出会ったときのパッシングに関する意思決定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、6.4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」としてモデル化し、分析する。以上の分析の結果より、6.5ではこのような慣習的コミュニケーションに関する交通政策の考察を行う。最後に、6.6では本章の結果のまとめとこれからの課題を述べる。

6. 2 「パッシング」に関する認識とその社会的危険性

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、自分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」には、大きく2つの意味があることが国際交通安全学会(1992)により報告されている。そこでは、パッシングのほかに、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進(カー・ボディ・ランゲージ)に対するアンケート調査の結果が記載されており、「パッシング」というカー・ボディ・ランゲージが相反する2つの合図として用いられているという調査結果に対して「場合によっては極めて危険な事態に陥りかねない。」(p.11)とその危険性を指摘している。

さらに、パッシングについての調査結果として以下のことをあげている。まず、パッシングには「道をゆずる」・「自分が先に行く意思を伝える(ゆずらない)」の2つの正反対の意味がある。次に、「ゆずる」というパッシングは自分からもまわりからもよくやっており、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によくされるが自分はせず、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、交通場面ではゆずり合っている当事者以外の第3者が必ずと言ってよいほど存在し、うっかりするとその第3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、望ましく感じる。しかし、自分自身とまわりの安全を考えるのなら「ゆずらない」の方がよいのではないかと述べている。

ここで、パッシングは車社会における1つの慣習として見ることができる。慣習とは「地域」や「グループ」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、各認識のドライバーが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、あるドライバーが他のドライバーによる優先通行権を侵害しようとしている行動に対して危険を感じ、これに対して警告を相手に伝えようとパッシングをしたとき、相手ドライバーがそれを「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両ドライバーの誤認識が発生してしまうとき、パッシングというコミュニケーション手段の存在は、逆にドライバー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が長期的交流の結果、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(青木・奥野, 1996)。Goyal & Janssen(1997)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。

6.3 遭遇ゲーム

図6.1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（交差路）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路の車に対して通行権を優先的に有すると考える。この交差点に向かって本線を走る1台の直進車と交差路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。「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

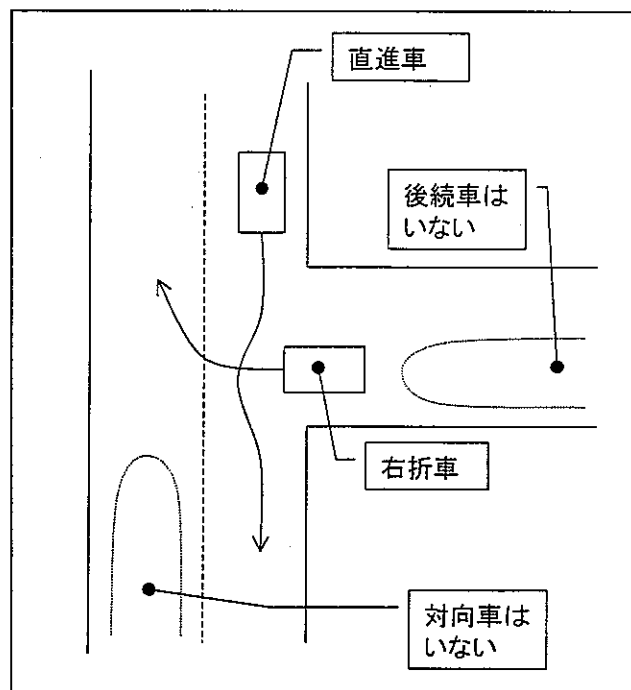


図6.1 想定する遭遇：交差点

の「立場」と呼ぶことにする。右折車は右折するための左右確認のため、交差点における一時停止線より車体の一部を優先道路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とする。自分の意思（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」メッセージを持つシグナルと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、彼が右折車となったときパッシングを受けたときは「止まる」（入らない）であると考え。ドライバーはまたパッシングに関して何の認識も持たない場合もあろう。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しない場合は、右折車はパッシングはされず、コミュニケーションは達成されない。

モデル化において、2人のドライバーが道路上で出会い、パッシングを発信および受信する状況を「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で、必ず事故が起こるような状況である。3台以上の車両による事故危険をもった遭遇も存在するが、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」認識のいずれである

うと、「パッシングをする」、「パッシングをしない」という2種類の選択肢を持っている。もし、直進車がパッシングをしなければ、直進車は交通ルール通り「進む」。一方、右折車はパッシングを受けなければ、自分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（ルール通り行動する）。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」およびそのときの結果を表6.1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る。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「交通ルール通りの行動を行う」と考えられる。ここで「交通ルール通りの行動」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「交通ルール通りの行動」とは、自分が優先車であるので（パッシングをせずに）そのまま交差点に入っていく。一方、（パッシングに関して認識を持っていない）右折車の「交通ルール通りの行動」とは、自分が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こるという「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「交通ルール通り」の行動をしたときに、「右折車が実際には事故が起こるという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こしてしまう」場合があるとし、その発生確率を μ 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表6.2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れの期待値（期待利得）が最大となるようにその行動を選ぶと考える。

表6.1 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通りの行動をする
	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）ルール通りの行動をする
「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通りの行動をする
	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）ルール通りの行動をする
認識を持っていない	直進車	ルール通りの行動をする
	右折車	ルール通りの行動をする

表6.2 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	A_x : ゆずるときの利得
	B_x : ゆずるときの費用
	ϵ : パッシングをする費用
	I_x : 事故費用
右折車	D_y : ゆずられるときの利得
	I_y : 事故費用

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。図6.2は「遭遇ゲーム」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時の結果と、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。各結果における利得を（X, Y）と記す。ただし、（ ）内の最初の値（X）は直進車の利得であり、2つ目の値（Y）は右折車の利得である。

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。

$$A_x\mu - B_x - \epsilon > -I_x\mu \quad (6.1)$$

ゲームにおける各主体が合理的に行動したときに安定的に生起する結果を、ナッシュ均衡解という。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もたないような結果のことである。この遭遇ゲームのナッシュ均衡（本線車の

右折車の戦略

直進車の戦略		「ゆずる」 パッシングを受ける	「ゆずらない」 パッシングを受ける	パッシングを 無視する
	「ゆずる」 パッシング	$A_x - B_x - \epsilon$ D_y 「ゆずる」	$-B_x - \epsilon$ 0 「おみあい」	$A_x\mu - B_x - \epsilon$ $-I_y\mu$ 「おみあい」 (事故の可能性)
	「ゆずらない」 パッシング	$-I_x - \epsilon$ $-I_y$ 「事故」	$-\epsilon$ 0 「ゆずらない」	$-\epsilon - I_x\mu$ $-I_y\mu$ 「ゆずらない」 (事故の可能性)
	パッシング をしない	$-I_x\mu$ $-I_y\mu$ 「ゆずらない」 (事故の可能性)	$-I_x\mu$ $-I_y\mu$ 「ゆずらない」 (事故の可能性)	$-I_x\mu$ $-I_y\mu$ 「ゆずらない」 (事故の可能性)

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

図6.2 遭遇ゲーム(標準型)

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3つが得られることになる。

3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るので、右折車の利得に関して、

$$D_y > 0 > -I_y \mu \quad (6.2)$$

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、直進車の利得に関して以下が仮定できる。

$$A_x - B_x - \epsilon > -\epsilon > -I_x \mu \quad (6.3)$$

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」認識どうしの均衡解および“パッシングをしない”認識同士の均衡解よりも直進車・右折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ことになる。

6.4 ポピュレーションゲームモデル

6.4.1 ドライバーの遭遇と認識の更新

前節では、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」で出会っ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」を事前に知ることはできない。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繰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1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、またランダムに認識の異なるドライバーと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「1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、自分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。本節では、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。

6.4.2 モデル

社会に N 人のドライバーが長い直線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。全ドライバーは、パッシングが「ゆずる」(α 認識)と「ゆずらない」(β 認識)の両方の意味を持つことを知っている。

ある認識をも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、自分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。初期状態において、地域は「 α 認識のドライバーのみの地域」と「 β 認識のみの地域」に分かれているとする。ドライバーを社会の一方の端(左端と呼ぶ)から 1, 2, ..., k_α , k_β , ..., N と順番に番号を付けると、初期において 1 から k_α までは α 認識の地域であり、 k_β から N までは β 認識の地域であるとする。 α 認識の最も大きな番号のドライバー k_α と β 認識の最も小さな番号のドライバー k_β との間を認識境界線と呼ぶことにする。いま、各ドライバーは 1 期間に左右等しい人数(δ 人)のドライバーにしか遭遇する可能性がないとする。このようにモデル化されたドライバー社会の概念図は図 6.3(a)のように表される。

各ドライバーは現在の社会全体の各地域に存在する個々人の認識を完全に知っており、したがって自分が出会う可能性のある(両側 2δ 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分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 期間に出会うことのできるドライバーは両側 2δ 人に限られている(遭遇はローカルである)が、両側 2δ 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と周辺のドライバーとの遭遇を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。

ゲームの初期において、各位置に存在するドライバーは、その最適な認識により認識境界線からの距離を用いて 4 つのグループに分けることができる。1 つは、 α 認識ドライバーのみの地域(以後、 α 地域と呼ぶ)のドライバーのうち α 認識のドライバーとしか出会わないドライバーの集合である。このようなドライバーの地域を $\alpha_{[\alpha\alpha]}$ と表す。2 つめは、 α 地域の中にいるドライバーで α 認識のドライバーと β 認識のドライバーと出会う可能性のあるものの集合である。 α 地域の中のこのようなドライバーの地域を $\alpha_{[\alpha\beta]}$ と表すことにする。同様に β 地域に対しても $\beta_{[\alpha\beta]}$ 、 $\beta_{[\beta\beta]}$ を定義する。このような表記により初期におけるドライバーの 4 つのグループ分けは図 6.3 のように表すことができる。

初期のマッチングゲームの $\alpha_{[\alpha\alpha]}$ 地域のドライバーの期待利得を $u_{[\alpha\alpha]}^q$ とする。同様に $\alpha_{[\alpha\beta]}$ 地域のドライバーの期待利得を $u_{[\alpha\beta]}^q$ 、 $\beta_{[\alpha\beta]}$ 地域のドライバーの期待利得を $u_{[\alpha\beta]}^q$ 、 $\beta_{[\beta\beta]}$ 地域のドライバーの期待利得を $u_{[\beta\beta]}^q$ とする。

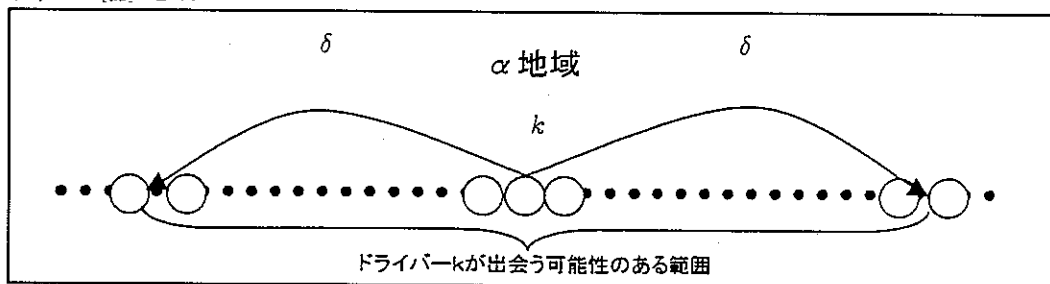
ドライバーが α 認識であるとき、そのことを $p_\alpha = 1$ 、 α 認識をとらないとき $p_\alpha = 0$ と表す。同様にドライバーが β 認識であるとき $p_\beta = 1$ 、 β 認識をとらないとき $p_\beta = 0$ とする。このとき、ドライバーの期待利得は以下のように定式化できる。

$$u_{[j]}^i(p_\alpha, p_\beta) = \frac{1}{2} \frac{1}{2\delta} \sum_{l=k-\delta}^{\delta+k} \{p_\alpha(\alpha_\alpha X_l + \alpha_\alpha Y_l) + p_\alpha(\alpha_\beta X_l + \beta_\alpha Y_l) + p_\beta(\beta_\alpha X_l + \alpha_\beta Y_l) + p_\beta(\beta_\beta X_l + \beta_\beta Y_l) + (1-p_\alpha)(1-p_\beta)(n_1 + n_2)\} \quad (6.4)$$

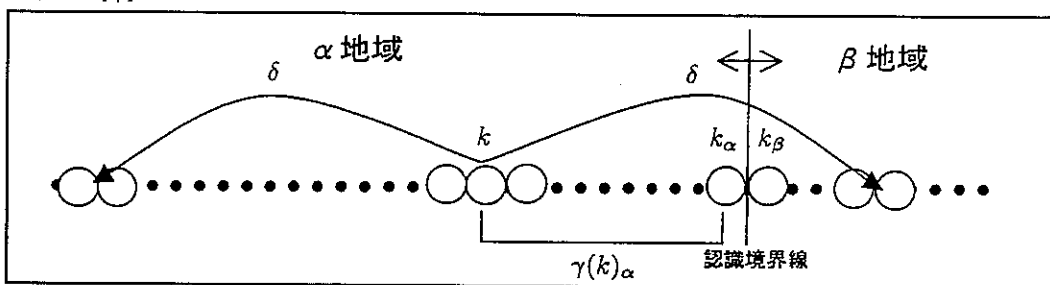
ただし、 i :ドライバーの存在する地域であり、 j :そのドライバーが出会う地域である。また、

$\alpha_\alpha X_l$: 右折車が α 認識のとき、自分が α 認識でパッシングをしたときの利得
 $\alpha_\alpha Y_l$: 直進車が α 認識のとき、自分が α 認識として行動したときの利得
 $\alpha_\beta X_l$: 右折車が β 認識のとき、自分が α 認識でパッシングをしたときの利得
 $\beta_\alpha Y_l$: 直進車が β 認識のとき、自分が α 認識として行動したときの利得
 $\beta_\beta X_l$: 右折車が β 認識のとき、自分が β 認識でパッシングをしたときの利得
 $\beta_\beta Y_l$: 直進車が β 認識のとき、自分が β 認識として行動したときの利得
 $\beta_\alpha X_l$: 右折車が α 認識のとき、自分が β 認識でパッシングをしたときの利得
 $\alpha_\beta Y_l$: 直進車が α 認識のとき、自分が β 認識として行動したときの利得

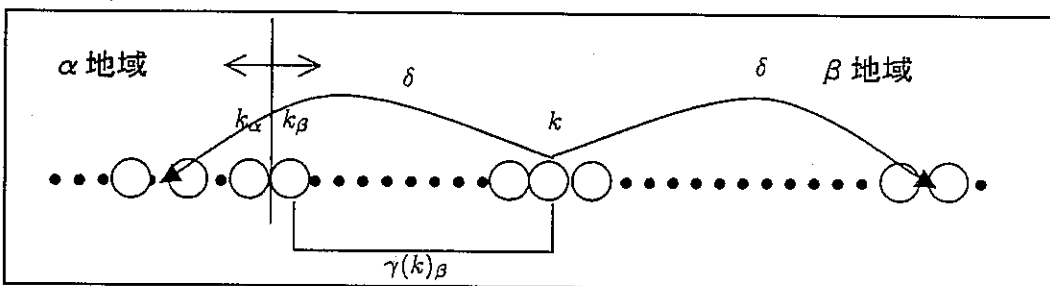
(a) $\alpha_{[\alpha\alpha]}$ 地域



(b) $\alpha_{[\alpha\beta]}$ 地域



(c) $\beta_{[\alpha\beta]}$ 地域



(d) $\beta_{[\beta\beta]}$ 地域

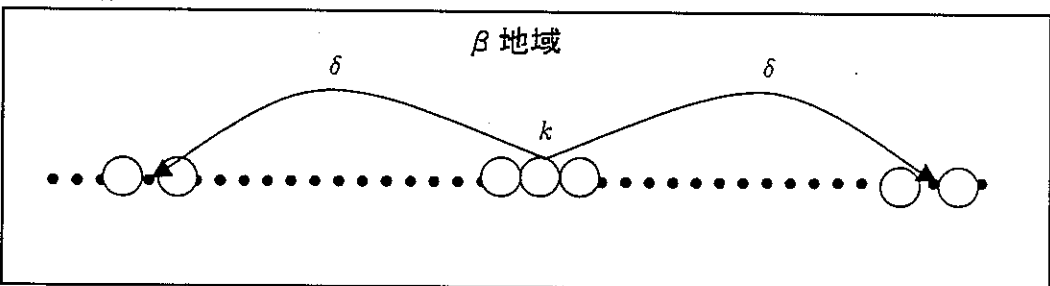


図 6.3 初期状態のドライバーの位置関係

- 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
 p_α : α 認識でパッシングをする確率
 p_β : β 認識でパッシングをする確率

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。

$\alpha_{[\alpha\alpha]}, \dots, \beta_{[\beta\beta]}$ 各地域のドライバーの最適認識を求めると以下ようになる（最適認識の導出の詳細は付録にゆずる）。最適認識とは、各ドライバーの期待利得を最大とする認識の持ち方であり、合理的なドライバーはこれを採択するものとする。ただし、 $\gamma(k)$ は認識境界線とドライバーとの距離であり、したがって $\alpha_{[\alpha\beta]}$ 地域のドライバー k の認識境界線までの距離は $k_\alpha - k = \gamma(k)_\alpha$ 、同様に、 $\beta_{[\alpha\beta]}$ 地域のドライバー k の認識境界線までの距離は $k - k_\beta = \gamma(k)_\beta$ となる（ただし、 $0 \leq \gamma(k)_\alpha \leq \delta, 0 \leq \gamma(k)_\beta \leq \delta$ ）。

- $\alpha_{[\alpha\alpha]}$ 地域のドライバーの最適認識は、必ず α 認識としてパッシングをする。
- $\alpha_{[\alpha\beta]}$ 地域のドライバーの最適認識は、

$$\delta \begin{cases} > \\ < \end{cases} \frac{-(A_x + D_y + I_y)}{A_x - 2B_x - 2\epsilon + 2I_x\mu + 2I_y\mu + D_y - I_y} \gamma(k)_\alpha \Rightarrow \begin{cases} \alpha \\ not \end{cases} \quad (6.5)$$

よって、 α 認識でパッシングをするかパッシングをしないかはドライバー k の位置に依存する。

- $\beta_{[\alpha\beta]}$ 地域のドライバーの最適認識は、

$$\delta \begin{cases} < \\ > \end{cases} \frac{-I_x}{-I_x - 2\epsilon + 2I_x\mu + 2I_y\mu} \gamma(k)_\beta \Rightarrow \begin{cases} \beta \\ not \end{cases} \quad (6.6)$$

よって、 $\beta_{[\alpha\beta]}$ 地域のドライバー k は β 認識でパッシングをするか、パッシングをしないのかは位置に依存する。

- $\beta_{[\beta\beta]}$ 地域のドライバーの最適認識は、
 $\beta_{[\beta\beta]}$ 地域のドライバーは必ず β 認識としてパッシングをする。

つまり、初期のゲームの結果、 α 地域と β 地域の間にパッシングをしない地域が発生することになる。この地域のことを *not* 地域と呼び、*not* 地域の大きさを $G\delta$ と表す。ここで G を *not* 地域係数と呼ぶ。*not* 地域の大きさ G を求める式は付録Bに与える。

上記のように求まった初期のゲームの結果（各ドライバーのパッシングに関する最適認識の更新結果）を所与として、2期目のゲームを定義し、各地域に存在するドライバーの2期目の最適認識更新を計算できる。さらに、その結果をもとに、3期目のゲームを計算できる。同様の計算を繰り返すことにより、長期的に社会に生起するドライバーの最適認識のパターンが求まることになる。各ドライバーの長期的な最適認識は、表6.3、表6.4、表6.5で与えられる（各期のドライバーの最適認識の更新過程に関する計算は、1期目のそれと同様であり、省略する）。

表 6.3 ドライバーの安定的認識 ($G < 1$ のとき)

$\alpha_{[\alpha]}$	$\alpha_{[\alpha, \beta]}$	$n_{[\alpha, \beta]}$		$\beta_{[\alpha, \beta]}$	$\beta_{[n, \beta]}$
$M > 0(\alpha)$	$S > 0(\alpha)$	$W > 0$	$T > 0(\alpha, \{\alpha, not\}, \beta)$	$J > 0(not)$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
				$J < 0(\{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
			$T < 0(\{\alpha, not\}, not)$	$J > 0(not)$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
				$J < 0(\{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
		$W < 0$	$T > 0(not, \beta)$	$J > 0(not)$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
				$J < 0(\{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
			$T < 0(not, not)$	$J > 0(not, \{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
				$J < 0(\{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
	$S < 0(\{\alpha, not\})$	$W > 0$	$T > 0(\alpha, \{\alpha, not\}, \beta)$	$J > 0(not)$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
				$J < 0(\{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
			$T < 0(\{\alpha, not\}, not)$	$J > 0(not, \{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
				$J < 0(\{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
		$W < 0$	$T > 0(not, \beta)$	$J > 0(not)$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
				$J < 0(\{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
			$T < 0(not, not)$	$J > 0(not)$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
				$J < 0(\{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$

ただし,

$$\begin{aligned}
 M &= A_x + A_x\mu - 2B_x - 2\epsilon + D_y + 2I_x\mu + I_y\mu \\
 S &= A_x - 2B_x + D_y - I_y + G_t(A_x\mu + I_y - I_y\mu) \\
 T &= -I_x - 2\epsilon + 2(I_x\mu + I_y\mu) + G_t(I_x - I_x\mu - I_y\mu) \\
 J &= A_x - 2B_x + D_y + I_x - I_y\mu - G_t(A_x - A_x\mu + D_y + I_x - I_x\mu) \\
 R &= -2\epsilon + I_x\mu + I_y\mu
 \end{aligned} \tag{1}$$

表 6. 3 (つづき) ドライバーの安定的認識 ($G < 1$ のとき)

$\alpha_{[an]}$	$\alpha_{[an\beta]}$	$n_{[an\beta]}$		$\beta_{[an\beta]}$	$\beta_{[n\beta]}$
$M < 0(\{\alpha, not\})$	$S > 0(\alpha)$	$W > 0$	$T > 0(\alpha, \{\alpha, not\}, \beta)$	$J > 0(not)$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
				$J < 0(\{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
			$T < 0(\{\alpha, not\}, not)$	$J > 0(not)$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
				$J < 0(\{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
		$W < 0$	$T > 0(not, \beta)$	$J > 0(not)$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
				$J < 0(\{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
			$T < 0(not, not)$	$J > 0(not, \{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
				$J < 0(\{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
	$S < 0(\{\alpha, not\})$	$W > 0$	$T > 0(\alpha, \{\alpha, not\}, \beta)$	$J > 0(not)$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
				$J < 0(\{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
			$T < 0(\{\alpha, not\}, not)$	$J > 0(not, \{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
				$J < 0(\{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
		$W < 0$	$T > 0(not, \beta)$	$J > 0(not)$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
				$J < 0(\{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
			$T < 0(not, not)$	$J > 0(not)$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$
				$J < 0(\{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
					$R < 0(\beta)$

表 6.4 ドライバーの安定的認識 ($2 > G > 1$ のとき)

$\alpha_{[an]}$	$n_{[an\beta]}$		$\beta_{[n\beta]}$
$M > 0(\alpha)$	$W > 0$	$T > 0(\alpha, \{\alpha, not\}, \beta)$	$R > 0(\beta)$
			$R < 0(\beta)$
		$T < 0(\{\alpha, not\}, not)$	$R > 0(\beta)$
			$R < 0(\beta)$
	$W < 0$	$T > 0(not, \beta)$	$R > 0(\beta)$
			$R < 0(\beta)$
		$T < 0(not, not)$	$R > 0(\beta)$
			$R < 0(\beta)$
$M < 0(\{\alpha, not\})$	$W > 0$	$T > 0(\alpha, \{\alpha, not\}, \beta)$	$R > 0(\beta)$
			$R < 0(\beta)$
		$T < 0(\{\alpha, not\}, not)$	$R > 0(\beta)$
			$R < 0(\beta)$
	$W < 0$	$T > 0(not, \beta)$	$R > 0(\beta)$
			$R < 0(\beta)$
		$T < 0(not, not)$	$R > 0(\beta)$
			$R < 0(\beta)$

表 6.5 ドライバーの安定的認識 ($G > 2$ のとき)

$\alpha_{[an]}$	$n_{[an]}$	$n_{[nn]}$	$n_{[n\beta]}$	$\beta_{[n\beta]}$
$M > 0(\alpha)$	$E > 0(\{\alpha, not\})$	not	$F > 0(\{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
				$R < 0(\beta)$
			$F < 0(not)$	$R > 0(\beta)$
				$R < 0(\beta)$
	$E < 0(not)$	not	$F > 0(\{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
				$R < 0(\beta)$
			$F < 0(not)$	$R > 0(\beta)$
				$R < 0(\beta)$
$M < 0(\{\alpha, not\})$	$E > 0(\{\alpha, not\})$	not	$F > 0(\{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
				$R < 0(\beta)$
			$F < 0(not)$	$R > 0(\beta)$
				$R < 0(\beta)$
	$E < 0(not)$	not	$F > 0(\{not, \beta\})$	$R > 0(\beta)$
				$R < 0(\beta)$
			$F < 0(not)$	$R > 0(\beta)$
				$R < 0(\beta)$

6.5 社会的に安定な認識パターンに関する検討

表6.3～6.5から、各地域の最適認識のパターンは数多く導き出されることがわかる。その中でも以下では、特にドライバーがパッシングに関する認識に関して、以下の仮定が成立するときの分析結果を述べることにする。

1. パッシングによるメッセージの存在しない社会より、 α 認識の社会を好む。
2. パッシングによるメッセージの存在しない社会より、(少しの) β 認識を含んだ α 認識社会を好む。
3. α 認識と β 認識の混在する社会で β 認識をとるよりも、パッシングのない社会を好む。

以上の仮定は、それぞれ利得パラメータの符号に関する条件 $M > 0$ 、 $S > 0$ 、 $T < 0$ に相当する。このとき、社会に生起する認識のパターンは、最終的に以下の3つに場合わけできる。

1. 「 α 認識」のみの社会
2. 「 α 認識」と「 β 認識」と“パッシングをしない”が共存していく社会
3. 「 α 認識」と「 β 認識」と“パッシングをしない”がどこにも収束せず、毎回各ドライバーの認識が変わっていく社会

「 α 認識」のみの社会になるための条件としては、ゆずられる利得が高く、右折車の事故費用が低く、2回目のゲームが終了したときに β 認識のドライバーの地域 ($N - k_\beta$) が δ より小さいことがあげられる。

次に共存する社会になるための条件としては、ゆずられる利得が低く、右折車の事故費用も低く、2回目以降のゲームで *not* 地域係数 (G) が $1 < G < 2$ のとき、または $G > 2$ で自分が直進車のとき、パッシングをせずにルール通りに行動したときの利得が小さく、 α 認識でパッシングをしたときの利得が小さいことがあげられる。

最後に、認識が収束しない社会になるための条件としては、ゆずられる利得が低く、右折車の事故費用は高く、2回目以降のゲームで *not* 地域係数 (G) が、 $G > 2$ で α 認識でパッシングをしたときの利得が小さく、自分が直進車のとき、パッシングをせずにルール通りに行動したときの利得が高いとき、または、 α 認識でパッシングをしたときの利得が高いことがあげられる。

特に、認識が収束しない社会は、ドライバーが毎回パッシングに関して異なった認識を持っているので、事故など社会的に不効率な結果が出やすい。そこで、何らかの交通政策により、パッシングを規制する必要があると考えられる。

ここで「 β 認識」が社会全体に広がらなかった理由を考えると、「 β 認識」は同じ認識のドライバーとの遭遇ではうまく行くが、違う認識（特に α 認識）のドライバーと遭遇した場合、自分がパッシングをしたために事故になる。本研究のように事故費用が比較的大きいという仮定の下では、 β 認識ではパッシングをしなくなるドライバーが多くなると考えられる。

6.6 まとめ

カー・ボディ・ランゲージによるシグナルが相反する2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。本研究は、その結果、1回の出会いで正反対の慣習と出会う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より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「譲る」あるいは「譲らない（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、1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、認識を1つにするというような政策が必要である。
- 認識がドライバー社会の中で最終的に1つに収束するか否かは、各ドライバーの他のドライバーとの出会いの幅（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出会う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。「 α 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、ここでは、初期状態にパッシングをしない地域がないようなケースに限って分析した。このような限定された設定の下でも、社会に生じうる認識の存在パターンは多数存在することがわかった。発生可能な認識パターンケースをすべて把握するにはシミュレーション分析が必要であると考えられる。最後に、今回の研究では全ドライバーは α 認識と β 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分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出会うことにより、もう1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ない。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。

参考文献(第6章)

- (財)国際交通安全学会 1992 カー・ボディ・ランゲージの研究 平成3年度研究調査報告書
- 青木昌彦・奥野正寛(編著) 1996 経済システムの比較制度分析 東京大学出版
- Goyal, S. & Janssen, M. C. W 1997 Non-Exclusive Conventions and Social Coordination. Journal of Economic Theory, Vol.77, 34-57.

付録A 初期のマッチングゲーム

A.1 $\alpha_{[\alpha\alpha]}$ 地域のドライバーの最適認識

$\alpha_{[\alpha\alpha]}$ 地域のドライバーの期待利得は以下のように表せる。

$$\begin{aligned} u_{[\alpha\alpha]}^{\alpha}(p_{\alpha}, p_{\beta}) &= \frac{1}{2\delta} \frac{2\delta}{2} p_{\alpha}(A_x - B_x - \epsilon + D_y) \\ &\quad + \frac{1}{2\delta} \frac{2\delta}{2} p_{\beta}(-I_x - \epsilon) \\ &\quad + \frac{1}{2}(1-p_{\alpha})(1-p_{\beta})(-I_x\mu - I_y\mu) \end{aligned} \quad (1)$$

したがって、直進車のドライバーが「 α 認識」をとったときの期待利得は、

$$u_{[\alpha\alpha]}^{\alpha}(1, 0) = \frac{1}{2}(A_x - B_x - \epsilon + D_y) \quad (2)$$

となる。

一方、「 β 認識」をとったときの期待利得は、

$$u_{[\alpha\alpha]}^{\alpha}(0, 1) = \frac{1}{2}(-I_x - \epsilon) \quad (3)$$

で与えられる。

最後にパッシングをしない（パッシングに対して認識を持たない）ときの期待利得は、

$$u_{[\alpha\alpha]}^{\alpha}(0, 0) = \frac{1}{2}(-I_x\mu - I_y\mu) \quad (4)$$

で与えられることになる。これら3つの期待利得のうち最大の期待利得を与える認識がこのドライバーの最適な認識となる。ここで β 認識のときの期待利得(3)が最も小さいことは明らかである。そこで α 認識のときの期待利得(2)とパッシングをしないときの期待利得(4)の大小関係を見る。

ここで、

$$A_x - B_x - \epsilon + D_y > -I_x\mu - I_y\mu \quad (5)$$

と仮定している。

よって $\alpha_{[\alpha\alpha]}$ 地域のドライバーは必ず α 認識としてパッシングをする。

A.2 $\alpha_{[\alpha\beta]}$ 地域のドライバーの最適認識

$\alpha_{[\alpha\beta]}$ 地域のドライバーの期待利得は以下のように表せる。

$$\begin{aligned} u_{[\alpha\beta]}^{\alpha}(p_{\alpha}, p_{\beta}) &= \frac{1}{2\delta} \frac{\delta + \gamma(k)_a}{2} p_{\alpha}(A_x - B_x - \epsilon + D_y) + \frac{1}{2\delta} \frac{\delta - \gamma(k)_a}{2} p_{\alpha}(-B_x - \epsilon - I_y) \\ &\quad + \frac{1}{2\delta} \frac{\delta + \gamma(k)_a}{2} p_{\beta}(-I_x - \epsilon) + \frac{1}{2\delta} \frac{\delta - \gamma(k)_a}{2} p_{\beta}(-\epsilon) \\ &\quad + \frac{1}{2\delta} 2\delta \frac{1}{2}(1-p_{\alpha})(1-p_{\beta})(-I_x\mu - I_y\mu) \end{aligned} \quad (6)$$

したがって、直進車のドライバーが「 α 認識」をとったときの期待利得は、

$$u_{[\alpha\beta]}^{\alpha}(1,0) = \frac{1}{2\delta} \frac{\delta + \gamma(k)_{\alpha}}{2} (A_x - B_x - \epsilon + D_y) + \frac{1}{2\delta} \frac{\delta - \gamma(k)_{\alpha}}{2} (-B_x - \epsilon - I_y) \quad (7)$$

となる。

一方、「 β 認識」をとったときの期待利得は、

$$u_{[\alpha\beta]}^{\alpha}(0,1) = \frac{1}{2\delta} \frac{\delta + \gamma(k)_{\alpha}}{2} (-I_x - \epsilon) + \frac{1}{2\delta} \frac{\delta - \gamma(k)_{\alpha}}{2} (-\epsilon) \quad (8)$$

で与えられる。

最後にパッシングをしない（パッシングに対して認識を持たない）ときの期待利得は、

$$u_{[\alpha\beta]}^{\alpha}(0,0) = \frac{1}{2} (-I_x \mu - I_y \mu) \quad (9)$$

で与えられることになる。これら3つの期待利得のうち最大の利得を与える認識がこのドライバーの最適な認識となる。ここで β 認識のときの期待利得(8)が最も小さいことは明らかである。そこで α 認識のときの期待利得(7)とパッシングをしないときの期待利得(9)の大小関係を見る。

$$u_{[\alpha\beta]}^{\alpha}(1,0) \begin{cases} > \\ < \end{cases} u_{[\alpha\beta]}^{\alpha}(0,0) \quad (10)$$

展開すると、

$$\delta(A_x - 2B_x - 2\epsilon + 2I_x \mu + 2I_y \mu + D_y - I_y) + \gamma(k)_{\alpha}(A_x + D_y + I_y) \begin{cases} > \\ < \end{cases} 0$$

ここで $A_x - 2B_x - 2\epsilon + 2I_x \mu + 2I_y \mu + D_y - I_y < 0$ と仮定しているので、

$$\delta \begin{cases} > \\ < \end{cases} \frac{-(A_x + D_y + I_y)}{A_x - 2B_x - 2\epsilon + 2I_x \mu + 2I_y \mu + D_y - I_y} \gamma(k)_{\alpha} \Rightarrow \begin{cases} \alpha \\ not \end{cases} \quad (11)$$

よって α 認識でパッシングをするかパッシングをしないかはドライバー k の位置に依存する。

A. 3 $\beta_{[\alpha\beta]}$ 地域のドライバーの最適認識

$\beta_{[\alpha\beta]}$ 地域のドライバーの期待利得は以下のように表せる。

$$\begin{aligned} u_{[\alpha\beta]}^{\beta}(p_{\alpha}, p_{\beta}) &= \frac{1}{2\delta} \frac{\delta - \gamma(k)_{\beta}}{2} p_{\alpha} (A_x - B_x - \epsilon + D_y) + \frac{1}{2\delta} \frac{\delta + \gamma(k)_{\beta}}{2} p_{\alpha} (-B_x - \epsilon - I_y) \\ &\quad + \frac{1}{2\delta} \frac{\delta - \gamma(k)_{\beta}}{2} p_{\beta} (-I_x - \epsilon) + \frac{1}{2\delta} \frac{\delta + \gamma(k)_{\beta}}{2} p_{\beta} (-\epsilon) \\ &\quad + \frac{1}{2\delta} 2\delta \frac{1}{2} (1 - p_{\alpha})(1 - p_{\beta})(-I_x \mu - I_y \mu) \end{aligned} \quad (12)$$

したがって、直進車のドライバーが「 α 認識」をとったときの期待利得は、

$$u_{[\alpha\beta]}^{\beta}(1,0) = \frac{1}{2\delta} \frac{\delta - \gamma(k)_{\beta}}{2} (A_x - B_x - \epsilon + D_y) + \frac{1}{2\delta} \frac{\delta + \gamma(k)_{\beta}}{2} (-B_x - \epsilon - I_y) \quad (13)$$

となる。

一方、「 β 認識」をとったときの期待利得は、

$$u_{[\alpha\beta]}^{\beta}(0,1) = \frac{1}{2\delta} \frac{\delta - \gamma(k)_{\beta}}{2} (-I_x - \epsilon) + \frac{1}{2\delta} \frac{\delta + \gamma(k)_{\beta}}{2} (-\epsilon) \quad (14)$$

で与えられる。

最後にパッシングをしない（パッシングに対して認識を持たない）ときの期待利得は、

$$u_{[\alpha\beta]}^{\beta}(0,0) = \frac{1}{2} (-I_x\mu - I_y\mu) \quad (15)$$

で与えられることになる。これら3つの期待利得のうち最大の利得を与える認識がこのドライバーの最適な認識となる。ここで α 認識のときの期待利得(13)が最も小さいことは明らかである。そこで β 認識のときの期待利得(14)とパッシングをしないときの期待利得(15)の大小関係を見る。

$$u_{[\alpha\beta]}^{\beta}(0,1) \begin{cases} > \\ < \end{cases} u_{[\alpha\beta]}^{\beta}(0,0) \quad (16)$$

展開すると、

$$\delta(-I_x - 2\epsilon + 2I_x\mu + 2I_y\mu) - \gamma(k)_{\beta}(-I_x) \begin{cases} > \\ < \end{cases} 0$$

ここで $-I_x - 2\epsilon + 2I_x\mu + 2I_y\mu < 0$ と仮定したので、

$$\delta \begin{cases} < \\ > \end{cases} \frac{-I_x}{-I_x - 2\epsilon + 2I_x\mu + 2I_y\mu} \gamma(k)_{\beta} \Rightarrow \begin{cases} \beta \\ not \end{cases} \quad (17)$$

よって $\beta_{[\alpha\beta]}$ 地域のドライバー k は β 認識でパッシングをするか、パッシングをしないのかは位置に依存する。

A. 4 $\beta_{[\beta\beta]}$ 地域のドライバーの最適認識

$\beta_{[\beta\beta]}$ 地域のドライバーの期待利得は以下のように表せる。

$$\begin{aligned} u_{[\beta\beta]}^{\beta}(p_{\alpha}, p_{\beta}) &= \frac{1}{2\delta} \frac{2\delta}{2} p_{\alpha} (-B_x - \epsilon - I_y) \\ &\quad + \frac{1}{2\delta} \frac{2\delta}{2} p_{\beta} (-\epsilon) \\ &\quad + \frac{1}{2} (1 - p_{\alpha})(1 - p_{\beta}) (-I_x\mu - I_y\mu) \end{aligned} \quad (18)$$

したがって、直進車のドライバーが「 α 認識」をとったときの期待利得は、

$$u_{[\beta\beta]}^{\beta}(1,0) = \frac{1}{2} (-B_x - \epsilon - I_y) \quad (19)$$

となる。

一方、「 β 認識」をとったときの期待利得は、

$$u_{[\beta\beta]}^{\beta}(0,1) = \frac{1}{2} (-\epsilon) \quad (20)$$

で与えられる。

最後にパッシングをしない（パッシングに対して認識を持たない）ときの期待利得は、

$$u_{[\beta\beta]}^{\beta}(0,0) = \frac{1}{2} (-I_x\mu - I_y\mu) \quad (21)$$

で与えられることになる。これら3つの期待利得のうち最大の期待利得を与える認識がこのドライバーの最適な認識となる。ここで α 認識のときの期待利得(19)が最も小さいことは明らかである。そこで β 認識のときの期待利得(20)とパッシングをしないときの期待利得(21)の大小関係を見る。

ここで、

$$-\epsilon > -I_x\mu - I_y\mu \quad (22)$$

と仮定したので、 β_{not} 地域のドライバー k は β 認識としてパッシングをする。

付録B not 地域の大きさの導出

パッシングをしない地域の大きさを $\gamma(k)_n$ と表すと、

$$\gamma(k)_n = \left(\frac{A_x - 2B_x - 2\epsilon + D_y + 2I_x\mu + 2I_y\mu - I_y}{-(A_x + D_y + I_y)} + \frac{-I_x - 2\epsilon + 2I_x\mu + 2I_y\mu}{-I_x} \right) \delta \quad (23)$$

展開すると、

$$\gamma(k)_n = \frac{\delta}{I_x(A_x + D_y + I_y)} 2 \{ A_x\epsilon + 2D_y\epsilon - A_xI_x + 2B_xI_x - D_yI_x + 2\epsilon I_x + 2I_y\epsilon + I_xI_y - (2I_x(A_x + D_y + I_x) + 2I_y(A_x + D_y + 2I_x) + (1 + \epsilon)I_y^2)\mu \} \quad (24)$$

ここで、

$$G = \frac{1}{I_x(A_x + D_y + I_y)} 2 \{ A_x\epsilon + 2D_y\epsilon - A_xI_x + 2B_xI_x - D_yI_x + 2\epsilon I_x + 2I_y\epsilon + I_xI_y - (2I_x(A_x + D_y + I_x) + 2I_y(A_x + D_y + 2I_x) + (1 + \epsilon)I_y^2)\mu \} < 1 \quad (25)$$

とする。よって $\gamma(k) = G\delta$ と表し、 G をnot 地域係数と呼ぶ。

第7章 不確実性下での意思決定行動 ～期待効用理論を超えて～

7.1 意思決定理論としての主観的期待効用理論

7.1.1 はじめに

不確実性下での意思決定理論はリスク分析において中心的な役割を果たしている。しかし、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、現実の人間行動とはしばしばかけ離れていると批判されてきた。不確実性下での意思決定問題において期待効用理論が果たす役割を分析することは、リスクの問題を考えるうえで極めて基礎的な問題について検討することに他ならない。

人間の意思決定行動に関する経済学的なアプローチは、1870年代にメンガー、ジェボンズ、ワルラスらにより展開された限界効用理論の発展に始まると言われる。すなわち、経済学の「限界革命」を始まりとするのである。松嶋(1996)によると、限界革命を契機に経済学の着眼点は「社会経済構造」から「個人の選択行為」へ、経済システムは「社会的再生産システム」から「稀少性システム」へ、分析方法は「客観主義・総量分析」から「方法論的個人主義・限界分析」へとシフトしたと言われる。その後、経済学における意思決定理論は、主に「それが現実の人間行動を的確に、具体的に表現しているのか」という経験的な妥当性に関して厳しい批判を受けてきた。このような批判を原動力として、人間の意思決定行動に関して膨大な理論が蓄積されてきた。そこに、批判を原動力とした発展の足跡を確認することが出来る。また、依田(1997)は現代の意思決定理論を語る際のキーワードとして、合理的選好主義・序数主義・最適化主義・双対主義・顕示選好主義があげられるとしている。

このような意思決定理論の中で、不確実性下の決定理論に関しては、その多くをノイマン・モルゲンシュテルンの期待効用理論に負っている。特に、主観的期待効用理論(Subjective Expected Utility theory)は、個々の意思決定主体が形成する信念や欲求を測定したり計測するための手続きを含んだような総合的な意思決定に関する数学理論である。よく知られているように、ノイマン・モルゲンシュテルンはゲーム理論の体系化を試みた。その中で、彼らは、1)プレイヤー間の戦略的相互依存関係を分析する枠組み、2)不確実性下での合理的な個人行動を表現するための期待効用理論を開発している。ノイマン・モルゲンシュテルンの期待効用理論は、個人が不確実性の下で、「完備性」「推移性」「連続性」「独立性」の公理体系^{*1}を同時に満足するような選好体系を持つ場合、そのような選好が期待効用関数で表現できることを示したものである。

いま、不確実性下の意思決定理論として、期待効用モデルの意義を議論する際には、期

*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。

期待効用モデルが規範的な理論モデルとして有用なのか、実証的なモデルとして有用であるのかを区別しておく必要がある。概して、経済学は規範的視点の重要性に着目するが、心理学は実証的・記述的な視点を重視する傾向があるといわれる。期待効用モデルは、本来規範的な意味と実証的な意味の双方を合わせて持つような理論モデルとして発展を遂げてきた。しかし、その有用性を議論する際には、どちらの視点に立つのかということを明確にしておく必要があるだろう。規範的な立場に立つ場合、期待効用理論は不確実性下の合理的な意思決定行動に関する基本的な公理体系に基づいているという点が強調される場合が多い。しかし、公理体系が必ずしも確固たる根拠のうえに成立しているものではないことを明確に認識しておく必要がある。本稿では、期待効用理論の基礎となっているいくつかの公理に関する最近の議論をとりまとめるとともに、異なる公理体系を用いたような期待効用理論の一般化（非期待効用理論と呼ぶ）に関するいくつかの代表的な試みを紹介することとする。

我々は、まずは、期待効用理論がその後の一般均衡理論や不確実性下の意思決定行動理論の発達に寄与した功績を十分に評価するところから出発すべきであろう。依然として、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、それは非合理的な行動を表現することに他ならないことになってしまう。非期待効用理論が非合理的な行動を表現していると考えれば、非期待効用理論を用いたような規範的な分析は意味を失うことになってしまう。これに対して、マキーナ(1989)は非期待効用理論の発展に関して、現実的な位置づけを行っている。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。そして、同時に、期待効用理論だけでは深いレベルにおける人間の行動を記述することは不可能であることも真摯に受け止めるべきである、と主張している。期待効用理論は不確実性下の意思決定理論としては弱い理論構造を持っており、期待効用の一般化を図っても、それは非合理的な選択行動を表現したものではない、と位置付けるべきであると主張している。

7.1.2 期待利得から期待効用へ

多くの点で決定理論は、現代民主主義のもとで各主体が享受する自由主義の価値を反映している。決定理論は、各主体が何を望むべきか、何を信じるべきか、という主体が抱くべき価値観を規定するものではない。またアーナンド(1993)によると、決定理論の起源は(容易に想像されるところの)ミルの功利主義^{*2}に求められるのではなく、それはヒュームの経験主義^{*3}に見出されるようである。すなわちこの合理性についての補助的な捉え

*2 「功利主義」とは一般的には、個人の行為や社会の制度の価値を評価する際に「効用(utility)」を基準とする立場をいう。ベンサム功利主義においては、各種の快楽の間に質的な差異はなく量的な差異のみが存在するという視点から、社会の目標を「最大多数の最大幸福」の実現に設定した。それに対してJ.S.ミルの功利主義は、各種の快楽の間の質的な差異を認める視点から、個々人の価値意識の重要性を主張した。功利主義の最大の意義は快楽と苦痛の捉え方が主観的である点といえる。

方は、理性を、満足をもたらす行為がそれによって選択されているという理由付けを提供する単なる道具として位置付けている。

また、決定理論の2つ目の起源は統計学の歴史にある。特に、金銭的な「かけ」のための戦略を分析するために決定理論は発展した。17世紀の人口統計学の進歩や海上貿易の発展は、不確実性を伴う取引のシステムチックな方法を提供した。それは期待利得基準のルールである。当初はそれは直観的に筋が通っているように思われた。しかし、ダニエル・ベルヌーイ(1739)は“セント・ペテルスブルグのパラドクス”を示して、期待利得基準のもつ根本的な欠陥を指摘した。そして、このパラドクスを解決するために、対数関数形の効用関数を用いることを提案している。この効用関数は、個人の限界効用は当該個人が保有する富の量に反比例するという仮定から導かれる。彼のこの業績の重要性は、期待利得基準が危険に対する経済主体の態度や価値観を十分に反映する基準ではないことを明らかにした点にとどまらない。それと同時に、方法論として数学理論と主観的判断が両立し得ることを示したのである。よって期待効用理論のアイデア自体はゲームの理論の誕生の200年前に既に提唱されていたのである。

ノーベル経済学賞を受賞したアローは、不確実性下の意思決定のための有望な理論として、1)期待効用理論、2)統計的意思決定理論、3)シャックル(1961)の焦点理論の3つを取り上げている。その後、期待効用理論は統計的意思決定理論の立場を包摂しながら決定理論の主導的な地位を確固たるものにしていく。それと同時に、シャックル理論は忘れ去られることとなった。しかし現在、期待効用理論の幾つかの公理、とりわけ確率加法性と加重平均という2点の現実妥当性に関して疑問がもたれている。依田(1997)によると、その2点の改革について、シャックル理論に先駆性を見出すことが出来るのである。

7.1.3 主観的確率

決定理論の大きな関心の対象は、不確実性が如何に表現されているかという点にある。今世紀まではほとんどの研究者が確率を単に事象の相対的な頻度(relative-frequency)と仮定して扱ってきた。「確率とは何か」という形而上学の問題や、「それらがいかにして計測されるのか」という認識論的な問題は不問に付されてきた。

今世紀に入り、この質問に答える理論が続々と登場した。ラプラスは確率を決定論的事象についての無知の測度として捉えた。そして n 個の排反な状態 s_i の生起に関して、どの事象 i にも他の事象と比較して生起する公算がより大きいと考えるべき十分な論拠が得られないときに、そこには確率分布が存在しないと考えるのではなく、そこからは $P(s_i) = 1/n (i = 1, \dots, n)$ という一様な確率分布が導かれると主張した。それは「論拠不十分の原理」と呼ばれる。ただしこの原理を適用する際には状態の区分の仕方に慎重な配慮が必要であり、実際に適用が可能なケースはそれほど多くないと思われる。

つぎに、確率を先験的な考え方と解釈するような見解が現れた。そこでは、確率を命題と、関連した証拠の利用可能性の間の論理的関係に見つけだされるものとして捉える。こ

* 3 しばしば「理性は感情の奴隷である」に象徴される。人間的自然の経験的分析によって諸学を基礎づけようとした。因果関係には必然性を期待してはならないとし、これを習慣による主観的確信に基づくものとした。

ここでは全ての可能な命題とそれと関係するかもしれない証拠に対して定義を提供する利点を有するが、多くの状況において確率の正確な数値を得ることができない。このような一連の考え方は「確率とは何か」に答えようとした姿勢に関しては高く評価することはできるものの、このような考え方に基づいて実証的な統計処理を行おうとすると多くの困難に出くわすことになる。

第3番目の解釈は、今日もっとも広く採用されている見解であるが、そこでは「確率は集合または試行の範囲における事象の相対的な頻度である」と定義する。すなわち、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。ただし、このような極限值が仮に計算可能であるとしても、実務においては確率はしばしば現在までの有限な試行に対する相対的頻度として計算されている。そのような多少の簡便化を施すことによってこの相対的頻度は取り扱いやすいものとはなるが、依然幾つかの本質的な欠陥が残される。第一に、確率を上述のように無限の試行列に対する極限として定義したところで、無限の試行の列におけるある有限の部分集合から推測した相対的頻度が、はたして定義したような「真の」確率とどれだけ関連しているかについては全く不明である。次に、世の中の多くの重要な事件（例えばECにおける統一貨幣の導入）は一回きりの特異な事象である。また、たとえ事象が潜在的に繰り返し生じうるものであったとしても、分母の試行を見積もることが不可能かもしれない。さらに、仮に複数の決定者がそれぞれ別の相対的な頻度を観察したときの確率はどの大きさに決まるのかという問題もある。

最後に、相対的頻度が直面する幾つかの問題を回避できる解釈が存在することを指摘しておこう。そこでは、確率は確信(belief)を計る測度であると解釈する。物理的な相対的頻度の査定が不可能な状況下であっても、決定者は将来または特異な事象についての確信を形成することはできる。この主観的確率論の視座に立てば、決定者は事象の特異性によって決定を妨げられることはなく、また合理的な決定者を対象とした理論においても、各自の情報量に依存して異なる決定が下されるという可能性を認めることが出来る。

ただし、このような信念に基づいた主観的確率論は、他の主体が有する確率を計測するプロセスに欠点をもつ。すなわち主体の確信(belief)へのアクセスが問題となる。そこで、数学・哲学者であるラムゼイ(1931)はひとつの確信の顕示のシステムを考案した。ラムゼイはある主体に対して彼が抱いている確信の度合いを直接質問するのではなく、彼の主観的確率は結果に関する「賭け」を通じて顕示されると考えた。その概念はサムエルソンの顕示選好理論と類似しており、確信顕示理論とも呼ぶことができる。このシステムでは、はじめに各主体の効用の物差しを規定して、物差しよりあらゆるくじの効用値が引き出される状態を整える。そしてこれよりある状態 U_3 が生起する見込みについて算出する。「状態 U_3 が生起すれば結果 X_c 、 U_3 が生起しなければ結果 Y_c 」というくじを作成する。各結果 X_c 、 Y_c 、くじの効用はそれぞれ u_1 、 u_2 、 u_3 と既知である。ここで p を U_3 が生起することの確信と考えるとくじの効用は、

$$u_3 = pu_1 + (1-p)u_2 \quad (1)$$

によって表現されると考えられる。よってこれより確信 p を算出することが出来る。

$$p = (u_3 - u_2) / (u_1 - u_2) \quad (2)$$

すなわち、主観的効用は2つの効用の差の比率として理解される。ラムゼイの、科学的証拠を人々の口述に求めるのではなく行為より見出すという手続き（主観的確率の客観的計測ともいべきスタンス）は、他の競合する確率の理論に大きな影響を与えた。ただし、この手法により計測された主観的確率に関しても、その選択が任意であるときに、確信もそれに従って任意なものとなるという欠点が指摘されている。しかし、実は、ある主体の選択がある条件を満たしていれば、当該選択が任意かどうかは問題ではなくなるのである。その条件こそ主観的期待効用理論の公理であり、選択行為より効用と主観的確率が同時に派生する。よってある状況において主観的期待効用理論の公理と矛盾しない選択は一つに限定されるので、そこでの選択と導出される確信は任意ではありえないのである。次節では、主観的期待効用理論の基礎となるサベージの公理について説明しよう。

7.1.4 サベージの公理

確実性の世界を扱う伝統的な消費者行動理論においても、効用関数はそれ自体として決して根元的な概念ではない。効用関数は財集合における任意の個々の財に対する選好順序が、「合理的」とされる一定の諸条件を満足するときのみ導出可能な派生的な概念である。そのことは不確実性の世界で扱われる期待効用関数についても該当する。ただし、期待効用関数理論は基数的効用関数を扱うので、その点でも新厚生経済学が提唱する序数的効用関数よりも、より強い合理的選好を仮定した理論といえよう。これらのように選好順序に関して合理的諸仮定を設定し、そこから演繹的に効用関数を導出するアプローチは「効用の公理的アプローチ」と呼ばれる。

公理系の築き方には2つの代表的なアプローチが存在する。ひとつはフォン・ノイマン＝モルゲンシュテルン(1944)により展開された期待効用理論に見られるように、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。そしてもう一つはサベージ(1954)が創設した、主体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を同時に導出するものである。このアプローチには、前節で述べた「確率とは何か」という根本的な問いに対するサベージの考え方が強く反映されている。本節では、簡単にフォン・ノイマン＝モルゲンシュテルン(1944)からサベージ(1954)の登場までを時間の流れに沿って記したのち、サベージの公理体系の概要を述べることにしよう。

フォン・ノイマン＝モルゲンシュテルン(1944)の期待効用理論は、疑いなく不確実性下の意思決定理論の発展に決定的な影響を与えることとなった。フォン・ノイマン＝モルゲンシュテルン(1944)以降、期待効用理論は精密科学としての体裁を備え、またユークリッド幾何学の体系をもって透明でエレガントな展開を演出する基盤をもつようになった。同時に1940年代は公理系理論に基づいた、社会の経験的現象のモデル化も飛躍的な発展を遂げた。しかし、1950年代になると、「アレ(1953)の反例」が示され、期待効用理論（中でも独立性公理）に対して疑義が示されるようになった。

それに対して、サベージ(1954)は、期待効用理論の仮定は合理性の規範として解釈されなければならないと主張した。サベージの主観的期待効用理論は個人の規範的、哲学的な

行動原理を表現したものであると主張する。サベージは主観的期待効用理論は、合理的な主体がとるべき行動について言及したものであるが、決して経験的なテストに耐えるものではないと述べた。サベージ(1954)によって経済学で初めて実証的理論と規範的理論の区別が意識されたといつてよい。

サベージが想定する不確実な世界は、「状態 state」と「結果 consequence」と「行為 act」で表現される。ある結果 c は、 $f(s, a) = c$ の関係により表現される（これはサベージに限らず一般的な不確実性が存在する世界における対応関係である）。サベージは以下のような8つの公理を提案する。はじめに「完全性」は任意の2つの選択肢は必ず選択可能であることを意味する。また「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。そして、3つ目の「独立性公理」は不確実性の世界に特有の概念であり、また後に本報告書で最大の論点のひとつとなるので、ここに酒井(1982)の表現を借りて正確に記しておこう。なお、 $x > y$ は x が y よりも選好されることを表し、 $x \sim y$ は x と y が無差別であることを表す。

独立性公理 確率 $\pi (0 < \pi < 1)$ で賞金 x_1 、確率 $1 - \pi$ で賞金 x_2 があたる抽選券を

$L = [x_1, x_2; \pi, 1 - \pi]$ と表現しよう。いま x と y を任意の2つの賞金とする。

(1)もし $x > y$ ならば、任意の第3の賞金 z と任意の確率 $\pi (0 < \pi < 1)$ について、

$L_1 = [x, z; \pi, 1 - \pi] > L_2 = [y, z; \pi, 1 - \pi]$ が成り立つ。

(2)もし $x \sim y$ ならば、任意の第3の賞金 z と任意の確率 $\pi (0 < \pi < 1)$ について、

$L_1 = [x, z; \pi, 1 - \pi] \sim L_2 = [y, z; \pi, 1 - \pi]$ が成り立つ。

独立性公理により、第3の選択肢との相互連関効果は全く考慮されなくなる。4つ目の「決定からの独立性」では、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規定する。すなわち状態についての知識は結果に対する新たな選好を形成することができない。第5の仮定は「期待利得からの独立性」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 の額に関わらず、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6の仮定「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7の仮定「確率の連続性」においては（フォン・ノイマン＝モルゲンシュテルンの連続性公理とは異なって）無視可能事象の存在を仮定する。すなわち、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。換言すると、ある大きさ以下の確率は確率ゼロと見なされるという仮定である。最後に第8の「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たとしたら、行為 a は行為 b よりも選好されるとしている。

以上の仮定を満足する選好順序に対して数学的に精緻な処理を施すことによって、主体の主観的確率と効用関数が同時に計測される。具体的には上記の第1から第6までの公理から、意思決定者の選択行為より確率の序列が推計される。ただし、サベージは、主体にとってギャンブルの間の選択は可能だが、自身が抱く主観的確率は正確に認知しにくい、と注釈を加えている（これは主観的確率を口述ではなく行為から推測することの動機ともなっている）。

サベージの主観的期待効用理論では取りも直さずこれらの公理が選択行為の合理性そのものを意味する。それに対して、ラムゼイは公理化の意義を「まるで2つしか有効でない結果を7桁の数に増やすようなもの」と揶揄して否定している。

7.1.5 独立性公理の反例

(1) アレのパラドックス

サベージの主観的期待効用理論の公理のうちで、1980年代までに最も多くの研究者の関心を集め批判的な検討がなされたのが独立性公理である。その口火を切ったのがアレ(1953)により提供された反例である。アレによれば、当たる確率が100%である賞金は、そうでない賞金に比べて過大評価される傾向がある。アレ自身が提示した事例を挙げよう。ある意思決定者が2つの状況において2つのくじから1つを選択する問題に直面しているとしよう。くじを前節と同様に表記すると、決定者は状況1において $L_1 = [\$500, \$100, \$0; 0.10, 0.89, 0.01]$ と $L_2 = [\$100; 1]$ の間の選択に、状況2において $L'_1 = [\$500, \$0; 0.10, 0.90]$ と $L'_2 = [\$100, \$0; 0.11, 0.89]$ の間の選択に直面しているとする。すると意思決定者は状況1においては確実に\$100を獲得できる L_2 を選択し、状況2においては期待利得のはるかに大きい L'_1 を選択することが広く観察される。すなわち、 $L_1 < L_2$ かつ $L'_1 > L'_2$ が多数派の選好といえる。しかし、これは独立性公理を犯している。このことは表7.1において容易に確認できよう。独立性公理に従えば状態2の生起確率と賞金額に関わらず $L_1 > (<) L_2 \Leftrightarrow L'_1 > (<) L'_2$ が成立しているはずである。アレの反例のように確率100%の賞金に対して付与されるウェイトが、そうでない賞金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。

(2) エルスベルグのパラドックス

エルスベルグ(1961)も「アレの反例」と同様に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訴えた。表7.2を用いて一例を紹介しよう。壺の中に赤い玉30個と、黒い玉と黄色の玉が入っている。黒い玉と黄色の玉は合計が60個であることが分かっており、その内訳は不明である。壺から一つの玉を取り出して、その色に応じて表7.2のように賞金が得られる4種類のくじ L_1 、 L_2 、 L'_1 、 L'_2 がある。そして、この実験では「アレの反例」と同様に、状況1におい

表7.1 アレの反例

	状態 1 p=0.10	状態 2 p=0.89	状態 3 p=0.01
状況 1			
<じ L_1	\$500	\$100	\$0
L_2	\$100	\$100	\$100
状況 2			
<じ L'_1	\$500	\$0	\$0
L'_2	\$100	\$0	\$100

表7.2 エルスベルグの選択問題

	玉と個数		
	赤 30個	黒 60個	黄色 60個
<じ L_1	\$1,000	\$0	\$0
L_2	\$0	\$1,000	\$0
<じ L'_1	\$1,000	\$0	\$1,000
L'_2	\$0	\$1,000	\$1,000

て意思決定者がくじ L_1 、 L_2 から、状況 2 においてくじ L'_1 、 L'_2 からいずれのくじを選択するか注目する。各状況において黄色の玉に与えられた賞金は等しいので、くじの選択は赤玉抽出の確率と黒玉の抽出の「主観的」確率の比較のみに依存する（いずれを抽出した場合も賞金は \$1,000 なので）。よって独立性公理に従うならば第 3 者である黄色の玉の存在とは無関係に、くじ L_1 を選択する主体は L'_1 を選択し、くじ L_2 を選択する主体は L'_2 を選択するだろう。すなわち $L_1 > (<) L_2 \Leftrightarrow L'_1 > (<) L'_2$ が成立しているはずである。ところが最も頻繁に選択されるくじの組み合わせは L_1 と L'_2 なのである。エルスベルグはこれについて、多くの被験者が生起確率が未知なくじを回避した結果であると述べた。すなわち賞金獲得の確率の範囲が推定できるに過ぎない L_2 や L'_1 よりも正確な確率が既知である L_1 や L'_2 が選択されると主張した。この性向は「不確実性回避」または「曖昧性回避」と呼ばれている。

7.2 期待効用理論の一般化

7.2.1 はじめに

はたして主観的期待効用理論はどのような要求に応えることができる理論なのだろうか。数々の経験的・実証的な分析を通じて、サバージの公理が経験的な観察と一致しないことがありうるということが指摘されてきた。不確実性下における意思決定理論としての主観的確率理論の本質的な役割を議論しようとするれば、我々は科学的方法論の問題そのものについて検討しなければならないだろう。

そこで、効用理論の歴史を振り返ってみて、効用理論が科学的な方法論の発展に果たしてきた役割とその変遷について検討してみよう。ここでは、その発展の歴史を 3 つの段階として把握してみることとする。

7.2.2 ヒューム以前の時代

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。不確実性下の意思決定理論は、この 2 つの立場の違いを重視する。セント・ペテルスブルグのパラドクスを発表したベルヌーイ(1739)やクラメール(1728)は、金額の評価ではなく、効用水準の評価に基づいた意思決定の重要性を主張した。彼らはいずれも具体的な観察を通じてこの理論を提唱するに至ったのだが、しかし決して効用理論が実証研究の結果として現れたわけではない。ラムゼイは主観的確率と一貫性(consistency)を関連づけたが、同時に以下のように注釈を加えている。主観的期待効用理論の定義は暗に「一貫性の公理を伴ってはいるが、これが偽である限りは、対応する確信(belief)の程度についての考えは有効ではなくなる。」決定理論の歴史におけるこの初期の段階を“ヒューム以前の段階”と名付けるが、ここではまだヒュームが主張したような「What is」と「What should be」の区別は明確になされていなかった。

7.2.3 期待効用理論の時代

フォン・ノイマンとモルゲンシュテルンは公理に基づく理論(axiomatic theory)を構築するに際して、公理が備えるべき基準(criteria)として「単純性(simple)」「透明性(transparent)」,そして「意味の直観的解釈の可能性(an immediate intuitive meaning)」を提示した。そして、その理論は全体論的、あるいはゲシュタルト心理学に依拠したものであってはならないとした。公理に基づく決定理論においては諸要素は分解されて個々の公理によって評価されなければならない。

加えてフォン・ノイマンとモルゲンシュテルンは個々の公理に対して具体的にコメントを述べている。まず、「推移性」についてはそれがもっともらしく、一般的に受け入れられるものであると述べている。また「完全性」は無差別曲線の分析にとって不可欠である。さらに「独立性」はギャンブル自体がもつ魅力を見捨てはいるが、その魅力を公理のレベルで矛盾無く定式化することは不可能であろうとしている。よって、この公理は経験的に有用性が支持される類のものではなく、公理を用いた方法(axiomatic method)が必要とされる事実によって正当化されているのである。彼らによる公理の正当化は、それ以降経済学の諸分野において公理的測度理論が用いられる道を切り開いたひとつの「技術的な実験(technical experiment)」とも評されている。しかしながら、効用理論や特にその技術的側面の完成度と比較すると、その公理自体に対する合意については満足な一致を見ていないのが現状であろう。ひとつの理由は、公理を求める立場が、公理システムの定式化を必要とする数学から社会的慣習や個人的見解まで多岐に渡っていることである。個々の公理に対する多様な形態の正当化が、主観的期待効用理論についての統一の存在理由を形成するうえで障害となっている。

また、スティグラー(1950)が掲げた3つの基準は効用理論の歴史に一大転機をもたらした。それは「経済理論の理論」として経済学全般に適用されているが、我々のここでの興味はとりわけ効用理論への適用である。第1の基準は一般性(generality)である。新しい理論はそれが取って代わる古い理論と比較してより一般的でなければならない。スティグラーは、マーシャルの限界効用一定の仮定を除けば、より特定化された経済理論が一般的な経済理論より意味をもつ事例は存在しないと断言する。自然科学は偽の仮説を排除しながら可能性を限定していくプロセスを踏んで発展するが、経済学のパラダイムの発展のダイナミズムは、反証可能性を旨とするポPPERの自然科学よりもむしろ純粋数学のそれに近いのである。

また第2の基準は取り扱いやすさ(manageability)である。すなわち演繹的推定や巧妙な取り扱いが容易であることが求められる。スティグラーによると、経済学では長い間、数学的分析の際の困難を回避するため一般的な効用関数は受け入れられてこなかった。

そして、第3の基準としては経験的妥当性(empirical veridity)、すなわち現実との整合性が挙げられている。その根拠は、経済学の発展に、理論の進歩と実証の分野での発見との循環が見られることである。両者が互いに刺激し合うことによって発展する関係は、現代物理学と通じる。以上、スティグラーやフォン・ノイマン＝モルゲンシュテルンの考え方について説明したが、ここでスティグラーは合理性については何も触れていないことに着目する必要がある。

1980年代になると、多くの科学者が現象の説明のための実用的な理論 (pragmatic theory) の開発に乗り出した。この潮流に従うならば、説明力の有無は、「今どのようなことが問われているのか」、また「誰が聞き手であるのか」に決定的に依存することになる。また、この時期には主観的期待効用理論に依拠した実証的な研究の蓄積も進んだ。しかし、それらの研究の蓄積の結果、決定理論の研究者達は、単一の理論に基づいて実証性と規範性の両方の要求に答えることが困難であることを理解するようになった。よって、実証性と規範性のいずれを重視するかによって、まったく異なるモデルやアプローチの方法が採用されるべきであることが主張されるようになってきた。図7.1は主要な決定理論を分類して、発展の系譜として示したものである。主観的期待効用理論はいまや1980年代に登場した新しい決定数理の跳躍台として、その貢献が位置づけられている。

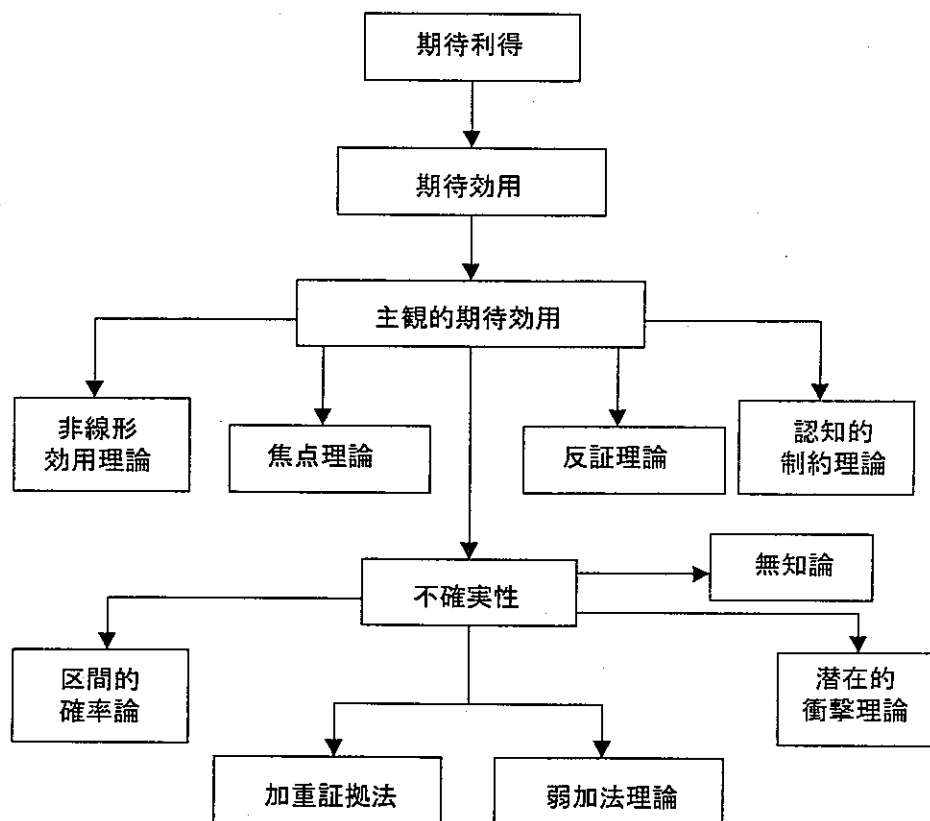


図7.1 決定理論の分類

7.2.4 問題依存的な理論の選択の段階

現在はこの段階にあると考えられるが、そこでは理論の数学的側面とその解釈の双方において著しく研究が進展するようになった。過剰な形式主義者であるデブリュー(1959)は理論と数学を同等視した。しかし、研究者が理論を如何に捉えようとも、我々が抽象的な微積分学とモデルとを別々に評価することは可能である。現在では、理論を評価する視点として以下の7つの基本的な考え方が提唱されている。

(1) 実証理論 (Positive Theory)

多くの自然科学と同様に、決定理論は予測(prediction)と説明(explanation)を最

終的な目標とするという考え方がある。例えば、フリードマンとサベージ(1948)はひとつの興味深いモデルを提案した。彼らは曲率が凹から凸そして凹へと変化するようなS字型の効用関数を提案し、それを用いて一個人の保険と宝くじの購入行動を説明した。しかし、事実観察、理論的解釈の双方から、そのモデルの欠陥が明らかとなった。したがって、実証理論の考え方にたてば、S字型効用関数は理論としての資格を有していないこととなる。現在では、主観的期待効用理論を擁護するものでさえ、予測の重要性を十分認識してはいるものの、主観的期待効用理論が予測に耐えうるものとは考えていない。

(2) 条件付(部分的)な解釈理論

フリードマンは「効用最大化は隠喩として解釈されるべきである」と主張したことがある。理論はそれ自身の仮定により評価されるのではなく、それが観察者にもたらす予測の結果によって評価されなければならない、とする立場である。しかしこの見解は経済学においてさえ多数派を形成しない。理論は「記述的であるべきである」という正反対の主張も存在する。記述理論は公理の集合(axiom set)の範囲において観察される行動を捉える。ここでは反証可能な予測を形成するという目的が追求され、より一般性のある理論の構築は意味を持たない。

一方、デブリュー等が採用したアプローチにおいては、理論にとって数学は条件付きの言語であると解釈される。ある条件が満たされれば特定の行動の記述が導かれる。理論を通して状況の記述や指令、アドバイス、また審判を下すことも可能であるが、ただしその正確性をもってこの理論は評価されてはならない。条件付きの考え方のもとでは、選択行動の事実は直接には問題にはならない。

(3) 反証理論

推移性の仮定を排除した加法差モデル(additive difference model)は初期にモリソン(1962)、ツベルスキー(1969)によって、その後フィッシュバーン(1981)、クルーン(1984)によって理論的な精緻化が試みられた。このモデルにおいては、主体は以下の条件不等式を満足するときに、かつそのときのみ予想 x を予想 y よりも選好すると考える。

$$\sum f[u(x)-u(y)] \geq 0 \quad (3)$$

すなわち、それぞれの属性の差 $u(x)-u(y)$ を関数 f で変換し、それらを集計することにより選好を表現しようとする方法は多属性理論と呼ばれる。その考え方はベル(1982)ら多くの研究者に継承されている。しかしながら、意思決定者が、「もしも世界が変わっていたら(失望)」、または「もしも意思決定者が間違って選択していたら(後悔)何が起こってしまうのか」ということを考慮した場合、モデルは経験的な事実と反するような答えを導くような意思決定理論となってしまうことが明らかとなった。

(4) 焦点理論

焦点理論とはシャックル(1961)によって独自に構築された理論体系である。7.1.2でも触れたように、シャックル理論を決して主観的期待効用理論の派生とは捉えず、

むしろ主観的期待効用理論一派に対する代替的アプローチと位置付ける見方もある。シャックルの理論は、長らく研究者の関心を集めなかったが、近年彼の観点はカーネマンとツベルスキー(1979)によるプロスペクト理論に用いられ、その重要性が再認識されるようになった。また、バカラック(1991)により焦点理論に基づいたゲーム理論が展開されつつある。

シャックル(1961)は、人生における意思決定を、客観的確率を備えない真の不確実性のもとでの自己破壊的な創造的過程として捉えた。すなわち1度限りの反復性のない事象においては、経済主体は適切に確率空間を定義できない。そして行為の結果に対する互いに排他的な諸仮説を加重平均することを無意味と考えた。彼は確率を排除し、代わりにある仮説が実現したときにどの程度驚愕するかという度合い、すなわち仮説に関する不確信の度合いを意味する潜在的驚き (potential surprise) と呼ばれる関数を導入した。そしてある仮説の期待と潜在的驚きで構成される行為の心理的魅力度を潜在的意外性関数として定式化した。

シャックル理論の特徴は加法性公理 (あるいは独立性公理) を認めない点、また加重平均を認めない点にあり、それらは主観的期待効用理論が最も修正ないし公理の削除を求められている箇所に該当する。

(5) 認知的制約理論

ここでは認知の完全性が問題とされる。経験主義的な心理学は人間の認知のモデル化に関して長い伝統を持っている。経済学の分野においても、サイモン(1957)が提唱した限定合理性の概念に関するいくつかの数学モデルが開発されつつある。同様に意思決定理論もようやくこの方面のモデル化が取り入れられはじめたところである。それらの試みのひとつとして表現理論 (expression theory) があげられよう。表現理論では、観測される選好の測度がギャンブル自体を評価する認知過程によって影響を受け、そして結果的に主体が要求される対応のモードの関数として表されることになる。たとえば、ゴールドステインとアインホーン(1987)はギャンブルの望ましさを $u(G)$ と、ギャンブルへの参加に関する最小の留保価格 $mr(G)$ を次式のように表した。

$$u(G) = u(win) - p[u(win) - u(lose)] \quad (4)$$

$$mr(G) = win - f(p)(win - lose) \quad (5)$$

ただし、winとloseは2つの実現可能な結果である。また p は主体が低い方の結果 (つまりlose) の評価の程度を反映したパラメーターである。 $f(p)$ は評価のプロセスを固定する役目をもっており、ジャッジの役割を務める関数ではない。これらの異なるルールを用いることで選好の逆転現象の多様性や状況依存的な重み付けをモデル化することが可能となる。

(6) 不確実性

現代企業の理論を確立したといわれるナイトは「リスク、不確実性および利潤(1921)」のなかで不確実な事象を「リスク(risk)」と「(真の)不確実性(genuine uncertainty)」に区別した。前者は確率の物理的・客観的査定を獲得でき、社会が同

一の確率分布を共有できる。他方、後者は客観的な確率の査定が不可能である。フォン・ノイマン＝モルゲンシュテルン型の期待効用理論は確率分布が所与の枠組みにおける不確実性下の行動分析であるので、ナイト(1921)に従えばそれらは明らかに「リスク(risk)の分析」に分類されるだろう。

ここでは、客観的な確率の査定が不可能な「(真の)不確実性(genuine uncertainty)の分析」について整理しよう。「不確実性」にさらに哲学的な区分を施すと、そこには生起確率が完全にランダムであるような不確実性と、知識の不足に起因した不確実性とが存在することになる。

また「不確実な」状況、すなわち客観的な確率分布が得られない状況に対して、経済学では伝統的に2通りのアプローチがとられてきている。ひとつは、無知のもとでの意思決定の分析である。そこでは確率やそれに類する概念を全く利用せずに、複数の行為からもたらされる可能性がある結果(利得)のリストを分析することにより、最善の行為を選択することを可能とするような決定ルールを考案することを目指す。例えばマキシミン基準、マキシマックス基準、ハーヴィッチの基準等の古典的なルールが有名であろう。他方、圧倒的な支持を得ているのが主観的確率の存在を仮定した状況下での意思決定の分析である。すなわち本報告書の中心的話題であるところの、サベージの主観的効用理論によるアプローチにあたる。繰り返し述べると、ある主体の選好順序が一定の諸条件を満たしてさえいれば、客観的な確率が存在しない状況下であっても、その選択行動を観察することにより当該主体が抱く主観的な確率を推測することができるということである。

具体的に「不確実性」に着目した研究成果を覗くと、エルスベルグは7.1.5(2)の「エルスベルグのパラドックス」に示したように、客観的な確率が得られない状況を取り扱った。そして、彼の問題意識を継承したギルボアとシュメイドラー(1989)は「期待効用の弱加法的理論」と銘打って、 $\sum p = 1$ の拘束条件を設けずに期待効用 $\sum pu$ を最大化するという問題を定式化した。また、サリンとウインクラー(1990)は無知のレベルを導入して、確率の区間の上での選択を定式化した(「区間的確率論」)。他にも新しい概念が提案されている。また、遡るとケインズ(1921)も、彼自身が「加重証拠法」と名付けた確率に依存せずに情報の量に関わる測度を提案している。

(7) 非線形効用理論

期待効用理論はアレやエルスベルグによる反例の提示に端を発する批判的検討に曝されながら、独立性公理や確率加法性公理を緩和した理論を構築するという方向で一般化が進んだ。このような一般化の方向は多様なタイプに分類することができるが、ここでは期待効用が効用と確率の線形和として表されるという条件を緩和したような非線形効用理論を取り上げよう。

それらのうち、利得 x に関する線形性を保持する一方で、確率 p の線形性を緩和したようなモデルを考えよう。一般的には、主観的確率が $\sum S(p)x$ と表される。ここに、 $S(p)$ は p の関数としての主観的確率を表現している。例えばアインホーンとホガース(1985)は加法性を満たさない不確実性の評価値を「判断確率」と称し、 $S(p)$ として以下のように定式化した。

$$S(p) = (1-a)p + a(1-p^b) \quad (6)$$

$$S(p) + S(1-p) = 1 + a(1-p^b - (1-p)^b) \quad (7)$$

ここで、 $a(0 \leq a \leq 1)$ が曖昧さの度合いを意味し、その値が大きいほど判断部分の占める割合が大きくなり、 $b(>0)$ が大きいほど曖昧さを嫌う性向が強くなる。 $0 < b < 1$ において確率は過大評価され、 $1 < b$ において確率は過小評価されてエルスベルグのパラドックスが発生する。

また、確率と利得両方の線形性を緩和した $\Sigma S(p)U(x)$ タイプのものは「プロスペクト理論」と呼ばれている。プロスペクト理論は変曲点をもつ加重値と効用関数から成り立つ。ここでは利得の主観的価値を、準拠点を設けてそこからの正・負の領域への乖離によって評価する。すなわち、利得において凹、損失において凸となる s 字型の効用関数を用いている。ヘイ(1984)は危険に対する選好(回避・中立・愛好)と蓋然性に対する選好(楽観・中立・悲観)を区分して定義した。その結果、危険回避的楽観主義は危険が低いときに負のリスク・プレミアムを、危険が高いときに正のリスク・プレミアムを要求する、等の興味深い結果も得られている。

そのほか非線形効用理論には機会損失のダメージを考慮する「リグレット理論」、利得の望ましさと不確実性の相互依存性が存在する「相互依存理論」等が提唱されている。

7.2.5 期待効用理論の規範性

以上では、期待効用理論の公理体系の緩和、すなわち期待効用理論の一般化に関する既存の研究事例を紹介した。しかしながら、現時点においても、一般化された期待効用モデルが実証的な有用性に耐えうるところに到達したとは認めがたい。しかしながら、殆どの研究者が、決定理論はなんらかのモデルをもたなければならないということは認識している。

一般化された期待効用モデルは意思決定理論の発展に2種類の意味の貢献を果たすことができるだろう。第1に、思考実験を行うための道具としての役割があろう。第2の役割としては、意思決定の持つ意味を多側面から検討することは、新しい情報の交換や社会的合意の形成のための重要な情報を提供してくれることになる。

期待効用理論の規範的な意義を検討するためには、「それが何を意味しているのか」を明確にしなければならないだろう。換言すれば次の質問に答えなければならない。「理想的な主体は何を選択すべきなのか？」理想的な主体にどのような性格付けを施すかについて、伝統的には「十分に教育され、自身の興味を知り尽くし、かつそれをやり遂げる強い意志の力を有している」と解釈されてきた。しかし、最近では、主体を「完璧で、瞬間的で、費用がかからない計算能力をもつ」と考えるだけで十分であると定義されるようになってきた。

しかし、依然として、「人間がどのような確信と選好をもつべきか」という問題は未解決のままである。合理的行動に関する最近の理論は、合理的な決定とは「一時にそして同時に首尾一貫しており、また主観的であるような決定」を意味しており、そこには「良い

人生」に関する議論は含まれていない。先の質問の答えに関連して、主体の選択がある関数を最大化する行為であれば、合理的選択理論においてその選択は正当化される。その結果、効用理論は、厳密な数学の測度理論として発展を遂げてきた。しかし、理想的な主体が測度理論の視点をもって行動することの意義は決して自明とはいえないのである。

7. 3 不確実性下の意思決定理論の新しい展開

本稿では主として期待効用理論の一般化の試みについて概観した。それらは主として期待効用理論の独立性公理の経験的破綻や、シャックル理論に啓発された加法性公理への批判的検討に触発されたものであった。しかし、不確実性の世界の意思決定の問題は、認知科学の領域とも密接な関係を持っている。すなわち、その問題意識は最近の限定合理性理論や情報処理モデルの発展と多くの部分を共有している。

サイモンによって提唱された「限定合理性(bounded rationality)」は意思決定主体の知識や計算能力に関する認知能力の限界をモデル化することを目指している。従来の規範的理論としての期待効用理論における幾つかの暗黙の仮定を排除し、それに対して以下のような修正を加えることになる。すなわち、「選択肢の集合が予め所与→選択肢の生成プロセスを考案」「結果の確率分布が(客観的あるいは主観的に)既知→不確実性に対処するためのヒューリスティックを考察」「期待効用極大原理→満足原理」。限定合理性モデルの特徴は、問題解決の可能な選択肢を発見するプロセスを研究対象に含めることにある。選択肢のサーチと評価は時間と費用が掛かるプロセスとして捉えられる。よって限定合理性の立場から見れば、期待効用理論における完全に合理的な主体は、まさに超人的な計算能力を備えた非現実な存在であろう。限定合理性における意思決定主体はヒューリスティックを用いて満足可能な選択肢を発見すると考えるのである。

最後に依田(1997)が示した定理を紹介しよう。期待効用関数は基数的効用関数であるが、アレやエルスベルグの反例にみるように独立性公理が体系的に破綻するとしたら、そのことは基数的選好の合理性が現実的妥当性を持たないことを意味する。そして、基数的選好を否定して序数的選好に依拠するならば、期待効用理論のような加重平均ルールは不可能であり、辞書式ルールのみが可能となる。そして、シャックルの考え方を用いて幾つかの定義と公理を設定すると、そこから「期待効用関数の不可能性定理」が導出される。そこでは可能な意思決定理論はレキシ・ミニ順序あるいはレキシ・マックス順序基準であると述べられている。それらは辞書式順序である。ただし、ここでレキシ・ミニ順序とレキシ・マックス順序の間の選択が問題となり、そこに確率変数の期待効用を影響させる手法が提案されている。このように期待効用理論の一般化のひとつの新しい潮流は期待効用理論と辞書式選好の折衷を試みるものである。

参考文献(第7章)

- Allais, M. 1953 Le Comportement de l'homme rationnelle devant le risque, critiques des postulats et axiomes de l'école Américaine. *Econometrica*, 21, 503-546.
- Anand, P. 1993 *Foundations of Rational Choice under Risk*. Clarendon Press Oxford.
- Bacharach, M. 1991 Games with Concept-Sensitive Strategy Spaces. Paper presented to the International Conference on Game Theory, Florence.
- Bell, D. 1982 Regret in Decision-Making under Uncertainty. *Operations Research*, 20, 961-981.
- Bernoulli, D. 1739 *Specimen Theoriae Novae de Mensura Sortis*. (English translation in *Econometrica*, 22, 23-36, 1954.)
- Cramer, G. 1728 Letter to Nicolas Bernoulli; cited in Bernoulli (1739).
- Croon, M. A. 1984 The Axiomatisation of Additive Difference Models for Preference Judgments. 193-207 in E. Degreef and B. von Buggenhaut (eds.), *Trends in Mathematical Psychology*, North-Holland Amsterdam.
- Einhorn, H. & Hogarth, R. 1985 Ambiguity and Uncertainty in Probabilistic Inference. *Psychological Review*, 92, 433-461.
- Ellsberg, D. 1961 Risk, Ambiguity and the Savage Axioms. *Quarterly Journal of Economics*, 75, 643-669.
- Fishburn, P. C. 1981 Subjective Expected Utility. *Theory and Decision*, 13, 139-199.
- Friedman, M. & Savage, L. J. 1948 The Utility Analysis of Choices Involving Risk. *Journal of Political Economy*, 56, 279-304.
- Gilboa, I. & Schmeidler, D. 1989 Maximin Expected Utility with Non-Unique Prior. *Journal of Mathematical Economics*, 18, 141-153.
- Hey, J. 1984 The Economics of Optimism and Pessimism, *Kyklos*, 37, 181-205.
- Kahneman, D. & Tversky, A. 1979 Prospect Theory. *Econometrica*, 47, 263-291.
- Keynes, J. M. 1921 *A Treatise on Probability*. Macmillan, London.
- Knight, F. H. 1921 *Risk, Uncertainty and Profit*. Houghton Mifflin, Boston.
- Machina, M. J. 1989 Dynamic Consistency and Non-Expected Utility Models of Choice under Uncertainty. *Journal of Economic Literature*, 27, 1622-1668.
- 松嶋敦茂 1996 現代経済学史1870-1970: 競合的パラダイムの展開 名古屋大学出版会
- 見田宗介等 1994 社会学事典 弘文堂
- Morrison, H. W. 1962 Intransitivity of Paired Comparison Choices. Ph.D. thesis, University of Michigan.
- Ramsey, F. P. 1931 *The Foundations of Mathematics and Other Logical Essays*. Kegan Paul, London.
- 酒井泰弘 1982 不確実性の経済学 有斐閣
- Sarin, R. K. & Winkler, R. L. 1990 Ambiguity and Decision Modelling. Discussion Paper, Institute of Statistics and Decision Sciences, Duke University, Durham, NC.
- Savage, L. J. 1954 *The Foundations of Statistics*. Dover Press, New York.
- Shackle, G. L. S. 1961 *Decision, Order and Time*. Cambridge University Press.
- Simon, H. A. 1957 *Models of Man*. John Wiley, New York.
- Stigler, G. 1950 The Development of Utility Theory: 1 and 2. *Journal of Political Economy*, 50, 307-327 and 373-396.
- Tversky, A. 1969 Intransitivity of Preferences. *Psychological Review*, 76, 31-48.
- von Neumann, J. & Morgenstern, O. 1944 *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press.
- 依田高典 1997 不確実性と意思決定の経済学 日本評論社

第8章 まとめと提言

8.1 研究成果のまとめ

本研究では、効果的な交通安全方策を策定するうえでドライバーの危険回避行動に対する理解が本質的であると考え、学際的な観点から検討を行った。

第1章では危険回避行動に対する研究の必要性を指摘し、それが「危険認識の形成メカニズム」と「危険認識下における運転行動」の両者についての理解に基づくものであること、および両者からなる一連のプロセスを追うことにより交通安全方策を体系的に評価するひとつの道具立てを提供しうることを述べた。

第2章では交通工学の観点から、まず交通事故のマクロ分析における留意点を整理した。事故分析は(1)抽出（事故多発地点の抽出）、(2)診断（要因分析と対策立案）、(3)評価（対策の効果評価）に大別されるが、ここではこれら全般にかかわる事故分析上の留意点をとりまとめた。次いで、首都高速道路の合流部に焦点を絞り、当該区間における事故危険度について得られている既往の知見を整理し、交通条件および道路幾何構造と関連づけて交通容量の比較分析を行った。これにより合流部という錯綜危険が避けられない道路区間の運転環境の差異が危険回避行動を介して交通容量というマクロ特性にどのように反映されるかを関連づけ、事故防止のためのいくつかの知見を新たに得ることができた。

第3章では交通心理学の観点から危険回避行動の心理的メカニズムについて検討した。まず、交通状況下のリスクが有する特徴を提示し、リスクの回避と受容に関わる諸概念を整理した後、危険回避行動と表裏一体の概念をなすリスクテイキング行動に関する研究の系譜を、(1)リスク知覚とハザード知覚、(2)運転技能の自己評価、(3)リスク補償説とホメオスタシス理論、(4)リスク効用、の4つの側面からレビューした。これらを踏まえてリスク回避行動の心理的過程をモデル的に提示し、ドライバー教育を含む交通安全がここに示されたどの側面を標的にしているかを明確に認識した上で、テーマと目標を明示して効果測定を含めた研究を遂行することの重要性を、具体例をあげて指摘した。そして、(1)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、を育成するためのドライバー教育を今後早急に検討すべきであることを強調し、ドライバーのリスク回避行動を促進するための7つのアプローチを提示するとともに、相互に関連したこれら安全方策を適切に評価するための効果測定研究が不可欠であることにも触れている。

第4章ではドライバーの認知リスクと客観的リスクの乖離が危険回避行動に及ぼす影響をプロスペクト理論を援用してモデル化した。ドライバーの認知リスクと客観リスクの乖離に関する議論は従前から行われているが、両者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という点に関してはほとんど理論的な研究がなされていなかった。ここでは、交通事故リスクが希有事象であるがためにドライバーが客観的なリスクを上回る水準の認知リスクを基に行動していることを示し、それがために期待効用を最大化しようとするドライバーの危険回避行動が最適な水準よりも低い水準にとどまらざるを得ないことをモデル分析により導出した。そして見通しの悪い交差点における歩行者対車両の接

触事故を事例にシミュレーション実験を行い、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メカニズムを具体的に記述するとともに、一定の安全水準を実現するためにはその水準を上回る対策の実施が必要であることを定量的に示した。

第5章ではドライバー相互間における認識の不整合に目を向け、ロータリーを例として異なる交通ルール下における走行挙動の比較分析を行った。交差点等でのサンキュー事故などお互いの“つもり”が食い違うことに起因する事故はしばしば取り上げられているが、ドライバー相互間の認識の不整合が交通安全に及ぼす影響を理論的に分析した研究はこれまでにあまり例を見ない。そこで交通ルールに関して異なる認識を有する2種類のドライバーが混在して走行している状況をゲーム理論的観点からモデル化し、交通ルールやルール認識の程度が事故危険度に及ぼす影響を体系的に記述することにより個々のドライバーがとる危険回避行動が結果としてどの程度有効であるかを評価し、交通ルールの整備やドライバー教育による事故防止の可能性を明らかにした。

第6章では“カー・ボディ・ランゲージ”のひとつである“パッシング”を例にとり、パッシングの持つ意味について異なる認識を有するドライバーが交差点で出会う際に、両者がとる危険回避行動がいかなる事故の危険をもたらすかを記述すると同時に、日々の運転経験を通じてその認識がどのように変化していくかをポピュレーションゲームとしてモデル化した。モデル分析を通じて社会的に安定となるパターンやある特定の認識に収束するための利得構造などに関する検討を行い、慣習的ルールの禁止や法制化が必要となる条件を求めるなど、より望ましい交通社会へと誘導するためのルールを設計するひとつの枠組みを提案した。

第7章では第4章～第6章で展開したモデル分析が主として依拠していた期待効用理論の基礎となっているいくつかの公理に関する最近の議論をとりまとめ、今後の展望を行った。焦点理論、認知的制約理論、非線形効用理論など異なる公理系を用いた期待効用理論の一般化に関する代表的な試みを整理し、不確実性下における意思決定理論の新しい展開についていくつかの観点から論じることにより、交通における危険回避行動をモデル化する場合のあるべき視座を示し、今後の研究の方向性に示唆を与えた。

ただし、現段階で得られた成果には種々の単純化や仮定に基づいた限定的なものも含まれているため、今後さらに設けた仮定等の吟味と一般化を行い、より高い妥当性を有するようモデルの改良を図る必要があることは言うまでもない。

8.2 交通安全施策への提言

以上の研究成果を踏まえ、交通安全の推進に関するいくつかの提言を行う。

- (1) 交通事故分析は事故防止対策には効果がないとする理論等も提唱されているが、事故データ等からみると実際には事故が多発する環境（相対的に危険な環境）とそうでない環境があり、かつそれらは必ずしも不変でないのが現実である。しかし、事故危険度の変化の計測は必ずしも容易でなく見かけの改善効果が実際のそれとは異なることもままあるため、事故防止対策を評価する際にはしかるべき理論的基盤に基づいた計測・評価

モデルを用いることに留意する必要がある。

- (2) ドライバーのリスク回避行動を促進するために、次の諸側面のいずれかあるいはそのどれもに重きを置いた安全対策や方策を考案すべきである。
 - 1) ドライバーのハザード能力を育成する、
 - 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) ドライバーの自己能力の評価を低減する、
 - 4) ドライバーのリスク知覚を高める、
 - 5) リスク回避の意思決定と行動の型を修得させる、
 - 6) リスクテイキング行動の効用を低減し、不効用を高める、
 - 7) リスク回避行動の効用を高め、不効用を低減する。
- (3) 死亡事故リスクなど特に生起頻度の小さなリスクに関しては、過大な認知リスクが形成され認知リスクのバイアスが安全側に作用するが、限界的な変化は客観的なそれよりも小さいためより危険な行動をとりやすく認知リスクのバイアスが甚大な事故を招く危険性を増大させる。したがって、一定の安全水準を実現するためには、その水準を上回る対策を実施することが必要である。
- (4) 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。
- (5) 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、却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、さもなく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。
- (6) 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、本研究で示した方法を援用して限定的ではあるものの定量的に評価することが可能であると考えられる。これにより、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。
- (7) 成文化されていない慣習的な交通ルールは、交通に関わる法制度を補完し円滑で安全な交通社会の実現に寄与している場合が少なくない。しかし、その認識が複数存在し、かつ社会条件によってはその認識が一意的なものに収束せず不安定な状態のまま推移する場合があります。このような場合には事故の原因となるため、当該慣習ルールの明文

化や使用禁止等何らかの法制度化を行うべきである。

- (8) 交通安全研究を遂行する際には安全方策の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である。ドライバーの危険回避行動のモデル化はそのための有用な道具立てを提供する。しかしドライバーが利用しうる情報、時間、判断能力等には限界があり、多くのモデルで暗黙の内に仮定されている期待効用最大化行動をとっているとは必ずしも言い切れない。この事実在即し、不確実性下の意思決定に関する期待効用理論の規範的意義に留意しつつも、より現実に即したモデル化を行うよう心がけることが重要である。

非売品

ドライバーの危険回避行動に関する基礎分析

発行日 平成11年 6 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。