

交通情報によるドライバーの経路誘導効果に関する研究

小林潔司*・井川 修**

公共主体による経路誘導情報の提供は、「情報の受信—経路選択—経験情報の蓄積」という学習過程を経て、1) 短期的にはドライバーの経路選択に、2) 長期的にはドライバーの期待形成に影響を及ぼす。本研究では合理的期待形成仮説に基づいた経路選択モデルを拡張し、上述の学習過程を合理的期待形成過程としてモデル化する。さらに、経路情報がドライバーの経路選択と期待形成に及ぼす影響を検討するための分析枠組を提示し、望ましい経路誘導をめざした情報提供方法に関して考察する。

Key Words : automobile navigation, route guidance information, route choice model, rational expectations, informational role of information

1. はじめに

Navigation systems等の経路誘導方策は、道路交通の重要な制御手段になりつつある。これらの方策は、公共主体がすべての(一部の)ドライバーに経路の走行条件に関する情報を事前に与え、ドライバーの経路選択行動を間接的に誘導することを目的とする。経路誘導情報の提示が経路誘導効果を発揮するためには、公共主体とドライバーの間に何らかの情報の非対称性が存在することが前提となる。つまり、ドライバーが有する私的な経路情報には不確実性が存在し、公共主体による情報提示が不確実性を軽減するように働く必要がある。

公共主体によるドライバーの経路誘導を取り扱った研究事例はいくつかある^{1)~3)}。これらの研究では公共主体がドライバーの経路選択に強制力を行使することを前提としており、経路誘導情報の提供がドライバーの経路選択に及ぼす影響を分析できる枠組にはなっていない。経路誘導情報の提供は、ドライバーの「情報の受信—経路選択—経験情報の蓄積」という過程を経て、1) 短期的にはドライバーの経路選択に直接影響を及ぼし、2) 長期的には、ドライバーの期待形成に影響を及ぼす。したがって、ドライバーの経路誘導をめざした情報提供システムを設計する場合、経路誘導情報に対するドライバーの短期的・長期的反応行動を考慮に入れることが不可欠である。本研究では、経路誘導情報の提供がドライバーの経路選択と期待形成に及ぼす影響を検討するための分析枠組を提示し、ドライバーの望ましい経路誘導をめざした情報提供方法に関して考察することとする。

経路情報の役割を明示的に考慮したドライバーの経路選択モデルに関していくつかの研究^{4), 5)}がなされている。

小林⁴⁾は「不確実な経路の走行条件に関して、ドライバーが利用可能な経路情報に基づき合理的な予測を行い期待効用を最大にするような経路を選択する」という合理的期待(Rational Expectations: 以下、REと略す)形成仮説を設け、ドライバーの合理的期待均衡に関して分析している。ドライバーが学習行動を通じて、主観的期待を更新する過程をベイズ学習モデルとして表現し、ドライバーのRE形成過程について分析している⁵⁾。これらの経路選択モデルの目的は、ドライバーが経路選択を繰り返すことにより経験情報を蓄積し、経路走行条件に関する期待を形成するメカニズムを記述する点にある。

本研究では、経路誘導情報の提供がドライバーの経路選択と期待形成に及ぼす影響を把握するための分析枠組を提示し、ドライバーの望ましい経路誘導をめざした情報提供システムの設計方法を提案する。以下、2.で、本研究の分析の視点を明確にし、3.において経路誘導情報が期待形成に及ぼす影響について考察する。4.で、ドライバーの経路選択・期待形成モデルを定式化し、5.で経路誘導情報システムの設計方法について考察する。6.では、数値計算事例を通じて経路誘導情報の提供がドライバーの経路選択に及ぼす影響について考察する。なお、本研究の分析では、筆者らが提案したRE形成モデル⁵⁾を用いることとする。しかし、分析の目的に沿ってモデルの内容を若干拡張する必要が生じた。したがって、本稿の3, 4.では、不必要な混乱を避けるために、前稿との重複を恐れずモデルの再定式化を試みている。モデルの誘導等の詳細については前稿⁵⁾を参照されたい。

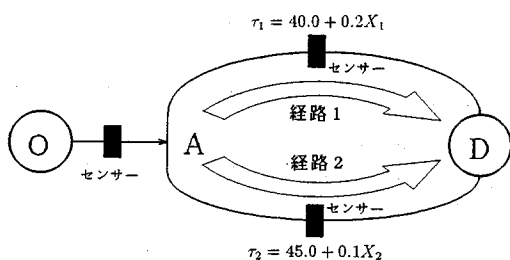
2. 分析の基本的枠組み

(1) 問題設定

公共主体が経路誘導情報(route guidance information: 以下、交通情報と略す)の提供を通じてドライバーの経路選択を間接的に制御する問題を考える。公共主体

* 正会員 工博 鳥取大学教授 工学部社会開発システム工学科 (〒680 鳥取市湖山町南4-101)

** 正会員 工修 (株)鴻池組



図一 対象とする経路誘導問題

は交通情報を提供するが、ドライバーの経路選択に対して強制力を行使しない。ドライバーは経路の自由選択が可能である。ドライバーは交通情報が十分に信頼性に足るものと判断すれば、交通情報に従うインセンティブを有する。いま、議論を明確にするために図一に示す問題を考える。各ルートには内々交通による混雑が生じるが、分岐点を通過するドライバーはその状況を知らない。公共主体は、各時点の内々交通量に基づいて各経路の走行時間を予測する。そのうえで、走行時間が最小となるであろう経路を推定し、その結果を分岐的の通過ドライバーに通知する。仮に、すべての通過ドライバーが公共主体が指定した経路を利用し、結果的に指定されなかった経路の方が走行時間が短くなったとしよう。このような状況が続けば、ドライバーの中には交通情報の信頼性に疑問を持ち、指定されない経路を選択しようとする者も現われよう。ある交通情報が提示された時どのような走行状態が実現するかは、その時点におけるドライバーの経路選択の結果として内生的に決定される。ドライバーは経路選択を繰り返し、交通情報がどの程度の信頼性を有しているかを学習する。学習結果はドライバーの選択行動に影響を及ぼし、結果的に交通情報の信頼性自体に影響を与える。したがって、公共主体が交通情報の提示方法を検討するためには、このようなドライバーの長期学習過程を明示的に考慮することが不可欠となる。

(2) 経路誘導問題の基本構成

交通情報によるドライバーの経路誘導効果を検討する問題を経路誘導問題と呼ぶ。交通情報を提供するためには、何らかの方法で道路網における交通流の状態をモニタリングし、実現するであろう各経路の走行状態を事前に予測する必要がある。モニタリング方法は多々あるが、ここではネットワーク上にいくつかのセンサーを配置する場合を想定する。ここで、時間軸を離散化しよう。公共主体は、モニタリング地点で当該期の期首までに観測された交通情報に基づいて、当該期に実現するであろう各経路の走行時間を予測する。そのうえで、公共主体は、当該期にある地点（例えば、図一の分岐点）を通過するドライバーに交通情報を提供する。

本研究では、公共主体がモニタリング情報に基づいて

当該期に実現するであろう各経路の走行時間を予測するメカニズム Γ を予測メカニズムと呼ぶ。予測メカニズムを設計する場合、公共主体が提供した交通情報に対してドライバーがどのように反応するかを明示的に考慮する必要がある。公共主体は予測結果を用いてドライバーに提供すべき交通情報の内容を決定する。その際、「すべての通過ドライバーに情報を与えるか否か」、「どの程度詳細な情報を提供するか」等、交通情報をどのようにドライバーに提供すべきかという問題が生じる。予測結果に基づいて交通情報の内容を決定するルール A を情報提供ルールと呼ぶ。このように交通情報の提供問題は、1) モニタリングシステムの設計（センサーの最適配置）、2) 公共主体の予測メカニズム Γ の設計、3) 交通情報提供ルール A の設計、という部分問題により構成される複合的な計画問題となっている。本研究では、モニタリングシステムを与件と考え、2)、3) の設計問題に焦点を絞る。交通情報の提供ルールを変更すれば、ドライバーの経路選択行動が変化し、結果として各経路の走行状態も変化する。したがって、予測メカニズムと情報提供ルールの設計問題は互いに密接に関連している。本研究では、公共主体がドライバーの厚生状態に基づいて、予測メカニズム Γ 、情報提供ルール A の望ましさを検討する問題を考えよう。この時、経路誘導問題は、ドライバーの厚生により定義される社会的厚生関数をできる限り大きくするような予測メカニズム Γ 、情報提供ルール A を設計する問題として定式化できる。このような経路誘導システムの設計問題は5、で考察する。

3. 交通情報と期待形成

(1) 経路情報の種類

経路選択に直面しているドライバーは実現する経路の走行条件を確定的に把握できない。彼は、経路選択に先だって、獲得可能な情報や過去の経験に基づいて各経路の走行条件を主観的に予測し、期待効用を最大にする経路を選択すると考える。小林⁴⁾は、ドライバーが走行条件の予測に用いる情報を「経路情報」と呼び、1) 道路網の物的特性、機能特性に関する情報、2) 公共主体が提示する「交通情報」、3) 天候・曜日等の外的条件に関する情報、4) ドライバーが有するその時々私的情報、5) 過去の走行結果に関する経験情報に分類している。1)、2)、3) はドライバーが事前にかなり正確に把握できる共有情報である。共有情報とは複数のドライバーが共有する情報であり、さらに共有化しているということすべてのドライバーが知っているような情報を意味する⁶⁾。本稿でも前稿⁴⁾と同様に、ドライバーは1)に関する情報を知悉していると考え。また、ある一定の外的条件のもとでのドライバーの経路選択行動に分析の焦点を絞る。したがって、共有情報として2)のみをとりあ

げる。一方、4)、5)は個々のドライバーが私的に占有する情報であり、他人がその内容を知ることはできない¹⁾。ドライバーは交通情報に必ずしも常に従うわけではない。その時々気まぐれや局所的なできごと(私的情報)がドライバーの経路選択に影響を及ぼす。また、ドライバーは過去の経験情報に基づいて交通情報の信頼性や各経路の走行状態を判断する。このように経験情報はドライバーの期待形成に影響を及ぼす。

(2) 効用関数の定式化

ドライバーは、2)交通情報と5)過去の経験情報に基づいて各経路の走行状態を主観的に予測する。ドライバーが予測した各経路の走行時間分布を主観的期待と呼ぶ。ドライバーの選択行動は、このような主観的期待だけでなく、その時々気まぐれや偶然的な出来事の影響を受ける。ここでは、私的情報4)を、ドライバーsが認知するその時々外的状況や嗜好状態と考え、状態変数 $\omega_s = \{\omega_{as}; a \in \delta_s\}$ で表す。 $\omega_{as} \in \Omega_{as}$ はドライバーsの経路aに特有な私的情報、 δ_s は、ドライバーsが選択可能な経路集合、 Ω_{as} は私的情報の集合である。 ω_{as} はその時々気分や偶然性によって変動する確率変数であり、確率密度関数 $\phi(\omega_{as})$ に従って変動すると考える。

経路選択を行うドライバーの集合を $S = \{1, \dots, Q\}$ で表す。経路選択を行うドライバーの数Qは、各期によって変動する確率変数であり、S自体も期によって変動する母集団過程²⁾となっている。ドライバーが有する私的情報の組を $\mu = \{Q, (\omega_1, \dots, \omega_Q)\}$ と定義する。 μ は私的情報の不完備性を明示的に表現した情報集合であり情報構造と呼ぶ。私的情報は確率変数であり、情報構造自体が確率的に変動する。ある時点でドライバーsが利用した私的情報の実現値を $\hat{\omega}_s$ 、実現した情報構造を $\hat{\mu}$ と表す。ドライバーsのみが私的情報 $\hat{\omega}_s$ を知ることが可能であり、どのような情報構造 $\hat{\mu}$ が実現しているかは誰も知らない。情報構造は各期で変化し、それに伴ってドライバーの経路選択行動も各期で多様に変化する。私的情報 ω_s は、経路選択に影響を与える偶然的・局所的な確率的要因であり、経路選択の直前にその値が $\hat{\omega}_s$ に確定する。私的情報はドライバーの心理的要因の効果を表わし、その時点の経路選択のみに影響を及ぼすと考える。ドライバーsの経路aに対する効用を

$$U_{as} = U(\tau_a, \hat{\omega}_{as}) \dots \dots \dots (1)$$

と表現する。なお、Uはノイマン＝モルゲンシュテルン型効用関数、 τ_a は経路aの走行時間、 $\partial U / \partial \tau_a \leq 0$ 、 $\partial^2 U / \partial \tau_a^2 \geq 0$ を仮定する。

(3) 交通情報と主観的期待

本研究では基本的には筆者らによるREE形成モデル³⁾を用いるが、以下では交通情報の役割を明示的に考慮できるようにモデルの内容を拡張することとする。経路aの走行時間 τ_a は、内々交通量や通過ドライバーの

経路選択の結果に依存し、その値は各期ごとに変動する。走行時間 $\tau_a(a \in \delta_s)$ は確率変数であり、ドライバーは経路選択に先だつてその値を確定的に把握できない。ドライバーは経路選択にあつて各経路の走行時間分布を予測する。ドライバーsの経路aの走行時間 τ_a に対する主観的期待 $\pi_{as}(\phi)$ を確率密度関数 $\pi_{as}(\tau_a; \phi)$ で表わす。 ϕ は交通情報の提示がない場合を表わす。ドライバーは主観的期待に基づいた期待効用 $V(\hat{\omega}_{as}; \phi)$

$$V(\hat{\omega}_{as}; \phi) = \int U(\tau_a, \hat{\omega}_{as}) \pi_{as}(\tau_a; \phi) d\tau_a \dots \dots \dots (2)$$

が最大となる経路を選択すると考える。

公共主体が交通情報を提供した場合を考える。交通情報の内容をメッセージと呼び、それを状態変数 $e \in \eta$ により表現する。図-1において選択を推奨する経路を指示する場合を考えよう。メッセージとして「経路1を利用せよ($e=1$)」「経路2を利用せよ($e=2$)」を考えれば、メッセージ集合は $\eta = (1, 2)$ となる。ドライバーは、異なるメッセージ $e \in \eta$ に対して異なる主観的期待を形成すると考える。メッセージeの下での主観的期待を独立な確率密度関数の組 $\pi_s(e) = \{\pi_{as}(\tau_a; e); a \in \delta_s\}$ により表現しよう。ドライバーがメッセージ集合 η に対して形成する主観的期待の集合 $\Pi(\eta)$ を、確率密度関数の組 $\Pi(\eta) = \{\pi_s(e); e \in \eta\}$ により表現する。厳密には、ドライバーの主観的期待はすべてのメッセージeを確率変数として同時に含む多次元確率密度関数で表現できる。しかし、言語的に表現されるメッセージを1元的な確率変数として表現することは困難であり、メッセージ集合全体に対する主観的期待を単一の多次元確率密度関数により表現することは不可能である。ドライバーが合理的期待を形成すれば、1次元確率密度関数により表現される主観的期待は、多次元確率密度関数で表現される主観的期待の条件付き確率密度関数に一致する。本研究は交通情報の長期的な経路誘導効果を分析することを目的としており、主観的期待を1次元確率密度関数の組により表現しても実用的には問題がないと考える。

公共主体がメッセージ \hat{e} を通知したとしよう。この時、ドライバーsの経路aに対する期待効用 $V(\hat{\omega}_{as}; \pi_{as}(\hat{e}))$ は、主観的期待の集合 $\Pi(\eta)$ に含まれる主観的期待 $\pi_{as}(\hat{e})$ を用いることにより以下のように表現できる。

$$V(\hat{\omega}_{as}; \pi_{as}(\hat{e})) = \int U(\tau_a, \hat{\omega}_{as}) \pi_{as}(\tau_a; \hat{e}) d\tau_a \dots \dots (3)$$

ドライバーは、期待効用を最大にする経路を選択する。

$$\gamma_s^*(\hat{\omega}_{as}; \pi_s(\hat{e})) = \arg \max_a \{V(\hat{\omega}_{as}; \pi_{as}(\hat{e}))\} \dots \dots (4)$$

記号argは、式(4)の右辺を最大にする経路を指示する。情報構造 $\hat{\mu}$ とメッセージ \hat{e} に対する主観的期待 $\pi_{as}(\hat{e})$ の下で、すべての通過ドライバーが選択した経路の集合を $\gamma^*(\hat{\mu}; \pi(\hat{e}))_{s \in S}$ と定義する。情報構造 $\hat{\mu}$ は私的情報により構成されており、各期のドライバーの経路選択

$\gamma^*(\hat{\mu}; \pi(\hat{\theta}))$ を事前に予測することは不可能である。

(4) 学習過程と合理的期待形成

ある時点で、公共主体が交通情報の提供を開始したとしよう。初期時点で、ドライバーは交通情報に対してある初期期待を形成する。その状態は個人によって多様に異なる。ドライバー s があるメッセージ e のもとで経路選択を行い、現実の走行時間が事前に予測した主観的期待 $\pi_{as}(\tau_a; e)$ と異なることに気づいたとしよう。その結果、彼は新しく獲得した情報を用いてメッセージ e に対する主観的期待 $\pi_{as}(\tau_a; e)$ を修正する。ドライバーは経路選択を繰り返し、それと同時に走行結果に基づいて主観的期待 $\pi_{as}(\tau_a; e)$ を逐次更新する。RE 仮説は、ドライバーのメッセージ e に対する主観的期待 $\pi_{as}(\tau_a; e)$ と、メッセージ e が提示された場合に実現する走行時間の客観的分布 $v_a(\tau_a; e)$ の双方が、長期的な学習過程の結果として同時に $RE\pi_a^*(\tau_a; e)$ に収束することを主張する。筆者等は走行時間関数がリフシツ連続性条件を満足し、ドライバーが合理的主体であれば、任意の初期期待が RE に収束するような学習ルールが存在することを示した⁹⁾。そこでは、長期均衡としてすべてのドライバーが $RE\pi^*(e) = \{\pi_a^*(\tau_a; e)\}_{a \in \mathcal{A}_s}$ を形成したような状況を合理的期待均衡 (Rational Expectations Equilibrium: REE と略す) と呼んでいる。

(5) 交通情報の中立命題

交通情報がドライバーの経路誘導効果を持つためには、ドライバーが各メッセージに対して異なった RE を形成しなければならない。換言すれば、異なったメッセージの下で実現する客観的な走行時間が互いに異なった確率分布に従わなければならない。ドライバーが交通情報の下で経路選択を繰り返し、主観的期待と経路選択の変更を繰り返す。交通情報の信頼性も変化する。長期学習の結果、ドライバーが RE を形成したとしよう。この時、「交通情報は、長期においても何らかの情報的役割 (Informational role of information) を果たするか」という疑問が生じる。交通情報が「情報」として実質的に機能しない場合、交通情報は中立的 (neutral) であると呼ぶ。

経済学の分野では、情報の中立命題に関する研究^{9)~11)} が蓄積されている。合理的期待均衡が成立する場合、将来財市場に参加する主体が獲得した財の将来価格に関する情報はその財の現時点での市場価格に反映され、結果的に主体が獲得した情報が「情報」としての役割を果たさなくなる。合理的期待均衡に関わる文献を通じて、極めて幅広い分野において、情報の中立命題が成立することが確認されている。交通情報がドライバーの経路誘導効果を発揮するためには、「交通情報の中立命題」が成立しないことが前提となる。ドライバーが合理的でないと考えれば、この種の命題が問題になることはない。む

しろ、重要なことは「ドライバーが RE を形成したとしても、交通情報に経路誘導効果が存在するか否か」という点にある。本論文では、経路誘導問題において交通情報の中立命題が成立するか否かという問題に対して1つの科学的アプローチを試みることにする。

市場価格が需要と供給の関係で求まるように、経路誘導問題の場合、各経路の走行時間は経路に対する需要と供給条件の相互作用の結果として求まる。主体が将来財を購入する場合、財の現在価格は市場で事前に観察でき、市場価格が将来価格に関する情報を他の主体に伝達する役割を果たす。経路誘導問題の場合、ドライバーが各経路の走行時間を事前に知りえず、市場価格のような役割を果たす情報が存在しない。したがって、経路誘導問題における情報の中立命題を市場均衡に関する議論と同じ枠組の中で検討することはできない。本研究では、交通情報の中立性を、個々のメッセージが何等追加的な情報をもたらさない状態として定義する。すなわち、任意の $e, e' \in \eta (e \neq e')$ と十分小さな ε に対して

$$\left. \begin{aligned} \|\pi_a^*(\tau_a; e) - \pi_a^*(\tau_a; \phi)\| < \varepsilon \\ \|\pi_a^*(\tau_a; e) - \pi_a^*(\tau_a; e')\| < \varepsilon \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

が成立する時、交通情報が中立であると呼ぶ。ここに、 $\|\pi_a^*(\tau_a; e) - \pi_a^*(\tau_a; e')\| = \sup_{\tau_a} \{|\pi_a^*(\tau_a; e) - \pi_a^*(\tau_a; e')|\}$ である。交通情報に対して実現する走行時間分布に変化が生じなければ、交通情報はもはや「情報」として機能しない。交通情報によりドライバーの経路選択を誘導しようとする試み自体が長期的には意味をなさなくなる。中立命題が成立する場合、ドライバーが RE を形成しえない極めて短期間のみ、交通情報が誘導効果を発揮しうることとなる。一方、中立命題が成立しない場合、情報提供は長期間にわたって実質的な効果をあげる。交通情報による経路誘導問題の難しさは、実現する走行時間分布自体が、ドライバーの経路選択、期待形成の結果として内生的に求まる点にある。交通情報の信頼性自体が、ドライバーのリスクに対する態度、その時々気まぐれ (私的情報) の分布等、ドライバーの選好の特性やその分布により影響を受ける。交通情報の中立命題に関しては 6. の数値実験を通じて検討する。

4. 経路選択・期待形成モデルの定式化

(1) 経路選択行動モデル

本分析では筆者らによる REE 形成モデル⁹⁾を用いるが、その内容は以下で述べるシミュレーションの内容と密接に関連している。そこで、REE 形成モデルを本分析の目的に即して再定式化しておく。ドライバーの期待形成を考える場合、リスクに対する態度を明示的に記述する必要がある。ドライバーが危険中立的 (走行時間の確実性を考慮しない) であれば、平均走行時間に関する

期待形成のみが問題となる。危険回避的であれば、経路走行時間分布に関する期待形成をモデル化する必要がある。以下ではドライバーの危険回避行動をモデル化できるように、走行時間分布に対する期待形成を明示的に考慮する。ドライバーの経路選択確率が互いに独立であれば、リンク交通量の分布を正規分布で近似できる⁴⁾。線形走行時間関数の場合、走行時間は正規分布に従う。非線形走行時間関数の場合、走行時間が正規分布に従う保証はないが正規分布は任意の確率分布の2次モーメントまでの近似と考えることができる。ドライバー $s, s' \in S$ の私的情報の独立性 ($E[\omega_{as}, \omega_{a's'}] = 0 (a \in \delta_s, a' \in \delta_{s'})$) を仮定する。私的情報はドライバーのその時々々の経路選択に影響を与える偶然的・局所的な要因を表わす。ドライバーは私的情報により当該期における各経路の効用の期待効用水準からのかい離の程度を判定する。ここでは ω_{as} が効用値の変動を表現していると考え。いま、絶対危険回避度一定の効用関数¹²⁾

$$U(\tau_a, \omega_{as}) = -1 + \exp\{-\zeta(\tau_a - E_s[\tau_a]) - E_s[\tau_a] + \omega_{as}\} \quad (6)$$

を仮定する。ここに、 $E_s[\tau_a]$ は主観的期待 $\pi_s(\tau_a; e)$ に関する τ_a の期待値、 ζ : 絶対的危険回避度 (U''/U') である。効用は時間単位で計測され、右辺第2項は期待値からのかい離に対する効用の偏差を表している。ドライバー s がメッセージ e に対して想定する経路 a の期待効用 $V(\omega_{as}; \pi_{as}(e))$ を期待値 $E_s[\tau_a]$ の近傍でテーラ展開する。この時、期待効用を走行時間の(主観的)期待値 $\pi_{1as}(e) (= E_s[\tau_a])$ 、(主観的)分散 $\pi_{2as}(e)$ 、私的情報 ω_{as} の加法和で近似できる。

$$V(\omega_{as}; \pi_{as}(e)) = -\pi_{1as}(e) - \frac{1}{2}\zeta\pi_{2as}(e) + \omega_{as} \quad (7)$$

ドライバーは期待効用(7)を最大にする経路を選択する。交通情報の提示がドライバーの経路誘導に及ぼす効果を検討するためには、各メッセージ $e \in \eta$ に対してドライバーがどのような主観的期待 $\pi_{1as}(e), \pi_{2as}(e)$ を形成するかを分析すればよい。

(2) 期待形成モデル

客観的走行時間分布と主観的期待はともに1次元正規分布に従うと仮定する。ドライバー s がメッセージ e の下で形成した t 期の主観的期待 $\pi_{1as}^t(e)$ を2つの母数(平均値 $\pi_{1as}^t(e)$ と分散 $\pi_{2as}^t(e)/2$) で表現する。彼が t 期までにメッセージ e のもとで経路 $a \in \delta_s$ を $n_{as}(e)$ 回利用したとしよう。 e の下で経験した走行時間実績値の集合を $\tau_{as}^t(e) = \{\tau_{as}^1, \tau_{as}^2, \dots, \tau_{as}^{n_{as}}; e\}$ と表わす。 t 期において e が提示され、彼は主観的期待 $\pi_s^t(e)$ に関して期待効用を最大にする経路 a を選択し、その結果新しい経験情報 τ_{as}^t が $\tau_{as}^t(e)$ に付加される。新しい $\pi_{1as}^{t+1}(e)$ に基づいてドライバーは主観的期待 $\pi_{1as}^t(e)$ を更新し、 $t+$

1期の主観的期待 $\pi_{1as}^{t+1}(e)$ を形成する。厳密に言えば、新しい経験情報を獲得すれば、メッセージ集合 η に対する主観的期待の組 $\Pi(\eta)$ を同時に修正することができる。主観的期待の同時学習過程を表現するには、3. で言及したような多次元確率密度関数の学習過程をモデル化する必要がある。本研究では操作性の高い期待形成モデルを定式化するために、あるメッセージ e のもとでの経路 a の走行経験に基づいて、ドライバーはメッセージ e に対する主観的期待 ($\pi_{1as}^t(e), \pi_{2as}^t(e)$) のみを修正し、それ以外の主観的期待は更新しないと考える。

筆者らが提案したベイズ学習モデルを用いれば、ドライバーの学習過程を t 期の新しい経験情報 τ_{as}^t を用いて主観的期待 ($\pi_{1as}^t(e), \pi_{2as}^t(e)$) を逐次更新するルールとして記述できる^{5), 13)}。

$$\begin{aligned} \pi_{1as}^{t+1}(e) &= \pi_{1as}^t(e) + \frac{1}{\nu_0 + n_{as}^t(e)} \cdot (\tau_{as}^t - \pi_{1as}^t(e)) \\ \pi_{2as}^{t+1}(e) &= \pi_{2as}^t(e) + \frac{1}{\alpha_t(e)} \left\{ \eta_{as}^t(e) (\pi_{1as}^t(e) - \tau_{as}^t)^2 - \frac{\pi_{2as}^t(e)}{2} \right\} \end{aligned} \quad (8)$$

ここに、 $\eta_{as}^t = \nu_{as}^{t-1}(e)/\nu_{as}^t(e)$, $n_{as}^t(e)$: t 期末までに e の下で当該経路を走行した回数、 $\alpha_t(e) = \alpha_0 + n_{as}^t(e)/2$, $\nu_{as}^t(e) = \nu_0 + n_{as}^t(e)$, ν_0, α_0 : 定数である。 $t+1$ 期における主観的期待値は、 t 期における主観的期待値 $\pi_{1as}^t(e), \pi_{2as}^t(e)$ と t 期における主観的期待の誤差(走行時間の実績値と主観的期待値との差)を用いて更新される。 t 期で選択しなかった残りの経路 $j (j \in \delta_s) \neq a$ の主観的期待は、その経路が利用されるまで更新されない。式(8)において t が十分大きくなれば、主観的期待を $\pi_{1as}(e) \approx \bar{\tau}_{as}^t(e)$, $\pi_{2as}^t(e) \approx \bar{s}_{as}^2(e)/n_{as}^t(e)$ と近似できる。 $\bar{\tau}_{as}^t(e)$ と $\bar{s}_{as}^2(e)/n_{as}^t(e)$ は、それぞれ標本平均、標本分散である。ドライバーが経路選択を十分多く繰り返せば、彼の平均時間、分散に関する主観的期待は客観的に実現する標本平均、標本分散に漸近し、最終的にREを形成する。

5. 経路誘導方法に関する検討

(1) 予測メカニズムの設計

ネットワーク上に配置したセンサーにより通過交通量を各期の期首に測定し、当該期に実現する各経路の走行時間を予測する問題を考えよう。地点 $i (i=1, \dots, n)$ で t 期の期首までに観測されたモニタリング情報(交通量)を $\chi^t = \{x_i^k; i=1, \dots, n, k=t, t-1, \dots\}$ と表す。公共主体は χ^t を用いて各メッセージ $e \in \eta$ を提供した場合に実現する経路走行時間の分布 $\Psi(\chi^t; e) = \{\Psi_a(\tau_a; \chi^t, e); a \in \Delta\}$ を予測する。予測メカニズムを $\Psi(\chi^t, e) = \Gamma(\chi^t; \Upsilon(e), \eta)$ と表現する。 Δ は経路集合、 $\Upsilon(e)$ はメッセージ e に対するドライバーの反応行動を予測するモデルである。公共主体はモニタリング情報 χ^t と予測

モデル $T(e)$ を用いてメッセージ e を提供した場合に実現する実走行時間分布 $\Psi(\chi^i, e)$ を予測する。ドライバーは公共主体が獲得したモニタリング情報を知ることではできない。したがって、ドライバーが予測する走行時間分布（合理的期待） $\pi^*(e)$ と公共主体が予測する走行時間分布 $\Psi(\chi^i, e)$ は一致しない。このような情報の非対称性が存在するため、公共主体はドライバーより正確に実走行時間分布を予測することが可能となる。

予測メカニズムの設計に関しては種々の手法が適用可能である。簡便で実用的な予測メカニズムを設計するためには今後の研究を待たざるをえないが、本研究では、以下の代替的な予測メカニズムを用いて交通情報の有効性を検討する。すなわち、1) 経路走行時間を正確に予測できるメカニズム Γ^{**} 、2) 合理的期待形成を考慮した経路選択モデル⁹⁾を用いる予測メカニズム Γ^* 、3) 等時間配分の結果を用いるメカニズム Γ^0 を考える。 Γ^{**} は、公共主体がドライバーの私的情報を完全に把握しているような理想的な予測メカニズムを意味する。公共主体がドライバーの私的情報を把握できない以上、 Γ^{**} を実際に構築することは不可能である。しかし、6. で行うシミュレーション実験では、理想的メカニズムを仮想的に構築することはできる。理想的メカニズムを用いた思考実験は、交通情報の効果や情報ルールの望ましさを比較・検討するための基準を与える。 Γ^* は、公共主体は私的情報を観測できないが、合理的期待は観測できると考えた実際の予測メカニズムである。この場合、公共主体は情報 e のもとで実現する当該期の走行時間を正確に予測することはできないが、その期待値は計算できると考える。 Γ^0 は、モニタリングされた交通量を各経路に等時間配分するメカニズムである。この場合、交通情報に対するドライバーの反応行動を考慮しておらず、3つの中では最も単純な方法である。予測メカニズムとしては、この他にも種々の方式が可能である。特に、モニタリングと情報提供の同期化等を考慮した動的配分モデルの開発、リアルタイムに計算可能な簡便な方法論の開発等が今後必要となろう。

(2) 情報提供ルールの設計

情報提供ルール Λ は、予測結果 $\{\Psi(\chi^i, e); e \in \eta\}$ を入力しメッセージ \hat{e} を出力するシステムである。情報提供ルールは、メッセージ集合 η と η の中からドライバーに通知するメッセージ \hat{e} を選択するルール Φ により表現される。選択ルールを $\hat{e} = \Phi(\Psi(\chi^i, e); e \in \eta)$ と記述する。情報提供ルールの設計にあたっては、この他にも (a) 情報を受け取るドライバーを差別化するか、(b) 情報を提供する期間をどう設定するか、等について検討する必要がある。(a) は、ドライバー全員に対して情報を提供するか否かという問題である。これと関連して情報の価格設定等も今後重要な検討課題となろう。また、

(b) と関連して「情報を常に各期において提供するのか」、「渋滞情報のようにある状態が発生したときだけ与えるのか」等の問題がある。現在のところ、以上の課題に関する研究例はほとんどなく、情報提供ルールに関しても今後解決すべき多くの問題が残されている。本研究では交通情報による経路誘導の可能性を検討することを目的としている。以下の数値計算事例では、情報ルールの詳細な決定問題には立ち入らず、メッセージに含まれる情報の多寡がドライバーの経路選択に及ぼす影響について分析するにとどめる。

(3) 経路誘導効果の評価

公共主体が望ましい経路誘導システム $\theta = (\Gamma, \Lambda)$ を設計する場合、どのような評価規範を設定すべきかが重要となる。評価の視点として、1) 道路ネットワークの機能性に着目する方法、2) ドライバーの厚生水準に着目する方法に大別できる。1) は、道路ネットワーク全体の機能性を、例えば信頼性という視点から評価する方法である¹⁴⁾。REE モデルを用いれば経路走行時間の確率分布自体を予測することができる。したがって、ネットワークの信頼性評価の視点から、経路誘導効果を分析することも可能である。2) の立場は、個々のドライバーの厚生状態を集計して経路誘導施策の望ましさを検討する方法である。特に、交通情報のドライバー間での差別化や情報の提供ルールに関してきめ細かく検討するためには、個々のドライバーの厚生水準に関する評価が不可欠である。このような問題意識のもとに、本研究では後者の立場から経路誘導施策の評価を試みる。

個々のドライバーの厚生状態を評価する場合、1) ドライバーの事前の主観的期待効用を用いる、2) 事後に実際に獲得した効用値に着目するという2つの考え方がある。前者は、経路選択の判断の時に想定した事前の効用水準を用いてドライバーの厚生を評価する考え方である。ある期の期首に私的情報値が $\hat{\omega}_s$ に確定し、経路選択の事前・事後を通じてその値が変化しないと考える。さらに、ドライバーは合理的期待を形成していると考えよう。この時、メッセージ \hat{e} 下で当該期に選択した経路 \hat{a} の事前の期待効用 $V(\hat{\omega}_{as}; \pi_{\hat{a}}^*(e))$ は

$$V(\hat{\omega}_{as}; \pi_{\hat{a}}^*(e)) = -\pi_{\hat{a}}^*(e) - \frac{1}{2} \zeta (\pi_{\hat{a}}^*(e) + \hat{\omega}_{as}) \dots (9)$$

と表わされる。一方、式(6)より事後の確定効用は

$$U(\tau_{\hat{a}}, \hat{\omega}_{as}) = -1 + \exp(-\zeta(\tau_{\hat{a}} - E^*[\tau_{\hat{a}}]) - E^*[\tau_{\hat{a}}] + \hat{\omega}_{as}) \dots (10)$$

と表わされる。一般にある期に選択した事前の期待効用と事後の効用値は一致しない。事前・事後の効用値を計測するうえで問題となることは、主観的期待と私的情報 $\hat{\omega}_{as}$ の値を直接観察することができない点にある。

RE 仮説の下では、長期的定常状態においてドライバーの想定する走行時間分布は事後に実現する走行時間

分布に一致する。したがって、長期間にわたって経路選択を繰り返すドライバーの事前の期待効用値と事後に確定する効用の定常的平均値は一致する。しかも、ドライバーの主観的期待と走行時間の客観分布が一致すれば、実際に実現する走行時間の確率分布を用いてドライバーの期待効用を計測できる。ドライバーがREを形成していない場合、公共主体が彼の主観的期待・私的情報を観測することはできず、ドライバーの立場から経路誘導効果を評価することは不可能となる。いま、経路誘導システム θ のメッセージ e に対するドライバーの定常状態における平均効用 $EV_s(e; \theta)$ を次式のように定義する。

$$EV_s(e; \theta) = E_{\omega_{as}}[\max_a \{V(\omega_{as}; \pi_a^*(e))\}; \theta]$$

$$= \sum_a \int_{-\infty}^{\infty} V(\omega_{as}; \pi_a^*(e)) \phi(\omega_{as}) d\omega_{as}$$

$$\prod_{a^*} \int_{-\infty}^{\bar{v}_{a^*s}} \phi(\omega_{a^*s}) d\omega_{a^*s} \dots \dots \dots (11)$$

ここで、 $\bar{v}_{a^*s} = \bar{c}_a(e) - \bar{c}_{a^*}(e) + \omega_{a^*s}$ 、 $E_{\omega_{as}}$ は私的情報 ω_{as} に関する期待値、 $\bar{c}_a(e) = -\pi_{1a}^*(e) - 1/2 \cdot \zeta \pi_{2a}^*(e)$: 事前の期待効用の確定項である。ドライバーの平均効用を用いて社会的厚生関数を定義しよう。経路誘導システム θ においてメッセージ e を受け取る相対頻度を $\beta_s(e; \theta)$ と表す。この時、社会的厚生関数 $SW(\theta)$ は

$$SW(\theta) = \sum_s \sum_e \beta_s(e; \theta) EV_s(e; \theta) \dots \dots \dots (12)$$

と表せる。望ましい経路誘導システムとは、社会的厚生関数(12)をできる限り大きくしうる $\hat{\theta} = (\hat{\Gamma}, \hat{\Lambda})$ として求まる。6.では、代替的な予測メカニズム Γ 、情報提供ルール Λ を組合わせたような経路誘導システムをいくつか想定し、交通情報の提供がドライバーの社会的厚生に及ぼす影響について考察する。

6. 数値計算事例

(1) 数値計算の概要

公共主体による交通情報の提示が、ドライバーの経路選択に及ぼす影響について分析する。図-1に示した例題で、分岐点Aを通過するドライバーに交通情報を提供する問題を考える。各期の通過交通量 Q は確率変数であるが、経路誘導システムの設計問題に分析の焦点を絞るため、各期を通じて通過交通量は一定(100台)と考える。これらの交通は同時に経路選択を行い、期間中に経路利用を終了すると考える。ドライバーは危険中立的($\zeta=0.0$)であると仮定する。すなわち、ドライバーはリスクを評価せず、期待走行時間に基づいて経路選択を行うと考える。各ドライバーの経路1, 経路2に対する初期期待を $N(50, 0)$ 、私的情報 ω_{as} はワイブル分布 $W(0, 10)$ 、各経路の内々交通は互いに独立な正規分布 $N(25, 10)$ に従うと仮定する。各経路の走行時間関数を線形関数 $\tau_b = \tau_0 + v_b X_b$ で表す。なお、 τ_0 : 経路走行時

表-1 情報提供ルールとメッセージ

	選択ルール Φ	メッセージ集合 η
Λ_a	各経路の期待走行時間を通知	$\eta = (m_1, m_2)$ $e = m_1$: 経路1が m_1 分 $m_1 = \{45, 50, 55, 60\}$ $e = m_2$: 経路2が m_2 分 $m_2 = \{45, 50, 55, 60\}$
Λ_b	選択を推奨する経路を通知	$\eta = (1, 2)$ $e = 1$: 経路1を利用せよ $e = 2$: 経路2を利用せよ
Λ_c	経路1に関する渋滞情報を提示	$\eta = (1, 0)$ $e = 1$: 経路1が渋滞 $e = 0$: それ以外

間、 τ_0, v_b : 定数、 X_b : 経路交通量である。各リンクの特性は図-1に示したとおりである。経路1は利便性は高いが混雑しやすい経路、経路2は若干迂回するが混雑が生じにくい経路を表わす。各期の期首に内々交通量が確定するが、ドライバーはその値を知りえず公共主体のみがその値を知ることができると考えよう。なお、内々交通のドライバーには交通情報は与えられず、通過交通のみに交通情報が与えられる。

(2) 経路誘導システムの設計

a) 情報提供ルールと合理的期待形成

情報提供ルールの経路誘導効果を分析するために理想的な予測メカニズム Γ^{**} を採用しよう。 Γ^{**} を用いた場合、公共主体は各期におけるドライバーの主観的期待 $\pi_s(e)$ と私的情報値 ω_{as} を観測でき、メッセージ e に対する事前の期待効用(9)と事後の確定効用値(10)を計算することができる。現実には、このような理想的メカニズムを設計することは不可能であるが、シミュレーション実験では仮想的に構築することができる。理想的メカニズムを用いた分析は、異なる経路誘導システムの性能を比較評価する基準を与える。一方、情報提供ルールとして1)各経路の期待走行時間を(5分刻みで)通知するルール Λ_a (ケース a)、2) 選択を推奨する経路を通知するルール Λ_b (ケース b)、3) 経路1に関する渋滞情報を提示するルール Λ_c (ケース c) を想定する。各ケースにおけるメッセージ集合 η とメッセージ選択ルール Φ を表-1に示す。

シミュレーションは以下の手順で実施した。1) 初期期待 $\pi_{as}^0(e)$ を設定する。2) 各期ごとに私的情報にはワイブル分布、内々交通量に正規分布に従う乱数をわりあてる。3) メッセージ $e \in \eta$ の下で、ドライバーが各経路に対して想定する期待効用(7)を算定する。4) 各ドライバーが選択する経路を確定する。5) 各ドライバーの経路選択の結果を集計し、各経路の走行時間を算定する。6) 私的情報値 ω_{as} と選択走行時間を用いて、メッセージ e に対してドライバーが事後に獲得する確定効用値(10)を計算する。7) 事後の確定効用値を集計し、

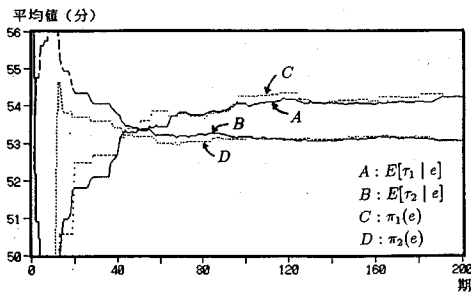


図-2 主観的期待と客観的分布の変化

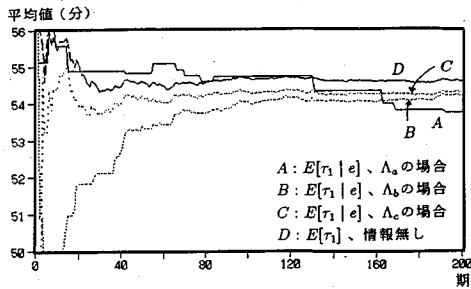


図-3(a) 情報量と経路誘導効果の関係(経路1)

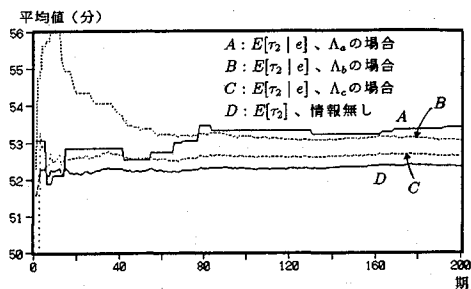


図-3(b) 情報量と経路誘導効果の関係(経路2)

その値がもっとも大きくなるようなメッセージを選択する。8) 式(8)を用いて主観的期待を更新する。現実には、このような理想的メカニズムの設計は不可能であるが、思考実験的に構築することは可能である。

図-2は、あるドライバーの主観的期待と客観的走行時間の平均値の時間的変化を示している。シミュレーションは400期まで繰り返したが、200期までに定常状態にほぼ到達している。ここでは、200期までの結果を示している。この図より主観的期待と客観的平均値は互いに急速に近接し、合理的期待に収束していくことがわかる。経路1と経路2の平均走行時間は一致せず、等時間原則は成立していない。図-3は情報提供ルール Λ_a がメッセージ $e=(60,55)$ を選択した期のみをとりあげ、それらの期において実現した客観的走行時間の平均値の時間的変化パターンを示したものである。(a)は経路1、(b)は経路2の結果を示しているメッセージ $e=(60,55)$ が提供された期のみを対象として平均値を求めているので、平均値の収束は緩慢である。しかし、いずれの情報システムを用いても、情報提供により2つの経路の平均

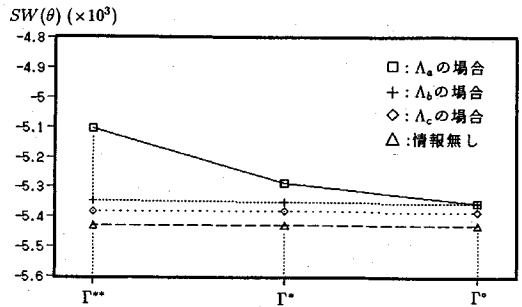


図-4 予測精度と経路誘導効果の関係

走行時間の格差は減少しており、情報提供による経路誘導効果が現われている。すなわち、交通情報の中立命題は成立せず、情報提供による経路誘導が長期間にわたって可能である。メッセージが伝達する情報量は Λ_a が最も多く、 Λ_c が最も少ない。この図より、経路1に関しては Λ_a を用いた場合の平均走行時間が最も小さく、逆に経路2では Λ_a がもっとも大きな平均走行時間を与えており、両経路の平均値の差は一番小さくなっている。より詳細な情報を提供することにより、より等時間配分に近い交通流が得られている。また、図-4は各情報提供ルールを用いた場合の社会的厚生関数値 $SW(\theta)$ の変化を示している。情報量が多くなる程、 $SW(\theta)$ は大きくなることが理解できる。交通情報の精度により経路誘導効果にどの程度の差異がでるかは、走行時間関数の形状、交通量の日変動の程度、私的情報の分散等によって多様に異なる。経路誘導効果とこれらの諸要因の間の定量的な関係について分析することは交通工学上非常に重要な課題であり、今後の検討課題としたい。

b) 予測メカニズムの精度の影響

以上では、公共主体がドライバーの経路選択に関する完全情報を有していると仮定した。しかし、公共主体は私的情報 ω_s を観測できない。この種の情報の不完備性を考慮した場合、経路誘導問題は格段に複雑になる。以下では、予測メカニズムの予測精度の差異がドライバーの経路誘導効果に及ぼす影響について考察する。予測メカニズムとして5.(1)で述べた $\Gamma^{**}, \Gamma^*, \Gamma^0$ を想定する。予測精度はこの順に低下する。 Γ^* を用いた場合のシミュレーションも、理想的予測システムと同様の手順で実施できるが、私的情報 ω_s が観測できないため、以下の点について修正する。ステップ4), 5)において、各ドライバーの選択経路を確定的に把握できない。私的情報 ω_{as} が分散 λ のワイブル分布に従うとし、メッセージ e の下でのドライバーの経路選択確率 $p_a(e)$ をロジットモデルを用いたREEモデル⁴⁾で表現する。

$$p_a(e) = \frac{\exp\{\lambda[-\pi_{1a}^*(e) - 1/2 \cdot \zeta \pi_{2a}^*(e)]\}}{\sum_{b \in A} \exp\{\lambda[-\pi_{1b}^*(e) - 1/2 \cdot \zeta \pi_{2b}^*(e)]\}} \dots (13)$$

メッセージ e に対する経路走行時間の期待値 $\bar{\tau}_a(e)$ をロジットモデルを用いて予測する。経路走行時間は内々交通の影響を受けるためこの値はドライバーには観測できず、公共主体のみが観測可能となっている。換言すれば、公共主体がドライバーに観測できない $\bar{\tau}_a(e)$ を知ることができるため、ドライバーの経路誘導が可能となる。また、公共主体は、私的情報を観測できないため、ステップ6)で各メッセージに対する事後の効用値(10)を確定的に予測することができない。

事後の確定効用に関する事前の期待値 $EU_s(e)$ を

$$EU_s(e; \theta) = \sum_a \int_{-\infty}^{\infty} U(\bar{\tau}_a; \omega_{as}) \phi(\omega_{as}) d\omega_{as} \cdot \prod_{a' \neq a} \int_{-\infty}^{\infty} \phi(\omega_{a's}) d\omega_{a's} \dots \dots \dots (14)$$

と定義しよう。ここに、 $U(\bar{\tau}_a; \omega_{as})$: 走行時間が $\bar{\tau}_a$ の時の事後効用である。ドライバーは事前の期待効用に基づいて経路を選択するが、事後に確定する効用が事前の期待効用に一致する保証はない。式(14)は、事後の走行時間の期待値が $\bar{\tau}(e)$ となることを把握した時に実現するであろう事後の確定効用の期待値を事前に評価した結果を示している。公共主体は事後効用の事前の期待値(14)を全ドライバーに対して集計した値を用いて集計値が最も大きくなるようなメッセージを選択する。さらに、 ω_{as} が独立なワイブル分布に従う時、式(14)を積分することにより次式を得る。

$$EU_s(e) = \lambda^{-1} \log \sum_a \exp(\lambda \bar{c}_a(e)) + \sum_a (\bar{c}_a(e) - \bar{u}_a(e)) p_a(e) \dots \dots \dots (15)$$

ただし、 $\bar{c}_a(e)$: 事前の期待効用(9)の確定項、 $\bar{u}_a(e) = -1 + \exp(-\zeta(\bar{\tau}_a - E^*[\tau_a])) - E^*[\tau_a]$: 事後効用(10)の確定項である。上式第1項はロジットモデルにおける合成効用項、第2項は期待効用値と事後に確定する効用値のかり離の期待値を表わしている。なお、ドライバーが各期で知り得る情報は e のみであり、期待走行時間 $\bar{\tau}_a(e)$ を知ることができない。換言すれば、公共主体は $EU_s(e)$ を知ることはできるが、ドライバーは $\bar{\tau}_a(e)$ を知り得ず、ドライバーは事後効用の事前の期待値 $EU_s(e)$ を知り得ない。本研究ではドライバーの厚生に基づいて経路誘導システムの評価を行う立場に立っており、ドライバーが知り得る情報に基づいてシステムの評価を行う必要がある。予測メカニズムの精度をドライバーの立場から評価するために、本研究では評価尺度として社会的厚生関数(12)を用いることとする。

図-4には、予測メカニズムと社会的厚生関数 $SW(\theta)$ の関係も示している。予測メカニズムの精度が低下する程、 $SW(\theta)$ の値は低下している。しかし、 Γ^0 のようにそれ程予測精度が高くない予測メカニズムを用いても情報提供により $SW(\theta)$ を増加する効果が現われている。

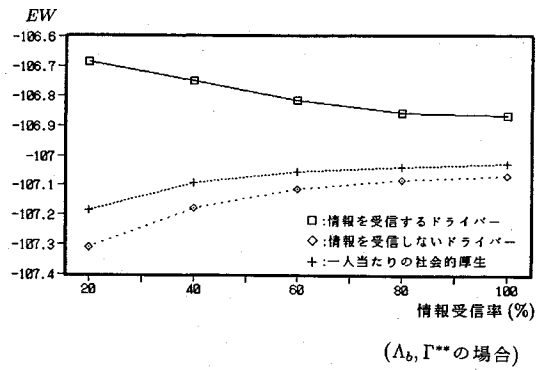


図-5 情報受信率と経路誘導効果の関係 (Λ_b, Γ^{**} の場合)

伝達する情報量が少ないルール (Λ_b, Λ_c) の場合、予測メカニズムの精度を向上させても $SW(\theta)$ はそれほど増加しない。逆に、伝達する情報量が多いルール Λ_a の場合、予測精度を向上させることにより $SW(\theta)$ も増加することがわかる。以上の結果は、より詳細な情報提供を試みるためには、より精度の高い予測メカニズムの開発が必要となることを示唆している。ただし、予測精度の向上と経路誘導効果の関連は、前述したような道路環境の諸条件によって多様に異なることが予想される。情報システムの経路誘導効果の定量的評価に関しては、きめ細かな分析を積み上げていくが必要になる。

c) 情報提供の差別化の影響

交通情報を受信するドライバーとそうでないドライバーに区別しよう。交通情報を受信するドライバーの全ドライバーに対する比率 $\xi(\%)$ を逐次変化させ、全ドライバー、交通情報を受信したドライバー、受信しなかったドライバー 1 人当たりの平均効用 $EW = \sum_{e \in \eta} EV_s(e, \theta)$ (式(11)) がどのように変化するかを分析した。その結果を図-5に示す。受信率が大きくなる程、全ドライバー 1 人当たりの平均効用は大きくなる。交通情報の提示により混雑する経路の混雑状況が緩和されるため、交通情報を受信しないドライバーの平均効用は増加する。すなわち、情報を受信しないドライバーも情報提供による経路誘導効果にただのり (free ride) することが可能となる。その結果、交通情報を受信したドライバーの 1 人当たりの平均効用は受信率が多くなるにつれて減少していく。情報を受信するドライバーの比率が多くなればなる程、社会的厚生は大きくなるが交通情報の 1 人当たりの経済価値は減少していく。交通情報の価格設定の問題を検討する場合、交通情報の望ましい受信比率について検討することが必要となる。

7. おわりに

ドライバーの期待形成の問題は、ドライバーが考える経路走行時間の分布が学習過程を通じてどのような RE に収束するかという問題として把握できる。公共主体が

交通情報を提供した場合、ドライバーは各情報(メッセージ)の下で主観的期待を形成する。この時、REは各メッセージに対する走行時間の条件付き確率密度関数として与えられる。公共主体が情報提供を通じてドライバーの経路誘導を行うためには、情報の中立命題が成立しないことが前提となる。本研究でとりあげた事例は極めて簡単なものであるが、交通情報の中立命題は成立せず、情報提供により経路誘導効果を長期的に発揮し得ることが判明した。情報提供による経路誘導問題に関しては研究の蓄積が乏しいのが実情である。特に、ドライバーの期待形成の問題を考慮した経路誘導問題に関しては、著者らの知る限り本研究がはじめての試みである。この種の研究は緒についたばかりであり、交通情報の最適な予測方法・提供方法に関するより詳細な研究を積み上げることが必要である。なお、本論文の枠組みの中においても、紙面の都合により1)ドライバーの危険回避度と経路誘導効果の関係、2)代替的な予測メカニズム、情報提供ルールの効果比較等、多くの分析結果を割愛せざるを得なかった。これらの結果に関しては別の機会に発表したいと考える。今後、本研究を進展させるためには、モニタリング情報をリアルタイムに駆使しうる動的な予測メカニズムの開発が重要な課題となる。また、情報提供の差別化を図るために交通情報の価格設定の問題を検討する必要がある。さらに、交通情報に対するドライバーの反応行動に関する実証分析も必要となろう。このように本モデルは多様な発展が可能であり、本稿で提案した分析枠組みにより情報提示によるドライバーの経路誘導問題に対する1つの方向付けを示し得たと考える。

参 考 文 献

1) 森津秀夫・大原竜也・多田典史・井上琢弥：経路誘導に

よる交通ネットワークフローの変化に関する分析，土木計画学研究・論文集，No.9，pp.37～44，1991.

- 2) 飯田恭敬・内田 敬・泉谷 透：旅行時間変動による損失を考慮した適正経路分担交通量，土木計画学研究・論文集，No.8，pp.177～184，1990.
- 3) 飯田恭敬・内田 敬：リスク対応行動を考慮した道路網経路配分，土木学会論文集，No.464/IV-19，pp.63～72，1993.
- 4) 小林潔司：不完備情報下における交通均衡に関する研究，土木計画学研究・論文集，No.8，pp.81～88，1990.
- 5) 小林潔司・藤高勝巳：合理的期待形成過程を考慮した経路選択行動モデルに関する研究，土木学会論文集，No.458/IV-18，pp.17～26，1993.
- 6) Aumann, R. : Agreeing to disagree, *Annals of Statistics*, Vol.14, pp.1236～1239, 1976.
- 7) Harsanyi, J.C. : Game with incomplete information played by Bayesian' players, I, II, III, *Management Science*, Vol.14, pp.159～182, 320～334, 486～502, 1967, 1968.
- 8) Moyal, J.E. : The general theory of stochastic population process, *Acta Mathematica*, Vol.108, pp.1～31, 1962.
- 9) Grossman, S. : *The Informational Role of Prices*, MIT Press, 1989.
- 10) Hellwig, M.F. : On the aggregation of information in capital markets, *Journal of Economic Theory*, Vol.22, pp.477～498, 1980.
- 11) Radner, R. : Rational expectations equilibrium : Generic existence and information revealed by price, *Econometrica*, Vol.47, No.3, pp.655～678, 1979.
- 12) Arrow, K.J. : *Essays in the Theory of Risk Bearing*, Chicago, Markham, 1971.
- 13) 繁枅算男：ベイズ統計入門，東京大学出版会，1985.
- 14) 例えば，飯田恭敬・若林 拓・福島 博：道路網信頼性の近似解析法の比較研究，土木学会論文集，No.407/IV-11，pp.107～116，1989.

(1992.11.13 受付)

PROVIDING ROUTE GUIDANCE INFORMATION FOR AUTOMOBILE NAVIGATION

Kiyoshi KOBAYASHI and Osamu IKAWA

This paper tries to provide a unified framework for understanding how drivers act in response to exogenously provided public route guidance information in the short run; and how they can form rational expectations-which is conditional to route guidance information-from repeated observation of traffic conditions in the long run. The learning is placed in the context of an iterative adjustment process which achieves equilibrium if drivers have rational expectations. Route choice models with rational expectations find a new justification since the models appear as limits of drivers' learning procedures. This paper also addresses to the question of whether route guidance information can convey substantial "information" to drivers even if drivers behave with rational expectations about their environment. The authors' answer is affirmative. The authors also try to propose an analytical framework for investigating the informational role of route guidance information.