

不確実性下の意思決定を考慮した逐次的情報参照モデル

羽藤 英二¹・朝倉康夫²・平井千智³

¹正会員 博(工) 愛媛大学助手 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 松山市文京町3)

²正会員 工博 愛媛大学教授 同上

³正会員 修(工) アジア航測株式会社 関西情報システム部 (〒564-0063 吹田市江坂町2-1-11)

本研究では、複数情報リソース下の逐次的な情報参照過程に着目した意思決定モデルの基本的なフレームワークを示す。従来、情報による行動変化の側面からのみ評価されてきた交通情報の価値について、意思決定の不確実性減少の観点から交通情報の価値を再定義し、期待最大機会損失の変化量として定式化した。さらに意思決定の逐次的プロセスに着目し、不確実性コストを考慮した情報参照モデルのフレームワークを構築し、実際の行動データを用いてケーススタディを行った。モデル推定の結果、意思決定の不確実性の高いドライバーが交通情報をより参照にしていること、複数情報リソースを提供することで経路選択の意思決定の不確実性が低減していることなどが明らかとなった。

Key Words : bounded rationality, information reference process

1. はじめに

インターネットに代表される情報インフラや、カーナビゲーションシステムといった情報端末の普及が、旅行者を取り巻く情報環境を大きく変えようとしている。交通社会における情報化技術の進歩は、効率的な道路交通環境の実現への期待をもたらす。様々な情報通信メディアを利用して所要時間などの交通情報を提供する高度交通情報システム(ATIS: Advanced Traveler Information Systems)の整備は、単にそれだけでは交通環境改善の可能性を与えたに過ぎない。様々なドライバーが関連しあう道路交通においては、より効率的な情報システムを構築するために、様々な交通情報をどのように運用すればドライバーが満足するのか、あるいは渋滞が改善するのか、といったシステム運用の指針が必要となる。

従来の交通情報提供の効果把握のアプローチは2つに大別される。交通行動分析的アプローチとネットワーク分析的アプローチである。前者は情報コンテンツの特性とトラベラーとの間のインタラクションについて、基礎的なデータを収集し、分析の結果得られた知見をもとに、交通情報システム下におけるトラベラーの交通行動モデルを構築しようとするものである^[1-3]。一方後者のアプローチでは、システム全体の分析の観点にたっており、情報利

用者と非利用者の経路選択行動を区別した上で、ネットワークフローと併せて記述することで、ネットワークにおける情報提供の効果分析が行われている^[4-6]。こうした研究アプローチは、均衡理論を応用した理論的な検討に基づくものと、シミュレーションアプローチによる情報提供の効果分析を前提としたものに大別される。

これらのアプローチにおいて共通する認識は、ドライバーは利用可能な全ての経路オプションについて完全な情報を与えられることは現実にはないため、情報の獲得行動と参照の過程を明らかにし、このプロセスと観測される交通行動との関係を考慮する必要があるという点である。

従来の効用最大化理論に基づいたモデル構造は、1時点の意思決定の状態を記述するモデルであるため、状態の変化を予測することが困難であることが指摘してきた^[7]。情報提供下の経路選択行動において、ドライバーはネットワークの交通状況の不確実性を情報を参照することで減少させようとする。この際ドライバーが認知している交通状況の不確実性は、情報の過去の参照履歴によって異なり、参照した複数の情報の内容は参照した各時点での経路選択意識に逐次影響を与える。こうした過程を考慮するなら、ドライバーの情報参照過程と経路選択肢の評価過程を明示的に意思決定の最終局

面だけではなく、その過程が導くものにも焦点をあてるプロセスマodel⁸⁾として記述することが望ましいと考えられる。逐次的な情報参照過程と旅行中の経路選択意識が互いに関連しあっている場合、こうした動的なインターラクションを無視したモデルでは、高度交通情報システム下の経路選択行動を説明できないからである。この問題は複数の情報リソースが存在しており、ドライバーが情報を取捨選択する必要があるようなケースでは、特に重要なといえる。しかし、実際にこうした交通情報の参照過程について行動モデルへの組みこみを前提とした理論的研究は少なく、情報の価値を規定するネットワークの状態の不確実性をどのように定式化するかといった理論的モデルフレームワークの構築が重要となる。

そこで本研究では、複数の情報リソースが存在する都市高速道路ネットワークを対象に、ドライバーの逐次的な情報参照過程の定式化を試みる。定式化においては、経路選択の意思決定における不確実性のコストを明示的に表現することで交通情報の価値の計測が可能な行動モデルのフレームワークを提案する。さらに、このモデルの妥当性を実際のドライバーの情報参照行動データを使って検証するとともに、複数の交通情報リソースに対するドライバーの逐次的な情報参照行動について得られた実証的な知見を紹介する。

2. 既往の研究

従来の交通行動モデルでは、全ての選択肢について完全な情報を入手した上でトラベラーが意思決定を行うという仮説に基づきモデル化がなされる。こうした行動仮説は、トラベラーの意思決定プロセスにきわめて強い合理性を仮定したものである。トラベラーが各選択肢の情報を参照する過程は捨象される。しかし、様々な交通情報サービスの普及により、トラベラーは能動的に情報を取捨選択し、交通行動の意思決定を行うことが予想される。

こうした点に着目し、情報の利用割合の変化がネットワークの総所要時間に与える影響について様々な分析が行われている。Al-Deek and Kanafani (1993) がincident発生時の迂回情報を提供するATISの便益を評価するためのシンプルな理論モデルを提案している⁹⁾。2経路のオフピーク時の選択問題を対象に、待ち行列の延伸と解消を時間軸で表現している。経路誘導の便益に変化が生じるクリティカルなATIS利用率は道路ネットワークの交通需要に対する代替経路の容量の割合に等しいことを示している。また、Hall (1996) はシミュレーションアプローチにより目的地までの各経路の所要時間を提供するATIS端末の普及率の向上とネットワークパフォ

ーマンスの関係を分析している¹⁰⁾。ここではドライバーを4種類のタイプに分類している。ATISの普及がネットワークパフォーマンスを逆に低下させる可能性もあること、予測情報が即時的な交通情報に対して遅れ時間を短くすることを示している。Mahmassani and Jayakarishman (1991) はシミュレーションシステムを用いて、1OD3リンクの単純ネットワークで、情報提供戦略と経路変更行動メカニズムの関係について分析している¹¹⁾。情報機器の普及率がネットワークパフォーマンスに大きな影響を与えることを明らかとした。情報利用割合とネットワークの渋滞改善効果に関係があるというこの種の知見は、情報提供の効果分析において、情報の参照過程を明示的に考慮することの重要性を示している。しかし、従来の合理的な行動仮説の枠組みは、情報獲得過程を考慮していないため、情報サービスの評価を行うには不十分であると考えられる。

Simon(1987)は従来のこうした合理的な意思決定モデルの問題点を指摘した上で、限定合理的意思決定モデルの枠組みを示し、選択肢の選別とその属性に関する情報の参照の過程を考慮することの重要性を指摘している¹²⁾。こうした観点にたてば、複数の交通情報リソースが混在する都市の道路ネットワークにおいて、ドライバーがどのような情報リソースを利用し、経路選択の意識がどのように変化しているのかをより実証的に分析した上で、限定合理的行動フレームワークに基づいたモデルを構築することの必要性が高いといえよう。

次に交通行動分析的アプローチに基づいて、Polydoropoulou et al. (1997) がSmarTravelerと呼ばれる電話を使った交通情報サービスに着目し、サービスの利用者と非利用者の情報利用行動をサービス効用という潜在変数を媒介し、サービス特性と情報の利用回数の関係をモデル化している¹³⁾。一方、走行中の逐次的な情報利用行動について分析した例は少ない。これは車内における動的な情報参照行動の測定が困難であることに起因するものと思われる。Emmerink et al. (1996) は、Amsterdamにおいて交通情報板やラジオ情報板を対象とした調査を行っている。情報参照行動について、ordered probit型のモデル推定を行い、異なる情報リソース間での参照行動の類似性を確認している¹⁴⁾。こうした研究では、情報参照行動を対象としているものの、交通情報価値の評価手法の検討よりも、交通情報の参照行動の基礎的理義に焦点がおかかれている。情報参照行動モデルの理論的フレームワークの開発と、行動論的観点にたった情報の価値の評価手法の確立が課題といえる。

一方、Yang (1998) は、均衡配分アプローチに基づき、情報参照行動評価の理論的な枠組みを示している¹⁵⁾。静的なリンクコスト関数を使って、均衡問題

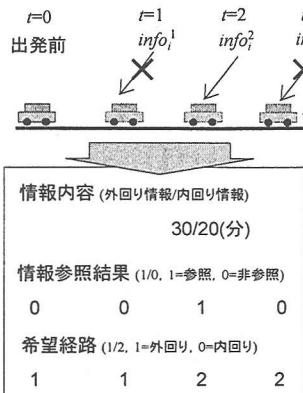


図-1 研究の対象

における情報利用層と非利用層の混合行動均衡問題の現実的な解法を提案している。所要時間情報を提供するATISの普及のレベルに応じて、ATISを購入したドライバーが受けける便益を旅行時間節約として測定している。その結果、マーケットにおけるATISの普及率は、ATIS非装着車の旅行時間に対する感度パラメータ θ が高くなるほど低くなることを示している。こうしたアプローチは、システムの価値を情報利用前後の所要時間の短縮効果で定義したもので、day-to-dayの学習効果により、情報の参照行動が均衡に達するという仮定を置いている。

また、本研究で対象とする情報提供における不確実性を取り扱った研究として、森地、兵藤、小川(1995)は、知覚所要時間の評価値を用いて情報提供前後の経路選択モデルの効用関数パラメータから情報システムの精度の評価パラメータを求める手法を提案している¹⁶⁾。飯田、宇野、村田(1993)は一連の研究の中で、認知旅行時間の形成プロセスにおいて、情報の精度が高いほど、情報への依存度が高く、経験の依存度が低くなることなどを確認している¹⁷⁾。Mirchandani and Hosseini(1987)は、確率的利用者均衡配分モデルの枠組みの中で、ドライバーの旅行時間の不確実性の認知の違いを明示的にモデル化し、ネットワークの信頼性が評価可能なモデルを提案している¹⁸⁾。これらの研究では、いずれも情報もしくは所要時間認知の不確実性の評価値とドライバーの経路選択行動の関係に焦点があてられており、逐次的な情報参照行動過程と意思決定の連続的な相互プロセスに着目して不確実性を取り扱った研究はない。

本研究では、これに対して en-route の逐次的な情報参照行動過程を対象とする(図-1)。不確実性下の逐次的な経路選択意思決定プロセスにおける情報参照行動モデルの理論的フレームワークを示す。ここで情報参照行動とはドライバーが既存の情報板を見て、そこに表示されて

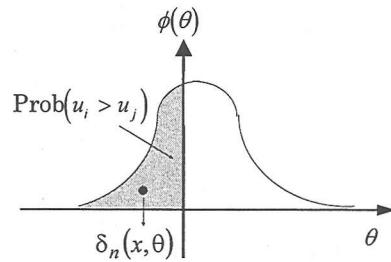


図-2 ドライバーの認知しているネットワークの状態空間

いる情報を経路選択の参照にする行動として定義する。

さらに、従来の研究が情報参照行動による利得の側面から情報の価値の分析を行ってきたのに対し、ここでは、意思決定の不確実性の減少という観点から情報の価値を再定義することを試みる。情報による経路選択の変化は、利得の変化をもたらし、これを積み上げることで、ネットワークの渋滞改善効果が明らかとなる。一方、情報によってドライバーが経路を変更しない場合でも、意思決定の不確実性を低減させるという効果がある。不確実性の低減という観点から交通情報の価値を再定義し、不確実性下の情報参照行動モデルを定式化する必要性が高いと考える。

3. 意思決定の不確実性と交通情報の価値

交通情報の参照行動を論じようとするとき、情報の不確実性とその価値から離れて議論することはできない。どんな情報であれ、情報について議論するとき、必ず不確実性が存在する。ヒトは不確実な状況において情報の価値を認め、情報を購入する。確実性のなかで情報を語ることは無意味といえよう。

不確実性は、トラベラーの意思決定環境に対する知識の不完全性に基づく環境的不確実性として捉えることができる。意思決定者がみずからコントロールできない決定環境に関する知識の不完全性が、情報の価値を生み、情報の購入が生じる。本章では、こうした意思決定の不確実性を前提とした逐次的な情報参照行動モデルの枠組みを示す。

(1) 不確実性と行動-認知状態空間の定義

本節では、情報参照行動を考える上で基礎となる行動-状態空間及び、不確実性のコストについて定義する。不確実性下の意思決定では、ドライバーはネットワークの状態の生起について、どの状態が生起するか完全な知識を持ち合わせていないことが前提となる。ここでは

ドライバー個人の知識の曖昧さを確率分布と考えることにより不確実性のコストの数値化を試みる。

ドライバーが経路選択行動について、認知している状態-行動空間 (Θ, X) を考える。 Θ はドライバーが認知している起こりうる結果の状態空間 $\Theta = (u_i, u_j)$ を表す。 $X = (x_1, x_2)$ はドライバーが認知している行動空間を示す。 u_i は経路 i の効用であり、 x_i は、経路 i を選択するという行為を示す。

こうした認知状態-行動空間 (Θ, X) 上で経路選択の意思決定を行うドライバーは、経路選択の知識の不完全性からネットワークの状態空間 Θ を完全にしか認知することができない。このようなケースにおいて、ドライバーの認知しているネットワークの状態空間を確率分布 $\phi(\theta)$ で仮定する(図-2)。ここで $\theta = u_i - u_j$ とする。

ドライバーのネットワークの生起状態に対する認知が不完全である状況では、選択しなかった経路が選択した経路よりも早かった場合、ドライバーが損をするという現象が起こる。こうした現象を機会損失と定義する。機会損失が発生することの根拠は、一つは不確実性の存在であり、もう一つは選択の自由である。それ故、不確実性を機会損失によって評価することが考えられる。経路選択の意思決定における不確実性のコストを、期待機会損失の最も少なくなる行動 x をとったときの機会損失量 $\delta_n(\theta, x)$ と定義し、次節において期待機会損失の定式化を行う。

(2) 機会損失の定式化

不確実性下の意思決定では、ドライバーは不完全な情報に基づいて選択経路を決定するため、機会損失の可能性をゼロにすることは難しい。交通情報はこうした機会損失を減少させるために用いられるといえよう。ここで、個人 n の機会損失 $\delta_n(\theta, x)$ を以下の式(1)で表わす。

$$\begin{aligned}\delta_n(\theta, x) &= \max_{x \in X} g_n(\theta, x) - g_n(\theta, x) \\ &= g_n(\theta, d(\theta)) - g_n(\theta, x)\end{aligned}\quad (1)$$

ここで、 $d(\theta)$ は、ネットワークの状態が θ のとき、経路集合 X に関する完全な情報をドライバーが有する場合の最適な行動を決定する関数である。最適な行動とは、所要時間の最短となる経路をドライバーが実際に選択することを指す。次に、 $g_n(\theta, x)$ は、ドライバーが認知するネットワークの状態が θ のとき、任意の行動 x をとったときに得られると期待される利得である。機会損失は、ある自然の状態例えば経路1が早いといった状態が出現したとき、実際の行動結果は経路2を選択しており($x=2$)、選択した行動が結果的には最適に達していないケースに失われる利得として定義できる。これを期待効用を単位とする一般的な定義に拡張すると、式(1)は以下の式(2)で記述で

きる。

$$\delta_n(\theta, x) = u_n\{g_n(\theta, d(\theta))\} - u_n\{g_n(\theta, x)\} \quad (2)$$

ここで、このとき、経路選択の意思決定を行う際の不確実性コストは式(3)、式(4)により表わされる。

$$\hat{\delta} = \min_{x \in X} \sum_{i=1}^n P_i \cdot \delta(\Theta, x) \quad (3)$$

$$P_i = \text{Prob}[u_i > u_j] \quad (4)$$

経路選択の意思決定における不確実性のコストは、期待最大機会損失の最も少なくなる行動 x をとったときの機会損失量(式(3))として定義できる。

ここでドライバーが認知しているネットワークの状態 Θ は、図-1に示した2本の経路選択肢について、以下の正規分布に従うことを仮定する。ここでは主観的効用差 $u_i - u_j$ の分散を σ おく。

$$E[\Theta] = v_i - v_j, \quad \text{var}[\Theta] = \sigma \quad (5)$$

このとき、ドライバー n が行動 x をとることを考えた場合の期待機会損失は最終的に以下の式(6)で表わすことができる。

$$\hat{\delta}_n(\theta, x) = \int_{-\infty}^0 \theta_n \cdot f(\theta_n) d\theta_n \quad (6)$$

ここで、 $f(\theta_n)$ はドライバーが認知するネットワークの状態空間の確率密度関数を示し、正規分布の確率密度関数を仮定すると、以下の式(7)で表わすことができる。

$$f(\theta_n) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\theta_n - (v_i - v_j)}{\sigma}\right)^2\right] \quad (7)$$

交通情報を参照することの事後的な価値は、情報提供前後の不確実性の変化量で表現できるため、情報参照前を t 期、情報参照後を $t+1$ 期とすると、以下の式(8)で表わされる。

$$V(\Theta^t \rightarrow \Theta^{t+1}) = \hat{\delta}^t - \hat{\delta}^{t+1} \quad (8)$$

情報の価値 V は、情報を参照することで減少した期待最大機会損失の量と等価である。情報の価値は情報提供後において事後的に計測可能となる。

4. 逐次的情報参照モデル

(1) モデルのフレームワーク

本研究では、ドライバーの走行中の経路選択の意思決定とそれに伴う不確実性のコストを明示的に取り扱う

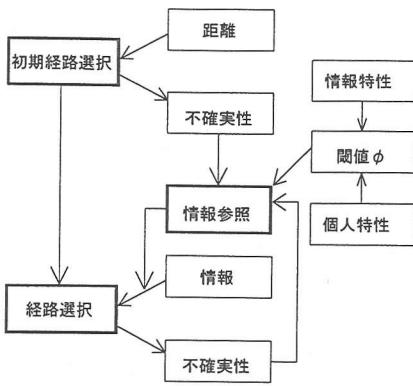


図-3 モデルの基本構成

ことで、逐次的な情報参照過程を図-3 のようにモデル化する。モデルにおいて、経路選択の意思決定プロセスを経路比較評価と情報参照という2つのシーケンスに分割して考える。

交通情報の定義を、「ネットワーク上の不確実な事象に関する何らかの知識、すなわち不確実性を減少させる何らかの追加的知識」とする。交通情報の精度が高く、情報内容がいかに分かりやすくても、経路選択の意思決定における不確実性が小さければその人にとって、情報の必要性は小さくなると思われる。交通情報は経路選択の意思決定の不確実性を低減するために用いられるからである。

本研究では、不確実性を表す指標として前節の式(6)により定式化した期待機会損失を用いる。期待機会損失が小さい場合、経路選択の意思決定における不確実性のコストは小さい。こうしたケースでは情報を参照にしないと考えられる。一方、意思決定における不確実性のコストが大きいとき、すなわち期待機会損失がある値(閾値)より大きいときには情報を参照にすると考える。ドライバーは情報リソースを参照にした際に経路の効用を比較し、意思決定における不確実性のコストの程度に応じて次の情報リソースを参照するかどうかを逐次的に判断していく

なお、本研究ではモデル化の範囲を図-1 のように設定する。選択可能な経路は2本である。出発前、及び各情報板リソース通過時の各時点 t における情報参照、経路選択のプロセスをモデル化する。なお、時点を表す t は、本来連続変数であるが、ここでは情報板が設置されている地点を通過した時刻として離散的に取り扱う。

(2) 情報参照モデルの定式化

t 期における期待機会損失 $\hat{\delta}_n^t$ が、閾値 S_n^t より大きい

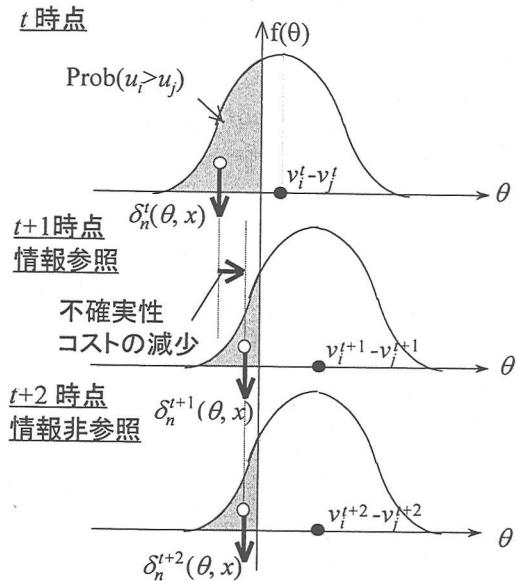


図-4 情報参照による機会損失の推移

ときに、 $t+1$ 期に提供される交通情報メッセージ($t=1$: 所要時間情報板、 $t=2$: 図形情報板、 $t=3$: 文字情報板)を参照にするというモデルを考える(図-4)。

情報参照結果

$$r = 1, \quad \text{if} \quad \delta_n^t > S_n^{t+1} \\ r = 0, \quad \text{if} \quad \delta_n^t \leq S_n^{t+1} \quad t = 0, 1, 2, 3 \quad (9)$$

ここで、 $r = 1$ は情報を参照するケースを $r = 0$ は参照にしないケースを示す。 δ_n^t は確率変数であり、 t 期の機会損失を示し、式(10)で表せる。

$$\delta_n^t = \hat{\delta}_n^t + \varepsilon_n^t \quad (10)$$

S_n^{t+1} は確率変数であり、 $t+1$ 期の閾値を示す。式(11)で表される。

$$S_n^{t+1} = s_n^{t+1} + \varphi_n^{t+1} \quad (11)$$

閾値の確定項 s_n^t は式(12)で表す。

$$s_n^t = \sum_m \gamma_m \eta_m + \sum_n \lambda_n trip_n + \sum_o \kappa_o source_o \quad (12)$$

η_n は個人 n の性別、年齢、経路の利用頻度などの個人属性、 γ_m は情報リソース m におけるその効果パラメータを示す。 $trip_n$ は移動目的道路の混雑状況など移動に関する変数、 λ_n は情報リソース n におけるその効果パラメータを示す。 $source_o$ は、情報の表示範囲など情報リソースそのものに関する変数を κ_o はその効果パラメータを示す。閾値にこのような属性を組み込むことにより情

報リソースの特性、ドライバーの個人特性などが情報参照行動に及ぼす影響を考慮する事ができる。式(10)、式(11)の右辺第2項の確率項の差に正規分布を仮定すると情報参照確率は式(13)で表せる。

$$Q'^{+1} = \text{Prob}\left[\delta_n' > S_n'^{+1}\right] = \Phi\left(\hat{\delta}_n' - s_n'^{+1}\right) \quad (13)$$

(3) 経路選択モデルの定式化

t 期の経路 i, j の効用 u_i^t, u_j^t は式(14)、(15)で表せる。

$$u_i^t = v_i^t + \varepsilon_i^t \quad (14)$$

$$u_j^t = v_j^t + \varepsilon_j^t \quad (15)$$

式(14)、式(15)の右辺第二項は、各経路の効用の確率項を示す。このとき確率項は式(5)の主観的効用差の分散とは厳密には異なる。式(14)、式(15)の確率項は、個人間の主観的効用の変動を示し、式(5)の分散 σ は個人内の主観的効用差の変動を示している。効用の確定項 v_i^t, v_j^t は目的地までの距離 dis と t 期までに獲得した情報表示内容 $info_i^t, info_j^t$ を用いて式(16)、(17)で表す。

$$v_i^t = \alpha \times dis_i + \sum_{i=0}^l \omega' \beta \times info_i^t \quad (16)$$

$$v_j^t = \alpha \times dis_j + \sum_{i=0}^l \omega' \beta \times info_j^t \quad (17)$$

ω' は過去に提供された情報を参照にしていれば 1 のダミー変数で、式(18)で表せる。 ω' を入れることにより、情報参照する人と、参照しない人の経路の効用の変化を明示的に取り扱うことができる。

$$\begin{aligned} \omega' &= 1, & \text{if } Q'(r|r=1) \geq 0.5 \\ \omega' &= 0, & \text{if } Q'(r|r=1) < 0.5 \end{aligned} \quad (18)$$

式(14)、(15)の確率項 $\varepsilon_i^t, \varepsilon_j^t$ の差に正規分布を仮定すると、各経路の選択確率は式(19)で表せる。

$$P_i^t = \text{Prob}\left(u_i^t > u_j^t\right) = \Phi\left(v_i^t - v_j^t\right) \quad (19)$$

最尤推定法により、時点 t 毎に尤度関数 L^* を最大にする α, β を求める。

$$L^* = \prod_{n=1}^N P_i^t \delta_i \times P_j^t \delta_j \quad (20)$$

ここで、 N はサンプル数、 δ_i は情報リソース通過毎の経路選択結果が i であれば 1 の、 δ_j は情報リソース通過毎の経路選択結果が j であれば 1 のダミー変数である。

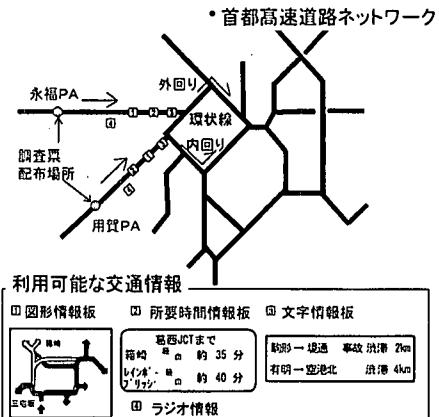


図-5 調査対象エリア

5. データの概要

前節までに定式化した情報参照モデルと不確実性下の機会損失式を用いて、交通情報の価値評価分析を行う。

対象路線は、ドライバーが実際に複数の交通情報リンクを利用して経路を選択している東京都市圏の首都高速道路ネットワークとした(図-5)。

首都高速道路では「ラジオ情報」として、複数のラジオ局が交通情報を随時放送しており、路線全域で交通情報の入手が可能であると共に、混雑状況を色で表示する「图形情報板」と、渋滞距離、事故状況等を表示する「文字情報板」、特定の目的地までの旅行時間を表示する「所要時間情報板」が存在しており情報板は郊外から都心に向かって、图形情報板、所要時間情報板、文字情報板が各々設置されている。ドライバーはこれらの情報を獲得・参照しながら、目的地までの経路を選択している。

ドライバーの行動と情報表示内容、交通状況のマッチングデータベースの作成のために3種類の調査を実施した。アンケート調査、ナンバープレート書き取り調査、情報板表示内容調査である。調査は1998年10月26日(月)～30日(金)の平日5日間、7:00～17:00にかけて行った。

アンケート調査は郊外のPA(パーキングエリア)に停車中のドライバーに調査票を配布し、郵送回収形式で調査日当日のJCT(ジャンクション)における選択肢選別の意識、情報参照結果、経路選択結果について回答してもらい、郵送回収した。ナンバープレート書き取り調査では、アンケートを配布した車両のナンバープレート番号を書き取り、PAから出発する時刻の特定を行った。次に車両感知器データを用いて、PA出発時刻から各情報板の下を通過するまでに要する時刻を推計した。これによ

表-1 経路選択モデルの推定結果

		$t=0$	$t=1$	$t=2$	$t=3$
		P A	所要時間情報板	図形情報板	文字情報板
首都高速道路 3 号線					
距離	(外回り)	-0.186 (-13.7**)	-0.182 (-11.70**)	-0.275 (-11.03**)	-0.363 (-9.03**)
	(内回り)	-0.184 (-14.7**)	-0.189 (-12.10**)	-0.266 (-11.70**)	-0.342 (-9.66**)
所要時間情報表示時間	(外回り)		0.004 (0.13)	-0.074 (-1.89*)	-0.108 (-2.23**)
	(内回り)		0.031 (0.83)	-0.053 (-1.09)	-0.097 (-1.68*)
図形情報所要時間換算値	(外回り)			0.010 (1.04)	-0.001 (-0.46)
	(内回り)			-0.007 (-0.78)	-0.023 (-2.12**)
文字情報板表示渋滞距離	(外回り)				0.169 (1.23)
	(内回り)				0.119 (0.58)
文字情報板表示事故情報	(外回り)				-0.237 (-0.22)
	(内回り)				-0.001 (-0.01)
初期尤度		-280.7	-280.7	-280.7	-280.7
最終尤度		-185.5	-179.6	-144.1	-123.9
サンプル数		405	405	405	405
自由度調整済尤度比		0.34	0.35	0.48	0.55
首都高速道路 4 号線		P A	図形情報板	所要時間情報板	文字情報板
距離	(外回り)	-0.207 (-12.14**)	-0.270 (-12.67**)	-0.264 (-11.50**)	-0.352 (-11.24**)
	(内回り)	-0.187 (-11.53**)	-0.241 (-11.14**)	-0.235 (-10.64**)	-0.308 (-11.22**)
所要時間情報表示時間	(外回り)			-0.036 (-1.38)	-0.020 (-0.66)
	(内回り)			-0.037 (-1.25)	-0.039 (-1.19)
図形情報所要時間換算値	(外回り)		-0.029 (-1.87*)	-0.030 (-1.87*)	-0.039 (-1.74*)
	(内回り)		-0.035 (-1.63*)	-0.040 (-1.86*)	-0.054 (-2.23**)
文字情報板表示渋滞距離	(外回り)				-0.251 (-2.31**)
	(内回り)				-0.141 (-0.54)
文字情報板表示事故情報	(外回り)				-0.351 (-0.88)
	(内回り)				0.418 (0.78)
初期尤度		-162.2	-162.2	-162.2	-162.2
最終尤度		-109.6	-89.3	-89.0	-71.5
サンプル数		234	234	234	234
自由度調整済尤度比		0.32	0.44	0.44	0.54

注0) ()内の数値は t 値, * : 5%危険率で有意, ** : 1%危険率で有意

注1) 距離: 首都高速ジャンクションから目的地までの外まわりと内回りを使った場合の距離

注2) 所要時間: 所要時間情報板に表示された首都高速ジャンクションから葛西まで外まわりと内回りを使った場合のそれぞれの旅行時間

注3) 所要時間換算値: 図形情報板に色別で表示された渋滞状況を、赤=5km/h、黄=30km/h、緑=80km/hとしたときの外まわりと内回りを使った場合のそれぞれの旅行時間

注4) 渋滞距離: 文字情報板に表示された外回りと内回りに関するそれぞれの渋滞距離

注5) 事故情報: 文字情報板に表示された外回りと内回りに関する経路上で事故が発生していれば1、発生していないければ0のダミー変数

りアンケート配布車両が情報板を通過する際に情報板に表示されていた内容を特定することが可能となる。

情報板の表示内容調査では、情報板の表示内容の数値化を行った。図形情報板の表示内容は、簡易図形上に実際に表示された表示パターン図を5分毎にハードコピーにとり、赤色のリンク長と黄色のリンク長を数値化した。以上の3種類のデータをマッチングさせることで情報の表示内容とドライバーの情報獲得過程、選択肢選別過程および経路選択意思決定過程の分析が可能なデータベースを作成した。アンケート票の回収状況は配布数4,357に対して回収数が1,344、回収率は31%であった。このデータについて、各情報板の通過時刻を算出し、情報板の表示内容とのマッチングを行った結果、分析可能な有効回答数は928サンプルとなった。以下、こ

のデータを用いてケーススタディを行う。なお、データでは、利用頻度が週に数回以上のドライバーが全体の7割以上を占めた。こうしたドライバーは、経路選択において内回り、外回りの各経路に固有のランプ構造などを考慮していることが考えられる。このため次節以降のモデル推定では、経路選択肢固有のパラメータを推計し、これを考慮した。

6. ケーススタディ

(1) モデル推定結果

不確実性下の期待最大機会損失を推計するために経路選択モデルの推定を行った。モデル推定において

表-2 不確実性コストの推移

	$t=0$	$t=1$	$t=2$	$t=3$
3号線 全体				
平均機会損失	0.0858	0.0789	0.0592	0.0497
機会損失の変化量	-	-0.0070	-0.0196	-0.0096
<i>t</i> 時点で情報を参考にする人の <i>t-1</i> 時点での機会損失				
平均機会損失	0.1172	0.1022	0.0786	0.0629
機会損失の変化量	-	-0.0057	-0.0251	-0.0157
4号線 全体				
平均機会損失	0.0872	0.0680	0.0657	0.0517
機会損失の変化量	-	-0.0192	-0.0022	-0.0140
<i>t</i> 時点で情報を参考にする人の <i>t-1</i> 時点での機会損失				
平均機会損失	0.0978	0.0830	0.0654	0.0507
機会損失の変化量	-	-0.0277	-0.0067	-0.0146

表-3 不確実性コストを考慮した情報参照モデル

個人特性	3号線			4号線		
	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=1$	$t=2$	$t=3$
	所要時間情報板	图形情報板	文字情報板	图形情報板	所要時間情報板	文字情報板
性別	-0.225(-0.48)	-0.021(-0.04)	0.369(0.88)	-0.428(-1.01)	0.370(0.81)	0.164(0.37)
年齢	0.144(0.93)	-0.236(-1.62 [*])	-0.204(-1.32)	0.070(0.37)	-0.017(-0.08)	-0.262(-1.27)
職業	-0.390(-1.80 [*])	-0.740(-3.20 [*])	-0.261(-1.34)	0.577(1.93 [*])	0.487(1.43)	0.631(2.03 [*])
利用頻度	-0.343(-2.30 [*])	-0.158(-1.12)	-0.125(-0.90)	-0.196(-1.07)	-0.251(-1.27)	-0.295(-1.60 [*])
移動目的	-0.262(-1.69 [*])	-0.224(-1.57)	0.021(0.14)	0.148(0.78)	-0.011(-0.06)	0.317(1.67 [*])
情報特性	表示範囲 -0.672(-3.44 [*])		-0.119(-1.09)		-0.107(-0.30)	-0.238(-1.87 [*])
	精度 -0.456(-2.87 [*])		-0.256(-1.89 [*])		-0.677(-3.29 [*])	-0.612(-3.19 [*])
交通特性	混雑状況 -0.258(-1.74 [*])	-0.329(-2.41 [*])	-0.280(-1.53)	0.242(1.40)	0.068(0.37)	0.264(1.46)
	定数項 1.789(3.48 [*])	1.179(2.26 [*])	0.906(2.10 [*])	0.346(0.73)	1.179(2.26 [*])	0.514(1.08)
不確実性	4.521(3.88 [*])	6.794(6.43 [*])	3.807(3.42 [*])	3.030(2.36 [*])	4.581(1.91 [*])	1.656(1.21)
初期尤度	-280.72	-280.72	-280.72	-162.2	-162.2	-162.2
最終尤度	-213.1	-242.4	-239.4	-154.6	-138.9	-142.4
サンプル数	405	405	405	405	405	405
自由度調整済尤度比	0.22	0.12	0.13	0.02	0.12	0.10

注0) () 内の数値は t 値, * : 5%危険率で有意, ** : 1%危険率で有意

注1) 性別: 男性=1のダミー変数

注2) 年齢: 25~60歳なら1のダミー変数

注3) 職業: プロドライバーなら1のダミー変数

注4) 利用頻度: 首都高速道路の利用頻度がほぼ毎日であれば1のダミー変数

注5) 移動目的: 業務目的であれば1のダミー変数

注6) 表示範囲: ドライバーの目的地に合致した情報であれば1のダミー変数

注7) 情報の精度: ドライバーが情報の精度が良いと認識していれば1のダミー変数

注8) 混雑状況: 首都高速道路ジャンクション付近の走行速度 30km/h 以下であれば1のダミー変数

情報参照結果を外生的に考慮した。推定結果を表-1に示す。3号線、4号線それぞれ毎に、内回りを選択するか、外回りを選択するかの2項選択モデルの推定を行った。モデルの推定結果から、距離のパラメータ値が有意に大きな値を示している。各情報板の表示内容の時間パラメータ値は有意な値を示している。3号線においては所要情報板のパラメータ値が大きな値を示しているのにに対して、4号線では、图形情報板のパラメータ値が相対

的に大きな値を示している。4号線では最初に图形情報板が設置されているのに対し、3号線では所要時間情報板が先に設置されているためと考えられる。

次に、経路選択モデルの推定結果において、パラメータの値が、文字情報板の内回りの事故情報を除いて、 t 値が相対的に高く、論理的に矛盾のない値を示している4号線について、逐次的な経路選択意思決定の際の不確実性コストの計算を行った。3号線については

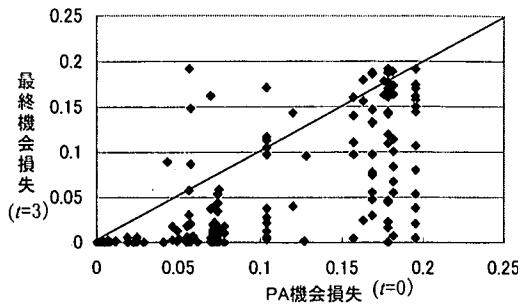


図-6 初期の不確実性コストと最終不確実性コスト関係

パラメータに論理矛盾が見られたため、情報板の設置順序の比較の観点から参考のため、計算を行った。

結果を表-2に示す。3号線、4号線ともに出発前よりも各情報リソース通過後において、不確実性コストが減少していることがわかる。3種類の情報板通過後には出発前の約6割程度まで期待最大機会損失が減少している。また3号線では、 $t=2$ 時点、4号線では $t=1$ 時点で最も機会損失の変化量が多い。これは、双方とも图形情報板の通過後である。このことから情報提供による意思決定の不確実性の低減効果が高いのは、图形情報板と判断できる。情報参照者は、全ドライバーに比べ、出発前の機会損失が大きい。このことは、意思決定の不確実性の高いドライバーが情報を参照することで期待機会損失を低減させようとしていることを示す。

また4号線においては、情報参照者の最終的な機会損失量は平均で0.0507と、全平均の0.0517よりも低い値を示している。経路選択意思決定の不確実性の高いドライバーが情報を参照することでこれを低減させているといえよう。

図-6に、4号線におけるPA出発時点の機会損失、JCT通過時の機会損失をプロットした。ほとんどのドライバーで期待機会損失は減少しており、経路選択の意思決定の不確実性が出発前に比べて低減していることがわかる。また、一部のドライバーでは機会損失が増加している。これは、出発前の時点での効用差が大きいと考えていた経路が、混雑などによりその効用差が少なくなつたため生じている現象といえる。

次に不確実性コストを考慮した情報参照モデルの推定結果を表-3に示す。不確実性コストのパラメータは正で有意な値を示している。これは意思決定の不確実性コストが高いケースにおいて情報をより参照にすることを示唆する。图形情報板において不確実性コストのパラメータ値が最も大きい。これは图形情報板において意思決定の不確実性を減少させるために情報が用いられる事を示す。これは、图形情報板が簡易地図でネットワーク全体の混雑状況を表示しているため、全ドライバーが目

表-4 経路選択モデルの尤度比の比較

3号線	$t=1$	$t=2$	$t=3$
従来のモデル	0.380*	0.468	0.532
(情報参照過程考慮せず)			
今回のモデル	0.353	0.478	0.547*
(情報参照過程考慮)			
4号線	$t=1$	$t=2$	$t=3$
従来のモデル	0.439	0.429	0.516
(情報参照過程考慮せず)			
今回のモデル	0.440	0.436	0.539*
(情報参照過程考慮)			

注)*: χ^2 検定結果の結果、5%の危険率で、モデルの有意に適合度の差があるもの。

的今までの混雑状況を参照にできるためと考えられる³⁾。また情報の精度が有意に負の値を示している。情報の精度が高いほど、情報をより参照にしやすくなるといえよう。

最後にこうした不確実性下の情報参照過程を考慮した経路選択モデルと従来のモデルとの尤度比の比較を行った。結果を表-4に示す。尤度比検定の結果、情報参照過程を考慮したモデルにおいて3号線と4号線の $t=3$ 時点目において有意にモデルの適合度の向上が確認された。また3号線の $t=1$ 時点目で、尤度比は低い値を示しているものの、それ以外のモデルでは概ね従来のモデルよりも、高い尤度比を示しており、提案しているモデルの内面的妥当性が高いことが確認できる。逐次的な情報参照のプロセスを考慮することで経路選択モデルの内面的妥当性が向上することがうかがえる。こうした結果は、情報提供下の経路選択行動を考える上でドライバーの情報参照過程を明示的に取り扱った本モデルの有効性を示していると考えられる。

7. 結論

従来の効用最大化理論に基づく経路選択モデルは、モデルの簡略さと均衡配分等への組みこみやすさにより、情報提供の評価においても用いられてきた。これに対して、意思決定の最終局面だけではなく、その過程が導くものにも焦点をあてたプロセスモデルの考え方において、Simonは、意思決定主体の情報処理の限界こそがヒトの意思決定を予測し記述する上で本源的な部分であることを指摘している。このことは様々な交通情報リソースが混在する高度交通情報システムの評価に関わる本質的な問題といえよう。

本研究では、ドライバーが経路選択において利用す

る情報リソース数とその内容について、不確実性下の意思決定論をベースに、不確実性コストを定量化することで、経路選択の意思決定における交通情報の動的な取捨選択行動を記述する新たなモデルを提案した。さらに、首都高速道路ネットワーク上の経路選択データと情報参考行動データを収集し、提案したモデルの検証を行った。その結果、情報参照過程を考慮した経路選択モデルの内面的妥当性が向上することや、不確実性の高いドライバーが情報を参照することで、経路選択の意思決定に伴う不確実性を減少させていることを明らかにすることができた。また複数の情報板はそれぞれがドライバーの不確実性を低減させる効果を持っており、なかでも図形情報板による効果が大きいことが明らかとなった。

実データを使ったケーススタディにより、複数の交通情報サービスから構成される高度交通情報システムの評価において、不確実性下の情報参考行動による意思決定プロセスを包括的にモデル化することの妥当性が確認されたといえる。

今後の課題として、ネットワークの状態認知の確率密度分布の更新を内包したモデルフレームワークへの拡張が考えられる。今回は、ネットワークの状態認知の確率密度分布を分散一定の正規分布と仮定した。しかしその実際には、Mirchandani & Soroush (1987)が示した確率的ネットワークにおいて、リスクに対する反応の異質性が存在する¹⁸⁾ため、これを考慮することが必要となる。具体的には、incidentなど異常事象が発生しない安定した交通状況では、最尤推定やベイス推定によるパラメトリックモデルに基づく方法が、交通状況の変化が激しいようなケースでは、混合分布モデルなどのノンパラメトリックな方法が考えられる。

また、交通ネットワークシステムの全体評価に今回提案したような動的な経路変更モデルをどのように組み込んでいくかも課題と考えられる。ひとつの実現可能な方向として、シミュレーションアプローチの中に動的な経路変更モデルとして組み込むことが考えられよう。

残された課題は少なくないが、本研究により、複数の交通情報リソースの混在する都市道路ネットワークにおける情報システムの整備・運用計画をドライバーの意思決定の不確実性の観点から評価するための基礎的な行動モデルの開発という目的は達成できたと考えている。

謝辞:本研究を実施するにあたって、情報の購入行動に関する基礎的メカニズムに関して京都大学の小林潔司教授からいくつかの研究のヒントを頂きました。調査の実施、データ化、モデルのフレームワーク構築に際して、東京大学生産技術研究所 桑原雅夫教授と首都高速道路公団湾岸建設局 森田綽之湾岸建設局長、首都高速

道路公団交通管制部の皆さんから討議と、多大なるご協力をいただいた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 室町泰徳、兵藤哲朗、原田昇：情報提供による駐車場選択行動変化のモデル分析、土木学会論文集、No.470/IV-20, 145-154, 1993.
- Srinivasan, R., Yang, C., Jovanis, P. P., Kitamura, R., and Anwar, M. : Simulation study of driving performance with selected route guidance systems, *Transportation Research-C*, 2(2), 73-90, 1994.
- Hato, E., Taniguchi, M., Sugie, Y., Kuwahara, M. and Morita, H. : Incorporating an information acquisition process into route choice model with multiple information sources, *Transportation Research-C*, 7(2/3), 109-130, 1999.
- Arnott, R., de Palma, A. and Lindsey, R. : Does providing information to drivers reduce traffic congestion?, *Transportation Research-A*, 25(5), 309-318, 1991.
- Ben-Akiva, M., de Palma, A. and Kaysi, I. : Dynamic network models and driver information systems, *Transportation Research-A*, 25(5), 251-266, 1991.
- 小林潔司、井川修：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、土木学会論文集、No.470/IV-20, 185-194, 1993.
- Golob, F. G., Kitamura, R. and Long, L.: Panels For Transportation Planning Methods and Application, Kluwer Academic Publishers, 1998.
- Svenson, O. : The perspective from behavioral decision theory on modeling travel choice, *Theoretical Foundations of Travel Choice Modeling*, Garling, T., Laitila, T. and Westin, K. Ed., Pergamon, pp.141-17, 1998.
- Al-Deek, H. and Kanafani, A. : Modeling the benefits of advanced traveler information systems in corridors with incidents, *Transportation Research-C*, 1(4), 303-324, 1993.
- Hall, R. W. : Route choice and advanced traveler information systems on a capacitated and dynamic network, *Transportation Research-C*, 4(5), 289-306, 1996.
- Mahmassani, H. S. and Jayakrishnan, R. : System performance and user response under real-time information in a congested traffic corridor, *Transportation Research-A*, 25(5), 293-307, 1991.
- Simon, H. A.: *Bounded Rationality, The New Pargrave: Utility and Probability*, Eds. J. Eatwell et al., W. W. Norton & Company, 1987.
- Polydoropoulou, A., Gopinath, D. A., Ben-Akiva, M., User Adoption of ATIS : The SmarTraveler Case Study, *Transportation Research Board 76th Annual Meeting*,

- Washington D. C, Presented Paper, No.970926, 1997.
- 14)Emmerink, R. H. M., Nijkamp, P., Rietveld, P. and van Ommeren, J. N. : Variable message signs and radio traffic information: an integrated empirical analysis of drivers' route choice behaviour, *Transportation Research-A*, 30(2), 135-153,1996.
- 15)Yang, H. : Multiple equilibrium behaviors and advanced traveler information systems with endogenous market penetration, *Transportation Research-B* 32(3), 205-218,1998.
- 16)森地茂, 兵藤哲朗, 小川圭一 :情報提供システム評価のための交通行動分析手法に関する研究, 交通工学, Vol.30, No.3, pp.21-29,1995.
- 17)飯田恭敬, 宇野伸宏, 村田重雄: 実験による情報提供下の経路選択機構の分析, 第13回交通工学研究発表会論文報告集, pp.97-100,1993.
- 18)Mirchandani, P., and Soroush, H. :Generalized Traffic Equilibrium with probabilistic travel times and perceptions, *Transportation Science*, Vol.21, No.3, pp.133-152,1987.

(1999.11.8 受付)

INFORMATION REFERENCE MODEL UNDER UNCERTAINTY BASED ON THE BOUNDED RATIONALITY APPROACH

Eiji HATO, Yasuo ASAKURA and Chisato HIRAI

In this paper, we have represented a fundamental framework of a decision making model focusing on consecutive information reference processes under multiple information sources. The information value having been evaluated with the conventional aspect of behavior profits is formulated by regarding the information value as a variation for the maximum opportunity loss of expectation from the aspect of decreased uncertainty in decision making. Furthermore, a consecutive information reference model and a route model considering information reference processes are presented; thus the case study was conducted using actual behavior data. As a result of the model estimation, we have found that the drivers who have higher uncertainty in decision making tend to have more opportunity to refer to the traffic information and that such uncertainty in decision making is considerably reduced upon the provision of multiple information sources.