

限定合理性を考慮した 経路選択モデルと均衡配分手法

*Incorporating Bounded Rationality Concept
into Route Choice Model for Transport Network Assignment*

羽藤 英二¹, 朝倉康夫²
By Eiji HATO and Yasuo ASAKURA

1. はじめに

従来のネットワーク研究における経路選択行動モデルの大きな特徴は、ドライバーの行動に合理性を仮定した規範的モデルであるという点にある。これらのモデルの多くは、以下の条件を暗黙に置いている。

- 1) 選択肢集合が予め所与として与えられている。
- 2) 補償型の期待効用最大理論に基づいている。

交通機関選択モデルのように選択肢が誰の目からみても明らかな場合には、選択肢を予見としてもモデルに問題は生じない。しかし経路選択の意思決定では、無数に存在する経路選択肢の中でドライバーがどの選択肢を考えるのかという問題は重要である。従来の経路選択モデルでは多くの行動モデルにおいて選択肢の探索過程は捨象され、このことが明示的に扱われてはいない。

交通情報提供下において、情報を獲得したことで、ドライバーが従来考慮していなかった経路が選択の対象となり、その経路が選択される場合がある。こうした現象こそが交通情報提供による交通需要平準化の本質的な問題である。情報提供の効果を評価するモデルでは、所与の選択肢集合の代わりに、選択肢の生成プロセスを明示的に取り扱う必要がある。

第2の問題は期待効用最大理論の問題である。期待効用理論は Neumann and Morgenstern(1943)によりゲーム理論のための基礎概念として完成された理論であり、この理論に基づいたロジットモデルやプロビットモデルが、非集計モデルとして定着している。多属性効用理論(MAUT: Multiple Attribute Theory)に基づいたモデルは、便利である反面、非現実的であるという側面を持つ。全ての選択肢のいくつかの属性の部分効用をすべて足しあわせて比較するという合理的な行動仮説は、意思決定主体に甚大な計算処理能力を要求するものであり、不当な仮説であろう。多くの経路選択肢が存在

する実ネットワーク上の経路選択行動では、ある基準値を満たさない経路を順に排除していくという Tversky(1972)による EBA(Elimination By Aspects)の考え方が現実的と考えられる。

Simon(1987)は、限定された合理性の理論を提唱している。合理性のモデルは、経済主体の実験あるいは実証に基づく観察事実に基づくものでなくてはならない。限定合理性の理論は、意思決定主体がいかなる選択プロセスを持っているのかを探り、実際に観察される人間の選択の非合理性を説明しようとするものである。本研究では、こうした限定合理的行動フレームワークに基づいたネットワーク上の経路選択モデルを提案する。

2. モデルフレームワーク

本研究では、合理的な行動モデルの2つの問題点を解決するために構造化アプローチ(Svenson, 1998)の概念を用いる。構造化アプローチでは人の意思決定における代替案の評価過程をいくつかのシーケンスに分解して考えることで、人の意思決定のヒューリスティクスをより明示的に表わす。

Tversky and Kahneman(1979)によるプロスペクト理論は意思決定過程を2局面に分ける。編集(Editing)と評価(Evaluating)の過程である。羽藤ら(1998)は情報獲得過程と意思決定過程をそれぞれ明示的に考慮することで経路選択行動の再現性が高くなることを確認している。

本研究では、ネットワーク上の経路選択意思決定過程を3つにわけて考える。ネットワーク認知過程、選択肢選別過程、比較評価過程である。ネットワーク認知過程では、既存の道路ネットワークをドライバーがどのように認知するかをメンタルマップモデルを用いて記述する。

選択肢選別過程は、認知されたネットワークの中から非現実的な経路がある基準値に基づいて排除し、選択の対象として考えられる選択肢を拾い上げていく過程である。「経路距離がある基準値を満たせば、その経路を選択の対象として考える」といった非補償型の行動規範を仮定し、モデル化する。

Key Words: 限定合理性, 経路選択モデル, EBA

¹正会員, 博(工), 愛媛大学工学部 環境建設工学科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3 TEL 089-927-9830 FAX 089-927-9843 e-mail hato@en2.ehime-u.ac.jp)

²正会員, 工博, 同上(Tel 089-927-9829 FAX 089-927-9843 e-mail asakura@en1.ehime-u.ac.jp)

比較評価過程では、排除されずに残った経路選択肢間で効用を比較し、効用の最も高い経路を選択することを仮定する。この過程では従来の補償型の行動規範を仮定する。選択肢数が絞り込まれて少ないときには補償型のルールを思わせる方略がつかわれるが、選択肢が多いときには、限られた情報検索に基づいて、なるべくはやく考慮すべき選択肢の数を減らしてしまう方略が用いられることが Payne(1976)により知られている。本モデルはこうした人の意思決定構造を反映したものである。

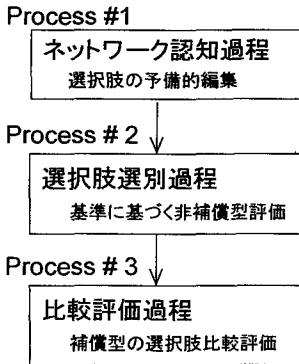


図-1 ネットワーク上の経路選択意思決定プロセス

2.1 ネットワーク認知過程

ネットワーク認知過程は経路選択のための選択肢を探索するための予備的編集段階である。ドライバーが実道路ネットワーク上のリンクを認知することで、OD間の認知地図を完成させる過程を記述するモデルを示す。ノード (i, j) から構成される $link_{ij}$ を、ドライバーが認知する確率を、

$$Q_{ij} = \text{prob}(Cog_{ij} > S) \quad (1)$$

で表わす。

Q_{ij} はドライバーが実ネットワーク上で $link_{ij}$ を認知する確率を、 Cog_{ij} はリンク知覚量を、 S は知覚の閾値を示す。式(1)では、リンクの知覚量がある閾値を越えたときにリンクが認知されることを仮定する。

ここで、リンクの知覚量 Cog_{ij} と知覚の閾値 S はそれぞれリンクの車線数や交通量などリンク ij の属性と、ドライバーの個人属性によって決定される確率変数と考えるならロジットタイプのモデル化が可能である。

$link_{ij}$ の知覚確率をすべてのリンクについて計算する。実ネットワークから認知ネットワークの抽出は Q_{ij} の値が大きいリンクを取り出すことによってなされる。

ネットワーク認知はリンクの認知だけでなく、ネットワークとしての構造の認知も含む。たとえば人が認知できる

交差点数などに制約条件を設けることでこれを考慮することができる。認知確率の高いリンクを順に列挙し、リンクが交差するノード数が許容値 N を越えた段階で認知ネットワークの生成を終了する。

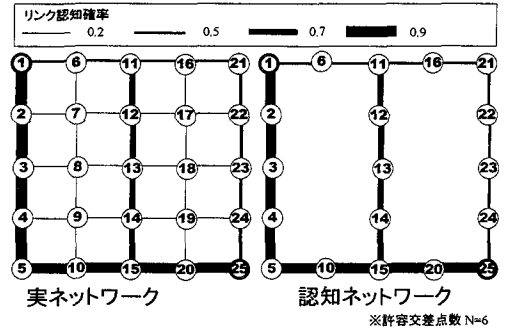


図-2 実ネットワークと認知ネットワーク

2.2 選択肢選別過程

選択肢選別過程では、認知ネットワーク上の経路の属性値に着目し、自分が望ましいと思う条件を満たさない代替案を消去していく属性消去モデル(EBA)を用いて選択肢の絞りこみを行い、ODペア (r,s) 間の経路選択肢集合 $\bar{K}_{rs}$ を作成する。

選択肢の絞り込みは、2つの手順から構成される。選択肢リストの作成と属性値による選択肢の排除である。選択肢リストを作成するためには経路を列挙する必要がある。ここでは Belman and Kabalae(1960)による方法を表-1に示す。

表-1 k -th shortest path 列挙のアルゴリズム

- 1) rs 間の最短経路探索を行う。
- 2) 最短経路 k_1^{rs} 上で、deviation $link_{ij}$ に接続するノード $i(i \in I)$ を検索する。
- 3) deviation $link_{ij}$ のノード $j(j \in J)$ から目的地ノード s に向かって最短経路探索を行う。
- 4) $r \rightarrow i$ の所要時間を T_{ri} 、 $s \rightarrow j$ の所要時間を T_{sj} 、 $i \rightarrow j$ の所要時間を T_{ij} とし、 $T_{rs} = T_{ri} + T_{ij} + T_{sj}$ が最も短くなる経路を Second Shortest Path としてラベリングする。2番目以降の経路は、この時点での N th Shortest Path k_N^{rs} として仮にラベリングしておく。
- 5) 2番目経路 k_2^{rs} について2)~4)の手順を繰り返し、仮の 3rd Shortest Path と比較し、短い経路を真の 3rd Shortest Path として確定する。

ネットワーク規模が大きくなる場合に、上記のアルゴリズムでは計算コストが膨大となり、経路の列挙が困難となる。ネットワーク認知過程において、ODペア (r,s) 間の

認知ネットワークを再構築すれば、計算ステップ数の低減が可能となる。

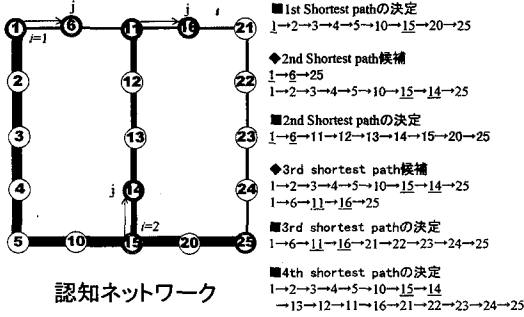


図-3 経路列挙の例

属性による選択肢の排除の手順を概説する。ODペア (r, s) 間の経路 k の n 番目の属性 x_{rs}^{kn} と、その準拠点 τ_{rs}^n を考える。このとき、選択肢の排除確率は、

$$R_{rs}^{kn} = \text{prob}(x_{rs}^{kn} > \tau_{rs}^n) \quad (2)$$

で与えられる。経路属性の認知が誤差を伴うとき、準拠点 τ_{rs}^n が確率変数で、誤差項が、i.i.d. Gumbel 分布に従うとする。式(2)は、以下の式で表わすことができる。

$$R_{rs}^{kn} = \frac{\exp x_{rs}^{kn}}{\exp x_{rs}^{kn} + \exp \kappa_{rs}^n} \quad (3)$$

$$\Psi_{rs}^{kn} = x_{rs}^{kn} + \pi_{rs}^n \quad (4)$$

$$\tau_{rs}^n = \kappa_{rs}^n + \varphi_{rs}^n = \sum_{b \in B} \beta_b z_b + \varphi_{rs}^n \quad (5)$$

経路 k の排除確率 R_{rs}^{kn} が、0.5 以上のとき、経路 k を選択肢集合から排除する。選択肢の排除においては、要因間の補償関係を考慮しない。経路選択肢数が経路選択に及ぼす影響要因の数よりも多いときには、一つ一つの要因について基準に満たない選択肢を排除するルールの方が、全ての選択肢の全ての足きり要因に対して補償型のルールを適用し、排除する経路を決定するよりも現実的であろう。

2.4 比較評価過程

比較評価過程において、選択肢選別過程で選別された現実的な選択肢集合について補償型の行動規範に基づいて比較し、経路を選択する。

経路コストの認知は確定項と確率項に分離して表現する。ODペア (r, s) 間の経路 k のコストは以下の式(6)で表わされる。

$$C_{rs}^k = c_{rs}^k + \varepsilon_{rs}^k \quad (6)$$

ここで、 c_{rs}^k は実際の経路コストを、 ε_{rs}^k はその認知誤差を示す。ここで式(6)の確率項に i.i.d. Gumbel 分布を仮定する。ODペア (r, s) 間の経路 k の選択確率は以下の式(7)で表わされる。

$$P_{rs}^k = \frac{\exp(-\theta c_{rs}^k)}{\sum_{l \in K_{rs}} \exp(-\theta c_{rs}^l)} \quad (7)$$

式(7)で表わされる経路選択確率は、通常のロジットタイプの経路選択モデルと同様の形式を保持することで、均衡配分モデルへの組込みが容易となる。

3. ネットワークモデルへの適用方法

本節では、前節において示した構造化アプローチに基づく経路選択モデルを均衡配分のアルゴリズムに導入する。ドライバー経路交通量パターン h を未知変数として直接取り扱う **Simplicial Decomposition** 法として考える。**Simplicial Decomposition** 法では、許容多面体の任意の点を端点の凸結合によって表現される(Bazaraa et al., 1993)。任意の点は経路パターンによって定義され、Frank-Wolf 法における線形補助問題として表現可能である。

Fisk(1980)による確率利用者均衡モデルの解法を考える。

$$\min Z(h) = \sum_{a \in A} \int_0^{f_a} t_a(s) ds + \frac{1}{\theta} \sum_{(r,s) \in C} \sum_{k \in K_{rs}} h_{rs}^k \log h_{rs}^k \quad (8)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{k \in K_{rs}} h_{rs}^k = d_{rs} \quad \forall (r,s) \in C$$

$$h_{rs}^k \geq 0 \quad \forall k \in K_{rs} \quad \forall (r,s) \in C$$

$$\sum_{(r,s) \in C} \sum_{k \in K_{rs}} \delta_{rs}^{ka} \cdot h_{rs}^k = f_a \quad \forall a \in A$$

ここで、アルゴリズムを、restricted master problem phase(限定親問題)と、column generation phase(列生成問題)の2つにわけて考える。

列生成問題は、ODペア (r, s) 間の選択肢をリストアップし、ドライバーが考える現実的な $\bar{K}_{rs}$ を決定する過程である。ネットワーク認知過程と選択肢選別過程が、ここに含まれる。限定親問題は、限定された選択肢集合 $\bar{K}_{rs}$ に対して未知変数を経路交通量パターン h のみにした上で、部分線形化法により解く。

確率利用者均衡における限定親問題の解法は、Damberg, Lundgren, Patriksson(1996)により示されている。限定された経路集合 $\bar{K}_{rs}$ に対する経路交通量 h_{rsk} を用いて利用者最適問題を表現し、交通量パターンを最適化する問題である。ここで、 $\bar{h}^m$ が m 番目収束計算の経路の交通量フローとするなら、経路コストは、

$$c_{rs}^k{}^m = c_{rs}^k(\bar{h}^m) \quad (9)$$

で表わされる。このときの補助交通量は、以下の式で与えられる。

$$h_{rs}^k{}^m = d_{rs} \frac{\exp(-\theta c_{rs}^k{}^m)}{\sum_{l \in K_{rs}} \exp(-\theta c_{rs}^l{}^m)} \quad (10)$$

ここで、 $h_{rs}^k{}^m \neq \bar{h}_{rs}^m$ なら $h_{rs}^k{}^m - \bar{h}_{rs}^m$ の方向へ、一次元探索を行い、新たな解を得る。

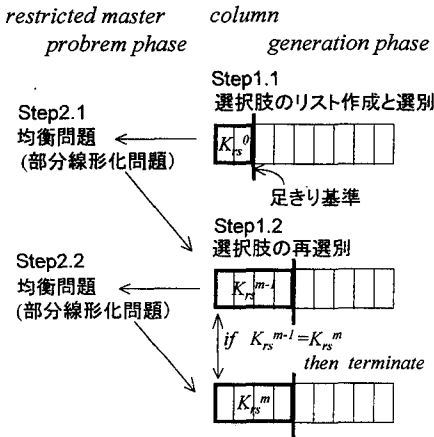


図-4 計算アルゴリズム

アルゴリズム

初期化

全ての $(r, s) \in C$ に対する $\bar{K}_{rs}$ を列挙する。このときの初期経路交通量を $h^0 = \bar{h}^0$ とする。

限定親問題

収束するまで以下のステップを繰り返す。

1) 全ての経路 $k \in \bar{K}_{rs}$ と OD ペア $(r, s) \in C$ について、経路コストを計算する。

$$c_{rs}^k{}^m = c_{rs}^k(\bar{h}^m)$$

2) 補助経路交通量を計算する。

$$h_{rs}^k{}^m = d_{rs} \frac{\exp(-\theta c_{rs}^k{}^m)}{\sum_{l \in K_{rs}} \exp(-\theta c_{rs}^l{}^m)}$$

$$\forall k \in K_{rs} \quad \forall (r, s) \in C$$

3) $h^m = \bar{h}^m$ なら、選択枝生成問題へ、そうでなければ以下の一次元探索問題を解く。

$$t_m = \arg \min_{t \in [0, 1]} Z(t) \stackrel{\text{def}}{=} Z[\bar{h}^m + t(h^m - \bar{h}^m)]$$

4) 新たな経路交通量は以下の式で表わされる。

$$\bar{h}^{m+1} = \bar{h}^m + t_m(h^m - \bar{h}^m)$$

選択枝生成問題

式(1)~(5)にしたがって、全ての $(r, s) \in C$ に対する $\bar{K}_{rs}$ を列挙する。このとき新しい経路が見つからなければ、終了。

4 まとめ

本研究では、限定合理性の考え方に基づいたネットワーク上の経路選択モデルの概念を示した。ネットワーク認知過程、選択枝選別過程、比較評価過程をそれぞれ明示的にモデル化することで、実ネットワーク上のドライバーの意思決定プロセスを記述した。

提案したモデルは、ネットワーク認知過程を考慮していることで、現実的な経路選択枝の列挙が可能となっていることから、Simplicial Decomposition 法を用いた均衡配分への拡張が可能となる点、属性の基準値に基づく選択枝の排除と比較の過程を明示的に考慮している点に特徴がある。

今後はネットワーク認知に関する実証的な研究を行うと共に、実ネットワーク上での数値計算を行い、現況再現性の確認を行っていく予定である。

参考文献

- 1) Neumann, J. V. and Morgenstern, O. (1953) The Theory of Games and Econometric Behavior, Princeton University Press(3rd).
- 2) Tversky, A. (1972) Elimination by aspects: a theory of choice, Psychological Review, 79, 281-299.
- 3) Simon, H. A. (1987) Bounded Rationality, J. Eatwell et al. (Ed.), The New Pargrave: Utility and Probability, W. W. Norton & Company.
- 4) Svenson, O. (1998) The perspective from behavioral decision theory on modeling travel choice, Theoretical Foundations of Travel Choice Modeling, Garling, T., Laitila, T., Westin, K. Ed., Pergamon, pp.141-172.
- 5) Kahneman, D. A and Tversky, A. (1987) Rational Choice and Framing of Decisions, Rational Choice, The University of Chicago Press, pp.67-94.
- 6) 羽藤英二, 谷口正明, 杉恵頼寧, 桑原雅夫, 森田紳之; 複数交通情報ソースの利用行動を考慮した経路選択モデル, 土木学会論文集, No.597/IV-40, pp.99-111, 1998.
- 7) Payne, J. W. (1976) Task complexity and contingent processing in decision making: An Information search and protocol analysis, Organizational Behavior and Human Performance, Vol.16, pp.366-387.
- 8) Fisk, C. (1980) Some developments in equilibrium traffic assignment, Transportation Research, 14B, pp.243-235.
- 9) Bazaraa, M. S., Sherali, H. D. and Shetty, C. M. (1993) Nonlinear Programming. Theory and Algorithms. Wiley, New York.
- 10) Damberg, O., Lundgren, J. T. and Patriksson, M. (1996) An algorithm for the stochastic user equilibrium problem, Transportation Research, Vol.30B, No.2, pp.115-131.