

経路選択の動的側面とそのモデル化に関する基礎的考察*

A Fundamental Study on Driver's Route Choice Model Considering En-route Decision Making*

三谷健太**・倉内慎也***・森貴洋****

By Kenta MITANI**・Shinya KURAUCHI***・Takahiro Mori****

1. はじめに

従来の交通計画は、急激に成長する道路交通需要に対処することのできる大規模なインフラ整備等のハード施策が主流であった。しかし、厳しい予算制約下での効率的な交通施策の実施が強く求められるに至り、近年では、各種交通需要管理施策や信号制御、情報提供等の既存インフラの有効利用を目的としたソフト施策に主眼が置かれるようになってきている。このようなソフト施策の評価・分析を行うには、時々刻々と変化する道路交通需要を精確に再現し、施策導入効果を予測することのできる道路交通シミュレータが必要不可欠であり、これまで様々なタイプのシミュレータが開発されてきた。しかしながら、交通シミュレータを構成する経路選択モデルに目を向けると、起点で目的地までの経路を決定し経路途中で意思決定を考慮しない静的なモデルや、交差点などのノードごとに静的モデルを逐次適用するモデルの2種類が主流であり、それらが施策効果を精確に表現できるとは言い難い。なぜなら、実際のドライバーの経路選択行動は、交通状況の変化等に応じて意思決定を行う動的側面を有しており、それゆえ、起点のみ、あるいはノードごとに意思決定を行うと仮定したようなモデルは行動論的に非現実的であると共に、パラメータ推定値にバイアスを生じるといふモデル推定上の問題や、ドライバーの経路変更を過大、あるいは過小に評価してしまうという予測上の問題の双方を孕んでいるものと考えられる。

そこで、本研究では、動的な意思決定の結果として観測される経路選択データに対して従来型の静的なモデルを適用した場合、モデル推定や需要予測にどのような問題が生ずるのかを明らかにすることを目的とする。併せ

*キーワード: 経路選択, 交通行動分析

**学生員, 愛媛大学大学院理工学研究科

(愛媛県松山市文京町3,

E-mail: mitani.kenta.04@cee.ehime-u.ac.jp)

***正会員, 博(工), 愛媛大学大学院理工学研究科

(愛媛県松山市文京町3,

E-mail: kurauchi@dpc.ehime-u.ac.jp)

****正会員, 修(工), 国土交通省中村河川国道事務所

(高知県四万十市右山2033-14,

TEL: 0880-34-7301)

て、データ生成プロセスと統合的なモデルとして、三輪ら¹⁾が開発した経路途中で意思決定を考慮した動的な経路選択モデルに着目し、その適用可能性についても検討を行う。

2. シミュレーションを用いた分析

プローブパーソン調査等で観測できるデータは、起点から終点までの行動軌跡のみであり、どのような状況や地点において意思決定を行っているのかについての情報を得ることはできない。そこで、本研究では、経路途中で意思決定を想定した仮想の経路選択データを作成し分析を行った。これにより、経路途中で意思決定規範の変化等の様々なケースが想定できると共に、個々のドライバーがどのような状況や地点において意思決定を行ったのかを把握できることから、モデルの現況再現性および予測精度の詳細な検証や、差異をもたらす原因の特定が可能となる。

(1) データ作成

図1に示すような4本のリンクによって構成される10D3経路の簡易な道路ネットワークを対象とし、1000人のドライバーが走行する状況を想定してシミュレーションによりデータを作成した。はじめに、各ドライバーが直面するリンク所要時間として、リンクごとに2種類の値を、個人間の所要時間の差異を考慮して一様乱数を用いて生成した。次に、生成した一方の所要時間を認知所要時間として捉え、起点におけるドライバーの選択経路を決定した。経路の選択は、認知所要時間に別途設定したパラメータを乗じた後に誤差項としてガンベル分布に従う乱数を加えて各経路の効用を算出し、最も効用の大きい経路を選択するものとした。また、経路1および2を選択したドライバーについては、リンク1の認知所要時間ともう一方のリンク所要時間(実際の走行時間を想定)の差、ならびに別途設定した閾値(ここでは個人間の差異を考慮するために正規乱数により生成)に応じてノードBにおける意思決定の有無を決定した(以降、ノードBを“意思決定ノード”と称す)。その際、意思決定をするドライバーの割合が概ね10%刻みで変化するように閾値パラメータ(具体的には正規乱数の期待値)を制

御した。さらに、意思決定ノードで意思決定が発生した場合、認知所要時間の更新が生じたと考え、リンク2および3のもう一方の所要時間を用いて再度経路選択を行うものとして経路選択データを作成した。ここで、起点と意思決定ノードでは、終点までの所要時間が異なるため、ドライバーの意思決定規範が同一であるという保証はない。そこで、上述のデータ生成プロセスを、意思決定規範が起点と意思決定ノードで同一である場合と異なる場合の2ケースを想定して実行した。具体的には、意思決定ノードにおける経路選択では、起点と比べて目的地までの所要時間の認知誤差が小さくなることが考えられる。そこで、ガンベル分布に従う誤差項について、起点と意思決定ノードで分散が等しい場合と、意思決定ノードのほうが分散が小さくなる場合を想定しデータを生成した。同様に、目的地が近くなるほど所要時間に対する感度が高くなるものと考えられることから、起点での意思決定と終点での意思決定で所要時間のパラメータを同一とした場合と、意思決定ノードでの意思決定のほうがパラメータを大きく設定した場合の2ケースのデータも別途作成した。さらには、政策実施下でのモデルの予測精度を評価するために、意思決定ノードでの情報提供を想定し、意思決定発生時のリンク2の所要時間を固定値として与えた場合の経路選択データも作成した。以上のように、意思決定規範の変化と政策の有無に応じた8ケースのデータを、意思決定発生割合を0~100%まで概ね10%ずつ変化させる度に生成し、合計88パターンのデータセットを作成した。ここで、データ作成においては、誤差項等に乱数を用いているため、生成した経路選択データにはそれによるバイアスが生ずる可能性がある。ゆえにその影響を除去するために、各パターンごとに異なる乱数を10回発生させ、最終的に880個のデータセットを作成し、分析に用いることとした。

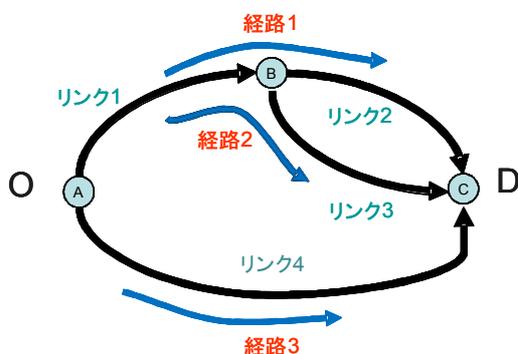


図1 シミュレーションネットワーク図

(2) 静的モデルの現況再現性および予測精度の検証

静的モデルの典型例として、起点において目的地までの経路を決定し、経路途中での意思決定は行わないモデ

ルに着目し、各データに対して多項ロジットモデルを適用した上で、数え上げ法により現況再現性と予測精度を検証した。図2~図4は経路2の現況再現性と予測精度を示したものである。なお、図中の値は、異なる乱数を用いた10個のデータの平均値によるものである。

起点と意思決定ノードで意思決定規範が同一であるという仮定に基づいて作成したデータについては現況再現性、予測精度共に良好な結果を示している。一方、意思決定規範が異なる場合、すなわち起点と意思決定ノードで誤差項の分散が異なる場合に静的モデルを適用すると、図2で示されるように、意思決定を行うドライバーの割合が増加するにつれて、現況再現性と予測精度が低下することが確認された。所要時間のパラメータが起点と意思決定ノードで異なると仮定した場合(図3)についても同様であり、これは、ロジットモデルでは誤差項のスケールと効用パラメータが選択確率に対して同一の役割を果たすためである。誤差項のスケールと効用パラメータの双方が起点と意思決定ノードで異なると仮定した場合(図4)については、両者の相乗効果でさらに誤差が大きくなっていることがわかる。以上より、ドライバーの意思決定規範が起点と経路途中で異なるような場合については、経路途中で意思決定が行なわれているにも関

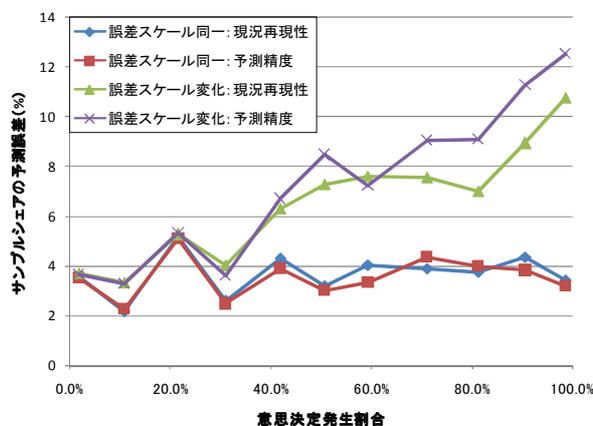


図2 誤差項の分散が異なる場合(経路2)

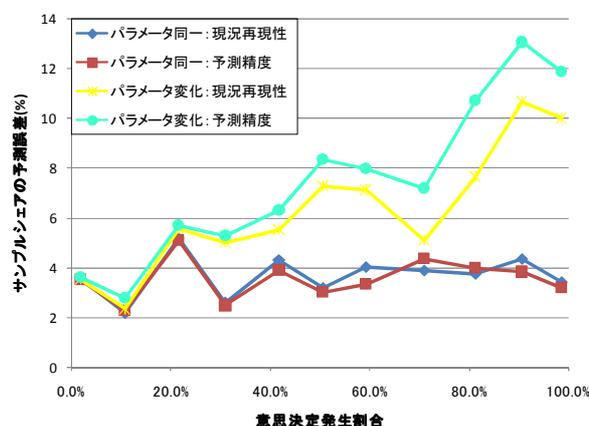


図3 効用パラメータが異なる場合(経路2)

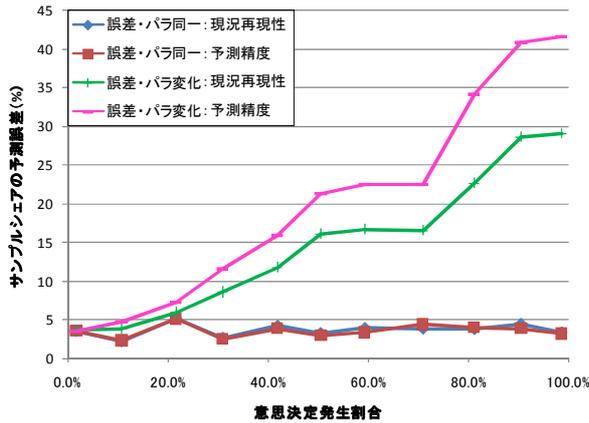


図4 双方が異なる場合(経路2)

わず静的なモデルを適用してしまうと、モデルの現況再現性や予測精度が大幅に低下する危険性があることが明らかとなった。

(3) 動的モデルの適用可能性

前節で示された静的モデルの問題点を踏まえ、本研究では、三輪ら¹⁾によって提案されている経路途中での意思決定を考慮した動的モデルを、シミュレーションにより生成した経路選択データに対して適用した。当該モデルは、意思決定ノードでの意思決定発生確率を潜在クラスモデルの枠組みで内生的に与えたものであり、例えば、図1のネットワークにおいて経路1を選択する確率は次式で与えられる。

$$P_{(1)} = P_{(1)A}(1 - q_B) + P_{(1)A}q_B P_{(1)B} + P_{(2)A}q_B P_{(1)B}$$

$$q_B = \Phi((x_n - \mu_t) / \sigma_t) \quad (1)$$

ここで、 $P_{(1)A}$ はノードA(起点)において経路1を選択する確率、 q_B は意思決定ノードで意思決定が発生する確率、 μ_t 、 σ_t は未知パラメータである。右辺の第1項は起点で経路1を選択し、意思決定ノードで意思決定をせずに終点まで走行した場合、第2項は起点で経路1を選択し、意思決定ノードで意思決定をして再度経路1を選択した場合、第3項は起点では経路2を選択したが、意思決定ノードでの意思決定の結果、経路1に選択経路を変更した場合を表しており、最終的に経路1が選択される全てのパターンを確率モデルとして厳密に表現したモデルである。

図5は動的モデルに含まれる未知パラメータのうち σ_t の推定結果を示したものである。推定結果から分かるように、 σ_t はデータ作成の際に設定した真値から大きく乖離して推定された。結果として、モデルにおける意思決定発生確率が適切に推計されず、本研究のような非常に簡易なネットワークを用いた場合であっても、現況再現性は極めて不安定なものとなった。これは、モデ

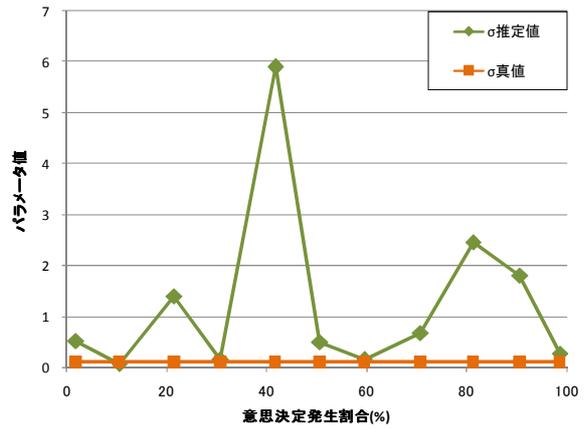


図5 パラメータ σ_t 推定結果

ルの尤度関数が複雑であるため、パラメータ推定値が局所解に陥り、適切に推定されなかったためであると考えられる。このことから、より複雑な実ネットワークに対して、経路選択意思決定の動的側面を厳密に確率モデルとして表現した当該モデルを適用することは非現実的であるものと考えられる。

3. 実データを用いた静的モデルの検証

2章の分析では、10D3経路の極めてシンプルなネットワークを対象とすると共に、目的地までの所要時間によって意思決定規範が変化するという仮定の下で分析を行った。一方、実際の経路選択データは目的地までの所要時間や距離などが異なる複数のODペアが含まれる。そこで、本章ではドライバーの意思決定規範が終点までの距離に応じて異なるか否かを、実データを用いて検証する。

(1) 使用データ

分析データには、2004年に松山市で実施した松山プロパーソン調査2004(MPP2004)の経路選択データを用いる。なお、データクリーニングおよび、ルートマッチングのアルゴリズムについては、森ら²⁾を参照された。

(2) 意思決定規範の距離依存性を考慮したモデル

分析には多項ロジットモデルを用い、説明変数には、OD間の所要時間、幹線比率(2車線以上の道路を走行した時間比率)、右左折数を採択した。

まずは、誤差項の分散が距離に依存するの否かを検証するために、三輪ら¹⁾と同様に多項ロジットモデルの誤差項のスケールパラメータ θ をOD間距離によって次式のように構造化した。

$$\theta_{rs} = \frac{\pi}{\sqrt{6}} D_{rs}^{\alpha} \quad (2)$$

ここで、 D_{rs} はODペアrs間の距離(km)、 α は未知パラメータである。

一方、各説明変数のパラメータの距離依存性については、パラメータを次式のように構造化した。

$$\beta_{in} = \gamma_{1n} + \gamma_{2n} D_{rs} + \sigma_i \zeta_{in} \quad (3)$$

ここで、 β_{in} は属性*i*に対する個人*n*のパラメータを示し、 γ_{1n} 、 γ_{2n} 、 σ_i は未知パラメータである。また、 ζ_{in} はランダム項であり、個人ごとの嗜好の異質性を表現している。これは、今回用いるプローブパーソンデータには同一個人のトリップが複数含まれているため、このようなランダム係数を考慮したミックスロジットモデルを用いることにより、各々の未知パラメータを精度良く推定することを意図したためである。なお、 ζ_{in} の分布型には、標準正規分布を仮定し、モデル推定に際しては1個人あたり500個のhalton drawを生成し、シミュレーションにより未知パラメータを推定した。推定方法の詳細については文献3)を参照されたい。表1に推定結果を示す。

表1 構造化モデル推定結果

属性	説明変数	推定値	t値
所要時間	定数項	0.031	1.4
	距離	-0.009	-2.32
	σ	0.079	4.2
幹線比率	定数項	0.341	2.47
	距離	-0.056	-2.34
	σ	0.099	0.79
右左折数	定数項	-0.046	-4.03
スケール	構造化パラメータ	0.227	1.87
サンプル数		5110	

右左折数について、距離による構造化パラメータとランダム項の標準偏差のパラメータが含まれないのは、有意な結果が得られなかったためである。推定結果から、所要時間と幹線比率については、距離による構造化パラメータが5%有意で負に推定された。これは、目的地までの距離が長くなるほど所要時間や幹線比率のパラメータが負に大きくなることを示しており、2章のシミュレーションデータを用いた分析における想定とは逆の結果が得られた。これは、松山市内の道路ネットワークが複雑でないが故に、特に長距離のトリップについては幾つかの幹線道路を利用する経路に限定されてしまうためであると考えられる。すなわち、長距離トリップになるほど代替経路間の類似性が高くなり、結果として所要時間や幹線比率の感度が高く推定されたものと推測される。

誤差項のスケールに関する距離のパラメータについても10%有意で推定され、この結果を用いて距離と誤差項の分散の関係をプロットすると図6のようになる。図からわかるように、誤差項の分散は距離が長くなるにつれて小さくなっており、2章における想定と異なっているが、これについても、効用パラメータと同様の解釈ができる。いずれにせよ、意思決定規範は距離によって異なることが実データによって確認され、ゆえに、2章で示したように、経路途中で意思決定が行われているにも関わらずそれを無視して静的モデルを適用した場合には、モデルの現況再現性や予測精度が大きく低下する危険性があるものと考えられる。

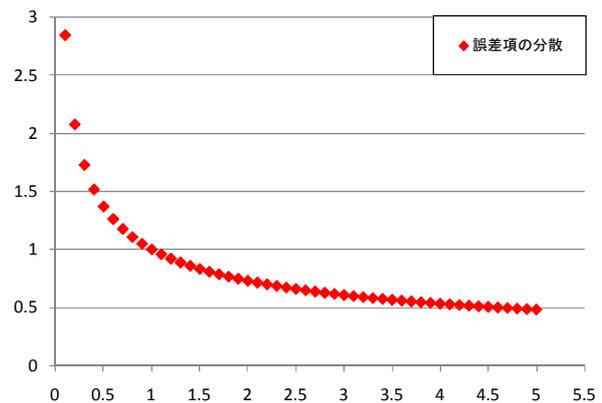


図6 距離による誤差項の分散の変化

4. おわりに

プローブ調査等により観測される経路選択データは、起点における1回の意思決定によるものではなく、本質的に経路途中で意思決定を含む複数の動的な意思決定の結果として生成されるものである。それにも関わらず従来のように静的なモデルを適用した場合、時に重大な誤予測を招く危険性があることが本研究で明らかとなった。一方、本研究ではこれを解決しうる方法として、データ生成プロセスに即して厳密に確率モデルとして定式化したモデルの適用も試みたが、モデル自体の複雑さ等の問題から実道路ネットワークへの適用は現状では困難であることが判明した。ゆえに、今後は、意思決定の有無を潜在変数として捉えるのではなく、調査等により把握するなどして、動的モデルの簡略化を図る必要がある。

参考文献

- 1) 三輪富生, 森川高行, 倉内慎也: プローブカーデータを用いた動的な経路選択行動に関する基礎的分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.22, No.3, pp.477-486, 2005.
- 2) 森貴洋, 羽藤英二: 実走行データを用いたCNL型経路選択モデル, 土木学会四国支部第12回技術研究発表会講演概要集, pp.272-273, 2006.
- 3) Train, K. E.: Discrete Choice Methods with Simulation, Cambridge University Press, 2003.