

動的経路誘導のための経路選択行動モデルに関する一考察 A Study on the Route Choice Behavior Model for Dynamic Route Guidance

森 津 秀 夫 **・中 島 正 樹 **

By Hideo MORITSU and Masaki NAKASHIMA

1. はじめに

動的経路誘導は実用段階に入った。現在是对応する機器を搭載した車両は極めて少ないが、短期間で急激に増加することも考えられる。その場合、運転者の反応によっては動的な交通情報の提供が予期しない影響を交通ネットワークフローに与えることもあり得る。したがって、動的経路誘導が本格的に普及する前に、それらの影響を見込んだ上で、交通情報提供のあり方を十分に検討しておかなくてはならない。

動的経路誘導が意図されていても、走行経路を決定するのは運転者自身であり、経路を強制されることはない。そのため、与えられた交通情報に基づく運転者の経路選択行動が動的経路誘導の効果を左右することになる。すなわち、動的経路誘導を行うシステムを検討し、それを評価する基礎になるのが経路選択行動である。そこで、ここでは動的経路誘導の計画や評価を行うことを前提としたとき、経路選択行動をどのようにモデル化すればよいかについて考察を行う。

2. 経路選択行動のモデル化へのアプローチ

交通情報の提供と経路選択行動に関する研究にはアンケート調査などから経路選択行動に影響する要因を分析し、モデル化を行っているものがある¹⁾²⁾。また、路上実験ないしはコンピュータを用いた実験を行い、経路選択モデルを構築している研究もある³⁾⁴⁾。さらに、知覚旅行時間の学習過程に着目した研究も行われている⁵⁾。これらの研究から、旅行時間が経路選

択における最大の要因であることが確認されている。そして個人差はあっても、運転者はリスク回避型の行動をとることが示されている。

経路選択行動のモデル化は、大きくはふたつのアプローチに分類できる。実際に行われた経路選択行動を観測し、それに影響すると考えられる要因を分析してモデルに表現するのがひとつの方法である。これは正統的なアプローチであるが、現実の交通における経路選択行動を詳細に調べることは極めて困難である。そこで模擬実験やアンケート調査で代用することも行われる。しかし、模擬実験やアンケートの結果が現実の経路選択行動と一致するかどうか問題が生じる。

このように、正統的なアプローチで経路選択行動をモデル化するのは容易ではない。そこで、より現実的なアプローチの適用が考えられる。それは、一定の合理性を持つとして受け入れられる経路選択行動モデルを仮定し、その挙動を調べる方法である。作成したモデルが様々な状況において妥当な経路を出力すれば、モデルが仮説によって構築されていることを承知したうえで使うこともできると考えるのである。

この方法は乱暴に思われるが、静的交通量配分で使われる配分原則の場合と大差ない。このときには、完全な情報を持った運転者が自己の最短時間経路を選択するという仮定が用いられている。これは合理的な仮説ではあるが、現実の経路選択行動を正確に表現している保証はない。そこで、動的状況下での経路選択行動をモデル化するにも、当面は適切と判断される仮説を組み上げることもやむを得ないであろう。

3. 経路選択行動と動的経路誘導の効果

動的経路誘導はリンク旅行時間や渋滞長など、時々刻々と変化する交通ネットワークフローに関する情

Key Words: 経路選択、交通情報

* 正会員 工博 神戸大学 工学部 建設学科

** 学生員 神戸大学 大学院 自然科学研究科

(〒657 神戸市灘区六甲台町1-1 TEL & FAX 078-803-1013)

報を提供し、運転者の経路選択を支援する。これによりフローの適正化を図り、交通ネットワークの効率的な利用を実現することを目的としている。

動的経路誘導システムを計画するとき、提供する交通情報の内容や情報の提供方法、情報提供地点の配置などを検討しなければならない。その効果は、提供した交通情報を反映した交通ネットワークフローから評価される。したがって、動的経路誘導と交通ネットワークフローの関係を分析する必要があり、動的経路誘導効果を表現できる交通ネットワークフローの予測手法を用いることになる。

交通量配分手法を使うならば、動的交通量配分ではないといけない。しかし、動的交通量配分は一般的な複数ODには適用が困難であり、動的交通情報を要因とする経路選択行動を組み込むことも難しい。そのため、現実的に経路誘導効果を分析するためには、交通ネットワークシミュレーションが唯一の手段である。よって、シミュレーションによって動的経路誘導の効果を評価することを前提として考えることができる。

ミクロな交通ネットワークシミュレーションでは、個々の車両が出発地点から特定の経路を走行して目的地に到達するまでを表現する。この経路の決定は運転者の経路選択行動を表しているのであり、これを動的経路誘導を考慮したものにすれば、シミュレーションによって動的経路誘導の効果を分析することが可能になる。このとき、経路選択行動モデルは以下のような条件を満たしていることが必要である。

- (1) 交通情報が経路選択要因に含まれていること。
- (2) 走行中に随時、経路を変更する可能性があること。
- (3) 運転者の保有する知識の違いなどの特性を考慮できること。
- (4) 運転者が経路選択に用いるために持つ情報を簡潔に表すことができること。
- (5) 経路選択のために必要な計算量が少ないこと。

(1)、(2)は動的経路誘導に適用するための必須条件であり、走行中に経路選択行動を繰り返し、その時点でもっとも適切と判断される経路を選ぶことになる。(3)は車載装置の有無や相違を含め、同じ情報提供に対しても運転者によって反応が異なることを表現するためのものである。また(4)、(5)はシミュレーションを行うことを前提としたものである。

4. 動的経路誘導への適用を考慮した経路選択行動モデル

(1) 経路選択行動モデルの概要

3.で述べた条件を満たす動的経路誘導への適用を考慮した経路選択行動モデルを示すことにする。動的交通情報には様々なものがあるが、ここでは簡単のために、ネットワークを構成するリンクに関する旅行時間だけが与えられるものとする。実際には多種の情報が送られ、経路選択の判断にそれらを総合的に利用できる。車載装置で処理し、推奨経路を提示することも行われる。しかし、それでは提供情報と経路選択の関係が複雑になるので、提供情報が直接に経路選択要因に影響する単純なモデルを考えることにする。

経路選択行動モデルは2つの主たるモデルによって構成するものとする。ひとつは経路選択モデルであり、その時点でどの経路を選ぶかを決めるものである。他方は経路選択を行うきっかけを与えるもので、経路変更モデルと呼ぶことにする。経路変更モデルの出力に基づいて経路選択モデルが起動されない限り、新たな経路選択は行わない。このようにモデルを2段階にするのは、とくに変化がないような状況で走行しているときにおいても頻繁に経路変更を考えるとするのは非現実的であるからである。

(2) 経路選択モデル

経路選択の基準は目的地までの所要時間とする。すなわち、各自が認識するリンク旅行時間に基づく最短時間経路を選択するものとする。これは交通均衡でも使われるように、一般に受け入れられる経路選択基準である。ただし、運転者が完全な情報を保有していないことが経路誘導においては重要である。そこで、運転者がその時点で持つ情報からリンク旅行時間を予測するモデルを別に設けることにする。

最短時間経路を選ぶとしても、走行途中における経路変更が、予定している経路よりわずかに時間を短縮するだけということが生じる。そのような場合は経路を変更する価値は低いのであり、すべての運転者が経路を変更するとは考えにくい。そこで、予定経路を持っているときには予定経路と新たな最短時間経路とを比較し、差違の大きさによって新たな経路に変更する確率が定まるとする。すなわち、経路の差違を

短縮時間 t_r と短縮時間比 r_r で表し、両者の関数として式(1)のように新経路の選択率 p_r が決まり、これに基づいて確率的に経路を選ぶものとする。

$$p_r = p_r(t_r, r_r) \quad (1)$$

式(1)は走行途中だけでなく、出発時にも通常走行する経路がその時点の状況に照らして適当かを判断する場合にも適用できる。

(3) リンク旅行時間予測モデル

運転者はリンク旅行時間を確率分布としてとらえているとする。簡単のために分布形は運転者ごと、リンクごとに変化することなく同一で、 $f(u_k, \sigma_k^2)$ の形で平均と分散のみによって表されるものとする。 u_k, σ_k^2 は各人の経験や知識によって異なるが、さらに走行中にも新たな交通情報によって逐次更新されると考える。

たとえ経路誘導を受けなくても、それまでに走行した結果から前方のリンクの状態を類推することができる。すなわち、出発してから目的地に到達するまでは旅行時間に関する学習過程を継続していると考えられる。動的交通情報が加わっても同様である。そこで、これにベイズ的なアプローチを適用する。

いま、 $f(u_j, \sigma_j^2)$ と予測していたリンク j を T_j の旅行時間で走行完了したとする。このとき、リンク j の旅行時間が T_j であったという結果により、他のリンク k の事後確率分布が得られる。これを $f(u_k^*, \sigma_k^{*2})$ とし、 u_k^*, σ_k^* は以下のように求められるものとする。

$$u_k^* = g_m(T_j / u_j, r_{jk}) u_k \quad (2)$$

$$\sigma_k^* = g_s(T_j / u_j, r_{jk}) \sigma_k \quad (3)$$

すなわち、平均と標準偏差はリンク j の走行に要した旅行時間と予測旅行時間平均の比、およびリンク jk 間の旅行時間の相関係数によって与えられる比率で変化すると考える。この相関係数は、リンク j を走行した後にリンク k を走行した車両がそれぞれに要した旅行時間から定義したものである。図-1は、あるシミュレーション結果における r_{jk} の例を示している。太線で表したリンクの旅行時間と他の主要なリンクの旅行時間の相関係数を示している。このように通過リンクから遠ざかるほど相関係数が低くなると考えられる。

動的交通情報としてリンク k の旅行時間を受け取った場合も、式(2)、(3)と同様にして予測旅行時間の平均と分散の値を修正する。このときには、交通情報が作成された時点からその車両が当該リンクに到達す

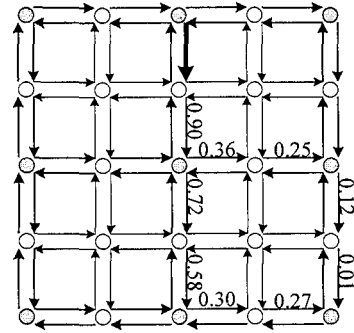


図-1 リンク旅行時間の相関係数の例

るまでの時間差が情報の信頼度を左右する。そこで、この時間差 Δt_k を説明変数とした関数により比率が定まるとして、式(4)、(5)を用いる。

$$u_k^* = h_m(\Delta t_k) u_k \quad (4)$$

$$\sigma_k^* = h_s(\Delta t_k) \sigma_k \quad (5)$$

このようにして予測旅行時間の分布が得られたとしても、このままの形では経路探索に使いにくい。計算量を少なくするためには、リンク旅行時間は確定値であることが望ましい。そこで想定旅行時間を設け、これを通常の最短経路探索に適用できるものとする。一般に運転者はリスク回避型であることが報告されているので、予測旅行時間の平均値に標準偏差に比例する余裕時間を見込んだ値を想定旅行時間 t_k とし、式(6)で表す。

$$t_k = u_k + \alpha \sigma_k \quad (6)$$

α は運転者ごとに異なる値を持つものとする。慎重な場合は値が大きく、楽観的であれば小さくなる。

(4) 経路変更モデル

経路選択を新たに行う可能性があるのは、出発時とリンク走行終了時、それに新たな交通情報を受け取ったときである。交通情報の受信は誘導を受ける車両に限られ、その際により適切な経路を再検討することは不合理でない。しかし、リンク走行終了時につねに経路を再検討するという仮定は受け入れがたい。

経路変更のきっかけとなるのはそれまでの経路走行における不満であり、混雑の影響が少なければ経路を変更する必要はない。そこで、リンク走行終了時には経路変更モデルを適用し、経路選択モデルの起動を判断するものとする。経路走行における不満は経路決定時の想定時間に対する遅延時間 t_d と遅延時

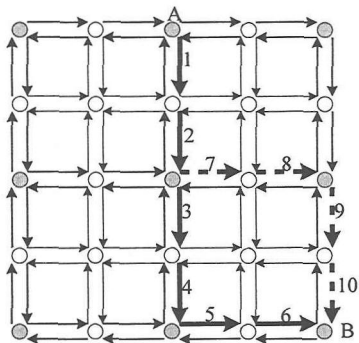


図-2 道路ネットワークと経路の変更

間比 r_d で表し、式(1)と同様にして式(7)によって経路変更率を得るものとする。

$$p_d = p_d(t_d, r_d) \quad (7)$$

経路変更率によって確率的に経路選択モデルを起動することになる。

5. 経路選択行動モデルの適用例

ここでは、4.で提案した経路選択行動モデルで意図した経路選択がどのようなものであるかを明確にするため、簡単な適用例を示す。旅行時間分布の形をはじめ、経路選択モデル、リンク旅行時間予測モデル、経路変更モデルのそれぞれを確定しなければならないが、経路選択の挙動を示すことだけが目的なので、詳細は省略する。

ここでは図-2の道路ネットワークがあり、ノードAからノードBへ向かう車両を考える。出発時には、表-1に示した設定旅行時間から、リンク1～6の経路を選択した。そして、リンク1に105秒を要した結果から経路選択をやり直した。リンク1の走行完了により、表-1の右のように設定旅行時間が変わっており、リンク3～6の経路をリンク7～10に変更することになった。

提案したモデルを用いたとき、経路選択はこの例のようになる。誘導を受ける車両は自車の走行結果だけでなく、動的経路誘導情報をも使用するため、誘導を受けない車両よりも一般に有利になる。

6. おわりに

ここでは、動的経路誘導の効果をシミュレーションによって分析することを前提としたとき、どのような経路選択行動モデルを用いればよいかを考察してきた。提

表-1 リンク旅行時間

リンク	出発時			リンク1走行完了時		
	u_k	σ_k	t_k	u_k	σ_k	t_k
1	75.00	6.15	81.15	105.00	—	105.00
2	75.00	6.15	81.15	99.00	1.25	100.25
3	75.00	6.15	81.15	96.00	1.85	97.85
4	75.00	6.15	81.15	93.00	2.45	95.45
5	75.00	6.15	81.15	87.00	37.00	90.70
6	75.00	6.15	84.25	84.00	43.00	88.30
7	78.00	6.25	84.25	90.50	38.00	94.30
8	78.00	6.25	84.25	87.40	43.50	91.75
9	78.00	6.25	84.25	81.10	50.00	86.10
10	78.00	6.25	84.25	78.00	62.50	84.25

(単位:秒)

案した経路選択行動モデルは仮説を組み上げただけのものかもしれないが、それなりに妥当なものであると考えている。また、経路選択行動の把握の困難さからは、このようなアプローチもやむを得ない面があろう。今後はシミュレーションを繰り返し、感度分析なども行ってモデルの吟味を行いたい。

参考文献

- 1) 内田 敬:情報提供を考慮した動的経路選択の交通行動分析に関する研究, 京都大学学位論文, 1993.12.
- 2) Rainer Konig, Axel Saffran and Hans Breckle: Modeling of Driver's-Behavior, Vehicle Navigation & Information System Conference Proceedings, pp.371 ~376, 1994.9.
- 3) Eiji Hato and Masaaki Taniguchi: A Study on Efficiency of the Driver Information System in the Tokyo Metropolitan Area, Vehicle Navigation & Information System Conference Proceedings, pp.401~404, 1994.9.
- 4) Shengchuan Zhao, Yasunori Muromachi, et al.: The Effect of Alternative Travel Time Information Presentaion Strategy on Driver Behavior, Proceedings of the Second World Congress on ITS, Vol.4, pp.1888~1893, 1995.11.
- 5) 宮城俊彦:ベイズ学習過程と確率的利用者均衡モデル, 土木計画学研究・論文集, No.8, pp.73~80.