

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、動的経路誘導の本格的普及以前に、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くなくてはならない。

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に適用する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する。そして新たな経路選択行動モデルを作成し、経路誘導システムのシミュレーションに関するケーススタディを行う。

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。上記の研究はこのようなアプローチを念頭に置いたものである。しかし、模擬実験やアンケートを使った場合、その結果が現実の経路選択行動と一致するかどうかに問題が残される。

このように、正統的なアプローチのみ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、ここでは、より現実性を重視したアプローチを適用する。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

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

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

** 正会員 修士 神戸電鉄株式会社

(〒651-12 神戸市北区山田町下谷上明田8-1 TEL 078-582-5810)

路選択行動をモデル化するに際しても、当面は適切と判断される仮説を組み上げることやむを得ないであろう。そして、作成したモデルの挙動を分析することは、観測された経路選択行動を解析するための指針を与えることにおいても寄与すると考えられる。

経路誘導システムの実用化は既成事実であり、その利用が急速に普及しようとしているが、計画に際してシステムの影響が必ずしも十分に検討されているとは思われない。システムの詳細な検討と評価が急務であり、それには経路選択行動のモデル化が不可欠である。しかし、通常のアプローチでは緻密なモデルを早急に確立することができない。そこで、一定の妥当性を持ち、動的経路誘導の検討に必要な特性を備えるモデルを取り敢えず構築しようとするのがこの研究である。

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。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、現実的な経路誘導効果の分析手段は交通ネットワークシミュレーションのみであると言ってよい。そこで、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ものであり、これを動的経路誘導を考慮したものにするれば、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、経路変更の可能性があること。
- (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に適用する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。提供される動的交通情報には多様なものが考えられるが、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。この場合に推奨経路を提示する方法を採用すると、それは車載装置が内蔵する経路選択モデルを適用した結果を示すものであると解釈できる。これに運転者の判断が加わるため、2段階の経路選択が行われることになる。したがって車載装置の経路選択ロジックが重要な役割を果たすが、これこそが経路選択行動の分析結果から得られるものであり、ここで示すような研究が積み重ねられて求められるものである。そこで、ここでは初期段階として2段階の経路選択を避け、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として、リンク

旅行時間だけが提供される場合のモデルを考えることにする。

従来は誘導車と非誘導車の経路選択を別個にモデル化し、自由走行する非誘導車は出発時の最短時間経路などの固定経路を走行すると仮定する場合が多かった。しかし、誘導を受けなくとも運転者は独自の経路選択が可能であり、保有する知識と情報に基づいて意思決定すると考えるのが妥当である。また、経路誘導のための交通情報を受け取る場合も、最終的に意思決定するのは非誘導車の運転者と本質的に異なることのない運転者である。したがって、非誘導車と誘導車の双方に一貫して適用可能な経路選択行動モデルを構築することにする。

誘導車においても非誘導車においても同一の経路選択行動モデルが適用されるとき、両者の違いは交通情報の獲得能力で表される。誘導車の方が高質で多量の交通情報を利用できる。これはネットワークに関して保有する情報の差として経路選択に反映されることになる。

ここでは、経路変更の要因には交通情報として提供される旅行時間だけを考える。しかし、同じ情報を受け取っても、その認識には個人差が生じる。運転者にとって、ネットワークを構成するリンクの旅行時間が過去にどうであったかは問題でない。自分が進もうとしているリンクの旅行時間がこの先にどうなるかが関心事である。したがって、たとえ経路誘導システムによってリンク旅行時間が提供されたとしても、それが自分の到達する時刻における予測値でない限り、そのままでは意味を持たない。何らかの形で自分に必要なリンク旅行時間を予測しなければならない。これには各自の知識と経験、それに提供された交通情報が使われると考えられる。そこで、これをモデル化したリンク旅行時間予測モデルを設けることにする。

従来の経路誘導シミュレーションにおいて経路誘導情報が更新されたとき、誘導車がこれに敏感に反応して頻繁に経路変更を繰り返す現象の発生が見られた。誘導車の場合は経路誘導ロジックの問題として片付けることもできる。しかし、非誘導車にも同様の経路選択行動モデルを適用する場合には、このような非現実的な現象の発生を避けなければならない。すなわち、ここでは非誘導車もネットワークに関して持つ情報を何らかの形で更新しながら走行することを仮定し

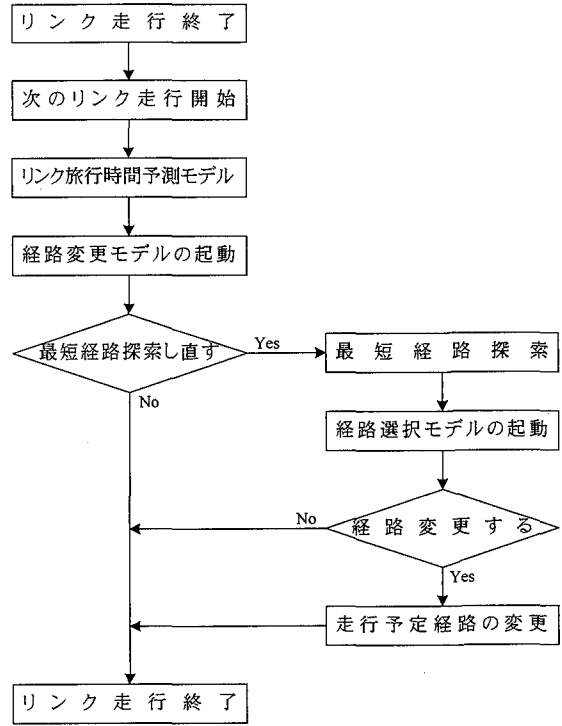


図-1 経路選択行動モデルのフロー

ている。そのため、保有する情報が変化すれば経路変更の可能性があるわけであり、つねに経路変更を考えながら走り続けることになってしまうのである。

一般的には予定した経路を走行してきたとき、とくに経路を変更しなければならない状況にならない限りはそのまま走り続けるものと考えられる。そこで、予定経路の変更を検討すべき状態であるかどうかを判断するサブモデルを導入することにする。

このようにすれば、経路選択行動モデルを3つのサブモデルによって構成することになる。最終的に経路を決定する役割を果たすの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定めるものである。次のモデル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。

この経路選択行動モデルのフローは、図-1 のようになる。リンクの走行を終えて次のリンクを走行中に経路の変更を検討するようにしている。

ここで示すモデルはシミュレーションを用いた動的経路誘導の評価に適用することを考慮したモデルで

ある。経路誘導の実施時にもすべての車両が車載装置を積んで経路誘導に従うとは限らない。経路誘導の効果を見るためにも、経路誘導を受けない自由走行車両の挙動がまず再現されなければならない。提案するモデルはこれを重視して構築するものである。その上で、想定したシンプルな動的経路誘導に対応する経路選択行動を組み込んだものである。したがって、最近になって現れてきたVICS対応のナビゲーション装置で採用されている経路誘導情報の提示方法に経路選択行動モデルを適合させることは、新たに生じてきた課題である。

(2) リンク旅行時間予測モデル

運転者は走行しようとするリンクで要する確実な旅行時間を知っているわけではない。漠然と混雑を思い浮かべたり、これくらいの時間は必要だと考える程度であろう。そこでこれを表現するために、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ものとする。一般には分布形は左右対称ではなく、旅行時間が短い方に偏った分布であると考えられる。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 u_k と分散 σ_k^2 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。動的交通情報がこれに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⁹⁾を適用し、旅行時間とその確からしさが変化してゆくとする。これは以下のように考えることになる。

運転者が持つリンク k の旅行時間 t_k に関する初期情報は式(1)の分布で表されるものとする。

$$t_k \sim f(u_k, \sigma_k^2) \quad (1)$$

ここで、あるリンク j を走行するのに要した旅行時間が T_j であったとする。リンク k がリンク j と同じ路線で下流側のリンクであるような場合、この走行結果からリンク k の旅行時間がある程度類推できる。すなわち、リンク j の旅行時間が T_j であったという結果を受け

て、リンク k の旅行時間は式(2)の事後確率分布に更新されるのである。

$$(t_k | T_j) \sim f(u_k^*, \sigma_k^{*2}) \quad (2)$$

これまでに行ってきたシミュレーション結果を分析すると、あるリンクの走行に要した旅行時間と他のリンクで要する旅行時間との関連は、リンク間の距離が大きくなるほど低下することが明らかであった。リンク間の旅行時間の関連はネットワーク構造や交通需要によって変化するため、一概にリンク間の距離だけで決まることはない。しかし、リンクが近接していればその間に他リンクから流入・流出する機会が一般に少なくなる。また、渋滞等の交通流状況が両リンクで異なることも少なくなると考えられる。いずれにしても、旅行時間に何らかの関連を認められるリンク対がまったく存在しないことは考えられない。そこで、これを考慮して以下のように旅行時間予測をモデル化する。

いま、事前に旅行時間が $f(u_j, \sigma_j^2)$ であると予測していたリンク j を、 T_j の旅行時間で走行したとする。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 の旅行時間分布が更新される。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。

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

$$\sigma_k^* = g_s(T_j / u_j, r_{jk}) \sigma_k \quad (4)$$

ここに、

u_k^* : 更新されたリンク旅行時間分布の平均値

σ_k^{*2} : 更新されたリンク旅行時間分布の分散

g_m : リンク旅行時間の平均値を更新する関数

g_s : リンク旅行時間の標準偏差を更新する関数

T_j : リンク j に要した旅行時間

r_{jk} : リンク jk 間の旅行時間の相関係数

すなわち、リンク k の旅行時間に関し、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。関数の具体的な形は現実の交通ネットワークフローを観測したり、シミュレーションを行って決めることになる。

これらの式で使用する相関係数は、リンク j, k の順に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-2 は、あるシミュレーション結

果における r_{jk} の例である。太線で示したリンクの旅行時間と他の主要リンクの旅行時間の相関係数を示している。このように、一般に通過リンクから遠ざかればリンク旅行時間の相関係数が低くなると考えられるが、観測結果から求められるべきものである。

動的な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(3)、(4)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。このときにも、交通情報を完全に信頼することはできない。交通情報の基礎となった交通流の通過時刻と、情報を受信した車両がリンクに到達する時刻には差があるからである。交通状況が動的に変化している場合、時間の経過とともに旅行時間も変化する。微小時間での変動はあるものの、大まかには交通需要のトレンドに対応した変化が見られると考えられる。したがって、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(5)、(6)を用いる。観測値自体にも誤差が含まれると考えられるが、ここではこの影響は考えないことにする。この関数についても、具体的な形は交通ネットワークフローの観測やシミュレーションによって求められる。

$$u_k^* = h_m(\Delta t_k) u_k \quad (5)$$

$$\sigma_k^* = h_s(\Delta t_k) \sigma_k \quad (6)$$

このようにして予測旅行時間分布が得られたとき、これに基づく最短時間経路が選択されるものと考ええる。このための最短経路探索は、リンク長が確率分布する場合の最短経路探索問題となる。すなわち、唯一の最短経路を求めるのではなく、ある経路が最短経路となる確率を求めることになる。リンク間の相関関係をも考慮すると、この経路探索に要する計算量はかなり大きくなる。このままモデル化しても、各車両ごとに経路選択を繰り返すシミュレーションには適用が困難である。

モデル適用時の計算量を少なくするためには、経路探索に用いるリンク旅行時間が確定値であることが必要である。そこで、経路探索に際しては確定値である旅行時間を予測旅行時間分布から想定するものと仮定する。これを想定旅行時間と呼ぶことにし、通常の最短経路探索に適用できるものとする。

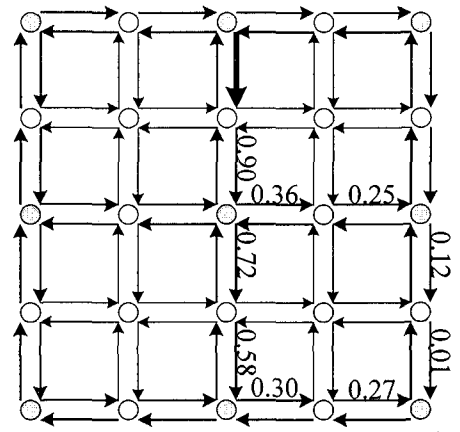


図-2 リンク旅行時間の相関係数の例

経路選択行動に関する研究において、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。これは、余裕ある旅行時間を想定することを意味している。確かな旅行時間情報を保持すれば余裕は小さくすみ、あいまいな情報だけであれば大きな余裕を見込むことが必要であろう。そこで、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(7)で表す。

$$t_k = u_k + \alpha \sigma_k \quad (7)$$

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

(3) 経路変更モデル

経路選択を行うのはトリップの出発時である。そして、走行途中では経路を変更して新たな経路を選択するかもしれないが、経路を変更できるのはリンクの終点に至ったときである。したがって、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ということになる。経路誘導を受けるときには、新たな交通情報を受け取ったときにも経路選択を行う可能性がある。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

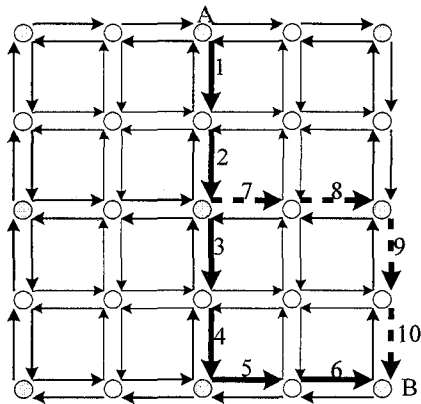


図-3 道路ネットワークと経路の変更

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となる混雑の認識は、予想していた旅行時間と走行に要した旅行時間から決まる。これを経路決定時の想定時間に対する遅延時間 t_d と遅延時間比 r_d で表し、式(8)によって経路変更率を得るものとする。

$$p_d = p_d(t_d, r_d) \quad (8)$$

経路変更率を与える関数は、遅延時間と遅延時間比の双方が大きくなったときに値が大きくなるようにする。この関数は個人の経路選択行動を分析して得られるものであるが、それが困難な場合には妥当なシミュレーション結果となるように決めざるを得ない。

新たな交通情報によって予定経路の想定時間が従来よりも大きくなったときにも経路変更が考えられる。関数形やパラメータは走行結果に対する不満の場合とは異なるかもしれないが、この場合にも同様に考えればよい。予定経路における従来の想定時間に対する新たな想定時間から遅延時間と遅延時間比を求め、経路変更率を決定するのである。

この経路変更モデルを適用することによって経路変更率が求められ、これにしたがって確率的に経路選択モデルを起動することになる。

(4) 経路選択モデル

経路選択基準は目的地までの旅行時間とする。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。これは交通均衡配分でも使われているように、一般に受け入れられる経

表-1 リンク旅行時間

リンク	出 発 時			リンク1走行終了時		
	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	3.70	90.70
6	75.00	6.15	84.25	84.00	4.30	88.30
7	78.00	6.25	84.25	90.50	3.80	94.30
8	78.00	6.25	84.25	87.40	4.35	91.75
9	78.00	6.25	84.25	81.10	5.00	86.10
10	78.00	6.25	84.25	78.00	6.25	84.25

(単位:秒)

路選択基準である。ただし、運転者が完全な情報を持た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ているのである。

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(9)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。

$$p_r = p_r(t_r, r_r) \quad (9)$$

式(9)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。

(5) 経路選択行動モデルの適用例

ここでは、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に行われるのかを明確にするため、簡単な適用例を示す。リンク旅行時間予測モデル、経路選択モデル、経路変更モデルのそれぞれのパラメータ等を確定しなければならないが、経路選

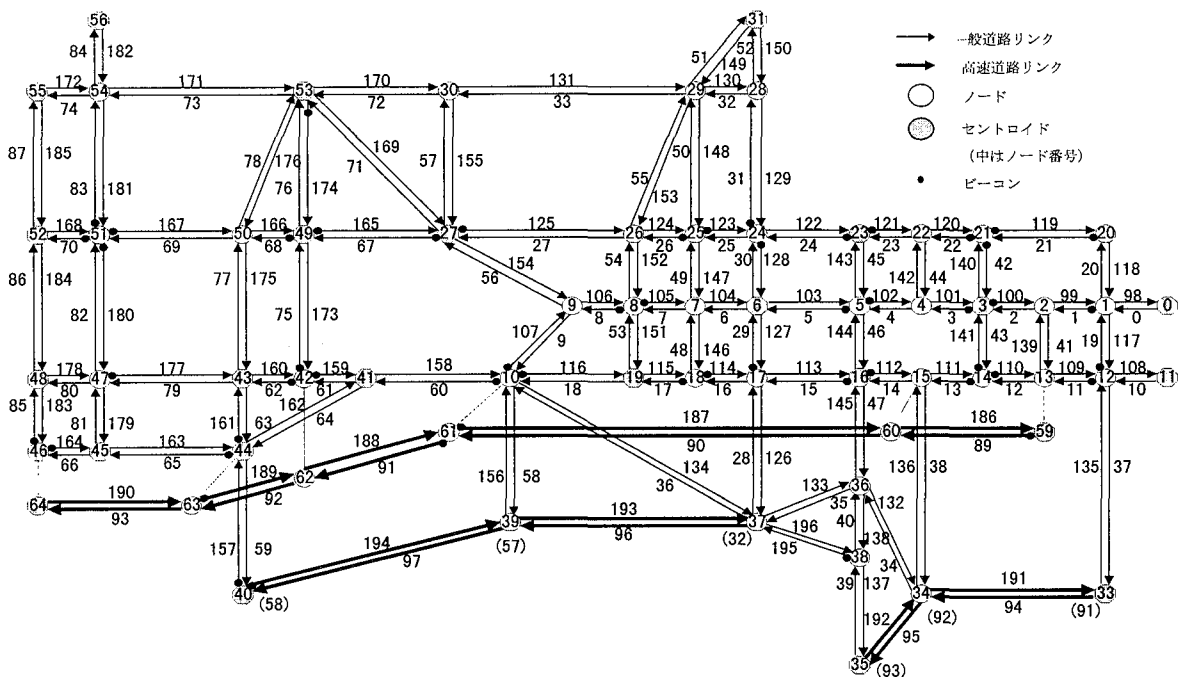


図-4 対象とするネットワーク

択の挙動を例示することだけが目的なので、詳細に関しては省略する。

図-3の道路ネットワークでノードAからノードBへ向かう車両を考える。出発時には、表-1に示した想定旅行時間から、リンク1～6の経路を選択したものとする。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すとする。すなわち、リンク1の走行後、表-1の右のように想定旅行時間が変化する。経路変更モデルを適用して経路変更を検討することになり、改めて経路探索をやり直すと、リンク3～6の部分の経路がリンク7～10に変更されることを示している。

提案したモデルを用いると、経路選択はこの例のようになる。ここでは走行結果から想定旅行時間を更新する場合であるが、誘導を受ける車両は交通情報を受信したときにも経路選択を行う。この場合、自車の走行結果だけでなく、経路誘導システムによる情報をも使用することができる。確度の高い情報を付加的に用いることができれば、旅行時間の予測精度が高くなる。その結果、経路の所要時間に関する曖昧さが減少し、適切な経路が選択される可能性が一般に高まると考えられる。これが誘導を受ける車両の有利さを表すことになる。

5. 経路選択行動モデル適用のケーススタディ

ここで提案した経路選択行動モデルは実際の経路選択行動や実験結果を分析して作成したものではない。したがって、運転者がこの経路選択行動モデルにそって行動すると仮定したとき、現実的な交通現象が得られるのかを確認しなければならない。そこで、ある地域を対象としてネットワークと交通需要を設定し、シミュレーションを行う。その結果を観測されている道路区間交通量と比較することにより妥当性を検証する。

つぎに、運転者の経路選択に提案した経路選択行動モデルを適用し、経路誘導システムのシミュレーションを行う。経路誘導の効果に関しては、従来からシミュレーションによって検討が重ねられてきた。新たな経路選択行動モデルを用いることにより、それらの検討結果が裏付けられるのか、あるいは異なる結果が得られるのかを見ることにする。

ここでは、神戸市の市街地部を対象に、現況交通ネットワークフローの再現と経路誘導効果の検討を行う。対象とするネットワークは図-4に示すもので、東灘区から兵庫区にかけての地域である。図-4には、一般道路と高速道路を表すリンク、ノードとセントロイド、それに情報提供を行うビーコンの位置を示してある。

ノード数はダミーノードを含めて 98 あり、そのうちの 26 ノードがセントロイドである。セントロイドは使用する OD 表のゾーンを代表する位置とし、道路交通センサスの B ゾーンを中心をセントロイドとしている。リンクはダミーを含めて 254 あり、主要な 56 リンクの始点側にピーコンを設置するものとする。すなわち、阪神高速道路神戸線や、国道43号線、国道2号線、山手幹線等の幹線道路を設置対象とする。

OD 表は、平成6年度道路交通センサスの平日交通量データに基づいて作成する。交通状況の変化が大きい午前6時から10時までの4時間を対象時間とし、30分単位で集計した OD 表を用いる。

経路選択行動モデルにおける具体的な関数形を定める必要がある。運転者が持つ旅行時間の確率分布に関しては、想定旅行時間を導入したことにより、平均と分散だけが決まればよい。そこで、ここでは分布形自体は定めないことにする。式(3)、(4)で示されたリンク走行結果から他のリンク旅行時間分布を更新する関数は、以下のとおりとする。

$$g_m\left(\frac{T_j}{u_j}, r_{jk}\right) = r_{jk} \frac{T_j}{u_j} + (1 - r_{jk}) \quad (10)$$

$$g_s\left(\frac{T_j}{u_j}, r_{jk}\right) = -\frac{1}{\kappa\sqrt{2\pi}} e^{-(T_j/u_j - 1)^2/2\kappa^2} + \left(\frac{1}{\kappa\sqrt{2\pi}} + 1.5 - \frac{1}{\kappa}\right) \quad (11)$$

$$\text{ただし、}\kappa = \frac{1}{r_{jk}}$$

式(10)は、 T_j / u_j に対しては 1 次式とし、相関係数によって傾きが変わるとしたものである。式(11)は正規分布を逆にした形を使い、 T_j / u_j の値が 1 から離れるほど分散が大きくなるように作用し、相関係数が大きいほど補正量が大きくなるようにしたものである。

リンク旅行時間の相関係数については、従来のシミュレーション結果からリンク間距離と相関係数との関係を求めて使用することにする。これについては、シミュレーションを繰り返せば、対象とするネットワークでの値を求めることができることになる。また、交通情報を受信したときの旅行時間分布の変更は、式(5)、(6)を適用して行うこととしていた。これは交通情報が作成された時点から、その交通情報を受信した車両が当該リンクに到達するまでの時間差を用いるものであった。しかし、ここでは関数を設定するための基礎データが十分でないため、式(10)、(11)を流用することにする。すなわち、交通情報を受信したピーコンが設

置されているリンクと当該リンクの旅行時間の相関係数、交通情報による旅行時間の保持する旅行時間平均に対する比を説明変数とするものである。

経路変更モデルにおいては、式(12)で経路変更率を定めるものとする。ただし、式(12)で $p_d < 0$ あるいは $p_d > 1$ となるときは、それぞれ $p_d = 0$ 、 $p_d = 1$ とする。この場合、 β は経路変更の性向を表すパラメータになる。遅延時間 t_d および遅延時間比 r_d はその時点までに走行してきた経路部分に要した旅行時間と経路決定時の想定旅行時間から求めるものである。

$$p_d = \beta t_d r_d \quad (12)$$

ここに、

p_d : 経路変更率

t_d : 走行経路の想定時間に対する遅延時間

r_d : 走行経路の想定時間に対する遅延時間比

経路選択モデルにおいては、式(13)で新たな経路を選択する確率を定めるものとする。式(13)においても $p_r < 0$ あるいは $p_r > 1$ となるときは、それぞれ $p_r = 0$ 、 $p_r = 1$ とする。この場合には、 γ は新たな経路がどれだけ有利な経路でなければ経路を変えないかを示すパラメータとなる。短縮時間 t_r および短縮時間比 r_r は現在地点から目的地までの予定経路の想定旅行時間と新たに求められた経路の想定旅行時間から求めるものである。

$$p_r = \gamma t_r r_r \quad (13)$$

ここに、

p_r : 経路選択率

t_r : 予定経路に対する短縮時間

r_r : 予定経路に対する短縮時間比

α 、 β 、 γ のパラメータの組をいくつか準備し、経路誘導を導入しない場合のシミュレーションを行った。その中では、 $\alpha = 1.2$ 、 $\beta = 0.2$ 、 $\gamma = 0.2$ としたときの結果が最も好ましいものであった。これを用いた場合、断面交通量の得られるリンクで比較したときにリンク交通量の相関係数は 0.78 となり、ほぼ妥当な結果が得られることが確かめられた。このシミュレーションは朝のピーク時にみられる混雑の発生と解消を模した交通需要を与えるものであり、少なくともこの条件下では適切な結果が得られると判断した。そこで、このパラメータ値を

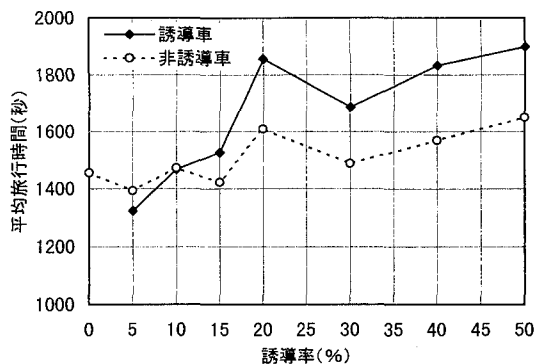


図-5 ケース A における平均旅行時間

用い、同じ交通需要を対象に経路誘導を実施した場合のシミュレーションを行う。

非誘導車は提案した経路選択行動モデルに従うものとし、誘導車に関して 2 つのケースを設定する。ケース A は誘導情報に完全に従う場合であり、従来の研究で行われていたように、交通情報に基づいてその時点での最短時間経路を選択するものである。ケース B は、交通情報を含めてこの経路選択行動モデルに従う場合である。

誘導車の割合を変えてシミュレーションを行い、平均旅行時間は図-5、図-6 のようになった。ケース A では誘導率が 5% のときに誘導車の平均旅行時間が非誘導車を下回ったが、15% 以上ではいずれの場合も誘導車の旅行時間が大きくなっている。ハンチング現象が生じるため、誘導車の割合が高くなると経路誘導の効果はなくなることが従来の研究で指摘されていた。それを裏付ける結果である。しかも、誘導率 10% を境にして両者の旅行時間が逆転するというのは、これまで以上に厳しい結果である。

図-5、図-6 を見れば、誘導率の変化に対する平均旅行時間の変化傾向が崩れている場合がある。これはシミュレーション結果が安定する状態に至っていないことを示している。さらに十分なシミュレーションを繰り返す必要があると言えよう。しかし、全体的傾向は従来の研究で指摘されている通りであり、誘導車の経路選択の相違による影響を概観することは可能である。

ケース B では誘導車と非誘導車の旅行時間が逆転するのは誘導率が 50% のときであるが、これも差はないと言ってよい。ケース B における誘導車の運転者

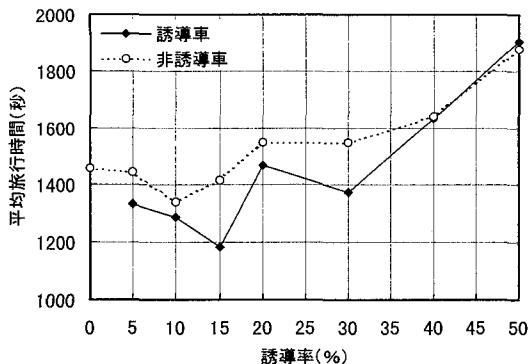


図-6 ケース B における平均旅行時間

は、受信した交通情報もリンク旅行時間を想定する材料にただけであり、交通情報のみで経路を選択したのではない。その方がよい結果が得られるというのは、経路誘導システムで提供される交通情報の信頼性が低いことを示している。リンク旅行時間の短期予測を高精度に行い、それを提供するのでなければ、運転者は交通情報のみに頼れないと考えられる。

これらを比較すると、提案したモデルを適用して運転者の経路選択行動を中心に考えた場合、交通情報提供に伴う副作用の問題が緩和されることが期待できるのではないかと考えられる。

6. おわりに

ここでは、動的経路誘導の効果を実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、新たな経路選択行動モデルを提案した。仮定した経路選択行動は決して非現実的なものではなく、むしろ従来は運転者を機械並に扱っていたのではないかと指摘できる。運転者が「賢く」行動すれば、これまで考えられていたよりも経路誘導効果は小さいかもしれない。一方で、交通情報を受信した運転者が「賢く」判断すれば、経路誘導による副作用を軽減できる可能性があることも明らかにされたと考えられる。

個人行動の説明力や交通現象の再現性などを通じて、経路選択行動モデルの検証をさらに重ねることがなお必要である。ここでは様々な状況でのモデルの挙動を十分には確かめることができておらず、これは今後の課題として残されている。またパラメータの安定

性なども感度分析によって検討し、モデルの吟味を行っていきたい。

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 Presentation Strategy on Driver Behavior, Proceedings of the Second World Congress on ITS, Vol.4, pp.1888~1893, 1995.11.
- 5) 宮城俊彦: バ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.
- 6) 鈴木雪夫・国友直人 編: バイズ統計学とその応用, 東京大学出版会, 1992.

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

森津秀夫・中島正樹

動的経路誘導を意図した交通情報提供が開始された。しかし、走行経路を決定するのは運転者自身であり、経路を強制されるのではない。そのため、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。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に適用することを前提とした経路選択行動のモデル化について考察した。動的経路誘導効果の分析に使用する経路選択行動モデルの具備すべき条件を示し、旅行時間予測モデル、経路変更モデル、経路選択モデルからなるモデルを提案した。さらに、神戸市の市街地部を対象にシミュレーションによるケーススタディを行った。

A Study on the Route Choice Behavior Model for Dynamic Route Guidance

By Hideo MORITSU and Masaki NAKASHIMA

Transportation information is now provided that allows dynamic route guidance. However, the route is freely selected by the driver; the information simply advises the driver to select a convenient route, and never forces the driver to select the recommended route. Therefore, the route selection made by each driver after obtaining transportation information influences the effectiveness of the dynamic route guidance.

In this paper, we study of model of route selection for both planning and assessing dynamic route guidance. A model consisting of a travel time prediction model, route change model, and route selection model is proposed. We also conducted a case study by performing a simulation for the urban district in Kobe City.
