

プローブカーデータを用いた ドライバーの選択経路データの収集と分析

三輪 富生*
森川 高行**

1. はじめに

日々の生活において、実際に行われている経路選択行動は、1回のトリップに際して、必ずしも出発地点でたった一度だけ行われる意思決定ではなく、トリップ中においても、経路変更が行われると考える方が自然である。

そもそも経路選択行動は、その他の交通行動とは大きく異なる特徴を有している。例えば、あるOD間において膨大な数の利用可能な経路が存在し、ドライバーがそれらすべてを認知することが難しい点や、道路ネットワーク上の交通状況は時々刻々と変化しているため、出発時点で期待した旅行時間は、トリップ中に大きく変わってしまう場合もある点などが挙げられる。このため、一度選択した経路上にあるドライバーが、交通状況の変化に応じて、利用経路を変更することがしばしばあり、ドライバーに認知される利用可能経路集合は、ドライバーのトリップ中の位置により変化していると考えられる。つまり、出発地点では認知していなかった経路についても、トリップ途中でその存在と効用（望ましさ）を新たに認知する、もしくは認知し直すことも考えられる。このような意味で、経路選択行動は、より動的な枠組みで分析されるべきである。ここで述べる“動的”とは、出発地点での経路選択に加えて、トリップ中においても交通状況の変化に応じて選択経路を変更することを指す。

静的な均衡配分のように、時間的変化を詳細には取り扱わない場合においても、現実を選択された経路のアウトプットは、上記のような意思決定の繰り返し行動の結果である。リンク交通量が、各ドライバーのネットワーク認知とそれに伴う経路選択・変更行動の集積である点を考えれば、このような経路選択に関する意思決定構造を明らかにすることは重要であり、交通状況の解明に繋がるだろう。

プローブカーデータは、このようなドライバーの経路選択行動を解明するためには、革新的なデータである。ドライバーが選択した経路を正確に提供してくれるのみならず、収集されたプローブカーデータを分析することで、ドライバーが直面した交通状況の変化を、明らかにすることができるからである。

そこで本稿は、プローブカーデータを用いることで、著者らがこれまでに行った、またこれから取り組もうと考えている、ドライバーの経路選択行動の分析について論ずるものである。

2. 経路選択行動分析へのプローブデータの利用

2.1 名古屋実証実験データの概要

名古屋実証実験は、「インターネットITSプロジェクト」（主体：経済産業省）の一環として、2002年1月28日～3月31日の約2ヶ月間、名古屋都市圏において行われた²⁾。実験は、名古屋市周辺に位置する32のタクシー会社の協力を得て、約1,570台のタクシーをプローブカーとして使用し、データ送信はイベントスキニング（距離(300m)周期、車両発進/停車時など）で行った³⁾。

*名古屋大学大学院環境学研究科博士課程（後期課程）2年

**名古屋大学大学院環境学研究科教授

(052-789-3730)

GPS車載機にはType1, 2, 3の3種類がある。Type1, 3 (915台) はGPS機能のみの簡易なモバイルサーバであるのに対して、Type2 (655台) にはカーナビが装備されており、位置動態情報が精度良く取得できる。このため本報告内では、Type2車載機から取得されたデータを用いる。また、経路選択行動に着目した分析を行うため、実車中のデータを抽出して、その移動軌跡を用いて分析を進める。

2.2 プローブデータの利用技術とデータ整理

1) データ利用技術の開発

プローブカーデータでは、車両の走行軌跡が座標データとして与えられる。例えば路線バスを利用した場合のように、プローブカーの走行する経路があらかじめ定められている場合には、取得された車両位置座標が走行経路から若干ずれていた場合でも、車両位置から走行経路への垂線を引くことで正しいと思われる車両走行位置が特定できる。しかし、名古屋実証実験のように、タクシーをプローブカーとする場合には、その走行経路はデータ取得後に特定する必要がある⁵⁾。そこで、取得したプローブカーデータを、基本道路網DRM（財）日本デジタル道路地図協会）にマッチング処理を行った⁴⁾。マッチング処理の基本的な手順は以下の通りである。

〈Step1〉 トリップ単位データ（乗客が乗車してから降車するまでのデータ）を抽出する

〈Step2〉 抽出した走行軌跡について、ある車両位置座標と、前後遠い方の位置座標との距離を半径とする円に含まれるリンクを抽出する

〈Step3〉 抽出したリンク集合内で経路探索を行う

〈Step4〉 探索された経路に対してScreening法を行い、複数経路を抽出する

〈Step5〉 移動点と最も近い経路を利用経路として特定する

名古屋都市圏のように、都市高速道路と一般道路が立体的に配置される区間が多い地域では、車両の走行軌跡のみからでは、高速道路か一般道路かを特定することが難しい。このため、〈Step3〉、〈Step4〉でのリンクコストは、走行速度ウェイト（走行速度とマッチング対象リンクの種別により変化する重み）、リンク長、そして移動点とリンク

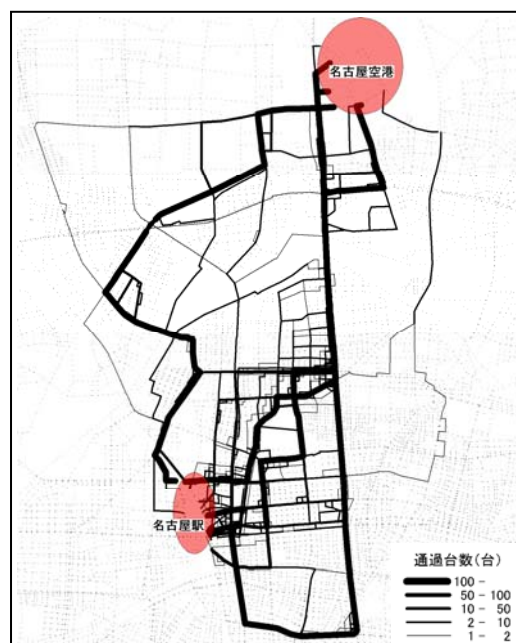


図-1 名古屋空港→名古屋駅の利用経路

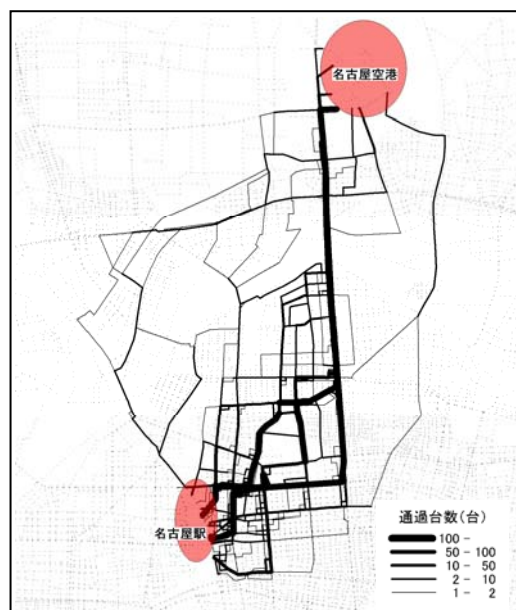


図-2 名古屋駅→名古屋空港の利用経路

ク間の距離を乗じたリンクコストを用いている。

2) データ整理

ここでは、経路選択行動の分析を行うためのデータ整理を行う。対象とするODペアは名古屋駅

表-1 対象トリップデータ (平: 平日, 休: 休日)

	名古屋駅 → 空港			空港 → 名古屋駅		
	平	休	計	平	休	計
トリップ数	330	229	559	722	481	1203
利用経路数	216	144	328	445	322	677
最大利用経路*	27	18	42	37	24	61

*最大利用経路: 最も利用された経路のトリップ数

周辺⇔名古屋空港周辺である。OD間距離はおおよそ12~15kmであり、利用経路には都市高速道路利用経路も含まれる。実験期間中に利用された経路数についての集計結果を表-1に、経路交通量図を図-1, 2に示す。

図をみてもわかるように、実際に利用された経路は非常に多岐に渡っており、名古屋駅周辺では、幹線道路以外の街路が頻繁に利用されている。特に、空港→名古屋駅方向では利用経路数も多く、最大利用経路のトリップ数も相対的に少なく、利用経路の多様性が著しいことがわかる。

3. 経路選択行動分析

3.1 経路選択行動モデルの概観

これまでに経路選択行動を分析・モデル化しようとする試みは多くなされてきた⁶⁾。それらの中でも、最も基本的なモデルが、ドライバーは最短所要時間経路または最短距離経路を利用するというものである。これは分割配分や確定的利用者均衡配分のAll or Nothing配分や動的シミュレーションにおいて多く用いられてきた。しかし、ドライバーが膨大な数の経路集合から、確定的に最短経路を選択することができるとは考えにくく、このため経路情報に対する認知誤差を考慮したロジット型の経路選択モデルが取り扱われることも多い⁷⁾。さらに最近では、経路がリンクの連なりで表現されることから、各経路が部分的に同一のリンク列を利用する場合の、経路間の重なりによる相関を考慮したモデルの研究も行われている^{8), 9), 10)}。

しかし、いずれのモデルについても、意思決定者が選択経路を決定する瞬間は、出発地点での1度だけであるとしており、経路選択モデルの推定に際しても、起点から終点までの経路選択データを

使用している。動的シミュレーションのように、各ノードに到着するごとに意思決定を繰り返す場合にも、経路選択モデルはドライバーがどの位置にいても同一であり、さらには到着ノードごとに意思決定を単純に繰り返す場合が一般的である。

3.2 経路選択行動モデルの作成

ここでは、従来の経路選択モデルと同様に、出発地において目的地までの詳細な経路を一度に決定するモデルの作成を試みる。

起終点間には、膨大な数の利用可能経路が存在する。しかし実際にドライバーがそれら全てを認知しているとは考えにくい。このためしばしば用いられる考え方がTverskyによるEBA (Elimination by Aspects) の考え方である¹¹⁾。無数に存在する利用可能経路の集合から、経路属性がある基準値を満たさない経路については、選択肢集合には含まれないとする考え方である。ここではこの考え方を基に経路認知モデルを作成し、さらに経路選択モデルの作成を試みる。

1) 経路認知モデル

プローブカーデータからは、出発時点において、実際にドライバーが認知していた経路についての情報を得ることができない。このため、実験期間中に通過実績が得られた経路が利用可能な全経路集合とみなし、その中から、2トリップ以上に利用された経路が、ドライバーに認知される経路とみなしてモデルを作成する。対象ODペアにおいて、実験期間中に確認されたトリップの内、起点から終点まで途切れることなくマッチングされた経路は1005経路、2トリップ以上の利用実績が確認された経路は190経路である。モデル式を式(1), (2)に示し、推定結果を表-2に示す。

経路 k が認知される確率は、

$$P_k = \frac{\exp(V_k)}{\exp(\lambda_{cong}) + \exp(V_k)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$U_k = V_k + \varepsilon = \sum \beta_i^k x_i^k + \varepsilon \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 U_k は経路 k の認知効用、 β_i は未知パラメータ、 x_i^k は説明変数、 λ_{cong} は認知されるための閾値である。

表-2 経路認知モデルの推定結果

説明変数	パラメータ
閾値 $\bar{\lambda}_{cong}$	4.34 (4.0)
右折数 (回 / km)	-5.41 (-5.8)
高速利用距離 / 経路距離	4.88 (4.4)
国道利用距離 / 経路距離	4.45 (3.7)
主要道・県道利用距離 / 経路距離	4.59 (3.8)
$\bar{\rho}^2$ 値	0.368

サンプル数 : 1005 (t値)

推定結果より、高速道路がもっとも認知されやすく、国道と主要道・県道は同程度に認知される傾向があり、右折・Uターンの数が増加するほど認知されにくくなる傾向があることがわかる。

2) 経路選択モデル

ドライバーが利用経路を選択する際には、まず利用幹線道路を選択し、利用幹線に対するアクセス・イグレス経路は幹線ごとに独立した選択肢としてみなせると考えると、経路選択モデルは式(3)～(5)で表せる。なお利用幹線道路は、各経路での最も長い距離利用された県道以上の路線とする。推定された結果を表-3に示す。

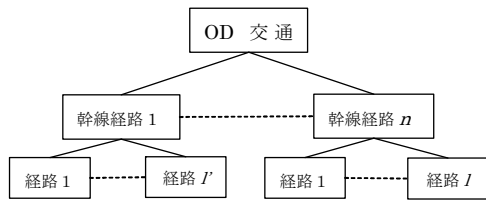


図-3 経路選択モデルの構造

幹線 n を選択するとき、経路 l を選択する確率は、

$$P^{rs,n}(l) = \frac{\exp\left(\mu \sum_i \hat{\beta}_i x_{l,i}^{rs,n}\right)}{\sum_{l' \in k_{rs,n}} \exp\left(\mu \sum_i \hat{\beta}_i x_{l',i}^{rs,n}\right)} \quad \dots (3)$$

このとき幹線 n を選択する確率は

$$P^{rs}(n) = \frac{\exp\left\{\hat{\theta}_n^{rs} + \alpha\right\}}{\sum_{l' \in R_{rs}} \exp\left\{\hat{\theta}_{l'}^{rs} + \alpha\right\}} \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$S_n^{rs} = \frac{1}{\mu} \ln \sum_{l \in k_{rs,n}} \exp\left(\mu \sum_i \hat{\beta}_i x_{l,i}^{rs,n}\right) \quad \dots (5)$$

ここに、 $x_{l,i}^{rs,n}$ はODペア rs における経路 l の i 番目説明変数、 $\mu, \hat{\beta}_i, \hat{\theta}, \alpha$ は未知パラメータ、 $k_{rs,n}$ はODペア rs における幹線道路 n を利用した時の利用可能経路集合、 R_{rs} はODペア rs における利用可能幹線道路集合である。

推定には名古屋空港→名古屋駅の平日トリップの内、正しく経路属性が得られたデータを用いた。推定にはプローブカーデータから取得される選択経路の所要時間データのほかに、同時刻には選択されなかった経路についての所要時間データが必要となる。そこで、ここでは名古屋市周辺で発生したトリップを、2.2で示したマッチング手法によりDRMにマッチングし、各DRMリンク旅行速度を5分間隔平均値として集計している。各リンク平均旅行速度の集計は、平休別、天候別(降水量1mm以上と未満)に行い、旅行時間テーブルとしてデータベース化した。これを用いて、各トリップ発生時の利用経路以外の経路旅行時間を算出し、モデル推定を行っている。

表-3 経路選択モデルの推定結果

説明変数	パラメータ	
幹線選択	スケール $\hat{\theta}$	0.939 (19.8)
	高速道路ダミー α	0.617 (7.6)
経路選択	所要時間(60分) $\hat{\beta}_i$	-1.91 (-2.0)
$\bar{\rho}^2$ 値		0.160

サンプル数 : 722 (t値)

推定結果を見ると適切な符号条件が得られているものの、幹線道路選択段階でのスケールパラメータ値が1から十分に離れていない(帰無仮説 =1 に対する t値が1.4であり、5%の有意水準で棄却できない)。これは、図-3で仮定したネストの構造よりも、すべての経路が並列に並ぶ通常の多項選択ロジットモデルで表現すべきであることを示唆している。その場合、本ケーススタディでは、

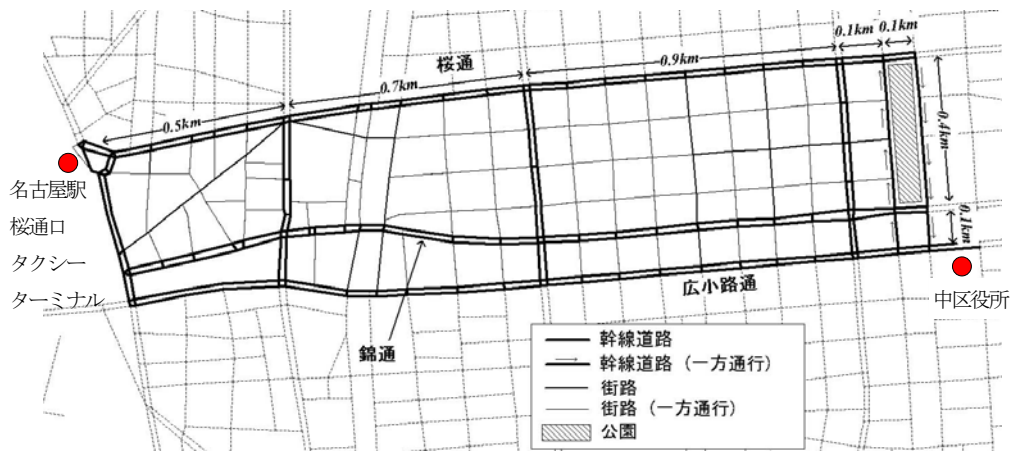


図-4 中区役所⇄JR名古屋駅桜通口タクシーターミナル間のネットワーク

幹線道路を共有する複数経路間に観測されない類似性（誤差項の相関）はないという解釈になる。

また、本ケースでは幹線経路数が11、全経路数が677存在するが、ドライバーがそのような大規模な集合から、経路選択行動を行っているとは考えにくい。より現実的な動的認知/選択を考慮した経路選択行動のフレームワークを考える必要があると思われる。

4. 新しい経路選択行動モデルの提案

4.1 意思決定タイミング

ドライバーは出発地点のみでしか意思決定を行わないのだろうか。著者らは、同様にプローブカーデータを用いて以下に示すような、トリップ中での経路変更行動に関連した分析を行っている¹³⁾。

図-4は中区役所⇄JR名古屋駅桜通口タクシーターミナル間のネットワーク図である。このODペアはOD間距離が約3kmであり、梯子状であるため、各経路距離にはほとんど違いがない。

このODにおける経路選択は、東西方向に並行する3つの幹線道路により特徴付けられる。最も南に位置する広小路通は、名古屋市のメインストリートとして知られており、沿道に商店が多く、歩行者や路上駐車が多い。一方、最も北に位置する桜通は、8車線の幹線道路であり、路上駐車が少なくスムーズに走行することができる。その間に位置する錦通は、これら2路線の中間的な性質を持つ。

これら3本の幹線道路の間には、基盤目状に2車線程度の細街路が通っている。

表-4は3つの幹線道路上で送信されたデータの内訳および距離周期データより集計された平均走行速度である。桜通で記録されたデータ内訳は、距離周期、発進、停止がそれぞれ約30%であるのに対して、広小路通りは発進、停止の割合が高くなっており、ストップアンドゴーが多く発生していることがわかる。またそれに伴い、広小路通では走行速度が低くなっている。

表-4 東西方向の幹線上で記録されたデータの内訳

	桜通	錦通	広小路通
距離周期 (300m)	31.1%	27.2%	22.4%
車両発進時	34.9%	37.1%	44.1%
車両停止時	33.9%	35.3%	36.1%
その他	0.1%	0.4%	0.4%
平均走行速度 (東向き, km/h)	40.4	34.5	29.9
平均走行速度 (西向き, km/h)	42.8	40.1	34.3

図-5に、平日経路交通量（実験期間合計）を示し、表-5に方向別の細街路利用率を示す。トリップの起点が混雑した広小路通に位置する、中区役所→名古屋駅方向の方が、細街路を利用する割合が高い。一方、比較的スムーズな走行が可能な桜通に起点が位置する、反対方向のトリップでは細街路を利用するトリップが少ないことがわかる。

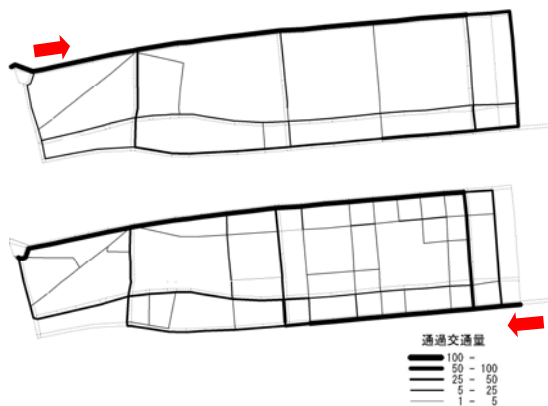


図5 方向別経路交通量（実験期間中の平日合計）
（上：名古屋駅→区役所，下：区役所→名古屋駅）

表5 方向別トリップの細街路利用率

	トリップ数	経路数	細街路利用率*
区役所→名古屋駅	249	45	14.5%
名古屋駅→区役所	173	18	4.1%

*街路利用率：幹線以外の街路を利用したトリップの割合

以上の結果から、ドライバーは直面する交通混雑により経路変更についての意思決定が誘発されていることが予想される。そこで式(6)、(7)のような、右折行動発生モデルを作成することで、経路変更行動と交通混雑の関係を分析した。モデル作成に用いたデータは、それぞれの起点を出発し、広小路通（桜通）を走行中に右折可能な交差点を通過もしくは右折した際のデータである。

$$P_{turn} = \frac{\exp(V_{turn})}{\exp(V_{turn}) + \exp(\bar{\lambda})} \dots\dots\dots (6)$$

$$U_{turn} = V_{turn} + \varepsilon = \sum_i \beta_i x_i + \varepsilon \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 P_{turn} は右折行動を起こす確率、 U_{turn} は右折行動により得られる効用、 $\bar{\lambda}$ は右折行動を起こすための効用の閾値、 β_i は未知パラメータ、そして x_i は説明変数である。推定結果を表-6に示す。

この結果から、ドライバーは過去1.0kmに経験した最高速度が高いほど走行する幹線（桜通・広小路通）から逸れにくく、過去0.5kmに経験した停

表-6 右折行動発生モデルの推定結果

説明変数	パラメータ
過去1.0kmに経験した最高速度(km/h)	-0.0461 (-2.8)
過去0.5kmに経験した停止回数(回)	0.295 (2.9)
幹線ダミー	2.73 (7.3)
起点からの走行距離/OD間距離	4.53 (3.7)
閾値 $\bar{\lambda}$	4.00 (4.7)
$\bar{\rho}^2$ 値	0.597

サンプル数：511 (t値)

止回数が多いほど、走行する幹線から逸れやすい。また交差する路線が、幹線である場合は右折しやすい傾向がうかがえる。

この結果から、ドライバーはトリップ中であっても、直面した交通状況（混雑の度合いやネットワーク状況）によって意思決定行動を繰り返しながら終点に向かっていることがわかる。

4.2 動的な経路選択モデルの考え方

本節では、ドライバーが実際に行う経路選択行動をより詳細に表現しうる、動的な意思決定過程をモデル化するためのアプローチを提案する。3.2において、利用可能な経路にも、その右折数や道路種別などの経路属性により認知されやすさが異なることが示され、また4.1において、ドライバーがトリップ中においても意思決定を行い、経路を変更することが示された。これらの結果に基づけば、ドライバーの経路選択行動を動的に扱うための基本的な考え方は以下のようにまとめられる。

- 1) 経路選択に関する意思決定は出発前のみでなく、トリップ中においても行われる。
- 2) 利用可能な経路すべてを選択肢として扱うのではなく、認知されやすい経路で構成される集合から選択が行われる。

ここで、トリップ途中での意思決定発生モデルに、トリップ中のドライバーの位置を組み込んだ表現をすると、トリップ中に意思決定が発生する確率は式(8)～(10)に示すように表せる。

$$\Pr = \frac{1}{1 + \exp(\bar{\lambda}_{decide} - \lambda_{decide})} \dots\dots\dots (8)$$

$$\bar{\lambda}_{decide} = \theta_t D_d + \alpha \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\lambda_{decide} = \beta_0 (\bar{T}_d - T_d) + \sum_i \beta_i x_i \quad \dots\dots (10)$$

ここに、 $\bar{\lambda}_{decide}$ は意思決定が発生するための閾値、 D_d は終点までの距離/OD間距離、 \bar{T}_d は前回経路選択時の想定到着時刻、 T_d は現在の利用経路をこのまま利用したときの予想到着時刻、 x_i はその他の説明変数、 $\beta_i, \theta_t, \alpha$ は未知パラメータである。

このモデルでは、4.1で示されたような、ドライバーが直面する目の前の交通状況のみではなく、目的地までの到着時刻の遅延も、意思決定を引き起こす原因となることを意味している。また式(9)は、意思決定が発生するための閾値が、ドライバーがトリップ中に位置する地点によって変化するというものである。

さらに、トリップ中で繰り返される経路選択行動に際して、ドライバーのトリップ中の位置により、代替案として考慮される利用可能経路集合が異なる、つまり出発地点近くで想起される利用可能経路と、トリップ中ほどや終点近くで想起される利用可能経路が異なると考えた場合、式(1)の閾値は式(11)のように表すことができる。

$$\bar{\lambda}_{cong} = \gamma_1 D_d + \gamma_0 \quad \dots\dots\dots (11)$$

ここに γ_1, γ_0 は未知パラメータである。

これらの考え方により、現実の経路選択行動のフローを図-6に示す。

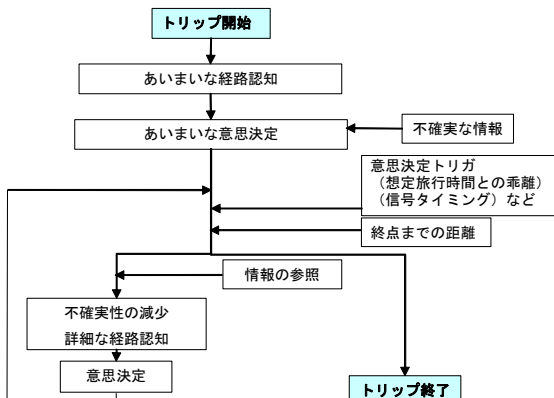


図-6 動的な経路選択行動のフロー

しかしプローブカーデータからは、ドライバーが出発直前にいかなる経路集合を認知していたかについて、またトリップ中に何度意思決定を繰り返す、そのうち何度経路を変更したかについても知ることはできない。最終的に選択された経路集合に最も適合するように、すべてのモデルパラメータを同時推定することは、その組み合わせが膨大となり現実的でない。

このため、提案するモデル構造を作成するための準備として、ODペアをさまざまな距離に変化させ、その利用経路数、経路選択結果がOD間距離によってどのように変化するかについて確認し、その傾向を分析する必要がある。また、終点を同一とした場合の起点からの走行距離や、終点までの残りの距離が、意思決定の繰り返し行動や、認知、選択行動にどのような影響を与えるかについての分析も合わせて行う必要がある。

5. まとめと今後の展望

本稿ではプローブカーデータを用いた、経路選択行動の分析例を紹介した。さらに、これまで一般的に考慮されてきたような、出発地点において目的地までの詳細な経路を一度に選択する、静的な経路認知モデル、経路選択モデルを作成し、その問題点を示した。その後トリップ中の意思決定発生の可能性について分析し、より現実のドライバーが行っているであろう、動的な経路選択行動を再現するためのモデル構造について、基本的な考え方を示した。最後に、実務への適用にむけた、今後の展望を以下に述べる。

実務における交通シミュレーションが、大変重要な役割を果たしていることは周知の通りであり、これらには新しい技術が導入されつつある。例えば、広域的なネットワーク整備に際しては、従来の分割配分法に変わって、均衡配分法や時間帯別配分法が適用され始めている。またより詳細な交通状況の分析には、車両1台1台を表現できる動的シミュレーションを用いて、交差点やボトルネック箇所における混雑に関する分析や、最適な信号現示の分析など、新しい技術の適用場面は多くなっている。しかし、シミュレーション上最も重要

と考えられる，ドライバーの経路選択行動が十分に考慮され，適用されているとはいえない。

一般に経路選択モデルは，発生モデルや分布モデル，分担モデルと比較して，交通需要予測への適用が進んでいるとは言いがたい。この理由は，前述のように，選択肢である経路がリンクの連なりとして表現されるため，利用可能経路が膨大な数になるほか，2つの経路がその大部分を同一のリンクで表すことができる場合が発生する，などが挙げられる。さらには，ドライバーの詳細な経路選択行動について，必ずしも十分な知見が得られているとはいえない。しかし本報告で示したように，プローブカーなどIT技術を用いた，交通現象の解明は進んでおり，ドライバーの経路選択行動についても，貴重なデータが蓄積されつつある。

ドライバーが現実に行っている，経路選択に関する意思決定構造が解明されれば，これまでの交通シミュレーションを検証することや，さらにはより現実的な意思決定構造を組み込んだシミュレーターを開発し，需要予測を行うことが可能となる。現実の経路選択行動は，機械的な最短経路の探索と選択とは限らず，信号停止が増えると迂回経路を探索しだすなど，結果として合理的ではない意思決定も存在するだろう。このため，経路選択行動分析が進化すれば，合理的な最適行動を前提としたこれまでのシミュレーションとは異なる，より現実に近い交通現象が再現できることが予想される。

最後に，ネットワーク行動分析においては，均衡分析理論や動的シミュレーション技術など優れた理論，研究が蓄積されており，今後はより現実的な経路選択行動を解明し，これらの理論と組み合わせられるべきであることを提案しておきたい。

参 考 文 献

- 1) 三輪富生，森川高行；”プローブカーデータを利用したドライバーの経路選択行動に関する研究”，土木計画学研究・講演集，NO.27，CD-ROM，2003
- 2) 慶應義塾大学インターネットITS共同研究グループ；”インターネットITS研究開発報告書”，平成14年6月
- 3) 三輪富生，森川高行，岡田良之；”プローブカーデータによるOD表の作成と経路選択行動の分析”，第1回ITSシンポジウム2002 Proceedings，pp.591～596，2002
- 4) 三輪富生，境隆晃，森川高行；”プローブカーデータを用いた経路特定手法と旅行時間推定に関する研究”，第2回ITSシンポジウム2003 Proceedings，pp.277～282，2003
- 5) Makimura, K. et. al.; ”Performance Indicator Measurement Using Car Navigation Systems”，81th Transportation Research Board，CD-ROM，2002
- 6) 羽藤英二；”ネットワーク上の交通行動”，土木計画学研究・論文集，Vol.19-1，pp.13～27，2002
- 7) Dial, R.B.; ”A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Algorithm which Obviates Path Enumeration”，Transportation Research，No.5 (2)，pp.81-111，1971
- 8) Vovsha, P. and Bekhor, S.; ”Link-Nested Logit Model of Route Choice - Overcoming Route Overlapping Problem”，Transportation Research Record，1645，pp.133～142
- 9) Cascetta, E. et. al.; ”A Model of Route Perception in urban road networks”，Transportation Research Part B 36，pp.577～592，2002
- 10) Bekhor, S. Ben-Akiva, M. and Scott Ramming, M.; ”Adaptation of Logit Kernel to Route Choice Situation”，81th Transportation Research Board，CD-ROM，2002
- 11) Tversky, A.; ”Elimination by Aspects: A Theory of Choice”，Psychological Review，Vol.79，No.4，pp.281～299，1972
- 12) 羽藤英二，朝倉康夫；”限定合理性を考慮した経路選択モデルと均衡配分手法”，土木計画学研究・講演集，No.22(2)，pp.191～194，1999
- 13) Miwa, T. and Morikawa, T.; ”Analysis on Route Choice Behavior Based on Probe-Car Data”，Proceedings of 10th World Congress on Intelligent Transport Systems，CD-ROM，2003
- 14) 羽藤英二ほか；”複数情報リソース下における情報獲得・参照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
- 15) 羽藤英二，朝倉康夫，柏谷増男；”複数情報リソース下における行動的不均衡を考慮した経路変更モデル”，土木学会論文集，No.653/IV-48，pp.51～61，2000