

動的ランプ間 OD 推定モデルを用いた情報提供効果の分析

Analyses on the Effect of Traffic Information Provision Using Dynamic Origin/Destination Estimation Method

倉内文孝^{*}・飯田恭敬^{**}・相澤 卓^{***}

By Fumitaka KURAUCHI^{*}, Yasunori IIDA^{**} and Taku AIZAWA^{***}

1. はじめに

近年の情報提供技術の発展とともに、道路上における情報提供は全国各地で実施されており、主要な交通管制方策のひとつとして認識されている。しかしながら情報提供によって交通状況がどれほど改善されるかについて評価することは困難である。その理由としては、1)情報提供が効果的に機能している交通状況は限られていること、2)道路上を走行している交通には、情報提供によって恩恵を受けない車両も含まれていること、などが挙げられる。情報提供効果に関する分析においては、アンケート調査や屋内実験によって行うことが多い。内田ら¹⁾の研究においては、実際の行動データをベースに情報提供下の経路選択の分析を行っており、その結果、所要時間情報提供下での経路選択行動のモデル化に成功している。しかしながら、推定されたパラメータが今後変化しない保証はなく、また、アンケート調査実施に際しては多くの費用を要する。さらに、行動モデルに基づいて情報提供効果を量的に評価するためには、それをサブモデルとしたシミュレーションモデルによる分析が必要となり、シミュレーションの現象再現性によっても評価が変化することになる。

以上のような背景の元に、本研究においては、道路上に設置された車両検知器データを用いて動的 OD 交通量推定を行い、その推定結果より情報提供効果について考察を試みる。筆者らによって提案された、経路利用率を与件としない動的 OD 交通量推定モデルを阪神高速道路ネットワークの一部に適用し、推定結果よ

り情報提供による経路利用率の変化について分析を試みる。このような分析手法は、アンケート調査と比較して、トリップ目的などの個人の属性と経路選択の関連性等を議論することはできないが、情報提供効果を量的に評価することが可能である。

2. 動的 OD 交通量推定モデルの概要²⁾

(1) モデルの定式化

本研究で用いる動的 OD 推定モデルは、各オンランプからの流入交通量および全リンクの走行速度が観測されているという仮定の下で、最小二乗推定量を用いて OD 交通量を求めるものである。上記の仮定のため、基本的には高速道路ネットワークが主たる適用対象となる。また、変数の数を削減することと、オンラインでの適用を目指し、本モデルは、時間帯ごとに推定を繰り返していく逐次推定手法を採用している。定式化は以下の通りである。

Minimise

$$\sum_{a \in A} \left\{ \left(\sum_{i \in I} \sum_{s=0}^{L_{is}} (\delta_{iaps} \cdot q_{iaps} \cdot y_{iaps} + (1 - \delta_{iaps}) \cdot q_{iaps} \cdot \hat{y}_{iaps}) - v_{is} \right)^2 + \sum_{i \in I} \sum_{s=0}^{L_{is}} (y_{iaps} - O_{is} \cdot g_{iaps})^2 \right\} \tag{1-a}$$

subject to

$$O_{is} \geq y_{ia_2ps} \geq y_{ia_{k-1}ps} \geq \dots \geq y_{ia_{kp}ps} \quad \text{for all } p \tag{1-b}$$

$$y_{ia_1ps} = y_{ia_{k-1}ps} \quad \text{リンク } a_k \text{ と } a_{k-1} \text{ の間にオフランプがなければ} \tag{1-c}$$

変数の定義は以下の通りである。

- a : リンクのインデックス,
- A_{or} : 交通量が観測されているリンクの集合,
- i : オンランプのインデックス,
- I : オンランプ集合,
- s : 出発時間帯のインデックス,

キーワード：交通情報、ネットワーク交通流、動的 OD 交通量推定モデル
^{*} 正会員 修士(工) 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻
 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL 075-753-5126 FAX 075-753-5907
^{**} フェロー会員 工博 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻
 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL 075-753-5124 FAX 075-753-5907
^{***} 正会員 修士(工) 住友電気工業株式会社 システム事業部
 〒554-0024 大阪市此花区島屋 1-1-3 TEL 06(6466)5586 FAX:06(6466)5727

t : 現在の時間帯のインデックス,
 p : バスの数え上げと統合の結果求まる未知変数の数に関するインデックス,
 y_{isa} : リンク a の O_{is}^* に関する未知変数の数,
 δ_{iaps} : もし y_{iaps} が既に推定されていれば 0, そうでなければ 1 をとる変数,
 q_{iaps} : 出発時間帯 s にオンランプ i から流入してきた車両のうち, p 番目の未知変数について, 時間帯 t の間にリンク a 上の車両検知器を通過する割合 (動的リンク利用率),
 y_{iaps} : 出発時間帯 s にオンランプ i から流入してきた車両のうち, リンク a を走行する p 番目の交通量 (オンランプ-リンク交通量, 未知変数),
 \hat{y}_{iaps} : それまでの時間帯において既に推定されたオンランプ-リンク交通量,
 v_{at}^* : 時間帯 t において観測されたリンク a の観測交通量,
 O_{is}^* : 時間帯 s においてオンランプ i から流入してきた車両数,
 g_{iaps} : 未知変数 y_{iaps} に関する事前確率,
 a_k : p におけるオンランプ i から数えて k 番目のリンク.

本モデルの基本的な考え方を簡単に示しておく。まず OD ペア間に経路がひとつしかない、線形ネットワークについて説明し、その後複数経路ネットワークについて説明する。図-1の線形ネットワークの場合、時間帯 s にオンランプ i から流入した車両 O_{is}^* は、時間経過とともに、下流に走行していく。時間経過により生じる道路上の観測リンクへの時間遅れを示すのが後述する動的リンク利用率である。例えば、 O_{is}^* のうち、20%が時間帯 t にリンク a_1 に設置された交通量検知器を通過すると考えられる場合には、 $q_{isa1t}=0.2$ となる。ランプ (i, j) 間の OD 交通量は、推定された \hat{y}_{ia_s} と \hat{y}_{ia_s} の差によって求めることができる。なお、この例では複数経路を示すインデックス p は省略している。

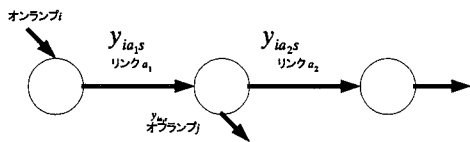


図-1 線形ネットワーク

複数経路において問題となるのは、動的リンク利用率が複数計算されるリンクが存在することである。図-2を用いて説明する。オンランプ i から流入した車両のうち、何台かはリンク a_2 を、残りは a_3 を走行する。このとき、リンク a_2 、 a_3 の走行速度が異なる場合、リンク a_4 に関する動的リンク利用率は異なる。そのため、例えば所要時間に基づくロジック配分などにより、事前にリンク a_2 を走行するものと、リンク a_3 を走行するものの比率を仮定することが多い。しかしながら、本

研究のように情報提供効果を分析する際には、このように事前にバス利用率を指定する方法は研究の主旨にそぐわない。なぜなら、情報提供によってバス利用率が変化するため、これこそが評価すべき項目となるからである。そのため、ここではバスの数え上げを行った後に、必要に応じて、各リンクに複数のオンランプ-リンク交通量を設定する。図-2の例の場合、リンク a_4 について、2つの未知変数が準備され、その他のリンクについては1つとなる。ここで述べた方法は、利用経路の数え上げをまず行う必要があるが、このモデルは高速道路ネットワークを主たる適用対象と位置づけているため、それほど複雑な作業ではない。

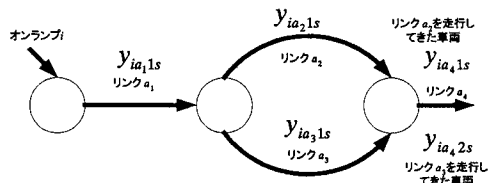


図-2 複数経路ネットワークにおける未知変数設定

目的関数の第1項目は、観測リンク交通量と動的リンク利用率を介して求められるリンク交通量との差を示し、第2項目は、未知変数 y_{iaps} と、この変数の実績値との差を示すものである。逐次推定方法を採用しているため、 g_{iaps} については1回の推定が終了するごとに修正される。

(2) 動的リンク利用率

動的リンク利用率 q_{iaps} は、「時間帯 s にオンランプ i から流入した車両が、時間帯 t にパス p を通ってリンク a に設置された車両検知器を通過する確率」と定義されている。動的リンク利用率を厳密に求めるためには、シミュレーションモデル等を利用する必要があるが、ここでは以下の仮定を設けることによって簡便に計算することとした。なお、この例においても添え字 p を省略して説明する。

(仮定1) 時間帯 s に流入した車両は、時間帯 s のうちで一様に分布している、

(仮定2) リンク a を走行する全ての車両は、交通量検知器により観測された平均速度で走行している。

上記の仮定を用いることによって、動的リンク利用率は図-3のように図形的に求めることができる。

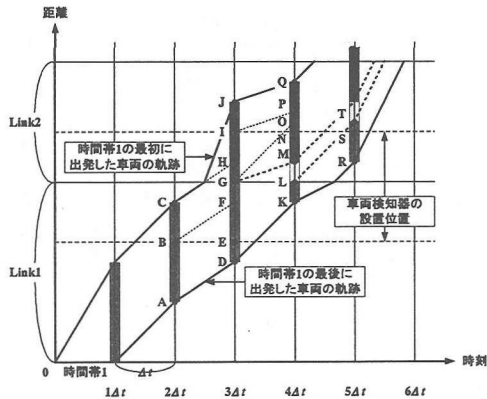


図-3 走行軌跡図

例えば時間帯 1 にオンランプ i から流入した車両が時間帯 2 にリンク 1 の観測地点を通過した割合 q_{i112} 、および時間帯 3 にリンク 2 の観測地点を通過した割合 q_{i213} は、それぞれ次のようになる。

$$q_{i112} = \frac{BC}{AC}, \quad q_{i213} = \frac{BC}{AC} \cdot \frac{GH}{FH} \cdot \frac{IJ}{GJ}$$

(3) モデルの解法

ここで提案している動的 OD 交通量推定モデルは、制約条件付きの 2 次問題となっている。そのため、ここでは有効制約法³⁾を用いて推定を行うことにした。有効制約法とは、ラグランジェの未定乗数を含めた未知変数を、有効な(変数=0となる)変数集合(有効集合)と、そうでない変数の集合(作業集合)に分類し、作業集合に含まれる変数のみでモデルを推定し、さらに全ての未知変数について Kuhn-Tucker の条件を満足しているかどうかを吟味することによって作業集合を改訂しモデル推定を繰り返す、という反復法である。

3. 所要時間情報提供の効果

(1) 計算に用いたデータ

動的 OD 交通量推定モデルを、経路比較情報板が設置されている、阪神高速道路神戸線および湾岸線に適用することとした。対象としたネットワークは図-4 に示すとおりである。神戸方面より大阪方面へ向かって走行してきた車両は、摩耶出口直前で経路比較情報板より神戸線および湾岸線について、環状線までの所要時間情報を取得することが可能である。摩耶出口と湾

岸線六甲アイランド北の間は乗り継ぎ区間に指定されており、平面道路を介して湾岸線を利用しても料金は同じである。計算に用いたネットワークは、17 のオンランプ、17 のオフランプ、38 のリンクで構成される。

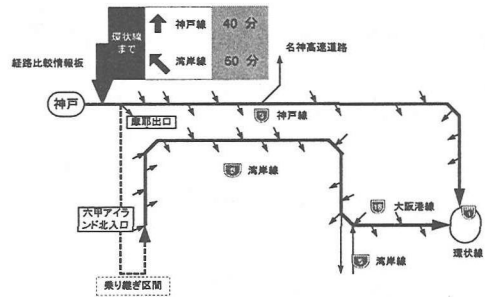


図-4 計算対象ネットワーク

推定計算は、1997 年 10 月 13 日(月)～17 日(金)の 5 日間のデータを利用して行った。交通量検知器による交通量観測間隔が 5 分であるため、5 分間隔でランプ間 OD 交通量の推定を行った。推定に用いたデータは、オンランプおよび本線交通量検知器から得られる交通量と、本線上の車両検知器による車両平均走行速度である。また、乗り継ぎ区間については交通量検知器データを手でできなかったため、摩耶出口及び六甲アイランド北入口に設置された AVI 装置による車両マッチングにより求められた 5 分間ごとの乗り継ぎ区間の平均所要時間より、平均速度を求めた。

(2) 推定結果の考察

求められたランプ間 OD 交通量の中で、経路比較情報板を通過する車両のうち、環状線まで到達する交通量のみを抽出し、それらを用いて経路利用率を算定した。図-5 および図-6 に、それぞれ 10 月 15 日および 10 月 17 日の湾岸線利用率を示す。この図は、推定された経路交通量を 15 分間隔に集計し、15 分ごとの経路利用率を求めたものである。図より、10 月 15 日は神戸線についての所要時間情報が始終短く、その一方で、10 月 17 日は 17 時～18 時台において湾岸線の所要時間情報の方が短い時間帯が存在する。推定結果から求められる湾岸線利用率を見ると、図-5 は 0.1～0.3 で推移しているのに対し、図-6 については所要時間情報が逆転する時間帯においては 0.7 程度にまで上昇している。これらの結果より、かなりのドライバーが情報を参照

して行動を行っていると考えることができる。

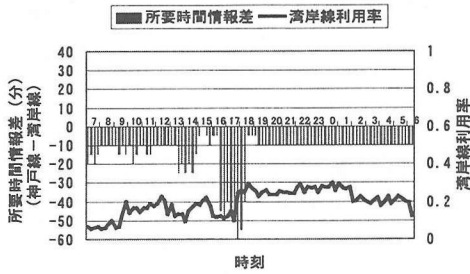


図-5 湾岸線利用率と所要時間情報差の関係
(10月15日)

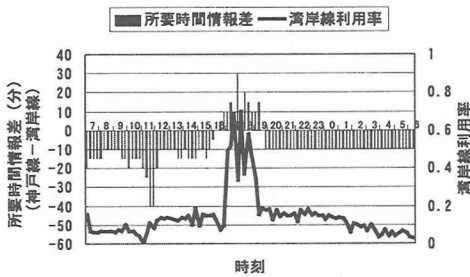


図-6 湾岸線利用率と所要時間情報差の関係
(10月17日)

次に、5日間の推定結果より得られた、所要時間情報差と湾岸線利用率の関係を図-7に示す。所要時間が正の場合に湾岸線利用率が上昇する傾向にあることが確認され、提供情報に応じて経路利用率が変化している可能性が高いことがわかる。しかしながら、同じ所要時間差の場合においてもかなりのばらつきが見られる。このようなばらつきが生じた原因として考えられるのは、利用経路を固定しているドライバーの存在や、さらにその割合が時間帯によって変化する可能性が考えられる。また、経路比較情報板の直近に文字情報板が設置されており、その情報板において神戸線の渋滞長さや渋滞原因の表示を行っているため、それらの情報が影響を及ぼしていることが考えられる。

4. おわりに

本研究においては、経路利用率を与件としない動的OD交通量推定モデルを利用して、経路比較情報板によって提供された2本の経路の所要時間情報と経路利

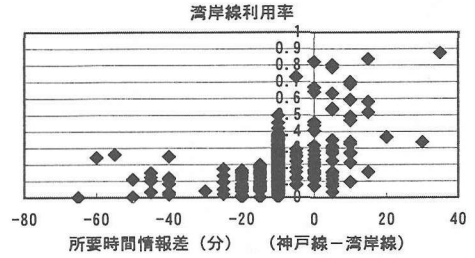


図-7 所要時間情報差と湾岸線利用率の関係

用率の関連性について分析を加えた。阪神高速道路ネットワークの一部にモデルを適用した結果、所要時間情報が逆転するような状況において、湾岸線の利用率が大きく上昇し、所要時間情報によって経路利用率が変化している可能性が高いことが明らかとなった。しかしながら、同一の所要時間情報差であっても経路利用率のばらつきは大きく、事故、自然渋滞などの渋滞原因などが経路選択に大きな影響を及ぼしている可能性があることが明らかとなった。

今後の課題としては、所要時間情報以外の情報と経路利用率の関連性を考察する必要があるといえる。また、格差料金の設定等、経路誘導策の評価に動的OD交通量推定モデルを適用していく予定である。

謝辞：本研究を遂行するにあたって、阪神高速道路公団より様々なデータを提供していただいた。また、本研究は、文部省科学研究費・基盤研究(B)(2)展開（研究代表者：飯田恭敬，課題番号：10555184）による助成により実施された。ここに記して深謝いたします。

【参考文献】

- 1) 内田敬・飯田恭敬・中原正顕：“所要時間情報を考慮した動的経路選択行動モデル：パネル調査データによる分析”，第14回交通工学研究発表会論文集，pp. 209-212, 1994.11
- 2) Kurauchi, F., Iida, Y., Aizawa, T. and Li, L.：“A Method for Estimating Dynamic Origin-Destination Matrices from Traffic Counts on Urban Expressway”，Transportation and Traffic Theory (Abbreviated Sessions), pp. 205-230, 1999
- 3) 一森哲男：“数理計画法 最適化の手法”，共立出版，pp. 121-126, 1994