

複数の高速道路経路選択を考慮した均衡配分モデルに関する研究

An Equilibrium Assignment Model Considering Multiple Routes for Urban Express Way

三輪富生*, 森川高行**

By Tomio MIWA, Takayuki MORIKAWA

1. はじめに

都市高速道路における交通量配分手法には高速転換率併用容量制限付分割配分法が用いられることが多かった。しかしこの手法は、均衡配分の近似計算である分割配分法を用いているため、論理的な説明が困難であり、首尾一貫したモデルの拡張や修正ができないといった問題点もある。また近年の交通量配分研究の進展により、均衡配分計算は十分実用に用いられるレベルに達しており、全国的にも均衡配分への転換が進みつつある。

一方、近年の都市高速ネットワークの拡充、利用者数の拡大により、同じOD間で都市高速道路を利用する場合でも複数の利用経路が存在するようになってきた。

そこで本研究ではOD間で複数の高速道路利用経路を考慮できる均衡配分手法を提案し、名古屋高速道路ネットワークに適用することを目的とする。

2. 本研究のフレームワーク

(1) モデルの考え方

自動車利用者は一般化費用が最小となる経路を選択するものとする。一般化費用には、所要時間、高速料金、高速道路利用に対するその他の効用（交差点がない、道が分かりやすいなど）が含まれる。但し、同じODペアの交通量の中でも、ドライバーの時間価値やオンランプへのアクセシビリティは利用者によって大きくばらついていると考える。そこで観測者は高速道路を利用するかどうか、及び

キーワード：配分交通、経路選択、ネットワーク交通流

* 学生員 名古屋大学大学院工学研究科

** 正会員 名古屋大学大学院工学研究科

連絡先：〒464-8603 名古屋市中千種区不老町

名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻

phone 052-789-3564 fax 052-789-3738

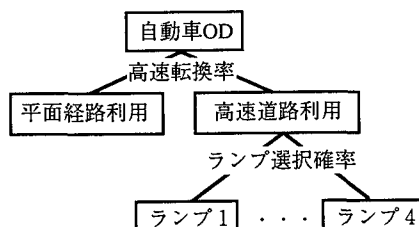


図1 高速転換行動及びランプ選択行動

どのオンランプを利用するかは確率的にしか把握できない。そこで高速道路を利用する確率を「高速転換率」、最大4肢のランプ集合からあるオンランプを選択する確率を「ランプ選択確率」とし、確率一般化時間モデルで表す。ただし一般道路を利用する交通、利用ランプごとの高速道路を利用する交通、それぞれのなかでは確定的に最小一般化時間経路を利用すると考えている。

「高速転換率」及び「ランプ選択確率」を図1のような2段階のネステッドロジットモデルで表現すると、提案する交通量配分モデルは後に示すような需要変動型均衡モデルとして定式化することができる。この考え方に近い既存研究として、松井ら¹⁾は高速転換率を内生化した需要変動型均衡モデルを提案しており、また宮城ら²⁾は複合交通手段の利用を考慮した機関分担・配分統合モデルをネステッドロジットモデルを組み込んだ均衡モデルとして提案している。

(2) 需要変動型交通量配分モデルとしての定式化

OD交通量を、高速道路を含むネットワークに配分するために、高速転換率及びランプ選択確率を考慮した需要変動型均衡配分モデルを以下のように定式化する。

まず、高速利用交通のODペア*ij*間でランプ*k*を選択する確率を次のように表す。

$$P_{ij,k}^e = \frac{\exp(\beta_1 t_{ij,k}^e + \beta_2 c_{ij,k}^e)}{\sum_{l \in R_{ij}} \exp(\beta_1 t_{ij,l}^e + \beta_2 c_{ij,l}^e)} \quad (1)$$

ここに $P_{ij,k}^e$: 高速利用交通の OD ペア ij 間でランプ k を利用する確率

$t_{ij,k}^e$: OD ペア ij 間でランプ k を利用する時の高速利用交通の所要時間

$c_{ij,k}^e$: OD ペア ij 間でランプ k を利用するときの高速利用交通の料金

R_{ij} : OD ペア ij 間における利用可能ランプ集合

β_1, β_2 : パラメータ

このとき高速道路利用の効用を表すログサム変数及び、高速転換率は次のように表せる

$$P_{ij}^e = \frac{\exp(\theta_2 \phi_{ij} + \alpha)}{\exp(\theta_2 \phi_{ij} + \alpha) + \exp(\theta_2 t_{ij}^s)} \quad (2)$$

$$\phi_{ij} = \frac{\theta_1}{\theta_2} LS_{ij} \quad (3)$$

$$LS_{ij} = \ln \sum_{l \in R_{ij}} \exp(\beta_1 t_{ij,l}^e + \beta_2 c_{ij,l}^e) \quad (4)$$

ここに P_{ij}^e : OD ペア ij 間の高速転換率

LS_{ij} : OD ペア ij におけるログサム変数

α : 高速利用定数項

t_{ij}^s : OD ペア ij において一般道路を利用したときの所要時間

θ_1, θ_2 : パラメータ

ネスティッドロジットの共役関数はエントロピーの和で表現されることが宮城ら²⁾によって示されており、適当なエントロピー関数と Wardrop 均衡の目的関数を組み合わせることによって数理モデルを得ることができる。このとき前項で説明した利用者行動は次のような等価な数理計画問題で表現することができる。

$$\begin{aligned} \min Z = & \sum_{a \in A} \int_0^{V_a} t_a(\omega) d\omega - \frac{1}{\theta_2} \sum_{ij} \int_0^{q_{ij}^e} \left(\ln \frac{1}{q_{ij} - \omega} - \alpha \right) d\omega \\ & - \frac{1}{\beta_1} \sum_{ij} q_{ij}^e (\ln q_{ij}^e - 1) + \frac{1}{\beta_2} \sum_{ij} \sum_{l \in R_{ij}} q_{ij,l}^e (\ln q_{ij,l}^e - 1) \end{aligned} \quad (5)$$

ここに $t_a(\omega)$: リンク a の所要時間

V_a : リンク a の交通量

q_{ij} : OD ペア ij 間の交通量

q_{ij}^e : OD ペア ij 間の高速利用交通量

$q_{ij,l}^e$: OD ペア ij 間で高速利用交通量の内オンランプ l を利用する交通量

R_{ij} : OD ペア ij 間の利用可能ランプ集合

ここで第 2 項は高速道路転換率モデルに対するエントロピーを、第 3 項、第 4 項はランプ選択確率モデルに対するエントロピーを表している。式 (5) を用いて、均衡配分問題に対する代表的な解法である Frank-Wolf アルゴリズムに基づいて、道路上へ全交通量を配分し均衡状態を求める。

またリンク所要時間の算出には道路規格が日本のものと比較的類似しているオランダで開発された修正 BPR 関数⁴⁾を用いる。

$$t_a = t_{a0} \left\{ 1 + 2.62 \left(\frac{V_a}{Q_a} \right)^5 \right\} \quad (6)$$

ここに t_a : リンク a の所要時間

t_{a0} : リンク a の自由走行時間

V_a : リンク a の交通量

Q_a : リンク a の交通容量

(3) ネットワークの設定及びデータの概要

本研究では中京都市圏を 29 ゾーンに分割し平成 6 年度自動車起終点調査 12 時間交通量を配分する。ゾーン分割はパーセントリップ中ゾーンを基本としており、用いるネットワークは名古屋高速道路と東名阪自動車道名古屋環状線部分 (二環) を含む名古屋市及び周辺部の道路網を対象に作成した (図 3 参照)。一般道路は 206 ノード 393 リンク、高速道路は 83 ノード 156 リンクで構成されている。高速道路ネットワークにおける 156 リンクのうち 77 リンクはオンランプ、オフランプ、乗り換えリンクであり、ネットワーク上には 27 のランプが設定されている。またオンランプ、乗り換えリンクには料金に相当する時間がかかるように設定されている。

経路による料金の違いは、どこから高速道路を利用するか、またどこで高速道路の利用をやめるかにより生じる。ここで、名古屋高速道路は 650 円、東名阪自動車道には 500 円のそれぞれ均一料金制をとっており、乗り継ぎ割引はない。

また、式 (6) におけるリンク交通容量はピーク時間帯に対応する交通容量であるため、これを修正

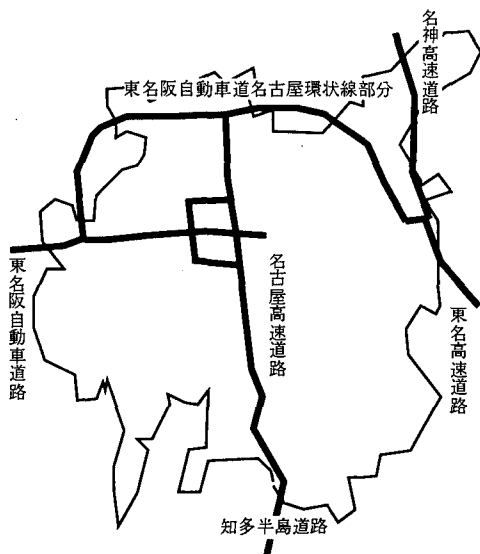


図2 名古屋市と高速道路の概観図

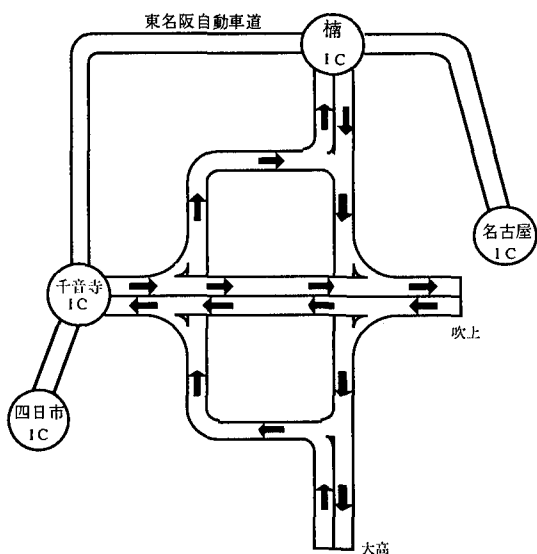


図3 配分に用いた高速道路ネットワーク

する必要がある。本研究におけるリンク交通量はピーク率で除したものをを用いる。すなわち、対象地域の12時間ピーク率0.104の逆数9.62倍された交通容量を使用した。

図1に示したネステッドロジットモデルの未知パラメータは、観測された高速転換率やランプ用率を用いて統計的に推定する。これらの観測値は、第7回名古屋高速道路起終点調査³⁾(平成8年度)データ及び平成6年度道路交通センサスデータを

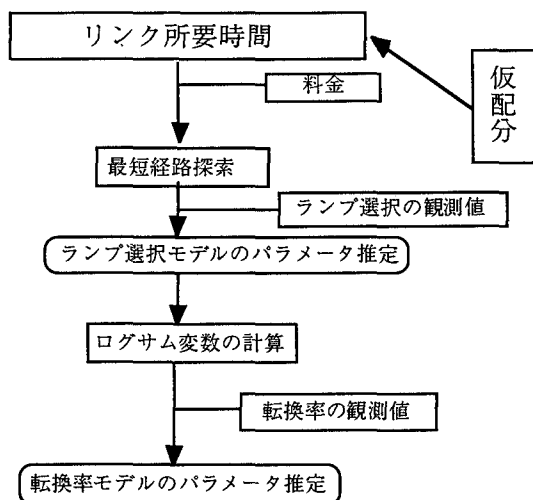


図4 パラメータ推定の手順

表2 ランプ選択モデルのパラメータ推定結果

β_1 : 高速経路所要時間	-4.34e-2 (t=-15.1)
β_2 : 料金	-7.65e-4 (t=-2.6)
時間価値	43.7円/(分・人)

表3 転換率モデルのパラメータ推定結果

θ_1 : ログサム	0.878 (t=-15.1)
θ_2 : 一般道路所要時間	-5.87e-2 (t=-8.8)
α : 高速道路定数項	-3.06 (t=-15.2)

表4 配分結果・リンク交通量の相関係数

一般道路	0.518
高速道路	0.550

用い、平成6年度から平成8年度までの間に名古屋市及びその周辺地域において自動車交通量に変化がないという仮定の下で計算する。

3. パラメータ推定及び配分結果

(1) パラメータの推定と手順

ネステッドロジットモデルのパラメータは集計ロジット式を用い重回帰分析により行った。この推定を行うためには各リンクの所要時間が必要で

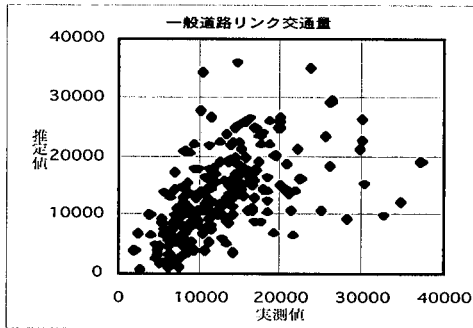


図5 一般道路リンク交通量の実績値と推計値

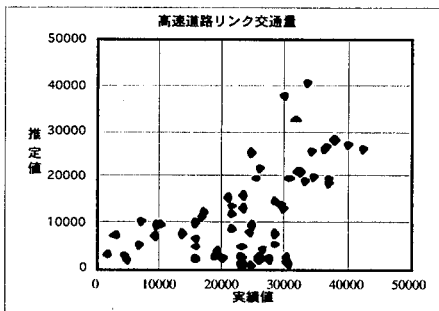


図6 高速道路リンク交通量の実績値と推計値

ある。本研究では最初の段階でネットワークにOD交通量を仮に配分し、その結果からリンク所要時間を求めている。図4の手順により推定したパラメータの値を表2、表3に示す。

推定により得られたパラメータはいずれも符号条件は満たしている。また、表2に示す時間価値は、ランプ選択モデルにおける所要時間のパラメータと料金のパラメータの比で、自動車1台あたりに1.3人が乗車しているものとして計算されており、妥当な結果であるといえる。

(2) 交通量配分結果

式(5)を用いて均衡配分した結果をセンサス（一般道路）、第7回名古屋高速道路自動車起終点調査結果（高速道路）との相関係数として表4に示した。またそのプロットを図5、図6に示す。

この結果から相関は一般道路よりも高速道路の方が若干高いものの高速道路のリンク交通量は実績値より低いものが殆どであることが分かる。これは名古屋都市高速道路のリンク交通量は実績値に近い値であるのに対し、東名阪自動車道のリンクは

その殆どが実績値より低いものになっているために起こっていることが分かった。東名阪自動車道は主に名古屋市内から名古屋市外へまたはその逆の交通において利用されることが多い。高速道路を利用する交通量は目的関数に含まれる転換率により実績値に近い交通量が転換されるはずである。しかし本研究で作成したネットワークにおいては郊外の一般道路部分において再現性が低く市内から市外へまたはその逆の交通に対して高速道路を利用するよりも一般道路を利用の方が結果的に短い所要時間で目的地に到達できる場合が存在したため、高速道路に転換された交通量がすぐに一般道路利用に変更する、またははじめから高速道路に転換されない交通量が多かった。このため東名阪自動車道のリンク交通量が実績値よりも低くなったと考えられる。

4. 結論

上記の結果からネットワークの再現性がこの手法による交通量配分の今後の進展における大きな鍵と言えるだろう。

本研究では従来より用いられている理論的説明力の乏しい分割配分法による交通量配分手法にかわり新しく複数の経路利用の考慮できる均衡配分法の提案とその方法による名古屋高速道路ネットワークへの適用を試みた。それ程満足できる結果を得たわけではないがこの研究により新たな方法論とその現実のネットワークへの適用上の問題点を提起できたことは有意義であった。

参考文献

- 1) 松井寛, 上田聡: 有料道路を含む道路ネットワークにおける利用者均衡配分問題, 京都大学土木100周年記念ワークショップ・論文集, 1997
- 2) 宮城俊彦, 水口晴男: 複合交通手段を考慮した交通ネットワーク均衡モデルに関する研究, 土木学会論文集, No.512, pp.25~33, 1997
- 3) 名古屋高速道路公社: 平成7年度, 第7回名古屋高速道路自動車起終点調査, 1997
- 4) Branston, D.: Link Capacity Function: A Review, Transpn.Res., Vol. 10, No. 4, pp.223~236, 1973.