

大都市圏道路ネットワークにおける確率的利用者均衡配分の適用研究 Practical Study on Stochastic User Equilibrium Assignment over a Metropolitan Road Network

長澤英春* 松井寛** 藤田素弘***

By Hideharu Nagasawa*, Hiroshi Matsui** and Motohiro Fujita***

1. はじめに

道路網を対象とする交通量配分手法として、近年利用者均衡配分モデルが注目され、効率的な解法の開発とあいまってその実用化が進められているところである。ところで大都市圏内の広域道路網を対象とする交通量配分にあつては、道路網の一部に都市高速道路を含むことが通例であるから、高速道路を含むより一般的な道路網にも適用可能な利用者均衡配分モデルの開発が必要となる。これに関して筆者らはすでに高速道路転換率を生内化した拡張型利用者均衡配分モデルを提案しており、その有効性がすでに示されている¹⁾。

ところで、利用者均衡が成立する前提条件として、利用者が同一の評価基準で行動すること、および、利用経路の完全情報を得ていることが前提であるが、これらは必ずしも現実的ではない。そこで、現実的に見られる利用者の経路選択の多様性や情報の不完全性に注目した均衡配分手法として確率的利用者均衡配分モデルが知られている。そこで本研究では、高速道路転換率を生内化した確率的利用者均衡配分モデルを新たに定式化し、名古屋大都市圏内道路網への適用計算を通してモデルの精度検証と実用性について検討を行うものである。

2. 高速道路転換率を生内化した確率的利用者均衡配分モデル

本研究で扱う高速道路転換率を生内化した確率的利用者均衡モデルは、各需要 OD 交通量を高速道路転換率を用いてあらかじめ高速道路利用と一般道路利用に分離し、その後にそれぞれに配分計算を行う方法である。このとき一般道路利用 OD については料金を含まない経路所要時間について確率的利用者均衡が成立し、高速道路利用 OD については料金を含む一般化所要時間について確率的利用者均衡が成立する。

このモデルの基本形は、path 形式ですでに定式化されているが²⁾、今回これを arc-node 形式の数理解最適化問題として以下のように定式化し直す。すなわち問題は以下のように定式化できる。

$$\min Z = \sum_j \int_0^{x_{ij}^r} t_{ij}(y) dy + \sum_{rs} \int_0^{g_{rs}^e} \left(\frac{1}{\theta(L_{rs})} \ln \frac{w}{G_{rs} - w} + \psi(L_{rs}) \right) dw + \frac{1}{\mu} \sum_r \{ HL(x^r) - HN(x^r) \} + \frac{1}{\mu^e} \sum_r \{ HL(x^{r,e}) - HN(x^{r,e}) \} \quad \dots(1)$$

$$\text{ただし、} HL(x_{ij}^r) = \sum_r \sum_{(i,j) \in L} x_{ij}^r \ln x_{ij}^r \quad \dots(2)$$

$$HN(x_{ij}^r) = \sum_r \sum_{j \in N} \left(\sum_{i \in I_j} x_{ij}^r \right) \ln \left(\sum_{i \in I_j} x_{ij}^r \right) \quad \dots(3)$$

subject to

$$\sum_i x_{ik}^r - \sum_j x_{kj}^r + \sum_s g_{rs} \delta_{rk} - g_{rs} \delta_{sk} = 0 \quad \dots(4)$$

$$\sum_i x_{ik}^{r,e} - \sum_j x_{kj}^{r,e} + \sum_s g_{rs}^e \delta_{rk} - g_{rs}^e \delta_{sk} = 0 \quad \dots(5)$$

$$x_{ij} = \sum_r x_{ij}^r + \sum_r x_{ij}^{r,e} \quad \dots(6)$$

$$g_{rs} + g_{rs}^e = G_{rs} \quad \dots(7)$$

キーワード：配分交通

*学生会員、名古屋工業大学大学院社会開発工学専攻

名古屋市昭和区御器所町、TEL 052-732-2111、

E-mail : nagasawa@keik1.ace.nitech.ac.jp

**フェロー、工博、名古屋工業大学工学部社会開発工学科

***正会員、工博、名古屋工業大学大学院都市循環システ

ム工学専攻

$$x_{ij}^r \geq 0, x_{ij}^{r,e} \geq 0, g_{rs} \geq 0, g_{rs}^e \geq 0, \forall (i, j) \in A \quad \dots(8)$$

ここに

x_{ij} : 発ノード i、着ノード j のリンク交通量

x_{ij}^r : 発セントロイド r から出る交通量のうち、一般道路のみを利用する発ノード i、着ノード j のリンク交通量

$x_{ij}^{r,e}$: 発セントロイド r から出る交通量のうち、高速道路を利用する発ノード i、着ノード j のリンク交通量

$t_{ij}(y)$: 発ノード i、着ノード j のリンクコスト関数

g_{rs} : OD ペア rs 間の一般道路のみを利用する交通量

g_{rs}^e : OD ペア rs 間の高速道路を利用する交通量

G_{rs} : OD ペア rs 間の全交通量

$\theta(L_{rs}), \psi(L_{rs})$: OD 間距離 L_{rs} の関数形で定式化されたパラメータ

μ : 一般道路のみの経路を利用した場合の経路選択のバラツキ程度を表すパラメータ

μ^e : 一般道路のみの経路を利用した場合の経路選択のバラツキ程度を表すパラメータ

また、目的関数式(1)を高速道路利用の交通量 g_{rs}^e で偏微分すると高速道路への転換率を表すロジットモデルを得ることができる。本研究では、平成 8 年度の名古屋高速データを用いてパラメータを設定したモデル⁴⁾を一部改良した以下の高速道路転換率率式を使用している。

$$g_{rs}^e = \frac{1}{e^{-\theta(L_{rs})\{\lambda_{rs} - (\lambda_{rs}^e + C_{rs}/\alpha) + (\frac{1}{\mu} - \frac{1}{\mu^e})\} + \psi(L_{rs})} + 1} \quad \dots$$

(9)

$$\theta(L_{rs}) = 2.2008 L_{rs}^{-0.9635}$$

$$\psi(L_{rs}) = 0.4415 \ln(L_{rs}) + 0.5524$$

λ_{rs} : 一般道路利用経路の最短所要時間 (分)

λ_{rs}^e : 高速道路利用経路の最短所要時間 (分)

L_{rs} : OD ペア rs 間距離

C_{rs} : 料金、 α : 時間価値

さらに、起点別リンク交通量 x_{ij}^r 、 $x_{ij}^{r,e}$ で表された目的関数式(1)を、OD ペア rs 間における経路 k の一般道路利用の経路交通量 f_k^r と、OD ペア rs 間に

おける経路 k の高速道路利用の経路交通量 $f_k^{r,e}$ を用いた path 形式に変換し直し、 f_k^r 、 $f_k^{r,e}$ で偏微分することによって、確率的利用者均衡を表す最適化条件が以下の式ようになる。

$$f_k^r = g_{rs} \frac{\exp(-\mu y_k^r)}{\sum_k \exp(-\mu y_k^r)} \quad \dots(10)$$

$$f_k^{r,e} = g_{rs}^e \frac{\exp(-\mu^e y_k^{r,e})}{\sum_k \exp(-\mu^e y_k^{r,e})} \quad \dots(11)$$

y_k^r : OD ペア rs 間の内、一般道路利用の経路 k の経路所要時間

$y_k^{r,e}$: OD ペア rs 間の内、高速道路利用の経路 k の一般化経路所要時間

3. リンクコスト関数

リンクコスト関数は、平成 6 年道路交通センサスのデータを用いて、道路種別ごとに設定された以下のような BPR 関数を用いた。式中のパラメータを表 - 1 に示す。

ただし、本研究での配分対象区域が尾張地域であることを考慮して、混雑度以外のリンクコスト関数に用いる説明変数(信号交差点密度、DID 率、指定最高速度)には、愛知県(名古屋市を含む)のみのデータを代入しその平均値を自由走行時間とした。

$$\text{リンクコスト関数: } t_a(Q_a) = t_{a0} \left\{ 1 + A \left(\frac{Q_a}{C_a} \right)^\beta \right\} \quad \dots(12)$$

t_a : リンクの単位区間長当りの日平均所要時間 (分/km)

t_{a0} : リンク a の単位区間長当りの自由走行時間 (分/km)

Q_a : リンク a の日交通量

表-1 リンクコスト関数のパラメータ

道路種別	t_{a0}	A	B
都市間高速道路	0.76	0.51	3.3
都市内高速道路	0.87	0.40	2.8
幹線道路(多車線)	1.86	0.54	2.4
幹線道路(2車線)	1.74	0.40	3.1
準幹線道路(多車線)	2.20	0.40	2.2
準幹線道路(2車線)	1.87	0.45	2.4

C_a : リンク a の日交通容量

A, B : パラメータ (表-1)

4. 計算方法

(1) 高速道路転換率の計算方法

転換率モデルを利用するために、 λ_n 、 λ_n^e 、 C_n は各繰返し計算ごとに、各 OD 間で一般道路のみを利用した最短経路所要時間と高速道路を利用した経路での最短経路所要時間とその時の料金を用いて式(9)により求めた。

(2) Dial 法の適用について

一般道路利用経路については、高速オンランプのリンクコストを無限大として Dial 法を用いた。高速道路利用経路については、仮想ノードを用いた以下のような方法を用いた。

Step 1

高速道路オンランプのリンクコストを無限大とし、発セントロイドから Dijkstra 法で最短経路探索を行い、全てのノード i への最小所要時間 $c_1(i)$ を求める。

Step 2

仮想ノードを設け、各オンランプとの間に仮想リンクを設ける。仮想リンクの所要時間に Step 1 で求めた各オンランプの最小所要時間を与えて、仮想ノードから Dijkstra 法で最短経路探索を行ない、全てのノード i への最小一般化所要時間 $c_2(i)$ を求める。

Step 3

高速道路オンランプのリンクコストを無限大にして、各リンクのリンク尤度 (L_1) を以下の式で求める。

$$L_1[i \rightarrow j] = \begin{cases} \exp[\mu_e \{c_1(j) - c_1(i) - t_{ij}\}] & c_1(i) < c_1(j) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots(13)$$

Step 4

発セントロイド r から所要時間の小さいノードから順にリンク・ウェイト (W_1) を以下の式で求める。

$$W_1[i \rightarrow j] = \begin{cases} L_1[i \rightarrow j] & \text{for } i = r \\ L_1[i \rightarrow j] \sum_{m \in I_i} W_1[m \rightarrow i] & \text{otherwise} \end{cases}$$

…(14)

I_i : ノード i に流入するリンクの始点集合

Step 5

Step 4 で求めた各オンランプに流入するリンク・ウェイトの和を仮想リンクのリンク・ウェイトとして与える。仮想ノードから一般化所要時間の小さい順にリンク尤度 (L_2) とリンク・ウェイト (W_2) を以下の式で求める。

$$L_2[i \rightarrow j] = \begin{cases} \exp[\mu_e \{c_2(j) - c_2(i) - t_{ij}^e\}] & c_2(i) < c_2(j) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots(15)$$

t_{ij}^e : 発ノード i 、着ノード j のリンクの一般化所要時間

$$W_2[i \rightarrow j] = \begin{cases} L_2[i \rightarrow j] & \text{for } i = r \\ L_2[i \rightarrow j] \sum_{m \in I_i} W_2[m \rightarrow i] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots(16)$$

Step 6

仮想ノードからの最小一般化所要時間が大きい順に、式(17)により交通量を求める。

$$x_{ij,1}^{r,e} = (g_{rj}^e + \sum_{m \in O_j} x_{jm}^e) \frac{W_2[i \rightarrow j]}{\sum_{m \in I_j} W_2[m \rightarrow j]} \quad \dots(17)$$

O_j : ノード j から流出するリンクの終点集合

ここで、オンランプ j から出る仮想リンクの交通量を H_{rj} とする。

Step 7

高速道路オンランプを無限大として、発セントロイドからの所要時間が大きい順に、式(18)によりリンク交通量を求める。

$$x_{ij,2}^{r,e} = (H_{rj} + \sum_{m \in O_j} x_{jm}^e) \frac{W_1[i \rightarrow j]}{W_1[m \rightarrow j]} \quad \dots(18)$$

そして、 $x_{ij,1}^{r,e}$ と $x_{ij,2}^{r,e}$ を重ね合わせることによって高速道路経路のリンク交通量を求めることができる。

3) 収束判定

本研究では、以下のどちらかの条件を満たした時点で計算を終了した。

a) $\alpha < 10^{-5}$

b) $N > 50$

ここで

α : 1 次元探索のステップ幅

N : 繰り返し回数

5. 配分結果

ここでは、名古屋都市圏道路ネットワークに本モデルを適用し、モデルの再現性を検証する。本研究で使用するデータは平成 8 年度の名古屋高速道路利用 OD データである。ネットワークはノード数 1241、セントロイド数 279、往復別リンク数 4209 である。

配分結果について、平成 6 年度道路交通センサス及び平成 8 年度名古屋高速道路自動車起終点調査の実績値と比較した。リンク数は名古屋高速道路リンクが 87 本、一般道路リンクが 39 本の合計 116 本である。

OD 間距離 L_{rs} は、繰り返し回数 1 回目の一般道路のみを利用した最短経路上の距離を用いた。時間価値は、第 7 回名古屋高速道路起終点調査で算出された 65(円/分・台)⁵⁾を用いた。一般道路経路のパラツキの度をあらわすパラメータ μ と高速道路経路のパラツキの度をあらわすパラメータ μ^e の関係を、高速道路利用経路の方が一般道路のみ利用した経路よりも経路選択のパラツキが少ないと仮定して $\mu^e = 1.5\mu$ として配分計算を行った。

本研究では $\mu = 100$ の場合についての相関係数及び RMS 誤差を表-2 に示し、リンク交通量の散布図を図-1 に示す。表-2 および図-1 より、高速道路、一般道路ともほぼ 45 度線上にデータが分布し、決定係数は 0.8 前後となり、比較的良好な精度が得られた。

6. まとめと今後の課題

本研究では、高速転換率を内生化した確率的利用者均衡配分モデルを名古屋都市圏の道路ネットワークで適用し再現性の検討を行った。配分結果は高速道路リンク、一般道路リンクとも比較的良好な精度が得られ、このモデルの有効性が実証できたと考えら

れる。また、本研究の今後の課題として、パラメータ μ 、 μ^e の合理的推定方法が挙げられる。

最後に、本研究の実施において名古屋高速道路公社および名古屋高速道路協会、(株)日建設計よりデータ等多大な協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

表-2 配分結果

	全リンク	名古屋高速リンク	一般道路リンク
決定係数	0.806	0.821	0.779
RMS誤差	9690	8288	13052

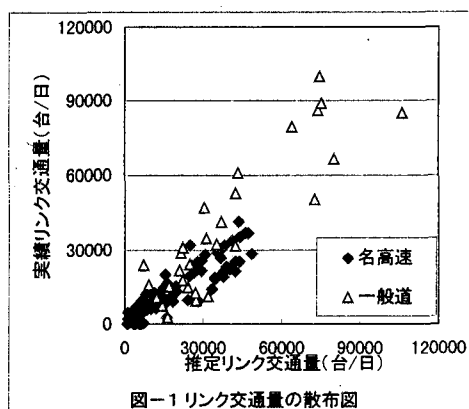


図-1 リンク交通量の散布図

【参考文献】

- 1) 長棟一秀・藤田泰弘・松井寛：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の実用化、土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp395-396, 1999.
- 2) 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、京大土木 100 周年記念ワークショップ・論文集, pp17-22, 1997.
- 3) 赤松隆・松本嘉司：需要変動を考慮した交通ネットワーク確率的利用者均衡モデルとその解法、土木学会論文集, No.401, pp109-118
- 4) 松井寛・片桐充理：都市高速道路を対象とする転換率モデルの構築、第 18 回交通工学研究発表会論文報告集, pp149-152, 1998
- 5) 名古屋高速道路公社：名古屋高速の交通量配手法に関する実証的調査研究委員会報告書, 1997.
- 6) 土木計画学研究「交通ネットワーク」出版小委員会：交通ネットワークの均衡分析—最新の理論と解法—、土木学会, 1998