

GAを用いたOD交通量の逆推定における演算効率性*

Computational efficiency of inverse O-D flow estimation using GA*

秋谷真**・中辻隆***・鈴木宏典****

By Makoto Akiya**・Takashi NAKATSUJI***・Hironori Suzuki****

1.はじめに

将来計画案における起終点(OD)交通量予測では従来、現状再現するにあたり、過去のパーソントリップ(PT)調査等のOD交通量と別途アンケート調査等に基づく経路選択モデルを用いて、交通量の配分を行うことが一般的である。しかし、これにはPT調査にかかる労力、PTデータとアンケートデータの時間的差異、またPTデータが解析対象時間帯のOD特性を代表する保証がない等の問題がある。そのため、全国各地の道路網に数多く設置されている既存の車輛感知器から集計される交通量データによるOD交通量の推定手法の開発が進められてきた^{1),2),3)}。

本研究の現状再現手法では、利用者均衡(UE)概念に基づくOD交通量と配分交通量の同時推定(分布・配分統合モデル)により未知数の低減を図るとともに、被利用者均衡状態を想定して確率の利用者均衡及び目的地魅力度(パラメータ)の概念を導入し、逆解析において局所解に陥る事を避けるため遺伝的アルゴリズム(GA)を利用している。また既存研究³⁾から、GAを用いる事で演算速度が落ちる事が報告されている事から、利用者均衡問題の解法に逐次平均法(MSA)を用い、一般的解法であるFrank-Wolf(F-W)法を用いた場合との精度、及び演算速度の比較を行った。

解析対象道路網としては、仮想の小規模道路網及び首都高速道路網(小規模、大規模)としている。

*キーワード:利用者均衡、Bi-Level、逆推定、GA

**非会員、工修、北海道大学大学院工学研究科

(北海道札幌市北区13条西8丁目、

TEL011-706-6217、FAX011-706-6217)

***正員、工博、北海道大学大学院工学研究科

(北海道札幌市北区13条西8丁目、

TEL011-706-6215、FAX011-706-6215)

****正員、工博、日本工業大学工学部システム工学科

(TEL0480-33-7734、FAX0480-33-7745)

2.推定モデル

(1)用語の定義

a)交通変量の定義

本研究で用いる交通変量は、以下で定義される。

O_r : 流入ノード r の流入交通量

D_s : 流出ノード s の流出交通量

q_{rs} : rs 間のOD交通量

f_k^{rs} : rs 間で k 番目の経路交通量

x_a : リンク a のリンク交通量

c_k^{rs} : rs 間で k 番目の経路旅行時間

u_{rs} : rs 間の最短旅行時間

M_s : 集中ノード s の魅力度(時間換算)

γ, θ : ロジット関数パラメータ

b)リンクパフォーマンス関数⁴⁾

本研究では、あるリンク a におけるリンク旅行時間 t_a はBPR関数で定義する。交通容量 C_a は1車線2200台、パラメータ α, β はそれぞれ0.45および2.5、自由旅行時間 t_{a0} は時速100kmでリンク長を割った値とした。

$$t_a(x_a) = t_{a0} \cdot \left\{ 1 + \alpha \cdot \left(\frac{x_a}{C_a} \right)^\beta \right\} \quad (1)$$

(2)OD・配分交通量の同時推定モデル

4段階推定法のように分布レベル、配分レベルを段階的に解く場合、モデル全体での理論的一貫性を欠くため、ロジットモデル等を適用する事で、両レベルを同時に解くのが「同時推定モデル」である。本研究では将来計画案との整合性を考慮した現況再現を行うため、OD交通量の代わりに流入交通量 O_r ・流出交通量 D_s を所与として、OD交通量 q_{rs} ・配分交通量 f_k^{rs} の同時推定を行っている。

a)OD(分布)交通量

ロジット関数を用いて目的地選択確率を表現することで、OD交通量が流入交通量と関係付けられると仮定。

$$q_{rs} = O_r \frac{e^{-\gamma(u_{rs} - M_s)}}{\sum_m e^{-\gamma(u_{rm} - M_m)}} \quad (2)$$

ここでは、負の旅行時間で定義されるパラメータ M_s 、(流出部魅力度)により、目的地におけるバイアス作用を表現している。

b)経路(配分)交通量

本研究では利用者の経路選択の多様性や不確実性に注目して、確率的利用者均衡(SUE)理論を導入し、ロジット関数を用いて経路選択確率を表現することで、経路交通量とOD交通量を関係付ける。

$$f_k^{rs} = q_{rs} \frac{e^{-\theta(c_k^{rs})}}{\sum_m e^{-\theta(c_m^{rs})}} \quad (3)$$

c)SUE配分に基づく同時推定問題

以上のような仮定、前提の下、均衡状態における交通量を求める事は、以下の数理最適化問題の解を求める事と等価である。

<目的関数>

$$\min z(\mathbf{x}, \mathbf{q}, \mathbf{f}) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega + \frac{1}{\gamma} \sum_{rs} q_{rs} (\ln q_{rs} - 1) - \sum_{rs} M_s q_{rs} + \frac{1}{\theta} \sum_{rs} \sum_k f_k^{rs} (\ln f_k^{rs} - 1) \quad (4)$$

<制約条件>

$$\sum_r q_{rs} = D_s \quad \sum_s q_{rs} = O_r \quad \sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \\ q_{rs} \geq 0 \quad f_k^{rs} \geq 0$$

上記の最適化問題を解析的に解く事は一般には難しく、未知変数 x_a を繰り返し更新することにより、徐々に目的関数値 z を小さくするというアプローチを用いる事となる($\mathbf{x}, \mathbf{q}, \mathbf{f}$ は、リンク交通量・OD交通量・経路交通量の各ベクトル)。

式(4)の右辺において、第1項は一般的な利用者均衡、第2項はOD交通量に関するロジットモデル、第3項は目的地の魅力度、第4項は確率的利用者均衡配分に基づく経路交通量のロジットモデルに由来している。

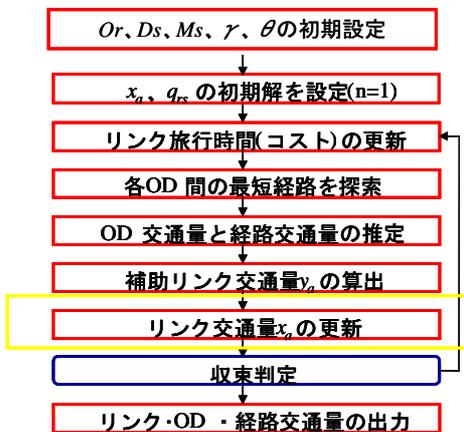


図1 同時推定フロー

(3)MSA⁵⁾と Frank-Wolfe(F-W)法

本研究では、同時推定モデルをMSA法とF-W法の2つの手法により解を求め、両者の精度及び演算時間の比較を行ったが、両者は図1における「リンク交通量の更新」(式5)の際に大きな違いが生ずる。

$$x_a^{(n+1)} = x_a^{(n)} + \alpha^{(n)} \cdot (y_a^{(n)} - x_a^{(n)}) \quad (5)$$

従来我が国でUE問題の解法に多く用いられてきたF-W法では、ステップサイズ α を求める際に、目的関数 z の値が小さくなるような一次元探索を行っていた。しかし、SUE問題ではネットワーク上の全ての経路交通量を記憶して目的関数 z を計算するには膨大な時間がかかってしまう。一方、MSA法では目的関数 z を使わず、ステップサイズ α を単に繰返し回数 $n+1$ で除した値として求める事で演算負荷を減少する事が出来る。

$$\alpha^{(n)} = \frac{1}{n+1} \quad (6)$$

(4)逆推定

本研究における同時推定モデルでは、流入・流出交通量、及びロジットパラメータ(γ, θ)、魅力度を既知として話を進めたが、これらの値は γ, θ, M_s の各パラメータは観測する事はできず、流入・流出交通量も実際には必ずしも観測できない場合がある。そこで、車両感知器等からの観測が容易なリンク交通量から他の交通変量の逆推定を考える。

まず、幾つかのリンクにおいて交通量 x_a が既知として、未知数の組($M_s, \gamma, \theta, O_r, D_s$)の候補解をGAにより作成する。その結果から得られた推定リンク交通量 \tilde{x}_a と実測リンク交通量 x_a との誤差が小さくなる(式(7))ようにフィードバックを繰り返す事で最終的な解を推定する。つまり、式(4)を解くためには式(7)の解である流入・流出交通量等を与え、逆に式(7)を解くためには式(4)の解であるリンク交通量の推定値 \tilde{x}_a を与え順次繰り返し解く必要がある(Bi-Level問題)。

$$\sum_a (\hat{x}_a - \tilde{x}_a)^2 \rightarrow \text{Min} \quad (7)$$

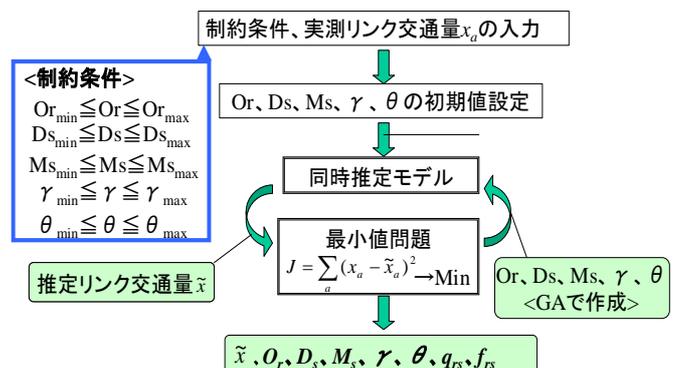


図2 推定フロー

3.数値解析

仮想道路網、実際の道路網(小規模道路網、中規模道路網)の3つのネットワークにおいて、F-W法とMSA法の精度及び演算時間の比較、分析を行った。精度検証は実測のOD交通量データが無いので、リンク交通量の実測データを用い、推定値との相関係数、%RMSEの2つの評価指標により検証を行っている。

(1)対象道路網

以下の3つの道路網を対象とし、各道路網のノード・リンク数は表1の通りである。

表1 ノード・リンク数

	仮想道路網	首都高速	
		(小規模)	(中規模)
ノード(JCT・IC)数	9	10	33
リンク数	24	24	77
流入ノード(オンランプ)数	4	7	21
流出ノード(オフランプ)数	4	7	21

a)仮想道路網

図3に示す3×3のネットワークを対象とし、各リンクにおける道路特性は全て同一とした。実測値がないため、予め利用者均衡を想定して作成したリンク交通量データを”実測値”として用いた。

b)実道路網(小規模)

図5に示す首都高速道路網の囲まれた範囲を抜き出して分析を行った。ネットワーク図を図4に示す。

c)実道路網(中規模)

図5に示す首都高速道路網全体を対象に、分析を行った。ネットワーク図を図6に示す。なお、実道路網では2002年12月18日(水)7:00~8:00の車両感知器から得られたリンク交通量データを実測値として使用した。

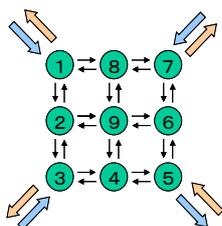


図3 仮想道路網

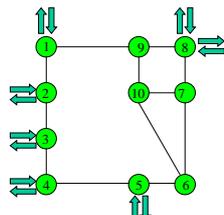


図4 首都高速(小規模)

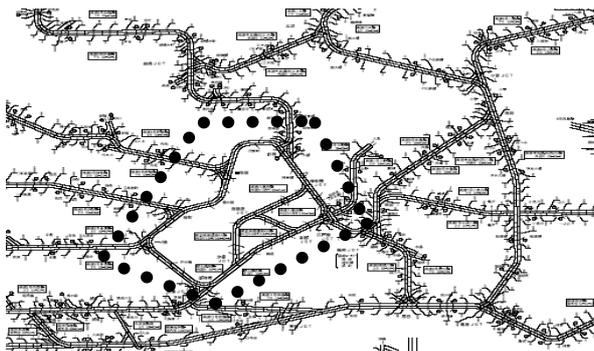


図5 首都高速道路網

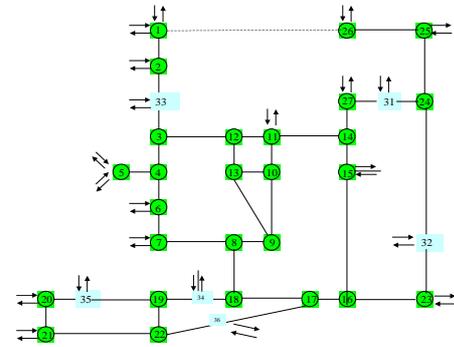


図6 首都高速(大規模)

(2)仮想道路網

図7、図8は推定リンク交通量と実測値の相関を示したものである。計測リンクに対し、式(7)が小さくなるように逆推定を行っているため相関係数はF-W法、MSA法ともに高い結果を得た。ただし、表2にあるように収束までの演算時間に関しては、同時推定モデル内ではF-W法がステップサイズ α を一次元探索で求めるのに対し、MSA法ではステップサイズを定数列として扱っているため収束までのステップ数は多いが、演算時間全体ではF-W法の半分以下(0.43倍)の演算時間であった。また、図9からF-W法が式(4)の目的関数 Z が小さくなるような一次元探索を行っているためGA繰り返し回数の初期段階から高い精度を得る事が出来ている事がわかる。

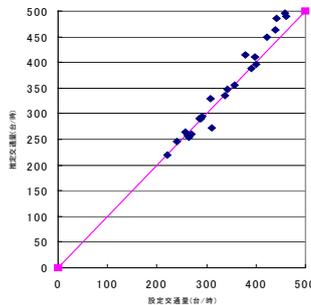


図7 F-W(仮想道路網)

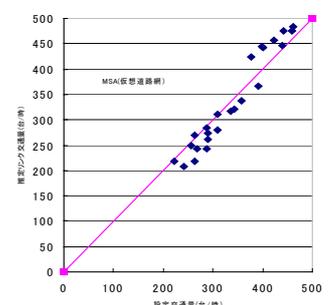


図8 MSA(仮想道路網)

表2 演算時間比較(仮想道路網)

	F-W	MSA
ステップ数	132	315
1ステップ演算時間(S)	22.72	4.11

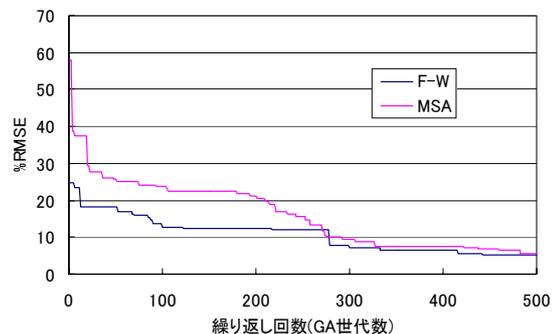


図9 両手法の%RMSEの推移(仮想道路網)

(3)実道路網

a)小規模道路網

図 10、図 11 は推定リンク交通量と実測値の相関を示したものである。ノード・リンク数は仮想道路網とほぼ変わらないが、精度、演算時間も下がった。要因としては、実際の道路網を図 4 のネットワークに簡略化した際、交通量の小さなオンランプ、オフランプを省略している事が原因の 1 つと考えられる。表 3 で 2 つの手法ともステップ数が 500 となっているが、これは本モデルの出力条件が式(7)の収束条件を満たすかステップ数が 500 になった時点で打ち切りとしているためである。そのため打ち切りステップ数を更に大きな値とすればより演算時間は増加するが高精度が見込めるはずである。

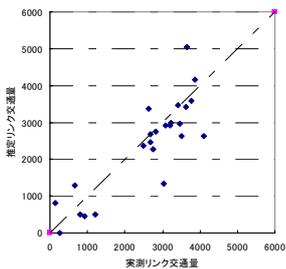


図 10 F-W(小規模)

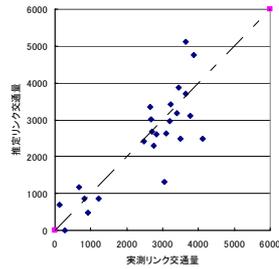


図 11 MSA(小規模)

表 3 演算時間比較(小規模)

	F-W	MSA
ステップ数	500	500
1ステップ演算時間(s)	30.6	9.6

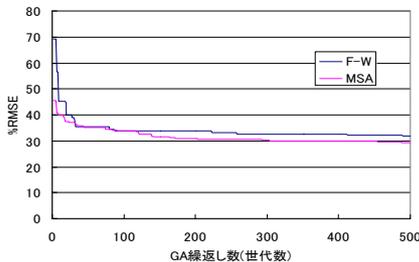


図 12 両手法の%RMSE の推移(小規模実道路網)

b)大規模道路網

図 13、図 14 は推定リンク交通量と実測値の相関を示したものであるが、精度が悪いことがわかる(図 16)。これは演算時間が F-W 法、MSA 法ともに膨大であったため、収束条件を緩和させた事が大きく精度に影響を与えたと考えられる。

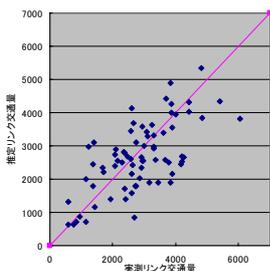


図 13 F-W(大規模)

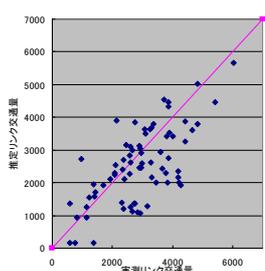


図 14 MSA(大規模)

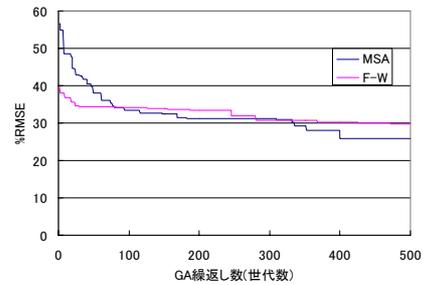


図 15 両手法の%RMSE の推移(大規模実道路網)

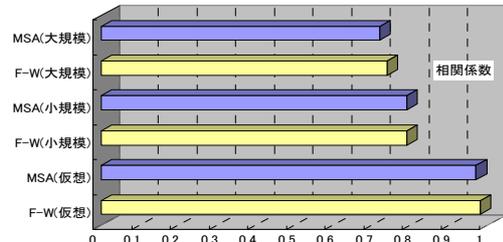


図 16 相関係数

4.おわりに

本研究では分布・配分交通量の同時推定モデルと GA を組み合わせ、観測リンク交通量データから分布交通量等の交通変量の推定を F-W 法、MSA 法、2 つの手法で行った。現実交通でも小規模道路網までは、MSA 法により精度を落とさずに演算速度を上げられる事が確認できた。今後の課題・展望としては、以下の通りである。

本研究では、推定時間の幅が 1 時間と長い時間で評価を行う必要があった。しかし、実際の交通状態は時々刻々と変化するため、本研究で使用した理論を基に、数秒単位で推定を行う理論やシステムを構築する必要がある。特に、近年急速に普及し、OD 交通量がリアルタイムに得ることの出来る ETC データ、今回使用していない速度データの利用等、モデルへの導入を考慮していかなければならない。また、本研究では交通渋滞、感知器の誤差等は無いものとして扱ったが、今後はそれらにも個別に突き詰めていく必要がある。最後に本研究では解析に VBA6.0 を用いて行ったが、より演算速度を速めるために別のプログラム言語でも取り組む予定である。

参考文献

- 1)土木学会:道路交通需要予測の理論と適用 第II編 利用者均衡配分の適用に向けて,丸善,2006
- 2)Wardrop,J.G : Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research,proceedings of the Institute of Civil Engineers, No.11(1), pp325-378,1952
- 3)仲野賢治:計測リンク交通量を用いた交差点右左折率の逆推定法,2003 年度修士論文
- 4)鈴木和夫ほか:首都高速道路における利用者均衡配分交通量推計手法の開発,第 25 回日本道路会議,2003
- 5)Walker,W.T.et al.:Method of successive averages versus Evans algorithm p32-40, 1998