

均衡交通量配分手法の実証的検討

Validation of Equilibrium Traffic Assignment Methods

桑原雅夫*

Masao KUWAHARA

1. はじめに

交通量配分手法の理論面については、多くの研究がなされているが、これらの手法のうち特に、均衡配分法、確率的均衡配分法を大規模な実際のネットワークに適用した事例はわずかしか報告されていない。均衡配分法については、海外の適用事例はいくつか報告されているものの、わが国では筆者の知るかぎりわずかに加藤、等の報告²⁾があるのみである。しかし、確率的均衡配分法の実ネットワークへの適用事例はいまだに内外ともに報告されていない。実務での任を果たすには実証的な分析によって各配分原理の妥当性および各配分手法の特質を明らかにすることが必要である。本研究は、Frank-Wolfe アルゴリズム³⁾による均衡配分法(FW法)、確率的均衡配分法として、Dialの確率配分法⁴⁾を繰り返し計算によって収束させる方法⁵⁾(SUE法)の2つを首都圏のネットワークに適用し分析したものである。

2. 配分対象地域

配分の対象となる地域は東京、神奈川、千葉、埼玉の各都県を中心に、そのまわりの静岡、山梨、群馬、栃木、茨城を含む範囲をカバーしており、全体で472のゾーンから成り立っている。ネットワークは、首都高速道路公団で配分用として用いられているネットワークのうち最も詳細なレベルのもので、6575の有向リンク、2330のノード(うち472のセントロイド)で構成されている。

OD需要交通量は、昭和55年に関東地方建設局の行ったODセンサスで得られたOD表のうち首都高速道路を利用したトリップのみを昭和55年に首都高速道路公団が行ったOD調査で得られたデータに置き換えたものを用いている。

なお、本適用計算では、日交通量を配分対象としており、さらにゾーン内々交通量は配分対象から除外している。配分対象総日交通量は1167万トリップ/日で、うち首

*東京大学生産技術研究所 第5部

都高速道路利用数は48.9万トリップ/日であった。

3. 配分手法

FW法とSUE法の詳細な説明は省略させていただき、適用上の注意点のみについて触れておきたい。FW法は最短経路探索とリンク交通量ベクトルの一次元探索を交互に繰り返していきながら求解する方法である。この一次元探索とは、

$$X^{n+1} = X^n + \lambda(Y^n - X^n) \quad (1)$$

λ = ステップ幅, $0 \leq \lambda \leq 1$

n = 繰り返し回数

$$X^n = (x_1^n, x_2^n, \dots, x_N^n)$$

= n 回目の繰り返し計算後のリンク交通量ベクトル

$$Y^n = (y_1^n, y_2^n, \dots, y_N^n)$$

= n 回目の繰り返し計算における最短経路にすべてのOD需要交通量を配分した場合のリンク交通量ベクトル

N = リンク数

のように表される方法であり、 X^n と Y^n を結ぶ N 次元空間内の線分上で(2)式で表される目的関数を最小にする λ を求め、 X^{n+1} を計算する方法である。ここでは、Bolzano探索法を用い、5回の繰り返し計算を行っている。

$$\sum_{a=1}^N \int_0^{x_a} t_a(u) du \quad (2)$$

$t_a(x_a)$ = リンク a の交通量が x_a の場合のリンク a の所要時間

SUE法においては、ロジットモデルによる経路選択率を次のように仮定した。

$$P_k(X) = \exp\{-\theta T_k(X)\} / \sum_j \exp\{-\theta T_j(X)\}$$

X = リンク交通量ベクトル

$P_k(X)$ = ある1つのODペアのうち k 番目の経路の選択確率

$T_k(X)$ = ある1つのODペアのうち k 番目の経路の所要時間

θ = パラメーター

各繰り返し段階においては、一段回前の繰り返し計算で得られたリンク交通量より求められるリンク所要時間を用いて Dial のアルゴリズムを用いて配分を行っている。各繰り返し計算では、Sheffi の提案している MSA (Method of Successive Average) と言われる方法を持ちいてリンク交通量を改訂していった。すなわち、式 (1) における Y^n を n 回目の繰り返し計算において Dial のアルゴリズムによって得られたリンク交通量ベクトルと置き直し、ステップ幅 λ を $1/n$ にとって新たなリンク交通量を計算していく方法である。

パラメーターの最適値 θ^* については、首都高速道路公団が用いている転換率式より $0.25 [1/\text{min}]$ と推定した。

なお、両方法とも、リンク交通量の初期値はゼロフローからスタートしている。

FW法, SUE法共に、フローディペンデントにリンク所要時間が変化するネットワークを対象とする配分手法であり、リンク交通量とリンク所要時間との関係式が必要となる。本研究では、現在首都高速道路公団で用いられているリンク費用関数をベースに、 $t_a(x_a) = (a + bx_a^4)$ で表されるような各リンク固有の a , b の 2 つのパラメーターをもつ 4 次関数を用いた。

また有料道路の料金は、時間価値 $48.8 [¥/\text{min}]$ を用いて分単位の時間に換算してから各リンク所要時間に追加した。

4. 結果と考察

4.1 配分結果の適合度

表 1 に両手法による推計リンク交通量と実測リンク交通量との関係を示す統計量として相関係数 R と %RMS を示す。ここに、統計量 %RMS とは、リンク交通量の平均値に対する推計誤差の二乗和の平方根の割合を % で示したものである。リンク交通量の実測値は、首都高速道

Table 1 Fitness of Assigned Link Flows by Assignment Methods

	FW	SUE
%RMS—Expressway	36.2	27.9
%RMS—Local Street	40.7	34.4
R —Expressway	0.791	0.893
R —Local Street	0.541	0.620

Expressway : Av. link flow = 40953,

The no. of samples = 259

Local St. : Av. link flow = 46994,

The no. of samples = 69

路において、259リンク、また一般街路で69リンクで得られているものを使用した。FW法とSUE法については、10回の繰り返し計算後の推計値を用いている。

高速リンクにおいても一般街路リンクにおいてもSUE法の適合度はFW法よりも優れていた。FW法はSUE法のパラメーター θ を無限に大きくした場合、つまり最短経路だけを誰もが選択するという場合に相当するので、パラメーター θ を持つSUE法の適合度がFW法よりも汎用性があり、優れているのはうなずける結果である。また、両手法の統計量は高速リンクの値が一般街路の値よりも適合度が高いことを示している。この理由として、一般街路においては信号交差点の影響、駐車車両の影響、大型車(バスなど)の混入による影響など、単純なリンク費用関数では表現しきれない部分が多いことがあげられよう。

図1から図4は、FW法とSUE法におけるリンク交通量の実測値と推計値を高速リンク、一般街路リンク別にプロットしたものである。%RMS, Rに見られるように高速リンクにおいてFW法とSUE法との適合度の差がはっきりと見られる。FW法では、高速リンク、一般街路リンク共に実測交通量の小さい(大きい)リンクの推計値がより小さめ(大きめ)に推定される傾向があるようである。FW法よりも多少統計量は良い値を示しているとはいえ、SUE法の一般街路リンクのプロットはかなりバラツキが激しく、バラツキの程度は、リンク交通量の大小にはほとんど無関係である。

4.2 配分手法の性質

本節では特にFWアルゴリズムとSUE法で用いたMSA法の解への収束状況およびSUE法のパラメーター θ の感度について考察する。

図5は、FW法の繰り返し回数と2つの統計量そして最小化問題として定式化した場合の目的関数((2)式)の変化のようすを表したものである。一方、図6はSUE法においてその繰り返し回数と統計量の間接関係を表したものである。

FW法では、目的関数値は最初の1回の繰り返し計算で急激に下降し、3ないし4回以降は、ほとんど変化していない。%RMSとRについても5回の繰り返し計算後の変化は非常に小さいことがわかる。しかしながら、リンク交通量を個別にみていくと、各繰り返し計算ごとのリンク交通量の最大変化率 [%] は、5回目の繰り返し後では50%をとっており、10回目後でも40%程度の値を示していた。この変化率の最大値が5%以下になるには14回の繰り返しが必要であった。

SUE法では、統計量の収束はFW法に比べて若干遅く、かつ上下に変動しながら次第に収束していくようすがう

研 究 速 報

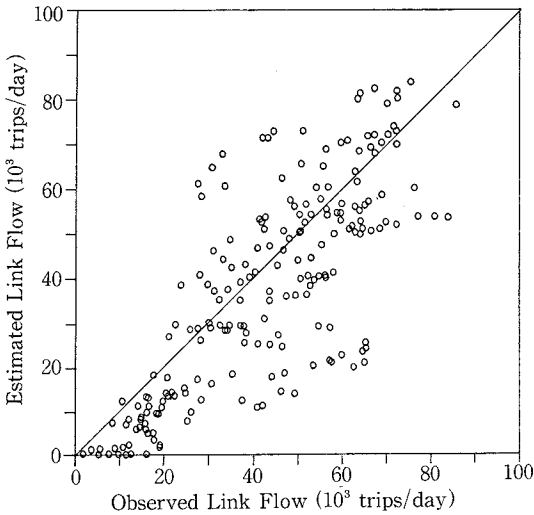


Fig. 1 Observed versus Estimated Link Flows of Expressways by the Frank-Wolfe Algorithm

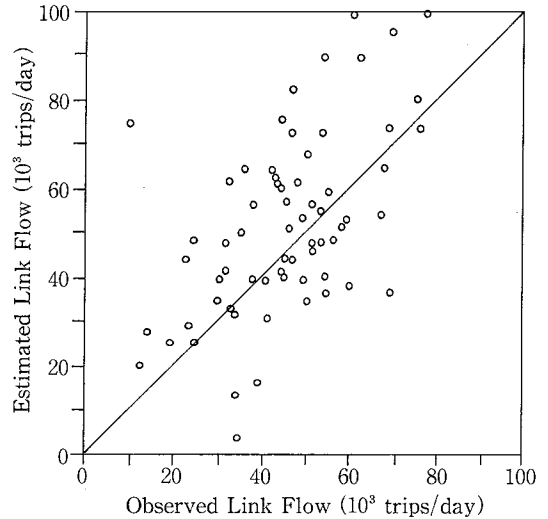


Fig. 2 Observed versus Estimated Link Flows of Local Streets by the Frank-Wolfe Algorithm

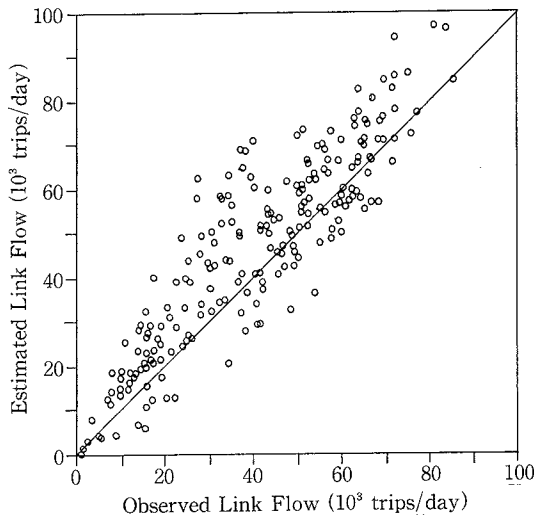


Fig. 3 Observed versus Estimated Link Flows of Expressways by the Stochastic User Equilibrium Method

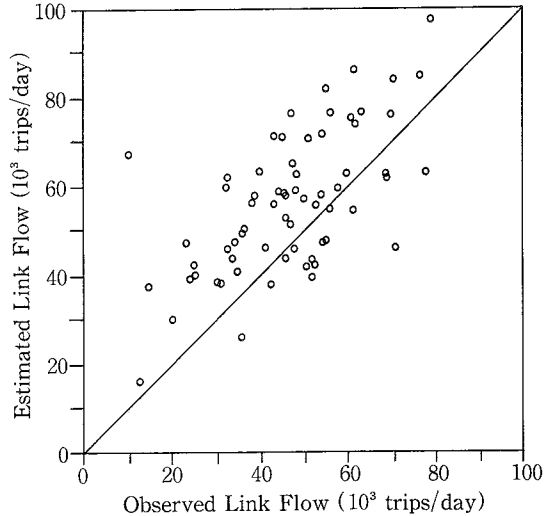


Fig. 4 Observed versus Estimated Link Flows of Local Streets by the Stochastic User Equilibrium Method

かがえる。ところが、個々のリンク交通量の値はFW法に比べると、繰り返しごとにかなり変動しており、繰り返しごとのリンク交通量の変化率の最大値は $\theta=0.25$ の場合5回目で5593%、10回目で187%と非常に大きく25回の繰り返し計算をしてもなお110%であった。

このようにFW法に比べてSUE法の収束が遅いのはMSA法の弱点である。FW法では1次元探索によって目的関数を最小にするようなステップ幅 λ を正確に求めて

いるのに対し、SUE法ではステップ幅 λ は常に $1/n$ に固定されている。SUE法においても1次元探索を行いベクトル X と Y を結ぶ多次元空間内の線分上で目的関数を最小にするような点を見つけてやれば、より収束が早まるものと期待できるのであるが、確率的均衡配分を最小化問題として定式化した時の目的関数値はリンク交通量だけでなく経路交通量の関数となっているので計算するのが困難である。効率的でしかも厳密な1次元探索の方法

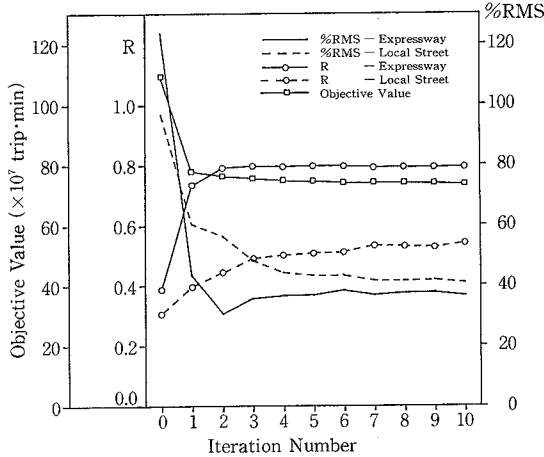


Fig. 5 Statistics for the Frank - Wolfe Algorithm

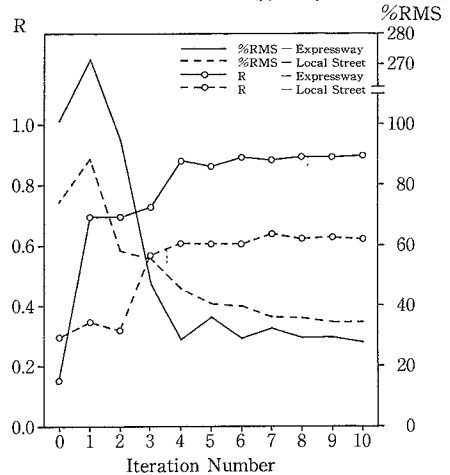


Fig. 6 Statistics for the Stochastic User Equilibrium Assignment

はいまのところ見つかっていない。

最後にSUE法のパラメーター θ について考察しよう。パラメーターは前述したように経路ごとの所要時間差を利用者がどのように感じ経路選択に影響を及ぼすかを表している指標である。 $\theta=0.0$ の場合は、経路間の所要時間差に無関係に利用者は各経路を平等に利用する場合であり、 $\theta=\infty$ の場合は逆に利用者は少しの所要時間差にも敏感に反応するため最短経路のみを利用することになる。

推定結果が、パラメーター θ の値によってどのような感度を持つか調べた結果が表2にまとめられている。 θ の値を0から1まで変化させた場合の%RMSとRの感度はかなり鈍い。%RMSで見ると高速リンクでは、 $\theta=0.25$ 付近で最小値をとるが、一般街路では、もう少し θ の大きい値で最小値をとっている。また、Rで見ると、高速リンクでは $\theta=1.0$ 付近、一般街路では $\theta=0.1$ 付近で最大値を示している。しかし、両統計値とも $\theta=0.1$ から1.0でほとんど顕著な変化は見せていない。

5. おわりに

配分結果の適合度は、今回の分析のように配分手法にも大きく依存するが、そのほかにも配分対象ネットワークのリプレゼンテーションの方法、リンク費用関数の形式等にもよるところが大きいと思われるため、より多く

Table 2 Sensitivity of Fitness to Parameter θ

θ	0.0	0.10	0.25	0.35	1.0
%RMS—Expressway	34.4	30.2	27.9	27.9	28.3
%RMS—Local Street	37.9	35.4	34.3	34.2	33.2
R —Expressway	0.830	0.872	0.893	0.900	0.909
R —Local Street	0.566	0.626	0.620	0.611	0.598

の検証が望ましい。また、確率的均衡配分の繰り返し計算における、収束を早める方法の研究も今後の課題であらう。
(1987年8月17日受理)

参考文献

- 1) Dial R.B., A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Model which Obviates Path Enumeration, Transportation Research, Vol. 5, pp 83, 1971
- 2) 加藤, 宮城, 平岡: 最短経路原則に基づく交通量配分法の比較, 検討, 交通工学, Vol. 14, No. 7, 1979
- 3) LeBlanc L.J., Morlok E.K., and Pierskalla W.P., An Efficient Approach to Solving the Road Network Equilibrium Traffic Assignment, Transportation Research Vol. 9, pp309, 1975
- 4) Sheffi Y., Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods, Prentice Hall, 1985