

発展的均衡配分の適用と課題 —車種別時間帯均衡配分—
Applications and Problems of
Semi-dynamic Multi Classes Stochastic User Equilibrium Assignment Model*

吉田禎雄**
By Yoshio YOSHIDA

1. はじめに

我が国で実用化されている QV 式を用いて交通量を分割して配分する容量制限付き分割配分は恣意的であるとの批判が出ていることから、より合理的な経路選択行動を反映した均衡配分が注目されるようになり、理論的研究から実用化に向けた研究へと移行が進められている。特に、需要固定型の利用者均衡配分モデル¹⁾ (UE) については、市販ソフトウェアも整備されるなど完成された配分手法として実務での適用事例が次第に増加してきた。しかし、依然として日交通量を配分しているのが現状であり、道路の整備効果や、TDM といった交通政策を評価する際には、交通混雑が発生するピーク時間帯とオフピーク時の交通状況とが正しく評価できないといった問題があるため、時間帯配分の必要性が高まっている。また、従来の均衡配分計算は、単一車種を対象としたものであり、車種別の交通施策を評価する場合には適用が困難であることから、車種別均衡配分の要請も実務では大きい。

そこで、本研究では、多種流確率的時間帯均衡モデル²⁾ (MTSUE: Semi-dynamic Multi Classes Stochastic User Equilibrium Assignment Model) の適用事例を示すと共に、実務への適用に際して発生する問題点・課題を整理し、今後の展開の一助とした。

2. 多種流時間帯均衡配分モデルの適用例

(1) 多種流時間帯均衡配分モデル

このモデルは多種流均衡モデル³⁾と時間帯配分モデル (OD 修正法) を結合したものであり、時間帯

間の準動的な相互作用については実務的に扱いやすい OD 修正法⁴⁾ を応用している。モデルの詳細は省略し、最適化問題のみ示すと、式(1)のとおりである。

$$\begin{aligned} \min Z(\mathbf{x}, \mathbf{f}_1, \dots, \mathbf{f}_m, \mathbf{g}_1, \dots, \mathbf{g}_m) \\ = \sum_a \int_0^{x_a^{(n)}} t_a(\omega) d\omega + \sum_a \sum_{j=1}^m x_{j,a} R_{j,a} \\ + \sum_{j=1}^m \frac{1}{\theta_j} \sum_{rs} \sum_k f_{j,k}^{rs(n)} \ln \left(\frac{f_{j,k}^{rs(n)}}{g_j^{rs(n)}} \right) \\ - \sum_{rs} \sum_{j=1}^m \int_0^{q_j^{rs(n)}} \frac{2T_w}{Q_j^{rs(n)}} \left(q_j^{rs(n-1)} + Q_j^{rs(n)} + \frac{Q_j^{rs(n)} \cdot \overline{R_j^{rs(n)}}}{2T_w} - z \right) dz \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、

$x_a^{(n)}$: 配分時間帯 n におけるリンク a の交通量であり、車種別リンク交通量 $x_{j,a}^{(n)}$ の和

$t_a(\cdot)$: リンクコスト関数

$R_{j,a}$: 車種 j のリンク a における料金抵抗であり料金を時間評価値で換算したもの

θ_j : 車種 j の経路選択に関する分散パラメータ

$f_{j,k}^{rs(n)}$: 車種 j の OD ペア rs 間の経路 k の経路交通量

$Q_j^{rs(n)}$: 配分時間帯の OD 交通量 (与条件)

$q_j^{rs(n-1)}$: 配分時間帯 $n-1$ の残留交通量

$g_j^{rs(n)}$: 残留交通量補正後の配分交通量

T_w : 配分時間帯の幅

$\overline{R_j^{rs(n)}}$: OD ペア rs 間の平均料金抵抗

である。また、残留交通量の修正により得られる配分交通量は、式(2)で示される。

$$g_j^{rs(n)} = q_j^{rs(n-1)} + Q_j^{rs(n)} - \frac{\overline{c_j^{rs(n)}}}{2T_w} Q_j^{rs(n)} \quad (2)$$

ここに、

$\overline{c_j^{rs(n)}}$: 車種 j の OD ペア rs 間の平均所要時間

である。

式(1)の最適化問題は、部分線形化法を適用し、確率的配分は Dial 法を用いて解くことができる。

* Keywords: 配分交通, ネットワーク交通流, 均衡配分

** 正会員 株式会社インテルテック研究所
(〒169-0075 東京都新宿区高田馬場 2-14-6
Tel: 03-3203-9241, Fax: 03-3203-9246
E-mail: yoshida@intel-tech.co.jp)

(2) 適用事例

(a) 対象ネットワーク

沖縄本島の県道以上の幹線道路約 1,800 リンクのネットワークを対象とし、ゾーン数は 173 ゾーンである。なお、リバーシブルレーンなど時間帯で実施している施策があるためネットワークは時間帯別に作成した。

また、リンクコスト関数は、筆者らが道路交通センサスデータより推計した道路区別規制速度別の BPR 型リンクコスト関数を使用した⁵⁾。このリンクコスト関数は式(3)及び表-1 に示すとおりであり、信号交差点での平均的遅れ時間を別途与えるものである。平均的遅れ時間は、信号交差点密度の高い多車線道路及び市街地 2 車線道路に対して、0.01 時間/km(=36 秒/km)とし、リンクコスト関数より求められる旅行時間に加算した。

$$\frac{t}{t_0} = k_0 + k_1 V_r + k_3 \left(\frac{x}{C} \right)^\beta \quad (3)$$

ここに、 k_0 、 k_1 、 k_3 、 β はパラメータ、 x は交通量、 C は可能交通容量または交差点容量の小さい方、 V_r は規制速度(km/h)、 t_0 は規制速度で走行した場合の旅行時間である。

表-1 道路種類別 BPR 関数

道路種別	k_0	k_1	k_3	β
高速道路	0.3698	0.0072	0.8053	2.5
多車線道路	0.2843	0.0188	0.4329	1.1
2 車線都市部	0.6420	0.0124	0.2298	1.2
2 車線平地部	0.3310	0.0163	0.1175	2.3
2 車線山地部	0.3389	0.0160	0.1013	3.7

配分計算に用いる時間帯別 OD 交通量は、平成 6 年度道路交通センサスベースのものを使用し、これに時間係数を乗じて求めた。時間係数は、年度は異なるが、平成元年度に実施された PT 調査のマスターファイルをもとに、OD ペア別の発ベース交通量を集計して設定した。

(b) 需要予測結果

ここでは、日配分では得られないリバーシブルレーンの評価を行うため、リバーシブルレーンの無い場合についても時間帯配分を実施した。配分計算の結果として、リバーシブルレーンの運用が行われている那覇北中城線を例にリバーシブルレーンの有無別・方向別にリンク交通量及び旅行時間の時間変動を示すと図-1 のとおりである。これによると、リバ

ーシブルレーンの運用を実施している時間帯においてリバーシブルレーンでは交通量の増加に比べ旅行時間の上昇が少ないことが分かる。

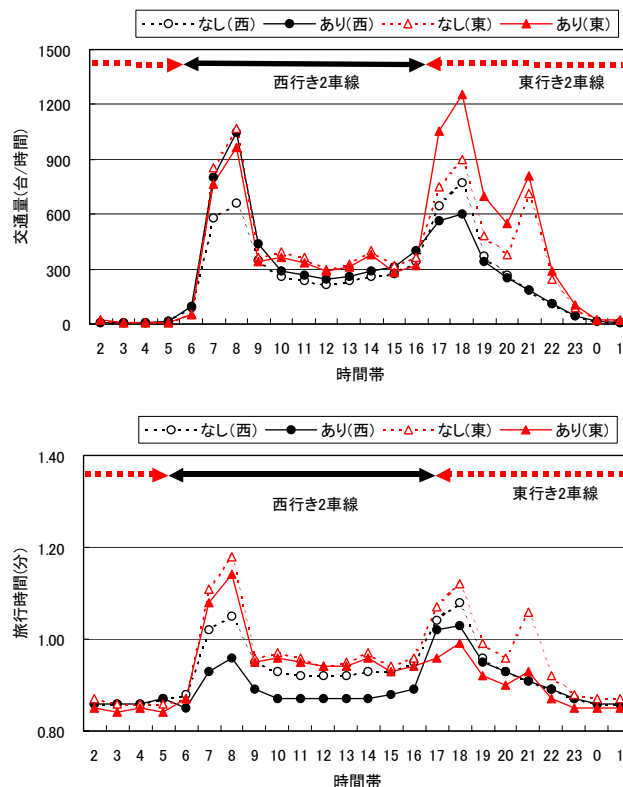


図-1 那覇北中城線の配分結果

リバーシブルレーンの運用による便益を算定すると表-2 に示すとおりである。なお、便益はリバーシブルレーン運用有無別の時間帯毎に配分結果の差を求め、これを 24 時間累加して求めた。得られた便益は、表-2 に示すとおりであり、年間約 3 億円近い便益が得られる。

表-2 リバーシブルレーンの費用と便益

単位：百万円/年

	なし	あり	便益額
時間費用	540,272	539,989	283
走行費用	53,702	53,694	8
合計	593,975	593,683	292

3. 均衡配分における実務上の課題

MSTUE の適用例をもとに、均衡配分を実務に適用する場合の課題をまとめる。なお、以下の課題の検討においては、MSTUE と比較するため、利用者均衡配分 (UE)、確率的利用者均衡配分 (SUE)、多種流確率的利用者均衡 (MSUE)、OD 修正法 (TUE) の各モデルを用いた。

(1) 入力データに関する課題

(a) 分散係数

確率的均衡配分では確率的な経路選択を表現するために分散係数 θ を用いる。配分の他の条件を一定として分散係数がリンク交通量に及ぼす影響を見ると、表-3 に示すとおりである。ここでは、 $\theta=1$ の場合を基準としてリンク交通量の相違を示すために RMSE を求めている。これによると、分散係数が 100 を超えるとリンク交通量に平均 15% 以上の誤差が発生することが示されている。このように、分散係数は配分結果に大きな影響を及ぼすものであるが、再現性の高い値を試行錯誤で設定しているのが現状であり、合理的な分散係数の設定方法の検討が今後の課題である。

表-3 分散係数によるリンク交通量の誤差

分散係数	0.001	0.01	1	10	100	500	1000
相関係数	1.000	1.000	1.000	0.999	0.979	0.957	0.953
RMSE	20	20	0	50	260	375	394
%RMSE	1.3	1.3	0.0	3.2	16.5	23.8	24.9

(b) リンクコスト関数と大型車

リンクコスト関数は、これまでも多くのパラメータ推計が行われているものの、汎用的に利用できるものがないのが現状である。この原因として、パラメータ推計用データの不足、可能交通容量の算定方法が実情に合わないこと、現実には発生している渋滞の表現が困難なことなどが挙げられる。

また、車種別配分では、大型車の扱いが問題となる。リンクコスト関数に乗用車換算係数などを導入して大型車を表現すると、リンクコスト関数が車種に関して非対象となり、配分モデルを最適化問題に変換できない。MSTUE でも全て PCU 単位として定式化されており、車種による区別は考慮していない。なお、道路整備効果を議論するような交通量の多い道路については車種別に旅行速度の差を設ける必要性は低いと思われるが、大型車の混入が交通流に及ぼす影響は皆無ではなく、配分上の大型車の扱いには課題も多い。

(c) 時間 OD 表

時間 OD 表を作成するための基礎となるデータは、道路交通センサスや PT 調査などであるが、これまでの調査結果からは時間 OD 表を作成できるほど詳細な情報が得られないのが現状である。配分に用い

る OD 表は、結果の良否に直結したものであるため、これまでの日 OD 表の作成を主眼としたものから時間帯 OD 表の作成を目指したデータ収集が今後の課題である。また、過渡的なものとして、リンク交通量から時間 OD 表を推計する方法⁶⁾の実用化も検討する必要がある。

(2) プログラム上の課題

(a) 容量制限の実施

時間帯配分の場合、道路の容量に可能交通容量を用いたリンクコスト関数を適用するのが一般的である。本来は可能交通容量を越えた交通量が流れることはないのであるが、配分においては交通量が可能交通容量を越えても実行可能領域にあるため大きな交通量が得られることが多々ある。例として、MTSUE による VCR（配分交通量／可能交通容量）別のリンク数は表-4 に示すとおりであり、全体の約 27% で 1.0 を超えている。この問題への対応方法として、一次元探索時のステップサイズを制限する方法¹⁾ などが、渋滞を内生化した配分⁷⁾なども考案されているが、MTSUE などの配分モデルへの適用可能性について検討する必要がある。

表-4 VCR 別リンク数

VCR	リンク数
1 未満	2,209
1~2	644
2 以上	167
合計	3,020

(b) 演算時間の短縮

MTSUE では目的関数の経路交通量を起点別リンク交通量を未知変数に変換し、部分線形化法によって解いている。そのため、収束計算において起点別リンク交通量を保存しておく必要があり、その記憶容量はリンク数×起点数（ゾーン数）×車種数となる。さらに、時間帯配分を行うための残留交通量、平均所要時間、平均料金抵抗用記憶容量がゾーン数×ゾーン数×車種数のオーダーで必要となる。これらの記憶容量をメモリー上に確保することは困難であり、ハードディスクを利用しなければならず、一次元探索時にはハードディスクへの頻繁なアクセスが必要となり、演算時間が膨大なものとなる。ちなみに、モデル別の演算時間を示すと表-5 のとおりであり、MTSUE においては、演算時間の短縮が課題

となる。

表-5 配分モデル別演算時間

	UE	TUE	SUE	MSUE	MTSUE
収束回数	202	73	3	4	3
演算時間	05:01	03:35	01:26	02:43	11:04
1回当たり演算時間	00:01	00:03	00:29	00:41	03:41

注) Windows2000, CPU 1 GHz, メモリー256kB を使用

(c) 演算打ち切り基準

均衡配分の収束を判断する演算打ち切り基準として、一般にはリンク交通量の相対誤差を用いている。TUE や MTSUE のように時間帯配分を OD 修正法で実施する場合、目的関数を構成する項目のうち、残留交通量から算定される項の割合が大きくなる。表-6 は、モデル別に収束時の目的関数値を調べたものであり、UE と TUE、あるいは SUE と MTSUE の値を比較すると残留交通項の影響が大きいことが分かる。このように、目的関数値は残留交通量の変動に大きく影響されるが、残留交通量は繰り返し計算の初期状態を除くとあまり大きな変動を示さない。そのため、目的関数をもとに算定される一次元探索時の下降距離が直ちにゼロに近づくため、更新されるリンク交通量の変化も少なくなり、時間帯配分では他のモデルに比べ収束回数が相対的に少なくなる。UE 及び SUE の結果を基準としてモデル別にリンク交通量の誤差を示すと表-7 のとおりである。これによると、少ない収束計算回数でも配分結果の誤差は 2~3%程度であり、十分収束していると思われるが、目的関数の有効桁数を考慮した収束判定基について再検討する必要がある。

表-6 配分モデル別目的関数の最小値

	UE	TUE	SUE	MSUE	MTSUE
目的関数値	44, 179	-118, 457	-271, 137	-269, 309	-845, 891

注) 収束基準はリンク交通量の相対誤差 0.05% で実施

表-7 時間帯配分モデルのリンク交通量の誤差

モデル	TUE	MTSUE
基準モデル	UE	SUE
相関係数	1.000	0.999
RMSE	25	46
%RMSE	1.7	2.9

注) それぞれ UE 及び SUE の結果を基準とした

(d) 経路関連情報

実務では、OD 内訳、交差点方向別交通量など経

路に関連した情報が必要になることが多い。均衡配分では、数理最適化問題を繰り返し計算によって解いているため、実数による計算が行われている。そのため、経路関連情報も実数で交通量が算定されるが、これを整数化することによる桁落ちで、全 OD ペアが集計されリンク交通量との整合が取れなくなる。さらに、近年では配分モデルとシミュレーションとを連携させた予測が多用される傾向にあり、経路関連交通量の扱いが問題となる可能性がある。

4. まとめ

均衡配分を実務に適用する場合にはまだ多くの課題があることを示した。しかし、ITS 等の進展により詳細で多量のデータが収集可能となっている現在、これまではデータが不十分であるために解決できなかった多くの課題が順次解決すると考えられ、大いに期待したい。

なお、本稿で提示した課題は需要固定型の配分モデルを対象としたものである。しかし、時間帯配分や車種別配分を実施する事案では、発時刻の変更や車種の変更などを内生化した需要変動型の統合モデルの必要性が高い場合が多く、今後、車種別・時間帯配分を包括する統合モデルの構築が課題である。

参考文献

- 1) 土木学会：交通ネットワークの均衡分析，1998.
- 2) 吉田禎雄，原田昇：多種流確率的均衡モデルによる準動的配分，土木計画学研究講演集 講演 No.318，2001.
- 3) Yang, H: Multiple Equilibrium Behaviors and Advanced Traveler Information Systems with Endogenous Market Penetration, Transportation Research, 32B(3), pp.205-218, 1998
- 4) 藤田素弘，松井寛，溝上章志：時間帯別交通量配分モデルの開発と実用化に関する研究，土木学会論文集，No.389，pp111-119，1988
- 5) 吉田禎雄，原田昇：均衡配分用 BPR 式パラメータの推計，土木学会論文集 No.695/IV-54，pp.91-102，2002.
- 6) 松本幸正，藤田素弘，松井寛：リンク交通量に基づく時間 OD 交通量の推定手法に関する研究，交通工学，Vol.29，No.3，pp.11-19，1994. など
- 7) 赤松隆，牧野幸雄，高橋栄行：時間帯別 OD 需要とリンクでの渋滞を生内化した準動的な交通配分，土木計画学研究・論文集，No.15，pp535-545，1998. など