

# 車種別時間均衡配分モデルの開発\*

Development of the Practical Model of Time-of-Day User Equilibrium Assignment by Mode

吉田禎雄\*\*, 原田昇\*\*\*

by Yoshio YOSHIDA, Noboru HARATA

## 1. はじめに

従来の均衡配分計算は、1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。特に、TDMなど交通政策の評価において、時間帯別・車種別の施策に対応した交通状況を推計する必要があるが、現状ではこれに適した実用的な均衡配分手法がない。

そこで、本研究では、実務的に扱い易いOD修正法による時間均衡配分理論を基礎として、車種別の旅行速度に大きな差がないとの前提を導入することで、車種別時間均衡配分が実用化できることを示した。具体的には、車種別時間均衡配分を実用化する上でのOD修正法の課題を整理した後、車種別均衡配分の定式化で問題となる車種別旅行時間に大きな差がないことを前提とした車種別時間均衡配分を提案した。続いて、実際の道路網に適用し、実用上十分な精度で予測が可能であることを実証的に示した。

## 2. 既往研究

我が国における時間帯配分という動的交通配分は、河上・溝上・鈴木<sup>1)</sup>によって始められ、隣り合う時間帯で交通流の保存条件をリンク交通量レベルで修正する方法が示された。続いて、藤田・松井・溝上<sup>2)</sup>は、河上らのモデルを改良したリンク修正法と交通量の修正をOD交通量で実施するOD修正法を提案した。この中でOD修正法による時間均衡配分が数理最適化問題となることを始めて定式化して

いる。しかし、この時間帯別配分モデルは、単一車種のもので、かつ有料道路のないネットワークを対象としている。また、有料道路を考慮したものとして、松井・藤田<sup>3)</sup>が、これまでのOD修正法を改良して高速道路と一般道路の利用交通が混在するネットワークにおいて高速道路転換率を生内化した時間均衡モデルを提案しているが、依然として単一車種が対象となっていると共に、転換率を算定するための分散パラメータの合理的設定に課題が残されている。

一方、車種別配分については、高橋・河上<sup>4)</sup>、河上・徐・広島<sup>5)</sup>が車種別に扱ったモデルを示し、この延長である最近の研究では、杉野・川上<sup>6)</sup>が、多車種が混合している道路を車種毎のリンクに分解し、同一リンクを走る車種間の相互影響を単車種のリンクの相互影響と考える需要変動型利用者均衡モデルの応用として車種別時間帯別交通量配分を提案している。しかし、複数のリンクコスト関数の合理的設定方法や、リンクコスト関数の対称性に問題がある。また、金子・福田<sup>7)</sup>も、同一リンクの車種間の相互影響を単一車種のリンク間相互影響とみなして車種別時間均衡配分を提案しているが、その定式化においても同様の問題が残されている。

時間帯配分に関する既存研究の中では、モデル構造の簡単なOD修正法による時間均衡配分が実用的には最も扱い易い。OD修正法のモデルで定式化された目的関数は、式(2.1)で与えられる。

$$\min : Z = \sum_{a \in \Lambda} \int_0^{x_a^n} t_a(w) dw - \sum_{rs \in \Omega} \int_0^{q_{rs}^n} \frac{2T_w}{Q_{rs}^n} (q_{rs}^{n-1} + Q_{rs}^n - z) dz \quad (2.1)$$

ここで、 $x_a^n$  : n時間帯のリンク a の交通量

$T_w$  : 時間帯の幅

$Q_{rs}^n$  : OD ペア一問 rs の OD 交通量

$q_{rs}^n$  : 経路間の修正交通量の総和

である。また、修正交通量は式(2.2)で示され、右辺

\* Keywords: 配分交通, ネットワーク交通流

\*\* 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)

\*\*\* 正会員 工博 東京大学大学院新領域創成科学研究科環境

学専攻

第3項が残留交通量を表現したものとなっている。

$$g_{rs}^n = q_{rs}^{n-1} + Q_{rs}^n - \frac{c_{rs}^n}{2T_w} Q_{rs}^n \quad (2.2)$$

このモデルには実務上以下の問題がある。

第1の問題は、単一車種を対象とした定式化となっていることである。そのため、有料道路の扱いやTDMなどの車種別施策の評価などができない。

第2の問題は、残留交通量の算定に用いるOD間所要時間に、有料道路を含むネットワークの最短経路探索で使用する一般化所要時間が適用できないと言った問題である。

第3の問題は、OD修正法はリンクフローをもとに定式化されているため、パスフローを用いたリンク修正法や確率的利用者均衡配分といった配分手法のように経路交通量が一意に決定できないといった問題がある。そのため、交差点の方向別交通量や、リンクのOD内訳といった経路関連情報が理論的には得られないといった実務上重要な問題がある。

### 3. 車種別時間均衡配分モデル

#### (1) 車種別時間均衡配分の考え方

OD修正法による車種別配分の定式化が困難な理由の1つに、車種別に旅行時間が異なるとの考えを前提としているため、1つのリンクコスト関数によって全ての車の挙動が表現できないことがある。

しかし、近年の大型車両の性能向上などにより乗用車と同様の走行が可能となっているため、自動車専用道路などでは速度規制はあるものの車種による走行速度の相違が見受けられなくなっている。また、2車線道路や市街地においては、追越しがほとんど不可能であることにも起因し、いずれの車種も同一速度で走行しているとみなすことができる。車種別旅行時間の例として乗用車と普通貨物車の比較を平成6年度道路センサデータで示すと、図3-1のとおりである。データの信頼性に多少の疑問はあるが、大型車と乗用車の旅行速度が異なるとは言えない。そのため、本研究では同一リンク上での車種別速度に差がないと仮定し、リンク上の交通挙動は、全利用交通に関する1つのリンクコスト関数で表現できると仮定した。これにより、リンクコスト関数の対称性に問題はなくなる。

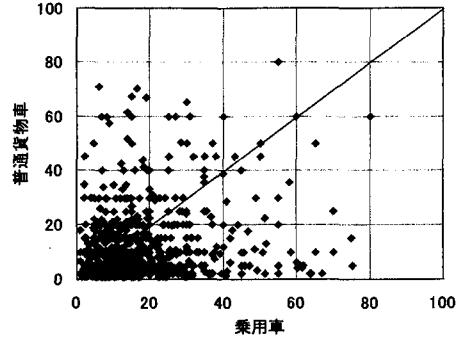


図3-1 車種別旅行時間の比較

#### (2) 車種別時間均衡配分の定式化

車種別時間均衡配分的前提条件は、従来のOD修正法的前提条件に「リンクの車種別旅行時間は、そのリンク上に存在する全車種の交通量により定まる」との条件を追加したものとする。そのため、OD交通量が $m$ 車種に分割されている場合を考えると、リンク $a$ の交通量は、式(3.1)で表せる。

$$x_a^n = \sum_m x_{aj}^n \quad (3.1)$$

ここで $x_{aj}^n$ は、 $n$ 時間帯のリンク $a$ を利用する車種 $j$ の交通量である。リンク交通量と同様に、OD交通量、修正交通量についても全て車種別交通量の和としてそれぞれ式(3.2)、(3.3)と表現することができる。

$$Q_{rs}^n = \sum_m Q_{rsj}^n \quad (3.2)$$

$$q_{rs}^n = \sum_m q_{rsj}^n \quad (3.3)$$

そのため、OD修正法の式(2.1)を車種別交通量で表現すると式(3.4)に示すとおりとなる。

$$\min : Z = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a^n} t_a^n(w) dw - \sum_{rs \in \Omega} \sum_{j=1}^m \int_0^{q_{rsj}^n} \frac{2T_w}{Q_{rsj}^n} (q_{rsj}^{n-1} + Q_{rsj}^n - z) dz \quad (3.4)$$

s.t.

$$\sum_k f_{kj}^{nrs} - g_{rsj}^n = 0$$

$$x_{aj}^n = \sum_k \sum_{rs \in \Omega} \delta_{a,kj}^{nrs} f_{kj}^{nrs}$$

$$f_{kj}^{nrs} \geq 0, g_{rsj}^n \geq 0, x_{aj}^n \geq 0$$

ここに、

$x_{aj}^n$ :  $n$ 時間帯におけるリンク $a$ の車種 $j$ の交通量

$x_a^n$ :  $n$ 時間帯におけるリンク $a$ の総交通量

$t_a^*$  : リンク a のリンクコスト関数  
 $Q_{rsj}^n$  : n 時間帯における OD ペア—rs 間の車種 j の OD 交通量  
 $Q_{rs}^n$  : n 時間帯における OD ペア—rs 間の総 OD 交通量 ( $= \sum_m Q_{rsj}^n$ )  
 $g_{rsj}^n$  : n 時間帯における OD ペア—rs 間の残留交通量のための修正後の車種 j の OD 交通量  
 $g_{rs}^n$  : n 時間帯における OD ペア—rs 間の残留交通量のための修正後の全 OD 交通量 ( $= \sum_m g_{rsj}^n$ )  
 $q_{rsj}^n$  : n 時間帯における OD ペア—rs 間の車種 j の残留交通量  
 $f_{kj}^{nrs}$  : OD 交通量  $g_{rsj}^n$  に対する車種 j の経路 k の経路交通量  
 $\delta_{a,kj}^{nrs}$  : リンク a が車種 j の OD ペア—rs 間 n 時間帯の経路 k に含まれる時 1, そうでない時 0

また、残留交通量のための車種 j の修正交通量は、式(3.5)となる。

$$g_{rsj}^n = q_{rsj}^{n-1} + Q_{rsj}^n - \frac{c_{rsj}^n}{2T} Q_{rsj}^n \quad (3.5)$$

ここで、 $c_{rsj}^n$  は、n 時間帯の OD ペア—rs 間の車種 j の最短所要時間である。

### (3) 有料道路の取り扱い

残留交通量の算定に用いられる OD 間所要時間は、有料道路を含むネットワークの平均所要時間を用いる必要がある。すなわち、リンクコスト関数に料金抵抗を加味した形を用いた場合、最短経路の探索では、一般化費用を用いることが可能であるが、残留交通量の算定では、料金抵抗を除く実際の旅行時間を適用しなければ、有料道路を利用した場合の実際の所要時間よりも一般化費用が料金抵抗分大きいため残留交通量が過大推計となる。

この問題に対して、修正交通量が一次元探索の各回で大きく変動しないと仮定すると共に、OD ペア—間の所要時間も収束計算がある程度経過した後は大きな変動はないと仮定できるので、ある時間帯での近似的な平均所要時間は、式(3.6)で表現できる。

$$C_{rsj}^m = C_{rsj}^{m-1} + d(C_{rsj}^{m*} - C_{rsj}^{m-1}) \quad (3.6)$$

ここで、

$C_{rsj}^m$  : OD ペア—rs 間の車種 j の m 回目の平均所要時間

$C_{rsj}^{m*}$  : 最短経路探索で求められる OD ペア—rs 間の車種 j の料金抵抗を除く所要時間

$d$  : m 回目の一次元探索の下降距離

式(3.6)の平均所要時間の計算は、前述したように各一次元探索による所要時間が大きく変動しないため 1 つ前の一次元探索結果による平均所要時間を用いれば十分である。

### (4) 経路関連情報の扱い

時間均衡配分はリンクフローをもとに定式化されているため、経路交通量に対しての保証はない。

しかし、実際の計算においては、一回の一次元探索において、全 OD ペア—の最短経路の探索を同一条件下で実施することの繰り返しによってリンク交通量を算定しているため、例えば文献<sup>8)</sup>で例示されている理論的な複数解の存在状態が配分結果として発生する可能性はない。このことから、経路関連情報を元に算定される交差点の方向別交通量、OD 内訳といった指標については、実用上、次のとおり考えて差し支えないといえる。

いま、配分計算が、k 回目の一次元探索で収束したとしたとすれば、式(4.1)で示す線形結合によってリンク交通量を得ることができる。なお、式(3.8)は特定の車種について示したものであり、他の車種や方向別交通量等の指標についても同様である。

$$\begin{aligned}
 x_a^{(k)} &= d^{(k)} \sum_{i,j} (g_{ij}^{(k)} \cdot \delta_{ij}^{(k)}) + (1 - d^{(k)}) \cdot x_a^{(k-1)} \\
 &= \sum_i \sum_j [d^{(k)} \cdot g_{ij}^{(k)} \cdot \delta_{ij}^{(k)} \\
 &\quad + \sum_{n=1}^{k-1} \left( \prod_{n=1}^k (1 - d^{(n+1)}) \right) \cdot d^{(n)} \cdot \delta_{ij}^n \cdot g_{ij}^{(n)}] \quad (3.8) \\
 &\quad + \prod_{n=1}^k (1 - d^{(n)}) \cdot \delta_{ij}^0 \cdot g_{ij}^0]
 \end{aligned}$$

ここで、

$x_a^{(n)}$  : リンク a の n 回更新後の交通量

$g_{ij}^{(n)}$  : ij ゾーン間の修正交通量

$d^{(n)}$  : n 回目の一次元探索時の下降方向距離

$\delta_{ij}^{(n)}$  : 交通量  $g_{ij}^{(n)}$  がリンク a を通過するとき 1, 通過しないとき 0 となるフラッグ

#### 4. 大規模ネットワークへの適用例

約 21,000 リンクで構成される首都圏ネットワークに提案する車種別時間均衡配分を適用した。配分時間帯幅は、対象地域の大きさから考えて 2 時間とし、OD 表は、道路交通センサスのマスターファイルより、車種別・発時間帯別に作成した。

ここでは、料金抵抗の影響を最も受ける高速道路を中心に交通センサス値と比較した例を示すが、時間帯別交通量、大型車混入率などで比較的良好な再現性が得られた。ただし、短トリップの利用が多いと考えられる地方道や、夜間で OD 表の作成精度の問題と思われる誤差が見受けられる地点もあった。

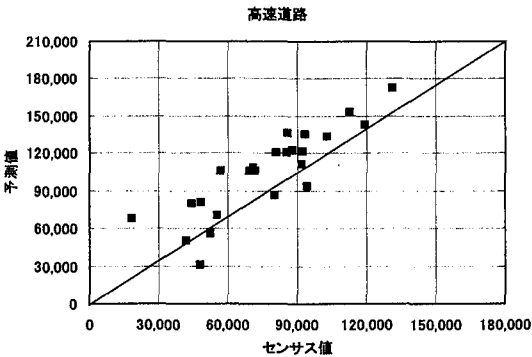


図 4-1 地点別日交通量の比較例

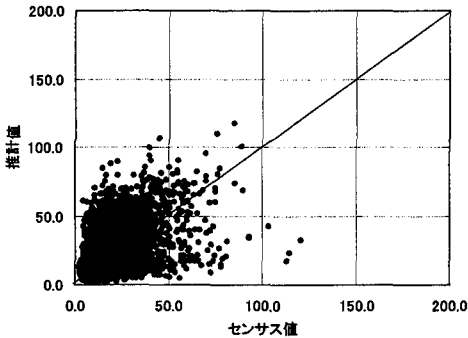


図 4-2 ゾーン間旅行時間の比較例

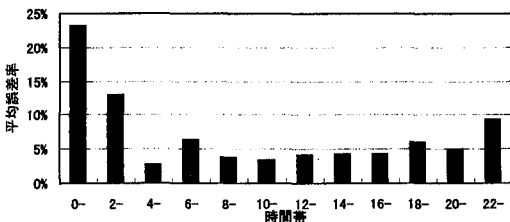


図 4-3 時間帯別大型混入率の平均誤差率(181 地点)

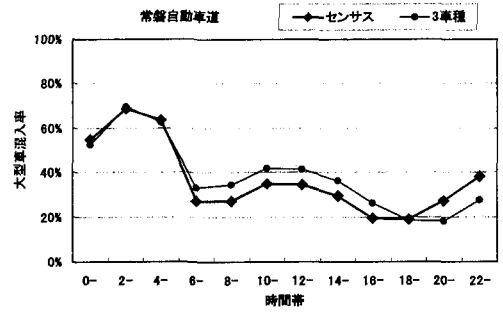


図 4-4 リンク別時間帯別大型車混入率の変化例

#### 5. まとめ

本研究では、OD 修正法を基礎に実務上の要請が大きい車種別時間均衡配分の方法とその適用方法について提案を行った。このモデルは、モデル構造が簡単で、インプット条件の合理的な設定が容易である。また、大規模ネットワークに適用することで、車種別交通量の線形結合によってリンク交通量を求めた上に均衡解を得るという計算アルゴリズムが OD 修正法を拡張したより一般的な配分手法であることを示した。提案するモデルは、TDM のように時間帯別、車種別の施策の評価に有効であると共に、時間評価値の異なる目的別の配分といった応用も考えられる。なお、OD 表などインプット条件の設定方法に今後の課題が残されている。

#### 参考文献

- 1) 河上省吾, 溝上章志, 鈴木稔幸: 交通量の時間変動を考慮した道路交通配分手法に関する研究, 交通工学, Vol20, No.6, pp17-25, 1985
- 2) 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
- 3) 松井寛, 藤田素弘: 大都市圏道路網を対象とした拡張型利用者均衡配分モデルの開発とその実用化, 土木計画学研究・講演集 No.22(2), pp1-14, 1999
- 4) 高橋君成, 河上省吾: 動的車種別交通量配分モデル, 第 26 回日本都市計画学会学術研究論文集, p p313-318, 1991
- 5) 河上省吾, 徐志敏, 広島康裕: 車種別均衡配分モデルに関する実証的な研究, 土木学会論文集, No.431/IV-15, pp57-66, 1991
- 6) 杉野学, 河上省吾: 都市高速道路を含む道路網における車種別時間帯別交通量配分に関する研究, 土木学会第 53 回年次学術講演会講演概要集 IV-303, pp606-607, 1998
- 7) 金子雄一, 福田敦: 物流システム効率化による環境改善効果の推計, 土木計画学研究・講演集 No.22(2), pp741-744, 1999
- 8) 土木学会: 交通ネットワークの均衡分析, pp46 など