車種別確率的利用者均衡配分の計算効率性の検討*

The Efficiency of the Calculation of
the Multi-Class Stochastic User Equilibrium Traffic Assignment*

井ノ口弘昭**・岡田 良之***
By Hiroaki INOKUCHI**・Yoshiyuki OKADA***

1. はじめに

現在，分割配分手法に代わる利用者均衡配分の実用化に向けての取り組みが盛んに行われている。実務で広く用いられてきた分割配分手法は，厳密には正しい解とは言えないながらも，車種を考慮したものが多い。例えば、大型車交通量による影響が大きい大気汚染物質の排出量や騒音レベルを評価する場合には車種を考慮する必要があり，交通量配分において車種を考慮することは必要不可欠である。しかしながら，確定的利用者均衡配分では，異種混在の条件下では，解は存在するが，その唯一性は保証されない。そこで，確率的利用者均衡配分の特長を生かし，解の唯一性の保証が出来る車種別確率的利用者均衡配分手法を提案した[1)]。また，実務においては，道路整備効果を評価する目的に併せ，道路構造，整備計画位置などの検討ケースを何種類も設定した上で，道路ネットワークを変更して配分計算を行うことから，提案した手法の計算効率性は非常に重要な問題となる。そこで本研究においては，提案した手法を配分対象地域，ネットワーク規模の異なる各種道路網に適用し，この手法の計算効率性の検討を行うことを目的とする。

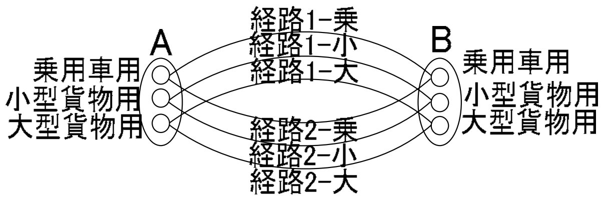

図-1 車種別配分の考え方

*キーワーズ：配分交通，交通網計画

**正会員，博士(工学)，関西大学工学部都市環境工学科（吹田市山手町 3-3-35，TEL:06-6368-0964，E-mail:hiroaki@inokuchi.jp）

***正会員，修士(工学)，(株)長大 名古屋支社（名古屋市中村区名駅南 1-18-24，TEL: 052-586-0700，E-mail:okada-yo@chodai.co.jp）

2. 車種別確率的利用者均衡配分

本研究で用いる車種別配分の基本的考え方は，「確率的利用者均衡配分は経路交通量に関して解の唯一性が保証される」ことを利用する。図-1 のようにセントロイドを車種別に分けると，それぞれの車種についても解の唯一性が保証されることになる。

リンク変数を用いた車種別確率的利用者均衡配分モデルの等価最適化問題は，以下の式で示される。

$$\min \quad Z(\mathbf{X}) = \sum_{ij} \int_0^{x_{ij}} t_{ij}(\omega) d\omega - \frac{1}{\theta} \sum_c \sum_r \left\{ HL\left(\mathbf{X}^{c,r}\right) - HN\left(\mathbf{X}^{c,r}\right) \right\},$$

$$\text{s.t.} \quad x_{ij} = \sum_c \sum_r E_c x_{ij}^{c,r} ,$$

$$x_{ij}^{c,r} \geq 0 .$$

ここで，c,r は車種，起点を示し， E_c は車種 c の乗用車換算係数，HL,HN は以下で示されるエントロピー関数である。

$$HN\left(\mathbf{X}^{c,r}\right) = -\sum_j \left(\sum_i E_c \cdot x_{ij}^{c,r} \right) \ln \left(\sum_i E_c \cdot x_{ij}^{c,r} \right)$$

$$HL\left(\mathbf{X}^{c,r}\right) = -\sum_{ij} E_c \cdot x_{ij}^{c,r} \ln\left(E_c \cdot x_{ij}^{c,r}\right)$$

3. 計算アルゴリズム

本研究では，起点別リンク交通量を未知変数とした部分線形化法および逐次平均法を用いてアルゴリズムの構築を行った。

基本的には，単車種の部分線形化アルゴリズム[2)]と変わらないが，Dial のアルゴリズムを起点ごとに車種数だけ繰り返す必要がある。確率的配分のフローチャートを図-2 に示し，車種別確率的利用者均衡配分のア

ルゴリズムを以下に示す。

Step.0：初期許容解を求める

リンクコスト $t_{ij}(0)$ に対して，確率的配分のフローチャートにより配分を行ない，その車種別リンク交通量パターンを $\mathbf{x}^{(0)}$ とする。なお，リンクコストは乗用車換算係数等を用いて，単車種に換算して計算を行なう。

Step.1：リンクコストを改訂する

乗用車換算係数等を用いて，単車種交通量に換算し，リンクコストを改訂する。

$$x_{ij}^{(n)} = x_{ij}^{c1(n)} + E_2 \cdot x_{ij}^{c2(n)} + E_3 \cdot x_{ij}^{c3(n)}$$

E_2, E_3 は車種 $c2, c3$ の乗用車換算係数

$$t_{ij}^{(n)} = t_{ij}\left(x_{ij}^{(n)}\right)$$

Step.2：降下方向ベクトルを求める

リンクコスト $\mathbf{t}^{(n)}$ に対して，確率的配分のフローチャートにより配分を行ない，その車種別リンク交通量パターンを $\mathbf{y}^{(n)}$ とする。降下方向ベクトル $\mathbf{d}^{(n)}$ は,

$$\mathbf{d}^{(n)} = \mathbf{y}^{(n)} - \mathbf{x}^{(n)}$$

Step.3：ステップサイズの決定

・部分線形化法の場合

$$\min Z\left(\mathbf{x}^{(n)} + \alpha \cdot \mathbf{d}^{(n)}\right), \; s.t. \quad 0 \le \alpha \le 1$$

を解き，最適ステップサイズ α を求める。

・逐次平均法の場合

ステップサイズ α を以下のように与える。

$$\alpha = 1/n$$

Step.4：解の改訂

$$\mathbf{x}^{(n+1)} = \mathbf{x}^{(n)} + \alpha \cdot \mathbf{d}^{(n)}$$

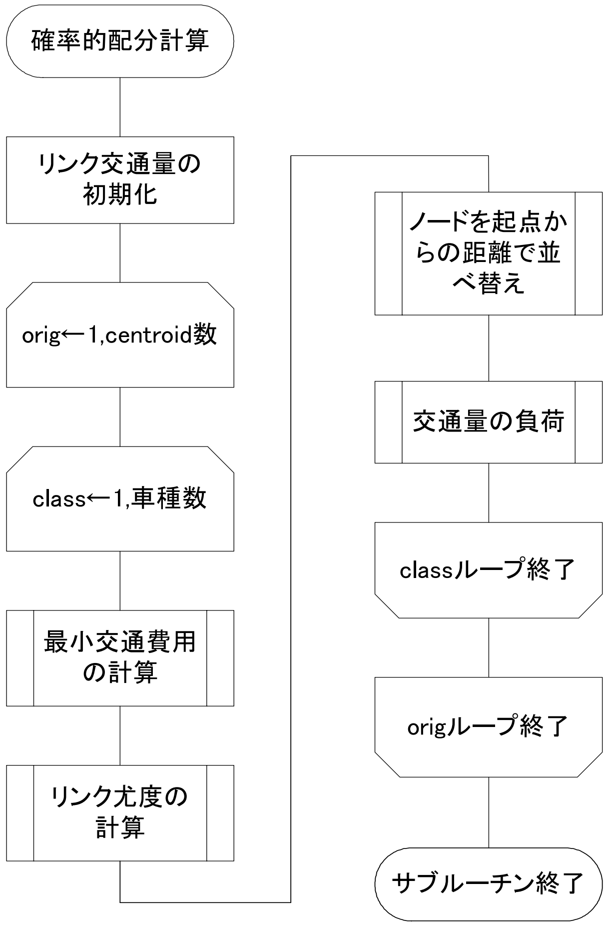

図-2 確率的配分フローチャート

Step.5：収束判定

収束していれば終了，そうでなければ n=n+1 とし，Step.1 へ。

4. 対象道路網

本研究では，愛知県幹線道路網，岐阜県幹線道路網，静岡県幹線道路網，中京都市圏幹線道路網の 4 種類の道路網に適用し，各種の性質を調べる。各道路網の規模を表-1 に示す。また，車種は 3 車種とし，確率的配分におけるパラメータ θ は 1 とした。有料道路への配

表-1　各道路網の規模

道路ネットワーク	愛知県	岐阜県	静岡県	中京都市圏
リンク数	8,648	11,782	12,010	23,908
ノード数	2,968	4,886	4,895	8,209
セントロイド数	347	331	374	887
リンクデータ記憶領域(MB)	148	189	218	1,122
全記憶領域(MB)	184	285	314	1,293

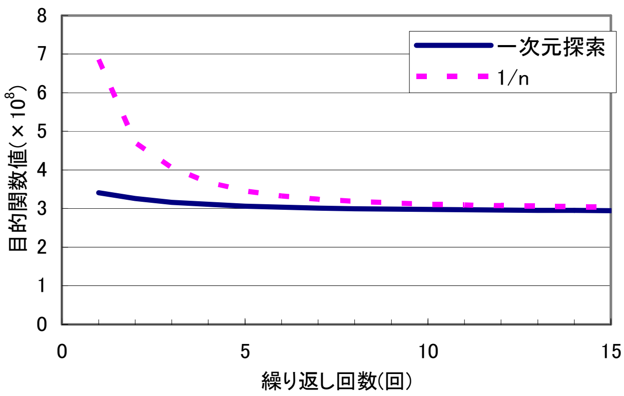

図-3 目的関数値を用いた収束状況

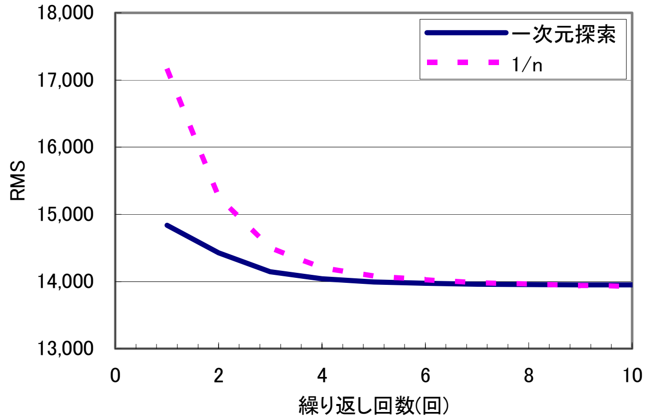

図-4 RMS 指標を用いた収束状況

分は，料金抵抗法を用いた。

なお，計算にはパーソナルコンピュータ(CPU: Pentium4-2.4GHz，メモリ:2GB，OS:WindowsXP)を用いた。また，計算プログラムは C++言語を用いて作成した。

5. ステップサイズの求め方による比較

愛知県の道路網を用いて，ステップサイズを黄金分割法を用いた一次元探索で求めた場合，定数列とした場合で目的関数値，RMS 指標を用いて収束状況の比較を行った。RMS 指標は，以下の式で与えられる。

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - A_i)^2}{n}}$$

但し， $A_i, \overline{A}$ ：現況交通量とその平均値，

$P_i, \overline{P}$ ：配分交通量とその平均値，

n ：サンプル数

各繰り返しでの，目的関数値を図-3，RMS 指標を図-4 に示す。一次元探索を行った場合は，はじめはかなりの効果があるが，繰り返し回数が 10 回程度を過ぎると，ステップサイズを定数列とした場合とそれ程違いはないことが分かった。一次元探索を行った場合の 1 回の繰り返しの計算時間は 3.5 分，1/n とした場合の計算時間は 1.6 分であった。このことから，全計算時間の約半分は一次元探索の計算が占めていることが分かる。従って，計算の効率性の観点からは，計算精度を要求する場合はステップサイズを定数列とした方が良く，あまり計算精度を要求しない場合は一次元探索を用いて 3 回程度で打ち切るのが効率的と言える。

6. ネットワーク規模による計算時間の比較

ステップサイズを一次元探索を用いて求めた場合，定数列とした場合の各道路網で配分した計算時間を表

表-2　各道路ネットワークでの配分計算時間

道路ネットワーク		愛知県	岐阜県	静岡県	中京都市圏
一次元探索の場合	1 ステップ計算時間（分）	3.5	6.6	7.2	50.7
	繰り返し回数	6	5	5	5
	全計算時間（分）	22.7	37.5	41.0	280.5
定数列の場合	1 ステップ計算時間（分）	1.6	3.2	3.5	23.1
	繰り返し回数	10	9	7	8
	全計算時間（分）	18.7	33.7	29.0	226.1

-2 に示す。なお，収束判定は目的関数の変化率が 1%未満になった時に収束とみなした。最小交通費用の計算では，Dijkstra 法を用いているため，この計算時間のオーダーは理論的にはセントロイド数×車種数×ノード数 ^{2} である。しかしながら，全体の計算時間は他の要因もかなり含まれるため，この 4 道路網の計算時間の比較からでは法則性は見出せなかった。

本計算方法ではアルゴリズムの特性により車種数にほぼ比例して計算時間が増加する。中京都市圏の道路網以外では現在のコンピュータを用いても実用範囲内で計算が可能であるが，本アルゴリズムでは並列計算化を比較的容易に行うことが出来る。従って，より大規模な計算を行う場合は，PC クラスタ型の並列計算システムを使用することも有効な手段である。

7. まとめ

本研究では，車種が考慮できる均衡配分手法の 1 つとして車種別確率的利用者均衡配分を取り上げ，その計算効率性の検討を行った。リンク数が 2 万を超える大規模な道路網においても計算が可能であることが分かった。また，あまり計算精度を要求しない場合はステップサイズを一次元探索で求めて 3 回程度の繰り返しで計算を打ち切る，計算精度を要求する場合はステップサイズを定数列とした方が効率的であることが分かった。

現在はリンクコストの計算の際には，乗用車換算係数を用いて単車種に変換してからリンクコストを求めているが，車種別のリンクコスト関数を組み込むなどの検討も今後必要である。また，現実に即したリンクコスト関数の設定も行なう必要がある。さらに，より精度の高い車種別 OD 表の入手が望まれる。

参考文献

1) 井ノ口弘昭，岡田 良之：車種別確率的利用者均衡配分の実用化に向けての検討，土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集，IV－32，2002.

2) 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.