

# 均衡配分法による道路網容量算定について\*

## Estimation Method of Road Network Capacity by Transportation Equilibrium Assignment \*

佐々木 恵一\*\*・劉 斌\*\*\*・阿部 裕子\*\*\*\*・榎谷 有三\*\*\*\*\*・斎藤 和夫\*\*\*\*\*

By Keiichi SASAKI \*\*, Bin LIU \*\*\*, Yuko ABE \*\*\*\*, Yuzo MASUYA \*\*\*\*\*, Kazuo SAITO \*\*\*\*\*

### 1. はじめに

道路網容量は、一般に各リンク(道路区間)の交通容量が与えられたとき、各 OD 交通の構成比(OD 交通量の相対比)一定のもとで道路網全体で処理できる交通量として定義されており、各種の道路網計画あるいは運用計画を行なうときの量的評価指標として考えられている。そして、自動車交通の増大に対する考え方が従来の需要を先取りする需要追従型から需要自体をも管理し既存施設を有効に利用しようとする交通管理型計画へ移行しようとする現在、交通需要とこれに対する道路網とのバランスの評価指標としての道路網容量の重要性は一層増してきている<sup>1)2)</sup>。

道路網容量は一般にネットワーク特性あるいはフロー特性によって規定されているので、これら道路網容量を規定する要因を通して自動車交通の増大に対する各種の対策手法を考えることが出来る。ネットワーク特性から対処する方法としては、各リンクの拡幅・新設あるいは一方通行システムの導入などによって、各リンクの交通容量を増加させて道路網容量の増強を図る方法が考えられる。一方、フロー特性の面からとしては長期的展望に立った地下鉄建設、交通需要施設の移転に伴う土地利用パターンの変更、あるいは短期的に実施可能な各種の自動車抑制によって発生・集中交通量、分布交通量(OD 交通量)を抑制・制御するなど、いわゆる OD 交通パターン(OD 構成比の変化)の変化を促して対処する方法が考えられる。

本研究は、フロー特性の面から交通網の処理能力と

交通需要の関係を分析するために、大規模道路網を対象に均衡配分手法による道路網容量の算定を試みた。

### 2. 道路網容量算定

道路網容量は、あるネットワークに対する“与えられた OD パターンを有するフローの最大値”、すなわち最大フロー問題としてとらえることができる。最大 OD フローが流れる状態では、容量とフローが等しくなる限界の断面(最小カット)が存在し、その断面で制約されることになる。次にネットワークを構成するアークの容量が変化した場合、アーク容量減少に対する最小カットの発生問題、アーク容量増強に対しては、最小カットの変化が問題となることから、いずれも道路網容量を規定する最小カットに注目した分析が必要となる。

本研究では、配分シミュレーション法(等分割時間配分法)をもとに算定した道路網容量をガイドラインとして、これに相当する交通需要を第2章で示すリンク容量制約をもつ利用者均衡配分法を用いて配分し、カットの探索を試みた。これは、需要(各アークの配分交通量)と供給(各アークの交通容量)のバランスを考慮したすなわち、アーク容量に対するアークの配分交通量の割合が等しくなるアークを抽出し、これにより道路網が非連続となるカットが形成されていれば、それを最小カットとし、そこで最小カットより求められる最小フロー水準を道路網容量として算定し、既往の手法との比較を行った。

### 3. ネットワークの容量問題<sup>3) 4)</sup>

#### (1) 定式化

道路網容量は、一般にネットワーク特性(道路網形態、各道路区間の交通容量等)とフロー特性(発生・集中交通量、分布交通量、OD 交通量等)によって規定される。固定需要型の利用者均衡条件下での最大ネットワーク

\* Key words: ネットワーク交通流, 道路網容量

\*\* 正員, 工博, 函館工業高等専門学校 環境都市工学科  
(函館市戸倉町14番1号, TEL & FAX 0138-59-6498)

\*\*\* 学生員, 工修, 室蘭工業大学 建設工学専攻

\*\*\*\* 非会員, 工修, 大開土木株式会社

\*\*\*\*\* 正員, 工博, 専修大学北海道短期大学

\*\*\*\*\* 正員, 工博, 室蘭工業大学 建設システム工学科

容量問題は、以下のような数理計画問題として定式化される。

$$\text{Min. } Z(\mathbf{x}, \mathbf{e}) = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(w) dw + \sum_{od} \bar{u}_{od} \cdot e_{od} \quad (1)$$

subject to

$$x_a = \sum_{k \in k_{od}} \sum_{od \in \Omega} \delta_{a,k}^{od} f_k^{od} \quad \forall a \in A \quad (2)$$

$$\sum_{k \in k_{od}} f_k^{od} = q_{od} \quad \forall od \in \Omega \quad (3)$$

$$q_{od} + e_{od} = \bar{q}_{od} \quad \forall od \in \Omega \quad (4)$$

$$f_k^{od} \geq 0 \quad \forall k \in k_{od}, \forall od \in \Omega \quad (5)$$

$$e_{od} \geq 0 \quad \forall od \in \Omega \quad (6)$$

ここで、

$\bar{q}_{od}, \bar{u}_{od}$  :  $od$  間の OD 毎に与える変数

$f_k^{od}$  :  $od$  間の OD の  $k$  番目経路の交通量

$q_{od}$  :  $od$  間の OD の最大 OD 交通量

$e_{od}$  :  $od$  間の OD の超過 OD 交通量

$x_a$  : リンク  $a$  の交通量

$t_a$  : リンク  $a$  のリンクコスト関数

$\delta_{a,k}^{od}$  : リンク・経路結合行列

リンクコスト関数は容量制約を考慮した以下の関数形を用いた。

$$t_a(x_a) = t_{a0} \left( 1 + \gamma \frac{x_a}{\bar{c}_a - x_a} \right) \quad (7)$$

$\bar{c}_a$  : リンク交通容量

$\gamma$  : パラメータ(1.00)

この均衡条件下での最大 OD 交通量問題は、固定需要型の均衡配分問題となっている。しかし、任意のベクトル  $\mathbf{h} \neq \mathbf{0}$  に対して、 $\nabla^2 Z(\mathbf{x}, \mathbf{e})$  との二次形式は

$$\mathbf{h}^T (\nabla^2 Z(\mathbf{x}, \mathbf{e})) \mathbf{h} = \sum_{a \in A} h_a^2 \cdot \frac{\partial^2 Z(\mathbf{x}, \mathbf{e})}{\partial x_a^2} \geq 0 \quad (8)$$

となり、 $\nabla^2 Z(\mathbf{x}, \mathbf{e})$  は半正定値行列である。よって、目的関数  $Z(\mathbf{x}, \mathbf{e})$  は広義凸関数になっており、最適解は一意的に決められない。

## (2) 計算過程

### Step 0 超過最大 OD 交通量を OD 交通量とする

$od$  間の OD の最大 OD 交通量  $\bar{q}_{od}$  を全て  $od$  間の OD の超過 OD 交通量  $e_{od}$  とする。すなわち、

$$\{\mathbf{x}_a^{(1)}, \mathbf{e}_{od}^{(1)}\} = \{\mathbf{0}, \bar{\mathbf{q}}_{od}\}$$

とする。

### Step 1 初期実行解の設定

収束回数  $n=1$  として初期実行可能解となるリンク交

通量  $\{\mathbf{x}_a^{(n)}, \mathbf{e}_{od}^{(n)}\}$  を与える。

### Step 2 リンクコストの更新

$\{\mathbf{x}_a^{(n)}\}$  に対する所要時間  $\{t_a(\mathbf{x}_a^{(n)})\}$  を計算する。

### Step 3 降下方向の探索

最短経路探索によって各 OD の最短経路を求める。その最短経路に各 OD 間の全交通需要を負荷する All-or-Nothing 法により  $\{\mathbf{y}_a, \mathbf{0} (= \mathbf{e}_{od})\}$  を求める。

### Step 4' 一次元探索

以下の一次元最適化問題を解き、ステップサイズ  $\alpha$  とリンク交通量  $\{\mathbf{x}_a^{(n+1)}, \mathbf{e}_{od}^{(n+1)}\}$  を求める。

$$\begin{aligned} Z_p \{\mathbf{x}_a^{(n+1)}, \mathbf{e}_{od}^{(n+1)}\} \\ = Z_p \left[ \alpha \{\mathbf{y}_a, \mathbf{0}\} + (1-\alpha) \{\mathbf{x}_a^{(n)}, \mathbf{e}_{od}^{(n)}\} \right] \end{aligned} \quad (9)$$

subject to

$$0 \leq \alpha < \alpha_{\max} = \min_{x_a < y_a} \left\{ \frac{C_a - x_a^{(n)}}{y_a - x_a^{(n)}} \right\} \leq 1 \quad (10)$$

前節でも述べたが、最適解は複数ある。しかし、カットが発生すると解の更新は行われぬ。これは、カットはある OD が容量超過リンクを通らなくては通行できない状態であるため、あるリンクに容量超過の交通量を配分しようとした段階で、 $\alpha_{\max}$  が 0 または非常に小さい値で計算される。したがって、

$$\begin{aligned} Z_p \{\mathbf{x}_a^{(n+1)}, \mathbf{e}_{od}^{(n+1)}\} \\ = Z_p \left[ 0 \cdot \{\mathbf{y}_a, \mathbf{0}\} + (1-0) \{\mathbf{x}_a^{(n)}, \mathbf{e}_{od}^{(n)}\} \right] = Z_p \{\mathbf{x}_a^{(n)}, \mathbf{e}_{od}^{(n)}\} \end{aligned} \quad (11)$$

となる。すなわち、最適解を実現する交通流パターンは複数存在するが、カット断面は探索が可能であり、その断面のリンク交通容量を足し合わせることでカット容量を求めることができる。

### Step 5 収束判定

あらかじめ設定した  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  に対して、

$$(1) \sum_{a \in A} (\mathbf{x}_a^{(n+1)} - \mathbf{x}_a^{(n)}) \cdot t_a(\mathbf{x}_a^{(n)}) \leq \varepsilon_1 \quad (12)$$

$$(2) \max_a \left| \frac{\mathbf{x}_a^{(n+1)} - \mathbf{x}_a^{(n)}}{\mathbf{x}_a^{(n)}} \right| \leq \varepsilon_2 \quad (13)$$

(3)  $n > K$  ( $K$  は任意に与える) (14)  
 のいずれかを満足するならば、計算を終了する。そうでなければ  $n = n + 1$  とおいて Step 2 へ戻る。

### (3) 道路網容量の算出

本研究で用いる手法は、カットが発生すると、容量超過 OD 交通量は超過 OD 交通量  $e_{od}$  として計算される。そのため、目的関数が収束しなくなったとき、 $\bar{q}_{od}$  から  $e_{od}$  を差し引くことにより道路網容量を算出することができる。

本論文では、カット1が発生したら、そのカットを構成するリンクの容量を増強させ、カット2を探索する。そしてこれを繰り返すことにより、カット3以降も探索することができる。本研究では、カット3までについてまとめた。

## 4 . 分析結果

### (1) 分析データ

本研究では、札幌都市圏道路網を対象に感度分析に必要とされるカット探索を行なう。なお、計算時に必要となるデータは昭和 58 年に実施された第 2 回道央圏パーソントリップ調査の結果をもとに作成したデータである。このデータは、各小ゾーン(一部中ゾーン)1 個から数個のノードを選び出し、そのノードをセントロイドとして OD 交通を発生・集中させる。さらに、ゾーン間の OD 交通のセントロイド分担率から、各セントロイド間の OD 表を作成した(ここで作成した OD 交通量が本研究における  $\bar{q}_{od}$  である)。

対象道路網は、昭和 58 年度当時の札幌都市計画道路を中心とした主要な道路であり、アーク数 1,969 本(うち一方通行 48 本)、ノード数 644 個(うちセントロイド数 168 個)で構成されている。また、各アークのゼロフロー時所要時間、交通量などはパーソントリップ調査の結果をもとに設定した。

### (2) 計算結果

計算の結果、以下の3つのカットを探索した。

カット1, 2はJR函館本線と石山通沿いに発生しており、カット1は西から東へ移動する際に容量超過が発生しており、カット2はその逆である。また、カット3は都心部(JR札幌駅周辺)に流入してくる交通に対するものである(図1)。

本研究では、算定された道路網容量を規定する最小カット断面において、フロー特性(各OD交通の配分交通量)の面から配分手法が道路網容量算定に与える影響について考察する。ここで、フロー水準  $F_i$  は配分しようとする最大のOD交通量から超過交通量を差し引いた値である。また、 $C_a$  は探索されたカットを構成する容量超過リンクの道路容量の和(カット容量)であり、当該カットを通過しようとするOD構成比の和  $P_i$  は道路網容量  $C_a$  をフロー水準  $F_i$  で除して求められる。配分シミュレーション法に基づく道路網容量算定手法では道路網容量1,047,619台が求められており、これが札幌市における道路網容量と規定されている(カット1)<sup>5)</sup>。これらの結果を、均衡配分法及び配分シミュレーション法についてまとめたものが表1である。

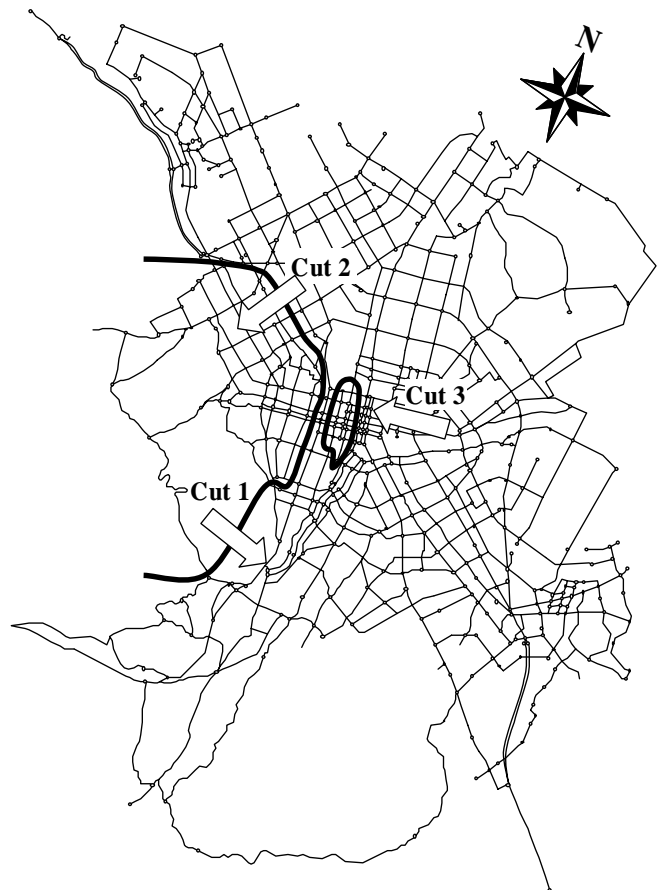


図1 対象道路網とカット断面

表1 均衡配分と分割配分による結果の比較

	均衡配分			配分シミュレーション法		
	$C_a$	$P_i$	$F_i$	$C_a$	$P_i$	$F_i$
Cut 1	132,000	0.112	1,105,077	132,000	0.126	1,047,619
Cut 2	132,000	0.113	1,193,626	132,000	0.108	1,137,931
Cut 3	230,400	0.180	1,281,715	320,500	0.168	1,218,631

## 参考文献

- 1) 梶谷有三 他:道路網感度分析のためのカット行列およびOD-カット行列の作成手法に関する研究, 土木学会論文集 No.494/ -24, pp43-52, 1994.
- 2) 内田賢悦 他:水災害時容量低下に基づく交通ネットワークの影響に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集第57号, pp768-769, 2001.
- 3) 赤松隆 他:利用者均衡条件下での交通ネットワーク最大容量問題, 土木計画学研究・論文集No. 12, pp719-729, 1995.
- 4) 土木学会:交通ネットワークの均衡分析 - 最新の理論と解法 -, 丸善, 1998.
- 5) 梶谷有三 他:カット探索手法の札幌都市圏道路網への適用, 第19回 交通工学研究発表会論文報告集, pp141-144, 1999.

均衡配分法でのフロー水準は、配分シミュレーション法のフロー水準より高い値になっていることが分かる。また、カット1, 2においては両手法とも同様の位置にカットが発生しているが、カット3は配分シミュレーション法ではより東部へ伸びた形状となっており、その規模が縮小している。

これらの原因は、配分シミュレーション法ではカット探索の際、リンク容量増強のため容量超過リンクを除去し、このため無理な迂回を強いることにより交通量が過大に配分されるなどの影響があるためと考えられる。従って、カット1, 2においては迂回した交通量が通過交通としてカット断面を通るため、道路網容量を過小に評価している。またカット3においては、配分シミュレーション法では均衡配分手法より本来のカット断面の手前から迂回が始まるため、その規模が拡大すると考えられる。そのため、カット容量が大きな値になっている。

また、従来から指摘される分割配分法の問題点である分割回数、比率等の計算結果に影響を与える的操作がないことから、均衡配分手法を用いることで、より厳密な道路網容量を求めることが伺える。

## 5. おわりに

以上本研究では、大規模道ネットワークとして札幌都市圏道路網を対象に、従来の研究より配分シミュレーション法を基礎として求めた道路網容量をガイドラインとして、利用者均衡配分法を用いた道路網容量の算定を行った。そこで、配分手法が道路網容量に及ぼす影響として最小カット断面におけるフロー水準と配分率の比較を行った。これにより、均衡配分法を用いた方が、従来の方法より精度の高い道路網容量が求められることが確認された。

今後は、本研究のアルゴリズムを基礎に、よりフロー水準の小さいカットの対策についても考察を試みて行く。また、探索されたカットを基に土地利用パターンと道路網の整合性あるいは各種道路交通問題などについても道路網容量の面から考察して行く。

この研究を進めるにあたり、北海道大学 内田賢悦先生には討議を通じた有益なアドバイスを頂いた。ここに名を記し、感謝の意を表します。