

# 単純化ネットワークを用いた交通量配分手法に関する研究\*

## A Study of The Traffic Assignment Method with Simplified Network\*

林裕真\*\*・吉井稔雄\*\*\*・北村隆一\*\*\*\*

By Hiromasa HAYASHI\*\*・Toshio YOSHII\*\*\*・Ryuichi KITAMURA\*\*\*\*

### 1. はじめに

新規道路の建設効果や交通施策実施のインパクト評価など多くの場面に交通量配分が用いられている。この交通量配分を実行する際には、「細街路」を考慮せず、ほとんどの場合に主要な道路（以下「幹線道路」）のみから構成されるネットワークが用いられている。しかしながら、入力値となる OD 交通量が全ての道路を通行する交通を対象としたものであることから、上述のネットワークとともに用いることによる不整合が生じている。この不整合が黙認されてきた理由は、現在の配分手法が確立された際の貧弱な計算機能力と、細街路における交通モニタリング能力の欠如にあったと推察される。しかし計算機の能力が飛躍的に向上し、加えて細街路内での交通状況を観測可能とするプローブカーを用いた新たな交通モニタリング手法が整備されてきた現状において、これらの問題点を解消することは可能であり、新しい配分手法を確立することが求められている。

一方、細街路も含めた全ての道路を対象としたネットワーク上で交通量配分を実施する場合、設定するパラメータ数が膨大となることによるネットワーク作成の煩雑化や、計算負荷の増大などの問題が生じると考えられ、実用的な道路ネットワークとして簡略化された道路ネットワークを作成することも引き続き必要と考えられる。

このような状況の下、中村ら<sup>1)</sup>により「単純化ネットワーク」の概念が提案された。単純化ネットワークでは、幹線道路を表現する「幹線リンク」と、細街路で構成される複数の経路を代表する「集約リ

ンク」によって道路網が表現される。ここで提案された単純化道路ネットワークは、単純化されているにもかかわらず全ての道路に相当していることから、前述した不整合の問題ならびにリンク数が膨大になるという問題をともに解消する実用的な道路ネットワークであると言えよう。

そこで、本研究では、この単純化ネットワークを活用し、限られた狭い範囲の道路ネットワーク内における経路選択行動が交通状況に影響されないという前提の下で、OD 交通と道路ネットワークの整合性を確保する新しい交通量配分手法を確立する。

### 2. 単純化ネットワーク

単純化ネットワークは、幹線リンクによるネットワークを基本に、幹線道路に囲まれたエリア（以下「細街路エリア」）内において各幹線道路間を繋ぐ集約リンクとから構成される。ただし、集約リンクは細街路エリア内で隣接する幹線道路間を繋ぐ「隅切り型集約リンク」と、細街路エリア内で隣接しない幹線道路間を繋ぐ「横断型集約リンク」の 2 種類に分類される。

図 1 に四方を幹線道路で囲まれた一つの細街路エリアから構成される単純化ネットワークの例を示す。この例に示される細街路エリアは、16 本の幹線リンクと 16 本の集約リンクから構成される。ただし、便宜上リンクコストが零であるダミーリンクを挿入する。また、具体的な例として図 2 には上辺の幹線道路から左辺の幹線道路に至る集約リンクが代表する細街路エリア内の経路を示す。なお、図 1 中ではリンク A が上辺から左辺に至る集約リンクを示している。ここで、経路を列挙する際には、起点から各ノードまでの最短距離を判断基準に、起点に近づくようなノード間の移動が含まれる経路を不合理な経路とみなし、これらを排除するものとする。

\* キーワーズ：単純化ネットワーク，交通量配分

\*\* 株式会社アサツーディ・ケイ

\*\*\* 正員，博士（工学），京都大学大学院工学研究科

\*\*\*\* Ph.D.，京都大学大学院工学研究科

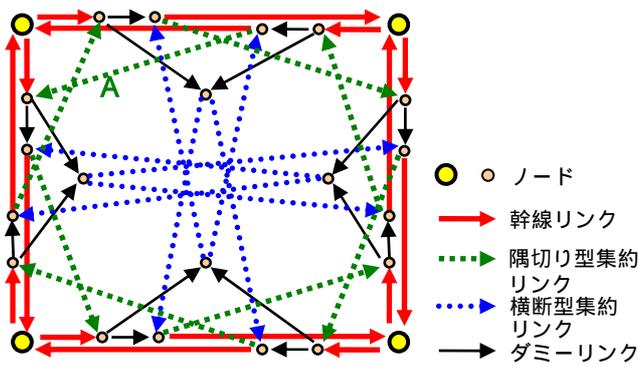


図1 単純化ネットワーク (単一エリア)

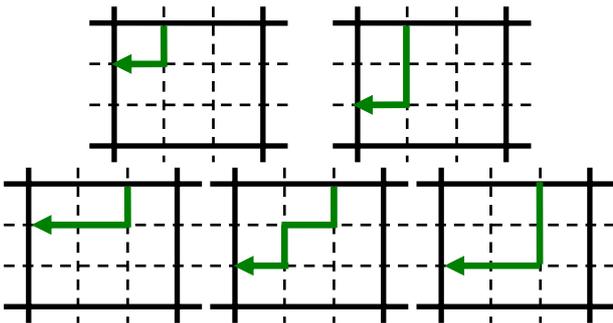


図2 集約リンクに対応する複数の経路例

### 3. 経路選択モデル

本研究が提案する配分手法においては、「幹線道路と細街路の選択比率は幹線道路の交通量によらず一定である」との知見<sup>2)</sup>に基づいて、「細街路エリア内の道路ネットワークにおける経路選択行動は交通状況に影響されない」との仮定を置き、具体的には「細街路エリア内で同一起終点をもつ経路の認知旅行時間は皆等しい」として配分を実行する。また、確率的利用者均衡配分を適用し、各経路の選択確率の決定にはロジットモデルを採用する。各経路の効用確定項については、経路の認知旅行時間と、道路形状などの静的な条件で説明される効用値(以下「経路ポテンシャル」)から決定されるものとして、次式にて表現する。

$$V_j = -\theta \cdot T_j + S_j \quad (1)$$

- $V_j$  : 経路  $j$  の効用確定項
- $T_j$  : 経路  $j$  の認知旅行時間
- $S_j$  : 経路  $j$  の経路ポテンシャル
- $\theta$  : パラメータ

このとき、複数の経路を代表する概念上の経路

$J$  を考える時、選択可能な経路集合 から経路  $J$  に含まれる経路を選択する確率は、

$$P_j = \frac{\sum_{j \in J} \exp(V_j)}{\sum_{k \in \Omega} \exp(V_k)} = \frac{\exp\left\{\ln\left(\sum_{j \in J} \exp(V_j)\right)\right\}}{\sum_{k \in \Omega} \exp(V_k)} \quad (2)$$

と表される。よって、概念上の経路  $J$  の効用確定項を、

$$V_J = \ln\left(\sum_{j \in J} \exp(V_j)\right) \quad (3)$$

と定義することで、概念上の経路  $J$  の選択確率が複数の経路の選択確率の和に等しくなり、複数の経路をそれと同値な経路  $J$  で置き換えることができる。さらに、上記仮定の下では、効用確定項を以下の式で定義することで、細街路エリア内で同一起終点を持つ複数の経路を概念上の経路  $K$  で置き換えることができる。

$$\begin{aligned} V_K &= \ln\left(\sum_{j \in K} \exp(V_j)\right) \\ &= \ln\left(\sum_{j \in K} \exp(-\theta \cdot T_{AB} + S_j)\right) \\ &= -\theta \cdot T_{AB} + \ln\left(\sum_{j \in K} \exp(S_j)\right) \end{aligned} \quad (4)$$

$T_{AB}$  : エリア内の起終点  $AB$  間の認知旅行時間

### 4. 配分に使用するリンクコスト

本配分手法においては、経路効用確定項に含まれる経路ポテンシャルを文献<sup>1)</sup>に示した方法で定義する。この方法では、各リンクで独立に算定可能な形で経路ポテンシャルが定義されており、リンクコストを式(1)と同様の形に定義することで、経路を構成する全リンクのリンクコストの和を以て経路の効用確定項の算定が可能となる。

#### 4.1. 幹線リンクの認知旅行時間

幹線リンクの認知旅行時間は、一般的な静的均衡配分と同様に、旅行時間関数を用いて式(5)にて定義する。

$$T_a = t_a(x_a) \quad (5)$$

$T_a$  : リンク  $a$  の認知旅行時間  
 $t_a()$  : リンク  $a$  の旅行時間関数  
 $x_a$  : リンク  $a$  のリンク交通量

#### 4.2. 集約リンクのリンクコスト

##### (1) 対応幹線経路

対応幹線経路とは、ある集約リンクに注目した際に、その集約リンクを含む細街路エリア内の経路に対応する経路であり、同一の起終点を持つ幹線リンク上の経路を指す。ただし、距離的に起点から遠ざかる合理的な経路のみを対象とし、幹線リンク上の経路の中で集約リンクの起終点をつなぐ最短の経路とする。具体的な例として、隅切り型集約リンクの対応幹線経路を図3左図に示す。一方の横断型集約リンクでは、幹線リンクからなる経路(図3右中BADEF)が集約リンク(図3右中BF)のリンク長に比して大きくなることもある。この場合には、幹線リンク側経路の終端リンク(図3右中EF)から順に、両経路の距離差が最も小さくなるまで、集約リンク側にリンクの移し替えを行った後に対応幹線経路を決定する。図3右の例では経路BADEが経路BFEに対応する対応幹線経路となる。

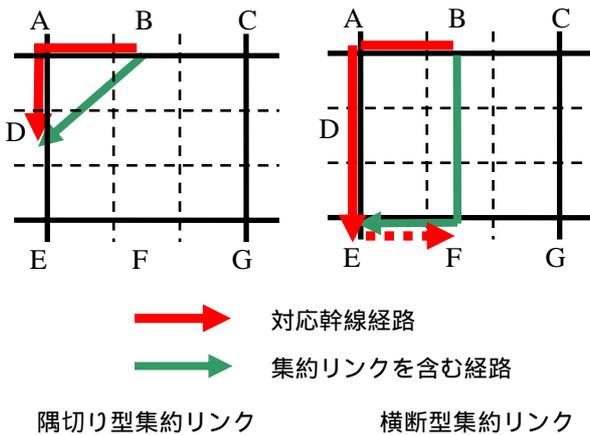


図3 対応幹線経路の例

##### (2) 集約リンクのリンクコスト

前述の仮定下では、集約リンクを含む経路と対応幹線経路の認知旅行時間は等しくなるので、集約リンク  $s$  の認知旅行時間を対応幹線経路との比較から式(6)に基づいて設定する。

$$T_S + \sum_{k \in B} T_k = \sum_{k \in A} T_k \quad (6)$$

$A$  : 対応幹線経路に含まれるリンクの集合  
 $B$  : 集約リンクを含む経路に含まれる幹線リンクの集合

すなわち、集約リンクの認知旅行時間を

$$T_S = \sum_{k \in A} T_k - \sum_{k \in B} T_k \quad (7)$$

で算定する。

ここで得られた認知旅行時間を用い、式(4)を用いてリンクコストを算定する。式(4)においては、右辺第1項が認知旅行時間に関する項、第2項が経路ポテンシャルに相当するので、以下の式にて集約リンクのリンクコストを設定する。

$$V_S = -\theta \cdot T_S + \ln \left( \sum_{j \in \Sigma} \exp(S_j) \right) \quad (8)$$

$\Sigma$  : 集約リンクが代表する経路の集合

このように集約リンクのリンクコストを設定した場合、集約リンクを含む経路と対応幹線経路との経路選択比率は、式(9)に示すように経路ポテンシャルのみで表現される。すなわち、経路ポテンシャルは交通状況によって変化することのない定数であるから、集約リンクを含む経路と対応幹線経路の選択比率は一定に保たれることになる。

$$\begin{aligned}
 & \frac{\exp \left[ -\theta \left( \sum_{k \in A} T_k - \sum_{k \in B} T_k \right) + S_S + \sum_{k \in B} (-\theta \cdot T_k + S_k) \right]}{\exp \left[ \sum_{k \in A} (-\theta \cdot T_k + S_k) \right]} \\
 &= \frac{\exp \left[ -\theta \cdot \sum_{k \in A} T_k + S_S + \sum_{k \in B} (S_k) \right]}{\exp \left[ \sum_{k \in A} (-\theta \cdot T_k + S_k) \right]} = \frac{\exp \left[ S_S + \sum_{k \in B} (S_k) \right]}{\exp \left[ \sum_{k \in A} (S_k) \right]}
 \end{aligned} \quad (9)$$

## 5. 交通量配分問題の解法

### 5.1. 特徴

前節までに定義した単純化ネットワーク上での交通量配分問題を考える場合、問題の特徴として以下の2点が挙げられる。

リンクを集約する過程においてロジット型モデルを前提としていることから、配分問題は確率的利用者均衡を求める問題となる。

式(7)に示すように、集約リンクの認知旅行時間が幹線リンクの認知旅行時間から算定される。すなわち、集約リンクのリンクコストが他リンクの状態量に依存していることから、リンク間の相互干渉を考慮した形での配分問題となる。

## 5.2. 緩和法

5.1 に挙げた特徴をもつ確率的利用者均衡配分問題の具体的解法として、本研究では緩和法<sup>3)</sup>を用いる。

この方法によるアルゴリズムは、リンクコスト関数ベクトル  $\mathbf{c}(\mathbf{x})$  の非対称な相互干渉のある部分を固定して、“緩和された問題”を解くことを繰り返すというアルゴリズムである。

今、 $m-1$  回目の繰り返し計算の結果として得られるリンク交通量パターン  $\mathbf{x}^{(m)}$  が既知であるとき、 $m$  回目の繰り返し計算において、集約リンクのリンクコストを以下に示す関数で近似的に他のリンクに影響されない関数に置き換え最適化問題を解く。

$$\hat{c}_a(\mathbf{x}, \mathbf{x}^{(m)}) = c_a(x_1^{(m)}, \dots, x_{a-1}^{(m)}, x_a, x_{a+1}, \dots, x_L^{(m)}) \quad (10)$$

$\hat{c}_a(\cdot)$  : 集約リンク  $a$  の近似リンクコスト関数  
 $x_a^{(m)}$  : リンク  $a$  の  $m-1$  回目繰り返し計算におけるリンク交通量

この計算を繰り返して実行し、緩和問題の解  $\mathbf{x}^*$  が  $\mathbf{x}^{(m)}$  と一致するとき、つまり解が収束するとき、 $\mathbf{x}^*$  は元の配分問題の解となる。

## 5.3. 計算アルゴリズム

図4に計算アルゴリズムのフローを示す。

この緩和法の収束条件は非常に曖昧かつ厳しい条件であり<sup>4)</sup>実際に検証が困難なものである。しかしながら、この緩和法は現実によく利用され、収束条件を満たしていなくても収束する例も多々存在している。また、仮想ネットワーク上での配分計算を行った結果、概ね数回の繰り返し計算で収束するという結果を得ている。この結果については発表会にて報告する。

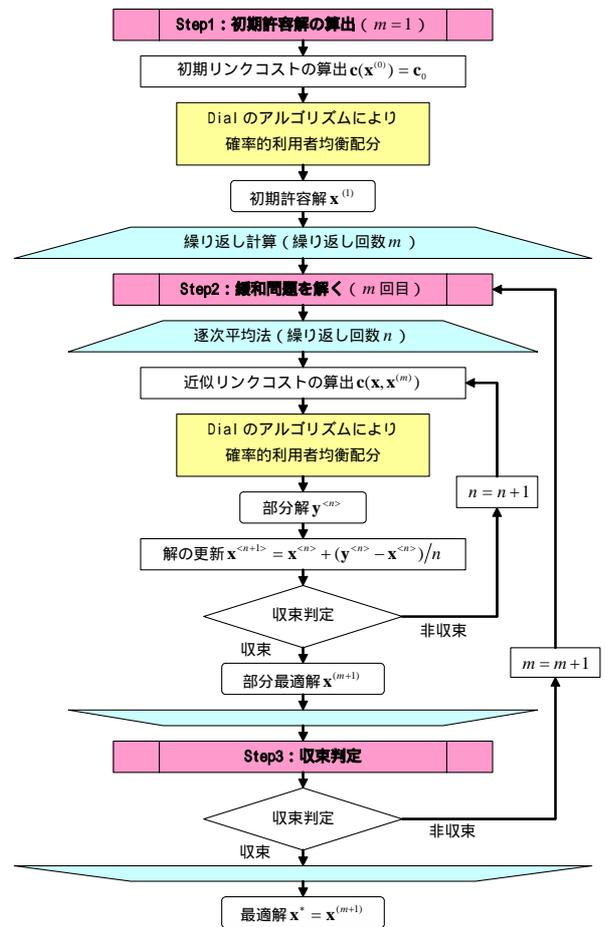


図4 計算アルゴリズム

## 6. おわりに

本研究では、細街路も含めた全ての道路に相当する単純化ネットワークを用いた交通量配分手法の提案を行った。

提案した方法を用いることにより、入力 OD 交通量と配分ネットワークの整合性が確保されるとともに、細街路を対象に実施される各種交通施策の評価を広域道路ネットワークへの影響を考慮した形で実施することが可能となる。

今後は、実際のデータを用いた再現性の検証を行うとともに、動的ネットワークシミュレーションモデルを用いた動的配分手法を確立する予定である。

### 参考文献

- 1) 中村俊之, 吉井稔雄, 北村隆一: 全ての道路リンクに相当する単純化ネットワーク作成手法の構築, 第32回土木計画学研究講演集, CD-ROM, 2005.12
- 2) 北村清洲, 吉井稔雄, 山本俊行, 森川高行: 交通シミュレーションに用いる車両移動モデルの構築に向けた細街路エリア内の車両挙動観測調査, 土木計画学研究・講演集 Vol.27, 2003.
- 3) 土木学会: 交通ネットワークの均衡分析, 丸善, 1998.
- 4) Dafermos, S.C.: An Iterative Scheme for Variational Inequalities, Mathematical Programming 26, pp.40-47, 1983.