

Dial アルゴリズムを適用した感度分析を用いた交通量配分と料金設定

金沢大学	理工学域環境デザイン学類	学生会員	○小泉奏子
金沢大学	理工研究域環境デザイン学系	正会員	中山晶一郎
金沢大学	理工研究域環境デザイン学系	フェロー	高山純一
金沢大学	理工研究域環境デザイン学系	正会員	藤生慎

1. はじめに

高速道路は様々な主体によって運営されているが、その料金体系は「対距離料金制」と「均一料金制」の二種類に分類される。近年では、ETCの普及により料金所における通過車両処理の高速化や利用距離の把握が可能になったこと、ネットワークの拡大に伴って同一料金での利用距離のばらつきの拡大が顕在してきたことを受けて、首都高速道路と今回研究対象としている阪神高速道路は平成 24 年に「対距離料金制」へと料金体系を移行した。そこで、利用者の不公平感を可能な限り払拭するために、最適な料金を設定する必要がある。

最適な料金を考えるうえで、ネットワークの交通量を配分することは必要不可欠である。阪神地域はネットワークが膨大であり、その配分を多数行うには膨大な計算を要する。そのため、配分結果の精度を確保しつつ、計算量を減らすための手法の一つである、感度分析を用いたネットワークの集約化を用いて配分計算を行う。

Connors¹⁾は感度分析を用いたネットワークの集約化を提案した。有料道路または、公共交通と一般道路を含むネットワークにおいて、一般道路を一本の仮想リンクに集約することで、計算時間を短縮することができる。

岡本ら²⁾は感度分析を用いたネットワークの集約方法を提案するとともに、高速道路へのアクセスに一般道路を利用する場合においても適用可能なネットワーク集約化手法を構築した。さらに、簡略化を施した感度分析により配分計算の軽量化を行った。

廣瀬ら³⁾は簡略化を施した感度分析を用いた経路集約化法提案し、構築した簡略手法を現実のネ

ットワークである京阪神高速道路ネットワークに適用し、その有用性を示した。

感度分析では経路選択確率の微分の計算を行うが、ネットワークの規模が膨大になると計算機容量の関係で微分の計算が行えないという問題点が挙げられる。そのため、本研究では Dial のアルゴリズムを適用して配分計算を行っていく。そして、阪神高速道路のネットワークで繰り返し配分計算を行い、利用者の負担に配慮しつつ債務償還が確実になされるような最適な料金を決定することを最終的な目的とする。

2. 本研究で用いる計算理論

(1) 感度分析の定式化

感度分析は、モデルや式内の変数が変化した場合、アウトプットにどの程度影響を与えるのかを調べる手法である。本研究では確率的利用者均衡 (SUE) 配分をベースに、複数の一般道路のみを利用する経路を一つの経路に集約し高速経路交通量の関数として定式化する。これにより、需要を変動させた際の一般経路の交通量を線型的に近似することができ、大幅な計算時間の短縮が期待できる。

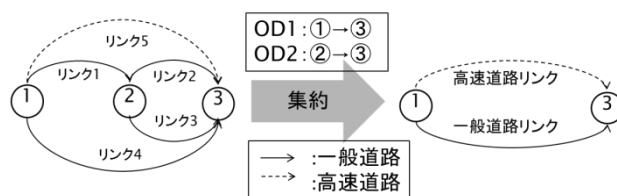


図1 単純仮想ネットワーク図と集約例

図1のネットワークを対象として感度分析を用いてリンク交通量の計算を行った。経路 11 はリンク 1 と 3、経路 12 はリンク 1 と 4、経路 13 は

リンク 5, 経路 14 はリンク 2, 経路 21 はリンク 3, 経路 22 はリンク 4 で構成される. 集約例のように一般道路ネットワークを集約し高速道路リンクと一般道路リンクの 2 本と考える. OD1, OD2 共に需要を 100 台とし以下の式(1)により集約したリンク交通量を計算した.

$$\mathbf{x}(\mathbf{q} + \mathbf{s}) = \mathbf{x}(\mathbf{q}) + \mathbf{A} \cdot \mathbf{\Gamma}^T \cdot \mathbf{s} \quad (1)$$

$\mathbf{x}$: リンク交通量ベクトル

$\mathbf{s}$: 需要変動パラメータベクトル

$\mathbf{A}$: コンスタントマトリックス

$\mathbf{q}$: 需要変動パラメータの関数の需要行列

$\mathbf{\Gamma}^T$: OD-経路変換行列の転置行列

$$\mathbf{A} = (\mathbf{I} - \Delta \cdot \mathbf{q}(\mathbf{s}) \cdot \nabla_{\mathbf{c}} \mathbf{P} \cdot \Delta^T \cdot \nabla_{\mathbf{x}} \mathbf{t})^{-1} \cdot \Delta \cdot \mathbf{P} \quad (2)$$

$\mathbf{I}$: 単位行列

Δ : パス-リンクインシデンスマトリックス

$\nabla_{\mathbf{c}} \mathbf{P}$: 経路選択確率 $\mathbf{P}$ を経路旅行時間 $\mathbf{c}$ で微分した行列

$\nabla_{\mathbf{x}} \mathbf{t}$: リンク旅行時間 $\mathbf{t}$ をリンク交通量 $\mathbf{x}$ で微分した行列

リンク 1 を例に見てみると, 需要 $\mathbf{s}$ を 0 から 500 台まで増やすと図 2 のようなグラフになっており, 感度分析(SA)を用いた場合と SUE 配分をした場合とでは差が小さいため, 配分精度は高く, 感度分析を用いて集約化を行い配分計算をすることに問題はないと考えられる.

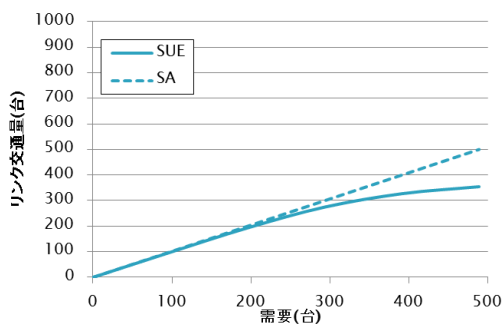


図 2 リンク 1 の交通量 x_1

(2) Dial のアルゴリズム

通常の定式化された確率配分モデルは経路変数を用いて表現されているため, 経路を列挙しなければならない. しかし, 大規模交通ネットワークでは経路数が膨大であるため, それらを列挙す

ることは不可能である. そこで, SUE 配分の解法として, Dial は経路の列挙プロセスを用いないロジット関数を用いた有効な方法を示した.

このアルゴリズムにおいて OD ペア rs 間の k 番目の交通量が $r \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow \dots \rightarrow Y \rightarrow Z \rightarrow s$ であるとき, この経路が選択される確率 P_k は各ノード i から流出するリンクのリンクウェイト $W[i \rightarrow j]$ を用いることで以下の式(3)で与えられる.

$$P_k = \frac{W[Z \rightarrow s]}{\sum_m W[m \rightarrow Z]} \frac{W[Y \rightarrow Z]}{\sum_m W[m \rightarrow Y]} \dots \frac{W[r \rightarrow A]}{\sum_m W[m \rightarrow A]} \quad (3)$$

$$W[Z \rightarrow s] = L[i \rightarrow j] \sum_{m \in I_j} [m \rightarrow i] \quad (4)$$

I_i : ノード i に流出するリンクの始点集合

ここで, 式(4)よりリンク尤度を用いることで経路選択枝集合を作ることなく確率的配分計算を行うことが可能である.

3. おわりに

本研究では, 感度分析の妥当性の検討を行い優位な結果が得られた. 今後は, 感度分析の式(2)の計算に Dial のアルゴリズムを適用する. 経路ベースで微分計算が行われていたところを, リンクベースにし小規模ネットワークで計算をしていく. その結果については講演時に発表する.

参考文献

- 1) Connors, R. D : Aggregation Of Traffic Networks Using Sensitivity Analysis , UTSG, January 2008, 2A1.1 - 2A1.11
- 2) 岡本裕也, 感度分析を用いたネットワーク集約に関する研究, 平成 21 年度学士学位論文
- 3) 廣瀬健, 感度分析による経路集約化法を用いた高速道路の最適な料金施策: 阪神高速道路を例に, 平成 25 年学士学位論文
- 4) 社団法人土木学会: 交通ネットワークの均衡分析 - 最新の理論と解法 -, 土木学会, 1998