

感度分析による経路集約化法を用いた確率的利用者均衡配分の効率化

金沢大学大学院 自然科学研究科 学生員 ○ 岡本 裕也
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

1. はじめに

広域を対象とした大規模道路ネットワーク(複数の県をまたぐネットワーク)の交通量配分を行うには、膨大な計算機容量と計算時間を要し、データ入力、結果表示のための作業量も膨大なものとなる。配分結果の精度を確保しつつ、計算費用を減らすための手法の一つに、ネットワークの集約化がある。

ネットワーク集約化の目的は、実際のネットワークよりも規模(リンク、ノード数)の小さい計算用のネットワークを合理的に作成することにあると考えられる。最も簡単な方法として、主要なリンク(幹線道路)のみを抽出し、他のリンクを削除する方法が挙げられるが、不要なリンクを削除しているため、計算費用の節約には寄与しても、配分結果に対する精度が保証されず、交通計画の基本データとしての利用価値が減ずることになる。

これに対し、Connors¹⁾の提案する感度分析を用いたネットワークの集約化は、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。しかし、Connorsの理論では高速道路へのアクセスに一般道路を利用する場合に適用できないことが問題点として挙げられる。

そこで、本研究では、感度分析を用いたネットワーク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する。そして、その手法を大規模ネットワークに適用し、感度分析を用いたネットワーク集約化の妥当性を検討する。

2. 確率的利用者均衡配分の定式化

(1) 経路交通量

本研究では実用的に利用可能なロジットモデルによる経路選択確率を仮定する。各道路利用者はロジットモデルに従い、経路選択確率を決定していると仮定す

ると経路交通量は次式で与えられる。

$$\mathbf{f} = \mathbf{Q} \cdot \mathbf{P} \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{f}$ は経路交通量ベクトル、 $\mathbf{Q}$ はOD交通量を対角成分に持つ対角行列、 $\mathbf{P}$ は一般道路の経路選択確率ベクトルである。

(2) リンク交通量

リンク交通量は経路交通量(式(1))を用いて、以下のようを与える。

$$\mathbf{x} = \Delta \cdot \mathbf{f} \quad (2)$$

ここで、 $\mathbf{x}$ はリンク交通量ベクトル、 Δ はリンク・経路接続行列である。

3. 感度分析の定式化

(1) 感度分析の概要

感度分析は、分析したいアウトプットをいくつかの変数(パラメータ)に分解し、その変数が変動した時、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、本研究では、確率的利用者均衡配分をベースに、一般道路のみを利用する経路交通量をアウトプットとし、高速道路の経路交通量を変動させたときの一般経路交通量の影響を把握する。

(2) 定式化

まず、経路を一般道路の経路と高速道路の経路に分離し、リンク交通量を以下のように与える。

$$\mathbf{x} = \Delta^h \mathbf{h} + \Delta^g \mathbf{g} \quad (3)$$

ここで、 $\mathbf{x}$ はリンク交通量ベクトル、 $\mathbf{h}$ は高速道路の経路交通量ベクトル、 Δ^h は高速道路のリンク・経路接続行列、 $\mathbf{g}$ は一般道路の経路交通量ベクトル、 Δ^g は一般道路のリンク・経路接続行列である。

上式の一般道路の経路交通量 $\mathbf{g}$ に関しては、以下のようを与える。

$$\mathbf{g} = (\mathbf{Q} - \mathbf{H}) \cdot \mathbf{P}_g \quad (4)$$

ここで、 $\mathbf{g}$ は一般道路の経路交通量ベクトル、 $\mathbf{Q}$ はOD交通量の行列、 $\mathbf{H}$ は高速道路の総経路交通量の行

列, $\mathbf{P}_g$ は一般道路の経路選択確率ベクトルである.

上式の両辺の差(ギャップ関数)をとり, 1 次のテーラー展開を施すと一般道路の経路交通量 $\mathbf{g}$ は, 高速道路の経路交通量 $\mathbf{h}$ の関数として, 以下のように与えられる. ここで, 高速道路の経路交通量の摂動を $\mathbf{h}_s$ とすると, 高速経路交通量 $\mathbf{h}$ は, $\mathbf{h} = \mathbf{h}_0 + \mathbf{h}_s$ と表される. なお, $\mathbf{h}_0$ は高速経路交通量初期値である.

$$\mathbf{g}(\mathbf{h}) = \mathbf{g}(\mathbf{h}_0) - \mathbf{G} \cdot (\mathbf{h} - \mathbf{h}_0) \quad (5)$$

上式の勾配行列 $\mathbf{G}$ に関しては以下のように与える.

$$\mathbf{G} = \left(\mathbf{I} - (\mathbf{Q} - \mathbf{H}) \cdot \nabla_{\mathbf{c}} \mathbf{P} \cdot \Delta^g \cdot \nabla_{\mathbf{x}} \mathbf{t} \cdot \Delta^g \right)^{-1} \cdot \left\{ \nabla_{\mathbf{h}} \mathbf{H} \cdot \mathbf{P} - (\mathbf{Q} - \mathbf{H}) \cdot \nabla_{\mathbf{c}} \mathbf{P} \cdot \Delta^h \cdot \nabla_{\mathbf{x}} \mathbf{t} \cdot \Delta^h \right\} \quad (6)$$

式(3)~(6)をまとめると, リンク交通量 $\mathbf{x}$ は高速経路交通量 $\mathbf{h}$ の関数として, 以下のように与えられる.

$$\mathbf{x}(\mathbf{h}) = \mathbf{x}(\mathbf{h}_0) + \Delta^h \mathbf{h} - \Delta^g \cdot \mathbf{G} \cdot (\mathbf{h} - \mathbf{h}_0) \quad (7)$$

また, 集約した経路の経路旅行時間は, 以下に示す期待最小コストを用いることとする.

$$\mathbf{S} = -\frac{1}{\theta} \ln \sum_{n \in N_{rs}} \exp(-\theta \mathbf{c}_g(\mathbf{x}(\mathbf{h}))) \quad (8)$$

ここで, $\mathbf{c}_g$ は一般道路の経路コストであり, θ はロジットモデルのパラメータである.

4. 金沢市道路ネットワークへの適用

プログラムの対象ネットワークは図 1 に示す金沢市道路ネットワークを対象とする. 図の青線が国道 8 号線, 橙線が国道 157 号線を示す. 青線を高速道路と仮定し, この道路に対距離料金体系を導入することを考える. ノード数 140, リンク数 472, 経路数 6989 である. OD 交通量については平成 7 年度・第 3 回金沢都市圏パーソントリップ調査における朝の 7 時台のデータを用いる. BPR 関数のパラメータについて, $\alpha=0.15$, $\beta=4.0$, 時間価値(料金時間換算パラメータ) $\xi = 50$ 円/分とする.

感度分析を用いた交通量配分の結果を表 1 に示す. なお, 対象とする料金体系を図 2 に示す.

表 1 より, SUE(確率的利用者均衡配分)と SA(感度分析を用いた交通量配分)を比較した結果, 精度が確保できていることに加え, 計算時間を短縮することができた. 以上より, 本研究で用いた手法の有意性を確認することができた.



図 1 対象ネットワーク

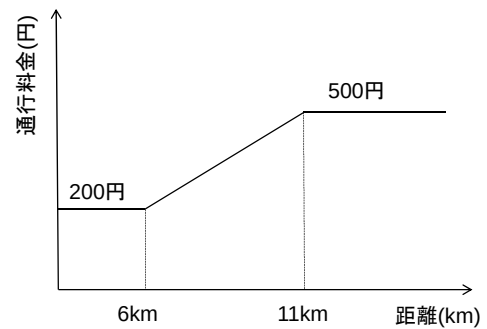


図 2 対距離料金体系(総走行時間最小時)

表 1 対象ネットワークにおける計算結果の比較

	SUE	SA
初期値の計算時間(s)	-	4806.19
配分計算時間(s)	45.38	21.94
計算回数(回)	51365	3829
RMSE(台)	-	4.51
%RMS	-	0.005
総走行時間(分)	682490.21	682190.11

5. まとめ

本研究では, 感度分析を用いた交通量配分の妥当性の検討を行い, 有意な結果が得られた. 今後このプログラムを京阪神道路ネットワークに適用し, 有意性を検討する. その結果については講演時に発表する.

参考文献

- Connors, R.D : Aggregation Of Traffic Networks Using Sensitivity Analysis , UTSG, January 2008, 2A1.1 - 2A1.11
- 岡本裕也, 中山晶一郎, 高山純一: 感度分析による経路集約化法を用いた確率的利用者均衡配分の効率的計算, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.67, No.5(土木計画学研究・論文集第 28 巻), 2011.12.