感度分析を用いたネットワーク集約化による交通量配分の効率化

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　中山晶一朗
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，Connors[1] 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．

$$\mathbf{f} = \mathbf{Q} \cdot \mathbf{P} \tag{1}$$

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，以下のように与える．

$$\mathbf{x} = \Delta \cdot \mathbf{f} \tag{2}$$

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．

$$\mathbf{x} = \Delta^h \mathbf{h} + \Delta^g \mathbf{g} \tag{3}$$

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

ように与える．

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

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．

上式のギャップ関数に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は，もっとも簡単な形$(\mathbf{h}=\mathbf{h}_0+\mathbf{h}_s)$とする．

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

上式の勾配行列 G に関しては以下のように与える．

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

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．

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

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．

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

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．仮想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以下の図を対象とする．図の実線が一般道路，太線が高速道路を示し，ノード数3，リンク数5，リンクパラメータは図中の[自由旅行時間(分)，交通容量(台)]である．また，ODペア(OD交通量)については，1→2(2000台)，1→3(1000台)，2→3(2000台)を設定する．

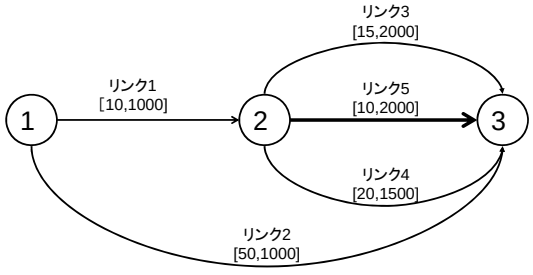

図1　対象ネットワーク

BPR関数のパラメータについて，α=1.0，β=2.0，時間価値(料金時間換算パラメータ)ξ =50 円/分とする．感度分析を用いて計算したリンク交通量式を用いて，対象ネットワークを料金0～1500円の間で再計算し，感度分析を用いて交通量配分した結果と確率的利用者均衡配分で配分した結果を比較する．

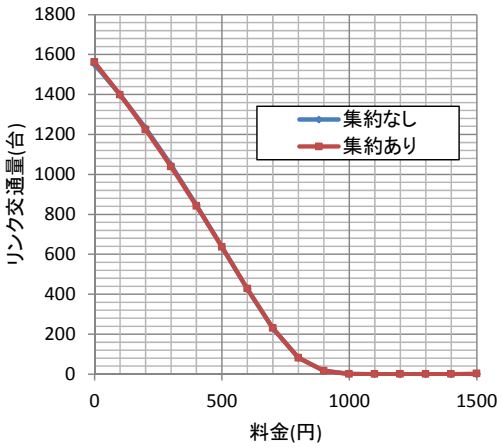

図2　リンク5の交通量の比較

表1　対象ネットワークにおける計算結果の比較

	平均計算時間(秒)	平均計算回数(回)
集約なし	3.013	1900001
集約あり	0.063	59364.5

図2，表1より，確率的利用者均衡配分(集約なし)と感度分析を用いた交通量配分(集約あり)を比較した結果，精度が確保できていることに加え，計算時間の短縮も可能となり，本研究で用いた手法の有意性を確認することができた．

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実ネットワーク(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

1) Connors,R.D：Aggregation Of Traffic Networks Using Sensitivity Analysis，UTSG, January 2008, 2A1.1－2A1.11