

感度分析を用いたネットワーク集約に関する研究

金沢大学工学部土木建設工学科	非会員	○ 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
株式会社 都市交通計画研究所	正会員	岡本 篤樹

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には、計算の効率化とネットワーク表示の工夫が必要となる。

これまで、計算の効率化についての研究は多くなされているが、ネットワークの簡略化、集約化についての研究は、それほど多くはないように感じられる。しかし、前者については、ある程度の大きさのネットワークまでは効率的に計算を行うことができるが大規模ネットワークでは計算機が限界に達し、計算できない可能性がある。それに対し、ネットワークの集約化では、ネットワークそのものを縮小させるため、配分にかかる計算費用を大幅に短縮できると考えられる。そこで、本研究では、ネットワーク集約化の観点から計算費用の短縮を図る。

ネットワーク集約化の目的として、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。

本研究では、前述の感度分析を用いたネットワーク集約方法を大規模ネットワークに適用し感度分析を用いた集約化の妥当性を検証する。

2. 確率的利用者均衡配分の定式化

(1) リンクパフォーマンス関数

本研究では、リンク旅行時間の計算式として式(1)で与えられるBPR関数を用いることにする。式(1)は通常のBPR関数に有料道路を考慮し、料金項を付加したものである。ただし、一般道路では通行料金 ξ_a は0で設定する。

$$t_a(x_a) = t_{a0} \cdot \left\{ 1 + \alpha \cdot \left(\frac{x_a}{c_a} \right)^\beta \right\} + \frac{\xi_a}{\omega} \quad (1)$$

ここで、 $t_a(x_a)$:リンク a の旅行時間、 t_{a0} :リンク a の自由旅行時間($x_a=0$)、 c_a :リンク a の交通容量、 α, β :BPR関数のパラメータ、 ξ_a :リンク a の通行料金、 ω :時間評価値である。

(2) 経路選択確率

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。各道路利用者は次式のロジットモデルに従い、経路選択確率 p_k^r を決定していると仮定する。

$$p_k^r = \frac{\exp(-\theta c_k^r)}{\sum_k \exp(-\theta c_k^r)} \quad (2)$$

ここで、 p_k^r :OD(r)に対する経路(k)の経路選択確率、 c_k^r :OD(r)に対する経路(k)の経路旅行時間、 θ :ロジットモデルのパラメータ(分散パラメータ)である。

3. 感度分析の定式化

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, Connors¹⁾の提案する感度分析は, 確率的利用者均衡配分をベースに, リンク交通量をアウトプットとし, 需要を変動させリンク交通量を線形近似式で表すことで配分にかかる計算時間を短縮することを提案している. リンク交通量は式(3)として表される.

$$\mathbf{x}(\mathbf{q} + \mathbf{s}) = \mathbf{x}(\mathbf{q}) + \mathbf{A} \cdot \mathbf{s} \quad (3)$$

ここで, \mathbf{x} :リンク交通量ベクトル, \mathbf{s} :需要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} :需要ベクトルである. なお, \mathbf{A} は, 以下の式で表わされる.

$$\mathbf{A} = (\mathbf{I} - \Delta \cdot \mathbf{q} \cdot \nabla_{\mathbf{c}} \mathbf{P} \cdot \Delta^T \cdot \nabla_{\mathbf{x}} \mathbf{t})^{-1} \Delta \cdot \mathbf{P} \cdot \nabla_{\mathbf{s}} \mathbf{q}(\mathbf{s}) \quad (4)$$

ここで, \mathbf{I} :単位ベクトル, Δ :パス-リンクインシデンスマトリックス, \mathbf{P} :経路選択確率ベクトル, \mathbf{t} :リンク旅行時間ベクトル, \mathbf{c} :経路旅行時間ベクトルである.

集約リンクのリンク旅行時間は, 式(5)に示す期待最小コストを用いる.

$$S^r = -\frac{1}{\theta} \ln \sum_k \exp(-\theta c_k^r(\mathbf{x}(\mathbf{q} + \mathbf{s}))) \quad (5)$$

期待最小コストを用いる際に, パラメータ θ を大きく設定することで, 期待最小コストは最短経路旅行時間に近似されることが知られている.

4. 仮想ネットワークへの適用

配分計算を行う対象ネットワークはノード数 3, リンク数 5 の図-1 に示す仮想ネットワークである. 実線のリンクはすべて一般道路(リンク 1~4), 点線のリンクは高速道路(リンク 5)とする. 高速道路の通行料金は 500 円, 時間価値は 50 円/分と設定する. ここで, OD は 2 つ設定し, ノード 1 から 3 の OD

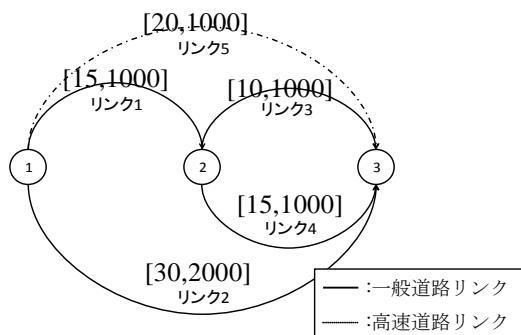


図-1 仮想ネットワーク図

([]内は自由走行時間(分), 交通容量(台))

を OD1, ノード 2 から 3 の OD を OD2 とする. BPR 関数のパラメータ α, β については, それぞれ 1, 2 で設定する.

また, 感度分析適用後のネットワークは図-2 のように一般道路を一本の集約リンクとして考えることができる.

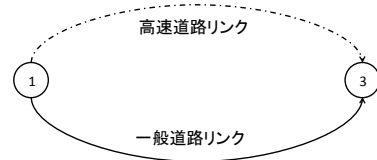


図-2 集約後ネットワーク

図-1 の詳細なネットワークと図-2 の集約後のネットワークの高速道路リンクの配分結果を以下に示す. OD については OD1, OD2 ともに 1000 台で数値実験を行う. 配分計算には逐次平均法を用いた確率的利用者均衡配分で配分を行う.

表-1 計算時間と配分結果

	計算時間(s)	配分交通量(台)
詳細ネットワーク	0.11	304
集約ネットワーク	0.06	303

表-1 より, 集約したネットワークは詳細なネットワークの約半分の計算時間で済んでいるにも関わらず, 配分結果への影響(誤差)が小さいことから, 感度分析を用いた集約化は妥当であると考えられる.

5. まとめ

本研究では, 感度分析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(阪神高速道路ネットワーク)に適用し, 集約ネットワークを作成する. 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
- 2) 道路交通需要予測の理論と適用「第II編 利用者均衡配分モデルの展開」, 土木学会, 2006