旅行時間の不確実性を考慮した金沢都市圏ネットワークの均衡分析

金沢大学工学部　正会員　中山晶一朗
金沢大学工学部　正会員　高山　純一
福井県庁　笠嶋　崇弘
○金沢大学工学部　長尾　一輝

1. はじめに

交通ネットワーク上には様々な不確実性要素がある．特に旅行時間の不確実性は大きな要素を占めると思われる．交通ネットワーク均衡には従来からワードロップ均衡や確率的利用者均衡が知られているが，こうしたネットワーク均衡では旅行時間の不確実性を表現できているとは言い難い．

確率的利用者均衡はランダム効用理論に基づいた経路選択による交通ネットワーク均衡である．しかし，選択率を決定する段階では確率項が考慮されるものの，交通量配分の際はその選択確率に基づいて「確定的」に配分している．また，経路選択の際のランダム項は，経路の長さに関わらずその分散は変化しない．つまり，経路所要時間が 5 分と 10 分の場合と 100 分と 105 分の場合で同じ選択確率パターンになってしまい，これを旅行時間の不確実性を表しているとは解釈しがたい．そのランダム項は，観測不能な要因や人間の知覚誤差などと解釈されるべきものであろう．このように確率的利用者均衡は，旅行時間の不確実性を考慮した交通量配分を行うものではないと言える

そこで，本研究では，交通量や旅行時間を確率変数として扱い，旅行時間の不確実性を考慮できる交通ネットワーク均衡を提案する[1]．それを金沢市の実際のネットワークに適用し，その実用性を示すのが本稿の目的である．

2. 基本概念

ワードロップ均衡の基本的な考え方は，利用される経路の旅行時間は皆等しく，利用されない経路の旅行時間よりも小さいかせいぜい等しいというものである．交通量や旅行時間を確率変数と考え，このワードロップ均衡の考え方を適用すると，利用される経路の「期待旅行時間」は皆等しく，利用されない経路の「期待旅行時間」よりも小さいかせいぜい等しい，という均衡を考えることは極めて自然なことである．これが本均衡モデルの基本的な考え方である．この時，期待旅行時間の代わりに効用の期待値や一般化費用の期待値を用いることも当然可能となる．

本研究では，道路利用者は確率的に経路を選択すると仮定する．この時，N 人が存在する OD ペア $r\ (\in U)$ の利用者が経路 $k\ (\in K^r)$ を確率 p_k で選択すると，経路 k のその OD ペア r に関する経路交通量は二項分布 $\mathrm{Bin}(N,\ p_k)$ に従う．本研究ではそれをポアソン分布に近似して定式化するが，これに関しては次節で詳しく述べる．

経路交通量が二項分布およびポアソン分布に従うとすると，経路旅行時間も当然確率変数となる．その結果経路旅行時間の期待値や分散を求めることができ，経路旅行時間の信頼性を評価することも可能となる．ただし，ここでは同一 OD ペア全員が同じ確率で経路を選択すると仮定する．

3. ポアソン分布による定式化

一般に，二項分布において試行回数が非常に多く生起確率の小さい場合，それをポアソン分布で近似することが出来る．したがって，交通ネットワークの規模が大きい場合は OD 交通量が多くなること，一つの経路の選択確率は小さくなることから，ポアソン分布を適用することが可能となると考えられる．

ポアソン分布を用いた確率ネットワーク均衡は Wardrop 均衡と同様に以下のように定式化できる．

$$\min .Z=\sum_a \int_0^{\mu_a} g_a(w)dw \qquad (1)$$

subject to

$$N^r=\sum_k \mu_k \qquad \forall k\in K^r\ \forall r\in U \qquad (2)$$

$$\mu_a=\sum_k \delta_{a,k}\mu_k \qquad \forall k\in K^r\ \forall a\in A \qquad (3)$$

$$\mu_a\geq 0,\ \ \mu_k\geq 0 \qquad \forall k\in K^r\ \forall a\in A \qquad (4)$$

ここで

$g_a(\cdot)$:リンク a の期待旅行時間関数

N^r :OD 交通量

μ_a :リンク交通量の期待値

μ_k :経路交通量の期待値

なお，リンク旅行時間はリンク交通量を用いて BPR 関数で表す．リンク交通量 x_a の旅行時間が $t_a(x_a)=\alpha+\beta x_a^4$ のとき，ポアソン分布のリンク旅行時間の期待値 $g_a(\mu_a)$ は次式で表せる．

$$g_a(\mu_a)=\alpha+\beta\,\mu_a(\mu_a^3+6\mu_a^2+7\mu_a+1) \quad (5)$$

5. Frank-Wolfe 法による計算アルゴリズム

リンク費用の期待値や分散を求めるには式(1)で示した非線形最適化問題を解く必要がある．本研究では Frank-Wolfe 法を用いて解く．

まず，目的関数を降下することが出来る方向ベクトル **d** を決める．n 回目の計算ステップにおけるリンク交通量の期待値のベクトルを $\boldsymbol{\mu}^{(n)}$とすると，**d** は以下の式で表される．

$$\mathbf{d}=\mathbf{y}-\boldsymbol{\mu}^{(n)} \quad (6)$$

ここで，**y** は以下で述べるベクトルである．配分問題のように変数が多数ある次元の大きな問題では，降下方向も無数に存在するため，より効果的な方向ベクトル **d** を選択することが必要になる．また，降下方向の制約が生じる場合もある．そこで，最短経路に全ての OD 交通量を流す all or nothing 配分を **y** とし，方向ベクトル **d** を決定する．

次にステップサイズ α (**d**に沿って進める大きさ)を求める．下式の $\boldsymbol{\mu}^{(n)}+\alpha\mathbf{d}$ を代入した式(1)の目的関数を最小にする α を黄金割法を用いて求め，n+1 回目のリンク交通量の期待値 $\boldsymbol{\mu}^{(n+1)}$を決定する．

$$\boldsymbol{\mu}^{(n+1)}=\boldsymbol{\mu}^{(n)}+\alpha\mathbf{d} \quad (7)$$

本研究のフローチャートを図 5-1 に示す．

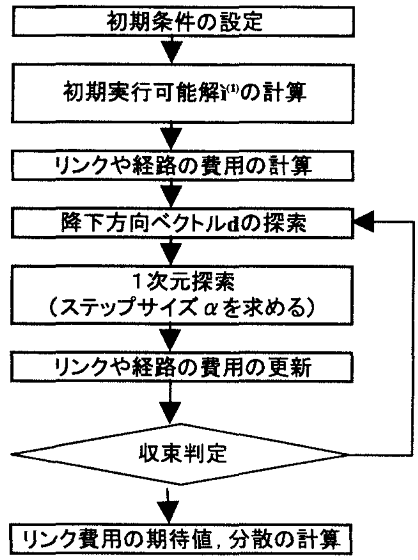

図 5-1 本研究のフローチャート

6. 金沢都市圏ネットワークへの適用

ここまでで示してきた本研究の均衡モデルを通勤時の OD 交通量で金沢都市圏の道路ネットワークに適用する．そして，従来までの交通量配分および，実際の交通量と比較することにより，本研究の妥当性および実用性を確認する．適用するネットワークは以下に示すものである．

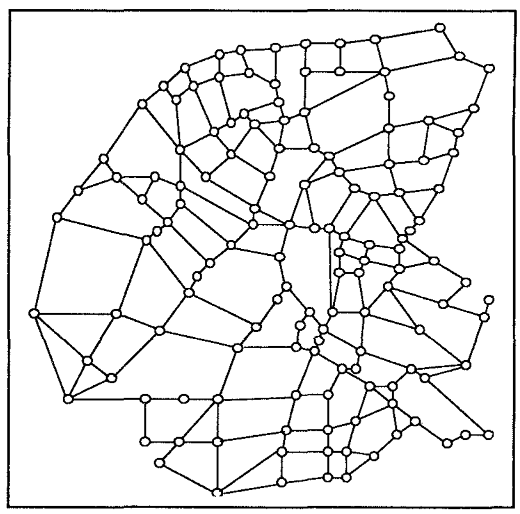

図 6-1 金沢都市圏ネットワーク図

7 おわりに

本研究では，交通量及び旅行時間を確率変数とした，旅行時間の不確実性を考慮する交通ネットワーク均衡を提案した．金沢市ネットワークへの適用結果は講演時に発表する．

参考文献

1)中山晶一朗・高山純一・笠嶋崇弘:旅行時間の不確実性を考慮した交通ネットワーク均衡，土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集，pp.69-70，2002．