交通需要の確率変動を考慮した確率ネットワーク均衡

○中山晶一朗（正会員・金沢大学）
高山　純一（正会員・金沢大学）

1. はじめに

日々の交通行動の中で，通勤や業務など到着制約のあるトリップは多く，また，緊急車両など単に早く目的地に到着できるだけでなく，どれほど「確実」に指定時刻までに到着できるのかが求められる場面も多い．また，ITS や VICS の効果を分析する場合，情報提供は不確実な状況下にこそ意味があるため，不確実性を的確に取り扱い，計測・評価することは不可欠である．このように道路ネットワークに関しては，旅行時間（所要時間）の値そのものだけでなく，そのばらつきはどれほどかを把握することは極めて重要なことと言える．

交通ネットワークの分析としては，従来からワードロップ均衡モデルや確率的利用者均衡モデルが用いられてきた．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が，その確率的利用者均衡という名称に反し，確定的な交通量および旅行時間を求めるものであり，交通量や旅行時間を陽に確率的には取り扱っていない．よって，確率的利用者均衡は，旅行時間の不確実性を評価するためには十分とは言えないと考えられる．

冒頭で述べたような，ネットワークの旅行時間の不確実性や信頼性を評価するためには，新たな確率ネットワーク均衡が必要と考えられる．著者らはこれまで交通需要の不確実性を前提とした確率ネットワーク均衡を提案している[1)2)]．これらの研究では，交通量を正規分布に従う確率変数とし，その分散は平均値の定数倍と仮定していた．しかし，交通量の分散が常にその平均のある定数倍とすることには問題も少なくない．そこで，本研究では，交通量の分散も平均と同様に，内生的に決定される確率ネットワーク均衡を提案することを目的とする．

2. 基本概念

本研究では，OD 交通量は正規分布に従う確率変数と仮定する．そして，経路交通量は独立な正規分布に従う確率変数とする．独立な正規変数の和は正規変数であるため，このような仮定によりOD交通量・経路交通量を一貫性を持って取り扱うことができる．本研究の目的は，このような経路交通量（もしくはその和であるリンク交通量）の平均と分散を内生的に決定する均衡モデルを提案することである．

ここで，1) 道路利用者のリスク態度は様々である，2) 道路利用者は経路旅行時間の平均と分散のみを考慮して経路を選択する，と仮定しよう．この場合，「利用される経路の旅行時間の平均と分散はそれぞれ経路間で皆等しく，利用されない経路のそれら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ができる．

極端な例として，道路利用者の半数がリスク中立であり，つまり，経路旅行時間の平均が最も小さい経路を選択するとし，残りが平均旅行時間を全く気にせず，その分散のもっとも小さい経路を選択すると仮定しよう．この場合，リスク中立な道路利用者がいるため，選択される経路の旅行時間の平均は OD 間で等しくなると予想される．また，旅行時間の分散が最小の経路を選択する道路利用者がいるため，選択される経路の旅行時間の分散も OD 間で等しくなる．このような極端な例からも類推できるように，「利用される経路の旅行時間の平均と分散はそれぞれ経路間で皆等しく，利用されない経路のそれらよりも小さいかせいぜい等しい」という均衡下では，様々なリスク態度の道路利用者がいたとしても成立し得る均衡状態であると考えられる．このような均衡は通常の均衡概念に比べて分散に関する条件も添付されており，より強い仮定下の規範的な概念と言える．しかし，このような均衡は不確実性を考慮した交通ネットワークの理論的な考察に優れ，ベンチマーク（水準点）としての役割も果たすと考えられる．

上の均衡概念に従った交通量配分を図示したのが図 1 である．本研究の均衡モデルは図 1 のように，確率分布（正規分布）を持つ OD 交通量（所与）を確率

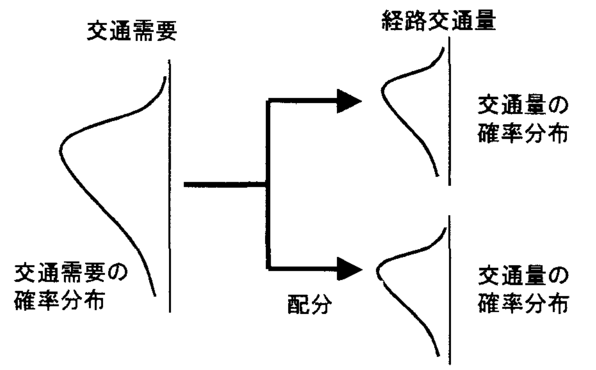

図1　均衡モデルの概略

分布を持つ交通量に配分するというものであり，その交通量の平均と分散を内生的に決定する．

3. 定式化

前節で述べた均衡は以下のように表現できる：

$$\begin{cases} c_{ij}^{m} = \lambda_i \;\; if\; m_{ij} > 0 \\ c_{ij}^{m} \geq \lambda_i \;\; if\; m_{ij} = 0 \end{cases} \quad \forall i \forall j$$
$$\begin{cases} c_{ij}^{v} = \kappa_i \;\; if\; m_{ij} > 0 \\ c_{ij}^{v} \geq \kappa_i \;\; if\; m_{ij} = 0 \end{cases} \quad \forall i \forall j \qquad (1)$$

制約条件(フロー保存則等)は

$$v_{ij} = 0 \;\; if\; m_{ij} = 0 \qquad \forall i \forall j \qquad (2)$$

$$\sum_j m_{ij} = M_i,\; \sum_j v_{ij} = V_i \qquad \forall i\, \forall j \qquad (3)$$
$$m_{ij} \geq 0,\; v_{ij} \geq 0$$

ここで，c^{m}_{ij}, c^{v}_{ij} は各々OD ペア i の経路 j の旅行時間の平均及び分散であり，m_{ij}, v_{ij} は経路交通量の平均及び分散である．λ_i, κ_i は正のパラメータであり，それぞれ OD ペア i の経路旅行時間の最小平均及び最小分散を意味する．また，M_{ij}, V_{ij} は OD ペア i の OD 交通量の平均と分散である．式(2)は平均が 0 の経路交通量はその OD 間の交通量が全く流れない経路であり，その分散を 0 とすることを意味している．

式(1)は以下の式としても表現できる：

$$m_{ij}\left(c_{ij}^{m} - \lambda_i\right) = 0,\; m_{ij}\left(c_{ij}^{v} - \kappa_i\right) = 0 \quad \forall i \forall j \qquad (4)$$

上式は一般の相補性問題と異なる部分はあるが，形式上類似の部分も多い．計算アルゴリズムに関しても，相補性問題のアルゴリズムを修正して利用することができる．以下に，Fischer-Burmeister 関数[3]を用いた方法の概略を述べる．紙面の都合上制約条件・留意事項は省略するが，以下の式で表される最小化問題として再定式化でき，通常の非線形最適手法を用いることで解を求めることができると考えられる．

$$\min\; \Psi = \frac{1}{2}\sum\nolimits_{ij}[(\varphi_{ij}^{m})^2 + (\varphi_{ij}^{v})^2] \qquad (5)$$

$$\varphi_{ij}^{m} = m_{ij} + c_{ij}^{m} - \lambda_i + \sqrt{(m_{ij})^2 + (c_{ij}^{m} - \lambda_i)^2}$$
$$\varphi_{ij}^{v} = m_{ij} + c_{ij}^{v} - \kappa_i + \sqrt{(m_{ij})^2 + (c_{ij}^{v} - \kappa_i)^2} \qquad (6)$$

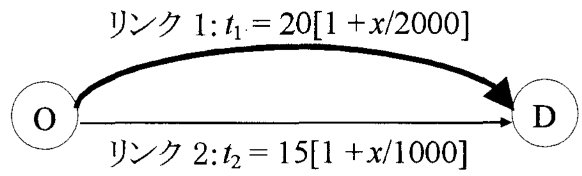

図2　数値実験ネットワーク

表1　数値計算結果

	リンク1	リンク2
旅行時間の平均	33.0	33.0
旅行時間の標準偏差	4.33	4.33
交通量の平均	1200	1300
交通量の標準偏差	208.0	138.7

4. 数値計算

図 2 で示す 1OD2 リンクの単純なネットワークに上述の確率ネットワーク均衡を適用した．図 2 のネットワークは，リンク 1 と比較してリンク 2 は距離は短いが道路が狭い(容量が小さい)リンクである．OD 交通量(交通需要)は平均が 2500，分散が 250^2 (= 65200)の正規分布としている．数値計算の結果は表 2 の通りである．表 2 から，両経路(リンク)の旅行時間の平均及び分散が等しくなるように，交通量(の平均及び分散)が配分されていることがわかる．

5. おわりに

本研究では，OD 交通量，経路・リンク交通量が正規分布に従うと仮定し，経路交通量の平均と分散を内生的に決定する確率交通ネットワーク均衡を提案した．今後，実際の大規模ネットワークへの適用等が必要と考えられる

参考文献

1) 中山晶一朗・高山純一：OD 交通量が正規分布である場合の確率ネットワーク均衡モデル，第58回土木学会年次学術講演会講演概要集，2003.
2) 中山晶一朗・高山純一・長尾一輝：正規分布に従う交通量を持つ交通ネットワーク均衡モデル，第28回土木計画学研究発表会・講演集，2003.
3) 福島雅夫：非線形最適化の基礎，朝倉書店，東京，2001.