

リンク交通量による旅行時間への不確実性を考慮した準動的交通量配分モデルに関する研究

金沢大学大学院自然科学研究科 学生員 ○小松 良幸
 金沢大学大学院自然科学研究科 正会員 中山晶一朗
 金沢大学大学院自然科学研究科 フェロー 高山 純一

1. はじめに

通勤時等のピーク時における交通流は、短時間で大きな変動が生じている。そのため一日単位での均衡配分モデルでは、ピーク時等の交通流を厳密に把握することは困難である。そこで、従来から時間帯ごとに交通フローを把握する時間帯別交通量配分モデルが作成されている¹⁾。また、ピーク時における交通の多くは通勤や業務目的トリップであり、到着時刻制約のある場合が多く、確実に時間内に到着することが求められる。つまり、日々変化する旅行時間のばらつきがどれほどであるのかを把握することや時間帯別の交通量の変動を正確に表現することが重要であるといえる。

しかし、従来の時間帯別交通量配分モデルでは、OD修正法の適用に関するものが多い。さらに、従来の時間帯別交通量配分モデルでは、各リンクでの交通量の変化や不確実性の表現が成されていない。

本研究では、時間帯別のリンク交通量が正規分布に従って確率変動し、配分された交通量も正規分布に従う準動的交通量配分モデルを提案する。そして、提案したモデルを単純ネットワークに適用し、そのモデルの特徴を確認する。このモデルを用いることで、交通ネットワークの不確実性や時間信頼性の評価も可能となる。

2. 基本概念

(1) 交通量の表現

本研究では、交通量の不確実性を確率分布として表現する²⁾。そこで、目的地をノード n とするリンク ij 間の交通量の確率変数 X_{ijnt} (以降、大文字で表される変数は確率変数を意味することとする) は、独立な正規分布 $N[\bar{X}_{ijnt}, \text{Var}[X_{ijnt}]]$ に従うと仮定する。ここで、 $\bar{X}_{ijnt}, \text{Var}[X_{ijnt}]$ は目的地をノード n とするリンク ij 間の交通量の期待値および分散である。交通量の分散は交通量の期待値に比例して決定されると仮定し、分散の算定を行う。よって、交通量の分散を次の式によって表現する。

$$\text{Var}[X_{ijnt}] = \eta \bar{X}_{ijnt} \quad (1)$$

ここで、 η は、正のパラメータである。

(2) 旅行時間の表現

旅行時間の不確実性を表現するためにリンク旅行時間に関する変動係数を用いている。そこで、リンク ij 間の旅行時間 H_{ijt} の期待値 $E[H_{ijt}]$ を BPR 関数により以下のように表現する。

$$E[H_{ijt}] = t_{ij0} \left(1 + 0.15 (\bar{X}_{ijnt})^4 / c_{ij}^4 \right) \quad (2)$$

ここで、 t_{ij0} はリンク ij の自由旅行時間であり、 c_{ij} はリンク ij の交通容量である。なお、配分計算の際には、式(2)で表現される値を用いている。次に、リンク旅行時間の分散 $\text{Var}[H_{ijt}]$ は以下の式によって算定する。

$$\text{Var}[H_{ijt}] = E[H_{ijt}^2] - (E[H_{ijt}])^2 \quad (3)$$

次に、式(2)、(3)を用いて各リンク旅行時間の変動係数を算定する。

$$v_{ijt} = \sqrt{\text{Var}[H_{ijt}] / E[H_{ijt}]} \quad (4)$$

ここで、 v_{ijt} は、 t 時間帯におけるリンク ij 間の旅行時間に関する変動係数である。

3. モデルの定式化

(1) 均衡条件の定式化

道路利用者がノード i からノード n へ向かって移動する際、リンク ij を通過する条件は、「ノード i からノード n までの期待最短旅行時間 $\bar{T}_{int}$ が、リンク ij 間の期待旅行時間 $E[H_{ijt}]$ とノード j からノード n 間での期待最短旅行時間 $\bar{T}_{jnt}$ の和と等しい」場合である。また、時間帯 t に関するノード j からノード n への期待最短旅行時間のみではなく、次の時間帯 $t+1$ に関する期待最短旅行時間の影響も考慮しなければならない。そこで、リンク ij の終端ノード j から目的地 n までの期待最小旅行時間は時間帯別に到着した交通量の比率によって内分し、以下のように表現する。

$$\bar{\mu}_{ijnt} = \frac{\bar{Z}_{ijnt}}{\bar{X}_{ijnt}} \bar{T}_{jnt} + \left(1 - \frac{\bar{Z}_{ijnt}}{\bar{X}_{ijnt}} \right) \bar{T}_{jnt+1} \quad (5)$$

ここで、 $\bar{\mu}_{ijnt}$ が時間帯 t におけるノード j から目

的地ノード n までの期待最小旅行時間であり, $\bar{Z}_{ijnt}$ はリンク ij を通過した交通量の期待値である. 式(5)によって表現された期待最小旅行時間を用いて, 均衡条件を定式化すると, 式(6)のように表現することが出来る.

$$E[H_{ijt}] + \bar{\mu}_{ijnt} = \bar{T}_{int} \quad \text{if} \quad \bar{X}_{ijnt} > 0 \quad (6)$$

$$E[H_{ijt}] + \bar{\mu}_{ijnt} > \bar{T}_{int} \quad \text{if} \quad \bar{X}_{ijnt} = 0$$

(2) フロー保存条件の定式化

本研究では, 「時間帯内にリンク ij 間を通過できなかったリンク交通量の期待値は, 次の時間帯に残留し, その残留交通量の期待値は次の時間帯における着ノード j からの発生交通量の一部として扱う」と仮定する. よって, ノード i に関する時間帯 t における目的地 n への発生交通量の期待値は以下の式によって表現される.

$$\bar{Q}_{int} = \bar{D}_{int} + \sum_k (\bar{X}_{kint-1} - \bar{Z}_{kint-1}) \quad (7)$$

ここで, $\bar{D}_{int}$ は, ノード i から目的地ノード n への期待 OD 交通量である. 式(7)を考慮してノード i に関するフロー保存条件を定式化する. ここで, 本来であればフロー保存条件は常に成立しているの, 確率変数による表記にしなければならないが, 本研究では確率変数を近似的に表現する期待値によって成立することとする. 従って, 下記の式で表現する.

$$\sum_k \bar{Z}_{kint} + \bar{Q}_{int} = \sum_j \bar{X}_{ijnt} \quad (8)$$

ここで, k はノード i へ流入するノード集合を示し, j はノード i から流出するノード集合を示している.

(3) 相補性問題による表現

定式化した均衡状態とフロー保存条件を基に以下に示すような相補性問題による定式化が可能となる.

$$\bar{X}_{ijnt} (E[H_{ijt}] + \bar{\mu}_{ijnt} - \bar{T}_{int}) = 0 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \bar{X}_{ijnt} &\geq 0, E[H_{ijt}] + \bar{\mu}_{ijnt} - \bar{T}_{int} \geq 0 \\ \bar{\tau}_{int} (\sum_k \bar{Z}_{kint} + \bar{Q}_{int} - \sum_j \bar{X}_{ijnt}) &= 0 \\ \bar{\tau}_{int} &\geq 0, \sum_k \bar{Z}_{kint} + \bar{Q}_{int} - \sum_j \bar{X}_{ijnt} \geq 0 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\forall (i, j) \in A_n, n \in B, t \in T$$

ここで, A_n は, 始点が n 以外リンクに関する始点終点ノードペアであり, T は時間帯の集合, B は目的地集合である.

4. 単純ネットワークへの適用

3 節で作成したモデルを図 1 に示すような単純ネットワークに適用する. また, 各リンクの諸条件を表 1 に示す.

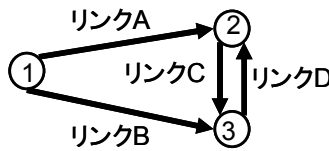


表 1 各リンクの条件

	交通容量	旅行時間
リンクA	100台	10分
リンクB	50台	5分
リンクC	50台	5分
リンクD	50台	5分

図 1 単純ネットワーク

OD 交通量はノード 1 から 2 へ 100 台, ノード 1 から 3 へ 50 台とする. また, 分散パラメータを $\eta = 0, 20, 40, 60, 80, 100$ と設定し, パラメータの変化によるリンク交通量と変動係数および旅行時間の変化を図 2, 3 に示す. なお, 図 3 では変化の顕著であるリンク A, B の結果のみ示す.

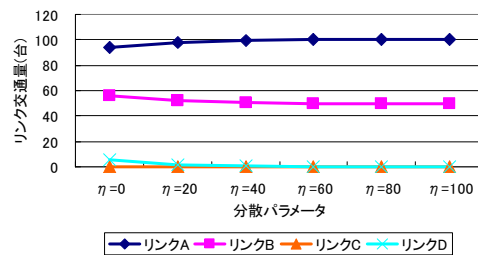


図 2 リンク交通量の変化

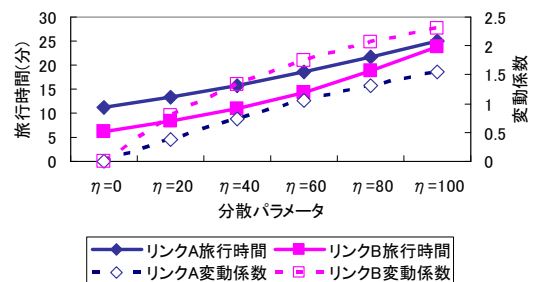


図 3 旅行時間および変動係数の変化

図 2 より分散の影響が増加するに連れてリンク B の交通量がリンク A へ移行していることがわかる. これは, リンク A の旅行時間の変化がリンク B と比較して少ないためである. また, 図 3 から交通容量の大きいリンク A の変動係数の変化が少ないことがわかる. したがって, リンク A の時間信頼性はリンク B に比べて高いといえる.

5. おわりに

本研究では, リンク修正法を用いたリンク交通量の不確実性を考慮した時間帯別確率均衡配分モデルを提案した.

参考文献

- 1) 藤田素弘, 山本幸司, 松井寛: 渋滞を考慮した時間帯別交通量配分モデルの開発, 土木学会論文集, No.407/IV-11, pp129-138, 1989
- 2) 中山晶一郎, 高山純一, 長尾一輝, 所俊宏: 現実道路ネットワークの時間信頼性評価のための確率的交通均衡モデル及びそれを用いた情報提供分析, 土木学会論文集, D, Vol.62, No.4, pp526-536, 2006