リンク交通量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　〇小松　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．そのため日配分と呼ばれる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化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．このOD修正法のモデルにおける残留交通量の取り扱いは必ずしも厳密に交通フローを捉えたものであるとはいえない．また，赤松らの研究[2)]で示されたリンクレベルでの時間帯別交通量配分においても，時間帯間に生じる交通流の変化を残留交通量として表現することは出来ていない．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，提案したモデルを金沢市道路ネットワークに適用し，その妥当性や実用性などを確認する．このモデルを用いることで，時間帯によって変化する交通量ならびに旅行時間を把握することができ，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[3)]．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_{ijn}(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，正規分布 $N\left[\bar{x}_{ijnt}, Var\left[X_{ijnt}\right]\right]$に従うと仮定する．ここで，$\bar{x}_{ijnt}$，$Var\left[X_{ijnt}\right]$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．さらに，リンク交通量 X_{ijt} に関しては，目的地をノード n とするリンク ij 間の交通量 X_{ijnt} を用いて次式のように表現できる．

$$X_{ijt} = \sum_n X_{ijnt} \quad n \in B \tag{1}$$

ここで，B は目的地集合である．したがって，式(1)および正規分布の再生性からリンク交通量 X_{ijt} も正規分布に従うことになる．

また，本研究では，交通量の不確実性の度合いの大きさを表現するために分散を用いている．本来ならば，OD 交通量について平均及び分散を予見とする必要がある．しかし，平均についてはこれまでの確定的な OD 交通量を用いることで対応可能であるが，その分散の値は分からないことがほとんどである．そこで，交通量の期待値に比例して分散が決定されると仮定し，分散の算定を行う．よって，目的地をノード n とするリンク ij 間の交通量の分散を以下の式によって表現する．

$$Var\left[X_{ijnt}\right] = \eta \; X_{ijnt} \tag{2}$$

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．変動係数を算定するためには，リンク旅行時間の期待値および分散を算定することが必要となる．そこで，旅行時間の期待値 E[H_{ijt}]を BPR 関数により以下のように表現する．

$$\mathrm{E}[H_{ijt}] = t_{ij0}(1+0.15(\bar{X}_{ijnt})^4/C_{ij}^4) \tag{3}$$

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(3)で表現される旅行時間の値を用いている．

次に，リンク旅行時間の分散 $Var[H_{ijt}]$は以下の式によって算定する．

$$Var[H_{ijt}] = E[H_{ijt}^2] - (E[H_{ijt}])^2 \tag{4}$$

次に，式(3)，(4)を用いて各リンク旅行時間の変動係数を算定する．

$$v_{ijt} = \sqrt{Var[H_{ijt}]} / E[H_{ijt}] \tag{5}$$

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．本研究では，この変動係数によって，各リンク旅行時間に関する不確実性の大きさを評価する．

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 $\bar{\tau}_{int}$ 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 $\bar{\tau}_{jnt}$ の和と等しい」場合である．しかし，本研究では，「出発時間帯もしくは次の時間帯で目的地に到着する」ことを仮定している．そこで，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 に関するノード j からノード n への期待最短旅行時間の影響も考慮しなければならない．したがって，リンク ij の終端ノード j から目的地 n までの最小旅行時間の期待値は，$\bar{\tau}_{jnt}, \bar{\tau}_{jnt+1}$ を統一した形で表現する必要がある．そこで，ノード j から目的地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．

$$\begin{aligned}\bar{\mu}_{ijnt} &= \frac{\bar{z}_{ijnt}}{\bar{X}_{ijnt}}\bar{\tau}_{jnt} + \left(1 - \frac{\bar{z}_{ijnt}}{\bar{X}_{ijnt}}\right)\bar{\tau}_{jnt+1} \\ &= \left(1 - \frac{E[H_{ijt}]}{T_w}\right)\bar{\tau}_{jnt} + \left(\frac{E[H_{ijt}]}{T_w}\right)\bar{\tau}_{jnt+1}\end{aligned} \tag{6}$$

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る．式(6)によって表現された期待最小旅行時間を用いて，リンク ij を通過する条件を書き直すと「ノード i から目的地 n までの最短旅行時間の期待値 $\bar{\tau}_{int}$ が，リンク ij 間の旅行時間の期待値 $E[H_{ijt}]$とノード j から目的地 n までの最短旅行時間の期待値 $\bar{\mu}_{ijnt}$ の和と等しい」となる．よって，式(7)のように表現することが出来る．

$$\begin{aligned} E[H_{ijt}] + \bar{\mu}_{ijnt} &= \bar{\tau}_{\mathrm{int}} \quad & if \quad \bar{X}_{ijnt} \geqq 0 \\ E[H_{ijt}] + \bar{\mu}_{ijnt} &> \bar{\tau}_{jnt} \quad & if \quad \bar{X}_{ijnt} = 0 \end{aligned} \tag{7}$$

(2) フロー保存条件の定式化

配分を行うためにフロー保存条件が成立しなければならない．ここで，フロー保存条件とは，目的地ノード以外のあるノードに関して流入交通量と流出交通量が等しくなることである．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．

$$\bar{Q}_{int} = \bar{D}_{int} + \sum_k (\bar{X}_{kint-1} - \bar{Z}_{kint-1}) \tag{8}$$

式(5)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と下記の式で表現される．

$$\sum_k \bar{Z}_{kint} + \bar{Q}_{int} = \sum_j \bar{X}_{ijnt} \tag{9}$$

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

(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．

$$\bar{X}_{ijnt}(E[H_{ijt}] + \bar{\mu}_{ijnt} - \bar{\tau}_{int}) = 0 \tag{10}$$

$$\bar{X}_{ijnt} \geqq 0, E[H_{ijt}] + \bar{\mu}_{ijnt} - \bar{\tau}_{int} \geqq 0$$

$$\bar{\tau}_{int}(\sum_k \bar{Z}_{ijnt} + \bar{Q}_{int} - \sum_j \bar{X}_{ijnt}) = 0 \tag{11}$$

$$\bar{\tau}_{int} \geqq 0, \sum_k \bar{Z}_{ijnt} + \bar{Q}_{int} - \sum_j \bar{X}_{ijnt} \geqq 0$$

$$\forall (i,j) \in A_{-n}, n \in B, t \in T$$

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 は時間帯の集合である．

4. 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. なお, 本研究で提案したモデルの計算結果については講演時に発表する.

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,No407/IV-11,pp129-138,1989

2)赤松隆,牧野幸雄,高橋栄行：時間帯別 OD 需要とリンクでの渋滞を内生かした準動的交通配分,土木計画学研究・論文集,No15,pp535-545,1998

3)中山晶一朗,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,Vol62,No4,pp526-536,2006