Ⅳ－327

ネットワークにおける様々な信頼性評価指標の確率分布の推定

愛媛大学大学院　学生員　越智大介
愛媛大学工学部　正会員　朝倉康夫
愛媛大学工学部　フェロー　柏谷増男

1．はじめに

交通網の信頼性評価には，交通ネットワークフローの変化に伴うサービス水準の変化を考慮することが望ましい．従来の研究では，OD 間の所要時間の確率分布の推定法が提案されている[1]．この方法は，OD ペア間の指標だけではなく，個々のリンクごとの指標や，ネットワーク全体の確率分布の推定にも拡張できる．本研究では，flow network を対象とした，様々な信頼性評価指標の確率分布の推定手法と数値例を示す．

2．ネットワーク交通流の記述

災害時においてネットワークの一部の機能停止の状態がある程度長期間にわたって継続する場合は，利用者均衡仮説は妥当性を持つと考えてもよい．そこでネットワークの状態を状態ベクトル $\boldsymbol{x}$ で表し，状態 $\boldsymbol{x}$ 対して利用者均衡が成立すると仮定する．そして，リンク容量制約付き OD 需要変動型利用者均衡モデルを用いて交通流を記述する．

3．信頼性評価指標の確率分布の考え方

利用者均衡モデルを解くことにより様々な信頼性評価指標の確率分布を求めることが可能である．ネットワークのある状態の生起は確率事象であるから，OD 間の所要時間 $t_{rs}(\boldsymbol{x})$ もある確率分布に従う．状態 $\boldsymbol{x}$ の発生確率が $P(\boldsymbol{x})$ であるので，所要時間が $t_{rs}(\boldsymbol{x})$ となる確率も $P(\boldsymbol{x})$ である．そこで所要時間の確率分布を推定しその累積確率分布を求めことができる．（図－１）

確率分布の近似解は以下のような手順で求められる．

【Step 0】　初期設定
平常時の状態ベクトル $\boldsymbol{x}_0$ に対し、利用者均衡モデルを解いて OD ペア間の所要時間 $t_{rs}(\boldsymbol{x}_0)$ を求めておく．繰り返し回数 $J=1$ とおく．

【Step 1】　状態ベクトルの抽出
状態発生確率 $P(\boldsymbol{x})$ の大きい方から J 番目の状態ベクトル $\boldsymbol{x}_j$ を取り出す．

【Step 2】　OD 所要時間の計算
$\boldsymbol{x}_j$ に対して利用者均衡モデルを解いて，OD ペア間の所要時間 $t_{rs}(\boldsymbol{x}_j)$ を求める．

【Step 3】　上、下限値の計算
$t_{min}(\boldsymbol{x}) \leqq t$ なる範囲の t に対して分布関数の上限値 $F^U(t)$ および下限値 $F^L(t)$ を（式 1, 2）で表す．

$$F^U(t)=\sum_{j\in T(t)}P(\boldsymbol{x}_j)+\left(1-\sum_{j=1}^{J}P(\boldsymbol{x}_j)\right) \tag{1}$$

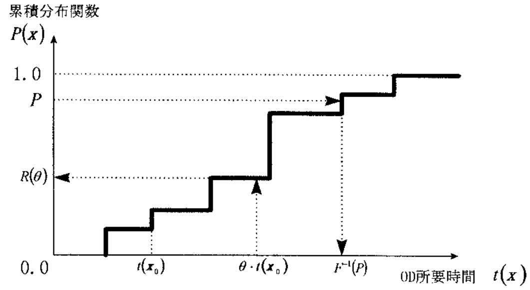
$$F^L(t)=\sum_{j\in T(t)}P(\boldsymbol{x}_j) \tag{2}$$

ここに $T(t)$ は、$t_{rs}(\boldsymbol{x}_j) \leqq t$ なる $j(\ j=1,\dots,J\ )$ の集合

【Step 4】　収束判定
十分に小さい正の数 ε に対し，$F^U(t)-F^L(t)\leq\varepsilon$ なら，$t_{min}(\boldsymbol{x})\leqq t$ なる範囲の t に対して分布関数の近似解を

$$F(t)=\left(F^U(t)+F^L(t)\right)/2 \tag{3}$$

として計算終了．そうでなければ，$J=J+1$ として【Step 1】へ．



図－１　OD 所要時間の累積分布関数

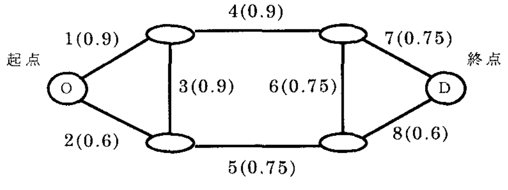
キーワード：信頼性評価指標，確率分布，消費者余剰

連絡先：〒790-8577 愛媛県松山市文京町３番 愛媛大学工学部，TEL.089(927)9829, FAX.089(927)9843

同様に他の指標（個々のリンク交通量，ネットワーク全体の消費者余剰等）についても確率分布を求めることができる．

4．数値計算例

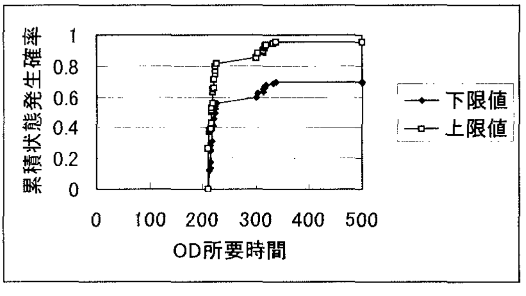
ネットワーク構成と，リンク通行可能確率を図－2に示す．OD は図に示す１つのペアについてのみ考える．



図－２　数値計算ネットワーク

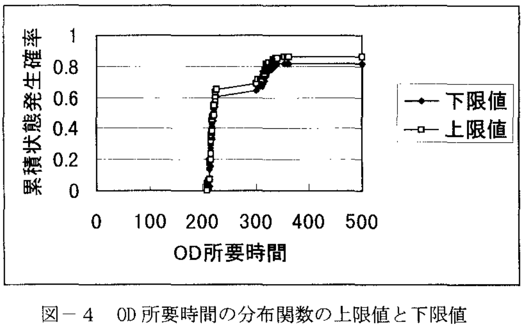
（数字はリンク番号，カッコ内は通行可能確率）

図－３，４ は，OD 所要時間の分布関数の上限，下限値の収束状況を示したものである．図－３ は繰り返し回数（J）が 30 回，図－４は 100 回のときの状況である．これらの図から，OD 所要時間の分布関数が収束していく様子を確認できる．



図－３　OD 所要時間の分布関数の上限値と下限値

（繰り返し回数 J=30）



図－４　OD 所要時間の分布関数の上限値と下限値

（繰り返し回数 J=100）

図－５，６は，それぞれあるリンクの交通量，ネットワーク全体の消費者余剰の分布関数の近似解を示したものである．ネットワークの状態が x_m であるときの OD ペア rs 間の消費者余剰 $CS_{rs}(x_m)$ は（式－４）で表される．

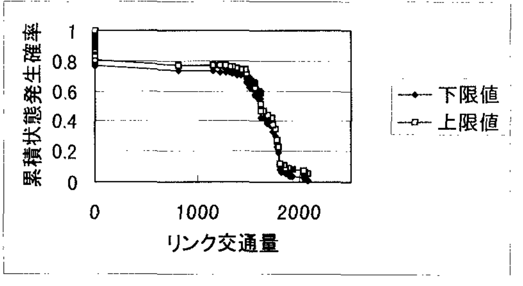
$$CS_{rs}(x_m)=\int_0^{q_{rs}(x_m)} D^{-1}(\zeta)d\zeta - q_{rs}(x_m)\bullet t_{rs}(x_m) \quad (4)$$

ここに，$q_{rs}(x_m)$：状態 x_m 時の OD ペア rs 間の交通量，$D^{-1}(\zeta)$：逆需要関数，$t_{rs}(x_m)$：状態 x_m 時の OD ペア rs 間の所要時間である．

ネットワーク全体の総消費者余剰 $TOCS(x_m)$ を（式－５）のとおりである．

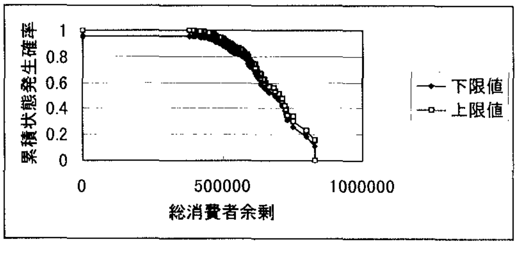
$$TOCS(x_m)=\sum_{r,s} CS_{rs}(x_m) \quad (5)$$

いずれの指標についても，近似的に確率分布が推定されていることが確認できる．



図－５　リンク５の分布関数の上限値と下限値

（繰り返し回数 J=100）



図－６　総消費者余剰の分布関数の上限値と下限値

（繰り返し回数 J=100）

参考文献

1）　藤原健一郎，朝倉康夫，柏谷増男：交通ネットワークにおける災害時のフローの変化を考慮した OD ペア間の信頼度の指標，土木計画学研究講演集，No.18(2),pp737-740,1995