

1. はじめに

道路整備に関する財政状況が厳しさを増すなか、質の高い社会資本整備や効率的で透明性の高い行政サービスの提供が求められている。そこで、既存ストックの有効活用として既存道路の拡幅工事等による改良再生を行うことで既存道路の価値を高めようとする施策が行われている。また、道路整備の効果をよりわかり易く明確に表示することを目的に「道路行政業績計画書」を作成し、公表を行っている。

その中で、道路整備効果に関する視点からは、量的な観点の指標から質的な観点の指標まで様々な指標を用いて効果を分析し、その結果を公開している。そこで、これらの指標として時間信頼性に関する指標として「アクセス圏域」等が用いられているが、時間による交通流の変化を考慮したものではない。また、筆者ら¹⁾による研究では、時間帯別交通量配分を用いて時間信頼性の評価を行ったが、用いたモデルがOD修正法であり、各リンク間の残留交通量等の影響を厳密に捉えたものではない。

そこで、本研究では、交通量の不確実性を考慮した準動的均衡モデルを用いて各リンクに関する交通流の変化を考慮した旅行時間の変動を時間信頼性の変化として把握する方法を提案する。このモデルを単純ネットワークへ適用し、道路拡幅前の旅行時間変動と道路拡幅後の旅行時間変動の比較を行い、道路拡幅等の既存道路の改良再生による時間信頼性の向上を検証する。これによって、より効果的な既存道路の改良箇所の把握や道路整備計画の考え方が明らかとなる。

2. 時間信頼性指標の計算方法

本節では、交通需要の変動を考慮した準動的配分モデルの説明を行う。

さらに、このモデルによって出力される期待旅行時間および旅行時間の標準偏差を用いた時間信頼性指標の計算方法の説明を行う。

(1) 交通需要の変動と不確実性の表現

本研究では、交通量を確率分布によって表現することを考える。目的地ノード n へ向かう任意のノード i から集中交通量が潜在的に定まっていると仮定し、均衡状態において、各道路利用者は時間帯ごとに任意のノード i から目的地ノードへ移動するために利用する経路(利用リンクの順番)を定めているものとする。そして、道路利用者がそのトリップを行う確率が正規分布に従うものとする。また、目的地ノード n に関するリンク交通量は目的地ノード n に関する経路(利用リンクの順番)においてリンクを利用する交通量の和によって表現でき、このリンク交通量は目的地ノード n について独立な正規分布に従うものと仮定する。

したがって、時間帯 t において目的地をノード n とするリンク ij 間を通過する交通量の確率変数 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 $N[\bar{X}_{ijnt}, Var[X_{ijnt}]]$ に従うと仮定する。ここで、 \bar{X}_{ijnt} , $Var[X_{ijnt}]$ 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。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与件とする必要がある。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算定することが可能であるが、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。

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

ここで、 η は、正のパラメータである。

(2) 準動的モデルへの適用

a) 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

Key Words : 確率的OD交通量, 時間帯別均衡配分

1 正会員, 博(工), 金沢大学大学院自然科学研究科

〒920-1192 金沢市角間町

TEL : 076-234-4613, Fax : 076-234-4613

2 フェロー会員, 工博, 金沢大学大学院自然科学研究科

3 学生員, 金沢大学大学院自然科学研究科

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。しかし、本建久では、「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 から目的地 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、 $\bar{T}_{jnt}, \bar{T}_{jnt+1}$ 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。

$$\begin{aligned} \bar{N}_{ijnt} &= \frac{\bar{Z}_{ijnt}}{\bar{X}_{ijnt}} \bar{T}_{jnt} + \left(1 - \frac{\bar{Z}_{ijnt}}{\bar{X}_{ijnt}}\right) \bar{T}_{jnt+1} \\ &= \left(1 - \frac{E[H_{ijt}]}{\lambda_w}\right) \bar{T}_{jnt} + \left(\frac{E[H_{ijt}]}{\lambda_w}\right) \bar{T}_{jnt+1} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 \bar{N}_{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} は時間帯 t 内にリンク ij 間を通過するリンク交通量、 λ_w は、時間帯の幅である。式(2)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{T}_{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{N}_{ijnt} の和と等しい」となる。よって、式(3)のように表現することが出来る。

$$\begin{aligned} E[H_{ijt}] + \bar{N}_{ijnt} &= \bar{T}_{int} & \text{if } \bar{X}_{ijnt} > 0 \\ E[H_{ijt}] + \bar{N}_{ijnt} &\geq \bar{T}_{int} & \text{if } \bar{X}_{ijnt} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

b) フロー保存条件の定式化

配分を行うためには、フロー保存条件も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任意の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。

$$\bar{Q}_{int} = \bar{D}_{int} + \sum_k (\bar{X}_{kint-1} - \bar{Z}_{kint-1}) \quad (4)$$

式(4)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。

$$\sum_k \bar{Z}_{kint} + \bar{Q}_{int} = \sum_j \bar{X}_{ijnt} \quad (5)$$

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。

c) 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。

$$\bar{X}_{ijnt} (E[H_{ijt}] + \bar{N}_{ijnt} - \bar{T}_{int}) = 0 \quad (6)$$

$$\bar{X}_{ijnt} \geq 0, E[H_{ijt}] + \bar{N}_{ijnt} - \bar{T}_{int} \geq 0$$

$$\bar{T}_{int} (\sum_k \bar{Z}_{kint} + \bar{Q}_{int} - \sum_j \bar{X}_{ijnt}) = 0 \quad (7)$$

$$\bar{T}_{int} \geq 0, \sum_k \bar{Z}_{kint} + \bar{Q}_{int} - \sum_j \bar{X}_{ijnt} \geq 0$$

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

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。

(3) 信頼性指標の算出方法

本研究では、時間信頼性指標として、各リンクに関する変動係数を用いる。各リンクの変動係数を算定するためには、各リンクの期待値および分散が必要となる。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。

$$E[H_{ijt}] = t_{ij0} \left(1 + 0.15 (\bar{X}_{ij})^4 / c_{ij}^4\right) \quad (8)$$

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。

$$Var[H_{ijt}] = E[H_{ijt}^2] - (E[H_{ijt}])^2 \quad (9)$$

次に、式(8)、(9)を用いて各リンク旅行時間の変動係数を算定する。

$$v_{ijt} = \sqrt{Var[H_{ijt}] / E[H_{ijt}]} \quad (10)$$

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. 単純ネットワークへの適用

本節では、本研究において提案したモデルを適用するネットワークに関する説明を行い、その後、実際に計算を行って得られた時間信頼性に関する結果について説明を行う。

(1) ネットワークの諸条件

本研究で提案したモデルを図 1 に示した仮想的なネットワークに対して適用する。

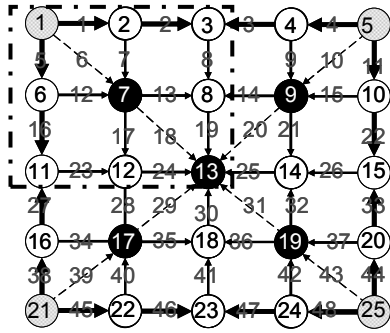


図 1 仮想ネットワーク図

ここで、リンク上の番号は矢印方向に関するリンク番号であり、逆方向のリンクについては以後「リンク①」のように記載する。各リンクに関する諸条件を表 1 のように設定する。

表 1 リンクの諸条件

リンク	自由旅行時間(分)	交通容量(台)
→	2	500
→	2	400
- - →	3	300

さらに、本研究では、道路区間の拡幅(リンク交通容量の増加)に伴う時間信頼性の変化について分析を行うので、破線で示したリンクであるリンク 6,10,18,20,29,31,39,43 のリンク交通容量を増加させることを考える。ここで、道路区間の改修によって、破線のリンクの交通容量は 300(台/30分)から 400(台/30分)になる。また、表 2 に示した OD 交通量のパターンについて、配分計算を行った。

表 2 OD 交通量のパターン

時間帯		交通量(台)
1	○ → ●	250
2	○ → ●	280
3,4,5,6	○ → ●	200
	● → ○	200
7	● → ○	230
8	● → ○	260

ここで、○は、ノード 1,5,21,25 を示し、●は、ノード 7,9,13,17,19 を示している。なお、1 時間帯の幅は 30 分である。

(2) 道路区間の拡幅による効果分析

分散パラメータ η の値を 5, 25, 50 と設定した場合における計算結果を示す。なお、OD のパターンより、図 1 において一点鎖線で囲まれた部分(ノード 1, 2, 3, 6, 7, 8, 11, 12, 13)に関する結果のみを記載する。

a) 混雑度の変化

ノード 1 が起点となるリンク 1, 6 およびノード 7 が終点となるリンク⑬, ⑯の結果を示す。リンク 5 の結果はリンク 1, リンク⑰の結果はリンク⑬と同じ値であったので省略する。なお、ここで示す混雑度とは、交通容量に対する交通量の比である。

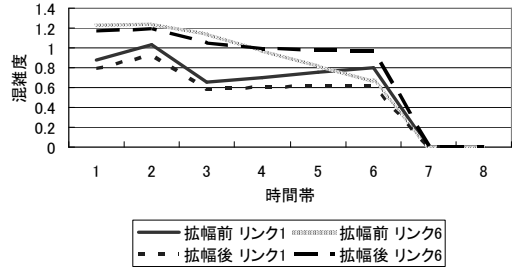


図 2 $\eta=5$ における結果

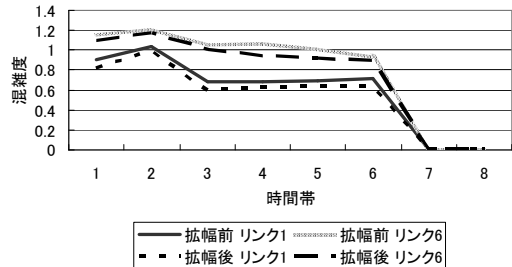


図 3 $\eta=50$ における結果

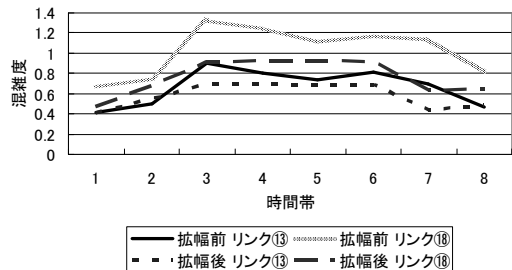


図 4 $\eta=5$ における結果

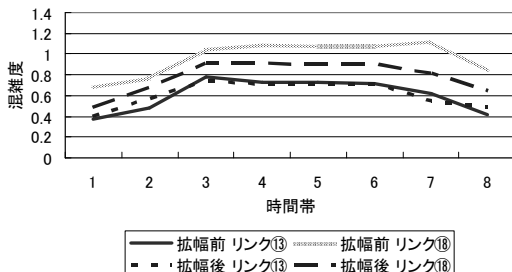


図 5 $\eta=50$ における結果

図 2 より、道路区間拡幅前では、OD 交通量が一定である時間帯 3, 4, 5, 6 において交通容量が小さいリンク 6 の混雑度が徐々に減少していることがわかる。しかし、道路の拡幅による交通容量の増加に伴い OD 交通量が一定である時間帯においてリンク 6 の交通量が減少せず増加するようになった。これは、リンク 6 の交通容量の

変化および前時間帯の残留交通量により、リンク6の終着点であるノード7からの経路旅行時間が変化したことによるものである。また、図3では、図2に示したような傾向は見られない。これは、交通流の不確実性の増加に伴い交通容量の大きなリンクであるリンク1,5についても不確実性による影響が出てきたことにより、BPR関数における交通量に対する旅行時間の変化特性が変化したためである。したがって、交通量の分散に伴い交通流の変化があるため、正確な交通量の分散を算定する必要があることがわかる。

図4,5については、道路拡幅を行ったリンク⑬に関する混雑度の差に対して拡幅を行っていないリンク⑬については大きな差が見られない。これにより、リンク容量の増加に伴いリンク6を利用する道路利用者が減少したことがわかる。また、ネットワーク内の交通流が大きく変化したこともわかる。

b) 変動係数の変化

ここでは、本研究で用いる時間信頼性指標である時間信頼性の変化について考察を行う。①に記載した混雑度との関係も含めて考察を行うために、ノード1が起点となるリンク1,6およびノード7が終点となるリンク⑬,⑱の結果を示すこととする。

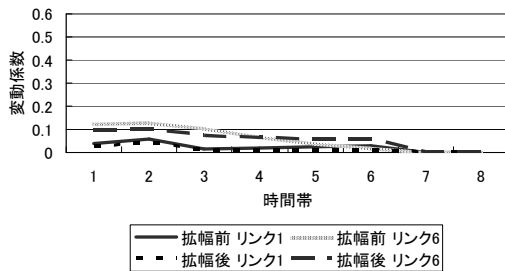


図6 $\eta=5$ における結果

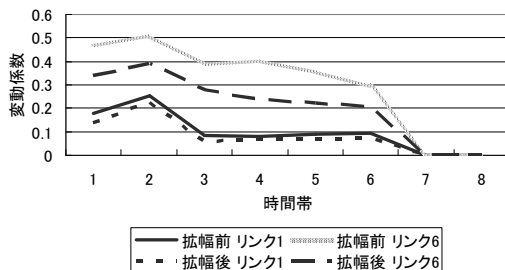


図7 $\eta=50$ における結果

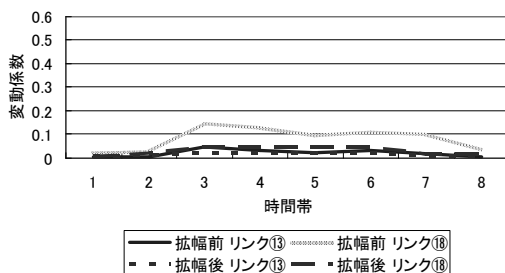


図8 $\eta=5$ における結果

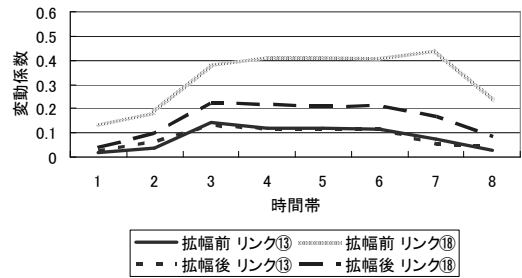


図9 $\eta=50$ における結果

変動係数の値の変化は①で示した混雑度の変化と同様な変化の傾向が見られる。変動係数に関する結果より、道路の拡幅を行っていないリンクに関しては拡幅の前後によって、大きな差が見られない。これに対して、拡幅を行った区間では、大幅に時間信頼性が向上していることがわかる。この結果より、時間信頼性の観点からは、道路区間の拡幅によって、拡幅を行ったリンクでは信頼性が向上するが、そのほかのリンクには大きな影響は無いことが言える。また、混雑度の変化が顕著であった $\eta=5$ におけるリンク6に関する結果は変動係数の観点から見ると大きな変化が無いことがわかった。これは、交通量の分散が小さいために旅行時間の分散の計算値が小さな値となるためである。

4. 終わりに

本研究では、交通量の不確実性を考慮した準動的均衡モデルを用いて各リンクに関する交通流の変化を考慮した旅行時間の変動を時間信頼性の変化として把握する方法を提案し、このモデルを用いて道路拡幅に伴う時間信頼性の変化を分析した。その結果、道路区間の拡幅によって時間信頼性の向上が見られるのは、拡幅が行われた区間のみであり、そのほかの区間では大きな差が無いことがわかった。また、交通量の不確実性を示す分散によって交通流に変化が生じ、道路区間を通行する交通量が大幅に変化することがわかった。

今後の課題としては、金沢ネットワーク等の実際の道路ネットワークへの適用および、時間信頼性をより明確に表現できるようにするために正確な交通量の分散値の算定を行い、その結果を用いた時間信頼性の計算を行うこと。および、本研究ではリンク別の時間信頼性の評価を行ったが、実際にはOD間での時間信頼性に関する評価というものが重要である。よって、ODレベルでの時間信頼性評価指標の提案を行うことが挙げられる。

参考文献

- 1) 高山純一, 中山晶一郎, 小松良幸: 交通需要の不確実性による時間信頼性指標を用いた道路整備評価に関する研究, 第41回日本都市計画学会学術論文集, pp79-84, 2006