

リンク間相互干渉を考慮した大規模ネットワークにおける 旅行時間評価のため効率的な計算手法の提案

金沢大学大学院自然科学研究科
金沢大学理工研究域環境デザイン学系
金沢大学大学院自然科学研究科
金沢大学大学院自然科学研究科

学生会員 ○李 思宇
正会員 中山 晶一郎
正会員 山口 裕通
学生会員 大澤 脩司

1. はじめに

道路ネットワーク上の時間信頼性を対象とした研究は、これまで多くなされている。長尾ら¹⁾、土倉ら²⁾では旅行時間信頼性を考慮した道路ネットワークの評価手法を開発している。これらの手法では、経路を列挙する必要があり、ネットワークの大規模化に伴い計算負荷などの面で大きな課題があることが確認されている。そこで、本研究では経路を利用しない交通量配分手法である F-W 法⁴⁾を用いた手法を提案する。

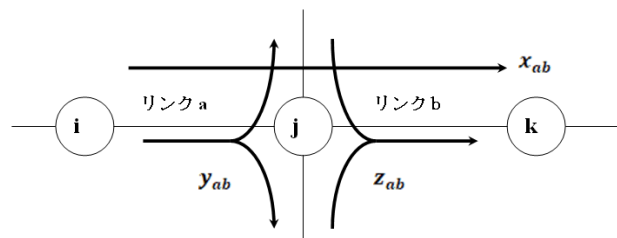


図-1 リンク間共分散の考え方

2. リンク間相互干渉を考慮した旅行時間信頼性

旅行時間信頼性とは、旅行時間の分散が示す、信頼性評価手法の一つである。旅行時間の分散は、道路ネットワークの評価に重要な指標である。ネットワークのある経路旅行時間の分散は式(1), (2), (3)から算出できる。

$$\text{Var}[C_k^{rs}] = E \left[\left\{ \sum_{n \in K_k^{rs}} t_n - \sum_{n \in K_k^{rs}} E[t_n] \right\}^2 \right] \\ = \sum_{n \in K_k^{rs}} \text{Var}[T_n] + \sum_{n \in K_k^{rs}} \text{Cov}[T_{n-1}, T_n] \quad (1)$$

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

$$\text{Cov}[T_{n-1}, T_n] = E[T_{n-1}, T_n] - E[T_{n-1}]E[T_n] \quad (3)$$

ここで、 C_k^{rs} は OD ペア rs の k 番目の経路の旅行時間の確率変数、 K_k^{rs} はこの経路が通過するリンク集合、 $E[\cdot]$ は期待値、 $\text{Var}[\cdot]$ は分散値、 T_n は経路の n 番目のリンク旅行時間の確率変数、 $\text{Cov}[T_{n-1}, T_n]$ は経路の $n-1$ 番目と n 番目のリンク旅行時間の共分散である。

ネットワーク全体の旅行時間信頼性を評価するためには、全リンク旅行時間信頼性か、全 OD 間旅行時間信頼性 (OD 間全経路の旅行時間信頼性) が用いられる。リンク交通量が互いに独立であると仮定すると、リンク旅行時間信頼性 (分散) の和でネットワーク全体の信頼性を評価できる。しかし、その仮定は非現実的であり、リンク間での共分散を考慮すべきである。

ここで、図-1 のようなネットワークの一部を用いて、リンク間共分散について、リンク a とリンク b を例に考えよう。 x_{ab} はリンク a とリンク b の両方を通過する交通量、 y_{ab} はリンク a のみ通過しリンク b は通過しない交通量、 z_{ab} はリンク b のみ通過しリンク a は通過しない交通量である。式(3)の $E[T_a, T_b]$ は T_a と T_b の結合二次積率であり、式(4)のように計算できる。

$$E[T_a, T_b] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} t_a(x_{ab} + y_{ab}) t_b(x_{ab} + z_{ab})$$

$$f(x_{ab}) f(y_{ab}) f(z_{ab}) dx_{ab} dy_{ab} dz_{ab} \quad (4)$$

ここで、 $f(x_{ab})$, $f(y_{ab})$, $f(z_{ab})$ は交通量 x_{ab} , y_{ab} , z_{ab} のそれぞれの確率関数である。本研究では交通量 x_{ab} , y_{ab} , z_{ab} は正規分布に従うと仮定する。これら交通量の具体的な計算手順について、その詳細は中山ら³⁾に譲り、ここでは概略を説明する。

まずリンク旅行時間 t_a を式(5)の BPR 関数で定義する。

$$t_a(\bar{\omega}_a) = t_{a0} \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{\bar{\omega}_a}{\tilde{c}_a} \right)^\beta \right\} \quad (5)$$

ここで、 t_{a0} はリンク a の自由旅行時間、 $\bar{\omega}_a$ はリンク a の交通量の平均値、 $\tilde{c}_a$ はリンク a の交通容量、 α と β はパラメータである。本研究では標準 BPR 関数を用い、 $\beta = 4$ とする。これにより、式(4)は式(6)のように書き換えられ、多変数の積率母関数を用いて計算できる。

$$E[t_a, t_b] = t_{a0} t_{b0} \left\{ 1 + \frac{\alpha}{\tilde{c}_a^4} (E[x^4] + 4E[x^3 y] \cdots + E[y^4]) + \frac{\alpha}{\tilde{c}_b^4} (E[x^4] + \right.$$

$$\left. 4E[x^3 z] \cdots + E[z^4]) + \frac{\alpha^2}{\tilde{c}_a^4 \tilde{c}_b^4} (E[x^8] + 8E[x^7 y] \cdots + E[y^4 z^4]) \right\} \quad (6)$$

3. 大規模ネットワークにおける旅行時間評価のための 効率的な計算手法の提案

3.1 従来の手法の問題点

長尾ら¹⁾、土倉ら²⁾で開発されたモデルでは、二段階の収束計算を必要とする。一段階目は利用者均衡モデルにより経路集合 (OD-path-link or path-link) が得られる。二段階目は得られた経路集合に基づいて、パスベース利用者均衡モデルを用いて旅行時間信頼性を算出する。ネットワークが大きくなるほど、または同じネットワーク

でトリップ数が多くなり混雑の影響が大きくなるほど、トリップ全体の総経路数が指数関数的に大きくなる。経路数が膨大化すると、計算時間だけでなく、パソコンのメモリ容量の問題からも計算が困難となる。

3.2 交通量 x_{ab} , y_{ab} , z_{ab} の効率的な計算手法の提案

従来の手法では、図-1のように定義される交通量 x , y , z を事前に求めた経路交通量を用いて計算し、経路旅行時間の分散を計算する必要がある。しかし、このためには経路を列挙するための均衡計算と、旅行時間信頼性評価のため均衡計算の二段階の均衡計算が必要となり、計算負荷が増大する原因となっている。本研究ではその解決策として、一段階の均衡計算に統合することを考える。具体的には、F-W法⁴⁾を用いて最短経路探索と一次元探索の間に各リンク間の交通量 x_{ab} , y_{ab} , z_{ab} を逐次的に計算することで、事前の経路列挙計算をカットする。これにより、ネットワーク全体の旅行時間信頼性を評価するために経路パターンを列挙する必要がなくなり、計算時間と必要メモリ容量の両方を改善することができる。

交通量 x_{ab} , y_{ab} , z_{ab} の具体的な計算手順について説明する。最短経路にall-or-nothing配分を行う際、ODごとの交通量 x_{ab} , y_{ab} , z_{ab} が式(7)のように得られる。

$$\begin{cases} x_{ab,(m)}^{rs} = q_{rs} & \text{if link } a, b \text{ are the parts of shortest path} \\ x_{ab,(m)}^{rs} = 0 & \text{others} \\ y_{ab,(m)}^{rs} = q_{rs} & \text{if only link } a \text{ is the part of shortest path} \\ y_{ab,(m)}^{rs} = 0 & \text{others} \\ z_{ab,(m)}^{rs} = y_{ba,(m)}^{rs} \end{cases} \quad (7)$$

ここで、 $x_{ab,(m)}^{rs}$, $y_{ab,(m)}^{rs}$, $z_{ab,(m)}^{rs}$ は m 回目の最短経路探索におけるODペア rs に関するリンク ab の交通量 x_{ab} , y_{ab} , z_{ab} であり、 q_{rs} はODペア rs の交通需要である。これら $x_{ab,(m)}^{rs}$, $y_{ab,(m)}^{rs}$, $z_{ab,(m)}^{rs}$ を全ODについて集計することで、一次元探索前の各リンク間交通量 x_{ab} , y_{ab} , z_{ab} が得られる。次に、一次元探索を用いて適当なステップサイズを決定し、交通量 x_{ab} , y_{ab} , z_{ab} を式(8)のように更新すればよい。

$$\begin{aligned} x_{ab}^{m+1} &= x_{ab}^m + \tilde{\alpha}(yx_{ab}^m - x_{ab}^m) \\ y_{ab}^{m+1} &= y_{ab}^m + \tilde{\alpha}(yy_{ab}^m - y_{ab}^m) \\ z_{ab}^{m+1} &= z_{ab}^m + \tilde{\alpha}(yz_{ab}^m - z_{ab}^m) \end{aligned} \quad (8)$$

ここで、 x_{ab}^m , y_{ab}^m , z_{ab}^m は繰り返し計算の m 回目におけるリンク ab に関する交通量 x_{ab} , y_{ab} , z_{ab} であり、 $yx_{ab}^m - x_{ab}^m$ などは降下方向ベクトル、 $\tilde{\alpha}$ は一次元探索から得られたステップサイズである。ただし、 yx_{ab}^m などは(7)で計算する。経路交通量は式(9)のように得られる。

$$\tilde{f}_{rs}^k = \min[x_{ab}^{rs,k}] \quad (9)$$

ここで、 $\tilde{f}_{rs}^k$ は各ODペア rs 間の k 番目の経路交通量、 $x_{ab}^{rs,k}$ は各ODペア rs 間の k 番目の経路における各リンク間の交通量 x_{ab} である。ただし、リンク a は経路の起点側から数えて最初のリンクである。

表-1 従来のモデルと提案手法で改良したモデルの比較

項目	従来のモデル		提案手法で改良したモデル
	一段階目	二段階目	
計算設備	Dell Precision Tower 5810		
OS	Windows 7 Professional		
CPU	Intel(R) Xeon(R) CPU E5-1630 v4@3.70GHz		
実装メモリ	192G		
システム種類	64ビット		
メモリ占有	4021 MB	4500MB	1353MB
計算時間	約 1670s	約 10886s	約 948s



図-2 石川県道路ネットワーク図

4. 石川県道路ネットワークへの適用

3章に示した手法を、図-2に示す石川県の道路ネットワークに適用する。OD交通量は平成22年道路交通センサスのデータをもとに推定し、朝7時台を対象とした。

表-1に従来の手法と提案手法との比較結果を示す。計算回数は10回のみであるが、この時点で計算時間・メモリ双方の面で改善が確認できる。紙面の都合上、詳細な計算結果と従来のモデルの比較は講演時に示す。

謝辞

本研究の一部は国土交通省新道路技術会議において採択され、国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究により実施したものである。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 長尾一輝, 中山晶一郎, 高山純一. 旅行時間の不確実性を考慮した確率ネットワーク均衡モデルによる時間信頼性評価手法. 土木計画学研究・論文集, 25, 807-814, 2008.
- 2) 土倉悟, 中山晶一郎, 高山純一: 時間信頼性と連結信頼性を統合した道路評価法の開発および金沢市道路ネットワークへの適用, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.69, No.5, pp.1-555-1562, 2013.
- 3) 中山晶一郎, 高山純一, 長尾一輝, 笠嶋崇弘: 旅行時間の不確実性を考慮した交通ネットワーク均衡モデル. 土木学会論文集, (772), 67-77, 2004.
- 4) Frank M. and Wolfe P. (1956) An algorithm for quadratic programming. Naval Res. Logist. Quart. 3, 95-110.