

n 番目最短経路を用いた簡便な道路網信頼性解析法¹

Simple Method for Calculating Terminal Reliability by Searching the N -th Shortest Path

中川真治²・若林拓史³・飯田恭敬⁴

by Shinji NAKAGAWA, Hiroshi WAKABAYASHI and Yasunori IIDA

1. はじめに

道路交通を取り巻く環境が複雑で高度なものとなりつつある現在、道路網の整備水準指標として、道路網の提供する交通サービス水準を質的に評価できる指標が必要である。中でも、信頼性の高い道路網は安定した交通サービスを利用者に提供することができる。しかし、道路網は大規模なシステムであることに加え、O/Dの存在によって道路網信頼性解析は非常に困難である。

道路網信頼性解析では、①個々のリンク信頼度を推定する、②リンク信頼度からノード間信頼度を推定するという2つのステップが必要である。本研究では、②について、大規模道路網においても適用が可能な道路網信頼性解析法を提案するとともに、京都市道路網を用いてその有効性を検討する。

以下では、2.で、リンク信頼度推定方法について整理する。3.では、大規模ネットワークにおける信頼性解析の困難さについて述べるとともに、本研究で提案する信頼度の近似計算法について説明する。4.では、図-1に示す京都市道路網を対象とした数値計算を行い、本研究で提案する方法の利点と問題点について考える。最後に、5.では、得られた成果と今後の課題について述べる。

2. 交通量変動に起因するリンク信頼度推定方法

ここでは、交通量変動に起因するリンク信頼度推定法について述べる。

若林・飯田・井上¹⁾は、OD交通量変動に起因する次のようなリンク信頼度推定法を提案した。

① 平均OD交通量を用いて交通量配分を行い、リンク交通量の平均値 $\bar{v}_a$ を求める。ここに、 a はリンク番号を表す。

② 次の関数モデルを用いて、リンク交通量の変動係数 COV_a を推定する。

$$COV_a = \alpha \cdot \exp \left\{ -\beta \cdot \left(\frac{\bar{v}_a}{C_a} + \delta \right) \right\} + \gamma \quad (1)$$

ここに、 C_a はリンク交通容量である。ただし、4つのパラメータ $\alpha \sim \delta$ は、OD交通量の変動における平均OD交通量と変動パターンに依存する値である。

③ ①及び②で求めたリンク交通量の平均値 $\bar{v}_a$ と変動係数 COV_a の積としてリンク交通量の標準偏差 σ_a を求める。

④ リンク交通量の正規分布 $N(\bar{v}_a, \sigma_a^2)$ の確率密度関数 $f_a(v_a)$ を用いて、次式によりリンク交通容量に対する非超過確率としてリンク信頼度 r_a を推定する。

$$r_a = \int_0^{C_a} f_a(v_a) dv_a \quad (2)$$

この方法は、1回の交通量配分結果を用いて推定ができるという簡便さに特徴を有する。また、リンク交通量変動の標準偏差 σ_a については、実証的な分析がいくつか報告されている(例えば、寺田・西村・日野²⁾)。

一方、朝倉・柏谷・熊本³⁾は交通量観測データの分析結果に基づき、リンク交通量の変動係数を道路属性などから数量化理論を用いて推定し、リンク信頼度を推定する方法を提案している。この方法は、沿道状況等のリンク特性を明示的に考慮できるという特徴をもつ。しかし、将来の交通量変動を予測すること、および交通量変動の連続性とリンク特性を同時に考慮することが困難である。

これらのリンク信頼度推定法は、人手を要する調査やデータ解析によらず、比較的簡便に推定が可能という特徴を有するので、データ制約に限りが多い代替案比較の場合などに特に有効な方法である。

¹ Key Words: 経路選択, 交通計画評価, 交通情報

² 正会員 篠(工) 信州大学工学部社会開発工学科(〒380 長野市若里500, TEL:026-226-4101, FAX:026-228-7657)

³ 正会員 工博 名城大学都市情報学部都市情報学科(〒509-02 可児市虹ヶ丘4-4-3, TEL:0574-69-0131, FAX:0574-69-0155)

⁴ 正会員 工博 京都大学工学部交通土木工学教室(〒606-01 京都市左京区吉田本町, TEL:075-753-5124, FAX:075-753-5907)

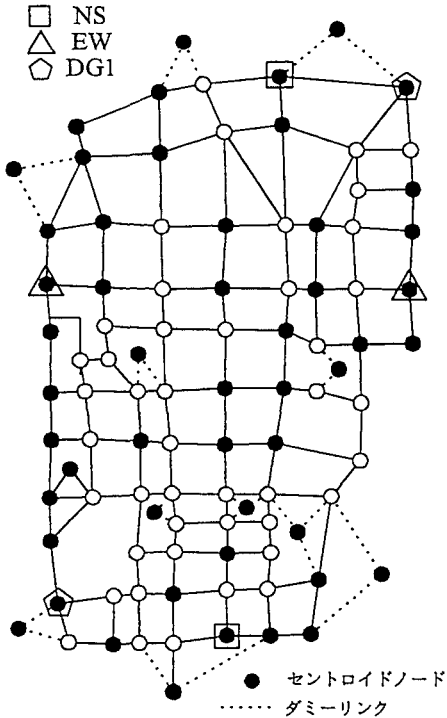


図-1 数値計算の対象道路網(京都市道路網)

3. n 番目最短経路を用いた道路網信頼度の近似計算法

ノード間信頼度の近似計算法として、飯田・若林・吉木⁴⁾は交点法を提案した。交点法は信頼性グラフ解析の考え方に基づく方法であるが、すべてのパス・カットの探索を必要とせず比較的短時間でノード間信頼度の近似値を計算することができる。交点法では、カットを求めるためにノードペアごとに双対ネットワークを構成する必要がある。しかし、大規模な道路網において双対ネットワークの構成に要する手間が大きい。また、内部ノード同士のノードペアについては双対ネットワークが3次元となるので、その構成には困難を伴う。

そこで、本研究では、全てのパスを必要としないという交点法の長所を考慮した上で、双対ネットワークを構成せずにノード間信頼度を算出する方法を提案する。この方法は、対象ノードペアの n 番目最短経路探索によって信頼性解析に用いる道路網を限定するという方法で、具体的には以下のプロセスにしたがうものである。

- ① 交通量配分を実行し、若林・飯田らによる方法¹⁾を用いてリンク信頼度 r_a を推定する。ここに a はオ

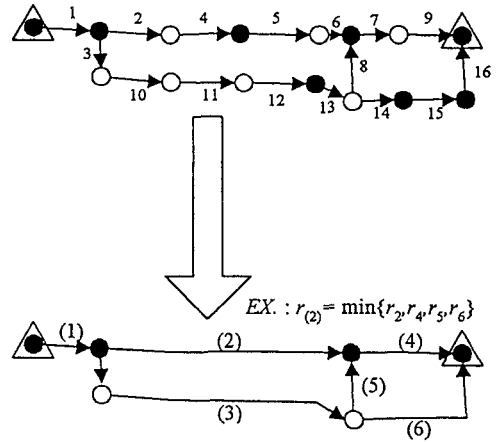


図-2 限定ネットワークの例(京都市道路網)

- リジナルの道路ネットワークのリンク番号である。
- ② 交通量配分結果を用いて n 番目最短経路を探索する。こうして得られる道路網を限定ネットワークと呼ぶ。本研究では、 $n = 3$ とする。
- ③ 限定ネットワークのリンクはオリジナルのネットワークの1つもしくは複数のリンクから構成される。そのリンク信頼度 r_A は構成(オリジナルネットワークの)リンクのリンク信頼度の最小値、つまり $r_A = \min_{a \in a_A} \{r_a\}$ として与える。ここに、 a_A は限定ネットワークのリンク A に含まれるオリジナルネットワークのリンク番号、 A は限定ネットワークのリンク番号である。
- ④ 限定ネットワークのノード間信頼度 R を、1~3 番目最短経路のうち少なくとも1つの経路が通行可能な確率として次式により定義する。

$$R = 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - \prod_{A \in P_i} r_A)$$

となる。ここに、 P_i は限定ネットワークの i 番目最短経路を表す。

- ⑤ 関数 R にリンク信頼度 r_A を代入してノード間信頼度 R を求める。その際、確率の重複計算をさけるブール演算 ($r_A \times r_A = r_A$) を施す。

例えば、図-1 から得られる3経路から構成される図-2の限定ネットワークの場合は、ノード間信頼度 R は次式で与えられる。

$$R = 1 - (1 - r_1 r_2 r_4)(1 - r_1 r_3 r_5 r_6)(1 - r_1 r_3 r_6)$$

この方法により、比較的簡単にノード間信頼度を推

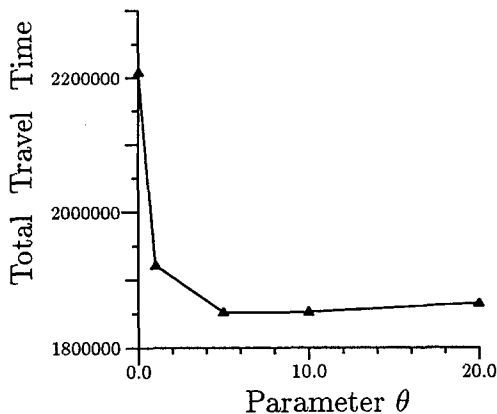


図-3 総旅行時間の変化

定することが可能である。ただし、限定ネットワークのリンク信頼度 r_A の決定方法、プール演算を考慮した効率的な計算プログラムの開発が今後の課題である。

4. 京都市道路網についての数値計算例

(1) 数値計算の条件設定

本研究では、情報レベルの向上が信頼性にもたらす影響について分析する。情報レベルと経路交通量の関係については、確率利用者均衡 (SUE) 配分の考え方をを用いることができる。Fisk⁵⁾が定式化した SUE 配分を定式化する最適化問題の目的関数、

$$Z = \frac{1}{\theta} \sum_{i,j} \sum_k h_{k,ij} \ln(h_{k,ij}) + \sum_a \int_0^{v_a} t_a(v) dv \quad (3)$$

- θ : 分担パラメータ
- $h_{k,ij}$: ODペア (i, j) の k 番目経路の交通量
- θ : 分担パラメータ
- $h_{k,ij}$: ODペア (i, j) の k 番目経路の交通量
- v_a : リンク a の交通量
- $t_a(\cdot)$: リンク a の走行時間関数
- $\delta_{ak,ij}$: 経路行列

をみると、SUE 配分の結果は、分担パラメータ θ の値が 0 の場合は均等配分に一致し、 θ が ∞ になると等時間配分に一致することがわかる。つまり、パラメータ θ を交通状態に関するドライバーの情報のレベルと関連づけることができる。

なお、以下の数値計算例では θ の値として、

$$\theta = 0.0, 1.0, 5.0, 10.0, 20.0$$

の 5 つを用いる。SUE 配分は厳密解法ではなく、近似解法の 1 つである逐次平均化法 (MSA 法) を用いる⁶⁾。

数値計算の対象道路網は図-1 の道路網であり、同図中に示す、南北・東西・対角の 3 方向のノードペアに

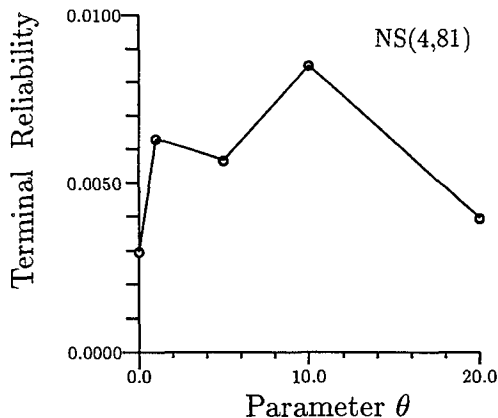


図-4 ノードペア NS のノード間信頼度の変化

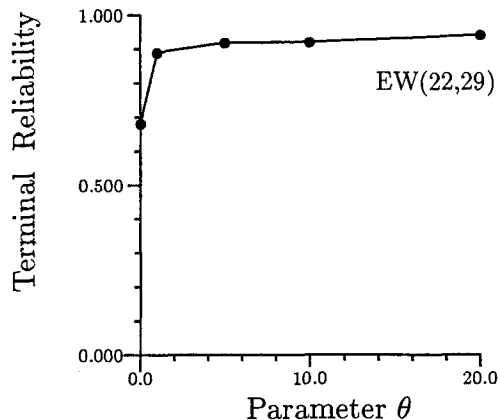


図-5 ノードペア EW のノード間信頼度の変化

対する信頼性解析を行う。

(2) 計算結果とその考察

交通量配分計算と信頼性計算の結果として、道路網の総旅行時間を図-3、ノードペア NS の信頼度を図-4、ノードペア EW の信頼度を図-5、ノードペア DG1 の信頼度を図-6、にそれぞれ示す。

図-3によると、 θ が 0.0 から 1.0 になるときに総旅行時間は比較的大きく低下している。これは、道路網全体としては情報レベルの向上がよい結果をもたらすことを示唆するものである。

次に、各ノードペアの信頼性計算の結果について考察する。

(a) ノードペア NS

1~3 番目最短経路が極めてリンク信頼度の低いリンクを含むため、ノード間信頼度の値は 0.01 以下とかなり低い値である。ノード間信頼度の値は $\theta = 10.0$ のと

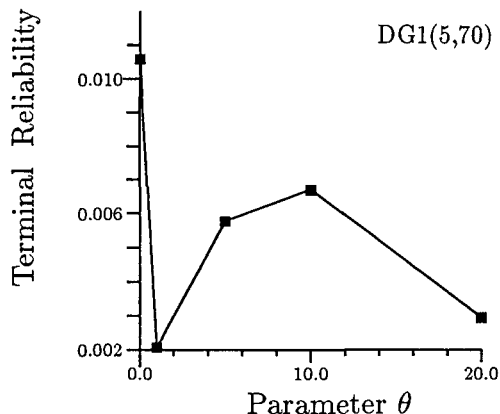


図-6 ノードペア DG1 のノード間信頼度の変化

きが最大で、 $\theta = 0.0$ の時が最小である。したがって、ノードペア NS については、何も情報がない場合に比べて、情報がある方が信頼性の立場からは望ましいといえる。ただし、信頼度の値を考慮するとそのサービスレベルは相当に低いものである。

(b) ノードペア EW

ノード間信頼度はかなり高い値であり、高いサービスレベルであるといえる。これは、1~3 番目最短経路にリンク信頼度の低いリンクが含まれないこと、さらに、比較的リンク信頼度の高いリンクが多いこと、がその理由として挙げられる。ノード間信頼度は θ が0.0のときに最小であり、 θ が0.0から1.0になるときに急激に増加する。それ以上の θ の増加に対してはノード間信頼度は増加傾向にあるものの増加幅は小さい。したがって、ノードペア EW については情報がある場合の方が信頼性の面からは望ましいが、情報のレベルの変化は信頼性に大きく影響しないと考えられる。

(c) ノードペア DG1

ノードペア NS と同様に極めてリンク信頼度の低いリンクが存在するためにノード間信頼度の値がかなり低い値となっている。しかしながら、 θ の変化に対する信頼度の挙動は前の2ノードペアとは異なる。つまり、 $\theta = 0.0$ のときに最大のノード間信頼度を与える。情報提供を何もしない場合でもドライバーの経験に基づく情報が存在するので、 $\theta = 0.0$ の状況は現実には有り得ないと思われるが、この結果は議論の必要があるものと思われる。

(3) 計算結果のまとめ

以上のように、ノードペアにより信頼度の変化パターンは異なる。これは、情報提供などの交通管理運用策の効果を空間的分布として把握する必要があることを

示している。

5. おわりに

(1) 本研究の成果

本研究では、大規模道路網でも適用可能な信頼性解析法を提案し、これを用いて情報レベルの変化がノード間信頼度に及ぼす影響を分析した。その結果、次のような成果が得られた。

- 1) n 番目最短経路の探索によって信頼性解析に用いるネットワークを限定し、道路網信頼性解析を行う方法を提案した。
- 2) ドライバーの有する情報のレベルと関連させた、確率利用者均衡配分の分担パラメータの変化がノード間信頼度に及ぼす影響は対象ノードペアによって異なることを示した。これは情報提供などの交通管理運用策によって得をするドライバーと損をするドライバーがいることを示唆している。

(2) 今後の展望と課題

最後に、今後の課題を挙げておく。

- 1) 提案した信頼性解析方法の特徴についての詳細な検討が必要である。特に、限定ネットワークのリンク信頼度 r_A の決定方法が計算結果に大きく影響する。そこで、複数の決定方法について比較分析を行う必要がある。
- 2) リンク信頼度推定方法を実証的観点から検討する必要がある。特に、リンク交通量の変動係数モデルの妥当性を検証する必要がある。

参考文献

- 1) 若林拓史・飯田恭敬・井上陽一：シミュレーションによる道路網の交通量変動分析とリンク信頼度推定法，土木学会論文集，No.458/IV-18，pp.35-44，土木学会，1993。
- 2) 寺田幸紀・西村 昂・日野泰雄：感知器データによる自動車交通の変動特性の分析，平成3年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集 IV-10，土木学会関西支部，1991。
- 3) 朝倉康夫・柏谷増男・熊本伸夫：日リンク交通量変動の推定に基づく道路網信頼性評価，土木計画学研究・講演集，No.13，pp.591-598，土木学会，1990。
- 4) 飯田恭敬・若林拓史・吉木 務：ミニマルパス・カットを用いた道路網信頼度の近似計算法，交通工学，Vol.23，No.4，pp.3-13，交通工学研究会，1988。
- 5) C. Fisk：Some Developments in Equilibrium Traffic Assignment，*Transportation Research-B*，Vol. 14B，pp.243-255，1980。
- 6) 土木学会土木計画学研究委員会編：第18回土木計画学講習会テキスト-交通ネットワークの分析と計画，pp.81-82，土木学会，1987。