

OD 交通量変動の伝達機構の分析とリンク信頼度推定法*

Propagation Mechanism of OD Flow Variation
and Effective Method for Estimating Link Reliability.

中川真治[†]・若林拓史[‡]・飯田恭敬[§]

Shinji NAKAGAWA・Hiroshi WAKABAYASHI・Yasunori IIDA

1. はじめに

道路網が満足すべき要件は時代と共に変化している。単なる社会基盤施設としてではなく、高度な交通サービスを提供する道路網が求められている。本研究では、高度なニーズに対応しうる道路網が満足すべき整備水準指標として信頼性について考える。

道路網における信頼性には、連結信頼性と時間信頼性という2つの考え方がある。連結信頼性とはノード間が一定水準以上の交通サービスで連結される確率と定義でき、道路網の整備水準を示す有用な指標となる。時間信頼性とは所定の時間内に目的地に到達できる確率と定義でき、標準的な所要時間を明確に定義すれば道路網整備水準を示す有用な指標となる。本研究では前者の連結信頼性を用いて議論する。

道路網信頼性解析では、リンク信頼度の推定、ノード間信頼度の推定という2つの問題を解く必要がある。ノード間信頼度の推定方法として、飯田・若林¹⁾は交点法を提案している。この方法は、リンク信頼度を与件として交通工学的に意味のあるパス・カットを用いて簡便に信頼度計算を行えるという利点を持つ。したがって、簡便なリンク信頼度推定法が必要である。

若林・飯田²⁾は、シミュレーションの結果をもとにして、OD交通量の変動を前提とするリンク信頼度推定法を提案した。この方法では、交通量配分によって得られるリンク需要交通量と交通容量を用いてリンク需要交通量の確率変動を推定する関数モデルを構成し、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を推定する。この方法は1回の交通量配分からリン

ク信頼度を推定するという簡便さに特徴がある。論文の中では、OD交通量の変動に正規分布を仮定するとリンク需要交通量の変動も正規分布として近似できることを明らかにした上で、リンク需要交通量変動の分散を表す関数モデルを提案した。今後は、この関数モデルに含まれるパラメータの推定方法を確立して、簡便かつ有効なリンク信頼度推定方法を構築することが必要である。

そこで、本研究では、リンクフローの変動係数を推定する関数モデルのパラメータの移転可能性について検討するとともに、パラメータの推定方法の構築を念頭においたOD交通量変動のリンクへの伝達機構についての分析を行う。

2. 交通量変動分析とリンク信頼度推定法

ここでは、先に言及した若林・飯田らによるリンク信頼度の推定方法の概略を示す²⁾。この方法では、リンク信頼度を定式化するために次に示すような4つの仮定を設ける。

- ① リンクの信頼性は時間OD交通量の確率的な変動に起因するものとし、リンク信頼度を「リンクの需要交通量が当該リンクの交通容量を超過しない確率」と定義する。
- ② リンクの需要交通量はOD交通量の変動に伴って確率的に変動する。
- ③ OD交通量の変動は正規分布にしたがう。
- ④ リンク容量は外生的に与え、一定値とする。

このような仮定のもとで、リンク信頼度を次に示すようなプロセスにしたがって推定する。なお、 a はリンク番号である。

- ① 平均OD交通量を道路網に配分し、リンク交通量の平均値 $\bar{v}_a$ を求める。交通量配分計算は分割配分法を用いる。

* キーワード：道路計画、交通管理、配分交通

[†] 正会員 工修 信州大学工学部助手 工学部社会開発工学科 (〒380 長野市若里500 Tel.0262-26-4101 Fax:0262-23-4480)

[‡] 正会員 工博 大阪府立工業高等専門学校助教 建設工学科 (〒572 寝屋川市幸町26-12 Tel.0720-21-6401 Fax:0720-21-0134)

[§] 正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学教室 (〒606-01 京都市左京区吉田本町 Tel.075-753-5126 Fax:075-753-5907)

- ② リンク交通量の変動係数 COV_a を求める。

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

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$: パラメータ

C_a : リンク交通容量

- ③ リンク交通量の平均値と上で推定した変動係数を用いて、リンク交通量の標準偏差 $\sigma_a = COV_a \cdot \bar{v}_a$ を算定する。

- ④ 正規分布 $N(\bar{v}_a, \sigma_a^2)$ の確率密度関数 $f_a(v_a)$ を用いてリンク信頼度 r_a を算出する。

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

このリンク信頼度推定方法は、1回の交通量配分で信頼度が推定できるため、膨大な統計的データを処理する必要のない簡便な方法であり、将来の交通管理運用に関する代替案比較に有用な方法である。

交通量変動分析に関する研究例としては、都市間高速道路におけるリンクフロー変動の平均と分散の関係についての飯田・高山³⁾によるモデルがある。このモデルはリンク混雑度を明示的に考慮したモデルではない。一方、ここに示したリンクフローの変動係数を推定する関数モデルは混雑度を明示的に考慮したモデルである。ただし、このモデルはシミュレーションの結果を用いて構築したモデルであるので、実証的分析による妥当性の検討が必要である。

3. リンク交通量変動モデルのパラメータ

リンク需要交通量の変動係数を表す関数モデル(1)においては、式に含まれるパラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ の推定方法が問題である。リンク信頼度の推定においてOD交通量の確率変動を前提とするならば、その平均値と分散だけでなくODペア間の変動の相関を考慮した方法が必要である。まず第1に、OD交通量変動の特性値と4つのパラメータの関係を明確にすれば、パラメータの推定方法の構築のための有益な手掛かりが得られると考えられる。

本節では、リンク交通量の変動係数を推定する式(1)での各パラメータの役割について考察するとともに、その移転可能性についての分析を行う。さらに、パラメータの推定に有利なように、パラメータ数を減らすことが可能か否かについても言及する。

(1) リンク交通量の変動係数推定モデルのパラメータの役割

リンク交通量の変動係数を推定する式(1)は図-1に示すような右下がりの曲線であり、パラメータ α, β, γ の役割は次のようにまとめることができる。

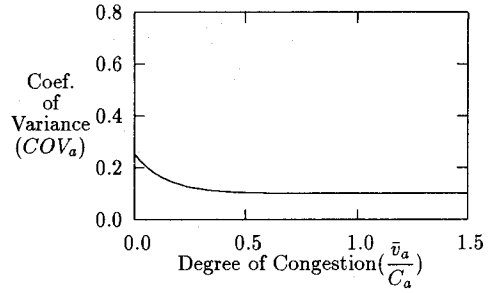


図-1 リンク交通量の変動係数推定モデル

- α : リンク混雑度が0に近い場合の COV_a の値
- β : リンク混雑度に対する COV_a の感度
- γ : OD交通量がODペア間で相関係数1で変動する場合の COV_a の値

この関連付けは厳密なものではなく、パラメータの推定方法を示唆するような意味をパラメータ自身にもたせるためのものである。例えば、 α の大小もリンク混雑度に対する変動係数 COV_a の感度に影響を及ぼすのは明らかである。また、 δ によって図-1の曲線は、曲線 $y = \alpha \exp(-\beta x) + \gamma$ を x 軸方向に $-\delta$ だけ平行移動させたものになるが、これは、 δ が α と β の役割を持つことを示している。しかし逆に、 δ を用いなくてもよいと考えることができ、パラメータの数が1つ減ることになり、パラメータ推定にとって有利になる。

次項では、パラメータの推定方法について考えることを目的として、リンク交通量の変動係数モデルのパラメータの移転可能性について検討する。

(2) リンク交通量の変動係数推定モデルの移転可能性

ここでは、リンク需要交通量の変動係数を推定する関数モデル(1)に含まれるパラメータ α, β, δ の値がモデルに及ぼす影響について考える。飯田・若林らは、これらのパラメータをOD交通量の変動における相関の有無、平均値と分散に依存する異なる値として推定した²⁾。しかし、簡便なパラメータの推定方法を構築するには、パラメータの推定時に必要となる要因が少ない方が望ましい。

なお、OD交通量の変動パターンとしては、OD交通量が総交通量の変動とODペアごとの変動にしたがうとする次式のような場合について考える。

$$X_{ij} = (1 + \varepsilon)(1 + \varepsilon_{ij})\bar{X}_{ij}$$

$\varepsilon, \varepsilon_{ij}$: 平均が0の正規乱数

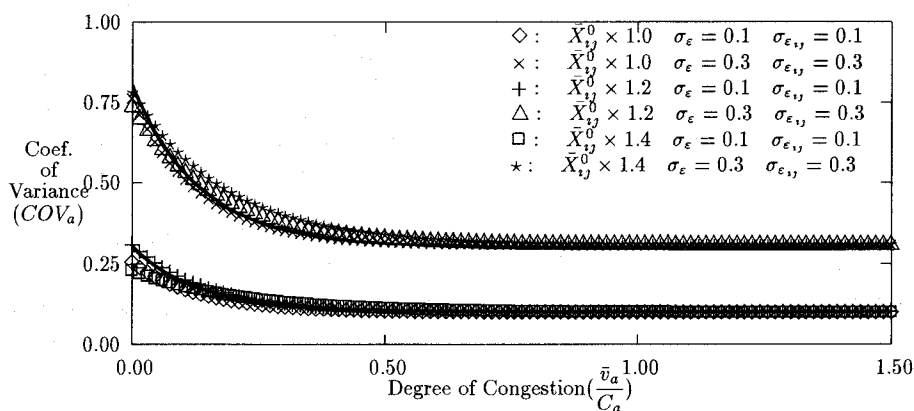


図-2 リンク交通量の変動係数と混雑度の関係

基準 OD 交通量, その 1.2 倍, 1.4 倍という 3 つの平均 OD 交通量の各々に対して, ε , ε_{ij} の標準偏差がともに 0.1, 0.3 の場合の計 6 つの変動パターンについて推定された式 (1) を図示すると図-2 のようになる。図中において, $\bar{X}_{ij}^0$ は基準 OD 交通量, σ_ε は ε の標準偏差, $\sigma_{\varepsilon_{ij}}$ は ε_{ij} の標準偏差を表わす。

寺田・西村・日野⁴⁾は大阪市内での交通量の変動係数は 0.1 前後であることを示した。この研究成果は上述の 6 パターンが限定的なものでないことを示唆するものと考えられる。

図-2 によると, 6 つの曲線は ε , ε_{ij} の標準偏差の値によって 2 つのグループに分かれることがわかる。そこで, OD 交通量の平均値とは無関係にリンク交通量の変動係数モデルをつくることが可能ではないかと考えられる。つまり, パラメータを OD 交通量変動における OD ペア間の相関関係と分散を考慮して決めればよいことになる。

実際, 図-2 の太線で示されるように, 前項で言及した δ を除いた形のリンク需要交通量の推定式,

$$COV_a = \alpha \cdot \exp \left\{ -\beta \left(\frac{\bar{v}_a}{C_a} \right) \right\} + \gamma \quad (3)$$

で 6 つのケースに十分対応できることがわかる。したがって, 相関の強さと分散で表わされる OD 交通量の変動パターンを考慮して, パラメータ α , β , γ を推定する方法を構築すればよいといえる。

4. OD 交通量変動のリンクへの伝達機構

ここでは, リンク需要交通量の変動係数の関数モデルのパラメータ γ の推定方法を開発することを目指して, OD 交通量の変動がリンク需要交通量の変動とし

てどのように伝達されるのかについて考える。具体的には, 正規分布の再生性を用いてリンク交通量を OD 交通量の線形和として表すことにより, リンク交通量の変動係数を OD 交通量の変動のパラメータを明示的に含んだ形として表現する。

(1) リンク利用率の OD 交通量変動に対する安定性

先述したように, OD 交通量が正規分布にしたがう確率変数であるとき, リンク需要交通量もまた正規変数であると考えてもよい。このことは, OD 交通量に関するリンク利用率の高いリンクは OD 交通量の変動する場合でもよく利用され, その結果として高いリンク利用率が維持されることを示している。つまり, OD 交通量の変動係数が 0.1 前後といった比較的低いレベルであれば, リンク利用率は十分に安定した値であると見なしてもよいと思われる。

そこで, 以下の考察では, 説明の見通しをよくするため, リンク利用率を OD 交通量の変動下でも一定と考えて議論を進めることにする。ただし, 実際の交通量データなどを用いた解析などによって, 詳細な検討を加える必要があることはいうまでもない。

(2) 正規分布の再生性による交通量変動の定式化

ここでは, OD 交通量変動がリンク需要交通量の変動としてどのように伝わるのかについて, 正規変数の線形和は正規変数であるという正規分布の再生性を用いて考察する。

まず, 以下の諸変数を定義する。

$\bar{X}_{ij}$: OD 交通量の平均値

σ_{ij} : OD 交通量の標準偏差

$\sigma_{ij,(ij)'}'$: OD 交通量変動の OD ペア間の共分散

$\bar{v}_a$: v_a の平均値

σ_a : v_a の標準偏差

p_{aij} : リンク a の利用率

前項で述べたように、OD 交通量が確率的に変動する下でもリンク利用率は一定であると仮定する。このとき、正規分布の再生性によると、リンク交通量もまた正規確率変数である。すると、リンク交通量の平均値 $\bar{v}_a$ と分散 σ_a^2 は OD 交通量の平均値 $\bar{X}_{ij}$ 、分散 σ_{ij}^2 、共分散 $\sigma_{ij,(ij)'}'$ を用いて次のように表わすことができる。

$$\bar{v}_a = \sum_{ij} p_{aij} \cdot \bar{X}_{ij} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \sigma_a^2 = & \sum_{ij} p_{aij}^2 \cdot \sigma_{ij}^2 \\ & + \sum_{ij,(ij)'} p_{aij} \cdot p_{a(ij)'} \cdot \sigma_{ij,(ij)'}' \end{aligned} \quad (5)$$

両式の右辺に含まれるリンク利用率 p_{aij} は、OD 交通量の平均値を用いた交通量配分によって決定することができる。その他の変数は OD 交通量変動の特性値であるので、(4)、(5) 式は OD 交通量変動の特性値を明示的に含んだリンク需要交通量の変動を記述する式と見なすことができる。

5. リンク交通量の変動係数推定モデルのパラメータ推定法

ここでは、パラメータ γ を推定する方法について考える。リンクフローの分散を OD フローの分散を用いて表わす式 (5) において、OD 交通量の変動係数 CV_{ij} 、相関係数 $\rho_{ij,(ij)'}'$ は OD ペアに関係なく一定であり、それぞれ CV 、 ρ で表わされるものと仮定すると、最終的に次のような式を誘導することができる。

$$COV_a = CV \sqrt{1 - \frac{B}{A+B}(1-\rho)} \quad (6)$$

$$\text{ただし、} A = \sum_{ij} p_{aij}^2 \bar{X}_{ij}^2$$

$$B = \sum_{ij} \sum_{(ij)'} p_{aij} p_{a(ij)'} \bar{X}_{ij} \bar{X}_{(ij)'}$$

また、 A に含まれる項の数は OD ペア数に等しく、 B のそれは OD ペア数の二乗であるので、 $B/(A+B)$ の値は 0.5 より大きな一定値である。例えば、ノード数が 81 個の格子型道路網について計算すると、その値は約 0.8 であった。

リンク交通量の変動係数 COV_a が、OD 交通量変動の変動係数 CV 、OD 交通量の変動における相関の強さ ρ とネットワークによって決まる定数 $B/(A+B)$ によって表わされることを式 (6) は示している。つまり、

OD 交通量変動のリンク需要交通量への伝達機構を示す近似式が式 (6) であると考えられる。

道路網全体が混雑していて、リンク混雑度が比較的高い場合は、式 (1) で与えられるリンクフローの変動係数はほぼ一定である。そこで、式 (6) で与えられるリンクフローの変動係数 COV_a は、この一定値を与えるものと考え、式 (6) をリンク交通量変動係数モデルのパラメータ γ を推定する関数モデルと考えることができる。また、 α と β の推定方法を構築すれば、空いているリンクにも対応可能となるので、これについては今後の課題としたい。

6. おわりに

本研究では、リンク信頼度の推定方法の構築を念頭において、リンク需要交通量の変動係数のパラメータ推定に関する考察と OD 交通量変動のリンクへの伝達機構の分析を行った。

将来の交通計画の代替案比較の際のように利用可能なデータに制約があるときのリンク信頼度の推定という問題は、新しい道路網整備水準指標として信頼性を位置付ける上での重要なテーマである。交通管理と信頼性を結び付けることができれば、交通サービス水準に敏感であるという道路網信頼性の特質を生かすことができる。

今後は、リンク交通量の変動係数を推定する関数モデルのパラメータの推定方法を構築することにより、簡便で有効なリンク信頼度推定法を開発することが必要である。

また、本研究で示した、

- 1) OD 交通量の変動特性
- 2) OD 交通量変動のリンクへの伝達機構
- 3) リンクフローの変動係数を推定する関数モデル

に関するモデルはシミュレーションの結果をもとにして得られたものである。その妥当性を検討するための実証的分析の必要性を認識しておかねばならない。

参考文献

- [1] 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, 1988.
- [2] 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.458/4-18, pp.35-44, 1993.
- [3] 飯田恭敬, 高山純一: 高速道路における交通量変動特性の統計分析. 高速道路と自動車, Vol.24, No.12, pp.22-32, 1981.
- [4] 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量の変動特性の分析. 平成 3 年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集, pp. 4-10, 1991.