

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

災害時において情報提供をすることは、交通渋滞解消や信頼性向上に大きく貢献すると言われている。しかし、情報提供をすることが本当に渋滞解消につながるのかという点や、どれくらいの効果が得られるかという点については未知である。

本研究は、災害時の情報提供を考慮したネットワーク信頼性評価モデルを提案することを目的とする。

2. ネットワーク信頼性評価の考え方

(1) 状態ベクトルと発生確率

n 本のリンクからなる連結されたネットワークを考える。障害はリンクのみで発生し、ノードでは発生しない。障害が発生したリンクは機能を完全に停止して、片側交互通行などで運用されることはないものとする。このとき、ネットワークに含まれるリンクの状態は、状態ベクトル $\mathbf{x} = \{x_1, \dots, x_a, \dots, x_n\}$ で表すことができる。状態ベクトルの要素 x_a は、リンク a が機能しているとき $x_a = 1$ 、機能していないとき $x_a = 0$ である。

各リンクの通行可能確率は与件であり、それぞれのリンクごとに障害はランダムに発生し、その確率はリンク間で相互に独立であると仮定する。リンク a が機能している確率を $p_a (a = 1, \dots, n)$ とすると状態ベクトル $\mathbf{x}$ の発生確率 $p(\mathbf{x})$ は次式のように示される。

$$p(\mathbf{x}) = \prod_a p_a^{x_a} (1 - p_a)^{1-x_a} \quad (1)$$

(2) 交通流の記述

本研究では、ネットワークフローを記述するのに確率的利用者均衡モデル (SUE) を適用する。このモデルは、利用者の経路選択行動にばらつきを考慮することによって不確実性を考慮し、かつ、ネットワークの混雑現象を考慮できるという特長を持っている。交通コストを利用者の知覚するコストとみなすと、SUE は「どの利用者也自分が経路を変更す

ることにより、自分の交通費用を削減できないと信じている状態」を満足するフローを求める問題である。

(3) 信頼性評価指標の提案

災害時のパフォーマンス指標として、ネットワークの状態 $\mathbf{x}$ に対して利用者均衡モデルを解いて得られる評価指標の期待値を使用する。ネットワークのすべての状態に対してフローを記述しパフォーマンス ($Z[f(\mathbf{x}), c(\mathbf{x})]$) を計算し、その期待値を災害時の信頼性評価指標とするのである。

$$R = \sum_{\mathbf{x} \in \mathcal{X}} Z[f(\mathbf{x}), c(\mathbf{x})] p(\mathbf{x}) \quad (2)$$

3. 情報提供を考慮した信頼性評価モデル

本研究では、Yang¹⁾ が提案した複数の利用者属性を考慮した混合確率均衡モデルを適用する。経路選択に対する移動の異なる複数のグループが存在する場合の SUE は以下のように定式化される。

$$\begin{aligned} \text{Min. } Z(f) = & \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} t_a(x) dx + \\ & \sum_{g \in G} \frac{1}{\theta_g} \sum_{r,s \in \Omega} \sum_{k \in K_{rs,g}} f_k^{rs,g} \ln \left(\frac{f_k^{rs,g}}{q_{rs,g}} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

sub.to

$$\sum_{k \in K_{rs,g}} f_k^{rs,g} = q_{rs,g} \quad \forall g \in G, r, s \in \Omega \quad (4)$$

$$f_k^{rs,g} \geq 0 \quad \forall k \in K_{rs,g}, g \in G, r, s \in \Omega \quad (5)$$

ここに、 $q_{rs,g}$ はグループ g における OD ペア rs 間の交通量、 $f_k^{rs,g}$ はグループ g における OD ペア rs 間第 k 番目の経路交通量、 v_a と $t_a(x)$ はそれぞれリンク a の交通量とリンクコスト関数である。

グループ g ごとに経路選択行動の違いを考慮するには、パラメータ θ_g を変化させればよい。本研究では、情報なしのグループのパラメータ θ_1 を 0 とし、情報ありのグループのパラメータ θ_2 を ∞ とする。

前者は、ドライバーはネットワークについて完全に情報がなく、全経路に対してランダムな経路選択を行う。後者は、目的関数の第二項目が消失し、確定的な利用者均衡状態（Wardrop 均衡）となる。

本研究では、情報ありと情報なしの2種類のドライバーを用意し、その割合を変化させながらネットワークの信頼性評価をする。OD ペア rs 間の総交通量 q_{rs} が一定のとき、情報なしのドライバーの割合を ω ($0 \leq \omega \leq 1$) とすれば、式(4)は以下のように置き換えられる。

$$\sum_{k \in K_{rs,g}} f_k^{rs,1} = q_{rs,1} = \omega q_{rs} \quad \text{情報なし} \quad (6)$$

$$\sum_{k \in K_{rs,g}} f_k^{rs,2} = q_{rs,2} = (1 - \omega) q_{rs} \quad \text{情報あり} \quad (7)$$

4. 小規模ネットワークでの数値計算例

図1に示す小規模ネットワークとリンクコスト関数を用いて、ドライバーへの情報提供がネットワーク信頼性にどのような効果をもたらすかを調べる。OD ペア 1,2 間の総交通量は30台とし、リンクの連結確率 p_a を $\{0.9, 0.8, 0.7, 0.9, 0.8\}$ とする。

図2は情報のありと情報なしのドライバーの割合を変化させたときの総走行時間の逆数の期待値 $E[1/TC]$ を表したものである。このことから、ドライバーに情報提供することは期待値論的にネットワーク全体の旅行時間を減少させることがわかった。

表1はネットワークの状態別に ω を変化させながら総走行時間を求めたものである。[State 1]の場合、 ω が小さくなる（情報提供率が高くなる）ほど総走行時間は減少する。[State 2]の場合、総走行時間が最小になるには $\omega = 0.5$ の状態である。このことから、災害時において情報を与えることは必ずしも良いとは限らないことが示唆される。

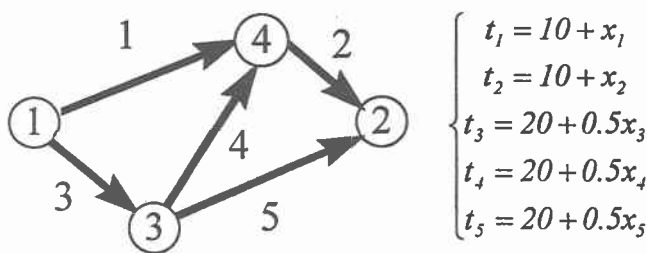


図1 小規模ネットワークとリンクコスト関数

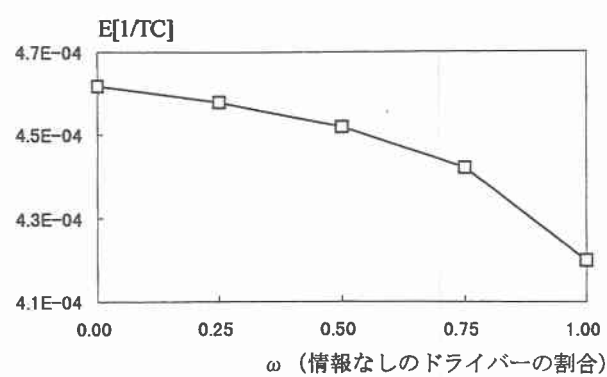


図2 総走行時間から見た情報提供の効果

表 1 状態ベクトル別の総走行時間

Network State	$\omega = 0$ Perfect Info.	$\omega = 0.25$	$\omega = 0.50$	$\omega = 0.75$	$\omega = 1.0$ Without Info
[State 1] 	1,600*	1,638	1,687	1,760	1,900
[State 2] 	2,400	2,316	2,288*	2,316	2,700

*) Minimum

5. おわりに

本研究では、従来の災害時におけるネットワーク信頼性評価に情報提供を考慮したモデルを組み込んだ。仮想的なネットワークにおける数値計算より得られた知見として、ドライバーに情報提供することはネットワークの信頼性を向上させることがわかった。しかしながら、災害時において常に情報提供することがネットワークの総走行コストを減少させるとは限らないことがわかった。

もちろん、ここに示したネットワークの規模はきわめて小規模であり、数万リンク持つような大規模ネットワークではすべてが正しいとは限らない。また、災害時における情報なしのドライバーの経路選択行動はランダムではなく他の方法で表現すべきであり、今後の課題である。

参考文献

1) Yang, H.(1998) Multiple Equilibrium Behaviours and Advanced Traveller Information Systems with Endogenous Market Penetration. *Transpn. Res. B*, Vol.32, No.3, pp.205-218.