

交通ネットワーク信頼性評価のための経路選択モデルの改良*

Improving Route Choice Behaviour Model for Transport Network Reliability Analysis

越智大介**, 朝倉康夫***, 柏谷増男****

by Daisuke Ochi and Yasuo Asakura and Masuo Kashiwadani

1. はじめに

災害時の交通ネットワークの信頼性評価に関して、著者らはこれまでネットワークの一部が物理的に機能しないときの交通流の変化を明示的に考慮した信頼性モデルを提案してきた¹⁾。災害時の交通流の記述方法としては、たとえば、リンク容量制約付きの需要変動型利用者均衡モデルを使用してきた。このモデルは災害時の交通需要の減少を記述でき、かつ、特定経路に交通が集中した場合のボトルネックの発生とサービス水準の低下を表現しやすいという特徴を持っている。また、利用者のリンク所要時間の認知に関する不確実性を考慮するために、複数の利用者セグメントが存在する場合の確率的利用者均衡モデルを適用すれば、災害時の情報提供の効果を調べることができることも示している²⁾。

しかし、従来の交通流の記述方法では、災害により生じるネットワークの状態に関する利用者の認識の不確実性を考慮できないという問題が依然として残されていた。利用者均衡モデルの範囲で交通流を記述する限りは、災害時であっても利用者はネットワークの形状そのもの（連結状態）については完全な情報を持っているという仮定を置かざるを得ない。利用者均衡モデルは平常時ネットワークを対象に開発されたモデルであり、災害時のネットワークの状態に関する利用者の知覚を考慮することができないからである。

本研究では、災害時におけるドライバーのネットワーク形状の認知に関する不確実性を考慮した経路選択行動モデルを提案することを目的とする。以下、2. では災害時の経路選択に関する従来の研究について述べ

る。3. ではネットワーク認知の不確実性を考慮した経路選択行動の考え方について述べる。4. では信頼性評価へ経路選択モデルを組み込む方法を説明し、簡単な計算例を示す。

2. 災害時の交通選択行動に関する従来の研究

災害時の経路選択に関する従来の研究は、実ネットワークにおけるドライバーの交通選択行動の実証分析と経路選択行動の不確実性を考慮した信頼性評価の2種類に分けられる。

朝倉他³⁾は四国地域の一般ドライバーを対象にアンケート調査を行い、災害によって通行規制されたネットワークにおけるドライバーの交通選択行動について実証的な分析を行っている。その結果、通行規制に遭遇しても85%のドライバーはトリップを中止することなく、そのほとんどが迂回ルートを利用することや、経路変更の際にはほぼ7割のドライバーがリスクの高いルートへの変更を余儀なくされていることが示されている。

経路選択行動の不確実性を考慮した信頼性評価モデルは、利用者均衡の概念によりネットワーク交通流を記述しようとしている。その特徴は次の点である。

- (a) 災害時のトリップ中止・迂回行動を記述できる。
- (b) 残された通行可能経路への交通混雑を表現できる。
- (c) 情報量の異なるドライバーの経路選択行動のばらつきを考慮することができる。

3. 災害時の経路選択行動モデル

(1) 選択経路集合の考え方

確定的な利用者均衡モデルで前提とされる経路選択行動は、ODペア間に存在するすべての経路が選択可能であり、その中から最適な走行経路をドライバーが選択するというものである。もちろん、経路集合を事前に与えることはないので、すべての経路が選択対象

*keywords: 交通網計画, 防災計画, 信頼性評価

**学生員 愛媛大学大学院博士前期課程土木海洋工学専攻
(〒790-8577松山市文京町, TEL.089-927-9829, FAX.089-927-9843)

***正会員 工博 愛媛大学工学部環境建設工学科

****フェロー 工博 愛媛大学工学部環境建設工学科

となるというのは明示的な仮定ではないが、すべてのリンク・ノードの状態をドライバーが知っており、その中から最適な経路を選ぶという意味ではすべての経路が選択対象であると言ってもよいであろう。

確率的な経路選択モデルの代表である Dial モデルでは、「有効経路(Effective Path)」という形でフローが流れる経路の集合を求めている。この場合でも、ドライバーはすべてのリンク・ノードの連結関係を認知しており、その中から選択可能な経路の集合を抽出するという考え方であることに変わりはない。

しかし、平常時であっても全てのドライバーがネットワークの連結関係を正確に認知しているとはいえないから、OD ペア間に存在するすべての経路が選択対象となることはありえない。災害時のようにネットワークが部分的に非連結となるような場合には、ドライバーのネットワーク形状の認知レベルは平常時に比較してより低下するであろう。

ネットワーク形状の認知をモデルにするために、ネットワークの連結状態を状態ベクトルで表現する。 n 本のリンクからなる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、ネットワークの状態は、状態ベクトル $x = \{x_1, \dots, x_n\}$ 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。ネットワークの状態は様々であるから、添え字 j により状態を区別する。 x_j とは j 番目の状態を指す。

次に、実際に生起しているネットワーク x_j とドライバーが想起するネットワーク x_j^* という2種類のネットワークを考える。完全な知識・情報を持つドライバーは両者が一致するが、そうでないドライバーが想起するネットワークは現実には生起しているネットワークと必ずしも一致しないと考える。

想起しているネットワークから、選択可能経路集合 $K(x_j^*)$ を特定化する際には、非補償型の EBA (Elimination by Aspects) モデルを用いる。このモデルは、様々な経路属性（例えば許容所要時間、許容走行コスト等）にそれぞれ独立に制約をかけることにより、選択対象となりえる現実的な経路集合を選別するモデルである。

(2) 平常時の選択経路集合

平常時のネットワークを状態 x_0 で表す。OD ペア rs 間の経路集合 $K_{rs}(x_0)$ を図-1に示す。経路集合 $K_{rs}(x_0)$ は、ドライバーのネットワークの知覚によって左右されるが、ここではモデル構造を簡潔にするために、平常時にはすべてのドライバーがネットワークの連結状態を正確に認知しているとする。つまり、平常時には生起しているネットワークと想起されるネットワークの間に差はないとする。

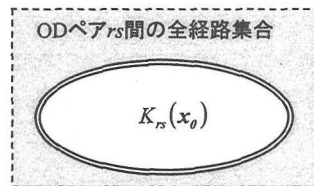


図-1 平常時に完全情報を持つドライバーの経路集合

(3) 災害時の選択経路集合

平常時にはネットワークの連結状態を正確に認知しているドライバーも、災害時にはネットワークの認知に不確実性が増大し、ドライバーが想起するネットワークの状態 x_j^* と生起しているネットワーク x_j が異なることが考えられる。つまり、ドライバーは通行可能であると信じている経路が実際には通行不能であるということが発生する可能性がある。

以下では、リンク属性はネットワークの状態によらず一定であるとして、災害時でも完全情報を与えられたドライバーと情報を持たないドライバーについて、それぞれの選択経路集合の相違を説明する。

(a) 完全情報を持つドライバーの選択経路集合

災害時にも完全情報を持つドライバーは、想起するネットワーク x_j^* が生起しているネットワーク x_j と等しい。災害時に完全情報を持つドライバーの選択経路集合 $K_{rs}(x_j^*)$ は、図-2に示すとおりである。

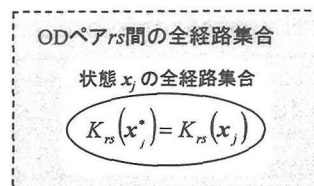


図-2 災害時に完全情報を持つドライバーの経路集合

完全情報を持つドライバーの経路選択行動は、 $K_n(x_j^*)$ が空集合でなく、トリップ可能な経路が存在する場合は効用が最大の経路を選択し、 $K_n(x_j^*)$ が空集合ならトリップを中止するとする。

(b) 情報を持たないドライバーの選択経路集合

災害時に情報を持たないドライバーは、想起するネットワーク x_j^* と生起しているネットワーク x_j が異なる可能性がある。災害時に情報を持たないドライバーの選択経路集合 $K_n(x_j^*)$ を図-3に示す。

情報を持たないドライバーの経路選択行動は、 $K_n(x_j^*)$ に経路が存在する場合はその中で最適な経路を選択し、 $K_n(x_j^*)$ が空集合ならトリップを中止とする。ただし、選択した経路が途中で通行不能であった場合、図-4に示すような経路変更/迷走が発生するものとする。

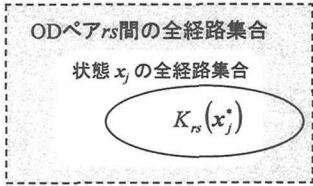


図-3 災害時に情報を持たないドライバーの経路集合

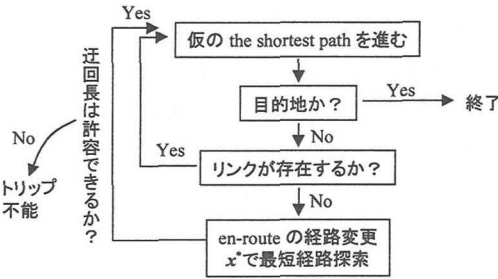


図-4 行き止まり時の経路変更/迷走アルゴリズム

4. 信頼性評価への経路選択モデルの組み込み

(1) 信頼性評価モデルの全体構造⁴⁾

自然災害が発生したり、事前規制が行われたりすると、交通容量が低下、あるいは全面通行止めになる区間を含んだ状態のネットワークになる。このようなネットワークの故障を考慮して、その状態でのネットワークの交通処理能力の推定を行い、信頼性の評価を行う。この方法の枠組みを以下に示す。

(a) 状態発生確率

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 x の発生確率 $p(x)$ は次式のように示される。

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

(b) 交通流の記述

状態ベクトル x に対し交通流を記述する際には、先に示した経路選択モデルを適用する。現段階では交通量の増加による混雑の発生を考慮するには至っていないが、混雑現象を考慮することはそれほど難しいことではない。

(c) 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 x に対して交通流を記述し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 ($Z[f(x), c(x)]$) 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。

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

なお、式 (2) の近似計算は既に提案されている。

(2) 小規模ネットワークでの数値計算例

ネットワークを図-5、リンク属性を表-1に示す。通行不能になる可能性のあるリンクは計4本である。情報を持たないドライバーが想起するネットワークの与え方にはいくつかの考え方があがあるが、ここでは生起した状態にかかわらず平常時のネットワークを想起するものとした。情報を持つドライバーは、生起しているネットワークと同じネットワークを想起することができる。

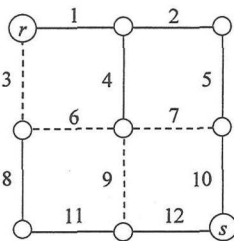


図-5 小規模ネットワーク

表-1 リンク属性

リンク番号	リンク長	通行可能確率
1	30	1.0
2	10	1.0
3	20	0.9
4	20	1.0
5	20	1.0
6	10	0.9
7	20	0.9
8	20	1.0
9	30	0.9
10	40	1.0
11	30	1.0
12	10	1.0

(a) 経路選択行動の例

ネットワークの状態が図-6であるとしたときの経路選択モデルの適用結果を示す。完全情報を持つドライバーは無駄なく経路を選択しているのに対し、情報を持たないドライバーは選択した経路が途中で通行不能となり経路変更/迷走を引き起こす。リンク7,9が存在するものとしてノード◎まで進むが、そこでノードが切断されているため、再選択している。

このことから、ネットワークの状態によっては情報を持たないドライバーは大きな無駄を生じる可能性がある。

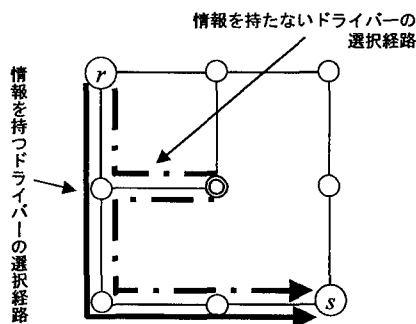


図-6 ある状態でのドライバーの選択経路の例

(b) 信頼性評価の例

先に示した経路選択モデルを信頼性評価プロセスに組み込んで情報提供の効果を調べる。災害時の情報提供効果を調べるためには、情報を持つドライバーと持たないドライバーの交通需要の上限の和を一定とし(式(3)), 両者の比をパラメトリックに変化 ($0 \leq \omega \leq 1$) させてフローを計算すればよい。ODペアrs間の交通需要の上限は100台とし、信頼性評価指標を総走行コストの期待値 $E[TC]$ とする。

$$\omega T_{rs,1} + (1-\omega)T_{rs,2} = \text{const} \quad (3)$$

$T_{rs,1}$: 完全情報を持つグループの交通需要の上限

$T_{rs,2}$: 情報を持たないグループの交通需要の上限

図-7に情報提供することによる信頼性の効果を示す。このことから、ドライバーに情報提供することは経路変更/迷走を削除し、信頼性向上に効果があると言える。

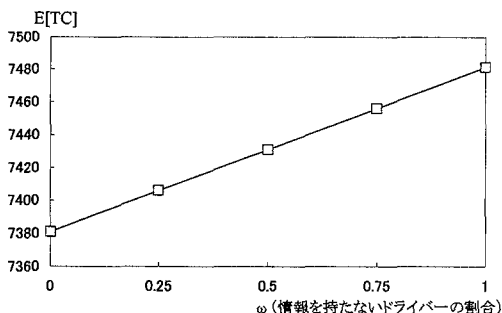


図-7 総走行コストから見た情報提供の効果

5. おわりに

本研究では、災害時におけるドライバーのネットワーク形状の認知に関する不確実性を考慮した経路選択行動モデルを提案し、信頼性評価プロセスに組み込んだ。小規模ネットワークにおける数値計算の結果から、ドライバーに情報を提供することは不確実性を削除し信頼性の向上につながる事がわかった。

もちろん、信頼性を評価するには交通量の増加による混雑の発生を考慮する必要がある。また、情報を持たないドライバーの想起するネットワークの表現方法についても考察する必要があり、今後の課題である。

【参考文献】

- 1) 朝倉康夫, 柏谷増男, 藤原健一郎 (1998) 道路網の機能的階層性と災害時の時間信頼性との関連. 土木学会論文集, No.583/IV-38, pp.51-60
- 2) Asakura, Y. (1999) Evaluation of Network Reliability using Stochastic User Equilibrium, Journal of Advanced Transportation (in press)
- 3) 朝倉康夫, 柏谷増男, 高木一浩, 藤原健一郎 (1997) 災害による道路通行規制時の交通選択行動に関する実証分析. 土木計画学研究・論文集, No14, pp371-380
- 4) Du, Z.P. and Nicholson, A.J. (1993) Degradable Transportation Systems Performance, Sensitivity and Reliability Analysis. Research Report, No.93-8, Dept. of Civil Eng., University of Canterbury, NZ.