

信濃川断層を考慮した被災時救急搬送サービスの信頼性評価に関する研究

長野工業高等専門学校 増井 周平 長野工業高等専門学校専攻科 尾曾 真理恵
 長野工業高等専門学校 正会員 柳沢 吉保 長野工業高等専門学校 正会員 古本 吉倫
 金沢大学大学院 フェロー 高山 純一

1. はじめに

長野市では第4次長野市総合計画において、災害に強いまちづくりおよび防災対策の推進が主要政策のひとつとされている。とくに地震発生による被災時への対応として消防・救急・救助体制の充実が求められている。市民アンケートの中で「消防や救急救命活動が迅速に行われているか」の問に対して現状は63.4%であり、目標値から大きく乖離しているのが現状である。現在長野市では、地震発生時の救急体制として、市内に消防署・分署14箇所、駆けつけ先救護所として市内中学校13箇所、搬送先である後方病院8箇所を配置している。一方、平成14年度長野県地震基礎調査報告によると、長野市における被災対象となる橋梁は88箇所、盛り土は7箇所、斜面248箇所である。うち、信濃川断層帯により不通となる深刻な被害は、橋梁5箇所、盛り土3箇所、斜面57箇所とされるが、長野市の救急駆けつけ搬送拠点が必ずしも、被災地点を考慮して配置されているわけではない。被災地点に対応した救急拠点、救護所、搬送先病院の組み合わせを考慮する必要がある。

被災時における駆けつけ搬送経路の評価に関する既往研究として、尾曾ら¹⁾は、シミュレーションによる時間信頼性評価によって、最適経路の探索を検討している。

本研究では長野県に影響を及ぼす活断層のうち、とくに長野市北部に大きな被害を及ぼすとされる信濃川活断層が、長野都市圏交通ネットワークに与える影響を検討する。具体的には、(1)信濃川活断層による地震が長野都市圏交通施設に与える地震規模を調査、(2)目的地までの時間信頼性評価システムの構築、(3)被災前後の最適な救急拠点、救護所、搬送先病院の組み合わせを検討する。

2. 信濃川活断層が長野市交通ネットワークに及ぼす被害

信濃川断層に起因する長野市交通ネットワークの地震被害は表1に示すとおりである。被害箇所は、橋梁、盛り土、斜面である。とくに中山間地に多く含まれる斜

面は、十分な整備が行われていないため、被災時に被害を被る可能性が高い。また、橋梁は本体自体の被害と、橋脚部の液状化による被害を被る可能性がある。表1に被災時に一部通行制限以上の被害箇所数を確率段階別に示す。盛り土や切土がある場所では多くの箇所で被害を受けていることがわかる。特に切土などの斜面では高い確率で被害を受ける箇所が多い。また、橋梁も、盛り土と比べ通行制限を受ける箇所が多い。橋梁は交通ネットワークにおいて重要な箇所となる場合が多く、被害を受けた時に、救急搬送や物資輸送に大きな影響を与えると想定される。

表1 信濃川活断層による被災時の被害生起箇所

被害生起確率	盛り土	切土	橋梁
25%以上 50%未満	0	14	0
25 未満	2	22	42

3. 長野市交通ネットワーク信頼性評価システム

(1) 信頼性評価システムフロー

①交通ネットワークの初期状態作成：H13年度長野都市圏PT調査データを用いる。IA法による配分交通量結果より得られた各経路をドライバーが選択可能な経路とする。さらに配分された交通量に基づき、リンク平均所要時間と分散を初期状態として算出する。

②ドライバーの予測所要時間分布の更新：ドライバーは経験した利用経路の実平均所要時間 $E(t_{r,n})$ および分散 $V(t_{r,n})$ を考慮し、予測平均所要時間 $E(\tilde{t}_{r,n})$ および分散 $V(\tilde{t}_{r,n})$ からなる予測所要時間分布を更新する。予測値と実測値との差を考慮し、次式により更新するものとする。 ω は実所要時間に対する重みとする。

$$E(\tilde{t}_{r,n}) = E(\tilde{t}_{r,n-1}) + \omega \times \{E(t_{r,n-1}) - E(\tilde{t}_{r,n-1})\} \quad (1)$$

$$V(\tilde{t}_{r,n}) = V(\tilde{t}_{r,n-1}) + \omega \times \{V(t_{r,n-1}) - V(\tilde{t}_{r,n-1})\} \quad (2)$$

③ドライバーの経路選択行動：ドライバーは予測した所要時間分布に基づき、当該経路の実現が期待される所要時間 $\hat{t}_{r,n}$ と、その所要時間を超えてしまう遅刻確率 $F(\hat{t}_{r,n})$ を考慮した以下の経路選択効用を知覚する。

$$V_{r,n} = \beta \times \hat{t}_{r,n} + \gamma \times F(\hat{t}_{r,n}) \quad (3)$$

したがって、ドライバーは式(3)で表される経路選択効用が最小になる期待所要時間 $\hat{t}_{r,n}$ を知覚し、複数の選択可能経路のなかから、知覚した所要時間に基づく経路選択効用が最小になる経路を選択することになる。ここで既往研究²⁾により、 β は-0.054、 γ は-2.825 とする。経路選択行動は、式(3)に基づくロジットモデルを用いて、各経路の選択確率 $p_{r,n}$ を算出する。

$$p_{r,n} = \frac{\exp V_{r,n}}{\sum_{r'=1}^R \exp V_{r',n}} \quad (4)$$

得られた経路選択確率に基づいて各 OD の経路およびリンク交通量を算出する。

④収束の確認：②～④の過程を繰り返し当日の経路交通量と前日の経路交通量の差が許容範囲 ϵ 以内に入ったら収束状態とし、次の⑤で示す時間信頼性の計算に移行する。

⑤時間信頼性評価：被災による重傷患者の程度により駆けつけ搬送先病院までの到達制約時間を t_d とする。各経路の実所要時間分布は収束状態後に得られた、実平均所要時間 $E(t_{r,n})$ および分散 $V(t_{r,n})$ により与えられる。経路 j において指定所要時間までに駆けつけ搬送行動が完了する確率 R^+ を時間信頼性指標とする。指標の概念を図1に示す。

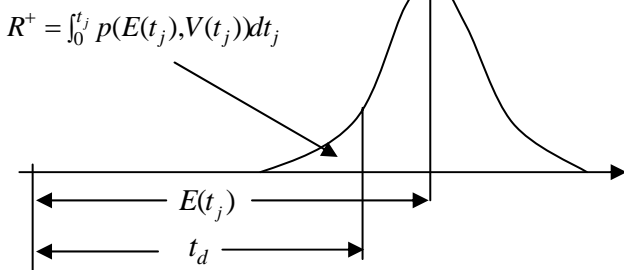


図1 時間信頼性指標の概念

(2) リンク所要時間およびその平均と分散の算出方法
前節(1)におけるリンク所要時間は、経路選択行動により生じたリンク交通量 x_l により、式(5)で示すBPR関数を用いて算出することになる。

$$t_l = t_{l0} \times \{1.0 + 0.15 \times (\frac{x_l}{C_l})^4\} \quad (5)$$

しかしながら、本研究では被災時の交通量変動を考慮するため、式(5)の x_l は確率変数として扱う。そこで、積率母関数の性質を用い、実平均所要時間は式(6)で、その分散は式(7)で示す。

$$E(t_l) = E[t_{l0} \{1.0 + a(\frac{x_l}{C_l})^b\}] = t_{l0} \{1.0 + a \frac{E(x_l^4)}{C_l^4}\} \quad (6)$$

$$V(t_l) = \int_{-\infty}^{\infty} (t_l - E[t_l])^2 p(t_l) dt_l = \int_{-\infty}^{\infty} t_l^2 p(t_l) dt_l - E[t_l]^2 \quad (7)$$

交通量 x_l の期待値と分散は次式で与えるものとする。

$$E(x_l) = \mu_l = x_l \quad (8)$$

$$V(x_l) = \sigma_l^2 = \eta \times \mu_l^v \quad (9)$$

既往研究³⁾により、 η は0.546、 v は1.753 とする。

4. ケーススタディ

長野都市圏交通ネットワークを対象に時間信頼性評価を行った結果を示す。ここで図2に示すように、若槻分署から東部中学校救護所への駆けつけ、後方病院であるNTT病院に搬送する基本的ケースと、柳原分署から東部中学校救護所に駆けつけ、長野市民病院に搬送するケースの時間信頼性評価を比較する。被災後は若槻分署から東部中学校を結ぶ最短経路は不通とする。シナリオは以下のとおりである。

表2 シナリオの設定 (到達制約時間は18分とする)

シナリオ	内容(シナリオ1は被災なし。他のシナリオは被災時)
1	若槻分署から東部中学校まで最短経路利用
2	若槻分署から東部中学校で迂回経路利用
3	柳原分署から東部中学校

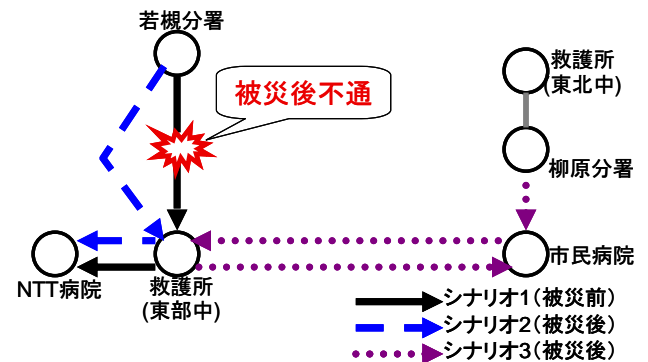


図2 東部中学校救護所への駆けつけ搬送状況

表3 各シナリオの時間信頼性の比較 (t_d は18分)

シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3
78.7%	60.48%	66.57%

5. まとめ

リンク交通量の分散を考慮した本ケーススタディから、被災後は若槻分署から東部中学校に駆けつけて、NTT病院に搬送する一般的救急搬送体制よりも、柳原分署から東部中学校に駆けつけ、長野市民病院に搬送する経路の方が、時間信頼性が高いことがわかった。今後は、被災後のリンク不通確率と被災者数を考慮した時間信頼性指標より、最適な救護所の配置および後方病院の設定を検討する。

<参考文献例>

- 尾曾、柳沢、高山他：マルチエージェントを適用した被災時救急搬送サービスの評価について、平成20年度土木学会中部支部研究発表会概要集、pp.403-404、2009.3
- 飯田、柳沢ほか：通勤ドライバーの出発時刻と経路の同時選択に関する行動分析、交通工学、Vol. 28, No. 6, pp. 11-20, 1993.
- 高山、柳澤ほか：ITSを活用した救急車両の走行支援ならびに最適配置計画策定システムの開発研究、基盤研究(B)(2)研究成果報告書、pp.49、2004.3