

アクセシビリティと連結信頼性を考慮した道路網評価指標の構築

首都高速道路株式会社 非会員 ○近藤 竜平
 京都大学 正会員 塩見 康博
 京都大学 正会員 宇野 伸宏

1. はじめに

災害に対して脆弱な我が国では、道路途絶が生じても孤立地域が発生することなく確実に機能する道路網整備が重要である。大規模地震等の発生後においても、人々が種々の社会サービス享受可能であるためには、サービス機会の多い都市・地域に確実に到達できる道路網整備・施設配置が重要である。本稿では地震等の発生を想定し、災害に対して頑強な道路網・医療施設計画を策定する前段として、災害による道路の途絶リスクと各都市のサービス機会数を考慮した道路網評価指標を構築する。

2. 道路網評価指標の構築

2.1 評価指標の概要

災害による道路の途絶リスクを考慮の上、医療施設配置、及び道路網を評価するためには以下の4点が評価基準になる。図1に評価基準の概念を図示する。

- (i) 施設数の多い都市に近接しているほど評価が高い。
- (ii) 都市間の経路長が短いほど評価が高い。
- (iii) 都市間の経路数が多いほど評価が高い。
- (iv) 都市間の経路の重複率が小さいほど評価が高い。

上述の評価基準に関して、(i), (ii)についてはポテンシャル型アクセシビリティ¹⁾の概念が、(iii), (iv)については連結信頼性²⁾の概念による評価がこれまでに提案されている。アクセシビリティ指標とは、ある都市に

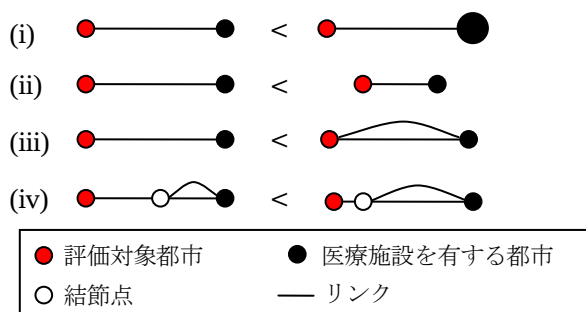


図1 評価基準概念図

おけるサービス機会への近接性を示し、連結信頼性と出発地から目的地まで途絶なく到達できる確率と定義される。本研究では、災害による道路（リンク）の途絶リスクと都市（ノード）にて享受できるサービス機会の両方を明示的に考慮した道路ネットワークの新たな評価指標として、連結信頼性を考慮したポテンシャル型アクセシビリティ指標（Connective-Potential Accessibility Index : CPAI）を提案する。

2.2 評価指標の定式化

あるノード i のポテンシャル型アクセシビリティ A_i は、一般に、周辺ノード数を n 、ノード j のサービス機会を D_j 、ノード ij 間の移動に関する交通抵抗値 c_{ij} を用いて、式(1)のように記述される。ただし、 $f(c_{ij})$ は交通抵抗に関する単調減少関数とする。

$$A_i = \sum_{j=1}^n D_j \cdot f(c_{ij}) \quad (1)$$

本研究では、式(1)中 $f(c_{ij})$ の項に連結信頼性の概念を導入する。すなわち、ネットワークを形成する各リンクに対し、災害発生時にリンクが途絶することなく機能する確率をリンク信頼度として付与する。このとき、任意の2地点間に存在する各経路が機能する確率と経路の交通抵抗から期待交通抵抗値を求めることにより、途絶リスクを考慮した交通抵抗の評価が可能となる。

具体的には、式(2)によりノード ij 間の交通抵抗項の期待値 R_{ij} を算出する。

$$R_{ij} = \sum_{a_{ij} \in 2^{A_{ij}}} P(a_{ij}) \cdot \left\{ \max_{k \in a_{ij}} f(c_{ij,k}) \right\} \quad (2)$$

ここで、

A_{ij} : ノード ij 間の全経路集合

$2^{A_{ij}}$: A_{ij} の部分集合を全て集めた集合

a_{ij} : 集合 $2^{A_{ij}}$ を構成する要素

*キーワード：アクセシビリティ指標、連結信頼性、交通ネットワーク

連絡先：〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 TEL 075-383-3236

$P(a_{ij})$: 経路集合 a_{ij} のみが機能する確率

$c_{ij,k}$: ノード ij 間の経路 k の交通抵抗値
式(2)中右辺で交通抵抗項の最大値を用いているのは、利用可能な経路集合の内、最も交通抵抗の小さい経路でノード間の近接性を評価していることを意味する。

このノード ij 間の交通抵抗の期待値 R_{ij} を用いて式(3)にて、ノード i に関する連結信頼性を考慮したポテンシャル型アクセシビリティ指標 $CPAI_i$ を定義する。

$$CPAI_i = \sum_j D_j \cdot R_{ij} \quad (3)$$

さらに、ネットワーク全体の評価指標として、ネットワーク内全ノードの $CPAI_i$ の総和を $TCPAI$ (Total Connective-Potential Accessibility Index) と定義する。

2.3 評価指標の近似解法

ネットワーク規模が大きくなると、集合 $2^{A_{ij}}$ が膨大となり、提案評価指標を厳密に算出するのは困難となる。そこで、本研究ではモンテカルロ法を用いて近似的に算出する。以下に算出過程を詳述する。

Step1 ネットワークを構成する m 本の全リンクに対し、統計的独立な $[0,1]$ の一様乱数 u_h^k ($h=1, \dots, m, k$: 繰り返し回数) を発生させ、リンク h の信頼度 p_h との関係で $u_h^k > p_h$ となるリンク h をネットワーク上から消去する。

Step 2 Step1 で与えられたネットワーク上でノード ij 間の最短経路探索を行い、最小交通抵抗値 c_{ij}^k を得る。

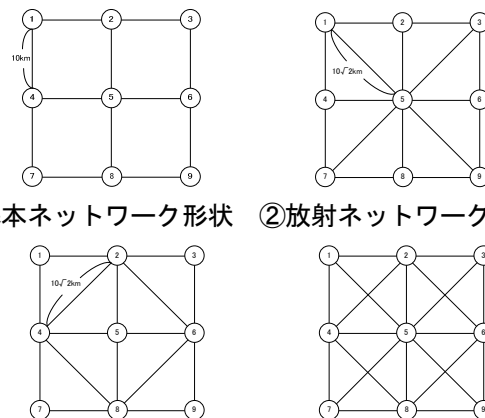
Step 3 Step1~2 の所作を N 回繰り返し、式(3)により、近似的な $CPAI_i$ を算出する。

$$CPAI_i = N^{-1} \sum_{k=1}^N \sum_j D_j \cdot f(c_{ij}^k) \quad (3)$$

3. 仮想ネットワークにおける評価

提案する評価指標の特徴を把握するため、形状が異なる仮想ネットワークにおける評価を行う。

評価指標の算出に当たり、各ノードの機会数はすべて等しく 100 とし、 $f(x)=e^{-0.05x}$ とする。また、リンク h の信頼度 p_h は、リンク長が長くなるほど途絶するリスクが高まるとの考えから、単位距離あたりのリンク信頼度 r を所与とし、リンク長 l_h との関係で $p_h = r^{l_h}$ として与える。また、簡単のためフローインデペンデ



①基本ネットワーク形状 ②放射ネットワーク形状
③環状ネットワーク形状 ④放射環状ネットワーク形状
図2 仮想ネットワーク

トな状況を想定し、交通抵抗は経路長で表す。

その上で、図2の4つの異なるネットワークに対し、単位距離あたりのリンク信頼度 r を 1.00, 0.99, 0.97, 0.95 と変化させた場合の各ネットワークにおける $TCPAI$ を算出した。これは、対象とする災害強度を変化させてネットワーク評価を行うことに相当する。その際、全リンクに対して単位距離当りのリンク信頼度を等しく与えたケースと、放射環状道路は十分に耐震化された高速道路であり如何なる場合でもリンク信頼度 1 を取るとしたケースの2ケースを想定した。その結果を図3に示す。

これより、提案指標を用いることで、リンク信頼度の低下によりネットワークの評価が小さくなること、またリンクが密でかつ、耐震化されている程、その低下率が小さくなることが確認された。

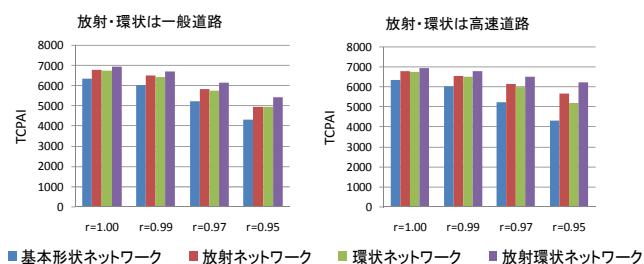


図3 TCPAI の計算結果

4. 今後の課題

今後は、本指標の効率的な算出方法について検討する必要がある。また、提案指標を用いた道路網・医療施設計画の構築を行う。

参考文献

- 1) 加知, 岑, 加藤, 大島, 林: ポテンシャル型アクセシビリティに基づく交通利便性評価指標群とその地方都市への適用, 土木計画学研究・論文集 vol.23, 2006.
- 2) 飯田, 若林, 福島: 道路網信頼性の近似解析方法の比較研究, 土木学会論文集, No.407/IV-11, pp.107-116, 1989.