

道路閉塞による迂回影響分析 Influence Analysis of Detours by Urban Street Blockages

塚本 竜太郎[†]
Ryutaro Tsukamoto

斎藤 和巳[†]
Kazumi Saito

1. はじめに

空間ネットワークは、複雑ネットワークの重要なクラスの一つであり、現実空間で位置情報を持つノード間の実際の繋がりでリンクが定義される [Crucitti 06]. 代表的な空間ネットワークは、オープンストリートマップサイトから得られる都市道路網であり、道路網への効果的な施設配置や防災対策などのプラットフォームとなることより、このようなネットワークの効果的な分析法の開発に注目される。

本稿では、道路閉塞による迂回影響分析を目的に、単純遠回り度分析法と媒介度付き遠回り度分析法を提案する。提案法は、多様な空間ネットワークに適用可能であり、既存のエッジ媒介中心性 [Girvan 02] に対し、距離に基づく指標の提供を目的とする。浜松市、沼津市、及び、静岡市の道路網を用いた実験では、単純遠回り度と媒介度付き遠回り度分析法の特性を評価する。

2. 提案分析法

空間ネットワークを $G = (\mathcal{V}, \mathcal{E})$ で表し、 \mathcal{V} をノード集合、 $\mathcal{E} \subset \mathcal{V} \times \mathcal{V}$ をリンク集合とする。本稿では、双方向ネットワークを対象とするので、 $(u, v) \in \mathcal{E}$ なら $(v, u) \in \mathcal{E}$ となる。各リンク $e = (u, v) \in \mathcal{E}$ に対し、ノード u と v の位置情報から求める距離を $d(u, v; G)$ で表す。直接繋がらないノードのペア $u, w \in \mathcal{V}$ については、ネットワーク G 上の測地距離 (geodesic distance) で $d(u, w; G)$ を定義する。いま、各リンク $e = (u, v) \in \mathcal{E}$ に対し、 G からリンク e を除いたネットワークを $G(e) = (\mathcal{V}, \mathcal{E} \setminus \{e\})$ で表す。ここで、 $\cdot \setminus \cdot$ は集合差のオペレータを表し、リンク e の除去は対応する道路部分の閉塞と見なす。このとき、各リンク $e \in \mathcal{E}$ に対し、単純遠回り度を次式で定義する。

$$D_s(e) = \frac{d(u, v; G(e))}{d(u, v; G)}. \quad (1)$$

ただし、ネットワーク $G(e)$ でノード u から v が可到達でないとき、遠回り度 $D_s(e)$ は定義されないとする。遠回り度 $D_s(e)$ は、道路部分 e の閉塞により、何倍の遠回りが必要となったかを表す指標である。

明らかに、遠回り度 $D_s(e)$ では、交通量などの少ない山間部などでも、大幅に遠回りが必要となるケースでは評価値が高くなる。以下では、媒介中心性の考え方を土台にして、多くの交通量が予想されて遠回り度が高くなる道路部検出の評価尺度を提案する。まず、各リンク $e \in \mathcal{E}$ に対し、エッジ媒介中心性 [Girvan 02] は次式で定義する。

$$B(e) = \sum_{u \in \mathcal{V}} \sum_{v \in \mathcal{V} \setminus \{u\}} \frac{\sigma(u, v; e)}{\sigma(u, v)}. \quad (2)$$

ここで、 $\sigma(u, v)$ はノード u から v への最短パス数を表し、 $\sigma(u, v; e)$ はこれらパスでリンク e を経由するパス数を表す。

本稿では、式 (1) の単純遠回り度と、式 (2) のエッジ媒介中心性を組み合わせた媒介度付き遠回り度を提案する。具体的には、各リンク $e \in \mathcal{E}$ に対し、媒介度付き遠回り度を次式で定義する。

$$D_b(e) = B(e)D_s(e). \quad (3)$$

以下では、単純遠回り度と媒介度付き遠回り度で選定されるリンクの性質の違いを実験により評価する。

3. 実験による評価

本実験では、オープンストリートマップサイト (www.openstreetmap.org) から、浜松市、沼津市、及び、静岡市の道路網データを収集し用いた。具体的には、highway タグを持つ way を抽出し、そこに出現する node を交差点と見なし、これらの繋がりをリンクとして設定した。浜松市、沼津市、及び、静岡市での最大連結成分の交差点ノード数は 104,813, 13,410, 及び、53,903 となった。

実験では、まず、媒介度付き遠回り度は、単純遠回り度と媒介度の組合せ構成されるため、これら要素指標との一致度 (precision) を比較評価する。すなわち、単純遠回り度、媒介度、媒介度付き遠回り度で上位ランク k 以内となったノード集合を A_k, B_k, C_k とするとき、遠回り一致度 $LD(k)$ と媒介一致度 $LB(k)$ を $LD(k) = |A_k \cap C_k|/k$ と媒介一致度 $LB(k) = |B_k \cap C_k|/k$ で定義する。図 1 には、横軸のランク (対数スケール) に対する浜松市、沼津市、及び、静岡市での $LD(k)$ と $LB(k)$ での評価結果を示す。図 1 より、媒介度付き遠回り度に対し、単純遠回り度や媒介度で上位にランクされるノード集合は実質的に異なることが分かる。

以下では、単純遠回り度と媒介度付き遠回り度で高い評価値となった 10 地点 (ノード) を地図上にプロットし比較評価する。図 2 に、単純遠回り度での結果を示す。図 2 で示される結果を見ると、マーカーは浜松、沼津、静岡いずれも山間部に集中しており、これは、道路網が比較的整備されていない山間部の地域的な特徴を考えれば当然の結果といえる。図 3 に、媒介度付き遠回り度での結果を示す。図 3 に示される結果を見ると、浜松市周辺においては東名高速道路と国道 152,352 号線上、沼津市周辺においても東名高速道路上と国道 414 号線の周辺、さらに静岡市周辺においても全てのマーカーのうち半数のマーカーが東名高速道路上を示す結果となった。人通りが多く、かつその道路が閉塞された場合に迂回しなければならない距離が大きいポイントが高速道路や主要幹線道路上に集中しているということは、災害時などにおいて道路が分断された場合に

[†] 静岡県立大学 経営情報学部

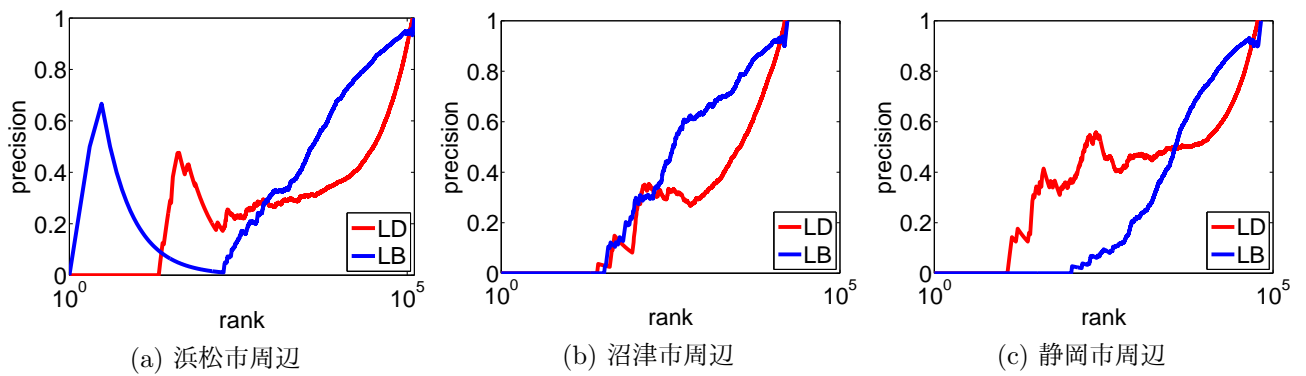


図1: 媒介度と単純遠回り度の媒介度付き遠回り度に対する一致度の比較



図2: 単純遠回り度による結果



図3: 媒介度付き遠回り度による結果

救命活動にかかる時間が遅れるなど、道路閉塞によるリスクが高まるということである。また、図3の浜松市周辺、沼津市周辺の結果を見ると、全てのマーカーはそれぞれ遠州灘、駿河湾寄りの地域に集中していることが分かる。津波の被害を被る危険性が高いので、遠回りによる時間のロスを減らせるように周辺に医療施設や緊急車両を配置しておくなどの対策が考えられる。

4. おわりに

本稿では、道路閉塞による迂回影響分析を目的に、単純遠回り度分析法と媒介度付き遠回り度分析法を提案した。浜松市、沼津市、及び、静岡市の道路網を用いた実験では、単純と媒介度付き遠回り度分析法の特性を評価した。今後は、多様な道路網を用いた評価実験とともに、より実用的な遠回り度の設定について検討する。

謝辞 本研究は、科学研究費補助金基盤研究(C)(No.15K00429)の助成を受けた。

参考文献

- [Crucitti 06] P. Crucitti, V. Latora, and S. Porta. "Centrality measures in spatial networks of urban streets", *Physical Review E*, 73(3):036125, 2006.
- [Girvan 02] M. Girvan and M. E. J. Newman. "Community structure in social and biological networks", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 99:7821-7826, 2002.