

交通ネットワーク上での不通事象の影響度分析

太田 駿^{1,a)} 伏見 卓恭^{1,b)}

概要：本研究では、鉄道網において遅延が発生した際、大きな影響が及ぼす路線を抽出するために、ネットワークの重要エッジ指標について比較検討する。本研究では、不通事象をモデル化したエッジ切断が発生した際の迂回経路における距離の増分により重要エッジを抽出する指標を提案する。ネットワークにおける既存の重要エッジ指標として、エッジ媒介中心性とエッジ局所固有ベクトル中心性がある。提案指標と既存指標を実際の鉄道ネットワークに適用し、指標間の類似性と相違性について議論する。

Impact Analysis of Disconnection Events on Transportation Network

SHUN OTA^{1,a)} FUSHIMI TAKAYASU^{1,b)}

1. はじめに

道路網や鉄道網など、我々の生活を支える交通インフラでは、事故や災害などによる遅延や運休などの不通事象が発生することがある。たとえば中央・総武線は通勤者・通学者が多く利用する路線であり、5分の遅延でも多くの利用者に影響を及ぼす。一方、近隣の人口が少なかったり、代替路線が存在するなどの理由により、不通による影響が小さい路線も存在する。影響が大きい路線が判明すれば、分散的に資本を投資することなく、複線化や別路線の増設など、投資を集中的かつ効率的に行うことができると考えられる。本研究では、鉄道路線網における駅をノード、駅間の線路をエッジとしたネットワークを対象とし、ネットワークにおけるエッジ切断により不通事象をモデル化する。そして、不通事象による影響度の大きさを定量化することを試みる。鉄道網や道路網をネットワークとしてとらえ、ネットワーク分析手法を適用する研究は多く存在する [1], [2]。

2. 関連研究

ネットワークにおけるエッジの重要度を図る指標として、

¹ 東京工科大学 コンピュータサイエンス学部
School of Computer Science, Tokyo University of Technology
a) c0115068eb@edu.teu.ac.jp
b) fushimiy@stf.teu.ac.jp

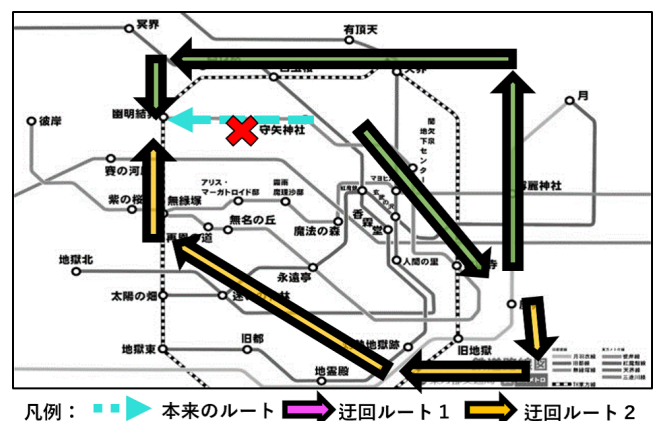


図 1 提案手法のイメージ図

エッジ媒介中心性があり、これは各エッジがノード間の最短経路上に存在する割合を定量化したもので、ネットワーク上のある出発地から目的地に最短経路で向かう際に、そのエッジを通過する割合を表している [3] ため、このエッジが不通になった場合の影響度は高いと考えられる。

エッジ局所固有ベクトル中心性 (Edge Local Fiedler Vector Centrality) は、グラフラプリアンに着目した指標である [4]。切断することでネットワークを非連結にする、すなわち、複数の連結成分に分解させるようなエッジを抽出する指標である。

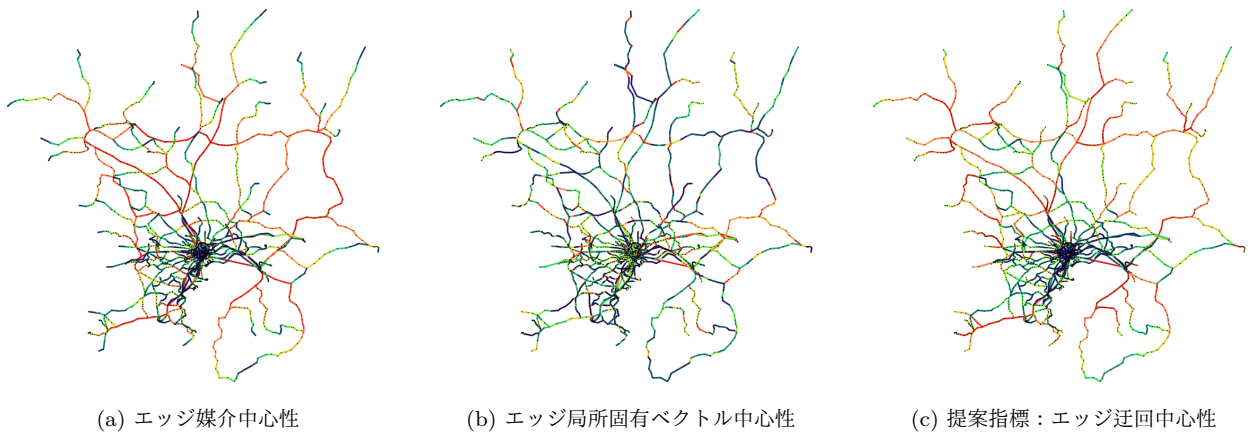


図 2 関東地方に対するエッジ中心性ランキング

3. 提案手法

本研究では、リンク切断が発生した際の駅ノード間の最短距離の増加数により影響度を算出する。駅ノード集合を V 、駅間の線路を表すエッジの集合を E とし、路線ネットワークを $G = (V, E)$ と表わす。いま、エッジ e のみが切断された状態のネットワークを $G_e = (V, E_e)$ で表わす。そして、任意の駅間の距離 $d_G(u, v)$ を求める。同様に、ネットワーク G_e における u, v 間の距離 $d_{G_e}(u, v)$ を求める。提案手法は、リンク切断による最短距離の増加率の全ノード間に対する和により定義する (図 1 参照)。すなわち、エッジ e が切断されることによる影響度を以下のように定義する：

$$Detour(e) = \sum_{u \in V} \sum_{v \in V \setminus u} \frac{d_{G_e}(u, v)}{d_G(u, v)}$$

この値により全エッジをランキングし、上位のエッジを不通事象における影響度の高いエッジとして抽出する。本稿では、エッジ迂回中心性と呼ぶ。

4. 評価実験

実験に使用する路線ネットワークは、駅データ.jp^{*1} が無償で提供するデータを用いて構築する。構築した路線ネットワークのうち、関東地方に対して提案指標と 2 つの既存指標により抽出した重要エッジの結果を示す。図 2 は、関東地方の路線ネットワークの全エッジをエッジ媒介中心性、エッジ局所固有ベクトル中心性、エッジ迂回中心性によりランキングしたものである。図中赤いエッジはランキング上位、青いエッジは下位であることを表す。図 2(a) を見ると、宇都宮線や高崎線、東海道線などが上位エッジとして抽出されている。これらの路線は直観的にも重要な路線だが、東海道線の品川～横浜間では、迂回路として京浜東北線なども存在するが、停車駅が少ないため、エッジ媒介中心性で上位になったと考えられる。停車駅が多くても

*1 <http://www.ekidata.jp/>

迂回路における実距離が大きくなければ影響は少ないと判断したい目的とは異なる結果となった。図 2(b) を見ると、次数 (接続駅数) の多い駅近隣の路線が重要エッジとして抽出されているのが確認できる。図 2(c) を見ると、エッジ媒介中心性の結果と大きく変わらない結果がとなった。関東地方以外の鉄道ネットワークに対しても同様の実験を行ったが、定性的には類似した結果が得られた。

5. おわりに

本研究では、鉄道ネットワークから重要路線を抽出するために、ネットワークの重要エッジ指標を比較検討した。エッジ媒介中心性と提案指標による結果は、大きく変わらないものだった。一方で、エッジ局所固有ベクトル中心性は、他の 2 指標とは大きく異なる指標となった。今後は、各指標のメリット、デメリットを理解し、さらに駅間の実距離などを考慮した指標に拡張するなどして、より現実的に則した指標の提案をめざすつもりである。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 (No.17H01826) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Crucitti, P., Latora, V. and Porta, S.: Centrality Measures in Spatial Networks of Urban Streets, *Physical Review E*, Vol. 73, No. 3, pp. 036125+ (2006).
- [2] 伏見卓恭, 齊藤和巳, 池田哲夫, 風間一洋: リンク切断に頑健な連結中心性とその高速計算法, *情報処理学会論文誌, 数理モデル化と応用*, Vol.11, No.2, pp.1-11 (2018).
- [3] Brandes, U.: On Variants of Shortest-Path Betweenness Centrality and their Generic Computation. *Social Networks*, Vol.30, No.2, pp.136-145 (2008).
- [4] Chen, P.-Y. and Hero, A. O.: Deep Community Detection, *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol.63, No.21, pp. 5706-5719 (2015).