

分解型ステップ媒介中心性による道路網分析 Analysis of road networks by step-decomposition betweenness centrality

鈴木 優伽[†]
Yuka Suzuki

斉藤 和巳[†]
Kazumi Saito

1. はじめに

現実空間における位置情報をもつノードと、ノード間の実際の繋がりでリンクが設定される空間ネットワークは、複雑ネットワークの研究対象の1つである。とりわけ近年では、交差点をノード、交差点間の経路をリンクとした道路ネットワークを対象とした研究が盛んである。例えば、複雑ネットワークの統計的指標である媒介中心性を用いて、道路網上の重要ノードの選定 [伏見 15] や、災害発生時におけるノードの復旧順序特定 [有澤 15] などの研究がされている。

従来の媒介中心性は、対象ノードが任意のノード間をどれだけ媒介するかで決定付けられる。しかしながら、初期のパス上で媒介する場合や終盤のパス上で媒介する場合など、媒介時には多様なタイミングがあると考えられる。そのため本研究では、ノードの”媒介されるタイミング”を考慮した媒介中心性を定義し、従来とは異なる視点で道路網を分析することを目的とする。本研究で定義する媒介中心性は、災害発生時の避難経路上での密集道路や、区画整備の優先対象地域の特定への応用が可能であると考えられるため、道路網における施設配置問題への応用や安全性の向上を可能にする技術の確立が見込まれる。

2. 分解型ステップ媒介中心性

提案指標の土台となる媒介中心性について説明する。媒介中心性は、対象ノードが任意のノードペアを結ぶパスをどの程度媒介しているかを示す指標であり、多くのノードペア間の橋渡しをしているノードほど重要であるとする [Freeman 79]。

道路網の無向グラフ構造を $G = (\mathcal{V}, \mathcal{E})$ とし、 $\mathcal{V} = \{u, v, w, \dots\}$ を交差点に対応するノード集合、 $\mathcal{E} = e = \{(u, v), (u, w), \dots\}$ を交差点間の道となるリンク集合とする。また、ノード u からノード w へ移動する際の最短パス数を $\sigma_{u,w}$ とし、 $\sigma_{u,w}(v)$ をこれらパス上でノード v を経由するパス数とする。このとき、ノード v の媒介中心性 $B(v)$ は以下で算出される。

$$B(v) = \sum_{u \in \mathcal{V} \setminus \{v\}} \sum_{w \in \mathcal{V} \setminus \{u, v\}} \frac{\sigma_{u,w}(v)}{\sigma_{u,w}}. \quad (1)$$

今我々は、ノード u, w 間の最短パス上において、ノード v が何ステップ目で媒介されるか考慮した媒介中心性として、分解型ステップ媒介中心性 $DB(v; r)$ を定義する。ノード v が媒介されるステップの候補を $\mathcal{R} = \{1, \dots, R\}$ とし、ノード v 媒介時のステップを $r \in \mathcal{R}$ とする。このとき、ノード v の媒介中心性 $DB(v; r)$ を以下で定義する。

$$DB(v; r) = \sum_{u \in \mathcal{V} \setminus \{v\}} \sum_{w \in \mathcal{V} \setminus \{u, v\}} \frac{\sigma_{u,w}(v; r)}{\sigma_{u,w}}. \quad (2)$$

$\sum_{r=1}^R DB(v; r) = B(v)$ であるため、本研究の媒介中心性は従来の媒介中心性の自然な拡張である。また本研究では、最終ステップ R までの媒介過程を考え、ベクトル $\mathbf{y}_v = \{DB(1), DB(2), \dots, DB(R)\}$ をノード v の分解型ステップ媒介中心性とする。

表 1: 道路網データの概要

	ノード数	リンク数	最大パス長
浜松	104,813	255,296	486
沼津	13,410	33,554	277
静岡	53,903	132,888	414

2.1. 媒介時の傾向によるクラス分け

各ノードの媒介時の傾向を抽出するために、ノード群を分解型ステップ媒介中心性 $\mathbf{y}_v (v \in \mathcal{V})$ を基に K -medoids 法でクラスタリングする。

ノード集合 \mathcal{V} とその要素 $u, v \in \mathcal{V}$ 間の類似度 $\rho(u, v)$ を以下とする。

$$\rho(u, v) = \frac{\sum_{r=1}^R DB(u; r)DB(v; r)}{\sqrt{\sum_{r=1}^R DB(u; r)^2} \sqrt{\sum_{r=1}^R DB(v; r)^2}}$$

このとき、以下の目的関数を最大にするような代表ノード集合 \mathcal{P} を求める。

$$J(\mathcal{P}) = \sum_{u \in \mathcal{V}} \max_{v \in \mathcal{P}} \{\rho(u, v)\}$$

$K = |\mathcal{P}|$ 個の代表ノード集合を抽出したのち、残りのノード群を最も類似する代表ノードのクラスに割り当てることで、ノード集合 \mathcal{V} を K 個のクラス $\mathcal{V}^1, \mathcal{V}^2, \dots, \mathcal{V}^K$ に分割する。また、目的関数 $J(\mathcal{P})$ はサブモジュラ性 [Nemhauser 78] を有するため、本研究では近似解法として貪欲法を採用する。

3. 評価実験

実験では、OSN (Open Street Map) データから道路網の構造を求めた。静岡県内の主要都市である浜松市、静岡市、沼津市に着目し、各都市の道路網における特性を分析した。表 1 に実験で用いた各都市の道路網のノード数、リンク数、最大パス長を示す。

図 1 に、各都市におけるステップ媒介中心性の算出結果を、 $K = 5$ でクラスタリングした代表ノード $w \in \mathcal{P}$ ごとに異なる色で彩色して示す。ただし、貪欲法によって抽出した代表ノードを順に緑・青・赤・ピンク・水色で色付けしたことに注意。図 1 から、どの都市においても、初期に媒介されるノード群、中盤に媒介されるノード群、終盤に媒介されるノード群が存在することが分かる。また、媒介される時期のピークが自然に遷移しているため、各ノードの媒介時の特徴を明示できると考えられる。

[†]静岡県立大学大学院 経営情報イノベーション研究科

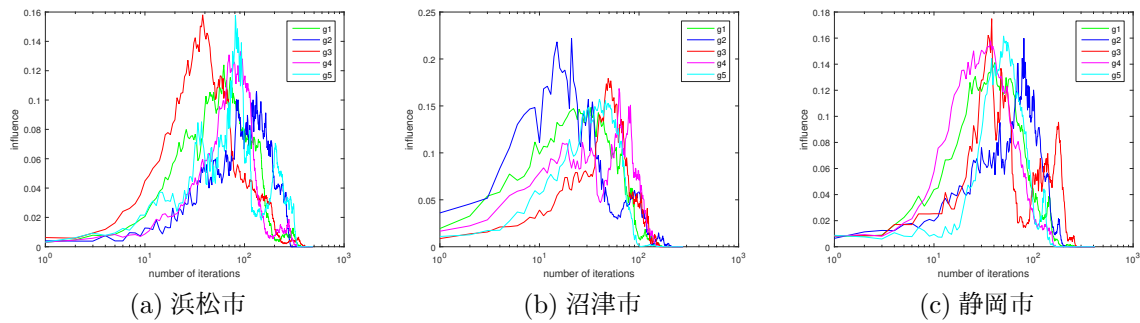


図1: 各ステップごとのステップ媒介中心性値

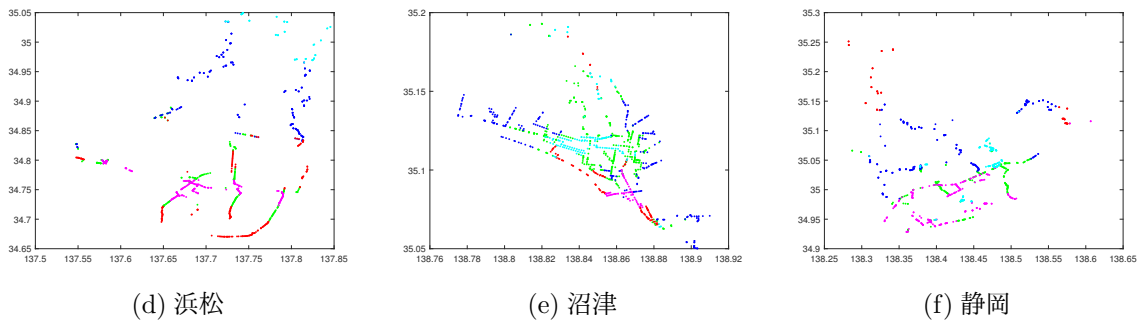


図2: K-medoidsによるクラスタリング結果

図2に、各ノードのクラスタリング結果を実際の道路網にプロットする。ここで、各ノードは自身が属するクラスの色で彩色され、代表ノードの色は図1と同様であることに注意。また便宜上、初期に媒介されるノードを初期ノード、中盤に媒介されるノードを中間ノード、終盤に媒介されるノードを終盤ノードとする。図2(d)から、浜松市では浜松駅周辺に近いほど初期ノードが多く、郊外に行くほど終盤ノードが多いことが分かる。特に、浜松市の北に位置する山間部において終盤ノードが多い。図2(e)から、沼津では、東名高速道路沿いや南西地区は終盤ノードが多く、沼津駅周辺の中心市街地には、中盤ノードが多く存在することが分かる。また、伊豆方面への幹線道路沿いに多くの終盤ノードが存在することが見て取れる。以上の結果から、浜松と沼津は道路網の構造が異なる傾向を持つと考えられる。初期ノードほど、他ノードとの距離が比較的近く密度が高い場所に存在していると仮定できるため、中心市街地に初期ノードが多い浜松は、中心市街地ほど密な構造であると考えられる。一方、三島・伊豆・富士等の周辺地域へ繋がる地点ほど多くのノードが密集している沼津は、郊外ほど密な構造になっていると考えられる。図2(f)静岡の結果を見ると、中心市街地と郊外に初期ノード・中盤ノードが多く存在し、中心市街地と郊外を結ぶ地域に多くの終盤ノードが存在していることが分かる。そのため、静岡市は中心市街地・郊外の両方に密な構造をもち、それらを結ぶ地域は疎な構造である事が示唆される。この理由として、静岡市が静岡県の中部に存在し他の市への橋渡しの都市であることが考えられる。

4. おわりに

本研究では、道路網分析のさらなる発展を目的に、媒介中心性を拡張した分解型ステップ媒介中心性を

提案した。評価実験では、浜松市、沼津市、静岡市の道路網を対象に、提案指標の観点に基づいた分析を行い、各都市の道路網にはいくつかの特徴があることが分かった。今後は、実際の避難行動を過程した実験を行うなどして、災害が起きた場合の混雑度を低減するような、移動経路の選定法の確立等を目指す。

謝辞 本研究は、科学研究費補助金基盤研究(C)(No.17H01826)の助成を受けた。

参考文献

- [伏見 15] 伏見卓恭, 齊藤和巳, 武藤伸明, 池田哲夫, 風間一洋 “ノード群の協調的振舞いに着目した集合媒介中心性の提案と応用” 人工知能学会論文誌, Vol.30, No.6, SP1-C (2015).
- [有澤 15] 有澤俊裕, 大沢英一 “媒介中心性を考慮したレジリエントな自律的ネットワークの構成法-災害時に破損した道路網復旧への応用-” 人工知能学会全国大会講演論文 (2015).
- [Freeman 79] Freeman, L “Centrality in social networks: Conceptual clarification” Social Networks, Vol1, No.3, pp.215-239 (1979)
- [Nemhauser 78] Nemhauser, G. L., Wolsey, L. A., and Fisher, M. L “An analysis of approximations for maximizing submodular set functions”, Mathematical Programming, Vol.14, pp. 265-294 (1978)