

複雑ネットワーク分析手法による道路網の分析

池田哲夫・斉藤和巳・武藤伸明・伏見卓恭

Road Network Analysis by Complex Network Analysis Methods

Tetsuo Ikeda, Kazumi Saito, Nobuaki Mutoh, and Takayasu Fushimi

Abstract: Analysis methods of complex networks have been studied extensively in recent years. The purpose of our research is to apply the complex network analysis methods to the real road network, and to obtain the new insight. At the first onset, we analyze the Shizuoka city using centrality concepts such as betweenness centrality, closeness centrality and degree centrality.

Keywords: 複雑ネットワーク分析 (complex network analysis), 媒介中心性 (betweenness centrality), 近接中心性 (closeness centrality), 次数中心性 (degree centrality)

1. はじめに

インターネット関係や社会ネットワークなどの様々な複雑ネットワークに関する研究が盛んに行われている。我々の研究グループにおいても、複雑ネットワークにおけるクラスタリング問題、施設配置問題などを研究している[1][2]。

本研究においては、現実の道路網に複雑ネットワーク分析手法を適用し、新たな知見を得ることを狙う。研究の手始めとして、中心性概念を用いることによって得られる知見を明らかにすることを狙う。

ネットワークの分析においてどのノードが重要であるかを知りたいことが良くある。中心性概念とはノードの重要性の度合いを示す概念である。本研究では複雑ネットワークの分析で良く使用される

次数中心性、近接中心性、媒介中心性を用いて、静岡市道路網の分析を行なう。

中心性概念を交通網の分析に用いた研究には福山らの研究 [3]や 小川らの研究[4]があるが、いずれもネットワークの規模（ノード数、リンク数）が我々の対象とする静岡市道路網に比べると小さい。

2. 中心性概念

先ず本論文で用いる中心性概念を定義する。記法は Wasserman [5]を参考にした。

ネットワークを無向グラフ $G=(V,E)$ で表す。 V はノードの集合、 E はリンクの集合を表す。ノード n_i と n_j の間の距離を $d(n_i, n_j)$ で表す。ノード n_j と n_k の間の最短パスの本数を g_{jk} で表す。便宜上、 $g_{jj} = 1$ とする。 $g_{jk}(n_i)$ で、ノード n_j と n_k の間の最短パスのうち、 $n_i \in V$ を経由する最短パスの本数を表す。グラフ G の隣接行列を X で表す。 X の要素 x_{ij} は、ノード n_i とノード n_j の間にリンクが存在する場合は値

池田哲夫 〒422-8021 静岡市駿河区谷田 52-1

静岡県立大学経営情報イノベーション研究科

Phone: 054-264-5444

E-mail: t-ikeda@u-shizuoka-ken.ac.jp

1 をとり，リンクが存在しない場合は値 0 をとる．

以下に中心性の定義を記す．

次数中心性(degree centrality)

$$C_D(n_i) = \sum_j x_{ij} \quad (1)$$

直感的には次数が大きなノード（ハブ）が重要であるということを表現する中心性概念である．

近接中心性(closeness centrality)

$$C_C(n_i) = \left[\sum_j d(n_i, n_j) \right]^{-1} \quad (2)$$

直感的には，自分から他ノードへの平均的な近さが小さいほど重要であるということを表現する中心性概念である．

媒介中心性(betweenness centrality)

$$C_B(n_i) = \sum_{j < k} \frac{g_{jk}(n_i)}{g_{jk}} \quad (3)$$

（但し，j, k は i と異なる値）

直感的にはネットワーク上のフローを橋渡しする度合いを表現する中心性概念である．

3. 実験・評価

3.1 中心性の計算

全国デジタル道路地図データベース静岡市版[6]をもとに道路網データを抽出・作成した静岡市の道路網（ノード数 31963，リンク数 44467）を用いた．ここで，道路網のノードとは任意の交差点に対応し，それらを結ぶ道をリンクと見なした．

中心性の計算結果（中心性の値が上位 60 位以内のノード）を，それぞれ図 1，図 2，図 3 に示す．ノードの色については，白の明度を 1，黒の明度を 0 として，中心性の値が i 番目に高いノードについて，明度を $1-i/60$ として色付けを行った．

次数中心性計算結果（図 1）においては，交差するリンク数の多いノードが上位に並んだ．

近接中心性計算結果（図 2）においては，静清（せいしん）バイパスのインターチェンジ付近のノードが上位に並んだ．



図 1 静岡市の次数中心性計算結果

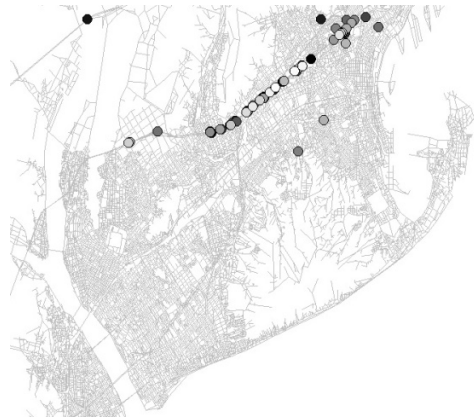


図 2 静岡市の近接中心性計算結果



図 3 静岡市の媒介中心性計算結果

静清バイパスとは清水区興津東町から駿河区丸子までを結ぶ国道 1 号バイパスである．静岡市の主要部やや北部を東西に横断している道路である．他の道路と比較しての特徴は以下の点にある．

- ・交差点間の距離が長い．

この特徴のため、静清バイパスの交差点付近は中心性の値が高くなった。

簡単なモデル（図 4）を用いて、値が高くなった理由を説明する。

仮に静岡市主要部の、静清バイパス以外の道路が格子状に設置されているとする。また、静清バイパスは、図 4 の A,B の 2 ノードと A,B を結ぶリンクからなるとする。もし、静清バイパスが存在しないならば、異なるノード間の距離はマンハッタン距離となることに注意する。

A ノードから、B ノードの東（右）にあるノードへの最短パスはリンク AB を通るものだけとなり（証明略）距離はマンハッタン距離よりも 3 小さくなる、同様に、B ノードから、A ノードの西（左）にあるノードへの最短パスはリンク AB を通るものだけとなり（証明略）距離はマンハッタン距離よりも 3 小さくなるなど、ノード A,B から多くの他のノードへの距離はリンク AB の存在により短縮される。これはノード A,B の近接中心性が高い値となることを示す。

媒介中心性計算結果（図 3）に関しては、以下の特徴がみられた。

- ・近接中心性が高い静清バイパスの交差点付近のノードは、媒介中心性も高いものが多い。
- ・清水区南部から駿河区南部にかけての海岸線沿いに媒介中心性の高いノードが点在する。

2 つ目の特徴に関して原因を分析した結果、海岸線沿いに存在する静岡清水自転車道の影響であることが判明した。

静岡清水自転車道とは、静岡市駿河区中島から静岡市清水区横砂に至る自転車専用道路である。他の道路と比較しての特徴は以下の点にある。静清バイパスと同様の特徴である。

- ・交差点間の距離が長い。

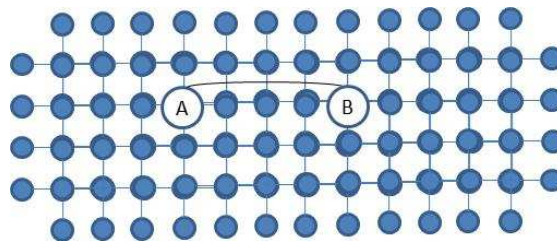


図 4 交差点間距離の長い道路の中心性への効果説明図

図 4 を用いて、交差点間の距離が長い道路の交差点付近において媒介中心性が高くなることを説明する。

A ノードよりも西北（左上）にあるノードから、B ノードの東南（右下）にあるノードへの最短パスはリンク AB を通るものだけとなる、A ノードよりも南西（左下）にあるノードから、B ノードの北東（右上）ノードへの最短パスはリンク AB を通るものだけとなるなど、多くのノード間の最短パスがリンク AB を通るものとなる。これは、すべての最短パス中の、リンク AB を経由するパスの割合が大きいこと、すなわちノード A, B の媒介中心性が高い値となることを示す。

なお、静岡清水自転車道沿いのノードが、近接中心性の上位とならない理由は、静岡清水自転車道が静岡市の最南端に位置しており、静岡市北部のノードへの距離が大きくなり、そのことが自転車道による距離軽減効果を打ち消しているためである。

3.2 媒介中心性と近接中心性との比較

図 2, 図 3 より媒介中心性と近接中心性の上位にはかなり重複が見られることが分かる。

この傾向が中心性計算結果下位においても成立するかを確認した。

確認のための指標としては、情報検索の性能指標として良く用いられる F 値を用いた。

中心性計算結果上位 n 位における F 値は以下の式で与えられる。

$$F(n) = \frac{|CS(n) \cap BS(n)|}{\frac{1}{2}(|CS(n)| + |BS(n)|)} \quad (4)$$

但し、

$CS(n)$ = {近接中心性上位 n 位までのノード集合}

$BS(n)$ = {媒介中心性上位 n 位までのノード集合}

F 値の計算結果を図 5 に示す。図 5 から、上位 20 位程度までは F 値がほぼ単調に上昇し極大値は約 0.86 に達することと、20 位程度以上 2000 位程度までは F 値がほぼ単調に減少し極小値は約 0.11 に達することが分かる。2つの中心性の計算結果は上位 20 位以降はかなり異なると言える。

3.3 考察

中心性概念を実際に適用して、以下のような知見が得られた。

近接中心性と媒介中心性に関しては、実世界での交差点間距離が長い道路の交差点付近のノードが上位に位置するという自明でない特徴が分かった。近接中心性と媒介中心性の F 値の比較により、上位以外は異なる結果が得られることも分かった。

複雑ネットワーク研究で一般に用いられるモデルを本研究でも用いた。このモデルは、ノード（交差点）間の実距離を無視する（等しいものと単純化する）ことに特徴のあるモデルである。

以上より、モデルのこの特徴が悪影響を及ぼさない施設配置問題、例えば交差点への広告配置問題（ドライバは交差点では広告を見ることが容易だが、リンク走行中は見るのが難しい）などへの適用においては、本論文に述べた手法が、分析方法あるいは設置方法として適用できる可能性があることが分かる。

4. おわりに

中心性概念を用いて静岡市道路網の分析を行った。分析の結果、近接中心性と媒介中心性を用いることによって従来の分析方法では得られない特徴

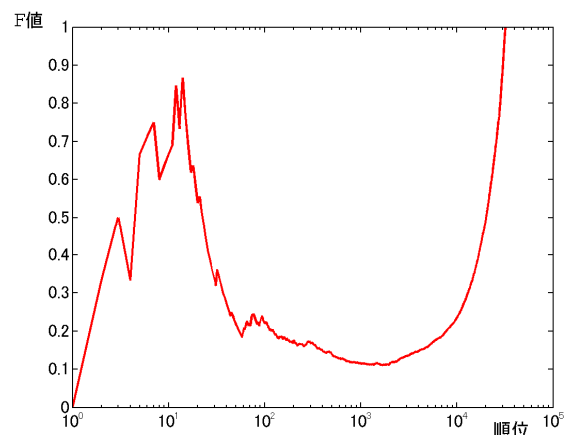


図 5 近接中心性と媒介中心性との F 値計算結果

を有するノードを抽出できることが分かり、施設配置問題などへの応用が可能であることを示した。

謝辞

静岡市道路データの作成においては、日本デジタル道路地図協会から提供、貸与いただいた全国デジタル道路地図データベース静岡市版[6] を用いた。

参考文献

- [1] 斉藤和巳他 5 名, “遅延評価導入による局所改善クラスタリング法的高速化,” 情報処理学会論文誌, 数理モデル化と応用, 3(1), pp. 62-72, 2010.
- [2] 武藤伸明他 4 名, “非線形施設配置問題における貪欲法の遅延評価による高速化-複数施設が確率的に貢献する場合-,” 情報処理学会論文誌, 数理モデル化と応用, 4(1), pp. 1-10, 2011.
- [3] 福山祥代, 羽藤英二, “街路ネットワーク分析による広場-街路構成の特性の把握—イタリア・スペイン旧市街の街路ネットワークを対象として,” 都市計画論文集, 45, pp. 421-426, 2010.
- [4] 小川勇樹他 2 名, “ネットワーク解析を用いた都市景観の「まとまり」に関する研究: ドイツ・ベルナを事例として,” 日本建築学会 2008 年度大会梗概集 F-1, pp. 935-936, 2008.
- [5] Wasserman, S. and Faust, K., *Social Network Analysis: Methods and Applications*. Cambridge University Press, 1994.
- [6] 日本デジタル道路地図協会, “全国デジタル道路地図データベース静岡市版”, 2011.