

実距離とステップ距離に基づく AP・OD 型媒介中心性による 空間ネットワーク分析

Analysis of Spatial Networks by AP and OD Betweenness Centralities based on Inter-node Distance and Step Distance

白澤 穂香*
Honoka Shirasawa

大久保 誠也*
Seiya Okubo

斉藤 和巳†
Kazumi Saito

1. はじめに

空間ネットワークは、現実空間における位置情報を持つノードと、これらノード間の実際の繋がりに基づいて設定されたリンクからなる。この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として注目を集めている [1]。我々は、特に、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を空間ネットワークとして利用することで、道路網への効果的な施設配置や防災対策などを目的とした、ネットワーク特性の分析を進めている。具体的には、ノード間の実距離に基づく近接中心性と媒介中心性の特性評価 [2] や、これら中心性に基づく都市特性の分類 [3] 等を行った。一方、鈴木らは、AP (All-Pair) 型と呼ぶ従来の媒介中心性に対し、出発地と目的地を限定することにより、OD (Origin-Destination) 型と呼ぶ媒介中心性を提案した [4]。

本稿では、鈴木らが提案したステップ距離に基づく媒介中心性を実距離中心性に拡張する。そして、計算機実験により、その特性を評価する。具体的には、浜松市、沼津市、及び、静岡市の道路網を用いた実験により、実距離 OD 型媒介中心性は、ステップ距離や AP 型と比較し、大幅に異なる特性を持つことを示す。

2. 実距離に基づく中心性

空間ネットワークを $G = (V, E)$ で表し、 V をノード集合、 $E \subset V \times V$ をリンク集合とする。ここで、本稿では、双方向リンクから構成されるネットワークを対象とするので、 $(u, v) \in E$ なら $(v, u) \in E$ となる。実距離に基づく中心性では、各リンク $(u, v) \in E$ に対し、ノード u と v の位置情報から求まる距離を $d(u, v)$ で表す。直接繋がらないノードのペア $u, w \in V$ については、ネットワーク上の測地距離 (geodesic distance) で $d(u, w)$ を定義する。一方、ステップ距離に基づく従来の中心性では、ノード u と w に対し、ネットワーク上の最短パス長 (shortest path length) で $d(u, w)$ を定義する。ここで、各リンク $(u, v) \in E$ の距離を $d(u, v) = 1$ に設定すれば、 $d(u, v)$ は最短パス長と等価になるため、実距離に基づく中心性は従来のステップ距離に基づく中心性の自然な拡張と言える。

AP (All-Pair) 型媒介中心性は既存の媒介中心性に対応し、ノード $v \in V$ の AP 型媒介度 $bc^{AP}(v)$ は、任意のノードペア間の最短距離パスのうち、ノード v を媒介するパスの割合として次式で定義される。

$$bc^{AP}(v) = \sum_{x \in V \setminus \{v\}} \sum_{y \in V \setminus \{v, x\}} \frac{\sigma_{x,y}(v)}{\sigma_{x,y}}. \quad (1)$$

ここで、 $\sigma_{x,y}$ はノード x, y 間で最短距離となるパス数を、 $\sigma_{x,y}(v)$ はノード x, y 間でノード v を通り最短距離となるパス数を表す。以下では、実距離に基づく AP 型媒介中心性を APC、ステップ距離に基づく AP 型媒介中心性を APS と呼ぶ。

AP 型では、任意のノード間を移動する際のノードの媒介度を計算している。しかし実行動では、起点と目的地が定められている事が多い。そこで、起点と目的地が定められている場合の媒介中心性を考える。いま、 D を目的地の集合とし、便宜上、それぞれ $u \in D$ を最寄りのノード $w \in V$ に対応させ $D \subset V$ であるとする。同様に、移動主体の起点

もノードに対応させ、ノード x が起点の主体数を $n(x)$ とする。このとき、OD (Origin-Destination) 型媒介中心性では、ノード $v \in V \setminus D$ の OD 型媒介度 $bc^{OD}(v)$ を、起点 $x \in V \setminus (D \cup \{v\})$ から目的地 $y \in D$ への最短距離パスのうち、ノード v を媒介するパスの割合として、次式で定義する。ただし、最短距離数で到達可能な目的地は一般に複数存在するので、その集合を $D(x)$ とする。 $D(x) \subset D$ かつ、媒介ノード v が起点や目的地となるケースは除外する。

$$bc^{OD}(v) = \sum_{x \in V \setminus (D \cup \{v\})} \frac{n(x)}{|D(x)|} \sum_{y \in D(x)} \frac{\sigma_{x,y}(v)}{\sigma_{x,y}}. \quad (2)$$

ここで $|D(x)|$ はノード x から最短距離で到達可能な目的地数を表し、これら目的地のどれが選択されるかは様であるとして仮定する。以下では、実距離に基づく OD 型媒介中心性を ODC、ステップ距離に基づく OD 型媒介中心性を ODS と呼ぶ。

これらタイプの異なる中心性の特性を評価するため、中心性の最大値を 1 になるように正規化した中心性値を考える。すなわち、実距離に基づく OD 型媒介中心性 ODC を正規化した $nODC$ を次式で定義する。

$$nODC(v) = ODC(v) / \max_{x \in V} \{ODC(x)\}. \quad (3)$$

また、 $v(k_{ODC})$ を、実距離に基づく OD 型媒介中心性 ODC 値 $\{ODC(v) \mid v \in V\}$ で k 番目に値の高いノードとする。同様に、他の中心性でも k 番目に値の高いノードを $v(k_{APC})$, $v(k_{APS})$, 及び、 $v(k_{ODS})$ で定義する。このとき、各種中心性で上位の値を持つノードを、実距離に基づく OD 型媒介中心性 ODC による値で評価する。つまり、

$$nODC(v(k_{ODC})), nODC(v(k_{APS})), \\ nODC(v(k_{APC})), nODC(v(k_{ODS})). \quad (4)$$

の各値を評価する。この評価値 (ODS 評価値) により、実距離に基づく OD 型媒介中心性 ODC と他の中心性について、同じノードに対する評価を比較する。

3. 実験による評価

実データを用いた計算機実験により、提案手法の特性を評価する。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、静岡市の交差点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数は 104,813, 13,410, 及び、53,903 となった。実験では、OD 型媒介中心性で用いる目的地集合 D は各都市の指定避難場所とし、これら目的地数は、浜松が 432、沼津が 232、静岡が 363 となった。また、AP 型との対応を考慮し、OD 型媒介中心性で用いる起点の主体数は $n(x) = 1$ とした。

図 1 に、式 3 で定義した正規化中心性に基づき、各中心性尺度での上位 100 ノードについて計算した結果を示す。横軸は、各中心性尺度における順位、縦軸は式 4 の値である。また、図 1(a) には浜松市の結果、(b) には沼津市の結果、(c) には静岡市の結果を示す。

ODC 評価値による評価であるため、どの都市においても、実距離に基づく OD 型媒介中心性 ODC の値がもっとも高く

*静岡県立大学 経営情報学部

†神奈川大学 理学部

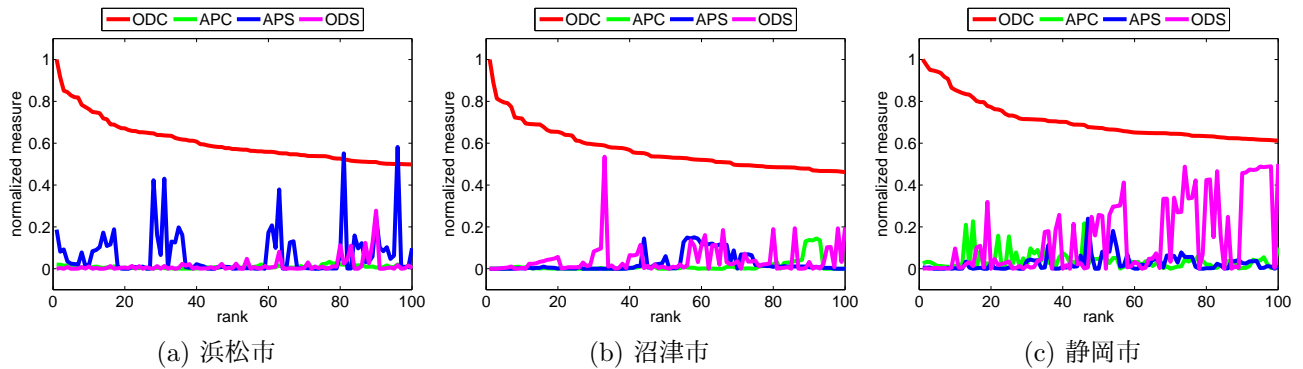


図 1: 正規化中心性による比較結果

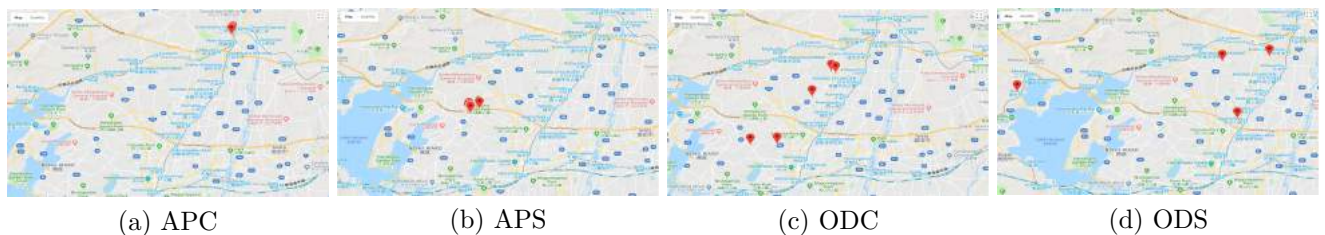


図 2: 各中心性上位 10 地点 (浜松市)

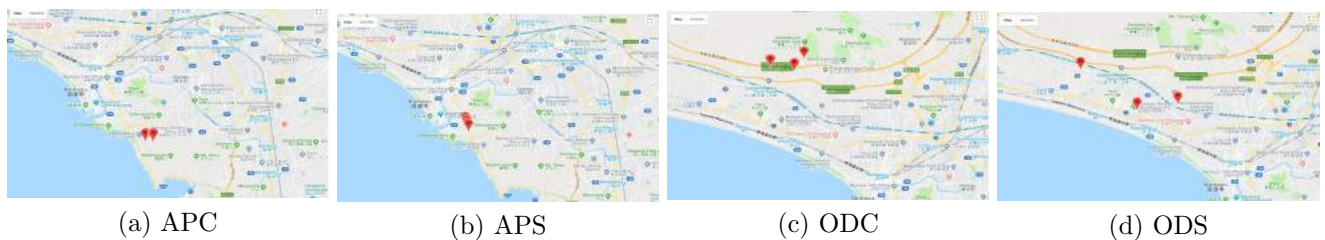


図 3: 各中心性上位 10 地点 (沼津市)

なっている。その一方で、他のほとんどの中心性の ODC 評価値は、低い値となっている。浜松市においては、ステップ距離に基づく AP 型媒介中心性 APS の上位ノードにおいてのみ、ある程度高い ODC 評価値となるノードが若干存在することが分かる。また、沼津市と静岡市においては、ステップ距離に基づく OD 型媒介中心性 ODS の上位ノードにおいてのみ、ある程度高い ODC 評価値となるノードが若干存在することが分かる。すなわち、ステップ距離や AP 型に基づく中心性で上位となるノードであっても、実距離に基づく OD 型媒介中心性では殆ど上位となっていない。このことから、実距離に基づく OD 型媒介中心性は、ステップ距離を利用する中心性や AP 型の中心性とは、大幅に異なる特性を持つと考えられる。

次に、各種中心性尺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。まず、図 2 に、浜松市での距離とステップに基づく AP・OD 型媒介中心性の上位地点の比較を示す。図 2 より、浜松市では (a)APC(b)APS の上位 10 地点はそれぞれ一カ所に集中したが、(c)ODC(d)ODS の上位 10 地点はそれぞれ分散した。またそれぞれの中心性上位 10 地点は比較的離れた場所となった。次に、図 3 に、沼津市での距離とステップに基づく AP・OD 型媒介中心性の上位 10 地点の比較を示す。図 3 より、沼津市では浜松市と同じように (a)APC(b)APS の上位 10 地点はそれぞれ一カ所に集中したが、(c)ODC(d)ODS の上位 10 地点はそれぞれ分散した。しかし一方で、(a)APC と (b)APS、(c)ODC と (d)ODS の上位地点は比較的近い場所となった。この結果は図 1(b) と符合する。

4. おわりに

本稿では、ノード間の実距離に基づく実距離 OD 型媒介中心性を提案した。また、実データを用いた実験を行いその特性を評価した。結果実距離 OD 型媒介中心性は、ステップ距離や AP 型と比較し、大幅に異なる特性を持つことを示した。今後は、多様な道路網を用いた評価実験とともに、距離に基づく他の中心性の拡張について検討する。

謝辞 本研究は、科学研究費補助金基盤研究(C)(No.17K01302)の助成を受けた。

参考文献

- [1] P. Crucitti, V. Latora, and S. Porta. "Centrality measures in spatial networks of urban streets", *Physical Review E*, 73(3):036125, 2006.
- [2] 白澤 穂香, 齊藤 和巳, "ノード間の実距離に基づく近接中心性と媒介中心性の特性評価," 第 15 回情報科学技術フォーラム (FIT2016), 2016.
- [3] 白澤 穂香, 齊藤 和巳, "実距離とステップ距離に基づく近接・媒介中心性による都市特性の分類," 情報処理学会第 79 回全国大会 (IPSJ2017), 2017.
- [4] 鈴木 優伽, 齊藤 和巳, "ステップ分解型媒介中心性による道路網の混雑度分布の分析," 情報処理学会論文誌, 数理モデル化と応用, 11(2), 2018.