

## 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 Analysis of Closeness and Betweenness Centralities based on Inter-node Distance

白澤 穂香<sup>†</sup>  
Honoka Shirasawa

斉藤 和巳<sup>†</sup>  
Kazumi Saito

### 1. はじめに

現実空間で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重要なクラスの一つとして注目を集めている [Crucitti 06]. 本研究では、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対象とし、道路網への効果的な施設配置や防災対策などを目的に、ネットワーク特性の分析を進めている。

本稿では、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について報告する。これら距離に基づく中心性はステップに基づく従来の中心性概念 [Freeman 79] の自然な拡張となる。浜松市、沼津市、及び、静岡市の道路網を用いた実験では、近接中心性と媒介中心性では、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  $G = (\mathcal{V}, \mathcal{E})$  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、 $(u, v) \in \mathcal{E}$  なら  $(v, u) \in \mathcal{E}$  となる。各リンク  $(u, v) \in \mathcal{E}$  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  $u, w \in \mathcal{V}$  については、ネットワーク上の測地距離 (geodesic distance) を  $d(u, w)$  を定義する。このとき、各ノード  $u \in \mathcal{V}$  に対し、距離に基づく近接中心性を次式で定義する。

$$DC(u) = \left( \sum_{w \in \mathcal{V}} d(u, w) \right)^{-1}. \quad (1)$$

ここで、各リンク  $(u, v) \in \mathcal{E}$  の距離を  $d(u, v) = 1$  とすれば、従来のステップに基づく近接中心性  $SC(u)$  に帰着されるので、距離に基づく近接中心性  $DC(u)$  は  $SC(u)$  の自然な拡張と言える。

同様に、各ノード  $u \in \mathcal{V}$  に対し、距離に基づく媒介中心性を次式で定義する。

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

ここで、 $\sigma(u, w)$  はノード  $u$  から  $w$  への最短パス数を表し、 $\sigma(u, w; v)$  はこれらパスでノード  $w$  を経由するパス数を表す。距離に基づく近接中心性と同様に、各リンク  $(u, v) \in \mathcal{E}$  の距離を  $d(u, v) = 1$  とすれば、従来のステップに基づく媒介中心性  $SB(u)$  に帰着されるので、距離に基づく媒介中心性  $DB(u)$  も  $SB(u)$  の自然な拡張と言える。

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値を考える。すなわち、距離に基づく正規化近接中心性と正規化媒介中心性は次式で定義される。

$$\begin{aligned} nDC(v) &= DC(v) / \max_{x \in \mathcal{V}} \{DC(x)\}, \\ nDB(v) &= DB(v) / \max_{x \in \mathcal{V}} \{DB(x)\}, \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 $v(k_{DC})$  を距離に基づく近接中心性  $\{DC(v) : v \in \mathcal{V}\}$  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  $v(k_{SC})$ ,  $v(k_{DB})$ , 及び、 $v(k_{SB})$  で定義する。このとき、近接中心性と媒介中心性のそれぞれに対し、距離に基づく中心性とステップに基づく中心性のペアを次式のようにプロットして評価する。

$$\begin{aligned} &\{(k, nDC(v(k_{DC}))), (k, nDC(v(k_{SC})))\}, \\ &\{(k, nDB(v(k_{DB}))), (k, nDB(v(k_{SB})))\}. \end{aligned} \quad (4)$$

すなわち、ステップに基づく中心性で評価値の高いノードを距離に基づく中心性の尺度で評価する。

### 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](http://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。

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 ノードを、式 4 によりプロットした結果を示す。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。まず、近接中心性の結果に着目すれば、どの道路網でも上位 100 ノードまで、距離に基づく近接中心性  $DC$  では殆ど 1 となり、ステップに基づく近接中心性  $SC$  ではおよそ 0.6 から 1 となり、両者とも比較的评价値が高い結果となったことが分かる。これらの中で、特に沼津市でのステップに基づく近接中心性  $SC$  で評価値が高い結果となった。これらより、距離に基づく近接中心性尺度については、ある程度広い範囲で高い評価値になると考えられる。

一方、媒介中心性の結果に着目すれば、どの道路網でも上位 100 ノードの範囲で、距離に基づく媒介中心性  $DB$  ではおよそ 0.6 から 1 となったのに対し、ステップに基づく媒介中心性  $SB$  では 0 から 0.6 程度範囲で、大きく変動する結果となったことが分かる.. これらの

<sup>†</sup>静岡県立大学 経営情報学部

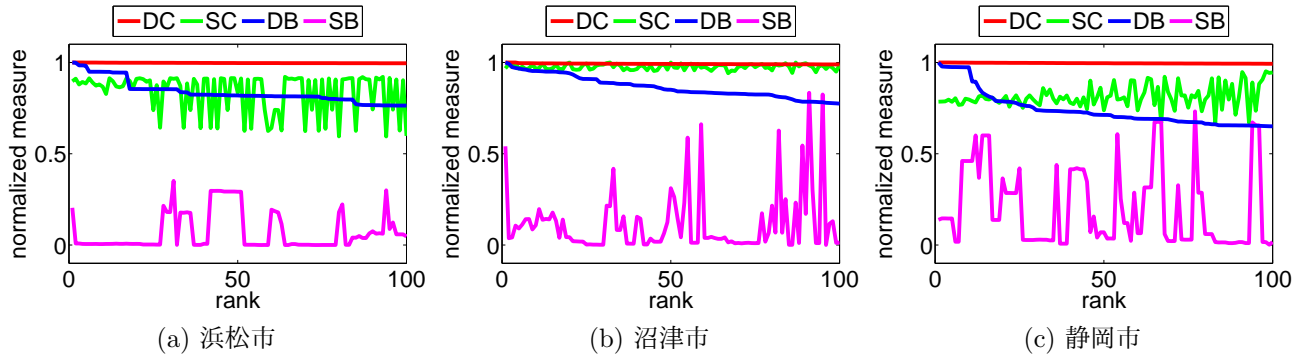


図 1: 正規化中心性による比較結果



図 2: 距離とステップに基づく近接中心性の上位地点の比較



図 3: 距離とステップに基づく媒介中心性の上位地点の比較

中で、特に静岡市でのステップに基づく近接中心性 SC で評価値が大きく変動した。これらより、媒介中心性については、距離に基づく尺度とステップに基づく尺度の評価値は大幅に異なる結果になると考えられる。

以下では、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、距離とステップに基づく近接中心性の上位 10 地点の比較を示す。図 2 より、(b) 沼津市では、距離とステップに基づく中心性の上位 10 地点は比較的近い場所となった。この結果は図 1(b) の結果と符合する。

次に、図 3 に、距離とステップに基づく媒介中心性の上位 10 地点の比較を示す。図 3 より、距離に基づく中心性の上位 10 地点は比較的近い場所になるのに対し、ステップに基づく中心性では比較的離れた場所となった。

#### 4. おわりに

本稿では、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について報告した。浜松市、沼

津市、及び、静岡市の道路網を用いた実験では、近接中心性と媒介中心性では、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.26330345) 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.

[Freeman 79] L. Freeman "Centrality in social networks: Conceptual clarification", *Social Networks*, 1:215–239, 1979.