

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 25 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01826

研究課題名(和文)大規模空間ネットワークのネットワーク分析に関する研究

研究課題名(英文)The study of network analysis for large spatial networks

研究代表者

風間 一洋 (Kazama, Kazuhiro)

和歌山大学・システム工学部・教授

研究者番号：60647204

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究計画では、実空間の位置制約や様々な属性を持つ道路網などの空間ネットワーク(spatial network)に対する革新的な分析技術として、1)確率に基づいてリンクが切断される状況下の重要な地点を表す新たなノードの中心性(頑健グループ連結中心性)、2)同じ特性の領域に分割する新たなクラスタリング手法(機能コミュニティ法、グループ連結中心性に基づくクラスタリング)、3)提案するネットワーク分析手法で現実の巨大な空間ネットワークデータを扱えるようにするための高速化、について研究した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

松村らは、従来の道路ネットワーク分析では四段階推定法による将来交通需要予測が主流だが、都市・地域づくり、整備優先性、まちづくり支援、防災・医療活動などのさらに広範な視点を実現するためには、当時まだほとんど行われていなかった人口や施設なども考慮に入れた新たなネットワーク分析が有望であると主張している。本研究計画では、道路の通行量や突発的な道路閉塞、施設配置、ユーザの行動パターンや災害時を考慮したユーザモデルなどの現実世界の要素を空間ネットワーク分析に導入する試みであると共に、現実の大規模空間ネットワークを分析可能にするための様々な高速化手法を実現する点で、そのような用途に特に重要である。

研究成果の概要(英文)：In this research project, we are planning to develop an innovative analysis technique for spatial networks such as road networks with real space location constraints and various attributes: 1) robust group connectedness centrality, which is a new centrality of nodes representing the importance of a point under stochastic link disconnection and, 2) functional cluster extraction, which is able to divide functionary similar regions, and robust group connectedness centrality-based clustering, 3) Performance tuning of our proposed network analysis methods, which enable to treat real and huge spatial network data.

研究分野：情報学

キーワード：空間ネットワーク分析 機能コミュニティ 集合中心性 高速化 ユーザ行動モデル

1. 研究開始当初の背景

(1)既存のグループ中心性 (group centrality) は、接続性や属性に基づいて事前を選択したノード集合の重要性を判定するための中心性指標であり、複数のノードの影響の重複による過大評価を排除している。これに対して、集合中心性は、ノード集合に含まれるすべてのノードの中心性からノード集合の重要性を判定するための指標であり、ノードが相互依存していることを考慮して、集合中心性を目的関数として最大にするノード集合を求める。つまり、ノード集合が所与のグループ中心性と異なり、与えた中心性の観点からネットワーク全体の中で重要性が高いノードを複数抽出することを目的とし、さらに既存の中心性のようにスコア上位のノードが局所的に密集することなく、広範に重要ノードを調べることができる。

(2)近年複雑ネットワーク分析において注目されている有効な概念である役割発見 (role discovery) は、ネットワーク構造中で類似の機能を持つ部分を発見する手法である。Rossi らは役割発見を、1) グラフに基づいた役割、2) 素性に基づいた役割、3) 両者を混合した役割の 3 種類に分類し、社会学における構造同値性は 1)、ネットワークの基本統計量などを素性に用いた RolX は 2) に相当する。機能コミュニティ抽出法も 2) に相当するが、素性ベクトルが RolX のような静的な既存指標ではなく、乱歩 (random walk) モデルに従うと仮定した PageRank を貪欲法で計算する際の値の変動として動的に求める指標である点が大きく異なり、ユーザモデルの変更で評価視点を変更できる斬新な特徴を持つ。

2. 研究の目的

本研究計画では、我々が提案してきた重要な地点を示す集合中心性と同一特性の領域を示す機能コミュニティというネットワーク分析分野における二つの新しい概念を、さらに進展させて実空間の位置制約や様々な属性を持つ道路網などの空間ネットワーク (spatial network) 分析に導入することを目的とする。

(1) 与えた中心性の観点からネットワーク全体の中で重要性が高いノードを複数・広範に抽出できる集合中心性を、災害時の道路閉塞などの確率を考慮できるグループ連結中心性 (申請時には「頑健集合中心性」と呼称していた) に拡張する。

(2) ネットワーク構造中で類似の機能を持つ部分を発見する手法である機能コミュニティ抽出法を基にして、避難地への移動などのユーザ行動を考慮したモデル付き機能コミュニティ抽出法を創出する。

(3) OpenStreetMap のランドマーク情報・標高を用いて、現実に近い状況を想定した評価を実現する。そのために、同時に現実の大規模データを処理可能にするための、さまざまな高速化手法を実現する。

3. 研究の方法

(1)災害時の道路閉塞などの確率を考慮できるグループ連結中心性を考案する。ただし、考慮しなければならないケースが飛躍的に増大するために、差分に注目するなどの高速化手法を適用する。さらにグループ連結中心性に基づく、新たなクラスタリング手法を提案する。

(2)機能コミュニティ抽出法を、大規模空間ネットワークに適用可能にする。そのために転移学習などの手法を活用する。

(3)人間の行動モデルを空間ネットワーク分析技術に組み込む。行動モデルは、例えば最近傍点移動モデルや最短経路移動モデルである。

4. 研究成果

(1)空間ネットワークからの機能クラスタ抽出においては、各ノードの機能を高次元のベクトルで表現し、多数の高次元ベクトルを高速にクラスタリングする技術を確立した。さらに、クラスタ内ノードの回数に対して Z スコアを計算し、各クラスタで Z スコア分布が顕著に異なることを明らかにするとともに、各機能クラスタの特徴を視覚的に表現する可視化法も提案した。これらの提案手法を OpenStreetMap から抽出した実道路ネットワークを対象に体系的に評価し、その成果がジャーナル論文 (Journal of Information Processing, Special Issue of Network Science) に採録された。

(2)機能クラスタ (コミュニティ) 抽出法を、各地域における道路構造の類似性に着目した転移学習アプローチにより、さらに高速化する手法を考案した。この手法では、すでに計算済みの地域の代表ベクトルを活用し、近似メトリックを計算する。オリジナルの手法のクラスタリング結果との一致率 (精度) による評価を行い、計算量を削減できると同時に高い精度が得られることを確認し、国際会議 (6th International Conference on Complex Networks and Their Applications) で発表した。

(3)災害時の道路閉塞などの道路ネットワークにおけるリンク切断をモデル化した、リンク切断

に頑健な中心性指標として、連結中心性を提案した。これにより、災害時に孤立してしまう地域に対して避難地を設定するなどの政策につながる研究成果が得られた。この結果は国内研究会（MPS 115, MPS 116 回）で発表した。

(4)今まで取りかかってきた、想定されるリンク切断の組み合わせは膨大なので、全てを孤立ノードとした初期状態から 1 本ずつリンクを追加した際の差分値だけを計算することで、グループ連結中心性を効率的に計算する手法に関する成果とその評価を、まとめて和文論文誌（IPSTOM）に投稿して採録された。

(5)グループ連結中心性の応用として、空間ネットワークの頑健なクラスタリング手法を考案した。実際に OpenStreetMap から抽出した道路データに適用することで、さまざまな場所がある機能によって結合してまとまりとして捉えられる機能地域（Functional Region）を抽出することを試みて、中心性を持つ頑健性により災害時の避難地推定に適用できることを示した。これは国際会議（CNA2018）で発表し、その後さらに発展した内容が英文論文誌（APNS）に採録された。なお、投稿論文の査読時に、我々の提案するノードやエッジ、属性の存在確率を考慮する新しいグラフ分析分野である"uncertain graph"との基本的なアプローチ部分の類似性が指摘されたことをきっかけに関連研究を調査し、我々のアイデアを uncertain graph の枠組で定式化しなおした。これにより、我々が本研究計画で考案したアイデアを、グループ連結中心性だけに限定せずに、一般的なネットワーク分析の手法の Uncertain Graph 対応に適用できるようになった。

(6)大規模な空間ネットワーク上における人々の行動モデルとして、各住民が最も近い店舗に向かうとする最近傍点移動モデルと、会社や学校、病院などに最短経路で向かう際に店舗に立ち寄るとする最短経路移動モデルの 2 つのモデルを確立した。前者は従来から用いられている概念をモデル化したものであり、商業施設の商圈を抽出する際にポロノイ分割を用いるのは最近傍点移動モデルに基づく。それに対して、後者は本研究で新たに確立した概念・モデルである。実際に、大手コンビニチェーン 3 社の店舗群のデータを用いて複数地域に対してこれらのモデルにより商圈を抽出・比較検証した結果を研究会（MPS 123）で発表し、各チェーンの店舗出店戦略について考察した結果を国内会議（FIT 2019）で発表した。上述した既存モデルは、ネットワーク分析の分野における近接中心性に、提案モデルは媒介中心性に基づくものであり、これら中心性の概念はネットワークにおける単一のノードを対象としたものである。これに対して対象をノードグループに一般化し、さらに、グループ内のノード同士は協調して、異なるグループのノード同士は競合して振る舞うように拡張した中心性指標を国際会議（Complex Networks and Their Applications 2019）で発表した。提案したこれらのモデル・手法を用いることで、より現実に合った人々の行動予測が可能となり、より適切な新店舗立地場所を求めることが可能になると考えられる。

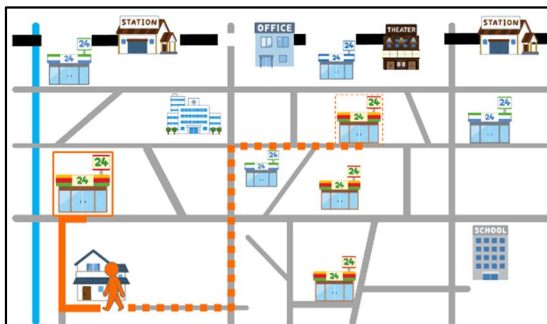


図 1：最近傍点移動モデル

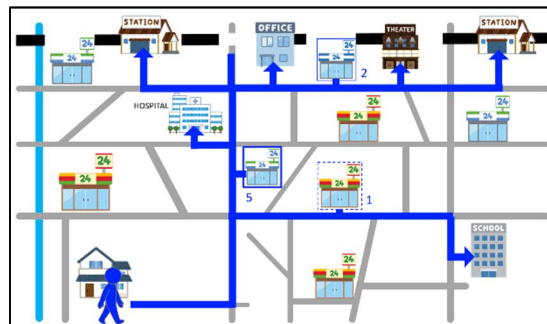


図 2：最短経路移動モデル

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Fushimi Takayasu, Saito Kazumi, Ikeda Tetsuo, Kazama Kazuhiro	4. 巻 3
2. 論文標題 Improving approximate extraction of functional similar regions from large-scale spatial networks based on greedy selection of representative nodes of different areas	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Network Science	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s41109-018-0075-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Fushimi Takayasu, Saito Kazumi, Ikeda Tetsuo, Kazama Kazuhiro	4. 巻 Vol.3 No.18
2. 論文標題 Acceleration of Functional Cluster Extraction and Analysis of Cluster Affinity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Machine Learning Techniques for Online Social Networks (Lecture Notes in Social Networks)	6. 最初と最後の頁 1-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/978-3-319-89932-9_1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 伏見 卓恭, 斉藤 和巳, 池田 哲夫, 風間 一洋	4. 巻 Vol.11 No.2
2. 論文標題 リンク切断に頑健な連結中心性とその高速計算法	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用 (TOM)	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 伏見 卓恭, 斉藤 和巳, 風間 一洋	4. 巻 58
2. 論文標題 メトリック空間における複数カテゴリに属するハイブリッドオブジェクト抽出法の提案	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌 ネットワーク科学特集号	6. 最初と最後の頁 1258-1267
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 伏見 卓恭, 佐藤 哲司, 斉藤 和巳, 風間 一洋	4. 巻 58
2. 論文標題 ネットワーク上での特徴量分布を考慮したアノテーション付与法	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌 ネットワーク科学特集号	6. 最初と最後の頁 1246-1257
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takayasu Fushimi, Kazumi Saito, Tetsuo Ikeda, Kazuhiro Kazama	4. 巻 25
2. 論文標題 Clustering and Visualizing Functionally Similar Regions in Large-Scale Spatial Networks	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing, Special Issue of Network Science	6. 最初と最後の頁 398-406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計25件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 伏見 卓恭, 斉藤 和巳, 池田 哲夫, 風間 一洋
2. 発表標題 代表ノード抽出による避難施設候補地の推定
3. 学会等名 情報処理学会第81回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伏見 卓恭, 斉藤 和巳, 池田 哲夫, 風間 一洋
2. 発表標題 災害時の道路閉塞を想定した道路ネットワークの空間分割
3. 学会等名 第122回数理解モデル化と問題解決研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takayasu Fushimi , Kazumi Saito , Tetsuo Ikeda , Kazuhiro Kazama
2. 発表標題 A New Group Centrality Measure for Maximizing the Connectedness of Network under Uncertain Connectivity
3. 学会等名 The 7th International Conference on Complex Networks and Their Applications (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takayasu Fushimi , Ryota Mori
2. 発表標題 High-Speed Clustering of Regional Photos Using Representative Photos of Different Regions
3. 学会等名 The 2018 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 太田 駿 , 伏見 卓恭
2. 発表標題 交通ネットワーク上での不通事象の影響度分析
3. 学会等名 第120回数理モデル化と問題解決研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伏見 卓恭 , 齊藤 和巳 , 池田 哲夫 , 風間 一洋
2. 発表標題 グラフ連結性に基づく多様体上での頑健なクラスタリング手法
3. 学会等名 第120回数理モデル化と問題解決研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 毛利 亮太, 伏見 卓恭
2. 発表標題 他地域の代表写真を利用した高速クラスタリング手法の改善
3. 学会等名 第120回数理モデル化と問題解決研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 毛利 亮太, 伏見 卓恭
2. 発表標題 クラスタ代表写真に基づく地域間の共通特徴の抽出
3. 学会等名 第17回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 毛利 亮太, 伏見 卓恭
2. 発表標題 他地域の代表写真を利用した地域別写真の高速クラスタリング手法の提案
3. 学会等名 マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林 和央, 風間 一洋, 吉田 光男, 大向 一輝
2. 発表標題 インターネット上の論文の閲覧行動と言及行動の関係の分析
3. 学会等名 第3回計算社会科学ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保 侑哉, 風間 一洋, 榊 剛史
2. 発表標題 単語2-gramに基づくマルチトピックグラフの可視化
3. 学会等名 ネットワークが創発する知能研究会+ネットワーク生態学グループ合同研究会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高木 涼太, 風間 一洋, 榊 剛史
2. 発表標題 単語の分散表現に基づく専門用語辞書の拡張法
3. 学会等名 第13回テキストアナリティクス・シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takayasu Fushimi, Kazumi Saito, Tetsuo Ikeda, and Kazuhiro Kazama
2. 発表標題 Fast Extraction Method of Functional Clusters from Large-Scale Spatial Networks Based on Transfer Learning
3. 学会等名 6th International Conference on Complex Networks and Their Applications (CNA2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takayasu Fushimi, Kazumi Saito, Tetsuo Ikeda, and Kazuhiro Kazama
2. 発表標題 Accelerating Greedy K-medoids Clustering Algorithm with L1 Distance by Pivot Generation
3. 学会等名 23rd International Symposium on Methodologies for Intelligent Systems (ISMIS2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伏見 卓恭, 斉藤 和巳, 池田 哲夫, 風間 一洋
2. 発表標題 集合中心性ノードの媒介寄与度に基づくコミュニティ抽出
3. 学会等名 第116回数理モデル化と問題解決研究発表会 (MPS116)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伏見 卓恭, 斉藤 和巳, 池田 哲夫, 風間 一洋
2. 発表標題 リンク切断に頑健な連結中心性とその高速計算法
3. 学会等名 第115回数理モデル化と問題解決研究会 (MPS115)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伏見 卓恭, 斉藤 和巳, 池田 哲夫, 風間 一洋
2. 発表標題 機能クラスタ抽出高速化の一検討
3. 学会等名 第14回ネットワーク生態学シンポジウム (NetEco14)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伏見 卓恭, 斉藤 和巳, 風間 一洋
2. 発表標題 一般化ピボットによるL1距離に基づくK-medoidsクラスタリングの高速化
3. 学会等名 第31回人工知能学会全国大会 (JSAI2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木優伽, 斉藤 和巳
2. 発表標題 分解型ステップ媒介中心性による道路網分析
3. 学会等名 第16回情報科学技術フォーラム (FIT2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木優人, 斉藤 和巳
2. 発表標題 ユーザ影響度分析法によるレビューデータ特性分析
3. 学会等名 第16回情報科学技術フォーラム (FIT2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 楊小龍, 斉藤 和巳
2. 発表標題 生産日数を考慮したAnt ras上流度拡張
3. 学会等名 第16回情報科学技術フォーラム (FIT2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 望月成一郎, 斉藤 和巳
2. 発表標題 リンク生成によるネットワーク性能の最大化
3. 学会等名 第16回情報科学技術フォーラム (FIT2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上野 高士, 風間 一洋
2. 発表標題 コミック中の発話タイミングに基づく人物相関図の作成手法
3. 学会等名 ARG 第11回Webインテリジェンスとインタラクション研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 積田 祥宜, 風間 一洋
2. 発表標題 ソーシャルメディア上の発言の同期性に基づく協調関係の抽出法
3. 学会等名 第12回テキストアナリティクス・シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久保 侑哉, 風間 一洋, 榊 剛史
2. 発表標題 単語2-gramに基づくマルチトピックグラフの可視化
3. 学会等名 第10回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム(DEIM2018)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	池田 哲夫 (Ikeda Tetsuo) (60363727)	静岡県立大学・経営情報学部・教授 (23803)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	斉藤 和巳 (Saito Kazumi) (80379544)	神奈川大学・理学部・教授 (32702)	
研究分担者	伏見 卓恭 (Fushimi Takayasu) (80755702)	東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・助教 (32692)	