

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24652159

研究課題名(和文) ネットワーク上での空間移動分析システムの開発

研究課題名(英文) Decision support system for moving on a network space

研究代表者

貞広 幸雄 (Sadahiro, Yukio)

東京大学・空間情報科学研究センター・教授

研究者番号：10240722

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ネットワーク上での空間移動分析システムの構築を目的とし、そのための基礎的手法の開発を行った。GPS等を用いた空間移動データの取得が急速に進み、その分析に対する需要が日々、高まりつつある。それに応えるために、ここでは大量に取得される移動データを分析、典型的なパターンの抽出及び類似したパターンの類型化を行い、その結果を地図として可視化する包括的手法を開発した。

研究成果の概要(英文)：The present study developed a method for analyzing the movement on a network space that aims to be implemented in a decision support system. A rapid growth of data acquisition tools such as GPS and mobile phones enables us to capture the spatial data of individuals' movement, and motivates us to utilize the data efficiently for practical purposes. To answer this demand, the present paper proposed an integrated method for analyzing the movement on a network space to extract typical patterns of movement, classify data into groups, and visualize the result in an effective way.

研究分野：人文学

科研費の分科・細目：人文地理学

キーワード：ネットワーク空間 空間移動 分析システム

1. 研究開始当初の背景

我が国では近年、空間データ取得技術が急速に発展しつつある。従来の高解像度衛星画像やGPSなどに加え、現在では、携帯電話やWi-Fi、赤外センサーなどのネットワーク、レーザースキャナ、ICタグなど、様々な技術を用いた位置参照が可能である。技術の発達に伴い、最近では特に、人間の空間移動の研究が大きく進みつつある。公園や動物園、美術館などにおける遊覧行動、商店街での回遊行動、観光地における観覧移動など、様々なスケールでの移動が把握できるようになり、空間移動の詳細な分析が行われている。

従来の研究の問題点の一つは、その大半が、2次元空間上の自由な移動を前提としている点にある。公園や動物園など、狭域的な移動については、この仮定は十分に妥当である。しかしながら、各種の交通機関を利用した都市内・都市間移動などでは、人間の移動は道路や鉄道などの交通ネットワークに規定され、その自由度は遙かに低い。広域的な空間移動の分析では、人間の移動を、2次元平面ではなく、ネットワーク空間の上で取り扱う必要がある。2次元空間上の自由な移動として分析を行うと、過剰な自由度が分析の客観性を歪める可能性がある。

このような視点に立ち、Kharrat *et al.* (2008)や Won *et al.* (2009)は、道路などのネットワーク上の空間移動を分析する手法を提案している。後者は移動経路全体について、前者は経路を切断した部分について、いずれも移動経路を分類する手法を提案している。

しかしながら、ネットワーク上での空間移動分析には、分類手法だけでは明らかに不十分である。移動の既定要因を探るには、より多様な空間パターンを抽出し、空間移動に対する理解をさらに深める必要がある。このような必要性の認識に立ち、本研究を実施した。

2. 研究の目的

本研究では、ネットワーク上の空間移動を総合的に分析する探索的手法の開発を目的としている。GPSなどで取得される空間データは、誤差や誤りを多く含むことから、通常、その分析は手作業によるネットワーク空間上への同定から始まる。それに対しここでは、GPSの元データを半自動的にそれをネットワーク上に同定し、分析者は分析と可視化までを一貫して行うことができる手法を開発している。この手法により、研究者は探索的かつ対話的分析を通じて、多様な移動パターンの抽出に集中できるようになり、確信的空間分析のための様々な研究仮説を導出できるものと期待される。

本研究では特に、効果的な移動経路の可視化に重点を置いた。従来のような主題図だけではなく、系統図や経路間の相互関係を可視化するグラフネットワークなど、様々な方法を通じて移動経路を可視化し、特徴的な移動パターンの抽出を支援している。移動経路の分類についても、より柔軟性の高い新たな手法の提案を行っている。

3. 研究の方法

研究の第一段階として、GPSデータを事後的にネットワーク上に同定する手法を開発した。手法をGPSデータに繰り返し適用することで、アルゴリズムの改良を行っている。その後、ネットワーク上の空間移動を総合的に分析する手法を開発した。同定アルゴリズムと同様に、この手法についても、適用を通じた修正を繰り返すことで、手法の洗練を行っている。

第二段階として、空間移動の可視化のために、系統図を自動作成するアルゴリズムを開発した。最初は小規模な移動データに適用し、徐々に大規模な移動データへと適用範囲を拡大しながら、アルゴリズムを改良する予定であったが、大規模データへの適用に要する計算量が当初の想定以上に大きかったこと

から，中規模データへの適用にとどめた．結果は地図及びグラフとして可視化するように，手法を一部，PC上で動作するプログラムとして実装している．

4．研究成果

本研究ではまず，既存研究のレビューを実施した．特にGPSデータのネットワーク上への同定について，ナビゲーション分野における新手法を網羅的に把握することで，研究の現状を再整理した．

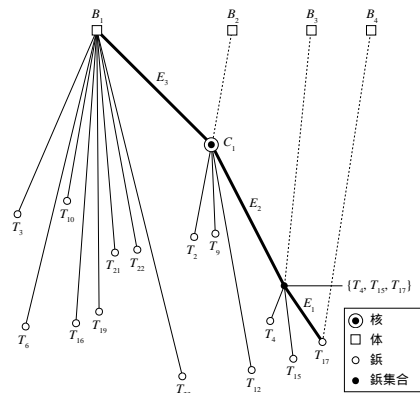
次にこの結果をふまえ，GPSデータを事後的にネットワーク上に同定する手法を開発した．GPSによって取得する位置データには，位置誤差に加え，衛星の非捕捉などから生ずる誤りが多く含まれている．それらを効率的に取り除くために，対話的にノイズを除去し，ネットワーク上に正しい位置データのみを同定して結合するアルゴリズムを提案している．

アルゴリズムの開発後は，それを実際のデータに適用し，有効性を検証した．当初のアルゴリズムにおいては，十分な結果が得られなかったため，幾つかの問題点にはアルゴリズムの修正で，他の問題点には手作業による最終結果の修正でそれぞれ対応し，最終的にはかなりの規模のデータに適用可能な形となった．

次に，ネットワーク上の空間移動を総合的に分析する手法を開発した．この手法はKharrat et al. (2008)の研究を参考としつつも，移動経路全体を一括して扱うだけでなく，経路を切断した部分ごとについても，移動パターンの特徴が抽出可能である．このようなアプローチにより，分析の柔軟性が高まり，様々なスケールでの空間パターン抽出が可能となっている．

分析理論の枠組みには，Sadahiro (2010, 2011a, 2011b)の提案する，グラフに基づいた空間オブジェクトの相互関係表現を用い

ている．ここでは，全ての空間オブジェクトを重ね合わせて切断し，生成される多数の小要素の集合として各オブジェクトを表現している．この表現では，オブジェクト間の相互関係は，オブジェクトをノード，位相的階層関係をリンクとするグラフで表される．このグラフはハッセ図の部分集合であり，その一部を抽出することで，オブジェクト間の相互関係を明確に可視化することができる．また本研究では，縦軸にオブジェクトの大きさを表す指標をとることで，位相関係と同時にオブジェクトの大きさの類似性も把握できる可視化を行う．更に，グラフをツリーとして構成すれば，その表現は空間オブジェクトの分類にも活用できる（下図）．

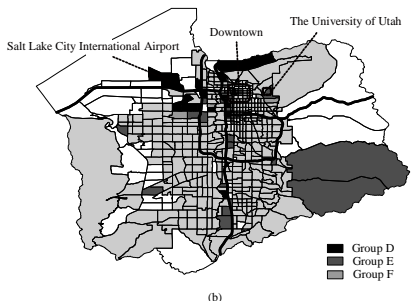
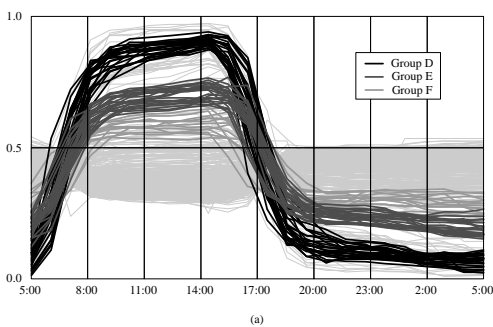
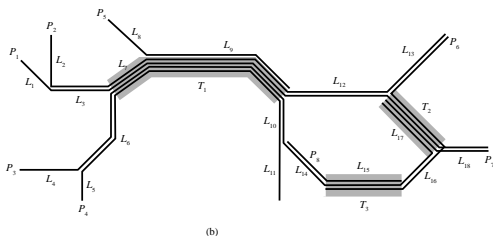
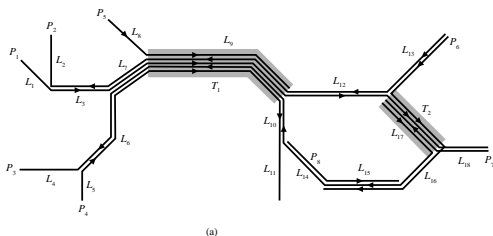
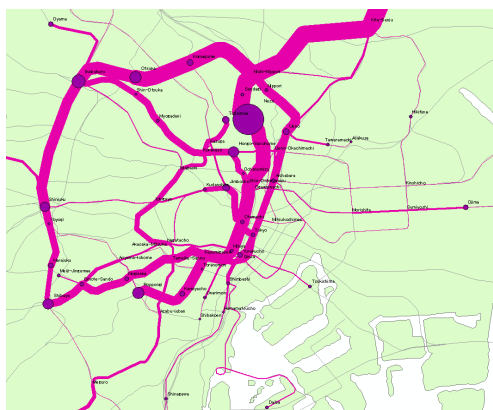


上記分析理論は，空間移動のスケールに依存しないという特性を持つ．そのため，公園の遊歩道や建物内の通路などの狭域的移動から，都市内・都市間移動などの広域的移動まで，広く適用可能であるという利点を有する．

この分析理論の扱う対象は，元々は離散空間上の点分布，空間分割，単ポリゴン分布の3つに限られており，本研究ではこれを空間移動分布の分析に適用可能な形に拡張した．空間移動は，その方向が意味を持ち，かつ，一つの移動の中に同じ点や線が複数回現れることを許容するという，通常の幾何学図形に見られない性質を有する．この特殊性故に，空間移動の分析は必然的に複雑である．それ故，本研究の拡張により，本来の理論がより

高い拡張を有することとなった。

手法開発の後、それを一個人の1年間の移動経路の空間移動分析に適用した。その結果、典型的なパターンの抽出や、類似したパターンの類型化など、有用な分析結果を得ることができた(下図)。



次に、空間移動の可視化のために、系統図を自動作成するアルゴリズムを開発した。ここでは、系統図作成を空間的最適化問題として定式化し、その解を発見的手法によって導出している。手法の改良は前述の通り、実データへの適用を通じて実施している。最初は小規模な移動データに適用し、徐々に大規模な移動データへと適用範囲を拡大しながら、アルゴリズムを改良する予定であったが、大規模データへの適用に要する計算量が当初の想定以上に大きかったことから、中規模データへの適用にとどめた。結果の可視化は、地図及びグラフを通じて行う。手法の一部はPC上で動作するプログラムとして実装している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計10件)

1. Sadahiho, Y. and Kobayashi, T. (2014): Exploratory analysis of time series data: Detection of partial similarities, clustering, and visualization, *Computers, Environment and Urban Systems*, **45**, 24-33.
2. Hong, S.-Y. and Sadahiho, Y. (2014): Measuring geographic segregation: a graph-based approach, *Journal of Geographical Systems*, **16**, 211-231.
3. Sadahiho, Y. (2013): A method for comparing numerical variables defined in a region, *Computers, Environment and Urban Systems*, **41**, 65-74.
4. Sadahiho, Y., R. Lay, and T. Kobayashi (2013): Trajectories of moving objects on a network: Detection of similarities, visualization of relations, and classification of trajectories, *Transactions in GIS*, **17**,

18-40.

5. Sadahiro, Y. (2012): Exploratory analysis of polygons distributed with overlap, *Geographical Analysis*, **44**, 350-367.
6. 貞広幸雄 (2013): 変数変換を用いた離散空間上における数値変数比較, 都市計画論文集, **48**, 885-890.
7. 関口達也・貞広幸雄 (2014): 時空間データを用いた食料品店の存続・閉店予測モデル, 日本建築学会計画系論文集, **696**, 431-436.
8. 貞広幸雄 (2012): オブジェクト指向空間解析: 空間オブジェクト分布間関係の汎用的解析手法, 都市計画論文集, **47**, 313-318.
9. 関口達也・貞広幸雄・秋山祐樹 (2012): 住宅地滲出型商業集積の形成過程とその要因に関する研究 -原宿地域・青山地域・代官山地域を事例とした時空間分析, 都市計画論文集, **47**, 301-306.
10. 高橋一紀・石川徹・貞広幸雄・浅見泰司 (2012): アーケードが高齢者の雨天時の買い物行動に与える効果についての分析, 計画行政, **35**, 37-43.

[学会発表](計13件)

1. Sadahiro, Y. (2013): Exploratory Spatial Analysis, *World History for Current Issues (Environmental Issues, Globalization, and Conflicts)*.
2. 貞広幸雄 (2013): 空間解析事始め, 地理情報システム学会平成25年度研究発表大会.
3. 相尚寿・貞広幸雄 (2013): 居住者属性と土地被覆情報を用いた建物用途を含む土地利用把握, 地理情報システム学会平成25年度研究発表大会.
4. 関口達也・貞広幸雄 (2013): 地域の食料品店分布を考慮した、買物環境の評価指標とその分析, 地理情報システム学会平

成24年度研究発表大会.

5. 貞広幸雄 (2013): 新しい世界史と空間情報解析の交点を探る, 「ユーラシアの近代と新しい世界史叙述」研究会ワークショップ.
6. 貞広幸雄 (2012): オブジェクト指向空間解析: 空間オブジェクト分布間関係の汎用的解析手法, 地理情報システム学会平成24年度研究発表大会.
7. 小島哲哉・貞広幸雄・浅見泰司 (2012): 地域名称の指す空間的領域に関する研究, 地理情報システム学会平成24年度研究発表大会.
8. 小銭悠太・石川徹・貞広幸雄 (2012): 自転車ナビ利用時の行動分析~GPS内蔵サイクルレコーダーを用いて~, 地理情報システム学会平成24年度研究発表大会.
9. 貞広幸雄 (2012): 時社会経済データに基づく地域分類の比較検証, 地理情報システム学会平成24年度研究発表大会.
10. 相尚寿・貞広幸雄 (2012): 居住者属性分類を用いた広域的土地利用把握の試み, 地理情報システム学会平成24年度研究発表大会.
11. 関口達也・貞広幸雄 (2012): 時系列売上推定データを用いた食料品店の閉店確率予測モデル, 地理情報システム学会平成24年度研究発表大会.
12. 伊藤史子・岡野麻奈・市川拓弥・貞広幸雄 (2012): 東京都内の世帯の居住関連消費支出の傾向に関する基礎分析, 地理情報システム学会平成24年度研究発表大会.
13. 路青・貞広幸雄 (2012): 中国高校地理における電子教材システム化の提案, 地理情報システム学会平成24年度研究発表大会.

[図書](計0件)

〔産業財産権〕

出願状況（計0件）

取得状況（計0件）

〔その他〕

特になし

6．研究組織

(1)研究代表者

貞広 幸雄 （SADAHIRO, Yukio）

東京大学・空間情報科学研究センター・教授

研究者番号：10240722