

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26289169

研究課題名(和文) 詳細データから空間的な集積事象を検出する手法の開発と都市・交通分野への応用

研究課題名(英文) Development of methods for detecting agglomerated area from spatial high resolution data with applications to urban and transportation fields

研究代表者

福本 潤也 (FUKUMOTO, JUNYA)

東北大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：30323447

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、詳細かつ大量の空間データおよび時空間データから空間集積を検出するための手法を開発することである。具体的には、以下の3つの課題に取り組んだ。第一に、従来の手法が抱える限界(検出領域の形状制約や連結性など)を克服する集積領域検出手法を開発した。第二に、時空間データから柔軟な形状を有する空間集積を検出する手法を開発した。第三に、提案手法を実際の都市データに適用し、産業集積に関するランクサイズルールの成立可能性や、都市構造の階層性の成立可能性を検証した。

研究成果の概要(英文)：The objective of this research project is to develop various methods for detecting agglomerated area from spatial high resolution data, and to find spatial characteristics of spatial phenomenon by applying proposed methods to real urban and transportation data. First, we developed a method that can overcome the limitations of existing methods and detect flexible-shaped agglomerated area. Second, we developed a method that can find agglomerated area from time-space data. Third, we investigated the existence of rank-size rule in the spatial industrial agglomeration pattern, and investigated the spatial hierarchical pattern in the multiscale functional regions structures.

研究分野：土木計画学

キーワード：集積領域検出 空間データ モデルベースクラスタリング 空間スキャン統計 コミュニティ抽出法  
ランクサイズルール

## 1. 研究開始当初の背景

携帯通信端末の普及やセンサー技術の進展により、空間データや時空間データの利用可能性が急速に高まっている。土木計画学分野でも、詳細かつ大量のデータを交通計画や都市・地域計画にいかんにか活用していくか議論していく必要がある。

詳細かつ大量のデータを用いる分析では、以下の2つが大きな課題になる。第一に、分析対象とする現象の特徴を膨大なデータからいかに取り出すかである。ゴミ山のようなデータの集合からいかにして貴重な宝の情報を見つけ出すか、とも言い換えられる。第二に、データから現象の特徴を把握した後で、現象をモデル化するためにデータの集計単位をいかに設定するかである。現象の特徴をpushさえずつ少ない情報量で現象を把握するにはデータをどこまで集計して構わないか、とも言い換えられる。

研究代表者である福本は、本研究計画に先立ち、都市圏や生活圏などの各種圏域の設定手法の開発に取り組んできた。圏域内では圏域外と比較して相対的に多くの通勤トリップや交通トリップが発生する。そのため、ODフローの空間的な集積の検出を通じて、各種圏域を設定することができる。ODフローの集積の検出にあたり、ネットワーク科学で開発されたコミュニティ抽出法を拡張し、以下の空間集積を検出する手法を開発してきた:a) 離散空間上のODフローの集積、b) 離散空間上の属性情報の集積、c) 時空間上のODフローの集積。一方、研究分担者である井上は、空間統計学で開発された空間スキャン統計の拡張に取り組む、以下の空間集積を検出する手法を開発してきた:a) 離散空間上の属性情報の集積、b) 連続空間上の点事象の集積、c) ネットワーク上の点事象の集積、d) 時空間上の点事象の集積。

研究代表者らによる先行研究を統一的な枠組みでとらえ直し、それぞれの方法論の位置づけや関係性を明確化することで、詳細かつ大量の空間データや時空間データから空間集積を検出する手法の開発が可能になると期待される。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、詳細かつ大量の空間データおよび時空間データから空間集積を検出するための手法を開発することである。具体的には、以下の3つの課題に取り組む。

第一に、多様な空間領域を検出可能な手法を開発する。従来の手法には、検出領域が円形もしくは凸状である、一個の領域しか検出できない、複数の領域が検出できても検出領

域は相互に重ならない、検出領域の階層性を考慮できない、等々の制約があった。詳細な空間データの分析では、それらの制約が分析結果を大きく歪める危険性がある。そこで、以下のような特長を有する集積検出手法の開発に取り組む:a) 複数個の柔軟な検出領域を許容する、b) 検出領域の重なりを許容する、c) 検出領域の階層性を明らかにできる。

第二に、時空間データから空間集積を検出する手法を開発する。複数の時間断面で観測された空間データから空間集積を検出する手法については、応募者による研究成果も含めて研究成果の蓄積がある。しかし、時空間上の集積を検出する手法については、研究蓄積が不十分である。時空間データの場合、分析結果の可視化の方法にも工夫が必要であり、可視化の方法と合わせて、詳細かつ大量の時空間データから空間集積を検出する手法の開発に取り組む。

第三に、開発した手法を詳細な都市データと交通データに適用し、有効性を検証する。職業別の集積検出結果や職業間関連性を考慮した集積検出結果と、交通条件や人口分布の関係性について分析し、都市構造の特性の把握を試みる。

## 3. 研究の方法

### (1) 多様な空間領域の検出可能な手法の開発

画像処理やパターン認識分野で広く用いられるモデルベースクラスタリングの枠組みに基づく集積領域検出手法を開発する。同手法を用いることで、従来の手法で課せられていた空間領域の連結性や凸性の制約(第一の研究目的で掲げた a) の課題)を緩和することができる。

一方、コミュニティ抽出研究では、コミュニティ間の重なりや階層性を明示的に表現する手法や、複数データを用いる手法が提案されている。本研究では、それらを参考として、第一の研究目的で掲げた b) と c) の限界を克服する手法を開発する。

### (2) フロー集積の検出手法の開発

連続空間上の属性集積の検出については地理学などに膨大な研究蓄積があるが、連続空間・ネットワーク上のフロー集積の検出については標準的な手法が確立されていない。離散空間上のフロー集積の検出については、コミュニティ抽出法と空間相互作用モデルを組み合わせた研究代表者の先行研究がある。本研究では先行研究を参考に新たな手法を開発する。

### (3) 時空間データからの集積検出手法の開発

時間を考慮する場合には三次元空間上の

情報をどのように（主に二次元空間上で）表現するかが大きな課題になるが、既存の空間スキャン統計手法を拡張し、時空間データから集積を検出する手法を開発する。

#### (4) 集積検出手法による都市集積の実証分析

開発した集積検出手法を用いて都市集積の実証分析を行う。集積領域の境界を目地的に定めるとランクサイズルール の成立可能性や都市の階層性を検証することが可能になる。具体的には、事業所分布データを用いて集積領域を検出し、産業ごとにランクサイズルール の成立可能性を検証する。更に、市区町村間通勤データを用いてマルチスケールの通勤圏を検出し、通勤圏の階層性の存在の有無を検証する。

### 4. 研究成果

#### (1) 多様な空間領域の検出可能な手法の開発

##### 厳格な形状制約/連結性を仮定しない手法

画像処理やパターン認識分野で広く用いられるモデルベースクラスタリングの枠組みに基づく集積領域検出手法を開発した。具体的には、モデルベースクラスタリングで用いられることが多いポッツモデルに集積領域の空間的近接性と形状に緩やかな制約を課すペナルティ項を追加する工夫を行った。集積領域の検出は遺伝的アルゴリズムを用いて、最適クラスタリング数を求めるためのICL指標を最大化する。提案手法は、厳格な連結性を仮定する場合より集積領域検出結果が地理的単位の設定方法に影響されにくく、集積領域の個数を内生的に決定できる特長を有する。

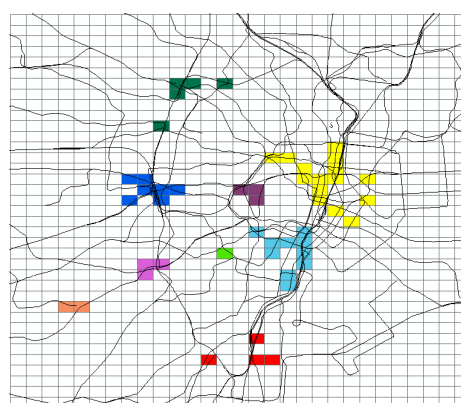
提案手法の適用結果を図-1に示す。東京都心部の1073個の2分の1地域メッシュを分析範囲とし、通信業の集積領域を検出した。図-1 a)は集積領域検出の対象である事業所密度データである。黒の濃いメッシュほど事業所密度が高いことを意味する。鉄道路線網を併せて図示した。図-1 b)が集積領域検出結果である。同じ色のメッシュは同じ集積領域に所属することを意味する。

##### 重複するフロー集積の検出手法

ネットワーク科学で発展したコミュニティ抽出法を援用し、重複したフロー集積の検出手法を開発した。ネットワーク科学ではノード間の地理的近接性が考慮されないが、空間集積の場合には地理的近接性がフローパターンに大きな影響を及ぼすため無視できない。交通や人口移動の空間相互作用データの多くは強い非対称性も有する。そこで代表的なコミュニティ抽出法の一つであるモジュラリティ最大化法を以下の4点で拡張した:a) ネットワークデータの二部グラフ表現



a) 事業所密度



b) 集積領域検出結果

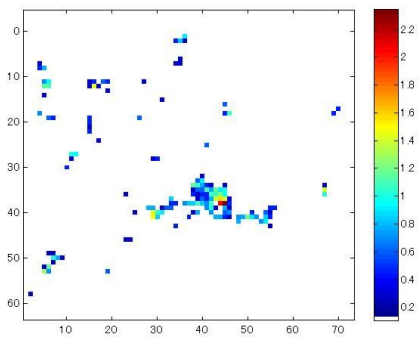
図-1 通信業の集積領域検出結果

(非対称性の考慮), b) 帰無モデルの空間相互作用モデルによる表現(地理的近接性の考慮), c) 帰無モデルに含まれる地理的近接性パラメータ値の変動(空間スケールの異なる集積領域の同時検出), d) あるデータが複数の空間集積に重複することを許容する評価指標の採用(重複する空間集積の考慮). 分析結果は図-?に後述する。

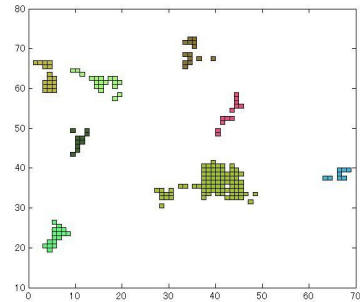
#### (2) フロー集積の検出手法の開発

連続空間上で観測される点事象や離散ゾーン単位で観測される事象数のデータに対して、事象間の仮想的なフローを仮定してフロー集積を検出する手法を開発した。具体的には、空間的に近接する事象間には仮想的なフローが存在すると仮定するライングラフアプローチにより、内部の仮想フロー密度が相対的に高い空間領域を集積領域とみなす。本手法は異なる形式のデータであっても同一原理に基づいて集積領域を検出できるという特長を有する。また、仮想フローの設定方法を空間的な選択行動モデルなどで表現することで行動論的背景を持った集積領域の検出手法と解釈することができる。

提案手法の適用結果を図-2に示す。評価指標に含まれるステップ数パラメータを連続



a) 石巻市近郊の事業所数分布



b) 集積領域の検出結果

図-2 フローグラフアプローチの適用

的に変化させて得られた安定的な分析結果のみ示しており、視覚的な判断から得られる集積領域と概ね整合していることが分かる。仮想データを用いた性能評価実験においても適切なパラメータを選択すれば良好な結果が得られることを確認している。

### (3) 時空間データからの集積検出手法の開発

時空間上の領域形状の複雑さを調節して集積領域を検出する手法を開発した。空間2次元、時間1次元の計3次元の空間上で形状の複雑度を評価することは難しい。時空間形状の評価を簡略化するため、場所や時刻が記録された点事象データを、対象空間・時間を等間隔に分割した離散的な領域「ボクセル」単位にその数を集計する工夫を行った。同集計データを入力データとして、ボクセルを分析の最小単位として隣接ボクセルを結合した一連の集積領域を検出することを前提に、領域形状を制御して集積領域を出力する分析手法を構築した。候補領域を構成するボクセルの「個数」に着目し、その凸包を構成するボクセルの個数との比で候補領域の形状を評価した。

提案手法をロンドンの犯罪発生の時空間データに適用した結果を図-3に示す。検出された領域は、対象空間領域全体に広がる形状から2015年2月から縮小し、7月から拡大する形状となっており、時間毎の形状変化を確認できた。

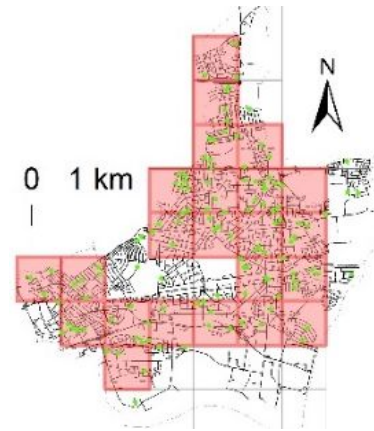


図-3 犯罪発生時空間データの集積領域

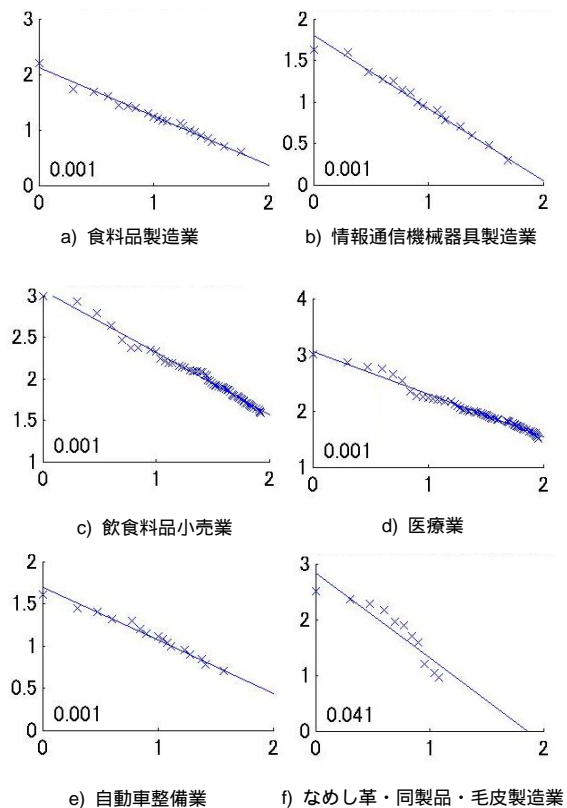


図-4 ランクサイズルールが成立するケース

### (4) 集積検出手法による都市集積の特徴 産業別ランクサイズルールの検証

都市の人口規模についてはランクサイズルールが成り立つことが知られている。ランクサイズルールは、都市の人口規模と人口規模でみた順位の関係が両対数グラフ上で直線にのるという経験則である。企業集積についてもランクサイズルールが成立する可能性があることから、産業集積領域の検出結果を用いて、産業集積の規模に関するランクサイズルールの成立の有無を検証した。

埼玉県・千葉県・東京都・神奈川県の一都三県にまたがる分析対象範囲を設定し、平成21年経済センサス・基礎調査で観測された産

業中分類毎の2分の1地域メッシュの事業所数データ(全86産業)についてランクサイズルールの成立可能性を検証した結果を図-4に示す。グラフの縦軸は事業所数の自然対数、横軸は集積領域の規模の順位の自然対数である。左下角の数字は、両対数グラフ上での回帰直線からの平均二乗誤差である。平均二乗誤差が最大の産業は図-2 f)にグラフを示したなめし革・同製品・毛皮製造業であったが、なめし革・同製品・毛皮製造業においてもプロットは概ね回帰直線上にある。食料品製造業や情報通信機械器具製造業、飲食料品小売業、医療業、自動車整備業、不動産取引業、娯楽業、飲食店など27の産業で平均二乗誤差が0.002以下となり、両対数グラフ上のプロットが直線的になり、多くの産業でランクサイズルールが成立することを確認した。

#### 階層的な通勤圏の成立可能性の検証

中心地理論などで空間的な階層性の存在が指摘されている。市区町村間の通勤データから検出されるマルチスケールの機能地域の検出結果を用いて首都圏の複雑な都市構造の中に階層性を見出すことができるか検証した。

(1) の提案手法の適用結果を用いて階層性の成立可能性を検証した結果を図-5に示す。分析結果として、東京都と埼玉県の市区町村で構成される地域では3層レベルの機能地域間に階層性が存在することを確認できた。神奈川県で構成される地域についても同じく3層レベルの機能地域間に階層性の存在を確認できた。一方、千葉県の市区町村で構成される地域については厳密な階層性が成立しなかった。階層性が成立するケースと成立しないケースの違いを分析することは今後に残された課題である。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計9件)

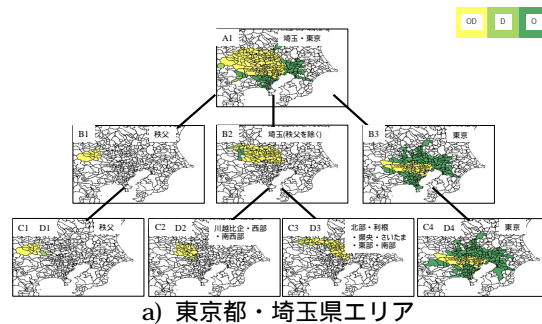
氏家晃仁, 福本潤也: 厳格な連結性を仮定しない産業集積検出手法の開発, 土木学会論文集 D3, Vol.72, pp.317-329, 2016, 査読有, [https://doi.org/10.2208/jscejipm.72.I\\_317](https://doi.org/10.2208/jscejipm.72.I_317).

井上亮, 塚原元英: 形状複雑度を制御可能なネットワーク上の点事象集積領域検出手法の提案, Vol.24, pp.39-48, 2016, 査読有.

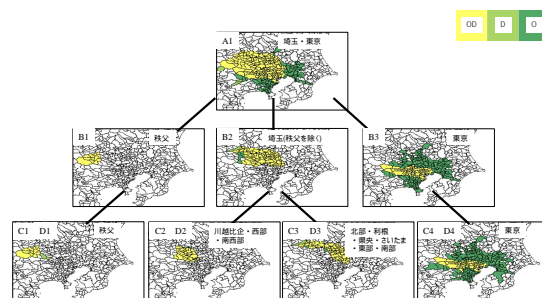
氏家晃仁, 福本潤也: 厳格な形状制約や連結性を仮定しない産業集積検出手法の開発, 土木学会論文集 D3, Vol.71, pp.397-406, 2015, 査読有,

[https://doi.org/10.2208/jscejipm.71.I\\_397](https://doi.org/10.2208/jscejipm.71.I_397).

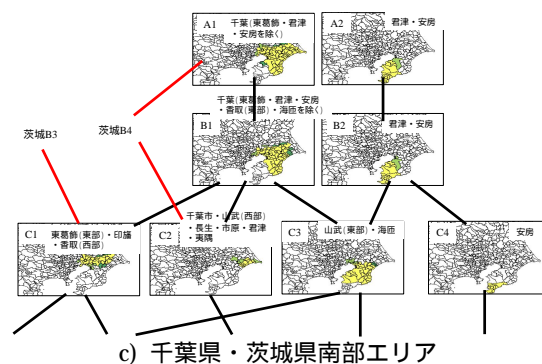
Ujiie, A. and Fukumoto, J.: Spatial cluster detection on detailed data without constraint of continuousness, Proceedings of CUPUM 2015, 査読有, <http://web.mit.edu/cron/project/CUPUM>



a) 東京都・埼玉県エリア



b) 神奈川県エリア



c) 千葉県・茨城県南部エリア

図-5 マルチスケール機能地域の階層性

2015/proceedings/Content/analytics/373\_ujiie\_h.pdf.

Inoue, R.: Extraction of industry coagglomeration patterns from small area statistics: An approach by the FDR-based cluster detection and the frequent pattern mining industry clusters, Proceedings of CUPUM 2015, USB-Memory, 査読有, <https://pdfs.semanticscholar.org/9b8d/41e5c1a11f7b8554fecb8f9d476b559d1bb5.pdf>.

〔学会発表〕(計15件)

氏家晃仁, 福本潤也, 具治由将: 厳格な連結性を仮定しない産業集積検出手法の開発, 平成28年度土木学会東北支部技術研究発表会, 2017年3月4日, 東北工業大学, 仙台.

李想, 福本潤也: Recognize urban spatial hierarchical structure based on overlapping functional regions, 平成28年度土木学会東北支部技術研究発表会, 2017年3月4日, 東北工業大学, 仙台.

井上亮, 塚原元英: 時空間上の近傍関係に基づく滞在符号化を利用した移動履歴分類

提案，地理情報システム学会年次講演会，  
2016年10月15日，東京。

福本潤也，秋山智信，氏家晃仁：フローグラフ・アプローチに基づく産業集積検出手法の開発，地理情報システム学会年次講演会，  
2016年10月16日，東京。

福本潤也，氏家晃仁：コミュニティ抽出法を用いた機能地域検出手法の拡張，地理情報システム学会年次講演会，2016年10月16日，  
東京。

Inoue, R. and Tsukahara, M.: Travel pattern analysis from trajectories based on hierarchical classification of stays, Ninth International Conference on Geographical Information Science, 2016年9月28日，モントリオール，カナダ。

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

福本 潤也 (FUKUMOTO JUNYA)

東北大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号：30323447

### (2)研究分担者

井上 亮 (INOUE RYO)

東北大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号：60401303

### (4)研究協力者

氏家 晃仁 (UJIE AKIHITO)