

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

貞広幸雄

Object-oriented spatial analysis: Relations among distributions of spatial objects

Yukio Sadahiro

Abstract: This paper develops a new exploratory method for analyzing the relations among distributions of spatial objects. The method deals with the relations among more than two distributions of spatial objects. In addition, it is applicable independent of the type of spatial objects. These advantages assure a wide applicability and flexibility of the method. Analysis starts with the evaluation of the local spatial relations among objects. A computational algorithm clusters distributions into similar groups based on a specific spatial relationship such as spatial proximity. A graph-based representation visualizes the result and numerical measures evaluate its significance.

Keywords: 点分布 (point distribution), 空間関係 (spatial relation), 階層性 (hierarchy)

1. はじめに

空間オブジェクト分布に関しては、これまで無数の解析手法が開発され続けてきている。しかしながら、既存手法で扱われる空間オブジェクトはその大半が点および線であり、他の空間オブジェクト分布には直接適用できない。また、対象となる分布の数も、通常は1もしくは2であり、3つ以上の分布を同時に扱うことはできない。さらに、既存手法の大半は特定の空間オブジェクトのために開発されており、多様な空間オブジェクト分布を扱うには、無数の手法を開発する必要がある。

このような現状をふまえ、本研究では、複数の空間オブジェクト分布間の関係を解析するための、汎用的な手法を提案する。本論文は、以下既存論文の

成果に基づく (Sadahiro, 2010, 2011, 2012b; Sadahiro and Kobayashi, 2012; Sadahiro et al., 2012)。本論文ではこれらを統合して汎用化、空間オブジェクトの種類に依存しない手法を提案する。

2. 解析手法

以下では、複数の点分布集合における適用法を具体例として引用しながら、手法の概要を述べる。技術面の詳細や、具体的な適用事例については、Sadahiro (2012a)を参照されたい。

2.1 前処理

まず最初に、分布を記述するための最小オブジェクト単位の集合を定義する。空間オブジェクト分布を記述する上で、必要最小限の分割を行った結果得られるオブジェクト単位を片 (Part) と呼ぶ。全ての空間オブジェクトは、片の集合として表現される。

片集合の定義は一意ではないが、点分布集合のようにオブジェクト同士が空間的に重ならない場合、

貞広幸雄 〒277-8568 千葉県柏市柏の葉 5-1-5

東京大学空間情報科学研究センター

Phone: 03-5841-6273

E-mail: sada@ua.t.u-tokyo.ac.jp

全てのオブジェクトの和集合という定義が自然である。オブジェクト同士が空間的に重なる場合には、全てのオブジェクトを重ね合わせて微小領域に切断し、それぞれを片とする。各オブジェクト分布が、単一の面や軌跡で構成される場合には、こちらの手法がより適切である。

片の集合として表される各オブジェクト分布を、本論文では体 (Body)と呼ぶ。体の集合を $\mathbf{B}=\{B_1, B_2, \dots, B_M\}$ とし、集合 Q の要素数と、 i 番目の要素をそれぞれ $\#(Q)$ 、 $e(Q, i)$ と表す。

次に、異なる体に属する片同士の空間関係を評価する。各片について近隣 (Neighborhood)を定め、全ての近隣の重ね合わせを行う。点分布集合の場合、近隣は例えば図-1a のようなバッファ領域として定めることができる。得られる多数の微小領域全てに、鉢 (Tag)と呼ばれる空間参照票を与える（図-1b）、その集合を $\mathbf{T}=\{T_1, T_2, \dots, T_K\}$ 、また、鉢の規模を $s(T_i)$ とする。

空間オブジェクト同士が空間的に重なる場合、近隣は片そのものであり、別途定義を要しない。この場合、片と鉢とは一対一の対応を持つ。

鉢は鉢、片、体の三者を空間的に関係づける。図-1b で見ると、例えば T_9 は P_{12} と P_{22} を、ひいては B_1 と B_2 を関連づける。

2.2 空間オブジェクト分布のクラスタリング

次に本論文では、鉢、片、体という空間オブジェクト同士の位相関係に着目した解析を行う。多種のオブジェクトが同時に存在する地域に着目し、それらを核 (Center)、 $\mathbf{C}=\{C_1, C_2, \dots, C_N\}$ と呼ぶ。核はそれぞれ複数の鉢から成り、ある核を構成する全ての鉢がある体の片に全て関係づけられる場合、その体もまた、核と関係づけられる。即ち核は、それを構成する鉢の共有関係に基づいて、複数の体を一つの集合として束ねる。核 C_i に関係づけられる体の集合

を Γ_i とし、さらにその集合を $\mathbf{\Gamma}=\{\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_N\}$ とする。核を共有する体は、その核の周辺において、空間的に類似していると見なすことができる。

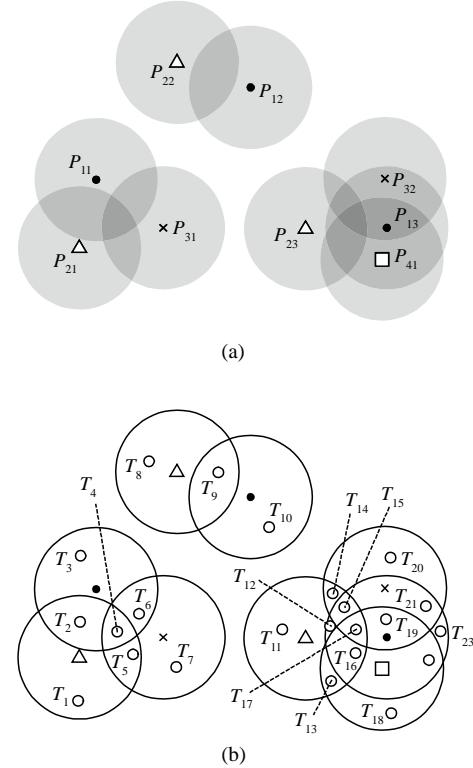


図-1 点分布集合における近隣と鉢

核の抽出には、例えば以下のアルゴリズムが有効である。

Algorithm CB (Center extraction and Body clustering)

Input

Set of bodies represented by both \mathbf{B} and \mathbf{B}_T
Set of tags \mathbf{T}
Conditions $\{\theta_S, \theta_{A1}, \theta_{A2}\}$
Parameters $\{\alpha, \beta\}$

Output

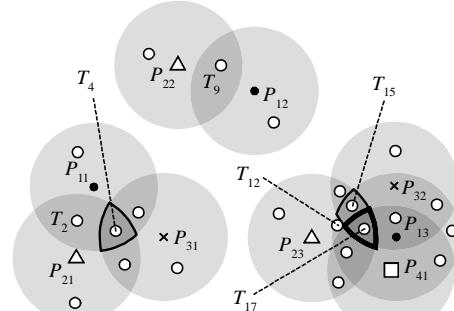
Set of tags representing centers \mathbf{C} and their related tags \mathbf{C}'
Sets of bodies assigned to centers $\mathbf{\Gamma}$ and related bodies $\mathbf{\Gamma}'$

Algorithm

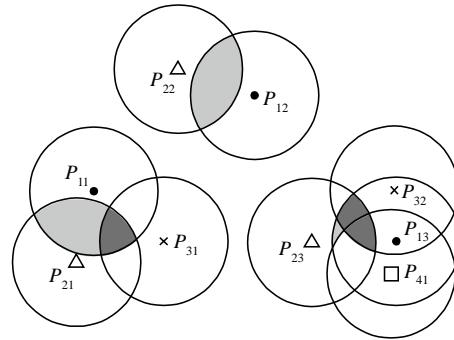
1. $\mathbf{C} = \Gamma \in \Gamma = \mathbf{C}_j \in \mathbf{C} = \emptyset, j=0.$
2. Repeat the steps 3-26 while $\#(\Psi) \geq \alpha$ at step 6.
3. $\Theta = \Psi = \Psi' = \emptyset, k=1.$
4. Choose the set of tags in \mathbf{T} satisfying $\vartheta_{A1}.$
5. Add the tags to $\Theta.$
6. Add the bodies in \mathbf{B} assigned to the chosen tag to $\Psi.$
7. Repeat the steps 8-21 while $\#(\Psi) > 1.$
 8. If $s(\Theta) \geq \beta$ then
 9. If $C_j \neq \emptyset$ then
 10. Move the bodies from Ψ to Ψ' that do not contain all the elements of $\Theta.$
 11. If $C_j = \emptyset$ and $\#(\Psi) \geq \alpha$ then
 12. $j=j+1.$
 13. $C_j = \Theta.$
 14. $\Gamma_j = \Psi.$
 15. If $C_j = \emptyset$ and $\#(\Psi) < \alpha$ then
 16. Move the bodies from Ψ to Ψ' that do not contain all the elements of $\Theta.$
 17. If $s(\Theta) < \beta$ then
 18. Move the bodies from Ψ to Ψ' that do not contain all the elements of $\Theta.$
 19. Choose the set of tags in $\mathbf{T} \setminus \Theta$ satisfying ϑ_s and $\vartheta_{A2}.$
 20. Add the tags to $\Theta.$
 21. Move the bodies from Ψ to Ψ' that are not assigned to all the elements of $\Theta.$
 22. If $C_j \neq \emptyset$ then
 23. $C_j' = \Theta.$
 24. $\Gamma_j' = \Psi'.$
 25. Remove the tags of particles of Γ_j containing C_j from $\mathbf{B}_T.$
 26. If $C_j = \emptyset$ then $k=k+1.$
 27. Return $\mathbf{C}, \mathbf{C}', \Gamma,$ and $\Gamma'.$

上記アルゴリズムは、空間オブジェクトの種類に依存しない汎用的手法である。従って、 $\vartheta_s, \vartheta_{A1}, \vartheta_{A2}$ などの条件や α, β などの閾値は、適用対象や目的に応じて適宜、定める必要がある。

図-2は、図-1の点分布集合における、アルゴリズムCBの動作を図示したものである。閾値 β は図-2a中の円の面積で示されている。



(a)



(b)

図-2 点分布集合における核の抽出過程

$\alpha=3, \beta=\beta_1$ の場合、まず最多数の体と関連づけられる T_{17} が step 4 で選択され、集合 Θ と Ψ はそれぞれ $\{T_{17}\}, \{B_1, B_2, B_3, B_4\}$ となる。次に $\{T_4, T_{15}\}$ が選択され、集合はそれぞれ $\{\{T_{17}\}, \{T_4, T_{15}\}\}, \{B_1, B_2, B_3\}$ となる。この時点では $s(T_{17})+s(T_4)+s(T_{15}) > \beta$ となり、図-2b 中の濃灰色の部分が核として抽出される。

$\beta=\beta_2$ の場合、厳しい要件のために $\alpha=3$ では核が抽出されない。そこで $\alpha=2$ とすると、前述の $\{\{T_{17}\}, \{T_4, T_{15}\}\}$ に加えて $\{T_2, T_9, T_{12}\}$ が選択され、 β の要件が満たされる。この結果、図-2b 中の薄灰色+濃灰色の核が検出され、この核には 2 つの体 $\{B_1, B_2\}$ が関連づけられる。

2.3 空間オブジェクト間の相互関係の可視化

鉛, 片, 体の相互関係を可視化する方法として, 本論文では, 位相図というグラフ表現を提案する。位相図は鉛, 体, 核をノード, 位相関係をエッジによって表現する。縦軸は鉛, 体, 核の規模を表す。

位相図を作成する一つの方法は, アルゴリズム CB の過程をそのまま可視化することである。図-3は, 図-2におけるアルゴリズム CB の過程を位相図として表したものである。集合 Θ に $\{T_{17}\}$, $\{T_4, T_{15}\}$, $\{T_2, T_9, T_{12}\}$, $\{T_3, T_6, T_{10}, T_{16}, T_{19}, T_{21}, T_{22}, T_{23}\}$ が追加される過程が細実線, 集合 Ψ から $\{B_4\}$, $\{B_3\}$, $\{B_2\}$, $\{B_1\}$ が除去される過程が点線, 核の拡大が太線で示されている。

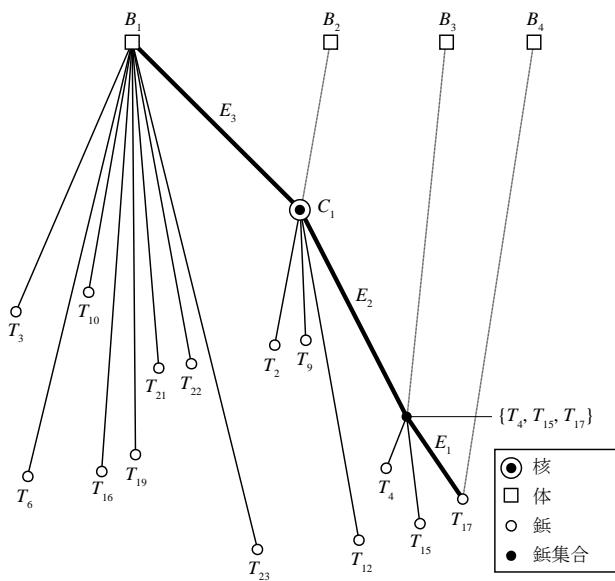


図-3 図-2の各抽出における位相図表現の例

3. おわりに

本論文では, 空間とオブジェクトの関係よりも, 空間オブジェクト同士の関係に焦点を当てている。空間は主として前処理段階においてのみ用いられ, その後の解析では空間を考えることなく, 空間オブジェクト間の関係のみを取り扱う。むしろ, 空間オブジェクト間の関係が空間構造を規定するとも言

える。

このような理由から, 本論文ではオブジェクト指向空間解析という表題を用いた。このような考え方はしかし, 現実世界には即している。現実の都市空間では, 空間オブジェクト分布は, それが存在する空間自体に影響されるのではなく, 共存する他の空間オブジェクト分布と相互に規定し合う。空間は, そのような影響を伝達する媒体である。空間解析は, 空間自体から空間オブジェクトへ, 特に, その相互関係へとその重点を移す必要がある。

参考文献

- Sadahiro Y 2010 Analysis of the spatial relations among point distributions on a discrete space *International Journal of Geographical Information Science* **24** 997-1014
- Sadahiro Y 2011 Analysis of the relations among spatial tessellations *Journal of Geographical Systems* **13** 373-391
- Sadahiro Y 2012 Exploratory analysis of polygons distributed with overlap *Geographical Analysis* to appear (draft version is available from URL: <http://ua.t.u-tokyo.ac.jp/pub/due-dp/102.pdf>)
- Sadahiro Y, Lay R, and Kobayashi T 2012 Trajectories of moving objects on a network: Detection of similarities, visualization of relations, and classification of trajectories *Transactions in GIS* to appear (draft version is available from URL: <http://ua.t.u-tokyo.ac.jp/pub/due-dp/105.pdf>)
- Sadahiro Y and Kobayashi T 2012 Exploratory analysis of spatially distributed time series data: Detection of similarities, clustering and visualization of mutual relations *Discussion Paper Series No. 108* Department of Urban Engineering University of Tokyo (available from URL: <http://ua.t.u-tokyo.ac.jp/pub/due-dp/108.pdf>)
- Sadahiro Y 2012 Object-oriented spatial analysis: Set-based exploratory analysis of the relations among the distributions of spatial objects *Discussion Paper Series No. 107* Department of Urban Engineering, University of Tokyo (available from URL: <http://ua.t.u-tokyo.ac.jp/pub/due-dp/107.pdf>)