

# 空間乖離構造を評価する新たな手法の提案

貞広幸雄・Seong-Yun Hong

## Decomposition approach to the measurement of spatial segregation

**Abstract:** This paper proposes a new method for measuring spatial segregation. Our primary goal is to decompose the spatial segregation into mutually exclusive and independent components. We introduce three aspatial measures of spatial segregation each of which evaluates a different dimension of spatial segregation. We also propose two distance measures that evaluate spatial segregation in spatial dimension. To test the validity of the method, we apply it to three spatial datasets of different sizes. The result shows that the method is effective for evaluating the spatial segregation from three different perspectives.

**Keywords:** 空間乖離構造 (spatial segregation), 分解 (decomposition), 評価 (measurement)

### 1. はじめに

空間乖離構造とは、性質の異なる空間オブジェクト同士が互いに回避し合う状態のことを指す。社会学では人種や社会階層、生態学では生物種、都市工学では土地利用などにおける空間乖離構造が、これまで研究されてきている。

一般的な乖離構造を評価する代表的な指標の一つとして、Duncan and Duncan (1955)の非類似度指標がある。但しこの指標は、オブジェクトの空間配置を明示的に考慮しないという問題点を持つことから、空間乖離構造を扱う新たな指標がこれまで開発されてきている。中でも Reardon and O'Sullivan (2004)は、空間乖離構造が 2 つの異なる構成要素から成ると論じ、非集計データを前提とした空間情報理論乖離指標を提案している。この指標値は適用範

囲が広く、解釈も容易であるという長所を持つ。但し、空間乖離構造の構成要素間の相互関係が曖昧である、指標の変域が不明であるなど、いくつかの課題を残している。

そこで本研究では、これらの問題点を解決する、新たな空間乖離構造評価手法を提案する。相互に独立な 3 つの構成要素を導入し、それらに基づいて変域の明らかな評価指標を定義する。

### 2. 空間乖離構造評価手法

以下本論文では、点オブジェクトを事例として空間乖離構造を論ずる。但し、ここで提案する手法は、他の空間オブジェクトについても同様に適用可能である。

#### 2.1 乖離度指標

いま、領域  $R$  に  $K$  種類の点が分布しているものとする。種類  $i$  の点の個数を  $N_i$ ,  $j$  番目の点の位置を  $\mathbf{z}_{ij}$  と表記する。種類  $i$  の点の密度分布  $D_i(\mathbf{x})$  を、距離遞減関数  $\phi(\mathbf{x}, \mathbf{z}_{ij})$  を用いて以下のように定める。

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: 0471-36-4310

E-mail: sada@csis.u-tokyo.ac.jp

$$D_i(\mathbf{x}) = \sum_j \frac{\phi(\mathbf{x}, \mathbf{z}_{ij})}{\int_{\mathbf{y} \in R} \phi(\mathbf{y}, \mathbf{z}_{ij}) d\mathbf{y}}.$$

この式より、局所空間乖離指標を次式で定義する。

$$t(\mathbf{x}) = \sum_i \left\{ \frac{D_i(\mathbf{x})}{\sum_k D_k(\mathbf{x})} \right\}^2.$$

$t(\mathbf{x})$ を地点ごとの点密度の総和

$$D(\mathbf{x}) = \sum_i D_i(\mathbf{x})$$

で重み付けし、領域  $R$  全域で積分したものを総乖離度と呼ぶ。

$$S = \frac{\int_{\mathbf{x} \in R} D(\mathbf{x}) t(\mathbf{x}) d\mathbf{x}}{\int_{\mathbf{x} \in R} D(\mathbf{x}) d\mathbf{x}}.$$

この  $S$  は、点分布間の乖離を総合的に評価する指標である。異種の点が回避的に分布しているほど大きな値を取り、その変域は  $1/K < S \leq 1$  である。

Reardon and O'Sullivan (2004) も論じている通り、空間乖離構造は幾つかの異なる構成要素から成る。そこで次に、空間乖離構造を互いに独立な要素に分解するために、当初の点分布に対して、順次、乖離構造を除去する変換操作を適用する。

まず始めに、各分布における空間的乖離性を除去するために、空間的均質化という操作を行う。これは以下の式により、各地点における点分布の密度構成比を同一とする変換である。

$$D_i'(\mathbf{x}) = \frac{N_i}{\sum_i N_i} D(\mathbf{x}).$$

この結果、乖離度は

$$S' = \sum_i \left( \frac{N_i}{N} \right)^2$$

まで減少するが、この減少分を空間的乖離度と呼ぶ。

$$S_L = S - S'.$$

$S_L$  は、地点による点分布の密度構成比の差異が大きいほど大きな値を取り、その変域は  $0 \leq S_L < S$  である。

次に、点分布間の構成的解離性を除去するために、構成的均質化を行う。これは、各点分布の密度を全

て同一にする変換操作である。即ち、

$$D_i''(\mathbf{x}) = \frac{1}{K}$$

であり、この結果、乖離度はさらに

$$S'' = \frac{1}{K^2}$$

まで減少するが、この減少分を構成的乖離度と呼ぶ。

$$S_C = S' - S''.$$

$S_C$  は、点分布構成比のばらつきを反映する値であり、変域は  $0 \leq S_C < S$  である。

最後に、点分布間の質的解離性を除去するために、質的均質化を行う。これは、点分布の種類を無限大とする変換操作であり、乖離度は  $S''$  から  $0$  へと限りなく近づく。この減少分を質的乖離度と呼び、

$$S_Q = S'' = \frac{1}{K^2}.$$

と定義する。 $S_Q$  の変域は  $0 < S_Q \leq 1$  である。

上の 3 つの変換操作により、空間乖離構造は空間的解離性、構成的解離性、質的解離性という 3 つの独立な構成要素に分解できる。これは、以下の式からも確認できる。

$$S = S_L + S_C + S_Q.$$

空間的解離性は空間乖離構造の空間的側面を、構成的解離性と質的解離性は間乖離構造の非空間的側面を、それぞれ表しており、それぞれに対応する指標値がそれらの定量的な表現である。後述の通り、3 つの乖離度指標は、互いに他の 2 つを一定に保ったまま、値を変化させることができるという意味で、相互に独立である。

## 2.2 距離指標

上記の乖離度指標は、各変換操作の結果を非空間次元における点分布間の差異によって評価したものである。そのため乖離度指標だけでは、前述した非類似度指標と同様、点分布間の空間配置の差異を識別することができない。そこで次に、空間的均質

化を空間次元で評価する指標を提案する。

ここでは空間的均質化を、各点密度分布内における地点間の値の移転と見なす。そして、移転の総量が最小となる変換を導出し、移転量で重みを付けた平均移転距離を均質化距離と呼ぶ。 $x_{ijk}$ を種類  $i$  の点分布における地点  $jk$  間の移転量とすると、均質化距離は

$$L_E = \frac{2 \sum_i \sum_j \sum_k l_{jk} x_{ijk}}{\sum_i \sum_j \left| D_{ij} - \frac{N_i}{A(R)} \right|}$$

と定義される。

### 3. 適用例

本節では、前節で提案した手法の有効性を、いくつかの適用例を通じて検証する。

まず始めに、各乖離度指標の性質とそれらの相互関係を見るために、1次元空間における点密度分布を用いた分析を行う。図-1 では  $K=2$ 、即ち 2 種類の点分布のみが存在する。同一行間では点の総密度がいずれも等しく、異行間では点密度の構成比、異列間では点密度の空間分布がそれぞれ異なる。異列間の分布間境界の傾斜は、図-1b では一定であるのに対し、図-1a ではそれぞれ異なる。

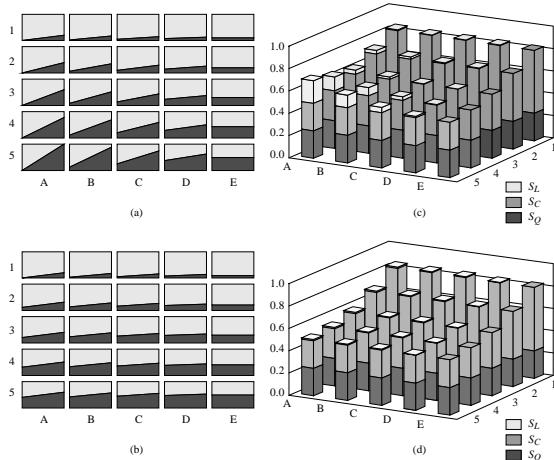


図-1 点密度分布と乖離度指標

図-1c 及び d を見ると、列 E から A にかけて  $S_L$  が、行 5 から 1 にかけて  $S_C$  がそれぞれ単調に増加していることが確認できる。前者では  $S_C$  が、後者では  $S_L$  が一定であることから、これら 2 つの指標値が互いに独立であることが分かる。

図-2 では、 $S_Q$  と他の乖離指標との関係を検証する。図-2a では  $S_L$  の影響を排除するために、全て一様の点密度分布としている。図-2c より、点分布種の増加に伴い、 $S_Q$  が減少し、結果的に  $S$  も減少することが分かる。また、各分布の構成比が一様に近づくほど、同様に  $S$  が減少している。

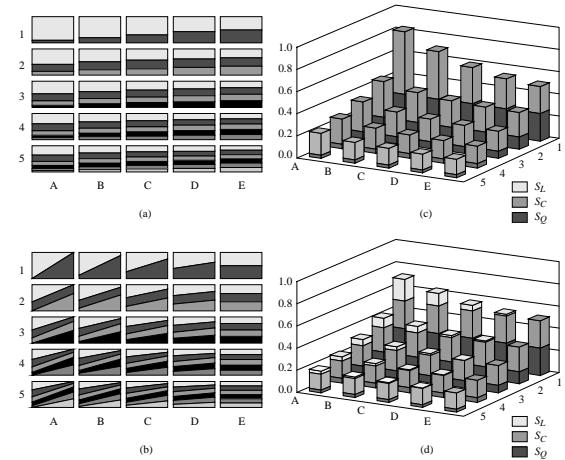


図-2 点密度分布と乖離度指標

図-2b では  $S_C$  の影響を排除するために、同一行間で同一の分布構成比としている。図-2c と同様に図-2d でも、点分布種の増加に伴い、 $S_Q$  と共に  $S$  が減少している。また列 E から A へ見ると、空間分布が一様になるほど  $S_L$  は減少するが、 $S_C$  と  $S_Q$  は不变であり、各指標間の独立性を確認することができる。

次に、距離指標の有効性を検証するために、2次元空間での点密度分布を用いた分析を行う。ここでは、それぞれ点分布密度の総和が等しい、2種類の点のみが分布している状態を仮定する。

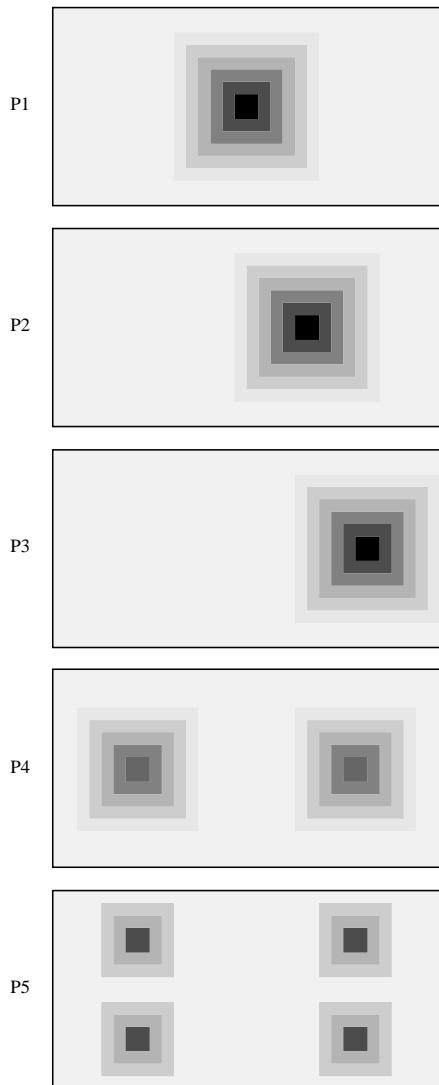


図-3 点密度分布

図-3 は、一方の点の密度分布を、表-1 は乖離度・距離指標を表す。点分布密度の総和が等しいため、乖離度指標はいずれも等しく、5 つの分布を区別できないことが分かる。他方距離指標  $L_E$  は、P1 から P3 へと分布の頂点が移動するにつれて増加しており、これらの分布を明確に区別できることが確認できる。また、頂点の数が P1 から P4, P5 へと増加し、全体的な分布が平滑になるにつれて  $L_E$  は減少し、空間乖離構造の広域的差異の表現にも有効である

ことがわかる。

表-1 乖離度指標と距離指標

Pattern	$S_L$	$S_C$	$S_Q$	$L_E$
P1	0.00	0.00	0.25	10.422
P2	0.00	0.00	0.25	11.880
P3	0.00	0.00	0.25	16.350
P4	0.00	0.00	0.25	6.933
P5	0.00	0.00	0.25	5.090

#### 4. おわりに

本論文では、空間乖離構造を評価する新たな手法の提案を行った。この手法により、空間乖離構造を空間的解離性、構成的解離性、質的解離性という3つの構成要素に分解して評価することが可能となった。なお、技術的な詳細については、Sadahiro and Hong (2013)を参照されたい。

#### 参考文献

- Duncan, O. D. and Duncan, B., 1955. A methodological analysis of segregation indexes. *American Sociological Review*, 20, 210-217.
- Reardon, S. F. and O'Sullivan, D., 2004. Measures of spatial segregation. *Sociological Methodology*, 34, 121-162.
- Sadahiro, Y. and Hong, S.-Y., 2013. Decomposition approach to the measurement of spatial segregation. *CSIS Discussion Paper No. 119*, Center for Spatial Information Science, University of Tokyo. Available from: <http://www.csis.u-tokyo.ac.jp/dp/119.pdf> [Accessed 27 February 2013].