

都市空間構造モデルの比較に関する基礎的研究

伊藤香織

A Basic Study to Compare Urban Spatial Structure Models

Kaori ITO

Abstract: The aim of this research is to develop a method to compare different spatial structure models. In this paper, the perspective of comparing two model classes for point distribution patterns by using the Minimum Description Length criterion is presented. The model classes are: the Cartesian coordinate rectangular partitioning model and the polar coordinate angular radial partitioning model. Experiments with three artificial datasets and with the distributions of single-family housing in Tokyo and in Kyoto are demonstrated.

Keywords: モデル選択基準 (model selection criterion), 木構造 (tree structure), 直交座標 (Cartesian coordinates), 極座標 (polar coordinates)

1. はじめに

本研究は、現前する空間に対して内在する原理としての都市空間構造を捉える手法を検討するものである。都市の空間構造については、多くの研究者や歴史家による記述がなされてきた (Kostof, 1993)。その数理的な記述・把握については、K 関数法などの空間統計手法 (Cuthbert et al., 1998) やフラクタル分析 (Frankhauser, 2004) など、様々な手法を用いた研究がなされてきている。しかしほとんどの場合、集中の度合いやスプロールの度合いなど、特定の性質に関する指標を得ることを目的としており、異なる空間構造モデルに対してはその性質を捉えるための別の指標を用いる必要がある。異なる空間構造同士の比較を試みた伊藤ほか (2007) では、モデル選択基準のひとつである MDL 基準 (下平ほか, 2004) を用いて河川が支配的な空間構造と集落形成が支

配的な空間構造との比較がなされた。本研究では、同様に MDL 基準を用いつつ、複数の空間構造モデルを比較するための基礎的検討として、より一般化した単純なモデルの比較を試みる。

2. モデル選択

2.1 モデルの前提

本稿では、都市の広がり方のパターンとして点分布を対象とする。考え方自体は、道路パターン、街区パターン、あるいは年齢構成などの属性のパターンなど、様々なデータに拡張可能と考えられる。点分布を、単に個々の点がそれぞれの位置に置かれていると見るのではなく、同質のパターンをまとまりとする領域の集合として構造化して見ると、領域の集合の仕方によって空間分布のある種の秩序を捉えることができよう。そのようなモデル化に際して、内在する構造をよりよく表すモデルが適切なモデルと言える。MDL 基準では、データを二段階で記述する (まずモデルを記述し、その下でデータを記述する) 総符号語長が短いほど適切なモデルと見なされる。

2.2 モデル選択の手順

本稿での適切なモデルの探索は、伊藤ほか(2007)と同様に、領域の集合(対象範囲の分割)の複数の選択肢の中から、MDL 基準に基づいてより良い、すなわち総符号語長が短いものを選ぶことによる。ここで、次のようなモデルを仮定する。対象範囲にある分割が与えられたとき、

- (1) 各領域はそれぞれ固有の点密度をもつ
- (2) 各領域内では、点は固有密度にしたがって一様に分布する。

分割の選択肢として、ここでは直交座標矩形分割と極座標放射環状分割の 2 つの基礎的なモデルクラスを検討する。前者はグリッド都市など方向性の揃った構造や必ずしも中心概念の強くない構造を、後者は中心-周辺概念をもつ構造や方角ごとに特徴をもつような構造をよりよく表すものと想定される。図 1 に示されるように、両分割は二分木に対応する。直交座標矩形分割では木の分岐が垂直水平交互の二等分割に対応し、各ノードは正方形または 1:2 の長方形の領域になる。極座標放射環状分割では、木の分岐が角度と半径の交互の等面積分割に対応し、各ノードは扇形または扇形から半径の小さい扇形を切り抜いた形

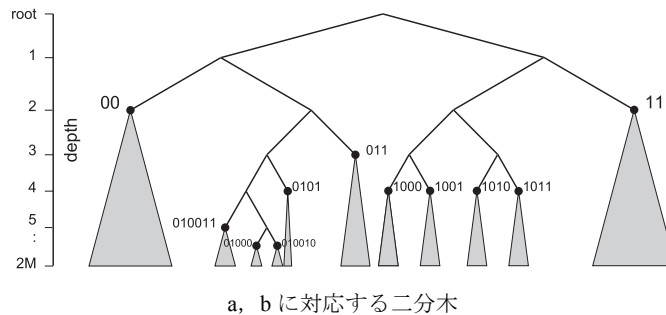
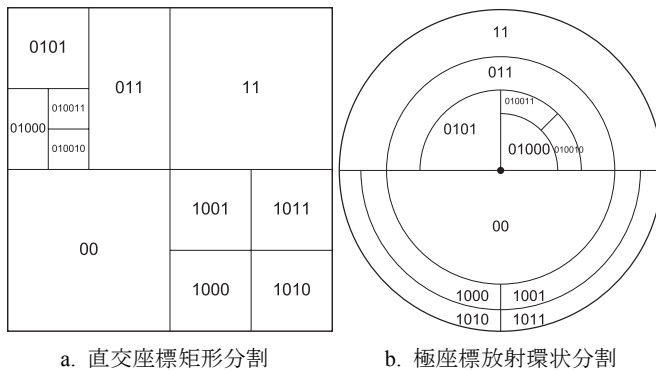


図-1 領域分割の例と対応する二分木

の領域になり、必ずしも相似形にはならない。

このときデータ記述の総符号語長 L (bits)は、

$$L = (2K - 1 + \sum_i r_i) + \sum_i (-\log_2 P(\mathbf{X}_i))$$

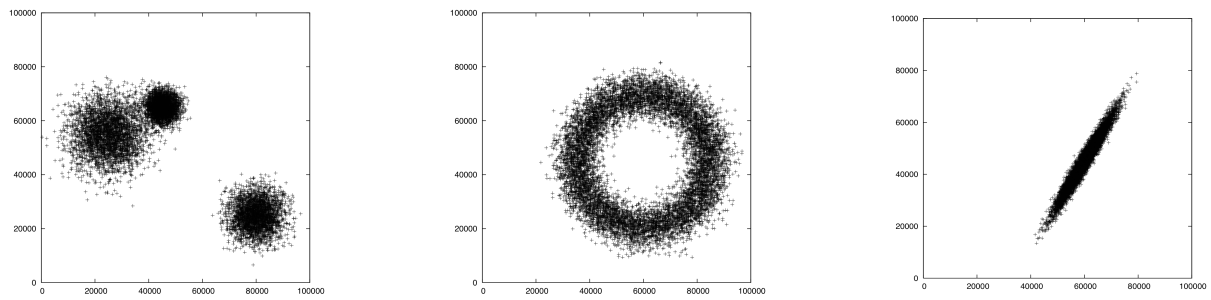
となる。ただし分割数を K 、領域 i ($i=1\dots K$)の固有密度を記述する桁数を r_i 、領域 i に含まれるデータ \mathbf{X}_i の確率を $P(\mathbf{X}_i)$ とする。各モデルクラス内で L を最小にする分割を探し、両モデルクラスの最適な分割同士を比較する、という手順を取る。

3. データへの適用実験

3.1 人工データへの適用

2 種のモデルクラスの性質を観察するために、図 2 に示す 3 種類のポイントデータを発生させる。各データセットについて両モデルクラスでの最適な分割を求め、図 3 に示す。ただし、極座標放射環状分割に関しては、座標原点の位置によって結果が大きく異なる可能性があるので、データ平面上を走査して総符号語長が最小となる原点位置を採用することとした。

本実験では、二分木の最大深さを 16 とする。全体を 2^{16} 分割した領域が位置を表す最小単位となるため、分割モデルを用いないデータ記述には、1 データあたり 16 bits を要する。それに対して、モデルに基づく場合には、図 3 に示すように、データセットとモデルクラスによって、7.5 から 11.5 bits に渡った。データセット C は、どちらのモデルクラスでも最小の値を取っており、他のデータセットより効率よく構造化される。いずれのデータセットにおいても、極座標放射環状分割は直交座標矩形分割より若干“良い”モデルと判断された。しかし、データセット B では、直観に反して円環分布の中心と極座標原点とが一致しないなどの問題も見出された。データセット C では、両モデルクラスの符号語長の差の割合が最も大きく、極座標放射環状分割では分布に沿って分割されているため分割数も大幅に減っている。このように水平垂直からはずれた角度に特徴をもつ分布は、極座標放射環状分割によってより適切に表されることがわかる。

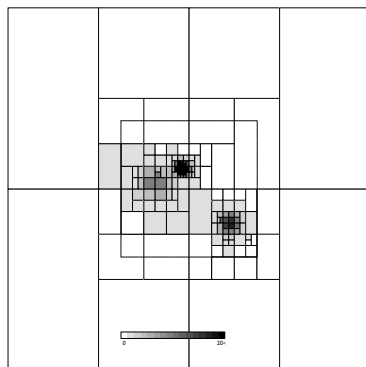


A. 3つのガウス分布

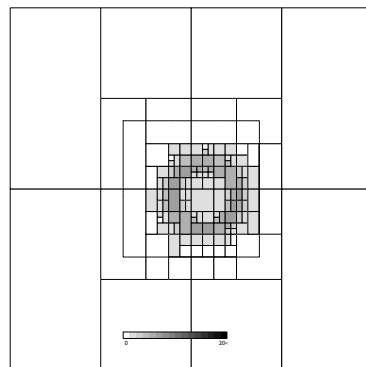
B. 円環分布

C. 線状分布

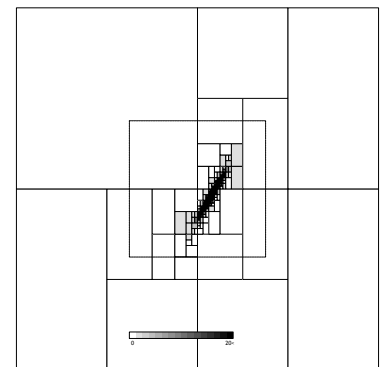
図-2 発生させた3種のデータセット（それぞれデータサイズは 10^4 ）



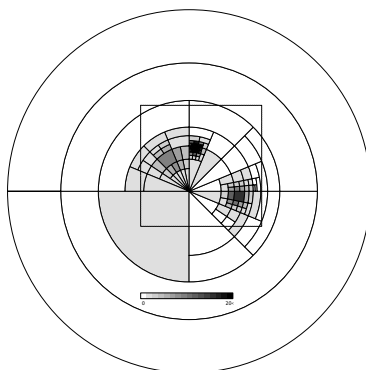
A. 10.29 (bits/point), 137 領域



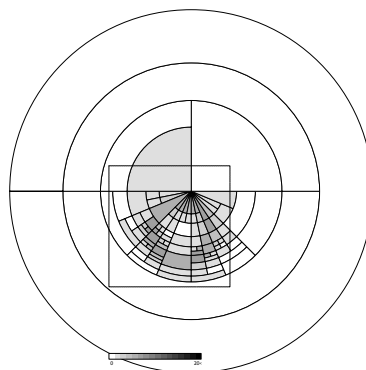
B. 11.49 (bits/point), 131 領域



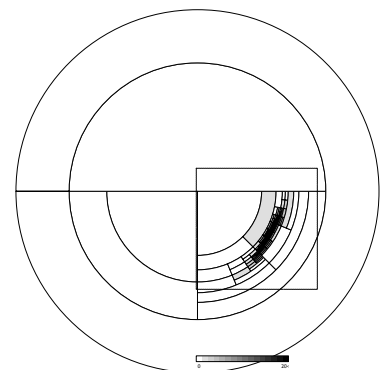
C. 7.66 (bits/point), 158 領域



A. 10.26 (bits/point), 118 領域



B. 11.45 (bits/point), 101 領域



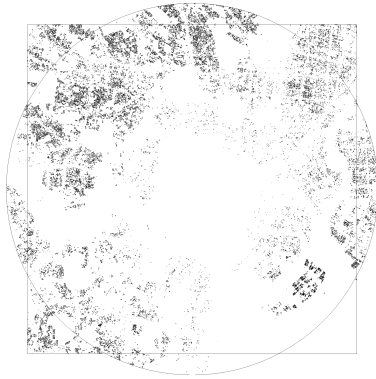
C. 7.54 (bits/point), 100 領域

図-3 各データセットに最適なモデル（上段:直交座標矩形分割，下段:極座標放射環状分割）

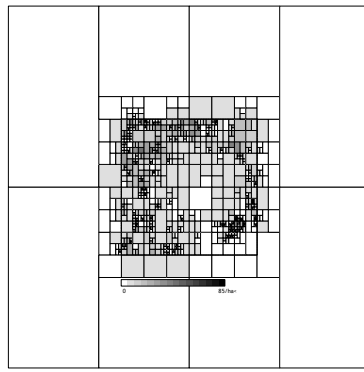
3.2 戸建て住宅分布データへの適用

実データへの適用実験として、東京と京都の中心部における戸建て住宅の分布を対象とする。ただし、住宅地図から属性が「世帯名」の建物ポリゴンを抽出し、その代表点をデータとした。また、人工データと異なり対象範囲の境界形状が強く表れるので、直交座標矩形分割では7680m四方の正方形範囲、極座標放射環状分割では半径約4333mの円形範囲を対象範囲とした。両範囲の面積は同等である。二分木の最大深さは16とする。

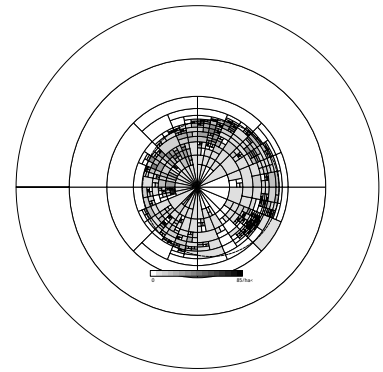
戸建て住宅分布および両モデルクラスによる最適分割を図4に示す。符号語長から、東京は極座標放射環状分割が、京都は直交座標矩形分割が、わずかに適切と判断されたが、値にはほとんど差がない。分割数は、両地域とも極座標放射環状分割の方が少ないが、その程度は東京の方が高く、実際に分布に沿って分割されており、東京は矩形分割より放射環状分割によってより適切に表されると言える。なお、その原点は半蔵門交差点付近となった。江戸に起源をもつ環状形態の東京と、



東京中心部の住宅分布
矩形領域 33,340 戸, 円形領域 33,722 戸



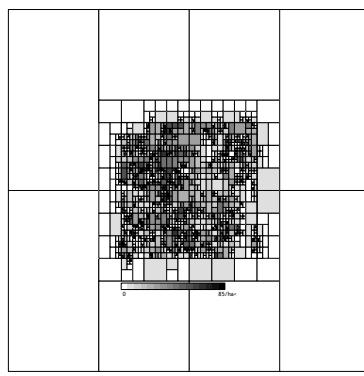
最適な直交座標矩形分割 (東京)
12.20 (bits/point), 792 領域



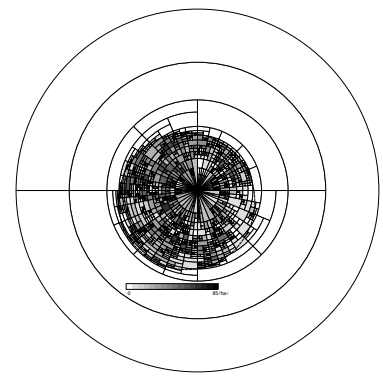
最適な極座標放射環状分割 (東京)
12.18 (bits/point), 708 領域



京都中心部の住宅分布
矩形領域 108,503 戸, 円形領域 109,454 戸



最適な直交座標矩形分割 (京都)
12.67 (bits/point), 1,668 領域



最適な極座標放射環状分割 (京都)
12.68 (bits/point), 1,593 領域

図-4 東京と京都の中心部での戸建て住宅分布に対する両モデルクラスでの最適モデル

平安京の条坊制を短冊型に改変したグリッド形態の京都に対して、微少な違いが見出された。

4. 考察と展望

本稿では、直交座標矩形分割と極座標放射環状分割をモデルクラスとして、都市空間構造の比較を試みたが、データの明確な特徴付けには至らなかった。選択されたモデルの分割の観察から、1) 極端に細長い領域などが生じない比較的均質な分割ルールによって、両モデルクラスの結果が似てくる、2) 特にデータサイズが大きい場合には細かく分割される傾向があるため、両モデルクラスの結果がより似る、ことが要因の一部と考えられる。今後は、空間構造の特徴をより明確に表せるモデルクラスの提案が必要と考えられる。

付記

本研究の一部は、東京大学空間情報科学研究センターの研究用空間データ利用を伴う共同研究(研究番号 281)による成果であり、以下のデータを

利用した：ゼンリン提供 ZmapTownII 2009 年

参考文献

- Cuthbert, A. L. and Anderson, W. P., 1998. Using spatial statistics to examine the pattern of urban land development in Halifax-Dartmouth. *The Professional Geographer*, 54(4), 521 - 532.
- Frankhauser, P., 2004. Comparing the morphology of urban patterns in Europe: A fractal approach. In Borsdorf, A. and Zambri, P. eds. *European Cities: Insights on outskirts*.
- Kostof, S., 1993. *The city shaped: Urban patterns and meanings through history*. Bulfinch.
- 伊藤香織・小口高 (2007) : 住居集合の空間構造を表すモデルの比較：シリア・ハブール川沿い地域を事例に, 地理情報システム学会研究発表大会講演論文集, 16, 21-24.
- 下平英寿・伊藤秀一・久保川達也・竹内啓 (2004) : 「モデル選択基準」, 岩波書店.