

都市成長における構造変化のフラクタル解析とセルラオートマタモデル Fractal Analysis of Structural Changes in Urban Growth and Cellular Automata Model

A-13

生田目 将慎†
Masanori Namatame

松葉 育雄††
Ikuo Matsuba

1. まえがき

都市の人口分布は非常に複雑な幾何学模様となって現れる。本稿では、この複雑な幾何学模様となって現れる人口分布の構造変化を解析する。それにより、都市が発展する過程にはどんな特徴があるのか、また、そこに何か普遍的なルールのようなものはないだろうか、ということを知ることが本研究の最終的な目標である。今回は、東京近郊の人口分布の構造変化を幾何学模様の複雑さを表すフラクタル次元を用いて、人口の面積的な広がりや人口の密度も含めた広がりやの両面から解析した。また、簡単な評価関数を取り入れた拡散律速凝縮過程を模擬したモデルを作成し実際にシミュレーションを行い、その結果と実際の都市との比較も行った。以前は、人口の面積的な広がりだけを考慮に入れたモデルでシミュレーションを行っていたが、今回はより詳しく都市の構造を解析するため人口の密度も加味したモデルでのシミュレーションを試みた。本研究で対象とする地域は旧都庁(東京都千代田区)から半径50kmの範囲である。用いるデータは国勢調査「我が国の人口集中地区」の1960年から1995年までの5年ごとの資料である。図1に1965年、1975年、1985年、1995年の関東地方の人口分布図を示す。

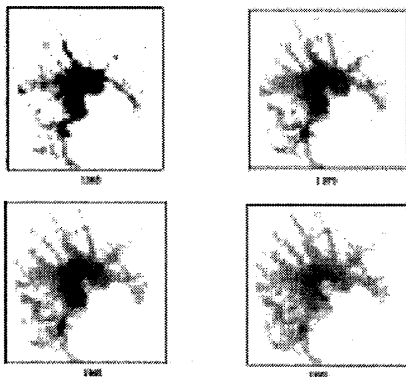


図1. 関東地方の人口分布図

2. 一般化フラクタル次元を用いた解析

図1のような形状になって現れる人口分布から実際に一般化フラクタル次元を計算し、その構造変化を解析する。まず、元となるデータをセルで分割し各セルごとの人口を全人口で割り μ_i とする。次に任意の数 q ($-\infty < q < \infty$) に対し、次数 q の情報量 $I_q(r)$ を次式のように定義する。

$$I_q(r) = \frac{1}{1-q} \log \sum_i \mu_i^q \quad (1)$$

† 千葉大学大学院自然科学研究科

†† 千葉大学工学部情報画像工学科

この量に対して、 $r \rightarrow 0$ の極限で決まる D_q を一般化フラクタル次元と呼び以下のようになる。

$$D_q = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{1}{1-q} \frac{\log(\sum_i \mu_i^q)}{\log(1/r)} \quad (2)$$

q の値が大きいほど人口密度の高い地域のフラクタル次元を表し、逆に小さいほど人口密度の低い地域のフラクタル次元を表す。特に $q=0$ のとき、つまり D_0 は人口分布の密度は考慮に入れない、面積的な広がりだけに着目した、つまり住宅地のフラクタル次元を表す。本研究では q の値は -4 以上 4 以下の整数とした。それぞれの q において横軸に年代、縦軸に一般化フラクタル次元をとったグラフを図2に示す。

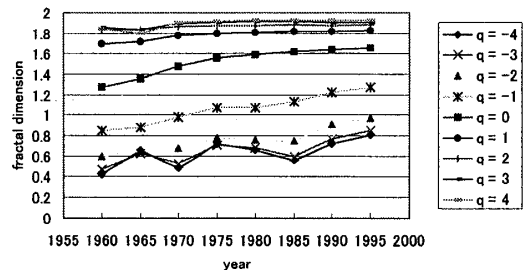


図2. 一般化フラクタル次元の推移

q の値が大きい場合のフラクタル次元にはほぼ変化はなく 2 付近に収束している事が分かる。つまり、人口密度の高い都心部では人口がほぼ一様に平面的に分布して形状にあまり変化が見られない事が分かる。一方、 q の値が小さい場合のフラクタル次元は年代ごとに変化も大きく全体的にフラクタル次元が大きくなっている事が分かる。つまり、人口密度の低い郊外では都心部に比べ人口分布の構造変化が大きいといえる。また、 D_0 から東京近郊においても都市の成長に伴い住宅地のフラクタル次元は、海外の他の都市同様単調に増加していることが確かめられた。

3. スケーリングによる解析

一般化フラクタル次元により、都市部において人口密度の高い地域と低い地域がそれぞれどのように変化しているのかを大まかに捉えることができた。次により詳細な都市構造の解析のために、都心からの距離と人口分布の間にはどのような関係があるのかについて、都心からの距離 r と半径 r 内の総人口 $P(r)$ のスケーリングから調べた。ここでスケーリングとは、 r と $P(r)$ に次式のような関係があることをいう。

$$P(r) \propto r^D \quad (3)$$

このとき、 D がフラクタル次元になる。1995年の実データにおいて横軸に都心からの距離 r 、縦軸に $P(r)$ をとった両対数グラフを図3に載せる。

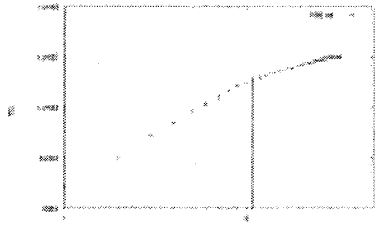


図3. 実データのスケールング

式(3)より、図3のグラフの傾きがフラクタル次元を表す。その結果、上のグラフでは実線の部分でグラフの形状が異なっている。つまり、人口の分布の面から見た都市の構造が異なっているといえる。実線の部分の内側と外側にわけてフラクタル次元を計算すると、それぞれ1.93, 0.97という値になった。

4. 都市成長のセルラオートマタモデル

都市はどのように成長し、そこにはどのような特徴があるのか、ということを解明するためある物理過程を模擬した簡単なモデルを作成し、シミュレーションを行った。このモデルは拡散律速凝縮過程と呼ばれる物理モデルに、簡単な評価関数を取り入れたものである。今回は、対象とする関東地方を 128×128 の座標とし、旧都庁（東京都千代田区）を原点とした。実際の都市において、人口分布の構造変化に関わる要因には様々なものが挙げられる。まず人口は都心部に集中する。経済発展に伴い都心部の人口が飽和状態になり、通勤路線が拡張されるとそれを取り囲むように、線路沿いに人口は増えていく。このとき当然個人は自分の勤務先などの目的地や、自分の経済状況などを考慮し住居を決めるのである。これらのことを加味し、シミュレーションのモデルを考える。まず、実際の関東地方の主な通勤路線を形成する。実際には、路線は経済発展に伴い徐々に開発されていくが、今回のモデルでは路線に変更はない。（1995年の関東地方の路線を参考に形成した。）また、目的地は個々によって異なるが、都心部から半径50kmの範囲を考えたので、割的に最も多くの人の目的地である都心部を唯一の目的地とした。つぎに、経済的な条件であるが、人に見立てた一つの点に乱数で5段階の経済条件を与える。この経済条件により、近づくことのできる都心までの距離が定められている。経済的に上位であればより都心まで近づくことができ、逆に下位であれば都心から離れて住むことになる。また、一つの座標に入ることができる人数は限られており、それ以上は入ることができない。その定員に達していなくても、人口が多い所よりも少ない所に、より引きつけられるという条件も付け加えた。このような要素を取り入れ、以前から行っていた人口の面積的な広がりだけを対象にしたシミュレーションを、今回は人口密度も考慮に入れたシミュレーションに改良した。この結果と実データをスケールング解析により比較する。シミュレーションの結果の一例を図4に示す。

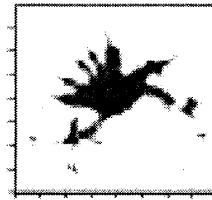


図4. シミュレーションの結果

図4を見ても分かる通り、実際の関東地方の人口分布とシミュレーションの結果を視覚的に比較するとあまりよい結果が得られているとはいえない。しかし、視覚的な比較だけでは幾何学模様の特徴を捉えることはできないので、実データと同じように、シミュレーションの結果においても、都心からの距離 r と半径 r 内の総人口 $P(r)$ のスケールングからフラクタル次元を計算し、実データと比較をおこなう。図4のデータにおいて、横軸に都心からの距離 r 、縦軸に $P(r)$ をとった両対数グラフを図5に載せる。

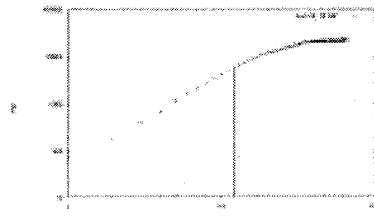


図5. シミュレーションのスケールング

このグラフの傾きからフラクタル次元を計算すると、実線の部分の内側と外側ではそれぞれ1.96, 1.09という値になった。実データとシミュレーションのフラクタル次元が近い値であることから、 r と $P(r)$ のスケールングを通して両者を比較すると、これらは比較的類似した構造であるといえる。

5. まとめと今後の課題

今回東京近郊の住宅地のフラクタル次元は海外の他の都市同様単調に増加していることが確認できた。また、実際の人口分布とシミュレーションの結果を人口の分布の面から比較した結果、定性的に近い構造である事が分かった。しかし、視覚的な比較やより詳細な解析では都市の特徴を捉えているとはいえない。今後はより詳細な都市の解析と都市成長のモデルの改良が必要となる。

参考文献

- [1] 生田目将慎 神谷良信 松葉育雄: “都市発展のフラクタル解析とセルラオートマタモデル”, 2001 NLP, vol.101, no.135, pp. 53-58, July 2001.
- [2] 生田目将慎 松葉育雄: “一般化フラクタル次元を用いた都市構造変化の解析,” 電子情報通信学会, 基礎・境界サイエティ大会講演論文集, A-2-20, p. 53, 2001.
- [3] 生田目将慎 松葉育雄: “人口密度を考慮に入れた都市成長のセルラオートマタモデルとフラクタル解析,” 電子情報通信学会, 総合大会講演論文集, A-2-21, p. 66, 2002.
- [4] M. Batty, P. Longley: “Fractal Cities,” Academic Press, London, 1994.