

ネットワークモデルを用いた都市・集落の盛衰の予測

○飯村 健司*¹
平沢 岳人*²

キーワード：都市平面 都市生成 変遷 アルゴリズム

1. 研究の背景と目的

筆者らは、これまで、主に都市の平面や建物配置に関する幾何学的な性質を分析の結果得られたアルゴリズムを用いて都市の平面や三次元モデルの自動生成を行ってきた¹⁾。単純な幾何学的法則のみによって、現実の都市らしいの三次元モデルを得られることなどから、幾何学的法則は都市の形態生成の一側面を捉えているといえるだろう。しかし、こうした現代的な都市にみられる幾何学的特徴は都市・集落の成長の結果として現れたものであり、その形成過程を十分に説明できてはいえない。筆者らは、現代的な都市だけでなく、これに至る以前の都市・集落の景観を再現することを目的とし、都市・集落の形成過程そのものをアルゴリズムとして記述することを試みている。

2. 本報の位置づけ

本研究では、都市・集落の形成過程と三次元モデル化の流れとの関係を図1のように整理し、ステップごとに対応するアルゴリズムを作成することで、都市・集落の三次元モデル化を試みている。既報^{2) 3)}では都市・集落や街道の発生位置を予測及び生成する(ステップ1)のアルゴリズムを作成した。

ステップ1の出力データはステップ2に引き継ぐことができるが、区画割・敷地割には、建物がどの場所にどの程度配置されるかのパラメータを用意しなくてはならない。建物の密度や戸数、配置といった分布形態は時代や地域によって異なる(図2)。こうしたパラメータの決定・算出に用いるアルゴリズムは、都市・集落の趨勢を時系列的に、立地や周辺にある他の都市・集落との関係性を扱う必要がある。本報では、都市・集落の盛衰の程度を定量化し、これの予測・再現するアルゴリズムの作成について報告する。

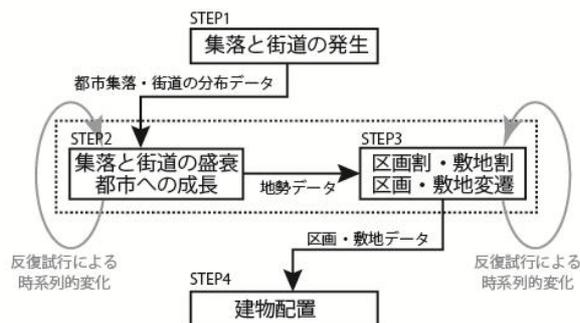


図1: 都市・集落の三次元モデル化のステップ



図2: 埼玉県所沢市周辺 明治前期の集落の分布形態⁴⁾

3. 研究手法

既報では都市・集落をノード、道・街道をリンクとするネットワークモデルを作成し、それら形態の予測及び生成を行なった(図3,4)。本報ではこのネットワークモデルを引き続き用いて、都市・集落の盛衰をシミュレートする方法を考察した。特にアルゴリズムの反復試行回数と時代の経過とを対応させ、盛衰を時系列的な予測・再現を試みた。研究の手順を以下に示す。

- 都市・集落の盛衰を表すための指標を考察し、パラメータ化を行なった。
- 都市・集落の盛衰の要因とその影響の仕方について考察した。
- 以上をもとに都市・集落の盛衰をパターン化し、i.で着目した指標をパラメータとするアルゴリズムを作成した。
- このアルゴリズムを既報で用いたプログラムに追加実装し、実際の都市・集落の分布と比較し検証した。

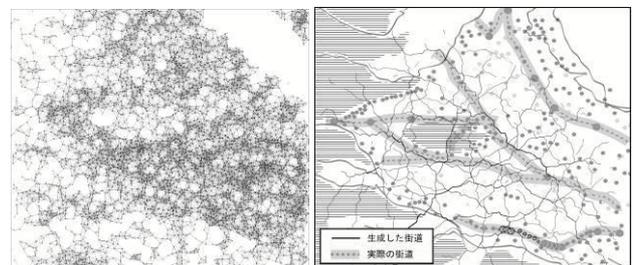


図3.4: 集落とそれらを接続する小道で作られる複雑なネットワーク(左) 経路探索によってあぶり出した街道(右)

4. 都市・集落の盛衰を表すパラメータ

都市・集落というマクロ的視点からは、建物の戸数はおおよそ人口に比例すると考えて差し支えないだろう。また、都市・集落が有する人口に係る環境容量は、それぞれの経済規模に大きく依存すると仮定を設ける。

4.1 都市・集落の経済と産業

都市・集落には、中心的に営まれる農工業が存在する。稲作・畑作のように多くの都市・集落に共通するもの、特産品と称されるような一部の都市・集落特有のもの、これら生産品は自給のためだけでなく、都市・集落の交易の商品として流通したであろう。産業及び交易の盛衰が、都市・集落の盛衰を表すと考えられる。

4.2 盛衰を表す指標のパラメータ化

農工業の経済効果は都市・集落の収穫量や生産量によって定量化される。それぞれ生産品のもつ経済効果を一つの数値 q' (属性値)とし、都市・集落の経済状況をそれらの集合である n 次元のベクトルで表し(図5)、このノルムを Q_i と置く[式(1)]。実際は生産品によって単価や生産効率が異なるが、都市・集落が単独で成立するために必要な経済の状態量を 1.0 とし、 $Q_i = 1.0$ となるよう正規化したものを初期状態とする(図5)。このとき q は集落内の経済を占める割合を表し、各属性値 q 及び Q が変動し、1.0 を基準として都市・集落の盛衰の程度を表すことができる。なお集落間で q_{in} を比較する際には、都市・集落の経済が領域とする範囲で成立しているとして、 q_{in} を自身の面積 A_i で除し、試行対象領域内での絶対的な値 v_{in} に変換する[式(2)]。

$$|Q_i| = \sqrt{\sum_{k=1}^n (q_{ik})^2} = 1.0 \quad \dots(1)$$

$$v_{in} = q_{in} / A_i \quad \dots(2)$$

これら都市・集落の属性値の与え方には、以下の2つが考えられる。

○立地属性値

自身が確保した領域の標高分布から属性値に当てはめる。農業において言えば、それぞれの都市・集落の生産物は作付けの可・不可によって変わるともいえる。作付け可能な作物の違いは気候や地質によって決まる。標高は気候や地質との関連があることから、複数の都市・集落間で共通して遷移しうる値として扱う。

○固有属性値

付加価値の高い農作物や特殊な手工芸品等の生産を表す。加工業の場合、複数の都市・集落間で共通する性質を持ちうるが、一つの集落のみに依存する数値として扱う。またその都市・集落の居住環境などの資産的価値も含める。

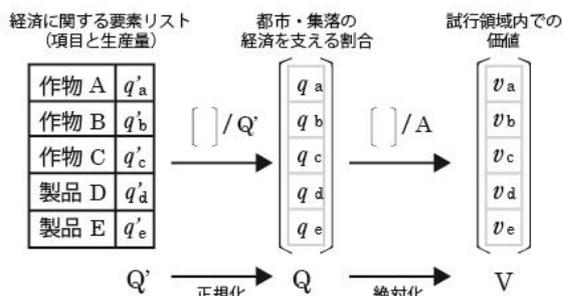


図5: 都市・集落の経済状況を表すベクトルとその意味

4.3 都市・集落の盛衰に関わる事象

都市・集落の盛衰は、大きくわけ個体それぞれの内的な変化と相互関係による対外的変化の二つの変化からなると考えられる。

○内的変化

まず、個体それぞれの盛衰の形式に以下の4つを挙げる。

・全体的成長

例)気候の変化による豊作、作物の流行等
立地属性値に影響を与える。

・全体的悪化

例)気候の変化による不作
立地属性値に影響を与える。

・局所的成長

例)特産物への注目、新しい農工業への着手やその勃興。固有属性値に影響を与える。

・局所的悪化

例)需要低下などによる特定の産業の衰退、居住環境の悪化など。固有属性値に影響を与える。

○対外的変化

上記4つの盛衰は交易交流によって、近隣の集落や時街道を通じて遠方の集落へ伝播すると考えられる。

・影響の伝播

都市・集落間では生産物の取引が行われる。取引によって各属性値が増減する(図7)。

・交流交易量の変化

交易が盛んであれば、これに用いられる道の利用頻度は増加し、逆に交易が進まなければ、その道の利用頻度は減少する。道の整備に関連し、属性値の伝播の程度に影響を与える。

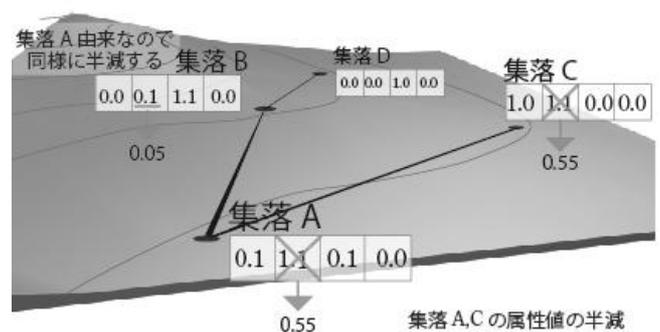


図6: 個体の盛衰と影響の伝播

5. アルゴリズム

4. で整理した各要件を扱うアルゴリズムを作成した。以下にその概要を示す。

5.1 初期条件

既報で利用した地形データ、ネットワークモデル(ノード、リンクとそのコスト)を再利用する。また2つの属性配列値は以下のように計算する。

○立地属性値の計算

標高を階級分けし、階級数だけ配列を確保する。ノードが含む標高分布から、各階級の属性値を計算する。固有属性値と併せて用いる場合は、(1.0-固有属性値)の残りを、各階級の値の比率に応じ分配する(図7左)。

○固有属性値の計算

試行領域内に含まれるノード数の分だけ、配列を確保する。それぞれのノードのIDと対応する箇所に属性値を0.0~1.0の範囲で乱数により与える。初期状態では他の都市・集落に関する固有属性値は0.0とする(図7右)。

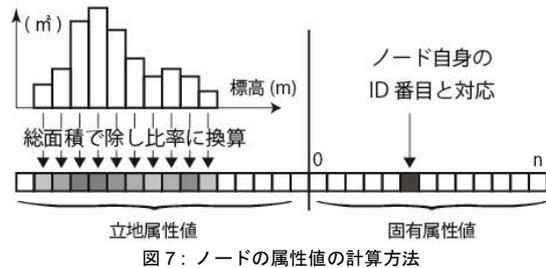


図7: ノードの属性値の計算方法

5.2 処理

5.1 で用意した初期条件のもと、以下の2つの処理の反復によって都市・集落の成長・衰退を計算する。

・属性値の内的変化

各属性値の変化の有無の決定は乱数により行なう。全体的成長・悪化については、さらにノードごとに変化の有無を決定する。

・影響の伝播

都市・集落の属性値は、リンクによって結ばれる近隣の集落へ伝播させる。この伝播の程度は、既報で定めたリンクのコストによって決める。

・交流交易量の変化

各リンクのコストを伝播の総量に応じて逐次変化させる。ありリンクを通じて伝播した属性値の総量について、前回の伝播時の総量と比較し、その比率を用いてリンクのコストを増減させる。ネットワークは無向グラフとし、方向に関係なく流れた属性値の総量の和をとる。

6. 検証

作成したアルゴリズムの検証を行なった。

6.1 テストケース(武蔵野台地)

武蔵野台地での検証についての結果を掲載する(図7,8,9,10)。ノードの大きさは、領域内におけるノルムが最大のノードを基準とし相対的に表現した。属性値の変化と伝播をそれぞれ一度ずつ行なうことを一回の試行とした。属性値の変化確率は1/10000で、2倍もしくは1/2倍になるとした。伝播における属性値の基本流量は、もとにノードがもつ属性値の0.001倍とした。各パラメータとアルゴリズムの効果について確かめるため、固有属性値のみ、立地属性値のみ、また双方を用いる場合の3つの方式について扱った。

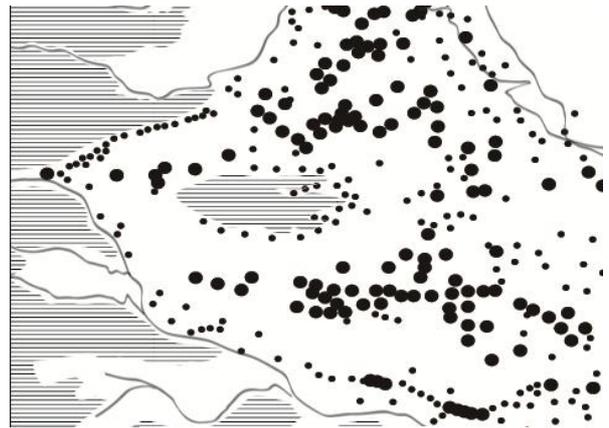


図8:武蔵野台地の集落分布
文献5をもとに筆者が再現した

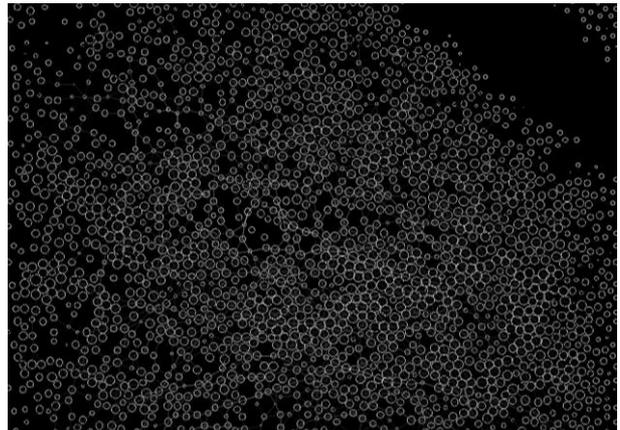


図9:試行回数100回

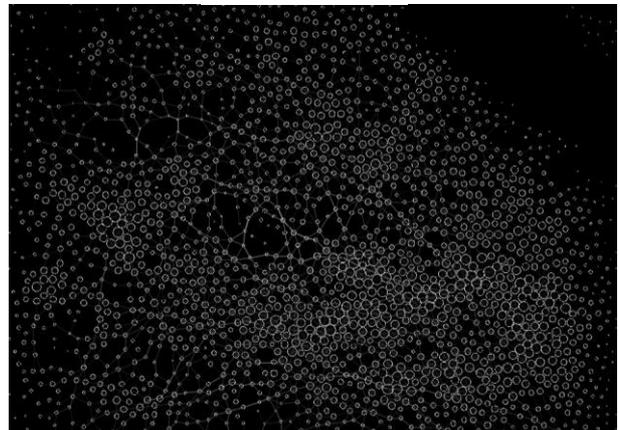


図10:試行回数300回

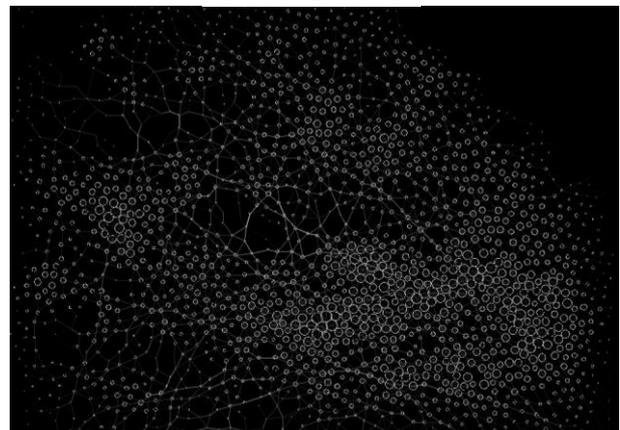


図11:試行回数500回

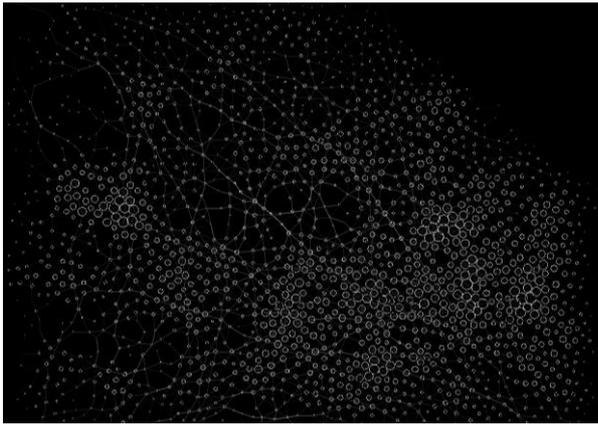


図 12 :立地属性値のみを用いた場合

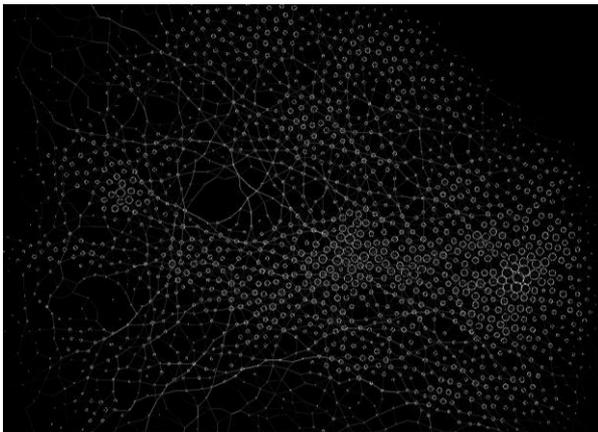


図 13 :固有属性値のみを用いた場合

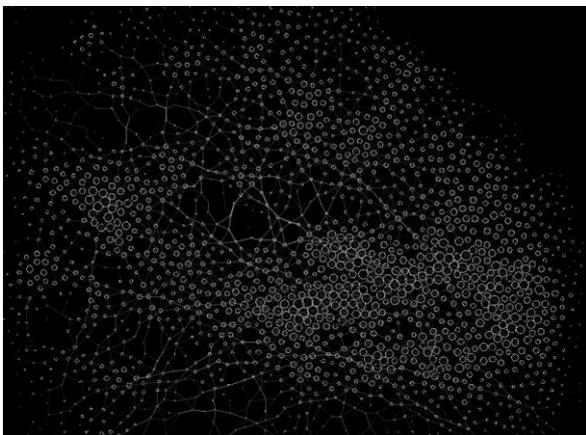


図 14 :立地属性値、固有属性値の両方を用いた場

6.2 考察

既報で作成したプログラムによって生成されたノードの分布は一様であったが、ノードに属性値を与え変化させると徐々にノードのもつノルムに違いが現れいくつかのクラスターが形成された。

立地属性値のみを用いた場合、クラスターがいくつか分散して形成された。全体的変化を与えた場合、ある標高に属するノードがまとめて変化をするため、クラスター単位でその影響を受けたためだと考えられる。

固有属性値のみを用いた場合、帯状のクラスターが形成され、ノードの発達程度は、ノードが多く分布する箇所

を中心として緩やかに変化した。属性値の変化が個別なものであるために、自身の次数の大きさがノードの成長に強く影響を与えたと思われる。既報で得た街道とそうでない街道について、優劣はつけなかったが、街道に沿うようにクラスターの成長がみられる。

両方の属性値を使用した場合、それぞれの特徴が作用し、連続しながらも抑揚のあるクラスターが得られた、結果として対象とした武蔵野台地の集落分布とよく対応したノードの分布が得られた。

初期のノードの分布は、都市・集落の発生の可能性のようなものであり、試行によってそのなかでも発達しやすい傾向にある都市・集落が浮かび上がったと捉えられる。

7. まとめ

本報では、各都市・集落の立地環境や個体として特徴といった属性の定量化を行ない、経済的要件を抽象化し、それら個々の盛衰の度合いを表した。またこの属性値をネットワーク上で交換し合うことで、相互に関係し合う都市・集落間での盛衰の関係を再現した。そして相互関係を計算する試行の反復回数を対応させ、時系列的に盛衰を再現することのできるネットワークモデルとアルゴリズムを作成した。結果、現実に近い集落の分布を得ることができた。今回得られたノードの分布と発達程度を利用した建物配置のアルゴリズムについて引き続き検証する。

謝辞

本研究は公益財団法人 大林財団の研究助成を受けたものである。記して謝意を表する。

[参考文献]

- 1) ○飯村健司 平沢岳人、「集落と街道の生成 -都市・集落を形成するアルゴリズム-」、『日本建築学会技術報告集、第 18 巻 第 40 号』、(社)日本建築学会、pp.1047-1050、2012.10
- 2) ○飯村健司 河合慶 高林弘樹 神山一馬 平沢岳人、「都市生成ソフトウェア開発とそれを用いた都市の変遷の考察」、『第 34 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集』、(社)日本建築学会・情報システム技術委員会、pp.191-194、2011.12
- 3) ○飯村健司、七宮幸彦、加戸啓太、平沢岳人、「アルゴリズムを用いた都市の生成に関する研究」、『日本建築学会(北陸)学術講演梗概集』、(社)日本建築学会、pp.543-544、2010.9
- 4) 『明治前期関東平野地誌図集成:1880(明治 13)年~1886(明治 19)年』 柏書房、p.156、1989.7
- 5) 矢嶋仁吉:『武蔵野の集落』、古今書院、1934.10

*1 千葉大学大学院工学研究科 博士後期課程

*2 千葉大学大学院工学研究科 准教授 (工博)