人流のネットワーク構造に着目した土地利用パターンシミュレーション

名城大学　学生会員　○古田　稜
名城大学　正会員　　鈴木　温

1. はじめに

1.1 研究の背景と目的

現在，少子高齢化や人口減少が進行し，その対策として，「コンパクト＋ネットワーク」と呼ばれる都市構造政策が推進されている．その考えの下，立地適正化計画などが立案され，都市構造評価の必要性が高まっている．しかし，都市は居住地分布，業務や商業等の施設立地，交通ネットワークが構成要素間で相互に影響し合う動的なシステムであるため，将来予測が容易ではない．以上のことから，都市構造の相互関係とダイナミクスに関する知見を得る必要がある．そこで本研究では，4 種類の土地利用（住居，業務，商業，空閑地）パターンの消滅・移転・生成と主体間の相互作用，人流ネットワークを考慮した Agent Based Simulation を構築し，人口減少下における都市構造の生成パターンと動的特性及び交通インフラネットワークの整備の違いによる都市構造変化の違いを明らかにすることを目的とする．

1.2 既存研究と本研究の位置づけ

これまでのコンパクトシティを対象にしたモデルの研究として，瀧澤ら[1]は，マルチエージェントシステムを用いて遺伝的アルゴリズム（GA）を導入した土地利用パターンの動的変化を計算した．また見城ら[2]は，コンパクトシティと空閑地の緑地転換政策の影響と両立可能性を評価した．また，加藤ら[3]は，居住者，企業，商業の 3 主体の立地，交通ネットワークの影響を考慮した都市構造モデルを構築した．しかし，空閑地，交通ネットワークの両方を考慮したモデルでシミュレーションを行っているものは見られない．本研究では，各主体の消滅・移転・生成と交通ネットワークを考慮した都市構造変化モデルを構築し，都市構造変化を分析した．

2. 研究方法

2.1 モデリング環境

本研究は，Netlogo を用いてエージェントベースを構築する．Netlogo は，自然環境や社会原書をシミュレーションするためのプログラム可能なモデリング環境であり，時間発展する複雑なシステムをモデリングするのに適しているため使用した．

2.2 地代の設定

$$v_i = v'_i + \Delta v_i \quad (1)$$

$$\Delta v_i = \rho^{R,O,C} n_i^R + \mu^{R,O,C}(n_i^O + n_i^C - n_i^V) \quad (2)$$

v_i：地代，v'_i：基本地代，Δv_i：地代の上昇，ρ：パラメータ，μ：パラメータ，n_i：地点 i における周辺の住居の数，R：住居，O：業務，C：商業，V：空閑地である．地代は，基本地代に地代の上昇分を加算することで算出できる．基本地代は，住居 2，商業と業務をともに 4 に設定した．

2.3 主体の設定

仮想都市に立地する主体として，住居，業務，商業，空閑地の 4 主体を設定した．住居は業務に通勤し商業で買い物を行う．業務は住居の通勤先であり，商業は住居の購買先である．空閑地は空き家，空き地とする．各主体のポテンシャル等に応じて消滅・移転・生成を判断する．

2.3.1 住居の設定

$$P_i^R = r_1 + r_2 \cdot ACC_i^C - d^O - v_i \quad (3)$$

r_1：パラメータ，r_2：パラメータ，ACC_i^C：商業へのアクセシビリティ，d^O：通勤先までの距離である．住居は半径 3 以内の商業にリンク（購買先）を結び，1 つの業務に通勤する．1tick 毎に年齢を 1/12 加算する．

$P_i^R < 0$　または　$age = 100$のとき，仮想都市から消去する．$P_i^R < moveP^R$のとき，勤務地にできるだけ近い場所に移転する．1tick 毎の確立を満たした場合，住居を無作為に 1～3 個生成する．

age：年齢，$moveP^R$：パラメータ

2.3.2 業務の設定

$$P_i^O = o_1 + o_2 \cdot N_i^O + o_3 \cdot n_i^O - v_i \quad (4)$$

$$P_i^O = o_1 + o_2 \cdot N_i^O + (o_3 \cdot n_i^O) \cdot \pi - v_i \quad (5)$$

o_1：パラメータ，o_2：パラメータ，N_i^O：雇用数

o_3：パラメータ，π：パラメータである．鉄道駅が業務同士の取引額を変化させるとして，業務の半径 5 以内に鉄道駅がない場合は式(4)を用いて算出し，業務の半径 5 以内に鉄道駅がある場合，式(5)を用いて算出する．$P_i^O < 0$ または　$N^O \leq 0$のとき仮想都市から消去する．$P_i^O < moveP^O$のとき他の業務と隣接する場所に移転する．生成は，住居と同様の条件と動作を行う．

$moveP^O$：パラメータ

2.3.3 商業の設定

$$P_i^C = c_1 + c_2 \cdot n_i^R + c_3 \cdot n_i^C - v_i \qquad (6)$$

c_1：パラメータ，c_2：パラメータ，c_3：パラメータである．商業も企業と同様に，ポテンシャルが 0 未満になった場合か，購買先としている住居の数が 0 になった場合に仮想都市から消滅する．移転先は半径 3 以内の住居の数が多い場所に移転する．

$P_i^C < 0$ または $N_i^C < 0$のとき仮想都市から消去する．$P_i^C < moveP^C$のとき周辺に住居が多く立地している空閑地に移転する．生成は，住居と同様の条件と動作を行う．N_i^C：商業 i を購買先としている住居の数，$moveP^C$：パラメータ

2. 3. 4　均等性指標

$$G = {}^1\!/_2 \sum_{i=1}^{n} |a_i - p_i| \qquad (7)$$

都市構造の均等性を表す指標の 1 つとしては量的な偏在を表現するために使われるジニ係数を用いて分析を行う．これは以下の式(9)で表される．$0 \leq G \leq 1$ であり，完全な均等は 0 を示し，完全不均衡は 1 を示す．

3. シミュレーションの設定

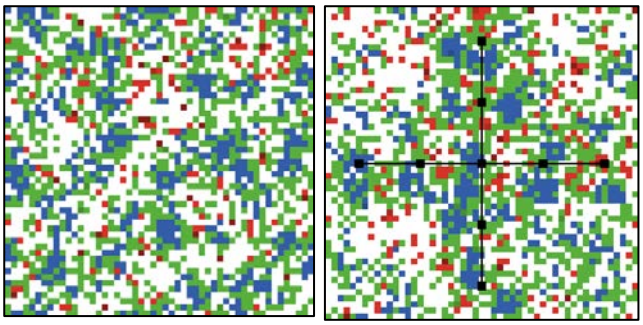
本研究での仮想都市は，全体で 51×51 セルで構成されている．図各セルには 1 種類の主体が立地し，主体が立地したセルは，主体が持つ土地利用となる．さらに，本研究では都市の高密度化を考慮するため，同じ種類の主体であれば，1 セルに複数存在可能とする．初期配置では，住居を 1500，業務を 600，商業を 400，無作為に配置し，主体が配置されないセルを空閑地とする．各住居に 0～99.9 の年齢を与え，無作為に 1 つの業務と通勤リンクを結ぶ．業務，商業，住居の順番で消滅・移転・生成の動作を行い，これを 1 サイクル(1ticks)とする．この 1 サイクルを現実の 1 ヶ月と仮定してシミュレーションを行う．また，本研究で用いたパラメータの設定を表-1 に示す．

表-1　各パラメータの設定

パラメータ	値	パラメータ	値
ρ^R	0.5	o_1	37
ρ^O	2.2	o_2	3.0
ρ^C	1.2	o_3	2.3
μ^R	0.8	$moveP^O$	26
μ^O	1.2	π	1.2
μ^C	1.7	c_1	28
r_1	47	c_2	2.6
r_2	3.0	c_3	1.2
γ	0.55	$moveP^C$	22
$moveP^R$	26		

4. シミュレーション結果

鉄道駅を配置した基本モデルや鉄道駅を配置しないモデルを作成しシミュレーションを行った．シミュレーション結果を図-1，各モデルのジニ係数の結果を表-2 に示す．どちらのモデルでも商業，業務，住居の順番でジニ係数が高い値を示した．ticks=200 の段階で主体数が少ないほど各地に散らばりジニ係数が高い値を示し，商業は色が濃い場所が多くあり，1 セルに多く立地し，ジニ係数の値を高くしたと考えられる．住居の立地場所は，業務の立地場所に大きく影響され，業務の周辺に多くの住居が集積している．商業の立地場所は，周辺の住居の数に大きく影響され，住居が多く集まる業務の周辺に商業が多く見られる．郊外では，地代が安く同主体の集積によりポテンシャルが安定した主体が現状維持をしている．



■住居 ■業務 ■商業 □空閑地

図-1 交通ネットワーク無しモデルと基本設定モデルの立地分布

表-2　各モデルのジニ係数(ticks=200)

主体	ジニ係数（交通無し設定）	ジニ係数（基本設定）
住居	0.668	0.677
業務	0.827	0.856
商業	0.941	0.918

5. おわりに

各設定でシミュレーションを行い，各主体は地代や他の主体の立地からポテンシャルが算出され，それをもとに立地選択などの判断を行う．交通ネットワークを変更した場合のモデルを考慮した結果，都市構造が変化していくことが明らかになった．今後の課題として，より実際の都市に近い構造を形成するために，道路ネットワークなどを考慮する必要がある．

参考文献

1) 瀧澤重志・河村廣・谷明勲：適応的マルチエージェントシステムによる都市の土地利用パターンの形成，日本建築学会計画系論文集 No.528, p267-275, 2000 年
2) 見城紳・玉川英則：コンパクトシティ政策と空閑地の緑地転換利用政策の両立可能性の分析―マルチエージェントシミュレーションを用いて―，都市計画論文集，Vol52No.1, pp28-33, 2017 年
3) 加藤和人・鈴木温：居住者・企業・商業立地の相互作用を考慮した都市構造変化シミュレーション