

居住者のライフステージと世帯構造に着目した 土地利用変化シミュレーション

古田 稜¹・鈴木 温²・永田光希³

¹ 学生会員 名城大学 社会基盤デザイン工学専攻 (〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口 1-501)
E-mail: 213433008@ccmailg.meijo-u.ac.jp

² 正会員 名城大学 社会基盤デザイン工学科 (〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口 1-501)
E-mail: atsuzuki@meijo-u.ac.jp

³ 非会員 名城大学 社会基盤デザイン工学科 (〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口 1-501)
E-mail: 180448057@ccmailg.meijo-u.ac.jp

持続可能な都市構造への転換やそのための都市構造評価に対する必要性は高まっている。都市構造は構成要素間で相互に影響し、常に変化するダイナミックなシステムであるため、それらの性質を考慮した都市構造評価の方法論を開発する必要がある。筆者らはこれまで単純な構造の仮想都市を用いて、住居・商業・業務の消滅・移転・生成と主体間の相互作用を考慮したエージェントベースの土地利用シミュレーションの構築を行ってきた。本研究では、これまで構築してきたモデルに住居主体のライフステージと世帯構造を新たに考慮したシミュレーションモデルを構築し、世帯構造変化に伴う都市構造変化への影響等を明らかにする。

Key Words: Multi-agent Simulation, Household, Life Stage

1. はじめに

現在、少子高齢化や人口減少の進行に伴い、多くの課題が発生している。我々が生活する上で必要な生活関連サービス、行政サービスは、経済、産業活動の縮小によって各地域や中心市街地の衰退が進み、それがさらなる人口減少を引き起こすといった負のスパイラルに陥っている。空き地、空き家の増加や、公共交通の撤廃、縮小によって、郊外に住む高齢者の移動がより困難になっている。少子高齢化、人口減少に対応した、持続可能な都市への転換が求められる中で、「コンパクト+ネットワーク」等の都市構造施策が進められている。コンパクト+ネットワークにより、人口減少化において生活サービス機能と住居を集約し、人口を集積させることで移動の利便性が向上や各種サービスを効率的に行うことができる。ネットワーク化により、人・モノ・情報の交流が促進され、生活の利便性向上が期待される。

持続可能な都市構造への転換に向けた計画策定や施策策定が行われる中で、都市構造評価に対するニーズと改善の必要性が高まっている。都市構造は、居住地分布や施設立地、交通ネットワークなどの構成要素間で相互に影響し合う動的なシステムであり、都市構造評価は容易ではない。しかし、現行の都市構造政策評価においては、

静的評価にとどまっており、都市の動的変化による特徴をほとんど考慮できていない。筆者ら¹⁾は、住居、商業、空地の4つの土地利用主体に鉄道ネットワークを加えたマルチエージェントモデルを構築してきた。

一方、生産年齢において、子どもの人口減少により学校の生徒数も減少し、それに伴った学校の統廃合が行われることによる立地の変化が生じる。また、勤務先への通勤時間、距離を減らすために勤務地になるべく近い場所に立地する。しかし、高齢者において退職後、勤務先からの制約を受けることがなく、立地選択をすることが可能になる。ライフステージによる立地選択の変化も都市構造に影響を与える要因となっている。そこで、本研究では、住居主体の世帯構造とライフステージに着目し、これまでに構築してきたモデル内を拡張し、都市構造に与える影響を明らかにするためシミュレーションを行う。

2. 既存研究と本研究の位置づけ

仮想都市を対象とした都市の土地利用パターンに関する研究は、セルオートマトンを用いた研究とマルチエージェントモデルを用いた研究が数多く行われている。Michael Batty²⁾は、セルオートマトンを用いて、住宅・産業・商業の立地とライフサイクル(初期・成熟・消滅)

のダイナミクスを考慮したシミュレーションを行った。Batty ら²⁾のモデルでは、隣接するセルとの相互作用しか考慮されておらず、居住地と勤務地との関係等、非隣接セル間の相互作用や交通ネットワークによる移動等を分析する手法には適さないと考えられる。一方、瀧澤ら³⁾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。見城ら⁴⁾は、住宅、商業、産業、緑地、空地、暫定緑地の 6 種類の土地利用エージェントを持ったマルチエージェントモデルを作成し、都市のコンパクト化と空地の緑地転換政策の影響と両立可能性を評価した。藤岡・野里⁵⁾は、住居、職場、学校、病院、空地という立地主体を設定した土地利用パターンのマルチエージェントシミュレーションを構築している。藤岡・野里⁵⁾のモデルでは、加齢による住民のライフスタイル変化を考慮している。しかし、これらのモデルでは、交通ネットワークを考慮したものは見られない。また、各主体の立地ポテンシャル関数と各主体間の関係性が必ずしもリンクしていない設定も見られる。

一方、人流や情報ネットワーク等の社会システムにおける共通のネットワーク特性に着目する複雑ネットワーク理論(Complex Network Theory)が、Watts and Strogatz⁶⁾や Barabasi and Albert⁷⁾らの研究をきっかけとして急速に広まった。近年では、従来から研究されてきた土地利用・交通統合モデルやマルチエージェントモデルと複雑ネットワーク理論との間に共通性やつながりを見出し、複雑ネットワーク理論の観点から再構築する取り組みも見られる。例えば、Ding⁸⁾は、複雑ネットワーク理論(Complex Network Theory)の観点から土地利用と交通の相互作用モデルに関するレビューを行い、複雑ネットワークの思考を持ったモデル構築が今後の研究の方向性として重要であると述べている。古田・鈴木⁹⁾は、通勤、購買といった主体間のつながりをネットワーク構造としてモデルに組み込み、各エージェント間の相互作用とその変化によって生じる都市構造の変化に関するシミュレーションを行った。人々のライフステージを考慮したマルチエージェントシミュレーションの研究として、長尾ら¹⁰⁾は、マルチレイヤネットワークモデルを作成し、個人と世帯の属性変化や立地変化、施設アクセスをノードとリンクの変化として記述する手法を提示した。

本研究は、住居、業務、商業、学校、空地の 5 つの土地利用エージェントを持ったマルチエージェントモデルを構築し、エージェント間の相互作用とその変化による都市構造変化のシミュレーションを行う。さらに、ライフステージ、世帯構造によって生じる都市構造の変化を明らかにすることとする。

3. モデルの全体構造

(1)本モデルの基本設定

本モデルは Netlogo¹⁰⁾を用いて、全体で 51×51 セルの仮想都市を構築する。仮想都市には、住居、業務、商業、学校、空地の 5 主体を設定する。1セルには、1個体を設定する。都市の高度利用を考慮するために、同種類の主体であれば 1セルに複数個体立地可能とする。また、主体が立地したセルは、主体が持つ用途の土地利用となる。各セルには、個体数の制限、土地利用規制はないものとし、立地個体数に応じて濃淡をつける。

(2)ネットワーク構造の設定

本研究で用いる都市構造を図-1 に示す。鉄道駅をパッチの中心から十字型になるように距離 10 ずつ離れた位置に鉄道駅を合計 9 になるように配置し、鉄道駅どうしを結ぶ黒いリンクを線路とした。学校主体は、互いの距離が 10 ずつ離れるように定位置に合計 25 になるように配置した。鉄道駅、学校主体が配置されているセルには、住居、業務、商業、空地の 4 主体を立地しないものとする。

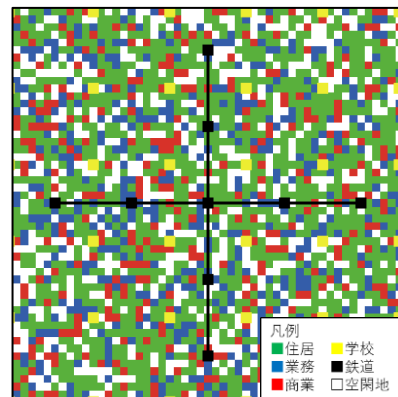


図-1 モデルの初期設定

(3)移動速度の設定

本研究では、交通ネットワークとして、鉄道ネットワークを仮想都市に設定し、その影響を考慮に加えた。鉄道駅には、住居、業務、商業、空地の主体は立地することなく、線路上には主体が立地するように設定した。鉄道駅から半径 10 の住居主体が利用可能とし、移動速度を 5 に設定した。半径 5 以内の住居主体の移動速度を 10 に設定し、その他の住居主体の移動速度は 1 とする。また、鉄道駅は業務間の取引に影響を与えるものとする。

(4)ライフイベント・世帯構造の設定

住居主体のライフイベントの設定を以下の a)~f)に示す。

a)加齢

加齢は、住居主体に年齢 age の変数を追加する。シミュレーション内の1tickを四半世紀と仮定し、1tickごとに1/4加算する。表-1に示す、年齢が20を超えたと未成年から成人となり、年齢が65を超えると成人から高齢者となるようにライフステージを変化させる。

ここで、tickとは、Netlogoにおける時間単位概念である。図-2に示す、商業の消滅・移転・生成の動作が終了するとtickが1増加する

b)死亡

死亡イベントは、年齢が100に到達したら住居主体に発生し、そのエージェントが消滅する。主体が死亡した場合、同居リンク、家族リンクも消滅し、単身世帯であれば、その場所は空閑地となる。また、死亡した主体が単身者の場合、主体が居住していたセルは空閑地となる。

c)結婚

結婚イベントは、年齢が20~40の単身者の男女に確率的に発生する。年齢が20~40の単身者の住居主体男女に対しランダムにマッチングを行う。結婚後に、夫婦間で同居リンクを結び、新しい場所に居住地に移転する。離婚・再婚は考慮しない。

d)出生

出生イベントは、1夫婦に対し最大3回までとし、確率的に発生する。出生元となる夫婦世帯と同じ場所に新たに住居主体を生成し、夫と妻の両方に同居リンク、家族リンクを結び、子ども同士では同居リンク、家族リンクを結ばない。

e)就職・退職

就職イベントは、年齢が20に到達した住居主体に対して発生する。ランダムに選択された業務主体1つに通勤リンクを結び、すでに雇用されていた通勤先が消滅した場合、他の業務主体1つに通勤リンクを無作為に結び、住居主体は常に通勤リンクを1つ持つように設定する。通勤リンクは、通勤先の業務主体が消滅しない限り、変更しないものとする。退職は、年齢が65に到達した住居主体に発生する。自身の通勤先とのリンクを消滅させる。

f)離家

離家イベントは、結婚をした住居主体、年齢が20に到達した住居主体に確率的に発生する。離家は住居主体の移転の動作と同じく、各世帯によって移転先が異なる。離家した場合同居リンクは消滅し、家族リンクは消滅せず、そのまま継続させる。

表-1 ライフステージの設定

年齢	$age < 20$	$20 \leq age < 65$	$65 \leq age$
ライフステージ	未成年	成人	高齢者

表-2 世帯構造の設定

同居者の数	0	1	2~4
世帯	単身世帯	夫婦世帯	夫婦+子ども世帯

表-2に示す住居主体の世帯構造は、自身の同居リンクの数により変化する。同居リンクとは別に設定した家族リンクは影響を与えないものとする。

4. 各主体の設定

(1)学校主体の設定

学校主体のポテンシャル式は、以下の(1)式のように定義する。

$$P_i^S = \text{childn}_i^H \quad (1)$$

ここで、 childn_i^H ：半径5以内の未成年の数である。

学校主体の立地ポテンシャル P_i^S は、周囲の未成年の数のみによって算出される。学校主体は、消滅の動作のみを実行し、生成・移転は行わない。また、未成年は学校主体に通学を行う。消滅の発生条件と動作を以下のa)、b)に示す。

a)消滅

$$\text{条件} : P_i^S < \text{disn}_i^H$$

動作：仮想都市から消去する。

b)現状維持

条件：上記の条件を満たさない場合

ここで、 disn_i^H ：消滅発生に関する閾値である。

(2)住居主体の設定

住居主体の立地ポテンシャル式は、以下の(2)式のように定義する。

$$P_i^H = r_1 \cdot \text{ACC}_i^C - R_i - p_i^h \quad (2)$$

$$p_i^h = r_2 \cdot p_i^{h_1 \text{ or } 2 \text{ or } 3} \quad (3)$$

$$p_i^{h_1} = e_1 \cdot d_{ik} \quad (4)$$

$$p_i^{h_2} = e_2 \cdot (d_{ik} + d_{il}) \quad (5)$$

$$p_i^{h_3} = e_3 \cdot (d_{ik} + d_{il} + d_{im}) \quad (6)$$

$$\text{ACC}_i^C = \sum_{j \in J} n_j^C \exp(-\gamma t_{ij}), J = \{j \mid d_{ij} < 3\} \quad (7)$$

$$t_{ij} = d_{ij} / v_{ij} \quad (8)$$

ここで、 P_i^H ：住居主体の立地ポテンシャル値、 r_1 ：アクセシビリティに関するパラメータ、 R_i ：地点*i*における地代、 r_2 ：重みとなるパラメータ、 $p_i^{h_1}$ ：単身世帯のポテンシャル、 $p_i^{h_2}$ ：夫婦世帯のポテンシャル、

$p_i^{h_3}$: 夫婦+子ども世帯のポテンシャル, e : 通勤・登校距離に関するパラメータ, ACC_i^c : 地点 i における住居主体全体の商業へのアクセシビリティ, γ : 移動時間に関する減衰パラメータ, d_{ik} : 地点 i から k までの通勤距離, d_{il} : 地点 i から k までの通勤距離, n_j : 地点 j に立地する商業主体数, d_{ij} : i, j 間の直線距離, t_{ij} : 地点 i から地点 j までの移動時間, v_{ij} : 地点 i から地点 j までの移動速度である.

住居主体の立地ポテンシャル P_i^H は, 商業へのアクセシビリティ, 地代, 各世帯によるポテンシャルによって変化する. 商業へのアクセシビリティは, 周囲の鉄道駅の距離によって変化する移動速度によって変化する. 住居主体は, 半径 4 以内の商業主体すべてに購買リンクを結び, 1 つの業務主体に通勤をする. 移転時は, 商業へのアクセシビリティから地代を引いた値の中から一番高い値を有する住居主体または空閑地に立地する. 1 個体を 1 個人としてライフステージ, 世帯構造を住居主体に組み込む. 移転, 現状維持の各発生条件と動作を以下の a)~b) に示す.

a) 移転

条件 : ポテンシャルの低い下位 5% の住居主体

動作

単身世帯 : 職場の近くに移転する

夫婦世帯 : 職場の近くに移転する

夫婦+子ども世帯 : 職場, 学校の近くに移転する

b) 現状維持

条件 : 上記の条件を満たさない場合

(3) 業務主体の設定

業務主体の立地ポテンシャル式は, 以下の(9)式のように定義する.

$$P_i^O = o_1 \cdot N_i^O + (o_2 \cdot n_i^O) \cdot \pi - R_i \quad (9)$$

ここで, P_i^O : 業務主体の立地ポテンシャル値, o_1 , o_2 : 重みとなるパラメータ, N_i^O : 雇用している住居の数, π : 取引に関するパラメータ, n_i^O : 地点 i における半径 3 以内の業務の主体数である.

業務のポテンシャル P_i^O は自身を雇用先としている住居の数, 周辺の業務の数によって増減する. 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 6 以内に鉄道駅がない場合は $\pi=1.0$ としてポテンシャルを算出し, 業務の半径 6 以内に鉄道駅がある場合, $\pi=1.2$ として算出する. 移転・生成時, 業務ポテンシャルの高い値を有する業務主体, 空閑地に立地する. 勤務先から半径 3 以内の居住地, 空閑地の中からランダムに選択するものとする. 消滅, 移転, 生成, 現状維持の各発生条件と動作を以下の a)~d) に示す.

a) 消滅

条件 : $P_i^O < 0$ または $N^O \leq 0$

動作 : 仮想都市から消去

b) 移転

条件 : ポテンシャルの低い下位 5% の業務主体

動作 : 他の業務と隣接する場所に移転

c) 生成

条件 : 1tick 毎の確立を満たした場合

動作 : 業務主体を空閑地にランダムに 1~3 個生成

d) 現状維持

条件 : 上記の条件を満たさない場合

(4) 商業主体の設定

商業主体の立地ポテンシャル式は, 以下の(10)式のように定義する.

$$P_i^C = c_1 \cdot n_i^H + c_2 \cdot n_i^C - R_i \quad (10)$$

ここで, P_i^C : 商業主体の立地ポテンシャル値, c_1 : 重みとなるパラメータ, n_i^C : 半径 3 以内の商業の主体数である.

商業のポテンシャル P_i^C は周囲の住居と商業の数, 地代によって増減する. 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. 勤務先から半径 3 以内の居住地, 空閑地の中からランダムに選択するものとする. 消滅, 移転, 生成, 現状維持の各発生条件と動作を以下の a)~d) に示す.

a) 消滅

条件 : $P_i^C < 0$ または $N_i^C < 0$

動作 : 仮想都市から消去

b) 移転

条件 : ポテンシャルの低い下位 5% の商業主体

動作 : 周辺に住居が多く立地している空閑地に移転

c) 生成

条件 : 1tick 毎の確立を満たした場合

動作 : 商業主体を空閑地にランダムに 1~3 個生成

d) 現状維持

条件 : 上記の条件を満たさない場合

ここで, N_i^C : 商業 i を購買先としている住居の数,

(5) 地代の設定

地代の算出式は, 以下の(11)のように定義する.

$$R_i = R'_i + \Delta R_i \quad (11)$$

$$\Delta R_i = \rho^{H,O,C} n_i^H + \mu^{H,O,C} (n_i^O + n_i^C - n_i^V) \quad (12)$$

ここで, R'_i : 基本地代, ΔR_i : 地代変化, ρ, μ : 重みとなるパラメータ, n_i : 地点 i における半径 3 以内の主体数, H : 住居, O : 業務, C : 商業, V : 空閑地である.

各主体の地代は, 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, 業務ともに 4 に設定した. 地代変化は, 周囲の主体数が多いほ

ど高くなり、主体数が少ないほど低くなるように設定した。地代が高くなるほど立地ポテンシャルは低くなり、地代は、各主体の立地ポテンシャルを抑える役割を担っている。

5. シミュレーションのフロー

(1)シミュレーションの計算フロー

本研究では、上記の土地利用変化モデルをもとにシミュレーションシステムを構築した。シミュレーションフローを図-2に示す。初期配置では、住居主体を 1500、業務主体を 600、商業主体を 400 ランダムに配置し、学校主体を定位置に 25 配置する。主体が配置されないセルを空閑地とする。住居主体の男女比は 1:1、全住居主体は単身世帯として、22~65 までの年齢をランダムに与える。さらに、ランダムに 1つの業務と通勤リンクを結ぶ。学校、業務、住居、商業の順番で消滅・移転・生成（学校主体は消滅のみ、住居主体は移転のみ）の動作を行う。住居主体のライフイベントは、加齢、死亡、結婚、出生、就職・退職、離家の順番に動作を行う。これを 1tick とし、200 tick に到達するまでこの動作を繰り返し行う。また、パラメータ値は、Netlogo のスライダー機能を使い、適宜変更可能である。

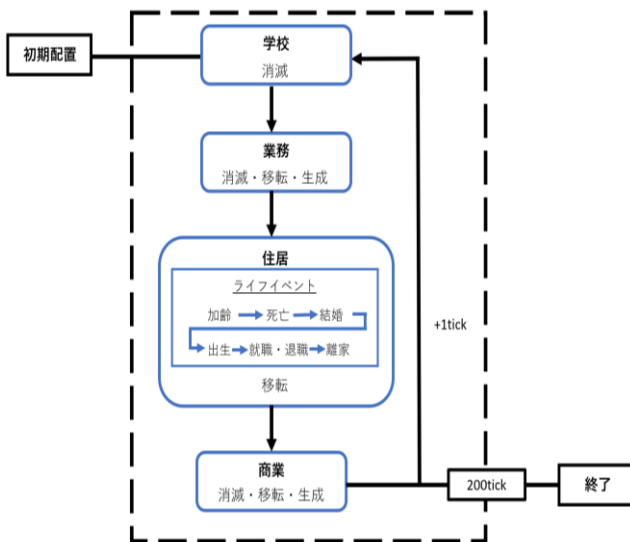


図-2 シミュレーションのフロー

6. おわりに

本研究では、5つの土地利用エージェントを持ち、エージェント間の相互作用に加え、ライフステージと世帯構造を考慮したマルチエージェントモデルを構築した。本稿では、シミュレーションの基本設計と住居主体を構成する個人のライフイベントの発生に関する設定などについて説明した。シミュレーションの計算結果は、発表時に示す予定である。

参考文献

- 1)古田稜, 鈴木温: 住居・業務・商業のネットワーク構造に着目した土地利用変化のマルチエージェントシミュレーション, 都市計画論文集 Vol.56 No.3 (搭載決定) 2021
- 2) Michael Batty・Yichun Xie・Zhanli Sun: Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata, Computers, Environment and Urban Systems, Computers, Environment and Urban Systems 23(3), pp.205-233,1999
- 3) 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, pp.267-275,2000
- 4) 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, Vol52, No.1, pp28-33,2017
- 5) 藤岡薫・野里碧海: コンパクトシティ政策を支援する都市シミュレーションモデルの開発, 環境情報科学 学術研究論文集 33, pp.79-84,2019
- 6) D. J. Watts and S. H. Strogatz: Collective dynamics of “small-world” networks, Nature, vol. 393, no. 6684, pp. 440–442, 1998.
- 7) A. Barabasi and R. Albert: Emergence of scaling in random networks, Science, vol. 286, no. 5439, pp. 509–512,1999
- 8) Rui Ding (2019), The Complex Network Theory-Based Urban Land-Use and Transport Interaction Studies, Complexity, Volume 2019, pp.1-14
- 9)長尾将吾, 杉木直, 倉内文孝, 松尾幸二郎: マルチレイヤネットワークを用いた社会ダイナミクスモデルのシミュレーション, 土木計画学研究・講演集 Vol62, 22-12,2020
- 10)Netlogo HP: <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

LAND USE CHANGE SIMULATION FOCUSING ON THE LIFE STAGE AND HOUSEHOLD STRUCTURE OF RESIDENTS

Ryo FURUTA, Atsushi SUZUKI and Mitsuki NAGATA