

# セル型仮想都市シミュレーションを用いた 都市構造変化に関する基礎的研究

加藤 和人<sup>1</sup>・久米 晴華<sup>2</sup>・鈴木 温<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 学生非会員 名城大学 理工学部社会基盤デザイン工学科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501)

E-mail: 160448040@c alumni.meijo-u.ac.jp

<sup>2</sup> 非会員 東洋建設株式会社 東洋・共栄土木特定建設工事共同企業体 (〒654-0049 兵庫県神戸市須磨区 若宮町 1 丁目 1 番 6 号)

E-mail: kume-haruka@toyo-const.co.jp

<sup>3</sup> 正会員 名城大学教授 理工学部社会基盤デザイン工学科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501)

E-mail: atsuzuki@meijp-u.ac.jp

現在、我が国の多くの都市では「コンパクト+ネットワーク」という都市構造概念のもと、持続可能な都市構造への転換が進められている。実務では望ましい都市構造へのシフトの過程はあまり考慮されてこなかったが、人口分布や施設分布、交通ネットワーク等は互いに影響しあいながら、常に変化している。そのため、都市構造の構成要素間の相互作用による挙動を研究することは重要である。そこで、本研究では、居住地、施設の立地および交通ネットワーク構造の相互作用によって、都市構造の変化に関する知見を得るため、セル型仮想都市を対象としたエージェントベースシミュレーションを構築し、都市構造の動的特性を分析した。特に本研究では、勤務地や商業施設へのアクセシビリティが世帯の居住地選択に与える影響度の違いに着目し、分析を行った。

**Key Words:** *Urban structure, Network, Agent-based simulation*

## 1. はじめに

現在の日本の課題として急激な人口減少・少子化と高齢化の進展などが挙げられる。国土交通省の国土のグランドデザイン<sup>1)</sup>によると、人口減少・少子化については、2050年には現在の居住地域の6割以上の地点で人口が半分以下に減少し、うち2割が無居住化し、地域消滅の危機となると考えられている。ただし、中心集落では一定の人口が維持される可能性があり、そのような地域で買い物・医療等のサービスを維持することが課題とされている。

以上のような課題の対策として考えられているのが、「コンパクト+ネットワーク」といった考えである。コンパクト+ネットワークは人口減少下において、各種サービスを効率的に提供するために、集約化(コンパクト化)を行い、コンパクト化だけでは圏域・マーケットが縮小して、より高次の都市機能によるサービスが成立するために必要な人口規模を確保できない恐れがあるため、ネットワーク化により各種の都市機能に応じた圏域人口を確保することである。コンパクト+ネットワークによ

り、人・モノ・情報の高密度な交流が実現しイノベーションを創出でき、賑わいの創出により地域の歴史・文化などを継承し、それを発展することを目的としている。コンパクト+ネットワークは50年に1度の交通革命・新情報改革を取り込み、距離の制約を克服するとともに、実物空間と知識・情報空間を融合させるものである。コンパクト+ネットワークの考えの下、数箇所の拠点(生活拠点や都市機能拠点)を設け、中心市街地など都市機能が高度な地域を公共交通で結ぶ「立地適正化計画」や、維持・充実を図る公共交通網を設定し、公共交通を軸とするまちづくりとして、立地適正化計画への調和を計画する「地域公共交通網形成計画」が法制度として整備され都市構造評価への需要が高まってきている。

しかし、人口分布(居住地分布)や施設立地(オフィス・商業・公共・娯楽・医療福祉・教育等)や交通ネットワーク(鉄道・道路等)といった都市構造を構成する要素は相互に影響しあっており評価は容易ではない。また、都市構造は常に変化するダイナミックなシステムであるにもかかわらず既存研究の多くは静的な構造として評価されている。以上のことから、望ましい都市構造へ

の転換を図るため、都市構造の相互関係とダイナミクスに関する知見を蓄積する必要があると考える。そこで、本研究では、シンプルな2次元のセル型仮想都市を対象としたシミュレーション手法を援用することによって、人口の変化と商業・就業施設立地と交通ネットワークの相互関係を動的に明らかにすることを目的とする。

## 2. 既存研究と本研究の位置づけ

### (1) 既存研究

過去に行われてきた研究で構築されたモデルを考えると、都市経済モデルはミクロの視点に立ったモデルであるのに対して、本研究は集計的な相互作用を考えている。また、土地利用、交通モデルや都市モデルは現実の都市を対象としているため、発生する相互作用などが複雑になっている。本研究においては単純な仮定や都市構造を考えており、より相互作用を理解しやすくすることを狙いとしている。

シミュレーション手法を用いて都市構造を研究しているものとしては、佐々木ら<sup>2)</sup>は、フィリピン・メトロマニラ都市圏を対象として、ニューラル・セルオートマトンを使ったシミュレーションモデルを用いて土地利用の変動が人口に与える影響を明らかにしている。見城ら<sup>3)</sup>はマルチエージェントシミュレーションを用い、エージェントとして住居・商業・業務などを考え都市の空間分布をシミュレートしたものがあるが、いずれも鉄道ネットワークが考慮されていないモデルになっている。池谷ら<sup>4)</sup>は都市成長・都市衰退のダイナミクスを再現したマルチエージェントシミュレーションを作成したものがあるが、中心地からの距離と各場所の居住者エージェントの密度によってエージェントの移動が決定されるものになっており、居住者以外のエージェントや交通ネットワークは含まれていない。Michael Battyら<sup>5)</sup>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ものがあるが、隣接するセルとの相互作用しか考慮されておらず、交通ネットワークでの移動が考慮されていない。他にも、Michael Batty<sup>6)</sup>は、人口分布のダイナミクスとアクセシビリティの関係を定式化し、都市が空間的にどのように構造化されているかセルオートマトンを用いてシミュレーションを行ったものがあるが、式の中のアクセシビリティは、人口分布と距離抵抗のみを考慮したものであり、産業や商業立地に依存していない。

### (2) 本研究の位置づけ

「コンパクト+ネットワーク」の都市構造を考える上で、居住地、施設立地、交通システムの相互作用を考え

る必要がある。しかし既存論文では、セルオートマトンを用いて土地利用や、住宅・産業・商業の立地が人口の変化に与える影響を明らかにしたものはあるが、居住地、施設立地、交通システムの3つが相互に影響されているシミュレーションは行われていない。そこで本研究では、居住地・施設立地・交通ネットワークの3つが影響し都市構造が変化していくシミュレーションを提案し、都市構造を動的に明らかにしていく。

## 3. 研究方法

### (1) セルオートマトンモデル

本研究は、セルオートマトンモデル（CAモデル）を用いて都市構造を表現する。セルオートマトンモデルとは、格子状のセルと単純な規則による、離散的計算モデルである。セルオートマトンモデルの基本概念は、全体はセルに分割され、各セルは独立した振る舞いを行い、各セルは周囲のセルの情報に基づき相互作用することである。本研究でセルオートマトンモデルを選択した理由は、空間的に都市のダイナミクスをシミュレートすることができ、動的な相互作用を研究できるためである。シミュレーションソフトはNetLogoを用いる。NetLogoは、自然現象や社会現象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ものである。NetLogoにおいて時間は ticks という単位で表現される。Ticksの値が大きい時ほど、より時間が経過していることを表している。

### (2) 既存研究における人口推移式

本研究で用いる人口推移式は Michael Batty<sup>6)</sup>によって構築された人口推移式を基に住宅・業務・商業のすべてを作用させる式を構築する。また、アクセシビリティを用いて、交通ネットワークの関係も計算式に含むことを考えた。本研究は、目的地の機会の増減でアクセシビリティが変化し、アクセシビリティの相対的な大きさが次期の人口分布、業務・商業立地に影響すると仮定し、鉄道ネットワークに依存するアクセシビリティの影響度を変化させ、人口分布・従業者分布の動的な変化に関する知見を得ることを目的としている。そのため、各アクセシビリティが人口増減に与える影響は、パラメータの大きさを調整できるスライダーで設定する。パラメータは住宅・業務・商業の人口予測式に別々のパラメータを設定する。Michael Batty<sup>6)</sup>が構築した人口推移式は(1)式である。

$$P_i(t) = P_i(t-1) \left( 1 + \omega + \phi K \sum_j \frac{P_j(t-1)}{C_{ij}^n} + \varepsilon_i(t-1) \right) \quad (1)$$

$P_i(t)$  : 今期の人口  
 $P_i(t-1)$  : 前期の人口  
 $\omega$  : 反応要素  
 $\emptyset$  : アクティビティ  
 $K$  : 比例系数  
 $C_{ij}$  : ゾーン  $i$  と  $j$  間の移動コスト  
 $\eta$  : パラメータ  
 $\varepsilon_i(t-1)$  : ランダム成分

**(3) 本研究における人口推移式**

本研究では人口推移式を(1)式を基に、居住・業務・商業の項を加え、さらに地価の影響を考慮した式とした。居住人口推移式を以下の(2)式、業務従業者数推移式を(3)式、商業小売業者推移式を(4)式とした。

$$P_i^R(t) = P_i(t-1)^R(1 + q_1ACC_i^R + q_2ACC_i^O + q_3ACC_i^C) - q_4LandP_i^R \quad (2)$$

$$P_i^O(t) = P_i(t-1)^O(1 + q_5ACC_i^R + q_6ACC_i^O + q_7ACC_i^C) - q_8LandP_i^{OC} \quad (3)$$

$$P_i^C(t) = P_i(t-1)^C(1 + q_9ACC_i^R + q_{10}ACC_i^O + q_{11}ACC_i^C) - q_{12}LandP_i^{OC} \quad (4)$$

$P_i(t)$  : 今期の人口・従業者数  
 $P_i(t-1)$  : 前期の人口・従業者数  
 $ACC_i$  : アクセシビリティ  
 $LandP_i$  : 地価  
 $q$  : パラメータ  
 $R$  : 居住  $O$  : 業務  $C$  : 商業  $OC$  : 業務および商業

ゾーン間の人口推移式の中で用いるアクセシビリティ値は、人口と移動時間を考慮した(5)式を用いて計算した。人口予測式の中では、このアクセシビリティにかかるパラメータをさまざまな値で設定し、アクセシビリティの影響度を考慮する。

$$ACC_i = \sum_j \frac{P_j}{d_{ij}/v_{ij}} \quad (5)$$

$ACC_i$  : アクセシビリティ  
 $P_j$  : ゾーン  $j$  の人口  
 $d_{ij}$  : ゾーン  $i, j$  間の距離  
 $v_{ij}$  : ゾーン  $i, j$  間の移動速度

移動速度の設定として、鉄道ネットワークのみの移動は速度 30、鉄道+徒歩の移動は速度 10、徒歩のみの移動は速度 5 と設定し、距離の設定は、隣接するセル間の距離を 1 とし、直線距離を速度で割り移動時間とした。また、人口推移式に地価を含めることによって地価の影

響も考慮した。地価の予測式については住宅地価と業務地価の 2 つの計算式を考えた。住宅地価の予測式は業務アクセシビリティと商業アクセシビリティと居住人口を用いた以下の(6)式とする。

$$LandP_i^R = q_aACC_i^O + q_bACC_i^C + q_cP_i^R \quad (6)$$

業務地価の予測式は、各アクセシビリティと業務従業者数と商業小売業者数を用いた以下の(7)式とする。

$$LandP_i^{OC} = q_dACC_i^R + q_eACC_i^O + q_fACC_i^C + q_g(P_i^O + P_i^C) \quad (7)$$

$LandP_i$  : 地価  
 $ACC_i$  : アクセシビリティ  
 $P_i$  : 人口  
 $q$  : パラメータ

本研究では、居住人口・業務従業者数・商業小売業者数の初期値を設定し、その値を用いて各アクセシビリティを算出し、それらの値を用いて地価の決定を行う。そして、それらの値を用いて新しい人口を算出していく作業を繰り返していくプログラムである。その計算フローを図-1 に示す。

**(4) 本モデルの基本構造仮定**

本研究では、仮想的な都市を仮定し、それを用いて都市構造の変化を観察していく。本研究の基本的都市構造は、都市空間はセル（ゾーン）に分割されており、各セル（ゾーン）の代表点をノードとし、各セル（ゾーン）の人口や従業者数は、各ノードに付随する変数とすると仮定した。また、ノード間の移動時間はリンク特性に依存し、一部のノードは鉄道ネットワークのリンクでつながれ、それ以外は隣接するノードと道路ネットワークで

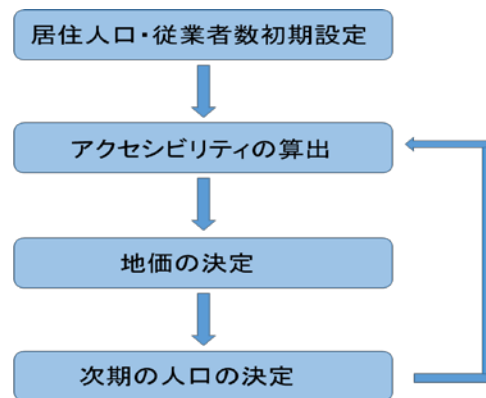


図-1 計算フロー

結ばれていると仮定し、各居住地の移動便利性は、目的地の機会の多さ（従業者人口等）で重み付けしたリンクの東であるアクセシビリティとして表現することとした。仮想都市の設定として、ゾーンの数に 5×5 の 25 ゾーンとし、ゾーンは用途地域別に色を設定した。用途地域別の色分けを表-1 に示す。

表-1 ゾーンの色分け設定

ゾーン	色
郊外居住地域	緑
中心居住地域	黄
中心業務地域	赤
郊外業務地域	水

活動主体は、

- ・ 居住人口 (Populations) → ○ (ピンク)
- ・ 業務従業者数 (Office-workers) → □ (青)
- ・ 商業小売業者数 (Commerce-workers) → △ (グレー)
- ・ 駅 (Station) → ● (黒)

と設定した。活動主体には、変数として居住人口・業務従業者数・商業小売業者数を設定し、図形の大きさによって人口や業務従業者数や商業小売業者数の多さを表現した。人口は 15 間隔でサイズが変わるように設定した。仮想的な都市では変化を分かりやすくする為に初期の居住人口・業務従業者数・商業小売業者数を一定の値に設定した。その値を表-2 に示す。また、駅を黒丸で設定し、

表-2 居住人口・従業者数の初期設定

	居住人口	業務従業者数	商業小売業者数
郊外居住地域	100	0	0
中心居住地域	100	20	15
中心業務地域	0	70	90
郊外業務地域	0	90	40

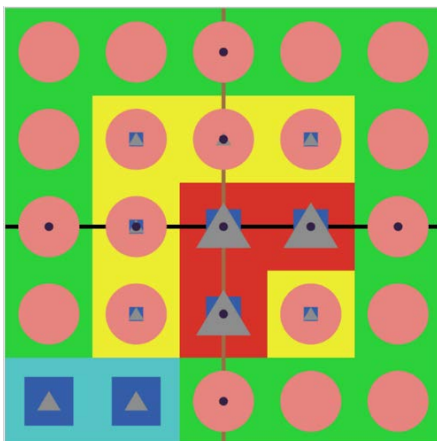


図-2 都市構造の初期設定

駅間を鉄道リンクで繋ぎ、隣接セル間を道路リンクで繋ぐ設定としたが、道路リンクを表現すると線が多くモデルが見にくくなってしまったため、表現していない。基本フレームを設定したものが図-2 である。

#### 4. 仮想都市シミュレーション結果

##### (1) パラメータの基本設定

本研究は、交通インフラの整備や、目的地の機会の増減、鉄道ネットワークに依存するアクセシビリティの影響度を変化させ、居住人口分布・業務従業者分布・商業小売業者分布の動的な変化に関する知見を得ることを目的としている。そのため、各アクセシビリティが人口増減に与える影響は、パラメータの大きさを調整できるスライダーで設定する。基本状態でのパラメータの値を決定し、パラメータを変化させ、都市構造の変化を観察する。パラメータは住宅地の人口予測式と業務従業者数の人口予測式と商業小売業者数の人口予測式で 12 個と地価予測式で 7 個あり、全部で 19 個ある。基本のパラメータを以下の表-3 のように設定した。この設定のもと、一定時間経過したものが図-3 である。居住人口は、駅があるセルのアクセシビリティが高いため多くの人が集まっている。業務従業者数は、中心居住地域と郊外業務地域のセルでは減少しており、中心業務地域のセルに業務従業者数が集中している。商業小売業者数は、業務従業者数と同じく、中心居住地域と郊外業務地域のセルでは減少

表-3 パラメータ基本設定

パラメータ名	値
$P^R q_1$	0.00008
$P^R q_2$	0.00005
$P^R q_3$	0.00005
$P^R q_4$	0.000001
$P^O q_5$	0.00005
$P^O q_6$	0.00008
$P^O q_7$	0.00005
$P^O q_8$	0.000001
$P^C q_9$	0.00005
$P^O q_{10}$	0.00005
$P^O q_{11}$	0.00008
$P^O q_{12}$	0.000001
Land- $P^R q_a$	0.25
Land- $P^R q_b$	0.25
Land- $P^R q_c$	20
Land- $P^{OC} q_d$	0.25
Land- $P^{OC} q_e$	0.25
Land- $P^{OC} q_f$	0.25
Land- $P^{OC} q_g$	20



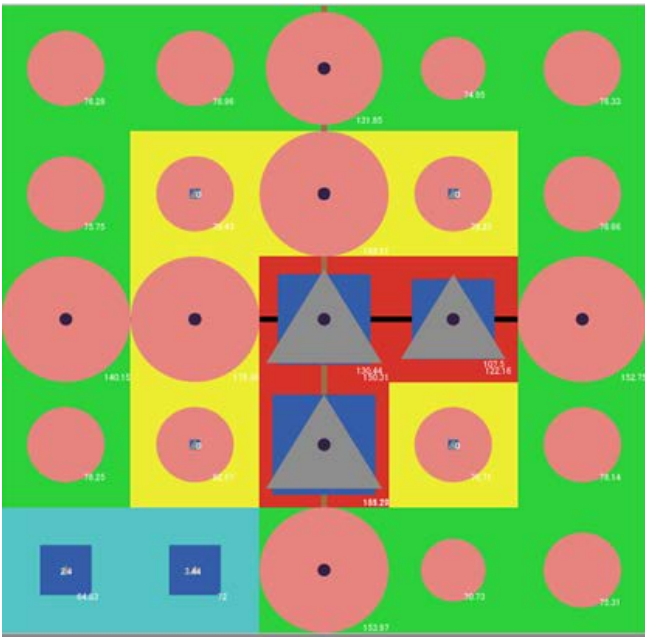
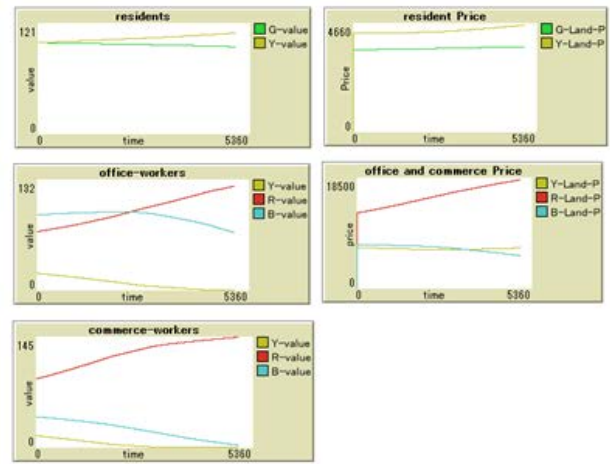


図-3 基本設定のシミュレーション結果



(2) 居住人口推移式のパラメータ変更結果

居住人口推移式の中のアクセシビリティ，地価にかかるパラメータの値を変化させた．業務アクセシビリティにかかるパラメータの値を  $1.0 \times 10^4 \cdot 2.0 \times 10^4 \cdot 3.0 \times 10^4 \cdot 4.0 \times 10^4 \cdot 5.0 \times 10^4$  と変更させ，それぞれの過程でシミュレーションを行い，Ticks が 5000 に達した時点の居住人口を図4に示す．業務アクセシビリティにかかるパラメータの値を  $1.0 \times 10^4 \cdot 2.0 \times 10^4 \cdot 3.0 \times 10^4 \cdot 4.0 \times 10^4 \cdot 5.0 \times 10^4$  と変更させ，それぞれシミュレーションを行い，Ticks が 5000 に達した時点の居住人口を図5に示す．住宅地価にかかるパラメータの値を  $3.0 \times 10^6 \cdot 4.0 \times 10^6 \cdot 5.0 \times 10^6 \cdot 6.0 \times 10^6 \cdot 7.0 \times 10^6 \cdot 8.0 \times 10^6$  と変更させ，それぞれシミュレーションを行い，Ticks が 5000 に達した時点の居住人口を図6に示す．

これらの結果を比較すると，業務アクセシビリティにかかるパラメータ値の増加より，商業アクセシビリティにかかるパラメータ値の増加の方が，パラメータ値の増加に伴い，中心部への人口の増加が見られる．これは，

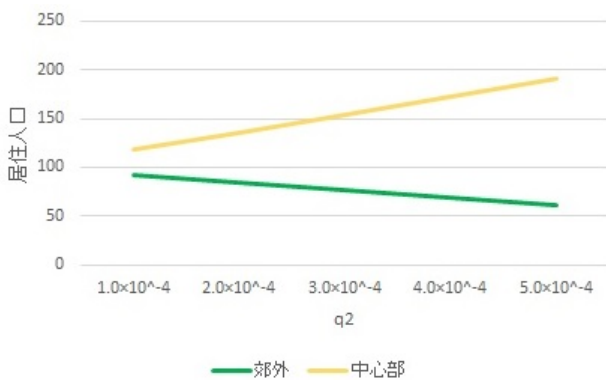


図-4 業務アクセシビリティ影響度の変更結果

商業小売業者数が中心業務地域に集中しているため中心業務地域に近い中心部のアクセシビリティが高くなり，居住人口が大きく増加したと考えられる．地価にかかるパラメータを変更した結果，郊外の居住人口の方が多くなった．これは，アクセシビリティの高い中心部は地価が高くなるため，人口が減少し，アクセシビリティの低い郊外は地価が安くなり，人口が増加していると考えられる．

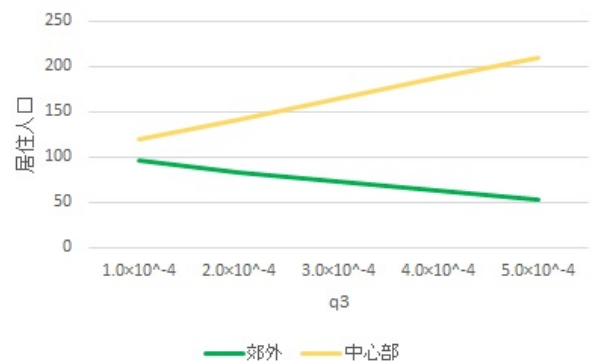


図-5 商業アクセシビリティ影響度の変更結果

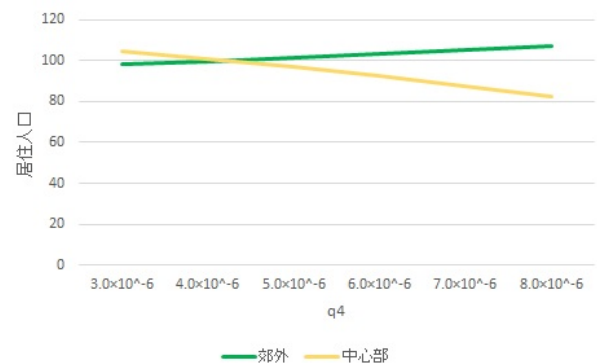


図-6 住宅地価影響度の変更結果

**(3) 業務従業者数推移式のパラメータ変更結果**

業務従業者数推移式の中のアクセシビリティ、地価にかかるパラメータの値を変化させシミュレーションを行った。業務地価にかかるパラメータの値を  $5.0 \times 10^6$  に設定しシミュレーションを行った結果、Ticks が 4000 に達した時点の結果を図-7 に、Ticks が 8000 に達した時点の結果を図-8 に示す。また居住アクセシビリティにかかるパラメータの値を  $1.0 \times 10^4 \cdot 5.0 \times 10^4$  に設定しシミュレーションを行った業務従業者数の結果を図-9・図-10 に示す。業務地価のパラメータを変更させた都市構造の時間変化は、Ticks が 4000 までは郊外業務地域に業務従業者数が集中したが、一気に人口が集中したため地価が上昇し、その後、業務従業者数が減少する結果となった。中心業務地域では、地価が中心のセルに比べて安い中心駅の隣のセルに業務従業者数が集中した。居住アクセシビリティにかかるパラメータを大きく設定した結果、郊外業務地域の業務従業者数の減少が大きくなり、中心業務地域の業務従業者数の増加が大きくなった。これは、駅があるセルに居住人口が集中しており、居住地域と駅でつながっている中心業務地域の居住アクセシビリティがよくなるため、居住アクセシビリティの影響を大きく設定すると中心業務地域の業務従業者数が多くなったと考えられる。

**(4) 商業小売業者数推移式のパラメータ変更結果**

商業小売業者数推移式の中のアクセシビリティ、地価にかかるパラメータの値を変化させ、シミュレーションを行った。居住アクセシビリティにかかるパラメータの値を  $5.0 \times 10^4$  に設定し、シミュレーションを行った結果を図-11 に示す。また業務地価にかかるパラメータの値を  $5.0 \times 10^6$  に設定し、シミュレーションを行った結果を図-12 に示す。居住アクセシビリティにかかるパラメータを大きく設定しシミュレーションを行った結果、中心

駅に商業小売業者が多く集まった。これは駅に居住人口が多く集まっているためネットワークが接続する中心駅のアクセシビリティが高まり、商業小売業者が多く集まったと考えられる。業務地価にかかるパラメータを大きく設定しシミュレーションを行った結果は、中心駅と中心駅の下セルの商業小売業者数が減少し、中心駅の右のセルの商業小売業者数が増加した。これは、中心駅と中心駅の下セルのアクセシビリティが高く業務地価が上がると商業小売業者数が減少し、中心業務地域の中でアクセシビリティが低い中心駅の隣のセルは地価が安くなると考えられ、商業小売業者数が増加したと推測される。

**(5) 業務地価予測式パラメータ変更結果**

業務地価予測式の中の居住アクセシビリティにかかるパラメータを  $5.0 \times 10^4$  と設定しシミュレーションを行った結果 Ticks が 4000 に達した時点の結果を図-13 に、Ticks が 8000 に達した時点の結果を図-14 に示す。居住アクセ

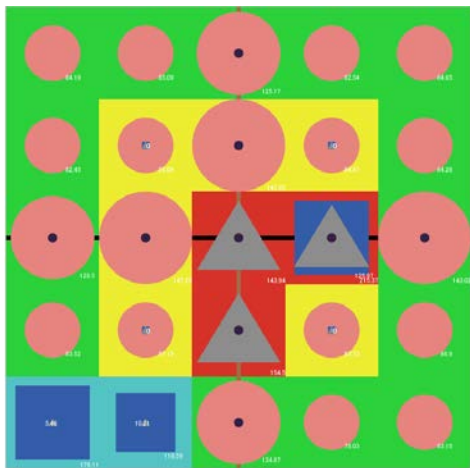


図-7 業務地価影響度変更  
シミュレーション結果 Ticks : 4000

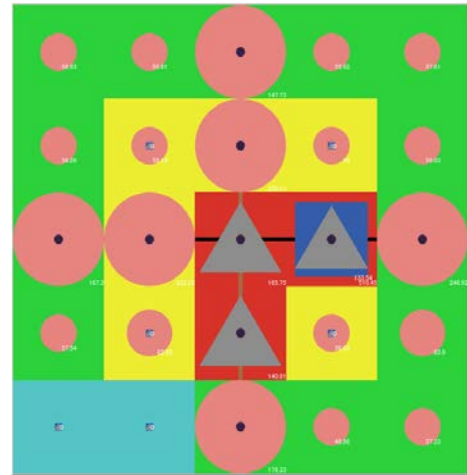


図-8 業務地価影響度変更  
シミュレーション結果 Ticks : 8000

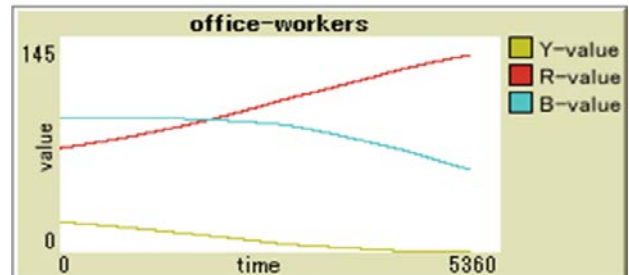


図-9 居住アクセシビリティ :  $1.0 \times 10^4$  業務従業者数

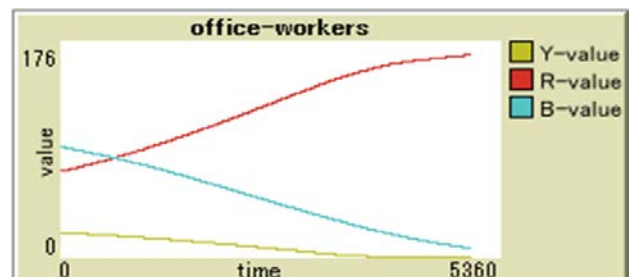


図-10 居住アクセシビリティ :  $5.0 \times 10^4$  業務従業者数

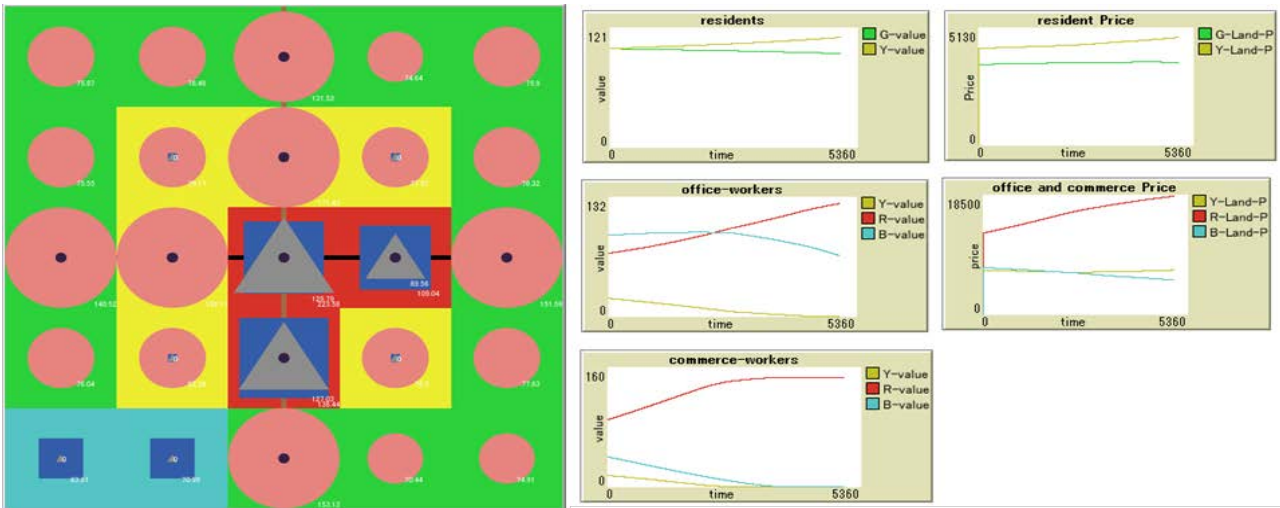


図-11 居住アクセシビリティ影響度： $5.0 \times 10^4$   
シミュレーション結果

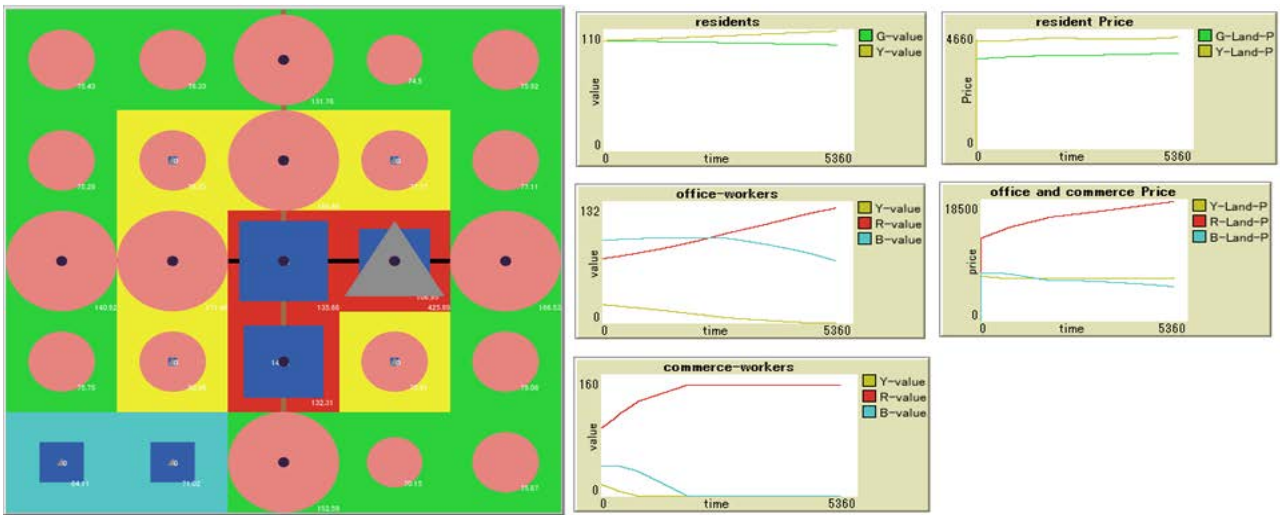


図-12 業務地価影響度： $5.0 \times 10^6$   
シミュレーション結果

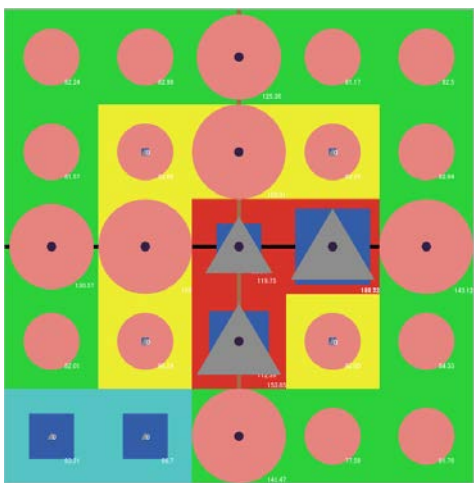


図-13 居住アクセシビリティ影響度変更  
シミュレーション結果 Ticks : 4000

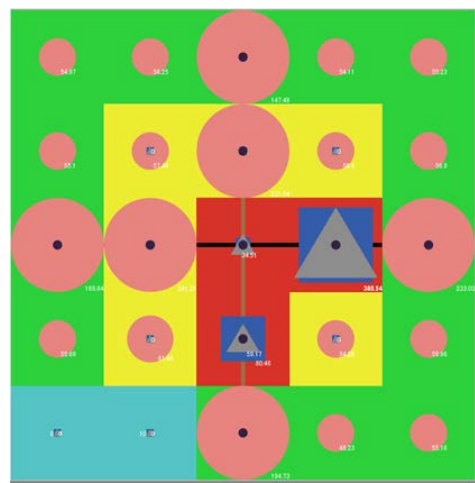


図-14 居住アクセシビリティ影響度変更  
シミュレーション結果 Ticks : 8000



シビリティの影響を大きく設定した場合の都市構造の時間変化は、中心駅は居住アクセシビリティが良いため地価が高くなり、業務従業者数も商業小売業者数もどちらも減少した。中心駅の隣のセルは、地価が中心業務地域の中では低いいため業務従業者数や商業小売業者数が大きく増加したと考えられる。中心駅の隣のセルに業務従業者数や商業小売業者数が集中したことにより、隣の駅がある郊外居住地域のセルで居住人口の増加が目立った。

## 5. まとめ

### (1) 本研究のまとめ

今後の望まれる「コンパクト+ネットワーク」の都市構造を考える上で重要となる、居住地、施設立地、交通ネットワークに関して考える必要があり、仮想的な都市をセルオートマトンモデルで形成し、居住人口、商業・就業施設立地、交通ネットワークの相互関係のシミュレーションを行い、都市構造の複雑な動的特性を明らかにすることを目的としてきた。アクセシビリティや地価から各人口の推移を表す式を構築し、それらの式の中のパラメータを変化させることで、アクセシビリティや地価が人口増減に与える影響の大きさを変化させた。その結果、商業アクセシビリティの影響が強い場合に、居住人口が中心部に集中することが明らかになった。業務従業者数については、業務地価にかかるパラメータを変更させた結果、最終的には中心部に集中することが分かった。業務地価や居住アクセシビリティの影響を強くした場合に中心駅の隣のゾーンで商業小売業者数や居住人口が増加することが明らかになった。これは中心駅の隣のゾーンが、中心部の中では比較的地価が安くなっているためだと考えられる。以上のように人口推移式中のアクセシビリティや地価にかかるパラメータを変更した結果、都市構造の変化の違いを表現することができた。

### (2) 今後の課題

今後の課題として、本研究は各人口やアクセシビリティ、地価についてパラメータでその影響の強さを変化さ

せるという手法をとっている。そのため地価が決定されるメカニズムなどは考慮されておらず、パラメータの設定による影響が強くなっている。したがって各要素の動きを表すような条件を追加していくことが今後の課題である。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 JP10263104 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- 1) 国土交通省, 国土のグランドデザイン 2050 概要  
<https://www.mlit.go.jp/common/001047114.pdf>
- 2) 佐々木恵一・田村亨・斉藤和夫：ニューラル・セルオートマトンを用いた土地利用—人口モデルの構築, 第 34 回日本都市計画学会学術研究論文集, 1999
- 3) 見城紳・玉川英則：コンパクトシティ政策と空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, Vol.52 No.1 2017 年 4 月
- 4) 池谷直樹・谷本潤・萩島理・相良博喜：マルチエージェント・シミュレーションに基づく都心部における人口分布の過渡的動態モデルに関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第 13 巻第 26 号, 845-848, 2007 年 12 月
- 5) Michael Batty・Yichun Xie・Zhanli Sun：Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata, Computers, Environment and Urban Systems, 1999
- 6) Michael Batty：Cities as Complex Systems, The Encyclopedia of Complexity & System Science, 2008

?

## BASIC STUDY ON DYNAMICS OF URBAN STRUCTURE WITH CELL-BASED URBAN SIMULATION

Kazuto KATO, Haruka KUME and Atsushi SUZUKI