

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

加藤 和人¹・鈴木 温²・水流 風馬³

¹学生会員 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

²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

³学生会員 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: 160448064@c alumni.meijo-u.ac.jp

現在、人口減少などが進んでおり、それらに対応した持続可能な都市への転換のために都市構造評価の必要性が高まっている。本研究では、シミュレーションを用いて簡単な構造の仮想都市を対象に居住者、企業、商業施設の行動と交通ネットワークを考慮した都市構造モデルを構築し、都市構造の相互作用と動的な変化を分析した。各主体は地代やアクセシビリティから算出される効用、利潤をより大きくするように立地を変更し、それによって都市構造が変化する。基本設定とそこに交通ネットワークを変更した場合についてシミュレーションの条件に変化を加え、それによる仮想都市の変化を観察した。結果として主体間の作用や動的な変化により、異なる都市構造へと変化していくことが明らかになった。

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

1. はじめに

現在、我が国では少子高齢化や人口減少の進行が課題として挙げられ、これらの課題の進行により、多くの問題が起こっている。我々が日常生活を送るために必要な各種サービスは、一定の人口規模のうえに成り立っている。そのため人口減少によって、生活関連サービスなどの立地に必要な人口規模を割り込む場合には、その地域からサービス産業の撤退が進み、生活に必要な商品やサービスを入手することが困難になるなど、日々の生活が不便になる恐れがある。さらにサービス産業などの撤退により地域の雇用機会の減少にもつながり、さらなる人口減少を招く可能性がある。また、行政サービスに関する問題もある。人口減少とそれに伴う経済・産業活動の縮小によって、地方公共団体の税収入は減少するが、その一方で高齢化の進行から社会保障費の増加が見込まれている。こうした状況の中で、公共施設や道路・橋・上下水道といったインフラの老朽化問題への対応も必要となる。他にも高齢化の進行に伴い、移動手段として公共交通の重要性が増している中で、人口減少の影響を受け公共交通が撤退・縮小していることや、空き家、空き店

舗の増加、地域コミュニティの機能低下などといった問題が発生している。そのため、少子高齢化や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ている。

以上のような課題の対策として「コンパクト+ネットワーク」の考え方がある。コンパクト+ネットワークとは、行政や医療・介護、商業等生活に必要な各種サービスが効率的に供給できるように、これらの機能を一定の地域に集約することで「まとまり」をつくり、交通や情報ネットワークによって「まとまり」同士を結ぶ「つながり」をつくるというものである。その効果として、都市構造をコンパクトにすることで、日常生活の拠点となる地域及びその周辺地域に人口が維持され、その結果、一定の周辺人口が必要とされる医療、商業施設等生活サービス施設の持続性が向上することが挙げられる。そして、これらのサービスに徒歩や公共交通機関等のネットワークで容易にアクセスできるようになることで生活の利便性が高まるとともに、外出が促進されることにより、健康の増進にもつながるといったライフスタイル面での効果も期待される。さらに、都市構造がコンパクトになり、人口密度が高まれば、効率的に行政サービスが提供できるようになり、行政コストが節減される効果も見込

まれる。また、コンパクト化により公共施設や都市インフラのより効率的な維持・管理が可能になれば、そのために要する費用も削減されると考えられる。現在、このコンパクト+ネットワークの考えの下、都市機能誘導区域や居住誘導区域を定め、それらを公共交通で結ぶ「立地適正化計画」や、地域公共交通の現状・課題を踏まえて、公共交通ネットワーク全体を一体的に形づくり、維持することを目的に、地域全体の公共交通の在り方、住民・交通事業者・行政の役割を定める「地域公共交通網形成計画」が制度化されている。

以上のような状況の中で、都市構造評価の必要性が高まっている。しかし、都市構造評価は容易ではない。それは都市構造を構成する要素である人口（居住地）の分布、業務・商業等施設の立地、鉄道・道路等の交通ネットワークなどは相互に影響を及ぼしあっており、さらに、都市構造は時間経過と共に常に変化するダイナミックなシステムであることが理由である。したがって、理想的な都市構造への転換のために、都市構造の相互作用とダイナミクスに関する知見を得る必要があると考えられる。そこで本研究の目的を、簡単な構造の仮想都市を対象に、居住者、業務、商業の行動を考慮した都市構造モデルを構築し、都市構造の相互作用と動的な変化を明らかにすることとする。

2. 既存研究と本研究の位置づけ

(1) 既存研究

シミュレーション手法を用いて都市構造変化について分析した既存研究として、久米ら¹⁾の研究では居住地、施設立地、交通ネットワークの相互作用を考慮したモデルが構築されている。このモデルでは、ある時点での人口からアクセシビリティ、地価が算出され、それをもとに次期の人口が決定される。しかし、人口を集計的なものとして扱っており、居住者や業務、商業といった個々の主体の行動原理が考慮されていない。また、人口の推移や地価、アクセシビリティの決定についてはパラメータ次第となっている。他にも都市構造変化の中で、交通などのネットワークの構造変化については考慮されていないという課題があった。マルチエージェントシミュレーションを用いて都市における人口や立地の変化を分析した研究として、見城ら²⁾や池谷ら³⁾の研究では居住者や商業などのエージェントそれぞれの動きを考慮にいたしたモデルが構築されているが、いずれのモデルでも人口分布と施設の立地、交通ネットワークという都市構造構成要素がすべて考慮されたモデルにはなっていない。

(2) 本研究の位置づけ

都市構造変化を分析する上では、人口分布や施設の立地、交通ネットワークという都市構造構成要素間の相互作用や動的な変化を考える必要がある。ま

た、居住者や業務、商業といった各主体の行動原理を考慮したモデルにすることで、より現実に近い状況でのシミュレーションが可能になるほか、シミュレーションにおいて発生する事象について、より詳細に観察・分析できると考えられる。そこで本研究では、主体である居住者、業務、商業施設の行動、交通ネットワークの影響を考慮した都市構造変化モデルを構築し、基本設定とそこに交通ネットワークの変化をモデルに与え都市構造の変化を分析した。

3. 研究方法

(1) モデリング環境

本研究では、NetLogoを用いてエージェントベースモデルを構築し、都市構造変化をシミュレートして分析を行った。NetLogoは自然現象や社会現象のシミュレーションを構築するためのプログラム可能なエージェントベースモデルのプログラミング環境である。また、NetLogoは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おり、モデル作成者は独立して動作するエージェントに指示を与えることができる。それによって、それぞれの主体の動きによる相互作用を再現、分析することができる。以上の特徴を持つことから、NetLogoをプログラミング環境として使用した。

(2) 本モデルの基本設定

本研究では、簡単な構造の仮想都市を分析の対象としてモデルを構築し、都市構造変化の分析を行った。本モデルでは仮想都市上のいずれかの地点に主体が立地する。主体の立地状況の変化を都市構造の変化とし、その変化を観察・分析する。本モデルにおける仮想都市の基本構造を図-1に示す。仮想都市の都市空間はゾーンに分割されており、地点を表し

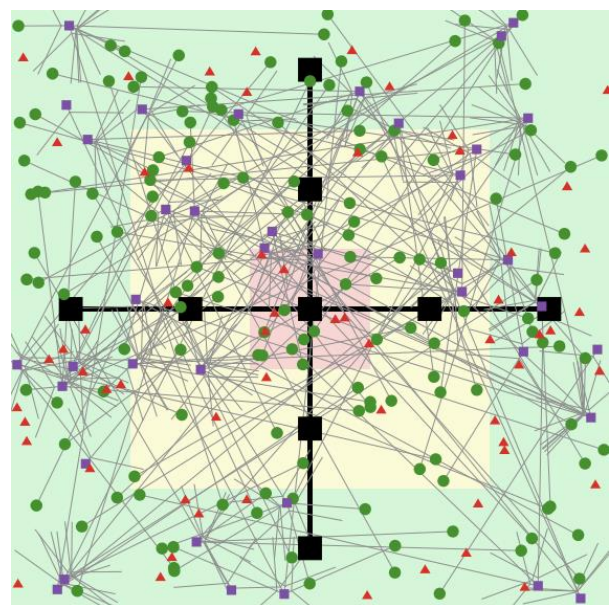


図-1 仮想都市の基本構造

表-1 主体の形と色

主体	形	色
居住者	○	緑
企業	□	紫
商業施設	△	赤

ている。本研究では、縦5ゾーン、横5ゾーンの合計25ゾーンを持つ仮想都市として仮定した。また、本モデルでは交通ネットワークの影響も考慮に加えた。

本モデルでは、仮想都市に立地する主体として居住者と企業、商業施設の3主体を設定した。仮想都市上で主体を形と色で分け表-1のようにした。また各主体の数についてはスライダーを設定し、適宜変更可能にした。

(3) 主体の設定

各主体は居住者、企業、商業施設がそれぞれ行う行動から居住者については効用、企業と商業施設については利潤が計算され、その効用、利潤をより大きくするように立地場所などを変更する。居住者は企業に通勤し、商業施設で買い物をするという行動をとる。図-1の灰色の線は居住者から企業への通勤リンクを示しており、居住者の勤務地を居住者と企業のネットワーク構造として表現している。企業は居住者の通勤先である。また他企業と取引をすることで生産活動を行い、利益を得る。商業施設は居住者の買い物を行う施設である。以上のような行動をとる主体について、それぞれの効用、利潤をより大きくするように立地場所や通勤先企業などが変更される。

(4) ゾーンの設定

本モデルでは、仮想都市上の地点をゾーンで表現している。ゾーンには地代やアクセシビリティなどが変数として付随しており、主体は仮想都市上のいずれかのゾーンに立地するが、立地しているゾーンに付随する変数を参照する。ゾーンに付随する変数を以下に示す。

n_i^R : ゾーン上に立地する居住者数
 n_i^O : ゾーン上に立地する企業数
 n_i^C : ゾーン上に立地する商業施設数
 ACC_i^O : 企業へのアクセシビリティ
 ACC_i^C : 商業施設へのアクセシビリティ
 ACC_{i0} : 中心地へのアクセシビリティ
 R_i^R : 住宅地代
 R_i^B : 業務地代
 $k_3 n_i^T$: 商圏売上
 T_{ij} : ゾーン間の移動時間

商圏については、仮想都市上で隣り合うゾーンの中心同士の距離を1とし、各ゾーンの中心から $\sqrt{2}$ の距離以内とした。

(5) 交通ネットワークの設定

本モデル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け、その影響を考慮に加えた。図-1中に示す黒色の四角形が鉄道駅、黒色の線が鉄道の路線を示す。鉄道ネットワークはアクセシビリティや居住者の通勤時間に影響を与える。本研究では、主体の立地ゾーンと同じゾーンに駅がある場合に鉄道を利用可能と仮定した。

(6) 主体の効用・利潤算出式

本研究では各主体の効用・利潤算出式を構築した。ゾーンIに立地し企業jに通勤する居住者i、企業i、商業施設iそれぞれの効用・利潤の算出式を式(1)~(3)、主体間の移動時間を式(4)とする。

$$u_i = W - R_i^R - \tau t_{ij} + k_1 ACC_i^C \quad (1)$$

$$\pi_i^O = \pi ACC_i^O - R_i^B + k_2 \rho (n_i^R)^\alpha - W n_i^R \quad (2)$$

$$\pi_i^C = k_3 n_i^T - R_i^B \quad (3)$$

W : 賃金

τ : 通勤コスト

ACC_i^C : 商業施設へのアクセシビリティ

π : 企業同士の取引による利潤

ACC_i^O : 企業へのアクセシビリティ

ρ : 個人の生産性

n_i^R : 企業iに通勤する居住者数 (従業者数)

α : パラメータ

n_i^T : ゾーンIの商圏に立地する居住者数

k : パラメータ

R_i^R : 住宅地代

R_i^B : 業務地代

また

$$t_{ij} = \frac{d_{ij}}{v_{ij}} \quad (4)$$

である。

t_{ij} : 主体 i,j 間の移動時間

d_{ij} : 主体 i,j 間の距離

v_{ij} : 主体 i,j 間の移動速度

主体 i,j 間の移動時間は、居住者の効用算出式においては居住者が企業に通勤する際の移動時間を表す。主体 i,j 間の移動速度の設定として、各主体が立地しているゾーンでの駅の存在の有無によって決定する。通勤時の移動時間においては、居住者が立地するゾーンのみには駅がある場合は移動速度を10、企業が立地するゾーンのみには駅がある場合も移動速度を10とし、居住者と企業両方の立地するゾーンに

駅がある場合は移動速度を 20、居住者と企業のいずれの立地ゾーンにも駅がない場合は移動速度を 1 とした。また主体間の距離については、仮想都市上で隣り合うゾーンの中心同士の直線距離を 1 とし、各主体間の直線距離を用いた。以上のように設定された距離を移動速度で割り移動時間とした。

本モデルの各主体の効用・利潤算出式について、居住者の効用は通勤先の企業から得られる賃金 W と立地ゾーンの住宅地代 R_I^R 、企業までの通勤費用 τt_{ij} 、そして商業施設へのアクセシビリティ $k_1 ACC_I^C$ によって決定される。企業の利潤は、他企業との取引により生まれる利潤 πACC_I^O と業務地代 R_I^B 、さらに企業に通勤してくる居住者である従業者による生産 $k_2 \rho (n_I^R)^\alpha$ 、従業者への賃金支払い $W n_I^R$ によって決まる。他企業との取引による利潤は、定数である π に企業へのアクセシビリティ ACC_I^O を掛け合わせたものとして表現した。商業施設の利潤は、商圏からの売上 $k_3 n_I^T$ と立地ゾーンの業務地代 R_I^B に依存して決定される。商圏からの売上はパラメータ k_3 に商圏に立地する居住者数 n_I^T を掛け合わせることで表現することとした。

本研究では主体の立地状況から地代とアクセシビリティも算出する。地点 I の住宅地代と業務地代算出式をそれぞれ式(5)、(6)とし、地点 I の企業・商業施設までのアクセシビリティ、中心地点までのアクセシビリティ算出式をそれぞれ式(7)、(8)とし、地点間の移動時間を式(9)、(10)とした。

$$R_I^R = k_4(n_I^R + n_I^O + n_I^C) + k_5(ACC_I^O + ACC_I^C) \quad (5)$$

$$R_I^B = k_6(n_I^R + n_I^O + n_I^C) + k_7 ACC_{I0} \quad (6)$$

$$ACC_I^{O,C} = \sum_J n_J^{O,C} \exp(-\mu T_{IJ}) \quad (7)$$

$$ACC_{I0} = \exp(-\mu T_{I0}) \quad (8)$$

n_I : 地点 I に立地する主体数
 R : 居住者
 O : 企業
 C : 商業施設
 ACC_{I0} : 中心地点へのアクセシビリティ
 μ : パラメータ

また

$$T_{IJ} = D_{IJ} / V_{IJ} \quad (9)$$

$$T_{I0} = D_{I0} / V_{I0} \quad (10)$$

である。

T_{IJ} : 地点 I から地点 J までの移動時間

D_{IJ} : 地点 I から地点 J までの移動距離
 V_{IJ} : 地点 I から地点 J までの移動速度
 T_{I0} : 地点 I から中心地点 O までの移動時間
 D_{I0} : 地点 I から中心地点 O までの移動距離
 V_{I0} : 地点 I から中心地点 O までの移動速度

地点 I, J 間の移動速度について、地点 I, J どちらかにものみ駅が存在する場合は移動速度を 10、地点 I, J の両方に駅が存在する場合は移動速度を 20、地点 I, J いずれの地点にも駅が存在しない場合には移動速度を 1 と仮定した。距離については主体間の距離と同様の設定とし、ゾーンの中心同士の直線距離を用いた。以上の地点間の距離を移動速度で割り地点間の移動時間とした。

各地代とアクセシビリティの算出式について、住宅地代はその地点に立地する主体数と企業及び商業施設へのアクセシビリティから決定される。業務地代はその地点に立地する主体数と中心地点へのアクセシビリティから決まる。企業及び商業施設へのアクセシビリティは他の地点に立地する主体数とその地点までの移動時間の関数を掛け合わせた $n_J^{O,C} \exp(-\mu T_{IJ})$ の和として算出する。また、中心地点へのアクセシビリティは中心地点への移動時間の関数として表現した。

(7) シミュレーションのアルゴリズム

本研究では構築した都市構造変化モデルに従ってシミュレーションを作成した。シミュレーションのアルゴリズムの概要を図-2 に示す。詳細な説明を以

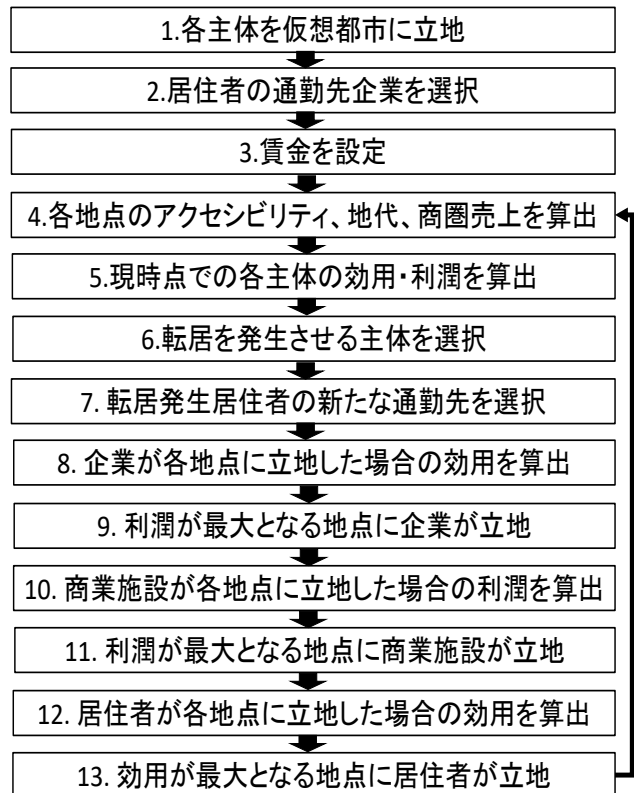


図-2 シミュレーションのアルゴリズム概要

下に示す。

1. 始めに設定した数の主体を仮想都市上に立地させる。
 2. 居住者の通勤先企業を選択する。居住者の通勤先企業はランダムに1つの企業を選択するとした。
 3. 各企業について賃金を設定する。本研究では各企業等しく W に設定した。
 4. 初期段階で立地させた状況から、各ゾーンに立地している主体の数をカウントする。次にカウントした各ゾーンの主体数をもとに企業と商業施設までのアクセシビリティ、また中心地点へのアクセシビリティを上記(7),(8)式から算出する。続いて算出した各ゾーンのアクセシビリティと立地主体数から式(5),(6)を用いて住宅地代と業務地代を算出する。またこの段階で、商圏に立地する居住者数をカウントし、そこから計算される商圏売上と各企業について通勤してくる居住者数（従業者数）のカウントも行う。
 5. ステップ 4 で算出した地代やアクセシビリティ、企業の従業者数と通勤先までの移動時間などをもとに式(1)~(3)より現時点での居住者の効用、企業・商業施設の利潤を算出する。
 6. ステップ 5 で算出された値を用い、最も低い効用・利潤を持つ主体を居住者、企業、商業施設それぞれ1主体ずつ転居発生主体として選択する。
 7. ステップ 6 で選択した転居発生居住者の通勤先企業を変更する。新たな通勤先企業は、各企業の従業者数に比例して確率的に選択される。
 8. このステップでは転居発生企業が立地場所を変更した場合の利潤を算出する。ステップ 4 で算出した地代などを用いて 25 ゾーンそれぞれに転居発生企業を立地させた場合の利潤を計算する。
 9. ステップ 8 で算出した各ゾーンに立地した場合の企業利潤の中で、最大の利潤が得られるゾーンが立地先ゾーンとして選ばれる。この時、立地先ゾーンの中のランダムな位置に転居発生企業を立地させた。また、もし新たにステップ 8 で算出した利潤がいずれもステップ 5 で算出した立地変更前の利潤よりも小さかった場合は転居を行わないこととした。
 10. 転居発生商業施設が立地場所を変更した場合の利潤を算出する。ステップ 8 と同様に、転居を行う商業施設が各ゾーンに立地した場合の利潤を算出する。
 11. 転居発生商業施設についてステップ 9 と同様の方法で新たな立地場所を選択する。ここでも立地場所を変更することでより大きい利潤が得られない場合は、立地変更を行わないとした。
 12. 転居発生居住者が各ゾーンに立地した場合の効用を算出する。この時各ゾーンの中心に居住者が立地したと仮定した通勤距離を用いた。
 13. 転居発生居住者の新たな立地先を、算出された効用を用いてステップ 9, 11 と同様の方法で決定する。
- 本シミュレーションでは、初期設定としてステップ

1~3を行い、その後4~13の操作を繰り返し行う。それにより仮想都市での主体の立地状況が変わり都市構造が変化していく。本モデルでは、ステップ4~13の1サイクルの中に居住者の通勤先変更や主体の転居による立地場所の変更が含まれている。そのためシミュレーションの1サイクルで見られる変化は、現実の都市における数年間で起きる変化を表していると考えられる。

4. シミュレーション結果

(1) 基本設定でのシミュレーション

本研究では、構築した都市構造変化モデルを用いて、土地の容量の設定や鉄道ネットワーク構造の変化を与え、都市構造の相互作用や動的な変化を分析した。シミュレーション結果を出力する際、モデルが見づらくなってしまいうため通勤リンクは非表示とした。

まず始めに、基本設定のもとでシミュレーションを行った。基本設定での各主体数を表-2、各パラメータの設定を表-3に示す。パラメータについては、実データをもとにシミュレーションが妥当な動きをするように調整し決定した。また、初期段階での各主体の立地場所はランダムな位置とした。

基本設定のシミュレーションを行い、仮想都市の初期状態 (ticks=0) とそこから時間を経過させ ticks=3000 となった時の仮想都市の結果を図 3, 4 に示す。ticks とは、シミュレーションにおける時間経過を示す概念で、図-2に示すシミュレーションのアルゴリズムのステップ 13 が終わると ticks が 1 増加するようになっている。基本設定でのシミュレーション結果を見てみると、時間経過に伴って都市構造

表-2 主体数の設定

主体	主体数
居住者	150
企業	60
商業施設	40

表-3 パラメータの設定

定数	値
W	2500000
τ	100000
π	10000000
ρ	100000
A	0.75
k_1	15000
k_2	10
k_3	4000000
k_4	50000
k_5	10000
k_6	5000000
k_7	5000000
μ	1.0

が変化していることが分かる。ticks=0の段階ではランダムに主体を立地させたため、居住者と企業、商業施設が入り混じって全体的に分散して立地している。そこから時間が経過したticks=3000の段階では、主体によって立地場所が分離している。中心部には企業が立地し、その周りに商業施設が立地、周縁部には居住者が立地するという都市構造になっている。居住者については中心付近ゾーンにもわずかに立地が見られるが、ほとんどの居住者は周縁部である緑色のゾーンに立地している。また、商業施設は、最も中心の赤色のゾーンには立地が見られず、居住者に沿うように黄色のゾーンに立地している。さらに

企業と居住者は駅のあるゾーンに立地が集まることが見てとれる。これらの変化について企業の立地は、高いアクセシビリティが得られ企業間取引による利潤をより大きくすることができるために、中心ゾーンや駅が存在するゾーンに立地が集中したと考えられる。居住者の立地は企業への通勤費用が考慮されたため、地代が緑色のゾーンの中では高いと思われる駅があるゾーンにも立地していると考えられる。赤色や黄色のゾーンにも駅を利用できるゾーンはあるが、赤色、黄色のゾーンには企業が集中しており地代が高くなっている。そのため、駅を利用することができることに加えて、地代が中心部に比べて安い駅が

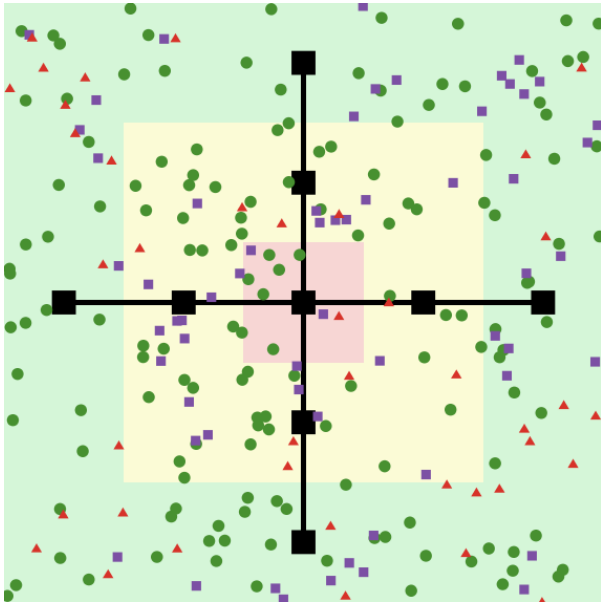


図-3 基本設定シミュレーション結果 ticks=0

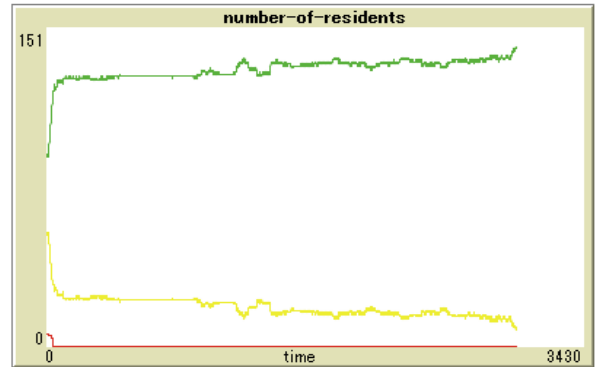


図-5 基本設定シミュレーション結果 居住者数時間変化

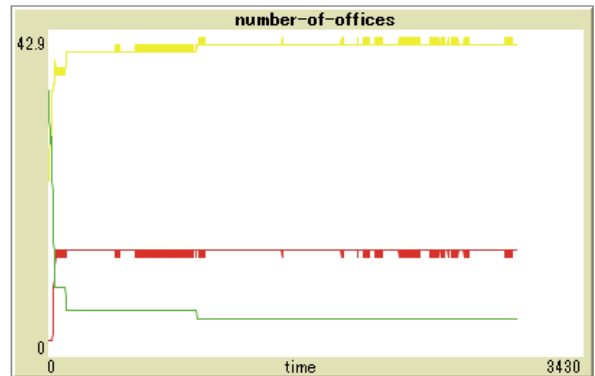


図-6 基本設定シミュレーション結果 企業数時間変化

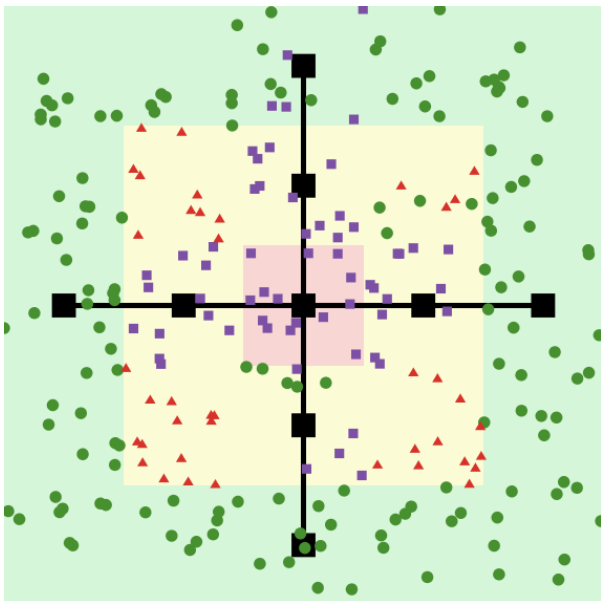


図-4 基本設定シミュレーション結果 ticks=3000

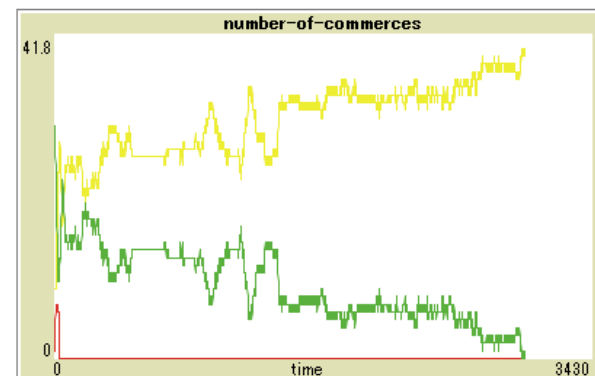


図-7 基本設定シミュレーション結果 商業施設数時間変化

ある周縁部のゾーンに居住者の立地が見られたと思われる。また一方で、通勤費用は高くなるが地代が安い駅のない緑色のゾーンに立地する居住者も多く存在した。商業施設の立地は主に駅がない黄色のゾーンが中心となっている。これは駅があるゾーンに多く立地する企業の存在から中心部に近く駅があるゾーンでの地代が上がった影響を受けたのだと考えられる。また居住者が緑色のゾーンに多く立地しているため、商圈からの売上を多く得ることができるように居住者の立地に沿うように立地場所が選ばれたと推測できる。また基本設定のシミュレーション結果でのゾーンの色ごとの時間的な居住者、企業、商業施設数の変化を図-5, 6, 7 に示す。図中のプロットの色はその色のゾーンに立地している主体の合計数を表したものである。図より企業の立地が最も早い段階で変化が少なくなり、居住者、商業施設の立地は後半まで変化が続いていることが見てとれる。ここから本研究で構築したモデルの仮想都市では、居住者、商業施設の反応性が企業に比べて高いモデルであることが分かる。また図-5 から居住者の立地が時間経過に伴って郊外部へ移っていること、図-6 から企業の立地が仮想都市の中心部に移っていていることが見て取れる。

(2) 交通ネットワーク変更シミュレーション結果

基本設定でのシミュレーションから交通ネットワークに変化を加えシミュレーションを行った。本分析では図-8 のように仮想都市の黄色のゾーン上に駅を追加し、環状に鉄道を追加した場合と図-10 のように鉄道ネットワークが無くなった場合についてシミュレーションを行った。いずれにおいても各主体の数とパラメータについては基本設定と同じ設定とした。また初期の立地場所についても同様にランダムとした。

仮想都市に環状に鉄道を追加した場合のシミュレーション結果で ticks=0 での仮想都市を図-8 に、ticks=3000 での仮想都市を図-9 に示す。シミュレーションの結果から、基本設定とは異なる都市構造に変化したことが分かる。企業の立地は初期の立地状況に大きな偏りが無いにも関わらず、時間経過後は仮想都市の中心より上側に寄っていることが分かる。これは都市構造が変化する過程において小さな偏りが生じた場合、その場所付近のアクセシビリティが良くなるが、駅が新たに追加されたことでアクセシビリティが良いゾーン近くの駅があるゾーンが増加したため、アクセシビリティの地域差が生まれやすくなり企業の一部分への集積がより進んだと考えられる。なお企業が駅のあるゾーンに立地が集まるといことは基本設定と同様であった。また新たに駅が追加されたゾーンに、駅追加前は企業の立地が見られなかったが、追加後は多くの立地が見られるようになった。これは駅があるゾーンの企業へのアクセシビリティが良く、大きな企業間での取引による利潤が得られるためだと思われる。さらに企業の立地について、基本設定に比べて環状に鉄道を追加し

た場合は郊外部への立地が増加していることがわかる。これは駅が増加し駅のあるゾーンのアクセシビリティがより大きくなったことで、中心から近い場所ではなくても駅があるゾーンであれば大きな企業間取引による利潤が得られるようになったのだと考えられる。商業施設の立地にも変化が見られ、基本設定の場合に比べて商業施設の立地の分布が変わっている。これは企業の立地に影響を受けており、基本設定では黄色のゾーンのうち駅が無かったゾーンにも駅ができたことで企業が立地するようになり地代が上がり、商業施設が立地しなくなったと思われる。

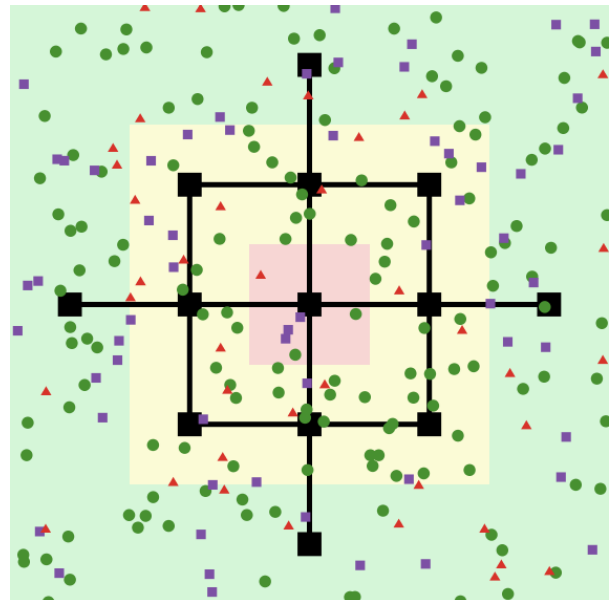


図-8 環状鉄道追加シミュレーション結果
ticks=0

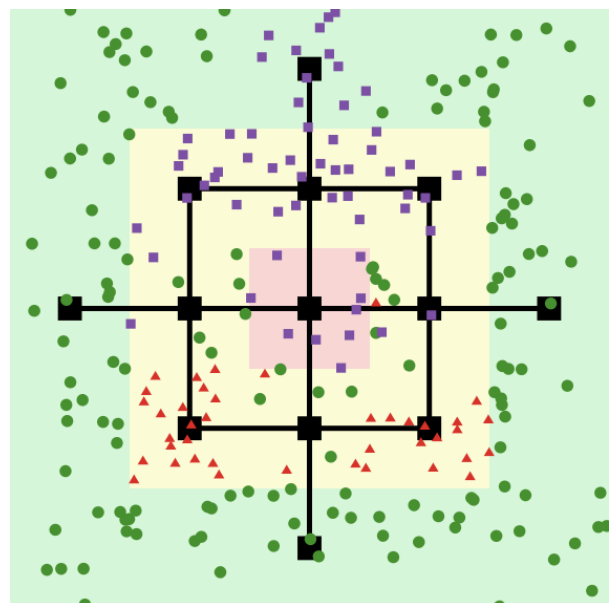


図-9 環状鉄道追加シミュレーション結果
ticks=3000

次に仮想都市に鉄道ネットワークが無い場合について都市構造の変化を分析した。シミュレーションを行った結果 ticks=0 での仮想都市を図-10に ticks=3000 での仮想都市を図-11に示す。本条件でのシミュレーション結果を見ると、全体的に主体ごとの立地に規則性が見られた。企業の立地は基本設定では赤色と黄色のゾーンのうち駅があるゾーンに立地が分散していたが、鉄道ネットワークが無い場合は1つのゾーンに立地が集中する結果となった。これは時間経過が短い段階で、初期の立地状況から大きな利潤が得られる1つのゾーンに企業が集中し、一旦企業が集まりだすとそのゾーンのアクセシビリティがより良くなり企業の集中がさらに加速したのだと考えられる。初期の立地場所がランダムに決定

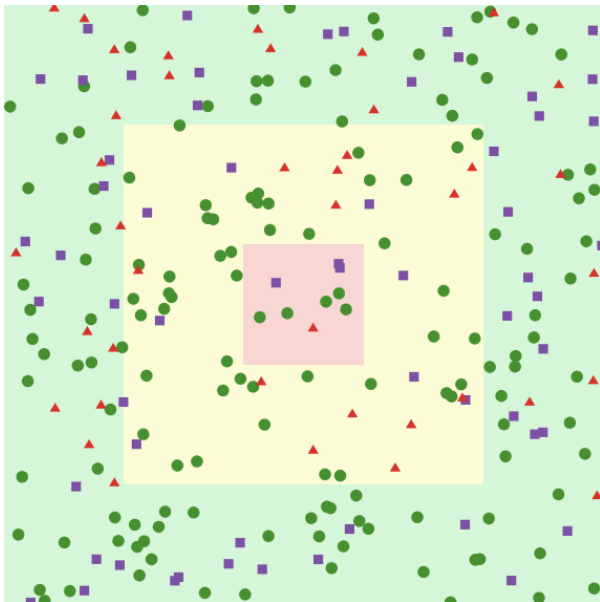


図-10 交通ネットワーク無し
シミュレーション結果 ticks=0

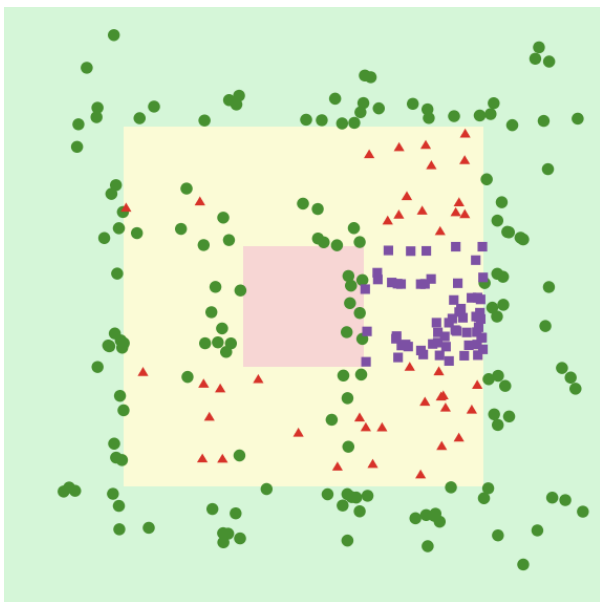


図-11 交通ネットワーク無し
シミュレーション結果 ticks=3000

される本条件で複数回シミュレーションを行ったところ、集中するゾーンが異なる場合があったが同様に1つのゾーンに企業が集中する都市構造変化となったことから、シミュレーションの早い段階でのゾーンごとに得られる利潤の違いによって企業の集中が進むゾーンが決まると推測される。居住者の立地は仮想都市全体に散らばって立地している。この時企業や商業施設が立地しているゾーンへの立地は少ないが、これは地代が高いゾーンへの立地が行われずこのような結果になったと考える。居住者は企業へ通勤を行うため企業に近い場所に立地が集まると思われたが、企業に近い場所はアクセシビリティが良く地代が高いことが予想され、最終的には企業から遠いゾーンにも立地している。商業施設の立地は基本設定の場合と比べ大きな変化は見られなかった。本条件でも商業施設は居住者の立地に近接するよう

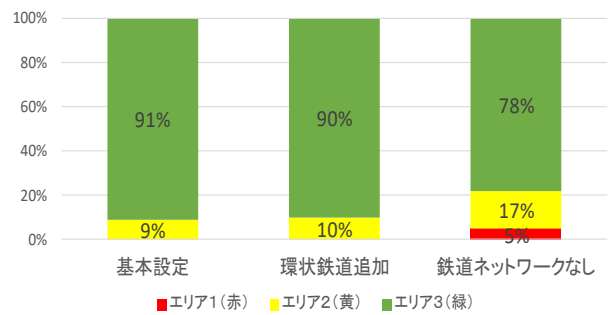


図-12 エリア別 (色) 別居住者立地割合
条件別比較

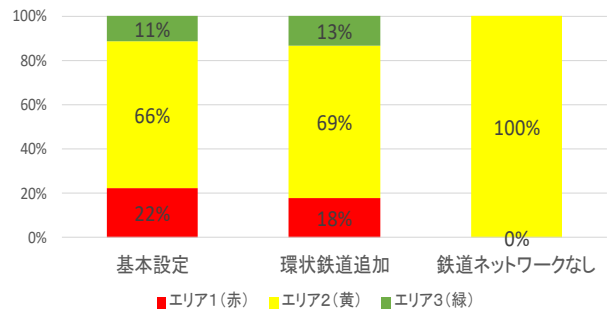


図-13 エリア別 (色) 別企業立地割合
条件別比較

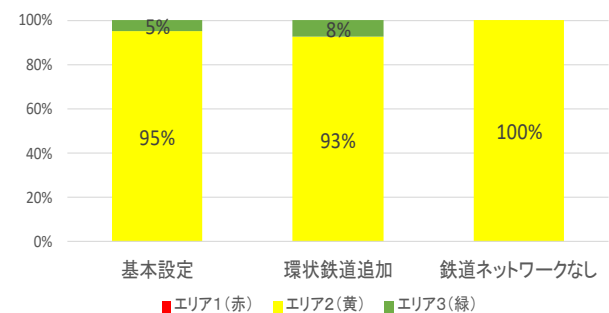


図-14 エリア別 (色) 別商業施設立地割合
条件別比較

に立地しており、居住者が立地しているゾーンの中
間のゾーンに立地している。また企業が立地して
いるゾーンは地代が考慮されたために立地が行われて
いないとみられる。商業施設の立地が以上のような
結果になった理由として、商業施設の利潤は直接鉄
道ネットワークの影響を受けるものではないという
ことが考えられる。

基本設定と交通ネットワークに変化を加えた場合
の結果について統計的なデータを作成した。基本設
定と仮想都市に環状に鉄道を追加した場合、交通ネ
ットワークがない場合のシミュレーションをそれぞ
れ 5 回行い、エリア 1 (赤色) とエリア 2 (黄色) ,
エリア 3 (緑色) のゾーンに立地する割合の 5 回
の平均のうち居住者の結果を図-12 に、企業の結果を
図-13、商業施設の結果を図-14 に示す。図-12 から
基本設定に比べて、鉄道ネットワークがない場合に、
中心部への居住者の立地が増加していることがわか
る。これは鉄道ネットワークがないため中心に近い
ゾーンでもアクセシビリティがそれほど高くないこ
とや、企業が一箇所に集まっていることで、他の黄
色や赤色のゾーンでは比較的地代が安くなってい
るためだと考えられる。企業については基本設定に
比べて、わずかではあるが立地が郊外化している
ことが図-13 からわかる。また商業施設については、
環状に鉄道を追加した場合に基本設定に比べ郊外部
(エリア 3) への立地割合がわずかに増加した一
方で、鉄道ネットワークがない場合はすべての商業
施設がより中心に近いエリア 2 に立地する結果にな
ったことが図-14 からわかる。

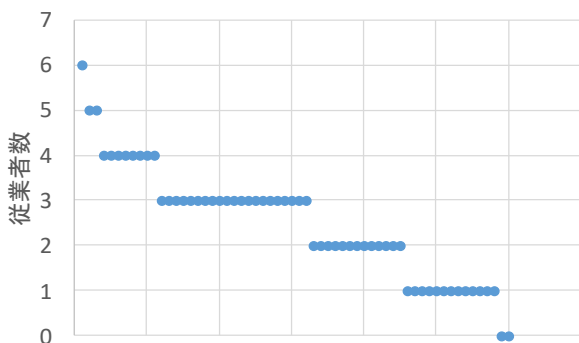


図-15 企業の従業員数 ticks=0

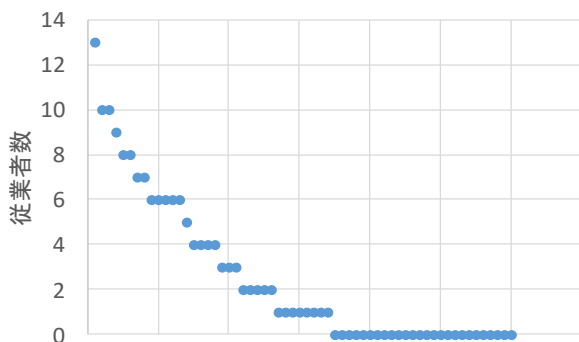


図-16 企業の従業員数 ticks=3000

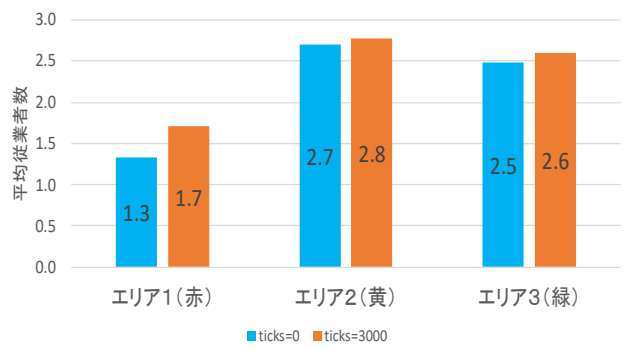


図-17 立地エリア別従業員数 時間経過比較

(3) 企業の従業員分析

企業に通勤する居住者 (従業員) について分析
を行った。ここでは基本設定でシミュレーションを行
い、企業ごとの従業員数と立地する場所ごとの企業
の平均従業員数の時間変化について統計的なデータ
を作成した。

図-15, 16は各企業に通勤する従業員数をカウント
しticks=0, ticks=3000の結果をそれぞれプロットし
たものである。縦軸が従業員数を表し、1つのプロ
ットが1企業に対応している。結果から、ticks=0の
時点での従業員数の分布に対して、そこから時間
が経過したticks=3000では従業員数の分布の幅が
広がっている。この理由としてticks=0では居住
者の通勤先をランダムに決めていること、またtick
s=3000ではシミュレーションにおいて居住者の
通勤先が企業の従業員数に応じて決定されるアル
ゴリズムが働いていることが考えられる。また時間
経過後のticks=3000では少数の多くの従業員を
持つ企業と多数の少ない従業員しか持たない企
業が発生していることがわかる。このことも本シ
ミュレーションが、居住者が新たな通勤先企業を
選ぶ際に、従業員が多い企業ほど選ばれやす
くなるモデルであることが理由であると考えられ
る。図-17は立地エリア別の企業の平均従業員
数のticks=0とticks=3000での比較を行
ったものである。図から、時間経過により全
てのエリアで平均従業員数が増加しているこ
とがわかる。その中でも最も中心部であるエ
リア1に立地する企業の平均従業員数の増加
が大きい結果となった。

5. まとめ

(1) 本研究のまとめ

持続可能な都市への転換のために都市構造変化に
ついての分析を行う必要がある。本研究では簡単
な構造を持つ仮想都市を対象に、構成要素とし
て居住者、企業、商業施設の3主体と交通ネ
ットワークを設定し、それら主体の行動を考
慮した都市構造変化モデルを構築し分析を行
うことで、都市構造変化における相互作用や
動的な変化について明らかにすることを目的
とした。構築したモデルでは各主体の効用
や利潤が立地場所や他主体との関係性から
決定さ

れ、その効用、利潤を大きくしていくように立地が変更され都市構造が変化していく設定とした。またそこに鉄道ネットワークを加えアクセシビリティや移動時間に影響を与えることとした。分析にあたっては基本となるモデルを構築し、そこから交通ネットワークが変化する場合についてシミュレーションを行った。その結果、主体の立地が他の種類の主体の立地状況に作用され決定されていることや、仮想都市の変化が初期の立地状況に影響を受けることがわかった。さらに基本設定で見られた都市構造の変化と比べて、様々に条件を変えた場合では都市構造の変化が異なることが明らかになった。鉄道ネットワークに変化を加え環状に鉄道を追加した場合、企業の郊外部への立地が増加することが明らかになった。また鉄道ネットワークの設定をなくした場合は、企業が1箇所に集中した一方で居住者は全体に分散するような変化となった。以上のように構築したモデルでは、主体間の相互作用や動的な変化を観察することができた。また様々な条件を与えることにより、異なる都市構造変化を表現することができたと思われる。

(2) 今後の課題

今後の課題として、モデルをより現実に近いものへと改善していく必要があると考える。本モデルでは主体の立地場所によって効用や利潤が変化し、それをより大きくするように立地場所が変わる設定としたが、立地場所の移動が行われる際のコストについては考慮していない。しかし立地場所を変更することでより大きな利潤を得られるが、立地移動のコ

ストがその変化分を上回るために立地の変更を行わない場合なども考慮できるようになるため、立地場所の移動にかかるコストを考慮に入れる必要があると考える。また現在のモデルでは交通として鉄道ネットワークのみの考慮になっているため、車での移動を考えた道路ネットワークをモデルに含めることで、さらなる分析結果が得られるようになると思われる。

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) 久米晴華・加藤和人・鈴木温：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，土木計画学研究・講演集，Vol.60, 33-07, 2019
- 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ーマルチエージェントシミュレーションを用いてー，都市計画論文集，Vol.52 No.1, pp.28-33, 2017年4月
- 3) 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書，第13巻第26号，pp.845-848, 2007年12月

?

SIMULATION OF URBAN STRUCTURE CHANGE CONSIDERING INTERACTION OF RESIDENT, OFFICE AND COMMERCIAL LOCATION

Kazuto KATO, Atsushi SUZUKI and Fuma TSURU