

ライフサイクルを考慮した都市構造シミュレーションモデル

Agent Based Modeling for Urban Structure Design Considering Human Lifecycle.

中野 友道*¹ 中野冠*² (慶應義塾大学大学院)

Nakano Tomomichi*¹ Masaru Nakano*², Keio University

To purpose of this paper is to analyze and design favorable urban structure using agent based modeling technique which considers human lifecycle. The author set up three different types of agent, 1) worker-agent who works and is unmarried, 2) family-agents who raises children and 3) elderly-agent who is over sixty-five. The developed simulator can vary agent's lifecycle, accessibility (moveable range of agents), probability of moving residence and vary the number and placement of public facilities. It is also possible to evaluate each case of migration. It is also possible to evaluate each case of migration. The results of the simulation can be conclude as follows,

(1)Improvement of accessibility would cause urban sprawl.

(2)Support moving residence for elderly benefit for compact city and better balance of residential generation.

(3)Making elderly live in the center of the city, is effective to make urban region compact and better balance of residential generation.

Key Words: Multi-Agent-Simulation, Urban Planning, Aging Society

1. 本研究の背景と目的

2005年10月の国勢調査を基に2006年12月に国立社会保障人口問題研究所が発表した人口予測によると、2050年には日本の総人口は2005年当時の人口の約4分の3の8000万人程度まで落ち込むと予想されている[1]。また、高齢者の人口は2050年までには3000万人、総人口における比率は40%になると推計されている。総人口が減少すると道路、駅及び交通システム、上下水道などの都市インフラや住宅などの稼働率は低下し、維持のためのコストが膨大になることが予想される。また、マイカーがないと生活の成り立たないスプロール化した地方都市の郊外地域においては、高齢者が量、比率ともに増加することは地域のコミュニティの存続に重大な支障をきたすことになる。

そのため、拡大・成長を前提として無秩序に郊外へと低密・拡大しすぎてしまい、中心市街地の賑わいが奪われてしまった都市を、まとまりのあるコンパクトな形態に変え、活気のある中心市街地を維持・形成していくことが、近年の都市計画の課題となっている。日本では青森市などで市街地居住、徒歩圏内での暮らしをコンセプトとするコンパクトな街づくりが進められている[2][3]。その際にはどのようにして人口密度を高めるか、中心市街地の必要施設の配置はどうするかといった都市の構造的な問題を検討し、具体的な都市政策につなげていく必要がある。

都市の土地利用変化・土地利用の配置・都市の成長や衰退を検討する際には、シミュレーションによる分析が盛んである[13]~[25]。これまでの研究では現実の都市の人口分布の変遷や土地の利用用途を再現することに成功しているが、シミュレーションの行動主体(住民)は就業地までの距離や土地代のみを考慮する単純化されたモデルである。しかし都市

の居住環境に対する要求は世代や仕事の有無など個人個人のライフステージによって異なるので、人口減少と高齢化の進むこれからの日本における都市構造のあり方を推定するには、就業している人間のみを行動主体とするには不十分である。そこで子育て世代や高齢者世代など異なる要求を持つ行動主体も取り入れたシミュレーションモデルが必要である。

本研究ではコンパクトな都市のデザインに活用することを目的として、ライフサイクルを考慮した世代別のエージェントからなる、都市の人口移動を評価できる都市構造のシミュレーションモデルを開発した。都市構造の要素は病院などの公共施設である。開発したシミュレータは施設配置を様々な変化させることが可能であり、配置を変化させることによって人々がどう移動するかを調べることで、公共施設の配置などの都市デザインを行う際のツールとして活用することが期待できる。

2. 本研究のシミュレーションモデル

2.1 マルチエージェントシステム

マルチエージェントシステムは構成要素となるエージェント間の相互作用もしくは、エージェントと環境との相互作用の結果、全体として思いがけない様相が現れる複雑系の現象の性質を分析する手法として有効である[4]。システムを構成するエージェントは基本的な性質としてそれぞれ、自律性(外部からの直接制御なしに行動する)、社会性(他エージェントとの相互作用)、反応性(環境に対する反応)、自発性(目標志向の自発的行動)を備えている。マルチエージェントシステムのシミュレーション言語には *artisoc*[4]、*NetLogo*[5]、*soars*[6]等がある。*artisoc*は構造計画研究所が開発したソフトであり、簡単なプログラミングですぐにモデルが構築できること、結果を視覚的かつ直感的に把握することに優れている。そのため、本研究では *artisoc* を用いてシミュレーションモデルを構築する。

*1 慶應義塾大学大学院 修士課程

*2 慶應義塾大学大学院 教授

2.2 シミュレーションモデルの基本設計

都市構造シミュレーションモデルを構築するに当たっては以下の3点を最初に規定する必要がある。

- (1). シミュレーションの対象範囲
- (2). 都市構造の要素
- (3). エージェントの種類

2.2.1 仮想都市の構造

シミュレーションの対象範囲は単一の仮想都市とし、都市は正方形のセルの集合体で構成する。都市のサイズ、すなわちセルの数は可変である。セルの区画は50メートル程度の正方形領域を想定している。区画の想定する面積とエージェントの人数を現実の都市の人口密度にバランスさせるため、本シミュレーションにおいては南北に30個、東西に30個の計900個で固定とした。エージェント数は必要最低限の都市規模を想定し、3000人とする。

2.2.2 都市構造の要素

国土交通省、内閣府のアンケート調査によると、単身働き手の世帯は職場から近いこと、交通の便が良いことを重視し[7]、子育て世帯はそれに加えて小中学校の距離や病院までの距離、喧騒がないことなどを重視し[8]、高齢者世帯は通院に便利であること、日常生活に必要な買い物に便利など徒歩圏で生活が可能であることを重視している[9]。すなわち、居住環境に関する要求は個人個人によって異なるものの、人々のライフステージによって分類できる。そのため本研究では、エージェントは単身で働いている世帯を表す young エージェント、働きながら子育てを行っている世帯を表す family エージェント、高齢者世帯を表す elderly エージェントの3種類を設定する。

都市構造の要素は、前項の要求分析の結果を踏まえて、地域の経済活動を支える「中心地」と重要な公共施設である病院を設置する。シミュレーションの空間スケールは単一の都市を仮定しているため、中心地は仮想都市の中心にただ1つだけ設置するが、病院に関しては数と設置場所を可変とし、これらの設置場所や数を変化させていくことで、各エージェントの移動がどのように変化するかを調べていく。仮想都市の概要を図1に示す。

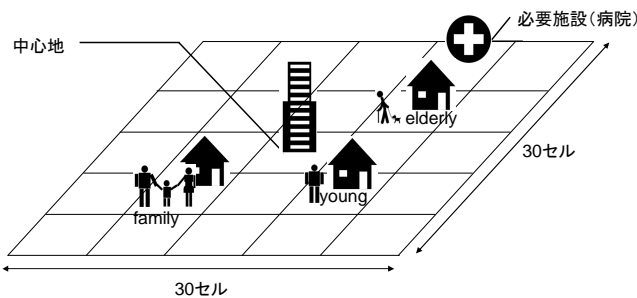


図1 仮想都市の概要

2.3 シミュレーションモデルの詳細設計

2.3.1 効用関数

都市の居住環境を表現するために、本研究ではシミュレーションを行う仮想都市の各セル (i, j) (i, j はそれぞれセルの x 座標と y 座標をそれぞれ表す) はそれぞれ関数によって決まる居住効用値を持っているものとする。効用関数は具体的には、中心地からの距離で決まる中心距離効用: $f_1(i, j)$, セル内に居住するエージェントの密度で決まる密度効用: $f_2(i, j)$, 病院からの距離で決まる病院距離効用: $f_3(i, j)$ の3種類の効用の和からなる。

各エージェントはそれぞれの志向に応じて3つの効用に重み係数 (w_1, w_2, w_3) を乗じた上で、各人にとって最も居住効用の値が高いセルに確率的に移動する。重み係数は合計値が1になるようにエージェント種類ごとに設定する。例えば elderly エージェントは病院までの距離を重視すると仮定すると、病院距離効用 $f_3(i, j)$ の重み係数 w_3 の値が大きくなる。セル (i, j) における効用関数 $F(i, j)$ の計算式は以下の通りである。

$$F(i, j) = w_1 f_1(i, j) + w_2 f_2(i, j) + w_3 f_3(i, j) \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^3 w_k = 1 \quad (2)$$

2.3.1.1 中心距離効用関数

中心距離効用 $f_1(i, j)$ の具体的な関数系としては[23]を参考にシグモイド関数を仮定する。

$$f_1(i, j) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{dis(i, j) - \max_dis}{2}\right)} \quad (3)$$

$dis_c(i, j)$ は中心地-セル (i, j) 間の距離、 \max_dis は中心地から最も遠いセルまでの距離である。シグモイド関数は図2に示すように中心地付近では効用が高く、ある距離を境に急激に効用が低下する。これは中心地付近には企業のオフィスなどの産業基盤や都市施設などが集中し経済的機会の面で得られる効用が高く、ある距離を隔てるとオフィス等が少なくなり郊外では効用が殆ど得られなくなる現実を再現している。

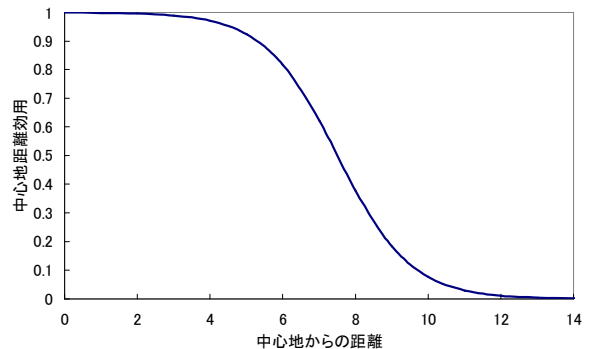


図2 中心距離効用関数

2.3.1.2 密度効用関数

密度効用 $f_2(i, j)$ の具体的な関数形は[23]を参考にセル (i, j) のエージェント密度 $p(i, j)$ の1乗に逆比例する関数とした。これは人口密度が高まりすぎると地価の高騰, 日常生活における喧騒, 交通事故の危険性の高まりなど生活環境が悪化することを定性的に模擬している。

$$f_2(i, j) = \frac{1}{1 + p_{i,j}} \quad (4)$$

中心距離効用関数と密度効用関数を組み合わせることで, 経済機会の充実している中心市街地に働き手世帯は近づこうとするが, 人が集まりすぎるとそれを嫌って郊外に転出する人も増えてくるという斥力の関係を表現する。中心地と病院の位置は本シミュレーションにおいては変化しないので, ステップ毎にアップデートされるのは密度効用関数のみである。

2.3.1.3 病院距離関数

高齢者や障害者を含む誰もが様々な製品や建物やサービスなどを支障なく利用できるかどうか, あるいはその度合いのことをアクセシビリティ (accessibility) という[27]。[27]は店舗の分布と人口分布の比例関係を調べ, アクセシビリティは施設からの距離に応じて指数関数的に減衰するものであることが示している。そのため病院距離効用 $f_3(i, j)$ は以下のように距離に応じて減衰する指数関数とする。

$$f_3(i, j) = \exp(-\alpha \cdot dis_h(i, j)) \quad (5)$$

$dis_h(i, j)$ は病院とセル (i, j) との距離, α は距離抵抗と呼ばれる係数であり, エージェントが病院までの距離をどの程度重視しているかを表している。 α の値が大きいほどアクセシビリティは目的地と居住地の間の距離の増加に応じて早く減衰することを意味する。距離が 5, 10 の時に効用が半減するような距離抵抗 α の値は $\alpha=0.0693$, $\alpha=0.1386$ であり, それを図示したものを図3に示す。商業・医療施設へのアクセシビリティと高齢者の居住パターンとの関係を調べた研究[16]では, 高齢者の商業・医療施設に対するアクセシビリティは著しく減衰するため, これを補うべく高齢者は商業・医療施設に対して顕著に近い場所に居住していることが示されている。

2.3.2 エージェントの設定・行動

それぞれのエージェントはパラメータとして年齢 t , 居住地移動確率 p , 効用関数の重み係数 (w_1, w_2, w_3), 死亡確率 g を持っている。

人口問題研究所の 2006 年度の調査データ[1]より, 高齢者の居住地移動の件数は若年層に比べて少ないことが示されているため, elderly エージェントの居住地移動確率は young エージェントや family エージェントよりも低めに設定する。死亡確率 g は厚生労働省の算出している簡易生命表[10]を参考

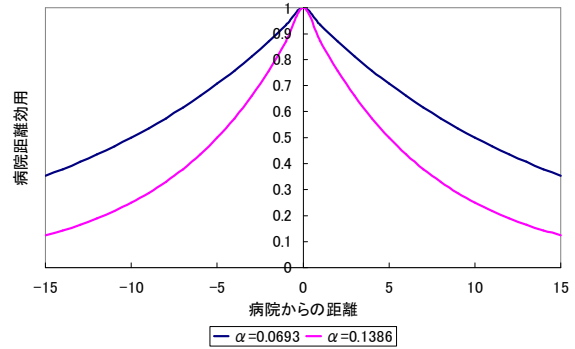


図3 病院距離効用関数

に作成した, 年齢 t によって値の決まる関数 $g(t)$ で表すものとする。

$$g(t) = \frac{0.00007 \exp(0.0815t) + 0.00004 \exp(0.0812t)}{2} \quad (6)$$

また, young エージェントには婚姻確率を, family エージェントには子供の数をそれぞれ固有のパラメータとして持たせる。young エージェントは 30 歳のときに一定確率 (婚姻確率) で family エージェントへと変化し, family エージェントに変化しなかった young エージェントと family エージェントは 65 歳になったら elderly エージェントへと変化する。エージェントタイプが変化すると価値観も変化し, 重視する効用がそれまでとは異なる。例えば young エージェントが elderly エージェントに変化する場合は, 中心地に少しでも近いところへ移動しようとする傾向から病院に近いところへ移動することを志向する。これは仕事の引退や体力の低下から自然環境や徒歩圏での生活を可能とする居住環境を求めるようになる。また, family エージェントは 55 歳になったら, 子供の数に応じて 18 歳の young エージェントを生成する。エージェントの設定・行動をまとめたものが図4, エージェントのライフサイクルを図5に示す。

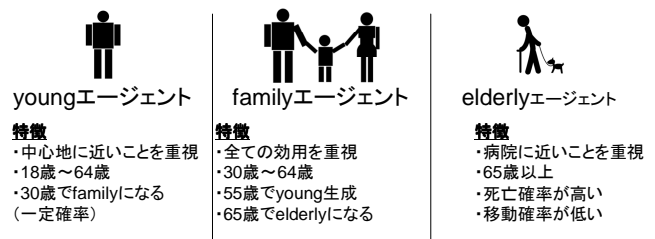


図4 エージェントの設定・行動

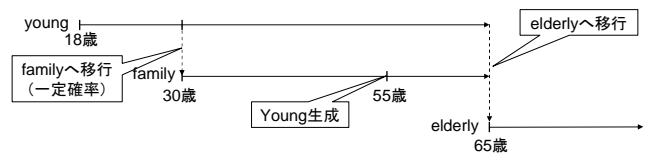


図5 エージェントのライフサイクル

2.4 シミュレーションフロー

シミュレーションは以下のような手順で進められる。

- ①. 必要施設（病院）の個数・配置とタイプごとのエージェント数を入力（初期エージェント配置はランダム）
- ②. セルごとに人口密度を計算し、居住効用値を算出
- ③. エージェントは各自の効用が最大となるセルに一定確率で移動
- ④. シミュレーションの1ステップ終了(1ヶ月を模している)
- ⑤. 12ステップ(1年間)が経過したらエージェントは加齢、死亡、新エージェント生成、エージェントタイプの変化など年単位のイベントを処理する。これ以後ステップが12の倍数(12n)のときに、年単位でのイベントは処理される。
- ⑥. 1200ステップ(100年)経過したらシミュレーション終了

以上のシミュレーションフローを図6に、年単位でのイベントを表1に示す。

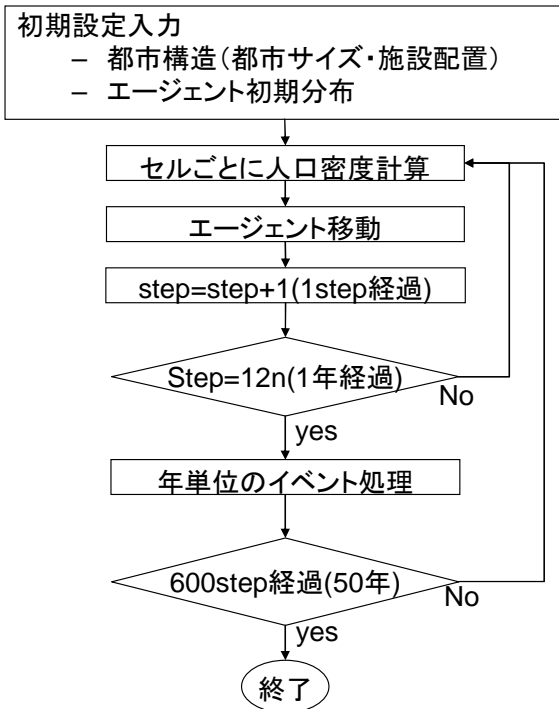


図6 シミュレーションフロー

Agent	年単位のイベント
young	加齢 死亡 30歳でfamilyへ移行
family	加齢 死亡 55歳でyoung生成 65歳でelderlyへ移行
elderly	加齢 死亡

表1 エージェント別の年単位でのイベント一覧

次にシミュレーション例を図7に示す。黒い丸はエージェントを、色の濃さはエージェント数を表している。各エージェントは自分にとって最も効用値の高いセルに毎ステップ毎に一定の確率で移動するが、効用値の等しいセルが複数あった場合はランダムにその中から1つのセルを選択する。効用値の計算及び移動するか否かの判定は全エージェントで一斉に行われるものとする。消滅することになったエージェントは仮想都市の中から取り除かれる。

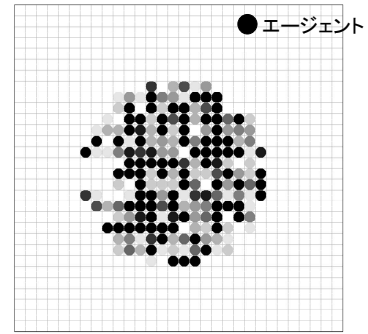


図7 シミュレーション例

2.5 シミュレーションの評価方法

シミュレーションの評価はどの程都市がコンパクトであるかを示す「コンパクト度」と、各世代がバランスよく入り交じって居住しているかを示す「居住分離度」という二つの指標名をつけて表す。2つの指標の計算式を以下に示す。

$$\text{コンパクト度} = \text{エージェントの居住しているセル数} \quad (7)$$

$$\text{居住分離度} = \frac{\text{居住エージェントのうち, elderlyが50\%以上のセル数}}{\text{エージェントの居住しているセル数}} \quad (8)$$

コンパクト度は都市の広がり具合を表す。エージェントが存在しているセルの数が多ければ多いほど、1つのセルあたりに存在しているエージェントの数は少なくなり、それだけ都市がスプロールしていると考えられる。逆にエージェントの存在しているセルが少なければ少ないほど、1つのセルあたりに存在しているエージェントの数は多くなり、それだけ都市がコンパクトになっていることを示している。

居住分離度は直接的には都市の中で高齢化している地域がどの程度存在しているかを表す。換言すればこの値が低いほど各世代がバランスよく居住している街であるといえる。本研究においてはこの指標を特に重視し、居住エージェントに占める elderly エージェントの比率が50%を越すセルの数が極力少ないことが望ましい都市構造であると仮定している。高齢者の割合が高すぎる地域は都市インフラの整備・緊急時の助け合いなど地域コミュニティの基本的な運営すら困難であり、望ましくないためである。

居住者個々人の居住環境に対する満足度を計り、その総和が最大化するような都市構造が良いというミニサムの考え方もある。しかし本研究においては、日常生活を下支えし、

いざというときには救援者となる若者が周囲にいない高齢者の数が極力少なくなることが重要であると考え、この指標を用いた。これはミニマムに対して最小値を最大化するミニマックスの考え方である。

2.6 変化させるパラメータ

次に変化させるパラメータについて述べる。シミュレーションは馬鹿馬鹿しい程シンプルに、という KISS の原理 (Keep It Simple, Stupid) [28] に基づき、極力パラメータは少なくしたい。そのため、スプロール化した都市をコンパクトに縮退させるための方策を列挙し、それをパラメータ数が最も少なくなる形でモデルに組み込む。研究背景で述べた通り、コンパクトな街づくりは様々あるが、具体的には以下のようにまとめることができる。

- 1). 交通弱者の日常生活における移動可能範囲を広げる
- 2). 人々の居住地移動を促進する
- 3). 必要施設の配置を検討し市街地居住を推進する

これらをシミュレーションモデル上で表現するため、以下の5つのパラメータを用いる。

- 1). elderly エージェントの移動可能範囲
- 2). elderly エージェントの居住地移動確率
- 3). 病院位置
- 4). 病院個数
- 5). 年数経過によるエージェントのライフサイクルの変化

本研究ではこれらの値を変化させることで、「もし~なら」と仮定を変えて結果を評価するアプローチである what if 分析を行う。例えば elderly エージェントの居住地移動確率を変化させることは「もし高齢者の居住地移動の総数が増えたり、日常生活における移動可能範囲が増えたり、人口移動や人口分布、都市のコンパクト度やミックス度はどのように変化するか。」という what if 分析を行うことに相当する。この5つのパラメータを用いて現実世界とシミュレーションをトランスレーションし、都市計画における政策提言につなげることが本研究の狙いである。以下、5つのパラメータについてそれぞれ説明する。

(1). elderly エージェントの移動可能範囲

elderly エージェントの移動可能範囲は(式 5)の病院距離効用関数の距離抵抗 α の値を変化させることで擬似的に表す。図 3 に示したように距離抵抗 α の値は小さければ小さいほど病院から離れても効用が低下しにくい。これは逆に言えば病院から離れていても病院に行くことに抵抗を感じないという意味である。本研究では α の値は 0.1386 を基本とする。 $\alpha=0.1386$ は必要施設から居住地までの距離が 5 セル分だけ離れた際に距離効用関数の値が半減する。セルの一边当たりの長さは厳密には定義していないが 50 メートル程度を想定して

いるため、距離 5 セル分で効用が半減することは、250 メートル程度の距離で効用が半減することを意味する。この値は高齢者の徒歩生活圏の調査[11]を参考に設定した。

また、現実の世界で高齢者の移動可能範囲が広がったケースをシミュレーションするために、 $\alpha=0.0693$ の場合の人口移動の様子の変化も調べる。 $\alpha=0.0693$ の時は必要施設から居住地までの距離が 10 離れた時に効用関数の値が半減する。つまり移動可能距離が倍の 500 メートル程度にまで広がることを意味する。この様子を二次元平面状で定性的に表したものが図 7 である。色が薄くなるほど効用が低下することを意味する。

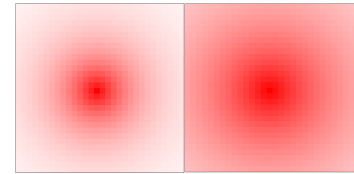


図 7 二次元平面上の病院距離効用関数値
(左: $\alpha=0.1386$, 右: $\alpha=0.0693$)

(2). 居住地移動確率

ステップ毎に居住地を移動する確率は young エージェントと family エージェントは 0.02, elderly エージェントは 0.01 を基本値とする。値に関しては人口問題研究所の調べた居住地移動の1年間当たりの件数[1]を参考に決定した。現実の世界の高齢者の居住地移動が若者並に活発になった場合に人口移動はどのように変化するかをシミュレーションするため、elderly エージェントの移動確率が 0.02 に変化させた場合の人口移動の様子の変化も調べる。

(3). 病院位置

病院の位置に関しては仮想都市上の中心地からの距離を (1, 2, 3...10) と変化させていく。例えば病院を中心地に設置することは、elderly エージェントの居住環境に対するインセンティブを街の中心地に据えることであり、高齢者の市街地居住への誘導策を擬似的にシミュレートすることを意味する。逆に病院を中心地から離して設置することは、高齢者のインセンティブを郊外に据えることであり、高齢者を郊外のニュータウンに誘導する政策を擬似的にシミュレートすることを意味する。

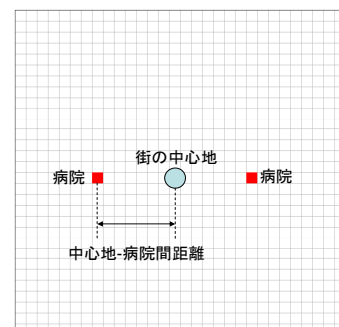


図 8 病院設置の概念図 (病院 2 つ, 中心地-病院間距離 7)

(4). 病院個数

病院の個数が1つの場合は、街の中に高齢者の必要施設が一箇所に集中していることを意味する。2つの場合は、病院は中心地を挟んで左右に等距離で設置するものとする。病院設置の様子を図示したものが図8である。

(5). 年数経過によるエージェントのライフサイクルの変化

ライフサイクルの変化は young エージェントが family エージェントに変化する確率と family エージェントが生成する子供の数の変化によって表わされる。例えば現在日本の出生率は約1.4なので[12]、婚姻確率を0.7、世帯あたりの子供の数を2.0とすれば出生率を再現することが可能である。実験では婚姻率を0.7に固定し、子供の数を変数とすることでシミュレーションを行う。

なお、elderly エージェントの移動可能範囲=5、居住地移動確率=0.01、病院位置=中心地、病院個数1個のケースをシミュレーションにおける基本パターンとする。

3. シミュレーションの評価・分析

表2 シミュレーション実験に用いるエージェント総数と内訳を示す。この割合は人口問題研究所の2006年度における世代別人口比の統計データ[1]を参考にして決定した。2006年時点では日本の18歳以上の総人口のうち、18歳~30歳の占める割合が15%、30歳から64歳までが60%、65歳以上が25%である。30歳から64歳のエージェントのエージェントタイプの割合については、70%がfamilyエージェントで30%がyoungエージェントであるとする。これは30歳を超えたyoungエージェントが70%の確率で婚姻してfamilyエージェントになると仮定したためである。以上の計算より、タイプ別ごとのエージェントの割合はyoungエージェント20%、familyエージェント55%、elderlyエージェント25%とした。

エージェントタイプ	人数
young	1000
family	1250
elderly	750
total	3000

表2 エージェントの内訳

シミュレーションは、エージェントの加齢・消去・生成といった年単位のイベントを行わず、エージェントのライフサイクルを更新しない状態で、同一のエージェントが居住地移動を繰り返すパターンと、ライフサイクルを更新するパターンの2通りを行う。

ライフサイクルを更新しないパターンにおいては、elderly エージェントの移動能力（日常生活における移動可能範囲と居住地移動確率）と病院の個数、病院の位置の4つのパラメータの変化の組み合わせごとの人口移動の様子を調べていき、最終的には1200ステップ後の都市のコンパクト度(式7)と居住分離度(式8)を出力する。シミュレーション終了後のデータのみを出力するのは、ある程度のステップを経過するとエー

ジェントが準定常状態に落ち着くためである。シミュレーション終了後、その結果を基に、高齢者の移動能力の変化が都市の人口分布に与える影響・病院の位置や個数の変化が都市の人口分布に与える影響を、それぞれ分析をしていく。特に高齢者の移動能力に関しては詳しく結果を分析する。

ライフサイクルを更新するパターンにおいては、elderly エージェントの移動能力（移動可能範囲と居住地移動確率）、病院位置、病院個数は基本パターンのみとし、出生率が様々に変化すると今後の都市の人口分布にどのような影響を与えるかを分析する。シミュレーションはそれぞれのケースにつき20回ずつ行い、その平均値を結果とする。

3.1 高齢者の移動能力の影響分析

ライフサイクルを更新しないケースにおいて、病院の設置位置と都市のコンパクト度の関係を、高齢者の移動能力ごとにプロットしたものを図9に示す。elderly エージェントの居住地移動確率を上げるとエージェントの居住しているセル数は低下し、都市のコンパクト化が進んでいる。一方、居住地移動確率が0.01の場合には、移動可能範囲が大きい方がエージェントの居住しているセル数が多く、都市がスプロールしている。ただし、移動可能範囲と移動確率を共に上げた場合には、都市はコンパクトに縮退している。いずれのケースでも病院を中心地から離して郊外の方に設置するにつれ、エージェントの居住しているセル数が増大している。これは郊外に必要施設を誘致すると都市のスプロール化につながるという現実の状況を再現しているといえる。

病院の個数が2つの場合も、病院が1つの場合と同様にelderly エージェントの居住地移動確率を上げることが都市のコンパクト度に寄与している。居住地移動確率を上げずに移動可能範囲を広げると、病院が中心地に近い場所に設置されているケースでは、エージェントの居住しているセル数が増大し、都市市域が拡大してしまっている。ただし、居住地移動確率を上げた上で移動可能範囲を広げると、都市のコンパクト化が進んでいる。

ライフサイクルを更新しないケースにおけるelderly エージェントが50%以上を占めているセルの比率、すなわちエージェントの居住分離度と病院の設置位置の関係を表したものを図10に示す。elderly の居住地移動確率が小さく、移動可能範囲が大きいときに、世代毎の居住分離が進んでしまっている。特に病院-中心地間の距離が近いほどその傾向は顕著である。これは移動可能範囲が広がったことでelderly エージェントが必ずしも病院の近くに居住しなくなり、中心地に少しでも近い場所にyoung エージェントやfamily エージェントが居住してしまっただけであると考えられる。ただし、居住地移動確率が高い場合は居住混合がよく進んでおり、コンパクト度と同様に高齢者の居住地移動確率が重要なパラメータであることが分かる。

病院を中心地から1の距離に2つ設置した場合における、elderly エージェントの仮想都市上の居住分布を表したものを図11に示す。色が濃いほど居住しているセル内のelderly エー

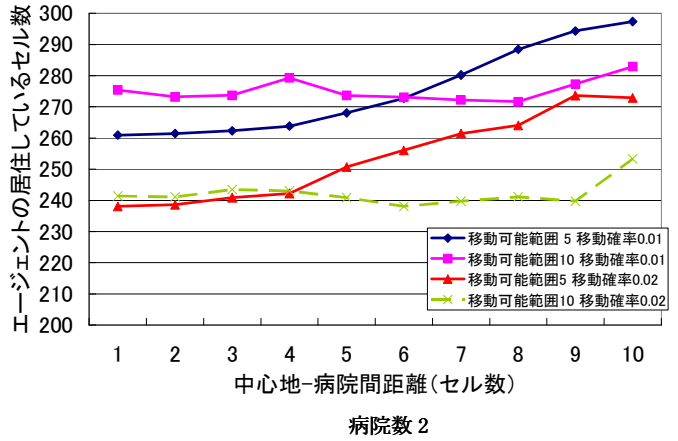
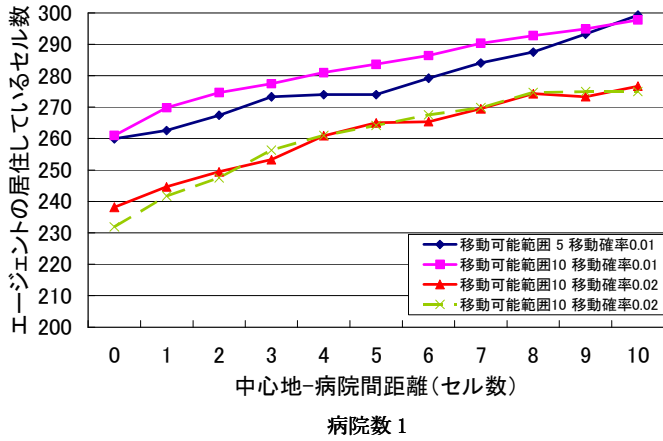


図9 elderly エージェントの移動能力別にみた病院位置と都市のコンパクト度の関係

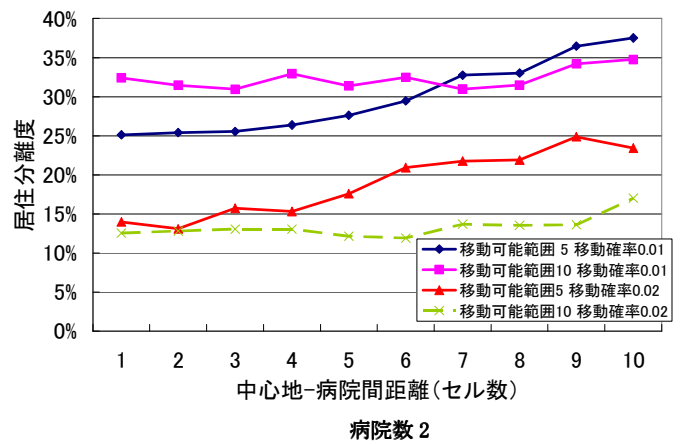
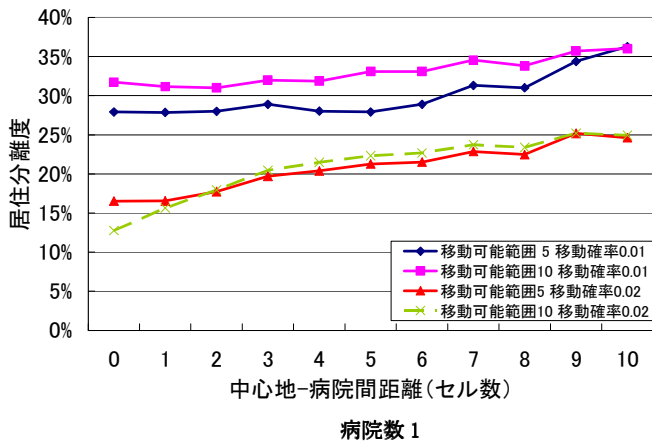


図10 elderly エージェントの移動能力別にみた病院位置と都市の居住分離度の関係

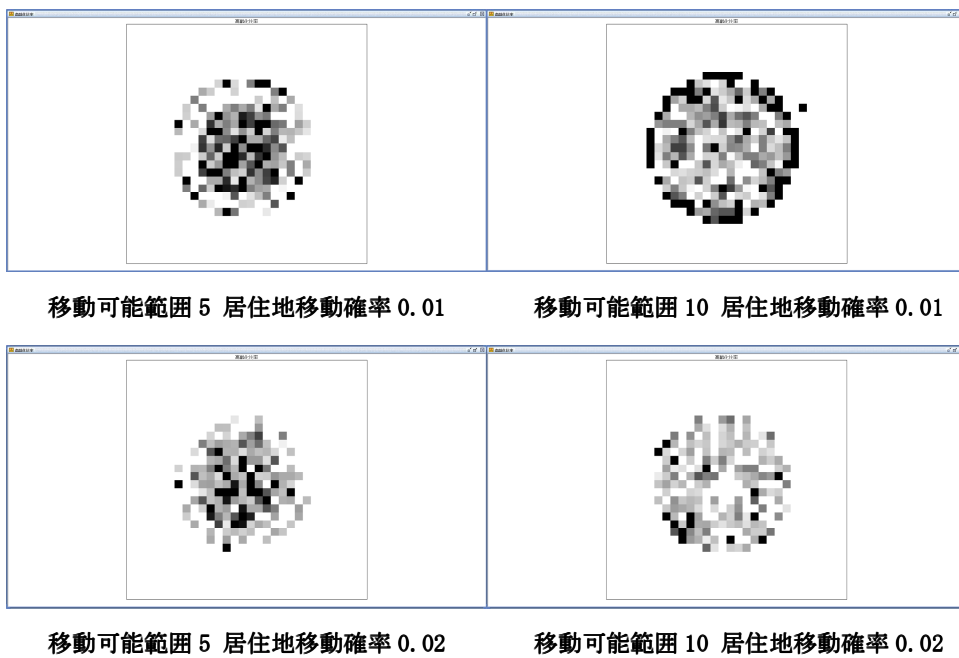


図11 仮想都市の各セルに占める elderly エージェントの比率 (病院個数 2 中心地-病院間距離 1 のケース)

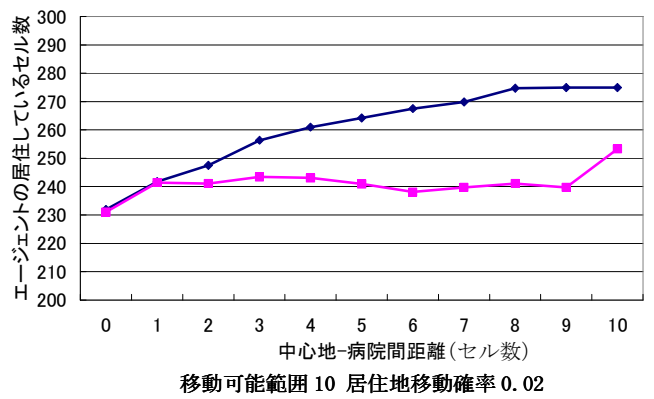
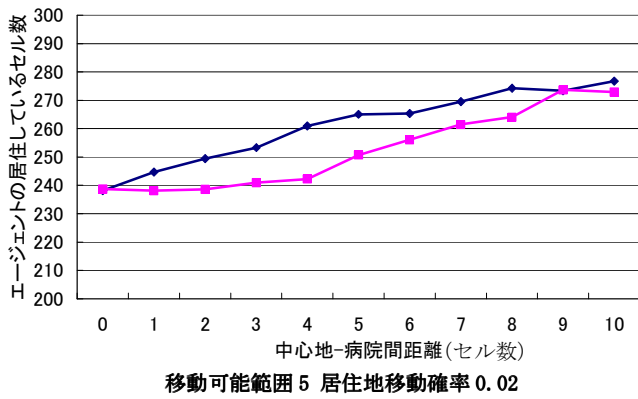
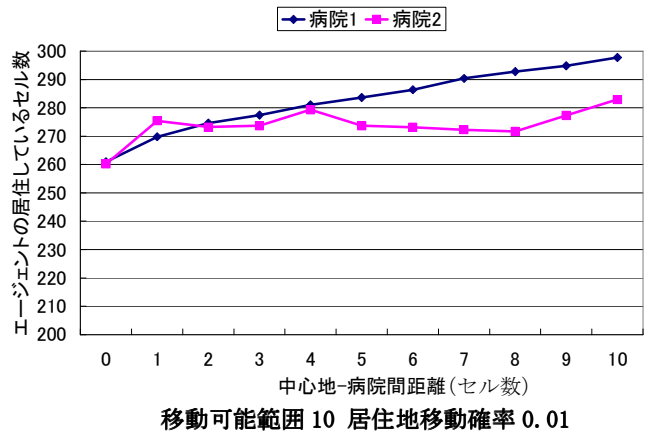
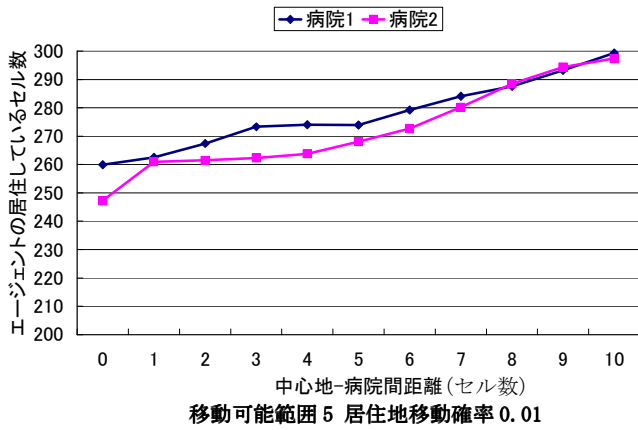


図 12 病院個数別にみた病院位置と都市のコンパクト度の関係

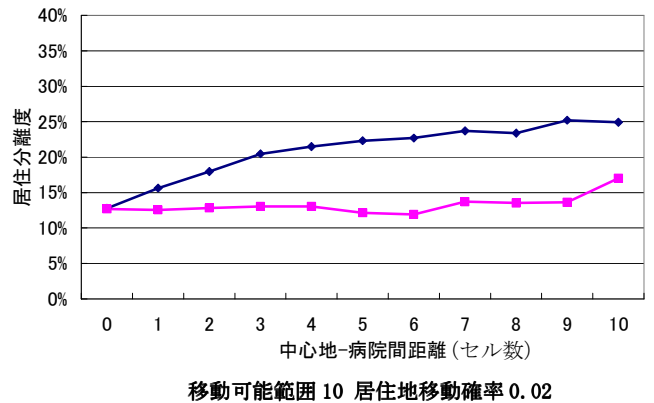
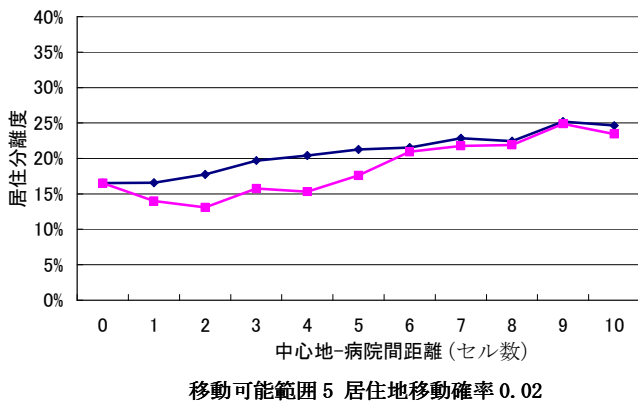
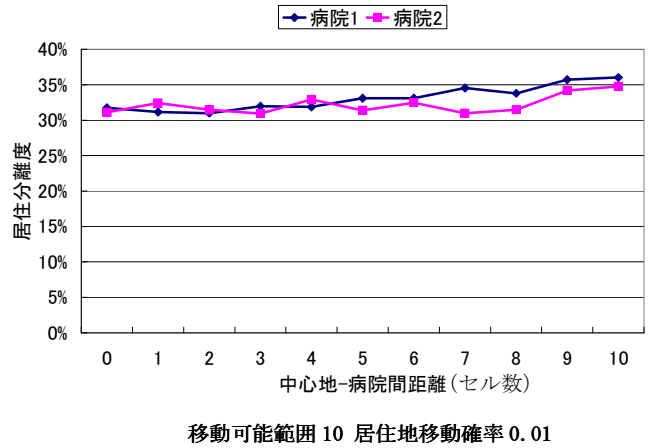
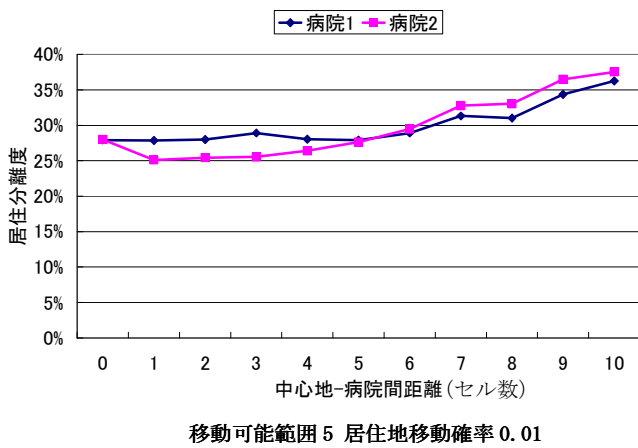


図 13 病院個数別にみた病院位置と都市の居住分離度度の関係

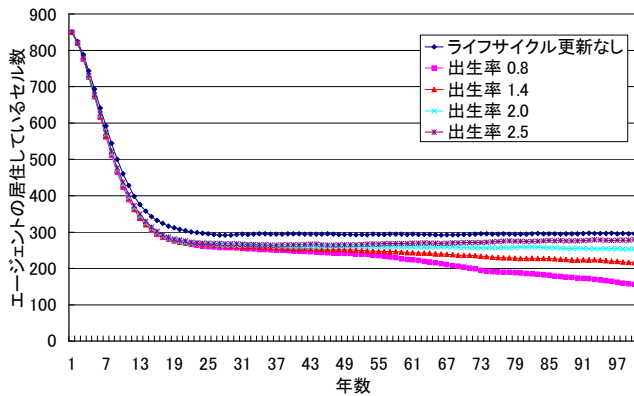


図 14 出生率と都市のコンパクト度の関係

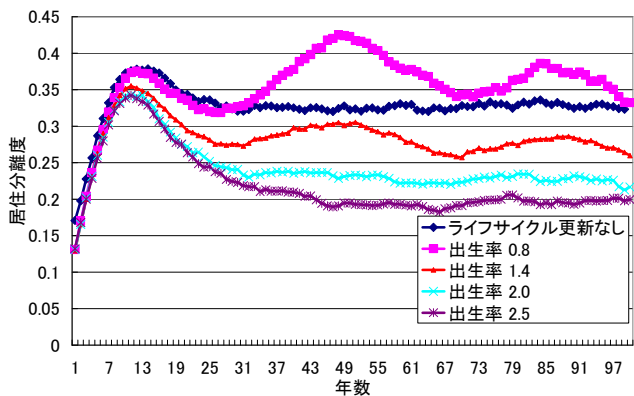


図 15 出生率と都市の居住分離度の関係

ジェントの比率が多いことを表す。居住地移動確率が低く移動可能範囲が広い場合には、郊外に居住する elderly エージェントが増加し、都市がスプロールしている様子が伺える。高齢者の移動能力の向上（日常生活における移動可能範囲・居住地移動確率）が都市のコンパクト化と居住混合に与える影響を以下にまとめる。

・日常生活における移動可能範囲

病院を中心地の近くに設置されているときに移動可能範囲を広げると、移動可能範囲が狭い場合よりもエージェントの居住するセル数は増加し、都市のスプロール化につながる。移動可能範囲を広げることは居住混合にも寄与せず、居住分離を促進する。

・居住地移動確率

病院の位置によらず、都市のコンパクト化と居住混合の促進の両方に寄与する。

3.2 病院の個数の影響分析

図 12, 13 は図 9, 10 の結果を elderly エージェントの移動能力ごとに分けて病院個数で比較したものである。elderly の居住地移動確率が低いケースでは、病院が 1 つでも 2 つでも、都市のコンパクト度・居住分離度ともにシミュレーション結果に大差はなかった。このことから都市のコンパクト化や世代間の居住混合のためには病院の個数よりも高齢者の居住地移動確率の方が重要であると考えられる。

高齢者の居住地移動確率・日常生活における移動可能範囲が共に大きいケースでは、病院が市街地にある場合は病院が 1 つでも 2 つでも都市のコンパクト化・居住分離度には大差はない。ところが病院を郊外に設置するに従って、病院が 1 つの場合は都市域が拡大し、居住分離が進んでいく一方、病院が 2 つの場合は病院をどこに建ててもコンパクト度・居住分離度ともに一定に近い値をとっている。

3.3 ライフサイクルの変化の影響分析

ライフサイクルの変化などの年単位でのイベントをシミュレーションに取り入れて、出生率ごとに都市のコンパクト度と居住分離度の関係を時系列で出力したものを図 14, 15 に示す。出生率が低くなるにつれて、エージェントの居住しているセル数はわずかながら減少し、都市のサイズは縮退しているものの、人口の変動が都市のサイズに与える影響は余り高くない。このことから一度拡散した都市を縮退させることは困難であることが分かる。また、出生率が低く人口ピラミッドに占める高齢者の比率が高くなるにつれて、居住分離度が進んでいる。このことから少子化対策は居住分離を防ぐのに効果的であることが分かる。

4.1 都市構造シミュレーションの結果

本研究では、本研究ではコンパクトな都市のデザインに活用することを目的として、働き手世代・子育て世代・高齢者世代の 3 世代の異なるエージェントからなる、都市の人口移動の評価を行う都市構造シミュレーションモデルをマルチエージェントシステムのシミュレーション言語 *artisoc* を用いて開発した。開発したシミュレータによる人口移動の評価の結果、以下の 3 つの知見が得られた。

(1). 高齢者の日常生活における移動可能距離を広げること、都市のスプロール化や世代別の居住分離の促進につながる。

(2). 高齢者の居住地移動確率を上げて居住地移動を促進させると、都市のコンパクト化や各世代の混住に寄与する。従って、今後の日本の都市計画においては高齢者の引越しを支援することが重要である。

(3). 病院などの高齢者の必要施設は、郊外に設置するよりも市街中心部に設置した方が全体として都市のコンパクト化と各世代の居住混合につながる。

4.2 おわりに

都市域がコンパクトにまとまりつつ世代ごとの居住分離が起こらない街づくりのためには、高齢者世代の日常生活の移動可能範囲を広げるよりも、高齢者世代の居住地移動を促進することの方が有効であることが分かった。しかしながら、現実の街づくりにおいては、LRT (Light Rail Transit) の敷設など高齢者の日常生活における移動の問題を解決する都市計画が盛んに叫ばれている一方、引越しの後押しを行う政策は皆無に等しい。人間には自分の住んでいる家や地域に愛着があるため、今の居住地を確保したまま日常生活の移動を満足

させることが望ましい都市計画の方向性と言える。しかし、人口減少・高齢化が今この瞬間も進行している日本において、皆が皆、居住地をまったく変えずに生活の質を維持することは難しい。従って今後の日本において大切なことは、各都市が自らの魅力を競い合って、新しく外部の人間にどんどん来てもらい活発な交流を行うことである。本研究がそのための助けの一端となれば幸いである。

なお、本シミュレーションでは考慮に入れなかった土地の高さの概念、都市の中に公共交通の普及など、シミュレータには取り入れなかった都市計画上の重要な検討事項はまだまだ沢山ある。更にモデル開発・分析を進めて、様々な都市計画を検討するのに役立てることが今後の課題である。

参考文献

- [1] 国立社会保障・人口問題研究所：第6回人口移動調査，2006年
<http://www.ipss.go.jp/ps-idou/j/migration/m06/mig06.asp>
- [2] 海道清信：コンパクトシティの計画とデザイン，pp. 1-318，学芸出版社，2007年12月
- [3] 山本恭逸：コンパクトシティ-青森市の挑戦，pp. 1-164，ぎょうせい，2006年7月
- [4] 山影進：人口社会構築指南，書籍工房早山，pp. 1-446，2007年1月
- [5] ノースウエスタン大学 NetLogo ダウンロードホームページ
<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>，（アクセス日 2010年2月5日）
- [6] H.Deguchi, H.Tamura and T.Shimizu：SOARS：Spot Oriented Agent Role Simulator, *Proceedings of AESCS'04*, 49-56 2004
- [7] 国土交通省：住宅需要実態調査，2003年
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha03/07/071125_.html
- [8] 国土交通省：子育て世代の居住環境に関するアンケート調査，2009年
http://www.mlit.go.jp/pri/shiryoushiryous_kosodate.html
- [9] 内閣府：高齢者の住宅と生活環境に関する意識調査，2006年
<http://www8.cao.go.jp/kourei/ishiki/kenkyu1.htm>
- [10] 厚生労働省：簡易生命表の概況について，2009年
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/life/life08/index.html>
- [11] 札幌市：平成17年度第2回市民アンケート調査
http://www.city.sapporo.jp/somu/shiminokoe/citi_enq/h1702/index.html
- [12] 国立社会保障・人口問題研究所：少子化統計情報
<http://www.ipss.go.jp/syoushika/site-ad/Index-tj.htm>
- [13] 渡辺公次郎，大貝彰，五十嵐誠：セルラーオートマタを用いた市街地形態変化のモデル開発，日本建築学会環境系論文集，第533号，pp. 105-112，2000年7月
- [14] 豊田星二郎，友清貴和，松永安光，本間俊雄：セルラーオートマタを用いた市街地形態変化のモデル開発，日本建築学会計画系論文集，第568号，93-100，2003年6月
- [15] 滝澤重志，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，第528号，pp. 267-275，2000年2月
- [16] 横田敬司，吉川徹：幹線道路網を考慮した階層型マルチエージェントによる都市シミュレーション-，日本建築学会大会学術講演梗概

概集（関東），A-2分冊，p. 399，2001年9月

- [17] 滝澤重志，河村廣，谷明勲：Multi-Agent Urban Simulatorによる都市シミュレーション-バージェスの同心円モデルの再構築-，日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），F-1分冊，p. 661，2002年8月
- [18] 奥俊信：土地利用間の親和度に基づく土地分凝形態の特徴-マルチエージェントの満足度戦略による土地移転モデル-，日本建築学会環境系論文集，第588号，pp. 71-77，2005年2月
- [19] 奥俊信：用途地域制度に基づいた土地利用用途間の親和度設定による土地利用形態-マルチエージェントの満足度戦略による土地移転モデル その2-，日本建築学会環境系論文集，第605号，pp. 147-154，2006年7月
- [20] 奥俊信：主に空地を介した土地利用移転によって形成される土地利用パターンの特徴-マルチエージェントの満足度戦略による土地移転モデル その3-，日本建築学会環境系論文集，第617号，pp. 87-94，2007年7月
- [21] 安藤陽介，横田敬司，吉川徹：都市衰退家庭での空き家の発生と集積及び空地の商業への影響に着目したマルチエージェントシステムによる都市シミュレーション，（社）日本都市計画学会 都市計画論文集，No. 40-1，2005年4月
- [22] 戸川卓哉，林良嗣，加藤博和：マルチエージェントアプローチによる均衡型土地利用モデルの拡張，土木計画学研究・論文集 37号，論文No. 327，2008年6月
- [23] 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
- [24] 今尾洋平，塚田健人，田村亨，有村幹治：マルチエージェント・シミュレーションを用いた人口移動分析への適用可能性，土木計画学研究・論文集 32号，論文No. 76，2005年5月
- [25] Lowry, I.S.: A model of metropolis, RM-4035-RC, RAND Corporation, Santa Monica, California, 1964
- [26] 増山篤
商業・医療施設へのアクセシビリティと高齢者の居住パターンとの関係-千葉県浦安市を対象とした実証分析-，（社）日本都市計画学会都市計画報告集 No. 4，2005年11月
- [27] 貞広幸雄：都市人口分布と店舗分布の比例関係についての考察，日本建築学会計画系論文報告集 第432号 1992年2月
- [28] Axelrod, R.: The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration, Princeton University Press. 1997