

2009 年度 修士論文

**少子高齢化が都市構造に及ぼす影響のシミュレーション分析  
ーミクロ経済学に基づいたセルオートマトンー**

Simulation analysis of urban structure in an aging society with a falling birthrate  
-A cellular automata based on microeconomic model-

吉川 知秀

Kikkawa, Tomohide

東京大学大学院新領域創成科学研究科

社会文化環境学専攻







## 目次

第1章 序論.....	1
1.1 背景.....	2
1.1.1 人口減少、少子高齢化.....	2
1.1.2 コンパクトシティ.....	4
1.2 研究の目的.....	5
1.3 論文の構成.....	5
第2章 研究手法.....	7
2.1 CA.....	8
2.1.1 CAとは.....	8
2.1.2 CAの歴史.....	9
2.1.3 CAと都市.....	9
2.2 ミクロ経済学.....	10
2.2.1 ミクロ経済学とは.....	10
2.2.2 Alonso(1964)の付け値地代モデル.....	11
2.3 CAとミクロ経済学.....	14
第3章 先行研究の整理と本研究の位置づけ.....	15
第4章 モデル.....	17
4.1 基本モデル.....	18
4.1.1 想定する経済.....	18
4.2 指標.....	20
4.2.1 集中度指数.....	20
4.2.2 混在度指数.....	21
4.2.3 都市半径.....	21
4.2.4 標準偏差.....	22
4.2.5 密度.....	22
第5章 シミュレーション1.....	25
5.1 修正モデル.....	26
5.1.1 想定する経済.....	26
5.2 シミュレーションの設定.....	27
5.2.1 初期分布.....	27

5.2.2	シミュレーション手順	28
5.3	結果	30
5.3.1	初期分布が集中している場合( $\mu=0.05$ )	30
5.3.2	初期分散が分散している場合( $\mu=0.15$ )	36
5.4	まとめ	41
第6章	シミュレーション 2	43
6.1	修正モデル	44
6.1.1	想定する経済	44
6.2	シミュレーションの設定	46
6.2.1	初期状態	46
6.2.2	シミュレーション手順	46
6.3	基本ケース	49
6.4	高齢者率の変化の違いの影響	52
6.5	さまざまな与件変化の影響	61
6.5.1	交通費格差の影響	61
6.5.2	外部性の影響	71
6.5.3	地代の影響	79
6.5.4	望ましい都市像	87
6.6	まとめ	89
第7章	結論と今後の課題	93
7.1	まとめ	94
7.2	今後の課題	96
	参考文献	97
	謝辞	103
	補論	105
	補論 A コンパクトシティの条件、効果、批判	106
	補論 B 付け値地代関数の導出	109
	補論 C 間接効用関数と中心からの距離	111
	付録	113
	付録 A 図一覧	114
	付録 B 6.5.4 の結果	118
	付録 C 開発したシステム	122





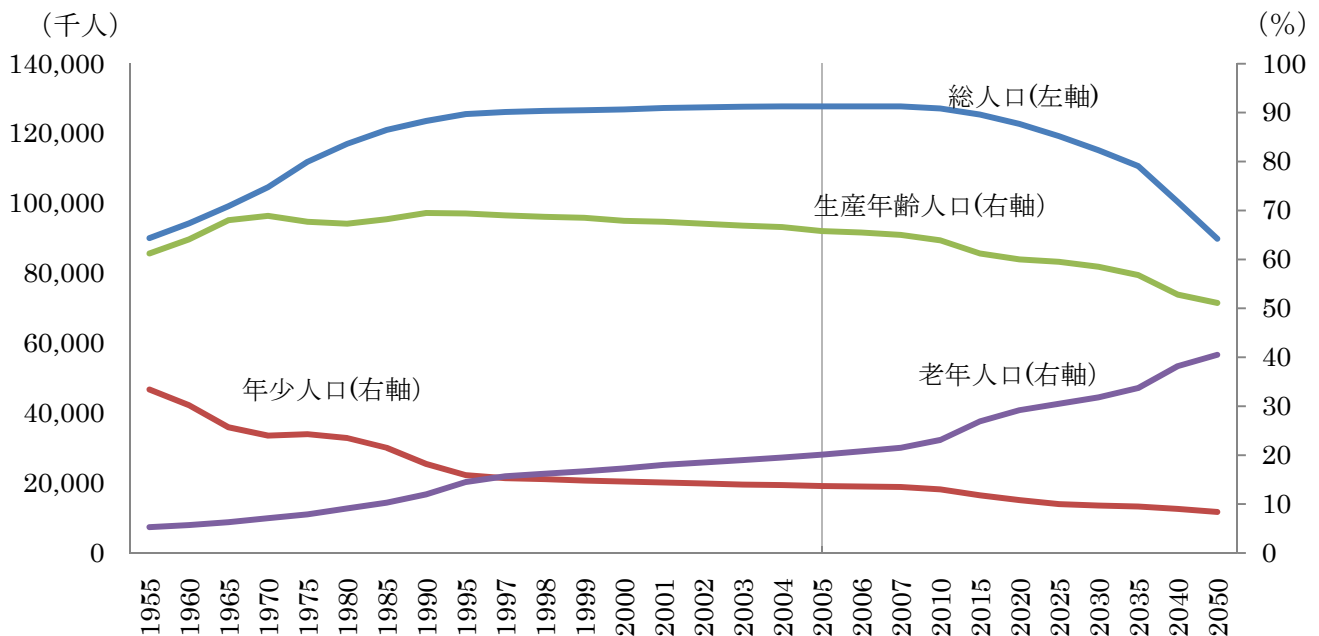


# 第 1 章 序論

## 1.1 背景

### 1.1.1 人口減少、少子高齢化

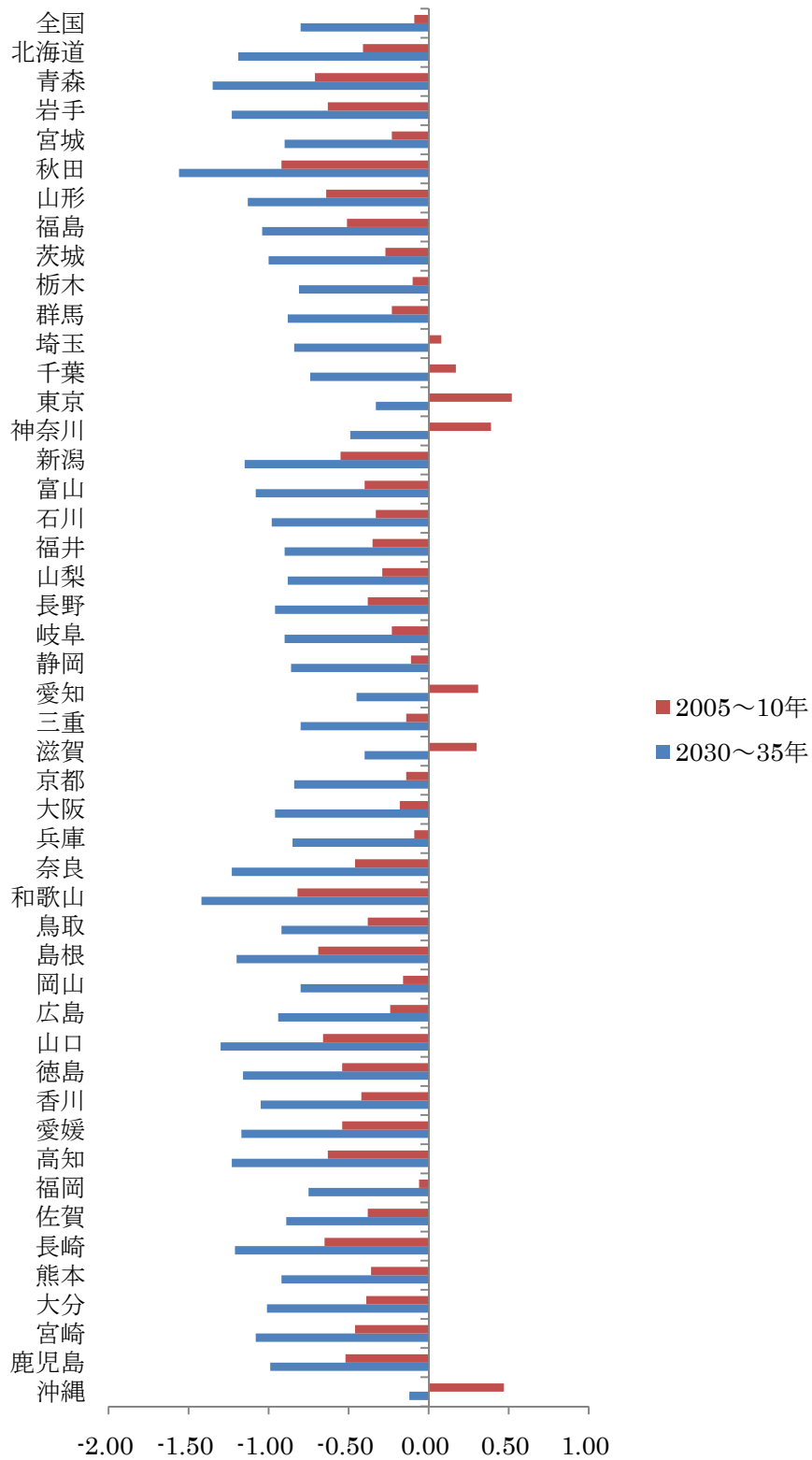
近年、日本では、人口減少、少子高齢化が急速に進んでいる。2004年時の1億2,784万人をピークに2005年以降、日本は人口減少過程に入っている。国立社会保障・人口問題研究所の「日本の将来推計人口（平成18年12月推計）」によれば、長期の合計特殊出生率を1.26と仮定すると、今後日本の人口は、2046年には1億人を割り、その後2050年には9,515万人にまで減少すると推計されている。また、人口減少過程の中で、65歳以上の老年人口の割合は2005年時の20.2%から2050年には41.8%に増加すると予想され、その一方で生産年齢人口（15～64歳）は2005年時の66.1%から2050年には51.2%に、年少人口（0～14歳）の割合は2005年時の13.8%から2050年には6.9%に減少していくと予想されている。



資料：国立社会保障・人口問題研究所「人口統計資料集(2009)」

図 1-1 日本の人口と人口構造

地域別に見ても一部の地域を除いて人口減少が顕在化しつつある。国立社会保障・人口問題研究所の推計によると、2005年から2010年にかけて人口が増加している地域は、東京都、埼玉県、千葉県、神奈川県といった大都市圏がほとんどであるが、今後、その大都市圏も人口減少が進み、2030年にはすべての都道府県が減少過程に入ると予想されている。



資料：国立社会保障・人口問題研究所「人口統計資料集(2009)」

図 1-2 各地域の人口増減率

人口減少、少子高齢化は、国家財政、年金、地方財政の悪化、生産年齢人口（15～64 歳）の減少による需要縮小、人口減少による成長率の抑制といった様々な影響を及ぼすものと考えられている。特に都市に関しては、そもそも高齢化の都市構造に及ぼす影響が不明であることが指摘されている。そして、その都市に暮らす人々に関しては、現状の自動車中心の社会は高齢者などの交通弱者にとって不便となることが指摘されている。このような背景から、日本は、高齢者に対応した街づくりを行うことが求められている。清水（1995）、大森ら（1998）、鎌田ら（2002）は、超高齢社会に対して、地域交通計画的観点から高齢者のニーズに対応した交通環境の提供の重要性について述べている。

その 1 つの対応策として、コンパクトシティという概念が注目されている。

### 1.1.2 コンパクトシティ

コンパクトシティに関する議論を整理し、体系的にまとめたものに海道（2001）、石塚（2008）がある。石塚（2008）はコンパクトシティについて「コンパクトシティとは、人間の居住域を比較的狭めることによって利便性と快適性と環境保全を高めようとするもので、自動車交通への依存を減らし、一定以上の人口密度のある都市域にまとまって住む都市のことである」と説明している。

コンパクトシティという言葉は、米国のオペレーションズ・リサーチの専門家であるダンツィク、サアティ（1974）の『コンパクトシティ』で初めて登場した。その後、世界的に地球環境問題の深刻さが認識されるようになり、1972 年のローマクラブの発表した『成長の限界』の中で、サスティナビリティ（持続可能性）という概念が発表された。そして、そのことをきっかけに、欧州においてサスティナブルな都市の都市形態として、コンパクトシティが注目されるようになった。我が国においても、世界的な地球環境問題への関心の高まりに加えて、人口の減少、少子高齢化といった対応が求められていることから、コンパクトシティという都市モデルが注目されるようになった。

コンパクトシティの効果として、石塚（2008）はエネルギー効率の高い循環型社会を実現できる、高齢者や子どもの年齢による移動のハンディを克服できる、公共施設の整備と維持が効率的にできる等を挙げている（補論 A 参照）。これらの効果は、人口減少、少子高齢化に直面している日本が抱える問題を考えると、非常に魅力的である。実際、コンパクトシティは、学問的な立場からも行政の立場からも強く支持されている。加藤ら（2004）は、人口減少、高齢化社会に対応した近未来の都市計画としてコンパクトシティを挙げている。

---

また、国土交通省、青森市、富山市、仙台市、滝川市、福井市、長岡市、金沢市、宇都宮市、神戸市、徳島市、北九州市等がコンパクトシティに関連する取り組みを始めている。

海道(2001)、石塚(2008)は、コンパクトシティとして満たしておくべき条件として居住と就業などの高い密度、自動車にできるだけ依存しないことなどを挙げている(補論 A 参照)。ここで重要なことは、コンパクトシティとは密度の高さや都市域の狭さといった物理的にコンパクトな都市を指しているわけではないということである。コンパクトシティは、物理的な都市のコンパクトさに加えて、多様な居住者と多様な空間を実現している必要がある。

上述したようにコンパクトシティの実現は我が国において非常に魅力的であるが、コンパクトシティへの批判もいくつかある。主要な批判として、コンパクトシティの実現性への疑問、コンパクトシティの省エネルギー効果や廃棄物削減効果への疑問、コンパクトシティの生活の質への疑問等がある(補論 A 参照)。これらの批判に対し、否定的意見の中で、実現方法が明確でない、混雑の発生を考慮していないといった意見には未だ十分な回答がされているとは言い難い。

## 1.2 研究の目的

我が国における課題は、高齢化の都市構造に及ぼす影響を明らかにすること、そして現状の自動車中心の社会は高齢者などの交通弱者に対応した街づくりを行うことであることである。そこで、本研究の目的は、まず高齢化社会が都市構造に及ぼす影響について明らかにすることである。加えて、高齢者に対応した都市として注目されているコンパクトシティの実現に向け、混雑を考慮したコンパクトシティにおける望ましい実現方法について議論を行う。なお本研究では、都市構造を若者と高齢者の居住配置、都市の形態、用途の混在具合として捉えた。

## 1.3 論文の構成

以下、第 2 章では、本研究で用いる手法を説明する。また、本研究においてその手法を用いることの有意性を説明する。

第 3 章では、先行研究で行われた議論を整理し、本研究の位置づけを説明する。

第 4 章では、本研究で用いる基本モデルと指標を紹介する。本研究では、2つのシミュレーションを行うが、その際に用いるモデルは本章で紹介する基本モデルの修正モデルである。

第 5 章では、高齢者の交通費の高さが都市構造に及ぼす影響に着目した静学的アプローチによるシミュレーションを行う。交通費の違いによって、人々の立地選択はどうなるのか、その結果、都市構造はどうなるかについてシミュレーションする。

第 6 章では、高齢者の全人口に占める割合の変化が都市構造に及ぼす影響に着目した動学的アプローチによるシミュレーションを行う。高齢者の全人口に占める割合の変化によって、人々の立地選択はどうなるのか、その結果、都市構造はどうなるかについてシミュレーションする。

第 7 章では、第 1 章から第 6 章の議論をまとめる。

## 第 2 章 研究手法

本研究では、セルオートマトン(Cellular Automata, CA)と伝統的な都市経済学で用いられる理論を結びつけて分析を行う。ここでは、それぞれの手法とそれらを結び付けて分析することの意図を説明する。

## 2.1 CA

### 2.1.1 CAとは

CA とはセル、状態、近傍、遷移ルールによって、その挙動を制御されたものである。セルと称される任意の次元の規則的な格子によって空間が構成され、各セルが離散的な状態をとる。そして、離散的に進む時間の中で単位時間ごとに自己と近傍セルの状態により、あらかじめ定義された遷移ルールに従って変化していくという計算システムのことである。

セルは、コンピュータの性能にもよるが基本的に任意の数を選ぶことができる。次に、セルは、「生」と「死」や、「開発」と「非開発」といった離散的な状態をとる。2次元 CA における近傍に関しては、一般的にノイマン近傍やムーア近傍が用いられる。ノイマン近傍とは、自己セルの上下左右の 4 つのセルを近傍として考慮するものである。他方、ムーア近傍とは、ノイマン近傍に斜め方向の 4 つを加えた合計 8 つのセルを近傍として考慮するものである。最後に、遷移ルールは、該当セルの状態がどのように変化するかルールであり、該当セルの近傍のうち 3 セル以上が「生」ならば該当セルの状態は「死」に変化する、といったようにルールを与える。

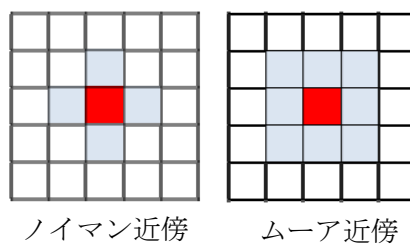


図 2-1 ノイマン近傍とムーア近傍

非常に単純なモデルではあるが、複雑な自然現象をシミュレーションすることができるため、様々な学問において利用されている手法である。



### 2.1.2 CAの歴史

CAは、1950年代、結晶の成長について研究していたUlamが自己複製機械を研究していたvon Neumannに自身のモデルを紹介し、それを受けて考案された計算モデルである(Neumann,1966)。その後、1970年代に数学者のConwayによって2状態で2次元のCAであるライフゲームが考案され、世界的に注目されるようになった。ライフゲームとは、生命の誕生、進化、淘汰などのプロセスを抽象化したゲームである。格子状に区切られた2次元空間において、それぞれのセルの生死が、過疎状態でも過密状態でも生き残ることはできないといった簡単なルールで決まり、近傍ルールの取り方によって多様なパターンが生じるという点で、研究者の興味を集めた。その後、1980年代には物理学者のWolfram(1984)や生物学者のLangton(1992)を中心にCAの詳細な研究が行われ、CAがあらゆる科学に重要な関わりをもつことを示唆した。具体的に、CAが用いられた例として以下のようなものがある(伊庭,2007)。

- ・ライフサイエンス、特に遺伝、免疫、生態形成など

生態学で用いられるチューリング・モデルをシミュレートした。(Kuschら,1996)

- ・高速道路の渋滞予測

Nagelら(1992)は一次元格子を用いて交通渋滞のモデル化を行った。

- ・災害：原油流出事故による海洋汚染、森林火災

Forest Fireモデルでは森林火災をCA上でモデル化している

- ・ゲーム理論

Lloyd,(1995)は、囚人のジレンマを二人の間のゲームではなく、近傍にいる複数を相手としてn人に拡張し、CAで表現した

- ・カオス、フラクタル(市川惇信,2002)

このようにCAは非常に幅広い学問分野において用いられている手法である。

### 2.1.3 CAと都市

都市では、人間、企業、建築物、道路、自然環境といった要素が互いに関連し合い様々な空間的パターンを自己組織的に創り出していると考えられる。CAは、このような要素間の局所的相互作用を扱うことに優れているという点から、都市をシミュレートする上でも大変注目されている。1970年代に計量地理学者であるTobler(1979)によって、

CA を地域システムのモデルとして応用する試みは始められた。80 年代に入るとそれを受けて Couclelis が研究に着手したが、90 年代になり CA の研究は本格化し、Batty(1994)、White (1994) らが CA を都市モデルへ現実の都市へ応用した。

Couclelis(1985)、瀧澤(1998)らは、CA を都市へ応用する方法として、いくつかの CA に関するモデルの提案をしている。

- ・セルの広さ：無限に平野が広がると考えることは、非現実的であるため有限にする。
- ・セルの形：規則的な都市構造を考えることは非現実的であるため非規則的な形を想定。
- ・セルの状態：離散的ではなく、連続の状態をとる。セルのスケールは様々な大きさを想定できるが、大きな範囲を 1 つのセルでカバーすると、セルの状態である用途が混在してくることが考えられ、必ずしも単一の状態をとるとは限らなくなる。
- ・近傍の概念：ノイマン近傍やムーア近傍のように隣接するセルからだけでなく遠距離のセルからも影響を受けると考えられるため、CA の物理的な近傍を拡張する必要がある。
- ・遷移ルール：ライフゲームのようにめまぐるしく移り変わるパターンは、都市には当て嵌まらない。都市の特徴に応じた遷移ルールを設定する必要がある。確率関数、効用最大化、アクセシビリティ、利潤最大化など

本研究で用いるモデルでも、セルの広さと近傍概念、そして遷移ルールに関して上述した提案を採用している。

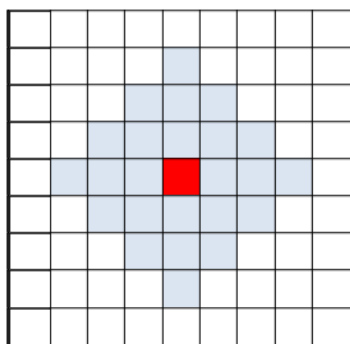


図 2-2 本研究で用いる近傍

## 2.2 ミクロ経済学

### 2.2.1 ミクロ経済学とは

西村(1990)は、経済学とは「希少な財や資源を競合する目的のために選択・配分する方法を研究する学問分野である」と説明し、またミクロ経済学とは「個々の経済主体の行動と経済主体の集合から成る経済の問題を分析する」学問であると説明している。このよう

な経済学の一分野として、ミクロ経済学の価格理論に基づいて、都市の構造や機能を分析する都市経済学がある。都市経済学で扱う分野は、交通、環境、地方財政など非常に多様である。ここでは、後述するモデルの基礎となる Alonso(1964)の付け値地代モデルを紹介する。

### 2.2.2 Alonso(1964)の付け値地代モデル

都市内には、商業地として利用する主体、住宅地として利用する主体など様々な土地利用主体が存在しており、それらの主体は一般的に都心部を中心として土地利用ごとに分かれて居住している。

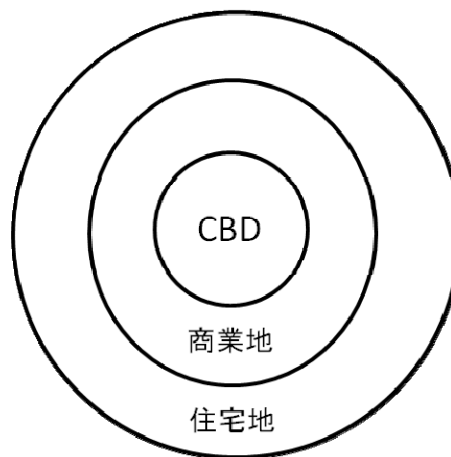


図 2-3 都市の土地利用概念図

Alonso(1964)の付け値地代モデルは、上述したような都市内の土地利用を説明する際に用いられるモデルである。付け値地代とは、ある一定の効用水準の下で、その土地に最大限支払い得る地代のことを指す。付け値地代モデルの基本的な考え方は、ある土地に立地する主体はその土地を最も高く評価した主体であるというものである。

このモデルでは、以下の7つの仮定を前提とする。

- (1)都市は、同質で特徴のない平野に形成される
- (2)中心業務地区(Central Business District, CBD)は大きさが点としてとらえ、それ以外の都市内の土地利用は住宅地のみとする
- (3)都市住民は CBD で働き、通勤費は通勤する距離とともに増加する
- (4)都市住民の所得は同じ
- (5)都市人口は一定(閉鎖都市)

(6)都市内の土地は、不在地主によって所有されている

(7)都市住民は、地主から賃貸した土地に居住する

まず、家計は自らの効用水準を最大化するように立地を選択するとする。そこで、CBDからの距離  $d$  に立地する家計の効用水準は、合成財の消費量  $q(d)$  と住宅の土地の広さ  $l(d)$  で決まるとする。このとき、効用水準を表す効用関数は、

$$U = U(q(d), l(d)) \quad (1)$$

とする。ちなみに、(1)式の無差別曲線は、図 2-4 のように原点に凸の滑らかな曲線で、両座標軸と交わらないものとする。

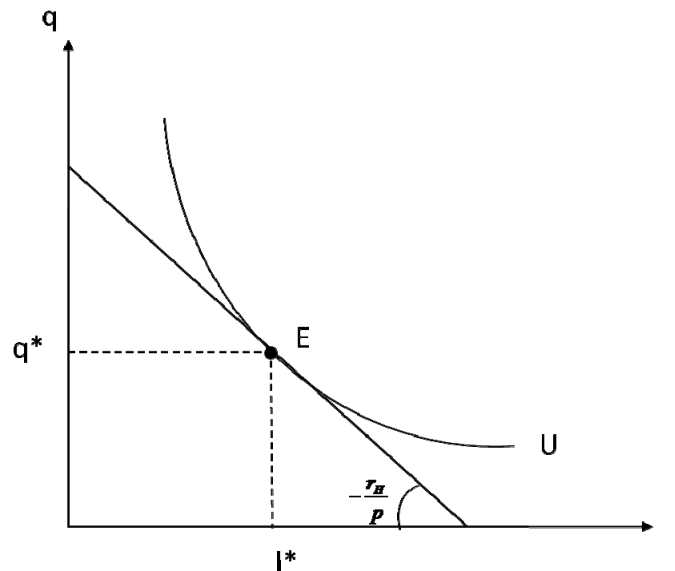


図 2-4 無差別曲線と予算制約線

次に、 $y$  を所得、 $t(d)$  を通勤費、 $r_H$  を地代、 $p$  を財  $q$  の価格とすると、予算制約式は、

$$y = pq(d) + r_H l(d) + t(d) \quad (2)$$

と表せる。

(2)式の制約のもと、家計は効用関数(1)式が最大になるように各財の消費量を決定する。無差別曲線と予算線制約線の接するところが最適な財の消費量の組み合わせである。各財の最適な財の消費量は、

$$q^*(d) = q^*(p, r_H, y - t(d)) \quad (3)$$

$$l^*(d) = l^*(p, r_H, y - t(d)) \quad (4)$$

が得られ、この式は各財の需要関数となっている。これらの需要関数を効用関数(1)式に代入すると、

$$U(d) = V(p, r_H(d), y - t(d)) \quad (5)$$

となり、間接効用関数が得られる。さらに、一定の効用水準  $\bar{U}$  を与えると付け値地代関数が求まる。

$$r_H = r_H(p, y - t(d); \bar{U}) \quad (6)$$

付け値地代関数の特徴としては、以下の3つがある。

- (1) 所得が上昇すると付け値地代も高まる
- (2) 所得が一定のもとで、効用水準を高めると付け値地代は低下
- (3) CBD から離れるにしたがい付け値地代は低下する

以上は、家計のみが存在する場合を想定したモデルであるが、企業も同様に付け値地代曲線を求めることができる。企業の付け値地代曲線は、利潤関数から求めることができる。これらの付け値地代関数を用いて、土地利用について説明することができる。立地主体によって付け値地代曲線は異なること、地主はある土地に対して最も高い評価を行った主体に土地を貸すということを考慮すると、図 2-5 ようになる。AA はオフィスとして利用する主体の付け値地代曲線、BB は商業として利用する主体の付け値地代曲線、CC は住宅地として利用する主体の付け値地代曲線とする。図 2-5 の点線で描かれた包絡線によって土地利用が決まることになる。

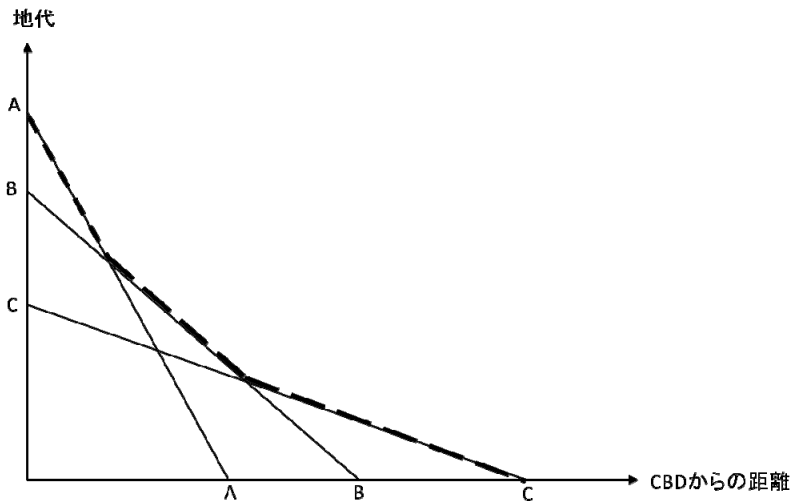


図 2-5 各主体の付け値地代曲線

## 2.3 CAとミクロ経済学

CA とミクロ経済学を結び付ける意図は、因果関係を明確化し局所的な相互作用を考慮したミクロな意思決定の結果がマクロで見たときにどのような結果となるかを見るためにある。従来の CA を用いて行われる都市のシミュレーションの遷移ルールは、該当セルの状態と該当セルの周囲の状態によって該当セルの状態が決定するという曖昧なものである。この方法では、少子高齢化が都市にどのような影響を及ぼすかを明らかにすること難しい。他方、ミクロ経済学は、主体の意思決定を定式化することで因果関係を明確にすることに優れているが、都市の構成要素の局所的な相互作用を扱うことは困難である。都市をシミュレートする上で、居所的な相互作用、つまり近傍を考慮することは非常に重要である。例えば、都市公害は大規模な発生源から生じる「産業型公害」から、多くの小規模な発生源の集積から生じる「都市・生活型公害」へと変わってきている(宮尾,1995)。そこで、本研究では、CA の各セルがエージェントとしてミクロ経済学の意思決定方法を下に行動するというモデルを開発し、分析を行う。これにより、都市の構成要素の局所的相互作用を考慮した上で、少子高齢化が都市構造に及ぼす影響を明らかにすることができる。

## 第3章

# 先行研究の整理と本研究の位置づけ

コンパクトシティに関する日米欧での議論を整理し、体系的にまとめたものに海道(2001)、石塚(2008)がある。また、玉川(2008)は、コンパクトシティの具体的な計画方法、プロセスを理論的かつ実証的にまとめている。具体的には、コンパクトシティの定義、コンパクトシティの省エネルギーに関する評価、都市防災などに関して数理的アプローチを用いて分析している。宮田ら(2004)は、都市のコンパクト性と持続可能性について検討を行うことを目的として、環境共生を考慮した動学都市経済モデルを構築し、数値シミュレーションによって、持続可能なコンパクトシティの在り方を模索している。Carusoら(2007,2008)は、CAとミクロ経済学を結び付けることで、従来のミクロ経済学では表現できなかった農地と宅地の混在の表現に成功している。彼らは、経済主体として家計と農家のみが存在する経済を想定しており、家計は効用を最大化するように立地選択するというモデルを開発している。また、近傍の扱いに関しては、緑のアメニティと都市化のアメニティを想定しており、集中することの正の外部性と負の外部性を同時に扱っている。また、短期的均衡と長期的均衡という概念を用いてシミュレーションを行っている。短期的均衡とは、都市内での家計の移動が終了している状態を意味する。つまり、都市内のどの場所に家計が立地しても、効用を高めることができない状態のことである。そして、彼らのモデルでは、短期的均衡を実現した後に、都市内の効用が都市外の効用よりも高ければ、都市外から一人の人が都市内へ移動するとしている。これにより、都市内の外部性が変化し短期的均衡が崩れ、再び短期的均衡に向けて人々が移動する。このようなプロセスを繰返し、最終的に都市外の効用と都市内の効用が一致したら長期的均衡としている。Kiiら(2005)は、CAとミクロ経済学を結び付ける方法でコンパクトシティの政策評価に関する研究を行っている。彼らのモデルは、Alonso(1964)の付け値地代モデルを下に作られている。経済主体として家計、企業、農家が存在する経済を想定しており、各主体の付け値地代が市場で決まるシステムになっている。外部性に関しては、該当セルの周囲のセルによって正の外部性か負の外部性および外部性の影響の大きさが決まる。そして、外部性を考慮した付け値地代の最も高い主体を該当セルの状態とするというシステムである。実際のシミュレーションを行う際には、所得の違う2種類の家計、財の販売価格の違う2種類の企業が登場させている。さらに、実際の都市のデータを用いたシミュレーションも行っている。

これらの研究では、少子高齢化を考慮して行われた研究はない。本研究では、家計として若者と高齢者の登場するモデルを開発し、このモデルを下にシミュレーション分析を行う。



## 第4章 モデル

## 4.1 基本モデル

### 4.1.1 想定する経済

以下の特徴をもった経済を想定する。

#### ①都市の構造

人口が都市間で移動しない閉鎖都市を想定する。したがって、都市内の人口は一定  $N$  であるとする。また、家計が立地可能な土地は、 $69 \times 69$  のセルで構成される。全セルの集合を  $\Omega$  とする。そして、それらのセルは、若者、高齢者、農地のいずれかの状態をとるとする。セルの状態が若者であれば赤紫、高齢者であれば黒、農地であれば無色としてセル上に表わされる。CBD には、大きさがなく中心に位置するとする、 $0 \in \Omega$ 。また、すべての生産物は、CBD で生産、販売されるとする。したがって、家計は CBD に行って生産物を購入する必要がある。

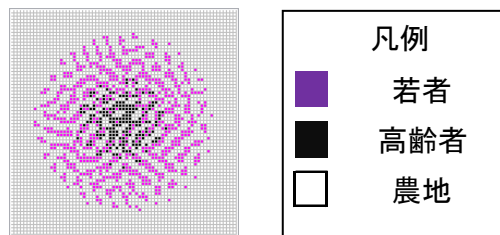


図 4-1 都市形態の表示例と凡例

#### ②経済主体

都市における経済主体は家計のみであるとする。そして、家計には若者  $h^y$  と高齢者  $h^o$  が存在するとする。若者の総数を  $n^y$ 、高齢者の総数を  $n^o$  で表す。したがって、 $n^y$  と  $n^o$  の合計は  $N$  である。高齢者の全人口に占める割合を  $\lambda$  で表わし、 $\lambda = n^o / N$  を意味する。若者と高齢者の違いは、交通費の違いで表現されるとする。距離に関して単位当たりの交通費は一定とし、若者の交通費を  $t^y$ 、高齢者の交通費を  $t^o$  と表す。また、 $t^y < t^o$  とする。高齢者は身体機能の低下からモビリティが低下すると考えられているため、高齢者の交通費の方が若者より高いと想定する(清水,1995)。これらの家計が立地することで都市形態が決定する。各家計は、予算制約と住環境の下、自らの効用を最大化するように財の消費、立地選択を行うとする。住環境  $\omega$  は、人口が集中することで悪化するとする(中村ら,1996)。これを集中の外部不経済と呼ぶこととする。集中の外部不経済とは、例えば道路の混雑、騒音、土壌汚染、水質汚染のことである。この集中の外部不経済は、距離とともに減衰するとす

る。ここでは、住環境 $\omega$ を以下の様に定式化する。

$$\omega = 1 - \delta \left( \frac{\sum e^{-\gamma d_{ij}} H_i}{\sum e^{-\gamma d_{ij}}} \right) \quad (7)$$

$$H_i = 1 \quad \text{if } C_i = h^y \quad \text{or } C_i = h^o$$

$$H_i = 0 \quad \text{if } C_i \neq h^y \quad \text{and } C_i \neq h^o$$

(7)式の 2 項目は集中の外部不経済を表している。 $\gamma$ は外部不経済の影響の大きさが距離に関して減衰する度合いを調整するパラメータ、 $\delta$ は住環境における外部不経済の影響の大きさを調整するパラメータを意味する。 $d_{ij}$ はセル*i*から*j*までの距離を表している。 $H_i$ は、セル*i*の状態が若者か高齢者であれば 1、そうでなければ 0 とする。また、外部不経済は、外部不経済の高さに応じてセル上に色分けされて表示される。色分けの凡例は以下の通りである。

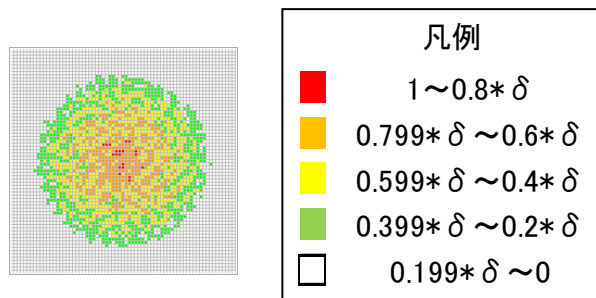


図 4-2 外部不経済の表示例と凡例

財に関しては、合成財  $q$  と農業財  $A$  が存在し、各家計は必ず 1 単位の土地を消費するとする。そこで、効用関数  $U$  を、

$$\max \quad U = \left( \alpha q - \frac{\beta}{2} q^2 + A \right) \omega \quad (8)$$

とする。 $\alpha$ は財  $q$  に対する欲求の大きさを表すパラメータ、財  $q$  以外への選好を表すパラメータである。また、予算制約式は、

$$s.t. \quad y - t d_{i0} - r = p q + A \quad (9)$$

とする。 $y$ は所得、 $t$ は単位交通費、 $d_{i0}$ はCBDからセル*i*までの距離、 $r$ は地代、 $p$ は財  $q$

の価格を表している。以上の条件から、最適化問題を解くと、

$$q^* = \frac{\alpha}{\beta} - \frac{1}{\beta} p \quad (10)$$

$$A^* = y - td_{i0} - r - \frac{\alpha}{\beta} p + \frac{1}{\beta} p^2 \quad (11)$$

$$V^* = \left( \frac{\alpha^2}{2\beta} + y - td_{i0} - r + \frac{1}{\beta} p \left( \frac{1}{2} p - \alpha \right) \right) \omega \quad (12)$$

$$r^* = y + \frac{\alpha^2}{2\beta} + \frac{1}{\beta} p^2 - td_{i0} - \frac{\alpha}{\beta} p - \frac{V^*}{\omega} \quad (13)$$

となる。(10)式は財  $q$  の需要関数を表しており、(11)式は財  $A$  の需要関数を表している。また、(12)式は間接効用関数を表しており、(13)式は付け値地代関数を表している。

## 4.2 指標

都市の特徴を調べるためにいくつかの指標を用いる。物理的なコンパクトさを調べる指標として、集中度指数、都市半径、中心から各居住地までの距離の標準偏差、密度を用いる。用途の混在具合を示す指標として、混在度指数を用いる。

### 4.2.1 集中度指数

$N$  個の点が互いに独立して区画に同じ確率で現れるときは点の分布はポアソン分布になる。また、ポアソン分布の期待値と分散は等しいという特徴がある。したがって、分散平均比は 1 であり、与えられた点の分布パターンがポアソン分布によるランダム型をとるなら分散平均比は 1 である。この分散平均比から 1 を引いた値が集中度指数である(張,2009)。この特徴を利用すると、与えられた居住分布のパターンがポアソン分布によるランダム型をとるならば、そのパターンについての分散平均比

$$I = \frac{s^2}{\bar{x}} \quad (14)$$

は 1 となる。また、分散平均比が 1 よりも大きければ凝集型、1 より小さいときは均等型であるとする。ここで、

$$\bar{x} = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^a x_i \quad (15)$$

$$s^2 = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^a (x_i - \bar{x})^2 \quad (16)$$

である。 $x_i$  は区画  $i$  に含まれた点の数であり、 $a$  は区画数である。さらに、今研究では、この分散平均比から 1 を引いた値である集中度指数(David-Moore 指数)

$$ICS = \frac{s^2}{\bar{x}} - 1 \quad (17)$$

を用いた。

### 4.2.2 混在度指数

69×69 セルを任意の区画に区切り、その区画内に若者と高齢者が両方立地している区画の全区画に占める割合を混在度指数として定義する。今研究では、区画の大きさを 3×3 とした。

$$\text{混在度指数} = \frac{\text{混在している区画数}}{\text{全区画数}} \quad (18)$$

混在度指数が低いほど、若者と高齢者が分離して居住し、混在度指数が高いほど若者と高齢者が混在して居住していることを示す。混在度指数は 0 から 1 の範囲の値をとる。

### 4.2.3 都市半径

都市半径を調べて、都市の広がりを見る。都市半径は、中心から離れて立地している順に家計を 5 つ選び出し、それらの家計と中心までの平均距離として定義する。平均をとる理由は、はずれ値を都市半径として選ぶことを避けるためである。

$$\text{都市半径} = \frac{\text{選び出した5つの家計と中心までの距離の合計}}{5} \quad (19)$$

都市半径の値が大きいほど、都市は外側に分散していることを示す。逆に、都市半径の値

が小さいほど、都市は外側に分散していないことを示す。

### 4.2.4 標準偏差

中心から若者、高齢者の立地しているセルまでの距離を求め、その距離の 2 乗の総和を住居者数で割り、平方根を取ることで、中心をからの居住地のばらつき具合を示す、標準偏差が求まる。

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_{i0}^2}{n}} \quad (20)$$

この値が小さいほど居住地の中心からのばらつきが小さいことを意味する。 $d_{i0}$  は CBD からセル  $i$  までの距離である。

### 4.2.5 密度

密度は、各セルと各セルの周囲 5×5 マスの中に、どれだけ若者、高齢者といった状態のセルが占める割合とする。密度は、密度の高さに応じてセル上に色分けされて表示される。色分けの凡例は以下の通りである。

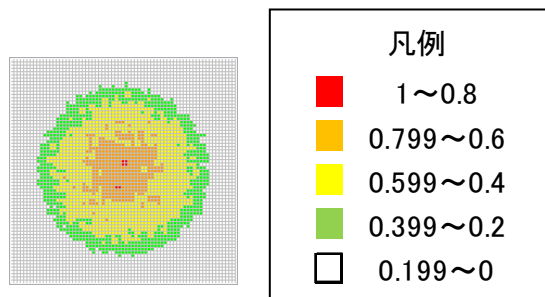


図 4-3 都市全体密度の表示例と凡例

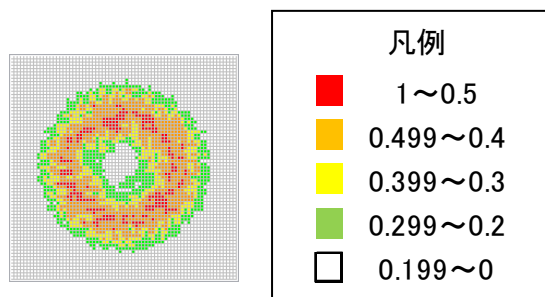


図 4-4 若者密度の表示例と凡例

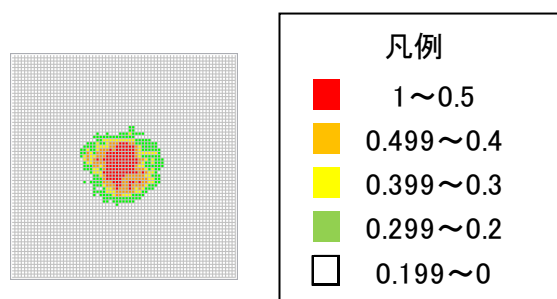


図 4-5 高齢者密度の表示例と凡例





## 第 5 章 シミュレーション 1

本研究では、少子高齢化に伴って都市構造がどのように変化するかを見るということを目的に2つのシミュレーション分析を行う。1つ目は、高齢者の交通費  $t^o$  の高さが都市構造に及ぼす影響に着目した静学的アプローチによるシミュレーションである。2つ目は、高齢者の全人口に占める割合  $\lambda$  の変化が都市構造に及ぼす影響に着目した動学的アプローチによるシミュレーションである。具体的には前者は、均衡している初期分布から交通費の違いを与えることで各家計に移動のインセンティブを与えるシミュレーションである。これにより、交通費の違いが都市構造に及ぼす影響を明らかにできる。他方、後者は  $\lambda = 0.2$  の状態から若者と高齢者を移動させ均衡状態を得て、その後  $\lambda$  を変化させることで各家計に移動のインセンティブを与えるというシミュレーションを行う。これにより、高齢化が都市構造に及ぼす影響を明らかにできる。

この章では、高齢者の交通費  $t^o$  の高さが都市構造に及ぼす影響に着目した静学的アプローチによるシミュレーションを行う。交通費の違いによって、人々の立地選択はどうか、その結果、都市構造はどうかについてシミュレーションする。

## 5.1 修正モデル

### 5.1.1 想定する経済

基礎モデルで示した仮定に加えて、以下の経済を想定する。

#### ②経済主体

各家計は予め与えた初期分布と所与の効用  $\bar{v}$  を得ると考えて、(13)式を用いて付け値地代を求める。したがって、各セルの付け値地代は以下の様に変えられる。

$$r_i^* = y + \frac{\alpha^2}{2\beta} + \frac{1}{\beta} p^2 - t d_{i0} - \frac{\alpha}{\beta} p - \frac{\bar{v}}{\omega} \quad (21)$$

これが初期の地代の分布になる。次に、交通費が世代間で異なるように変化させる。したがって、初期の地代分布を用いた若者と高齢者のそれぞれの新たな間接効用関数が以下の様に決まる。

$$V_i^y = \left( \frac{\alpha^2}{2\beta} + y - t^y d_{i0} - r_i^* + \frac{1}{\beta} p \left( \frac{1}{2} p - \alpha \right) \right) \omega \quad (22)$$

$$V_i^o = \left( \frac{\alpha^2}{2\beta} + y - t^o d_{i0} - r_i^* + \frac{1}{\beta} p \left( \frac{1}{2} p - \alpha \right) \right) \omega \quad (23)$$

これらの間接効用関数を用いて、若者と高齢者は住居場所を選択する。各家計は、現状の居住地より高い効用を得られる居住地を発見した場合、その居住地に移動する。但し、移動できる家計は 1 期につき、若者と高齢者のそれぞれ 1 名のみであるとする。また、転居可能な場所は農地に限るとする。そして、転居によって効用を高めることができない状態になったら移動をやめ、その状態を新しい均衡とする( $V_{\max}^y - V_{\min}^y \leq \xi$ ,  $V_{\max}^o - V_{\min}^o \leq \xi$ )。

## 5.2 シミュレーションの設定

### 5.2.1 初期分布

クラークモデル(Clark,1951)に基づき、中心地から離れるほど人口密度が指数関数的に減少する状態を想定する。そのために、指数に 0 から 9.99 の乱数を掛け、その値をセル  $i$  のポテンシャル  $P_i$  とし、その値の高い順から 1000 セルに家計が立地するものとした。

$$P_i = \text{ransu} * e^{-\mu d_{i0}} \quad (24)$$

$d_{i0}$  は CBD からセル  $i$  までの距離、 $\mu$  は家計を分散させる調整パラメータである。また、予め集中している都市と分散している都市を作り出す。それは、 $\mu$  の値を変えることで行う。集中している都市は  $\mu=0.05$ 、分散している都市は  $\mu=0.15$  とした。

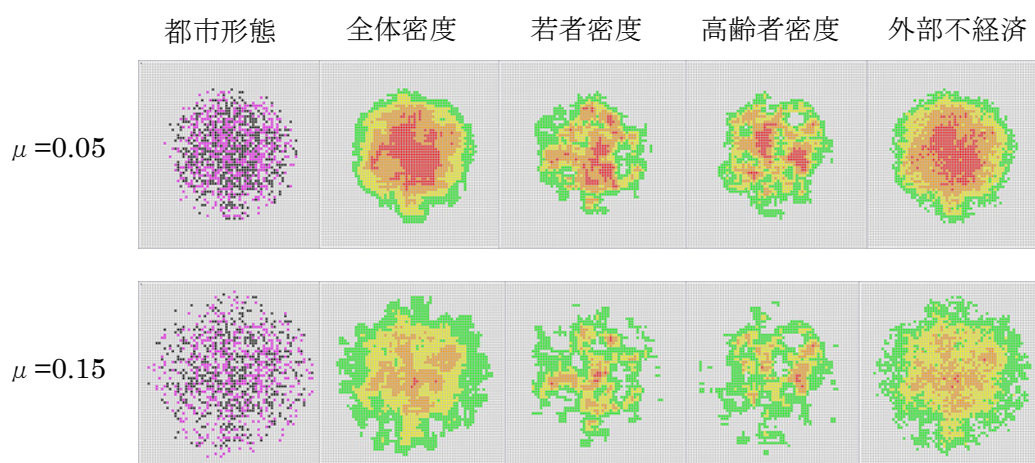


図 5-1 初期分布

## 5.2.2 シミュレーション手順

①初期分布の生成、②付け値地代の分布を求める、③各家計の移動、という順でシミュレーションを行う。

### ①初期分布の生成

- (1)(24)式を用いて各セルの  $P_i$  を求める。
- (2) $P_i$  の高いセルから順に家計を立地させていく。
- (3)家計の総数が 1000 以上になるまで(2)を繰り返す。

### ②付け値地代の分布を求める

- (1)各パラメータの値を設定する。このとき、効用  $V$  も与える。
- (2)任意の近傍内の家計の数を計算し、(7)式を用いて各セルの混雑の影響の大きさを求める。
- (3)中心から各セルまでの距離を算出し、(21)式を用いて各セルの若者と高齢者の付け値地代を算出する。

### ③各家計の移動

- (1) $t^y$ 、 $t^o$  を新たに入力する。
- (2)任意の近傍内の家計の数を計算し、(7)式を用いて各セルの混雑の影響の大きさを求める。
- (3)中心から各セルまでの距離を算出し、(22)式と(23)を用いて各セルの若者と高齢者の効用を算出する。
- (4)若者と高齢者が、現状の居住地より高い効用を得られる居住地に移動する。
- (5) 転居によって効用を高めることができない状態になったらシミュレーション終了 ( $V_{\max}^y - V_{\min}^y \leq \xi$ 、 $V_{\max}^o - V_{\min}^o \leq \xi$ )。そうでなければ、(2)に戻る

以上の流れを図示すると図 5-2 のようになる。

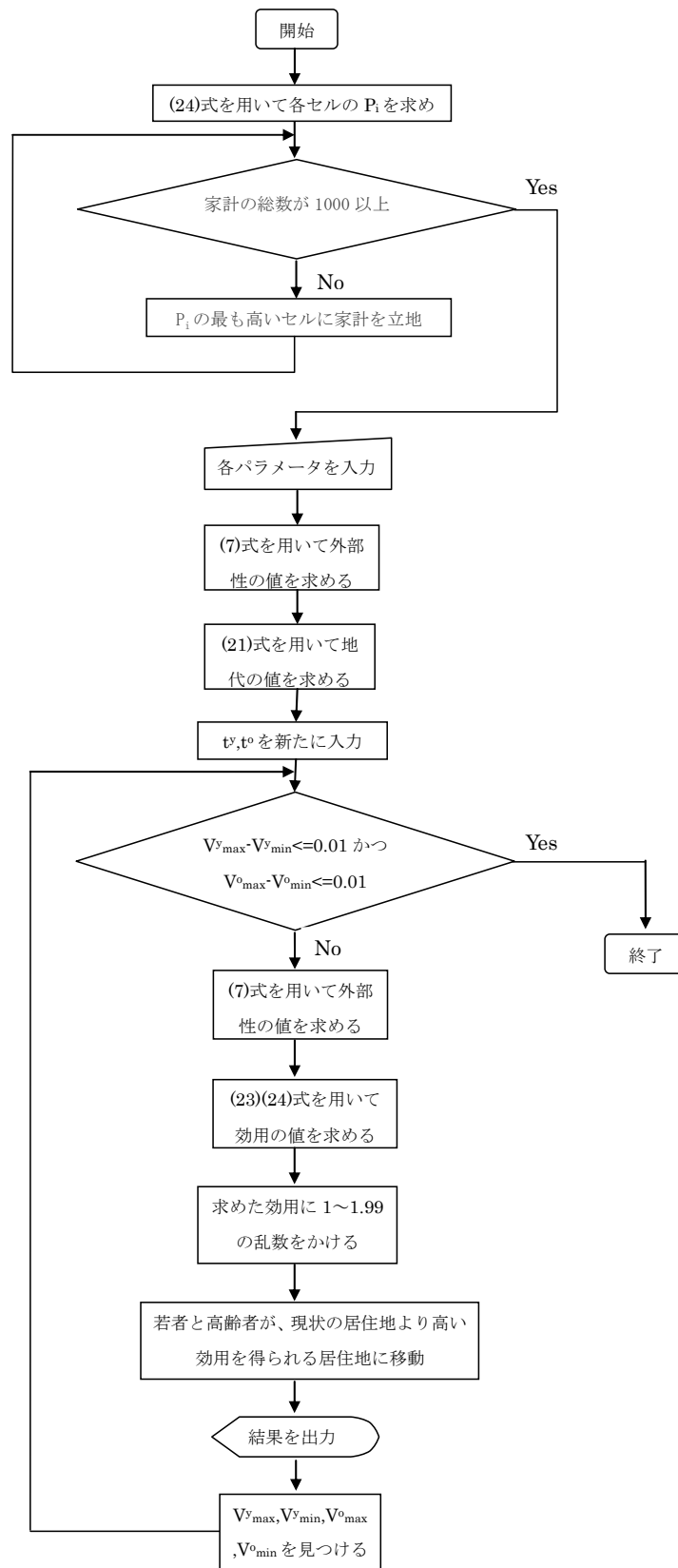


図 5-2 シミュレーション 1 フロー図

## 5.3 結果

パラメータを $\alpha=1$ 、 $\beta=1$ 、 $p=1$ 、 $Y=250$ 、 $V=30$ 、 $\gamma=0.54$ 、 $\delta=0.6$ 、 $t^y=5$ 、 $N=1000$ 、 $\lambda=0.5$  とし、 $t^o=5.5$ 、6、6.5、7 となるケースを $\mu=0.05$  と $\mu=0.15$  のそれぞれでシミュレーションを行った。

### 5.3.1 初期分布が集中している場合( $\mu=0.05$ )

シミュレーションを行った結果は、以下の図のようになった。上から高齢者の交通費  $t^o$  が 5.5 の場合、6 の場合、6.5 の場合、7 の場合の結果である。

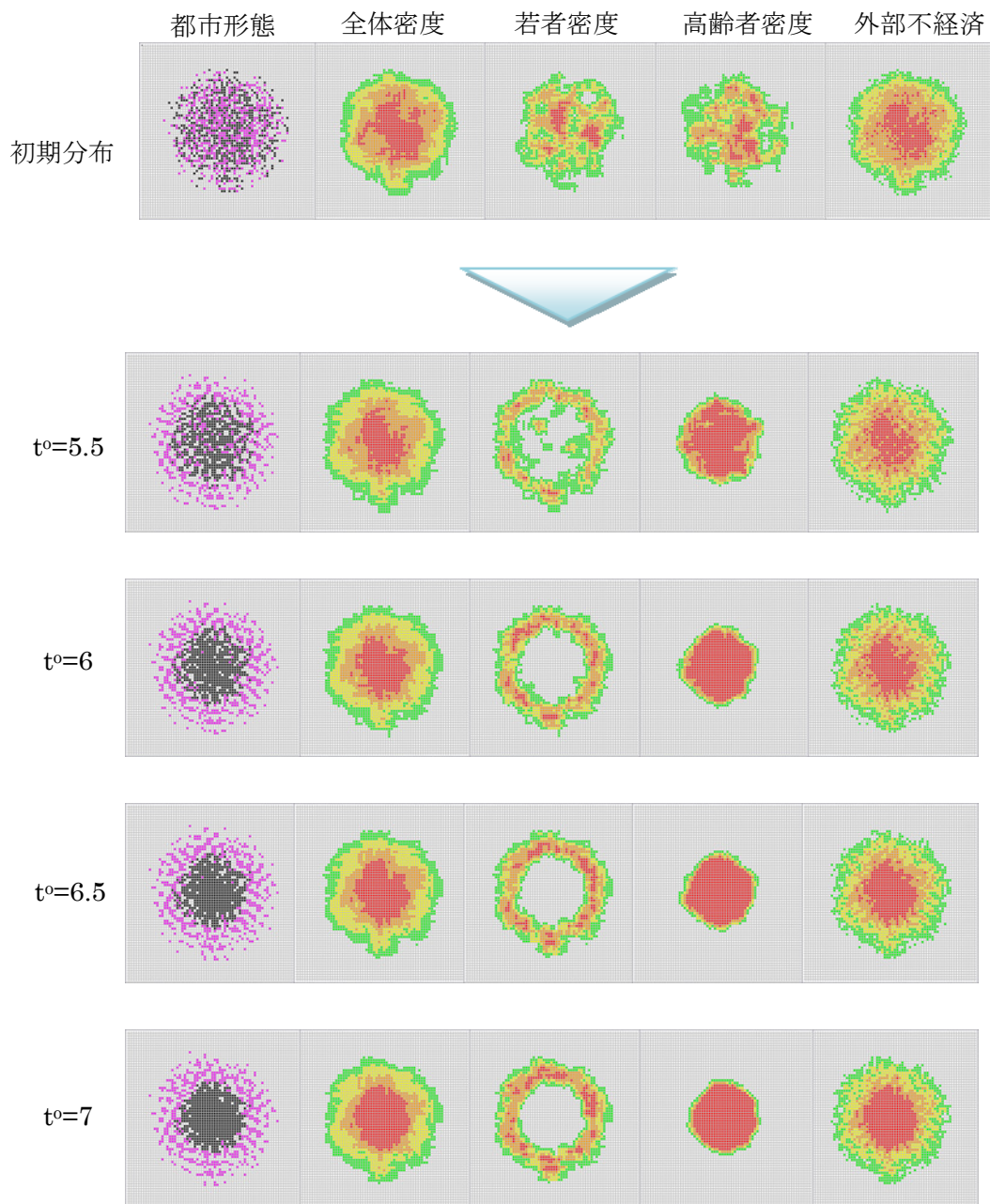


図 5-3 初期分布が集中している場合

高齢者の交通費が高いときほど中心部の密度が高く、集中の外部不経済が高い面積が大きいことがわかる。また、高齢者の交通費が高いときほど中心部における農地の面積が小さくなっている。農地は、交通費が高いときほど中心部に表れない傾向があることがわかる。さらに、高齢者の交通費が高いときほど若者と高齢者の分離居住の傾向が強まっている。高齢者の交通費が高いほど、高齢者の集中のインセンティブが高いことを意味する。したがって、高齢者の交通費が高いほど高齢者は中心に集中し、その結果、中心部の密度が高く、農地の面積は小さくなったと考えられる。また、高齢者の集中により負の外部性

が高まるため、分散のインセンティブが高まる。その結果、交通費の相対的に低い若者が、負の外部性を嫌って中心から離れて居住するため、分離居住の傾向が強まったと考えられる。

次に、図 5-4 と図 5-5 は全体の集中度と標準偏差の変化前と変化後をグラフ化したものである。これを見ると、高齢者の交通費が 5.5、6 のとき、集中度指数の値が初期分布よりも小さく、標準偏差は大きいことがわかる。これは、高齢者の交通費が 5.5、6 のとき、都市は初期分布と比べて分散化していることを意味する。これは、高齢者が中心に密に集まることで集中の外部不経済が高まり、それを嫌った若者が郊外に居住を選択した結果であると考えられる。また、高齢者の交通費が高いほど集中度指数が高く、標準偏差が小さいことがわかる。これは、高齢者の交通費が高いほど都市はコンパクト化することを示唆している。

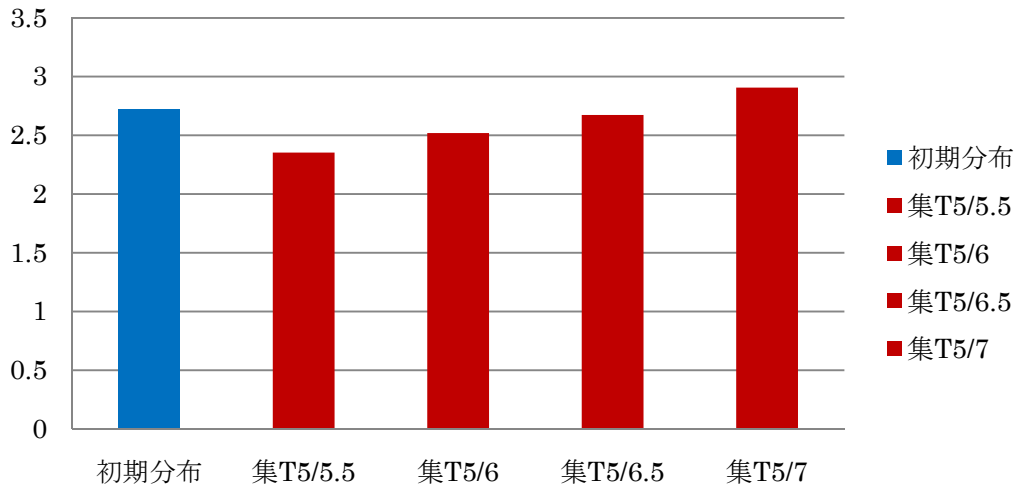


図 5-4 初期分布が集中している場合の全体の集中度指数

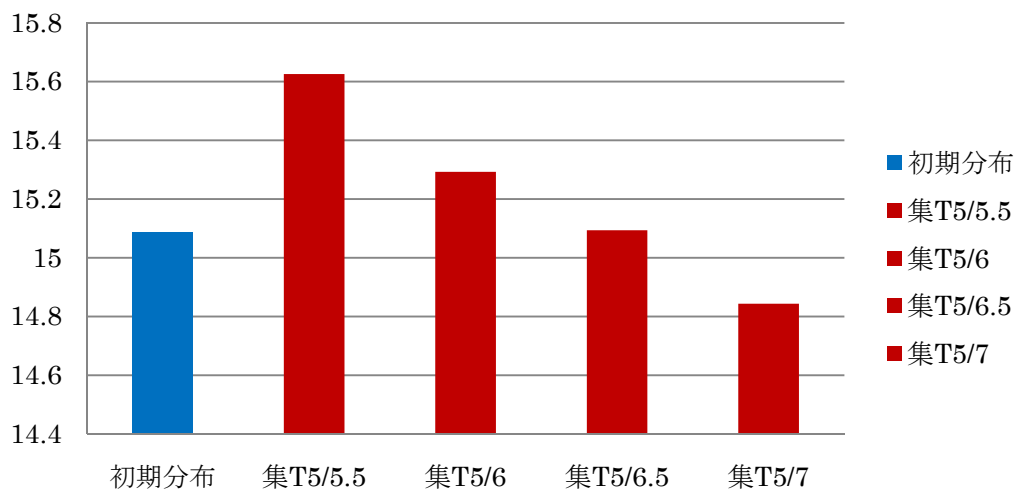


図 5-5 初期分布が集中している場合の全体の標準偏差



次に、図 5-6 から図 5-9 は若者と高齢者の集中度指数と標準偏差の変化前と変化後をグラフ化したものである。図 5-8 と図 5-9 を見ると、高齢者の交通費に関わらず、高齢者の集中度指数の値が初期分布よりも大きく、標準偏差は小さいことがわかる。これは、高齢者が交通費に関わらず初期分布と比べて中心に集中していることを意味する。図 5-6 と図 5-7 を見ると、高齢者の交通費が 5.5 のときを除いて若者の集中度指数が初期分布より小さい一方、若者の標準偏差が高齢者の交通費の大きさに関わらず初期分布よりも大きい。これは、若者が郊外に集中して居住した結果と考えられる。また、若者と高齢者の両方とも高齢者の交通費が高いほど集中度指数が高く、標準偏差が小さいことがわかる。

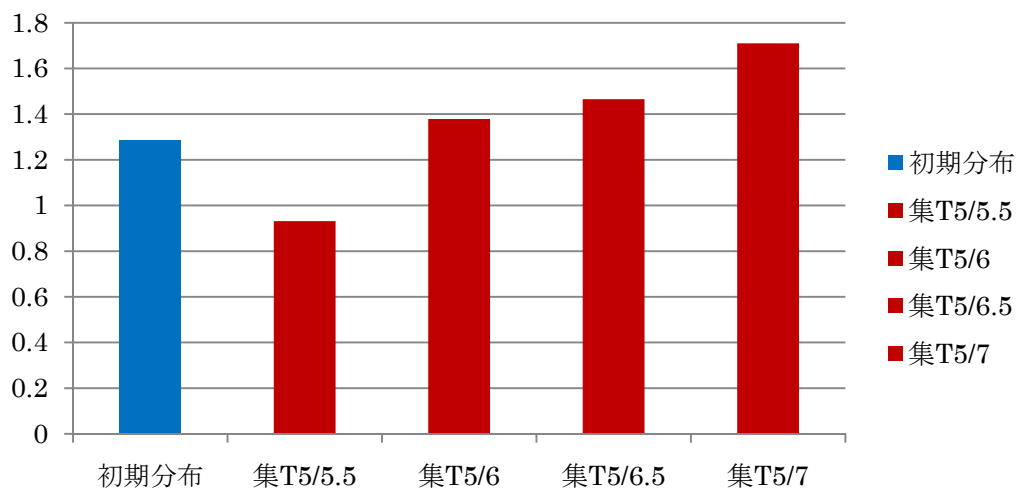


図 5-6 初期分布が集中している場合の若者の集中度指数

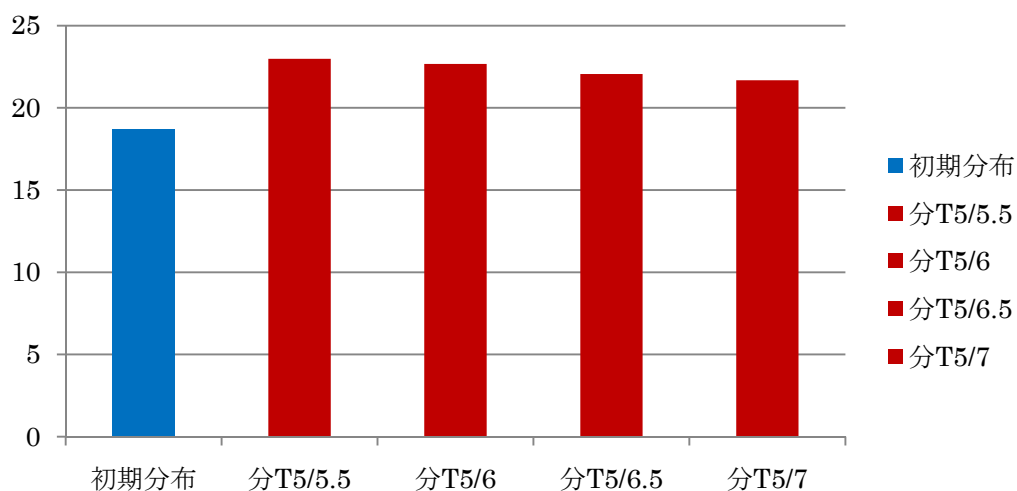


図 5-7 初期分布が集中している場合の若者の標準偏差

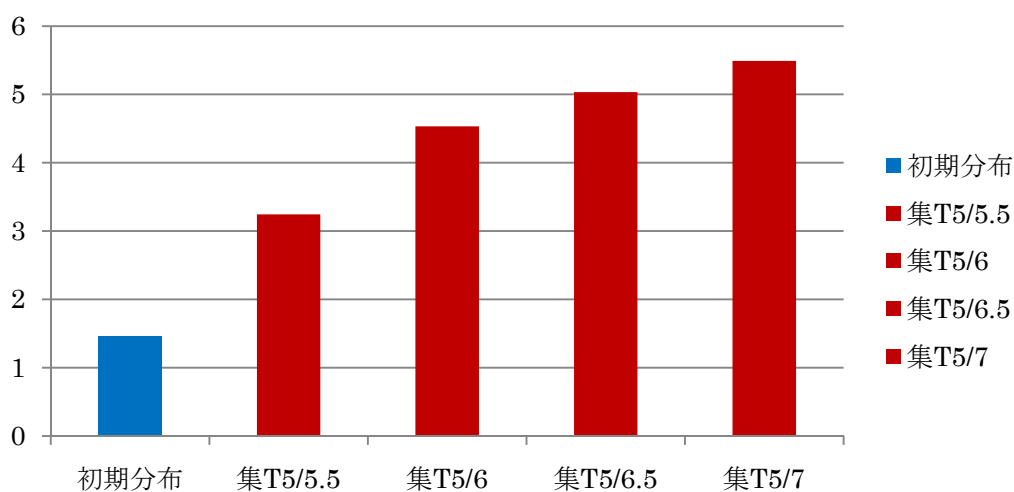


図 5-8 初期分布が集中している場合の高齢者の集中度指数

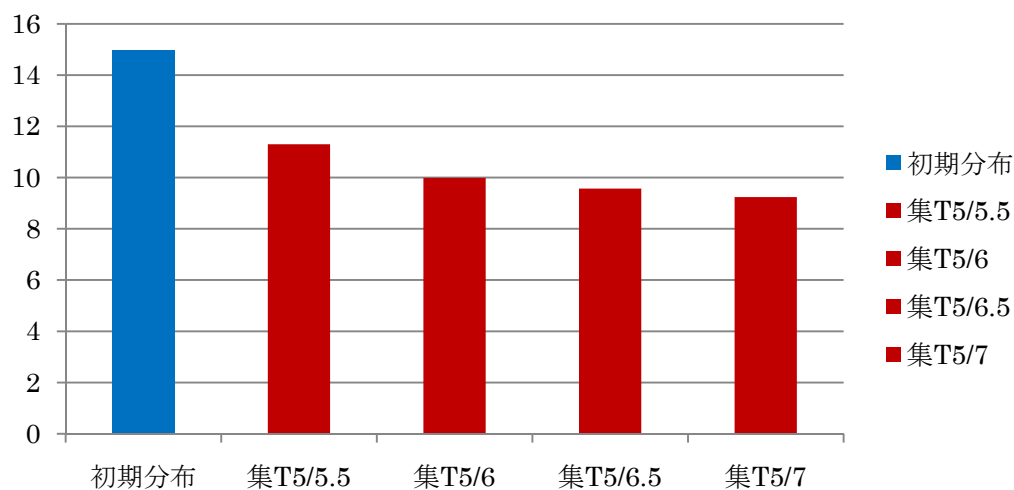


図 5-9 初期分布が集中している場合の高齢者の標準偏差

次に、図 5-10 は都市半径の変化前と変化後をグラフ化したものである。高齢者の交通費がどの値でも都市半径は、初期分布よりも増加していることがわかる。これは、都市がコンパクト化していないことを意味する。また、高齢者の交通費が 5.5 の場合と 6 の場合を比較すると都市半径は小さくなってしているが、6 の場合と 6.5 の場合を比較すると都市半径は大きくなり、6.5 と 7 を比較すると再び都市半径は小さくなっている。高齢者の交通費が高いほど高齢者は中心地付近に密集するため、都市半径は小さくなる。したがって、 $t^0$  が 5.5 と 6 を比較したとき、 $t^0$  が 6 のときの方が都市半径は小さくなったと考えられる。しかし、高齢者の密集により集中の外部不経済が大きくなるため、中心に住む若者が郊外に住む。そして、若者が郊外で集中の外部不経済を受けないように間隔を広く居住した結果、

$t^0$ が6.5のとき、都市半径は大きくなったと考えられる。そして、 $t^0$ が7のときは、高齢者が十分中心に密集して居住するため、若者が郊外に集中の外部不経済を受けないように居住したとしても、 $t^0$ が6のときと比べて都市半径は小さくなったと考えられる。

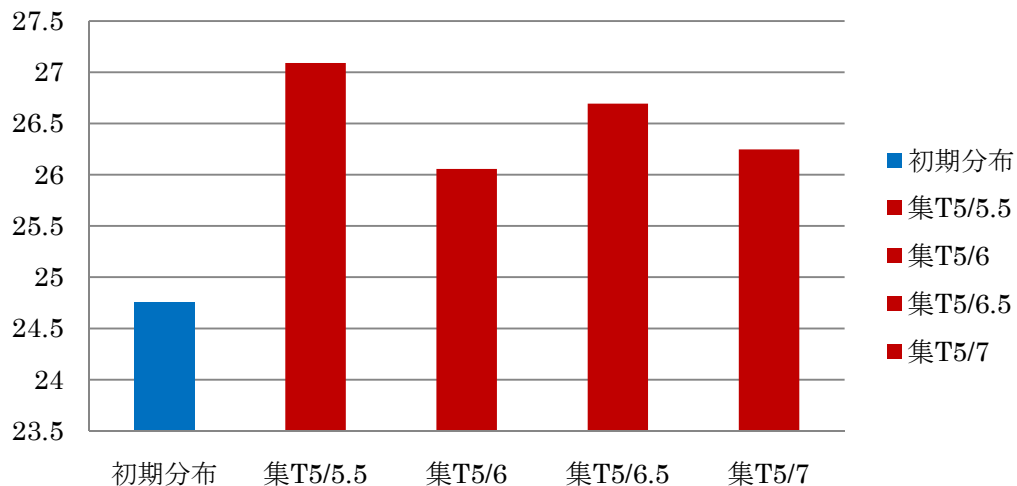


図 5-10 初期分布が集中している場合の都市半径

最後に、図 5-11 は混在度の変化前と変化後をグラフ化したものである。高齢者の交通費の大きさに関わらず、初期分布よりも混在度は小さい。また、高齢者の交通費が高いときほど混在度は小さくなっていることがわかる。これは、高齢者の集中による集中の外部不経済が高まったため、若者が郊外に居住し、混在度が減少したと考えられる。

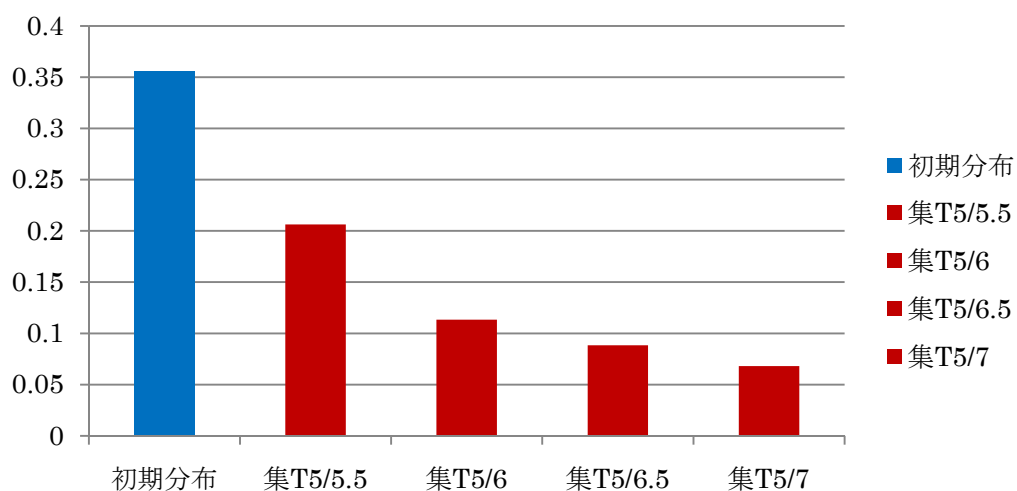


図 5-11 初期分布が集中している場合の混在度

### 5.3.2 初期分散が分散している場合( $\mu=0.15$ )

シミュレーションを行った結果は、以下の図のようになった。上から高齢者の交通費が 5.5 の場合、6 の場合、6.5 の場合、7 の場合の結果である。

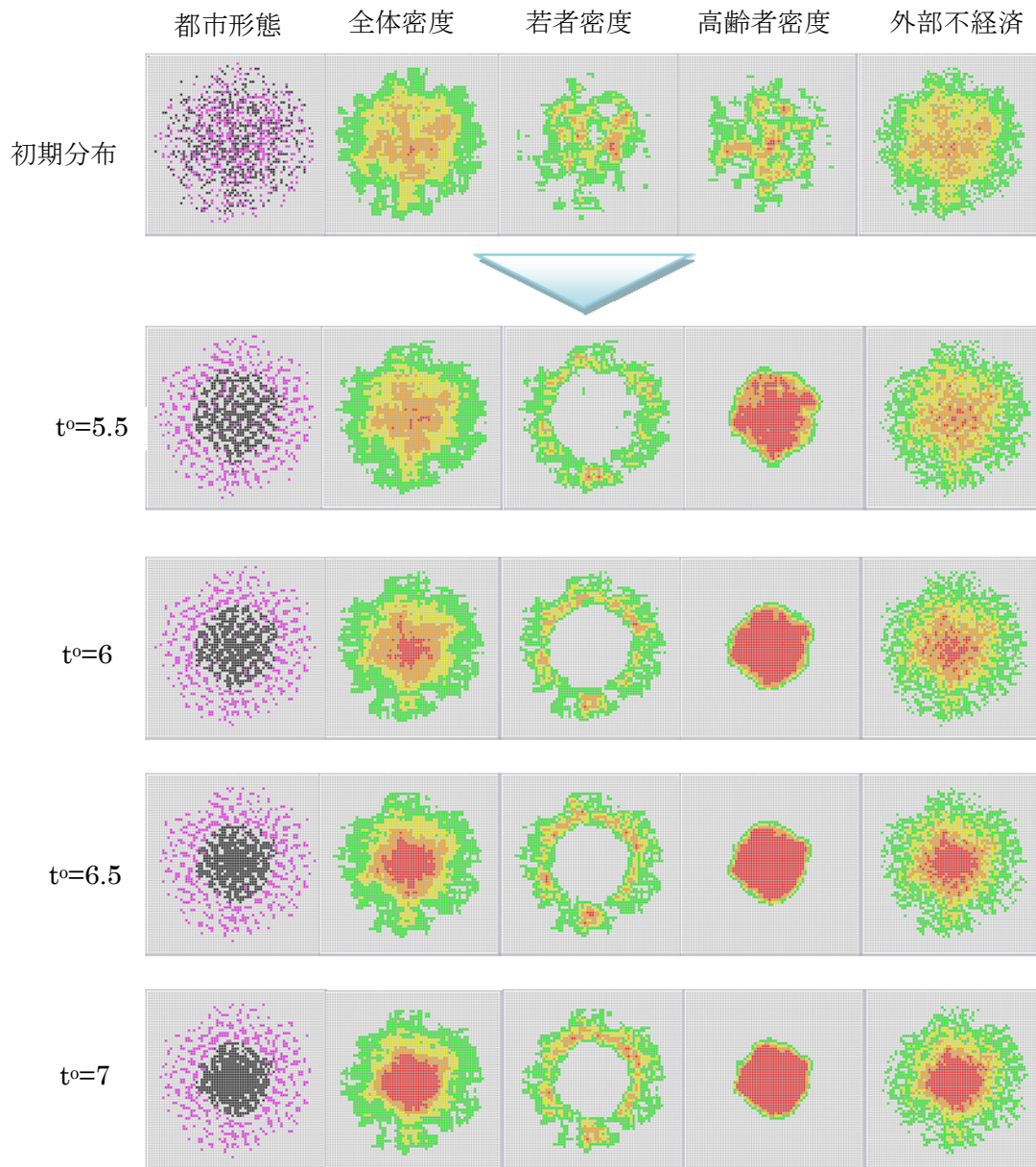


図 5-12 初期分布が分散している場合

初期状態が集中していた場合と同様に高齢者の交通費が高いときほど中心部の密度が高く、集中の外部不経済の高い面積が大きいことがわかる。また、高齢者の交通費が高いときほど中心部における農地の面積が小さくなっている。農地は、交通費が高いときほど中心部に表れない傾向があることがわかる。さらに、高齢者の交通費が高いときほど若者と

高齢者の分離居住の傾向が強まっている。高齢者の交通費が高いほど高齢者が中心に集中し、その結果、中心部の密度が高く、農地の面積は小さくなったと考えられる。また、高齢者の集中により負の外部性が高まるため、分散のインセンティブが高まる。その結果、若者が中心から離れて居住するため、分離居住の傾向が強まったと考えられる。

次に、図 5-13 と図 5-14 は全体の集中度と標準偏差の変化前と変化後をグラフ化したものである。これを見ると、高齢者の交通費の大きさに関わらず、集中度指数の値が初期分布よりも大きく、標準偏差は小さいことがわかる。これは、都市が初期分布と比べてコンパクト化していることを意味する。また、高齢者の交通費が高いほど集中度指数が高く、標準偏差は小さいことがわかる。これは、高齢者の交通費が高いほど都市はコンパクト化することを示唆している。

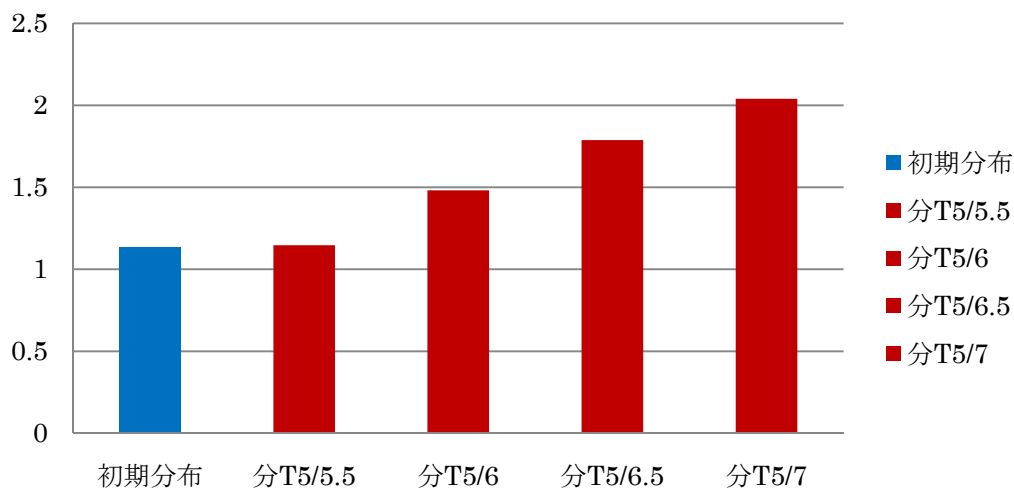


図 5-13 初期分布が分散している場合の全体の集中度指数

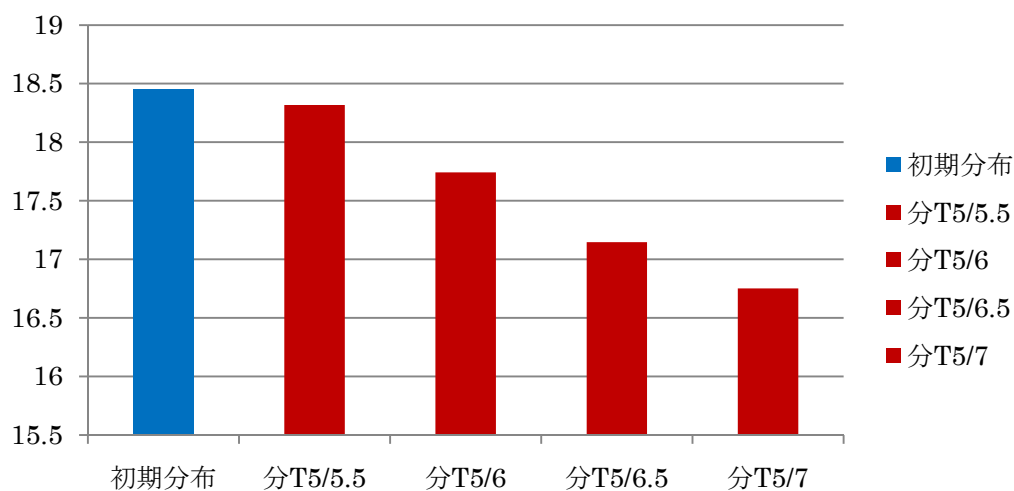


図 5-14 初期分布が分散している場合の全体の標準偏差

次に、図 5-15 から図 5-18 は若者と高齢者の集中度指数と標準偏差の変化前と変化後をグラフ化したものである。図 5-17 と図 5-18 を見ると、高齢者の交通費に関わらず、高齢者の集中度指数の値が初期分布よりも大きく、標準偏差は小さいことがわかる。これは、高齢者が交通費に関わらず初期分布と比べて中心に集中していることを意味する。図 5-15 と図 5-16 を見ると、高齢者の交通費に関わらず集中度指数が初期分布より大きい一方、若者の標準偏差が高齢者の交通費の大きさに関わらず初期分布よりも大きいことが分かる。これから、若者が郊外に集中して居住していることがわかる。また、若者と高齢者の両方とも高齢者の交通費が高いほど集中度指数が高く、標準偏差が小さいことがわかる。

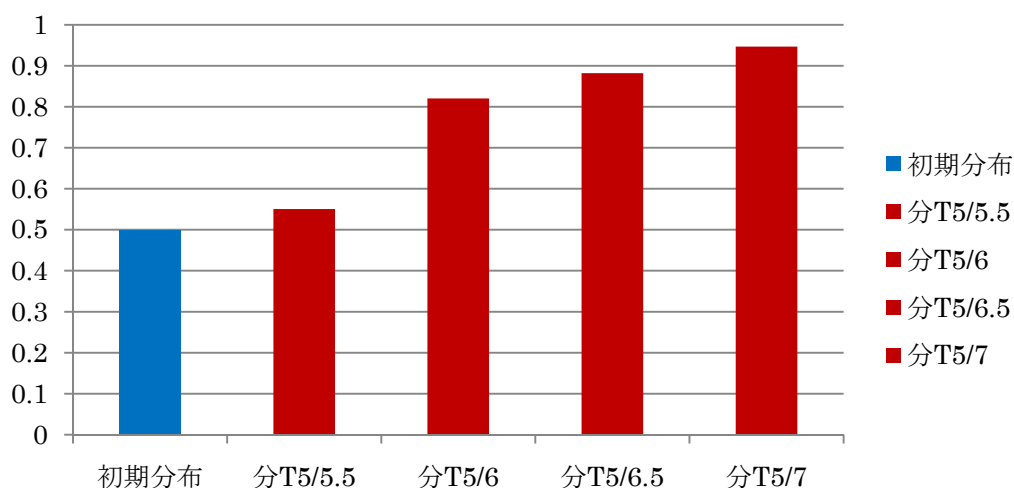


図 5-15 初期分布が分散している場合の若者の集中度指数

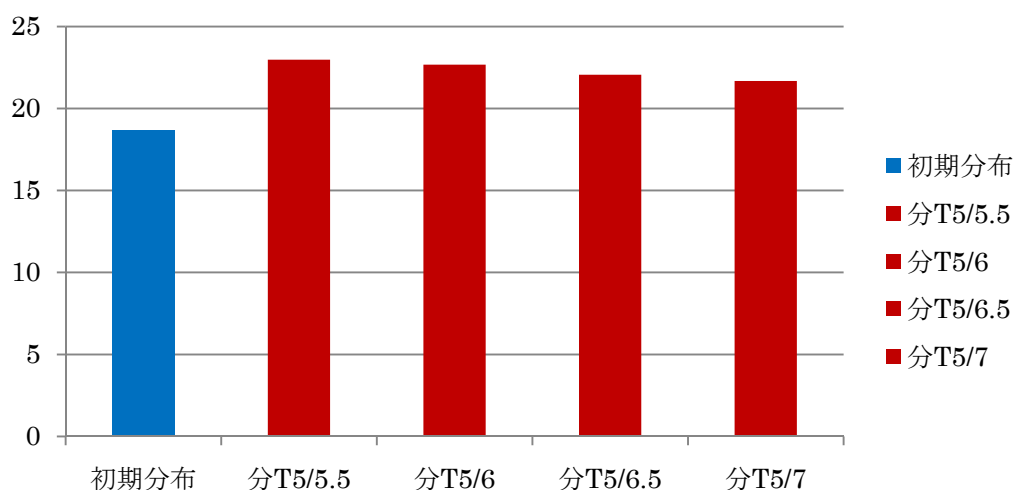


図 5-16 初期分布が分散している場合の若者の標準偏差

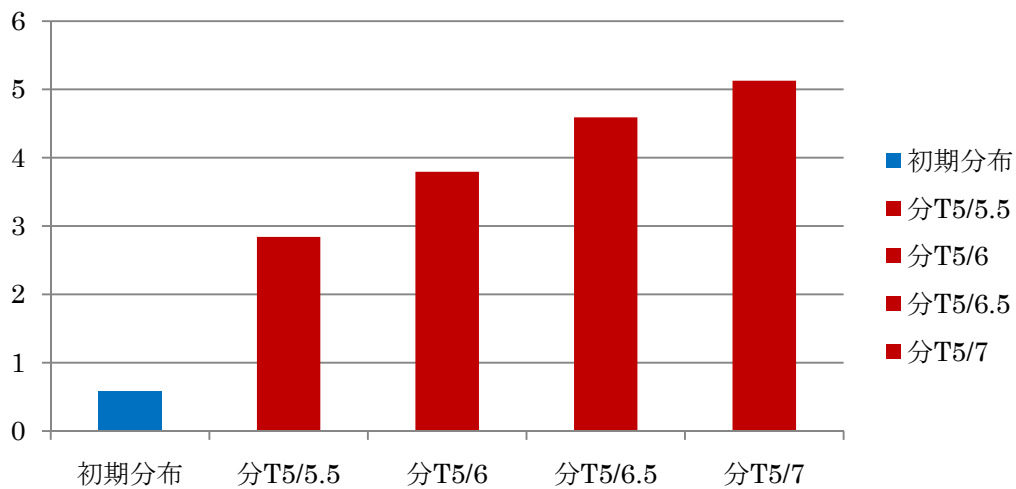


図 5-17 初期分布が分散している場合の高齢者の集中度指数

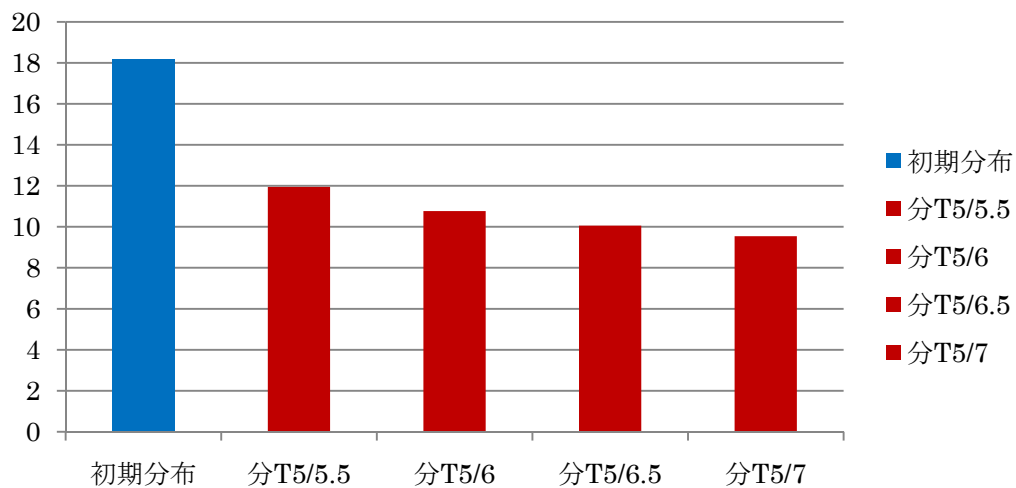


図 5-18 初期分布が分散している場合の高齢者の標準偏

次に、図 5-19 は都市半径の変化前と変化後をグラフ化したものである。高齢者の交通費が 7 のときを除いて、都市半径は初期分布よりも大きいことがわかる。高齢者の交通費が高いほど高齢者は中心地付近に密集するため、中心に住む若者が郊外に住む。そして、若者が郊外で集中の外部不経済を受けないように居住した結果、都市半径は大きくなったと考えられる。そして、 $t^0$  が 7 のときは、高齢者が十分中心に密集して居住するため、若者が郊外に集中の外部不経済を受けないように居住したとしても、 $t^0$  が初期分布と比べて都市半径は小さくなったと考えられる。

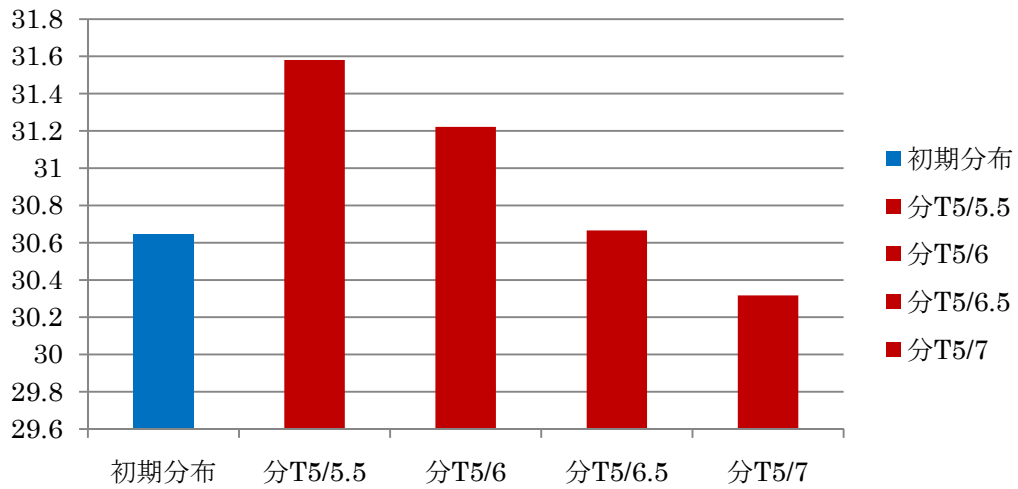


図 5-19 初期分布が分散している場合の都市半径

最後に、図 5-20 は混在度の変化前と変化後をグラフ化したものである。高齢者の交通費の大きさに関わらず、初期分布よりも混在度は小さい。また、高齢者の交通費が高いときほど混在度は小さくなっている。さらに、初期分布が集中している場合の混在度よりも分散している混在度の方が、交通費の違いによる混在度の変化が大きい。

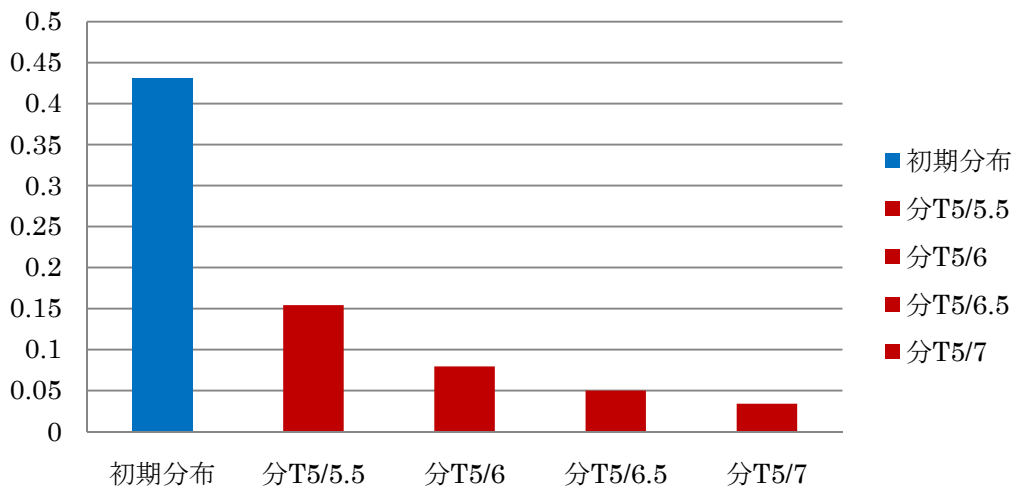


図 5-20 初期分布が分散している場合の混在度



## 5.4 まとめ

高齢者の交通費  $t^o$  の高さが都市構造に及ぼす影響に着目した静学的アプローチによるシミュレーションを、初期分布が集中している場合と分散している場合で行った。

そこで集中している場合と分散している場合とで共通して言えることは、高齢者の交通費が高いときほど中心部の密度が高く、集中の外部不経済が高い面積が大きいことがわかった。また、高齢者の交通費が高いときほど中心部における農地の面積が小さくなっている。農地は、交通費が高いときほど中心部に表れない傾向があることがわかった。全体の集中度と標準偏差に関して高齢者の交通費が高いほど集中度指数が高く、標準偏差が小さいことがわかった。これは、高齢者の交通費が高いほど都市はコンパクト化することを示唆している。また、高齢者の交通費に関わらず、高齢者の集中度指数の値が初期分布よりも大きく、標準偏差は小さいことがわかった。これは、高齢者が交通費に関わらず初期分布と比べて中心に集中していることを意味する。若者の集中度指数が初期分布より小さい一方、若者の標準偏差が高齢者の交通費の大きさに関わらず初期分布よりも大きいことがわかった。これは、若者が郊外に集中して居住した結果と考えられる。また、高齢者の交通費がどの値でも都市半径は、初期分布よりも増加していることがわかる。これは、都市がコンパクト化していないことを意味する。また、高齢者の交通費が高まるほど混在度は減少することがわかった。

他方、初期分布によって違った点は、以下の4つである。まず、初期分布が集中している場合よりも、分散している場合の方が中心付近に農地が残ることがわかった。次に、初期分布が集中している場合と違い分散している場合は、高齢者の交通費に関わらず集中度も標準偏差も初期分布よりもコンパクト化していることがわかった。次に、初期分布が集中している場合の変化後の都市半径は、高齢者の交通費によって不規則に増減したが、分散している場合は、高齢者の交通費が高いときほど都市半径が減少することがわかった。最後に、初期分布が集中している場合の混在度よりも分散している混在度の方が、交通費の違いによる混在度の変化が大きいという結果を得た。

高齢者の交通費が高いときほど中心部の密度が高く、ばらつきの小さい都市となるが、若者が郊外に転居することにより、都市半径は大きくなることもある。若者と高齢者の居住の混在具合は、高齢者の交通費が高いときほど小さくなる。



## 第 6 章 シミュレーション 2

この章では、高齢者の全人口に占める割合 $\lambda$ の変化が都市構造に及ぼす影響に着目したシミュレーションを行う。高齢者の全人口に占める割合 $\lambda$ の変化によって、人々の立地選択はどうか、その結果、都市構造はどうかについてシミュレーションする。

## 6.1 修正モデル

### 6.1.1 想定する経済

基礎モデルで示した仮定に加えて、以下の経済を想定する。

#### ②経済主体

初期分布では、高齢者の全人口に占める割合 $\lambda$ が0.2となるように各家計が登場する。各家計は予め与えられた地代を下に、(12)式を用いて効用を求める。地代に関しては以下のように決定した。地代と距離の関係を表した地代曲線は、都心からの距離に従って右下がり、地代曲線は下に向かって凸、都心近くで勾配が急で、都心から離れるに従って勾配が緩やかになることが一般的である(金本,1997年)。そこで、各セルの地代を

$$r_i = R e^{-\epsilon d_{i0}} \quad (25)$$

のように定義した。Rは中心地の地代の大きさを表しており、今回はR=180、120、80とした。また、 $\epsilon$ は地代の距離に関する減衰率を調整するパラメータであり、今回は $\epsilon=0.05$ とした。 $d_{i0}$ はCBDからセル*i*までの距離である。具体的な曲線は図6-1に示す通りである。

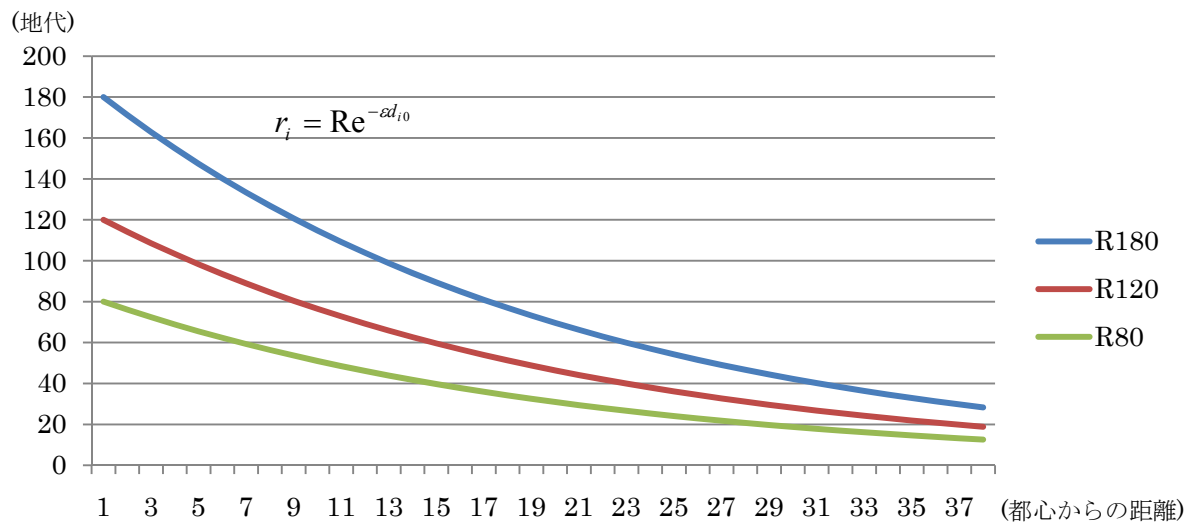


図6-1 シミュレーションで用いた地代曲線

この地代を下に、効用を求める。したがって、若者と高齢者のそれぞれの新たな間接効用関数が以下の様に決まる。

$$V_i^y = \left( \frac{\alpha^2}{2\beta} + y - t^y d_{i0} - r_i + \frac{1}{\beta} p \left( \frac{1}{2} p - \alpha \right) \right) \omega \quad (27)$$

$$V_i^o = \left( \frac{\alpha^2}{2\beta} + y - t^o d_{i0} - r_i + \frac{1}{\beta} p \left( \frac{1}{2} p - \alpha \right) \right) \omega \quad (28)$$

これらの間接効用関数を用いて、若者と高齢者は住居場所を選択する。各家計は、現状の居住地より高い効用を得られる居住地を発見した場合、その居住地に移動する。但し、移動できる家計は1期につき、若者と高齢者のそれぞれ1名のみであるとする。また、転居可能な場所は農地に限るとする。そして、転居によって効用を高めることができない状態になったら移動をやめ、その状態を均衡とする ( $V_{\max}^y - V_{\min}^y \leq \xi$ ,  $V_{\max}^o - V_{\min}^o \leq \xi$ )。均衡を得られたら、若者をランダムに高齢者に変化させる ( $\lambda$  の変化)。その変化により、各家計は自らの効用を高めるための移動を繰返し、新たな均衡への調整を行うとする。

## 6.2 シミュレーションの設定

### 6.2.1 初期状態

初期分布として、中心から半径 30 セル以内に若者と高齢者を $\lambda=0.2$ の割合でランダムに発生させる。その後、自由に移動させ、移動によって効用が高まらなくなった状態を初期状態とした。

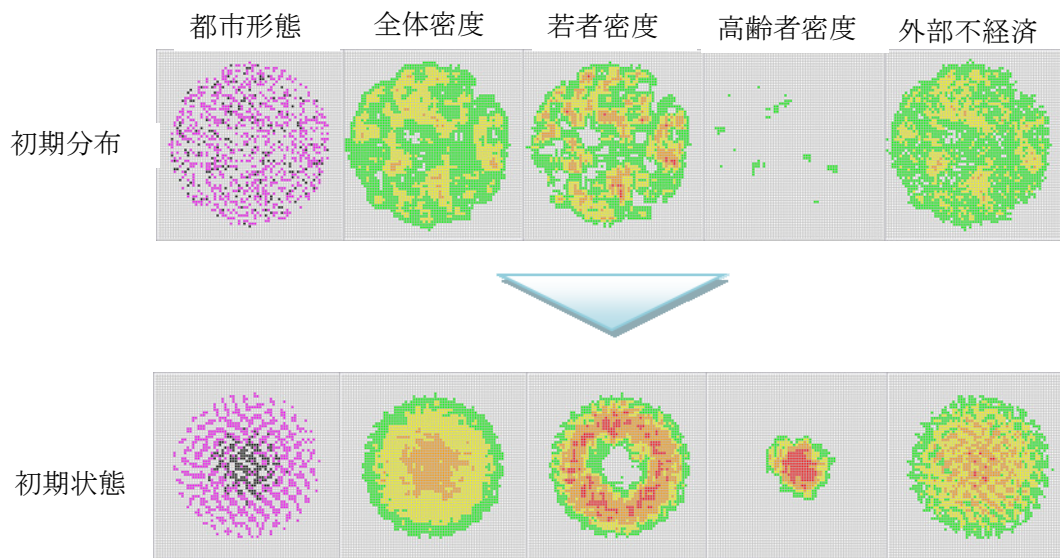


図 6-2 初期分布と初期状態の例

### 6.2.2 シミュレーション手順

①初期分布の生成、②初期状態の決定、③与件の変化、④各家計の移動という順でシミュレーションを行う。

#### ①初期分布の生成

(1) 初期分布として、中心から半径 30 セル以内に若者と高齢者を $\lambda=0.2$ の割合でランダムに発生させる。

#### ②初期状態の決定

(1)各パラメータの値を設定する。このとき、地代 $r_i$ も与える。

(2)任意の近傍内の家計の数を計算し、(7)式を用いて各セルの混雑の影響の大きさを求める。

(3)中心から各セルまでの距離を算出し、(27)式と(28)式を用いて各セルの若者と高齢者の効用を算出する。

(4)若者と高齢者が、現状の居住地より高い効用を得られる居住地に移動する。

(5) 転居によって効用を高めることができない状態になったら、その状態を初期状態とする( $V_{\max}^y - V_{\min}^y \leq \xi$ 、 $V_{\max}^o - V_{\min}^o \leq \xi$ )。そうでなければ、(2)に戻る。

### ③与件の変化

(1) 若者をランダムに高齢者に変化させる( $\lambda$ の変化)。

### ④各家計の移動

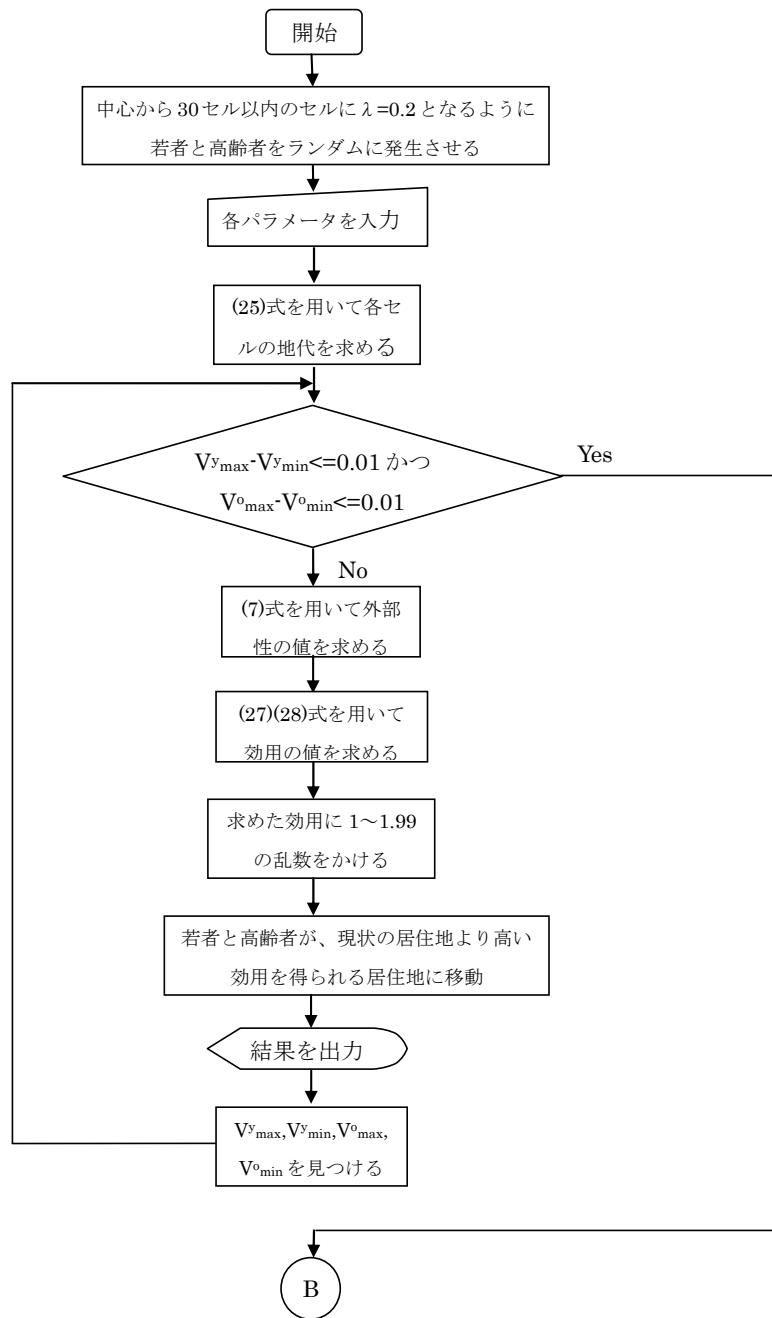
(1)任意の近傍内の家計の数を計算し、(7)式を用いて各セルの混雑の影響の大きさを求める。

(2)中心から各セルまでの距離を算出し、(27)式と(28)式を用いて各セルの若者と高齢者の効用を算出する。

(3)若者と高齢者が、現状の居住地より高い効用を得られる居住地に移動する。

(4) 転居によって効用を高めることができない状態になったらシミュレーション終了( $V_{\max}^y - V_{\min}^y \leq \xi$ 、 $V_{\max}^o - V_{\min}^o \leq \xi$ )。そうでなければ、(1)に戻る

以上の流れを図示すると図 6-3 のようになる。





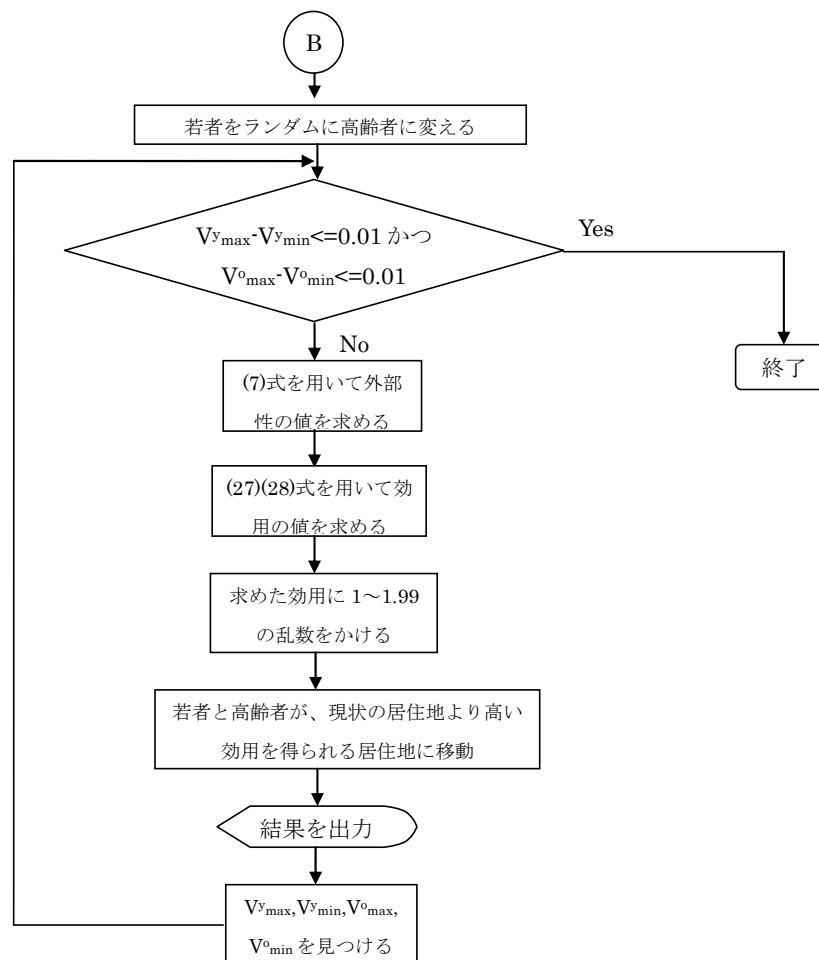


図 6-3 シミュレーション 2 フロー図

## 6.3 基本ケース

以下のシミュレーションでは、感度分析を行う。感度分析は、変化させるパラメータ以外を基本ケースに固定させたときに、アウトプットの値の変化がどうなるかを把握する手法である。この節では、感度分析を行うために用いる基本ケースについて説明する。

基本ケースでは、パラメータを $\alpha=1$ 、 $\beta=1$ 、 $p=1$ 、 $Y=250$ 、 $\gamma=0.54$ 、 $\delta=0.6$ 、 $t^y=5$ 、 $t^o=6$ 、 $R=120$ 、 $\varepsilon=0.05$ 、 $N=1000$ 、 $\lambda=0.4$  とし、初期状態を得たあとに $\lambda=0.6$  に変化させるというシミュレーションを行った。以上の設定でシミュレーションを行った結果が、図 6-4 である。初期分布から初期状態にかけて、高齢者が中心に住み、その周囲に若者が住むという傾向が見られる。その傾向は、 $\lambda$  の変化後も継続して見られることがわかる。

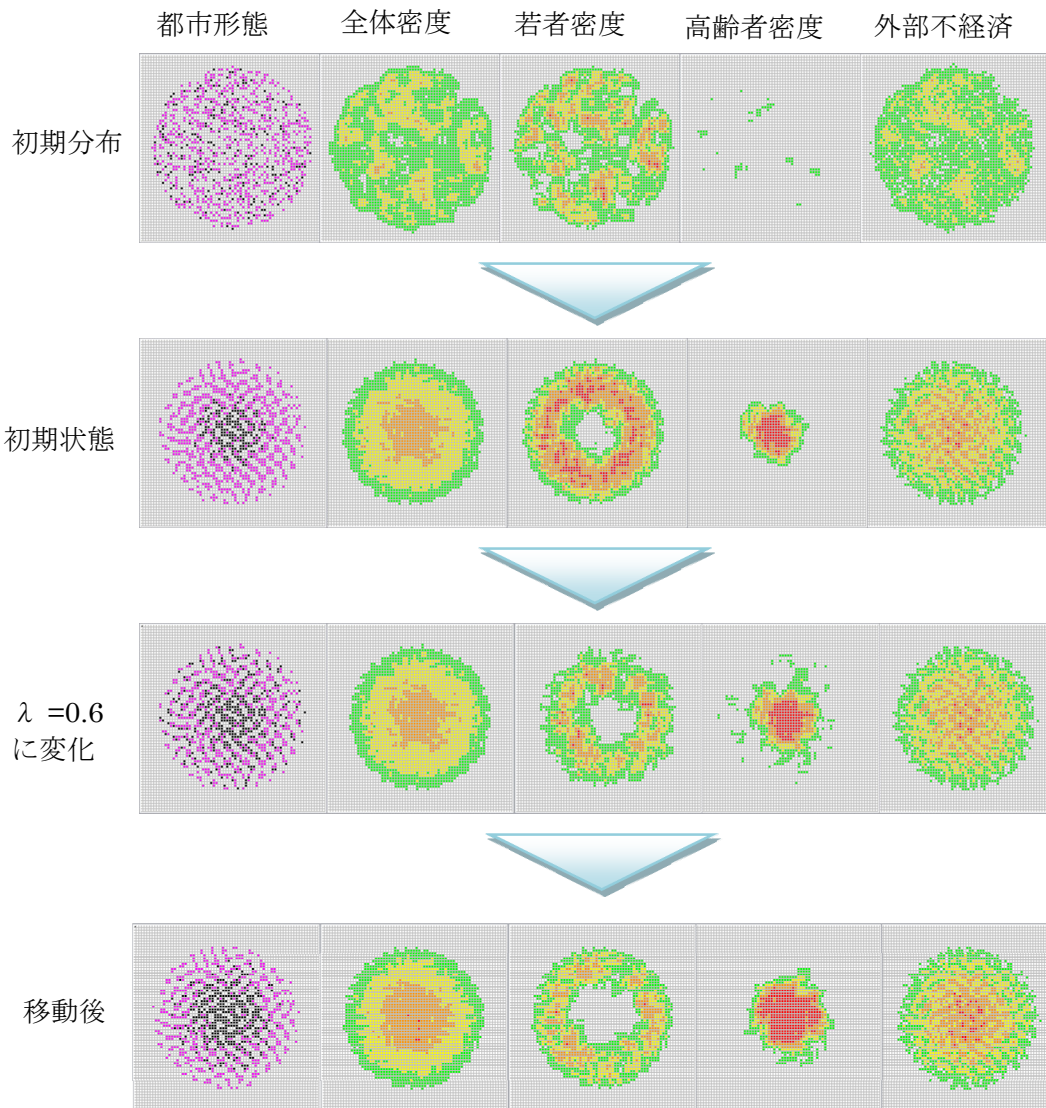


図 6-4 基本ケースの初期分布、初期状態と結果

また、 $\lambda$ を変化させた直後と各家計の移動終了時の各指標の結果をまとめたものが図 6-5 から図 6-8 である。図の括弧内が前となっている値が $\lambda$ を変化させた直後の指標であり、後となっている値は各家計の移動終了時の指標である。集中度は、移動前と移動後で大きくなっており、標準偏差は小さくなっている。また、都市半径も移動前と移動後で小さくなっている。これは、都市が中心に集中していることを意味する。混在度は、移動前より移動後の方が低くなっている。

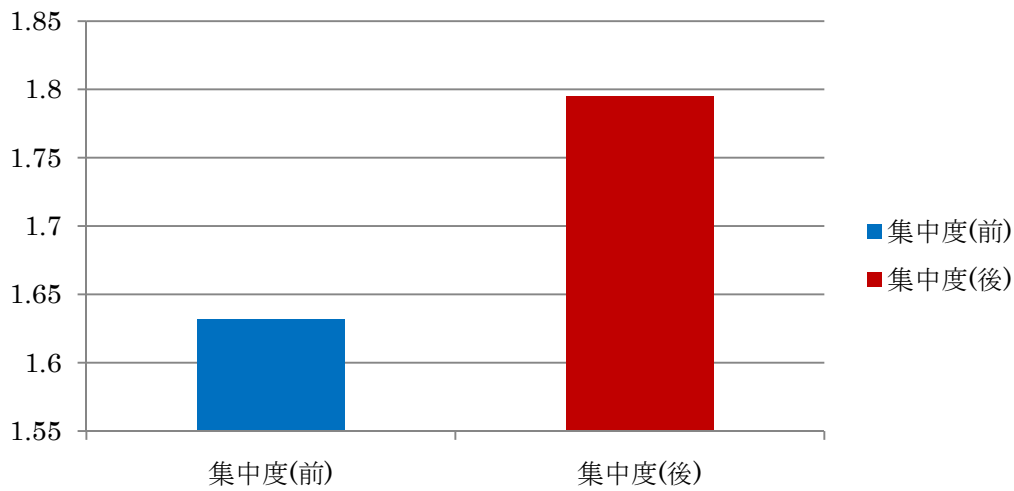


図 6-5 基本ケースの移動前と移動後の集中度指数

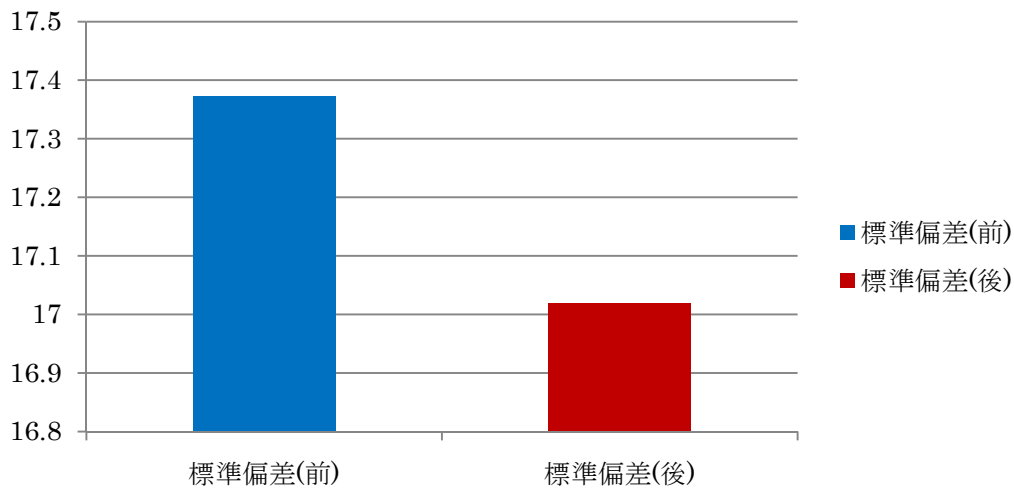


図 6-6 基本ケースの移動前と移動後の標準偏差

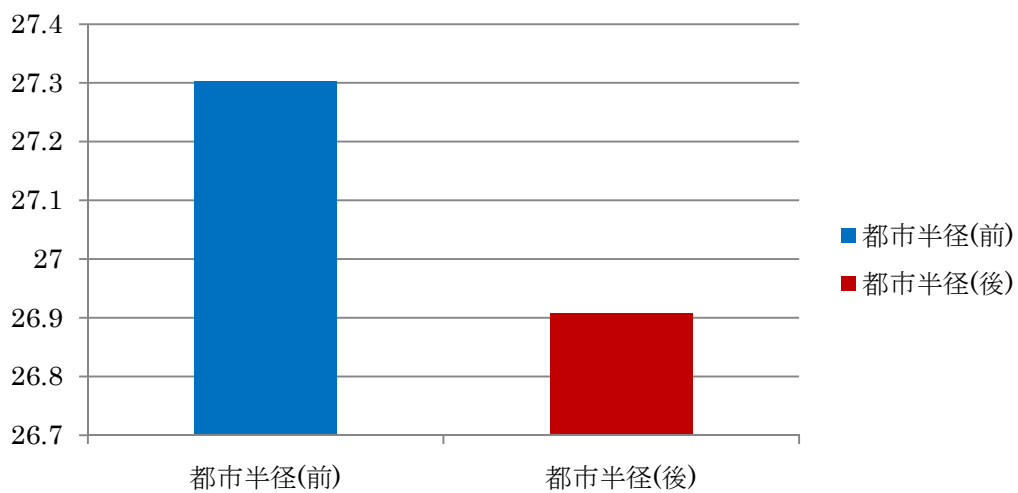


図 6-7 基本ケースの移動前と移動後の都市半径

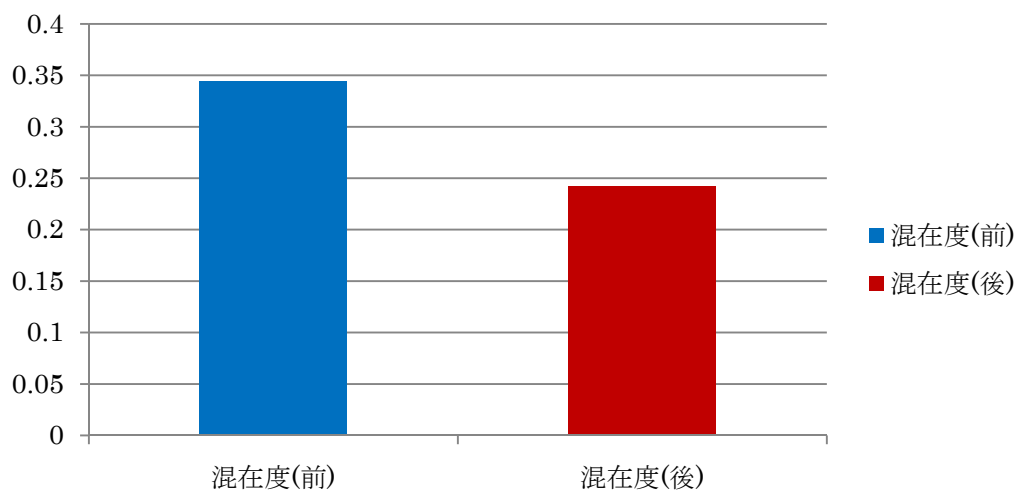


図 6-8 基本ケースの移動前と移動後の混在度

## 6.4 高齢者率の変化の違いの影響

$\lambda=0.2$  から $\lambda=0.3$  と $\lambda=0.5$  に変化する場合のシミュレーションを行い、 $\lambda=0.4$  に変化する基本ケースと比較する。他のパラメータは基本ケースと同じである。結果は、以下の図 6-9 のようになった。上から $\lambda=0.3$  になった場合、 $\lambda=0.4$  になった場合、 $\lambda=0.5$  になった場合の結果である。

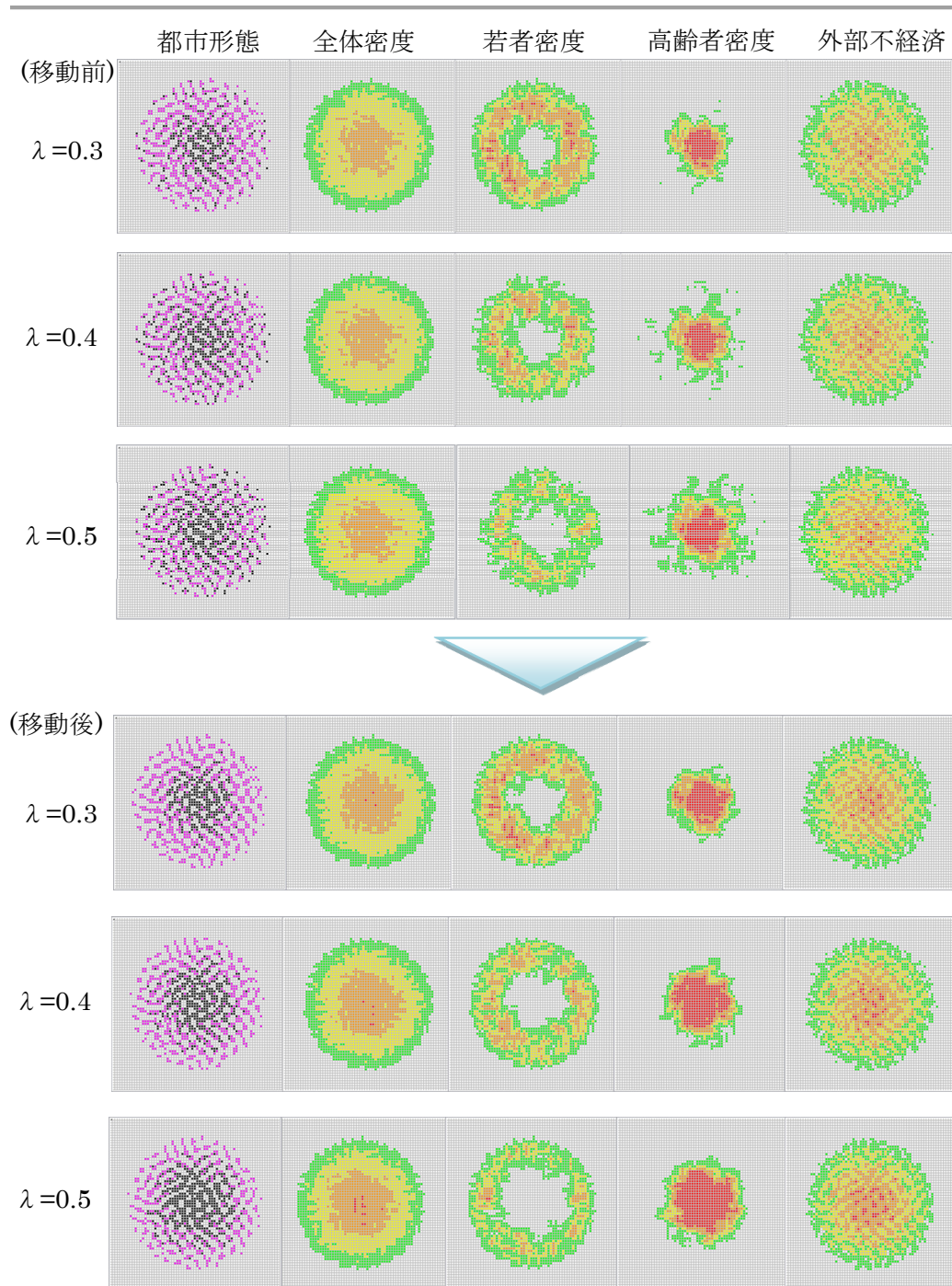


図 6-9 高齢者率の影響

高齢者の全人口に占める割合 $\lambda$ が高いほど中心部の密度が高く、集中の外部不経済の高い場所が増える傾向がある。これは、相対的に交通費の高い高齢者が多く存在することで、中心に高齢者が多く集まった結果であると考えられる。

次に、図 6-10 と図 6-11 は都市全体の集中度と標準偏差の移動前と移動後をグラフ化したものである。また、図 6-12 と図 6-13 は都市全体の集中度と標準偏差の移動前と移動後

の変化率をグラフ化したものである。図 6-10 と図 6-11 を見ると、移動前に比べて移動後の方が集中度は大きく、標準偏差は小さいことがわかる。また、 $\lambda$ が高いときほど都市は集中し、各家計の立地のばらつきは小さくなることがわかる。次に、図 6-12 と図 6-13 を見ると、 $\lambda$ が高いときほど、移動前と移動後の集中する変化は大きくなっている。これらの結果から、高齢者の割合が高まるほど各家計は都市に集中し、その度合いは高齢者の割合が高まるほど大きくなることがわかる。

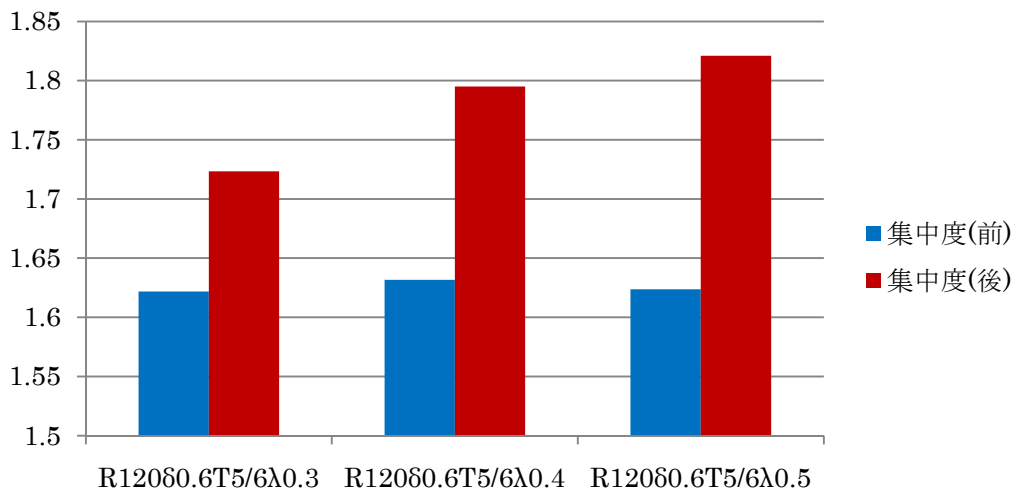


図 6-10 高年齢率が違う場合の集中度指数

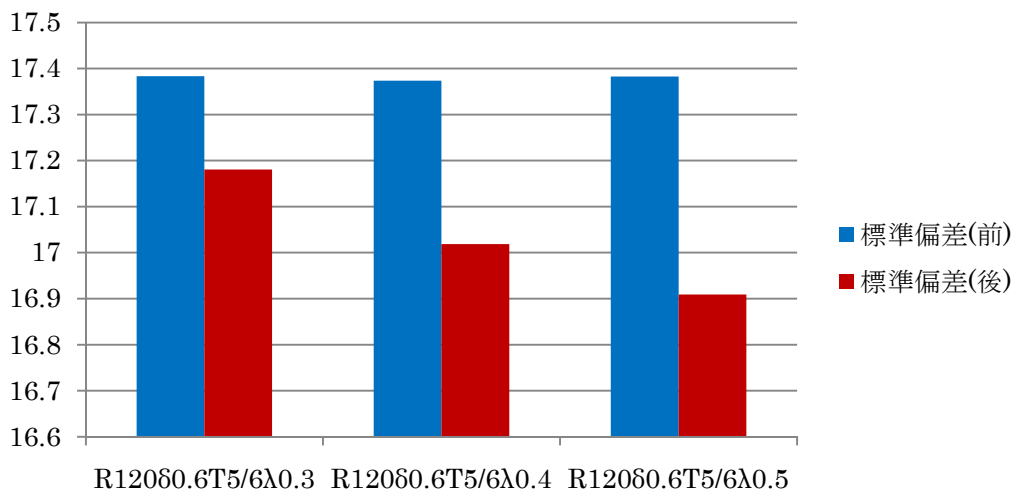


図 6-11 高年齢率が違う場合の標準偏差

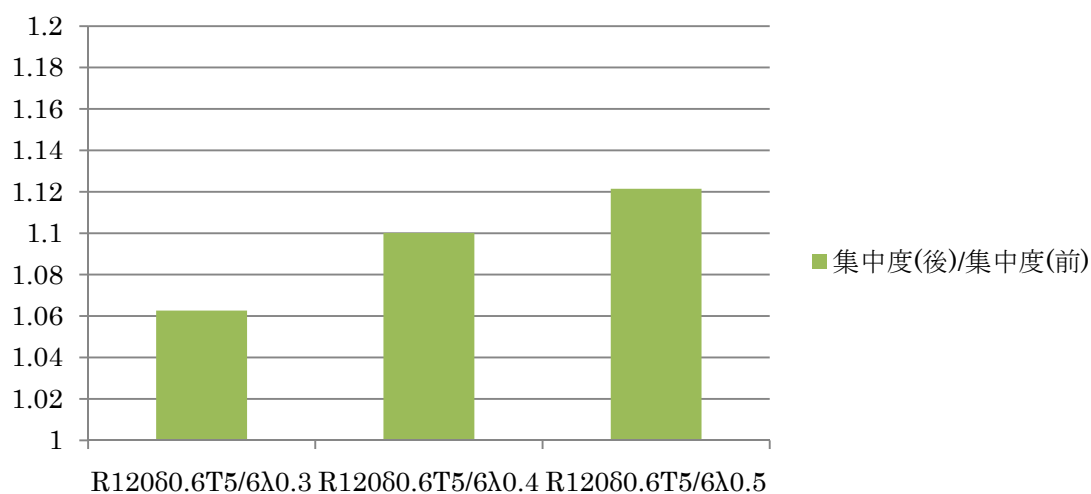


図 6-12 高齢者率が違う場合の集中度の変化率

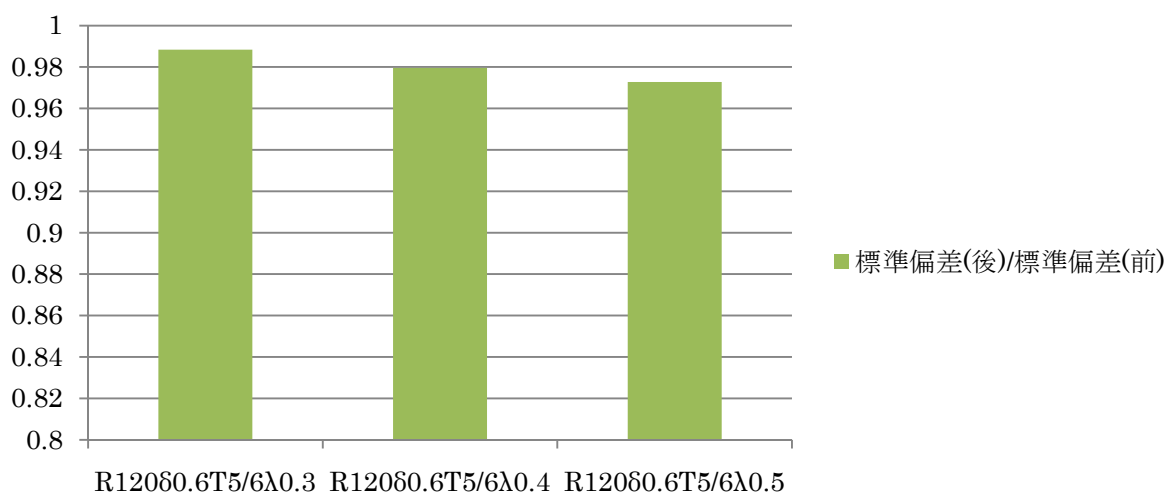


図 6-13 高齢者率が違う場合の標準偏差の変化率

次に、図 6-14 から図 6-17 は若者の集中度指数と標準偏差の移動前と移動後をグラフ化したものと移動前と移動後の変化率をグラフ化したものである。また、図 6-18 から図 6-21 は高齢者の集中度指数と標準偏差の移動前と移動後をグラフ化したものと移動前と移動後の変化率をグラフ化したものである。図 6-14 と図 6-15 を見ると、移動前に比べて移動後の方が若者の集中度は大きく、標準偏差も大きいことがわかる。また、 $\lambda$ が高いときほど若者は集中し、若者の立地の中心からのばらつきは大きくなることがわかる。また、図 6-16 と図 6-17 を見ると、 $\lambda$ が大きいほど若者の集中度と標準偏差の変化率は大きいことがわかる。これらから、高齢者の割合が高まるほど若者は郊外に集中して居住し、その度合いは高齢者の割合が高まるほど大きくなることがわかる。次に、図 6-18 と図 6-19 を見ると、移動前に比べて移動後の方が高齢者の集中度は小さく、標準偏差も小さいことがわかる。

また、 $\lambda$ が高いときほど高齢者は集中し、都市の中心からのばらつきは小さくなること  
 分かる。また、図 6-20 と図 6-21 を見ると、標準偏差の変化率は $\lambda$ に関わらず一定であるが、  
 集中度の変化率は $\lambda$ が大きいほど大きいことがわかる。以上から、高齢者の割合が高いほど  
 高齢者は都市の中心に集中して居住し、その度合いは高齢者の割合が高いときほど大き  
 なることがわかる。

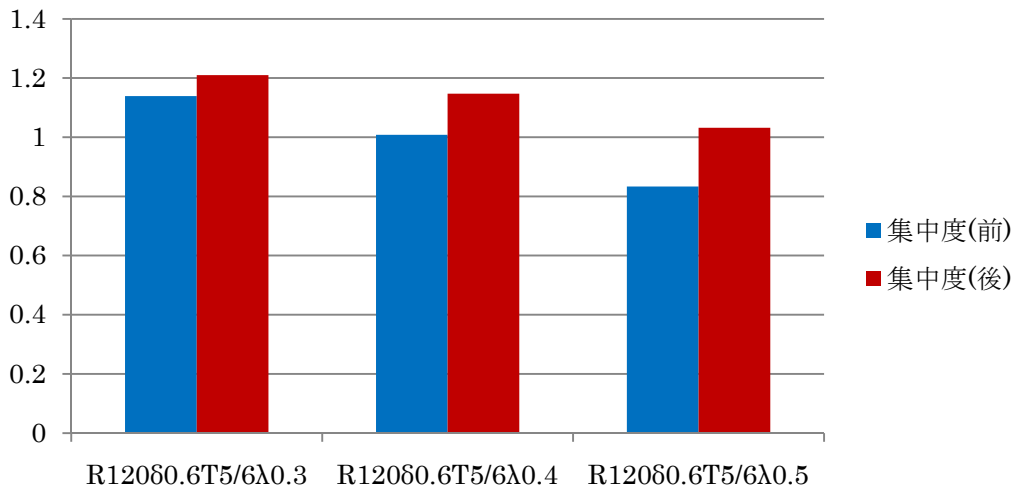


図 6-14 高齢者率が違う場合の若者の集中度指数

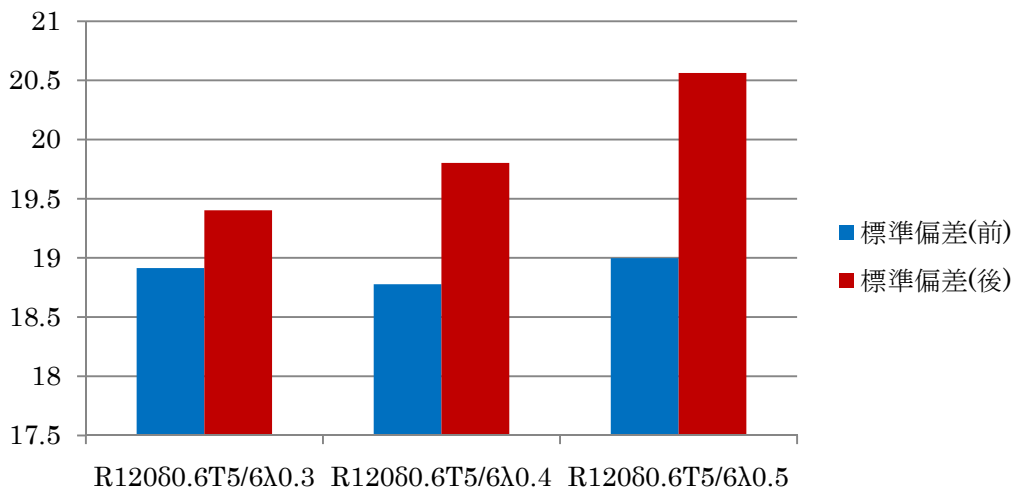


図 6-15 高齢者率が違う場合の若者の標準偏差



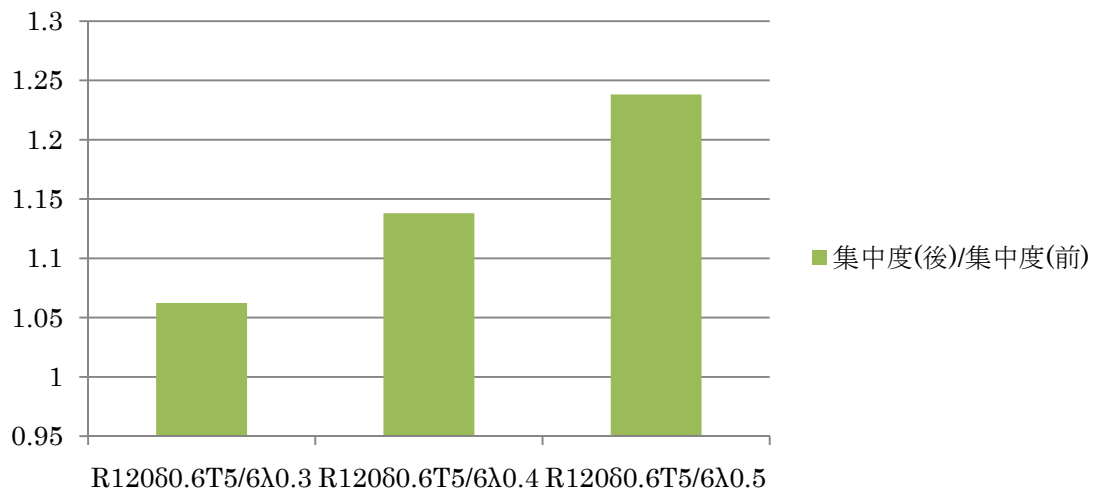


図 6-16 高齢者率が違う場合の若者の集中度の変化率

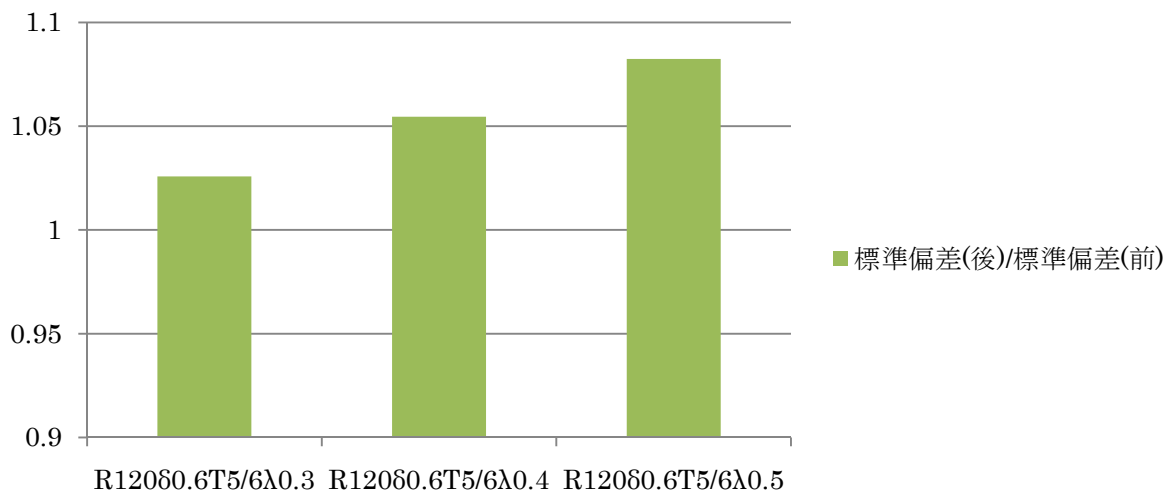


図 6-17 高齢者率が違う場合の若者の標準偏差の変化率

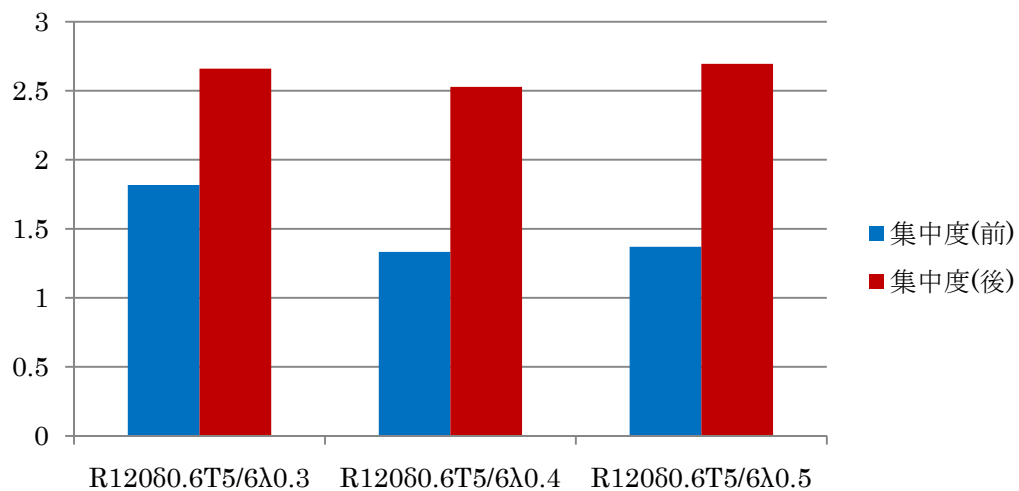


図 6-18 高齢者率が違う場合の高齢者の集中度指数

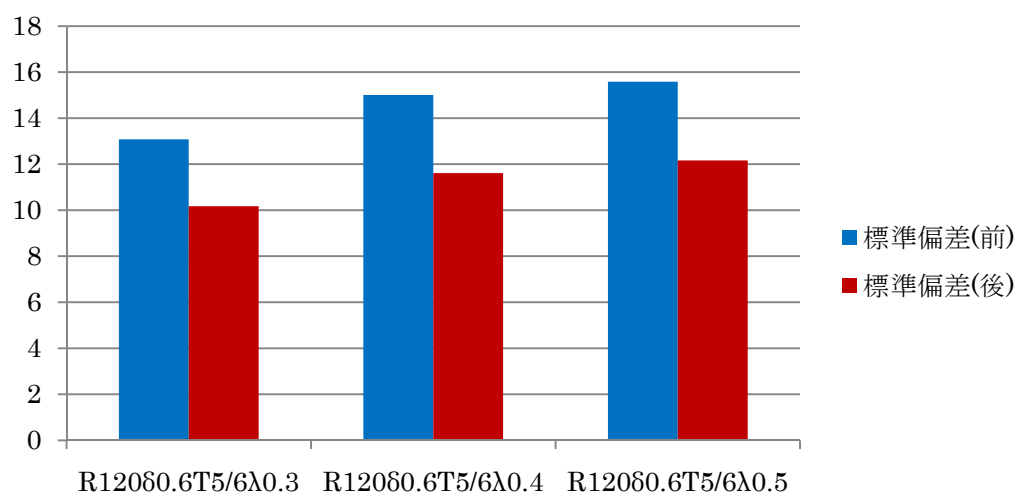


図 6-19 高齢者率が違う場合の高齢者の標準偏差

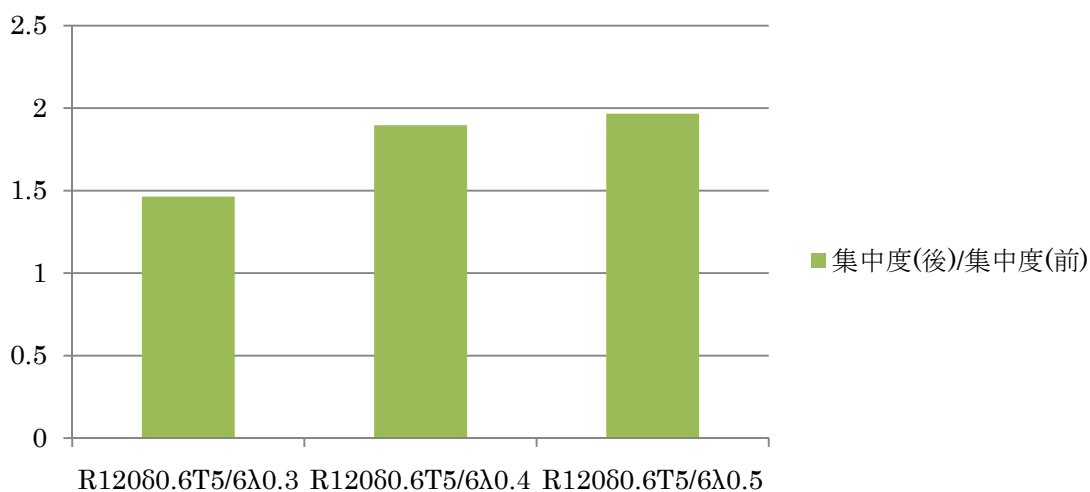


図 6-20 高齢者率が違う場合の高齢者の集中度指数の変化率

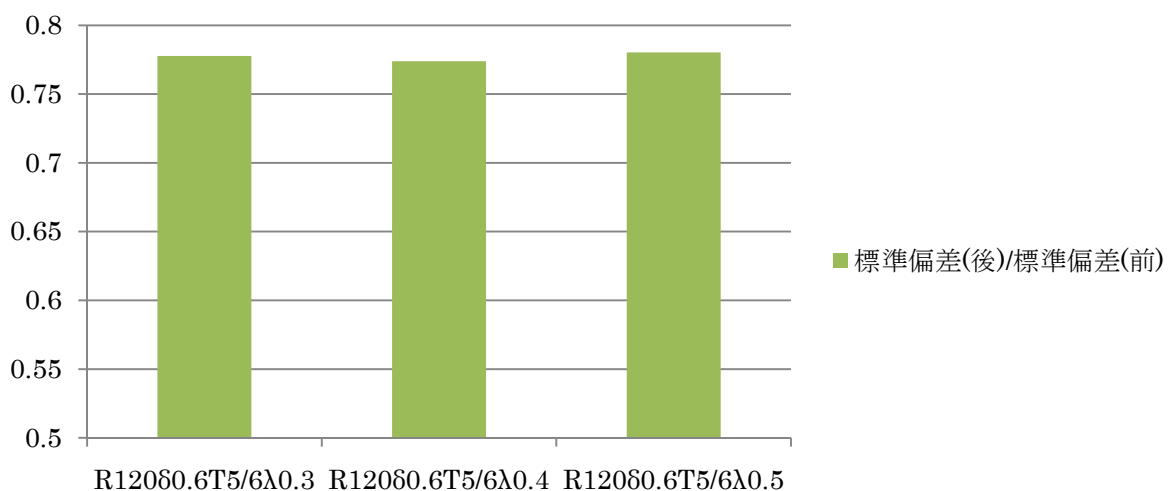


図 6-21 高齢者率が違う場合の高齢者の標準偏差の変化率

次に、図 6-22 は都市半径の移動前と移動後をグラフ化したものである。また、図 6-23 は都市半径の移動前と移動後の変化率をグラフ化したものである。図 6-22 を見ると、移動前と移動後では、移動後の方が都市半径は小さくなっている。また、 $\lambda$ が 0.3 のときと 0.4 のときの移動後の結果を比べると、都市半径は $\lambda$ が 0.4 のときの方が小さくなっている。一方、 $\lambda$ が 0.4 のときと 0.5 のときの移動後の結果を比べると、都市半径は $\lambda$ が 0.5 のときの方が大きくなっている。交通費の高い高齢者は中心地付近に密集するため、都市半径は小さくなる。したがって、 $\lambda$ が 0.3 と 0.4 を比較したとき、 $\lambda$ が 0.4 のときの方が都市半径は小さくなったと考えられる。しかし、高齢者の密集により集中の外部性が高くなるため、中心に住む若者が郊外に住む。そして、若者が郊外で集中の外部不経済を受けないように居住した結果、 $\lambda$ が 0.5 のとき、都市半径は大きくなったと考えられる。

図 6-23 を見ると、 $\lambda$ が 0.3 のときと 0.4 のときの移動後の結果を比べると、都市半径の変化率は $\lambda$ が 0.4 のときの方が小さくなっている。 $\lambda$ が 0.4 のときと 0.5 のときの移動後の結果を比べると、都市半径の変化率は $\lambda$ が 0.5 のときの方が大きくなっている。

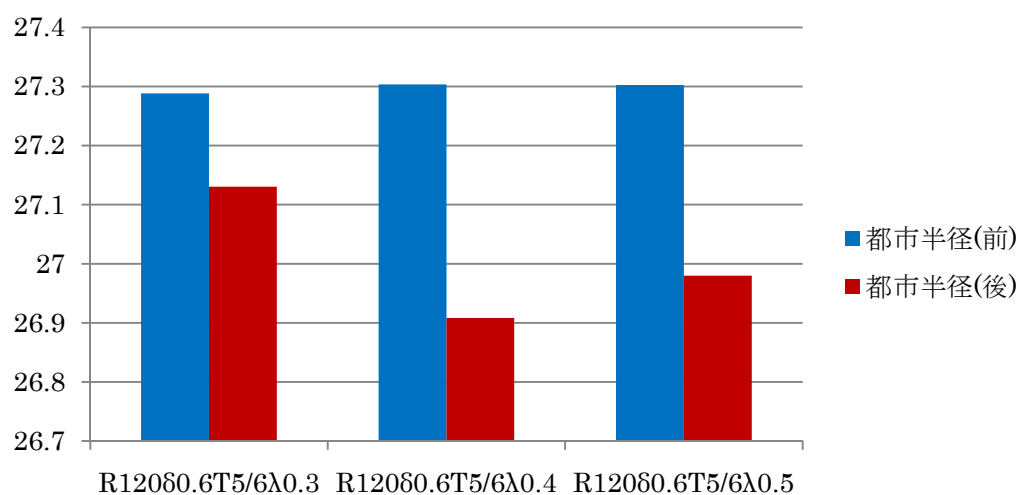


図 6-22 高齢者率が違う場合の都市半径

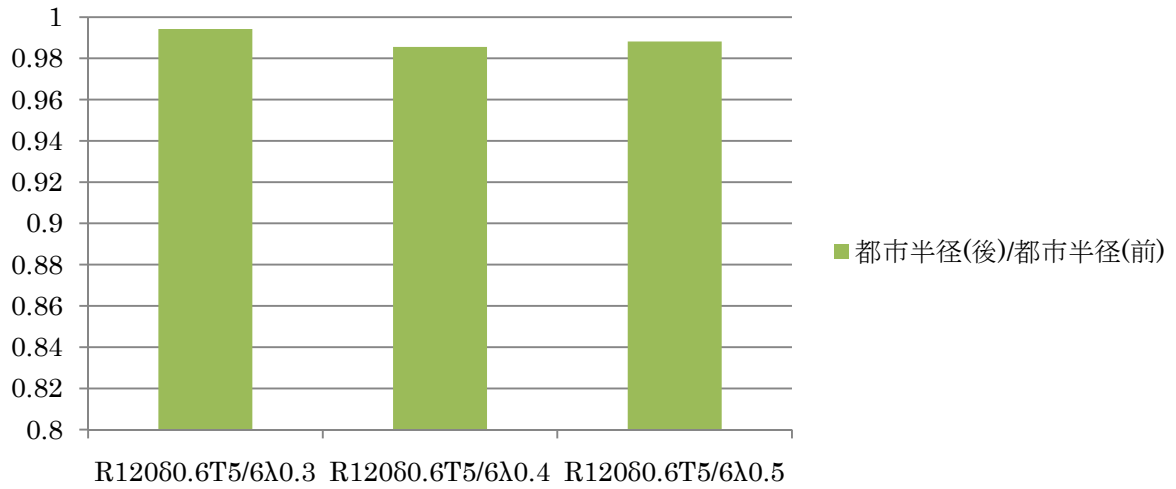


図 6-23 高年齢率が違う場合の都市半径の変化率

最後に、図 6-24 は混在度の移動前と移動後をグラフ化したものである。また、図 6-25 は混在度の移動前と移動後の変化率をグラフ化したものである。図 6-25 を見ると、移動前と移動後では、移動後の方が混在度は小さくなっている。図 6-24 を見ると、λが 0.3 のときと 0.4 のときの移動後の結果を比べると、混在度の小さくなる度合いはλが 0.4 のときの方が大きくなっている。さらに、λが 0.4 のときと 0.5 のときの移動後の結果を比べると、混在度の小さくなる度合いはλが 0.5 のときの方が大きくなっている。さらに、図 6-25 の λが 0.4 のときと 0.5 のときを見ると、移動前ではλが 0.5 の方が混在度は大きかったにも関わらず、移動後はλが 0.4 の混在度の方が大きいという結果が得られた。これは、高齢者の割合が高過ぎると、若者と高齢者はより混在しない可能性があることを意味する。

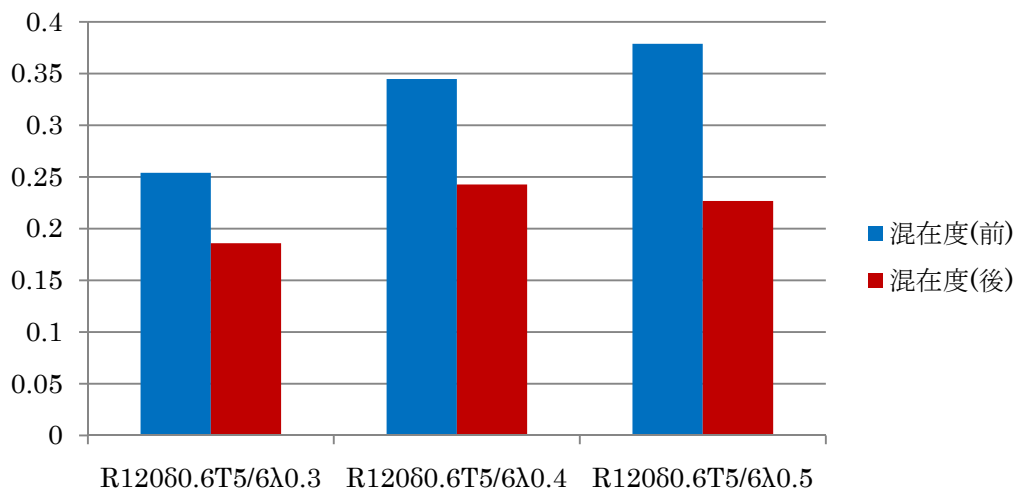


図 6-24 高年齢率が違う場合の混在度

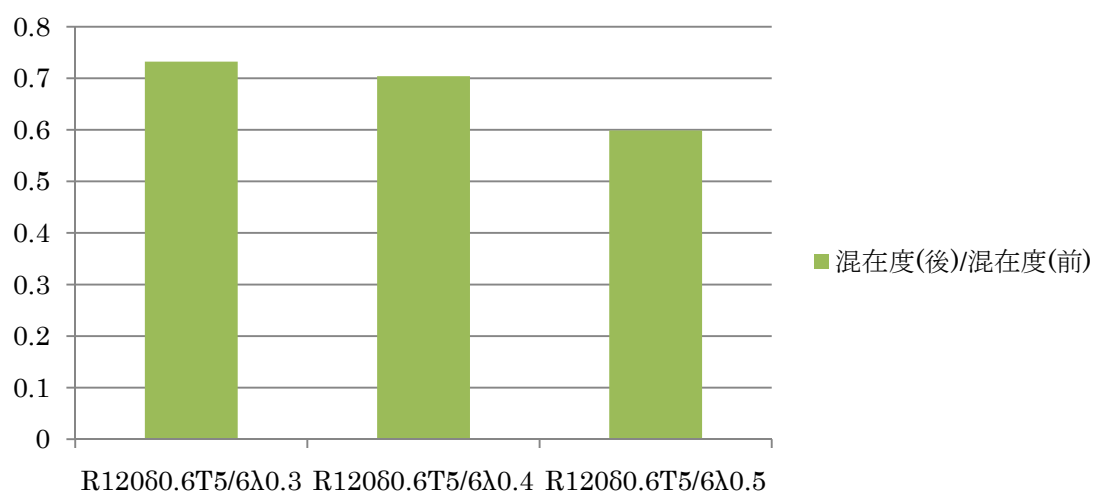


図 6-25 高齢者率が違う場合の混在度の変化率

## 6.5 さまざまな与件変化の影響

この節では、都市構造と経済主体の条件が違う場合、 $\lambda$ が0.2から0.4に変化するという高齢化が都市構造にどのような影響を与えるかを調べるためのシミュレーションを行う。具体的には、高齢者の交通費を変えた $t^0=5.5, 6, 7$ の場合、次に、集中度の外部不経済の影響を変えた $\delta=0.4, 0.6, 0.8$ の場合、最後に所与の地代を変えた $R=80, 120, 180$ の場合のシミュレーションを行った。

### 6.5.1 交通費格差の影響

シミュレーションを行った結果は、以下の図のようになった。上から高齢者の交通費 $t^0$ が5.5の場合、6の場合、7の場合の結果である。

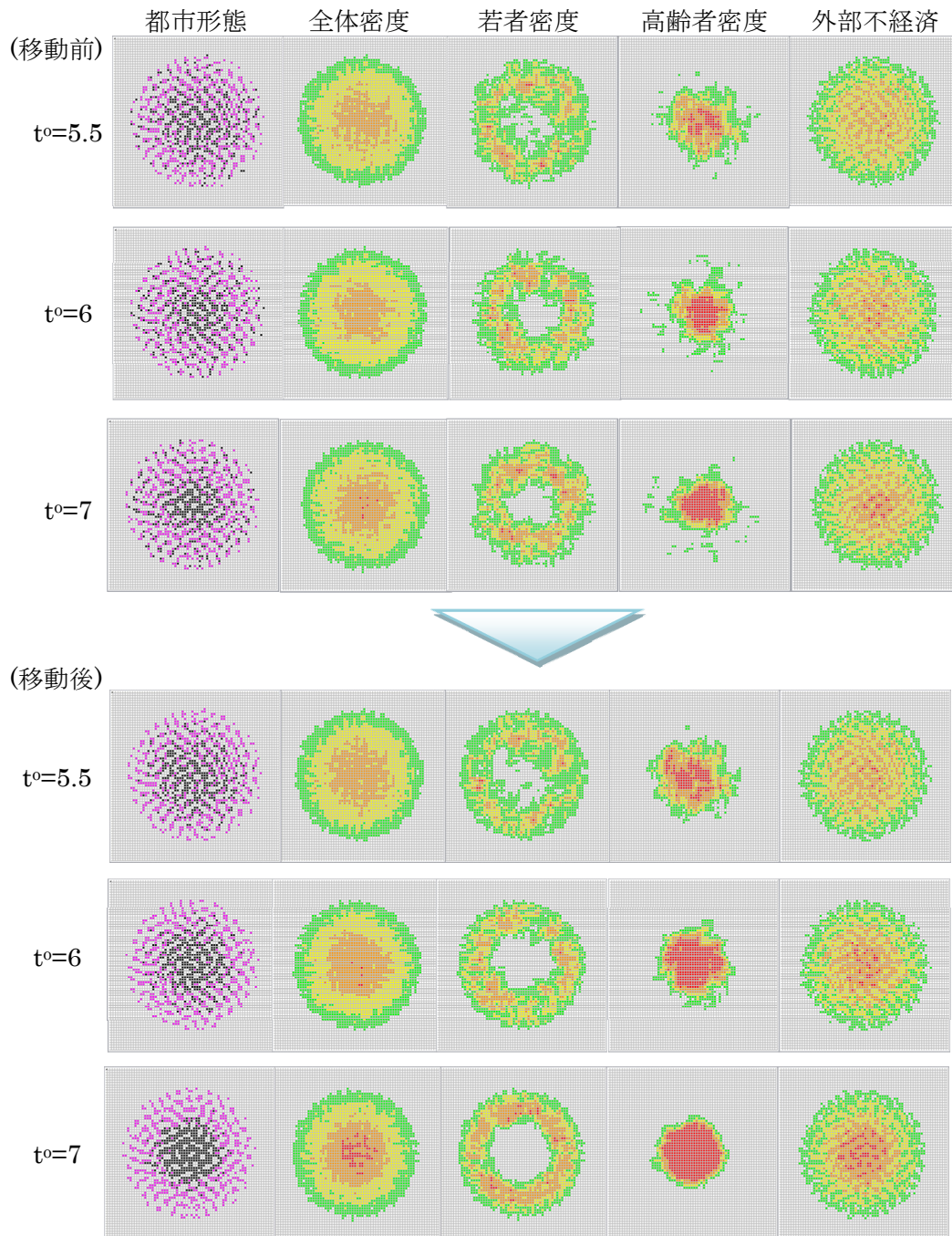


図 6-26 交通費格差の影響

高齢者の交通費  $t^0$  が高いほど中心部の密度が高く、集中の外部不経済の高い場所が増える傾向がある。これは、高齢者の交通費が高いことで高齢者の集中のインセンティブが高くなり、高齢者がより中心に集まった結果であると考えられる。

次に、図 6-27 と図 6-28 は都市全体の集中度と標準偏差の移動前と移動後をグラフ化したものである。また、図 6-29 と図 6-30 は都市全体の集中度と標準偏差の移動前と移動後

の変化率をグラフ化したものである。図 6-27 と図 6-28 を見ると、移動前に比べて移動後の方が集中度は大きく、標準偏差は小さいことがわかる。また、 $t^0$ が高いときほど都市は集中し、各家計の立地のばらつきは小さくなることがわかる。次に、図 6-29 と図 6-30 を見ると、 $t^0$ が高いときほど、移動前と移動後の集中する変化は大きくなっている。これらの結果から、高齢者の交通費が高いときほど各家計は都市に集中し、その度合いは高齢者と若者の交通費の格差が高いときほど大きくなることがわかる。

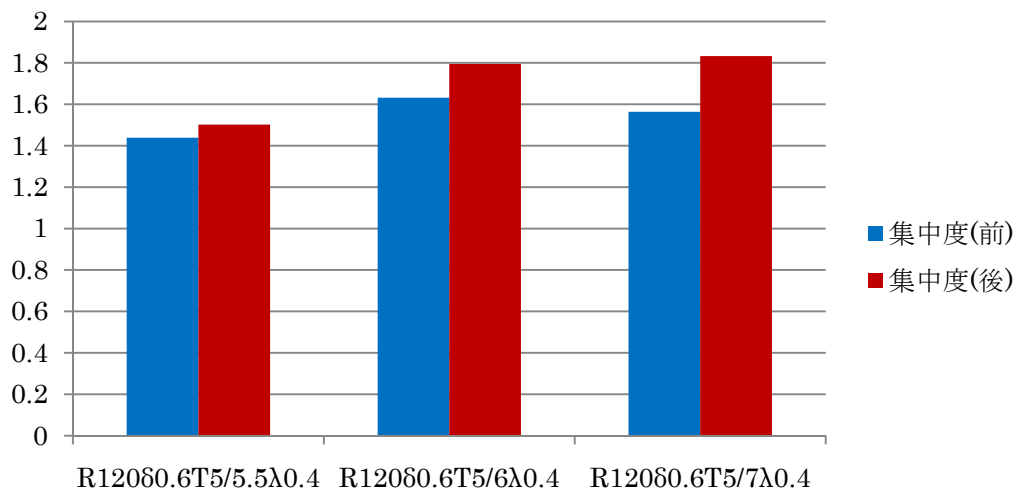


図 6-27 交通費が違う場合の集中度指数

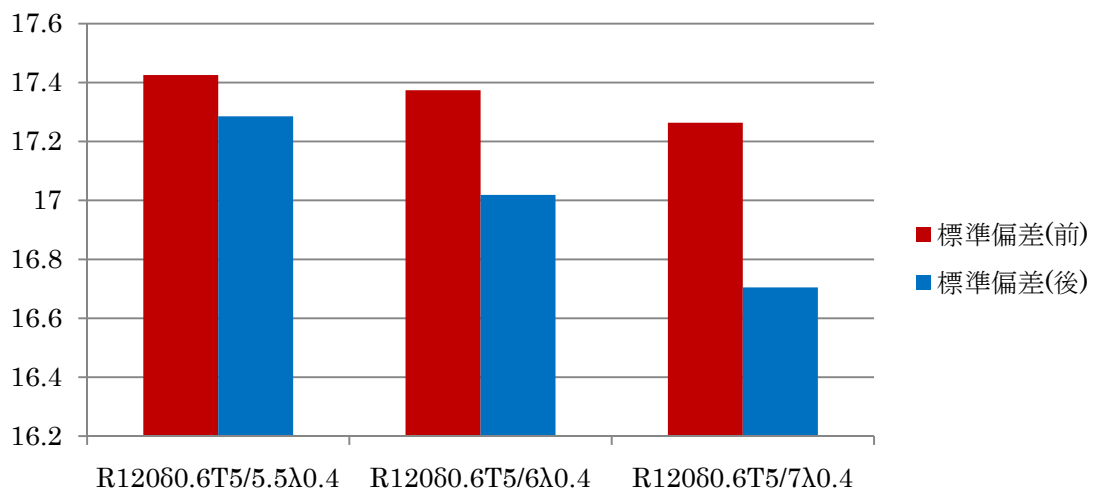


図 6-28 交通費が違う場合の標準偏差

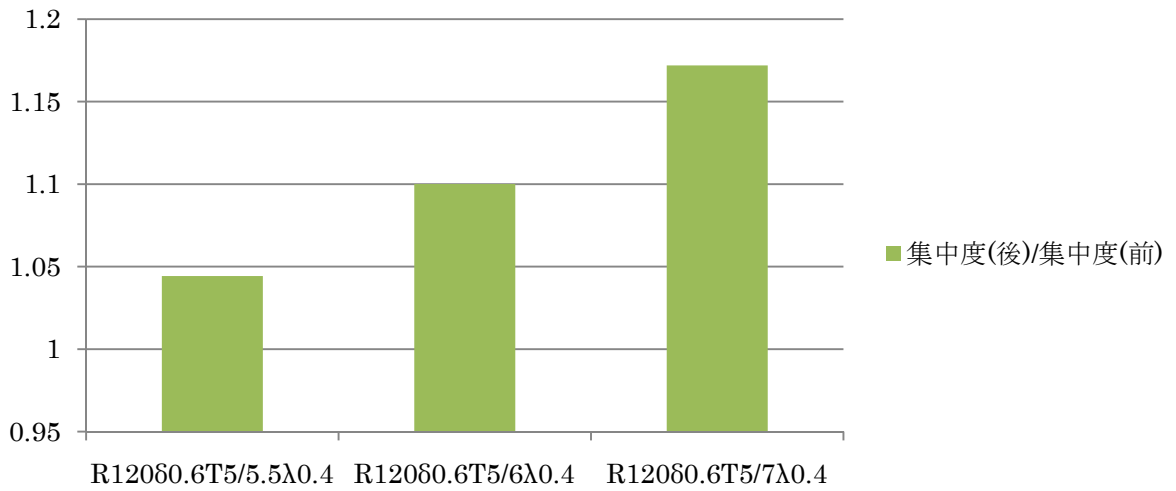


図 6-29 交通費が違う場合の集中度指数の変化率

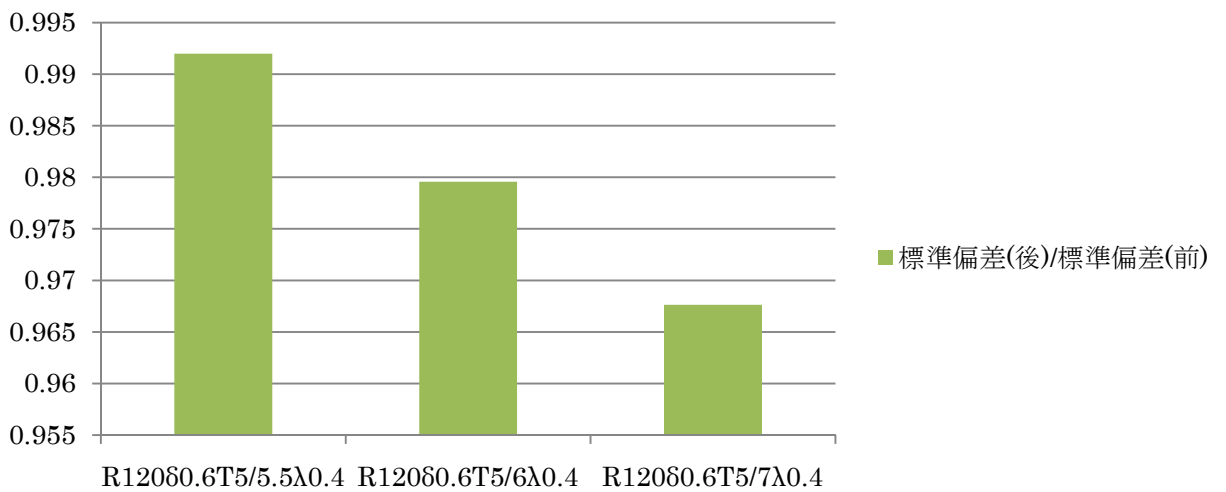


図 6-30 交通費が違う場合の標準偏差の変化率

次に、図 6-31 から図 6-34 は若者の集中度指数と標準偏差の移動前と移動後をグラフ化したものと移動前と移動後の変化率をグラフ化したものである。また、図 6-35 から図 6-38 は高齢者の集中度指数と標準偏差の移動前と移動後をグラフ化したものと移動前と移動後の変化率をグラフ化したものである。図 6-31 と図 6-32 を見ると、 $t^0$  が 5.5 のときを除いて移動前に比べて移動後の方が若者の集中度は大きく、標準偏差は  $t^0$  に関わらず移動後の方が大きいことがわかる。また、 $t^0$  が高いときほど若者は集中し、若者の立地の中心からのばらつきは大きくなることがわかる。また、図 6-33 と図 6-34 を見ると、 $t^0$  が高いほど集中度も標準偏差も変化率が大きいことがわかる。以上から  $t^0$  が高いほど若者は郊外に集中



して居住し、その度合いは高齢者との交通費の格差が大きいほど大きくなることがわかる。次に、図 6-35 と図 6-36 を見ると、移動前に比べて移動後の方が高齢者の集中度は小さく、標準偏差も小さいことがわかる。また、 $t^0$  が高いときほど高齢者は集中し、高齢者の立地の中心からのばらつきは小さくなることがわかる。また、図 6-37 と図 6-38 を見ると、 $t^0$  が高いほど集中度も標準偏差も変化率が大きいことがわかる。以上から、若者との交通費の格差が大きいときほど高齢者は都市の中心に集中して居住し、その度合いは交通費の格差が大きいときほど大きくなることがわかる。

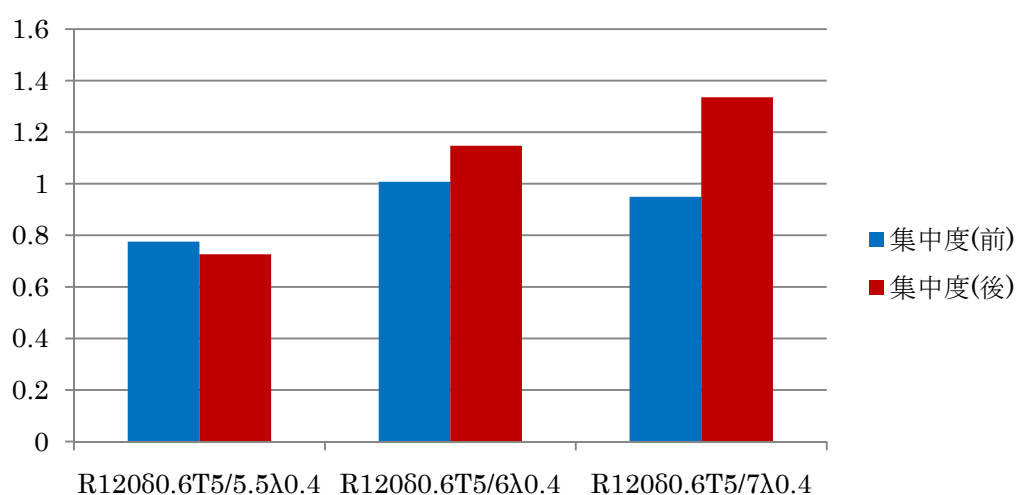


図 6-31 交通費が違う場合の若者の集中度

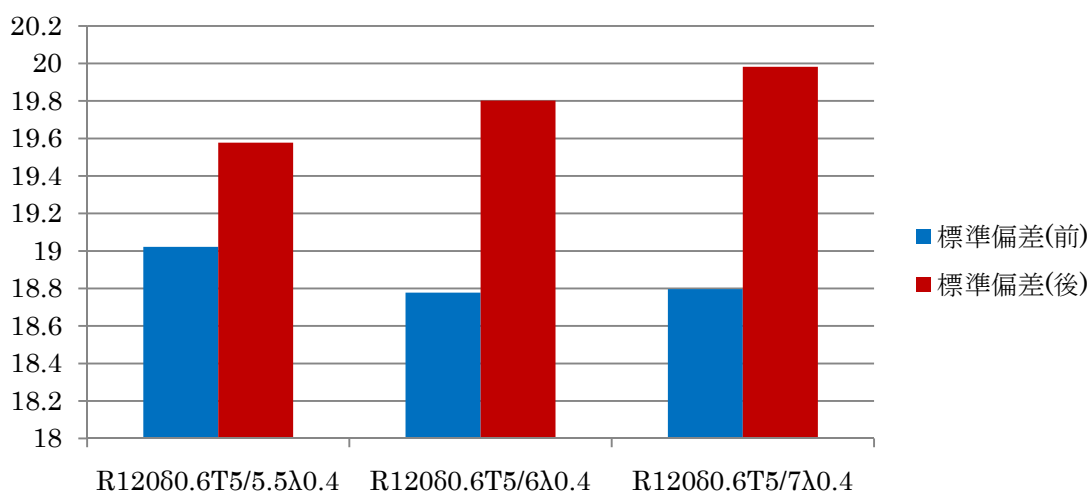


図 6-32 交通費が違う場合の若者の標準偏差

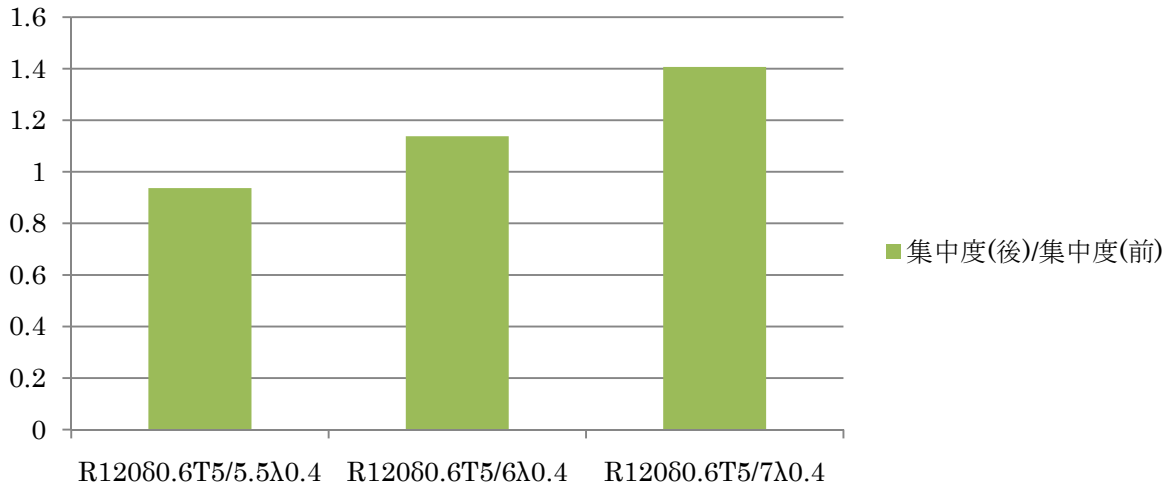


図 6-33 交通費が違う場合の若者の集中度の変化率

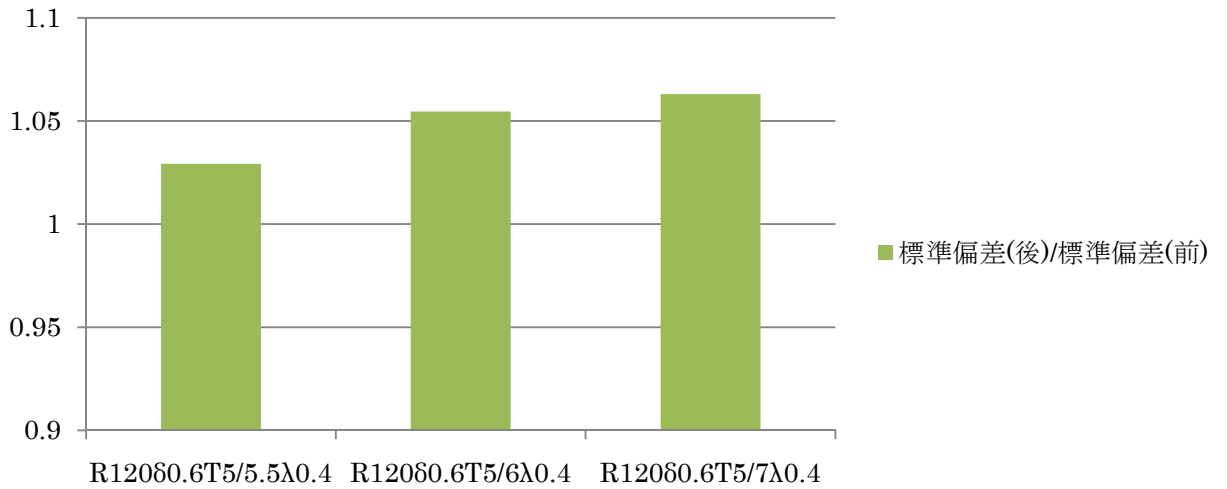


図 6-34 交通費が違う場合の若者の標準偏差の変化率

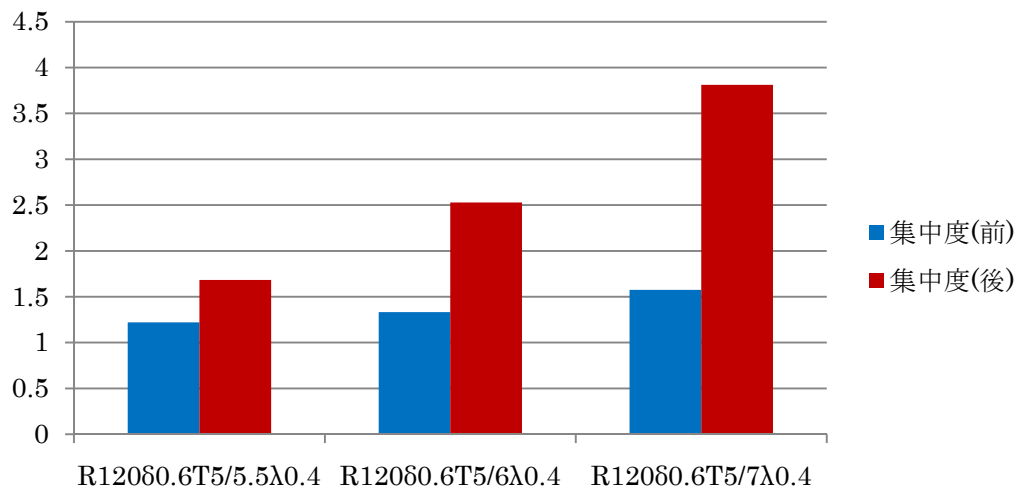


図 6-35 交通費が違う場合の高齢者の集中度指数

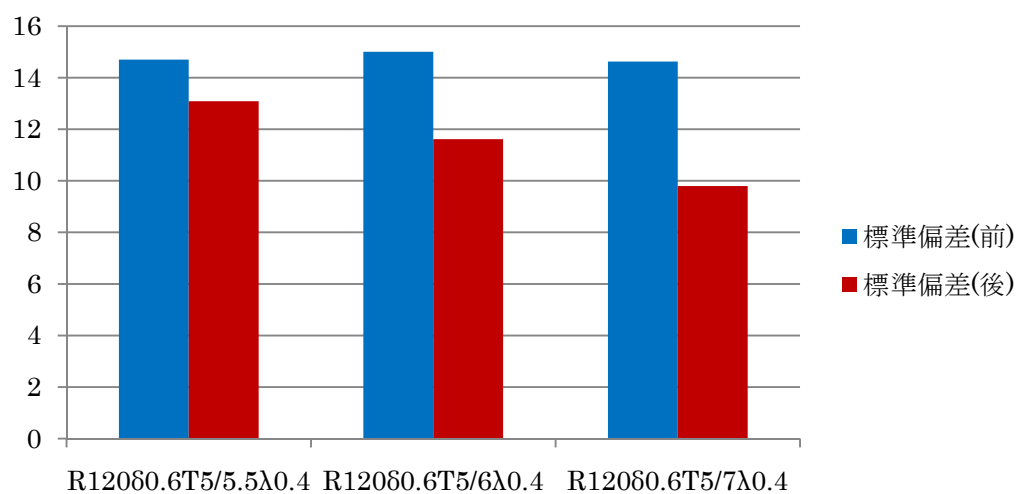


図 6-36 交通費が違う場合の高齢者の標準偏差

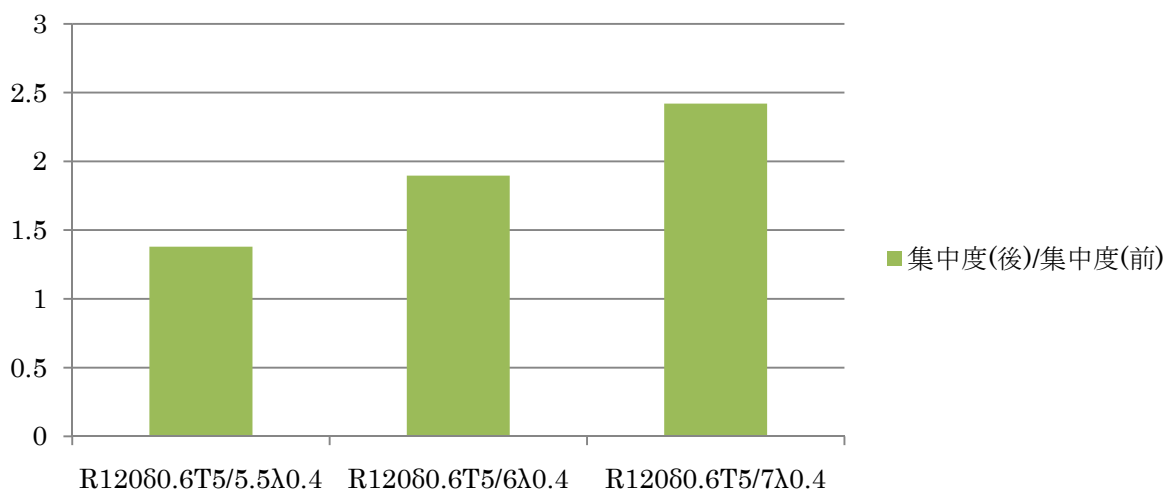


図 6-37 交通費が違う場合の高齢者の集中度の変化率

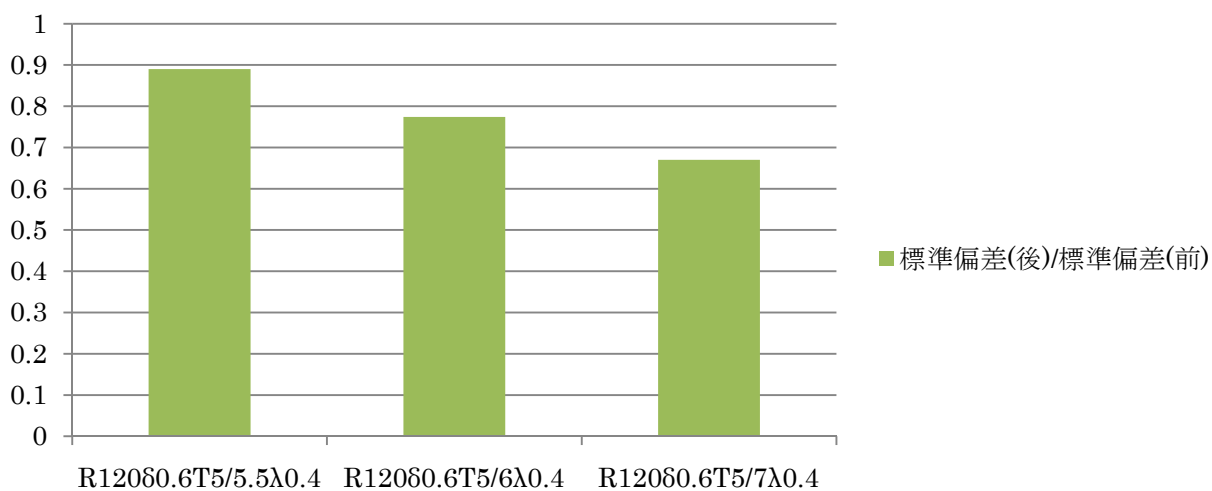


図 6-38 交通費が違う場合の高齢者の標準偏差の変化率

次に、図 6-39 は都市半径の移動前と移動後をグラフ化したものである。また、図 6-40 は都市半径の移動前と移動後の変化率をグラフ化したものである。図 6-39 を見ると、移動前と移動後では、移動後の方が都市半径は小さくなっている。また、 $t^0$  が 5.5 のときと 6 のときの移動後の結果を比べると、都市半径は  $t^0$  が 6 のときの方が小さくなっている。一方、 $t^0$  が 6 のときと 7 のときの移動後の結果を比べると、都市半径は  $t^0$  が 7 のときの方が大きくなっている。高齢者の交通費が高いほど高齢者は中心地付近に密集するため、都市半径は小さくなる。したがって、 $t^0$  が 5.5 と 6 を比較したとき、 $t^0$  が 6 のときの方が都市半径は小さくなったと考えられる。しかし、高齢者の密集により集中の外部性が高くなるため、中心に住む若者が郊外に住む。そして、若者が郊外で集中の外部不経済を受けないように居住した結果、 $t^0$  が 7 のとき、都市半径は大きくなったと考えられる。

図 6-40 を見ると、 $t^0$  が 5.5 のときと 6 のときの移動後の結果を比べると、都市半径の変化率は  $t^0$  が 6 のときの方が小さくなっている。 $t^0$  が 6 のときと 7 のときの移動後の結果を比べると、都市半径の変化率は  $t^0$  が 7 のときの方が大きくなっている。

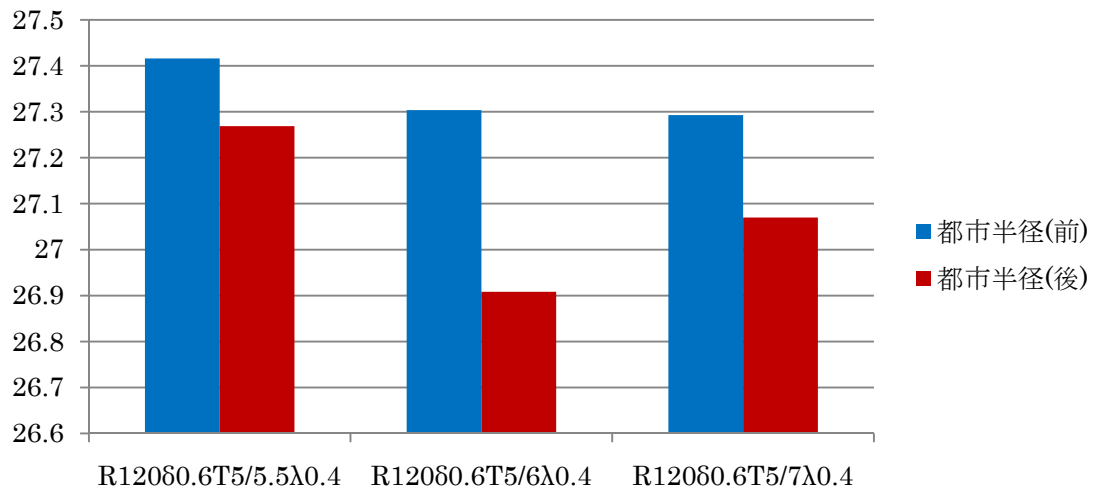


図 6-39 交通費が違う場合の都市半径

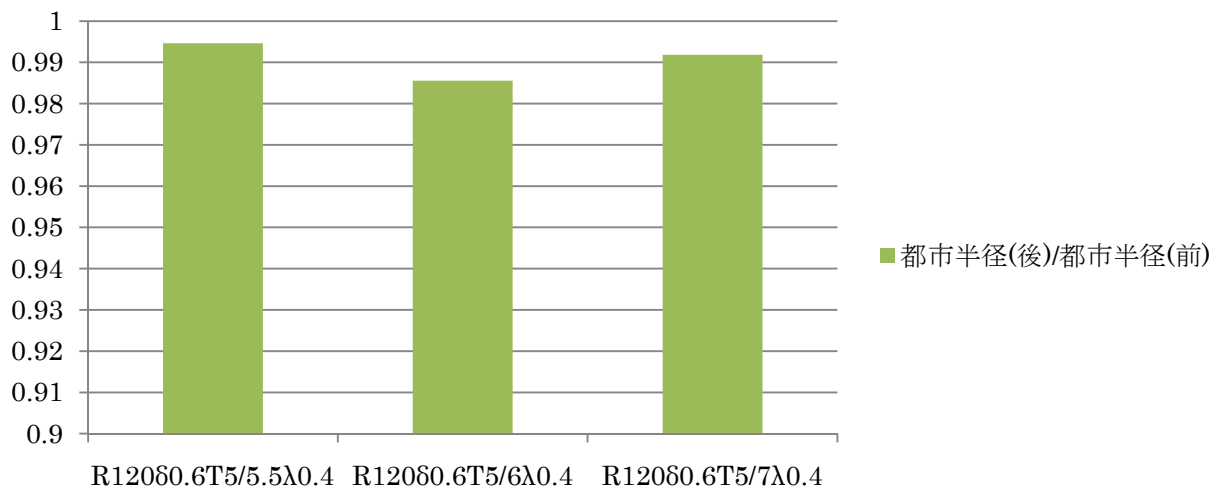


図 6-40 交通費が違う場合の都市半径の変化率

最後に、図 6-41 は混在度の移動前と移動後をグラフ化したものである。また、図 6-42 は混在度の移動前と移動後の変化率をグラフ化したものである。図 6-41 を見ると、移動前と移動後では、移動後の方が混在度は小さくなっている。また、図 6-42 を見ると、 $t^0$  が大きいほど混在度の減少する割合は大きいことがわかる。これは、若者と高齢者の交通費の格差が大きいと、若者と高齢者が混在して居住しないということを意味する。

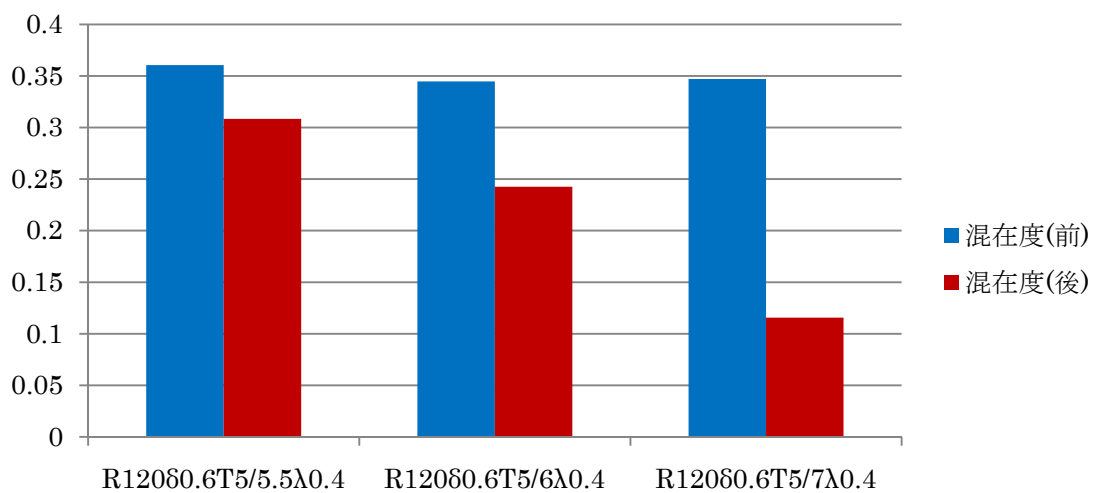


図 6-41 交通費が違う場合の混在度

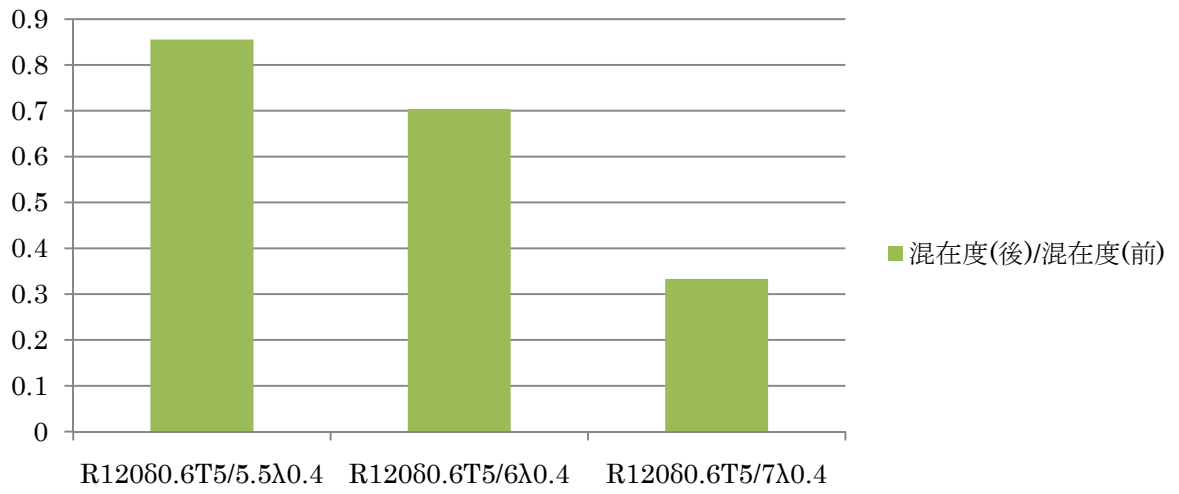


図 6-42 交通費が違う場合の混在度の変化率

## 6.5.2 外部性の影響

シミュレーションを行った結果は、以下の図のようになった。上から外部性の影響 $\delta$ が0.4、0.6、0.8の場合の結果である。

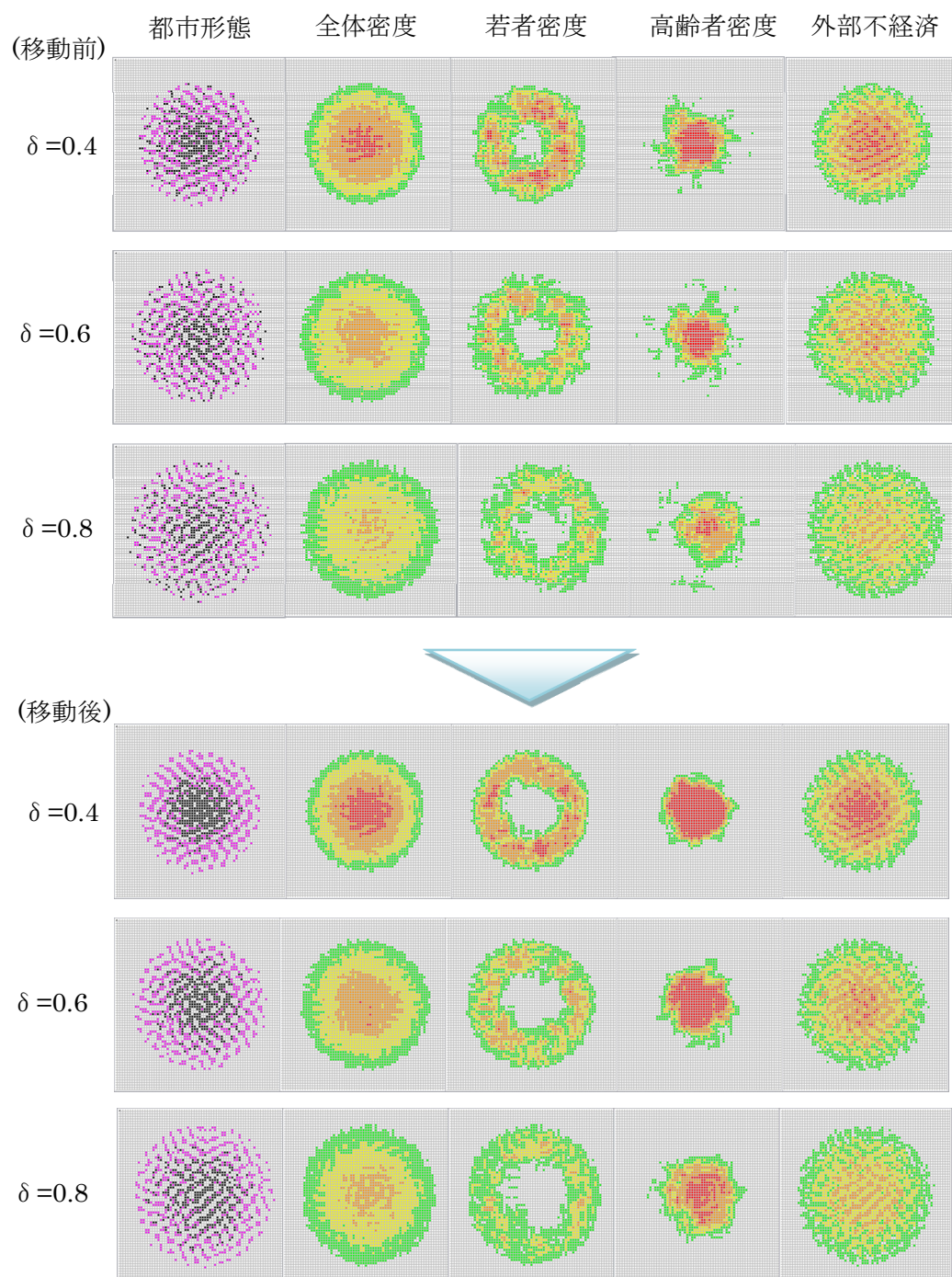


図 6-43 外部性の影響が違う場合

外部性の影響 $\delta$ が小さいほど中心部の密度が高く、集中の外部不経済の高い場所が増える傾向がある。これは集中の外部不経済の影響が小さいと、分散化のインセンティブが小さくなり、交通費の集中のインセンティブが相対的に高くなるため生じた結果であると考えられる。また、外部不経済の影響が大きいほど高齢者と若者の居住地の境界が曖昧となる傾向がある。

次に、図6-44と図6-45は都市全体の集中度と標準偏差の移動前と移動後をグラフ化したものである。また、図6-46と図6-47は都市全体の集中度と標準偏差の移動前と移動後の変化率をグラフ化したものである。図6-44と図6-45を見ると、移動前に比べて移動後の方が集中度は大きく、標準偏差は小さいことがわかる。また、 $\delta$ が小さいときほど都市は集中し、各家計の立地のばらつきは小さくなることがわかる。次に、図6-46と図6-47を見ると、 $\delta$ が大きいときほど、移動前と移動後の集中する変化は大きくなっているが、標準偏差はほぼ一定である。

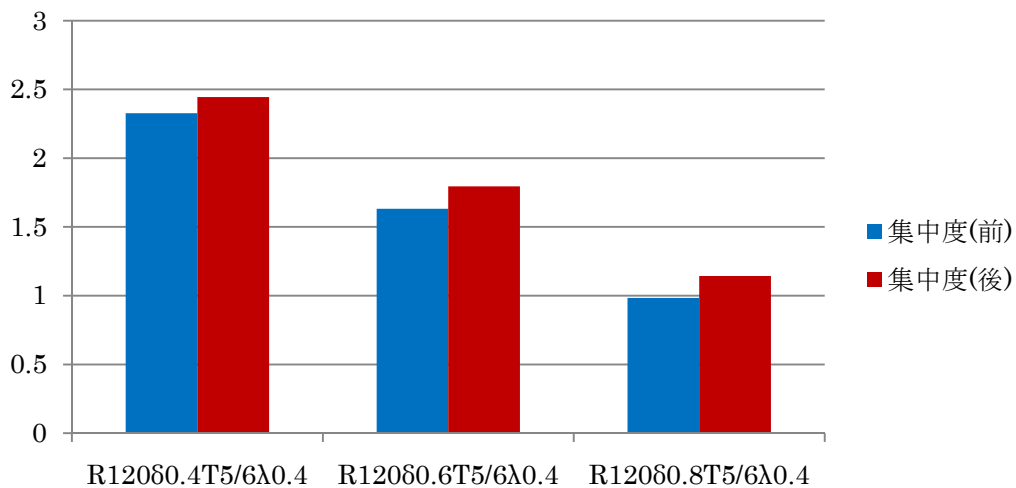


図6-44 外部性の影響が違う場合の集中度指数

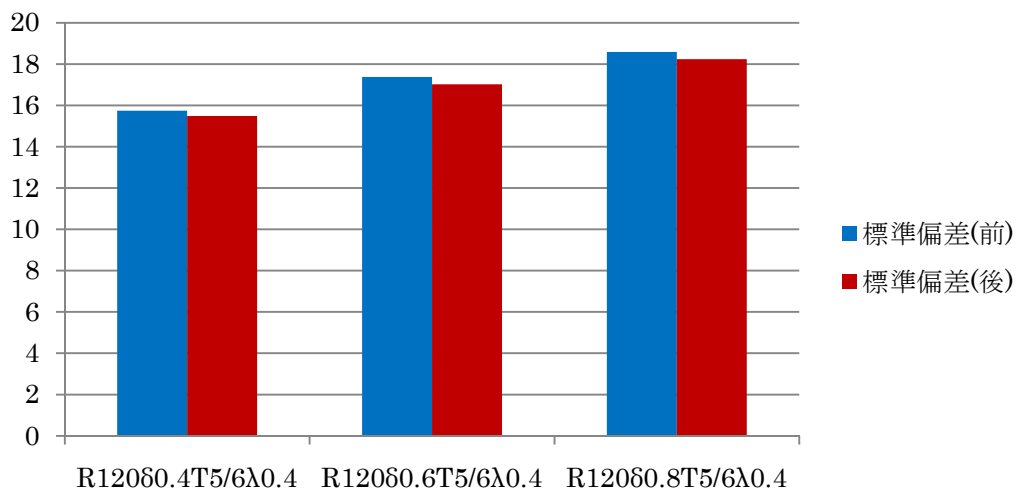


図6-45 外部性の影響が違う場合の標準偏差



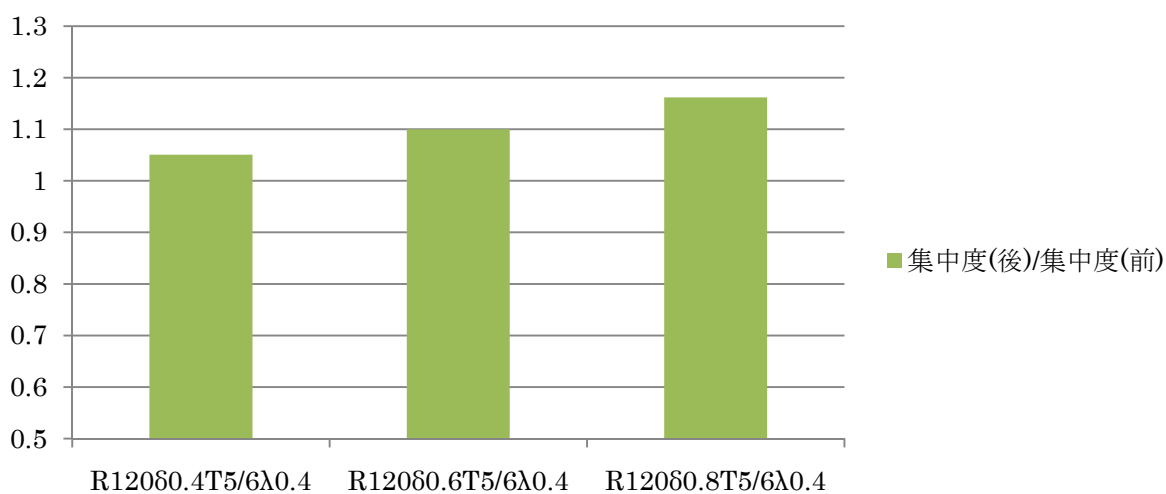


図 6-46 外部性の影響が違う場合の集中度の変化率

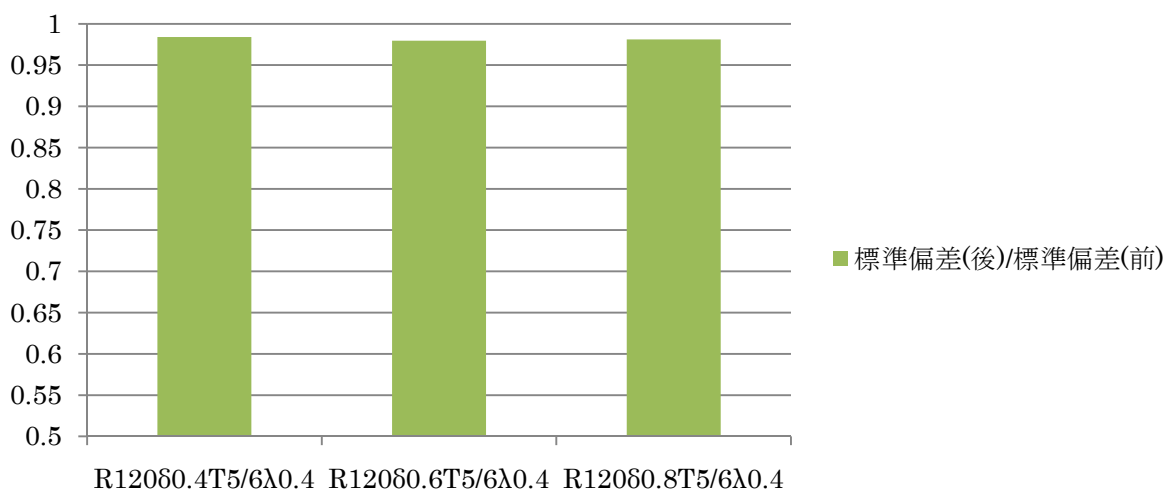


図 6-47 外部性の影響が違う場合の標準偏差の変化率

次に、図 6-48 から図 6-51 は若者の集中度指数と標準偏差の移動前と移動後をグラフ化したものと移動前と移動後の変化率をグラフ化したものである。また、図 6-52 から図 6-55 は高齢者の集中度指数と標準偏差の移動前と移動後をグラフ化したものと移動前と移動後の変化率をグラフ化したものである。図 6-48 と図 6-49 を見ると、移動前に比べて移動後の方が若者の集中度は大きく、標準偏差は移動後の方が大きいことがわかる。また、 $\delta$ が小さいときほど若者は集中し、若者の居住地の中心からのばらつきは小さいことがわかる。図 6-50 と図 6-51 を見ると、若者の集中度の変化率は $\delta$ が小さいほど大きく、標準偏差の変化率はあまり変化しないことがわかる。以上から $\delta$ が小さいときほど若者は、やや中心に集中して居住することがわかる。次に、図 6-52 と図 6-53 を見ると、移動前に比べて移動後の方が高齢者の集中度は大きく、標準偏差は小さいことがわかる。また、 $\delta$ が小さいとき

ほど高齢者は集中し、高齢者の立地の中心からのばらつきは小さくなることわかる。図 6-54 と図 6-55 を見ると、高齢者の集中度の変化率は $\delta$ が小さいほど小さく、標準偏差の変化率も小さいことがわかる。

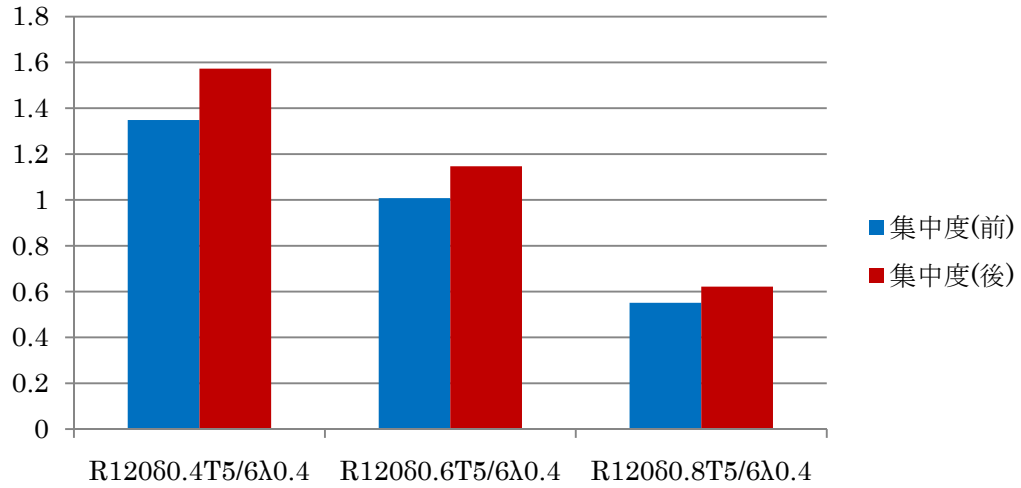


図 6-48 外部性の影響が違う場合の若者の集中度指数

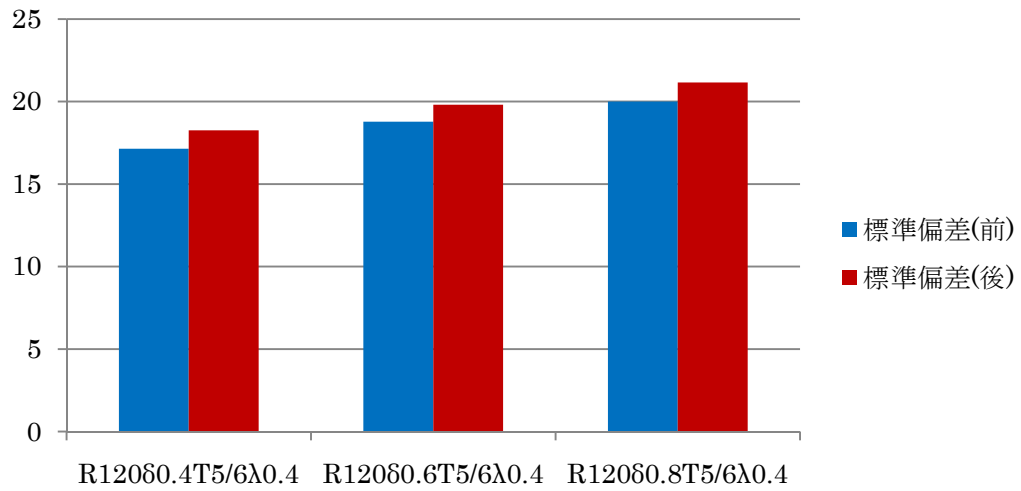


図 6-49 外部性の影響が違う場合の若者の標準偏差

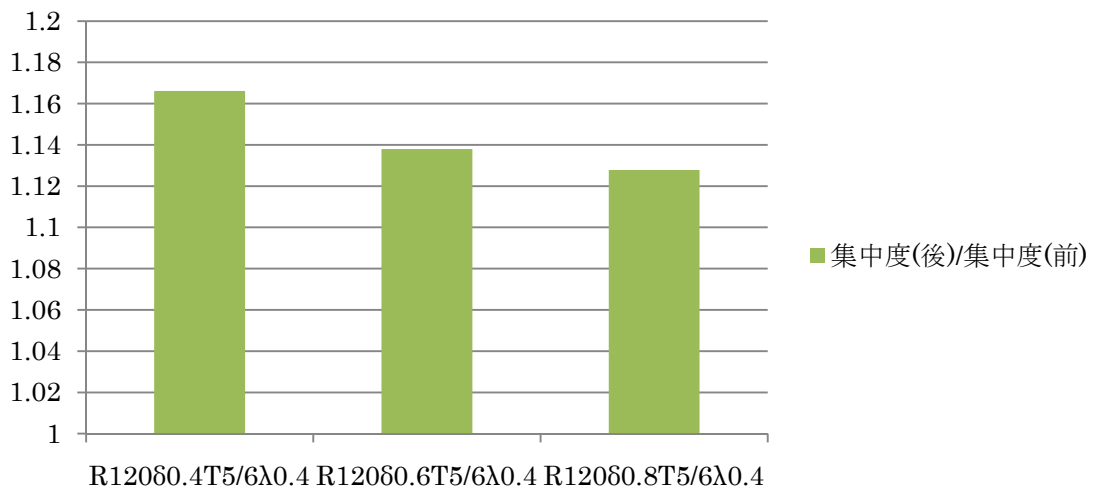


図 6-50 外部性の影響が違う場合の若者の集中度の変化率

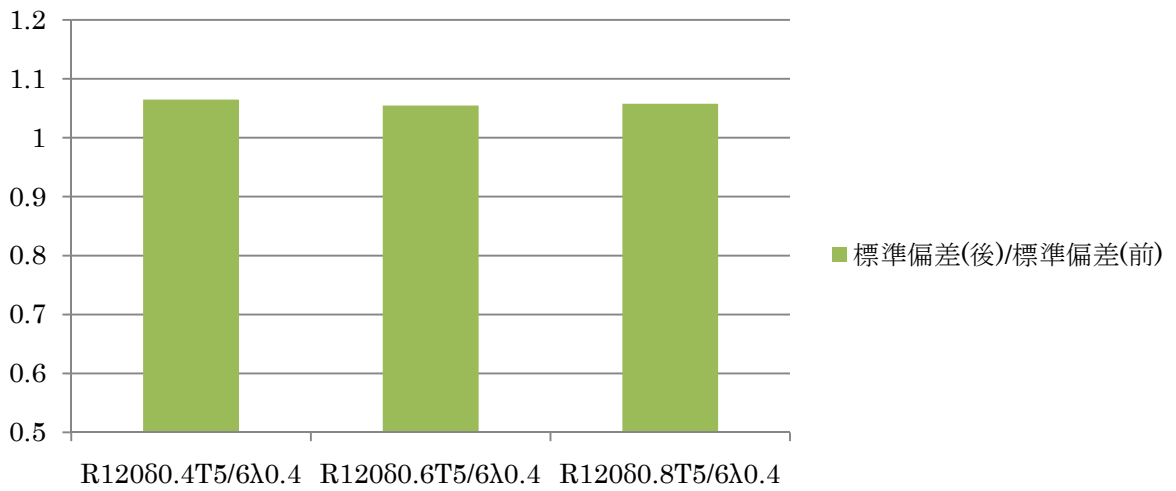


図 6-51 外部性の影響が違う場合の若者の標準偏差の変化率

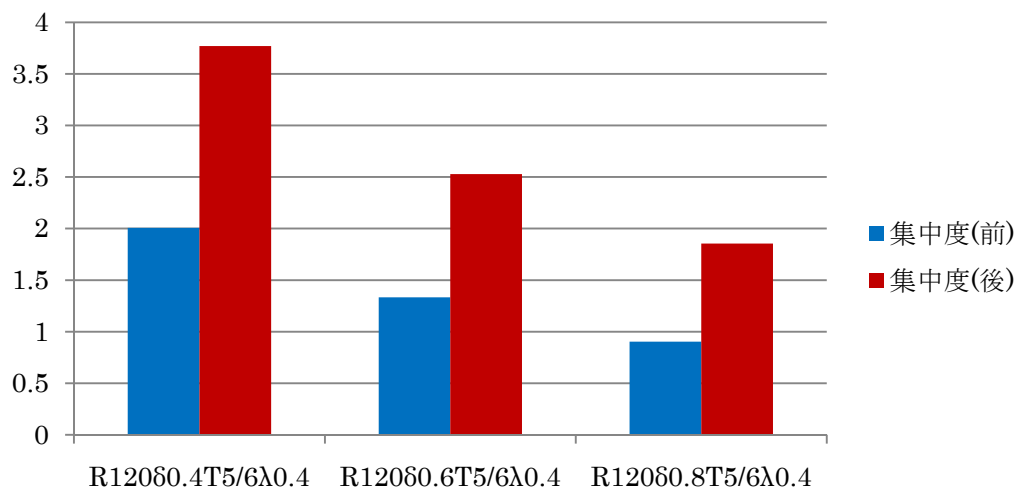


図 6-52 外部性の影響が違う場合の高齢者の集中度指数

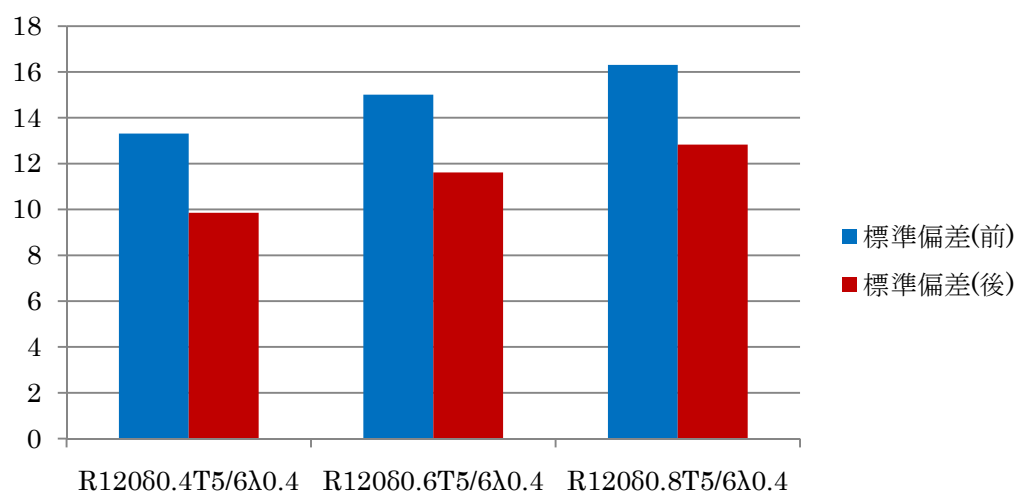


図 6-53 外部性の影響が違う場合の高齢者の標準偏差

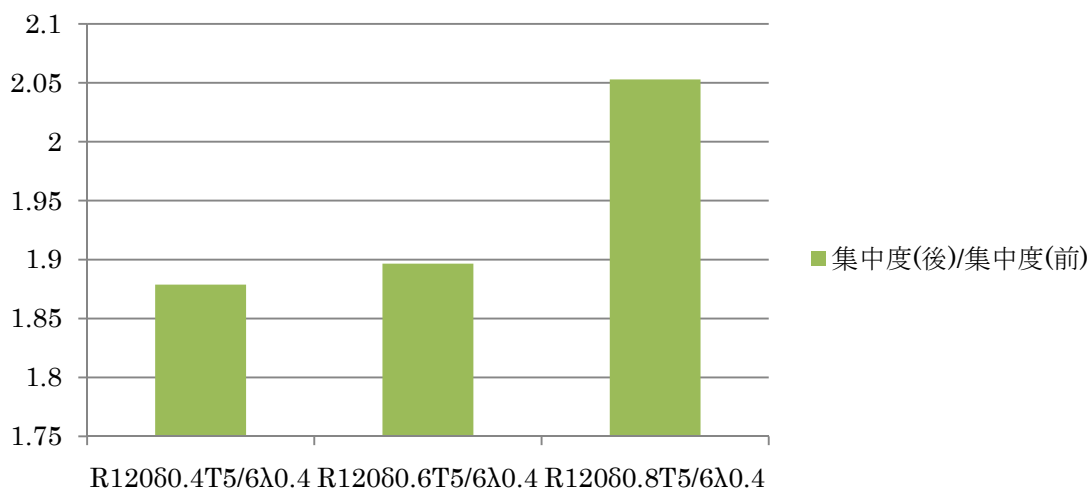


図 6-54 外部性の影響が違う場合の高齢者の集中度の変化率

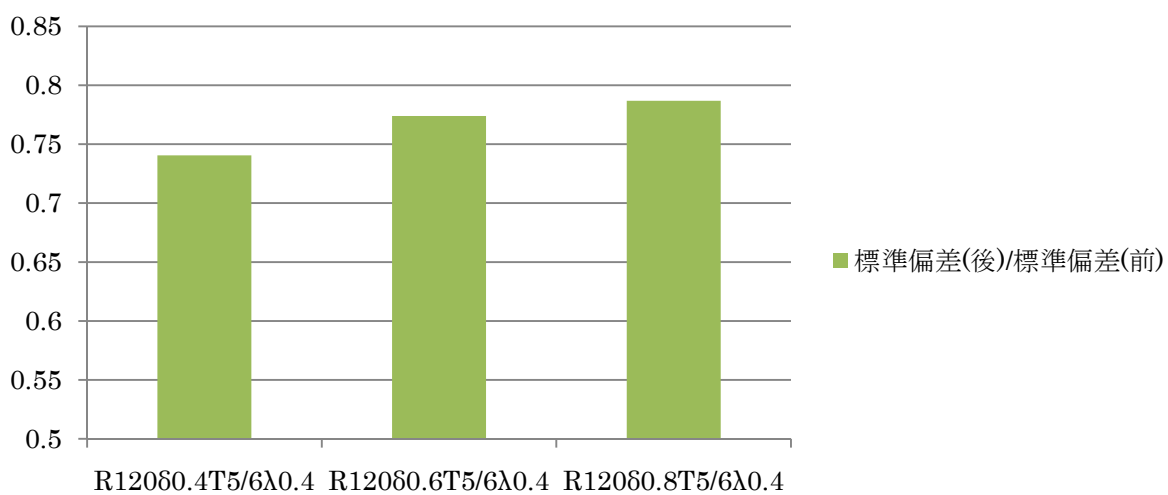


図 6-55 外部性の影響が違う場合の高齢者の標準偏差の変化率

次に、図 6-56 は都市半径の移動前と移動後をグラフ化したものである。また、図 6-57 は都市半径の移動前と移動後の変化率をグラフ化したものである。図 6-56 を見ると、移動前と移動後では、移動後の方が都市半径は小さくなっている。また、 $\delta$ が小さいときほど都市半径は小さいことがわかる。また、図 6-57 を見ると、都市半径の移動前と移動後の変化率は $\delta$ に関わらずほぼ一定であるとがわかる。つまり、外部性の影響が小さいほど都市はコンパクト化することがわかる。

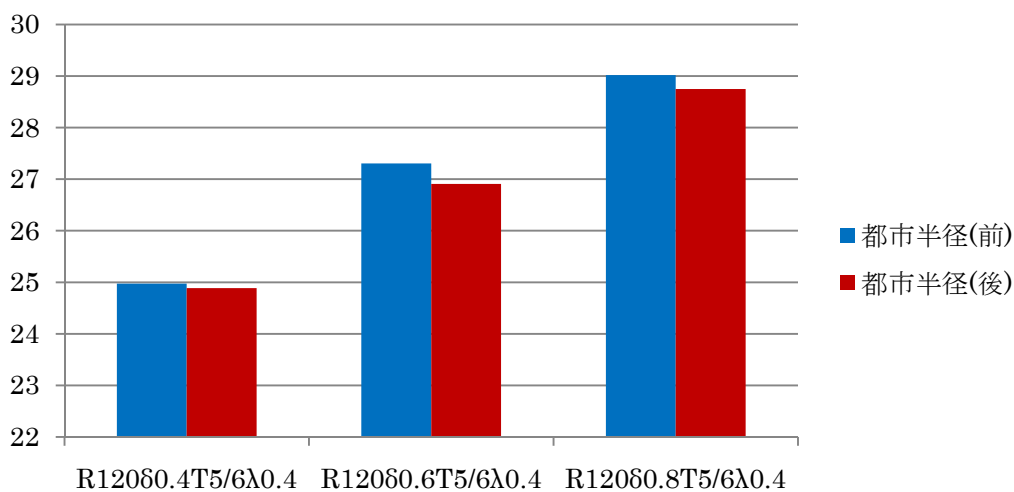


図 6-56 外部性の影響が違う場合の都市半径

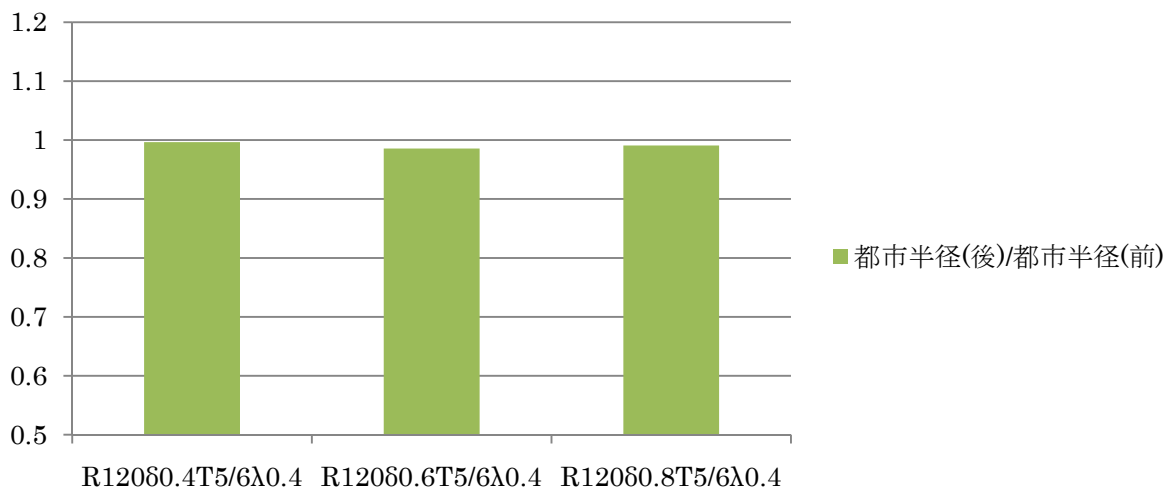


図 6-57 外部性の影響が違う場合の都市半径の変化率

最後に、図 6-58 は混在度の移動前と移動後をグラフ化したものである。また、図 6-59 は混在度の移動前と移動後の変化率をグラフ化したものである。図 6-58 を見ると、移動前

と移動後では、移動後の方が混在度は小さくなっている。また、図 6-59 を見ると、 $\delta$ が小さいほど混在度の減少する割合は大きいことがわかる。つまり、外部性の影響が小さいほど、若者と高齢者は混在しない。これは、外部性の影響が小さいことで、交通費格差の影響が相対的に高くなった結果であると考えられる。

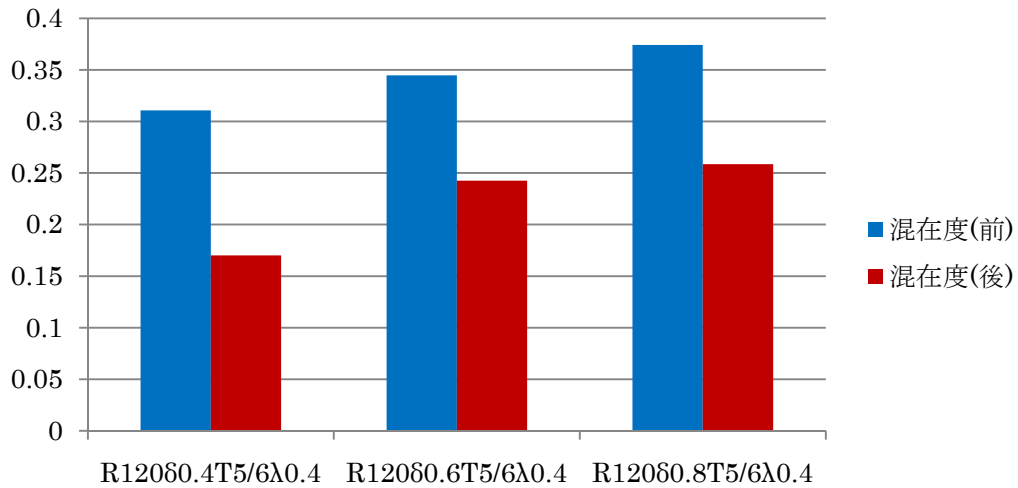


図 6-58 外部性の影響が違う場合の混在度

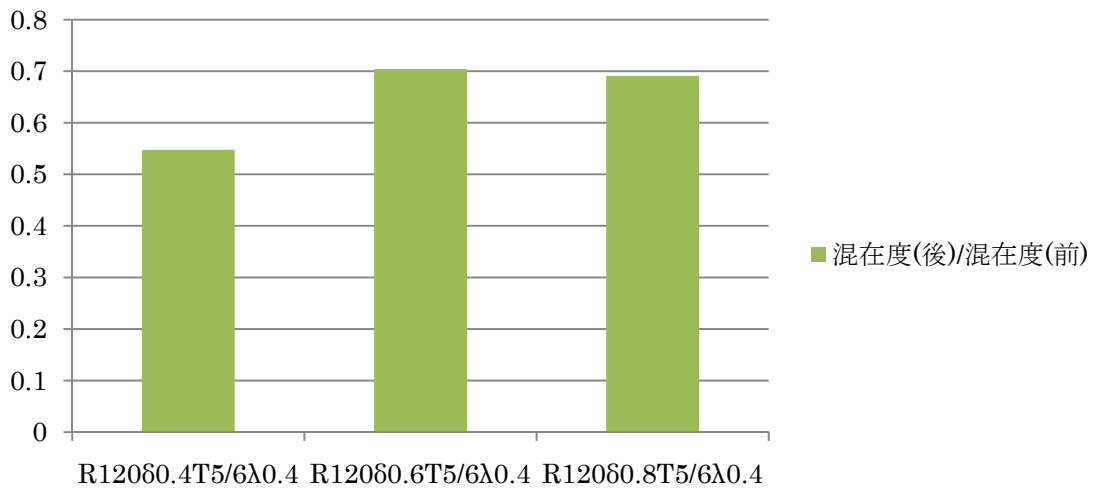


図 6-59 外部性の影響が違う場合の混在度の変化率

### 6.5.3 地代の影響

シミュレーションを行った結果は、以下の図のようになった。上から中心地の地代がR=80、120、180の場合の結果である。

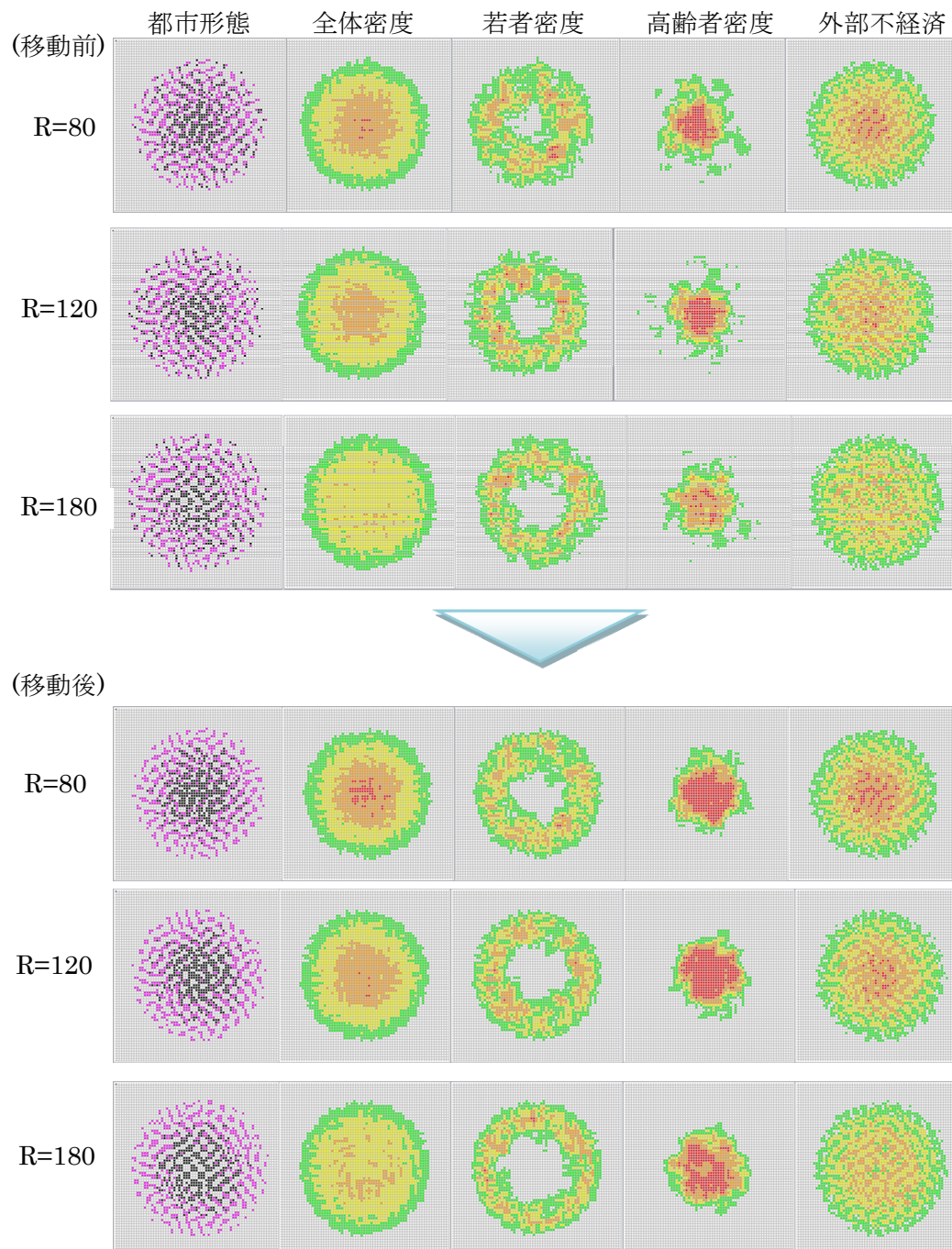


図 6-60 地代の影響

中心地の地代  $R$  が小さいほど中心部の密度が高く、集中の外部不経済の高い場所が増える傾向がある。また、 $R$  が高いほど農地の面積が増える傾向がある。 $R$  が高いほど都心から離れることによる地代の減少率は大きくなり、分散化のインセンティブは高くなる。逆に、 $R$  が小さいほど都心から離れることによる地代の減少率は小さくなるので、分散化のインセンティブは小さくなる。したがって、 $R$  が小さいときは、中心に集ることによる集中の外部不経済が高いとしても、分散化のインセンティブが大きくないため、各家計は中心に居住した(補論 C 参照)。その結果、中心部の密度は高くなり、農地は生じにくかったと考えられる。また、逆の理由で  $R$  が高いときは、中心部の密度が低くなり農地が生じやすくなったと考えられる。

次に、図 6-61 と図 6-62 は都市全体の集中度と標準偏差の移動前と移動後をグラフ化したものである。また、図 6-63 と図 6-64 は都市全体の集中度と標準偏差の移動前と移動後の変化率をグラフ化したものである。図 6-61 と図 6-62 を見ると、移動前に比べて移動後の方が集中度は大きく、標準偏差は小さいことがわかる。また、 $R$  が低いときほど都市は集中し、各家計の立地のばらつきは小さくなることがわかる。次に、図 6-63 と図 6-64 を見ると、 $R$  が高いときほど、移動前と移動後の集中する変化は大きくなっている。これらの結果から、中心地の地代が低いときほど各家計は都市に集中し、その度合いは中心地の地代が高いときほど大きくなることがわかる。

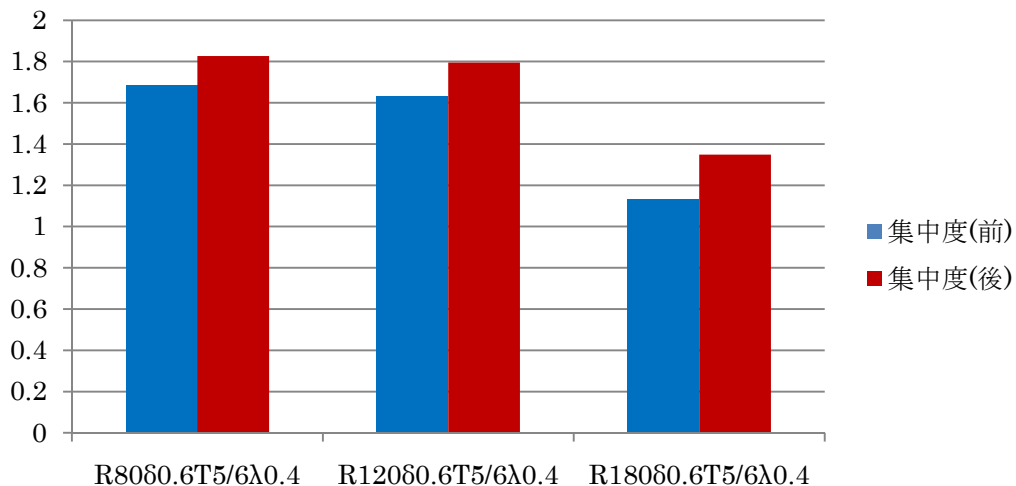


図 6-61 地代が違う場合の集中度指数



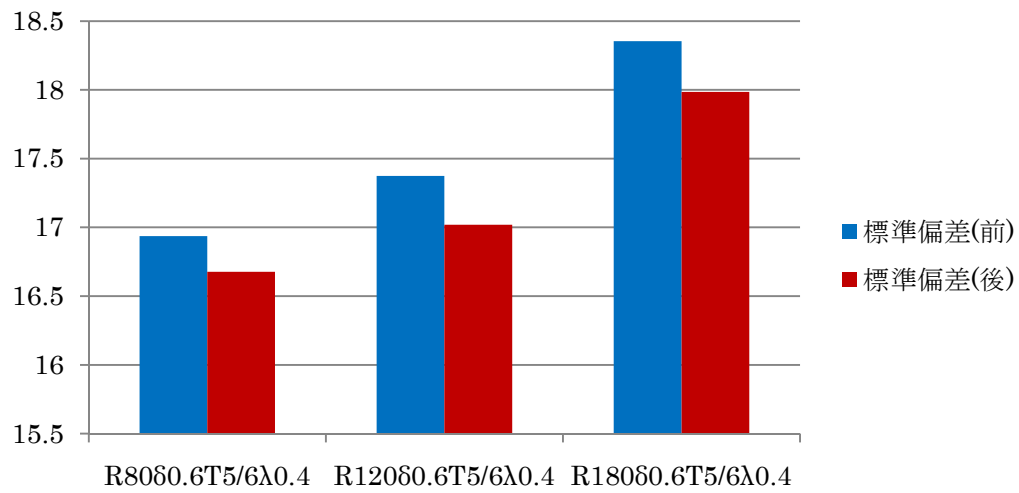


図 6-62 地代が違う場合の標準偏差

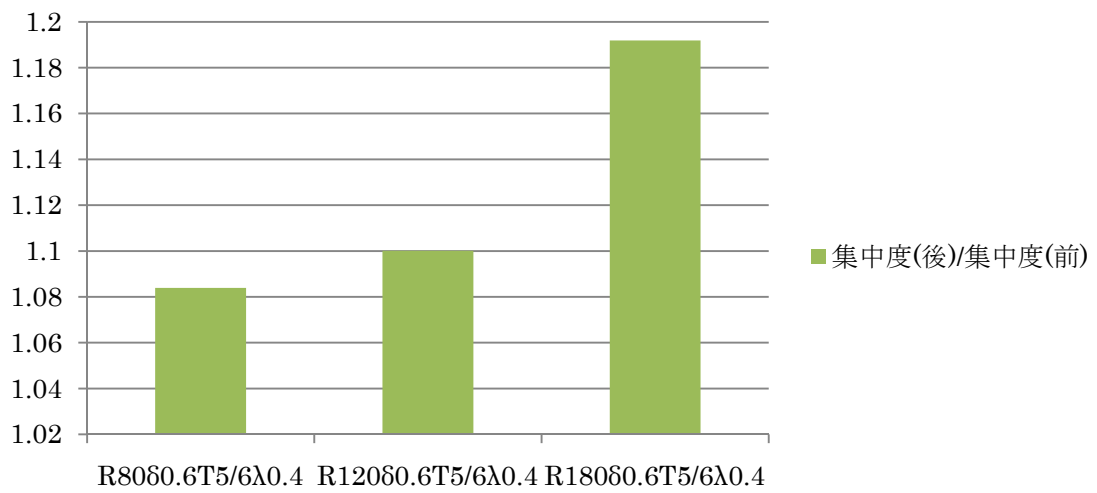


図 6-63 地代が違う場合の集中度指数の変化率

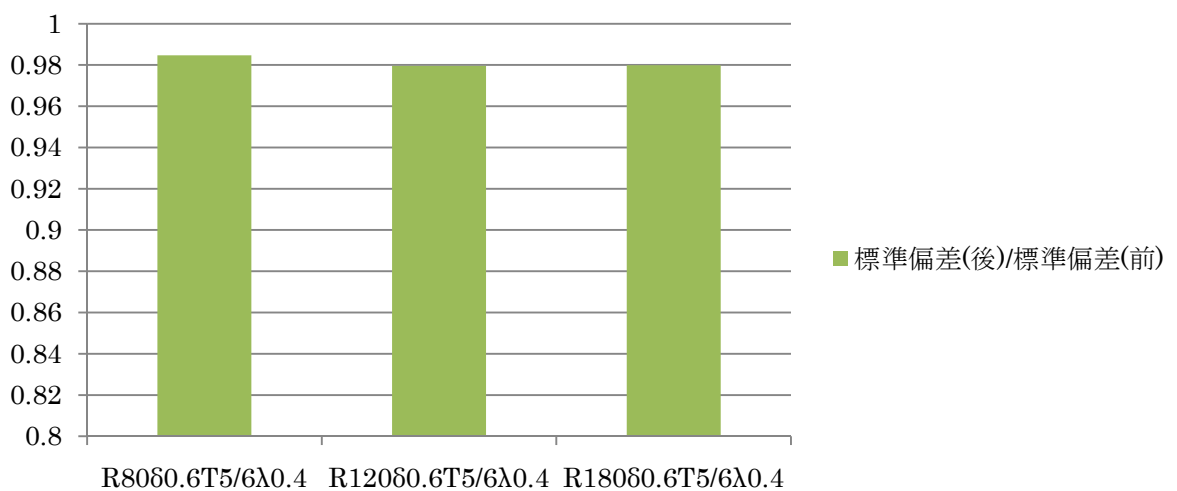


図 6-64 地代が違う場合の標準偏差の変化率

次に、図 6-65 から図 6-68 は若者の集中度指数と標準偏差の移動前と移動後をグラフ化したものと移動前と移動後の変化率をグラフ化したものである。また、図 6-69 から図 6-72 は高齢者の集中度指数と標準偏差の移動前と移動後をグラフ化したものと移動前と移動後の変化率をグラフ化したものである。図 6-65 と図 6-66 を見ると、R が 80 のときを除いて移動前に比べて移動後の方が若者の集中度は大きく、標準偏差は R の高さに関わらず移動後の方が小さいことがわかる。また、R が高いときほど若者の中心地からのばらつきは大きくなることがわかる。また、図 6-67 と図 6-68 を見ると、R が高いほど集中度は変化率が大きいことがわかる。標準偏差の R の高さに関わらず変化率はほぼ一定であることがわかる。以上から、R が高いほど若者は郊外に居住する傾向がある、そしてその度合いは R の高さに関わらず一定であることがわかる。次に、図 6-69 と図 6-70 を見ると、移動前に比べて移動後の方が高齢者の集中度は大きく、標準偏差は小さいことがわかる。また、R が小さいときほど高齢者は集中し、高齢者の立地の中心からのばらつきは小さくなることがわかる。また、図 6-71 と図 6-72 を見ると、R が高いほど高齢者の集中度の変化率は大きく、標準偏差の変化率は小さいことがわかる。以上から、中心地の地代が大きいときほど高齢者は都市の中心に集中して居住し、集中の変化の度合いは中心地の地代が高いときほど大きくなることがわかる。また、ばらつきの変化の度合いは中心地の地代が低いときほど小さくなることがわかる。

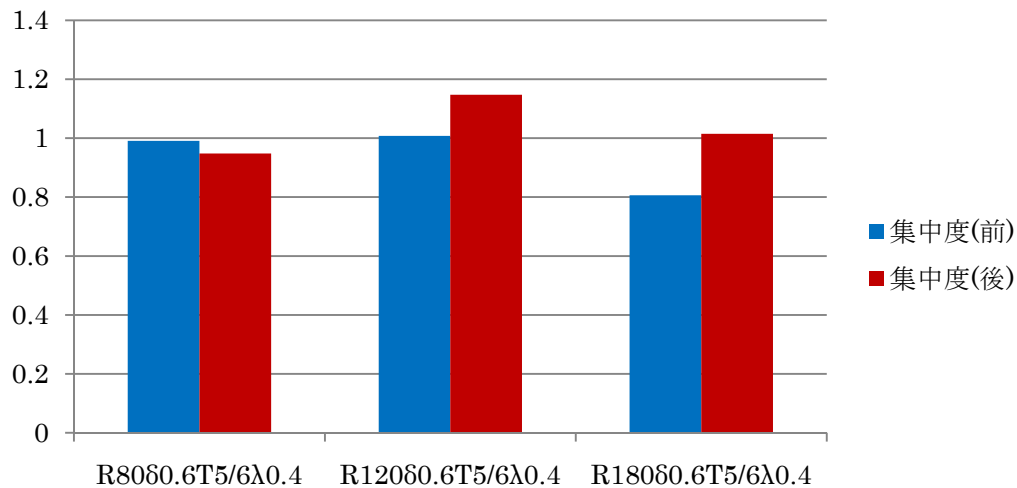


図 6-65 地代が違う場合の若者の集中度

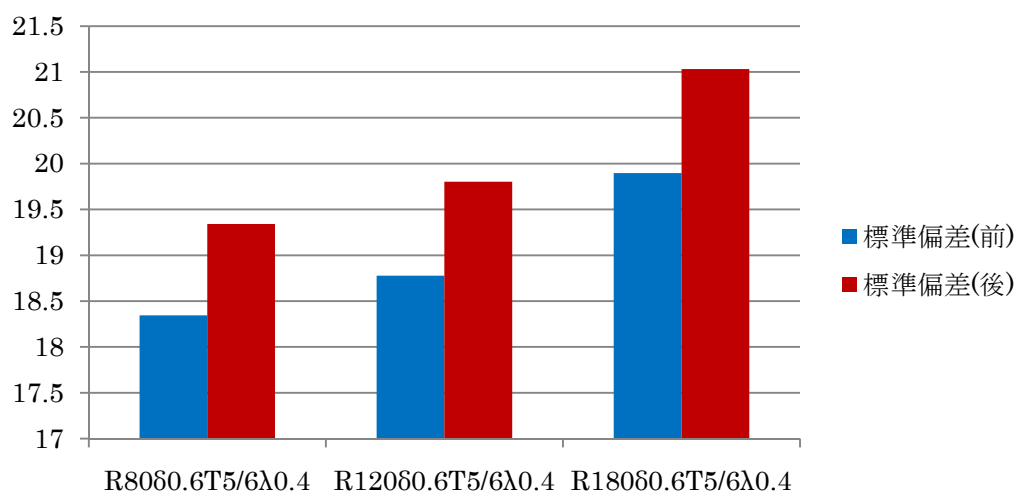


図 6-66 地代が違う場合の若者の標準偏差

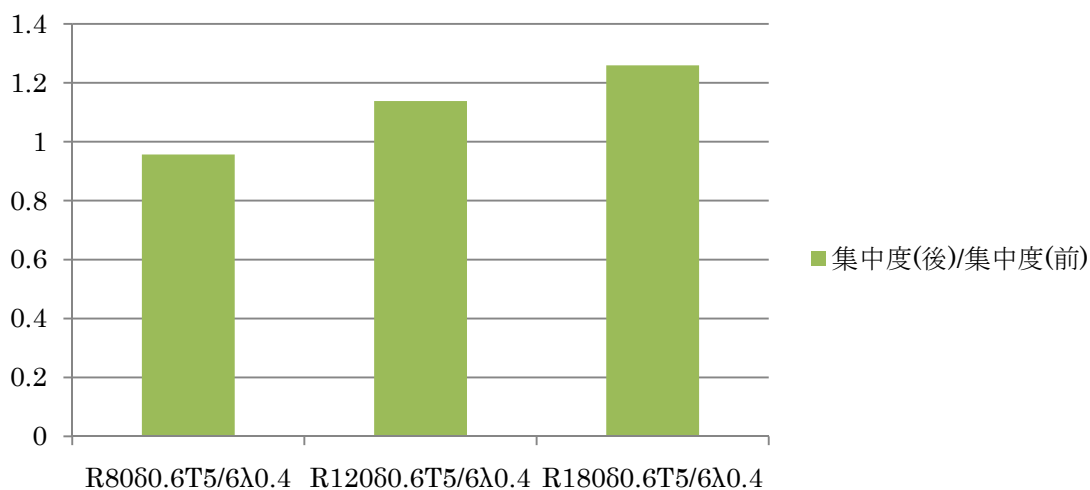


図 6-67 地代が違う場合の若者の集中度の変化率

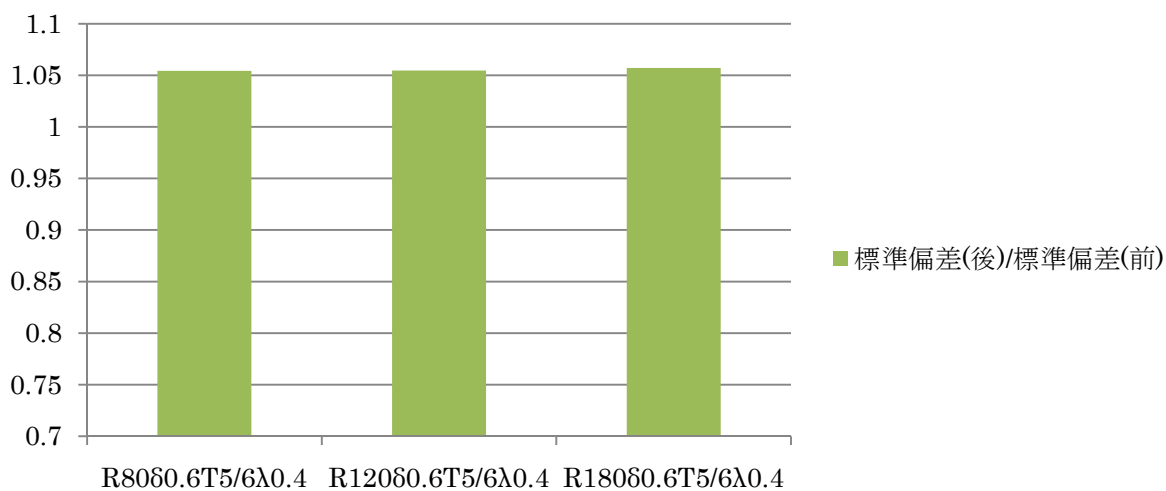


図 6-68 地代が違う場合の若者の標準偏差の変化率

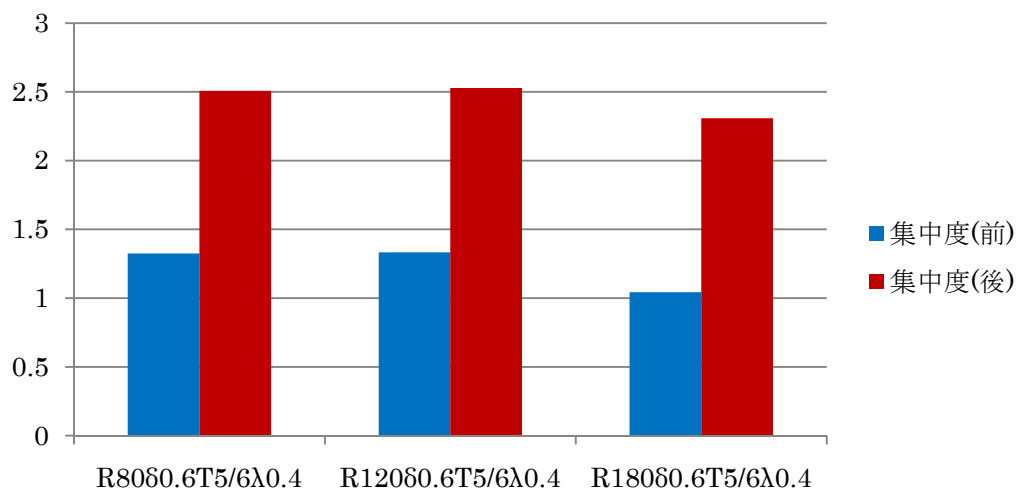


図 6-69 地代が違う場合の高齢者の集中度指数

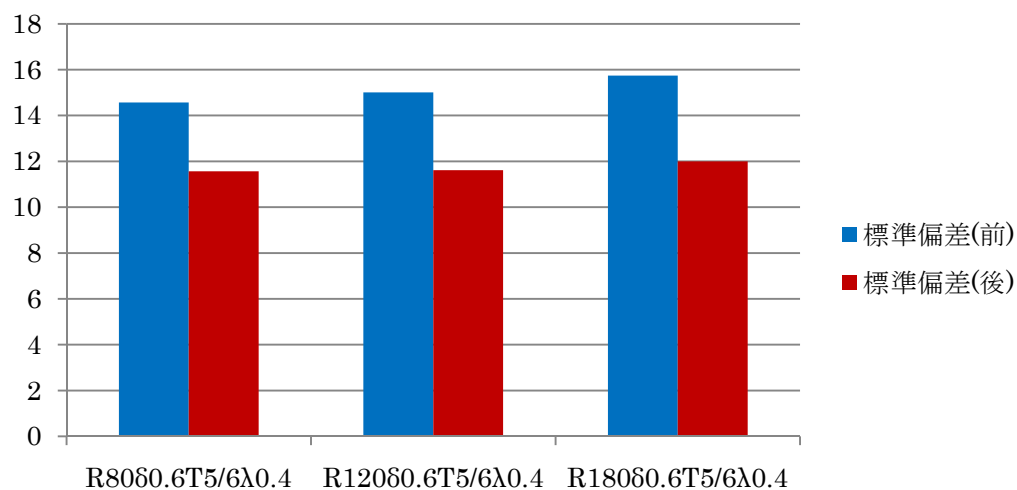


図 6-70 地代が違う場合の高齢者の標準偏差

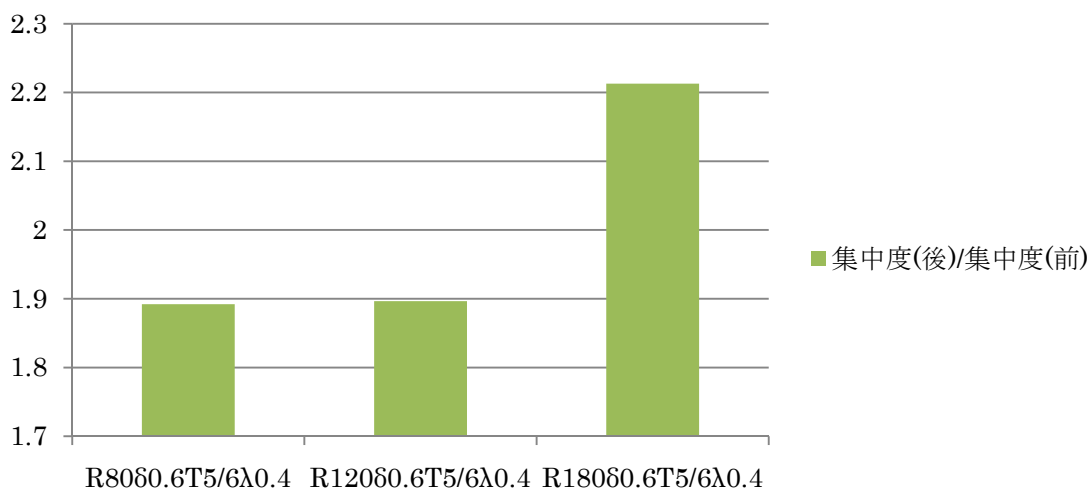


図 6-71 地代が違う場合の高齢者の集中度の変化率

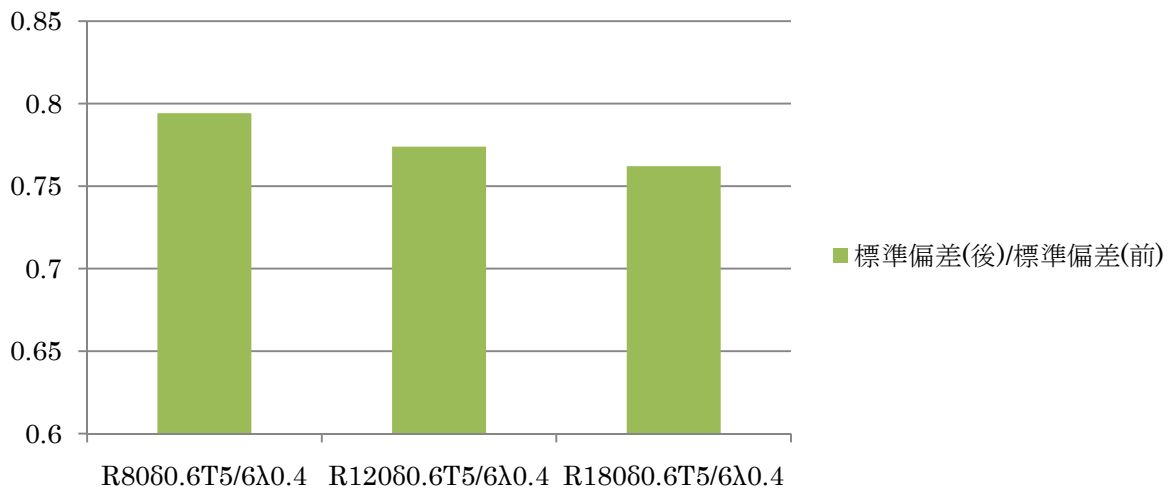


図 6-72 地代が違う場合の高齢者の標準偏差の変化率

次に、図 6-73 は都市半径の移動前と移動後をグラフ化したものである。また、図 6-74 は都市半径の移動前と移動後の変化率をグラフ化したものである。図 6-73 を見ると、移動前と移動後では、移動後の方が都市半径は小さくなっている。図 6-74 を見ると、都市半径の変化率は R の高さに関わらず一定である。

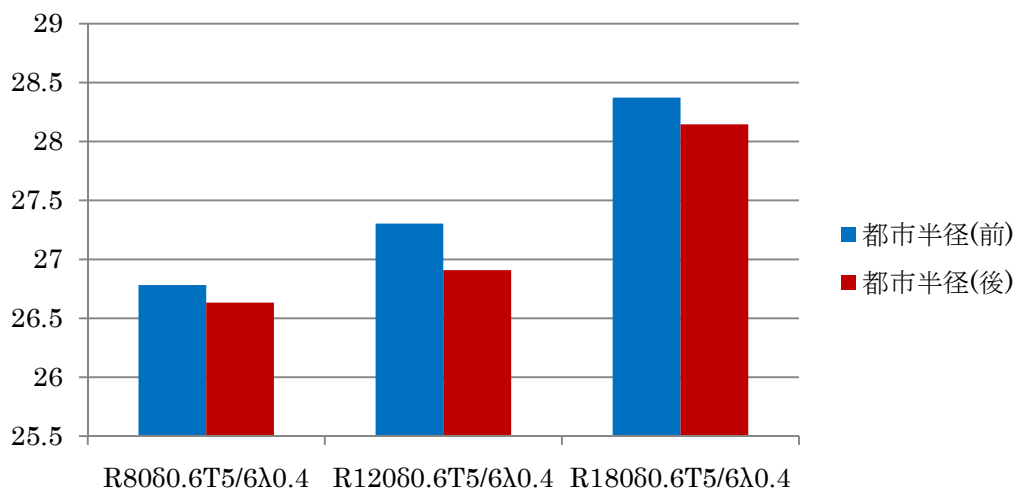


図 6-73 地代が違う場合の都市半径

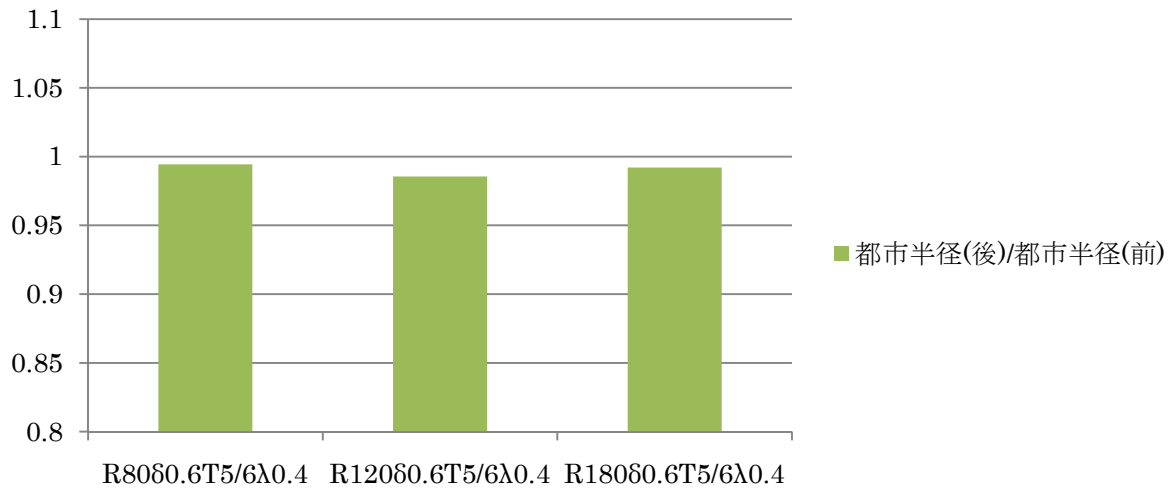


図 6-74 地代が違う場合の都市半径の変化率

最後に、図 6-75 は混在度の移動前と移動後をグラフ化したものである。また、図 6-76 は混在度の移動前と移動後の変化率をグラフ化したものである。図 6-75 を見ると、移動前と移動後では、移動後の方が混在度は小さくなっている。また、図 6-76 を見ると、R が高いときほど混在度の減少する割合は大きいことがわかる。これは、集中の外部不経済が高まったとしても、地代による分散化のインセンティブが小さいため、高齢者と離れて住もうとする若者が少なかったためと考えられる。

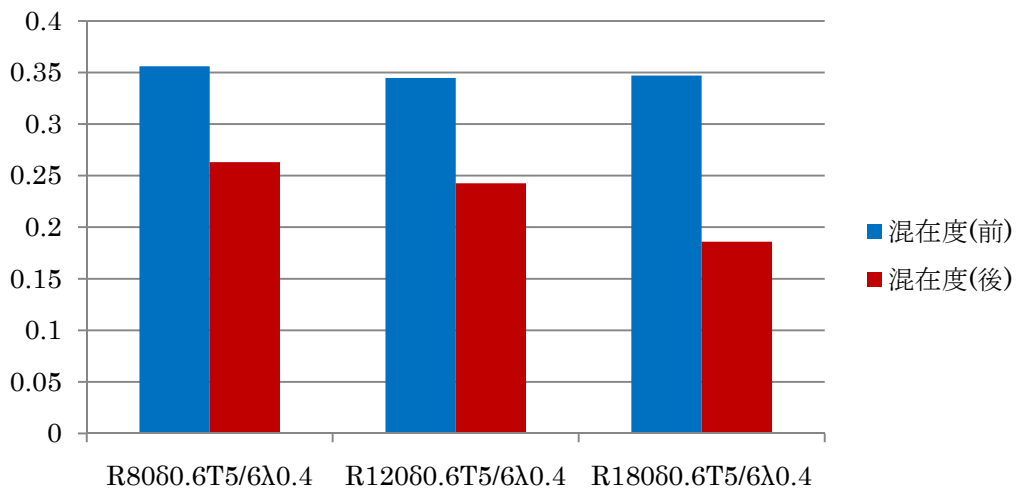


図 6-75 地代が違う場合の混在度

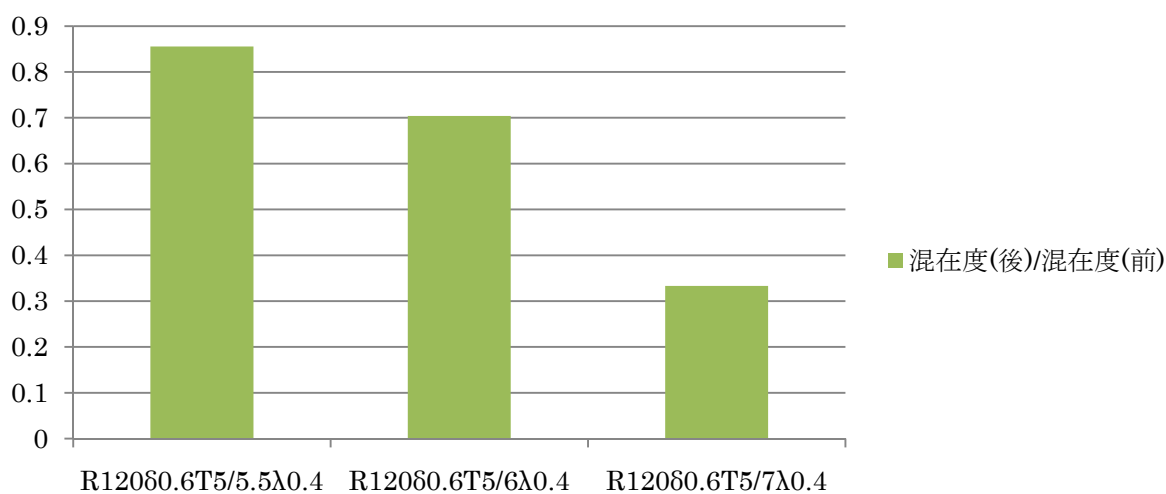


図 6-76 地代が違う場合の混在度の変化率

### 6.5.4 望ましい都市像

これまでのシミュレーションでは、さまざまな与件変化の都市構造に対する影響についてのシミュレーションを行った。この項では、コンパクトシティの要件である物理的なコンパクトさと用途の混在を満たす望ましい都市像を調べるためのシミュレーションを行う。具体的には、高齢者率 $\lambda=0.3$ 、 $0.5$ 、高齢者の交通費 $t^o=5.5$ 、 $7$ 、集中の外部不経済の影響 $\delta=0.4$ 、 $0.8$ 、中心地の地代 $R=120$ 、 $180$ をそれぞれ組み合わせてシミュレーションを行い、その結果を下に議論する。

シミュレーション結果については付録 B を参照。その結果の集中度指数、標準偏差、都市半径、混在度についてまとめたものが図 6-77 と図 6-78 である。集中度指数の値 1.5 を基準に大小を判断し、さらに混在度の値 0.15 を基準に大小を判断するとして図 6-77 を見ると、結果を 4 つに分類できる。1 つ目は、集中度が大きく混在度が大きい場合である。このとき、パラメータの組合せは、 $R=180$ 、 $120$ 、 $\delta=0.4$ 、 $t^o=5.5$ 、 $\lambda=0.3$ 、 $0.5$  である。2 つ目は、集中度が大きく混在度が小さい場合である。このときパラメータの組合せは、 $R=180$ 、 $120$ 、 $\delta=0.4$ 、 $t^o=7$ 、 $\lambda=0.3$ 、 $0.5$  である。3 つ目は、集中度が小さく混在度が大きい場合である。このときパラメータの組合せは、 $R=180$ 、 $120$ 、 $\delta=0.8$ 、 $t^o=5.5$ 、 $\lambda=0.3$ 、 $0.5$  である。最後に、集中度が小さく混在度も小さい場合である。このときパラメータの組合せは、 $R=180$ 、 $120$ 、 $\delta=0.8$ 、 $t^o=7$ 、 $\lambda=0.3$ 、 $0.5$  である。以上から、集中度が大きいためには集中の外部不経済の影響が小さいこと、混在度が大きいためには若者と高齢者の交通費格差が小さいことが重要であるとわかる。次に、標準偏差の値 17 を基準に

大小を判断し、都市半径の値 27 を基準に大小を判断し図 6-78 を見ると、2 つに分類できる。1 つ目は、標準偏差が小さく都市半径も小さい場合である。このとき、パラメータの組合せは、 $R=180$ 、 $120$ 、 $\delta=0.4$ 、 $t^0=5.5$ 、 $7$ 、 $\lambda=0.3$ 、 $0.5$  である。2 つ目は、標準偏差が大きく都市半径も小さい場合である。このときパラメータの組合せは、 $R=180$ 、 $120$ 、 $\delta=0.8$ 、 $t^0=5.5$ 、 $7$ 、 $\lambda=0.3$ 、 $0.5$  である。以上から、標準偏差が小さく都市半径も小さいためには、集中の外部不経済の影響が小さいことが重要であるとわかる。

以上から、コンパクトシティの要件である物理的なコンパクトさと用途の混在を満たす望ましい都市像は、集中の外部不経済の影響が小さく若者と高齢者の交通費格差が小さい都市と言える。

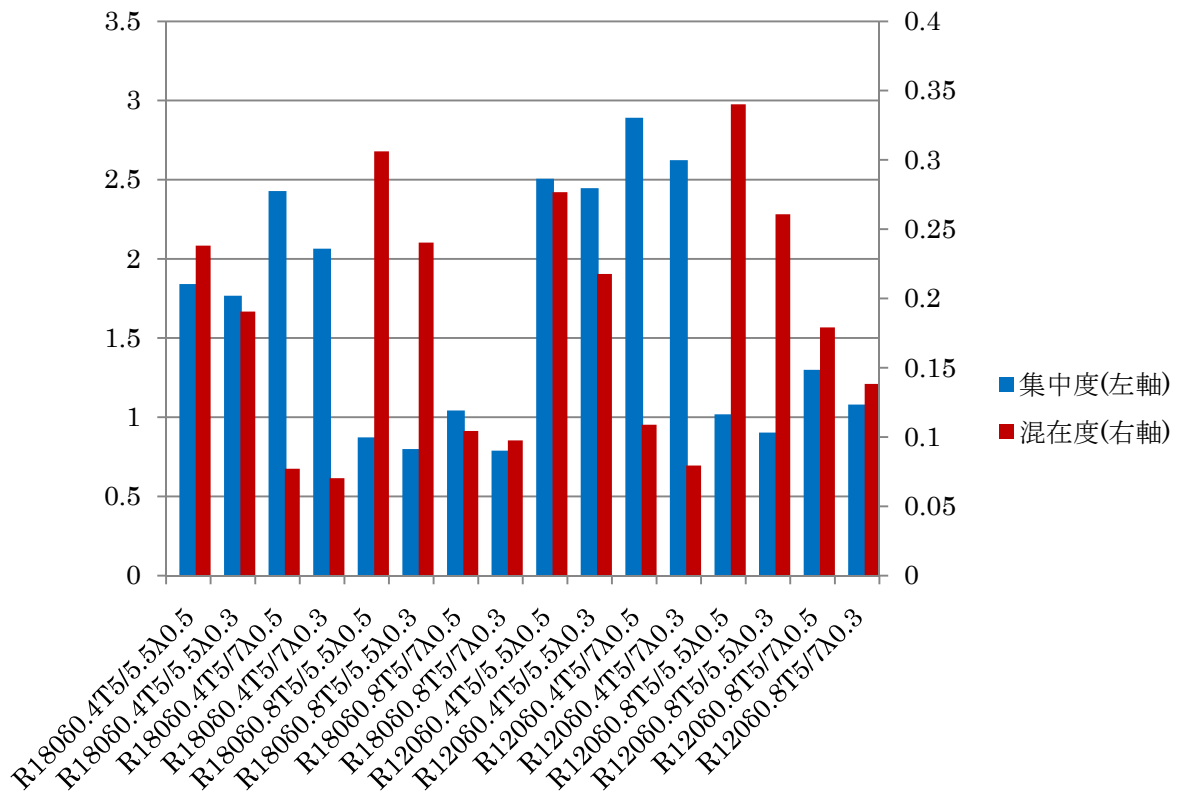


図 6-77 各組合せの集中度指数と混在度



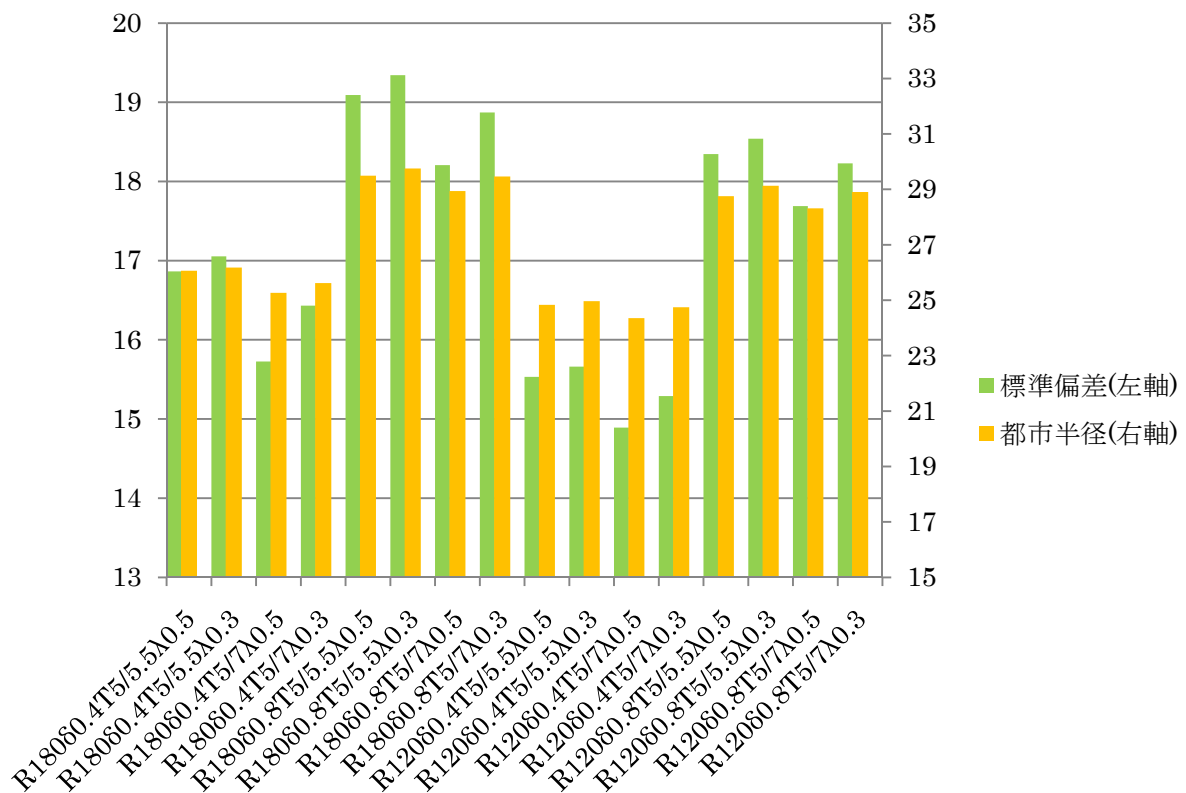


図 6-78 各組合せの標準偏差と都市半径

## 6.6 まとめ

高齢者の全人口に占める割合 $\lambda$ の変化が都市構造に及ぼす影響に着目した動学的アプローチによるシミュレーションを行った。そこでは、高齢者率の変化の違いの影響、さまざまな与件変化の影響、望ましい都市像について調べた。

高齢者率の変化の違いの影響では、高齢者の全人口に占める割合の高さが都市構造にどのような影響を及ぼすかを調べる目的でシミュレーションを行った。高齢者の全人口に占める割合 $\lambda$ が高いほど中心部の密度が高く、集中の外部不経済の高い場所が増えることがわかった。集中度と標準偏差に関しては、移動前に比べて移動後の方が集中度は大きく、標準偏差は小さいことがわかった。つまり、 $\lambda$ が高いときほど都市は集中し、各家計の立地のばらつきは小さくなる。また、 $\lambda$ が高いときほど、移動前と移動後の集中する変化は大きくなることがわかった。また、 $\lambda$ が高いときほど若者は集中し、若者の立地の中心からのばらつきは大きくなることがわかった。さらに、高齢者の割合が高まるほど若者は郊外に集中して居住し、その度合いは高齢者の割合が高まるほど大きくなることがわかった。次に、移動前に比べて移動後の方が高齢者の集中度は大きく、標準偏差は小さいことがわかった。

また、高齢者の割合が高いほど高齢者は都市の中心に集中して居住し、その度合いは高齢者の割合が高いときほど大きくなることがわかった。次に、都市半径に関しては、移動前より移動後の方が小さくなることがわかったが、その変化の大きさは不規則であることがわかった。最後に、混在度に関しては移動前と移動後では、移動後の方が混在度は小さくなる。図6-24の $\lambda$ が0.3のときと0.4のときの移動後の結果を比べると、混在度の小さくなる度合いは $\lambda$ が0.4のときの方が大きくなっている。さらに、 $\lambda$ が0.4のときと0.5のときの移動後の結果を比べると、混在度の小さくなる度合いは $\lambda$ が0.5のときの方が大きくなっている。さらに、 $\lambda$ が0.4のときと0.5のときを見ると、移動前では $\lambda$ が0.5の方が混在度は大きかったにも関わらず、移動後は $\lambda$ が0.4の混在度の方が大きいという結果が得られた。これらから、高齢者の割合が高過ぎると、若者と高齢者は混在しない可能性があることがわかった。

さまざまな与件変化の影響では、都市構造と経済主体の条件が違う場合、 $\lambda$ が0.2から $\lambda$ が0.4に変化するという高齢化が都市構造にどのような影響を与えるかを調べるためのシミュレーションを行った。具体的には、交通費格差の影響、外部性の影響、地代の影響について調べた。

交通費格差の影響に関しては、高齢者の交通費  $t^o$  が高いほど中心部の密度が高く、集中の外部不経済の高い場所が増えることがわかった。集中度と標準偏差に関しては、移動前に比べて移動後の方が集中度は大きく、標準偏差は小さいことがわかった。また、 $t^o$  が高いときほど都市は集中し、各家計の立地のばらつきは小さくなることがわかった。また、 $t^o$  が高いときほど、移動前と移動後の集中する変化は大きくなることがわかった。また、 $t^o$  が高いときほど若者は集中し、若者の立地の中心からのばらつきは大きくなることがわかった。したがって、 $t^o$  が高いほど若者は郊外に集中して居住し、その度合いは高齢者との交通費の格差が大きいほど大きくなると言える。次に、移動前に比べて移動後の方が高齢者の集中度は大きく、標準偏差は小さいことがわかった。したがって、若者との交通費の格差が大きいときほど高齢者は都市の中心に集中して居住し、その度合いは交通費の格差が大きいときほど大きくなることがわかった。次に、都市半径に関しては、移動前より移動後の方が小さくなることがわかったが、その変化の大きさは不規則であることがわかった。最後に、混在度に関しては移動前と移動後では、移動後の方が混在度は小さくなることがわかった。また、 $t^o$  が大きいほど混在度の減少する度合いは大きいことがわかった。したがって、若者と高齢者の交通費の格差が大きいと、若者と高齢者が混在して居住しないと見える。

外部性の影響に関しては、外部性の影響 $\delta$ が小さいほど中心部の密度が高く、集中の外部不経済の高い場所が増えることがわかった。集中度と標準偏差に関しては、移動前に比べて移動後の方が集中度は大きく、標準偏差は小さいことがわかった。これから、 $\delta$ が小さいときほど都市は集中し、各家計の立地のばらつきは小さくなることがわかる。また、 $\delta$ が大きいときほど、移動前と移動後の集中する変化は大きくなるが、標準偏差はほぼ一定であることがわかった。また、移動前に比べて移動後の方が若者の集中度は大きく、標準偏差は移動後の方が大きいことがわかった。また、 $\delta$ が小さいときほど若者は集中し、若者の居住地の中心からのばらつきは小さいことがわかった。若者の集中度の変化率は $\delta$ が小さいほど大きく、標準偏差の変化率はあまり変化しないことがわかった。以上から、若者は、やや中心に集中して居住することがわかる。次に、移動前に比べて移動後の方が高齢者の集中度は大きく、標準偏差は小さいことがわかった。また、 $\delta$ が小さいときほど高齢者は集中し、高齢者の立地の中心からのばらつきは小さくなることがわかった。高齢者の集中度の変化率は $\delta$ が小さいほど小さく、標準偏差の変化率も小さいことがわかった。次に、移動前と移動後では、移動後の方が都市半径は小さくなり、また、 $\delta$ が小さいときほど都市半径は小さいことがわかった。また、都市半径の移動前と移動後の変化率は $\delta$ に関わらずほぼ一定であるとわかった。以上から、外部性の影響が小さいほど都市はコンパクト化すると言える。最後に、混在度に関しては移動前と移動後では、移動後の方が混在度は小さくなることがわかった。また、 $\delta$ が小さいほど混在度の減少する割合は大きいことがわかった。以上から、外部性の影響が小さいほど、若者と高齢者は混在しないと言える。

地価の影響に関しては、中心地の地代  $R$  が小さいほど中心部の密度が高く、集中の外部不経済の高い場所が増えることがわかった。また、 $R$  が高いほど農地の面積が増えることがわかった。集中度と標準偏差に関しては、移動前に比べて移動後の方が集中度は大きく、標準偏差は小さいことがわかった。また、 $R$  が低いときほど都市は集中し、各家計の立地のばらつきは小さくなることがわかる。また、 $R$  が高いときほど、移動前と移動後の集中する変化は大きくなるが、標準偏差はほぼ一定であることがわかった。また、 $R$  が 80 のときを除いて移動前に比べて移動後の方が若者の集中度は大きく、標準偏差は  $R$  の高さに関わらず移動後の方が小さいことがわかる。また、 $R$  が高いときほど若者の中心地からのばらつきは大きくなることがわかる。 $R$  が高いほど集中度は変化率が大きいことがわかり。標準偏差の  $R$  の高さに関わらず変化率はほぼ一定であることがわかった。以上から、 $R$  が高いほど若者は郊外に居住することがわかった。次に、 $R$  が小さいときほど高齢者は集中し、高齢者の立地の中心からのばらつきは小さくなることがわかった。また、 $R$  が高いほど高齢者の集中度の変化率は大きく、標準偏差の変化率は小さいことがわかった。以上から、中心地の

地代が大きいときほど高齢者は都市の中心に集中して居住し、集中の変化の度合いは中心地の地代が高いときほど大きくなることがわかった。また、ばらつきの変化の度合いは中心地の地代が低いときほど小さくなることがわかった。次に、移動前と移動後では移動後の方が都市半径は小さく、都市半径の変化率は  $R$  の高さに関わらず一定であることがわかった。最後に、混在度に関しては移動前と移動後では、移動後の方が混在度は小さくなることがわかった。 $R$  が高いときほど混在度の減少する度合いは大きいことがわかった。

望ましい都市像に関しては、コンパクトシティの要件である物理的なコンパクトさと用途の混在を満たす望ましい都市像を調べるためのシミュレーションを行った。具体的には、高齢者率 $\lambda=0.3$ 、 $0.5$ 、高齢者の交通費 $t^o=5.5$ 、 $7$ 、集中の外部不経済の影響 $\delta=0.4$ 、 $0.8$ 、中心地の地代 $R=120$ 、 $180$ をそれぞれ組合せてシミュレーションを行った。集中度指数の値 $1.5$ を基準に大小を判断し、混在度の値 $0.15$ を基準に大小を判断し、結果を4つに分類できる。1つ目は、集中度が大きく混在度が大きい場合。2つ目は、集中度が大きく混在度が小さい場合。3つ目は、集中度が小さく混在度が大きい場合。最後に、集中度が小さく混在度も小さい場合である。以上の様に分類したところ、集中度が大きいために集中の外部不経済の影響が小さいこと、混在度が大きいために若者と高齢者の交通費格差が小さいことが重要であるとわかった。次に、標準偏差の値 $17$ を基準に大小を判断し、都市半径の値 $27$ を基準に大小を判断し、結果を2つに分類した。1つ目は、標準偏差が小さく都市半径も小さい場合。2つ目は、標準偏差が大きく都市半径も小さい場合である。以上から、標準偏差が小さく都市半径も小さいためには、集中の外部不経済の影響が小さいことが重要であるとわかった。したがって、コンパクトシティの要件である物理的なコンパクトさと用途の混在を満たす望ましい都市像は、集中の外部不経済の影響が小さく若者と高齢者の交通費格差が小さい都市と結論した。

## 第7章 結論と今後の課題

## 7.1 まとめ

日本の課題は、高齢化の都市構造に及ぼす影響を明らかにすること、そして高齢者などの交通弱者に対応した街づくりを行うことである。そこで、高齢化社会が都市構造に及ぼす影響について明らかにすること、高齢者に対応した都市として注目されているコンパクトシティの実現に向け、混雑を考慮したコンパクトシティにおける望ましい実現方法について議論することを目的に研究を行った。この目的のために、2つのシミュレーション分析を行った。1つ目は、高齢者の交通費  $t^o$  の高さが都市構造に及ぼす影響に着目した静学的アプローチによるシミュレーションである。2つ目は、高齢者の全人口に占める割合  $\lambda$  の変化が都市構造に及ぼす影響に着目した動学的アプローチによるシミュレーションである。前者のシミュレーションでは、高齢者の交通費が高いときほど中心部の密度が高く、集中の外部不経済が高い面積は大きく、農地は高齢者の交通費が高いときほど中心部に表れない傾向があることがわかった。また、若者は郊外に集中して居住し、高齢者は都市の中心に集中して居住することがわかった。さらに、都市全体としては、高齢者の交通費が高いほど都市は集中するという結果となった。一方、都市半径は高齢者の交通費がどの値でも初期分布より増加していることがわかった。また、高齢者の交通費が高まるほど混在度は減少することがわかった。

次に後者のシミュレーションでは、高齢者率の変化の違いの影響、さまざまな与件変化の影響、望ましい都市像について調べた。

高齢者率の変化の違いの影響では、高齢者の全人口に占める割合の高さが都市構造にどのような影響を及ぼすかを調べる目的でシミュレーションを行った。高齢者の全人口に占める割合  $\lambda$  が高いほど中心部の密度が高く、集中の外部不経済の高い場所が増えるという結果となった。また、 $\lambda$  が高いときほど都市全体は集中し、各家計の立地のばらつきは小さくなることがわかった。また、 $\lambda$  が高いときほど若者は集中し、若者の立地の中心からのばらつきは大きくなることがわかった。さらに、高齢者の割合が高まるほど若者は郊外に集中して居住し、その度合いは高齢者の割合が高まるほど大きくなることがわかった。他方、高齢者の割合が高いほど高齢者は都市の中心に集中して居住し、その度合いは高齢者の割合が高いときほど大きくなることがわかった。次に、都市半径に関しては、移動前より移動後の方が小さくなることがわかったが、その変化の大きさは不規則であるという結果が得られた。最後に、混在度に関しては移動前と移動後では、移動後の方が混在度は小さくなるが、高齢者の割合が高過ぎると、若者と高齢者は混在しない可能性があることがわかった。

さまざまな与件変化の影響では、都市構造と経済主体の条件が違う場合、 $\lambda$ が 0.2 から  $\lambda$ が 0.4 に変化するという高齢化が都市構造にどのような影響を与えるかを調べるためのシミュレーションを行った。具体的には、交通費格差の影響、外部性の影響、地代の影響について調べた。

交通費格差の影響に関しては、高齢者の交通費  $t^o$  が高いほど中心部の密度が高く、集中の外部不経済の高い場所が増えるという結果が得られた。また、 $t^o$  が高いときほど都市全体は集中し、各家計の立地のばらつきは小さくなることがわかった。さらに、 $t^o$  が高いほど若者は郊外に集中して居住し、その度合いは高齢者との交通費の格差が大きいほど大きくなることがわかった。他方、若者との交通費の格差が大きいときほど高齢者は都市の中心に集中して居住し、その度合いは交通費の格差が大きいときほど大きくなることがわかった。次に、都市半径に関しては、移動前より移動後の方が小さくなることがわかったが、その変化の大きさは不規則であるという結果が得られた。最後に、混在度に関しては、若者と高齢者の交通費の格差が大きいと、若者と高齢者が混在して居住しないことがわかった。

外部性の影響に関しては、外部性の影響  $\delta$  が小さいほど中心部の密度が高く、集中の外部不経済の高い場所が増えることという結果が得られた。また、 $\delta$  が小さいときほど都市は集中し、各家計の立地のばらつきは小さくなることがわかった。さらに、 $\delta$  が大きいときほど、移動前と移動後の集中する変化は大きくなるが、標準偏差はほぼ一定となることがわかった。また、 $\delta$  が小さいときほど、若者は中心よりに集中して居住することがわかった。他方、 $\delta$  が小さいときほど高齢者は中心に集中して居住することがわかった。高齢者の集中度の変化率は  $\delta$  が小さいほど小さく、標準偏差の変化率も小さいことがわかった。次に、移動前と移動後では、移動後の方が都市半径は小さくなり、また、 $\delta$  が小さいときほど都市半径は小さいことがわかった。また、都市半径の移動前と移動後の変化率は  $\delta$  に関わらずほぼ一定であるという結果が得られた。以上から、 $\delta$  が小さいほど都市はコンパクト化することがわかった。最後に、混在度に関しては、 $\delta$  が小さいほど若者と高齢者は混在しないという結果が得られた。

地価の影響に関しては、中心地の地代  $R$  が小さいほど中心部の密度が高く、集中の外部不経済の高い場所が増えることがわかった。さらに、 $R$  が高いほど農地の面積が増えることがわかった。 $R$  が低いときほど都市は集中し、各家計の立地のばらつきは小さくなるという結果が得られた。また、 $R$  が高いときほど、移動前と移動後の集中する変化は大きくなるが、標準偏差はほぼ一定であることがわかった。また、 $R$  が高いほど若者は郊外に居住することがわかった。他方、 $R$  が低いときほど高齢者は都市の中心に集中して居住し、集中の変化の度合いは  $R$  が高いときほど大きくなることがわかった。また、ばらつきの変化の度合いは

中心地の地代が低いときほど小さくなることがわかった。次に、移動前と移動後では移動後の方が都市半径は小さく、都市半径の変化率は  $R$  の高さに関わらず一定であることがわかった。最後に、混在度に関しては移動前と移動後では、移動後の方が混在度は小さくなることがわかった。 $R$  が高いときほど混在度の減少する割合は大きいことがわかった。

望ましい都市像に関しては、コンパクトシティの要件である物理的なコンパクトさと用途の混在を満たす望ましい都市像を調べるためのシミュレーションを行った。具体的には、高齢者率 $\lambda=0.3, 0.5$ 、高齢者の交通費 $t^o=5.5, 7$ 、集中の外部不経済の影響 $\delta=0.4, 0.8$ 、中心地の地代 $R=120, 180$ をそれぞれ組合せてシミュレーションを行った。そして、集中度が大きいためには集中の外部不経済の影響が小さいこと、混在度が大きいためには若者と高齢者の交通費格差が小さいことが重要であるとわかった。さらに、標準偏差が小さく都市半径も小さいためには、集中の外部不経済の影響が小さいことが重要であるとわかった。以上から、コンパクトシティの要件である物理的なコンパクトさと用途の混在を満たす望ましい都市像は、集中の外部不経済の影響が小さく若者と高齢者の交通費格差が小さい都市と結論した。

## 7.2 今後の課題

今研究で行ったシミュレーションは、人が集中することのデメリットである混雑、そして交通費と高齢者率に着目した極めて単純化されたシミュレーションである。したがって、より現実的なシミュレーションを行うためには、一層の工夫が必要である。具体的には、現実に即したパラメータの値の設定、企業の登場、人が集中することのメリットを考慮し若者と高齢者の違いをより適切な形で表現したモデルの開発などである。



## 参考文献

- [1] 石塚義高(2008)『サステイナブル都市』近代文芸社
- [2] 市川惇信(2002)『複雑系の科学-セル・オートマタ体験 CD-ROM 付-』オーム社.
- [3] 伊庭斉志(2007)『複雑系のシミュレーション』コロナ社.
- [4] 大内東, 山本雅人, 川村秀憲(2002)『マルチエージェントシステムの基礎と応用—複雑系工学の計算パラダイム—』コロナ社
- [5] 大森, 室町, 原田, 太田(1998)『生活活動パターンを考慮した高齢者のアクセシビリティに関する研究～秋田市をケーススタディとして～』土木計画学研究・論文集, 15, 671-678.
- [6] 海道清信(2001)『コンパクトシティ-持続可能な社会の都市像を求めて-』学芸出版社
- [7] 加藤, 竹内 (編著) (2004)『新・都市計画概論 改訂 2 版』共立出版株式会社
- [8] 金本良嗣(1997)『都市経済学』東洋経済新報社
- [9] 鎌田, 寺島, 藤井, 秋山(2002)『高齢者の使用に適した移動具の研究(第 3 報, タウンモビリティ社会実験による提案コンセプトの評価とまちづくりの方向性)』日本機械学会論文集(C 編), 68, 669, 1495-1502
- [10] 清水浩志郎(1995)『高齢者・障害者交通研究の意義と今後の展望』土木学会論文集 No.518/IV-28, 17-29.
- [11] 瀧澤, 河村, 谷(1998)『セルオートマトンとしての都市(その1) CA の応用性と土地利用パターンの形成』日本建築学会計画系論文集, 第 506 号, 203-209.
- [12] 玉川英則 (編著) (2008)『コンパクトシティ再考—理論的検証から都市像の探求へ』株式会社学芸社

- [13] ダンツィク,G,B.サアティ T,L.(1973)『コンパクトシティ 豊かな生活空間四次元都市の青写真』日科技連出版社
- [14] 地域経済研究会(2005)『人口減少下における地域経営について-2030 年の地域経済』
- [15] 張長平(2001)『地理情報システムを用いた空間データ分析』古今書院
- [16] 東北産業活性化センター (編) (2006)『コンパクトなまちづくりの時代へ』 日本地域経済研究所
- [17] 中村,田淵(1996)『都市と地域の経済学』有斐閣ブックス.
- [18] 日本建築学会(編) (2005)『複雑系と建築・都市・社会』コロナ社
- [19] 西村和雄(1990)『ミクロ経済学』東洋経済新報社
- [20] 日笠,日端(1994)『都市計画【第3版】』共立出版株式会社
- [21] 宮尾尊弘(1995)『現代都市経済学 第2版』日本評論社
- [22] 宮田,渋澤,張(2004)『コンパクトシティモデルのシミュレーション分析』土木計画学研究・論文集 Vol.21 no.2.
- [23] 村山,柴崎(編)(2008)『シリーズ GIS GIS の理論』朝倉書店  
のシミュレーション-』
- [24] 山本恭逸(2006)『コンパクトシティ-青森市の挑戦-』ぎょうせい
- [25] A.I.Lloyd,(1995)"Computing Bouts of the Prisoner's Dilemma,"*Scientific American*.

- [26] Alonso,W.(1964)"Location and Land Use," Harvard University Press, Cambridge,Mass.
- [27] Batty,M,Xie,Y.(1994)"From cells to cities," *Environment and Planning B: Planning and Design* 24,175-192.
- [28] C.J.Webster,F.Wu.(1999)"Regulation, land-use mix, and urban performance. Part 1: theory,"*Environment and Planning A*, Vol.37 ,1433-1442.
- [29] C.J.Webster,F.Wu.(1999)"Regulation, land-use mix, and urban performance. Part 2: simulation,"*Environment and Planning A* Vol.31,1529-1545.
- [30] Clark,C.(1951)"Urban population densities," *Journal of Royal Statistical Society A* 114, 1951, 490-496.
- [31] Counclelis,H(1985)"Cellular worlds: framework for modeling micro-macro dynamics," *Environment and Planning A* 17,585-596.
- [32] D,O'Sullivan.D,Unwin.(2002)"Geographic Information Analysis,"*JOHN WILEY & SONS, INC.*
- [33] G.Caruso,D.Peeters,J,Cavailhes,M.Rounsevell.(2007)"Spatial configurations in a periurban city. A cellular automata-based micro economic model,"*Regional Science and Urban Economics* 37,542-567.
- [34] G.Caruso,D.Peeters,J.Cavailhes,M.Rounsevell.(2008)"Space-time patterns of urban sprawl, a 1D cellular automata and microeconomic approach,"*CORE DISCUSSION PAPER*, 44 .
- [35] G.Ottaviano,J.Thisse.(2001)"On economic geography in economic theory: increasing returns and pecuniary externalities,"*Journal of Economic Geography*, 1 ,153-179.

- 
- [36] I.Benenson,P.Torrens.(2004)"Geosimulation :Automata-based modeling of urban phenomena," *JOHN WILEY & SONS, LTD.*
- [37] Kusch,I.and Markus,M.(1996)"Molluse Shell pigmentation; Cellular automaton simulations and evidence for undecidability," *J.theor. boil*, 178,333-340.
- [38] Langton,C,G.(1992)"Life at Edge of Chaos, Artificial Life II," *Addison-Wesleey*, 41-91.
- [39] M,Breheny.(1992)"The Compact City: An Introduction" "Built Environment" Vol18, Number4, 241-246.
- [40] M.Kii,K.Doi.(2005)"Multiagent land-use and transport model for the policy evaluation of a compact city,"*Environment and Planning B* ,32,485-504.
- [41] M,Gardner.(1983)"Wheels,Life and other Mathematical Amusements, Chaper 21~23 The Life of Game PART I , II , III, " *W.H. Freeman*, N.Y.
- [42] Nagel,K, and Shreckenberg,M(1992)"A cellular automaton model for freeway traffic,"*J.Phisique I* , 2-12, 2221-2229.
- [43] Neumann,V.(1966) "Theory of Self-reproducing Automata," *University of Illinois Press,Urbana*, II .
- [44] NIRA 報告書(2008)『地方再生へのシナリオ -人口減少への政策対応-』
- [45] P.Combes,T.Mayer,J.Thisse(2008)"Economic Geography: The Integration of Regions and Nations,"*PRINCETON UNIVERSITY PRESS.*
- [46] R.Baldwin,R.Forslid,P.Martin,G.Ottaviano,F.Nicoud.(2003)"Economic Geograpy and Public Policy,"*PRINCETON UNIVERSITY PRESS.*
-

- [47] Schelling,T.C.(1971)"Dynamic Models of Segregation," *In Journal of Mathematical Sociology*, 1,143-186.
- [48] Tobler, W.(1979)"Cellular geography," *Philosophy in Geography*, pp379-386.
- [49] White, R, Engelen(1994)"Cellular automata and fractal urban form: a cellular Medellin approach to the evolution of urban land-use patterns," *Environment and Planning B: Planning and Design* 25,1175-1193.
- [50] Wolfram,S.(1984) "University and Complexity in Cellular Automata," *Physica D* 10,1-35.
- [51] Y.ZHAO,Y.Murayama(2007)"Urban growth in the Tokyo metropolitan area: Insight from urban form and landscape,"In: *Yan X. and Xue, D. eds., Urban Development, Planning and Governance in Globalization*. IGU Urban Commission. Sun Yat-Sen University Press, 371-389 eo.
- .

# 謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの方々のご指導とご支援を頂きました。まず、高橋孝明教授に心より感謝申し上げます。高橋孝明教授には、基本的な研究の方向性からまとめ方についてまで、研究に対して終始ご指導頂きました。高橋孝明教授の懇切丁寧なご指導と適切なご助言が無ければ、このように論文の形とすることは難しかったと思います。そして、副指導教員としてご助言頂いた浅見泰司教授、研究室会議で研究に対して様々な有意義なご指摘をしてくださった丸山祐造准教授、河端瑞樹准教授にも深く感謝致します。また、日頃の研究活動を支えてくださった秘書の大橋裕美さんにも感謝致します。

最後に、ここまで私を育ててくれ精神的に支えてくれた両親と弟に心より感謝の意を表したいと思います。ありがとうございました。

2009年1月25日

吉川知秀





## 補論

## 補論A コンパクトシティの条件、効果、批判

海道(2001)は、コンパクトシティの条件として次の9点を挙げている。

1. 高い居住と就業などの密度
2. 複合的な土地利用の生活圏
3. 自動車だけに依存しない交通
4. 多様な居住者と多様な空間
5. 独自の地域空間
6. 明確な境界
7. 社会的な公平さ
8. 日常生活上の自足性
9. 地域運営の自立性

石塚(2008)は、コンパクトシティの条件として、コンパクトシティを欧州モデルと東洋モデルに分けている。アジアと日本の都市域は、欧州の都市域に比べて広いという違いがあるため、二つのモデルに分けている。まず欧州モデルの条件であるが、

- ・自動車利用にできるだけ依存しないこと
- ・都市外部の自然や農地をできるだけ壊さないこと
- ・徒歩圏のサービスを充実すること
- ・市街地内部の低未利用空間や空き建物を高度利用すること
- ・モビリティよりもアクセシビリティを重視すること

次に、東洋モデルの条件であるが

- ・自動車利用にできるだけ依存しないことであるが、都市域が広いので依存程度をまったく低くすることはできない
- ・都市外部の自然や農地をできるだけこわさないことであるが、都市域が広いので、周辺だけでなく都市市域の中でも自然や農地をできるだけ壊さずに、そして逆に増大させていく
- ・都市域が広いので都心部またいくつかの副都心部または数多くのクラスター的な小さい都市域に分割して、鉄道やトラムや地下鉄の駅ごとの駅勢圏を徒歩圏としてサービスを充実すること
- ・市街地内部の低未利用空間や空き建物を高度利用することであるが、都市域が広いので高度利用する地域（アップゾーニング）と取り壊して緑の空間にする地域（ダウンゾーニ

---

ング) に分けてそれぞれを推進していく

・モビリティよりもアクセシビリティを重視することであるが、都市域が広いので都心部またいくつかの副都心部または数多くのクラスターの小さい都市域に分割して、鉄道やトラムや地下鉄の駅ごとの駅勢圏の内部ではアクセシビリティの確保を優先し、各クラスター間ではできるだけ公共交通機関によってアクセシビリティを確保する

石塚(2008)は、欧州のコンパクトシティへの効果として次の9点にまとめている。

1. エネルギー効率がよく、循環型社会となること…郊外人口を減らし、通勤・通学・物資輸送が減り、都市全体の輸送に関連するエネルギー消費が減る。都市のエネルギー効率を高めることができるとともに、資源リサイクル、エネルギーリサイクルがより高められるようになり循環型経済社会にすること

2. 高齢者や子どもの年齢による移動のハンディを克服できること…当該都市また周辺都市からの高齢者や子どもは歩行や乗物の長時間乗車には弱く、比較的狭い都市域集中させることで移動のハンディをなくすことができる

3. 公共施設の整備と維持が効率的にできること…公共施設のうち、道路や上水や下水やガス供給や電力供給の面で、比較的狭い都市域に集中させることにより効率化と経営向上を図ることができる。公共施設のうち、ホールや劇場や映画館や図書館等の利用の面で、比較的狭い都市域に集中させることにより当該都市また周辺都市の人々の利用する側の効率化ならびに施設側の効率化と経営向上を図ることができる。

4. 経済的に活発化できること…比較的狭い都市域に集中させることにより、当該都市また周辺都市の人々の買い物・食事・歓楽・業務が増大し、商業や手工業を中心に経済活発化を図ることができる。

5. 人間が内発的に成長することと文化の継承ができること…人間の内発的な成長は大事であり、地域の伝統文化の継承は重要なことである。

6. コミュニティ活動を活発化できること…比較的狭い都市域に多くの人々が居住し、産業活動をそこで行うことにより、地域住民のコミュニティ活動の場と時間が確保できるようになり、結果としてコミュニティ活動を活発化させることができる。

7. 住民による自治能力を向上させられること…地域住民のコミュニティ活動が活発化することで、自治能力を高めるチャンスとすることができる。

8. 都市中心部が賑わいを取り戻すことができること…比較的狭い都市域に集中させることにより、当該都市また周辺都市また国内の遠い地区や海外からの観光の人々の買い物・食事・歓楽・業務が増大し、都心部の賑わいを再び作り出すことができる。

9. 都市の魅力を維持し増進できること…比較的狭い都市域に集中させることにより、当該都市また周辺都市また国内の遠い地区や海外からの観光の人々が集まることで、都市内の不動産への投資や景観の整備が進み、都市の魅力を最低維持し、さらに増進させることができる。

海道（2001）、石塚（2008）は、欧州のコンパクトシティへの批判を次の6点にまとめている。

1. コンパクトシティの実現性への疑問提示

コンパクトシティはロマンチックで危険な考え方である／経済的欲求・環境の持続性・社会的持続性を無視している／分散化に無理解である／コンパクトシティは人口成長を見込んでいない／単身世帯が増加する

2. 低密度居住や田園居住の礼賛

コンパクトシティは都市分散の原因・効果・便益を無視している／分散は必然的である／コンパクトシティは英米の郊外居住や準農村居住の指向と対立している／人々の支持は得られない／コンパクトシティは農村コミュニティを無視している／農村の発展を脅かす

3. コンパクトシティの省エネルギー効果や廃棄物削減効果への疑問提示

コンパクトシティは自動車交通がそれほど減らない／高密度化はエネルギー消費に不利である／情報通信の発展により農村は就業や生活に有利である／コンパクトシティ化によるエネルギー消費の削減効果は認めるが多くのデメリットを上回るほどではない／交通形態や都市形態、都市構造とエネルギー消費の関連の結論が出ていない／省エネルギー効果はパッシブソーラーハウスの戸建住宅が有利である

4. コンパクトシティの生活の質への疑問提示

密度が高まるとオープンスペースや緑地が失われ環境が悪化する／緑地は欠かせない／密度が高いため道路混雑を引き起こし、汚染が増大し、アメニティを喪失させ、プライバシーを侵害する／実際の移動距離を削減できるか疑問である／公共交通には限界がある

#### 5. コンパクトシティの社会政策としての疑問提示

社会的分離を引き起こし、その調和には多くの費用を要する／コンパクトシティの規模が大きくなるとコミュニティの活力が小さくなる／財政的には有利となるが政治的には受け入れがたい／コンパクトシティ化は宅地価格と住宅価格の上昇をもたらし格差を生み出す

#### 6. Michael Breheny(1992)のコンパクトシティへの疑問提示

英国での都市の拡散化と半都市化現象は逆転できないだろう／都市高密度化によって得られる交通エネルギーの削減効果は確かだが、低密度を好む人々を納得させるほど大きくない／レジャー自動車利用には高密度化は影響しない／低密な都市形態が資源循環の面からサスティナブルではないか／高密・過密な都市や地区は生活環境の質を損ねる恐れがある／自動車の利便性を抑制することは市民の価値観と相容れず支持されない／すでに後戻りできないほど拡散している／実現する具体的手法が明らかでない

## 補論B 付け値地代関数の導出

予算制約付き効用最大化問題を解く。

$$\max \quad U = \left( \alpha q - \frac{\beta}{2} q^2 + A \right) \omega \quad (29)$$

$$s.t. \quad y - td_{i0} - r = pq + A \quad (30)$$

ラグランジュ関数は

$$L = \left( \alpha q - \frac{\beta}{2} q^2 + A \right) \omega + \eta (y - td_{i0} - r - pq - A) \quad (31)$$

となる。このとき一階の条件は、

$$\frac{\partial L}{\partial q} = (\alpha - \beta q) \omega - \eta p = 0 \quad (32)$$

$$\frac{\partial L}{\partial A} = \omega - \eta = 0 \quad (33)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = y - td_{i0} - r - pq - A = 0 \quad (34)$$

(32)式に(33)式を代入し、qについて解くと、qの需要関数が求まる。

$$(\alpha - \beta q)\omega - \omega p = 0$$

$$\beta q = \alpha - p$$

$$\therefore q^* = \frac{\alpha}{\beta} - \frac{1}{\beta} p \quad (35)$$

(35)式を(34)式に代入し、Aについて解くと、Aの需要関数が求まる。

$$y - td_{i0} - r - p \left( \frac{\alpha}{\beta} - \frac{1}{\beta} p \right) - A = 0$$

$$A = y - td_{i0} - r - p \left( \frac{\alpha}{\beta} - \frac{1}{\beta} p \right)$$

$$\therefore A^* = y - td_{i0} - r - \frac{\alpha}{\beta} p + \frac{1}{\beta} p^2 \quad (36)$$

(35)式、(36)式を効用関数に代入すると、間接効用関数が求まる。

$$V = \left( \alpha \left( \frac{\alpha}{\beta} - \frac{1}{\beta} p \right) - \frac{\beta}{2} \left( \frac{\alpha}{\beta} - \frac{1}{\beta} p \right)^2 + \left( y - td_{i0} - r - \frac{\alpha}{\beta} p + \frac{1}{\beta} p^2 \right) \right) \omega$$

$$\therefore V^* = \left( \frac{\alpha^2}{2\beta} + y - td_{i0} - r + \frac{1}{\beta} \left( \frac{1}{2} p - \alpha \right) \right) \omega \quad (37)$$

(37)式をrについて解くと

$$r^* = y + \frac{\alpha^2}{2\beta} + \frac{1}{\beta} p^2 - td_{i0} - \frac{\alpha}{\beta} p - \frac{V^*}{\omega} \quad (38)$$

(38)式は、付け値地代を表す式である。

## 補論C 間接効用関数と中心からの距離

(39)式は、本研究で用いた間接効用関数である。

$$V_i^k = \left( \frac{\alpha^2}{2\beta} + y - t^k d_{i0} - r_i + \frac{1}{\beta} p \left( \frac{1}{2} p - \alpha \right) \right) \omega \quad (39)$$

where  $y, o \in k$

(39)式を、中心からセル*i*までの距離  $d_{i0}$  で微分すると以下の様になる。

$$\frac{\partial V_i^k}{\partial d_{i0}} = (-t^k + r_i') \omega + \left( \frac{\alpha^2}{2\beta} + y - t^k d_{i0} - r_i + \frac{1}{\beta} p \left( \frac{1}{2} p - \alpha \right) \right) \omega' \quad (40)$$

ちなみに、

$$r_i' = -\frac{\partial r_i}{\partial d_{i0}}, \quad \frac{\partial r_i}{\partial d_{i0}} = -\varepsilon \text{Re}^{-\alpha d}$$

$$\omega' = \frac{\partial \omega}{\partial d_{i0}}$$

である。この(40)式が正であれば追加的に 1 単位中心から離れることで効用が高くなり、負であれば追加的に 1 単位中心に近づくことで効用が高くなることを意味する。また、(40)式が 0 であれば、追加的に 1 単位中心から離れても近づいても効用は高くないことを意味する。ここで、(40)式を 0 とおくと

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_i^k}{\partial d_{i0}} &= (-t^k + r_i') \omega + \left( \frac{\alpha^2}{2\beta} + y - t^k d_{i0} - r_i + \frac{1}{\beta} p \left( \frac{1}{2} p - \alpha \right) \right) \omega' = 0 \\ \Leftrightarrow -t^k + r_i' + \left( \frac{\alpha^2}{2\beta} + y - t^k d_{i0} - r_i + \frac{1}{\beta} p \left( \frac{1}{2} p - \alpha \right) \right) \frac{\omega'}{\omega} &= 0 \quad (41) \end{aligned}$$

(41)式の様書き換えることができる。(41)式の 1 項目は負の値をとるパラメータ。2 項目は正の値をとるパラメータ。3 項目は、該当セルの周囲の状況によって正か負かが決まるパラメータである。したがって、単位交通費は人を中心に集めるインセンティブになっており、追加的に 1 単位中心から離れることによって減少する地代は人を中心から離れさせるインセンティブになっていることがわかる。





# 付録

## 付録A 図一覧

### 第1章

図 1-1 日本の人口と人口構造

図 1-2 各地域の人口増減率

### 第2章

図 2-1 ノイマン近傍とムーア近傍

図 2-2 本研究で用いる近傍

図 2-3 都市の土地利用概念図

図 2-4 無差別曲線と予算制約線

図 2-5 各主体の付け値地代曲線

### 第4章

図 4-1 都市形態の表示例と凡例

図 4-2 外部不経済の表示例と凡例

図 4-3 都市全体密度の表示例と凡例

図 4-4 若者密度の表示例と凡例

図 4-5 高齢者密度の表示例と凡例

### 第5章

図 5-1 初期分布

図 5-2 シミュレーション 1 フロー図

図 5-3 初期分布が集中している場合

図 5-4 初期分布が集中している場合の全体の集中度指数

図 5-5 初期分布が集中している場合の全体の標準偏差

図 5-6 初期分布が集中している場合の若者の集中度指数

図 5-7 初期分布が集中している場合の若者の標準偏差

図 5-8 初期分布が集中している場合の高齢者の集中度指数

図 5-9 初期分布が集中している場合の高齢者の標準偏差

図 5-10 初期分布が集中している場合の都市半径

図 5-11 初期分布が集中している場合の混在度

- 
- 図 5-12 初期分布が分散している場合
  - 図 5-13 初期分布が分散している場合の全体の集中度指数
  - 図 5-14 初期分布が分散している場合の全体の標準偏差
  - 図 5-15 初期分布が分散している場合の若者の集中度指数
  - 図 5-16 初期分布が分散している場合の若者の標準偏差
  - 図 5-17 初期分布が分散している場合の高齢者の集中度指数
  - 図 5-18 初期分布が分散している場合の高齢者の標準偏差
  - 図 5-19 初期分布が分散している場合の都市半径
  - 図 5-20 初期分布が分散している場合の混在度

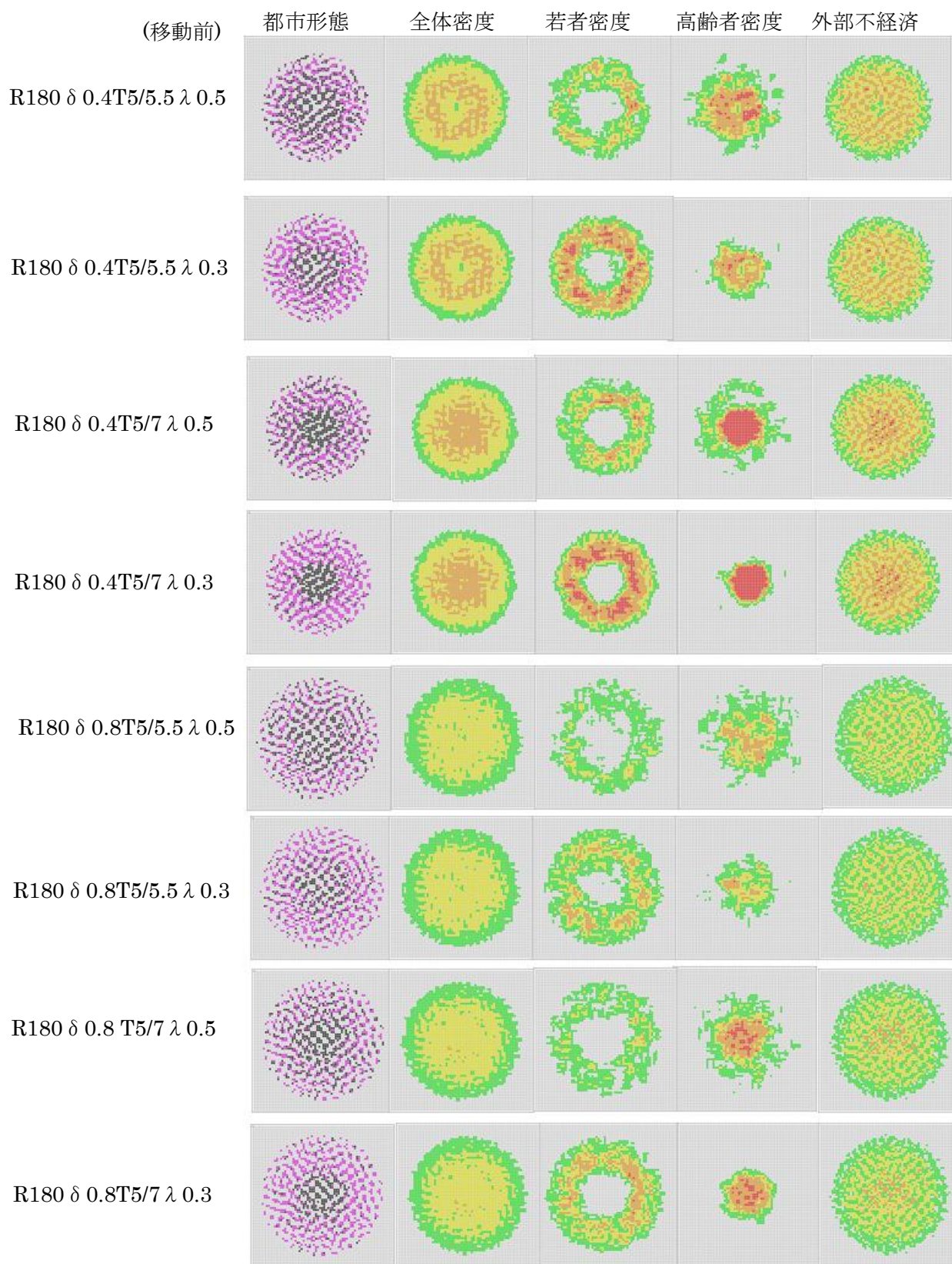
## 第 6 章

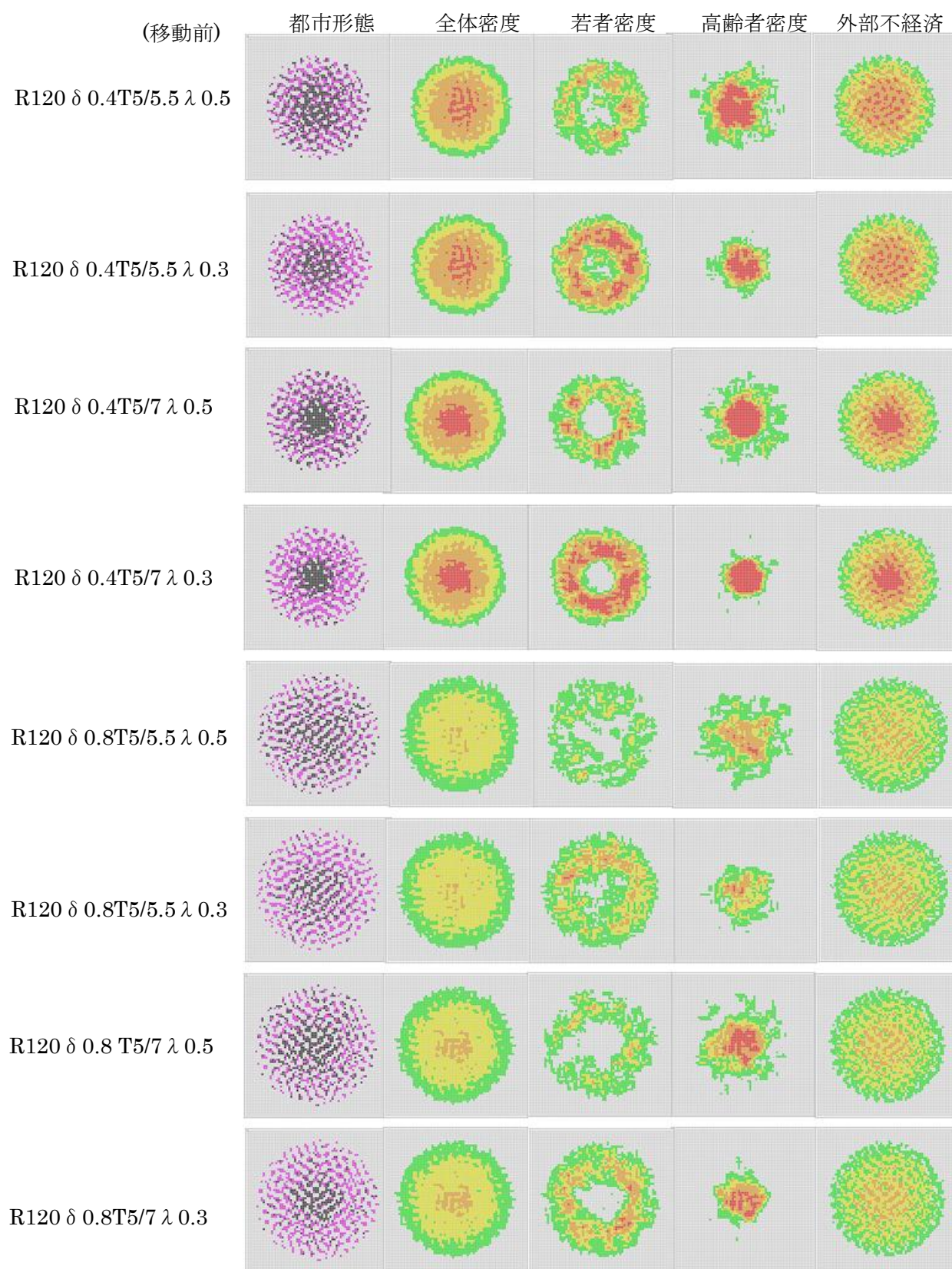
- 図 6-1 シミュレーションで用いた地代曲線
- 図 6-2 初期分布と初期状態の例
- 図 6-3 シミュレーション 2 フロー図
- 図 6-4 基本ケースの初期分布、初期状態と結果
- 図 6-5 基本ケースの移動前と移動後の集中度指数
- 図 6-6 基本ケースの移動前と移動後の標準偏差
- 図 6-7 基本ケースの移動前と移動後の都市半径
- 図 6-8 基本ケースの移動前と移動後の混在度
- 図 6-9 高齢者率の影響
- 図 6-10 高齢者率が違う場合の集中度指数
- 図 6-11 高齢者率が違う場合の標準偏差
- 図 6-12 高齢者率が違う場合の集中度の変化率
- 図 6-13 高齢者率が違う場合の標準偏差の変化率
- 図 6-14 高齢者率が違う場合の若者の集中度指数
- 図 6-15 高齢者率が違う場合の若者の標準偏差
- 図 6-16 高齢者率が違う場合の若者の集中度の変化率
- 図 6-17 高齢者率が違う場合の若者の標準偏差の変化率
- 図 6-18 高齢者率が違う場合の高齢者の集中度指数
- 図 6-19 高齢者率が違う場合の高齢者の標準偏差
- 図 6-20 高齢者率が違う場合の高齢者の集中度指数の変化率
- 図 6-21 高齢者率が違う場合の高齢者の標準偏差の変化率

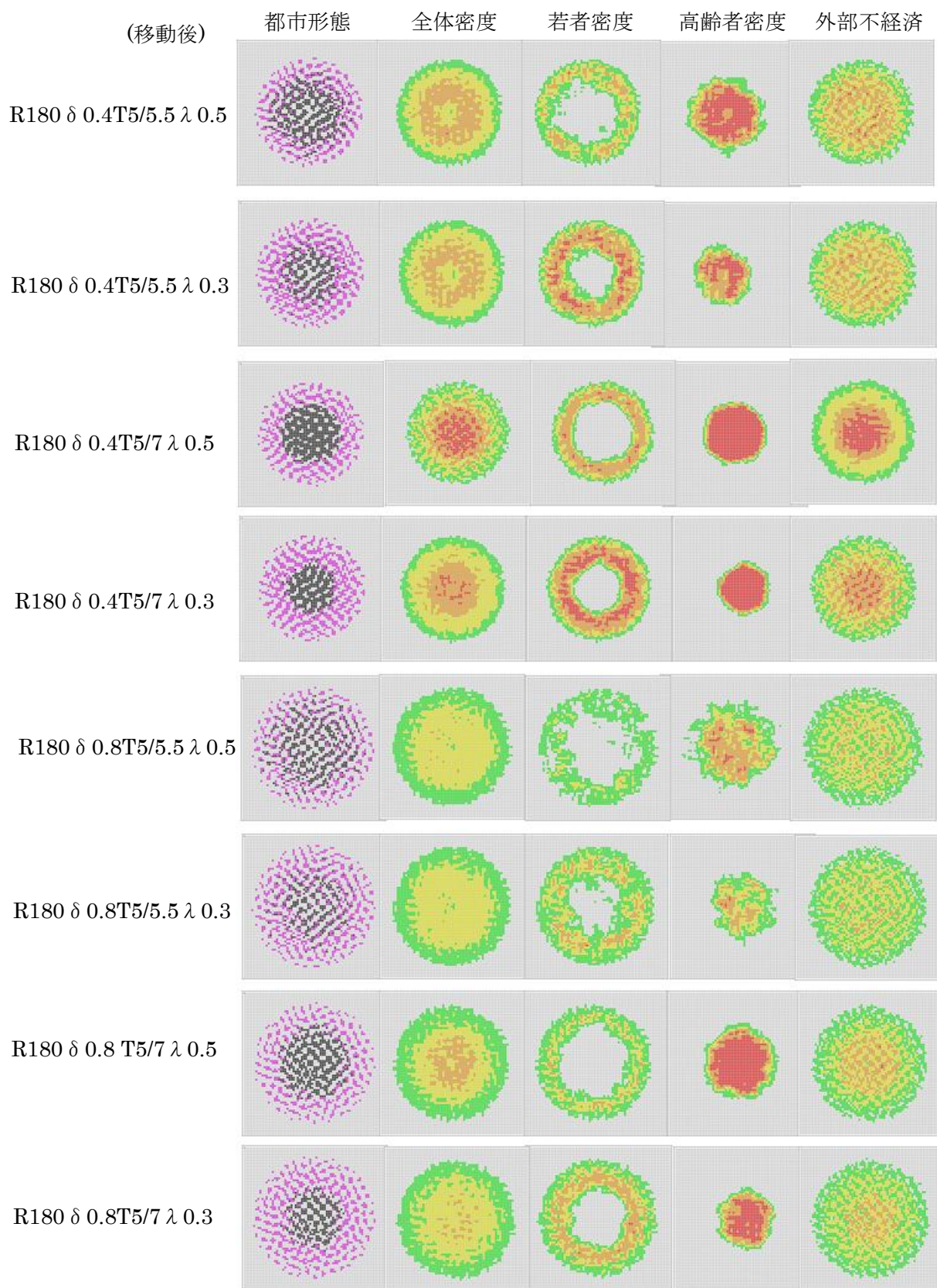
- 図 6-22 高齢者率が違う場合の都市半径
- 図 6-23 高齢者率が違う場合の都市半径の変化率
- 図 6-24 高齢者率が違う場合の混在度
- 図 6-25 高齢者率が違う場合の混在度の変化率
- 図 6-26 交通費格差の影響
- 図 6-27 交通費が違う場合の集中度指数
- 図 6-28 交通費が違う場合の標準偏差
- 図 6-29 交通費が違う場合の集中度指数の変化率
- 図 6-30 交通費が違う場合の標準偏差の変化率
- 図 6-31 交通費が違う場合の若者の集中度
- 図 6-32 交通費が違う場合の若者の標準偏差
- 図 6-33 交通費が違う場合の若者の集中度の変化率
- 図 6-34 交通費が違う場合の若者の標準偏差の変化率
- 図 6-35 交通費が違う場合の高齢者の集中度指数
- 図 6-36 交通費が違う場合の高齢者の標準偏差
- 図 6-37 交通費が違う場合の高齢者の集中度の変化率
- 図 6-38 交通費が違う場合の高齢者の標準偏差の変化率
- 図 6-39 交通費が違う場合の都市半径
- 図 6-40 交通費が違う場合の都市半径の変化率
- 図 6-41 交通費が違う場合の混在度
- 図 6-42 交通費が違う場合の混在度の変化率
- 図 6-43 外部性の影響が違う場合
- 図 6-44 外部性の影響が違う場合の集中度指数
- 図 6-45 外部性の影響が違う場合の標準偏差
- 図 6-46 外部性の影響が違う場合の集中度の変化率
- 図 6-47 外部性の影響が違う場合の標準偏差の変化率
- 図 6-48 外部性の影響が違う場合の若者の集中度指数
- 図 6-49 外部性の影響が違う場合の若者の標準偏差
- 図 6-50 外部性の影響が違う場合の若者の集中度の変化率
- 図 6-51 外部性の影響が違う場合の若者の標準偏差の変化率
- 図 6-52 外部性の影響が違う場合の高齢者の集中度指数
- 図 6-53 外部性の影響が違う場合の高齢者の標準偏差

- 
- 図 6-54 外部性の影響が違う場合の高齢者の集中度の変化率
  - 図 6-55 外部性の影響が違う場合の高齢者の標準偏差の変化率
  - 図 6-56 外部性の影響が違う場合の都市半径
  - 図 6-57 外部性の影響が違う場合の都市半径の変化率
  - 図 6-58 外部性の影響が違う場合の混在度
  - 図 6-59 外部性の影響が違う場合の混在度の変化率
  - 図 6-60 地代の影響
  - 図 6-61 地代が違う場合の集中度指数
  - 図 6-62 地代が違う場合の標準偏差
  - 図 6-63 地代が違う場合の集中度指数の変化率
  - 図 6-64 地代が違う場合の標準偏差の変化率
  - 図 6-65 地代が違う場合の若者の集中度
  - 図 6-66 地代が違う場合の若者の標準偏差
  - 図 6-67 地代が違う場合の若者の集中度の変化率
  - 図 6-68 地代が違う場合の若者の標準偏差の変化率
  - 図 6-69 地代が違う場合の高齢者の集中度指数
  - 図 6-70 地代が違う場合の高齢者の標準偏差
  - 図 6-71 地代が違う場合の高齢者の集中度の変化率
  - 図 6-72 地代が違う場合の高齢者の標準偏差の変化率
  - 図 6-73 地代が違う場合の都市半径
  - 図 6-74 地代が違う場合の都市半径の変化率
  - 図 6-75 地代が違う場合の混在度
  - 図 6-76 地代が違う場合の混在度の変化率
  - 図 6-77 各組合せの集中度指数と混在度
  - 図 6-78 各組合せの標準偏差と都市半径

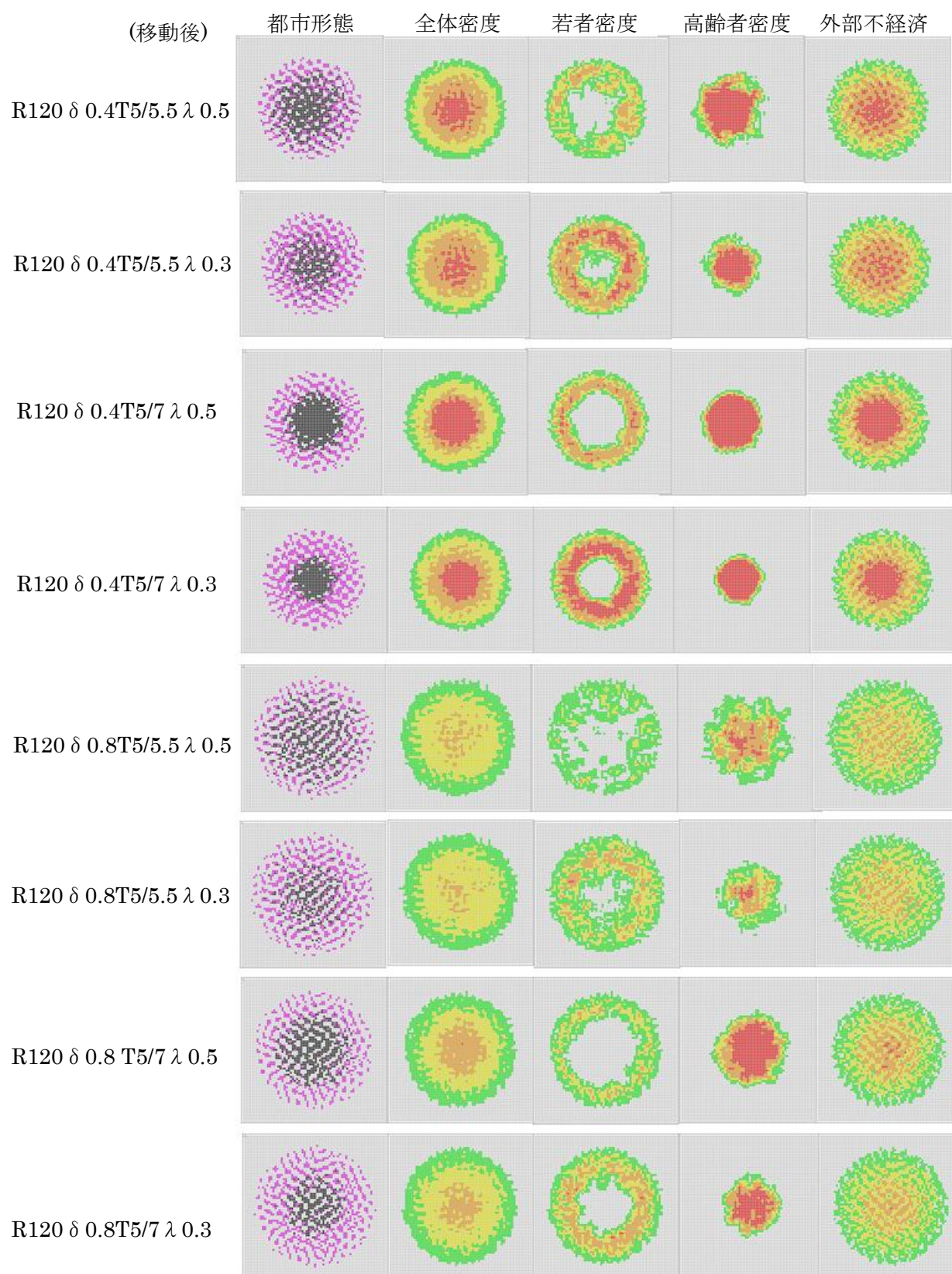
## 付録B 6.5.4 の結果











## 付録C 開発したシステム

システム開発には、Borland C++ Builder 2009 を用いた。

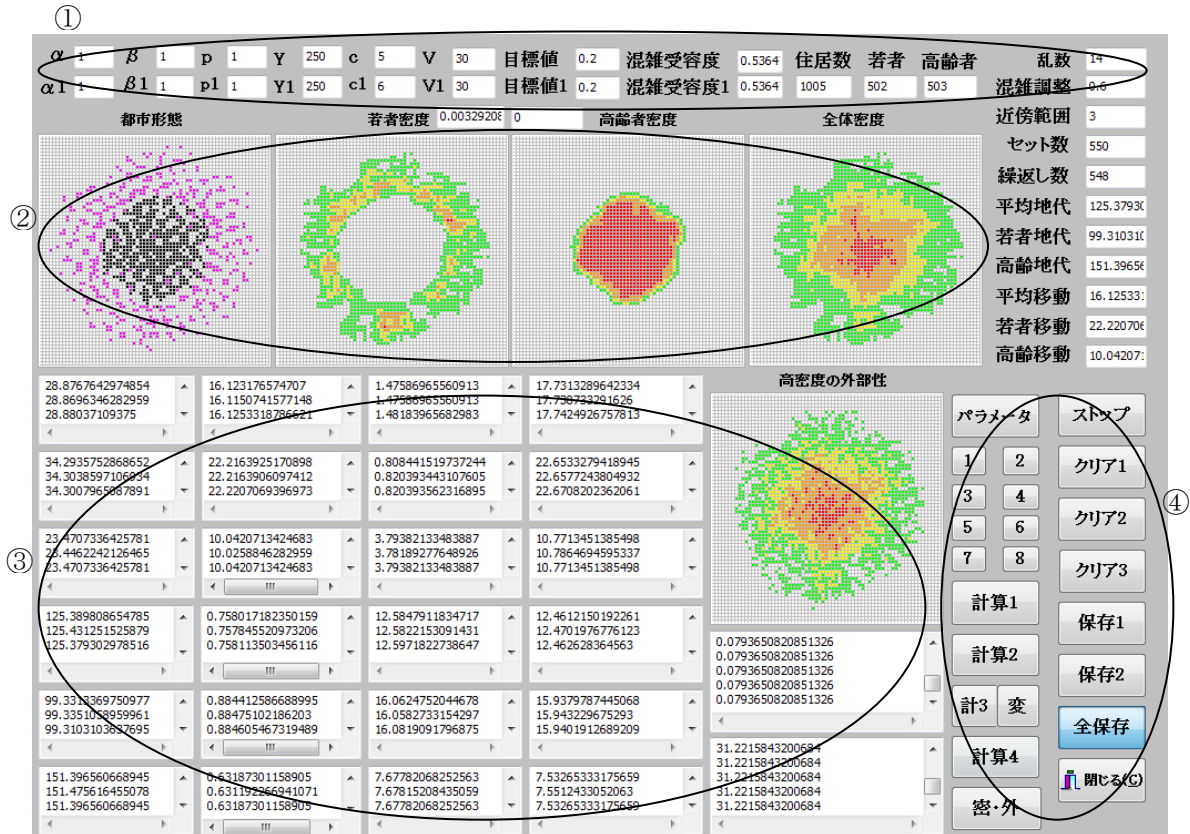


図 D-1 開発したシステム

- ①パラメータとして代入する値を入力する。
- ②都市形態、全体密度、若者密度、高齢者密度、外部不経済の結果を各セル上に色分けして出力する。
- ③各指標の結果を出力する。
- ④ボタンをクリックすることで作業を開始させる。
  - ・パラメータボタン…①の中に予め決めたパラメータを入力する。
  - ・クリアボタン、保存ボタン…出力した結果を消去する、保存する。
  - ・密・外ボタン…密度と外部不経済の大きさを計算して出力する。

---

密・外ボタンのプログラミングコード

//密・外ボタンをクリックすると以下の作業を開始

```
void __fastcall TForm2::Button12Click(TObject *Sender)
{
float jukyo,jukyo1,jukyo2,mitsudo,mitsudo1,mitsudo2;
CC=StringGrid1->ColCount, RC=StringGrid1->RowCount;
Memo22->Text="";
Memo23->Text="";
Memo24->Text="";
Memo30->Text="";
kinbo=StrToFloat(Edit11->Text);
kon=StrToFloat(Edit31->Text);
moku=StrToFloat(Edit23->Text);
moku1=StrToFloat(Edit24->Text);
moku=StrToFloat(Edit23->Text);
moku1=StrToFloat(Edit24->Text);
moku=log(moku);
moku1=log(moku1);
gaibu=-1*(moku/kinbo);
gaibu1=-1*(moku1/kinbo);
for (i = 2; i <= CC-3 ; i++) {
    for (j = 2; j <= RC-3 ; j++) {
        jukyo=0;
        jukyo1=0;
        jukyo2=0;
        for (ii = i-2 ; ii <=i+2 ; ii++) {
            for (jj = j-2 ; jj <= j+2 ; jj++){
                if(StringGrid1->Cells[ii][jj]==1){
                    jukyo++;
                }
                if(StringGrid1->Cells[ii][jj]==3){
                    jukyo1++;
                }
            }
        }
    }
}
```

```
    }
  }
}
mitsudo=jukyo/25;
StringGrid2->Cells[i][j]=mitsudo;
mitsudo1=jukyo1/25;
StringGrid3->Cells[i][j]=mitsudo1;
jukyo2=jukyo+jukyo1;
mitsudo2=jukyo2/25;
StringGrid4->Cells[i][j]=mitsudo2;
Memo22->Lines->Add(mitsudo1);
Memo23->Lines->Add(mitsudo2);
Memo24->Lines->Add(mitsudo);
}
}
Memo22->Lines->SaveToFile("mitsudoo.csv");
Memo23->Lines->SaveToFile("mitsudo.csv");
Memo24->Lines->SaveToFile("mitsudoy.csv");
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
  for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
    ww[i][j]=0;
    wwww[i][j]=-1;
    ww1[i][j]=0;
    wwww1[i][j]=-1;
    for (ii = i-kinbo ; ii <= i+kinbo ; ii++) {
      for (jj = j-kinbo ; jj <= j+kinbo ; jj++){
        weigh[ii][jj]=0;
        www[ii][jj]=0;
        weigh1[ii][jj]=0;
        www1[ii][jj]=0;
        d2 = sqrt((i-ii)*(i-ii)+(j-jj)*(j-jj));
        if(d2<=kinbo){
```

---

```
        www[ii][jj]=exp(gaibu*d2);
        www1[ii][jj]=exp(gaibu1*d2);
    }
    wwww[i][j]+=www[ii][jj];
    wwww1[i][j]+=www1[ii][jj];
    if(d2<=kinbo&&StringGrid1->Cells[ii][jj]==1){
        weigh[ii][jj]=exp(gaibu*d2);
        weigh1[ii][jj]=exp(gaibu1*d2);
    }
    if(d2<=kinbo&&StringGrid1->Cells[ii][jj]==3){
        weigh[ii][jj]=exp(gaibu*d2);
        weigh1[ii][jj]=exp(gaibu1*d2);
    }
    ww[i][j]+=weigh[ii][jj];
    ww1[i][j]+=weigh1[ii][jj];
}
}
if(StringGrid1->Cells[i][j]==1){
    ww[i][j]=ww[i][j]-1;
}else if(StringGrid1->Cells[i][j]==3){
    ww1[i][j]=ww1[i][j]-1;
}
}
}
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
        ww[i][j]=1-kon*(ww[i][j]/wwww[i][j]);
        ww1[i][j]=1-kon*(ww1[i][j]/wwww1[i][j]);
        StringGrid6->Cells[i][j]=1-ww[i][j];
        Memo30->Lines->Add(1-ww[i][j]);
    }
}
}
```

---

```
Memo30->Lines->SaveToFile("komitsu.csv");
}
```

・2～8 ボタン…シミュレーション 1 で用いる初期分布を発生させる、各セルの地代を求める。

3 ボタンのプログラミングコード

//3 ボタンをクリックすると、以下の作業を開始

```
void __fastcall TForm2::Button11Click(TObject *Sender)
{
float run[70][70], run1[70][70],gen,ue,gen1,ue1;
CC=StringGrid1->ColCount, RC=StringGrid1->RowCount;
SGC=(CC-1)/2, SGR=(RC-1)/2,a=0,a1=0,a2=0;
for (i = 0; i <= CC-1 ; i++) {
    for (j = 0; j <= RC-1 ; j++) {
        d1=sqrt((i-SGC)*(i-SGC)+(SGR-j)*(SGR-j));
        gen=exp(-0.02*d1);
        gen1=exp(-0.02*d1);
        ue=rand()%1000;
        ue=ue/100;
        ue1=rand()%1000;
        ue1=ue1/100;
        run[i][j]=ue*gen;
        run1[i][j]=ue1*gen1;
    }
}
for(int l =0; l< 500 ; l++){
    max1=-100000000,max11=-100000000;
    for (i = 0; i <= CC-1 ; i++) {
        for (j = 0; j <= RC-1 ; j++) {
if(StringGrid1->Cells[i][j]!=1&&StringGrid1->Cells[i][j]!=3&&run[i][j]>=max1)m
ax1=run[i][j];
if(StringGrid1->Cells[i][j]!=1&&StringGrid1->Cells[i][j]!=3&&run1[i][j]>=max11)
max11=run1[i][j];
```

---

```
}  
}  
for (i = 0; i <= CC-1 ; i++) {  
    for (j = 0; j <= RC-1 ; j++) {  
        if(run[i][j]==max1){  
            StringGrid1->Cells[i][j]=1;  
        }else if(run1[i][j]==max11){  
            StringGrid1->Cells[i][j]=3;  
        }  
    }  
}  
}  
}  
for (i = 0; i <= CC-1 ; i++) {  
    for (j = 0; j <= RC-1; j++) {  
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==1){  
            a=a+1;  
        }  
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==3){  
            a1=a1+1;  
        }  
        if(StringGrid1->Cells[i][j]!=1&&StringGrid1->Cells[i][j]!=3){  
            StringGrid1->Cells[i][j]="0";  
        }  
    }  
}  
}  
Edit8->Text=a;  
Edit21->Text=a1;  
Edit22->Text=a+a1;  
}
```

・計算 1、計算 2 ボタン…シミュレーション 1 の計算を開始する

計算 1、計算 2 ボタンのプログラミングコード

//計算 1 ボタンをクリックすると、以下の作業を開始

---

```
void __fastcall TForm2::Button18Click(TObject *Sender)
{
    Timer2->Enabled=True;
}
void __fastcall TForm2::Timer2Timer(TObject *Sender)
{
    CC=StringGrid1->ColCount, RC=StringGrid1->RowCount;
    SGC=(CC-1)/2, SGR=(RC-1)/2;
    a=0,a1=0,a2=0,max1=-10000000,min1=1000000,max2=-1000000,max3=-100
    0000,min3=10000000,max11=-1000000,min11=1000000,max12=-1000000,ma
    x13=-1000000,min13=1000000;
    dmax1=-10000000,dmax2=-10000000,dmax3=-10000000,dmax4=-10000000,d
    max5=-10000000;
    heikin=0,heikin1=0,heikiny=0,heikin1y=0,heikino=0,heikin1o=0,hi=0,hiy=0,hio=
    0,hj=0,hjy=0,hjo=0,hv=0,vi=0,vj=0,viy=0,vjy=0,vio=0,vjo=0,hkon=0,hkony=0,
    hkono=0,m=2,hvy=0,hvo=0,a=0,a1=0,a2=0,kitai=0,kitai1=0,kitai2=0,bun=0,bu
    n1=0,bun2=0,b2=0,d3=0,d4=0,d5=0;
    heikin=0,heikin1=0,heikiny=0,heikin1y=0,heikino=0,heikin1o=0,hi=0,hiy=0,hio=
    0,hj=0,hjy=0,hjo=0,hv=0,vi=0,vj=0,viy=0,vjy=0,vio=0,vjo=0,hkon=0,hkony=0,
    hkono=0,m=2,hvy=0,hvo=0,a=0,a1=0,a2=0,kitai=0,kitai1=0,kitai2=0,bun=0,bu
    n1=0,bun2=0,b2=0,d3=0,d4=0,d5=0;
    a=StrToFloat(Edit1->Text);
    β=StrToFloat(Edit2->Text);
    p=StrToFloat(Edit3->Text);
    Y=StrToFloat(Edit4->Text);
    c=StrToFloat(Edit5->Text);
    r=StrToFloat(Edit7->Text);
    kinbo=StrToFloat(Edit11->Text);
    kaisu=StrToFloat(Edit12->Text);
    α1=StrToFloat(Edit14->Text);
    β1=StrToFloat(Edit15->Text);
    p1=StrToFloat(Edit16->Text);
```

---



---

```
Y1=StrToFloat(Edit17->Text);
c1=StrToFloat(Edit18->Text);
VVVV=StrToFloat(Edit6->Text);
VVVV1=StrToFloat(Edit19->Text);
kon=StrToFloat(Edit31->Text);
moku=StrToFloat(Edit23->Text);
moku1=StrToFloat(Edit24->Text);
moku=log(moku);
moku1=log(moku1);
gaibu=-1*(moku/kinbo);
gaibu1=-1*(moku1/kinbo);
Edit9->Text=gaibu;
Edit20->Text=gaibu1;
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
        ww[i][j]=0;
        wwww[i][j]=-1;
        ww1[i][j]=0;
        wwww1[i][j]=-1;
        for (ii = i-kinbo ; ii <= i+kinbo ; ii++) {
            for (jj = j-kinbo ; jj <= j+kinbo ; jj++){
                weigh[ii][jj]=0;
                www[ii][jj]=0;
                weigh1[ii][jj]=0;
                www1[ii][jj]=0;
                d2 = sqrt((i-ii)*(i-ii)+(j-jj)*(j-jj));
                if(d2<=kinbo){
                    www[ii][jj]=exp(gaibu*d2);
                    www1[ii][jj]=exp(gaibu1*d2);
                }
                wwww[i][j]+=www[ii][jj];
                wwww1[i][j]+=www1[ii][jj];
            }
        }
    }
}
```

---

```

        if(d2<=kinbo&&StringGrid1->Cells[ii][jj]==1){
            weigh[ii][jj]=exp(gaibu*d2);
            weigh1[ii][jj]=exp(gaibu1*d2);
        }
        if(d2<=kinbo&&StringGrid1->Cells[ii][jj]==3){
            weigh[ii][jj]=exp(gaibu*d2);
            weigh1[ii][jj]=exp(gaibu1*d2);
        }
        ww[i][j]+=weigh[ii][jj];
        ww1[i][j]+=weigh1[ii][jj];
    }
}

if(StringGrid1->Cells[i][j]==1){
    ww[i][j]=ww[i][j]-1;
}else if(StringGrid1->Cells[i][j]==3){
    ww1[i][j]=ww1[i][j]-1;
}
}
}

for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
        ww[i][j]=1-kon*(ww[i][j]/www[i][j]);
        ww1[i][j]=1-kon*(ww1[i][j]/www1[i][j]);
        d1=sqrt((i-SGC)*(i-SGC)+(SGR-j)*(SGR-j));
        if(kuri==0){
            r1=Y+(a*a/2*β)+(1/2*β)*p*p-c*d1-(a/β)*p-VVVV/ww[i][j];
            r2=Y1+(a1*a1/2*β1)+(1/2*β1)*p1*p1-c1*d1-(a1/β1)*p1-VVVV1/ww1[i][j];
        }
        R[i][j]=r1;
        R1[i][j]=r2;
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==1){
            heikin+=r1;

```

---

---

```
    heikin1+=d1;
    heikiny+=r1;
    heikin1y+=d1;
    hv+=VVVV;
    hvy+=VVVV;
    hkony+=ww[i][j];
}else if(StringGrid1->Cells[i][j]==3){
    heikin+=r2;
    heikin1+=d1;
    heikino+=r2;
    heikin1o+=d1;
    hv+=VVVV1;
    hvo+=VVVV1;
    hkono+=ww1[i][j];
}
}
}
for (i = 0; i <= kinbo-1 ; i++) {
    for (j = 0; j <= RC-1; j++) {
        StringGrid1->Cells[i][j]="";
    }
}
for (i = CC-kinbo; i <= CC-1 ; i++) {
    for (j = 0; j <= RC-1; j++) {
        StringGrid1->Cells[i][j]="";
    }
}
for (i = 0; i <= CC-1 ; i++) {
    for (j = 0; j <= kinbo-1; j++) {
        StringGrid1->Cells[i][j]="";
    }
}
}
```

---

```
for (i = 0; i <= CC-1 ; i++) {
    for (j = RC-kinbo; j <= RC-1; j++) {
        StringGrid1->Cells[i][j]="";
    }
}
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==1){
            a=a+1;
            hiy+=i;
            hjy+=j;
        }
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==3){
            a1=a1+1;
            hio+=i;
            hjo+=j;
        }
    }
}
Edit8->Text=a;
Edit21->Text=a1;
a2=a+a1;
Edit22->Text=a2;
heikin=heikin/a2;
Edit25->Text=heikin;
Memo1->Lines->Add(Edit25->Text);
heikin1=heikin1/a2;
Edit26->Text=heikin1;
Memo2->Lines->Add(Edit26->Text);
heikiny=heikiny/a;
Edit27->Text=heikiny;
Memo3->Lines->Add(Edit27->Text);
```

---

```
heikino=heikino/a1;
Edit28->Text=heikino;
Memo4->Lines->Add(Edit28->Text);
heikin1y=heikin1y/a;
Edit29->Text=heikin1y;
Memo5->Lines->Add(Edit29->Text);
heikin1o=heikin1o/a1;
Edit30->Text=heikin1o;
Memo6->Lines->Add(Edit30->Text);
hkon=hkony+hkono;
hkon=hkon/a2;
Memo7->Lines->Add(hkon);
hkony=hkony/a;
Memo8->Lines->Add(hkony);
hkono=hkono/a1;
Memo9->Lines->Add(hkono);
hi=hiy+hio;
hj=hjy+hjo;
hi=hi/a2;
hj=hj/a2;
hiy=hiy/a;
hjy=hjy/a;
hio=hio/a1;
hjo=hjo/a1;
StringGrid5->Cells[0][kuri+1]=hi;
StringGrid5->Cells[1][kuri+1]=hj;
StringGrid5->Cells[2][kuri+1]=hiy;
StringGrid5->Cells[3][kuri+1]=hio;
StringGrid5->Cells[4][kuri+1]=hjy;
StringGrid5->Cells[5][kuri+1]=hjo;
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
```

---

```
d1=sqrt((i-SGC)*(i-SGC)+(SGR-j)*(SGR-j));
D[i][j]=d1;
if(StringGrid1->Cells[i][j]==1){
    viy+=(i-hiy)*(i-hiy);
    vjy+=(j-hjy)*(j-hjy);
    d3+=d1*d1;
    d4+=d1*d1;
}
if(StringGrid1->Cells[i][j]==3){
    vio+=(i-hio)*(i-hio);
    vjo+=(j-hjo)*(j-hjo);
    d3+=d1*d1;
    d5+=d1*d1;
}
}
}
}
d3=d3/a2;
d3=sqrt(d3);
Memo26->Lines->Add(d3);
d4=d4/a;
d4=sqrt(d4);
Memo27->Lines->Add(d4);
d5=d5/a1;
d5=sqrt(d5);
Memo28->Lines->Add(d5);
vi=viy+vio;
vj=vjy+vjo;
vi=vi/a2;
vj=vj/a2;
viy=viy/a;
vjy=vjy/a;
vio=vio/a1;
```

---

```
vjo=vjo/a1;
vi=sqrt(vi);
vj=sqrt(vj);
viy=sqrt(viy);
vjy=sqrt(vjy);
vio=sqrt(vio);
vjo=sqrt(vjo);
Memo10->Lines->Add(vi);
Memo11->Lines->Add(vj);
Memo12->Lines->Add(viy);
Memo13->Lines->Add(vjy);
Memo14->Lines->Add(vio);
Memo15->Lines->Add(vjo);
hv=hv/a2;
Memo16->Lines->Add(hv);
hvy=hvy/a;
Memo17->Lines->Add(hvy);
hvo=hvo/a1;
Memo18->Lines->Add(hvo);
kitai=a/441;
kitai1=a1/441;
kitai2=a2/441;
for (i = kinbo-1 ; i <= CC-kinbo-3 ; i=i+3) {
    for (j = kinbo-1 ; j <= RC-kinbo-3 ; j=j+3) {
        jukyo=0;
        jukyo1=0;
        jukyo2=0;
        for (ii = i ; ii <=i+2 ; ii++) {
            for (jj = j ; jj <= j+2 ; jj++){
                if(StringGrid1->Cells[ii][jj]==1){
                    jukyo++;
                }
            }
        }
    }
}
```

---

```
        if(StringGrid1->Cells[ii][jj]==3){
            jukyo1++;
        }
    }
}
jukyo2=jukyo+jukyo1;
bun=bun+(jukyo-kitai)*(jukyo-kitai);
bun1=bun1+(jukyo1-kitai1)*(jukyo1-kitai1);
bun2=bun2+(jukyo2-kitai2)*(jukyo2-kitai2);
    }
}
bun=bun/441;
bun1=bun1/441;
bun2=bun2/441;
bun2=bun2/kitai2;
bun2=bun2-1;
Memo19->Lines->Add(bun2);
bun=bun/kitai;
bun=bun-1;
Memo20->Lines->Add(bun);
bun1=bun1/kitai1;
bun1=bun1-1;
Memo21->Lines->Add(bun1);
for (i = kinbo-1 ; i <= CC-kinbo-3 ; i=i+3) {
    for (j = kinbo-1 ; j <= RC-kinbo-3 ; j=j+3) {
        b=0;
        b1=0;
        for (ii = i ; ii <=i+2 ; ii++) {
            for (jj = j ; jj <= j+2 ; jj++){
                if(StringGrid1->Cells[ii][jj]==1){
                    b++;
                }
            }
        }
    }
}
```



---

```
        if(StringGrid1->Cells[ii][jj]==3){
            b1++;
        }
    }
}
if(b>0&&b1>0){
    b2++;
}
}
b2=b2/441;
Memo25->Lines->Add(b2);
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&D[i][j]>=dmax1)dmax1=D[i][j];
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&D[i][j]<dmax1&&D[i][j]>=dmax2)dmax2=D[i][j];
    ];
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&D[i][j]<dmax2&&D[i][j]>=dmax3)dmax3=D[i][j];
    ];
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&D[i][j]<dmax3&&D[i][j]>=dmax4)dmax4=D[i][j];
    ];
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&D[i][j]<dmax4&&D[i][j]>=dmax5)dmax5=D[i][j];
    ];
    }
}
D1=dmax1+dmax2+dmax3+dmax4+dmax5;
D1=D1/5;
Memo29->Lines->Add(D1);
Timer2->Enabled=False;
}
//計算 2 ボタンをクリックすると、以下の作業を開始
void __fastcall TForm2::Button1Click(TObject *Sender)
```

---

---

```
{
Timer3->Enabled=True;
}
void __fastcall TForm2::Timer3Timer(TObject *Sender)
{
CC=StringGrid1->ColCount, RC=StringGrid1->RowCount;
SGC=(CC-1)/2, SGR=(RC-1)/2;
a=0,a1=0,a2=0,max1=-10000000,min1=1000000,max2=-1000000,max11=-10
00000,min11=1000000,max12=-1000000,max3=-10000000,min3=100000000,
max13=-10000000,min13=100000000;
dmax1=-10000000,dmax2=-10000000,dmax3=-10000000,dmax4=-10000000,d
max5=-10000000;
heikin=0,heikin1=0,heikiny=0,heikin1y=0,heikino=0,heikin1o=0,hi=0,hiy=0,hio=
0,hj=0,hjy=0,hjo=0,hv=0,vi=0,vj=0,viy=0,vjy=0,vio=0,vjo=0,hkon=0,hkony=0,
hkono=0,m=2,hvy=0,hvo=0,a=0,a1=0,a2=0,kitai=0,kitai1=0,kitai2=0,bun=0,bu
n1=0,bun2=0,b2=0,d3=0,d4=0,d5=0;
α=StrToFloat(Edit1->Text);
β=StrToFloat(Edit2->Text);
ρ=StrToFloat(Edit3->Text);
Υ=StrToFloat(Edit4->Text);
c=StrToFloat(Edit5->Text);
kinbo=StrToFloat(Edit11->Text);
kaisu=StrToFloat(Edit12->Text);
α1=StrToFloat(Edit14->Text);
β1=StrToFloat(Edit15->Text);
ρ1=StrToFloat(Edit16->Text);
Υ1=StrToFloat(Edit17->Text);
c1=StrToFloat(Edit18->Text);
kon=StrToFloat(Edit31->Text);
moku=StrToFloat(Edit23->Text);
moku1=StrToFloat(Edit24->Text);
moku=StrToFloat(Edit23->Text);
```

---

---

```
moku1=StrToFloat(Edit24->Text);
moku=log(moku);
moku1=log(moku1);
gaibu=-1*(moku/kinbo);
gaibu1=-1*(moku1/kinbo);
Edit9->Text=gaibu;
Edit20->Text=gaibu1;
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
        ww[i][j]=0;
        wwww[i][j]=-1;
        ww1[i][j]=0;
        wwww1[i][j]=-1;
    }
    for (ii = i-kinbo ; ii <= i+kinbo ; ii++) {
        for (jj = j-kinbo ; jj <= j+kinbo ; jj++){
            weigh[ii][jj]=0;
            www[ii][jj]=0;
            weigh1[ii][jj]=0;
            www1[ii][jj]=0;
            d2 = sqrt((i-ii)*(i-ii)+(j-jj)*(j-jj));
            if(d2<=kinbo){
                www[ii][jj]=exp(gaibu*d2);
                www1[ii][jj]=exp(gaibu1*d2);
            }
            wwww[i][j]+=www[ii][jj];
            wwww1[i][j]+=www1[ii][jj];
            if(d2<=kinbo&&StringGrid1->Cells[ii][jj]==1){
                weigh[ii][jj]=exp(gaibu*d2);
                weigh1[ii][jj]=exp(gaibu1*d2);
            }
            if(d2<=kinbo&&StringGrid1->Cells[ii][jj]==3){
                weigh[ii][jj]=exp(gaibu*d2);
            }
        }
    }
}
```

---

```

    weigh1[ii][jj]=exp(gaibu1*d2);
  }
  ww[i][j]+=weigh[ii][jj];
  ww1[i][j]+=weigh1[ii][jj];
}
}
if(StringGrid1->Cells[i][j]==1){
  ww[i][j]=ww[i][j]-1;
}else if(StringGrid1->Cells[i][j]==3){
  ww1[i][j]=ww1[i][j]-1;
}
}
}
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
  for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
    d1=sqrt((i-SGC)*(i-SGC)+(SGR-j)*(SGR-j));
    ww[i][j]=1-kon*(ww[i][j]/wwww[i][j]);
    ww1[i][j]=1-kon*(ww1[i][j]/wwww1[i][j]);
VV=((a*a/2*β)+Y+(1/2*β)*p*p-c*d1-(a/β)*p-R[i][j])*ww[i][j];
VV1=((a1*a1/2*β1)+Y1+(1/2*β1)*p1*p1-c1*d1-(a1/β1)*p1-R1[i][j])*ww1[i][j]
;
if(StringGrid1->Cells[i][j]==1){
  heikin+=R[i][j];
  heikin1+=d1;
  heikiny+=R[i][j];
  heikin1y+=d1;
  hkony+=ww[i][j];
}else if(StringGrid1->Cells[i][j]==3){
  heikin+=R1[i][j];
  heikin1+=d1;
  heikino+=R1[i][j];
  heikin1o+=d1;

```

---

---

```
    hkono+=ww1[i][j];
}
ransu=rand()%100;
ransu=ransu/100;
ransu=1+ransu/100;
ransu1=rand()%100;
ransu1=ransu1/100;
ransu1=1+ransu1/100;
V[i][j]=VV*ransu;
V1[i][j]=VV1*ransu1;
VVV[i][j]=VV;
VVV1[i][j]=VV1;
if(StringGrid1->Cells[i][j]==1){
    hv+=VV;
    hvy+=VV;
}else if(StringGrid1->Cells[i][j]==3){
    hv+=VV1;
    hvo+=VV1;
    }
}
}
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&V[i][j]<=min1)min1=V[i][j];
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==3&&V1[i][j]<=min11)min11=V1[i][j];
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&VVV[i][j]<=min1)min3=VVV[i][j];
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==3&&VVV1[i][j]<=min13)min13=VVV1[i][j];
    }
}
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
        if(V[i][j]==min1){
```

---

```
        StringGrid1->Cells[i][j]=0;
    }else if(V1[i][j]==min11){
        StringGrid1->Cells[i][j]=0;
    }
}
}
}
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
if(StringGrid1->Cells[i][j]==0&&V[i][j]>=max1)max1=V[i][j];
if(StringGrid1->Cells[i][j]==0&&V[i][j]<max1&&V[i][j]>=max2)max2=V[i][j];
if(StringGrid1->Cells[i][j]==0&&V1[i][j]>=max11)max11=V1[i][j];
if(StringGrid1->Cells[i][j]==0&&V1[i][j]<max11&&V1[i][j]>=max12)max12=V1[
i][j];
if(StringGrid1->Cells[i][j]==0&&VVV[i][j]>=max3)max3=VVV[i][j];
if(StringGrid1->Cells[i][j]==0&&VVV1[i][j]>=max13)max13=VVV1[i][j];
    }
}
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
        if(V[i][j]==max1&&V1[i][j]==max11&&max1<=max11){
            StringGrid1->Cells[i][j]=3;
            for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
                for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
                    if(V[i][j]==max2){
                        StringGrid1->Cells[i][j]=1;
                    }
                }
            }
        }
        }else if(V[i][j]==max1&&V1[i][j]==max11&&max1>max11){
            StringGrid1->Cells[i][j]=1;
            for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
                for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
```

```
        if(V1[i][j]==max12){
            StringGrid1->Cells[i][j]=3;
        }
    }
}
}else{
    if(V[i][j]==max1){
        StringGrid1->Cells[i][j]=1;
    }else if(V1[i][j]==max11){
        StringGrid1->Cells[i][j]=3;
    }
}
}
}
}
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==1){
            a=a+1;
            hiy+=i;
            hjy+=j;
        }
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==3){
            a1=a1+1;
            hio+=i;
            hjo+=j;
        }
    }
}
Edit8->Text=a;
Edit21->Text=a1;
a2=a+a1;
Edit22->Text=a2;
```

```
heikin=heikin/a2;
Edit25->Text=heikin;
Memo1->Lines->Add(Edit25->Text);
heikin1=heikin1/a2;
Edit26->Text=heikin1;
Memo2->Lines->Add(Edit26->Text);
heikiny=heikiny/a;
Edit27->Text=heikiny;
Memo3->Lines->Add(Edit27->Text);
heikino=heikino/a1;
Edit28->Text=heikino;
Memo4->Lines->Add(Edit28->Text);
heikin1y=heikin1y/a;
Edit29->Text=heikin1y;
Memo5->Lines->Add(Edit29->Text);
heikin1o=heikin1o/a1;
Edit30->Text=heikin1o;
Memo6->Lines->Add(Edit30->Text);
hkony=hkony+hkono;
hkony=hkony/a2;
Memo7->Lines->Add(hkony);
hkony=hkony/a;
Memo8->Lines->Add(hkony);
hkono=hkono/a1;
Memo9->Lines->Add(hkono);
hi=hiy+hio;
hj=hjy+hjo;
hi=hi/a2;
hj=hj/a2;
hiy=hiy/a;
hjy=hjy/a;
hio=hio/a1;
```



---

```
hjo=hjo/a1;
StringGrid5->Cells[0][kuri+1]=hi;
StringGrid5->Cells[1][kuri+1]=hj;
StringGrid5->Cells[2][kuri+1]=hiy;
StringGrid5->Cells[3][kuri+1]=hio;
StringGrid5->Cells[4][kuri+1]=hjy;
StringGrid5->Cells[5][kuri+1]=hjo;
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
  for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
    d1=sqrt((i-SGC)*(i-SGC)+(SGR-j)*(SGR-j));
    D[i][j]=d1;
    if(StringGrid1->Cells[i][j]==1){
      viy+=(i-hiy)*(i-hiy);
      vjy+=(j-hjy)*(j-hjy);
      d3+=d1*d1;
      d4+=d1*d1;
    }
    if(StringGrid1->Cells[i][j]==3){
      vio+=(i-hio)*(i-hio);
      vjo+=(j-hjo)*(j-hjo);
      d3+=d1*d1;
      d5+=d1*d1;
    }
  }
}
d3=d3/a2;
d3=sqrt(d3);
Memo26->Lines->Add(d3);
d4=d4/a;
d4=sqrt(d4);
Memo27->Lines->Add(d4);
d5=d5/a1;
```

---

```
d5=sqrt(d5);
Memo28->Lines->Add(d5);
vi=viy+vio;
vj=vjy+vjo;
vi=vi/a2;
vj=vj/a2;
viy=viy/a;
vjy=vjy/a;
vio=vio/a1;
vjo=vjo/a1;
vi=sqrt(vi);
vj=sqrt(vj);
viy=sqrt(viy);
vjy=sqrt(vjy);
vio=sqrt(vio);
vjo=sqrt(vjo);
Memo10->Lines->Add(vi);
Memo11->Lines->Add(vj);
Memo12->Lines->Add(viy);
Memo13->Lines->Add(vjy);
Memo14->Lines->Add(vio);
Memo15->Lines->Add(vjo);
hv=hv/a2;
Memo16->Lines->Add(hv);
hvy=hvy/a;
Memo17->Lines->Add(hvy);
hvo=hvo/a1;
Memo18->Lines->Add(hvo);
kitai=a/441;
kitai1=a1/441;
kitai2=a2/441;
for (i = kinbo-1 ; i <= CC-kinbo-3 ; i=i+3) {
```

---

```
for (j = kinbo-1 ; j <= RC-kinbo-3 ; j=j+3) {
    jukyo=0;
    jukyo1=0;
    jukyo2=0;
    for (ii = i ; ii <=i+2 ; ii++) {
        for (jj = j ; jj <= j+2 ; jj++){
            if(StringGrid1->Cells[ii][jj]==1){
                jukyo++;
            }
            if(StringGrid1->Cells[ii][jj]==3){
                jukyo1++;
            }
        }
    }
    jukyo2=jukyo+jukyo1;
    bun=bun+(jukyo-kitai)*(jukyo-kitai);
    bun1=bun1+(jukyo1-kitai1)*(jukyo1-kitai1);
    bun2=bun2+(jukyo2-kitai2)*(jukyo2-kitai2);
}
bun=bun/441;
bun1=bun1/441;
bun2=bun2/441;
bun2=bun2/kitai2;
bun2=bun2-1;
Memo19->Lines->Add(bun2);
bun=bun/kitai;
bun=bun-1;
Memo20->Lines->Add(bun);
bun1=bun1/kitai1;
bun1=bun1-1;
Memo21->Lines->Add(bun1);
```

---

---

```
for (i = kinbo-1 ; i <= CC-kinbo-3 ; i=i+3) {
  for (j = kinbo-1 ; j <= RC-kinbo-3 ; j=j+3) {
    b=0;
    b1=0;
    for (ii = i ; ii <=i+2 ; ii++) {
      for (jj = j ; jj <= j+2 ; jj++){
        if(StringGrid1->Cells[ii][jj]==1){
          b++;
        }
        if(StringGrid1->Cells[ii][jj]==3){
          b1++;
        }
      }
    }
  }
}
if(b>0&&b1>0){
  b2++;
}
}
b2=b2/441;
Memo25->Lines->Add(b2);
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
  for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
    if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&D[i][j]>=dmax1)dmax1=D[i][j];
    if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&D[i][j]<dmax1&&D[i][j]>=dmax2)dmax2=D[i][j];
  ];
  if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&D[i][j]<dmax2&&D[i][j]>=dmax3)dmax3=D[i][j];
  ];
  if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&D[i][j]<dmax3&&D[i][j]>=dmax4)dmax4=D[i][j];
  ];
  if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&D[i][j]<dmax4&&D[i][j]>=dmax5)dmax5=D[i][j];
  ];
}
```

---

```
}
}
D1=dmax1+dmax2+dmax3+dmax4+dmax5;
D1=D1/5;
Memo29->Lines->Add(D1);
sam=max3-min3;
Edit32->Text=sam;
sam1=max13-min13;
Edit33->Text=sam1;
kuri++;
Edit10->Text=kuri;
if(max3-min3<=0.01&&max13-min13<=0.01){
    Timer3->Enabled=False;
}
if(kuri==kaisu){
    Timer3->Enabled=False;
}
}
・1 ボタン…シミュレーション 2 で利用する初期分布を発生させる
1 ボタンのプログラミングコード
//1 ボタンをクリックすると、以下の作業を開始
1 ボタンのプログラミングコード
void __fastcall TForm2::Button6Click(TObject *Sender)
{
    int a,a1;
    a=0,a1=0;
    CC=StringGrid1->ColCount, RC=StringGrid1->RowCount;
    SGC=(CC-1)/2, SGR=(RC-1)/2;
    ran=StrToFloat(Edit7->Text);
    for (i = 0; i <= CC-1 ; i++) {
        for (j = 0; j <= RC-1; j++) {
            d1=sqrt((i-SGC)*(i-SGC)+(SGR-j)*(SGR-j));
```

---

```
r=80*exp(-0.05*d1);
R[i][j]=r;
r1=80*exp(-0.05*d1);
R1[i][j]=r1;
if(d1<=30){
  StringGrid1->Cells[i][j]=rand()%ran;
  if(StringGrid1->Cells[i][j]==1){
    a=a+1;
  }
  if(StringGrid1->Cells[i][j]==2){
    StringGrid1->Cells[i][j]=1;
    a=a+1;
  }
  if(StringGrid1->Cells[i][j]==4){
    StringGrid1->Cells[i][j]=1;
    a=a+1;
  }
  if(StringGrid1->Cells[i][j]==5){
    StringGrid1->Cells[i][j]=1;
    a=a+1;
  }
  if(StringGrid1->Cells[i][j]==3){
    a1=a1+1;
  }
  if(StringGrid1->Cells[i][j]!=1&&StringGrid1->Cells[i][j]!=2&&StringGrid1->
Cells[i][j]!=3&&StringGrid1->Cells[i][j]!=4){
    StringGrid1->Cells[i][j]="0";
  }
}
}
}
Edit8->Text=a;
```

---

---

```
Edit21->Text=a1;
Edit22->Text=a+a1;
}
・計算 3、変、計算 4 ボタン…シミュレーション 2 の計算を開始する
計算 3、変、計算 4 ボタンのプログラミングコード
//計算 3 ボタンをクリックすると、以下の作業を開始
void __fastcall TForm2::Button3Click(TObject *Sender)
{
    Timer4->Enabled=True;
}
void __fastcall TForm2::Timer4Timer(TObject *Sender)
{
    CC=StringGrid1->ColCount, RC=StringGrid1->RowCount;
    SGC=(CC-1)/2, SGR=(RC-1)/2;
    a=0,a1=0,a2=0,max1=-10000000,min1=1000000,max2=-1000000,
    max11=-1000000,min11=1000000,max12=-1000000,
    max3=-10000000,min3=1000000,max13=-10000000,min13=1000000;
    heikin=0,heikin1=0,heikiny=0,heikin1y=0,heikino=0,heikin1o=0,hi=0,hiy=0,hio=
    0,hj=0,hjy=0,hjo=0,hv=0,vi=0,vj=0,viy=0,vjy=0,vio=0,vjo=0,hkon=0,hkony=0,
    hkono=0,m=2,hvy=0,hvo=0,a=0,a1=0,a2=0,kitai=0,kitai1=0,kitai2=0,bun=0,bu
    n1=0,bun2=0;
    α=StrToFloat(Edit1->Text);
    β=StrToFloat(Edit2->Text);
    p=StrToFloat(Edit3->Text);
    Y=StrToFloat(Edit4->Text);
    c=StrToFloat(Edit5->Text);
    kinbo=StrToFloat(Edit11->Text);
    kaisu=StrToFloat(Edit12->Text);
    α1=StrToFloat(Edit14->Text);
    β1=StrToFloat(Edit15->Text);
    p1=StrToFloat(Edit16->Text);
    Y1=StrToFloat(Edit17->Text);
```

---

---

```
c1=StrToFloat(Edit18->Text);
kon=StrToFloat(Edit31->Text);
moku=StrToFloat(Edit23->Text);
moku1=StrToFloat(Edit24->Text);
moku=StrToFloat(Edit23->Text);
moku1=StrToFloat(Edit24->Text);
moku=log(moku);
moku1=log(moku1);
gaibu=-1*(moku/kinbo);
gaibu1=-1*(moku1/kinbo);
Edit9->Text=gaibu;
Edit20->Text=gaibu1;
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
        ww[i][j]=0;
        wwww[i][j]=-1;
        ww1[i][j]=0;
        wwww1[i][j]=-1;
    }
    for (ii = i-kinbo ; ii <= i+kinbo ; ii++) {
        for (jj = j-kinbo ; jj <= j+kinbo ; jj++){
            weigh[ii][jj]=0;
            www[ii][jj]=0;
            weigh1[ii][jj]=0;
            www1[ii][jj]=0;
            d2 = sqrt((i-ii)*(i-ii)+(j-jj)*(j-jj));
            if(d2<=kinbo){
                www[ii][jj]=exp(gaibu*d2);
                www1[ii][jj]=exp(gaibu1*d2);
            }
        }
        wwww[i][j]+=www[ii][jj];
        wwww1[i][j]+=www1[ii][jj];
        if(d2<=kinbo&&StringGrid1->Cells[ii][jj]==1){
```



---

```

    weigh[ii][jj]=exp(gaibu*d2);
    weigh1[ii][jj]=exp(gaibu1*d2);
}
if(d2<=kinbo&&StringGrid1->Cells[ii][jj]==3){
    weigh[ii][jj]=exp(gaibu*d2);
    weigh1[ii][jj]=exp(gaibu1*d2);
}
ww[i][j]+=weigh[ii][jj];
ww1[i][j]+=weigh1[ii][jj];
}
}
if(StringGrid1->Cells[i][j]==1){
    ww[i][j]=ww[i][j]-1;
}else if(StringGrid1->Cells[i][j]==3){
    ww1[i][j]=ww1[i][j]-1;
}
}
}
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
        d1=sqrt((i-SGC)*(i-SGC)+(SGR-j)*(SGR-j));
        ww[i][j]=1-kon*(ww[i][j]/www[i][j]);
        ww1[i][j]=1-kon*(ww1[i][j]/www1[i][j]);
VV=((a*a/2*β)+Y+(1/2*β)*p*p-c*d1-(a/β)*p-R[i][j])*ww[i][j];
VV1=((a1*a1/2*β1)+Y1+(1/2*β1)*p1*p1-c1*d1-(a1/β1)*p1-R1[i][j])*ww1[i][j]
        ransu=rand()%100;
        ransu=ransu/100;
        ransu=1+ransu/100;
        ransu1=rand()%100;
        ransu1=ransu1/100;
        ransu1=1+ransu1/100;
        V[i][j]=VV*ransu;

```

---

---

```
V1[i][j]=VV1*ransu1;
VVV[i][j]=VV;
VVV1[i][j]=VV1;
}
}
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&V[i][j]<=min1)min1=V[i][j];
if(StringGrid1->Cells[i][j]==3&&V1[i][j]<=min11)min11=V1[i][j];
if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&VVV[i][j]<=min1)min3=VVV[i][j];
if(StringGrid1->Cells[i][j]==3&&VVV1[i][j]<=min13)min13=VVV1[i][j];
}
}
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
if(V[i][j]==min1){
StringGrid1->Cells[i][j]=0;
}else if(V1[i][j]==min11){
StringGrid1->Cells[i][j]=0;
}
}
}
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
if(StringGrid1->Cells[i][j]==0&&V[i][j]>=max1)max1=V[i][j];
if(StringGrid1->Cells[i][j]==0&&V[i][j]<max1&&V[i][j]>=max2)max2=V[i][j];
if(StringGrid1->Cells[i][j]==0&&V1[i][j]>=max11)max11=V1[i][j];
if(StringGrid1->Cells[i][j]==0&&V1[i][j]<max11&&V1[i][j]>=max12)max12=V1[
i][j];
if(StringGrid1->Cells[i][j]==0&&VVV[i][j]>=max3)max3=VVV[i][j];
if(StringGrid1->Cells[i][j]==0&&VVV1[i][j]>=max13)max13=VVV1[i][j];
}
}
```

---

```
}  
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {  
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {  
        if(V[i][j]==max1&&V1[i][j]==max11&&max1<=max11){  
            StringGrid1->Cells[i][j]=3;  
            for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {  
                for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {  
                    if(V[i][j]==max2){  
                        StringGrid1->Cells[i][j]=1;  
                    }  
                }  
            }  
        }else if(V[i][j]==max1&&V1[i][j]==max11&&max1>max11){  
            StringGrid1->Cells[i][j]=1;  
            for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {  
                for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {  
                    if(V1[i][j]==max12){  
                        StringGrid1->Cells[i][j]=3;  
                    }  
                }  
            }  
        }else{  
            if(V[i][j]==max1){  
                StringGrid1->Cells[i][j]=1;  
            }else if(V1[i][j]==max11){  
                StringGrid1->Cells[i][j]=3;  
            }  
        }  
    }  
}  
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {  
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
```

---

```
    if(StringGrid1->Cells[i][j]==1){
        a=a+1;
    }
    if(StringGrid1->Cells[i][j]==3){
        a1=a1+1;
    }
}
}
Edit8->Text=a;
Edit21->Text=a1;
a2=a+a1;
Edit22->Text=a2;
if(max3-min3<=0.01&&max13-min13<=0.01){
    Timer4->Enabled=False;
    kuri++;
    Edit10->Text=kuri;
}
}
//変ボタンをクリックすると、以下の作業を開始
void __fastcall TForm2::Button28Click(TObject *Sender)
{
    a=0,a1=0,a2=0;
    ran=StrToFloat(Edit7->Text);
    for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
        for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
            if (StringGrid1->Cells[i][j]==1) {
                ransu=rand()%ran;
                if(ransu==3){
                    StringGrid1->Cells[i][j]=3;
                }
            }
        }
    }
}
```

```
}
for (i = 0; i <= CC-1 ; i++) {
    for (j = 0; j <= RC-1; j++) {
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==1){
            a=a+1;
        }
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==3){
            a1=a1+1;
        }
    }
    if(StringGrid1->Cells[i][j]!=1&&StringGrid1->Cells[i][j]!=3){
        StringGrid1->Cells[i][j]="0";
    }
}
}
Edit8->Text=a;
Edit21->Text=a1;
Edit22->Text=a+a1;
}
//計算 4 ボタンをクリックすると、以下の作業を開始
void __fastcall TForm2::Button4Click(TObject *Sender)
{
    Timer1->Enabled=True;
}
void __fastcall TForm2::Timer1Timer(TObject *Sender)
{
    CC=StringGrid1->ColCount, RC=StringGrid1->RowCount;
    SGC=(CC-1)/2, SGR=(RC-1)/2;
    a=0,a1=0,a2=0,max1=-10000000,min1=1000000,max2=-1000000,max11=-10
    00000,min11=1000000,max12=-1000000,max3=-10000000,min3=1000000,ma
    x13=-10000000,min13=1000000,dmax1=-10000000,dmax2=-10000000,dmax3
    =-10000000,dmax4=-10000000,dmax5=-10000000;
```

---

```
heikin=0,heikin1=0,heikiny=0,heikin1y=0,heikino=0,heikin1o=0,hi=0,hiy=0,hio=
0,hj=0,hjy=0,hjo=0,hv=0,vi=0,vj=0,viy=0,vjy=0,vio=0,vjo=0,hkon=0,hkony=0,
hkono=0,m=2,hvy=0,hvo=0,a=0,a1=0,a2=0,kitai=0,kitai1=0,kitai2=0,bun=0,bu
n1=0,bun2=0,b2=0,d3=0,d4=0,d5=0;
α=StrToFloat(Edit1->Text);
β=StrToFloat(Edit2->Text);
ρ=StrToFloat(Edit3->Text);
Y=StrToFloat(Edit4->Text);
c=StrToFloat(Edit5->Text);
kinbo=StrToFloat(Edit11->Text);
kaisu=StrToFloat(Edit12->Text);
α1=StrToFloat(Edit14->Text);
β1=StrToFloat(Edit15->Text);
ρ1=StrToFloat(Edit16->Text);
Y1=StrToFloat(Edit17->Text);
c1=StrToFloat(Edit18->Text);
kon=StrToFloat(Edit31->Text);
moku=StrToFloat(Edit23->Text);
moku1=StrToFloat(Edit24->Text);
moku=StrToFloat(Edit23->Text);
moku1=StrToFloat(Edit24->Text);
moku=log(moku);
moku1=log(moku1);
gaibu=-1*(moku/kinbo);
gaibu1=-1*(moku1/kinbo);
Edit9->Text=gaibu;
Edit20->Text=gaibu1;
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
        ww[i][j]=0;
        wwww[i][j]=-1;
        ww1[i][j]=0;
```

---

```
www1[i][j]=-1;
for (ii = i-kinbo ; ii <= i+kinbo ; ii++) {
  for (jj = j-kinbo ; jj <= j+kinbo ; jj++){
    weigh[ii][jj]=0;
    www[ii][jj]=0;
    weigh1[ii][jj]=0;
    www1[ii][jj]=0;
    d2 = sqrt((i-ii)*(i-ii)+(j-jj)*(j-jj));
    if(d2<=kinbo){
      www[ii][jj]=exp(gaibu*d2);
      www1[ii][jj]=exp(gaibu1*d2);
    }
    wwww[i][j]+=www[ii][jj];
    wwww1[i][j]+=www1[ii][jj];
    if(d2<=kinbo&&StringGrid1->Cells[ii][jj]==1){
      weigh[ii][jj]=exp(gaibu*d2);
      weigh1[ii][jj]=exp(gaibu1*d2);
    }
    if(d2<=kinbo&&StringGrid1->Cells[ii][jj]==3){
      weigh[ii][jj]=exp(gaibu*d2);
      weigh1[ii][jj]=exp(gaibu1*d2);
    }
    ww[i][j]+=weigh[ii][jj];
    ww1[i][j]+=weigh1[ii][jj];
  }
}
if(StringGrid1->Cells[i][j]==1){
  ww[i][j]=ww[i][j]-1;
}else if(StringGrid1->Cells[i][j]==3){
  ww1[i][j]=ww1[i][j]-1;
}
}
```

---

---

```

}
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
  for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
    d1=sqrt((i-SGC)*(i-SGC)+(SGR-j)*(SGR-j));
    ww[i][j]=1-kon*(ww[i][j]/wwww[i][j]);
    ww1[i][j]=1-kon*(ww1[i][j]/wwww1[i][j]);
    VV=((a*a/2*β)+Y+(1/2*β)*p*p-c*d1-(a/β)*p-R[i][j])*ww[i][j];
    VV1=((a1*a1/2*β1)+Y1+(1/2*β1)*p1*p1-c1*d1-(a1/β1)*p1-R1[i][j])*ww1[i][j]
;
    if(StringGrid1->Cells[i][j]==1){
      heikin+=R[i][j];
      heikin1+=d1;
      heikiny+=R[i][j];
      heikin1y+=d1;
      hkony+=ww[i][j];
    }else if(StringGrid1->Cells[i][j]==3){
      heikin+=R1[i][j];
      heikin1+=d1;
      heikino+=R1[i][j];
      heikin1o+=d1;
      hkono+=ww1[i][j];
    }
    ransu=rand()%100;
    ransu=ransu/100;
    ransu=1+ransu/100;
    ransu1=rand()%100;
    ransu1=ransu1/100;
    ransu1=1+ransu1/100;
    V[i][j]=VV*ransu;
    V1[i][j]=VV1*ransu1;
    VVV[i][j]=VV;
    VVV1[i][j]=VV1;

```

---



---

```
if(StringGrid1->Cells[i][j]==1){
    hv+=VV;
    hvy+=VV;
}else if(StringGrid1->Cells[i][j]==3){
    hv+=VV1;
    hvo+=VV1;
    }
}
}
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&V[i][j]<=min1)min1=V[i][j];
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==3&&V1[i][j]<=min11)min11=V1[i][j];
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&VVV[i][j]<=min1)min3=VVV[i][j];
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==3&&VVV1[i][j]<=min13)min13=VVV1[i][j];
    }
}
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
        if(V[i][j]==min1){
            StringGrid1->Cells[i][j]=0;
        }else if(V1[i][j]==min11){
            StringGrid1->Cells[i][j]=0;
        }
    }
}
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==0&&V[i][j]>=max1)max1=V[i][j];
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==0&&V[i][j]<max1&&V[i][j]>=max2)max2=V[i][j];
        if(StringGrid1->Cells[i][j]==0&&V1[i][j]>=max11)max11=V1[i][j];
```



---

```
    }
  }
}
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
  for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
    if(StringGrid1->Cells[i][j]==1){
      a=a+1;
      hiy+=i;
      hjy+=j;
    }
    if(StringGrid1->Cells[i][j]==3){
      a1=a1+1;
      hio+=i;
      hjo+=j;
    }
  }
}
Edit8->Text=a;
Edit21->Text=a1;
a2=a+a1;
Edit22->Text=a2;
heikin=heikin/a2;
Edit25->Text=heikin;
Memo1->Lines->Add(Edit25->Text);
heikin1=heikin1/a2;
Edit26->Text=heikin1;
Memo2->Lines->Add(Edit26->Text);
heikiny=heikiny/a;
Edit27->Text=heikiny;
Memo3->Lines->Add(Edit27->Text);
heikino=heikino/a1;
Edit28->Text=heikino;
```

---

```
Memo4->Lines->Add(Edit28->Text);
heikin1y=heikin1y/a;
Edit29->Text=heikin1y;
Memo5->Lines->Add(Edit29->Text);
heikin1o=heikin1o/a1;
Edit30->Text=heikin1o;
Memo6->Lines->Add(Edit30->Text);
hkon=hkony+hkono;
hkon=hkon/a2;
Memo7->Lines->Add(hkon);
hkony=hkony/a;
Memo8->Lines->Add(hkony);
hkono=hkono/a1;
Memo9->Lines->Add(hkono);
hi=hiy+hio;
hj=hjy+hjo;
hi=hi/a2;
hj=hj/a2;
hiy=hiy/a;
hjy=hjy/a;
hio=hio/a1;
hjo=hjo/a1;
StringGrid5->Cells[0][kuri+1]=hi;
StringGrid5->Cells[1][kuri+1]=hj;
StringGrid5->Cells[2][kuri+1]=hiy;
StringGrid5->Cells[3][kuri+1]=hio;
StringGrid5->Cells[4][kuri+1]=hjy;
StringGrid5->Cells[5][kuri+1]=hjo;
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
    for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
        d1=sqrt((i-SGC)*(i-SGC)+(SGR-j)*(SGR-j));
        D[i][j]=d1;
```

---

```
if(StringGrid1->Cells[i][j]==1){
    viy+=(i-hiy)*(i-hiy);
    vjy+=(j-hjy)*(j-hjy);
    d3+=d1*d1;
    d4+=d1*d1;
}
if(StringGrid1->Cells[i][j]==3){
    vio+=(i-hio)*(i-hio);
    vjo+=(j-hjo)*(j-hjo);
    d3+=d1*d1;
    d5+=d1*d1;
}
}
}
d3=d3/a2;
d3=sqrt(d3);
Memo26->Lines->Add(d3);
d4=d4/a;
d4=sqrt(d4);
Memo27->Lines->Add(d4);
d5=d5/a1;
d5=sqrt(d5);
Memo28->Lines->Add(d5);
vi=viy+vio;
vj=vjy+vjo;
vi=vi/a2;
vj=vj/a2;
viy=viy/a;
vjy=vjy/a;
vio=vio/a1;
vjo=vjo/a1;
vi=sqrt(vi);
```

---

```
vj=sqrt(vj);
viy=sqrt(viy);
vjy=sqrt(vjy);
vio=sqrt(vio);
vjo=sqrt(vjo);
Memo10->Lines->Add(vi);
Memo11->Lines->Add(vj);
Memo12->Lines->Add(viy);
Memo13->Lines->Add(vjy);
Memo14->Lines->Add(vio);
Memo15->Lines->Add(vjo);
hv=hv/a2;
Memo16->Lines->Add(hv);
hvy=hvy/a;
Memo17->Lines->Add(hvy);
hvo=hvo/a1;
Memo18->Lines->Add(hvo);
kitai=a/441;
kitai1=a1/441;
kitai2=a2/441;
for (i = kinbo-1 ; i <= CC-kinbo-3 ; i=i+3) {
    for (j = kinbo-1 ; j <= RC-kinbo-3 ; j=j+3) {
        jukyo=0;
        jukyo1=0;
        jukyo2=0;
        for (ii = i ; ii <= i+2 ; ii++) {
            for (jj = j ; jj <= j+2 ; jj++){
                if(StringGrid1->Cells[ii][jj]==1){
                    jukyo++;
                }
                if(StringGrid1->Cells[ii][jj]==3){
                    jukyo1++;
                }
            }
        }
    }
}
```

```
    }
  }
}
jukyo2=jukyo+jukyo1;
bun=bun+(jukyo-kitai)*(jukyo-kitai);
bun1=bun1+(jukyo1-kitai1)*(jukyo1-kitai1);
bun2=bun2+(jukyo2-kitai2)*(jukyo2-kitai2);
  }
}
bun=bun/441;
bun1=bun1/441;
bun2=bun2/441;
bun2=bun2/kitai2;
bun2=bun2-1;
Memo19->Lines->Add(bun2);
bun=bun/kitai;
bun=bun-1;
Memo20->Lines->Add(bun);
bun1=bun1/kitai1;
bun1=bun1-1;
Memo21->Lines->Add(bun1);
for (i = kinbo-1 ; i <= CC-kinbo-3 ; i=i+3) {
  for (j = kinbo-1 ; j <= RC-kinbo-3 ; j=j+3) {
    b=0;
    b1=0;
    for (ii = i ; ii <=i+2 ; ii++) {
      for (jj = j ; jj <= j+2 ; jj++){
        if(StringGrid1->Cells[ii][jj]==1){
          b++;
        }
      }
      if(StringGrid1->Cells[ii][jj]==3){
        b1++;
      }
    }
  }
}
```

```
    }
  }
}
if(b>0&&b1>0){
  b2++;
}
}
}
b2=b2/441;
Memo25->Lines->Add(b2);
for (i = kinbo; i <= CC-kinbo-1 ; i++) {
  for (j = kinbo; j <= RC-kinbo-1 ; j++) {
if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&D[i][j]>=dmax1)dmax1=D[i][j];
if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&D[i][j]<dmax1&&D[i][j]>=dmax2)dmax2=D[i][j];
];
if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&D[i][j]<dmax2&&D[i][j]>=dmax3)dmax3=D[i][j];
];
if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&D[i][j]<dmax3&&D[i][j]>=dmax4)dmax4=D[i][j];
];
if(StringGrid1->Cells[i][j]==1&&D[i][j]<dmax4&&D[i][j]>=dmax5)dmax5=D[i][j];
];
}
}
D1=dmax1+dmax2+dmax3+dmax4+dmax5;
D1=D1/5;
Memo29->Lines->Add(D1);
kuri++;
Edit10->Text=kuri;
if(max3-min3<=0.01&&max13-min13<=0.01){
  Timer1->Enabled=False;
}
if(kuri==kaisu){
```



```
Timer1->Enabled=False;  
}  
}
```