

# 居住地の凝集化と社会的サービス施設の拠点化の空間シミュレーション

A Spatial Simulation for Examining Consolidation of Residential Areas and Public Service Facilities

豊橋技術科学大学 大学院 建築・都市システム工学専攻 修士課程 横澤 和也  
Kazuya YOKOSAWA(Graduate Student, Dept. of Architecture and Civil Eng., Toyohashi Univ. of Tech.)

This study constructs a simplified model of the virtual space using a multi-agent model and uses it to see the medium-to long-term change in consolidation of residential areas and public service facilities due to aging and population decline. The purpose is to obtain some pointers towards a sustainable future urban and regional spatial structure in Japan. Based on the results of simulation, from the point of view of compactness of the spatial structure, we do analyze on the conditions and the degree of consolidation of residential areas and public service facilities, as well as analysis on favorable conditions for managing public service facilities. Although it is in a virtual space, the simulation results gave us useful information from the medium-to long-term perspective on compact residential area development and on the maintenance of public service facilities in the aging and declining populations of Japan.

## 1 背景・目的

我が国の人口は、2006年に発表された国立社会保障・人口問題研究所の報告<sup>1)</sup>によると2005年から総人口は減少し、以後長期の人口減少過程に入ると予測される。加えて、日本社会の経済成長による少子高齢化により、成熟した社会が出来つつある。そのため、各人のQOLを重視しつつ、財政の均衡を目指した持続的な都市・地域のあり方が問われている。

人口減少、少子高齢化により地域住民が生活に必要な社会的サービス(医療機能、販売機能、金融機能等)を持続的に受ける事が困難となっている。中長期的な都市・地域空間のあり方を考えた場合、中山間地域や都市部の郊外地域におけるQOL維持向上のためには、一定の撤退を含めた居住地の凝集化は避けて通れない選択肢である。また、社会的サービスを提供する側(行政、民間)からみても、人口減少と高齢化による利用者の減少や後継者不足等の問題からサービス提供が困難となることから、施設の拠点化は必然の流れであろう。

本研究は、マルチエージェントモデルを用いて単純化した仮想空間モデルを構築し、人口減少と高齢化の進行に伴う居住地の凝集化と社会的サービス施設の拠点化の中長期的な変化をみることで、今後の我が国における持続可能な都市地域空間構造のあり方に対する示唆を得ることを目的とする。

## 2 モデル開発

### 2-1 仮想空間モデルの構造

マルチエージェントモデルは、個々のエージェントの相互作用もしくは、エージェントと環境との相互作用の結果、個別の要素の振る舞いから予想の出来ない様相がみられる現象の性質を分析する手法として有効である。したがって、複雑な都市地域空間構造の変化を、ダイナミックに捉える事で可能になり、刻々と時間の経過とともに変化する都市地域空間構造を視覚的に表現することに優れている。

本研究では、階層的な社会的サービス施設と居住者をエージェントとして、それらを一定の条件の基にグリッドセルからなる仮想空間上に発生させ、居住地の撤退・凝集化と社会的サービス施設の拠点化を評価する空間シミュレーションモデルを開発した。

仮想空間は正方形のセルの集合体で構成する。一つのセルを現実空間における1km~2km四方程度のコミュニティ(集落)とみなし、21個×21個の計441個のセルで構成される空間とした。また、本研究が最終的に目指す空間領域は、広域空間で、そこでのサービス機能の集約・ネットワーク化と居

住地の凝集化をシミュレートすることが目的である。しかし、今回の試験的開発ではモデル開発用ソフトの能力も考慮して設定している。また仮想空間は、対象空間外からの流入や空間外への流出が無い、外部からの影響を受けない閉塞空間としている。

本モデルでは、我が国の都市地域空間構造をみるために、数値データは我が国を対象としたものを使用する。また、中長期的な変化をシミュレーションするが、具体的には、1ステップを1年とし、2005年(平成17年)から100ステップ目の2105年(平成117年)までの我が国の変化をみる。

### 2-2 施設エージェント

施設エージェントは、高次施設、低次施設の2つのタイプに分類した。高次施設は、現実空間の地域の中心部を再現するため、仮想空間の中心に1つ配置する。また、低次施設は、シミュレーション毎の条件によって発生数を変え、仮想空間上にランダムに初期配置する。

シミュレーション期間中の低次施設は、前ステップにおける当該施設を利用する居住者エージェントの数を、当該施設のサービス提供の限界利用者数と比較して、撤退(消滅)を判断する。この撤退とは、社会的サービス施設の利用者が減少し、サービス提供限界利用者数という経営が成り立つ人数を下回ってしまい、採算性が取れなくなった場合に撤退もしくは他の施設に集約化されることを意味する。

### 2-3 居住者エージェント

#### 1) 配置

配置される任意の人数は、現実空間における地域の規模から、妥当な人数を設定するものとする。また、1居住者エージェントは、50人~100人程度の集団として捉えるものとする。居住者エージェントは、初期段階で各セルに1~20までの数値でランダムに与えられた居住限界人数(以後 FAR と記す)の範囲内で任意に配置される。FARを定めることで、人口密度分布の異なる現実空間の再現可能性に配慮した。

#### 2) 属性

居住者エージェントは、現実空間における妥当性のある年齢や死亡率などの属性を一定の条件に基づき、シミュレーション開始の初期設定として与える。年齢構成は、総務省平成

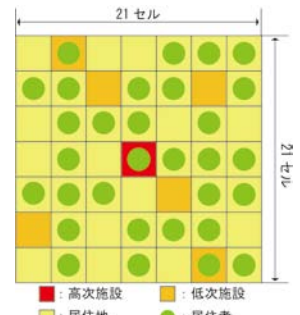


図1 仮想空間概念図

17年国勢調査<sup>2)</sup>に基づき設定し、死亡率は、厚生労働省平成17年人口動態統計月報年計<sup>3)</sup>に基づき設定し、ステップ毎に死亡率によりエージェントを削除する。また、毎年の出生を再現するために、各ステップの始めで一定人数を発生させる。出生数はコーホート変化率法により推計した。これにより、国立社会保障・人口問題研究所による50年後の推計人口構造をほぼ再現できている。

### 3) 利用する社会的サービス施設の選択

空間相互作用モデルを用いて、居住地*i*の居住者エージェントが施設*j*を利用する確率 $P_{ij}$ を以下の式(1)で与える。この確率によって、居住者エージェントの利用する社会的サービス施設が決まる。

$$P_{ij} = \frac{D_j \exp(-\beta C_{ij})}{\sum D_j \exp(-\beta C_{ij})} \dots (1)$$

$P_{ij}$ : セル*i*の居住者エージェントが施設*j*(セル*j*)を利用する確率  
 $D_j$ : 施設*j*の魅力度(前ステップにおける施設*j*の利用者数)  
 $C_{ij}$ : 居住地セル*i*と施設セル*j*の移動距離(空間距離)  
 $\beta$ : 距離抵抗パラメータ  
 (任意の値: シミュレーション条件として設定可能とする)  
 ※最初のステップの施設*j*の魅力度は、どの施設も同程度に設定

### 4) 居住者エージェントの転居判断

本モデルでは、①社会的サービス施設への移動距離、②周囲の居住者エージェント数、③年齢の3つの条件の下で転居意思 $P$ が決定されるものとした。前提として居住者は基本的に定住意思が強いと仮定し、各条件を設定した。

#### ① 移動距離

移動距離は、居住者エージェント*i*が利用する施設*j*までの距離 $C_{ij}$ であり、この $C_{ij}$ から式(2)により転居確率 $P_1$ が決定する。居住者は、利用施設までの距離が遠いほど現在の居住地に不満を持ち、転居しやすくなると定義する。よって、移動距離 $C_{ij}$ が遠い居住地ほど $P_1$ が高くなるものとする。

$$P_1 = \alpha_1 C_{ij} \dots (2)$$

$\alpha_1$ : 係数(任意の値を設定)

#### ② 周囲の居住者エージェント数

周囲の居住者エージェント数 $N$ が周辺居住者数上限値 $a$ を下回る場合、式(3)により転居確率 $P_2$ が決定する。 $N$ が $a$ を下回らない場合は転居を考えないものとし、 $P_2$ は0とする。居住者は、周辺に居住者が少なくなると現在の居住地に不満を持ち、転居しやすくなると定義する。よって、周囲の $N$ が少なく、 $a$ を低く設定するほど $P_2$ は高まるものとする。

$$P_2 = -\alpha_2 N + \beta_2 \dots (3)$$

$\alpha_2$ : 係数(任意の値を設定)  $\beta_2$ : 係数(任意の値を設定)

#### ③ 年齢

居住者エージェントの年齢ごとに図2により転居確率 $P_3$ が決定する。若年者ほど転居しやすく、高齢者ほど転居しにくいものとする。

#### ④ 転居確率

$P_3$ が転居に最も影響を表す係数とし、係数 $P_1$ 、 $P_2$ は相加平均し、その値を $P_3$ に乘じる形とした。また、 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 以外

に転居に影響を与える何らかの要素を加えるために、確率的攪乱項 $v$ を式(4)を用いて乗じる形とした。 $v$ は高度に歪んだ分布をもつが、 $n$ を0~0.5程度の値とすれば、0~1のほとんどの乱数に対して1に近い値をとるため、他の要因による影響を大きく損なうことはないとする。以上を考慮した式(5)で求められる転居確率 $P$ により、すべての居住者エージェントは各ステップで転居の有無を判断する。

$$v = [\ln(\text{rand})]^n \dots (4)$$

$$P = v P_3 \frac{P_1 + P_2}{2} \dots (5)$$

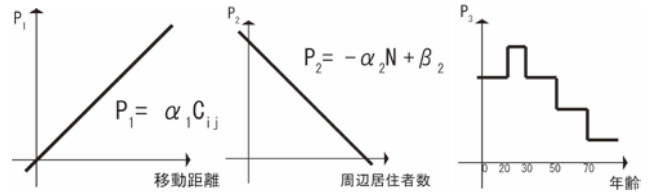


図2 各条件における転居確率概念図

### 5) 転居先の選択

転居者は、転居前の居住地から近い高次施設もしくは低次施設のセルかその周辺に転居する行動をとる。また、転居先のFARが居住者数を超えていた場合は、別のセルを探す。

#### 2-4 シミュレーションフロー

シミュレーションは、図3のフローに従う。

- ①シミュレーション開始段階に仮想空間を構築し、その空間に施設エージェントと居住者エージェントを一定の条件のもとで発生し、配置する。
- ②施設エージェントは、一定の条件に達すると、撤退する(消滅する)行動をとる。
- ③居住者エージェントは、空間相互作用モデルにより利用するサービス施設を選択する。
- ④居住者エージェントは、3つの条件の下で転居確率 $P$ が決定し、転居確率 $P$ により、転居することを判断する。
- ⑤転居を判断したエージェントは、近くの施設の周辺に転居

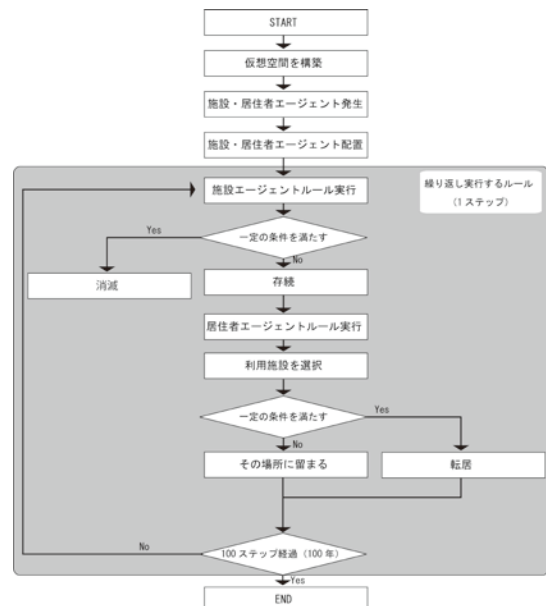


図3 シミュレーションフロー

する行動をとる。

- ⑥シミュレーション1ステップ終了(1年を模している)。
- ⑦②に戻り、シミュレーションを繰り返す。
- ⑧100ステップ(100年)経過したら、シミュレーション終了。

### 3 パラメータ設定と感度分析

#### 3-1 分析方法

シミュレーション結果から、どのような条件の時に居住地の集約化が進むか、また社会的サービス施設は維持され易いかを検討するため、以下の4つの評価指標を設定して、パラメータ値の変化との関係进行分析する。

また、各パラメータの値を表1のように設定し、シミュレーションを10回繰り返した結果、転居率の平均値が、総務省平成17年人口移動報告の転居率<sup>4)</sup>とほぼ等しい値を示したため、これをベースケースとした。

①総移動距離：ステップ毎の各居住者エージェントが、選択した利用施設までの移動距離の総和

②施設数：ステップ毎の施設数

③居住地割合：ステップ毎の全セルに対する居住者エージェントが存在するセル(居住地)の割合(式6)。

$$\text{居住地割合(\%)} = \frac{\text{居住者エージェントが存在するセル数(居住地数)}}{\text{全セル数(441セル)}} \times 100 \dots (6)$$

④コンパクト度：ステップ毎の施設数に対する居住者エージェントが存在するセル(居住地)の割合(式7)。割合が少ないほどコンパクトな都市が形成されていると定義する。

$$\text{コンパクト度} = \frac{\text{居住者エージェントが存在するセル数(居住地数)}}{\text{施設数}} \dots (7)$$

表1 ベースケース各設定値

項目	設定値	項目	設定値
ステップ数	100	$\alpha_1$	0.0476
高次施設数	1	$\alpha_2$	0.05
低次施設数	20	$\beta_2$	1
居住者数	2000	$P_3$	0~20歳・30~50歳:0.7
サービス提供限界利用者数	20		20~30歳:0.9
距離抵抗 $\beta$	0.5		50~70歳:0.5/70歳以上:0.3
周辺居住者数上限値 $\theta$	20	FAR	ランダム

#### 3-2 感度分析

シミュレーション結果に影響を与えると思われるパラメータの感度分析を行った。具体的には、居住者の転居に影響を与える転居確率 $P$ 、施設の撤退に影響を与えるサービス提供限界利用者数、居住者が施設を選択する際に影響を与える

表2 20ステップ目の指標値比較

項目	総移動距離	順位	施設数	順位	居住地割合	順位	コンパクト度	順位
ベースシミュレーション	5538	12	17	7	75.44%	14	19.86	7
移動コスト	P1:低い	5729	16	7	83.51%	22	20.09	17
	P1:やや低い	5761	18	7	82.00%	20	20.99	12
	P1:高い	5320	5	7	66.44%	4	16.98	2
周辺	P2:高い	5428	6	7	68.80%	7	18.31	6
	P2:やや低い	5618	13	6	80.63%	18	22.02	15
	P2:低い	5655	14	6	82.43%	21	22.92	19
年齢	P3:高い	5438	7	6	72.88%	11	19.94	9
	P3:やや低い	5663	15	7	81.38%	19	21.57	13
	P3:低い	6110	22	7	90.88%	24	23.66	21
サービス提供限界利用者数	施設が非常に維持され易い	5490	9	8	73.50%	12	17.76	4
	施設が維持され易い	5498	11	7	73.95%	13	19.91	8
	施設がやや維持され難い	5484	10	5	71.52%	8	21.75	14
距離抵抗	施設が非常に維持され難い	5461	8	4	71.93%	9	23.03	20
	施設が非常にし易い	5290	4	2	67.39%	6	31.16	23
	移動が非常にし易い	12446	24	1	65.99%	3	36.38	24
施設数	移動がし易い	8417	23	4	63.95%	2	20.14	10
	移動がし難い	4100	2	8	72.56%	10	17.78	5
	移動が非常にし難い	3643	1	6	80.05%	16	22.06	16
FAR固定	施設が少ない	4621	3	10	61.22%	1	27.00	22
	施設がやや多い	5827	19	20	78.46%	15	17.30	3
	施設が多い	5928	20	27	90.02%	23	14.70	1
高齢者数固定	居住者は、中心部は多く、郊外は少ない	6069	21	13	67.35%	5	22.85	18
高齢者数固定	高齢者は、中心部は多く、郊外は少なく、端は多い	5744	17	17	80.05%	17	20.76	11

距離抵抗 $\beta$ 、それ以外に、施設数を変えた場合、FARを固定した場合、高齢者の配置を制限した場合等の感度分析を試みた。表2は20ステップ目、表3は100ステップ目の全シミュレーションの評価指標値を比較したもので、それぞれ高い値を示すものから順位付けしたものである(色が濃いほど高い)。

空間構造のコンパクト性の視点から、最も居住地の凝集化と施設の拠点化に影響を与えるのは、サービス提供限界利用者数と施設までの移動に係る距離抵抗であるといえる。サービス提供限界利用者数は、「政策による社会的サービス施設維持の支援の強弱」で変化しうる可能性がある。支援なしで市場原理に任せ、利用者が少ない施設が自然と淘汰されていく結果として、施設の拠点化につながる。しかし、施設数が減少することから、居住者への社会的サービスが滞るため、必ずしも都市のコンパクト化につながるとは言えない。

また、距離抵抗は「施設までの移動のしやすさ」であり、距離抵抗が小さくなるほど施設の魅力度が施設選択の大きな要因となり、その結果小さい施設は淘汰され、拠点化される。しかし居住地は地域空間全体に分散し、施設までの移動距離が増加する結果となる。それに対し、移動がしにくいほど施設は維持されやすく、比較的コンパクトな都市が形成されると言える。

以上の2点が感度分析を通して居住地の集約化と社会的サービス施設の拠点化・維持について指摘できる。

### 4 政策シミュレーション

#### 4-1 政策シナリオの設定

感度分析の結果を踏まえ、より現実的な都市地域空間構造となるように、開発したモデルを調整した。具体的には、中心部は人口密度が高くて高齢者が多く、郊外になるほど人口密度が低くなり、若年者が多くなり、さらに、空間の端になるほど高齢化率が高くなるように設定し、これを初期人口配置のベースとした。そのモデルを用いて、居住者や社会的サービス施設について政策を施した場合のシナリオを複数想定し、シミュレーションを行った。シナリオは、①技術革新による移動しやすい移動手段が発達した場合(距離抵抗を変化させた場合)、②補助金やNPO等による公的な施設維持を目的とした政策が施された場合(サービス提供限界利用者数を

表3 100ステップ目の指標値比較

項目	総移動距離	順位	施設数	順位	居住地割合	順位	コンパクト度	順位	
ベースシミュレーション	2366	13	11	6	43.97%	13	17.92	18	
移動コスト	P1:低い	2239	6	11	6	43.06%	9	17.19	14
	P1:やや低い	2322	9	12	7	44.78%	15	17.13	13
	P1:高い	2373	14	12	7	43.31%	10	16.62	11
周辺	P2:高い	2327	10	11	6	41.50%	8	16.66	12
	P2:やや低い	2355	12	11	6	44.90%	16	17.63	15
	P2:低い	2389	16	12	7	46.64%	20	17.95	19
年齢	P3:高い	2347	11	12	7	43.92%	12	16.39	9
	P3:やや低い	2252	8	11	6	44.22%	14	17.74	16
	P3:低い	2513	21	12	7	48.00%	22	17.99	20
サービス提供限界利用者数	施設が非常に維持され易い	2471	20	14	9	47.62%	21	15.91	3
	施設が維持され易い	2381	15	12	7	43.56%	11	16.96	8
	施設がやや維持され難い	2202	5	10	5	39.57%	5	17.89	17
距離抵抗	施設が非常に維持され難い	2192	17	9	4	39.68%	6	19.87	22
	施設が非常にし易い	2183	4	7	3	31.97%	3	20.58	23
	移動が非常にし易い	4441	24	1	1	29.71%	2	131.00	24
施設数	移動がし易い	2863	23	6	2	26.31%	1	19.33	21
	移動がし難い	1631	2	14	9	49.35%	17	14.29	1
	移動が非常にし難い	1307	1	15	10	45.34%	24	14.53	2
FAR固定	施設が少ない	2061	3	10	5	37.64%	4	16.60	10
	施設がやや多い	2243	7	13	8	46.03%	18	15.82	5
	施設が多い	2525	22	14	9	48.98%	23	15.43	4
高齢者数固定	居住者は、中心部は多く、郊外は少ない	2429	19	11	6	40.14%	7	16.09	7
高齢者数固定	高齢者は、中心部は多く、郊外は少なく、端は多い	2396	18	13	8	46.25%	19	15.69	6



変化させた場合)を用意した。また、政策シミュレーション結果を図4に示す。

#### 4-2 政策シミュレーション分析

##### ① 距離抵抗を変化させた場合

人口減少が中長期的に続く我が国で、技術革新により将来的に高齢者でも安全にかつ容易に移動できる手段が実用化された場合、居住者は自由に施設を利用できるため、より利用者が多い魅力の高い中心施設を利用するようになり、他の施設は淘汰され、中心部に集約される。コンパクトな都市は形成されるが、施設数の減少が激しく、居住者への社会的サービス提供の面からみると現実的ではないと考えられる。また、居住地が中心部に凝集化してしまうために、郊外地域の自然環境の保全の観点からも現実的ではないと考えられる。

##### ② サービス提供限界利用者数を変化させた場合

今後存続が困難な施設に対して行政やNPOによる支援を行った場合では、収益が無くても補助金による支援を施設に対して行うことで、ある程度施設を維持することが出来ること分かった。また、施設は中心部に集約するのではなく、都市の全体に分散し、それに伴って凝集化した居住地も全体に分散する傾向にあるが、施設数が多い割に都市のコンパクト性は、ベースケースと同程度となっていた。つまり、居住者

への社会的サービスを適度に提供できる施設数を維持しつつ、コンパクトな都市形成がなされていることが分かった。よって、今後我が国では、中心地に施設を拠点化し、社会的サービスを適度に提供できる施設には、行政やNPOなどの支援によりサブ拠点として維持する政策の重要性を示唆している。

#### 5 まとめ

本研究では、居住地の撤退・凝集化と施設の拠点化を評価する空間シミュレーションモデルの開発を試みた。仮想空間上ではあるが、居住地の凝集化と施設の拠点化には、政策による施設への支援と利用施設までの移動のしやすさが影響を与えることが分かった。また、今後我が国では中心地に施設を拠点化し、社会的サービスを適度に提供できる施設には、支援によりサブ拠点として維持する政策が重要であることが分かった。また、本モデルの仮想空間は、開発用ソフトの能力を考慮して設定している点で限界がある。今後は実地域に当てはめてシミュレートすることも課題である。

##### 【参考文献】

- 1) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口(平成18年12月推計), 平成18年12月
- 2) 総務省：平成17年国勢調査, 平成18年10月
- 3) 厚生労働省：平成17年人口動態統計月報年計(概数), 平成18年6月
- 4) 総務省：平成17年住民基本台帳人口移動報告, 平成18年3月

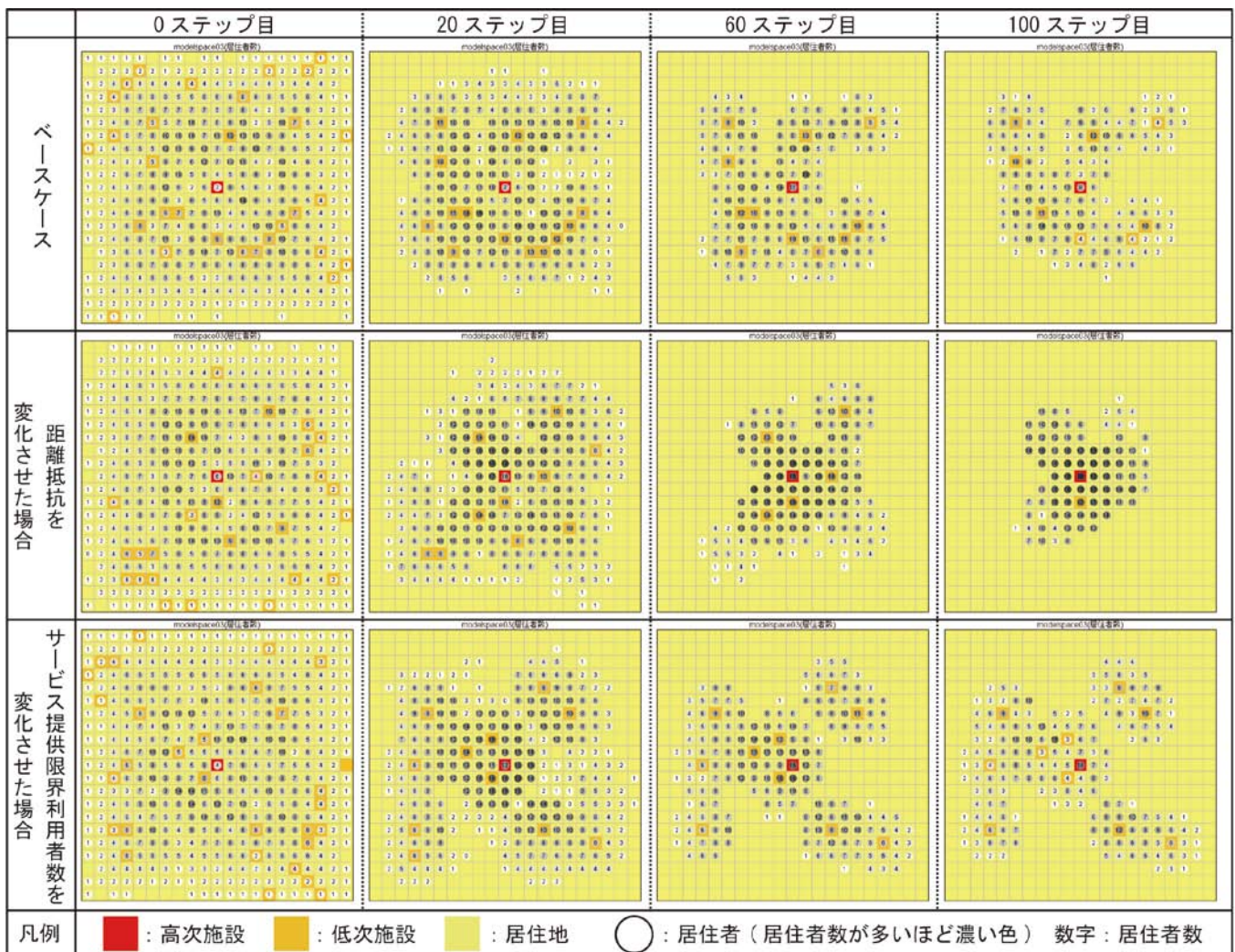


図4 政策シミュレーション実行結果