

# マルチエージェントによる土地の魅力を考慮した新分居モデルの構築

～都市と農村の住み分け現象はいかにして起こりうるか？～

横堀純子(群馬大学社会情報学部社会情報学科)

本研究はトマス・C・シェリングによる分居モデルの研究、田村・板山・山影による分居モデルに関する研究で今まで扱われてこなかった、分居モデルのエージェントの行動空間そのものに価値付けを行い、マルチエージェントによる人間関係と土地の魅力の二点を併せ持つ新分居モデルを構築する。土地の価値に違いが出来たとき、エージェントがその場所に留まるか、移動するかを決定する要因は分居現象にどのような影響を及ぼすかを新分居モデルを用いて明らかにする。

シミュレーション実験結果から、従来研究のような分居現象の再現性、シミュレーションの数値結果から見えるエージェント行動の特徴について検証し、以下の3つの点に分かった。一点目は新分居モデルにおける従来MAS分居モデルの再現性の確認である。二点目は、新分居モデルにおける二次元空間の分居の様子を三つに分類して、従来MAS分居モデルとは異なる分居現象を見ることが出来た点である。三点目はシミュレーションの実行結果から得られた数値結果をグラフにすることで新分居モデルの特徴が明らかになった点である。

## 1. はじめに

シェリングによって提示された近隣自己形成モデルはシェリング分居モデルを基に構築されたMAS分居モデルでさまざまに展開されてきたが、それらにはひとつの共通点がある。それは近隣エージェントの配置によって自らが満足か不満足かを決定し、その場所に留まるか、移動するかを意思決定を行っている点である。一般に人間がその場に留まるか、移動するかを決定するのはさまざまな要因によって影響を受けると考えられる。人間関係もその要因のひとつであるが、土地の魅力も大きな要因のひとつであると思われる。

そこで本研究の一つ目の目的は、このような点をふまえ、本研究では人間関係と土地の魅力の二点を併せ持つマルチエージェントモデルを構築することである。二つ目の目的は土地の価値に違いが出来たとき、エージェントがその場所に留まるか、移動するかを決定する要因は分居現象にどのような影響を及ぼすかを構築した新分居モデルを用いて明らかにしたいということである。

## 2. 分居モデルに関する先行研究

### 2.1. 分居現象とは

シェリングは1971年に論文"Dynamic Models of Segregation"を発表した。人々のごく些細な感情や動機が、マクロ的に大きな変化となって生じることを示した。

田村・板山・山影(2002)はこの現象のことを“分居”現象とした。分居現象について以下のようにまとめている。

分居現象は、個々人の選考と社会全体のあり方とのギャップの好例として知られている。個々のエージェントは異質なエージェントに対して相対的に寛容であるはずなのに、社会全体としては同質なエージェント同士が集まってしまい住み分けが起こる現象である。

### 2.2. シェリング分居モデル概要

シェリングは1978年に著書“Micromotives and Macrobehavior”で人種や文化、宗教、貧富の違いなどによって住み分けが起こる現象をゲーム理論的に説明した。

シェリングの実験について、田村・板山・山影(2002)は以下のようにまとめている。

シェリングは個人の嗜好(micromotives)とそれによってもたらされる社会全体の分居のあり方

(macrobehavior) とその関係を解明すべく、近隣のエージェントの配置によって自らが満足か不満足かを決定するエージェントと、そのエージェントの行動によって、社会全体がどのようになるかを表現した近隣自己社会形成モデル(A Self-Forming Neighborhood Model)を掲示した。

- ① 二次次元空間→8×8マス
- ② エージェント→2種のコインをランダム配置
- ③ 以上いるという環境を求めて行動する
- ④ 周囲に自分と同じ種類のコインが一定数以下のとき、自分の欲求に合う最も近い空き場所に移る
- ⑤ そうでないとき、移動せずにその場にとどまる

### 2.3. MAS分居モデル概要

田村・板山・山影(2002)はシェリング分居モデルの以下のような問題点を挙げた上でシェリング分居モデルをエージェントベースモデルで構築するためのツールであるMASで動作する分居モデルを構築した。

問題点1: モデルが8×8マスと小規模であった事

問題点2: 人間の手作業による実験であった事

MAS分居モデルのエージェント基本ルールはシェリング分居モデルと基本的に変わらない。

### MAS分居モデル変更点

変更点1: 二次元空間→35×35マスへ

変更点2: 幸福度の算出(2.1)

$$\text{幸福度} = \frac{\text{周囲八近傍に存在する自分と同色のエージェント数}}{\text{周囲八近傍に存在するエージェント総数}} \times 100 \quad 2.1$$

## 3. 土地に関する価値を考慮した新分居モデル

### 3.1. 新分居モデルの構築

#### 3.1.1. 新分居モデル概要

近隣エージェントの配置によって自らが満足か不満足か決定する→「人間関係」によって行動が決定される(従来研究モデル行動決定要因)

土地そのものの持つ住環境といった土地の魅力によって決定される→「土地の魅力」によって行動が決定される(新たな行動決定要因)

「人間関係」+「土地の魅力」⇒「土地の魅力を考慮した新分居モデル」

なお、本研究ではマルチエージェントモデルを作成するにあたり、株式会社構造計画研究所が開発されたシミュレーションシステムであるKK-MASを用いて研究を進める。

#### 3.1.2. 新分居モデルエージェント行動ルール

新分居モデルにおける各エージェントの基本行動ル

ールは図 3.1 の通りであり詳しく説明する。

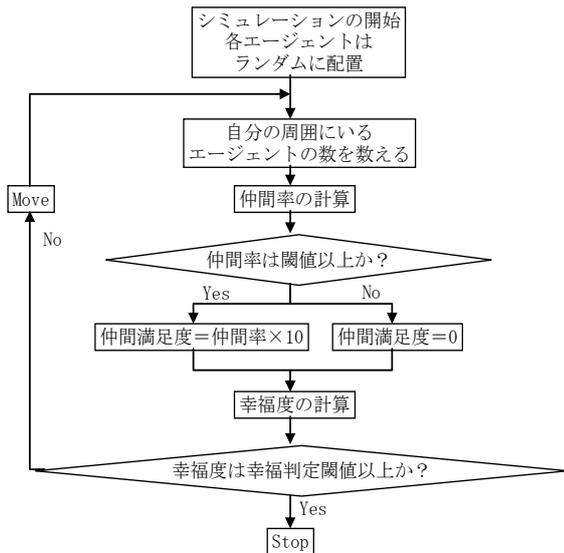


図 3.1 新分居モデルにおける各エージェント基本行動ルール

- ①各エージェントは二次元空間上にランダムに配置
- ②仲間満足度の算出
  - i) 仲間率 (3.1) が仲間閾値以上であるならば、仲間満足度は仲間率を 10 倍したものとす<sup>1</sup>(3.2)。
  - ii) それ以外ならば、仲間率は 0 とする (3.3)。
- ③環境魅力度の決定
- ④幸福度を求める (3.4)
- ⑤幸福度と幸福判定閾値を比較する
  - i) 幸福度が幸福判定閾値以上ならばエージェントはその場にとどまる。
  - ii) それ以外のときエージェントは空き地へ移動。

$$\text{仲間率} = \frac{\text{周囲八近傍に存在する 同色エージェント数}}{\text{周囲八近傍に存在する エージェント総数}} \quad \mathbf{3.1}$$

$$\text{仲間率} \geq \text{仲間閾値} \text{ のとき、仲間満足度} = \text{仲間率} \times 10 \quad \mathbf{3.2}$$

$$\text{仲間率} < \text{仲間閾値} \text{ のとき、仲間満足度} = 0 \quad \mathbf{3.3}$$

$$\text{幸福度} = \text{環境魅力度} \times w + \text{仲間満足度} (1-w), \quad (0 \leq w \leq 1) \quad \mathbf{3.4}$$

### 3.2. 新分居シミュレーションモデルの構築

#### 3.2.1. 空間設定

二次元空間→35×35 格子状

土地に関する魅力→都市度(=都市指数  $d$ )、農村度(=10-都市指数  $d$ )

都市指数  $t$  は二次元空間の一番左、縦 1 列のセルに最小値 0 の値を与え、一番右、縦 1 列のセルの値は最大値 10 になるように縦 1 列をひとかたまりとして、 $x$  軸の正の方向へ向かって定量的に増加させていった値となる。

#### 3.2.2. シミュレーションモデルの変数定義

##### 仲間閾値 $n$ ( $0 \leq n \leq 1$ )

一般に、エージェントは仲間 (同色エージェント) が自分の周囲にどの程度存在すれば満足するかはエージェントによって異なる。これを判定するパラメータを仲間閾値  $n$  と呼ぶ。

##### 環境仲間比重係数 $w$ ( $0 \leq w \leq 1$ )

幸福度 (式 3.4) の仲間満足度と環境魅力度に重みをつけするパラメータである。

<sup>1</sup>仲間満足度 = 仲間率 \* 10 にする理由は、幸福度 = 環境魅力度 \*  $w$  + 仲間満足度 \*  $(1-w)$  のとる値の範囲を ( $0 \leq w \leq 1$ ) とするためである。

### 幸福判定閾値 $h$ ( $0 \leq h \leq 10$ )

一般に、エージェントは同じ幸福度を持ったとしても、それを幸福であると感じるか、不幸であると感じるかはエージェントによって異なる。これを判定するパラメータを幸福判定閾値  $h$  と呼ぶ。

### 4. シミュレーションの方法と範囲

#### 〈パラメータ設定〉

仲間閾値  $n$  : 0.0/0.3/0.5/0.7/1.0 (5 通り)

環境仲間比重係数  $w$  : 0.00/0.25/0.50/0.75/1.00 (5 通り)

幸福判定閾値  $h$  : 0/2/4/6/8/10 (6 通り)

以上 150 通り。シミュレーションは各組に対し 100 回シミュレーションを実行する。

#### 〈出力変数〉

平均幸福度、ステップ数→各組、100 試行ごとの平均値をとる。

### 5. シミュレーションと結果の分析

#### 5.1. シミュレーションの再現性

##### 5.1.1. MAS 分居モデルの再現

新分居モデルにおいて、従来分居モデルの分居パターンの再現性を証明する。 $w=0$  に設定することで土地に関する魅力を全く考慮しないモデルとなる。

図 5.1 から見て分かるように、MAS 分居モデルと新分居モデルの平均幸福度は同じような値をとって推移していることが確認できた。次に、閾値を変化させた場合の新分居モデルのシミュレーション実験結果を図 5.2 に示す。閾値と平均幸福度の関係の数値結果と同様に、この実験結果も MAS 分居モデルと新分居モデルは同じような結果を得ることを確認できた。

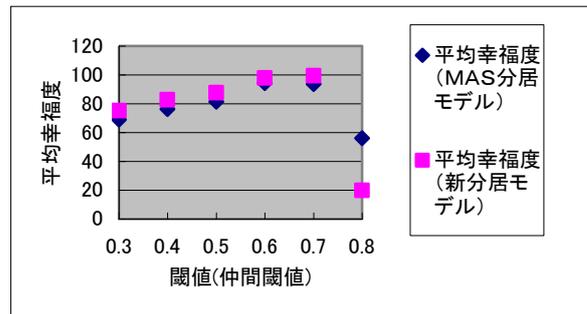


図 5.1 閾値と平均幸福度との関係

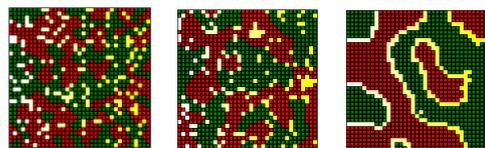


図 5.2 新分居モデルシミュレーション実行結果 (左から  $n=0.3$ ,  $n=0.5$ ,  $n=0.7$ )

##### 5.1.2. 新分居モデルにおける分居パターン

新分居モデルにおいて閾値 0.3, 0.5, 0.7 の条件で分居現象を見ることが出来た。そして、その分居現象を大きく三つにパターン分けをした。

一つ目のパターン(図 5.3)、「二次元空間に満遍なく分居の集団が分布したパターン」のパラメータ条件は環境仲間比重係数  $w=0.25$  と低く、かつ、幸福判定閾値が低いという条件で見ることが出来た。二つ目のパターン(図 5.4)、「二次元空間の中央付近で赤エージェント、緑エージェントの集団が混ざり合い、二次元空間の両端がそれぞれどちらか一種類のエージェントのみが集団形成しているパターン」のパラメータ条件は環境仲間比重係数  $w=0.5$  に設定したときである。三つ目のパターン(図 5.5)、「二次元空間の中央付近を境にして赤エージェ

ント、緑エージェントがはっきり左右に別れたパターン」のパラメータ条件は幸福判定閾値が中程度 ( $h=4, 6$ ) かつ、環境魅力度の比重が高い ( $w=0.75, 1.00$ ) とき、都市好きエージェントは二次元空間の都市度の高い右方向へ集まり、農村好きエージェントは二次元空間の農村度の高い左方向に集まり、エージェントは二次元空間の中央付近を境にして左右に分かれる。

エージェントの環境に対する重みが高いときに、このような分居現象が見られるだけでなく、エージェント幸福度の環境比重係数が低く、環境に対する重みが低いときでも、幸福判定閾値が高いときにもこのような分居の様子を見ることができた。これらの分析結果は都市と農村の住み分け現象を示している。自分にとってより幸せな場所を求める人間は、土地の魅力、人間関係をともに考慮している限り、おのおのの好む土地へ移ることで住み分け現象が起こるということが分かった。

## 5.2. 平均幸福度とステップ数の分析

### 5.2.1. $n$ から見るシミュレーション結果の分析

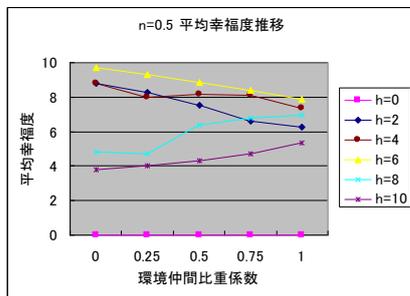


図 5.6  $n=0.5$  平均幸福度推移

仲間閾値の大小にかかわらず、エージェントの幸福度のとり方には同じような傾向を見ることが出来た。幸福判定閾値の低いとき、環境仲間比重係数が 1 に近づくにつれて、エージェントの平均幸福度は減少し、幸福判定閾値の高いとき、環境仲間比重係数が 1 に近づくにつれて、エージェントの平均幸福度は増加した(図 5.6)。

### 5.2.2. $w$ から見るシミュレーション結果の分析

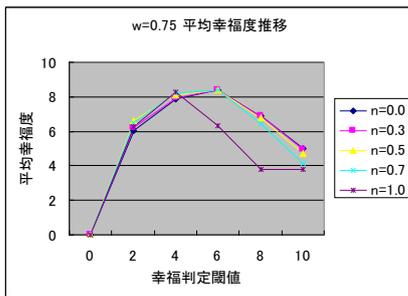


図 5.7  $w=0.75$  平均幸福度推移

環境仲間比重係数を変化させたとしても、平均幸福度は幸福判定閾値が 6 のときに最も高い値をとる傾向が

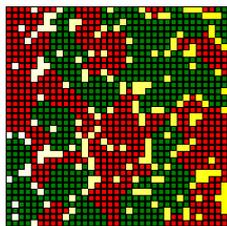


図 5.3  $r=0.3, w=0.25, h=4$  実行結果

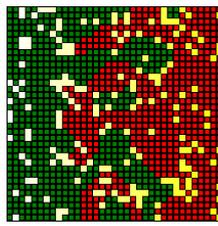


図 5.4  $r=0.5, w=0.50, h=4$  実行結果

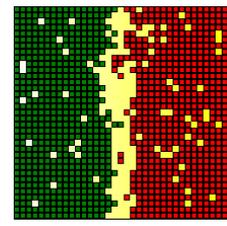


図 5.5  $r=0.5, w=0.75, h=6$  実行結果

見られた(図 5.7)。

### 5.2.3. $h$ から見るシミュレーション結果の分析

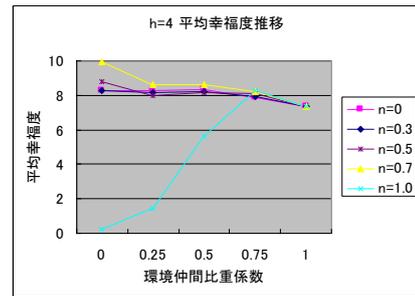


図 5.8  $h=4$  平均幸福度推移

幸福判定閾値  $h=2,4,6$  のときはエージェントの幸福度は高い数値をとり、ステップ数は少ないステップ数で終了しました。また、 $h=0$  のときは、どんな幸福度でもエージェントは満足と感るので、最初のステップでシミュレーションは終了した。 $h=8,10$  のときは、幸福判定閾値が高すぎるためにエージェントの配置が均衡状態にならず、100 ステップまで続いた(図 5.8)。

## 6. おわりに

シミュレーションの実行結果から以下の 3 点が分かった。一点目は新分居モデルにおける従来 MAS 分居モデルの再現性の確認である。二点目は、新分居モデルにおける二次元空間の分居の様子を三つに分類して、従来 MAS 分居モデルとは異なる分居現象を 3 つのパターンに分けて見ることが出来た。三点目はシミュレーションの実行結果から得られた数値結果をグラフにすることで新分居モデルの特徴が明らかになった。

試行結果を目で見て分居の程度を確認するのだけではなく、分居の程度、特に分居集団の大きさを測るような実行結果の数値表現方法をどうにか考え出すことはできないかといった、新たな課題が生まれた。

## 文献

1. 板山真弓・田村誠 (1999) 「Schelling 分居モデルを超えて～ABS モデルの検討～」 新型シミュレータ開発プロジェクト ワーキングペーパーシリーズ Working Paper No.2
2. 板山真弓・田村誠 (2000) 「Schelling 分居モデルを超えて 3～色盲エージェントの新たなルールの影響～」 新型シミュレータ開発プロジェクト ワーキングペーパーシリーズ Working Paper No.7
3. 田村誠・板山真弓・山影進 (2002) 「地域社会の住み分け～異文化接触と分居のプロセス～」、山影進・服部正太 編、『コンピューターの中の人工社会～マルチエージェントシミュレーションモデルと複雑系～』、共立出版、pp.108-123