

マルチエージェントシミュレーションを用いた分居モデルの作成

Dynamic Models of Segregation Based on Multi-Agent Simulation

小西 孝史

KONISHI Takashi

Abstract: マルチエージェントシミュレーション (Multi Agent Simulation: MAS) とは, ある与えられた環境の中でエージェントと呼ばれる主体が相互に作用し合って, 全体として社会におけるような秩序を作り出すことをコンピュータの中で実行させるシミュレーションの手法である. 本稿では, ランダムに配置された2種類のエージェントにおいて, それらの周囲8近傍に同種のエージェントが一定数以上いるという環境(幸福度)を求めて行動する分居モデルをMicrosoft Visual Basic 2008を用いて作成した. シミュレーションでは, 富山短期大学 経営情報学科1年生120名を対象とし, 作成した分居モデルに適応させ, 閾値の変化による集団形成過程を調べた. 閾値は, 各エージェントが幸福になる最低限の幸福度を示し, モデルで外生的に与えられる. シミュレーションの結果, 閾値の変化によって集団形成が起こる場合と起こらない場合があることが示唆された.

Keyword: マルチエージェントシミュレーション, 分居モデル, 幸福度

1. はじめに

マルチエージェントシミュレーション(以下, MAS) [1-4]とは, ある与えられた環境の中でエージェントと呼ばれる主体が相互に関係し合って, 全体として社会におけるような秩序を作り出すことをコンピュータの中で実行させようとするものである. MASは, 人工社会とも呼ばれるように, 非現実社会でありながら実は, 社会と密着しているところがある. したがって, 社会現象を分析したり理解したりする方法として, MASは, 市場[5-8]や社会[1, 9-14], 経済[15, 16], 生態[1, 17]などで発生する種々の事象を分析するために用いられている.

MASを最初に社会科学に導入したのはトマス・シェリング[2]であるといわれている. シェリングは, アメリカ都市で人々が民族集団ごとに分かれて生活する現象(チャイナタウンやリトルトウキョウ)を取り上げた. 特に個々人の人種差別意識がさほど強くなくても, 地域社会が画然と分かれる点に注目し, そのメカニズムをシミュレーションで解明しようとした.

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の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。

我々の日常生活でも、同じ趣味の人たちが集団化したり、ファッションセンスが似たもの同士が集まったりする傾向が見られる。そこで、なぜ分居現象が起こるのかを調べるために、本稿ではシェリングが行った分居モデルを、Microsoft Visual Basic 2008を用いて構築し、シミュレーション実験を行った。

2章では、構築した分居モデルについて説明する。3章では、分居モデルを用い富山短期大学の学生を対象としたシミュレーション方法について説明する。4章では、シミュレーション実験での結果を述べる。5章では、シミュレーションの結果に対する考察を行う。

2. 分居モデル

分居モデルとは、個人の嗜好と、それによってもたらされる社会全体の分居のあり方との関係をモデル化したものである。近隣のエージェントの配置によって自らが幸福か不幸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な状況になるかを表現した近隣自己社会形成モデルである。

シェリングの分居モデルをもとに構築した分居モデルにおける各エージェントの基本行動ルールを図1に示す。

本モデルでは、シミュレーションの開始時点で、各エージェントは空間上にランダムに配置される。次に、各エージェントは周囲の状況から、自らの幸福度を測ることによって意思決定を行う。このとき、各エージェントは周囲8近傍（ムーア近傍、図2）に存在するエージェントを見回して、式（1）で表される幸福度を算出する。

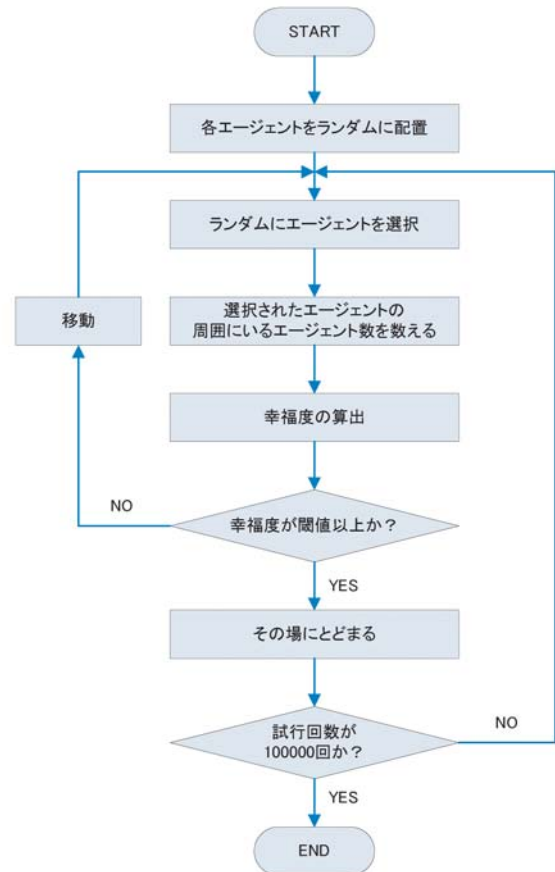


図1：分居モデルにおける各エージェントの基本行動ルール

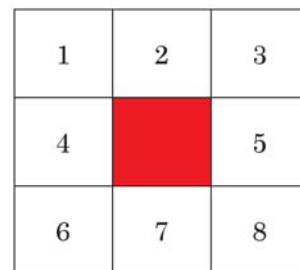


図2：ムーア近傍

(中央をエージェントとした場合、周囲8つ)

$$\text{幸福度} = \frac{\text{ムーア近傍にいる同種のエージェント数}}{\text{ムーア近傍にいるエージェントの総数}} \dots (1)$$

本モデルにおいて、各エージェントの種類は、色によって規定される。例えば、あるエージェントの幸福度が1のとき周囲には全ての同種（同色）のエージェントが存在し、幸福度0のときは、周囲に全く同種のエージェントが存在しない状態である。閾値は、各エージェントが幸福になる最低限の幸福度を示し、モデルで外生的に与えられる。たとえば、閾値を0.3に設定すれば自分の周囲に最低3割の同種類のエージェントがいなければエージェントは幸福にならない。幸福度が閾値以下で自らを不幸だと認識するエージェントは、ムーア近傍の空いているマスに移動する。

一方、閾値よりも幸福度の高いエージェントはその場にとどまる。全てのエージェントが幸福だと判断しその場に停止すると、均衡状態に達してシミュレーションは終了する。

ただし、エージェントの位置が空間の端に位置した場合、周囲に8近傍あるエージェントよりも近傍が小さくなるため、幸福度の値が極端になる傾向にある。そして、エージェントの移動可能範囲も狭くなり限られてしまう。全てのエージェントが同じ条件で幸福度の算出と移動ができる様にするためには、条件が統一された空間にする必要がある。

そこで本稿では、四隅に位置する場合は対角線上の角と隣接し、四辺に位置する場合は、反対側の辺と隣接するものとした。たとえば、座標(0,0)の位置にエージェントが存在した場合、このムーア近傍は、(a,b), (a,0), (0,b), (1,0), (0,1), (1,1), (a,1), (1,b)となる（図3）。

上記の分居モデルにおける具体例として、エージェントの移動空間を20×20、閾値を0.5、青色と赤色のエージェント数を各150個とし、10000ステップ試行した場合の結果を図4～6までに示す。シミュレーション初期状態（図4）

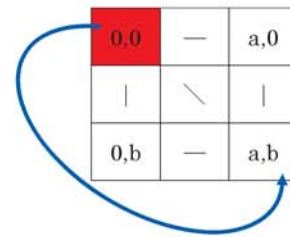


図3：エージェントの移動範囲

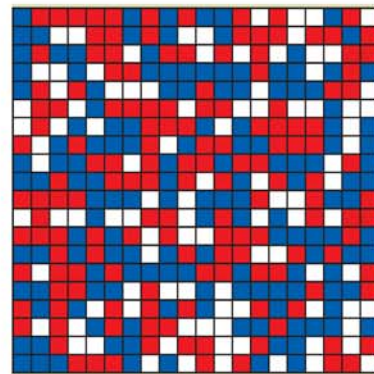


図4：初期状態

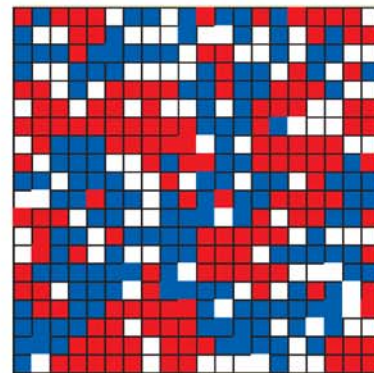


図5：5000ステップ試行

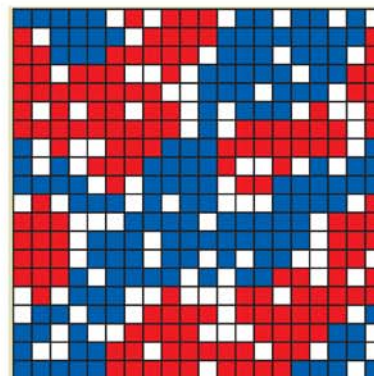


図6：10000ステップ試行

では青色と赤色のエージェントはともにランダムに配置されているが、試行回数が進むにつれて（5000ステップ，図5，10000ステップ，図6），両エージェントとも集団形成が進み集団化する様子がわかる。

3. シミュレーション実験

シミュレーション実験では，構築した分居モデルを用いて，富山短期大学 経営情報学科1年生120名の学生を対象とし，閾値の変化による集団形成過程を調べるものとする。

3.1 シミュレーション方法

シミュレーションに用いる空間は，富山短期大学A棟313教室を対象とする。3人がけの机が4つ並んでいるものを1列とし，それを13列並べるような形にすることで教室を再現する。よって，本シミュレーションの空間は，縦12×横13の156マスになる（図7）。青色と赤色のマスは，富山短期大学 経営情報学科1年生を男女別にしたものであり，今回のシミュレーションでは，青色（男子エージェント）が14名，赤色（女子エージェント）を106名と設定した。なお白色のマスは空席を表し，ムア近傍に空席がある場合，各エージェントは移動することができるものとした。

シミュレーションの開始時点では，教室を模した空間上に男子・女子の両エージェントをランダムに配置する。シミュレーションでは，10万ステップの試行回数を1セットとし，閾値を0.1～0.9まで0.1刻みで変化させながら各10セットずつ行う。閾値の変化に伴う，10万ステップの試行回数後の，男子・女子エージェントの平均幸福度の変化を調べるものとした。なお平均幸福度は，各エージェントの幸福度の合計をエージェント総数で割ったものとし，式（2）から求めるものとする。

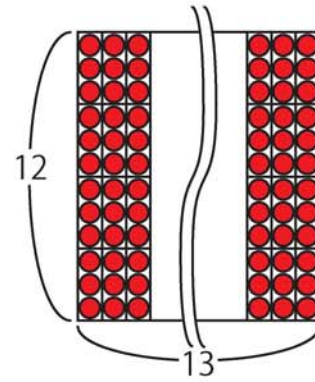


図7：移動空間（富山短期大学A棟，313教室）

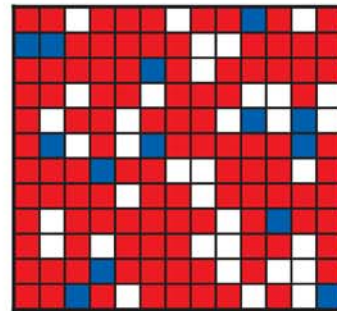


図8：閾値0.1

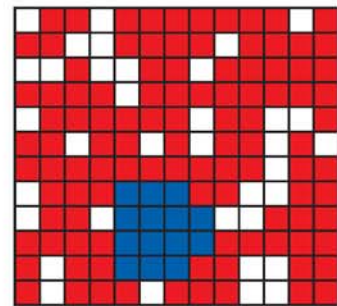


図9：閾値0.8

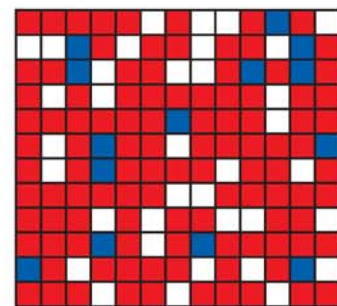


図10：閾値0.9（均衡状態に到達せず）

$$\text{平均幸福度} = \frac{\text{各エージェントの幸福度の合計}}{\text{エージェントの総数}} \dots (2)$$

4. シミュレーション結果

閾値の変化による集団形成の結果を図8, 9, 10に示す。ただし、閾値は男子・女子エージェントともに同じ値に設定している。

閾値0.1では、均衡状態に達するが、男子エージェントに集団形成が見られない(図8)。閾値0.8では、男子エージェントによる集団形成がみられる(図9)。閾値0.9では、均衡状態でもなく、男子エージェントによる集団形成も見られなかった(図10)。

閾値の変化における各エージェントの平均幸福度を図11に示す。●は男子エージェントを表し、●は女子エージェントを表す、そして●は全体の平均幸福度を表す。グラフにおける縦軸は平均幸福度、横軸は閾値を示す。また、各プロット上の縦軸方向のバーは標準偏差を示している。

両エージェントにおいて、閾値0.1~0.8の間では、平均幸福度が上昇している。しかし、閾値0.9では平均幸福度が最低値になることがわかる。

男子エージェントにおいては、閾値0.1から0.6では平均幸福度が低く、集団形成が見られなかった。閾値0.7から0.8では、平均幸福度が上昇し、集団形成が見られた。閾値0.9では、平均幸福度が急激に下がり、また集団形成も見られなかった。

女子エージェントでは、常に0.8以上の平均幸福度である。しかし、閾値0.9においては、平均幸福度の値が閾値より低く、均衡状態になっていないことがグラフからわかる。

図12に閾値0.8における、ステップごとの各エージェントの平均幸福度の推移をグラフに示

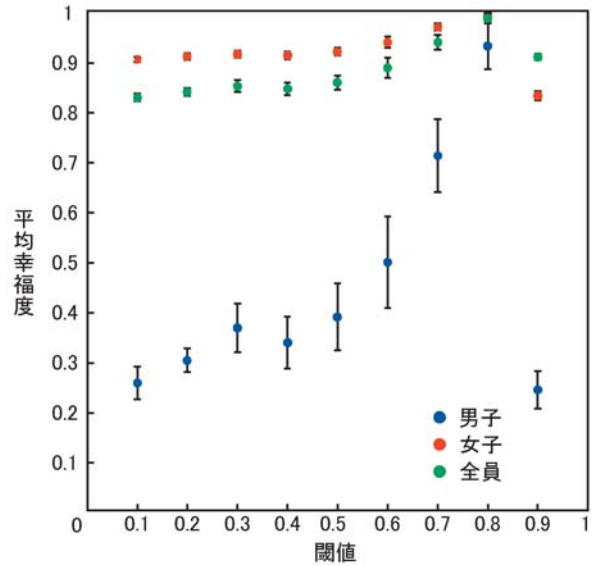


図11：エージェントモデルにおける閾値と平均幸福度との関係

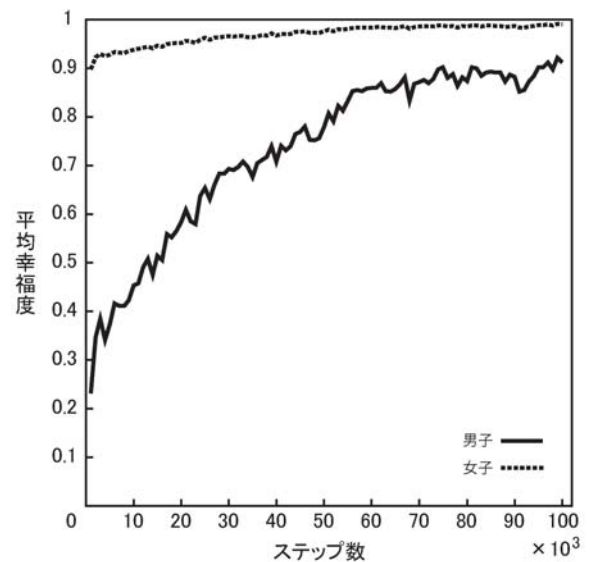


図12：閾値0.8における平均幸福度の推移

した。縦軸は平均幸福度を、横軸はステップ数を表す。また、実線は男子エージェントを破線は女子エージェントを示している。初期状態では、ランダムに配置されているために、男子エージェントの平均幸福度は0.23と低く、試行回数が進むにつれて、集団化が進み平均幸福度が上昇していく。5万ステップほどの試行回数に

て、平均幸福度が閾値の0.8を上回り、均衡状態へと到達する。

5. 考察

閾値を0.1に設定した場合、全てのエージェントがどこに配置されていても、閾値0.1以上の幸福度に達しているのので、エージェントが均衡状態になると考えられる。男子エージェントの集団形成が見られなかった原因は、これにより空間移動が行われなかったためと考えられる。

閾値が0.8では、両エージェントともに平均幸福度が最も高かった。また、男子エージェントによる集団形成が見られ、均衡状態にも達した。女子エージェントは男子エージェントに隣接している場合、幸福度が閾値の0.8以下となるために移動する。そのため、男子エージェントのムーア近傍に移動可能な空白ができるために、他の男子エージェントと集団形成を行うことが可能となる。初期状態では、男子エージェントの幸福度が低いために空間移動が促進され、集団形成し始めると幸福度が高くなり、均衡状態になったと考えられる。

閾値0.9では、男子エージェントによる集団形成は見られない。更に、両エージェントともに均衡状態にいたらなかった。男子エージェントの平均幸福度は、約0.24であり閾値よりも低いいため、必ず空間移動し続ける。また、女子エージェントは、男子エージェントが移動し続けることにより幸福度が閾値よりも下がることによって、両エージェントが空間移動し続ける結果となり、均衡状態に達しなかったと考える。

閾値0.1~0.8に変化させた場合、女子エージェントの平均幸福度が約0.8上昇しているのに対し、男子のエージェントの平均幸福度は、約6.5上昇している。これは、両エージェントが適度に移動し、集団形成が行われているからと考え

られる。一方、両エージェントにおいて、閾値0.9では平均幸福度が低下した理由として、閾値が高すぎることにより、エージェントの幸福度が閾値を満たすことができないために、空間移動が促進され集団形成が行われにくい状況から平均幸福度が低下したと考えられる。

今回、構築した分居モデルと類似した現実世界での例として、クラスにて行われる「席替え」が当てはまると考えられる。誰もが、「仲の良い人と近くの席になりたい」と考えている。しかし、大半は、席替えをくじ引きで行った結果、自分の理想の座席位置にはならないことが多い。その場合、「仲の良い人と近くになりたい」という意思と反する結果となり、幸福度が下がる。そして、仲の良い人と近くになるために、互いに話し合いを始め、自分と条件の合う人と席の場所を交換する。全員の幸福度がある程度まで上昇するまで、座席位置を交換する。つまり、閾値よりも低い幸福度のエージェントが移動し、閾値よりも高い幸福度のエージェントは移動しないという、今回作成した分居モデルと非常に似ていると考えられる。

6. まとめ

本稿では、MASを用いた分居モデルを作成し、富山短期大学 経営情報学科 1年生を対象としたシミュレーション実験を行った。構築した分居モデルのルールは、以下の2つである。

1. 幸福度の閾値を設定し、エージェントの幸福度が閾値以上ならその場にとどまる。
2. エージェントの幸福度が閾値未満ならば、開いているムーア近傍へ移動する。

これを踏まえて、閾値を0.1~0.9に変化させながら、シミュレーションを行った。その結果、男子エージェントは、閾値0.1から0.4では、集団形成は見られないが、均衡状態となった。閾値

0.5, 0.6では, 集団形成もなく, 均衡状態にもならなかった. 閾値0.7, 0.8では, 集団形成が起こり, 均衡状態となった. また閾値0.9では, 男子エージェントは集団形成も起こらず, 均衡状態ともならず, また両エージェントとも移動し続け, 平均幸福度が最低値となる結果となった.

今後の課題は, 学生は教室の座る位置によって, 幸福度が異なると考えられるため, 座席位置によって幸福度に差をつけて実験を行う. また, 座席位置によって学生の成績がどのように変化するのか調査を行い, 本モデルに反映させシミュレーションを行う.

謝辞

本研究を進めるにあたり, 貴重なご意見ご協力を賜りました富山短期大学 経営情報学科 池田絵里香氏, 田畑磨奈氏に深謝いたします.

参考文献

- [1] 山影 進, 服部正太, コンピュータのなかの人工社会 - マルチエージェントシミュレーションモデルと複雑系, 構造計画研究所, 2002.
- [2] Thomas Crombie Schelling, 河野勝, 紛争の戦略-ゲーム理論のエッセンス, 勁草書房, 2008.
- [3] 山影 進, 人工社会構築指南 - artisocによるマルチエージェント・シミュレーション入門, 書籍工房早山, 2007.
- [4] 服部正太, 木村香代子, 人工社会—複雑系とマルチエージェント・シミュレーション, 構造計画研究, 1999.
- [5] 和泉 潔, 人工市場: 市場分析の複雑系アプローチ, 森北出版, 2003.
- [6] 柴田淳子, 奥原浩之, 片桐英樹, 坂和正敏, “人工株式市場における取引者が利用する情報の不確かさの相違が取引に与える影響,” 信学論 (A), vol.J86-A, no.12, pp.1464-1471, Dec.2003.
- [7] 寺野隆雄, “U-Mart仮想市場,” 計測と制御, vol.43, no.8, pp.606-612, 2004.
- [8] 高橋大志, 寺野隆雄, “エージェントモデルによる金融市場のミクロマクロ構造の分析: リスクマネジメントと資産価格変動,” 信学論 (D-I), vol.J86-D-I, no.8, pp.618-628, Aug.2003.
- [9] 藤田幸久, 仲瀬明彦, 中山康子, 鳥海不二男, 石井健一郎, “組織における知識継承のモデル化,” 信学論 (D), vol.J90-D, no.1, pp.52-61, Jan.2007.
- [10] 中井 豊, 武藤正義, “友人選別的利他戦略による平和状態の進化シミュレーション,” 社会情報学研究, vol.9, no.2, pp.59-71, 2005.
- [11] R.Axelrod, “The dissemination of culture: A model with local convergence and global polarization,” J.Conflict Resolution, vol.41, pp.203-226, 1997.
- [12] 河根拓文, 村重 淳, 合原一幸, “2次元しきい値分布を利用した流行現象の数理モデルとその解析,” 信学論 (A), vol.J83-A, no.3, pp.284-293, March 2000.
- [13] 前田義信, 今井博英, “群集化交友集団のいじめに関するエージェントベースモデル,” 信学論 (A), vol.J88-A, no.6, pp.722-729, June 2005.
- [14] 鳥海不二夫, 石井健一郎, “学級集団形成における教師による介入の効果,” 信学論 (D), vol.J90-D, No.9, pp.2456-2464, June 2007.
- [15] P.Krugman, 北村行伸, 妹尾美起, 自己組織化の経済学, 東洋経済新報社, 1997.

[16] A.Yasutomi, “The emergence and collapse of money, ” *Physica D* 82, pp.180-194, 1995.

[17] 科学シミュレーション研究会, パソコンで見る生物進化, 講談社, 2000.

(平成22年10月18日受付、平成22年11月11日受理)