

Q 学習を含むエージェントによる エージェントベースシミュレーション における流行の流布と初期採用者の 配置に関する研究

中 野 統 英
周 慧

1. 緒 言

現代社会においては様々な商品に対するマーケティングリサーチをはじめとした様々な経済活動や社会活動について、数理的にモデリングを行って分析や予測を行うことが必要とされている。例えば、ファイナンスの分野では株価の変動についてそれらを再現するモデルを作成し、シミュレーションを行うことにより活動の現状分析や将来予測を行う手法が多く用いられている^[1]。ただ微分方程式など数式を用いたモデルを作成する場合はモデル作成のために利用できるデータや実例が数多く求められるが、経済・社会活動においては利用できるデータや実例に限られるのでモデリングが難しい場合が多い。

そこで経済・社会活動に対して、ある経済・社会空間を想定した仮想空間を設定しそこで活動する人間を想定したエージェントを用いてモデルを作成し各種活動を再現・予測を行うエージェントベースシミュレーションと呼ばれる手法が近年多く用いられるようになった^{[2]-[15]}。エージェント

ベースシミュレーションとは、仮想空間内に配置されたエージェントが決められたルールに従って意思決定や行動を行うことにより社会現象などを仮想空間上に再現して調査を行う手法である。

近年のマーケティング活動においては、消費者の購買行動を分析する際に、口コミなどによる噂や流行における流布の状況^[16]といった社会的拡散現象に対するシミュレーションを行うことにより、商品などに関する噂の流布状況を予測することが注目されている。そこでエージェントベースシミュレーションが社会的拡散現象をシミュレーションするための最適な手法の一つであることは論をまたない^{[5]-[13]}。なぜならば、あるエージェントの採用状況が近隣にいるエージェントの採用状況に左右される性質を忠実に再現することができ、さらにエージェントの学習機能も再現できるからである。

人々の間で起こる流行の流布や衰退といった物事に対する採用行動をエージェントベースシミュレーションで再現して採用状況の推移を考察する研究はこれまでも行われている^{[5]-[13]}。近年には周囲の環境変化に対応して学習を行うことができるエージェントについて研究を行っており、実際にはQ学習と呼ばれる強化学習の一手法を導入している^{[9]-[13]}。これまでの著者の研究ではQ学習を用いたエージェントの採用行動について、Q学習アルゴリズムにおける各種パラメータについてもシミュレーションおよび考察を行ってきた^{[11]-[13]}。これらのエージェントについては、報酬の与え方を最適化することにより採用行動を適切に行わせることができることが示されている^{[11], [13]}。

過去の研究^{[6], [13]}においては、エージェントベースシミュレーションによる流行などの採用行動において初期採用者の配置の違いがエージェントの採用状況にどのような影響を与えるかについて扱っている。今回の研究では著者がこれまで扱ってきた社会的拡散現象を再現するエージェントベースシミュレーションにおいて、初期配置の違いによる採用状況の検討

を行った。

過去の研究^[13]では初期採用者数を固定し、その中で初期配置を変更することで採用状況の検討を行った。本研究では過去の研究成果^[13]を踏まえて、初期採用者を変化させた場合、つまり初期採用者が極端に多い場合と少ない場合についても初期採用者の配置を複数設定してシミュレーションを行い、採用状況についての考察を行った。

2. 研究の方法

2.1 エージェントの分類、仮想空間および初期採用者の初期配置について

噂や流行に限らず、自治体が広めたい社会情報など何らかの新しい情報が人々に伝わるとき、その情報を真っ先に採用する革新的な人と容易には採用しない保守的な人がいるのは論をまたない。過去に Rogers はうわさなどの情報に対する採用者カテゴリーを定義し、採用する段階に応じて5つに分類した^[17](図1参照)。図1では Innovators がうわさを最初に採用し、時間の経過とともに Early Adopter, Early Majority, Late Majority の順で採用行動を行い、Laggards が最後に採用する、または最後まで採用しないということを示している。その後にこれらをもとにした2カテゴリーへの分類が提案されており^{[5], [6]}(図2参照)、本研究でも簡単のためこの2カテゴリーによる分類を採用することとする。ここでは新しい情報を率先し

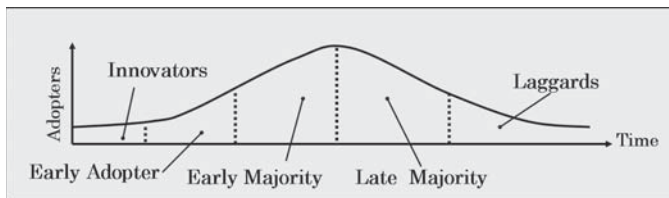


図1 Rogers の提案した採用者カテゴリー

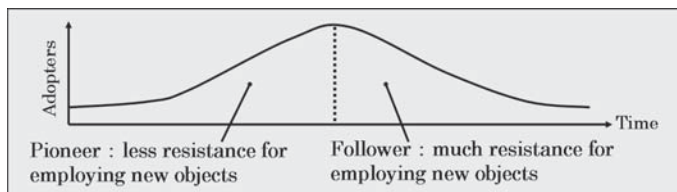


図2 本研究で用いた採用者カテゴリー

て採用する革新的なエージェントを Pioneer, 逆に抵抗感が高くなかなか採用しようとししない保守的なエージェントを Follower としており, それぞれのエージェントは周囲エージェントの採用態度を参考にして, 情報を採用 (Accept) または非採用 (Reject) のどちらかの態度をとるものとする。

本研究ではこの初期採用者の配置に着目することとした。先行研究^[13]では初期採用者数 36 の場合に限定して初期採用者の初期配置を検討したが, 今回は初期採用者が 16 の場合および 64 の場合についても初期配置を変更してシミュレーションを行うこととする。

エージェントが配置される仮想空間は 10×10 の格子状空間とし, 空間の端に位置するエージェントが反対側のエージェントとつながるトーラス構造であるとする^{[5], [6]}(図3参照)。ここでは i 行 j 列目のセルを (i, j) セルと呼ぶことにする (図3参照)。

この空間にエージェントを隙間なく配置し, 予め定めたルールに基づいて自律的に行動させることにより各エージェントのうわさに対する採用行動の時間的変化をみることとする。各エージェントは採用 (Acceptance), 非採用 (Rejection) または変化無 (No Change) の3種類の態度変化のうちのいずれかの一つを必ず選択するものとする。ただし本研究では仮想空間中の 100 エージェントはすべて Follower かすべて Pioneer かのどちらかであるとする。

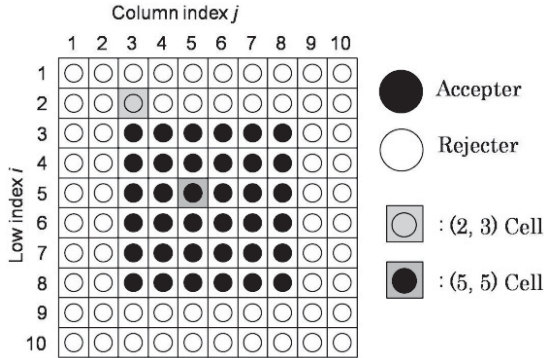


図3 仮想空間とそこに配置されたエージェント

なお2種類のエージェントに対するルールや仮想空間の設定については、過去の研究^{[10] - [13]}との比較のために同一のものをを用いたということをここに記しておく。

2.2 エージェントの態度決定手法

ここでは図4の例を用い意思決定プロセスとQ値の更新手順についての説明を行う。図4の左図において実線で描かれたマス目の中央にあるエージェントはFollowerでかつ非採用者(R)であるとし、このエージェ

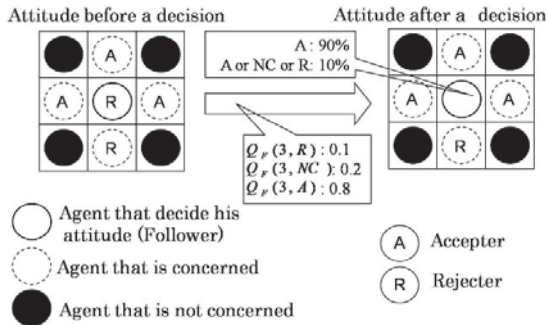


図4 意思決定プロセスの例

ントの採用行動に注目して意思決定の方法および Q 値の更新について説明する。

中央にあるエージェントは意思決定の際には破線で示された上下左右に位置する 4 エージェント中の採用者数 n_t ($n_t=0, 1, 2, 3$ および 4) を確認し, n_t の値に対応する Q 値の状況をもとにして採用行動 b_t を決定する。ここでは黒丸で示された中央にあるエージェントの上下左右以外のエージェントは実戦の中央エージェントの意思決定には関係しない。採用行動 b_t については採用 ($=: A$), 非採用 ($=: R$) または変化無 ($=: NC$) のうちの 1 つを選択するものとし, Q 値 $Q_e(n_t, b_t)$ は, 周囲 4 エージェントの採用者数 n_t とその時の採用行動 b_t およびエージェントの種類 e (Follower ($=: F$) または Pioneer ($=: P$)) によって決定される。本研究における Follower および Pioneer のシミュレーション開始時に示される意思と Q 値の初期設定値を表 1 および表 2 のように定義する。また意思決定手法は確率 $1-\varepsilon$ で表 1 および表 2 で同一数の周囲採用エージェント n_t にある 3 つのルールのうち最も大きい Q 値を示すルールをそのまま態度決定に採

表 1 Follower の意思決定ルールと Q 値 (初期設定値)

n_t	Initial Rule	Initial values of Q values		
0	R	$Q_F(0, A)=0$	$Q_F(0, NC)=0$	$Q_F(0, R)=1$
1	R	$Q_F(1, A)=0$	$Q_F(1, NC)=0$	$Q_F(1, R)=1$
2	NC	$Q_F(2, A)=0$	$Q_F(2, NC)=1$	$Q_F(2, R)=0$
3	A	$Q_F(3, A)=1$	$Q_F(3, NC)=0$	$Q_F(3, R)=0$
4	A	$Q_F(4, A)=1$	$Q_F(4, NC)=0$	$Q_F(4, R)=0$

表 2 Pioneer の意思決定ルールと Q 値 (初期設定値)

n_t	Initial Rule	Initial values of Q values		
0	R	$Q_P(0, A)=0$	$Q_P(0, NC)=0$	$Q_P(0, R)=1$
1	A	$Q_P(1, A)=1$	$Q_P(1, NC)=0$	$Q_P(1, R)=0$
2	NC	$Q_P(2, A)=0$	$Q_P(2, NC)=1$	$Q_P(2, R)=0$
3	R	$Q_P(3, A)=0$	$Q_P(3, NC)=0$	$Q_P(3, R)=1$
4	A	$Q_P(4, A)=1$	$Q_P(4, NC)=0$	$Q_P(4, R)=0$

用する greedy 手法による行動選択を行い、確率 ε ($0 \leq \varepsilon \leq 1$) で 3 つのルールからランダムに行動を選択する ε -greedy 手法を用いる。

この例の場合、周囲の 4 エージェントのうち 3 エージェントが採用者であるとカウントされるので $n_t=3$ の時の Q 値をチェックするが、ここでは次のようになっている：

$$Q_F(3, R)=0.1, Q_F(3, NC)=0.2 \text{ and } Q_F(3, A)=0.8.$$

この例の場合、 $Q_F(3, A)$ が 3 つのうちで一番大きな値となっている。本研究では行動決定において ε -greedy 手法 ($\varepsilon=0.1$) を用いることにしているので、90% の確率で態度を“採用”に変化させ、残りの 10% の確率で“採用”、“非採用”、“変化無”のうちのどれかの態度をランダムに選択することとなる。

2.3 Q 値の更新式について

本研究では、Q 値 $Q_e(n_t, b_t)$ の更新は時刻ステップ t における意思決定が行われた後に以下のアルゴリズムによって行われる。逐次更新される Q 値を学習成果とみなしこれを用いてエージェントの行動選択を行わせることにより、学習の成果に対応した行動選択を可能にしている [14], [15]：

$$Q_e(n_t, b_t) \leftarrow Q_e(n_t, b_t) + \alpha \left[r + \gamma \max_{b_{t+1} \in B(n_{t+1})} Q_e(n_{t+1}, b_{t+1}) - Q_e(n_t, b_t) \right] \quad (1)$$

ここで $Q_e(n_{t+1}, b_{t+1})$ は、1 時刻先に周囲の状態が n_{t+1} になった場合の採用行動 b_{t+1} に対応する Q 値である。 r は状態 n_t から n_{t+1} へ遷移において得られる報酬、 $B(n_{t+1})$ は状態 n_{t+1} で実行可能な行動全体の集合を表し、 α ($0 < \alpha \leq 1$) は学習率、 γ ($0 \leq \gamma \leq 1$) は割引率を表している。Q 値の更新はエージェントが一つの行動を実行し、次の状態に移るごとに行われる。

学習率とは、今までの推定値を優先するかあるいは得られた報酬と次世代の推定値の和を優先するかのバランスである。学習率が小さいと前者を

重視し、大きいと後者を重視することになる。また割引率は、将来獲得予定の報酬を現時点でどれだけ重要に考えるかの割合である。割引率 γ が大きいときは将来得られる報酬を重視し、逆に割引率 γ が小さいとその場で得られる即時報酬のほうを重視することになる。

3. シミュレーションの方法

これまでの議論をもとに、本研究では以下の方法によりコンピュータ・シミュレーションを行うことにする。なおシミュレーション実験についてはすべて JAVA 言語を用いてプログラム作成を行った。なお図 5-1 から図 5-6 および図 6-1 から図 6-6 はエージェントの初期採用者配置を示しており、“A” の書かれたセルのエージェントは初期採用者、空白セルのエージェントは初期の非採用者である。

- [1] Follower と Pioneer の各行動パターンに対する Q 値の初期値を表 1 および 2 のように設定する。そして 100 個のエージェントを 10×10 の（トラス状）格子空間上に配置し、エージェントの性格、初期採用者数および初期配置を与える。
- [2] 今回シミュレーションを行った初期配置については、初期採用者が 36 の場合は図 5-1 から図 5-6 に示した 6 パターンについてシミュレーションを行うこととした。
- [3] 同時に Q 値に関する各種パラメータを設定する。また(1)式においては

$$\alpha=0.1, \varepsilon=0.1, \gamma=0.9, r=0.01$$

とする。

- [4] 各エージェントは Q 値に基づいて ε -greedy 手法により 1 時刻ステップにつき 1 回態度を決定し、それから(1)式を計算して Q 値を

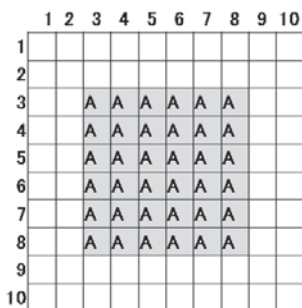


図 5-1 初期配置パターン 1

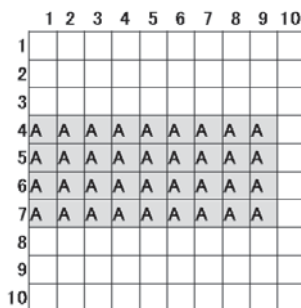


図 5-2 初期配置パターン 2

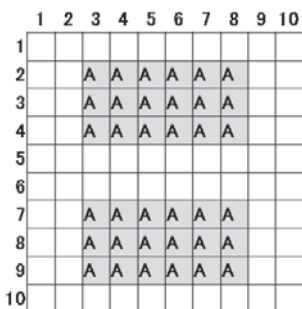


図 5-3 初期配置パターン 3

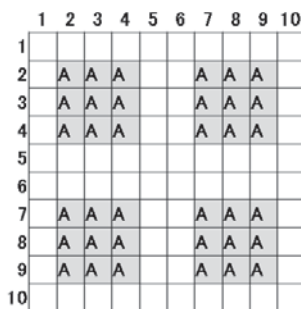


図 5-4 初期配置パターン 4

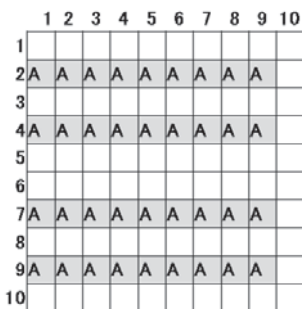


図 5-5 初期配置パターン 5

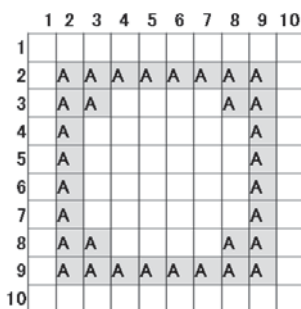


図 5-6 初期配置パターン 6

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4				A	A	A	A			
5				A	A	A	A			
6				A	A	A	A			
7				A	A	A	A			
8										
9										
10										

図 6-1 初期配置パターン 1a

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
6	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
7										
8										
9										
10										

図 6-2 初期配置パターン 2a

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3			A	A	A	A	A			
4			A				A			
5			A				A			
6			A				A			
7			A	A	A	A	A			
8										
9										
10										

図 6-3 初期配置パターン 6a

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2		A	A	A	A	A	A	A	A	
3		A	A	A	A	A	A	A	A	
4		A	A	A	A	A	A	A	A	
5		A	A	A	A	A	A	A	A	
6		A	A	A	A	A	A	A	A	
7		A	A	A	A	A	A	A	A	
8		A	A	A	A	A	A	A	A	
9		A	A	A	A	A	A	A	A	
10										

図 6-4 初期配置パターン 1b

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2	A									A
3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
5	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
6	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
7	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
8	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
9	A									A
10										

図 6-5 初期配置パターン 2b

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
4	A	A	A					A	A	A
5	A	A	A					A	A	A
6	A	A	A					A	A	A
7	A	A	A					A	A	A
8	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
9	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
10										

図 6-6 初期配置パターン 6b

更新する（図3参照）。

- [5] 全てのエージェントに対して時刻ステップ $t=2500$ まで採用行動を継続させ、そこでシミュレーションを強制終了させる。
- [6] 初期配置を変更して[1]から[5]を繰り返す。なお初期採用者数 36 の結果を踏まえて、初期採用者数 16 の時は図 6-1 から図 6-3 に示した 3 パターンの初期配置について、初期採用者数 64 の時は図 6-4 から図 6-6 に示した 3 パターンについて、それぞれシミュレーションを行った。

4. 結果および考察

4.1 初期配置の違いについて

はじめに初期配置の違いによるエージェントの採用状況についてのシミュレーション結果を示す^[13]。上記にもあるように、まず初期採用者数 36 の場合を考えることとした。その時の初期配置は図 5-1 から図 5-6 の 6

表 3-1 シミュレーション結果（その 1）

Sim. No.	Agent の性格	初期採用 Agent	初期配置	Acceptor（平均）	Acceptor
1	Follower	36	パターン 1	95.42	89～99
2	Follower	36	パターン 2	94.97	87～99
3	Follower	36	パターン 3	95.13	88～99
4	Follower	36	パターン 4	94.83	88～100
5	Follower	36	パターン 5	94.91	89～100
6	Follower	36	パターン 6	94.50	88～100
7	Pioneer	36	パターン 1	95.62	86～100
8	Pioneer	36	パターン 2	95.57	91～100
9	Pioneer	36	パターン 3	95.69	88～100
10	Pioneer	36	パターン 4	95.54	90～99
11	Pioneer	36	パターン 5	95.70	89～100
12	Pioneer	36	パターン 6	95.66	89～100

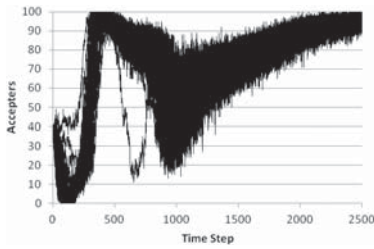


図 7-1 Sim. No. 1 ($t=2500$)

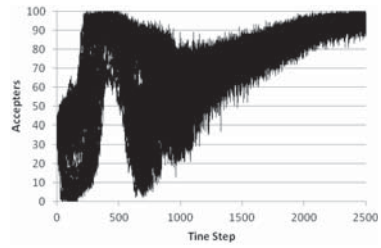


図 7-2 Sim. No. 2 ($t=2500$)

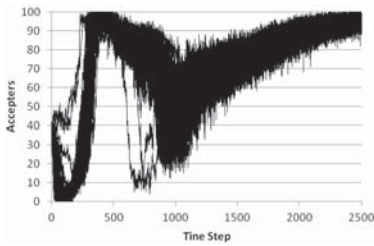


図 7-3 Sim. No. 3 ($t=2500$)

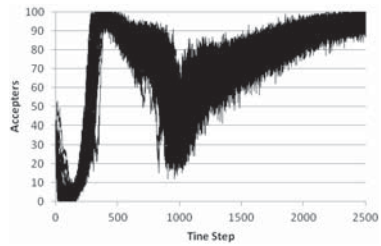


図 7-4 Sim. No. 4 ($t=2500$)

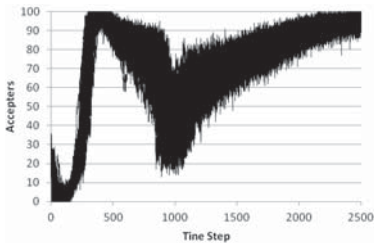


図 7-5 Sim. No. 5 ($t=2500$)

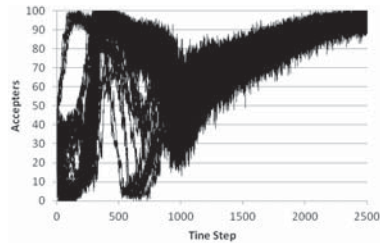


図 7-6 Sim. No. 6 ($t=2500$)

パターンを考慮することとした。なお今回の考察では参考文献[10]との比較を行うため、初期配置はパターン 1 である Follower は Sim. No. 1 を、Pioneer は Sim. No. 7 を基準にして考察を行うことにする。

まず Follower のみの仮想空間を分析する。このときのシミュレーショ

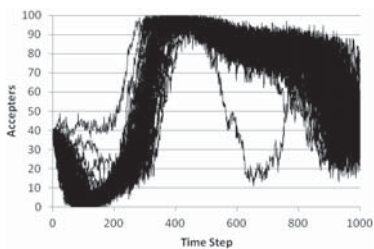


図 8-1 Sim. No. 1 ($t=1000$)

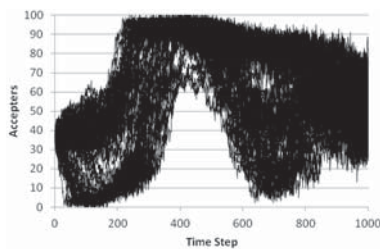


図 8-2 Sim. No. 2 ($t=1000$)

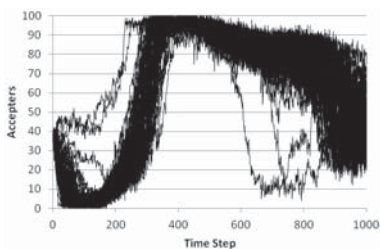


図 8-3 Sim. No. 3 ($t=1000$)

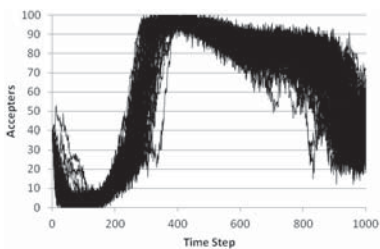


図 8-4 Sim. No. 4 ($t=1000$)

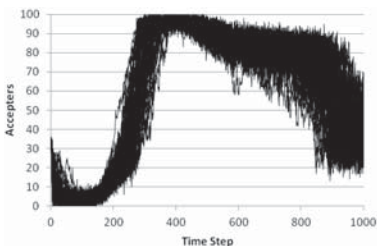


図 8-5 Sim. No. 5 ($t=1000$)

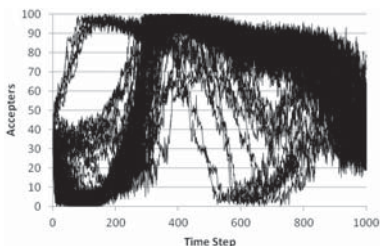


図 8-6 Sim. No. 6 ($t=1000$)

ン No. に対応する初期配置および結果を表 3-1 の Sim. No. 1 から No. 6 に示す。 $t=2500$ が経過した時点での採用者数は初期配置の違いに対してほとんど変わらない。このときの $t=2500$ までの採用者数の推移を図 7-1 から図 7-6 に示す。採用行動を始めて $t=1000$ 位まではパターン 2 およびパ

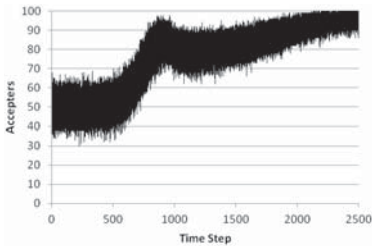


図 9-1 Sim. No. 7 ($t=2500$)

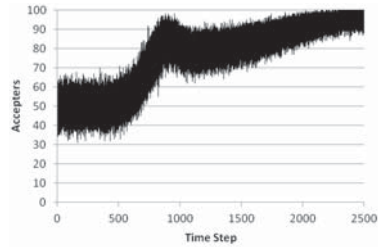


図 9-2 Sim. No. 8 ($t=2500$)

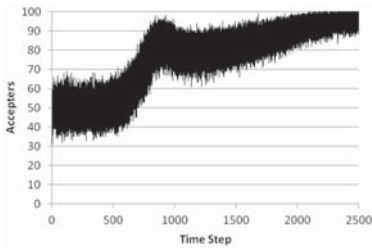


図 9-3 Sim. No. 9 ($t=2500$)

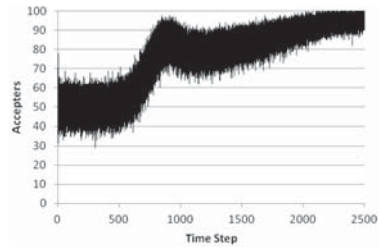


図 9-4 Sim. No. 10 ($t=2500$)

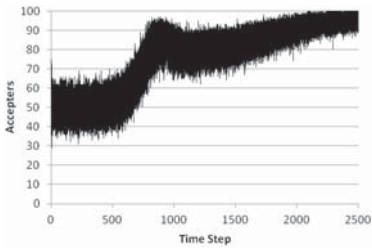


図 9-5 Sim. No. 11 ($t=2500$)

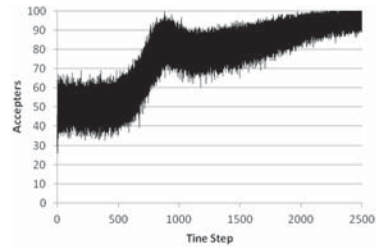


図 9-6 Sim. No. 12 ($t=2500$)

ターン 6 の場合について他のパターンと採用行動が違っていることが分かる。初期の採用行動の違いをはっきり示すために図 8-1 から図 8-6 に $t=1000$ までの採用者数の推移を示す。これらを参照すると、Follower については初期配置の違いにより初期時刻の採用行動に変化が現れているこ

とが分かる。パターン 1 およびパターン 3 については 100 回のシミュレーションのうち 1, 2 回で少しイレギュラーな挙動を示したのが見られたが、これはルール選択で ϵ -greedy 手法を用いたことによるイレギュラーな結果とみることができる。

次に Pioneer のみの仮想空間を分析する。このときのシミュレーション No. に対応する初期配置および結果を表 3-1 の Sim. No. 7 から No. 12 に示す。このときも $t=2500$ が経過した時点での採用者数は初期配置の違いに対してほとんどみられないことが分かる。 $t=2500$ にいたるまでの採用者数の推移を図 9-1 から図 9-6 に示すが、Follower の時とは違い最終的な採用者数だけではなく採用者数の変化における挙動についても最初から最後までほとんど違いが見られなかった。

4.2 初期採用者数の違いと初期配置について

本研究では初期採用者数 36 のシミュレーション結果を基にして、基準とする初期配置のパターン 1、初期配置での変化が大きかったパターン 2 およびパターン 6 の 3 パターンについて、類似した初期配置パターンを初期採用者数 16 の場合と初期採用者 64 の場合にそれぞれ考えることとする。

はじめに初期採用者が 16 の場合に関してのシミュレーションについて考察する。まずは Follower に関する初期配置と採用状況の変化を考える。このときのシミュレーション No. は表 3-2 の Sim. No. 13 から No. 15 にあたる。このときの初期配置のパターン 1a, 2a および 6a をそれぞれ図 6-1, 図 6-2 および図 6-3 にそれぞれ示す。また No. 13 から No. 15 のシミュレーション結果を図 10-1 から図 10-3 に示すが、今回考えた初期配置の範囲では最終的な採用者数のみならず採用者数の途中経過についてもほとんど違いを見出すことができなかった。つぎに Follower についての考察であるが、このときのシミュレーション No. は表 3-2 の Sim. No. 16 から No. 18 である。ここでも初期配置のパターン 1a, 2a および 6a の 3 種類を考え

表 3-2 シミュレーション結果（その 2）

Sim. No.	Agent の性格	初期採用 Agent	初期配置	Acceptor（平均）	Acceptor
13	Follower	16	パターン 1a	94.89	88～99
14	Follower	16	パターン 2a	94.98	88～99
15	Follower	16	パターン 6a	95.31	90～100
16	Pioneer	16	パターン 1a	95.76	90～100
17	Pioneer	16	パターン 2a	95.88	91～100
18	Pioneer	16	パターン 6a	95.60	88～99
19	Follower	64	パターン 1b	94.91	87～99
20	Follower	64	パターン 2b	95.00	91～100
21	Follower	64	パターン 6b	94.58	88～99
22	Pioneer	64	パターン 1b	95.30	89～100
23	Pioneer	64	パターン 2b	95.31	89～100
24	Pioneer	64	パターン 6b	95.71	88～100

た。No. 16 から No. 18 のシミュレーション結果は図 10-4 から図 10-6 であるが、Follower の時と同様に最終的な採用者数もほぼ一致しており採用者数の途中経過もほとんど違いは見られなかった。

最後に初期採用者が 64 の場合に関してのシミュレーションについて考察する。まずは Follower に関する初期配置と採用状況の変化を考えるが、このときのシミュレーション No. は表 3-2 の Sim. No. 19 から No. 21 にあたる。このときの初期配置のパターン 1b, 2b および 6b をそれぞれ図 7-1, 図 7-2 および図 7-3 に設定した。ここで No. 19 から No. 21 のシミュレーション結果を図 11-1 から図 11-3 に示す。今回考えた初期配置では採用行動を始めて $t=1000$ 位までの初期の時間では採用者数の変化に違いを見つけることができる。つぎに Follower についての考察であるが、このときのシミュレーション No. は表 3-2 の Sim. No. 22 から No. 24 である。このときも初期配置のパターンは 1b, 2b および 6b の 3 種類である。No. 22 から No. 24 のシミュレーション結果は図 11-4 から図 11-6 であるが、これまで行ってきた Pioneer のシミュレーション結果と同様に最終的な採用者

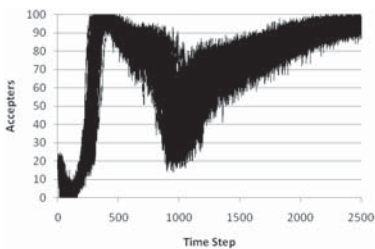


図 10-1 Sim. No. 13 ($t=2500$)

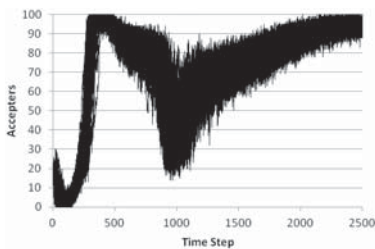


図 10-2 Sim. No. 14 ($t=2500$)

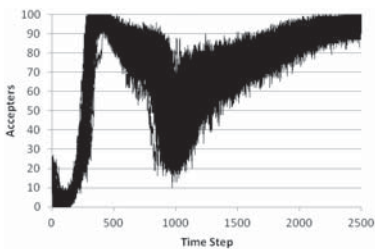


図 10-3 Sim. No. 15 ($t=2500$)

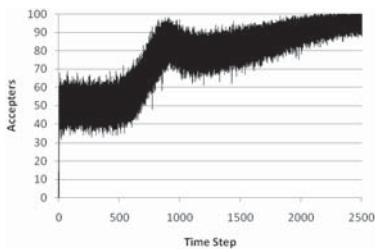


図 10-4 Sim. No. 16 ($t=2500$)

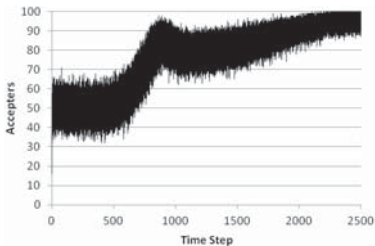


図 10-5 Sim. No. 17 ($t=2500$)

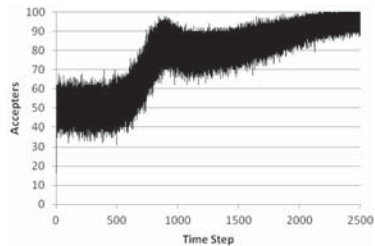


図 10-6 Sim. No. 18 ($t=2500$)

数だけでなく採用者数の途中経過についてもほとんど相違点を見出すことができなかった。

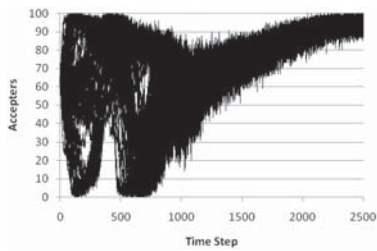


図 11-1 Sim. No. 19 ($t=2500$)

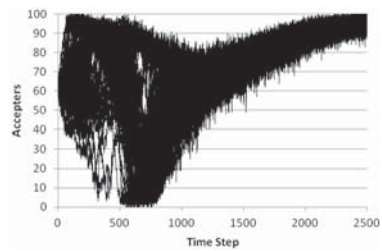


図 11-2 Sim. No. 20 ($t=2500$)

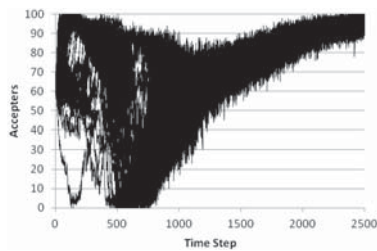


図 11-3 Sim. No. 21 ($t=2500$)

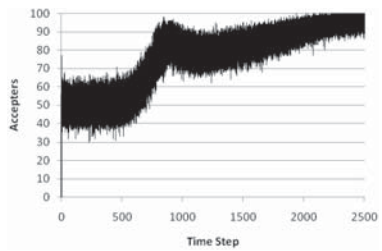


図 11-4 Sim. No. 22 ($t=2500$)

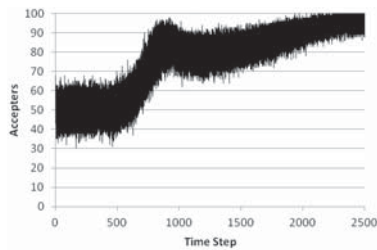


図 11-5 Sim. No. 23 ($t=2500$)

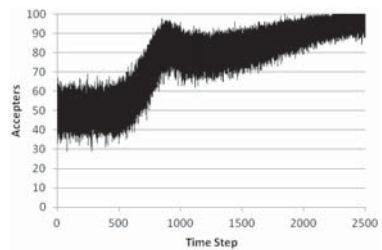


図 11-6 Sim. No. 24 ($t=2500$)

5. 結 言

本研究では、Q 学習を導入した学習エージェントによるエージェント

ベースシミュレーションにおいて、初期採用者の初期配置とその後のエージェントの採用行動の関係についての分析を行った。初期採用者については 36 の場合をまず考え、その結果を見て初期採用者が 16 および 64 の場合についての採用行動についてシミュレーションを行った。

まず Follower については、初期の時刻（ここでは $t=0$ から $t=1000$ までとする）における採用者数の変化については、初期採用者の初期配置の違いにより影響される場合があることが分かった。初期採用者が 36 の場合だと基準となる初期配置パターン 1 以外で今回試した 5 パターンのうちパターン 2 およびパターン 6 の 2 パターンで初期の時刻で採用者数の変化に違いが出ていることが分かった。初期採用者が 16 の場合については、基準となるパターン 1a 以外にパターン 2a および 6a の 2 パターンを考えてシミュレーションを行ったが、この 3 パターンでは採用行動にほとんど違いは見られなかった。初期採用者が 64 の場合についても、基準となるパターン 1b 以外にパターン 2b および 6b の 2 パターンを考えてシミュレーションを行ったところ、この 3 パターンでは初期の時刻における採用行動にわずかながら違いがある場合が見受けられた。

一方 Pioneer については、まず初期採用者が 36 の場合 Follower の時と同じ初期採用者の初期配置 6 パターンでシミュレーションを行ったが、採用者数の変化についてはほとんど違いを見出すことができなかった。また初期採用者数が 16 と 64 の場合についても Follower と同様な初期配置を考えてシミュレーションを行ったが、採用者数の変化に違いを見出すことはできなかった。Pioneer の場合、初期採用者数が 36, 16, 64 とそれぞれ違うにもかかわらず採用行動はほぼ一致している。つまり Pioneer については今回考えた初期配置に対しては後の採用行動に影響をほとんど及ぼさないことが分かった。

Pioneer と Follower の採用行動の違いについては以前の論文でも指摘されており^{[6]-[11]}、Pioneer より Follower のほうがさまざまな状況の変化

に対して採用行動が影響されやすい傾向があることはこれまでの研究と同じである。

今回の研究より、Follower に関してはエージェントの初期採用者の初期配置はエージェントの採用行動に影響を与える可能性があることが分かった。初期採用者数が 36 と 64 の場合、すなわち初期採用者がある程度いる状況では、採用者数の時間変化は採用行動の初期の時刻で大きく影響を受けるが、その挙動は一定ではなくかなりランダムになっている。これはルール選択に ϵ -greedy 手法というランダム性を含んだ手法を用いたことによる影響も含まれると思われる。ただこの手法は人間の不確実さ、言いかえれば気まぐれな部分を再現するために導入しておりある程度予想された結果である。この人間の行動に含まれる不確実さをどこまでエージェントシミュレーションに考慮するかで結果は大きく異なるので、これからはこの分野の研究も行っていきたい。

今回は同一仮想空間上に 1 種類のみエージェントが存在する状況を想定したが、2 種類のエージェントが混在する状況でどのようになるかについても今後研究を行う予定である。

参考文献

- [1] 石村貞夫, 石村園子: 金融・証券のためのブラック・ショールズ微分方程式, 東京図書 (1999).
- [2] 山影進, 服部正太編: 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, 共立出版 (2002).
- [3] J. M. Epstein and R. Axtell (服部正太, 木村香代子訳): 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 ——, 共立出版 (1999).
- [4] 喜多一: エージェントベースアプローチのための情報系要素技術, 計測自動制御学会誌, Vol. 43, No. 12, pp. 938-943 (2004).
- [5] 藤井慎太郎: エージェントベースシミュレーションを用いた社会的拡散現

- 象の解析, 北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科修士論文 (2003).
- [6] 村田忠彦, 八木貴志: エージェントベースシミュレーションにおける初期採用者の分布と採用行動の伝播の関係, 第48回システム制御情報学会研究発表講演会公演論文集, pp. 177-178 (2004).
- [7] N. Nakano: An Agent-Based Approach to Simulations of Global Influence with Random Effect, Trans. International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC), Vol. 2, No. 5, pp. 1153-1163 (2006).
- [8] 中野統英: 社会的拡散現象における重要度を考慮した影響力の解析 ~ エージェントベースシミュレーションを用いて~, 日本繊維機械学会誌, Vol. 61, No. 9, pp. 615-620 (2008).
- [9] 中野統英: 社会的拡散現象における学習効果を考慮したエージェントが引き起こす影響の解析 ~ Q 学習を含むエージェントベースシミュレーションを用いて~, 日本繊維機械学会誌, Vol. 63, No. 9, pp. 499-506 (2010).
- [10] N. Nakano: A Study on Modeling and Analysis of Agent-Based Simulations with Q-Learning, Trans. International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC), Vol. 7, No. 1, pp. 51-60 (2011).
- [11] 中野統英: エージェントベースシミュレーションにおける Q 学習を用いたエージェントによる報酬と流行の流布との関係に関する研究, 合同エージェントワークショップ & シンポジウム 2011 (JAWS 2011), 8 pages (2011).
- [12] 中野統英: Q 学習を含むエージェントによって構成されるエージェントベースシミュレーションにおける割引率と流行の流布との関係に関する研究, 追手門経営論集, Vol. 18, No. 2, pp. 1-26 (2012).
- [13] 周慧: エージェントベースシミュレーションを用いた学習エージェントの流行分析における報酬に関する研究, 追手門学院大学大学院経営学研究科経営学専攻修士論文 (2014).
- [14] 高玉圭樹: マルチエージェント学習 —— 相互作用の謎に迫る ——, コロナ社 (2003).
- [15] R. S. Sutton and A. G. Barto (三上貞芳 皆川雅章 共訳): 強化学習, 森下出版 (2000).
- [16] 二瓶善博: うわさとかちコミマーケティング(第二版), 創成社 (2003).
- [17] E. M. Rogers (青池慎一, 宇野善康訳): イノベーション普及学, 産能大学出版社 (1990).

Studies on Relations between Arrangements of Initial Accepters and Circulation of Rumors for Agent-Based Simulations Comprising Agents with Q-learning

Nobuhide NAKANO

Hui ZHOU

Abstract

In the past few decades, many researchers study estimation and simulation problems for economic and social activities. Though there are many methods for modeling and research these activities, agent-based approaches has been attracting much attention in various fields, for instance marketing research as well as economic and social sciences.

For analyzing diffusion processes of rumors and fashions, for example selections of goods which consumers purchase, agent-based simulations are one of the best methods. The author researches agent-based approaches for diffusion processes of rumors. Then many agents, especially trendsetters, often change their action rules by attitudes of neighbor agents in real society, we cannot disregard the effect of learning for agents in the circulation of rumors and fashions. Hence, the author introduces the reinforcement learning for the research of diffusion processes.

In this study, the author studies the relation between arrangements of initial acceptor and circulation of rumors for agents with Q-learning in agent-based simulations, because arrangements of initial accepters are very important when diffusion processes of rumors are researched.

At first, the action rules for two types of agents, called pioneers and followers, are modeled by using Q values. Then, the updating algorithm of Q values is designed with optimal various parameters. In this study, ϵ -greedy method is used as choosing the method of action rules. Then, some kinds of arrangements of initial acceptor are proposed at the same number of accepters.

After some simulation studies are performed, simulation results and analysis are shown. As the results, we know that diffusion processes of rumors are sometimes affected by differences of arrangements of initial accepters.