進化的計算手法を適用した社会システムのエージェントインタラクションモデル

Agent-Based Model with Evolutionary Computation for Social Interaction Analysis

寺野 隆雄 ∗　　倉橋 節也 ∗, †　　南 潮 ∗, ‡

Takao TERANO　　Setsuya KURAHASHI　　Ushio MINAMI

∗ 筑波大学大学院 経営・政策科学研究科 経営システム科学専攻

† ワイディーシステム株式会社, ‡ (株) 博報堂

Keywords: Multiagent,Artificial Society,Genetic Algorithm.

ABSTRACT: TRURL is a simulation environment, which evolves artificial worlds of multiagents to socially interact with each other. The micro-level agent activities are determined by both pre-determined and acquired parameters. The formers have constant values during one simulation cycle, however, the latters changes during the interactions. Unlike conventional artificial society models, TRURL utilizes Genetic Algorithms to evolve the societies by changing the pre-determined parameters to optimize macro-level socio-metric measures, which can be observed in such real societies as e-mail oriented organizations and electronic commerce markets. Thus, using TRURL, we automatically tune the parameters up and observe both micro- and macro-level phenomena grounding on the activities of real worlds. This paper first describes basic principles, architecture, and mechanisms of TRURL. Then, to investigate the features of face-to-face-, e-mail-, news group-, and mass- communication-oriented societies, we have carried out intensive experiments. The results have suggested that each society is characterized by features of evolved agents.

[1]

1　はじめに

本論文では、社会的インタラクションのモデルを研究する立場からマルチエージェントに基づくシミュレーションシステム TRURL [2]について報告する。TRURL のもっとも独創的な点は、(1) 意思決定モデル [French 1986] をもつエージェントによって人工社会を形成し、計算論的組織論の立場から、社会的インタラクションの性質を分析できること、ならびに、(2) 人工社会の種々のパラメタの調整に遺伝的アルゴリズム (GA)[Goldeberg 1989] による進化的計算手法を適用したことにある。本論文では、TRURL を利用したシミュレーションによって、社会システムの研究が実験科学の方法で一部実行可能なことを検証する [寺野 1995, 寺野 1997]。

最近、計算論的組織理論 [Carley 1994, Masuch 1992] や人工社会 [Epstein 96, Hraber 96] の研究において、マルチエージェントを用いたシミュレーションモデルの研究が数多くなされている。これらの研究では、単純なエージェントアーキテクチャのもとで、興味深い組織構造や組織行動が創発することが繰り返し報告されている。しかしながら、従来の研究には以下の 3 つの問題がある: (1) エージェントに実装される機能が単純すぎるために、複雑な実世界の社会的インタラクションの分析に使用するには無理がある; (2) その一方で、シミュレーション実験を実施する立場からは、モデルのパラメタが非常に多く、それを調整することで、開発者が「思いどおり」の結果を出すことができてしまう; (3) モデルを実行して得られた結果と実社会の創発的な現象との間に関連性が乏しい。

それに対する我々の接近法は以下のように特徴づけられる: 問題 (1) については、実世界の社会的インタラクションを (a) エージェントの多属性意思決定問題、ならびに、(b) コミュニケーションによる他エージェントへの信頼値、知識への確信値、問題解決のための評価値の変更という 2 つの側面から理解し、このために必要十分な機能をもつエージェントを設計した。問題 (2) については、人手で数多くのパラメタを調整するかわりに、遺伝的アルゴリズムの手法を適用して、社会構造を創発するアーキテクチャとした。問題 (3) については、上の社会創発の目的関数に、実際の電子コミュニケーション社会の分析で用いられた、測定可能なマクロ的社会指標を用いて、シミュレーションモデルで観測される現象と実際の社会的インタラクションの対応をとれるようにした。この接近法により、電子メイルや電子的市場取引きで特徴づけられるような組織における社会的インタラク

[1] MACC'97 予稿 1997/12/20; 1997/01/15 修正

[2] Trurl(トルル) はスタニスワフ・レムの短篇 "*The Seventh Sally or How Truur's own perfection led to no good*"の主人公の名前である。トルルはごう慢な王様のために、非常に精緻な人工社会を作ってプレゼントする。

ションの性質について、人工社会を分析するという計算論的組織理論の立場から、実践的な問題を論ずることが可能になる。

本論文の構成は以下のとおりである。2節ではTRURLのエージェントについて、3節では人工社会のモデルについて、4節では、人工社会を進化させるアルゴリズムについて述べる。5節では、我々の分析の根拠となるマクロ的社会指標について考察する。以上の議論のもとに、6節ではTRURLによる実験結果について報告し、7節で結論と課題を述べる。

2 エージェントの設計

2.1 TRURLにおけるエージェント

コミュニケーションに基づいた社会システムをエージェントに基づく人工社会で記述し、様々な問題解決のシミュレーションを行う場合の課題は、メッセージの送り手と受け手、その間を伝達されるメッセージの記述と処理方法をいかに設計するかということである。計算論的組織理論による単純なインタラクションであっても、経済モデルで用いられるような、情報(貨幣)を転移させる処理だけでは不十分である。

ルーマンのコミュニケーション概念によると、会話を記述する際の基本単位は自然言語の単語ではなく不安定な「意味」の複合となる[佐藤 1997], [中西 1984]。また、「送り手が情報を選択し発話するという行為」、「受け手がそれを受け取るという行為」、に加えて「受け手がそれを理解するという行為」がなければならない[中西 1984]。現実の電子メイルにおいて媒介されるのは自然言語中心のテキストデータであるが、これを社会的なインタラクションと把握したとき、そこには、何らかの「意味」の授受を考える必要がある。

我々のエージェントは、イベント-アクションルール[Russel 95]をもち、シミュレーションの間、「参加動機」(エネルギーまたは代謝量に相当する)Mと呼ぶパラメタ値を消費しながら行動する。また「知識」の授受によってその意思決定構造ならびに動機の値が変化する。意思決定は、各エージェントのもつ知識に基づいて行われるが、これとは独立に、エージェント間のメッセージ交換プロセスが存在する。また、各エージェントAの性質は、以下に述べる先天的属性と後天的属性によって決定される。

各知識属性を$Kd=\{$知識属性名N, 重要値W, 評価値E, 確信値$C\}$の組で表現し、エージェントAの持つ知識を集合$K_A = \{Kd_j\}$で表す。Kd_jは社会的インタラクションによって伝達可能であるが、重要値、評価値、確信値は、以下に述べる「同調行動」によって変化する。重要値は、各知識属性が意思決定に与える相対的な重要度を示す。評価値は、各知識属性の評価を表す。確信値は信念の強さを表す。これは知覚の符号化及び評価(意味化)に相当する過程の集中度を表現した値であり、エージェントの知識やパーソナリティに起因する。この表現によって知識における「意味の理解」が達成される。

エージェントA_iの意思決定は、多属性加法的評価関数によって

$$D_i = \sum_{K_j \in K_{A_i}} W_j E_j$$

で計算する。これは、意思決定問題のモデル化にしばしば用いられる形式である[French 1986]。社会全体の態度は、各エージェントの意思決定D_iを平均化することで得られる。

2.2 エージェントの先天的属性

各エージェントに対して先天的に与えられる能力を示す。社会の初期状態において決定しシミュレーションを実行している間変化しない。遺伝的操作の対象であり、社会が進化するたびにGAによって変更される。

先天的属性には以下のものがあり、それぞれ0から1までの値をとる:

- 発言確率 Ps:各期に(周囲の人に対して)発言する/メールを送る確率;
- 受信確率 Pr: 各期に相手の発言を聞く/到着したメールを読む確率;
- 重要値転移率α、評価値転移率β、確信値転移率γ:後述の「同調行動」を既定するパラメタ;
- コメント態度率 Pa: 自分の意見と同意見のエージェントに対して多く返事をする割合で、1に近ければ同意見に返答しやすく、0に近ければ反対意見に返答しやすい;
- 追加意見確率 Pc: 相手の話してきた知識属性Kd_jに対して、別の知識属性Kd_iを付け足して話す確率;
- 代謝率 δ:各期に動機(エネルギ)M_jを消費する度合。

2.3 エージェントの後天的属性と行動ルール

エージェントの後天的属性はシミュレーションのサイクル中に、各エージェントA_iが知識交換中で獲得/変更する属性である。シミュレーション初期においてはランダムな値をとる。

- 参加動機 M_i: エージェントのもつ参加動機の大きさ(エネルギ値);
- 物理座標 (X_ip, Y_ip):物理空間上で占める位置;
- 信頼座標 (X_ic, Y_ic):信頼空間上で占める位置;
- 重要値w^i_{Kd}、評価値e^i_{Kd}、確信値c^i_{Kd}:知識属性K_dごとに決まるA_iの意思決定のためのパラメタ。

各エージェントは、シミュレーションモデル毎に設定した制約に応じて、離散的な時間ステップで互いに他のエージェントとインタラクションを行う。インタラクションは知識属性 $Kd = \{N,\ W,\ E,\ C\}$ ごとに行われる。エージェントは未知の知識を受け取った場合は、それをそのまま受け入れる。しかし、既知の知識に対しては、その属性に応じて下記の同調行動規則によって知識の性質が変化する。

$$\Delta w^i_{Kd} = \sum_{j \in S} \alpha(w^j_{Kd} - w^i_{Kd}) \cdot max(0, c^j_{Kd} - c^i_{Kd})$$

$$\Delta e^i_{Kd} = \sum_{j \in S} \beta(e^j_{Kd} - e^i_{Kd}) \cdot max(0, c^j_{Kd} - c^i_{Kd})$$

$$\Delta c^i_{Kd} = \sum_{j \in S} \gamma(1 - 2|e^j_{Kd} - e^i_{Kd}| \cdot max(0, c^j_{Kd} - c^i_{Kd}))$$

ただし、$w^i_{Kd}, e^i_{Kd}, c^i_{Kd}$ はエージェント A_i の知識属性 Kd の重み、評価値、確信度、α, β, γ は同調行動を既定する転移率パラメタである。S は時刻 t に A_i が受信したメッセージの発信元エージェントを示す。

ここで定式化される同調行動では、知識 Kd に対し一般的に相手が確信度の高い場合、重要値、評価値が相手に近づく（同調する）ような態度形成がなされる。また、確信値については、自分と相手との評価が近いとき自信を深め、評価が異なりかつ相手の方が確信度の高いとき自信を失うように調整される。自分のほうが確信度の高いときには変化しない。そして、コメント態度率 Pa、追加意見確率 Pc に応じてエージェントはメッセージを返送し、インタラクションが継続する。

各エージェントはあるテーマに関するコミュニケーションが行われている社会に対して、初期にランダムな値で参加動機 M が与えられる。毎期ごとに、この値は、代謝率 δ ぶんだけ減少する。さらにメッセージを受信した場合は $+\ \delta$、発言への返信については、$+2\ \delta$ の動機の上昇がなされる。動機がゼロになると、エージェントはその社会から退出し、ランダムな初期値をもつ新規エージェントが参入する。

3 人工社会のモデル

情報コミュニケーション環境の概念モデルについて、ここではその人間活動層に特化したモデルを考える。出口 [出口 1994] は、インターネットを中心とした情報ネットワーク環境をモデル化する際、主体を単位とした問題関心から分析を行うための人間活動層と、情報ネットワーク技術など何らかの技術的道具を介在して実現されているシステムを記述・分析を行うための実現層との 2 層を階層構造で区別することを提案している。従来のマスコミ主導型の情報環境と比較すると現在の人間活動層の特徴は、大衆の自律的情報発信性、およびパーソナルメディア性、生活世界の物理制約を超えた拡張などが挙げられる。

こうした特質を汎用的に記述するための空間として生活世界の物理距離 D_p と信頼距離 D_c を示す 2 つの 2 次元空間を用意してモデル化を試みた。物理空間は各エージェントの所在地を象徴的に表す空間でシミュレーションの初期状態から変化しない。信頼空間は各エージェントが互いに感じる信頼感を表現する。初期状態から知識交換ごとに、確信度を上昇させる有用な意見を受けた相手には近づき、そうでない相手からは遠ざかる。これは自分にとって有用な相手がどこにいるかを知るための学習過程とも考えることができる。

これに基づいて、我々は、以下の 4 種類の人工社会を設定している。

1. Face-to-Face 社会
   物理空間で抽象的に示される所在地に強い制約を受けた会話を想定し、信頼距離と同時に、「たまたま周りにいる人の間で話しをしていく」社会である。

2. E-mail 社会
   純粋に信頼距離で表現される相手への信頼感だけに基づいてコミュニケーションがなされる。ここでは 1 対 1 のやりとりのみを想定しており一斉同報機能は次の Newsgroup 社会になる。

3. Newsgroup 社会
   E-mail 社会の上に、同報効果で全員に同じ内容のメッセージが伝達される。社会の中央に仮想的に掲示板を掲げ、参加者は皆そこに発言し、そこから全員にメールが送られる設計にしている。送られるメールの確信値は発言者のものとする。

4. マスコミ社会
   マスコミエージェントが社会の上を移動し、毎期社会の平均的な意見を集計し、強い確信度で全員に送る。マスコミを社会のモニター機能を果たしている存在として位置づける。

4 進化的計算手法による人工社会パラメタの調整

以下の実験で述べるような目的関数を最適化することを目的に上で定義した社会のパラメタを、GA によって調整する (図 1を参照)。

各エージェントは 8 種類の先天的属性から構成されこれらは 0 以上から 1 未満の実数値をもつ。われわれは、これを 0 から 9 の整数でコード化し各エージェントの遺伝子表現とする。これをエージェントの数だけ 1 列に並べて社会の遺伝表現とする。

社会の遺伝表現ごとにシミュレーションを実施して、目的関数の値によって各社会を評価する。選択操作には、トーナメント戦略とエリート保存戦略を採用する。交叉操作には、各遺伝子座を単位とする一様交叉を用いる。突然変異率は 10% よりはじめ、各ステップごとに線形かつ単調に減少させる方法をとる。

現在の実現方法では、各社会ごとに最高500までのエージェントをもつことができる。標準的な実験では、10エージェントからなる社会を20個体準備し、この調整・進化に100世代を使っている。

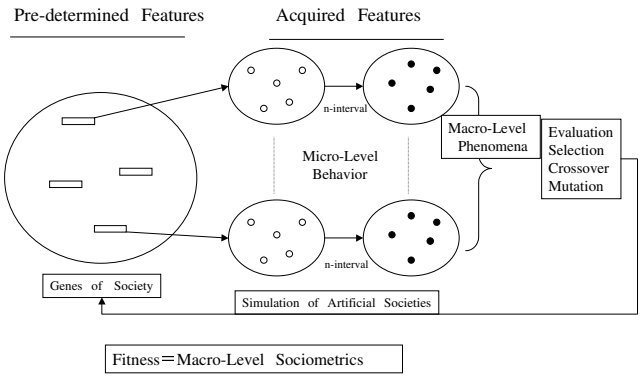


図 1: 進化的計算手法による人工社会パラメタの調整

5 マクロ的社会指標に関する考察

ネットワーク社会での意見形成分析に対する従来のアプローチは、ネット上の発言を拾ってきてプロトコル分析を行い、発言や意見の推移と発言者間の関係をネットワーク構造として数値化するもの [川上 1993]、あるいは、集団心理学の視点から分析を加えるもの [大坊 1990] であった。フォーラム、電子会議室等で行われるサイバースペース上での意見形成構造に関する最近の実証研究 [小林 96] によれば、意見形成行動は次のような5種類の指標で測定可能である。これらのマクロ的社会指標は、TRURLのモデルでも測定可能であり、しかも実世界の社会的インタラクションの特性を表現している点において人工社会を特徴づける目的関数として用いることができる。

トランスミッタの存在 少数の参加者が他の多数の参加者へ一方的にメッセージ送信する情報伝達構造を表す指標である。

$$T = \frac{(\sum_{i=1}^{g}(Sd - rd_i) - \sum_{i=1}^{g}(Rd - rd_i) + g(g-1))sd}{2g(g-1)^2}$$

レシーバの存在 これは多くの参加者からメッセージを受信する少数の参加者の存在を見出す指標である。

$$R = \frac{(\sum_{i=1}^{g}(Rd - rd_i) - \sum_{i=1}^{g}(Sd - sd_i) + g(g-1))rd}{2g(g-1)^2}$$

リーダーの存在 少数の参加者が他の多数の参加者とメッセージ交換するネットワーク中心性を表す指標である。

$$L = \left(\frac{\sum_{i=1}^{g}((sd_i \cdot rd_i)_{max} - sd_i \cdot rd_i)}{(g-1)((g-1)^2 - 1)} \right)^{1/2}$$

二分性 これはコミュニティのうち半数の参加者が活動的であり、残りが受身であるという構造的特徴を見出す指標である。

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{g}(\tilde{Sd} - sd_i)^2)}{g(g-1)^2/4}$$

活発性 これはコミュニティの活動が活発かどうかを示す指標である。

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{g}(sd_i + rd_i)}{2g(g-1)}$$

ここで、sd: 送信相手数、rd: 受信相手数、g: 参加者数; Sd,Rd:$sd_i + rd_i$ が最大である参加者の sd_i,rd_i; $\tilde{Sd}$, $\tilde{Rd}$: 送信 / 受信相手人数の平均値である。

これらの関係を単純な構造に適用した例を図2に示す。に示す。

6 実験結果と考察

前節で議論した人工社会モデルとマクロ的社会指標を利用して、社会的インタラクションの分析実験を実施する。TRURLでは、前述したマクロ的社会指標の他にも自由に目的関数を設定できる。たとえば、考えられる指標として、二人だけ会話する社会、無口な社会、一方的に伝える社会、階層性のある社会等も定義可能である。これらの指標を用い、いくつかの典型的な社会構造をエージェントベースの人工社会として形成することによって、このモデルの性能を実験する。

6.1 社会の形成可能性の検証

まず初めに単純な社会を形成しモデルの検証を行う。

二人だけが会話する社会 もっとも単純な社会として、何人ものエージェントの中で常に二人だけが会話をしている社会を形成する。適応度関数として以下を与える。

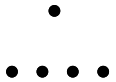
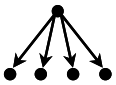
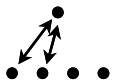
$$Fitness = \frac{sd_{i,j} + rd_{i,j} + sd_{j,i} + rd_{j,i}}{\sum_{k \in S}(sd_k + rd_k)} \quad \exists i,j$$

$i,j : agent$番号、sd_k : 送信履歴

rd_k : 受信履歴、S : 送受信集合

適応度関数を最大にする社会をGAの進化によって形成させた。結果を図3に示す。図中、点はエージェントを線はメッセージの頻度を示す。左が初期値で右が進化後の状況である。

階層性のある社会 組織形態として階層性の組織とフラットな組織がある。階層性組織では直接の上位者と下

	(1) 0.000 (2) 0.000 (3) 0.000 (4) 0.000 (5) 0.000		(1) 0.375 (2) 0.000 (3) 0.000 (4) 0.167 (5) 0.100
	(1) 0.500 (2) 0.500 (3) 0.000 (4) 0.000 (5) 1.000		(1) 0.313 (2) 0.094 (3) 0.342 (4) 0.167 (5) 0.150
	(1) 1.000 (2) 0.000 (3) 0.000 (4) 0.667 (5) 0.200		(1) 0.250 (2) 0.250 (3) 0.483 (4) 0.146 (5) 0.200
	(1) 0.000 (2) 1.000 (3) 0.000 (4) 0.042 (5) 0.200		(1) 0.656 (2) 0.000 (3) 0.000 (4) 0.563 (5) 0.300
	(1) 0.500 (2) 0.500 (3) 1.000 (4) 0.375 (5) 0.400		(1) 0.875 (2) 0.031 (3) 0.447 (4) 1.000 (5) 0.400

(1) Ratio of transmitters (2) Ratio of receivers
(3) Ratio of leaders
(4) Ratio of local communication
(5) Ratio of activation

図 2: マクロ的社会指標の性質

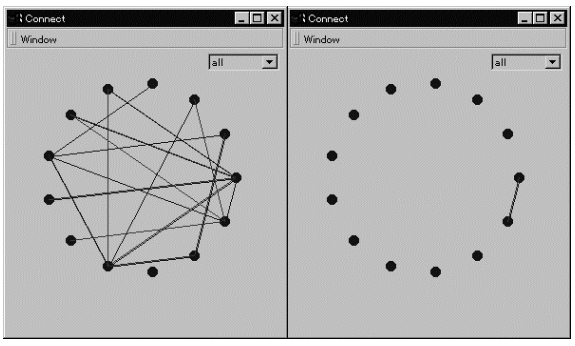


図 3: 2 人だけの会話社会

位者だけが会話を行い、同じ階層間や 2 階層以上離れたエージェント間の会話は行われにくいとされる。このような階層性組織がモデル生成可能かを検証する。適応度関数として以下を与える。

$$Fitness = \mathbf{sd_h} + \mathbf{rd_h} - \mathbf{sd_{\bar{h}}} - \mathbf{rd_{\bar{h}}}$$

ここで、$\mathbf{sd_h}, \mathbf{rd_h}$: 上下層との送信、受信相手数; $\mathbf{sd_{\bar{h}}}, \mathbf{rd_{\bar{h}}}$: 上下層以外との送信、受信相手数である。

この適応度関数を最大にする社会を GA の進化によって形成させた。結果を図 4に示す。図の見方は図 3と同様である。

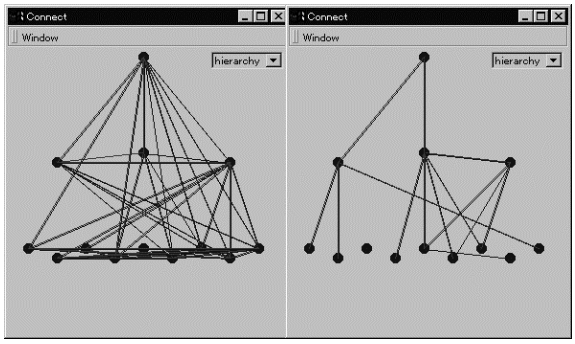


図 4: 階層性のある社会

このように、ランダムな初期値では各エージェント間で無作為に会話を行っていたものが、階層性を増すように進化させた社会では層間の会話と 2 層以上を超える会話が減少し、上下の層に所属するエージェント間での会話が増加しているのが分かる。

この結果から、TRURL によって、目的関数を指定すれば、比較的自由に社会構造を形成できることが示された。次に、実際の社会指標に基づいた社会形成を行った結果を述べる。

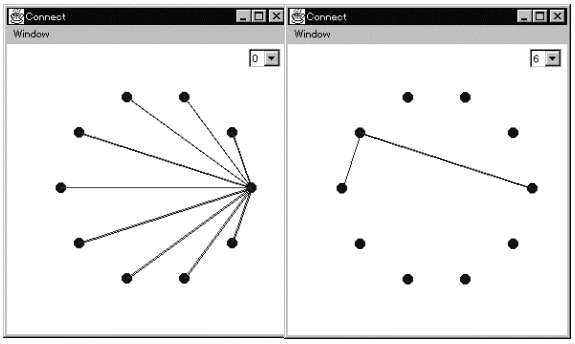
6.2 リーダー存在性が高い社会

5 節で述べたリーダー存在性最大化指標を目的関数とする。モデル生成結果を図 5に示す。

GA を 100 世代実行した適応度推移を図 6に示す。

ここでは、1 つのエージェントに意見が集中している (左上)。これをリーダーと呼ぶ。リーダーと他エージェント (右上) とは行動が明確に異なっており、リーダ存在性の適応度を最大にするよう創発的に遺伝子を持ったエージェント群（人工社会）が形成されている。図 5の下は実験中の画面である。ここで獲得された形質のリーダーの特徴は以下にまとめられる。

- 人の話しを良く聞き異なる意見に多くコメントする;
- 他のエージェントに比べて知識の幅が広い;
- 知識の確信度の高さと興味の幅のバランスが良い。



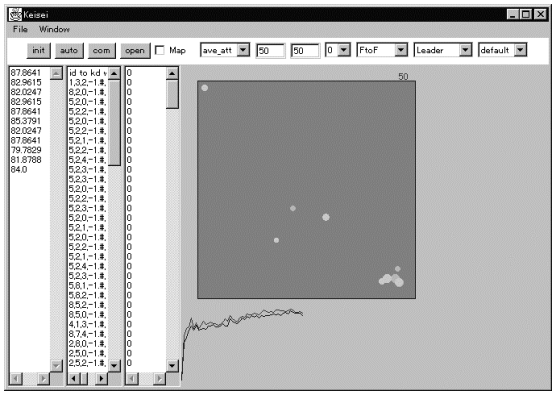


図 5: リーダー存在性が高い社会

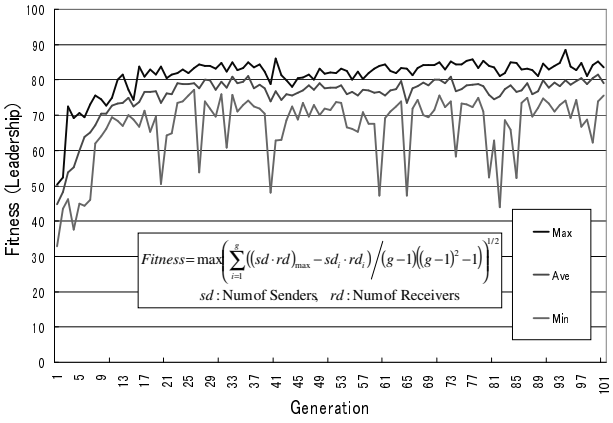


図 6: GA による社会の適応度の推移

直観的には、知識の幅も確信度も最大のエージェントがリーダーとなると思われるが、興味深いことにこの人工社会では異なる結果が出ている。

6.3 同調行動を起こし易い社会

社会現象として、何かの少しの変化で社会全体の態度（世論）が急速にどちらかに偏ることがある。一人の意見に皆が同調してしまう社会現象を人工社会で解明することを試みた。評価関数は以下のとおりである。

$$Fitness = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} w_{ij} e_{ij}$$

ここで、n はエージェント数、m は知識属性数を示す。

獲得されたエージェントの性格をまとめると次のようになる。

同調しやすい性格 評価値の転移率が若干高く、お互いに信頼しあっている。そして同じ意見に対して返信し易い。

社会の意見を誘導する少数派の性格 人の話しを良く聞き、知識の幅が広く、異なる意見だとコメントし易い。

この結果から、一人の強い確信を持ったエージェントの投入だけで、社会全体の態度が大きく偏ってしまう社会の状態が確認された。

6.4 影響力のある少数派

同調し易い社会とは逆に、他者を自分の意見に同調させる力、つまり影響力のある少数派の性格を進化的に獲得した結果を図 7に示す。実験ではまず前述した「同調行動を起こしやすい社会」を形成し、その後に強制的に態度を偏らせたエージェント 1 個の属性のみを GA の対象とした。図 7では、 10 社会における実験の後、エージェントの先天的属性パラメタの平均値を少数エージェントとその他にわけて示した。

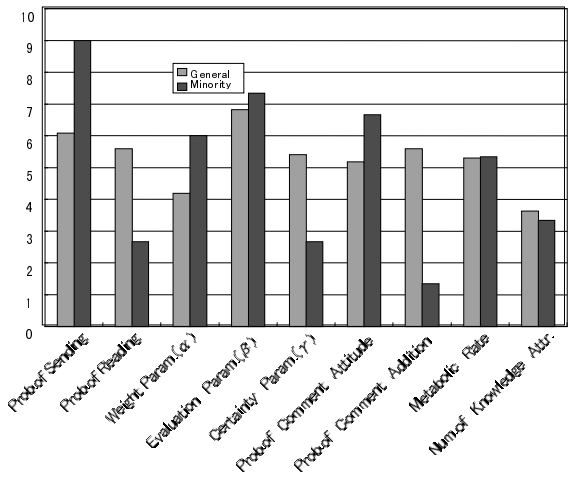
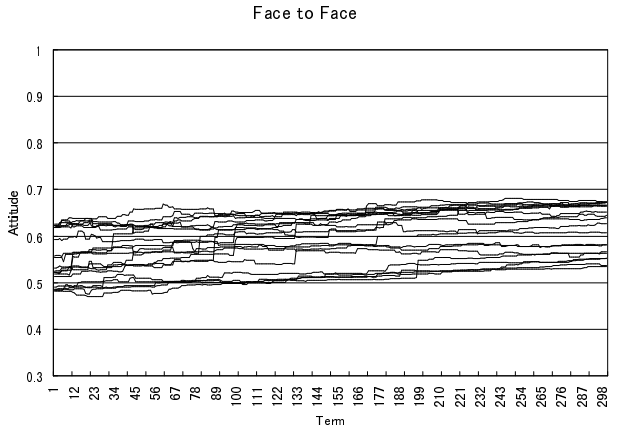
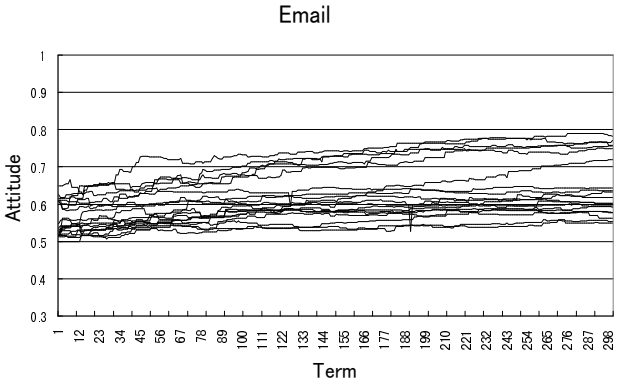


図 7: 影響力のある少数派と他エージェントの属性

この実験結果によれば、影響力にある少数派の性格は次のようになる。

- 他人の話を良く聞き、発言する
- 知識の幅が広い
- 代謝が低い
- 異なる意見だとコメントする





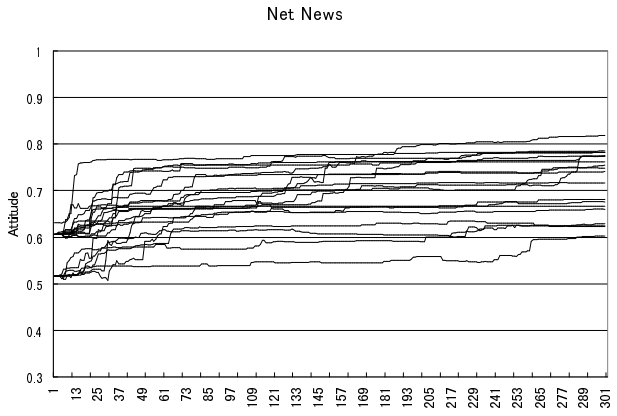
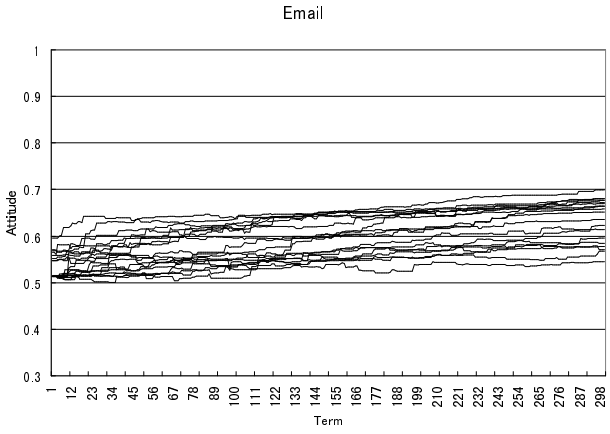


図 8: Netnews 社会での態度変化

6.5 各社会での態度変化

Face to Face 社会、Email 社会、NetNews 社会の 3 社会について、態度変化の比較実験を行った。先天的属性の初期値はランダムに与え、1 名の意見の偏ったエージェントを各社会に混入させた。20 社会に体する 300 期間の会話結果を図 8に示す。図の横軸はシミュレーション時間であり、グラフの縦軸は全エージェントの態度の平均 ($\sum evaluation_i * weight_i$) を表す。

Face to Face 社会では比較的緩やかに社会全体の態度が変化しているのに対して、Email 社会では各社会に



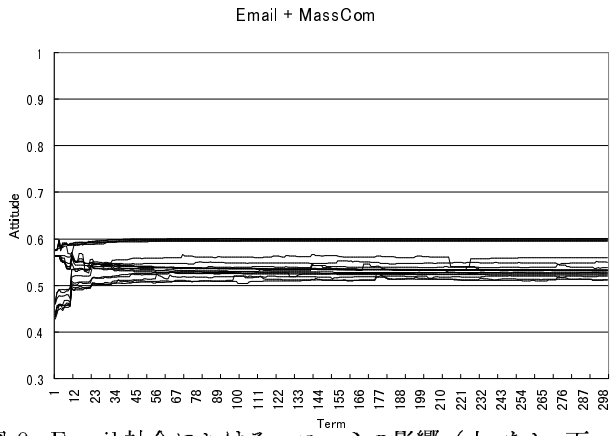


図 9: Email 社会におけるマスコミの影響（上: なし; 下: あり）

よって急激な態度変化を示していたり、ほとんど変化しなかったりしている。NetNews 社会では、会話の初期の段階で急激に態度変化が起こり、その後は比較的緩やかな変化をしている。

このように、社会の性格によって態度変化が大きく異なっていることが実証できた。NetNews 社会における急激な意見の伝播現象がテクノバブルとして注目されているが、同様な現象が人工社会でも発生したことは興味深い。

6.6 マスコミの影響

テクノバブル現象に対して、効果的な抑制が可能かどうかを検証した。電子社会に参加しているすべてのエージェントの意見を取材して平均的な意見を集計し、それを世論として報道するエージェントをマスコミエージェントとして実装した。取材と報道のタイミングは確率で与える。

その中で、Email 社会でのマスコミの影響結果を図 9に示す。上段はマスコミの報道がない場合、下段はマスコミの報道がある場合を表している。明らかにマスコミ報道の影響が存在し、同調行動を抑制しているのが分かる。図の意味は図 8と同様である。

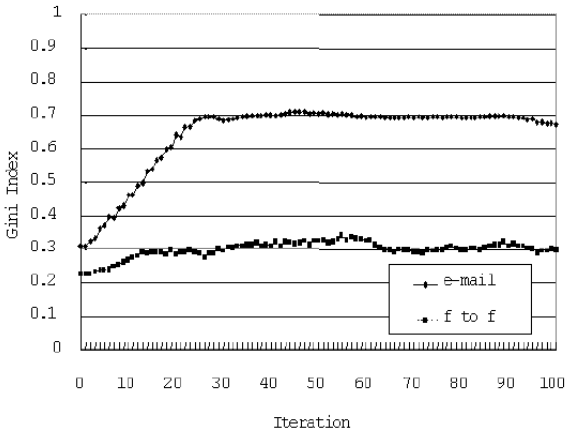


図 10: Gini 係数の変化

6.7 社会への参加動機の格差

本モデルにおけるエージェントの参加動機の時間的な推移を観測するために、通常、経済分析において所得格差などを表すのに用いられる Gini 係数を用いて Face to Face 社会と Email 社会の参加動機を比較した。Gini 係数は累積パレート図の積分の比率を用いており、高い程、格差の大きい社会を示している図 10。この Email 社会では Face to Face 社会と比較して参加者の動機の格差が大きい状態で安定したことがわかる。この社会ではエージェント同士の信頼距離が非常に近いサブグループができ、分かれ固まり、その中で知識交換が完結する様子が見られた。これがランダムに登場する新規参入者にとって有益な情報を得にくくした原因と考えられる。

7 おわりに

本論文では、サイバースペース上での意見形成過程をマルチエージェントによってモデル化し、実験を行った。このアプローチの優れている点は, 数学的モデル [Cyert 1963] と事例分析 [Nonaka 1995] の中間に位置するところである。すなわち、計算論的組織理論によれば記号による対象の記述 [Simon 1982, Russel 95] と厳密な理論展開に加えて、プログラムの実行という形での理論のシミュレーションが可能である。今後は、さらに様々な社会間での意見形成過程の比較を行うとともに、より一般的な組織的問題解決や組織学習モデル [Kirn 1996, Cohen 1991, Espejo 1996, Morecroft 1994, Ishida 1992, Terano 1994, Aiba 1996, Hatakama 1996] への統合を指向する予定である。

参考文献

[Aiba 1996] Aiba, H., Terano, T.: A Computational Model for Distributed Knowledge Systems with Learning Mechanisms. *Expert Systems with Applications*, Vol. 10, No. 3/4, pp.417-427, 1996.

[Carley 1994] Carley, K. M., Prietula, J. (eds.) : *Computational Organization Theory*. Lawlence-Erlbaum, 1994.

[Cohen 1991] Cohen, M. D., Sproull, L. S. (eds.): Special Issue: Organizational Learning: Papers in Honor of (and by) James G. March. *Organization Science*, Vol. 2, No.1, 1991.

[Cyert 1963] Cyert, R. M., March, J. G.: *A Behavioral Theory of the Firm*. Prentice-Hall, 1963.

[大坊 1990] 大坊、安藤、池田: 社会心理学パースペクティブ 3 - 集団から社会へ. 誠信書房, 1990.

[出口 1994] 出口弘: ネットワーク. 日科技連, 1994.

[Epstein 96] Epstein.J,Axtell,R: *Growing Artificial Societies*. Brookings Institution Press,The MIT Press, 1996.

[Espejo 1996] Espejo, R., Schuhmann, W., Schwaninger, M., Bilello, U.: *Organizational Transformation and Learning*. John Wiley & Sons, 1996.

[French 1986] French, S.: *Decision Theory: An Introduction to the Mathematics of Rationality*. John Wiley & Sons, 1986.

[Goldeberg 1989] Goldberg, D. E.: *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley, 1989.

[Hatakama 1996] Hatakama, H., Terano,T.: "A Multi-Agent Model of Organizational Intellectual Activities for Knowledge Management," Schreinemakers, J. F. (ed.): *Knowledge Management - Organization, Competence and Methodology*, Ergon Verlag, pp. 143-155, (1996).

[Hraber 96] Hraber. P., Jones, T., Forrest, S.: The Echology of Echo. *Artificial Life*, 1996.

[Ishida 1992] T. Ishida, L. Gasser and M. Yokoo, Organization Self-Design of Distributed Production Systems. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 4, No. 2, pp. 123-134, 1992.

[川上 1993] 川上、川浦、池田、吉川: 電子ネットワーキングの社会心理. 誠信書房, 1993.

[Kirn 1996] Kirn, S., O'Hare, G. (eds.): *Cooperative Knowledge Processing – The Key Technology for Intelligent Organizations*. Springer, 1996.

[小林 96] 小林四一: コンピュータ・コミュニケーションにおける電子コミュニティの構造分析. 筑波大学大学院経営システム科学修士論文, 1996.

[Masuch 1992] Masuch, M., and Warglien, M. (eds.): *Artificial Intelligence in Organization and Management Theory*. North-Holland, 1992.

[Morecroft 1994] Morecroft, J. D. W., Sterman, J. D. (eds.): *Modeling for Learning Organizations*. Productivity-Press, 1994.

[中西 1984] 中西正雄編: 消費者行動分析のニューフロンティア. 誠文堂新光社, 1984.

[Nonaka 1995] Nonaka, I., Takeuchi, H.: *The Knowledge Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford University Press, 1995. (野中郁次郎, 竹内広高 (梅本勝博 (訳)):「知識創造企業」東洋経済新報社, 402 pp., 1996.)

[Simon 1982] Simon, H. A.: *The Sciences of the Artificial, 2nd Edition*. MIT-Press, 1982.

[Russel 95] Russel.S,Norvig.P: *Artificial Intelligence A Modern Approach*. Prentice Hall, 1995.

[佐藤 1997] 佐藤勉編: コミュニケーションと社会システム. 恒星社厚生刊閣, 1997.

[Terano 1994] Terano, T. et. al. : A Machine Learning Model for Analyzing Performance of Organizational Behaviors of Agents. *Proc. of the Third Conference of the Association of Asian-Pacific Operational Research Societies (APORS)*, pp.164-171, 1994.

[寺野 1995] 寺野隆雄: ネットワーク上の分散知能.in 高木、木島、出口（他）:「マルチメディア時代の人間と社会」日科技連出版社, pp.151-183,1995.

[寺野 1997] 寺野隆雄 : 学習するエージェントとその組織的問題解決. オペレーションズ・リサーチ, Vol. 42, No. 9, pp. 599-603, 1997.

[Weiss 1997] Wess, G. (ed.): *Distributed Artificial Intelligence Meets Machine Learning – Learning in Multi-Agent Environments*. Springer, Lecture Notes in Artificial Intelligence 1221, 1997.