

自律エージェントの集団的戦略変更とその応用

沼岡 千里

(株) ソニーコンピュータサイエンス研究所

本論文では、多数エージェントの集団的戦略変更のモデルを概説する。ここでは、複数の戦略型が存在する時、全てのエージェント一つの戦略型からもう一つの戦略型へと集団的に変更するためのダイナミクスの実現が対象である。本論文では、さらにこのモデルに基づいてこれまでに行なってきたシミュレーションの結果の一部を紹介する。基本的に2つの異なる前提条件のもとでシミュレーションが行なわれている。これらは通信に関するものであり、一方では大域的通信を行なうエージェントを扱い、他方では局所的通信を行なうエージェントを対象とする。本論文では最後に、モデルの具体的な応用として、分散システムにおけるプロセスマイグレーションを取り上げて、議論する。

Collective Alteration of Strategic Types and Its Application

Chisato Numaoka

tel: +81-3-5448-4380 fax: +81-3-5448-4273

e-mail: chisato@csl.sony.co.jp

Sony Computer Science Laboratory Inc.

3-14-13 Higashigotanda, Shinagawa-ku, Tokyo, 141 JAPAN

This paper describes a model of collective alteration of strategic types. The model represents dynamics where multiple agents collectively change their strategic types from one to another, when relatively small number of agents choose the another strategic type. This paper shows some examples of results in computer simulation based on the proposed model. The simulations are twofold: one is for globally communicating agents and the other for locally communicating agent. We finally discuss one practical application of the model, which is process migration in distributed computer systems.

1 はじめに

集団行動の力学系においては、時に回避し難いような複雑な要因によって、突然の相転移を引き起こし、集団構造をドラマチックに変換させることがある。例えば、企業におけるリストラクチャリングもそうであるし、災害時のパニックも同様な現象を表している。後者の場合は、被害の拡大につながるということで、悪い点だけが強調されて見えるが、前者の場合は、小さな変化によって、大きな変換を引き起こし、その結果としてより適応力のある構造へと変換する可能性を示すものであり、柔軟かつ強靱なシステムの持つべき性質としては、むしろ望ましいものである。このようなシステムの性質を知ることにより、好ましい形で、そのような相転移現象を利用できれば、集団行動を制御することにおいて非常に有益であると考えられる。

我々は、数百オーダーのエージェント集団における、相転移現象として、集団的戦略変更に着目し、研究を行ってきた ([沼岡 92, Numaoka and Takeuchi 93, Numaoka 93a, Numaoka 93b])。我々の研究において、エージェントは、いくつかの決められた戦略を持っており、それぞれの戦略を選択しているエージェント数を考慮して計算される利得に応じて、次の戦略を決定するものとして定義される。戦略は複数の型に分類される。我々の注目しているのは、この戦略の型に関する集団の変更である。エージェントが集団的に特定の戦略型を選択している時、少数のエージェントが戦略型を変更することは、集団全体の戦略型選択にどのような影響を与えるのだろうか。また、影響を及ぼすにはどのような条件が必要とされるのか。これらが、この問題に対して我々の抱えている大きな課題である。

これまでの研究を通じて、いくつかの事実が明らかになってきた。一つは、大域的通信を行なうような集団における戦略選択行動では、伝播遅延が大きな影響を持つこと。また、扇動者の全体数に占める割合が、一つの臨界値を形成すること。さらに、局所的通信を行なうような集団においては、隣接するエージェントとの結合関係や扇動者の配置などが、集団戦略変更に大きな影響を持つことである。

大域的通信を行なうエージェント集団、局所的通信を行なうエージェント集団は、各々利点、欠点を持つ

ている。大域的通信を行なうエージェントにおいて、やっかいな問題は、通信遅延である。われわれのシミュレーションでは、通信遅延は、システムの相転移に重要な役割を持っていそうであるという結果が得られている。しかしながら、それらの間の相関関係はまだそれほど明らかではない。一方で、大域的通信を行なうエージェントは、エージェント間のトポロジカルな関係や、地理的分散によらないので、扇動者の配置などによらず、数だけの問題として扱うことができるという利点も持っている。

局所的通信を行なうエージェントは、エージェント間のトポロジカルな関係や、地理的分散によって、完全に影響を受ける。このため、解析的な手法を用いた集団行動の分析が、必ずしも意味を持つかどうか疑問である。しかしながら、大域的な通信が非現実的であったり、不可能であったりする場合には、必然的に、局所的通信に頼らざるを得ないので、このようなエージェント集団において、大域的通信を行なうエージェント集団に見られたような効果が期待できることは有益である。

このようなシステムダイナミクスを、技術的観点から眺めた時、どのような応用が可能であるか知ることには有益である。我々が仮定している応用は、エージェントの動作する環境について予測が困難であり、それがために、エージェントが自律的かつ適応的に動作する必要があるようなものである。このような環境で、それぞれの独自の観測に基づいて、戦略決定を行ない、その結果として、まとまりのある集団行動が発現してくるようなエージェント集団の構築が、我々の長期的な目標である。このような条件にあうような応用は、現実的な社会の中では、意外と見つけることが困難である。我々が以前から引用してきている例は、ロボット集団による山火事の消火であるが、これも現実のものとするためには、集団力学系以前に解決されねばならない問題が多い。

本論文では以下、第2章で、集団的戦略変更のモデルを概説し、第3章で、これまでの成果を簡単に述べる。また、第4章で、より具体的な応用の提案として、プロセスマイグレーションを取り上げる。

2 集団的戦略変更のモデル

自然界では、動物や昆虫が、環境の局所的な変化を受けて、集団として行動パターンを変更するような現象が見受けられる。例えば、フラミンゴ等は、休息している際に、敵が現れたことを少数の個体が察知することにより、全ての個体が飛び立って逃げるという行動を引き起こす。また、同様の現象は、人間集団が引き起こすパニック状態においても見受けられることができる。

我々は、文献[沼岡 92, Numaoka and Takeuchi 93, Numaoka 93b]において、大域的通信が可能であるという条件の元で、複数エージェントが集団的に戦略変更を行なうというモデルを提案した。また、[Numaoka 93a]では、同じモデルが、少しの変更で、局所的通信のみによって戦略を選択するエージェントの集団的戦略変更に応用できることを示した。さらに、局所的通信特有の現象を報告した。本章では、この集団的戦略変更のモデルについて概説する。

2.1 エージェント

全てのエージェントは、 N 個の戦略を持っており、これらの戦略は M 個のタイプに分類される。各エージェントは、一定の周期で、その時得られた情報に基づいて、次を取るべき戦略を決定する。ここで対象となる情報は、時刻 t において、 i 番目の戦略を選択しているエージェントの数 $n_i(t)$ によって構成されるベクトル $\mathbf{n}(t)$ である。

エージェントは、この情報を元にして、各戦略に対する利得計算を行なう。次に各戦略の利得に応じた確率で、選択を行なう。選択を行なったのち、自分が選択した戦略が何であるかという情報をコミュニケーションする。大域的通信が可能である場合には、 τ という時間遅れを伴って、全てのエージェントにその情報が送られる。一方、局所的通信が可能である場合には、その時刻に周辺に存在するエージェントに対してほとんど時間遅れなしに到達する。

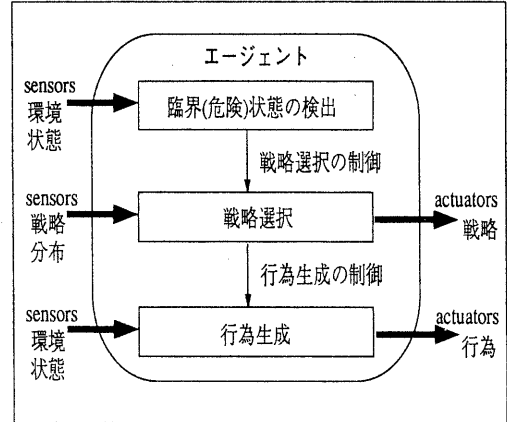


Figure 1: エージェントアーキテクチャ

2.2 エージェントのアーキテクチャ

図 1 に、エージェントのアーキテクチャの概念図を示す。エージェントは基本的に三つの階層から構成される。最上位は臨界状態 (critical states) の検出を行なう部分である。ここでは環境状態が、特定の臨界条件を満足しているかどうか調べ、この結果によって、次の層である戦略選択部の制御を行なう。臨界条件はエージェントにより異なる。戦略選択部では、後述するように、各戦略をいくつエージェントが選択しているかを考慮して、戦略選択を行なう。この選択された戦略に応じて、戦略の範囲内でできる限り、行為が発生するように、行為生成部の制御を行なう。

2.3 戦略決定

エージェントが大域的通信を行なうことが可能であるとすると、 i 番目の戦略の利得は、各戦略を選択しているエージェント数によって構成されるベクトルを \mathbf{n} とすると、以下の式で表現される。

$$P_i(\mathbf{n}(t)) = \max((U - \Gamma n_i(t))(P_0 + C n_i(t)) - D n_i(t) \sum_{j \notin \text{type}(i)} n_j(t), P_{\min}) \quad (1)$$

ここで、 U は、その戦略固有のユーティリティ、 Γ は、エージェントがその戦略を選択することによって生じるコスト、 P_0 は戦略の基本利得、 C はエージェントが

その戦略を選択することによる利得の増分、 P_{min} は最低保証利得である。また、 $type(i)$ は、 i 番目の戦略と同じタイプの戦略の集合を返す関数である。

この利得関数は、もし、パラメータの値が全ての戦略に対して等しいならば、戦略タイプに対して対症的であり、最低限、戦略タイプの数だけ安定点を持つことが保証される。例えばタイプ数 $M = 2$ であれば、2つの大域的安定点を持つことになる。

一方、エージェントが局所的なコミュニケーションを行なう場合、すなわち隣接する数個のエージェントとのみコミュニケーションできる場合には、多少異なる利得関数を利用する。

$$P_i(\mathbf{n}(t)) = \max((U' \chi(t) - \Gamma n_i(t))(P_0' \chi(t) + C n_i(t) - D n_i(t) \sum_{j \in type(i)} n_j(t), P_{min}). \quad (2)$$

ここで、 U' は、戦略固有のユーティリティであり、 $\chi(t)$ は、時刻 t で観測可能なエージェント数(自分自身を含む)である。すなわち、 $\chi(t)$ は、戦略数を N とすると、 $\sum_{i=1}^N n_i(t)$ に等しい。

2.4 集団的戦略変更

前節で述べたような戦略決定を行なうエージェントが多数、同じ作業に関わっていると仮定しよう。例えば、山火事の消火を行なう自律ロボット集団を考える。ここで自律ロボットは、大きく2つのタイプの戦略を持っているとしよう。これらは1) 消火活動をするか、もしくは2) 退却するかである。初期状態で、全てのロボットが消火活動型の戦略を選択していると仮定する。

ここで環境に局所的かつ臨界条件を満たすような変化が生じたと仮定する。山火事の例では、局所的に突風が吹くことによって、炎が倍にふくれ上がるということが考えられる。このような変化は、その変化の周辺で作業中のロボットによって、局所的に観測されるだろう。観測結果に基づいて、それが臨界条件を満たすことがわかるならば、ロボットは、消火活動型戦略から、退却型戦略へと切替えることであろう。

この集団的戦略変更は、基本的に2つのフェーズに要約される。一つ目のフェーズは、少数のエージェントによる環境における臨界状態の検出である。二

つ目のフェーズは、現在集団的に収束している戦略型の不利が、集団的に認識されることによって、相転移を生じ、集団的戦略変更を引き起こすものである。

我々のモデルでは、最初のフェーズに関連して、「扇動者 (instigators)」という概念を導入した。エージェントは、臨界状態を認知することにより、扇動者という特別なモードになる。このモードに入ると、エージェントは、臨界状態を回避するための戦略型のみを選択するようになる。さらに、扇動者モードのエージェントは、扇動者モードになったことを知らせるメッセージを通知する。このメッセージは、大域的通信下では、時間 τ の伝播遅延を伴って、全てのエージェントに通知されるし、局所的通信下では、隣接するエージェントを通じて、次第に全てのエージェントに広がっていく。

第2のフェーズを効果的に実現するために、我々のモデルは、自発的ノイズ発生機構を導入している。これは、扇動者モードになったことを知らせるメッセージを受け取ったエージェントが、一定時間、利得関数において戦略固有のユーティリティを表現するパラメータ U の値を減少させることによって、戦略決定機構中に一種のノイズを発生させ、選択基準を曖昧にするものである。これは、パラメータ U を時間 t に関するステップ関数として定義することに相当する。ノイズを発生させることにより、一時的に均衡状態が大きく崩れる。このように均衡状態を大きく揺らすことは、収束状態を抜け出すための十分条件ではないが、一つの必要条件になる。これはシミュレートドアニーリングで行なわれていることと等質のものである。

これら2つの工夫により、パラメータをうまく選択し、条件が満たされるならば、集団的に戦略を変更するようなダイナミクスが実現できる。これらに関する詳細な議論は、文献 [Numaoka and Takeuchi 93, Numaoka 93b] を参照されたい。

3 これまでの成果

本章では、前述したモデルに基づいて得られた、これまでの成果について概説する。まず始めに、エージェント間でブロードキャストによるコミュニケーション

を仮定して行なわれたシミュレーションの結果について述べる。引き続き、各エージェントが、その周辺にいる少数のエージェントとのみコミュニケーションできるという仮定の元で行なわれたシミュレーションの結果を述べる。

3.1 大域的に通信するエージェント

前章で述べたモデルは、元々エージェントがブロードキャストを利用して、 τ 時間前にエージェントが選択した戦略が何であるか知ることができる、という仮定に基づいて作られている。すなわち、この情報を用いて、 τ 時間前に i 番目の戦略をいくつエージェントが選択しているかがわかるということである。毎ステップで、 100α (%) のエージェントが、戦略の選択を行なう。ここで α は意思決定率と呼ばれる。

大域的通信を行なうエージェント集団の挙動は、基本的に、 τ と α によって特徴付けられると良いであろう。集団の戦略変更のモデルではさらに、扇動者数が集団行動に対して大きな影響を持っている。つまり、どの程度の割合で扇動者が含まれているかによって、目的とする集団的戦略変更が可能になるかどうか左右されることになる。図 2 は、200 のエージェントに対して、扇動者数の臨界値を求めるために行なわれたシミュレーションの結果を示している。

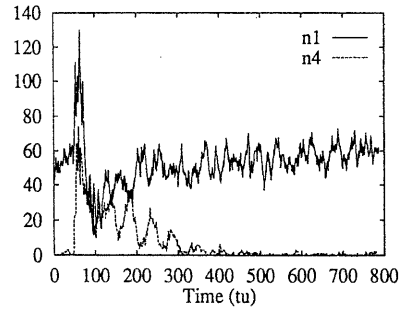
200 のエージェントが、初期状態において、タイプ A の戦略を選択している。図 2 では、その内の一つの戦略を選んでいるエージェントの数 n_1 が、実線で表されている。はじめより 20(tu) 後、扇動者が、タイプ B の戦略を選択する。図 2 では、タイプ B の戦略を選んでいるエージェント数 n_4 を、点線で示している。エージェントが用いる利得関数は、

$$P_i(\mathbf{n}(t)) = \max((U(t) - n_i(t))(0.02 + 0.1n_i(t)) - 0.1n_i(t) \sum_{j \in \text{type}(t)} n_j(t), 0.0001) \quad (3)$$

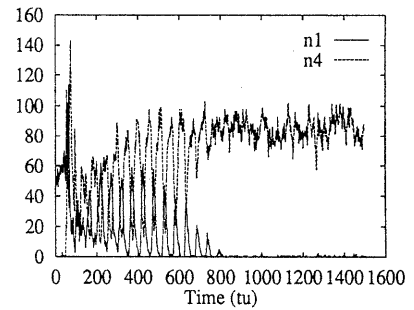
である。ここで、

$$U(t) = \begin{cases} 80 & \text{if } 20(tu) \leq t \leq 120(tu); \\ 200 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (4)$$

である。また、伝播遅延 $\tau = 50.0$ (tu)、意思決定率 $\alpha = 1/6$ である。図 2 (a) は扇動者数 27 の場合を示しており、図 2 (b) は、28 の場合を示している。(a) で



(a)



(b)

Figure 2: 扇動者の数と状態遷移

は、ユーティリティ U の値が、120(tu) で 200 に戻された後、 n_1 は再び元の値に戻ってしまっているのに対し、(b) では、扇動者の選んだ戦略型に属する n_4 が、しばらく振動した後、増加して大勢を占めるようになっていく様子が見られる。

大域的に通信するエージェントの場合、エージェントの地理的分布または位相関係に依存しないという特徴を持つ。このため、後述する局所的通信に基づくエージェントの集団的戦略変更と比べると、解析的な方法が、より意味を持つことになる。文献 [Numaoka and Takeuchi 93, Numaoka 93b] においても、解析的な手法で、分析を行なっているが、まだまだ関連するパラメータ間の関係について良くわからないことが多い。これらは今後の研究の課題と

して残されている。

3.2 局所的に通信するエージェント

大域的通信を仮定した場合、前述したように、エージェントの移動によって地理的關係または位相關係が変化してしまうことを考慮しなくても良い。これは、系全体の挙動を調べるのには適した仮定であるといえる。なぜなら、全体のシステムを非線形微分方程式の形に表現することができるからである。この非線形微分方程式は、微分可能領域においてこれを非線形差分方程式に変換して、離散系シミュレーションによって挙動を調べることができる。

しかしながら一方で、大域的通信が現実的でない、または実現が困難である、というケースが存在することも確かである。特に、移動ロボットの応用を考えた場合、地理的關係や位相關係などを考慮に入れた方が望ましい場合もある。このように、局所的通信しか使えない場合でも、我々のモデルが有効であることを示すために、シミュレーションが行なわれた。

この研究は、まだ着手されたばかりであるが、既に状況によっては、我々のモデルが以前として有効であることが示された。このことは、文献 [Numaoka 93a] で紹介されている。図 3 は、その結果の一部である。各エージェントは時刻 t において、自分自身及び自分と隣接するエージェントが選択している戦略を観測することができる。図 3 では、3つのケースについては、扇動者の初期配置と、最終的な平衡状態の關係を示している。ここで、エージェントが用いる利得関数は、

$$P_i(\mathbf{n}(t)) = \max((U'(t)\chi(t) - n_i(t))(-0.3\chi(t) + n_i(t)) - n_i(t) \sum_{j \notin \text{type}(i)} n_j(t), 0.0) \quad (5)$$

である。ここで、

$$U'(t) = \begin{cases} 0 & \text{if } 20(tu) \leq t \leq 40(tu); \\ 20 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (6)$$

である。

図 3 (a), (b), (c) で、それぞれ上の図は、扇動者の初期配置を示しており、下の図は平衡状態を示している。薄いハッチの丸は扇動者の選択した戦略型を選んでいるエージェントを示しており、濃いハッチの丸

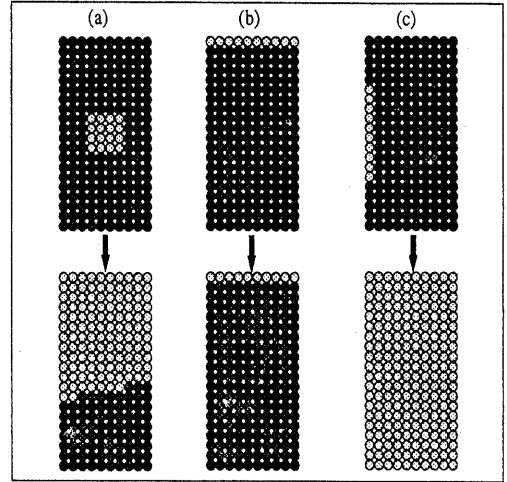


Figure 3: 扇動者の位置と平衡状態

は、それ以外の戦略型を選んだエージェントを示している。図 3 (b) と (c) より明らかなことは、局所的通信の場合には、扇動者がどの程度の割合で含まれているかということよりも、むしろ扇動者がどのように分布しているかが問題となる、ということである。

局所的通信を行なうエージェントの場合、非線形微分方程式による分析を行なうよりはむしろ、セルオートマトンのようなモデルによって分析する方が、より適切であり、現在この線に沿った研究を進めている。

4 応用

前章では、集団戦略変更のモデルと、そのモデルに基づく系の挙動について概説してきた。我々の行なってきた研究は、抽象度の高いものであり、エージェントの動作環境設定やパラメータの値は、特に実際の意味を持つものではない。しかしながら、我々の関心は、最終的に現実世界に應用することである。ここでは、可能な應用の一例として分散計算システムにおけるプロセスマイグレーションを取り上げることにより、動作環境設定やパラメータ等の意味について、少し具体的に考えてみることにする。

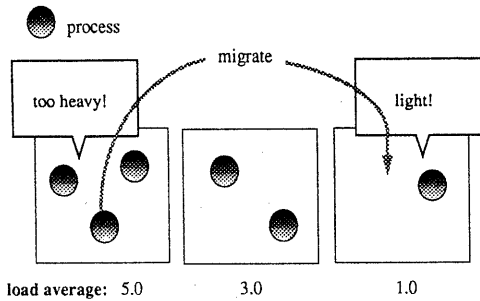


Figure 4: プロセスマイグレーション

4.1 プロセスマイグレーション

一つ目の例は、分散システムにおけるプロセス(オブジェクト)マイグレーションである(図4参照)。朴ら[朴90]によれば、プロセスマイグレーションの目的は、プロセスの応答時間の短縮²⁾スループットの向上、最大スループットの向上、ハードウェア資源の有効利用等、実に多岐に及んでいる。また「技術的には、ネットワーク通信速度の向上およびプロセッサ処理速度の向上により、移送に要するオーバーヘッドが軽減され、プロセス移送(マイグレーション)の有効性はますます増大する傾向にある」ということである。

プロセスマイグレーションにおいて、一つの重要な問題は、いつマイグレーションの判定が行なわれるべきかということである。代表的なものとしては、1) 定期的に行なう、2) プロセスの到着時または消滅時に行なう、または3) 入札によって行なうというのが挙げられる。ここで我々が提案する方式は、少数のプロセスが、マイグレーションの必要性を認識した時すぐに、処理をするのではなく、その認識が全てのプロセスによってなされたときにはじめて行なうというものである。これはまさに、我々の提唱する集団的戦略変更モデルの応用である。

ここでは、プロセスがエージェントであるとする。戦略は、作業タイプの戦略である「実行」と「中断」及びマイグレーションタイプの戦略である「最配置」の3つである。各エージェントは、戦略選択のサイクルにおいて、2つのタイプからなる3種類の戦略の

内から、常に1つを選択するものとする。プロセスマイグレーションの場合、エージェントの臨界条件として、様々なものが考えられる。例えば、図4に示したように、そのエージェントが動作している計算機のロードアベレージや、上原らの研究[上原93]にあるように、他のエージェントとのメッセージ頻度由来する量などが挙げられる。ここでは、エージェントごとに、考慮すべき臨界条件が異なっても良いと考える。¹⁾ また、ここでは、各計算機中のエージェントの一つが、集計を担当し、全てのエージェントがマイグレーション型の戦略を選択していることを検査できるものとする。全てのエージェントがマイグレーションの必要性を認識するようになった後、この集計を担当するエージェントが、適当な計算機との間で、交渉を行ない、適当なエージェントを選択し、交渉が成立した計算機へと移動させる。

エージェントの臨界条件がメッセージ通信における平均待ち時間によって規定されると考えてみよう。この場合、平均待ち時間が異常に長いということは、例えば、遠隔地にあるエージェントとの間でコミュニケーションが行なわれる頻度が高い、あるいは通信先のエージェントのおかれている計算機の負荷が重いということが考えられる。いずれにしてもエージェントの最配置が必要とされていると考えて良いであろう。臨界条件を越えるような環境状態をセンスしたエージェントは、扇動者モードとなり、マイグレーション型戦略である「最配置」を常に選択するようになる。さらに、扇動者モードになったことを通知するメッセージを隣接するエージェントに通知する。このメッセージを受け取ったエージェントはさらに隣接するエージェントにという具合に、次第に全てのエージェントに広まっていく。このメッセージを受け取ったエージェントは、疑似臨界状態を観測したことになり、しばらくの間、パラメータ U の値を減少させる。これは、第2章で説明した通りである。結果として、第3章で見たように、パラメータの選択次第では、扇動者の初期配置に応じて、集団的にマイグレーション

¹⁾ 臨界条件が同じならば、エージェントの合議性というような分散処理を行なうより、エージェントを管理しているシステムが、一括して条件を監視するという中央集権的方法の方が、むしろ適当であろう。

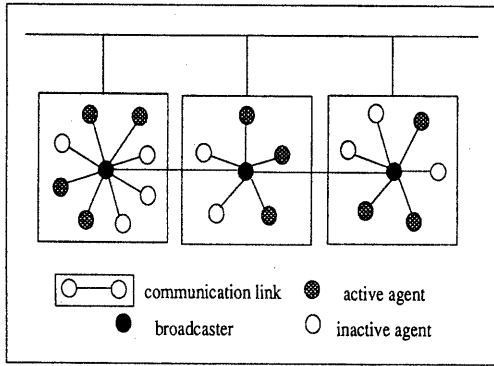


Figure 5: ブロードキャストを仮定した実装

戦略の優位性を認知することが可能である。

実現方法は、大域通信を仮定するか、局所通信を仮定するかによって、異なってくる。大域通信を行なう場合は、各計算機上にブロードキャストを行なうエージェントを置くことによって、例えば図5に示すように実現される。局所通信を仮定した場合には、どの範囲のエージェントの情報を知ることができるかが問題となる。一つの方法として、エージェントをいくつかのグループに適当に振り分け、同じグループ内のエージェントの情報が見えると仮定する。このようにすることによって仮想的にトポロジカルな配置を作ることができる(図6参照)。

さて、式1及び2におけるパラメータは、どのように与えることができるだろうか。ここでは、式1について考えてみよう。例えば、全てのエージェントが同じ型の戦略を選択しているとする、式1の項 $-Dn_i(t) \sum_{j \neq \text{type}(i)} n_j(t)$ は、0になる。残った $(U - \Gamma n_i(t))(P_0 + Cn_i(t))$ は、上に凸な2次関数であり、 $\frac{UC - \Gamma P_0}{2\Gamma C}$ で最大値を取る。これが、分散システム全体において、特定の戦略型の戦略を選択するエージェント数の最適値であることになる。

ここで取り上げている例の場合、例えば作業タイプであれば、実行戦略を選択するエージェント数と中断戦略を選択するエージェント数が同数で、それが $\frac{UC - \Gamma P_0}{2\Gamma C}$ であれば、最大の利得を全てのエージェントが得られることになる。もし、全てのエージェントが

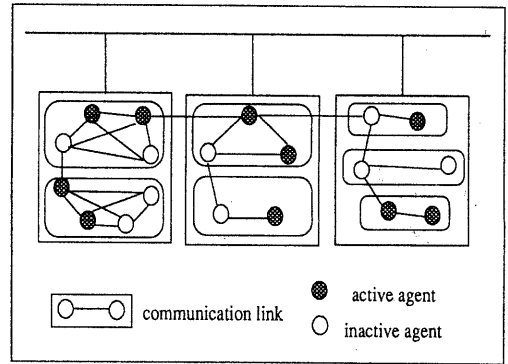


Figure 6: エージェントグループを仮定した実装

永続的に動き続けていて、それらの間に優先順位や時間的制約がないとするならば、一つのシステム内に $\frac{UC - \Gamma P_0}{\Gamma C}$ だけのエージェントを保持できることになるので、最大保有量が、そうなるように、それぞれのパラメータを設定することができる。

しかし、問題は、マイグレーション型戦略が支配的になったときである。このとき戦略数は1つであるから、 $\frac{UC - \Gamma P_0}{\Gamma C}$ のエージェントが全てマイグレーション型戦略を選択するとすると、この時の値は、最大値に比べてかなり小さいものとなる。これでは、我々のモデルでは、うまくいかない。うまくいくようにするために一つの必要条件は、これから変更しようとする戦略型を全てのエージェントが選んだ時に、その型の各戦略に対して割り当てられる利得が、前の戦略型における各戦略の利得と比べて大きい、小さいとしてもあまり差がないことである。

例えば、200のエージェントについて考えてみると、2つの作業型戦略の各々を100のエージェントが選択している時の利得より、200のエージェント全てのがマイグレーション型戦略である再配置を選択しているときの利得の方が大きくならなければならない。例えば、 $U = 300.0$ 、 $\Gamma = 1.0$ 、 $P_0 = 2.0$ 、 $C = 0.1$ のように取れば、前者の利得は2400であり、後者の利得は2200であるから、集団的戦略変更の可能性が有ることになる。この設定でシミュレーションした結果を図7に示す。ここでは、伝播遅延 τ を100とし、意

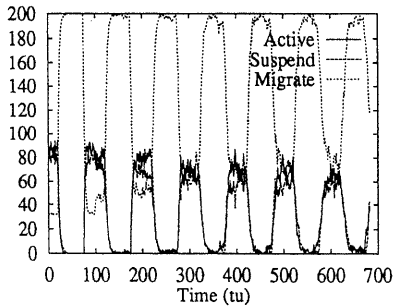


Figure 7: マイグレーション戦略の選択

思決定率 α を $1/3$ としている。また、時刻 $20(tu)$ から $75(tu)$ までの間で、パラメータ U の値を減少させている。扇動者数は、 32 である。図では、間欠的な振動が引き起こされている様子が示されている。このような振動は問題であるが、プロセスマイグレーションの場合は、全てのエージェントがマイグレーション型戦略を選択した時点で、プロセスの再配置をするという判定を下せば、良いであろう。

以上のパラメータに関する議論は、大域的通信を行なうエージェントに関する議論である。局所的通信の場合には、また性質が異なってくるが、ここでは省略する。現在これらのシミュレーションを行なっているところであり、その結果はまた別の機会に発表したい。

5 おわりに

本論文では、我々が提案する集団戦略変更のモデルを概説し、このモデルに基づいて行なってきたシミュレーションの結果の一部を述べてきた。また、本モデルの具体的な応用の一つとして、分散計算システムにおけるプロセスマイグレーションを取り上げ、可能な実現方法を述べてきた。応用に関しては、今後具体的なデータを調べていく必要がある。

現在のところ我々は、各エージェントは等質であり、戦略集合も、利得関数におけるパラメータも同等

であるものとみなしている。これは、解析のし易さに依存するものであり、モデルにおいて本質的なものではない。より現実的な応用を考えた場合、等質でないようなモデルに関する研究が必要とされると思われる。非均質なエージェントとなるとき、問題がどの程度難しくなるのか見積もることは、今の所できない。これは将来の課題として残された問題である。

謝辞

本研究の機会を与えて頂いたソニーコンピュータサイエンス研究所の所真理雄副所長に感謝致します。

参考文献

- [Numaoka 93a] Chisato Numaoka. Collective Alteration of Strategic Types. In *Proceedings of the Second European Conference on Artificial Life*. Centre for Non-Linear Phenomena and Complex Systems, Université Libre de Bruxelles, May 1993.
- [Numaoka 93b] Chisato Numaoka. Collective Alteration of Strategic Types with Delayed Global Information. In *Proceedings of the 1993 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. IEEE, July 1993.
- [Numaoka and Takeuchi 93] Chisato Numaoka and Akikazu Takeuchi. Collective Choice of Strategic Type. In Jean-Arcady Meyer and Stewart W. Wilson, editors, *Proceedings of the Second International Conference on Simulation of Adaptive Behavior: From animals to animats 2*. The MIT Press/Elsevier, 1993.
- [沼岡 92] 沼岡千里. 自律エージェントの集団的戦略変更. 日本ソフトウェア科学会第9回大会論文集, pp. 69-72, 9月1992.
- [上原 93] 上原稔, 所真理雄. 地理的分散システムにおけるプロセスの最適配置. 日本ソフトウェア科学会第10回大会論文集, pp. 69-72, 6月1993.
- [朴 90] 朴圭成, 芦原評, 清水謙多郎, 前川守. 分散オペレーティングシステムにおけるプロセス移送の方式. 情報処理学会論文誌, Vol. 31, No. 7, July 1990.