

心的状態を用いたエージェントの集団形成について

加藤 貴司

木下 哲男

白鳥 則郎

東北大学電気通信研究所 / 情報科学研究科

〒 980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1

電話: 022-217-5454

{p-kato, kino, norio}@shiratori.riec.tohoku.ac.jp

あらし マルチエージェントシステムでは、各エージェントのふるまいによってシステム全体の動作が決定する。その際各エージェントは、主にエージェント間のコミュニケーションによりシステムの状態を把握し、それを基に動作を決定する。しかし、システム全体に対する情報を得るためには、膨大な量の通信が必要となる。そこで本稿では、まずエージェントに心的状態を持たせることを提案し、これを用いて自分自身の価値基準で行動するための枠組みについて議論する。ついで、心的状態を利用したエージェントの集団形成の方法を提案し、エージェント群とそれに関する情報を効率的に用いることによって、より広い範囲のシステムの状態を、最小限のコミュニケーションによって得る方法について議論する。

キーワード エージェントの集団形成, 心的状態, エージェントコミュニケーション, マルチエージェントシステム

Mental State Based Coalition Formation of Agents

Takashi KATOH

Tetsuo KINOSHITA

Norio SHIRATORI

Research Institute of Electrical Communication /
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University
Katahira 2-1-1, Aoba-ku, Sendai 980-8577

Phone: 022-217-5454

{p-kato, kino, norio}@shiratori.riec.tohoku.ac.jp

Abstract In multiagent system environment, the behavior of the whole system may be determined on the basis of inter-agent communication. Each agent obtains the status of the system by inter-agent communication and determine its behavior based on this information. To gather the information for the status of the whole system, however, an extremely large amount of communication will be required. In this paper, we propose a basic framework of the internal information of an agent, called mental states, and a way to determine agent's behavior based on mental states. Next, we propose a framework of coalition formation and a way to gather the information for the status of the whole system with a minimum of communication by utilizing the coalition and information concerning it.

key words coalition formation of agents, mental states, agent communication, multiagent systems

1 まえがき

マルチエージェントシステムではエージェント同士のコミュニケーションがシステム全体の動作を決定する。このときエージェントは自分が置かれている状況に応じて異なる対応をすることが必要となる。しかし従来提案された枠組みでは、エージェントの外部（環境）の状態のみを判断基準とし、エージェント自身の観点から振舞いを決定することはできないため、システムの柔軟性を向上させることは困難であった。

したがって、マルチエージェントシステムが全体として望ましい動作を行ない、効率よく処理を遂行するためには、エージェントがより柔軟な動作を行うことが求められる。

例えば人間の場合、同じ相手から全く同じ要求（仕事の依頼など）を受けた場合、その時の相手の状態（急いでいるかどうか、など）や自分の状態（忙しいかどうか、そのときの気分、など）によって動作を決定する。また、仕事を依頼する場合にも、その仕事をうまく遂行できないような相手に頼んだのでは、時間や労力が無駄となる。従って、その仕事をうまく遂行することができるであろう相手や、信頼できる相手を選択し、仕事を依頼することが必要となる。これにより、全体としてのゴールを効率よく達成することができる。エージェントにおいても、それぞれの動作決定における価値基準としての「心的な状態」を持つことができれば、より柔軟な動作を行なうことができる。

また、その際各エージェントは、主にエージェント間でのコミュニケーションによりシステムの状態を把握し、それを基に動作を決定する。しかし、システム全体の状況に対する情報を得るためには、そのままでは、膨大な量の通信が必要となる。

そこで本稿では、まず、エージェントに心的状態を持たせることを提案し、これを用いてエージェントが自分自身の価値基準で行動するための枠組みについて議論する。これにより、各エージェントはより柔軟な動作を行うことができるようになる。その結果、エージェントは相手の説得など高度なネゴシエーションを行なうことが可能となり、また適切な相手への仕事の依頼などが可能となる。

ついで、この心的状態を利用した、エージェントの集団形成の方法について提案する。これにより、エージェント群とそれに関する情報を効率よく集めることが可能となり、最小限のコミュニケーションによって、より広い範囲のシステムの状態を把握することが可能となる。さ

らに、この情報を用いることによって、エージェントがシステム全体に貢献するような動作の決定を行なう方法について議論する。

以下、2 節では心的状態、及び、本研究におけるエージェントモデルについて定義を行う。3 節では心的状態を用いたエージェントの集団形成について議論し、4 節ではエージェント集団の動作について議論する。5 節で全体のまとめを述べる。

2 心的状態

マルチエージェントシステムではエージェント同士のコミュニケーションがシステム全体の動作を決定する。このときエージェントは自分が置かれている状況に応じて異なる対応をすることが必要となる。しかし従来提案された枠組みでは、エージェントの外部（環境）の状態のみを判断基準とし、エージェント自身の観点から振舞いを決定することはできないため、システムの柔軟性を向上させることは困難であった。

そこで、本節ではエージェントの価値基準として、心的状態を導入し、この心的状態を用いたエージェントの動作について議論する。

この心的状態をエージェントに導入することにより、各エージェントは自分自身の観点にもとづいた動作決定が可能となる。

そのために本節では、まず2.1 節及び2.2 節で、心的状態とエージェントモデルの定義を行なう。ついで、2.3 節で、これらを用いたエージェントの動作について議論する。

なお本稿におけるエージェントとは、他のエージェントとコミュニケーションを行ないながら、このコミュニケーションによって自分の目標を達成しようと試みる自律的な計算主体を指す。これは、主に計算機上の一つ（あるいは複数）のプロセスにより実現されるものである。

2.1 心的状態

本節では、エージェントが自分自身の価値判断によって自分の動作を決定するための機構として心的状態を導入する [1]。

本稿では、より直感的に理解できるようにするために、また、エージェントの自分自身の価値基準を与えるという観点から、新たに“subject”という概念を導入し、改めて心的状態を定義する。

そのために、まず“subject”を導入する。

定義 1 (Subject) エージェントがメッセージのやりとり

において扱う事象（対象問題、関連するエージェント）を **subject** と呼ぶ。

定義 2 (心的状態) エージェントがその内部に保有し、*subject* を処理する際に使われる情報を心的状態と呼ぶ：

$$\text{mental state} = \langle \text{Subject}, \text{MSname}, \text{MSval} \rangle.$$

ここで *MSname* は心的状態の種類を表す識別名、*MSval* は心的状態として割り当てられる値である。

例えば、あるエージェント Agent A が

$\langle \text{Agent B}, \text{信頼度}, \text{高} \rangle$

という心的状態を持っていたとすると、これは Agent A から見た Agent B に対する「信頼度」が「高」いことを示している。

“subject”と“心的状態”を明示的に分離し、定義することにより、エージェントが扱っている対象問題と、問題解決の判断基準を明確にすることができる。

具体的には、スケジューリングを行なう秘書エージェントの場合、表 1 のように記述できる。

表 1: 秘書エージェントの場合の *subject* と心的状態の例

subject	イベント(会議など) メンバー(教授 A, 学生 B など)
心的状態	(各 subject に対して) 優先度 (各 subject に対して) 重要度

ただし、ここで注意すべきこととして、各エージェントがどのような種類の心的状態を持つかはそのエージェントに依存し、上記のもののうち持たないものもあれば、上記以外の心的状態を持つ場合もある。

また、心的状態をどのように利用するかについてもエージェントによって異なる。例えば「優先度」と「信頼度」という 2 つの心的状態を持っているエージェントが複数あった場合、そのエージェントのうちで「優先度」を重視するものもあれば、「信頼度」を重視するエージェントもある。あるいは、両方を同等に扱うエージェントもありうる。

このようなエージェントの「性格付け」は 2.2 節で述べる行動知識によって行なわれる。

また、同じ種類の心的状態を持っていた場合でもその値は各エージェントで異なる値を取り得る。

秘書エージェントを例にとると、優先度に対して

{“非常に低い”, “低い”, “普通”, “高い”, “非常に高い”}

という値を取るものとする、“教授 A”というメンバーに対してその研究室の学生 A であれば“非常に高い”値を取るであろうが、他の研究室の学生 B であれば“高い”、あるいはそれより低い値を取ると思えられる。

また心的状態の多くは、その値が変化するものである。例えば「信頼度」は、あるエージェントが、他のエージェントとのコミュニケーションを行なった結果にもとづいて変更することによって、それ以降どのように動作するのが望ましいかを示すものである。

各エージェントがこうした心的状態を持つことにより、エージェントに対して自分自身の判断基準を付与することができ、これを利用するエージェントでは、様々な状態/状況を反映した、知的で柔軟な動作を実現することができる。例えば、相手のエージェントを説得するといった、高度なネゴシエーションなどを実現することが可能であることを確認している [2]。

2.2 エージェントモデル

前項の心的状態の定義にもとづいて、本研究におけるエージェントを次のように定義する。

定義 3 (Agent) 本研究における *agent* は

$$\text{agent} = \langle \text{executor}, \text{behavior_knowledge}, \text{mental_state} \rangle$$

と定義する (図 1)。ここで *executor* は行動部、*behavior_knowledge* は行動知識、*mental_state* は心的状態である。

executor (行動部) はエージェントの動作の中心部分であり、他のエージェントとの通信や受け取ったメッセージの解析、心的状態へのアクセスなどを行なう。また、受けとったメッセージなどをもとに、次のアクションの決定を行なう。

behavior_knowledge (行動知識) はエージェントが、メッセージや心的状態からどのように振舞うか、受け取ったメッセージに対して、心的状態を変更するのであればどの心的状態を、どのように変更するかなどを記述したものである。これは主にエージェント記述者によって与えられるものとする。この知識がエージェントの性格を決定するものとなる。

また、各エージェントは、一般に次のような手順で動作を決定し、実行する。

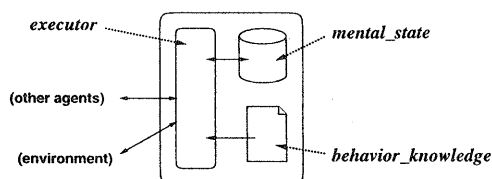


図 1: エージェントモデル

- 他のエージェントからメッセージの受信
- 受けとったメッセージの解釈
- 受けとったメッセージと自分が持っている心的状態をもとに動作決定
- 動作実行

ただしメッセージによってではなく、所定の時間がくるなどのその他の条件によって行動を開始する場合もある。実際にどのような動作を行なうかは *behavior.knowledge* (行動知識) によって決定される。

ここでの動作とは主に次のようなものである：

1. 他のエージェントにメッセージを送信
2. 心的状態の変更
3. タスクの遂行

1. はメッセージを送ってきたエージェントに対して返事を送る場合や、例えばすでに入っているスケジュールの変更が必要な場合に、そのスケジュールに関係したエージェントに変更の要求を出す場合などが挙げられる。

2. は相手からのメッセージによってその相手に対する心的状態を変更する場合などがある。これによってエージェントは動的に自分の価値基準を変更することが可能となる。その結果、同じ相手から同じメッセージを受け取った場合においても、状況に応じて異なった振舞いを行うことが可能となる。

3. は、スケジュール管理を行なうエージェントの場合であれば、受け取ったメッセージに対して自分の持っているスケジュールとのチェックなどを行うといった、具体的な処理である。

このようにエージェントを定義することにより、エージェントが自分自身の価値基準にもとづいて行動することが可能となり、各エージェントはより柔軟な動作を行うことができるようになる。以上のエージェントモデルを用いたエージェントの動作の例について、次節で説明する。

2.3 心的状態を用いたエージェントの動作例

ここでは、心的状態にもとづく負荷分散の例を説明する。これは、複数の他のエージェントの中から、自分にとって最も適切と思われるエージェントを選択し、タスクの依頼を行なうものである。

3 つの秘書エージェント *A*、*B*、*C* がネットワーク上に存在し、あるエージェントが他のエージェントにタスク (書類作成等) の依頼を行なう場面を想定する。

各エージェントの行動知識は、(1) 信頼度の最も高いものにタスクを依頼し、(2) その結果、ACCEPT された場合には、そのエージェントに対する信頼度 (*reliability*) を上げ (+1)、REFUSE された場合には、そのエージェントに対する信頼度を下げる (-1)、ものとする。

このような設定のもとで実験を行なうと、エージェント間でネゴシエーションを繰り返したとき、各エージェントは ACCEPT を返す割合が高いエージェントに依頼を行なうようになっていく。

また、途中でエージェント *C* の ACCEPT を返す割合が変化した場合、その変化に応じて、他のエージェントの動作が変化する。

このように、心的状態をエージェントに導入することにより、各々のエージェントは状況に応じた判断や、適応的な動作といった、柔軟な動作が可能となる。この例で扱った心的状態の種類は「信頼度」の一つのみであったが、さらに「タスクの達成度」のような別の種類の心的状態をエージェントに与えることによって、さらに柔軟に動作しうる。

実際にそのような設定のもとで実験を行なうと、各エージェントは、重視しているものに応じて動作を行なうことが確認される [2]。例えば、達成度を重視するようなエージェントの場合、より高い達成度を返すエージェントに依頼を行なうようになっていく。また、同様に信頼度を重視した場合等においても、重視したものに適応した振舞いを見ることが確認された。

このように、エージェントに心的状態を与えることで、各エージェントは、その状況に応じた適切な動作が可能となる。

しかし、以上の枠組では、各エージェントは自分の知らないエージェントについては、存在するかどうかも含めて、全く情報を得ることができない。また、あくまで、自分の視点から見た他のエージェントに対する評価しかもたないために、他のエージェントの視点から見たシステムの状態などを把握することができない。そのため、

システム全体として見たときに、個々のエージェントの動作は自己中心的なものになっている。すなわち、システム全体に対する視点が欠如しているといえる。

このため、以上の枠組だけでは、システム全体の効率が必ずしも向上しない可能性がある。したがって、このような問題を解決するために、各エージェントにシステム全体に対する視点を与えることが必要となる。このような視点を与えることにより、自分自身の視点からだけでなく、より広い視野でのシステムの状態の把握が可能となる。そして、これをもとに各エージェントが動作を決定することによって、システム全体としての効率が向上することが期待される。

次節で、そのための方法について議論する。

3 Loose Coalition

3.1 エージェントの集団形成

前節で導入した心的状態においては、エージェントがシステムの広い範囲の状況をとらえようとしたときは、その範囲の全てのエージェントに対して通信を行い、情報を収集しなければならない。しかし、これは記憶容量やネットワークトラフィックなどの問題から、現実的ではない。また、自分の知らないエージェントについては、情報を収集する手段が全くない。

そこで、システムのより広い範囲の情報を入手するための方法として、loose coalition の概念を提案する。これは、あるエージェントから見た、他のエージェントとのその時の提携関係を表現したものである。各エージェントが、この coalition に関する情報を交換することにより、あるエージェントと関連の強いエージェントがどれであるかを把握することが可能となり、そのエージェントを中心とした周辺の状態を知ることができるようになる。したがって、この情報を利用することにより、最小限のコミュニケーションによって、より広い範囲の状況を把握することが可能となる。

エージェント間の協調を扱った既存研究としては、Contract Net Protocol [3] や Multistage Negotiation Protocol [4] などがある。これらは、ある一定のゴールに対して、各エージェントの役割を決定しようとするものである。これらの方法は複数のエージェントからなる組織をつくるものと見ることが可能である。しかし、その組織はタスク（ゴール）ごとに形成されるものであり、そのため、一つのタスク（ゴール）に複数のエージェントが束縛されてしまう可能性がある。そのため、組織としての柔軟性に乏しく、システム全体としての効率を向上させる

ことは、必ずしも容易ではない。

また、coalition の形成においては、Shehory らの方法 [5] などがあるが、これは複数のタスク（ゴール）に対して、システム上の全てのエージェントを、いくつかのグループに分け、各グループでそれぞれのタスクを処理することにより、システムの効率を向上させようとするものである。しかしこの方法は、ある複数のタスクが存在したときに、全体をそのタスクの数だけ分割し、各グループでそれぞれのタスクを処理するため、それらのタスクのみを処理すれば良い場合には効率が良いが、実際のマルチエージェントシステムのように、不定期にタスクが出現するようなシステムではうまく動作しない。さらにこの方法は、新たなタスクがシステムに与えられるたびに coalition 形成を行なわなければならないために、そのオーバーヘッドが大きいと考えられる。そのため、この方法は実際のマルチエージェントシステムにおいては、必ずしも適切な方法とはいえない。

一方、近年、エージェントの動的な組織形成の方法が提案されつつある。そのような中で、例えば、Jennings らのグループは Social awareness の概念を提案している ([6], [7] 他)。これはエージェントに社会的な意識を持たせることにより、各エージェントとシステムの両方の効用を考慮してエージェントの動作を決定させようとするものである。

本稿では、エージェントに社会的な視点を与え、動的な組織形成を可能とする loose coalition の概念を提案する。これは、各エージェントを形成した組織に束縛するものではなく、各エージェントを中心とした、そのときのエージェント間の関係をもとに構成するものである。

この loose coalition において、

- より広い範囲のシステムの状態の把握
- 動的な組織構成をもとにした、タスク割り当て
- エージェントの観点、状況に応じた coalition の形成

などの実現を目指す。このうち本稿では、より広い範囲のシステムの状態の把握を中心に議論を進める。

まず、3.2 節で loose coalition とその情報についての定義を行なう。ついで 4 節で具体例について議論する。

3.2 Loose Coalition

以下、loose coalition の定義を行ない、その後、coalition に関する情報について定義する。

定義 4 (Loose Coalition) エージェント i から見た loose coalition C_i は、次のように定義される：

$$C_i = \{(j, w_j) \mid \vec{m}_{i \rightarrow j} \succ \theta_i\}.$$

ここで j はエージェント、 w_j はエージェント i が、エージェント j に関して付与する重みで、エージェント j に対する心的状態をもとに決定される実数値である。 $\vec{m}_{i \rightarrow j}$ はエージェント i から見たエージェント j に対する心的状態の集合、 θ_i は $\vec{m}_{i \rightarrow j}$ に対するしきい値である。また $\succ$ は心的状態の集合 $\vec{m}_{i \rightarrow j}$ と、しきい値 θ_i の比較を行なう演算である。

なお、 $\vec{m}_{i \rightarrow j}$ に対する演算 $\succ$ 及びしきい値 θ_i は、エージェントごとに定義されるものとする。

図2にエージェント A (●) から見た coalition の例を示す。図中で、エージェント間の線の太さは、重み w_j の大きさに対応している。

この w_j は、エージェント j に対する信頼度や重要度といった心的状態をもとに決定されるものである。これは、エージェント i から見た、エージェント j に対する総合的な評価であるといえる。

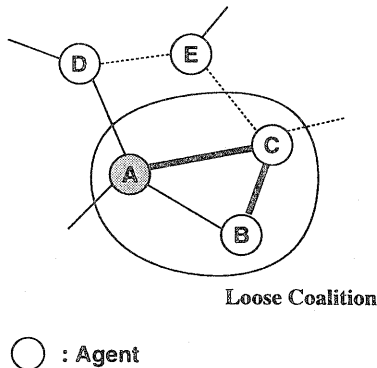


図2: Loose Coalition

Loose coalition の特徴として、各エージェントがもとも持っている心的状態を用いて coalition を定義しているために、coalition を作る際に、そのためだけに情報収集 / 交換をする必要が全くないことが挙げられる。すなわち、その時点での自分自身の心的状態のみで coalition を決定することができる。

このように coalition を定義し、その coalition に関する情報を交換することにより、他の個々のエージェント

に対する情報だけではなく、より広い範囲の情報を得ることができるようになる。そして、その情報をもとに動作を決定することにより、システム全体としての効率を向上させることができるようになる。

次に、エージェントと coalition の間で交換される情報 $\vec{M}_{C_i}$ を定義する。 $\vec{M}_{C_i}$ は、エージェントに対する心的状態の拡張になっており、これは coalition の心的状態を表すものであると解釈できる。そのため、2.1 節で定義した、エージェントに関する情報である心的状態と、この coalition に関する情報を、統一的に扱うことが可能である。

定義 5 (Loose Coalition に関する情報) Loose coalition に関する情報を

$$\vec{M}_{C_i} = \text{avg}_i(\vec{m})$$

と定義する。

ここで avg は心的状態の集合の重み付き平均である：

$$\text{avg}_i(\vec{m}) \equiv \frac{\sum_{j \in C_i} w_j \vec{m}_{i \rightarrow j}}{\# \{C_i\}}.$$

各エージェント間で、 C_i と $\vec{M}_{C_i}$ に関する情報を交換することによって、エージェントはより広い範囲の情報を得ることができる。

各エージェントは、この coalition についての情報を得ることにより、

- coalition 単位での状況 (coalition としての忙しさ等)を知ることができる
- ネゴシエーションしていない相手の情報も同時に得ることができる
- 自分がその coalition に対して貢献できるか、等を判断する

といったことが可能となる。

したがって、このような情報をもとに各エージェントが動作を決定することによって、より社会的な振舞い、すなわちシステム全体に貢献するような振舞いを選択することができるようになる。

4 Loose Coalition を用いたエージェントシステムの動作

本節ではまず、coalition がどのように形成されていくかについて考察する。

2.3 節で述べたように、各エージェントは自分の所持しているタスクを遂行するために、必要に応じて自分以外のエージェントとネゴシエーションを行ない、その結果

に応じて、相手に対する自分の心的状態を変化させていく。

ここで、定義4の条件部を、

$$(\text{reliability}) > \theta_i \quad (i \in \mathcal{R})$$

とすると、coalition は、そのときの reliability をもとに形成される。

ネゴシエーションを繰り返すことにより、各エージェントがもつ reliability の値が変化するため、coalition も動的に変化していくことになる。このようにして coalition が形成されていく。

次に、図3のような状況を考える(図中で、エージェント間の線は省略した。図2参照)。今、エージェントAに注目して考える。

このとき、エージェントAから見た coalition は C_A であり、そのメンバーはエージェントA, B 及びCである:

$$C_A = \{(A, w_A), (B, w_B), (C, w_C)\}.$$

C_A の各メンバー(エージェントB, C)から見た coalition はそれぞれ次のようになる:

$$C_B = \{(B, w_B), (A, w_A), (D, w_D)\},$$

$$C_C = \{(C, w_C), (E, w_E), (F, w_F)\}.$$

また、 $\vec{M}_{C_B}$, $\vec{M}_{C_C}$ はそれぞれ次のようになっているとする。

$$\vec{M}_{C_B} = \langle \text{busy} = 17, (\text{reliability to } A) = 10, \dots \rangle,$$

$$\vec{M}_{C_C} = \langle \text{busy} = 10, (\text{reliability to } A) = 12, \dots \rangle.$$

このような状況において、エージェントAがいずれかの coalition に貢献しようとしたときには、

$$C_i = (\text{busy が最大であるような coalition})$$

を選択し(この場合 C_B)、その coalition に対して貢献することにより、システムの効率が向上すると考えられる。これは、2.3 節でのエージェントの選択方法の拡張になっている。また、2.3 節の場合と同様に、busy のみではなく、複数の要素を用いることで、さらに適切な coalition の選択が可能となる。

さらに、 $\vec{M}_{C_i}$ は w_j の重み付けによって定義されているため、 C_i に含まれている w_j の値を参照することにより、どのエージェントが最も忙しいかを推測することも可能である。

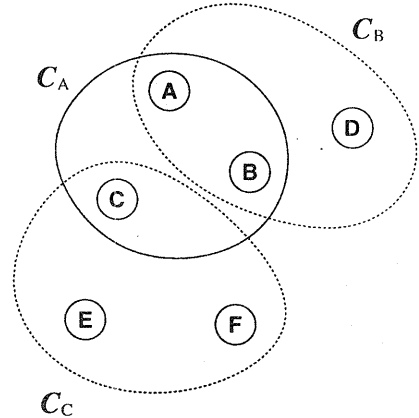


図3: Coalition の例

また、このときそれまで全く関係のなかったエージェントとの関係が生じ得る。この例の場合、エージェントD, E, Fはそれまで、エージェントAと一度もコミュニケーションしていない可能性のあるエージェントである。しかし、このように coalition のメンバー(エージェントB, C)とのエージェント間コミュニケーションを通じて、coalition の情報を得ることによって、今まで関係のなかったエージェントの存在を知り、そのエージェントとの新たな関係が生じる可能性がある。これにより、エージェントAの視野が広がることになり、その結果、さらに広い範囲を対象とした coalition が形成される。

以上のように loose coalition の概念をマルチエージェントシステムに適用することによって、各エージェントが、より広い範囲のシステムの状態を把握することが可能となる。さらに、これらの情報をもとに各エージェントが動作を決定することにより、システム全体の効率が向上すると考えられる。

5 むすび

エージェントに心的状態を導入することにより、自分自身の価値基準にもとづいて動作を決定することができる。その結果、相手や自分の置かれている状況などによって振舞いを変えろといった、柔軟な動作が可能となる。これにより、エージェント間でのコミュニケーションをより柔軟に行なうことが可能となる。さらに、適切な相手への仕事の依頼など、効果的な負荷分散が可能になり、システム全体の効率の向上も可能となる。すなわち、本研究で提案したエージェントモデルを用いることで、よ

り柔軟なマルチエージェントシステムが構築可能と考えられる。

さらに、本稿で提案した loose coalition C_i 、及びこれに関する情報 $\vec{M}_{C_i}$ を用いることにより、各エージェントがより広い範囲の状況を把握することが可能となる。そして、それをもとに各エージェントが動作を決定することにより、システム全体の効率が向上すると考えられる。

現在、提案した諸概念をエージェントの coalition 形成において利用する枠組について、また、coalition の形成の際に、エージェントの視点を陽に考慮する方法について検討を進めている。また今後、実験による評価を行なう予定である。

参考文献

- [1] Takashi KATOH, Hideki HARA, Tetsuo KINOSHITA, Kenji SUGAWARA, and Norio SHIRATORI. Behavior of agents based on mental states. In *Proceedings of the 12th International Conference on Information Networking (ICOIN12)*, pp. 199–204. IEEE, January 1998.
- [2] 加藤貴司, 木下哲男, 白鳥則郎. 心的状態に基づくエージェントの動作について. 電子情報通信学会技術研究報告 Vol. 97 No. 297, 電子情報通信学会, September 1997. CS97-72.
- [3] REID G. SMITH. The contract net protocol: High-level communication and control in a distributed problem solver. *IEEE Transactions on Computers*, Vol. C-29, No. 12, pp. 1104–1113, December 1980.
- [4] Susan E. Conry, Kazuhiro Kuwabara, Victor R. Lesser, and Robert A. Meyer. Multistage negotiation for distributed constraint satisfaction. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 21, No. 6, pp. 1462–1477, November/December 1991.
- [5] Onn Shehory and Sarit Kraus. Task allocation via coalition formation among autonomous agents. In Chris S. Mellish, editor, *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1995 (IJCAI-95)*, Vol. I, pp. 655–661, Denver, Colorado, August 1995. International Joint Conferences on Artificial Intelligence, Inc., Professional Book Center.
- [6] S. Kalenka and N. R. Jennings. Socially responsible decision making by autonomous agents. In *Proceedings of Fifth International Colloquium on Cognitive Science (ICCS-97)*, May 1997. San Sebastian, Spain.
- [7] L. M. Hogg and N. R. Jennings. Socially rational agents. In *Proc. AAAI Fall symposium on Socially Intelligent Agents*, pp. 61–63. AAAI, November 1997.
- [8] Yoav Shoham. Agent-oriented programming. *Artificial Intelligence* 60, pp. 51–92, 1993.