

## グループ代替案選択支援システムにおける エージェント間の説得機構について

伊藤 孝行<sup>†</sup>      新谷 虎松<sup>†</sup>

On a Persuasion Mechanism Among Agents  
for Group Choice Design Support Systems

Takayuki ITO<sup>†</sup> and Toramatsu SHINTANI<sup>†</sup>

あらまし 本論文では、エージェント間の説得による合意形成に基づくグループ意思決定支援システムを提案する。本システムではユーザは AHP ( Analytic Hierarchy Process ) とエージェントを持つ。ユーザは主観的評価によって、各々に AHP を用いて問題の構造を明らかにし、代替案の重要度を決定する。その問題の階層構造と代替案の重要度を基本情報としてエージェントは交渉し、グループとして最も好ましい代替案を 1 つ得るために合意を形成する。既存のシステムではエージェントの合意形成方式として投票方式が一般的であった。しかし投票方式はさまざまな矛盾を包含していることが指摘されている。そこで、本システムでは単純な投票方式は使わず、説得による交渉によってエージェント間の合意形成を実現する。本システムでは AHP の特長の曖昧な尺度による重み付けに注目して説得機構を構築する。説得機構には、なぜ説得されたのか、どのように交渉が進んだのかなど、ユーザの交渉内容に対する納得を得るための説明機構が含まれる。最後に本システムの使用実験から得られた有用な知見と説得機構に関する実験から得られた説得機構の有効性を示す。

キーワード マルチエージェントシステム, 説得, グループ意思決定支援システム, AHP

### 1. はじめに

オペレーションズ・リサーチの分野を中心として、グループにおける意思決定を支援するシステム GDSS ( Group Decision Support System ) の研究が盛んに行なわれている [15][16]。GDSS は、共通のコミュニケーション障壁を取り除くことにより、グループの意思決定プロセス [5] を改善することをねらいとするものであり、そのために決定分析を構造化し、議論のパターン、タイミング、内容にシステムティックな指示を与える技術を提供するものである。GDSS はその支援機能に関連して、3 つのシステム型に分けられる。第 1 のシステム型はメンバー間の情報交換を容易にするためのサポートが中心である。第 2 のシステム型は、意思決定モデルやグループ意思決定技術を提供することによって、グループの意思決定プロセスの中で生じる

情報の不確実性を減らすことをねらいとするものである。第 3 のシステム型は、マシンによって誘導されるグループのコミュニケーションの支援として特徴づけられる。ここでは、メンバー間の情報交換のパターン、タイミング等に関して専門家のアドバイスがルール化され、ミーティングをリードする必要がある [2][14]。第 3 のシステム型では AI の導入による知的な支援効果が期待できる。現在、GDSS の研究において第 3 のシステム型の効果的な実現が強く要望されている。本論文では、エージェントの構成技法を導入することにより第 3 のシステム型の GDSS を試作する。

エージェントの研究は AI の分野で盛んに行われており [6]、その定義もさまざまであるが、本研究では次のように定義する。エージェントとは、ユーザが距離の障壁を越えて対話することを可能にする複数の計算機のネットワーク環境において、ネットワーク上でユーザの代理人として動作するプログラムである。エージェントは自律的、協調的に行動する。ネットワーク上のエージェントがユーザの代理人として行なうべき仕事として、他のエージェントとの合意形成 [11][12]

<sup>†</sup>名古屋工業大学知能情報システム科, 名古屋市  
Department of Intelligence and Computer Science, Nagoya  
Institute of Technology, Gokiso, Showa-ku, Nagoya, 466  
Japan

がある。合意形成は、第3のシステム型のGDSSがサポートすべき主要なグループの意思決定プロセスである。

人間のグループによる合意形成は投票によって合意を得るのが一般的である。投票によって合意形成を行なった場合、結果が予想通りである場合もあるが、予想が全く外れて意外な結果を示すことも多い。これは、多数決原理の矛盾、単記投票方式の矛盾などによって、投票された票の集計方法によって全く異なった結果を示す場合があるからである。また、投票による決定方法で「個人選好の無制約性」、「市民の主権性・パレート最適性」、「無関係対象からの独立性」および「非独裁性」の民主的な意思決定に必要なとされる4つの公理をすべて満たす決定方法は存在しないことがArrowの一般可能性定理によって示されている[20]。実際の人間における交渉を考えた場合、投票以外の合意形成の一つとして、グループのメンバーが互いに相手を説得することによって、合意を形成していくという方法が考えられる[7][8]。

説得による合意形成をエージェントが行なうにはどのような仕組みが必要であるか？それにはまず、一般的な人間の間の説得を分析することが必要である。文献[18]では、説得を次のように定義している。説得とは「主として言語を用いて、相手方をして自発的に自己の求める行動を取らしめる作業」である。ソフトウェアであるエージェントによる説得を考える場合に重要なことは、被説得者に自発的な行動を起こさせることである。そこで、本論文ではエージェント間の説得を次のように定義する。エージェント間の説得とは、「説得する側のエージェントが送信した説得のメッセージを説得される側のエージェントが受けとり、説得される側のエージェントが自らの知識に関する信念を変更することによって、説得のメッセージに同意すること」である[9]。具体的な実装方法は3.2節で述べる。

本システムのエージェントのように、ユーザの代理人としてユーザから権限を委任されてユーザの作業を代行したり、ユーザに示唆を与えたりするエージェントをインターフェースエージェントとよぶ。インターフェースエージェントを成功させる鍵は、信頼性の保証と代行能力の高さである[17]。本システムにおけるエージェントは、ユーザの代理人として説得による交渉を行なう点で高い代行能力を持つ。そして、エージェント間で説得が行なわれる場合に、なぜ説得されるのか、などの説明機構を設けることによって、ユー



図1 システム構成  
Fig. 1 System Architecture

ザへの信頼性を高める。

以上の背景と動機から、本論文ではエージェント間の説得による合意形成に基づくグループ意思決定支援システムとして、グループ代替案選択支援システムを試作する。本グループ代替案選択支援システムでは、代替案選択支援において、ユーザの主観的な評価を定量的に扱うためにAHP (Analytic Hierarchy Process)[13]を採用する。

本論文の構成は、2章でグループ代替案選択支援の構成要素、および本システムを用いたグループの意思決定支援の流れを示す。3章では、本システムの特長となるエージェントの担うタスクについて説明する。ここでは、AHPの階層構造の管理方式や、本論文で提案するエージェント間の説得についての具体的な機構、及びユーザに対する信頼性を増加させるための説明機構について述べる。4章では、本研究で試作したグループ代替案選択支援システムの実行例と使用評価を示し、本研究で提案する説得機構の有効性を実験を通して示す。最後に5章で本論文の結論を述べる。

## 2. グループ代替案選択支援機構

### 2.1 システム構成

本グループ代替案選択支援機構の構成を図1に示す。本グループ代替案選択支援機構では、各ユーザの意思決定は階層化意思決定支援機構によって支援する。各階層化意思決定支援機構はエージェントが管理する。エージェントは階層化意思決定支援機構における情報を参照することにより、他のユーザのエージェントと交渉をする。エージェントのタスクについては3章で論じる。本システムは、ネットワーク環境における計算機を前提とする。階層化意思決定支援機構には、ユーザが、代替案を決定し、AHPによって問題を階層化し、一対比較を行なうことによって代替案の重要度

を決定する機能として、代替案決定支援機能、階層構築支援機能、一対比較機能が含まれる。各機能はユーザの負担を軽減するために直観的に分かりやすい GUI (Graphical User Interface) を用いて構築する。

本システムによるグループ意思決定支援過程は以下の流れで行われる。まず、決定自体を提案する主催者となるユーザである主催ユーザが、決定を行なうことを他のユーザに伝える。次にユーザは、代替案決定支援機能を用いて相互に対話しながら、多数の選択肢の中から選択対象とする代替案の候補をいくつか決定する。代替案決定支援機能において、ユーザは共有する代替案のデータベースから代替案としたい案を選びだし、他のユーザに提案する。代替案はブレインストーミングなどで決定する。代替案が決定したら、各ユーザは階層構築支援機能、一対比較機能を用いて、決定された代替案について、個別に主観的評価に基づいて問題を AHP の手法を用いて分析し、各代替案の重要度を決定する。そして、ユーザごとの代替案の重要度、階層構造を基本情報としてエージェントは他のユーザのエージェントと交渉を始める。エージェントの交渉は 3.2 節で述べる説得機構を用いた説得を基本とした交渉である。エージェントの交渉の結果、候補の代替案から一つの代替案を選択するための合意を得る。最後に合意を得られた代替案についての情報がユーザ全員に通知される。

2.2 AHP の利用

AHP [13] は、システムズ・アプローチと主観的判断を組合せることにより、定量分析では扱いきれない決定問題に対処する手法である。この手法では、意思決定者の勘や経験を生かすことがその主眼となっている。AHP では、まず決定問題を、目的、評価基準、代替案の関係でとらえて階層構造を作りあげる。あるレベル(図 2 では代替案 I、代替案 II、および代替案 III)にある要素間の一対比較を、そのひとつ上にあるレベル(図 2 では評価基準 I)の要素を評価基準として用いて行う。ここでは、各評価基準ごとに得られる一対比較値の集合を一対比較行列(図 2 の左上)として扱うことにより、一対比較要素の重要度(つまり、評価基準に対する重み)を解析的に求める。具体的には、各要素の重要度は、一対比較行列における最大固有値の固有ベクトルの値として得られる。階層全体から見ての個々の要素の重要度は、各評価基準ごとに得られた優先度を合成することにより計算できる。

一対比較行列の特徴は、(1) 対角要素は 1、(2) 行列



図 2 AHP による意思決定階層図  
Fig.2 A decision hierarchy using the AHP

の要素の値は  $a_{ij} = 1/a_{ji}$  である。一対比較による要素間の重みづけは 9 点法が用いられ、その重み付け(評点)は別の第三の要素から見て決定される相対的重み付けである。9 点法は、一対比較値として、1(同じように重要を示す)から 9(非常に重要を示す)までの正整数値を与えるものである(図 3)。

AHP には、主観的評価の整合度を表す指標がある。この指標は非整合度尺度 (I.R. (inconsistency ratio)) と呼ばれ、理想的な一対比較が行われると非整合度尺度 I.R. は 0 になる。もし、この非整合度尺度の値が 0.1 以下であれば、経験的に、一対比較に整合性が有り判断できる。

一般的に、明確な尺度を持たない要素間の比率をユーザが厳密に答えるのは不可能である。そこで AHP では、一対比較値を獲得するために、“非常に重要”、“かなり重要”、“重要”、“やや重要”、“同じように重要”といった言葉による (verbal な) ファジィな表現を用いることによってつかみどころのない要因を含む問題に関する主観的な分析を可能にし、ユーザの負担を軽くする。つまり、AHP における一対比較値は人間の意思を厳密に表すのではなく、だいたいこれぐらいという人間の主観的評価値を表すのである。そこで本システムでは人間の主観的評価が、ある値を中心とした 2 区間の範囲を含むと考える。1 区間は 9 点法の最小単位で、図 3 では 1 目盛である。例えば、AHP の

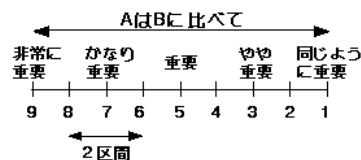


図 3 要素 A と B 間の重み付け  
Fig.3 Scale of Measurement for AHP

一対比較において、“かなり重要”と評価された重みは AHP の内部では 7 の重みとされるが、2 区間分もその範囲と考え、重みが 6,7,8 のいずれかであるとすると (図 3)。

さらに本システムでは、一対比較において、ユーザの一対比較に対する信念を表すための 2 つの状態として“確定”および“仮定”を用意する。例えば、ユーザによって確定とされた一対比較は、その重みが確定的 (つまり、信頼できる) な値として扱われ、仮定とされた一対比較はその重みが仮定的 (つまり、不確か) な値として扱われる。エージェントは説得において、全体的なウェイトの変化を要求された場合に、仮定とされた一対比較の重みを 2 区間の範囲で微調整することによって、全体的な代替案の重要度を変化させることが可能かどうかを調べる。この時、非整合度尺度 I.R. が 0.1 以下という制約の中で微調整が行なわれる。具体的な説得機構は 3.2 節で論じられる。

### 2.3 階層構造の部分的共有

一般的に AHP を用いてグループの意思決定を行う場合、共通目標状況 [3] (すべてのユーザが同じ目標を持つ) を前提として問題の階層構造を 1 つだけユーザ間の交渉で決定し、その階層構造に基づいて、各々のユーザが一対比較などを行なう。この場合、すべてのユーザが同じ目標、つまり評価基準を持つことから、すべてのユーザが協動的にある一つの階層構造を構築することを支援するようなシステムが考えられる。本システムが支援する非共通目標状況 (各ユーザが非共通な、または隠された目標を持つ) では、非共有な目標や隠された目標があるために、階層構造は各ユーザによって異なる場合があるため、それらの階層構造から 1 つの階層構造を構築することは困難である。このようなグループの意思決定を支援するためには、個々のユーザが別々に階層構造を構築するシステムが考えられる。しかし、ある目標を共有する場合、個々に階層構造を構築すると他のユーザの情報を把握することが困難であり、気付かない目標が存在するなど、階層構造を効果的に構築できない可能性がある。

非共通目標状況においてグループのユーザが各々の異なる形の階層構造を持ったままでは、効率的なコンセンサスは得られない。そこで本システムでは、異なる階層構造は保持したまま重要度に関するコンセンサスを得ることを目的とする。さまざまな矛盾を包含する投票による決定に比べて、コンセンサスは、以下の 2 つの理由で最も望ましいとされるからである。ま

ず第一に他のユーザの持つ情報を交渉によって知ることができ、交渉が有益になる。第二にコンセンサスをしたメンバー全員が、決定に対して満足できることが多い。

そこで本システムでは、階層構造を公開部分と非公開部分に分ける。他のユーザの階層構造の公開部分を参照することを可能とし、共通の目標に関するより多くの評価基準の情報を交換することにより、グループ意思決定のための多くの情報を得ることができる。ユーザは他のユーザの公開された階層構造については積極的に自分の階層構造に取り入れることによって、共有する目標に関しては協動的に階層化分析するものとする。また、非公開部分は他のユーザから隠蔽されるため、他のユーザとは異なる目標や隠された目標のための部分的な階層構造を自分の階層構造に組み込むことが可能である。具体的には本システムでは、階層構造全体は基本的に公開する。目的および代替案は必ず公開する。ユーザは評価基準について公開か非公開かを選択可能である。そして、非公開とされた評価基準を根とした木に含まれるすべての評価基準を非公開とする。

## 3. エージェント

### 3.1 AHP の階層構造の管理

エージェントは、ユーザが主観的な評価で AHP による階層構造の構築、一対比較行列を動的に管理する。一般に AHP では、ユーザに大量の一対比較を要求する。階層の各レベルでひとつの評価基準に対して  $n$  個の要素があれば  $n(n-1)/2$  回の一対比較を行う必要がある。階層のレベルや各レベルでの要素数が大きくなると、非常に多くの一対比較が必要になる。エージェントは、ユーザの負担を減らすために以下の方法を用いて一対比較の回数を効果的に減らす。そして、一対比較の回数を減らすと同時に、一対比較行列全体の整合性を動的に保つことができるようにユーザをリードする。

本システムでは、一対比較要素の全要素の初期値として、“どちらも同じくらい重要”を意味する 1 を仮定な値として与える。ユーザは自分にとって確信のできる一対比較を確定とし、「確信はできないがどちらかといえば」という一対比較については仮定とする。そして、そのどちらでもない決め難い一対比較については、初期値のまま“どちらも同じくらい重要”を意味する値 1 とし、仮定とする。

AHP では、整合度のある（つまり非整合度尺度 I.R.=0 の）一対比較行列には要素間に推移性が成り立つ．例えば、要素  $a_{12}$  の重みは  $W_1/W_2$ 、要素  $a_{23}$  の重みは  $W_2/W_3$  であることから、要素  $a_{13}$  の重みが  $a_{12} \times a_{23} = W_1/W_2 \times W_2/W_3 = W_1/W_3$  となる．ここで、 $W_i$  は一対比較の対象  $i$  の重要度である．本システムでエージェントは、一対比較の効率化のために Harker 法 [4] などの一対比較を補間する方法以外に、単に推移性を用いて確定的とされた一対比較から推移的に求められる要素を動的に求める．推移的に求めた要素がすでにユーザによって確定的または仮定的に決定されていた場合はユーザに一対比較のやり直しを促し、ユーザによって1度も触れられていない場合は、求めた値を仮定的な一対比較の値とする．Harker 法は、カバリングという条件を満たす時のみ適用可能 [19] なことが知られており、カバリングの条件を満たすためには、少なくとも一対比較行列の中の要素が推移性によってすべて予想可能になる程度の一対比較値が必要となる．実際のシステムにおいてはユーザにカバリングを意識させることは負担が大きい．本システムでは初期値をすべて”どちらでもない”と置くことによって、ユーザに対する無理な一対比較を強制することを避けた．

一対比較において、非整合度尺度 I.R. の値が 0.1 より大きくなった場合には、一対比較に整合性（すなわち、一対比較の推移性）がないことを意味しており、一対比較のやり直しが必要となる．一般に、AHP では、一対比較のやり直しは、煩わしい比較作業の繰り返しを再度強いることになり、意思決定者にとり大きな負担になる．本システムでは、ユーザが一対比較において重み付けをすると同時にエージェントが非整合度尺度 I.R. の値を動的に監視し、I.R. が 0.1 を越えた場合は、ユーザに GUI によって視覚的に分かりやすく伝えることによって、一対比較のやり直しを促す．以上のように非整合度尺度 I.R. をエージェントがユーザを導く形で動的に管理することによって、一対比較行列全体のやり直しの回避を可能にし、整合度の高い一対比較行列を実現できる．

### 3.2 説得機構

本システムのエージェント間の合意形成は、2つのエージェントの説得を積み上げた合意である．ここでは、まず、エージェント全体の交渉の流れを示し、次にグループ間の説得の流れ、そして2エージェント間の説得の流れを示す．

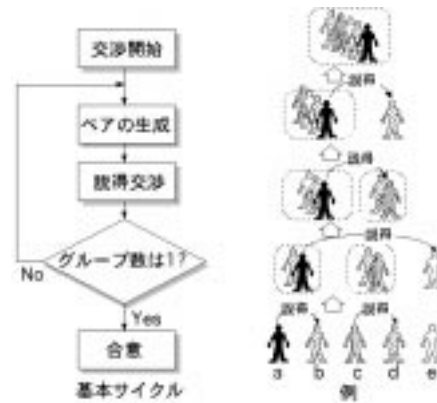


図4 エージェント間の交渉の流れ  
Fig. 4 Negotiation among agents

エージェント全体の交渉の流れの基本的なサイクルと例を図4に示す．基本的なサイクルは図4の左側の図のような流れである．まず主催ユーザによってエージェントの交渉が開始される．交渉が開始されると、グループがペアを生成する．交渉開始直後はグループはそれぞれ1エージェントで構成される．ここでは2つのエージェントがランダムに選ばれ1組のペアを作り、説得する側、説得される側のエージェントをランダムに決定する．人間の説得においては声の大きい者の意見が通ったり、先に言った者勝ちであったりする 경우가多い．つまり、発言機会がユーザ間で均等では無いことが多い．本システムでは、2エージェントの組み合わせおよび説得の先手の決め方にランダム性を持たせることによって、発言機会、つまりユーザの好みを反映させる機会をなるべく均等にする．ペアが生成されるとそれぞれのペアにおいて2エージェント間の説得が行われる．説得が成功したらそのペアは1つのグループを形成する．説得が失敗したら、説得する側と説得される側を入れ替わって説得を行なう．入れ替わっても成功しなければ、そのペアはグループを組まず、次のサイクルに移る．そして、グループの数が1つになれば合意、そうでなければ、もう一度ペアの生成から始める．以上のようなサイクルに従いエージェントは交渉する．本手法では全体的な合意を必ず得るわけではない．合意が得られない場合は意見が分かれていると考えられるからである．本システムにおいてはこのサイクルの回数を主催ユーザが決定する．主催ユーザは合意が得られない場合は、エージェントの交渉を止め、どのような意見を持つグループに分か

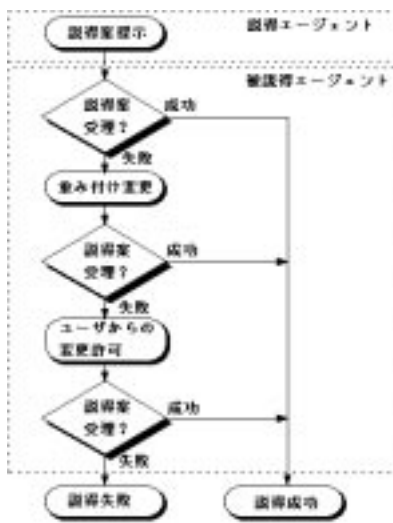


図5 2 エージェント間の説得の流れ  
Fig.5 The process of persuasion between 2 agents

れているかを知ることができる。

図4の右の図は、エージェントの交渉の例を示している。ここで、 $a, b, c, d, e$  をエージェントとする。まず  $a$  が  $b$  を、 $c$  が  $d$  を説得し、説得が成功したとする。 $a$  と  $b, c$  と  $d$  がグループを作る。説得したエージェントがグループの代表のエージェントとなる。ここで  $a$  と  $b$  のグループ、 $c$  と  $d$  のグループ、及び  $e$  による交渉が行われる。 $e$  を1エージェントのグループと見ることによって、ここからはグループ間の説得による交渉となる。グループ間での説得については後に述べる。ここでは、 $a$  と  $b$  のグループが  $e$  を説得し、最後に  $c$  と  $d$  のグループを説得することによって合意を得る。

エージェントのグループ間の説得では、グループの代表となるエージェント同士が説得を行う。説明を簡単にするためにグループ A とグループ B があるとする。グループ A の代表者がグループ B の代表者を説得し成功したとする。グループ B の代表者はグループ A に加わり、グループ B のメンバーはグループ B を解散する。解散したメンバーはグループから離脱し一つのエージェントに戻る。例えば、図4の右の図において、 $a, b, e$  と  $c, d$  のグループにおいて  $a$  が  $c$  の説得に成功した時、 $c$  は  $a, b, e$  に加わり、 $d$  は一つのエージェントに戻る。つまり、全体としてはグループが  $a, b, c, e$  と  $d$  となる。

エージェント間の説得の基本となる2つのエージェ

ント間の説得の流れを図5に示す。説得するエージェントを説得エージェント、説得されるエージェントを被説得エージェントとよぶ。まず、説得エージェントは、説得案を被説得エージェントに提示する。説得案は、ユーザが AHP によって主観的評価によって決定した重要度の順が最も高い代替案である。被説得エージェントは以下の流れで説得案を受理するかどうかを決定する。

第一に、説得案の受理のチェックを行う。説得案の受理のチェックにおいて、説得案を受けとった被説得エージェントは、自分の選好順序の最も高い代替案が説得案として提示された代替案と同じであれば説得案を受理するが、異なれば受理しない。説得案を受理したら説得は成功となる。

第二に階層構造の中の一対比較行列の重み付けを変更することによって、代替案の選好順序に変更を試みる。例を図6に示す。あるエージェントの選好順序の変更前が図6の上図、変更後が図6の下図だとする。図6の上図においては選好順序に関して代替案 I が代替案 II および代替案 III に勝っているとすると、この時、代替案 II が説得案として提示されたとすると、このエージェントは代替案 II の重要度を増加し、代替案 I と選好順序を逆転できないかを試みる。本システムでは選好順序を変更するためのヒューリスティクスとして、代替案を直接、一対比較要素として持つ一対比較行列に関してのみ、重要度を増加させるべき代替案に関する仮定的な一対比較の変更を行う。その他の一対比較行列に関しては変更は行なわない。図6の例では、点線で囲んだ階層の一対比較行列が対象となる。これは、各階層における一対比較は他の一対比較とは関係なく独立に行なわなければならないという AHP の特長のためである。

代替案を直接一対比較要素として持つ一対比較行列に対して次の戦略で調整を行なう。AHP の特徴から、代替案  $I_i$  に関する重要度を増加させるためには、一対比較行列の第  $i$  行の対角要素以外の要素の値を増加させれば良い。つまり本システムのエージェントは、代替案  $I_i$  に関する重要度を増加させるために、一対比較行列の第  $i$  行の仮定的な要素の値を9点法の尺度において1区間ずつ、最大2区間の範囲で全体的な代替案の選好順序に変化があるまで増加させる。例を図7に示す。簡単のために図7の一対比較行列の要素はすべて仮定的とする。今、図7の上の図において代替案 II の重要度を増加させたいとする。この時、エージェン



図 6 重み付けの調整の例  
Fig.6 An example of adjusting weights

	代替案 I	代替案 II	代替案 III	重要度
代替案 I	1	2	2	0.500
代替案 II	1/2	1	1	0.250
代替案 III	1/2	1	1	0.250

	代替案 I	代替案 II	代替案 III	重要度
代替案 I	1	1	2	0.400
代替案 II	1	1	2	0.400
代替案 III	1/2	1/2	1	0.200

図 7 一対比較行列における重み付けの調整の例  
Fig. 7 An example of adjusting weights in a matrix

トは代替案 II の代替案 I および代替案 III に対する重みを 1 区間分増加させ、代替案 II の重要度を増加させる。

第三に重みの微調整を行なった結果、説得案を受理することが可能かチェックし、受理可能なら説得成功とする。第四にデフォルトとしてユーザへ重み付けの変更許可を問い合わせる。すなわち、現在までどの代替案について、どのような部分集合ができていたかを説明機構によってユーザに提示し、ユーザに変更許可を問い合わせる。第五にもう一度、説得案の受理をチェックする。以上が本システムにおける 2 エージェント間の説得機構である。

一対比較の重み付けにおける第四段階のユーザのエージェントに対する重み付けの変更許可は、本システムのオプション機能として実現されている。すなわち、デフォルトでは、エージェントは変更する案をユーザに提案し、ユーザの許可があれば実際に変更し、

許可しなければ変更は行なわない。ユーザは本機能を用いることにより、エージェントの行動を管理することができる。オプションな設定では、本機能は使用されず、エージェントの自律的な行動によって交渉が行われる。エージェントを自律的にする理由は、ネットワークにおいて自律的に行動し、ユーザの日常的な活動を含めて支援するようなエージェントの実現を目指しているためである。文献 [10] では、ユーザからの直接的、あるいは間接的なフィードバックに基づいて、ユーザの望む行動を学習するエージェントなどを実装している。本システムにおいても、ユーザによる重み付けの変更許可機能によってエージェントがユーザの望む行動に適した行動を学習する機能を実現することも可能であり、今後の課題である。

### 3.3 説明機構

エージェントは、交渉途中、交渉終了直前にユーザへ交渉の経緯についての説明を行なう。具体的には、エージェントの (I) 推論過程、および (II) 交渉過程の説明機構を用意する (I) のエージェントの推論過程の説明では、エージェントが変更した一対比較行列と元の一対比較行列、およびその推論過程をユーザに提示する (II) のエージェントの交渉過程の説明は、ある時点の、エージェントのグループ、グループの代表となっているエージェント、およびエージェント間の説得の履歴を示す。本システムでは (I) の説明は、ウィンドウによって変更前と変更後の一対比較行列を絵として表示し、推論過程としては流れを簡単に示している。推論過程をより自然言語に近い形で示すことは今後の課題である (II) の説明は、エージェント同士の

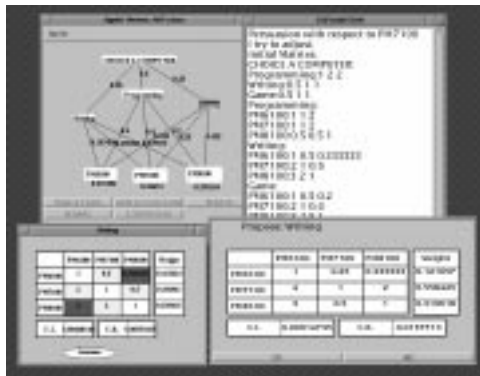


図8 実行例  
Fig.8 An example

関係を視覚的に表すことによって実現する。エージェントが説明機構を持つことによって、どの程度ユーザが安心して仕事を依頼できるかという信頼性を増加させることが可能である。信頼性はインターフェースエージェントを実装するために重要な要因である。

#### 4. 評価

##### 4.1 システムに関する評価

図8は、3.3節で説明したエージェントの(1)推論過程に関する説明機構を示した例である。ここでは、代替案「PM7100」を説得案としてエージェントが受信し、エージェントが代替案「PM7100」の嗜好順序を最も高くするために一対比較行列の微調整を行ったとする。微調整によって変更された一対比較行列を図8の右下のウィンドウに示し、微調整の際の推論過程を図8の右上に示すことにより、ユーザに説明を行っている。ここでユーザはエージェントの提案を許可し一対比較行列の変更をするなら「OK」ボタンを、不許可ならば「NO」ボタンを押す。本ボタンは、オプションな設定ではユーザに示されず、エージェントは自動的に一対比較行列の変更を行う。

使用実験を行った結果、以下のような知見を得ることができた。グループの中のメンバーには、極端な評価を恣意的に行なう者が現れ、全体的な合意の妨げとなることが多い。このような場合の対処法として以下のような案が出された(1) AHPは、グループである共有する目標については前向に決定してゆこうという前提の元で行なわれるため、極端な評価を恣意的に行なうという行為自体を禁止する(2) 極端な評価を恣意的に行なうということ自体が意見と認められる。そ

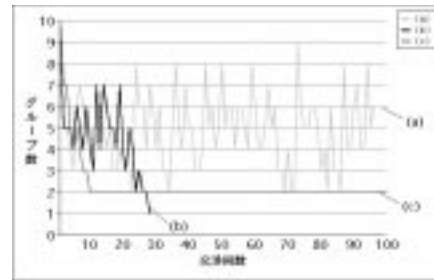


図9 説得機構に関する実験  
Fig.9 An experiment on the persuasion mechanism

の場合、そのユーザを除いた部分的な合意を得るだけでも価値がある。

説得機構については次のような知見が得られた。説得には、説得する側、説得される側が存在し、説得される側の納得が必要である。当初、ユーザがエージェントの交渉には関与しないエージェントのみのインタラクションによる説得機構を構築したが、ユーザはあらかじめ説明があっても、自分のエージェントが説得されてしまうと不満を感じるようになった。ユーザのエージェントに対する信頼度を増加させるには、ユーザがエージェントの行動に納得する必要がある。そこで、エージェントは最終的にユーザに確認を取るために、合意の経緯についての説明を行なう。この時、ユーザが納得のできる説明が不可欠である。本システムでは、3.3節で示したとおり、エージェントは説明機構を用いてユーザの納得を得るための説明を示す。

##### 4.2 説得機構に関する評価

図9は、説得機構に基づくエージェントの交渉における交渉回数と交渉におけるグループ数を示している。縦軸がグループ数、横軸が交渉回数を表す。ユーザ数つまりエージェント数を10とし、エージェントの交渉過程におけるユーザへの変更許可の機能を用いない。つまりエージェントが自動的に一対比較行列の変更を行う。1回の交渉において、第3.2節で示した1サイクルが行われる。図9では本システムで見られた3つのタイプ(a)(b)及び(c)の交渉過程を示す(a)では交渉過程においてグループの数の増減が激しく変化し、合意を得ていない(b)では交渉回数が28回の時点でグループ数が1となり合意に到達している。(c)では、交渉回数10回という早い時期に2つのグループに収束しているものの、その2つのグループにおいて合意を得ていない(a)では様々な対立意見が



存在すると考えられる。また(c)では、2つの対立意見が存在すると考えられる。

以上から本システムの有効性について以下のことが言える。本システムでは(b)の場合のようにエージェントが人間に代わって合意を得ることが可能である。また(a)や(c)の場合のように、ユーザの間において、意見の異なるグループがいくつ存在するかが確認できる。また、個々のグループ内にどのエージェントが存在するかを知ることも可能である。従来のGDSSでは、グループの意思決定過程を支援する。例えば、gIBIS [1] はグループによるソフトウェア設計における討論を支援する。gIBISでは、討論の流れや理由をコンピュータに蓄積し、それを設計の議論に役立たせる。本システムではエージェントがこの議論を代行し、議論に対するユーザの負担を軽減する。つまり、グループの意思決定過程そのものを代行する。エージェント同士の交渉によってたとえ合意が得られなくても、議論において異なる意見を持つグループがどのように存在するか、を確かめることが可能となる。本アプローチの特筆すべき点は、ユーザ間の議論をエージェントが代行することによるユーザの負担が軽減できる点と、議論における意見の相違によるグループの分析が可能である点である。

## 5. おわりに

本論文では、エージェント間の説得による合意形成に基づくグループ意思決定支援システムとしてグループ代替案選択支援システムを構築した。エージェント間の交渉において、決定方式にさまざまなパドックスを包含する投票方式ではなく、説得による交渉方式を提案した。説得による交渉方式では、エージェント同士が説得によって合意を形成するが、説得される場合はユーザの納得を得ることによって、エージェントの信頼性を高めなければならない。そこで本システムでは、なぜ説得されたのか、どのように交渉が進んだのかについての説明機構をエージェントに持たせ、ユーザが交渉内容に納得ができるようなシステムを構築した。最後に、システムの使用実験で得られた有用な知見と説得機構に関する実験から説得機構の有効性を確認した。

## 文 献

- [1] Conklin, J. and Begeman, M. L., "gIBIS: A hypertext tool for exploratory policy discussion," Proc. ACM conference on computer supported cooperative

work (CSCW88), pp. 140-152, September 1988.

- [2] Desanctis, G. and Gallupe, R. B., "A foundation for the study of group decision support systems," Management Science, Vol. 33, No. 5, pp. 589-609, May 1987.
- [3] Dyer, R. and Forman, E., "Group decision support with the analytic hierarchy process," Decision Support Systems, Vol. 8, pp. 99-124, 1992.
- [4] Harker, P.T., "Alternative modes of questioning in the analytic hierarchy process," Math. Modelling, Vol. 9, pp. 353-360, 1987.
- [5] H.A.Simon, (稲葉, 他訳)," 意思決定の科学," 産業能率大学出版部, 1979.
- [6] 石田亨, "エージェントを考える," 人工知能誌, Vol. 10, No. 5, pp. 663-667, 1995.
- [7] Ito, T. and Shintani, T., "An approach to a multi-agent based scheduling system using a coalition formation," Proc. 9th International Conf. on Industrial & Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems (IEA/AIE-96), Japan, Gordon and Breach Science Publishers, p.780, 1996.
- [8] Ito, T. and Shintani, T., "Implementing an agent negotiation protocol based on persuasion," Proc. 2nd International Conf. on Multiagent Systems(ICMAS-96), AAAI Press, p.443, 1996.
- [9] Ito, T. and Shintani, T., "Persuasion among Agents: An Approach to Implement a Group Decision Support System Based on Multi-Agent Negotiation," Proc. Fifteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-97), 1997 (to appear).
- [10] Maes, P., "Agents that Reduce Work and Information Overhead," Communications of the ACM, Vol. 37, No. 7, pp. 31-40, 146, ACM Press, July 1994.
- [11] 村上国男, "機械エージェント間の合意形成システム," 人工知能誌, Vol. 8, No. 6, pp. 697-700, 1993.
- [12] 村上国男, "マルチエージェントシステムとその応用," 信学誌, Vol. 78, No. 6, pp. 570-577, 1995.
- [13] Saaty, T., "The analytic hierarchy process," McGraw Hill, 1980.
- [14] 宇井徹雄, "意思決定支援とグループウェア", 共立出版株式会社, 1995.
- [15] 山田善靖, "集団意思決定支援システム," オペレーションズ・リサーチ, pp. 124-128, 1988.
- [16] 山田善靖, "情報技術を用いる集団意思決定の支援," オペレーションズ・リサーチ, pp. 531-537, 1991.
- [17] 西田豊明, "ソフトウェアエージェント," 人工知能誌, Vol. 10, No. 5, pp. 44-51, 1995.
- [18] 草野耕一, "ゲームとしての交渉," 丸善株式会社, 1994.
- [19] 竹田英二, "不完全一対比較行列における AHP ウェイトの計算法," オペレーションズ・リサーチ, Vol. 34, No. 4, pp. 169-172, 1989.
- [20] 佐伯胖, "「きめ方」の論理 - 社会的決定理論への招待 -, " 東京大学出版, 1980.

(平成8年12月2日受付, 9年4月16日再受付)

伊藤 孝行 (学生員)

平成9年名古屋工業大学大学院博士前期課程修了。現在、同大学院工学研究科電気情報工学専攻博士後期課程在学中。マルチエージェントシステム、グループ意思決定支援システムに興味を持つ。情報処理学会、人工知能学会各学生会員。

新谷 虎松 (正員)

昭57東京理科大学大学院修士課程修了。同年富士通(株)国際情報社会科学研究所入所。知識情報処理、論理プログラミングなどの研究に従事。現在、名古屋工業大学知能情報システム学科助教授。工学博士。分散人工知能、意思決定支援システム、ヒューマンインタフェースの研究に従事。情報処理学会、日本ソフトウェア科学会、人工知能学会各会員。