

利用者の心理要素を考慮した エージェントの説得機構を用いた配属支援法

佐藤和彦^{†1} 程子学^{†2} 中村勝一^{†1}
小山明夫^{†2} Aiguo He^{†3} 程同軍^{†4}

ネットワーク社会の迅速な発展にともない、現実社会における様々なグループ協調活動がネットワーク上でさかに行われ始めている。グループ活動の成果や効率は、そのグループの構成員が大きな影響を及ぼす。そのため、遠隔協調グループやプロジェクトチームを動的に柔軟に作るが必要になると考えられる。グループ構成員となる各人はそれぞれ希望を持っているため、それらを調整して形成を行う必要がある。しかしながら、1つのシステムですべての人間の要望に細く応えることは非常に困難な課題である。そのため本研究では、エージェント技術を導入し、各人が各々エージェントを持つことで、各々のエージェントが自分のユーザのために独立して支援を行うようなシステムを提案する。エージェント同士が互いに説得や交渉を行うことでプロジェクトチームを形成する。人間間で説得する(される)ときの反応や態度変化をなるべく正確にエージェントが表現できるように、エージェント間の説得機構を心理学の認知的均衡理論に基づいて開発した。本研究では、実社会における配属問題において、本来人事担当者が要していた調整にかかる膨大な時間と労力を少なくし、かつ、各人が持つ要望にも柔軟に対応できるシステムの実現を目指している。

A Support Method for Match-making Using Agent's Persuasion Mechanism Considering User's Psychological States

KAZUHIKO SATO,^{†1} ZIXUE CHENG,^{†2} SHOICHI NAKAMURA,^{†1}
AKIO KOYAMA,^{†2} AIGUO HE^{†3} and TONGJUN HUANG^{†4}

With the rapid progress of computer networks, various group cooperation activities are being performed on the networks. Whether a group can work efficiently is greatly dependent on whether personalities of group members can be harmonized. Therefore, it is necessary to establish (form) the groups and the project teams by persons with different skills by using Internet or Intranet dynamically and flexibly, such that their personalities are matched. In this paper, we propose a supporting method for forming project teams by using agents. A project team is formed with negotiation and persuasion between agents. The persuasion mechanism is developed based on the balance theory of psychology, in order to represent and reflect the attitude change in the persuasion process between persons as correctly as possible.

1. はじめに

ネットワーク社会の迅速な発展にともない、現実社会における様々なグループ協調活動がネットワーク上で行われ始めている。組織内または組織間で、異なるスキルを持つ人間同士でチームを形成し、共同で作業を行うことが今後ますます増えると予想される。そのため、イントラネットやインターネットを利用する遠隔協調グループやプロジェクトチームを動的に柔軟に作るが必要になると考えられる²⁾。また、ネットワークを利用する在宅勤務などのワーキングスタイルの変化や終身雇用制度の崩壊などによって、雇

^{†1} 会津大学コンピュータ理工学研究科
Graduate School of Computer Science and Engineering,
The University of Aizu

^{†2} 会津大学コンピュータ理工学部
School of Computer Science and Engineering, The Uni-
versity of Aizu

^{†3} 会津大学先端技術研究センター
Core and Information Technology Center, The Univer-
sity of Aizu

^{†4} 会津大学情報センター
Information Systems & Technology Center, The Uni-
versity of Aizu

用関係はより流動的になり、必要に応じてプロジェクトチームが形成・解散されるような短期的な雇用関係が今後多く現れるといわれている³⁾。さらに、ネットワーク上の遠隔指導システム⁴⁾や仮想大学⁵⁾の構築につれて、学生の遠隔指導が可能となった。そのため、卒業研究を行う学生とそれを指導する教官がネットワークを利用して互いに選択し合い、チームを形成するような支援が望まれている。したがって、プロジェクトチームの構成員を求める組織者・管理者(求人者)とプロジェクトへの参加を希望する技術者・参加者(求職者)とを、ネットワークを通じて互いに適切にマッチングさせるための支援が重要な課題となっている。特に、プロジェクトチームの活動の効率や成果は、求人者と求職者のお互いの能力的な適性や人間関係などの心理的な要素に大きく依存する。そのため、求人者と求職者のそれらの心理要素をなるべく考慮する必要がある¹⁾。本論文では、その問題を解決するための1つのステップとして、卒業研究を行う学生が教官のプロジェクトとマッチングする(以下便宜上、配属するともいう)支援法の開発を中心に議論を進める。

今までに、ネットワーク上で人間間のマッチングを支援する方法はさかんに研究されている^{6),7)}。これらの方法を用いて、ある分野のエキスパートを探したり、同じ興味を持つ人々を互いに紹介したりすることができるが、本論文の問題であるプロジェクトチーム形成のためのマッチング支援としては不十分である。その具体的な理由としては、同じプロジェクトに定員以上の応募者があったり、あるいは、逆に応募者がきわめて少ないような状況では、複数の求職者同士があるプロジェクトの参加を希望して競合したり、あるいは、複数の求人者同士がある人材を求めて競合したりする。その競合の解決を支援する必要がある。また、プロジェクトチームの形成は、ただ互いに紹介され、相手の存在を知り合うことと比べて、マッチングされる各人の主観的な要望や特性などをより深く配慮する必要がある。

実際の現実社会において、この種の配属問題は主に人事担当者による手作業によって処理されていることが多い。この場合、人間によって配属が行われるため、求人者や求職者の持つ希望の偏りなどにも、人間同士の交渉によって柔軟に対応できる。しかしその分、希望の調整に膨大な時間と労力を必要とするため、大変効率が悪い。また、配属結果に人事担当者の主観や偏見が含まれてしまう可能性もある。

本研究では、求職者や求人者各人が持つ希望の調整にかかる時間と労力を少なくし、手作業による配属の

ように人事担当者の主観や偏見が結果に含まれることをなるべく避けながら、各人の要望に柔軟に対応できるシステムの実現を目指している。しかしながら、1つのシステムですべての人間の要望に細々応えることは非常に困難な課題である。そのため本研究では、エージェント技術を導入し、求職者や求人者がそれぞれエージェントを持つことによって、エージェントが自分のユーザを独立して支援するようなシステムを提案する。

個々のエージェントはグローバルな視野で活動するのではなく、あくまで自分のユーザを中心とした局所的な視点で支援を行う。本システムは、全体の効率よりも、個々の利用者の希望をできる限り満足させることが目標であり、そのために個人のための支援を行うエージェントを採用した。各々のエージェントは、自分のユーザの配属に関する要望や配属相手を決めるための判断基準など、ユーザの心理的な情報を把握し、それらを内部情報として管理する。エージェントは、それらの情報に従って他のエージェントと交渉し、なるべくユーザの要望を満足させる相手との間で配属を成立させようと活動する。

求職者と配属先(求人者側)が、互いに相手の要望を満たす場合、交渉は成功し、配属が成立する。しかし、どちらかの要望が満たされず配属が決められない場合がよくある。たとえば、求職者Aが配属先Bを希望し、Bは求職者Cの採用を望み、Cは配属先Dを希望し、DはAの採用を望むような場合、各々の要望を満たす配属は成立しない。また、特定の人気の高い配属先に希望が集中する状況や、不人気の配属先に希望する求職者がまったくいない状況でも、全体的に見ると配属が成立する可能性は低い。これらの状況で配属を成立させるためには、求職者または求人者の要望と態度を何らかの方法で変更してもらう必要がある。

希望する相手に拒否される主な原因の1つとして、相手の自分に対する理解が足りないことが考えられる。人間社会においてこのような状況では、相手に対し自分の情報をさらに開示し、相手に自分のことを理解して貰うことで相手の態度変化を促す。本研究では、その過程をエージェントの行動に 응용して、エージェントが交渉相手のエージェントに必要なに応じて情報を段階的に開示し、相手の理解を促すようなエージェント間の説得機構を提案する。

実際の人間の振舞いを応用してエージェント間での調整機構を実現しようとする研究としては、契約ネットプロトコル⁸⁾や、ゲーム理論的手法⁹⁾を用いたも

の、投票方式¹⁰⁾を用いたものなどがある。これらの手法は、エージェント間で協調活動を行ったり、合意を形成したりする場合に大変有効な手法である。しかし、これらでは、競争が起こった場合に、説得によって相手の態度を変更させ、競争を解消するようなことは考慮されていない。

エージェント間の説得機構に関する研究としては、伊藤らによって、エージェント間の説得に基づく議事スケジュールリングシステムが提案されている¹¹⁾。ここでは、AHP (Analytic Hierarchy Process) というユーザの主観的な好みを数値に変換する手法がエージェントの説得機構に利用されている。この方法では、あらかじめ定められた代替案について、集団全体としての合意を形成するといった問題は解決できる。しかし、本研究のような、各エージェントがそれぞれ自分のユーザの希望を満足させる相手を探し出し、配属の合意を形成するようなマッチング問題に应用することは難しい。このような問題では、個々のエージェントは、周囲の状況や、ユーザの好みに応じて自分の態度を決定し、それに基づいて交渉相手を探し出し、説得を行うような機構が必要となる。

本研究では、人間間で説得する(される)ときの反応や態度変化をなるべく正確にエージェントが表現できるように、心理学の分野で、説得による人間の態度変化に関する理論として深く研究されている認知的均衡理論¹⁴⁾を応用した説得機構を開発する。認知的均衡理論では、均衡モデルと呼ばれる、自己と他者、対象の3つの関係で表される三角形のモデルで対人関係を表し、人は、そのモデルの状態をつねに安定(均衡)した状態に保つために、自己の態度変化を生じさせるとしている。この行動決定の原理に基づいて、エージェントに均衡モデルを応用した心理モデルを構築させ、モデルの状態からエージェントが自己の態度や振舞いを決定し、説得を行うようなエージェント間の説得機構を実現する。

現在、ネットワーク上でユーザの活動を支援するネットワークエージェントに関する研究がさかに行われている。エージェントは、(1)対話方式によるエージェント指向インタフェースや、(2)ユーザの代理人としてネットワーク上で作業を行う自立したプログラム、(3)モバイルエージェントの3つのタイプに大別できる¹³⁾。本研究で扱うエージェントは、主に(2)を意味している。

本論文の構成は、2章で本論文で扱う配属問題のモデルを定義する。3章では、本研究の特徴であるエージェント間の説得機構を提案する。ここでは、エー

ントが持つ内部情報とその管理方法、および、それに基づく説得機構などについて述べる。4章では、提案するエージェントを用いた実験と考察を述べる。最後に5章において本論文の結論を述べる。

2. 配属問題と認知的均衡理論

2.1 配属問題の定義

本論文では、図1のようなモデルの上での配属問題を考える。教官を p_i で表し、その集合を P とする。 P は有限集合で、その要素の数は $N (= |P|)$ で表される。また、学生を s_j で表し、その集合を S とする。 S は有限集合で、その要素の数は $M (= |S|)$ で表される。教官 p_i のプロジェクトへの配属が決定した学生の集合を G_i とする。

N 人の互いに独立している教官はそれぞれ、学生を募集しているとする。ただし、各教官のプロジェクトには定員枠 q_i があり ($|G_i| \leq q_i$)、その枠を越えて参加者を採用することはできない〔定員枠条件〕。

M 人の互いに独立している学生はそれぞれ、プロジェクトに応募しているとする。ただし、各学生は、複数の教官のプロジェクトに応募することはできるが、同時に2つ以上のプロジェクトに参加することはできない〔兼職不可条件〕。

特に、プロジェクトチームの活動の効率や成果は、教官と学生のお互いの能力的な適性や人間関係などの心理的な要素に依存することが大きいので、教官と学生のそれらの心理要素をなるべく考慮する必要がある。「心理要素を考慮するプロジェクトチーム形成のためのマッチング問題(配属問題)」は、以上に定められる“定員枠条件”と“兼職不可条件”を満たし、教官と学生それぞれの心理要素をなるべく考慮しながら、教官と学生とがマッチングすることをいかに支援するかということに帰着する。

2.2 エージェントを用いた配属問題の支援モデル

本研究におけるエージェントを用いた支援モデルは図2のようになる。各教官と学生はそれぞれ1つの

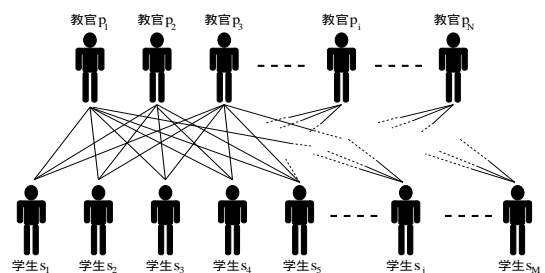


図1 配属問題のモデルの例

Fig. 1 A sample model of an allocation problem.

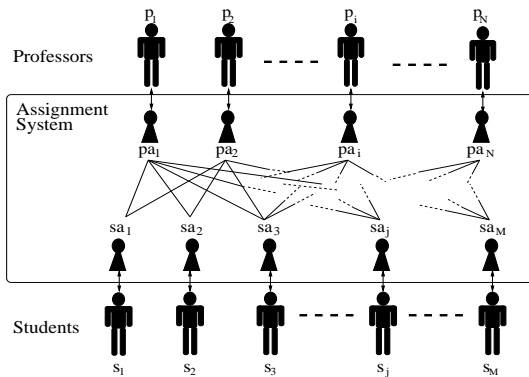


図 2 エージェントを用いた配属問題のモデル

Fig. 2 An allocation problem model based on agents.

エージェントを持つ。エージェントのユーザ（教官，または学生）は，自分の好みや配属相手を決める際の判断基準などの心理要素をエージェントに入力する．個々のエージェントは入力された心理要素を考慮し，ユーザの好みに合った相手と配属を成立させるために交渉を代行する．教官 p_i のエージェントは pa_i で表す．また，学生 s_j のエージェントは sa_j で表す．

2.3 認知的均衡理論の概要

人間同士での説得は，社会心理学などの心理学の分野で，対人行動における人間の態度の形成と変化に関する研究や集団と社会における集団意思決定と合意形成の手法の1つとして，数多く研究されている^{16)~19)}．

それらの研究の主要な1つに認知的均衡理論がある¹⁴⁾．この理論は Heider が提唱した態度の理論で，他の関連する研究の多くがこの理論から派生している．認知的均衡理論は，自己 (P) と他者 (O)，そして対象 (X) の3要素間の関係を人がどのように認知するかを扱った理論である．この理論では，3要素間の心情関係によって得られる均衡モデルを構築する．均衡モデルは関係 PO ， PX ， OX の3つの関係で表される三角形のモデルで構成される．関係 PO は P の O に対する信頼度を表し，関係 PX は P の X に対する関心の強さを表している．また，関係 OX は P から見た， O の X に対する関心の強さを表す．それぞれの間の関係は，好意・尊敬・承認はプラス (+) の心情関係，敵意・軽蔑・不承認はマイナス (-) な心情関係として表される．そして，それらの値によって，均衡モデルは図3に示すような，(a) から (d) までの4種類の均衡状態と，(e) から (h) までの4種類の不均衡状態の2つの状態で表現される¹⁶⁾．

認知的均衡理論では，人間は均衡モデルをつねに均衡状態に保とうとする傾向があるとされている．均衡モデルで示される3要素間の関係に不均衡が生じた場

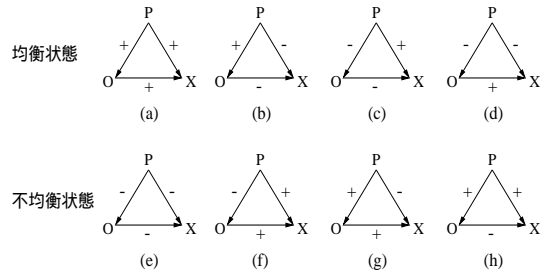


図 3 認知的均衡理論の均衡モデル

Fig. 3 The balance model of the balance theory.

合に，モデルの認知者である P の心理に葛藤や緊張が生じ，不均衡状態を均衡状態に変化させようという動きが生じるとしている．たとえば，図3(h)の場合のような不均衡状態を解消するには，(i) X に対する自分の意見や態度を O と一致させ，関係 PX を - に変化させる，(ii) P 自身の O に対する態度を悪化させることで，関係 PO を - に変化させる，(iii) O に働きかけ， O の X に対する意見や態度を P と一致させることで，関係 OX を + に変化させようとするなどといった方略が考えられ，自己の態度を変化させるだけでなく，他者の態度を変化させるためのコミュニケーションを生じさせる心理的要因にもなるとしている¹⁷⁾．

2.4 認知的均衡理論の説得機構への応用

本研究では，人間同士で説得する（される）ときの反応や態度変化をなるべく正確にエージェントが表現できるように，認知的均衡理論で示される人の均衡モデルを均衡状態に保とうとする傾向を，エージェントの行動原理に応用し，それをういたエージェント間の説得機構を開発する．

人間の心理状態は，本来，多元的に複雑に変化する要素である．均衡モデルは，自分 P ，他者 O ，対象 X の3者間の心情関係を，好き（正）/嫌い（負）の2元的な関係でシンプルに表現することで，人の心理状態が安定した均衡状態か，不安定な不均衡状態かを判定する．本研究のエージェントは，均衡モデルに応用した心理モデルを自己の内部に構築する．このモデルは，信頼度や満足度，交渉相手に関する知識など多元的な値に基づいて構築される．そして，モデルの状態を判定する際には，各々の関係が正の領域であるか負の領域であるか2元的に判断される．これにより，本論文でエージェントが内部に構築する心理モデルは心情関係を2元的に表現する本来の均衡モデルと整合性が保たれているといえる．

あるエージェントは，他エージェントに対して交渉を行う場合や他のエージェントから交渉を受けた際に，

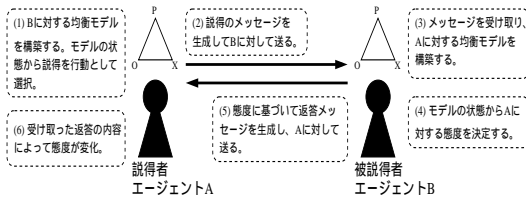


図 4 エージェント間の交渉の例

Fig. 4 Example of the negotiation between agents.

心理モデルを内部に構築する．そして、モデルを均衡状態に保つために行動や態度を決める．本研究では、不均衡状態によって発生する態度変化を「正 負」や「負 正」のような 2 元的な変化として直接扱うのではなく、エージェントどうしの説得によって、その努力の結果として、モデルの状態が少しずつ変わっていくような量的変化として扱っている．このような変化が、交渉が行われるたびに積み重なっていき、ある閾値を超えたときに「正 負」あるいは「負 正」のような 2 元的な変化となって現れる．このような扱いは、均衡モデルの状態から、モデルを均衡状態にしようとする態度や行動が決定されるという均衡理論の考え方に反するものではないと考える．

エージェントが構築する心理モデルは、自己の態度変化を起こす要因にはなりうるが、他者の態度を変化させる効力はない．そのような場合、つまり、心理モデルが不均衡な状態で、他者の態度 OX を変化させることでモデルを均衡状態にする必要がある場合には、図 4 のように、モデルの認知者 P であるエージェント A は、モデルにおける他者 O であるエージェント B に対してメッセージによる説得を試みる．説得を受けた B も、 A に対する心理モデルを構築する． B が構築した心理モデルにおいては、 B が認知者 P であり、 A が他者 O となる．この説得によって必ずしも B の態度が変化するわけではなく、 B は、モデルの状態に応じて、 A に対する態度と返答を決定する． B からの返答を受けた A は、その内容から B の態度を推測し、自身の心理モデルを更新する．以上のような交渉の流れや説得の詳細については、3.3 節および 3.4.2 項で詳しく述べる．

説得の結果、相手から肯定的な返答が得られれば、 A が構築した心理モデルの他者の態度 OX は変化し、均衡状態になる． B から否定的な返答を受けた場合には、 B への信頼が失われる、つまり、信頼度 PO が変化することで心理モデルは不均衡状態となる．このようにして、構築した心理モデルを均衡状態に変化させる必要がある場合に、エージェントは他者を説得することで、態度変化を試みる．

本研究のエージェントは、交渉相手との間で配属の合意を得ることを最終的な目標としている．そのため、行動を決定する際に、まず、合意が成立する状態かを判断し、その状態になれば、合意を得られる状態に変化させるための行動を優先する．本研究においては、均衡モデルの状態が図 3 (a) の均衡状態である場合を、合意状態として扱う．ある 2 人のエージェントの間で、互いが構築した相手に対する均衡モデルの状態がいずれも合意状態である場合、両者間で合意が成立する．

両者が持つ均衡モデルのいずれか、あるいは双方が合意状態でない場合、それが不均衡状態ならば、それを均衡状態にしようとする説得が発生する．合意状態以外の均衡状態であるならば、均衡モデル的には安定した状態であるため、それを変化させようとする行動は発生しない．しかしながら、そのような状態、つまり、両者の持つ均衡モデルのいずれかが合意状態でない場合には、両者間で合意は成立しない．そのため、配属の合意を成立させようとする行動が優先され、目標を達成する外圧として発生する．その行動の結果として両者の態度に変化が生じ、再び不均衡な状態になった場合には、それを均衡状態に安定させるための行動が再開される．このようにして、各エージェントは均衡状態と不均衡状態を繰り返し、合意状態である図 3 (a) の均衡状態を目指す．

人間同士の間でも、均衡モデルが示すように、心の葛藤を解消するために、不均衡状態から均衡状態に変更するように行動する．図 3 の (b), (c), (d) のような均衡状態の場合、モデルの状態としては葛藤は生じないが、配属の合意達成には至らない．その場合、最終目標である配属の合意を得るために、しかたなく希望を変更するなどといった行動をとる．それによって、不満が生じ、均衡モデルは再び不均衡状態に変化し、そのモデルを均衡状態に変化させるための行動が再開されることがよくある．目標達成の動機と均衡モデルに基づく心の葛藤の解消の 2 つの総合作用で行動することは、均衡理論に反することではないと考えられる．

3. エージェントを用いた配属支援

3.1 配属問題の流れ

ここでは、図 4 で例を示した、説得側のエージェントと、説得を受けたエージェントそれぞれの行動の流れを定義する．

エージェントは説得を行う場合、図 5 のような流れに従って行動する． sa 、 pa とともに、自分のユーザの希望に合った相手と配属の合意が得られるまで、図 5 の行動サイクルを繰り返す．我々は行動サイクルが一

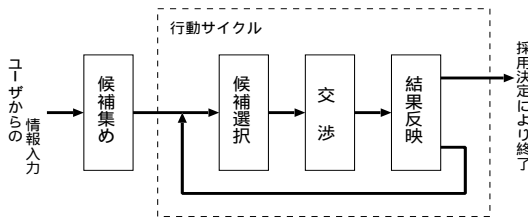


図5 エージェントによる配属問題の流れ

Fig. 5 Flow of an allocation problem based on agents.

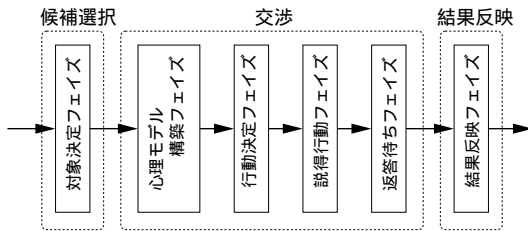


図6 行動サイクルの流れ

Fig. 6 Flow of the agent's action cycle.

周することを1ターンと数え、配属決定までのターン数などを評価対象の1つとする。

図5の行動サイクルの詳細な流れは図6のようになる。行動サイクルの各フェイズにおけるエージェントの行動を以下に示す。

[行動サイクルによる自律行動]

- (1) 対象決定フェイズ：交渉順位を求め、交渉候補を決定する。
- (2) 心理モデル構築フェイズ：交渉候補に対する心理モデルを内部に構築する。
- (3) 行動決定フェイズ：構築された心理モデルの状態に基づいて行動を決定する。
- (4) 説得行動フェイズ：決定された行動に従って交渉候補に対して説得を行う。
- (5) 返答待ちフェイズ：交渉候補からの返答を待つ。
- (6) 結果反映フェイズ：交渉結果を自身の知識に反映させる。合意が成立した場合、他の候補全員に相手の候補リストからの除外を要求し、処理を終了する。他エージェントから説得を受けた場合、説得のための行動とは別に、エージェントは返答のための受動的な対応を行う。対応行動の処理の流れを図7に示す。行動サイクルによる自律行動と、メッセージを受けた際の対応行動は、それぞれ独立して行われ、知識を共有することで、相互の行動は協調する。

[メッセージを受けた際の対応行動]

- (1) 交渉待ちフェイズ：相手からの説得メッセージが届くまで待機する。
- (2) 心理モデル構築フェイズ：説得してきた相手が交

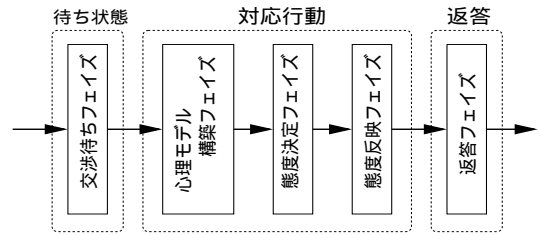


図7 メッセージを受けた際の対応行動の流れ

Fig. 7 Flow of agent's reaction to a message.

渉候補以外である場合、その相手に対する心理モデルを内部に構築する。

- (3) 態度決定フェイズ：現在の交渉候補よりも希望順位が高い相手から説得を受けた場合、モデルの状態によって態度を決定する。それ以外の場合には、否定的な態度をとる。
- (4) 態度反映フェイズ：態度変化が発生した場合には、知識を更新する。
- (5) 返答フェイズ：決定された態度に従って、説得してきた相手に返答する。返答後、交渉待ちフェイズに戻る。

3.2 交渉候補の選択

図5の「候補選択」において、エージェントが交渉候補を選択するまでの流れを示す。まず、ユーザ（学生、または教官）は3.6節で述べるようなユーザインタフェースを介して、自分のエージェントに個人に関する情報と、好みや評価基準に関する情報を事前にエージェントに入力する。エージェントはそれらの情報を受け取ると、他エージェントと情報交換を行い、情報交換によって得られた情報に基づいて候補選択を開始する。

(1) まず、エージェントは満足度 (*Satisfaction*) という要素を求める。満足度は、各候補に関する情報を自分のユーザの好みや評価基準に基づいて評価し、その総和を求めた値である。ある候補 c に対する満足度は次の式で求められる。

$$Satisfaction(c) = \sum_{k=1}^{|I_c|} (1 - \alpha_k \times |v(info_k^c) - v(interest_k)|) \times \omega_k \quad (1)$$

満足度が大きい候補ほど、ユーザの希望に合った相手であることを意味する。ここで、 I_c は c に関して知っている知識の集合を表す。 $|v(info_k^c) - v(interest_k)|$ は、ある知識 ($info_k^c$) が、どれだけユーザの関心 ($interest_k$) に合った情報かを数値化したものであり、係数 α_k によって、その値を $0 \sim 1$ の範囲に正規化している。 ω_k は $info_k^c$ の重要度 (重み) であり、値が大きいほど、重

要な知識であることを意味する．本論文では，知識間の重要度の関係については議論せず，各知識の重みはすべて等しい ($\omega_k = 1$) ものとして扱っている．また，ユーザに関する知識やそれに対する関心は数量で表せるものとして扱う．たとえば，「活発さ」という慎重を 1，活発を 10 とした 10 段階で表現された知識があり，ある学生の活発さが 6，ある教官の活発さに対する希望（関心）が 8 であった場合，教授のエージェントはこの知識を $1 - \alpha_k \times |v(\text{info}_k^c) - v(\text{interest}_k)| = 1 - \frac{1}{10} \times |6 - 8| = 0.8$ という値で評価する．

(2) 次に，エージェントは満足度の大きな順に各候補を順位付けし，希望順位を求める．この要素は各候補が自分のユーザの好みをどれだけ満足させるかを比較する指標である．希望順位が第 1 位の候補を最良候補 c_{max} と呼ぶ．

さらにここで，各 sa_j は各プロジェクトについて採用可能性 (*Probability*) を求める．この要素は交渉相手を決定する際に利用され，これにより配属が成立する可能性の低い候補に何度も交渉を繰り返すような行動が回避される．ある学生 s_j の，ある教官 p_i のプロジェクトに対する採用可能性は，プロジェクトの定員数 q_i ，すでに p_i のプロジェクトに配属が決定した sa の数 $|G_i|$ ，自分を含めた現在 p_i と交渉中の sa の数 $|C_i|$ ，そして p_i に対する信頼度 (*Reliability*) から求められる．交渉者数に対する空席 ($q_i - |G_i|$) の割合を求め採用率とし，それが 1 を超える場合には 1 として扱う．また，信頼度が高い相手ほど交渉が成立しやすいことを表すため，採用率に交渉相手の信頼度を掛け合わせる．ここで用いる信頼度は，3.3.2 項で述べる心理モデル構築時に扱う信頼度と同じ要素であり，その値のとり方は後述する．採用可能性は以下の式で 0~1 の範囲の値として算出される．

$$Probability(p_i) = \frac{(q_i - |G_i|)}{|C_i|} \times Reliability(p_i) \quad (2)$$

各 pa_i も各 sa_j と同様に採用可能性を持つ． pa_i の持つ採用可能性は，ある学生 s_j が自分の持つプロジェクトに申し込みをする可能性を表し， sa_j の場合と同様に上記の式で求められる．このとき，各 s_j は必ず 1 つのプロジェクトにしか参加できないため，その定員数はつねに 1 として扱われる．

(3) 次に，エージェントは交渉相手を決めるために各候補の交渉優先度 (*Priority*) を算出する．交渉優先度は，候補に対する満足度と採用可能性から求められる．ある候補に対する満足度は，最良候補 c_{max} の満足度を 1 としたときの割合から 0~1 の値に正規化

され，相対的な値として用いられる．また，相対満足度と採用可能性のいずれを重要視するかを表す重み w を用いる．この重みはあらかじめユーザによって 0~1 の範囲を持つ値として決定されているものとする．ある候補 c に対する交渉優先度は次の式により，0~1 の範囲の値として算出される．

$$Priority(c) = \frac{Satisfaction(c)}{Satisfaction(c_{max})} \times w + Probability(c) \times (1 - w) \quad (3)$$

ここでエージェントは，希望順位とは別に各候補の交渉優先度による順位付けを行う．この順位を交渉順位と呼び，エージェントは交渉優先度の最も高い候補を交渉相手に選ぶ．このような候補を交渉候補と呼ぶ．

3.3 心理モデルの構築

各エージェントは，(1) 自己の次の行動を決定する際または，(2) 他エージェントから説得を受けた際に，交渉相手に対する心理モデルを構築し，そのモデルの状態によって自己の態度を決定する．ここでは，各エージェントが構築する心理モデルの定義と，モデルの構成要素の値の算出方法について述べる．

3.3.1 心理モデルの定義

エージェント pa_i が自身の内部に構築する，エージェント sa_j に対する心理モデルは，以下のように定義される．

$$POX_i^j = (PO_i^j, PX_i^j, OX_i^j) \quad (4)$$

この場合，認知者 P は pa_i ，他者 O は sa_j ，対象 X は pa_i の持つプロジェクトに sa_j が配属されることを表す． PX_i^j は“教官 p_i が学生 s_j を自分のプロジェクトに採用しようという関心の強さ”を表し， OX_i^j は“教官 p_i から，見た学生 s_j のプロジェクトに配属されたいという関心の強さ”を表す．そして PO_i^j は教官 p_i の学生 s_j に対する信頼度を表している．

同様に，エージェント sa_j が構築する，エージェント pa_i に対する均衡モデルは，以下のように定義される．

$$POX_j^i = (PO_j^i, PX_j^i, OX_j^i) \quad (5)$$

この場合，認知者 P は sa_j ，他者 O は pa_i ，対象 X は pa_i の持つプロジェクトに sa_j が配属されることを表す． PX_j^i は“学生 s_j の，教官 p_i が持つプロジェクトに配属されたいという関心の強さ”を表し， OX_j^i は“学生 s_j から見た，教官 p_i が学生 s_j を自分のプロジェクトに採用しようという関心の強さ”を表す． PO_j^i は学生 s_j の教官 p_i に対する信頼度を表す．

3.3.2 信頼度 (PO)

心理モデルの PO の関係は，自分 P の相手 O に対していただく信頼度である．信頼を正の値で表し，不信

を負の値で表すとすると、値の変化幅を $|V|$ とすると、この要素のとりうる値の範囲は $-|V|/2 \sim |V|/2$ となる。また、一度の交渉によって起こる信頼度の変動量を ΔV とした。相対的変動量 v は、変動量 ΔV の信頼度の幅 $|V|$ に対する割合であり、以下の式で得ることができる。

$$v = \frac{\Delta V}{|V|} \quad (6)$$

v の値を 1 に近づけた場合、一度の交渉によって起こる信頼度の変化が大きいため、交渉が起こるたびに信頼度は大きく変動し、安定した状態を保てないことが予想される。また、逆に v の値を 0 に近づけた場合、一度の交渉による信頼度の変化は小さくなり、信頼関係を得るまでに多くの交渉時間を必要とすることが予想される。このように、 v のとり方によってエージェントの振舞いに大きな違いが出てくると考えられるため、変動量をどのように設定するかが重要となる。

3.3.3 関心度 (PX)

均衡モデルの PX の関係は、自分 P の対象 X に対して関心の強さを表す要素である。 P が最も関心を持つ X とは、 P の好みや判断基準を最も満足させる X である。よって、この要素の値は 3.1 節で述べた満足度を用いることとする。

3.3.4 相手の関心度 (OX)

均衡モデルの OX の関係は、他者 O の対象 X に対する関心の強さを表す関心度である。好きを正の値、嫌いを負の値で表すものとする。値の変化幅を $|Q|$ とすると、この要素のとりうる値の範囲は $-|Q|/2 \sim |Q|/2$ となる。また、一度の交渉によって起こる関心度の変動量を ΔQ とした。相対的変動量 q は、変動量 ΔQ の関心度の幅 $|Q|$ に対する割合であり、以下の式で得ることができる。

$$q = \frac{\Delta Q}{|Q|} \quad (7)$$

q の値を 1 に近づけた場合、交渉のたびに過敏な反応を示し、一度好意的な返答を得ただけで相手が強関心を持っていると思込み、また逆に、否定的な返答を得ただけで嫌っていると思込んでしまう。さらに q の値を 0 に近づけると、相手から交渉の内容にまったく影響を受けなくなり、相手の関心の強さを正確に把握できない。このように、 q のとり方によっては相手の関心の強さを正確に反映できなくなるため、変動量をどのように設定するかが重要となる。

3.3.5 初期値

交渉相手に対する信頼度の初期値は、ユーザの入力によって決定される。ユーザからの入力がない場合、

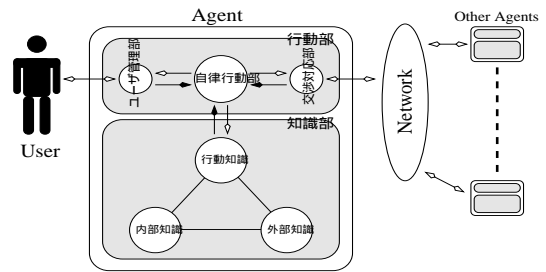


図 8 本研究のエージェントの構成
Fig. 8 The agent construction.

信頼、不信のいずれでもない Nil が設定される。自分の持つ関心度の初期値は、満足度を用いるため、満足度の初期値となる。また、交渉相手の関心度の初期値は、交渉開始時には相手に関する知識を持たず、相手が関心を持っているかが分からないため Nil が設定される。

3.4 エージェントの構成と機能の概要

3.4.1 エージェントの構成

本研究におけるエージェントを図 8 のように構成する。エージェントは、自らの行動を決定・管理する行動部と、知識を管理する知識部から成り立っている。

知識部は内部知識、外部知識、行動知識の 3 つからなり、エージェント自身が持つ知識情報を管理する。内部知識にはユーザに関する知識が記述されており、ユーザ自身に関するデータ、交渉相手への希望条件に関する知識などが蓄えられる。外部知識には、自己の活動に必要な知識を交渉中に収集したものが記述されており、交渉相手に関する知識などが蓄えられる。行動知識には、交渉候補の選択方法、心理モデルの構築方法、心理モデルの状態から行動を決定する方法など、エージェントの振舞いの仕組みに関する知識が蓄えられており、行動部はこれらの知識を利用して行動する。

行動部はエージェントの中核部分である。行動部は図 6 の行動サイクルに従って実際に行動を行う自律行動部。他のエージェントからの交渉に回答する交渉対応部。そして、ユーザへの対応とユーザ情報の管理を行うユーザ管理部の 3 つからなる。それぞれの部は独立して活動しながら知識部を通して互いに協調する。自律行動部は、配属決定までの間、候補の選択、心理モデルの構築、説得などを行動サイクルに従って行う。そのために、各々のフェイズに対応する機構を行動知識から取得して実行する。また、各フェイズで更新された知識情報を知識部に反映する機能を有する。交渉対応部は、つねに他エージェントからのメッセージを待ち、それに対応して心理モデルの構築や、態度の決定、返答メッセージの生成などを行う。自律行動部と

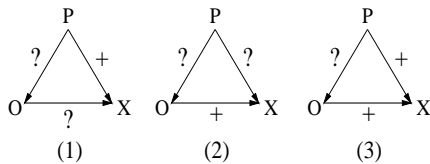


図 9 初期構築時の心理モデル

Fig. 9 The initial balance model.

同様に、行動知識から必要な機構を取得して実行し、更新された知識情報を知識部に反映する機能を有する。ユーザ管理部は、ユーザからの入力待ち、入力に対応して知識を更新する機能を有する。

3.4.2 エージェントの行動

エージェントは、3.3 節で述べた構築方法に従って均衡モデルを構築する。そして、構築された均衡モデルの状態を基にして自己の行動を決定する。エージェントはモデルの各状態において、次のように振る舞う。

[モデル初期構築時]

- (1) 自分で選択した交渉候補に対して初めて均衡モデルを構築した場合、まだ信頼関係はなく、相手に関する情報も未知数であり図 9(1) のようなモデルになる。この場合、相手に関する知識を得るために情報収集を行う。
- (2) 他エージェントからの交渉を受けて初めてモデルを構築した場合、その相手が自分の交渉候補ならば、互いに興味を持つが、信頼関係はないという図 9(3) のような状態になる。この場合、均衡状態(図 3(a))への態度変化が発生し、相手に対する信頼が高まる。
- (3) (2) において、相手が自分の交渉候補でないならば、相手に関する情報が未知数で、信頼関係もないという図 9(2) のような状態となる。この場合、相手に関する知識を得るために情報収集を行う。

[交渉、説得]

- (4) 心理モデルが図 3(a) の状態の場合、交渉相手に対して配属の申し込みを行う。申し込みを受けた側の心理モデルも図 3(a) の状態である場合には、申し込みは受諾され、配属の合意が成立する。申し込みを受けた側の心理モデルが図 3(a) の状態でない場合、申し込みは拒否される。拒否の返答を受け取ると、相手に対する信頼 PO が減少する。
- (5) 図 3(b) の場合、チーム成立に対する興味を高めるための情報請求が行われる。説得を受けてモデルが構築された場合、相手はチーム成立に対して興味を持つことが明らかであり、 OX が増加する。
- (6) 図 3(c) の場合、相手に興味をいだかせるために自己アピールを行う。説得を受けてモデルが構築さ

れた場合、相手はチーム成立に関心を持つことが明らかであり、 OX が増加する。また、相手からアプローチしてきたことにより信頼 PO も増加する。

- (7) 図 3(d) の場合、まず、チーム成立に関心を持つために、情報請求が行われる。説得を受けてモデルが構築された場合、相手からアプローチしてきたことにより信頼 PO も増加する。このとき、相手が今現在の交渉候補の希望順位よりも高い希望順位を持つ候補ならば、肯定的なメッセージを返す。逆に、相手が希望順位の低い候補である場合には、否定的なメッセージを返す。
- (8) 図 3(e) の場合、まず、チーム成立に対する興味を高めるための情報請求が行われる。説得を受けてモデルが構築された場合、相手はチーム成立に関心を持つことが明らかであり、 OX が増加する。また、相手からのアプローチにより信頼 PO も増加する。
- (9) 図 3(f) の場合、均衡状態に変化させようとする態度変化が発生し、相手に対する信頼関係が強まる。すなわち、信頼 PO が増加し、図 3(a) の状態に近づく変化が起こる。
- (10) 図 3(g) の場合、チーム成立に対する関心が低いため、興味を高めるために情報請求が行われる。説得を受けてモデルが構築された場合、相手が交渉候補よりも希望順位が高い候補であるならば、興味を高めるための情報請求が行われる。それ以外の場合には、否定的なメッセージを返す。
- (11) 図 3(h) の場合、相手に興味をいだかせるために自己アピールを行う。説得を受けてモデルが構築された場合、相手がチーム成立に関心を持つことが明らかであり、 OX が増加する。

3.4.3 行動の終了

本研究のエージェントによる調整は、各々のエージェントが自分のユーザの希望に適した相手を候補に選び、その候補に対し 1 対 1 の説得を行うことで局所的に合意を成立させようと試みる。エージェント間で局所的な合意が成立した場合のエージェントの終了状態と、説得を行う相手が存在しない場合の停止状態をそれぞれ以下のように定義する。各エージェントは、エージェントの終了状態、または停止状態になるまで行動サイクルを繰り返す。

【定義：エージェントの終了状態】説得者側のエージェントと返答者側のエージェントがそれぞれ構築した相手に対する均衡モデルの状態が、互いに図 3(a) の合意状態である場合に、両者間で配属の合意が成立する。定員数を満たしている場合、そのエージェントは活動を終了し、終了状態となる。

【定義：エージェントの停止状態】交渉相手となるエージェントが存在しない場合、エージェントは活動を停止し、停止状態となる。停止状態となったエージェントは、ユーザにその旨を通知し、希望条件の変更や知識の追加などを要求する。新たな条件などの入力があると、エージェントは行動を再開する。

3.5 交渉，説得プロセスとメッセージ

各エージェントは、自分のユーザの希望に合った候補を選び、その候補に対して交渉を行う。エージェントが交渉で使用するメッセージを表 1 に載せる。

エージェントがどのような行動をとるかは、すべて、交渉候補に対する心理モデルの状態によって決定される。エージェントは心理モデルを図 3 (a) の均衡状態にするために、*appeal* メッセージによって相手の態度変化を促したり、*request* メッセージによって相手の情報を得ようと試みる。そして、それらに対する返答

結果を、自己の態度変化に反映する。そのような説得と態度変化を繰り返し、互いの心理状態が変化の中で、自分の持つ心理モデルが図 3 (a) の均衡状態になったとき、エージェントは *propose* メッセージを相手に送り、配属の合意を得ようと試みる。相手のこちらに対する心理モデルも図 3 (a) の均衡状態になった場合、*accept* が返答として送られてくる。この場合、配属は成立し、エージェントは交渉行動を終了する。相手のこちらに対する心理モデルが図 3 (a) 以外の状態である場合、*refuse* がメッセージとして返され、それを受け取ったエージェントの心理モデルは再び不均衡状態に変化し、エージェントは説得行動を続行する。

交渉が行われるつど、心理状態は変化し、各候補に対する関心も変化する。そのため、エージェントは各候補について満足度を毎ターンの対象決定フェイズに計算する。今までの交渉候補に比べて、よりユーザの希望が満足できるような相手が現れた場合、エージェントはその相手を、新たな候補として選択し、次ターンからはその候補に対して説得を行う。このような行動は、モデルが図 3 (a) の均衡状態となり、送った *propose* メッセージが *accept* されるまで繰り返される。

3.6 ユーザインタフェース

我々の考えるエージェントは、ユーザの好みや判断基準を把握し、ユーザの細かな要望を考慮した代行を行う。エージェントがユーザの希望を正確に知るためには、ユーザの主観的で曖昧な要望を認識する機構が必要になる。エージェントが柔軟な判断能力を持った

表 1 エージェントの使用するメッセージ

Table 1 Messages used by an agent.

| メッセージ | 意味 |
|-------------------------|------------------------|
| <i>propose</i> | 配属決定を要求 |
| <i>accept</i> | <i>propose</i> を受諾 |
| <i>refuse</i> | <i>propose</i> を拒否 |
| <i>request(key)</i> | <i>key</i> の情報公開を請求 |
| <i>request(any)</i> | 任意の情報公開を請求 |
| <i>appeal(key, val)</i> | <i>key</i> の情報を相手に公開 |
| <i>favor(key)</i> | <i>appeal</i> に対する肯定返答 |
| <i>deny(key)</i> | <i>appeal</i> に対する否定返答 |
| <i>finished</i> | 候補からの除外要求 |

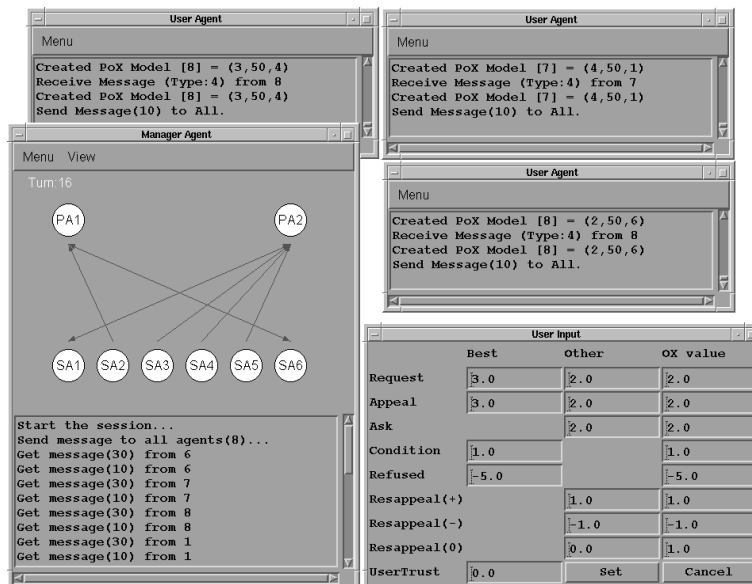


図 10 ユーザインタフェース

Fig. 10 A user interface of our system.

めには、本来、自然言語処理などの高度な知識や技術が要求される。しかしながら、本論文では、エージェントの説得機構に研究の焦点を置き、高性能なユーザインタフェースは将来の課題として残し、図 10 のような簡略的なものを用いることとした。本論文のエージェントが持つユーザインタフェースは、(1) キーワード入力、(2) 条件入力、(3) 個人情報入力、(4) 経過報告画面、の 4 つから構成される。

3.6.1 入力機構 1: キーワード入力

各 p_j はキーワード入力でプロジェクト情報を pa_j に登録する。 pa_j は標準的な研究分野を選択肢として p_j に提示し、 p_j はその中から自分の研究分野を選択する。さらに、選択した研究分野に関するより詳細なプロジェクト情報をキーワードとして入力する。同様に、各 s_i はキーワード入力で、関心を持つ研究分野を sa_i に登録する。 sa_i は標準的な研究分野を選択肢として s_i に提示し、 s_i はその中から自分が関心を持つ研究分野を選択する。各分野ごとに興味の度合い (10 段階) の入力欄があり、 sa_i は、この度合いで優先するプロジェクトを判断する。また、キーワード入力欄があり、入力されたキーワードに基づいて sa_i は各 pa_j に問い合わせ、 s_i の関心に合った分野やテーマのプロジェクトを探し出す。

3.6.2 入力機構 2: 希望条件入力

各 p_j は pa_j に、学生に求める能力や必須知識、意思や達成要求などの条件を入力する。各 s_i も同様に、 sa_i に、プロジェクトに所属することで得られる技能や知識、また研究室の環境に関する希望条件などを入力する。各エージェントは、入力された条件を満たす候補を探し出し、交渉をしながらその絞り込みを行う。

3.6.3 入力機構 3: 個人情報入力

各エージェントは、ユーザに対してユーザ自身に関する情報の入力を求める。入力されたユーザ情報は、他エージェントからの問合せに対して公開される。ユーザは、情報の公開制限を設けることができ、ユーザのプライバシーに関する情報が流出することを防ぐ。

3.6.4 出力機構: 経過報告画面

各エージェントは、現在の状況をユーザの要求に応じて開示する機能を有する。また、他エージェントとの交渉中に、知識不足で処理しきれない状況に陥ると、エージェントはユーザに対して問合せを行い、情報の追加を要求する。

3.7 ユーザ側からのインタラクション

各々のエージェントは、ユーザに関する情報、ユーザの判断基準、エージェント間の交渉で得た情報などに基づいて活動する。エージェントが交渉で得る情報は、

他ユーザに関する情報や交渉状況など、システム全体の範囲で閉じた静的な情報である。しかしながら本システムでは、ユーザに関する情報が不足し、エージェントが振舞いを決定できない状況に陥るつど、ユーザへ問合せが行われる。また、ユーザはエージェントに交渉状況の情報開示を求めることで、それらの情報を常時手に入れることができ、その状況に応じて、ユーザ自身の手で判断基準などが自由に更新できる。このため、これらの知識は閉じた静的な情報ではなく、ダイナミックに更新される動的な情報である。よって、本研究で用いる手法は、従来までの手法のようにあらかじめ決められた静的な情報だけでグループ形成が行われるものとは大きく異なった手法であるといえる。

4. 実験と考察

本論文で提案した認知的均衡理論に基づく説得機構の効果を確認するために、説得機構を持つエージェントを Java を用いて記述し、LAN に接続された UNIX ワークステーション上に実装した。このエージェントを用いて、いくつかの条件下での動作実験を行った。各エージェントは、初期段階で約 150 個の基本情報を持っている。基本情報は、共通キーワード、個人情報、興味キーワードの 3 種類のキーワードからなり、それぞれ 50 個ずつ用意した。各キーワードは、キーワード名 (項目名) とキーワードの値を持つ。たとえば、“年齢” は項目名にあたり、“25 歳” はその値を意味する。それぞれのキーワードの値は、実際運用ではユーザによって入力されるが、本実験においては、実験の目的に応じて意図的に作成されたデータを用いた。

共通キーワードは、プロジェクトのテーマや研究分野などを表す要素である。このキーワードは開始時にエージェントどうして公開し合う情報であり、すべてのエージェントが同様の項目の共通キーワードを持つ。各 pa_i の持つ共通キーワードは、 p_i のプロジェクトに関するテーマを表す。一方、各 sa_j の持つ共通キーワードは、 s_j がプロジェクトのテーマに対して持つ関心の強さを表す。共通キーワードは、3.2 節で示したエージェントが交渉相手を選択する場合に用いられる満足度 (式 (1)) を求めるための、初期情報として利用される。すなわち、共通キーワードを用いることで、初期状態において、学生のエージェントは、自分のユーザである学生の好みに合ったテーマのプロジェクトを持つ教官を交渉相手として選択し、同様に、教官のエージェントは、自分のプロジェクトのテーマに興味を示す学生を交渉相手として選択する。

個人情報とは、ユーザに関する情報を表す要素である。

pa_i の持つ個人情報、研究課題の難易度や関連研究の多さなどの研究課題に関する情報と、ゼミの雰囲気や指導の頻度などの教官の指導に関する情報、そして、教官の人気度や研究室の雰囲気、先輩の就職率など教官個人や、研究環境などに関する情報から構成される。また、 sa_j の持つ個人情報は、資料収集・分析、問題解決力、表現力、プログラミング能力、コミュニケーション能力など、学生の能力に関する情報から構成される。これらのキーワードは、交渉の際の自己アピールに利用される。エージェントはなるべく高い値を持つ情報を選んで、相手に対して自己アピールを行う。

興味キーワードは相手に対する興味や希望を表す。交渉相手の個人情報に対応した興味キーワードを持ち、交渉相手からアピールによって個人情報が公開された際に、その情報に対する関心の強さを求めるために利用される。アピールされた個人情報に対応する興味キーワードがない場合には、関心がないものと見なされる。また、個人情報の公開をリクエストされた際に、該当する項目がない場合には、ユーザへの問合せが行われるものとした。

各 pa_i と sa_j の間で、共通キーワードの各項目の値の一致する割合を一致率と呼び、一致率を変化させた (0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%) 複数の基本情報データを用意する。一致率が高い相手ほど、ユーザの関心に合った相手であることを意味する。これにより、ユーザの希望を満たす相手と、満たさない相手を意図的に作り出し、片寄ったケースにおける交渉実験などを行えるようにした。

4.1 実験 1: 説得機構の動作確認

[実験内容] この実験では、 pa_i と sa_j をそれぞれ 1 つずつ用意し、1 対 1 の交渉を実験し、我々の提案した説得機構が正しく動作するかを確認する。そして、基本情報を基に均衡モデルを構築できるか、また、その状態から情報収集、自己アピールを行うかを検証する。基本情報の一致率を変化させた複数のデータを準備し、各々のデータケースにおいて交渉が行われるかを調査する。

まず、交渉による信頼度の変動量の適量を調べるため、様々な値に設定して実験を行った。それぞれの変動量におけるエージェントの振舞いを調べ、実験に適した変動量を求める。

[実験結果] それぞれのデータケースにおいて、交渉相手に対する均衡モデルが生成され、モデルの状態に基づいて自己アピールや情報収集などの行動を決定し、1 対 1 の交渉が正常に行われることを確認した。この実験中のエージェントの振舞いの傾向として、1

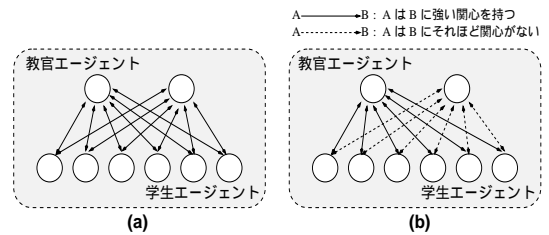


図 11 実験モデル

Fig. 11 The experiment models.

対 1 の交渉のため、つねに互いが最良候補となるため、双方のエージェントが進んで *appeal* を送り合う傾向が見られた。

3.3.2 項で示した交渉による心理状態の変動量を、様々な値に設定して実験を行った結果、変動量の値によってエージェントの振舞いにいくつかの特徴が見られた。変動量が極端に大きな値の場合、たとえば $v = 1$ に設定すると、相手の返答の内容によって信頼度が激しく振幅し、モデルの状態がまったく安定しなかった。逆に、変動量をごく小さな値、たとえば $v = 0.001$ に設定すると、交渉を行っても信頼関係は生まれにくく、信頼関係が成立するまでに多くの時間を必要とした。実験結果を平均すると、式 (6) によって求められる v を $v = 0.05$ 程度に設定すると、安定的で、かつ、なるべく短時間で交渉が行われることが確認できた。

4.2 実験 2: 多対多による配属交渉の実験

[実験内容] 次に、多対多による交渉の実験を行った。プロジェクトそれぞれの定員数を 3 名とした pa_1 , pa_2 と、学生エージェント sa_1 から sa_6 を準備し、以下のような状況における配属交渉の実験を行った。

ケース (1) 均一に希望が集まっている状況での配属。各 pa_i と各 sa_j それぞれの持つ共通キーワードの一致率を同じ値に設定することで、各 pa_i は各 sa_j に同じように関心を持ち、各 sa_j も各 pa_i に同じように興味を持っている図 11 (a) のようなモデルケースを作成しその上で実験を行う。基本情報の一致率 60% のデータを各エージェントに持たせた場合の実験を 10 回行い、その統計によって評価結果とした。

ケース (2) 一方に希望の偏りがある状況での配属。2 つの pa_j のうち、 pa_1 に対し各 sa_j は高い関心を持ち、 pa_2 にまったく関心を持たない、一方に人気が集まった図 11 (b) のようなモデルケースを作成しその上で実験を行う。実験では、人気の高い pa_1 のデータは各学生の基本情報と 80% で一致しているデータ、不人気の pa_2 は 20% の一致度のデータを持たせて実験を 10 回行い、その統計によって評価結果とした。

[実験結果] ケース (1) では、開始直後には、各 pa_i ,

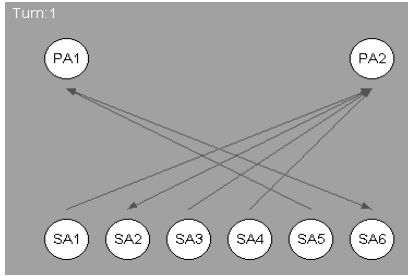


図 12 交渉状況 (1)

Fig. 12 Example of a negotiation (1).

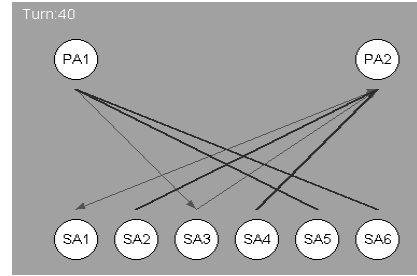


図 15 交渉状況 (4)

Fig. 15 Example of a negotiation (4).

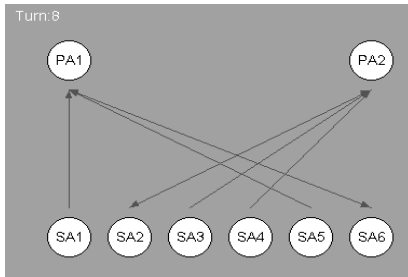


図 13 交渉状況 (2)

Fig. 13 Example of a negotiation (2).

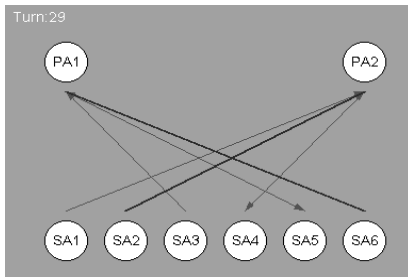


図 14 交渉状況 (3)

Fig. 14 Example of a negotiation (3).

表 2 配属決定までの経過ターン数 (実験 2-1)
Table 2 Results of experiment 2-1.

| 評価項目 | Turn | | | Inquiry |
|--------|------|-----|-----|---------|
| | AVG | MAX | MIN | |
| pa_1 | 40 | 52 | 33 | 0 |
| pa_2 | 41 | 57 | 33 | 0 |
| sa_j | 32 | 57 | 19 | 0 |

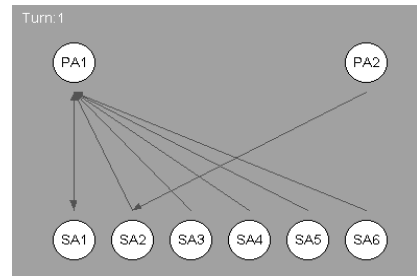


図 16 交渉状況 (5)

Fig. 16 Example of a negotiation (5).

sa_j の各候補に対する満足度の差はほとんどなく、相手からの自己アピールなどによって心理状態が変化し、それによって希望順位が頻繁に入れ替わっていることが確認された。ある実験における各候補の交渉候補の変化の例を図 12, 13, 14, 15 に示す。ここで、図中の矢印は指し示す相手と現在交渉中であることを表し、太線はその両者間で配属の合意が得られたことを表している。

特徴として、いずれの sa_j も、各 pa_i の基本情報との一致率が等しいため、各 sa_j は争って自己アピールを行い、他の sa_j との差を広げようと行動した。反面、各 pa_i は自分の気に入った相手に対して交渉を行うだけで、配属が成立してしまう傾向にあった。この原因

は、 sa_j が 6 つに対して pa_i が 2 つという競争率の格差の現れから起こる挙動であると推測できる。この実験における実験結果を表 2 に載せる。結果は pa_1 , pa_2 それぞれと、6 つの sa_j の平均の 3 つを求めた。ここで、 $Turn(AVG)$ が 10 回の実験の経過ターン数の平均、 $Turn(MAX)$ が 10 回のうちの最大経過ターン数、 $Turn(MIN)$ が 10 回のうちの最小経過ターン数、そして $Inquiry$ はデータ不足によってユーザに問合せが行われた回数の平均である。

ケース (2) では、図 16 のように、交渉開始時にはすべての sa_j が人気の高い pa_1 を交渉候補として選択し交渉を行い、 pa_1 の定員枠が満たされるまで、各 sa_j が争うようにして自己アピールなどを繰り返す動作が確認された。また、もう一方の pa_2 に対しては、 pa_1 が採用を終了するまでは、各 sa_j の側からの交渉はほとんど見られず、 pa_2 側からの説得と、それに対する返答がそのほとんどであった。

表 3 配属決定までの経過ターン数 (実験 2-2)

Table 3 Results of experiment 2-2.

| 評価項目 | Turn | | | Inquiry |
|--------------|------|-----|-----|---------|
| | AVG | MAX | MIN | |
| pa_1 (人気高) | 33 | 47 | 31 | 0 |
| pa_2 (人気低) | 56 | 71 | 37 | 19 |
| sa_j | 36.2 | 71 | 19 | 0.2 |

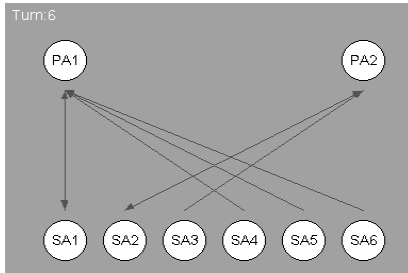


図 17 交渉状況 (6)

Fig. 17 Example of a negotiation (6).

この実験における実験結果を表 3 に載せる．この結果は、各候補が交渉優先度を求める際の満足度に対する重みが大きく ($w = 1$) 設定されていた場合のものである．この重みを半分 ($w = 0.5$) に設定したところ、終了するまで人気の高い pa_1 に交渉が集中するような振舞いは回避され、図 17 の sa_2 や sa_3 のように、ターン経過とともに pa_2 への交渉に戦略を変更する sa_j が現れ始め、実験 2-(1) の場合とほとんど変わらないターン数で全体の配属が終了するケースも見られた．

4.3 実験 3: 手作業による配属との比較

[実験内容] 実験 2-(2) と同様に図 11 (b) のような交渉モデルのデータを用意し、定員数 3 名のプロジェクトに 6 名の学生を配属する問題について、エージェントによる配属実験を行った．さらに、同じデータを利用して実際に人間の手作業による配属を行い、人手による配属結果と本システムを用いた場合の結果を比較評価する．本来、人手による実験の評価対象は配属対象となる pi や s_j であるが、本実験においては仮想的なデータを用いて実験を行うため、実際の pi や s_j は存在しない．そのため、人事決定者による配属を研究室の学生数名に手作業で行ってもらい、その結果を比較対象として用いることとした．

[実験結果] まず、手作業による配属を行うため、エージェントの配属実験の場合と同様のデータを表にして印刷し、研究室の学生数名に各自の判断で配属を行うように依頼した．それによって、各 s_j の希望が開始段階で p_1 に集中しているデータから、どの要素

表 4 各 pa_i に対する各 sa_j の満足度 (開始時)Table 4 The satisfactions of sa_j to pa_i .

| 満足度 | sa_1 | sa_2 | sa_3 | sa_4 | sa_5 | sa_6 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| pa_1 | 42.6 | 37.0 | 40.3 | 39.2 | 40.1 | 41.4 |
| pa_2 | 5.5 | 5.7 | 6.1 | 5.2 | 5.8 | 6.8 |

表 5 各 pa_i に対する各 sa_j の満足度 (最大値)Table 5 The satisfactions of pa_i to sa_j .

| 満足度 | sa_1 | sa_2 | sa_3 | sa_4 | sa_5 | sa_6 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| pa_1 | 82.0 | 79.6 | 86.3 | 80.9 | 79.8 | 84.6 |
| pa_2 | 43.0 | 47.2 | 36.1 | 42.2 | 43.8 | 51.2 |

を考慮して 3 名の学生を p_2 のプロジェクトに配属させるのかを調査した．処理の傾向として、各 s_j の希望が開始段階で p_1 に集中している状況から、(1) 各 s_j の興味キーワードに対する各 pi の個人情報を比べ、ふるいにかけていく方法、(2) 各 pi の興味キーワードに対する各 s_j の個人情報を比べ、教官側の希望で学生を選んでいく方法、(3) 1 と 2 を組み合わせて教官と学生の双方の希望を考慮して選んでいく方法、(4) ある特定のキーワードのみを比べ、適当に決める方法、の 4 つの方法がとられていた．各々の処理にかかった時間としては (1)、(2) は十数分程度で、(3) は 20 分以上、(4) は数分程度であった．

方法 (1) の結果は、 p_1 を優先した場合、形成されたチームは $G_1 = \{s_2, s_3, s_4\}$ 、 $G_2 = \{s_1, s_5, s_6\}$ となり、 p_2 を優先した場合 $G_1 = \{s_2, s_3, s_6\}$ 、 $G_2 = \{s_1, s_4, s_5\}$ となった．方法 (2)、(3) はともに $G_1 = \{s_1, s_3, s_4\}$ 、 $G_2 = \{s_2, s_5, s_6\}$ となった．方法 (4) は注目するキーワードによって結果が異なり、特定の傾向は得られなかった．

次に、手作業による配属のやり方と比べるために、エージェントによる配属実験を行った．エージェントによる交渉のプロセスと実験結果を説明する．各エージェントどうしが共通キーワードを公開し合った交渉開始時の、各 sa_j の pa_1 、 pa_2 に対する満足度は表 4 のようになった．いずれの sa_j も pa_1 の持つプロジェクトのテーマに高い関心を示し、交渉が開始されると、各 sa_j はいっせいに pa_1 に対し説得を開始した．共通キーワードは互いに公開されるため、 pa_1 、 pa_2 の各 sa_j に対する満足度も同様の値となり、 pa_1 は sa_1 を、また、 pa_2 は sa_6 を各々交渉候補として選択し、説得を開始した．この実験で用いたデータのうち、開始時には公開されていない各 pa_i の個人情報をすべて公開した場合、各 sa_j の pa_1 、 pa_2 に対する満足度は表 5 のようになる．交渉が進むにつれ、 pa_2 からのアピールによって、個人情報を多く入手した sa_6 の pa_2 に対する満足度が pa_1 に対する満足度を上回

り, sa_6 は交渉候補を pa_2 に変化させ, pa_2 と配属の合意を成立させた. 同様に, pa_1 も sa_1 と合意を成立させ, 次の候補の決定に移った. このようにして交渉は進み, 最終的な結果として, pa_1 が sa_1, sa_3, sa_4 と, また, pa_2 が sa_2, sa_5, sa_6 と合意を成立させる結果となった. 経過ターン数は 61 ターンで, 処理にかかった時間は十数秒程度であった.

この実験の結果として, 人事決定者が時間をかけて各学生と各教官の希望を照らし合わせて配属を調整した結果とほぼ同様の結果を, エージェントは互いの交渉によって合意を出し, 手作業よりもはるかに短時間で得ることができることが確認された.

4.4 考 察

今回の実験においては, まず, 心理モデルの生成と, それを用いた行動決定, 説得, 結果反映といった行動サイクルに従った活動が正常に行われることを確認した. 次に実験 2-(1) において, 各人が同じような希望を持ち, 極端な競合が存在しないような状況での多対多の交渉実験を行い, 実験 2-(2) においては, pa_1 にすべての sa_j の希望が集中してしまっているような極端な状況下で多対多の交渉実験を行った. そして, いずれのケースにおいても, エージェント間での交渉によって配属の合意が得られることを確認した. 今後, 実際の配属問題への本エージェントの応用を考える場合, 今回実験で用いたモデルケースよりも, より複雑な状況下での交渉が行われると考えられる. そのため, 今後, それらを想定した実験なども行っていく必要があると考えられる.

本システムでは, 各利用者はエージェントに対し, 交渉候補を決定する際に満足度と採用可能性各々をどれだけ重視するかを指示することができる. 採用可能性に対する重みを高くすることで, 入りやすさを重視し, それによって実験 2-(2) のように特定の相手に希望が集中してしまう状況からでも配属を行うことができることを確認した. 実際の配属においては, 相手に対する希望だけでなく, どこでもよいから採用される相手を探したいといった曖昧な希望を持つユーザも存在する可能性があり, 本研究で提案するエージェントは採用可能性に対する重みを高くすることでそのような希望にも対応可能であると思われる.

実験 1 において, 3.3.2 項および 3.3.4 項で定義した信頼度および相手の関心度の変動量を実験者が設定している. これらの要素は本来, ユーザが自由に設定できる要素である. 本実験では, ユーザに設定の指針を与えるためには, 変動量によるエージェントの動作の変化や変動量の有効範囲を明確に定義する必要があ

ると考え, そのために, 実験によってそれらの参考値を与えた. 本システムを何らかのアプリケーションに実際に応用する際には, これらの要素は, 本実験の結果に基づいた有効範囲において, ユーザが自由に設定できる要素として用いられる.

また, 本実験では, 本来ユーザによって入力されるべき基本情報を実験データとしてあらかじめ準備したものを使用した. しかし, 実際の利用の際にはこれらはユーザによって入力される必要があり, 入力にかかる負担をいかに軽減するかが今後の課題として考えられる. たとえば, エージェントがユーザのシステム利用状況などを監視し, そこからユーザの特性などの情報を抽出するなどといった方法の検討があげられる.

実際にユーザの心理要素を考慮したシステムを考える場合, 本実験で利用した基本情報のように, 数量などの明示できる情報としては扱えない要素も存在する. このような要素は, 本実験で用いたエージェントは扱えない. エージェントは, 情報として明示できるような要素を知識として持ち, それらを利用してエージェントどうして交渉を行う. 認知的均衡理論に基づいた説得機構は, 情報として明示できるような要素に基づいて, できる限り実際の人間同士の話し合いによる合意に近い結果を得ることを目的とする. このようなエージェントどうしによる交渉に基づく配属結果は, 配属案として人間の意思決定の判断材料として提示し, 情報として明示できない要素は, ユーザ自身の判断に委ねることが有効であると考えられる.

5. ま と め

本論文では, 人間の心理要素を考慮したプロジェクトチーム形成のためのマッチング問題の支援法を提案した. 本提案では, 人間 1 人 1 人がエージェントを持ち, そのユーザとなる. エージェントがユーザの代理として配属の交渉を行うことで, ユーザが実際に交渉を行う時間と労力を軽減するような支援が可能であると考えられる. そのためには, エージェントどうしの交渉によって, できる限り, 実際の人間同士での話し合いによる合意に近い結果が得られる必要がある.

本研究では, 実際の人間の振舞いの原理をエージェントの自律行動に応用するため, 心理学の分野で説得による人間の態度変化や行動決定について深く研究されている認知的均衡理論を採用し, それを応用してエージェントの説得機構を開発した. 本研究のエージェントは, ユーザの希望などの心理情報や, 他のエージェントとの交渉状況などの情報に基づいて, 認知的均衡理論を応用した心理モデルを生成し, そのモデルの状

態によって、複雑な推論機構などを用いずに自身の行動を決定し、説得を行うことができる。エージェントは、他のエージェントとの間で合意を達成させるために、均衡理論に基づく機構によって他のエージェントとの間で生じる不均衡をできるだけ解消しようと協調活動を行う。また、ある相手を他のエージェントと取り合うような競合が存在する場合、本研究のエージェントは、相手に対して自分に興味をいだかせるように説得を行う。

このような均衡理論に基づくエージェント間の説得機構は、本論文で応用例としてあげた配属問題のほか、求職者と求人者の間のマッチメイキング、出会い支援など、各エージェントが複数の候補を持ち、それらの中から自分のユーザに適した相手を探し、その相手との間で合意を成立させるために交渉を行うようなマッチメイキング問題に適用可能である。また、このようなエージェントは、エージェント間で競合しながら、合意を成立させるようなサービスに広く応用可能ではないかと考えられる。

その可能性を実証するために、本論文では、エージェント間の説得機構を設計し、それを用いたエージェントを Java 言語を用いて実装した。そして、卒業研究を行う学生が教官のプロジェクトに配属される問題を一例として、エージェント集団間におけるマッチングの実験を行った。この実験により、我々の開発した説得機構によって、希望が片寄った状況からでもエージェント間の交渉によって、配属合意が得られ、配属が行われることを確認した。

将来の課題として、ユーザの好みや希望をエージェントに伝える柔らかいインタフェースや、ユーザの個人情報をも的確に管理・利用できる知識データベースの実装と、それを用いたシステムの有効性の検討などがあげられる。

参 考 文 献

- 1) 中村勝一, 佐藤和彦, 程 子学: 心理状態を考慮したエージェント間の説得機構による配属問題支援法の提案, *IPSJ Symposium Series*, Vol.98, No.14 (1998).
- 2) Okuda, T., Adachi, S., Tian, X., Ideguchi, T. and Yasukawa, H.: A Dynamic Flexible Grouping over CORBA-based Networking within and across Organizations, *ICOIN-14* (2000).
- 3) Laubacher, R.J., Malone, T.W. and the MIT Scenario Working Group: Two Scenarios for 21st Century Organizations: Shifting Networks of Small Firms or All-Encompassing "Virtual Countries"?, MIT 21C working paper (1997).

- 4) 宗森 純, 由井園隆也, 長澤庸二, 首藤 勝: 遠隔授業支援システムの開発と検討, *DiCoMo Workshop '97*, IPSJ-DPS (1997).
- 5) <http://www soi.wide.ad.jp/>
- 6) Foner, L.N.: Yenta: A Multi-Agent, Referral Based Matchmaking System, *Agents '97*, Marina del Rey, California (1997).
- 7) Sycara, K., Lu, J., Klusch, M. and Widoff, S.: Matchmaking Among Heterogeneous Agents on the Internet, *Proc. AAAI Spring Symposium on Intelligent Agents in Cyberspace*, Stanford, USA (1999).
- 8) Smith, R.G.: The contract net protocol: High-level communication and control in a distributed problem solver, *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*, pp.1104-1113 (Dec. 1980).
- 9) 鈴木光男: 社会システム—ゲーム論的アプローチ, エンジニアリング・サイエンス講座, Vol.32, 共立出版 (1976).
- 10) 柳沢 洋, 村上国男: マルチエージェントシステムの合意形成法, 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.6, pp.1387-1395 (1995).
- 11) 伊藤孝行, 新谷虎松: 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, 電子情報通信学会論文誌 D-II (1997).
- 12) 今野 浩: 線形計画法, 数理決定法入門キャンパスの OR, pp.1-20, 朝倉書店 (1992).
- 13) 西田豊明: ネットワークエージェント, 情報処理誌, Vol.39, No.3, pp.258-260 (1998).
- 14) Heider, F.: *The psychology of interpersonal relations*, John Wiley (1958).
- 15) 佐伯 胖: 決め方の論理—社会的決定理論への招待, 東京大学出版会 (1980).
- 16) 金城辰夫: 図説現代心理学入門, 培風館 (1990).
- 17) 斎藤 勇: 人間関係の心理学, 誠信書房 (1983).
- 18) 対人行動学研究会(編): 対人行動の心理学, 誠信書房 (1986).
- 19) 安藤清志, 大坊郁夫, 池田謙一: 社会心理学, 岩波書店 (1995).

(平成 13 年 6 月 8 日受付)

(平成 13 年 11 月 14 日採録)



佐藤 和彦(学生会員)

1974年生。1997年会津大学コンピュータ理工学部コンピュータソフトウェア学科卒業。1999年会津大学大学院コンピュータ理工学研究科コンピュータシステム学専攻修士課程修了。現在、同大学院博士後期課程在学中。マルチエージェントシステム、遠隔教育、心理エージェントに関する研究開発に関心を持つ。



程 子学(正会員)

1957年生。1993年東北大学大学院工学研究科博士課程修了。同年会津大学講師、1999年同大学助教。分散アルゴリズム、遠隔教育、心理エージェント研究開発に従事。IEEE, ACM, IPSJ, IEICE 各会員。



中村 勝一(学生会員)

1975年生。1998年東京学芸大学教育学部情報環境科学課程教育情報科学専攻卒業。2000年会津大学大学院コンピュータ理工学研究科コンピュータシステム学専攻修士課程修了。現在、同大学院博士後期課程在学中。教育支援システム、グループウェア、情報教育等に関心を持つ。電子情報通信学会、教育システム情報学会各会員。



小山 明夫(正会員)

1958年生。1987年山形大学工学部情報工学科卒業。山形大学工学部文部技官を経て、現在、会津大学コンピュータソフトウェア学科講師。工学博士。高速ネットワークプロトコル、ネットワークエージェント、ルーティングアルゴリズム、遠隔教育、携帯電話用アプリケーションに関する研究に従事。IEEE Computer Society, 電子情報通信学会各会員。



Aiguo He

1956年生。1988年名古屋大学大学院電子工学研究科博士課程修了。株式会社アイヴィス等を経て2001年より会津大学先端技術研究センター講師。工学博士。遠隔教育、分散協調制御システム、ネットワーク、ソフトウェア工学の研究に従事。組合せ最適化問題の並列計算法に興味を持つ。電子情報通信学会、電気学会各会員。



程 同軍

1960年生。1982年中国燕山大学自動制御学部卒業。1988年同大学院自動制御工学科修士課程修了。株式会社エーシーエスを経て1993年より会津大学情報センター助手、現在に至る。分散アルゴリズム、遠隔教育、会議日程調整等の研究に従事。