

マルチエージェントにおける説得に基づく 会議スケジューリングについて

On Meeting Scheduling Based on Multi-agent Persuasion

伊藤 孝行[†] 新谷 虎松[†]

Takayuki Ito[†] Toramatsu Shintani[†]

[†] 名古屋工業大学知能情報システム学科

[†] Nagoya Institute of Technology, Dept. of Intelligence and Computer Science

Abstract: In this paper, we propose a persuasion mechanism among agents for meeting scheduling. In our daily life, the meeting scheduling is a task which is time-consuming, iterative and somewhat tedious. In the multi-agent meeting scheduling, agents, who act autonomously in the network, can schedule meetings on behalf of us. In our work, we schedule an agenda in a meeting. Ideally, all users' preferences should be accepted by the other users. It is, however, difficult to make an agreement among agents in consideration of all users' preferences. The persuasion mechanism facilitates making a lot of agreements among agents in consideration of users' preferences. In this paper, we run some experiments. The experiments show how the persuasion mechanism is more effective to make a lot of agreements among agents.

1 はじめに

ネットワークのような開放的な環境において、自らの知識、信念を持ち自律的に振舞う主体をエージェントと呼ぶ。個々に独自の目標を持ったエージェントが複数集まる環境では、エージェント間において競合や協調が起こり得る。このような場合、エージェントは互いの利益のために合意を形成し、競合を解消したり、協調したりすることが望ましい。つまり、合意形成は、エージェントの重要な役割の一つと言える。

筆者らは、エージェント間の合意形成をエージェント間の説得によって実現することを提案している [6, 7]。人間の社会では、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」[4] である。ここで重要なのは、説得を受ける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」と定義できる。説得は、エージェントの合理性を前提として実現する。エージェントの合理性とは、エージェントの行動が効用最大化原理（経済的合理性）や論理的整合（論理的合理性）を満たしていることを言う。本論文では、効用最大化原理に基づくエージェントの合理性を前提とする。

本論文では、ネットワークにおいて自律的なエージェントの仕事の一つである合意形成を会議スケジューリングの問題領域に適用する。そして、会議スケジューリングにおいて説得による合意形成が有効であることを示す。会議をスケジューリングするためには、会議の中の議事のスケジュール、会議の日程のスケジュールなどを行う。本論文では会議の中の議事のスケジューリングを行う。ここでは、限られた範囲内での議事の実行の順番を決定する。エージェントは各々に会議のスケジューリングについての案を持つ

[†]連絡先: 〒466 名古屋市昭和区御器所町
名古屋工業大学知能情報システム学科新谷研究室
TEL:(052)735-5471
FAX:(052)735-5477
E-mail: itota@ics.nitech.ac.jp

ており、その案を他のエージェントに提案する。他のエージェントは自らの効用に基づいて、受理または却下の判断を下す。

会議スケジューリングでは、より多くの提案が他のエージェントに受理されることによって、グループとしての決定に多くの提案が反映されることが望ましい。一方、それらの提案はそれぞれ相違を持っているために、すべて受け入れてしまえば、会議スケジューリング自体が失敗してしまう。本論文では、説得による合意形成が、説得を用いない合意形成よりも、より多くの会議スケジューリングを成功させることが可能であることを示す。

本論文の構成は以下の通りである。第2章では、会議スケジューリングの概要を示す。第3章では、説得を用いたエージェント間の合意形成方式を提案する。ここで提案した説得の効果を確かめるために第4章で実験を行い、評価する。第5章では会議スケジューリングとエージェント間の合意形成に関連する研究と本研究の相違点を明らかにする。そして第6章で、本論文をまとめ、今後の課題について述べる。

2 会議スケジューリング

ネットワーク上でエージェントはユーザの支援を行なう。会議のスケジューリングを行うために、あるユーザは会議を提案する。そして、その会議に出席すべき他のユーザのエージェントに会議スケジューリングを行う事を送信し通知する。会議を提案したユーザは会議が行われる時間全体を区間に区切る。その区間と、会議において実行すべき議事を他のユーザに通知する。各ユーザは、自分の興味に基づいて各議事に関する重要度と時間の区間に対するコストを添付する。重要度は、9段階の数字によって表す。1, 3, 5, 7, 9はそれぞれ、“やや重要”、“重要”、“かなり重要”、“非常に重要”、“極めて重要”を示す(2, 4, 6, 8は中間に用いる)。0は“重要でない”を示す。さらに、区切られた時間それぞれについて、その時間に対するコストを添付する。時間に対するコストとは、ユーザがその時間の区間の不都合さをあらわす。コストも、9段階の数字によって表す。1, 3, 5, 7, 9はそれぞれ、“やや不都合”、“不都合”、“かなり不都合”、“非常に不都合”、“極めて不都合”を示す(2, 4, 6, 8は中間に用いる)。0は“都合が良い”を示す。

自律的なエージェントがユーザの代理として、会

議スケジューリングを行う利点は、その合意形成過程において、ユーザのプライベートなデータ(本論文では、議事の重要度と時間に対するコスト)を交換したり共有したりすることのないシステムを構築することが可能であるからである。次に説明する説得に基づく合意形成でも、議事の重要度と時間に対するコスト、それ自身は交換していない。プライベートなデータの交換・共有を避けることによって、個人のプライバシーを守ることができる。

3 説得に基づく合意形成

まず、エージェントの集合を $N = \{a_1, a_2, \dots, a_l\}$ 、時間区分の集合を $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ 、議事の集合を $M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ とする。議事 m_k が実行される時間の区間を t_{m_k} とする。議事 m_k が成立するための条件として議事 m_k の支持人数を n_{m_k} とする。時間区間 t_j に対するエージェント a_i のコストは $C_{a_i}(t_j)$ 。 a_i の議事 m_k に対する重要度は $W_{a_i}(m_k)$ と表す。これらは、 a_i に関係するユーザにより決定される。

以下に本会議スケジューリングにおけるエージェント間の合意形成プロトコルを示す。まず、説得を用いない基本的な合意形成のためのプロトコルを以下に示す。

ステップ1：提案：議事を提案するためのエージェントがランダムに選択される。そのエージェントを $a_{proposer}$ と呼ぶ。 $a_{proposer}$ が他のエージェントに議事 m_k を時間区間 t_j で行うという提案 $\langle m_k, t_j \rangle$ を他のエージェントに送信する。この m_k と t_j は、 $W_{a_{proposer}}(m_k) - C_{a_{proposer}}(t_j)$ を最小化するものである。また m_k は、まだ議事集合 M の中でまだ合意の得られていない議事である。

ステップ2：受理または却下の報告：提案を受信したエージェントは、エージェント $a_{proposer}$ と、提案 $\langle m_k, t_j \rangle$ に関する合意形成に専念することを約束する(これをコミットメント [10] と呼ぶ)。各々のエージェントが、提案 $\langle m_k, t_j \rangle$ について受理または却下の返事をエージェント $a_{proposer}$ に送信する。このとき、エージェントは提案された時間区分 t_j の都合が良く無ければ、提案 $\langle m_k, t_j \rangle$ を却下、都合が良ければ受理の返事を送信する。つまり、エージェント a_i が時間区分 t_j に関して、 $W_{a_i}(t_j) > 0$ であれば却下、 $W_{a_i}(t_j) = 0$ であ

ば受理とする。

ステップ3: 集計: 提案をしたエージェント $a_{proposer}$ は、各エージェントの受理, または却下の返信を集計し, 受理の数が始めに決定した支持人数 n_{m_k} 以上であれば, その提案 $\langle m_k, t_j \rangle$ については合意が得られたとする。そして, 合意が得られたか得られなかったかについてを他のすべてのエージェントに報告する。そして, すべての議事について合意が得られていけば終了。合意が得られていなければ, 再び「提案」から始める。

以上の基本的な合意形成プロトコルに加えて, より多くの合意を得るための方法として, 説得を導入し以下のようにプロトコルを改良する。

ステップ A: 提案: 議事を提案するためのエージェントがランダムに選択される。そのエージェントを $a_{proposer}$ と呼ぶ。 $a_{proposer}$ が他のエージェントに議事 m_k を時間区分 t_j で行うという提案 $\langle m_k, t_j \rangle$ を他のエージェントに送信する。この m_k と t_j は, $W_{a_{proposer}}(m_k) - C_{a_{proposer}}(t_j)$ を最小化するものである。また m_k は, まだ議事集合 M の中でまだ合意の得られていない議事である。

ステップ B: 受理または却下の報告: 提案を受信したエージェントは, エージェント $a_{proposer}$ と, 提案 $\langle m_k, t_j \rangle$ に関してコミットメントする。各々のエージェントが, 提案 $\langle m_k, t_j \rangle$ について受理または却下の返事をエージェント $a_{proposer}$ に送信する。提案された時間区分 t_j が都合が悪ければ, 提案 $\langle m_k, t_j \rangle$ を却下, 良ければ受理の返事を送信する。つまり, エージェント a_i が時間区分 t_j に対して $W_{a_i}(t_j) > 0$ であれば却下, $W_{a_i}(t_j) = 0$ であれば受理とする。

ステップ C: 集計: 提案をしたエージェント $a_{proposer}$ は, 各エージェントの受理, または却下の返信を集計し, 受理の数が始めに決定した支持人数 n_{m_k} 以上であれば, その提案 $\langle m_k, t_j \rangle$ については合意が得られたとする。そして, 合意が得られたか得られなかったかについてを他のすべてのエージェントに報告する。合意が得られなかった提案については保留しておくということを他のエージェントに報告する。ここで, 各エージェント a_i は保留リスト L_{a_i} を持つ。各エージェント a_i は提案 $\langle m_k, t_j \rangle$ を保留するために, 保

留リスト L_{a_i} に提案 $\langle m_k, t_j \rangle$ を登録する。提案を保留する点が本プロトコルにおける説得の特徴である。

ステップ D: 説得: 提案 $\langle m_k, t_j \rangle$ について合意が得られなかった場合, 説得を行なう。エージェント $a_{proposer}$ 以外のエージェント a_i が, 過去に自らが提案したが, 合意が得られず保留されている提案の中の1つを $\langle m_{k'}, t_{j'} \rangle$ とする。つまり, $\langle m_{k'}, t_{j'} \rangle$ は各エージェントの持つ保留リスト L_{a_i} に含まれる。ここで, エージェント $a_{proposer}$ は, 保留されている議事の時間区分 $t_{j'}$ における自分の不都合さを表すコスト $C_{a_{proposer}}(t_{j'})$ と合意の得られなかった会議の重要度 $W_{a_{proposer}}(m_k)$ を比較し, $C_{a_{proposer}}(t_{j'}) < W_{a_{proposer}}(m_k)$ であれば, この保留された a_i の提案 $\langle m_{k'}, t_{j'} \rangle$ を用いて, a_i を次のように説得する。エージェント $a_{proposer}$ が, 保留された提案 $\langle m_{k'}, t_{j'} \rangle$ を受理する代償として, 提案 $\langle m_k, t_j \rangle$ をエージェント a_i が受理することを要求するためのメッセージ(説得メッセージ)を a_i に送信する。

ステップ E: 説得の受理または却下の報告: a_i は, $a_{proposer}$ から説得メッセージを受けとり, $C_{a_i}(t_j) < W_{a_i}(m_{k'})$ であれば, 提案 $\langle m_k, t_j \rangle$ を受理する。そうでなければ, 却下する。ここで, 各提案 $\langle m_k, t_j \rangle$ と $\langle m_{k'}, t_{j'} \rangle$ に関して, 支持人数が必要な人数以上であれば, 合意が得られた会議とする。そして, すべての議事について合意が得られていけば終了。合意が得られていなければ, 再び「提案」から始める。

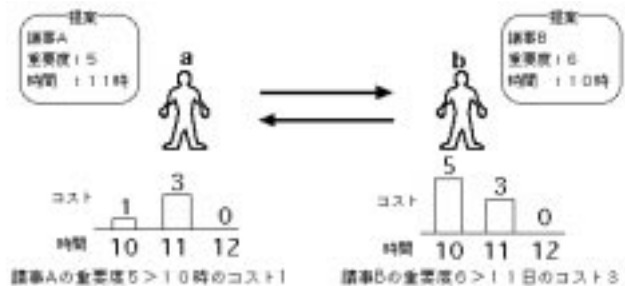


図 1: 説得の例

ここで上で説明した合意形成方式における説得の基本的なアイデアを例を用いて示す(図1)。今, エー

エージェント a と b が、図 1 の下の棒グラフに示すようなコストがあるとする。例えば、エージェント a は、11時にコスト3、つまり「やや不都合」だとする。そして今、エージェント a が議事 A を時間 11時に行うことを提案したが失敗し説得を行っている。エージェント b はすでに議事 B に関する提案を以前に保留しているとする。

本論文での説得は以下のように行われる。エージェント a は、エージェント b の議事 B に関する提案を受理する代償として、エージェント b に議事 A の提案の受理を要求する。エージェント b は、議事 B の重要度と、議事 A の時間 11時におけるコストを比較する。図 1 に示す通り、議事 B の重要度は、11時のコストよりも大きい ($5 > 1$) ので、エージェント b は個人的な効用の最大化原理によって、この説得案に同意する。また、エージェント a の方も図 1 に示す通り (議事 A の重要度 5) $>$ (10時のコスト 1) であるから、個人的な効用の最大化原理よりこれに同意できる。以上のように、エージェント a の議事 A に関する提案、エージェント b の議事 B に関する提案は、それぞれ、エージェント a、エージェント b が受理したことになる。

以上の説得の特長は、エージェント相互の個々の効用の比較を行わない点にある。会議スケジューリングのような、ユーザの支援を目的とした領域では、エージェント相互の効用を比較するという事は、ユーザ間の好みを比較することになる。ユーザ間の好みを数の大小関係によって比較することは、好ましいとは言えない。本論文では、エージェントは単に効用を最大化するという自律的なエージェントの基本的な性質を追求することによって説得を実現できる。

4 実験と評価

本システムに導入した説得による合意形成の効果を確認するための実験を行なった。実験では、エージェントの数を 5、時間区間を 8 区間 (0~7) 用意し、各エージェントには、時間区間にコストを持たせた。そして、上のプロトコルを用いて、会議の議事のスケジューリングが成功したか失敗したかを確かめた。「説得なし」では、ステップ 1: 提案, ステップ 2: 受理または却下の報告, ステップ 3: 集計で 1 ターンとした。

「説得あり」では、ステップ A: 提案, ステップ

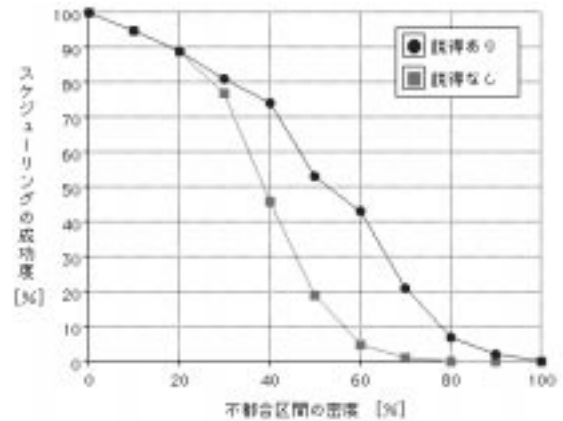


図 2: 実験結果 (合意人数 3 人)

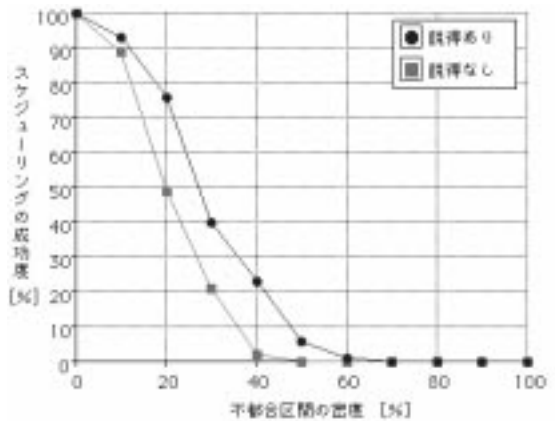


図 3: 実験結果 (合意人数 4 人)

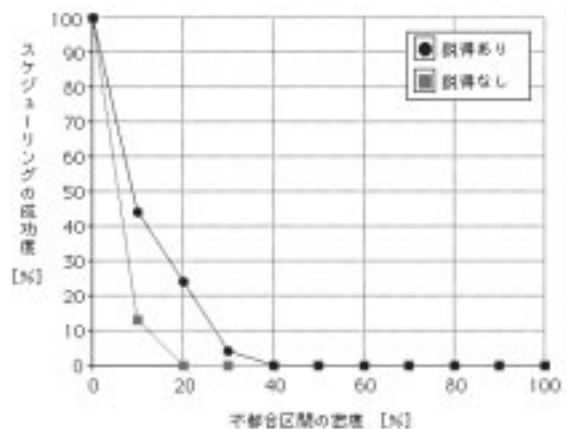


図 4: 実験結果 (合意人数 5 人)

B: 受理または却下の報告, ステップ C: 集計, ステップ D: 説得, ステップ E: 説得の受理または却下の報告, で 1 ターンとして, 100 ターンまで行い, 100 ターンまでにスケジューリングが成功するか失敗するかを確かめる試行を行った. そしてこの試行を 100 回行った. ここで, エージェント a_i のコストがある不都合な時間区間, つまり, $C_{a_i}(t_j) > 0$ なる t_j を, 不都合区間と呼ぶ. 各エージェントの不都合区間の密度 (%) (8 区間のうちのどの程度, 不都合区間が存在するか) を, 0% ~ 100% と変化させて横軸に示し, それぞれの密度において, 100 回の試行の中でいくつの会議のスケジューリングが成功したかを示す割合 (%) を縦軸に示した. 図 2 は, すべての議事の最低参加人数, つまり合意人数を 3 人としたものであり, 図 3 は, 合意人数を 4 人, 図 4 はすべてのエージェントの受理を必要とする, つまり合意人数を 5 人としたものを示している.

合意人数が 3 人の場合 (図 2), 4 人の場合 (図 3), 及び 5 人の場合 (図 4) においても説得あり (説得を用いた合意形成によって成功した会議スケジューリングの数) の場合は説得なし (説得を用いなかった合意形成によって成功した会議スケジューリングの数) の場合と比較して良好な結果が得られている. つまり, 説得ありの場合の方が説得なしの場合より会議のスケジューリングがより多く成功している.

合意人数が 3 人の場合 (図 2) では, 不都合区間の密度が 20% ~ 80% 程度の場合は, 説得ありの場合の方が説得なしの場合よりも会議スケジューリングが多く成功しており, 説得が有効であることが分かる. 特に, 不都合区間の密度が 40% ~ 60% の間では, 説得を用いることによって, 会議スケジューリングの成功度を約 30% 改善できていることが分かる.

合意人数を 4 人とした場合 (図 3) は, 合意人数が 3 人の場合よりも全体的にスケジューリングを成功させにくいことがグラフからも分かる. 不都合区間の密度が 10% ~ 70% 程度の場合は, 説得ありの場合の方が説得なしの場合よりも会議スケジューリングの成功度が高く, ここでも説得が有効であることが分かる. 特に不都合区間の密度が 20% ~ 40% の間で会議スケジューリングの成功度を約 20% 改善できていることが分かる.

全員の合意が必要とした場合, つまり合意人数を 5 人とした場合 (図 4) は, 最もスケジューリングが成功させるのは困難となる. ここでは不都合区間の

密度が 10% ~ 30% 程度の場合は, 説得ありの場合の方が成功度が高くなっている. さらに, 10% 及び 20% の場合は, 25% ~ 30% 程度, 会議のスケジューリングの成功度を改善できている.

以上の 3 つの実験から, 会議の議事のスケジューリングにおいて, 本論文で提案する説得を用いた合意形成によって, 会議スケジューリングの成功度を改善できることが分かった.

5 関連研究

まず, 会議スケジューリングに関連して, 興味深い研究は Sen と Durfee[9] の研究である. 彼らは契約ネットプロトコル [11], マルチステージネゴシエーション [2] を用いてスケジューリングを担う中心的なエージェントを仮定し, スケジューリングのためのヒューリスティックな戦略を探索手法, アナウンス手法, 入札手法, 及びコミットメントのあるなしについて分類し, それぞれについて, スケジュールが成功する可能性についての解析を行ない, いかに効率良くスケジューリングを行なうかについて議論している. しかし, 本研究で考慮したようなユーザの好みは考慮に入れられていない.

マルチエージェント環境において, あるエージェントの他のエージェントの好みの学習についての Bui らの研究 [1] も興味深い. エージェントは他のエージェントのスケジュールや好みに関する知識を最初は持たないが, 繰り返しスケジューリングを行ない, 統計的に他のエージェントの好みを学習する. 学習の結果, エージェント間の通信料のコストを減らすことが可能となる. この研究では効果的な学習を実現するために反復な日程のスケジューリング (例えば毎週水曜日に会議を設定するなど) を前提とする. ユーザの好みは考慮に入れられていない.

ユーザの好みを考慮に入れながら中心的なエージェントを前提としない会議スケジューリング [5] も提案されている. ここでは, エージェントは順に候補を提案する. あるエージェントが候補を提案し, 1 人でも受理しなければ次のエージェントが制約を緩めた他の候補を提案する, という流れを繰り返す. この方式によって自律的なエージェントによる中心的なエージェントを前提としない会議スケジューリングが可能となる. ここでは, すべてのエージェントは合意を得ることに失敗した場合, すぐに妥協をすることが前提とさ

れる．一般的に人間による交渉では，すぐに妥協する場合もあるが，妥協の前段階として説得という行為が行なわれる．説得が本研究との相違点である．

会議スケジュールリングに操作不可能な交渉メカニズムを実現可能なクラーク税を導入した研究 [3] も興味深い．この研究の会議スケジュールリングの枠組では各エージェントが重み付きの投票を行なう．重み付き投票の欠点は，最終結果が変わらない範囲で真の好みの度合よりも少ない金額を提示すれば (嘘をつけば) 利益があり得るということである．この問題を解決するための方法として彼らはクラーク税の手法を導入した．クラーク税のもとでの重み付き投票では提示した金額ではなく，意思決定への影響の度合に応じた金額として税金 (クラーク税) を支払う．ここでは，各エージェントの提示した金額を除いた合計を計算し，除いた場合の結果が本来の結果と異なっている場合，本来の結果に戻すために必要な金額をそのエージェントの支払う税金とする．つまり，真の選好を表明することが最適となる．一般に投票には様々なパラドックスが存在することが指摘されている [8]．そこで，本研究では合意形成に投票による方法を用いず，説得による方法を提案した．

以上の研究では日程のスケジュールリングに重点が置かれていたが，本論文では会議の中の議事に関するスケジュールリングを行った点も一つの相違点である．

6 おわりに

本論文では，自律的なエージェント間の説得による合意形成を提案した．ネットワーク上で自律的に振舞うエージェントの重要な仕事として，他のエージェントとの合意形成がある．エージェントの合意形成を必要とする問題領域として，本論文では会議スケジュールリングを挙げた．この問題領域において重要なことは，なるべく多くの合意を得ることによって，ユーザの好みを決定に反映させることである．本論文では，説得を用いることによって，多くの合意を得る合意形成方式を提案した．そして，説得による合意形成の効果を知るために実験を行った．実験では，各エージェントの不都合な時間の区間の密度と，会議スケジュールリングの成功度の関係を，説得を用いた合意形成と説得を用いない合意形成に関して示した．この実験によって説得を使う合意形成が，説得を使わない合意形成よりも多くのスケジュールリングを成功させる

ことが可能であることが明らかになった．

本方式は，マルチエージェント関連の他の問題領域にも適用可能であると考えている．例えば，マルチエージェントによる倉庫管理のような問題領域には適用可能である．説得による合意形成を用いて上のような領域の問題解決の効率を改善することは今後の課題である．

参考文献

- [1] Hung H. Bui, D. Kieronska, and S. Venkatesh. Learning other agents' preferences in multiagent negotiation. In *Proceedings of the Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-96)*, pp. 115–119, August 1996.
- [2] S.E. Conry, R. A. Meyer, and V. R. Lesser. Multi-stage negotiation in distributed planning. In A. H. Bond and L. Gasser, editors, *Readings in Distributed Artificial Intelligence*, pp. 367–384. Morgan Kaufman, 1988.
- [3] E. Ephrati, G. Zlotkin, and J. S. Rosenschein. A non-manipulable meeting scheduling system. In *The Thirteenth International Distributed Artificial Intelligence Workshop*, pp. 105–125, July 1994.
- [4] 草野耕一. ゲームとしての交渉. 丸善ライブラリー 130. 丸善株式会社, July 1994.
- [5] L. Garrido and K. Sycara. Multi-agent meeting scheduling: Preliminary experiment results. In *Proceedings of Second International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-96)*, pp. 95–102. AAAI Press, December 1996.
- [6] T. Ito and T. Shintani. An approach to a multi-agent based scheduling system using a coalition formation. In *The Proceedings of the Ninth International Conference on Industrial & Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems (IEA/AIE-96)*, p. 780. Gordon and Breach Science Publishers, jun 1996.
- [7] T. Ito and T. Shintani. Implementing an agent negotiation protocol based on persuasion. In *the Second International Conference on Multiagent Systems (ICMAS-96)*, p. 443. AAAI Press, dec 1996.
- [8] 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.
- [9] S. Sen and E. H. Durfee. On the design of an adaptive meeting scheduler. In *The Tenth IEEE Conference on Artificial Intelligence for Applications*, pp. 40–46, March 1994.
- [10] S. Sen and E. H. Durfee. The role of commitment in cooperative negotiation. *International Journal on Intelligent and Cooperative Information Systems*, Vol. 3, No. 1, pp. 67–81, 1994.
- [11] R. G. Smith. The contract net protocol: High-level communication and control in a distributed problem solver. In *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 1104–1113, December 1980.