

状態遷移モデルを用いた交渉会話のシミュレーション

鬼頭 隆[†] 増塩 智宏[‡] 安村 禎明[‡] 新田 克己[‡]

株式会社情報通信総合研究所[†]

〒107-0062 東京都港区南青山1-12-31

Tel: 03-3470-8048 / E-mail: kito@icr.co.jp

東京工業大学大学院 総合理工学研究科 知能システム科学専攻[‡]

〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町4259

Tel: 045-924-5214 / E-mail: {math, yasumura, nitta}@ntt.dis.titech.ac.jp

あらまし 本稿では交渉に関する知見や仮説の分析・検証ツールとして、エージェントを用いて交渉会話を多数再現するシミュレーションシステムを提案する。まず会話の視点から理想的な交渉のルールや構造を分析し、これに基づいた交渉会話の状態遷移モデルを作成した。その上で、このモデルに従って行動するエージェントを用いてシステムを構築した。このエージェントは、パラメータの設定によって異なる個性を持つことができるため、様々な交渉会話を再現できる。最後に、システム動作の適切さとその有用性をシミュレーション例により示した。

キーワード 交渉, エージェント, 会話, 状態遷移, シミュレーション

Simulation system for discourse of negotiation using state graph models

Takashi KITO[†] Tomohiro MASUSHIO[‡] Yoshiaki YASUMURA[‡] Katsumi NITTA[‡]

[†]InfoCom Research, Inc.

1-12-31, Minami-Aoyama, Minato-ku, Tokyo 107-0062, Japan

Tel: +81-3-3470-8048 / E-mail: kito@icr.co.jp

[‡]Department of Computational Intelligence and Systems Science

Tokyo Institute of Technology

4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama, Kanagawa 226-8052, Japan

Tel: +81-45-924-5214 / E-mail: {math, yasumura, nitta}@ntt.dis.titech.ac.jp

Abstract In this report, we propose a simulation system for verifying hypotheses and analysing knowledge about negotiation. The system can generate a lot of negotiation discourses using agents. The agents' acts are based on the state graph models which express the structures and rules in the discourse derived by analysis of ideal negotiation. The system can be applied for various types of negotiations by using them which each can have different characters by their own parameters. Finally, the results of the simulations show the validity and utility of the system.

Key words negotiation, agent, discourse, state graph, simulation

1 はじめに

交渉 (negotiation) は人間社会の基礎となる普遍的かつ日常的な行為の 1 つであり、その目的は共通あるいは相対立する利害の調整にある [1]。このため、これまで政治学、交渉術、意思決定、論証などの分野を中心に、各当事者または当事者全体にとっていかに好ましい結果を得るかを主な対象として研究が行われてきた。その成果として、過去の事例や経験的知識から交渉に関する様々な知見や仮説が得られている。

これらで得られた知見や仮説の分析・検証には、別途新たな事例が必要となってくる。しかし、交渉会話は記録されることが少なく、非公開のものも多いため、記録から多数の事例を新たに収集するには長い時間を必要とする。さらに、交渉の環境や当事者の心理状態などの条件が揃った事例を、収集または人間を使った実験で発生させることには困難が伴う。このため、新たな事例を収集することなく、コンピュータ上で交渉会話を再現するシミュレーションが、分析・検証の有効な手段になると考えられる。

交渉会話の再現には、会話がどのように進行し、どの時点で誰が何をできるかといったルールなどに関する会話構造の分析が必要である。会話構造に関する研究として、一般的な会話構造モデルを示した Conversation Theory [2] やエージェント会話の形式化/視覚化の研究 [3]、エージェント向けコミュニケーション言語の研究 [4][5] が挙げられる。しかし、交渉など具体的な会話に適用するには、これら研究成果の連携・統合とより詳細な定義が必要である。

そのため、本稿ではまず会話の視点から理想的な交渉の構造やルールを分析し、これに基づいた交渉会話の状態遷移モデルを作成する。その上で、この状態遷移モデルに従って動作するエージェントを利用して交渉会話を再現するシミュレーションシステムを提案する。最後に、このシステムを用いることで交渉会話の分析が可能であることを示す。

2 状態遷移モデル

まず、交渉会話を分析して理想的な交渉のルールを具体化し、その上でメッセージの定義とこれを利用した状態遷移図からなる交渉会話の状態遷移モデルを作成した。なお、本研究では利害関係のある当事者 2 人による交渉を対象とする。

2.1 交渉のルール

理想的な交渉の要件を明示した従来研究はないが、ここでは下記のような要件を満たすものとする。

1. 公正な機会の保証 (手続的公正) [6]
2. 提案, 意図, 態度の明確化/明示化

分析に当たっては、日常生活上の取り決めや売買, ビジネス上の契約などの経験的な交渉事例に加えて, 金融関連法案に関する与野党攻防の報道記事, 地球環境に関する京都会議の議事録 [7] などを参考にした。その結果, 本研究では理想的な交渉の実現に最低限必要なルールとして以下の 4 つを定義する。

1. 自分の提案があるときは, それを取り下げるまで必ず支持しなければならない。
2. 2 つ以上の提案を同時に支持することはできない。
3. 他人の提案を支持 (受諾) する際は, まず先に自分の提案を取り下げなければならない。(1, 2 より)
4. 提案, 受諾, 拒否の意思表示は, 当事者間で順番に行わなければならない。

これらは, 理想的な交渉の要件から一意に導かれる十分なルールである保証はないが, 一般通念の観点からも妥当であると考えられる。

2.2 メッセージの定義

次に, 状態遷移モデルで利用されるメッセージの形式を以下の通り定義する。

MESSAGE-NAME (Sender, Contents, Explanation)

MESSAGE-NAME メッセージの性質・作用を表す名前である。本研究では「提案 propose」「受諾 accept」「拒否 refuse」「取り下げ withdraw」「通知 inform」の 5 種類を定義する。

Sender メッセージの送信者を表す。なお, 本研究では当事者全員にメッセージを送信するため, 受信者は明記しない。

Contents メッセージの内容を表す。本研究では「X による提案 P_X 」「討議の開始 D 」「X への発言権移動 S_X 」「交渉の終了 F 」の 4 種類を利用する。

Explanation **Contents** が「X による提案 P_X 」「X への発言権移動 S_X 」「交渉の終了 F 」の場合, これらに付加する説明・理由を表す。但し, 空でもよい。

次に、本研究の状態遷移モデルで定義する5種類のMESSAGE-NAMEの詳細を示す。

2.2.1 提案 propose

propose は、当事者による提案を表す。

Contentsの種類 Sender自身による提案 P_{sender} .

発話前の条件 以下の条件を全て満たす。

1. Senderに発言権がある。
2. 提案 P_{sender} が交渉案に存在しない。

交渉案の変化 提案 P_{sender} が加わる。

発言権 相手に移る。

2.2.2 受諾 accept

accept は、当事者による提案の受諾を表す。

Contentsの種類 Sender以外による提案 $P_{\neg sender}$.

発話前の条件 以下の条件を全て満たす。

1. Senderに発言権がある。
2. 提案 $P_{\neg sender}$ が交渉案に存在する。
3. 提案 P_{sender} が交渉案に存在しない。

交渉案の変化 提案 $P_{\neg sender}$ が無くなる。

発言権 FREEになる(交渉が成立して終了する)。

2.2.3 拒否 refuse

refuse は、当事者による提案の拒否を表す。

Contentsの種類 Sender以外による提案 $P_{\neg sender}$.

発話前の条件 以下の条件を全て満たす。

1. Senderに発言権がある。
2. 提案 $P_{\neg sender}$ が交渉案に存在する。

交渉案の変化 特になし。

発言権 相手に移る。

2.2.4 取り下げ withdraw

withdraw は、当事者による提案の取り下げを表す。

Contentsの種類 Senderによる提案 P_{sender} .

発話前の条件 以下の条件を全て満たす。

1. Senderに発言権がある。

2. 提案 P_{sender} が交渉案に存在する。

交渉案の変化 提案 P_{sender} が無くなる。

発言権 そのまま

2.2.5 通知 inform

inform は、当事者による様々な行為の通知を表す。

Contentsの種類

1. 任意の当事者 X への発言権移動 S_X .
2. 討議の開始 D .
3. 交渉の終了 F .

発話前の条件

1. Contentsが S_X の場合、発言権が FREE である。
2. Contentsが D の場合、以下の条件を全て満たす。
 - (a) Senderに発言権がある。
 - (b) 交渉案が1つ以上存在する。
3. Contentsが F の場合、以下の条件を全て満たす。
 - (a) Senderに発言権がある。
 - (b) 交渉案が1つも存在しない。

交渉案の変化

1. Contentsが S_X の場合、特になし。
2. Contentsが D の場合、現在ある全ての交渉案に関する討議を開始する。
3. Contentsが F の場合、特になし。

発言権

1. Contentsが S_X の場合、Xに移る。
2. Contentsが D の場合、FREEになる(討議モードに移行する)。
3. Contentsが F の場合、FREEになる(交渉が決裂して終了する)。

2.3 状態遷移図

2.2で定義したメッセージを用いて、交渉会話の過程や発言権、選択可能なメッセージなどを表す状態遷移図を作成した。これを図1に示す。交渉の当事者はA、Bの2人である。図中では以下の内容が表現されている。

発言権 各状態の右下にA、B、FREE、ENDで、また発言権がAにある状態を白地、Bの状態を黒地、FREE、ENDの状態を網かけで示す。

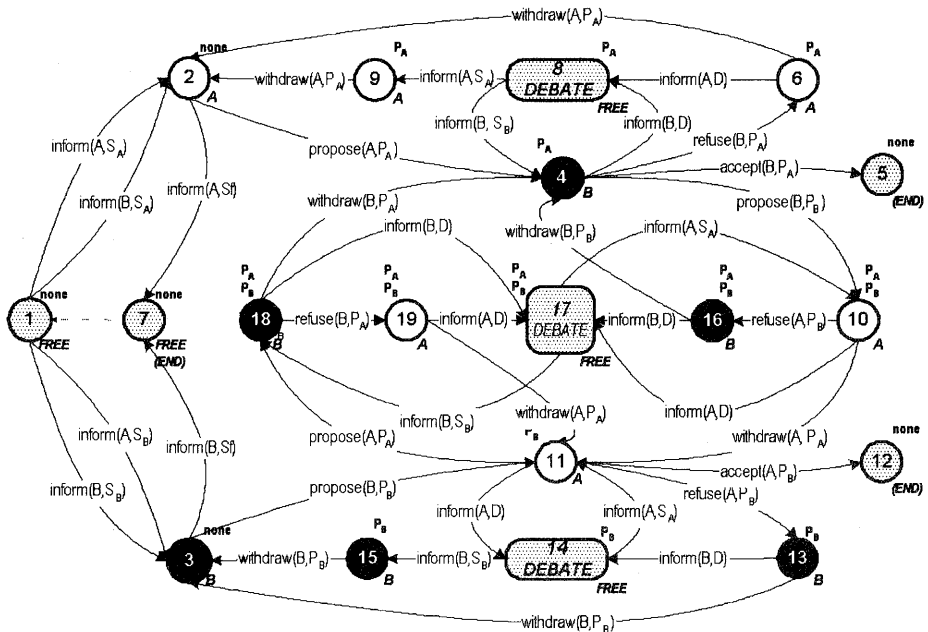


図 1: 当事者 2 人による交渉会話の状態遷移図

選択可能なメッセージと次の状態 各状態を起点とする矢印で、選択可能なメッセージとそれによって移動する次の状態を表す。

現在存在する交渉案 各状態の上に、 $P_A, P_B, none$ (なし) で表す。 P_A は A による提案を示す。

交渉会話の過程は、状態遷移図上で以下のように表現される。

交渉の開始 (初期状態) まず、一方の当事者 (以下 X) が発言権を取得して (inform S) 提案を行う (propose P) と交渉が開始される。または、一方の当事者が他方の当事者に発言権を取得させて提案を求めても良い。

提案に対する行動 提案を受けた他方の当事者 (以下 Y) は、提案の受諾 (accept P), 拒否 (refuse P), 別の提案 (propose P), 提案に疑問がある場合は討議の開始 (inform D) のいずれかを選択する。

交渉の成立 (終了状態) 一方の当事者が他方の提案を受諾した場合、交渉は成立して終了する。

拒否に対する行動 Y が X の提案を拒否した場合、X は提案の取り下げ (withdraw P), 拒否された提案に

関する討議の開始のいずれかを選択する。

交渉の決裂 (終了状態) X が自らの提案を取り下げた後、交渉終了を通知すると (inform F), 交渉は決裂して終了する。

別の提案 (逆提案) に対する行動 Y による逆提案に対して X が可能な行動は、提案の受諾, 拒否, 逆提案, 討議の開始の 4 通りである。しかし、最初に直接選択可能なメッセージは拒否, 取り下げ, 討議の開始の 3 通りに限られる。Y の提案を受諾する、またはさらに別の提案を行いたい場合は、2.1 のルール 3 より、まず自分の提案を取り下げる必要がある。

また、自分の提案を引き続き提示・主張しながら拒否したい場合は直接拒否を選択するが、交渉を終了 (決裂) させたい場合は自分の提案を取り下げた後に拒否を行う。

討議モード 本研究の状態遷移モデルでは提案そのものが会話の主題であり、また会話の構造化に主眼を置いている。これに対して、討議における会話の主題は提案に付随する質疑応答や説明・理由付けである。さらに、会話の構造よりも発言に関する真偽や論理性が

不適合の事例 不適合の事例とは、当事者 A による提案に対して当事者 B が無言のまま意思表示をしなかったものである。これは、本研究の理想的な交渉の要件からはずれる事例であった。

会話内容の解釈 各事例を状態遷移モデルに当てはめる作業に当たっては、発言そのもの（発話行為 [9]）から発言の意図（発話内行為）を人手で解釈する必要がある。その際、複数の解釈が可能な事例が数件存在した。しかし、解釈の違いにより状態遷移モデルから逸脱する事例はなく、モデル評価への影響はなかった。

以上の考察より、提案した状態遷移モデルは実際の交渉会話を適切に表現していると考えられる。

3 交渉シミュレーションシステム

第 2 章で提案した状態遷移モデルをベースに、これに従って行動するエージェントを用いた交渉会話のシミュレーションシステムを作成した。エージェントは、各状態で確率を用いてメッセージを選択する。また、メッセージ選択の意思決定方法やパラメータなどの設定により各エージェントに異なる個性を持たせ、その組み合わせ方による交渉過程や結果などの分析・検証に利用できる。

3.1 意思決定の要因と方法

本研究では、エージェントは以下のように意思決定・行動するものとする。

- 最初の提案では各自にとって最も好ましいものを示す。2 回目以降は、双方の提案の効用差に一定比率をかけ、その分を引き下げた妥協案を示す。
- 相手の提案に対する自分の効用が高くなるほど、受諾する可能性も高くなる。
- 交渉時間の経過に伴い、受諾する可能性が変化する。どのように変化するかは、個性によって異なる。
- 交渉時間が長くなるほど、再提案する可能性はより低くなる。
- 自分の提案（妥協）回数が相手より相対的に多くなるほど、再提案する可能性はより低くなる。
- 直前の討議における情勢が自分にとって有利ならば、相手の提案を受諾する可能性および再提案する可能性はより低くなる。不利ならばより高くなる。

- 決裂コストは、妥協の度合い（強気・弱気）に反映させる。妥協の度合いは提案内容、受諾する確率、提案する確率の変化の度合いで表す。

このような意思決定・行動を、図 3 のようなパラメータの組み合わせで実現する。

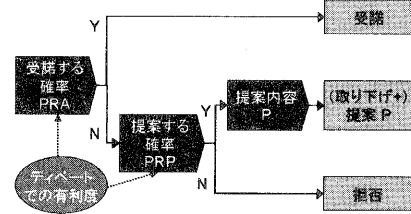


図 3: 意思決定の流れ

パラメータ PRA, PRP, P は以下の通り定義する。

3.1.1 提案内容 P

図 1 の状態 2, 3, 4, 11 で各エージェントが提示する提案内容を決定する。各エージェントは、双方の提案の効用差を基本に提案を引き下げる。

本研究では便宜的に提案 P をその効用そのものとし、0 から 1 の間の連続的な値を取ることにする。 $P = 1$ の時に A の効用が最大、B の効用が最小となり、 $P = 0$ の時に A の効用が最小、B の効用が最大となる。その上で、各当事者 A, B の提案内容 P_{A_t}, P_{B_t} を以下のよう

$$P_{A_t} = P_{A_{(t-1)}} - \alpha_A W_A(t) \cdot (P_{A_{(t-1)}} - P_{B_{now}})$$

$$P_{B_t} = P_{B_{(t-1)}} - \alpha_B W_B(t) \cdot (P_{B_{(t-1)}} - P_{A_{now}})$$

$$P_{A_1} = 1, \quad P_{B_1} = 0, \quad 0 \leq P \leq 1$$

$$0 < \alpha < 1, \quad 0 \leq t, \quad 0 < W(t)$$

P_{A_t}, P_{B_t} : 各当事者 A, B の t 回目の提案内容。

$P_{A_{now}}, P_{B_{now}}$: 各当事者 A, B の現在の提案内容。

α_A, α_B : 相手の提案に近づく速度を表す定数。値が大きいほど妥協的。

t : 交渉時間を表す変数。

$W_A(t), W_B(t)$: 交渉時間の経過に伴う態度の変化を表す関数。例えば、交渉時間が長くなるほど妥協しやすくなる場合、以下のような関数を利用する。

$$W(t) = (1 - W_1)^t, \quad 0 \leq W_1 \leq 1$$

3.1.2 受諾する確率 PRA

図1の状態4, 11で各エージェントが相手の提案を受諾する確率を決定する。ここでは、直前の討議における有利度も反映させる。有利度は客観的に判断可能であると仮定し、(Aの有利度, Bの有利度) = (有利, 不利), (不利, 有利), (引き分け, 引き分け)のいずれかを取るものとする。各当事者A, Bの受諾する確率 PRA_A, PRA_B を以下のように定義する。

$$PRA_A = e^{-\frac{ad_A \cdot (P_{B_{now}} - 1)^2}{\beta_A \cdot W'_A(t)}}$$

$$PRA_B = e^{-\frac{ad_B \cdot (P_{A_{now}})^2}{\beta_B \cdot W'_B(t)}}$$

$$0 < \beta, \quad 0 < W'(t)$$

$$ad = (0.8, 0, 1.2), \quad ad_A + ad_B = 2$$

β_A, β_B : 効用の低下に伴う受諾確率の低下の度合いを表す定数。値が大きいくほど妥協的。

ad_A, ad_B : 直前の討議における各当事者A, Bの有利度を表す変数。討議で有利だった場合は $ad = 1.2$, 不利だった場合は $ad = 0.8$, 引き分けだった場合は $ad = 1.0$ し、この値は毎回ランダムに決定する。

$W'_A(t), W'_B(t)$: 交渉時間の経過に伴う態度の変化を表す関数。例えば、交渉時間が長くなるほど妥協しやすくする場合、以下のような関数を利用する。

$$W'(t) = (1 - W_2)^{-t}, \quad 0 \leq W_2 < 1$$

3.1.3 提案する確率 PRP

図1の状態2, 3, 4, 11で各エージェントが提案する確率を決定する。各当事者A, Bの提案する確率 PRP_A, PRP_B を以下のように定義する。

$$PRP_A = \gamma_A^{t \cdot ad_A \cdot W''_A(pt_A - pt_B)}$$

$$PRP_B = \gamma_B^{t \cdot ad_B \cdot W''_B(pt_B - pt_A)}$$

$$0 < \gamma < 1$$

γ_A, γ_B : 時間の経過に伴う提案確率の低下の度合いを表す定数。値が大きいくほど妥協的。

pt_A, pt_B : 各当事者A, Bの提案回数を表す変数。

$W''_A(pt_A - pt_B), W''_B(pt_B - pt_A)$: 提案回数の相対的な差に伴う態度の変化を表す関数。例えば、自分(X)の提案回数が相手(Y)より相対的に多くなるほど提案の可能性が低くなる場合、以下のような関数を利用する。

$$W''(t) = (1 - W_3)^{-(pt_X - pt_Y)}, \quad 0 \leq W_3 < 1$$

3.2 シミュレーション例

3.2.1 パターン1

まず、状態遷移モデルとシミュレーションシステムが、実世界の交渉会話を適切に再現しているかを確認するシミュレーションを行った。ここでは、強気と弱気の個性を単純に設定した2種類のエージェントを組み合わせさせて各500回交渉させた。その結果を表3に示す。

表3: パターン1の結果

	強気-強気	弱気-弱気	強気-弱気
交渉成功率	14.0%	95.4%	73.4%
成立案			
平均	0.538	0.497	0.728
分散	0.121	0.0725	0.0494
平均会話数	23.9	14.1	19.4

強気: $\alpha = 0.1, \beta = 0.2, \gamma = 0.75, W_{1,2} = 0.0, W_3 = 0.2$
弱気: $\alpha = 0.3, \beta = 0.5, \gamma = 0.95, W_{1,2} = 0.0, W_3 = 0.2$

上記の結果では「強気同士の交渉は決裂しやすく、強気と弱気、弱気同士の交渉は成立しやすい」「弱気同士の交渉は短くなりやすい」「強気と弱気の交渉では、強気側に有利な提案で決着しやすい」など、経験的または一般通念による推測で得られる傾向が見られる。また、強気同士の交渉では決着案のばらつきが比較的大きく、いずれかに有利な提案になりやすい傾向も見られる。

このように、本研究で提案した状態遷移モデルとシミュレーションシステムは、実世界の交渉会話を適切に再現していると考えられる。

3.2.2 パターン2

次に、シミュレーションシステムが、交渉に関する知見や仮説の分析・検証に有効なことを示すシミュレーションを行った。ここでは、「当初は強気だが徐々に弱気になる」という個性を持つ交渉相手に対し、下記のような応対の違いで交渉結果にどのような違いが生じるかを分析する。

1. 相手と同じ. ($\alpha = 0.1, \beta = 0.2, \gamma = 0.75, W_{1,2} = 0.2, W_3 = 0.2$)
2. 強気のまま. ($\alpha = 0.1, \beta = 0.2, \gamma = 0.75, W_{1,2} = 0.0, W_3 = 0.2$)
3. 弱気のまま. 但し, 提案の引き下げ幅と提案確率は大きいが受諾確率は同じ. ($\alpha = 0.3, \beta = 0.2, \gamma = 0.95, W_{1,2} = 0.0, W_3 = 0.2$)
4. 弱気から徐々に強気. 変化の度合いは複数検証. ($\alpha = 0.3, \beta = 0.2, \gamma = 0.95, W_{1,2} = -0.05 \sim -0.2, W_3 = 0.2$)

シミュレーション結果を表4に示す.

表4: パターン2の結果(会話数, 決着案は平均値)

	交渉成功率	会話数	決着案
1. 相手と同じ	53.6%	18.6	0.498
2. 強気のまま	44.0%	21.1	0.340
3. 弱気のまま	71.6%	21.0	0.504
4. 弱気から強気			
(1) $W_{1,2} = -0.05$	66.8%	22.4	0.471
(2) $W_{1,2} = -0.1$	62.4%	22.8	0.417
(3) $W_{1,2} = -0.15$	63.6%	22.8	0.363
(4) $W_{1,2} = -0.2$	56.0%	23.3	0.347

上記の結果から, 以下のような分析が可能である. まず, 交渉成功率を優先させたい場合, 弱気で通す対応が良い. 決着案も相手に有利になることなく, 中間的な値に落ち着きやすい. これに対して, 相手と同じ対応は, 交渉時間が短くなる以外の利点は少ない. 次に, 自分に有利な決着案を優先させたい場合, 強気で通す対応が良い. 但し, 交渉成功率は最も低くなる. また, 弱気から強気に変化する対応の場合, 強気で通す対応と同様の有利な決着案を, より高い交渉成功率で得られる可能性がある. 但し, 決着案と交渉成功率はトレードオフの関係にあるため, 変化の度合いの決定が重要なポイントとなる.

このように, シミュレーションシステムは仮説の分析・検証や, 推測ではわかりにくい傾向の発見にも有効である.

4 まとめ

本稿では, 具体化した理想的な交渉のルールに基づく交渉会話の状態遷移モデルとこれを用いた交渉会話のシミュレーションシステムを提案した. 状態遷移モデルは, 交渉会話の過程と各時点における発言権の所在, 選択可能な発言・メッセージを明確にした. また, シミュレーションシステムでは, 異なった個性を持つ当事者による交渉会話を多数再現し, これが交渉に関

する知見や仮説の分析・検証に有効なことを示した.

今後はエージェントに過去の交渉結果の学習機能を追加し, 連続した交渉の分析にも対応させることを検討している.

また, 状態遷移モデルの基礎となる理想的な交渉の要件や必要十分なルール, エージェント行動モデルの基礎となる交渉会話における人間の心理・行動モデルの検討・分析に当たっては, 人文・社会科学分野を含めた認知科学の関連諸分野による一層の連携が望まれる.

参考文献

- [1] 木村編: "国際交渉学", 勁草書房 (1998).
- [2] T. Winograd, F. Flores.: "Understanding Computers and Cognition", Addison-Wesley (1988).
- [3] H. V. D. Parunak: "Visualizing Agent Conversations: Using Enhanced Dooley Graphs for Agent Design and Analysis", ICMAS-96, pp275-282 (1996).
- [4] A. Haddadi: "Communication and cooperation in agent systems: a pragmatic theory", Springer (1996).
- [5] FIPA 97 Ver. 1.0: "Agent communication language", FIPA (1997)
- [6] 田中成明: "法理学講義", 有斐閣 (1994).
- [7] GEIC: "国連気候変動枠組条約第3回締約国会議 会議サマリー", <http://www.geic.or.jp/cop3/COP3summary.html> (1997).
- [8] 新田, 山崎, 鬼頭, 安村: "ネットワーク環境における交渉支援ツール", 情報処理学会研究報告 98-ICS-113, Vol.98 No.65, pp99-106 (1998).
- [9] J. R. Searle: "Speech Acts, an Essay in the Philosophy of Language", Cambridge Univ. Press (1969) - 邦訳: 坂本, 土屋訳, 勁草書房 (1986).