

# 差異を議論の動因にする議論エージェントシステム

An argument-based agent system with difference as a momentum of argumentation

西潟 拓未\*<sup>1</sup>      高橋 武久\*<sup>1</sup>      澤村 一\*<sup>2</sup>  
Takumi Nisikata      Takehisa Takahasi      Hajime Sawamura

\*<sup>1</sup> 新潟大学大学院自然科学研究科

Graduate School of Science and Technology, Niigata University

\*<sup>2</sup> 新潟大学工学部情報工学科

Dept. of Information Engineering, Faculty of Engineering, Niigata University

A lot of argument-based agent systems have been proposed, where the affirmative or negative answer is considered as the result of argumentation to the issue given by the user. But such the agent systems can't treat the conflict by a difference of assertions, in the sense that assertions themselves don't conflict directly but conflict implicitly under a specific condition.

In this paper, we propose an argument-based agent system which can treat such a situation by giving rules which express the precondition of argumentation. We also propose new method for argument evaluation using a priority of each precondition rule.

## 1. はじめに

近年、コンピュータシステムや情報通信技術の飛躍的な発展に伴い、人間の意志決定支援を行なうシステムに関する研究が盛んに行なわれている。その一つとして、分散している多くの不完全な知識から人間に役立つ合意を形成する手法として議論するエージェントシステムが提案されている [Maeda 01][Chesñevar et.al].

今まで提案されてきた議論するエージェントシステムの多くは、ユーザによって与えられた議題に対し、肯定的、あるいは否定的な答えを議論の結果として求める。しかし、一般に人間が意志決定を行なう場合、肯定、否定では答えにならない問題がある。そのような議論では、差異による反論が行なわれる。この差異による反論は、特定の条件の元で発生することが多い。また、その条件は常に成り立つとは限らないため、エージェントの知識として常に保持しておくことができない。そこで、本論文では、議論するにあたっての前提条件を表す規則（議論条件規則）を導入する事によって、差異による反論を取り入れた議論するエージェントシステムを提案する。

## 2. 差異による反論

この節では、我々の研究の動機となった例を示す。2人の人物 A, B が「安い CPU を 1 つだけ買う」について議論することを考える。そして、A が「たくさんの方が使っているから、Pentium を買おう」と主張し、B が「Athlon を買いましょ。Pentium より Athlon の方が安いです。」と主張したとする。A と B の間では、CPU を買う事は一致しているが、買うものについて差異が生じている。

このとき、B は「Pentium は買う」ことに対する明示的な反対意見を持っていなかったとしても、「Athlon を買う」と主張する事で、暗に「Pentium は買わない」という反論を行なっている。本論文ではこれを差異による反論と呼ぶことにする。差異による反論は人間社会では日常的に行われている。しかし、

差異による反論は常に成り立つとは限らない。上記の例では「安い CPU を 1 つだけ買う」という条件の元で議論を行なったため反論になり得たのである。つまり、差異による反論は議論の前提となる条件によって生じるのである。

## 3. 議論するエージェントシステム

我々の議論するエージェントシステムは [Maeda 01] で提案されたシステムの拡張であり、議論に参加する複数のエージェントから構成される。ユーザーから議論に参加するエージェントの一つに議題を与えられる事で、システムは開始され、各々のエージェントは各々の利用できる知識を用いて論証、反論を作成し、提出し合うことで議論を進める。

### 3.1. 規則

定義 1 規則

規則は以下の形式とする。

$$L_0 \Leftarrow L_1 \wedge, \dots, \wedge L_n.$$

ここで  $L_i$  ( $0 \leq i \leq n$ ) はリテラルである（各リテラルは、原子命題  $a$ , または否定された原子命題  $\neg a$  である）。 $\wedge$  は連言 (and) を表す。 $\Leftarrow$  は  $\{:, <, <<, \dots\}$  の内の任意の一つであり、もっともらしさ付き含意オペレータを表す。もっともらしさ付き含意オペレータには、もっともらしさを表す値が設定されている (表 1)。

規則の左辺のリテラルを結論、右辺に現れるリテラルを前提と呼ぶ。前提が空である規則を事実節と呼ぶ。

### 3.2. 知識ベースと議論条件

規則の集合として、各エージェントの知識ベース  $KB_1, \dots, KB_n$  とユーザーの与えた議論の前提条件  $CB$  を仮定する。ただし、 $CB$  上には、優先順位  $priority: CB \rightarrow \mathcal{N}$  ( $\mathcal{N}$  は自然数の集合) があるものとする。 $r_{KB} \in KB$  となる規則  $r_{KB}$  を知識規則と呼ぶ。 $r_{CB} \in CB$  となる規則  $r_{CB}$  を議論条件規則と呼ぶ。

連絡先: 西潟拓未 〒 950-2181 新潟県新潟市五十嵐二の町  
8050 番地 新潟大学大学院自然科学研究科情報理工棟 502  
Tel:(025)262-7490 e-mail:nisikata@cs.ie.niigata-u.ac.jp

表 1: 規則のもっともらしさ

もっともらしさ付き含意オペレータ	もっともらしさ
:-	1
<-	2
<<-	3
⋮	⋮

知識規則と議論条件規則は互いに規則であるが、その扱い方が大きく異なる。知識規則は各エージェントの知識を表す。議論条件規則は議論を開始するユーザによって記述され、議論の前提となる条件を表す。以下では知識規則との区別のために議論条件規則を太字で表記する。

### 3.3. 論証

各エージェントは自らの知識ベースと議論条件規則を用いて論証を作成し、これを提出する事によって、議論に参加する。

#### 定義 2 論証

知識ベースを  $KB$ 、議論条件を  $CB$  とする。次の条件を満たす規則の列  $[r_1, \dots, r_n]$  ( $r_i \in (KB \cup CB)$ ,  $1 \leq i \leq n$ ) は論証である。

- (1) 規則  $r_i$  の全ての前提はそれぞれ規則  $r_k$  の結論に現れる ( $1 \leq k < i \leq n$ )。
- (2)  $r_i$  ( $1 \leq i < n$ ) の結論  $L$  は規則  $r_j$  ( $i < j \leq n$ ) の前提に現れる。
- (3) 一つの議論に同じ結論を持った2つ以上の規則は含まれない。

論証  $A = [r_1, \dots, r_n]$  に関して、各規則  $r_i$  の結論を  $concl_i(A)$  と表す。論証の結論は、各規則の結論の集合  $concl(A) = \{concl_1(A), \dots, concl_n(A)\}$  である。 $A'$  が論証  $A$  の部分論証であるのは、 $A'$  が  $A$  の部分列であり、定義 2 を満たす時、そして、その時に限る。

#### 定義 3 反論

ある論証  $A_1$  の結論  $L$  に対し、論証  $A_2 = [r_1, \dots, r_n]$  の終端の規則  $r_n$  の結論が  $\neg L$  であるとき、 $A_2$  を  $A_1$  の反論と呼ぶ。

例 1 2節の「より安い CPU を買う」という条件が、ユーザにより議論条件規則として、以下のように与えられる。

$$CB = \left[ \begin{array}{l} \neg \text{buy\_cpu}(A) : - \text{buy\_cpu}(B) \wedge (A \neq B) \wedge \\ \text{price}(A, M) \wedge \text{price}(B, N) \wedge (M > N). \end{array} \right]$$

となる。これは、 $A$  の値段が  $M$ 、 $B$  の値段が  $N$  で、 $N$  が  $M$  より安く、かつ、 $B$  を買うのであれば、 $A$  を買わないという条件を表す。以下のような知識ベース  $KB_1, KB_2$  をもつエージェントを仮定する。

$$KB_1 = \left[ \begin{array}{l} \text{many\_used}(pentium) < - \\ \text{buy\_cpu}(pentium) : - \text{many\_used}(pentium) \end{array} \right]$$

$$KB_2 = \left[ \begin{array}{l} \text{int\_op}(athlon) < - \\ \text{buy\_cpu}(athlon) : - \text{int\_op}(athlon) \\ \text{price}(athlon, 20000) : - \\ \text{price}(pentium, 30000) : - \end{array} \right]$$

$KB_1$  からは以下の論証  $A_1$  が作成出来る。

$$A_1 = \left[ \begin{array}{l} \text{many\_used}(pentium) < - \\ \text{buy\_cpu}(pentium) : - \text{many\_used}(pentium) \end{array} \right]$$

$KB_2 \cup CB$  から、 $A_1$  に対する反論  $A_2$  が以下のように作成できる。

$$A_2 = \left[ \begin{array}{l} \text{int\_op}(athlon) < - \\ \text{buy\_cpu}(athlon) : - \text{int\_op}(athlon) \\ \neg \text{buy\_cpu}(pentium) : - \text{buy\_cpu}(athlon) \wedge \\ (\text{pentium} \neq \text{athlon}) \wedge \\ \text{price}(pentium, 30000) \wedge \\ \text{price}(athlon, 20000) \wedge \\ (30000 > 20000). \end{array} \right]$$

$KB_2$  は、athlon を買う事への肯定情報のみ含んでいる。このままでは、 $A_1$  に対する反論を作成できないが、議論の前提条件  $CB$  が与えられる事により、反論  $A_2$  が作成可能となる。この例は、節 2. の例に対応し、athlon を買う事を主張する事で、pentium は買わないという反論を行なっている。

例 1 で、 $A_2$  は議論条件規則を含んだ論証となっている。議論の前提条件は、「より安い CPU を買う」であり、 $A_2$  は Pentium より、安い Athlon を買う事を主張しているため、 $A_1$  より優先されるべきである。このことは、議論条件規則が、知識規則より、優先されるべきである事を意味する。そこで、議論条件規則を考慮した論証の優劣判定を次節で定義する。

### 3.4. 論証の優劣判定

本節では、論証  $A = [r_1^A, \dots, r_n^A]$  とその反論  $B = [r_1^B, \dots, r_m^B]$  の優劣を決める判定基準を与える。論証  $A$  とその反論  $B$  との比較は、 $A$  の部分論証  $A' = [r_1^{A'}, \dots, r_i^{A'}]$  と  $B$  との間で行なわれる ( $concl_i(A') = \neg concl_m(B)$ )。最初に [Maeda 01] で提案された論証の比較基準の概要を示す。

- 論証の証拠の多さ (Evidence)  
論証の証拠の多さとは、論証に使われている事実節の数である。事実節の数が多いほど、証拠の多い優れた議論とする。
- 論証の簡潔さ (Directness)  
論証の簡潔さとは、論証木 [Maeda 01] の深さである。数値が少ないほどより優れた議論とする。
- 論証のもっともらしさ (Plausibility)  
論証のもっともらしさとは、論証に使われる規則のもっともらしさの最大値である。もっともらしさの少ない論証がより優れているものとする。

以上の3つの値を用いて、以下の式で論証の評価値を算出し、評価値の高い論証ほどより優れた論証と判定する。この判定により、論証  $A$  が論証  $B$  より優れていると判定された場合、 $A > B$  と記述する。

$$\text{評価値} = \frac{\text{Evidence}}{\text{Directness}} \times \frac{1}{\text{Plausibility}}$$

我々は、以上の判定に加え、この判定よりも優先される、議論条件規則を利用した論証の優劣判定を提案する。議論条件規則は議論の前提を表している規則であるので、それを含んだ論証は、議論の前提となる条件に則った論証であると言える。そ

ここで、議論条件規則を各々の知識規則より優先させる事で、議論の前提に即した論証を高く評価する論証間の優先順序を導入する。

**定義 4 論証間の優先順序**

論証  $A = [r_1^A, \dots, r_n^A]$  とその反論  $B = [r_1^B, \dots, r_m^B]$  を仮定し、 $concl_i(A) = \neg concl_m(B)$  とする。また、 $CB$  を議論条件規則とする。このとき、 $A$  と  $B$  の優先順序  $\leq$  を次のように定義する。

- (1)  $r_i^A \in CB$ , かつ,  $r_m^B \notin CB$  ならば,  $A \geq B$ .
- (2)  $r_i^A \notin CB$ , かつ,  $r_m^B \in CB$  ならば,  $A \leq B$ .
- (3)  $r_i^A \in CB$ , かつ,  $r_m^B \in CB$  のとき,  $priority(r_i^A) > priority(r_m^B)$  ならば,  $A \geq B$ . また,  $priority(r_i^A) < priority(r_m^B)$  ならば,  $A \leq B$ .
- (4) 上記の (1), (2), (3) で優れた論証が判定できないとき,  $A \succ B$  ならば  $A \geq B$ . また,  $A \prec B$  ならば  $A \leq B$ .

**3.5. 論証の正当化と却下**

**定義 5 論破**

ある論証  $A$  とその反論  $B$  の間の優先順序が、 $B \geq A$  の時、 $B$  は  $A$  を論破すると言う。

**定義 6 論証の正当化**

- (1) 論証  $A$  に対して提出された全ての反論に  $A$  が論破されなかった場合、 $A$  は正当化される。
- (2) 論証  $A$  を論破している全ての論証が、正当化された論証から論破された場合、 $A$  は正当化される。

**定義 7 論証の却下**

論証  $A$  が正当化された論証から論破されている場合、 $A$  は却下される。

**3.6. 議論の流れ**

本節では我々の議論するエージェントシステムの処理の流れについて説明する。

なお、説明内に参加者の他に議長エージェント (以下、議長) というエージェントが現れるが、このエージェントは論証の比較や、論証の正当化の判定、エージェント間の論証の送受信の仲介を行なうエージェントである。エージェント  $\alpha$  が最初の論証を提出して議論を開始するものとする。

Step 1 : ユーザはリテラルの形の議題と議論条件規則をエージェント  $A$  に与え、エージェント  $\alpha$  は議長に議論条件規則と議題を送る。議長は議論に参加する各エージェントに議題と議論条件規則を配布する。

Step 2 : 議長はエージェント  $\alpha$  に対し、最初の論証  $A_1$  を要求する。エージェント  $\alpha$  は議題に関する (議題を結論を持つ) 論証を作成し、議長に送る。

Step 3 : 議長は、エージェント  $\alpha$  から送られてきた論証を議論に参加する全エージェントに送り、その反論を要求する。

Step 4 : 各エージェントは、送られてきた論証に対する反論の作成を試み、作成できたら、その反論を議長に送る。

Step 5 : 議長は集まった反論  $B$  と反論の対象となっている論証  $C$  を比較する。  
 case1:  $C$  を 1 つ以上の反論  $\{B_1, \dots, B_n\}$  が論破し

た場合。

議長は、 $C$  が正当化されるか、否かを調べるために、 $\{B_1, \dots, B_n\}$  が却下されるか、否か調べなければならないそこで、まず  $B_1$  を議論参加エージェントに送り、その反論を求める。Step4へ

case2: 反論の対象となっている議論  $C$  が正当化された (どの反論にも論破されなかった) 場合。Step 6 へ。

Step 6 : case1 正当化された論証  $C$  が、 $A_1$  だった (他の論証を論破していない論証) 場合、Step 8 へ。

case2 正当化された論証  $C$  が、他の論証  $D$  を論破している場合、 $D$  は却下される。Step 7 へ。

Step 7 : 却下された論証を  $D$  とする。  $D$  が過去に論破した論証を  $E$  とする。

case1  $D$  が、 $A_1$  だった (他の論証を論破していない論証) 場合、Step 8 へ。

case2  $D$  が却下されたことにより、節 3.5. の正当化の定義 (2) が満たされた場合。Step 6 へ。

case3  $D$  が却下されても、節 3.5. の正当化の定義 (2) が満たされない場合。  $E$  に対して、 $E$  を  $D$  以外の却下されていない論証が論破していることになる。Step 5 で決めた順番により、議長は  $D$  の次の論証  $D_1$  を各参加者に送り、その反論を求める。Step 4 へ。

Step 8 : 議論結果として、議論の過程で正当化された全論証をエージェント  $\alpha$  に送って議論を終了する。

Step1 で、ユーザーは議題とともに議論条件規則をエージェント  $\alpha$  に対して与え、各エージェントは議長を介して、議論条件規則を受けとっている。このことにより、ユーザーは議論システムに対して、議論の前提となる条件を与えている事になる。また、各エージェントが無条件に議論条件規則を受け入れる事は、議論条件規則を論証の評価段階だけでなく、議論を行なう前の段階から、優先させる事を意味する。

**4. 実行例**

3 体のエージェント  $A, B, C$  と議長エージェントに、条件「より安い CPU を 1 つだけ買う」のもとで議題「どの CPU を買うか?」について議論を行なわせる。  $A, B, C$  はそれぞれ、以下のような知識ベース  $KB_A, KB_B, KB_C$  を持つ。

$$KB_A = \begin{bmatrix} many\_used(pentium) < - \\ buy\_cpu(pentium) & : - many\_used(pentium) \\ price(pentium, 30000) & : - \\ price(athlon, 20000) & : - \\ price(celeron, 10000) & : - \end{bmatrix}$$

$$KB_B = \begin{bmatrix} int\_op(athlon) < - \quad \cdot, \\ buy\_cpu(athlon) & : - int\_op(athlon)\cdot, \\ price(pentium, 30000) & : - \quad \cdot, \\ price(athlon, 20000) & : - \quad \cdot, \\ price(celeron, 10000) & : - \quad \cdot \end{bmatrix}$$

$$KB_C = \begin{bmatrix} low\_heat(celeron) < - \quad \cdot, \\ buy\_cpu(celeron) & : - low\_heat(celeron)\cdot, \\ price(pentium, 30000) & : - \quad \cdot, \\ price(athlon, 20000) & : - \quad \cdot, \\ price(celeron, 10000) & : - \quad \cdot \end{bmatrix}$$

議論条件規則は例 3 と同様,

$$CB = \left[ \begin{array}{l} \neg \text{buy\_cpu}(A) \quad : - \quad \text{buy\_cpu}(B) \wedge (A \neq B) \wedge \\ \text{price}(A, M) \wedge \\ \text{price}(B, N) \wedge M > N. \end{array} \right]$$

である.

ユーザはまずエージェント A に対して, 議題と議論条件規則を与える. エージェント A は議論に参加するエージェント (今の場合, エージェント B,C) に議長エージェントを介して, 議論条件規則を提出する.

その後, エージェント A は, 以下の議題についての論証 A1 を作成し, 議長エージェントを介して, エージェント B,C に提出する.

$$A1 = \left[ \begin{array}{l} \text{many\_used}(pentium) < - \quad ., \\ \text{buy\_cpu}(pentium) << - \text{many\_used}(pentium). \end{array} \right]$$

A1 を受けとった, エージェント B,C は A1 に対する反論作成を試みる. エージェント B は, 以下の議論 B2 を作成して, 議長エージェントに提出する.

$$B2 = \left[ \begin{array}{l} \text{int\_op}(athlon) < - \quad ., \\ \text{buy\_cpu}(athlon) << - \text{int\_op}(athlon)., \\ \neg \text{buy\_cpu}(pentium): - \text{buy\_cpu}(athlon) \wedge \\ \text{athlon} \neq \text{pentium} \wedge \\ \text{price}(athlon, 20000) \wedge \\ \text{price}(pentium, 30000) \wedge \\ (20000 < 30000). \end{array} \right]$$

エージェント C は, 以下の議論 C2 を作成して, 議長エージェントに提出する.

$$C2 = \left[ \begin{array}{l} \text{low\_heat}(celeron) < - \quad ., \\ \text{buy\_cpu}(celeron) << - \text{low\_heat}(celeron)., \\ \neg \text{buy\_cpu}(pentium): - \text{buy\_cpu}(celeron) \wedge \\ \text{celeron} \neq \text{pentium} \wedge \\ \text{price}(celeron, 10000) \wedge \\ \text{price}(pentium, 30000) \wedge \\ (10000 < 30000). \end{array} \right]$$

議長エージェントは A1 と B2, C2 を比較する. B2, C2 とともに定義 4(1) より, A1 を論破する. 議長は A1 に勝った反論に B2, C2 と順番をつけ, B2, C2 が正当か出来るか調べるため, まず B2 を各エージェントに提出する.

論証 B2 を受けとった各エージェントは, B2 に対する反論の作成を試みる. エージェント A は, B2 への反論として A1 を作成できるが, 議論条件規則により明らかに論破出来ないで, 提出しない. エージェント B は反論作成できない. エージェント C は以下の反論 C3 を作成して, 議長エージェントに提出する.

$$C3 = \left[ \begin{array}{l} \text{low\_heat}(celeron) < - \quad ., \\ \text{buy\_cpu}(celeron) << - \text{low\_heat}(celeron)., \\ \neg \text{buy\_cpu}(athlon): - \text{buy\_cpu}(celeron) \wedge \\ \text{celeron} \neq \text{athlon} \wedge \\ \text{price}(celeron, 10000) \wedge \\ \text{price}(athlon, 20000) \wedge \\ (10000 < 20000). \end{array} \right]$$

議長エージェントは B2 と C3 を比較する. C3 は定義 4(1) より, B2 を論破する. 議長は C3 を各エージェントに提出する. 論証 C3 を受けとった各エージェントは, C3 に対する反論の作成を試みるが, どのエージェントも celeron より, 安い CPU を知らないで, 議論条件規則を用いた反論を作成できない. エージェント B は, C3 に対して, B2 を反論として作成できるが, 議論条件規則により明らかに論破出来ないで提出しない. よって議長は, C3 が正当化されたと認める. すると, C3 が論破していた B2 は却下される. B2 が却下されたので, 今度は C2 を各エージェントに提出して, 反論を待つ. 論証 C2 を受けとった各エージェントは C2 に対する反論の作成を試みるが, どのエージェントも celeron より安い CPU を知らないで, 議論条件規則を用いた反論は作成できない. エージェント A は, C2 の反論として, A1 を作成できるが, 議論条件規則により明らかに論破出来ないで提出しない.

よって議長は, C2 が正当化されたと認める. すると, C2 が論破していた A1 は却下される.

A1 が却下されたので, 議論の仮定で正当化された議論 C2, C3 をエージェント A に送って議論を終了する.

以上の議論により, Pentium は買わない事が分かる. athlon, celeron についても同調の議論を行なう事によりどの CPU を買うべきかが分かる. 実行例の議論では, 各エージェントは各 CPU についての肯定情報しか持ち合わせていないが, 議論条件規則で条件付けされる事によって, 自分の勧める CPU 以外を買う事に対する反論を行なっている.

例の議論中に CPU の値段がでてくるが, 今回は例のために, CPU の値段については, 皆同じ, 「Pentium は 3 万, Athlon は 2 万円, Celeron は 1 万円」という知識を持っていると仮定している. しかし, 当然, エージェント間で別の値段を知識として持っている場合もありうる. その場合, 買うものではなく, その値段についての差異が生じるが, 例で与えた議論条件規則では, その差異については, 反論を作成する事は出来ない. このように, 議論開始時には分からないが, 議論中, あるいは議論後に議論条件規則が不完全であった事が分かると言う事は起こりうる. これを避けるために, 議論条件規則を作成する際に十分な考慮を行なう必要がある.

## 5. まとめ

議論条件規則を導入する事により, 議論に対する条件づけを可能とした. また, 差異による競合関係を議論条件規則で表現する事で, 差異による反論を行なう事が出来る事を示した.

将来課題としては, 議論条件規則により差異による反論だけでなく, ユーザーによって, 自由な反論関係を設定できるか, 検討する事が挙げられる.

## 参考文献

- [Maeda 01] Hajime Sawamura, Shinya Maeda : *An Argumentation-Based Model of Multi-Agent Systems*, *Information Modeling and Knowledge Base XII*, pp.137-150(2001)
- [Chesñevar et.al] Chesñevar, C.I., Maguitman, A.G. and Loui, R.P.: *Logical Models of Argumentation*, *ACM Computing Surveys*, 32(4), pp337-383, 2002.
- [Prakken 97] Henry Prakken: *Dialectical proof theory for defeasible argumentation with defeasible priorities*(preliminary report), *ModelAge Workshop*, pp202-215,(1997).