2D3-02

準無矛盾論理に基づく議論フレームワーク

An Argumentation Framework based on Paraconsistent Logic

梅田 勇一 †1　高橋 武久 †1　澤村 一 †2
Yuichi Umeda　Takehisa Takahashi　Hajime Sawamura

†1新潟大学大学院 自然科学研究科
Graduate School of Science and Technology, Niigata University

†2新潟大学工学部情報工学科
Depertment of Information Engineering, Faculty of Engineering, Niigata University

In this paper we present an argumentation framework based on the four-valued paraconsistent logic. Tolerance and acceptance of inconsistency that this logic has as its logical feature allow for arguments on inconsistent knowledge bases with which we are often confronted. We introduce various concepts for argumentation, such as arguments, attack relations in terms of differences as a momentum of argumentation, argument justification, preferential criteria of arguments based on social norms, and so on, in a way proper to the four-valued paraconsistent logic. Then, we provide the fixpoint semantics and dialectical proof theory for our argumentation framework.

1. はじめに

マルチエージェントの世界においては，エージェントが対話や交渉を通して衝突を回避し，協調行動をとって問題解決を行うことが期待されている．このような衝突回避や合意形成を実現するための手段のひとつとして，人間が日常で行うような議論を計算機科学に導入するという試みが注目を集めており [Carlos 00]，これまでに多くの議論モデル [Loui 87, Prakken 97, Dung 95] や議論を用いた情報システム [Umeda 00, 梅田 02, Sycara 90, Schroder 99] が提案されてきている．

これらの研究は知識表現言語として主に拡張論理プログラミングを用いているが，矛盾する知識を表現する際，古典論理上では問題があった．古典論理は「矛盾した命題からはあらゆる命題が導かれる（矛盾する命題の集合からは任意の命題が論理的帰結となる）」という性質を持つため，知識ベースの持つ意味が失われるからである．準無矛盾論理は，この問題の回避を第一の目的として考えられた論理であり，矛盾した命題を矛盾のまま扱っても問題がないという特徴を持つ．本論文では 4 値の真理値を持つ準無矛盾論理に基づき，エージェントが議論を行うための議論フレームワークを構築する．

2. 議論するエージェント

本論文では準無矛盾論理で表現された固有の知識ベースを持つ複数のエージェントと，エージェント全体の集合であるエージェント社会の存在を仮定する．社会に属す各エージェントの知識ベースはそれぞれ異なるので，見解の違いや対立状況のために合意形成や意思決定が困難となる場合がある．この問題を解消するためにエージェントは議論を行う．

議論では，まずあるエージェントがユーザの与えた議題に関する論証 (argument) を作成し，提出する．ここでいう論証とは，各エージェントが特定の命題を証明するために自分の知識ベースから構築した推論の列である．他のエージェントは，提出された論証に対してそれを攻撃できる論証が作成できれば，反論として提出する．このようにして，直前に提出された論証に反論することを繰り返し，どの論証に対しても反論がそれ以上提出できない場合，議論は終了する．議論終了後，最初に提出された論証に対する反論の状態を調べることにより，最初の論証が正当と認められるか否かを判定する．エージェントたちはこの過程を通して，互いに論証と反論を出し合いながら正しい認識を選ぶことができる [Umeda 00, 梅田 02].

3. 準無矛盾論理における知識表現

定義 1 真理値の集合を $\mathcal{T} = \{\top, t, f, \bot\}$ とする．真理値上の順序を次のように定義する．$\forall x, y \in \mathcal{T},\ x \preceq y \ \Leftrightarrow\ x = y \ \vee\ x = \bot \ \vee\ y = \top$ *[Blair 89]*.

真理値は次のような，命題に対する認識の違いを表す．

- $\top$: 真でも偽でもある (both).
- $\mathbf{t}$: 真である (true).
- $\mathbf{f}$: 偽である (false).
- $\bot$: 真でも偽でもない (none).

定義 2 A を原子式，L をリテラル *(*原子命題またはその否定*)*，$\mu \in \mathcal{T}$ とする．このとき μ を注釈，$A:\mu$ を注釈つきアトム，$L:\mu$ を注釈つきリテラルという *[Blair 89, Kifer 92]*.

注釈に対する否定は以下の通りとする．$\neg(\mathbf{t}) = \mathbf{f}, \neg(\mathbf{f}) = \mathbf{t}, \neg(\top) = \top, \neg(\bot) = \bot$ [Blair 89]. このような 4 値の真理値を持つ注釈付きリテラルを定義することにより，古典論理上では矛盾となる状態や，真・偽以外の第 3 の真理値を割り当てるべき状態が表現可能となる．たとえば，「今の政策は正しくもあるし間違ってもいる」という知識を「正しい (政策):$\top$」と表現したり，「今の政策に正否について関心がない」という無関心状態を「正しい (政策):$\bot$」と表現したりすることができる．

定義 3 規則を次の形式とする：$L_0 \Leftarrow L_1 \wedge \ldots \wedge L_n$ *1. ここで，$L_i (0 \leq i \leq n)$ はそれぞれ注釈付きリテラルである *[Kifer 92]*.

規則の右辺の注釈付きリテラル $L_1, \cdots, L_n$ を規則の前提，規則の左辺の注釈付きリテラル L_0 を規則の結論と呼ぶ．エージェントの知識ベースは規則の集合である．以下では，前提が空の規則は $\Leftarrow$ の表記を省略する．

*1 変数を含む規則は，その全ての基礎例 *(ground instance)* を表す．

連絡先: 〒 950-2102 新潟県新潟市五十嵐2の町 8050, 新潟大学大学院 自然科学研究科情報理工棟 502, Tel: (025)-262-7490, Email: umeda@cs.ie.niigata-u.ac.jp

定義 4 注釈付きリテラルとその連言肢, 規則を論理式とする．解釈 I をエルブラン基底から真理値への写像とする．解釈 I が論理式 F を充足することを $I \models F$ で表し, 以下のように定義する *[Kifer 92]*.

1. $A : \mu$ を注釈つきアトムとする．$I \models A : \mu$ *iff* $I(A) \succeq \mu$.
2. $L : \mu$ を注釈つきリテラルとする．$I \models \neg L : \mu$ *iff* $I \models L : \neg\mu$.
3. $F_1, ..., F_n$ を論理式とする．$I \models F_1 \wedge ... \wedge F_n$ *iff* すべての i $(1 \leq i \leq n)$ に対して $I \models F_i$.
4. F_1, F_2 を論理式とする．$I \models F_1 \Leftarrow F_2$ *iff* $I \models F_1$ または $I \not\models F_2$.

定義 5 モデルを以下のように定義する *[Kifer 92]*.

- F を論理式とする．解釈 I が F のモデルである *iff* $I \models F$.
- Kb を知識ベースとする．解釈 I が Kb のモデルである（これを $I \models Kb$ で表す）*iff* I が Kb 内のすべての規則を充足する．

定義 6 Kb を知識ベース, I を解釈, F を論理式とする．F が Kb からの論理的帰結である（これを $Kb \models F$ で表す）*iff* $I \models Kb$ となるすべての I に対して $I \models F$ *[Kifer 92]*.

例 1 単独の規則からなる知識ベース $Kb_1 = \{\ p(a) : \boldsymbol{f}.\ \}$ を考える．Kb_1 のモデルは $I_1(p(a)) = \top$ となる解釈 I_1 と, $I_2(p(a)) = \boldsymbol{f}$ となる解釈 I_2 の 2 つのみである．このとき, $Kb_1 \models p(a) : \boldsymbol{f}$ である（$I_1 \models p(a) : \boldsymbol{f}$ かつ $I_2 \models p(a) : \boldsymbol{f}$ であるため）．また, $Kb_1 \not\models p(a) : \top$ である（$I_2 \not\models p(a) : \top$ であるため）．

以上の知識表現では, 古典論理における「矛盾する命題の集合からは任意の命題が論理的帰結となる」という性質は成り立たない（証明は割愛する）．また, 規則の中の否定された注釈つきリテラル $(\neg L : \mu)$ を否定のない注釈つきリテラル $(L : \neg(\mu))$ に置き換えても問題がないことが保証されている（定義 4 の第 2 項から自明）．以下の理論展開では, 否定のない注釈つきリテラルのみを考える．

4. 論証

ここでは, 3 節で導入した知識表現のもとで議論フレームワーク $AF = \langle Kb_1, ..., Kb_n, Ck, \text{defeats} \rangle$ を構築する．ここで $Kb_1, ..., Kb_n$ は知識ベース, Ck は 4.2 節で定義する社会通念, defeats は 4.2 節で定義する論証間の論破関係を表す．

4.1 論証の定義

定義 7 Kb を知識ベースとする．次の条件を満たす有限な Kb の規則の列 $A = [r_1, ..., r_n]$ を論証 *(argument)* という．

1. すべての i $(1 \leq i \leq n)$ について, 規則 r_i の前提に含まれるすべての注釈付きリテラル $L_j : \mu_j$ $(1 \leq j \leq m)$ に対し, $L_j : \mu_k (\mu_k \succeq \mu_j)$ を結論とする規則 $r_k (k < i)$ が存在する（このとき後者の $L_j : \mu_k$ を, 規則 r_i の前提の根拠と呼ぶ）．
2. 全く同じ結論を持った 2 つ以上の規則が含まれていない．

ここで, n を論証の長さといい, 長さが 0 の論証を空論証という．また, 論証の結論は, 論証に含まれるすべての規則の結論の集合である．

定義 7 の条件 1 により, 論証中の各規則の前提 $L_j : \mu_j$ には自分よりも前にある規則の結論にその根拠 $L_j : \mu_k$ がなければならない．このとき, 任意の解釈 I について $I \models L_j : \mu_k$ ならば $I \models L_j : \mu_j$ が成立することから, 論証の正当性が保証されている．条件 2 は, 単独の論証内でひとつの命題に対して複数の主張を持つことを避けるための条件である．

知識ベース Kb のモデルは Kb から作られる論証の結論をすべて充足する．よって論証の結論は Kb からの論理的帰結となる（証明は割愛する）．しかし, この逆は成り立たない．すなわち, 知識ベースのすべての論理的帰結に対して, それを結論とする論証を構築できるわけではない．例えば, 例 1 では $Kb_1 \models p(a) : \bot$ であるが, $p(a) : \bot$ を結論とする論証を Kb_1 から作成することはできない．これについて本論文では, 規則の結論と一致する論理的帰結のみを論証の結論として扱う．

例 2 次の知識ベース Kb_2 から作成できる論証について考える．これは死刑制度に賛成・反対の両方の立場を持つ知識ベースの例である．

$Kb_2 = \{$

r_1 : 癒やす (処刑, 遺族) : $\boldsymbol{f}$.,

r_2 : 憎む (遺族, 犯人) : $\boldsymbol{t}$.,

r_3 : 望む (遺族, 死刑) : $\top \Leftarrow$
　　癒やす (処刑, 遺族) : $\boldsymbol{f} \wedge$ 憎む (遺族, 犯人) : $\boldsymbol{t}$.,

r_4 : 減少 (犯罪) : $\boldsymbol{t}$.,

r_5 : 抑止 (死刑, 犯罪) : $\boldsymbol{t} \Leftarrow$ 減少 (犯罪) : $\boldsymbol{t}$.,

r_6 : 賛成 (死刑) : $\top \Leftarrow$
　　望む (遺族, 死刑) : $\boldsymbol{f} \wedge$ 抑止 (死刑, 犯罪) : $\boldsymbol{t}.\}$.

Kb_2 から作成できる論証として, $A_1 = [r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6]$ がある（図 *1* の上側参照）．なぜならば, A_1 に同一の結論は含まれず, 規則 r_3, r_5, r_6 の前提に対する根拠として $\{r_1, r_2\}, r_5, r_6$ の結論が存在するからである．Kb_2 からは他に $A_2 = [r_1, r_2, r_3]$, $A_3 = [r_4, r_5]$, $A_4 = [r_1]$, $A_5 = [r_2]$, $A_6 = [r_4]$ の 5 つの論証が作成できる（図 *1* の上側参照）．

4.2 論証への攻撃と比較基準

論証どうしの攻撃関係を次のように定める．

定義 8 A_1, A_2 を論証とする．A_1 の結論に $L : \mu$ が含まれ, A_2 の結論に $L : \mu' (\mu \neq \mu')$ が含まれるとき, A_1 は A_2 を攻撃 *(attack)* する．

この攻撃関係は対称であるので, 互いに攻撃し合う論証の優位関係を決めるために次の 2 つの基準を導入する．(1) エージェント社会の社会通念に反する論証を低く評価する．(2) 結論が対立する 2 つの論証において, 対立する結論の根拠の部分を包含関係で比較し, より多くの根拠から導かれた結論を高く評価する．ここで社会通念 Ck は, 次の条件を満たす注釈付きリテラルの集合である．$L_1 : \mu_1, L_2 : \mu_2 \in Ck$ のとき, $L_1 = L_2$ ならば $\mu_1 = \mu_2$.

定義 9 結論に $L_1 : \mu_1$ を持つ論証 A_1 と結論に $L_2 : \mu_2$ を持つ論証 A_2 を仮定する．また $L_2 : \mu_2{}' \in Ck$ とする．A_1 が A_2 を攻撃し, $\mu_2 \neq \mu_2{}'$ であるとき, A_1 は A_2 に間接的に社会的な攻撃をするという．さらに $L_1 = L_2, \mu_1 \neq \mu_2$ であるとき, A_1 は A_2 に直接的に社会的な攻撃をするという．

定義 10 結論が $L : \mu$ である規則 r_1 をもつ論証 A_1 と, 結論が $L : \mu' (\mu \neq \mu')$ である規則 r_2 をもつ論証 A_2 を仮定する．r_1 の前提の根拠を S_1, r_2 の前提の根拠を S_2 とする．$S_2 \subset S_1$ が成り立ち, その逆が成り立たないとき, A_1 が A_2 に根拠の多さに基づく攻撃をするという．

これら 3 つの比較基準について, それらの間の強さの順位は次のように定める．通常の攻撃 $\prec$ 根拠の多さに基づく攻撃

$\prec$ 間接的に社会的な攻撃 $\prec$ 直接的に社会的な攻撃．そして次のような論破関係を導入する．

定義 11 A_1, A_2 を論証とする．A_1 が A_2 を論破する *(defeat)* のは

1. A_1 が A_2 を攻撃し，A_2 が A_1 に対してより順位の高い攻撃を行っていないか，または
2. A_1 が空論証であり，A_2 が自分自身を攻撃する論証であるときである．

また，A_1 が A_2 を論破し，その逆が成り立たないとき，A_1 は A_2 を完全に論破する *(strictly defeat)* という．

例 3 次の知識ベース Kb_3, Kb_4 を考える．

$Kb_3 = \{$
r_1 : 減少 (犯罪) : t.,
r_2 : 恐れる (犯人, 死) : f.,
r_3 : 抑止 (死刑, 犯罪) : $\top \Leftarrow$
減少 (犯罪) : $t \wedge$ 恐れる (犯人, 死) : f.$\}$.
$Kb_4 = \{$
r_4 : 減少 (犯罪) : f.,
r_5 : 恐れる (犯人, 死) : f.,
r_6 : 抑止 (死刑, 犯罪) : $f \Leftarrow$ 恐れる (犯人, 死) : f.$\}$.

$Ck = \{$ 減少 (犯罪): $f \}$ を仮定し，論証 $A_1 = [r_1, r_2, r_3]$ と $A_2 = [r_5, r_6]$ の間の論破関係について考える．r_3 の前提の根拠 $S_1 = \{$ 減少 (犯罪): t, 恐れる (犯人, 死): $f \}$ と，r_6 の前提の根拠 $S_2 = \{$ 恐れる (犯人, 死): $f \}$ について $S_2 \subset S_1$ であるので，A_1 は A_2 に対して根拠の多さに基づく攻撃を行っているが，逆に A_2 は A_1 に対して間接的に社会的な攻撃を行っている．よって，A_2 は A_1 を完全に論破している．

次に，$A_3 = [r_1]$ と $A_4 = [r_4]$ の論破関係について考える．この場合は，A_4 が A_3 に対して直接的に社会的な攻撃をしており，結果として完全に論破している．

5. 議論フレームワークの意味論

この節では，複数の知識ベース $Kb_1, ..., Kb_n$ から作成できる論証全体の集合 $Args_\Gamma$ の中で，論破関係から見てより優れている論証（正当な論証）を選び出すための意味論を与える．ここで知識ベース Kb から作成できるすべての論証の集合を $Args_{Kb}$ と表記し，$Args_\Gamma = Args_{Kb_1} \cup ... \cup Args_{Kb_n}$ とする．

定義 12 S を $Args_\Gamma$ の部分集合とする．議論フレームワークの特性関数 F を以下のように定義する．

- $F_{Args_\Gamma} : Pow(Args_\Gamma) \rightarrow Pow(Args_\Gamma)$
- $F_{Args_\Gamma}(S) = \{A \in Args_\Gamma \mid A$ は S に関して受理可能$\}$

ここで，$Pow(X)$ は集合 X のべき集合を表す．また，論証 A が論証の集合 $Args$ に受理可能 *(acceptable)* であるのは，A を論破するすべての論証が $Args$ に含まれる論証によって完全に論破されるときである．

F_{Args_Γ} は単調である（[Prakken 97] と同様に証明できる）から，最小不動点 $\mathrm{lfp}(F_{Args_\Gamma})$ を持つ．これを用いて，論証の正当化を次のように定義する．

定義 13 論証 A が F_{Args_Γ} の最小不動点（以下，$JustArgs_\Gamma$ で表す）に含まれているとき，A は $Args_\Gamma$ のもとで正当化されている *(justified)* という．A が正当化されている論証から論破されているとき，A は $Args_\Gamma$ のもとで却下されている *(overruled)* という．A が正当化も却下もされていないとき，A が $Args_\Gamma$ のもとで防御可能である *(defensible)* という．

$JustArgs_\Gamma$ の具体的な計算は以下の方法で行う．

命題 1 次のような $Args_\Gamma$ の部分集合の列を定義する．

- $F^0 = \emptyset$
- $F^{i+1} = F_{Args_\Gamma}(F^i)$

このとき，$Args_\Gamma$ 内の論証間の攻撃関係が有限ならば，$\cup_{i=0}^{\infty}(F^i) = JustArgs_\Gamma$ となる（証明は割愛する）．

例 4 $Ck = \{$ 減少 (犯罪) : $f \}$ を仮定した上で，例 *2* で示した Kb_2 から作成できる論証 A_1~ A_6，そして以下の知識ベース Kb_5, Kb_6 のそれぞれから作成できる論証について，どの論証が正当であるかを判定する例を以下に示す．なお，Kb_5 は死刑制度に賛成する立場の知識，Kb_6 は死刑制度に反対する立場の知識を表す．

$Kb_5 = \{$
r_7 : 憎む (遺族, 犯人) : t.,
r_8 : 望む (遺族, 死刑) : $t \Leftarrow$ 憎む (遺族, 犯人) : t.
r_9 : 賛成 (死刑) : $t \Leftarrow$ 望む (遺族, 死刑) : t.,
r_{10} : 償う (死, 罪) : t.,
r_{11} : 賛成 (死刑) : $t \Leftarrow$ 償う (死, 罪) : t.$\}$.
$Kb_6 = \{$
r_{12} : 反省 (死人) : f.,
r_{13} : 償う (死, 罪) : $f \Leftarrow$ 反省 (死人) : f.,
r_{14} : 賛成 (死刑) : $f \Leftarrow$ 償う (死, 罪) : f.,
r_{15} : 減少 (犯罪) : t.,
r_{16} : 抑止 (死刑, 犯罪) : $f \Leftarrow$ 減少 (犯罪) : t.$\}$.

Kb_6 から作成できる論証は次の 5 つである（図 *1* の左側を参照）．$A_7 = [r_7, r_8, r_9]$, $A_8 = [r_7, r_8]$, $A_9 = [r_7]$, $A_{10} = [r_{10}, r_{11}]$, $A_{11} = [r_{10}]$. また，Kb_7 から作成できる論証は次の 5 つである（図 *1* の右下を参照）．$A_{12} = [r_{12}, r_{13}, r_{14}]$, $A_{13} = [r_{12}, r_{13}]$, $A_{14} = [r_{12}]$, $A_{15} = [r_{15}, r_{16}]$, $A_{16} = [r_{15}]$.

以上の A_1~ A_{16} について，空集合に関して受理可能，すなわちどの論証からも論破されていない論証の集合 F^1 は $F^1 = \{A_4, A_5, A_9, A_{14}, A_2, A_{13}, A_{15}, A_{16}\}$ となる．なぜならば，A_4, A_5, A_9, A_{14} はどの論証からも攻撃されていない．また，$A_2, A_{13}, A_{15}, A_{16}$ は自分に通常攻撃を行うそれぞれの論証に対してより順位の高い攻撃で反撃しているので，論破を受けていない．この F^1 に関して受理可能な論証は A_{12} である：A_{12} は A_1, A_{10} から攻撃されているが，より順位の高い攻撃で反撃しているので論破を受けていない．また，A_{12} を論破する唯一の論証 A_7 は $A_2 \in F^1$ から根拠の多さに基づく攻撃によって完全に論破されている．よって $A_{12} \in F_{Args_\Gamma}(F^1)$．これ以外で $F_{Args_\Gamma}(F^1)$ に含まれる論証は F^1 の要素のみであり，$F^2 = F^1 \cup \{A_{12}\}$. F^2 に受理可能な論証は F^2 の要素以外には存在せず，$F^2 = JustArgs_\Gamma$ となる．この例の F_2 の内容は，Kb_2, Kb_6, Kb_7 をそれぞれ知識ベースに持つ 3 体のエージェントでエージェント社会を構成したとき，社会全体にとって受け入れることのできる論証を表している．

6. 対話的証明論

この節では，異なる知識ベースから対話的に論証を提出し合うことによって，特定の論証が正当化できるか否かを決定するための証明論を与える．以下では 5 節と同様，$Kb_1, ..., Kb_n$ と $Args_\Gamma$ の存在を仮定する．

定義 14 対話 *(dialogue)* は，以下の条件を満たす有限で空でない論証の列 $[Arg^1, ..., Arg^n]$ である．ただし任意の i について $Arg^i \in Args_\Gamma$. また，n を対話の長さという．

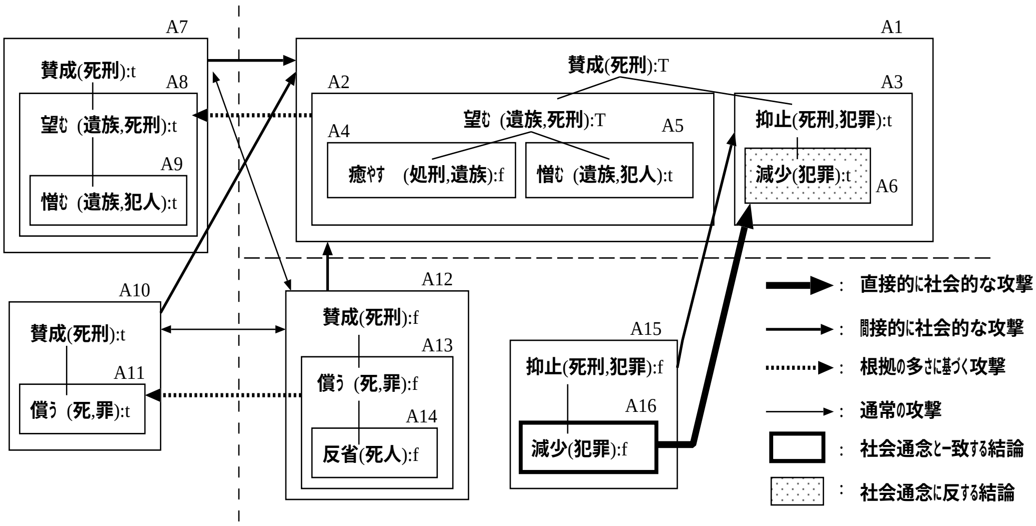

図 1: 例 2 の Kb_2 から作られる論証 (A_1~ A_6), 例 4 の Kb_5 から作られる論証 (A_7~ A_{11}), Kb_6 から作られる論証 (A_{12}~ A_{16}) とそれぞれの攻撃関係 (論証間で双方向に通常の攻撃が発生し, 強さの高い攻撃が同時に発生している部分に関しては通常の攻撃の表記を省略)

1. i ($i \geq 3$) が奇数のとき, Arg^i は Arg^{i-1} を完全に論破する論証のうちで集合の包含関係に関して最小の論証である.
2. i ($i \geq 2$) が偶数のとき, Arg^i は Arg^{i-1} を論破する論証である.
3. i, j が奇数で $i \neq j$ のとき, $Arg^i \neq Arg^j$.

定義 15 対話木 *(dialogue tree)* は, 以下の条件を満たす有限な論証の木である.

1. 木の根から, 木の任意の葉へ至るすべてのパスが対話である.
2. i が奇数のとき, ノード Arg^i の子は Arg^i を論破するすべての論証である.

定義 16 対話木の根の論証は, 対話木に含まれるすべての対話の長さが奇数であるとき, 証明論的に正当化される *(provably justified)* という. また, そのような対話木を正当化された対話木という.

例 5 例 4 の論証 A_1~ A_{16} と $Ck = \{$ 減少 (犯罪): $f\}$ の存在を仮定し, A_{12} に注目する. A_{12} を論破する論証は A_7 のみであり, その A_7 は A_2 によって完全に論破されている. そこで A_{12} を根とする対話木を構成すると, 対話 $[A_{12}, A_7, A_2]$ のみを含む木となる. よって A_{12} は証明論的に正当化される.

以上の証明論は 5 節の意味論に対して, 健全であり完全であることが [Prakken 97] と同様の証明により示せる.

7. 結論

本論文では, 古典論理上では矛盾となる知識を扱うことができる準無矛盾論理を知識表現言語として採用し, その上で議論フレームワークを構築した. 論証間の衝突関係を各真理値に対して対称的に定義し, その衝突を解決するための判断基準として社会的な基準と論証の形式に基づく基準を導入した. さらに, 正当な論証を判定するための意味論と対話的証明論を与えた. これらは複数の知識ベースから作成された論証について定義されており, マルチエージェントシステムの意思決定問題へと応用することができる.

今後の課題としては, マルチエージェントシステムへの実装, 社会通念の規則形式への拡張, 議論の結果を用いた社会通念の更新などを検討中である.

参考文献

[Blair 89] Blair, H. and Subrahmanian, V.: Paraconsistent Logic Programming, *Theoretical Computer Science*, Vol. 68, pp. 135–154 (1989)

[Carlos 00] Carlos, C., Ana, I., Maguitman, G., and Loui, R.: Logical Models of Argument, *ACM Computing Surveys*, Vol. 32, No. 4, pp. 337–383 (2000)

[Dung 95] Dung, P. M.: On the Acceptability of Arguments and its Fundamental Role in Nonmonotonic Reasoning, Logic Programming and N-person Games, *Artificial Intelligence*, Vol. 77, pp. 321–357 (1995)

[Kifer 92] Kifer, M. and Subrahmanian, V. S.: Theory of Generalized Annotated Logic Programming and its Applications, *Journal of Logic Programming*, Vol. 12, No. 3&4, pp. 335–367 (1992)

[Loui 87] Loui, R.: Defeat Among Arguments: A System of Defeasible Inference, *Computational Intelligence*, Vol. 3, No. 2, pp. 100–106 (1987)

[Prakken 97] Prakken, H. and Sartor, G.: Argument-based Extended Logic Programming with Defeasible Priorities, *Journal of Applied Non-Classical Logics*, Vol. 7, pp. 25–75 (1997)

[Schroder 99] Schroder, M.: An Efficient Argumentation Framework for Negotiating Autonomous Agents, *Proc. of the workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World*, Vol. 1647, pp. 140–149 (1999)

[Sycara 90] Sycara, K. P.: Persuasive Argumentation in Negotiation, *Theory and Decision*, Vol. 28, pp. 203–242 (1990)

[Umeda 00] Umeda, Y., Yamashita, M., Inagaki, M., and Sawamura, H.: Argumentation as a Social Computing Paradigm, *Design and Applications of Intelligent Agents, Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Vol. 1881, pp. 46–60 (2000)

[梅田 02] 梅田 勇一, 沢村 一: 議論を計算とコミュニケーションの基本メカニズムとするエージェントシステム, 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 5, pp. 1518–1527 (2002)