

# 計算論的議論の応用†

沢村 一 \*

## 1. はじめに

数理議論学(Mathematical Argumentation)は、この十年で大きく発展し、計算機科学、とりわけ人工知能分野の問題をこれまでにない方法で理解、説明する方法として、最近特に注目されている学際的分野である。議論学固有の国際会議: ArgMAS, COMMA, ArgNMR, NMR, ISSA(人文系の議論学学会)などが定期的に行われ、この分野の関心の高さが窺われる\*1。

我々は個人的にも社会的にも毎日議論を行って生きている。議論は言語使用による言語現象、社会的現象である。議論が生じる分野は、日常生活はもちろん政治、経済、司法、あらゆる学問分野であり、人間活動の全てからといってよい。それらは全て結論とその論拠からなる議論形式を有するものと考えてよいものばかりである。

人文社会科学においては議論学は、物事を知り(探求)それを正当化していく(弁論)過程を理解するための諸原理の解明を行う学際的学問分野であるとされている[Ziegelmüller 97]。計算機科学においては、議論学はエージェント間相互作用・コミュニケーションと推論の両方を初めから互いに浸透し合った社会的計算メカニズムを提供する。議論は、これまで知能情報科学やソフトウェア基礎論分野で重要であった推論とは根本的に異なる推論メカニズムであり、これからの計算機科学の諸問題を解決して行く上で欠くことのできない指導的役割をもつものである。

数理理論学では、無矛盾な完全情報下で証明される命題は絶対正しいことが保証される。他方、議論学では、証明された議論でもその根拠や結論は撤回される可能性がある。例えば、エージェントAの議論(証明)は、それが自分にとって正しくても、エージェントBに攻撃され却下されるということがある。いいかえると、局所的に正しくても大局的には正しくないということが起こる。このようなことが起きるのは、情報が

不完全、不確か、あいまいであり、さらにそれが分散して存在しているからであり、我々の実世界で行われる常識推論、実践的論証(practical reasoning)、合意形成、意思決定などの際、よく経験されることである。

本稿では、国内外の議論の応用事例の中から、それぞれが異なった議論モデルを用いている三つの応用事例を取り上げ、議論が未来の情報処理技術の有望な候補となっていくであろうことを論じる(議論学の理論と実践に関する最近の動向については拙稿[沢村 10]を参照いただければ幸いである)。第2章では、知能情報科学における議論の役割を簡単に論じる。第3章では、Chesñevarらによる推奨技術への議論の応用例を、第4章では、Amgoudらによる分類問題への議論の応用例を、第5章では、WEBアプリケーションへ議論のメカニズムを導入した応用事例をそれぞれ解説する。第6章では、その他の応用に触れ、最終章でまとめを与える。

## 2. 知能情報科学における議論の役割

最近の知能情報科学における研究の関心は、インターネットの発達と相俟って、これまでの合理的な単知能の実現からエージェント群による社会的群知能の実現に移ってきている。議論の知能情報科学における役割は、主として次の諸点からなると言ってよい。

- 社会的知能の実現: 議論は、合理的知能に止まらず対話による問題解決法を提供する。
- モデル構築困難な領域: 対象モデルを作るのが困難な問題(ill-defined domain)に対して特に有効な計算方式である。
- ダイナミズムへの対応: ダイナミックに変化する情報や社会に対応できる問題解決法を提供する。
- 社会的計算原理: 議論はインターネット時代にふさわしい社会的、文化的計算原理となる[Umeda 00]。したがって、議論の応用は無限である。特に我々を

\*1 最近の情報は次のアドレスから得られる:

ArgMAS: <http://homepages.inf.ed.ac.uk/irahwan/argmas/>  
 COMMA: <http://www.comma-conf.org/>  
 ArgNMR: <http://lia.deis.unibo.it/conf/ArgNMR/>  
 NMR: <http://www.kr.org/NMR/>  
 ISSA: <http://www.springerlink.com/content/102850/>

† Applications of Computational Argumentation  
 Hajime SAWAMURA

\* 新潟大学 自然科学系  
 Institute of Science and Technology, Niigata University

取り巻く情報は、それが科学的なものであれ日常的社会的なものであれ、それは議論形式(結論とその理由付け)をもっているのではなおさらのことである。さらに、議論による問題解決法(計算)は、他のアプローチに比べて次のような極めて有利な特徴を本来的にもっているからである。

- 矛盾に寛容 (inconsistency-tolerant) : 矛盾した知識ベースからの推論も可能である。
- 選好重視 (preference-sensitive) : 選好基準を基にした柔軟な推論が可能である。
- 説明機能 (explanation) : 結果に対する説明機能を初めから備えている。

以下の各章では、それぞれが異なった議論モデルを用いているものの議論の応用事例を通して、これらの性質が議論によって初めて実現されていく様を解説する。

### 3. 議論の推薦技術への応用

我々の日常の意思決定、行動は全てネット上の検索エンジンと推奨システムによって決定づけられているという社会学者からの危惧と警告もあるが、本章ではせめてユーザの求める記事をユーザの主体的選好基準を考慮した議論によって、Web検索エンジンの結果を質的に再順序づけ、提示するシステムArgueNet [Chesñevar 04]を紹介する。

#### 3.1 Defeasible Logic Programming DeLP

アルゼンチンのSimari, ChesñevarらのグループはDedeasible Logic Programming (DeLP)と呼ばれる論理プログラミングに基づく知識表現言語と議論モデルを形式化した[García04][Chesñevar 04]。DeLPは基本的には拡張論理プログラミング(ELP)と同じ言語であるが、反論関係として、Blocking defeater(相手の意見を阻止することを目的とした反論)とProper defeater(相手の意見の弱点を突くことを目的とした本来の反論)の2種類が用意されている。これらの詳細な定義は紙数の制限上述べることはできないが、次節で議論例を説明する中でDeLPの反論関係と議論の流れを示す対話木を例示する。

#### 3.2 議論に基づく推奨システムArgue Net

イラク戦争に関するニュース記事を探しているジャーナリストを考えてみよう。彼は望む記事を求めるために、表1にあるような自分の選好 (preference) 基準  $P$  を持っているとする。このとき、検索キーワードとして例えば“ニュース”、“イラク”、“戦争”を適当なサーチエンジンに与え記事検索をしたところ、記事

表1 ジャーナリストのニュース選好基準  $P$

---

$rel(X) \leftarrow author(X, A), trust(A).$
(信頼できるジャーナリストが書いた記事は適切である).
$\sim rel(X) \leftarrow author(X, A), trust(A), outdated(X).$
(信頼できるジャーナリストが書いている記事であっても古ければ適切でない.)
$trust(A) \leftarrow not\ faked\_news(A).$
(捏造されたニュースという証拠がなければ信じる.)
$\sim rel(X) \leftarrow address(X, Url), biased(Url).$
(アドレスが URL の記事に偏見があれば適切でない.)
$biased(Url) \leftarrow iraqi(Url).$
(戦争についての記事 URL がイラク人からの記事であれば偏っている.)
$biased(Url) \leftarrow american(Url).$
(戦争についての記事 URL がアメリカ人からの記事であれば偏っている.)
$\sim biased(Url) \leftarrow domain(Url, D), D = "nyt.com".$
(ニューヨークタイムズの記事は偏っていない.)
$rel(X) \leftarrow author(X, bob\_doll).$
(Bob Doll が書いたニュース記事は適切である.)
$outdated(X) \leftarrow date(X, D), curr\_date(Today),$
(Today - D) > 100.
(100 日以上前の記事は古い.)
$iraqi(X) \leftarrow [computed\ elsewhere].$
$american(X) \leftarrow [computed\ elsewhere].$
$domain(Url, D) \leftarrow [computed\ elsewhere].$
$curr\_date(T) \leftarrow [computed\ elsewhere].$
$faked\_news(john\_doe) \leftarrow .$

---

のリスト  $L = [s1, s2, s3, s4]$  が得られたものとしよう。ここで各記事  $s_i$  には、記事の特徴情報: 著者、日付、URLなどが付随しているので、それらをDeLPの事実形式の論理式の集合 *Facts* として以下のように(自動あるいは半自動的に)翻訳しておくことにする。

```
author(s1, john_doe).
address(s1, "http://www.nyt.com/...").
date(s1, 20031003).

author(s2, jen_oldie).
address(s2, "http://www.britishnews.co.uk/...").
date(s2, 20001003).

author(s3, jane_truth).
address(s3, "http://www.nyt.com/...").
date(s2, 20031003).

author(s4, bob_doll).
address(s4, "http://www.mynewspaper.com/...").
date(s4, 20031003).
```

次にDeLP  $P' = PU Facts$  のもとで、議題記事  $s_3$  が適切かどうか ( $rel(s_3)$  と表現する) を、議論によって決定することを考える。図1では、C1で、先ず  $rel(s_3)$  を結論とする議論が提出されている。これに対してC2はこれを阻む議論 (blocking defeater) となっているものの、それにさらに異議を唱えしかもそれ自身は攻撃されない (undefeated) 議論C3が登場し、C2の部分議論への攻撃 (proper defeater) によって負かされ (defeated), C1を援護することになる様子が描かれている。結果として、記事  $s_3$  の適切性に関する論証は Undefeated となり、記事  $s_3$  は適切であると保証/証明された (warranted) ことになる。他の記事についても同様に選好に基づいた議論を行い、記事の推薦ランキングとして、 $[s_3, s_4, s_1, s_2]$  を得ることができた。ここで、 $s_3, s_4$ : relevant (適切) ( $s_3$  と  $s_4$  の間には順序はなく、ともに適切である)、 $s_1$ : undecided (未決定)、 $s_2$ : irrelevant (不適切) と分類されている (元々のランキングは  $[s_1, s_2, s_3, s_4]$  であったとしている。) 図2は、以上の処理の流れを示す ArgueNet のシステム構成図である。入力は検索語  $q$  と選好基準  $P$ 、出力は議論によって再順序付けされた検索結果  $L'$  である。

選好を表現する論理式を多値に拡張し、より洗練さ

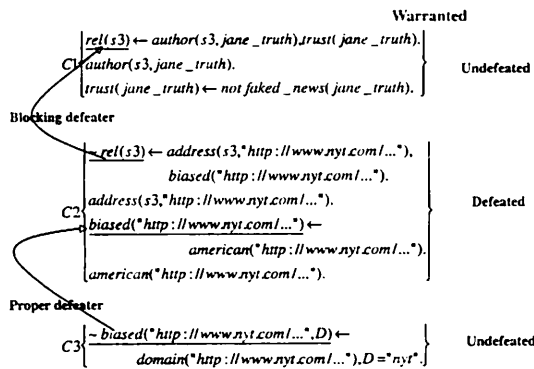


図1 DeLPにおける対話木：議論の流れ

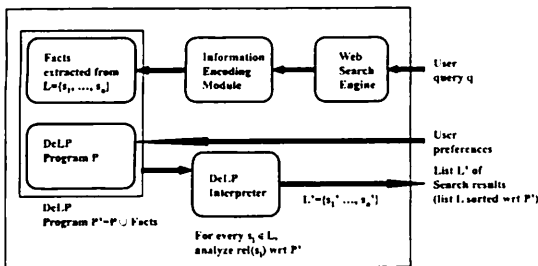


図2 DeLPに基づく推薦システムArgueNetの構成図

れた分類を可能にするよう拡張された研究も行われている [Sawamura 06].

## 4. 議論の分類問題への応用

この章では議論が、これまでとは全く異なったアプローチで、分類問題にも有効的に適用できることを例を用いて紹介する。ここで用いる議論フレームワークはDungの抽象議論フレームワーク [Dung 95] である。

### 4.1 Dungの抽象議論フレームワーク

今日Dungean Semanticsと呼ばれ、その後の数理議論学研究中に多大な影響と方向性を与えたDungの抽象議論フレームワークと議論意味論を、本稿に必要な部分に限り準備する (詳しくはDungのオリジナル論文 [Dung 95] や解説本 [Besnard 08] を見られたい。) 論証 (argument) とは、一言で言えば証明のことであるが、我々の日常の議論に見られるようにその根拠や結論は撤回される (defeasible) 可能性をもつものである。Dungは、そのような論証の集合に対して、受け入れ可能な議論/正当な議論/説得力ある議論を定めるための議論の意味論を展開した [Dung 95]。これは、論証の内部構造、内容には一切立ち入ることなく形式化された抽象的、形式的、普遍的な議論意味論となっている。したがって、抽象的な論証を具体領域における論証に具象化することによって、実世界議論の正当性を調べることができるという利点をもつ。

**Definition 1. (抽象議論フレームワーク)** 議論フレームワークは二項組  $\mathcal{AF} = \langle AR, attack \rangle$  である。ここで、 $AR$  は論証 (argument) の集合であり、 $attack$  は  $AR$  上の二項関係、すなわち  $attack \subseteq AR \times AR$  である。  $(A, B) \in attack$  であるとき、 $attack(A, B)$  と記し、「論証  $A$  は論証  $B$  を攻撃する」ということを表す。

以下議論フレームワーク  $\mathcal{AF} = \langle AR, attack \rangle$  を仮定する。議論の意味論の構成に当たって最も重要な概念は、論証の集合の無衝突性 (conflict-free) と受理可能性 (acceptability)、許容可能性 (admissibility) である。

**Definition 2. (論証の集合の無衝突性)**

論証の集合  $S \subseteq AR$  は無衝突である  $\Leftrightarrow \forall A, B \in S. \neg attack(A, B)$ .

**Definition 3. (論証の受理可能性と許容可能性)**  $S \subseteq AR, A \in AR$  とする。

- $A$  は  $S$  に関して受理可能 (acceptable) である (あるいは、 $S$  は  $A$  を擁護する ( $defend(S, A)$ )  $\Leftrightarrow \forall B \in AR. (attack(B, A) \Rightarrow \exists C \in S. attack(C, B))$ )
- 無衝突な  $S$  は許容可能 (admissible) である  $\Leftrightarrow \forall A \in$

$AR. (A \in S \rightarrow de\ fend(S, A))$

Dungはこれら3つの概念をもとに複数の議論の意味論を定義した。ここでは、選好拡大(Preferred Extension)と基礎拡大(Grounded Extension)の定義を述べるに止める。

**Definition 4. (Preferred Extension)**

$S \subseteq AR$ は選好拡大(Preferred Extension)である $\Leftrightarrow S$ は $AF$ の許容可能な集合において、包含関係に関して極大である。

基礎拡大(Grounded Extension)の定義のために以下の特性関数 $F_{AF}$ を導入する。

**Definition 5. (特性関数 $F_{AF}$ )**

- $F_{AF} : 2^{AR} \rightarrow 2^{AR}$
- $F_{AF}(S) = \{A \in AR \mid de\ fend(S, A)\}$

$F_{AF}$ は単調関数であり、したがって、最小不動点を持つことが保証される[Tarski 55]。基礎拡大(Grounded Extension)は、この性質を用いて、次のように定義される。

**Definition 6. (Grounded Extension)**

$S \subseteq AR$ は基礎拡大(Grounded Extension)である $\Leftrightarrow S$ は $F_{AF}$ の最小不動点である。

## 4.2 分類問題への議論の応用

我々は混沌とした対象(物や概念)の集まりに直面したとき、それらを先ず何らかの基準のもとに分類することから初め、それらが何であるかを理解しようとする。これは人間の原始的な認識、思考の形態の一つであり、今日科学的には分類問題と呼ばれ、その解決手法には様々のものが提案され我々の実社会においても頻繁に使われている。分類問題の背後にある基本的な考え方は、ある特定領域をより小さなクラスに分けて、領域の中の特定の対象がどのクラスの中に属するかということを決定するための基準を与えることである。本節では、これまでの分類問題の手法では困難な対象に対して議論の手法を適用することによって分類が可能となるような事例を解説する。

以下の例を考えてみよう。

性別	年齢	収入	購入
女性	20~40	あり	Yes
女性	0~20	なし	No
男性	20~40	なし	No

この表は携帯電話契約データを表しており、顧客の属性情報(性別、年齢、収入)をもとに、顧客を携帯電話を購入したかどうかを示す二つのクラス(Yes, No)に分類している表である。例えば、年齢が20~40歳の働いているある女性は携帯電話を購入したが、年齢20~40歳の働いていないある男性は携帯電話を購入

しなかったということが読み取れる。我々はこのような事例集が与えられたとき、新たに持ち込まれた事例、例えば「性別：男性、年齢：30、収入：あり」が購入の有あるいは無のいずれに分類されるかを決定したい。このために、与えられた事例集に対する可能な分類の基準を定め、新たな事例を適切に分類する方法を与える。与えられた事例集に対する可能な分類の基準についてはこれまで決定木やルールの記述の集合など様々な表し方が提案されたきたが、ここではそれらの分類基準を、属性と値の組の集合によって表わしていく。例えばこの例では、

- $\langle (\text{性別：女性}), (\text{年齢：20~40}), (\text{収入：?}) \rangle$
- $\langle (\text{性別：?}), (\text{年齢：0~20または20~40}), (\text{収入：あり}) \rangle$

などが分類基準の可能な仮説的候補として考えることができる。このときこれらの分類基準に合う事例が「購入：Yes」、それ以外が「購入：No」であるということになる。ちなみに“?”はどの値でも良いということを表している。

次に以下の契約データ例を考えてみよう。

性別	年齢	収入	購入
男性	20~40	なし	Yes
男性	20~40	なし	No

この例では前の顧客データ集と異なり、全く条件の等しい二人の顧客データに関して一人は購入する、もう一人は購入しないというクラス分けになっている。すなわち分類問題として矛盾が生じており、これまでの分類問題ではいずれかが異常データとしてデータ洗浄されるのが常であったが、我々の日常生活ではこのような矛盾は頻繁に起こるのが常である。このような矛盾の存在する分類問題を扱うことを可能にする有効な方法として、議論を用いる方法が提案されている[Amgoud 08]。

以下では、この矛盾顧客データ集のもとで、「性別：男性、年齢：0~20、収入：なし」という新たな例がどのように分類されるのかということ、議論によって決定する方法を説明する。議論過程において、それぞれの論証(argument)を

$$A = \langle h, x, c \rangle$$

と表現することにする。ここで $h$ ,  $x$ ,  $c$ はそれぞれ分類基準、事例、クラスを表す。この例においては、以下のように上の表から得られる $x_1$ と、与えられた分類すべきデータから $x_2$ が $x$ の具体例である。

- $x_1 = \langle (\text{性別：男性}), (\text{年齢：20~40}), (\text{収入：なし}) \rangle$
- $x_2 = \langle (\text{性別：男性}), (\text{年齢：0~20}), (\text{収入：な$

し)》

また、 $c \in \{Yes, No\}$ であるが、単に $c \in \{1, 0\}$ と記す。これらの準備の下で、構成可能な論証を作ってみると、先ず以下のように事例に基づく論証が2つ存在することになる。これらは事例集から直接的に作られた事実的主張としての論証であり、これらの議論は既に存在する顧客データの事例に基づいているので、分類基準 $h$ は空集合としている。

- $a_1 = \langle \phi, x_1, 1 \rangle$
- $a_2 = \langle \phi, x_1, 0 \rangle$

次に、仮説的分類基準を用いて分類のための議論を進めるために、ここでは以下の二つの仮説的分類基準を導入する。

- $h_1$  :  $\langle$ (性別: 男性), (年齢: 0~20または20~40), (収入: ?) $\rangle$
- $h_2$  :  $\langle$ (性別: ?), (年齢: 0~20), (収入: なし) $\rangle$

そしてこれらの分類基準 $h_i$ の下で、事例 $x_1$ がどのように論じられるかを調べることによって新たな論証を構成する。同様に分類すべき事例と $x_2$ 〔性別: 男性, 年齢: 0~20, 収入: なし〕に対する論証も構成する。結果的に、4つの論証が次のように構成されることになる。

- $a_3 = \langle h_1, x_1, 1 \rangle$
- $a_4 = \langle h_1, x_2, 1 \rangle$
- $a_5 = \langle h_2, x_1, 0 \rangle$
- $a_6 = \langle h_2, x_2, 1 \rangle$

可能な論証の集合が定まったので、次に各論証の攻撃関係を定める。ここでは攻撃関係として「反論」, 「無効化」, 「論破」の3つを導入する。

**Definition 7(反論).**  $\langle h, x, c \rangle, \langle h', x', c' \rangle$ をそれぞれ論証とする。以下の条件が成り立つとき、かつそのときに限り、 $\langle h, x, c \rangle$ は $\langle h', x', c' \rangle$ を反論するという。

- $x \equiv x'$
- $c \neq c'$

**Definition 8(無効化).**  $\langle h, x, c \rangle, \langle h', x', c' \rangle$ をそれぞれ論証とする。以下の条件が成り立つとき、かつそのときに限り、 $\langle h, x, c \rangle$ は $\langle h', x', c' \rangle$ を無効化するという。

- $h = \phi$
- $h'(x) \neq c$

ここで、 $h(x) = c$ は仮説的分類基準 $h$ はデータ $x$ をクラス $c$ に正しく分類することを意味する。

**Definition 9(論証比較).**  $\langle h, x, c \rangle, \langle h', x', c' \rangle$ をそれぞれ論証とする。以下の条件が成り立つとき、かつそのときに限り、 $\langle h, x, c \rangle$ は $\langle h', x', c' \rangle$ より

好まれるといい、 $\langle h, x, c \rangle \text{ Pref } \langle h', x', c' \rangle$ と書く。

- $h = \phi$ かつ $h' \neq \phi$ , または
- $h \supseteq h'$

さらに、 $A \text{ Pref } B$ であり $B \text{ Pref } A$ でないとき $A \text{ Pref}^{\sim} B$ と記す。

**Definition 10(論破).**  $A = \langle h, x, c \rangle, B = \langle h', x', c' \rangle$ をそれぞれ論証とする。以下の条件が成り立つとき、かつそのときに限り、 $A$ は $B$ を論破するという。

- $A$ が $B$ を反論(または無効化)するが、
- $B \text{ Pref}^{\sim} A$ ではない。

定義9では、各論証を構成するために使われている情報の質によって論証間に強さの順位付けを行っている。具体的な情報から成る論証は一般的な情報から成る論証より強いということは一般的に認められることであり、事例に基づく分類は仮説的分類基準に基づいて与えられる分類より優先度が高いと判断することになっている。特に、仮説なしの論証は仮説を用いた論証より強いとしている。

定義7, 8, 10より、論破は反論と無効化の2つの攻撃関係を1つの関係にまとめたものである。これに基づいて各論証の論破関係を図示すると図3のようになる。このような論証とその間の攻撃関係を表した図は議論フレームワークと呼ばれ、4.1節で述べたDungの抽象議論フレームワークを視覚化したものに相当する。

これまで具体的な論証と具体的な反論関係をもつ議論フレームワークを定めてきた。ここからは、そこで正当化される論証を、4.1節で述べたDungの抽象議論フレームワークのもとで計算するために、具体から抽象に引き返す。このために、分類のための議論システム(Argumentation System for Classification, ASC)を次のように定義する。

**Definition 11(分類のための議論システム).** 分類のための議論システム(ASC)は二項組 $\langle A, De\ feat \rangle$ である。ここで $A$ は論証の集合 $\{a_1, \dots, a_6\}$ ,  $De\ feat \subseteq A \times A$ は定義10の論破としての攻撃関係である。

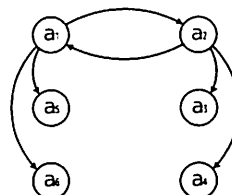


図3 議論フレームワーク

議論の最終目的は、どの論証が正当化されるかということを決めることにある。図3より、前節のDungの意味論に基づいて選好拡大(preferred extension)を計算すると以下のように2つの選好拡大が存在することが分かる。

- $\varepsilon_1 = \{a_1, a_3, a_4\}$
- $\varepsilon_2 = \{a_2, a_5, a_6\}$

分類問題における議論プロセスの最終段階は、実際に与えられた事例の分類を決定することである。ここではそのために上で求めた議論によって正当化された論証の集合の集合(複数の選好拡大の集まり)から与えられた事例を適切に分類するためのいくつかの異なる判定基準を与える。

**Definition 12(Skeptical vote).**  $\langle A, De\ feat \rangle$ を議論システムとし、 $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n$ を与えられた意味論におけるextensionとする。このとき、 $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n$ 全てに同じ論証 $\langle h, x, c \rangle$ が含まれるときかつそのときに限り、事例 $x$ は懐疑的にクラス $c$ に分類されると言う。事例 $x$ が懐疑的にクラス $c$ に分類されるような全ての $(x, c)$ の集合を $CV$ とする。

**Definition 13(Universal vote).**  $\langle A, De\ feat \rangle$ を議論システムとし、 $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n$ を与えられた意味論におけるextensionとする。このとき、 $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n$ 全てに、事例 $x$ を論証 $c$ に分類する論証が含まれるときかつそのときに限り、事例 $x$ は普遍的にクラス $c$ に分類されると言う。事例 $x$ が普遍的にクラス $c$ に分類されるような全ての $(x, c)$ の集合を $UV$ とする。

**Definition 14(Credulous vote).**  $\langle A, De\ feat \rangle$ を議論システムとし、 $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n$ を与えられた意味論におけるextensionとする。このとき、 $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n$ の中で、事例 $x$ を論証 $c$ に分類する論証が少なくとも1つ含まれるときかつそのときに限り、事例 $x$ は軽信的にクラス $c$ に分類されると言う。事例 $x$ が軽信的にクラス $c$ に分類されるような全ての $(x, c)$ の集合を $EV$ とする。

Skeptical voteは最も強い条件の分類であり、最も慎重な分類であると言える。またUniversal voteは全てのextensionの中で、ある事例 $x$ をクラス $c$ に分類する論証が含まれていることを表します。ただそれらは同じ分類基準によって分類されているわけではないので懐疑的な分類にはならない。しかし、分類という観点からみればどのextensionでもクラス $c$ に分類されるので、この分類は受理されるのが好ましいと考えられる。Credulous voteでは、同じ例を2つ以上のクラスに分類する可能性があるので軽信的な分類であるが、事例が確かな方法で分類されないときには可能なクラスについての有益な情報を与えるので決して無意

味な分類ではない。

上の例において、実際に各判定基準における分類を計算すると以下ようになる。

- $CV = \emptyset$
- $UV = \{(x_2, 1)\}$
- $EV = \{(x_2, 1), (x_1, 1), (x_1, 0)\}$

この例では事例に矛盾が生じていたため、全ての事例を正しく分類分けする分類基準は存在しないので、 $CV$ は空集合となっている。しかしながら、与えられた2つの分類基準が両方そろって、与えられた事例を同じクラスに分類するので $UV = \{(x_2, 1)\}$ となり、この分類は受理されるのが好ましいと考えられる。以上の結果として、「性別：男性，年齢：0～20，収入：なし」という顧客は携帯電話を購入するだろうという分類結論が得られる。

このように議論フレームワークによる分類問題の解決法は、データに矛盾が存在する分類問題に対してもいくつかの分類基準の下で分類分けが可能になるという点において優れている手法である。

## 5. 議論のWEB技術への応用

インターネットやWEBの出現によって、社会の形はもちろん、情報社会を支える情報科学の理論や技術は革命的な変化を遂げた。WEBに関係した応用研究に目を向けてみると、既にさまざまな議論応用研究の試みが見られる。ここでは、SNS(<http://mixi.jp/>)の友人リストの管理を議論するエージェントに委ねる方法を紹介する[栗原08]。

### 5.1 多値議論の論理LMA

先ずこの問題に対して用いられる議論フレームワークとして、筆者らによって形式化された、多値議論の論理LMA(Logic of Multiple-valued Argumentation)[Takahashi 04]を概説する。これは、問題領域に応じた真理値を定義でき、またそれをもとに不確かな(uncertain)知識ベースからの議論が可能な枠組みとなっている。論証の定義を述べる余裕はないが、LMAは次のような衝突関係をもつ。

**Definition 15.(反論)**  $Arg_\alpha$ が $Arg_\beta$ を反論する $\Leftrightarrow \mu_1 \geq \mu_2$ である $A : \mu_1 \in concl(Arg_\alpha)$ と $\sim A : \mu_2 \in concl(Arg_\beta)$ が存在するか、 $\mu_1 \leq \mu_2$ である $\sim A : \mu_1 \in concl(Arg_\alpha)$ と $A : \mu_2 \in concl(Arg_\beta)$ が存在する。

**Definition 16.(無効化)**  $Arg_1$ が $Arg_2$ を無効化する $\Leftrightarrow \mu_1 \geq \mu_2$ である $A : \mu_1 \in concl(Arg_1)$ と $not A : \mu_2 \in assm(Arg_2)$ が存在するか、 $\mu_1 \leq \mu_2$ である $\sim A : \mu_1 \in concl(Arg_1)$ と $not \sim A : \mu_2 \in assm(Arg_2)$ が存在する。

**Definition17. (打破)**  $Arg_1$ が $Arg_2$ を打破する $\Leftrightarrow Arg_1$ が $Arg_2$ を無効化するか、 $Arg_1$ が $Arg_2$ を反論し、かつ $Arg_2$ が $Arg_1$ を無効化しない。

これらの定義中、*concl*は議論*Arg*の結論、*assm*はデフォルト否定に関わる仮定を表わしている。このようなLMAは、前節で述べた不動点意味論(基礎意味論)のもとで健全性をもち、また、対話的証明論のもとで完全性をもつことが示されている[Takahashi 04]。

## 5.2 SNSへの応用

本節で提案するエージェントは、ユーザの入力した評価基準と、登録依頼者のプロフィールを基に議論を展開し、登録依頼者をマイミクシ (<http://mixi.jp/>)へ追加するか、マイミクシから削除するか審査する。表2に真理値の完備束として実数の単位区間 $[0, 1]$ を用いた場合の評価基準の記述例とその読みを示す。 $[0, 1]$ はエージェントの信念の度合いを表す。ユーザが真理値を決定する際の判断基準として、信念の度合いが強い場合は1.0、やや強い場合は0.7の様に信念の度合いを段階的に分けた枠組みをユーザに提供し、判断してもらうことを考える。mixiではプロフィールとして現住所、性別、誕生日、生まれた年、血液型、出身地、趣味、職業をリストから選択可能である。趣味は24個のアイテムから、職業は20個のアイテムからの選

表2 評価基準のEALP表現

$regist(W):0.8 \leftarrow correspond\_hobby(W):0.8$ & $comment(W):0.7$ (趣味がややあい、日記にコメント書いてくれそう ならばマイミクシに登録する.)
$correspond\_hobby(W):0.8 \leftarrow hobby(W, music):1.0$ (Wの趣味が音楽ならば、ある程度趣味が合う.)
$comment(W):0.7$ $\leftarrow my\_mixi(W, X):1.0 \& (X < 70):1.0$ (マイミクシの数が70より少なければ、 コメントを書いてくれそう.)
$regist(W):0.7 \leftarrow same\_job(W):1.0$ (職業が同じならば登録する.)
$regist(W):0.6 \leftarrow same\_born\_place(W):1.0$ (出身地が同じならば登録する.)
$\sim comment(W):0.5 \sim \sim positive(W):0.7$ (mixiに積極的でないならば、コメントしてくれない.)
$\sim positive(W):0.7$
$\leftarrow community\_num(W, X):1.0 \& (X < 20):1.0$ (コミュニティの所属数が20より少なければ、 mixiに積極的でない.)
$positive(W):0.7 \leftarrow update\_interval(W):1.0$ (日記の更新頻度が高ければ、mixiに積極的である.)

択式でユーザ同士の比較が容易である。表2中の「趣味があうこと」を意味する述語 $correspond\_hobby(W)$ はエージェントがユーザと登録依頼者のプロフィールを比較し合致した度合いによって注釈を自動的に与え生成する。ここでは、ユーザは特定の趣味が一致した場合に高い度合いの注釈を与えるか、趣味がどれだけ一致しているかの割合で注釈を与えるかのいずれかを選択可能である。また職業が同じことを示す述語 $same\_job(W)$ と出身地が同じであることを示す述語 $same\_born\_place(W)$ は両者の職業、出身地が同じであった場合に注釈として1.0を付加し生成する。また日記の更新頻度を示す述語 $update\_interval(W)$ は、エージェントが登録依頼者の日記の日付から更新頻度を計算し、その割合から注釈を計算し自動生成する。例えば「一ヶ月に一回日記の更新があれば更新頻度が高い」と設定した場合、実際一ヶ月に一回更新があれば $update\_interval(W):1.0$ 、二ヶ月に一回更新があれば $update\_interval(W):0.5$ となる。

## 5.3 マイミクシへの追加の審査

この小節ではエージェントの議論によるマイミクシ承認審査フレームワークを与える。図4にシステムの概要を示す。エージェントは議論エンジン(LMA)と知識ベース(KB)を持っている(ここでは簡単さのために1エージェントによる方法を提示するが、もちろんこれをマルチエージェントに一般化することができる。その際は、他エージェントの意見も入れながらの審査が可能になるであろう。)

**STEP1** エージェントはユーザから評価基準を与えられるとこれをEALPへ変換する。

**STEP2** ユーザのもとへマイミクシ登録依頼メッセージが届くと、エージェントは登録依頼者のプロフィールページへアクセスし、登録依頼者の情報を抽出しユーザ自身のプロフィールと比較して規則の集合 $\mathcal{F}$ を生成する。

**STEP3** エージェントは $\mathcal{F}$ とユーザの評価基準を合わせ、KBを作成する。KBを作成すると、エー

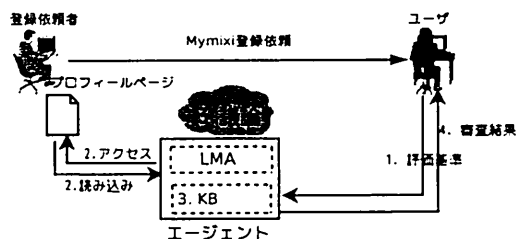


図4 議論によるマイミクシ承認審査フレームワーク

ジェントは登録依頼者をマイミクシィに登録するか否かについて議論を展開する。

STEP4 議論結果に基づき審査結果をユーザに示す。例えば  $W$  というユーザから登録依頼メッセージが来たとする、 $regist(W) : \mu$  を結論にもつ論証が正当化された場合、 $W$  をマイミクシィへ登録するように薦める。それ以外は登録を薦めない。

表3に示したKenjiとYuiの二人から、ユーザのもとにマイミクシィ登録依頼メッセージが届いたと仮定し、表2に示した評価基準を使用して議論により審査する例を示す。Kenjiについての議論の木表現を図5に示す。図5中フレームには論証を木表現で、打破で示した。議論木の枝の終端がすべて提案者なの

表3 プロフィール

名前	Kenji	Yui	ユーザ
年齢	38	20	23
性別	男性	女性	男性
出身地	東京	沖縄	新潟
職業	会社員	アーティスト	学生
趣味	音楽	音楽	音楽
更新頻度	高	中	中
マイミクシィ	35	45	22
コミュニティ	8	15	76

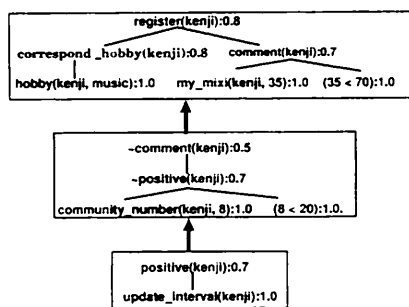


図5 Kenjiについての議論の議論木

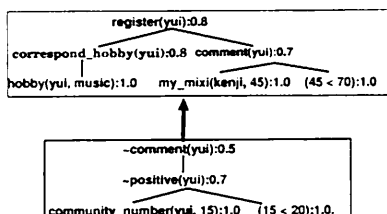


図6 Yuiについての議論の議論木

で、LMAの対話的証明論[Takahashi 04]によって  $regist(kenji) : 0.8$  を結論に持つ論証が正当化され、エージェントはユーザに対しKenjiのマイミクシィへの登録を薦める。同様にYuiについての議論の木表現を図6に示す。議論木の枝の終端が提案者ではないので、LMAの対話的証明論[Takahashi 04]によって  $regist(Yui) : 0.8$  を結論に持つ論証が正当化されず、エージェントはYuiのマイミクシィへの登録は薦めない。

この他に、マイミクシィエージェントは次のような支援、推奨作業を行うことができる(詳しくは、[栗原08]を参照)。

- マイミクシィからの削除の審査：ユーザの評価基準が変化するとエージェントは、変更された評価基準をもとに新たにKBを作成しマイミクシィの再審査を行う。
- マイミクシィへの追加の提案：マイミクシィを辿ることで、ユーザが入力した評価基準を満たす人を積極的に探し出すマイミクシィへの追加の提案フレームワークを与える。

これまで議論のSNSへの応用例を述べてきたが、Wikipedia (<http://ja.wikipedia.org/wiki/>) の中で起こる記事削除に関する議論を、LMAに基づいて議論するエージェントに委ねる方法も提案されている[栗原08]。

## 6. その他の応用

議論の応用は無限である。なぜなら我々を取り巻く情報は、それが科学的なものであれ日常的社会的なものであれ、それは議論形式(結論とその理由付け)をもつからである。すなわち処理されるべきデータが基本的に議論データであるからである。本稿で述べられなかった議論の応用例は既に非常に多く存在している。例えば、次のような事例あるいは領域が知られている。

- 計算論的議論は法的推論や法情報学領域では本質的機能である[新田08]。
- 交渉、合意形成プロセスは議論の一形態である [Rahwan 03][Sawamura 03][Amgoud 07][Rahwan 09]。
- ソフトウェア開発の上流工程においてなされる議論を蓄積し再利用する[Conklin 06]。
- 計算機支援協調学習環境における議論教育のための知的CAI[Andriessen 03]。
- 熟考型(deliberate)のみならず反応型(reactive)エージェントへの議論メカニズムの組み込み [Nisikata 06]。



• Semantic WEB : Semantic WEB技術の一つであるオントロジー推論と議論に基づく推論を統合化し, Semantic WEBの世界に新たな推論技術を提供する[若木 07].

議論に基づく計算メカニズムを他の理論, 技術と組み合わせたり, また議論モデルをより豊かにしていくことによって, さらに応用領域を拡げることができる. 他の理論, 技術とは, 数論的意思決定理論, ゲーム理論などであるが, 既に第一報が報告されている[Rahwan 09]. 議論モデルをより豊かにするためには, 人文系の議論学者によるより広義の議論の側面を重視した研究, 例えば議論の確実性には限界があること, 議論は本質的に倫理的また道徳的な判断, 選択基準などの文化的社会的基準を含んでいるという認識をより重視して研究を進めていく必要がある[Ziegelmueller 97][ペレルマン 77].

この上で, 今後議論学そのもののさらなる発展とともに応用事例がますます蓄積されていくものと思われるが, 将来計算論的議論モデルの応用は, e-commerce, e-learning, e-governmentなどへと多岐に亘り, 未来の知能情報処理技術の有望な候補となっていくであろう.

## 7. おわりに

最近計算論的議論とその応用の研究は世界的に大変盛んに行われている. 本稿では, この中からそれぞれが異なった議論モデルを用いている次の三つの応用事例を解説した.

- (1) Defeasible Logic Programming DeLPに基づく, 議論の推薦技術への応用
- (2) Dungの抽象議論フレームワークに基づく, 議論の分類問題への応用
- (3) 多値議論の論理LMAに基づく, 議論のSNSへの応用

4.1節のDung意味論の観点から, これらの応用例に共通して言えることは, (1)~(3)は全てDungの抽象議論フレームワークの具象例であり, 正当化議論の計算もそのもとで行われていたことである. 実際, 各々の応用例はそれぞれが異なる論証の集合と異なる攻撃関係をもっていたが, 正当化議論は全てDungの定義の下で行われ, (1)と(3)では基礎拡大が, (2)では選好拡大が採用された.

そして, これらすべての応用において, 議論に基づくアプローチがもつ最も重要な次の三つのポイントを, 議論例を通して解説した:

- 矛盾した知識ベースからの推論も可能である.
- 選好基準を基にした柔軟な推論が可能である.

• 結果に対する説明機能を初めから備えている.  
本稿が, 今後この分野の研究者の増加とさらなる応用拡大への一助となれば幸いである.

## 参考文献

- [Amgoud 07] Amgoud, L., Dimopoulos, Y., and Moraitis, P.: A unified and general framework for argumentation-based negotiation, in *6th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2007)*, pp.1018-1025 (2007)
- [Amgoud 08] Amgoud, L. and Serrurier, M.: Agents that argue and explain classifications, *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, Vol.16, No.2, pp.187-209 (2008)
- [Andriessen 03] Andriessen, J., Baker, M., and Suthers, D. eds.: *Arguing to learn - confronting cognitions in computer-supported collaborative learning environments*, Kluwer Academic Pub. (2003)
- [Besnard 08] Besnard, P. and Hunter, A. eds.: *Elements of Argumentation*, The MIT Press (2008)
- [Chesñevar 04] Chesñevar, C. I. and Maguitman, A. G.: ArgueNet : An Argument-Based Recommender System for Solving Web Search Queries, in *Procs. of the 2nd. International IEEE Conference on Intelligent Systems*, pp.282-287, IEEE Press (2004)
- [Conklin 06] Conklin, J.: *Dialogue Mapping*, John Wiley (2006)
- [Dung 95] Dung, P.: On the acceptability of arguments and its fundamental role in nonmonotonic reasoning, logics programming and n-person games, *Artificial Intelligence*, Vol.77, pp.321-357 (1995)
- [Garcia 04] Garcia, A. J. and Simari, G. R.: Defeasible Logic Programming : An Argumentative Approach, *TPLP*, Vol.4, No.1-2, pp.95-138 (2004)
- [Nisikata 06] Nisikata, T. and Sawamura, H.: Deliberate Soccer Agents Powered by Resource-Bounded Argumentation, in *9th Pacific Rim International Workshop on Multi-Agents (PRIMA 2006)*, Vol.4088 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp.656-663, Springer (2006)
- [Rahwan 03] Rahwan, I., Ramchurn, S. D., Jennings, N. R., McBurney, P., Parsons, S., and Sonenberg, E.: Argumentation-based negotiation, *Knowledge Engineering Review*, Vol.18, No.4, pp.343-375 (2003)
- [Rahwan 09] Rahwan, I. and Simari, G. R. E.: *Argumentation in Artificial Intelligence*, Springer (2009)
- [Sawamura 03] Sawamura, H., Yamashita, M., and Umeda, Y.: Applying Dialectic Agents to Argumentation in E-Commerce, *Electronic Commerce Research*, Vol.3, No.3-4, pp.297-313 (2003)
- [Sawamura 06] Sawamura, H., Wakaki, T., and Nitta, K.: The Logic of Multiple-Valued Argumentation and its Applications to Web Technology, in *COMMA*, Vol.144 of *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, pp.291-296, IOS Press (2006)
- [Takahashi 04] Takahashi, T. and Sawamura, H.: A logic of multiplevalued argumentation, in *Proceedings of*

- the third international joint conference on Autonomous Agents and Multi Agent Systems (AAMAS '2004)*, pp.800-807, ACM (2004)
- [Tarski 55] Tarski, A.: A lattice-theoretical fixpoint theorem and its application, *Pacific Journal of Mathematics*, Vol.5, pp.285-309 (1955)
- [Umeda 00] Umeda, Y., Yamashita, M., Inagaki, M., and Sawamura, H.: Argumentation as a Social Computing Paradigm, in *PRIMA*, Vol.1881 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp.46-60, Springer (2000)
- [Ziegelmüller 97] Ziegelmüller, G. W. and Kay, J.: *Argumentation - Inquiry and Advocacy*, Allyn and Bacon (1997), 井上奈良彦監訳: 議論法-探求と弁論, 花書院, 2006
- [ベレルマン 77] ベレルマン著, 三輪正訳: 説得の論理学, 理想社 (1977)
- [栗原 08] 栗原秀輔, 瀬野瑛, 沢村一: 多値議論の論理的ソーシャルウェブ: SNS, Wikipedia への応用, コンピュータソフトウェア, Vol.25, No.4, pp.52-59 (2008)
- [若木 07] 若木利子, 沢村一, 福本太郎, 向井孝徳, 新田克己: セマンティック Web 推論と議論エージェント推論の統合, 人工知能学会論文誌, Vol.22, No.3, pp.322-331 (2007)
- [新田 08] 新田克己: 法情報学と人工知能, 人工知能学会誌, Vol.23, No.4, pp.499-504 (2008)
- [沢村 10] 沢村一: 数理議論学の発展: 動向と今後の展望, 人工知能学会誌, 第25巻, 第3号, pp.408-418 (2010) (2010年4月13日 受付)
- [問い合わせ先]  
〒950-2102 新潟市西区五十嵐2の町 8050  
新潟大学 自然科学系  
沢村 一  
E-mail: sawamura@ie.niigata-u.ac.jp

---

 著者紹介
 

---



沢村 一 [非会員]

1978年北海道大学大学院工学研究科情報工学専攻単位修得退学。1980年-1996年(株)富士通国際情報社会科学研究所,(株)富士通研究所情報社会科学研究所で,主任研究員,室長,主管研究員などを歴任。この間1989年-1990年オーストラリア国立大学 Visiting Fellow。1996年-現在新潟大学自然科学系准教授,博士(工学)。この間2000-2001年カナダアルバータ大学・オーストラリア国立大学客員研究員,2002年-2003年ニュージーランドヴィクトリア大学 Visiting Fellow。数理議論学,計算論理学,エージェント指向計算に興味をもつ。情報処理学会,ソフトウェア科学会,日本科学哲学学会各会員。