非循環な双極議論フレームワークの段階的作成手法

Incremental Construction Method of an Acyclic Bipolar Argumentation Framework

川崎　樹 *　　高橋　和子
Tatsuki Kawasaki　　Kazuko Takahashi

関西学院大学大学院　理工学研究科
School of Science & Technology, Kwansei Gakuin University

Abstract: We describe the method for obtaining neccessary knowledge from uncertain or inconsistent knowledge base by incrementally constructing an acyclic bipolar argumentation framework (BAF). BAF is a system that structures an argumentation using arguments and relations over arguments, which can be represented as a directed graph. An acceptability of each argument can be judged from its structure. The authors proposed a method in which what conclusion can be deduced from the current knowledge and conversely, what facts should be shown to accept the conclusion, by incrementally constructing a BAF. However, this method has a drawback in which not all the arguments used during the reasoning process including counter-arguments are explicitly shown as a result, which makes the process ambiguous. In this presentation, we show the revised algorithm so that the reasoning process can be understood more clearly.

1　はじめに

双極議論フレームワーク (Bipolar Argumentation Framework, BAF) は，議論の特徴を反映し議論を構造化するシステムである．BAF では，議論における発言を論証とし，反論を論証間の攻撃関係，根拠と主張を支持関係ととらえ，3 項組で議論の構造を表す．また，BAF は論証をノード，攻撃関係および支持関係をエッジとした有向グラフで表現可能である．

著者らは BAF 上での法律推論手法を提案した [6]．この手法は，日本の法律における法律構造が一般的に循環しないとされることから，非循環な BAF のみを対象としている．法律の構造が例外及び根拠と結論の 2 つの関係で記述されていると考え，これを BAF における論証間の関係として表すことで，その構造から法律が有効かどうかが判定できる．しかし，法律の知識全体は非常に大きなものであり，法曹でない一般人が法全体を一度に理解するのは困難である．提案した手法では，法律全体を表す BAF を仮定し，それを参照しながら関連する部分を取り出すことによって新しい BAF を段階的に構築する．より具体的に述べると，この手法は，事実から結論として何がいえるかというボトムアップ推論と，ある結論をいうためには何が事実として認められればよいかというトップダウン推論を交互に何回も繰り返すことで，必要な部分を徐々に作成していくものである．この手法は，法律推論以外にも例外や矛盾を含む知識ベースを使った推論に応用可能である．

しかし，提案したアルゴリズムでは，推論過程で出現した論証が反論も含めすべて最終的に提示されるわけではない．このことが最終的に得られる BAF 上の結論である論証の受理性に影響を及ぼすわけではないものの，推論に用いられた反論部分が提示されない場合があり，推論過程全体が把握できない．そこで，本発表ではこの点を改善したアルゴリズムを示す．これによって，推論に使われたすべての論証およびそれらの関係が明示され，推論過程をより明確に把握できるようになった．

本論文の構成は以下の通りである．2 章では双極議論フレームワークについて述べ，双極議論フレームワーク上で定義される意味論について述べる．3 章では改善した双方向推論手法について述べる．その後 4 章で結論を述べる．

2　双極議論フレームワーク

Dung は議論の特徴を反映し議論を構造化するシステムである議論フレームワークを提案した [4]．Dung の

*連絡先：関西学院大学大学院 理工学研究科 高橋和子研究室
〒 669-1337 兵庫県三田市学園 2 丁目 1 番地
E-mail: dxk96093@kwansei.ac.jp

議論フレームワークは議論における反論関係のみを特徴として扱っているため，様々な拡張がなされている．Cayrol らによって提案された双極議論フレームワーク（BAF）もそのうちの 1 つである [3, 1]．Cayrol らは Dung の議論フレームワークに根拠と結論の関係である支持関係を加えた．

著者らは Cayrol らの BAF を拡張し，論証の集合と論証の間に支持関係を与える．これにより複数の根拠をもとに 1 つの結論を述べる際における，根拠と結論の関係を表現できるようにした．

定義 1 (BAF)**.** *BAF は $baf = \langle AR, ATT, SUP \rangle$ の 3 項組として定義される．AR は論証の有限集合であり，$ATT \subseteq AR \times AR$ は攻撃関係の集合，$SUP \subseteq (2^{AR} \backslash \emptyset) \times AR$ は支持関係の集合である．*

本研究では $(B, A) \in ATT$ を $\mathrm{att}(B, A)$，$(\mathbf{A}, A) \in SUP$ を $\sup(\mathbf{A}, A)$ と表記する．

論証は受理性を持つ．直観的に論証の受理性とは，ある発言に対して反論を行った際に反論を認めるならば元の発言は認められない，といったようにその論証を認めるか否かのことである．

本研究では，Baroni によって提案されたラベリング [2] を用いて論証の受理性を表現する．論証が受理可能であることを in で表し，受理不可能であることを out で表す．また論証の集合について，集合内における全論証のラベルが in であるとき集合のラベルを in とする．

定義 2 (ラベリング)**.** $baf = \langle AR, ATT, SUP \rangle$ に対し，ラベリング $\mathcal{L}_{baf}$ は AR から $\{in, out\}$ への関数である

議論に対して，BAF を用いて論証間の関係を表現し，その関係をもとに各論証の受理性を計算する．計算によって各論証の受理性を求めるため，計算方法が異なれば各論証の受理性も異なる．この計算方法を意味論といい，様々な意味論が提案が提案されている [3]．

本研究では，法律推論と同様な結果が得られるように意味論を定める．法律推論においては，ある結論を述べるためには根拠を示す必要があり，その根拠を示すためにはさらに根拠を示す必要がある．また法律推論における例外とは結論や根拠に対してその成立を否定する役割を果たす．例えばある結論に対して例外が成立しているのであれば，結論が根拠によって成立していたとしても不成立となる．これを表す意味論を完全ラベリングとして定義する．

定義 3 (完全ラベリング)**.** $baf = \langle AR, ATT, SUP \rangle$ において，任意の $A \in AR$ に対するラベリング $\mathcal{L}_{baf}$ が以下を満たすならばそのラベリングを完全ラベリングという．

- A が葉ノードであるならば $\mathcal{L}_{baf}(A) = in$.
- $(\forall B \in AR, \mathrm{att}(B, A) \Rightarrow \mathcal{L}_{baf}(B) = out) \wedge (\exists \mathbf{A} \subseteq AR, \sup(\mathbf{A}, A) \wedge \mathcal{L}_{baf}(\mathbf{A}) = in)$ であるならば，$\mathcal{L}_{baf}(A) = in$.
- そうでなければ $\mathcal{L}_{baf}(A) = out$.

著者らは，非循環な BAF に対して完全ラベリングが一意に定まることを証明した [5]．日本の法律における法律構造は一般的に非循環であるため，すべての法律推論結果を完全ラベリングによって表現できる．

例 1. 完全ラベリングを与えた BAF の，ラベルつきグラフを図 1 に示す．a,b,c,d,e は論証を表し，斜線付き矢印（$\nrightarrow$）は攻撃関係，矢印（$\rightarrow$）は支持関係を表す．また点線枠は論証の集合を表す．ただし論証の集合が 1 つの要素からなる場合は点線枠を省略する場合がある．

b, d, e は葉ノードであるからラベルは in である．c について，c を攻撃している e のラベルが in であるから，c のラベルは out である．また a について，a を攻撃する c のラベルが out であり，a を支持する論証の集合 $\{d\}$ のラベルが in であるため，a のラベルは in である．

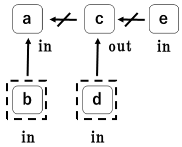

図 1: 完全ラベリングによるラベルつき BAF の例

法律推論では提出された証拠のみを存在する事実として扱い根拠が真であるかを決定する．そこで BAF に対し，ある根拠に対する事実が存在しているかどうかを表す論証である（不）存在論証を定義する．

定義 4 (存在論証，不存在論証)**.** ある論証 A に対して，A の事実が存在していることを示す論証を存在論証と呼び，$\mathrm{ex}(A)$ で表す．また，A の事実が存在しないことを示す論証を不存在論証と呼び，$\mathrm{ab}(A)$ で表す．

法律構造を表す BAF に存在論証を加えることによって法律推論を行うことが可能である．

3 法律推論に基づく双極議論フレームワークの段階的構築

3.1 双方向推論の概要

本研究で提案する手法はすべて法律全体を表す BAF の存在を仮定している．これを $ubaf$ と呼ぶ．例として本稿で仮定する $ubaf$ を図 2 に示す．

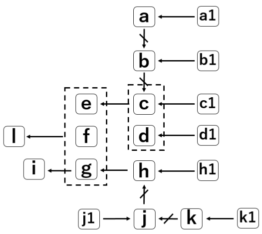

図 2: $ubaf$

ubaf を参照し，BAF の段階的な構築を繰り返すことで法律推論を行う．図 3 は提案手法である双方向推論の概要である．

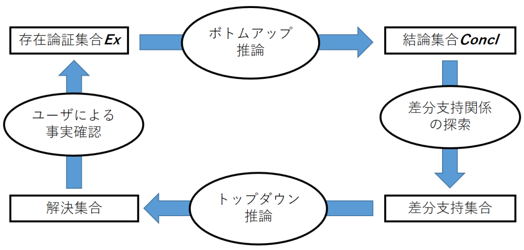

図 3: 双方向推論の概要

双方向推論はボトムアップ推論とトップダウン推論を交互に繰り返すことで行う．ボトムアップ推論は事実から結論を推論する手法であり，トップダウン推論は結論を述べるために必要な事実を推論する手法である．

3.2　双方向推論による BAF の段階的構築

まずユーザが現在持つ事実を存在論証として存在論証の集合を与える．この存在論証の集合を用いてボトムアップ推論を行う．

一度目のボトムアップ推論では，与えられた存在論証及び存在論証に対応する *ubaf* 中の論証の和集合を AR とする．AR は現段階でユーザが知っている論証の集合に相当する．

AR の部分集合が，*ubaf* において他の論証を支持しているとき，その論証を AR に追加する．これを追加される論証がなくなるまで繰り返したのち，*ubaf* を参照することで，AR にある論証間の攻撃関係及び支持関係を与え *baf* を得る．そののち，*baf* に対して完全ラベリングを与える．このとき，ラベルが in であり，他の論証を支持していない論証を結論といい，ボトムアップ推論の結果，結論集合を得る．

定義 5 (結論集合)**.** $ubaf = \langle UAR, UATT, USUP\rangle$, $baf = \langle AR, ATT, SUP\rangle$ とする．以下を満たす論証の集合を AR に対する結論集合という．

$Concl(AR) = \{A \mid \mathcal{L}_{baf}(A) = in \land \neg\exists(\mathbf{A}, B) \in SUP; A \in \mathbf{A} \subseteq AR\}$

以下はボトムアップ推論のアルゴリズムである．アルゴリズム中の，攻撃関係によってのみ発見可能な論証の集合（AR'）は双方向推論を繰り返し行う際に必要な集合であるため，初期値は空である．

Algorithm 1 BUP: 結論の導出

（不）存在論証の集合を Ex，$\{A|\mathrm{ex}(A) \in Ex\} \cup \{A|\mathrm{ab}(A) \in Ex\}$ を満たす集合を AR，攻撃関係によってのみ発見可能な論証の集合を AR' とする．
論証の集合 $\mathbf{A} \subseteq AR$ と $(\mathbf{A}, A) \in USUP$ を満たす論証 $A \in UAR \setminus AR$ からなる組を見つける．
while $(\mathbf{A}, A)$ の組が存在する **do**
　$AR = AR \cup \{A\}$.
end while
$AR = AR \cup Ex \cup AR'$.
$SUP = USUP \cap (2^{AR} \times AR) \cup \{(\{\mathrm{ex}(A)\}, A)|\mathrm{ex}(A) \in Ex\}$.
$ATT = UATT \cap (AR \times AR) \cup \{(\mathrm{ab}(A), A)|\mathrm{ab}(A) \in Ex\}$.
$baf = \langle AR, ATT, SUP\rangle$ に対し完全ラベリング $\mathcal{L}_{baf}$ を与える．
return $Concl(AR)$.

例 2. 存在論証の集合 $\{\mathrm{ex}(c1)\}$ を入力として与える．まず $\mathrm{ex}(c1)$ 及び $\mathrm{ex}(c1)$ に対応する *ubaf* 中の論証 $c1$ からなる集合を AR とする．$\{c1\}$ は *ubaf* において論証 c を支持しているため c を AR に追加する．その後，*ubaf* における攻撃関係及び支持関係を参照することにより新たな BAF である baf_1 を作成し，完全ラベリングを与える（図 4）．結果として，結論集合 $Concl(AR) = \{c\}$ を得る．

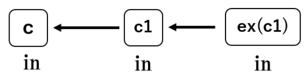

図 4: ボトムアップ推論によって得られた完全ラベリング付き *baf*

次に，ボトムアップ推論によって得られた結論集合と *ubaf* を比較し，差分支持関係を探索する．

定義 6 (差分支持関係，差分支持集合)**.** $baf = \langle AR, ATT, SUP\rangle$ について，もし $(\mathbf{A} \cap AR) \neq \emptyset \land (\mathbf{A} \cap AR) \neq \mathbf{A} \land (\mathbf{A}, A) \in USUP$ であるような論証の集合と論証が存在するなら，$(\mathbf{A} \setminus AR, A)$ を *baf* における差分支持関係といい，また $\mathbf{A} \setminus AR$ をそれぞれ *baf* における差分支持集合という．

直観的に，差分支持関係は，証明されている根拠の不足により導出されない A について，$\mathbf{A} \setminus AR$ のすべての論証が受理された場合に導出可能となることを示すものである．

例 3 (続き)**.** 結論 c に関して，$ubaf$ 中において論証 d のラベルが in であることを示すことで，さらなる結論 e を得ることができる．このとき差分支持関係 $(\{d\}, e)$ 及び差分支持集合 $\{d\}$ を得る．

トップダウン推論は差分支持集合内の各論証のラベルが in であるために必要な (不) 存在論証の集合を推論する手法である．完全ラベリングより，ある論証 A について，A のラベルが in であるためには，A を攻撃する論証のラベルが out である必要があり，かつ，A を支持する論証の集合のラベルが in である必要がある．

ある論証 A に対して，A のラベルが in であるために必要な論証を探索するアルゴリズムを $PC(A)$，A のラベルが out であるために必要な論証を探索するアルゴリズムを $NC(A)$ という．トップダウン推論のアルゴリズムは，差分支持集合内の論証に対しこれらのアルゴリズムを再帰的に繰り返す手法である．

Algorithm 2 $PC(A)$: $\mathcal{L}(A) = in$ であるために必要な論証の探索.

A を UAR に含まれる論証であるとする．
if $ubaf$ において A は葉ノードである **then**
  $Sol(A) = \{\mathrm{ex}(A)\}$.
else
  $(\mathbf{A}, A) \in USUP$ を満たす任意の論証の集合 $\mathbf{A}$ を 1 つ選ぶ．
  $Sol(A) = \bigcup_{(B,A)\in UATT} NC(B) \cup \bigcup_{A_i \in \mathbf{A}} PC(A_i)$.
end if
return $Sol(A)$.

Algorithm 3 $NC(A)$: $\mathcal{L}(A) = out$ であるために必要な論証の探索

A を UAR に含まれる論証，攻撃関係によってのみ発見可能な論証の集合を AR' とする．
if $ubaf$ において A は葉ノードである **then**
  $Sol(A) = \{\mathrm{ab}(A)\}$.
else
  $(B, A) \in UATT$ を満たす任意の論証 B を 1 つ選ぶ．
  $\mathbf{A}_1, \ldots, \mathbf{A}_n$ を $(\mathbf{A}_i, A) \in USUP (i = 1, \ldots, n)$ を満たす論証の集合とする．
  任意の論証 $A_i \in \mathbf{A}_i$ $(i = 1, \ldots, n)$ を 1 つ選ぶ．
  $Sol(A) = PC(B)$ もしくは $Sol(A) = \bigcup_{i=1,\ldots,n} NC(A_i)$.
  if $Sol(A) = PC(B)$ の場合 **then**
    $AR' = AR' \cup \{B\}$.
  end if
end if
return $Sol(A)$.

Algorithm 4 TDN: 必要な事実の探索

$\mathbf{A}$ を $baf = \langle AR, ATT, SUP \rangle$ における差分支持集合，AR' を攻撃関係によってのみ発見可能な論証の集合とする．
$AR' = \emptyset$
$Sol(\mathbf{A}) = \bigcup_{A\in\mathbf{A}} PC(A)$.
return $Sol(\mathbf{A})$.

トップダウン推論によって得られる集合を解決集合という．

定義 7 (解決集合)**.** 論証の集合を $\mathbf{S}$ とする．$A \in \mathbf{S}$ に対する $\bigcup_{A\in\mathbf{S}} PC(A)$ を $\mathbf{S}$ の解決集合という．

$ubaf$ から攻撃関係及び支持関係を参照し，ラベリング条件を再帰的に確認することで，$ubaf$ 中の葉ノードのラベルの条件が推論される．ある葉ノードについて，in（out）である必要があるなら，その論証に対する（不）存在論証が解決集合に追加される．

例 4 (続き)**.** 結論 c に対する差分支持集合 $\{d\}$ に関してトップダウン推論を行う．d のラベルは in となるには，d を支持している論証の集合である $\{d1\}$ のラベルが in である必要がある．また $d1$ は葉ノードであるので，解決集合に $\mathrm{ex}(d1)$ を追加する．

トップダウン推論によって得られた解決集合について，ユーザが各 (不) 存在論証に対する事実確認を行う．これにより存在論証の集合が更新される．また，トップダウン推論で攻撃関係は出現していないため，トッ

プダウン推論で追加される論証はない．これで双方向推論の過程が一巡する．

新たに得た存在論証の集合を用いて再度ボトムアップ推論を行うことにより新たな BAF が得られる．

例 5 (続き)**.** ユーザによって $\mathrm{ex}(d1)$ に対する事実確認がされたとする．これにより，存在論証の集合は $\{\mathrm{ex}(c1), \mathrm{ex}(d1)\}$ となる．

この存在論証の集合を用いて，再度ボトムアップ推論を行い得られた BAF である baf' を図 5 に示す．

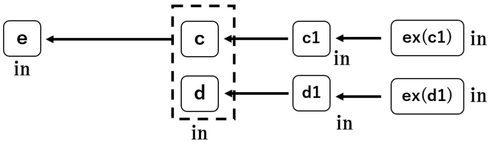

図 5: 再度のボトムアップ推論によって得られた完全ラベリング付き baf'

再度差分支持関係の探索を行うことで，結論 e に対する差分支持集合 $\{f, g\}$ を得る．差分支持集合 $\{f, g\}$ に対してトップダウン推論を行う．

f は葉ノードであるので，解決集合に $\mathrm{ex}(f)$ を追加する．g に関して，$PC(g)$ より g を支持する論証 h のラベルは in である必要がある．また $PC(h)$ より $\mathcal{L}_{ubaf}(h1) = in$ かつ $\mathcal{L}_{ubaf}(j) = out$ を満たす必要がある（図 6 左）．さらに $NC(j)$ より，$\mathcal{L}_{ubaf}(j1) = out$ もしくは $\mathcal{L}_{ubaf}(k) = in$ のどちらかを満たせばよい（図 6 右）．$\mathcal{L}_{ubaf}(j1) = out$ を選んだ場合，解決集合 $\{\mathrm{ex}(f), \mathrm{ex}(h1), \mathrm{ab}(j1)\}$ を得る．

再度のトップダウン推論によって得られた解決集合について，同様に各（不）存在論証の事実確認がされたとする．これにより双方向推論が一巡し，再度ボトムアップ推論を行うことができる．

例 6. 再度得られた BAF である baf'' を図 7 に示す．

結果として結論集合 $\{l, i\}$ を得る．$ubaf$ において差分支持関係がないため双方向推論が終了する．

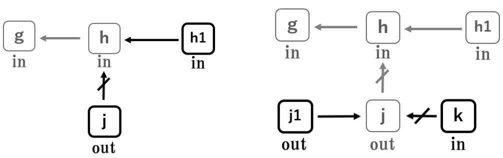

図 6: $PC(h)$（左）と $NC(j)$（右）

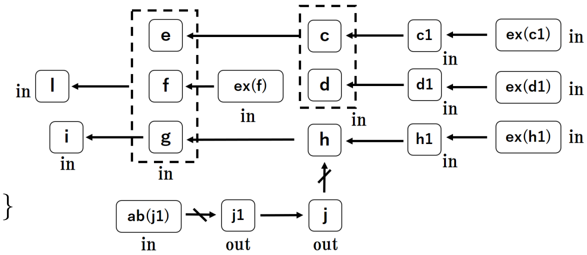

図 7: 再度のボトムアップ推論によって得られた baf''

3.3 双方向推論の非決定性

トップダウン推論において NC は非決定的であるため双方向推論は複数解をもつ．例えば先の例中の $NC(j)$ において，$\mathcal{L}_{ubaf}(k) = in$ を満たす場合を考える．このとき結果として得られる解決集合は $\{\mathrm{ex}(f), \mathrm{ex}(h1), \mathrm{ex}(k1)\}$ であり，その後ボトムアップ推論を行うことで異なる BAF が得られる (図 8)．

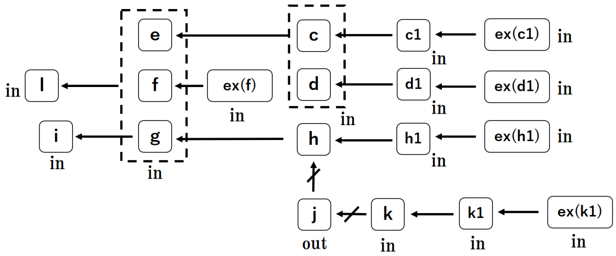

図 8: 再度のボトムアップ推論によって得られた完全ラベリング付き BAF の別解

ここで，$\mathcal{L}_{ubaf}(k) = in$ を満たす場合を選択したとき，論証 j はトップダウン推論において攻撃関係を辿ることで出現する．ボトムアップ推論では $ubaf$ における支持関係によって推論を行うため，j のような攻撃関係のみを辿る論証を推論することができない．そのため文献 [6] で示した手法では j,$\mathrm{att}(j, h)$ 及び $\mathrm{att}(k, j)$ は BAF に追加されない．しかし，$\mathrm{ex}(k1)$ は j を辿ることよって導出した存在論証であるから，ユーザに j を提示することを考慮する必要がある．そのため攻撃関係のみを辿る論証を BAF の論証として追加することで，ボトムアップ推論で導出することを可能にしている．これによって，図 8 のように $\mathrm{ex}(k1)$ が結論 l に対してどのような関連があるかを把握することができる．

4 まとめ

双方向推論手法を一部改訂することで，トップダウン推論において出現した論証を双極議論フレームワークに提示できるようにした．これにより，存在論証と

結論の関わりが明確に図示され，その関係を把握することが容易となった．今後はこの双方向推論を実装し，さらなる改良を目指す．

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP17H06103 の助成を受けたものである．

参考文献

[1] Amgoud, L., Cayrol, C., Lagasquie-Schiex, M. C., and Livet, P., On bipolarity in argumentation frameworks, *International Journal of Intelligent Systems*, Vol. 23, No. 10, pp. 1062 - 1093(2008).

[2] Baroni, P., Caminada, M., and Giacomin, M., An introduction to argumentation semantics, *The Knowledge Engineering Review*, Vol. 26, No. 4, pp. 365 - 410(2011).

[3] Cayrol, C. and Lagasquie-Schiex, M., Bipolar abstract argumentation systems, *Argumentation in Artificial Intelligence*, pp. 65 - 84(2009).

[4] 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, No. 2, pp. 321 - 357(1995).

[5] Kawasaki, T., Moriguchi, S., and Takahashi, K., Transformation from PROLEG to a bipolar argumentation framework, *Proc. of SAFA2018*, pp. 36 - 47(2018).

[6] Kawasaki, T., Moriguchi, S., and Takahashi, K., A hybrid reasoning on a bipolar argumentation framework, *Scalable Uncertainty Management*, pp. 79 - 92(2019).