常識推論における推論の選択と文脈処理への応用

冨浦洋一[†] 市丸夏樹[††] 日高達[†]

文章の，構文構造，単語の意味，照応関係などに複数の候補がある場合，文章の前後の繋がり（結束性）からその候補を絞り込むことが考えられる．従来，文章の表層的な結束性を利用した処理が研究されてきたが，さらに処理精度を向上させるためには，意味的な結束性に基づく処理（たとえば，“α しかし β” のような逆接の文章において，α から $\neg\beta$ が推論されることを利用して，曖昧さを絞り込む処理）が必要となる．しかし，人が行う推論は，いわゆる常識推論であり，確実な知識だけでなく不確実な知識も用いた推論である．このような推論では，互いに矛盾する結果を推論することがあり，人は多くの場合，どちらか一方を信じる傾向にある．人が文章の結束性を判断する場合にも，このような推論を行っていると考えられる．そこで本論文では，常識推論を取り扱った Reiter のデフォルト論理に，このような推論結果の優先付けの機能を加え，この枠組で順接や逆接の文章が意味的結束性を持つための必要条件を設定し，これに基づいて曖昧さを絞り込む手法を提案する．

Preference on Common Sense Reasoning and Application to Contextual Processing

Yoichi Tomiura,[†] Natsuki Ichimaru[††] and Toru Hitaka[†]

When there are some candidates for syntactic structures, word meanings and anaphoric relations in a text, it can be thought to narrow them down using contextual information. Processings based on the surface coherence have been studied, but it's necessary to narrow down such candidates based on the semantic coherence (for example, α is inconsistent with β in “α but β”) in order to improve the quality of processing. Our reasoning is, however, what we call common sense reasoning, and it is using not only certain knowledge but also uncertain one. While two inconsistent conclusions are deduced through such a reasoning, we usually believe only one of them. We suppose we use such a reasoning when we judge whether an interpretation of a text is coherent semantically or not. Then we add the function of preference for conclusions to Reiter's Default Logic, one of logical frameworks dealing with uncertain (or incomplete) knowledge, and propose how to narrow down candidates for interpretations of a text, based on the necessary condition for the semantic coherence on this logic.

1. はじめに

文章の，構文構造，単語の意味，照応関係などに複数の候補がある場合，人は前後の繋がり（結束性）からその候補を絞り込むことができる．従来，隣接性条件[5)]（たとえば，『川』や『渡る』という単語が近くの文に現れている文で，『はし』という単語が現れると，それは『箸』ではなく『橋』であるという文間に跨る共起関係）による処理や，焦点を利用して照応関係を推定する処理など，文章の表層的な結束性を利用した処理が研究されてきたが，さらに処理精度を向上させるためには，意味的結束性を利用した処理が必要となる．

たとえば，『α だから β』のような順接の文章では，α から β が推論され，『α しかし β』のような逆接の文章では，α から $\neg\beta$ が推論される（5章で示す疑似逆接，対比の場合を除く）．このような関係を，順接・逆接の文章が意味的結束性を持つための必要条件と考え，各種の曖昧さを絞り込むことに利用できる．

しかし，我々が行う推論は，古典論理で行われるような推論ではなく，不確実な知識も用いた推論（常識推論）である．このような推論では，互いに矛盾するいくつかの結論を導くが，そのすべてを等しく信頼し

† 九州大学工学部情報工学科
Department of Computer Science and Communication Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University
†† 九州大学大学院総合理工学研究科情報システム学専攻
Department of Information Systems, Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University

ているわけではなく，一つ（あるいはいくつか）を優先する．我々が文章の結束性を判断する場合にも，このような推論を行っていると考えられる．

本論文では，まず，順接・逆接の文章が意味的結束性を持つための必要条件を常識推論を取り扱った論理の一つである Reiter のデフォルト論理を用いて設定し，これが，文章の曖昧さを絞り込むのに役立つこと，および，推論結果の選択の機能が必要であることを述べる（3章）．次に，デフォルト論理にこの機能をどのように取り入れるかを述べ（4章），これを用いて順接・逆接の文章が意味的結束性を持つための必要条件を設定し直し，文脈処理への適用例を示す（5章）．

2. デフォルト論理

常識推論を扱う論理の一つとして，Reiter のデフォルト論理 (Default Logic)[1] がある．これは，デフォルトと呼ばれる規則を導入して，一階述語論理を拡張したものである．特に，

$$\frac{\alpha : \beta}{\beta}$$

の形式をしたデフォルトは正規デフォルト (normal default) と呼ばれ，直観的には，

$\neg\beta$ が導かれない限り，α から β が導かれる．

という条件付きの推論規則と捉えることができる．ここで，α，β は一階述語論理の整式であり，α を条件，β を帰結と呼ぶ．デフォルト中の自由変数は基礎項 (ground term) の集合の上を動くメタ変数であり，デフォルトのメタ変数を基礎項で置き換えたものをそのデフォルトの基礎例 (ground instance) と呼ぶ．メタ変数を含むデフォルトはそのすべての基礎例を代表していると考える．

デフォルト理論 (Default Theory) は，対 (D, W) により定義される．W は一階述語論理の整式の集合，D はデフォルトの集合である．D がすべて正規デフォルトであるデフォルト理論 (D, W) を正規デフォルト理論 (Normal Default Theory) と呼ぶ．正規デフォルト理論は，

- その理論から導かれる式の集合 (extension) が必ず存在する．
- デフォルトの集合に対して単調である．

などの性質があり，しかも，正規デフォルト理論で一般のデフォルト理論の多くを表現することができる．そこで，常識推論の枠組として正規デフォルト論理を用いる．

(D, W) を正規デフォルト理論とする．D 中のデフォルト d $(=(\alpha:\beta)/\beta)$ を『α から β を導く』という推論規則と捉えて，これと通常の一階の述語論理の推論規則とを用いて W と一階述語論理の公理とから ω を導くことができ，さらに，ω を導くのに用いたデフォルトを

$$\frac{\alpha_1 : \beta_1}{\beta_1}, \cdots, \frac{\alpha_n : \beta_n}{\beta_n}$$

とすると，

$$W \cup \{\beta_1, \cdots, \beta_n\}$$

が充足可能であるとする．このとき，正規デフォルト理論 (D, W) から ω が導けると言う（付録参照）．

【例1】 デフォルト理論 (D,W) を考える．ただし，

$$D=\left\{\frac{P(x) : Q(x)}{Q(x)},\ \frac{Q(x) : R(x)}{R(x)}\right\},$$

$$W=\{S(a), P(a), \forall x[R(x) \supset \neg S(x)]\}$$

とする．$(P(a) : Q(a))/Q(a)$ を用いて，$Q(a)$ を導くことができ，

$$W \cup \{Q(a)\}$$

は充足可能であるので，(D, W) から $Q(a)$ が導ける．一方，$(P(a) : Q(a))/Q(a)$，$(Q(a) : R(a))/R(a)$ を用いて，$R(a)$ を導くことができるが，

$$W \cup \{Q(a),\ R(a)\}$$

は充足不可能であるので，(D, W) から $R(a)$ は導けない．□

3. デフォルト論理の文脈処理への応用とその問題点

不確実な知識を正規デフォルトを用いて表し，順接や逆接の接続詞で結ばれる文間に意味的な結束性があるための必要条件を次のように設定する．

【仮定1】 デフォルト理論による意味的結束性の必要条件

不確実な知識を含む理論を (D, W) で表現する．このとき，『s_1 だから s_2』のような順接の接続詞で結ばれる文間☆に，意味的結束性があるための必要条件は，$(D, W \cup \{S_1\})$ から S_2 が導けることである．また，『s_1 しかし s_2』のような逆接の接続詞で結ばれる文間に，意味的結束性があるための必要条件は，$(D, W \cup \{S_1\})$

☆ s_1 は単一の文とは限らず複数の文であることもある．この場合 S_1 は，各文に対応する論理式の論理積となる．ただし，接続詞のスコープをどのようにして決定するかは文章全体の結束性と関係するので本論文では省略する．

から S_2 に矛盾する結論が導けることである．ただし，S_1，S_2 はそれぞれ s_1，s_2 に対応する論理式である．　□

【例２】
（ａ）太郎は薬を飲んだ．だから，死ななかった．
（ｂ）太郎は薬を飲んだ．しかし，死ななかった．

『薬』は多義語であり，『良薬』と『毒薬』の二つの意味があるとする．したがって，『太郎は薬を飲んだ．』に対応する論理式は，『薬』の意味に応じて，それぞれ，

α_1：良薬$(a)\wedge$飲む(太郎，a)，

α_2：毒薬$(a)\wedge$飲む(太郎，a)

なる論理式に対応する☆．

『死ななかった』に対応する論理式は，

β：$\neg$死ぬ(太郎)

である．D は，

$$\frac{良薬(y)\wedge 飲む(x,y):\neg 死ぬ(x)}{\neg 死ぬ(x)},$$

$$\frac{毒薬(y)\wedge 飲む(x,y):死ぬ(x)}{死ぬ(x)}$$

からなる集合であり，$W=\{\}$ とする．このとき，$(D, W\cup\{\alpha_1\})$ からは，β が導かれ，$(D, W\cup\{\alpha_2\})$ からは β は導かれない．したがって，（ａ）の場合，順接での結束性があるための必要条件を満足する

『薬』=『良薬』

とする解釈が選択できる．また，$(D, W\cup\{\alpha_1\})$ からは，$\neg\beta$ は導かれず，$(D, W\cup\{\alpha_2\})$ からは $\neg\beta$ が導かれる．したがって，（ｂ）の場合，逆接での結束性があるための必要条件を満足する

『薬』=『毒薬』

とする解釈が選択できる．　□

ところが，デフォルト推論では，互いに矛盾するいくつかの結論を導くことがある．人の推論においても，そのような場合があるが，そのすべてを等しく信頼しているわけではなく，一つ（あるいはいくつか）を優先する．２章で述べたデフォルト論理では，互いに矛盾するいくつかの推論結果から一つ（あるいはいくつか）を優先するというような機能はない．したがって，人が判断すれば意味的結束性がないにもかかわらず，この論理的枠組では意味的結束性を持つための必要条件を満足することになり，解釈の曖昧さをうまく絞れないことがある．

☆ 簡単のために時制は無視する．

【例３】
花子は高校生だ．
母は病気にかかっている．
だから，家事に忙しい．

三番目の文の主語の候補としては『花子の母』が考えられる．この場合，三番目の文は，

β：家事に忙しい(m)

に対応する．ただし，'m' は『花子の母』を表す定数である．前二文は，

α：高校生(花子)$\wedge$母$(m,$ 花子$)\wedge$病気だ(m)

に対応する．ただし，'母 (x,y)' は『x が y の母である』ことを意味する．以下の (D, W)：

$D=\{d_1, d_2\}$，　$W=\{\}$，

$$d_1=\frac{母(x,y):家事に忙しい(x)}{家事に忙しい(x)}$$

$$d_2=\frac{母(x,y)\wedge 病気だ(x):\neg 家事に忙しい(x)}{\neg 家事に忙しい(x)}$$

を考える．『だから』のスコープを前二文と考える．$(D, W\cup\{\alpha\})$ から互いに矛盾する結論，'家事に忙しい(m)' と '$\neg$家事に忙しい(m)' とが導かれる．前者は β そのものであるから，定義１に従えば，省略された主語を『(花子の) 母』とする解釈も可能となる．しかし，人が判断するならば，α から β を（優先的に）推論することはなく，この解釈には意味的結束性がないとみなすのが妥当である．　□

4. 常識推論における推論の選択

不確実な知識を用いて推論する場合，互いに矛盾するいくつかの命題が導かれることがある．これは，multi extension problem として広く知られている．Reiter のデフォルト論理に基づいて意味的結束性を持つための必要条件を定義し，これを利用して，構文構造，単語の意味，照応関係などの構造的曖昧さを絞り込む場合もその例外ではなく，multi extension problem のために，例３のように，文章の構造的曖昧さを十分に絞り込めない場合がある．したがって，人の推論により近い論理的枠組として，互いに矛盾するいくつかの推論結果から，ある結論を優先する機能を持ったデフォルト論理を用いて，意味的結束性を持つための必要条件を設定し直す必要がある．

では，どのようにして，推論結果の選択を行うのが適切であろうか．たとえば，デフォルトに信頼度を付与しておき，これに基づいて推論の選択を行うことが考えられる．すなわち，(D, W) から w が導かれる

とき，この推論で用いられた各デフォルトの信頼度から，この推論の信頼度を求め，(D, W) から w を導く推論と，(D, W) から $\neg w$ を導く推論の信頼度に基づき，一方の推論を選択することができる．しかし，すべての命題の組 $(w, \neg w)$ に対して，人がより確からしいと思う命題への推論を選択するように，各デフォルトに信頼度を付与することは，一般に困難であり，人の場合も，このようなグローバルな評価をしているとは考えられない．

一方，帰結が互いに矛盾する二つのデフォルトのうち一方をより信頼するか否か（デフォルト間の優先関係）を判断することは比較的容易である．そこで本論文では，デフォルト間に優先関係を付与し，この関係を用いて推論の選択の機能を実現する手法を述べる．さらに，デフォルト間の優先関係が満たすべき性質を考察し，この関係をある程度自動的に付与する手法を述べる．

4.1 優先関係付きデフォルト論理

デフォルト間の優先関係 $\succ$ を導入する．デフォルト d_1, d_2 を

$$d_1=\frac{\alpha_1(\boldsymbol{x}):\beta_1(\boldsymbol{x})}{\beta_1(\boldsymbol{x})},\quad d_2=\frac{\alpha_2(\boldsymbol{x}):\beta_2(\boldsymbol{x})}{\beta_2(\boldsymbol{x})}$$

とする．ただし，$\boldsymbol{x}$ は変数の組 $x_1, \cdots, x_n$ を表す．2章でも述べたように，デフォルトに現れる自由変数は，基礎項 (ground term) の集合の上を動くメタ変数である．$d_1 \succ d_2$ は，

$\alpha_1(\boldsymbol{t}) \wedge \alpha_2(\boldsymbol{t})$ が導けるような任意の基礎項の組 $\boldsymbol{t}$ に対して，d_1 を適用して $\beta_1(\boldsymbol{t})$ を導く推論が，d_2 を適用して $\beta_2(\boldsymbol{t})$ を導く推論より確からしい

ことを意味する．

上述のデフォルト間の優先関係を付与したデフォルト理論を優先関係付きデフォルト理論と呼び，$(D, W, \succ)$ で表す．前向き推論を仮定し*，デフォルト間の優先関係を考慮するならば，$\succ$ の意味より，推論に際してデフォルトの適用に以下の制約を加えることになる．

【デフォルト適用に関する制約】

デフォルト d_i を適用する場合，『$d \succ d_i$ であり，それまでの推論結果から d の条件が成立することが示され，かつ d の帰結がそれまでの推論結果と無矛盾である』ようなデフォルト d があってはならない．

(D, W) からの ω への推論で適用されたデフォルトを適用された順に並べた列を (D, W) から ω を導くデフォルト列と呼ぶ．上述の制約はデフォルト列に対する制約として以下のように記述できる．

【定義1】 デフォルト理論 (D, W) からある推論により ω が導かれ，この推論におけるデフォルト列を

$d_1, \cdots, d_m \ (d_i=(\alpha_i:\beta_i/\beta_i))$

とする．任意の $i\ (1 \le i \le m)$ に対して，

以下を満たす $d\ (=(\alpha:\beta/\beta))$ が存在しない．

$$\begin{cases} d \in D, \\ d \succ d_i \\ W \cup \{\beta_1, \cdots, \beta_{i-1}\} \vdash \alpha, \\ W \cup \{\beta_1, \cdots, \beta_{i-1}, \beta\} \nvdash \bot \end{cases}$$

が成立するとき，優先関係付きデフォルト理論 $(D, W, \succ)$ において ω を優先的に推論すると言う（ただし，$\bot$ は矛盾を示す）． □

【例4】 次のような知識を考える．

お腹が鳴くと，その人は空腹であると考えられる．空腹ならば，食事をするであろう．ところが，空腹であっても，（胃の検査などで）絶食中であるならば，食事をしないであろう．

これを以下のデフォルト理論 (D, W) で表したとする．

$D=\{d_1, d_2, d_3\}$，$W=\{\}$

ただし，

$$d_1=\frac{\text{お腹が鳴る}(x):\text{空腹だ}(x)}{\text{空腹だ}(x)},$$

$$d_2=\frac{\text{空腹だ}(x):\text{食事をする}(x)}{\text{食事をする}(x)},$$

$$d_3=\frac{\text{空腹だ}(x)\wedge\text{絶食中}(x):\neg\text{食事をする}(x)}{\neg\text{食事をする}(x)}.$$

である．さらに，デフォルト間の優先関係として

$d_3 \succ d_2$

のみが成立しているとする．今，『太郎のお腹が鳴ったが絶食中である』，つまり，

α：お腹が鳴る(太郎) ∧ 絶食中(太郎)

とする．このとき，$(D, W \cup \{\alpha\})$ から，デフォルト列 d_1，d_2 により，

食事をする(太郎)

が推論され，また，デフォルト列 d_1，d_3 により，

¬食事をする(太郎)

が推論される．$d_3 \succ d_2$ であるので，$(D, W \cup \{\alpha\}, \succ)$ において‘¬食事をする(太郎)’が優先的に推論されるが，‘食事をする(太郎)’は優先的には推論されな

---

* 順接・逆接の結束性があるための必要条件では，『α だから（しかし）β』なる文章に対して，α から前向き推論を行い，これから導かれることと，β との関係を考える．したがって，本章で提案する推論の選択は，前向き推論に限定した議論である．

い. □

4.2 条件の厳密さに基づくデフォルト間の優先関係

デフォルト間の優先関係 $\succ$ は，デフォルト d_1 を適用して得られる結果と d_2 を適用して得られる結果のいずれをより確からしいと考えるかという知識作成者の直観に基づいて付与されるものである．しかし，D 上の任意の二項関係が $\succ$ として許されるわけではなく，$\succ$ が満たさなければならない幾つかの性質がある．本節では，この性質を考察し，この性質を満たし，かつ，(D, W) から機械的に定義できる関係を考え，これを $\succ$ として代用することを述べる．

まず，$\succ$ は“より優先する”という関係であるので，サイクリックであってはならない．すなわち，以下の性質1が成立する．

【デフォルト間の優先関係 $\succ$ の性質1】 任意のデフォルト $d_1, d_2, \cdots, d_n$ $(\in D)$ に対して，

$$(d_1 \succ d_2) \land \cdots \land (d_{n-1} \succ d_n) \supset \neg(d_n \succ d_1)$$

が成立する． □

次に，デフォルト d_1, d_2 $(\in D)$

$$d_1 = \frac{\alpha_1(\boldsymbol{x}) : \beta_1(\boldsymbol{x})}{\beta_1(\boldsymbol{x})},\quad d_2 = \frac{\alpha_2(\boldsymbol{x}) : \beta_2(\boldsymbol{x})}{\beta_2(\boldsymbol{x})} \qquad (1)$$

に対して，どのような関係が成立すれば，$d_1 \succ d_2$ が成立するかを考察する．

このデフォルト間の優先関係が有用であるのは，d_1 を適用した場合と，d_2 を適用した場合とで，得られる結論が相反するものになる場合である．すなわち，

$$W \cup \{\alpha_1(\boldsymbol{x}), \alpha_2(\boldsymbol{x}), \beta_1(\boldsymbol{x}), \beta_2(\boldsymbol{x})\} \vdash \bot \qquad (2)$$

が成立する場合である．

さらに，

$$W \vdash \neg\exists \boldsymbol{x}[\alpha_1(\boldsymbol{x}) \land \alpha_2(\boldsymbol{x})]$$

ならば，同一の基礎項 (ground term) の組 $\boldsymbol{t}$ に対して，d_1 と d_2 が共に適用されることはないので，d_1 と d_2 の間に優先関係を設定する必要はない．したがって，優先関係を設定する必要があるのは，少なくとも

$$W \nvdash \neg\exists \boldsymbol{x}[\alpha_1(\boldsymbol{x}) \land \alpha_2(\boldsymbol{x})] \qquad (3)$$

が成立する場合である．このうちで d_1 の条件部が d_2 の条件部より厳しい場合，すなわち，

$$\begin{cases} W \vdash \forall \boldsymbol{x}[\alpha_1(\boldsymbol{x}) \supset \alpha_2(\boldsymbol{x})], \\ W \nvdash \forall \boldsymbol{x}[\alpha_2(\boldsymbol{x}) \supset \alpha_1(\boldsymbol{x})] \end{cases} \qquad (4)$$

が成立する場合*を考える．この場合，(2)が成立するならば，デフォルト理論 (D, W) の作成者は，任意の基礎項の組 $\boldsymbol{t}$ に対して，『$\alpha_2(\boldsymbol{t})$ が成立するときは，普通 $\beta_2(\boldsymbol{t})$ が成立する．ただし，より厳密な条件 $\alpha_1(\boldsymbol{t})$ が成立するときは，$\alpha_2(\boldsymbol{t})$ も成立するが，$\beta_2(\boldsymbol{t})$ ではなく，$\beta_1(\boldsymbol{t})$ が成立する．』と考えていると期待できる．したがって，(1)の d_1, d_2 に対して，(2)，(4)が成立するならば，$d_1 \succ d_2$ が成立する．

【デフォルト間の優先関係 $\succ$ の性質2】

$$d_1 = \frac{\alpha_1(\boldsymbol{x}) : \beta_1(\boldsymbol{x})}{\beta_1(\boldsymbol{x})},\quad d_2 = \frac{\alpha_2(\boldsymbol{x}) : \beta_2(\boldsymbol{x})}{\beta_2(\boldsymbol{x})}$$

なるデフォルト d_1, d_2 に対して，

$$\begin{cases} W \cup \{\alpha_1(\boldsymbol{x}), \alpha_2(\boldsymbol{x}), \beta_1(\boldsymbol{x}), \beta_2(\boldsymbol{x})\} \vdash \bot, \\ W \vdash \forall \boldsymbol{x}[\alpha_1(\boldsymbol{x}) \supset \alpha_2(\boldsymbol{x})], \\ W \nvdash \forall \boldsymbol{x}[\alpha_2(\boldsymbol{x}) \supset \alpha_1(\boldsymbol{x})] \end{cases}$$

が成立するとき，優先関係 $d_1 \succ d_2$ が成立する． □

【例5】

$$d_1 = \frac{\text{母}(x, y) : \text{家事に忙しい}(x)}{\text{家事に忙しい}(x)},$$

$$d_2 = \frac{\text{母}(x, y) \land \text{病気だ}(x) : \neg\text{家事に忙しい}(x)}{\neg\text{家事に忙しい}(x)}$$

に対して，$d_2 \succ d_1$ が成立する． □

【例6】

$$W \ni \forall x[\text{鳥}(x) \supset \text{動物}(x)]$$

$$W \nvdash \forall x[\text{動物}(x) \supset \text{鳥}(x)]$$

とする．このとき，

$$d_1 = \frac{\text{鳥}(x) : \text{飛ぶ}(x)}{\text{飛ぶ}(x)},$$

$$d_2 = \frac{\text{動物}(x) : \neg\text{飛ぶ}(x)}{\neg\text{飛ぶ}(x)}$$

に対して，$d_1 \succ d_2$ が成立する． □

(D, W) が与えられたとき，一意に決定される関係 $\succ_{\langle D,W \rangle}$ を導入する．

【定義2】 優先関係 $\succ_{\langle D,W \rangle}$

(D, W) をデフォルト理論とする．

$$d_1 = \frac{\alpha_1(\boldsymbol{x}) : \beta_1(\boldsymbol{x})}{\beta_1(\boldsymbol{x})},\quad d_2 = \frac{\alpha_2(\boldsymbol{x}) : \beta_2(\boldsymbol{x})}{\beta_2(\boldsymbol{x})}$$

なるデフォルト d_1, d_2 $(\in D)$ に対して，

$$\begin{cases} W \cup \{\alpha_1(\boldsymbol{x}), \alpha_2(\boldsymbol{x}), \beta_1(\boldsymbol{x}), \beta_2(\boldsymbol{x})\} \vdash \bot, \\ W \vdash \forall \boldsymbol{x}[\alpha_1(\boldsymbol{x}) \supset \alpha_2(\boldsymbol{x})], \\ W \nvdash \forall \boldsymbol{x}[\alpha_2(\boldsymbol{x}) \supset \alpha_1(\boldsymbol{x})] \end{cases} \qquad (5)$$

が成立するとき，かつそのときに限り，$d_1 \succ_{\langle D,W \rangle} d_2$ が成立する． □

---

* d_1 が推論において用いられる可能性がないのであれば d_1 を D に入れるのは無意味である．したがって，少なくとも，

$$W \nvdash \neg\exists \boldsymbol{x}\alpha_1(\boldsymbol{x})$$

が成立すると仮定できる．この仮定から(4)（の第一式）が成立している場合，条件(3)が成立していることが示せる．

【定理】 条件の厳密さに基づくデフォルト間の優先関係 $\succ_{(D,W)}$ はデフォルト間の優先関係の持つ性質1および2を満足する．

[証明] 性質1が成立しないと仮定すると，(5)の第2式，第3式より，矛盾が導ける．よって，$\succ_{(D,W)}$ は性質1を満足する．性質2は自明である．□

$\succ_{(D,W)}$ は必ずしも (D, W) の作成者が直観的に考えている $\succ$ とは一致しないが，上記定理のように $\succ_{(D,W)}$ はデフォルト間の優先関係の性質1および2（すなわち，$\succ$ であるための必要条件）を満足するので，$\succ$ を $\succ_{(D,W)}$ で代用することが考えられる．

優先関係付きデフォルト理論 $(D, W, \succ)$ が与えられたとして，$d_1 \succ d_2$ であるにもかかわらず，(2)は成立するが，(4)が成立しないデフォルト

$$d_1=\frac{\alpha_1(\boldsymbol{x}):\beta_1(\boldsymbol{x})}{\beta_1(\boldsymbol{x})},\quad d_2=\frac{\alpha_2(\boldsymbol{x}):\beta_2(\boldsymbol{x})}{\beta_2(\boldsymbol{x})}$$

が存在する場合がある．しかしこの場合でも，次のように D を変更して新たな D' を構成することにより，(D', W) に対して，条件の厳密さに基づくデフォルト間の優先関係 $\succ_{(D',W)}$ を求めて構成した優先関係付きデフォルト理論 $(D', W, \succ_{(D',W)})$ から優先的に推論される結果と $(D, W, \succ)$ から優先的に推論される結果が等しくなるようにできる．

(a) 条件部が同値の場合，すなわち，

$$W\vdash \forall \boldsymbol{x}[\alpha_1(\boldsymbol{x})\equiv\alpha_2(\boldsymbol{x})] \tag{6}$$

が成立する場合，d_2 を

$$\frac{\alpha_2(\boldsymbol{x})\wedge\neg\beta_1(\boldsymbol{x}):\beta_2(\boldsymbol{x})}{\beta_2(\boldsymbol{x})}$$

に変更する．

(b) その他の場合，すなわち，(4)も(6)も成立しないが，(3)が成立する場合，

$$d_3=\frac{\alpha_1(\boldsymbol{x})\wedge\alpha_2(\boldsymbol{x}):\beta_1(\boldsymbol{x})}{\beta_1(\boldsymbol{x})}$$

を追加する．

【例7】

$$d_1=\frac{\text{りんご}(x):\text{赤い}(x)}{\text{赤い}(x)},$$

$$d_2=\frac{\text{りんご}(x):\text{青い}(x)}{\text{青い}(x)}$$

に対して，$d_1 \succ d_2$ ならば，d_2 を以下のデフォルトに変更する．

$$\frac{\text{りんご}(x)\wedge\neg\text{赤い}(x):\text{青い}(x)}{\text{青い}(x)}$$ □

【例8】

$$W\nvdash\neg\exists x[\text{大学生}(x)\wedge\text{大人}(x)],$$

$$D\ni\begin{cases} d_1=\dfrac{\text{大学生}(x):\neg\text{働いている}(x)}{\neg\text{働いている}(x)}, \\ d_2=\dfrac{\text{大人}(x):\text{働いている}(x)}{\text{働いている}(x)} \end{cases}$$

とする．$d_1 \succ d_2$ ならば，

$$\frac{\text{大学生}(x)\wedge\text{大人}(x):\neg\text{働いている}(x)}{\neg\text{働いている}(x)}$$

を追加する．□

4.3 関連研究との比較

不確実な知識を用いた推論において，互いに矛盾するいくつかの推論結果の中から一つ（あるいはいくつか）を優先するために，すでにいくつかの手法が提案されている．

Poole[2] では，厳密により特殊 (strictly more specific) という関係を導入して，推論結果の選択を行う．真であることを前提とする事実 (necessary fact) を F_n，偶然に真となる事実 (contingent fact) を F_c，デフォルト（仮説）の集合を H，その要素の基礎例の部分集合を h とすると，

$F_n\cup F_c\cup h\vdash g$ （ただし，$F_n\cup F_c\cup h$ は無矛盾）

であるとき，$\langle h, g\rangle$ を解と呼ぶ．$S_1=\langle h_1, g_1\rangle$，$S_2=\langle h_2, g_2\rangle$ を解とすると，任意の可能な事実 F_p に対して，

$F_p\cup h_1\cup F_n\vdash g_1$ & $F_p\cup h_2\cup F_n\nvdash g_1$ ならば $F_p\cup h_2\cup F_n\vdash g_2$

であるとき，S_1 は S_2 より特殊 (more specific) であると言い，$S_1\geq S_2$ と記す．さらに，$S_1\geq S_2$ かつ $\neg(S_2\geq S_1)$ であるとき，S_1 は S_2 より厳密に特殊 (strictly more specific) であると言い，$S_1>S_2$ と記す．そして，最も特殊な解 $\langle h, g\rangle$ の結論 g を優先する．

しかし，Poole の手法では，直観に反する優先付けをする場合があり（例9，例10参照），形式化が不適切である．

【例9】

$H=\{P(x)\supset Q(x), Q(x)\supset R(x), P(x)\supset\neg R(x)\}$

$F_n=\{\}$，$F_c=\{P(a)\}$

$S_1=\langle\{P(a)\supset\neg R(a)\}, \neg R(a)\rangle$

$S_2=\langle\{P(a)\supset Q(a), Q(a)\supset R(a)\}, R(a)\rangle$

とすると，$S_1>S_2$ である．

一方，上述の H が，

$$\left\{\frac{P(x):Q(x)}{Q(x)}, \frac{Q(x):R(x)}{R(x)}, \frac{P(x):\neg R(x)}{\neg R(x)}\right\}$$

に対応し，F_n が W に対応するとして，定義2に従って $\succ_{(D,W)}$ を求めた優先関係付きデフォルト理論 $(D, W, \succ_{(D,W)})$ では，$\neg R(a)$ と $R(a)$ のうち一方を

より優先するとは言えない．

しかし，上記例のような優先付けは，

$P(x)$…高価な品物である(x)

$Q(x)$…良質な品物である(x)

$R(x)$…買いたくなる品物である(x)

のように具体的な述語を割り当てた場合を考えると，常に正しい優先付けであるとは限らない．『高価な品物である』が分かった時に，『買いたくなる』か否かは，『高価な品物でありかつ良質な品物である』ときに『買いたくなる』か否かを知識作成者が判断すべきもので，自動的に一方を優先すべきものではない．□

【例10】

$$H=\{P(x)\supset R(x),\ Q(x)\supset\neg R(x),\ S(x)\supset U(x),\ T(x)\supset\neg U(x)\},$$
$$F_n=\{\forall x[P(x)\supset Q(x)],\ \forall x[S(x)\supset T(x)]\},$$
$$F_c=\{P(a),S(a)\},$$
$$S_1=\langle\{P(a)\supset R(a),S(a)\supset U(a)\},R(a)\wedge U(a)\rangle,$$
$$S_2=\langle\{Q(a)\supset\neg R(a),T(a)\supset\neg U(a)\},\neg R(a)\wedge\neg U(a)\rangle,$$

H, F_n, F_c では，$R(a)$ を $\neg R(a)$ より優先し，$U(a)$ を $\neg U(a)$ より優先する．しかし，$S_1>S_2$ であることが示せない（これは，Poole 自身が直観に反する優先付けを行う例として挙げているものに類似の例である）．

一方，上述の H が

$$D=\left\{\frac{P(x):R(x)}{R(x)},\ \frac{Q(x):\neg R(x)}{\neg R(x)},\ \frac{S(x):U(x)}{U(x)},\ \frac{T(x):\neg U(x)}{\neg U(x)}\right\}$$

に対応し，F_n が W に対応するとして，定義2に従って $\succ_{(D,W)}$ を求めた優先関係付きデフォルト理論 $(D, W, \{P(a),S(a)\},\succ_{(D,W)})$ では，$R(a)\wedge U(a)$ を $\neg R(a)\wedge\neg U(a)$ より優先的に推論すると言える．□

Brewka[4] は Poole[3] の枠組を拡張したデフォルト論理である．デフォルトの集合をその信頼度に応じて階層に分けたり，デフォルト間に信頼度を表す半順序関係を導入したりして，デフォルト間の優先関係を表す．この優先関係に基づいて，最も優先される，デフォルトの ground instance の部分集合と曖昧でない知識 W の和集合 (preferred subtheory) を定義し，これから推論される結論を優先する．

さらに，自動的にデフォルトを階層に分ける手法を提案しているが，基本的には，デフォルト $\alpha_1(\boldsymbol{x})\supset\beta_1(\boldsymbol{x})$ と $\alpha_2(\boldsymbol{x})\supset\beta_2(\boldsymbol{x})$ が，

$$\begin{cases}W\vdash\forall\boldsymbol{x}[\alpha_1(\boldsymbol{x})\supset\alpha_2(\boldsymbol{x})],\\ W\nvdash\forall\boldsymbol{x}[\alpha_2(\boldsymbol{x})\supset\alpha_1(\boldsymbol{x})]\end{cases}$$

のとき，$\alpha_1(\boldsymbol{x})\supset\beta_1(\boldsymbol{x})$ の信頼度が $\alpha_2(\boldsymbol{x})\supset\beta_2(\boldsymbol{x})$ より高くなるように階層化する．上式は(4)と同一であり，『条件のより厳密な知識を優先する』という，優先付けにおける基本的な考え方自体は文献4）ですでに述べられている．しかし，文献4) で述べられている手法では，上記の条件によりデフォルト d_1 を階層 T_1 に入れ，d_2 をそれより優先されない T_2 に入れた場合，上式により直接比較したわけではない $d(\in T_1)$ と d_2 に対しても，d を d_2 より優先することになる．また，

$$A(x)\wedge B(x)\supset C(x),\quad A(x)\supset\neg B(x)\vee C(x)$$

の二つの式は同値であるが，条件部を $A(x)$ と考えるか，$A(x)\wedge B(x)$ と考えるかで，他のデフォルトとの優先関係が変わる場合がある．したがって，どこを条件部と考えるかを指定する機能が必要である．

5. 優先関係付きデフォルト理論の文脈処理への応用

『優先的に推論する』という概念を用いて，仮定1より厳しい必要条件を設定する．ただし，『s_1 しかし s_2』には，3章で述べた逆接の他に，『彼は川で溺れた．しかし，たまたま人が通りかかった．』のような，疑似逆接と呼ばれる用法，『太郎は昨日来た．しかし，私は今日来た．』のような対比の用法がある．疑似逆接では，s_1 から推論されることが，s_2 に矛盾することはない．文献6) によれば，これは，『s_1 しかし s_2 だから s_3』の s_3 が省略されたもので，s_1 からは，s_3 に矛盾することが推論されるが，s_2 を考慮すると，s_3 が推論されるというものである（先の例では s_3 は『死ななかった』と考えられる）．したがって，この場合，ある論理式 ω に対して『$(D, W\cup\{S_1\},\succ)$ において ω に矛盾する結論が優先的に推論され，$(D, W\cup\{S_1, S_2\},\succ)$ において ω が優先的に推論される』という関係が成立している．また，対比の用法では，表層的な特徴（結束性）がある[7]．

【仮定2】 優先関係付きデフォルト理論による意味的結束性の必要条件

不確実な知識を D，真であることを前提とする事実を W，D 上の優先関係付を $\succ$ とする．『s_1 だから s_2』のような順接の接続詞で結ばれる文間に，意味的結束性があるための必要条件は，$(D, W\cup\{S_1\},\succ)$ において S_2 が優先的に推論されることである．また，

『s_1 しかし s_2』のような逆接の接続詞で結ばれる文間に，逆接あるいは疑似逆接での意味的結束性があるための必要条件は，$(D, W\cup\{S_1\}, \succ)$ において S_2 に矛盾する結論が優先的に推論されるか，あるいは，ある論理式 ω に対して，$(D, W\cup\{S_1\}, \succ)$ において ω に矛盾する結論が優先的に推論され，$(D, W\cup\{S_1, S_2\}, \succ)$ において ω が優先的に推論されることである．ただし，S_1, S_2 はそれぞれ s_1, s_2 に対応する論理式である． □

デフォルト間の優先関係は知識を記述する段階で決まっており，(文章を読んだりして) 新しく事実を観測したことにより，デフォルト間の優先関係が変化することはない．したがって，$\succ$ を条件の厳密さに基づく優先関係で代用する場合，たとえば，上記の $(D, W\cup\{S_1\}, \succ)$ では $\succ$ は $\succ_{(D, W\cup S_1)}$ ではなく $\succ_{(D,W)}$ で代用する．

順接の接続詞で結ばれる文章に，構文構造，単語の意味，照応関係などに曖昧さがある場合，順接での意味的結束性を持つための必要条件を満足するものを選ぶことにより，曖昧さを絞り込むことができる．また，『しかし』のような接続詞で結ばれる文章に，構文構造，単語の意味，照応関係などに曖昧さがある場合，文献 7) で示されるような対比の用法の表層的特徴があるかあるいは逆接または疑似逆接での意味的結束性を持つための必要条件を満足するものを選ぶことにより，曖昧さを絞り込むことができる．

先の例 3 は次のように解決できる．

【例 11】 (例 3 の続き)

三番目の文の省略された主語として，『花子の母』と『花子』が考えられる．例 3 のデフォルト d_1, d_2 のほかに

$$d_3=\frac{\text{高校生}(x):\neg\text{家事に忙しい}(x)}{\neg\text{家事に忙しい}(x)},$$

$$d_4=\frac{P(x,y):\text{家事に忙しい}(x)}{\text{家事に忙しい}(x)},$$

$$(P(x,y)=\text{高校生}(x)\wedge\text{母}(y,x)\wedge\text{病気だ}(y))$$

を加えたデフォルトの集合 D を考える．デフォルト間の優先関係は，

$$d_2\succ d_1,\ d_4\succ d_3$$

であるとする．三番目の文の省略された主語を『花子の母』と解釈した場合，$(D, W\cup\{\alpha\}, \succ)$ において β は優先的に推論されないので，この解釈は順接の意味的結束性を持つための必要条件を満足しない．一方，三番目の文の省略された主語を『花子』と解釈すると，この文に対応する論理式は，

$$\beta':\text{家事に忙しい}(\text{花子})$$

であり，$(D, W\cup\{\alpha\}, \succ)$ において β' は優先的に推論されるので，この解釈は順接の意味的結束性を持つための必要条件を満足する．以上より，三番目の文の省略された主語を『花子』とする解釈に絞り込むことができる． □

6. あとがき

我々が行う常識推論では，不確実な知識も用いて推論が行われる．このような推論では，互いに矛盾するいくつかの結論を導くが，そのすべてを等しく信頼しているわけではなく，一つ (あるいはいくつか) を優先する．この機能を模倣するために，不確実な知識を含む知識からの推論を扱った Reiter のデフォルト論理を拡張し，デフォルト間に優先関係を導入し，この優先関係に基づいて推論結果の選択を行う手法を提案した．

さらに，この論理的枠組の自然言語処理への応用として，順接や逆接の接続詞で結ばれる文間に意味的結束性があるための必要条件をこの論理を用いて定義し，この必要条件に基づいて，文章の，構文構造，単語の意味，照応関係などの曖昧さを絞り込む手法を提案した．

良く知られているように，述語論理では，$\Gamma\vdash\alpha$ であるか否かの判定は一般には決定不可能であるから，

A．条件の厳密さに基づくデフォルト間の優先関係の付与の条件 (5) が成立するか否かの判定

B．デフォルト $(\alpha:\beta)/\beta$ を適用して良いか否か (すなわち，$\neg\beta$ が導かれないかどうか) の判定

は一般には決定不可能である．そこで，本論文で提案した推論を計算機上に実現するためには，何らかの制限を加えた推論 (たとえば，エルブラン空間の要素の関数の入れ子の深さを制限した推論や推論の深さを制限した推論) で上記の判定を近似することになる．ただし，上記 B の判定は，

$$\Gamma \mathrel{|\!\!\sim} \alpha \text{ ならば } \Gamma\vdash\alpha$$

であるような制限された推論 $\mathrel{|\!\!\sim}$ を用いて，(5) の代わりに

$$\begin{cases} W\cup\{\alpha_1(\boldsymbol{x}), \alpha_2(\boldsymbol{x}), \beta_1(\boldsymbol{x}), \beta_2(\boldsymbol{x})\}\mathrel{|\!\!\sim}\bot, \\ W\mathrel{|\!\!\sim}\forall\boldsymbol{x}[\alpha_1(\boldsymbol{x})\supset\alpha_2(\boldsymbol{x})], \\ W\mathrel{|\!\!\sim}\neg\forall\boldsymbol{x}[\alpha_2(\boldsymbol{x})\supset\alpha_1(\boldsymbol{x})] \end{cases} \qquad (7)$$

を優先関係付与の条件とする．明らかに，(7) が成立するならば，(5) 式が成立し，この条件に基づいて付

与した優先関係は4章の定理を満足する．

本論文で提案した手法を行うためには，単語の意味に関する知識，対象領域に関する知識が十分に蓄積されていなければならない．これらをどのようにして収集するかが大きな問題である．

参考文献

1) Reiter, R.: A Logic for Default Reasoning, *Artif. Intell.*, Vol. 13, pp. 81-132 (1980).
2) Poole, D. L.: On the Comparison of Theories: Preferring the Most Specific Explanation, *Proc. of IJCAI '85*, pp. 144-147 (1985).
3) Poole, D. L.: A Logical Framework for Default Reasoning, *Artif. Intell.*, Vol. 36, pp. 27-47 (1988).
4) Brewka, C.: Preferred Subtheories: An Extended Logical Framework for Default Reasoning, *Proc. of IJCAI '89*, pp. 1043-1048 (1989).
5) 村木一至：文脈理解—文脈理解の効果，情報処理，Vol. 30, No. 10, pp. 1207-1215 (1989).
6) 板原 茂：認知科学選書2 日常言語の推論，東京大学出版会 (1985).
7) 森 辰則，岡 弘幸，中川裕志：接続の機能語の意味とその制約，情報処理学会研究会報告，92-NL-91, pp. 63-70 (1992).

付　　録

文献 1) とは多少異なるが，正規デフォルト理論 (D, W) からの β への（前向き推論による）証明を定義しておく．

説明の簡単のために，デフォルト論理 $\Delta=(D, W)$ は，束縛変数を含まないデフォルトのみから成ると仮定する．たとえば，

$$\frac{\forall y \exists z \alpha(x, y, z): \exists z \beta(x, z)}{\exists z \beta(x, z)}$$

のようなデフォルトを D に含めたいときは，新しい述語記号 P, Q を導入して，

$$\forall x[P(x) \equiv \forall y \exists z \alpha(x, y, z)],$$
$$\forall x[Q(x) \equiv \exists z \beta(x, z)],$$

を W に加え，

$$\frac{P(x): Q(x)}{Q(x)}$$

を D に加えれば良いので，このように仮定しても一般性を失わない．さらに，一般性を失うことなく，W の要素はすべて全称標準形（$\forall x_1 \cdots \forall x_n \alpha$ の形をした式．ただし，α は限量子を含まない．）であり，D 中の各デフォルトに現れる自由変数は他のデフォルトの自由変数として現れないものと仮定できる．デフォルト理論 (D, W) に対して，D, W に導入される定数記号，関数記号によって構成されるすべての項からなる集合を $H_{\langle D,W\rangle}$ で表す．

DF は一階述語論理の式とデフォルトからなる列に対して一階述語論理の式だけを取り除いてできる列を返す関数であり，C はデフォルトの列に対して，列中の各デフォルトの帰結からなる集合を返す関数であるとする．また，n 個の異なる変数 $x_1, \cdots, x_n$ と n 個の項 $t_1, \cdots, t_n$ に対して，

$$\theta=\{x_1:=t_1, \cdots, x_n:=t_n\}$$

なる θ を代入と呼び，$d\theta$（ただし，$d \in D$）で，デフォルト d 中に現れる自由変数 $x_1, \cdots, x_n$ をそれぞれ $t_1, \cdots, t_n$ で置き換えて得られるデフォルトを表し，$S\theta$（ただし，S は第一階述語論理の論理式の集合）で，S の各要素中に現れる自由変数 $x_1, \cdots, x_n$ をそれぞれ $t_1, \cdots, t_n$ で置き換えて得られる式からなる集合を表すとする．

【定義3】 正規デフォルト理論 (D, W) からの閉論理式 β への証明とは，以下の条件を満たす列 $\phi_1, \cdots, \phi_n$ $(=\beta)$ を言う．

各 i $(i=1, \cdots, n)$ に対して以下のいずれかが成り立ち，

(1) ϕ_i は公理または W の要素，

(2) ϕ_i は一階述語論理の式である ϕ_j, ϕ_k $(j, k<i)$ に modus ponens を適用して得られるもの，

(3) ϕ_i は一階述語論理の式である ϕ_j $(j<i)$ に一般化推論規則を適用して得られるもの，すなわち，

$$\phi_i=\forall x \phi_j.$$

ただし，x は $DF(\phi_1\phi_2\cdots\phi_j)$ 中のデフォルトの自由変数ではない．

(4) ϕ_i はデフォルト $d\theta$ $(d \in D)$ である．ただし，θ はある代入を表し，ある ϕ_j $(j<i)$ が $d\theta$ の条件と等しい．

(5) ϕ_i はデフォルト ϕ_{i-1} の帰結である．

さらに，Θ を上記(4)の場合のすべての代入を合成して作られる代入とすると，

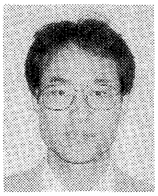
$$C(DF(\phi_1 \cdots \phi_n))\Theta \circ \lambda$$

中の項がすべて $H_{\langle D,W\rangle}$ の要素となる代入 λ が存在し，

$$W \cup C(DF(\phi_1 \cdots \phi_n))\Theta \circ \lambda$$

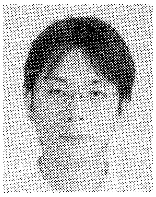
が充足可能である． □

（平成5年3月18日受付）
（平成6年7月14日採録）



冨浦　洋一（正会員）

昭和36年生．昭和59年九州大学工学部電子工学科卒業．昭和61年同大大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了．平成元年同大学院工学研究科電子工学専攻博士課程単位取得退学．同年九州大学工学部助手，現在に至る．工学博士．平成3年度情報処理学会研究賞受賞．自然言語処理，計算言語学，人工知能に関する研究に従事．人工知能学会会員．



市丸　夏樹（学生会員）

昭和42年生．平成2年九州大学工学部電子工学科卒業．平成4年同大大学院総合理工学研究科情報システム学専攻修士課程修了．工学修士．現在同大学院博士後期課程3年在学中．自然言語処理，コンピュータプログラミングに関心を持つ．

日高　　達（正会員）

昭和14年生．昭和40年九州大学工学部電子工学科卒業．昭和42年同大大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了．昭和44年同大学院工学研究科電子工学専攻博士課程中退．同年九州大学工学部助手，昭和48年同講師，昭和55年同助教授，昭和63年同教授，現在に至る．工学博士．形式言語の方程式論，自然言語処理，手書き文字認識の研究に従事．電子情報通信学会，人工知能学会各会員．