知識工学 II (第 5 回)

二宮 崇（ninomiya@cs.ehime-u.ac.jp）

知識表現 (12 の続き)

§12.6 デフォルト情報を使った推論

〇開世界と閉世界

「次の講義が開講されます: CS101, CS102, CS106, EE101」講義数はいくつ？

データベース: 4

一階述語論理: 1 と無限大の間のある値と答えるかもしれない。他の講義の可能性と、講義間の同一性の可能性のため。

データベースは、閉世界仮説 (closed-world assumption)と単一名仮説を採用している。

閉世界仮説: 提供された情報は完全であると仮定。真であると言明されていない基礎原子式は偽とみなす。

〇一階述語論理の完備化 (completion)

一階述語論理で講義数を 4 とするための Course の定義の仕方

$$Course(d, n) \Leftrightarrow [d,n]=[CS, 101] \lor [d,n]=[CS, 102] \lor [d,n]=[CS,106] \lor [d,n]=[EE,101]$$

〇失敗による否定 (negation as failure)

Prolog は閉世界仮説と単一名仮説が推論機構に組み込まれている。

失敗による否定: P の証明に失敗したとき、not P が真であることが証明されたとする。失敗による否定を not で表し、一階述語論理の否定(¬)と区別する。

P ← not Q　(Horn 節+失敗による否定)

P ⇐ ¬Q　 (一階述語論理)

§12.6.1 サーカムスクリプションとデフォルト論理

デフォルト：鳥は飛ぶ

ペンギンは飛ばない

〇サーカムスクリプション(極小限定)(circumscription)

特定の述語の解釈が可能な限り偽となるよう仮定。閉世界仮説を細かく正確に。モデル選好の一種。

$Bird(x) \land \neg Abnormal_1(x) \Rightarrow Flies(x)$

$Abnormal_1$ を極小限定する、とは $Abnormal_1(x)$が真であることが知られていない限り、$\neg Abnormal_1(x)$が成り立つと仮定すること。

Bird(Penguin)と $Abnormal_1(Penguin)$が与えられると、Flies(Penguin)は成り立たない。

ニクソン・ダイアモンド

・ニクソン大統領はクエーカー教徒であり共和主義

・クエーカー教徒は平和主義者

・共和党員は平和主義者ではない

$Republican(Nixon) \land Quaker(Nixon).$

$Republican(x) \wedge \neg Abnormal_2(x) \Rightarrow \neg Pacifist(x).$

$Quaker(x) \wedge \neg Abnormal_3(x) \Rightarrow Pacifist(x).$

モデル 1: $Abnormal_2(Nixon) \wedge Pacifist(Nixon)$

モデル 2: $Abnormal_3(Nixon) \wedge \neg Pacifist(Nixon)$

〇デフォルト論理: デフォルト規則を使った経験的で非単調な結論

P: $J_1, \cdots J_n/C$

P: 要件(prerequisite)

C: 帰結(conclusion)

J_i: 根拠(justification)

根拠に含まれる式のうち一つでも偽であることが証明されると帰結を得ることはできない。

Bird(x): Flies(x)/Flies(x)

¬Flies(Penguin)

Bird(x)が真で、かつ Flies(x)が知識ベースと無矛盾ならば、Flies(x)が帰結される。

拡張(extension): デフォルト理論から得られる帰結の極大集合。

ニクソン・ダイアモンド

$Republican(Nixon) \wedge Quaker(Nixon).$

Republican(x): ¬Pacifist(x)/ ¬Pacifist(x).

Quaker(x):Pacifist(x)/ Pacifist(x).

拡張 1: Pacifist(Nixon)

拡張 2:¬Pacifist(Nixon)

論理的エージェント(7 章)

〇論理による推論

命題論理　　命題、∧、∨、¬、⇒、⇔

述語論理　　命題論理＋(述語、項、限量子(∀、∃)、変数)

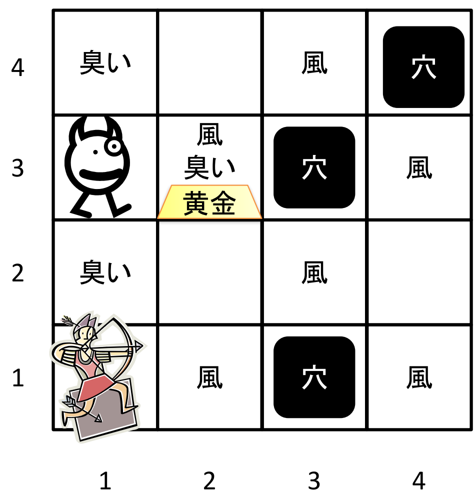
§7.1 知識に基づくエージェント

知識ベース(knowledge base, KB): 「文」の集合。他の「文」から導出されない「文」は公理(axiom)と呼ばれる。

TELL と ASK: 知識ベースに対する操作。TELL は新しい「文」を知識ベースに加える(知識を増やす)。ASK は知識ベースに質問を投げかける。いずれもその操作に推論 (inference) を伴う。

§7.2 ワンパス・ワールド (Wumpus World)

論理による推論ゲーム



環境: 4x4 のマスから成る洞窟。エージェントは[1,1]からスタート。どこかのマスに、ワンパス、黄金がある。いくつかのマスには穴がある。ワンパスがいるマスや穴があるマスにはいるとエージェントは死んでしまう。ワンパスの周囲には「臭い」があって、穴のまわりには「風」が吹いている。

目的: この洞窟のどこかにある黄金をみつけてそれを拾ってこの洞窟から脱出する。

動作: エージェントは、マスを一つずつ動くことができる。一度だけ矢をうつことができる。矢はまっすぐすすんでワンパスにあたればワンパスを倒せる。[1,1]に来ればこの洞窟から脱出できる。黄金のマスで黄金をつかむことができる。

センサー: ワンパスの周りでは「臭い」を感じ、穴の周りでは「風」を感じる。壁にぶつかれば「衝撃」を感じる。黄金をみつければ「輝き」を感じる。ワンパスが死ねば「うめき声」が聞こえる。

エージェントは最初は[1,1]の状況しかわからないが、移動することによって、他のマスの状況がわかるようになる。得られた知識から、あるマスに穴があるのかないのか、あるマスにワンパスがいるのかいないのか推論することができる。

例

(1) エージェント A は[1,1]からスタート。風や臭いがないので、[1,2]や[2,1]は安全とわかる(OK)。

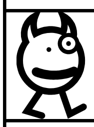
4	1,4	2,4	3,4	4,4
3	1,3	2,3	3,3	4,3
2	1,2 OK	2,2	3,2	4,2
1	1,1 A OK	2,1 OK	3,1	4,1
	1	2	3	4

(2) 続いてエージェント A は[2,1]に移動してみる。

4				
3				
2	OK	穴?		
1	OK	A 風 OK	穴?	
	1	2	3	4

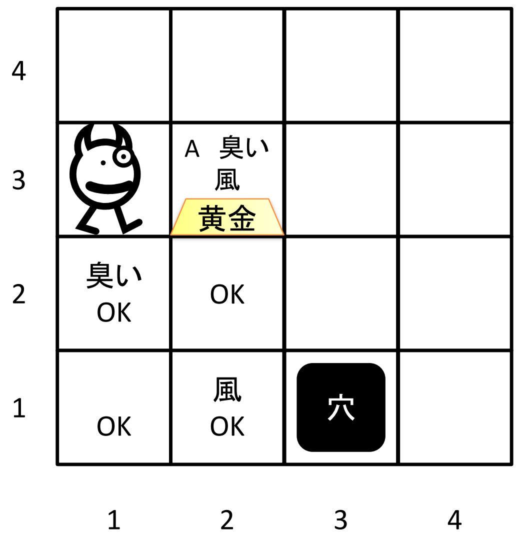
[2,1]では風を感じるので、[2,2]か[3,1]のどちらか、もしくは両方に穴があることがわかる。

(3) 続いて、エージェント A は[1,2]に移動してみる。

4				
3				
2	A 臭い OK	OK		
1	OK	風 OK	穴	
	1	2	3	4

すると、臭いを感じるが、風を感じない。風を感じないので、[2,2]には穴がないことがわかる。よって、[3,1]に穴があることがわかる。[2,1]にいたとき臭いを感じなかったので、[2,2]にワンパスはいないことがわかる。従って、[1,3]にワンパスがいることがわかる。

(4)次にエージェント A は[2,2]に移動して、(その結果[2,3]も OK ということがわかるので)[2,3]に移動する。



ここで、黄金がみつかったので、黄金を拾って[1,1]に帰れば、このミッションは成功ということになる。

§7.3 論理 (logic)

統語論 (syntax): 「文」を定義する言語の定義

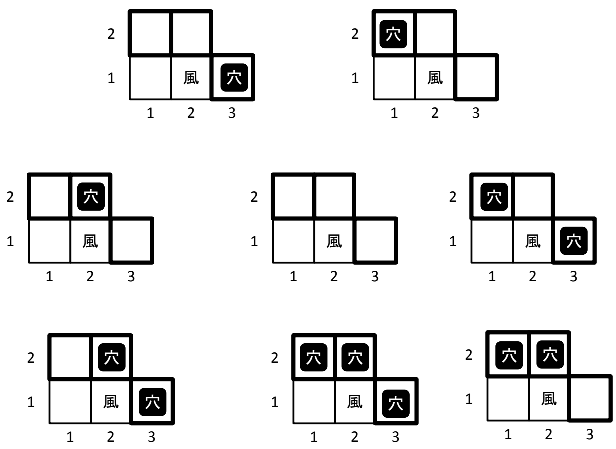
意味論 (semantics): 可能世界における「文」の真偽の定義

可能世界(モデルともいう): すべての変数や命題に対する真理値がすべて割り当てられた状態、また、その割り当てのこと。可能世界では曖昧な状態はない。ある可能世界が与えられると「文」に対しその真偽を決定することができる。

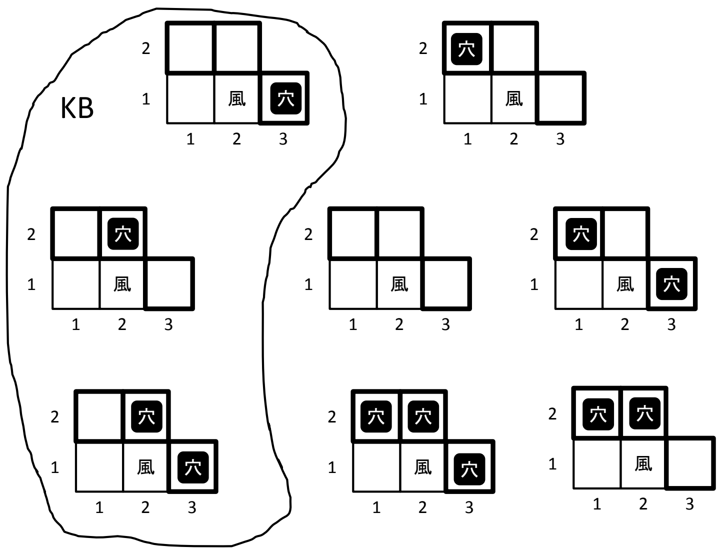
文αのモデル: ある文αに対し、αを真とするような可能世界(モデル)のことを「文αのモデル」という。文αのすべての可能なモデルの集合を$M(\alpha)$と書く。

伴意(はんい、entailment): ある文αからある文βが論理的に導かれるとき、αはβを伴意するといい、$\alpha \vDash \beta$と書く。正確には、$\alpha \vDash \beta$ if and only if $M(\alpha) \subseteq M(\beta)$である。つまり、$\alpha$を真とする可能世界においては、必ず$\beta$も真になっている、ということ。

ワンパスワールドの(2)のときについて考えてみる。このとき、[1,1], [2,1]はすでにエージェントが訪れていて、[1,2], [2,2], [3,1]がどうなっているのかよくわからない状態になっている。ここで、[1,1], [2,2], [3,1]に穴があるかどうかということに関する可能世界を考えてみる。可能世界はそれぞれのマスに穴があるか、ないかのどちらかなので、可能世界は全部で$2^3 = 8$通りある。



ここで、KBを[1,1]と[2,1]を訪れたことによる「文」で表現された知識(ワンパスワールドのルールと、[1,1]では何も感じなかったということ、[2,2]では風を感じたこと)とする。KBにより、[1,2]には穴がない、[2,2]か[3,1]のどちらかに穴がある、ということがわかるため、$M(KB)$は次のようになる。

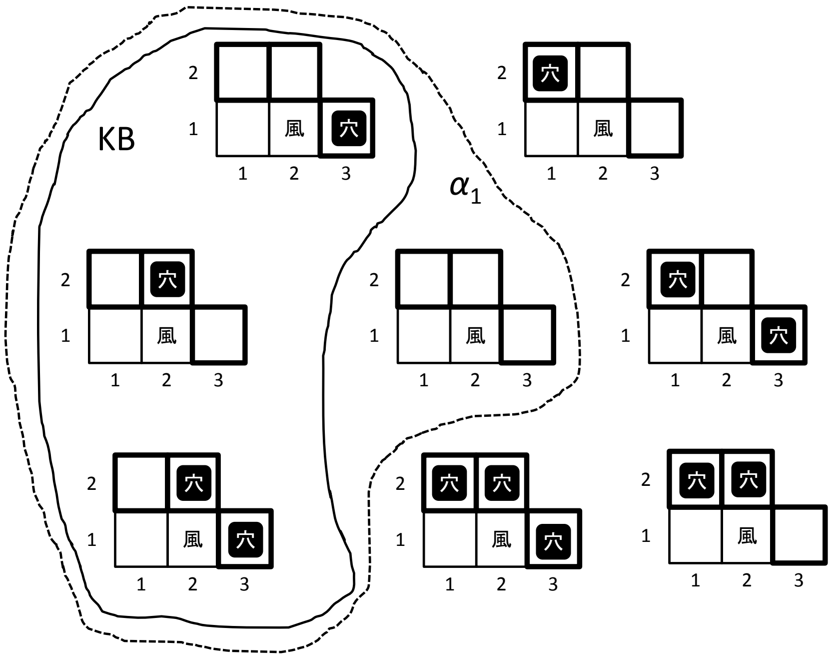


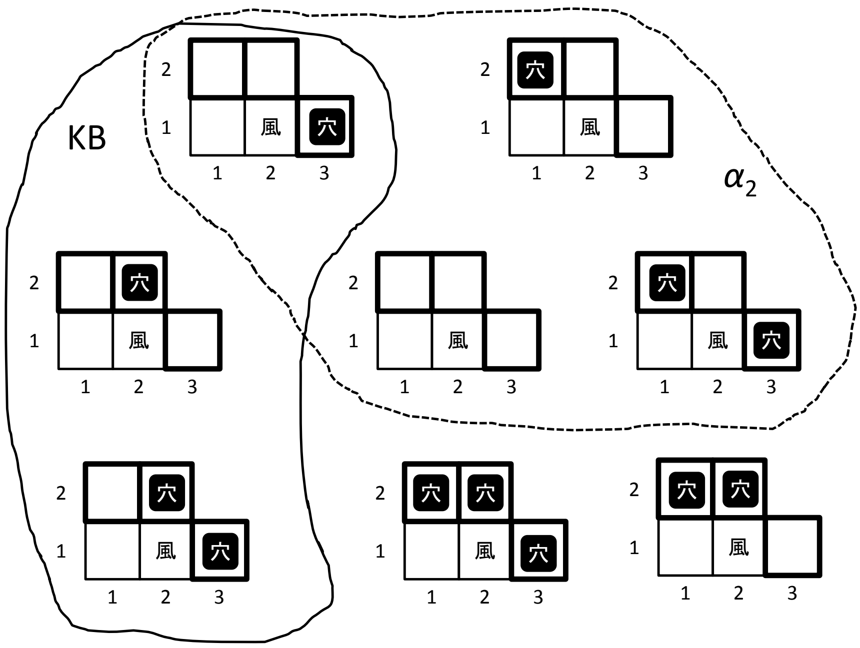
ここで、

$$\alpha_1 = \text{"[1,2]に穴がない"}$$

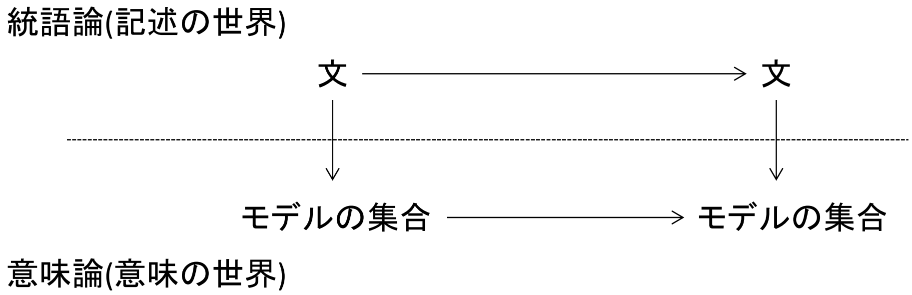
$$\alpha_2 = \text{"[2,2]に穴がない"}$$

とすると、KBとα_1, α_2の関係は次のようになる。





$M(KB) \subseteq M(\alpha_1)$であるから$KB \vDash \alpha_1$となる。つまり、$KB$の知識から「[1,2]に穴がない」ということがわかる。一方、$M(KB) \not\subseteq M(\alpha_2)$であるから$KB \nvDash \alpha_2$となる。つまり、$KB$の知識から「[2,2]に穴がない」とはいえないということがわかる。[2,2]に穴があるかどうかは論理的な関係からだけではわからない。13,章で解説される確率モデルを用いると[2,2]に穴があるかどうか確率的に判定できるようになる。



文に対応する意味論として、文を真とするすべての可能世界の集合が与えられた。また、モデルの集合間の関係から、ある文と文の間の伴意関係(entailment)が定義できた。この伴意関係が成り立つかどうか調べることを推論(inference)と呼ぶ。KBからαが導出される推論は$KB \vdash \alpha$と表現する(関係ではなく操作)。上述のようにKBのすべてのモデルに対し、αが成り立つかどうか調べることも推論の一種であり、モデル検査と呼ばれる。モデル検査はモデルの数が少ない場合においては有効であるが、モデルを決定する変数の数に対し指数オーダーでモデルの数が増加する。そこで、伴意関係が成り立つかどうかを調べるための推論アルゴリズムが多く提案されている。伴意関係にある文のみを導出する推論アルゴリズムは「健全(sound)である」と言われる。伴意される文をすべて導出できる推論アルゴリズムは「完全(complete)である」と言われる。完全性を満たすのは難しいが、幸いなことに論理における完全な推論手続きが存在する。

　我々は多くの場合、知識ベース(KB)が与えられたとき、ある質問(Q)がKBにおいて成り立つかどうか、ということを知りたい。これは、その伴意関係が成り立つかどうかを判定することによって実現される($KB \vDash Q$が成り立つかどうか推論する)。