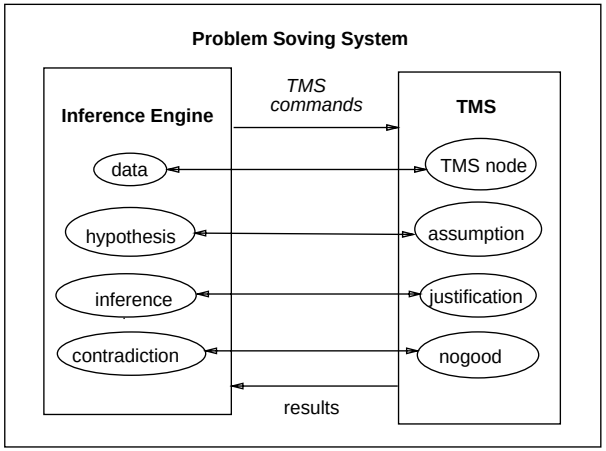
人工知能特論： 問題解決システム　　第 6 回

1. 問題解決システム (Problem Solving System)
   - Forbus, K. and de Kleer, J.: *Building Problem Solvers*, MIT Press, 1993. *Lisp* コードは公開
     ftp://beta.xerox.com/pub/bps/BPS.{tar.Z,sit,zip}*
   - 奥乃: 人工知能学会誌, 5(3) '90, 6 (1) '91, 11(3)
2. 多重文脈推論 (Multiple Context Reasoning)

問題解決システムの一般的な構成



推論エンジン (Inference Engine): 問題の解決
真偽維持システム (Truth Maitenance System): 推論管理

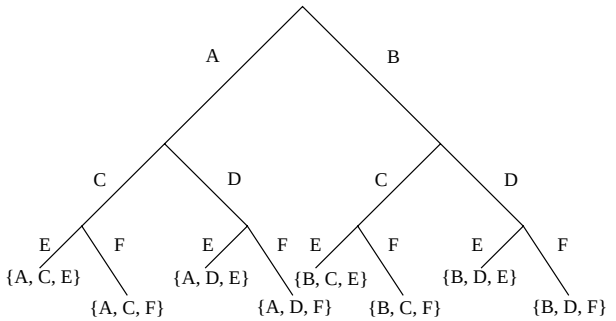
なぜ真偽維持システム (TMS) を使用するのか

6 つの必要な機能

1. 陳述間の論理的な関係の遵守
   $\Longleftarrow$ [　　]
2. 結論に対する根拠の同定
   $\Longleftarrow$ [　　]
3. 失敗原因の同定
   $\Longleftarrow$ [　　]
4. 推論結果のキャッシュ維持
5. 後ろ戻りのガイド
6. デフォールト推論

例: 組合せ探索問題

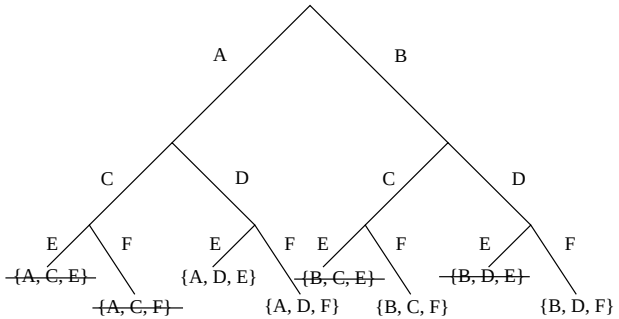
select{A,B}, select{C,D}, select{E,F}
ただし, A $\wedge$ C $\longrightarrow\bot$, B $\wedge$ E $\longrightarrow\bot$



全知全能の神様がこの問題を見ると

select{A,B}, select{C,D}, select{E,F}

ただし, A ∧ C ⟶ ⊥, B ∧ E ⟶ ⊥



⟹ [ ] 個の潜在的な解がある.

全解を Prolog で求めよう.

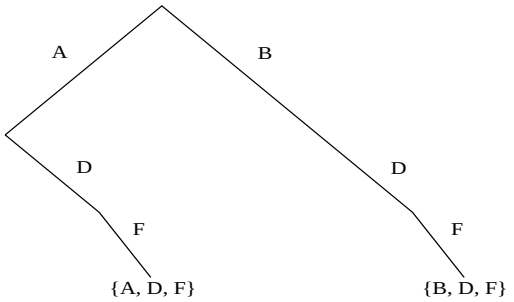
```
solve :- first(F), second(S), third(T),
   constraint(F,S,T), print([F,S,T]), fail.
first(a).
first(b).
second(c).
second(d).
third(e).
third(f).
constraint(a,c,_) :- !, fail.
constraint(b,_,e) :- !, fail.
constraint(_,_,_).
```

実行方法：

時間的な後ろ戻り (*Chronological Backtracking*)

時間的な後ろ戻りの欠点 (1) 無駄な計算

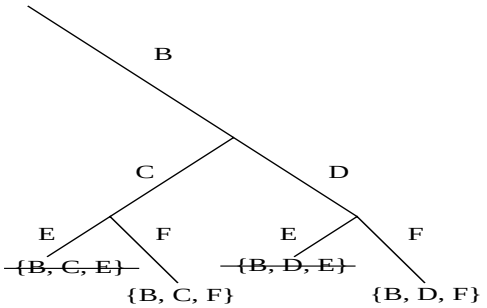
D と E では計算時間が膨大にかかるとすると,



改善策 ⟹ [ ]

時間的な後ろ戻りの欠点 (2) 同じ矛盾に遭遇

「B ∧ E ⟶ ⊥」 を思い出そう

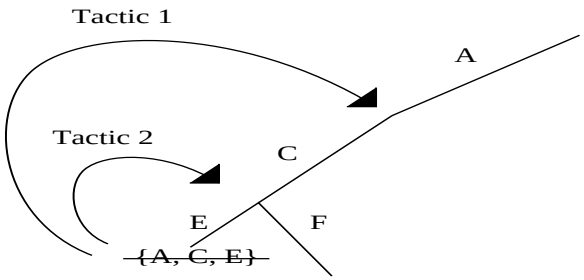


改善策 ⟹ [ ]

後ろ戻りのガイド

どちらの後ろ戻り方法の方がよいか: □

「A ∧ C ⟶⊥」 を思い出そう



方法 1: ⟹ 依存関係による後ろ戻り
(*Dependency-Directed Backtracking, DDB*)

デフォールト推論

『反例がない限り x が成立することを仮定する』

[例 1] 仮定「Since Tweety is a bird, Tweety can fly.」

「Tweety can fly.」を証明するためには,
問題解決システムは以下のことを示す必要がある:

- Tweety is not a penguin, an ostrich, a kiwi, ...
- Tweety is not dead, boiled, ...
- ...

これは □ 可能，それとも □ 不可能

Credo ut intelligam. (I believe in order to understand.)

デフォールト推論 (続き)

[例 2] 閉世界仮説 (*Closed World Assumption, CWA*)

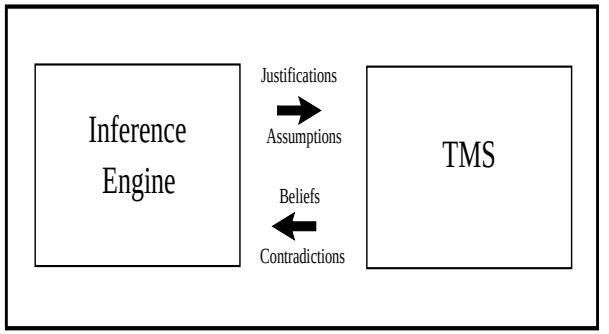
『集合のメンバは自分が知っているものだけである』

- 論理型プログラミング:
  失敗による否定の実現 (Negation as Failure)

```
constraint(a,_,c) :- !, fail.
constraint(_,b,e) :- !, fail.
constraint(_,_,_).
```

- 設計型システムへの応用:
  ⟹ 候補集合を指定する (『選択集合』)

問題解決システム = 推論エンジン + TMS



エキスパートシステムシェル (KEE, ART), 定性シミュレーション，設計システム，故障診断システム，時間的推論，知的 CAI システム，制約言語，非単調推論, ...

推論エンジンと真偽維持システムの対応関係

推論エンジン	$\Longleftrightarrow$	真偽維持システム
データ (Datum)	$\Longleftrightarrow$	ノード (Node)
推論過程 (Inference)	$\Longleftrightarrow$	正当化 (Justification)
仮説 (Hypothesis)	$\Longleftrightarrow$	仮定 (Assumption)
矛盾 (Contradiction)	$\Longleftrightarrow$	Nogood, あるいは, 後ろ戻りによる矛盾解消
信念 (Belief)	$\Longleftrightarrow$	ラベル (Label)

推論エンジン (IE)・真偽維持システム (TMS) 間の通信

$$\frac{\text{Graduate-Student}(x) \longrightarrow \text{Underpaid}(x) \wedge \text{Overworked}(x) \qquad \text{Graduate-Student(Tanaka)}}{\text{Underpaid(Tanaka)} \wedge \text{Overworked(Tanaka)}}$$

ノード N0001： 推論エンジンのルールを表現

```
(rule (Graduate-Student ?x)
   (assert (and (Underpaid ?x) (Overworked ?x))))
```

ノード N0002： 言明 (assertion) を表現

```
(Graduate-Student Tanaka)
```

ノード N0003： 推論結果を表現

```
(and (Underpaid Tanaka) (Overworked Tanaka)
```

正当化 J0001： ルール適用 (inference) を表現

```
(N0003 MODUS-PONENS N0002 N0001)
```

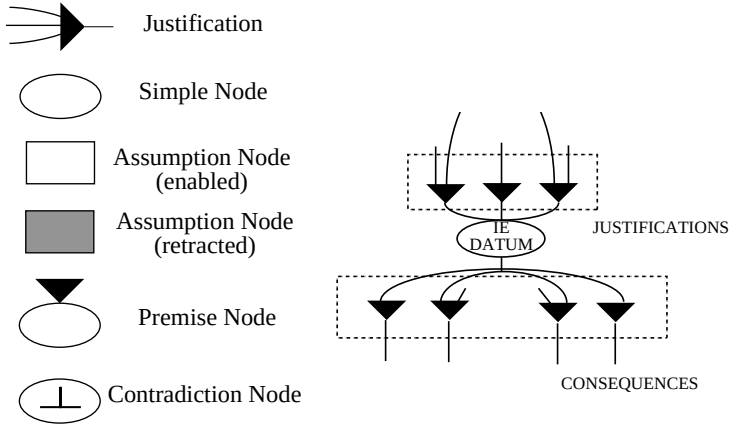

ノードの種類と正当化

- 前提 (premise) — 恒真であるデータ
- 矛盾 (contradiction) — 恒偽であるデータ
- 仮定 (assumption) — 推論エンジンが一時的に成立すると選択したデータ. 後で取り消されることもある
- 通常のノード — 上記以外

正当化 は (< 後件 > < 情報部 > ・ < 前件 >) で表現.

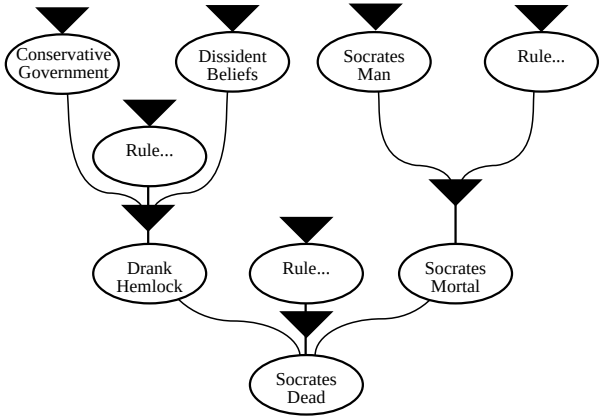
- 後件 (Consequent) ： ノード.
- 前件 (Antecedents) ： ノード.
- 情報部 (Informant) ：何でも可． TMS は未使用.

依存関係のネットワーク表現



正当化の役割： 結論に対する根拠の同定

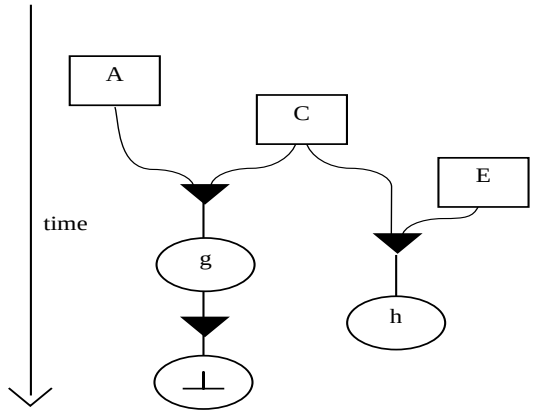
「ソクラテスはなぜ死んだか」の説明生成



正当化の役割： 後ろ戻りのガイド

時間的な後ろ戻りでの戻り先： ☐

依存関係による後ろ戻りでの戻り先： ☐



命題論理による真偽維持システムの記述

- **ノード $x_1, \ldots, x_m$ が, ノード n を正当化：**

  $\neg x_1 \vee \cdots \vee \neg x_m \vee n$ **で表現.**

  つまり, $\overbrace{x_1 \wedge \cdots \wedge x_m}^{\text{前件}} \Rightarrow \overbrace{n}^{\text{後件}}$ （正当化）

  一般には, $x_1 \wedge \cdots \wedge x_m \Rightarrow y_1 \vee \cdots \vee y_k$

  $k = 1$ **の時, 「ホーン節」と呼ぶ.**
- **前提 n ： 単一節 (unit clause) n で表現.**
- **矛盾 m ： 否定節 (negative clause) $\neg m$ で表現.**

ラベル (Label) — ノードの信念状態の表現

IN — 「信念がある」, OUT — 「信念がない」

注意: IN (信念あり) $\neq$ TRUE (恒真)

	P **IN**	P **OUT**
$\neg P$ **IN**	**矛盾 (**$Contradiction$**)**	$\neg P$ **TRUE**
$\neg P$ **OUT**	P **TRUE (恒真)**	**未知 (**$Unknown$**)**

[拡張] 節 C のラベルを極小支持集合 MinSup で定義：

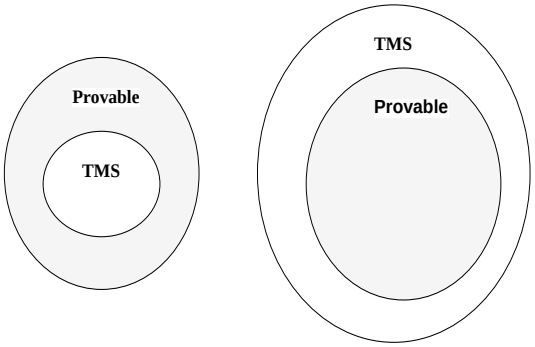
Σ **全正当化の集合とすると,**

$MinSup(C, \Sigma) = \{S | S \in \Delta(C, \Sigma), S :$ **は極小**$\}$

ただし, $\Delta(C, \Sigma) = \{PI - C | PI : \Sigma$**の主項**$, PI \cup C \neq \{\}\}$

真偽維持システムの健全性 と完全性

健全性 *(Soundness)*　　**完全性** *(Completeness)*



完全性が成立するかどうかは TMS のファミリーに依存.

不完全性の例

$$\left.\begin{array}{l} P \Longrightarrow (Q \vee W) \\ Q \Longrightarrow R \\ W \Longrightarrow R \\ \Gamma = \{P\} \end{array}\right\} \quad R \text{ は } \Gamma \text{ から導かれる.}$$

どのような TMS でも R の正しいラベルが求まるか?

☆　☆　☆

正当化 $x_1 \wedge \cdots \wedge x_m \Rightarrow y_1 \vee \cdots \vee y_n$ **:**

ホーン節 (n=1) の確定節 (変数を含まない) しか表現できない TMS では正しいラベルは求まらない.

非単調性 (Non-Monotonicity)

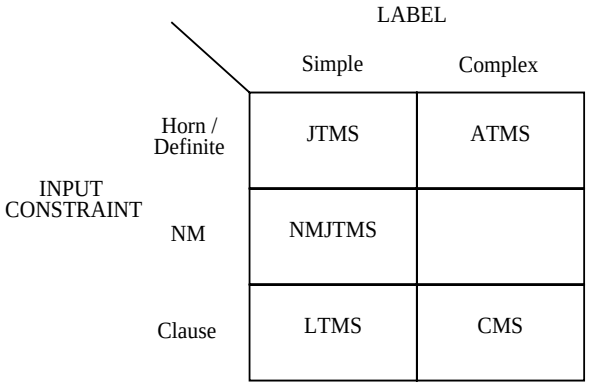
- **単調性 (Monotonicity): すでに言明済みの他の全事実と無矛盾な新事実が追加されても, 矛盾が生ぜず, 既知の真の事実の集合からなにも取り消す必要がない.**
- **非単調性 (Non-Monotonicity): 上記が成立しない.**

[非単調性の例] 『鳥は飛ぶ』という知識の下に行われた推論結果の一部が, 『ペンギンは鳥だが, 飛ばない』という知識が加えられたことによって, 成り立たなくなる.

非単調性 (Non-Monotonicity) の例 — Nixon 問題

$$Republican(Nixon) \qquad Quaker(Nixon)$$
$$Quaker(x) \Rightarrow Dove(x) \qquad Republican(x) \Rightarrow Hawk(x)$$
$$Dove(x) \wedge Hawk(x) \Rightarrow \bot$$

TMS の分類



JTMS (Justification-based TMS), ATMS (Assumpition-based TMS), NMJ (Non Monotonic JTMS), LTMS (Logic-based TMS), CMS (Clause Management System)

今日の課題 — 覆面算を解く.

1. SEND + MORE = MONEY
2. CROSS + ROAD = DANGER
3. FOUR + FIVE = NINE
4. NEWTON + KLEIN = KEPLER
5. MAN + WOMAN = CHILD
6. ONE + TWO + FOUR = SEVEN