

仮説推論

Hypothesis-based Reasoning

國 藤 進*

Susumu KUNIFUJI

* 富士通(株)国際情報社会科学研究所
IIAS-SIS, Fujitsu, Ltd.

1986年11月6日 受理

Keywords : hypothesis-based reasoning, hypothesis generation, hypothesis testing, abduction, default theory, diagnosis system, design synthesis system.

1. はじめに

本論文では、高次人工知能⁽⁴⁾実現のメカニズムとして最近注目されている仮説推論⁽⁷⁾⁽¹⁰⁾について、最新の研究動向を紹介する。まず仮説推論の理論的枠組みを明らかにし、それが診断型エキスパートシステムの枠組みのみならず、設計型エキスパートシステムの枠組みをも与えることを明らかにする。同時に、仮説推論の他の高次推論との関連についても指摘する。

人間の問題解決・推論過程の記号論的本質は、演繹(deduction)・帰納(induction)・発想(abduction)⁽¹⁾⁽⁹⁾にあるといわれている。したがって、高次人工知能システムの実現にあたって、演繹・帰納のみならず発想の過程を支援する機能を研究してみることは、極めて重要な検討課題である。しかしながら、従来、人工知能の研究で取り上げられていた研究課題は、主として演繹あるいは帰納による推論であり、発想に連なる推論機構研究はほとんど行われていない。そこで本論文では、発想推論(abductive inference)に関する基礎研究として、特に仮説推論(hypothesis-based reasoning)という人間の最もよく使用する推論形式を取り上げ、その現状と課題を紹介する。

2. 仮説推論

2・1 発 想

人間の問題解決・推論過程の本質を記号論的⁽²²⁾にみると、未知の観測事実を説明する仮説を生成する過程、得られた仮説から論理的に導き出される帰結を得

る過程、およびそのようにして得られた帰結を何らかの実験によって検証し、最初に生成した仮説を検定する過程からなる⁽⁹⁾。このような観点からすると、発想とはある驚くべき事実(困難な未知の問題)に遭遇した人間が、その事実を説明する(その問題を解決する)仮説を直観的に得る人間の思考過程である。周知のように計算機科学での帰納推論は上述の仮説生成・検定過程からなるが、そこではある知識体系の中での知識が完全と仮定し、極限としての同定をめざした仮説の生成を行っている。しかしながら、本当に発想推論と呼ばれるものでは、その知識体系に関する知識が不完全なので、人間は種々の知的技法を用いて、何らかの意味のある仮説を生成したり、合理的な仮説検定を行っている。仮説生成・検定の仕方により、各種の発想推論図式が分類される。ここでは、そのうち最も基本的と思われる仮説推論の枠組みを述べる。

2・2 仮説推論の定式化

パース⁽¹⁴⁾⁽²²⁾によって指摘されているように一般に仮説生成(hypothesis generation)とは、経験的知識である観測事実“O”と一般的知識である既知の公理“H→O”(ただし、“→”は証明可能を意味する)とから、未知の知識である仮説“H”を推測する記号処理過程である。すなわち、仮説生成を一階述語論理の用語法を用いて直観的に説明すると、次のような推論図式となる。

O (1)

H→O (2)

H (3)

この推論図式を一階述語論理の枠組みの中で形式的

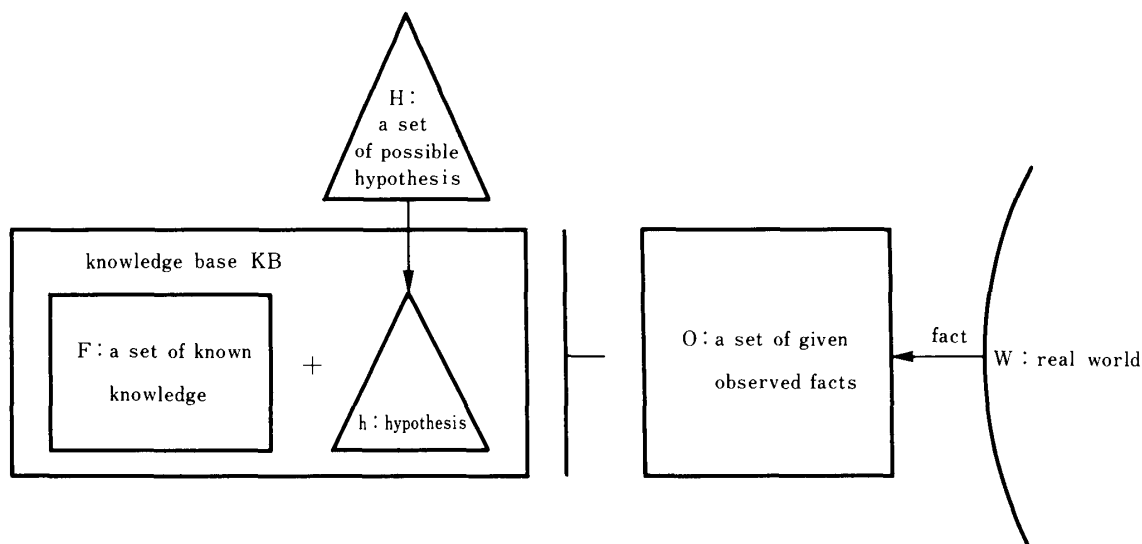


図 1 A framework of hypothesis-based reasoning.

に理解しようとしたのが、仮説推論の枠組みである。仮説推論では図 1 に見られるように、与えられた観測事実の集合“O”を説明する適切な仮説“h”を、前もって与えられた可能な仮説集合“H”の中から選択していく。すなわち仮説推論とは、次のような推論図式のことである。

O, H, Fをそれぞれ一階述語論理の節で表現された互いに独立な観測事実集合、前もって与えられた可能な仮説集合、およびその問題を解くのに利用可能な既知の知識集合とする。

ここに“ $F+H \neq \square$ ”（ただし“ \neq ”は証明不可能を，“ \square ”は矛盾を，“+”は和集合を意味する）とは限らない。“ $F+H \vdash \square$ ”の場合、いわゆる暗黙推論の推論図式を含意し、非単調推論ではむしろこの場合に関心がある。

このとき、「仮説 h が観測事実集合 O を説明可能 (explainable) である」とは、次の場合、しかもその場合に限る。

- ① $F \neq O$ (ただし $F \neq \square$) かつ (4)
- ② 与えられた H に対して、適切な部分集合 H' が存在し、しかも θ を H' に対する代入 (substitution) で基礎例 (ground instance) を生成するものとするとき、次のような h が存在する。

$$h = H' \theta, H' \subseteq H, F+h \vdash O \quad (5)$$

(ただし $F+h \neq \square$)

ここに“ \subseteq ”は部分集合を意味する。式(4)は(無矛盾な)既知の知識集合 F のみからは観測集合 O が証明できないことを意味する。また式(5)は理論 h を、仮説集合 H の部分集合 H' の基礎例からなる集合から適切に選べば、F と h との(無矛盾な)和集合から O が証明できることを意味する。

上述の仮説推論の枠組みに対して、次のような問題が著者らによって提起⁽¹⁰⁾された。

- (a) 無矛盾性管理問題 知識ベース KB ($\equiv F+h$) の無矛盾性をどのようにして保持していくか。ここに“ \equiv ”は“if and only if”の意味である。
- (b) 仮説選択問題 可能な仮説集合 H から適切な仮説 h を選択する仮説選択の評価基準は何なのか。
- (c) 仮説同定問題 複数の仮説が選択されるとき、新たな観測事実の集合 O' を用いて、単一の仮説へ絞り込むための評価基準は何なのか。
- (d) 競合仮説解消問題 (b), (c) の評価基準にもかかわらず複数の競合する仮説が生成されるとき、そのどちらかを採用するかを決定するための評価基準は何なのか。
- (e) 帰納推論問題 そもそも観測事実集合 O から自明でない仮説集合 H をどのようにして生成していくか。この場合、通常“ $F+H \neq \square$ ”を前提として、帰納推論の理論が構築されている。
- (f) 仮説推論の枠設定問題 観測事実集合 O と既知の知識集合 F との対応づけをどのようにして発見していくか。

このような問題提起に対する部分的解答が、文献(11)に与えられている。

3. 診断システムへの適用

3.1 Theorist の場合

人間が科学的理論を構築するのと同じようなやり方で仮説推論の枠組みを構成し、しかも一般の診断型エキスパートシステムの方法論をも提供しようというの

が Poole らの Theorist⁽¹⁵⁾⁻⁽¹⁷⁾ である。Theorist では、一階述語論理のモデル理論を基底において、暗黙推論の諸問題を考える。すなわち、wff を一階述語論理の well formed formula とするとき、次のような知識表現を許容する。

$$\langle \text{input} \rangle ::= \langle \text{wff} \rangle \mid \quad (6)$$

$$\langle \text{list-of-variables} \rangle \text{ASSUME} \langle \text{wff} \rangle \quad (7)$$

式(6)で事実 (fact) を、式(7)で暗黙式 (default) を表すものとする。また ASSUME の前に出現する変数に対して値の代入された wff のことを、暗黙式の例 (instance) と呼ぶ。

Theorist においては、与えられた事実の集合 F と与えられた暗黙式の集合 H に対して、理論 h が観測 O を説明可能なのは、

$$F+h \vdash O \quad (\text{ただし, } F+h \not\vdash \square) \quad (8)$$

となるような H の要素の例の集合 h が存在する場合であると定義されている。したがって、Theorist は典型的な仮説推論システムとなっている。

〔例 1〕 “ \rightarrow ” を “ならば” とするとき、次のような知識が与えられているとする。

$$(x) \text{ ASSUME } \text{bird}(x) \rightarrow \text{flies}(x) \quad (9)$$

$$(x) \text{ ASSUME } \text{emu}(x) \rightarrow \sim \text{flies}(x) \quad (10)$$

$$\forall x (\text{emu}(x) \rightarrow \text{bird}(x)) \quad (11)$$

$$\text{bird}(\text{tweety}) \quad (12)$$

$$\text{emu}(\text{edna}) \quad (13)$$

この場合、理論 $h1 = \{\text{bird}(\text{edna}) \rightarrow \text{flies}(\text{edna})\}$ を仮定すると、 $\text{flies}(\text{edna})$ が説明でき、理論 $h2 = \{\text{emu}(\text{edna}) \rightarrow \sim \text{flies}(\text{edna})\}$ を仮定すると、 $\sim \text{flies}(\text{edna})$ が説明できる。すなわち、理論 $h1$ と理論 $h2$ は互いに矛盾する理論である。われわれは直観的に $h1$ より $h2$ を選好する。というのは emu が飛ばないという知識は、鳥が空を飛ぶという知識よりもより狭い領域で成立する特殊な (specific) 知識だからである。

このような直観を正当化するために、Poole は理論の比較 (theory comparison) という考え方を提案する。まず考察している領域で必然的に真となる事実 (necessary facts) の集合を F_n 、偶然的に真となる事実 (contingent facts) の集合を F_c とするとき、

$$F_n + F_c + h \vdash O \quad (14)$$

となるような対 $\langle h, O \rangle$ のことを解と呼ぶ。

ある可能な事実 F_p ($F_p \sqsubseteq F_c$ で $|F_p| = 1$ に制限) に対して、解 $S = \langle h, O \rangle$ が適用可能 (applicable) とは、与えられた F_n に対して、 O を証明するのに h を用いることができる場合である。すなわち、

$$F_n + F_p + h \vdash O \quad (15)$$

以上の準備をしたうえで、複数の理論間に選好の順

序をいれることができる。与えられた二つの解の候補 $S1 = \langle h1, o1 \rangle$ と $S2 = \langle h2, o2 \rangle$ に対して、 $S1$ が $S2$ よりもより特殊 (more specific) ($S1 \geq S2$ と記す) とは、次式が成立する場合のことである。

$$\forall F_p ((F_p + h1 + F_n \vdash o1) \wedge (F_p + h2 + F_n \vdash o1) \rightarrow (F_p + h2 + F_n \not\vdash o2)) \quad (16)$$

さらに、厳密により特殊 (strictly specific) とは、($S1 \geq S2$) かつ $\sim (S2 \geq S1)$ となる場合のことで、“ $S1 > S2$ ” と記す。

するとわれわれは、最も特殊な (the most specific) 解を選好する。

〔例 2〕 前述の例 1 に対して、 $F_n = \{\text{emu}(x) \rightarrow \text{bird}(x)\}$, $F_c = \{\text{bird}(\text{tweety}), \text{emu}(\text{edna})\}$ とする。すると、上述の諸定義より、 $S2 > S1$ 。

Theorist においては、最も優れた説明を見いだすのに、標準的な一階述語論理の定理証明機を使用している。インプリメンテーション言語は Prolog であるが、Prolog を用いて一階述語論理の定理証明機を作成するときの常套手段である MESON 手続き⁽¹²⁾ を用いて、いわゆる開世界仮説下の否定を実現している。この手続きの健全性・完全性は文献 (18) に証明されている。Theorist では、次の二つのフェーズで定理証明機が使われている。

- (1) 証明機の公理として、事実と暗黙式を用いてゴールを証明することを試みる。ゴール証明に用いられる暗黙式は、潜在的に説明するための理論へと組み立てられる。
- (2) 同一の証明機を用いて、理論と事実の和集合が無矛盾かどうか証明しようとすることによって、この理論の整合性が検査される。もちろん、この手続きは一般に決定不能 (undecidable) であるが、現実の制約された知識表現のなかでは可解なことが多い。

より特殊かどうかの手続きも、標準的な一階述語論理の証明の集合である。一般に、一階述語論理での証明技法は暗黙推論システムを操作するのに適切である。ただし、効率向上のために探索空間の枝刈りや特定の領域に関する知識を利用する必要がある。

3・2 筆者らのシステムの場合

Theorist 研究に刺激を受けて、筆者らは図 2 で示されるような 2・2 項の問題(b)と(c)を解決するための仮説選定機構を実現⁽¹¹⁾⁽²⁰⁾ した。本機構の特徴は、次の 4 点にある。

- (1) 既知の知識集合 F や可能な仮説集合 H に is_a 関係に基づくフレーム構造型知識表現を導入し、平

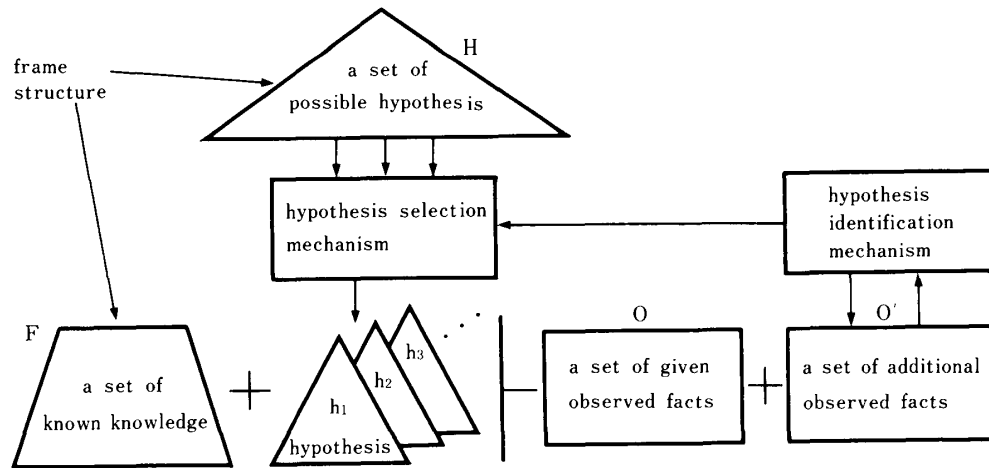


図 2 A framework of hypothesis-based reasoning system.

坦な知識表現に基づく場合の性能の悪さを改良した。

- (2) フレーム構造型知識表現にとって自然な評価基準を用いて、仮説を順次選択する機構を導入した。
- (3) 現実世界で新たに追加観測すべき事実を次々に提示し、ユーザからの“はい/いいえ”の答えをもとに、考えられる複数の仮説を単一のものに合理的に絞り込むための評価基準を明らかにした。
- (4) 説明プロセスに例外知識の管理機構を導入し、探索空間を絞り込む矛盾型メタ知識が利用可能になることを実証した。

本システムの特徴を明示するため、その知識表現法を要約してみよう。

与えられた問題を一階述語論理の枠組みで明確に取り扱うために、次のようなスロット対 ($\equiv \langle \text{SLOT-NAME} \rangle : \text{slot-value}$) からなるループを持たない階層的フレーム構造をもつ知識表現⁽¹¹⁾を採用する。

```
[FRAME<frame-name>
  hypothesis_of : <hypothesis-name>;
  <SLOT-NAME> 1 : slot-value 1;
  :
  <SLOT-NAME> n : slot-value n] (17)
```

ただし hypothesis_of 関係は、各フレームに付与したユニークな仮説名を表明する関係で、筆者らが提案したものである。またスロット名の区別により、スロットの型は is_a 関係と、それ以外の特性を表す関係を総称した property_of 関係とに分類される。このフレーム型知識表現はスロット型に応じて、それぞれ次のような一階述語論理の節に変換・解釈されるものとする。一般に hypothesis_of 関係とそれ以外の関係は、それぞれ次のように変換される。

$$\forall X (\text{hypothesis_of}(X, \langle \text{hypothesis-name} \rangle)$$

$$\equiv \text{is_a}(X, \langle \text{frame-name} \rangle)) \quad (18)$$

$$\forall X (\text{is_a}(X, \langle \text{frame-name} \rangle) \rightarrow$$

$$\langle \text{SLOT-NAME} \rangle i (X, \text{slot-value } i)) \quad (19)$$

知識集合 F に構造化知識をもつ以上、当然、例外知識も記述したくなる。これに対して、次のような方法が考えられる。

一般に property_of 関係は、暗黙値をもつものもたないもので変換形式が異なり、後者は上述のように形式(19)で変換される。前者はメタオペレータ M を用いて、形式(20)のように変換される。オペレータ M の意味は、Reiter の正規暗黙オペレータ M⁽¹⁹⁾ と同じである。

$$\text{is_a}(X, \langle \text{frame-name} \rangle) : M(\langle \text{SLOT-NAME} \rangle i (X, \text{slot-value } i)) \langle \text{SLOT-NAME} \rangle i (X, \text{slot-value } i) \quad (20)$$

一般に Reiter の M オペレータの実現は非単調論理になるので、その取扱いがむずかしいが、Prolog の否定を積極的に利用し、例外値を明記することによって、いわゆる例外値をもつ暗黙推論をも利用可能⁽¹¹⁾になる。この考え方は Prolog 上での実現法を与えると同時に、半暗黙推論のもつインヘリタンスのブロック問題を生ぜしめない。

紙数の関係で具体的実行例は文献(11)に譲るとして、以上の準備をした後、筆者らは次のようなことを明らかにした。

- (1) Theorist では仮説選択・同定のための評価基準として暗黙式間に“最も特殊”という概念を導入している。この概念は矛盾する暗黙式を比較する場合のみ有効であり、しかも暗黙式と観測事実を同時に与えて比較するという問題設定が不自然である。これに対して、筆者らは性質の継承を許す通常のフレーム構造に忠実な“より一般的な

(不必要に具体化していない)”という評価基準を与えて、その中で仮説選択・同定問題を論じた。

- (2) Theorist-S⁽³⁾では矛盾型メタ知識を、必然の性質を記述するのに利用している。これに対して、筆者らの矛盾型メタ知識の利用法は否定的知識の表現法が自然で、かつその意味も明確である。

4. 設計システムへの適用

4・1 RESIDUE の場合

仮説推論の枠組みは診断システムのみならず、設計システムにも適用できる。ロボットのプランニング、回路設計、回路のパラメータ設計やプログラムの合成といった問題を解決する演繹的な解の合成という考えに基づく設計システム RESIDUE⁽²⁾について述べる。

RESIDUE アプローチでは、設計問題を与えられた設計目標に対する RESIDUE を見いだすことによって解決する。ここに、Fを初期世界のモデル、Oをそこでの設計目標とする。事実の集合hが RESIDUE であるとは、次の三つの性質をhがもつ場合である。

- ① $F + h \vdash O$ (21)
- ② $F + h \not\vdash \square$ (22)
- ③ 設計者はhを真とすることができる。 (23)

式(23)が設計問題を特徴づけており、設計者がhを実際に実装できなければならない。

設計に関して有用な情報を得るには、証明の結果のみならず証明のプロセスから必要な情報を抽出する必要がある。そのために、次のような修正された分解証明法を用いる。

Fを世界モデルからなる命題集合、Oを到達することを目的とする目標集合とする。さて、Fの連言標準形での節集合をF、 $\sim O$ の連言標準形での節集合を $\sim O$ とする。このとき、対 $\langle c | r \rangle$ のことを指標付節と呼ぶことにする。ただし、cは節で、rは命題の集合である。ここに、節cはリテラルqの0個以上の選言からなるものとする。

さて、もし $A = A' \vee a$, $B = B' \vee \sim b$, σ はリテラルaとbの統一置換とすると、 σ によって分解式 $C = A' \sigma \vee B' \sigma$ が生じることを、節AとBが分解されるという。また通常の表記法に従って、Uを指標付節のカレントな集合、 ϕ を空集合、 \square を空節(矛盾)とする。

以上の準備をしたうえで、設計者が強制的に真とすることができる命題を仮定可能な(assumable)命題と呼ぶ。もし命題集合が仮定可能な命題のみから成り立っているものとするなら、そのような命題集合を実現可能(realizable)と呼ぶことにする。

Procedure (RESIDUE)

1. (Initialize) $U \leftarrow \{ \langle c | \phi \rangle \mid c \in (F + \sim O) \}$.
2. (If Finished, Consistency Check) If for some R, $\langle \square | R \rangle \in U$, and there exists a ground substitution σ such that $(F + R\sigma)$ is satisfiable, then R is the desired RESIDUE.
3. Execute one of 3a, 3b, 3c, 3d, or 3e. If none of these can be executed, then fail.
 - (a) (Make Assumption) If $\langle C | D \rangle \in U$, and proposition S is *assumable* and C and S can be resolved via unifier σ to yield C' , then $U \leftarrow U + \{ \langle C' | (D + \{S\}) \rangle \}$.
 - (b) (Clause-Clause Resolution) For $\langle C_i | D_i \rangle, \langle C_j | D_j \rangle \in U$, if C_i and C_j can be resolved via the unifier σ to give the resolvent C_k , then $U \leftarrow U + \{ \langle C_k | (D_i + D_j) \rangle \}$.
 - (c) (Assumption-Assumption Resolution) For $\langle C | D \rangle \in U$, $d_1, d_2 \in D$, if d_1 and d_2 can be resolved via unifier σ to yield d_3 , then $U \leftarrow U + \{ \langle C\sigma | (D + \{d_3\}) \rangle \}$.
 - (d) (Assumption-Clause Resolution) For $\langle C | D \rangle \in U$, $d \in D$, if d and C can be resolved via unifier σ to give the resolvent C' , then $U \leftarrow U + \{ \langle C' | D\sigma \rangle \}$.
 - (e) (Constraint Propagation) Let $\langle C_1 | R_1 \rangle, \langle C_2 | R_2 \rangle \in U$ and let c_1, \dots, c_n be the literals of C_1 . If there is a clause $A = a_i \vee \dots \vee a_n$ where $a_i \in \{ R_1 + \{ \sim c_i \} \}$, and A and C_2 resolve via unifier σ to yield a literal c' , then $U \leftarrow U + \langle C_1\sigma \vee \sim c' | (R_1 + R_2)\sigma \rangle$.
4. Go to 2.

図 3 The RESIDUE procedure.⁽²⁾

すると求めるべき RESIDUE 手続きは、図 3 に示されるようになる。RESIDUE 手続きは、指標付節のデータベース U を構築していく。各指標付節の最初の要素 c は、単に通常の分解証明法における節である。2 番目の要素 r は、 c を導出するのになされた仮定の集合、すなわち候補 RESIDUE である。

図 3 のステップ 1 は、 $F + \sim O$ からなる指標付節集合となるような U の初期化である。ステップ 2 は終了条件で、それは、①分解証明が成功し、空節 \square を導出し、かつ、②設計候補 R が世界モデル F と無矛盾となるような RESIDUE 候補 R 中の全変数に対する置換 σ を知っていることである。ステップ 3a は、反ばくされるべき節を分解する任意のプリミティブに仮定可能な命題を仮定することを許容する。ステップ 3b, 3c, 3d は、節を導出するのに最近なされた仮定のトレース (指標付節の第二要素) を保存するために修正された分解規則である。ステップ 3e が制約条件の伝播 (constraint propagation) と呼ばれているもので、与えられたパス上の解を見いだすための必要条件である。なお、本手続きの完全性と健全性も証明されている。

4・2 例題

〔例 3〕 目標 $O = \{H\}$, 世界モデル $F = \{A \wedge B \rightarrow H, \sim D \wedge E \rightarrow A\}$, 仮定可能命題集合 $R = \{B, \sim D, I\}$ とする。すると指標付節の集合は $\{\langle \sim H \mid \phi \rangle, \langle \sim A \vee \sim B \vee H \mid \phi \rangle, \langle D \vee \sim E \vee A \mid \phi \rangle\}$ となる。これに対して上記の RESIDUE 手続きを適用すると、 $\langle \square \mid \{B, \sim D\} \rangle$ となる。かくして、 $F + \{B, \sim D\}$ が無矛盾なら、集合 $\{B, \sim D\}$ が求めるべき RESIDUE である。

〔例 4〕 初期世界モデル F は次の規則(24), (25)と制約条件(26)からなるとする (図 4 参照)。

$$(A = x_1) \wedge (B = x_2) \wedge (x_1 + x_2 = x_3) \rightarrow (C = x_3) \quad (24)$$

$$(A = x_1) \wedge (C = x_3) \wedge (x_1 + x_3 = x_4) \rightarrow (E = x_4) \quad (25)$$

$$(2x_1 + x_2 = x_4) \wedge \text{even}(x_4) \rightarrow \text{even}(x_2) \quad (26)$$

ここに次の条件を満たす A, B を求めることを設計目標とする。

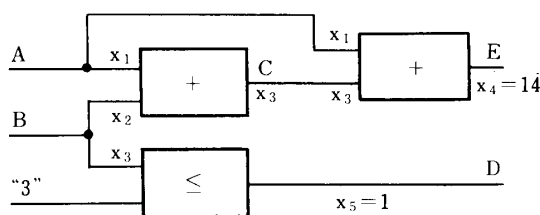


図 4 Example of RESIDUE.

$$(E=14) \wedge (D=1) \quad (27)$$

この場合、上述の RESIDUE 手続きを適用すると、次のような解 RESIDUE が求まる。

$$\{A=6, B=2, \text{even}(2), 2 \leq 3\} \quad (28)$$

設計問題の特徴は、設計者が仮定可能な命題集合からなる探索空間が膨大になることである。設計の中間段階では、その探索空間が最終設計の空間を含まないばかりか、考えられないほど大きくなることもある。このような問題意識が、RESIDUE アプローチ開発の必要性を動機づけた。

RESIDUE アプローチは伝統的アプローチより、次のような諸点において優れている。第 1 に、RESIDUE での設計代替案の生成は目標起動型数えあげ (goal-directed enumeration) といわれ、盲目的数えあげ (blind enumeration) よりも平均的な探索空間のサイズが小さい。第 2 に、単一項 (single term) アプローチとして知られる従来の方法に比べて、設計に関する部分的情報を表現するのに優れており、アドホックな語彙の増大を避けることができる。結果的に RESIDUE アプローチは制約条件集合をアサートしておくだけで、それと無矛盾な設計を生成できる。制約条件の伝播というのが、その中心概念である。

5. 他の研究領域との関連

5・1 非単調推論との関係

本解説の随所に散見されるように、仮説推論と Reiter の正規暗黙式 (normal defaults) ⁽¹⁹⁾ とは密接な関連がある。たとえば、Reiter の

$$a(x) : M w(x) / w(x) \quad (29)$$

という正規暗黙式は、Theorist では

$$(x) \text{ ASSUME } a(x) \rightarrow w(x) \quad (30)$$

と表現される。Theorist の論理は対偶を許容する点が異なる。

これに対して非正規暗黙式 (non-normal defaults) で生じる問題は、極めて多様な方法で解決していかなければならない。

要するに、暗黙式を仮定しなければならない矛盾する知識世界ではより特殊な知識が選好され、その必要がない一般的な無矛盾な知識世界ではより一般的な知識が選好されるということである。

また仮説推論は、Truth Maintenance System とも密接な関係がある。たとえば、RESIDUE のデータベース U は必ずしも無矛盾でない多数の指標付節の集合を含んでいる。実際、各指標付節 $\langle c \mid r \rangle$ は

$$F + r + \{c\} \vdash O \quad (31)$$

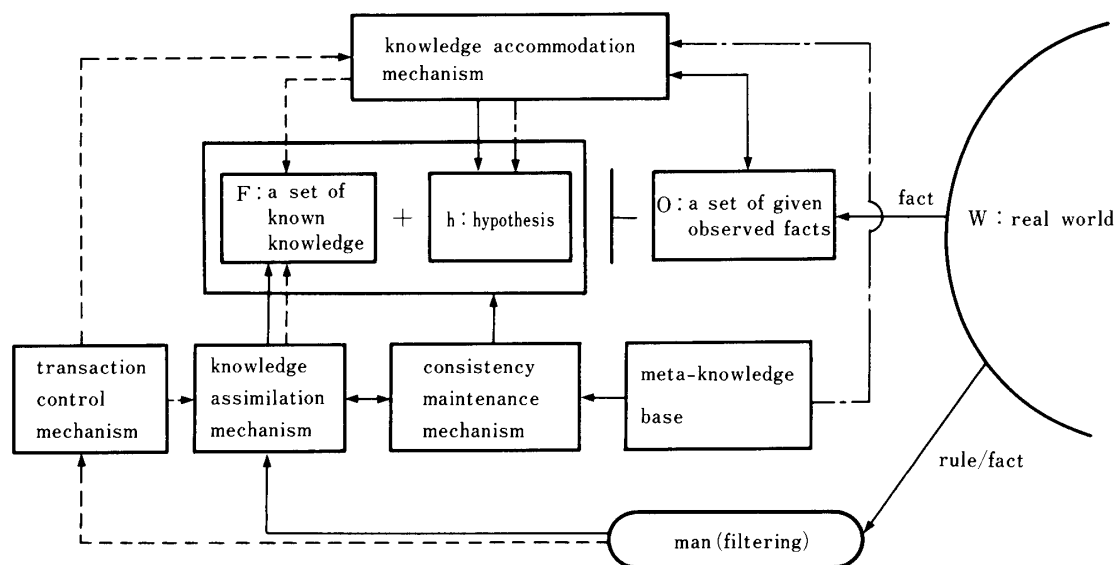


図 5 Hypothesis-based reasoning and knowledge acquisition.

という知識を表している。de Kleer の Assumption-based Truth Maintenance System も、同時に多数の仮定の集合を保持しなければならないという意味で類似のアイディアに基づいている。

同様の観点のもと、Theorist と DART、集合被覆問題などとの比較が文献 (17) になされているので参照されたい。

5・2 知識ベース管理との関係

仮説推論に関する問題(a)~(f)のうち、筆者らはすでに、(a)、(d)~(f)に関する研究を部分的に含む知識獲得支援のための基礎技術として、知識同化・調節機構⁽⁸⁾⁽¹³⁾やトランザクション管理機構⁽⁶⁾を実現してきた。ここではそれらの諸機構と仮説推論との関連を図5に示す。図5の各機能は、問題(a)、(d)~(f)の一部を解決するために導入された。すなわち、問題(a)を解決支援するためには無矛盾性管理機構が必要であり、また問題(d)~(f)を解決支援するためには、与えられた問題向けの各種の知識調節機構の実現が必要である。ここに従来行っていた知識同化機構⁽⁸⁾⁽¹³⁾は、現実世界からの知識(規則や事実)を人間というフィルタを経由して取り出し、それが正しいと仮定し、既知の知識ベースFに無矛盾かつ系統的に挿入する過程の管理機構として実現される。当然のことながら知識同化機構はその一部として無矛盾性管理機構を包含し、後者はしばしば矛盾型メタ知識と呼ばれるメタ知識ベースを用いて管理されている。また知識調節機構⁽⁸⁾は、世界から与えられる観測された事実が正しいと仮定し、それを説明する仮説を帰納推論アルゴリズムによって自動構築していく過程の管理機構として実現されてきた。

さらにトランザクション管理機構⁽⁶⁾は、人間というフィルタ経由の外から与えられた知識(規則や事実)が正しいと仮定し、それを知識同化機構を通してFに挿入するとき、その知識に関連するトリガ型メタ知識と呼ばれるデーモンが起動され、それに伴い知識調節機構が稼動しFが別のF'に更新される過程の管理機構として実現される。そこにおいては、あるトランザクションという単位での同化と調節の機構が同時に働くことが要請される。

6. お わ り に

本稿では主として高次人工知能⁽⁴⁾の実現という観点で、仮説推論システム研究の現状を紹介した。その結果、仮説推論の限界に対する考察が不十分とはいえ、今後の研究の進展によっては、次のような観点からの仮説推論研究の展望を述べることもできる。これらについては紙数の関係で省略するが、(a)については文献(21)を、(b)については中川の稿を、(c)については半田らの稿や文献(10)を、(d)については文献(5)を参照されたい。

- (a) Boolean-valued Prolog
- (b) サークムスクリプション
- (c) 帰納や類推
- (d) (統計的) 仮説検定論

筆者は、これらの分野における高次人工知能研究のニーズとシーズに共感しつつも、人工知能技術の現状にかんがみ、仮説推論という形式的枠組みを通して高次人工知能研究を理解すべきだということを強調した。仮説推論は、演繹・帰納・発想という人間の推論図式

を説明しうる高次人工知能研究推進のための「たたき台」として、今後おおいに研究が進展することが期待される。

謝 辞

本研究の機会を与えていただき、日ごろご指導いただき北川敏男会長および榎本肇所長に感謝致します。本解説論文をまとめる直接のきっかけとなったのは、

1986年6月に開催された ICOT の人工知能基礎ワーキンググループ(主査:溝口文雄助教授(東理大))の合宿である。合宿に参加され仮説推論関係の論文を紹介された委員の方々、特に石塚満助教授(東大)、古川康一次長、世木博久、有馬淳(ICOT)、鶴巻宏治(NTT)の諸氏に感謝する。

◇ 参 考 文 献 ◇

- (1) 有川節夫: 帰納推論と類推-理論と応用-, 渕一博監修知識情報処理シリーズ第2巻“知識の学習メカニズム”, 共立出版(1986).
- (2) Finger, J. J. and Genesereth, M. R.: RESIDUE-A deductive approach to design synthesis, Stanford HPP Memo hpp-85-1 (1985. 1).
- (3) Goebel, R., Furukawa, K. and Poole, D.: Using definite clauses and integrity constraints as the basis for a theory formation approach to diagnostic reasoning, Proc. 3rd Int. Conf. on Logic Programming, Imperial College, London (July 1986).
- (4) 石塚 満, 松田哲史: 不完全な知識環境下での高次推論, 知識システム方法論夏期シンポジウム報告書, 富士通・国際研(1986. 9).
- (5) 北川敏男: 統計学の認識, 白揚社(1948).
- (6) 北上 始, 國藤 進, 宮地泰造, 古川康一: 論理プログラミング言語 Prolog による知識ベース管理システム, 情報処理, Vol. 26, No. 11 (1985).
- (7) 小林重信: 知識システム方法論の確立に向けて, 知識システム方法論夏期シンポジウム報告書, 富士通・国際研(1986. 9).
- (8) 國藤 進, 北上 始, 宮地泰造, 古川康一: 知識工学の基礎と応用 [第4回] -Prolog における知識ベースの管理-, 計測と制御, Vol. 24, No. 6 (1985).
- (9) 國藤 進: 演繹・帰納・発想の推論機構化をめざして, 渕一博監修知識情報処理シリーズ第2巻“知識の学習メカニズム”, 共立出版(1986).
- (10) 國藤 進, 古川康一: 学習システム研究の現状と課題, 計測と制御, Vol. 25, No. 9 (1986. 9).
- (11) 國藤 進, 鶴巻宏治, 古川康一: 仮説選定機構の一実現法, 人工知能学会誌, Vol. 1, No. 2 (1986. 12).
- (12) Loveland, D. W.: Automated theorem proving: a logical basis, North-Holland (1978).
- (13) Miyachi, T., Kunifuji, S., Kitakami, H. and Furukawa, K.: A knowledge assimilation method for logic databases, New Generation Comput., Vol. 2, No. 4, pp. 385-404 (1984).
- (14) 大須賀節雄: 知的情報処理の現状と課題, 計測と制御, Vol. 25, No. 4, pp. 299-307 (1986. 4).
- (15) Poole, D. L.: On the comparison of theories: Preferring the most specific explanation, Proc. 9th IJCAI, pp. 144-147 (Aug. 1985).
- (16) Poole, D. L., Aleliunas, R. and Goebel, R.: Theorist: A logical reasoning system for defaults and diagnosis, submitted as a chapter in the volume Knowledge Representation, N. J. Cercone & G. McCalla (eds.), IEEE Press (1985).
- (17) Poole, D. L.: Default reasoning and diagnosis as theory formation, University of Waterloo, Technical Report CS-86-08 (1986. 3).
- (18) Poole, D. L. and Goebel, R.: Gracely adding negation and disjunction to Prolog, Proc. 3rd Int. Conf. on Logic Programming, Imperial College, London (1986. 7).
- (19) Reiter, R.: A logic for default reasoning, Artif. Intell., Vol. 13, pp. 81-132.
- (20) 鶴巻宏治, 國藤 進, 古川康一: メタプログラミングによる仮説生成システムの試作について, 日本ソフトウェア科学会第2回大会論文集(1985. 11).
- (21) Yamaguchi, J.: Boolean-valued Prolog—an outline of the theoretical background-, ICOT 人工知能基礎WG (1986. 12).
- (22) 米盛裕二: パースの記号学, 勁草書房(1981).

著 者 紹 介



國藤 進 (正会員)

昭和49年東京工業大学大学院修士課程終了。同年富士通(株)国際情報社会科学研究所入所。昭和57年より61年5月末まで(財)新世代コンピュータ技術開発機構へ出向。同年6月より、富士通(株)国際情報社会科学研究所へ復職。現在、第二協力開発室長。学習オートマタ、関係データベース、知識ベース管理、問題解決・推論、人工知能の研究に従事。情報処理学会25周年記念論文受賞(昭和60年)。情報処理学会、ソフトウェア科学会などの会員。