

TM-0742

仮説推論を用いた問題解決

井上克巳

July, 1989

©1989, ICOT

**ICOT**

Mita Kokusai Bldg. 21F  
4-28 Mita 1 Chome  
Minato-ku Tokyo 108 Japan

(03) 456-3191-5  
Telex ICOT J32964

---

**Institute for New Generation Computer Technology**

# 仮説推論を用いた問題解決†

井上 克己

(財) 新世代コンピュータ技術開発機構

研究所 第5研究室

東京都港区三田 1-4-28 三田国際ビル 21F

junet: inoue@icot.junct

1989年5月1日

キーワード: 仮説推論, ATMS, アブダクション, 問題解決

## 1 はじめに

問題解決の過程においては一般に、全ての必要となる知識が利用できることは稀であり、不完全な知識の基で結論を導かなければならないことが多い。ところが従来の古典論理に基づく演繹的な推論は、いかなる場合でも正しい結論を導くことが主目的であったために、不完全な知識の取り扱いが困難であった。現在我々は不完全な知識を取り扱うための基盤技術として、何らかの仮説を立てることにより不完全性を補って推論を行う仮説推論に着目し、その基礎研究および試作システム開発を行っている。本稿では、仮説推論の基本的枠組みとそれを用いた問題解決アーキテクチャの概要について説明する。

## 2 仮説推論の基本的枠組み

### 2.1 論理的基礎

仮説推論では仮説集合  $H$  を加えることによって既知の事実集合  $F$  だけからは導くことができない結論  $c$  を導く。この  $H$  は  $F$  と無矛盾であることが必要であるが、仮説自体は必ずしも真であることが保証されないため、知識が追加されたときに矛盾が生じる可能性がありその場合には  $H$  の再検討や修正が必要となる。このため、仮説推論は非単調推論と捉えることができる。ここで、 $F$  と  $H$  をそれぞれ論理式集合  $\mathcal{L}$  の部分集合、 $c$  を論理式とすると仮説推論は次の2式で表現される:

$$(1) F \cup H \models c,$$

$$(2) F \cup H \text{ は無矛盾.}$$

これまでに提案されている仮説推論システムとしては、与えられた  $c$  (観測) に対して上の(1),(2)を満たすような  $H$  (説明) を生成する Poole の Theorist [8] に基づくもの [6,7] や、競合する知識があるときに各々を仮説として推論を進めコンテキスト毎に無矛盾性を維

† 本論文は「第7回第5世代コンピュータに関するシンポジウム(1989年6月1,2日;東京)」にて発表されている。

持する de Kleer により提案された ATMS [1] に基づくもの [5] などがある。このうち前者はアブダクション (仮説生成) という推論形態を具現化したものである。<sup>1</sup> この両アプローチに対して [3] ではアブダクションと ATMS、デフォルト論理等をモデル論的に関連付けることによる統一的理解を示している。アブダクションは既知の正しい知識と真偽が不明の前提とを使ってある知識を説明するという意味で一種の逆演繹と言える。従って、推論に使う知識はあくまで一階述語論理を越える必要がなく、この意味でモデル論が明確である。例えば、否定命題の仮説は閉世界仮説の概念を用いることにより極小モデルで説明でき、ある論理式を仮説とするならばそれを真とするモデルで組織的に特徴付けることができる [3]。

## 2.2 説明の選択

2.1 の (1),(2) 式を満足する仮説集合が複数得られたときに、論理を用いて適切な説明を選択する基準としては、以下のものが適宜組み合わせられて用いられる。

- 指定した述語からなる説明を選択：予め指定された仮定可能な述語の集合  $P$  から構成される論理式の集合  $L_P$  に含まれるものを許容する。つまり、 $\mathcal{H}$  を (1),(2) を満たす全ての説明集合とすると、 $\mathcal{H} \cap L_P$  が求める説明集合となる。[1,8] ともこの制限を採用している。例えば、設計のように実現可能な事実が列挙できる場合にこれらを  $P$  に指定して用いる。
- 最も弱い説明を選択： $H_1, H_2 \in \mathcal{H}$  のとき、

$$(3) H_1 \preceq H_2 \iff H_2 \models H_1$$

という順序構造を定義すると、(1),(2) を満たす仮説集合の中から極小元を選択する。ATMS [1] で、集合の包含関係の意味での極小な仮説集合を求めることはその一例である。この基準は説明の冗長性を省く意味で妥当である。また [3] では、(3) の他に、

$$(4) H_1 \preceq H_2 \iff F \cup H_2 \models H_1$$

という順序構造の基での極小元を与えており、これら 2 つの基準により求められる説明集合の論理的等価性を示している。

- 最も特殊な説明を選択：(4) の基準を逆に用いて、極大元を選択する。すなわち、仮説集合自身が  $F$  から他の仮説集合によっては説明されないものを許容する。この意味するところは対象領域により異なる。例えば、分類学的階層では最も下位の説明であり、診断では最も細部に互る説明である。

アブダクションではグローバルな推論技法が必要とされるため、演繹推論と比べると計算量的困難が付きまとう。しかし、さらに本質的に難しい問題は、多大な計算を逆演繹という形で行ったとしても、得られた結果が必要でも十分でもない点にある。従って、より常識的に起り得る結論を導くことに関するメタ知識 (例えば相反する二つの信念が同時に支持された時にどちらを優先させるかという知識) を取り扱うためには、上記の選択基準の他

<sup>1</sup> 大前提 " $P(x)$  ならば  $Q(x)$ " と結論 " $Q(A)$ " から小前提 " $P(A)$ " を仮定することを、1 ステップ・アブダクションと呼ぶ。ここでいうアブダクションでは  $F$  全体から得られる全ての可能なステップ数でのものを対象とする。

に、領域固有のヒューリスティックスや問題解決の状況をたやすく組み込める切り口が必要となる。

### 2.3 説明生成の効率化

推論制御に関しては、無駄なチェックや計算をできる限り行わないような効率的な説明生成のアルゴリズムが望まれる。アブダクションにおける説明の生成には、効率的な導出アルゴリズムが有効であると考えている。また ATMS ではネットワーク表現上のグラフ探索アルゴリズムやブール値の伝播・制約充足が用いられる。後者の利点としては知識の増加に対して部分的な変更を加えればよく、前に行った計算は再び繰り返さずに済むこと、極小の説明によれば導出における節の包摂関係のチェックのような処理が効率良く行えること、および戦略が固定されている導出に比べてメタ的な制御が行いやすいことが挙げられる。また、ATMS とプロダクション・システムを融合させて問題解決を行う場合には、Rete アルゴリズムにブール値計算を組み込むことにより、各命題が依存する仮説集合を効率的に計算する方法 [5] もある。

探索空間の縮小に関しては、大規模な知識ベースに対処するために知識を分割し、仮説の組み合わせを制限する方法が有効である。知識の分割と制御の局所性は並列化による高速性を期待するためにも重要である。非単調推論では、知識の階層化に関して、特に分類学的階層について比較的研究されている。一方、全体・部分関係の研究では階層化された仮説世界（設計問題では設計対象物の構造を含む設計モデルを上位仮説とし、その下のパラメータを下位仮説とする階層関係）の表現とそれを用いた効率的な枝刈りアルゴリズムが [2] で提案されている。

## 3 仮説推論システムのアーキテクチャ

2章で述べた仮説推論の基本的枠組を実際の問題解決に適用するためには、全体システムの構成を考察する必要がある。我々は [2] で、工学的見地に立った仮説推論システム APRICOT のアーキテクチャを提案している。図 1 において問題解決器は問題領域に依存する。また APRICOT の各モジュールの役割は以下の通りである。

- (1) 仮説生成（列挙）：領域固有の深い知識 / 常識（構造、機能、法則）を用いて問題解決において意味のある可能な仮説集合を自動的に列挙する。例えば、モデルに基づく診断では、構成要素が正常か異常かということによって仮説集合が自動的に列挙できる。
- (2) 仮説生成（高次推論との関係）：問題解決の途中で要請に応じて目標指向的に帰納、類推などのアルゴリズムを起動し、その結果を仮説集合とする。
- (3) 仮説選択・検証：複数の仮説からより適切な仮説を選択・評価する基準・戦略を与える。これには、システム側で領域分野に依存した選択基準を用いて調整選択できる場合と、外部から選択のための新しい情報の入力（観測測定）を要請する場合とがある。
- (4) 仮説管理・効率的探索：データ自身とデータ間の依存関係の管理を行うために内部表現はネットワーク形式となる [5]。また、仮説選択の効率化と探索空間の縮小のために、

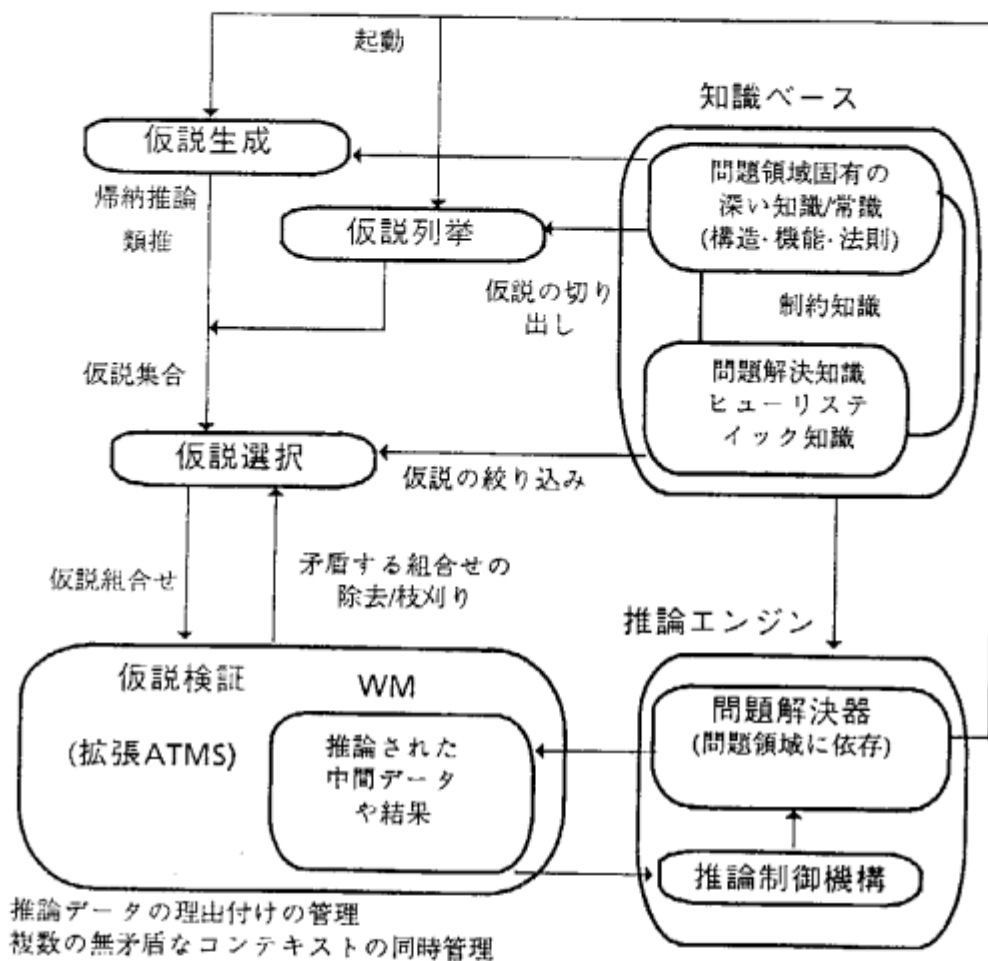


図 1. APRICOT architecture

依存関係に基づく探索戦略および枝刈りのための制約知識を利用する。

#### 4 おわりに

[4]では様々な応用に対する仮説推論の利用イメージが紹介されている。また[6,7]でも、仮説推論を基盤にした知識システム像が提案されている。我々も仮説推論が工学的応用のみならず、人間の常識的判断と関係する高次推論の一基盤技術になることを期待している。そのためには、2章で述べた説明の生成・選択メカニズムを始め、知識の動的変更に伴う信念管理や問題解決での時間・状況の扱い等数多くの問題が解明されなければならない。

## 5 参考文献

- [1] de Kleer, J., "An Assumption-based TMS", *Artificial Intelligence* **28** (1986), pp.127-162.
- [2] Inoue, K., "Problem Solving with Hypothetical Reasoning", *Proc. 3rd Int'l Conf. on Fifth Generation Computer Systems* (1988), pp. 1275-1281.
- [3] 井上 克巳, "モデル論的考察による ATMS の一般化", 情報処理学会知識工学と人工知能研究会報告 (SIG AI 63-3, 1989 年 3 月), pp.21-28.
- [4] 井上 克巳 (編), "仮説推論に対する期待とイメージ", 昭和 62 年度 KSS-WG・HYR-SWG 報告書, ICOT Technical Memorandum TM-487, 1988 年 4 月.
- [5] 井上 克巳, 太田好彦, "仮説推論システム APRICOT/0 による知識コンパイル", 人工知能学会研究会資料 (SIG-KBS-8805-6, 1989 年 2 月), pp.51-60.
- [6] 石塚 満, "不完全な知識の操作による次世代知識ベースへのアプローチ", 人工知能学会誌 **3** (5) (1988), pp.552-562.
- [7] 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 **1** (2) (1986), pp.228-237.
- [8] Poole, D., "A Logical Framework for Default Reasoning", *Artificial Intelligence* **36** (1988), pp.27-47.