TM-0172

学習システム研究の現状と課題

國藤　進，古川康一

May, 1986

©1986, 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

学習システム研究の現状と課題

國藤 進*・古川康一**

1. まえがき

最近，知識工学・認知科学・システム工学を専攻する研究者の間に，知識の学習メカニズム研究[1]に対する関心が急激に高まっている．その理由は，従来から学習システム研究を続けてきた知識工学の分野のみならず，認知科学やシステム工学の分野との接点から，学習システム研究の新たなる潮流が生まれつつあるからである．本稿ではそのような潮流を手短かに解説し，学習システム研究の現状と課題を展望してみよう．

一般に学習システム研究に接近するには，暗箱法 (black box method) と明箱法 (white box method) がある．周知のように暗箱法は，与えられた入出力関係を満足する学習機能をもつシステムを，既存の工学的プリミティブを土台に構築していく方法である．そこにおいては，学習における記号処理の本質を追及していくことが主題となる．これに対して明箱法は，与えられた入出力関係を満足する学習機能をもつシステムを実現する際，人間のもつ認知科学的な情報処理の過程をも忠実に模倣するシステムを構築していく方法である．そこにおいては学習における認知過程の本質を追及することが主題となる．すなわち暗箱法は知識工学と，明箱法は認知科学と，それぞれ相性がいい．ところでエキスパートシステムの開発に従事している研究者・技術者は知識獲得の困難さに直面しており，知識獲得支援システムの枠組のもとに，学習システムやシステム工学における方法論が統合化される必要性を強く感じている．本稿では，認知科学・システム工学との接点をもふまえて，主として知識工学的観点からみた学習システム研究の現状を紹介するなかで，学習システム研究の新たなる潮流を指摘したい．

* (財)新世代コンピュータ技術開発機構研究所 (1986年6月1日付で富士通(株)国際情報社会科学研究所に帰属)
** (財)新世代コンピュータ技術開発機構研究所
東京都港区三田 1-4-28 三田国際ビル 21F

キーワード：学習 (learning)，帰納 (induction)，発想 (abduction)，類推 (analogical reasoning)，仮説推論 (hypothesis-based reasoning)．

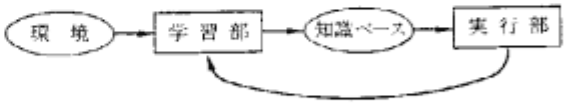

図1 学習モデル[2]

2. 記号処理過程としての学習

2.1 学習モデル

人工知能ハンドブック第Ⅲ巻[2] 第 XIV 章「学習と帰納的推論」によれば，学習システムの議論を系統的に行うために，図1に示されるような環境，学習部，知識ベース，および実行部からなる単純な学習モデルを設定している．ここに環境は学習部に関連する情報を規定し，学習部はこの情報を知識ベースを改良するのに利用し，実行部はこの知識ベースをタスク実行のために使用する．さらに，タスク実行の試みの間に得られた情報が，学習部へのフィードバックのために利用される．

この学習モデルを用い，つぎのような4種類の学習状況の類別が行われている．

① 暗記学習 (rote learning) 環境は実行タスクの水準で情報を正確に提供する．したがって，どんな仮説も必要でない．

② 助言に基づく学習 (learning by being told) 環境によって提供された情報はあまりに抽象的あるいは一般的なので，学習部は失われた詳細情報を仮説化しなければならない．

③ 例題からの学習 (learning from examples) 環境によって提供される情報があまりに固有かつ詳細なので，学習はより一般的な規則を仮説形成化しなければならない．

例題からの学習は，さらに単一ステップの学習 (単一概念の学習，複数概念の同時学習) と複数ステップの学習とに分類される．

④ 類推による学習 (learning by analogical reasoning) 環境によって提供される情報は類似の実行タスクに対しても適切である．学習システムは，現在の実行タスクに対して，ある類比 (analogy) を発見し，かつ類似の規則を仮説形成化することによって，類推することができる．

2.2 演繹・帰納・発想

上述の学習状況の類別をより体系的に説明する学習モデルとして，著者の一人は従来から人間の問題解決・推論過程の記号論的本質を，演繹・帰納・発想[3)-5)]という3種の推論活動の合理的適用ととらえ，その既存計算機システム上での実現方式の検討を行ってきた．

図2に示されているように，記号処理過程として抽象化した人間の問題解決・推論過程は，前半のV部 (A～D 部)，真中部 (D～E 部)，および後半のV部 (E～H 部) の3つの部分からなる．前半のV部は，与えられた未知の問題に対して，関連する莫大なデータを主観的な情報探検や客観的な野外観察によって収集し，それらを分析整理するなかで「データをして語らしめる」という精神でもって，その問題を説明する根源的な仮説を発見していく過程である．いわば未知の驚くべき観測事実を説明する仮説を生成する過程（仮説生成過程）である．真中の部分は，前半のV部で見い出された仮説が正しいと仮定したとき，どのような帰結が現実の世界で成立しているといえるかを論理的推論によって導出していく過程である．すなわち得られた仮説から論理的に導出される帰結を得る過程（演繹推論過程）である．また後半のV部は，Dで得られた仮説の正しさを，現実の世界で実験可能な一連の事象からなる実験計画をたてて，実際に実験観察していくなかで検証していく過程である．いわば得られた帰結を実験によって検討することで生成仮説を検定していく過程（仮説検定過程）である．

これに対して計算機科学では，図3に示されているように大前提と小前提とから帰結を求める推論過程を演繹 (Deduction) と呼ぶ．小前提と帰結（という個別知識）より大前提（という一般知識）を求める推論過程を帰納 (Induction) と呼ぶ．また帰結（という観測事実）と大前提（という既知の事実）とから小前提（という観測事実を説明しうる未知の仮説）を求める推論過程を発想 (Abduction) と呼ぶ．ここに計算機科学での帰納は，潜在的に上述の仮説生成・検定過程の両者からなることを留意しておく．

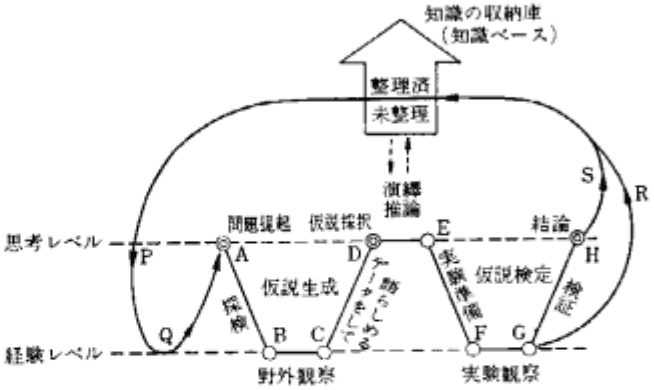

図2 問題解決・推論過程[4)]

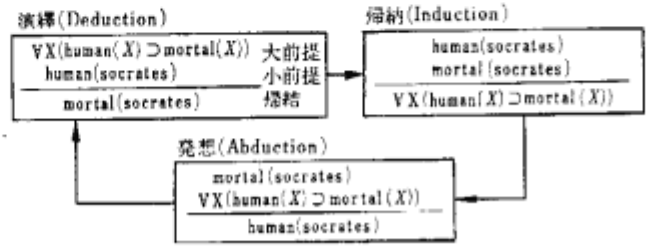

図3 発想・演繹・帰納

以上の準備をした後，演繹・帰納・発想と上記学習モデルとの関係を指摘するのはやさしい．2.1 の①は何らの一般化を伴わないので演繹学習の特殊な例（一種の条件反射学習）である．②は簡単な一般化を伴うので帰納学習の特殊な例であり，③は帰納学習の典型的な例である．また④は発想学習の典型的な例である．すなわち著者らは，②～④によって与えられた帰納や発想こそ典型的な学習機能の実現例とみなしている．

3. 仮説推論

3.1 発想と仮説推論

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，そこではある閉じた知識体系の中で「極限における同定 (identification in the limit)」[7)]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うるものでは，その知識体系に関する知識が不十分なので，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，そのうちに仮説推論に関する著者らの見解

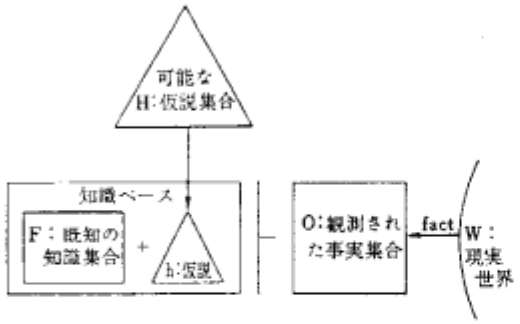

図 4　仮説推論の枠組

と，その学習との関連について論じる．

3.2　仮説推論問題

パース[5),8)]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" を推論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，つぎのような推論図式となる

$$O \tag{1}$$

$$\underline{H \vdash O} \tag{2}$$

$$H \tag{3}$$

この推論図式を科学的理論の理論形成システムへ展開したのが Theorist[2)] である．Theorist では図 4 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 (理論) "h" を，与えられた可能な仮説 (理論) 集合 "H" の部分集合の基礎例 (ground instances) 集合から適切に選択していく．すなわち Theorist では，つぎのような仮説推論 (hypothesis-based reasoning) の推論図式を採用している．

O, H, F を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，つぎの場合，しかもその場合に限る．

① $F \not\vdash O$ (ただし $F \not\vdash \square$) かつ　(4)

② 与えられた H に対して，適切な部分集合 $H'(\subseteq H)$ が存在し，しかも θ を H′ に対する代入で基礎例を生成するものとするとき，つぎのような h が存在する．

$$h = H'\theta,\ H' \subseteq H,\ F + h \vdash O \tag{5}$$

(ただし $F + h \not\vdash \square$)．

ここに "$\not$" は証明不可能を，"□" は矛盾を，"⊆" は部分集合を，"+" は和集合を意味する．(4)式は (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 (5)式は理論 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．ここに "F + H ⊢ □" の場合，いわゆる暗黙推論の推論図式を含意している．

上述の Theorist の枠組に対して，つぎのような疑問が著者らによって指摘[10)]された．

(a)　無矛盾性管理問題

知識ベース KB (≡F + h) の無矛盾性をどのようにして保持していくか．

(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 (同定する) 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

可能な仮説集合 H を最初から設定するのでなく，与えられた観測事実集合 O から仮説 H を帰納推論によって生成するにはどのようにすればよいか．

(f)　仮説推論の枠設定問題

観測事実集合 O を説明するために，どのような F や H を最初に選択すべきか．

3.3　仮説選定機構の実現

Theorist 研究に刺激を受けて，著者らは図 5 で示されるような上述の問題 (b) と (c) を解決するための仮説選定機構を実現[10)]した．本機構の特徴は，つぎの 3 点にある．

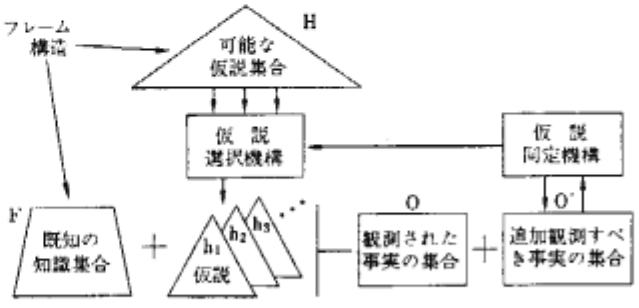

図 5　仮説選定機能の枠組

（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つぎつぎに提示し，ユーザからの“はい／いいえ”の答をもとに，考えられる複数の仮説を唯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．

ここに(2)，(3)は仮説選定機構の一部として実現されている．たとえば複数の仮説のどちらを採用するかという仮説同定のための評価基準[11]としては，つぎのようなものが考えられる．

複数の仮説 h_1 と h_2 が同一の観測事実集合Oを説明したとする．このとき，仮説 h_1 と h_2 が識別可能となるためには，

$$F+h_1 \vdash O', \text{ かつ} \quad (6)$$

$$F+h_2 \vdash \text{not } (O') \quad (7)$$

という観測事実 O′ が存在することである．O′ の真偽値を確かめる実験を行い，O′ が真なら仮説 h_1 を選定し，O′ が偽なら h_2 を選定するのが合理的な決定である．このような O′ をどうやって見い出すかに関して，世木ら[11]はホーン論理の枠内の仮説選定問題を定式化し，Shapiro の divide_and_query アルゴリズム[12]の変形により，この O′ を効率的に発見するアルゴリズムを見い出した．

4. 帰納推論

4.1 帰納と仮説推論

帰納推論とは何かについては諸説があるが，所与の（観測された）経験的知識の集合から，その底に横たわる一般的知識（ルール）を推論する過程のことである．帰納推論の具体例は図3に与えられている．すなわち，もし“ソクラテスは人間である”という事実が前もって与えられており，ついで“ソクラテスは死んだ”という事実が与えられたとする．この際，帰納推論とは，“Xが死ぬ”という一般的規則の概念形成として，“もしXが人間ならば，Xは死ぬ”という規則を推測することである．

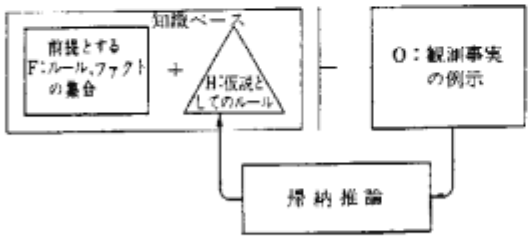

図 6 仮説推論と帰納推論

仮説推論からみた帰納推論の位置付けは，3.2 の問題(e)に集約される．すなわち図6に示されているように，例題として与えられた観測事実Oを説明する一般的知識を，仮説として推測していく過程としてとらえることができる．

4.2 帰納推論の基礎[13]

帰納推論に関する研究には，推論可能性や計算の複雑さの理論との関連を論じたものと Lisp や Prolog のプログラム合成といった実際問題への応用を論じたものがある．ここでは前者の歴史を概観しよう．

帰納推論の基礎理論を，初めて数学的厳密さをもって精密化したのは Gold[7] である．彼はその中で学習可能性概念を「極限における同定」と「枚挙 (enumeration) による同定」という考え方で定式化した．Gold の帰納推論研究を，帰納関数の推論に拡張したのが Blum ら[14]である．この文献により，帰納推論可能性と計算の複雑さの関連が明らかになった．彼らの仕事は Angluin[15],[16]，篠原[17]，Shapiro[18] ら多くの研究者に引き継がれている．

4.3 帰納推論の応用

帰納推論の実際問題への応用を意図した顕著な成果として，Shapiro のモデル推論アルゴリズム (model inference algorithm)[12],[18] がある．Shapiro は，彼の学位論文[12]の中で，哲学者 Popper の“推測と反証”[19]に関する方法論に基づき，事実（経験的知識）から理論（一般的知識）を帰納的に推論するモデル推論アルゴリズムを，つぎのような理論的枠組の中で提案した．

与えられた一階述語言語Lが節形式で表現されているとする．Lの文の2つの部分集合として，観測言語 L_0 と仮説言語 L_h を考える．ここに $\square \in L_0 \subseteq L_h \subseteq L$ (□：任意のモデル中で偽となる空文) と仮定する．またMをLのモデルとする．文集合 $T (\subseteq L_h)$ がMの L_0 完全公理化である必要十分条件は，TがMにおいて真であり，かつモデルMにおいて真となる観測文の集合 L_0^M に対して，$T \vdash L_0^M$ となることである．与えられた観測文 α が，もしそれがMにおいて真であれば“true”を返し，そうでなければ“false”を返すような，Lの未知なモデルMに対するオラクル（神託）が存在し，かつ与えられていると仮定する．このときモデル推論問題は，ある有限な L_0 完全公理化を発見することである．

```
Tを {□} と設定する.
Repeat
  つぎの事実を読む.
  Repeat
    While 推測Tが強すぎる do.
      矛盾探索アルゴリズムを適用し，Tから反
      証を与える仮説を取り除く.
    While 推測Tが弱すぎる do.
      先に反証を与えた仮説を，さらに精密化し
      たものを，Tに加える.
  Until 推測Tが強すぎることもなく弱すぎるこ
      ともない.
      (読み込まれた事実に関する誤り)
Forever 推測Tを答えとして出力する.
```

図 7　モデル推論アルゴリズム

このモデル推論問題に対する彼の提案したモデル推論アルゴリズム[12]は，図7に示されているように，ファクト型知識（経験的知識）からルール型知識（一般的知識）を帰納的に推論する学習アルゴリズムである．その際，ユーザは誤りのないファクトを与えることが要請されるので，彼のシステムは完全教師付きの単一概念の学習システムといえる．

Shapiro のモデル推論システムの精密化オペレータの実現法に関して，石坂[20]は Plotkin の汎化[21]という概念をもちこんで，仮説空間の拡大を防いだ改良版を報告した．彼のシステムの着眼点は精密化オペレータの実現法においても「帰納は具体から一般に進むもの」というアイディアをもちこんだことにある．

5. 類　　推

5.1 類推と仮説推論

人間が発想を得るために日常最も多用する推論は類推 (analogical reasoning) である．類推では，与えられた観測事実を説明するために導入する知識体系の知識が不十分なので，他の既知の知識体系との間に何らかの翻訳・逆翻訳（創造工学の用語法では等価変換[22]と呼ばれる）を行いつつ，その事実を説明する仮説を生成する．類推の推論図式は上述の仮説推論の推論図式に対する観点を変えることによって得られる．すなわち，図8に見られるように，ある未知の知識体系においてある注目すべき観測事実Oが与えられたとする．このOに対して，既知の知識体系においてOと類似の事実 O′ が存在することを見い出し，しかもそこでは“F′ かつ H′ ならば O′”が成立すると仮定する．ただし F′ は既知の知識体系固有の知識集合とする．すると類推とは，未知の知識体系において H′ と類似の知識Hが存在し，しかも“FかつHならばO”が成立するという推測を立てる根拠があるとする公理のすりかえを行う推論図式のことである．ただしFは F′ と同様に，未知の知識集合固有の知識集合である．Oと O′（あるいはHと H′）とを結びつけるには，一般に種々の等価変換理論[22]的な写像関係の当てはめが必要である．この当てはめとは，一般的にいえば，未知の知識体系の既知の知識体系への写像関係の発見にほかならない．以上から明らかなように仮説推論の枠組からみると，類推は3.2の(f)仮説推論の枠設定（発見！）問題の一種とみなせる．

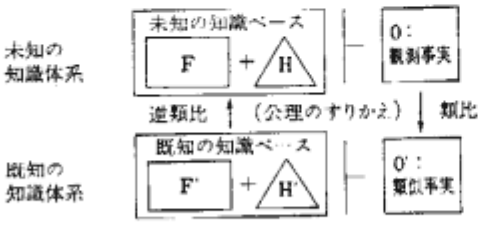

図 8　仮説推論と類推

5.2 類推の理論

上述の写像関係を見い出すのに，部分同型に基づく類比 (analogy as a partial identity) による思考形式が利用されているとするのが，原口の類比の理論[23]である．この類比の理論を，「演繹と類比は同一の論理的枠内で体系化すべきである」という信念のもと，変数を含まないホーン節集合を対象とする論理プログラミングに適用したのが原口の類推の理論[24]である．この類推の理論を一般の（変数を含む）ホーン節集合を対象として展開したのが原口の最近の研究[25]である．そこにおいては部分同一性概念を最小エルブランモデル上で定義し，それを保証する EPIC という条件を与え，図8で示される“公理のすりかえ”をホーン節の“ルールのすりかえ”に帰着する論理的方法を与えた．この研究により Prolog のメタンタプリタを土台に，類推システムを実現する基礎が与えられた．EPIC による類推システムは同一の述語が関数記号をもつ論理プログラムに対してしか適用できないので，それによる類推システム実現法に対して実用的見地から根強い批判があった．これに対して原口[26]は異なる述語や関数記号をもつ論理プログラムに対しても最小モデル間の部分同一の概念を与え，それを保証する SPIC という条件を与えた．

なお，類推システムを実際問題に適用するには，帰納推論と同じく計算量の爆発を防ぐ必要がある．そのために第1に考えられるのはメタ知識[27]の導入による探索空間の絞り込みであり，第2に考えられるのは視点[28]の導入に基づく探索空間の制御である．いずれにせよ実用的規模の問題を解くには多くのなすべきこと

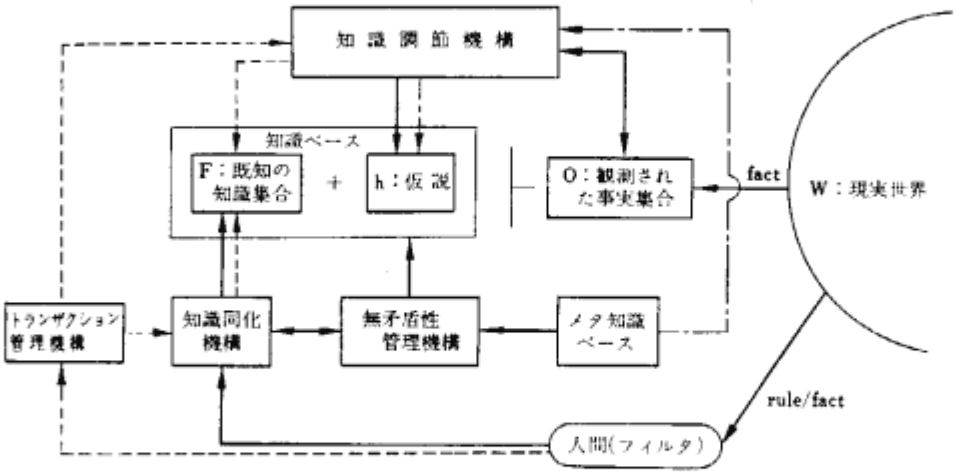

図 9　仮説推論と知識獲得

がある．

6. 他の研究領域との関連

6.1 知識ベース管理と学習

仮説推論に関する問題(a)～(f)のうち，著者らはすでに，(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[27]やトランザクション管理機構[29]を実現してきた．それらの諸機構と仮説推論との関連を，図9に示す．図9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(b)～(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[27]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[27),29]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いる．さらにトランザクション管理機構[29]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．

6.2 発見的知識の学習

6.1 の図9の説明ではふれなかったが，今後最も重要となる学習にメタ知識，すなわち発見的知識(heuristics)の学習がある．Lenat の AM[30),31] や EURISKO[32)-35] がその代表例である．AM や EURISKO では“面白さ(interestingness)”の度合いというメジャー（価値観）を導入し，そのメジャーを増加させる方向に，つぎつぎに“面白い”概念を自己成長させていく．AM は，たとえば，初等整数論や集合論の“面白い”概念を発見する学習システムである．“面白い”概念かどうかを判定するのに，たとえば部分一致を作る，珍しい述語を一般化する，極端なものの逆関数をとる，概念の重複に注目する，などといった発見的知識を利用している．これに対して EURISKO では発見的知識の学習それ自体も行う．すなわち，新しい発見的知識を合成するための発見的知識をも保有し活用している．EURISKO は莫大な計算機資源を消費するという弱点をもつけれど，上述の初等整数論や集合論のみならず，戦争ゲームや VLSI 設計といった応用分野に適用され，多大の成功を収めた．いずれにせよ，この“面白い”概念の定義は，数学的審美観ともある程度一致しており，科学的発見の論理を説明しているところがあり，非常に興味深い．この種の研究は，認知科学における知識の自己組織化研究として，今後，大いに発展することが期待される．

6.3 知識システム方法論と学習

人工知能ツールを現実の問題に適用したいと努力し

ている現場の人々の間に，知識ベースへの知識獲得支援技術の確立が望まれている．このような人々にとって上述の知識ベース管理問題の解決は単に最終局面での知識獲得問題にしかすぎない．人工知能ツールは続続と生まれるけれど，現場の人々はそれを現場で使いこなす方法論がないという嘆きの声を聞くことが多い．そこであるメーカの研究者は故障診断に関する豊富な開発研究事例[36]を踏まえて，(1)現在得られている故障診断に関する知識，(2)新たに獲得した故障診断に関する知識，(3)故障発生状況と原因に関する知識の分類・整理，(4)知識ベースの設計・作成といった新たな方法論を模索しつつある．このような動きは著者らの所属する ICOT でも，知識システム構築のための方法論に対する期待として応用システム第2専門委員会というところで精力的に調査研究[37]がなされている．そこでの基本的視点は，システム工学において問題解決のために開発されてきた方法論に謙虚に学び，知識獲得支援技術確立のための知識システム方法論を構築しようということである．昭和60年度の調査研究の成果として，①問題の設定，②既存技術の評価，③知識源の同定，④専門家モデルの同定，⑤ユーザモデルの同定，⑥知識表現の選択，⑦知識の抽出，⑧知識の変換，⑨知識ベースの管理といった基本フローが明確になったことである．この調査内容に関しては，文献37)に詳しいので省略する．重要なのは，学習研究は単にこの最終局面⑨のみでなく，他の全局面①～⑧への適用可能性を考えるべきであるということである．

7. おわりに

本稿では主として「仮説推論と学習」という観点で，学習システム研究の現状と課題を整理した．

著者らの見落した観点に言語学習，認知学習などがある．著者らは，これらの分野における学習研究のおもしろさと難しさに共感しつつも，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を通して学習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学習研究比較のための「思考のワークベンチ」として，今後おおいに発展することが期待される．

(昭和61年6月18日受付)

参考文献

1) 淵(監修)，古川，溝口(共編)：知識の学習メカニズム，共立出版 (1986)
2) P. R. Cohen and E. A. Feigenbaum (eds.): The Handbook of Artificial Intelligence, 3, William Kaufmann, Inc., 邦訳：田中，淵(監訳)，人工知能ハンドブック第Ⅲ巻，共立出版 (1984)
3) 國藤：知識情報処理システムから創造科学へ，オペレーションズリサーチ，5月号，261/268 (1981)
4) 國藤：問題解決と推論，計測と制御，22-1，158/159 (1983)
5) 國藤：演繹・帰納・発想の推論機構化をめざして，1) に同じ
6) 川喜田，牧島 (編)：問題解決学-KJ 法ワークブック，講談社 (1970)
7) E. M. Gold: Language Identification in the Limit, Information and Control, 10 (1967)
8) 米盛：パースの記号学，勁草書房 (1981)
9) D. Poole, R. Aleliunas and R. Goebel: Theorist, A Logical Reasoning System for Defaults and Diagnosis, in Knowledge Representation (N. J. Cercone, and G. McCalla (eds.)), IEEE Press (1985)
10) 國藤，藤巻，古川：仮説選定機構の一実現法，ICOT TM, 5月 (1986)
11) H. Seki and A. Takeuchi: Integrity Constraints as Criteria for Theory Formation/Selection, ICOT TR, March (1986)
12) E. Y. Shapiro: Algorithmic Program Debugging, ACM Distinguished Dissertations, The MIT Press (1982)
13) 新世代コンピュータ技術開発機構：昭和60年度電子計算機基礎技術開発成果報告書基礎ソフトウェアシステム編第1分冊，207/213 (1986)
14) L. Blum and M. Blum: Toward a Mathematical Theory of Inductive Inference, Information and Control, 28 (1975)
15) D. Angluin: Inductive Inference of Formal Languages from Positive Data, Information and Control, 45, 117/135 (1980)
16) D. Angluin and C. H. Smith: Inductive Inference, Theory and Methods, Computing Surveys, 16-3, 237/269 (1983)
17) T. Shinohara: Polynomial Time Inference of Extended Regular Pattern Languages, Proc. of SSE Symp., Kyoto, Springer's LNCS 147 (1982)
18) E. Y. Shapiro: Inductive Inference of Theories from Facts, Yale Univ., Research Report 192 (1981)
19) K. R. Popper: Conjectures and Refutations, the Growth of Scientific Knowledge, Harper Torch Books, New York (1968)
20) 石坂：汎化を用いたモデル推論，九大総理工修士論文 (1986)
21) G. D. Plotkin: A Note on Inductive Generalization, Machine Intelligence, 5 (1970)
22) 市川：独創的研究の方法論，三和書房 (1960)
23) M. Haraguchi: An Analogy as a Partial Identity, Proc. of the LPC '84, 11-2, ICOT, March (1984)
24) M. Haraguchi and S. Arikawa: Analogical Reasoning Based on the Theory of Analogy, Res. Rept. Res. Inst. Fund. Inform. Sci., Kyushu Univ., 105 (1985)
25) 原口：最小モデル間の部分同一に基づく類推，情報システムシンポジウム資料 (1985)
26) 有川，原口：類推の理論と応用，日本学術会議情報学シンポジウム予稿集 (1986)
27) 國藤，北上，宮地，古川：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一，計測と制御，24-6，539/548 (1985)
28) 山村：類推における視点の制御，計測自動制御学会第4

同知識工学シンポジウム (1986)
29) 北上，國藤，宮地，古川：論理型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，11月 (1985)
30) R. Davis and D.B. Lenat: Knowledge-Based Systems in Artificial Intelligence, McGraw-Hill, Inc. (1982)
31) 古川：マシンインテリジェンスと知識ベース，電子通信学会会誌，**64**-9, 952/958 (1981)
32) D.B. Lenat: The Nature of Heuristics, Artificial Intelligence 19, 189/249 (1982)
33) D.B. Lenat: Theory Formation by Heuristics Search, The Nature of Heuristics II, Artificial Intelligence, **21**, 31/59 (1983)
34) D.B. Lenat: EURISKO, A Program that Learns New Heuristics and Domain Concepts, The Nature of Heuristics III, Artificial Intelligence, **21**, 61/98 (1983)
35) D.B. Lenat and J.S. Brown: Why AM and EURISKO Appear to Work, Artificial Intelligence, **23**, 269/294 (1984)
36) 青岡，名取：知識工学の計算機システム故障診断への応用，計測自動制御学会第1回知識工学研究会，17/24 (1985)
37) 諏訪，小林，岩下，國藤：エキスパートシステム開発事例にみる知識獲得の諸相，本号．

◇本ミニ特集についてのご意見をお聞かせください．
◇会誌「計測と制御」に掲載を希望する記事がありましたら，題目，内容，著者などについてお聞かせください．
巻末とじこみの通信用はがきは料金受取人払いです．
いただきました通信の内容につきましては，今後の会の運営や会誌の編集の参考にするほか，発信人のご了解を得たうえで，会誌の「会員の声」欄に掲載することがあります．