

人間の知識処理に対する考察

藤井 和之^{*1} 平賀 智^{*2} 千葉 義夫^{*3} 山本 浩司^{*4}
谷守 正行^{*5} 飯田 達哉^{*6} 田中 孝之^{*7}

^{*1}清水建設株式会社

^{*2}(株)コンピュータアプリケーションズ

^{*3}(株)大和総研

^{*4}川鉄システム開発(株)

^{*5}(株)太陽神戸三井銀行

^{*6}エム・シー・ソフトウェア(株)

^{*7}(株)東レシステムセンター

本来、知的なシステムと呼ばれるものは想定されていなかった状況に対しても柔軟に対応できるべきである。現に人間は対応できる。現在、人工知能と呼ばれているシステムは、そういった意味で知的なシステムとはいえない。本論文では、最初に、現在研究で使用されている種々の知識表現モデルが不完全であるため、研究成果がなかなか上がらないことを説明する。次に、人間の知識処理を分析し、知的なシステムを構築するために必要不可欠な機能の洗い出しを行う。最後に、これらの機能を含んだ知能表現モデルの概念を提案する。

New concept for the Human Intelligence

Kazuyuki Fujii^{*1} Satoshi Hiraga^{*2} Yoshio Tiba^{*3} Hiroshi Yamamoto^{*4}
Masayuki Tanimori^{*5} Tatuya Iida^{*6} Takayuki Tanaka^{*7}

^{*1}Simizu Corporation ^{*2}Computer Applications Co., Ltd.

^{*3}Daiwa Institute of Research Ltd.

^{*4}KAWASAKI STEEL SYSTEMS R&D CORPORATION ^{*5}THE MITSUI TAIYO KOBE BANK, LTD.

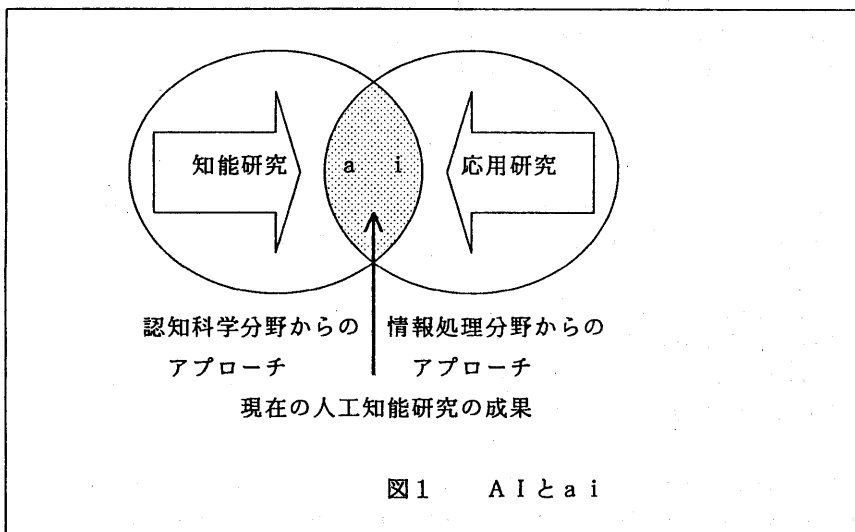
^{*6}MC SOFTWARE CO., LTD. ^{*7}Toray System Center, Co.,

Originally, a system, called intelligent system, should have a flexibility to the unexpected condition. However, current artificial intelligence technologies do not support these conditions.

In this paper, the authors will describe that the incompleteness in the models of the knowledge representation, which have been used in several research domains, is the reason of the insufficient effect for the intelligent system development. Furthermore, the necessary functions for the intelligent system development will be introduced from the analysis of the human doing, and the concept of the intelligent model which contains such functions will be proposed.

1. はじめに

A I (Artificial Intelligence) の実現は研究者にとって永遠のテーマである。ただし、一口に A I 研究といっても大きく分けて2つの流れがある。一つは、『人間の知識処理を解明し人間と同等の能力を持つ機械を実現する』ことを目的とする認知科学分野からのアプローチ。そしてもう一つは、前者の成果を現実の問題領域に積極的に適用する情報処理分野からのアプローチである。両者とも現在のところまだまだ完全ではない。むしろ、解決できない問題のほうが大部分を占めているであろう。また、これらは互いに独立なものではなく、図1に示すように重なりあっている。そして、この重なっている部分が現在の人工知能の成果であると考えられる。仮に、『理想的な人工知能（このイメージは人によってまちまちであろうが）は両者が完全に融合したものである』と定義し、これを A I（ラージエーアイ）と呼ぶことにすると、現在両者が重なっている部分は、A I の一部として考えることができる。これを a i（スモールエーアイ）と呼ぶことにする。そして、図1の右側の輪（情報処理）の領域を左側の輪（認知科学）の領域に押し込もうとする試みを『応用研究』と定義し、逆に左側の輪の領域を右側の輪の領域に押し込もうとする試みを『知能研究』と定義して以後の議論を進める [1]。



現在の a i に対する評価は高いものではない。なぜなら人工知能と呼ばれるわりには、a i はまだまだ知的には見えないからである。最近では、『これまでのプログラミング手法では扱えなかった問題、つまり明確なアルゴリズムが見えない問題に対してある程度適用できる可能性を持った新しいプログラミング手法である』という認識が得られている程度である。この認識は今日多くの人の共有する所となっているようである（これに関する議論について詳しくは [2、3] を参照されたい）。

A I を実現するための研究は、これまでに応用研究、知能研究、双方併せて多く行われ

てきているが、いまだ決定的な理論は得られていない。本論文では知能研究の立場から、現在までの知能研究についての分析を行った後、今後の研究に対する方向付けについて、特に知的なシステムとはどのようなものかに重点をおいて提案を行う。

2. 知能研究における問題点

人間はいかにして考えているのであろうか？

単純に人間の行っている知識処理を見ると以下の手順であるように『見える』。

- ① 外の世界、または、内（意識下）の世界の状況の変化を五感に対する入力として受け取る。
- ② 手持ちの知識の中から現在の状況に適合する（もしくは適合すると思われる）知識を選択（判断）する。
- ③ 知識に基づいて行動をおこす。

このような認識に基づいて、人間の知識処理をモデル化したものが、プロダクションシステムであろう。現在、最もよく用いられているこのモデルの特徴は『推論に使用する知識が既に獲得されている』ことが前提になっていることである。従って、処理を行う際に適用する知識は、基本的には静的なものであり、あらかじめ定められた形式で与えておく必要がある（まるでプログラミングのように）。このため、このモデルを利用して作成されたシステムは（通常のプログラム言語で構築されたシステムよりも若干柔軟性は高いが）想定されていなかった状況においては、役に立たない。最近よく使用されている『論理』も知識を述語として明示的に与える必要があるため同様の問題がある。

一方、人間の記憶構造をモデル化したものとしてフレーム理論、セマンティックネットワーク、スキーマ、スクリプトなどがある。これらにも、前述と同様の問題が存在する。

ここでは、フレームを例にとって説明する。フレーム理論は周知の通り、1975年にMinskyによって提案された知識表現の枠組みであるが、この冒頭には以下のように記述されている。

『人は新しい場面に遭遇したとき（あるいは現在の問題に対する見方を根本的に変えようとするとき）フレームと呼ばれる基本構造を彼の記憶構造の中から一つ選出す』〔4より引用〕

つまり、フレーム理論も基本的な考え方として、知識（この場合フレーム）が既に与えられていることが前提となっている（実際フレーム理論では、人間がフレームをどのように獲得するのかは述べられていない）。従って、フレーム理論に基づくシステムも枠組みとしてのフレームの階層構造は固定で推論はスロットを埋めていく方法を取るものが多い。また、このようなネットワーク形式の知識表現は、ネットワークであるゆえに（インスタンスレベルを除いて）知識の変更（正確には知識の階層構造の変更）が行いにくい。つまり先述のプロダクションシステムなどと同様に、知識が静的な表現になってしまう。結局これらのモデルも、柔軟性を欠くことになる。

本来、知的なシステムというものは、想定していない状況においても、柔軟な対応ができるべきである。現に人間は対応できる（もしくは対応しているように見える）。現在のモデルと人間の知識処理の間にはどのような違いがあるのだろうか？

現在のモデルを用いた研究で、柔軟な知識処理に対するアプローチの方法は主に2つあると考えられる。一つは大規模知識ベースであり、もう一つは学習・知識獲得である。両者ともそれぞれに問題を含んでいると思われる。以下にその理由を述べる。

まず、大規模知識ベースを構築することで柔軟な知識処理を目指す方法である（例えば[5]）。これは、言い換えれば、あらゆる状況を想定した知識ベースを生成し、想定されていない状況に陥るという状態を避けようという試みである。しかし、これには以下のような問題があると思われる。

a. あらゆる状況を設定し、知識を入力・修正することはそもそも可能であるのか？

また、それが可能であったとして、知識のメンテナンスは可能か？

（記述の部分性）

b. 例えa. が可能であったとして、従来の知識表現で実行可能なスピードが得られるのか？（処理の部分性）

これらの問題点については、フレーム問題として[6～12]に詳しく説明してあるので参照されたい。基本的にこのアプローチは無理があり、そもそも知的には見えない（知識は人がプログラムするのだから）。知的なシステムには自立的に知識を獲得し、利用する仕組みが不可欠であると思われる。

では、学習研究はどうであろうか？ 一口に学習といっても、暗記学習（例えば[13、14]）、帰納学習（例えば[15～19]）、類推学習（例えば[20]）、例題に基づく学習（例えば[21、22]）、定性推論に基づく知識生成・獲得（例えば[24、25]）など様々な研究が行われている（場合によっては知識量は同じでも処理効率が向上することからルールのコンパイルも学習に含めることもある[26]）。ところで、これらには共通する点が存在する。つまり、ベースとなるモデルは従来のものを使用していることである。学習を別の言葉に置き換えると、知識の動的な変更を行う機能、とも考え

られる。ところが、現在、主に使用されているモデルは基本的に、動的な変更を行うことを前提にしていないことは前述した通りである。本来静的なものを動的に使用しようとしているため、無理がかかるのは当然である（そもそも、フレームやプロダクションルール、セマンティックネットワーク、論理などのモデルを使用した学習研究は多いが、これらの知識表現を使用するとなぜ学習がうまくできるかについての研究はほとんどない）。従って、知識を獲得すればするほど、逆に、機能（主に効率）が低下する、などの問題が生じたりする（大規模知識ベースにおけるb.の問題と同じである）。事例に基づく学習（例えば[23]）は事例を蓄積する仕組みが最初から組み込まれているという点で従来のモデルとは異なるが、事例の検索において、やはり同様の問題がある。

人間の知識処理の仕組みにはまだまだ不明な点が多く潜んでいる。これまでの研究では、その一面、一面が個別に扱われていたように思われる。研究が盛んに行われているわりには、なかなか有効なものが出てこない背景の1つにはこの様な理由が考えられる。

次節では、人間の知識処理を総合的にし、これからの研究に対する方向付けを行う。

3. 知能表現モデル

もう一度2.の冒頭に示した人間の知識処理の考え方に立ち戻る。基本的にこの処理方法は表面上に現れる人間の知識処理を観察した結果得られるものである。これを、筆者らは『見える』と表現したのである。では、『見えない』ものはなんであろうか？ これからの知能研究の方向付けを行うためにはこの部分を明確にする必要があるように思われる。

2.に示した知識処理で『見える』、言い換えれば、人間の知識処理で表面上に現れる部分は、人間の判断における処理、つまり推論である。このため当初の知能研究は主に推論に重点をおいたものになっていたように思われる。しかし、推論を人間の知識処理の主体に置くと、前述したように知識の表現は静的なものにならざるをえない。なぜなら、推論は基本的に知識を利用する仕組みであり、知識を蓄積する仕組みではないからである。従って、極論すれば、知識は推論を行うために利用しやすい形、及び人間がコンピュータに対して与えやすい形でさえあれば良いことになる。従来の知識表現システムは（理論は別にして）このような背景の基に生まれてきたと考えられる。つまり、これらの知識表現を利用して推論を行う場合は、2.の繰り返しになるが、必要な知識はあらかじめ全て明示的に与えられていることが前提になっており、与えられた知識が推論過程で変更されることは考慮されていない。このため、従来の知識表現を利用して動的に知識を変更する処理に関係すると思われる、学習、類推、発見など、を実現しようとすると、非常に複雑な

処理が必要になるのは当然であろう。これは動的な知識の表現、つまりダイナミックな知識の変更が、普段人間が何気なく行っている知識処理の核の一つであるのではないだろうか。

このように考えると、2. に示した知識処理で『見えない』ものが『見えて』くる。つまり、柔軟な知識処理を行うために現在のモデルで不足しているものの一つに、知識を蓄積する仕組み、すなわち記憶の仕組みがあると考えられる。[これは、本論文の主旨とは異なるが、学習（記憶）にも焦点を置いたニューラルネットワークが、想定されていなかった状況（パターン）に対しても、ある程度有効であることから考えてもあながち間違いではないように思われる。ただ、鳥と飛行機の例えと同様に人間の脳の仕組みを模倣することで人間の知識処理を全て説明できるとは考えづらいが。]

また、記憶の仕組みを含んだモデルを考える場合、推論機能も見直す必要があると思われる。これが二つめである。これは考えてみれば当然なことである。なぜなら、記憶の仕組みは本来受動的なものだからである。だからこそこれまでのモデルでは注目されていなかったのであろうが、知識の入力、知識の利用をする機能がなければ意味がないのである。例えば、情報を記録する仕組みを持った機械（ビデオテープレコーダーのようなもの）を考えてみると良い。ビデオテープのみでも、レコーダーのみでも役には立たない。両者が揃って初めて情報の記録が可能となる。記憶と推論の関係もこれと同様である。

さらに、知識を洗練する上でも推論機能は重要な役割を持っていると考えられる。例えば、外部の状況に対してなんらかの能動的な働きが行い、そのフィードバックをさらに記憶する過程で知識の洗練が行われ、なんらかの形（これを知識絶対表現と呼ぶことにする）で蓄えられると筆者らは考えている。このように、記憶の仕組みと推論の仕組みは切り離しては考えることのできないものである。従って、従来のように知識を使用するだけの推論機能ではなく、知識を蓄える仕組みに密接な推論機能が必要なのである。

最後に、もう一つ重要なのは、記憶と推論を結びつける仕組み、つまり、知識絶対表現から、いかにして特定の問題を解決するための知識（これを知識相対表現と呼ぶことにする）を生成するか、また逆に推論からのフィードバックをいかにして蓄えるか、を考えることである。

通常前者は想起と呼ばれている。これは従来のモデルとも関係が深いと思われる。なぜなら、従来のモデルは、人間の知識処理で表面的に現れる部分、言い換えれば、特定の問題を解決するための知識相対表現とそれを用いた推論を説明するために提案されたモデルであると考えられる。そしてこれらのモデルは確かにうなずけるものがある。従って、想起の仕組みを考える場合、現在提案されているモデルをうまく説明できるものでなくてはならない。後者は通常記憶の仕組みとして研究されているものである。ところが、これはむしろ想起の仕組みと関連が深いと筆者らは考えている。つまり、この仕組みは想起の逆の経路を通して行われるものであると考えている。結局、想起の仕組みを考えることは、記憶の仕組みを考えることにもなるのである。

これまでの議論をまとめると、人間の知識処理をコンピュータ上に実現するためには、少なくとも、記憶（知識を蓄積する仕組み）と、推論（知識を利用する仕組み）、及び想起（知識絶対表現から知識相対表現を生成する仕組み）の3つの仕組みが必要であることが分かる。そして、それぞれは独立して存在するものではなく、互いに深い関連があることが分かる。

ところで、人工知能と言われるが知能とは何であろうか？ 筆者らは知能を、『知識を操る能力』と定義する。この定義から考えると上述の仕組みは知能の表現ともいえる。一見遠回りのようなのであるが、この知能表現のモデル化を考えることが、これからの知能研究に必要であり、かつAIを実現するために不可欠である、というのが筆者らの主張である。

次節では、知能表現モデルを考える上で最も重要であると思われるポイントを説明する。

4. 知能表現モデル実現のポイント～フィルター

前節での議論を基に、2. の知識処理を考え直すと以下ようになる。

- ① 外の世界、または、内（意識下）の世界の状況の変化を五感に対する入力として受け取る。
- ② 受け取った状況を評価し、以下の処理を行う。
 - a. 状況が新規（内部的に推論用の知識が生成されていない）の場合、推論用の知識を記憶から生成する（知識絶対表現から知識相対表現を想起する）。
 - b. 状況が既に内部的に生成されている推論用の知識に合致する場合。
前回実行した処理の結果予測と現在の状況を評価する。
 - c. 状況が内部的に生成されている推論用の知識の終了条件に適合する場合は、推論用知識を記憶に戻す。この際推論用知識で行った推論結果を記憶に反映する。
（知識相対表現から知識絶対表現に記憶する）。
- ③ 内部的に生成（想起）されている推論用の知識の中から現在の状況に適合する（もしくは適合すると思われる）知識を選択する。この際、知識を実行した場合の結果予測を行う（推論）。
- ④ 知識に基づいて行動をおこす（推論）。

以上、で2. での知識処理と大きく変わっているのは記憶に関する仕組み、及び記憶から推論用の知識を想起する仕組みが加わった②の部分、および知識の実行結果を予測する仕組みの加わった③の部分である。この仕組みを概念的に表現したものを図2に示す。この図で点線で囲まれた部分が従来のモデルで扱っていた部分である。

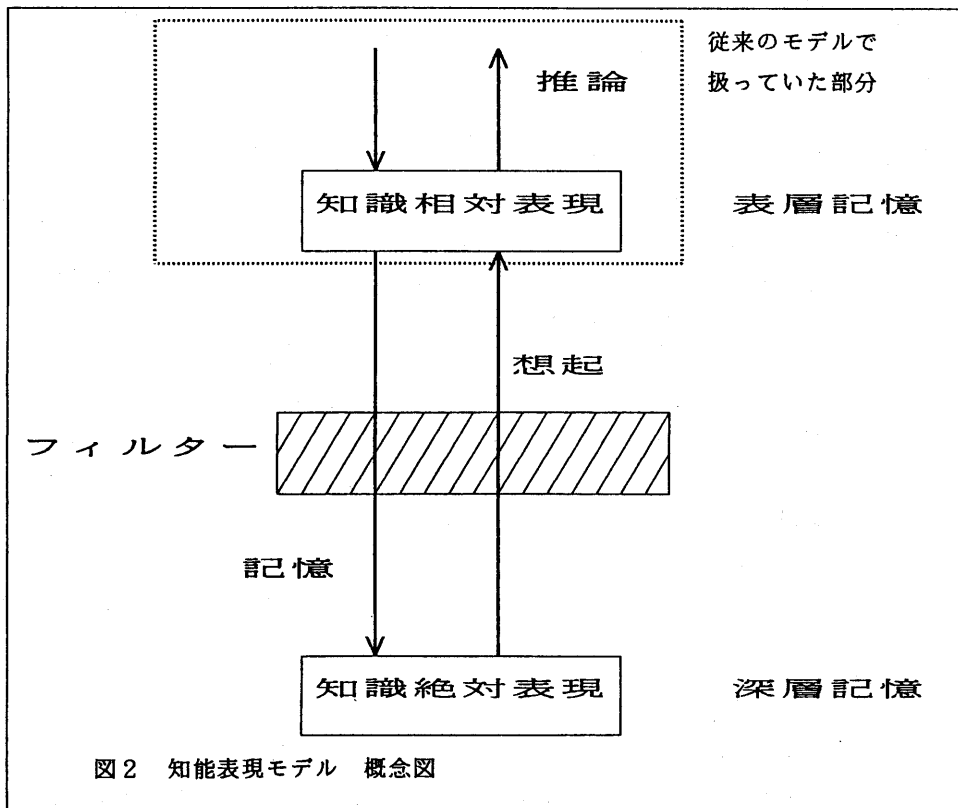
これまで論じてきたように、このようなモデルを考える場合、最も重要なのは以下の点

である。

『自立的に知識を蓄える仕組みを持ったシステムが陥るジレンマとして、知識量の増大に伴い処理効率が落ちることが上げられる。それは、人間であっても基本的に同じであると考えられる（フレーム問題は人間にも解決できないということは松原らが論じている〔7〕）。では、なぜ人間はうまく対処しているように見えるのであろうか？』

これは、前節で議論した記憶、及び想起の仕組みの問題である。現在のところ、この問題について明確に答えられる理論は存在しない。

記憶と想起を同じ仕組みで扱うために、筆者らはフィルターという概念を導入する。フィルターは知識絶対表現と知識相対表現の間を繋ぐポインターであり、自立的に更新される高度で柔軟なインデックスである。知識を整理して蓄える、つまり学習は、このフィルターが更新されることにより行われると考えて良い。同様に想起も（学習と逆の道筋を辿ること）このフィルターを用いて行うことができる。



また、人間の知識処理において特徴的なのは、一見関連性のない知識同志を意識的・無意識的に関連づけて処理できることが上げられる。これが発見や創造に繋がると考えられるが、これはどのような仕組みだろうか？ 筆者らは、人間が記憶した知識を忘れること、矛盾した知識を一緒に記憶できることなどが大きな要因であると考えている。例えば、忘

却によって抜け落ちた知識を補う、矛盾を解決する、という処理が異なる領域に属する知識の融合を促すことになると思われるからである。筆者らは、これらの機能もフィルターのインデックスの付け替えの過程で説明できると考えている（これについて詳しくは、別の機会に論じる予定である）。

現在のところ、フィルターは概念のみで実際に必要な機能などの洗い出しも終わっていない。知能表現モデルをより詳細化する過程で徐々に明らかにして行く予定である。

5. まとめ

本論文で筆者らは、現在の知能研究、特に学習において決定的な成果が出てこないのはベースとなっているモデルがそもそも動的に知識を変更することを考慮していないことが原因であることを指摘した。次に、それを解決するためには、記憶、推論、及び想起を兼ね備えた知能表現モデルが必要であること。また、知能表現モデルの中でも記憶、想起に大きな役割を持つフィルターの仕組みが最も重要であることを提案した。

ところで、高水準の記憶構造理論として、Schankのダイナミックメモリがある[33]。この著書の中で彼は、以前提案した知識表現、スクリプト、が不完全であったことを認めた後（理由は、以前のモデルが記憶と想起の仕組みを持っていなかったためであり、これはまさしく本論文で筆者らが論じた従来のモデルの問題点と同じである）、スクリプトの抽象化である一般的場面、一般的場面の結び付きについての情報を持つMOPs (Memory Organization Packets)、さらにMOPの結び付きについての情報を持つメタMOP、および異なる領域における類似点を表現する構造としてTOPs (Thematic Organization Points)を定義している。記憶はこれらの構造をダイナミックに生成・変更することで行われ、想起はこの構造を索引として用いることによって行われる。

Schankのダイナミックメモリと筆者らの知能表現モデルの根底にあるものはおそらく同じである。人間が持っている重要な機能が現在のモデルに組み込まれていないという認識においてである。Schankはそれが記憶と想起の仕組みであると考え、筆者らは記憶と想起と推論の密接な関係を持った仕組みであると考えた。両者に共通することは、記憶と想起は同じ仕組みを共有するという点であり、そういった意味でフィルターとダイナミックメモリは概念としては良く似たものになっている。しかし、より具体的なモデル化に関しては様々な考え方があり、筆者らの間でもコンセンサスは得られていない。筆者らが個々に描いている知能表現のより具体的なモデルについてはそれぞれ別の機会に論ずる予定であるが、これらのモデルはおそらくダイナミックメモリとは異なるものになるであろう。それはそれで良いのである。大切なのは、現状の問題点を解決するために何を考えれば良いかである。今後このような議論が盛んになることを望む。

[参考文献]

1. 小西 他：つきに会第2期活動報告書、清水建設技術研究所報告書(1989)
2. 大須賀 他：人工知能研究の目指すもの、情報処理学会誌、VOL. 29, NO. 1, pp. 49-70(1988)
3. 石塚 他：パネル討論「エキスパートシステムと人工知能理論」、人工知能学会誌、VOL. 5, NO. 3, pp. 266-278(1989)
4. 上野晴樹：知識工学入門、オーム社
5. 有川 他：大規模知識ベースシステムの理論的研究に向けて、人工知能学会、人工知能基礎論/ヒューマンインタフェースと認知モデル/知識ベースシステム・3研究会
合同研究会、SIG-FAI/HICG/KBS-8901-2(1989)
6. 松原、山本：フレーム問題に関する考察、情報処理学会、知識工学と人工知能研究会、87-AI-50-5(1987)
7. 松原、山本：フレーム問題に関する考察(2)、情報処理学会、知識工学と人工知能研究会、88-AI-58-6(1988)
8. 松原、橋田：人間におけるフレーム問題の解決不能性について、人工知能学会、人工知能基礎論研究会、SIG-FAI-8804-3(1989)
9. 松原、橋田：環境の崩壊としてのフレーム問題、人工知能学会、人工知能基礎論研究会、SIG-FAI-9001-2(1990)
10. 松原、山本：フレーム問題について、人工知能学会誌、VOL. 2, NO. 3, pp. 266-272(1987)
11. 松原、山本：フレーム問題、非準論理、イェール射撃問題の関係についての考察、人工知能学会誌、VOL. 4, NO. 1, pp. 70-76(1989)
12. 松原、橋田：情報の部分性とフレーム問題の解決不能性、人工知能学会誌、VOL. 4, NO. 6, pp. 695-703(1989)
13. 畠見達夫：離散時系列の暗記学習メカニズムと試験問題への応用、情報処理学会、知識工学と人工知能研究会、89-AI-67-4(1989)
14. 畠見達夫：予測と反省に基づく時系列の暗記学習、情報処理学会、知識工学と人工知能研究会、90-AI-70-2(1990)
15. 小泉 他：クラスフレーム生成によるフレームの階層化、情報処理学会、知識工学と人工知能研究会、89-AI-65-7(1989)
16. 宮内宏：コストベネフィットによる帰納学習、人工知能学会、ヒューマンインタフェースと認知モデル研究会、SIG-HICG-8902-4(1989)
17. 三輪 他：群論に基づくパターンの分析と帰納学習への適用、人工知能学会、ヒューマンインタフェースと認知モデル研究会、
SIG-HICG-8902-5(1989)
18. 仁木、石崎：概念の機械的学習、人工知能学会誌、VOL. 3, NO. 6, pp. 695-703(1988)
19. 今中 他：類推、帰納の概念を導入したプログラミング知識の学習メカニズム、情報処理学会、知識工学と人工知能研究会、88-AI-59-13(1988)
20. 瀬訪、元田：推助総問題における学習、情報処理学会、知識工学と人工知能研究会、88-AI-56-12(1988)
21. 沼尾正行：説明に基づく学習、人工知能学会誌、VOL. 3, NO. 6, pp. 704-711(1988)
22. 松原仁：事例に基づく知識の表現形式の学習の試み、情報処理学会、知識工学と人工知能研究会、90-AI-69-4(1990)
23. 小高 他：知識コンパイラの構成とその応用、情報処理学会、知識工学と人工知能研究会、86-AI-48-2(1986)
24. 林 他：深い知識に基づく知識コンパイラ(KCⅡ)におけるモデル生成と深い推論、人工知能学会、知識ベースシステム研究会、
SIG-KBS-8805-7(1989)
25. 荒屋真二：知識編集に基づく学習、情報処理学会、知識工学と人工知能研究会、88-AI-59-12(1988)
26. 仁木和久：人間の情報処理モデルとしての記号主義とコネクションイズムの融合モデル、情報処理学会、知識工学と人工知能研究会、
89-AI-65-1-2-5(1989)
27. 奥田、山崎：事例ベース推論とその応用例、情報処理学会誌、VOL. 31, NO. 2, pp. 244-254(1990)
28. 滝寛和：解釈型知識獲得システム、情報処理学会、知識工学と人工知能研究会、88-AI-56-5(1988)
29. 島田、堂下：模倣に基づく推論、情報処理学会、知識工学と人工知能研究会、88-AI-59-2(1988)
30. 松原仁：AI研究者は機械学習の研究から何を学習したのか、情報処理学会、知識工学と人工知能研究会、89-AI-65-1-3-2(1989)
31. 佐藤理史：機械学習：もう一つの選択、情報処理学会、知識工学と人工知能研究会、89-AI-65-1-3-3(1989)
32. 松原仁：事例に基づく推論はフレーム理論である、情報処理学会、知識工学と人工知能研究会 90-AI-71-1-20(1990)
33. R. C. Schank著、黒川利明・黒川啓子共訳：ダイナミック・メモリ、近代科学社