

TM-0068

演繹・帰納・発想的推論機構の機械化をめざして

國藤 進, 北上 始,
宮地泰造, 古川庫一

July, 1984

©ICOT, 1984

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

演繹・帰納・発想的推論機構の機械化をめざして

國藤 進，北上 始，宮地泰造，古川康一
((財) 新世代コンピュータ技術開発機構)

1. はじめに

人工知能研究の歴史を振り返ってみると、1960年代前半はゲームとパズルの時代、1960年代後半は知能ロボットの時代、1970年代は言語と知識の時代 [Fuchi 78]、そして1980年代は知識工学と認知科学の時代といわれている。そこで知識工学や認知科学の現状をかいま見るに知識の表現、知識の利用、および知識の獲得 [Kunifuji 81, 83-1, 84-2] といったテーマが人工知能研究の主要研究課題として検討されている。著者らのグループは、このうち最も研究が遅れているが大事な研究課題である知識の獲得に関する研究に関心を持っている。知識獲得を知識の同化、知識の調節、および知識の均衡化といったフェーズからなる過程と捉え、積極的に研究を行っている [Kunifuji 84-1, -2, Kitakami 84-1, Miyachi 84-1]。

著者らは知識情報処理システムのプロトタイプ確立、すなわち問題解決推論、知識ベース管理、知的インタフェース、や知的プログラミングといった機能を備えたシステムの研究開発に携っている。このような機能をもつ知識情報処理システムのガソリンやエンジンに相当するのが、いわゆる知識ベースと推論機構と呼ばれるものである。このようなシステムが実現すれば、人間の知的問題解決活動、極限すれば人間の創造活動を支援するツールのひとつとして極めて有用であろうが、ここではその実現に至る過程として、そのようなシステム実現のための基礎技術となりえる研究の動向を概観することにする。

2. 計算機による知識処理

情報処理装置としての計算機システムの近年の発展は、その処理対象をマシンよりのものからヒューマンよりのものに急激に拡大しつつある [Winograd 79]。例えば初期の計算機システムは0、1という二進数の処理中心のものであったが、次第に数値処理やデータ処理を志向する計算機システムが作られた。それに伴いユーザの使用する計算機言語も機械語、アセンブラ語、Fortran、Cobol、PL/Iへと発展してきた。1970年代、1980年代になって新たに記号処理や知識処理志向の計算機システムを要求するニーズが高まり、それに伴いユーザの求める言語もLispやPrologといった記号処理言語や知識処理言語の使い易い高連な処

理系に移りつつある。

このような計算機システムの知識情報処理システム志向への発展の中で、計算機システムのガソリンやエンジンにあたる部分も新たな変容を遂げつつある。ガソリンにあたる部分は知識そのもので、エンジンにあたる部分は知識を処理する機構である。知識とそれを処理する機構の間には密接な関連がある。著者らの立場は、知識を容れる容器を、次のような三種のモデルに分類する。第一のものがファクト型個別知識を格納するデータベースと呼ばれるもので、第二のものがルール型一般知識を格納する知識ベースと呼ばれるもので、そして第三のものが個別知識や一般知識の使い方に関するノウ・ハウ型知識を格納するメタ知識ベースと呼ばれるものである。これら三種のモデルに対応し、著者らはそれぞれ、データベースからの検索機構、知識ベースからの推論機構、メタ知識ベースからのメタ推論機構といった知識処理機構の必要性を喚起してきた。ソフトウェア的にみると、それぞれデータベース管理システム、知識ベース管理システムおよびメタ知識ベース管理システムとして実現できるものである。

さて前述のような観点から、計算機による知識処理の本質を分析するに、著者らは知的問題解決過程における人間の推論の本質である演繹、帰納、発想 [Arikawa 83, 84, Kunifuji 81, 83-1] の計算機システム上での実現方式に注目したい。既存の計算機システム上で演繹的あるいは帰納的推論機構を実現するには、(限られた論理の世界を前提とすれば、) 分解証明法 [Robinson 65] あるいはモデル推論法 [Shapiro 81, 82] というアルゴリズムを用いればよいことが知られている [Kunifuji 83-1, Kitakami 84-1]。しかしながら、発想的推論機構実現のためのアルゴリズム (統一原理) は、現時点ではほとんど知られていない。

3. 演繹的推論の計算機処理

19世紀後半から20世紀初頭にかけて幾多の著作を残したプラグマティストC.S. Peirceは、先駆的な記号学者として人間の探求活動の全過程を演繹論理、帰納論理、発想論理 [Yonemori 81] の立場から体系化した。彼の記号学によれば、人間の探求過程とはある未知の問題 (驚くべき事実) に遭遇した人間が、その問題を説明する仮説を発見し (発想)、その仮説から導き出される合理的な帰結を推論し

(演繹)、そして導出された帰結を検証する(帰納)過程である。本稿ではバース哲学の立場にたって演繹的推論、帰納的推論、発想的推論の計算機システム上での実現方式を調査報告する。

まず演繹的推論の計算機システム上での実現方式を明らかにしよう。一階述語論理を土台とする演繹論理における推論の本質が三段論法にあることは周知のことである。このことを既存マシン上で実現可能な形式で実証したのが、Robinsonの分解証明法[Robinson 65]である。この研究を受けて、一階述語論理の定理証明機の研究がインテンシブに行われた。その結果、定理証明機の戦略や定理証明問題のもつ計算量の意味での複雑さについて種々のことが分かった。残念ながら定理証明問題のもつ本質的難しさの故に、実用的なスピードで動く使い易い定理証明機は生まれなかった。そのような歴史的経緯を踏まえながらも、Colmerauer[Colmerauer 73]やKowalski[Kowalski 74]らの努力により、一階述語論理の部分クラスであるホーン論理について、論理式のプログラミング言語としての解釈の発見により、ある程度実用的なスピードで動く使い易いプログラミング言語が生まれた。それが論理プログラミング言語Prologである。

Prologによる演繹的推論は、一階述語論理の部分クラスであるホーン論理に対して、上述の分解証明法の一つであるSelective Negative Linear Resolution[Loveland 78]を適用したものである。Prologによる推論と一階述語論理での推論の根本的相違は、“Negation as Failure”[Clark 78]あるいは“Closed World Assumption”[Reiter 78]として知られている仮説を採用するかどうかである。このあたりの最近のトピックスについては、Shepherdson[Shepherdson 84]やJaffer[Jaffer 83]を参照されたい。さてDEC-10 Prologを中心とするProlog処理系は、本質的に与えられた知識ベース(公理系)に基づきある質問(定理)が証明可能かどうかを判定する。もしその質問が導かれる(証明可能である)ならば“yes”を返し、そうでなければ“no”を返す。すなわちProlog処理系は証明可能かどうかに関する結果のみ返す。しかしながら定理証明機開発の歴史に見られるように、証明のプロセスを制御したり、プロセスそのものから必要なメタ情報を抽出したりすることが必要な場合がある。そのような場合、著者はProlog処理系そのものの使い方に関する知識をも処理対象とするため、メタ推論という機構を導入した。メタ推論とは対象知識の使い方に関する知識を、プログラムでなくデータとして属に表現するにもかかわらず、必要に応じそのデータをプログラムとしてコールすることにより、ノウ・ハウ型知識の利用を可能ならしめるものである。メタ推論機構実現にあたって、著者はDEC-10 Prologが内蔵している幾つかのシステムプログラミング用メタ述語を使用し、論理での証明可能性概念に相当するdemoと呼ばれるメタ述語を実

現した。

このdemo述語を用いメタ推論機構を実現する方式の検討、およびその各種応用領域での適用については、文献[Kunifuji 84-1, Kitakami 84-1]に詳しいので、ここでは省略する。ここではこのようなdemo述語が、知識ベースに知識を無矛盾かつ系統的に取組む知識同化の過程において、本質的に必要であることを指摘しておく。このdemo述語を用いれば、演繹的推論の世界で知識ベースの更新をはかる過程を支援する、メタ述語assimilateが実現できる[Bowen 82, Kunifuji 83-2, Miyachi 83, 84-1, -2, Kitakami 83]。assimilate述語は知識ベースの内部矛盾を検出したり、知識ベースの冗長性を除去するのにdemo述語を使用している。

4. 帰納的推論の計算機処理

従来人工知能研究の調査文献では、帰納的推論と発想的推論の区別が不明確である。例えば、人工知能ハンドブック第Ⅲ巻[Cohen 84]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、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。



図1. 学習モデル[Cohen 84]

この学習モデルを用い、次のような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言われるままの学習(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もので、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成り詳細なので、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。

④類推による学習(Learning by analogy)

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、ある類推を発見し、かつ類似の規則を仮

説形成化しなければならない。

例題からの学習は、更に単一ステップの学習（単一概念の学習、複数概念の学習）と複数ステップの学習とに分類される。

このうち、①～③は、著者らの見解によれば、帰納的推論のカテゴリーに属する。④は発想的推論の一カテゴリーに属する。

上述のように帰納的推論の計算機処理向け研究としては、例題学習が最も良く調べられている。E. Shapiroは、彼の学位論文 [Shapiro 82] の中で、哲学者K. Popper の“推測と反証”に関する方法論に基づき、帰納的推論に関する“モデル推論アルゴリズム”を提案した。その結果に基づき試作された彼のモデル推論システムの特徴は、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である。彼のアルゴリズムのエッセンスは図2に示されているように、矛盾を発見するプログラムと反証を与えた仮説を精密化するプログラムからなる。これら両プログラムは前述のdemo述語を用いてもインプリメントできる [Kitakami 84-1]。いずれにせよ、ホーン論理という制限された論理の世界で、論理プログラムのアルゴリズム・デバッグやその自動合成といった分野に適用し、彼のシステムは成功をおさめた。

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限り）

Forever 推測Tを答として出力する。

図2. モデル推論アルゴリズム

さて著者らは、前述の知識同化機構とShapiroのモデル推論システムに基づく知識調節機構の両者の中核にし、Prologによる知識獲得支援システムを構築中である。知識獲

得支援システムにおいては、知識の同化と調節の機構を用いて、知識ベースへの知識の獲得の管理を行っている。ここに知識の同化とは、知識ベースへ知識を無矛盾かつ系統的に取得する過程であった。知識調節とは、外から与えられた知識を説明する知識（モデル）を、知識ベース内に自動生成する機構である。この両機構を併用することにより、著者らは知識ベースへの知識獲得適応過程を支援するシステム [Kitakami 84-4] へと統合中である。

知識同化と知識調節という考え方を統合する際、最も注意を払ったのは帰納的推論によって得られた論理プログラム（仮説）が正しいかどうかをユーザによって確認する作業である。現在はこの仮説確認実験をユーザの判断に基づく全数検査法で行っている。概念的にはこの部分は本質的に仮説の検定 [Kitagawa 68, 83] を行っているの、問題によっては仮説検定論の諸成果が活用できる可能性がある。

5. 発想的推論の計算機処理

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。前章で述べた帰納的推論は、ある閉じた知識体系の中で極限としての同定 [Arikawa 83] 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的推論と呼ばれるものでは、その知識体系に関する知識（ファクトとルール）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ている。意味のある仮説生成の仕方により、各種の発想的推論のパターンが分類される。第一のものは類推と呼ばれ、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 [Ichikawa 70] 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。既知の知識体系と未知の知識体系との等価変換的写像関係を見出すのに部分同型に基づく類推 [Haraguchi 84] による思考形式が利用されている。部分同型そのものを見出すのに、連想に基づく知的検索機構が活用されている。第二のものはある種のマクロなメジャーを入れて（価値観を導入して）、意味のある仮説を選択する。LenatのAM[Furukawa 81, Davis 82]がその代表例である。AMは、例えば初等整数論の“面白い”概念を発見する学習システムである。この“面白い”概念の定義は、数学的密実性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、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。

以上述べてきたように発想的推論を計算機処理するには、基本的には仮説生成機構を埋蔵した計算機システムを構築

すればよい。著者らの立場はメタ知識に基づくメタ推論機能を用いて、この種の仮説生成機構を構築していくことが可能なことを支援していくことである。その際、不要にマージすると互いに矛盾することがありえろが、系統的に管理すれば矛盾しない複数の知識体系のそれぞれを独立に取扱わなければならない。このようなアクセスの仕方によっては互いに矛盾する知識体系を、全体としては無矛盾に管理するということは、人工知能研究の立場からすれば信念システムを研究開発することに他ならない。信念システムの研究開発は知識ベースの更新を伴い、しかもその依り所となる論理は単調論理ではなく非単調論理となる。非単調論理の世界で信念の齟齬をもサポートするシステムを構築するには、その出発点としてReason Maintenance System [Shintani 84, Shirai 83] やTruth Maintenance System [Doyle 78, 79] の研究を行わなければならない。本稿で著者らが述べてきたメタ知識ベース管理システムの研究開発の立場からいえば、知識の同化や調節を行う機能のみならず、知識の均衡化機能をもつシステムを構築しなければならない。ここに知識の均衡化とは、知識ベースに対する同化と調節の過程を繰り返す中で、その知識ベースが外部環境に適応していく過程である。このような知識均衡化機構の研究は、現在その端緒についたばかり [Kitakani 84-2, -4, -5, -6, -8] であるが、今後発想的推論機構の計算機処理研究のシーズとして、大いにその成果が期待される分野である。

6. おわりに

本稿では計算機による知識処理研究の現状を、人工知能研究の立場から鳥瞰した。その結果、人間の探求過程の本質を演繹、帰納、発想という三種の推論活動の合理的適用と捉え、その既存計算機システム上での実現方式の検討を行った。演繹的推論の機械化にとってはRobinsonの分解証明法が、帰納的推論の機械化にとってはShapiroのモデル推論アルゴリズムが、現在までに得られた最も美しい成果であることを指摘した。発想的推論の機械化研究は、人工知能研究者にとって最も困難であるが魅惑的な研究領域である。しかしながら現在までに類推に関する若干の研究 [Haraguchi 84, Arikawa 84] が指摘されている以外、みるべき成果を挙げていない。

以上述べてきた各種推論機構を論理型言語Prolog上で実現するに当たって、メタ知識に基づくメタ推論機構実現の重要性を喚起してきた。メタ推論機構を用い、知識の同化、調節、均衡化機構研究が着実に前進しつつあることも述べた。しかもこれらが前述の演繹、帰納、発想的推論の機械化研究とも密接に関連していることを強調した。著者らの見解によれば、演繹的推論、帰納的推論に対して大幅に遅れている発想的推論の機械化研究を推進するのに知識均衡

化機構の研究が必要であり、またその時機が到来しつつあることを指摘したい。

〔謝辞〕 本稿をまとめる機会を与えられた富士通（株）国際研北川敏男会長、九州大学有川節夫助教授に感謝します。また、日頃ご指導していただくと同時に、本稿を発表する機会を与えられたI.C.O.T.研究所 一博所長に感謝します。

〔引用文献〕

(Arikawa 83) 有川節夫, 帰納的推論, 先端的コンピュータに関する調査研究報告書 [技術動向編], 日機連 & ICOT (編), pp. 56-69, 1983年 3月.

(Arikawa 84) 有川節夫, 帰納的推論と類推の応用, 昭和58年度先端的コンピュータに関する調査研究報告書 [技術動向編] - II, 日機連 & ICOT (編), pp. 25-33, 1984年 3月.

(Bowen 82) Bowen, K. A., Kowalski, R. A. Amalgamating Language and Meta-Language in Logic Programming (K. L. Clark and S. -A. Taerlund eds.), Academic Press, p. 153-172, 1982.

(Clark 78) Clark, K. L., Negation as Failure, in Logic and Data Bases (H. Gallaire and J. Hinker, eds.), Plenum Press, New York London, pp. 293-322, 1978.

(Cohen 84) Cohen, P. R., Feigenbaum, E. A. (田中幸吉, 渡一博監訳), 人工知能ハンドブック第Ⅲ巻, 共立出版, 1984.

(Colmerauer 73) Colmerauer, A., Kanoui, H., Pasero, R., Raussel, P., Un Systeme de Communication Homme-machine en Francais. Rapport, Groupe Intelligence Artificielle, Universite d'Aix Marseille, Luminy.

(Davis 82) Davis, R., Lenat, D. B., Knowledge -Based Systems in Artificial Intelligence, McGraw-Hill, Inc., 1982.

(Doyle 78) Doyle, J., Truth Maintenance System for Problem Solving, MIT Technical Report AI-TR-419 1978.

(Doyle 79) Doyle, J., Truth Maintenance System, Artificial Intelligence, Vol. 12, No. 3 1979.

(Fuchi 78) 湯一博, 問題解決と推論, 情報処理, 19, 10, 情報処理学会誌, 936-943, Oct. 1978.

(Furukawa 81) 古川康一, マシンインテリジェンスと知識ベース, 電子通信学会誌, 64, 9, pp. 952-958, 昭和56年 9月.

(Furukawa 83) Furukawa, K., Takeuchi, A., and Kunifuji, S., Mandala: A Knowledge Representation System in Concurrent Prolog, Information Society of Japan, Preprints of WG on Knowledge Engineering and Artificial Intelligence, Nov. 1983.

(Furukawa 84-1) 古川康一, 竹内彰一, 国藤進, Mandala. A unified system for modular programming and knowledge representation on Concurrent Prolog, 京都大学数理解析研究所, 「情報の構造化と意味に関する研究」研究集会, 1984年 2月.

(Furukawa 84-2) 古川康一, 国藤進, 竹内彰一, 上田和紀, 核言語第1版概念仕様書, 新世代コンピュータ技術開発機構, ICOT TR-054, March 1984.

(Furukawa 84-3) Furukawa, K., Takeuchi, A., Kunifuji, S., and Yasukawa, H., Mandala: A Logic based Knowledge Programming System, Institute for New Generation Computer Technology, ICOT TR-069, April 1984

(Haraguchi 84) Haraguchi, H., An Analogy as a Partial Identity, Proc. of the LPC'84, ICOT, March 1984.

(Ichikawa 70) 市川亀久彌, 創造性の科学, 日本放送出版協会, 1970.

(Jaffer 83) Jaffer, J., Lassez, J. L., Completeness of the Negation as Failure Rule, TR 83/1, Dep. of Computer Science, The Univ. of Melbourne, 1983.

(Kitagawa 68) 北川敏男, 統計学の認識, 白揚社, 1968.

(Kitagawa 83) 北川敏男, 知識情報処理システム(KIPS)への情報学的接近, 富士通(株)国際情報社会科学研究報告第10号, 昭和58年 3月.

(Kitakami 83) 北上 始, 麻生盛敏, 国藤進, 宮地泰造, 古川康一, 知識獲得機構の一実現法, 情報処理学会知識工学と人工知能研究会資料30-2, 1983年 6月.

(Kitakami 84-1) Kitakami, H., Kunifuji, S., Miyachi, T., and Furukawa, K., A Methodology for Implementation of A Knowledge Acquisition System, Proc. of the 1984 International Symposium on Logic Programming, Atlantic City, U.S.A., Feb. 6-9, 1984, also available from ICOT as ICOT Technical Report TR-037 1984.

(Kitakami 84-2) 北上 始, 国藤進, 古川康一, 宮地泰造, PrologによるBelief System の実現方法, ICOT Technical Memo., TM-0052, 1984.

(Kitakami 84-3) 北上 始, 平川秀樹, 古川康一, 知識獲得と DCG, 情報処理学会第28回全国大会 1984.

(Kitakami 84-4) 北上 始, 知識の適応過程を支援する知識獲得システム, ICOT Technical Memo., TM-0064 1984.

(Kitakami 84-5) 北上 始, 古川康一, 国藤進, 宮地泰造, 知識獲得システムと知識適応プロセス(1), 情報処理学会第29回全国大会, 1984.

(Kitakami 84-6) 北上 始, 国藤進, 古川康一, 宮地泰造, 知識獲得システムにおける信念の修正について(2), 情報処理学会第29回全国大会, 1984.

(Kitakami 84-7) 北上 始, 宮地泰造, 古川康一, 国藤進, 知識獲得システムの分散処理にむけて(3), 情報処理学会第29回全国大会, 1984.

(Kitakami 84-8) 北上 始, 国藤進, 宮地泰造, 古川康一, Prologによる知識獲得, 知識理解システム・シンポジウム, 富士通(株)国際情報社会科学研究, 昭和58年 7月.

(Kowalski 74) Kowalski, R., A. Predicate Logic as Programming Language, Proc. of IFIP 74, pp. 569-574, North-Holland, 1974.

(Kunifuji 81) 国藤進, 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, pp. 261-268, 1981年 5月号.

(Kunifuji 82) Kunifuji, S. and Yokota, H., PROLOG and Relational Data Bases for Fifth Generation Computer Systems, Proc. of CERT Workshop on "Logic Base for Databases", DEC, 1982 (TR-002).

(Kunifuji 83 -1) 國藤 進, 問題解決と推論, 計測と制御, Vol.22, No 1, 昭和58年 1月, pp.153-159.

(Kunifuji 83 -2) 國藤 進, 麻生盛敏, 竹内彰一, 宮地泰造, 北上 始, 横田治夫, 安川秀樹, 古川康一, Prologによる対象知識とメタ知識の融合とその応用, 情報処理学会知識工学と人工知能研究会資料30-1, 1983年 6月(TR-009).

(Kunifuji 83 -3) 國藤 進, 竹内彰一, 古川康一, 上田和紀 他, 核言語第1版概念仕様書(案), 新世代コンピュータ技術開発機構, 1983年 8月.

(Kunifuji 83 -4) 國藤 進, 宮地泰造, 北上 始, 古川康一, 知識獲得とメタ推論, 情報処理学会第27回全国大会, 名古屋大学, 1983年10月(TH-0016).

(Kunifuji 84 -1) 國藤 進, 北上 始, 宮地泰造, 竹内彰一, 横田治夫, 古川康一, 論理型言語によるメタ推論とその応用, 京都大学数理解析研究所, 「情報の構造化と意味に関する研究」研究集会, 1984年 2月.

(Kunifuji 84 -2) 國藤 進, 北上 始, 宮地泰造, 古川康一, 論理型言語Prologに基づく知識ベースの管理について, 第23回計測自動制御学会学術講演招待セッション, 1984年 7月.

(Loveland 78) Loveland, D.W., Automated Theorem Proving: A Logical Basis, North-Holland, Amsterdam New York Oxford, 1978.

(Miyachi 83) 宮地泰造, 國藤 進, 北上 始, 古川康一, 竹内彰一, 横田治夫, 論理データベース向きの知識同化方式の一提案, 京都大学数理解析研究所, 「モデル表現とその構築に関する理論と実際の研究」研究集会, 1983年 2月(TH-0004).

(Miyachi 84 -1) Miyachi, T., Kunifuji, S., Kitakami, H., Furukawa, K., Takeuchi, A., and Yokota, H., A Knowledge Assimilation Method for Logic Databases, Proc. of the 1984 International Symposium on Logic Programming, Atlantic City, U.S.A., Feb. 6-9, 1984.

(Miyachi 84-2) Miyachi, T., Kunifuji, S., Kitakami, H., and Furukawa, K., A Constraint-based Dynamic Semantic Model for Logic Databases, Institute for New Generation Computer Technology, ICOT TR-0056, April 1984.

(Reiter 78) Reiter, R., On Closed World Databases, in Logic and Data Bases (H.G. Gallaire and J. Hinker, eds.), Plenum Press, New York London, pp. 55-76, 1978.

(Robinson 65) Robinson, J., A Machine-Oriented Logic Based on the Resolution Principle, JACM, 12, 1965.

(Shapiro 81) Shapiro, E.Y., Inductive Inference of Theories from Facts, Yale University Research Report 192, 1981.

(Shapiro 82) Shapiro, E.Y., Algorithmic Program Debugging, ACM Distinguished Dissertations, The MIT Press, 1982.

(Shepherdson 84) Shepherdson, J.C., Negation as Failure: A Comparison of Clark's Completed Data Base and Reiter's Closed World Assumption, J. Logic Programming 1,1, pp. 51-79, 1984.

(Shintani 84) 新谷虎松, 知識情報処理における知識ベースシステムの設計, 富士通(株)国際情報社会科学研究報告第13号, 昭和59年 1月.

(Shirai 83) 白井英俊, RMS(理由保持機構)を用いた知識表現システム, 情報処理学会第27回全国大会 1983.

(Yokota 83) 横田治夫, 國藤 進, 柴山茂樹, 宮崎収兄, 角田健男, 村上国男, Prologによる推論機構と関係データベースの結合, 情報処理学会知識工学と人工知能研究会資料 32-2, 1983年11月.

(Yokota 84) Yokota, H., Kunifuji, S., Kakuta, T., Miyazaki, M., Shibayama, S., and Murakami, K., An Enhanced Inference Mechanism for Generating Relational Algebra Queries, Proc. of Third ACM SIGACT-SIGMOD Symposium on Principles of Database Systems, Waterloo, Canada, April 2-4, 1984.

(Yonemori 81) 米盛裕二, パースの記号学, 勁草書房, 1981.

(Winograd 79) Winograd, T., Toward Convivial Computing, in The Computer Age: A Twenty-Year View, Edited by H.L. Dertouzos and J. Moses, MIT Press, 1980.