

知識情報処理システムから創造科学へ

國 藤 進

1. はじめに

最近、学界・公官庁・産業界の一部に、創造科学あるいは創造学を育成・援助せんとする気運が盛りあがっている。なかでも東京創造性懇話会[1]を設立母体とする日本創造学会(川喜田二郎実行委員長)が1979年10月に発足したことが、「流動研究システムによる創造科学技術の推進」という科学技術庁関連の予算枠が今年になって認められたことは、記憶に新しい。また日本学会議科学振興基本問題特別委員会(川上正光委員長)では「学問研究の独創性・先見性の啓発」に関するシンポジウムを1980年に開催しており、文部省総合研究(A)「研究推進のための研究」でも萌芽的発想についての試論(北川敏男委員他)が展開されており、創造性・独創性問題の重要性が各界の識者から指摘されている。

このような気運は既存の学会にも影響を与えつつある。電子通信学会教育技術専門委員会(阿部善右衛門委員長)では、昨年8月“創造性”特集の研究会[2]を開催し、今年も8月に同様の主旨の研究会開催を予定している。また本学会においても「創造性開発の数学的モデルと Computer Based Design 研究会」(三重野博司主査)が組織化されたのが注目される。すなわち学会レベルで

の創造性の理論・方法・技術の結合と創造性研究の育成発展への堅実な歩みが、漸進的ではあるが進展しだした。

産業界においては、古くからこの問題の重要性が認識されており、「1950年代は能率の時代、1960年代は生産性の時代、1970年代前半は創造性の時代」とも言われていた。1970年代前半のアプローチは主としてKJ法(川喜田二郎)、NM法(中山正和)等を中心とする技法的アプローチが中心であった。さらにこれより先1940年代に等価変換理論(市川亀久弥)という創造工学的アプローチが誕生していることは特筆に値する。これら諸技法を情報学的見地から論じた川喜田・中山と北川との対話[3]も興味深い。

ところで以上述べてきたような直接的に創造性の問題にとりくむアプローチとは別に、間接的に人間のもつ創造活動を支援するマン・マシン・システム開発の動きが顕著になってきた。とりわけ通産省が1990年代のコンピュータとして開発を目ざす「第5世代コンピュータ」を知識情報処理システムという見地からみるならば、パターン情報処理機能・連想機能・学習機能等の人工知能的性能をもつ点が注目される。ある意味で機械による知能の実現を意味する人工知能研究の歴史は、ゲームとパズルの時代、ロボットの時代、自然言語理解システムの時代を経て、今や知識工学と認知科学の時代に突入したといわれる。本小論では、

くにふじ すずむ 富士通(株)国際情報社会科学研究所

これら人工知能研究の最前線を鳥瞰し、人間の知的創造活動を支援する知識情報処理システムをインプリメントする際、中核的な部分にあたる研究の現状を調査報告する。具体的には知識表現論・推論機構論・推論根拠管理機構論の調査、それぞれから創造科学へのシーズを模索していく。特に推論機構が、演繹・帰納・発想の3論証プロセスを反映する機構から成立すべきであることを、種々の角度から解説している。

2. 知識情報処理システムと創造科学

1980年代になって人工知能研究の成果を集大成し、知識ベース・システム、知識理解システム、知識情報処理システムといった応用システム開発構想が生じつつある。このような研究開発気運勃発の背景には、計算機科学、ソフトウェア工学、計算言語学、数理論理学、計量心理学等の諸分野の成果を吸収しながら、急速に成長・発展している2つの学際的分野—認知科学と知識工学—の存在が寄与している。この両分野はそれぞれ図1、図2のような個別領域からなる。次節以降では知識工学的見地から、これら両分野において表裏一体となって問題提起されている知識表現論、推論機構論と推論根拠管理機構論の研究の現状を調査し、創造科学へと発展する可能性のあるシーズを

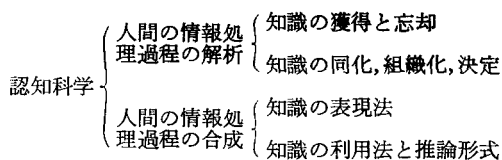


図1 認知科学の諸領域

拾っていこう。

3. 知識表現論から創造科学へ

知識表現論に関する代表的なアプローチ4種について述べる。

(1)数理論理アプローチ： 論理系として1階述語論理、ホーン論理、1階多類(Many-sorted)論理、2階多類ブール論理[4]等の研究があり、実現系としてPROLOG[5]、DEDUCE[6]等の研究がある。これらはすべて演繹的推論のみ扱う。

(2)意味ネットワーク・アプローチ： Quillian, Rumelhart, Carbonell, Woodsらにより多くの意味論研究[7]がなされている。これらは認知科学研究の過程で生まれたものも多く、連想機能の抽象機構化ともいえる。

(3)プロダクションシステム・アプローチ： 医療相談システムとして発展し、MYCIN, DENDRAL, EXPERT, CASENET等[8]の多くのシステムがある。基本的にはIF-THEN-ELSE型の規則の集合からなる。認知プロセスにはデータ駆動型と概念駆動型の2種類があるが、この両者をくみこんだシステムでは、人間が介在することによって部分的ではあるが、ボトムアップ的な帰納的推論とトップダウン的な演繹的推論の両者を混在して使用している。

(4)プログラミング言語アプローチ： PLANNER, CONNIVER等の人工知能言語によるものと、FRL, KRL, SRL等の知識表現言語によるものがある。前者はパターン照合機能、非決定性処理機能、記憶管理機能等をもち、逐次処理でなく並列処理の必要性を示唆している。後者はMinskyのフレーム理論[9]、Schankの概念依存理

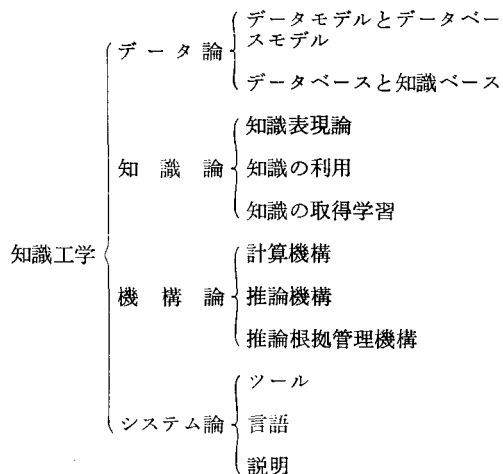


図2 知識工学の諸領域

表 1 パースの記号学における記号の分類[米盛11]

| | 記号それ自体のあり方 | 記号のその対象 | 記号とその論理的解釈内容 |
|--------------------|--------------------|----------------|-----------------------------------|
| 第1次性 Firstness | 性質記号 quali-sign | 類似記号 icon | 名 辞 rheme (term) |
| 第2次性 Secondness | 個別記号 sin-sign | 指標記号 index | 命 題 deci-sign (proposition) |
| 第3次性 Thirdness | 法則記号 legi-sign | 象徴記号 symbol | 論 証 argument |

論[10]等の影響で生まれ、人間の知識理解過程における概念の枠組設定の重要性を喚起している。

4. 推論機構論から創造科学へ

Peirceによれば、人間の行なう推論には演繹・帰納・発想の3つの形式(表1, 図3を参照)がある[11][12]。現在のところ計算機にインプリメントされた推論機構は、ほとんどフォーメアルシステムにもとづく演繹的推論機構である。この種の推論機構(推論エンジンともいわれる)と知識ベースをもつ演繹的質問応答システムの研究は数多くあるが、最近では知識ベースを利用するデータベースへの演繹的質問応答システムの開発/基礎研究[4][13][14]が盛んである。この知識ベースとデータベースの機能分化という見解は、北川[15]に

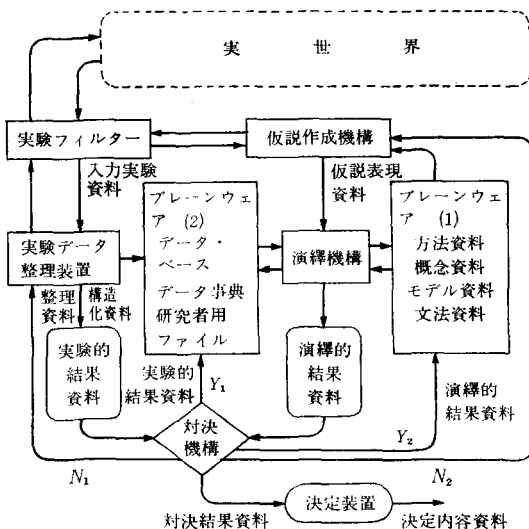
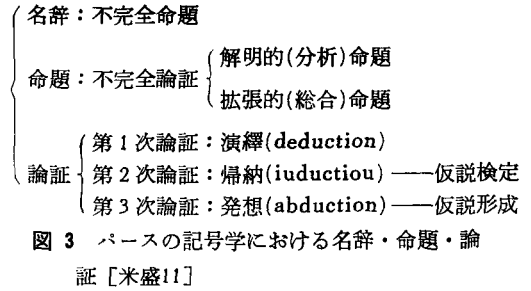


図 4 実験による研究過程の情報学的考察[北川16]



よって、すでに1974年にブレンウェア(1)および(2)の分離(図4を参照)という考えとして提案されていた。この図4でさらに注目すべきは、情報学の論理[17]にも示されているように、帰納の本質を仮説検定、発想の本質を仮説生成の立場からとらえている点である。

さて演繹とは、1つ以上の命題を前提として、経験にたよらず、公理と推論規則にもとづき必然的な帰結を導出する手続きである。その典型的なものが3段論法であり、通常古典論理として知られる1階述語論理の中で形式化されている。1階述語論理を演繹的推論機構としてくみこむとき、基本となる考えはRobinsonの分解証明法である。分解証明法は、所与の1階述語論理命題が充足不能かどうかを定める部分的決定手続きである。すなわちその命題の否定が充足不能ならば、この手続きはいつかはそのことを見出し停止する。したがって分解証明法は、種々の自動証明ツールの原理となっている。

以上のような人工知能学派の演繹志向に対して、渡辺は痛烈な批判[18]を投げかけている。渡辺[19]によると、帰納とは所与の経験的事実の集合から、その底に横たわる一般的規則についての知識を獲得する過程である。このような帰納の特殊な側面をオートマトン・モデルで解析しようという試み[20][21]もある。これら学習オートマタの理論は、より自然な機械的学習スキーマを示唆しているが、具体的な計算機向け推論機構への適用は今後の課題である。

既存の演繹的推論機構の長所を残しつつ、初等的な帰納的機構を機械化せんとする研究もある。

大須賀は知識利用システム KAUS[14]開発の途上において、「個々の事象に対する観測の集まりから一般的記述を得る」メカニズムについて考察している。また Hájek ら[22]は、演繹論理の基礎にある1階述語論理を拡張する形で、帰納論理を形式化している。

機械的な発想機構の研究は数少ないが、Hájek [22]の suggestion の論理が興味深い。彼は GU-HA 法という仮説生成機構を研究している。同種の研究を Morgan [23] も行なっている。また Kling[24], McDermott[25] はアナロジーによる推論機構の研究を、Langley[26]は規則性発見システムBACON3をインプリメントしている。その他に発想機構の数学的モデルを考察している研究として Sloman[27]や三重野[28]がある。

帰納論理は、推測統計学[29][30]において、20世紀前半からずっと整備されてきた。これに対して発想的/帰納的推論機構のインプリメント研究は、演繹的なもの比べ、やっとその萌芽的形態が見られるものばかりである。ある種の医療相談システムは、北川の論説[31]に見られるように、人間との対話プロセスにおいて、具象的事柄から抽象的事柄へ写像する機能を解放しており、ここに萌芽的ではあるが、帰納原理の使用がみられることは注目値する。このように実際のニーズに刺激されて、帰納的/発想的推論機構研究が漸進的に進展するものと思われる。

5. 推論根拠管理機構論から創造科学へ

知識情報処理システムが実装している推論機構が適切な機能を発揮するには、推論の根拠を支えている管理機構が、知識ベースとデータベースに適切な知識を獲得し学習する機能を実現している必要がある。このようなシステムは、常に更新される可能性をもつ開いた知識ベースやデータベースを保有する。そこで不完全な知識をとりあつかうことが必要となり、推論根拠管理機構は不完全知識に対する獲得・学習プロセスをにたうこと

なる。

本節では知識の獲得プロセスについての研究のみ紹介する。その理由は知識の学習プロセスについては、あまりに多くの研究[32]がなされているし、前述の推論機構研究は、実にこの知識の学習プロセスの機械化を意図しているからである。

さて知識の獲得プロセスには、Piaget の発生的認識論[33]によると、同化と調節という2つの側面がある。ここに同化とは、外の世界をかえて自分自身のなかにとりこむ過程であり、調節とは、自分自身を外の世界にあわせる過程である。知識ベース・システムの発展につれて、この知識の同化と調節という両側面をあわせもった、より“経験によって学ぶ”という諸相を反映した論証機構の研究が着実に前進しだした。Piaget の同化と調節の思想を、情報学の論理の中において関連づけたものに北川の[34][35]がある。同化と調節の機能をもつ論証機構研究は、従来人工知能分野における運用論の導入として片づけられていたものの理論的根拠の再発見である。ここでは最も代表的な Default Reasoning とその基礎を与える非単調論理について述べる。

Default Reasoning[36] は、不完全な知識のもとで問題解決のために強制的に発動される推論図式である。その基本的考えは“与えられた知識ベースとデータベースからあることが演繹されないが故に、…と結論づける”という推論図式を用いて説明される。“…”の部分は適用分野ごとに異なる。Default Reasoning は、1階述語論理での推論に比べ、表現上および計算上の利点をもつ。またそれは知識獲得の単調性という性質を、必ずしも保存せず、まさに非単調論理の一種でもある。さて非単調論理[37]は、不完全知識しか与えられない状況下での論証の過程を形式化しようとするものである。この論理での非単調性は、新たに公理を追加すると、すでに得られている定理が偽となることがあるという形で出現する。非単調論理にもとづく証明システム Truth Maintena-

nce System を開発中の Doyle らの形式化[38]によると、公理と（現在の信念を表わす）仮説の集合から演繹される定理、およびその最小不動点という概念が中心的役割をはたす。非単調論理の本質は、不完全知識下で仮説を修正していく過程を、これまでの演繹論理の拡張の範囲内でとらえる立場である。これに対して同様の条件下で、公理そのものの修正を許容する論証過程を形式化する研究は、ほとんど行なわれていない。これら仮説や公理の修正を許容する論理と帰納論理、発想論理との関連を調べてみるのが、知識情報処理システム向けの推論根拠管理機構論研究から創造

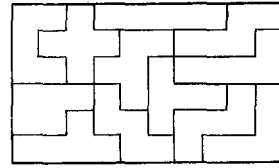


図 5 ペントミノ

科学へ接近する第1歩となるであろう。

6. 他のアプローチから創造科学へ

創造科学へ接近するには、他に無数のアプローチが考えられる。ここでは紙数の関係で、筆者の行なった若干のアプローチの特徴と創造科学へのインプリケーションを述べる。

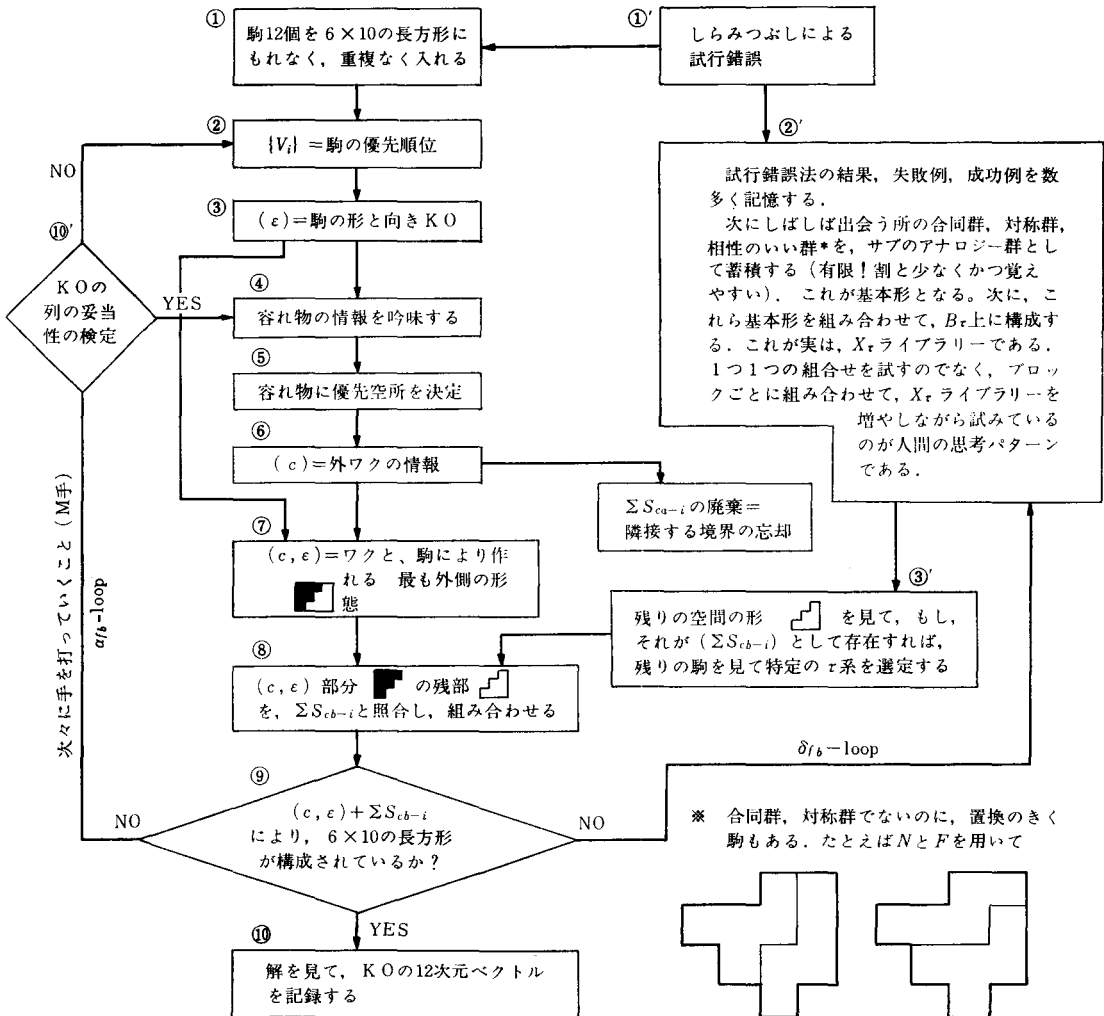


図 6 ペントミノの解法の比較

(1) 計算機によるパズルの解法という

立場から[39][40]:

計算機を用いてパズルを解く基本戦略は、①状態と状態推移関数の識別抽出、②状態空間の把握、③反復による解の探索、④しらみつぶしによる解の探索、⑤再帰構造 (recursive structure) の発見にもとづく最適解の自動生成等である。たとえば筆者もラテン方阵、エレクトラ・パズルNo.1, No.2等解くLispプログラムを試作したが、苦勞したのは問題の表現①と再帰構造の発見⑤(To iterate is human. To recurse is divine!)の部分である[39]。ところでブラパズル No.5 (ペンタミノ)(図5を参照)を解く計算機プログラムと人間による解法との比較検討を行なったのが[40]である。その概略が、市川亀久弥の等価変換理論の用語法[41]を用いて、図6に示されている。この図は、人間の思考を通して行なう問題解決プロセスの原型を内包するが、われわれはむしろこの図および等価変換理論から、演繹・帰納・発想機構の原理をくみとっていくべきであろう。

(2) K J 法の手順分析の立場から[42]:

問題解決学あるいは発想法として知られるK J法[43]の手順を分析すると同時に、林の数量化理論IV類とK J法A型図解の空間配置の比較を行なったのが[42]である。図7に示されるK J法の手順において注目すべきは、ボトムアップ的な1行見出し作りプロセスとトップダウン的な空間配置プロセスを明確に分離し処理している点である。筆者[42]および中村ら[44]の用いた方法では、後者をシミュレートすることはできても、前者へ接近することはできない。これについては「情報学の論理」[17]にあるK J法の解析も鋭い示唆を与

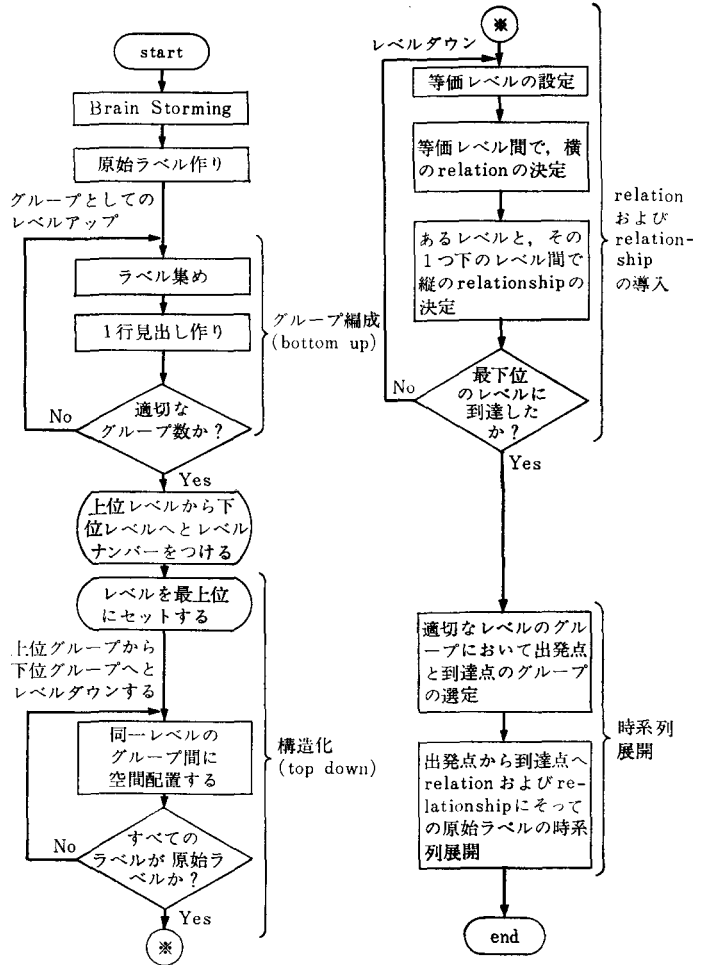


図7 K J手法の順

えている。ラベルという具象的信息から1行見出しという抽象的信息をボトムアップ的に構築していくこのプロセスを解明することは創造科学にとっての主要課題には相違ないがそのためにはまったく独創的な方法論の開拓を待たねばならない。

7. おわりに

本報告では知識情報処理システム研究の現状を調査し、創造科学の母胎たりうるシーズを模索した。とりわけ人工知能研究の最近の潮流である知識工学の3大領域である知識表現論、推論機構論、推論根拠管理機構論それぞれの寄与しうる創造科学への理論的・技術的シーズを述べた。

これに対して創造科学の理論モデルの提示といった、もっとマクロな本質的ニーズを喚起していくアプローチ[33]も考えられる。北川の試論[3][17]は、日本で生まれ育った等価変換理論・KJ法・NM法といった創造工学的技法を情報学的見地から位置づけたものであり、また彼の最近の試論[45]は、研究過程の情動的的分析にもとづく知識情報処理システムの形成過程を究明するもので興味深い。これら諸技法は問題解決のための方法論の一種でもあるがISM・DEMATEL・PATTERN[46][47]といったシステムの構造モデリング法[46][48]がこれら諸技法のもつ部分機能をシステム工学的に確立していることは、注目に値する。

以上、シーズとニーズという2つのアプローチの接点として対話型の創造活動支援機能を付与した知識情報処理システムが考えられる。マン・マシン・インタフェースのとれた知識情報処理システムを各人が自由にComputer Based Design ツールとして使いこなす知識情報社会が到来せんとしている。創造科学への道程にとって「為すべきことあまりに多く、為せしことあまりに少なき」現状ではあるが、歴史的にみても知識情報処理システムと創造科学とが結合し、創造科学が学問たりえる時代の幕開けの日は近いのではなからうか。

謝 辞

本研究をまとめる機会を与えていただきました三重野博司先生(東京理科大学)、日頃ご指導いただくと同時に創造科学に対する示唆に富んだ見解をご教授いただく北川敏男所長(富士通国際研)に深甚な感謝の意を表します。また学生時代からお世話になっている川喜田二郎教授(筑波大学)および村上幸雄先生(産業能率大学)を中心とする日本創造学会の諸先生方・友人諸氏に感謝します。また知識情報処理システムに関する調査については、同僚の竹島卓、沢村一、若木利子(富士通国際研)、藤原淳一(富士通)との情報交換が有益でした。

参 考 文 献

[1] 東京創造性懇話会(編): 東京創造性懇話会第4回年次大会予稿集, 東京工業大学, 1978年10月。

- [2] 電子通信学会教育技術専門委員会(編): 電子通信学会技術研究報告, 教育技術研究会, テーマー創造性一, 機械振興会館, 1980年8月。
- [3] 北川敏男編: 創造工学, 中公新書, 1971。
- [4] Kunifuji, S.: Second-order Many-sorted Boolean Logic for Knowledge Representation Language, International Institute for Advanced Study of Social Information Science, Research Report No.14, Feb. 1981。
- [5] Kowalski, R.: Logic for Problem Solving, North Holland, New York-Oxford, 1979。
- [6] Gallaire, H. & Minker, J.: Logic and Data Bases, Plenum Press, New York-London, 1978。
- [7] Bobrow, G. G. & Collins, A.: Representation and Understanding, Academic Press, New York, 1975。
- [8] 溝口文雄: 医療知識工学, 電子通信学会技術研究報告, オートマトンと言語研究会, AL 80-58, Dec. 1980。
- [9] Minsky, M.: A Framework for Representing Knowledge, in P. Winston (Ed.), The Psychology of Computer Vision, McGraw-Hill, New York, 1975。
- [10] Schank, R.: Conceptual Dependency, Cognitive Psychology, Vol. 3, No. 4, 1974。
- [11] 米盛裕二: 発想の論理と創造性—C.S. Peirceの哲学について, 発想の科学と実験的創造性研究懇話会, 東京工業大学, Oct. 1978。
- [12] 米盛裕二: パースの記号学, 勁草書房, 1981(出版予定)。
- [13] 国藤進, 若木利子: 知識ベースと統合性制約, 電子通信学会技術研究報告, オートマトンと言語研究会, AL79-72, Dec. 1979。
- [14] Ohsuga, S.: Perspective on New Computer Systems of the Next Generation—A Proposal for Knowledge-Based Systems, Journal of Information Processing, Vol. 3, No. 3, 1980。
- [15] Kitagawa, T.: Brainware concept in intelligent and integrated system of information, Research Institute of Fundamental Information Science, Kyushu University, Research

- Report, No. 39, 1974.
- [16] 北川敏男: 情報と認識 (NHK大学講座, 1979年10月~1980年3月), 日本放送出版協会, 1979.
- [17] 北川敏男: 情報学の論理, 講談社現代新書, 1969.
- [18] 渡辺慧: “人工知能”の挫折と救済, 自然, Oct. 1979
- [19] 渡辺慧: 知識と推測, 2. 演繹と帰納の数理, 東京図書, 1975.
- [20] Narendra, K. S. & Thathachar, M. A. L.: Learning Automata—A survey, IEEE Transaction, Systems, Man and Cybernetics, Vol. 4, No. 4, 1974.
- [21] 国藤進: ストカスチックオートマトンに対するO-最適強化法の学習性能評価, 第18回自動制御連合講演会, 1975.
- [22] Hájek, P. & Havránek, T.: Mechanizing Hypothesis Formation, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1978.
- [23] Morgan, C. G.: Hypothesis Generation by Machine, Artificial Intelligence, Vol. 2, 1971.
- [24] Kling, R. E.: A Paradigm for Reasoning by Analogy, *ibid.*
- [25] McDermott, J.: Learning to Use Analogies, Proceedings of the 6th International Joint Conference on Artificial Intelligence, Tokyo, 1979.
- [26] Langley, P. W.: Rediscovering Physics with BACON3, *ibid.*
- [27] Sloman, A.: Interactions between Philosophy and Artificial Intelligence, Artificial Intelligence, Vol. 2, 1971.
- [28] 三重野博司: 創造性を有する Computer Based Design のための知識データベース, 電子通信学会技術研究報告, オートマトンと言語研究会, AL 80-56, Dec. 1980.
- [29] 北川敏男: 統計学の認識, 白揚社, 1968.
- [30] 北川敏男: 推測統計学 I・II, 岩波全書, 1968.
- [31] 北川敏男: 知識工学への推測過程論の接近, 文部省総合研究「知識工学」, 大阪大学, Jan. 1981.
- [32] 志村正直: 知識の獲得と学習, 電子通信学会技術研究報告, オートマトンと言語研究会, AL 80-46, Dec. 1980.
- [33] 波多野編: ピアジェの発達心理学, 国土社, 1974
- [34] Kitagawa, T.: Biorobots for Simulation Studies of Learning and Intelligent Control, U. S.-Japan Seminaire of Learning Control and Intelligent Control, Oct. 1973.
- [35] Kitagawa, T.: Fuzziness in Informative Logics, U. S.-Japan Seminaire on Fuzzy Set and its Applications, July 1974.
- [36] Reiter, R.: On Reasoning by Default, Theoretical Issues in Natural Language Processing-2, University of Illinois, July 1978.
- [37] Artificial Intelligence—Special issue on non-monotonic logic, Vol. 13, No. 1, 2, North-Holland, 1980.
- [38] McDermott, D. & Doyle, J.: An Introduction to Non-Monotonic Logic, Proceedings of the 6th International Joint Conference on Artificial Intelligence, Tokyo, 1979.
- [39] 国藤進: 計算機科学における萌芽の研究, 創造性研究の理論と方法に関する懇談会, 文部省統計数理研究所, June 1976.
- [40] 国藤進: 等価変換論の立場からのプラバズル No. 5 のコンピュータによる解法と人間による解法の比較, 創造性研究, 東京創造性懇話会編, Oct. 1976.
- [41] 市川: 創造性の科学, 日本放送出版協会, 1970.
- [42] 国藤進: 親近度に基づく K J 型 A 図解と林の数量化理論IV類による空間配置との比較, K J 法研究創刊号, 川喜田研究所, 1978.
- [43] 川喜田二郎, 牧島信一編著: 問題解決学—K J 法ワークグラフ, 講談社, 1970.
- [44] 中村弘, 沢崎俊幸, 吉川浩, 近藤恭, 小池将貴, 立花希尹子: 発想法 (K J 法) への数量化理論の適用, 経営科学, 第14巻, 第3号, 1970.
- [45] 北川敏男: 情報汎関係圏の理論, 富士通・国際情報社会科学研究所研究報告第1号, Jan. 1981.
- [46] 田村: 構造モデリング, 計測と制御, Feb. 1979
- [47] NASA PATTERN Procedure Manual, Honeywell Aero Report, Jan. 1966.
- [48] 杉山公造, 田川正二郎, 戸田光彦: 構造情報の視覚表現に関する研究, 富士通・国際情報社会科学研究所研究報告第2号, Feb. 1981.