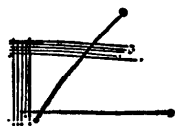


展 望

柔らかな論理をめざして†



大津展之†† 田村浩一郎†††

1. ま え が き

論理は情報処理の中核であり、その理論的基盤をなすものである。ものごとを確定的（真か偽かの2値）であるとして取り扱う古典論理的な立場から、今日の情報処理技術は目ざましく発展してきた。そのような「固い論理」は、ハードウェアの論理回路のレベルから、ソフトウェアにおける記号処理、プログラミング言語に至るまで、現行の情報処理技術を貫く柱になっている。

しかしながら、ソフトウェアの巨大化、応用分野の拡大にともなう、人間の知能の厳格で形式的な側面の抽象としての固い論理の限界が明らかになりつつある。いわゆるソフトウェア危機といわれるものもそれである。われわれが頭の中にも問題イメージ（曖昧性をもった柔らかな論理）と、厳格な論理、記号処理に基づくプログラミング方式との不適合性の問題である。

したがって、情報処理技術の今後の抜本的な進展を望むならば、根底をなす論理体系の見直しと変革なしにそれはあり得ないように思われる。現行の固いソフトウェア技術（記号論理的情報処理）と人間の柔らかなソフトウェア（パターン情報処理）との間のギャップを解消し、より柔軟で統合的な情報処理技術を新しく展開するための核となる論理「柔らかな論理」の構築が必要である。

本稿では、そのような曖昧性を許容する柔らかな情報処理技術の理論的基盤となる「柔らかな論理」の構築をめざして、その工学的必要性、期待される応用分野、さらにアプローチの観点および方法論について、いくぶん主観的な立場から、展望を行う。

なお、本稿は「柔らかな論理に関する調査報告」[†]

に基づいている。特に、従来の非ブールの論理、参考文献などについての詳細は、そちらを参照されたい。

2. 柔らかな論理とは

2.1 論理と情報処理技術

論理はもともと人間の思考をできるだけ厳密にかつ正確に行うために考え出されたものである。特にライプニッツ以降、正確さの極限として機械化が考えられ、その傾向が強まった。さらに数学基礎論との結び付きにより、論理の正確さ、厳密さが徹底して求められ、いつの間にか人間の思考のモデル化という本来の側面が薄れ出すようになった。

しかし1960年代になって、哲学からの論理の見直しが行われ、日常の言語や思考、推論が古典論理では捉えにくいことが明らかにされた。一方、数学基礎論の分野でも、ラッセルのパラドクス以来、論理の見直しが提唱された。ブラウアの直観（主義）論理もその種のもののひとつである。確かに、2値を基本とする古典論理の体系は、記述する世界が平坦である。過去もなければ未来もない。真理は、いつでもどこでも誰にとっても同一である。しかし実際の人間の論理においては、真理値は無限連続にあり（確からしさの度合）、その値は命題の発話時点で変わりえる。こうして、表現力豊かでかつ矛盾のない論理体系の追求が論理学の課題となってきている。

論理と情報処理との関係は、いうまでもなく密接である。コンピュータは、もともと数値計算のための機械と、思考計算のための機械という二つの側面が融合してできている。両者は基本的にブール代数で実現できるという考えから、論理回路が発達した。思考計算の側面の可能性を追求した研究が、数式処理、定理証明、問題解決、言語理解などの人工知能研究の分野である。これらの分野は論理学の応用になる。その成果がプログラミング言語にも影響した。情報処理の分野で近年最大の話題となった第5世代コンピュータ・プロジェクトは、再び論理を中心に据えて、そこからプログラム言語、アーキテクチャ、応用プログラム全体

† Towards Soft Logics by Nobuyuki OTSU (Electrotechnical Laboratory, Computer Science Division, Mathematical Engineering Section) and Kouichiro TAMURA (Electrotechnical Laboratory, Planning Section).

†† 電子技術総合研究所ソフトウェア部数理情報研究室

††† 電子技術総合研究所企画室

を統一的に見直そうという壮大な試みであり、これまでの情報処理体系を形成した技術の総決算であるといふことができる。

確かに、ブール代数をはじめ、古典論理は現在のコンピュータ技術の基本になり、その有効性はいうまでもなく、また今後もそうであることには違いない。しかし、今後コンピュータの応用範囲を拡張し、その有効性の枠を、より人間的なより高度な問題解決へと広げようとするならば、現行の論理体系には多くの不満がある。固い論理はあたかも箱根細工のように精密に組み立てられるが、一つでもうまく噛み合わなければすべてが失敗する。しかし、今後の情報処理に求められている論理の対象世界は、それほど単純ではない。命題自体が多くの場合曖昧性を含む。推論も、古典論理の3段論法のように単純ではなく、融通性に富み、効果的利用を図るために近似が重用される。実際、人間の日常の思考は、曖昧さを含み柔軟であり、通常の論理学が教えるところの機械的な演繹の推論形式とは似て非なるものである。より豊かな表現力、より柔軟な推論が、「柔らかな論理」として求められている。

2.2 情報処理技術の高度化と課題

今日の情報処理技術は、大きくは、人工知能や知識工学に代表される質的（記号的、論理的）情報処理と、パターン認識やデータ解析に代表される量的（数値的、位相的）情報処理に分局化されており、両者の間には大きな隔たりがある。これらは、人間の本来統合的な情報処理のうち、上位表層の情報処理と下位深層の情報処理にそれぞれ相当している。

今後、情報処理技術の高度化と新しい応用の拡大を図るためには、それぞれの分野のさらなる発展、両者の間のギャップ領域（トワイライトゾーン）に関わる問題や応用場面への果敢なアプローチ、そしてなによりも両者の統合と相互乗り入れが重要である。

以下、現行の情報処理技術のいくつかの代表的な分野の高度化と課題について簡単にみてみよう。

記号論理的推論：記号の置き換え規則のみに頼る現在の方法では、演繹におけるある種の厳密さを保持するとはいえ、高度化への脱皮はきわめて困難と予想される。言語としての表現力も問題である。日常生活で使われている言明の大半は、現行の論理体系では表現できない。曖昧さの表現も固い論理に欠ける点である。曖昧さは人間の思考や意志伝達に本質的につきまとうものであり、それを切り捨ててのではなく、む

しろ枠組みに取り入れて議論を深めることが重要である。

知識工学：人工知能の応用として「知識工学」が提唱され、実用化のレベルで実績をあげつつある。その主流であるプロダクションルールによる知識表現と推論機関のモデルは、ある種の応用では効果的で、またその表現の簡明さゆえの良さがある。これは新しいプログラミングスタイルといってよい。しかし、その手法の限界は、記号論理的推論と同じく記号操作に頼り過ぎて点である。単純に記号列で表現できない知識や推論は多い。特にエキスパートシステムにおいては、そうである。MYCIN などでは、確率的な考慮もなされているが、アドホックの域をでない。今後は、対象のモデル化を視野に入れた総合的な枠組みの中で、物理的あるいは確率的な数量モデルと論理との融合など、技法の基礎付けが不可欠である。からくりが不透明なままでの種のシステムが出回るとすれば、それは社会にとって決して好ましいことではない。

ソフトウェア工学：巨大ソフトウェアのニーズが高まり、それらの開発がきわめて困難なことからソフトウェア危機が警告され、それに対するためにソフトウェア工学が提唱された。しかしソフトウェアの「ソフト」たるゆえんは、本来その柔軟さにあるはずであり、ハードウェアの製造工程的な考えでソフトウェアの開発が考えられたところに問題がある。今後、応用領域が広がるにつれ、ニーズはますます多様化し、取り扱う問題もユーザの要求も必ずしも明確でなく曖昧である場合が多くなると思われる。したがって、ソフトウェア工学の今後の目標は、より人間側に立って、いかにヒューマンインタフェースの向上を図るか、人間の漠然とした要求をいかに具体化し実動化するかに置かれるべきである。そのためには、曖昧な表現を許容する体系を作り、その枠組みの中で曖昧さを減じる手法（たとえば対話的な手法）を開発することが重要となろう。記号処理に寄り掛かりすぎたプログラミング言語をいくら改良しても本質的な進歩は見込めない。

パターン認識：パターン認識の研究は歴史も古く、実用化も進んでいるが、課題も多く残されている。今後の最も大きな課題は、知識の利用など、上位の知識情報処理機能との統合である。これは、記号論理の情報処理の課題と対照的である。知識処理を記号処理のみに頼っている側では曖昧な対象を扱うパターン情報処理の技法の導入を必要とし、逆に、パターン認識の

高度化を図るためには、記号情報処理の技法との結合が必要になりつつあるのである。もっとも、量子化された質的（記号論理的）な知識を量的なパターン認識へ直接持ち込むことの困難さ、不適合さも、よく知られたところである。

いずれにしても、パターン認識における量的情報処理の体系と、知識処理における質的情報処理の体系とを統合するような統一的な立場からの新しい基礎付けが望まれる。

2.3 認知過程と情報処理技術

前節で、情報処理の高度化をめざす現行技術のもつ課題について述べた。そこには共通の基礎的課題をみることができる。それは認知過程の体系の理論化を深めることであり、また現象としてもつ表現の曖昧さを基礎付け、むしろ工学的に積極利用を図ることである。そのためには、認知過程のモデルに基づいた統合的な立場から、理論的基盤としての「柔らかな論理」、つまり確からしさの度合を考慮にいたれた柔軟な論理を構築することが必要である。

情報処理は、人間の認知過程（情報処理）のある種のモデル化・機械化であるから、情報処理技術の高度化および拡張のためには、人間の情報処理（認知過程）のモデルについて考えてみる必要がある。

人間は知覚によって外的世界（実世界）を認識し、経験（学習）によって知識を蓄積し、思考（判断、推論）を行う。この一連の過程を認知過程（cognitive process）と呼ぶ。実世界を知覚し、行動を決めるために、人間は実世界のモデルを頭の中にもつ。これを

内的世界（メンタルモデル）と呼ぶ。これは、過去の経験や学習によって形成されたものであり、それをもとにわれわれはあらゆる思考、行動を行っている。またその記述（表現）、意思伝達の手段として、記号世界（言語、論理、プログラム）をもつ。こうして、

A：外的世界（実世界、経験世界、パターン）

B：内的世界（メンタルモデル）

C：記号世界（言語、論理、プログラム）

の三角関係ができあがる。これを図式的に書いたのが図-1である。

外的世界Aの対象（パターン、事例）は、観測・経験をとおして、学習的に、内的世界Bの下位深層機能としてのパターン認識を経て概念として要約される。そして階層化・抽象化されて知識として組織化され、上位表層機能の知能・思考を支えている。記号世界Cは、Bを介してのAの抽象であり、またBの記号化（量子化）された記述である。下位のパターン認識ほど連続・位相的な性格が支配的であり、上位へいくほど情報は要約され、離散的・論理的な色彩が強くなると考えることができる。もちろんパターン認識と知能・思考とは、脳における統合的な情報処理の階層的で機能的な二つの側面を対比的に区別してみたものであり、本来不可分で密接な関係にある。実際、これらの機能は同一のハードウェア（神経回路網）とソフトウェア（柔らかな論理）で実現されている。

これに対し、コンピュータの場合は、記号の役割が大きい。究極的にはあらゆるものが記号で表現され、記号の置き換え操作で情報の処理が行われる。モデル

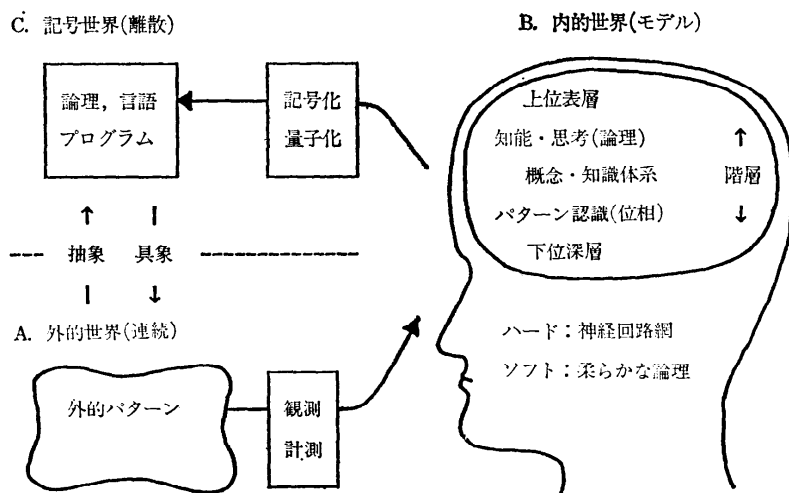


図-1 人間の情報処理（認知過程）のモデル

自体も記号で記述されることが多い。ただしその場合にはモデル記述の言語の意味規定が必要になり、そのためコンピュータ外にメタモデルをもつことになる。メタモデルは、ある種の数学的構造であったり、プログラムの頭の中にあたりする。

現行の情報処理技術の難点の一つは、下位深層のパターン認識はパターン認識として、また、上位表層の高次の思考・推論は形式論理的な記号処理として、いわば研究の分業化が行われてきた点であり、両者の間にはいまだ大きなギャップが存在する。それぞれ固有の研究についてもまだなされるべきことはたくさんあるが、両者を統合し、外的世界、内的世界、記号世界の3者を統一的な視点からとらえた体系的な研究があまりなされていない。このような統一的観点からの研究は、今後の情報処理技術を高度化し応用範囲を拡大するために是非必要なことと思われる。

3. 柔らかな論理の応用分野

「柔らかな論理」構築の目的は、情報処理技術の高度化、応用分野の拡大にある。ここで、そのような「柔らかな論理」の体系が構築されたとして、考えられる応用分野を概観してみよう。それによって、われわれの問題意識がより鮮明になり、逆にまた、「柔らかな論理」体系に要請される条件がより具体的となる。

3.1 柔らかな幾何学

情報処理における視覚情報の占める割合は大きい。従来の幾何学（ユークリッド幾何学）は、理想化された厳密な幾何学的概念（たとえば、直線、平行、円）に関する厳格な論理である。しかし、実際の視覚データに対して人間が行う幾何学的認知は、必然的に概念や命題の曖昧さ、不確かさ（たとえば、ほぼ直線、ほぼ平行、円らしい、右上にあるなど）をとめない、それらの確からしさの度合に基づく柔らかな認識・推論を行っている。したがって、通常の幾何学の命題にそのような「らしさ」の要素を取り入れた「柔らかな幾何学」は、パターン認識、画像処理、コンピュータ・ビジョン、CADなどの幾何学的パターン情報処理の高度化（知的化）、人工知能研究との統合のカギとなる共通の基礎的課題である「入力視覚情報から幾何学的な認識、学習、連想、推論に至るまでの柔軟な情報処理過程の統合的な数理モデル」となるものである。「柔らかな論理」は、その基礎となろう。

3.2 パターン認識の高度化

パターン認識の基本は、対象（パターン）を類（概念）に対応づけ、要約して認識することである。そこには常に対象の曖昧さ、認識の不確かさがつきまとう。現在のパターン認識の実験的な研究は、文字、図形、音声など、基本的なしかも比較的簡単な対象の認識（識別）に限られているが、シーンの認識（コンピュータビジョン）など、より複雑なパターンのより高度な認識（理解）においては、下位のパターン認識結果に対するパターン認識といった階層的な高次のパターン認識が必要となり、だんだんと論理的な色彩が強くなる。「柔らかな論理」は、その場合の基礎として重要となろう。

3.3 複雑な対象の評価と認知

世の中には厳密な評価の難しい対象が多い。人間の性向や思考パターンなどがそうである。従来、多変量解析の手法が多く用いられてきた。これによって、そのような対象を特徴付けるいくつかの指標（因子）を見出し、それらの作る空間上で対象をクラスタリングすることによってパターン化を行う。しかし対象が複雑になり多面的になると、その評価と認知のためには、見いだされた数多くの特徴量の論理的組み合わせが問題となる。これはやはり、「柔らかな論理」の問題領域となろう。

3.4 定型問題の柔らかな解法

ゲームのように、問題自体は明確に定式化できても、その解を求める道筋があまりにも膨大で複雑なためにヒューリスティックスに頼らざるをえない場合がある。一般に、複雑な離散的構造をもつ最適化問題においては、厳密な最適解を求めようとしても、組み合わせ的な爆発のために実際上不可能であり、ある種の曖昧さを許容し準最適解を効率よく求めることが重要である場合が多い。その場合、ヒューリスティックスを単に思い付きにとどめずに、その基礎付けが望まれる。ここにも「柔らかな論理」の応用が考えられる。

3.5 不定型な問題の問題解決

対象の問題自体が厳密に定式化できない場合も多い。問題の定義そのものが多くの曖昧性を含み、また解決にもある種の曖昧性が許されるような問題である。そのような問題を不定型な問題と呼ぶ。その曖昧性を切り捨てることなく、一貫した体系のなかで、ある解を見いだす。これは「柔らかな論理」の応用になろう。

3.6 決定支援・推論システム

環境をコンピュータ内になんらかの形式でモデル化し、そのモデルに対する疑似作用を人が与え、そのモデルからの反応をみることによって、人が自分の意思決定を行う、といったシミュレーションの場を提供するシステムが、いわゆる意思決定支援システム(DSS)である。(知識工学におけるエキスパートシステムも広い意味でこの一種である。)この場合、必然的にモデルに不確定要素が混入する。多くのDSSでは、それを切り捨てるか、アドホック的に取り扱っている。ある命題(結論、推論)を構成する要素(条件、証拠)が不確実さをもつとき、その命題のもつ確からしさについての議論が十分なされていない。決定(推論)にともなう不確かさの分析がその意味で十分でない。この問題についても、確からしさに基づく「柔らかな論理」の貢献が期待される。

3.7 自然言語理解・対話システム

自然言語は曖昧性に富んでいる。したがって、その意味の把握(理解)に迫ろうとするならば、曖昧性ぬきに論じることはできない。対話のなかの言明にも、曖昧さがあり、それが対話のある種の潤滑剤としての効用をはたしている。したがって、自然言語理解・対話能力をもったコンピュータシステムを構築するためには、単なる記号操作的な取り扱いでは無理である。自然言語が本質的にもつ意味の曖昧性(単なる多義性ではない)、そのもととなっている深層モデルに対し、総合的な深い考察が重要である。そこで、「柔らかな論理」による自然言語理解・対話の基礎付けが考えられる。この論理モデルは、人と人との会話のモデルのみならず、今後急速に増大することが予測される人とコンピュータとの対話のモデルになり、よりすぐれたヒューマンインタフェースの設計を可能にするであろう。

3.8 新形式のプログラミング

対話モデルに関して、新しい形式のプログラミングが考えられる。パーソナルコンピュータの普及によって、対話形式でプログラミングを行うケースが今後増大すると思われる。コンピュータ側に人間の意図を読み取る能力をもたせ、ユーザ(プログラマ)の、ややもすると不鮮明な意図を推量させ、もし推量がちがったときには、なんらかの対話によって、ちがいを修正していく。その場合、相互に曖昧さを含ませた対話のくりかえしによって、逐次的により精密なプログラムを構築する方法論が重要になる。「柔らかな論理」はその基礎として貢献するであろう。

4. 柔らかな論理へのアプローチ

以上の考察から、「柔らかな論理」のキーワードは、多値化、曖昧性、連続性(確からしさの度合、確率、位相)、多世界化(様相)、パターン認識との結合(帰納と演繹との結合)、そして外的世界、内的世界、記号世界の統合であることが分かる。このような観点から、「柔らかな論理」へのアプローチ、その方法論について検討してみよう。もちろん、同様な問題意識から、すでにさまざまな観点からのアプローチがなされているが、ここではわれわれの観点とアプローチの概説を述べる。

4.1 各種非古典論理の見直し

柔らかな論理として、まず論理学の側からの柔軟化の傾向としての、直観論理、多値論理、様相論理、時制論理、量子論理など、各種の非古典論理が考えられる。これらの非古典論理の情報処理への応用もしばしば試みられてはいるが、大きな流れには至っていない。古典論理に比べて使いにくく、その割に有効性があまり発揮できないからである。数学的すぎて工学的応用との距離がある、また曖昧性の根本的な考察とその表現力に欠ける、などの難点がある。本来、曖昧さをともなった「柔らかな論理」の形式的な抽象化(量子化)としての記号論理の世界を、記号的な方法で柔軟化する(元に戻す)ことは、原理的に困難と思える。しかし、「柔らかな論理」の上位部分における骨格を作るうえで参考になろう。

これに対し、曖昧さを直接メンバーシップ関数で表現するところからスタートするファジィ論理は、その割り切りのよさのため、数多くの研究、工学的応用がなされている。しかし、基礎をなすメンバーシップ関数の基礎付けと、その恣意的な取り扱いに問題があり、「柔らかな論理」としての根底からの包括性、統合性に欠ける。

4.2 パターン認識からのアプローチ

認知過程のモデル(図-1)でみたように、「柔らかな論理」は下位深層のパターン認識と上位表層としての論理的な思考との中間領域にあって、それらを統合する柔軟な論理のモデルでありたい。曖昧さ、確からしさの度合を表現し取り扱う数量的なものであり、パターン認識を包括し、従来の古典論理を確定的な特別な場合として含み得るような体系でなければならない。したがって、上位の記号の情報処理からの柔軟化の方向は、困難であると考え、下位のパターン認識

から上位へのボトムアップなアプローチとして考えたい。

パターン認識では、本来曖昧で多様な外的対象（パターン）を量子化し類 C_i （概念、記号）に対応づける。そのために、入力パターンから多面的な量的な情報 x （特徴、曖昧な証拠）を抽出し、決定（識別、推測）を行う。そこでは、事例（範例）を通して帰納的に得られる確率・統計的な知識、すなわち条件付き確率 $p(x|C_i)$, $P(C_i|x)$ が本質的に重要な役割を演じ、統計的決定理論（ベイズ推定）がその理論的な基礎を与える²⁾。

確率 $P(A)$ (A の確からしさの度合、信頼度) は、一般的な真理値である ($0 \leq P(A) \leq 1$)。古典論理的な真理値 (2 値) は、その両極端 (恒真: $P=1$, 恒偽: $P=0$) である。たとえば、「 A である」は $P(A)=1$, 「 A ではない」は $P(A)=0$, または $P(\bar{A})=1-P(A)$, 「 A ならば B である」は $P(B|A)=1$ で表される。したがって、確率計算は一般的な (多値) 論理、しかも柔らかな論理の一種と考えられる。

さて、パターン認識における確率・統計的な知識として重要な条件付き確率は、二つの集合 $X=\{x\}$, $C=\{C_i\}$ 間の方向性をもった不確かで曖昧な対応関係を要約し表している。このもとで類 C の分離を最大限強調する最適非線形判別特徴抽出の理論²⁾によれば、類間の関係を表す次のような期待値としての量 (推移確率) が重要な役割を演じていることが分かる。

$$s_{ij} = \int P(C_j|x)p(x|C_i)dx$$

ベイズの公式を用いて、 s_{ij} は次のようにも書ける。

$$s_{ij} = \gamma_{ij}/P(C_i), \quad \gamma_{ij} = \int P(C_i|x)P(C_j|x)p(x)dx$$

確率論理的な観点からみると、これらは、それぞれ類間の含意 (条件付き確率)、論理積 (同時確率) を表していると考えることができる。

$$s_{ij} = P(C_j|C_i), \quad \gamma_{ij} = P(C_i \& C_j)$$

この結論は、次のような帰納的確率論理の形成モデルを示唆している^{1), 3)}。範例をとおして、 X と C との間の曖昧な関係が確率・統計的な知識、すなわち条件付き確率 $p(x|C_i)$, $P(C_i|x)$ 、として学習され、類の間の関係 (C での確率論理) は、パターン x を介しての類間の関連の事例に関する期待値 s_{ij}, γ_{ij} として、それらを要約した形で統計的に構成される。いいかえれば、概念 C の確率的論理構造は、範例 (経験) をとおして、各概念が下部 X にもつ曖昧な広がり関連 (絡

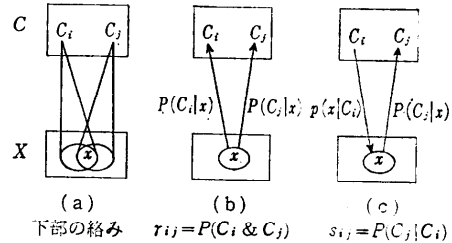


図-2 帰納的確率論理形成の基礎

み、連想) の要約 (統計量) として、帰納的、学習的に形成されることを示唆している (図-2 参照)。

帰納される類間の確率論理 (帰納的確率論理) は、 $\gamma_{ij} = P(C_j \& C_i) \leq P(C_i)$ から分かるように、一般には非ベキ等な論理となる。これらは、 X と C の関係が確定的な場合 (条件付き確率が 1 か 0, すなわちブール的な特性関数の場合) には、明らかに通常の確率となるが、一般的には拡張された曖昧確率となっている。

このようなパターン認識過程、帰納的確率論理の形成過程を、いわゆる下位のレベル (外的世界の物理的パターンと内的世界の概念対応) に限る必要はない。

下位レベルのそれらの結果を、曖昧さ (確からしさ) を含んだまま、さらに上位レベルでのパターン (入力) として、階層的に適用の範囲を広げることにより、上位のより複数名論理的レベルに至る「柔らかな論理」のモデルとすることができよう。その際、価値、主観を包含しえるベイズの枠組みの簡略化、多変量解析、数量化理論による質の計量化、またこれらの手法とベイズ枠との関係の明確化などが重要なカギとなる。

4.3 多変量データ解析からのアプローチ

多変量解析は、近年、おもに曖昧な対象を扱う人文科学、社会科学の分野で強力な手法として発達してきた。曖昧で多面的な対象に対して観測された多数の特性値データ (多変量データ) を、個別に解析するのではなく、相互関係 (相関) を考慮に入れて同時に統合的に取り扱い、データのもつ情報を効率よく要約し、われわれの的確な評価、直観的総合的な判断に有用な形にまとめるデータ解析法である。その意味では、「柔らかな論理」へのアプローチ、モデル・手法として有用と思われる。ただし、多変量解析法の背後の確率的、論理的な意味、基礎付けが重要な課題となる。

特に、データが質的 (記号的、論理的な 2 値) な場合の多変量解析手法として、数量化理論がある。われわれの「柔らかな論理」の観点からみると、これは記号的 (論理的) パターンを数量的 (位相的) パターンに還元する過程、高位記号レベルでのパターン認識の

モデル・手法として利用できる。その場合、質的データ (0, 1 の 2 値) の統計的期待値は確率と解釈できるから、数量化と確率論理、したがって「柔らかな論理」との関係は密接となる。

このように、多変量解析を単に人間の判断のための補助的な手法としてではなく、より積極的な形に組み込んで工学的な応用を図る立場は、「柔らかな論理」へのアプローチとして有望である。

4.4 柔らかな論理方式のモデル

以上の考察から、「柔らかな論理」体系構築へのアプローチとして、われわれは、パターン認識、多変量解析を基礎とした (広い意味での) 帰納的確率論理を中心に据え、図-3 に示すような「柔らかな論理」に基づく「柔らかな情報処理方式」のモデルを考えている。

図の左端には、各レベルで基礎となる理論・手法を示す。また右端のフィードバック・ループは、質的な情報が多数集まり質的データ (パターン) として捉えられ、数量化をとおして統合的な量の世界へ入力され、同様に処理されることを示している。

現在、このような観点に立って、当研究室の特別研究として研究を開始し、いくつか成果が出始めたところである。たとえば、帰納的側面として、パターン認識から示唆される帰納的確率論理の形成モデル^{3), 8)}、不確かな証拠に基づく確率的推論 (演繹的側面) として、条件付き確率の一般化⁴⁾、ベイズの基礎からの逐次推論方式など^{5), 6), 8)}、確率的知識とその利用^{7), 8)}、ま

た多変量解析・数量化理論の確率 (論理) 的な背後構造^{2), 9), 10)}、さらに定型問題の柔らかな解法として、たとえば、質的データのクラスタリング手法とその日程表作成問題への応用¹¹⁾、決定表 (if then rules) を逐次決定方式 (決定木) で最適に構成する問題の準最適解法¹²⁾、グラフマッチングの解析的 (固有値問題を利用した) 近似解法¹³⁾、などである。

5. む す び

以上、「柔らかな論理」をめざして、われわれの問題意識、基本的な方法論、アプローチの考え方を述べた。

「柔らかな論理」体系の構築は、これまで長い間、パターン認識研究 (数値的、位相的情報処理) と人工知能研究 (記号的、論理的情報処理) との間のギャップをなしていたトワイライトゾーンへの挑戦であり、両者を統合するための理論的基盤を形成するという野心的な試みである。これは確かに非常に困難な課題ではある。しかし、今後の情報処理の抜本的な進展、応用領域の拡大を図るためには不可避な研究課題であり、まずその一歩を進める必要がある。

謝辞 本研究を進めるうえで日頃熱心な議論をいただくソフトウェア部数理情報研究室、宮川正弘、梅山伸二、栗田多喜夫、麻生英樹の諸氏、エネルギーダイナミクス研究室、井原二郎氏、さらに研究の機会と励ましをいただく、棟上昭男ソフトウェア部長、ならびに柏木寛計算機部長に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 田村, 大津, 宮川, 梅山, 栗田, 麻生: 柔らかな論理に関する調査報告, 電総研調査報告第 211 号, p. 136 (1985).
- 2) 大津展之: パターン認識における特徴抽出に関する数理的研究, 電総研報告第 818 号, p. 210 (1981).
- 3) 大津展之: 帰納的確率論理の下部構造について, 電子通信学会全国大会, No. 1594 (1986).
- 4) 井原二郎: α 条件付確率と帰納的フェジィ命題の確率との関係, 計測自動制御学会第 4 回知識工学シンポジウム (1986).
- 5) 大津展之: 不確かな証拠に基づく逐次型推論の一方式, 電子通信学会全国大会, No. 1660 (1985).
- 6) 宮崎, 大津: いくつかの数量的推論方式とそれらの実験的検証, 電子通信学会全国大会, No. 1660 (1985).
- 7) 麻生英樹: 条件付確率で表現される知識の効率のよい保持について, 電子通信学会全国大会, No. 1665 (1985).

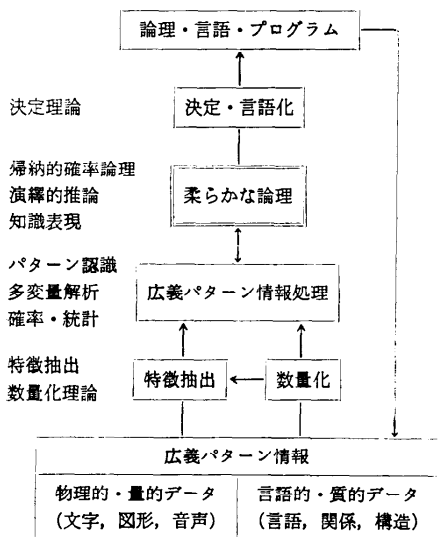


図-3 柔らかな論理に基づく情報処理方式

- 8) 麻生, 大津: 確率的知識と推論について, 電子通信学会技術報告, AI 86-22 (1986).
- 9) 栗田, 麻生, 大津: 数量化手法の確率論的解釈について, 電子通信学会技術報告, PRU 86-17 (1986).
- 10) 麻生, 栗田, 大津: 相関分析と判別分析の関係について, 電子通信学会全国大会, No. 1595 (1986).
- 11) 栗田, 大津: 質的データに対する制約条件付き
クラスタリング手法, 行動計量学会, Vol. 13, No. 2, pp. 20-30 (1986).
- 12) 官川正弘: 準最適決定木を与える変数選択基準について, 電子通信学会技術報告, EC 85-67 (1986).
- 13) 梅山伸二: 重みつきグラフ間のマッチング問題に対する固有値展開を用いた近似解法, 電子通信学会技術報告, PRU 86-18 (1986).

(昭和 62 年 2 月 23 日受付)