

本田財団レポートNo.62

「ファジー理論の誕生と進化」

カリフォルニア大学 バークレー校教授 ロトフィ・アスカ・ザデー

Professor Lotfi Asker Zadeh

is awarded HONDA PRIZE together with all the privileges and honours pertaining thereto, recognizing that as an advocate of Fuzzy Theory which incorporates the vagueness of the human brain compared with computer systems, Prof. Zadeh has been participating in activities around the world for the development of this theory, thereby contributing to leading the information oriented society of the future towards a more human direction.

Biography and Positions

- | | |
|-----------------|---|
| 1921 | Born in Baku, U.S.S.R. |
| 1942 | Graduated from the University of Teheran (electrical engineering) |
| 1946 | Completed a master's course at Massachusetts Institute of Technology |
| 1949 | Completed a doctor's a course at Columbia University |
| 1953-1957 | Served as Associate Professor at Columbia University |
| 1957-1959 | Served as Professor at Columbia University (electrical engineering) |
| 1962 and 1968 | Became a visiting professor at Massachusetts Institute of Technology (electrical engineering) |
| 1959 to present | Serving as professor at the University of California, Berkeley (electrical engineering) |

Until 1965, Prof. Zadeh's work was centered on system theory and decision analysis. Since then, his research interests have shifted to theory of fuzzy sets and their application (artificial intelligence, linguistics, logic, expert systems, etc.). Prof. Zadeh was awarded honorary doctorates by the Paul-Sabatier University, France, and the State University of New York in recognition of his development of the theory of fuzzy sets.

At present, Prof. Zadeh is a fellow of the IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) and AAAS (American Association for the Advancement of Science), and also a member of the National Academy of Engineering.

ザデー氏の受賞は、人間の頭脳の持つ曖昧さをコンピューター・システムに取り入れるファジー理論の提唱者として、その理論の発展のため国際的な諸活動を展開され、今後の情報化社会をより人間性のあるものへと導くために貢献された功績によるものです。

●学歴および経歴

- | | |
|------------|--------------------------|
| 1921 | ロシア、バクー生れ。 |
| 1942 | テヘラン大学卒業 (電子工学) |
| 1946 | マサチューセッツ工科大学修士課程 |
| 1949 | コロンビア大学博士課程 |
| 1953~1957 | コロンビア大学 准教授 |
| 1957~1959 | コロンビア大学 教授 (電子工学) |
| 1962, 1968 | マサチューセッツ工科大学 客員教授 (電子工学) |
| 1959~ | カリフォルニア大学バークレー校教授 (電子工学) |

同氏の研究活動は、1965年以降それまでのシステム理論、決定分析を中心としたものから、ファジー理論とその応用 (人口頭脳、言語学、理論学、エキスパート・システムなど) へと移って来ている。また同氏は、ポール・サバティエ大学 (フランス) 並びにニューヨーク州立大学よりファジー理論の功績により名誉博士号を授与されている。

現在、IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)、AAAS (American Assosiation for the Advancement of Science) 及び National Academy of Engineering の会員となっている。

「ファジー理論の誕生と進化」

1989年本田賞受賞者に選ばれまして、大変光栄に存じます。私にとりましてこの賞は特別な意味を持っております。ひとつは、20年以上も前に私が打ち立てた理論の正当性が認められたということ、そしてもうひとつはその理論が日本という肥沃な土壌ではぐくまれたということです。私は日本を心から賞賛し、愛着の念を抱いております。ファジー（あいまい）理論の応用開発を底辺から支え、ファジー理論を研究する世界中の数学者、科学者そして技術者のなかで重要かつ啓蒙的な役割を果たしたのが、他ならぬ日本の科学者や技術者の方々です。この場をお借りしまして、そういった方々に感謝の意を表したいと思っております。

ところで従来の論理体系とは異なり、ファジー理論は正確というよりはむしろ正確に近い思考様式のモデルとなるべく開発されたものです。この意味からもファジー理論の重要性は、人間の思考——とくに常識思考——が本質的にあいまいであるという事実に基づいている点にあります。

ファジー理論の基本的な概念は、1965年に発表された私の最初の論文に記されています。ファジー理論に関するこの論文と、その後の研究報告に対する反応はさまざまでした。一部の学究的な人々、とくに数学者の故Richard Bellman氏と故Grigori Motsil氏は、私の理論を絶賛してくれました。ところがほとんどの学者は懐疑的であり、ときとしてあからさまな敵意さえ示したものです。それから25年が経過したいま、ファジー理論については当時ほどではないにしても、いまだに議論が戦わされています。しかしすでにファジー理論は、とくに日本において数多くの分野で応用されており、この事実を無視することはできません。ファジー理論の重要性を相変わらず納得できないでいる向きも見受けられます。（科学界には）数量的かつ正確なものを尊び、質的かつ不正確なものをいさぎよしとしないというデカルト派的伝統があまりにも深く根付いており、（ファジー理論は）これに真っ向から挑戦したかたちとなったわけです。このデカルト派的伝統の基本的理念は、1883年のKalvin卿の次の言葉に簡明に表されています。「自然科学の分野では、いかなる対象であろうともそれを学習するために踏まなくてはならない最初のステップは、その対象に付随する質を評価するための数値計算の原理と実践的手法を見いだすことにある。私が折に触れて言っていることであるが、自分が話している事柄を評価することができ、数字で表すことができれば、その人はその事柄を若干なりとも理解しているといえる。しかしそれを評価することができず、数字で表すこともできなければ、その人の知識は貧弱であり、不

満足なものというべきである。それが知識の始まりである場合もあろう。しかしその人の思考の中では、対象となる事柄がなんであれ、“科学”の域にまで達していることはほとんどないと思われる。」

これと同様の論点からRichard Kalman教授は、1972年に発表した私の論文に触れて次のように記しています。「代数の応用の今後について2～3点だけ指摘したいことがある。Zadeh教授のあいまい集合を例に取って説明してみたい。私に言わせれば、“あいまいな”科学疑念などというものは絶対に存在しない。

確かに我々は“あいまいな”物事について話をするにはあるが、それらは科学的な概念ではない。それよりも科学の発達を以下のように考えてみたい。たとえば巨大な数の事実——あいまいな事実、または正確な事実——に直面し、その意味を理解したいと思ったとする。この努力はふつう、より高度な概念レベルに到達することによってなされる。つまり平均以上の努力が必要なのである。かつて、興味深い物事を発見した人々は、その発見を“あいまいではない方法”で公式化した。だからこそ科学が進歩したのである。」

ファジー理論に懐疑的であったり、敵意を示す人々があるにもかかわらず、今日ではファジー理論とその応用方法の開発に積極的に従事する科学者や技術者の輪が国際的に急速に広まっています。その最前線に位置しているのが日本、中華人民共和国そしてソ連です。とくに日本ではファジー理論の概念は幅広く受け入れられ、それはLIFE（国際ファジー工学研究所）が設立されたことから伺えます。この研究所が、ファジー理論とその応用方法に関する世界の研究開発の中心となることは必至です。日本における（ファジー理論の）研究成果、そしてこの理論が開発初期の段階にあった頃から研究開発の現場を支えてこられた少数の著名な科学者の努力には頭が下がる思いがいたします。大阪大学の故田中教授、寺野教授、浅井教授、菅野教授、田中教授、水本教授、向殿教授そして広田教授をはじめとするそれら科学者の皆さんに、ここで改めて敬意を表したいと存じます。現在も電車の制御、資源配分、医療診断、ポートフォリオ管理をはじめとする実にさまざまな分野で、日本の優秀な科学者や技術者の方々がファジー理論とその応用方法の研究開発に多大な貢献をしておられます。本来ならばひとりずつお名前をあげてご紹介すべきですが、時間の関係上割愛させていただきます。

ではファジー理論の基本概念とは何でしょうか。その可能性と限度はどこにあるのでしょうか。これらは、この講演で私が重点的に触れてみたいと思っている問題です。

まず、経歴を簡単に振り返ってみたいと思います。私は電気工学技師としての訓練を受けましたが、数学の力を常に強く信じてまいりました。ほとんどあらゆる問題に対して数学的な解決法があるというのが、私の信念でした。システム分析、情報分析および情報管理に携わる他の労働者と同様に、私も正確さ、厳密さ、そして数学的洗練度の追求に駆られたのです。私はそれが正しい道だと信じて疑いませんでした。

しかし直線システム理論に関する本をCharles Desoer教授と共同執筆する過程で、システム理論の中には正確な定義づけができない概念が多く存在することに気づき始めたのです。たとえば、リニアシステム、安定したシステム、時間の経過に関わらず不変であるシステムなどについては正確に定義することができます。しかし地方分散化されたシステム、徐々に変化するシステム、信頼しうるシステムなどはどう定義したらよいのでしょうか。

その定義を試みるうちに、アリストテレスに由来する古典的な数学の枠組み、つまり不正確さや部分的な正確さを忍容しない枠組みに問題があるのだということに気づき始めたのです。本質的に古典数学の基本的な仮定条件とは、概念はすべての対象を2つの種類——(1)概念の事例としての対象、(2)概念の事例ではない対象——に分類し、しかも両者の中間に位置するものを許容しない正確な定義を認めなければならないというものであります。たとえば関数は連続しているか、連続していないかのいずれかであり、ある程度まで連続しているということはありません。同様に、行列も対称行列か非対称行列かのどちらかしかなく、幾分対称的であるとか、だいたい対称的であるとか、ある程度まで対称的であるなどということはありません。その証拠に、数学誌に掲載される論文には定義、仮定および定理が正確に記されていることが期待されるのです。結論の部分で、決定的な真実ではない主張がみられる論文は一般に学界誌には掲載されないでしょう。

この理想化された数学の世界とはまったく対照的であるのが、私たちの現実世界に対する認識です。私たちの認識では、はっきりとした境界線のない概念、たとえば「高い」、「太っている」、「ほとんど」、「ゆっくり」、「古い」、「親しい」、「関連した」、「～よりはるかに大きい」、「親切である」などの概念が大多数を占めているのです。ファジー理論における重要な仮定条件は、それらの概念の外延が“あいまい集合”であるということ、つまり帰属関係から非帰属関係への移行が急激にではなく、段階的に進行する対象の集まりであるということです。したがって仮に「A」が論議域「U」における“あいまい集合”であるとすると、Uを構成する要素はすべてAにおいてなんらかの帰属関係を有することになります。この帰属関係の程度は一般に0から1までの数字で表され、0は完全な帰属関係を、そして1は非帰属関係を意味します。各対象のAにおける帰属関係の程度を表す関数を「メンバーシップ（帰属関係）関数A」と呼びます。この関数において、AはUのあいまい亜集合であると定義されます。

“あいまいさ”と“複雑さ”の間には強い関連性があるということを知ることが重要です。ですから人間の頭脳は濃度の高い集合、つまり多数の要素を含む集合を取り扱うには限界があり、このことは程度の差こそあれ、すべての情報処理システムに言えることです。したがって非常に濃度の高い集合を提示されますと、私たち人間は情報処理業務に伴う複雑さを軽減すべく、その集合に含まれる要素を亜集合に分類しようとしみます。しかし亜集合の濃度が人間の頭脳の情報

処理能力を超える所まで来ますと、垂集合の境界線が不正確になることは避けられず、“あいまいさ”がこの不正確さのしるしとなるわけです。たとえば色に関する人間の語彙は限られています。ですから「赤」「緑」「青」「紫」といった色の名称は実際には正確な名称というよりはむしろ、あいまいな名称として取り扱う必要があるのです。さらに自然言語とプログラミング言語についても、後者が正確な言語であるのに対し、前者は後者よりもはるかに高レベルであるにもかかわらず“あいまい”なのです。

あいまいさと複雑さとは相伴う関係にあります。このことはつまり、仕事の複雑さ、あるいはその仕事を行うシステムの複雑さがある一定の限界を超えると、システムは必然的にあいまいな性質を帯びるということを意味します。ですからコンピューターに委ねられている情報処理の複雑さが急激に増した場合には、あいまいな形式で情報処理を行なうようコンピューターの設計を変えなければならないのです。実際、人間の知能と現世代のコンピューターの知能との違いは、人間にはあいまいな概念を処理できる能力があるということに他なりません。このような能力のない機械には、書かれた文章を要約したり、ひとつの自然言語を他の言語に巧みに翻訳したり、その他にもあいまいな概念を処理できる能力があるために人間が容易にこなしている仕事を行うことはできません。

ところで1985年、米国の「ベル研究所」の戸貝氏と渡辺氏がファジー理論を応用して最初のコンピューター・チップを開発したことで、ファジー・コンピューターの開発の扉が開かれました。先ほどのLIFEでも基礎研究プロジェクトの一環としてファジー・コンピューターの開発設計に取り組み、九州工業大学の山川教授の研究室でも同様の研究が進められています。ファジー・コンピューターが実現する日もそう遠くはないかもしれません。しかしファジー・コンピューターを用いてあいまいな情報を処理するには、あいまいなハードウェアとあいまいなソフトウェアが必要です。この点からも、そして他にも理由はありますが、ファジー・コンピューターの構造は現在のコンピューターに比べて人間の脳にはるかに近いものとなるでしょう。

ファジー理論とその応用方法についてもう少し説明を続けたいと思いますが、その前にあいまい集合という概念の根底にある論点に触れてみたいと思います。たとえば「親切な人」という概念を例に取りますと、この概念を必要条件と十分条件の集合によって正確な定義をすることはできません。論議域「U」の要素である各人と、親切な人々のあいまい集合におけるその人の帰属関係とを関連づけることによって、この種の問題を外延的に定義することができるのです。

たとえば、ロバートの帰属関係の程度が0.8であり、キャロルが0.9であったとします。この2つの数字は、観察者に「0から1までの尺度で測ったとして、キャロルはどの程度親切か」という質問を投げかけることによって導き出されます。ここで重要なことは、答えの数字が主観的な性質を帯びているということです。たとえばキャロルの場合、0.9という値はコンセンサスの尺度ではなく、キャロ

ルが親切であるかどうかの確率でもなければ確信でもありません。0.9というのは、キャロルが親切であるかと尋ねられて「はい」と応える人々の割合なのです。ですから一般に、確率を予測するよりも、帰属関係の程度を予測することのほうがはるかに簡単であるということを示し上げておきたいと思います。

数量化できる概念の場合には、メンバーシップ関数は1つ以上の測定可能な属性で表されます。たとえば「若い人」という場合、問題の属性は年齢です。このとき論議域が0から120の間として、若者の集合における85歳の人の帰属関係は0.6となります。

明らかに「親切な人」や「若い人」という概念はどちらも文脈によって異なり、主観的でもあります。なかにはもっと文脈依存性の強い概念があります。たとえば「たくさん」や「小さい」というのは「いくつか」や「丸い」よりも文脈依存性が強いといえます。後ほど詳しくお話いたしますが、ファジー理論においてはこの文脈依存性がいわゆる「言語変数」という概念の中で重要な役割を果たすのです。

ところで帰属関係の程度を、多価論理における属性の真理値と解釈することができます。たとえば親切な人々の集合におけるキャロルの帰属関係の程度は、「キャロルは親切」という命題の真理値に等しいということができます。しかしながらあいまい集合理論およびファジー理論の開発は、多価論理のそれとはまったく異なった過程を経ているのです。その証拠に、あいまい集合理論においては「凸状のあいまい集合は何か。あるいは、あいまい集合の凸状の外皮は何を意味するのか」といった疑問を持つことが自然なのです。ところが多価論理においてはこれは自然な疑問であるとはいえないでしょう。もっとわかりやすく説明しますと、あいまい集合の理論が「あいまい幾何学」という幾何学の新派を生み出すきっかけとなったということです。あいまい幾何学は、古典的伝統の中の洗練された数学理論です。その概念上の枠組みは、多価論理ではなく、あいまい集合理論の枠組みと同類なのです。

ファジー理論に関しては、2通りの見方があります。ひとつはあいまい集合理論の支流として、そしてもうひとつは多価論理の通則、とくに Lukasiewicz の L Aleph1 論理の通則としてみることができます。ファジー理論の見方はどうであれ、伝統的な論理体系とは精神においても詳細においても著しく異なり、知識を表示し、推論するためのより一般的な枠組みを提供するものであります。

ファジー理論には、伝統的な論理体系にはない次のような特徴があります。

- (a) ファジー理論においては、「真実である」「確かに真実である」「きわめて真実である」「ある程度真実である」「ほとんど真実である」といった表現によって、真理値をあいまい集合にすることができます。たとえば「日本の犯罪率は非常に低い」という命題の真理値は「きわめて真実である」となるでしょう。この「きわめて真実である」というのは、単位間隔の“あいまい亜集合”を意味します。

- (b) 多価論理を含む古典的な論理体系では、「すべて（普遍的量記号）」と「存在する（実存量記号）」の2つの数量しか使用できません。しかしファジー理論では、「ほとんど」「たくさん」「すこし」「いくつか」「たいてい」などの量記号を“あいまい数”と解釈し、あいまい集合の絶対的なまたは相対的な濃度の記述に役立てています。この解釈がいかに重要であるかは、つぎの事実が物語っています。それは、ファジー理論ではあいまいな算術を用いることによって、命題の意味を自然言語で表現するための計算上の枠組みができてきているということです。ただしそれには、自然言語による命題のほとんどがそうであるように、あいまいな数量が含まれています。ファジー理論のこの可能性は、知識に基づくシステムにおいて不正確な事実および規則を表現し、それを基に推論する場合にとくに重要な役割を果たします。
- (c) ごく一般的な見方をしますと、あいまいな量記号は“あいまいな確率”——「あり得る」「絶対にあり得ない」「あり得ない」など——と密接な関係にあります。このあいまいな確率こそ、私たちが日常の意思決定において利用しているものなのです。ファジー理論では、あいまいな量記号とあいまいな確率との関係を利用して、意思決定における質的な分析を行なうための機構が整っており、あいまいな確率およびあいまいな清算関数を基にあいまいな理論の功利性が算出されます。ファジー理論に関する知識が得られますと、あいまいな数字を分類する技術を用いて、どのような行動を取るのが最適であるかを決定することができます。
- (d) 自然言語を用いた従来の表現方法の大部分は、述語論理とその変数に基礎を置いています。しかしこの方法では重要な事項、たとえば「とても」「ある程度は」「まったく」「若干」「きわめて」といったヘッジが果たす役割を処理することはできません。これとは対照的にファジー理論には、あいまいな述語の上に機能する演算子としてそれらのヘッジを処理するメカニズムがあります。たとえば最もよい例が、「とても」というヘッジですが、これは平方積を求めるとみなすことができます。つまり、「非常に高い」という概念のメンバーシップ関数は、「高い」という概念のメンバーシップ関数の平方積だということです。

ファジー理論には以上のように(a)あいまいな述語、(b)あいまいな真理値、(c)あいまいな量記号、(d) あいまいな確率、そして(e)ヘッジを処理する能力があることから、表現力において従来の論理体系よりもはるかにすぐれています。これは何を意味するかといいますと、仮に本または新聞の中の1節を無作為に抽出したとして、その文章の意味を古典的な述語論理で表現できる可能性はきわめて低いということです。なぜなら自然言語には、あいまいな述語に相当する単語が1つ以上含まれているからです。たとえば「近い将来、失業率が著しく上昇する可能性は非常に低い」という文章の中で、「可能性が非常に低い」というのはあいまいな確率であり、「著しく上昇する」というのは「近い将来」と同様にあいまい

な述語です。こういった述語の存在は、古典的な述語論理を適用する上で障害となります。しかし、この種の命題の意味をファジー理論で表現するのは実に簡単なのです。いわゆる「試験得点意味論(?)」を用いればよいのです。この意味論においてはある命題の意味は、あいまいな述語によってもたらされる古典的な制約を試し、その命題と説明的なデータベースとの適合性を計算するための手順として表現されます。このようにして命題の意味が表現されると、ファジー理論の推論技術を駆使して、ある質問に対する答えを削除する問題を、数学プログラムによって解決することができます。

ファジー理論には、不確かさや不正確さを処理するための計算志向性概念および技術が備わっているため、伝統的論理体系よりもはるかに人間の思考の記述モデルに近いものとなっています。したがって、従来の論理的手法ならびに古典的な確率論的手法では不可能であった数多くの分野に応用することができるのです。ここ数年の間にとくに日本では、ファジー理論の重要な応用方法が次々と開発されてきました。ここではそれを逐一列挙することはいたしません。ひとつだけ1987年7月に仙台市でスタートした地下鉄制御システムが順調に機能し、全世界の注目を浴びていることを述べておきたいと思います。いまでも、ファジー理論を応用したシステムは数においても、種類においても急速に増加しております。そのなかで日本の科学者や技術者が先頭に立ち、政府および産業界の支援を受けながら、将来の応用システムの開発に向けて広範囲に及ぶ技術的・科学的基礎研究を続けていることはいうまでもありません。

ファジー理論の応用分野については、1973年に発表した論文「Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Process (複雑なシステムおよび意思決定プロセスの新しい分析方法について)」にほとんど記されています。

最初のアイデアは「言語変数」の概念に関するものです。言語変数とはその名のごとく、その値が自然言語または合成言語で表された単語または文章である変数のことです。たとえば「高い」という変数を言語変数として処理しますと、その値は「高い」「高くない」「若干高い」「非常に高い」「さほど高くない」「ものすごく高い」「高いが非常に高いというほどではない」「きわめて高い」「～よりは高い」あるいは「～よりは高くない」のように表現することができます。ですから問題の値とは、「高い」という標識、「ではない」という否定、「そして」「しかし」などの接続詞、「とても」「若干」「きわめて」「～より」といったヘッジで形成される文章のことをいいます。言語変数を用いる動機は、「最小特異性の原理」といわれる原理に基づいています。この原理の基礎となる概念は、「正確さと特異性はコストを生む。したがって不必要に用いるべきではない」というものです。たとえば私が「メリーは何歳ですか」と尋ねられたとします。普通ならば「23歳と5カ月と5日」といった答え方はしないでしょ。なぜならこれほどまでに特異性を追求すると、かえって目的を達成し損ねるからです。この場合は、

目的達成に十分であると思われる「若い」とか「とても若い」というように答えるのが自然でしょう。ですから「不必要に特異性を追求するな」というのが基本原則であり、これが「最小特異性の原理」の真髄なのです。

このようにみてまいりますと、言語変数は特異性においては数値に劣るものの、その根底には「多くの場合、間近の目的を遂行するには十分特異的である」という基本概念が存在するといえましょう。

もうひとつの事例として、これも先ほどの例とよく似ておりますが、「年齢」という言語変数（若い、中年、高齢などの値）と「髪の色」という言語変数（黒、灰色、白などの値）の関係をあいまいな用語で表現しようとしみますと、次の3通りの仮定文が考えられます。

若ければ、髪の色は黒い。

中年であれば、髪の色は灰色である。

高齢であれば、髪の色は白い。

この種のあいまいな仮定文は1984年に、MamdaniとAssilianが蒸気機関車の“ファジー（あいまい）制御”に関する独創的な研究で用いたものです。あれから今日まで、ファジー理論による制御システムは、仙台市の地下鉄から菅野教授のファジー自動車、そして山一証券の土地管理システムに至るまで実にさまざまな分野で応用され、大成功を収めています。現在、生産および試験の初期の段階にある“ファジー理論チップ”が実用化されれば、ファジー理論による制御システムの応用に一段とはずみがつくでしょう。このチップは、1985年に戸貝氏と渡辺氏が考案したファジー理論チップの流れを汲んでいます。

2番目の基本的な考えは、「標準形」に関するものです。この標準形とは基本的に、変数に対する柔軟な制約として命題を捕らえ、それを自然言語で表現するという概念に基づいています。たとえば「メリーは若い」という命題があったとします。制約を加えられた変数はメリーの年齢であり（「年齢」または「メリー」で表す）、変数に対する柔軟な制約はあいまいな述語「若い」であります。したがってこの標準形においては、命題「メリーは若い」は「年齢（メリー）が若い」と表現されます。これは問題の命題の意味が、制約された変数「年齢（メリー）」を用いて柔軟な制約「若い」として表現されるという確証に基づいています。このように命題の集合は柔軟な制約の一体系として表すことができ、質問に対する答えの削除は非線形プログラムを用いて解決できます。

命題の意味を自然言語で表現するシステムを提供するばかりでなく、標準形の内容は言語変数の概念とともに、経済システムや複雑な制御システムなどにおける数量的依存状態を表現する土台として機能します。この数量的依存状態は、従来の方法では分析作業を可能にするほど十分には定義できないものです。すでに申し上げましたように、ファジー理論の実践応用の多くは、あいまいな仮定法で表現される入力・出力関係の数量的特徴を利用しています。あいまいな仮定法においては、推定的な命題および必然的な命題は標準形で表されます。

そしてファジー理論における3番目の基本的概念は「挿入思考」です。これは文字どおり、ある思考モードにおいて入手された情報が不完全であるために、質問に適切に答えるべく、なんらかのデータが挿入されるということです。挿入思考の特殊な例としては「類推思考」があります。これは類似した概念が中心的役割を果たす思考のことです。挿入思考においては、あいまいな述語が互いの適合性の度合によって相対的な役割を果たします。

挿入思考を簡単に例をあげて説明しますと、「X」と「Y」という2つの変数について「Xが小さいときにはYは大きく、Xが大きときにはYが小さい」ということがわかっていたとします。問題は、Xが中くらいのときにはYの値はどうなるのかということです。

ファジー理論の推論法則を用いれば、この種の質問に対するあいまいな答えを算出することができます。技術的な詳細には触れませんが、この手法はファジー理論による制御システムにおいて重要な役割を果たすということだけ述べておきましょう。制御システムばかりでなくエキスパートシステムにおいても、挿入思考の重要性は、情報が挿入できることによって知識依存性システムにおける仮定法の大多数が不必要になるという点にあるのです。ちなみに人間の思考の大部分は挿入的な性質を持っています。そして情報を挿入する能力は、あいまいな概念に直面した場合にその根底にある数学的構造を意識せずに処理できるという、人間の驚くべき能力に必然的に裏づけられているのです。

では最後に、楽観的な予測を立てて私の講演を終わりにさせていただきたいと思います。この10年間、産業界におけるファジー理論の応用は急速な進歩を遂げ、とくに日本の業績には目を見張るものがあります。ほとんどの場合、ファジー理論は熟練技師に代わるシステムに応用されてきました。これからの10年間は、この理論の成熟とファジー・コンピューターの実現が期待できます。それによって熟練技師ばかりでなく、さらに重要なことは熟練した専門家に代わって仕事をこなすシステムが登場するでしょう。すでに医療、証券取引、コンピューター・デザインなどの分野でそういったシステムの応用が始まっています。また、ファジー理論とニューラルネットワークを利用した高度なシステムも開発されるでしょう。これは今後の研究活動の方向性として、非常に有望であるといえます。

最後に一言、ご忠告申し上げます。ファジー理論は従来の論理体系より大きな可能性を秘めているとはいえ、限界もあります。人間がこともなげにこなしている仕事のうち、現存するいかなるコンピューター、いかなる機械、そしていかなる論理体系をもってしても実行不可能なものはたくさんありますし、これからもそうでしょう。たとえば、“型にはまっていない”話や本の要約がそれです。この種の仕事をこなすための論理構造は、現時点ではまったく解明されていません。

本田財団レポート

No. 1	「ディスカバリーズ国際シンポジウム ローマ1977」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭53.5	No.33	「日本人と西洋人」 東京大学文学部教授 高階秀爾	昭58.1
No. 2	異文化間のコミュニケーションの問題をめぐって 東京大学教授 公文俊平	昭53.6	No.34	「ディスカバリーズ国際シンポジウム コロンバスオハイオ1982」報告 電気通信大学教授 合田周平	昭58.2
No. 3	生産の時代から交流の時代へ 東京大学教授 木村尚三郎	昭53.8	No.35	「エネルギーと環境」 横浜国立大学環境科学研究センター教授 田川博章	昭58.4
No. 4	語り言葉としての日本語 劇団四季主宰 浅利慶太	昭53.10	No.36	「第3世代の建築」 (株)菊竹清訓建築設計事務所主宰 菊竹清訓	昭58.7
No. 5	コミュニケーション技術の未来 電気通信科学財団理事長 白根禮吉	昭54.3	No.37	「日本における技術教育の実態と計画」 東京工業大学名誉教授 斎藤進六	昭58.8
No. 6	「ディスカバリーズ国際シンポジウム パリ1978」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭54.4	No.38	「大規模時代の終り—産業社会の地殻変動」 専修大学経済学部教授 中村秀一郎	昭58.8
No. 7	科学は進歩するのかわ化するのか 東京大学助教授 村上陽一郎	昭54.4	No.39	「ディスカバリーズ国際シンポジウム ロンドン1983」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭58.9
No. 8	ヨーロッパから見た日本 NHK解説委員室主幹 山室英男	昭54.5	No.40	日本人と木の文化 千葉大学名誉教授・千葉工業大学教授 小原二郎	昭58.10
No. 9	最近の国際政治における問題について 京都大学教授 高坂正堯	昭54.6	No.41	「人間と自然との新しい対話」 ブラッセル自由大学教授 イリヤ・プリゴジン	昭59.2
No.10	分散型システムについて 東京大学教授 石井威望	昭54.9	No.42	「変化する日本社会」 大阪大学教授 山崎正和	昭59.3
No.11	「ディスカバリーズ国際シンポジウム ストックホルム1979」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭54.11	No.43	ベルギー「フランドル行政府産業使節団」講演会	昭59.7
No.12	公共政策形成の問題点 埼玉大学教授 吉村 融	昭55.1	No.44	「新しい情報秩序を求めて」 電気通信大学教授 小菅敏夫	昭59.7
No.13	医学と工学の対話 東京大学教授 渥美和彦	昭55.1	No.45	「アラブの行動原理」 国立民族学博物館教授 片倉ともこ	昭59.10
No.14	心の問題と工学 東京工業大学教授 寺野寿郎	昭55.2	No.46	「21世紀のエネルギーを考える」 イタリア国立エネルギー研究機関総裁 ウンベルト・コロンボ	昭60.1
No.15	最近の国際情勢から NHK解説委員室主幹 山室英男	昭55.4	No.47	「光のデザイン」 石井デザイン事務所 石井幹子	昭60.7
No.16	コミュニケーション技術とその技術の進歩 MIT大学教授 イシエル デ ソラ プール	昭55.5	No.48	「21世紀技術社会の展望」 第43回日経ハイテクセミナー	昭61.1
No.17	寿命 東京大学教授 吉川俊之	昭55.5	No.49	「星をつぶす法」 文部省宇宙科学研究所所長 小田 稔	昭61.5
No.18	日本に対する肯定と否定 東京大学教授 辻村 明	昭55.7	No.50	「ひまわりVA太陽光は人間の生活にどう役立つか」 慶応義塾大学教授 森 敬	昭61.5
No.19	自動車事故回避のノウハウ 成蹊大学教授 江守一郎	昭55.10	No.51	「エコ・テクノロジーの宇宙的観察」 コーネル大学天文学および宇宙科学教授 カール・セーガン	昭62.2
No.20	'80年代—国際経済の課題 日本短波放送専務取締役 小島章伸	昭55.11	No.52	「人間はどこまで機械か」 東京大学教授 古川俊之	昭62.2
No.21	技術と文化 IVA事務総長 グナー・ハンベリユース	昭55.12	No.53	「中国人とどのようにおつきあひすべきか」 東京外国語大学教授 中嶋嶺雄	昭62.2
No.22	明治におけるエコ・テクノロジー 山本書店主 山本七平	昭56.5	No.54	「舞台の奥のヨーロッパと日本」 演出家 寺崎裕則	昭62.5
No.23	西ドイツから見た日本 電気通信大学教授 西尾幹二	昭56.6	No.55	「日米関係の現状と展望」 経団連特別顧問 大河原良雄	昭62.5
No.24	中国の現状と将来 東京外国語大学教授 中嶋嶺雄	昭56.9	No.56	私の半導体研究 東北大学教授 西澤潤一	昭63.1
No.25	アメリカ人から見た日本及び日本式ビジネス オハイオ州立大学教授 ブラッドレイ・リチャードソン	昭56.10	No.57	「生物学者の科学的責任」 コレージュ・ド・フランス名誉教授 ジャン・ドーセ	昭63.4
No.26	人々のニーズに効果的に応える技術 GE研究開発センターコンサルタント ハロイド チェスナット	昭57.1	No.58	「最近の宇宙論をめぐって」 上智大学教授 柳瀬睦男	昭63.3
No.27	ライフサイエンス (株)三菱化成生命科学研究所人間自然研究部長 中村桂子	昭57.3	No.59	「科学・技術研究の国際的規模：その展望と考察」 ローマ大学教授 パオロ・マリア・ファゼラ	平 1.7
No.28	「錬金術 昔と今」 理化学研究所地球化学研究室 島 誠	昭57.4	No.60	「温室効果による地球環境の変動と対策」 中央大学理工学部教授 安藤淳平	平 1.9
No.29	「産業用ロボットに対する意見」 東京工業大学教授 森 政弘	昭57.7	No.61	「組織の進化論」—企業及び軍事組織における進化— 一橋大学商学部教授 野中郁次郎	平 2.3
No.30	「腕に技能をもった人材育成」 労働省職業訓練局海外技術協力室長 木全ミツ	昭57.7	No.62	「ファジー理論の誕生と進化」 カリフォルニア大学バークレー校教授 ロトフィ・アスカ・ザデー	平 2.9
No.31	「日本の研究開発」 総合研究開発機構(NIRA)理事長 下河辺 淳	昭57.10			
No.32	「自由経済下での技術者の役割」 ケンブリッジ大学名誉教授 ジョン F. コールズ	昭57.12			