

解説

ファジィ情報処理応用の現状と展望†



廣田 薫†

1. はじめに

ファジィ情報処理応用の総論的解説および展望を述べる。最初に、ファジィ情報処理の歴史的経緯を述べ、ファジィ情報処理の特徴および確率論などの関連他分野とのかかわりあいを解説する。そして、100件以上のファジィ実用化応用事例を背景とした各国の動向と今後の展望を述べる。

2. ファジィ情報処理の歴史的経緯

ファジィ理論の提唱者は、カリフォルニア大学バークレイ校の Zadeh, L. A. 教授であり、1960年代になってあいま情報処理の観点からファジィ集合の考え方を各種学会で発表し、1965年に論文発表をした<sup>1)</sup>。しかし、ファジィの原点ともいえるこの論文が世の中に出るまで、また、その後現在に至るまで、いわゆる“ファジィ無用論”への対応ともいえる幾多の試練があった。その辺の詳細や、ファジィ理論とは何かについては、現在では多数の啓蒙書<sup>2)-7)</sup>をはじめ広く報道されるようになったので本稿では省略する。

しかし、批判的見解も多数みられたが、逆にファジィ理論をもとにした研究も活性化していった。一例として、DIALOG® データベース中の AI とファジィの論文数を図-1 に、また分野別の論文数を図-2 に示す<sup>8)</sup>。また、JOIS データベース中の、“ファジィ集合”のキーワードをもつ文献数を図-3 に示す。こうして、ファジィ理論は、世界中の国々で研究されるようになった。(付録-1には、最近 Zadeh 教授が著者に送ってきた各国語で書かれたファジィの単行本リストを示す。)

このような背景で研究が進み、1974年になると、イギリスの Mamdani, E. H. 教授(ロンドン大学クィーンメリー校)により、制御分野でのファジィ実用化の

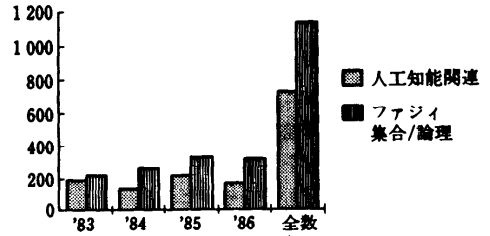


図-1 AI とファジィの文献数<sup>8)</sup>

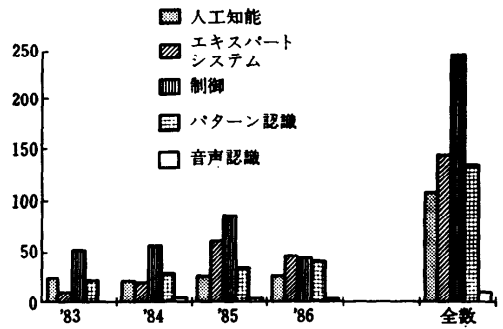


図-2 AI 関連分野の文献数<sup>8)</sup>

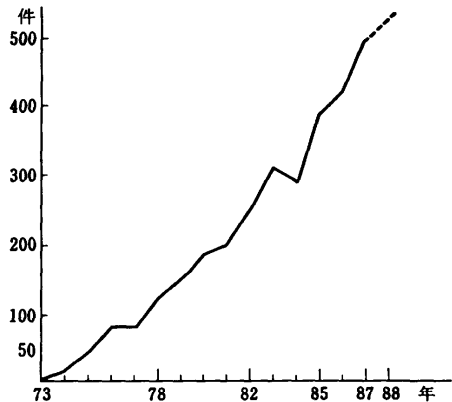


図-3 ファジィ集合の文献数 (JICST 提供)

† Recent Trends on Fuzzy Information Processing by Kaoru HIROTA (Dept. of Instrument & Control Engineering, College of Engineering, Hosei University).

†† 法政大学工学部計測制御応用

見通しが与えられた<sup>9)</sup>。Zadeh 教授によって提案された IF~THEN… 型のファジールールを用いたファジィ推論を、スチームエンジンの自動運転に適用し、実験的に良好な結果を得たのである。

1970年代後半には、ルール型ファジィ推論を制御分野に適用する研究が進み、1980年になってデンマークの Smidth, F. L. 社により産業応用としては最初のファジィ実用化事例が発表された<sup>10)</sup>。自社のセメント工場にセメントキルンのファジィ制御自動運転を開始したのである。

初期の段階では、このようにして欧米を中心にファジィ実用化が始まった。しかし、欧米では“あいまいさ”や“主観”の問題をファジィ理論で扱うことに対して、強い拒否反応を示す人々も多く、実用化技術の浸透はゆっくりしたものであった。

それに対して、日本では古くから“本音とたてまえ”や“あいまいさ”をうまく使いわけてきた国民性のためか、Smidth 社のキルンの運転が開始された1980年ころになると、企業の技術者の中でファジィ理論に注目する人々が徐々に現れてきた。そのような技術者の努力が、地下鉄の自動運転<sup>11)</sup>や浄水場の薬品注入の水処理<sup>12)</sup>として具体的な成果を収めるようになると、急速にファジィ実用化応用の機運が高まり、表-1に示すようにここ数年産業応用ファジィ実用化事例の件数は、うなぎ登りに増加している。これらの事例のほとんどは日本における事例であり、1980年代に入ってファジィ実用化の主導権は欧米から日本企業の手に移った。(実際、「ファジィ実用化は日本人技術者の努力によって培われた。」と Zadeh 教授は世界各地で講演している。)

ただし、表-1に示した事例の8割方は制御応用の事例である。制御分野では、ファジィ推論を利用したファジィ制御が、一つの新しい制御理論として定着し

表-1 産業応用ファジィ適用累積数

年 月 日	事例件数
86. 8. 27	20
87. 6. 1	50
87. 9. 12	65
87. 11. 5	72
87. 12. 28	79
88. 3. 3	86
88. 5. 5	92
88. 8. 24	100
88. 12. 28	112
89. 3. 15	124

たといつてよい。それに対して、もう少し広い意味でのファジィ情報処理の研究展開は、少々出遅れた感がある。しかし、ここ1~2年の間にようやく軌道にのりはじめたようである。

種々のファジィアルゴリズムの研究、Prolog や Lisp のファジィ化、エキスパートシステムへのファジィ理論の導入などが多数報告されるようになった。この分野では、1983年に最初の実用化システムが市場に投入された。米国西海岸の AI ベンチャーが Reveal という名のファジィ意思決定支援システムを発表し、コンピュータの運用管理やレストランの経営支援などで多数の実績をあげ好評を博した。しかし、それがために1985年に大企業により買収され、経営が拙くてわずか数カ月で市場から姿を消すことになった。

その後、しばらくの間この種のシステムはみられなかったのであるが、1986年になって OPS 5 をファジィ拡張したファジィエキスパートシステム構築シェル FLOPS が米国で発表され、1987年末にはイギリスで、ファジィ Prolog を用いたシェル FRIL が発表されここ1年ほどの間に日本国内でもいくつかのシェルがビジネスレベルで発表されるようになった。

このような汎用的ツールの開発とは別に、バスの路線ダイヤ作成、送電線故障区間推定、工法選定など、特殊目的のファジィ情報処理システムが開発され、実用化応用が進み出した。こうして、現在では制御応用のみならず、種々の分野でのファジィ情報処理が展開されつつある。

### 3. ファジィ情報処理の特徴

ファジィ理論の概要については、ここ1~2年良好なテキストが多数出版されている<sup>13)~18)</sup>、パソコンで学べるファジィの CAI もある<sup>19)</sup>。したがって、本稿ではファジィ理論そのものを解説することはひかえる。以下では、ファジィ情報処理の特徴を論ずることとする。

#### ① あいまいさ、主観、感性の取り扱い

人間、特に特殊技能を有するエキスパートには、それぞれ個性や主観およびあいまいさがつきものである。むしろ、それらがあるからこそ人間らしさがあるといえる。しかし、デカルト流の西洋思想に慣れてきた多くの人々にとっては、“科学は客観的であるべき”という信念があり、工学的にあるいは技術的にあいまいさや主観の問題を正面から取り上げようという動きはなかった。そのような観点からは、ファジィ情報処

理は現状ではそれらの問題に取り組む唯一の手法とい  
ってよい。

② 周囲の批判的対応

ここ2~3年、実用化事例が育ってきたおかげで、  
(日本においては)ファジィがハイテクブームの一つ  
になってきている。しかし、これまでは、Zadeh 教授  
のファジィ理論提唱<sup>1)</sup>以来約4半世紀にわたって、フ  
ァジィ研究は、学問的には邪道であるとして日陰者扱  
いされ続けてきた。中世に、天動説に対して地動説を  
主張した人々が、逮捕され拷問を受けたりしたのに比  
べれば穏やかなものであったが、研究の存在を無視さ  
れたり、研究援助もほとんどなく、学会発表などをして  
も感情的な批判の集中攻撃を受けたりしてきた。しか  
し、逆にいえば、このような周囲からの冷たい対応の  
中で、実用的に良好なものに育ってきたともいえる。

③ 確率・統計手法との確執

ファジィ理論に対しては、感情的な批判の他に、確  
率統計の手法との関連についての意見も多くきかれ  
る。ファジィ集合のメンバシップ関数における評価値  
が、確率測度の評価値 [0, 1] 実数区間値と同一であ  
ることなども、混乱に拍車をかけている。確率測度の  
値は、多数の試行の統計的性質により客観的に定義す  
るのに対して、メンバシップ関数は単独の試行を主観  
的に評価するという説明がなされたりしている。ある  
いは、試験の合格確率が0.8と与えられても結果をみ  
れば合格か不合格かのいずれかにはっきり分類される  
が、ファジィ集合のメンバシップ関数ではたとえば  
A子さんの美人度が0.8というときには、0.8という  
0と1以外の中間評価値自体に意味がある。など、両  
者を概念的に区別しようという、ファジィ研究者の説  
明が種々行われている。しかし、確率統計手法には数  
百年の研究実績があるため、たとえば、「確率の値を  
客観的に与えるという説明は的はずれであり、もとも  
と確率は主観的に与えたものであった。事実、主観確  
率の概念も広く用いられている。」というような反論  
も出てきて、感情的水掛け論に落ち入りやすい。

改めて、「確率とは何か？」を考察してみると、完全  
加法性をもったあいまい測度(あいまい情報を計量す  
るもの差し)といえる。従来は、「あいまいな事象も、  
必ず明確なものにできるはずであり、極力あいまい情  
報は避けておる」という考え方が支配的であった。  
したがって、「ある種の理由で、明確なものになる前  
のあいまい情報を処理せざるを得ないときは、確率を  
使えばよい。」という程度の思考で、確率が長い間使

われてきた。しかし、ファジィ理論の導入により、そ  
のような消極的態度で“あいまい情報”を処理するの  
ではなく、積極的態度で望むようになってみると、あ  
いまいさにも種々の様相があることが認識されるよう  
になった。その結果、確率統計手法で処理可能なあい  
まい情報は、完全加法性を満足する場合のみであり、  
確率測度でカバーできぬあいまいさも多数存在するこ  
とが認知されるようになってきた。

確率の完全加法性とは、式で表現すれば

$$P(E) + P(E^c) = 1 \tag{1}$$

$$P\left(\bigcup_{i=1}^N E_i\right) = \sum_{i=1}^N P(E_i) - \sum_{i \neq j} P(E_i \cap E_j) \\ + \sum_{i \neq j \neq k} P(E_i \cap E_j \cap E_k) - \dots \\ \dots + (-1)^{N-1} P\left(\bigcap_{i=1}^N E_i\right) \tag{2}$$

というように、各事象の確率の値を計算するのに、事  
象相互間の重複を加えたり引いたりしながら、帳尻合  
せで計算できるという性質である。

しかし、人間の意思決定の場面などでは、このよう  
な帳尻合せというきれいごとが成立しない場面も多  
く、それにより確率統計手法の限界や、逆に確率にと  
られないファジィ測度などの新しい手法導入の必要  
性が認識されるようになった。図-4には、Bannon  
によって与えられた<sup>20)</sup>、エキスパートシステムなどで用  
いられている種々のあいまい測度の相互関係を示す。

④ ファジィは、本質的には人間の基本的思考形態  
ファジィ理論は、現在まだ進展中であり未完成であ  
る。しかし、その狙いとするところは、人間の感性を  
理解して処理することが可能なシステムを作りたいと  
いうことである。たまたま、工学の分野で研究が展開

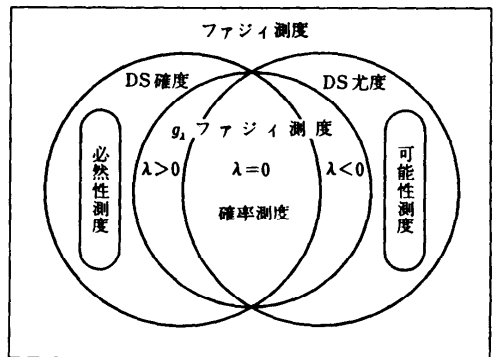


図-4 各種あいまい測度の相互関係<sup>20)</sup>

されてきたのであるが、ここ数年一般への宣伝も行き届くようになってきたため、理工学分野のみならず、法律、医学、心理学、哲学、芸術など、これまでは縁遠いと思っていた分野の研究者からも、研究交流の場が提供されるようになった。そこでは、決まって「ファジィというのは、人間の基本的概念をきわめて自然に表現している。」とか「我々が普段、無意識のうちに使ってきた手法を理論的にうまくまとめたのがファジィである。」というような評価が聞かれる。これら種類のワーキンググループは、数十名程度の小さなものから、数百名規模のものも生まれ、活発にファジィ理論導入が展開され始めている。よって、近い将来種々の分野でのファジィ情報処理の具体的成果が得られるものと期待できる。

#### ⑥ 数式モデルよりも言語近似モデル

従来、自然現象の解明などにおいては、微分方程式や積分方程式により数式モデルを作成し、それを解析することによって研究を展開するというのが基本的手法であった。しかし、人間の関与するヒューマンファクタの取り扱いを主目的とするファジィ情報処理では、数式モデルによる取り扱いではなく、現場のオペレータやエキスパートの知識を、IF~THEN...という形式の言語ルールでモデル化するということから始める。

数式モデル手法をとる場合には、扱う対象に線形性を仮定できるか否かが、大きなポイントになる。それが仮定できずに非線形になると、とたんに取り扱いが難しくなるからである。しかし、ファジィモデルでは、そのようなことはまったく気にする必要はない。そして、構築結果としては、数式モデルにおける非線形要因が実にうまく取り込まれているということも多い。本来、ヒューマンファクタにおいては、線形と非線形の区別はさほど本質的なものではなく、その意味ではファジィモデルのほうが、はるかになじみやすい。

また、人間の概念知識というものは、言語で完全に表現できるものではない。言語は結局は有限個の記号の集まりであり有限表現である。しかし、人間の概念知識には、有限以上のものがあると思われる。したがって、それを言語で表現するという過程においては、いわゆる近似が行われていることになる。人間の情報交換は、通常言語情報によって行われるものであるから、この近似がうまく扱える必要がある。しかるに、ファジィ情報処理の基本であるファジィ推論は、英語では approximate reasoning (直訳すると近似推論)

といい、人間の知識概念と言語ラベルのギャップをメンバーシップ関数で橋渡しをして、近似概念をうまく使っている。

このような点で、ファジィ手法は、人間の思考形態とうまく調和しているため、エキスパートシステムなどを構築する際の現場における知識獲得においても、オペレータや専門技術者ともなじみやすい。

⑥ 適正なシステム規模とシステム構築のしやすさ  
エキスパートシステムなどにおいては、人間の専門家の技術を機械で肩代りすることになる。では、人間はどの程度の規模の情報処理をしているのであろうか？

たとえば、上司が部下を管理するとき、(管理技術の良し悪しは別として) 5名や10名であれば管理可能である。しかし、人数が増えてきて100人ほどになると、全体を管理することが大変になる。よくいわれることであるが、直接管理可能な人数の上限は300人程度で、それを越えたら中間管理職を置いた間接管理にならざるをえない。

現場における一人の専門技術者が管理している項目数は、要因がきわめて多くあったとしても、ある一時刻においては、数項目からたかだか100項目程度と考えられる。

ファジィ理論を応用した情報処理システムの大半は、ファジィプロダクションルール型のファジィ推論を用いたシステムである。そこでは、現場のエキスパートの知識を次の形式のルールで表現する。

$$\left\{ \text{IF } \prod_{m=1}^M (A_m \text{ is } A_m^i) \text{ THEN } \prod_{n=1}^N (B_n \text{ is } B_n^i) \right\}_{i=1}^I \quad (3)$$

ここで、 $I$ はルール総数、 $M$ は条件部の項目数、 $N$ は操作部の項目数である。また、 $A_m^i$ は全体空間 $U_m$ 上の、そして $B_n^i$ は全体空間 $V_n$ 上のファジィ集合として表現される。なお、 $\square$ と $\triangle$ は項目列挙をする際の接続詞であり、通常はANDが用いられる。

実際のシステム規模として、 $I$ は数個から30個程度、多くても100個程度である。 $M$ については2から5程度、 $N$ は1から4程度である。また、 $U_m$ や $V_n$ の要素数(濃度あるいはカージナル数)は、数個から256個程度である。したがって、上述の人間が一人で全体を見渡せる規模であり、現場ではシステム構築がやりやすいという特徴がある。

#### ⑦ 基盤技術の存在と日本の貢献

一般にブームが先行しているハイテクの中には、実

用化応用に耐えうる基盤技術がまだ確立されていないのに、一般の関心を引くようなデモに成功し、それがきっかけになってさわがれているものが多くみられる。特に欧米でのブームが日本にも伝播してきたような場合に、その傾向がよくみられる。

ファジィプロダクションルールによるファジィ推論法は、日本の技術者を中心に、批判されながらも徐々に浸透してきた技術である。表-1にも示したように、すでにその産業応用の事例数は100件を超えており、実用化応用に耐える基盤技術として定着したといつてよい。その意味で、日本を中心に形成された実用化応用技術という点で、大きな評価ができよう。

#### ④ テストケースによる動作確認

ファジィ情報処理の良い面を述べてきたが、今後の課題もいくつか残っている。

まず一つには、ファジィ情報処理手法の性能限界や動作安全性などの説明が十分なされていないことがあげられる。したがって、具体的に、あるシステムを構築したとしても、それを導入した際の安全性などを確認するには、フィールドテストやシミュレーション実験によって、テストケースを網羅するより仕方がない。この点は、一般のAI型エキスパートシステムでも同じことであり、共通の課題である。

ファジィ情報処理の理論的説明がなかなか進まないのは、従来の解析法が使えないことに一つの原因がある。ファジィ情報処理の基本演算は、加減乗除演算よりはむしろmax, min演算である。max, min演算は、微分演算について閉じていない。したがって、評価関数を設定して、その微分から最適性を決定するというような、従来型解析法が使えない。おそらく、新しい数学的発想が必要になるものと考えられる。

なお、テストケースを網羅して動作確認といつても、ファジィ手法の場合、そのシステム規模が適正規模であるため、ある程度多くの数のテストケースをチェックすることにはなつても、いわゆる組合せ的爆発を起こすようなレベルではない。この点は、一つの救いである。

また、max, min型演算は、通常教育課程では、あまり教えられていない。そのため、ファジィ手法を導入しようとするとき、最初に少々取りかかりにくさを感じるという声もよく聞かれる。したがって、当初ある程度(たかだか10時間程度)の教育が必要になる。しかし、これらについても、教育用ツールの開発<sup>19)</sup>などにより、解決される見通しである。

## 4. ファジィ研究の動向と展望

ファジィ実用化開発研究は、制御分野を中心にすでに100件以上になっており、個別の事例も多数紹介されている<sup>21)-26)</sup>。ここでは、それらを逐次列挙することは控え、それらを含んだ各国ごとの研究動向と今後の展望を述べる。

### ① 日本の動向

すでに、繰り返して述べているように、産業応用ファジィ実用化は日本の企業を中心に進んできた。それらの動きをふまえて、ファジィ研究の二つの国家プロジェクトがスタートしようとしている。

一つは、通産省の指導で、民間48社の出資による企業技術組合国際ファジィ工学研究所 LIFE である。ファジィ制御、ファジィ情報処理、ファジィコンピュータの三つの研究室から構成され、1989年4月3日から6カ年計画で、横浜市を拠点に活動が開始される予定である。

もう一つは、科学技術庁が科学技術振興調整費を5カ年計画で11億円ほど投入して、やはり1989年4月からスタートする予定の「ファジィシステムとその人間・自然系への適用に関する研究」プロジェクトである。ファジィ理論の基礎・基盤技術などに関する研究、人間の諸機能の実現とヒューマンインタフェースに関する研究、人間の知的情報処理過程および自然現象社会現象の解明の三つの主要テーマのもとで、大学や研究所を中心に20程度の機関に研究が委託される予定である。

学会関連の動きとしては、1985年に設立された国際ファジィシステム学会 IFSA 日本支部を中心に活動が展開されてきたが、会員数が70名から500名以上に増加したこともあり、1989年6月には日本ファジィ学会が設立される予定である。

この他にもファジィ関連の各種研究会、協会、財団などの設設計画が目白押しであり、企業などの関心も高まる一方である。今後しばらくは、この傾向が続き、種々の分野での研究の活性化とともに、企業ではビジネスレベルでの営業展開も始まっている。

### ② 中国 (PRC) の動向

日本に比べると事例数さがさほであるわけではないが、ファジィ実用化の2番手は中華人民共和国である。文革以後、ファジィ研究に参加する中国人研究者はきわめて多数おり、ファジィ学会を形成して、模糊数学という学会誌も定期刊行している。(中国では

fuzzy を模糊と訳している。) 会誌発行数は 7000 部、アクティブな研究者数は 2000 人と伝えられている。実用化という点でも、すでに独自のファジィコントローラのハードウェアを開発していくつかのプラントで運転しており、各種のファジィソフトウェアも開発している。1988 年 8 月には、中国政府の指導で東京にファジィ関連の会社も設立されている。また、現在中国政府は、北京にファジィシステム研究所を開発するための建物を建設中であり、1990 年 7 月ごろには開所予定とのことである。

### ③ NIES 諸国の動向

台湾や韓国などでは、これまではファジィ研究に関心をほとんど示していなかったのであるが、日本における研究活性化にともない、にわかに関心を示すようになった。特に、台湾では政府の働きかけもあり、台湾政府と日本企業の合弁で、台北にファジィ関連の企業を設立することが決まり、1989 年 4 月からスタートする予定である。

### ④ 米国の動向

ファジィ理論提唱者の Zadeh 教授は米国在住であるが、ファジィ情報処理への関心は今一つというところである。1985 年に設立された北米ファジィ学会 NAFIPS の活動、LA におけるファジィプロセッサのベンチャ企業設立などの動きはあるのであるが、相変わらずファジィ無用論が幅をきかせている。

しかし、NASA などでは、スペースシャトル計画にファジィ制御を取り込むことを検討している。1988 年 5 月にはヒューストンで、第 1 回ファジィニューロ国際会議が開催され、かなり好評であった。そして、日本におけるファジィ実用化の話題がようやく米国に浸透してきて、ファジィ研究への対応が急速に変わりつつある。

### ⑤ ヨーロッパの動向

1960 年代、あるいは 1970 年代からファジィ研究をしてきた研究者は、相変わらず積極的に活動しており、イギリスからは 1987 年末に本格的なファジィエキスパートシェル FRIL が発表されたり、1988 年にはフランスのマルセイユで、ニューロ・ファジィシステム研究所が設立されたり、いくつかの動きはみられる。しかし、一般的な関心は日本に比べるとまだ低い。

### ⑥ ソ連・東欧の動向

Zadeh 教授がソ連で生まれたこともあって、ソ連国内でのファジィ研究熱はかなりのものがある。しかし、

これまでは、西側諸国との研究交流はほとんどなかった。ところが、ペレストロイカなどの結果、研究交流が認められ、1988 年 9 月にはモスクワで第 1 回ファジィ国際会議が開催された。そこに参加した結果、ソ連国内では、モスクワの科学アカデミーとリガ工業大学に二つの大きなファジィ研究グループが存在し、原子炉の異常診断や集積回路の設計支援など具体的応用もかなり進んでいることが判明した。ソ連国内には約 200 名ほどのファジィ研究者がおり、これまでも年に 1 回の割合で、東欧研究者とのシンポジウムを開催してきたとのことである。ただし、あいまい情報処理そのものについては、測度論的確率論の大成者 Kolmogoroff の国だけあって、確率統計手法が相変わらず幅をきかせており、ファジィと確率の論争がまだ数多くみられた。

## 5. おわりに

ファジィ情報処理がようやく軌道にのりはじめてきた。実用化応用という点では日本が育てた技術であり、いくつかの国家プロジェクトも開始され、今後の一層の進展を期待している。しかし、最近ではファジィブームになって、過度の期待をされすぎているようにも見える。もう少し冷静にみつめ、できることとできないことをはっきりさせることが必要である。

制御応用を中心にこれまでは進んできたのであるが、AI 型エキスパートシステムへの導入やパターン認識の分野への適用も多くみられるようになった。潜在的にはもっと幅の広い応用が可能であるので、ファジィ情報処理の今後の発展を見守っていきたい。

## 参 考 文 献

- 1) Zadeh, L. A.: Fuzzy Sets, Inf. Control, Vol. 8, pp. 338-353 (1965).
- 2) 菅野: ビジネスマンのためのファジィ読本, サイエンス社 (1988).
- 3) 山川: ファジィコンピュータの発想, 講談社 (1988).
- 4) 向殿: ファジィ理論がわかる本, HBJ 出版局 (1988).
- 5) 片方: ファジィ革命の時代, ビジネス社 (1989).
- 6) 中村他 5 名: ファジィ新しい知の展開, 日刊工業新聞社 (1989).
- 7) 西川他 3 名: ファジィ時代がやってきた, 東京教育情報センター (1989).
- 8) Togai, M.: Artificial Intelligence and Fuzziness, Precongress Seminar 2nd IFSA Congress 配布資料; July 17-18 (1987).

- 9) Mamdani, E. H. and Assilian, S.: An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller, *Int. J. Man-Mach. Stud.*, Vol. 7, pp. 1-13 (1974).
- 10) Holmblad, L. P. and Ostergaard, J. J.: Control of Cement Kiln by Fuzzy Logic, in *Fuzzy Information and Decision Processes* (Gupta, M. M., Sanchez, E. eds.), North-Holland, pp. 389-399 (1982).
- 11) 安信, 宮本, 井原: 予見 Fuzzy 制御方式による列車自動運転, システムと制御, Vol. 28, No. 10, pp. 605-613 (1984).
- 12) 柳下, 伊藤, 菅野: ファジィ理論の浄水場薬品注入制御への応用, システムと制御, Vol. 28, No. 10, pp. 597-604 (1984).
- 13) 寺野, 浅居, 菅野編: ファジィシステム入門, オーム社 (1987).
- 14) ゼマンコワ, カンデル著, 向殿訳: ファジィリレーショナルデータベース, 啓学出版 (1987).
- 15) 水本: ファジィ理論とその応用, サイエンス社 (1988).
- 16) 菅野: ファジィ制御, 日刊工業新聞社 (1988).
- 17) 廣田: わかりやすいファジィシステム, テクノシステム (1989).
- 18) 寺野, 浅居, 菅野編: 応用ファジィシステム入門, オーム社 (1989 予定).
- 19) 廣田監修: ファジィエキスパートシステム (CAI), NTT ラーニングシステムズ (1989).
- 20) Bannon, G.: Distinction between Several Subsets of Fuzzy Measures, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 5, No. 3, pp. 291-305 (1981).
- 21) 特集: 活用期を迎えたファジィ制御, 計装, 工業技術社 (1988 年 5 月号).
- 22) 特集: ファジィ制御の基礎と応用, オートメーション, 日刊工業新聞社 (1988 年 6 月号).
- 23) 廣田: ファジィコンピュータファジィエキスパートシステム, トリケップス (1988).
- 24) 特集: ファジィコントローラ, CAD & CIM, 工業調査会 (1988 年 秋号).
- 25) 廣田: ファジィシステムの実用化基礎理論と応用事例, 経営開発センター (1989).
- 26) 廣田: ファジィ実用化応用技術実例集, ミマツデータシステム (1989 予定).

付録 1 各国語で出版されたファジィ集合の本  
(Zadeh 教授提供)

## BULGARIAN

1987

- BARNEV P., STANCHEV P. "Fuzzy Sets" Darjavno Isdatelstvo "Narodna Prosbeta", Sofia, Bulgaria (110 pages).

## CHINESE

1983

- WANG P.Z. "Fuzzy Sets Theory and its Applica-

tions". Shanghai Scientific and Technical Publishers, Shanghai (345 pages).

1986

- CHEN Y. Y. "Fuzzy Mathematics". Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei (248 pages).
- WANG P. Z. "Fuzzy Sets and the Fall-Shadows of Random Sets". Beijing Normal University Press, Beijing (189 pages).

## CZECH

1986

- NOVAK V. "Fuzzy Mnoziny a Jejich Aplikace". Matematicky seminár SNTL n° 23 (279 pages).

## ENGLISH

1985

- KAUFMANN A., GUPTA M. M. "Introduction to Fuzzy Arithmetic-Theory and Applications". Van Nostrand Reinhold Company, New York (320 pages).
- LOWEN R. "On the Existence of Natural Non-Topological, Fuzzy Topological Spaces", Heldermann Verlag, Berlin (200 pages).
- MAJUMDER D., PAL S. K. "Fuzzy Mathematical Approach to Pattern Recognition". Wiley Eastern Ltd..
- NEGOITA C. V. "Expert Systems and Fuzzy Systems". Benjamin/Cummings, Menlo Park, Ca. (190 pages).
- ROUBENS M., VINCKE P. "Preference Modelling". Lecture Notes in Economic and Math. Systems, n° 250, Springer Verlag, Berlin (95 pages).
- ZIMMERMANN H. J. "Fuzzy Set Theory and its Applications". Kluwer, Nijhoff, Dordrecht (384 pages).

1986

- CZOGALA E., HIROTA K. "Probabilistic Sets: Fuzzy and Stochastic Approach to Decision, Control and Recognition Processes". The Interdisciplinary Systems Research Series, Vol. 91, Verlag TÜV Rheinland, Köln (240 pages).
- KANDEL A. "Fuzzy Mathematical Techniques with Applications". Addison Wesley Pub. Co., Reading, Mass. (320 pages).
- NEGOITA C. V. "Pullback". Vantage Press, New York.
- O'HIGGINS HALL L., KANDEL A. "Designing Fuzzy Expert Systems. Interdisciplinary Systems Research, Vol. 92, Verlag TÜV Rheinland, Köln (216 pages).
- KARWOWSKI W., MITAL A.(EDS.) "Applications of Fuzzy Set Theory in Human Factors". Elsevier, Amsterdam & New York (470 pages).
- PONSARD C., FUSTIER B.(EDS.) "Fuzzy Economics and Spatial Analysis". Collection de l'IME n° 32,

- Librairie de l'Université, Dijon, France (202 pages).
- PRADE H., NEGOITA C. V. (EDS.) "Fuzzy Logic in Knowledge Engineering". Interdisciplinary Systems Research Series, Vol. 86, Verlag TÜV Rheinland, Köln (358 pages).
- 1987
- KRUSE R., MEYER K. D. "Statistics with Vague Data". D. Reidel Publishing Company, Dordrecht (276 pages).
  - NEGOITA C. V., RALESCU D. "Simulation, Knowledge-Based Computing and Fuzzy Statistics". Van Nostrand Reinhold, New York (224 pages).
  - SMITHSON M. "Fuzzy Set Analysis for Behavioral and Social Sciences". Springer Verlag, New York (326 pages).
  - ZIMMERMANN H. J. "Fuzzy Sets, Decision Making, and Expert Systems". Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (352 pages).
  - BEZDEK J. C. (ED.) "Analysis of Fuzzy Information-Vol. 1: Mathematics and Logic". CRC Press, Boca Raton, FL (304 pages).
  - BEZDEK J. C. (ED.) "Analysis of Fuzzy Information-Vol. 2: Artificial Intelligence and Decision Systems". CRC Press, Boca Raton, FL (272 pages).
  - BEZDEK J. C. (ED.) "Analysis of Fuzzy Information-Vol. 3: Applications in Engineering and Science". CRC Press, Boca Raton, FL (304 pages).
  - BOUCHON B., YAGER R. R. (EDS.) "Uncertainty in Knowledge-Based Systems" (Proc. Inter. Conf., Paris, June 30-July 4, 1988) Lecture Notes in Computer Science, n° 286, Springer Verlag, Berlin (413 pages). (About one half of the book considers approaches other than fuzzy sets).
  - KACPRZYK J., ORLOVSKI S. A. (EDS.) "Optimization Models Using Fuzzy Sets and Possibility Theory". D. Reidel, Dordrecht (462 pages).
  - SANCHEZ E., ZADEH L. A. (EDS.) "Approximate Reasoning in Intelligent Systems, Decision and Control". Pergamon Press, Oxford (195 pages).
  - YAGER R. R., OVCHINNIKOV S., TONG R. M., NGUYEN H. T. (EDS.) "Fuzzy Sets and Applications-Selected papers by L. A. Zadeh". John Wiley & Sons, New York (680 pages).
- 1988
- DENG J. ET AL. "Grey System". China Ocean Press, Beijing, China (249 pages).
  - DUBOIS D., PRADE H. (with the collaboration of FARRENY H., MARTINCLOUAIRE R., TESTEMALE C.) "Possibility Theory-An Approach to Computerized Processing of Uncertainty". Plenum Press, New York (263 pages).
  - GRAHAM I., JONES P. L. "Expert Systems-Knowledge, Uncertainty and Decision". Chapman and Hall Computing, London (364 pages).
  - KLIR G. J., FOLGER T. A. "Fuzzy Sets, Uncertainty and Information". Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J. (355 pages).
  - LEUNG Y. "Spatial Analysis and Planning under Imprecision". North-Holland, Amsterdam (376 pages).
  - SCHNEIDER M., KANDEL A. "Cooperative Fuzzy Expert Systems-Their Design and Applications in Intelligent Recognition". Interdisciplinary Systems Research Series, Vol. 93, Verlag TÜV Rheinland Köln (229 pages).
  - BANDEMÉR H. (ED.) "Some Applications of Fuzzy Set Theory in Data Analysis". Freiburger Forschungshefte D-87, Veb Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig (109 pages).
  - GUPTA M. M., YAMAKAWA T. (EDS.) "Fuzzy Computing: Theory, Hardware and Applications", North-Holland, Amsterdam (520 pages).
  - GUPTA M. M., YAMAKAWA T. (EDS.) "Fuzzy Logic in Knowledge-Based Systems, Decision and Control". North-Holland, Amsterdam (430 pages).
  - KACPRZYK J., FEDRIZZI (EDS.) "Combining Fuzzy Imprecision with Probabilistic Uncertainty in Decision Making". Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Vol. 310, Springer Verlag, Berlin (399 pages).
  - KACPRZYK J., ROUBENS M. (EDS.) "Non-Conventional Preference Relations in Decision Making". Lectures Notes in Economics and Mathematical Systems, Vol. 301, Springer Verlag, Berlin (161 pages).
  - ZETENYI T. (ED.) "Fuzzy Sets in Psychology". Elsevier Sci., North-Holland.
- To appear
- CARLSSON C. "Fuzzy Set Theory for Management Decision". Interdisciplinary Systems Research n° 82, Verlag TÜV Rheinland, Köln (150 pages).
  - GOODMAN I. R., NGUYEN H. T. "An Algebraic Theory of Conditioning with Applications to Uncertainty Modeling".
  - KAUFMANN A., GUPTA M. M. "Fuzzy Mathematical Models with Applications to Engineering and Management Science". North-Holland, Amsterdam.
  - NOVAK V. "Fuzzy Sets and their Applications". Adam Hilger (190 pages).
- FRENCH
- 1973
- KAUFMANN A. "Introduction à la Théorie des Sous-Ensembles Flous-Vol. 1: Eléments Théoriques de Base". Masson, Paris.
- 1975
- KAUFMANN A. "Introduction à la Théorie des Sous-Ensembles Flous-Vol. 2: Applications à la Linguistique, à la Logique et à la Sémantique".



Masson, Paris.

- KAUFMANN A. "Introduction à la Théorie des Sous-Ensembles-Flous-Vol. 3: Applications à la Classification et à la Reconnaissance des Formes, aux Automates et aux Systèmes, au Choix des Critères". Masson, Paris.
- KAUFMANN A., DUBOIS T., COOLS M. "Exercices avec Solutions sur la Théorie des Sous-Ensembles Flous". Masson, Paris.

1977

- KAUFMANN A. "Introduction à la Théorie des Sous-Ensembles Flous-Vol. 4: Compléments et Nouvelles Applications". Masson, Paris.
- PREVOT M. "Sous-Ensembles Flous-Une Approche Théorique". Collection de l'I. M. E. de Dijon, n° 14, Editions Sirey, Paris (136 pages).

1978

- TRAN QUI PHUOC "Les Régions Economiques Floues-Application au Cas de la France". Collection de l'I. M. E. de Dijon, n° 16, Editions Sirey, Paris.

1979

- KAUFMANN A. "Modèles Mathématiques pour la Stimulation Inventive". Albin Michel, Paris.

1985

- DUBOIS D., PRADE H. (avec la collaboration de FARRENY H., MARTIN-CLOUAIRE R., TESTEMALE C.) "Théorie des Possibilités-Applications à la Représentation des Connaissances en Informatique". Masson, Paris (248 pages).
- MATHIEU-NICOT B. "Espérance Mathématique de l'Utilité Floue". Collection de l'IME, n° 29, Librairie de l'Université, Dijon (196 pages).

#### JAPANESE

1978

- ASAI K., TANAKA H., OKUDA T., NEGOITA C. V., RALESCU D. A. "Introduction to Fuzzy System Theory". Ohm Publ. House, Tokyo.
- NISHIDA T., TAKEDA E., "Fuzzy Sets and Its Applications". Morikita, Tokyo.

#### POLISH

1980

- CZOGALA E., PEDRYCZ W. "Elementy i metody teorii zbiorow rozmytych". Silesian Technical Uni-

versity, Gliwice (177 pages).

1983

- KACPRZYK J. "Wieloetapowe Podejmowanie Decyzji W Warunkach Rozmytosci". Panstwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa-Lodz (246 pages).

1984

- DREWNIAK J. "Podstawy Teorii Zbiorow Rozmytych". Uniwersytet Slaski, Katowice.

1985

- CZOGATA E., PEDRYCZ W. "Elementy i Metody Teorii Zbiorow Rozmytych". Panstwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.

1986

- KACPRZYK J. "Fuzzy Sets in Systems Analysis" (in Polish) (520 pages).

1987

- CHOLEWA W., PEDRYCZ W. "Systemy Doradcze". Politechnika Slaska Im. W. Pstrowskiego, Gliwice (250 pages).

#### RUMANIAN

1974

- NEGOITA C. V., RALESCU D. A. "Multimi Vagi si Aplicatule Lor". Editura Tehnica, Bucuresti.

1983

- STOICA M., CATOIU L., RATIU-SUCIU C. "Experiment si Euristica in Economie". Editura Stintifica si Enciclopedica, Bucuresti (288 pages).

#### RUSSIAN

1979

- CHORAYAN O. G. "Fuzzy Algorithms in Thinking Processes". Rostov University Press, Rostov (160 pages).

- KAUFMANN A. "Introduction to the Theory of Imprecise Sets". Radio Moscow.

1980

- ORLOV A. I. "Optimization problems and fuzzy variables". Moscow, "Znanie".

1981

- ORLOVSKI S. A. "Problems of Decision Making with Fuzzy A Priori Information". Moscow, Nauka.

(平成元年 4月 3日 受付)