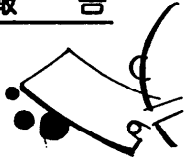


## 報 告



## パネル討論会

## ファジィ情報処理技術の展望†

## 平成元年度前期第38回 全国大会報告

## パネリスト

寺野 寿郎<sup>1)</sup>, 戸貝 正喜<sup>2)</sup>, 馬野 元秀<sup>3)</sup>  
 安信 誠二<sup>4)</sup>, 山川 烈<sup>5)</sup>, 小林 重信<sup>6)</sup>  
 司会 廣田 薫<sup>7)</sup>

## 1. はじめに

司会(廣田) これから約2時間の予定で「ファジィ情報処理技術の展望」という内容でパネルディスカッションを行います。

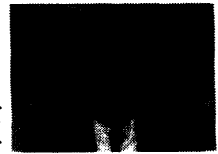


6名のパネラの方に、まず持ち時間10分ぐらいでご自身の見解を述べていただき、その後残り時間をお持ちしてパネルディスカッションという形で、討論をしていただきます。

最初のパネラは法政大学計測制御専攻教授寺野先生で1922年3月31日にお生まれになり、東京大学のご出身です。自動制御、システム工学、あいまい工学という分野で現在では日本の第一人者としてよく知られております。あいまい工学という言葉が70年代に提唱されたのも寺野先生でしたし、4月1日から通産省の「LIFE」というファジィの研究所が発足しますけれども、そちらの所長さんにも予定されているということです。きょうのご主張は、情報処理は記号処理だけでは十分ではないというような点、それから、マンマシンシステムとしての情報処理という観点からインタフェースを考察し、最後に通産省の指導でスタートしようとしております「LIFE」のプロジェクトあるいは科学技術庁のファジィ研究会のプロジェクト、さらにはファジィ関連で現在日本国内で新しい学会づくりを進めております。その辺の話題を提供していただきたいと思っております。

## 2. 記号処理と知識情報

寺野 ただ今ご紹介いただきました寺野でございます。始まる前にパネラの方々とちょっとお話しをしましたところ、私だけが情報処理学会の会員ではございませんので、何言ってもだれからも叱られないということで、一番前にさせていただきました。



今廣田先生が簡単に言うてくださったんですけど、「情報処理学会は情報を扱っているはずなのに、どうして記号処理だけしかやらないのか」ということが私の疑問です。記号イコール情報なのか、あるいは情報というものを記号で表すのが常識になっておいて、それ以上のことを深く考えないのかどちらかであろうと思いますが、しかし本来の情報の意味は非常に深いものだと思います。動物でも情報のいろんな処理をしています、人間が特にすごい情報処理をしています。それを真似するという本来の目的が忘れられて小手先の技術に走っているんじゃないのかなというのが、外から見るときの感想です。

この情報関係の技術がどう進んできたかということはいろんな見方があると思いますが、私は一応(図 T-1 参照)、大きく分けて「システム化」ということ、「知能化」ということ、それから「バイオ化」ということをあげたいと思います。これは、情報技術が具体的に利用されるときこのようにことを目標にして進歩してきたなということです。

まず、情報技術が有効に使われるためには、どうしても対象がシステムの的に整合していないといけなないので、これを仮りにシステム化と呼びます。

すべてのものをきちんと割り切って、ある目的関数

† 日時 平成元年3月15日(水) 12:30~14:45

場所 中央大学理工学部

1) 法政大, 2) トガイインフラロジック, 3) 阪大, 4) 日立,

5) 熊本大(現在九工大), 6) 東工大, 7) 法政大

システム化

- 合理化・効率化…矛盾やムダ排除
- 無人化…誤りや非効率排除
- コンピュータ化…大量情報の記憶・高速処理
- 総合化…大規模・複雑・最適化
- (例) 宇宙ロケット, 無人工場, 管理システム, OA, 安全システム, 交通, 流通, 経営, 銀行, 病院

知能化

- ロボット: 消防, 救難, 保全, 宇宙, 海底, 地下, 介護, 家庭
- 人工知能: パターン認識, 自動翻訳, ワープロ知能端末, 高度自動化
- エキスパートシステム: 設計, 運転, 診断, 治療教育, 契約, 投資, 経営

バイオ化

- ME
- 生体モデル
- ニューロ・コンピュータ
- 遺伝子工学

図 T-1 情報技術進歩の傾向

のもとに最大効率を狙うことがシステム化の第1の目的です。これには無人化や省力化ということもふくまれております。人間というのはとにかく間違いを起こしやすく非効率なものであるから、これは排除してしまおうという考え方です。その代用としては、当然コンピュータをもって来る。コンピュータなら大容量の情報が非常に高速に処理ができる、記憶内容も絶対忘れないということです。

また、そういう大量の情報をまとめて結論を出す、すなわち、総合化ということをやるとしても、システム的にきちんとしていなければ不可能です。システム化の例としていくつか事例があげてありますが、これは省略いたします。

つぎの知能化の傾向には、機械をより人間に近いようなロボットにしようというものと、人間の頭の動きを機械で実現しようという、いわゆる人工知能。さらに人間と機械とがうまく協力しあって、よりすばらしい動きをさせようというエキスパートシステムなどがあります。

このほかにバイオ化という傾向もありますが、これは今回省略いたします。

以上が現在の情報技術の流れなんですけど、これは同時にぐあいの悪い点もたくさん含んでおまして (図 T-2 参照)、考えようによっては、人間のやっている情報処理とは似ても似つかないのではないかと。たとえば、システム化を実施するためにはきちんとした論理関係が必要ですが、ひとたびそれをつくってしまえば、もう変化しませんから非常に硬直化したシステムができてしまう。それから、ルールをつくるのはどうしても建て前主義でつくりますので、本音が隠れてしまう。また、評価は非常に単純なものになりま

システム化の問題点

- ルール化: 矛盾の受入困難
- 硬直化: 組織, コミュニケーション, 評価固定, 進歩なし
- 建前主義: 単純な論理
- 単純評価: 多目的評価に弱い
- 想定外状況に無力: 臨機応変, 常識なし
- 均等な扱い: 特例認めず
- コンピュータ上位: 人間の介入排除

知能化の問題点

- 思考の代行
- ブラック・ボックス
- 情報洪水
- インタフェース
- ルール一点張り
- 単純な三段論法
- 2値論理
- 情報の質無視
- 常識欠如
- 感性欠如
- 創造性欠如

人間の存在無視

設計者, 評価者, システム内の人間, 影響を受ける人  
利用者 (個人)  
主観・直感・感性, 常識, 個人差

図 T-2 システム化・知能化の問題点

す。したがって、予定していなかった状況が起こったときに、まったく無力になってしまいます。

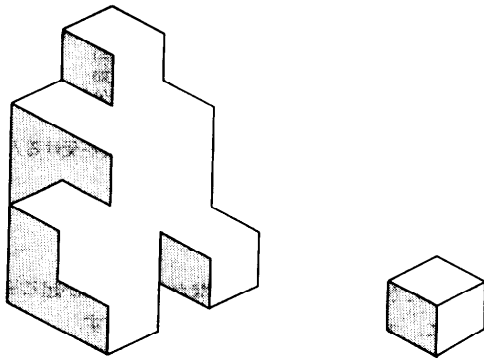
それから、システムの処理というのはある意味で均等的な取り扱いでして、例外は普通認めません。そういう意味では、なんでもかんでも均一になってしまう。そういうことになりますと、人間が疎外されてしまいます。

以上のことは、コンピュータ化するためにはどうしても避けられない道ですが、それをそのまま押し進めていけば、果たしてわれわれが求める情報化社会が実現するのかということに対して、非常に疑問を感じざるをえない。

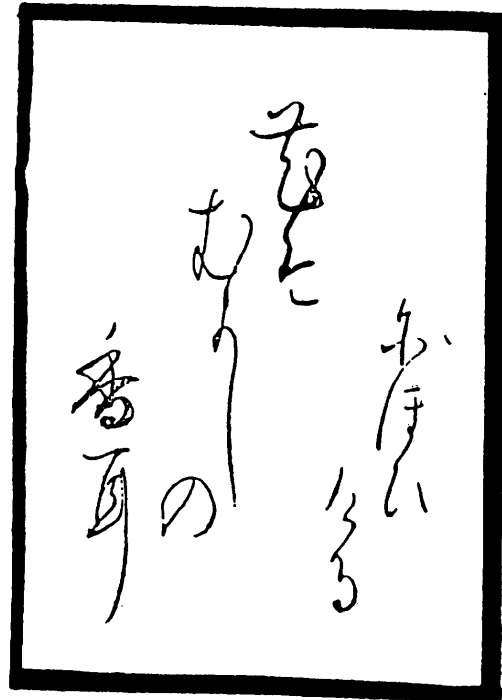
たとえば、人工知能では今推論の研究が非常に華やかですが、図 T-3 に2種類のあいまいな図形があります。

一つはよくクイズに出る問題ですが、ここにこういう箱が積んである絵です。ただし、光のかげんで稜線は見えないところと見えないところがある。この箱はいったい何個積んであるんだろうかということ推論で求める問題です。これは実は人間の直感ではできないような推論でして、こういうものは非常に明白なロジックがあり、それで推論すれば正しい答えが出てくるというものです。

一方、失礼ですが、これを(草書体で書かれた和歌)お読みになれる方おられますか。これはわれわれでもなかなか読めない。しかしある程度分かります。これは輪郭などから見て百人一首の取り札らしい。取り札というのは和歌の下の句ですから、そういうことが分かかってまいりますと、この中で一つでも二つでも知っ



積んである箱は何個？



手書き文字の認識

図 T-3 2種類の理解

ている字がもしあれば、手がかりになります。こういうものは推論には違いないんですが、そのロジックは非常にあいまいでして、ルールになかなか書けないです。少なくともこれを読むためには、かなり広範な常識がないと推論はできません。

そこでついでに「推論をやるための知識」ということについて、ちょっと私なりの考え方を申し上げたいと思います。

今人工知能でいう知識というのは、結局ルールになるようなもの、いわゆる命題で言えるようなものを知識と呼んでいるわけです。その間に当然明白な整合性がなければいけない。一点たりとも矛盾やあいまいなところがあると、これは推論ができなくなってしまいます。知識の分類には「深い知識」とか「浅い知識」という分け方もあるんですけど、私はむしろそういう分け方じゃなくて、論理の整合性の深さ、浅さということで知識をレベル分けしてみたいと思います。

この知識の階層というのは下から上まで4段に分けてあるんですけど、一番下の知識は何かと申しますと、これが今まで人工知能で定義しているような、学問的にきちんとした論理関係が非常に明白で矛盾のない整合した知識です。現在専門知識といわれているも

のがそれです。これは実は私の知識のレベルからいうと、一番下、一番低いレベルの知識であると考えております。このレベルの知識をマイクロ知識と呼ぶことにします。

じゃ人間らしい知識とはどういうものかという、私はこれを「マクロ知識」といいますが、マイクロ知識が非常にたくさん集まって、もう一段と抽象化されたものを本当の知識と呼びたいわけです。われわれが物事を判断したり決定したりする際には、実はまずマクロ知識がないとマイクロ知識は使いこなせないわけです。一番怖いのは、マイクロ知識だけあってマクロ知識のない人、いわゆる専門馬鹿です。お医者さんでも、自分の専門分野は非常によく知っているけれども、人間とは何かということを知らない人は本当の意味で患者さんは直せないんじゃないでしょうか。そういう意味で専門常識と呼んでもよいと思います。

専門常識の上には、一般常識というのがあり、その上にはさらに、人間としての倫理観とか道徳という非常に大きなレベルの知識があるのではないかと考えます。

このような意味で、私はこれからもう少し高いレベルの情報処理を目指してもらいたいということです。

下のレベルの知識をたくさん集めれば上のレベルの知識になるかという、そうではなくて、マイクロ知識のエッセンスを抽出して一段と内容の深いものに変えないといけなわけです。そういうものに情報処理を進めようとするれば論理性はどうしてもあいまいなものならざるをえない。

これからファジィ手法で常識が完全に扱えるかという、そうも思えません。しかし、マクロ知識の扱いとしては私はこのファジィ手法以外に有効なツールはないのではないかと考えております。

結局これからの知識工学あるいは AI というものは、マンマシンシステムとして考える必要がある。人間とコンピュータの組合せですね、そしてその間をとりもつのは、ファジィなインフォメーションです。だから、あいまいなインフォメーションを扱えるような方法がないと、AI は恐らく実用化はできないであろうというのが私の意見です。

### 3. ファジィ情報処理ソフトウェア

司会 ありがとうございます。「LIFE」とか、科学技術庁などの研究の進捗状況、学会の準備などについては、後半で時間があるときに解説していただくということで、次の問題提起に移りたいと思います。

二番目は大阪大学大型計算機センターの馬野元秀先生。昭和 26 年 10 月 29 日にお生まれになり、大阪大学院基礎工学研究科の物理系情報工学分野博士課程を修了されております。卒業研究のころからファジィとのかかわりをもたれて「データベースや知識情報処理への応用」ということで研究を活発に展開されております。きょうのご発表の内容は、ソフトウェアの立場からファジィ情報処理の分野をみていただいて、「ファジィプログラミング言語とその階層」という話題を提供していただくことになっております。

馬野 ファジィは、情報処理の分野には残念ながらあまり浸透していませんが、まとめますと、ファジィ情報はファジィデータ処理とファジィ知識情報処理の分野に大きく分かれるだろうと思います(図 U-1)。まずデータ処理のほうからみてみましょう。ファジィプログラムは当然、知識情報処理とも関係しますが、普通のプログラムのいろいろな部分をファジィ化したものです。また、ファジィデータベース、OR (オペレーションズ・リサーチ) もファジィデー



- ファジィデータ処理
  - ファジィプログラム
  - ファジィデータベース
  - ファジィ OR など
- ファジィ知識情報処理
  - ファジィ制御
  - ファジィエキスパートシステム
  - ファジィ自然言語理解
  - ファジィ画像理解 など

図 U-1 ファジィ情報処理の分野

タ処理の一部と考えられます。これ以外にもあると思いますが、従来のデータ処理のファジィ版と考えてくだされば結構です。

さて、ファジィ知識処理といいますと、まずファジィなルールでシステムを記述するファジィ制御があります。それから、ファジィなエキスパートシステム、ファジィな自然言語理解、あるいは画像理解などが考えられます。

しかし、ファジィ情報処理と言える分野で活発に研究が行われているのは、ファジィ制御のみという印象をもっています。ファジィ情報処理をもっと進めるにはいったい何が足りないのでしょうか。おそらくファジィ情報処理用のプログラミング言語が必要であろうと考えています。それはいろいろな分野を記述できるという意味で、十分に汎用的である必要があります。ところが、一つのレベルで全体を覆うのは難しいと考えられます。

どうやら、4 つの階層があるようです(図 U-2 参照)。まず、最初の階層は、「ファジィ集合による基本レベル」と呼んでおり、ファジィ集合演算が使える

- ①ファジィ集合による基本レベル
  - ファジィ集合演算+既存の制御構造
  - FSTDS システム
  - Lisp によるファジィ集合処理システム
- ②ファジィ集合による上位レベル
  - ファジィ集合演算+ファジィ制御構造
  - ファジィアルゴリズム—L. A. Zadeh
  - ファジィプログラム—C. L. Chang
  - ファジィプロダクションシステム
  - ファジィ Prolog
  - 言語化されているものは多くない
- ③自然言語によるアルゴリズムのレベル
  - 自然言語による指示 (系統的に記述)
  - 自然言語+制御構造
  - 人間向けの指示: 料理の作り方など
- ④自然言語レベル
  - 普通の自然言語の文章
  - 自然言語+暗黙の制御構造
  - 各種のマニュアルや本など
  - 自然言語処理技術との兼ね合い

図 U-2 ファジィプログラミング言語の階層

レベルです。

2番目のレベルは「ファジィ集合による上位レベル」と一応呼んでいます。ファジィ集合の演算とファジィな制御構造が使えます。すなわち、条件文において今のデータと条件がどれくらい合っているかの度合いを計算し、その度合いに応じて何か処理をするというものです。

これについてはいくつかの研究があります。たとえば、ファジィアルゴリズム、ファジィプログラム、ファジィプロダクションシステム、ファジィ Prolog などがこれにあたります。

いろいろと提案されてはいますが、しかしきちりと言語化されてみんなが使えるような状態にはなっていません。きちんと言語化されて、みんなが使えるような形にする必要があると思っています。

その次のレベルは「自然言語によるアルゴリズム」のレベルです。これは自然言語によるいろいろな指示を考えていただければよいと思います。例をあげますと人間向けの指示、たとえば料理のつくり方というのは一応番号がふってありまして、アルゴリズムふうになっていて、散文的な文章とは大分違います。われわれはそれで十分な指示が得られます。

さらにその先といえますと、もう「自然言語レベル」となります。すなわち普通の自然言語の文章のレベルです。したがって、制御構造がある部分もあるし、ない部分もある。あるかないかよく分からないような部分もある。そういう文を対象とします。これはたとえば、普通のマニュアルや本を考えていただければ結構です。ただし、これは非常に大変で、自然言語処理技術との兼ね合いもありますし、そう簡単にはできないと思います。

いずれにしても、こういうようなツールが普及しないと、ファジィ情報処理の分野はなかなか発展しないと考えています。

#### 4. ファジィ情報処理ハードウェア

司会 ありがとうございます。馬野先生はご自身長い間ファジィに関するソフト開発をいろいろやってこられて、ファジィ LISP を配布されたり、基本的なファジィ集合からそれを上位レベルまでいろいろやっておられます。解説としては非常に分かりやすかったと思います。

次に移ります。ここから少しハードウェア寄りの話題を提供していただこうと考えております。3番目は熊本大学工学部電気情報工学科の山川烈先生にお願いいたします。山川先生は、昭和21年1月20日にお生まれになりまして、東北大学の大学院工学研究科電子工学専攻博士課程を修了していらっしゃいます。なお4月からは九州工業大学の教授として活躍になる予定でございます。

さて、本日は、まず「アナログハードウェアの基本ブロックとその特徴」、それから「アナログハードウェアの適用領域」、そして最後に「これからのアナログハードウェアの課題」ということでご発表をお願いしたいと思います。

山川 きょうの私の話は、的を少し限定したところをもっていきたいと思います。つまりファジィ推論（近似推論と申しますが）IF-THEN ルールで表されたあいまいな言葉を用いた推論を、実時間で実行するハードウェアについての話であります。特に制御の場合を例にあげて、お話してみたいと思います。



ファジィで制御をやるにはいろんなやり方があります。たとえば、図TY-1に示すように制御対象がありまして、その状態をフィードバックかけて、システム入力との差を取ったりしてコントローラに入れてやるわけですけれども、これはたとえば、PID 制御の場合

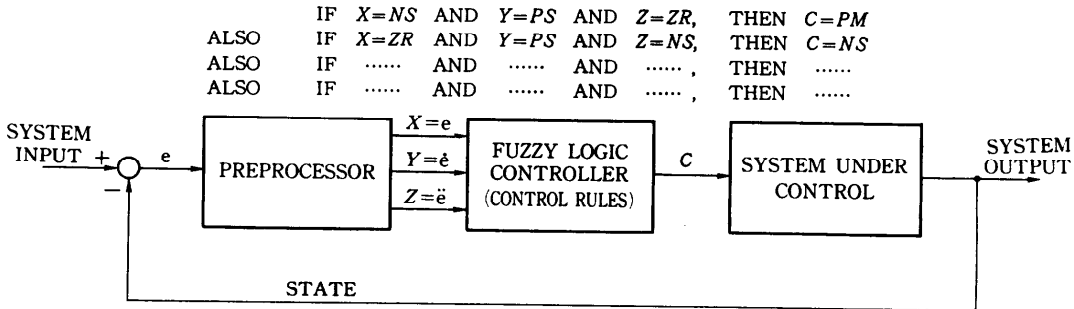


図 TY-1 ファジィ・ロジック・コントローラ・システム

に、PとIとDに関する係数をファジィ推論で求めてやるというやり方もありますし、またこの場合のように、コントローラの入力と出力の関係をIF-THENルールで表すやり方もあります。すなわち、コントローラの入力と出力の関係がIF-THENルールで表されるような場合です。そしてフィードバックがかかる信号というのはすべて確定的な値です。つまり、XYZという制御入力はいまいみではなくて確定値。ただ、推論に使われるルールの中に含まれている言葉(NS, PS, PM, ZRなど)は、あいまいな言葉であります。NSというのは小さな値(Negative Small)の略です。PSは(Positive Small)の略です。PMは(Positive Medium), ZRは(Approximately Zero)の略です。

こういうふうにあいまいな言葉だけを条件部分と結論部分にもった推論規則をこのコントローラの中に蓄えておきまして、確定値のコントローラ入力信号X, Y, Zが入ってきます。そしてコントローラ出力として確定値が欲しい場合をここでは考えています。IF-THENルールの中にあいまいな言葉をどういふふうに表示するかといいますと、メンバシップ関数と呼ばれる特性関係で表します。たとえば正の中(Positive Medium: PM)というあいまいな言葉を図TY-2(a)のようなメンバシップ関数で表現するとします。これをハードウェアで実現するために、図TY-2(b)のようにサンプリングしまして、そのサンプリング値一つ一つを0から1までの連続的な値、いわゆる小数で表現するわけです。そうすると(a)のメンバシップ関数は、小数の並びで表現するわけです。バイナリ・ワードは0と1だけの並びなんですけど、ファジィ・ワードは小数の並びで表現される。この小数をアナログ量で表そうというわけです。ですから、この0を0ボルト、1を5ボルトに対応させて表現いたします。

こういうものをハードウェアで表現して情報処理をするわけですが、先ほどのコントローラに使う推論エンジンのブロック図が図TY-3に書いてあります。たとえば、ルールとして、IF X=PM AND Y=ZR\* AND Z=NG, THEN C=PM\* (\*は台形のメンバシップ関数、他は三角形、NGは「無視」の意)が与えられたとします。そして入力としてX, Y, Z

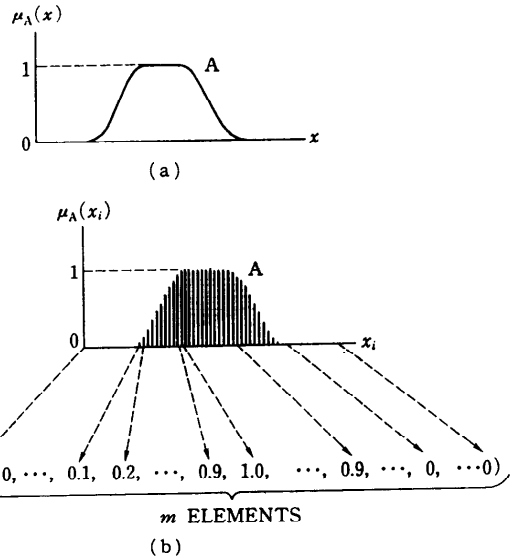


図 TY-2 (a)PM (Positive Medium) を示すメンバシップ関数と(b)PM を表すファジィワード

というアナログ値が外から入ってきたとします。

これら三つの入力信号がメンバシップ・関数回路と呼ばれるブロックを通り、それぞれの値がPM, ZR, NGに適合する度合(0.5, 0.7, 1.0)として出力されます。メンバシップ関数回路とは、入力と出力の関係がメンバシップ関数で示されるような電子回路を言います。NGの場合は、入力がどんな場合でもすべて1にプルアップしておきます。

こういう三つのブロックの出力の最小値をとるためにMIN回路を通します。これは、IF文中のANDという接続詞を実行することになります。

つまり、0.5と0.7と1.0のうち最も小さい値ですから、0.5です。これが条件部分を満たした度合です。これで結論部分のメンバシップ関数の頭をちょん切ってやればよいわけです。これは、トランケーションゲートというブロックで実行されます。そして、トランケーションゲートの出力パスに推論結果としてのメンバシップ関数が現れます。

これは25本の信号ラインの上に乗った電圧分布として出力されますので、ファジィ・ワードになります。この重心を求めればアナログ値として結果が得られるわけです。実際はこのルールが7つとか8つとか10とかありますので、これら一つ一つの推論結果のメンバシップ関数を重ね合わせてその重心を取ります。

一つの推論を実行する部分を推論エンジンというわ

CONTROL RULE NO.1: IF ③ IS  $PM$ , ④ IS  $ZR^*$  AND ⑤ IS  $NG$ , THEN  $C$  IS  $PM^*$ .

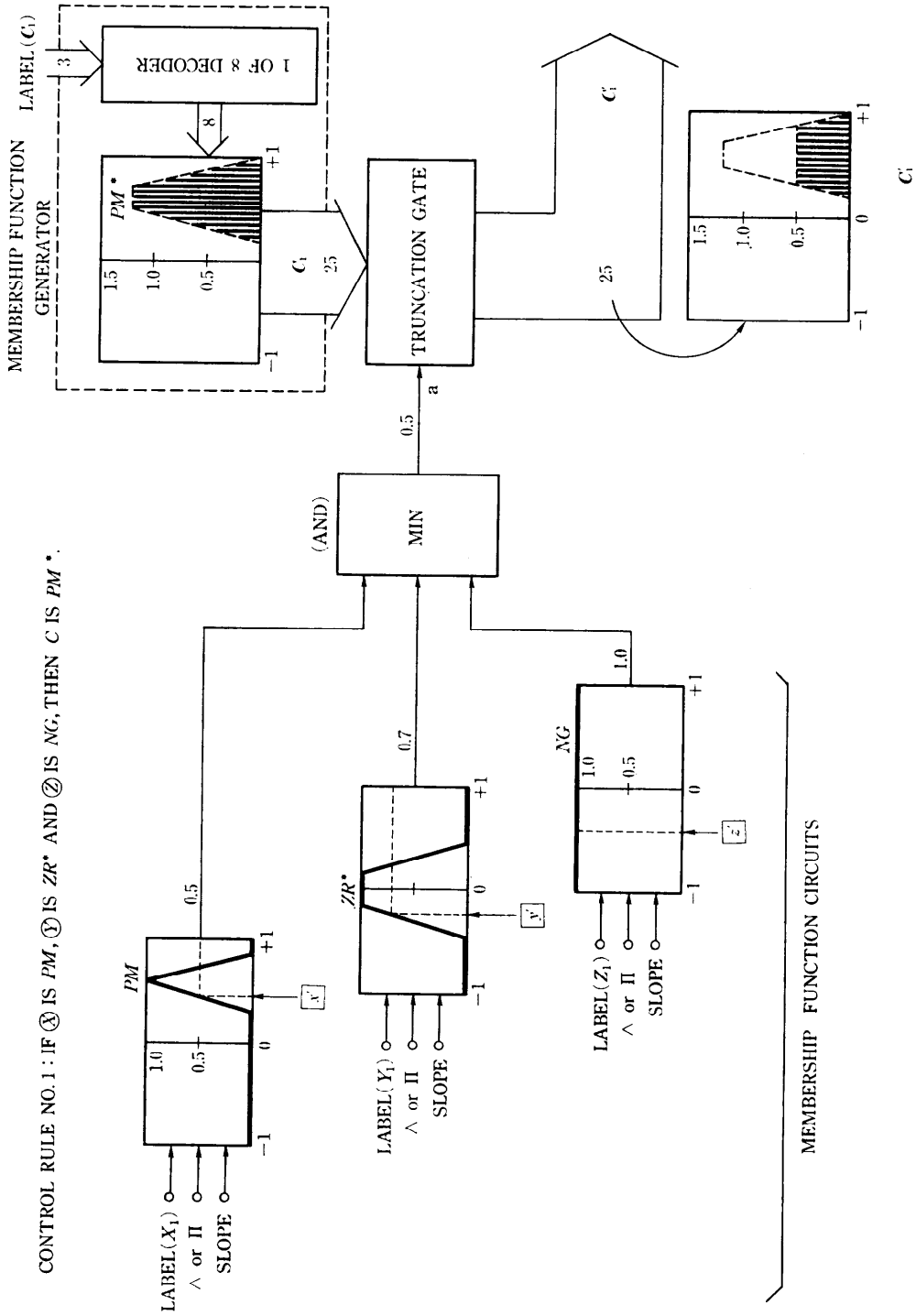
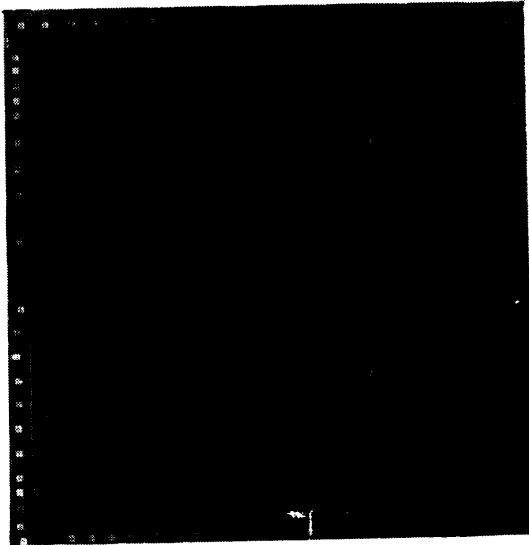
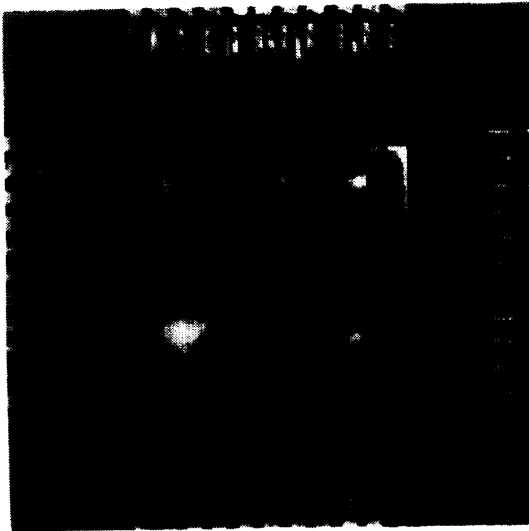


図 TY-3 ファジィ・ロジック・コントローラの推論エンジン



(a)



(b)

図 TY-4 (a)ルールチップ (推論エンジン) と  
(b)デファジィファイアチップ

けですが、これが一つのボードになったり、チップになったりしているわけです。

図 TY-3 を一つのチップにおさめたものが図 TY-4 (a) に示すルールチップで 84 ピンのプラスチックパッケージ (3 cm×3 cm×3 mm, 6 g) に入っています。また、最終的な推論結果を示すメンバシップ関数の重心を求めてアナログ信号を出力するものが図 TY-4 (b) のデファジィファイアチップで、44 ピンのプラスチックパッケージ (3 cm×3 cm×6 mm, 11 g) に

入っています。ルールチップは制御ルールの数だけ必要で、また、デファジィファイアチップはコントローラの出力信号の数だけ必要となります。

私が今までお話ししたものはすべてアナログがベースになっています。この後戸貝先生がされるチップの話はデジタルがベースであります。ただ、私のシステムでもアナログだけでコントロールができませんので、コントロールユニットの部分はデジタルでやっています。

スピードを最も大事にするような領域ではアナログが非常に有効だと思います。ただ、プログラマビリティといいますが、汎用性はそんなにありません。要するに、あいまいな言葉の数は限られていますし、メンバシップ関数の形は三角形、台形、Z形、S型の中から一つを選び傾きを変えられるぐらいですから、細かいメンバシップ関数の形を指定することはできません。しかし、普通の制御に使うのには十分であります。

いずれにしても、このチップを使う場合、必ず前もってシミュレーションが必要になります。そのシミュレーションをやるのには、やっぱりデジタルコンピュータを使うか、あるいはこの後戸貝先生が話されるような開発環境を使うのが順当といえましょう。ですから、実際に物の中に組み込んでハイスピードで動かすときには、このアナログを使ったチップが非常に有効になると私は思います。

今後の課題としては、やはりアナログのメモリの開発が急務であります。アナログというよりファジィメモリです。これはアナログメモリとはちょっと意味が違います。アナログメモリは0から1までの間の連続的な値を記憶すればいいわけで、それがたとえば0.6であろうが、0.62であろうが小さなその差はあまり重要ではない。0.6と0.8の差が分かればいいわけですからエラーはあまり問題ではありません。非線形性も問題ない。そういう少し粗っぽくてもいいからアナログ量を記憶できるメモリを開発する必要があります。

## 5. ファジィコンピュータの実現に向けて

司会 細かい話もたくさん出てまいりましたが、ご自身が開発されてまいりましたアナログ型のファジィ推論のいろんなハードについて話題を提供いただきました。

それでは4番目に移ります。4番目のパネルの戸貝正喜先生は昭和23年4月18日にお生まれになりました。ファジィとのかかわり合いに関しましては「ファ



ジ逆問題のファジィコントローラ設計への応用及びファジィプロセッサ・アーキテクチャに関する研究をされまして、アメリカのデューク大学から電気工学及びコンピュータサイエンス部門で博士号(Ph. D.)を取得しておられます。その後ファジィコンピュータの研究開発に従事されまして、1985年、当時 AT&T ベル研究所に勤務しておられ、ファジィ推論チップを開発して発表されました。「エキスパートシステム・オン・ワンチップ」ということで、AI チップという言葉が戸貝先生のファジィ推論チップから出てきております。

その後 AT&T ベル研究所ロックウェル・インターナショナル社を経て現在はご自身の会社、トガイ・インフラロジック社を設立されまして、代表取締役を務めておられます。本社は LA にありまして、今回このパネルのために昨夜 LA から成田に来ていただいたということでございます。

本日のご発表の内容は、まずファジィコンピュータ開発の課題について述べていただき、その一つの方策を提案いただきます。さらに、コンピュータ開発におきましてはプログラミング言語とそれに合ったコンピュータアーキテクチャの開発が重要であるということで、ご自身の会社でも開発しておられますファジィ C プログラミング言語とデジタル・ファジィプロセッサと呼ばれるデジタル型のファジィのハードにつきまして問題点あるいは概要を紹介していただく予定にしております。

戸貝 ファジィ情報処理の応用が高まってまいりますと、それを実行する環境ということで、ファジィコンピュータへの関心が大変高まってきつてあります。先ほど馬野先生からもお話がありましたように、開発環境を整えることによって、ファジィを従来のコンピュータの環境の中で自由にプログラムし、実行させていくことができるようになるからであります。



ファジィコンピュータの概念は、言葉だけが先走りしておりまして、概念そのものはいまだにはっきり定義されているものではありません。今度設立されました国際ファジィ工学研究所でも、ファジィコンピュータの概念を明確にもするための研究が、ファジィ制御やファジィ情報処理と並んで三つのテーマの一つとしてとりあげられています。

コンピュータの開発ということを考えてまいりますと、重要なことが二つあります。一つは、馬野先生がおっしゃいましたように、どのようなプログラミング言語を用いるかという問題があります。プログラミング言語は数学的な理論に基づいた言語体系に基づいて構築される必要があります。たとえば、プロログが述語論理に基づいてつくられたように、ファジィプログラム言語というのはファジィ論理という数学的な理論に基づいて組み立てられていく必要があると思うわけです。それから、ファジィ推論という話が先ほど出ましたけれども、ファジィ推論は一種の並列推論でありますので、こういった「並列性」も併せて表記できる言語でなくてはなりません。それから、「ファジィワード」という言葉で山川先生が表現なさいましたが、いわゆるファジィ集合を定義するメンバシップ関数をうまく表現できる環境でなくてもいいけません。

先に、馬野先生からは、ファジィ Lisp や、ファジィ Prolog といったファジィシステムプログラミング言語に関する話がありました。

こうした開発環境や、プログラム言語についての研究がこれから本格的に始まろうとしているところであります。

もう一つ、忘れてはいけないのは、その言語をどう走らせるかというコンピュータ・アーキテクチャの問題になります。言語のほうがソフトだとすると、アーキテクチャはハードの問題になります。

ハードウェアをどうしたら良いのでしょうか？ これは、プログラム言語を高速で走らせる構造をもっていなければなりません。構造には二つレベルがあります。第1のレベルはインストラクションセットのレベルです。あるプログラミング言語にはその言語特有なインストラクションがありますので、それを効率よく実行できるようなアーキテクチャである必要があります。それから、ファジィ推論並列性という問題がありますので、並列処理をしながら高速化を図る必要があります。これは第2のレベルでして、それにはたとえばシングル・インストラクション・マルチデータパス(略して SIMD)とか、マルチインストラクション・マルチデータパス(略して MIMD)といった、内部構造の問題が絡んできます。こういったことをクリアしていかないと、ファジィの情報処理がなかなか効率よくいきません。

その最初のプログラム言語という問題ですが、たとえば私どもが開発しました“ファジィ C”という C 言

語をファジィに拡張したものがああります。これは先ほど馬野先生がおっしゃられた「ファジィ集合演算+既存のプログラム制御構造」ばかりでなく「ファジィ集合演算+ファジィ制御構造」の両方も満足するものです。

例で説明いたしますと、たとえば図 MT-1 に示すのは“ファジィC”で記述したファジィプロダクションルールです。普通のC言語では、整数と浮動小数点の二つのタイプの数値データを取り扱うことができます。ファジィCではさらにファジィ言語を同じレベルで取り扱うことができます。図 MT-1 に示す IF 構文は通常のC言語の IF 構文とまったく同じ形式になっています。したがって、ファジィ制御構造ももった言語になっています。単にC言語の構造にとらわれることなく、さらに拡張して、文章でプロダクションルールを記述できるようになっています。

それから、メンバシップの定義などをするコマンドも用意されています。たとえば、メンバシップをどのくらいの分解度（離散数）で表現するかを選択ができます。“ファジィC”では8~54 ビットの間の任意のビット数を選択できるようになっています。

それから、メンバシップ形の定義には、①折れ線 (piece-wise linear) と②関数との二つの定義の方法があります。三角形のメンバシップ関数は3点、台形の

それは4点を指定してやることによって関数の形状を定義できます。三つのポイントを定義することによってメンバシップの形を容易に定義するようにできてます。

さらには、メンバシップ関数を定義するため 32 種ほどの関数コマンド（たとえば、三角関数や指数関数）を用意しております。

一つのファイル中に普通のCのコードと“ファジィC”の部分をおり混ぜて書くこともできます。したがって、先に述べた既存の制御構造とファジィの制御

```
Rule1:
  if ((Theta==PS && dTheta==NS)
  or (Theta==NS && dTheta==PS))
    Velocity=ZO
```

図 MT-1

ADD	: Arithmetic Addition
CMP	: Arithmetic Compare
DFUZ	: Defuzzify Conclusion
DIV	: Arithmetic Division
FZAND	: Fuzzy AND Connective
FZOR	: Fuzzy OR Connective
HALT	: Halt and Wait for Message
JMP	: Jump to a New Location
JSR	: Jump to a Subroutine
LHS	: Evaluate the Left-Hand-Side ("IF" Portion) of a rule
LOAD	: Load a Register
MULT	: Arithmetic Multiply
PUSH	: Push a Register onto the Stack
RHSC	: Evaluate the Right-Hand-Side ("THEN" portion) of a rule using the Centroid Method
RHSH	: Evaluate the Right-Hand-Side using the Height Method
RTS	: Return from Subroutine
STORE	: Store Register into Data Memory
SUB	: Arithmetic Subtract

図 MT-2

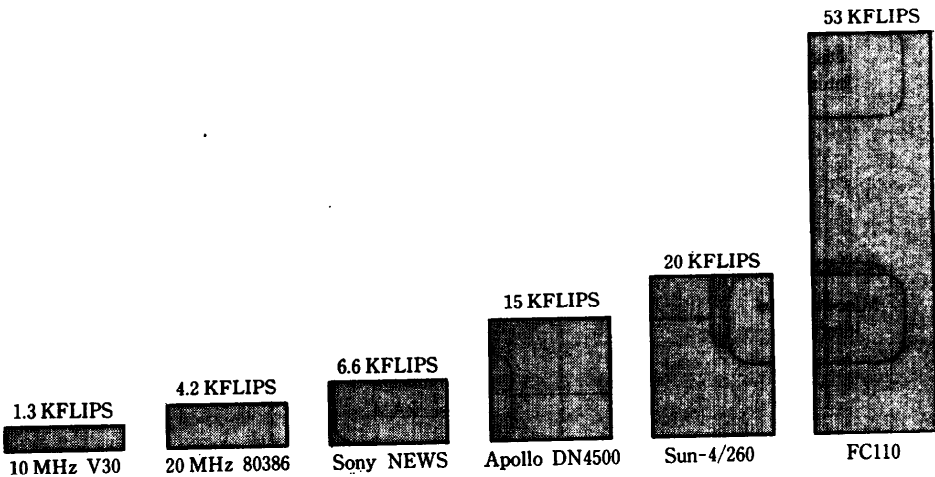


図 MT-3

構造、両方混ぜて記述できるような環境になっています。

今開発環境について説明いたしましたが、これを高速で処理するためのハードウェアは、前述のプログラム言語を効率よく実行するためのインストラクションをもったアーキテクチャと考える必要があります。このアーキテクチャをインストラクション・レベルで設計いたしますと、ファジィ・プログラミング言語を効率よく実行するためにデザインされたインストラクションをもった特殊なプロセッサが必要になります(図 MT-2)。たとえば、図 MT-2 に示すようなインストラクション・セットが考えられます。ファジィ演算用インストラクション以外にも通常のコンピュータが必要とするインストラクションも必要となります。

こういった特殊なプロセッサをつくりますと、非常にプログラムの実行速度が速くなります。図 MT-3 にファジィ推論が1秒間にどのくらいできるかという速度を比較してあります。たとえば 25 メガヘルツのインテル 80386 では推論するのに  $16 \times N$  回のイン

ストラクション・サイクルを必要とします(ここで  $N$  は前件部の条件数を示す)。リスクチップ、たとえば、AM 29,000 というものと、 $10 \times N$  回のインストラクション・サイクルを必要とします。私どもが今開発しています FC 110 というファジィ演算用プロセッサは 20 メガヘルツで  $3 \times N$  回のインストラクション・サイクルで推論が実行でき、プログラミング言語に適したインストラクション・セットを用意するだけで格段と推論速度が向上することが分かります。

FC 110 というファジィ・プロセッサを推論の速度とシステム価格の関係でみてみますと、従来のマイクロコンピュータぐらいの価格で、しかも格段に速いスピードを実現できる。これを使いますと、いろいろなコンピュータのアーキテクチャが可能となりまして、たとえば FC 110 と周辺回路からなるワン・チップの構造が考えられます。知識ベースメモリにファジィのルールを備えて、FC 110 自からシステムの制御を行うというタイプのものが考えられます。さらには、ホストの CPU に付加してシステムの制御を行うタイプ

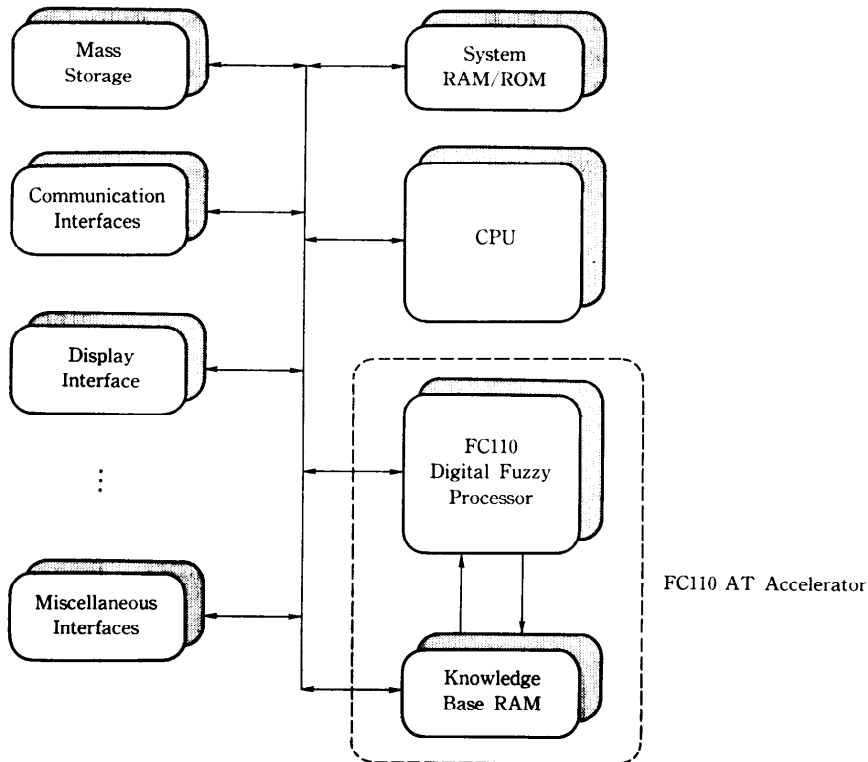


図 MT-4

もあります。つまり従来のコンピュータと共存させるために既存の CPU に FC 110 とコプロセッサとして付加してやるわけです。ファジィの情報は、知識ベースメモリへホスト CPU から、ファジィ・プロセッサからもアクセスし、しかもそれを利用することができるような構造が考えられます (図 MT-4 参照)。

最近非常におもしろい傾向が出てきてまして、ファジィというのはファジィ集合、つまりメンバシップ関数で定義された集合と考えられがちですけれども、「ファジィは集合である」という概念からひとつ脱脚して、「ファジィはポイント(点)である」という観点に立ちますと、ニューロとのつながりが見えてきます。これは非常におもしろい概念でして、従来の AI のコンセプトとニューロのコンセプトの中間にファジィが位置することを物語っております。したがって、学会でも、いわゆる「ファジィはセットである」と主張する方と、「ファジィはポイントである」と新しく主張しているグループができています。こうした新しいパラダイムをも処理できるコンピュータを考えると非常におもしろい展開がこれから期待できると思います。

## 6. ファジィ情報処理応用

**司会** ありがとうございます。デジタル型のハード、それから開発環境のソフト、最後には一部ニューロのお話まで出てまいりました。ニューロの関連の話は、これからまた後半のパネルの中でもいろいろ出てくるものと思います。

さて、ここまでで総論的なお話、それからソフトウェアの観点から、そしてハードの観点からと話が進んでまいりまして、次は5番目のパネルの安信誠二先生にアプリケーションの観点からひとつ話題を提供していただきます。

安信先生は、昭和26年3月28日にお生まれになり、神戸大学大学院計測工学専攻を修了していらっしゃいます。ファジィとのかかわり合いにつきましては、ファジィ制御を列車の自動運転システムなどへの実システムに適用しようと、実用化という観点から約10年ぐらい前から、メーカーさんとしては多分この分野を最初に走られた草分け的なエンジニアということになるかと思えます。よく報道されておりますように、仙台の市営地下鉄南北線のファジィATOの装置を開発されたチーフエンジニアでもいらっしゃいま

すし、またその内容で神戸大学から学位を取得しておられます。

さて、本日のご発表の内容ですが、今ご紹介申し上げました列車の自動運転システム、あるいは証券のトレーディングというようなファジィ推論の実システムへの応用例をまず解説していただきまして、もう少し一般的な観点からKE推論とファジィ推論、あるいはその両者の特異なところをうまく使って統合化しよう、という話題を提供していただきます。

**安信** 私は、ファジィ推論を実システムへ適用してきたということから、それを踏まえましてファジィ情報処理について意見を述べさせていただきたいと思えます。

このファジィ推論は、今まで制御の分野において運転に関する知識、運転手さんの知的情報を、計算機で実用化が進んでまいりました。ファジィ推論の応用システム例として、われわれが開発している部分で説明します。

ファジィ制御を適用しました列車自動運転システム。これは、運転手さんに代わって電車の出発から停止までの制御を自動的に行うものでございます。

それから、コンテナクレーンの自動運転システム。これは海上輸送用の40トン近くあります大きなコンテナを船と岩壁の間を輸送しようというものであります。その他道路トンネル換気制御。これはあいまいな情報となるトンネル内の汚染状況に基づいてジェットファンの回転、省エネ化を図ったジェットファンの制御をしようといったようなシステムなどでございます。

情報処理については、まだ実際のシステムは少ないですが、たとえば証券トレーディングとか、営業店といった、人間の意思決定の支援といったものに適用が進められつつあります。

詳しい中身につきましては省略させていただきますが、たとえば列車の自動運転と申しますのは、運転手さんが列車を運転しているときに考えています乗客の安全性ですとか、それから、乗り心地をよくしたい、停止制動を正確にしたい、走行速度を守って早く省エネで走りたい、といったような多目的の評価を考えながら制御指令を決定しているという知的情報処理を、マイクロコンピュータで代行しようといった考え方でございます。

これは、昭和62年の7月から、先ほどご紹介あったように、仙台市の地下鉄にて実際に営業運転されているものでございます。

また、情報処理の分野ということで、たとえば最近話題になっておりますのは、証券トレーディングなどへの応用ということなんでしょうが、これは、トレーダの方が株価の情報ですとか、金融統計の情報、企業財務の情報といった膨大でリアルタイムに発生する情報、それらに基づいて、たとえば株価収益率が少し大きくて移動平均線乗離率が大きければ下がるだろうといったような人間の知識を組み込みまして、株が上がるとか下がるといった推論を行おうというものでございます。

ここで従来のKE的な推論とファジィの推論を考えてみます。従来の二値論理からなりますKE的推論ですと、車の速度と車間距離からブレーキをかける場合を考えてみますと、「もしも車間距離が10メートル以下で速さが4キロ以下だったら、ブレーキを5にしよう」といったようなロジックの組合せとなります。それに対してファジィ推論では「もしも車間距離が小さくて走行速度が大きければ、ブレーキを強くする」といったような人間の感覚、それに基づいてブレーキの指令を決定できます。従来の二値論理では、厳密な演算を膨大なルールに基づいて行っていました。ファジィ推論では、少ないルールで人間的な演算が行えるといった特徴があります。

このようにKE的推論とファジィ推論というのは違いがあります。そうしますと、従来の知識工学における三段論法的な論理的思考でありますKE的推論の人間から抽出した知識自体の妥当性の検討が容易であるという特徴と、それから、ファジィ推論のあいまいな知識の取り扱いが可能で、ノウハウの大ざっぱな把握で直感的推論ができるといった特徴、これらをうまく組み合わせて人間に近づいた処理ができたらといった発想が出てきます。

そこで、われわれのところでは、従来のエキスパートシステムの中にファジィ推論を組み込んだものを開発いたしました。これは、従来日立製作所で提供していますエキスパートシステム構築ツール・ES/KERNLのルールとかフレームに基づく推論機構に対して、ファジィの推論機構を設定いたしました、それとのやりとりを行います。それから、ファジィ推論機構に対するファジィ知識として、ファジィのメンバー関数ですとか、それを編集できますファジィエ

ディタを提供しようとしているわけです。

このシステムはこの3月末より出荷の予定であり、従来のエキスパートシステムの知識と似たような形式でファジィ知識を設定可能になっております。ファジィ推論ルールは、ユーザが「預金比率が高く、かつ人件費が多ければどうする」の形式で直接日本語で入力します。これは、主語とか述語の組合せで入力することができます。

また、ルールの実行や推論状況のトレースといったものの支援システムができておりまして、容易に使うことができます。

このように、従来のエキスパートシステムですむところはそれでやろうと。それに対して、ファジィ推論のできるような、要するに状況をあいまいに捉える、あまり厳密に記述できないよといった状況は、ファジィ推論に任せてやろうということで、両者の得意なところうまく組合すことによって、従来のエキスパートシステムでなかなか難しかった応用が可能になってくると思っています。こういった製品が我が社だけでなく幾つか提供しつつあります。これはワークステーション上だけでなく、ホストコンピュータ上でも動くわけで、ホストコンピュータでまた膨大な処理ができるようになり、ファジィ情報処理の実用化が今後進んでいくものと考えております。

## 7. ファジィ・AI・ニューロ

司会 ありがとうございます。アプリケーションという観点から幾つかの非常に興味深い話題を提示していただきました。

さて、それでは最後の問題提起に移りたいと思います。最後は東工大の大学院総合理工学研究科システム科学専攻助教授小林重信先生にお願いしてごさいませ。小林先生は、昭和20年6月19日にお生まれになり、昭和49年3月東京工大の大学院博士課程を終了されました。

こちらのメモには、「ファジィに直接かかわる仕事はしていないけれども、AIとニューロの間に位置づけられる技術として関心をもっている」そういう具合に記入していただいております。

これまで5人の先生方は皆さんこのファジィという分野では、非常に活発に研究されておられて、ファジィの研究者ということなんです。全員パネラがファジィで問題提起をしていただいてもしょうがないということで、小林先生にはその観点から適切なコメン

トをちょうだいしたいと思っております。

本日発表していただきます内容は、情報処理のタスクと問題解決の方式を類別した上で、ファジィとその周辺に位置づけられるニューロ、AI との比較関連において、知識の獲得と洗練化など、それぞれ長所短所を述べて、ファジィの技術的課題を提起していただくということでお願いしたいと思います。よろしく願います。

小林 最初に情報処理のタスクというものは、大きく非記号的なもの、記号的なものに分けられます。非記号的なものの中で一番基本的なレベルのは認知的なタスクであり、次は技能的なタスクといえます。認知的なタスクというのは、画像や音声といったパターン情報を理解すること、すなわちクラス分けをすることです。技能的なタスクというのは、そのようなパターン情報の認知にかえて、取り得るアクションの中から、最も適切なものを選択することです。



記号的なタスクは、これまで伝統的にAIが対象としてきたもので、これは演繹的なタスク、帰納的なタスク及び類推的なタスクの三つに分けられます。演繹的なタスクとは領域知識と目標ないしは事実から論理的な帰結を得ることです。帰納的なタスクとは、複数の正例と負例に加えて、制約条件としてのバイアスが与えられたとき、制約を満たす一般的な概念を導出することです。類推的なタスクとは、類似した前提をもつ事例を参照して、それからなんらかの帰結を導出することです。

次に、情報処理における問題解決の方式として、ここでは4通りの問題解決の方式があるものと仮定いたします。すなわち、探索ベース、事例ベース、知識ベース及び手続ベースの4つです。探索ベースというのは、生成検査、すなわちGenerate and Testを繰り返すことによってなんらかの解を導くという方式です。事例ベースというのは、過去に経験した成功

または失敗の事例を事例ベース中に蓄積してその中から現在の問題解決に利用できる類似の事例を検索して、それを手がかりに解を導くという方式です。知識ベースというのは、領域知識及び目標または事実が与えられて、論理的に帰結を導く方式です。手続ベースというのは、その問題の背後にある原理に従ってアルゴリズムのような形で問題解決を行う方式です。以上4つの問題解決方式と各接近法との関係を論じてみたいと思います。

ここでニューラルネット的なアプローチ、ファジィ推論的なアプローチ、AI 的なアプローチ、さらに、OR 的なアプローチを比較の対象として取りあげてみます。ニューラルネットにおける問題解決の方式は事例ベース的であるといえます。ファジィ推論における問題解決の方式は事例ベースのプラス知識ベース的であるといえます。AI 的接近法は伝統的には探索ベースであったわけですが、70年代に入ってから知識ベースとの組合せによっては問題解決するSK-3方式が採られています。最後に、OR 的なアプローチでは、うまく数学的な定理が見つければ、それから手続的に問題が解かれますし、そうでない場合には数理計画法に代表される探索ベースで問題が解かれます。したがって、OR 的な接近は探索ベースと手続ベースの二つの方式に基づいております。

このようにそれぞれの技術は、問題解決の方式においてその拠り所とするところが少しずつ異なっていることでありまして、したがって各種アプローチが得意とする、あるいは期待されるような情報処理の分野というのは、この表のように類別されるのではないかと思います。まず非記号的なタスクにつきましては、ニューロ的な接近は認知的なタスクに最も適合しているといえます。また、一部、技能的なタスクにも適合するであろうといえます。ファジィ的接近はif-thenというルール型知識を使うことができるので、そのことを考えますとももちろん認知的なタスクに使えますが、技能的なタスクに最も適合しているといえます。

AI はこれまで記号的な世界を対象としてきた中で

表-1 各種接近法における問題解決の方式

	問題解決の方式				得意とする情報処理のタスク				
	手続ベース	探索ベース	事例ベース	知識ベース	認知タスク	技能タスク	演繹タスク	帰納タスク	類推タスク
ニューラルネット			◎		◎	○		△	△
ファジィシステム			○	○	○	◎		△	△
AI システム		○	△	◎			◎	○	△

表-2 ニューロ、ファジィ、AI の比較

	ニューラルネット	ファジィシステム	AI システム
知識源	事例集合	事例集合, 領域専門家	領域専門家, 設計知識など
知識獲得技法	知識獲得を必要としない	特徴分析, インタビュ	インタビュ, プロトコル分析
知識洗練化技法	逆伝搬学習 (非線形最適化)	メンバシップ関数の最適化	帰納的学習, 演繹的学習
推論の並列性	並列処理が可能	並列処理が可能	逐次処理が基本
推論の透明性	推論結果の説明は不可能	推論結果の説明が弱い	推論結果の説明が可能
頑健性	ノイズや部分的破壊に強い	ノイズに強い	ノイズに弱い
その他の問題点	収束性, 収束速度に問題	多段推論に問題	知識獲得に問題

確立されている技術は今のところ演繹的な推論にすぎませんが、それがエキスパートシステムという形である程度実用化が進んでいるわけです。しかし、帰納的あるいは類推的タスクに関しまして、理論的にも技術的にも確立されているとは言えない状況にあります。類推に関しては、最近、事例ベース推論との関連で研究が活発になっております。

先ほど、寺野先生からお話がありましたように、ニューロやファジィは低レベル（非記号レベル）だけでなく高いレベル（記号レベル）での情報処理にも適用可能と期待されます。すなわち、記号レベルでの帰納的推論あるいは類推的推論に対してもニューロ的なアプローチあるいは、ファジィ的なアプローチは可能性としては十分期待できるのではないかと考えております。

さて、ファジィというのはこのように考えてまいりますと、ニューロ的なアプローチと AI 的なアプローチのちょうど中間に位置するような技術と捉えることもできるかと思えます。そのことをもう少し観点を交えて議論したいと思います。すなわち、学習という観点から各アプローチを考えたいと思います。学習というのは AI では問題解決に必要なとされる知識を獲得することならびに問題解決の性能を向上させるように知識を洗練化することと定義されます。

知識源、知識の獲得、知識の洗練化、学習の技術というこの4項目において比較しますと、ニューロ的接近では知識源は事例であります。この接近法は事例ベース推論にはかなりませんから、したがって、知識獲得という問題はありません。ニューロ的接近における知識洗練化というのは誤差関数を最小化することであり、その基盤技術として、たとえば誤差逆向伝播法が提案されています。

一方、ファジィ的接近における知識源は事例プラス専門家であるといえます。事例の特徴分析をして、一番感度の高いパラメータを選択すること、あるいは専

門家もっている経験則をルール化するということがあります。事例だけではなく領域専門家の知識をも利用するという点において、ファジィ的な接近とニューロ的な接近の中間に位置することができるかと思えます。

AI 的な接近における主たる知識源は領域専門家であります。領域専門家から知識をどうやって獲得するかが、実用化の段階を迎えて大きな問題となっているために、知識獲得支援の方法論に関する研究、さらにはそのベースとなる機械学習に関する研究の関心が非常に高まっている状況にあります。

ファジィにおける知識洗練化というのは結局何かというと、メンバシップ関数の形状をコントロールする、すなわち、チューニングすることであり、それを人手でやるのも一つの方法ですけれども、最適化手法を使ってメンバシップの関数の形状を探索することが知識洗練化に相当するということが言えます。

一方、AI の知識システムにおける知識洗練化というのは、知識の一般化あるいは特殊化を行うということで、そのための基盤の技術として、帰納的な学習、あるいは演繹的な学習が現在注目を集めております。

このように学習という観点からみても、ファジィというのは、ちょうどニューロと AI の中間にあるということが言えると思えます。

最後にこれらの各接近法の長所短所というものをまとめて示したのがこの表でございます。最初にニューロのほうからいきますと、これは知識の獲得が不要であること、並列処理が可能であること、それからノイズや内部破壊に対して頑健であること、などが長所あります。短所としては、推論結果を説明できないこと、訓練集合に対して過剰適合してしまう恐れがあること、それから、学習速度の遅さなどを指摘することができます。

ファジィ的接近は、ニューロと AI の中間に位置していることが特徴であります。ファジィ的接近では、

AI ほどには知識獲得が重たくはないのだが、そこそこ知識獲得が必要だといえます。

並列処理ということに関しては、ニューロと同じように高速化が期待できます。それから、ニューロと違って領域知識を直接に利用できるというのがファジィの長所かと思えます。しかし、短所としましては多段のファジィ推論をやりますと、あいまいさの爆発が生じることが指摘されます。1段しか安心して使えない現在のファジィ推論はファジィ内挿というほうが適切だという見方もあると思えます。

それから、ファジィ推論の結果に対する説明能力ということに関しては、ニューロほどではないけれども、やはり弱い面があると思えます。

ファジィ推論における知識獲得という問題は、これから大規模なシステムへの適用を考えた場合、重要な問題になると思えます。

AI 的な接近の長所というのは、推論結果の妥当性、推論過程の透明性にあります。これは説明能力につながります。それから維持拡張が容易であるといえます。短所としては知識獲得が非常に重たいということ。知識の量が膨大になってまいりますと、制御の飽和という問題が生じること。それから、ニューロやファジィと違って逐次処理の遅さということが指摘されます。

以上の話をまとめますと、この三つの技術の中でファジィというのは、繰り返しになりますが、ニューロと AI とのちょうど中間的なところに位置づけられる技術であるとみなされます。ここでは幾つかのタスクに分けて議論しましたが、現実の問題は、これらのタスクの複合体（コンプレックス）として存在するわけでございます。したがって、現実の問題を解決しようとした場合に、ニューロだけでやるとか、ファジィだけでやるとか、あるいは AI だけでやるという接近法はおのずと限界があると思えます。

現実の問題を扱うためには、いろいろなタスクのレベルを統合化して、いろいろな問題解決の方式を組合せていくことが、これから追求されなければならないであろうということを申し上げて、私の結論としたいと思います。

## 8. ディスカッション

司会 ありがとうございます。いろいろ議論のポイントとなりそうな問題点をたくさん最後に指摘していただきました。

時間のほうは大体予定どおり順調に進んでおりまして、あと 40 分少々ございますので、ディスカッションのほうに移っていかうと思えます。

豊田(阪大産研) 阪大産研の豊田でございます。寺野先生にお聞きしたいんですが、知識の階層化されたフィルムをお見せいただいたんですが、上に行くに従って先生は「抽象化」という言葉を使われて、私もそのとおりだと思うんですけど、あのよう考えますと、上のほうの知識というのは非常に確固たる、ある意味で背景というものをもったものになっていると思うんで、あいまいというか、決してそういうところではなくて、むしろあの上の知識こそは記号で処理できるというぐあいに私考えるんです。そして、下のほうの知識がございすけれども、ああいうところのレベルでこそなんといえますか、明らかになっていない知識とファジィの区別がよくつかなかったんですけども、その点についてよろしくお願いいたします。

寺野 ちょっと表現が不完全でして、あいまいという言葉の意味が現在確立されているわけではありません。今ファジィで問題になっていますのは、むしろあいまいっていったい何なんだろうということで、あいまいをまた幾つかに分けていっちゃる方もたくさんおられます。今先生のおっしゃいましたのは、こまかい専門分野にこそ未知の問題、不明確な問題があるというご意見だと思いますが、私の申しましたあいまいは未知の問題ではなくて、一つ一つは単純な問題なのだけれども、その量があまりに膨大すぎて実際に使うときにかえって答が出せないものを頭に浮かべています。

たとえば診断の問題で申しますと、頭が痛いといった患者が来たときに、それはいったい本当に大脳の病理学的な問題なのか、あるいは内科の胃からきている問題なのか、それとも目が悪くて緑内障などからきている頭痛なのかということがまず問題でして、それが判定できれば眼科のエキスパートシステム、あるいは内科のエキスパートシステムは利用できるであろう。しかし最初に来たときにうっかり間違えて、内科の問題を眼科のほうへ回してしまいますと、もうあとの知識は利用できないわけです。

マクロ知識というのはそういった定石、あるいは格言といった知識を意味しておりまして、もちろんそれぞれ正しいルールなんですけれども、経験則が中心なので論理性は乏しいです。マクロ知識は、もともと非常に多くのマイクロ知識が集積されているものですから、



それを言語表現するとカール化したときにどうしてもあいまいにならざるを得ない。本当のエキスパートというのは、このような知識をもった人であり、人工知能もそのようなレベルまで上がってほしいという意味で申しました。

**小林** 寺野先生のご発言に対する補助的な発言ということで意見を述べたいと思います。

寺野先生は「抽象化された知識の取り扱いにおいてファジィ推論的なアプローチが必要である」というふうにおっしゃられたと理解するんですけど、私は、抽象化された知識の取り扱いではなくて、知識を抽象化する、一般化するというプロセスにおいてこのファジィ推論的なアプローチに期待したいと思います。

と申しますのは、現在の AI における学習では、知識を一般化する、帰納するということに、SBL 的なアプローチでは、バイアス知識を使って一般化すべき空間をコントロールしてやらなければいけません。また、EBL 的なアプローチでは、領域理論という知識を使って知識を獲得するためのお膳立てをしなければいけません。これらは非常に強い制約になっています。そういう問題を解決する上で、ファジィ推論的なアプローチに期待もっています。これはファジィに限らず、ニューラルネット的なアプローチへの期待でもあります。

**司会** この問題につきましてはいろいろ議論できるかと思いますが、フロアの方からほかにご意見ございますか。

**大橋(富士通)** 富士通の大橋と申します。最後に小林先生がおっしゃいました分類で位置づけをしていただきましたけれども、その位置づけに関して特にファジィを主張されている先生方がその主張で本当にいいのかどうかですね。まさしくそのとおりに位置づけられて問題ないと、そういうふうなことをおっしゃられる先生がおられるのかどうか。その意見をお聞きしたいと思います。

**小林** 私は、ファジィは AI とニューロの間に確かにあると思うんですけども、AI とファジィは違った次元のものだと捉えておまして、そういった意味で、先ほどもお話ししたみたいに、AI とファジィは、得意なところをうまく組合せて両方でやっぺいという立場になります。

**戸貝** 先ほども最後にちょっと申しあげたんですが「ファジィはセットである。」という従来の考え方から「ファジィはポイントである。一つの点である。」とい

う考え方に視点を変えますと、これは非常に限りなくニューロに近いオペレーションになってまいります。したがって、私はまさにファジィというのはニューロと AI をつなぐといえますか、中間に位置する。小林先生が分類なされたのに同意をいたします。

それからマクロ的な話をいたしますと、たとえばインストラクションレベルでのコンピュータのアーキテクチャを考えたときに、非常にニューロのインストラクションセットとファジィのインストラクションセットがオーバーラップするところがたくさんございます。

**山川** 私も大方小林先生と同意見です。それにオーバーラップさせた形で私の意見を述べさせていただきますと、ニューロとファジィの違いは沿革から違うんだと思います。

ニューロの場合は、いわゆる解剖学的にニューロというものがはっきりあり、そのモデリングがなされたのがニューラルネットワークであります。そしてシナプス結合の重みを変えることでシステムを変えるというわけです。

一方ファジィは物、いわゆるニューロンというもののモデリングじゃなくて人間の考え方そのもののモデリングであるわけです。それが近似推論とか、あるいはファジィ推論という形で呼ばれているわけで、そのときに使う情報の輪郭があいまいであるというだけあります。

このようにニューラルネットは解剖学的に出てきたものであるし、ファジィは概念的に出てきたものである。もしパターン認識を例にあげてみますと、パターンの特徴抽出をニューラルネットでやり、その特徴をもとにファジィ推論で何かを判断するというのがよいと思います。このような分担をすることが大事であって、ニューラルネットワークだけで大脳全部を賄おうとするのは難しいわけで、また逆に、ファジィ推論だけでこういう特徴抽出をやるのも非常に無駄が多いような気がします。できる、できないという問題ではなくて、効率がいいかどうかの問題であろうと思います。

これが私のニューラルネットとファジィに関する考え方です。

次に、従来の AI とファジィとの違いですけども、先ほどの阪大の豊田先生のご質問にも関連してくるんですが、AI の決定論的な手法とファジィの手法を加味することによって、もっと頑健な、もっと効率のいいシステムができ上がると私は思います。ファ

ジカ AI かじゃなくて、AI の足りないところをファジィで埋めていく考えのほうが私は正しいと思います。

**司会** 議論は知識表現の問題から始まりまして、知識獲得、それから関連分野として AI とニューロというところまで進んできております。ほかにこれに付随する問題点ございましょうか。

**馬野** 先ほどの小林先生の分類ですが、ユーザから見ますと、ファジィは確かに AI とニューロの間ぐらいに見えます。しかし、私も安信さんと意見が近くて、次元が違うものだと考えています。

まず問題を解決する方法があります。それには、モデルとパラメータを決める方法と、汎用モデルによる方法とがあると思います。先にモデルとパラメータをきちんと決めてしまうのが、従来のプログラミングの方法で、試行錯誤的に決めるのが、知識工学的な方法で、汎用モデルを使って、パラメータを学習で決めるのがニューラルネットによる方法であると考えています。

それに対しまして、概念があいまいというのはこれとは独立なもので、概念があいまいではない場合と、あいまいな場合とがあります。あいまいではない場合には、確定値や集合を使います。あいまいな場合には、ファジィ集合や多値論理や確率を使うというわけです。ファジィは、AI とニューロの間のように見えますが、本来は違うものだと考えています。

したがって、ファジィ理論のいろいろな分野への応用が考えられまして、ニューラルネットへ適用しますと、ファジィニューラルネットみたいなものが考えられるのではないかと考えています。

それと、もう一つ大事なことはファジィはあいまいでない場合を特殊な場合として、含んでいることです。もっとも、効率が悪いかもしれませんが。

**司会** 現在のファジィという技術をどのレベルで定義するかによって、物の見方がずいぶん違ってくると思います。司会者が意見を言うべきじゃないかもしれませんが、個人的には、ファジィというのはクリस्पな AI、それからニューロをカバーできるものだと考えます。まだ技術的には確立されてない部分がたくさんありますけど、そういう広い観点から捉えていきたいと個人的には考えております。寺野先生、何かご意見ございましょうか。

**寺野** 情報処理システムを人間が使うときいったい何のために使うんだろうかということが、一番初めに

申しあげたところなんですけど、そのときに相手をコンピュータだと思わないで有能な人間だと思えるぐらいのレベルまで上がってきてほしいということです。

そのときに当然、人間の感性を無視できない。人間同士が話しているときには、感覚的な表現が自在に使えますし、それから、お互い少しずつ違うんですけど、「あいつはこういうことを言っているんだ」という内容がある程度分かります。それから、先ほどのマクロの要約もある程度分かります。もし、これらが完全に分かり切るようだったら、実はその人と議論してもつまらないんで、少しアンノウンなところがあって自分と意見が食い違うから、初めて議論してみたいと思うし、コンピュータも使ってみたいと思うわけです。

ですから今までの、たとえばニューロと AI の中間にファジィがあるという意見も非常に結構なんですけど、そういう情報処理の見方と別に、われわれはもしコンピュータを相手にして自分が少し知識を増やしたいということならば、少なくとも感性とか、主観とか、あるいはマクロ的なもの、あるいは常識といったようなものをお互いに共有したいということがあります。

そのためには、どうしても今までの AI の左脳的なゆき方では無理だなと。それから、ニューロのような右脳というより、小脳のなゆき方でも無理だなという感じがいたします。

**司会** では、次に少し話題を移してまいりまして、寺野先生に、現在のファジィの動向、それから、今後どういう方向でこの分野を研究していくべきかということに関しまして、プロジェクトの話などをちょっとサーベイしていただけたらと思うんですが。

**寺野** じゃ簡単に申しあげます。

一つは、ファジィという言葉はわれわれが少し宣伝しすぎたせいもあるのかもしれませんが、大変ポピュラになりまして、あるマスコミの方に聞いたんですが、若い方々には、ガールフレンドとの話のうちに、「きょうファジィする？」というような会話があるんだそうです(笑)。私もそれが何を意味しているのかよく分かりません(笑)。

このようにファジィが、いわゆる技術用語としてではなくて、一般用語になりつつある。それには、やはりそれだけの理由があると思います。われわれも単なる技術的な情報処理という問題だけでなく、工学や自然科学以外にも、人文科学、社会科学、医学、農業、気象、その他、いわゆるノンインダストリの方向

を扱いたい。現にそういう方面の利用の研究会もできておまして、どんどん広まりつつあります。そういう背景があって、恐らく先ほどの「ファジィする」とか、「ファジィの風がやってくる」という表現になっているんだろうと思います。

こういう傾向がありますのは、はっきり申しまして日本だけなんです。ファジィというのは情報処理の、しかもごく狭い一部分であると思っている人が世界中でも大部分で、哲学者がファジィの問題を真剣に議論したというのは日本だけだと思います。

そういう傾向がございますので、私どもは今年新しい学会、日本ファジィ学会とでも仮りに呼んでおきますと、そこでは、広い意味であいまいさの本質を追求してみようと思っています。これは6月に発足させるつもりです。できればここにいらっしゃる会員の方が全部それにお入りいただけると非常にありがたいんですが。

学術的な問題のほかに、国がその点に興味をもち始めまして、新しくプロジェクトがスタートします。一つは通産省が首頭をとり、「LIFE」という通称で国際ファジィ工学研究所を4月1日からスタートさせます。パネラの中にもその所員になる方がおられます。これは横浜にでき、まだ小さな研究所ですが、民間と官庁とが半額ずつ出資いたしまして、6年間で約50億円という予算を使いましてこのファジィの問題を基礎から応用まで、日本独自の方法で研究してみようという計画が一つでございます。

もう一つ、科学技術庁も同じようなことで、今年の4月から科学振興調整費のうちから5年間に約10億円をさいて、やはりファジィの問題を基礎から研究してみようというプロジェクトが進んでおります。ひとつ皆様のご協力をお願いしたいと思います。

司会 今寺野先生からご紹介ありましたように、ファジィというキーワードのもとで現在世の中がずいぶん動いております。

ただ、このファジィという言葉が非常にポピュラになっているのは、日本だけといってもいいかと思えます。海外にはまだあまり事例がみられません。そういう意味で戸貝先生に伺いたいんですが、実際にファジィをやるとした場合、アメリカにおける動きですね、一説によりますと「ファジィコントロール」といいますと、アメリカでは「もう結構です」と言われるという話も伝わってくるんですけども(笑)、その辺いかがでしょうか。

戸貝 全般的に言いますと、日本ほどのブームといった動きはまだございませんが、日本のこういったブームが最近アメリカにいろいろな形で紹介をされつつありまして、今度逆に、それに刺激を受けましてたとえばNASAであるとか国防総省などが予算をつけ始めました。いわゆるAI学会では、だいたいファジィの発表はほとんど無視されておまして、ファジィのセッションも今までほとんど組まれたことがありません。

ただ、そのように日本からの刺激がアメリカに伝わりまして、アメリカでもあちらこちらで応用しようという動きが出てきています。特にNASAはその旗頭でありまして、ジョンソンスペースセンタではスペースシャトルの宇宙ステーションのドッキングの過程において、いろいろな形でファジィの手法を取り入れております。

これは、スペースシャトルに乗る人員に限られていることもありまして、たとえばスペースシャトルの操縦だとか、ロボットの操作だとか、そういったところにエキスパート、いわゆる熟練者の技能を取り入れていこうという動きが活発にされてきて、いろいろな形ですでにシミュレーションがなされています。

それから、ニューロとの絡みがあります。ニューロは、日本でもそうですが、アメリカは爆発的なブームでありまして、それとの絡みで今度逆にファジィが見直されてきているという傾向もございます。

ただ、規模からいうと日本の比ではございませんで、比較的静かに潜行しているという感じがします。

司会 ありがとうございます。私自身もあれこれサーベイはしているんですが、産業用のファジィの適用事例がきょうで124件ほどになろうとしております。現状では圧倒的に日本の事例がたくさんあるという状態で、海外の事例はきわめて少ない。その辺がちょっと残念でもあり、今後LIFEあるいはファジィ研究会などを通して海外にもアクションを起こすべきところかなというぐあいに考えております。

日本が育てあげたということに関しては、ほかにも、たとえばシグマプロジェクトとか、トロン計画だとか幾つかありますが、ファジィもこれから海外に向けていろいろアピールしていいんじゃないかと思えます。そろそろ定刻の時間になってしまいました。最後に一言だけこれをおきたいということがございましたら、ご発言いただき締めくくりたいと思います。

小林 今ファジィがちょっとしたブームになっているんですが、AIの世界でエキスパートシステムがブームになったのが四、五年前、ちょうどそのころと同じような感じを私はもっております。先ほど廣田先生からご紹介がありましたファジィの実用化が日本を中心として百数十ということですが応用の可能性としてはまだまだこれからだろうと思います。

エキスパートシステムの分野で言いますと、実用化に向けているんな問題が起こってきました。一つには知識獲得のボトルネックという問題、それを解決するためには、ただ単に知識獲得支援ツールをつくるということだけではなく、その基盤となるような学習、機械学習の研究にもっと力を入れなければいけない、あるいは演繹的な推論を補完する上で高次推論を技術として確立しなければいけないということで、現在地道に研究がなされているわけでございます。ファジィ推論においても同じような知識獲得の問題とか、多段推論の問題とかが、今後顕在化してくると思います。そのような問題を解決するための基礎的な研究を、実用化と並行して、同時に進めていく体制を確立することが必要だろうと思います。

情報処理学会という場でファジィがパネル討論として取りあげられたことは、非常に大きな意義があると私は思います。残念ながら今回の大会の1000件近くの研究発表の中で、ファジィに関連する研究発表はきわめて少ない。しかしファジィ的接近の適用範囲は非常に広いということを知するためにも、ファジィの研究者は本学会との係わりをもっともつように努力していただきたいと思います。これを機会に、情報処理分野の研究者とファジィ研究者の間で交流を深め、相互の発展につながることを私は期待しております。

## 9. おわりに

司会 現在、ファジィは制御以外のいろんな分野で立ち上がり始めております。日本を中心に伸びているということもありますので、みんなで和気あいあいとこの分野も含めて日本の技術を伸ばしていけたらよいと思います。

最後に、ご発言いただいた方々、それから問題提起していただいた方々に、恒例によりまして拍手をいただいて終了したいと思います。どうもありがとうございました。(拍手)

