



ファジィ——科学の新しい転回

——菅野研究室～システム科学専攻——



菅野 道夫 教授

近年、ファジィ洗濯機、ファジィ掃除機などのようにファジィを利用した家電製品がよく売られている。ファジィと聞いて皆さんはどういったイメージを思い浮かべるだろう。ファジィの日本語訳には一般に“あいまい”が知られているが、実際にその“あいまい”がどのように働い

て家電製品が動くのか、はっきりと分からない人が少なくないのではないだろうか。

今回は、システム科学専攻の菅野教授の研究室を訪ねて、ファジィ理論、ファジィコンピュータ、ファジィ制御についてお話を伺った。



科学への“主観性”の導入

まず最初に、ファジィ理論について簡単に紹介してみよう。

ファジィ理論の概念が生まれたのは、1965年、当時制御理論の研究者であったカルフォルニア大学・バークレー校のザデー教授の論文からである。ファジィ理論を一言で述べると、言葉の意味や概念の定義に含まれる不確かさ（ファジィネス）を扱う理論である。不確かさをさらに細かく分類すると、言葉の意味、概念の定義に含まれる不確かさ（意味のファジィネス）と、人間の評価におけるあいまいさ（判断のファジィネス）に分類できる。

同様に、不確かさを扱う理論として確率論がある。この確率論とファジィ理論との違いは何であろうか。

まず歴史を見てみよう。確率論は近代非合理主義の源を拓いたパスカル(1623-1662)が、数学者フェルマーにあてた手紙の中で、確率の問題を扱ったことから始まったとされている。今から約340年前のことである。これに対して、ファジィ理論の始まりは約25年前であり、確率論に比べ

て非常に歴史が浅い。

次の違いは、確率論における不確かさが、ある現象が起こるか起こらないかにかかわっていることである。例えば「サイコロの目が2である」とか「明日雨が降る」のような問題は実験や時間によって解決可能である。それに対してファジィネスでは、不確かさは実験や時間によって理解できるものではない。例えば、「若い」という概念は実験しても分かるものではない。

以上に述べたような確率概念を拡張したものを、ファジィ測度論と呼ぶ。ファジィ測度論は菅野教授が1972年に提案した「必ずしも加法性をもたない測度*1)のことである。加法性とは図1のような場合に

$$S = S_1 + S_2$$

が成り立つことである。しかしこの加法性は、人間がものを考えるときには必ずしも成り立たない。例えば、2人である作業をする時、違う部屋で全く同じ条件のもとで各々行った場合の生産量を2と仮定する。すると2人が一緒に作業をした場合、能

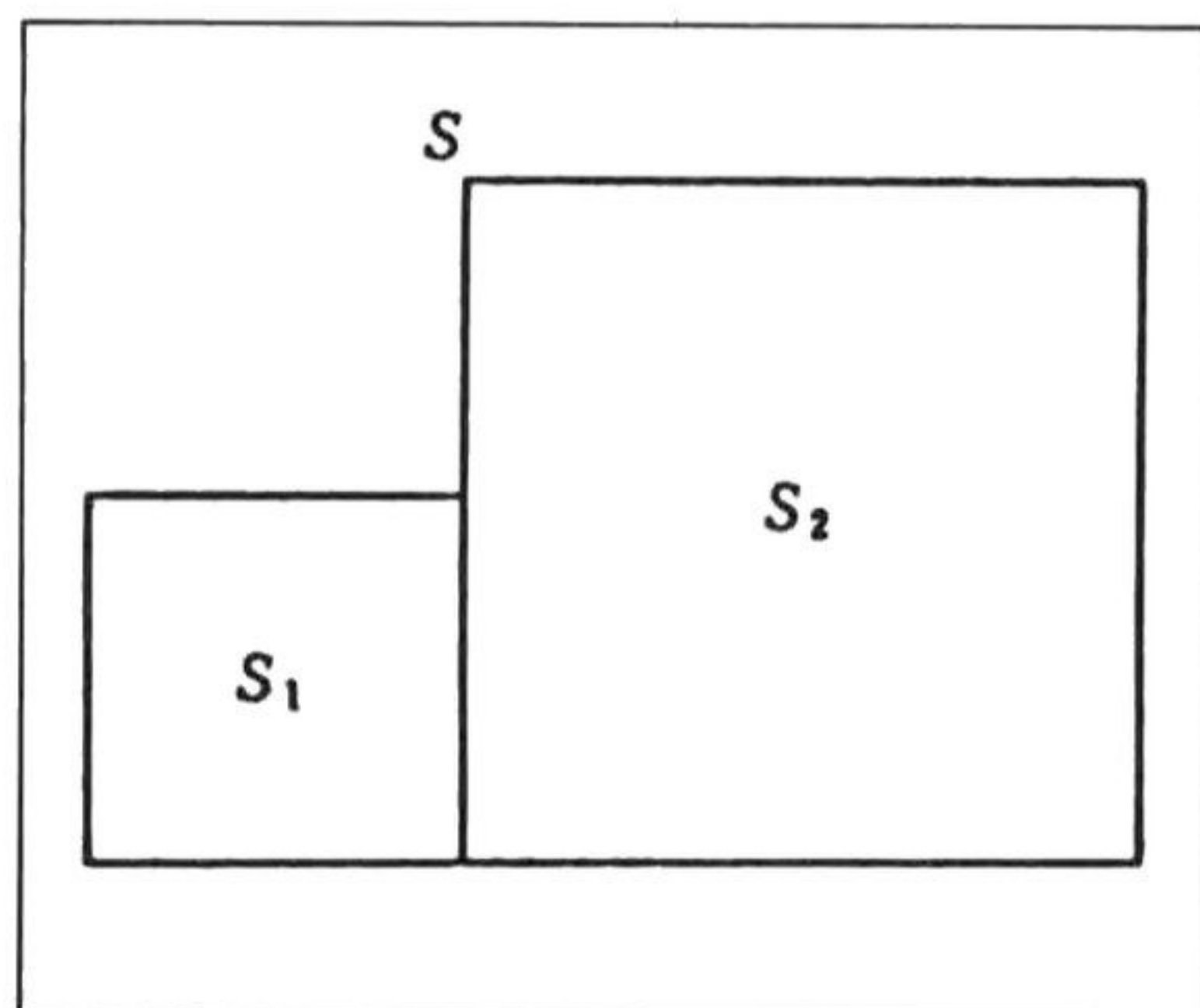


図1

* 1……面積や長さを測る尺度。ファジィでは加法性をもつ集合関数をさす

率が上がって生産量が3となる時もあれば、能率が悪くなって生産量が1.5となる時もある。この場合、加法性が成り立っているとはいえない。しかしここでも成り立っている法則がある。それは2つのものを合わせれば、必ず元の1つより大きくなることである。この原理は「単調性」と呼ばれる。さっきの例では、生産量が2のとき加法性、3のとき相乗効果、1.5のとき相殺効果が生じたといえる。このように必ずしも加法性は満たさないが、単調性をもつ集合関数がファジィ測度論である。

高校で学ぶ集合論(クリスプ集合)を拡張したものがファジィ集合である。そのファジィ集合を定義づけるものをメンバーシップ関数と呼ぶ。メンバーシップ関数とは、全体集合の要素に数値(グレード)を対応させる関数であり、その値域は0から1までとしている。

全体集合が、

$X = \{x \mid 1 \leq x \leq 10 \quad x \in \text{整数}\}$ の場合を考えてみよう。あいまいな部分として「大きい」「中位」「小さい」をあげる(図2参照)。ここで重

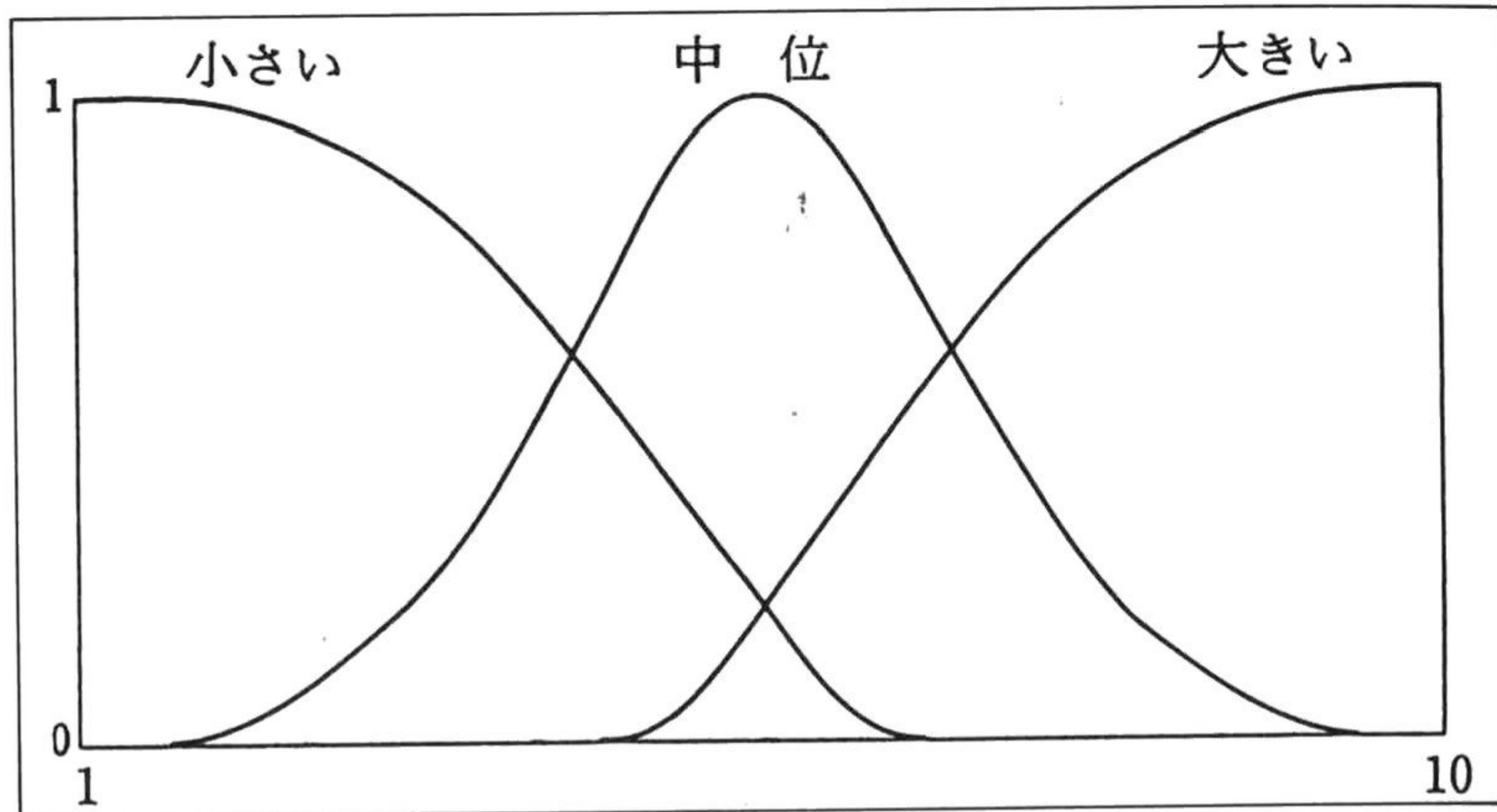


図2

要なのは、メンバーシップ関数が“主観性”を表現している点である。これは非常に画期的な事であり、デカルト以来、科学にあってはいけないとされてきた“主観性”がファジィによって回復した、とも言えるだろう。

こうした測度論、集合論に関してさらに詳しいことを知りたい人には菅野教授がお書きになった「ファジィ理論の展開」(サイエンス社)をお勧めしたい。



メンバーシップ関数による意味の定量化

ファジィ理論は定性と定量的の間を取り結ぶものとしてとらえることができる。「定性」は自然言語^{*2}、日常言語といった言語によって性質を示そうとするものである。これに対して、「定量」は数値や数式を用いて性質を示そうとするものでコンピュータの得意分野である。普通のコンピュータは定量的の概念しか理解できないが、ファジィ理論によって定性的なものを定量的に解釈することができるようになる。例えば、「背が高い」「美しい」等のあいまいな概念を先程のメンバーシップ関数を持ちいてグラフに表し、そのグラフを定量的にコンピュータに組み込むわけであ

る。このように定性的なものを定量的なグラフで記述することを「意味の定量化」と呼ぶ。近頃はやりのファジィ掃除機、ファジィ洗濯機といった家電製品も、それぞれの原理をメンバーシップ関数で表して動かしている。

こうしたファジィ理論に沿ったコンピュータ開発も進んでいる。取材の時、私達はファジィチップというものを見せていただいた。これは、ファジィ理論の推論^{*3}と演算を高速に行うためのものである。このチップを用いると、ファジィ理論に関しては、処理速度がスーパーコンピュータよりも速いそうだ。この速さの秘

* 2……私達が日常的に話す日本語や英語等の言語

* 3……三段論法のこと

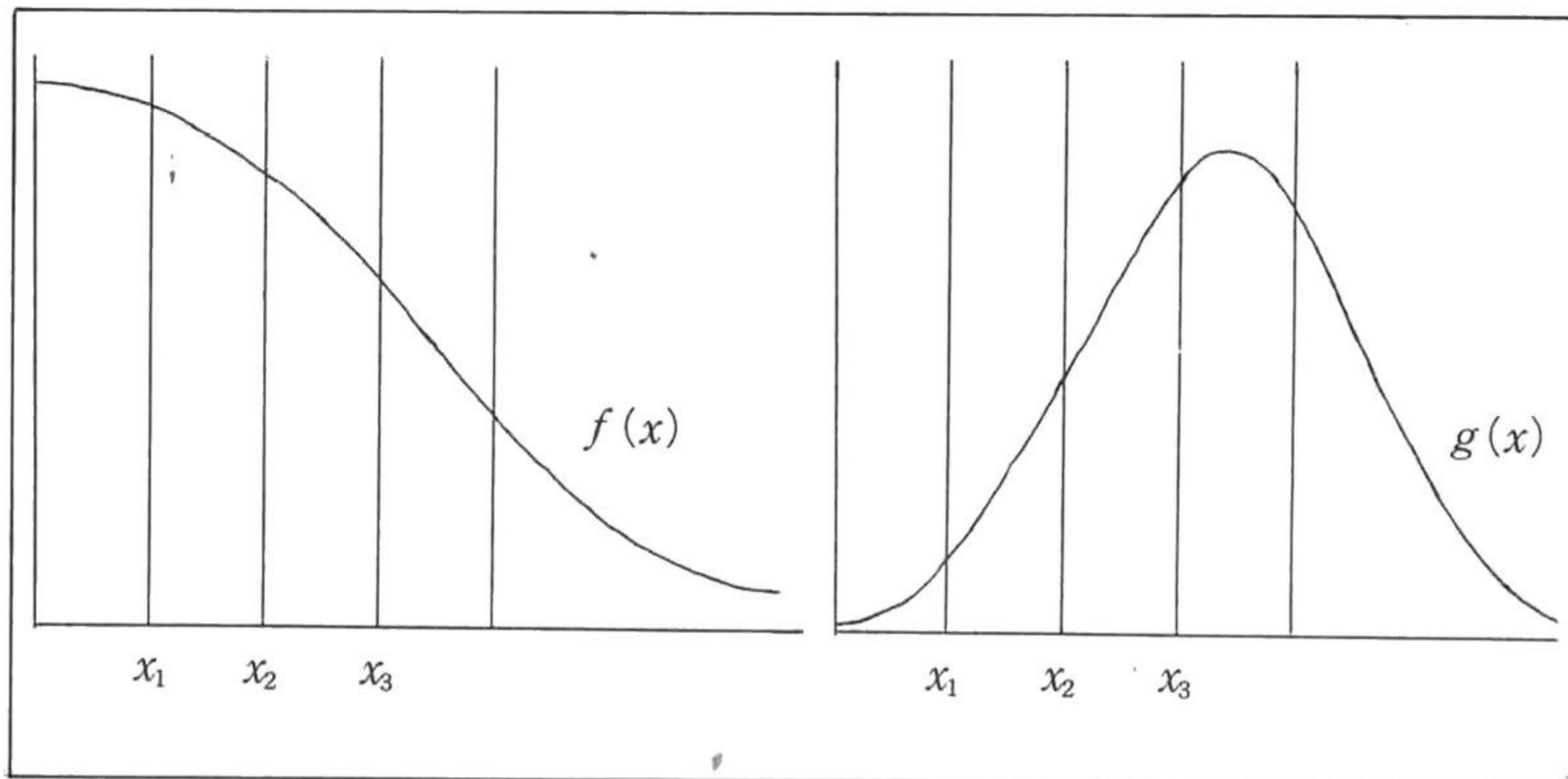


図3 メンバーシップ関数の一例

密は並列処理にある。図3のような例を考えよう。 $f(x) + g(x)$ の演算を行いたいとき、普通のコンピュータでは、 x_1 における $f(x_1) + g(x_1)$ を計算して、次に $f(x_2) + g(x_2) \cdots$ という具合に1つずつ $f(x) + g(x)$ を求めていく。一方並列処理では、 x_1, x_2, x_3, \dots における値を“いっぺんに”加えることができる。この並列処理は多くの条件を速くいっぺんに処理する場合に非常に有効である。現在最も速い処理速度では、光が5m進む間に1回(約 10^{-9} sec/回)の推論ができるそうだ。



方法論から自然言語の本質を求める

先生の研究室では、ファジィ理論の他にも、法則性(「意味の定量化」を行うための土台)を発見するための方法論が研究テーマの1つになっている。この方法論の分野では、3つの研究が進んでいる。

第1に数値データから言語モデルを作ることである。例えば、物理学では、運動を微分方程式のような数式で記述するが、それを言葉で説明しようということだ。重力下における物体の落下速度、時間といった運

動の数値データだけをコンピュータに与えて、ニュートンの法則を言葉で説明させる事もできるという。

第2に画像データから言語モデルを作ることである。これは、画像理解と呼ばれる。例えば、絵のデータをコンピュータに与えて、「山がある」「空が曇っている」等のように言葉で説明させたりすることである。

第3は言葉を言葉でコンピュータに説明させることである。最も簡単な例としては、翻訳がある。他には、

小説をコンピュータに与えて、同じ言語内の言葉を用いて400字に要約させたり、キーワードを書かせたりするものもある。これからのコンピュータの応用として先生は「自然言語処理がこれからの一番の大きな応用分野ですね。ハードの方では、ファジィコンピュータ。FORTRANやLISPとか使わなくていいコンピュータですね。」と、おっしゃった。



なぜ日本でファジィがはやったのか

今、世の中では、ファジィ製品がヒット商品となり、ファジィ理論とは全く関係なくても「ファジィ○○○」と銘うった商品が出回ったりして、ファジィの名はすっかり人々の間に定着したかに見える。ファジィ製品が日本でこれ程売れた理由について先生は3つの要因をあげた。

1つは、先生達研究者が積極的に応用に向けて努力した点。先生は1970年代は理論の研究をなさっていたが、人々に受け入れられるためには実際にものを作って行くのが一番だと考

え、ファジィ制御の研究を進められたそうだ。

もう1つは、ファジィ理論の考え方自体が東洋の考え方に近い点。

“あいまいさ”や“不確かさ”といった非論理的なものを許す傾向が東洋人にはある。「論理」という言葉自体が約100年前、明治時代に西周^{にしあまね}がlogicの訳語として作ったのに見られるとおり、もともと東洋には「論理」という言葉はなかった(ちなみに西周は「理性」「物理」という言葉も作っている)。逆に西洋では、アリストテ

レス以来2000年以上、論理的に考える歴史がある。だから言葉は日本人にとっては非常にあいまいなものであるが、西洋人にとっては非常に論理的なものとなる。これは、ファジィ研究者の出身国をみてもはっきりとしていて、ヨーロッパでは、パスカルの国フランスが最も多く、ドイツは少ない。また、ファジィ理論の提唱者ザデー教授は非西欧系(イラン系アメリカ人)である。日本においては、独自に日本ファジィ学会を結成するほど研究が活発である。

3つ目は、日本のプロのエンジニア達が非常に優秀な点。常に何か新しいことをやろうと日夜努力していて、新しい技術に対する反応も速い。

このように今のファジィは、先生達研究者の努力、日本人の思想性、技術力で支えられていると言ってもよいだろう。



ヘリコプターをファジィで制御する

菅野研のもう一つの大きな研究テーマはファジィ制御である。現在は、ヘリコプターのファジィ制御を研究されている。ヘリコプターは非常に操縦が難しい。数値的な情報量は、全部で15個*4ある。また、ヘリコプターを動かすための入力情報は4つある。ヘリコプターが上に上がるための揚力を生み出すローターの角度。機首の方向を制御するための後ろのローラー。前後・左右への飛行方向を制御するローターの傾きである。操縦士はこれらのことを一度にやらなければならないため非常に忙しい。飛行機は自動操縦が実用化しているが、ヘリコプターには、そのような技術はほとんど無い。それは、上で述べたように一度に処理し、実行に移すべき情報量が多すぎるからである。

先生の研究室では写真1のような模型のヘリコプターを用いて研究を進めている。この研究には、大きな目的が2つある。1つはヘリを無人機にして、「右へゆっくり旋回せよ」「ホバリング(空中停止)せよ」という

具合に音声で動くようにすること。先生の研究室では、ヘリコプターの前に車を用いていたが、こちらの方はすでに成功したようだ。もう1つは、ヘリコプターの操縦士の負担を軽くするための「操縦支援システム」の開発である。これが実現できれば、パイロットの負担が軽減されて事故を減らすことができる。

さて、ヘリコプターの制御においてファジィコンピュータは普通のコンピュータと比べて、どのような利点があるのだろうか。普通のコンピュータでは、ヘリコプターの操縦方法を示す方程式を用いて演繹的に処理できる状態になくてはならないが、これは、多くの情報が同時に重なる

ため非常に難しい。だが、ファジィ理論を適用すれば、数式モデルがなくても、操縦方法が分かりさえすればよい。あいまいな所があってもつまり、厳密な方程式解がなくても、あいまいなままで処理することができるのである。また、この処理には、先程のファジィチップの並列処理が役に立っている。

* 4・・・X,Y,Z軸それぞれについて位置、速度、加速度で

$$3 \times 3 = 9 \text{ 個}$$

X,Y,Z軸の回りの回転の角速度、回転角で

$$3 \times 2 = 6 \text{ 個}$$



写真1

機体の全長…1.7m
ローターの長さ
…… 3m

コンピュータの発達と共に急成長してきた人工知能の分野に関して、先生は、ファジィは人工知能の一部であって、本当に人工知能を作るのならファジィを使うのが一番であるとおっしゃった。このことや、「ファジィによる“主観性”の回復」ということから考えて、ファジィが非

常に人間性にあふれ、人間に近い学問であることが分かる。

先生は、「日本のファジィ研究は東工大から始まったと言ってもよい。横浜にある国立の『国際ファジィ工学研究所』が東工大出身者でほとんど占められているのに見られるように、日本のファジィの研究の中心は

東工大だから、その伝統を守ってほしい。」と話された。

最後に、非常にお忙しい中、取材を快く引き受けてくださった菅野教授と研究室の助手の方々に感謝申し上げます。ファジィ研究のますますの発展を願っております。

(大原)