

1 はじめに

ザデーがファジィ集合の概念を発表したのが1965年、また日本ファジィ哲学会が1989年に発足してからすでに10年近くがたった。この間にファジィは集合論のみでなく、さまざまな分野に適用されてきた。特にファジィ推論とファジィ測度という二つはファジィ独自の理論として注目されるものである。

日本では、欧米と較べるとその普及はめざましく成功例も多いが、そのほとんどの分野がこのうちの制御（推論）に関わるものである。そこで、本論文では特にファジィ制御の方を取りあげ、それがどのような性質のものかを見ていき、ファジィが日本で非常に勢いで普及した理由を探っていく。

はじめに、なぜファジィ制御がファジィが適用される種々の分野の中でも極めてファジィらしいものであると考えられるのかを見るために、ファジィ、すなわちあいまい性とはどのようなものであるのかをまとめておきたい。

2 あいまい性の分類

ファジィ理論はあいまいさをとり扱う。しかし、そもそもあいまいとはどのようなことを指すのか。ファジィ理論が扱うあいまいさは何か。最初にこの点について整理しておきたい。そこで初めに、一般にあいまいと呼ばれるものを分類してみる。いくつかの分類方法を見てみよう。

まず、あいまい性を次の4つに分類してみる。

- (1) 両義性・多義性 (ambiguity)
- (2) 漠然性 (vagueness)
- (3) 蓋然性 (probability)
- (4) 多様性 (multiplicity)

まず(1)の両義性(多義性)として捉えられるあいまいさは、われわれがある一つの語、あるいはそれから構成される一文を通して世界を捉えようとしたときに、その語、あるいは文により指し示されるものが二通り以上ある場合のものである。たとえば「おかしい」という形容詞は、変だ、という意味と、面白い、という意味を持っている。どちらの意味で用いられているかは、それが使われる文脈により自然と理解される。

漠然性は、ある語が示すものは一つであるが、その示されるものの範囲、つまり指し示されるものと指し示されないものとの境界がはっきりしていないようなものを指す。たとえば「美味しそうなリンゴ」と「美味しそうでないリンゴ」との境界は明確に示すことができない。「美味しそう」ということば自体も美味しそうでないものとの境界は明確ではない。

次の蓋然性には時間の概念、あるいは超越的な概念が入ってくる。なんらかの事象があ

る時刻においてはあいまい（＝不明）であっても時間の変化とともにあいまいさを失うことがある。しかし「今」から動くことのできないわれわれ人間には、それを正確に知ることとはできない。たとえば明日の天気や、サイコロを振って出る目の数などがこれにあたる。

最後の多様性は、一つの言葉で指し示すものがいろいろであることを指す。たとえばその言葉を「かばん」とする。それが指し示すものは今持っているかばん、小学生が使うランドセル、アタッシュケース、スーツケース・・・など数え切れないほどある。

他にもあいまい性の分類はいろいろな人によって試みられている。次のものは石塚による分類である。⁽¹⁾

- (1) 制御の非決定性
- (2) 多義性
- (3) 不確実性
- (4) 不完全性
- (5) ファジィ性

制御の非決定性とは、「断片的に知識を集積し、これを利用する推論の筋道を確定できないので、ある筋道を試行し、失敗したらバックトラックを行う」ということである。つまり、手続きおよび知識の不備・不正確さと捉えられよう。不確実性は蓋然性として示したものとほぼ同じである。不完全性の例として、「一般に（例外を除いて）鳥は飛ぶ」という例を挙げている。世界が多様であり、厳密に表現できないが、何とかそれを表現しようとして一般化したものと考えられる。ファジィ性は、「集合をその境界を明瞭にしないまま扱う」ものであり、上述した漠然性にあたる。

この分類は、「曖昧な知識の表現と利用」という論文のタイトルからもわかるように、制御や知識工学の分野で、知識を利用する場面において問題になるあいまい性を分類したものである。従って、利用する知識の量の不足＝曖昧な知識、という第一番目の項目が入ってきていると思われる。しかしこれは他のあいまい性から引き起こされるわれわれの認識能力に関するものと考えられる。

もう一つ、向殿による分類をみておこう。彼はあいまいを次の6つに分けている。⁽²⁾

- (1) 不鮮明 (hazy)
- (2) 不正確 (imprecision)
- (3) 不完全 (incompleteness)
- (4) ランダムネス (randomness)
- (5) 多義性
- (6) ファジィネス (fuzziness)

この中で不鮮明 (hazy) というのは、言葉どおりもやのかかったような、視覚的にはっきりと見えない状態である。これは認識時に現れるものであり、このことを言葉で表現しようとするとき他のあいまい性に移行する。ランダムネスは通常確率で取り扱う類のあいまいさで、ものごとが起きる確率などに関するものである。上述の蓋然性にあたるものである。ファジィネスは、「境界がぼやけて明確に定義できない、定義してみてもあまり意味のない」あいまいさであり、「言葉にとって本質的なもの」であるとしている。これは漠然性にあ

たる。不正確・不完全については、前述の「制御の非決定性」に関連するものであると思われる。これらは、他のあいまい性により、われわれの知識が不正確・不完全になった状態と考えることができる。

さて、現在のファジィ理論が扱うあいまいさは、上述の両義（多義）性・漠然性・蓋然性・多様性などを一応すべてカバーしているといえる。しかし、ザデーがファジィ集合の理論を考えるきっかけとなったのは、「1よりずっと大きいすべての実数のクラス」とか「美人のクラス」、「背の高い人のクラス」といったものがそれまでの理論の中では取り扱えない、だが、普通にわれわれが何かを認識したり会話したりする中ではそれらのクラスが重要な役割を果たしている、という事実の認識であった。つまりもともとのファジィ理論で扱おうとしたあいまい性（ファジネス（fuzziness））というのは、主にわれわれが通常用いている「言葉の意味や概念の定義に見られる不確かな有様のこと」⁽³⁾であり、境界のはっきりしないもの、すなわち前述したさまざまなあいまい性の中の漠然性であると考えることができる。

3 ファジィ理論による制御

さて、このような言葉に関するあいまい性を扱う理論がファジィ集合としてザデーにより発表されてから、集合論としてだけではなく、さまざまな分野でその理論が応用されている。だが当初はメンバーシップの作り方が主観的であることに対する、つまり、主観を科学の分野に持ち込むことへの偏見ともいえる強い批判があり、あまり注目されることがなかったようだ。しかしその後、1974年にマムダニがスチームエンジンの制御にファジィ理論を応用して以来、徐々にその適用範囲を広げて、今では、人文科学の分野でも幅広く用いられるようになっている。

しかしこの中で、もともとのファジィ理論の出発点となった人間の主観（言葉のあいまいさ）に関するものを取り入れており、しかも理論そのものが従来のものとは大きく異なっているのは、制御への応用（推論）および測度論ぐらいである。それに較べると、他のものは従来の方法+ α 、つまり、言葉の持つあいまいさそのものを取り入れるのではなく、対象の境界を数学的にあいまいにしているだけであったり、言葉のあいまいさを取り入れているにしても、その方法論は従来とほとんど同じであるにすぎない。たとえば、ファジィ回帰分析は、従来は明確な数値として与えられていた説明変数の係数をファジィ数として置き換えたものである。これは特に、人間が通常使っている言葉の持つあいまいさというものを対象にしたものではない。また評価においては、「非常に、少し、あまり、ほとんど」といった言語ヘッジが用いられ、さらにその最終評価を出す段階で、ファジィ論理の手法を用いてはいる。しかし、従来でもそのような言語ヘッジは用いられていたわけであり、ただ、その評価基準がファジィという新たに認知された理論に置き換わっただけであると考えられる。測度論についてもファジィ理論の中心的領域を占めてはいるが、制御に較べると、その適用例（成功例）などは少ない。したがって、ファジィ理論のもっとも特徴的適用分野は制御といってよいであろう。

また、以上のような状況からもファジィ理論の中で制御への適用が重要な領域となった

ために、欧米とは異なり日本でのファジィ理論の受け入れに対する拒否反応がほとんど引き起こされなかったのではないと思われる。そこで、このファジィ制御について次に詳しく見ていきたい。初めに二つの制御方法、すなわちファジィ制御とそれまでの制御理論との違いを明らかにしておく。

なにかあるシステムがあり、何らかの目的があってそのシステムを動かす。制御とは、そのシステムを目的にそって、好ましい状態に持っていく、あるいは好ましい状態を保つためになされるものである。従来の制御方法にはいろいろあるが、科学理論（数学・物理学など）を駆使しシステムの状態を数式によって表したものの、そして、システムの動きを時系列データから推測していこうとするものにと大きく分けられる。後者のものは、事前に時系列データの解析が必要であり、それにより得られたやはり数式によりシステムを記述するわけである。これに対しファジィ制御とはどのようなものであろうか。ザデーの提案した方法では、システムを、「数値ではなく、いわゆる言語的であいまいな変数を用いて記述」⁽⁴⁾する。記述方法は、人間が、たとえば何かを動かそうとするとときに採る方法と同じであり、もし...ならば、～をせよ（IF-THEN rules）という形をとる。システムの what を問うのではなく、人間ならばいかに行動するか（how）を問題にするのである。ここで必要となるのは、科学の成果ではなく、人間の勘や経験である。

従来の制御理論を適用しようとする場合は、システムは数式で表される。その数式に当てはめるために、インプットは厳密に与えられなければならない。システムを記述するのに必要なデータはすべてそろっていないてはならない。これに対し、ファジィの場合、システムは「もし部屋が暑かったら、エアコンの設定温度を下げなさい」といった IF-THEN の形式で表されるルールで記述されており、何をしたいのか、何をしなければならないのか、という制御の目的と方法が明確に「言葉」で示されている。ルールは人間の経験や勘をもとに作成される。どうしてそのルールなのかは問われない。これまでの経験でそれがよいだろうというだけのことである。また、われわれの知識が不完全であっても、普段は何気なくなんとか上手く問題を解決してしまうことが多いように、このようなルールでシステムを記述してあると、インプット（データ）やルールが多少足りなくても、そこそこにシステムを動かすことができる。たとえば、一本の花を台の上に立たせ、倒れないようにコントロールするという実験が行われたことがある。従来の理論ではとてもできないこの制御を、ファジィによる制御はいくつかのルールにより成功させた。さらにこのとき用いたルールの中のひとつを取りのぞいても、うまく制御することができた。人によって頭の中に蓄えられた知識の量や種類が異なるために、問題解決の際に用いられるルールの数や内容も異なってくるだろう。しかしうまいへた、時間がかかるかからないの差はあっても、それなりに問題を解決できてしまうのと同じである。

科学では、本質とは何かを問うてきた。世界はどのようなものか、それを数学で表してきた。工学では本質を問わない。＜how＞だけが問題となる。そしてファジィ制御は、科学と技術が単に結びついたものではない。古来からの、人間が問題解決するにあたって利用してきた、経験や勘を駆使し、それを言葉で表現したものをそのまま使うのである。システムの中味（what）は問題ではない。制御は問題解決のための操作が目的であり、結果が

よければそれでよいのである。そしてファジィ制御は、世界を人間の言葉で操作するのである。そのためにはわれわれ自身が、通常何らかの問題を解決する際に、何をどうしているのか、それを改めて見つめ直すことが必要になる。

4 科学からファジィへの過程

本章では、ファジィ理論が生まれるまでの過程を、科学・科学技術との関連づけの中でみていきたい。初めに、科学と技術とはどのようなものか見ておこう。

科学とは、「人間の知識欲から生まれた」ものであり、その目的は、「自然現象の中の真理を知」ることである。そのために「結果をできるだけ客観化、一般化、理論体系を築く」⁽⁵⁾という方法が採られてきた。つまり科学は、「知りたい」という欲求から生まれたものである。では、何を知るのか。もちろん世界であるが、西欧においてはその世界は神の創ったものであった。「神は数学の言葉で自然という書物を書いた」というガリレオの言葉に見られるように。つまり人は真理である神を知るために、あるいは神に近づくために、世界を数学で説明しようとしてきたのである。その後「神」は科学において不在となっていたが、世界が数学で書かれているという考えは現代まで続いてきたように思われる。

一方の技術は、「本来、生活の問題を解決し、生活の向上に役立てる」⁽⁶⁾もの、「困っている問題の解決、生活向上。手段が論理的でなくてよい」⁽⁷⁾ものである。必要性があってそこから生まれたものであり、結果（問題を解決すること）が重要なのである。そこに至るまでの過程は何でもかまわない。このような性格を持つ技術の歴史は、おそらく人類の歴史とほとんど同じと見てよいであろう。

現在ではこの科学と技術は明確に分離できず、相互に依存しあっている。技術が求める理論を科学がおい、科学の成果を技術が利用している。数学という言葉で書かれるべき科学と結びついた科学技術は、基本的にはそれまでの科学の採ってきた方法を踏襲してきた。すなわち、「これまであいまいさは排除すべきものであり、すべてを明確にしていくことで・・・進歩してきた。あいまいに見えるのは、われわれの知識や研究が不足しているから」⁽⁸⁾であると考えられてきたのである。

1937年、ブラックが、言葉のあいまい性についての論文 "Vagueness" を発表した。その内容はのちにザデーが提案したファジィ理論およびそこで用いられるメンバーシップ関数と極めて似通ったものである。1910年代に入ってラッセル・ホワイトヘッドによってプリンキピア・マテマティカが書かれ、そしてウィーン学団が出てきた頃である。彼らは世界の認識に関して、それを「明確に言い表わしている命題・言語の形で捕らえて」⁽⁹⁾いこうとした。言語というものをを用いて世界を捉えてはいるが、それは明確な表現に限られる。

しかしわれわれの使う言葉は常に明確なものだけではなく、不確かなものが含まれていることはわかっていた。従ってこの世界を説明するのにそれまでの論理学だけでは不十分であったが、その部分を科学の世界では捉えられないものとして、グレーゾーンに押し込めてきた。

「あらゆる伝統的論理学は、いつも正確な（precise）記号の使用を仮定している。それ故、この地上の生活に適用できず、ただ推察する天体の存在物についてのみ適用される」⁽¹⁰⁾ ブラックはそのあいまい性を何とか科学の中に持ち込もうとしたのだ。

「科学理論（球）とその適用（オレンジ）の間にはギャップが残る。その橋渡しはまだなされてはいないが、しなくてはならない」⁽¹¹⁾

「この論文の目的は、・・・不足を補って形式的科学の大崩壊を避けることにある」⁽¹²⁾

そして、メンバーシップ関数と同様の「単語の使い方カーブ」で、形式科学を補強できると考えた。しかし、結果は不発に終わった。なぜだろうか。「新しい知の構造にいったん手を触れながら、彼はこの断片を統合しようとはしなかった」⁽¹³⁾ からといわれるが、それと同時にあいまい性、すなわち主観的な言葉を積極的に取り入れようとした理論を、それまでの科学者は受け入れることができなかったのだ。これは約30年後にファジィが出たときと同じ状況であると思われる。ファジィはさまざまな分野に応用され、それがかなりの成功を収めた末にようやく、技術の分野にたずさわる人たちから受け入れるようになってきたのである。

そのファジィ集合の論文 "Fuzzy Sets" が発表されたのが1965年である。ハンソンの理論負荷性の考え方（1958）、クーンのパラダイム理論（1962）などが出てきた頃である。客観的なものであると考えられてきた科学理論・認識データなどが本当にそうなのかと疑問符が打たれた頃である。そしてブラックと同様、数学の言葉だけで説明される世界の他にも世界があること、しかも「人間の知識や思考にとって、あいまいさは本質的のように思える」⁽¹⁴⁾ ということに人々は気づき始めた。

ブラックの場合とは違ってファジィ理論がなぜ、徐々にではあるが受け入れられたのか。それは、それが技術の分野と結びついたからであると考えられる。技術が相手にするのは、現実の世界である。そこはあいまい性に満ちている。その中で問題解決をしなければならない。だが従来の方法（数学的方法）では限界があった。技術の目的は問題解決であり、手法は問わない。あいまい性を積極的に取り入れたファジィは技術と結びついて成功した。

最初の有名な応用例はマムダニが1974年に、スチームエンジンの制御にファジィ理論を適用したものである。その後次々と、特に日本でファジィを用いた技術が成功をおさめ始めた。大きな事例としては仙台市の地下鉄への適用がある（1987年）。その後、日本ファジィ学会が1989年に発足し、前述したように現在では多くの分野でファジィが取り入れられ、研究されている。

5 日本におけるファジィ

従来の科学技術の世界では切り捨ててきたマージナルな部分（主観、言葉）をファジィは取り入れることに成功したが、これは、世界の＜what＞の説明ではなく操作に主眼をおくことによって可能になった。

ところで、前述したようにファジィ理論は出てきた当初からすぐに多くの人に受け入れられたわけではない。欧米、特にアメリカではほとんど無視された理論であるにも関わら

ず、日本では早くからファジィの研究が盛んに行われてきた。なぜか。

「なぜ日本人はファジィに飛びついたのだろうか。簡単には答は出てこない。だが、スク族のように、日本人は自分たちのまわりのある特色に敏感だ。われわれと比べて、あいまいさは日本人の生活にとって大切なものであり、われわれより素速くそれに気づき、より巧みに扱う。その上、日本人はとても実利的で、役に立つなら大まかな理論でも気にせずに利用する」⁽¹⁵⁾

「西欧：論理的に一貫性を持つ社会（キリスト教的コンセンサス）。東洋：非論理的あいまいさを背景（一義的なものを否定した多様性が基本）」⁽¹⁶⁾

このように、二分法をとらない仏教、実利的なものの見方、あいまいな言語などの理由から日本でのファジィの普及について語られることが多い。しかし一番の原因は科学との関わり方にあるのではないか。

日本では自然と対峙するよりは自然と一体となって生活してきたという方があたっているだろう。人間も自然の一部なのである。その中で生を営むための技としての技術が発達してきた。一方、西欧、特にキリスト教社会においては、自然は神が数学の言葉により書いた書物であり、人間がその書物を読み解こうとすると科学が、そしてまた主体と客体の関係ができてきた。書物を読んで得たものは知識である。それとは別に、現実の社会の中では、古来からの技術というものが存在していたのである。このような歴史の中で工学や技術は学問や知識とは別のものであるというある種の偏見があった。ところが日本においては、神の書いた書物を読むという科学が存在しなかったに等しいため、そのような偏見がない。日本に西欧の科学が入ってきたときには、既に神は「科学」からはほとんど消えていたし、神の使った数学という言葉にたいする思い入れも特になかった。それよりも現実の問題の解決のためであれば、数学ではなくてもどのような方法でも取り入れようとする。ここに、ファジィが日本において偏見なく取り入れられた理由があると考えられる。

科学が世界の解読を目指すものであり、これまでの科学技術がその科学の成果を利用した世界の操作であるならば、ファジィは人間の解読と世界の操作が結びついたものであるといえよう。社会現象は複雑である。ここにおいては、「単純で美しい理論というのは全て粗すぎる近似であり」⁽¹⁷⁾、従来の科学のようにシステムを数学で正確に記述しようとすればするほど複雑に、わけのわからないものになっていく。しかもいくら複雑にしても完全に記述することはほとんど不可能であろうし、それを用いて推論や制御を行うには大変な労力が必要で、しかもおそらく失敗する。しかしそのような複雑な社会現象も、入力・出力ということだけに着目してみれば、言葉で簡単に説明できることが多い。ファジィは世界を説明・解読するためのツールではなく、世界を操作するためのツールなのである。

ファジィが、ブラックの理論のように集合論としてとどまっていたら、おそらくそれは日本でもそれほど話題にならなかったと思われる。それが日本で受け入れられ、さまざまな分野で成功したのは、制御に応用されたファジィ理論として、日本に入ってきたからだと考えられる。

さまざまなファジィ理論の中で特にファジィ制御を採り上げ、その特徴を見てきた。それより、ファジィは従来の数学を基礎とする科学技術の流れの中から出てきたのではなく、あいまいさを持った人間の問題解決能力を再評価し、かつ技術と結びつけるというところから出てきたものであることがわかった。これは、結果重視の理論であり、科学のような世界の解説を目的とするものではなく、操作し利用することを目的としている。この理論は、客観的に世界を説明していこうとする科学者・技術者の批判を受け、西欧では当初なかなか受け入れられなかった。しかし日本においては客観的説明にこだわる理由を持たず、技術そのものにたいする偏見がなかったため、早くから研究が進められてきた。

ところで、ファジィは主観を科学の中に取り入れると言われる。つまり主観によって変わる量を、数学で説明される客観的といわれてきた科学の中に取り込む。このために今まで、科学の中では排除されてきた人間の主観を見直すことになったわけだが、それを自由に利用しようとすることについての議論は必要ないのであろうか。つまり、「わけのわからないもの、解答不能、非合理的なものさえ、数学的諸定理で置き換えられ」⁽¹⁸⁾、「主観性は...論理学へと揮発していき、いっそう意のままに処理され」⁽¹⁹⁾ているのではないだろうか。

また、これまで数値のみであった客観データとして、主観的な言葉を利用できるようになった。たとえば「暑い」、「寒い」などの言葉をそのまま入力できるようになった。この意味では、主観と客観の区別がなくなったといえるかもしれない。しかし（操作）主体としての人間と（操作）対象としての世界という二分図式についてはファジィでは何も変わらない。このことについてどのように考えていくべきか。ファジィが科学の中に主観を持ち込み、役に立つ理論であることがたしかに実証されてはいるが、だからすばらしいといって終わりにしてはいけないと思われる。

注

- (1) 石塚満「曖昧な知識の表現と利用」情報処理 Vol.26, No.12 (1985)
- (2) 向殿政男「あいまいさの効用」日本ファジィ学会誌 Vol.2, No.3 (1990)
- (3) 菅野道夫『ファジィ理論の展開』サイエンス社 (1989) p.2
- (4) 坂和正敏『ファジィ理論の基礎と応用』森北出版 (1989) p.153
- (5) 寺野寿郎監修『あいまい工学のすすめ』講談社 (1981) pp.15-16
- (6) 西川他『入門ファジィ理論と応用』東京教育情報センター p.4
- (7) 注(4)に同じ、同書、p.15
- (8) 向殿・本多『ファジィ——「あいまい」の科学』岩波書店 (1990) p.iii
- (9) 大江精三『科学哲学』日本大学通信教育部教材 (1977) p.24
- (10) M.Black, "Vagueness" in Philosophy of Science Vol.4 (1937) p.428
(ラッセルの言葉)
- (11) 注(9)に同じ、同書、p.428
- (12) 注(9)に同じ、同書、p.428
- (13) McNeill & Freiburger, "Fuzzy Logic" Simon and Schuster (1993)

邦訳『ファジィ・ロジック』新曜社（1995）p.44

（14）注（7）に同じ、同書、p.iii-iv

（15）注（12）に同じ、同書、pp.200-201

（16）注（4）に同じ、同書、p.97

（17）長尾真「「理論」について」ファジィ学会誌 Vol.9, No.5（1997）p.1

（18）Horkheimer & Adorno,"Dialektik der Aufklarung" Querido Verlag（1947）

邦訳『啓蒙の弁証法』岩波書店（1990）p.31

（19）注（18）に同じ、同書、p.38

（日本大学非常勤講師）