

UDC 519.5

Fuzzy Setに関する一考察

A Comment on Fuzzy Set

柴田 碧*

Heki SHIBATA

§ 1. ま え が き

カルフォルニア大学のZadeh教授は1965年にFuzzy Setの概念を発表¹⁾した。それ以来このFuzzy Set (毛ばだち集合～あいまい集合)の概念は発展しつつある。これは工学における客観を主観化するための武器として甚だ有用なものであると思われる。ただZadehは、その代数学的概念とその発展を述べ、工学的な位置付けをほとんど行っていない。そこで著者は工学的な面から考察を加えてみた

§ 2. Fuzzy と Non-fuzzy

Stochastic ProcessとDeterministic processはNon-fuzzyである。Stochastic processであってもノイズの性質は既知であり、それは統計的数値(平均,分散など)で記述される。もし、それらがすべてゼロ、つまりノイズが存在しないなら当然Deterministic Processとなる。これらいずれの接続にもあいまいなところがない。

一方Fuzzyの場合は図1のように、ある尺度をもって入力にもとづく判断としての出力を得ようとしたとき、ある主観的尺度が入出力の間に介在することによって、その間を一義的に結合出来ない場合をいう。Fuzzy Setの説明に年よりの例がよく使われるのでここでも

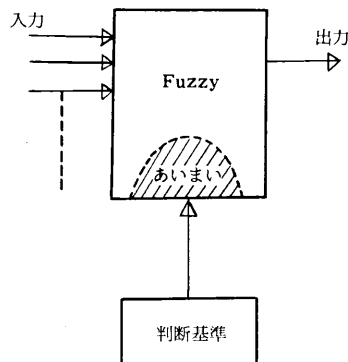


図1

*東京大学生産技術研究所 第2部

それを使う。シルバーシートで席を譲るかどうかの問題について考えてみる。ある人が乗ってきた。この人はシートを譲るべき年よりのレベルに達しているかどうかの判断基準は、すこぶるあいまいである。しかしながら、誰がみても譲るべきであると判断される人もいるし、また反対の人もいる。この判断は年令を名札のようにぶらさげていて、それを見てするわけではない。年よりの入口にある人がどのレベルにあるか、つまり「座る資格」もしくは必要があるかどうか、どのように決定されるのであろうか。Fuzzyな系が、大きな系の一部しか観測できないであいまいになっているのだとしたら、この年より(?)の年令を尋ね、血圧を尋ねてゆき、いくつかのパラメータについての情報を得れば結論が出るはずである。しかし、そのような情報と、この人が座席に座るべきであるということは、最後まで確定的には結び付かないとも考えられる。

もう一つの例を引くなら電車の架線の状態の良否の問題がある。状態の悪い架線とは架線事故の発生し易い状態をいう。この点は明らかである。架線検測車を走らせて測定される諸量(たとえば架線高低,横偏位,摩耗その他)とこの状態との関係を現時点では定めることができない。離線率という量は測定できるし、また上述の諸量と関係もある程度わかっている。またこの値と架線などの平均的損耗にかなりの比例関係があることもわかっている。しかし事故発生との関連になると、離線率が高いと必ずその発生の可能性が高いが、それだけで定まるものではない。もし離線率というような一つのスカラー量に架線特性が要約できないなら、それを表現する方法が必要となり、そこで「チャーノフの顔」が登場するわけである。このように事故の「起り易さ」という一つの量を多次元量で表現しようとするとき、われわれの知識の欠如か、あるいは必然度によって、多次元量とその量との間に一義的関係つまりアルゴリズムを規定し得ないことがある。その場合に多次元表示を行ない、それとその量との間を主観で結び付ける。これがFuzzy-relationである。したがって「顔」のようなものは多次元量の関係が個々の量の値を示すだけでなく、相互関係、それにできるなら時変的な関係が直観的、かつ同時に観察できるも

のであることが必要である。そして、これは上述のように定まった計算方法で一つのスカラー量として導くことが困難なものである。

§ 3 Fuzzy と Pseudo-fuzzy

プラント(装置)を運転していて、操作員がなにか状態がおかしい。故障だと判断して運転を停止する場合がある。「モータのベアリングが熱い。間もなく焼き付いて止るだろう」などその一例である。運転員が行なった停止操作は「判断」と、それに伴う「運転停止」という「行動」であり、その点は乗って来た人を年よりと判断して席を譲るのと同様である。しかし装置はある運転状態を状態ベクトルで表現すれば、将来の状態は一般に一義的に決まると考えられる。決まらないなら、それは観測不足であるからである。運転員が過去の経験などにより適確(実はあいまい)に判断できるのは、装置の状態すべてについて、たとえばベアリングのボール一つ一つの摩耗についての知識は持っていないくとも、ベアリングの昇温がなにをもたらすかを知っているからである。しかし、系の方には必ずしもあいまいさはなく、その状態になれば、ベアリングは焼き付くのである。

工学の分野では系が大きく、人が観測仕切れずにいるものは非常に多い。しかし、系自体はDeterministicな系でその挙動は必然性を持っている。このような場合を、前の年よりの例と区別してPseudo-fuzzyとよぶ。数学でいうWhite Noise(無限の帯域を有する)と工学でいうPseudo-white Noise(Pink Noise有限の帯域を有する)の差に似ている。本質的には大きな差があるが、実用的には同じに扱え、Pseudoでない場合に考えることのできる性質の多くがPseudoである場合にも適用できる。Fuzzy Set論は代数であるが、われわれがこの考えを工学に応用しようとして、アルゴリズムを考える場合は解析である。

前述の架線系のように、当面観測の精度をいくらよくしても、すぐにはすべての関係が明らかになりそうもない。一方、現場での設備の運転なども操作員の経験によっていることが多い。このような場合の判断はFuzzy的なものの代表的なものとしてされているが、これも事態の解明が進むとPseudo-fuzzy化されると考えられる。

§ 4 メンバシップ関数

メンバシップ関数 μ が一般の議論に導入されている。この関数は集合上の要素すべてについて与えられるが、しかし要素の状態ベクトルから一定のアルゴリズムを

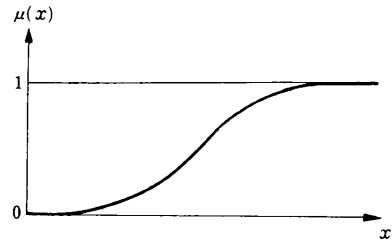


図2

経て定め得るものでないことは、既に述べた如くである。多くの論文において、年よりという概念についての $\mu(x)$ を年令 x の関数として図2のように確定的な関係により与えている。これは間違いである。ある状態ベクトル(ここでは年令)と概念(年より)と明確に結び付かないときがFuzzyであるからである。しかしそこにあいまいさはあってもすべての人について主観的に年よりの度合(つまりメンバシップ関数)を決めて、席を譲るか否かを定めることは出来る。図2の表現を具体的な関数を導入して説明しているZadehの論文²⁾がある。基本的にはこれは間違いであると考えられ、誤解を与えるものである。しかしながらわれわれの考えの過程はNon-fuzzy的なものがつねに残っているので、既知のスケール(年令など)の上に立つメンバシップ関数はその考察上有利である。したがって、いろいろな概念を考えて行くうえで、そのように仮定することは差支えないと思われる。

Fuzzy性がStochasticな表現と混同されることが多い。100名の人を集めて、ある年令 x の人 $a(x)$ について年よりかどうかいわせる。100名中80名が年よりだといったら x 才の人一般について $\mu(x)=0.80$ であるという。この表現は正しくないように思える。ある年令の人 $a(x)$ という特定の人を考えて、 $\mu(a(x))=0.80$ とすることは正しい。というのは年令が x の人は1人ではないからである。したがって、対象を多くとってみると頻度 $f(A)$ が与えられる。特定の年令 x_i という集団に属する人々 A のメンバシップ関数は図3の曲線ABCのような頻度曲線と与えられる。

(個々の人についてはアンケート方式などで決める)そしてピークBが高年令化するに従い $\mu(x)=1$ の方へ移って行くわけである。したがって図2のような x と $\mu(x)$ の一義的な曲線は、この頻度分布を図3の $\mu(x)-0-x$ 平面に何等かの条件をもつ値(たとえばピーク値でもよいし、また分布の平均値でもよい)で投影したものである。メンバシップ関数を確率分布関数のように理解するのは間違いであるが、図3のよう

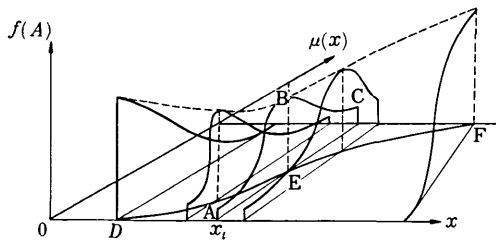


図3

に考えれば、アンケートの問題つまり Stochastic な問題と Fuzzy な問題との関係を明らかにすることが可能である。

§ 5. 言葉の定義と評価の尺度

いままでの例で「年より」という概念について論じてきた。これは「年より」という言葉の定義について論じてきたのであろうか。それよりはシルバースートの席を譲るかどうかの判断をするため、評価の尺度としての「年より」を論じてきたのである。実行を伴わない言葉の定義と判断実行のための評価の尺度との差である。「ハンダ」という金属を徐々に熱して行くときある温度から次第に軟化し、やがて完全に液化する。これを一つの「溶融」という言葉で表現しようとするなら、そこでこまかい定義が必要になる。しかし、もしそれを鋳型に押し込むための判断基準なら、なにも難しく定義せず、具体的にある流動性があればよいわけである。

§ 6. Fuzzy Algorithm

いままで述べてきたように多次元的な状態ベクトルから一つの判断を主観的に導き出す操作を Fuzzy Computation とでもよぶなら、その過程は Fuzzy Algorithm といえよう。この Fuzzy Algorithm については、すでに論文³⁾があるが、Fuzzy Com-

putation を上述のように考えると、結局は実行不能なものとなってしまふ。概念的に Fuzzy 的な命令文を書いたにしても、実際にそれを実行する尺度は存在しない。“ a_{65} が十分年よりなら席を譲れ”という命令文を考えると、 $AGE(a_{65})=65$ とデータを与えただけでは情報は十分ではないのである。このようにして Fuzzy Computation は、その処理だけでなくデータの段階でも行きつまる。

ただここで前述の Pseudo-fuzzy な系を考えると、学習過程の導入によって、それが可能となることがわかる。すなわち系そのものは多次元量によって Non-fuzzy で決まる評価尺度はあるはずであるが、それがプログラムを作成する側にはわからない。しかしながら経験者は何等かの尺度によって日常判断を行っている。このような場合、関連あると思われる多次元量を入力とし、判断を出力とした学習系を構成することは容易である。

しかしながら本当の Fuzzy な Algorithm は Fuzzy な hard ware がない限り不可能で、その hard ware は人間以外に存在するか疑問である。

§ 7. あとがき

本稿は昭和51年1月30日に開かれた原子力学会“意志決定手法の応用”および電気学会“原子力発電所制御”の合同委員会の席上および“あいまいシステム”研究会での議論にもとづきまとめたものである。

(1976年4月5日受理)

参考文献

- 1) Zadeh, L. A. : Fuzzy Sets and Systems, Proc. of Symp. on System Theory (April, 1965) p. 29.
- 2) Zadeh, L. A. : Fuzzy Languages and their Relation to Human and Machine Intelligence, Proc. of Int. Conf. on Man and Computer (1970) p. 130.
- 3) Zadeh, L. A. : Fuzzy Algorithms, Information and Control, 12 (1968) p. 94.