人間―機械インタフェイスにおける あいまいさの意味について

酒井義郎*

Ideas for Human-Oriented Interface

Yoshiro SAKAI

Abstract

Interfaces between man and machine (or computer) are usually set without sufficient consideration of ease of use. But an interface is for human intervention and hence human friendliness is essential in its design. Described here are ideas behind modeling of human characteristics being applied in the author's research work on human-machine interface.

1．はじめに

前回の報告[1]において，人間―機械系における人間的な手法について検討した．その中で人間の介入の必要性と意味について触れたように，自動化機器は，それが如何に知的に作られていようと，最終的には人の指示を仰がなければならない．すなわち，システムの利用者としての人の意見や判断を待たねばならない部分が必ずある．このことは自動化の構成を計画する上で必ず念頭に置くべきことである．すなわち，自動化されたシステムをより広義に捉えると，常に人を頂点とする階層構造の意味で人を含んだシステムとして考えられるのであり，したがって，人間の考え方や特性を理解できることは，自動化に課せられた大きな課題である

残念ながら従来この点についてあまり配慮が払われていないのが実情であった．むしろ，作業者の方で，熟練という過程を経ることによって，このような不備の解消が図られてきた．その意味で，作業者に不必要な負担が掛かり，この事実は，作業の（要するに作業者の）信頼性を低下させる一因となっていた．作業者の動作の信頼性には，当該作業者の置かれた作業環境が非常に大きな要因として含まれており，信頼性の問題は単に人間の特性に関わることとして処理することはできない．

人間の記憶，意思伝達（対話）などにおける特性として重要なことは，数値や評価などを一義的あるいは確定的なものとして与えることはしないという点である．これは，不都合である反面，大いに利点を持っているのであり，例えば融通性のある対処が可能なこともこのことによるものである．こうした不確定性はいわゆるあいまいさとして処理されるが，非常に難しい問題ではあるけれども，心理的な側面も含めた形で処理される必要のある重要な課題である．

以上のような信頼性の問題やあいまいさの問題は，結局人間にとっての人間―機械系インタフェイスの使い勝手の良さの問題であるといえる．

*生産機械工学科

2．あいまいさの因子について

あいまいさの問題は直接的には従来数理的に扱かわれるべき対象から外されていた．そして，この問題は必要に応じてすべて確率論の範ちゅうにおいて処理されていた．Zadeh[2]によりファジィ集合の概念が提案され，Mamdani[3]によってこの概念が制御の問題に適用されてファジィ制御なる発想が取入れられることにより，人間の持つあいまいさを取入れたエクスパートシステムの開発が多方面において成されるに至っている．このような状況により，現在においてはあいまいさはむしろ確率の問題から切離され（もちろん，あいまいさについては多様な状況が存在するため，あいまいさと確率は無縁ではない．ここでは，すこし上に述べたこととの対比の問題として書いた.），ファジィ性(fuzziness)があいまいさと同値なものとして扱われ始めている．

確かに，ファジィ集合はあいまいさを純理論的に捉えて現象や事態の説明には非常に適している．それは，ファジィ集合のメンバシップ関数が実軸上（に限定しておく.）の連続な1価関数として与えられ，したがってメンバシップ関数の取り得る値が0と1の間（拡張された実数系を定義域とすれば，必ず両端を含む．ファジィ集合同士の集合演算の結果として得られる集合(例えば共通部分）などに関しては値1を取り得ない場合があり得るが，メンバシップ関数はその性質上値1を取るべきものである.）の値を取り，0から1まで連続的に変化するからである．さらにまた，一般的には(すなわち，上記の集合演算を施すような場合を除けば）連続微分可能な関数であるといってよい．これも，その性質上，突然の傾向の変化というのは考えにくいからである．以上のように，例えばファジィ集合Aのメンバシップ関数f_Aを考えると，$f_A \in C^k$($k \geqq 1$, C^kはk回連続微分可能な関数の集合である.）で［0，1］の上への1―1対応である：

$$f_A : R^* \to [0, 1] \tag{1}$$

ここにR^*は拡張実数集合である．このように定義されるメンバシップ関数は非常に良い実軸上の評価関数(正規化してある.)であるといえる．ただし，上でも触れたように，上のようなf_Aの集合は集合演算について閉じていない．(微分可能性が保たれない可能性と値1を取らなくなる可能性とによる.）これは一つの難点であるといえる．またついでに難点をもう一つ挙げれば，理論的に整理するのには以上のように具合良く出来ているが，具体的な運用上は問題がある．また，ファジィ集合論の創成期には，よく確率論とどこが違うのかといった議論も行なわれた．この点については菅野による解釈[4]があるが，上記の，メンバシップ関数の定義から確率密度関数とメンバシップ関数との相違点を与えることも可能である．
すなわち，$f_A(x)$, $x \in R$, を確率密度関数と考えた場合，

$$\int_R f_A(x)\,dx = 1 \tag{2}$$

が常に成立し，上式が確率密度関数に対する一つの規定を与えるが，これに対してメンバシップ関数としての$f_A(x)$は，上述のように，

$$\sup_{x \in R} f_A(x) = 1 \tag{3}$$

で規定される．要するに，面積的な規定と値自体に対する規定との違いであるといえる．

ただ，あいまいさには必ず確率的な側面が伴う．例えば，ダイアル式の調整器を考えよう．このとき，調整にはある程度の許容範囲（しかも，絶対にこの範囲でないと具合が悪いというような明確な範囲が存在しない場合を想像する方が好都合である.）が存在し，このため厳密な値の設定を要しないものとしよう．したがって，この場合，例として，つまみを“2付近”の値に設定すればよいということになる．“2付近”を$f_A(\theta)$で表現する．ただし，θは値0の位置からのつまみの回転角である．いま，この操作を実際に行う状況を想定してみよう．つまみを少しずつ右に回していき，“2付近”の値になったと判断されたとき，つまみの回転は止められる．したがって，設定値はその止まった位置の値となる．視覚やつまみを回す手の感覚などを情報源としたフィードバックの存在を無視すれば，この操作によって設定される値は全く確率的であるといえる．
つまみから手を離す位置の，値2からのズレの程度(多数回この操作を繰返したときのズレの分布を考えれば良い.)はその調整に必要とされる微妙さの程度によって変ることになる．いま，つまみを回すことによって設定された値を$\theta = 2 + \alpha$とおき，θの分布を，2を期待値に持つ正規分布と仮定する．θの確率密度関数を$g(\theta)$とおく．ここで注意すべきことは，必ずしも$g(\theta)$を正規分布と仮定することが妥当とはいえないことである．
もし，許容範囲が厳密に$[\theta^1, \theta^2]$, $\theta^1 < 2$, $\theta^2 > 2$として与えられている場合であれば，そしてさらに上のようにフィードバックがないものとすれば，むしろ$g(\theta)$として一様分布などが仮定されなければならない，なぜなら，区間$[\theta^1, \theta^2]$をはみ出すことは許されないからである．とにかく，ここでは，$g(\alpha)$は正規性の確率密度関数であると仮定する．すなわち，$g(\theta)$は

$$g(\theta)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{(\theta-2)^2}{2\sigma^2}} \tag{4}$$

で与えられ，σは値2からのズレαの標準偏差である．次に，ファジィ集合Aを“2付近”を意味するものとしよう．指数関数

$$e^{-\alpha^2}=e^{-(\theta-2)^2} \tag{5}$$

を基本とする関数$g(\theta)$の形はメンバシップ関数としても採用できる．例えば，

$$f_A(\theta)=e^{-\frac{(\theta-2)^2}{2\sigma^2}} \tag{6}$$

とおいてみる．f_Aは，R^*を定義域とすれば，$[0,1]$の上への1—1対応であり，連続微分可能であるから，上で規定したメンバシップ関数の具備すべき性質を満している．$f_A(\theta)$と$g(\theta)$の関係について考えてみると，

$$\sigma=\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \tag{7}$$

のとき，そしてこのときに限って

$$f_A(\theta)=g(\theta) \tag{8}$$

が成立する．したがって，この場合ファジィ性は一見確率と同値なもののようにみえてしまうことになる．

しかし，一般には$\sigma\fallingdotseq\frac{1}{\sqrt{2\pi}}$であるから，$f_A(\theta)$と$g(\theta)$が同じ$\sigma$の値を共有する限り，

$$f_A(\theta)\fallingdotseq g(\theta) \tag{9}$$

である．式(7)を式(6)に適用すると，

$$f_A(\theta)=e^{-\pi(\theta-2)^2} \tag{10}$$

となる．$g(\theta)$のσが

$$\sigma<\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \tag{11}$$

を満たす場合，与えられた$f_A(\theta)$の標準偏差より$g(\theta)$のそれの方が小さく，$g(2)>f_A(2)=1$が成立し，したがって，$g(\theta)$の方がより急峻な分布となる．逆に

$$\sigma>\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \tag{12}$$

のとき，

$$|\alpha|>\left[\log\left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\right)\frac{2\sigma^2}{1-2\pi\sigma^2}\right]^{1/2} \tag{13}$$

成立するθの範囲においては

$$g(\theta)>f_A(\theta) \tag{14}$$

となる．この場合，$f_A(\theta)$は調節に用いる値θの良否の評価規範であり，$g(\theta)$はその評価に照らして採られる行動であるから，式(14)の成立は評価に矛盾した行動を採っていることになるので，式(11)の成立が$g(\theta)$と$f_A(\theta)$との関係において妥当な条件である．一般に式(11)が成立するから，$g(\theta)\fallingdotseq f_A(\theta)$と考える方が良さそうである．そして，式(13)において，不等号の代りに等号を用いることによって得られるα_0より小さなズレの範囲，すなわち

$$g(\theta)>f_A(\theta),\ 2-\alpha_0<\theta<2+\alpha_0 \tag{15}$$

が成立するように，調整（フィードバックを含めて）が行なわれるのが通常である．以上のように，あいまいさは常に確率を伴うが，それらの意味するところは異なっている．

さらに続けて，同じ上のダイアル調整の例を用いながら，あいまいさの持つ異なる側面について考えてみる．上に，調整の際の状況を述べたが，このとき“2付近”という調整上の目標を用いた．2という整数は“2付近”という例題で用いる表現上の簡潔さだけのためのものではない．整数とは限らないが，整数のような，何らかの意味で切りのよい数字はあいまいさにおいて特別な意味を持っているといえる．それは次のような理由による：

1）記憶，再生しやすい．
2）演算を行う上で便利．——係数として用いたり，推論などの目的でいくつかの数字を組合わせて使ったりする場合に具合がよい．加減算について“切りのよい数字”同士は閉じている．乗除算においても結果を求めやすいし，またその結果も同じ形の数字にしておくことで，次の機会に1），2）の同じ手続きを踏むことができる．
3）あいまいさに本質的な性質である．——一般に人は，例えば“0.932付近”における0.932などのような精確な数字をそのまま1）や2）において用いようとはしない．要するに，この例の場合“0.932付近”というぼやけた値の範囲として処理するのであるから，0.932などという比較的精確な数字を用いることがあまり意味を持つものではないことを知っている．この場合，例えば0.932の代りに0.9あるいは1でも十分であるといえる．

ただし，3）について注意しなければならないことがある．式(6)（あるいは式(4)と考えてもよい．）におけるパラメータσの大きさ如何によっては，上の記述は正しくない．値0.932に対して，σがどのような値の範囲のときそういえるか明確な基準は存在しないが，例えば$\sigma=3\times10^{-4}$などの場合，$0.932\pm3\sigma$の範囲は0.9311～0.9329となる．したがってこのような場合，もはや0.932として1桁省略をしただけでも用を成さないことになり，0.932が最も簡略化された値といえる．その場合，0.932を整数932に置換え，小数

点の位置を併せて記憶する（何らかの形で小数点の位置がわかるように配慮する）ことで処理したり，また対象とする調整器のしくみによっては末尾の数2だけを調整の目標とすれば事足りる場合もあり，さらに簡略化する方針はいくらでもありそうである．ただ，桁数が多い場合，数値の精度（測定上あるいは設定上）の問題も大きな因子となる．

上に述べたことは，実はあいまいさと確率とは異なることの大きな原因の一つである．すなわち，確率をあいまいさの代りに用いるなら，確率分布は実際に生起する値の分布であっていわば“生の値”である．これに対して，上述のことを適用すれば，あいまいさとして処理される値は“生の値”から多少ズレた“分布”を与えていることになる．

次に，これはあいまいさと確率の相違点に関することではなく，むしろ双方に共通している点であるといえることだが，以下の点も重要である．ファジィ集合や確率分布は純理論的にはよく整理された結論を与えてくれるが，実用面では具合が悪い．あいまいさの代替案としての確率分布は常に非定常でなければならない．この事実は実際面において統計の適用を不可能なものとし，したがって我々は確率分布の推定を行うことはできない．非定常性を仮定しなければならない理由は，あいまいさは常に経験による変化を伴うことである．これは例えば，熟練という観点から考えれば経験の蓄積とともに式(4)において$\sigma \to 0$を意味する．フィジィ集合も同様に非定常性を仮定する必要があり，したがって確率同様不都合である．このため，筆者は実用上のことを重視したあいまいさの解釈を与えている[5]．

3．おわりに

以上，人間の特性としてのあいまいさの意味について考察した．人間―機械系のための知的なインタフェイスを構築するためには，あいまいさの種々の因子をどのような形で組入れていくのがよいかといった問題についてもさらに検討が加えられなければならない．人間の知覚は外界からの刺激に対して脳内での“加工”を施したものであるだけに，心理的な要素も非常に大きい．例えば，高速道路出口ランプウェイにおいて減速の際，運転者によって知覚される速度と実速度との間に隔りがあると報告されている[6]．人間の知覚は急激な変化に追従しにくいことがわかる．このような動的な（過渡的な）ものを含む場合や，本稿において述べた，より静的な場合など，場合に応じた対応が必要であり，一層複雑である．他に発見的な要素も加わってくるため，モデル化に際しては多くの課題を含んでいる．

参 考 文 献

1）酒井義郎：山口大学研究報告，**38**（1987）
2）L. A. Zadeh：Information and Control, **8**, 338（1965）
3）E. H. Mamdani：IEEE Trans on Computers, C-**26**, 1182（1977）
4）菅野道夫：計測自動制御学会論文集，**8**, 94（1972）
5）酒井義郎：NAFIPS, Atlanta, October（1985），あるいは A Mathematical Approach to Modeling Subjective Judgement, to appear.
6）F. Schmidt and J. Tiffin：Journal of Applied Psychology, **53**, 536（1969）

（昭和62年4月15日受理）