人間—機械系における人間の問題について

酒井義郎*

Some Human Aspects in Man-Machine Systems

Yoshiro Sakai

Abstract

A man-machine interface plays an important role in the whole of a man-machine system. Vagueness is one of the major problems in developing it, and involves various factors mainly caused by the human side—individual difference, skill, psychological effects, etc. Clues to some of these questions will be discussed, employing the results of experiments arranged under the hypotheses proposed by the author.

1．はじめに

従来，自動化の問題は，そのシステムを操作する作業者の問題は無視されたまま，取敢えず機械を自動的に作動させることを目的としたものとされてきた．現在でもそうした状況がまだまだ続いていることは事実だが，製品の多様化，あるいはまた労働管理面での問題なども含めてさまざまな面から自動化の質的向上が図られつつある．そうした中で，たとえ無人化を目指した自動化であっても真の無人化が無理であることや，より一般には人間の存在を前提とした自動化が想定されることなどから，上記質的向上の中心的存在であるべき人間の価値を十分に引出す意味で，人間の問題が徐々に重視されはじめている．

前報において[1]，あいまいさの意味するところや，その原因，また確率との相違などについて述べた．本報では，人間—機械インタフェイスにおいて，あいまいさを伴う人間の言動の特性をどう捉えるべきかという点について，人間の特性についての筆者の仮説[2]および多少のデータに基ずいて検討する．

*生産機械工学科

2．感覚の適用における問題について

Fig. 1は，具体的な長さの評価において“小”，“中”，“大”の感覚の適用がどのように行なわれるかについての，3名の被験者における結果を示したものである．データ採取の方法は以下のようである．パーソナルコンピュータのディスプレイ上に，ドット数にして100の長さの線分を水平に描き，コンピュータがその線分上の一点を指示する．指示される点の位置は乱数によって与えられる．一人の被験者に対して，これを500回繰り返す．線分左端から“小”，“中”，“大”の順で，それぞれの区分を適用することと約束する．被験者は，一点が指示されるたびにその点が“小”，“中”，“大”の区分のいずれに属すると判断するかについて回答するよう要求される．その点が左端から何個目の位置かといった数値的な情報は，被験者には一切与えられず，一定の長さの線分上で指示された点がどの位置にあるかという，純粋に視覚的な情報のみが判断の基準となる．この結果の整理に当って，ファジィ集合のメンバシップ関数の概念が適用されている．すなわち，5点を1分割として，“小”，“中”，“大”の度数分布を取り，各分割における総度数に占める“小”，“中”，“大”の各区分への判定の度数の比率を求めてある．したがって，評価の最大値は1となり，この状態は常に安定して同一の区分として判定されたことを示しており，相隣り

合う区分への判定が入り混じる領域では各区分への評価値の和は常に1となる．また，各被験者には数日の間をおいて2度目の試行を依頼した．混乱を防ぐため，Fig. 1には初回の試行結果について示し，区分“中”についてのみ，点線を用いて第2回の結果を併せて示した．“中”におけるこれら2回分の結果を比較すれば(同一被験者毎に)，数日間においては評価が基本的には変化しておらず，したがって判定はそのときの気分で変わるようなものではなく，非常に安定しており，十分正確なものといえる．相隣り合う2つの区分の境界の領域においても，それぞれの区分への判定の比率もほとんど変化しておらず，このことから，境界領域ではどちらの区分とも判定し得るという意味では判定にあいまいさがあるが，境界領域の範囲はほとんど一定していて，さらにそれに加えて隣の区分への移行も安定して行なわれていることがわかる．次に，3人の被験者について比較すれば，上述の各個人における時間的安定性と違い，大きな差がある．Fig. 1aとFig. 1bとは，縦軸の値が0.5となる位置，すなわち各区分の評価曲線（メンバシップ関数）の交点の位置がかなり近いことから比較的似ているように思われるが，境界領域の幅の広さにおいて大きく異なっている．一般にFig. 1bにおいて幅が広く，特に“中”と“大”の境界領域の広さは顕著である．“小”，“中”，“大”として長さを評価することは誰にとっても同一の操作であるが，その評価に適用される具体的な手法（評価規範）自体は各個人によって異なる．

例えば，

1) 普通の大きさ（“中”）という感覚が存在して，“大”あるいは“小”は普通とは違う範囲
2) “大”あるいは“小”が主たる区分で，“中”は単にそれらの境目といった傾向が強い．
3) “小”という区分は基準とする位置（この場合左端）に近い（日常的な意味での近傍を意味する）ことを示すもので，その領域を十分離れた部分は遠い（“大”）と判断する．

というように，種々の把握の仕方が考えられる．Fig. 1a, Fig. 1b, Fig. 1cはそれぞれ基本的に1)，2)，3)に対応しているように思われるが，それらの組合わせとして種々の変形が考えられる．

表現上は同じものでありながら，数値的な評価の上では感覚には大きな個人差の存在することが以上のことからわかるが，対話においてはこのことは大きな障害となる．例えば何かの量の調整について考えよう．2つの量を量aおよび量bとし，これら2つの量の間の対応関係はある点a_0のある近傍Aを含む領域で定義

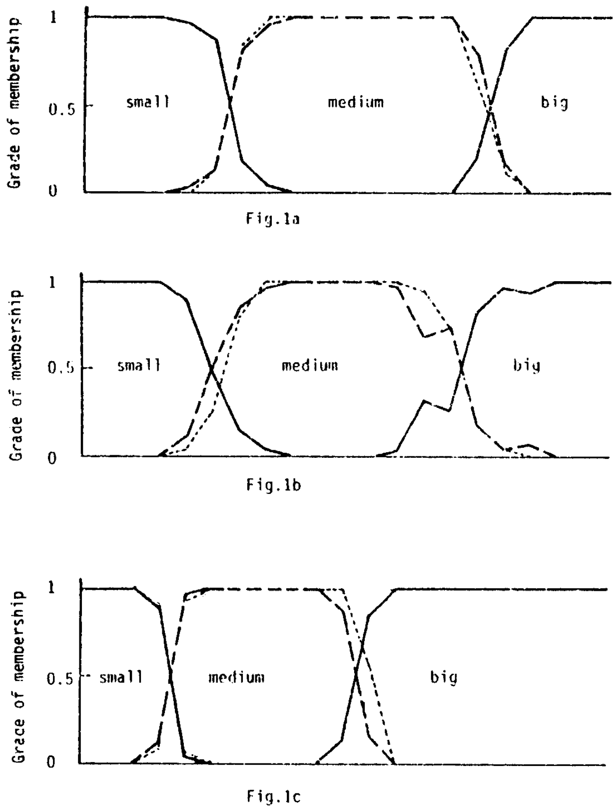

Fig. 1　Individual difference in applying feelings of “small,” “medium,” and “big”

されていて，Aの上では1対1対応であるとする．この対応関係をfと書き，fのAへの限定$f|A$を簡単にfと書くことにする．すなわち，

$$f: A \rightarrow B, \tag{1}$$

とする．量a，bをともに実数とし，関数fはAで連続微分可能と仮定すると，

$$b-b_0=\left.\frac{df(a)}{da}\right|_{a=a_0}(a-a_0),\quad b_0=f(a_0), \tag{2}$$

で近似できるが，領域Aではこの近似が成立しているものとする．さらに簡単のため，

$$k_0=\left.\frac{df(a)}{da}\right|_{a=a_0}$$

と書き，式(2)を

$$b-b_0=k_0(a-a_0), \tag{3}$$

と書くことにする．

ここで，量aが実数であるという仮定を外して考えよう．量bについては実数という仮定を残しておく．したがって領域Bはすべての実数の集合Rの部分集合であるが，連結である必要はなく，ただ，Bの要素はすべて異なる値，すなわち，任意のb_1，$b_2 \in B$について常に，$b_1 \neq b_2$が成立しているものとする．関数fは1対

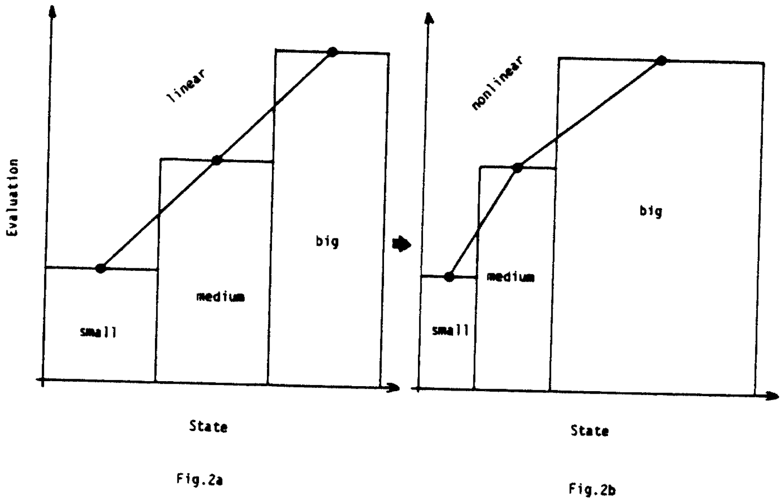

Fig. 2 Nonlinearity caused by individual difference

1であるから，$b_1<b_2$であれば，$a_1=f^{-1}(b_1)$，$a_2=f^{-1}(b_2)$と書くことができ，逆関数f^{-1}によって，$a_1<a_2$とすることによって，Aに全順序を導入することができる．このとき，“小”，“中”，“大”という概念はそれぞれaについての（必要に応じてあいまいさを含んだ）同値関係として捉えられる．さらに，$a_1<a_2<a_3$なる要素a_1, a_2, a_3についてそれぞれ異なる同値類$[a_1]$, $[a_2]$, $[a_3]$を形成するとすれば，$[a_1]<[a_2]<[a_3]$なる順序を考えることができ，連結部分集合$A'\subset A$のすべての要素がいずれかの同値類に属するなら，$[a_1]$, $[a_2]$, $[a_3]$はA'の分割になっている．集合Aへのこのような順序の導入法は必然的に量a対量bの正比例関係（$a_1<a_2$に対して$f(a_1)<f(a_2)$）を与えることになり，これは2つの量の極く自然な関連付けの仕方であるといえる．正比例関係のうちで最も単純なものは直線関係（1次比例関係）であり，特別な関数形が自然に想定できる場合あるいは理論的に関数関係が知れている場合でない限り，1次比例関係が想定されるものと考えてよい．そのような状況下では，A'内外の1点（あるいはより一般的には1点でなく部分集合（1区分または同値類）と考えてよい）を基準として，式(3)が適用されることになる．基準とする点a_0がA'の要素であれば，a_0は$[a_1]$, $[a_2]$, $[a_3]$のいずれかの同値類区分に属する点であることはいうまでもない．この場合の式(3)の解釈としては，各同値類の代表値a_1, a_2, a_3についてのみ適用されるとする考え方，

すなわち，

$$b=k_0a+c,\quad c=b_0-k_0a_0 \tag{4}$$

の形を満すように，代表値a_1, a_2, a_3に対応して数値b_1, b_2, b_3が決定されるものとする考え方と，

$$y=k_0x,\quad x=a-a_0,\quad y=b-b_0, \tag{5}$$

により，$(a_0,\ b_0)$を基準点（原点）とする座標系の存在をより明確に認識して，増分的な扱いをする考え方とが考えられる．式(4)は前述の区分の評価法としての1)に対応するものであるし，式(5)は評価法3)に対応するものといえる．評価法2)については式(4)が適用されると考えてよい．

Fig. 2は，上述のような経験的に把握された，対応関係に対する認識を対話の上で伝達する際に生じ得るくい違いを模式的に示したものである．伝える側は線形性を仮定していても（Fig. 2a），受け取る側で与えられた数値b_1, b_2, b_3について吟味しなければ，受け取る側の区分の適用によっては実質的に非線形性が生じてしまう（Fig. 2b）．また，Fig. 2は同時に，同一の人間が適用する評価法ないし尺度を意識的に，また適応的に変更することで非線形性の存在にも対応できることを示している．

Fig. 3は，やはり直感的な判断によってコンピュータに数値を入力する試行における結果を示したものである．Fig. 1の試行と同様，線分上（500ドット）で，乱数によって特定の位置（10ドット分の大きさ）が指示される．Fig. 1の場合と異なる点は，被験者に要求されることが，線分上の位置を直接指定するのでなく，線分上の位置を値域とする関数関係（$y=r\tan x$）の把握であることである．図中，実線で示した曲線がそれである．指示された線分上の位置に入力（の総和）が正しく設定されるまで，xの修正を繰り返し，次の位置に移る．修正の結果最終的にいくらの値になったかは知らされず，被験者本人が記憶するしかない．現実問題としては，正確に初期入力値に対して加減算(修

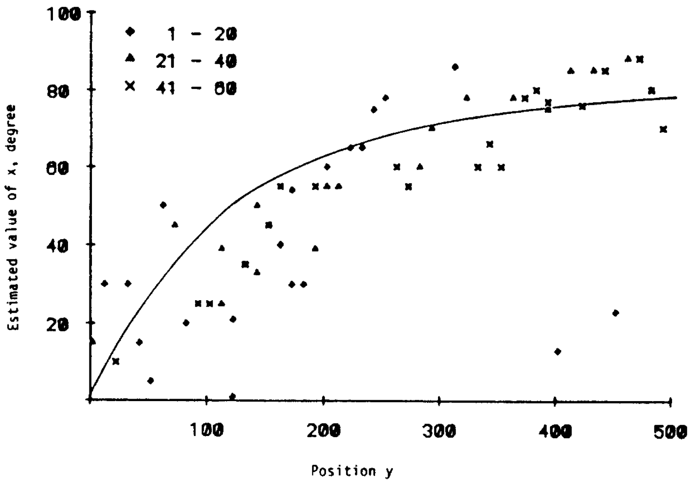

Fig.3a

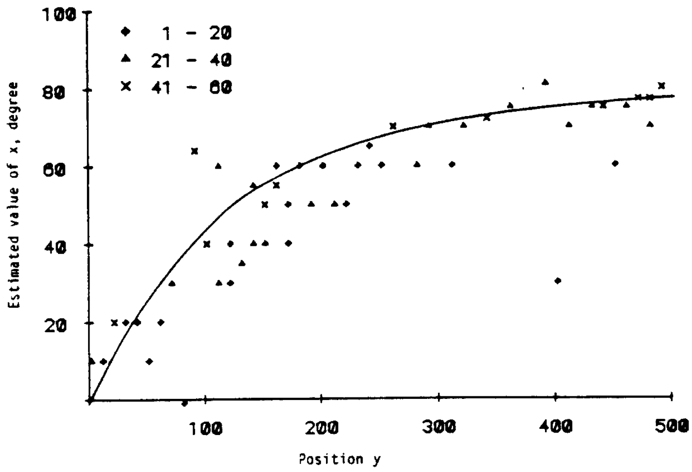

Fig.3b

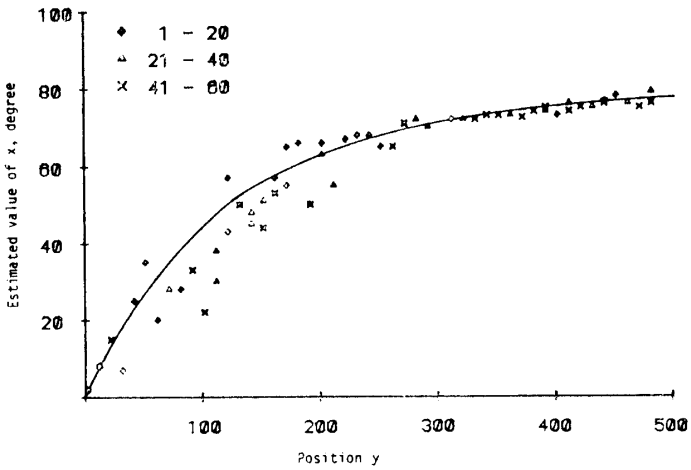

Fig.3c

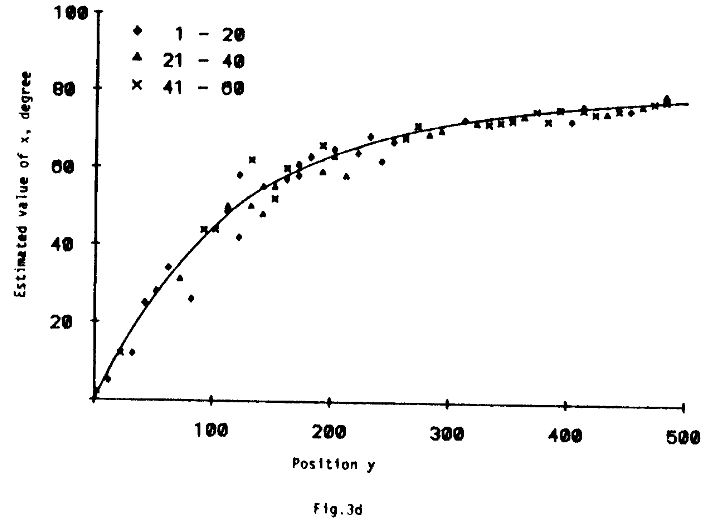

Fig. 3 Intuitive understanding of the correspondence $y=r\tan x$

正）を施した結果を記憶する時間的余裕はない．したがって，試行は非常に直感的である．Figs. 3a, 3b, 3c, 3dの４図は60回の試行毎に１図として整理したもので，図の順番は試行の順に一致している．したがって，Fig. 3aに◇印で記された点が被験者にとって初めの方の試行結果であり，Fig. 3dの×印で記された点が終了直前のデータである．縦軸の値は初期入力値であり，与えられたｙに対して，直感的に(視覚に頼って）入力した値で修正は施されていない．したがって，縦軸の値は，被験者が，経験とともに，与えられた位置ｙに対してどのような指定値ｘを用いるようになるかという点についての推移を示していることになる．当然，経験とともに正確になっていくが，注目すべき点が２つある．１つは，特にFig. 3aの◇印において顕著なように，最初は明確に直線性を仮定している点であり，もう１点は，Fig. 3dの×印において顕著なように，０付近および500付近の両端において正確で中央が不正確となっており，それらの点の並び方はやはり区分的に（両端にそれぞれ始点を置く形で）直線性が保たれていることが想像できる点である．また，途中経過としてのFigs. 3b, 3cにおいては，直線関係を全体について適用していたFig. 3aの状態から，区分的な直線関係へと移行し，Fig. 3bにおいては中心とすべき点が明確に定まらないまま，折線的把握が始まっており，Fig. 3cで次第に収拾していく様子がみえる．この点は重要な点であり，ｙに対するｘの値が明確に定まらないまま，おおまかな傾きの把握をもとにして推定しながら経験の蓄積が行なわれていくことを示すものである．図中の曲線の形から明らかなように，傾きは厳密には位置毎に異なるのであり，直線近似に用いられる傾きは該当領域における平均的な傾きである．ただし，これについても厳密な意味での平均操作が適用されるのではなく，経験上得られた，ある種のあいまいさを含んだものであり，その手続きの概略は以下のようであると考えられる．ある領域Aにおける平均の傾きをt_Aとし，対象とする関数形を$y=f(x)$とすると，

$$\int_A t_A dx = \int_A \frac{df(x)}{dx} dx, \tag{6}$$

が成立する．今，領域Aを具体的に区間（x_1, x_2）と考えると，t_Aは

$$t_A = \frac{1}{x_2 - x_1} \int_A \frac{df(x)}{dx} dx \tag{7}$$

$$= \int_A \frac{df(x)}{dx} \cdot \frac{1}{x_2 - x_1} dx,$$

と書けるから，より一般に，$p(x)$を重み関数として，

$$t_A = \int_A \frac{df(x)}{dx} p(x) dx,$$

あるいは，

$$t_A = \int_A \frac{df(x)}{dx} dP(x),$$

と書くことができる．ただし，

$$dP(x) = p(x) dx.$$

このときの$p(x)$は前報における確率密度関数に対応すると考えてよい．

３．おわりに

以上述べたことから，人間の感覚適用の基本として，

1) 対応関係の把握は直線的である．

2) 尺度の変更により，非線形性への対応が可能であり，言語的表現によって，対応関係の伝達を行う際の問題点でもあるといえ，インタフェイスでの修正，確認が必要である．

3) 一般的な非線形性への対応は，より細かく局所化を進めることによって対処が行なわれる．

などの点の成立が裏付けられた．これらの他，対話においてはカタストロフィックな変化が関与することがあり[2]，人間と機械とのインタフェイスが考慮しなければならない面は多岐に亘る．

なお，本報告データの採取に意欲的に協力された当時4年生石川博幸，藤井俊夫両氏に謝意を表します。

参 考 文 献

1) 酒井：山口大学工学部研究報告，38（1987）

2) Y. Sakai： Proceedings of SICE'87, Vol. II, 1269（1987）

（昭和62年10月15日受理）