

物理量と心理量

原 宣一

1. はじめに

世の中には物理量と心理量の二種類があることに気が付いた。二分してみると判りやすいということである。物理量を測ることは科学技術の発展に密接に関わってきた。心理量は物質の属性値ではなく人間の心が受け止める量である。このような心理量は測れるものであろうか。

進歩の目覚ましいロボットはもうすぐ「意志」を持ち、アンドロイド（人造人間）と呼ばれるようになる。正しい「意志」を待たせるために、心理量を決める適正な方法をロボットに教える必要がある。

2. 物理量の復習

物理量とは物質や状態に付随した量である。長さ、質量、時間など自然界の現象を記述するために必要な量である。これらの量はその多寡を示すために単位数が決められている。

物理学は単位学と言いたいぐらい単位と密接な関係にある。私の学生時代では、高校の物理は c g s 単位系、大学は MKSA 単位系であった。社会に出てからはずっと工学単位を使わねばならなかった。小学生、中学生のときは理科であり、単位は気にせずただ楽しい科目であった。

しかし、現在日本は物理量の単位は MKSA 単位系に由来する国際単位(S I)系を使うことが新計量法で決まっている。

S I 単位にはどのようなものがあるかを見れば、物理量とはどのようなものがより鮮明になる。

2. 1 S I 単位

S I 単位には「基本単位」として七種選ばれている。これらは長さ [m] 質量 [kg] 時間 [s] 電流 [A] 絶対温度 [K] 光度 [cd] (カンデラ) 分子量 [mol] (モル) である。

「組立単位」は体積 [m^3] や密度 [kg/m^3] などのように、基本単位を組み合わせて作ることが出来る単位である。中には力の [N] や圧力の [Pa] のように専用の単位を持っている組立単位もある。角度は「補助単位」である。

この他に、情報量の bit や byte などのように S I 単位のカテゴリに入っていない単位もある。但し、情報量は後述のように単純に物理量の範疇に組み入れることは出来ないであろう。

2.2 重量と質量

話は逸れるが、日本もS I単位系を使うことになって最終猶予期限から既に二年以上が経つのに、未だに「重量」と「質量」の区別が付いていない書類を見かける。宇宙分野こそ率先して切り替えるべきである。

「重量」は物体が地球表面における地球の引力で引かれる力であり単位はN（ニュートン）である。一方、[kg]や[ton]は質量（mass）の単位である。「重量 5 kg 以下」というような規定は間違いで「質量 5 kg 以下」としなければならない。物質の量を力で規定することは条件を明記すれば出来なくはないが適切でない。

ロケットエンジンや推進薬の種類も含めた推進系の性能を表すパラメータとして比推力が用いられてきた。比推力の単位はS I単位で表しても従来通り、秒[s]のままである。これは比推力が重量流率で定義されているからである。

月や火星へのミッションが増えれば、より本質的な不自然でない質量流率で比推力を定義しなすことになるかもしれない。そのとき、比推力の単位は組み合わせ単位で[N・s / kg]となる。数値も約 10 倍大きなものとなる。

2.3 定量的解析と科学の進歩

物理量は概して加算が出来ることが特徴でこのため定量的解析が可能である。また、殆どの物理量は測定器の測定精度が許すだけ精度良く測定できる。

揚力係数や抗力係数は無次元数であるが、翼型の良さを表す特性値である。これらの量は加算が出来る訳ではないが物理量に分類して差し支えない。

科学の発展とはこれら物理量の正しい把握と新たな創造であったと言って過言でないだろう。

3. 心理量

心理量とここで呼ぶものは私の造語であり辞書にはない。この範疇には「量」の一種として認知されることすらおぼつかないものもある。

心理量は物質の属性値ではなく人間の心が受け止める量である。心理量は人間の意志決定に直接結びつくので重要な量である。心理量は精度良く決めることは難しいが、概して精度は必要としない。

物理量は客観的に決められる量であるが、一般的に心理量は主観的にしか決められないと考えられている。しかし、そうであるとしても、かなりの程度客観的に決められるものである。

3.1 スコアで測る心理量

心理量の例はまず人間の五感（視覚、聴覚、味覚、嗅覚、触覚）に基づいたものが考えられる。

ある材料は空気中に臭いを放散する。新車の内装の臭いさえ嫌う人もいる。

このため有人宇宙プログラムでは使用する材料に臭気試験を課すことになっている。安全性実証試験テスト6と呼ばれ、試験法が定まっている。

材料から空気中に放散したガス（これをオフガスという）を集めてサンプルガスとし、パネラと呼ばれる五人以上の試験者が臭いをかいで評価する。評価は各パネラが0～4のスコア（評点）をつけ、その平均が基準値、2.5以下なら合格とする。ここで、無臭はスコア0である。

パネラの健康状態までチェックしているが、この評点は5段階であっても、かなりばらつくことが稀でない。

サンプルガスの微量の成分が臭気の原因であるが、臭気は人間の感覚に基づいており単位もない。しかし、材料の可否を決める必要があるのでパネラのスコアで決めるという手法が取られている。

将来、悪臭の原因になる成分元素が確定し、高感度のセンサが出来れば、臭気も心理量から物理量に組替えできる可能性はある。こうなれば臭気の単位も濃度と同じで良く、材料仕様書も濃度で規定できるであろう。

物理量であっても、測定すべき項目が判らない場合や測定器が存在しない場合には心理量としてのスコアを付ける手段が取られている。つまり物理量であっても技術が未成熟のため、心理量で測る（又は、表現する）という方法が採られている。

スキージャンプ競技における飛型点やフィギュアスケートの得点も心理量をスコアで表示するものである。どういう形がハイスコアなのか何となく判るが正確に言葉で表すのは難しい。

野球の投手が投げる球がストライクかボールの判定は、機械にまかせられる日も近いと思われるが、審判員の目視によっている。この判定が心理的に左右されることは審判員自身が認めるところである。

極めて物理量に遠い位置にある心理量はテレビタレントに対する好感度である。これほど人間の主観に頼ったあいまいな量はない。

落語や漫才の面白さもそうである。

このように考えてみれば喜怒哀楽はすべて心理量である。

心の受け止め方は喜ぶか喜ばないかの二者択一でなく、それぞれに程度がある連続的な量であることは異論がないだろう。

音楽も美術もすべての芸術上の産物を評価するのは心理量である。但し、芸術家は量として認知しないどころか、心理量で表そうとすることさえ軽蔑の対象とするに違いない。それでも芸術家は感動の大きさを問題にしていることは

確かである。

どのような心理量であっても比べるためにはこれらが量であると考えざるを得ないのである。その最も容易な方法はスコアをつけることである。カラオケマシンですらスコアを表示するようになって久しい。

現在のカラオケマシンが人間の感ずる上手下手に合っているかどうか判らないが、改良すれば近づけることはできるであろう。

カラオケは音楽であっても芸術にあらずとの声も聞こえてくるが。

3.2 定量化に成功した心理量

人類が定量化にほぼ成功した心理量がある。それは価値である。

物々交換の時代を経て貨幣を介在させることにより取引が容易になった。お金の単位を決めたことで、物の価値に値段を付けることが可能になった。

本来、物の価値は個々の人により異なり、またそうであるからこそ取引が成立するのである。

生命の維持に必要な主食の米を生産する農家にしても、その農家で食べきれない量の米、つまり余剰分の米はその農家にとっての価値は低い、漁民にとっては自分で食べられる量までは価値が高い。そこで両者で取引が成立する。米にしても魚にしても値段を決めることで、取引時点でお金を動かさない、掛け売りまでもが可能になった。

農産物や市場の魚の値段が相場で決められることを見てもわかるように、物の価値は流動的である。これは価値が心理量であるからである。

それにも関わらず値段を決めることができるのは、共有する価値観というものがあると見なしているからである。

時に個人の価値判断より実際の物価の変動は激しいものがある。年末大売り出しで半額の赤札を見ると主婦が殺到するのは、主婦のもつ価値判断が半分まで落ちていないからである。

我々は1円単位でぴったり計算が合わない気が済まない。几帳面であるからというより、生まれてこのかた習い性になった小市民的性格かもしれない。価値は心理量であり有効数字で何桁も必要な精度ということは、本来あり得ない。

大物と言われる人は大抵おおざっぱなことを言う。価値についても頭の一桁しか記憶しないことが、却って大きな判断ミスをして来なかったということであろう。末尾の二桁三桁にこだわって頭の一桁を間違える愚はしてはならない。

定量化にほぼ成功した心理量の価値であるが、まだまだ価値を数値で表すことに抵抗がある場面も多い。英語で「貴重な」という単語は *invaluable* であり、直訳すれば「価値づけることが出来ない」ということで、このような単語があ

ること自体がその証左である。この単語の語源は単に逆説的表現であったかもしれないが、価値づけることが出来ないものがある、或いは、倫理的に価値づけてはならないものがあるとの思想も根強く残っている。何かと言えば、人間の命である。

価値には単位を付けて測ることができ、また数学の足し算法則である加法が成立するとの認識がある。国の予算総額が14桁もの数値になるのは加法が成立することに誰も疑いを持たないから、積算してこのような大きな桁数の数字になるのである。

3.3 定量化が必要な心理量

人間の活動には大なり小なり必ずリスクがつきまとう。昔の人は「犬も歩けば棒にあたる」と教えている。

大きなリスクは避け、出来るだけリスクを小さくすることを半ば本能的に行っている。但し、その活動の見返りが大きければリスクが大きくても挑戦することになる。これは「虎穴に入らずんば虎児を得ず」との教えである。

さて、リスクは大きいとか小さい（英語では高い低い）とか言う以上、リスクは一次元量でなければならない。

奇妙なことに、中学生の数学で二次元以上の多次元量は比較出来ないということを誰もが習った筈であるのに、リスクについてはこのことが無視されている。

この理由として考えられることは、リスクの定義が二次元量として定義されているものが多いことである。

つまり事故が起きたときの被害の大きさとその事故が起きる確かさを組み合わせたものとなっている。文書によって多少表現が異なるが要約すると、リスクは被害の大きさと確かさの組み合わせ、としている定義が多い。

多いことは必ずしも適切さの根拠とはならない。文書を作成する時には、必ず他の文書を参照するので多くの文書が採用していれば、無理に異なるものにする必要はないと考えるからである。

多くの人が通る道だけが頂上への至る路とは限らない。最適路は別にあるかもしれない。

リスクは被害の大きさと確かさを組み合わせたものでなく両者をかけ合わせたものと定義した方が良いのである。つまり、リスクは被害の期待値である、と定義した文書も少なからず存在する。こちらが最適路である。

OR（オペレーションズ・リサーチ）は最適戦略を数学的に求める学問である。ORはどの問題も必ず何を最適にするかを決める。つまり、評価関数を定義する必要がある。評価関数は入力変数がいくつあろうと出力としての値は一

つ（一次元）でなければならない。評価とは何かと比べる事なのだから。

定量的リスク評価は既に10年以上の歴史を持つ用語である。NASAはスペースシャトル計画やステーション計画でも数年前からこの評価を重視している。しかし、宇宙分野のリスクの定義は未だに二次元量定義のままである。

リスクを加法の成立するリスクとして定義しない限り、定量的リスク評価の用語は頭から矛盾をはらむものである。

3.4 スコアで評価する不完全なリスク評価

それでは、二次元のままのリスクでNASAは安全評価をこれまでどのように行ってきたのであろうか。リスク・マトリックスを作って、懸念事項がどの位置にあるかで判断してきたのである。

まず、何が危険であると考えられるか、懸念事項は何かを認識する。これはハザードを識別するという。次に、その対象が危惧するように事故が起きてしまったとしたらどの程度の被害かを見積もとると共にその事故の発生する確かさを見積もる。この作業が狭い意味のリスク解析（分析）である。

事故が起きたときの被害の大きさは、単位を考えずに、破局的、致命的、軽微、無視しうる、という表現で分類する。つまり1～4のスコアを与えたことになる。

一方、その事故が起きる確かさの程度も、A頻繁に、Bときどき、というような表現で、F起き得ない、まで6段階に分類する。

上記二種類の要素をマトリックスの縦と横に並べると4×6のマトリックスが定義できる。

当該ハザードがこのマトリックスのどこに位置するかを判定することにより、そのリスクが許容できるか否かを決めるものである。

マトリックスは3×4で考える場合もあるし、10×10ぐらいにとる場合もある。このような方式を取らざるを得ないと考える理由は、リスクは二次元量であるという観念が強いからである。

ESAはリスク・マトリックスの縦のスコアと横のスコアを乗じた値をマトリックスの要素とし、この値の大小でリスクを評価している。スコアとスコアをかけ合わせた量がリスクそのものに対応しているわけではない。大小の決め方をこのようにしたという意味しかない。

おなじような評価方法を採用しているものは他分野にもある。信頼性工学で古くから有力な手法として広く採用されている故障モード及び影響解析(FMEA: Failure Mode and Effect Analysis)におけるリスク優先数(RPN: Risk Priority Number)もスコアのかけ算を採用している。

環境影響評価も本質的に評価項目のスコアの演算であり、論理的な意味づけ

が出来ない。ここでもリスク評価というものの大小を比べる対象が正しくリスクに対応していない。単に便宜的な方法にすぎないものである。

ハザードは二次元量であるが、それを評価するために、評価関数として一次元量のリスクを定義する、という認識が必要なことなのである。

3.5 リスクの定義を二次元量のまま放置する理由

リスクの概念が必要な理由は、被害の大きさだけを考えて行動する訳にはいかないからである。もし、そうであれば杞の憂いは「杞憂」として無視せず、まともに空が落ちてくる対策を世界中の人が考えなければならない。

人間の性質として、対策の取りようがないと思うものは考えないことにするということがあるかも知れない。しかし、最近は「アルマゲドン」のように、「杞憂」であったことを主題にした映画も多く作られるようになった。結構、「杞憂」を考えている人もいるのだ。

人間の性質として、リスクでは当該事故の大きさだけが注目される傾向があるように思われる。或いは極めて小さな確率を大きく見てしまう傾向は殆どの人が持っている。

1枚100円の宝くじで、1等100万円が10万枚に3枚あたるA社のくじよりも、一千万枚に一枚しかあたらずとも1等1億円を宣伝するB社のくじを買いたがることに似ている。発売枚数など気にしていない。宝くじは1等の賞金額だけが勝負なのだ。

もう一つの理由は、事故の起きる確かさは数値で表せないとの観念である。これは根強い、また広く行き渡った、誤解である。

3.6 確かさは定量化できる心理量

心理量の内、価値に次いで重要なものが事象の生起に関わる確かさである。確かさの対象とする事象は将来のことだけではない。時間の要素は直接的には関係しない。一般に未来の事でも過去の事でも現時点から離れるほど確かさがなくなるものである。確かさに関係するものは情報だけである。

それでは確かさをどのように表現すれば良いのであろうか。色で表すことが良いかもしれない。「明日は雨が降る」ということが確かだと思えば赤で表し、そうでなければ青で示すというものである。色なら中間の確かさも表せるであろう。

テレビの天気予報では傘マークや太陽マークで表しているがそれだけでは表現不足ということで%の数値をつけている。

確かさを表すのに最も良い方法は確率を使うことである。数学者は加法が成立する確率の基礎を完璧なものにしてくれている。公理に基づく確率の理論体

系は測度論の基礎の上に成り立っている。

それではどのように、心理量である確かさを、数値で表せば良いのか。心理量である物の価値に、どのような値段を付ければよいのか、との状況に似ている。

まず、等確率の原理で確率を決めることである。これはさいころを振ったときに1の目がでる確率を $1/6$ と決める方法である。

次に、数多くの繰り返し実験が観察できる場合は、その統計を取ることである。統計を取って得られた比率をそのまま確率にスライドさせる方法である。1000個の試験して900個ぐらいが合格であれば、任意の1個について成功の確かさは確率0.9と決める方法である。

3番目に、実験できる数が少ない場合は工夫が必要である。もっとも簡単な実験として結果が二者択一だけの場合では、この確率を論理的決める「ラプラスの連続則」という式が等確率の原理と同じ説得性を持って利用出来る。

パラメトリックなデータを求める実験では、その実験の種類毎に工夫が必要である。多くの人が納得する方法を探し、採用することが良いだろう。

3.7 確かさに確率を採用する利点

確かさを表すために確率を採用する利点は、加法が成立することが数学的に保証されているからである。複雑な機器の信頼度を見積もる場合にも確率論の適用が可能になる。

但し、事象の独立性が疑わしい場合にこれを無視すると、結果と実際に乖離感が出てしまうことに注意を払わなければならない。

最大の利点はリスクが定量的に定義出来ることである。被害の度合いは価値の単位の金額で表せる。金額は円やドルという単位を持ち、加法が成立するとして差し支えなかった。確率は無次元量である。従って、両者を乗じたものとして定義されるリスクは、加法が成立し、価値と同じ次元を持つ。このことから心理量であるリスクも定量的リスク評価が可能になるのである。

4 物理量としての確率

「物理量としての確率は無い」と言えば、「何を馬鹿なことを」と思われる方は多いはずである。確率でしか記述出来ないとして量子力学も発展してきた。

ある本には次のように書いてある。

「量子力学では、決定論的に 粒子の位置などの状態量を予言することはできず、その確率のみが予言可能となる。」

しかし、この表現でも粒子の位置を記述出来ないだけで確率がその質量のような物性の特性値であると言っているわけではない。

統計力学などで確率モデルは良く出てくるが、自然現象の物理が確率であると言っているのではない。確率モデルに限らず数学モデルはすべて抽象の世界であり、それがどこまで忠実に自然を説明できるかの問題である。

4.1 故障確率も心理量

どんな機械でも何時かは故障する。アイテム（品目）が所定の期間にわたり満足に機能するか、故障するかは予め人間に判らないだけである。

アイテムの作動に関係する情報を得ると、大丈夫そうだと故障する可能性が高いとか、人間側が心理量を変化させるだけである。実際に作動させればそのアイテムは故障するかしないかのどちらかであり、物理量として故障する確率が0.1とか0.00001というものではない。

同一ロットで10個の衛星分離ボルトを製造し、その中の1個を実際に使う場合を考えてみよう。うまく作動するか心配なので、残りの9個を地上で試験する。全部失敗なく作動すれば、組み込んだ1個も作動するだろうとの安心感が強くなる。選んだ1個は物理的に作動するか否かである。これは選んだ時点で運命は決まっており、地上試験の結果になんら関係しない。試験結果を見て変わるのは人間側の心理量なのである。

4.2 情報量は心理量

シャノンによって定義された情報量は、確率をもとにしている。実世界の現象は生じたか否かのどちらかで、そのことが真であることに対する確信が確率で表現されるものであった。

シャノンの定義では、生起確率の小さい事象が生じたという情報の情報量は大きいものとなっている。

本来、情報量は心理量であるが、コンピュータ工学ではそれをメモリ量に対応させ、殆ど物理量として扱った結果、今日の成功を収めている。

5 おわりに

近年、ロボットの進化が目覚ましい。人間は今後ますますロボットを頼りにすることになるであろう。

天気予報を見ても夕焼けを眺める雲の動きをみることから気象衛星のデータとコンピュータを使った予報に変わった。この情報を携帯電話で聞くことは今でも出来る。ロボットに携帯を内蔵させて気象情報を喋らせれば、望むときにロボットが最新の気象情報を教えてくれる。必要な時には何時でも天気予報を教えてくれるロボットの方が番組時間の決まっているテレビの予報より便利であろう。

火星探査車を運転するロボットには、かなりの「意志」を持たせて作業をまかせなければ、状況変化に対処できない。リスク回避の行動もすべて地球からの指示待ちでは信号の伝達時間が許さない。

ロボット探査であっても地球への報告は喜怒哀楽の感情を含めたものが良いだろう。この頃になっても喜怒哀楽の心理量に対する定量的把握が確立していないかもしれない。それでも、カラオケマシンのようにスコア表示による改善の方法ぐらいは考えるであろう。

このようにどんどんロボットの進化が進めば、一見、人間がロボットに使われているように見えるかもしれない。人間がロボットの答えを聞かないと行動出来ない事態が出現すると悲観的に見るならば、人類は確実に不幸な事態に進んでいる。さらにそのロボットが乱数を発生させて気が向くままに判断するロボットしか作れないならば危うい世界が到来する。

そうではなくて、ロボットはあくまでも人間の産み出した忠実な道具に過ぎない。これが判っているから進んでロボットの言うことに従うようになるのである。ロボットは感動を伝えることすら出来るようになる。このために必要になることが、まず心理量の定量化である。人間にとって最適な判断をするように教えられたロボットはもはやアンドロイド（人造人間）と呼ばれることがふさわしい。アンドロイドとの共存社会は人類の望むところである。

（了）