

教 材 研 究

官能評価について — 適応的方法といわれる精神物理学の測定法 —

市 原 茂*

Shigeru Ichihara

1. はじめに

官能評価 sensory evaluation は、人間が感覚を使って対象を評価すること、あるいは、その学問をいう。官能評価には、評価する試料の選定、評価主体であるパネル（評価者）の選定、評価方法の選定、データの分析法の選定など、様々な要素が含まれており、これらを間違えなくやるためには、かなりの専門的知識が要求される。そして、これらのプロセスのひとつにでも不適切なものがあれば、得られた官能評価データはたちまち信頼できないものになってしまう。

今回は、それらの中から評価手法に焦点を当て、物理刺激に対する人間の感覚の感度や感覚の大きさを測定する手法として、心理学で用いられている精神物理学の測定法について解説する。

精神物理学の測定法には、調整法、極限法、恒常法があるが、これらは、いずれも Fechner が始めた古典的方法である。Fechner の古典的な方法は、多くの研究者により用いられてきたが、それぞれ問題点を抱えている。特に、極限法や恒常法は、測定回数が多くなるという弱点を持つ。測定の精度を維持しつつ、測定回数を減らすということは、だれしもが望むところであるが、この点を改良したものとして、適応的方法といわれる方法がある。適応的方法には様々な手法があるが、いずれも、データの測定回数を減らす工夫がなされた手法である。

2. 刺激閾、弁別閾、主観的等価点

Fechner は、刺激閾 stimulus threshold や弁別閾 difference threshold、あるいは主観的等価点 PSE : point of subjective equality を測定することにより人間の感覚の感度や感覚の大きさが測定できると考え、それらを測定するための方法である、調整法、極限法、恒常法を提案した。これらは、古典的精神物理学の測定法といわれる (Gescheider, 1997)。

刺激閾は、絶対閾 absolute threshold ともいわれるが、これは感覚を生じさせる最小の刺激強度という意味がある。しかし、実際には、ある刺激強度を境に、それを少し

でも越えたら 100% 感覚が生じ、それ以下だったら感覚が全然生じないということはない。実際には、感覚が生じるか生じないかの境目はあいまいで、その境目の周辺では、刺激強度が増すにつれて徐々に感覚が生じる確率が増して行く。その増加関数（精神測定関数）は、累積正規分布曲線（ogive 曲線）になると仮定されている。そして、刺激閾は、累積正規分布の確率が 0.5 のところ、つまり、感覚が生じたと反応する確率が 0.5 になる刺激強度をいう。刺激閾は、感覚が鋭いほど低い値を取るが、刺激閾の逆数を感度 sensitivity といい、こちらは、感覚が鋭いほど高い値を取る。

弁別閾は、標準刺激 S_s と比較刺激 S_c の 2 刺激が提示され、比較刺激 S_c が標準刺激 S_s よりも大きいと感じられる最小の刺激の増分 ΔS_u 、もしくは、小さいと感じられる最小の減少分 ΔS_L という意味がある。 ΔS_u を上弁別閾、 ΔS_L を下弁別閾という。弁別閾は、刺激に対する弁別能力が高いほど低い値をとる。

主観的等価点 PSE は、標準刺激 S_s と比較刺激 S_c の 2 刺激が提示された時に、標準刺激 S_s と主観的に等しい大きさに感じられる比較刺激 S_c の刺激値を指す。

3. 適応的方法

極限法などに比べて提示する刺激ステップを閾値近辺に限ることで測定回数を減らす工夫がなされている測定法を

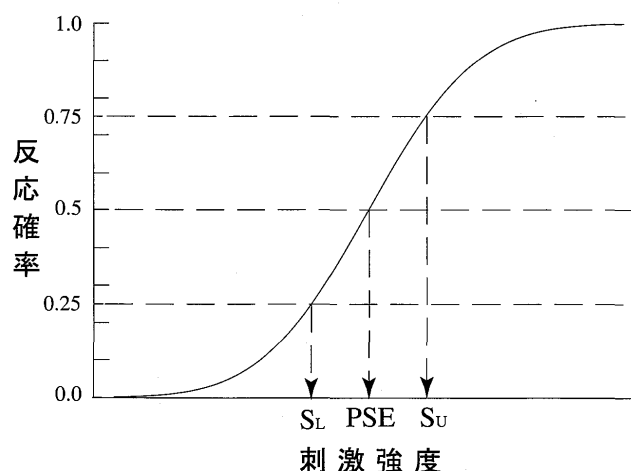


図 1. 精神測定関数、主観的等価点 PSE、上弁別閾 ΔS_u 、下弁別閾 ΔS_L

* 首都大学東京
(Tokyo Metropolitan University)

適応的方法 adaptive psychometric method という。適応的方法は、刺激の変化ステップ幅、刺激ステップの上昇・下降のアルゴリズム、測定の終了の基準などによって様々な方法に分類される。また、適応的方法には大きく分けてノンパラメトリックな測定法とパラメトリックな測定法がある（原澤，2003）が、今回はノンパラメトリックな測定法について解説する。

ノンパラメトリックな測定法というのは、刺激の変化ステップを決める時に刺激に対する人間の精神測定関数の形を問わない方法で、階段法や PEST などがこれにあたる。古典的精神物理学の測定法と同様、刺激閾と主観的等価点 PSE のいずれも求めることができる。

1) 階段法 (Staircase Method)

階段法では、極限法と同様に、刺激の変化ステップが 1 ステップに固定されている。極限法の場合は、例えば上昇系列で被験者の反応が変化した場合に、上昇系列はそこで終了となり、次試行から下降系列に移るが、その際、下降系列の第 1 試行は、直前の上昇系列で打ち切った刺激強度ステップよりも数ステップ強い値から始める。これに対し、階段法では、例えば上昇系列で被験者の反応が変化した場合に、極限法と同様、すぐに系列を反転させ、下降系列に移るが、その際、下降系列は、直前の上昇系列の最後の強度ステップよりも 1 ステップ下げた刺激から始める。このようにすることで、試行数を極限法よりも少なくすることができる。測定の終了については、特別の規則はなく、事前に反応の変化点が 8 個とか 10 個得られた時点で終了するというように決めておく。そして反応の変化点に対応する刺激強度の平均が求める PSE（あるいは閾値）である（Guilford, 1954）。

階段法では、刺激系列が上昇か下降かということが被験者に予想されやすいという難点がある。そこで、刺激系列を二重にして、反応バイアスが生じるのを防ぐ方法がある。これが二重階段法（Double Staircase Method）である。二重階段法では、二つの刺激系列を同時に進行させる。一つ目の系列（A 系列）は下降系列から始め、二つ目の系

列（B 系列）は上昇系列から始めるものとし、一つ目の系列の開始時点での刺激強度を二つ目の系列のそれよりも高く設定する。第 1 試行を A 系列にするか B 系列にするかは、乱数にしたがって奇数だったら A 系列、偶数だったら B 系列という具合に決定する。第 2 試行以降も同じである。刺激の変化のさせ方や、測定の終了基準については、各系列とも、通常の（一重の）階段法と同様である。図 2 に二重階段法の例を示す。

この例では、反応の変化点が A 系列では、160, 164, 160, 164, 160, 168, 160, 168, B 系列では、168, 164, 168, 160, 164, 160, 168, 160 となり、これらの平均 163.5 が、求める PSE になる。

2) PEST (Parameter Estimation by Sequential Testing)

この方法は、Taylor & Creelman (1967) によって提案された方法で、Parameter Estimation by Sequential Testing の頭文字をとって PEST と呼ばれている。閾値を測定する際に、測定回数を最小にしつつ、測定の精度を上げようとする方法である。基本的には同一強度の刺激を複数回提示し、それらの刺激に対する正答率を基にして、次に提示する刺激強度ステップを決め、測定を繰り返すという手順を取る。具体的な手順は以下の通りである。

実験の前に正答率がどれくらいの刺激強度を閾値とするのかを決め、この確率（正答率）を P とする。さらに、どのステップから開始するかを決める。実験では、1 試行終わるごとにその刺激ステップにおける試行数 T と正答数 $N(C)$ とを記録する。1 試行が終わるごとに、刺激ステップを上げるか、下げるか、あるいは同じ刺激ステップを繰り返すかを判断する。ここでは、正答率が P の閾値を求めるわけであるから、そのステップにおけるそれまでの試行数が T だとすると、閾値に対応する正答数の期待値は、 $E[N(C)] = P \times T$ となる。そして、ステップの変化方向の決定は、 $E[N(C)] \pm W$ の値によって判断する。

つまり、その刺激ステップにおける正反応数 $N(C)$ が $E[N(C)] + W$ より大きくなったら、次から刺激ステップを下げる。また、正反応数 $N(C)$ が $E[N(C)] - W$ よりも小さくなったら、次から刺激ステップを上げる。一方、正反応数 $N(C)$ が、 $E[N(C)] - W \leq N(C) \leq E[N(C)] + W$ の範囲内であれば、この刺激ステップを継続する。 W が小さければ、刺激ステップの変化が促進されるので測定は早く終わり、 W が大きいと測定の精度が上がるが、試行の繰り返し数は多くなる。Taylor & Creelman (1967) は $W = 1$ を推奨している。

変化ステップ幅の決め方

変化ステップ幅の決め方のルールは以下の 4 つである。

- 1) 刺激ステップの変化方向が反転したら、変化ステップ幅を半分にする。
- 2) 刺激ステップの変化方向が同じ方向の場合は、変化ス

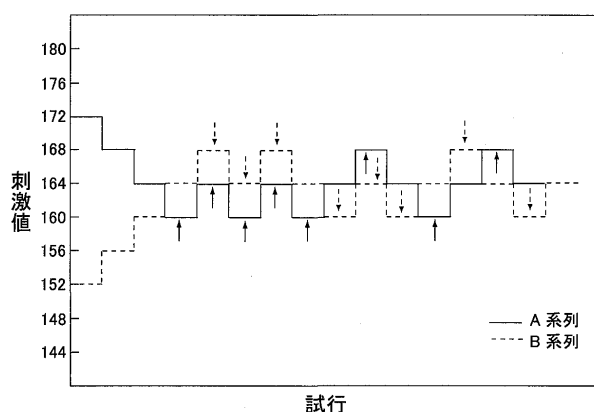


図 2. 二重階段法の例

図中の矢印は、各系列における反応の変化点を示す。

テップ幅は同じに保つ。

- 3) 刺激ステップの変化方向が連続して同じ方向を3回続けた時、4回目あるいはそれ以降のステップ幅を2倍にする。ただし、あまりに急激な変化は被験者を混乱させるので、上限を設けておく必要がある。
- 4) 刺激ステップの変化方向が連続して同じ方向を2回続けた時、3回目の変化ステップ幅を同じに保つか、それとも2倍にするかは、直前の刺激方向の反転の状況による。現在の刺激ステップの直前に生じた刺激ステップ方向の反転が、刺激の変化ステップ幅が2倍になったことによって生じたものであるならば、3回目の変化ステップ幅は同じに保ち、2倍にはしない。しかし、その直前の反転が、刺激の変化ステップが2倍になったことによるものではないならば、3回目の変化ステップ幅を2倍にする。

測定の終了の基準

あらかじめ最小の変化ステップ幅を決めておき、変化ステップ幅がその値になった時に、測定を終了する。その時の刺激強度を閾値とする。

図3にPESTのステップ変化の例を示す。ここでは、最初の刺激強度を60、第1回目の変化ステップ幅を20、終了の基準（最小の変化ステップ幅）を2以下とする。

なお、PESTも階段法と同じように、刺激系列が上昇か下降かということが被験者に予想されやすいという難点を持つ。そこで、これも階段法と同様に、系列を二重にする方法もある。また、PESTには、他にいくつかの変法も提案されている（Findlay, 1978; Kaplan, 1975）。

4. おわりに

今回触れなかったパラメトリックな測定法では、閾値近辺の刺激に対する精神測定関数の形を事前に決定しておき、個々の反応の結果によって精神測定関数が刺激（対数

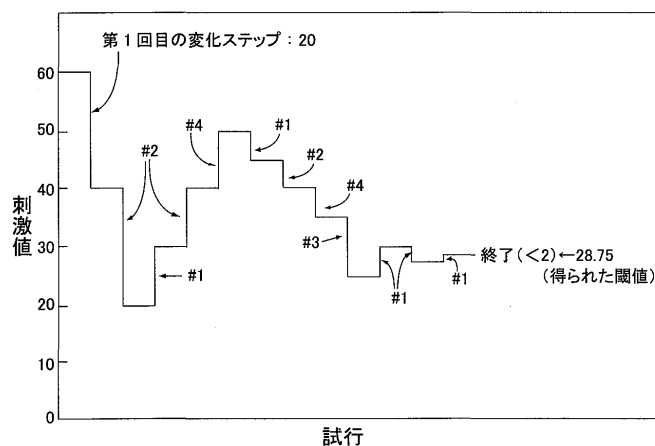


図3. PESTのステップ変化の例

図中の#1～#4は、変化ステップの幅の決め方の規則の番号を示す。

値)の物理尺度上を上下に移動し、その位置によって、次に提示する刺激強度が決定される。そして、特定の基準に達したときに試行を終了し、その時点での精神測定関数の位置を基にして閾値を推定するという方法をとる。パラメトリックな測定法では、Watson & Pelli (1983) によって提案されたQUESTや、QUESTを改良したZEST (King-Smith et al., 1994) が広く用いられている。

人間の感覚の大きさをどのように表現するかという問題は、感覚の研究者が古くから抱える大きな問題である。Fechnerは、この問いに対し、人間の感覚の大きさに対応する物理値はどれくらいかという形で答えようとし、様々な精神物理学的測定法を考案した。人間の感覚研究の発展は、Fechnerの精神物理学的測定法の支えがあっただけで可能になったといっても過言ではない。一方で、Fechnerの精神物理学的測定法だけではないが、一般に、精神物理学的方法によって測定された物理値が、はたして本当にわれわれの感覚の大きさを正確に表現できているのかという問いは、いつも持ち続ける必要があるように思われる。実際、今日ある様々な精神物理学的測定法の中のどの手法を用いるかによって、得られる結果も異なったものになることがあるということも事実である。そのことを念頭に置きつつ、手法の選択をする必要があるように思われる。

文 献

- 1) Findley, J. M. 1978 Estimates on probability functions: A more virulent PEST. *Perception & Psychophysics*, **23**, 181-185
- 2) Gescheider, G. A. 1997 *Psychophysics: The fundamentals third edition*. Lawrence Erlbaum Associates, 倉片憲治, 金子利佳, 柴崎朱美 (訳) 心理物理学: 方法・理論・応用 上巻, 下巻, 北大路書房
- 3) Guilford, J. P. 1954 *Psychometric methods*. McGraw-Hill; 秋重義治 (監訳) 精神測定法, 培風館
- 4) 原澤賢充 2003 適応的心理物理学的測定法による閾値の推定, *VISION*, **15**, 3, 189-195
- 5) Kaplan, H. L. 1975 The five distracters experiment: Exploring the critical band with contaminated white noise. *Journal of Acoustic Society of America*, **58**, 504-511
- 6) King-Smith, P. E., Grigsby, A. J., Vingrys, A. J., Benes, S. C. & Supowit, A. 1994 Efficient and unbiased modifications of the QUEST threshold method: theory simulations, experimental evaluation and practical implementation. *Vision Research*, **34**, 885-912
- 7) 大山正 1969 感覚知覚心理学ハンドブック 第3章感覚・知覚測定法 1. 精神物理学的測定法, pp. 32-55, 誠信書房
- 8) Taylor, M. M. & Creelman, C. D. 1967 PEST: Efficient estimates on probability functions. *Journal of Acoustical Society of America*, **41**, 782-787
- 9) Watson, A. B. & Pelli, D. G. 1983 QUEST: A Bayesian adaptive psychometric method. *Perception & Psychophysics*, **33**, 113-120