

# 恒常法による心理物理学的測定：刺激範囲設定の問題

井戸 啓介

(工学部教養教育センター)

要約：恒常法を用いて主観的等価点 (PSE) を求める場合、適切な心理測定関数が得られるように刺激強度の範囲を設定する必要がある。本論文では、心理物理学的実験に従事した経験のない被験者の参加を得ておこなった等輝度点測定実験の結果の一部を紹介し、一般的な「練習セッション」によって「実験セッション」の刺激範囲を求めるという手法では問題があると感じられた事例について報告する。

キーワード：感覚知覚心理学、心理物理学、恒常法、視覚、等輝度

## 1. はじめに

感覚・知覚心理学の実験研究では、与えられる物理的な刺激とそれによって生じる感覚の対応関係を探る手段として、閾値や主観的等価点 (PSE) を求めることがしばしば行われる。このための方法は「心理物理学的測定法」と呼ばれ、実験の手続きやデータ解析の基本的な部分はすでに確立している (Kingdom & Prins, 2016; 村上, 2011など)。

いくつかに分類される心理物理学的測定法の一つに、恒常法 (method of constant stimuli) がある。この方法では、被験者に呈示される刺激の強度や属性値が試行ごとにランダム化されているため、呈示される刺激に対する被験者の予期や思い込みに反応が影響されにくいという長所があるとされている。

恒常法で2つの刺激についてPSEを求める場合、実験者があらかじめ「明らかに異なって見える」という刺激値を、属性の変化軸に沿って両端に2つ準備する。そしてそれらの間に値を持つ刺激を計6から10水準程度用意し、それらをランダムな順で多数回呈示して反応を得る。その結果をもとに、横軸に刺激の属性値、縦軸に一方が選択された比率をプロットし (これを心理測定関数と呼ぶ)、そこにシグモイド型関数を当てはめ、判断が均衡する50%点を算出し、それをPSEとするのが一般的な方法である。ここで重要なポイントのひとつに、心理測定関数がPSEをはさんで、左側ではほぼ0に、右側ではほぼ1に漸近していることが挙げられる。実験を行った後にこの点が満たされない場合、刺激のレンジを変化させて再実験を行う必要も生じる。

筆者は、被験者間の色知覚に関する個人差を明らかにする目的で、精密な視覚実験の経験のない被験者を約50名集め、色相の異なる2色の等輝度点 (PSEに相当する) を求める実験を恒常法によって行った (井戸, 2022)。被験者にとって判断が明らかに安定すると考えられる刺激属性値を設定し、それで数回の練習を行い、その後、実験セッションを行ったところ、呈示条件によっては1割ほどの被験者で、練習試行では安定して判断できていた刺激に対して、判断が安定しないという結果が生じた。本論文ではこの実験方法と結果について、詳しく述べたい。

色相の異なる2色について、その輝度や明るさ感を等価にする手法は複数提案され、用いられている (池田,

1980)。最小運動 (minimum motion) 法とは、グレーティングパターンを用いて、色度の異なる2つの色光の等輝度点を求める方法の一つである (Cavanagh & Anstis, 1983; Cavanagh, MacLeod & Anstis, 1987)。輝度が周期的に変化するグレーティングパターンにおいて、位相を1/4波長分シフトさせたものを継時的に呈示すると、輝度の高い部分に対応する方向に運動が知覚される (Nakayama & Silverman, 1985; Ido, Ohtani & Ejima, 1997)。最小運動法では、単一色相で輝度が変化するグレーティングと、色度に変化し輝度の変化の小さいグレーティングを交互に1/4波長分ずつシフトさせたものを呈示し、被験者に運動方向を判断させる。色相が変化するパターンで、輝度にも差があればその輝度の高低に応じた方向に対応が検出され、明瞭な運動方向知覚が得られる。一方、輝度差がなければ、知覚される運動方向はあいまいになる。最小運動法はこの「運動方向の知覚確率があいまいになる」点を2つの色光の等輝度点と定めるという考え方に基づいている。実験では、色度変調グレーティングの一方の輝度を固定し、他方の輝度を変化させて、この「運動方向があいまいになる」、すなわち知覚される運動方向に関してのPSEを求めるという手続きが取られる。本論文ではこの手法による結果を紹介する。

## 2. 実験

### 装置

実験は、パーソナルコンピュータ (DELL社Precisionシリーズ, CPU: Intel Core i3, OS: Windows 7) を用い、C言語で書かれたプログラムによって制御を行った。刺激画像は、グラフィックスシステム ViSaGe Mk II (Cambridge Research Systems社製) によってRGB各14 bitの輝度階調で作成し、17インチCRTディスプレイ (SONY GDM-17SE2T) 上にリフレッシュレート100 Hzで呈示した。ガンマ補正はViSaGeシステムに付属する輝度キャリブレーションシステム (OptiCAL) を用いて行い、色彩輝度計 (トプコン社BM7A) によって、制御プログラム側からの指定値と呈示された画像の輝度の線形性が十分であることを確認した。

### 刺激・手続き

刺激画像は、CRTモニタの画面の上側半分、28.3 deg × 11.0 degの領域に垂直方向のグレーティングパターン

を配置した。グレーティングパターンは矩形波状に色度・輝度を変化させ、その空間周波数は 0.5 c/deg とした。また、白色の凝視点をグレーティングパターン下端から 5.0 deg 下方に配置した。

グレーティングパターンに用いた色は赤 ( $x=0.61$ ,  $y=0.34$ ) および緑 ( $x=0.29$ ,  $y=0.54$ ) であり、赤色部分の輝度は 21.7 cd/m<sup>2</sup>、緑色部分の輝度は独立変数として変化させた。

1 回の刺激呈示は、各 50ms 呈示される 4 枚の画像から構成された。第 1, 第 3 画面では赤領域と緑領域を同位相で重ね合わせた黄/黒の輝度変調パターン、第 2, 第 4 画面では赤領域と緑領域を半波長の差で重ねた赤/緑パターンとした。第 1 画面から第 4 画面まで、輝度・色度の境界は、1/4 波長ずつ位相をシフトさせ、各 50ms 呈示した。

まず「練習セッション」で、明らかに緑の輝度が低い条件と緑の輝度が高い条件で刺激を呈示し、被験者はその観察・判断を行い課題を理解した。引き続き「実験セッション」では、「練習セッション」で用いた輝度値を含め 8 水準の緑色領域の輝度値のパターンを、恒常法の手続きに従ってランダムに呈示した。被験者は知覚された運動方向を、左または右の 2 件法で答えた。シフト方向は、試行ごとにランダムに変化させた。1 回のセッションは各水準 10 回の繰り返しから成る 80 試行で、これを 4 セッション行った。

本論文で報告する被験者は三色型の色覚を有する 20 代の青年 6 名で、暗室内で 57cm の視距離から、単眼で刺激を観察した。

### 3. 結果

図 1 に、6 名の被験者について練習セッションの結果を示す。横軸はグレーティングパターンの緑領域の輝度値、縦軸は「緑色の輝度値が高い方向」に対応した運動方向が知覚された比率を示している。各プロット点は 5 回の判断に基づいている。ほぼすべての被験者で、横軸の値が 0.0 [cd/m<sup>2</sup>] に近い場合は縦軸の値は 0, 25.0 から 30.0 [cd/m<sup>2</sup>] 付近で 1 となる結果が得られている。このことは、引き続き実験セッションで、これらの値を恒常法の刺激強度の下限と上限とすることが不適切ではないを示している。

図 2 に、同じ被験者について、実験セッションの結果を示す。横軸、縦軸は図 1 と同じであり、(a) から (f) の各パネルも、図 1 と同じ被験者に対応している。各プロット点は、4 セッション (計 40 回) の判断に基づいている。曲線は、最小二乗法を用いてロジスティック関数

$$P = \frac{1}{1 + \exp[-\beta(x - \alpha)]}$$

をあてはめたものである。ここで、推定されたパラメータ  $\alpha$  の値が、PSE ( $P=0.5$  となる  $x$  の値) となる。

グラフから明らかなように、ほぼ全ての被験者で、刺激強度の増加とともに 0 と 1 の間をなめらかに増加するという結果は得られていない。回帰曲線のあてはまりの良さの指標となる  $R^2$  の値も、(a) (c) (d) (f) ではそれ

ぞれ 0.63, 0.73, 0.65, 0.74 である。このことから、PSE を算出する上で、シグモイド型の心理測定関数が得られているとは言い難い。

### 4. 考察

#### (a) 系列依存性

被験者の判断は、しばしば時間的に先行する刺激に影響を受ける。これは順応の一種とも言える (総論として Mather, Verstraten & Anstis, 1998)。また、近年、系列依存性として新たに着目されている (Alais, Leung & Van der Burg, 2017; Murai & Whitney, 2021)。恒常法では、呈示刺激をランダム化し、しかも多数の試行を行うということでの影響を誤差として扱っている。また、1 回のセッションを通じて、被験者の感度は不変であるという暗黙の仮定も置いている (村上, 2011)。しかしながら、判断が難しい刺激が続くことで、実験経験の少ない被験者に系統的な判断バイアスを生じさせることも起こりうる。この点、たとえば正誤のフィードバックを時に用いるという手法も考慮する必要が考えられる。

#### (b) 被験者の慣れと感度の個人差の問題

本論文で報告している実験は、心理物理実験の経験のない者が多数参加しており、それらの者がすべて今回のような結果を示したわけではない。また、本論文で結果を報告した被験者も、刺激呈示の条件 (空間周波数、時間周波数) を変化させた条件では、安定した心理測定関数が得られた場合が多い。したがって、被験者の「実験経験」だけが結果に影響しているとは考えられない。また、最小運動法は、輝度差の小さな領域についての運動対応検出に基づく手法である。色の情報を含まないパターンを用いて、方向弁別感度の測定を行い、今回の実験結果と比較してみることも、本論文で報告した結果を解釈する上で有益であると考えられる。

#### 引用文献

- Alais, D., Leung, J. & Van der Burg, E. (2017). Linear summation of repulsive and attractive serial dependencies: Orientation and motion dependencies sum in motion perception. *The Journal of Neuroscience*, 37, pp.4381-4390.
- Cavanagh, P. & Anstis, S. M. (1983). A Minimum motion technique for judging equiluminance. in Mollon, J. D. & Sharpe, L.T. (eds.) "Colour Vision", pp. 155-166, Academic Press (London).
- Cavanagh, P., MacLeod, D. I. A. & Anstis, S. M. (1987). "Equiluminance: Spatial and temporal factors and the contribution of blue-sensitive cones", *Journal of the Optical Society of America A*, 4, pp.1428-1438.
- 井戸啓介 (2022). 等輝度点の個人差: 最小運動法による評価, 北陸心理学会第 57 回大会 (富山大学)。
- Ido, K., Ohtani, Y. & Ejima, Y. (1997). Dependencies of motion assimilation and motion contrast on

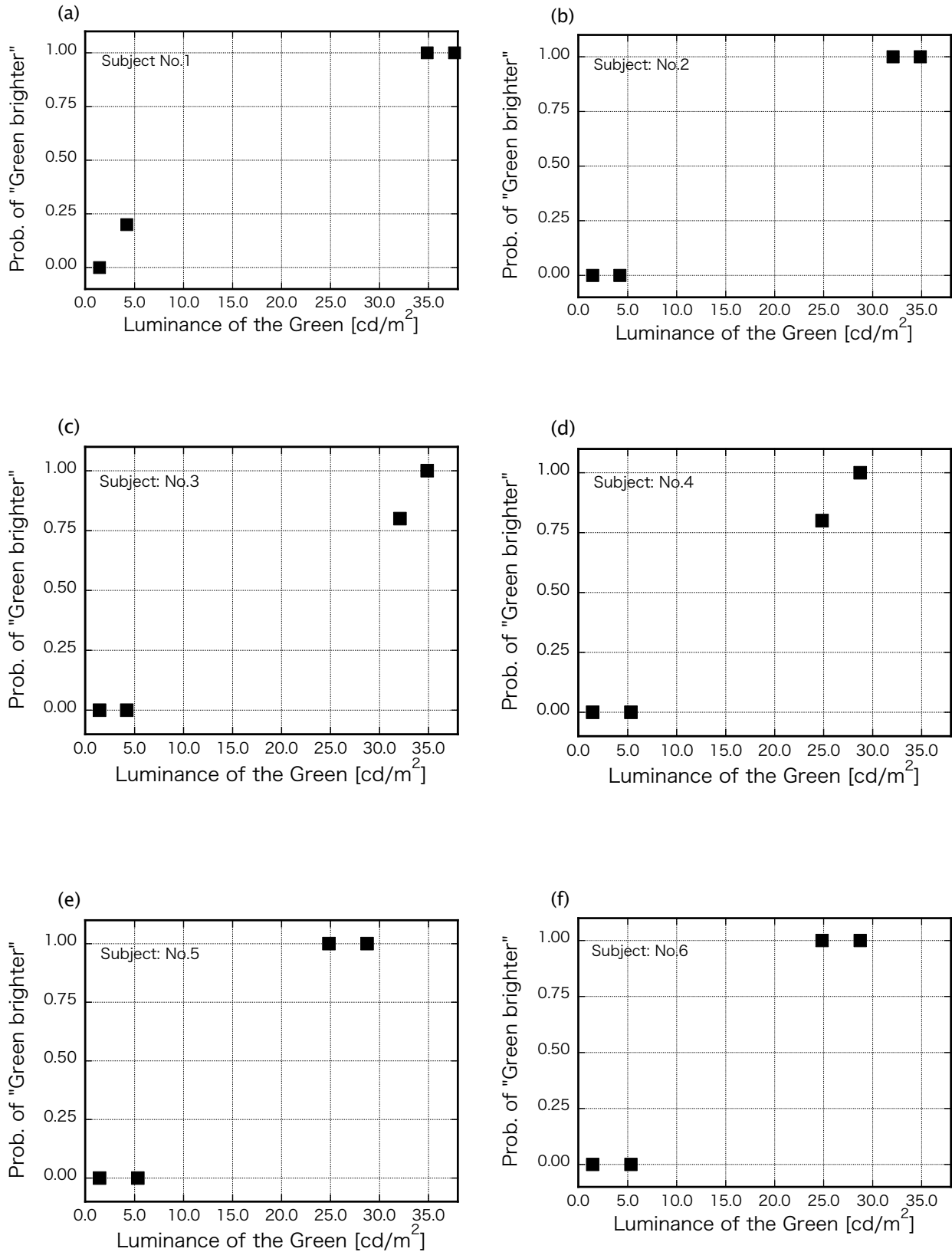


図1. 練習セッションの結果.

(a)から(f)はそれぞれ1名の被験者についての結果であり, 横軸は緑領域の輝度, 縦軸は「緑領域が明るい」と判断された運動方向の知覚確率を示している. 各々5回の判断に基づいている.

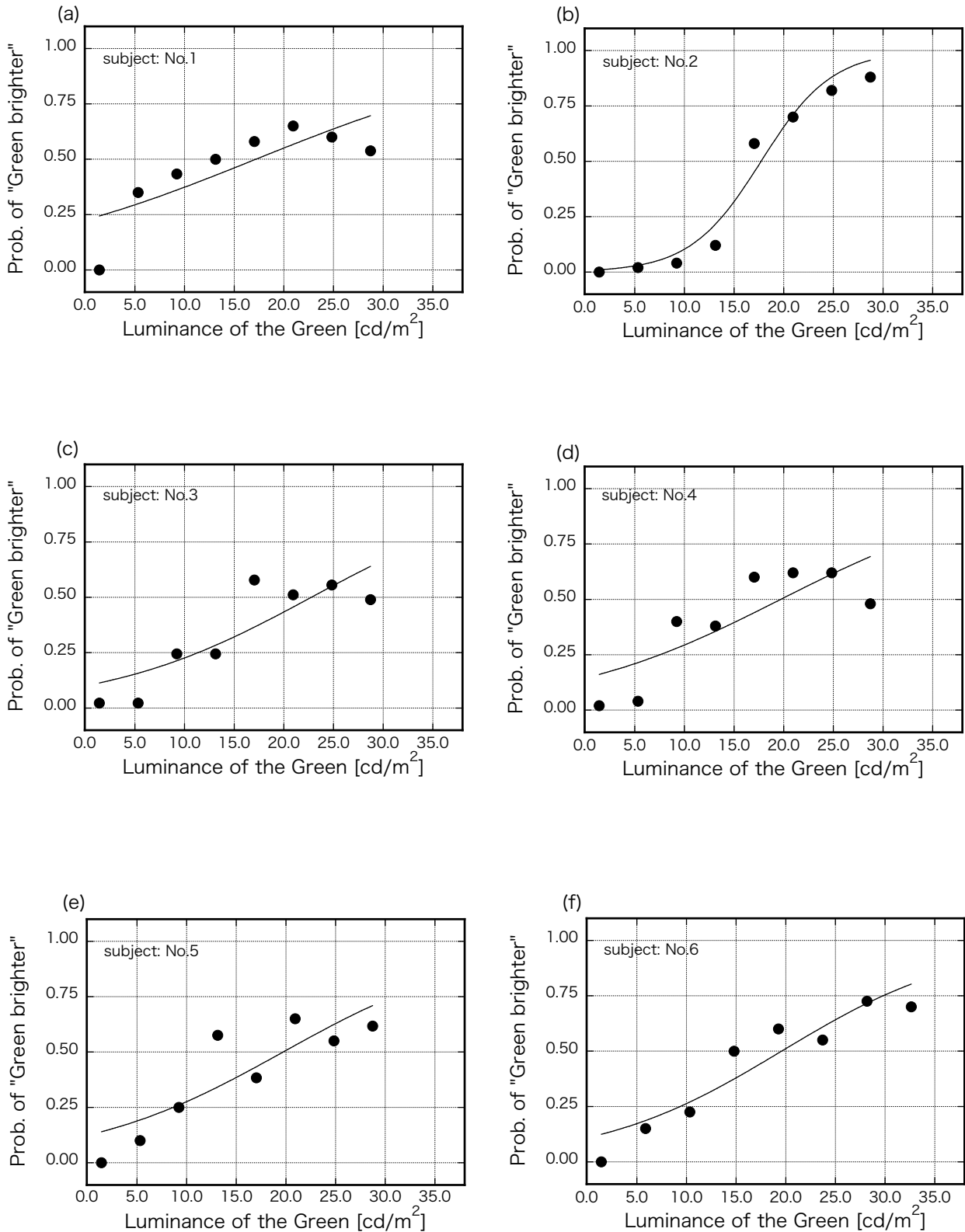


図2. 実験セッションの結果.

(a)から(f)はそれぞれ1名の被験者についての結果であり、被験者は図1と対応している.

横軸は緑領域の輝度、縦軸は「緑領域が明るい」と判断された運動方向の知覚確率を示している. 各データ点は、少なくとも40回の判断に基づいている.

spatial properties of stimulus: spatial-frequency nonselective and selective interactions between local motion detectors. *Vision Research*, 37, pp.1565-1574.

池田光男 (1980). 色彩工学の基礎. 朝倉書店.

Kingdom, F. A. A. & Prins, N. (2016). *Psychophysics: A Practical Introduction*. (2nd Ed.), Academic Press (London).

Mather, G. Verstraten, F. & Anstis, S. (1998). *The Motion Aftereffect: A Modern Perspective*. MIT Press (Boston).

Murai, Y. & Whitney, D. (2021). Serial dependence revealed in history-dependent perceptual templates. *Current Biology*, 31, pp. 3185-3191.

村上郁也 (2011). 心理学研究法 1. 誠信書房.

Nakayama, K. & Silverman, G. H. (1985). Detection and discrimination of sinusoidal grating displacements. *Journal of the Optical Society of America A*, 2, pp. 267-274.

日本基礎心理学会 (2018). 基礎心理学実験法ハンドブック. 朝倉書店.

# Psychometric function with the method of constant stimuli: a problem to determine the range of stimulus set

Keisuke IDO

(Center for Liberal Arts and Sciences, Faculty of Engineering)

**Abstract:**

The method of constant stimuli is widely used in a psychophysical experiment, to obtain a PSE or a threshold value. In this method, the stimulus magnitude or intensity on each trial is randomly selected from a predefined set. The choice of the set requires some pilot observation to obtain a reliable psychometric function. In this paper, I report some experimental results which were problematic in determining the stimulus set.

**Key Words:** Experimental psychology, Psychophysical method, Method of constant stimuli, Vision, Equiluminance