

疲 勞 の 測 定 (Ⅲ)

フリッカー法への信号検出理論の適用

浜 口 恵 治

(文理学部哲学科心理学研究室)

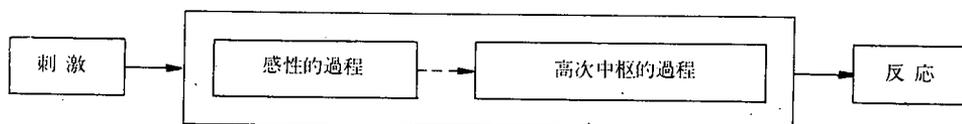
The Measurement of Fatigue (Ⅲ)

—The Application of STD to Flicker Method—

Keiji HAMAGUCHI

序

フリッカー法による疲労の測定は理論的には可能である⁵⁾が、測定法の能力の限界によりその実用性には疑問がある⁶⁾。フリッカー法に使用されている従来の精神測定法は、観測された刺激と反応との関係から内的過程を推測するのであるが、内的過程は(図1)のごとく二過程よりなってい



(図1) 知覚の内的過程

ると仮定されているため、その両過程を独立に推測できない。それで、どちらか一方の過程を不変と仮定し、他方の過程を推測せざるを得ない。そしてさらに、生理的要因は感性的過程のみに、心理的要因は高次中枢的過程のみに反映されると仮定し、なるべく両要因が同時に働かないように工夫し、それぞれの要因の効果を測定している。すると、前著⁶⁾の実験のごとく両要因を同時に操作した場合、また、一方の要因のみを操作したとしても、それとともに他方の要因が派生した場合、従来の精神測定法の能力の限界を越えてしまう。

フリッカー法により疲労を測定する場合、心理的要因の派生する可能性が強い。この心理的要因の派生を完全に統制することは不可能なので、フリッカー法の実用性には疑問がある。つまり、高次中枢的過程を一定と仮定して、負荷前後の CFF の変動を全て感性的過程の変化に帰因することには疑問がある。しかし、フリッカー法に使用されている精神測定法では、両過程の測度が独立に得られないため、負荷による感性的過程の変化は測定できないことになる。

ところが、最近この両過程の測度を独立に取り出す方法が発展してきた。この方法で得られた結果を統合する精神測定法は、一般に信号検出理論 (Signal Detection Theory, STD) と呼ばれるが^{11), 15)}、以下の記述において Swets 等の信号検出理論について説明する。

信号検出理論

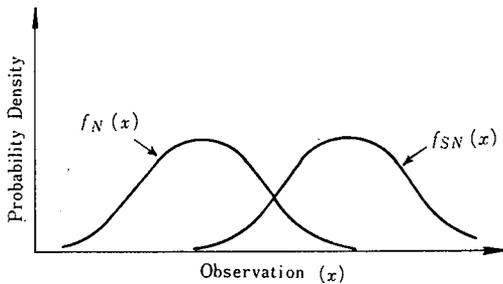
基本的検出問題

観察は定められた時間間隔において生起した事象についてなされる。そして、決定はこの観察に基づいてその間隔内に背景の妨害 (interference) だけが生起したか、あるいは信号 (signal) もまた生起したかを決定することである。前者を雑音 (noise) と記し、 N と略称する。そして後者を雑音プラス信号 (signal plus noise) と記し、 SN と略称する。すなわち、 N は常に提示され、

一方 SN は観察時間内に提示されるかもしれないが提示されないかもしれない。観察者は SN が提示されたと思ったら “Yes” と答え、提示されなかったと思ったら “No” と答える。

感覚的情報 (sensory information) の表示

次に、観察者の決定に基づいている感覚的資料 (sensory datum) を言及するのに observation なる用語を用いる。この observation が単一次元に沿って連続的に変化するものとして表わされると仮定する。そしてさらに、observaton は N だけからにせよ、あるいは SN だけからにせよ、その時与えられた感覚的事象に基づいて確率的に生起すると仮定する。それを (図 2) に示すと、



(図 2) The probability density functions of noise and signal plus noise.

observation (x) と名付けられ、横座標に位置付けられる。左手の分布は $f_N(x)$ と名付けられ、 x が N だけの生起に対して与えられるであろう observation を確率密度函数 (probability density function) として表わす。右手の分布は $f_{SN}(x)$ と名付けられ、SN の生起に対して与えられる observation を確率密度函数として表わす。一般に SN は N より強度が大であるから $f_{SN}(x)$ の平均は $f_N(x)$ の平均より大きいだろうし、SN が大きくなるにしたがって平均間の距離は大きくなる。

尤度比 (likelihood ratio) としての observation

observation が単一軸上で表わされるという仮定は、視覚系の反応がおそらく多くの次元を持っているだろうとの事実と反しはしないだろうか。それで視覚系の反応が多次元であると仮定してみよう。そして m 次元の空間のある点としてこれを表わしてみよう。この点を y と呼ぶ。この空間におけるそれぞれの点に対して、N のみからなるいくつかの確率密度 $f_N(y)$ 、同様に SN からなる確率密度 $f_{SN}(y)$ がある。それゆえに、その空間におけるそれぞれの点に対して尤度比が存在する。 $\lambda(y) = f_{SN}(y) / f_N(y)$ は、点 y が SN から起る尤度は、点 y が N から起る尤度に比例することを表わす。このようにして、その空間におけるいかなる点も 0 を持たない実数として表わされるから、これらの点は単一軸上に並べることが可能であると考えられる。ここにおいて、observation (x) と $\lambda(y)$ とを同一視することができ、決定軸上は尤度比によって表わすことができる。さらに (図 2) に関して仮定を加えると、この 2 つの密度函数は正規分布 (normal distribution) し、さらに等分散 (equal variance) であると仮定する。

規準 (criterion) の定義

雑音の中に信号を検出しようとしている観察者に投げかけられた問題は、observation がどちらの分布に属するかを決定することである。観察者はどんな observation (x_i) が与えられても “Yes” か “No” のどちらかに決定することのできる規準を確立しようとする。すなわち、 $x_i > x_c$ なら “Yes”, $x_i < x_c$ なら “No” という規準 x_c を確立しようとする。信号検出理論の用語においては、 $x_i > x_c$ なる領域を規準領域 A (critical region A), $x_i < x_c$ なる領域を規準領域 B (critical region B) と命名する。

ここにおいて (表 1) なる 4 つの決定結果

(表 1) 刺激反応マトリックス

| | Yes | No |
|----|------------------------------|------------------------------------|
| SN | $SN \cdot A$ (hit) | $SN \cdot B$ (miss) |
| N | $N \cdot A$ (false alarm) | $N \cdot B$ (correct rejection) |

のマトリックスが得られる。この4つの確率は相互依存であり、例えば、hit の確率 $p(SN \cdot A)$ が増せば、false alarm の確率 $p(N \cdot A)$ も増大し、 $p(SN \cdot B)$ 、 $p(N \cdot B)$ は減少する。このように、或る規準が与えられると4つの結果の確率間に特定の均衡が生じ、観察者はこの均衡を規準の最適位置を決定することによって得ようとする。すなわち、決定の結果の期待値 (expected value, EV) を最大にする均衡を望むだろう。

さて、最適規準を定義するまえに次なる等式を定義しておく。

$$p_{SN}(A) = \frac{p(SN \cdot A)}{p(SN)} \dots\dots\dots (1)$$

$$p_N(A) = \frac{p(N \cdot A)}{p(N)}$$

ここで、 $p(SN)$ は SN 提示の a priori probability, $p(N) = 1 - p(SN)$ は N 提示の a priori probability を表す。すなわち、 $p_{SN}(A)$ を規準領域 A の $f_{SN}(x)$ の積分として定義し、また $p_N(A)$ を規準領域 A の $f_N(x)$ の積分として定義する。

そして、期待値 (EV) を次なる等式によって定義する。

$$EV = V_{SN \cdot A} p(SN \cdot A) + V_{N \cdot B} p(N \cdot B) - K_{SN \cdot B} p(SN \cdot B) - K_{N \cdot A} p(N \cdot A) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 V は正しい反応に対して与えられる賞、 K は誤った反応に対して与えられる罰を表す。等式(2)に等式(1)を代入して整理すると (なお、等式(1)より $p_{SN}(B) = 1 - p_{SN}(A)$, $p_N(B) = 1 - p_N(A)$ が自動的に定義されている。),

$$EV = p_{SN}(A) p(SN) [V_{SN \cdot A} + K_{SN \cdot B}] - p_N(A) p(N) [V_{N \cdot B} + K_{N \cdot A}] + V_{N \cdot B} p(N) - K_{SN \cdot B} p(SN)$$

となる。 EV を最大にするためには、 $[V_{N \cdot B} p(N) - K_{SN \cdot B} p(SN)]$ は定数として予め与えられたものであるから、結局これを除いた部分を最大にすればよい。そして残った部分を $p(SN)[V_{SN \cdot A} + K_{SN \cdot B}]$ で除せば、

$$p_{SN}(A) - \frac{p(N)[V_{N \cdot B} + K_{N \cdot A}]}{p(SN)[V_{SN \cdot A} + K_{SN \cdot B}]} p_N(A)$$

となり、これを書きあらためると、

$$p_{SN}(A) - \beta p_N(A) \dots\dots\dots (3)$$

ただし

$$\beta = \frac{p(N)}{p(SN)} \cdot \frac{[V_{N \cdot B} + K_{N \cdot A}]}{[V_{SN \cdot A} + K_{SN \cdot B}]} \dots\dots\dots (4)$$

となる。

すなわち、 EV を最大にすることは(3)式を最大にすることと等しくなり、(4)式はその時の最適規準、 β の定義となる。

次に(3)式を最大にするためには、この β の値が最適規準に対応する尤度比 $\lambda(x)$ に一致することを説明する。(3)式は、

$$\int_A [f_{SN}(x) - \beta f_N(x)] dx \dots\dots\dots (5)$$

と同義であり、(5)式を最大にするには、

$$f_{SN}(x) \cdot dx - \beta f_N(x) \cdot dx = 0$$

でなければならぬ。ゆえに

$$\beta = \frac{f_{SN}(x) \cdot dx}{f_N(x) \cdot dx} \dots\dots\dots (6)$$

なる関係が成立する。すなわち、 β は observation(x) 上の一点、 x_0 に一致する。

ROC (Receiver-Operating-Characteristic) カーブ

今まで観察者の performance を評価するのに基本的数量として、 $p_N(A)$ と $p_{SN}(A)$ に注目してきた。これらの数量は、それぞれ(図2)の2つの曲線のもとにおける規準値 x_0 の右側にある領域である。もし、(図2)の2つの分布の平均間の距離を一定に保ち、決定軸に沿って決定規準を動かしながら、 $p_N(A)$ を横軸に、 $p_{SN}(A)$ を縦軸に対してプロットすると(図3)の弧の1つになる。これを ROC カーブと呼ぶ。

このように、ある実験における観察者の行動は、ROC カーブ上のある一点として記述できる。そして、この点における接線の勾配は、観察者が位置付けた尤度比の値に対応する。これは次のごとく Peterson, W. W, 等¹¹⁾ によって証明されている。

それによれば、規準 $A(\beta)$ が点 $\{p_N[A(\beta)] \cdot p_{SN}[A(\beta)]\}$ における接線の勾配として定義されるためには、

$$\begin{aligned} X &= X(\beta) = p_N[A(\beta)] \dots\dots\dots (7) \\ Y &= Y(\beta) = p_{SN}[A(\beta)] \end{aligned}$$

とおく。ROC カーブ上の勾配は、 $(dY/d\beta)/(dX/d\beta)$ によって与えられる。点 $[X(\beta_0), Y(\beta_0)]$ における勾配をを計算するためには、 $p_{SN}(A) - \beta_0 p_N(A)$ が $A = A(\beta_0)$ によって最大になることに注目すると、

$$Y(\beta) - \beta_0 X(\beta) = p_{SN}[A(\beta)] - \beta_0 p_N[A(\beta)] \dots\dots\dots (8)$$

は、 $\beta = \beta_0$ のとき最大になる。そして、その導函数 (derivative) はそのとき零になる (vanish) ので、

$$\frac{dY}{d\beta} - \beta_0 \frac{dX}{d\beta} = 0 \quad \text{at } \beta = \beta_0 \dots\dots\dots (9)$$

となる。これを β_0 に対して解くと、

$$\beta_0 = \frac{(dY/d\beta)_{\beta=\beta_0}}{(dX/d\beta)_{\beta=\beta_0}} \dots\dots\dots (10)$$

となり、これは ROC カーブ上の点 $[X(\beta_0), Y(\beta_0)]$ 上の接線の勾配に一致する。

また、密度函数 $f_N(x)$ と $f_{SN}(x)$ の平均間の距離を変えて、同様の操作を繰り返すと(図3)に示された、いくつかの ROC カーブが描ける。このカーブの媒介変数 (parameter) は d' と呼ばれ、次のごとく定義される。

$$d' = \frac{Mf_{SN}(x) - Mf_N(x)}{\sigma f_N(x)}$$

さて、ある特定の刺激に対して得られたマトリックスは、2つの媒介変数をもつものとして取り

扱われることがわかった。すなわち、観察者の2つの独立な面の測度の記述が可能になったわけである。その1つの媒介変数 d' は、観察者の感覚能力 (sensory capability) の測度であり、また信号強度 (signal strength) の測度でもある。そして他の1つの媒介変数 β は、観察者の構え (set)、態度 (attitude)、動機 (motives) と種々呼ばれている変数 (variable) の測度である。

信号検出理論の信頼性と妥当性

上述の信号検出理論の精神測定法としての信頼性と妥当性は高いであろうか。

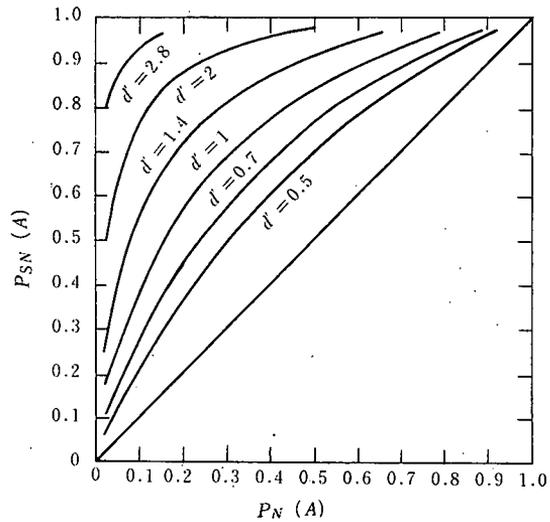
Blackwell²⁾ によれば、信頼性を次のように判定している。まず信頼性を2種、

つまり、実験 session 内の信頼性と、session 間の信頼性とに分け、前者は理論曲線とデータとの一致度により判定し、後者はその測度間の分散によって判定する。そして妥当性に関しては、反応規準の測度によって判定するのがよいが、そうでない場合は同一理論モデルに基づいた、手続の異なる測定法間で得られた測度間の一致度によって判定している。それは測定が感覚機能 (sensory function) に無関係な要因によって影響されないほど妥当性が高くなる。

さて、信号検出理論の信頼性と妥当性はどうか。まず妥当性に関しては、反応規準の量的な測定が可能であり、反応規準の変化にもかかわらず、 d' は不変であり、また、同一理論モデルに基づいた3種の測定手続 (Yes-No method, forced-choice method, ratio method.) の違いにもかかわらず d' は一定である^{14),16)}。そして信頼性に関しても、その得られたデータは理論曲線 ROC カーブとよく一致する¹⁵⁾ ところから session 内の信頼性の高いことが推測されようし、また、test-retest の相関が高い⁴⁾ ところから session 間の信頼性も高いといえる。

上述のごとく、信号検出理論では両過程の測度が独立に量的に得られる。感性的過程の測度として d' がそれであり、高次中枢的過程の測度として β がそれである。それで、フリッカー法に信号検出理論を適用し、その d' の負荷前後の変動をもって疲労を測定すれば、従来よりフリッカー法の実用性はより増大するであろう。

従来の精神測定法は、心理的要因は高次中枢的過程のみに、生理的要因は感性的過程のみに影響を及ぼすと仮定して、フリッカー法に使用されていた。しかし、仮説としては、両要因はそれぞれ、① 感性的過程のみに反映される。② 高次中枢的過程のみに反映される。③ 両過程にそれぞれ反映される、との3つの仮説が立てられる。いずれにせよ、従来の精神測定法では両過程の測度が独立に取り出せないため、これらの仮説の検証はなされていない。であるから、フリッカー法に信号検出理論を適用する前に、これらの仮説のどれが支持されるかを検証する必要がある。そして、その検証の後フリッカー法への信号検出理論の適用の可能性を結論すべきである。以下の諸実験は、その検証を目的として行なわれた。



(図3) The receiver-operating-characteristic curves.

実験 I

実験目的

この実験においては、心理的要因として偽わりの教示を種々に操作して、はたして上述の3つの

仮説のうちどれが支持されるかを検証することを目的とした。

Clark³⁾は、信号検出理論を適用して CFF に影響を及ぼす教示の効果を実験した。彼は、Yes-No method を用い、 N として物理的連続光、 SN として物理的断続光を、どちらも 4.2 mL で、提示時間 1.7 秒で、 $N:SN=3:7$ の提示比率で実験を行なった。なお、この SN は、各被験者 (S_s) に対して極限法で得た CFF である。 S_s は、教示が効き易いという理由で、精神分裂病 (schizophrenic) 患者を選んでいる。教示としては、「静止光 (steady light) かチラツキ光 (flickering light) を $3:7$ でランダムに提示する。」、そしてチラツキ群 (flickering group) には「たいていの人は非常に目がよくて、ほとんど『チラツイテイル』として光を見る。」、融合群 (fusion group) には「たいていの人は非常に注意深く、はっきり確かめるまでは『チラツイテイル』として光を見ない。」と告げた。その結果、チラツキ群では、 $d'=1.2$ 、 $\beta=1.3$ 、融合群では、 $d'=1.2$ 、 $\beta=2.1$ を得た。そして結論として彼は、教示は感性的過程 (sensitivity) には影響を及ぼさず、高次中枢的過程 (criterion) のみに影響を及ぼすと結論した。

信号検出理論の一般的な実験では、 $N:SN$ の比率や反応の正誤に対する賞罰の教示は、偽わりなく操作される。その場合、信号強度を一定に保ち、このような教示を種々に変化させると、 d' は不変であるが、 β はそれぞれ、ideal β に近く変化する。それに対し、Clark の実験においては、刺激提示比率の教示以外に「促進」(facilitating)、あるいは「禁止」(inhibiting) の教示を与えている。そして、後者の教示は偽わりである。しかし、偽わりの教示にもかかわらず、 d' は一定であり β だけが犯された。

ところが、Clark の実験は偽わりの教示の内容および効果が量的な客観性に欠けていることを指摘したい。つまり、「促進」した、「禁止」したでは、その程度が量的に不明確である。また、効果においても、たしかに両群に差はあるが、統制群を設けなかったため、それぞれの教示の効果が不明である。仮に、ideal $\beta=3/7=0.43$ を統制群の β とした場合、促進群は $\beta=1.3$ なので、何ら促進の効果はなく逆に禁止なる結果となる。もちろん、 S_s は精神病患者であるから、この統制群の β は両実験群の中間に位置するかもしれないが。

以上、信号検出理論の一般的実験結果及び Clark の実験結果より、教示や偽わりの教示のような心理的要因は、 d' に影響を及ぼさず、 β のみに反映されるといえるだろう。それでこの実験では、Clark の追実験を兼ねて、偽わりの教示を客観的な量において与え、それが β に及ぼす影響を統制群との比較において量的にとらえるようデザインした。

実験仮説

仮説：偽わりの教示の効果は高次中枢的過程のみに反映される。

この仮説が支持されるには、 d' は不変であり、 β のみが増減するとの検証が得られねばならない。

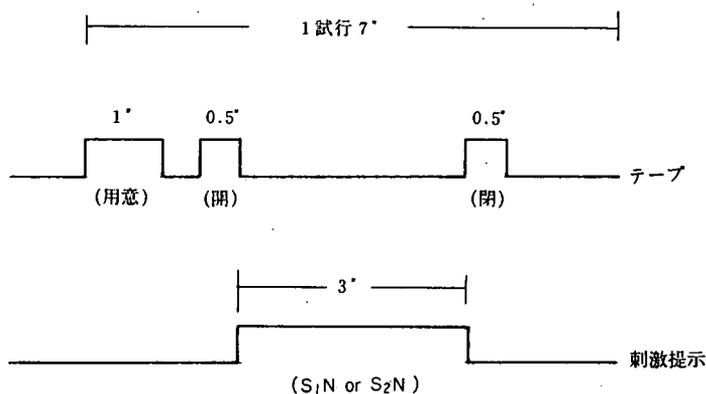
実験方法

この実験で使用した信号検出理論の手続は Yes-No method であり、さらにそれを 2 種類のチラツキ光刺激の弁別事態に拡張して使用している。

被験者 (S_s) この実験に選ばれた S_s は京都大学文学部心理学教室の学生男子 12 名、女子 6 名と、同大学体育会自動車部員男子 12 名の計 30 名である。彼等はフリッカーの経験は初めてであり、18~25 才であった。 S_s は 3 群に分けられた。つまり、「35:65」群 10 名、「50:50」群 10 名、「65:35」群 10 名である。

実験装置 フリッカー装置は「竹井機器工業 K.K.」製の「電子管フリッカー・T. K. K. Type F-6 No. 688」で、この装置はセクター式で、第 26 回日本産業衛生協会総会 (1953) で承認された規格¹³⁾ に従っている。その他、シャッター付衝立、顔面固定器、テープ・レコーダー等。

実験手続 刺激として用いたチラツキ光の頻度は、 S_1N として 30 cps, S_2N として 33 cps である。 S_1N 25回, S_2N 25回をそれぞれランダムに組合せ、合計50回を1ブロックとし、6ブロックをもって1 session とした。刺激の提示は(図4)のごとくに行なった。図中、凸部は、「テ



(第4図) 1試行における刺激提示手続

プ」では純音 1000 cps の発信音の合図を表わし、「刺激」ではその間に S_1N か S_2N のどちらかが提示されることを表わしている。このように、テープ・レコーダーの合図に合わせて全試行を続ける。実験者の刺激操作を S_s に見られないため衝立を両者の間に置いた。衝立のほぼ中央に穴をあけ、そこにシャッターをセットした。シャッターは実験者がテープ・レコーダーの合図に合わせて手動で開閉した。 S_s は顔面固定器で観察距離を固定して、シャッターが開いた時、刺激を観察し、反応した。

S_s を実験室に約5分間順応させた後、次のごとく教示を与えた。1)「刺激としてチラツキ光を2種類ランダムに提示します。チラツキ頻度が少ないと見えたら「1」、多いと見えたら「2」と答えて下さい。」そして、「35:65」群には「なおあなたの場合、チラツキ頻度の少ない方 S_1 と多い方 S_2 の提示比率は35%:65%です。」と教示する。同様にして他の群もその群の名称の比率を教示する。なお、「50:50」群は統制群、他の2群は実験群である。2) (図4)の説明をし、「シャッターが開いている3秒間に「1」か「2」か答えて下さい。全部で300試行連続して行ないます。」と告げる。3)「では始めますが、しばらくの間反応せずに観察だけしてして下さい。但し、反応に対する正誤の情報はありません。」と告げる。

このように教示を与えてから、予め用意された刺激提示リストに従って、まず10試行観察のみさせ、次いで同リスト項目を反復し練習反応させ、本試行へと続けていく。練習試行と本試行の境い目は S_s に知らせず、本試行100試行目と、200試行目で、それぞれ「100回済みしました。」、「あと100回です。」と告げた。

実験結果

実験の結果、各群の各 S_s の d' および β は(表2)のごとくであった。仮説が支持されるためには、まず d' が各群一定でなければならない。(表2)を見ると、「35:65」群、「50:50」群、「65:35」群の d' の平均はそれぞれ、 $d'=2.263$, $d'=2.237$, $d'=2.180$ であり、その差は統計的に有意でなかった(表3)。

仮説が支持されるためには、ついで β が各群において差がなければならぬ。(表2)のごとく、「35:65」群、「50:50」群、「65:35」群の β の代表値は、それぞれ、 $\beta=0.4046$, $\beta=0.9604$,

(表2) 各群における d' および β (注*代表値)

| 「35:65」群 | | | 「50:50」群 | | | 「65:35」群 | | |
|----------|-------|---------|----------|-------|---------|----------|-------|---------|
| S_s | d' | β | S_s | d' | β | S_s | d' | β |
| 1 | 1.321 | 0.6429 | 11 | 2.385 | 0.9593 | 21 | 1.984 | 2.0811 |
| 2 | 1.820 | 0.4056 | 12 | 1.500 | 1.0344 | 22 | 1.590 | 3.3471 |
| 3 | 2.396 | 0.1287 | 13 | 2.249 | 1.4247 | 23 | 2.945 | 8.9824 |
| 4 | 1.936 | 0.9497 | 14 | 1.959 | 0.6375 | 24 | 2.756 | 1.6124 |
| 5 | 2.496 | 0.5316 | 15 | 0.882 | 0.9615 | 25 | 2.054 | 1.6881 |
| 6 | 3.773 | 0.2856 | 16 | 2.682 | 0.9466 | 26 | 1.084 | 1.5962 |
| 7 | 1.023 | 0.8714 | 17 | 4.440 | 1.0000 | 27 | 2.052 | 2.1797 |
| 8 | 2.319 | 0.3491 | 18 | 2.687 | 0.8472 | 28 | 1.996 | 1.1807 |
| 9 | 2.468 | 0.2240 | 19 | 2.211 | 1.6107 | 29 | 3.537 | 4.8348 |
| 10 | 3.080 | 0.4035 | 20 | 1.370 | 0.8392 | 30 | 1.797 | 1.2520 |
| M | 2.263 | *0.4046 | M | 2.237 | *0.9604 | M | 2.180 | *1.8846 |

(表3) 教示の d' に及ぼす効果

| 変 動 因 | 平 方 和 | 自 由 度 | 平均平方 | F |
|-------|---------|-------|--------|-----|
| 教 示 | 0.0368 | 2 | 0.0184 | —NS |
| 個 人 差 | 18.8742 | 27 | 0.6990 | |
| 全 体 | 18.9110 | 29 | | |

$\beta=1.8846$ であった。この各群の代表値の差を H テストで検定してみた結果、 $H=22.549$ で統計的に有意であった ($p<0.01$)。さらに、「35:65」群と「50:50」群、「50:50」群と「65:35」群、「65:35」群と「35:65」群の β の代表値間の差を U テストで検定してみた結果、それぞれ統計的に有意であった ($U=92$ $p<0.05$, $U=93$ $p<0.05$, $U=100$ $p<0.05$)。

以上、 d' は不変、 β のみ変化するとの結果から、偽わりの教示の効果は高次中枢的過程のみに反映されるとの仮説は支持されたと判断しうる。

結果の考察

客観的には、 $S_1N:S_2N=50\%:50\%$ で提示し、教示においてその提示比率を偽わったが、もし、教示どわりの提示比率で刺激を提示した場合、それらの ideal β は35:65では、 $\beta=0.5385$ 、50:50では、 $\beta=1.0000$ 、65:35では、 $\beta=1.8572$ となる。この値は各群の obtained β に非常に近い。この様に偽わりの教示は感性的過程には何ら影響を及ぼさず、高次中枢的過程において、その方向に向かって反映されると判断しうる。そして、信号検出理論は偽わりの教示のような心理的要因にも何ら犯されない純粋な感性的過程の測度を得ることのできる精神測定法として、感性的過程に関する研究に適用可能なのではないかと期待されうる。

なお、信号検出理論には、 $f_N(x)$ と $f_{SN}(x)$ が正規分布し、等分散であるとの仮定があった。この検証は、ROC カーブを正規座標 (normal coordinates) で描いた場合、勾配1の直線になるかどうかによってなされる。各群の hit と false alarm の平均を、正規座標にプロットしたとこ

る、勾配約0.847の直線を得た。Clark においては勾配約1.03を得ている。このようにチラツキ光を刺激として用いた信号検出理論の実験において、正規分布、等分散の仮定は、十分に満足されていると判断しうる。

実験 II

実験目的

実験 II では、生理的要因として負荷を操作し、はたして、先述の3つの仮説のうち、どれが支持されるかを検証することを目的とした。

さて、負荷を加える手段であるが、それを自転車エルゴメーターに求めた。負荷量は、負荷抵抗と負荷時間の積で定義される。負荷抵抗は、実験装置に客観的な目盛が装着されていなかったため、実験者の主観にて、およそなだらかな坂道を自転車で登るぐらいの強さにセットした。もちろん、実験期間中その強さは変化させなかった。負荷時間については、Moss 等¹⁰⁾ の実験を参考にし、15分とした。彼は自転車エルゴメーターによる15分負荷において、生理的な種々なる測度に変化を発見している。しかし、当実験と彼の実験とは、負荷抵抗が一致するとの保証が得られないため、当実験の負荷時間15分は、おまかな見当に過ぎない。

信号検出理論では、 d' や β に影響を及ぼす要因として、物理的要因や心理的要因については幾多の実験がなされている。そして、心理的要因は、先述のごとく β のみに反映されることが明らかにされている。物理的要因は、一般に刺激提示時間、刺激強度、または、刺激時間×刺激強度等を操作して、 d' のみに反映されることが明らかにされている¹⁵⁾。しかし、生理的要因の効果についてはまだ実験されていない。けれども、従来の精神測定法において、生理的要因の CFF に及ぼす効果は種々に検証されている¹²⁾ のであるから、もし当実験における負荷量が生体の内的過程に何らかの変化をもたらすに十分であるなら、信号検出理論においても、 d' あるいは β に何らかの反映があるはずである。ゆえに、次なる仮説が立てられた。

実験仮説

仮説 1 負荷の効果は感性的過程のみに反映される。

仮説 2 負荷の効果は高次中枢的過程のみに反映される。

仮説 3 負荷の効果は両過程にそれぞれ反映される。

仮説 1 が支持されるためには d' のみが、仮説 2 に対しては β のみが、仮説 3 に対しては d' と β が共に変化したとの検証が必要である。

実験方法

この実験は、実験 I とほとんど同じ方法で行なわれた。

被験者 (Ss) S₁ は実験 I を経験した男子と、新しく実験 I の「50:50」群と同じ手続で訓練した男子の合計30名である。このうち20名を負荷群、10名を無負荷群とした。前者は心理学専攻生5名、自動車部員15名よりなり、後者はそれぞれ6名、4名であり、15分間無負荷状態、つまり休憩させる。

実験装置 フリッカー装置は実験 I と同じである。自転車エルゴメーターは、「ヒカリ自転車 K. K」製で、それは一般に競輪選手の訓練用として市販されているものである。負荷抵抗は、ゴムタイヤに合成樹脂製の小さなローラーを強く押し付けることにより得る。なお速度計と距離計が装着されている。その他、ストップ・ウォッチ等。

実験手続 刺激として使用したチラツキ光の頻度は、S₁N として 30.5 cps、S₂N として 32.5 cps である。実験 I と比べその差を小さくした理由は、session 後半において一度も誤答を犯さない S₁ が表われたことによる。刺激提示順序は実験 I と同じであるが、3ブロックを 1 session とし、

負荷前に1 session, 負荷後に1 session を当て, 計2 session とした. なお練習効果を避けるため, 負荷前 session に50試行, 負荷後 session に10試行の練習試行を加えた.

刺激提示時間は2秒とした. 実験Iの3秒より短くした理由は, 負荷前後に接近した生体のレベルを測定することにある. 刺激提示時間の長短と d' との関係はあるが, その時間が1秒以上である場合は無関係であると考えられる. Mahneke は, 提示時間1秒, 3秒, 6秒と CFP との関係を実験したが, その間に有意な差を見出ししていない⁸⁾. なお, Clark等³⁾, Clark⁴⁾ では, 1.7秒である.

反応に対して重み付けをした. 正答1回につき1円の賞金, 誤答1回につき1円の罰金を課し, 実験終了後賞罰の差額を支払った. その結果 S_5 は122~284円の金額を得た.

S_5 に時速20 km のペースで自転車エルゴメーターを15分間踏ませた. ペースの遅早は100 m毎にチェックし, 常に等速度を保たせた. そのチェックは予め用意された距離と所用時間の一覧表をストップ・ウォッチと見比べながら, S_5 自身が行なった.

S_5 に次の順序で教示を与えた. 1) 「実験Iと同様に反応して下さい. ただし, 自転車エルゴメーターを踏んでいただくお礼に, 成績に応じてお金を支払います.」と告げ, 上述の賞罰の説明を加える. これは, 両群に与えた. 2) 「実験Iと比べて刺激提示時間が2秒に短くなっています. 刺激提示比率は50%:50%です. 前半は150試行ですが練習試行が加わりますので少し長く掛ります.」と告げて測定を始めるが, S_1N と S_2N の頻度差が小さくなっていることは知らせない. 3) 前半の測定後, 負荷群には「それでは自転車エルゴメーターを踏んで下さい.」と告げ, 上述のごとき要領を説明する. 無負荷群には「自転車エルゴメーターを踏んでいただく予定でしたが, あなたにはその必要がありません.」とこの時初めて無負荷群であることが知らされ, 15分間休憩する. 4) 後半の測定を行ない, 賞罰の差額を支払う. なお無負荷群にも支払った.

実験結果

(表4) 各群における前後の d' および β (注 *代表値 上は前, 下は後)

| 無負荷群 | | | 負荷群 | | | | | |
|-------|--------|---------|-------|-------|---------|-------|--------|---------|
| S_5 | d' | β | S_5 | d' | β | S_5 | d' | β |
| 1 | 1.953 | 0.7692 | 11 | 3.721 | 4.3072 | 21 | 2.935 | 1.5345 |
| | 1.658 | 0.7601 | | 2.692 | 2.9721 | | 2.887 | 9.4106 |
| 2 | 1.254 | 1.1660 | 12 | 1.799 | 2.4838 | 22 | 2.355 | 0.8542 |
| | 1.022 | 1.1233 | | 1.970 | 1.4540 | | 1.577 | 0.7228 |
| 3 | 2.377 | 1.3771 | 13 | 2.185 | 1.3931 | 23 | 1.684 | 1.0000 |
| | 2.286 | 1.0765 | | 2.222 | 1.0000 | | 2.102 | 1.0000 |
| 4 | 0.767 | 0.8582 | 14 | 1.640 | 0.8917 | 24 | 0.866 | 0.9074 |
| | 1.310 | 0.7816 | | 2.286 | 0.9289 | | 1.014 | 0.9257 |
| 5 | 2.995 | 0.4682 | 15 | 2.560 | 5.3172 | 25 | 0.721 | 0.9268 |
| | 3.156 | 0.3961 | | 2.496 | 0.8340 | | 1.173 | 1.0463 |
| 6 | 1.685 | 1.0831 | 16 | 0.952 | 1.1959 | 26 | 1.885 | 0.9061 |
| | 2.222 | 1.0000 | | 1.208 | 1.0753 | | 1.790 | 0.8367 |
| 7 | 1.790 | 1.1972 | 17 | 1.524 | 1.3133 | 27 | 2.355 | 1.1707 |
| | 2.116 | 1.7434 | | 1.736 | 0.8814 | | 1.684 | 1.0000 |
| 8 | 1.273 | 1.2990 | 18 | 1.993 | 1.6378 | 28 | 1.790 | 1.1972 |
| | 1.252 | 1.1058 | | 1.831 | 1.0476 | | 2.046 | 0.9457 |
| 9 | 1.050 | 0.9413 | 19 | 1.837 | 1.2236 | 29 | 1.637 | 1.0389 |
| | 1.714 | 0.7176 | | 2.234 | 0.6849 | | 1.992 | 1.1158 |
| 10 | 2.858 | 0.5911 | 20 | 3.433 | 0.4776 | 30 | 3.546 | 0.5685 |
| | 2.239 | 0.7559 | | 2.906 | 1.1484 | | 4.436 | 1.0000 |
| M | 1.8002 | *1.0122 | | | | M | 2.0709 | *1.1833 |
| | 1.8975 | 0.8908 | | | | | 2.1141 | 1.0000 |

(表4)のごとき結果を得た。まず d' に変化が生じたかどうか。負荷群において、負荷前後の d' の平均はそれぞれ、 $d' = 2.0709$ 、 $d' = 2.1141$ であった。また無負荷群におけるそれは、それぞれ、 $d' = 1.8002$ 、 $d' = 1.8975$ であった。これらの結果を分散分析にて検定したところ、いずれの場合にも有意差が認められなかった(表5)。

(表5) 負荷の d' に及ぼす効果

| 変 動 因 | 平 方 和 | 自 由 度 | 平 均 平 方 | F |
|-----------|----------|-------|---------|------------|
| 群 (1) | 0.79118 | 1 | 0.79118 | 1.40355 NS |
| 前後 (2) | 0.5498 | 1 | 0.5498 | — NS |
| (1) × (2) | 0.01113 | 1 | 0.01113 | — NS |
| 細胞内誤差 | 31.56735 | 56 | 0.56370 | |
| 全 体 | 32.42464 | 59 | | |

ついで β に変化が生じたかどうか。負荷群における負荷前後の β の代表値はそれぞれ、 $\beta = 1.1833$ 、 $\beta = 1.0000$ であった。この差をサイン・テストにて検定してみた結果、有意差が認められなかった。また無負荷群におけるそれは、それぞれ、 $\beta = 1.0122$ 、 $\beta = 0.8908$ であった。この差をサイン・テストにて検定してみた結果、統計的に有意な差が認められなかった。

以上、 d' にも β にも統計的に有意な変動が認められなかった。ゆえに、3つの仮説はいずれも支持され得ないということになる。

結果の考察

この実験にて負荷群に加えられた負荷量は、生体の内的過程に必ず有意な変化を生起させるとの保証はなかった。しかし、心理学の分野において、生理学的なテクニックによりチェックはしなかったものの、種々なる文献を参考にして、たぶん生体に変化を生起させるであろう程度の負荷量を与えようとした。もちろん、各文献間と客観的に一致する負荷量を決定したわけではないので、当実験の負荷量は、果して生体の内的過程に有意な変化を生起させたか否かは決定できない。

しかし(表5)により、 d' は両群間、その前後間、それらの交互作用のいずれにも有意な差が認められていないこと、さらに β の変動においても無負荷群と同様に負荷群に変化が認められなかったことを考察すれば、負荷群には、生体の内的過程に変化を生起させるに十分な負荷量に加えられなかったのかもしれない。

試みに、従来のフリッカー法にて当実験で与えられた負荷量の効果を実験してみた。そして(表6)のごとき結果を得た。 t 検定したところ、負荷前後の CFF の平均間に統計的に有意な差を認めることができなかった ($t = 0.9NS$)。

要するに、当実験にて与えた負荷量は生体の内的過程に変化を生起させるに不足であったのではなからうか。とすると、仮説を立てるに前提としたことが満足されていなかったことになる。ゆえに、3つの仮説のいずれもが支持されなかったとの結果をもって、生理的要因は、感

(表6) 負荷15分における CFF の変化

| S_s | 前 | 後 | 後-前 |
|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 42.1 | 41.6 | -0.5 |
| 2 | 42.1 | 41.6 | -0.5 |
| 3 | 39.2 | 39.5 | +0.3 |
| 4 | 44.6 | 43.1 | -1.5 |
| 5 | 42.6 | 42.7 | +0.1 |
| 6 | 44.0 | 46.1 | +2.1 |
| 7 | 42.7 | 40.8 | -1.9 |
| 8 | 42.5 | 42.0 | -0.5 |
| 9 | 46.4 | 46.0 | -0.4 |
| 10 | 43.9 | 43.6 | -0.3 |
| M | 43.01 | 42.70 | -0.31 |

性的過程にも高次中枢的過程にも反映されないと結論するのは、なお早計であると思われる。

実験 III

実験目的

実験 II において、自転車エルゴメーター15分の負荷の d' および β に及ぼす影響について実験したが、両測度とも統計的に有意な変化が認められなかった。その原因を、生体の内的過程に変化を生起させるに負荷量が不足していたことにあると考え、当実験では負荷時間を30分に増して、実験 II と同じ目的にて研究する。

実験 II において、両群とも前よりも後の方が d' の平均がわずかに大きかった。これは、排除されるようにデザインされていたにもかかわらず、わずかながら練習効果が働いたのではないだろうか。実験 I においては、session 前半と後半における d' の差は統計的に有意であり ($F=5.1767$ $p<0.05$)、練習効果が認められたが、実験 II の無負荷群においては、その前後間の d' に統計的に有意な差が認められなかった ($t=0.7325$ NS)。ゆえに、統計的には、実験 II の S_s の練習効果は漸近状態に達していたといえる。しかし、まだ接線の勾配は 0 より多少大きかったのではなからうか。無負荷群の後半の d' は前半と比較して 0.0973 だけ大きい。また負荷群も 0.0432 だけ大きい。その増加は無負荷群より小さい。この両群の相違は、可能性としてわずかながら負荷の効果が反映しているのかもしれない。当実験では、実験 I, II を経験した S_s を用いることにより、練習効果の漸近状態をその接線の勾配においてさらに 0 に近付け、負荷量を30分に増大させて、その負荷の影響が顕著に表われるようデザインした。

なお、6分負荷群を設けた。これは、短時間の適当な筋肉活動は、生体にウォーミングアップの効果をもたらし、かえって生体のレベルを高める可能性がある^{7),9)} ことによる。したがって、実験 II において、 d' 、 β に変化が認められなかったのは、あるいはいったん高まった生体のレベルが、もとのレベルにもどった結果によるのかもしれない。もしそうであれば、30分負荷の効果を6分負荷との比較においてとらえた方がより顕著であろう。

実験仮説

実験 II と同じである。

実験方法

実験 II と同じである。

被験者 (S_s) S_s は全て実験 I, II を経験している。6分負荷群 (6' 群と略す) と30分負荷群 (30' 群) とを設けた。その分類は、自動車部員、心理学専攻生別に、彼等を実験 II における成績順に並べ、その奇数番を6' 群に、偶数番を30' 群に、原則として分け、両群を等質にした。その結果、6' 群は自動車部員 7 名、心理学専攻生 3 名の計 10 名、30' 群はそれぞれ 9 名、2 名の計 11 名であった。年齢は 18~20 才の範囲であった。

実験装置 実験 II と同じである。

実験手続 実験 II とほとんど同じであるが、教示として「負荷時間が変わるだけで、他は実験 II と全く同じことをしていただきます。」と告げ、各群それぞれの負荷時間を伝える。しかし、30' 群には6' 群の存在を知らせず全員30' 群であるように思わせた。

実験結果

(表 7) のごとき結果を得た。まず d' に変化が生じたかどうか、6' 群の負荷前後の d' の平均は、それぞれ、 $d'=2.256$ 、 $d'=2.390$ であり、負荷後の方が 0.134 大きい。そして30' 群のそれは、それぞれ、 $d'=2.212$ 、 $d'=1.967$ であり、負荷後において 0.245 の減少を示している。しかし、これ

らを分散分析にて検定したところ、群間にも、負荷前後間にも、それらの交互作用においても統計的に有意な差が認められなかった(表8)。

ついで β に変化が生じたかどうか。6' 群の負荷前後の β の代表値は、それぞれ、 $\beta=1.0000$ 、 $\beta=0.9427$ であった。この差をサイン・テストにて検定したところ、統計的に有意な差が認められなかった。そして、30' 群のそれは、それぞれ $\beta=1.3771$ 、 $\beta=1.2536$ であった。この差をサイン・テストにて検定した結果、統計的に有意な差が認められなかった。

以上、 d' にも β にも統計的に有意な変動が認められなかった。ゆえに3つの仮説はいずれも支持され得ないということになる。

結果の考察

実験IIにつづいて実験IIIにおいても負荷の効果は、信号検出理論の d' および β のいずれにも反映されなかった。これらの結果から、生理的要因は、感性的過程にも高次中枢的過程にも何ら反映されないと結論できるであろうか。これには、生体の内的過程に変化が生じた場合との前提があった。実験IIIでは、この前提を満たすため、より負荷量を30分に増し、一時的な生体のレベル・アップをも考慮して、生体のレベルの差を顕著にし、その差を6'群と30'群との比較においてとらえようとデザインされた。しかし、実際には、それほど大きなレベルの差が生体の内的過程に生じていたのではなく、もっと負荷量を、45分、60分と増大させなければ、大きな変化は生じないのではないだろうか。

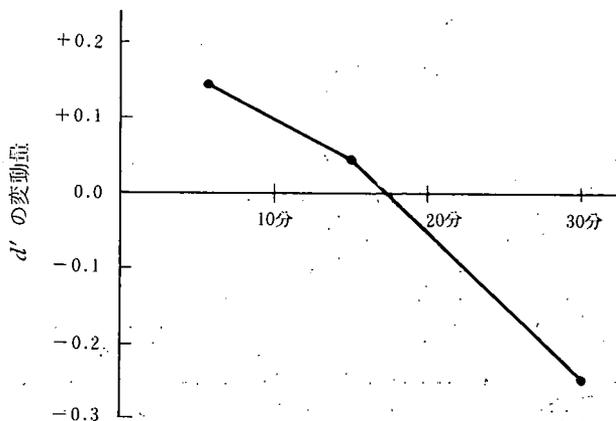
実験II, IIIを通して、6分、15分、30分負荷群の結果を比較してみると、負荷後の d' は負荷前の d' に比べて、それぞれ、0.134増大、0.043増大、0.245減少となっており、(図5)のごとき傾向が見られる。さらに、負荷後において d' の減少を示した各群の S_s の人数を比較してみると、それぞれ、10人中3人、20人中8人、11人中9人と、負荷量の増大とともに多くなっている。デザインの都合上

(表7) 各群における前後の d' および β
(注 *代表値 上は前, 下は後)

| 6'群 | | | 30'群 | | |
|-------|-------|---------|-------|-------|---------|
| S_s | d' | β | S_s | d' | β |
| 1 | 1.073 | 1.0182 | 11 | 3.546 | 1.7589 |
| | 2.046 | 0.9441 | | 3.072 | 1.9364 |
| 2 | 2.642 | 1.0000 | 12 | 2.172 | 0.9386 |
| | 2.355 | 1.1707 | | 2.488 | 1.0000 |
| 3 | 2.858 | 1.6918 | 13 | 2.372 | 1.3771 |
| | 3.156 | 1.7259 | | 2.052 | 0.8408 |
| 4 | 1.500 | 1.0000 | 14 | 2.400 | 1.6373 |
| | 1.312 | 0.8853 | | 1.702 | 1.2778 |
| 5 | 2.496 | 0.8345 | 15 | 1.022 | 1.1232 |
| | 2.163 | 0.5963 | | 0.939 | 1.0736 |
| 6 | 1.745 | 1.2376 | 16 | 1.774 | 1.4868 |
| | 2.190 | 0.5110 | | 1.472 | 1.2536 |
| 7 | 1.984 | 0.5201 | 17 | 3.329 | 6.3138 |
| | 2.028 | 0.5368 | | 2.802 | 2.6678 |
| 8 | 2.810 | 1.0000 | 18 | 2.017 | 0.7145 |
| | 3.002 | 1.0000 | | 1.553 | 0.8388 |
| 9 | 1.831 | 0.9546 | 19 | 1.623 | 0.7404 |
| | 1.924 | 1.5060 | | 1.604 | 0.8007 |
| 10 | 3.623 | 0.2295 | 20 | 2.046 | 0.9441 |
| | 3.719 | 0.2635 | | 2.321 | 2.8602 |
| M | 2.256 | *1.0000 | M | 2.212 | *1.3771 |
| | 2.390 | 0.9427 | | 1.967 | 1.2536 |

(表8) 負荷の d' に及ぼす効果

| 変動因 | 平方和 | 自由度 | 平均平方 | F |
|-----------|--------|-----|-------|----------|
| 群 (1) | 0.575 | 1 | 0.575 | 1.152 NS |
| 前後 (2) | 0.027 | 1 | 0.027 | — NS |
| (1) × (2) | 0.401 | 1 | 0.401 | 0.804 NS |
| 細胞内誤差 | 18.965 | 38 | 0.499 | |
| 全体 | 19.968 | 41 | | |



(図5) 6, 15, 30分における負荷前に対する負荷後の d' の変動量

3群の統計的な比較はできないが、6'群と30'群の比較はできる。その結果、その人数比に統計的に有意な差が認められた ($\chi^2=5.743$ $p<0.02$)。同様にして β について負荷後において減少した人数比を比較してみたが、統計的に有意な差は認められなかった。このように d' においてのみ、(図5)のごとき傾向が見られ、また、 χ^2 検定の結果、負荷の増大とともにその減少が認められる。しかし、 F 検定では有意差が認められていず、検定力では、 χ^2 検定より F 検定の方が強いので、 F 検定の結果に拘束され、統計的な保証は得られないけれど、負荷時間の増大とともに生体の感性的過程のレベルは低下しつつあるが、負荷に対する生体の抵抗力の個人差も原因して、まだ負荷量が十分ではなかったのではなかろうかと考えられる。

以上、負荷前後において、 d' および β に統計的に有意な差が認められなかったということの実験結果をもって、生理的要因は、感性的過程にも高次中枢的過程にも何ら反映されないと結論するのは早計であろう。さらに負荷量を45分、60分と増し、同様の実験を行なった結果をみて初めて結論すべきである。その場合、この実験Ⅲの結果の潜在的な傾向より推測して、生理的要因は感性的過程のみに反映されるとの検証が得られるものと予想される。

要 約

従来、心理的要因は高次中枢的過程のみに反映されると仮定され、さらに、生理的要因は感性的過程のみに反映されると仮定されている。本論では、これらの仮定を検証すべく信号検出理論を適用して3つの実験を行なった。その結果、実験Ⅰにおいて前者の仮定の検証は得たが、後者の仮定の検証は、実験Ⅱ、Ⅲにおいて得られなかった。しかし実験Ⅲにおいて、生理的要因は感性的過程のみに反映されるとの強い傾向が得られた。このことから、さらに実験の要はあるが、疲労の測定に望ましくない心理的要因に犯されないフリッカー法として、従来の精神測定法を使用するよりも、信号検出理論を適用して、その d' の変動をもって、疲労の測度とした方が良いと考えられる。

REFERENCES

1. ATKINSON, R. C., BOWER, G. H., and CROTHERS, E. J. (Eds.). An introduction to mathematical learning theory: Signal detection and probability learning. New York: Wiley, 1965.
2. BLACKWELL, H. R. Psychophysical thresholds: Experimentary studies of methods of measurement. Bull. Eng. Res. Inst. U. Mich., 1953, No. 36.
3. CLARK, W. C. The psyche in psychophysics: A sensory-decision theory analysis of the effect of instructions on flicker sensitivity and response bias. Psychol. Bull., 1966, 65: No. 6, 358—366.
4. CLARK, W. C., RUTSCHMANN, J., LINK, R., and BROWN, J. C. Comparison of flicker-fusion thresholds obtained by the method of forced-choice and limits on psychiatric patients. Percept. and Mot. Skills, 1963, 16, 19—30.
5. 浜口恵治. 疲労の測定 (I), フリッカー法の背景. 高知大学学術研究報告, 1970, 人文科学第19巻, 第7号, 69—73.
6. 浜口恵治. 疲労の測定 (II), フリッカー法の実用性. 高知大学学術研究報告, 1971, 人文科学第20巻, 第2号, 7—12.
7. HEBB, D. O. 白井常他訳. 行動学入門. 紀伊國屋書店, 1964, 95—96.
8. MAHNEKE, A. Flicker-fusion threshold: Comparison between the continuous and the discontinuous method. Acta Ophthalmologica, 1957, 34, 53—61.
9. MAGOUN, H. W. 時実利彦訳. 脳のはたらき. 朝倉書店, 1960.
10. MOSS, F. A., ROE, J. H., HUNTER, O. B., FRENCH, L., and HUNT, T. The measurement of fatigue by physiological method. J. of Exper. Psychol., 1931, 14, 423—438.
11. PETERSON, W. W., BIRDSALL, T. G., and FOX, W. C. The theory of signal detectability. IRE Professional Group on Information Theory, 1954, PGIT 2—4, 171—212.
12. 労働の科学特集, 産業疲労検査の方法. 労働科学研究所, 1952. 7, No. 6.

13. セクター式フリッカー値測定装置規格. 労働科学, 1953, 29: 305.
14. SWETS, J. A. Indices of obtained with various psychophysical procedures. J. acoust. Soc. Am., 1959, 31, No. 6, 511-513.
15. SWETS, J. A., TANNER, W. P., JR., and BIRDSALL, T. G. Decision process in perception. Psychol. Rev., 1961, 68, 301-340.
16. TANNER, W. P., JR., and SWETS, J. A. A decision-making theory of visual detection. Psychol. Rev., 1954, 61, 401-409.

(昭和47年 9 月29日受理)

