

Flicker 値の生理学的意味と測定上の諸問題

—Flicker Testの理論と実際—

橋 本 邦 衛*

PHYSIOLOGICAL MEANING OF THE CRITICAL FLICKER FREQUENCY

(CFF) AND SOME PROBLEMS IN THEIR MEASUREMENT.....

THEORY AND PRACTISE OF THE FLICKER TEST

Kunie HASHIMOTO*

The most important thing in considering the physiological meaning of flicker fusion frequency is to clarify the location of critical component of CFF. Since SHERRINGTON, HECHT and GRANIT the fusion of flicker had been believed to take place in the retina, but WALKER and KOGI proved by their electrophysiological experiments that evoked potential in the visual system has its fusion first in the visual cortex as about half frequently as in the retina later, and it was ascertained by GELLHORN and the auther that sensational fusion threshold i. e. CFF should change nearly parallel to patterns in electroencephalogram as a criterion of the excitability of the neocortex. That CFF rises with mental concentration may be due to the direct increase of physiological fusion frequency in the visual center and more to the increase of temporal resolving power by the spontaneous excitation of the visual association area. It is therefore, considered that physiological fusion occurs in the visual center less frequently than in the retina, and sensational fusion much less frequently than in the case

of physiological fusion.

In summary, CFF is a representation of the excitability of the sensory association cortex and of the visual system, and if the excitability of the retina is maintained almost uniform, and the reading of changing points of flicker is not erroneous, CFF can be regarded as a good index of the excitation level of the sensory area of the neocortex, or the arousal level of consciousness. One of the most important task for the labour physiology is to know the level of one's mental activity or tention during his work. And the flicker test will be able to answer the demand most suitably.

CFF does not always drop while one is fatigued. If one undergoes the flicker test at the transition or the end of the work when he is temporarily evoked, or if he is given some stimulation by the test or anything, low CFF caused by fatigue can not be obtained as it is for the temporary excitation, because CFF changes sensibly with the involvement of consciousness. Unless this rule is observed in every detail, good results can not be expected in the flicker test.

1. 疲労検査法としての応用

Flicker Test またはチラツキの融合閾値 (Critical

* 日本国有鉄道労働科学研究所 労働生理研究室

* Laboratory of Labour Physiology, Institute of Labor Science, Japanese National Railways.

Flicker Fusion Threshold) の測定は、現在のところ精神疲労の判定法として、最も重要な生理学的機能検査法の一つにあげられるが、この原理はすでに 100 年も前から、交照光度計として、物理学的測光、ことに異色測

光に用いられ、また視覚生理学では、物の明るさと見え方の問題や、網膜細胞の機能研究 (Cobb 1916, Hecht 1932~1935, Crozier 1939) に応用されてきた。当時から、チラツキの消失または融合をおこす最小交番回数は、観測者の個人差やその時の心身状態によってかなり変化することが気づかれていたが、これを産業疲労の検査法として使い出したのはごく最近のことで、筆者の知るかぎりでは、Simonson(1941) が最初だと思う。

Simonson^{1,2)}は、種々な身体的精神的作業に flicker test を試み、融合閾値は、視覚中枢あるいは、おそらく中枢神経系全体の興奮性をあらわす有用な指標であり、中枢神経系に關与する疲労を検出する方法として役立つことを明らかにした。本邦では、梶原³⁾ によつてはじめて紹介され、戦後、大島^{4,5,6)} によつて精神疲労の判定に利用する途がひらかれた。

大島は、各種の産業労働や実験作業で flicker 値 (以下FFと略す) の変動を研究し、精神疲労あるいは大脳機能の変動の仕方には、つぎのような法則性が存在することを明らかにした。

1. FFも、生体の恒常性維持 (homeostasis) の原則にしたがい、つねに固有な準位を維持するように変動し、準位からの偏位が大きいときほど、逆向きの変動あるいは復元力も大きくはたらく。これは中枢神経系のもつ著明な変動特性だと考えられる。
2. FFも、他の身体機能と同様に、昼夜の周期にしたがう波動現象を示す。
3. 作業による日内変動と作業前値の週内変動との間には高い相関性が示され、第1作業日の低下率が大きいほど、作業前値の週内低下率もまた大きい。
4. 上の事實は、作業による疲労の蓄積傾向が、FFに表示されることを教える。したがって、FFにより、疲労の量的処理あるいは段階づけが可能であることを教える。
5. FFは、筋労作によつても低下し、労作が強いほど低下も大きい。したがってFFあるいは大脳機能の変動に関しては、身体疲労も精神疲労も本質的には異ならない。

上述のような変動特性から、大島は、FFが大脳の興奮性または緊張度の代表値とみられることを明らかにし、flicker test を大脳疲労の検出に利用する上の測定条件や、変動要因および判定法について、数多くの業績を挙げた。

1951年、桐原と大島を中心に、日本産業衛生協会の中に産業疲労研究委員会が設置され、flicker test は他の

疲労判定法との関連のもとに、さらに広汎な産業職場で検討され、労働生理学あるいは産業心理学の重要な研究手段として今日の発達を見るに至ったのである。

2. チラツキの融合部位——FFの生理学的意味

チラツキの融合は、視覚系のどの部位でおこるのであろうか。神経線維では、50 cps 程度の融合は考えられないから、網膜か皮質中枢かのいずれかだといつてよい。従来視覚生理学では、網膜で融合がおこると考えられ、物の見え方や網膜の受光細胞の特性などが、融合閾値によって研究されてきた。網膜融合説の基礎になったものは、融合頻度が刺激光の強さや照射面積に比例する事実であったが、Granit⁷⁾は、微小電極による網膜の活動電位が、刺激光の明滅頻度を高めるときに消失することを見て、網膜説を不動のものと考えた。また Hecht⁸⁾は、光化学的に、網膜の感光物質の濃度変化を考えた計算式について、光照射による分解量と光遮蔽による合成量とが等しいときに融合がおこると仮定すれば、照射の強さとその明暗比によって、Talbot の法則がよく証明できることを発表した。さらに Hecht (1933年) は、刺激光の強さと融合頻度との関係を測定し、照射部分を中心窩にかざれば、この関係は単一の曲線となるが、照射範囲を拡大すると、低照度側の曲線に折れ目が現われて、二つの曲線にわかれる。この曲線の分離は、彼の網膜の二重構造説を裏書きするものだと考えた。Crozier もこれを追証し (1937年)、さらに種々な動物について、網膜が杆体のみから構成された gecko と錐体のみの turtle では、図1のように、二重構造に適合するような曲線が得られた (1939年) が、しかしただ1種の細胞しか存しないカエルにも、ヒトと同様な二重

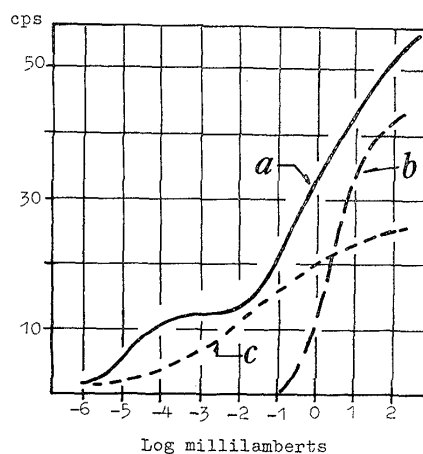


Fig. 1 CFF-curve for the man (a), turtle with cone retina (b) and gecko with rod retina (c). CROZIER & WOLF, 1937, 1941.

曲線が得られたことから、融合を網膜の特性としてだけ解釈するのは困難であって、中枢の統合作用をも無視することはできないといった(1941年)。

Simonson も彼の綜説⁹⁾の中で、網膜融合説が過信されている点を強く指摘し、従来の研究業績をみれば、融合はむしろ中枢側でおこると考えざるを得ないことを主張している。たとえば、網膜説の出発となった Sher-rington の古典的業績(両眼視によっても、単眼視によっても、融合頻度に差異はない——1904年)は、最近 Iveland (1950年)や Baker (1951年)の研究によって否定されたこと、単眼視の場合に、他眼を同時に照射したり、out-of-flicker で刺激すると、融合頻度が低下するのは中枢間で制止がおこるためであり、単眼視よりも両眼視の融合頻度が高いのは、facilitation がはたらくためと考えざるを得ないといっている。

Walker ら¹⁰⁾は中枢融合説を決定的にする研究業績を発表した。彼らは、猿の視覚系の各部から誘発電位を導き、明滅光の照射と同期する電位変動が融合をおこす最大頻度は、視索では 62 cps, 外側膝状体では 59 cps であるのに対し、皮質有線領のそれは 34 cps であった。したがって、網膜でも融合するが、視覚中枢ではさらに低い頻度で融合がおこることを明らかにした。小木¹¹⁾も、猫の視覚系の各部に埋めこんだ電極によって、同様の事実の存することを確認し、また O₂ 不足, ether 吸入や alcohol 投与によっても、皮質野の電位変動がさきに消失すること。また脳幹網様体、視床非特殊核や視床下部後部を高頻度電流で刺激すると、新皮質の覚醒反応が強まり、皮質の融合頻度が増加する。しかしその際も、外側膝状体や視索では、頻度が変らないことを見た。以上の成績から、小木は、生理的条件下での FF の変動は、皮質性のものであり、新皮質が賦活系によって覚醒状態におかれることが、FF の上昇をおこさせる基礎であり、逆に、皮質の活動水準が低下すれば皮質の FF も低下すると考えることができる、といっている。

Walker や小木の実験では、視覚中枢における電位変動の融合が、感覚的融合と一致するかどうかの問題が残されているが、明滅光によって生じた電位変動が、網膜で融合する前に、皮質中枢ではその約 1/2 の低頻度で融合がおこることはほぼまちがいない。しかも、このときの融合頻度は新皮質の興奮性に依存し、興奮性を低下させるような生理的 stress は融合頻度を低下させ、興奮性が高まれば頻度も上昇するという関係が重要である。感覚的融合つまり FF も、電気的融合と同じ法則にしたがうと考えてよいから、FF は新皮質の興奮性に依

存して変動すると考えるべきであり、したがって、FF がたとえば頭皮上から誘導される脳波の興奮 pattern と密接な関係を示すことが期待される。Gellhorn¹²⁾は、酸素欠乏によって FF の低下が現われはじめたとき(約 6% の低下)、光照射による α 波の抑制効果が減少し、また FF の最も低下した時期(約 16% の低下)には、 α 波の抑制作用が消失したことを確かめている。筆者¹³⁾も、酸素不足を stressor として、軽度の意識障害を誘発させる実験によって、FF は血中 O₂ 濃度の減少とほぼ平行して低下すること。そして flicker test と同時に記録した脳波の pattern は、FF の低下につれて下位の興奮 pattern へ移行し、FF と新皮質の興奮水準との間には、明らかな相関が示されることを知った。そこで、意識の軽度障害をとまなう大 α 波や θ 波が出現しはじめたときの FF は、正常な精神活動の保持される下限の critical level を指示するものと考え、この限界を下回るほど FF が低下した場合は、精神作業能力、たとえば 1 位加算力も急に障害されてくることを、実験によって明らかにした。

FF は、接次的に与えられた光刺激の時間間隔を識別する機能を表わす値であるが、Walker らによれば、この temporal resolving power は、空間識別力よりもおとっているという。これはたとえば、疲労のような生理的 stress によって視力はあまり変化しないが、FF は鋭敏で容易に低下することを見てもうなずけよう。まだ生理学的に実証されていないが、中枢で受衝された感覚情報は、視覚連合領(有線旁領や後頭前域)で識別されると考えられている。この作用が時間識別に関して弱力なのは、この識別機序に参加する神経要素の数がすくないか、あるいは広域に分布されているためではないかと想像される。そこで時間識別を良くするには、神経要素のはたらきを強化すること、つまり連合領の興奮性を自発的に高める必要があるのではないか。これは内省的にも、たとえば視力検査より flicker test の方が、識別にあたって努力を要することからもわかるし、また心の緊張や注意の集中によって、FF が容易に上昇するという事実も、この見方から理解できよう。図 2 はそれを示したもので、座位安静時の FF がほぼ安定した頃をみて(白丸)注視の努力をさせると、FF が高まり、努力を止めさせると、前の水準にもどる。また数分後に(黒丸)安静水準が低下した時にも、注意の指向によって、再び FF の高進が示される。Wachholder ら¹⁴⁾も、自発的緊張によって、FF が 4~5 cps も高まり、完全な心の弛緩によって、同じ程度の低下が現われることを見、FF

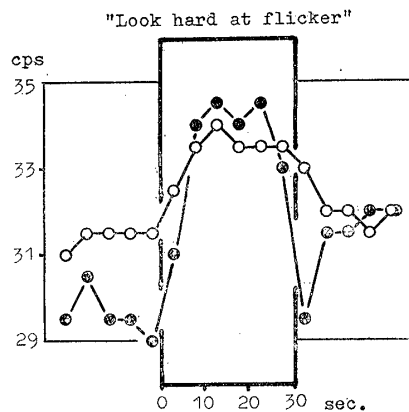


Fig. 2 CFF-rise cause by concentrated vision.

は必ずしも疲労検査に有用とはいえないが、人間労働を規定する種々な精神因子、とくに“Konzentration”を生理学的に評価する可能性が、FFの測定によって生れてきたと述べている。

注視の努力によってFFが上昇するのは、視覚中枢でのチラツキの受衝が増加し、融合閾が高まることも一因であろうが、注視をともしない自発的緊張でもFFが上昇するから、努力や緊張という意識の作用が、皮質知覚領の興奮性を高め、二次的に時間識別機序の機能を良くしたためと考えた方がわかりやすい。眼を閉じて空間の1点を凝視したり、緊張努力をすると、 α 波が抑制されて、視覚中枢のみならず、皮質全域の興奮性が高進することが、脳波によって証明される¹⁵⁾が、これを一次的要因として、チラツキの識別力が増加するのであって、受衝中枢での融合閾の増進が直接の要因ではないと考える。前述のように、視覚中枢でも生理的な融合がおこるが、おそらく、それよりも低い頻度で、連合皮質の識別機序は融合を感知し、これが感覚的融合頻度、もしくはFFとして表示される。したがって、FFは視覚連合領の興奮性に依存し、その興奮水準にしたがう値を表示する。こう考えると、FFと脳波 pattern との関係や、皮質の興奮性との関連がよく理解できると思う。

もう一つの例を考えてみたい。ソ連のギリヤロフスキーらが考案した電気睡眠法¹⁶⁾は、眼瞼と後頭部に電極をおいて5 cpsの弱い短形波電流 (pulse 巾 0.2 msec) を通じ、自然睡眠に導く方法であるが、いま電流を流しながら、2分おきに測定したFFをまとめてみる¹⁷⁾と、6名の平均値は図3-aのように、5 cpsの電流刺激では、FFの軽度な低下を示し、大脳に睡眠制止が軽度ながら発生することを立証したが、電流の刺激頻度を40 cpsに

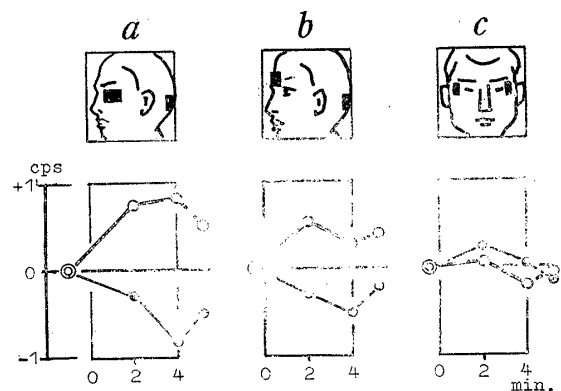


Fig. 3 Effect of the position of the electrodes and the frequency of weak electric stimulation upon CFF.

Open circle; 40cps, solid circle; 5 cps of the spike current, its duration is 0.5 msec. Mean values of 4 subjects.

してみると、逆にFFが上昇し、大脳は興奮状態におかれることがわかった。これが網膜や視神経の刺激のためでないことは、図3-bや図3-cのように、電極位置を変えるとあまり効果が生じないことから明らかであって、一部の電流が視索にそって、間脳を刺激するためと考えられる。秋元¹⁸⁾は、視床性睡眠の研究にあたって、視床催眠帯 (秋元) を5 cpsの弱電流で刺激すると、自然睡眠と同性質の睡眠を、また同じ部位を30 cps以上の頻度で刺激すると、覚醒反応をおこすことを見出している。秋元は、視床統合系が低頻度刺激に対しては細胞放電リズムの同期化をおこし、高頻度刺激では非同期化をおこし、これが大脳皮質と皮質下領域に、制止または賦活となって現われると説明している。刺激頻度だけの差異によって、興奮性を全く逆方向に変化させ、あるいは表層電極によって、意識の覚醒水準を制御できるというのは、非常に面白いことであるが、ここでは、FFが意識状態の変化を check する生理学的方法として使える、という点が重要である。

以上をまとめるとつぎのようにいえると思う。チラツキの融合は、たしかに膜網でもおこるが、皮質の視覚中枢では、その約1/2の低い頻度で、生理的に融合をおこしている。しかし、これを融合と感知するのは視覚連合皮質の機能であって、感覚的融合つまりFFは、中枢における生理的融合と必ずしも合致せず、むしろ合致しない方が多い (中枢ではチラツキが融合しないのに融合したと感知することが多い) のではないか。また時間識別の機能は、視覚連合野の興奮性に、高度に依存すると考えられる。そこで、もし網膜の感光性がほぼ一定に保たれ、チラツキの転移点の判読に誤差がないならば、

FF は、視覚連合領あるいは知覚皮質の興奮性によって規定され、その興奮水準が FF に表示されるといってよい。

また精神機能や意識状態の変動も、生理学的には、新皮質の興奮性に依存すると考えられるから、FF は意識のはたらき、あるいは機能水準の指標だということもできよう。FF はそのような生理学的意味をもち、またその意味にしたがって、実際の応用が図られなければならないと、筆者は考えるのである。

3. 測定時に問題となる変動要因

FF の測定は、他の生理的機能の場合のように簡単ではない。測定の物理的条件を一定にするだけでは、flicker test の目的は達せられないのであって、被検者に対する慎重な配慮と、測定の場所や時点の選び方が問題になる。FF は疲労テストには使えないという疑問 (Wachholder ら¹⁴⁾, Brozek ら²⁰⁾)が多い中には、測定方法の control に欠陥のある場合も少なくないと考えられる。

FF は前述のように、自発的な緊張や、外からの興奮刺激によって鋭敏に変化する。テストすることがすでに刺激となって、被検者の意識の状態を変えてしまう。そこに、他の生理学的測定とは著しくちがった難かしさがあり、だからこそ、FF は意識状態の指標だともいえるのである。この特異性を考慮しない測定ほど、flicker test を困乱させるものではなく、またこの原則を無視した測定値ほど、実態の把握にとって有害なものはない。筆者が、現在までに報告されている多数の FF の成績を、あまり信頼しないのもそのためである。

FF の測定にあたって問題になる条件や要因については、前世紀から幾多の研究業績があげられている。その主なものは、Simonson⁹⁾ や Landis²¹⁾ の綜説に紹介されており、本邦では、大島⁴⁾ の業績を中心に、産業疲労研究会の編集した単行本²²⁾があるが、ここでは上に述べた意味からみて、測定条件として重要な要因を取り上げ、筆者の見解を述べてみたい。

3-1 測定装置に関するもの

(1) 試験光標の明るさ (luminance)

チラツキが融合して見えるときの明るさは、試験光の強さ I と、明滅の時間比すなわち明部 a と暗部 b の比 (明暗比) によって定まり、 $I \frac{a}{a+b}$ によって与えられる。これが Talbot の法則 (1834年) であって、明暗比が 1 : 99 から 99 : 1 の広範囲にわたって成立するといわれる。

明暗比を一定にして輝度 I を変えると、FF は $\log I$

に比例して変化する。これを Ferry-Porter の法則 (Ferry 1892年, Porter 1898年) という。しかし輝度が強すぎると、FF は最大値に達し、それ以上では、眩しさのために逆に低下する。また明るさを減じていく場合、光標の大きさが視角 2° 以内 (中心窩のみを照射) ならば、FF は $\log I$ に比例するが、網膜の照射範囲が大きくなると、杆体の機能高進のために二つの曲線に分離する。

FF と $\log I$ の関係は、試験光標をとりまく周辺の明るさによっても異なる (Cobb²³⁾)。図 4 はそれを示し

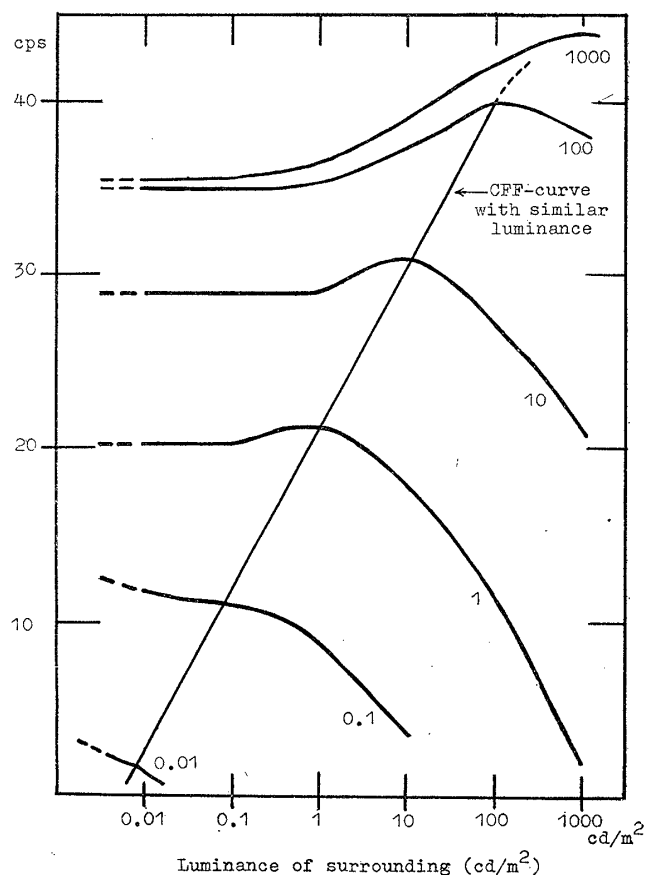


Fig. 4 CFF-curve for the surrounding illumination (L_p).
Parameter: luminance cd/m^2 of the central light (L_c).
4 subjects were tested repeatedly.

たもので、中心光標の明るさ (中心輝度 L_c) に対して周辺視野の明るさ (周辺輝度 L_p) が等しくなるときに FF は最大を示す。つまり周辺が明るすぎても暗すぎても、物の見え方は悪くなるということである。 L_p を parameter とする FF— $\log L_c$ の関係は、視角 0.5° 、明暗比 1 : 1 の装置では、図 5 のようになる (被検者 3 名の数回の反復測定による)²⁴⁾。すなわち、一定の周辺輝度についてみると、中心輝度 L_c がそれより暗いとき

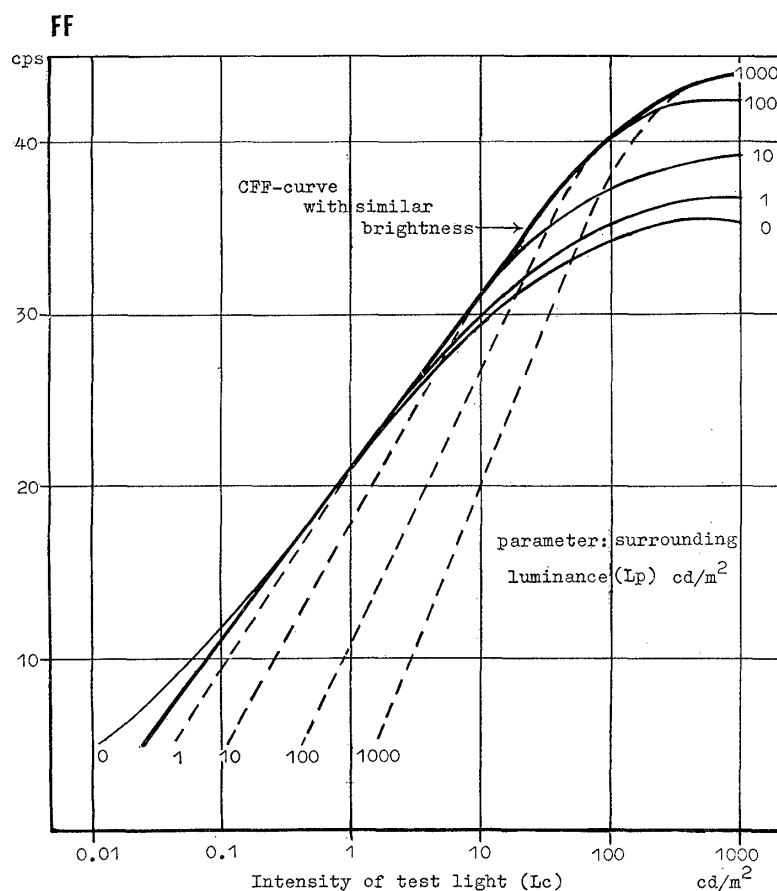


Fig. 5 CFF-curve for the intensity of the central light (L_c).

parameter: luminance of the surrounding (L_p).
Thin solid lines show the case of $L_c > L_p$, dotted lines $L_c < L_p$
and thick solid line is obtained in the case of $L_c = L_p$.

は、周辺の対比眩輝のために抑制されて、FF は急に低下するし、周辺よりも明るい場合は、 L_c 自体の眩輝のために、FF が低下する。種々な L_p でみると、 $L_p = L_c$ の場合にだけ、 L_c の広い範囲にわたって、Ferry-Porter 法則が成立するから、背景の明るさと等しいときに、視標の見え方は最良になるといえる。しかしこのときも、明るさが $50 \sim 100 \text{ cd/m}^2$ (これは反射率 80 % の拡散反射面上の法線照度の $200 \sim 400 \text{ lux}$ に相当する) 以上になると、Ferry 法則に従わなくなるから、見え方の上で最も好適な明るさは、 $200 \sim 400 \text{ lux}$ だと考えてよい。

(2) 中心光標の大きさ (網膜の照射面積)

試験光標が大きくなると、網膜の照射面積の対数に比例して、FF は上昇する (Granit and Harper²⁵⁾)。しかし照射面積が広がりすぎるとこの関係が成立せず、測定値が不確かとなる。筆者の成績は図 6 のようで、視角 (VA) が 0.3° から 5° までの範囲では、FF は $\log VA$ に比例するとみてよい。ただし視角が小さいと、

1 cd/m^2 以下の低照度で、FF の減少の割合が大きくなる。Simonson⁹⁾ は、錐体視による FF を測定すべきだとして、視角 $0.5 \sim 2.0^\circ$ がよいといい、大島⁴⁾ は $0.5 \sim 1.5^\circ$ を推奨している。面積が大きくなると、視線の固定が難かしいので、筆者は 0.4° か 0.5° の小視標がよいと考える。

(3) 明暗比 (LDR)

明滅光の明部と暗部の比も、変動要因として重要であるが、諸家の実験成績には、多くの点で食い違いが示されている。Simonson ら²⁶⁾、Crozier and Wolf⁹⁾、Bartley²⁰⁾、金子²⁷⁾ は、明暗比が大きくなれば、融合時の明るさは増す (Talbot 則) が、FF は低下するといいい、その理由を Crozier は、暗部が長いと、flicker の識別に関与する網膜要素の数が増大し、照射面積を大きくしたと同じ効果を生ずると説明している。大島⁴⁾ や Ives²⁰⁾ は、明暗比が等しいとき、FF は最大を示すという。明暗比は、放電管を使用した測定装置で問題になることで、neon 管のような瞬間的な放電 (0.1 msec 以下)

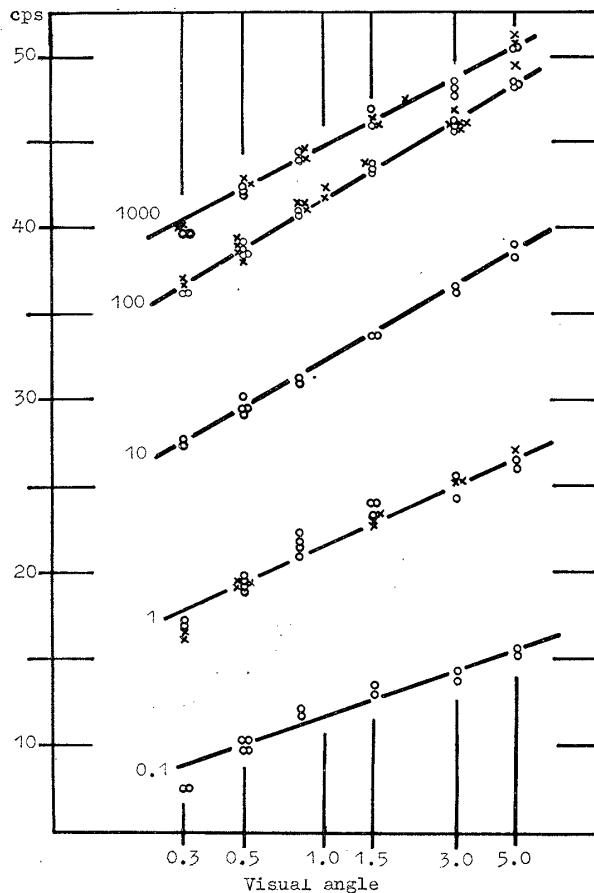


Fig. 6 OFF-curve for the visual angle of the central light.

Parameter: luminance of the test light $L_c = L_p$.

の場合は明暗比がごく小さくなり、また明滅頻度の変化によって、同時に明暗比も変化する点が論議的となる。sector 方式では、扇形角度が一定だから問題にならないが、大島のいうように、明暗比を1:1にした方がよいと考える。

(4) 光標の色

錐体視による FF は、中心光標の明るさが一定ならば、波長、したがって色には関係がない (Hecht and Schlaer) とされ、そのために、交照光度計が異色測光に利用されてきたわけである。しかし大島⁴⁾ は、monochrometer を使って波長別の FF を測定し、黄橙色の 600 mμ の光のとき、FF が最高値を示し、波長がそれより長くなっても短くなっても、視感度は低下すると報告している。いずれにせよ、一定の彩度をもつ光標の方が見易いので、筆者はカメラ用赤色 filter (R-3) を好んで使っている。

(5) Sector式測定器の装置条件

日本では、回転 sector を使って、光標を断続する機

械的方式が賞用されてきた。これは放電管を明滅させる電子管方式にくらべると、明滅の頻度にかかわらず、明暗比を一定に保ち、また光標の明るさを容易に調節できる点では優れている。しかし sector の回転による振動と騒音とを除去できないことが、最大の欠点だといってよい。最近、優秀な micromotor が生産され、ことに generator を併有するものが市販されるようになったので、装置の小型軽量化とともに、騒音の僅少な測定器が作成されるようになった。また sector を使うと、一定速度で回転を制御することも容易であるから、後述するような測定誤差をすくなくするには、むしろ非常に有利である。また小型の battery を使えば、交流電源のない場所でも測定ができ、flicker test の意味を生かした有効な使い方もできるわけである。

装置の物理的条件としては、中心光標の大きさを $0.4^\circ \sim 0.6^\circ$ 、明るさを周辺視野と等しく 50 cd/m^2 とし、明暗比 1:1 の sector を使うことがよいと思う。なお試験光には、小型白熱球を使用するが、市販品は同じ電流を通しても、明るさがかなり違うから、個々の電球について所定の明るさの得られる電流値を計測しておかなければならない。また眼から光標板までの距離は、調節力の衰えた老年者の場合を考えて、50 cm 程度にした方がよいと思う。

3-2 測定の操作に関するもの

(1) 融合閾かチラツキ閾か

チラツキの見える低頻度から、徐々に回転を速めて、融合感の生じたときの回転数 (融合閾) を求める場合と、はじめに融合して見える高頻度から回転を落して、チラツキの出現する回転数 (チラツキ閾) を求める場合では、前者の方が高い頻度を示すことが普通であって、回転の増減速度を、毎秒 0.75 cps にしたときの実験では、図 7 のように、1~3 cps の差がみられた。融合閾の方は、チラツキがかすかに消失するまでを follow up できるが、チラツキ閾では初めの微かなチラツキの発見がおくれるために、前者より低頻度を示すことになると思われる。すると両閾値の差は、判別の timing のおくれを表わすことになりそうだが、このとき、たとえば識別の努力をさせると、図のように融合閾もチラツキ閾も、ともに上昇する (チラツキ閾の方が上昇が大きい) から、普通の状態では、融合閾の方も早期に (低い回転数で) 判読されているとみてよい。また融合閾の測定の場合に Simonson⁹⁾ は、はじめに呈示されるチラツキの持続時間が閾値に関係するといっているが、これは融合までの所要時間が、注視の持続に影響するためである。

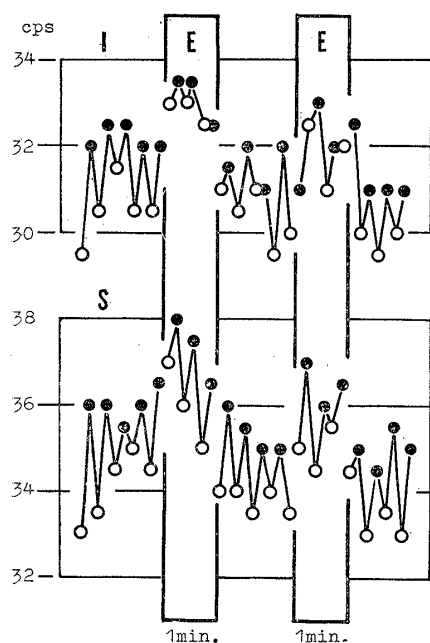


Fig. 7 Fusion threshold and flicker threshold at rest and during visual effort (E).

Open circles denote flicker and solid ones fusion threshold, I and K are subjects.

う。融合閾でも、チラツキ閾でも、これを感知するときの timing が問題になるのは、時間識別の機能が、意識の関与をより多く必要とするためだと考えてよい。このように、意識の状態が FF に影響することが、flicker test の面白さだと筆者はみるのである。その意味では、チラツキ閾を測定の方がよいわけであり、またその方が判読の誤差も少ないことは、大島の指摘したとおりである。

(2) 回転制御の速さ

チラツキの出現点の判別は、回転数の変化速度にも関係し、速やかに回転を落とすと、出現点は明瞭になるが、応答のおくれが大きくなって、FF は低い回転数の方にずれる。反対に緩やかに下げると FF の値は上昇し、図 8 に示すように、FF は回転制御の速度と逆比例する S 字型の関係にあることがわかる。変速が大きくなると、meter の読みの誤差も増すわけで、応答のおくれや注視の timing を考慮すると、毎秒 2~2.5 cps の制御速度が適当だと考える。

回転制御を手動でおこなう場合の測定誤差の多くは、変速が毎回一定でないことに起因している。機械方式の測定器では、sector の回転の inertia を利用して、定速で回転を落とすことも容易であり、この改良によって、測定者の相違による測定誤差が著しく小さくなることがわかった。なお回転を高める方は、瞬時に変速する方が

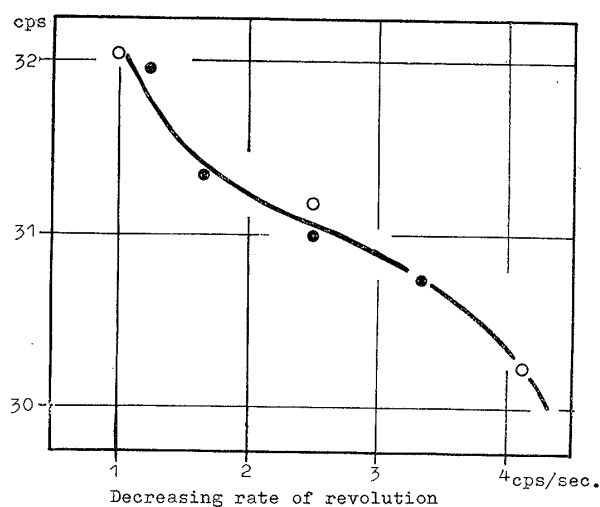


Fig. 8 Effect of the decreasing speed of sector's rotation on the CFF.

A point shows mean value of 4 subjects, to each one 2 times repeated.

好都合だから、押ボタンを使って、motor に過電流を流すようにすれば、測定操作も簡便になり、測定時間も短縮される。

(3) 両眼視か単眼視か

単眼視よりも両眼視の FF の方が高い。これを大島は、累加現象のためといい、Simonson は中枢間の疎通を考えている。両眼視の方が被検者も見やすく、測定値も安定しているが、眼から視標までの距離が短かいと、複視現象をおこすことがあるので、筆者は、この距離を 50 cm にとっている。

3-3 被検者の条件に関するもの

(1) 眼の順応状態

暗所に順応するにしたがい、FF は低下する。図 9 は 4 名の平均値を示したもので、約 10 分でほぼ一定値に達する（約 4% の低下）ことがわかる。網膜は、暗順応によって感光性を増大するから、FF が低下するのは奇異に見えるが、Simonson⁹⁾ はこれを、暗順応した網膜は速度をぎせいにし感光性を強める、という Granit の業績を引用し、光化学反応のおくれによると考えている。しかし電気閃光値 S_1 で表現される網膜の感電性も、暗順応によって減弱する事実（図 9）をみると、反応速度のおくれでは解釈できないように思う。

明所に順応した場合も、光の強さによって、FF は影響を受ける。眼前に輝面 screen を置いて、種々な明るさに照射し、これを 10 分間注視させたときの FF をみると、図 10 のように、FF は明るさの対数に比例して上昇するが、2 万 lux 以上の光に順応させると、逆に FF は急

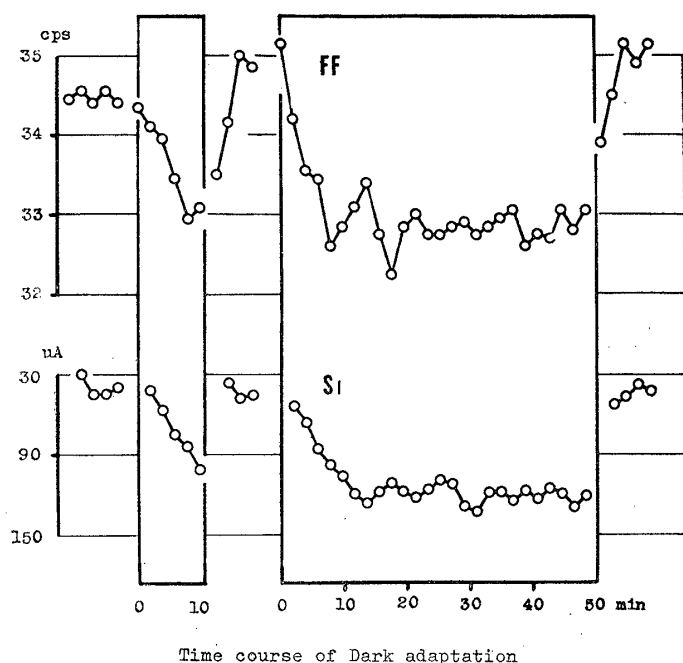


Fig. 9 Variation of CFF during dark adaptation.

S₁: threshold of the MOTOKAWA's electric phosphene. Mean value of 4 subjects.

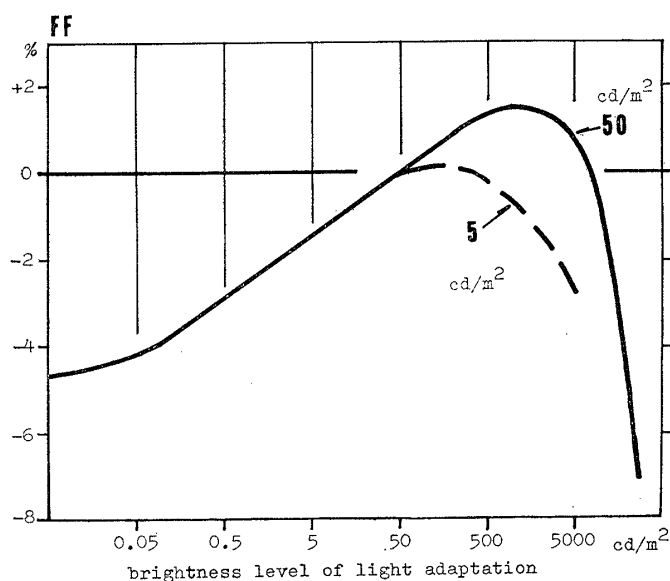


Fig. 10 CFF during light adaptation at the various level of environmental illumination.

Figures denote the brightness of the test light.

に低下してくる。この関係は、試験光の強さに対する Ferry-Porter の法則と同じであって、明所に順応すると網膜の興奮性が高まるために、FF が上昇する。また強い光に順応したときは、相対的に暗い FF の試験光の受容が妨げられるために、FF の低下をまねくとも考える

ことができる。試験光を $1/10$ (5 cd/m^2) に減光すると、図の破線のように、FF は明順応の低い段階ですでに抑制されることが、それを示している。

このように、FF は網膜の順応状態によって影響を受け、環境が明るいほど上昇する。照度が 0 から 2 万 lux になると、FF の変化は 6～8 % にも達する。したがって環境照度が著しく変化するときの FF の測定は、慎重にすべきで、変化の前後に細かい時間間隔で、test をおこなっておく必要がある。しかし昼間の室内と戸外では、FF の変化は 2～4 % であり、また光の刺激は、網膜だけでなく、脳の興奮水準にも影響することがわかっているから、照度変化を無視してもよいと考える。なによりも問題になるのは、強烈な太陽光に順応した場合の FF の抑制であって、筆者も戸外実験で、そのような例にそう遇したこと²⁸⁾ をつけ加えておく。

(2) 眼の屈折異常

高度の屈折異常がある場合は、測定値のバラツキや変動が大きいことがあるので、被検者としては適しないが、軽度異常なら問題はない。表 1 は、近視者をふくむ

Tab. 1 Binocular (B) and Monocular (L: left, R: right) CFF of 4 Subjects.

Subjects	Visual Acuity	CFF deviation 35 cps		
		Visual Angle		Total
		0.4	0.5	
F	B	-1.10	0.47	-0.63
	L 0.1	-2.07	0.13	-1.93
	R 0.2	-1.50	0.23	-1.27
O	B	-0.63	0.20	-0.47
	L 0.9	-1.13	-0.13	-1.27
	R 0.6	-0.60	-0.53	-1.13
Y	B	2.20	4.20	6.40
	L 0.5	1.77	3.73	5.50
	R 1.5	1.43	3.80	5.23
K	B	-1.10	-0.23	-1.33
	L 1.0	-2.10	-0.17	-2.27
	R 0.9	-1.23	-0.47	-1.70
Mean	B	-0.16	1.16	0.50
	L	-0.88	0.89	0
	R	-0.48	0.76	0.14

4 名の両眼視と単眼視による FF を示したもので、たとえば左右の視力差の甚だしい Y についても、単眼視の FF は左右間で差がみられない。近視眼では、網膜像の輪廓がぼけて散光円となるから、空間識別は不良になるが、網膜の照射面積が増すために FF はむしろ上昇する場合が多い。

(3) チャツキの出現点の識別と測定値のバラツキ

チャツキの出現点のとりえ方は、人によって違われ、また test に慣れない間も変りやすい。sector 方式では、チャツキが見えはじめる前に色調の変化がみられるが、これを出現点と判断する場合と、鮮明なチャツキを出現点とみる場合では、数 cps の差があるから、出現点

の識別がある程度まで安定しないうちは、測定が無意味になってしまう。

最初の test の場合は、識別点が低すぎたり高すぎる傾向があり、これは測定者のはじめの instruction に負うところが多い。大体 1~3 日で安定するが、時には測定を重ねていく間に、高頻度へずれることもある。しかし識別点は安定しても、個々の測定時に多少の狂いが避けられないから、3~5 個の反復測定値の間に 1 cps 程度のバラツキがみられる。また光標に対する注視が一樣に持続されないときは、識別点を見失って応答がおくれたり、視線を動かしたために、高 cycle のチラツキが見える場合もあって、時には 3~5 cps も急に変わることがあるが、これは測定誤差として除外する方がよいと考える。

(4) 測定時の被検者の状態と姿勢変化

測定時の姿勢は、安楽な椅座位が最もよいが、仕事によっては、立位でも臥位でも構わない。しかし測定のために姿勢を変えると、たとえば安静座位から立ち上ると、図11のように、FF は直ちに高進する。これは、筋紡錘からの impulse が、網様体賦活系を介して、知覚皮質領の興奮性を高めるためと考えられるが、立上がる動作をおこした意志の作用が、緊張を高めることもある

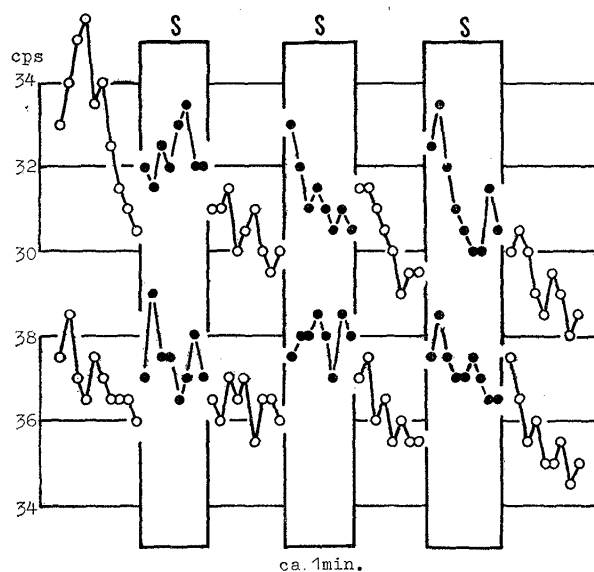


Fig. 11 Effect of erect standing upon resting CFF.

2 subjects were tested. As CFF begins to drop with rest sitting (open circles), the effect of standing (solid circles) becomes evident.

と思われる。

労作は、短時間ならば例外なしに、FF を高進させる。自転車 ergometer 作業を約30分間続けたときの、8名の平均値は、図12のように、労作強度が増すにつれ

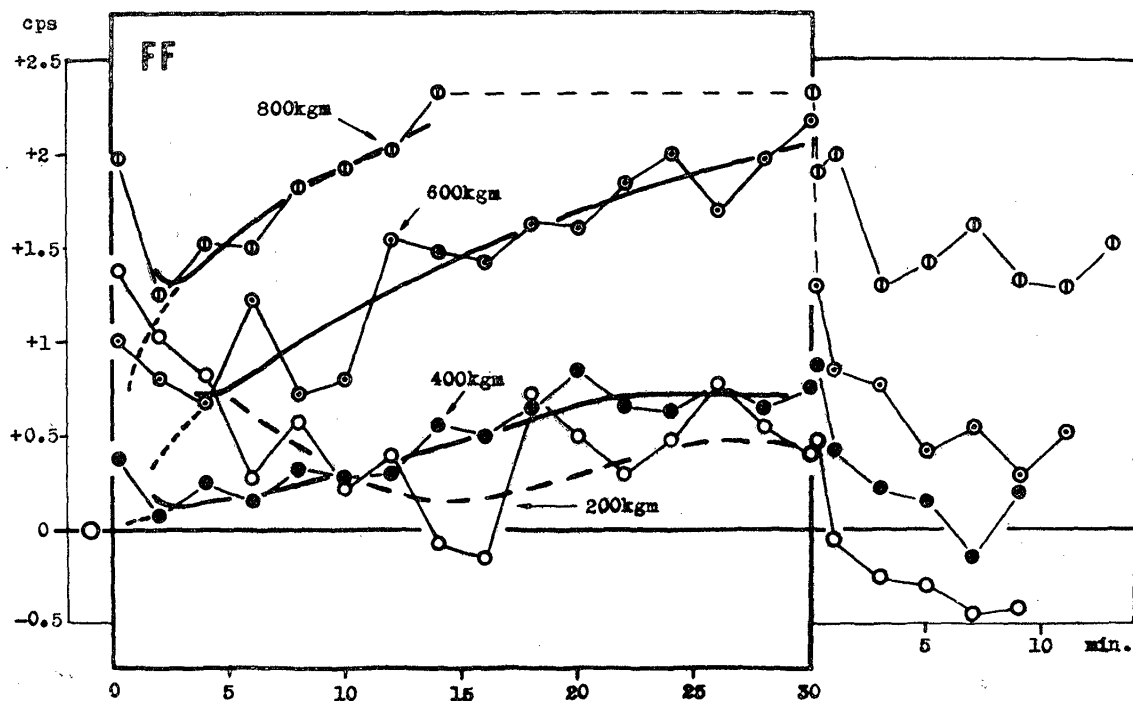


Fig. 12 CFF during physical exertion.

Noted numbers designate the work intensity of pedalling on the bicycle-ergometer. Each point shows mean value of 8 subjects.

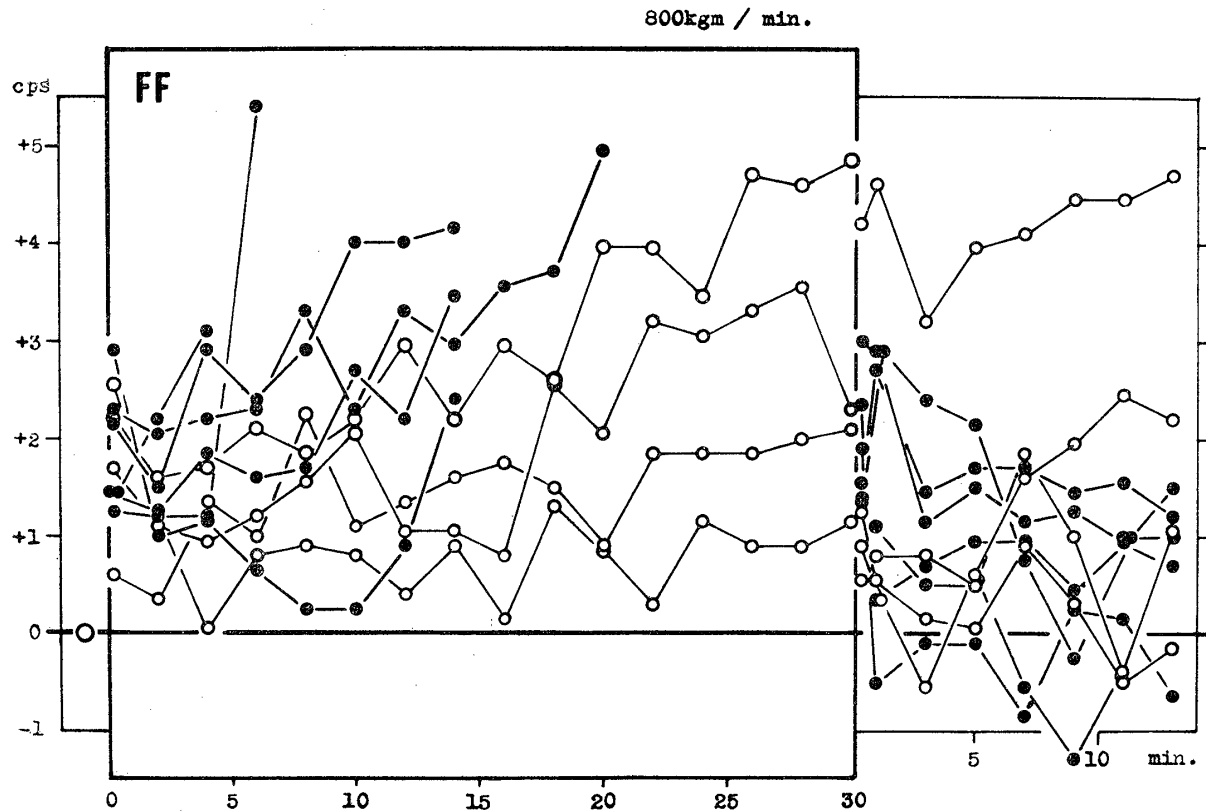


Fig. 13 CFF during and after the heaviest work (800 kg/min).

Open circle: CFF of 4 subjects, endurable 30 minutes,
Solid circle: CFF of 6 subjects, less endurable.

てFFの高進も増し、労作後にも効果が残る。体力の強いものはFFの高進がすくない。たとえば、800 kgm/minの作業を30分間持続し得たもの（白丸）は、他者（黒丸）にくらべて、FFの上昇がすくない（図13）。また労作が軽すぎても、pedallingに苦勞して、FFは逆に高進する傾向がみられる。また25 kgないし50 kgの重荷を背負う静的労作でも、図14のように、負荷が大きいほどFFも高進する。これらをみると、労作を持続するための意志の努力が、FF高進の一つの要因であることが理解されよう。

このように、筋労作はFFの変動要因として無視できない。したがって、測定のために動作をおこしたり、姿勢変化を強制すると、それまでの作業時の状態を著しく変化させてしまうおそれ大きい。

(5) 測定の場所と測定器の構造

FFは、前述のように、その時の興奮水準に応じた変化を示すし、またその変化をみるのがflicker testの主目的だとすれば、testが被検者を刺激して、意識の状態を変えてしまうことほど目的に反するものはない。休息時の安静水準を測定するような場合は、とくに難かし

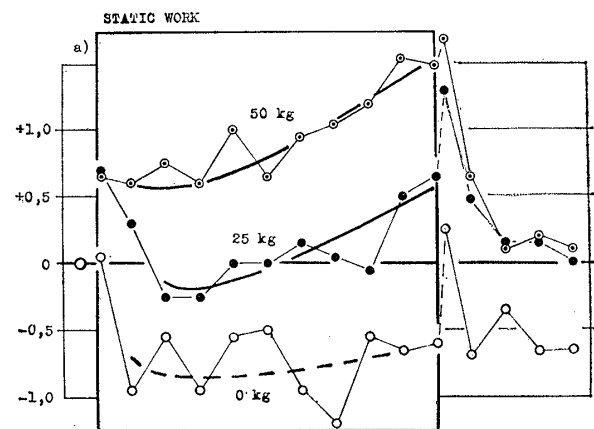


Fig. 14 CFF during static work (standing shouldered a weight).

Noted numbers: weight in kg.
A point denote mean value of 3 subjects.

く、測定者の細かい心づかいが必要である。休息のままの姿勢を乱さないように、testに無関係な人を室に入れないように、雑談で相手を刺激しないように、隔々まで配慮する必要がある。また作業を中断してtestする場合は、被検者を測定室まで連れ出すことは禁物で、装

置を作業室に運び込み、被検者の側へ行って、作業中断後10秒以内に測定をはじめることが望ましい。作業姿勢を変えることも、無論避けた方がよい。

したがって測定装置は、そのような使用に適するものでなければいけない。被検者が、直ちに手で持って test に応じられるような「のぞき装置」を作ること、この test box は、meter から切り離して cord で連結し、容易に手渡しができることが必要である。そして全体として軽量可搬に適し、測定操作の簡単にできる装置が望ましいわけである、

3-4 実験計画として考慮すべきもの

FF の測定を効果的に行うためには、前述の諸条件のほかにも、実験または調査計画の段階で考慮しておかなければならぬことが多い。最も重要な点は、FF に影響する各種の要因をあらかじめ考えて、目的に添わない要因を排除しておくか、その影響を最小にするような計画を立案することである。そこで、要因としてなにが問題になるかを知っておく必要があるが、これは別の機会にゆずり、ここでは測定上必要な二、三の問題を述べるに止めたい。

(1) test に慣らすこと、予備 test の必要性

まず被検者を測定に慣れさせることである。チラツキの判別に慣れるだけでなく、test されること自体にも慣れないと、被検者としては適当でない。test が日常作業の一部のように、自然に気楽に受け入れられないと、調査の目的ははたされない。test 回数が少なすぎると、どうしても「test される意識」がはたらくようになるから、作業中にも、30~60分おきに測定を続けていくことが望ましい。

flicker test を効果的にするには、1,2 日の予備調査日を準備し、実際の調査または実験の手順どおりに条件を整えて、test を反復することがなによりも必要である。

(2) 他の test との組合せ

他の test と組合せる場合は、いつも flicker test からはじめるようにしないと、他の test による影響で、FF が変化してしまう。しかし一定の負担を与えたときの変化を知ること大切だから、一連の test が終了したときに、再び FF を測定しておくことがよい。つまり test は、FF からはじめて FF に終るように計画することである。

(3) 作業前値について

作業のはじまる直前は、身仕度や作業準備に追われて緊張が高まっている場合が多いし、また通勤の影響や

前日の作業や休養の影響も残っていようから、心身状態は必ずしも標準的だとはいえない。作業前に何回か測定してみると、最初の FF が著しく高かったり、数分間で大きな変動を示すような例が多い。したがって、作業による変動率を算出するための基準値として、作業前値を求めたいならば、ただ1回の測定では全く信頼が置けない。筆者は、必ず30分ほど早出させて、心身の安静を保つ十分な余裕をみながら、3, 4回の測定をすることになっている。このような作業前値を、何日かにわたって測定しておけば、その平均値を被検者各人の標準状態の代表値と考えてよいと思う。また勤務の関係で早出ができないとすれば、作業開始後30~60分間の FF を何回か測定して、その平均値で代表させることもよい。その方が、わずか1回の作業前値よりも、基準値としての価値ははるかに大きい。

(4) 作業後値について

作業の影響は、作業の終了時に最も強いと考えられるが、FF は、このときに必ずしも最低値を示さない。むしろ高進するのが普通だといってよい。その理由は、第1に、作業の後仕末や身仕度などの附随動作によって作業の質が変わり、それが心身に対する興奮刺激となることである。ことに主作業が、単純作業のくり返しのような場合は、別種の動作が挿入されるだけで FF は急に高進する。第2に、作業が終ると、勤務からの解放感が心を刺激して FF を高める。この傾向は、作業の終る30分ほど前から現われることが多い。

作業終了時には、たとえそれまで疲労のために興奮性が低下していても、異質な興奮刺激のために、FF の一時的な高進をみることが多いから、作業の影響を調べるためには、休養室で休息をとらせながら、1時間近く経過を追ってみるのがよい。休息によって心身の緊張が解放されたときに、はじめて疲労は全面的に心身機能の上に表現されてくる。その意味では、自宅に帰った後でない、疲労の実効はつかめないわけである。

over-time が許されないとすれば、作業終了前30分ごろの測定値を作業後値とすることもよい。FF に関しては、この方が実際の作業終了時よりも、作業の影響を指示する値が得られるからである。

4. 要 約

flicker 値 (FF) の生理学的意味を明らかにするにはチラツキの融合が、どの部位でおこるかを知ることである。Sherrington, Hecht, Granit 以来、融合部位は網膜だと信ぜられてきたが、Walker や小木の電気生理学

の実験によって、視覚系に誘発される電位変動は、網膜でも融合するが、視覚皮質野では、その約1/2の低頻度で融合をおこすことが明らかにされ、また感覚的な融合頻度は、新皮質の興奮性を示す脳波の pattern とほぼ平行して変化することが、Gellhorn や筆者によって確かめられた。また緊張や注意の集中によって FF が高進するのは、視覚中枢における生理的融合頻度の上昇とともに、視覚連合皮質の自発的興奮により、時間識別力が増大するためであって、おそらく中枢で生理的融合がおこる前に、これを感覚的に融合と判断する機能が、FF の基礎であると考えられる。

要するに FF は、視覚系をふくむ知覚連合皮質の興奮性の一つの表現であって、もし網膜の興奮性がほぼ一定に保たれ、またチラツキの出現点の判別に大きな誤差がなければ、FF は知覚皮質領域の興奮水準、あるいは意識の機能水準を示す生理学的指標とみることができ、また労働生理学や精神生理学の重要な研究手段として利用することができる考える。

FF は、疲労時に測定しても低下しないことがある。もし作業終了時のような、興奮が一時的に高まる時期に測定するとか、あるいは test が被検者に興奮刺激を与えるようなことがあれば、FF の低下は陰蔽されて測定値に現われぬことも当然である。FF の測定が他の生理学的測定と最も異なる点は、test が被検者の意識状態を刺激し、それが FF を変化させること、つまり測定が不確定だということである。測定の物理的条件を一定にするだけではこの不確定性は解決されない。ここに flicker test の難かしさと意味が存在することを指摘し、測定の具体的な進め方について筆者の見解を述べた。

文 献

- 1) Simonson, E. and N. Enzer: Measurements of fusion frequency of flicker as a test of fatigue of the central nervous system. *J. Industr. Hyg. & Toxicol.* 23; 83~89, 1941
- 2) Simonson, E., N. Enzer and R.W. Benton: Influence of muscular work and fatigue on the state of the central nervous system. *J. Lab. & Clin. Med.* 28: 1555~1567, 1943
- 3) 梶原三郎: 閃光融合閾法, 疲労判定法, 9~11, 創元社, 東京, 1947
- 4) 大島正光: 閃光融合閾 (ちらつき値) 測定についての吟味, *労働科学* 26(3), 115~120, 1950
- 5) 大島正光, 他: 筋労作時の大脳機能の変調について, *労働科学* 26(5), 194~201, 1950
- 6) 大島正光, 他: ちらつき値からみた大脳機能の変動の仕方について, *労働科学* 27(1) 561~568, 1951
- 7) Granit R.: Die Elektrophysiologie der Netzhaut und des Sehnerven mit besonderer Berücksichtigung der theoretischen Begründung der Flimmermethode. *Acta ophth.* 14 (suppl.8), 1~98, 1936
- 8) Hecht S.: Rods: Cones and the Chemical Basis of Vision, *Physiol. Rev.*, 17; 239~290, 1937
- 9) Simonson E. and J. Brozek: Flicker Fusion Frequency, Background and Applications, *Physiol. Rev.* 32; 349~378, 1952
- 10) Walker A.E., J.I. Woolf, W.C. Halstead and T.J. Case: Mechanism of Temporal Fusion Effect of Photic Stimulation on Electrical Activity of Visual Structures, *J. Neurophysiol.* 6; 213~219, 1943
- 11) 小木和孝, 川村浩: 視覚系各部のちらつき融合頻度の変動と脳賦活系との関連, *労働科学* 36 (9): 459~473, 1960
- 12) Gellhorn E. and H. Hailman: Effect of Anoxia on Sense Organ, *Federation Proc.* 2, 122~126, 1943
- 13) 橋本邦衛: 作業時 flicker 値の低下限界とこれからみた災害発生の可能性, *産業医学* 2(5); 379~385, 1960
- 14) Busch, G. und K. Wachholder: Der Einfluss ermüdender geistiger Beanspruchung auf die Flimmer-verschmelzungsfrequenz. *Arb. physiol.* 15; 149~164, 1953
- 15) 本川弘一: 脳波, 共立出版, 東京, 1953
- 16) ギリャロフスキー, 他 (益子義教訳): 電気睡眠, 共立出版, 東京, 1957
- 17) 橋本邦衛: 電気睡眠法に関する研究, *産業医学*, 1(4), 420, 1959
- 18) 秋元波留夫: 意識の神経機構, 中枢神経系研究の方法論, 15~46, 金芳堂, 東京, 1955
- 19) 橋本邦衛: 疲労, コロナ社, 東京, 1960
- 20) Brozek, J., E. Simonson and H.L. Taylor: Changes in Flicker Fusion Frequency under Stress. *J. Appl. Physiol.* 5; 330~334, 1953

- 21) Landis, C.: Determinants of the Critical Flicker-Fusion Threshold, *Physiol. Rev.* 34; 259~286, 1954
- 22) 日本産業衛生協会産業疲労委員会編：産業疲労検査の方法, *労働の科学* 7(6), 1~108, 1952
- 23) Cobb, P.W.: The Effect on foveal vision of brightness surroundings, *J. Exp. Psychol.* 1; 540~566, 1916
- 24) 橋本邦衛, 他：視標および背景の明るさと見え方, *鉄道労働科学* 4; 65~72, 1953
- 25) Granit, R. and P. Harper: Comparative studies on peripheral and central retina; synaptic reactions in eye, *Am. J. Physiol.* 95; 211~228, 1930
- 26) Winchell, P. and E. Simonson: Effect of the Light:Dark Ratio on the Fusion Frequency of Flicker, *J. Appl. Physiol.* 4; 188~192, 1951
- 27) 金子秀彬：前出文献 22), 32~34
- 28) 橋本邦衛, 他：自動車の走行速度が運転者の緊張に及ぼす影響について, *鉄道労働科学*, 13; 79~92, 1960

〔討 議〕

座長 梶 原 三 郎
(大阪府立公衆衛生研究所)

主題：Flicker Test の理論と実際

第1報告の小木和孝, 「Flicker 値と脳賦活系との関係」は, 小木氏外国留学のため, 同氏の既発表論文(前記文献11)を参照されたい。

梶原：疲労検査のときには, 作業以外の特別な事情を織り込まないよう, なるべく被検者を異なった条件のもとにおかないという考慮が必要だと思う。いま, 私は瞳孔の大きさを写真に写すことをやっている。これは, 働いていた人をそのまま休養状態に移して, その状態を観察するのによいと思うのだが, 日本人の虹彩は黒が強いので, 瞳孔との対比が弱くて写真にむかない。最近, 赤外線写真を試みたが, フィルムの感度が十分でない。

戦時中に, neon lamp の点滅で flicker 値の測定をはじめた。暗室で, 同時に数名の教室員でやってみると, 測定値にかなり個人差があるが, 各個人は確信を持って点滅を覚認していた。その後 sector 方式にしたが, 私はこの方式をあまり好まなかった。というのは, 新しい作業状態に人を移すという点が気に入らなかった。いまでも, 被検者に無理をかけないで, 注文しないで flicker 値を測るようにしている。また最近では, decatron の光点移動がとまって, 連続した光の輪になる現象を使って測定する方法を試みている。その測定結果の見方について述べてみたい。

flicker 値をとるのに, おそい cycle から, だんだん

cycle を上げて, 融合点を求めるやり方と, 融合をおこなっている頻度から次第に下げて, ちらつきのおこる点をとる。これは本川氏の電気閃光法にも採用されていることで, 本川氏は両値の差を, 神経系統の時間性的変化を示すものとみている。光覚伝達神経系に, 全体としての時間性的変化が, 疲労に際して現われるであろうとは考えられるが, はたして上昇下降の両閾値の差が時間性を表わすかどうかは不明である。いま測定資料を, 横軸に両閾値の平均値, 縦軸に両閾値の差(+-は無視する)をとった面に分散すると, 誤差(検者被検者共に起す)の常識から当然のことだが, 両閾値の差は, 融合頻度が大きいほど大きいこと, 即ち正の相関を示す楕円ができる。かつての自衛隊「死の行軍」事件の場合の資料(極度の肉体疲労のそれ)を整理して, この二つの面に分散すると, 行軍後値には, 行軍開始前値の楕円面から離れた点が多数みられた。これをみても当然のことながら, flicker 値が意外に複雑な現象だということがわかる。私が flicker 現象を疲労検査に応用したはじめには, この方法が, 一つの事の判断を, 簡単な手段で時間的に追いつめて決断させるという点が魅力だった。この「決断」という process が大きな問題で, これは脳でおこるが, 光が網膜に来ると, そこで光化学的な過程がおこる。それは humoral なものであろう。humoral transmission は, ついで, neural transmission をおこし, それが神経を走って中枢に入り, 光覚をおこす。これが判断の情報または資料になり, 決断という心理学的な過程がおこる。この決断の過程を, たとえば, その速さでも把握すれば, 脳での事象がわかるはずである。flicker 値の絶対値 c/s や閾値差 σ は, 決断の過程がいつでも同じ速さで行われる, と仮定しているわけだ

が、疲労によってこの速度が変わるかも知れない。しかも上昇と下降融合は刺激として異質だから、両閾値の差は、判断や決断の迷いの長さを示すと考えてよいように思う。

flicker の測定にもいろいろな仕方がある。cylinder に白と黒の線の mosaic を描いて、cylinder を回すと、連続的に、白黒が交互にみられる。回転数が低い間は flicker に見えるが、fusion した後は視標が gray に見える。この移行は比較的に見やすい。機械を作るのが大変むずかしいが、大体 flicker に似た値は出て来る。今度は線を spiral にし、行を増して幅を広く見せると、はじめは白、黒が交互にいくつか見える。それがしばらくたつと、白、黒が横に走ってゆくように見えはじめ、そのつぎに gray に融合してしまう。だから比較的に見やすいが、その先の研究はまだやっていない。

もう一つおもしろいことは、脳の抑制力を測ろうとしたことだ。あるものがそう見えるのは間違いだと承知しているのに、ふとした時、間違っただけの見え方を受け入れてしまうことがある。ことのおこりは、床屋の店先にある赤白、または赤青の spiral を持った回転円筒、あれを見ていると、spiral が横に移行するのが認められる。これが科学的な見方なのだが、時々 spiral が上にのぼって行くようにも見える。これを、脳での論理による抑制力が、感覚情報に負けた証拠だと考えたのである。一定時間内に何回か、そう見えている時間の長さを記録できるとすれば、それで脳の抑制力が測定できる。街の床屋のそれを眺めているいろいろ考案し、予備実験をしている間に眼球運動を見つけた。すなわち、上へ昇ると見える時には、眼球が垂直運動を、回ると見える時には水平運動をしている。非常に面白いことだと思うが、その後やっていない。

朝、職場に出て来た時に、flicker 値が低い人があるが、職場に入るとだんだん上ってくる。なれた仕事に入るということは、快感を覚えるものであって、人は仕事に適合するよう神経系を調整する。この状態——興奮 level に入ると快感を覚える。そうだとすれば疲れていても働くことができるという大島氏や橋本氏の考えには、私も賛成である。望ましいことは、疲労検査のためにあらたまった条件を作らないように、やってみたいものだということである。

小木氏の実験では、全体として融合頻度が非常に低いように見えるが。

小木：必ずしもそうではない。

梶原：neuron で見れば、5~15 cycle くらいか。

小木：5~50 cycle、網膜では 10~80 cycle くらいである。

梶原：unit について考えると、脳波にしろ、すべての電気現象が action に伴って現われてくるわけだが、unit がおそくても、多数の unit が複合して働いているから、cycle は 5~60 という幅をもつのだろうか。

小木：よくわからないが、そういう mechanism も否定できないと思う。2個に1個応ずるとか、あるいは3個に1個という規則的な変化をしないで、全く random にいろいろな neuron が融合をおこす。しかし、全体として見て、まだ融合しないという状態ではなく、全体の中に融合していない neuron がたくさん残っているという関係が、脳波の上に、融合していないというふうに現われると考える。

橋本氏に。四つの測定値をとって、その平均値を求めているが、その理由は？

橋本：三つないし四つなら、短時間内にとれるし、値のバラツキを見当づけるのにもよい。

小木：4個の測定値のばらつきが、疲労したときに大きくなることも考えられる。ばらつきを比較する必要はないか。

橋本：バラツキをみるためには、4個では少なすぎよう。それよりも個々の測定値の信頼性をたしかめる意味で4個とっている。また平均値の差を比較する場合には、その都度検定をする必要があるが、最初の基準値に対して2%以上差がある場合には、有意差が示される可能性が多いという従来の実験成績から、私は2%を有意水準と考えて使っている。

森岡：flicker 値が意識水準を表わすとすれば、他の知覚機能 test にも同様な現象が示されてもよいと思う。もう一つは、知覚の時間性と空間性とは、機構の上でどんな関係を持つと考えるか。

橋本：どんな test が意識水準をよく表示するかを調べるために、先刻も話したように、私は「酸素不足」をストレスラーとして、意識の軽度障害をおこし、それと test 成績の相関をみる方法を試みた。一般に感覚機能 test は、本人の応答に基づいて data をとるわけで、意識がある程度までぼけてくると、応答ができなくなる。FF が critical level 以下になると、種々な test 成績もみんな一様に下るようになるが、それまでは oximeter 値と大体平行して下がってくるというような関係は、FF 以外の test では明らかではない。本川氏の電気閃光値も、そういう意味で flicker 値とはだいぶ違うし、たとえば、作業開始時の興奮や終末振作などといった、

心の構えや緊張の現われ方との関係でもちがう。電気閃光値も flicker 値も、ちらつきの感覚を標識にして調べているわけだが、flicker 値は、視覚連合領における時間識別の機能に関する値であり、電気閃光値は視神経の感電性を示す値と考えられるもので、ただその刺激の方法として 20 cps の交番電流を使っているにすぎない。従って両者は、本態の異なった機能だと私はみている。その他の test についても、flicker 値ほど、上位中枢あるいは連合皮質の関与の度合の強いものは見当らないようだ。意識の関与は、flicker 値に最も強く現われるといえるし、その意味で flicker 値は、意識水準のよい指標だといってもよいと思う。また空間識別能力を表わす視力のような機能は、flicker 値とは本態的に異なるものだと考えるが、その機構上の差異についてはわからない。

小木：時間的な知覚の場合には、個々の neuron の

識別の問題にかかってくる。これは想像だが、たとえばチラツキの場合には、個々の neuron が、もうこれ以上チラツキに応じていけないというところが、全体としての critical point になる。ところが空間的な識別の場合には、いくつかの neuron の間の距離が問題で、その最小距離が識別閾値を表わすことになると思う。

森岡：条件反射を使って、聴覚の閾値が注意の集中状態によって高まることが示されるが、その場合の閾値には、たしかに時間性という要素も入っているわけで、聴覚の場合には、flicker 値と同じように考えられなくもない。

橋本：聴覚については実験していないので答えられないが、flicker 値とは、かなり違うのではないか。しかし、これは非常に面白く、また flicker 値の本態を検討するためにも、重要な研究課題だと考える。

第2回 国際エルゴノミクス学会のおしらせ

と き：1964年9月23～26日

ところ：西独ドルトムント

会 長：S. Forssman, Stockholm

副会長：G. Lehmann, Dortmund

幹事長：E. Grandjean, Zürich

主題：

Physiology of Heavy Physical Work……E. A. Müller, Dortmund

Climate and Performance……B. MeB, Strabourg

Body Posture……E. Grandjean, Zürich

Visual Information at the Place of Work……K. F. H. Murrell, Bristol

Ergonomic Check List (panel discussion) Chairman; G. C. E. Burger, Amsterdam.

✂切：申込1963年12月15日

抄 録：1964年1月31日

決定原稿：1964年6月4日

会費：IEA会員 60DM, 非会員 80DM