光覚閾時間変化測定法による視覚疲労検査法の開発 その1

非会員 中村直人* 専門会員 佐藤愛子*
正会員 澤田春海** 専門会員 明道成**

The development of a duration method for measurement of visual fatigue

Masato Nakamura, Aiko Satow (Fellow Member),

(Department of Psychology, Hamamatsu University School of Medicine)

Harumi Sawada (Member), Osamu Myodo (Fellow Member)

(Consumer Products Development Laboratory, Mitsubishi Electric Co.)

SUMMARY

Many workers claim to feel the visual fatigue caused by vigilance tasks. Verbal reports of the visual fatigue have not corresponded to results by ophthalmological and psychophysical testings. Our previous studies showed that temporal sensitivity in vision changed concomitant to the visual fatigue, and that the change of the sensitivity appeared in difference in dynamic range of responses obtained from threshold measurement and did not in the thresholds themselves. Based on the studies, a new fatigue testing method called as the duration method was developed and an apparatus for measuring the temporal sensitivity to the light was devised. In results of Exps. 1 and 2, an available condition for measurement of visual fatigue was found. In Exp. 3, under the available condition, effects of the three local lighting conditions were shown quantitatively in differences in the dynamic range. In this experiment three subjects performed writing-tasks in every eight hours in each of the three conditions. Interday variations were counter balanced.

要約 (和文)

看視作業では作業者は視覚疲労を感じると訴える。しかし言葉で表現された視覚疲労と、眼科学検査、心理物理法測定による検査などとは対応しない。われわれの先の研究では、視覚の時間応答特性に関する感受性 (temporal sensitivity) が、視覚疲労に伴って変化することが示された。しかもその temporal sensitivity の変化は、光覚閾値測定の際の反応の散らばりの大きさ (ダイナミックレンジ) にあわれ、光覚閾値それ自体の変化は生じなかった。これらの結果をもとに、光覚閾値時間変化測定法 (Duration method) と、その測定のための装置が考案された。実験 1、2 の結果から、視覚疲労測定に適当な測定条件がわかった。実験 3 では、3 種の局所照明の影響を、ダイナミックレンジの差で数量的に判別できた。この実験には 3 名の被験者が、3 種の局所照明下でそれぞれ 8 時間ずつ、書記作業を行なった。日間変動はカウンターバランスしてある。

1. 問題と目的

照明の影響、VDT 作業の影響の研究はここ 10 年間に国内の学会雑誌に掲載された論文だけでも非常に多数ある。海外の研究も多数あるが、日本の論文数がより多いのは、職場での VDT 使用度が高いことによるであろう。これらの研究から、心理物理測定で照明と VDT 作業の眼に対する影響を研究した論文に限り、過去の 2-3 年の発表に限定して主要な研究を抜粋したのが表 1 である。ただし総論的な研究は近年に適当なものがみあたらないので 1981 年発表のもの 2 編をいれた。

表 1 の諸研究で眼に対する影響の心理物理的測定方法として利用された検査法にはフリッカー検査が多く、次に多いのが遠点近点調節検査で、この傾向はここに引用しなかった多数の研究でも同様である。表 1 の諸研究の結果をおおまかに述べると次のようである。1) 視覚への影響はある、もしくは無いとはいえない。影響の程度に差がある。しかし実験室内での限られた時間内での作業であり、かつ同じ測定法 (たとえばフリッカー検査) でも研究間で測定装置も測定手続きも少しずつ異なるので、影響の程度を統一的に数値化して示すことができない。フリッカー検査の場合のみ、作業前後の CFF (Critical Fusional Frequency) の比¹⁴⁾が影響の指標として使用されているが、装置の規格の統一がないので、標準化された検査値としてではなく、一応の目安として利用されている。2) 視覚への影響は、ある限られた作業時間でも

脚注

- * 浜松医科大学医学部心理学科
〒431-31 静岡県浜松市半田町3600番地
3600 Handa-cho, Hamamatsu, Shizuoka 431-31, Japan
** 三菱電機 (株) 生活システム研究所
〒247 神奈川県鎌倉市大船2-14-40
2-14-40 Ofuna, Kamakura, Kanagawa 247, Japan

っとも大きくあらわれ、それより長くなるとやや減少することもあり得る。3)照明やVDT作業の影響は、視覚へ直接に現われるのではなく、長時間作業中に覚醒水準が低下してその影響で視覚機能が低下するとされる場合もある。4)主観的な疲労感を測定する質問紙法を併用している研究もあり、さまざまな自覚症状が報告されているところから、照明やVDT作業の影響が、調節異常、視力異常などをもたらすことはないが、眼精疲労があるともいわれている。

表1 心理物理測定によるVDT作業および照明の視覚への影響
(国内の研究抜粋)

実験方法	年	著者	研究内容
視覚疲労検査法概観	1981	鈴村 ¹⁾	視覚疲労検査法概観
<単一指標>			
フリッカーテスト	1981	橋本 ²⁾	フリッカーテストの問題点と考え方
	1989	岩崎他 ³⁾	VDT上の数字正誤判定作業の作業時間とCFFの関係
調節近点距離	1983	栗本 ⁴⁾	VDT作業と調節近点距離の関係
チャンネルキャパシティモデル	1989	伊藤他 ⁵⁾	チャンネル・キャパシティの減衰にもとづいた新しい視覚疲労検査法
瞬目数	1989	明石他 ⁶⁾	高齢者のVDT作業と照明の関係を瞬目数で測定
グレイティング視力	1990	藤田他 ⁷⁾	直接・間接照明の疲労をグレイティング視力の変化で測定
<複数指標>			
フリッカーテスト、心拍	1988	山田他 ⁸⁾	VDT上での漢字判別作業に対する照度の影響
	1990	池田他 ⁹⁾	CFF、心拍変化でVDT作業環境の影響を測定
フリッカーテスト、乱数発テスト	1988	竹本他 ¹⁰⁾	VDT上での図形照合作業の影響
フリッカーテスト、調節近点距離	1989	竹本他 ¹¹⁾	VDT上でのアメフリ検査作業とCFF、近点距離の関係
調節・眼球運動・瞳孔反応	1989	武田他 ¹²⁾	調節・眼球運動・瞳孔反応を同時に測定する装置の開発と実験
	1989	斎藤他 ¹³⁾	VDT上の図形の大きさ・明るさと3つの指標との関係

しかし、ここに3つの重要な問題点がある。第1は、上述のように検査法としての測定手続きが確立していないので、各研究間の比較が出来ないことである。このことはGrandjeanも批判している¹⁵⁾。統計的標準化手続きを経て、検査法としての測定方法を設定したのは知能検査である。それ故知能検査の結果は、各国間でも国内異集団間でも比較可能である。性格検査には標準化を行っていないものもあるが、検査方法だけは制定されている。すなわち検査用具の規格の統一、質問紙の質問文の決定、検査用紙の様式の統一、被験者への説明方法の統一などである。視覚疲労検査の現状では、使用頻度の高いフリッカー検査でさえも上述のように測定装置と手続きが不統一である。

フリッカー検査のもう一つの難点は、ちらつき光が融合して持続光のようにみえる「融合」の判定が困難なことである。ゆっくり点滅しているところから点滅頻度を次第に上げていく上昇系列と、融合して持続光に見える状況から点滅頻度を下げてちらつきがあらわれるようにする下降系列とを交互に行なうと、上昇系列の融合閾値と下降系列の閾値とが一致することはひじょうに稀である。上昇・下降両閾値の一致しない範囲を不定帯と称している。この不定帯の大小を性格と結び付けた研究が行なわれた時代もあった。ちらつき判定の難しさがあるために、被験者のちらつき判定誤差がCFFの時間的変動の中に含まれ、ひいては疲労の測定量の中に含まれてしまう可能性がひじょうに大きい。

フリッカー検査を含めて、表1の諸研究で用いられた各種測定

には、性格検査程度の統一もなく、まして知能検査のような標準化も行なわれていないが、視覚疲労検査法として、測定方法の統一は最小限必要である。最小限必要な検査用具と手続きを整えて信頼性と妥当性が認められている検査法の例に、色彩知覚検査の石原式検査表がある。視覚疲労検査にも検査方法の確立がまず急がれる。標準化は、知能検査の標準化とは異なる観点から異なる統計法で行なうべきであろう。

ところでフリッカー検査にも利点はある。測定用具が小型で、使用方法が簡便、持ち歩き自由で作業現場のどこへでも行けるなどのことである。視覚疲労に関して、フリッカー検査に代わる信頼性の高い検査法を開発する際にもこの測定用具の簡便性は是非満たされねばならぬ条件である。実験1で述べるようにわれわれの測定装置はこの簡便性を目指した装置である。

第2の問題は、現在、眼精疲労とよばれている疲労状態は何か、ということである。眼精疲労の原因分類(鈴村¹⁾表1)、および症状分類と原因分類を混合した並列的分類6例(鈴村¹⁾表2)があるが、この分類は眼科学的諸検査に立脚しているので、現在の人間工学的、視環境心理学的諸研究で眼精疲労とされている症状、すなわち「視力検査、遠近点調節検査、フリッカー検査など従来の心理物理的諸検査では測定できず、質問紙にのみあらわれる症状」ととの関係が不明瞭である。眼精疲労と眼疲労の区別、生理的疲労と病的疲労の区別が、眼精疲労と眼疲労の区別とどう関係するのかも不明瞭といわざるをえない。

現在の人間工学的、視環境心理学的諸研究で眼精疲労とされている症状は、眼が痛む、涙がでやすい、眼がちらつく、眼がかすむ、滲んで見えるなど、三叉神経痛の自覚症状や更年期障害などの不定愁訴との類似もあり、誤認されがちな面もある。眼精疲労とよばれるこの疲労の特徴は何かを追求した研究はまだ見当たらない。現状では、視力検査、遠近点調節検査、フリッカー検査などでは測定できない、眼がかすむ、ちらつく、痛む、滲んで見えるなどの現象をひとまとめにして眼精疲労と命名したとしかいえない。この命名法は「○○症候群」という命名法と同様である。これらの症状の中には、眼のレンズ系機能以外の、視細胞と視神経の時間応答機能、強度応答機能、さらには高次神経系から視覚系への影響などが含まれていると推測される。

第3の問題点は、疲労判定のために設定された統計量が疲労判定の測度として妥当であるかどうか、つまり測定結果から疲労度を判定する際の測定値の統計的処理に関する問題である。

上述の表1に取り上げた多数の研究では、その測定結果から疲労度を判定する際に用いた統計量は、平均値を使用している場合が多い。上述のCFF比も平均値から算出している。その他の測定も平均値を利用している。このことは従来の諸研究にも共通する。作業の前後の差、月曜日の始業前と土曜または金曜日の就業後との差などを平均値の差で検討してきた。

しかし熟練者の作業は安定しているものである。自分の身体の調子の変化、季節の変化などによって作業成績に大きな変動が表われることはない。それが熟練者、すなわちskillを獲得した作業の特徴である^{16),17)}。したがって熟練者の場合、平均値で検討しても統計的に有意な差があらわれないのは当然といえる。職場で言うところのいわゆるボカミス、すなわちブロッキングレスポンスの出現はその作業全体の平均値には影響しない。しかしブロッキングレスポンスの出現は熟練者にとっては作業成績低下のシグナルである^{16),17)}。何らかの環境要因の影響が熟練者の作業に現われるとしたら、それはどのような現われかたをするのであろうか。

佐藤は作業の熟練度とブロッッキングレスポンスの関係を数量的に取り扱うためのモデル(図1-a, b)¹⁸⁾を提案した。どのような作業でも、作業の精度を示す測度を横軸にとればその反応分布は、熟練の獲得のプロセスにあわせて図1-aでは点線で示されるように左に寄り尖度が高くなる。図1-bのように図1-aのデータを対数変換し正規確率紙にのせた場合には、反応分布は図中A, Bで示されるような直線に相当する。熟練獲得後になんらかの理由で作業の精度が低下すると、低精度反応が出現し、図1-aでは破線で表された分布で示される。この分布がポカミスの分布となる。この分布は図1-bではCとDの上部の直線部分に相当する。図1-bで低精度反応出現を量的に判定できる。なお言うまでもないが完全な初心者の場合には、対数正規分布にならないので直線が当てはまらない。このモデルの有効性は、熟練者の色彩選択キー押し作業の反応時間に及ぼすフリッカー光の影響(通常の室内照明のほかに作業者の背後にフリッカー光5, 12Hzを置いた)¹⁸⁾で確かめられた。初心者が通常の照明条件での選択作業で、熟練を獲得するプロセスでの反応時間の分布は図1-bのAからBへ、および熟練獲得後にフリッカー光で作業が妨害された場合の反応時間の分布は図1-bのDにフィットしていた。このモデルの有効性はさらに、職業性肩頸腕障害の動作痛(物を持ち上げる、力をかけて物を押す等の作業をしたときに肘、肩、手首などに痛みがはしる状況)による動作の正確度の低下の測定¹⁹⁾でも支持された。なお、この測定は動作痛の客観的測定方法としても支持された。

しかし、ブロッッキングレスポンスの出現をみるには反応回数がある程度多くないと有効でないので、測定に時間がかかり検査として簡便でない場合がある。また作業の種類によっては同一動作

図1 被験者の反応分布のモデル (Satow, 1985)

a: 横軸を作業精度(反応時間、単位時間当りの誤数など)とすると、熟練者の反応分布のパターンは左寄りの高い尖(点線)を示す。作業が妨害される状況のもとでは、時々精度の低い反応が出現するが、これは平常の反応とは異なる分布をもつ(破線)。現実の作業成績は実線のパターンを示す。
b: aのデータを対数変換して正規確率紙にのせた。低精度の反応の出現C, Dの上部の直線で示される。

の反復ではなく多少の変化があつて、ブロッッキングレスポンスの出現しにくい場合もある。このような場合にも反応分布のパターンで異なり、反応の変動量の大小は機能低下の測度として有効である。特に視覚機能に関しては、光覚閾値測定の反応の変動は、ある特定の時間条件下で特に大きくなり、かつその場合には個人差も大になる^{20),21)}が、疲労にも個人差が大きいため反応の変動量が疲労の測度にもなりうると推定される。かつ上述の実験中^{18),20),21)}に、被験者の睡眠不足、被験者の読書などが、光覚閾値測定に非常に敏感にあらわれることが経験的にあきらかになっている。

われわれは以上の研究をもとに、光覚閾値測定において、従来の、持続時間を固定して輝度を変化させる方法とは逆の、輝度が一定で持続時間を変化させて閾値を測定する Duration method (時間変化測定法)(図2)を考案し^{21),22),23)}、かつ反応分布の大小を表わす測度として、反応の最大値と最小値の比であるダイナミックレンジを用いた。ダイナミックレンジは反応レベルの異なる被験者間の比較に有効である^{21),23)}。反応の変動を表す指標としてダイナミックレンジを用いることの有効性は痛覚の研究において既に確かめられている²⁴⁾。

図2 Duration method (時間変化測定法)による光覚閾値測定の模式図 (Satow, 1988; Satow & Nakamura, submitted)
光強度は一定とし、持続時間を変化させて光覚閾すなわち閾持続時間を測定する。

そこで検査用の簡易光覚閾値測定装置(図4)を試作し、これを用いて時間変化測定法による閾持続時間のダイナミックレンジを測度とする視覚疲労測定法を確定する研究を続けてきたが、成果を得たので以下に実験1から実験3までを報告する。

2. 実験 1

本実験は簡易測定の測定条件設定のための予備の実験として行なわれた。われわれの考案する視覚疲労検査法では、時間変化測定法(図2)で閾持続時間(Threshold duration; TD)を測定し、その際の反応のちらばりの大小、ダイナミックレンジ(Dynamic range; DR)を測度として使用する(図3)。閾持続時間を時間変化法で測定するには初期値としてテスト光の輝度レベルの設定が必要である。この初期値が不適当であると光覚閾値測定に時間を要し、かつ個人差も大きく出てくる。それ故、検査として現場で用いる輝度条件の範囲をあらかじめ決定しておく必要上この実験を行なった。同時に輝度条件の違いが日間変動に及ぼす影響も調べ、どの程度の輝度条件を設定すれば日間変動の影響が少なくなるかを調べた。日間変動が大きいと、ダイナミックレンジを測度とした疲労検査としては信頼性、妥当性が低くなるからである。

図3 上下法(Cornsweet, 1962)の模式図

1回反転の上下法では、反応に応じて刺激が変化する。反応が逆転した回数があらかじめ設定した数を満たした時点で終了する。

ダイナミックレンジは点線で結ばれた値の最大値と最小値の比である。

2.1 被験者・実験装置・実験手続き

被験者は、浜松医科大学医学部学生3名(うち女性1名)、3名とも眼鏡による矯正で通常の視力を有する。

実験装置は佐藤とユニテック電子(現在廃業)が共同開発したUS-101である。装置の概略を図4-a, b, cに示す。

われわれのDuration methodでは、テスト光の持続時間を変化させるため、時間制御の精度が非常に重要な要件である。

簡易化された装置でも、ある程度厳密に時間制御が可能でなければならない。

以上2つの条件を満たすために、テスト光と背景光の光源には、発光ダイオード(LED)(東芝製:TLG153)を用いた。LEDのピーク波長は565nmである。また、光源として用いるためには、1個のLEDだけでは十分な光量が得られないため、9個のLEDを方形に配して光量を増し、レンズを用いて視野内の輝度が均一になるように配慮してある(図4-b)。ダイオードは一個毎に輝度を測定し、品質のばらつきを避けている。テスト光の輝度はダイオードに時間周波数変調をかけて変化させた。この操作は装置後部のデジタルスイッチによっておこなわれた。輝度変化に用いられる周波数帯域はCFF以上の部分を使用している(350Hz以上)。背景光の輝度は装置後部の回転式ボリュームで連続的に変化させることが可能である。Duration methodでは、測定中の輝度変化は必要ないので、テスト光、背景光とも輝度レベルは測定開始前に設定された。テスト光の持続時間はインターフェースボード(合同システムマシン社製)を介し、パーソナルコンピュータ(NEC PC9801)によって制御された。被験者が操作する、反応キーボックスもインターフェースボードを介してパーソナルコンピュータに接続され、反応が自動記録された。

テスト視野はUS-101本体の乳白色ガラススクリーンに本体内部より投影される2つの同心円である(図4-c)。テスト光の直径は1cm、背景光の直径は3cmである。測定時には、観察距離74cmで、テスト光の直径は視角で46'27", 背景光の直径は2'19'21"となった。

被験者は、内側が黒く塗られた筒(図4-a)をとおして刺激を観察する。筒の長さが観察距離となる。筒の長さは可変であるが、本実験では74cmであった。

刺激の条件は、背景光の輝度は一定(装置の目盛で0:1.37cd/m²)で、テスト光の輝度のみが異なる。テスト光は、条件1:1.48cd/m²(装置の目盛20)、条件2:1.54cd/m²(装置の目盛30)、条件3:1.59cd/m²(装置の目盛40)の3種類が用いられた。これら

図4 簡易光覚閾測定装置 US-101

a: 装置外観

b: 発光ダイオード(LED)(TLG153)配置図

c: 観察用筒をとおして見たUS-101刺激呈示部

の3条件は、輝度値の差はそれほど大きくないが、Duration methodによる測定では、輝度のわずかな違いが被験者の反応に大きな影響を及ぼすことが確かめられていたため^{21),22)}、条件として適切であると判断した。実験室は暗室の状態にされ、被験者観察位置付近の照度はほぼ0 lxであった。測定前に背景光に10分間順応した。

手続きは、持続時間に関して反転基準1回の上下法²⁵⁾(図3)が用いられた。テスト光の初期持続時間は100ms、増減のステップは10msであった。

被験者は筒をとおして背景光を見、中心部にテスト光が見えたか見えなかったかを反応キーボックスで二件法で応答した。「見えた」キーを押した場合、次の試行は持続時間が10ms減少し、キー押しをしなかった場合、持続時間が10ms増加する。被験者のキー押しの有無に関わらず、テスト光は5秒間隔で呈示された。被験者の反応が16回反転(図3)した時点で1セッション終了とした。毎日の測定は、上述の3種類のテスト光についてランダム順に行なわれ4日間反復された。

2.2 結果

図5はテスト光輝度毎のDuration methodによる閾持続時間(TD)(図中白シンボル)とダイナミックレンジ(DR)(図中の黒シンボル)の日間変動を示した。このTDには中央値を用いた。3つのパネルは輝度条件が上から1.48cd/m²、1.54cd/m²、1.59cd/m²である。各々のパネルで、横軸は日時、縦軸はTDおよびDRを表す。シンボルの形は被験者を示す。

図から明らかなように、テスト光が1.59cd/m²のときに3名の被験者ともTD、DR共に日間変動が少なく安定した反応を示している(図5下)。その他のテスト光では3名のうち2名の被験者(TH, TY)にTDの大きな変動があり、3名のうち1名はDRの変動が大きかった。このようにDuration methodを用いた場合には、輝度がわずかに異なっても被験者の反応に大きな影響を及ぼすことがわかる^{21),22),23)}。これは、人間の視覚系の時間応答特性のまだ明らかになっていない部分である。われわれの視覚疲労検査法では、反応の変動の大きさを疲労の指標とするため平常時の反応の変動が小さくなる条件を基準として疲労時の反応の変動が比較されなければならない。そのため、疲労測定の前段階である平常時において反応の変動が小さい輝度条件が設定されることが望ましい。したがって実験結果からは、TD、DRともに、その変動が最も小さい1.59cd/m²の条件が疲労検査に用いるのにふさわし

図5 テスト輝度別の Duration method による閾持続時間(TD)とダイナミックレンジ(DR)の日間変動。
 図中、左上の数値はテスト輝度、白抜きシンボルは閾持続時間、黒シンボルはダイナミックレンジを示す。グラフ横軸は日時、縦軸は閾持続時間およびダイナミックレンジを表す。シンボルの形は各被験者を示す。

いと考えられる。

全ての明るさ条件で、各被験者とも練習効果による TD あるいは DR の低下は示していない。

これらの結果から、装置 US-101 を使用し、Duration method で測定した閾持続時間 (TD) のダイナミックレンジ (DR) を指標とする視覚疲労測定のための輝度条件としては 1.59 cd/m^2 (装置の目盛で 40) が適切であると思われる。ただし、実際の検査では、実験場所が暗室状態に出来るかどうかなど被験者の職場の照明条件、被験者の視力等を考慮して、その状況に合せた輝度条件変更も考慮しなければならない場合もある。

3. 実験 2

実験 2 では、日内変動が調べられた。

図6 被験者別の Duration method による閾持続時間(TD)とダイナミックレンジ(DR)の日内変動。
 図中、左上の英字は被験者、白抜きシンボルは閾持続時間、黒シンボルはダイナミックレンジを示す。グラフ横軸は時刻、縦軸は閾持続時間およびダイナミックレンジを表す。円形シンボルは1日目、三角形シンボルは2日目の結果を示す。

ただし、本実験に参加した被験者たちは予備実験の結果、実験 1 で決定されたテスト光の輝度 (1.59 cd/m^2) では、持続時間が 10 ms 以下になったので US-101 の性能上不都合であった。そのため輝度を減じて 1.54 cd/m^2 (装置の目盛 30) にて行なった。

3.1 被験者・実験装置・実験手続き

被験者は早稲田大学理工学部建築学科の大学院生 2 名 (女性 2 名)。両名とも裸眼で通常の視力を有する。

装置とテスト視野はテスト光の輝度が 1.54 cd/m^2 に減じられた以外は実験 1 と同じであった。

測定時刻は 1 日目は 12:30, 13:30, 16:30, 2 日目は 10:30, 12:30, 13:30, 16:30 に行なわれた。なお測定装置は 1 台しかないため、測定時刻は被験者間で 10 分程度のずれがある。

その他の手続きは実験 1 と同じである。

3.2 結果

図 6 に Duration method による閾持続時間 (TD) とダイナミックレンジ (DR) を被験者毎に示した。横軸は測定時刻、縦軸は TD (図中白シンボル) および DR (図中黒シンボル) を表す。白黒にかかわらず、円形のシンボルは 1 日目の結果、三角形のシンボルは 2 日目の結果を表す。

被験者両名の TD は 2 日間とも安定していた。DR は、被験者 TI は 2 日間とも比較的安定した値を示したのに対し、被験者

AHは変動が大きかった。特に2日目は時間経過とともに変動が大きくなる傾向が見られた。

測定に用いられたテスト光輝度(1.54cd/m²)は被験者AHには適した値であるといえる。一日の経過にしたがって、DRが増加することは、DRが視覚疲労測定の尺度として有効であることを示す。なぜなら、一日の労働による産業疲労が時間経過とともに現われる事が知られているからである。

しかしながら被験者TIにおいては、時間経過にしたがったDRの変化があまり見られないため、用いられたテスト光輝度がふさわしくなかった可能性が残った。

4. 実験 3

実験1, 2では実験室内の測定であったが、実験3では実際の作業現場に装置を持ち込み、異なる照明条件のもとで測定した。一日6回の測定を行ない、照明条件の違い、作業時間の経過により、閾持続時間およびダイナミックレンジがどのように変化するかを調べた。

4.1 被験者・実験装置・実験手続き

被験者は女性3名(H, M, T)。実験にはアルバイトとして参加し、測定間の作業はアルバイトの一環として行なわれた。

装置とテスト視野は実験1のUS-101を用いた。

各被験者について予備実験を行ない、テスト光の輝度を決定した。各測定では、被験者毎で常に同じ輝度値が用いられた。

作業室では全体照明(天井灯)以外に、各被験者に1つずつ計3種類(A, B, C)の局所照明器具(電気スタンド)が割り当てられた。

全体照明は300lxに固定された。机上面の照度は各々の器具により作業面の輝度分布は異なるが平均して全体照明、局所照明の合計で、各々1000lx程度の明るさは確保されていた。器具A, B, Cの光源は従来の三波長域発光型蛍光灯である。机上面の照度分布は、明るい部分の面積がBがもっとも広くCがもっとも狭い。また、グレアの程度はBがもっとも小さくCが最も大きい。以下の手続き部分で述べる作業はこの程度の明るさで充分行なうことが出来た。

被験者の作業は英文で書かれた科学論文の翻訳と雑誌からのキーワードの検索である。昼食の時間1時間を含み8時間連続して行なわれた。それぞれの局所照明のもとで作業を行ない、毎日、9:00, 11:00, 12:00, 13:00, 15:00, 17:00の1日6回Duration methodを用いた光覚閾測定を行ない、それを5日間続けた。ただし分析のデータには最初の2日間を除く3日分が使用された。これは被験者の慣れを考慮したためである。また、あとの3日間の測定で、各被験者は1日毎に異なる局所照明のもとで作業を行なった。したがって、全ての被験者が、3種類全ての局所照明の条件を1日ずつ経験したことになる。実験2でも説明したように装置は1台しかないため、測定時刻は各被験者でずれがある。

4.2 結果

図7に局所照明毎の測定結果を示した。上から順に局所照明器具A, B, Cの順になっている。横軸は測定時刻、縦軸はDuration methodで測定した閾持続時間(TD)(図中白シンボル)およびダイナミックレンジ(DR)(図中黒シンボル)を表す。各シンボルは被験者を表す。A, B, Cの順に、TD, DRの日内変動が大きくなっている。また、実験2(図6)と比較するとDRのみならず

図7 照明器具別のDuration methodによる閾持続時間(TD)とダイナミックレンジ(DR)の日内変動。
図中、左上の英字は照明器具、白抜きシンボルは閾持続時間、黒シンボルはダイナミックレンジを示す。グラフ横軸は時刻、縦軸は閾持続時間およびダイナミックレンジを表す。シンボルの形は被験者を示す。

TDの変動も大きくなっている。A, B, Cの差は個人間の差よりも大きい。このことは図8、表2でもあきらかである。図8は被験者毎にまとめた図で、シンボルが照明器具を示す。反応の変動の大きい個人(T)は大きいなりに、小さい個人(M)は小さいなりに、Cの日内変動が大きいことは共通している。なおこの図では被験者TのTDの変動も実験2(図6)と比較して大きい。このことはテスト光の輝度値がこの被験者にはそぐわなかった(暗すぎた)可能性を示唆している。表2では、日内変動と日間変動をこみにしてA, B, Cの差と被験者間の差を比較した。セル内の数値から各個人でA, B, C間に差があることがわかるが、全体としても器具A, B, C間の差は個人間の差より大きい。

図8 被験者別の Duration method による閾持続時間(TD)とダイナミックレンジ(DR)の日内変動。
 図中、左上の英字は被験者、白抜きシンボルは閾持続時間、黒シンボルはダイナミックレンジを示す。グラフ横軸は時刻、縦軸は閾持続時間およびダイナミックレンジを表す。シンボルの形は局所照明器具を示す。

表2 1日6回測定によるダイナミックレンジ (DR)
 6回の最大最小の差

被験者	局所照明			平均
	A	B	C	
H	1.44	.71	2.04	1.40
M	.72	.88	2.47	1.36
T	1.55	2.24	3.19	2.33
平均	1.24	1.28	2.57	

5. 総合考察

この研究は視覚系の時間応答特性が強度応答特性よりも安定度の低い機能であるから、視覚疲労の測定に有効であるとして計画され、以下の結果を得た。

実験1, 2で測定に用いるテスト光の輝度を適度に設定すれば、Duration methodで測定された光覚閾値の日間変動も日内変動もある程度安定することが示された。これらの結果に基づいて行なわれた実験3で、3条件の局所照明器具の影響が各被験者のDRの差にあらわれた。予測どおり、TDのDRを指標として視覚疲労の測定が可能であることが示された。しかし、実験3では、実際の場面で反応分布のダイナミックレンジを指標として用いて疲労検査を行なう際に考慮しなければならない問題が判明した。

実験室実験とは異なり、即時に測定を行なわなければならない場合に、被験者に適したテスト光の輝度をどのように設定するかという問題である。このことは、フリッカー融合閾値測定、空間周波数分布パターンによる視力測定、遠点近点調節検査などの従来利用されてきた視覚疲労検査法全般についてもいえることである。被験者の平常時のパフォーマンスレベルを少数回の測定でどのようにして知ることが出来るかということでもある。本論文のはじめの、問題提起の箇所述べたことであるが、多人数少回数測定で平均値をとり、それを平常状態を表わす数値として利用することは個人差を無視しているの、疲労測定法としては適当でない。今回の実験のような反応分布のダイナミックレンジを指標とする方法で適切な測定を行なうためには、個人差も考慮した上で、本検査直前に、なんらかの簡単な方法で、背景光レベルを各人毎に定めるなどのことが必要であろう。

なお、質問紙法のような自覚的検査法による結果と、今回の実験のような客観的検査法の結果が異なる場合があるのは良く知られている。これには大まかにみて2つの理由がある。第1は、光覚閾値測定などの心理物理測定が測定対象としている機能には気分や感情は含まれていないが質問紙への回答にはそれらが含まれやすい(質問にもよるが)ということである。第2は症状を自覚することに関する個人差である。発熱を例にとると、38.0℃でもその感じかたは各人各様であるばかりか、発熱後の時間経過にも依存し、顔がほてる、寒気がする、など相反する自覚症状がでることは珍しくない。それ故、客観的測定と自覚的測定は併用されるのが望ましい。そのためには従来の諸研究の質問項目をさらに検討して、視覚疲労の自覚症状を記述するのに適した質問項目と、回答法(2件法回答か、多肢選択かなど)を設定すれば、検査法として利用可能であろう。

客観的測定、主観的測定ともに、標準化は大量データを必要とするので、測定法決定後の課題である。

参考文献

- (1) 鈴村昭弘：目の疲労検査，人間工学17(3) (昭56) 115-121
- (2) 橋本邦衛：精神疲労の検査，人間工学17(3) (昭56) 107-113
- (3) 岩崎，秋谷，伊比：CRT画面上での視覚作業にみられるCFF値の変化とその生理学的意味，人間工学25(特別号) (平1) 262-263
- (4) 栗本晋二：VDT作業が視機能に与える影響，人間工学19(2) (昭58) 87-90
- (5) 伊藤，圓川，秋庭：視覚認知作業におけるチャネル・キャ

パシティの減衰に基づいた精神疲労測定法, 人間工学25(2) (平1) 87-100

- (6) 明石, 西川, 戸上, 山本: 高年齢者に適応した VDT 作業の照明条件—照明環境と VDT 作業者の瞬目数との関係—, 人間工学25 (特別号) (平1) 320-321
- (7) 藤田, 木俣, 渡辺, 高橋, 前原, 中村: タスク照明の心理的・生理的影響に関するフィールド実験, 建築学会大会学術講演梗概集 (平2) 4101
- (8) 山田覚, 師岡孝次: 環境がおよぼす VDT 作業への影響, 人間工学24(4) (昭63) 209-217
- (9) 池田, 杉本, 畑岡: VDT 作業における視覚条件と生理的負担, 照学誌74(6) (平2) 321-327
- (10) 竹本篤郎, 堀江良典: VDT 作業の情報処理能力への影響に関する研究, 人間工学24(5) (昭63) 313-318
- (11) 竹本, 野口, 大久保, 堀江: 過度の作業負担を課した VDT 作業に関する研究, 人間工学25 (特別号) (平1) 268-269
- (12) 武田, 飯田, 福井: VDT 作業中の視覚反応特性, 人間工学25 (特別号) (平1) 264-265
- (13) 斎藤, 伊比, 東, 石川, 畑田: 視環境の明るさと視覚の生理的特性, 人間工学25 (特別号) (平1) 82-83
- (14) 大島正光: 疲労の研究 (第二版), 同文書院 (昭54) 40-43, 76-78, 94-99, 102-104
- (15) Grandjean, E.: Design of VDT workstations, in Salvendy, G. (Ed.), Human Factor (1987) 大島 (監訳) ヒューマンファクター (平成1) 1130-1131
- (16) 佐藤愛子: 日本人の感覚と生活, ナカニシヤ出版 (昭56) 262-276
- (17) 望月享子: 作業経過の心理学, 東海大学出版会 (昭60) 55-

72, 73-106

- (18) Satow, A.: Acquisition and retention of skill on a sensory-motor task and sensory tolerance to distracting stimuli by skilled workers, Perceptual and Motor Skills 61 (1985) 763-774
- (19) Satow, A., and Taniguchi, S.: The development of a motor-performance method for the measurement of pain, Ergonomics 32(3) (1989) 307-316
- (20) 佐藤愛子: 点滅光の明るさの過大視と反応の変動, 心研 40(5) (昭44) 267-272
- (21) Satow, A.: Temporal sensitivity determines individual difference in response to light: Mechanisms determining individual differences in perception, Abstracts of XXIVth International Congress of Psychology (1988) F144
- (22) Satow, A. and Nakamura, M.: Within-individual relationship between temporal and intensity sensitivities in vision examined by a comparison of the two types of the detection threshold. (submitted)
- (23) 佐藤愛子: 視覚作業エラー発生源としての, 視覚系時間応答特性の作用, 人間工学会関東支部大会論文集 (昭63) 57-58
- (24) Rollman, G.B., and Harris, G.: The detectability, discriminability, and perceived magnitude of painful electric shock, Percept. Psychophys, 42 (1987) 257-268
- (25) Cornsweet, T.N.: The staricase-method in psychophysics, Am. J. Psychol, 75 (1962) 485-491