

疲労測定の新法に就て

(混色チラツキ値測定法)

岡山大学医学部衛生学教室 (指導: 緒方益雄教授)

専攻生 成 瀬 龍 城

[昭和31年11月6日受稿]

第1章 緒 言

或機能の変化から、負荷によつて生体に起つた変化の程度を推定することは、疲労判定の場合の一つの考え方である。此の意味で視機の変化から、疲労を判定する幾つかの方法が行われている。然し色覚に関するものは少い様である。

私は色覚と疲労の関係を追求中、新しい疲労測定法として、電動式混色器の利用に着目し、二三実験的負荷作業に対する変動様相を測定し、この方法の利用性を確定出来たので茲に報告する。

第2章 実験方法並びに実験成績

第1節 基礎実験

第1項 被検者

被検者は7名で、その眼所見は第1表に示す通りである。

第1表 被検者の眼所見

氏名	年齢	性別	視力		色神	眼疾
S. K.	38	男	右 1.2	左 1.2	正常	なし
R. N.	33	男	右 1.2	左 1.2	正常	なし
M. H.	26	男	右 1.2	左 1.2	正常	なし
N. S.	20	男	右 1.2	左 1.2	正常	なし
N. A.	20	男	右 1.5	左 1.5	正常	なし
K. Y.	19	女	右 1.2	左 1.2	正常	なし
M. K.	18	女	右 1.5	左 1.5	正常	なし

第2項 測定器具

実験に使用せる測定器械は、山越製マルベ式改良型電動式混色器及び島津製ストロボ高速回転計である。

第3項 視標

視標としては、日本色彩研究所発行の色彩票の中7種のものを選び使用した。その色紙の色相、明度、彩度、反射率は第2表に示す通りである。

第2表 実験に使用せる色紙

色彩票名	色相	明度	彩度	反射率
白	0	20	0	88.0%
黒	0	10	0	2.4
赤	1	14	10	12.3
橙	4	17	7	33.0
黄	8	19	6	63.0
青緑	15	14	7	12.3
青	16	14	6	12.3

第4項 測定原理及び測定方法

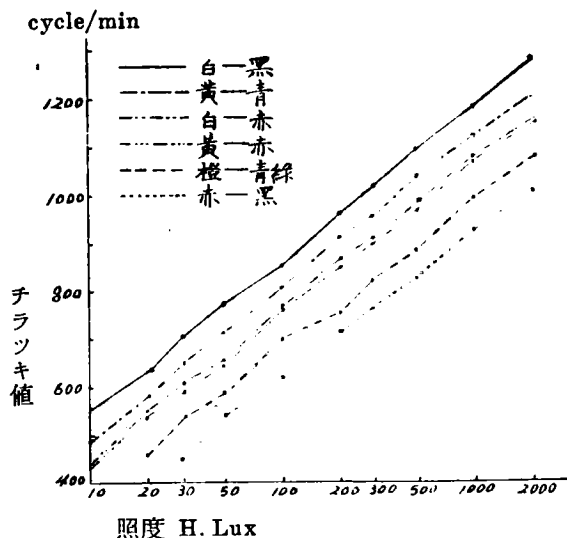
明度の異なる2種の色紙の組合せより成るマクスウエルの円板¹⁾を廻転させると、廻転速度が遅ければ視標の明度差はチラツキとなつて現われて来る。更に廻転速度を次第に早くする時は、チラツキは薄くなり、遂に消失して融合混合されてしまう。このチラツキの消失する時の廻転数を値として採用する方法である。今電動式混色器の視標盤を4等分し、之に第2表の如き色紙を2種の組合せにて交互に貼布し、各視標と照度及びチラツキ消失の廻転数との関係を求めれば第3表、第1図の通りである。

即ちチラツキが消失して混色する為には、視標面照度が大なる程廻転数の多いものを要し、低照度では少い廻転数でチラツキは消失する。又視標の廻転数が大なる時には高照度を必要とし、同一視標にてはチラツキの消失

第3表 視標の組合せと照度及びチラツキ値
(cycle/min)

視標の組合せ 照度	白—黒	黄—青	白—赤	黄—赤	橙—青緑	赤—黒
H. Lx						
10	553	491	444	441	/	/
20	633	580	549	549	460	/
30	706	648	602	594	533	450
50	774	710	655	650	586	536
100	853	806	768	765	698	620
200	959	910	868	855	755	716
300	1018	956	915	904	824	770
500	1096	1038	980	968	883	825
1000	1181	1121	1081	1071	991	924
2000	1278	1203	1151	1146	1075	1004

第1図 視標の組合せと照度及び
チラツキ値との関係



する廻転数は照度の対数に略々比例する関係が認められる。視標に関しては、明度差の大なる組合せ程高い照度又は大なる廻転数を必要とし、明度差の小なる時はその反対である。

この実験に於て電動式混色器の廻転数とストロボ高速度回転計との関係で、1分間500~1100廻転位が最も誤差の少いこと、照度は300 Hefner-Lux (H. Lux) の時チラツキの消失は最も緩徐且鋭敏であり、又視標に就ては白と黒の組合せが最も適當であることが判つた。よつて以後の本実験には視標に白黒の組合せを用い、視標面照度は300 H. Lux とし

た。

測定に際しては、視標面に45度の方向より白熱電球 (Ld 100V 100W) を以て照射し、視標面照度を300 H. Lux とする。被検者は視標に向つて位置し、視線は視標に対し垂直且同高とし、視標面よりの距離18cmに固定せる直径3.5cm長さ15cmの円筒より、其の前面中心の直径2mmの小円孔を通じて視標を覗かせる如くする。次で視標盤を低速度より徐々に廻転速度を早くすると次第にチラツキは淡くなり、遂に消失して混色される。又反対に高速度より徐々に廻転速度を遅くするとチラツキが現われて来る。このチラツキの消失する時及びチラツキの現われ始める時の視標の廻転数をストロボ高速度回転計を以て測定し、その平均値を成績として採用する。この方法を混色チラツキ値測定法と仮称する。

第2節 実験的負荷作業に於ける 測定成績 (其の1)

第1項 被検者

被検者は2名の男子で、視力1.2眼疾なく色神正常の者である。

第2項 負荷作業

実験的作業に就ての測定を目的としたもので、照度300 H. Lux に於て、クレペリン加算作業を60分間行わしめた。

第3項 測定方法

測定方法としては次の3種類を用いた。即ち

- (1) 混色チラツキ値測定法
- (2) 近点距離測定法²⁾
- (3) フリッカー値測定法³⁾⁴⁾⁵⁾

である。

第4項 測定成績

測定成績は第4表に示す通りである。

即ち混色チラツキ値測定法では、被検者1名は混色チラツキ値の増加、他の1名は減少を示している。之を他の測定法と比較すれば、近点距離測定法では2名共近点の近接を示し、フリッカー値測定法では値の増加を示している。即ち測定方法によつて異つた様相を示し、3方法共一致した成績は得られなかつた。

第4表 クレペリン加算作業(60分)

被 検 者	検 査 項 目	負 荷 前	負 荷 後	差
S. K.	混色チラツキ値	1010	1180	+70(+16.83%)
	近点距離	16.6 cm	15.0 cm	-1.6 cm
	フリッカー値	55	59	+4(+7.27%)
R. N.	混色チラツキ値	1000	933	-67(-6.70%)
	近点距離	14.6 cm	13.7 cm	-0.9 cm
	フリッカー値	53	58	+5(+9.43%)

これは精神疲労に於ける測定結果の判定に際して、その判定の困難さを示すものであつて、斯かる場合には視機能による以外の測定法との併用によるべきである。

**第3節 実験的負荷作業に於ける
測定成績(其の2)**

第1項 負荷作業
実験的肉体疲労に就ての測定を目的とし、

Bicycle-ergometer (14kg, 1分間100廻転, 3分間)を行わしめた。

第2項 被検者及び測定方法

被検者及び測定方法は前記と同様である。

第3項 測定成績

測定成績は第5表の通りである。

即ち混色チラツキ値測定法では、被検者2名共混色チラツキ値の減少を示した。又近点

第5表 Bicycle-ergometer 14 kg 毎分100廻転3分間

被 検 者	検 査 項 目	負 荷 前	負 荷 後	差
S. K.	混色チラツキ値	980	910	-70(-7.14%)
	近点距離	16.2 cm	20.0 cm	+3.8 cm
	フリッカー値	54	49	-5(-9.26%)
R. N.	混色チラツキ値	1000	890	-110(-11.0%)
	近点距離	14.5 cm	18.4 cm	+3.9 cm
	フリッカー値	52	48	-4(-7.69%)

距離測定法では近点の延長、フリッカー値測定法ではフリッカー値の減少を示し、3方法共成績は一致し、機能低下の様相を示している。よつて更に次の実験を試みた。

**第4節 実験的負荷作業に於ける
測定成績(其の3)**

第1項 被検者
被検者は第1表の7名である。

第2項 負荷作業
負荷作業として Bicycle-ergometer (14kg, 毎分100廻転)を5分間行わしめたる後1時間の休息を与え、其の後同様の方法で第2回目第3回目の負荷を与え、各回前後に測定を行った。

第3項 測定方法
測定方法は次の如き視機能によるものと、

尿による測定法を併用した。

- (1) 混色チラツキ値測定法
- (2) 近点距離測定法
- (3) フリッカー値測定法
- (4) 緒方氏尿微量蛋白測定法⁴⁾
- (5) ドナジオー佐藤法⁴⁾
- (6) ズルフォサリチル酸法⁴⁾

第4項 測定成績

測定成績は第6表に示す通りである。

即ち混色チラツキ値測定法では、第1回目の負荷後全被検者は混色チラツキ値の減少を示した。そして1時間の休憩後に於て、負荷前の数値に恢復することなく、第2回目の負荷後は第1回目の負荷後の値よりも更に減少を示した。即ち蓄積疲労の様相を示している。第3回目の負荷後に於ては、数値は減少した

第 6 表 Bicycle-ergometer 測定成績 (混色チラツキ値は cycle/min)
近点距離は cm

被 検 者	検 査 項 目	第 1 回			第 2 回			第 3 回	
		負荷前	負荷後		負荷前	負荷後		負荷前	負荷後
No. 1 M. H.	混色チラツキ値	960	900		/	/		/	/
	近 点 距 離	13.9	16.2		/	/		/	/
	フリッカー値	54	49		/	/		/	/
	緒 方 法	/	/		/	/		/	/
	ドナジオ法	/	/		/	/		/	/
	ズルフオ法	/	/		/	/		/	/
No. 2 S. K.	混色チラツキ値	1022	860	一 時 間	840	810	一 時 間	/	/
	近 点 距 離	16.15	21.0		19.3	23.0		/	/
	フリッカー値	58	52		54	58		/	/
	緒 方 法	8	16		/	32		/	/
	ドナジオ法	6	8		/	8		/	/
	ズルフオ法	(-)	(-)		/	(-)		/	/
No. 3 R. N.	混色チラツキ値	1010	905	休 息	870	815	休 息	/	/
	近 点 距 離	14.2	17.8		15.2	19.2		/	/
	フリッカー値	55	47		52	52		/	/
	緒 方 法	8	32		/	128		/	/
	ドナジオ法	10	11		/	12		/	/
	ズルフオ法	(-)	(-)		/	(-)		/	/
No. 4 N. S.	混色チラツキ値	1050	915		850	835		880	870
	近 点 距 離	7.5	9.2		9.3	8.3		9.1	8.5
	フリッカー値	45	41		51	41		47	42
	緒 方 法	16	32		/	/		/	128
	ドナジオ法	8	8		/	/		/	10
	ズルフオ法	(-)	(-)		/	/		/	(±)
No. 5 N. A.	混色チラツキ値	940	825		790	765		985	890
	近 点 距 離	10.5	12.5		10.5	12.3		10.3	14.4
	フリッカー値	53	46		52	46		48	48
	緒 方 法	8	32		/	/		/	64
	ドナジオ法	8	11		/	/		/	11
	ズルフオ法	(-)	(-)		/	/		/	(-)
No. 6 K. Y.	混色チラツキ値	1010	740		915	875		980	915
	近 点 距 離	10.2	10.8		9.7	10.2		9.3	10.2
	フリッカー値	51	42		50	52		46	41
	緒 方 法	32	128		/	/		/	256
	ドナジオ法	9	11		/	/		/	11
	ズルフオ法	(-)	(+)		/	/		/	(+)
No. 7 M. K.	混色チラツキ値	840	660		770	750		790	765
	近 点 距 離	8.8	9.9		9.2	9.0		8.7	9.3
	フリッカー値	49	45		50	45		48	45
	緒 方 法	8	32		/	/		/	128
	ドナジオ法	8	9		/	/		/	9
	ズルフオ法	(-)	(-)		/	/		/	(-)

けれども第2回目の負荷後に於ける数値の減少程度であつて、第1回目の負荷後に示した様な著明な減少は認められなかつた。之は第2回目の負荷後に於ける数値の減少が大體限度に近いものであつて、それ以上の負荷に対しても、それ相応の刺戟とはならなかつたのであろうと考えられる。又特に被検者 No. 4, No. 6, No. 7 は運動選手（陸上競技）である關係上、同じ負荷に対する馴れの現象が早く出現した結果であるとも云えよう。

近点距離測定法では大體混色チラツキ値測定法と同様な成績を示しているが、フリッカー値測定法では多少異つた様相を示している。即ち第1回目の負荷後に於ては、全員フリッカー値の減少を示したが、第2回目の負荷後は減少3名、不変1名、増加2名であり、第3回目の負荷後では減少3名、不変1名で混色チラツキ値測定法及び近点距離測定法程鋭敏ではない。

又尿検査ではドナジオー佐藤法、ズルフォサリチル酸法ではみるべき結果は得られなかつたが、緒方氏尿微量蛋白測定法では、混色チラツキ値測定法及び近点距離測定法と一致した成績が得られた。

以上の成績によつても明らかな如く、混色チラツキ値測定法は近点距離測定法と同様、フリッカー値測定法より優れたものであり、視機能以外の測定法と併用して意義ある疲労測定法なることを示している。

第3章 考 按

今日行われている疲労測定法には数十種のもので数えられている。此等多数の測定法は生理学、生化学、公衆衛生学、労働科学、内科学、精神神経学、心理学等の分野に互るものである。然し此等測定法の中には視器に關係を有する場合が多く、今日に於ては、視機能を利用した方法が優れていることは、多くの学者によつて証明されている。

視機能を利用した測定方法には、視覚系機能を利用する方法（視力、視野、光覚、色覚、閃光融合閾、光反応時間及び電気閃光法等）

と眼筋系機能を利用する方法（瞳孔径、眼位、瞬目運動、近点距離等）があるが、就中今日最も利用されている方法は、近点距離測定法とフリッカー値測定法である。

私は緒言に於て述べた様に、色覚と疲労の關係を追求中、電動式混色器を利用した新しい測定法に着目し、之を混色チラツキ値測定法と仮称した。この方法はフリッカー値測定法と原理を等しくするものであつて、網膜一皮質系の興奮性を示す値であると考えることが出来る。

私はこの混色チラツキ値測定法の利用価値を知る為、この方法を主体にして二三実験的負荷作業に就て、他種測定法と比較検討を行つた。他種測定法としては現今最も広く利用されている方法を選んだのである。結果は実験成績が示す様に、この方法の利用価値の優れたことを示すものであつた。即ち混色チラツキ値はフリッカー値と同様に精神疲労、軽度疲労に於ては数値の増加又は不変を示し、肉体疲労、強度疲労に於ては数値の減少を示す様である。そして近点距離測定法と同様優れたものであつて、蓄積疲労の様相をも知ることが出来た。又フリッカー値測定法とは大體同じ傾向の成績を得たが、多少混色チラツキ値測定法が優れているものと考えられる。即ちフリッカー値測定法では(1)数値の変動が僅少である為、被検者の練習効果に左右されることが大である。(2)測定誤差が大である。(3)変動した数値が短時間で恢復する等の缺點があるが、混色チラツキ値測定法では(1)数値の変動がフリッカー値測定法の如く小さくない。(2)測定誤差が小さい。(3)変動数値の恢復がフリッカー値の如く早くない。更に(4)チラツキの消失がゆるやかで且鋭敏であるので測定し易い等の利点がある。

故に本法は近点距離測定法と同様、フリッカー値測定法に勝るものであり、且利用し得るものであると考える。

然し疲労の本態に関しては今日尚未だ不明であり、且疲労は種々の要因によつて異つた様相を示すものであることを考えるならば、

或一つの測定法によつてのみ疲労の様相を云々することは、多くの危険を招来するものであることは云うまでもなく、諸種の器官或は全身に就てその機能を測定した上で、総合的に判定することが必要である。混色チラツキ値測定法も疲労測定法として充分利用し得るものであるが、実際の測定に際しては、他種測定法との併用が望ましいことは云うまでもないことである。

第4章 結 論

色覚と疲労の関係を追求中、新しい疲労測定法として電動式混色器の利用に着目し、二三実験的負荷作業に対する変動様相を測定し、次の如き結論を得た。

(1) 照度が一定ならば、視標の明度差の大きなもの程チラツキ値は大きい。

(2) 視標の明度差が一定ならば、チラツキ値と照度の対数との間には直線的関係が成立する。

(3) 私は電動式混色器を利用した新しい疲労測定法を考案し、之を混色チラツキ値測定法と仮称した。

(4) この方法はフリッカー値測定法と原理を等しくするものであるが、フリッカー値測定法に優るものである。

(5) この方法は疲労測定法として、鋭敏にして有用なものと思われる。

擲筆するに臨み、終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜つた恩師緒方教授に、衷心より深謝の意を表す。

本論文の要旨は、第25回日本衛生学会総会に於て発表した。尚本研究は文部省科学研究費によつた。

文 献

- 1) 藤田敏彦・感覚生理学実験示説, 創元社(昭24)
- 2) 桑原 進 岡山医誌, 67, 843 (昭30)
- 3) 大島正光: 産業疲労検査の方法, 労研(昭27)
- 4) 緒方益雄, 大田原一祥他 疲労判定法, 創元社(昭22)
- 5) 萩野仰太郎: 臨眼, 7, 929 (昭28)
- 6) 国友 昇・日眼, 41, 石原記念号, 815 (昭12)
- 7) 蒲山久夫: 照学誌, 37, 391 (昭28)
- 8) 大島正光: 色彩調節, 技報堂(昭28)
- 9) 大島正光: 医学のあゆみ, 15, 8 (昭28)
- 10) T. A. Ryan, M. E. Bittermann, C. L. Cottrell: Illum. Eng., 48, 357 (1953)

The Department of Hygiene, the Medical School, Okayama University

On New Method of Measuring Fatigue

By

Ryujo Naruse, Post-Graduate Student, Under the Direction
of Prof. M. Ogata

In the course of research of the relation between color vision and fatigue, use of an electric-motor type color-mixer as a new method of measuring fatigue was considered, and, accordingly, the changing phases in relation to a few experimental load work were duly observed, on a result of which the following conclusion was obtained.

(1) Provided that illumination is constant, the flicker frequency will become larger as the difference of luminosity of the test charts mounts.

(2) Provided that the difference of luminosity of the test charts is constant, a straight-line relation is formed between the flicker frequency and the logarithm of illumination.

(3) The new method of measuring fatigue by use of an electric-motor type color-mixer, newly worked out by the present author, has been named the color-mixing flicker test.

(4) Working on the same principle as the conventional flicker test, the new method is considered to be superior to the former.

(5) This method is considered to be highly sensitive and efficient as a method of measuring fatigue.