暗順応初期の視認時間に及ぼす心身負荷の影響

——測定器の試作——

藤 井 真 美*

(昭和50年4月24日 受付)

Effect of Physical and Mental Burden on Elapsed Time of Visual Perception in the Initial Stage of Dark Adaptation: measurement with a new device

Shinmi Fujii

(Faculty of Education, Gifu University)

It is known that visual perception in the dark is different according to conditions of environment and to the individual visual acuity, and also known that it is influenced by certain disease, fatigue and alcohol ingestion even within the same individual.

It may, therefore, be possible to determine the event of lowering of the physical and mental functions by means of measuring the elapsed time of visual perception in the initial stage of dark adaptation. For this purpose an instrument equipped with an electronic timer was developed, by which the restoration time of the visual perception under a low illumination (5 lux) preceded by a 5 seconds' exposure in a high illumination (3000 lux) could be measured precisely.

In the present study an outline of the instrument and a few data on basic experiments were described. It was suggested that the obtained values by this method were closely related to the extent of lowering of physical and mental functions.

(Shinmi Fujii: Effect of Physical and Mental Burden on Elapsed Time of Visual Perception in the Initial Stage of Dark Adaptation: measurement with a new device, *Jap. J. Phys. Educ.*, Vol. 22, No. 1, May, 1977, pp. 19~25)

1. 緒 言

暗順応に関する研究は、基礎医学の分野では、錐体と桿体の機能に関する研究や、視紅 (rhodopsin) の褪色・合成に関する研究、あるいは暗順応経過に関する視覚生理の研究が多く、⁸⁾ 一方、臨床医学の分野では、先天性・後天性の夜盲症に

よる光覚障害に関する研究が数多く見られる。

しかしながら、生体に負荷を与えて、照度低下時における暗順応初期の視認時間から心身機能への影響度を検索しようとする研究はほとんどなく筆者の知るところでは、暗順応曲線に影響を及ぼす要因として、疲労や不眠があげられている⁹⁾ にすぎない状態である。

* 岐阜大学教育学部

生体は、恒常性によって機能の変化をできるだけ少なくしようとする特性をもっているが、その中で変化を追求しなければならないところに疲労研究の困難性がある、と大島^{5),10)} (1960) が指摘したように、生体は種々の負荷を受けても、恒常性を維持しようとする傾向が強いために、機能の変化が現われにくく、現われても時間の経過とともに元の状態にもどりやすいものである。

そこで、従来広く行われている生理学的疲労検査が、機能の変化の状態を捉えることに主眼をおく傾向の強いことに注目し、このような機能変化を時間の関数として捉える方法を検討した。

この方法は、負荷前の機能に比べて負荷後の心身の機能がどれほど低下したかを、低照度環境に曝したときの視認時間の遅れ、ないし回復のしかたから調べようとするもので、本稿では、試作した視認時間測定器について、試作に至る経過、測定器の構造・機能、並びに測定に関する基礎的実験について報告する。

2. 試作に至る経過

時間的要素に基づく機能検査には、止息時間、眼調節時間、反応時間、時間再生、認知時間、⁵⁾ 眩惑回復時間などの諸検査法があるが、筆者も簡易な測定器を試作して、遠近調節時間と暗順応初期の視認時間を測定し、この測定器では、負荷後の機能低下が、調節時間の延長よりも暗所での視認の遅れに現われやすいことを確めた。¹⁾ この簡易測定器は、視標が大きく、視標の呈示方法が手動であるなど、機能面に問題があったけれども、このような手製の測定器でさえ、視認時間の速さから機能低下の度合を知る手がかりをえたことは、一つの収獲であったといえる。

このことから、測定器の機能を、明から暗、あるいは暗から明に変化したときの視認時間を測定するだけとし、器械の自動化と精密化によって精度が高められれば、負荷による心身機能への影響を量的に捉えることができるのではないかという仮説を立てた。

人間は、急激に低照度環境に曝されると、初めのうちは暗さに順応できないけれども、やがて周囲の視対象が徐々に見え始め、調節によって形な

どが明視できるようになる。

低照度下での視認の速さは、測定前の照射環境（以下前照射環境と略す）や暗所の照度などによっても異なるが、環境を一定にした場合でも個人差があり、同一個人においても一様ではない。たとえば、視力差、年齢、眼疾の有無などは個人差の形成要因となり、心身の疲労、睡眠不足、飲酒などの場合は同一個人であっても生理機能に変化を示し、これが視認時間の遅れに現われる。¹⁾

このことから、視力差が測定値に影響しない方法をとれば、視力の良否にかかわらず測定できるし、また、負荷量の程度に応じて、暗所での視認時間に遅れがみられる^{1),2),3),4)} ことから、体力、身体的・精神的作業適性、あるいは疲労などを量的に測定することも不可能ではないと考える。

もとより、急激に変化した環境に適応する機能は、体調のよい無負荷安静時が最も優れている。したがって、低照度環境に曝されたときの視認時間を測定すれば、無負荷時には速く、負荷後には遅くなる。そして、無負荷時の視認時間を事前値とし、負荷後の視認時間を事後値とすれば、変動率から機能の低下度を推定することができ、無負荷対照群との比較によって、信頼性を統計的に求めることも可能となる。

本測定器は、このような考え方を根拠にして設計したもので、機器は八神理化器製作所の技術によって完成した。

3. 測定器の構造・機能

測定器は、本体と操作器からできている。

＜本体＞（図1）

①は被検者が視標を視認したとき直ちに応答するためのスイッチで、これを押すと低照度ランプAが消えて時計が停止するようにできており、手もとの適所へ移動できる。

②ののぞき窓には、両眼視ができる大きさの窓があり、透明ガラスによって機器の内外が遮断され、外界の光線が両眼の周囲から内部へ投射しないように作られている。

③の高照度ランプAは、低照度視標に切り替えるまでの一定時間（0～60秒の間で任意の時間にセットできる）被検者の視野を高照度下におくた

図 1 視認時間測定器の本体

1. 応答スイッチ	7. 残光遮蔽枠
2. のぞき窓	8. 電磁遮蔽装置
3. 高照度ランプA	9. 冷却装置
4. 低照度ランプA	10. 視標回転装置
5. 高照度ランプB	11. 同上電源コード
6. 低照度ランプB	12. 照度調節つまみ

めの照明である。

④の低照度ランプAは、明順応初期の視認時間を測定するとき、高照度視標に切り替える前の一定時間、被検者の視野を低照度下におくための照明である。

⑤は、明順応初期の視認時間を測定するときの高照度ランプB（約 3000 lux）で、光源からの光が直接眼に入らないようにできている。なお、暗箱内部は黒く塗って反射率を小さくした。

⑥の低照度ランプBは、暗順応初期の視認時間を測定する際の照明で、⑫の照度調節つまみによって、視標面照度を 1～10 lux の間で任意に調節できるようにした。

⑦の残光遮蔽枠は、③の高照度ランプAが消えるときに生ずる残光が視標に投射しないようにしたものである。

⑧の電磁遮蔽装置は、スタートスイッチを入れると、予めセットしたタイマーによって自動的に高照度ランプが消え、同時に電磁装置により遮蔽板が上挙して、低照度視標が呈示されるようにできている。次に、被検者の視認により応答スイッチが押されると、低照度ランプが消えて遮蔽板が

下がり、視標が見えなくなる。

⑨の冷却装置により、暗箱内の温度が高温になると、自動的にファンが回転し、暗箱内の空気を排出して内部を冷却する。

⑩の視標回転装置は、アルミ箔にランドルト環をプリントした回転板と、これを回転させる電磁回転装置によって視標が自動的に呈示できるように作られている。

⑪は操作器に接続された連結コードと電源コードで、⑫は照度調節つまみである。

＜操作器＞（図 2）

①の電源スイッチをONにして、②のパイロットランプが点灯したかどうかを確認する。次に、③の明・暗切替スイッチを暗の方向へ入れ、④のタイマーを 5 秒の目盛に合わせる。さらに予備操作として、⑤の視標選択スイッチを回して低照度下（5 lux）で測定した 1 分後の視力（以下夜間視力という）より 1 段階大きい視標を呈示し、この指標の方向を呼称させて、⑥の視標確認装置により、被検者が指標を正しく視認しうることを確かめておく。

視標は視力 0.1～1.5 までの 12 種類で、各種類とも上下左右の方向を変えたランドルト環を 3 個ず

図 2 操作器

1. 電源スイッチ	6. 視標確認装置
2. パイロットランプ	7. スタートスイッチ
3. 明・暗切替スイッチ	8. 電子時計
4. タイマー	9. リセットスイッチ
5. 視標選択スイッチ	10. 照度切替スイッチ

つ貼付した。

このようにして⑦のスタートスイッチを押すと、本体(図1)③の高照度ランプAと本体⑥の低照度ランプBが点灯し、5秒後には、本体③の高照度ランプAが消灯するとともに電子時計が作動し、同時に本体⑧の電磁遮蔽装置が上挙して視標が呈示される。やがて被検者は徐々に低照度視標が見えてくるので、ランドルト環の方向が視認できたら直ちに手もとの応答スイッチを押し、口答で上下左右の方向を回答する。応答スイッチが押されると電子時計が停止するので、検者は低照度下に曝されてからランドルト環を視認するまでの時間を正確に測定することができる。

なお、1回の測定値は、5回の視認時間を平均したものであるが、本検査法は事前値が負荷後の変化を知るための基準となるので、測定に際しては十分な練習を行い、測定値の上限と下限との差が1秒以内になるよう留意した。

4. 測定に関する基礎的実験

＜実験1＞ 暗順応初期の視認時間正常値

目的 安静正常状態における暗順応初期の視認時間を知るため、次の実験を行った。

方法 男子37名、女子115名、計152名の大学生(18～25歳)を対象にして、昭和47年11月に、本測定器を用いて、低照度環境に曝したときの暗順応初期の視認時間を測定した。

結果および考察 暗順応初期の視認時間は、男子が平均2.554秒、女子2.643秒を示し、男女の間に有意な差は認められなかった。なお、全員の平均は 2.631 ± 0.908 秒であった。この測定により、初めての被検者にも実施できることが確められた。また、夜間視力と同一大の視標を用いたことと、測定熟練度などから、視認時間に若干の遅れがみられた。

＜実験2＞ 暗順応初期の視認時間に含まれる要素別所要時間

目的 暗順応初期の視認時間には、初期暗順応時間、調節時間、反応時間の3要素が含まれる。これらの要素別所要時間は、視標の大きさや視標面照度などの違いによって割合が変わるので、基準値を求めることは困難であるが、本実験の本質

を明らかにするうえで必要と考え、次のような実験を行った。

方法 大学生10名の被検者(19～22歳)に対して、安静正常状態での視認時間、反応時間、および、何かがあると感知するまでの時間をおのおの5回測定し、それぞれの平均値を個人の測定値とした。実験は昭和50年10月に実験室において行った。

初期暗順応時間は、低照度視標に替わってから視標の存在を感知してスイッチを押すまでの時間を測定し、この値から反応時間を差し引いたものである。また、調節時間は、視標の存在を感知してから視標の方向を視認するまでの時間とし、視認時間から初期暗順応時間と反応時間を差し引いて求めたものである。

さらに反応時間は、本測定器により、低照度照明に替わったら押すという方法で測定した。

結果および考察 これにより、本測定法では、急に低照度環境に曝されると、初期暗順応をするまでは何も見えないこと、視標を明視するまでの調節には最も長い時間を要し、調節時間は視標が小さいと延長することなどが確められた。

表1 照度低下時における視認時間と要素別所要時間 (sec)

視標	被検者数	視認時間	初期暗順応時間	調節時間	反応時間
A	10	1.563 ± 0.376	0.420 ± 0.072	0.808 ± 0.342	0.335 ± 0.055
B	10	2.001 ± 0.539	0.431 ± 0.062	1.235 ± 0.532	
AとBのt検定		$t = 1.998$ $p < 0.1$	$t = 0.301$ $p < 0.8$	$t = 2.029$ $p < 0.1$	

(注) 視標A：夜間視力より1段階大きい視標
視標B：夜間視力と同じ大きさの視標

また、反応時間では、測定器の構造上から、やや遅い値が得られた。これらの実験により、初期暗順応時間と調節時間との境界を厳密に区別することはできないけれども、本実験で測定する視認時間の大半は負荷による影響が最も現われやすい視覚機能⁹⁾で占められていることが確められた。

＜実験3＞ 視標の明るさや大きさと視認時間

目的 視標面照度が明るいほど、あるいは視標が大きいほど見やすいことは周知のとおりである

が、このような視標の明るさや大小が視認時間にどのような影響を及ぼすかをみるため、次の実験を行った。

方法 視標面照度と視認時間については、大学生10名の被検者（19～22歳）に対して、視標面照度 3～10 lux まで6段階の視認時間を測定した。

また、視標の大きさと視認時間については、大学生12名（19～23歳）の被検者に対して、視標面照度を 5 lux にしたときの各視標（0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 の5種類）について視認時間を測定した。

結果および考察 この結果、前者では、視標面照度が低くなるほど視認時間とそのバラツキがともに大きくなることが確められた。

表 2 視標面照度と視認時間 (n=10)

視標面照度 (lux)	視認時間 (sec) M±SD	3 lux と各照 度との t 検定
3	3.396 ± 1.303	
4	2.560 ± 1.305	t = 1.499 p < 0.2
5	2.101 ± 0.842	t = 2.505 p < 0.05
6	1.781 ± 0.647	t = 3.331 p < 0.005
7	1.670 ± 0.600	t = 3.609 p < 0.005
10	1.416 ± 0.519	t = 4.235 p < 0.001

表 3 視標の大きさと視認時間 (n=12)

視 標	視認時間 (sec) M±SD	被検者数	視標 0.2 と 各視標との t 検定
0.2	1.21 ± 0.47	12	
0.4	2.23 ± 1.39	12	t = 2.306 p < 0.05
0.6	3.12 ± 2.38	9	t = 6.783 p < 0.001
0.8	3.57 ± 2.25	8	t = 2.640 p < 0.01
1.0	3.77 ± 1.68	6	t = 4.629 p < 0.001

また後者では、1.0の視標による視認時間は、0.2に比して約3倍の遅延を示し、視標が小さくなるほど視認が困難になることが確められた。

さらに、夜間視力の個人差により、0.2と0.4の視標は全員が視認できたが、0.6では9人、0.8では8人、1.0では6人が視認しただけであった。これらはすべて予想した結果であり、このことか

らも測定器の精度が高められたことがわかる。

＜実験4＞ 前照射環境と視認時間

目的 前照射環境としては、本測定器による高照度照明の曝露時間と視認時間との関係や、入室前の環境照度が問題となる。そこで、3000 lux の高照度照明下に目を曝す時間の長さとの視認時間との関係を見るために前者の実験を、また、実験室へ入室する前の環境照度の違いと視認時間との関係を調べるために後者の実験を行った。

方法 高照度照明の曝露時間と視認時間については、大学生（20～22歳）4名に対して、5秒単位で30秒まで高照度下に曝露したときの視認時間を5回ずつ測定してその平均値を個人値とし、4名の平均とその標準偏差を求めた。

また、室外の環境照度と視認時間との関係については、大学生（22歳）3名に対して、1日目は暗所と 200 lux, 2日目は 2000 lux と 6000 lux の4照度下に、それぞれ30分間安静状態で待機させた後、実験室にもどして、直後、10分後、20分後、30分後に暗順応初期の視認時間を測定した。なお、この際の事前値は、それぞれの照度下に30分間滞在する前に、入室後の10分間を安静のまま待機させてから測定したものである。

結果および考察 前者について実験した結果、表4の成績を得た。これによって、高照度曝露時間が長いほど、視認時間が延長することを確めた。

この結果は、実験方法は異なるが、前照射時間が長いほど暗順応の阻害度が増すという齊藤¹²⁾や大島¹¹⁾らの成績に近いものと考えられる。

本検査法で前照射時間を5秒とした理由は、前

表 4 高照度曝露時間の長さとの視認時間 (n=4)

曝露時間 (sec)	視認時間 (sec) M±SD	高照度曝露前 と曝露後との t 検定
0	1.473 ± 0.137	
5	1.820 ± 0.047	t = 3.086 p < 0.05
10	2.108 ± 0.105	t = 5.179 p < 0.005
15	2.738 ± 0.480	t = 4.260 p < 0.01
20	3.809 ± 1.142	t = 3.582 p < 0.02
25	4.486 ± 0.889	t = 4.335 p < 0.05
30	5.852 ± 2.062	t = 3.674 p < 0.02

表5 前照射環境の照度別視認時間 (n=3)

事前 (sec)	環境照度 (lux)	直後 (sec)	10分後 (sec)	20分後 (sec)	30分後 (sec)
1.52	0	1.43	1.45	1.46	1.38
1.54	200	1.18	1.46	1.43	1.52
1.89	2000	3.39	1.92	1.75	2.01
1.74	6000	3.62	1.78	1.65	1.69

(注) 事前値を測定してから、各照度下に30分間滞在させ、直後・10分後・20分後・30分後の4回測定した。

照射がないと実験過程で暗順応が進行して視認時間が速まり、反対に前照射時間が長すぎると、これが負荷になって視認時間が遅れるなどのためであり、この程度の時間なら、緊張の持続も負担になるほどでないと考えたからである。

後者については表5の成績を得た。

これによって、環境照度が明るいほど実験室照度にもどした直後の視認時間が延長するが、10分後にはほぼ事前値に近づくことが確かめられた。

＜実験5＞ 本検査法の再現性について

目的 同一被検者に対して、同一条件のもとで同一実験を2回行った場合、1回目と2回目の視認時間に相関がみられれば、本検査法に再現性があると考えて、次の実験を行った。

方法 安静正常状態における暗順応初期の視認時間を測定してこれを事前値とし、時刻判読負荷試験⁴⁾ (2秒に1回の割合で auto slide により

表6 視認時間の再現性

被検者	事前値に対する直後値の指数	
	1回目	2回目
A	119.2	112.0
B	85.7	84.2
C	100.1	105.6
D	147.6	143.9
E	116.9	125.2
計	569.5	570.9
平均	113.9	114.2
相関	$r=0.961$	

投影されるランドルト環の方向を、時計の短針に読み替える精神作業)を5名の大学生(21~22歳)に対して9分間負荷する実験を、昭和50年10月に2日にわたって行った。

結果および考察 この結果、表6の成績を得た。すなわち、事前値に対する事後値の増減率を指数化した個人の測定値をみると、1回目と2回目との間にあまり差がみられず、両者には高い相関($r=0.961$)が認められた。このことから、本検査法には再現性があるものと考ええる。なお、被検者5名の指数の開きは、精神作業負荷による影響の個人差を示すものと考えられ、このことから、精神作業適性を知ることの可能性が示唆された。

5. 総 括

運動や精神作業を負荷して、事前と事後の測定値から心身機能の低下度を測定せんとする試みは数多く行われているが、従来行われてきた多くの検査法は、負荷によって心身に疲労を自覚しても、作業量や生理機能が必ずしも変化するとは限らなかった。^{5,7)}

このように、自覚症状はあっても生理機能の変化として捉えにくいのは、従来の検査法が機能を static にみようとするため、測定時には調節や適応により機能の変化が覆い隠され、あるいは、機能の動的変化が測定値のバラツキを大きくする、などによるものと考ええる。そこで筆者は、疲労時や飲酒時、あるいは身体的、精神的にその作業に不適性な者ほど、負荷の影響が大きく、元の機能に回復するまでの時間が長いことから、一挙に環境を変化させてこれに順応するまでの機能を時間的に調べることができれば、調節や適応による影響を受けないので、心身機能の低下度が測定できるのではないかと考えた。そして、初期暗順応、調節、反応などの機能を含む暗順応初期の視認時間から、生体の機能を dynamic に捉えようとする視認時間測定器を試作した。

本測定器を用いて行ったいくつかの基礎実験成績は、大略次のとおりである。

①暗順応初期の視認時間正常値は、大学生男子(N=37)が平均2.554秒、女子(N=115)2.643秒で、両者に有意な差は認められなかった。

②視認時間に含まれる要素について、可能な範囲で所要時間を測定した結果、反応時間が最も短く、次いで初期暗順応時間、調節時間の順に長い時間を要した。これら要素別所要時間の長さや割合は、視標の大きさによって変化することが認められたが、照度や負荷の違いが影響することも考えられる。

③視標の大きさと視認時間の関係を、大学生12名に対して測定した実験では、視標が小さくなるほど視認時間が顕著に遅延することが確かめられた。

④前照射環境と視認時間との関係をみると、大学生4名に対して高照度照明の曝露時間と視認時間との関係を調べた実験では、高照度曝露時間が長いほど視認時間が延長することが確かめられた。また、室外環境照度と視認時間との関係を大学生3名に対して測定した実験では、環境照度が明るいほど、実験室照度にもどした直後の視認時間は延長するが、10分後にはほぼ事前値に近づくことが確かめられた。

⑤本実験の再現性をみるため、大学生5名に対して、auto slideにより投影されるランドルト環の方向を時計の短針に読み替える精神作業を9分間負荷する実験を2回行った。この結果、1回目と2回目の視認時間には、非常に高い相関が認められたので、本検査法には再現性があるものと考ええる。

本検査は、高照度環境から一挙に低照度環境に変えたとき、予め測定した個人の夜間視力に応じて呈示される低照度視標を明視するまでの視認時間を測定し、負荷後の機能変化の状態を量的に捉えようとする疲労検査である。

本検査法は、測定の性質と1回の測定時間の長さの点から、被検者の意志が介入しにくく、視力に応じて視認時間が正確に測定できる。また、初期暗順応や調節力、あるいは反応時間などを含む視認時間は、練習によってそれほど速まるものではないから、熟練者に適するだけでなく、初めて

の被検者にも、2～3分の練習を含めて、入室10分後には測定できるなどの特徴がある。

本測定器により、視認時間の遅れから体力を評価し、身体疲労や精神疲労を判定し、あるいは身体的・精神的作業適性を知ることの可能性が予測されたが、これらについての詳細は別に報告する。

なお、本研究の要旨は、第19回日本学校保健学会(1972)、第8回日本アルコール医学会(1973)、第39回日本民族衛生学会(1974)で発表した。

稿を終えるにあたり、昭和44年以来、当研究室に所属して多大の御協力をいただいた各年次の卒業生諸君に対し、深甚の謝意を申上げる。

引用文献

- 1) 藤井真美・寺田光世：調節時間測定器の試作と基礎実験，学校保健研究，12(4)：187～193，1970。
- 2) 藤井真美・阿部康博：初期暗順応時間法によるアルコール耐性の判定，アルコール研究，8(3)：135～137，1973。
- 3) 藤井真美：疲労度及び酩酊度と初期暗順応時間，第19回日本学校保健学会講演集，1972。
- 4) 藤井真美：初期暗順応時間法による精神疲労の判定，第39回日本民族衛生学会総会講演要旨集，1974。
- 5) 橋本邦衛・大島正光：疲労判定のための機能検査法，同文書院，12，1962。
- 6) 石川道雄：疲労(I)定義と原因を主として，健康教室303集，東山書房，29～30，1976。
- 7) 川畑愛義・村上長雄他：体力測定と健康診断，南江堂，144，167，1969。
- 8) 小野勝義他：眼科全書第1巻，金原出版，185～189，1969。
- 9) 大島正光：人間はなぜ疲れるか，からだの科学34，日本評論社，50～53，1970。
- 10) 大島正光：疲労の研究，同文書院，10～13，1960。
- 11) 大島正光：環境生理学，医歯薬出版，23，1967。
- 12) 斎藤健吉：前照射時間の影響，東北医学雑誌，17，122，1934。