



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	明るさの感覚を規定する条件：視的順応を中心として
Author(s)	相場, 覚
Citation	北海道大學文學部紀要, 21(2), 1-25
Issue Date	1973-03-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/33381
Type	departmental bulletin paper
File Information	21(2)_PL1-25.pdf



明るさの感覚を規定する条件

—— 視的順応を中心として

相 場 覚

明るさの感覚を規定する条件

—— 視的順応を中心として

相 場 寛

I

最近の視覚の生理心理学の発展には著しいものがあると言えよう。就中、視覚系の最も末端をなす視細胞の構造と、そこに含まれる視物質の解明、その視覚機能における役割の探求などは、我々の視覚系の理解に少なからざる貢献をなして来たと言える。

一方では Wald を中心とする Harvard 大学の研究者その他による視物質 (Visual Pigment) の光化学的性質の発見、他方では Rushton の一連の研究によって代表される、Retinal Densitometer による人間の眼におけるこれらの視物質の変化と、精神物理学的測定結果との関連の究明がこれである。これらについては相場 (1967) 及び相場 (1970) を参照せられたい。

我々心理学者にとって、特に関心のあるのは、この中でも後者の、生体内における生理事理的過程と精神物理学的測定との関係であることは言うまでもない。

ところで、これらの研究を通覧して直ちに気付くのは、これらの研究の大部分が、視的感受性との関連で生理心理学の問題を扱っていることである。しかも、数多くある感受性の指標の中でも「閾値」を対象としていることである。

一般に、感受性を表わす指標として、感性の下限を示す閾値（これには絶対閾と差閾とがある）と、感覚の「強さ」を示す何らかの測定値（大

ていは或る一定の刺激の起す感覚の強さを、マッチングによって他の刺激で表わす)とを用いる。もう一つの指標として、一定の感覚を引き起す刺激の強さをを用いる場合があるが、これは原則的には閾値測定と同じと見てよい。これら二種類の測定値の間には高い相関があると考えられるが、しかし必ずしもこれらは同一の機能を測っているとは限らない。今、通信系における電氣的信号を考えて見たとき、何等かの雑音がその系に含まれている場合は、 S/N 比を一定以上にしなければ信号は受信されないであろう。しかし、信号の強さ自体は雑音によって影響されない。このような場合と類似のケースが視覚系に起ることは充分考えられる。

視覚系における精神物理学的現象と、その基礎をなす生理学的事象との間にもし確固とした関係があるならば、たとえそれがどのようなものであれ、今までに充分探求され、或る程度解明されていてよい筈である。事実、多くのものが、このような理由で探求されて来た。しかし、上にのべたように、閾値とそれに直接関係すると考えられた、視覚系の一番末端の視物質との関係のみが、主として問題にされて来たのは否定出来ない。それは何故であろうか。恐らくこれは、視覚系を扱う心理学者、生理学者の間に、「閾値測定という形で求められる被験者の反応のみが、最も科学的に信頼され得る心理的データーである」という考え方が広く滲透していたためであろう。すなわち、彼等に従えば、閾値とは感覚情報を二つのカテゴリー、すなわち「見える」と「見えない」、「区別出来る」と「区別出来ない」とに分けることであり、これ以外の、より複雑なものについての被験者の報告は、すべて信頼に値しないという考えである。もしも、感覚情報が末梢で規定されているような場合には、Pirenne (1946) が正しくも指摘しているように、それは中枢における感覚事象をも規定(限定)することになり、とすれば、それは我々の反応をも最終的に規定(限定)することになるのである。この二つの事実、すなわち、視覚科学者達が閾値のみを好んで被験者の反応の指標に

用いて来たこと、そして視覚系の末梢の過程は、感覚事象を直接的に限定し得るということ、が幸運にも結びついて、これまでの視覚科学の一見華やかな成功を導いたのである。

これに反し、閾値以外の指標を用いた研究は、数多く多岐にわたってはいるが、基礎をなす生理学的過程と、精神物理学的事象との間の関係は、どちらかというとき大まかな記述的段階にとどまっている。これは、一つには、生理学的過程自体を表わす指標が、いまだに確固としたものがなく、神経生理学を例にとっても、電気生理学の最近の進歩にもかかわらず、神経系の数多くの信号（反応）のうち、一体どれが感覚情報の直接の担い手であるかすらいまだ明らかでないのである。たしかに、神経繊維におけるパルスの発生と移動、そしてその頻度は、感覚情報の伝達の方向と、情報内容の一端を示すものであることはたしかであるが、精神物理学的事象のどれに、そのどれが一義的に関連するものであるかは明らかでない。例えば、パルス頻度と感覚強度との関係は示唆的ではあるが、まだ矛盾的な報告が多い（深田、1970）。いずれにせよ、刺激強度の上限における飽和と感覚との関係についてはいまだ説明がない。

何はともあれ、我々が感覚の心理・生理学を問題にするとき、閾値はいわばその出発点に過ぎないということを認めざるを得ない。何故なら、閾値は、感覚・知覚の全力動範囲のなかの一つの点に過ぎないからである。とすれば、たとえその生理的基盤がそれほど明らかでなくとも、否、むしろそうでないが故に、それについての洞察を与えるような、すべての力動範囲にわたっての精神物理学的研究が必要となるのである。特に真先に問題として取り扱われねばならないのは、感覚の強さ、すなわち明るさの次元における精神物理学である。

本論文は、二、三の心理学者による主だった研究を Review しながら、視覚における明るさの感覚についての問題を、視的順応を中心として、生理心理学的な観点から新たに考察しようとするものである。この考察によって我々のこの問題についての理解が、幾分でも深められれば

幸いである。

II

視的順応というとき、伝統的に二つの効果が分けて考えられている。一つは過渡的なもので、数秒、否数ミリ秒で完了するもので、 α -adaptation と呼ばれる現象である。他方は、よりゆるやかな過程で、最も短いものでも、数分の経過を必要とするものである。普通に「明順応」「暗順応」という言葉で理解されているものがそれである。 α -adaptation はおそらく視覚系が急激なかつ過大な変化にさらされる為に引き起される、一過性の現象であって、普通の状態における視覚活動（日常的条件下の）にはあまり関係がないと考えられる。しかし、視覚系の作用の理解のために、この種の順応の性質も明らかにされねばならないのは当然である。残念ながら本論文では紙面の都合でこの問題には立ち入ることが出来ない。

他方の、よりゆるやかな順応は、我々の日常生活に最も密接な関係のあるもので、我々の視覚活動は常にこの順応の影響下にあると言える。本論文は、このよりゆるやかな順応に焦点を合わせて、考察を進めて行く。

III

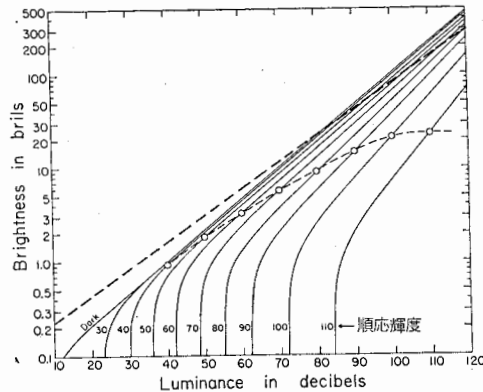
明・暗順応の基礎をなす過程については、まだ不明の点が多いが、窮極的には（我々を含めたすべての脊椎動物の）光受容器である桿体乃至錐体に含まれる視物質の変遷を原因としていることは、ほぼ確実とされている。

すなわち Rushton が自らの開発した Retinal Densitometer を用いて、人間の桿体（Rushton, 1961）と錐体（Rushton, 1963）における濃度の変化を、所謂明順応および暗順応に相当するような照明条件下で測定し、その濃度の変化の過程を、同じ被験者の同じ明・暗順応下の精神

物理学的な閾値の変化に対応させ、極めて良好な平行関係を見出した。

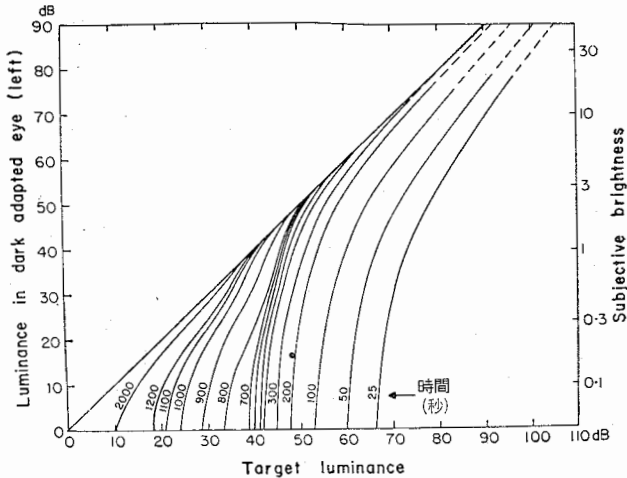
その平行関係は Rushton をして、Wald が実験動物 (rat) で示したのと同様の、視物質残余量対閾値の関係式を作らせた (Rushton, 1963)。

一方、順応と視的明るさの関係を追求する極めて重要な二つの研究が行われている。一つは Stevens & Stevens (1963; 以後この論文及び著者を SS と呼ぶことにする) による、視的順応条件 (明順応) 下の見えの明るさについての研究である。この研究で SS は、被験者の眼を種々の明るさに順応させ、充分平衡状態に達したのち、種々の輝度の光がどのような明るさに見えるかを調べた。一方 Van den Brink (1962) は、同様の条件下で、但し順応光のレベルは SS のその最高近くに固定し、それを消した時から種々時間の隔たった時点で呈示された光刺激の明るさについての判断を求めた。この二つの研究の結果は第 1 図と第 2 図に示される。この二つが非常に似ていることは一見して明らかである。これは、先にのべた Rushton の研究で、閾値と視物質との間に一定の関係のあること、そしてその際の視物質の量は、種々の強さの光に



種々の順応条件下の見えの明るさ (Stevens & Stevens, 1963)。破線は筆者のもの；説明は本文 VIII 参照。

第 1 図



明順応後種々の時間を経過した後の見えの明るさ
(van den Brink, 1962)。

第 2 図

眼を一定期間順応させたのであれ、又、所謂暗順応の期間中に再生によって刻々と変化して行くのであれ、上の関係には全く影響のないこと、と軌を一にするものである。すなわち、SSの実験が明順応光の強さを種々に変えることによって得られた結果を、Van den Brinkの実験では、明順応終了後の時間を種々に変化させることによって得ているのである。

我々の考察の出発点はまず、この曲線の完全な理解でなければならない。

IV

まずSSのグラフで見られることは、どのような強さの光による順応条件でも、明順応の時の基本的関係、つまり主観的明るさと刺激光の強さとは、両者を対数でプロットした時直線的になるということである。これは、StevensのPower Lawが順応条件を変えても当てはまることを意味する。

次に、順応条件によって、視的明るさがどのように変化するかを読みとることが出来る。

これは二つの面から見る事が出来る。一つは、Brightness Attenuation とでも言えることで、一定の輝度の刺激でも、明順応が大となると見えの明るさが下って来るということで、順応光の輝度と、それに由来する明るさの減衰との間には、monotonic な関係がある。但し、この明るさの減衰と、順応光輝度との関係は、刺激光の強弱によって異なり、一般にそれが強い程、減衰の度合は小さい。

もう一つの面からの見方は、一定の明るさを保つために、どれだけの強さの刺激光が必要であるかを、順応光の強さとの関係でみることである。この場合、順応光が強くなればなる程、より強い刺激光が必要となってくる。これを Luminance Attenuation と呼ぶことにする。

もう一つ、このグラフで注目すべきことは、刺激光の強さと明るさの関係を示す曲線のうち、比較的低い順応光条件のそれは、暗順応条件のそれと（横軸上の位置が）ほとんど変わらないが、強い順応光条件になるにつれて、それが右方向により多く移動することである。言いかえれば、それは、順応光が比較的低い時には、その強さを変えてもそれほど影響が見られず、暗順応条件と大差ないが、それがある値を越えると効果が出て来るということである。これを S S は、各曲線の 1 bril の線における切片の位置として、他のグラフに示している (SS, Fig. 6)。

最後に、各曲線が Power Function であることはすでにのべたが、その Exponent が順応条件毎に異なっている。順応の高いものほど Exponent が大である。

さて、先にのべたように Rushton や Wald は、順応によって褪色 (bleach) された視物質の量と閾値との間には一定の関係のあることを示したが、今ここに S S の示した、順応条件にともなう種々の変化が、閾値の場合のようにその基礎をなす生理学的過程に直接結びついているかどうかが大きな問題となる。

V

先ず第一に Rushton その他が用いた方法に従って、この特定の順応条件 (SS の) における視物質の褪色状態を調べてみる必要がある。

そのために、Rushton (1963) が第一種赤緑色盲 (Protanope) の網膜に含まれる視物質, *Chlorolabe* について実験して得られた、順応光強度と褪色との間の関係式：

$$\frac{1}{p} = 1 + I \times 10^{-4.1} - 6.6$$

を用いることにする。ここで p は錐体の視物質の残量、 I は順応光の強さ (troland) である。ただ注意しなければならないのは、SS の場合、人工瞳孔が用いられていないので、どの程度被験者の瞳孔が光によって収縮あるいは拡散していたかが不明なので、 I である troland の値は、これを推定する以外に方法がない。そこで Bartley (1953) の示す、順応光と瞳孔面積との関係から、SS のそれぞれの順応条件における瞳孔の大きさ、したがってそれぞれの場合の troland を推定した。それは表 1 の通りである。

第一表 順応光と視物質褪色 (自然瞳孔下での)

adaptation level		pupil area mm ² (log)		log td.	-log p	% (p)
darlk	0 mL	48	(1.681)	$-\infty$		
30dB	0.0001	46	(1.663)	2.166		
40	0.001	48	(1.633)	1.136		
50	0.01	38	(1.580)	0.083		100.0
60	0.1	29	(1.462)	0.965	0.00003	99.9
70	1.0	20	(1.301)	1.804	0.00212	99.5
80	10	12	(1.079)	2.582	0.01284	96.1
90	100	7	(0.845)	3.348	0.07078	89.5
100	1,000	3.5	(0.544)	4.047	0.27532	52.9
110	10,000	3.0	(0.477)	4.980	0.93399	11.66
120	100,000	2.8	(0.447)	5.950	1.85612	1.393
130	1,000,000	2.7	(0.431)	6.934	2.83461	0.1464
140	10,000,000	2.6	(0.415)	7.918	3.8181	0.0152

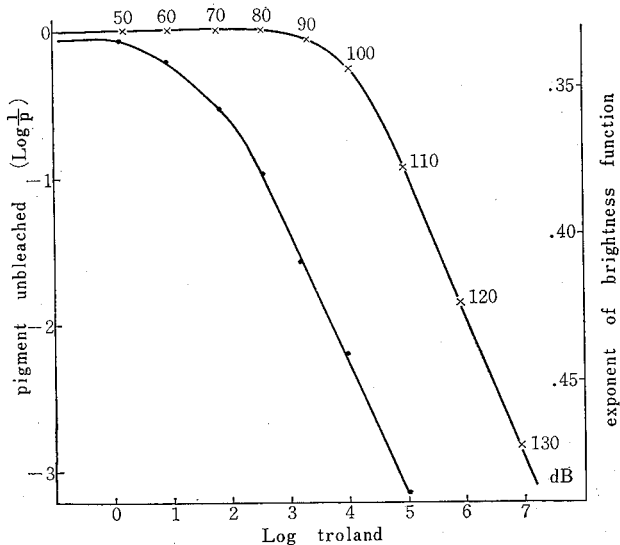
明るさの感覚を規定する条件

このようにして推定された troland の値を用いて計算された、錐体視物質の量は、表1の最後のコラムに示される通りである。Protanope の視物質における関係式を用いたことに若干の問題はあるが、この視物質 *Chlorolabe* は少くともその吸収曲線では、正常の眼のそれと同一であることがたしかめられている (Rushton, 1958)。

さてこの計算された視物質の量に関して行う我々の第一の仕事は、この値と、問題の S S の曲線群との間に、何か意味のある関係があるかどうかという事である。

不幸にして、Brightness Attenuation も、また Luminance Attenuation も、この視物質の量とは如何なる規則的な関係にない。一方やや期待のもてるのは、S S の各曲線の Exponent との関係である。この関係は第3図に示す通りである。

しかしこれとても、視物質の量を表わす函数にかなりの変換を加えな



種々の順応光輝度 (troland) 下の視物質の量 (x) と第1図の曲線の Exponent (•)。

第3図

ければ、意味のある関係は生じて来ないようである。そしてその変換の理由づけはかなり難かしいであろう。ただ可能性として、視物質の量が何等かの媒介過程を経て、極めて間接的な形で Exponent に関連して来るということがあり得る。これについては、後に詳述する。

かくして、実質的には、量的にとらえられ得る唯一の生理学的過程との関係は、直接的には何一つ見つからないことになる。

では、視物質の量との関係は全くないのであろうか。SSにより見出された順応の効果は、いまだ明らかにされていない、何か複雑な神経系の再体制化（例えば、Lythgoe, 1940; Barlow, FitzHugh & Kuffler, 1957）によるのだろうか。

VI

順応に関連して直ちに思い出されるのは、視物質の分解（褪色）が、単に閾値を上げるなどの感受性低下の効果があるのみならず、それと平行して、何らかの信号を視覚系に生ぜしめるという積極的な働きがあるということである。これは最も具体的な形で Alpern & Campbell (1962) の瞳孔の収縮についての研究の中で示された。彼等は褪色が瞳孔に対して、あたかも実際の光に対するのと同様の収縮作用を及ぼし、かつそれが、暗順応中に、除々に、視物質の再成とほぼ平行して減少して行くことをたしかめた。すなわちこれは、分解した視物質が、間脳における瞳孔反射中枢に対して、その量に比例した強さの信号を送っていることを示すものである。（最近にいたって、このことはより厳密な数量的関係にまで発展せしめられた。）（Alpern & Ohba, 1972）

一方、この褪色した視物質が、瞳孔の収縮に対してのみならず、テスト光の検知に対しても、あたかもそれが実際の背景光によってなされるかのように、妨害的に働くことが知られている。これは現象的には Crawford (1947) によって最初に発見されたことであるが、この褪色した視物質が閾値を上げる度合は、異なったテスト光の大きさに対して、

丁度実際の背景光がそうするのとはほぼ同じ割合で、しかもどの大きさのテスト光に対してもそれぞれ正しい度合に、変化したのである。このことから、明順応によって、実際の背景光に匹敵する等価背景光が生ずるのだ、という考え方が出て来た。この等価背景については、比較的最近 Rushton (1965) の優れた分析がある。この中で、Rushton は、この等価背景光が、絶対閾、すなわち完全暗順応後の閾値をも決定すると考えたが、その場合にはそれは、褪色した視物質以外のものによると考えねばならない。一方、Barlow & Sparrock (1994) は、等価背景光は陽性残像と同じ性質のものであることを示した。

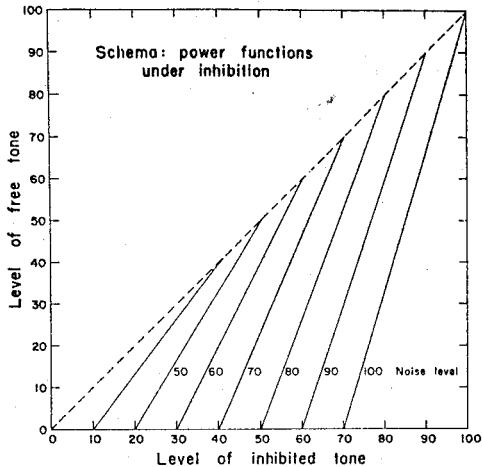
いずれにせよ、褪色は、視覚系内に何らかの信号を生ぜしめ、或いは、内在する信号を増大せしめる働きがある。このような、褪色による積極的な信号の発生、或るいは増大は、目下の問題である、順応による視的明るさの曲線に一体どのような意味を持っているのだろうか。この等価背景光に関しては、それが単純な形のテスト光の閾値に対する効果に関しては、実際の背景光に等しいということがわかっているが、その、明るさの感覚に対する影響は明らかでない。この点、Rushton (1965) の説も、Barlow (1964) の説も有効とは言えない。

そこで、恐らくは全く事情の異なる聴覚の領域で、これと類似の現象があるや否やを先ず探り、情報処理過程としての聴覚と視覚は何等かの共通点を持つであろうとの前提に立って、前者から後者を類推しながら、考察を進めて行くことにする。

VII

ここにおいても参考とするのは、Stevens とその協力者の研究である。Stevens & Guirao (1967; 以後この著者およびこの実験を SG と呼ぶことにする) は純音の白色雑音によるマスキングの実験において、第4図に示されるような関係を想定し、実験的に或る程度これを実証した。そのモデルに従えば、種々の強さの白色雑音でマスクされた純音は、その

白色雑音の強さより約 30 dB 低いところでは、ほぼ一定の大きさに聞えることになる。すなわち、60 dB の強さの雑音のもとで 30 dB の強さの純音を聞いたときの純音の大きさは、80 dB の強さの雑音のもとで 50 dB の純音を聞いたときのそれに等しい。これはつまり、一定の S/N 比のもとでは、信号（純音）は同じ強さを感じられるということである。しかし、これが成立するのは、白色雑音によって純音が完全にマスクされるか否かの境目（つまり「効果的閾値」）附近のみである。純音が相対的に強くなり、白色雑音のレベルに近附くにつれて、純音は雑音のマスクング効果から次第に脱し、それが雑音の音圧レベルに達すると完全にその支配下を脱する。すなわちそこでは S/N 比は 1 に達する。それ以上の純音のレベルでは、純音はマスクング雑音があってもなくても、又そのレベルが何であって、何等の影響を受けることなく、本来の（マスクを受けない）rate でその大きさ増大する。



聴覚マスクングの影響下の純音の大きさを予測するモデル (Stevens & Guirao, 1967)。

第 4 図

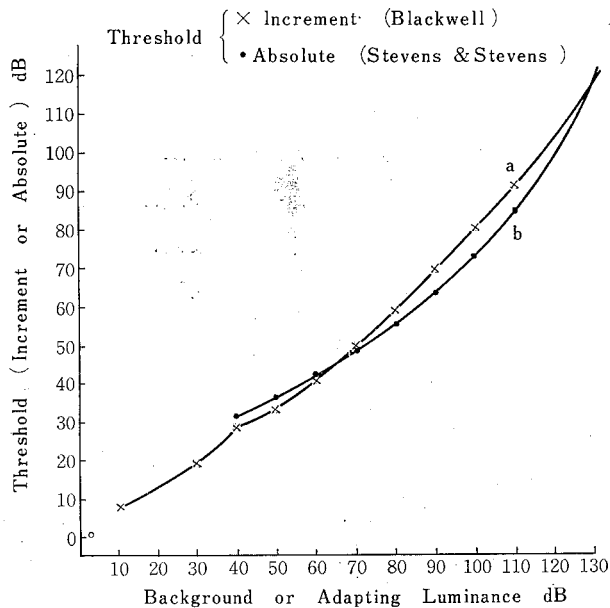
この二つのレベルにおける S/N 比が、マスクング効果を受けている純音の Power Function の Exponent を決定する。

明るさの感覚を規定する条件

この結果を視覚における順応効果に適応することが可能であろうか。S Sの実験によって示された一群の曲線には、しかし、このような単純な関係は存在しない。これは、視覚における順応効果を聴覚における白色雑音のマスキングとすぐに同一視出来ないことを示している。

しかし先にのべた、順応によって、二次的に生じる等価背景光はどうであろうか。それを知るためには、S Sの夫々の順応光によって、一体どのような等価背景光が生じたかを見つける作業がまずなされなければならない。

幸い Blackwell (1946) の Increment Threshold (差閾) の実験は、充分に広い範囲の輝度の背景光のもとでの差閾を、種々の大きさのテスト光を用いて測っている。そのテスト光の大きさ(面積)と閾値との関係を表わす曲線を補間乃至延長して、S Sの用いたテスト光の面積(視角



差閾 (Blackwell, 1946) と絶対閾 (Stevens & Stevens, 1963) との関係

第 5 図

5.7° の円；約 9000 平方分）に対する閾値を推定することが出来る。これを各背景光ごとに行い、SS の用いたテスト光が、各背景光のもとで、どのような閾値になるかを示したものが第 5 図の a の曲線である。

一方、SS は自らのデーターから、各順応条件下での当該のテスト光の閾値を推定している。彼は閾値を直接測ったわけではないが、実測値に沿った各曲線の下端の部分の曲りの部分を直線化するための、刺激の値をもって閾値としている。彼の明るさの関数は次式で表わされ、そのうちの L_0 が閾値に当る。

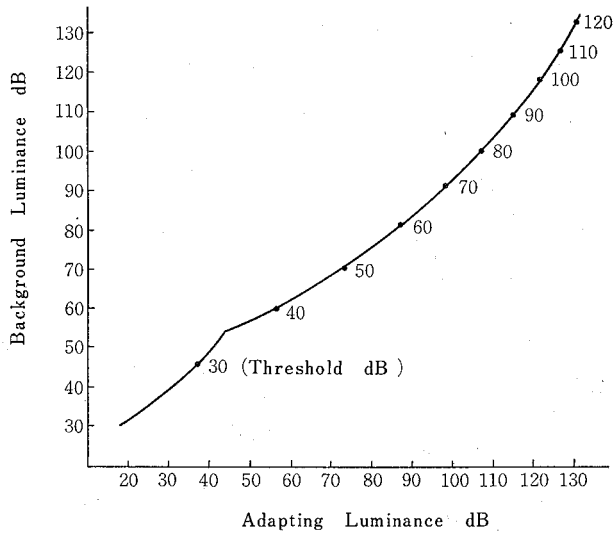
$$\phi = k(L - L_0)^p \quad (\phi \text{ は明るさ；} L \text{ は輝度})$$

第 1 図のグラフでは、それは各曲線の下端の部分が、0.1 bril の線を切る切片の、横軸上の値に他ならない。いずれにせよ、これはそれぞれの順応条件下における、視角 5.7° のテスト光の閾値であり、それは第 5 図の b 曲線で示される。ただ SS の実験の場合、順応光を消してから、正確に何秒後にテスト光が呈示されたかは明らかでないが、いずれにせよ、それは 2、3 秒以内であったことは間違いない。因みに、SS の実験でも、また Blackwell の研究でも、凝視点が設けられていないようであるが、順応光のレベルからいって、それらの条件で最も能率のよい中心視が用いられたと推定するのは難くない。また、両研究は人工瞳孔を用いなかったという点で共通するが、このことは、両者の条件を等しくするので、両者を比較するのにかえて好都合である。

かくして、SS の明順応下の閾値（絶対閾）、Blackwell の実際の背景光のもとの閾値（差閾）がわかったわけであるが、今明順応下の絶対閾に等しい差閾を生ぜしめる実際の背景光を第 5 図の a と b から求めると、第 6 図の如くなる。これは、等しい閾値を生ぜしめる実際の背景光と明順応光の輝度間の関係を表わすものである。これが非直線的な関係にあるのは興味深いことであるが、本論文の主題ではないので、ここでは論じない。

この第 6 図はとりもなおさず、明順応条件下の等価背景光の強さを示

明るさの感覚を規定する条件



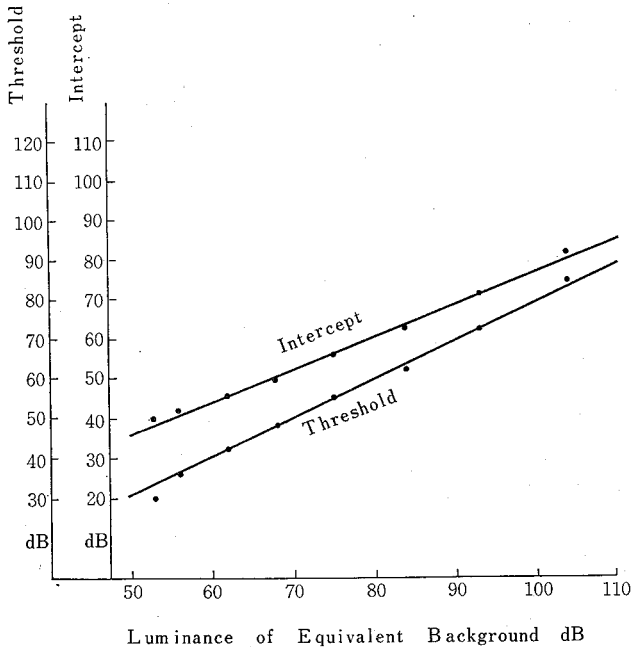
種々の順応条件下における「等価背景光」の強さ。

第 6 図

すものである。たしかにそれは、例えば Crawford (1947) がやったような、数種の大きさのテスト光を用いた厳密な手続を経ていないが、大体の関係をを知るのには充分であると信じる。この順応光と等価背景光に関する知識の上に立って、SSの曲線群を理解する試みがなされた。それについて以下にのべる。

まずある明るさのレベルで、等価背景光と刺激光の強さがどのような関係にあるか見よう。これはSGにおいて、0 dBの純音にその大きさがマッチする純音の強さを、それをマスクする白色雑音の強さとの関係で調べるのと同じことである。SGは、刺激純音とマスク雑音との間には極めて単純明瞭な関係すなわち前者と後者の間は、常に30 dBの差がある、ということを発見した。一方、SSの方にはそのような単純な関係が見当らないことはすでにのべた通りである。しかし、今、実際の順応光ではなく、等価背景光の強さと刺激光との強さを比較すると、SSの場合もSGと極めて類似した関係が見出される。それは第7図か

ら読みとることが出来る。



閾値および第1図の曲線の切片と等価背景光の強さの関係。

第 7 図

第7図は、1 bril のレベルにおける各曲線の切片（但し下端が弯曲しているものに関しては、直線の部分を1 bril の線まで延長して得た）の位置を横軸上の位置（刺激輝度）で表わしたものと、その各々の曲線に対応する等価背景光の強さの関係を示したものである。この直線は、等価背景光と閾値との関係を表わす直線（同図の下方に示す）とほぼ平行的な関係にある。もしも明るさのレベルを1 bril より更に低いところにとれば、この二つの線は更に完全な平行関係になる。更に重要なことは、その時には、等価背景光と切片の値はどの条件においてもほぼ完全に constant な比をもつことになる。閾値がそうであることは第7図から自ら明らかであろう。かくして、切片の値にせよ、閾値にせよ、等価背景光よりも常に一定の dB の値だけ、（閾値については約 20 dB だけ、

明るさの感覚を規定する条件

切片に関してはそれよりやや少く) 下になる訳である。

この事は、閾値の近傍では、明るさの感覚は、刺激光の強さと等価背景光の強さの比で完全に決定されることを意味している。その比が一定であれば、刺激光がどの強さであっても、又順応条件が何であっても、常に一定の明るさを生ずる。そして、これはSGが聴覚におけるマスキングで見出したことと原理的には全く同じことであると言える。

一方もしも切片を、1 bril よりも上のレベルにとった場合はどうなるであろうか。その場合には、直線は横軸に平行な線に近付き、今のべたようなことは起らない。それが起るのは、閾値近辺だけのことであり、SGの場合にもその点は全く同じである。

さて、SGの場合に、純音のレベルが上って、マスキング雑音の効果が次第に減じ、最終的にはその効果から純音が完全に脱するのは、両者の音圧レベルが等しいところであった。視覚の場合には、これと同じことが起るのであろうか。

たしかに、視覚においても、或る場面では同様のことが起ることが報告されている。すなわち明るさの同時対比の場合、より明るい部分の、それと隣接するより暗い部分への抑圧効果は、前者が後者と等しいか、それ以上になった場合だけである。SGは視覚におけるこの明るさ対比効果から、聴覚における抑制のモデルを考えたのである。同時対比とは異なり、互に隣接し合わない刺激光間の抑制は glare (眩光) と呼ばれているが、この場合にも、同時対比と同じような対比が見られ、同じような法則が見出されている。

しかしながら、我々が今問題にしている順応条件の場合には、このようなことは当てはまらない。一つには抑制する刺激が、実際の光というよりも、褪色による内からの刺激によるため、その真のレベルは定め難い。さらに、SSの示す曲線は一見して、明るさの対比効果の場合にも、また聴覚におけるマスキングの場合にも見られる抑制された部分と抑制されない部分の区別がない。それは一見 glare によるマスキング効

果の曲線に似ているが (Stevens & Diamond, 1965), これとても, glare 光源よりさらに強いテスト光を用いたなら二つの区分が明瞭に出た筈である。とすると, 順応による抑制は, 何か全く異なったメカニズムによるのであろうか。(SS 自身はそう思っているようである。何故なら彼はすべての曲線 (第 1 図参照) は一点に集中するとのべているから。)

VIII

SS の示した, 明順応下の明るさを示す曲線を理解するために, 二つの前提のもとに議論を進めよう。一つは, SG が提案した聴覚におけるマスキングのモデルが, 基本的には視覚の明るさにも適用出来ること, もう一つは, SS の曲線に若干の修正を加えても全体としてはその結果を尊重し得ること, の二つである。

さて, すでにのべたように, SG の聴覚マスキングのモデルを, 直接, 問題の SS のデーターに移すことは出来ない。何故なら, マスキング雑音と等価背景光を同一視出来ないからである。等価背景光はあくまで, 順応光を取り去ったあとの絶対閾をもとにして得られたものであって, たとえその強さが実際の光と同じ単位で表わされても, 聴覚マスキングのような実際のエネルギーと同様に扱うことは出来ないからである。このように考えると, SG の場合には, マスキング雑音の 30 dB 下のレベルで純音が聞えなくなり, SS の場合には, 等価背景光とほぼ同じ強さのところで光が見えなくなるという, 差があっても不思議ではない。

さて問題は閾値附近のことではなく, 一体どのレベルで明るさの曲線が, 等価背景光による抑制効果を脱するかということである。これは, 聴覚の場合には, 全く抑制されない純音の主観的大きさが, マスキング雑音の主観的大きさと全く同じになるところである。つまり, 抑制を受けている純音の場合にも, 或る末梢のレベルで, その純音が抑制されない時の大きさがそのまま入力され, その大きさが雑音の大きさとたえず比較され, 前者が後者を超えるとき, すべての抑制がなくなり, 抑制を

受けた純音と受けない純音との間に、主観的大きさの差がなくなるのである。

視覚の場合、全く抑制のない場合とは、言うまでもなく、暗順応における明るさの知覚である。しかし厳密にいうと、差閾の実験からも言えるように、暗順応の場合にも、Eigengrau と言われている、除去することが出来ない等価背景光があり（この発生のメカニズムについてはいまだわかっていない。）、したがって暗順応は全く抑制がないということとは出来ない。しかし、今しばらく、作業假説としてこれを無抑制状態と考えよう。

今順応光により引き起こされた抑制効果は如何なる強さの光に匹敵するのかを定める場合、曲線がSGにおけるように、はっきりとした折目で刻印されていれば、この折目の起るのは必ず無抑制状態である暗順応曲線の上の点であり、その点から、抑制より非抑制への境目の点の主観的明るさと（暗順応下の）、その輝度を知ることが出来る。このdBの値は（もしもSGのモデルをそのまま用いるとすれば）順応による抑制効果の強さを表わすものに他ならない。不幸にして、そのような折目はSSの曲線には見当らない。ではSSのデーターの方はどうであろうか。この場合にも、示されたデーター点はあまりにも数少く、たとえばそのような折目があったとしても、それを見つけることは困難である。ただ一つの例外は、暗順応状態を表わすデーター点である。この場合、70乃至90dBの近くで、わずかであるが、折目に当るようなものが見られる（SS, Fig. 1 および Fig. 3）。同様の傾向は、Stevens & Stevens (1960) により示された、暗順応条件の結果の大半にも見られる。Stevens らはいずれの場合にも、それらのデーター点に単純な直線を当てはめているが、これは彼の Power Function についての立場からは止む得ないことであろう。

何はともあれ、もしも暗順応曲線にこのような折目があるとすれば、暗順応即無抑制状態という假説は捨てられなければならない。むしろ、

暗順応状態にも、極くわずかではあるが明順応状態に匹敵する抑制が働いていたこと、そしてその抑制の強さは、暗順応状態で見た 70 乃至 90 dB の光の強さに相当すること、をこれは示している。(何故なら、そこが抑制と無抑制の境目であるから。)そこで我々は、暗順応条件、少なくとも S S のなかでの暗順応条件は、若干の等価背景光を含んだ、非・無抑制状態と考えよう。その抑制効果の強さは、S G のモデルに従えば、70 乃至 90 dB となる。

さて、問題は、他の「明」順応条件においては、この抑制効果は如何なる強さと考えてよいかということである。

我々は先に、等価背景光の強さ自体は、明順応条件下の抑制の強さを表わすものではないことをみたが、前者は必ず、後者と一定の関係にあるであろうと考えることが出来る。S G のモデルでも、効果的閾値と抑制の境目との関係は一定であった。(つねに 30 dB の差があった)。とするならば、各条件毎の等価背景光の強さから、その条件下の抑制の強さを知ることが出来る。

先ず、暗順応状態での、抑制効果の強さ (70 乃至 90 dB) と、その状態の等価背景光との差を求め、その差を他の順応条件下の等価背景光に加えれば、その順応条件下の抑制効果の強さを知ることが出来る、という訳である。

暗順応状態における等価背景光は、Blackwell (1946) から、また第 6 図からも読みとることが出来る。すなわち、その asymptote の値をみればよい訳である。しかし、我々が当面しているのは、桿体による薄明視ではなく、錐体による明所視に関することであるので、この曲線のうちから、錐体によると考えられる上部の曲線のみに着目しよう。今その曲線を延長して、横軸に平行になるところまでたどり、その曲線の asymptote とみなす。その時の縦軸の値、これは、暗順応条件下で等価背景光の値である。かくして得られた値は約 50 dB である。

今、暗順応条件における抑制効果の強さが 80 dB とする (70 dB と 90

dB の中間の値をとる)。この 80 dB と等価背景光の 50 dB の差、つまり 30 dB をもって、上に書いたように、他の順応条件における抑制効果の強さを求めると、ほぼ第 1 図に示した破線と各順応条件の曲線との交点として示される。(実際は、点を先にもとめて、それに直線を当てはめた。点は、等価背景光に 30 dB を加え、その強さの光が、暗順応条件でどの明るさになるかを調べ、その明るさの線と各順応条件の曲線の交点である。)

この破線は、SS のすべての順応条件の曲線の上端を示すものであり、そこからは、それらの曲線はこの直線にそって(合致して)曲らなければならない。かくして、SG に示されたのと全く同じ関係が、ここにも展開されることになる。

さて、この破線で示された条件は、実際には決して実現出来ないものである。すなわち、暗順応条件でもなお残っている等価背景光(いわゆる Eigengrau)も除去されるような条件である。では、これは全くの理論構成物であり我々は実験的にもこれを直接みることは出来ないのだろうか。否、すでに上に指摘したように、SS の明順応時の明るさの判断にも、高輝度の刺激では、この直線の一部が現われているのである。それとも、これは単なる実験誤差であろうか。

何はともあれ、我々は SS のデーターに示された、順応条件の違いによる曲線の Exponent の違いが、抑制効果の強さの差によるという、強力な証査を得たと信ずる。しかしなお確実な証拠をうるためにはさらに実験を積み重ねなければならないのは言うまでもない。

IX

本論文で、明順応条件における明るさの感覚の変化は、褪色による視物質の濃度変動という末梢の生理学的過程により直接的に支配されるというより、それが引き起した等価背景光との関係で決定されると考えた方が、より合理的であることを示した。

閾値近くの明るさの感覚が、刺激光と等価背景との S/N 比で決められているということは、すでに明らかにされている視覚系の生理学レベルでの強さについての情報処理機構ともよく一致するようである(深田, 1970)。また最近にいたっては、実際の背景光上に呈示された光の明るさについても、ほぼ同様のことが起ることが報告されている(Whittle & Challands, 1968)。

閾値よりはるかに上のレベルでの明るさの感覚の機構については、あまり多くの研究が見られない。ただ、生理学のレベルでは、Barlow & Levick (1965) が、ネコの網膜で、順応光の輝度が上ると、それにつれて刺激増大による反応増加の率が上昇することを報告している。また、精神物理学的レベルでは、相場(1973)が、閾値の高い単色光に対する反応ほどその増加率をしめす Exponent が大であること、また暗順応条件での明るさの関数は、二つの slope から成ることを見出している。

しかしこれらの報告も示唆的なものではあるが、いまだ決定的なものとは言い難い。

引用文献

- 相場 覚 1967. 視覚の心理生理学における最近の発展, 心研, 38, 101~109.
 相場 覚 1970. 視覚の心理物理学. 生物物理, 10, 15~23.
 相場 覚 1973. 周辺視における明るさの感覚. (in preparation)
 Alpern, M. & Campbell, F. W. 1962. The spectral sensitivity of the consensual light reflex. *J. Physiol., Lond.*, 164, 478-507.
 Alpern, M. & Ohba, N. 1972. The effect of bleaching and backgrounds on pupil size. *Vision Res.*, 12, 943-951.
 Barlow, H. B. 1964. Dark-adaptation: A new hypothesis. *Vision Res.*, 4, 47-58.
 Barlow, H. B., Fitz Hugh, R. & Kuffler, S. W. 1957. Change of organization in the receptive fields of the cat's retina during dark adaptation. *J. Physiol., Lond.*, 137, 338-354.
 Barlow, H. B. & Levick, R. W. 1965. Brightness signals from the cat's retina. Paper read at the XXIII International Congress of Physiological Sciences. Tokyo.
 Barlow, H. B. & Sparrock, J. M. B. 1964. The role of afterimages in dark

- adaptation. *Science*, 144, 1309~1314.
- Bartley, S. H. 1953. Psychophysiology of vision. In S. S. Stevens (Ed.) *A handbook of experimental psychology*. New York, Wiley.
- Blackwell, H. R. 1946. Contrast thresholds of the human eye. *J. opt. Soc. Amer.*, 36, 642-643.
- Brink, van den G., 1962. Subjective brightness during dark adaptation. *Vision Res.*, 2, 495-502.
- Crawford, B. H. 1947. Visual adaptation in relation to brief conditioning stimuli. *Proc. roy. Soc., B*, 283-302.
- 深田芳郎, 1970. 感覚系の情報処理. 今村護郎 (編) 講座心理学 14, 生理学の心理学. 東大出版会. pp. 165-229.
- Lythgoe, R. J. 1940. The mechanism of dark adaptation. A critical resumé. *Brit. J. Ophthalmol.*, 24, 21-43.
- Pirenne, M. H. 1948. *Vision and the eye*. London, Chapman Hall.
- Rushton, W. A. H. 1958. The cone pigments of the human fovea in colour blind and normal. In. *Visual problems of colour*, N. P. L. Symposium, Vol. 1 London, HMSO.
- Rushton, W. A. H. 1961. Dark adaptation and the regeneration of rhodopsin. *J. Physiol., Lond.*, 156, 166-178.
- Rushton, W. A. H. 1963. Cone pigment kinetics in the protanope. *J. Physiol., Lond.*, 168, 374-388.
- Rushton, W. A. H. 1965. Visual adaptation: The Ferrier Lecture. *Proc. roy. Soc., B*, 162, 20-46.
- Stevens, J. C. & Stevens, S. S. 1963. Brightness function: effects of adaptation. *J. opt. Soc. Amer.*, 53, 375-385.
- Stevens, S. S. & Diamond, A. L. 1965. Effect of glare angle on the brightness function for a small target. *Vision Res.*, 5, 649-659.
- Stevens, S. S. & Guirao, M. 1967. Loudness functions under inhibition. *Percept. & Psychophysics*, 2, 189-192.
- Stevens, S. S. & Stevens, J. C. 1960. The dynamics of visual brightness. *Harvard Lab. Psychophysics Report*, PNR-246.
- Whittle, P. & Challands, P. D. C. 1969. The effect of background luminance on the brightness of flashes. *Vision Res.*, 9, 1095-1110.

附記：この一文を1973年1月17日に急逝された故 Stanley Smith Stevens 教授の追憶に捧げたい。(著者)