

色光による網膜刺激面積と閾値との関係に就いて

岡山医科大学生理学教室 (指導 故 生沼教授)

西 田 勇

[昭和 27 年 4 月 15 日受稿]

第 1 章 緒 言

如何なる色が良く認知出来るか、或は認知し難きか、と云ふ事は古くより多くの人々に依り実験されて居る。洪 (1922) は水彩絵具の朱、緑、紺青、淡黄を用ひて、色を認知し得る其の色素の濃度の逆数を以て感色度とし、平均感色度は朱が第一位にして紺青、緑、淡黄の順位なりとし、Fazakas (1928) は赤、黄、緑、青を用ひて検査し、色を認める視角は赤及び黄は最小にして緑は其れより大きく青は最も大なりとせり。山本 (1929) は洪と同じ方法によりて朱、緑、紺青の色紙を電燈照明により、其の色標の存在を認識する最小視角及び該色標の色を識別し得る最小視角を測定し、前者は後者よりも小なる値にして、色を識別する最小視角は朱最小にして緑、紺青の順なりと云ふ。田村 (1935) は Wundt の色紙を使用して、網膜中心部に於ける色感を良好なるものより挙げて黄、赤、緑、紫、青の順とせり。

しかしながら此の問題を解決するに当りて最も重要な点は、異つた色にして而も等しき明るさのものについて実験を行はねばならぬ。而も此の点に考慮を払つた実験は非常に少く、かへつて工科方面に於て此の点を注意して実験を行つて居る現状である。余は此の点に注意して等しき明るさの異つた色につき実験を試みる可く、各色につき、其の明るさと其の色を認め得る場合の網膜上の像の最小の大きさとの関係を求めたり。

一般に、光の感覚を生ずる為には、光の強さと網膜の刺激される面積との間に或る関係のある事はよく知られて居り、面積が増加すれば光覚、色覚の閾値が減少する事は、鰻、

蛙、家兎、猫、及び人について多くの実験により証明されて居る。古くは Riccò (1877) が中心窩に於て、面積 A と光の強さ I との間に、 $AI=k$ (k は常数) なる関係のある事を述べ、Charpentier (1882) も此の関係を認めて居る。Abney (1897) は経験的に $A^k I=k$ なる式が成立する事を述べ、Piper (1903) は網膜周辺部に於て $\sqrt{AI}=k$ なる所謂 Piper の法則を提出し、Henius 及び藤田 (1909) も視角 $1^\circ \sim 10^\circ$ の範囲に於ては、 $\sqrt{AI}=k$ なる式が大体適合し。此の範囲外では適合せぬと云ひ、Piéron も Piper の式を認め、此は周辺部の小なる範囲、及び中心窩では適合せぬ事を述べて居る。George Wald (1937) は網膜周辺部に於て、理論的にも実験的にも、次の式が適合すると云ふ。

$$(A - N_t)^K I = C$$

A は刺激される面積

N_t は光の感覚を生ずる為に必要な興奮す可き視細胞の最少数

K, C は常数

又彼は上式より推論して、中心窩に於ては個々の円錐体が大なる感受性を有して居るため、 N_t は小となり $A - N_t \doteq A$ とみなし得る関係より $A^k I = C$ なる式が適合するや否やにつき、Abney, Piéron の成績を利用して研討し

Abney の成績より $0.85 \log A + \log I = C$

Piéron の成績より $0.88 \log A + \log I = C$

即ち $A^{0.88-0.85} I = C$ なる式が適合し、Watson の成績を用ふると $\sqrt{AI}=C$ となる事を述べて居る。佐々木 (1939) は中心視、周辺視共に光面視角小なる或る範囲に於ては Riccò の法則当てはまり、光面視角大となると Piper の法則が適合すると云ひ、橋本は Riccò、

及び Piper の両法則は共に桿状体についてのみ適合し、網膜刺激面積の小なる場合は Riccò の式、大なる時は Piper の式がよく一致するも円錐体については近似値として

$$\sqrt{AI} = K \quad \text{視角 } 10^\circ \sim 35' \text{ なる範囲}$$

$$\sqrt{AI} = K \quad \text{視角 } 35' \sim 1' \text{ なる範囲}$$

なる式が適合すると云ひ、桑原も之に賛成して居り、橋本、桑原両氏共に刺激面積と閾値との関係式は円錐体、桿状体共に次の如き一般式がよく適合すと云ふ。

$$\log S = ae^{b \log F}$$

a, b, は常数

F は刺激面積

S は閾値

以上の如く網膜の刺激面積と光の閾値との間には密接なる関係はあるも、実験方法等の差異の爲か各人各様の式を呈出し一定せる関係を見て居ない。特に余の不満足とする所は、網膜の刺激面積と色覚或は光覚を生ずべき光の閾値との関係を探求しながらも、殆んど終ての人が網膜に於ける照度を考慮に入れて居ない事である。即ち光源の光の強さは十分考慮しながらも、實際刺激となる網膜の像の明るさについては之を見逃して居る事である。此の事は同じ強さの光源を用ひても瞳孔の大きさの変化により網膜に生ずる像の明るさは異なる事より直ちに理解し得る事である。依つて余は此の網膜の像の明るさを考慮に入れて、種々なる色光による網膜の刺激面積と色覚を生ずべき光の閾値との関係を中心窩に於て探求せり。

第2章 実験方法

第1節 色標及び光源

Landolt の視標 1.5 の大きさの輪の部分の切り抜き。此の背後にある光源より環帯の部分を通して光が出る様にした。即ち此の環帯の外径は 5mm, 内径は 3mm, にして環帯の面積は 11.6mm^2 になる如くせり。光の出る面を円形とせず環帯形とせしは、像が正しく中心窩に於て結ばれて居るや否やを知る上に便利なる爲で、即ち像が中心窩に結ばれて

居ない時は、例へ其の色を認知し得るも環を正しく認め得ぬ爲、かくの如くして出来るだけ像を正しく中心窩に結ぶ様に注意せり。環帯の色標の周囲は 1.5m^2 位の黒い衝立を置けり。光源及び各色「フィルター」等については下司、西田、外三名の共著「色光による視力に及ぼす低圧の影響」(1943)に記載せるものと同一なる故省略す。

網膜の照度を「フォトン」と云ふ単位で表はした理由は、視野の輝度が変わるとそれに伴ひ瞳孔の面積が変わり、網膜上の照度が視野の輝度とは比例しなくなる。目の感度は網膜の照度に依るものであるから、瞳孔面積を一定にすれば比例する様になる。瞳孔面積を 1mm^2 に固定した場合、視野の輝度が $1\text{c}/\text{m}^2$ ならば網膜上の照度は 1「フォトン」であると云ふ。

第2節 計測方法

昭和 16 年 11 月より 17 年 1 月までの間、北側の窓近き所に於て晴天の午後室内にて明順応を行ひ、色標を見る時は瞳孔の大きさを一定にする爲に直径 2.8 mm の人工瞳孔を用ひたり。此の人工瞳孔の大きさは光の廻折、球面収差、色収差等を考慮し Hartridge 等の成績を基として直径 2.8mm なるものを用ひる事とせり。色標は被検者の眼の高さに置き、被検者は遠方より色標に向つて近づき、初めて色標の色を認め得る距離と反対に、近き所より次第に遠ざかり色を認め得なくなる最小距離との平均を以て色を認め得る最大距離とせり。光の強度は色標の前に前述の如き「フィルター」を挿入或は除去する事により容易に変化し得る如くせり。

かかる実験方法にては、色を認め得る場合と単に光を認め得る場合との区別比較的困難なるため、多数の実験をくりかへして其等の平均を取りたり。先づ赤、黄、緑、青につき上述の色標を用ひて、網膜に於ける像の面積が $5 \sim 250\mu^2$ の範囲に於て実験を行ひ、次に赤につき更に $8000\mu^2$ の範囲までに於ける、其の明るさと色を認め得る像の大きさとの関係につき詳細なる検討を行へり。

第3章 実験成験及び考按

先づ各色につき網膜の刺激面積と其の色を

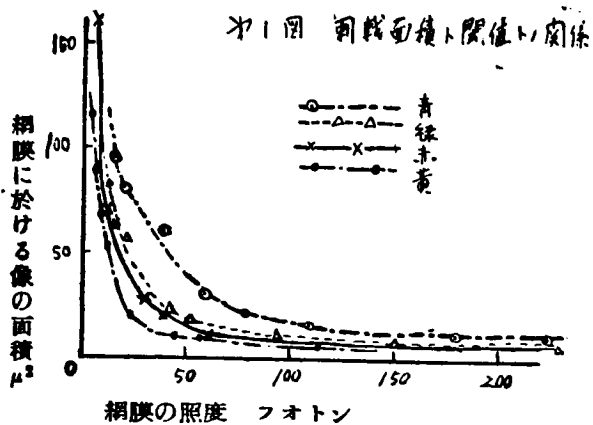
認め得る場合の閾値との関係を示せば、第1、第2表の如し。此れを図にて示せば第1図の如くなる。

第1表 刺激面積と閾値との関係

色	眼より色標までの距離 (m)	網膜に於ける像の面積 $A\mu^2$	$\log A$	網膜の照度 E. フォトン	$\log E$	$\log A + \log E$
黄	5.0	118	2.072	4.28	0.631	2.703
	5.8	88.2	1.945	6.40	0.806	2.751
	6.6	68.1	1.833	8.57	0.933	2.766
	7.5	52.7	1.722	12.0	1.079	2.801
	12.0	20.6	1.314	22.8	1.358	2.672
	15.5	12.3	1.090	44.6	1.649	2.739
	17.3	9.98	0.999	57.0	1.756	2.755
	24.5	4.95	0.695	114	2.057	2.752
平均						2.742
青	5.6	94.5	1.975	16.0	1.204	3.179
	6.1	80.0	1.903	21.5	1.332	3.235
	7.7	60.5	1.782	38.6	1.587	3.369
	10.0	29.7	1.473	60.0	1.778	3.251
	12.0	20.6	1.314	77.1	1.887	3.201
	13.9	15.4	1.188	110	2.041	3.229
	15.2	12.8	1.107	179	2.253	3.360
	16.3	11.2	1.049	222	2.346	3.395
平均						3.277

第2表 刺激面積と閾値との関係

色	眼より色標までの距離 (m)	網膜に於ける像の面積 $A\mu^2$	$\log A$	網膜の照度 E. フォトン	$\log E$	$\log A + \log E$
赤	4.3	161	2.207	6.30	0.799	3.006
	6.5	70.7	1.849	12.6	1.100	2.949
	10.5	26.9	1.430	31.5	1.498	2.928
	12.0	20.6	1.314	39.8	1.600	2.914
	16.2	11.3	1.053	63.0	1.799	2.852
	27.0	4.1	0.613	252	2.401	3.014
平均						2.952
緑	6.0	82.7	1.918	11.2	1.049	2.967
	7.0	61.6	1.790	15.7	1.196	2.986
	8.0	46.4	1.667	21.0	1.322	2.989
	12.0	20.6	1.314	42.0	1.623	2.937
	13.0	17.6	1.246	52.4	1.719	2.965
	18.0	9.19	0.963	91.9	1.963	2.926
	21.0	6.75	0.829	149	2.173	3.002
	25.0	4.76	0.678	229	2.360	3.038
平均						2.976



実験に使用せし余の左眼は Landolt の視標を用ひて検査せしに、視力 1.0 なる故に此の視標の 1.0 の切れ目は 1.5mm にして、

$$\frac{1.5 \times 16}{5000} \text{mm} = 0.0048 \text{mm}$$

即ち余の円錐体一個の面積は $(4.8)^2 \mu^2$ 即ち約 $20 \sim 25 \mu^2$ とみなして大差なからん。又余の用ひし色標は上述の如く環帯にして其の面積と直径との関係を考へると、色標の像は其の面積の約 2 倍の拡がりに渡つて存する円錐体の上に乗る事となる。従つて第 1 図よりして、円錐体一個か或はそれよりやや小なる面積より約 10 個位の面積については、等しき明るさにして而も色を認め易きものを順に挙ぐれば黄、赤、緑にして青は最も認め難し。又第 1 図より明かなる如く此等の各色につきて、色覚が Hering の所説の如く赤緑視質及び青黄視質の合成乃至分解機転に基くものとせば、視質の合成機転の閾値と分解機転の閾値とが赤緑視質に於ては僅かに、青黄視質に於て著明に異なるものと云はねばならぬ。

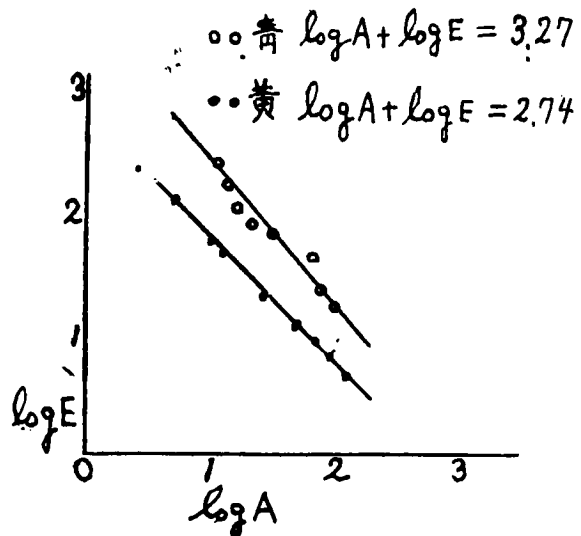
次に網膜の刺激面積を A、其の色を認め得

る際の網膜の照度を E とすれば此の範圍の刺激面積に於ては可成り良く

$$\log A + \log E = k \quad \text{但し } k \text{ は常数}$$

なる式が適合し、色により単に k の値を異にし余の場合、青は 3.27、黄 2.74、赤 2.95、緑 2.97 なる値を得たり、此の式は結局 Riccò の法則たる $AI = k$ と同一のものにして、上に述べた範圍即ち視角にして $40'' \sim 10'$ 位の範圍に於ては Riccò の法則が適合するものと考へてよい。一例として第 1 表を図示すれば第 2 図の如し。

第 2 図



次に今までに行つた実験と全く同様に、赤色を用ひて、中心窩に於ける像の大きさ更に大なる場合につきて行ひたる実験成績は第 3 表の如し。

第 3 表 刺激面積と閾値との関係

色	眼より色標までの距離 (m)	網膜に於ける像の面積 ($A \mu^2$)	$\log A$	網膜の照度 E. フォトン	$\log E$	$0.88 \log A + \log E$
赤	0.62	7840	3.894	0.208	1.318	2.744
	0.93	3580	3.554	0.416	1.619	2.747
	2.00	743	2.871	1.67	0.223	2.749
	2.60	439	2.642	2.65	0.423	2.748
	3.00	332	2.521	3.15	0.498	2.716
	4.30	161	2.207	6.30	0.799	2.741
	6.50	70.7	1.849	12.6	1.100	2.727

此の関係は $0.88 \log A + \log E = k$ k は常数
即ち $A^{0.88} E = K$ K は常数

となり上の式は Piéron の実験成績を用ひて、George Wald の得た式 $A^{0.88} I = -4.87$ と全く

一致せるを認む。

上の両式に於て常数の異なるは全く単位
の選び方の相違に依る事は勿論である。

第4表に於て眼より色標までの距離が 2.6
m 以下なる部分については非常に正確に

$$0.88 \log A + \log E = 2.747$$

なる式に適合するものにして、即ち視角にして $7' \sim 10'$ 以上の場合には全く Piéron の得た
成績と一致して、Ricco の法則に多少の修正
を要するものと思はれる。此の事は、George
Wald の理論式 $(A \cdot N_t)^K L = k$ に於て $A \cdot N_t = A$
とした $A^K I = k$ なる式は中心窩に於ける刺
激面積が可成広い場合は良いとしても、刺激
面積が円錐体一個～数個と云ふ如き小範囲に
於ては適用せしめ得ない事は明かにして、
 $A \cdot N_t = A$ とみなし得る程度に於ては、彼の
理論がよく適合する事を意味すると共に
 $K = 1$ とするよりも $K = 0.88$ とする方が
実験成績によく適合する如く思はれる。しか
らば像の大きさ大となる即ち刺激面積が増加
する程色覚を生ぜしめ得る光の閾値の小とな
るのは、如何なる理由に基くものであらうか。
中心窩に於ける円錐体の感受性は必ずしも同
一ならず従つて刺激面積増大すれば其れに従
つて、感受性の異なる円錐体が刺激される確
率も大となる事も考へられるが、本実験の如
く網膜の照度 $0.2 \sim 250$ 「フォトン」と云ふ広
範囲につきて、此を円錐体の感受性の大小の
みによりて説明せんとするは困難なりと云ふ
可し。冷血動物を用ひて実験せし Hartline に
よれば、単一視神経繊維には一定の網膜部位
が所属して居て他の部分の照射には何等興奮
を起さないもので、此の定つた網膜部位を彼
は撮受領 (receptive field) と名づけた。此の
撮受領は円錐体又は桿状体の大きさよりも大
なるもので、単一神経繊維は数個の円錐体、桿
状体から刺激を受けるものと考へ得るわけ
で、例へば今 50μ 位の光点を投射されたと
すれば、数本の神経繊維が同時に興奮せしめ
られるが、其の中でも良く興奮するものと僅
かしか興奮しないものが生ずる、即ち撮受
領の中央に光が当つたものは良く興奮し、其

の周辺に光が当つたものは僅かしか興奮しな
い。光点が僅かずれても興奮する繊維は異な
り、且つ同一繊維が興奮するとしても其の程
度が異なる事を実験的に証明して居る。従つて
刺激面積増大すれば、単一撮受領の範囲に於
ても、其の撮受領の中央が刺激される確率大
となりそれに分布して居る神経繊維が良く興
奮する確率も大となり、数個の撮受領の範囲
に於ても全く同様の事が云ひ得るわけである
が、しからば此の撮受領の刺激される部位に
より神経繊維が良く興奮したり、僅かしか興
奮しないと云ふのは如何なる理由によるかが
問題となつて来る。単一神経繊維も多くの感
覚要素と連絡して居り、照射光の強さを変
へる事と照射面積を変へる事とは何れも
impulse の数を変へる事にて同等の効果を有
する事は、Adrian の活動電流の観察からも
推察し得る事であり、之等は総て感覚細胞或
は大脳の細胞に於ける刺激の重疊作用に依る
ものと考へられる。

第4章 結 論

- 1) 同じ明るさの色光を認め易きものより
順に与ぐれば黄、赤、緑、青なり。
- 2) 色覚が Hering の所説の如く赤緑視質
及び青黄視質の合成乃至分解機転に基くもの
とせば、視質の合成機転の閾値と分解機転の
閾値とが赤緑視質に於ては僅かに、青黄視質
に於ては著明に異なるものと云はねばならぬ。
- 3) 中心窩に於て、網膜の照度 E と色覚を
生ずる為の最小刺激面積 A との関係を求めし
に視角 $40'' \sim 10'$ の範囲に於ては

$$A \cdot E = K, \quad \text{但し } K \text{ に常数}$$

視角 $7' \sim 10'$ 以上の範囲に於ては

$$A^{0.88} E = K \quad \text{但し } K \text{ は常数}$$

なる式が適合す。

即ち網膜の刺激面積大となる程色覚を生ず
可き光の閾値は小となるものにして、之は感
覚細胞或は大脳の細胞に於ける刺激の重疊作
用によるものと考へられる。

稿を終るに臨み終始御懇篤なる御指導と御校閲を
賜りし恩師生沼教授並に林教授に謹みて感謝の意を
表す。

文 献

- 1) Fasakas : Archiv f. Ophth. 1928, 120, 555.
- 2) H.R. Hartline : Amer. J. Physiol. 1940, 130, 690.
- 3) H. Hartridge : J. of Physiol. 1918, 52, 175. 1923, 57, 52.
- 4) K. Henius : Z. Sinnesphysiol. 1909, 43, 99.
- 5) 洪長庚 : 日眼, 1922, 26, 776.
- 6) 尾本義一 : 照明工学実験法, 昭和 15 年.
- 7) H. Piper : Z. Psychol. u. Physiol. Sinnesorgan 1903, 31, 161. 1903, 32, 98.
- 8) 田村眞一郎 : 日眼, 1935, 39, 別刷.
- 9) G. Wald : J. Gen. Physiol. 1936, 19, 321. 1938, 21, 269.
- 10) 山本修一郎 : 日眼, 1929, 33, 619.
- 11) 佐々木小十郎 : 東北医学雑, 25 卷, 6 号.
- 12) 橋本啓吉 : 日眼, 35 卷, 6 号. //, 39 卷, 10 号 附録.
- 13) 柔原安治 : 日眼, 40 卷 1 号.
- 14) 下司, 西田他三名 : 岡山医学雑第 55 年第 3 号.

味 覚 閾 値 と 刺 激 面 積 と の 関 係

岡山医科大学生理学教室 (指導 故 生沼教授)

西 田 勇

〔昭和 27 年 4 月 15 日受稿〕

第 1 章 緒 論

味覚閾値に関する実験は先人により, 非常に多くなされ, 実験方法, 個人差, 同一人に於ても日差等の為め, 可成の範囲の変動が報告されて居るが, 其の閾値決定の方法に於ては, 殆んど総て, 検査す可き味覚を起す物質を溶液となし, 其の一定量を「ピペット」, 「ピーカー」様の器より舌面上に滴下するか, 或は其の大量を直ちに口に含む如き方法を用ひて居る.

口に入れる液量として, Lombrosos, Sternberg, Kiesow 等は 0.5c.c., Venales は 1c.c., Skramlik は 10c.c., Bacharach は 20c.c. を用ひ, 其の他の人々も多くは此の範囲の量を用ひて居る. しかし, 味覚閾値決定の際, 刺激する舌の面積と閾値との関係を考慮せし者は比較的少数にして, 此等の関係を考慮せる者を挙げると, Hahn, Günther は限局せる舌の一部に液を接触せしめ, 一定の速度にて流動せしめる方法を考案し, 液と舌との接触面積は直径 1.5cm の大きにして居る. Camerer

は NaCl 溶液を用ひ舌面の刺激方法については, 直径 7mm の「ガラス」管を用ひ, この管を通して液を舌面に触れさせ, この細管 1 個を用ふる場合, 二個を同時に用ふる場合, 及び液 30c.c. を口に含ませる場合について実験を行ひ, 一般には, 刺激面積大なる程ある濃度に於ける被検者の正解答数が多くなる, しかし或限度の濃度即ち閾値附近に於ては正解答数が刺激面積に関係せず, 即ち刺激面積が 40mm² 以上に於ては閾値は刺激面積に無関係なる事を発表して居る. 其の他, Du Bois-Reymond は NaCl 溶液の味覚閾値は 0.4% なるも, 刺激される乳頭の数多き程味覚は鋭敏になると云ひ, 宮入は NaCl 溶液は 426 倍に薄めると大量を口に入れるに非ざれば鹹味不明なりと云ひ, 加藤も「味覚の強度は刺激される舌面積大なる程大なり (但し舌の表面でも感受性は同一でない)」と彼の生理学教科書中に書いて居る.

以上の如く, 舌の刺激面積と味覚閾値との間に可成の関係ある事は多くの人の認める所なるも, 其の詳細なる関係については, 殆ど