論 說

電 燈 の 進 出 色 現 象^{*}

正 會 員 工 博 大 山 松 次 郎
暈 善 太 郎

(東 京 帝 國 大 學)

緒 言

昭和6年11月號の雑誌OHMに尾本博士の『色彩に依る遠近感』と題して寄書されて居る。即ちネオンサインの看板等で赤いネオン管と、青い水銀管とが、たとへ同一平面上にあつても赤い方が青いのより浮き出して見える。この現象の説明として、片目でも眼の水晶體レンズを調節して遠近を判断する。——例へば近い物體を見る爲めには、水晶體レンズの焦點距離を短くして、ピントを合せ、遠い物には焦點距離を長くする。その時調節する眼筋肉の作用を知覺して遠近の判断をする——ことと、水晶體の色収差とを組合せて居られる。赤い物と青い物と眼から同一距離に在つても網膜上に結ぶ像は位置が違ふ。青い物にピントを合せば、赤の像は網膜の後方にある。赤にピントを合せる爲には更に眼を調節しなければならぬ。その時水晶體レンズの焦點を短くするやうに働く筋肉作用は、即ち赤が近くにあるかの様に感ぜしめると言ふのである。まことに興味ある問題である。色彩照明の技術上必要な智識と言はねばならぬ。幸ひこの現象に就いて多少實驗する機會を得たので、一つのデーターとして提供し照明技術家の注意を促す次第である。

文 獻

文獻としては、昭和3年8月發行の心理學研究第3卷第4輯に山下俊郎氏の研究せられた、『所謂進出色の現象に就いて』がある。その第一部に從來の研究が充分調査され検討されてゐるので、以下本文を書き起すの必要な部分をこゝに摘録し度いと思ふ。同氏は從來の研究を 1. 物理的研究と心理學的研究とに區別されてゐる。

物理的研究に就いて見るに、F. C. Donders の研究 (Arch. f. Ophthbalm. Bd. 31. 3te Abtl. 1885) 之は全く前述の尾本博士の説明と一致してゐる。

W. V. Einthoven の研究 (同上参照)

Einthoven は Donders 指導のもとに行つた。而して單眼視では進出現象がはつきりしなくて、兩眼視の時に著しいので、兩眼視に依る奥行知覺の説明を與へた。即ち我々の眼球に於て (第1圖参照) その黄斑 F は眼軸 AB よりも外側に寄つて居る故に或對象が明瞭に見られる爲には視線 CD は眼軸 AB と一定の角をなす譯である。故に青い點が明視される、即ちその像が黄斑 F に結ぶ様になると、同じ距離にある赤い點の像 R は色収差によつて、網膜上の點 F ではなくて視線 CD 上の

* On "Advancing" of Colour Lamps, By Dr. M. Oyama, Member and Z. Hikasa.

第1圖

もつと後力の点 R にある (甲圖参照)。故にこの場合赤い点が網膜上に結ぶ像は $r_1 r_2$ に亘る擴散像 Zerstreuungsbild となる。而して視線 CD は眼軸 AB と一定の角度 α をなしてゐるが故に、 $r_1 r_2$ の中心點は F ではなくて F よりももつと外側に寄つてゐる。即ち $Fr_2 > Fr_1$ である。従つて赤い點の像 $r_1 r_2$ は青い點の像よりも全體として外側に寄つてゐる事となる。而してこの關係は兩眼について相稱的である。この關係即ち兩眼の視差によつて赤の方が青よりも近く見られるのである。次に赤い點が明視される時は乙圖に示す如く、赤い點の像は黄斑に結び、青い點の像は B に結び、 $r_1 r_2$ に擴がる。従つて、その中に赤が外側によつてゐるから、矢張り赤の方が青よりも近く見えるのである。

尙彼は背景が黒の場合の方が白の場合に比較して進出の現象がはつきり現はれることを認めてゐる。又赤と青

とが同一平面上に見える様に被験者をして面の位置を調整せしめ、兩色彩面間のすれを測定した。

E. Brücke の研究 (Wahrnehmung des Raumes, 1911, II. Abschn, I. Kapt.) Donders と同様の説明であるが、助成因子として色の明るさを擧げてゐる。即ち明るい程進出が顯著であると言ふ。

M. Luckiesh の研究 (Am. J. Psychol. 1918)

兩面間のすれは觀測距離が遠いと大きい事を認めた。又 9 人の被験者の中 7 人は、赤が進出したが、2 人は青が進出したと報告してゐる。又兩色間の明るさの相違や形狀は進出量に影響あるらしいが、逆になる事はないと云つてゐる。

現象の説明として一種の假説を附記してゐるが、實驗結果と關係が少ない様である。

V. Grünberg の記述的研究 (Z. f. Psychol., Bd. 42, 1906)

以上諸氏の實驗には色紙又はフィルターであるが、Grünberg も色ゼラチンを用ひてゐる。異つた色のゼラチンを同一平面上に並べて置き、後方の光源を遠く又は近くして、ゼラチンの明るさを加減した。而して或る値の明るさでは進出現象の認められない事を認め、それより明るくすると進出する色は、暗くすると後退する。その程度はすれを測定して見るに、2 倍明るい時に進出するすれは $\frac{1}{2}$ に暗い時の後退すれに等しいことを認め、一般に

$$\text{すれ } \nabla = K \log (\text{明るさの倍率})$$

の關係があると言つてゐる。

第二の心理學的研究

以上の物理的研究の説明法では、明るさに依つて進出現象が左右せられることは、Grünberg は Purkinje 現象に類似してゐると言つてゐるが、説明とはならない。之が心理學的研究を刺戟して、

D. Katz の研究 (Erscheinungsweisen des Farben, 1911, Abschn, II § 6)

E. R. Jaensch の研究 (Ueber der Wahrnehmung des Raumes, 1911, II, Abschn. I Kap. § 4) となつた、彼等はいづれも色の Eindringlichkeit なる考へを導き來り Eindringlichkeit の大なる色は進出すると言ふ、心理學的説明を物理學的説明に補充した。その他 B. Sophie Exemplarsky の研究 (Z. f. Psychol. Bd. 96, 1925) 山下俊郎氏の研究は主として心理學的で根本的であるから、照明技術への應用には少々縁が薄いので略する。

上述の文獻から要するに、進出色の現象は、尾本博士や Donders氏の單眼色収差の説明や、Einhoven の兩眼色収差の説明等物理的説明があるが、尙 Katz, Jaensch の Eindringlichkeit なる心理的因子をも加へなければ解釋がつかぬ。否寧ろ全般的に説明するには、山下氏の意見の如く心理學的説明が第一にされるべきである。

實 験

實驗は健眼視に依ることとし、石原博士の色盲検査表に依りて健眼所有者を觀測者とした。

又單眼視は奥行知覺が困難で進出色の判定困難の爲、すべて實驗は兩眼視に依つたものである。

第2圖の實驗裝置に於て使用電球は内部に着色せる「マツダ」10watt サインランプであつて、圖の如くスクリーンに穿ちたる四角な窓よりランプをのぞかせ背景は黒色として暗室内にて實驗を行つた。實驗は圖の如く異色電球二箇を並置し觀測者をして或距離より同時に二電球を注視せしめ、進出せる方の電球を後退せしめ、進出電球と後退色電球との開き即ちすれの大きさを求め、之と電球觀測者間の距離との關係を求めた。第3圖第4圖はネオン管及び其取付裝置であつて形狀と寸法を示したものである。2箇のネオン管は直列とし變壓器は一次100V二次 6000V 0.2

第 2 圖

KVA 50 〰 のもので、一次に直列抵抗を入れ電壓 70V 電流 1.12Amp. 一定とす。

第4圖の如く後退色のネオン管を定位置とし進出色ネオン管をレール上に前後移動せしめて其の進出のズレと觀測距離との關係を求むる事前實驗と同様である。ネオン管は圖の如く取付け、スクリーンの四角窓より2本又は3本を現はして對比せしめた。實驗に際しては數次の豫備練習を行つて後に觀測結果を求めた。豫備實驗に依りて眼の疲勞狀態又は調應狀態を判斷する事が出来る。又豫備練習充分なる時は進出ズレの値は可成り狭く判定し得るものである。觀測距離は餘り遠きに過ぎれば光覺減少の爲判斷が困難となり近きに失すれば電球の實體外形による判斷が加はり判定は不

第
4

圖

第
5

圖

正確となる。

第1實驗 色の組合せと進出程度

サイン電球赤黄緑青を使用し、赤—黄、赤—緑、赤—青、黄—緑、黄—青、緑—青、の組合せに於て観測者は7米の距離より順次1米宛電球に近づきて進出のズレを求めた。二つの異色電球を初め観測者より等距離に並置し進出色を示す電球を後方に移動せしめ観測者をして同一距離に見ゆるやう調節せしめて、二電球間の距離を進出の長さとした。(縦軸が進出す、横軸は観測距離)。

Fig. 1 より Fig. 13 迄の結果は進出長さと観測距離との関係を示すものである。この観測には個人差がある。Fig.の中に記入せる(h) (m) は観測者の別を示す。進出と後退との判別するのに不確

實な範囲がある。即ち進出して見える電球を後方に移動する時進出を認めなくなつてから更に或距離後方に移動して始めて後退せる事を確認する。その範囲を假りに判別範囲と名付くれば、判別範囲は實驗結果が示す如く、観測距離に比例して増加する。進出長さが観測距離に大體に比例して増

加する事は Luckiesh の結果と一致する。進出色の判別範囲及び進出長さが観測距離に比例する事は物體の間隔とレンズに依る像の間隔との關係から容易に肯かれる。

Fig. 1 黄—赤

Fig. 4—7 青—赤

Fig. 2—3 緑—赤

Fig. 8—9 緑—黄

Fig. 10—11 青—黄

Fig. 12—13 青—緑

各 Fig. に於ける観測結果の差異は個人差と眼の調應状態に依るものである。Fig. 1 より Fig. 13 迄の結果を總合對比すれば各色の進出關係は次の如くなる。

(進出) ← 赤—黄—緑—青 → (後退)

即ち赤は黄緑青に、黄は緑青に、緑は青に進出する。長き波長の色は短き波長の色に對して進出する。而して進出の程度は同じ明るさに於ては、二異色間の波長の相異が大なる程餘計に進出する。而して一定距離に於て赤と青との間の進出長さは赤と黄及び黄と青との間の進出長さの和に等

しく、又赤と黄、黄と緑、及び緑と青との間の進出長さの和に略々等しくなる傾向が認められる。

第2實驗 横線と縦線とのネオン管

ネオン管を使用せる第3圖の裝置に依る實驗に於てネオン管を水平に置いた場合には進出色の判

定が困難になる。然るにネオン管を垂直に並置せる時には判定が容易明確になる。(Fig. 14及びFig. 17参照)之は兩眼色収差の説明を以てすれば解釋がつく。即ち水平の場合は網膜上の像は兩色共水平方向の線にして長さの方向にずれるので其差異劇然とせず判別し難い。

第3實驗 光束の影響

この實驗には2種の異色放電管を2本又は3本並置す。例へば赤青に於て2本の場合は赤—青、3本の場合は赤—青—赤又は青—赤—青とした。即ち3本の時は兩側を同色としたのである。2本

の場合の實驗結果は進出色の判別範圍も進出關係及び程度もサイン電球の場合と同様である。使用した實驗裝置では進出長さ30cmは迄測定し得る。3本の場合で赤—青の組合せの結果はFig.15よりFig. 21迄に示せる結果であつてFig15—16に於ては赤—青—赤の如く兩側が赤である。この場合は赤の進出著しく觀測距離12米にて進出長さは30cmを超えて測定し得ない。10米に於ても進出長は27cm附近に達してゐる。之に對して赤1本をスクリーンにて蔽ひ赤—青1本宛としたる場合は進出長さ減少して觀測距離12米に至りても尙測定範圍に入り10米の點にては16—20cmの附近に減少し

てゐる。(Fig. 17, 18, 19 参照)

又Fig. 20—21は3本青—赤—青の配列で兩側に青を並置したもので結果は益々進出長さの減少を示し14米にても測定範囲に入り距離10米にて12—14cmの間に減少してゐる。即ち赤の光束が相對的に多ければ進出現象は著しく、之に反して青の光束が多ければ進出長さは減少する。これは文獻

にある Brücke の指摘した明るさが助成するのであつて、心理學者の所謂 Eindringlichkeit の現れるのである。他の組合せに於ても同様の事實が見られる。次にFig. 22—23—24は赤—緑の場合で赤—青の場合よりも進出長さが減少してゐる事は前節サイン電球の結果より類推し得る所である。

又赤に對して緑の光束を相對的に増加した場合には進出長さは豫想される如く減少を來してゐる。Fig.25—26—27—28 は赤—黄の組合せにて赤—緑の場合よりも更に進出長さは減少し、Fig.25の赤—黄—赤と Fig. 28の 黄—赤—黄と對比すれば黄の増加に依りて赤の進出長さは著しく減少してゐる事を知る。此の傾向の更に著しき場合を求むる爲に赤に最も近き橙を使用した。Fig. 29赤—橙—

—赤, Fig.30赤—橙, Fig. 31橙—赤—橙を對比すれば, Fig. 29赤 1本を蔽ひたる爲にFig.30にて進出長さは甚だしく減少し, 4米6米の距離に於ては殆ど進出長さは見られなくなり, 更に橙を増加したるFig. 31にては一層進出長さは減じ, 近距離では負値となる。

之は橙が赤に對して進出する事を意味し, 之迄赤は常に赤以下の短かき波長の色に對して進出したのであるが, 赤の光束に對して相對的に橙の光束が増加せる場合は其進出色現象の位置關係に轉換を來す事を示してゐるのである。

Grünberg の研究は異色彩面の輝度を減少せる時進出色は其位置を轉換する事を實驗したのである。

然し本報告の實驗はネオン管を使用して光度を減少せしむる事なく、ネオン管の數を増減して相對的に光束量を増減せしめて進出色現象の位置の轉換を驗證したのである。この事實は進出色現象

をレンズと波長に歸して説明し得ざる點であつて心理學的説明でないと困る。

第4實驗 輝度を異にする同色電球間の進出色現象

第1圖實驗裝置を再び使用して赤サイン電球2箇を並置し、1箇の赤電球に直列抵抗を入れてフィラメントの光度を加減し電球面の輝度を調節した。即ち2箇の同色電球の輝度の差に依りて進出現象の存否を検出せんとしたのである。其結果はFig. 32—33—34—35の如くであつて同色に於ても進出現象が起り明るい方の電球が進出する。暗い電球との電流比を増大すれば進出長さも亦大とな

る。即ち同色に於ても進出現象が起り得るのみならず、輝度を變ずる事によりて進出長さを變化せしめ得るのである。これも心理的で Eindrnglichkeit に依るものとすべきであらう。

第5實驗 輝度に依る進出現象の反轉

次に異色電球例へば赤—青, 赤—緑, 赤—黄の如き2箇の電球を第1實驗裝置に並置し兩電球共

に直列抵抗を入れて等しく電流を減じて電球面の輝度を等しく減少せしむるか、或は又進出色電球のみに抵抗を入れて進出色電球面の輝度を減少せしむる時は、異色電球間の進出長さも亦減少する更に輝度を減少すれば進出長さは負値となり進出位置の轉換を來す。Fig.36—37は赤電球のみに抵抗を入れて輝度を減少せしめたる場合で赤—緑, 赤—黄の組合せにて、6 米の距離より觀測し赤電球の端子電壓と進出長さとの關係を示してゐる。即ち赤—緑の場合には電壓減少と共に進出長さの

減少が見られ、赤—黄の場合には更に進出長さは減少して遂に負値を取り其進出位置の轉換を示してゐる。之は Grünberg の實驗結果に一致するものである。

摘 要

以上の實驗結果より、色電燈の進出現象に於ても、

1. 進出長さは観測距離に略々比例して増す
2. 波長の差の大きい程進出色現象は著しい
3. 光度の高い程進出現象著しく、低くすれば現象反轉する

ことを確かめ、尙又

4. 進出色現象の判別範圍が観測距離に比例して増大する

5. 甲乙色間の進出長さ乙丙色間の進出長さとの和は、甲丙色間の進出長さに大略等しい。
6. 同色間でも輝度の高い方が進出する
7. 進出する電球の光束が多ければ現象は著しくなり、少ければ軽減され、甚しければ反轉すること

等を知った。之等の知識が照明設計上参考となれば幸ひである。この實驗には山川教授記念獎學資金より補助を受けた。又海津明彬君、前花吉次郎君が手傳つて實驗された。ここに感謝する。