物体色と熱吸収との関係についての研究

第 2 編 無採色の部

Studies on the Relation between Object Color and Heat Absorption

Part II. On the Achromatic Color

金沢大学医学部公衆衛生学教室（主任 石崎有信教授）

三 根 晴 雄

Haruo Mine

Department of Public Health, School of Medicine, Kanazawa University

(Director: Prof. A. Ishizaki)

§ 1. ま え お き

第 1 編序説において、物体色と熱吸収とは理論的に多分に関連性のあるべきことを明らかにしたが、この関連性が実際にはどのようなものか。この両者間の一般的通則を得ておくことは、具体的な個々の例に対する適用の根拠となり、実用上きわめて必要なことである。こういう意味で以下第 2, 3 編においてこの実験について述べたい。周知のように、色は大別して、色相の有無により、無採色と有採色とに分けられる。本編においては、物体色と熱吸収との関係の基本をなす無採色の場合について述べる。無採色においては色相を欠くので、色の要素は明度のみとなり、明度と熱吸収との関係ということになる。有採色については次編にゆずる。

§ 2. 実験方法のあらましとその理詰

実験方法のあらましは次のようである。すなわち、銅円板に各種無採色の顔料を塗布したものを被照射体とし、これに熱源として赤外線ランプで照射、銅円板の温度上昇から色刺激（第 1 編においても述べたように）の性質としての色を色刺激といい、感覚の対象としての色を色感覚という）と熱吸収との関係をみた。

銅円板を赤外線ランプで照射すると、赤外線ランプから銅板に達した輻射エネルギー H は、一部は表面で反射され、他は銅板に吸収される。その反射エネルギーを H_R とすれば、銅板に吸収されるエネルギーは $H - H_R$ である。銅板で反射される輻射線のうちの可視輻射線が銅板

の色刺激となるわけである。銅板に吸収されたエネルギー $H - H_R$ は熱エネルギーとなり銅板の温度を上昇せしめ、この高温になった銅板から周囲の物体に対して輻射 H_r 、伝導 H_c による熱がおこなわれるのである。つまり銅板の吸熱は $F \cdot H_R$ であり、銅板からの放熱は $H_r + H_c$ である。して

$$-H_R = H_r + H_c \dots\dots (1)$$

(吸熱) (放熱)

の『』が保たれて銅板は恒温を示すに至るのである。

まず吸熱の方であるが、赤外線ランプからの輻射エネルギー H は、電源電圧を一定にすれば、これは一定になる。銅板からの反射エネルギー H_R は照射輻射線の性質と物体の性状、すなわち銅板の表面の形状、色刺激などによつて決定されるのであるが、色刺激以外の性状を一定にすれば、 H_R は色刺激の函数となる。 H は一定であるから、したがつて銅板の吸熱量 $H - H_R$ も色刺激の函数となるのである。

一方、銅板からの放熱であるが、まず輻射放散 H_r は銅板の絶対温度を T_G 、周囲の物体の絶対温度を T_s とすれば、Stefan-Boltzmann の法則により

$$H_r = c(T_G^4 - T_s^4)$$

であるが、 T_G と T_s の差があまり大きくないときは k を適当に選べば近似的に

$$H_r = k(T_G - T_s) \dots\dots (2)$$

見做しうる。そして周囲の物体温 T_s は輻射がなければ、 T_G に等しいから、結局 H_r は銅板温と気温との温差に比例することになる。次に伝導による放熱 H_c は、銅

板温を t_g , 気温を t_a , 気流を v とすれば

$$H_c = c\sqrt{v}(t_g - t_a) \cdots \cdots (3)$$

である。すなわち気流 v を一定にすれば、 H_c は銅板温と気温との温差に比例する。上記(2)および(3)式から、銅板からの放熱 $H_r + H_c$ は銅板温と気温との温差に比例することになる。そして(1)式に示したように吸熱、放熱量は相等しいから、銅板温と気温との温差は吸熱量 $H - H_r$ の函数となる。また前述のようにこの吸熱量 $H - H_r$ は色刺戟の函数でもある。したがって、被照射銅板温と気温との温差は銅板の色刺戟の函数となるのであつて、色刺戟による熱吸収の状況はこの被照射銅板温と気温との温差から知りうるのである。

§ 3. 実験方法の詳細について

被照射体は径80mm, 厚さ 2.8mmの銅円板である。この円板の中心にごく細い小孔を貫通させ、この小孔に裏面から細い constantan 線を通しハンダ付けし、表面は平滑に磨いてある。また銅円板の裏面の一隅にも小盲孔を穿ち、ここにも細い銅線がハンダ付けしてある。この constantan 線と銅線とは被照射体である銅円板の温度測定のためであつて、銅円板の中心を貫通した constantan 線と銅板とのハンダ付けした部が熱電対の一つの接点になる。この被照射体が輻射線照射をうければ、その輻射線の一部は吸収されて銅板の温度は上昇する。その場合被照射体の輻射をうけた場所の温度上昇は大きく、被照射体における温度分布は一様ではないはずである。しかし被照射体には熱伝導のきわめて大きい銅を用いてあるため、その温度分布はほとんど同一と見做してよい。また constantan 線は銅板の中心を貫通し、Cu-constantan 熱電対の接点は銅板の厚さだけの広い範囲にわたることになるので、この接点における温度は銅板の平均温を示すものとしてよい。

この被照射体である銅板の表面および側面に無採色の各種段階の色刺戟の顔料を塗布した。顔料は白色は精製した酸化チタン、黒色は精製炭末である。顔料を小乳鉢でよくすりながら薄いセルロイド糊を入れて懸濁液をつくり、暫時放置後その上部のみを被照射体である銅板に噴霧するのである。この噴霧を各方向から5回繰り返すこれによって常に表面は光沢のない平滑な面とすることができ。塗布顔料の厚さは約0.16mmとなつた。この程度の厚さになると光の透過はまったくおこなわれないことは次のことによつて明らかである。すなわち、白色顔料の酸化チタンの場合、その隠蔽力は $230 \text{ cm}^2/\text{g}$ であるが²⁾、著者の場合の厚さ0.16mmは換算すると約40

cm^2/g となり、光の透過の可能性はまったくないことになる。

上述のごとく、無採色の各段階の顔料を塗装した被照射銅板の数個を第1図に示すような照射台上に並べ、直

第1図 実験見取図

上30cmの距離から赤外線ランプで照射する。この照射台は横38cm, 縦9cm, 厚さ2.5cmの板に足をつけたもので、上面には細い棧を打ち6室に分けてある。棧は隣の銅板からの輻射を防ぐためである。そしてこの照射台はすべて白色ペンキ仕上げて、上面にはさらに白色の毛ギャバジンの布を貼りつけてある。

輻射源の赤外線ランプは東芝製 100V, 375Wを使用した。その分光エネルギー分布²⁾は第2図のごとくで、大部分が赤外線である。第1編序説でも述べたところであるが、照射輻射線の性質すなわち分光エネルギー分布が変れば、当然反射、吸収の割合も異なり、その熱エネルギー量も変ってくる。著者の実験の場合、輻射源が赤外線ランプで、その輻射線の大部分は赤外線であるから、その成績も赤外線に対するものと見做してよい。ところが、一般には照射輻射線は赤外線のみとはかぎらない。たとえば、環境衛生上もつとも重要な太陽輻射線においては、可視線と赤外線とが各々そのエネルギーのほぼ半ばを占めているのである。こういう点からみれば、

第 2 図 赤外線ランプのスペクトル分布
(2,500°K)

著者の実験は適切を欠くといわれても仕方がない。しかしながら、可視線の反射、吸収の状態は、われわれが視覚として認識できるところの物体色から容易に知ることができるのであるから、残る赤外線、吸収の状態がわかれば、熱源となる輻射エネルギーの大部分を占める赤外線、可視線の吸収の主要を知ることができることになり、色刺戟の熱吸収に対する一般的通則が得られるわけである。もちろん環境衛生上、輻射源として太陽輻射線がきわめて重要であることはいうまでもなく、こういう意味では太陽輻射線を熱源とした実験がもつとも望ましい。著者も初めはこの太陽輻射線を輻射源とした実験をおこない、若干のデータを得たのであるが、実験条件をつねに同一にすることの困難さなどのため、輻射源を赤外線ランプに変更することを余儀なくされたのである。赤外線ランプは電源電圧により輻射エネルギー量が著しく異なるので、電圧調整器を入れつねに 100V に保った。

実験の実施に際しては、さきに述べた無採色の各段階の色刺戟の顔料を塗布した被照射銅板数個を照射台上に並べ、被照射銅板が 1 個ずつ順次赤外線ランプの直下に来るように照射台をずらして照射する。1 個の銅板についての照射時間は、予備実験の結果、照射後 60 分で銅板の受熱、放熱の平衡が保たれ、恒温を示すに至ることを知ったので、さらに余裕をみて 90 分とし、しかるのち測温することにした。測温は、(1) 被照射銅板と、それとまったく等条件におき、かつ輻射線のみを完全に遮蔽した対照銅板との温度差、(2) 対照銅板の温度、とについておこなった。被照射銅板と対照銅板との温度差は熱吸収を、対照銅板の温度は室温を表わすのである。1 つの被照射銅板の測温が終われば、照射台をずらし次の被照射板を照射、ついでこの測温に移る。かくして数個の無採色系列の色刺戟の銅板について照射、測温をおこ

なうのである。さらに同じ実験を日をかえて 4 回繰り返した。

測温は Cu-const. 熱電対により、Potentiometer は島津製直流精密電位差計 K 2 型、検流計は横河製 D₃ 型である。あらかじめ起電力と温度差との関係は求めておいた。

一方、塗布顔料の色刺戟の測定は、被照射銅板に顔料噴霧の際、これとまったく同様の方法で画用紙の小片に顔料を噴霧塗布し、これについておこなった。測色は島津製分光光度計と、これに付属の反射率測定用の Ulbricht 積分球を用い、標準光源 C の場合の 80 撰択座標²⁾によるスペクトル比反射率を求め、これから計算によつた。主波長 λ_d および刺戟純度 P_d は Hardy 著 Handbook of Colorimetry の邦訳の付図³⁾から求めた。反射率の標準は J I S⁴⁾にしたがい、Mg を燃焼、MgO を捕集したものをを用いた。

先にも述べたように実験の際の環境条件は同一にする必要があるのであつて、問題になるのは被照射銅板からの放熱に影響のある実験室の輻射、気温および気流である。実験室は、窓はガラス戸の内側にさらに板戸を設けた 2 重窓で、これを密閉すれば外界からの輻射は完全に防げるようになっており、また無気流とすることができる。室内気温は一定にしたかつたが、外気温の変動による室内気温の多少の変動は避けえがたく、実験中は電熱器を調整しつねに 10~20°C の範囲とした。もちろん室温が一定であるにこしたことはないが、既述のように被照射体の温度の絶対値でなく、被照射体と室温との温度差が熱吸収に比例するのであるから、室温は必ずしも一定であるを要しない。事実著者は室温 10~20°C の範囲内では、輻射線照射量が同一なら被照射体の熱吸収も同一であることを確かめたのである。

次に気流の問題である。実験室は密閉され一応無気流となつてはいるが、熱吸収による銅板の温度上昇に基づく対流の発生はいかんともしがたく、吸熱が大となり、高温となればなるほど対流も盛んとなり、この対流による放熱も盛んにおこなわれることになる。したがつて熱吸収の大なるものは、対流による放熱もまた大きくなるのである。この点からみれば、著者のおこなつた方法では真の熱吸収は知りえないということになる。事実そのとおりである。対流による放熱の起らない真の熱吸収を知るためには真空中で測定しなければならないであろう。しかし衛生学的見地からみると、かかる非現実的な熱吸収を求めてもこれは価値少なく、それよりもむしろ

現実に立脚した自然の姿であるところの被照射体の温度上昇に基づく対流による放熱、これをも含めた見掛けの熱吸収を知る方がはるかに実用価値が大きいと考えるものである。こういう観点から被照射体の温度上昇に基づく対流に対してはまったく放任して実験を進めた。したがって、ここに得られる成績は見掛けの熱吸収であることを断つておく。

§ 4. 実験の成績

被照射銅板に塗布した無採色顔料の色刺戟の測定結果、すなわち色度座標 x, y , 刺戟値 Y (明度), 主波長 λ_d , 刺戟純度 P_e は第1表のようである。明度の最低は

第1表 無採色顔料の色刺戟の測定値
(標準光源C使用)

被検 番号	色 刺 戟	色 度 座 標		刺戟値 (Y)	主波長 $\lambda_d(m\mu)$	刺戟 純度 $P_e(\%)$
		x	y			
No. 1		0.317	0.320	4.20	584	2.9
2		0.321	0.319	4.31	595	3.7
3		0.298	0.301	9.76	470	5.9
4		0.296	0.301	10.54	474	6.3
5		0.291	0.307	23.70	485	7.9
6		0.298	0.305	37.74	479	5.6
7		0.297	0.304	40.84	478	6.1
8		0.301	0.307	56.50	478	4.2
9		0.302	0.311	69.80	484	3.5
10		0.303	0.311	72.07	482	3.1
11		0.305	0.313	80.40	484	2.2
12		0.307	0.314	81.89	486	1.4
13		0.308	0.319	92.18	510	0.8
14		0.310	0.321	93.59	550	1.3
15		0.313	0.320	94.51	571	1.8

刺戟値 Y が 4.20, 最高は 94.51 で, この間の分布はやや高, 低明度に偏りすぎた結果となった。

これらの色刺戟の顔料を塗布した銅板を, 前項 §3 の実験方法において述べたように, 赤外線ランプで一定時間照射し, 温度測定をおこなった。明度と温度上昇の値は第2表のようであつて, この関係を示したのが第3図である。実験は日を変えて4回繰り返した。

明度と温度上昇との関係は, 第3図にみられるように, 明度が大きなるにつれて温度上昇は小となるが, その温度上昇は明度の増大とともに次第にその減少の度を増してゆく。すなわち上に凸なる漸減曲線を画くのである。元来, 明度(刺戟値 Y) は視感反射率%であるから

第2表 各種明度における温度上昇度

被検番号	明 度 刺戟値Y	熱線照射による温度上昇 (°C)				
		第1回	第2回	第3回	第4回	平均
No. 1	4.20	67.0	67.4	67.6	66.1	67.03
2	4.31	66.9	67.8	67.6	66.5	67.20
3	9.76	67.6	67.5	66.8	67.2	67.28
4	10.54	67.0	67.6	66.5	67.2	67.08
5	23.70	65.5	64.9	66.3	66.5	65.80
6	37.74	63.3	60.7	62.5	62.1	62.15
7	40.84	58.3	61.1	63.1	61.5	61.00
8	56.50	56.8	55.4	57.2	56.4	56.45
9	69.80	53.3	52.5	54.2	52.5	53.13
10	72.07	52.9	52.5	52.3	52.7	52.60
11	80.40	49.3	49.2	50.5	50.5	49.88
12	81.89	48.5	48.5	49.3	48.9	48.80
13	92.18	41.4	39.4	40.8	39.3	40.23
14	93.59	38.5	38.7	38.9	37.7	38.45
15	94.51	36.7	35.7	36.4	35.0	35.95

第3図 明度と温度上昇との関係

100-Y を求めれば, これは可視線の吸収率%を示すことになる。そして可視線の吸収と熱線の吸収とは理論的にも順相関の関係にあると考えられ(第1編, §4参照), また明度と温度上昇との関係を示した第3図において座標を変換すれば拋物線状をなすので, この両者の対数值から最小自乗法によつて直線を求め, 次の実験式を得た。

$$T = 25.91 (100 - Y)^{0.211}$$

T は温度上昇度°C, Y は刺戟値 Y (明度) である。ただし, この実験式は Y の値が 4.20 ~ 94.51 の範囲における場合にだけ適用される。また, 本実験式は著者のおこなつた実験条件下におけるものであるから, 輻射源, 方法その他の実験条件が変れば係数も異なってくるのは当

然である。

このように、明度と熱吸収とは拋物線の関係にあるのであるが、なぜにかかる関係が生ずるのであろうか、これについて若干の考察を加えておこう。元来、明度をあらわす刺激値Yは視感反射率であつて、その反射率の%というのは、わかりやすくいえば、反射率0の黒の中における反射率100%の白の含有率を示すものと考えてよい。こう考えると、もし照射放射線が可視線のみならば、ある物体から照射放射線が反射される割合はその物体の反射率に等しく、反射されずに吸収されて熱エネルギーとなる熱吸収の割合は、その物体の吸収率（100-Y）に等しくなるべきである。ところが先の実験式が示すように、熱吸収は吸収率に比例せず、それぞれの対数が比例的関係にあるのである。これは、一つには放射源が大部分赤外線からなり、可視線の場合とはその反射、吸収の態度が異なるためと思われ、さらには、先にも述べた熱吸収の大なるほど対流の発生による放熱が増大するという関係からの結果と思われる。

§ 5. 実験式からの考察

上記実験式から明度別の温度上昇度、および反射率100%の明度における熱吸収を基準とした場合の各明度における吸熱の割合を求めると第3表のようになる。た

第3表 各明度における温度上昇度
と熱吸収の割合

明 度 (反射率%)	温度上昇度 (°C)	反射率100%の明度を基準 とした場合の吸熱の割合
(100)	(25.9)	(1.00)
90	42.2	1.63
80	48.8	1.88
70	53.2	2.05
60	56.5	2.18
50	59.2	2.29
40	61.6	2.38
30	63.6	2.45
20	65.4	2.53
10	67.1	2.59
(0)	(68.6)	(2.65)

() を付したものは実験式からの推定値である

だし、前述したところでもあるが、この実験式はYの値が4.20～94.51の範囲における関係式であるから、この範囲外の反射率0、100%における値は推定値にすぎない。前にも述べたように、明度の増加に伴い熱吸収は減少するが、その吸熱減少の度は明度が反射率100%に近

づくにつれて急激に増大してゆく。すなわち、反射率100%のときの吸熱を1.00とすれば、反射率0では2.65、反射率が50%になると2.29で、反射率50%以下では吸熱は漸減はするが大した程度でない。しかし反射率70%になると2.05、90%では1.63、100%で1.00と減少の度は反射率100%に近づくにつれて急激に増大してゆくのである。ただし、いま吸熱の基準にとつた反射率100%の明度というのは理論上のものであつて、実際にはこのような高明度のものは得られない。われわれが得られる白さの限界は反射率98%が最高であるという⁵⁾。ここで白さの反射率を示す例として種々の物体の反射率をあげてみよう。第4表のようである。すなわち、酸化マグネシ

第4表 無採色の諸物体の明度⁶⁾

物 体 名	反射率%
酸化マグネシウム	97.5, 97.0*
炭酸マグネシウム	94
亜鉛華	92.9*, 87
硫酸バリウム	92.4*
チタニウム	89.8*
石膏	87, 75.8*
よく晒された布	70~90
白 吸 取 紙	70~80
白 紙	70~80*
白色画用紙, ケント	75
白 タ イ ル	65~85
ア ー ト 紙	63
白 木 綿	50~70
白 壁	60
新 開 紙	45~55
障 子 紙	50
油 煙	4
黒 し ゅ す	2.5~3
黒 木 綿	2~2.5

* 印は宮下⁵⁾による

ウムが97.5%で最高、ついで炭酸マグネシウム94%、硫酸バリウムも92.6%で相当大きい。もちろんこれらは純粋なものについての場合であつて、粗製品はこれより低くなるのは当然である。このような反射率90%以上を示すものは特殊なものというべきであつて、われわれは日常こういう高明度のものにはあまり接しない。われわれが普通みたり、取り扱つたりするものでは、第4表からもわかるように、石膏76～87%、白紙70～80%、白木綿50～70%、白壁60%ぐらいの明度が限度である。新聞紙に

なると45~55%である。そこでわれわれが実際に取り扱う白さの限度を反射率に見積つて75%前後、すなわち白色画用紙程度の反射率と仮定することにする。そして、この反射率75%の白の明度を基準とした各明度の熱吸収を求めてみると第5表のようになる。すなわち、反射率

第5表 反射率75%の明度を基準とした
場合の各明度における吸熱の割合

明 度 (反射率%)	反射率75%の明度を 1.0 とした場合の吸熱の割合
(100)	(0.51)
90	0.82
80	0.95
75	1.00
70	1.03
60	1.10
50	1.16
40	1.20
30	1.24
20	1.28
10	1.31
5	1.33
(0)	(1.34)

() を付したのは実験式からの推定値である

75%の白は、反射率 100 %の白に対し $1.00/0.51 \approx 2.00$ 倍の吸熱を示すのである。ところが反射率 0 の黒は反射率 75%の白に対し $1.34/1.00 \approx 1.34$ 倍の吸熱を示すのみである。すると、われわれが普通に扱う程度の白は、吸熱の点からみると、ともに仮想的な反射率 100%、0(後述するように反射率 0 の黒も仮想的なものである)に対してではあるが、白よりもむしろ黒に近いということになるのである。

いま、上に述べたのはわれわれが普通に扱う限度の白さの、反射率 100%および 0 のものに対する吸熱比であつたが、次に、この普通に扱う限度の白と、普通に扱う程度の黒との吸熱を比較してみよう。一般に黒という場合、すべての可視線が吸収されることはなく、少なくとも 5 %は反射されるという⁹⁾。そして黒は白と異なり、反射率でみた場合その偏差がきわめて狭いから、われわれが普通に扱う程度の黒の明度を反射率 5 %と仮定して差支えない。するとわれわれが普通に取り扱う程度の白(反射率75%)と黒(反射率 5 %)との比は第5表からわかるように、 $1.00 : 1.33$ となり、黒の方が白より 3 割程度熱吸収が大であるにすぎないのである。今までは白と黒との吸熱の比は Pettenkofer の成績¹⁾

から $100 : 208$ などとされていた。彼がいかなる色刺戟を用い、またいかなる方法で実験したかは知らないが、著者の実験成績からすると、これよりずっとその差が少なく、黒の方が白よりわずかに吸熱が大きいという程度にすぎない。この成績は白の明度を白色画用紙程度の反射率 75%としたときの値であつて、これを反射率 60% (白壁60%, 白木綿50~70%) と見積れば、この白と黒との比はさらに少なく $1.00 : 1.15$ になり、ほとんど同値となるのである。もちろんこれらの値は実験条件などによつて相当異なつてくるであろうが、予想外に白と黒との吸熱の差が小さいことは注目されてよい。今まで白と黒との吸熱の相違をあまりにも過大に評価しすぎていたのではなからうか。

§ 6. 色刺戟から熱吸収の推定について ——とくに高明度の場合——

われわれは衛生学上の立場から種々の物体の熱吸収の程度を推定する必要に迫られることが少なくない。たとえば、白色の衣服は黒色のそれに比し、どれほどの防暑効果を期待できるか、換言すれば吸熱はどれほど異なるかというような場合である。このような吸熱を推定する場合、われわれはその順序として、まず、その衣服の色刺戟(無採色の場合は明度のみとなり反射率で表わされる)からその反射率が何%くらいかを推定し、しかるのち § 4. 実験成績に述べた反射率と吸熱との関係を基礎として、この反射率では吸熱はおよそどれだけと推定するわけである。ところがこの吸熱の推定は、その物体の明度によつては、非常に誤りをおかしやすい場合があるので、とくにここで取りあげておく。すなわち、前項にも述べたように、われわれの普通取り扱う程度の白(反射率75%前後)の場合、今までは吸熱を過小に評価しすぎた傾向にあつたが、これよりさらに高明度の白色の場合になると、今度は逆に吸熱を過大に推定しがちになるということである。われわれが白色の物体の吸熱を推定するとき、その明度が普通よりやや大きいと思うときは、反射率はすでに70~80%以上になつており、こういう高明度の場合吸熱の推定を誤ることが往々にしてあるので、なぜにこうなるのか、この問題について若干の考察を加えておこう。

われわれは色刺戟から熱吸収を推定する場合、まず第1の段階として、色感覚からその反射率を推定し、しかるのち、第2の段階としてその反射率から熱吸収を推定する。

まず初めに、その第1の段階である色刺戟から反射率

の推定について述べよう。周知のように、色感覚は色刺激によつて生ずるものである。無採色の場合は色刺激に色度を欠くので、色感覚は明度のみによることになる。そして、刺激と感覚との関係については、「感覚は刺激の対数に比例する」という Fechner の法則があるが、これは2つのまったく異質のものとの関係を取り扱つたという点で、また数式の誘導の仮定にも誤りがあるという点で全然無意味であることはいうまでもないが、この法則が示す“刺激が大きくなつても、それに対する感覚はその割に大きくならない”という事実は一般に容認されているところである。すなわち、明度が大きく刺激(反射)が強くなつても、感覚の方はそれほど強くはならないのである。また一方、Weber の法則も結局は同じことになるが、この法則によれば、刺激の大きさと識別域とは正比例し、高明度で刺激(反射)が大きければ識別域もまた当然大きくなるのである。以上の2法則から導かれるように、高明度の場合、刺激(明度)に対する感覚は相対的に鈍くなり、また識別域も大きくなるため、われわれの感覚から推定する反射率は真の反射率より過小になりがちである。事実、われわれは硫酸バリウムの明度を白色画用紙(反射率75%)よりわずかに大きく80%前後に推定しがちであるが、その反射率は実測すると90%以上もある。これを要するに、高明度の場合は、われわれは色刺激から反射率を推定するとき、実際より小さく見積りがちなのである。

次に、第2の段階である反射率から熱吸収の推定について述べよう。それには先の実験成績で述べた明度と熱吸収との関係をもう一度よく観察する必要がある。すなわち無採色系列における明度と熱吸収との関係は、第3図に示したような拋物線的関係にあり、上に凸なる漸減曲線をなし、明度の増加に伴つて熱吸収は減少するが、その吸熱減少の度は明度が反射率100%に近づくとともに急激に増加するのである。たとえば、著者の実験である第3図において、明度が反射率0から10%になるとき吸熱の差は $68.6 - 67.1 = 1.5^{\circ}\text{C}$ であるが、反射率90%から100%になるとときには、その差は $42.2 - 25.9 = 16.3^{\circ}\text{C}$ であつて、同じ反射率の差10%でも高明度の場合には著しく吸熱の差が大きくなる。要するに、反射率から熱吸収を推定する場合、明度の高い場合ほど、わずかの反射率の差でも熱吸収には大きな変化を招来するのである。

したがつて、前述の第1の段階である色刺激から反射率の推定では、反射率を過小に評価しがちであつて、そして次の第2の段階である反射率から吸熱の推定では、第1の段階で過小に評価された反射率の故に、吸熱をさ

らに過大に評価する傾向となるのである。要するに、高明度の物体の吸熱を推定する場合、われわれは実際より熱吸収を過大に見積りがちなのである。

このことは、前項において述べた白と黒との吸熱比は意外に小さいということと相反することのように思われるが、前項において述べたのはわれわれの普通取り扱う程度の反射率70~80%の白の場合で、この場合は吸熱を過小に見積りがちである。ところが、これよりさらに反射率が大きく高明度になると、これとは反対に吸熱を過大に見積りがちになるのである。高明度の場合の熱吸収を推定する際は充分留意すべき点と思われる。

§ 7. ま と め

物体色と熱吸収との関係を明らかにしようとして、まず無採色についての検討をおこなつた。その方法は、無採色の各種段階の物体を赤外線ランプで照射し、その物体の温度上昇から熱吸収の状態をみたのである。その結果、輻射源の大部分が赤外線からなるときには、次の知見が得られることを知つた。

1) 無採色系列における明度と熱吸収との関係は、明度を刺激値Yとするとき、 $100 - Y$ と熱吸収とは拋物線的関係にある。すなわち明度の増加に伴い、熱吸収は減少するが、その吸熱減少の度は明度が反射率100%に近づくにつれて急激に増大する、著者のおこなつた実験条件下では、その関係は次のようであつた。

$$T = 25.91 (100 - Y)^{0.411}$$

ただし、Tは温度上昇度 $^{\circ}\text{C}$ 、Yは刺激値Yをあらわす。

2) われわれが普通取り扱う程度の無採色では、それらの間における熱吸収の相違は意外に小さい。すなわち今まで白と黒との熱吸収の比は100:208などといわれていたが、著者の成績では1:1.3にすぎない。実験条件にもよると思うが、なお認識を新たにし再検の余地があると思われる。

3) 色刺激からその熱吸収を推定する場合、とくに高明度の場合においてであるが、とかくその熱吸収を過大に評価する傾向がある。すなわち、高明度の場合は刺激に対する感覚が相対的に鈍くなり、また識別域が大きくなるため、その反射率を過小に見積りがちである。またこの高明度の場合には、わずかの反射率の相違が熱吸収に大きく影響するのである。したがつて、初め過小に見積つた反射率の故に、熱吸収は過大に評価されがちになるのである。われわれが色刺激から熱吸収を推定する際は、留意すべき点であらう。

石崎教授の校閲を謝す。

主要文献

- 1) 桑原, 安藤: 顔料及絵具 (共立全書), p. 30, 共立出版 (1953).
- 2) 照明学会編: 照明のデータブック, p. 467, オーム社 (1958).
- 3) Hardy, A. C.: Handbook of Colorimetry (1936)
- 吉城訳, 測色学, 常磐書房 (1944).
- 4) 日本規格協会編: 色の表示方法, 日本規格協会 (1953).
- 5) 宮下: 色彩学, p. 14. 29, 光生館 (1952).
- 6) 照明学会編: 照明のデータブック, p. 55, オーム社 (1958).
- 7) Schütz, F.: Handbuch der Hygienischen Untersuchungsmethoden, Bd. III, S. 32 (1929).

(受付: 1959 年 6 月 20 日)