

絵具の色に関する一考察

神志那 良 雄*

Yoshio KAMISHINA

A Comment on the Color of Watercolors.

概 要

小学校でごく普通に使われている水彩絵具について、画用紙に塗った色の反射スペクトルと水溶液の吸収スペクトルとを測定した。両者を比較することにより物体色が、太陽あるいは電灯からの白色光を拡散反射した色であること、したがってその物質が吸収する色の補色であることを具体的に理解させることを試みた。しかし、実際に得られた両スペクトルの補色関係は必ずしも明瞭ではない。その原因は水彩絵具の顔料のサイズが可視光線の波長に近いことにあると考えられるが、実際それが数ミクロンのオーダーであることを電子顕微鏡を用いて確認した。

I. はじめに

教育学部理科専攻の学生で、宝石のルビーの紅い色が、ルビーレーザーの紅い色と同じものであると思っている学生は意外に多い。

小学校、中学校の図画工作の授業で、光の三原色と色の三原色、加法混色と減法混色といった色彩学の基礎に関わる内容が教えられるが、児童を正しい理解に導く為には、教師が色に関する物理学をしっかりと身につけておくことが必要である。

そこで今回、小学校でごく普通に使われている水彩絵具を対象として絵具の色の物理学を実験的に調べたのでその結果を報告する。

実験は、画用紙に塗った各色の反射スペクトルと、絵具の水溶液の吸収スペクトルの測定である。実験装置および実験方法については、第2章で述べる。第3章では、各色の反射スペクトルと吸収スペクトルの測定結果を示し、両者の関係を考察する。また、ここでは、用いた水彩絵具の顔料の電子顕微鏡写真を示し顔料のサイズと吸収スペクトルとの関係についても考察する。

II. 実 験

用いた装置は、ハロゲンランプ (SYLVANIA, 650 W)、回折格子分光器 (Nikon G-250)、光電子増倍管 (浜松 ホトニクス R-376) を組み合わせた自作の分光光度計である。測定系のブロックダイアグラムを図1および図2に示す。今回取り上げた絵具は小、中学校でごく普通に使用されているサクラ透明水彩絵具の

- (a) あいいろ (PRUSSIAN BLUE, 43)
- (b) あ お (COBALT BLUE, 36)
- (c) ビリジアン (VIRIDIAN, 31)
- (d) きみどり (YELLOW GREEN, 27)
- (e) レモンいろ (LEMON YELLOW, 2)
- (f) しゅいろ (VERMILION, 18)
- (g) あ か (RED, 19)
- (h) おうどいろ (YELLOW OCHRE, 15)
- (i) ちゃいろ (BROWN, 12)
- (j) こげちゃ (VANDYKE BROWN, 17)
- (k) く ろ (BLACK, 49)
- (l) し ろ (WHITE, 50)

の12色である。

* 鳥根大学教育学部理科教育研究室

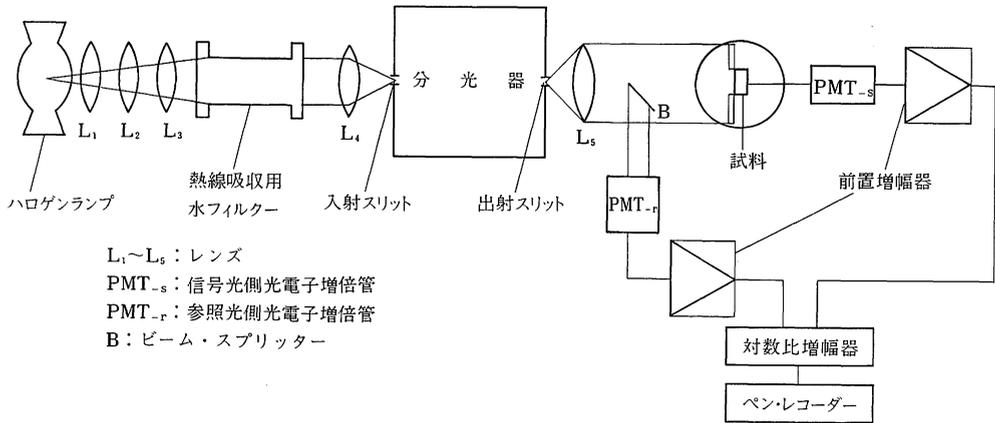


図 1. 吸収スペクトル測定装置のブロックダイアグラム

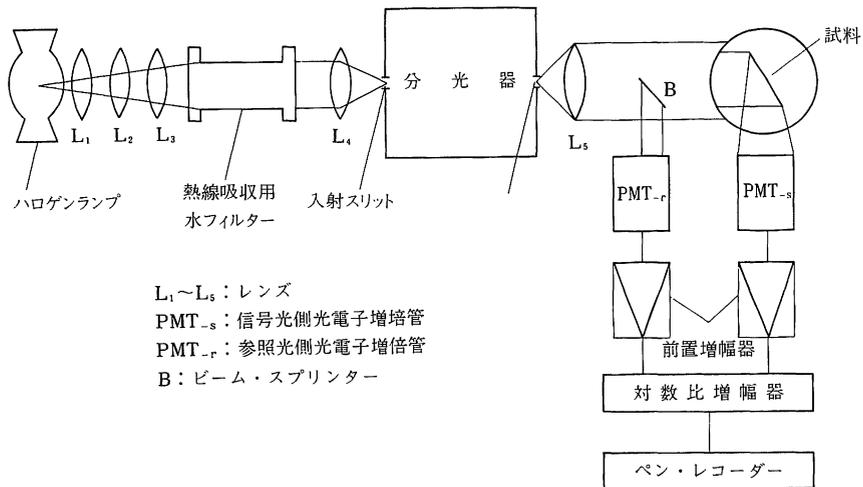


図 2. 反射スペクトル測定装置のブロックダイアグラム

吸収スペクトル測定の試料は、水彩絵具をごく僅か水に解き 10 mm×10 mm のプラスチックセルに入れたものである。試料の濃度は、各色の吸収の最大が光学密度にして2以下となるように適当に希釈した。反射スペクトル測定の試料は、6 cm×8 cm の画用紙（この大きさには特別な意味はない）に絵具を水で適当に薄めて塗ったものである。上に言う適当とは、目で見ても絵具のチューブのラベルの色とほぼ同じと思われる程度である。反射スペクトル測定の標準試料としては、ガラス基盤上に蒸着した新鮮な酸化マグネシウム膜を用いた。新鮮な酸化マグネシウム膜は、可視光領域でほぼ一定の反射率を持ちその値は約98%である事が知られている。反

射スペクトルの測定の際、試料面からの鏡面反射光が検出器に直接入らないように注意しなければならない。

III. 結果と考察

III-A. 反射スペクトルと吸収スペクトル

各色の反射スペクトルを図3に、それらの水溶液の吸収スペクトルを図4に示す。図3では、目で見てもやや濃いめに塗ったものとやや薄めに塗ったものと2種類の試料について測定したものを重ねがきして示してある。絵具は、メジウムと呼ばれる透明物質と顔料との混合物である。メジウムは接着剤と湿潤剤を水に溶解させた糊状

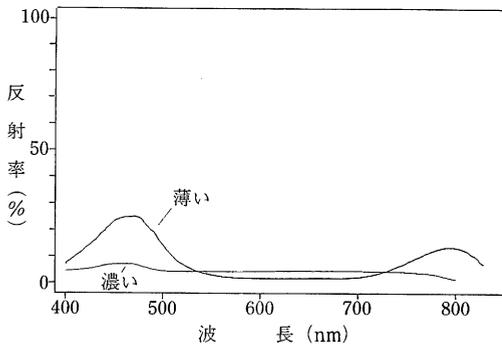
のもので直接色には関係ない。顔料は自ら光を発するわけではないから、絵具の色は白色光を照らした時の反射光の色である。絵具の顔料の粒子層による反射は、いわゆる拡散反射であり、その光は何度も顔料粒子の中を透過し、また粒子表面で反射されて、最終的に外に出てきた光であるから、顔料によって吸収されなかった残りの光ということになる。従って、絵具の反射スペクトルと吸収スペクトルとは互いに補色の関係にあって良いと思われる。しかし、図3、図4に示すように、実測の反射スペクトルと吸収スペクトルとは必ずしも補色の関係にはない。

反射スペクトルの方は確かに我々が目でみて感じる色との対応を示している。とは云え、光の色は赤橙黄緑青

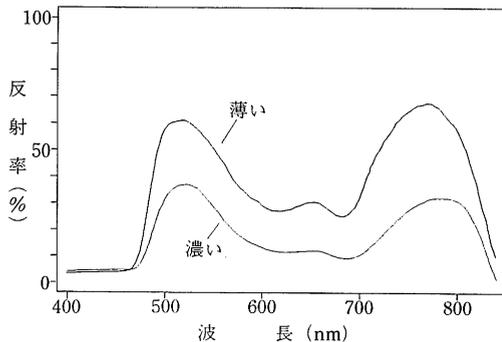
図3. 各色の反射スペクトル

- (a) あいいろ (b) あ お (c) ビリジアン
- (d) きみどり (e) レモンいろ (f) しゅいろ
- (g) あ か (h) おうどいろ (i) ちゃいろ
- (j) こげちゃ (k) く ろ

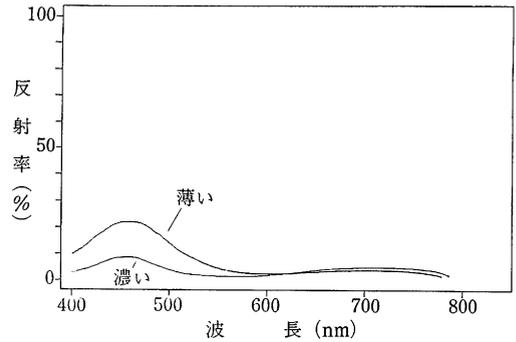
(b)



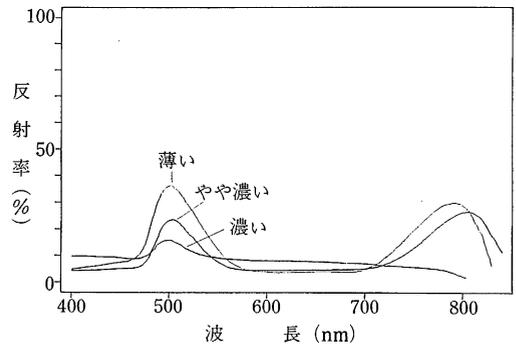
(d)



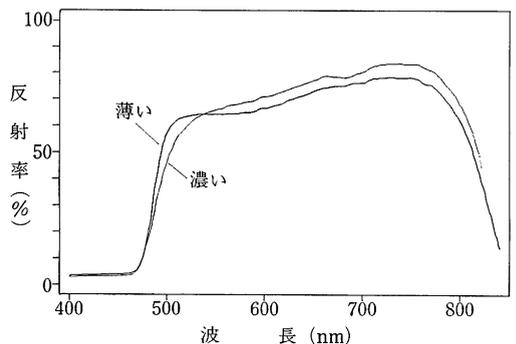
(a)



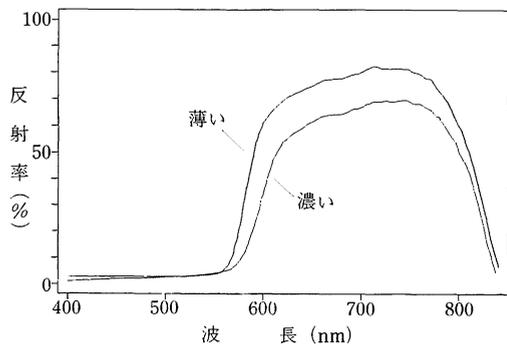
(c)



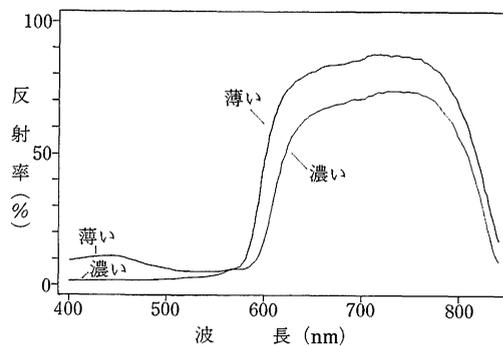
(e)



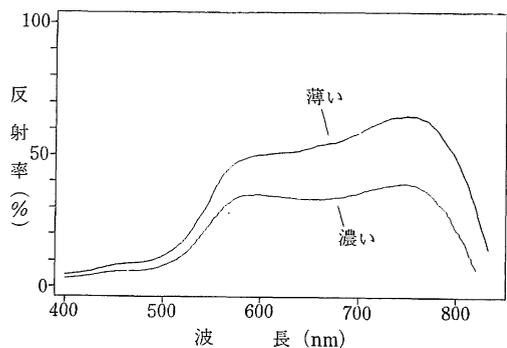
(f)



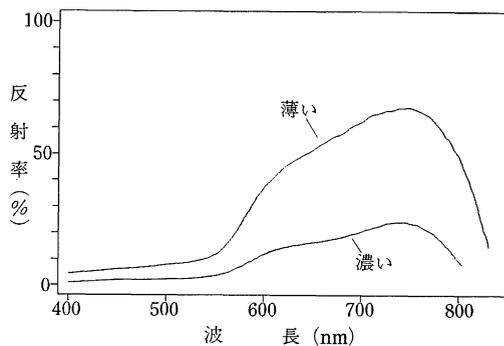
(g)



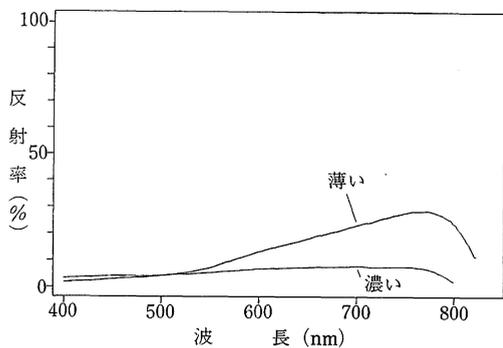
(h)



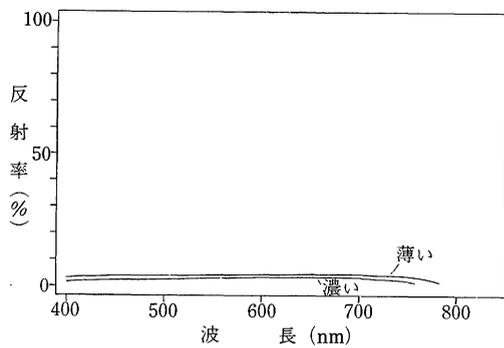
(i)



(j)



(k)



い。そのことは混色を考えてみれば明らかである。このように絵具の色は、ルビーの紅い色はその吸収スペクトルから、補色の関係により容易に理解されるのに比べ、大変複雑である。

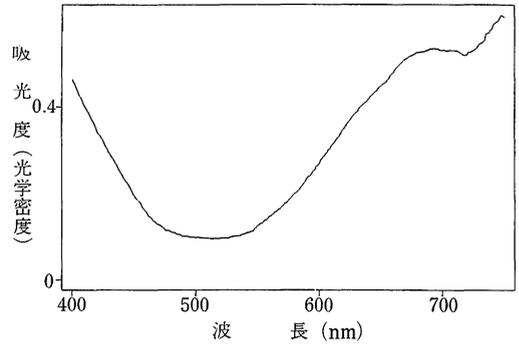
III-B. 粒子のサイズと色

図5に各色の絵具の顔料の電子顕微鏡写真を示す。図中、20 KV 等とあるのは電子の加速電圧（この場合は20キロボルト）を表し、 $\times 1.70 K$ 等とあるのは倍率（こ

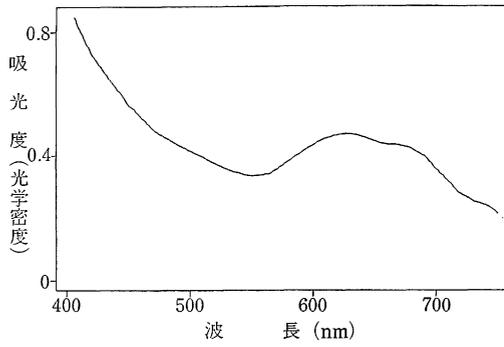
図 4. 各色の吸収スペクトル

- (a) あいいろ (b) あ お (c) ビリジアン
- (d) きみどり (e) レモンいろ (f) しゅいろ
- (g) あ か (h) おうどいろ (i) ちゃいろ
- (j) こげちゃ (k) く ろ (l) し ろ

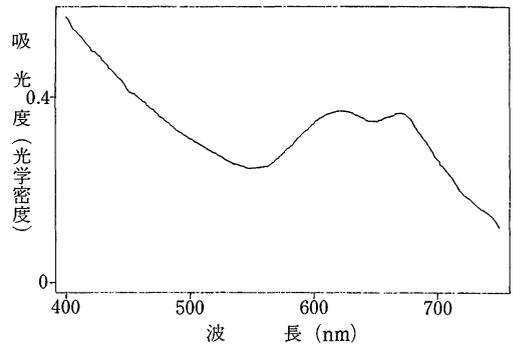
(a)



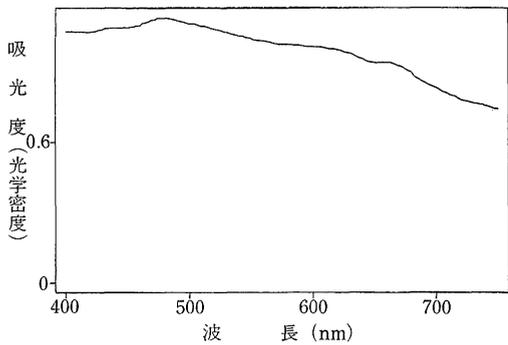
(b)



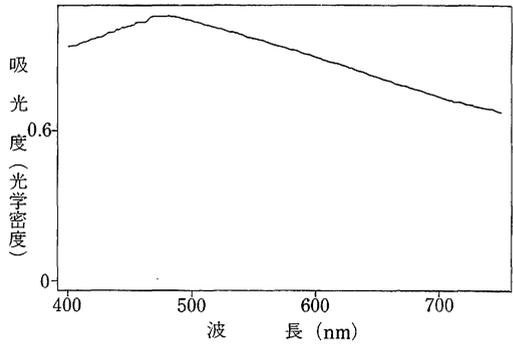
(c)



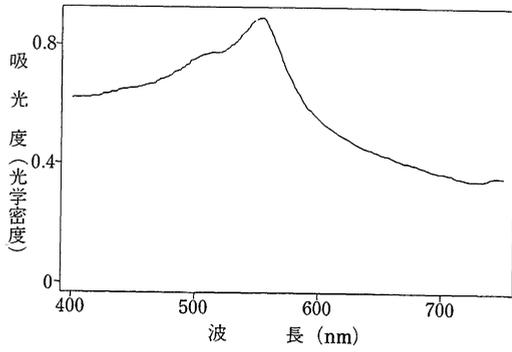
(d)



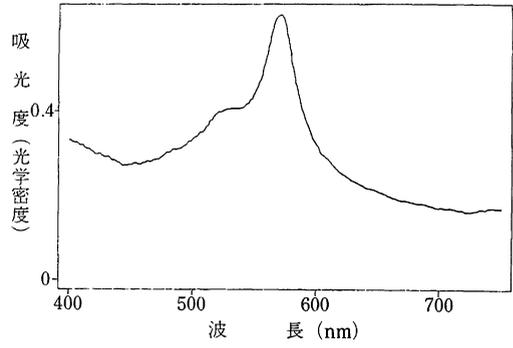
(e)



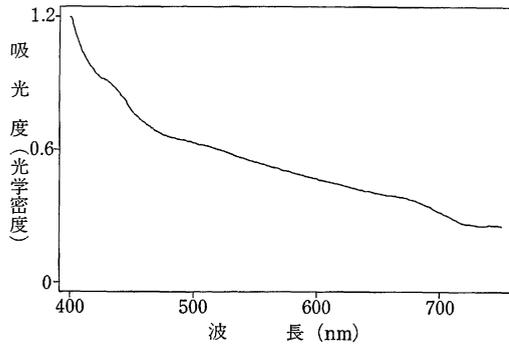
(f)



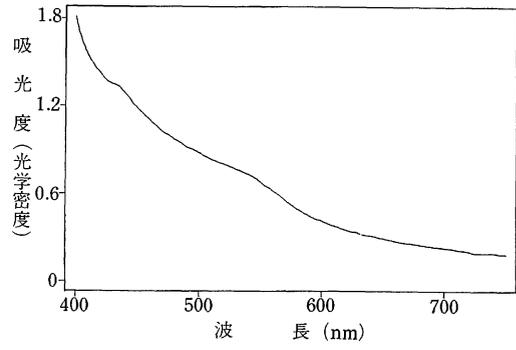
(g)



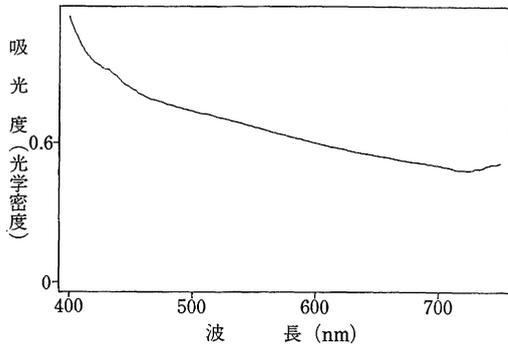
(h)



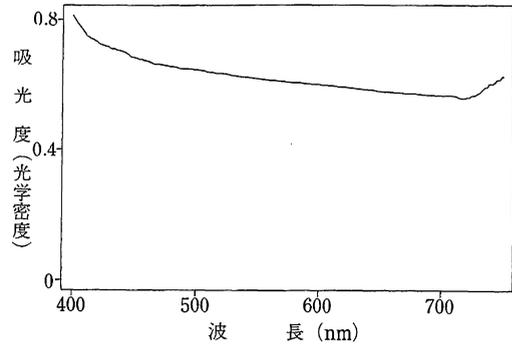
(i)



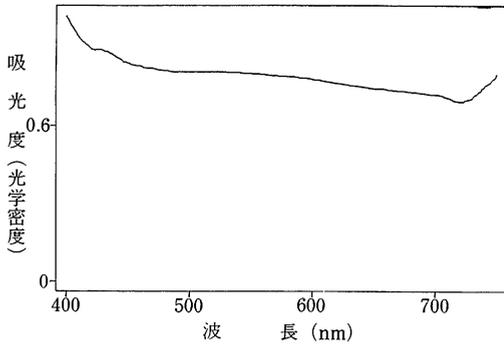
(j)



(k)



(1)



の場合は1700倍)を表し、右端の数字 17.6 μm はすぐ上の目盛り1つが17.6マイクロメートルに対応することを表している。試料は極めて薄く希釈した絵具の水溶液をガラス板の上に落とし自然乾燥させたものである。図5(a)の藍色、および図5(j)の黒色の試料では非常に弱い電子線を用いても試料が壊れてしまって図の様な写真しか撮れない。また、緑色の試料では全く写真が撮れなかった。黒色の顔料は炭素であり、電子顕微鏡の試料は炭素の皮膜でコーティングするので、顔料粒子の輪郭がなくなってしまったものと思われる。藍色および緑色の顔料は、その成分が何であるかメーカーに問い合わせても正確な回答が得られず、不明であるが、何か電子線に対して壊れやすい有機顔料ではないかと思われる。これらの写真を見ると粒子の大きさが10マイクロメートルあるいは、それ以下の粒子が結構含まれており、絵具の色の複雑さは、顔料粒子の大きさが可視光線の波長に近い事に起因していると思われる。金属が微粒子になると着色すると云う現象はかなり古くから知られており、金コロイドが桃色を呈することは有名である。また、銀の蒸着のときベルジャーに蒸着した銀薄膜の縁の部分の薄赤く見えることはよく経験するところである。これら金属微粒子の着色は油膜の着色のような干渉によるものではない。金コロイドの色については、既に1904年に、Maxwell-Garnettにより研究されている。Maxwell-Garnettの理論によれば、金属微粒子の形状を球形とし、コロイド分散体を真空とするとコロイドの誘電率は

$$\epsilon_{coll} = \frac{(2f+1)\epsilon + 2(1-f)}{(1-f)\epsilon + (2+f)}$$

で与えられる。但し、ここに ϵ は粒子の誘電率、 f はコロイドに占める金属微粒子の体積率、すなわち充填率である。この式で分母が零となるような振動数によって

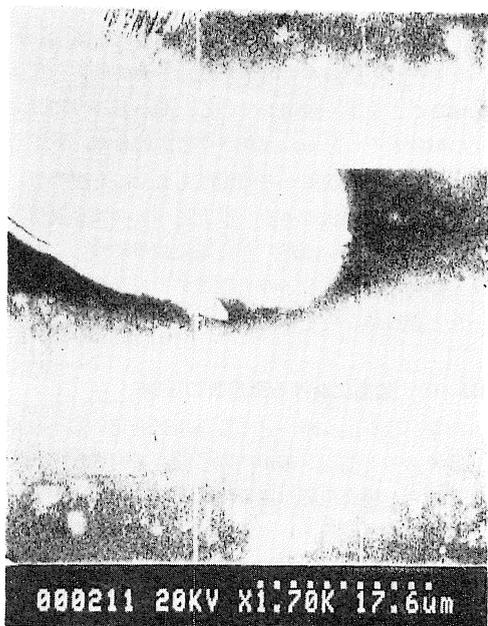
コロイドは共鳴吸収を起こす。この吸収の色の補色が着色の色である。Maxwell-Garnettの理論は金属コロイドの色の定性的な性質、すなわち共鳴吸収を起こすこと、共鳴吸収の位置が充填率の増加と共に低振動数側に移行することをよく説明している。しかし、定量的には、粒子の形状とその分布、大きさの統計的分布、粒子のコロイド中での分布状態など問題はあまりにも複雑で、よく合わないのが実状である。以上述べたのは金属微粒子についての話であったが、非金属微粒子についても同様のサイズ効果があり粒子の大きさが可視光線の波長に近づいたとき複雑な色を呈する。

III-C. 絵画における画用紙の役割

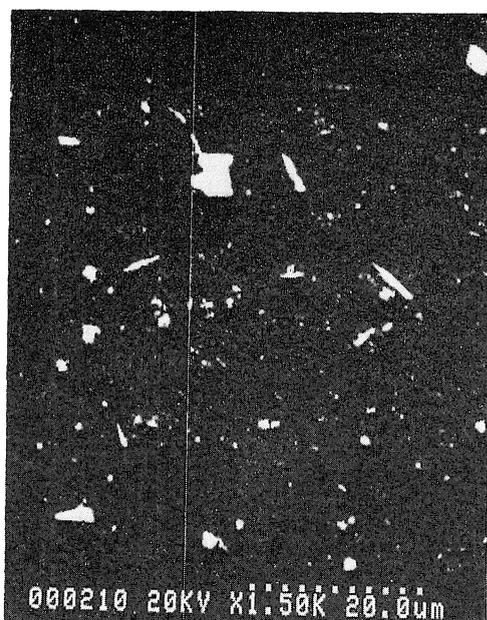
専門家が絵を描く時、どんな画用紙を用いるかは重要な問題であると聞く。確かに同じ絵具でも異なる画用紙の上に塗った場合色感が違うのは非専門家にも容易に解る。この違いは反射スペクトルではどのような違いとして現れるのかを調べた結果が図6である。用いた画用紙は小、中学校で普通に使用されている水彩紙と、専門家がよく使用するハンネミュールおよびパミスである。また比較のため一般用水彩紙に不透明水彩絵具を塗った場合についても測定した。図中用いた記号は、S：一般用水彩紙に透明水彩絵具を塗った場合、H：ハンネミュールに透明水彩絵具を塗った場合、P：パミスに透明水彩絵具を塗った場合、およびM：一般用水彩紙に不透明水彩絵具を塗った場合である。これらの図を見る限り、絵具の塗り方の不揃い、即ち色むらや各試料間の色の濃さの違い等を考慮するとき、有意の差があるとは言いがたい。にもかかわらず、目で見ても色感の違いをはっきりと認識できるということは正に人間の視覚が微妙な違いを識別しているということであり、人間の感覚を単純なスペクトルと云ったようなもので理解することの限界を示しているとも言えよう。

IV. おわりに

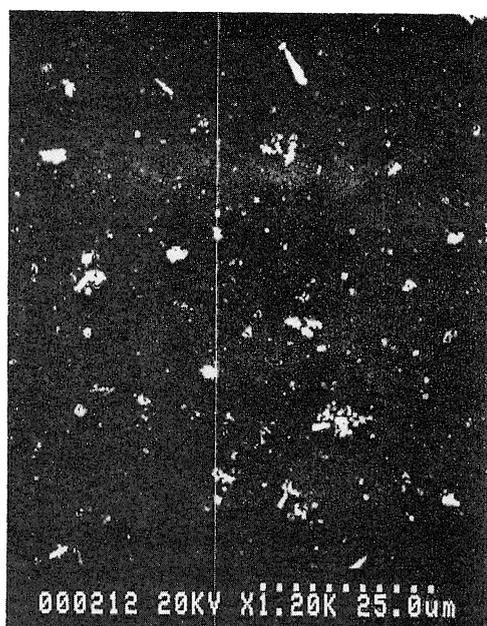
小学校や中学校で普通に用いられている絵具を用いて色の物理を具体的に示すことを試みた。物体色とその物体による光の吸収との関係、即ち補色関係を理解させることを目的としてスタートしたこの研究が、粒子のサイズという思いがけない伏兵に遭い、とんでもない方向へと行ってしまった。そしてその間人間の感覚の素晴らしさに感動し、同時に単純な物理学の限界を思い知らされたのであった。このような色の話をしている中で痛切に感じたことは、色の名称の曖昧さ、と同時に複雑さ



(a) あいいろ



(b) あお

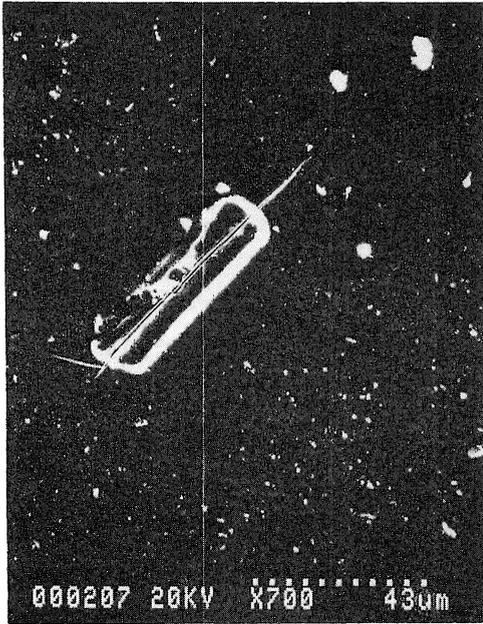


(c) きみどり

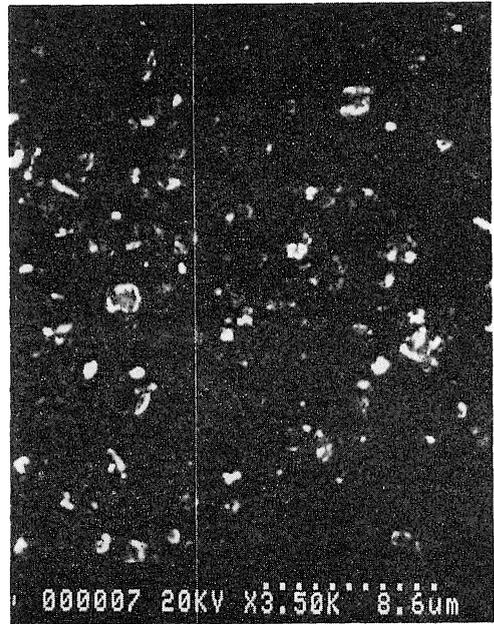


(d) レモンいろ

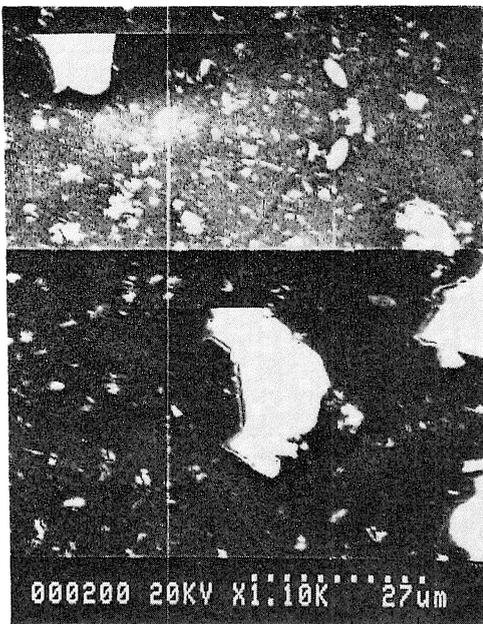
図5. 各色の顔料の電子顕微鏡写真



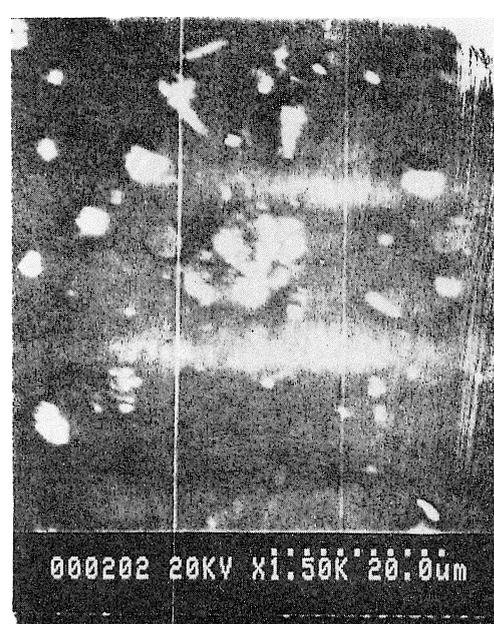
(e) しゅいろ



(f) あか

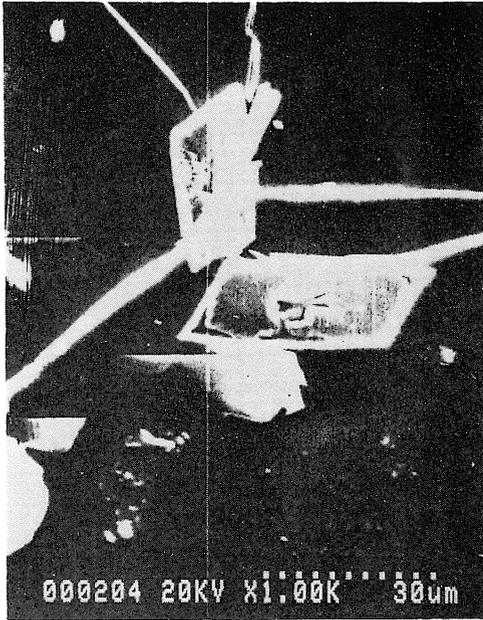


(g) おうどいろ



(h) ちゃいろ

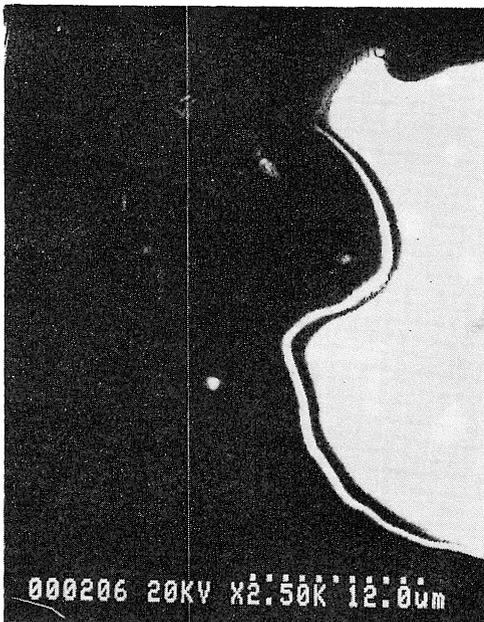
図5. 各色の顔料の電子顕微鏡写真



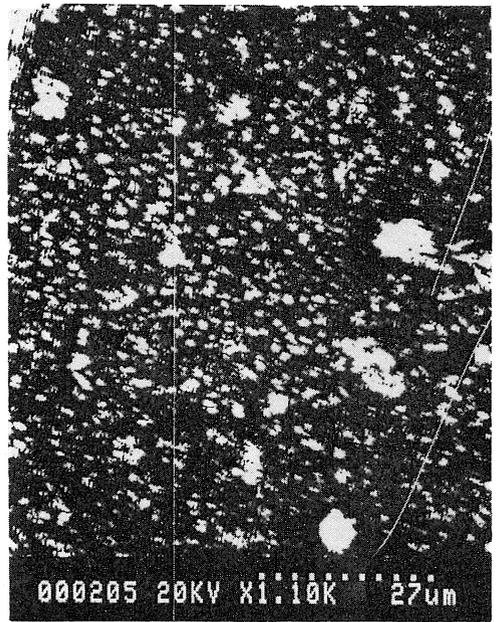
(i) こげちゃ



(i) こげちゃ



(j) くろ



(k) しろ

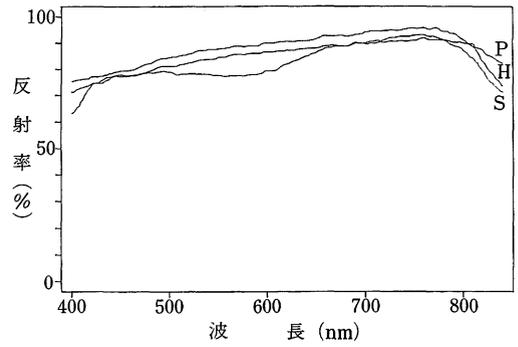
図5. 各色の顔料の電子顕微鏡写真

図6. 各色の反射スペクトルの画用紙による違い

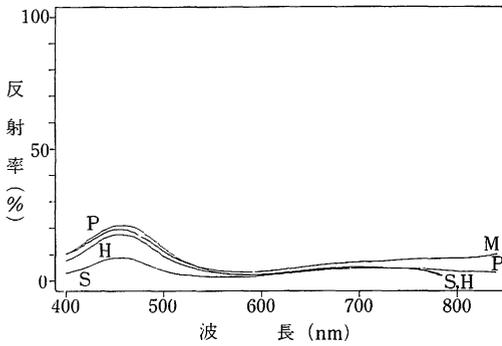
- (0) 画用紙のみ (a) あいいろ (b) あ お
- (c) ビリジアン (d) きみどり (e) レモンいろ
- (f) しゅいろ (g) あ か (h) おうどいろ
- (i) ちゃいろ (j) こげちゃ (k) く ろ
- (l) し ろ

図中, S : 一般用水彩紙に透明水彩絵具を塗った場合
 H : ハンネミュールに透明水彩絵具を塗った場合
 P : パミスに透明水彩絵具を塗った場合
 M : 一般用水彩紙に不透明水彩絵具を塗った場合

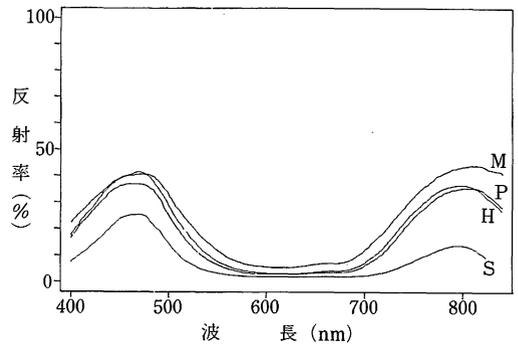
(0)



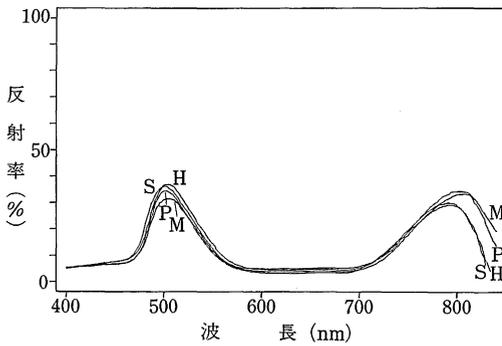
(a)



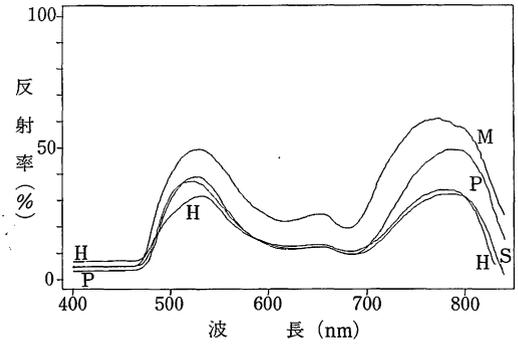
(b)



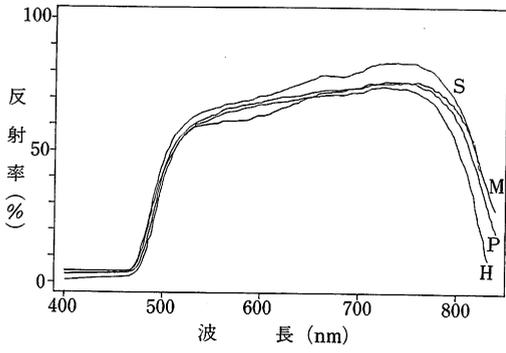
(c)



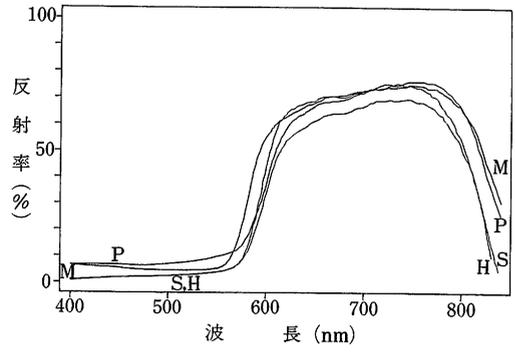
(d)



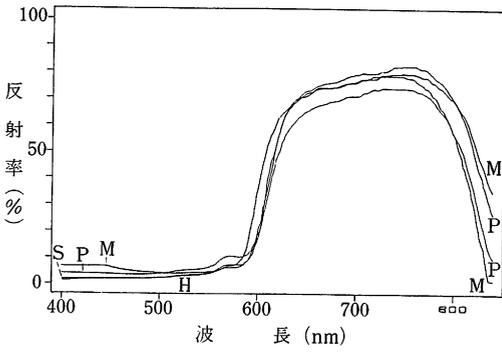
(e)



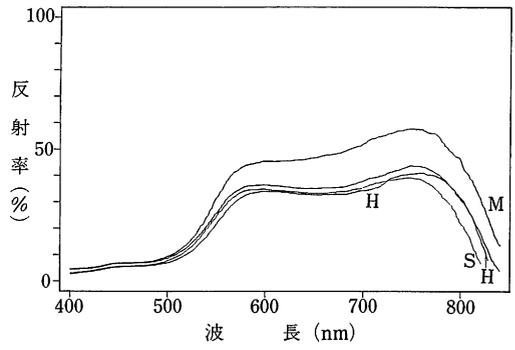
(f)



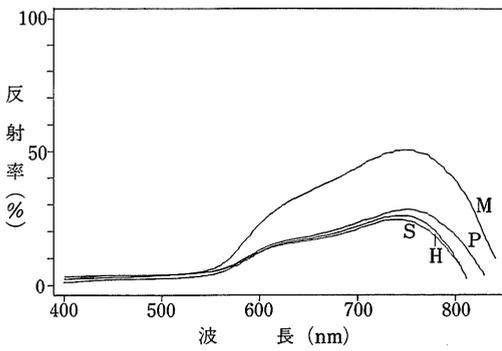
(g)



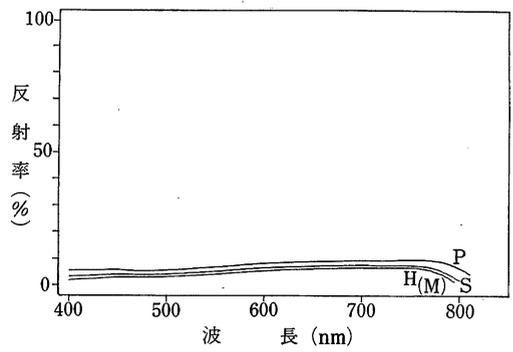
(h)



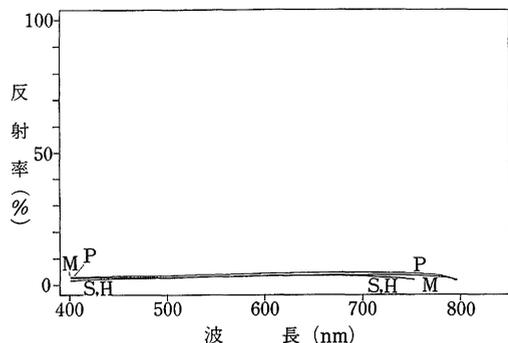
(i)



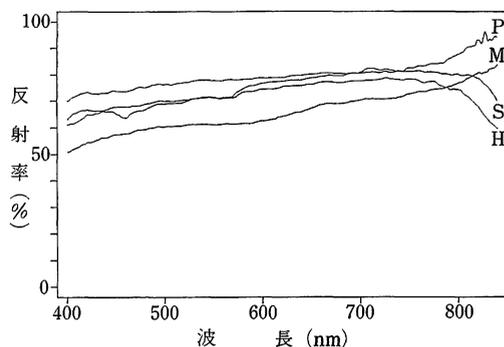
(j)



(k)



(l)



である。光の三原色は赤、青、緑であり、色の三原色は赤、青、黄色である、とよく言われる。しかしここで言う赤と赤、青と青は互いに同じ色ではない。別々に見せられると、どちらも赤であり、また青であるが、同時に見せられて比較すればその違いは容易に分かる。工業的にはこれらを区別するため、光の三原色における赤と青とをそれぞれマゼンタおよびシアンと呼んでいる。更に言えば、色の三原色における青はむしろ青紫に近い。即ち極く大ざっぱに言って、人間の目に見える光の波長域 400 nm~750 nm を 3 等分して、短波長域の成分の多い色が青（正確にはウルトラマリンブルー）であり、中波長域の成分の多い色が緑であり、長波長域の成分の多い色が赤である。そして、白色すなわち全波長域の成分をもつ色から短波長域の成分の欠けた色が黄色であり、白色から中波長域の成分の欠けた色がマゼンタであり、白色から長波長域の成分の欠けた色がシアンである。このように理解して初めて加法混色や減法混色、更には分割混色と云った概念が統一的に理解できるのである。小学校の児童にマゼンタやシアンといった難しい名前を教える必要はないと思うが、少なくとも、色の三原色は赤、青、黄色である等と云った誤解を生みやすい表現では教えないようにしたいものである。そして中学校でははっきりと二つの赤と青を区別して教える必要があらう。

謝 辞

本稿は昭和59年度島根大学教育学部小学校教員養成課

程理科専攻卒業生石長文子君の卒業論文を基にその後の発展をまとめたものである。本研究を始めるにあたり色々と有益なご教示と励ましのお言葉を戴いた美術科研究室の米原智教授に感謝いたします。同じく美術科研究室の石野真教授にはパミス、ハンネミュール等の実験試料を頂戴したのを始め絵具の塗り方、色紙の写真の撮り方など技術面でのご指導を賜り有益な理論をしていただいた、また、図5として載せた電子顕微鏡写真は全て理科研究室の三浦清教授に撮って戴いた、記して深甚なる謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 石長文子：島根大学教育学部卒業論文（昭和60年3月）。
- 2) 国府田隆夫，終元 宏：光物性の測定技術（東京大学出版会，1983）。
- 3) 江森康文，大山 正，深尾謹之介編：色—その科学と文化—（朝倉書店，1979）。
- 4) フランス・ゲリッツェン（富家 直，長谷川敬訳）：現代の色彩（美術出版社，1977）。
- 5) 桑原利秀，安藤徳夫：顔料および絵具（共立出版，1953）。
- 6) 色材協会編：色材工学ハンドブック（朝倉書店，1967）。
- 7) J. C. Maxwell-Garnett：Phil. Trans. 203 (1904) 385, *ibid.* 205 (1906) 237.