

第60回記念日府展関連事業 特別講演会  
2013年5月26日 東京都美術館 講堂



東京農工大学名誉教授・工博  
現所属：科学技術振興機構

一般社団法人日本画府理事



# Contents

- はじめに
- 色の科学
  - 知っていますか？人が色を感じる仕組み。
- 絵の具の科学
  - 知っていますか油絵と水彩の乾燥のちがい
  - 知っていますか油絵と水彩の発色のちがい
  - 透明色と不透明色：グレース技法の科学
- 絵の具あれこれ
  - 知っていますかひび割れ、剥がれが起きるわけ



# 自己紹介

- 私は洋画家であり、科学・技術者です。
- 画風は、印象派～野獣派:色彩を重視します。
- 科学・技術における私の専門は光物性です。
  - 光と磁気(朝倉書店1988,改訂版2001)
  - 金色の石に魅せられて(裳華房1989)
  - 太陽電池のキホン(ソフトバンククリエイティブ, 2011)



# はじめに

- 絵の具や、溶き油など画材の性質を科学的に知って絵を描くと、画材の性質を活かすことができるでしょう。
- この講演では、はじめに、ヒトが色を感じる目の仕組みからスタートして、絵の具に含まれる顔料の物理・化学的な性質を実例をまじえながら解説します。



知っていますか色のふしぎ

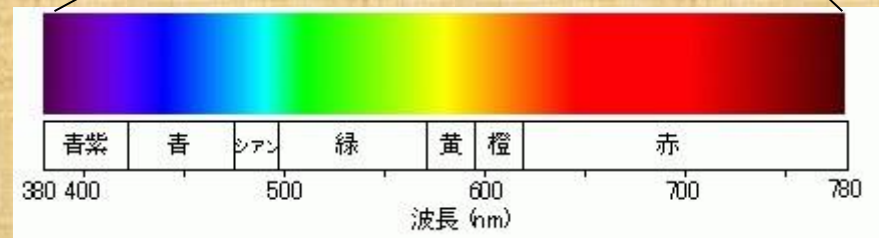
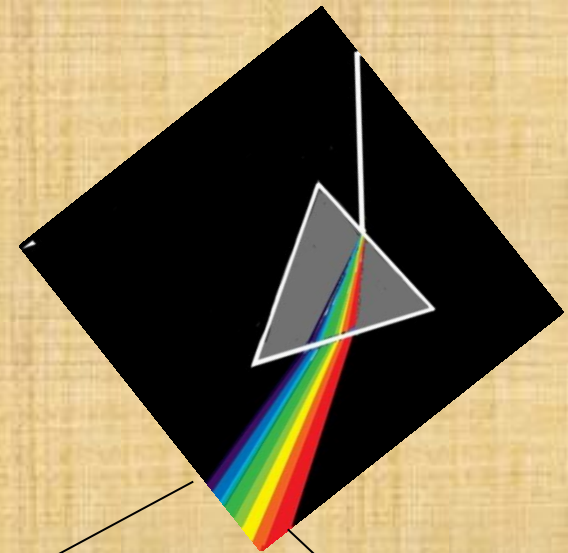
# 色の科学



# 目に見える光の波長は何nmから何nm？

## ー太陽光のスペクトルー

- 太陽からの白色光をプリズムで分光すると図のように波長と色が対応しています。目に見えるのは **380nm**～**780nm**の波長範囲です。



知っていますか？

# 人が色を感じる仕組み

- 色のことを論じる前に、人間が色を感じる仕組みについて述べておきます。カラーテレビでは、全ての色を赤(R)、緑(G)、青(B)の光の3原色で表しています。なぜ色を3原色で表せるのでしょうか。
- 図1のように、網膜には桿体と呼ばれる光を感じる細胞と錐体と呼ばれる色を感じる細胞があり、錐体にはR,G,Bを感じる3種類のものがあります。これらの三種の錐体の送り出す信号の強さの違いによりさまざまな色を感じることができるのです。

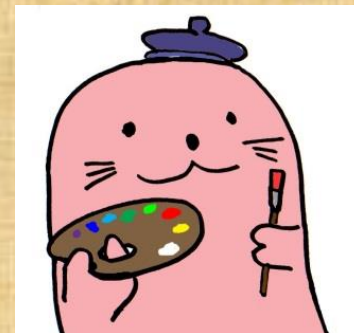
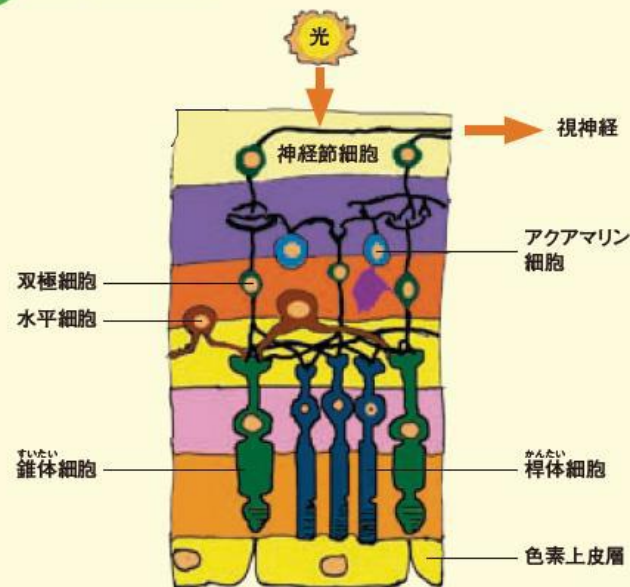
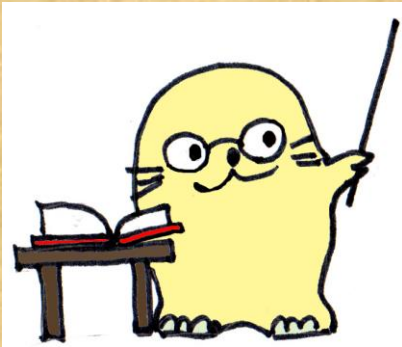


図1 網膜の細胞構成





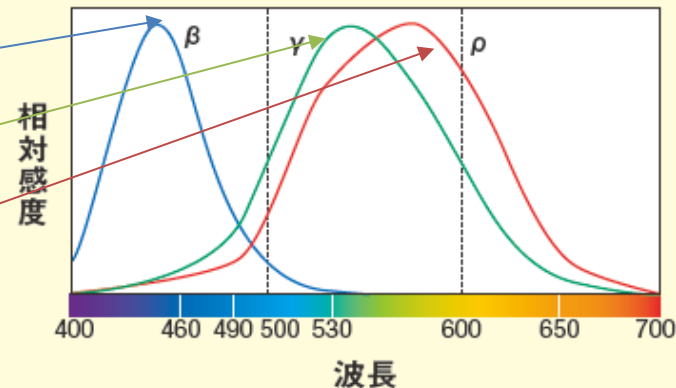


# 色を感じる細胞

3種類の桿体の分光感度曲線を図2に示します。桿体 $\beta$ （ベータ）と桿体 $\gamma$ （ガンマ）のスペクトルはそれぞれ青と緑にピークをもちますが、桿体 $\rho$ （ロー）のスペクトルは黄橙色にピークをもっていて、赤ではありません。赤は $\gamma$  と $\rho$  の刺激から脳神経系の情報処理によって作りだされていると考えられます。

図2 3つの桿体の分光感度曲線

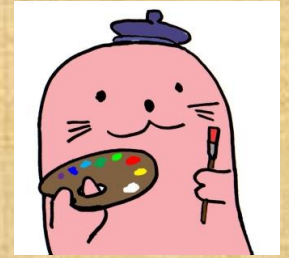
青に感度  
緑に感度  
赤に感度



3桿体は、ギリシャ文字のベータ ( $\beta$ )、ガンマ ( $\gamma$ )、ロー ( $\rho$ ) で表されるような相対感度のスペクトルをもっています。これらはほぼ青B、緑G、赤Rの感度曲線に対応します



# 三原色

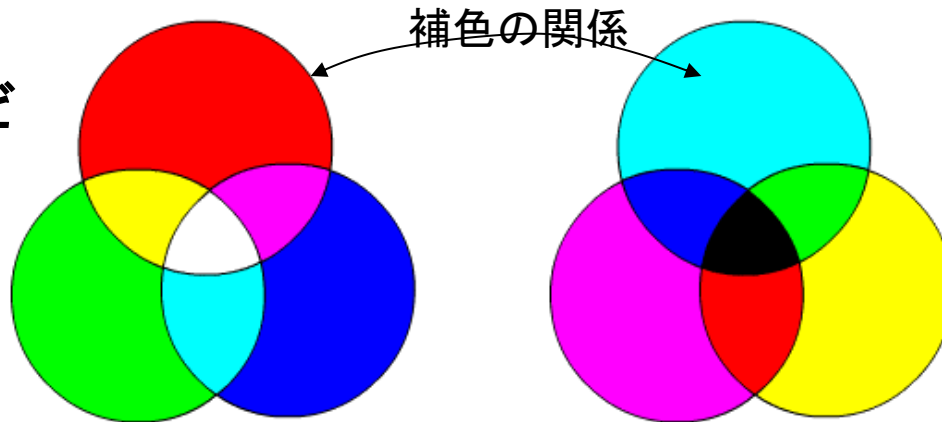


- 光の3原色(加法混色)
- 各色の強さを変えて混ぜ合わせると、いろいろな色の光になる。赤い光, 緑の光, 青い光を同じ強さで混ぜ合わせると、白い光になる。

- 色の3原色(減法混色)
- 各色を混ぜ合わせると、いろいろな色ができる。マゼンタ・シアン・イエローを同じ割合で混ぜると黒になる。

カラーテレビ

赤、R(red)  
緑、G(green)  
青、B(blue)



カラーフィルム  
カラーフィルタ  
プリンタ

マゼンタ, M(magenta)  
シアン, C(cyan)  
イエロー, Y(yellow)

# 絵の具を混ぜると黒くなるのはなぜ？減法混色の仕組み

カラープリンタのカラーインクは、マゼンタ・黄・シアンの色が基本です。これが色の3原色です。前述したように、これらの色は光の3原色の補色です。色の見え方を考えるときは、カラーインクの色は**透過色**だということを知ってください。

図2 色の3原色(マゼンタ・黄・シアン)

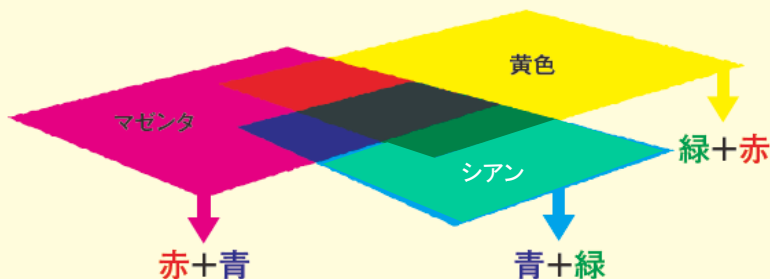
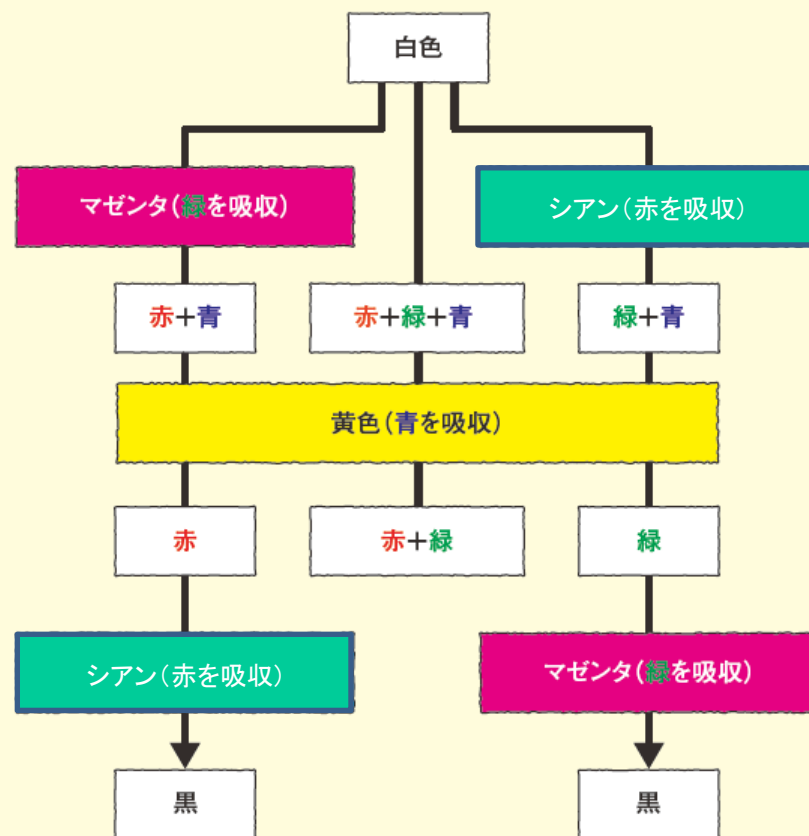


図3 減色混合の原理





# 色がつくわけ

ものの色がつくのは、  
選択吸収、選択反射、  
など物質が本来もつ  
性質によるほか、  
回折・干渉など、物質  
の構造的要因に基づき  
特定の色がつく構造色  
があります。

図 選択吸収

シアン色のセロファン

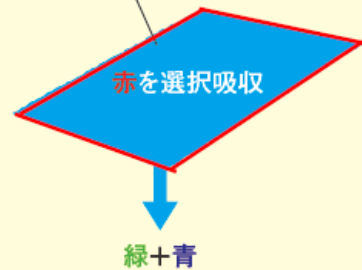


図 回折

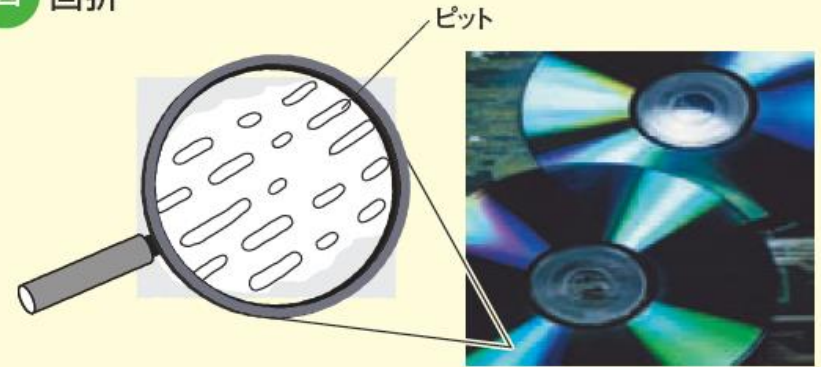


図 選択反射

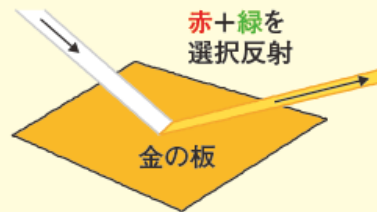
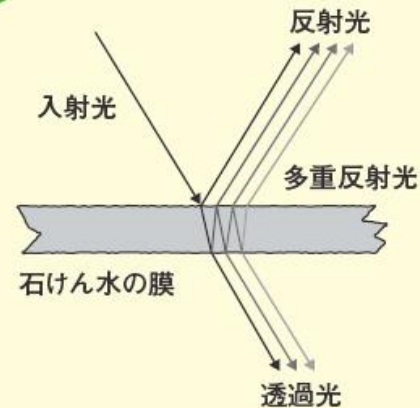


図 干渉



知っていますか絵の具のふしぎ

# 絵の具の科学





# 絵の具の構成



## 発色材

- 顔料
  - 無機顔料
    - 天然無機顔料
    - 合成無機顔料
  - 有機顔料
    - アゾ顔料
    - 多環顔料
  - レーキ顔料
    - 染料と金属を結合

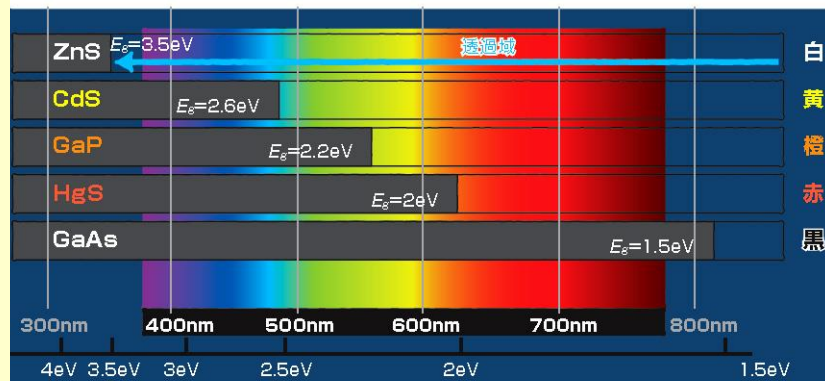
## 展色材

- 固着材
  - アラビアゴム(水彩)
  - 膠(日本画)
  - 乾性油(油彩)
  - アクリル樹脂(アクリル)
- 溶剤
  - 水
  - テレピン油
  - ペトロール

# 知っていますか？ 選択吸収の例 カドミウムイエローは半導体固有の色



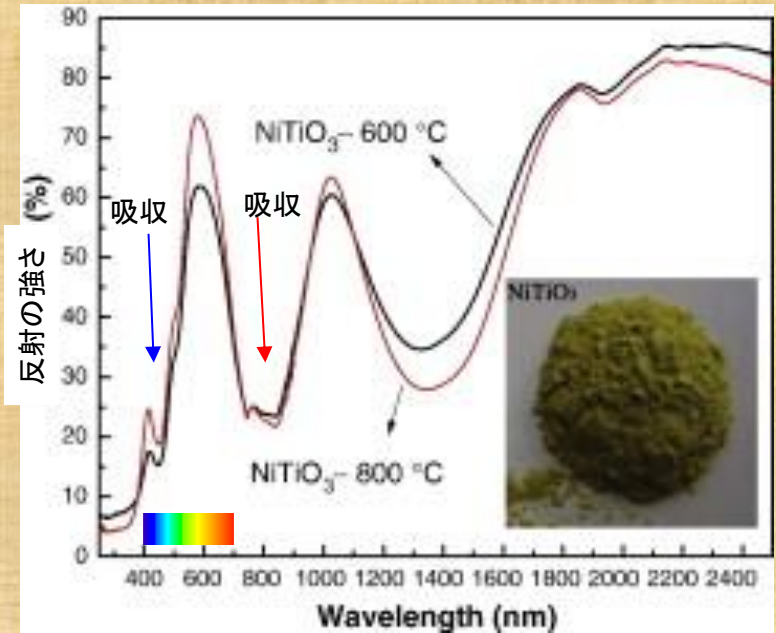
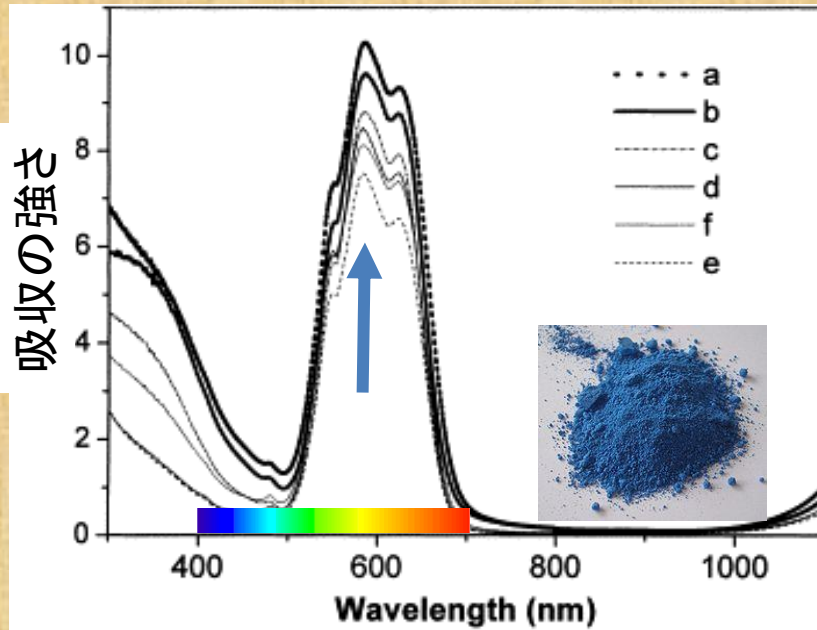
- 半導体には。ある波長より短い光を強く吸収する性質があります。このため半導体の色は吸収された色の補色です。
  - 硫化亜鉛 (ZnS) のバンドギャップは  $3.5\text{eV}$  なので、光学吸収端の波長  $354\text{nm}$  より短い光が吸収されそれより長い波長は全部透過します。このため、可視光のすべての波長が透過するので無色透明で、粉末は白です。
  - 硫化カドミウム (CdS) では  $E_g = 2.6\text{eV}$  に相当する波長  $477\text{nm}$  より短波長の紫と青が吸収され、赤から緑の波長が透過するので黄色です。
  - 硫化水銀 (HgS) は  $E_g = 2\text{eV}$  に相当する  $620\text{nm}$  (赤橙) より短波長が吸収されて赤色です。



化学式	鉱物名	絵の具名	バンドギャップ (eV)	色
C	ダイヤモンド	—	5.4	無色
ZnO	紅亜鉛鉱	ジンクホワイト	3	無色
CdS	硫カドミウム鉱	カドミウムイエロー	2.6	黄
CdS <sub>1-x</sub> Sex	—	カドミウムオレンジ	2.3	橙
HgS	辰砂	パーミリオン	2	赤
HgS	黒辰砂	—	1.6	黒
Si	—	—	1.1	黒
PdS	方鉛鉱	—	0.4	黒



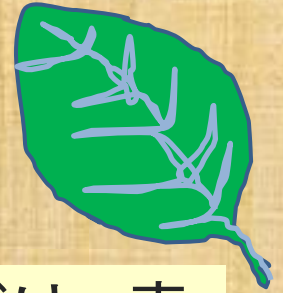
# 知っていますか？選択吸収の例 コバルトブルー、レモンイエローは 遷移金属イオンの色



コバルトブルー:  $\text{CoAl}_2\text{O}_4$   
コバルトイオンの配位子場遷移の吸収が  
赤～緑に存在

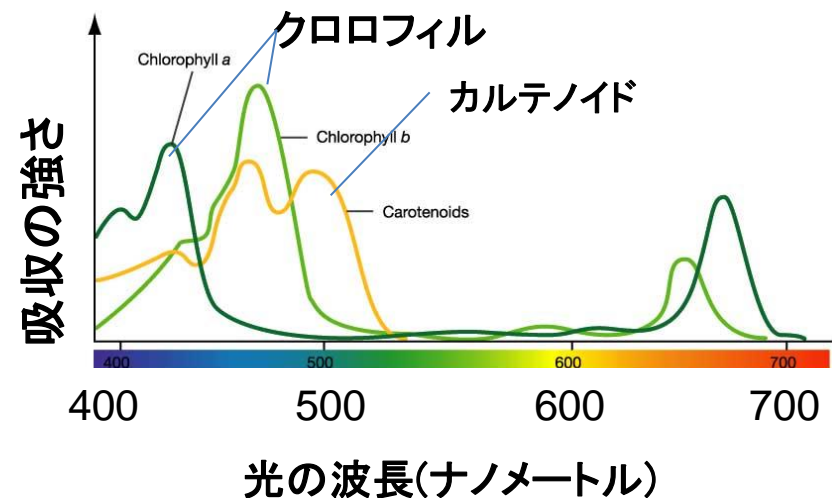
レモンイエロー: チタン酸ニッケル  
ニッケルイオンの配位子場吸収  
が近赤外と青に存在

# 知っていますか？選択吸収の例 葉っぱの色は透過色



- 葉っぱにはクロロフィルという色素が含まれていて光合成に寄与します。
- グラフは、クロロフィルとカロテノイドの吸収の強さを波長に対して描いたもので、吸収スペクトルといいます。
- クロロフィルは、赤と青を吸収するので透過・散乱した光は緑になります。

- 一方カロテノイドは、青緑より短波長の光を吸収し、赤は吸収しないので、橙色に見えます。



# 知っていますか？選択反射の例 貴金属の色

- 3つの貴金属である金、銀、銅の分光反射率（反射スペクトル）を示します。

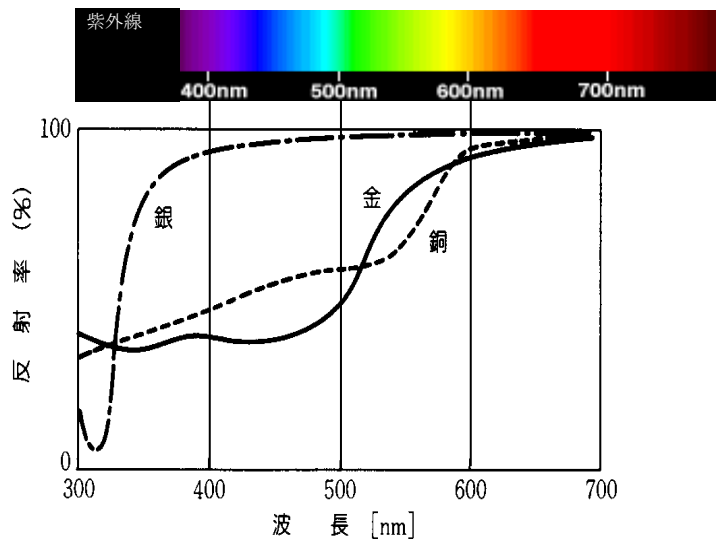


図3 金、銀、銅の反射スペクトルと各波長の色

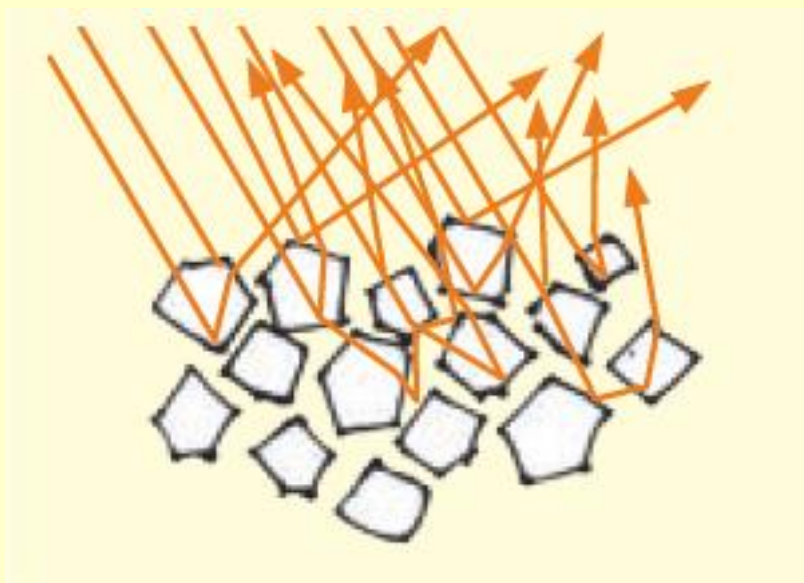
- 銅は橙色より波長の長い橙、赤はよく反射しますが、橙付近で反射は急落し、黄緑より短い光の反射率は低くなります。それで、銅は赤色を選択反射しますが、青から緑の光も50%程度反射するので、白っぽい赤色を示すのです。
- 金は、黄緑より長波長で高い反射率をもち、緑付近で急落します。青から紫にかけての反射率は40%程度に下がっており、この結果、目には黄色に見え反射率が高いので映り込みがあり、複雑な色に見えるのです。
- 銀は、可視光全ての波長領域において高い反射率を示し、RGB全てが等しく刺激されるため反射光は着色せず、単なる鏡の面となるのです。



知っていますか

## 白い色は本当は無色透明ってこと

- 無色透明なガラスも、こなごなに碎けると白く見えますよね。食塩の固まりは岩塩ですが、これも無色透明です。無色透明の物体は、あらゆる波長の光(したがってあらゆる色の光)を、吸収しないで透過します。
- 粉の粒子は、図のように形がさまざまなので、入射した光はさまざまな方向に反射したり、透過したあともさまざまな方向に反射され、また、粉の粒子を通過していろいろな方向に散らばって、その一部が目が届きます。
- このため白く見えるのです。



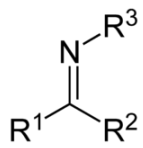
# 有機顔料

大きく分けるとアゾ顔料と多環顔料に分類されますが、多環系にもさまざまなバリエーションがあります。

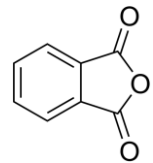
- **アゾ顔料**:アゾは有機化合物の基で-N=N-の結合を表します。
- 多くの赤～黄の顔料に使われていますが、これは、窒素の共役によって、強い吸収(HOMO-LUMOギャップ間遷移)が青の領域に生じるためと考えられます。
- **多環顔料**:アゾ顔料に比し耐久性が高い。
- このうち銅フタロシアニンは青～緑の有力な顔料です。銅イオンに固有の配位子場遷移を使います。
- キノン構造を有するアリザリンは染料ですが、レーキ化して顔料として用います。

# さまざまな有機顔料

- 赤  アントラキノン、キナクリドン、ジケトピロロピロール、ペリレン、ペリノン、インジゴイド
- 橙  ジケトピロロピロール、ペリレン、アントラキノン(アントロン)、ペリノン、キナクリドン、インジゴイド
- 黄  イソインドリノン、キノフタロン、イソインドリン、アントラキノン、アントロン、キサンテン
- 緑  フタロシアニン、アゾメチン、ペリレン
- 青  フタロシアニン、アントラキノン、インジゴイド
- 紫  ジオキサジン、キナクリドン、ペリレン、インジゴイド、アントラキノン(、アントロン)、キサンテン

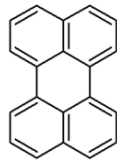


シッフ塩基

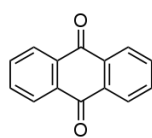


イソインドール

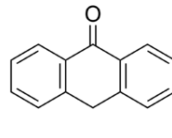
キノフタロン



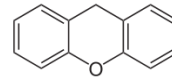
ペリレン



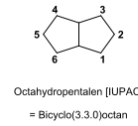
アントラキノン



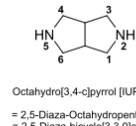
アントロン



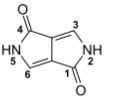
キサンテン



Octahydro[3,4-c]pyrrol [IUPAC]  
= Bicyclo[3.3.0]octan

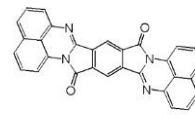


Octahydro[3,4-c]pyrrol [IUPAC]  
= 2,5-Diaza-Octahydroptalalen  
= 2,5-Diaza-bicyclo[3.3.0]octan



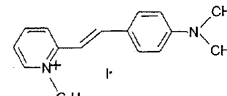
2,5-Dihydropyrrolo[3,4-c]pyrrol-1,4-dion [IUPAC]  
= Diketopyrrolopyrrol

ジケトピロロピロール

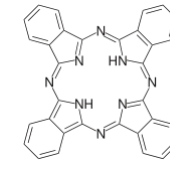


ペリノン

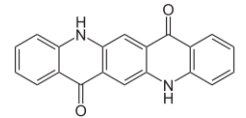
(4)



インジゴイド



フタロシアニン



キナクリドン



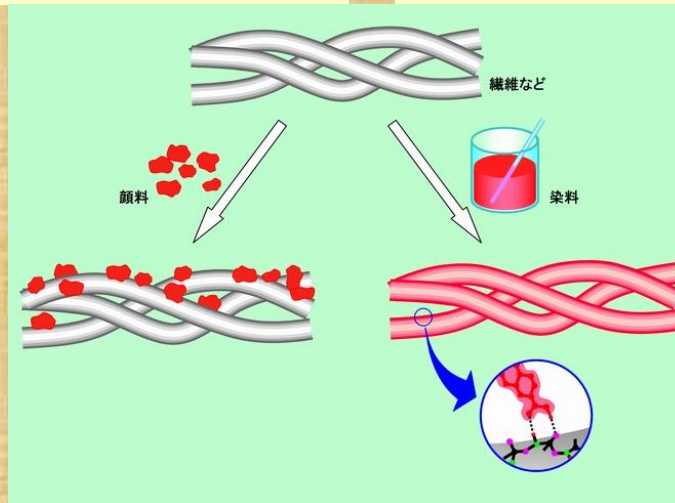
# 染料と顔料は何が違う？

## 顔料

- 粒子が大きく展色材に分散している
- 紙や布の表面に付着している

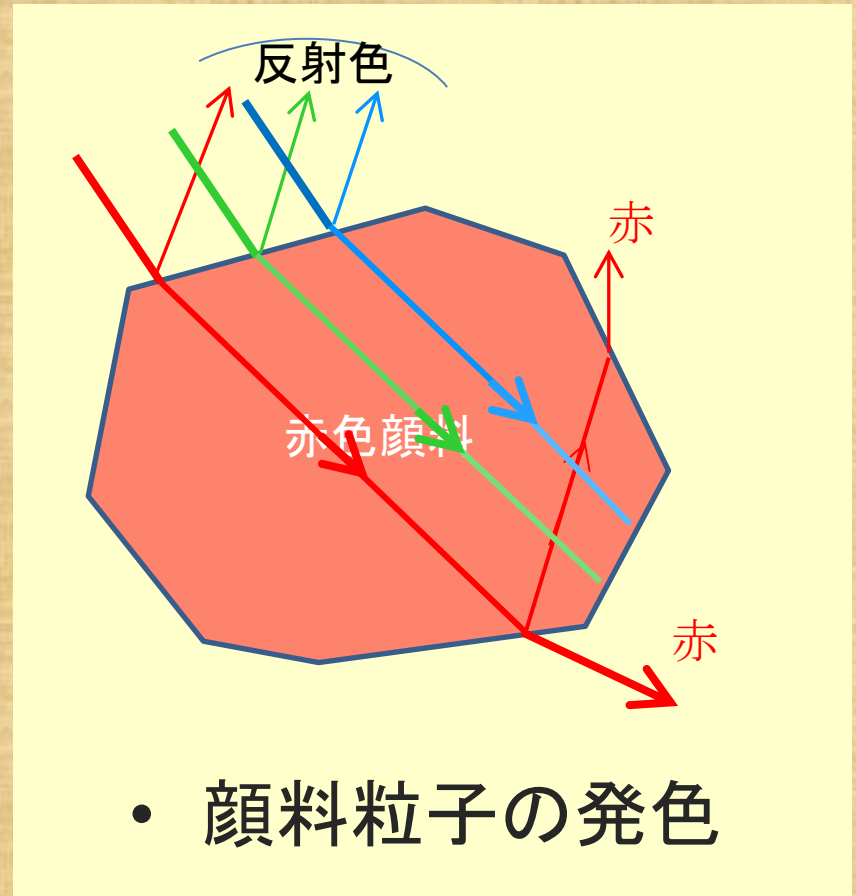
## 染料

- 粒子が小さく溶媒に溶け込んでいる
- 紙や布の繊維などの内部にしみこんで着色



# 顔料粒子の色は 透過色と反射・散乱色の混色

- 顔料粒子は、単体では、特定の色を吸収、反射、散乱して、目に色として感じさせます。
- 実際には、この粒子を画面に定着させるための「固着成分」が加えられており、これによって発色が変化します。

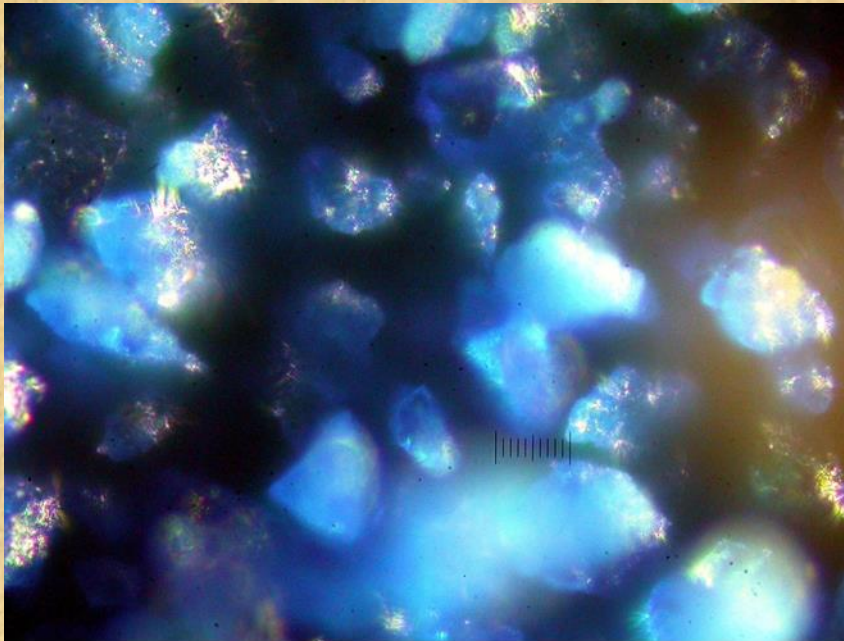


# 日本画の絵の具

## 光学顕微鏡像

- 青: アズライト(藍銅絨)

- 赤: ベンガラ(酸化鉄)



50 $\mu$ m



20 $\mu$ m

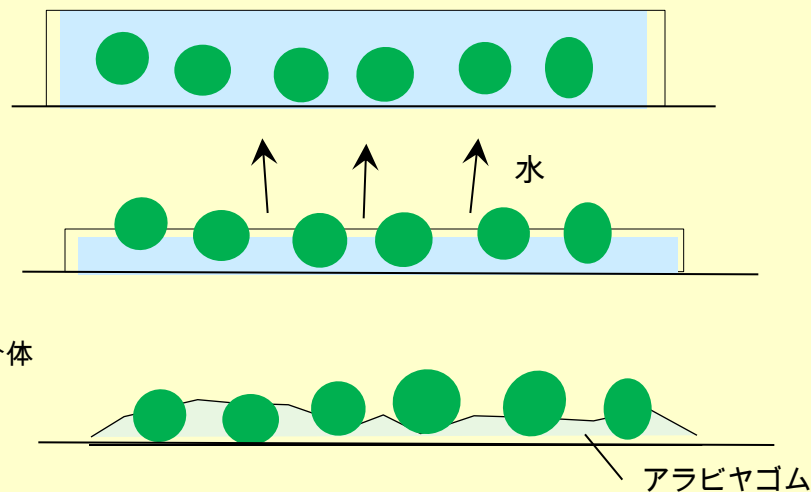
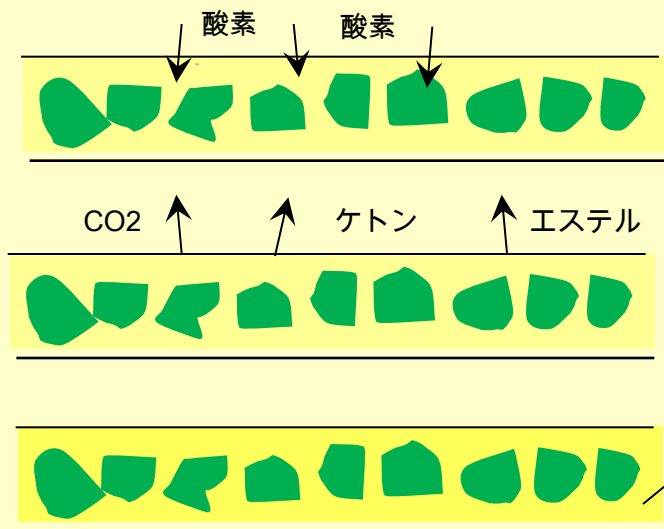
桐野文良  
東京芸術大学教授提供





# 知っていますか 油絵と水彩の乾燥のちがい

- 油絵：展色剤の乾性油が空気中の酸素を仲立ちとして重合し固化します。化学反応によって乾くのです。
- 水彩：展色剤は糊を水に溶かしてあり、乾くと水が蒸発して、顔料粒子を下地に固着します。

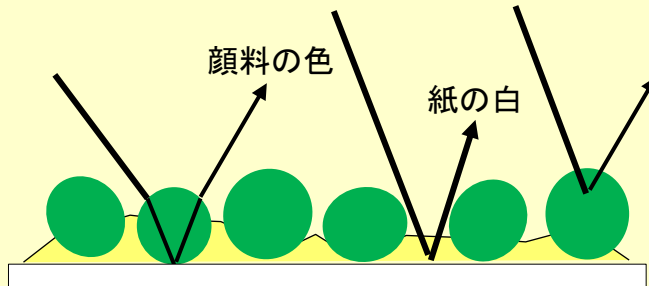




# 知っていますか 水彩と油絵の発色のちがい

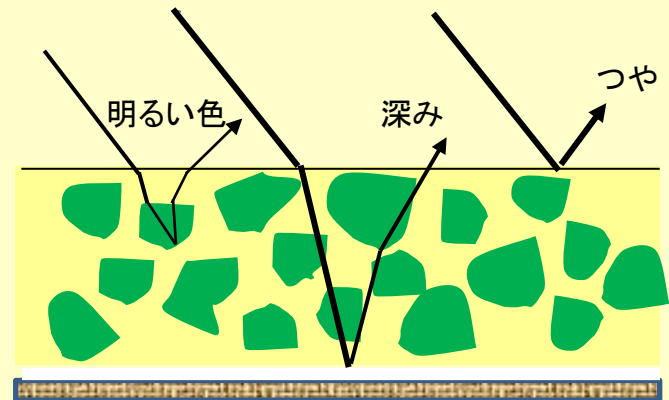
- 水彩

水が蒸発して、顔料粒子が剥き出しになってでこぼこしています。紙からの散乱光も加わります。



- 油絵

乾性油が固化した後も、顔料粒子は重合した油の中に分散しています。



# 水彩と油彩

水彩画の透明感は、顔料からの反射光に加え紙からの反射光が加わっていることによるのです。

油絵の重厚感・存在感は、顔料が乾性油に分散された状態が保たれていることによって、光の径路が複雑になっていることによるのです。

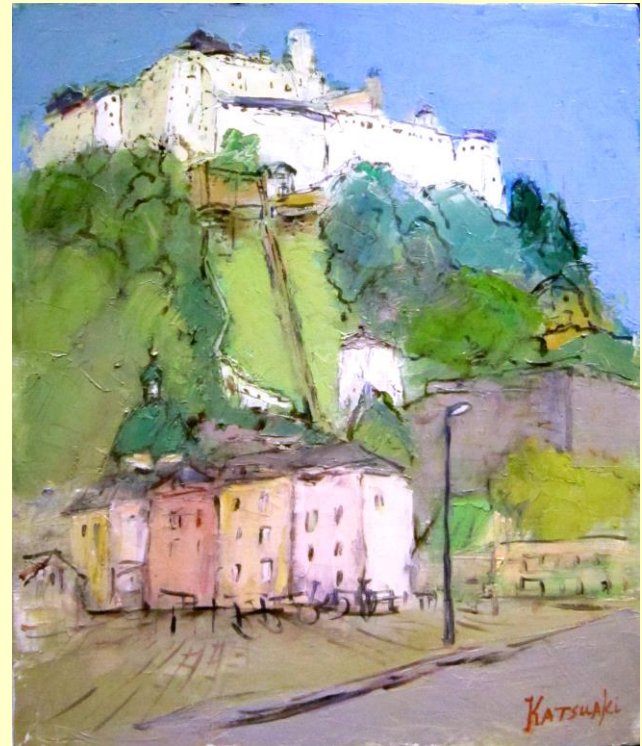




# 水彩と油彩

水彩では塗り残しが効果的

油彩ではホワイトがポイント



# 水彩と油彩

水彩では明るい色を下に置いて、後から濃い色を塗り重ねることで陰の部分を表現しますが、材質感を出すのはむずかしいです。

油彩では暗い色を下に置いて、明るい色を塗り重ねて、材質感を出すことができます。ごつごつした石造りの建物の質感は、厚塗りとグレイズの組み合わせで作っています。



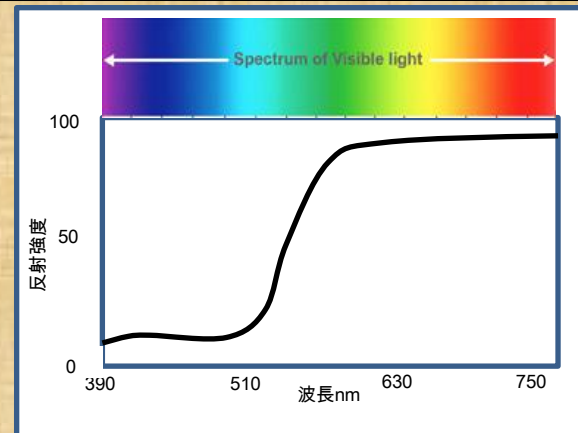
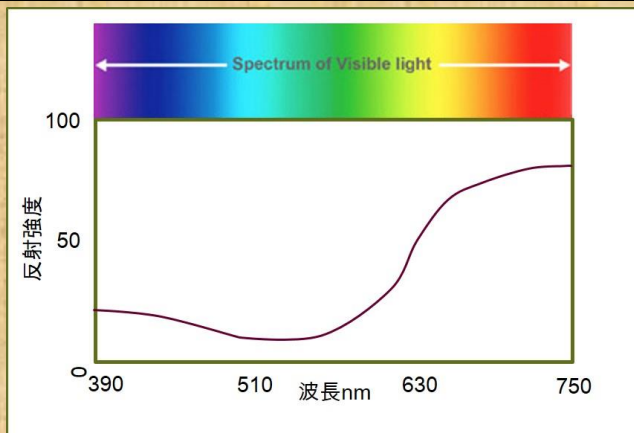
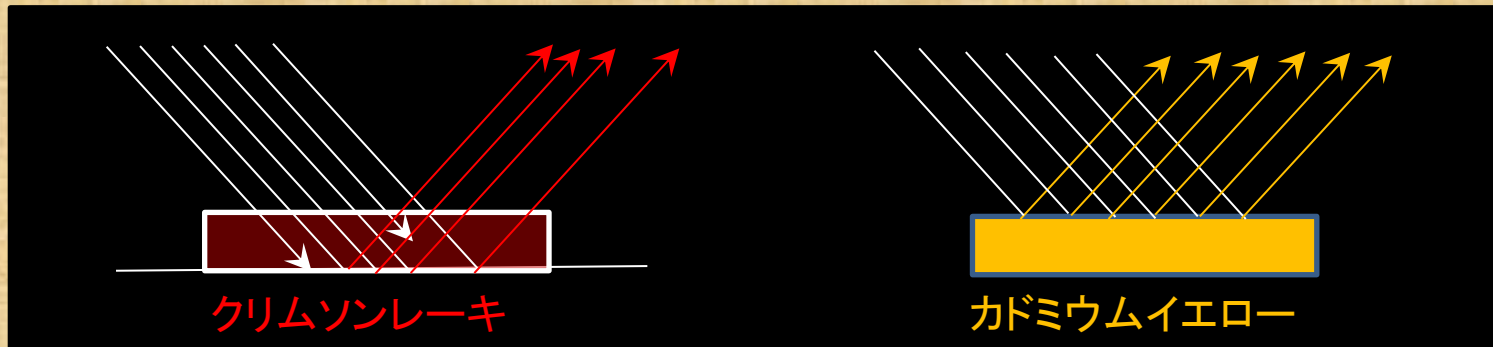


# 透明色と不透明色



- 透明色：入った光より出てくる光が少ないので暗く見える

- 不透明色：特定の波長範囲の色を選択的に100%近く反射するので明るく見える





# (1) 赤系絵の具は広い範囲の透明度を示す

絵の具名	透明性	無機/ 有機	主成分
カドミウムレッド	不透明	無機	硫化セレン化カドミウムCdSe- CdS固溶体
バーミリオン	不透明	無機	辰砂(HgS)
バーミリオンヒュー	半透明	有機	モノアゾ+イソインドリン
カーマイン	透明	有機	縮合アゾ系
チャイニーズレッド	透明	有機	モノアゾ系
クリムソンレーキ	透明	有機	アントラキノン系

## (2) 黄系はどちらかというと透明度が低い

絵の具名	透明性	無機/ 有機	主成分
カドミウムイエロー	不透明	無機	硫化・セレン化カドミウム CdS-CdSe
イエローオーカー	不透明	無機	水和酸化鉄 $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$
パーマネントイエロー	半透明	無機-有機	酸化アンチモン $Sb_2O_3$ :Ni,Ti+ ジスアゾ系
レモンイエロー	半透明	有機-無機	チタン酸ニッケルNiTiO <sub>3</sub>
ジョンブリアン	半透明	無機	硫化・セレン化カドミウム +酸化チタン
ネイプルスイエロー	半透明	有機	硫化・セレン化カドミウム +水和酸化鉄+酸化チタン

### (3) 緑系の多くは透明性高い

絵の具名	透明性	無機/ 有機	主成分
カドミウムグリーン	不透明	無機	水和酸化クロム( $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )+硫化カドミウムCdS
パーマネントグリーン	半透明	無機-有機	銅フタロシアニン+Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Ni,Ti +ジスアゾ
コバルトグリーン	半透明	無機	コバルト添加酸化亜鉛 ZnO:Co
エメラルドグリーン ノーバ	半透明	無機-有機	塩化臭化銅フタロシアニン+ 酸化チタンTiO <sub>2</sub>
ビリジャン	透明	無機	水和酸化クロム
ビリジャンヒュー	透明	有機	塩化臭化銅フタロシアニン

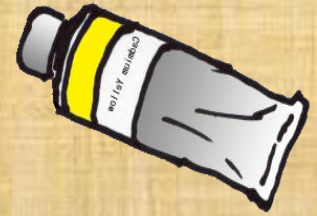


## (4) 青系は透明度高い

絵の具名	透明性	無機/ 有機	主成分
セルリアンブルー	半透明	無機	錫酸コバルト
コバルトブルー	半透明	無機	アルミン酸コバルト
コバルトブルー ヒュー	半透明	無機- 有機	シリカ・アルミナ・ソーダ・硫黄 錯塩・銅フタロシアニン+酸化 チタン
プルシャンブルー	半透明	無機	フェロシアン化第2鉄カリ
ウルトラマリンブルー	透明	無機	シリカ・アルミナ・ソーダ・硫黄 錯塩
マンガニーズブルー	透明	無機	マンガン酸硫酸バリウム



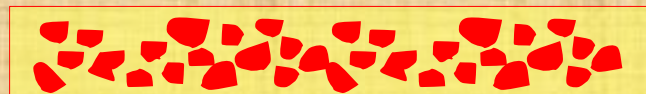
# 塗りがさね



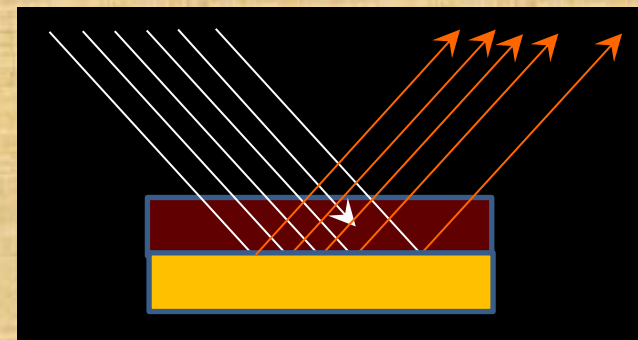
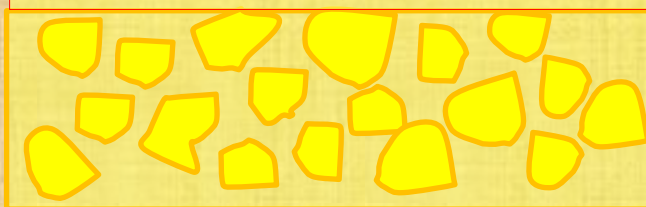
- クリムソンレーキは透明色で、そのままではややくすんだ赤紫です
- 不透明な黄色(カドミウムイエローなど)で下塗りをして、透明な赤(クリムソンレーキなど)を塗り重ねると、鮮やかな朱赤色になります。

- イエロー系無機顔料は隠蔽力が強く、反射率も高いので、下塗りに使うと効果的です。
- イエロー系の不透明顔料を下塗りにして、ウルトラマリンなど透明の青を塗ると、美しい緑が得られます。

透明色

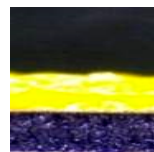
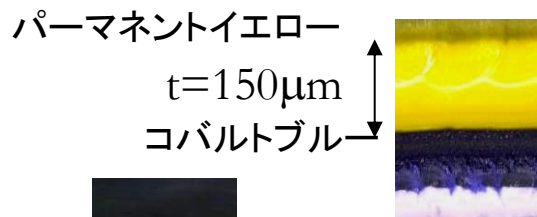


不透明色



# 塗り重ねの科学

最上層のパーマネントイエローの厚さを  
変えるだけでさまざまな色調が出せます

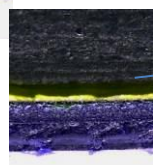


$t=50\mu\text{m}$

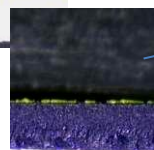


$t=20\mu\text{m}$

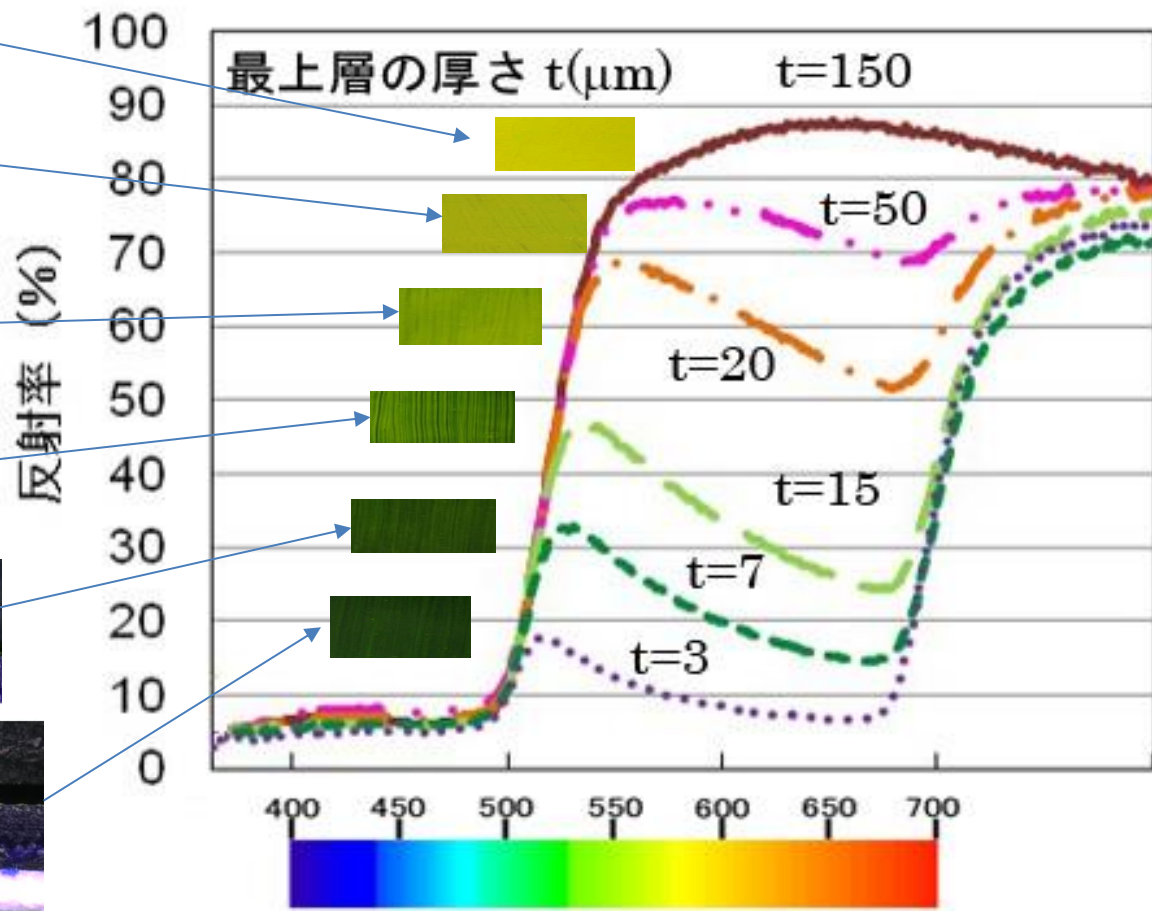
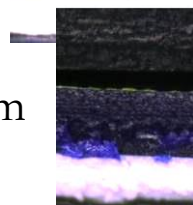
$t=15\mu\text{m}$



$t=7\mu\text{m}$



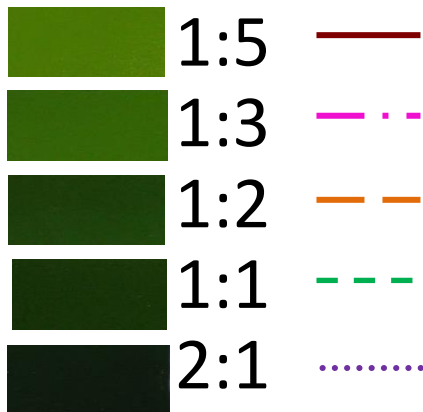
$t=3\mu\text{m}$



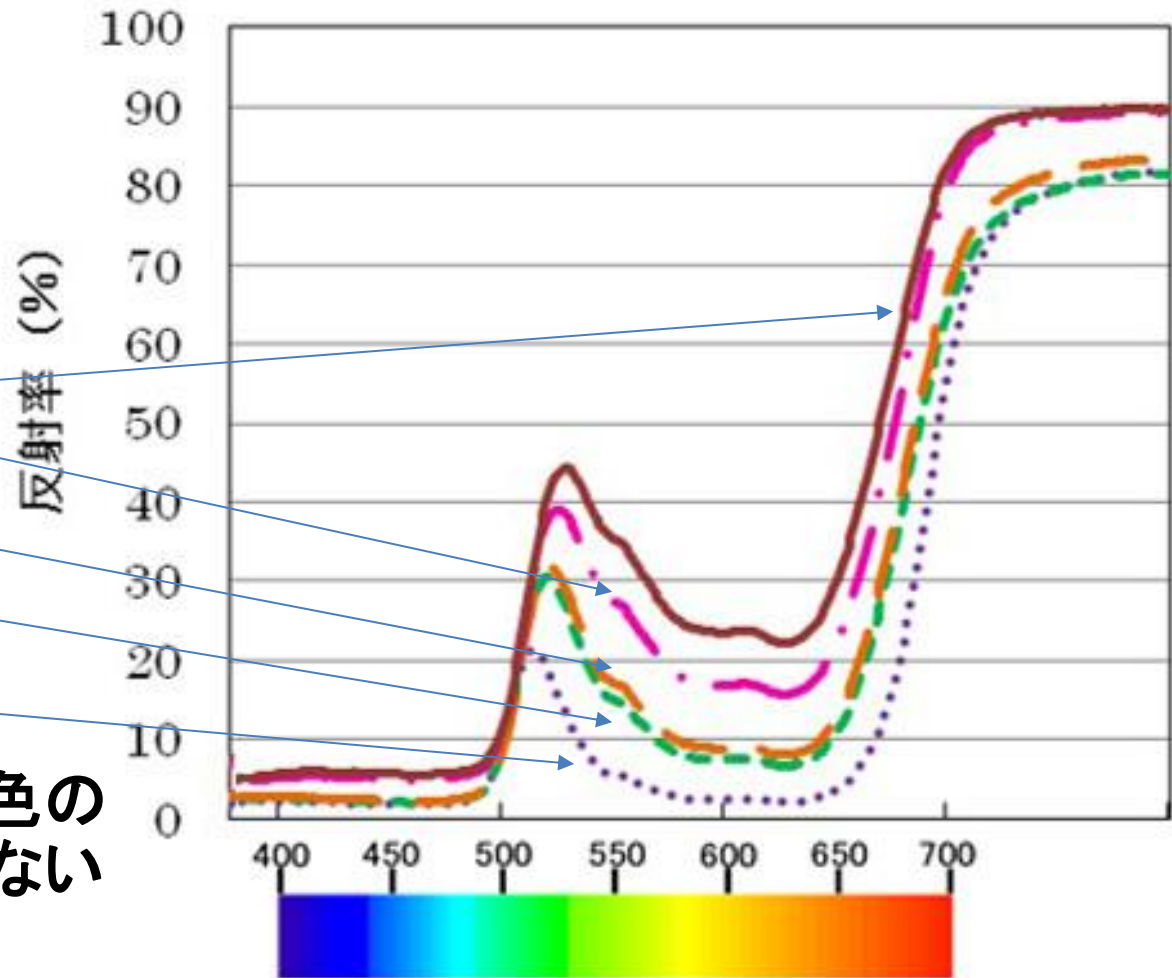


# くらべてみると 混色の場合

- 混合比
- 青:黄

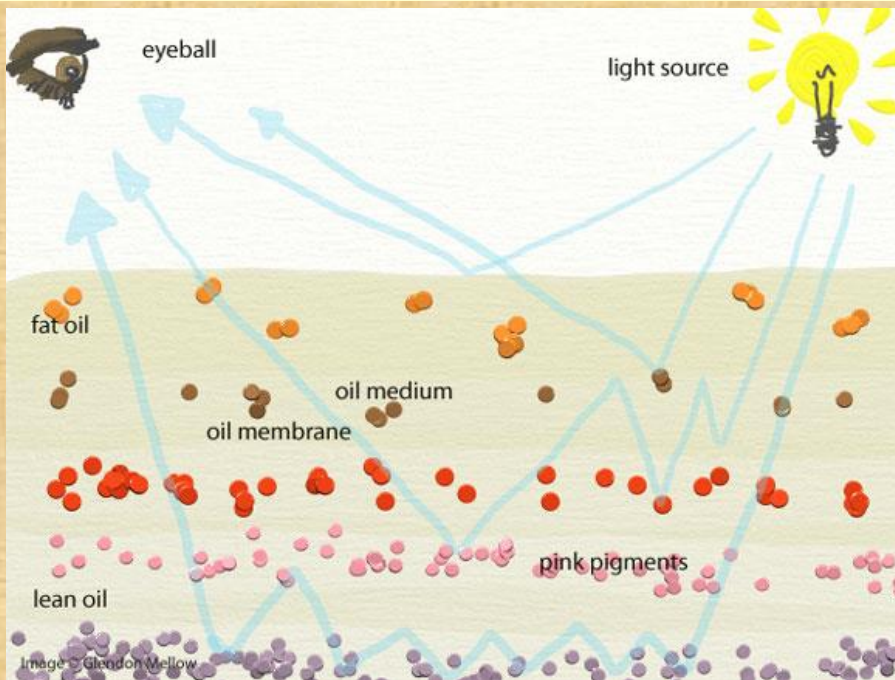


- 混色では色の  
変化が少ない



# グレース技法(グラッシ)における光の跳ね返り

薄い透明な絵具層を塗り重ねる技法です。例えば、黄みの赤、バーミリオンの上に青みの赤であるクリムソンレーキの透明な層を重ねることで、深みのある赤が表現できます。黄色の上に透明な青で、深い緑ができます。



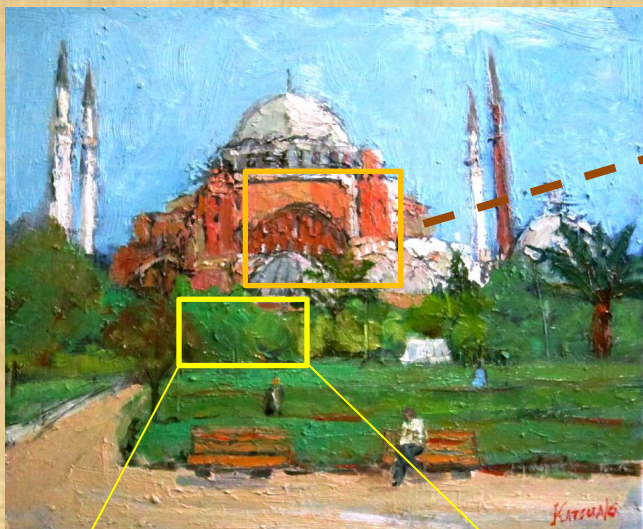
- グレースは、混色の効果だけでなく光沢をも与えます。
- 光が固化した乾性油膜に入射すると、ほとんど透明な絵の具の層を通り抜けます。
- 時には、表面へと反射される前に色素にぶつかり下の層へと跳ね返され、その後外部に出て行きます。
- また時には別のグレース層の境界面で跳ね返されて後、目に届きます。
- これによって、グレースは油絵に輝きとともに深い闇を与えるのです。

<http://blogs.scientificamerican.com/symbiartic/2011/08/02/the-chemistry-of-oil-painting/>

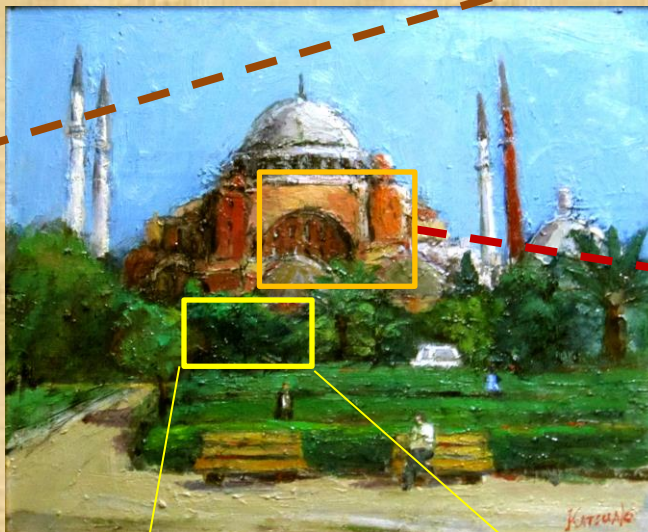


# グレース処理の例

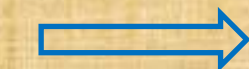
グレース処理前



グレース処理後



クリムソンとセピアで  
グレース処理



ウルトラマリ  
ンとセピアで  
グレース処理



グレース処理で  
つやと深みと  
立体感が出ます。



知っていますか絵の具の乾き方の違い

# 油絵の具の乾燥(固化)の科学

# なぜ絵具によって乾きやすさが違うの？

## (1) 展色剤の乾性油によって違う

- 油絵の具が乾くとは展色剤として使われている乾性油の分子が酸素を仲立ちとして化学反応を起こし、分子同士が重合して固化することをいいます。
- この反応が起きるためには、油の分子に炭素と炭素が2重結合している部分が必要になります。
- アマニ(リンシード)油は2重結合を3個もつリノレン酸分子を多く含むのに対し、ケシ(ポピー)油は2重結合が2個しかないリノール酸が主成分です。それで展色剤にケシ油を使っている絵の具はアマニ油を使うものより固化が遅いのです。

# 乾性油の成分

乾性油	バルチミ 酸	ステアリ ン酸	オレイン 酸	リノール 欄	リノレン 酸
アマニ油	6.3	3.2	16.6	14.2	59.8
ケシ油	11.2	4.2	11.4	72.3	0
クルミ油	8	3	15	61	12
紅花油	6	3.4	12.2	77	0.2
炭素数	16	18	18	18	18
二重結合	0	0	1	2	3








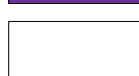
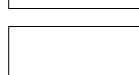
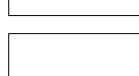
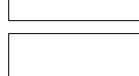
# 油絵の具の展色材

## アマニ油を主体とする展色材

	ローズマダー
	バーミリオン
	カドミウムレッド
	イエローオーカー
	ビリジャン
	パーマネントグリーン
	ウルトラマリン
	ライトレッド
	バートシェンナ
	アイボリーブラック

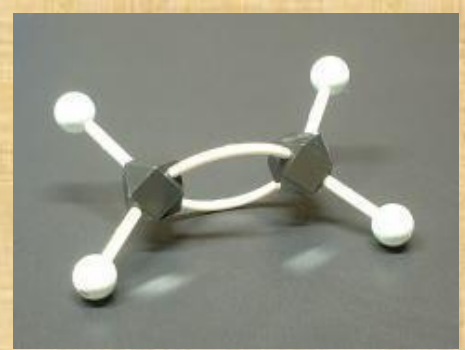
乾きが早い

## ケシ油を主体とする展色材

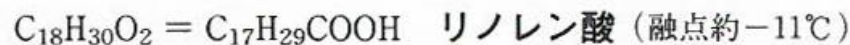
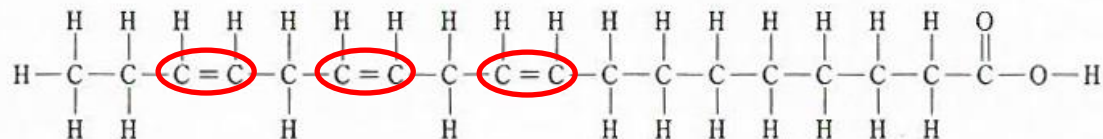
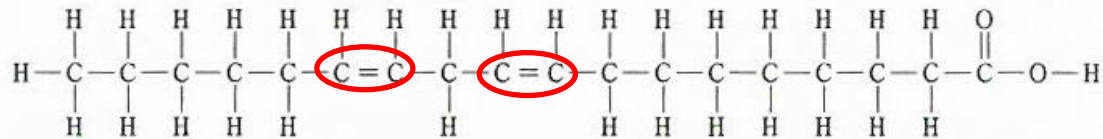
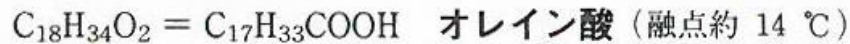
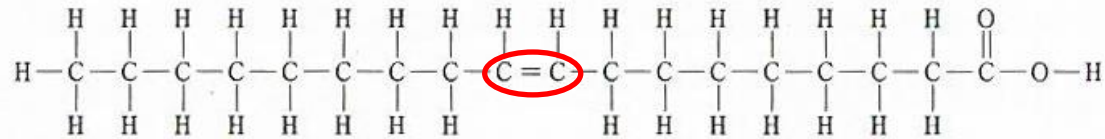
	カドミウムイエロー
	パーマネントイエローライト
	エメラルドグリーンノーバ
	コバルトブルーペール
	コバルトバイオレット
	チタニウムホワイト
	シルバーホワイト
	ジンクホワイト
	パーマネントホワイト

乾きが遅い

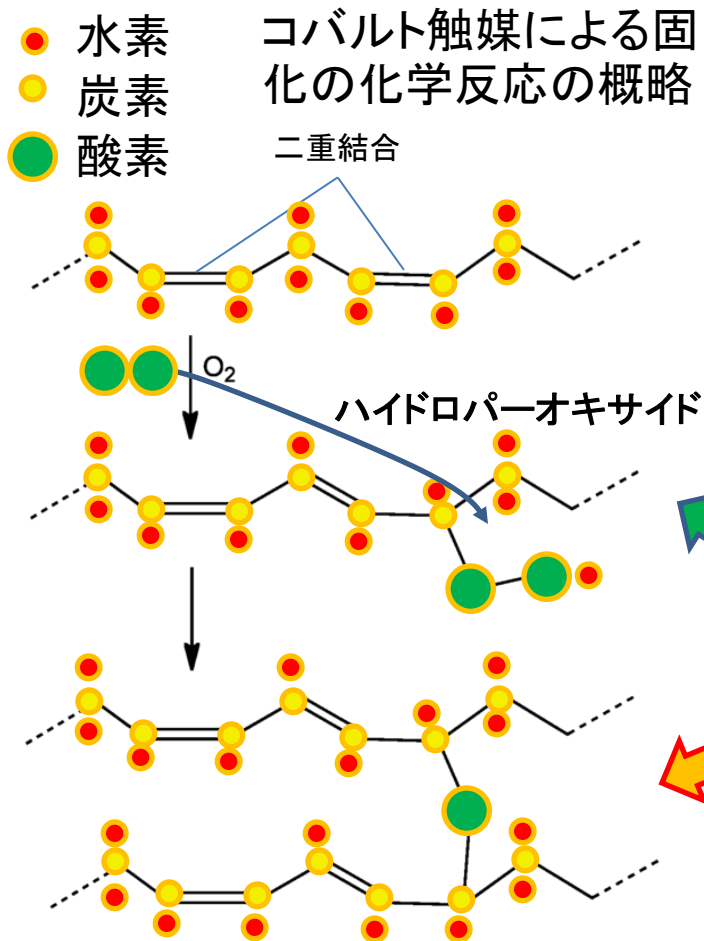
# 二重結合が 乾性油を固化



- 乾性油の主成分である不飽和脂肪酸は分子中にいくつかの二重結合を持つ。



# 乾性油の固化メカニズム



乾性油に含まれる二重結合は化学的に反応しやすいため、空気中の酸素と徐々に結びついて酸化され、過酸化物質やラジカルが生じる。これらが開始剤となって二重結合間の重合反応が進行すると、油の分子同士が互いに結合して分子量の大きな網目状の高分子となり、最終的には流動性を失って固まる。

- 最初に二重結合が酸素により酸化され過酸化物質を形成する。
- 次に、過酸化物質が他の分子の不飽和結合に結合して炭素ラジカルを形成し更なる重合が進む。

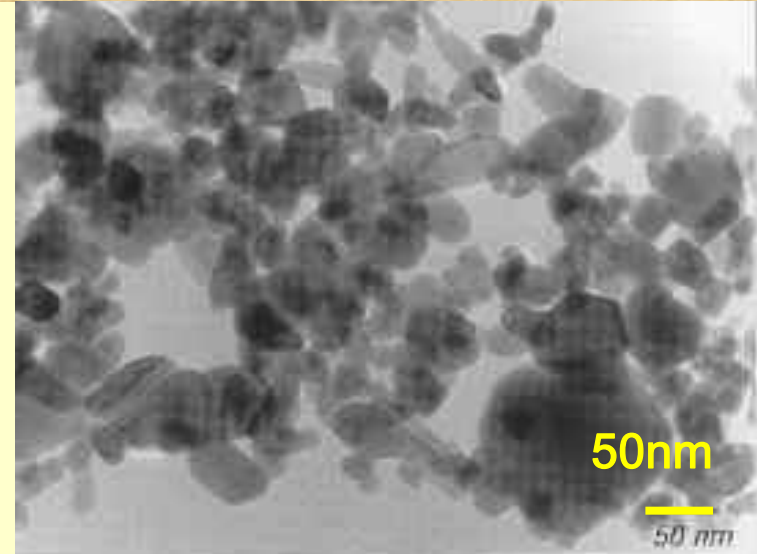
Wikiによる



# なぜ絵具によって乾きやすさが違うの？

## (2) 粒子サイズによって吸油量が違う

- 油絵の具に含まれる乾性油が多いと乾きにくいです。
- 一般に無機顔料は粒子径が有機顔料より大きいので、吸油量が少なく乾きやすいのです。
- しかし、同じ無機顔料でも、酸化亜鉛は粒子が細かいため吸油量が多いが、炭酸鉛や酸化チタンは粒子が大きく、吸油量が少ない。このため、ジンクホワイトはシルバーホワイトやチタニウムホワイトに比べ乾きが遅いのです。

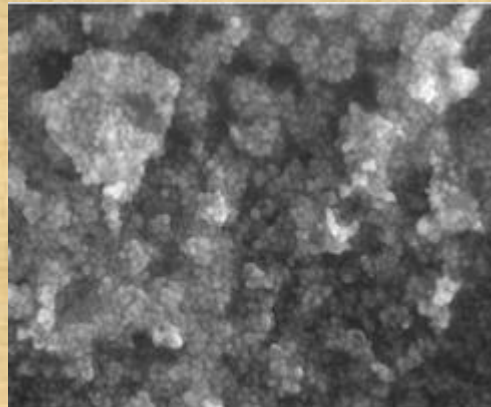


ジンクホワイトの透過電子顕微鏡写真  
粒子径は数nmから数百nmに分布する

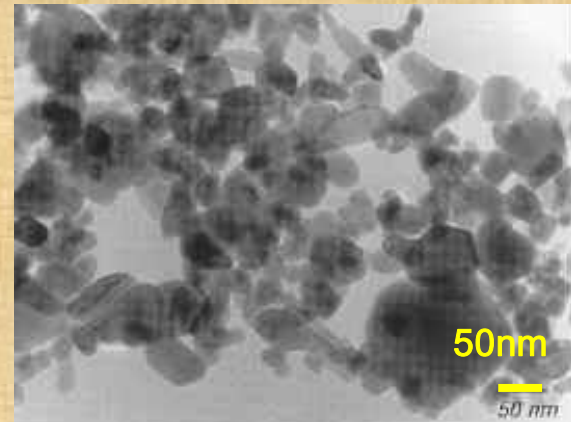
<http://www.naturalpigments.com/vb/content.php?161-Zinc-White-Problems-in-Oil-Paint>

# ホワイトもいろいろ

絵の具名	顔料	吸油量	展色剤	乾燥	透明性	毒性
チタニウムホワイト	酸化チタン	少ない	ケシ油	やや遅い	不透明	なし
シルバーホワイト	炭酸鉛	少ない	ケシ油	早い	半不透明	有毒
パーマネントホワイト	酸化チタン	少ない	ケシ油	やや遅い	半不透明	なし
ジンクホワイト	酸化亜鉛	多い	ケシ油	遅い	半不透明	なし



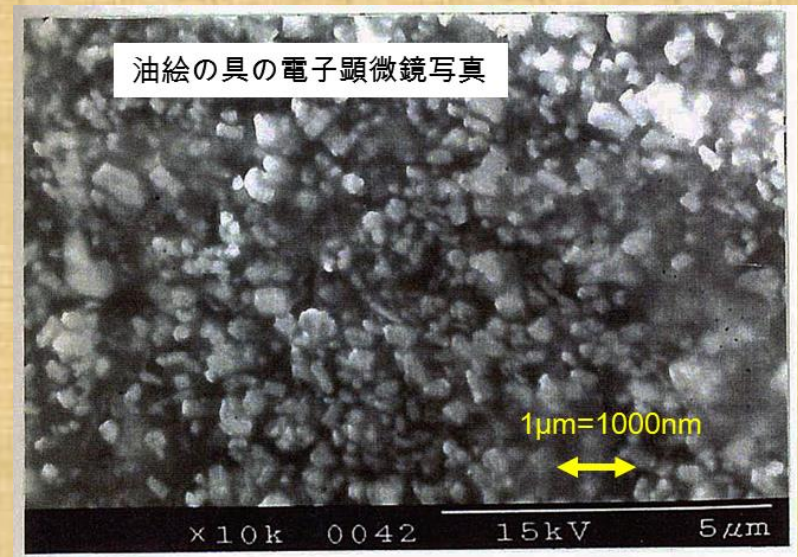
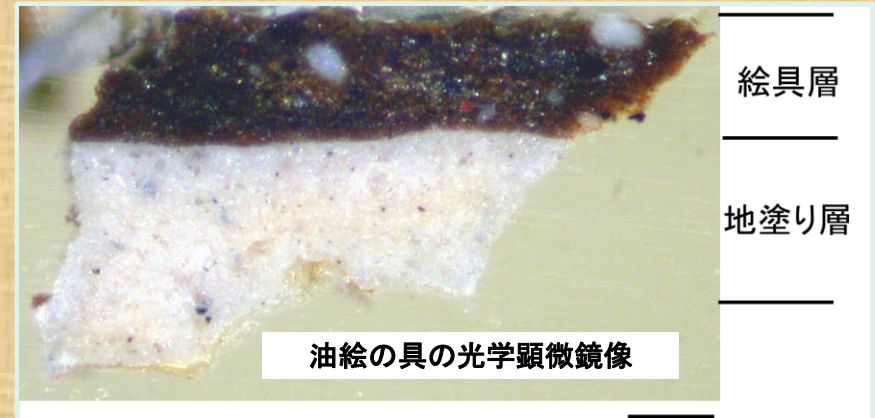
チタニウムホワイト 5  $\mu\text{m}$



ジンクホワイト

# 顔料粒子の寸法と乾燥

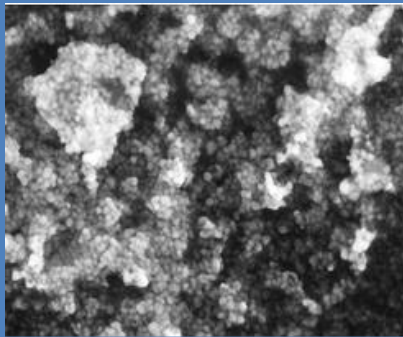
- 無機顔料は粒子径が大きく、吸油量が少ないので乾燥が早い。また無機顔料に含まれる金属が乾燥を促進します。
- 有機顔料は粒子径が小さいので結果的に吸油量が多く乾燥が遅い。さらに有機顔料に吸着された水分が $\text{CO}_2$ を吸って弱酸になって乾燥を遅くします。





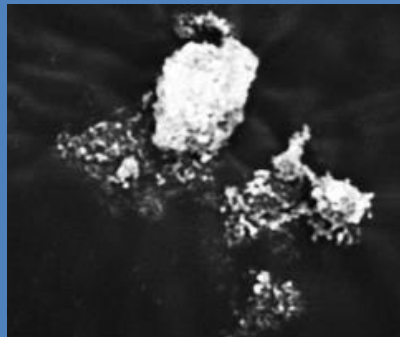
# 絵の具の粒径・吸油量と乾燥時間

色名		顔料	粒径 ( $\mu\text{m}$ )	媒剤	吸油量 (g)	指触乾燥 (日)	硬化乾燥 (日)
チタニウム ホワイト		二酸化チタン ( $\text{TiO}_2$ )	0.17~0.52	ケシ油	31.4	7	14
コバルトブルー ディープ		アルミン酸コバルト ( $\text{Co}\cdot n\text{Al}_2\text{O}_3$ )	0.45~0.87	アマニ油	46.5	5	11
パーマネント イエローライト		ジスアゾ ( $\text{C}_{34}\text{H}_{30}\text{Cl}_2\text{N}_6\text{O}_4$ )	0.24~0.60	アマニ油	96.3	10	17



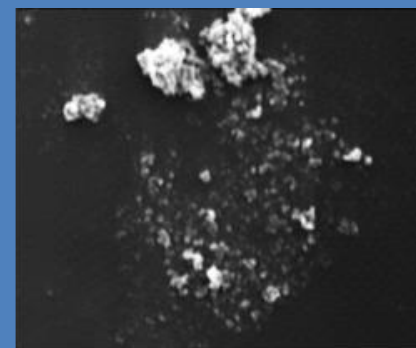
5  $\mu\text{m}$

チタニウム  
ホワイト



5  $\mu\text{m}$

コバルトブルー  
ディープ



5  $\mu\text{m}$

パーマネント  
イエローライト

絵の具を混ぜるとは

# 混色の科学



# 「混ぜるな危険」は昔の話

- ウルトラマリンなど硫化物系の絵の具とシルバーホワイトなど鉛を含む絵の具と混ぜると硫化鉛ができて黒化すると言われていましたが、品質管理が進んだ現在の絵の具の場合、遊離の硫黄がなく、ほとんど変色しないそうです。しかし、混ぜないにこしたことはありませんので、チューブにある混色注意記号を見ましょう。
- 鉛系：シルバーホワイト、ファンデーションホワイト、クロムオレンジ、クロムイエロー、クロムグリーン
- 硫化物系：バーミリオン、カドミウムイエロー、カドミウムグリーン、ウルトラマリン



# オオカミ色

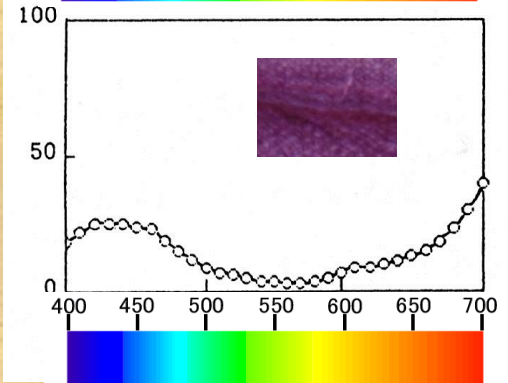
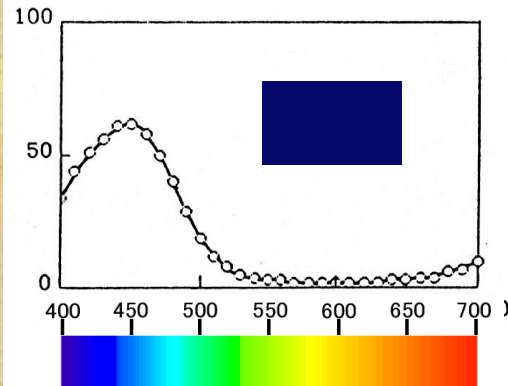
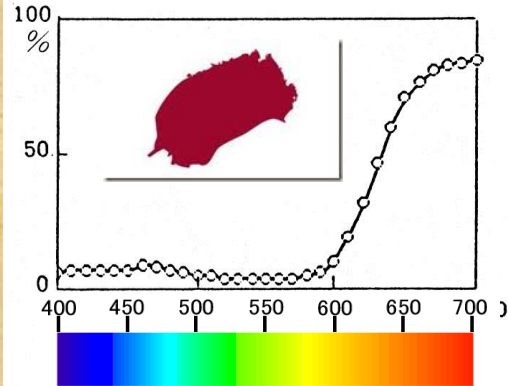
- 混ぜ合わせた相手の色を食ってしまう強い色のことをいいます。
- 例：
  - チタニウムホワイト: どのような色と混ぜても白っちゃけた色にしてしまいます。
  - プルシャンプルー: 沢山混ぜると暗い色にしてしまう。

# 混色すると濁る場合があるのはなぜ

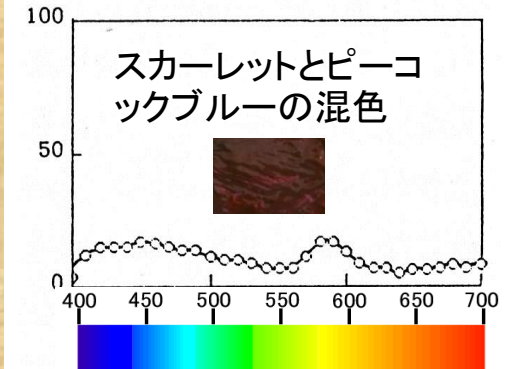
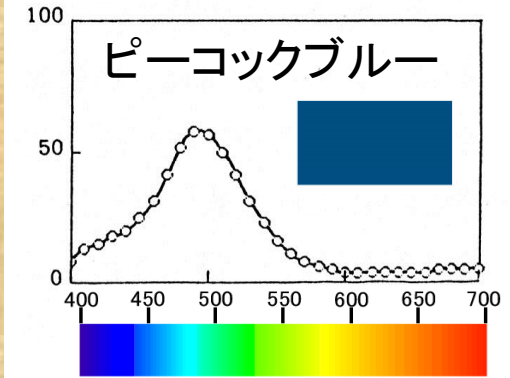
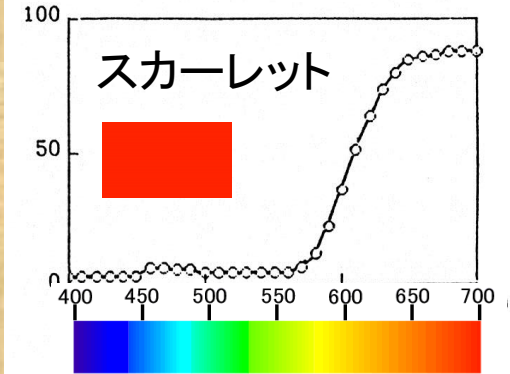
- 赤と青を混ぜて紫を作る場合
  - クリムソンレーキとウルトラマリンを混色しても濁らない: 互いに吸収し合う緑や黄の反射が少ない
  - スカーレットとピーコックブルーを混色すると濁る: スペクトルの重なりがあるため、色純度が悪い褐色になる。
- 分光反射特性のよい色同士を混色しないと望む色が現れず濁ることがあります。

# 分光反射率による説明

クリムソンレーキとウルトラマリンの混色は濁らない(ただし、厚く塗ると黒くなる)



スカーレットとピーコックブルーの混色は濁る





# 絵の具のあれこれ

# 絵の具の耐光性

- 絶対堅牢

パーマネントホワイト、アイボリーブラック、パーマネントイエロー、イエローオーカー、コバルトグリーン、ビリジアン、コバルトブルー、オリエンタルブルー、コバルトバイオレット、ライトレッド、バーントシエナ、セピア、チャーコールグレー

- 堅牢

シルバーホワイト、ピーチブラック、カドミウムレッド、カーマイン、クリムソンレーキ、バーミリオン、カドミウムイエロー、ジョーンブリアン、コンポーズグリーン、パーマネントグリーン、ビリジアンヒュー、コバルトブルーヒュー、インジゴ、ウルトラマリン、モーブ、パーマネントバイオレット、グリーングレー

- やや堅牢

チャイニーズレッド、ゼラニウムレーキ、ピオニーレッド、スカーレットレーキ、バーミリオンヒュー、レモンイエロー、エメラルドグリーンノーバ、プルシャンブルー、セルリアンブルー、プルシャンブルー、ブルーグレー

- 変色しやすい

コンポーズブルー、コバルトバイオレットライトヒュー、

- 無機系顔料は耐光性高い、有機系顔料は耐光性低いものが多い。

# 絵の具の保存性

## 剥離

- キャンバス面の問題  
キャンバス面の汚れ(水分、油、埃)  
平坦性(平滑すぎると剥離しやすい)  
キャンバス塗料の吸収性
- 描画時の問題  
金属石けんの形成(ワックスメジウムの多用)  
ペインティングナイフ(絵の具面が平坦すぎ乾燥時に剥離)  
乾性油の多用  
ジンクホホワイトの下塗利用

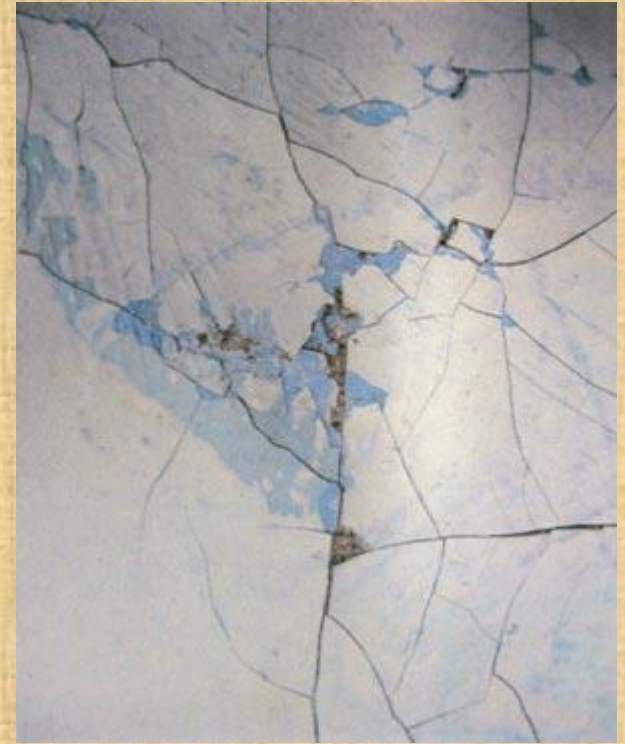
## 亀裂

- 上層・下層の絵の具相互の乾燥性の違い
  - ✓ 乾燥性の悪い絵の具の下塗りに乾燥性の早い絵の具の上塗りをすると剥離しやすい。
  - ✓ 固化の遅い乾性油を下塗りに使うと剥離しやすい。
- ジンクホホワイトの使用
  - ✓ 下層にジンクホホワイトを用いると金属石けんができ、この過程で酸化重合が阻害



# ジンクホワイトを下塗り・中塗りに使うと 亀裂や剥離がおきるって本当？

- 「14年経過した油絵を曲げたとき、シルバーホワイトでは破壊の前に4-5%伸びたが、ジンクホワイトでは0.3%しか伸びずに亀裂が入った。さらに、ジンクホワイトを用いたものでは巻いたときに剥離が起きた。」という実験レポートがあります。
- ジンクホワイトの酸化亜鉛粒子はある種の乾性油と鹼化反応して金属石鹸をつくります。粒子が細かい程鹼化しやすいとされます。この石鹸被膜は、表面を覆い、脆性の原因になるとともに、上に重ねた絵の具の剥離の原因になるのです。



ジンクホワイトで描いた油絵を14年保存後に巻いたときの亀裂と剥離

<http://www.naturalpigments.com/vb/content.php?161-Zinc-White-Problems-in-Oil-Paint>

上に乗せた絵の具

金属石けん

ジンクホワイト

# ジンクホワイトを使って昔の絵が剥離してないのはなぜ？

- ジンクホワイトに使う亜鉛華は昔は鉱物を砕いて作製しておりました。この時代は亜鉛華を地塗りに用いても絵具層の剥離は見られませんでした
- 亜鉛華が、ゴムの着色用として需要が高まり、合成品が使われるようになりました。
- 合成品は、粒度が細かくなると同時に粒径分布がそろってしまいます。その結果として剥離が生じるようになりました。
- その原因は亜鉛石鹼の生成にあります。鉛白でも鉛石鹼は生成いたしますが、剥離には至りません。これは、亜鉛華が乾燥(油の酸化重合)までに時間がかかるために生成量が多いことが一つの原因かもしれません。鉛石鹼と亜鉛石鹼の界面活性の差など研究要素も多々あります。

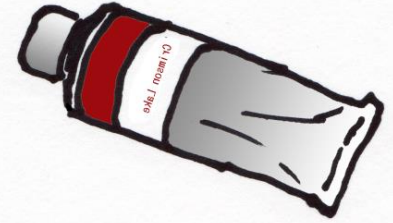


# 絵の具の毒性

- 無機顔料には、毒性の強い金属を含むものがたくさんあります。
  - カドミウムイエロー・カドミウムレッド: カドミウムCd
  - シルバーホワイト・ファンデーションホワイト: 鉛Pb
  - クロムイエロー・クロムオレンジ: クロムCr、鉛Pb
  - コバルトバイオレット、エメラルドグリーン: ヒ素As
  - バーミリオン: 水銀Hg
- 最近では、**・・ヒュー**とか**・・ノーバ**という名称で、毒性の少ない合成顔料を使うようになりましたが、発色のよさからどうしても毒性のあるものを使いたいときは、体内に取り込まれないよう注意して扱きましょう。



# 一部無機顔料がなぜ高い



- カドミウムレッドやカドミウムイエローは、チャイニーズレッドやパーマネントイエローに比し、数倍の価格で売られています。
- 原料のコストではなく、毒性のあるものを扱うため、環境保全コストやプロセスコストが高いことが原因だと思われます。
- 代替品は大量に出るので安くなっています。これに対し、カドミウム系顔料は少量生産です。
- カドミウム系の顔料は発色が代替品に比べ圧倒的によいので毒性にかかわらず高くても買う人がいます。それで、品薄となって市場原理で高いのではないのでしょうか。

# 描画中に使う乾性油

- リンシードオイル:リノレン油を主成分とするため比較的乾きやすい。やや黄色いので、白や薄い色の絵の具を変色させるので、絵の下層部に使うとよい。通常、テレピン油またはペトロールで薄めて、のびをよくして使う。
- ポピーシードオイル:リノール油を主成分とするので乾きが遅い(1週間程度)。無色なので絵の具の本来の色が出やすい。仕上げに使うのがよい。



# 透明メジウムほか



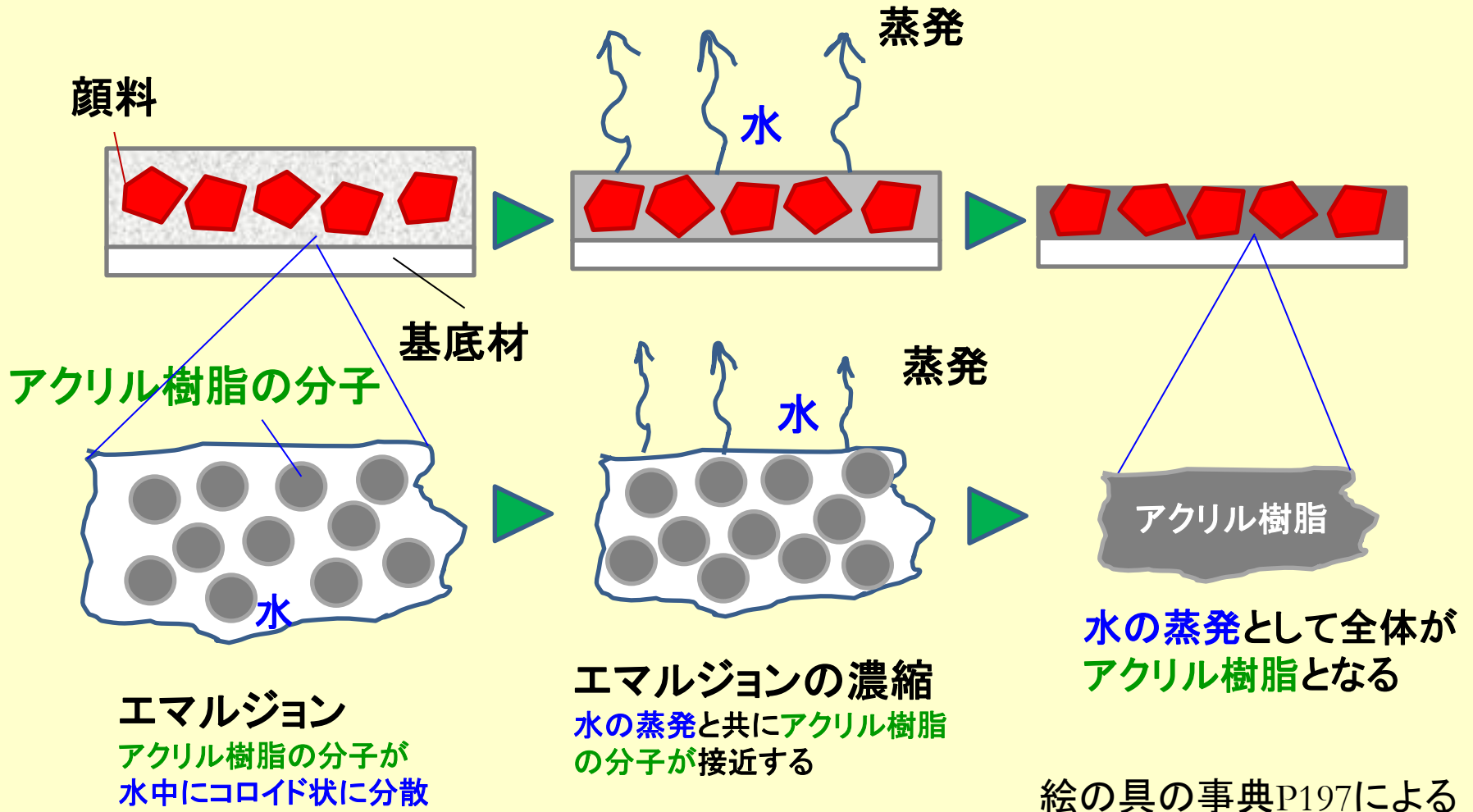
- メジウムは描画時に絵の具に加えることによって、増量・透明感・速乾の効果を得ることができます。
  - ストロングメジウムは、アルキド樹脂を主体としています。アルキド樹脂自身に速乾性があるため、見かけの乾燥が速く、しばしば速乾の目的に使われます。
  - 透明メジウムは、アルキド樹脂に加え、透明性を高めるために、ワックスを加えています。これを用いた画面の上に新たな画面を重ねると剥離することがあるので**要注意**。
  - ラピッドメジウムは、金属系の速乾促進剤が入っています。金属が触媒となって酸化重合を進め、乾燥を促進します。油絵具と等量以上混ぜると、数十分～数時間で乾燥させることができます。多用すると絵具表面にちりめんジワが生じることがあるので**要注意**。



# アクリル絵の具について

- アクリル絵の具は、顔料をアクリル樹脂のエマルジョンで練り合わせた絵の具です。
- エマルジョンというのは、液体中の別の液体粒子がコロイド粒子あるいはそれより粗大な粒子として分散して乳状になるものです。
- アクリル絵の具の特徴：
  - 速乾性：水の揮散により通常10-20分で乾く
  - 耐水性：水で溶いて使うが乾燥後は耐水性となる
  - 固着力：下地を選ばない（紙、布、木、コンクリート、皮革）
  - 柔軟性：伸縮性、屈曲性に優れ、作品を巻いてもOK
  - 耐久性：UV、外気の変化に強い。変色が少ない

# アクリル絵の具の乾燥



# アクリル使用上の心得

- 乾燥が早い
  - パレットには使う分量のみ出す。
  - パレット上の絵の具はラップで蒸発を防ぐ。
  - 筆は水に浸して置かないと固まって使えなくなる。
- 水分蒸発と共に乾燥後肉やせする
- 平滑面には付着しにくいのでプライマーを使う。
- 油絵の具や画用液と混ぜない。  
ただし最近発売されたアルキド油絵の具Griffin Fast Drying Oil Colour ( Winsor & Newton)は混色可
- ガッシュ、ポスターカラー、カラーインクとは混色可。

# ジェツソの活用

- ジェツソ(Gesso)の語源は石膏を表すイタリア語。転じて膠＋石膏の下地を表すようになる。
- ホワイトタイプに使われる顔料は酸化チタンと炭酸カルシウムの混合物、展色材はグロスメディウムをエマルジョン化したものを使う。溶媒には水を使う。
- 多孔性なので下地向き、上層には使わない方がよい。
- 速乾性なので、アクリルのみならず油絵の下地や厚塗りマチエールとしても活用できる。
- 水性なので十分乾燥せずに油絵の具を置くと剥離の原因になる。
- 油絵の具の上にジェツソを使うと、剥離や亀裂の原因となる。



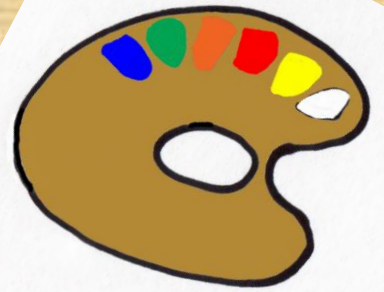


# 絵描きは科学者？



- 古来、絵描きたちは、絵の具や溶き油の性質を経験から習得し、それを絵画技法に活かしてきました。
- その経験には、科学的な根拠があったのです。
  - 化学(例えば絵の具中の乾性油の酸化重合)
  - 物理(例えばグレース手法における光の径路)
  - 生物(例えばヒトの目の仕組み)・・・
- 最近の絵の具は、合成された顔料が使われているので、経験に頼らずきちんとした知識をもっていることが重要です。

# おわりに



- 絵の具や油など画材の性質を科学的に理解した上で使うと、その効果を高めることができます。
- また、亀裂や剥離を防ぎ、長期的に安定な作品を制作するためにも、科学的な視点が必要です。さらに、毒性についての知識も持っていないといけないでしょう。
- 本講演が、絵画作品制作のヒントになれば幸いです。

# 謝辞



- このような講演の機会を頂きました一般社団法人日本画府樋渡涓二理事長に感謝します。
- 講堂をお貸し頂いた東京都美術館に感謝します。
- 絵の具の光学顕微鏡・電子顕微鏡写真や乾燥時間測定データ、塗り重ねの実験結果等をご提供頂いた桐野文良東京芸術大学教授に深く感謝します。
- この講演で使った資料の多くは、ホルベイン工業技術部編「絵具の科学」および「絵具の事典」によりました。ここに感謝します。