

絵画技法と画材の話

佐藤勝昭

東京農工大学名誉教授・工博
科学技術振興機構(JST)研究開発戦略センター特任フェロー
一般社団法人日本画府理事

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：厚塗りで色彩を重視します。
- 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(SB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、絵の具に成分の着色成分・固着成分の物理・化学的な性質を実例をまじえながら解説します。



画材・技法を科学する

▶ 絵の具の科学

- 絵の具の成分は着色成分、固着成分 + a
- 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
- 絵の具の乾きかたの違い：乾性油の分子構造

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

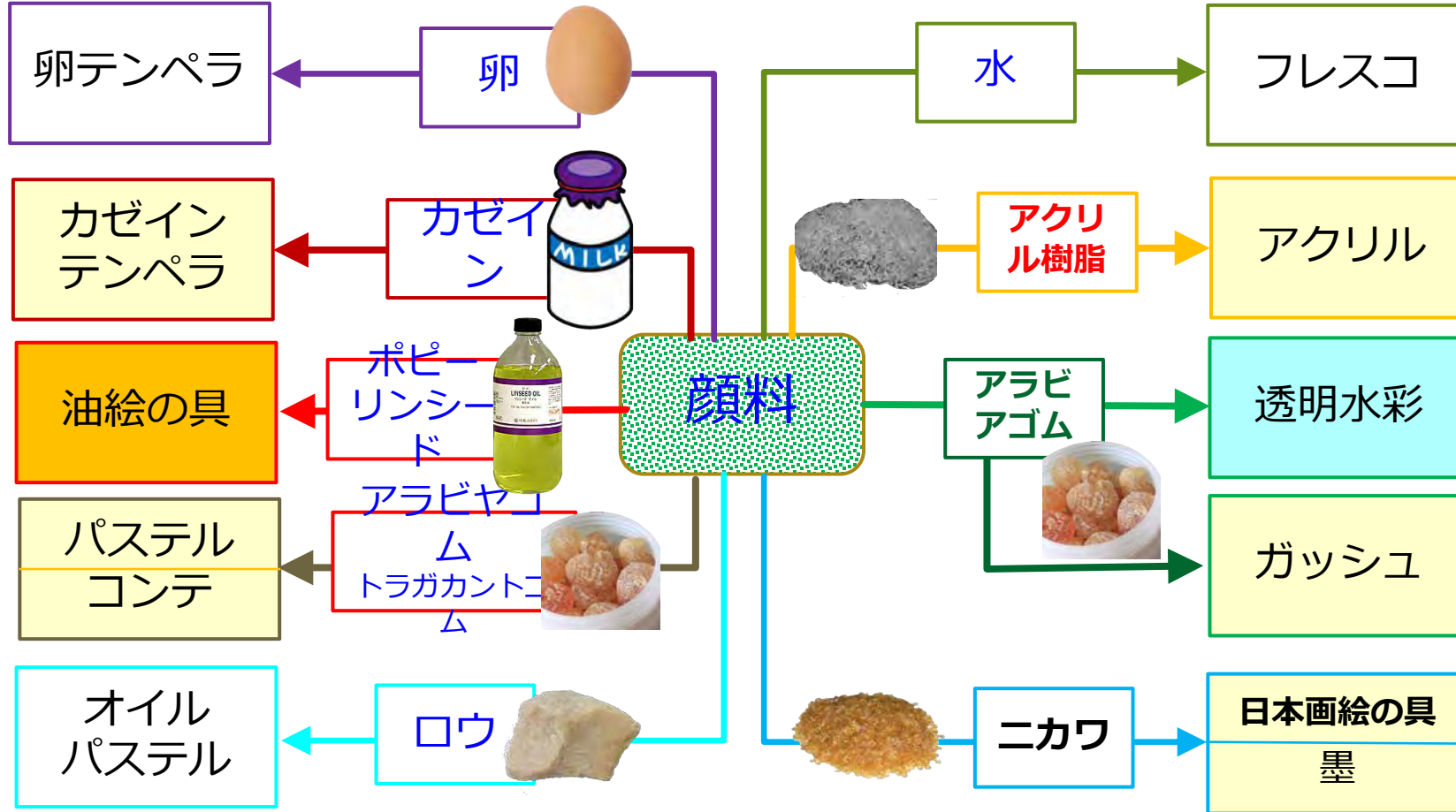
- ▶ 着色剤（顔料）
 - ▶ 無機顔料
 - ▶ 天然無機顔料
 - ▶ 合成無機顔料
 - ▶ 有機顔料
 - ▶ アゾ顔料
 - ▶ 多環顔料
 - ▶ レーキ顔料
 - ▶ 染料と金属を結合

展色材

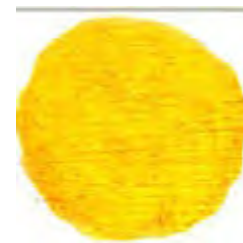
- ▶ 固着材
 - ▶ アラビアゴム（水彩）
 - ▶ 膠（日本画）
 - ▶ 乾性油（油彩）
 - ▶ アクリル樹脂（アクリル）
- ▶ 溶剤
 - ▶ 水
 - ▶ テレピン油
 - ▶ ペトロール



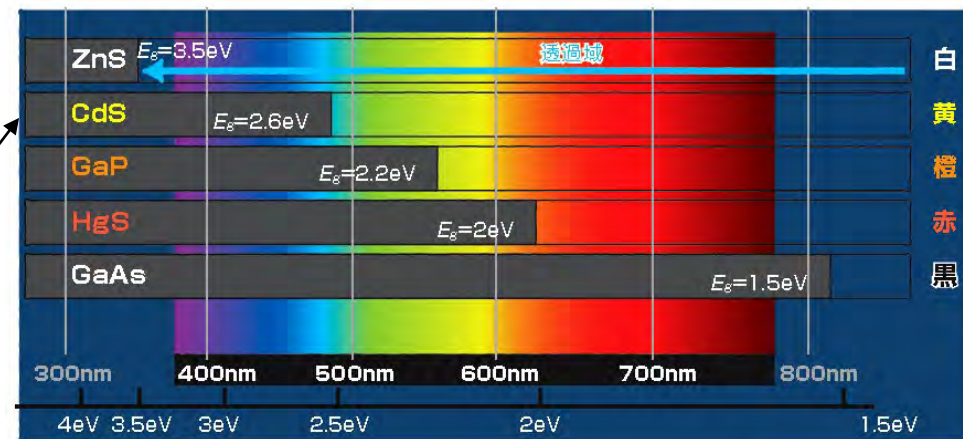
固着成分から見た絵の具の分類



知っていますか？ 選択吸収の例 カドミウムイエロー



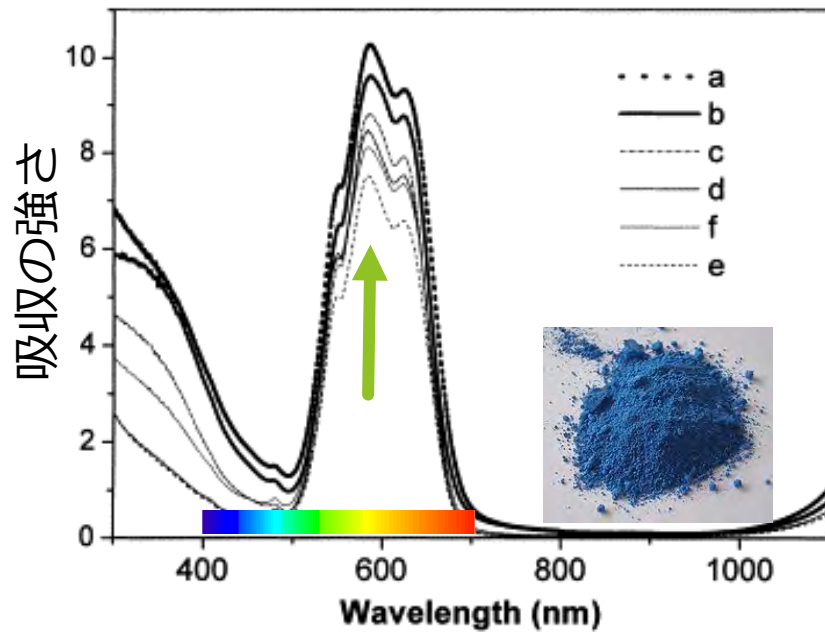
- ▶ 半導体には。ある波長より短い光を強く吸収する性質があります。このため半導体の色は吸収された色の補色です。
- ▶ 硫化亜鉛 (ZnS) のバンドギャップは3.5eVなので、光学吸収端の波長354nmより短い光が吸収されそれより長い波長は全部透過します。このため、可視光のすべての波長が透過するので無色透明で、粉末は白です。
- ▶ 硫化カドミウム (CdS) では $E_g = 2.6\text{eV}$ に相当する波長477nmより短波長の紫と青が吸収され、赤から緑の波長が透過するので黄色です。



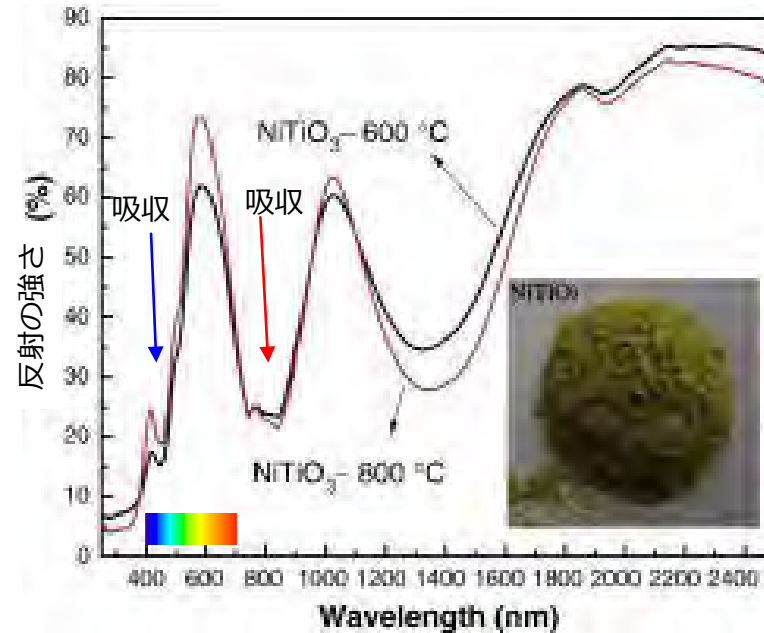
化学式	鉱物名	絵の具名	バンドギャップ (eV)	色
C	ダイヤモンド	—	5.4	無色
ZnO	紅亜鉛鉱	ジンクホホワイト	3	無色
CdS	硫カドミウム鉱	カドミウムイエロー	2.6	黄
CdS _{1-x} Sex	—	カドミウムオレンジ	2.3	橙
HgS	辰砂	パーミリオン	2	赤
HgS	黒辰砂	—	1.6	黒
Si	—	—	1.1	黒
PdS	方鉛鉱	—	0.4	黒

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

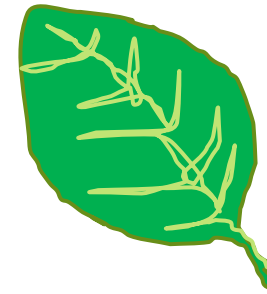


コバルトブルー： CoAl_2O_4
コバルトイオンの配位子場遷移の吸収が赤～緑に存在



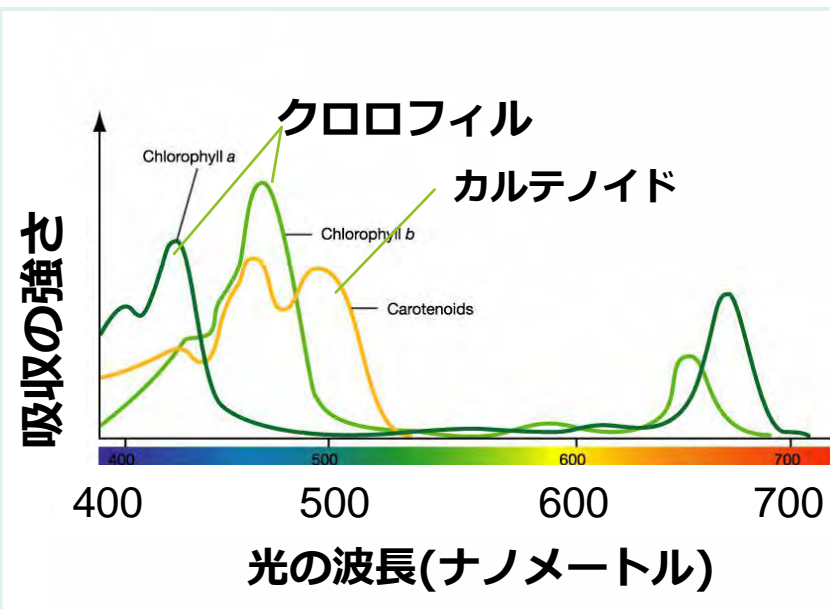
レモンイエロー：チタン酸ニッケル
ニッケルイオンの配位子場吸収が近赤外と青に存在

知っていますか？ 選択吸収の例 葉っぱの色



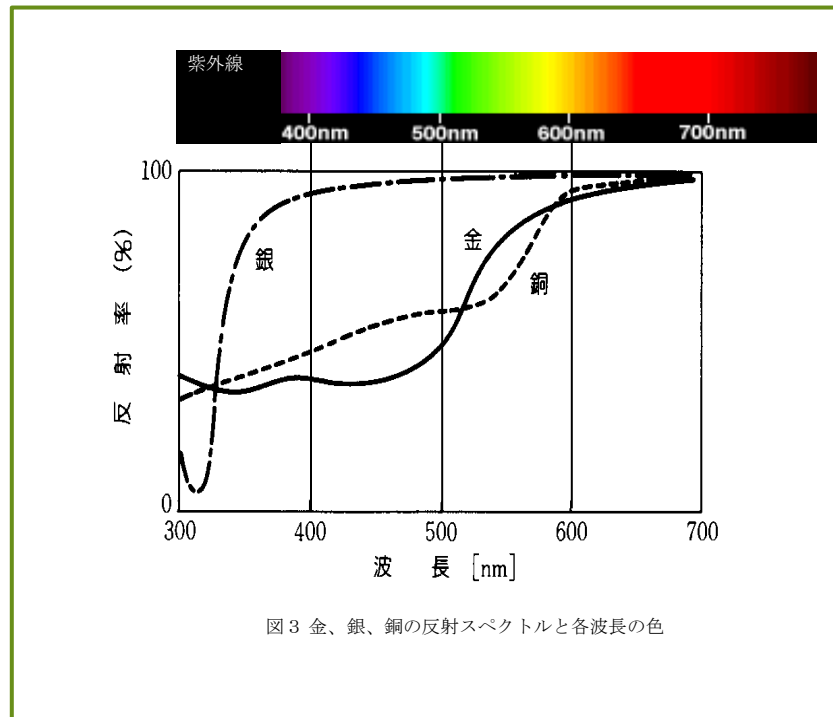
- 葉っぱにはクロロフィルという色素が含まれていて光合成に寄与します。
- グラフは、クロロフィルとカロテノイドの吸収の強さを波長に対して描いたもので、吸収スペクトルといいます。
- クロロフィルは、赤と青を吸収するので透過・散乱した光は緑になります。

- 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。

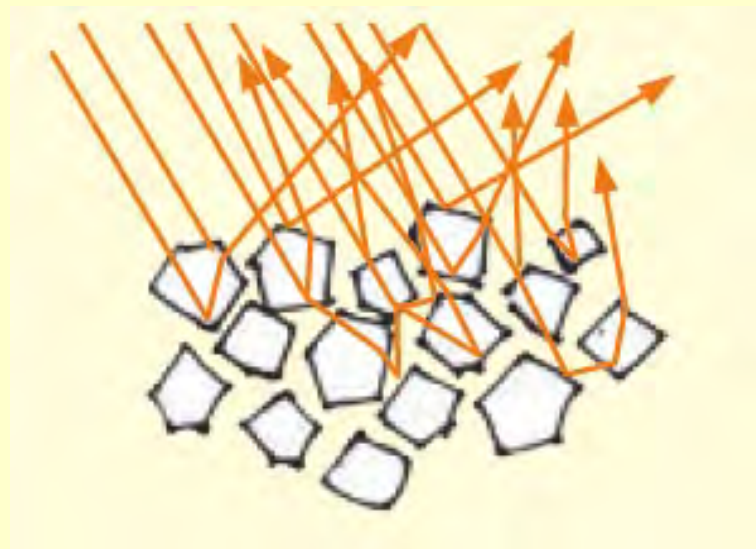


- 銅は橙色より波長の長い橙、赤はよく反射しますが、橙付近で反射は急落し、黄緑より短い光の反射率は低くなります。それで、銅は赤色を選択反射しますが、青から緑の光も50%程度反射するので、白っぽい赤色を示すのです。
- 金は、黄緑より長波長で高い反射率をもち、緑付近で急落します。青から紫にかけての反射率は40%程度に下がっており、この結果、目には黄色に見え反射率が高いので映り込みがあり、複雑な色に見えるのです。
- 銀は、可視光全ての波長領域において高い反射率を示し、RGB全てが等しく刺激されるため反射光は着色せず、単なる鏡の面となるのです。

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、こなごなに砕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。









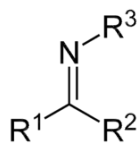
有機顔料

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。

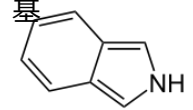
- ▶ **アゾ顔料**：アゾは有機化合物の基で $-N=N-$ の結合を表します。
- ▶ 多くの赤～黄の顔料に使われていますが、これは、窒素の共役によって、強い吸収（HOMO-LUMOギャップ間遷移）が青の領域に生じるためと考えられます。
- ▶ **多環顔料**：アゾ顔料に比し耐久性が高い。
- ▶ このうち銅フタロシアニンは青～緑の有力な顔料です。銅イオンに固有の配位子場遷移を使います。
- ▶ キノン構造を有するアリザリンは染料ですが、レーキ化して顔料として用います。

さまざまな有機顔料

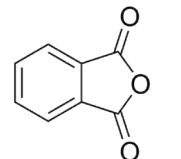
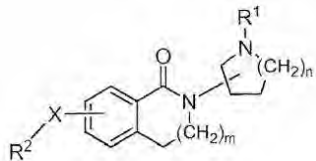
- 赤  アントラキノン、キナクリドン、ジケトピロロピロール、ペリレン、ペリノン、インジゴイド
- 橙  ジケトピロロピロール、ペリレン、アントラキノン (アントロン)、ペリノン、キナクリドン、インジゴイド
- 黄  イソインドリノン、キノフタロン、イソインドリン、アントラキノン、アントロン、キサンテン
- 緑  フタロシアニン、アゾメチン、ペリレン
- 青  フタロシアニン、アントラキノン、インジゴイド
- 紫  ジオキサジン、キナクリドン、ペリレン、インジゴイド、アントラキノン (、アントロン)、キサンテン



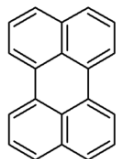
シッフ塩基



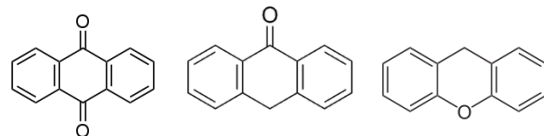
イソインドール



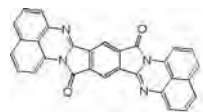
キノフタロン



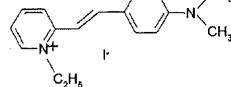
ペリレン



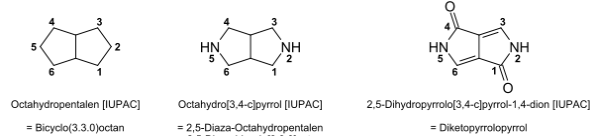
アントラキノン アントロン キサンテン



ペリノン

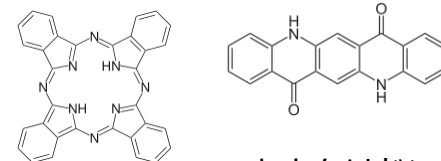


インジゴイド



Octahydropentalen [IUPAC] = Bicyclo(3.3.0)octan
 Octahydro[3,4-c]pyrrol [IUPAC] = 2,5-Diaza-Octahydropentalen = 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



フタロシアニン キナクリドン

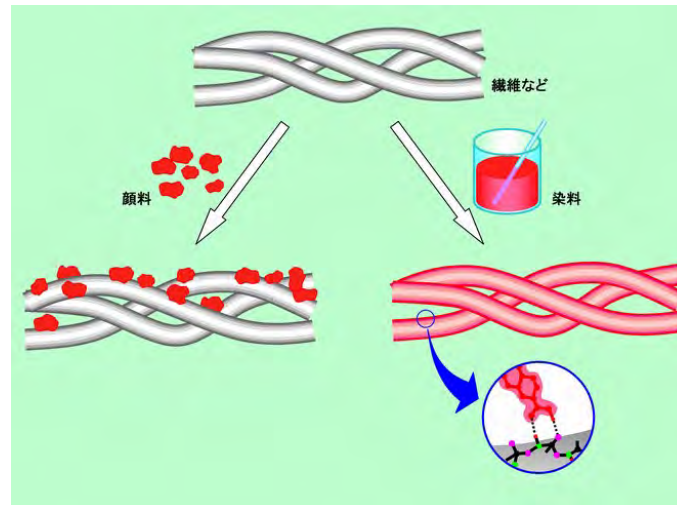
染料と顔料は何が違う？

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

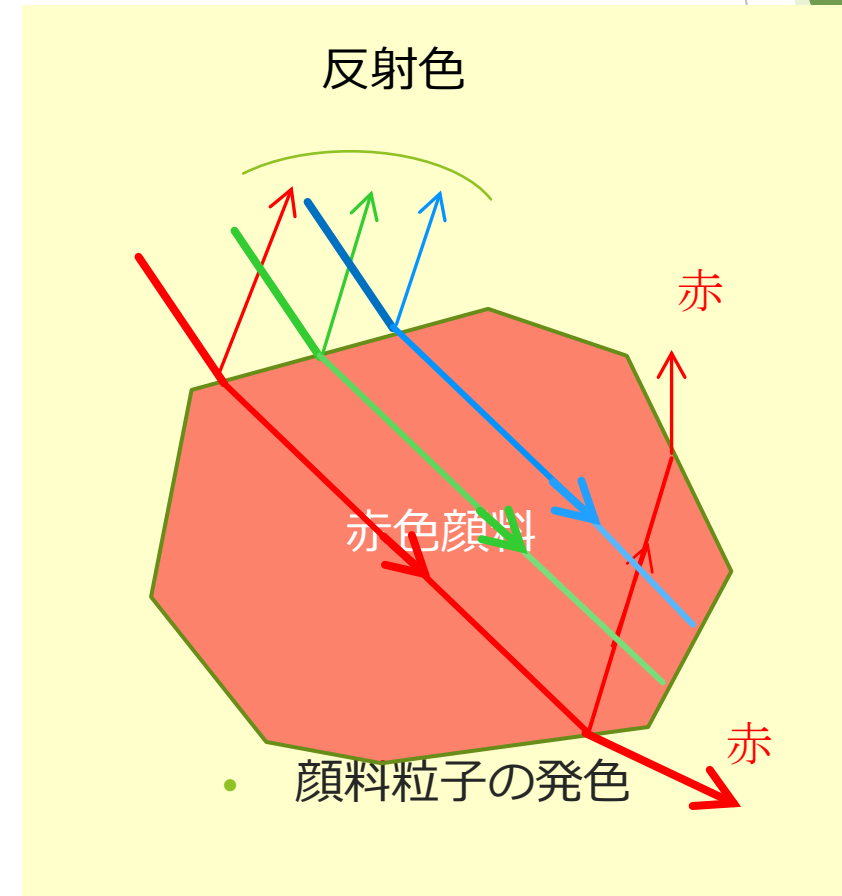
染料

- ▶ 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



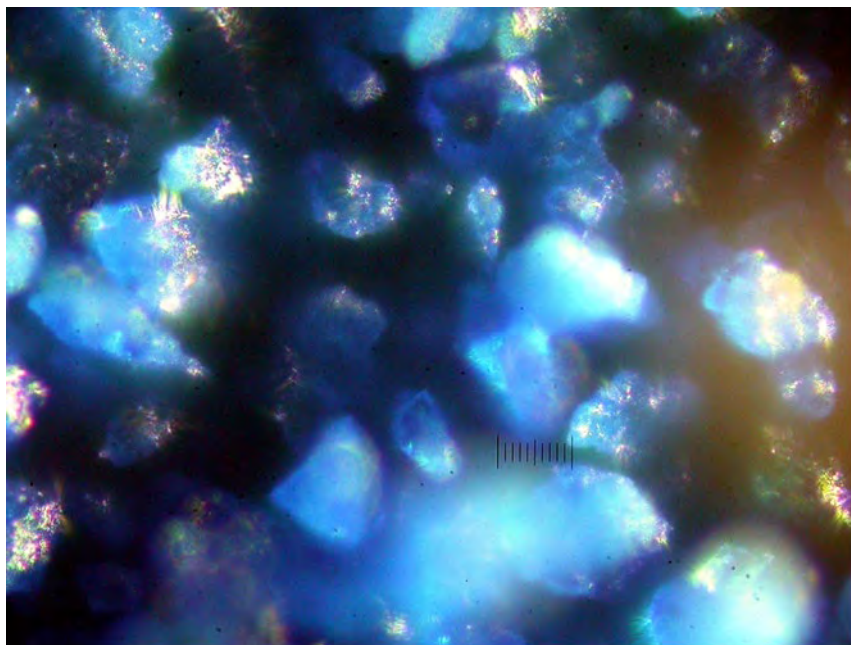
顔料粒子の色は 透過色と反射・散乱色の混色

- 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

▶ 青：アズライト(藍銅絨)



50 μ m



▶ 赤：ベンガラ(酸化鉄)



20 μ m



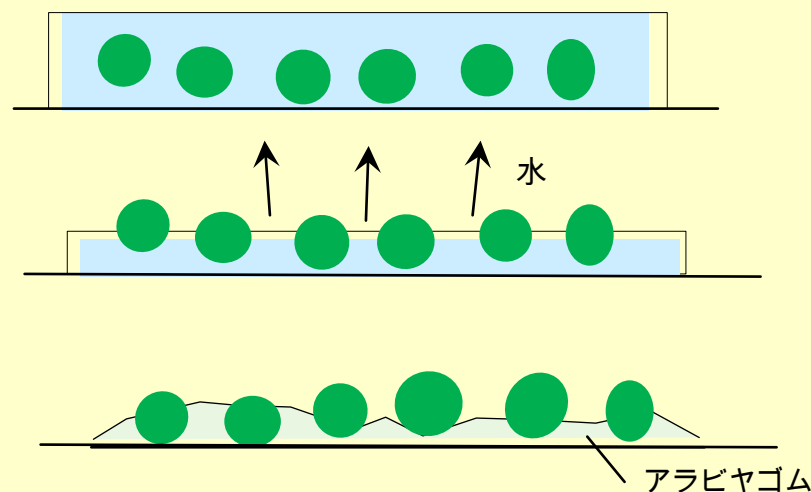
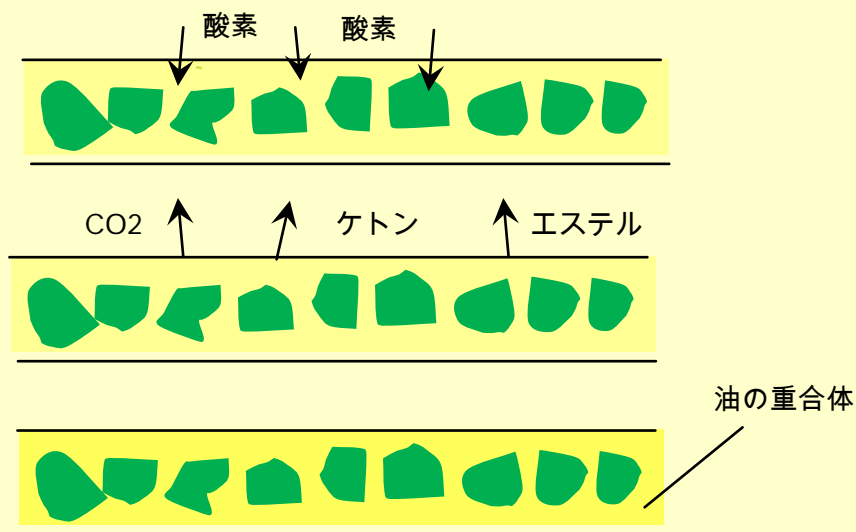
光学顕微鏡像

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

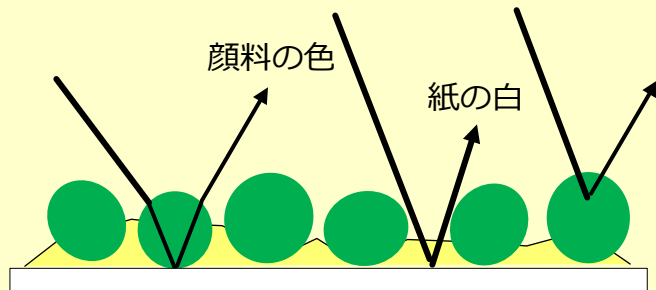
- 油絵：展色剤の乾性油が空気中の酸素を仲立ちとして重合し固化します。
化学反応によって乾くのです。
- 水彩：展色剤は糊を水に溶かしてあり、乾くと水が蒸発して、顔料粒子を下地に固着します。



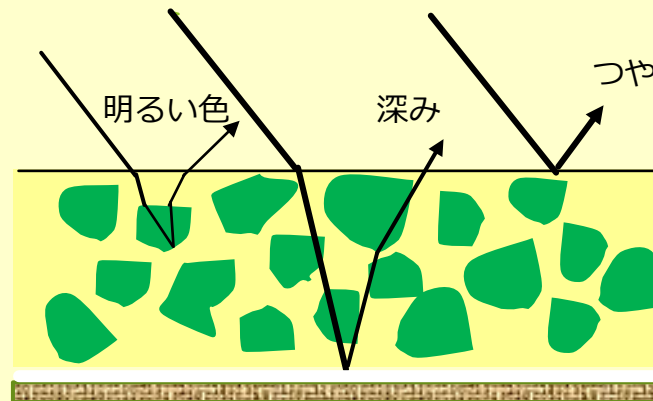


知っていますか 水彩と油絵の発色のちがい

- 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。

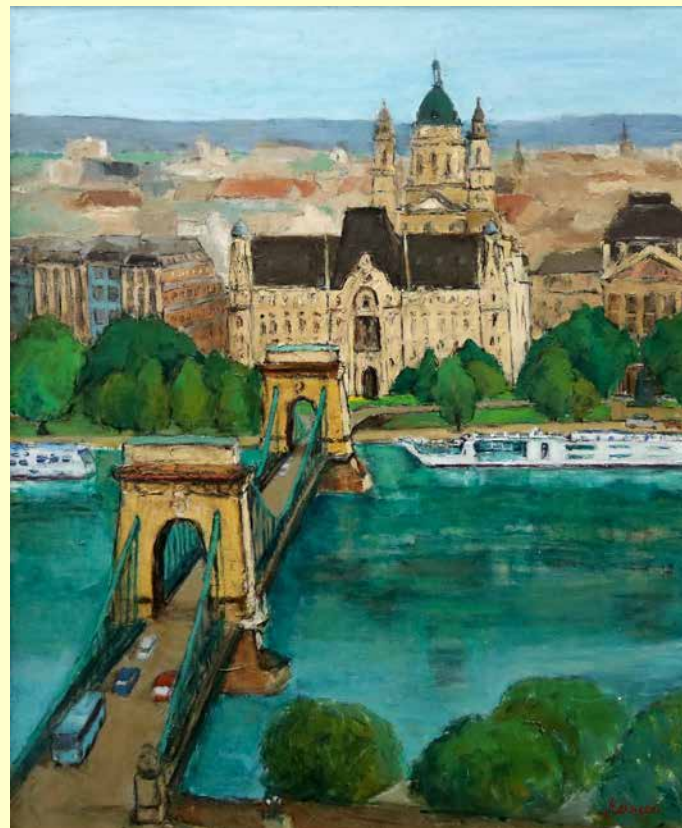


水彩と油彩

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。



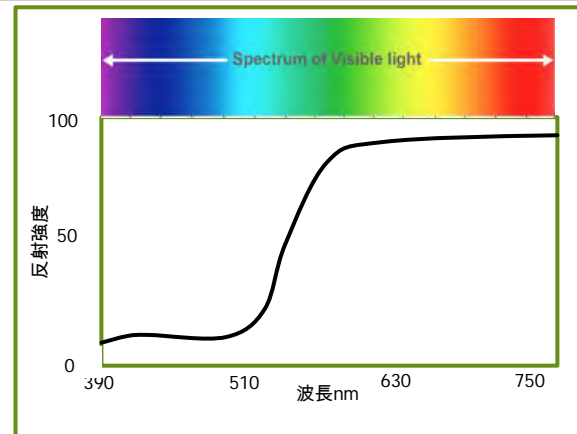
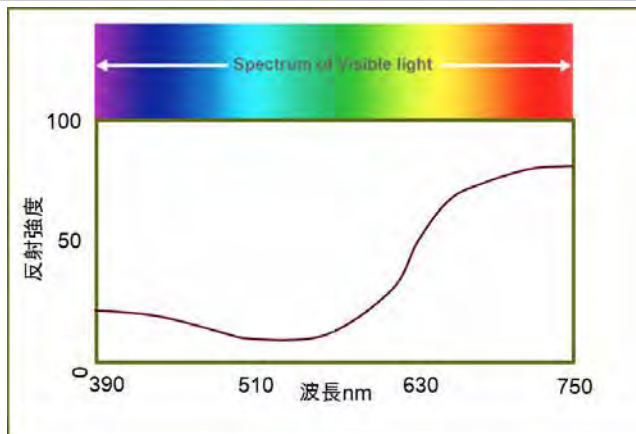
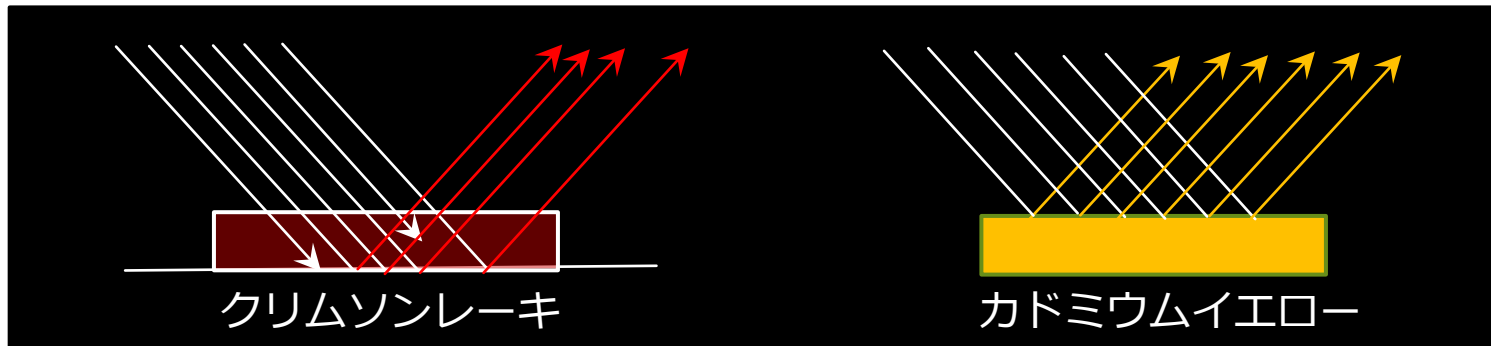
油彩では暗い色を下に置いて、明るい色を塗り重ねて、材質感を出すことができます。ごつごつした石造りの建物の質感は、厚塗りとグレイズの組み合わせで作っています。



透明色と不透明色

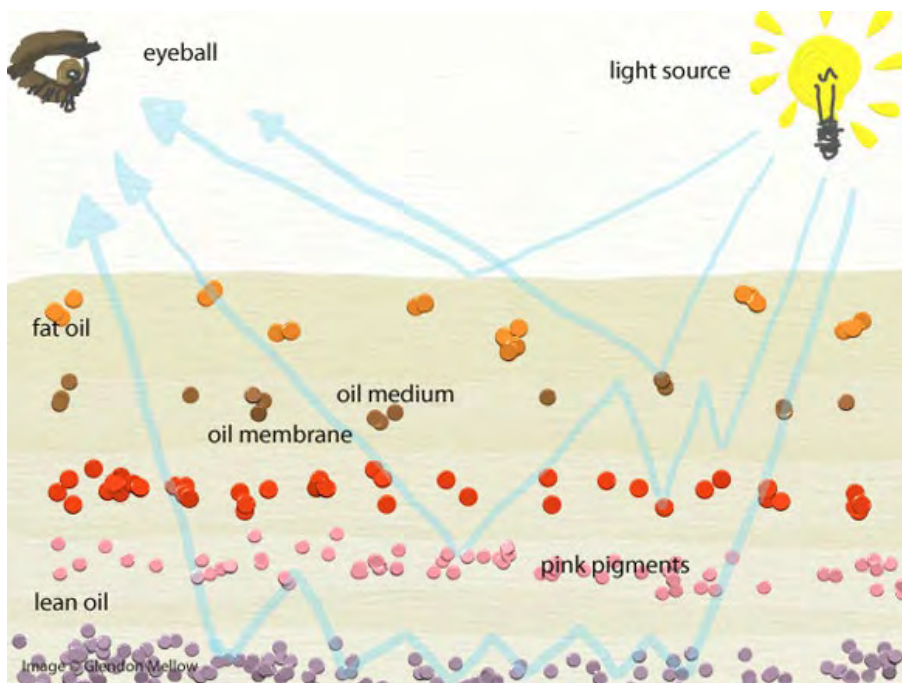
- 透明色：入った光より出てくる光が少ないので暗く見える

- 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



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。



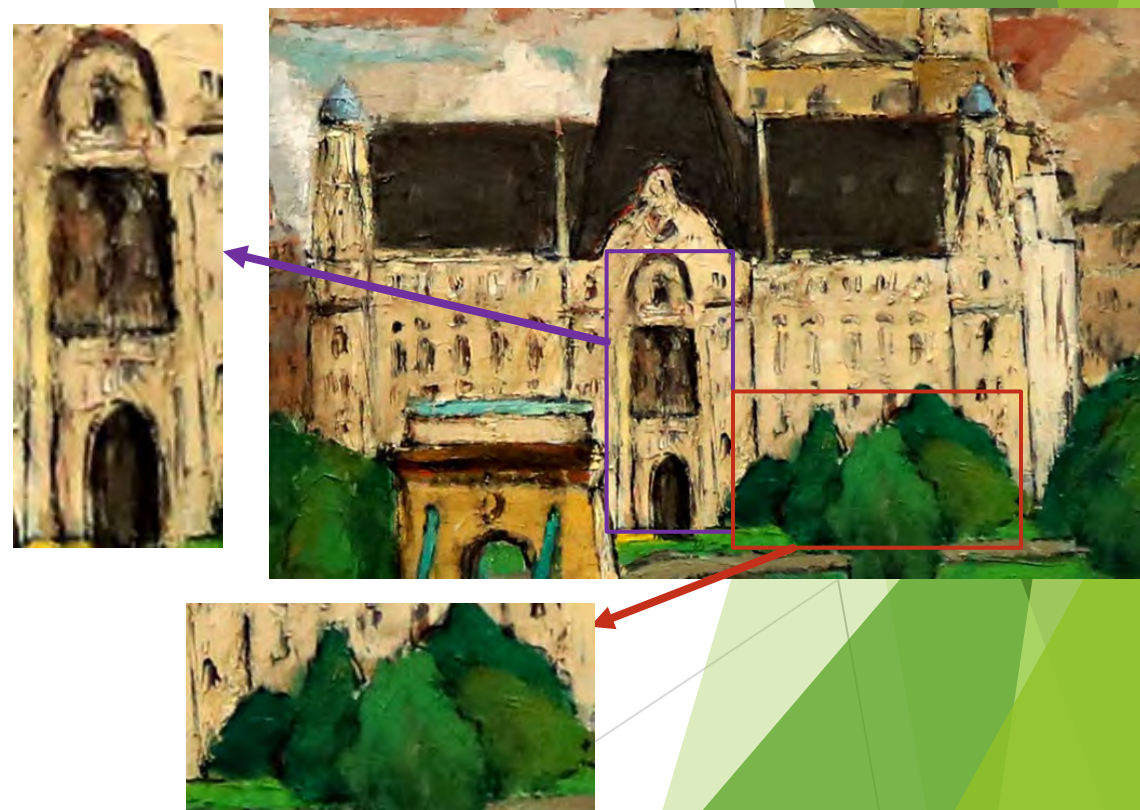
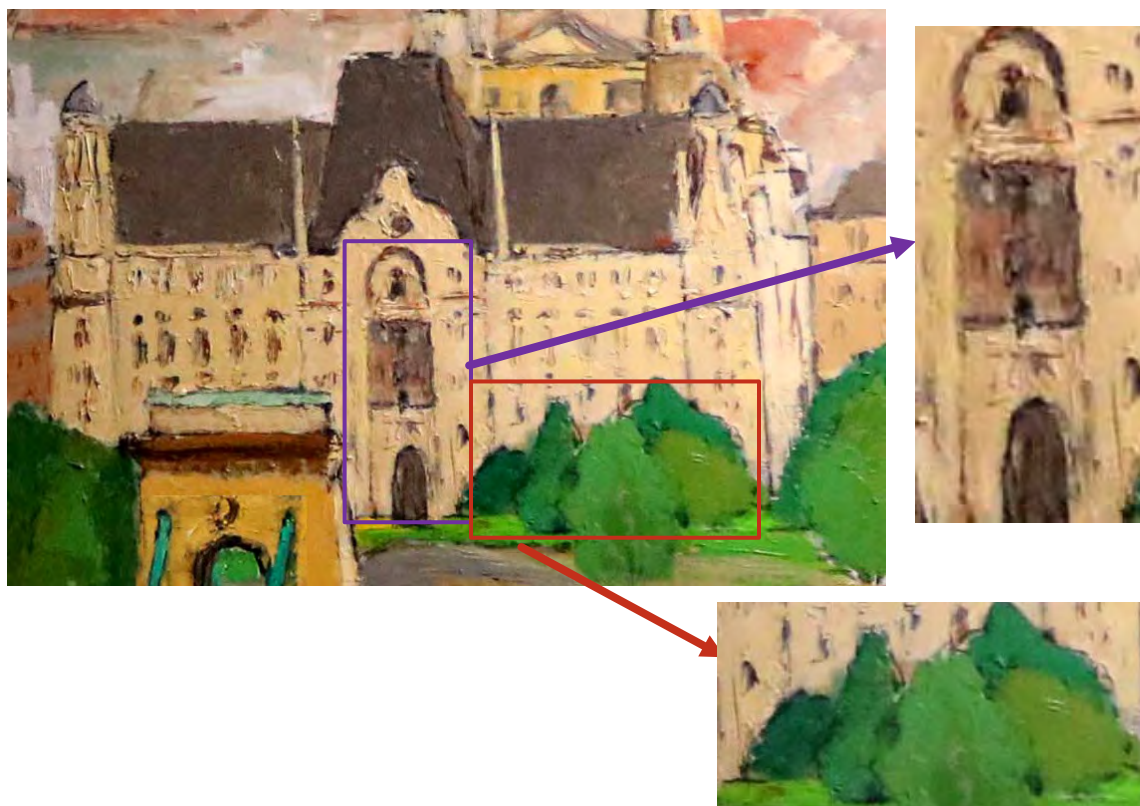
<http://blogs.scientificamerican.com/symbiartic/2011/08/02/the-chemistry-of-oil-painting/>

- ▶ 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。

グレース技法の例(1)

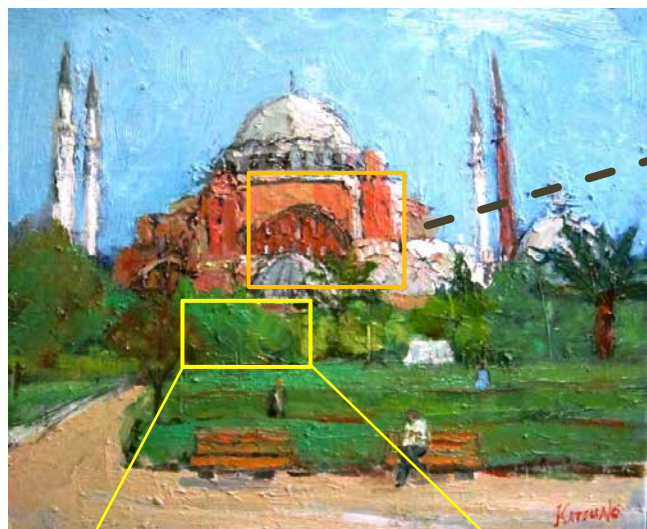
グレース処理前

グレース処理後



グレース技法の例(2)

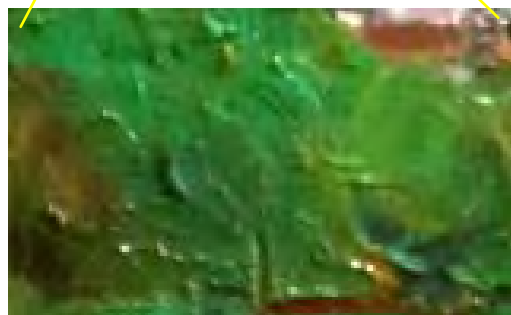
グレース処理前



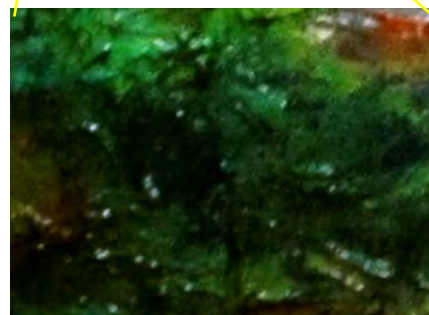
グレース処理後



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

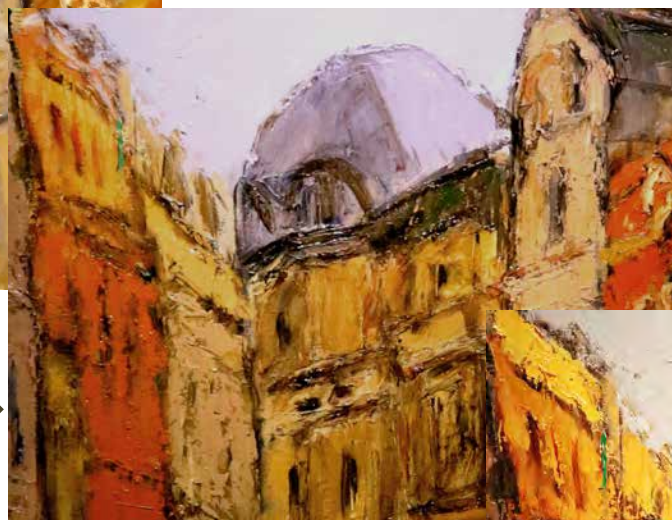


グレース処理でつやと深みと立体感が出ます。

塗り重ね技法の例



最初の塗り
薄っぺらな感じ



ペインティング
ナイフで塗り重ね



グレース処理後さらに塗りがさね

セピアでグレース処理

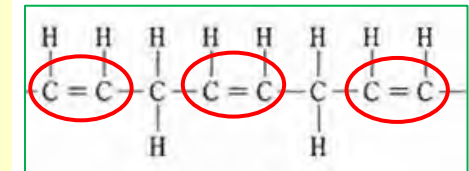
知っていますか絵の具の乾き方の違い



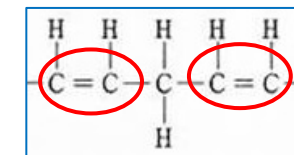
なぜ絵具によって乾きやすさが違うの？

(1)展色剤の乾性油によるちがい

- ▶ 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**している部分がないけません。
- ▶ アマニ油（**リンシード**）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。



リンシード



ポピー

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	リノール酸	リノレン酸
リンシード	6.3	3.2	16.6	14.2	59.8
ポピー	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



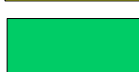



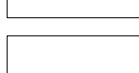


油絵の具の展色材

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
	バートシエンナ
	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

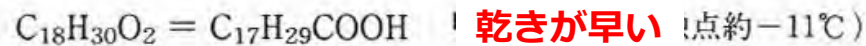
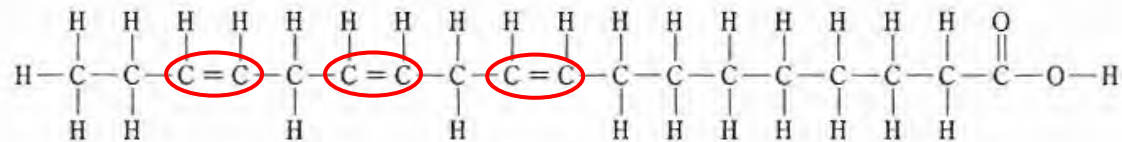
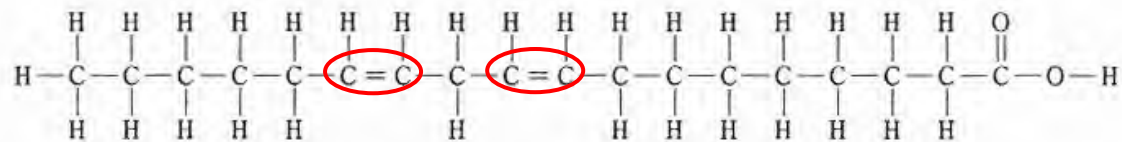
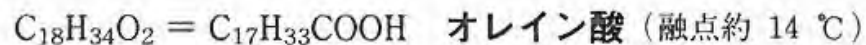
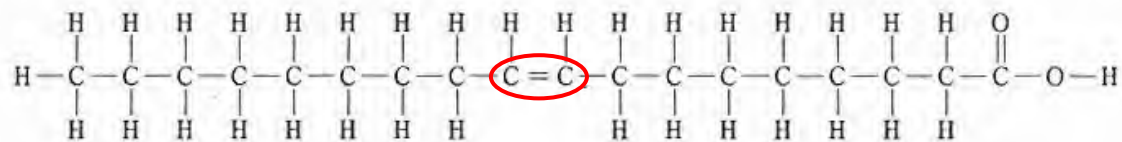
	カドミウムイエロー
	パーマネントイエローライト
	エメラルドグリーンノーバ
	コバルトブルーペール
	コバルトバイオレット
	チタニウムホワイト
	シルバーホワイト
	ジンクホワイト
	パーマネントホワイト

乾きが遅い

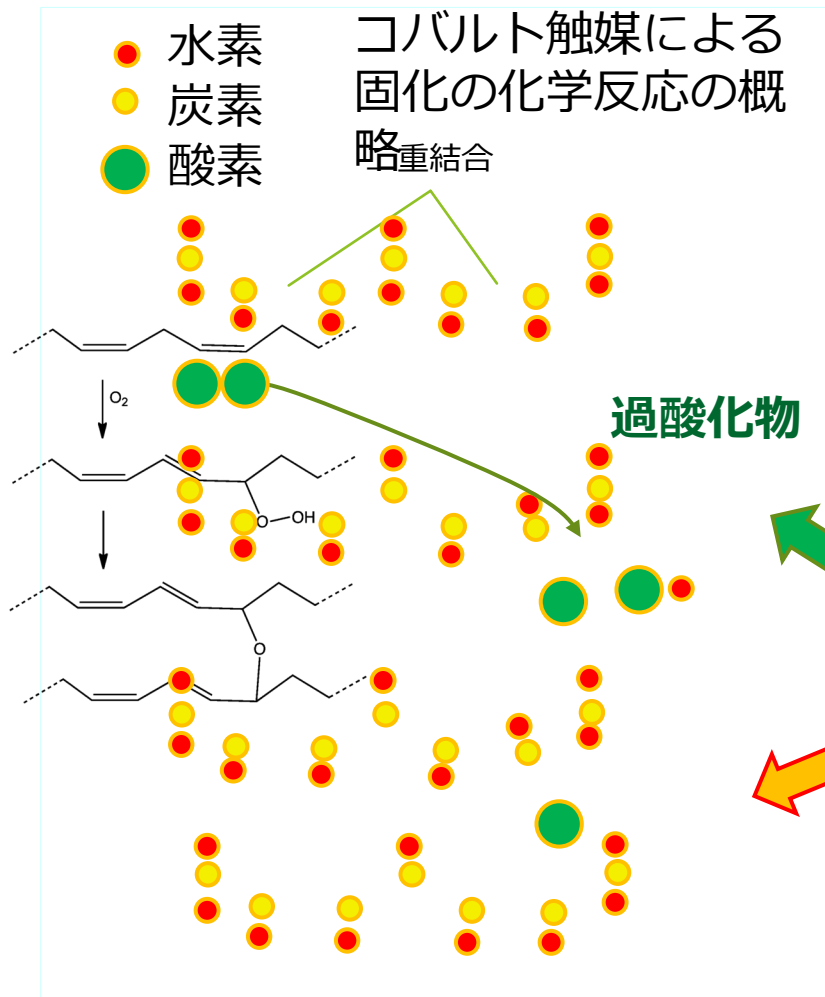
二重結合が 乾性油を固化



- ▶ 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不安定で、空気中の酸素と徐々に結びついて酸化され、**過酸化物**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。

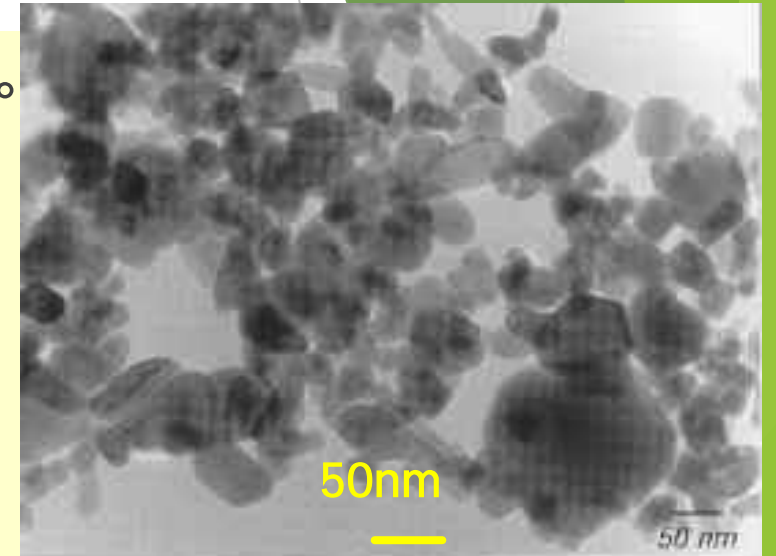
最初に二重結合が酸素により酸化され過酸化物を形成する。

次に、**過酸化物**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

(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。
- ▶ 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、ジンクホワイトの酸化亜鉛は粒子が細かいため吸油量が多い。一方、シルバーホワイトの炭酸鉛やチタンホワイトの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。

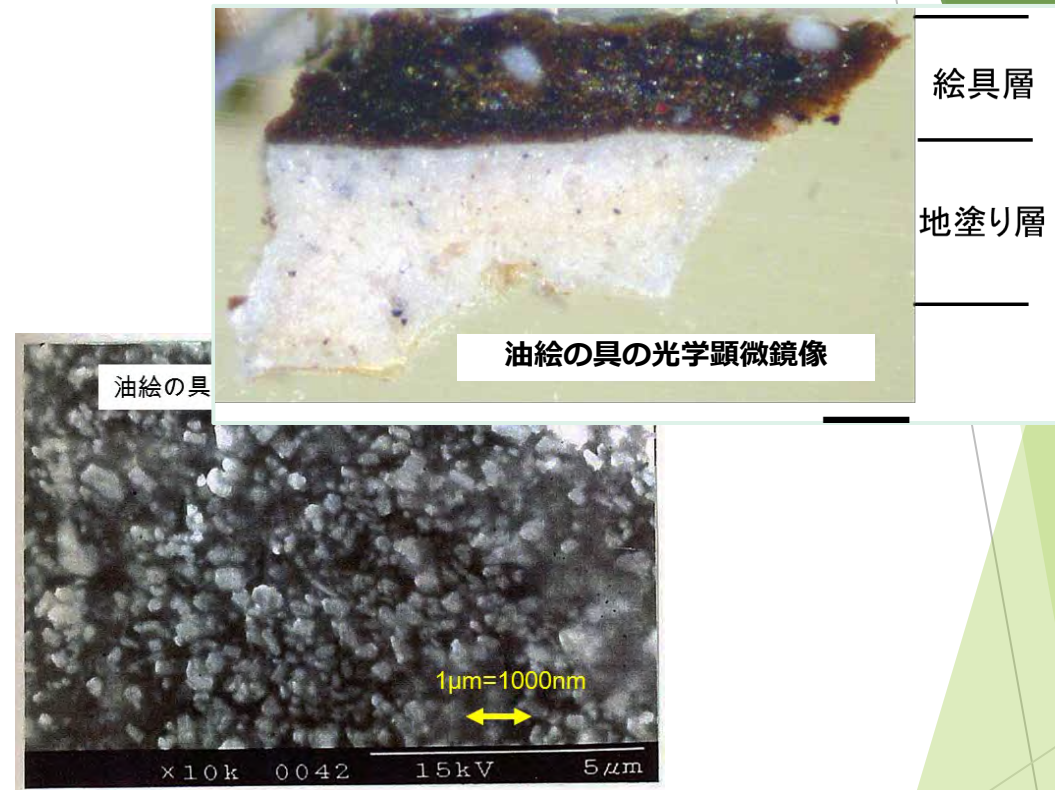


ジンクホワイトの透過電子顕微鏡写真
粒子径は数nmから数百nmに分布する

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

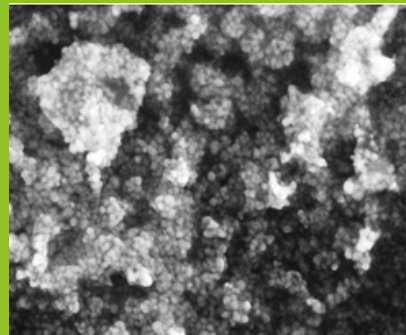
顔料粒子の寸法

- ▶ 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 CO_2 を吸って弱酸になって乾燥を遅くします。



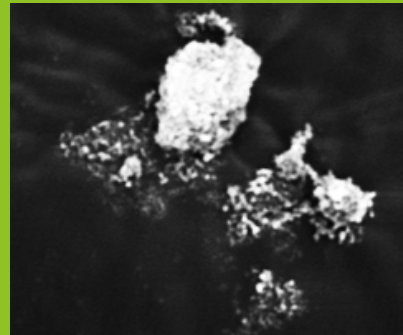
絵の具の粒径・吸油量と乾燥時間

色名	顔料	粒径 (μm)	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 (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



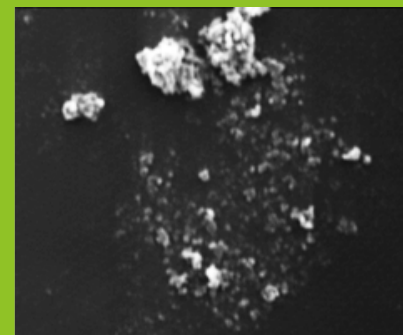
5 μm

チタニウム
ホワイト



5 μm

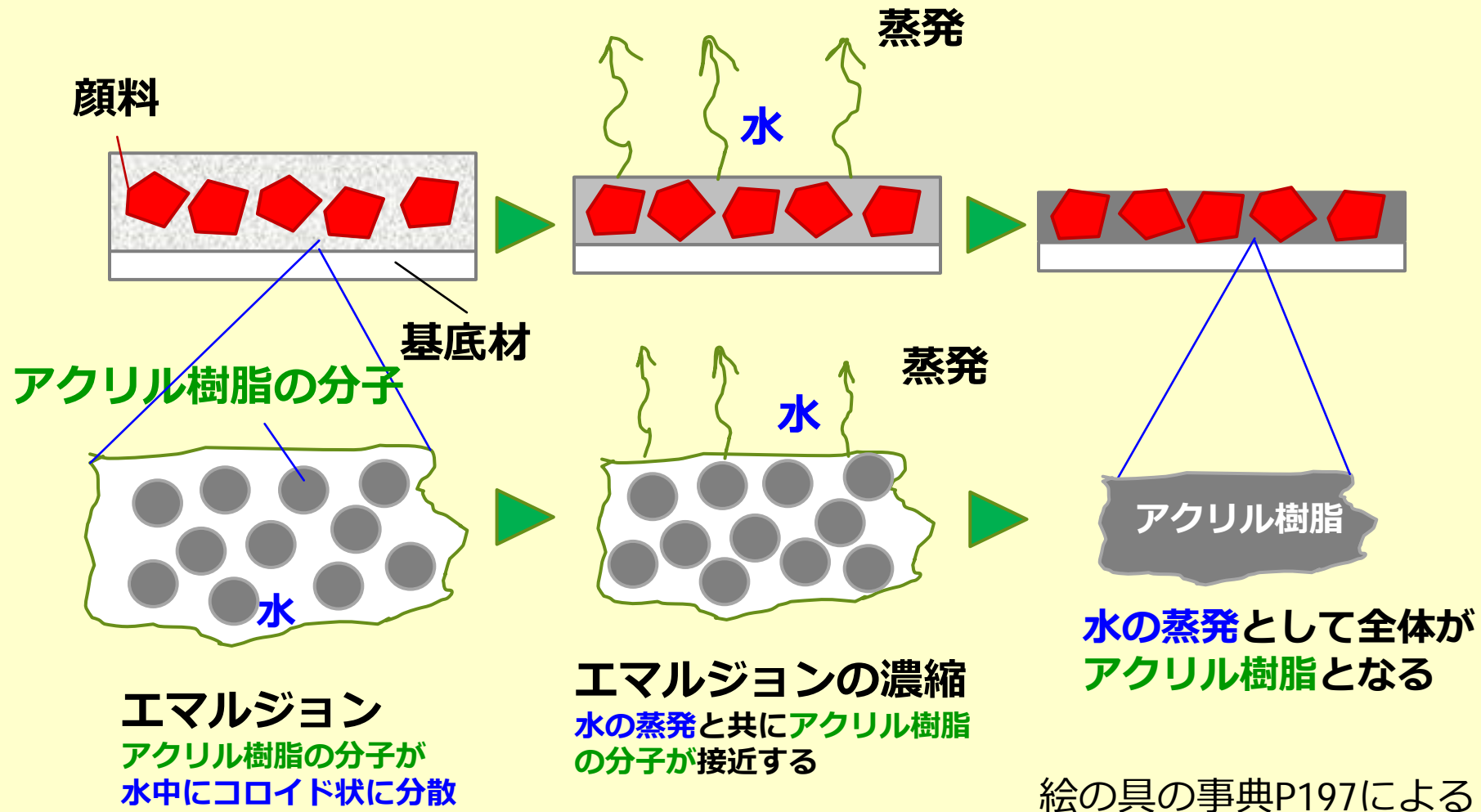
コバルトブルー
ディープ



5 μm

パーマネント
イエローライト

アクリル絵の具の具の乾燥



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。

ジェッソの活用

- ▶ ジェッソ(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**マチエラー**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ッソを使うと、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（例えばグレース技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知った上で使うと、その効果を高めることができます。
- ▶ 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。