

4. 鉱物の世界（Ⅱ）

・さまざまな外観の鉱物

鉱物と宝石

鉱物と宝石の関係については、表4-1 のとおり、鉱物が1種類にもかかわらず数種の宝石が相当していることがわかります。これは主に色調の違いにより宝石名が別々につけられているためです。

鉱物の色調が照明により変化するものがあります。アレキサンドライト（Alexandrite）と呼ばれる宝石（鉱物名はクリソベリル:Chrysoberyl）が代表例で、緑色から赤色に変化します。この現象は、変色効果（Color change effect）と呼び、その変色理由は、鉱物と光源の分光パターンを重ね合わせると理解することができます。光源にも様々なものがあり、例えば蛍光灯には、白熱電球や太陽光に近いものがあります。アレキサンドライトは白熱電球の光で赤色、太陽光では緑色に見えます。この色調の変化が、他の鉱物よりはっきりしているということです。言い換えれば、鉱物（植物・動物）の色は、種類の異なる光源では違って見えるということです。

さらに、鉱物を研磨加工した宝石に見られる現象で、猫目効果（Chatoyancy）やスター効果（Asterism）と呼ばれる光の特殊効果があります。これらの特殊効果の名称を、宝石の接頭語や接尾語として使われます。

代表的な特殊効果は、猫目（cat's eye）のような外観のもので、クリソベリル・キャッツアイと呼ばれています。これは、一方向に針状・管状の内包物（inclusion：インクルージョン）をもつものや繊維状の成長をしているものを、カボション・カット（山型に研磨）することで、その内包物や成長の方向に直交して光の反射が見られる現象を利用した宝石です。このような特殊効果を示す宝石は次のとおりです。

オパール、オブシディアン、ジプサム、アイオライト（コーディアライト）、クォーツ、タイガーアイクォーツ、ホークスアイクォーツ、スキャボライト、アクアマリン、エメラルド、ネフライト、ペクトライト、プレーナイト、アクチノライト、トルマリン、アパタイト、シリマナイト、マラカイト、エンスタタイト、コーネルピン、ダイオブサイド、クリソベリル、アレキサンドライト、ルビー、サファイア、ジルコンなどです。

これらの中からクリソベリル・キャッツアイ以外で流通している宝石の中で3種類を紹介します。

1) ジムサム（Gypsum 石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ 単斜晶系）

繊維状のジプサムは、カボション・カットされ、キャッツアイを示します。サティン・スパー（satin spar）とも呼ばれます。また、ジムサム（石膏）で、透明なものをセレナイト（selenite）、微細な集合体をアラバスター（alabaster）と呼ばれます。硬度が低いため、さまざまな形に加工されます。

産地：エジプト、イギリス、イタリア。

名前の由来：ジプサムは古代のギリシャ語 gypsos、セレナイトはギリシャ語 selene（月という意味）、アラバスターはエジプトの産地名の Alabastro から。

2) アパタイト (Apatite 磷灰石 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$ 六方晶系)

青色透明のブラジル産アパタイトは大変魅力的な色調です (図4-1)。黄色のものはメキシコ産などがあります。キャッツアイを示すものがあります。

産地：(青色)：ブラジル，ミャンマー，インド。(黄色)：メキシコ，カナダ
ブラジル。(キャッツアイ)：ブラジル，ミャンマー。

名前の由来：ギリシャ語の apate (惑わす) という意味で，野外で他の鉱物と間違えられやすいため，この名があります。

3) シリマナイト (Sillimanite 珪線石 Al_2SiO_5 直方晶系)

繊維状 (fibrous) の形態からファイブロアイト (fibrolite) とも呼ばれます。その繊維状からキャッツアイを示すものがあります (図4-2)。同じ化学組成で結晶構造が異なる (多形と呼ぶ) ものである，カイアナイトとアンダリュースサイトがありますが，これらとは外観がかなり異なります。

産地：ミャンマー，スリランカ，インド，ケニア，アメリカ，カナダ，ブラジル，南アフリカ。

名前の由来：化学者で地質学者でもあった Benjamin Silliman (1779-1864) に因んで。

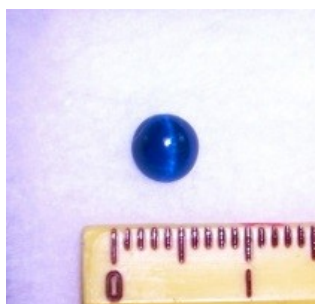


図4-1 アパタイト・キャッツアイ



図4-2 シリマナイト・キャッツアイ

オパールの色調

鉱物に見られる外観の特徴の中で，オパールが示す遊色 (Play of color) 効果は，照明 (光源) の影響を最も受ける現象です。即ち，太陽光線では綺麗な遊色を示しますが，特定の波長を持つ光源では，綺麗な遊色は期待できません。最近のLED (発光ダイオード：light emitting diode) と太陽光線との違いに気を付ける必要があります。

さて，オパールは回折により遊色という現象を示します。他の鉱物のように着色元素を含むものではありません。その元素が主成分に含まれているものを自色 (idiochromatic color) 鉱物，微量成分として含まれているものを他色 (allochromatic color) 鉱物と呼びます。ところが，オパールは，それらのような成分には無関係です。

オパールの着色原因については，サンダース (Sanders) らが 1964 年に発表しましたが，Bragg 父子が発見したX線の回折現象であるブラッグの法則 (Bragg's law) を可視光線に応用したものです (76 頁参照)。即ち，X線回折で現れるピークの位置が，可視光線が

強められたものに相当するということです。X線回折では元素を球と考えていますが、オパールもその表面をフッ酸で処理すると図 4-1 のように小さな粒子の集合体であることが分かり、これを原子の配列と同じように考えて、回折現象により特定の可視光線を強める、という考えです。

球が大きいほど可視光線の長い波長（赤色）、小さいほど短い（青色）が見られる、ということを説明しています。

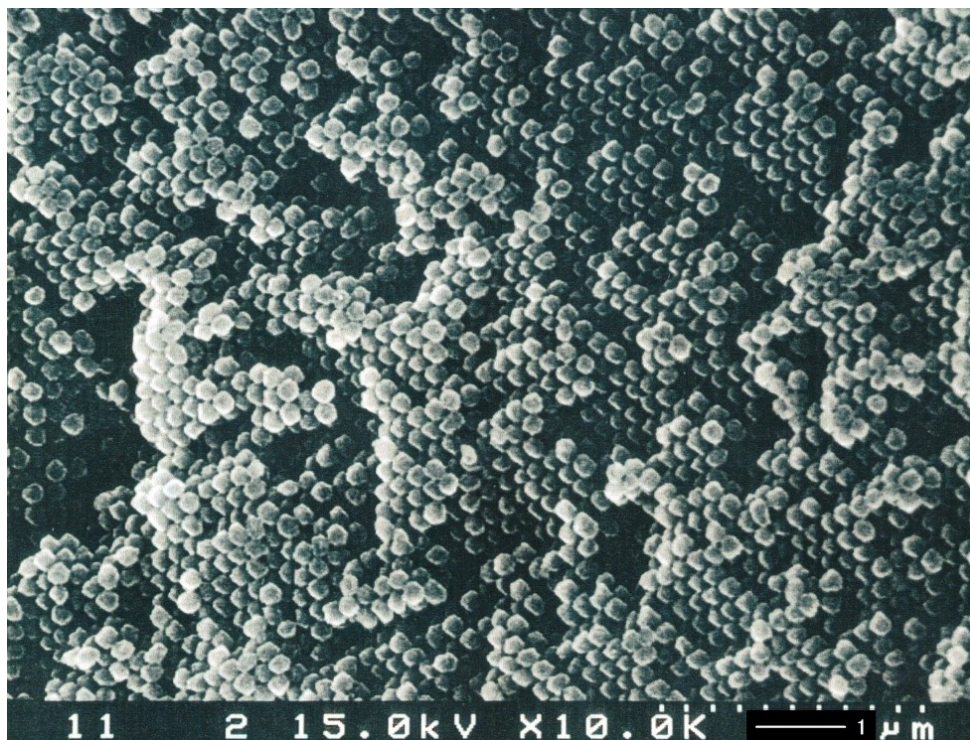


図 4-1 球状の珪酸が整然と配列している

外観により名称が異なる例として宝石を例にとりあげると表４－１のような関係があります。

表４－１ 鉱物名と宝石名の関係

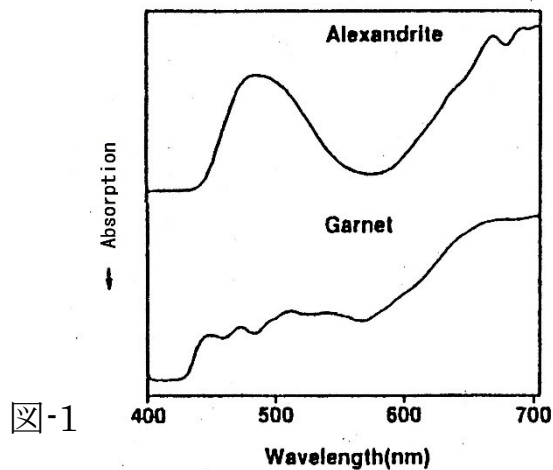
鉱物名	外観	宝石名
ダイヤモンド	透明無色，その他	ダイヤモンド
ジェイダイト	半透明緑色，その他	ヒスイ（ジェイダイト）
トパーズ	透明オレンジ褐色，淡青色	トパーズ
トルコ石	不透明空青色	トルコ石
コランダム	透明赤色	ルビー
	スター効果のある赤色	スター・ルビー
	透明赤色以外	サファイア
	スター効果のある赤色以外	スター・サファイア
	透明ピンク・オレンジ	サファイア（パパラチャ）
ベリル	透明緑色	エメラルド
	透明淡青色	アクアマリン
	透明黄色	ヘリオドール
	透明ピンク	モルガナイト
	その他	ベリル
クォーツ	透明無色	ロック・クリスタル
	透明紫色	アメシスト
	透明黄褐色	シトリン
	不透明赤色および緑色	ブラッド・ストーン
	不透明赤褐色と白色の縞目模様	サード・オニキス
	不透明曲線の縞目模様	アゲート（瑪瑙）
エルバイト（トルマリン族）	透明ピンク，緑，青色	トルマリン
アルマンディン・パイロープ系（ガーネット族）	透明赤紫色	ロードライト・ガーネット
グロッシュラー（ガーネット族）	透明緑色，その他淡い色	グロッシュラー・ガーネット
オルソクレス（フェルドスパー族）	半透明白色，シラー効果をもつ	ムーンストーン
マイクロクライン（フェルドスパー族）	半透明青緑色	アマゾナイト
オパール	半透明黒～灰色，遊色効果をもつ	オパール（ブラック）
	半透明白色，遊色効果をもつ	オパール（ホワイト）
	透明無色，遊色効果をもつ	オパール（ウォーター）
	透明オレンジ色，遊色効果をもつ	オパール（ファイヤー）
オパールと褐鉄鉱	不透明で底部が褐色，遊色効果をもつ	オパール（ボルダー）
ラズライトと黄鉄鉱他	不透明青色	ラビス・ラズリ

4 章のまとめ：

- ・アレキサンドライト（変色）効果について説明しなさい

アレキサンドライト効果とは、太陽光と人工光（白色光）のような異なる光源で宝石を観察した時に、一般に緑色と赤色というように異なる色調を示すこと。

アレキサンドライト（Alexandrite）と変色効果を示すガーネット（Garnet）の分光パターンは図-1 のとおり。



なお、太陽光（昼光色：Daylight）と白色光（50W の電球：Artificial light）の分光パターンは図-2 のとおり。

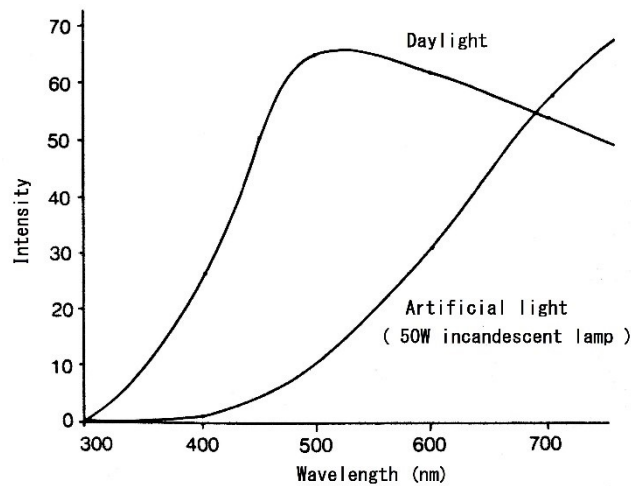
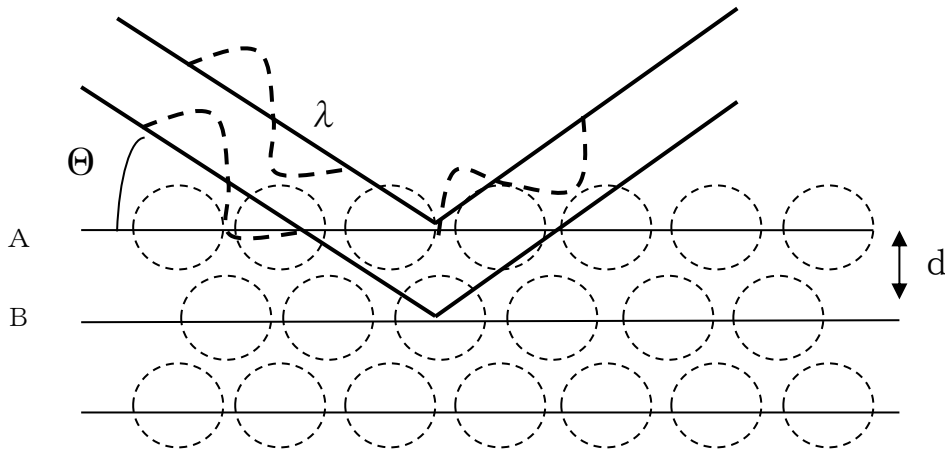


図-1 と図-2 から、アレキサンドライト（変色）効果が生じる理由について考えなさい。

ヒントは、図-1 と図-2 を重ね合わせた分光パターンを図示します。

・オパール（蛋白石：Opal）の着色原因について考えましょう

オパールを構成する球状粒子の集合を模式的に図—1のように表し、一番上の表面 A で反射した光と次の面 B まで透過して反射した光とが重なる現象を考えます。これは光路差¹⁾を計算することになります。



図—1

A 面と B 面との距離を d ，入射した時の角度を Θ ，光の波長を λ とすると，これらの関係は次のように表されます。

$$n \lambda = 2 d \times \sin \Theta \quad (n = 1, 2, \dots \text{整数})$$

n が整数の時に波長 λ が強め合うことになります。これはブラッグの法則 (Bragg's law) と呼ばれるもので、X線回折の原理として知られています。このような光の反射をブラッグ反射とも呼ばれます。このことから、オパールは可視光線のブラッグ反射とみなすことができます。

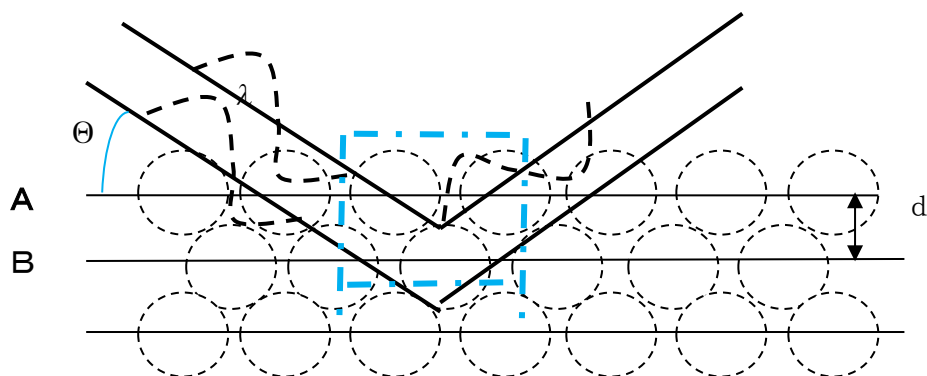
A 面と B 面との距離 d は、粒状粒子の（ ① ）に関係します。オパールが赤色に見えるということは、青色より波長が長いので、粒状粒子が（ ② ），青色が見えるということは、赤色が見える場合より粒状粒子が 小さい ということが導き出されます。

このように、オパールの色は、構成する球状粒子が規則的に配列することと、その粒状粒子の大きさが可視光線の波長の半分程度の場合に見られるということになります。実際に、青色（波長： $\lambda = 450 \sim 495 \text{nm}$ ）のオパールは 200nm 程度の球状粒子の集合であることが知られています。

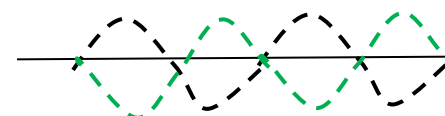
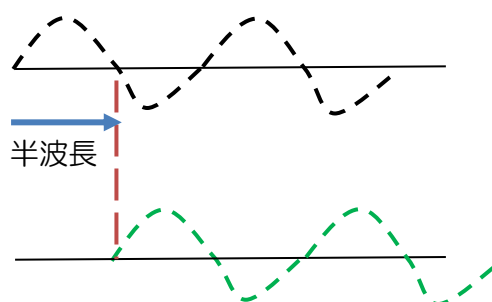
上記の括弧内の①と②に入れる語句は？

① = () ② = ()

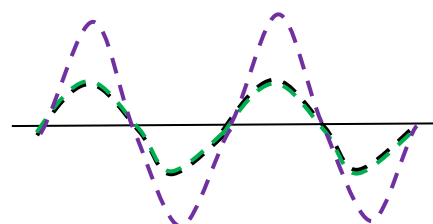
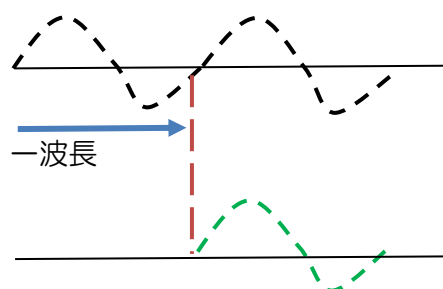
1)光路差：光路差について，下記の青線で囲まれた範囲で考える。



そもそも干渉とは，A面とB面で反射してくる，それぞれの光の波長のズレがあるか無い
かによって生じる現象です．すなわち，A面とB面によって反射してきた光が，ちょうど半
波長ズレていればお互いに打ち消し合い，波長の長さ分であればお互いに強め合う，という
現象です．



波長が打ち消し合う → 消える



波長が重なる → 強め合う

A面とB面から反射してくる光の波長の差を“光路差”と呼びます．

この光路差は $b'c'$ と $c'd'$ の距離です．

この距離を下図から求めることにします．

$\triangle a' b' c'$ と $\triangle a' d' c'$ はともに直角三角形であり左右対称です。
 よって、 $\overline{b' c'} = \overline{c' d'}$ なので、ここでは $\overline{b' c'}$ を求めることにします。この距離を
 2倍にしたものが光路差となります。

三角形の内角の和は180度から $\angle b' a' c'$ は角度 θ です。

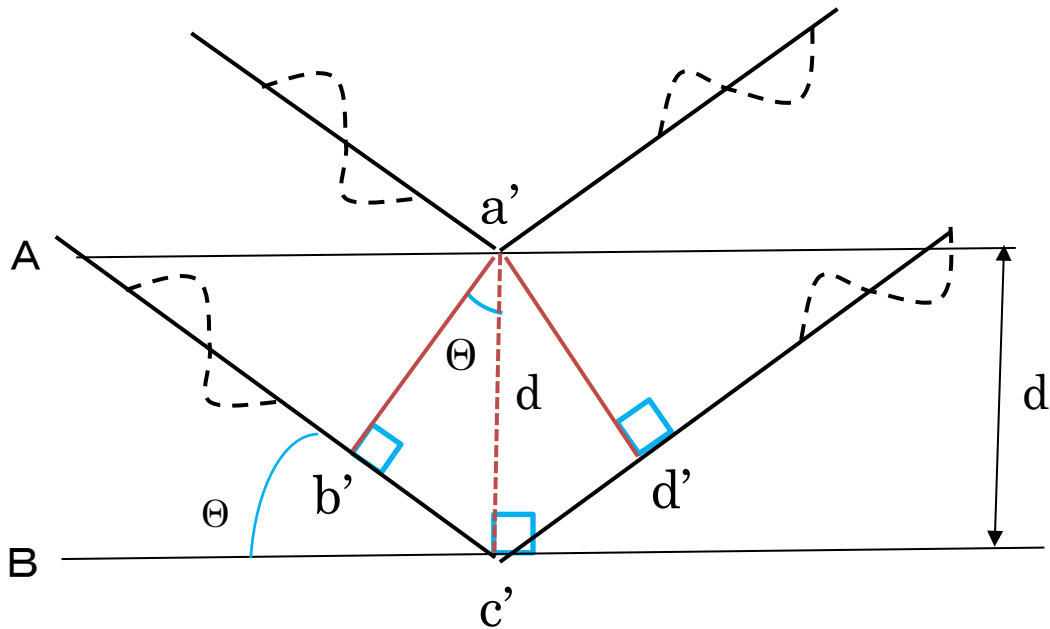
$\overline{a' c'}$ はA面とB面との距離 d です。

三角関数を使い表現します。

$$\sin \theta = \overline{b' c'} / \overline{a' c'} = \overline{b' c'} / d$$

なので、求めたい $\overline{b' c'}$ は $d \times \sin \theta$ となります。

従って、光路差は $2d \times \sin \theta$ となります。



この光路差が、波長の一波長あるいはその整数倍なら光が強め合うことになります。

補遺 層状構造によって見られる色

モルフォチョウ（蝶）（学名 *Morpho*）（下図）は、鱗粉や毛でおおわれているが、その鱗粉が層状に配列することにより、光を干渉させて青色の色調になる。これは、オパール内部の規則的に配列した小さな球状の集合により、光を干渉させてカラフルに見える現象と同じメカニズムである

