

9. 鉱物の産状（Ⅱ）

・ 鉱物と人工物の違い

鉱物のインクルージョン生い立ちは、次の3つに分けて考えることができます。

1. 気体からの生成

ガス状のものが昇華した結晶で、自然界では火山の噴気口などに析出するものが相当します。人工的には CVD 法（Chemical Vapor Deposition：化学的気相成長法）とも呼ばれる方法で、原料である気体（ガス）を化学反応により結晶化させます。現在では合成ダイヤモンドなどが造られています。

2. 液体からの生成

物質の濃度の差によって、気相（vapor phase）、溶液相（solution phase）、融液相（melt phase）と分けられています。なかでも、気相および溶液相では、原子、イオン、分子などの結晶化する粒子によって、まず最初に核（固体）ができて、そこから大きく成長するとみられています。自然界では、地下から噴出した液体状のマグマ（岩漿）が地表で急冷されて固まった火山岩（図8-1）や、地下深くで固まった岩石が風化などによって地表で見られるようになった深成岩が見られます。それらの岩石は鉱物の集合です。

ダイヤモンドは、地下百数十キロの深さで大きく成長したものが、地表に一気に噴出したと考えられています。トパーズは、液体状のマグマが固まる時に、比較的大きな結晶と共に来た空隙中に見られます。ブラジルには、このような比較的大きく、有用な鉱物の集合であるペグマタイト鉱床と呼ぶ場所が、数多く知られています。熱水性鉱床と呼ばれるものはこれに相当します。温泉水のような液体が岩の割れ目にしみこんでできた熱水鉱床には、エメラルドや紫水晶（アメシスト）などが見られます。また、石灰質な岩石とマグマ（岩漿）が反応してできた、接触交代鉱床（スカルン鉱床）には、ミャンマーのルビーやサファイアなどが見られます。一方、人工的には圧力釜のような容器に水と原料を混ぜて高温にして溶かして生成させるもので、水熱法と呼ばれる方法をはじめ、原料を溶かしやすくするために融剤（フラックス：flux）と呼ばれるものを混ぜて生成させる方法（フラックス法）などがあります。これらは、その成長過程が異なるため、できた結晶の内部にその痕跡を残すこととなります。



図8-1 地下から噴出したマグマ（東京都大島）

3. 固体からの生成

自然界では広域変成作用や接触変成作用と呼ばれる、圧力や熱の作用によってできた変成岩の例があります。これは、固体同士の反応でできたものとも考えられますが、実際には水や二酸化炭素などの揮発性成分がその反応に大きな役目をしていたと考えられるので、100%固体から生成したものではないとされます。

一方、人工的には、1904年にフランスのベルヌイによって初めてルビーの製造方法が確

立されて以来、現在までに以下のような方法によって、最も多くの種類の宝石が合成されています。このような固体から製造された宝石には、前述のように気体が単独に気泡として見られます。

• 人工物（合成石）をつくる代表例（図8-2）

ベルヌイ（火炎溶融）法

原料を落下させて、酸素と水素ガスを燃焼した炎の中で溶融した後、種結晶の上に固化させ結晶を成長させる方法。特徴的な成長模様が見られる（図8-3）。

引き上げ法

原料を高周波によって加熱して溶融したものを引き上げて冷却固化させて結晶をつくる方法。

スカル・メルティング法

原料を包み込んだ容器の周囲を冷却しながら高周波で加熱すると、その中心部は溶融するが、その周り（外縁部）は冷却されているためスカル（頭蓋骨）状になるのでこの名がある。

浮遊帯域溶融（FZ）法

予め円柱状に焼結して固めた原料を楕円の一つの焦点におき、そしてもう一つの焦点に熱源をおく。その熱により原料を溶解し結晶を成長させる方法。

高温高压（HPHT）法

一ヶ所に圧力が集中できるようにつくりされている。約 2,000 度、6 万気圧の条件によってダイヤモンドやひすい（ジェダイト）が造られている。

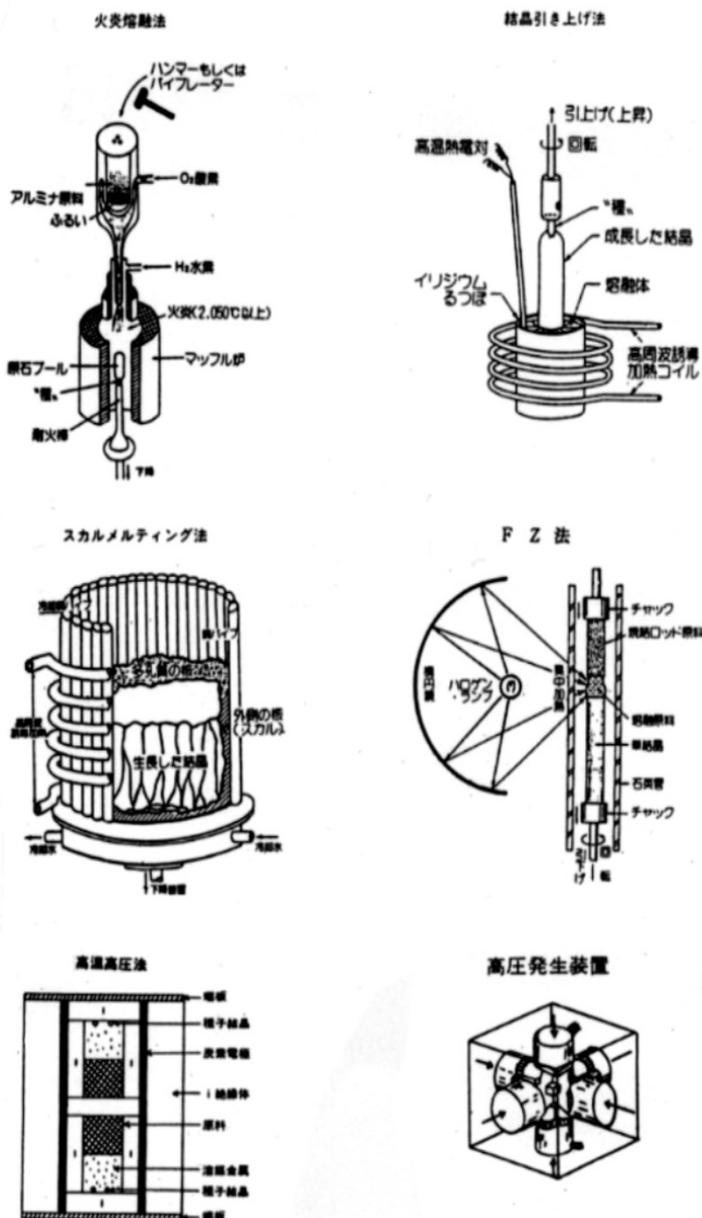


図8-2 合成方法（宝石ガイドブックより）

化学的気相成長（CVD）法

原料である気体（ガス）と、それを拡散させるキャリア・ガスに熱やプラズマなどのエネルギーによって化学反応を起こさせて、薄膜状の結晶を基板につくる方法があります。このようにして造った薄膜の上に何回も繰り返して成長させることで、ある程度の厚みがある結晶ができます。現在では、宝石質の合成ダイヤモンドも造られています（140 頁参照）。

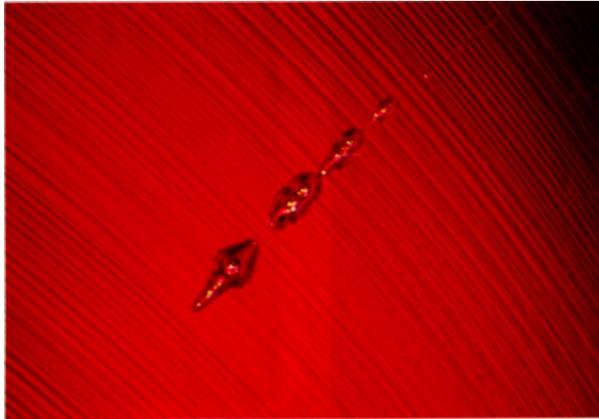


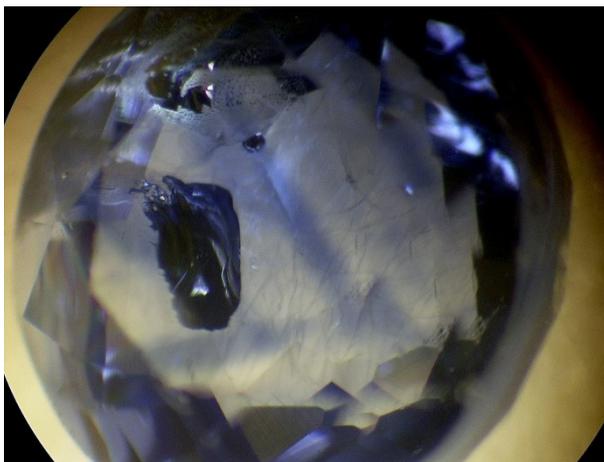
図 8-3 天然には決してみられないカーブラインと気泡
（ベルヌイ法の合成ルビー）
（E.J.Gubeline and J.I.Koivula,1986）



図 8-4 直線の色層は天然の証拠とも言える模様
（スリランカ産ブルー・サファイア）

・人工物と天然の鉱物との違い

天然のものは、その内部に様々な成長模様（図 8-4）やインクルージョンを含みます（図 8-5）が、それは生成の環境の多様性を示しています。一般に鉱物は鉱床と呼ばれる、有用なものが集まっている場所から産出されることとなりますが、岩石の中から砕いて取り出すものと、風化して河川や海に運ばれて堆積したのちから選別するものがあります。前者を一次鉱床、後者を二次鉱床と呼びます。例えば、ダイヤモンドはキンバーライトと呼ばれる岩石（一次鉱床）から採掘する場合と、河川（二次鉱床）から採掘する場合とに分かれます。



鉱物の産出状態（産状）を考えることが重要です。なぜなら地名は人が勝手につけたものですが、産状を考えることによって、地球が私たちにどのようにして美しい鉱物をもたらしてくれたのかを探るヒントを教えてください。

図 8-5 天然サファイア中の結晶（中央左）

流通していた合成ブルー・サファイア

これはガンボジアで売られていたもの（図 8-6,左）で，帰国後調べてみるとその内部にはカーブラインが見られ（図 8-6,右），明らかに合成ブルー・サファイアであった。

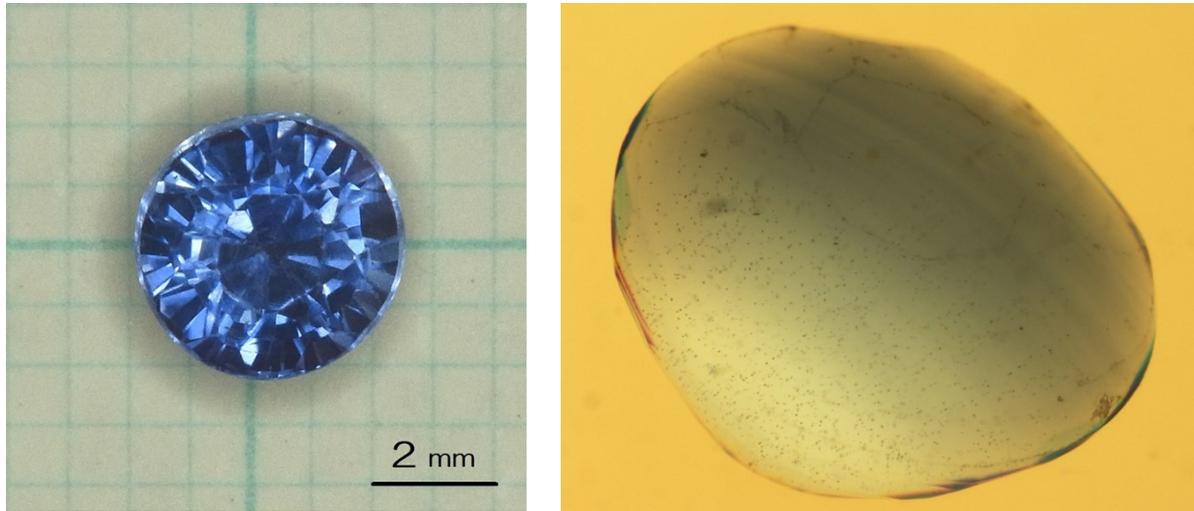
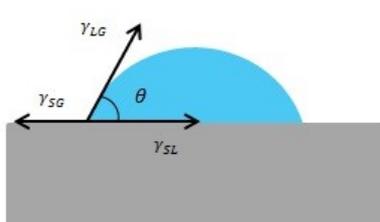


図 8-6 ブルー・サファイア（左），ヨウ化メチレン（ジヨードメタン）で浸液し顕微鏡で内部を観察した様子（右）

カーブラインが見られることからベルヌイ（火炎溶融）法で製造されたとみられるが，特徴的な曲面ができる理由について考えると，その生成メカニズムに関係することが分かる。即ち，火炎溶融法は，原料を溶融後に固化させることで結晶を得る（89 頁，図 8-2）。固化する時に表面積をなるべく小さくするために表面張力が働き，その表面は曲面になる（図 8-7）。そして，溶解した液体には重力が働き，さらに固化による収縮も受ける（図 8-8）。このようにして種結晶の上には液体から固化した結晶がつぎつぎと積み重なり成長する。これが火炎溶融法で製造する結晶にはカーブラインが見られる理由です。



$$\gamma_{SG} = \gamma_{LG} \cos \theta + \gamma_{SL}$$

θ : 接触角

γ_{SG} : 固体にはたらく表面張力

γ_{LG} : 液体にはたらく表面張力

γ_{SL} : 固体・液体界面にはたらく界面張力

引用 <https://ja.wikipedia.org/wiki/表面張力>

図 8-7 液体の表面張力の関係

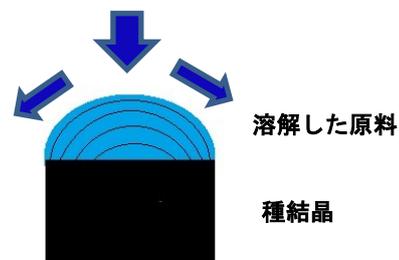
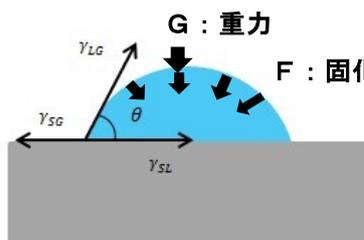


図 8-8 表面張力以外に重力や液体から固化による収縮が影響をうける（左），種結晶の上には溶解した原料が積層する（右）

8・9章のまとめ：

地球からの贈り物である鉱物について

現在、鉱物は約（ ① ）種知られています。わが国でも毎年数種類の新鉱物・新産鉱物が発見されています。しかし、肉眼で判別ができないほど微小な鉱物であったり、X線回折装置やEPMAで分析しないと同定できないものもあります。

また、これまで発見されて命名された鉱物が、その後の研究により抹消されるものもあります。例えば、幌別鉱（Horobetsuite $(\text{Sb}, \text{Bi})_2\text{S}_3$ 直方）は、輝蒼鉛鉱（Bismuthinite $:\text{Bi}_2\text{S}_3$ 直方）と輝安鉱（Stibnite $:\text{Sb}_2\text{S}_3$ 直方）の中間物とされ、鉱物種のリストから外されています。

上記の括弧内の①に入れる語句は？

① = ()

鉱物と人工物との違い

鉱物は自然に産するものであり、生物（動物・植物）とは異なり、自ら動いたり増殖（繁殖）したりしません。その形態は、一定な法則（面角一定の法則）はあるものの、さまざまに変化します。また、他の鉱物と共存して岩石を構成し、更に地層（地殻）をそして地球を形づくっています。鉱物が単独ではなく集合して産することに意味が生まれるという点において、動植物の共存とは異なります。

人工的に造られたものには、自然に産する鉱物とは明らかに成長のメカニズムが異なります。テキストの「鉱物の産状」でも説明したように人工的に製造されたものには、鉱物に含まれない（ ① ）が見られたり、（ ② ）のような成長模様が観察されます。

上記の括弧内の①と②に入れる語句は？

① = () ② = ()