

2. 鉱物について

・ 鉱物とは

地球の誕生と鉱物

今から137億年前にビッグバンと呼ばれる、大きな出来事があり、45億6700万年前（約46億年前）に地球を含む太陽系が誕生しました。その地球には、さまざまな鉱物が見られ、それら鉱物を構成している元素は、次のように生成したと考えられています。

最初に、炭素（C）、酸素（O）、窒素（N）、リン（P）、硫黄（S）、マグネシウム（Mg）、珪素（Si）、鉄（Fe）、アルミニウム（Al）及びカルシウム（Ca）などのような元素が生まれ、鉱物としてはダイヤモンド（diamond）・石墨（graphite）・コランダム（corundum）・橄欖石（カンラン石：olivine）、モアッサナイト（moissanite）などが生成しました。コンドライト（chondrite：コンドリュール（chondrule）と呼ばれる球状の粒子（球粒）を含んだもの）やエイコンドライト（achondrite：球粒を含まないもの）と呼ばれる隕石も同時期に生成しました。

月については、アメリカのアポロ計画によって持ち帰った岩石を調べてみると、地球とほぼ同じ年代に生成したことがわかりました。そこで、45億年前に別な天体が地球に衝突し、地球の一部がめくり上がり、宇宙空間にまで到達した結果、月が誕生したと考えられています。最初の月は2万4千 Km の距離にあり、現在では38万 Km の距離まで遠ざかりました。そして、今でも1年に3.8cmずつ離れています。

私たちの住んでいる地球は、当初、数種類の鉱物しか見られませんでした。地球の質量の98%が、酸素（O）、珪素（Si）、アルミニウム（Al）、鉄（Fe）、マグネシウム（Mg）及びカルシウム（Ca）で構成されていました。最古の岩石は、カンラン岩であり、その構成鉱物はカンラン石（ $(\text{Fe,Mg})_2\text{SiO}_4$ ）です。この岩石は、地表から80Km以内で生成され上昇してきたものであり、わが国でも北海道様似町の幌満周辺など数カ所で見つかっています。地球の内部は、表面の地殻から下をマントルと呼び、さらにその下（中心）が核です。核は内核と外核に分かれていますが、それらの主成分は鉄（Fe）です。

44億年前の冥王代と呼ばれる時代になると隕石が降り、砕けた岩石やマグマが地表を覆っていました。最初に生成したカンラン岩の一部が溶けて玄武岩が生成し、その薄い層が表面をおおうようになります。岩石に含まれるジルコンを調べると10回以上もリサイクルされていることが分かっています。一度生成した鉱物が溶融して、その後に再び成長して別な岩石に取り込まれるということが、何回もあったということです。

40億年前になると地球は水（ H_2O ）で青かったと考えられています。大陸は、玄武岩（basalt）が溶けて花崗岩（granite）となり、全体的には灰色に見えたかも知れません。当然ながら植物は生えていません。地球の磁場も変化しています。大西洋の海嶺の拡大と大陸移動、マントル内の上昇流（プルーム）が生じ、ホットスポットと沈み込み帯が発生します。大気中に酸素は未だありませんでした。

35億年前にようやく生命が誕生します。初期の生命体は、岩石の化学エネルギーに頼り、太陽光を利用した光合成が行われていたことでしょう。酸素を生成する光合成も生じ、緑藻

類が進化して酸素が増えてきます。

30億年前にはブラック・チャート（black chert）や炭素の多い黒色頁岩（black shale），ストロマトライト（stromatolite）が見られるようになり，超大陸サイクルと呼ばれるように大陸が移動して沈み込み，再び上昇して陸地化することを繰り返して起こるようになります。

25億～5億4千2百万年前の原生代には，最初の約5億年で光合成を行う藻類が繁茂し，酸素が増えることで，3,000種の鉱物が生成したとみられています。

生物が元素を集め，それによって新しい鉱物も生成したと思われます。スノーボールと呼ばれる，地表が氷で覆われたこともあったと考えられています。さらに陸上には生物圏が出現してきます。

巨大生物の代表例だった恐竜は，直径が約10Kmの小惑星（隕石）がユカタン半島に落下し，気候変動が起こり，さらに大規模な噴火などの地殻変動により絶滅したと見られています。その後，哺乳動物が進化し，ヒトの誕生によって現在に至ります。

地球上では，5,829種（2022年9月27日，現在）の鉱物が知られています。地球からの贈り物である鉱物は，宝石のように研磨・加工したものから，鉱山で鉱石として採掘し，精錬して鉄や金などが活用されることで私たちの生活が豊かになりました。今後も鉱物を利用することは間違いのないでしょう。ただし，かつての鉱山のように，自然破壊を大きく伴う採掘は避けねばなりません。自然になるべく負荷をかけず，環境に十分配慮した鉱物の採掘や利用が望まれます。

鉱物との関わり

自然界のもの（物）を，動物・植物・鉱物と分類することがありますが，その鉱物については，中国の「本草綱目」（1590）や，わが国の「和漢三才図会」（1713）などから分るように，かつて金石と呼ばれていました。明治期の小学校の教科書でも鉱物という表現は見られず，金石と書かれています。

鉱物は，1867（慶応 3）年に出版された日本最初の和英辞典とされる「和英語林集成」



図 2-1 「和英語林集成」
（明治学院大学図書館蔵）



図 2-2 「奥国博覧会報告書」
（国立国会図書館蔵）

（通称ヘボン辞書）では，Mineral の訳が，礦物となっています（図 2-1）。また，1873（明治6）年に開催されたウィーン万国博覧会に派遣された福田淳久が，1875 年に著した「奥国博覧会報告書」にも，Mineral の訳としても礦物が使われています（図 2-2）。これらから，江戸時代末期に，礦物が使われていたことが分かります。

また，現在の鉱物学（Mineralogy）という名称は，前出の通称ヘボン辞典の再版(1822)に礦物学と紹介されて

います。当時、礦物と鑛物は同じように使われていたようです。

明治17(1884)年に著した教科書「金石學一名鑛物学」(小藤文次郎著)とあるように、当初は金石学という名称で教えていたことが分かります。この本には鉱物という単語が頻繁に出てきます。その内容は明らかに鉱物学でしたが、金石学としていたのは、当時は金石という名の方がよく使われていたからでしょう。この1年後に「鉱物学初歩」という本が出版されていることから、正式に鉱物学として教えたのは、明治18(1885)年以降でしょう。

金石は、金や銅・鉄などの有用な金属を含んだ鉱物の総称であり、鉱物の一部とみなすことができます。鉱山から採掘された鉱物は、砕いて製錬して目的の金・銅・鉄などを効率的に取り出すことになり、その鉱物名はあまり意識されません。明治時代の近代化にとって必要だった鉱物は、別な用途もあります。それは美しい鉱物に人は神秘的な超自然の畏敬の念を感じ、崇拝物や護身符として使われてきたのです。鉱物を粉末にしたものを身体に塗り、古代バビロニア、ペルシャ、アッシリアなどでは鉱物を加工して印章などにも使用されました。その後、中世からルネッサンスの頃には、神の偶像や王位や貴族のような特権階級の持ち物や富の象徴としても用いられ、近代になると宝飾品(以下、宝石)として一般大衆にも広まりました。

宝(寶)石という表現は、前出の「本草綱目」にも登場しています。さらに「和漢三才図会」では玉石類の中でも紹介されていますが、津軽(青森)地方の石に使われていました(図2-3)。この石は、現在では石英の微小結晶の集合体である瑪瑙^{めのう}と思われます。これが現在のような意味として使われるようになるのは、「地學雑誌」(1889)で、和田維四郎氏が、美しい鉱物である Gem の訳を、寶(宝)石として紹介したことから始まります。

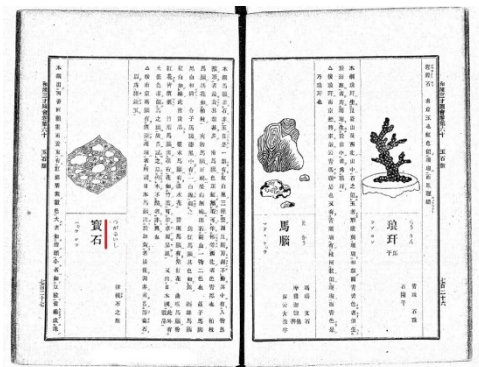


図2-3 「和漢三才図会」
(国立国会図書館蔵)

さて、玉については、三種の神器(鏡、玉、剣)の一つとされていて、鏡を“太陽”，玉を“月”，剣を“武”とし、それぞれ天照大神(あまてらすおおかみ)、月読命(つくよみのみこと)、須佐之男命(すさのおのみこと)になぞらえています。また、鏡は“知”，玉は“仁”，剣は“勇”を意味しているとも言われています。この玉は、かつて諸外国との贈り物として、ふるくは魏志倭人伝(「三国志」(280年頃?)では、青玉として記載されています(図2-4、青線部参照)。この青玉とは、現在の新潟県糸魚川産の翡翠(ヒスイ)と考えられています。

鉱物以外にも生物起源の珊瑚や真珠も宝石として使われています。前出の「三国志」にも真珠が書かれています(図2-4、赤線部参照)。

このような宝石は、傷つけることなく調べる必要があったため、その研究手法はかなり限られたものでした。しかし、最近の分析機器の発達のお陰で、非破壊によって調べることができるようになっ



図2-4 「三国志」
(国立国会図書館蔵)

てきました。宝石に傷をつけることなく、その特徴を調べることを“宝石鑑別”と呼び、透明な鉱物の場合は、主としてルーペや実体顕微鏡などが使われます。暗視野照明と呼ばれる下からライト・アップして宝石内部を照らすようになっている専用の顕微鏡もあります。このような顕微鏡で観察すると、屈折率の異なる気泡（bubble）と固体（結晶：crystal）の見え方が異なります（図2-5）。屈折率が低い気泡は、中心部が明るく、周囲が暗く見えることとなります。自然界に産出する宝石に気泡が見えるということは、ほとんどないため、気泡が含まれると人工的につくられた合成物やガラスの疑いがあります。

一方、自然に生成する宝石（鉱物）は地下からの熱水あるいはマグマから成長するため、水や他の結晶などを取り込むことはあっても気泡が単独には含まれることはないと考えられます。例えば、コロンビア産の緑色のベリル（宝石名はエメラルド）には塩水や岩塩などが含まれています。

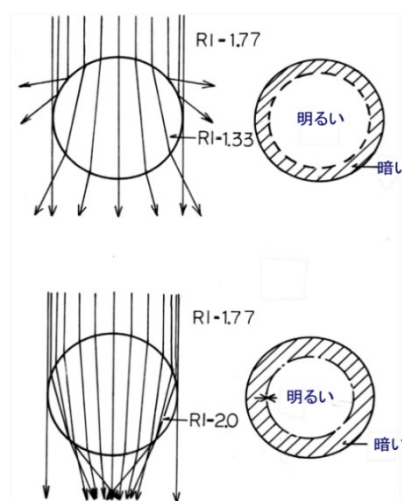


図2-5 結晶内部の屈折率(RI)の違いによる見え方のモデル

間違えられていた宝石

・ルビーが実はスピネル 英国のエリザベスⅡ世が議会開会式に着用する冠の中心部にある”黒太子のルビー（Black Prince’s Ruby）”と呼ばれる赤い宝石が、実はルビーではなくスピネルであったという有名な話があります。現在では、ルビーはサファイアと同じコランダム（Corundum）と呼ばれる鉱物で、和名をコウギョク（鋼玉）と言って、化学的にはアルミニウムと酸素が2対3の割合に結びついています。スピネル（Spinel）はマグネシウムが含まれていてコランダムとは明らかに異なる鉱物です。しかし、コランダムの屈折率は1.77～1.76、スピネルは1.72と近いので、肉眼的には極めてよく似ています。

・展示されていたトパーズ（黄玉）はシトリン（黄水晶） 著名な画家（芸術家）”ダリ”が、宝石を使用した作品を制作し、展示されていたことがありました。その作品にはトパーズを使用していると説明されていましたが、よく見ると、トパーズ（Topaz：黄玉）ではなく、シトリン（Citrine：黄水晶）の原石（磨いてないもの）を輪切りにしたものでした。トパーズとシトリンは、ともに黄褐色の宝石でよく似ています。しかし、トパーズとシトリンの原石は、肉眼鑑定力のある方なら、すぐに区別がつくでしょう。即ち、原石表面の結晶面（柱面）に条線と呼ばれる筋が縦にあるのがトパーズで、横に見られるのはシトリンです。

誕生石について

宝石は鉱物のなかでも綺麗な外観を示す特殊例と言うべきものですが、わが国では、誕生石（表2-1）として身近なものになっています。この誕生石は1912年にアメリカの宝石業者の団体が定めたもの（1952年に修正）が基となって決められています。また、2021年12月20日には、誕生石の改訂が行われ種類が増えました。

鉱物の硬さ

鉱物の硬さはモースの硬度 (Mohs's scale of hardness) という数字 1 ~ 10 で表されます。モース (Mohs) が最初に提唱したものは、普通に産する層状の滑石 (Talc) が 1, 結晶面が見られない岩塩または石膏 (Gypsum) が 2, 透明な方解石 (Calcite) が 3, 結晶面が見られる蛍石 (Fluorite) が 4, 透明な燐灰石 (Apatite) が 5, 白色で割れやすい長石 (Feldspar) が 6, 透明な石英 (Quartz) が 7, 透明なトパーズ (Topaz) が 8, コランダム (Corundum) が 9, そして最も硬度が高いダイヤモンド (Diamond) が 10 としました。後に 1840 年頃、ブライトハウプト (Breithaupt) が、2.5 に葉片状の雲母, 5.5 に結晶面のある柱石を加えました。現在のように硬度 2 が石膏だけになったのは 1870 年頃以降になります。岩塩は潮解性があり、取り扱いしにくいからです。

一般的にはモース硬度 7 以上が硬いものということになります。

鉱物はどの位の時間で成長する？

私たちが観察している鉱物は、実際に成長している姿を見ることはできません。しかし、噴火している火山から流れ出た溶岩が冷えた岩石は、私たちは観察することができます。溶岩が冷えて固まった岩石を観察すると、その中には数種類の鉱物 (輝石類・長石類・石英など) が含まれていることが分ります。そのような溶岩が冷えて鉱物が成長した時間は、どの位の時間ででしょうか？

直接、溶けている岩石を調べればよいのですが、試料を採取するのは大変危険であり、溶けた状態では分析機器が使えません。そこで、岩石を構成している鉱物の生成条件 (温度や圧力) を調べるため、適当な化学薬品を使って人工的に鉱物と同じものをつくる実験が行われています。このような実験から、自然界の鉱物も同じように生成したと考えるわけです。現在まで、様々な鉱物が何度位で生成するのか、かなりわかっていますが、これらは実験室内において容器の中で薬品を使って行うので、自然界とは異なる環境ということを念頭に置く必要があります。また、鉱物を生成する時間も、私たちが確認できるような数時間~数日程度で出来れば問題ありませんが、1 年後とか、あるいはそれ以上の時間がかかるとなると、学生が実験している場合は卒業してしまうこともあるでしょう。

さて、自然界では溶岩が火口から噴火して飛び出して急激に冷えると、細長い形状 (“ペレーの涙” と呼ばれています) のガラス (主成分 SiO_2) になります。石英 (SiO_2) のような鉱物が生成するには、ある程度の時間がかかるようです。石英は、水 (H_2O) を使ってオートクレーブ (autoclave) と呼ばれる圧力釜のような装置で造っています。最近の研究では、水の存在が鉱物の生成に大きく関わっていることがわかっています。

溶岩は数日から 1 ヶ月位かけて固まります。その固まった岩石にみられる鉱物 (輝石類・長石類など) は、その程度の時間で成長するのでしょうか？ いくつかの鉱物は、既に地下のマグマ (magma) の中で生成していたとみられています。そのマグマは大きな塊として存在し、地下数 Km のところから地表まで上昇し、数十万年かけて固まるとされています。そのマグマの中心部では、比較的大きく、周縁部はより小さい鉱物が生成しているとみられます。これは、地層に貫いたマグマが冷えた岩脈 (dike) を観察すると、周縁部 (地層との

境目)には急冷周縁相(chilled margin)と呼ばれる、中心部より細粒な(小さい)鉱物がみられることから、温度が下がりやすい周縁は小さくなることがわかります。

また、鉱物が生成するのは、構成している元素が集まって結合するための濃度と共に温度や圧力が必要です。温度については、1,200℃位まで熱すると岩石は溶けてマグマとなります。地下 1km ごとに約 30℃ずつ温度が高くなるとすれば地下 40km に相当する温度です。一方、圧力については、石墨に約6万気圧(地下百数十 Km)を加えるとダイヤモンドに変わりますが、この場合でも約 2,000 度という温度が必要です。地下のマントル(mantle)を構成している鉱物のカンラン石($(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$)の場合は、原料のマグネシウム(Mg)、鉄(Fe)、珪素(Si)及び酸素(O)を混ぜて圧力を加えると、マグネシウム、鉄及び珪素は金属(固体)として存在していますので、気体の酸素と結びついて酸化物(MgO 、 Fe_2O_3 及び SiO_2)が出来そうです。実際にカンラン石を造る場合、マグネシウム、鉄、珪素及び酸素の四元素が結びつくには高温(約 1,900 度)が必要です。一度生成した鉱物(固体)は、多少の圧力では変化しません。ただし、結晶構造が変わることがあります。これを相転移と呼びますが、石墨がダイヤモンドに変わるのは、その例です。宇宙空間で生成した元素が集まって新たに鉱物ができる場合、前述のように様々な条件(圧力と温度)が必要です。

地表に噴出する時は、溶岩が流れて鉱物が揃って縞状となってみられることを流理構造(flow structure)と呼びますが、これは火山岩(volcanic rocks)の特徴です。地表に流れ出ず、地下で冷えて固まると比較的大きな鉱物が集まります。これを深成岩と呼び、花崗岩がその例です。また、一度できた岩石が、雨風の影響(風化)で崩れて細かくなって川や海などに流れて集まり、1,000~2,000 万年かけて固まったものが、恐竜の化石などが含まれる堆積岩です。各種の岩石が、後からの圧力や熱(マグマ)により変質したものを変成岩と呼びます。この変質は何回も行われることがあります。ジルコンという鉱物の成長の履歴を調べると10回もリサイクルされていることが知られています。この成長履歴は、含まれる同位体を利用して調べられます。

同位体を使った年代測定

種々の同位体を使った年代(絶対年代)測定があります。これは、同位体が、時間の経過と共に元とは異なる元素に変わるという特性を利用します。

例えば、数千万年より古い時代を調べるためには、ルビジウム(Rb)、カリウム(K)、サマリウム(Sm)、ウラン(U)が、ストロンチウム(Sr)、アルゴン(Ar)、ネオジム(Nd)、鉛(Pb)に変わる比率から時間(年代)を求めます。

このような元素が含まれていないと利用できませんが、ウラン(U)が含まれているジルコン(zircon)という鉱物には、ウラン-鉛(U-Pb)法と呼ばれる年代測定が行われます。ウランの同位体に ^{238}U (ウラン238:半減期約 45 億年)と ^{235}U (ウラン 235:半減期約 7 億年)の二種類があります。これらが、時間の経過と共に、それぞれ ^{206}Pb (鉛206)と ^{207}Pb (鉛207)になります。これらの比率から求めた年代は同じはずなので、それらの結果を比較すれば精度も向上します。

表 2-1 誕生石として使われる宝石の一例

月	日 本	象徴とされる例	アメリカ	イギリス	オーストラリア
1月	ガーネット	貞操・真実・友愛	ガーネット	ガーネット	ガーネット
2月	アメシスト, クリソベ リル・キャッツアイ	誠実・心の平和	アメシスト	アメシス ト	アメシスト
3月	アクアマリン,珊瑚, ブラッド・ストーン, アイオライト	沈着・勇敢・聡明	アクアマリン, ブラッド・ストーン	アクアマリン, ブラッド・ストーン	アクアマリン, ブラッド・ストーン
4月	ダイヤモンド, モルガナイト	清浄無垢	ダイヤモンド	ダイヤモンド 水晶	ダイヤモンド, ジルコン
5月	エメラルド, ひすい	幸福・幸運	エメラルド	エメラルド, クリソプレーズ	エメラルド,グリー ソ・トルマリン
6月	真珠,ムーンストーン, アレキサンドライト	健康・長寿・富	真珠, ムーンストーン	真珠, ムーンストーン	真珠
7月	ルビー, スフェーン	情熱・仁愛・威厳	ルビー	ルビー, カーネリアン	ルビー, カーネリアン
8月	サードオニキス, ペリ ドット, スピネル	夫婦の幸福・和合	ペリドット, サードオニキス	ペリドット, サードオニキス	ペリドット, サードオニキス
9月	サファイア, クンツァイト	慈悲・誠実・徳望	サファイア	サファイア, カース・ラズリ	サファイア, カース・ラズリ
10月	オパール, ピンク・トルマリン	安楽・希望・忍耐	オパール, ピンク・トルマリン	オパール	オパール
11月	トパーズ, シトリン	友情・潔白・幸福	トパーズ, シトリン	トパーズ	トパーズ
12月	トルコ石, ラピス・ラ ズリ, タンザナイト, ジルコン	成功・繁栄・不屈	トルコ石, ジルコン	トルコ石	トルコ石

結婚記念に使われる宝石の一例 星座別の守護石とされる宝石の一例

1年	紙
5年	木
10年	錫
12年	瑪瑙
15年	水晶
20年	陶器
25年	銀
30年	真珠
40年	ルビー
45年	アレキサンドライト
50年	金
75年	ダイヤモンド

牡羊座 (3/21~4/20)	ブラッド・ストーン
牡牛座 (4/21~5/21)	サファイア
双子座 (5/22~6/21)	アゲート (瑪瑙)
蟹 座 (6/22~7/23)	エメラルド
獅子座 (7/24~8/23)	オニキス
乙女座 (8/24~9/23)	カーネリアン
天秤座 (9/24~10/23)	ペリドット
蠍 座 (10/24~11/22)	アクアマリン
射手座 (11/23~12/22)	トパーズ
山羊座 (12/23~1/20)	ルビー
水瓶座 (1/21~2/19)	ガーネット
魚 座 (2/20~3/20)	アメシスト

2 章のまとめ：

次の鉱物を観察し，その特徴を挙げなさい。

トパーズ（	）
石英（水晶）（	）
オパール（	）
正長石（	）
斜長石（	）
蛍石（	）
方解石（	）
霏石（	）
重晶石（	）
石膏（	）
滑石（	）
黄銅鉱（	）
黄鉄鉱（	）
班銅鉱（	）
赤銅鉱（	）
赤鉄鉱（	）
自然銅（	）
自然金（	）
硫黄（	）
石墨（	）
方鉛鉱（	）
閃亜鉛鉱（	）
磁鉄鉱（	）
鉄礬石榴石（	）
苦土カンラン石（	）
普通輝石（	）
苦土普通角閃石（	）
孔雀石（	）
藍銅鉱（	）
鉄電気石（	）
黒雲母（	）
濁沸石（	）
菱沸石（	）
バラ輝石（	）