

企画展「鉱物の魅力」

飯山 青海

1. 2022年は世界鉱物年

今年2022年はユネスコが定めた「世界鉱物年」です。これは、「鉱物学の父」とも呼ばれるフランスの科学者ルネ＝JUST・アユイ(1743-1822)の没後200年を記念したものです。

大阪市立科学館では、この世界鉱物年にちなんで、企画展「鉱物の魅力」を開催しています。この企画展では、大阪市立自然史博物館、大阪大学総合学術博物館、京都大学総合博物館、玄武洞ミュージアム(順不同)の各博物館の協力をいただき、普段は大阪市立科学館で展示していない魅力的な鉱物標本を展示しています。この企画展を通じて、鉱物の魅力を感じていただくとともに、結晶と結晶格子、そして原子の実在性について考えてみてください。



ルネ＝JUST・アユイ
(1743～1822)

2. アユイの発見

アユイは、方解石を床に落として割ってしまったときに、方解石の割れた破片が、大小さまざまな大きさの違いはあっても、全て同じ形になっていることに気づきました。この観察事実から、アユイは、方解石には目に見えないほど小さいサイズの、方解石の形を決めている「単位」が存在し、その「単位」が繰り返し並ぶことで目に見えるサイズの方解石を作っているのだ、と考えました。鉱物の結晶とは、決まった単位(パターン)の繰り返しである、と見抜いた



割った方解石
方解石を割ると、6枚の平行四辺形に囲まれた立体の形に割れる。
(所蔵:玄武洞ミュージアム)

のです。

そして方解石以外の鉱物でも、同じように鉱物ごとに決まった形の「単位」があると考えられることを確かめました。現代の考え方では、原子が決まったパターンを繰り返すように配列しているものが結晶である、と言うことになります。

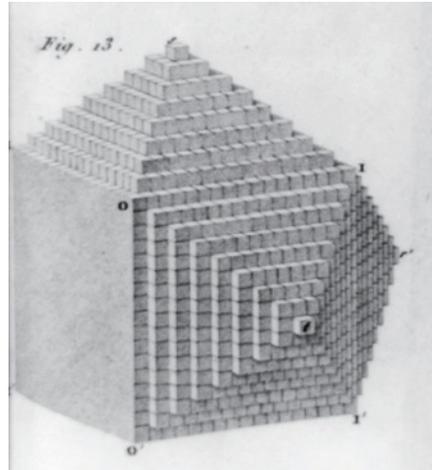
アユイがこのような考察をした時代は、原子という概念が発表されてはいましたがまだ本当に原子が存在するのか懐疑的に思われていた時代です。アユイが考えた「結晶は小さな結晶の単位が繰り返しのパターンを作っている」という考え方は、原子の存在を支持する考え方であり、現代では、アユイの考えた結晶の「単位」は、「結晶格子」という概念として理解されています。

3. 鉱物とは？結晶とは？

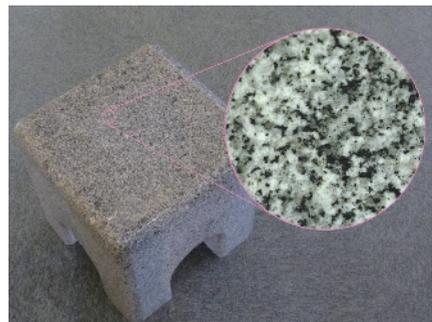
鉱物とは岩石を構成する粒子のことで、一般的に岩石はたくさんの鉱物が集まってできたものです。例えば、花崗岩は、主に石英・斜長石・黒雲母という3種類の鉱物からできています。石英は透明(写真では灰色っぽく見えます)な粒子で、斜長石は白い粒子、黒雲母は黒い粒子です。

多くの岩石のなかで、鉱物一粒の大きさは1mmからせいぜい数mm程度のことが多いです。しかし、鉱物ができるときの環境によっては、一粒が数cmやそれ以上に大きな鉱物ができるともあります。

鉱物にはそれぞれ決まった形があります。その鉱物特有の形のことを「自形」と言います。普通の岩石の中では、鉱物と鉱物は隣り合っくっついているので、自形の鉱物が見つかることはほとんどありま



アユイの考えた結晶の構造



花崗岩を構成する鉱物



鉄バンザクロ石
結晶の自形がよく表れている
(所蔵:大阪市立自然史博物館)

せんが、岩の割れ目や空洞などで成長した鉱物の結晶は、空間で自由に成長できるために、自形になった結晶が形成されます。

鉱物の多くは結晶しています。結晶と、結晶していないもの(非結晶)との違いは、結晶には方向による性質の違いがある、ということです。例えば、方解石の結晶は、決まった方向にしか割れません。非結晶の代表であるガラスの場合、ガラスの塊は割り次第でどのような方向にも割れます。鉱物の結晶が決まった方向に割れる現象を「劈開」と呼びます。

結晶には自形がある、ということも結晶の持つ方向性の表れです。結晶が成長するときに、成長の速い方向と、成長の遅い方向が存在するために、結晶には決まった形が存在するのです。

また、方解石で特に顕著ですが、結晶内の方向によって光(偏光)の速度が異なる、という現象があります。このため、結晶内を進む光が偏光面の向きによって2つの方向に分かれてしまい、結晶を通して結晶の向こう側を観察すると、像が二重に見えるという現象(複屈折)も、結晶に方向性があることの表れです。ガラスではこのようなことは起こりません。

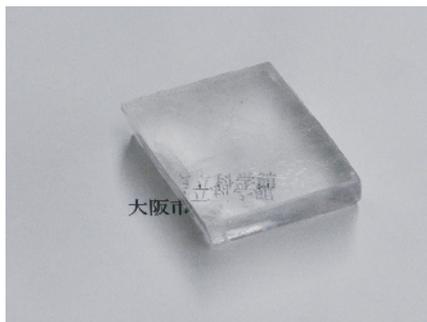
また、鉱物用の顕微鏡で観察すると、結晶の向きによって色が違って見える鉱物もあります。これも結晶が方向によって違った性質を持つことの表れです。

ただし、これらの結晶に特有な性質は、どの鉱物結晶にも全て備わっているわけではありません。結晶をしているけれども、どのような方向にも割れる鉱物もありますし、複屈折は全く示さない鉱物結晶もあります。しかし、結晶している物質は、何かしらの方向による性質の違い(異方性)を持っています。

この異方性の原因をたどると、結晶格子の存在にたどり着きます。方向によって原子の並び方が違って見えるということが、方向による性質の違いを生むのです。



ピンク色の方解石
もともと1つだった標本が2つに割れているが、割れた面がきれいな平面になっていることが良くわかる
(所蔵:京都大学総合博物館)



方解石の複屈折
方解石の結晶を通して見ると、下に書かれた文字が2重に見える

4. 方解石

方解石は、アユイが結晶格子の考え方を発見した鉱物です。強い劈開性(割れやすい面(劈開面)以外ではほとんど割れない性質)があるために、割った方解石の破片はすべて同じ形になることで有名です。他にも複屈折が大きいために方解石を通して物を見ると二重に見える性質も有名です。結晶の特徴である異方性が分かりやすい鉱物の代表と言えます。

方解石は割った時の形が非常に有名ですが、天然に産出する方解石の結晶は、逆に様々な形の結晶を見ることができます。結晶が成長するときの環境(周囲の温度や圧力など)により様々な形の方解石ができます。また、純粋な方解石は無色透明の結晶ですが、不純物が混じることで様々な色のついた方解石も産出します。

方解石の結晶は様々な形(自形)を持ちます。しかし、どんな形の方解石であっても、割った時の形は同じ形になります。つまり、方解石の結晶が成長してできる形



方解石
三角柱型の結晶が集まっている
(所蔵:玄武洞ミュージアム)



犬牙状方解石
方解石の自形結晶の中で三角錐型の形が特徴的で「犬牙状」と呼ばれる
(所蔵:大阪大学総合学術博物館)



方解石
透明度の高い細長い結晶
(所蔵:大阪市立自然史博物館)

と、方解石を割ってできる形は違う形なのです。

アユイは、方解石を割った時の形が決まっている、ということに注目して、方解石は「方解石の基本の形」をもった非常に小さい方解石の単位があると考えました。そしてその「単位」がたくさん集まって目に見えるサイズの方解石の結晶を作っていると考えました。ここまでは比較的単純な発想ですから、他にも同じことを思いつく人はい

たでしょう。しかし、アユイが素晴らしかったのは、方解石の最小単位の形と、実際に結晶が成長してできる形とが一致しない場合のことを説明したこと。そして同じ結晶格子であっても複数の自形が存在することを説明したこと。

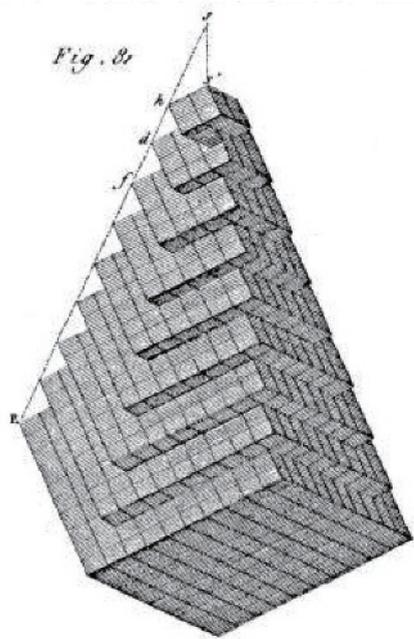
この企画展の方解石の標本を観察して、様々な形の方解石がすべて同じ結晶格子からできている不思議を感じてください。

5. 水晶

石英の結晶のうち大きなものを水晶と呼びます。水晶の結晶は、六角柱の両端に六角錐がくっついたような独特の形をしています。水晶の自形結晶は細長く成長したものや、六角柱部分が短くて太くずんぐりした印象に成長したものなど多少のバラエティがありますが、六角錐と六角柱の組み合わせという形はすべて共通しています。これは方解石のように複数の自形を持つ鉱物とは違った特徴です。

水晶の自形結晶の形は、本来は、六角柱部分は、太さが均一になるのですが、標本によっては、六角柱部分の太さが先端に向かって細くなるような形の水晶も見かけます。これは、水晶の結晶が成長する際に、結晶の長さが長くなる方向への成長が早くて結晶が太くなる方向への成長がゆっくりになるような環境であった場合に、このような形の結晶ができあがります。この時、六角柱部分の面に、結晶成長の跡となる平行な縞模様(成長線)が観察できる標本になることもよくあります。

水晶の標本の中には、2つの水晶の結晶が約85°の角度でくっついて成長している標本があります。2つの結晶が、結晶の特定の面を共有してお互いに決まった角度



アユイの考えた結晶格子と自形の関係
結晶格子の形と、自形結晶の形は一致しなくてもよい



水晶

この標本では、六角柱部分の太さが一定になっていない
(所蔵:京都大学総合博物館)

で接合する現象を「双晶」と呼びます。水晶が約85°の角度で接合する双晶は「日本式双晶」と呼ばれる双晶です。「日本式双晶」という名前は、このような標本が日本の水晶鉱山からよく見つかったことに由来します。2つの結晶が特定の面を共有して結晶が成長する、ということも結晶の持つ異方性の一つです。

純粋な水晶は無色透明で、化学組成はSiO₂です。水晶の結晶の中で、ケイ素と酸素は共有結合によって結びついていますが、このケイ素がごくわずかに他の元素と置き換えられることにより、色のついた水晶ができます。紫水晶はケイ素の代わりに4価の鉄イオンがわずかに取り込まれることで紫色を発色します。煙水晶はケイ素の代わりにアルミニウムイオンがわずかに取り込まれることで、黒い色になります。黄水晶では、3価の鉄イオンがケイ素の代わりにわずかに取り込まれています。これらの色のついた水晶を化学分析しても着色の原因となっている物質はごく微量なため、色のついた水晶の化学式を書く場合は、無色の水晶と同じくSiO₂と書かれます。



水晶(日本式双晶)
2つの水晶の結晶が決まった角度で接合している
(所蔵:京都大学総合博物館)



煙水晶
(所蔵:大阪大学総合学術博物館)



紫水晶
岩の内側の空間に結晶が成長している
(所蔵:京都大学総合博物館)



紫水晶
水晶の結晶の先端部分だけ紫色に着色している(所蔵:玄武洞ミュージアム)

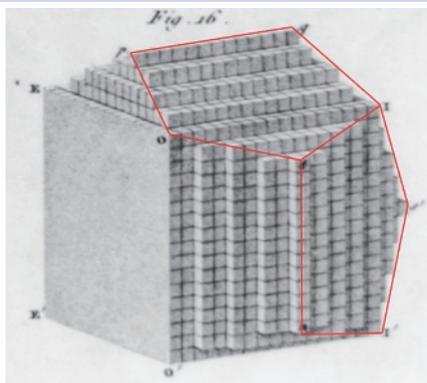
ごく微量な不純物が鉱物の見た目の色を大きく変化させるという例は水晶以外の鉱物でも多く見られる現象です。有名などころでは、宝石のルビーとサファイアは化学式は同じ Al_2O_3 で、不純物として含まれるごく微量な元素が宝石の色を決めています。

6. 黄鉄鉱

黄鉄鉱は、鉄の硫化物の結晶です。金色の光沢が美しいだけでなく、結晶の形が分かりやすい標本が多くあり、知名度の高い鉱物です。黄鉄鉱の結晶は、六面体型、八面体型、五角十二面体型の3種類の自形があり、結晶ができるときの周囲の温度や圧力などの環境の違いで、形の違う黄鉄鉱の結晶ができます。

黄鉄鉱は、条件によっては五角十二面体型の結晶を作ります。「結晶は決まったパターンの繰り返しである」というアユイの考え方に従うと、五角形を平行移動させて繰り返しでも平面を埋め尽くせないのので、結晶の「決まったパターン」の形に五角形は入っていないはずですが、五角形とは関係ない「決まったパターン」の集合で五角形の結晶を作るのは難しそうに見えますが、アユイは立方体を規則正しく積み重ねて五角十二面体型の結晶ができることもきちんと説明しています。

六面体型の黄鉄鉱は、完全なさいころ型の結晶が産出されます。結晶が成長するときというのは、普通は、何かしらの岩石の表面に小さな結晶ができて、その結晶がだんだん大きく成長するのが一般的です。最初の小さな結晶がくっついていった岩の方向へは岩が邪魔で結晶は成長できないため、ほとんどの鉱物の結晶は完全に自形になることはほとんどなく、どこかに岩にくっついていった跡(自形ではない面)を持っていることが普通です。ところが、さいころ型の黄鉄鉱の標本は、6つの面のすべてが自形の面です。このような結晶はどこでどうやって結晶成長したのでしょうか？このような六面体型黄鉄鉱は、火山灰の地層から掘り出されます。火山が噴火するとき



アユイが考えた黄鉄鉱の五角形の面立方体の結晶格子で五角形の面が表れている(赤線は筆者加筆)



黄鉄鉱五角十二面体型結晶
(所蔵:京都大学総合博物館)



黄鉄鉱六面体型結晶
六面全てが自形面になっている標本
(所蔵:大阪市立自然史博物館)



黄鉄鉱六面体型結晶
六面体型の結晶が、いくつもくっついて
いる(所蔵:玄武洞ミュージアム)

に、その高温の噴煙の中で黄鉄鉱の結晶が成長したと考えられます。積乱雲の中で雹ひょうが大きく成長するのと同じように、火山の噴気の作り出す上昇気流の中で、黄鉄鉱の結晶がすぐに落下せず大きな結晶に成長したのだらうと考えられます。

7. 様々な鉱物

鉱物は、その鉱物種ごとに、結晶の形や色に独自の性質を持っています。今回の企画展「鉱物の魅力」では、結晶の形が分かりやすい標本を集めました。さまざまな鉱物の結晶を観察して、アユイが感じたような鉱物・結晶の不思議さ面白さを感じ取ってください。



蛍石六面体型結晶
蛍石も何種類も自形がある鉱物である
(所蔵:京都大学総合博物館)



菱マンガン鉱
ピンク色の鮮やかな結晶
(所蔵:大阪大学総合学術博物館)

いいやま おおみ(科学館学芸員)