

断層岩の研究

なつめ いつき

夏目 樹(学芸員)

はじめに

私はこれまで断層岩と呼ばれる岩石について研究してきました。この断層岩という言葉は聞き馴染みがないと思いますが、漢字から断層に関連した岩石であることは想像できると思います。ここでは、断層岩とはどのような岩石であるのか紹介するとともに、私の研究について紹介します。

岩石とは

そもそも岩石とはどのような物質なのでしょう。図1aは丹沢に分布するトータル岩と呼ばれる岩石の拡大写真です。この写真を見ると、トータル岩は黒や白、灰色の粒子から構成されていることがわかります。これらの粒子はそれぞれ、角閃石、斜長石、石英と呼ばれる鉱物です。鉱物は一般的に、化学組成(構成する元素の比率)がほぼ一定で、特定の結晶構造(規則的な原子の配列)をもっています。しかし、ほぼ一定の化学組成と結晶構造をもっていれば鉱物であるという訳ではありません。鉱物は地質作用を経て生成された天然の物質でなければならないのです。例えば石英は化学式で SiO_2 と表され、ケイ素(Si)と酸素(O)が1:2の割合で含まれています。そして、ケイ素を中心として各頂点に酸素が配置された正四面体が連結した結晶構造をしています。石英と同じ化学組成と結晶構造をもつ人工水晶は工業的に生産され、電子デバイスや時計などに利用されていますが、地質作用を経て生成された天然の物質ではないので鉱物ではありません。一方でトータル岩に含まれる石英はマグマから

生成されているので鉱物です。そして、トータル岩が角閃石、斜長石、石英の集合体であったように、岩石は鉱物粒子の集合体であるといえます。

このように岩石を鉱物の集合体だと捉えると、岩石を説明する上で構成鉱物の種類・割合と粒子の集合状態が重要となります。特に後者は岩石の組織と呼ばれています。例えば、図1の2つの岩石を比較すると(b)の方が(a)よりも構成する鉱物粒子が細かく、細粒な組織といえます。また(b)の岩石では面状の構造(面を横から見ているので縞状に見える)が発達しており、このような岩石中に見られる面状の構造も岩石組織の一種です。

岩石の分類

岩石はそのでき方に基づいて大きく、火成岩、堆積岩、変成岩の3種類に分類されます。火成岩は、岩石が溶けたものであるマグマが冷えて固結した岩石です。堆積岩は砕けた岩石などが、水の流れなどによって堆積し、固結した岩石です。変成岩は岩石が固体のまま、構成する鉱物の割合や組織が変化した岩石です。火成岩と堆積岩に比べて変成岩はイメージしづらいと思うので例を交えながらもう少し詳しく説明します。例えば、箱根火山の岩石は安山岩が多く、黒～灰色の見た目をしていますが、

おおわくだに

大涌谷などの噴気地帯では岩石が白くなっています。これは火山の影響を受けた地下水などの流体が岩石と化学反応を起こして、含まれていた鉱物が別の鉱物に変化した結果、白くなったものです。また、サンゴ化石などを含み、炭酸カルシウムを主成分とする石灰岩は、地下深くでマグマからの熱を受けると、炭酸カルシウムの結晶である方解石という鉱物が大きく成長することで組織が変化し、大理石という変成岩に変わります。このように岩石は置かれた環境に応じて化学反応を起こしたり、結晶が成長したりすることで、構成鉱物の種類・割合や組織が変化してしまいます。こうして形成される岩石を変成岩と呼びます。

断層岩

ここで、岩盤に大きな力が加わり、割れて、ずれ動いた時のことを考えてみましょう。この時に生じたずれを断層といい、割れた面を断層面、断層面に沿ってずれ動く現象を断層運動と呼びます。この断層運動によって、断層面付近で岩石が細かく破砕されることがあります。言い換えれば、断層運動では破砕されて岩石の組織が変化することがあります。このように、断層運動に関連して岩石が変形し、組織が変化することで形成される変成岩をまとめて断層岩と呼びます(図2)。断層の浅い領域では岩石が破砕

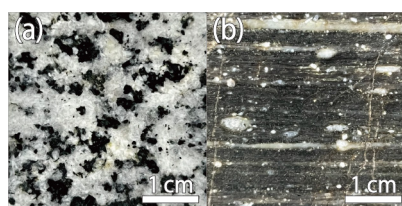


図1. トータル岩とマイロナイトの拡大写真。a: 丹沢山地のトータル岩, b: トータル岩由来のマイロナイト。このマイロナイトは鹿塩マイロナイトとして有名。

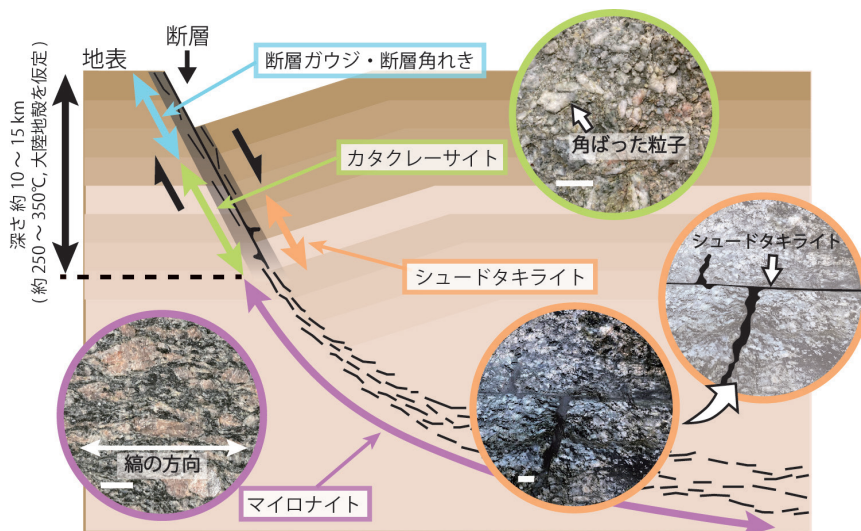


図2. 断層岩の分類とその深度分布。写真のスケールバーは約1 cm。

されて生成した^{さいりゅう}細粒な物質と元の岩石の破片が未固結のまま存在し、前者を断層^{えぐ}ガウジ(抉るを意味するgougeに由来)、後者を断層^{かく}角れきと呼びます。一方で、断層深部の圧力の高い領域では破碎された岩石が再度固結してしまします。こういった断層岩はカタクレサイトと呼ばれており、そのでき方から角ばった岩片や鉱物粒子を含むことが特徴です。より断層深部の圧力が高い領域では断層運動による摩擦熱が大きくなり、局所的に岩石が溶けてしまうことがあります。溶けた岩石が急冷されて生成した、黒っぽいガラス質の岩石をシュードタキライトといい、これは「地震の化石」とも呼ばれています。シュードタキライトは形成過程で一度溶けてはいるものの、断層岩の一種として扱われています。

さらに深くで温度の影響が大きくなると、そもそも岩石が割れるという現象が起きなくなります。その代わりに岩石は固体のまま流動的な変形を起こします。固体のまま流動的に変形するという現象は一見馴染みがないように感じますが、実は身近な^{たんぞう}ところで利用されています。それは金属の鍛造です。赤く熱せられた鉄をハンマーで叩くことで鍛造して、包丁などを作る様子を動画などで見たことがあると思います。この時、鉄は溶けてはいないものの、割れることなく柔らかに流動的に変形しています。同様



図3. オマーンでの研究の様子。左上から右上にかけて面状の構造がよく発達したマイロナイトが観察できる。

に、高温である地下深部では、鉱物も固体のまま流動的に変形してしまします。例えば花崗岩^{かこうがん}などによく含まれる石英^{ちようせき}や長石は、大地の動く速度などを考慮すると、それぞれ300℃、450℃ぐらいで流動的に変形するようになります。その結果、カタクレサイトやシュードタキライトの形成域よりも深部では、鉱物の集合体である岩石も流動的に変形します。そうして形成された断層岩はマイロナイトと呼ばれており、一部大きな粒子が残つつも全体的には元の岩石よりも細粒で、変形した面にほぼ平行な面状の構造が発達するという特徴があります(図1b)。

変形の集中

流動的な変形を引き起こすのに必要な力の大きさは、岩石の構成鉱物や組織に加えて、温度や圧力、岩石内部に含まれる流体などの影響を受けて変化します。そのため、変形に必要な力が小さい、すなわち相対的に“軟らかい”領域に変形が集中することがあります。ショートケーキをイメージすると、ケーキ上面を押し付けながら横にスライドさせると、スポンジ部分はほとんどそのまま、クリーム部分で滑って変形していくと思います。相対的に“軟らかい”領域というのはクリームの部分に相当するわけです。このように、岩石の中でどのような領域にどのようにして変形が集中していくかというプロセスを知ることは、地下深部で岩石がどのように変形していき、その結果として大地がどのように動いていくかを理解する上で重要です。

私は、海洋底を覆う岩盤が地下深くで、どのようにして流動的に変形していき、変形の集中がどのように進むのかについて研究しています。海洋底の岩盤は大雑把に三層構造をしており、私は最下部のカンラン岩と真ん中のハンレイ岩の境界部での変形に着目しました。とはいえ、海洋底そのものからそれらの岩石を直接採取することは難しいので、海洋底の岩盤が陸上に乗り上げている、アラビア半島のオマーンでサンプルを採取して研究を行いました(図3)。これまでの研究成果から、流動的に変形しながら水を主成分とする流体が流入

すると、温度に応じて流体、カンラン岩、ハンレイ岩の三者間で化学反応を引き起こし、角閃石や緑泥石^{りよくでいせき}という鉱物が多量に生成されたことが明らかになりました。そして、それらの鉱物がより“軟らかい”鉱物として振る舞うことで、変形が集中していったことが推測されました。

断層岩と大地の動き

断層そのものあるいは断層岩からはかつての岩盤の動きを推定することもできます。割れてずれた面である断層面には、ひっかき傷のような線状の構造が残ることがあり、断層面とその線状の構造から岩盤がどの面でもどの方向に動いたかが推定できます。こういったずれた面とずれの方向に対応した面と線の構造は、断層岩内部にも残されています。この情報に加えて、断層岩が形成される相対的な深度を踏まえると、その岩盤がどのくらいの深さのところ、どの方向から力を受けて、どの方向に動いたかということもある程度推定できます。特にマイロナイトでは、変形した環境に応じて、鉱物粒子が結晶構造に基づいた特有のパターンに配列することがあり、その配列から岩盤がどのような環境下で変形したかについても推定できます。

丹沢山地には地下深部でマグマが固結してできたトーナル岩体を取り囲むように丹沢変成岩類が分布しています。これらの岩体がどのようにして陸上に露出したかについては、モデルは提案されているもののまだ不明な点が多いのが現状です。丹沢山地にも断層岩が分布していますが(図4)、十分に研究は進んでいません。ここで紹介したように、断層岩類から過去の岩体の動きが復元できれば、丹沢山地の形成史が明らかになるかもしれません。

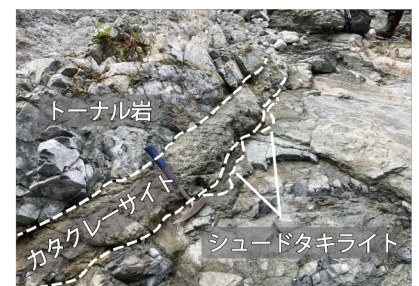


図4. 丹沢山地中川河床の断層岩露頭。カタクレサイトとシュードタキライトが発達する。カタクレサイトの厚さは約30 cm。