2013 年度第 2 回森里海のつながり講座
第 2 回 2 時限「日本最古の鉱物
『ジルコン』と世界で最も若い花崗岩」
２０１３年９月２８日（土）

１５：００～１６：２０

富山県民会館３０４号室

第２回　２時限

「日本最古の鉱物『ジルコン』と世界で最も若い花崗岩」

国立極地研究所地圏研究グループ　助教授
堀江　憲路氏

1. 鉱物と岩石の違い

我々は日ごろ、鉱物と岩石を合わせた意味で「石」と呼んでいる。本来「鉱物」とは、酸素やケイ素，アルミニウムといった複数の元素が特定の集まり方・結びつき方をしているものであり、カリ長石や石英、斜長石と呼ばれているものが「鉱物」である。この「鉱物」が集まってできているものが「岩石」である。したがって、「鉱物と岩石は別物である」という認識を持っていただきたい。

我々が住む太陽系の原型である原始太陽系星雲が誕生したのが今から 46 億年少し前で、渦巻くガスから微惑星が形成されたと考えられる。そして、微惑星が衝突を繰り返して徐々に大きく成長し原始惑星系ができ、約 45.3 億年前に地球が誕生したと考えられる。その当時の地球の表面は、まだ隕石や微惑星の衝突が続いており、全体がマグマで覆われたマグマオーシャンという世界であった。従って、こういう時代には石は存在しないと考えられている。そして、44 億年前に大陸が誕生し始めたというのが今考えられている地球誕生モデルである。

世界で最も古い「鉱物」はオーストラリアの Jack Hills から見つかった「ジルコン」であり、約 44 億年という年代を示す。この頃には大陸地殻が形成されていたと考えられる。また、世界で最も古い「岩石」は、カナダで見つかったアキャスタ片麻岩であり、40 億年前にできたと考えられる。さらに、グリーンランドのイスアで見つかった石は世界一古い表成岩であり、今から 37 億～38 億年前のものとされる。ちなみに表成岩とは、一度形成された岩石が、地表に現れ風や雨にさらされて砂になったものが、再び地下で押し固められて岩石になったものである。

2. U-Pb 年代測定って何？

地球の歴史をひも解く上で非常に重要な鉱物や岩石の発見をしてきたのが、「SHRIMP（エビ）」と「zircon（ジルコン）」を組み合わせた方法である。我々が「SHRIMP」と呼んでいるものは大型の質量分析器で、これを使って「ジルコン」と呼ばれる鉱物を分析することで年代を決めることができる。SHRIMP とは英語の Sensitive High Resolution Ion MicroProbe の略で、日本語では高感度高分解能イオンマイクロプローブと訳される。全体で 12t もあるような巨大な機械だが、この形がちょうどエビに似ているということで、語呂合わせで SHRIMP という名前が付いている。

SHRIMP を用いて年代を測定する際には、図表 14 の[Sample]と記載された高真空チャンバーに測定試料を導入して、[Primary ion source]に酸素ガスを流しながら電圧を掛けて酸素ビームを作り出して試料に照射する。試料の表面から飛び出したイオン(二次イオン)を静電場を通して、磁場で重さごとに分けてイオンの数を数える。イオンマイクロプローブとは、イオンの非常に細かい針のことであり、10 円玉の表側の宇治平等院鳳凰堂の屋根の上に載っている鳳凰の眼を貫く程度の大きさと考えてもらえばいいだろう。2013 年 9 月現在，世界で 16 台の SHRIMP が稼働中だが、2014 年までに国立極地研究所に 2 台目が設置される予定である。また、ポーランドにも導入される予定であるが、来年度になっても世界に 18 台しかない機械である。

SHRIMP の開発は 1973 年から始まった。オーストラリア国立大学の Bill Compston 元教授が、学生時代に一粒の鉱物からその岩石の年代を正確に測定したいという理念を持ち、実際に教授になってその開発資金を入手したことから開発が始まった。ほぼ同時期に、昨年お亡くなりになった大阪大学の松田久教授が、静電場アナライザーと四重極レンズ，磁場の組み合わせによって、高感度を維持しつつも高質量分解能を達成する二重収束型質量分析計の理論を発表されていた。ただ当時の日本国内では、装置が大規模で高価になること

から購入者はいないという理由で商品化は見送られた。それで、Bill Compston 元教授が開発したものを現在、日本が買っているという変なことになっている。

ジルコン（ジルコニウム珪酸塩）とは ZrSiO4 という分子式で表現される鉱物で、多くの岩石に含まれており、重くて硬いという特徴を持つ。硬いということは、物理化学的に安定していて、風化等に耐えることを意味する。高温のマグマの中においても溶解することは稀である。また、比較的ウランを多く含むので、年代測定に最適の鉱物である。

その岩石や鉱物に僅かに含まれるウランを使って年代を決定する方法を U-Pb 年代測定法と言う。元素は原子からできていて、原子は電子と原子核からできていることはご存じだと思う。原子核は陽子と中性子から構成されているが、この陽子の数が酸素や炭素という元素の違いを決めており、陽子と中性子の数の和が重さを決めている。元素の周期律表はご覧になったことがあると思うが、周期律表は元素の一覧表であり、陽子の数の差を見ている。元素の中でも同位体と呼ばれるものは、同一元素で重さの異なるものである。

図表 21 は鉛の例だが、陽子の数は同じでも中性子の数が一つずつ違うので、一つ増えるごとに重さが増えていく。同位体も含めると世の中にはものすごい数の元素が存在していることになる。

同位体の中には、時を経ても変わらないものと、時間とともに別の元素に変化するものが存在する。後者を放射性同位体といい、例えば 238U というウランの同位体は、45 億年，つまり地球の年齢くらい時がたつとその半分が 206Pb に変わっていく(放射壊変)。100 個のウランの半分，つまりウラン 50 個が鉛に変わる時間を半減期と呼び、ウランの場合はこの変化にかかる時間が非常に正確に決められているので、鉱物の中のウランの数と鉛の数を正確に数えることができればその鉱物がどのぐらい前にできたかを計算できるというメリットがある。故に、この方法を使って年代を測定する方法、U-Pb 年代測定法が今、主流となっている。

3. 富山県の石

我々が実際に年代測定を行うときには、日本・世界各地の石を採ってきて、その石を粉砕し、磁性や比重ごとに分けて、そこからジルコンという鉱物だけを集める。例えば黒部川地域から採取した花崗岩などの岩石もジルコンだけの状態にして、それを極地研究所の SHRIMP を用いて年代測定をするわけである。そこから分かったことは、黒部川の石は日本一古くて、世界一若いということである。

富山県北部には取層群と呼ばれる砂岩を中心とした堆積岩が分布しているが、南部には飛騨帯と呼ばれる古い岩石が出てくる。そして、北アルプス山脈周辺になると、大変若い花崗岩が露出していることが昔から知られていた。

我々の当初のモチベーションとしては、飛騨帯が中国大陸から韓半島へとつながる地質体の東方延長ではないかと昔から言われていることから、それを検証したいということがあった。飛騨帯は石川県から富山県の東部に続く変成岩体であるが、岩石としては麻を編んだような模様が特徴である片麻岩が中心である（図表 28）。この岩石が韓半島や中国大陸の岩石と似ているのではないかというのが昔からある議論なのである。

地球は半径 6370km の球体で、中心から内核，外核，下部マントル，上部マントルというように層構造をなしている。上部マントルの外側に卵の殻のように薄く存在するのが地殻である。この地殻は大体 14～15 枚のプレートから成っており、このプレートの境で地震がよく起こるとされる。ちなみに、プレートは海底の海嶺にマグマが上昇してきて冷却され、それが例えば日本の沖合の海溝部分で沈み込む。

今から約 3 億 2000 年前、中国大陸は北と南で別々の大陸だった。それがプレートの移動に伴い 3 億年から 2 億 8000 年前ぐらいに衝突を始めて、2 億 5000 年前ぐらいに世界最大の大陸衝突帯を形成する。そのとき日本列島は存在しておらず、日本列島の原型が南北中国大陸の沖合で形成されつつあったと考えられている。飛騨帯は北中国大陸の端に属していたと考えられている。

一方、日本列島の大部分は南中国大陸の沖合の沈み込み帯で形成されたと考えられている(図表 32)。しかし、決定的な証拠がないということで、それを年代学的に検証してみようというのが我々の研究である。

4. 日本最古だった宇奈月花崗岩のジルコン

我々が注目したのが、飛騨帯の東端にある宇奈月地域である。この辺りは皆さんご存じのとおり、非常に険しい山々であり、調査・研究も困難を極める地域です。旧地質調査所、現在の産業技術総合研究所地質調査総合センターは、日本全国で地図の上に岩石の種類を記載した「地質図」を作成しているが、黒部川の上流域は未だにその地図ができていない空白地帯になっている。宇奈月温泉の温泉街がある地域ですら、まだ正式には発表されていない部分なのだ。つまり、地質学者にとっては、日本で唯一残された最後のユートピアとも言うべき地域なのである。

ただ、諸先輩方が一生懸命描いてくれた地質図は存在する（図表 36）。黒部川の西岸には飛騨帯が存在しており、片貝川グループと呼ばれている。黒部川の両岸をまたぐように飛騨帯とは異なる変成岩が存在しており、それを宇奈月グループと呼称している。さらに東側にある岩石はマグマから形成された深成複合岩体が存在する。つまり宇奈月地域は地質学的に三つにグループに分けることができる。

片貝川グループでは片麻岩が主体であるが、宇奈月グループで一番有名な岩石は図表 38 のような十字石結晶片岩であり、泥質片岩の中に日本で唯一肉眼で確認できるほどの成長した十字石の結晶が観察できる。後述するが十字石の存在は恐らく宇奈月グループの原岩

が大陸起源であることを示唆する。また、図表 39 のように、宇奈月地域を含む飛騨帯で唯一化石を含む岩石も宇奈月グループから見つかっている。

宇奈月地域が地質学的に有名になったのは、1950 年の石岡孝吉博士による十字石の発見がきっかけであった。十字石は中圧～高圧変成岩に見られる鉱物であり、Fe や Al に富む岩石を原岩とする。Fe や Al に富む岩石は大陸地殻の特徴であり、日本列島で大陸の影響の痕跡が報告された稀な例であったが、あまり研究は進まなかった。諏訪兼位博士、太田昌秀博士らによって詳細な研究が進められ、1970 年代に入ってから石英長石質片岩を中心に年代測定が行われるようになった。その中で一番大きな変化は 1979 年に廣井美邦博士による微化石の発見であり、飛騨帯とは区別し「宇奈月帯」を定義することを提案されたが、大きな進歩はないままに現在に至っている。

現在の知見により、宇奈月地域の岩石はどのようにできたか、まとめてみた。富山にある普通の岩盤（飛騨変成岩）の上に、約 3 億 2000 年前に海の底で大陸から運ばれた砂や泥が堆積した。この堆積物が宇奈月変成岩の原岩であり、原岩はやがて地下深部に沈み込み高い温度・圧力に曝され中圧変成作用を受け、宇奈月変成岩が形成された。その後、1 億 7500 万年前に地下のより深いところから上昇してきた花崗岩マグマが宇奈月変成岩に貫入し、それが後に地表に出てきたというのが今まで考えられている宇奈月地域の歴史である（図表 45-46）。

図表45-46

- 3億2000万年頃　大陸の砂が飛騨片麻岩の上に堆積
(石炭紀後期～ペルム紀前期)

図表45-46

- 3億2000万年頃　大陸の砂が飛騨片麻岩の上に堆積
(石炭紀後期～ペルム紀前期)
- 中圧変成年代:2億4800万年－2億1200万年前
(南北中国地塊衝突帯の東方延長？韓半島と類似)
- 花崗岩の貫入:1億7500万年前

今回、我々は宇奈月地域から花崗岩を採取してジルコンを集めた。一般的に花崗岩中のジルコンは角ばった結晶面を持つ。ところが宇奈月地域の花崗岩から回収したジルコンは、角ばっているものと丸くなっているものが存在していることが分かった（図表 50）。

ジルコンを樹脂に埋包し、中心が出るまで慎重に研磨し、その化学組成を電子顕微鏡で観察したものが図表 51 である。

角ばったジルコンは中心から同心円状の模様が見え、これはジルコンがマグマの中で対流しながら成長したことを示唆している。一方、丸まったジルコンは角ばったジルコンと異なり、中心に明るい部位があり、その周囲が暗い部位があるというものだった（図表 51）。

両者には相違があると判断し、実際に年代測定を行った。角ばったジルコンは 2 億 5000 万年前ぐらいのものであった。この時期は世界中でマグマ活動が活発であったと考えられており、大気に大量に放出された二酸化炭素などの影響で生物の大絶滅が生じたとされている。

一方、丸くなっているジルコンからは 35 億～38 億年という年代が得られた。一番古いものは 37 億 5000 万年という年代を示したが、これはこれまで日本で一番古いと言われていた岐阜県天生峠の飛騨片麻岩から報告されていた 34 億 2000 万年を上回る。つまり、日本で一番古い鉱物だと考えられる。

世界と対比すると、グリーンランドの表成岩の年代に近いことが分かる。つまりこの時期には大陸が出来上がり、岩石が河川などで削剥されて砂になり、それが集まってまた岩石になるという作用を起こし始めていた。宇奈月花崗岩中の丸くなっているジルコンも、同様に初期の大陸が形成されて風化･削剥が始まった時期に形成されたことになる。では、日本最古のジルコンはどこから来たのだろうか。グリーンランドと宇奈月を結び付けるのはさすがに難しい。アジアの中で古いジルコンが出る所を探すと、北中国に 2 カ所存在する。中国北東部の Easter Hebie（東河北省）と Anshan（鞍山）である。ちなみに東アジアでは 35 億年より古い年代は北中国のみに存在しており、南中国からは報告されていない。

では､そういう古いジルコンがなぜ宇奈月花崗岩中に存在しているのかを考えてみたい。

図表 55 の簡単な実験を見てほしい。お湯の中に砂糖を入れていく。お湯の中では砂糖は溶けていくが、そのお湯を冷やすとまた砂糖が沈殿してくる。では、お湯の中に砂糖を入れ過ぎるとどうなるか。このときも溶けきれなかった砂糖が沈殿してしまう。これはお湯の温度に対して溶け込める砂糖の量が決まっているためである。これを「飽和」という。ジルコンでも同様の現象が生じる。マグマが上昇してくる際には、周囲にある岩石の一部を溶かしながら上昇し、周囲の岩石からジルコンを溶かし込んでくることがある。高温のマグマでは周囲から取り込んだジルコンは溶けてしまうが、低温のマグマでは飽和条件の

もとでジルコンが溶けることが出来ず、そのままマグマの中に残ってしまう。そういう現象が宇奈月の地下で起きていたのではないか。こう考えると、宇奈月地域の地下深部には中国の北部に関係した岩石が昔あったということになる。つまり、日本列島で初めて、北中国地塊と関係があったという証拠が出たということになる。

5. 何が世界一若いの？

お話ししたように、宇奈月地域では 2 億 5000 万年ぐらい前の岩石が露出している。その東側の北又谷周辺には 8500 万年前ぐらいの若い火成岩が、剱岳周辺には 7000 万～6000 万年前の火成岩が存在している。黒部ダム下流にはさらに若い火成岩が存在しており、その年代は 500 万～100 万年程度であると考えられているが、この周辺は誰も詳細な調査を行っていない。今までは長野県の穂高に存在している滝谷花崗閃緑岩が世界で一番若い露出した花崗岩とされており、今から 120 万年前のものだ（図表 57-59）。

では、花崗岩とはどんな岩石なのか。岩石は、堆積岩、火成岩、変成岩の三つに大きく分けられる。火成岩も冷え方や成因によって火山岩と深成岩に分けられるが、花崗岩は深成岩の一つであり、海嶺で誕生したプレートが海溝に沈み込んで溶融する際に軽いマグマが上昇してできるものである。従って、花崗岩は地下の深部でできるものであり、岩手県にある葛根田地熱帯で地下を 3000～4000m 掘ると、冷え始めている花崗岩を観察することができる。

我々は、黒部川ダム周辺の花崗岩が滝谷の花崗閃緑岩よりも若い可能性があると考え、黒部川に調査に入り花崗岩を採取した。その中でも仙人谷ダム周辺の花崗岩から回収したジルコンが何と 80 万年前のものであることが分かった。つまり、世界で最も若い露出した花崗岩ということになる。黒部川の最高標高 2000m として、花崗岩形成の場が地下 3000m 以上深い所だと考えると、黒部川花崗岩は 80 万年の間に 5000m 上昇してきたことになる。単純計算すると年間 6.25cm 上昇していることになる。これは異様な速さで、今後それをど

う説明するかが課題となるだろう。

何はともあれ、黒部川の宇奈月地域には日本最古のジルコンを含む石があり、黒部ダム下流には世界で最も若い露出した花崗岩が見られるということで、黒部川はまさに奇跡の川と言えるだろう。