

宇宙化学の新時代

講演者：平田 岳史（京都大学大学院理学研究科地質学鉱物学分野）

報告者：渋谷 小春（地質学鉱物学教室 M2）

1 年代学のススめ

いつ、どのくらい継続して起こったのかという「年代情報」は議論展開やモデル化において重要な情報である。この年代情報を得る手法として、同位体年代学を紹介する。

2 原子核の壊変現象を用いた年代測定法

2.1 Rb-Sr 年代測定法

ルビジウムは、 ^{85}Rb 、 ^{87}Rb の二つの同位体をもつ。 ^{85}Rb は安定であるが、不安定な ^{87}Rb は、ベータ壊変により ^{87}Sr になる。この半減期は 480 億年でどんな条件下においても不変であるため、 ^{87}Sr の生成量を数えればベータ壊変が始まってからどれくらい経過しているかを表している。即ち、 ^{87}Sr の生成量と岩石中に残存している ^{87}Rb の量から年代を測定することができる。

このように同位体を用いて年代測定をする方法には、親核種と娘核種の組合せの数だけ存在する。代表的な組合せは、

- ・ ^{14}C 法
- ・ K-Ar 年代測定法
- ・ Re-Os 年代測定法
- ・ U-Pb 年代測定法

半減期の range とサンプルに含まれる元素を合わせ考え、最適な手法を選択する。

2.2 U-Pb 年代測定法

ここで、最も便利な年代測定法として U-Pb 年代測定法について詳しく取り上げる。この年代測定法の便利な点として以下の3つがあげられる。

U と Pb の化学的性質が大きく異なる

親核種と娘核種の判別が容易である。

U の半減期が精密に決定されている

$$^{238}_{92}\text{U} : 1.55125 \times 10^{10} \text{ yr}^{-1}$$

$$^{235}_{92}\text{U} : 9.8485 \times 10^{10} \text{ yr}^{-1}$$

この精度であれば、太陽系形成初期（46 億年前）のイベントを誤差 10 万年という精度で絶対年代が決定できる。他の年代測定法では、この精度は得られない。

ウランを濃縮する鉱物 (ZnSiO_4) が存在する

ZnSiO_4 の特徴

- ・ ほとんどの岩石に入っている
- ・ U の濃縮度が高い (>1000ppm)
- ・ Pb が含まれていない
- ・ 二次変成に強く物理的にも化学的にも非常に安定な鉱物

次の章では、U-Pb 年代測定法を活用した研究を紹介する。

3 横軸 45 億年研究

3.1 『川砂ジルコン計画』

河川により削り取られ、流されてきた土石は河口に至るまでに、砕かれ小さくなり砂粒となる。岩石に含まれるジルコン粒子は二次変成に強いいため、破壊されずに川砂に残る。この川砂のジルコン粒子を集め年代を測定し、年代別のヒストグラムを作成する。これが『川砂ジルコン計画』である。このヒストグラムからは、川の流域の年代別面積との相関が読み取れる。同様に世界各地の巨大河川で調査し、それぞれ年代を測定した。その結果、ジルコンの年代の頻度分布と大陸の成長に相関があることが読み取れた。ジルコンで頻度が高い年代は、沢山の大陸が削り取られており、削り取るだけの沢山の大陸が成長していた。頻度の低い年代は、削り取る大陸が少なかった。即ち、大陸地殻が形成されていなかった。つまり、川砂ジルコンの年代別ヒストグラムからは、大陸地殻の形成論が議論でき、更には「横軸 45 億年研究」を進める基盤となる。

3.2 横軸 45 億年研究

太陽系が誕生した 45 億年前から現在までの時間軸を横軸にとり、時間に対応して様々なものがどう変化したのかをグラフ化する。縦軸は例えば、酸素や鉄、リンの量や地球の磁場の変化の様子、大陸地殻の成長などをとる。これらを同時に載せることで、相互の関係が見えてくるなど議論の発展に繋がる。このように、年代測定法には様々な可能性を持っており楽しいものなのだ！

4 太陽系の形成

4.1 前駆太陽系

ハッブル定数からビッグバンは 137 億年 ± 2 前に起こり、銀河が形成されたことが分かっている。また、隕石の年代測定から太陽系の形成は 46 億年前だとされており、これより以前の年代測定結果は一切検出されていない。つまり、この太陽系の形成の少し前に、年代がリセットされるようなイベントが起こったのではないだろうか。銀河の形成から太陽系が形成されるまでを「前駆太陽系」と呼ぶ。この謎を解明する鍵は、宇宙年代測定法 (CosmoChronology) にある。

4.2 Re-Os 年代測定法

前駆太陽系の謎に対しては、元素そのものの年代測定によってアプローチをする。鉄より重い元素を合成するには 2 種類の過程があり、s-process と r-process である。s-process の s は slow の頭文字である。ある核種が中性子捕獲してできた核種が安定核種ならその核種に対して、不安定核種ならベータ壊変により生成した安定核種に対して、次の中性子捕獲反応が起きる。このような連続的中性子捕獲反応で Fe から Bi まで一連の核種が作られる。s-process の特徴は、核種の中性子捕獲について定常状態が成り立っていることだ。r-process の r は rapid の頭文字である。中性子捕獲で生成した核種のベータ壊変が起きる前に次々と中性子捕獲が続き、中性子数の多い不安定核種が一挙にできたのちベータ壊変で安定核種になる。

^{187}Re 付近の核種図をみると、 ^{187}Os は安定核種 ^{186}W によって r-process から遮断された s-process 核種であり、 ^{187}Re は r-process 核種であることが分かる。 ^{187}Os は s-process だけで合成されるが現在の ^{187}Os には ^{187}Re からの壊変分が付け加わっている。すなわち、

$$^{186}\text{Os} = ^{186}\text{Os}(s)$$

$$^{187}\text{Os} = ^{187}\text{Os}(s) + ^{187}\text{Os}(\text{rad})$$

であり、(s) は s-process 起源、(rad) は放射性 ^{187}Re 起源を意味している。s-process で生成される数は一定であるため、 $^{187}\text{Os}(\text{rad})$ は ^{187}Re が最初の r-process 以来どのように合成されてきたのかがわかり、年代を測定することができる。

この Re-Os 年代測定法のように宇宙年代測定法を使うことで、前駆太陽系の謎を解くきっかけが見つかるかもしれない。

はやぶさのような宇宙開発の進歩により、今後更に面白いサンプルに出会えるかもしれない。年代情報という視点からこれらを眺め、小惑星と隕石の関係や生命の起源、前駆太陽系の歴史へと議論を深めていくことが求められている。そのためにも更に分析の精度を上げていくことが必要である。

5 感想

年代情報の重要性の再確認ができた。また、年代測定法の様々な可能性にわくわくした。未知の領域であるからこそ、他分野との協力が必要であるし、その中でも自分の得意を突き詰めているいろいろな手段でアプローチしようとする姿勢は見習うべきだと感じた。