

衝撃によるマーチソン隕石中の水素・炭素同位体比の変化

名古屋大学・環境学研究科 三村耕一

【はじめに】

隕石の化学データは、太陽系の起源や歴史を知るための情報を提供し得ると考えられている。しかし、隕石は地球へたどり着くまでに様々な現象を経験しているため、隕石の持つ化学データは隕石形成当時のものとは大きく異なっているかもしれない。本研究では、このような現象の1つとして衝突現象に注目し、衝撃によりマーチソン隕石中の水素と炭素の存在度ならびに同位体比がどのように変化するかを調べた。その際、1度の衝撃のみではなく、同一試料に2～3度の衝撃を作用させた実験（多重衝撃実験）も試みた。さらに、隕石の水素と炭素の主要な供給源である不溶性有機物（insoluble organic matter: IOM）についても、衝撃実験を行った。

【実験】

1. マーチソン隕石の単衝撃実験

マーチソン隕石を100 μm以下の粉末にして衝撃容器に詰めた後、その容器の上面に弾丸（300 - 1600 m/s）を衝突させて、試料に衝撃波を作用させた。衝撃を被った試料を回収して2分割し、1つを元素分析計による水素と炭素の存在度測定に、もう1つを質量分析計による同位体比測定に使用した。

2. マーチソン隕石の多重衝撃実験

1度の衝撃実験を行った単衝撃試料を回収し、再び衝撃容器に詰めて同程度の衝撃圧力を作用させることで2重衝撃試料を得た。この操作をもう1度繰り返すことで3重衝撃試料を得た。本実験では11, 19, 32 GPa程度の3つの衝撃圧力を設定して多重衝撃実験を試みた。

3. IOMの衝撃実験

マーチソン隕石から精製したIOMを試料として衝撃実験を行った。さらに、比較検討のためにIOMと化学構造の似ている地球物質のケロジェンを使った衝撃実験も行った。

【結果と考察】

1. マーチソン隕石の単衝撃実験

衝撃を被るとマーチソン隕石は脱水素と脱炭素を起こし、衝撃圧力が高くなるに従ってその程度は大きくなる。また、水素と炭素が衝撃によって脱ガスする際、水素のほうが脱ガスしやすく、脱ガスが進むとともに衝撃を被った試料のH/C元素比は低下した。これは衝撃によって生成した物質の化学的性質によるものと思われる。水素を含む生成物の大部分はH₂, H₂O, CH₄など揮発性に富むものである。それに対し、炭素を含む生成物はCH₄, CO₂などの揮発性に富むものもあるが、主要な生成物である無定形炭素は揮発せずそのまま試料中に留まる。その結果として、反応が進む、つまり、生成物が増えるにつれて、衝撃を被った試料のH/C元素比は低下していくのだろう。

マーチソン隕石の水素と炭素の同位体比も衝撃脱ガスに伴って変化する。マーチソン隕石のδD値は衝撃を被っていない試料の+10.6‰を出発点として、衝撃を被ることによ

り+59.1%まで上昇し、その後、衝撃の程度が増すにつれて-87.6%まで低下した。この衝撃による水素の同位体挙動は、同位体比の異なる2つの供給源（粘土鉱物：-90‰，有機物：+830‰）からの脱水素のみでは説明できず、脱水素に伴う同位体分別または供給源からのHの選択的な脱ガスなどを考慮する必要があることが判った。一方、 $\delta^{13}\text{C}$ 値は衝撃を被っていない試料の-4.6‰から、衝撃によって-12.7‰へと単純に減少する。この炭素の同位体挙動は同位体比の異なる2つの供給源（炭酸塩鉱物：+45‰，有機物：-18‰）からの脱炭素によって説明可能である。

2. マーチソン隕石の多重衝撃実験

多重衝撃実験によって、同程度の衝撃圧力でも衝撃の回数が増えれば、脱ガスが進むことが明らかになった。衝撃の回数が増えるに従って同位体比も変化するが、これらの比は単衝撃実験で得られた脱ガス率に対する同位体比の変化曲線とほぼ同じ線上にプロットされる。このことは、衝撃による同位体比の変化は、脱ガスの程度のみ依存することを示唆している。

3. IOMの衝撃実験

IOMとケロジェンの両試料とも衝撃によって脱水素と脱炭素を起こし、脱ガスの割合は水素のほうが大きかった。これは、マーチソン隕石の衝撃実験の結果と同様のもので、この結果もマーチソン隕石の時と同様に衝撃によって生成した物質の揮発性に起因していると考えられる。

水素と炭素の同位体比に関しては、衝撃脱ガスにともなってIOMがDと ^{13}C を選択的に失うのに対し、ケロジェンではそのようなDと ^{13}C の選択的な損失は観察されなかった。これは、Kerridge (1983)とKerridge et al. (1987)が、ケロジェンとマーチソン隕石から精製したIOMを用いた熱分解実験により明らかにした結果と調和的である。これらの衝撃と熱分解による実験結果から、少なくとも以下の2点が示唆される。1点目は、IOMがその構造中に大きなDと ^{13}C の不均一性を持っていることであり、2点目は、IOM中にはDと ^{13}C に富み揮発しやすい部分（低分子からなる）とHや ^{12}C に富む不揮発な部分（高分子からなる）が存在しており、それらがお互いに弱く結合していることである。

衝撃と熱分解の違いに目を向けると、熱分解は脱水素に伴い大きな同位体分別を引き起こすのに対し、衝撃は大きな同位体分別を引き起こさないことがわかる。一方、炭素については衝撃と熱分解のどちらも目立った同位体分別を起こしていなかった。衝撃と熱分解の脱ガスに伴って水素同位体の挙動が異なるのは、反応時間の長さ、反応時の圧力、反応の環境（静的か？ 動的か？）という要因が影響しているものと考えられる。現時点では、これらのなかで最も重要な役割を果たしている要因を特定することはできていない。