

2013年5月15日(水)

2013年度前期第3回地球科学輻合ゼミナールレポート

「宇宙の水、太陽系の水、地球の水」

講演者:地球惑星科学専攻 地質学鉱物学教室

土山 明 先生

報告者:京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

地質学鉱物学分野 宇宙地球化学分科

修士課程1年 山方 優子

1. 講演概要

水分子を構成する水素及び酸素は、宇宙において普遍的に存在する元素である。これは宇宙創世期より至る所で観察されている核融合に起因する。同時に、このことが系外惑星に水や生命の存在を求める根拠となっている。

太陽系においても、位置的条件に応じて様々な形態の「水」が存在している。例えば、現在太陽系の惑星は「地球型惑星」または「木星型惑星(巨大ガス惑星・巨大氷惑星)」に分類されているが、これは太陽系形成論において「氷の蒸発限界(snow line)」により、分岐したものと説明されている。

しかしながら、宇宙において普遍的な存在であるはずの水は、天体上では少量しか観察されないこともある。「水の惑星」と呼ばれる地球では、その内包する水は質量に換算して地球全体の0.023%に過ぎない。

また、その起源についても明確な説明はなされていない。微惑星の微量の水、原始惑星系星雲、水を含む天体の衝突等起源について諸説ある中で、地球の水と太陽系の水の差異を酸素と水素の同位体比によって解明しようという方法が試行されている。

2. 講演内容

2.1 同位体から探る太陽系と地球の水

2.1.1 酸素同位体組成による分類

隕石の種類によって酸素の同位体組成が異なることから、太陽系は酸素同位体的に不均質であることが明らかである。

酸素には質量数16, 17, 18の3つの安定な同位体が存在し、そこで天然の酸素同位体比の変動を表わすために ^{16}O に対する ^{17}O と ^{18}O の同位体比を求めて、ある標準物質の同位体比からのずれとして次式を用いて表す。

$$\delta^{17}\text{O} = \frac{\left[\frac{^{17}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right]_{\text{sample}} - \left[\frac{^{17}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right]_{\text{SMOW}}}{\left[\frac{^{16}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right]_{\text{sample}} - \left[\frac{^{16}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right]_{\text{SMOW}}} \times 1000 \text{ [‰]}$$

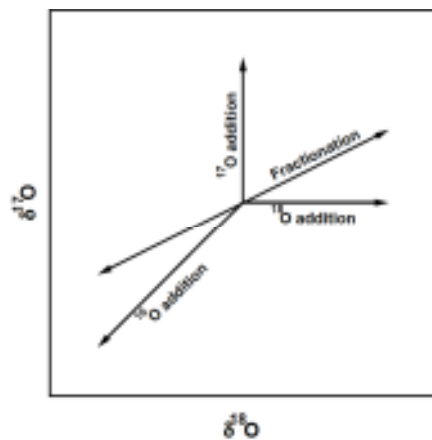
$$\delta^{18}\text{O} = \frac{\left[\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right]_{\text{sample}} - \left[\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right]_{\text{SMOW}}}{\left[\frac{^{16}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right]_{\text{sample}} - \left[\frac{^{16}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right]_{\text{SMOW}}} \times 1000 \text{ [‰]}$$

SMOW : 標準海水 (standard mean ocean water)

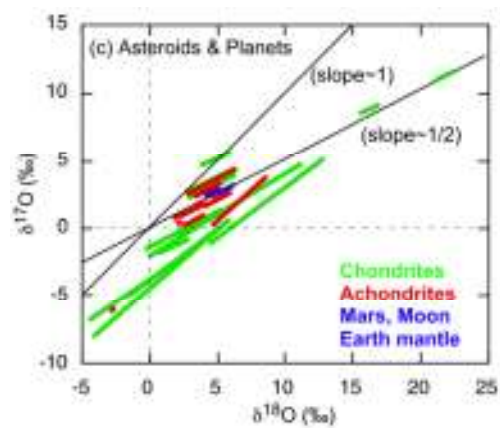
縦軸に $\delta^{17}\text{O}$ 、横軸に $\delta^{18}\text{O}$ とおくと、(図1) のように3つの安定同位体を持つ元素の同位体組成の変動を表わすことができる。地球上の試料を測定すると、その酸素同位体データは傾き約1/2の質量分別線上にのる。(mass fractionation line)

したがって、同じ質量分別線上にある物質は同位体的に同一の物質で似た関係であり、反対に別の分別線を形成する物質同士は同位体的に起源の異なる物質であると判断される。

隕石や他の惑星の酸素同位体比は地球の質量分別線上には乗らず、また炭素質コンドライトに見出された酸素同位体データは傾き1の直線を描き、 ^{16}O の付加があった可能性を強く示唆する。(図2)



(図1) 酸素同位体組成の変動

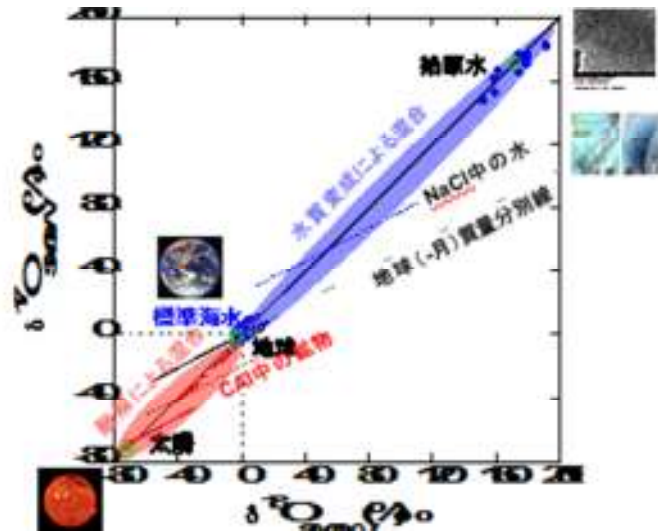


(図2) 隕石、惑星の酸素同位体比

体比

(伊藤正一博士による)

太陽系物質の酸素同位体組成において、 ^{17}O と ^{18}O に富む重い酸素同位体組成が低温での水質変成による太陽系の始源水との混合でできたのに対し、 ^{16}O に富む軽い酸素同位体は融解による混合でできた高温鉍物に見られる。(図3)



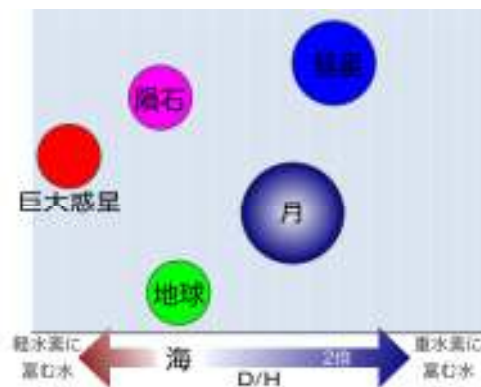
(図3) 太陽系物質の酸素同位体組成

(伊藤正

一博士による)

2. 1. 2 太陽系の水素同位体比

太陽系内に存在する彗星、隕石、巨大惑星、月と地球の水素同位体比 ($^2\text{H}/^1\text{H}$) を比較すると (図4) のようになった。地球の海の水素同位体比は炭素質コンドライトに近い。また月の $^2\text{H}/^1\text{H}$ 比は彗星に近いことから、地球と月の水はそれぞれ違った起源を持つことがうかがえる。



(図4) 太陽系の水素同位体比

(伊藤正一博士による)

2. 2 まとめ

水分子を形成する酸素と水素は宇宙や太陽系に普遍的に存在している。よって太陽系において、氷、水、水蒸気あるいは鉱物中に水分子が存在していると考えられる。しかし、隕石中のコンドライトなどを分析すると隕石の種類によって酸素同位体比、水素同位体比が異なることが分かった。原始太陽系が形成すると同時に酸素同位体組成が均質化されたとする、地球上の試料の傾き 1/2 の同じ直線に乗るはずであるが、実際は乗っていないことから

酸素同位体組成に不均質があったことがわかる。この酸素同位体組成の不均質性がどのように確立されたのか、またその起源は何かということはわかっていない。更に、地球の海水と水素同位体比が等しい物質も見つかっていない。
したがって、地球の水の起源には諸説あり、未だ謎である。

3.

感想

私は今まで、地球の水の起源は、原始地球において水素と鉱物の酸素が反応して生成されたとしか考えたことがありませんでした。水の構成元素である酸素と水素の同位体比を用いて地球の水と太陽系内の他の惑星や隕石の水を比較して起源を探るという方法があることを知って驚いたと同時に、未だにその起源が解明されていないという事実からこれから先どのようなアプローチ法が生まれるのか大変興味深いです。

これから質量分析を行っていく上で、同位体分別を起こす要因とされる同位体効果や質量分別線から大きくはずれる原因である同位体の自己遮蔽効果について学んでいきたいと思います。