

太陽系の酸素同位体組成異常と分子雲の化学

The oxygen isotope anomaly in the solar system and the chemistry in molecular clouds

倉本 圭[1], 塚本 尚義[2]

Kiyoshi Kuramoto[1], Hisayoshi Yurimoto[2]

[1] 北大・理・地球惑星, [2] 東工大・院理工・地惑

[1] Earth and Planetary Sci., Hokkaido Univ., [2] Earth & Planet. Sci., TiTech

<http://www.ep.sci.hokudai.ac.jp/~keikei>

本発表では、太陽系物質の酸素同位体組成異常についてレビューし、分子雲での化学過程がこれに密接に関係している可能性について議論する。その上で太陽系物質の起源を理解する上で ALMA に期待する事柄を述べる。

1. 太陽系の酸素同位体組成異常

太陽系物質の多様性は、主に隕石を調べることにより明らかにされてきた。隕石は内惑星領域からの試料ではあるが、その全体組成や変成度などは極めて多様である。だが、隕石に含まれる主要元素の同位体組成は基本的に極めてよい一致を示す。隕石には鉱物間の組成的平衡化が生じていないものも多数存在する。これは鉱物粒子が集合して以降、元素移動が起こっていないことを意味する。それにも関わらずこのような隕石の各鉱物間にすら同位体組成の違いはほとんど見られない。

ところが隕石中の主要元素の中で酸素だけは特異かつ大きな同位体組成の多様性を示す。酸素の安定同位体には質量数 16 から 18 までの 3 つがあり、酸素同位体組成は $170/160$ と $180/160$ の存在度比で表現される。これらの値は蒸発、凝縮、化学反応などにより変化するが、その際各同位体ペアの質量差に応じて $180/160$ の変化の割合は $170/160$ のその約 2 倍となるのが普通である。ところが隕石にみられる酸素同位体比の多様性はこの法則から逸脱しており、始原的な隕石からは標準物質（地球の海水）に比べ $180/160$ 比と $170/160$ 比がともに数十%も小さな鉱物粒子が広く見だされている。これらのほとんどは難揮発性の鉱物粒子である。また隕石全岩についても隕石の種類によって数%の変化がある。

このような酸素同位体比の多様性の原因はまだ明らかにされていない。異なる元素合成過程を経た物質の混合によるとする解釈では、酸素以外の元素について同位体組成がほぼ均一なことが説明できない。また特殊な気相反応では酸素同位体組成が質量差に依存せずに変化することが分かっているが、そのような反応が実際に原始太陽系星雲内で生じたかどうかは疑問である。

2. 分子雲の化学との関連

太陽系の酸素同位体比異常は分子雲での物質進化過程に由来しているかもしれない。我々が着目するのは、分子雲における光化学過程を介した同位体分別である。 CO は分子雲にもっとも多量に存在する酸素を含んだ分子種であるが、近年の電波天文観測によると、diffuse な分子雲において $\text{C}180$ と $\text{C}160$ の間に分布に空間的なずれが存在することが確認されている。これは $\text{C}160$ 分子による紫外光の自己遮蔽効果が原因と考えられる。分子雲における CO 分子の光分解には線吸収に伴う前期解離が重要である。 $\text{C}160$ 分子は多量に存在するため、分子雲コアの表皮付近でのみ光分解が生じるが、回転順位の違いによって吸収線がシフトしている $\text{C}180$ はより希薄なために、分子雲コア内部領域においても光分解される。これが分布パターンのずれをもたらす。

分子雲内部領域では 170 , 180 をもった CO 分子が選択的に光分解され、酸素原子として放出されると考えられる。酸素原子は塵の表面上で水素原子と化合し最終的には H_2O 氷に取り込まれる。したがって分子雲コアでは 160 に乏しい氷と、逆に 160 に濃集した CO ガスが生産されると考えられる。原始太陽系星雲ではガスと塵は相対運動を持ち、その混合比は空間的にも時間的にも大きく変動する。氷由来成分の混合比が小さなガスと平衡化した鉱物粒子は 160 に富む同位体組成を持ち、一方、混合比の高い領域で平衡化したものは 160 に乏しい組成を持つようになる。数倍の H_2O の濃集を仮定することで、現在隕石にみられる酸素同位体組成の変動幅を説明することが可能である。

3. 実証にむけて

さまざまな進化段階にある分子雲コアについてガス分子の詳細な同位体分布を明らかにすることによって、分子雲における同位体分別過程のより実証的な議論が可能になろう。さらにはガス成分の同位体分別の進行を、分子雲における物質進化の時計代わりに用いることもできるかもしれない。酸素同位体組成異常の問題は、大部分の元素の同位体組成が隕石間でなぜ一様なのかという問題と実は表裏の関係にある。これには分子雲における物質の分化と攪拌に関する理解がきわめて重要であり、ALMA による高い空間、波長分解能での観測が大きく貢献することはまちがいない。