

原始太陽系でのエンスタタイトの分解蒸発による Mg/Si 元素分別の可能性

Possibility of the Mg/Si fractionation caused by incongruent evaporation of enstatite in the primitive solar nebula

橋 省吾[1], 土山 明[2], 永原 裕子[3]

Shogo Tachibana[1], Akira Tsuchiyama[2], Hiroko Nagahara[3]

[1] 大阪大・理・宇宙地球, [2] 阪大・院理・宇宙地球, [3] 東大・理

[1] Earth and Space Sci. Osaka Univ., [2] Earth and Space Sci., Osaka Univ., [3] Geol. Inst., Univ. Tokyo

エンスタタイトは、フォルステライトを残渣に分解蒸発するので、固相・気相間で Mg/Si 比が変動する。エンスタタイトの真空中・水素中での蒸発実験をおこなった。エンスタタイトの蒸発は、十分な厚みの残渣フォルステライト層が形成されると、拡散律速になる。エンスタタイトの蒸発によるフォルステライトの形成とフォルステライトの蒸発とが釣り合い、一定厚みの残渣層のまま蒸発が進行する。

実験で求めた蒸発速度を基に、原始太陽系でのエンスタタイトの蒸発による Mg/Si 元素分別の可能性を議論し、原始太陽系星雲でのエンスタタイトの蒸発により Mg/Si 元素分別は起こりうるということを示した。

原始太陽系での元素分別過程は、平衡論で議論されてきたが、時間を扱えない平衡論で太陽系化学進化を議論するには限界がある。元素分別プロセスを担ったであろう蒸発・凝縮反応のカイネティクスに基づき元素分別プロセスを議論することで、原始太陽系化学進化を解明できると言える。

エンスタタイト (MgSiO_3) はフォルステライト (Mg_2SiO_4) を蒸発残渣に分解蒸発するので、蒸発に伴い固相・気相間に Mg/Si 比の変動が期待できる。エンスタタイトの蒸発カイネティクスを真空中および水素中での蒸発実験で調べ、得られたカイネティクスを原始太陽系条件に適用し、原始太陽系でのエンスタタイトの蒸発による Mg/Si 元素分別の可能性を議論する。

蒸発実験は、フラックス法で合成したオルソエンスタタイト単結晶を用い、Ta または W をヒーターとする真空炉で、真空もしくは水素雰囲気中で一定温度 (1300-1500) で一定時間 (2-240 時間) 加熱することでおこなった。実験中、蒸発したガスは真空ポンプで常に排気した。

分解蒸発によって、エンスタタイト表面には、フォルステライトが蒸発残渣層を形成するが、真空中では、残渣層は蒸発初期には厚みが増加し、やがて一定厚みそのまま蒸発が進行する。蒸発初期の厚みの増加は多孔質の残渣層が形成され表面反応律速で蒸発が進むためと考えられる。フォルステライト自身も表面反応律速で調和蒸発するので、蒸発初期はエンスタタイト、フォルステライトの表面反応律速蒸発速度の差で、残渣層の形成速度は表される。一定厚みでの蒸発は、残渣層が粒成長などにより緻密化し、エンスタタイトの蒸発が拡散律速に移行したためと考えられる。この時、蒸発速度は残渣層の厚みに依存し、ある残渣層の厚みでエンスタタイトの蒸発によるフォルステライトの形成とフォルステライトの蒸発とが釣り合い、その厚みを保ったまま蒸発が進行する (定常状態)。過去の実験でのフォルステライトの蒸発速度と残渣層の厚みを基に、表面反応律速および拡散律速のエンスタタイトの蒸発速度定数を得た。

水素中での実験では、蒸発残渣のフォルステライトは確認されたが、残渣層は真空での実験に比べてかなり薄い。また、蒸発による重量減少は時間に比例する。拡散律速の蒸発速度定数が水素圧に依存しないと考えられる一方で、フォルステライトの蒸発は、水素中では促進される。このため、定常状態での残渣層の厚みは真空中に比べてかなり薄くなり、蒸発は速やかに定常状態に達すると考えられる。定常状態での蒸発速度はフォルステライトの蒸発速度に一致するが、試料の重量変化から求めた蒸発速度は、フォルステライトの水素中での蒸発速度に合っており、定常状態での蒸発を支持する。

エンスタタイト粒子と太陽系元素存在度のガスからなる閉鎖系でのエンスタタイトの蒸発挙動は、温度およびダストとガスの存在比をパラメータとすると、完全蒸発、部分蒸発し残渣のフォルステライトがガスと平衡化、または部分蒸発しエンスタタイト、フォルステライト、ガスが平衡化の3タイプが考えられる。完全蒸発に比べ、部分蒸発では Mg/Si 比の変動が大きいため、Mg/Si 元素分別に効果的に働くと考えられる。ダストとガスの存在比をパラメータとすると、元素分別が起こりうる温度範囲が、従来の太陽系元素存在度を用いた平衡論より広がる。実験で求めた蒸発速度を、原始太陽系の温度圧力条件に適用し、半径 1 ミクロンのエンスタタイト粒子の蒸発のタイムスケールを見積もると 1400 では数時間、1200 では 1 日~数ヶ月、900 では 1 週間~200 年程度である。原始太陽系星雲での諸プロセスを同時に考えると、1400-1200 では、原始太陽系赤道面へのダストの沈降時に起こるようなダストの濃集 (太陽系の平均値の数百倍) が必要となり、短時間の加熱機構で分別可能となる。1200-1000 では太陽系の平均値の数倍~数十倍程度の濃集で十分で、原始太陽系星雲での乱流によるダストのはきよせ、乱流粘性による加熱によって、分別が可能となるであろう。また、1000-900 では太陽系の平均値よりダスト/ガス比

の小さい環境が必要で、これは中心面へのダストの沈降や、乱流によるダストのはきよせの相補的条件として起こりうる。本研究により、原始太陽系星雲でエンスタタイトの蒸発により Mg/Si 元素分別は起こりうるということが示される。