

原始太陽系星雲での珪酸塩メルトからの元素（とくにNa）の蒸発速度

Evaporation rates of elements (e.g., Na) from silicate melts in the primordial solar nebula

土山 明 [1], 橘 省吾 [2]

Akira Tsuchiyama [1], Shogo Tachibana [2]

[1] 阪大・院理・宇宙地球, [2] 大阪大・理・宇宙地球

[1] Earth and Space Sci., Osaka Univ., [2] Earth and Space Sci. Osaka Univ.

珪酸塩メルトからの元素蒸発モデル (quasi-equilibrium model) を構築し、その妥当性について検討した。これにより蒸発が、free evaporation-dominated、hydrogen reaction-dominated、H₂O/H₂ buffer-dominatedの各regimeに分けられることがわかった。それぞれの場合について、温度、全圧、星雲ガス組成の関数としてその蒸発速度を求めた。これらの蒸発速度は、従来の実験結果とも一致し、Naの蒸発速度と酸素分圧との関係から、コンドリュール形成時のNaの蒸発regimeとその速度を推定した。

コンドリュールが開放系で形成（コンドリュール形成時に元素の出入り、とくにNaなどの揮発性元素の蒸発）されたかどうか、多くの研究者によりこれまで論争されている。このとき、従来のメルトからの蒸発実験のデータを元に、コンドリュール形成時の元素の蒸発が議論されてきた。しかしながら、従来の蒸発実験は原始太陽系星雲とはやや異なる条件でおこなわれてきたため、これらの実験結果を原始太陽系星雲での蒸発に直接用いることはできない。本研究では、これらの実験結果を原始太陽系星雲での蒸発に適用するために、珪酸塩メルトからの元素蒸発モデルを構築し、その妥当性について検討した。

蒸発モデル：フォーステライトの蒸発モデル[1]で用いられものを、珪酸塩メルトからの蒸発に適用した（ここではquasi-equilibrium modelと呼ぶ）。つぎの仮定により、ひとつの酸化物成分のみが主として蒸発する場合について、温度、全圧、星雲ガス組成の関数としてその蒸発速度を求めた：(1) 珪酸塩メルトからはある元素が酸化物としてのstoichiometryを保ったまま蒸発する、(2) 酸化物は蒸発により分解するが、このとき生成される分子はその酸化物成分と平衡にあるものである、(3) 蒸発分子のフラックスはHertz-Knudsenの式に従う（再凝縮反応も考慮する）。これにより、次の3つの蒸発regimeに分けられることがわかった：(a) Free evaporation-dominated (FED) regime - 蒸発分子の平衡蒸気圧の和が全圧より大きい場合には、蒸発は真空中への自由蒸発として扱え、蒸発速度は温度のみの関数となる、(b) Hydrogen reaction-dominated (HRD) regime - 全圧が平衡蒸気圧より大きくなると、星雲中の水素ガスが還元剤として働き、蒸発を促進する（蒸発速度は全圧の関数となる）、(c) H₂O/H₂ buffer-dominated (HBD) regime - 全圧がさらに大きくなり、星雲中の水蒸気分圧がその平衡蒸気圧と等しくなると、星雲中のH₂O/H₂比が蒸発反応をコントロールし、蒸発速度は全圧に因らなくなる（温度と星雲ガス組成との関数）。

実験との比較：純粋FeOメルトの蒸発実験[2]によると、FED regimeでは仮定（1-3）が成り立つ。また、HRD regimeにおいて水素分圧の増加により蒸発速度が増加することが、定性的ではあるが珪酸塩メルトからの蒸発実験[3]で知られている。HBD regimeでは、蒸発速度は雰囲気ガスの酸素分圧の関数でもある。Na₂Oの蒸発では、蒸発速度は酸素分圧の¹/₄に比例するとモデルから予想されるが、実際にコンドリュール組成のメルトからの蒸発実験[4]で、この関係が成り立っていることがわかる。

Naの蒸発regime：上の蒸発速度と酸素分圧との関係から、蒸発実験にもちいたメルトについての蒸発係数とNaO_{0.5}成分の活動度係数の積を、温度の関数として求めた。これを用いて、コンドリュール形成時のNaの蒸発regimeとその速度を推定した（但し、[4]の実験は1気圧での実験なので、蒸発係数の正確な値は現時点では不明である）。コンドリュール生成の最高到達温度ではHRD regimeで蒸発し、冷却に従いHBD regimeに移行するものと考えられる。コンドリュール数密度が大きい場合には、蒸発によるNaの損失はある程度限られていたと考えられる。

同位体分別：今回のquasi-equilibrium modelを用いると、蒸発による同位体分別も計算することができる。これは、極端な解として、再凝縮のない場合のRayleigh分別と、再凝縮と蒸発が均衡する平衡の場合とを含んでいる。コンドリュールでほとんど同位体分別が認められないことも、数密度が大きい場でのコンドリュール生成により、説明できる。

[1] Nagahara & Ozawa (1996) GCA, 60, 1975; Tsuchiyama et al. (1998) Min. J., 20, 113. [2] Wang et al. (1994) LPS, XXV, 1469. [3] Richter & Davis (1997) LPS, XXVIII, 657. [4] Tsuchiyama et al. (1981) GCA, 43, 1357; Yu & Hewins (1996) GCA, 62, 159.