

対流とメルト移動を含むベスタの熱進化数値シミュレーション Thermal evolution simulation of Vesta including convection and melt migration

野上 竜彦^{1*}; 城野 信一²

NOGAMI, Tatsuhiko^{1*}; SIRONO, Sin-iti²

¹名古屋大学 大学院環境学研究科 地球環境科学専攻, ²名古屋大学 大学院環境学研究科 地球環境科学専攻

¹Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Nagoya University, ²Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Nagoya University

小惑星ベスタは、地上で発見される HED 隕石ときわめてよく似た反射スペクトルを持ち、内部が分化していると考えられている。HED とはホルダイト、ユークライト、ダイオジェナイトの頭文字を取ったもので、エコンドライトの一種である。ユークライトは、地表付近において大きい冷却速度で固化したものであり、結晶の粒子の大きさに違いがある。ダイオジェナイトは、ユークライトよりも結晶が成長しており、より地下深くにおいて形成された岩石である。ホルダイトは、ユークライトとダイオジェナイトが砕かれ、角礫化したものを言う。分化したということは、何らかの熱源によりベスタ内部の温度が上昇し、融点に到達した後メルトが生成され表面に移動したと推測される。DAWN の観測によって、ホルダイト層が 50~80km 存在することが分かった。ここから、表面に噴出したメルト量はベスタ全球体積の約 10~20 % に相当する。

ベスタが形成される初期太陽系には、太陽系内にガスや塵が多くあり、それが集積して惑星が形成されたと考えられている。26Al はベスタに含まれる Al のうち 10ppm を占める。しかし、この値はベスタの形成時刻により変化する。26Al は放射性核種であるので、形成時刻が遅ければ遅いほど熱源は失われてしまう。

M. Formisano et al.(2012) ではベスタの形成時刻を計算し、1Ma 以内だと内部が完全溶融することを示した。しかしこの研究では、メルトの対流とメルト移動についての効果を考慮していない。これらの効果を加えると、ベスタが全球的に冷却されるはずなので、より多くの熱源が必要であることが予想される。そこで本研究では、メルトの対流とベスタ表面へのメルト移動の効果を考慮に入れてベスタ熱進化の数値シミュレーションを行った。ベスタ体積の 10 % のメルトが表面に噴出できるように必要な 26Al 量から、ベスタ形成時刻に対して制約を与える。

一次元熱伝導方程式を完全陰解法を用いて数値的に解いた。数値シミュレーションにおいて、全てのメッシュにおいて生成したメルトは一定の割合 $a(0 < a < 1)$ で上方に移動すると仮定した。対流は Kaula(1979) のモデルを使用した。含まれる 26Al の量を変化させることで、ベスタ形成時刻を変化させた。

シミュレーションの結果、対流が内部の熱進化を大きく変化させることが明らかとなった。対流を考慮しない場合は内部の温度が 8000K までも上昇するのに対して、対流を含めると 1700K までしか上昇しない。ベスタ形成時刻はメルト噴出量に左右される。 $a=0.8$ の時は 26Al 崩壊開始後 70 万年以内にベスタが形成される必要があり、 $a=0.5$ の時は 25 万年以内にベスタが形成されなければならないことが明らかになった。一方で、アルミが全く崩壊していない場合では、 a が少なくとも 0.3 以上でなければ 10km のメルト層が実現できないことが分かった。このシミュレーション結果から、以前の見積もりに比べてベスタはかなり早い段階で形成される必要があることが示唆される。