

月内部熱構造の構築

Construction of Internal Thermal Structure of the Moon

斎藤 靖之[1]; 吉田 信介[2]; 田中 智[2]; 水谷 仁[2]

Yasuyuki Saito[1]; Shinsuke Yoshida[2]; Satoshi Tanaka[2]; Hitoshi Mizutani[2]

[1] 東大・理・地惑

JAXA/ISAS; [2] 宇宙研

[1] Earth and Planetary Sci., Tokyo Univ.; [2] ISAS

天体表面での熱流量値は、incompatible elements である U や Th のバルク存在度を推定するための重要な観測量である。また月は、地球以外で唯一熱流量観測が直接行われた天体であるので、比較的精密に熱構造モデルを構築できる。このことは太陽系固体惑星、衛星の熱史や起源を探る上で大きな意義があると考えられる。

Langseth et al. (1976) は Apollo 15 号、17 号の熱流量観測結果を観測精度の誤差も含め、それぞれ、 21 ± 3 mW/m² と 16 ± 2 mW/m² と報告し、両者の平均値から月の全球的な表面熱流量値を 18 mW/m² と求めた。さらに月のバルク U 存在度を 46 ppb と求めた。この値は H グループの普通コンドライトの存在度 16 ppb (Mason, 1979) や地球の地殻とマントルの平均存在度 20 ppb (Ringwood, 1979; Taylor, 1982) と比べて 2 倍以上大きい。

しかし上述の議論には (1) Apollo 15、17 号ミッションによる熱流量観測値の違いは何か? (2) 2 つの観測点の単純平均値を全球平均値としてよいのか? という疑問点が残る。Warren and Rasmussen (1987) は Apollo 15、17 号ミッションともに月の海 - 高地境界付近で熱流量観測が行われたことから、月表層を覆う熱伝導率が小さい megaregolith (隕石衝突による破壊で形成されたと考えられる岩石) 層の厚さが月の海と高地で異なることによって、熱流が高地側から海側に集中する Focusing Effect について 2 次元モデルで検討した。水平方向の不均質構造は megaregolith だけではなく、高度分布や地殻厚さ分布も考えられる。このような地殻構造による Focusing Effect を取り入れて、我々は 2 次元モデルで見積もった (日本惑星科学会, 2003 年秋季大会)。

しかし Focusing Effect を適切に評価するためには、3 次元モデルによって不均質構造を考慮する必要があると考えられる。今回、我々は Apollo ミッション以後に実施された Clementine、Lunar Prospector による高度分布、元素存在度分布、重力異常分布などの全球観測データを組み合わせて 3 次元の月熱構造モデルを構築することで、月全球の平均表面熱流量値を求めた。これまでに Clementine、Lunar Prospector のデータを取り入れて熱モデルが構築されたことはなかった。本モデルでは月上層部 200 km の領域で、地殻とマントルの 2 層構造を仮定した。

熱構造モデルを構築するためには、内部の発熱率分布と熱伝導率分布を推定する必要がある。地殻中での発熱率は、表面 Th 存在度から $Th/U=3.7$ (Metzer et al., 1974)、 $K/U=2000$ (Gast, 1972) を仮定して表面発熱率を推定し、深さ方向に指数関数的に減少させるモデルを用いた。その際に、放射性発熱性元素存在度の上部集中度を示す skin depth D 値をパラメータとした。また熱伝導率は空隙率に強く依存する。月地殻は隕石衝突などによって空隙を多く含むと考えられるので、空隙率に依存する熱伝導率の推定を行った。月内部の弾性波速度分布から O'Connell and Budiansky (1974) の方法で空隙率分布を推定し、Mizutani and Osako (1974) と Gibiansky and Torquato (1998) の 2 つの推定法によって地殻中の熱伝導率分布を推定した。境界条件は表面温度 (257 K) と、モデル下面での熱流量値をパラメータとして与えた。Apollo 15、17 号の熱流量観測値を満足する skin depth D 値を求めた結果、Apollo 15、17 号着陸地点でそれぞれ 18-22 km、18-26 km であった。この値は地球の値、約 10 km (Lachenbruch, 1970) と比較して有意に大きい。このことは月地殻の形成過程で、incompatible elements (液層濃集元素) が十分に分化されずに冷却、固化したことを示唆するものと考えられる。

次に月全球の表面 Th 存在度を 2.26 ppm、マントル中の Th 存在度を 0.04 ppm と仮定し月のバルク U 存在度を 20 - 26 ppb と推定した。この値を用いて月表面熱流量値の全球平均値を推定すると、 10.0 ± 1.2 ; 12.5 mW/m² となる。ただしこの値は確定的なものではなく、熱流量の全球平均値を推定するためには熱流量の多点観測が不可欠である。