

月のレオロジー構造と深発月震の発生メカニズム

The rheological structure of moon interior and the mechanism of deep moonquake.

*東 真太郎¹、片山 郁夫²*Shintaro Azuma¹, Ikuo Katayama²

1.東京工業大学地球生命研究所、2.広島大学理学研究科地球惑星システム学専攻

1.Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology, 2.Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University

アポロ計画によって8年以上月震波の観測が行われ、月の内部構造に関する我々の理解は大きく前進した。この月震波のデータを解析することで、月にも月震（地殻変動）が起きていることや、内部は分化しており、地殻は斜長石、マントルは地球と同様苦鉄質鉱物（カンラン石や輝石）で構成されていることが支持されている（reviewed by Wieczorek et al., 2006）。月震のデータから我々は様々な月の内部の知見を得てきたが、月震のメカニズム自体については幾つかの仮説はあるものの(e.g., Weber et al., 2008; Frohlich and Nakamura 2009), 未だに議論がある。月震は発生領域や発生メカニズムによって、浅発月震、深発月震、熱月震、インパクトによる月震に分類されており、我々はこの月震の中でも深さ約800-1200 km付近で起きる深発月震の発生メカニズムについて、月内部のレオロジー構造とともに考察を行った。この深発月震の特徴として、決まった場所で繰り返し起きていることや、非常に小さな応力降下(~0.1 MPa)があげられる(e.g., Lammlein, 1977; Nakamura 1981)。この深発月震の発生メカニズムを考察することは、月内部の不均一性や、月内部の進化を解明する大きな手がかりとなる可能性がある。

月内部のレオロジー構造を検証する際、月内部の温度構造を見積もる必要がある。これについては先行研究において観測された熱流量などから推察されている温度構造を用いた(Kuskov et al., 2002)。圧力については、地殻の密度を(3000 kg/m³), マントルの密度3300 (kg/m³), モホ面の深さを60 (km)に設定し(Hood and Zuber, 2000), 上載岩圧を計算した。上記の温度・圧力構造を基に、脆性破壊領域はByerleeの法則を用いて強度の計算を行い(Byerlee, 1978), 塑性変形領域においては流動則を用いて計算を行った。特に地殻については斜長石の流動則(Rybacki and Dresen, 2000; Rybacki et al., 2006)を適用し、マントル部分についてはかんらん石の流動則(Karato and Jung, 2003)を適用した。歪速度については不確定なので10⁻¹⁴ (s⁻¹)と10⁻¹⁹(s⁻¹)の二通りの歪速度を仮定し計算を行い、月内部のレオロジー構造を決定した。本研究ではこのレオロジー構造の決定と地球で起きている深発地震のメカニズムのモデルを参考にすることで深発月震のメカニズムについて考察を行った。

まず計算された月内部のレオロジー構造から、深発月震は明らかに塑性変形領域で発生していることがわかった。通常、塑性変形領域では破壊や滑りは起こらない。そこで地球で起きている深発地震の発生メカニズムのモデルとして提案されている断熱不安定が、月内部でも引き起こされる可能性について考察を行った。この断熱不安定を引き起こすためには、(1)変形による温度上昇が熱拡散を上回ることと(大きい歪速度), (2)その温度上昇に伴う強度の減少が変形による加工硬化を上回る必要(比較的低温条件)がある(Karato et al., 2001)。計算の結果、まずドライの条件下では、月内部で断熱不安定を引き起こすことは非常に難しいことがわかった。なぜなら、潮汐力によって生み出される月内部の応力は非常に小さく(0.1 MPa), 熱的不安定を引き起こすために必要な歪速度(>10⁻¹⁴ s⁻¹)に対し、ドライ条件では実現できる歪速度に限界(<10⁻¹⁵ s⁻¹)があるからである。しかし、ウェット条件(500-1000 ppm H/Si)では歪速度も飛躍的に大きくなり(>10⁻¹⁴ s⁻¹), 断熱不安定を引き起こす可能性が示された。さらにその断熱不安定が引き起こされる温度圧力条件は深発月震が観測されている深さの温度圧力条件(1000-1500 °C, 3.5-4.5 GPa)に近いことも示された。このことから月内部には不均一に水が存在しており、その水の不均一性が原因で深発月震は繰り返し同じ場所で起きているのかもしれない。

キーワード：月、深発月震、レオロジー構造

Keywords: Moon, Deep moonquake, Rheological structure

