

月の潮汐散逸の周波数依存性：最下部マンツルの低粘性領域の効果

Frequency-dependence of the tidal dissipation on the Moon: Effect of the low-viscosity zone at the lowermost mantle

原田 雄司^{1*}, ホーセンス サンダー², 松本 晃治³, エン 建国⁴, 平 勁松⁵, 野田 寛大³, 春山 純一⁶Yuji Harada^{1*}, GOOSSENS, Sander², MATSUMOTO, Koji³, YAN, Jianguo⁴, PING, Jinsong⁵, NODA, Hiroto³, HARUYAMA, Junichi⁶¹ 東京大学地震研究所, ² 米国航空宇宙局ゴダード宇宙飛行センター, ³ 自然科学研究機構国立天文台, ⁴ 武漢大学測絵遥感
情報工程国家重点実験室, ⁵ 中国科学院国家天文台, ⁶ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所¹ERI, Univ. Tokyo, ²GSFC, NASA, ³NAOJ, NINS, ⁴LIESMARS, Wuhan Univ., ⁵NAOC, CAS, ⁶ISAS, JAXA

一般に固体天体の潮汐エネルギー散逸は重要な地球物理学的現象の一つである。先ず潮汐散逸は内部構造、特に粘性構造に依存するから、その制約条件と成り得る。更に天体内部の潮汐発熱や粘性分布は熱的状态や軌道状態と関連するから、延いては熱進化や軌道進化に対しても制約を与えられる可能性がある。それは月も例外でない。

月の潮汐散逸の内部構造依存性に関するモデル計算は過去に幾つか行なわれているが、それらは何れも依然として、測地学的観測から得られた実際の潮汐散逸の周波数依存性を説明出来ているとは言い難い。特に長年の月レーザー測距から得られたクオリティファクターは弱い周波数依存性を示している。しかし従来モデル計算では、観測された周波数依存性を完全に説明していないか、或いはそもそも周波数依存性を無視している。

上述の周波数依存性の問題を解決する事は月の科学の観点で有意義である。少なくとも周波数依存性と調和的な内部構造を見出すという事は、内部構造に対して新たな制約条件を課す事と同義である。それに加えて熱進化や軌道進化といった歴史を復元する為の示唆を与える事さえも出来るかもしれない。

ここで周波数依存性を説明する為に特に着目すべき事はマンツルの低粘性層の影響である。既に月震の観測から、月のマンツルの底には地震波の減衰の大きな領域が存在する、という事が知られている。この高減衰領域の存在は、マンツルの最下部の粘性が上部と比べて低い事を暗示する。もしそうであれば、最下部領域が潮汐散逸に及ぼす影響を考慮すれば周波数依存性を説明可能かもしれないが、先行研究では検討されていなかった。

そこで本研究では、月の潮汐散逸の周波数依存性に及ぼす最下部マンツルの低粘性領域の効果を定量的に見積もる為、一箇月周期と一年周期に関する粘弾性潮汐変形のモデル計算を実行した。ここで密度構造と弾性構造に関しては月震に基づく内部構造に従った。一方、粘性構造に関しては低粘性層と共にリソスフェアとアセノスフェアの存在も考慮するが、低粘性層の粘性のみ調整して残りの二層の粘性は均一かつ一定とした。又、この計算における力学的構成関係はマクスウェル物体のレオロジー則に従った。そして計算結果を既存の観測結果と比較する事によって内部構造、特にこの特殊な領域の粘性を決定した。

本計算の結果、低粘性層の影響を加味する事によって潮汐散逸に関する測地学的観測量と矛盾の無い粘性構造を得る事が出来た。より具体的には、一箇月と一年の各周期における月レーザー測距のクオリティファクターを共に満足する粘性率が得られた。その粘性値は極めて低く、そのマクスウェル緩和時間は潮汐周期に近かった。しかもクオリティファクターにより制限された粘性構造に対応する複素潮汐ラプ数の理論値は、過去の月周回衛星の精密軌道決定に基づく観測値とも概ね調和的であった。

この結果は、低粘性層の存在さえ仮定すれば、単純な線形のレオロジーを想定しても月の潮汐散逸の周波数依存性は容易に説明され得る、という事を明示した。或る先行例では、マクスウェルモデルのみならずバーガスモデルのような複雑なレオロジーモデルに従っても、観測された潮汐散逸の周波数依存性は説明不可能と指摘されていた。しかしそれと異なる示唆が低粘性層という単純かつ自然な前提条件によって導かれた。

本結果から得られる結論は、月マンツル最下部には低粘性層が確かに存在し、かつそれによって非常に効率的な潮汐エネルギー散逸が励起されている、という事である。本研究が明らかにした最も重要な知見は、地震波の高減衰領域が低粘性領域にも相当する点である。即ち月の場合でも地球と同様に核マンツル境界付近に極めて粘性の低い領域が存在すると考えられる。そしてこの超低粘性領域の緩和時間が潮汐周期に近いという事実は、上記の計算の中で定義された内部構造の範囲内において潮汐発熱がほぼ最大であるという事を意味する。又、従来指摘されていたように深部で部分熔融が起こっている可能性がある。若しかしたら多量のメルトを含んでおり、レオロジー的臨界状態にあるかもしれない。

本結論は月の熱進化や軌道進化に対しても更なる示唆を与え得る。中でも潮汐散逸が低粘性層に局在化している事は特筆に値する。換言すれば、低粘性層は核の冷却に対して毛布の如く振る舞うと予想される。従ってこの層は、放射性核種に富むチタン鉄鉱集積層と類似の影響を有する筈である。又、このような低粘性層内の潮汐発熱は、マンツルの対流、及び部分熔融状態ならメルトの分離も含む熱輸送と平衡しているのかもしれない。かつ熱的平衡を保つ最適な粘性が自己調節的に選択されていると考えられる。このような熱史は月の軌道進化に支配される。潮汐進化によってポテンシャルの周期や振幅が遷移すれば、それに応じてマンツルの粘性や温度も変化する。

Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SIT04-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月19日 18:15-19:30

キーワード: 月, 潮汐散逸, マントル, 粘性

Keywords: the Moon, tidal dissipation, mantle, viscosity