

月面コーナーキューブの光学応答解析

Optical Response Simulation of Corner Cube Reflectors for SELENE2 Mission

鹿島 伸悟^{1*}, 花田 英夫¹, 荒木 博志¹, 野田 寛大¹, 國森 裕生²

Shingo Kashima^{1*}, Hideo Hanada¹, Hiroshi Araki¹, Hirotomo Noda¹, Hiroo Kunimori²

¹ 国立天文台 RISE 月惑星探査検討室, ² 独立行政法人 情報通信研究機構

¹RISE Project, NAOJ, ²National Institute of Information and Communications Technology

The object of these simulations is clearing up the criterion for the Corner Cube Prism (CCP) and the Corner Cube Mirror (CCM) in order to measuring the distance from the Earth to the Moon in cm order. In case of the CCP, the refractive index inhomogeneity restricts its size to small (~10cm), so we did not calculate the effect of any deformation. In case of the CCM, we calculated both effects of the Moon gravity deformation and the thermal deformation.

The Optical responses were calculated with CodeV (Synopsis, Inc.), and we did not consider DAO (Dihedral Angle Offset), because the common optical simulation software cannot calculate its effect.

The Optical response criterion is that the encircled energy within 3.5mrad (half angle) > 50%, where 3.5mrad is equal to the minimum deflection by the velocity aberration without DAO. The velocity aberration deflect 3.5-7mrad from the Laser emitted direction according to the relative speed between the Earth and the Moon.

キーワード: コーナーキューブ, レーザ測距, 点像強度分布

Keywords: corner cube reflector, laser ranging, PSF

DOEを用いた月面天測望遠鏡 (ILOM) の開発

Development of the telescope for ILOM (In-site Lunar Orientation Measurement) using the DOE (Diffractive Optical Element)

鹿島 伸悟^{1*}, 花田 英夫¹, 荒木 博志¹, 鶴田 誠逸¹

Shingo Kashima^{1*}, Hideo Hanada¹, Hiroshi Araki¹, Seiitsu Tsuruta¹

¹ 国立天文台 RISE 月惑星探査検討室

¹ RISE Project, NAOJ

ILOM demands the very high performance to the optical system in order to realize the determination of star positions with 1 milli arc second accuracy on the Moon whose environmental condition is very fierce. There are several causes that degrade the optical performance and the most effective cause is the change of the environmental temperature. The temperature change causes the change of lens shape and the change of the refractive index of each lens material and the later is much dominant. The optical system of ILOM is the refractive system so we have to reduce the chromatic aberration using so-called the low dispersion glass, but this type glass has a much bigger dn/dt (the index change for the temperature change) than the normal glasses. In result of this, the optical system using the low dispersion glass lens becomes very sensitive to the change of the environmental temperature.

So we developed the optical system (objective lens) using the DOE (Diffractive Optical Element). Using the DOE, we can reduce the chromatic aberration without the low dispersion glass lens. So we can develop the objective lens that is very tolerant to the environmental temperature change because we can design the objective lens using small dn/dt glass lens only.

キーワード: 月面天測望遠鏡, 回折光学素子

Keywords: ILOM, DOE

Planetary Tectonic System (#2): Classification for the Search of Life Beyond Earth Planetary Tectonic System (#2): Classification for the Search of Life Beyond Earth

Dohm James^{1*}, 丸山 茂徳¹

James Dohm^{1*}, Shigenori Maruyama¹

¹ 東京工業大学 地球生命研究所

¹Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology

For life to initiate, diversify, and flourish, it requires a continuous nutrient supply, metabolism with continuous reactions to gain energy, and self-duplication [1; also see Shigenori Maruyama, this conference]. Based on our understanding of the evolution of Earth, which includes the Cambrian explosion [1; also see Shigenori Maruyama, this conference], these conditions can be optimally met through a planetary tectonic system (PTS) that is composed of a nutrient-enriched continental landmass, an ocean, tectonic structures such as rift systems that act as conduits for the migration of volatiles and heat energy, as well as the delivery of toxic elements (e.g., radiogenic nuclides) for the diversification of life (evolution requires perturbations from normal conditions), and a sunlit planetary surface [1].

Since a PTS provides the road map for the search for life beyond Earth [also see, Maruyama and Dohm, this conference], we propose a classification of planetary bodies with certain PTSs unfolded through geological investigation using existing planetary data sets.

Such a classification is not only based on the distance of the planetary body from the Sun and its composition, but also by its characteristic PTS. This is important, because the birth place of life and evolution is controlled by an optimal PTS as exemplified during the Cambrian explosion [1; also see Maruyama and Dohm this conference]. Without understanding PTS, it is impossible to target possible candidates of life-sustaining habitable environments both in and outside our solar system.

The types of PTS are: (1) Earth-Cambrian-explosion [1; also see Maruyama, this conference], (2) Ice-house Mars [2,3], (3) Hot-house Venus [3,4], (4) Rigid Mercury, (5) Gaseous-giants, and (6) Frigid, dynamic, and/or hydrologically exotic satellites. Others types (e.g., Kuiper belt planets and dwarf-planets) could be added in the future.

Detailed characteristics of the various PTSs will be detailed at the conference.

References

- [1] Maruyama, S et al., (2013?)in press, *Geoscience Frontiers* 171.
- [2] Dohm, J.M., et al. (2011) *GSA Special Paper* 483, 317-347, doi:10.1130/2011.2483(21).
- [3] Baker, V.R. et al. (2007) In *Superplumes: beyond plate tectonics*. D.A Yuen, S. Maruyama, S-I Karato, and B.F. Windley (eds.). Springer, pgs. 507-523.
- [4] Schulze-Makuch, D., et al. (2005) *Astrobiology* 5, 778-795.

Luni-Solar Tides in the Earth Atmosphere Luni-Solar Tides in the Earth Atmosphere

Stanislav Perov^{1*}

Stanislav Perov^{1*}

¹Central Aerological Observatory, Russia

¹Central Aerological Observatory, Russia

The gravitational tides in the atmosphere are recorded as the waves with the periods close to one day and its subharmonics. Some of them are usually interpreted as the proper atmospheric modes. They commonly have either the amplitude or the frequency modulations. A new explanation of the quasi-diurnal and quasi-semidiurnal tides lines in the spectrum of the atmospheric angular momentum (AAM) and other atmospheric characteristics is proposed. The role of gravity tides in the dynamics of the atmosphere and the ocean is underestimated. The reasons of a wrong estimation of a role of the tidal phenomena in geophysics are explained.

We have calculated the power spectrum of the complex series $h_1 + ih_2$. The resulting spectrum has been analysed. The most striking detail of the spectrum of $h_1 + ih_2$ is a blurred maximum of the spectral density at ~ 0.85 cpd. Its height is indicative of a high power of h_1 and h_2 , and the width shows considerable fluctuations of the period. What lies behind this phenomenon and why does the atmospheric circulation produce strong noise in this frequency range? Due to our discovery, it becomes clear why the role of gravity tides in the dynamics of the atmosphere and the ocean is underestimated. The fact is that all hydrometeorological and hydrophysical characteristics are measured at moments of mean solar time, which is the hour angle of the Sun determined by the Earth diurnal rotation and annual revolution. That is, by default, a frame of reference tied to the Sun (referred to hereafter as the solar frame) is used in this case. In this frame, the apparent velocity of a tidal wave is the sum of its proper velocity and the translational velocity. The latter arises due to the Earth diurnal rotation and the Earth annual revolution around the Sun. Its magnitude is very high compared with the proper velocities of tidal waves. Therefore, in the solar frame we deal only with quasi-diurnal tidal waves and their subharmonics. In the spectral (or Fourier) analysis of observations, the low-frequency waves of gravity tides are difficult to distinguish from the harmonics of diurnal or annual thermal tides and are nearly imperceptible for study. Hydrometeorologists construct synoptic maps or time-coordinate sections with a fixed geographical grid of parallels and meridians. That is, by default they use a frame of reference tied not to the Sun, but rather to the stationary Earth surface. In this frame, the Earth diurnal rotation and orbital revolution are eliminated, while the proper motion of tidal waves is only present. Hydrometeorologists give attention only to fast quasi-diurnal tidal waves predicted by the theory. The proper motion of tidal waves remains unnoticed. All slow waves moving over the Earth surface, including tidal waves, are interpreted as usual atmospheric or oceanic waves. To detect low-frequency tidal waves in spectral analysis, we have to eliminate the effects of the Earth rotation and revolution demodulate measured time series. For this purpose, it is sufficient to fix the time of measurements (one measurement a day to eliminate the Earth diurnal rotation or one measurement a year to eliminate the Earth annual revolution). As a result, weekly and semimonthly lunar tidal waves were detected in the spectrum of the atmospheric angular momentum. This method opens up new opportunities for studying the effects of lunisolar tides and functions of the Sun barycentric motion.

キーワード: Luni-solar gravitational, The gravitational tides

Keywords: Luni-solar gravitational, The gravitational tides

月惑星の重力場におけるカウラ則とカウラ定数のスケーリング則 Kaula's rule and the scaling law of the Kaula constant in the lunar-planetary gravity fields

橋本 実奈^{1*}, 日置 幸介¹
Mina Hashimoto^{1*}, Kosuke Heki¹

¹ 北海道大学大学院理学院自然史科学部門宇宙測地学研究室

¹Department of Natural History Sciences, Faculty of Science, Space Geodesy, Hokkaido University

月惑星の重力場は重力ポテンシャルを球関数展開した際の係数(ストークス係数)でモデル化される。月惑星の全球的な重力場は、地球はGRACE、月はSELENEやGRAILといった重力探査衛星で観測される。現在では地球や月では球関数の次数にして数百次までの係数が推定されており、高解像度の重力異常図を描くことが可能になった。高次の係数は細かい重力異常の特徴を、低次の係数は大局的な構造を反映しており、研究の用途に応じて様々な解像度の重力異常が用いられる。

カウラの法則とは、こういった重力場の係数の大きさが次数 n の2乗に反比例するというおおざっぱな目安(rule-of-thumb)である。本研究では、この法則が月・火星・地球・金星で良く成り立っていることを明らかにした。球関数の次数が高いほど重力異常の波長が小さく、低次のものほど大きい。つまりこの法則は重力異常の振幅が波長の二乗に比例して大きくなることに対応している。

本研究では、カウラの法則の比例定数のことをカウラ定数と呼ぶ。一般にカウラ定数は小さい天体ほど大きな値をとるが、ここでいうスケーリング則はその値が表層重力の2乗に反比例して小さくなるという法則である(本来の文献[Kaula, 1963]では半径の4乗に比例、質量の2乗に反比例すると書かれている)。月・火星・地球・金星のカウラ定数を比較してみた結果、これら4天体に関してはスケーリング則がほぼ成り立つことがわかった。ある天体がこの法則から外れている場合は、その天体の内部を構成する物質の温度や粘性等が他の地球型天体と違っていることが示唆される。最近のMessengerの探査によると、水星の重力場はこのスケーリング則から下にずれるらしい。その原因として、水星は金属でできた中心核の半径が相対的に大きいため、岩石に比べて小さい金属の粘性が低次の重力異常を小さく抑えている可能性が考えられる。

月には表側と裏側の二分性があることが良く知られている。表側は地殻が薄く地形が平坦であるが、裏側は地殻が厚く凸凹が多い。二分性の原因については諸説あるが、表裏の熱史の違いを反映している可能性が高い。月の成り立ちや熱史は重力異常図からもある程度推測できる。本研究でこれまで天体間で比較していたカウラ定数を、同一天体の半球間で比較することで、地下構造や熱史の違いを考察した。その結果、裏側でより大きなカウラ定数が得られ、表側よりも裏側の重力異常が相対的に大きいことをカウラ定数の値の形で比較することができた。

キーワード: カウラ定数のスケーリング則

Keywords: scaling law of the kaula constant

準流体惑星の真の極移動の時間スケール：マントル内部の低粘性層の効果 A time scale of true polar wander on a quasi-fluid planet: Effect of a low-viscosity layer inside a mantle

原田 雄司^{1*}, 肖 竜²
Yuji Harada^{1*}, XIAO, Long²

¹ 東京大学地震研究所物質科学系研究部門, ² 中国地質大学地球科学学院行星科学研究所
¹the University of Tokyo, ²China University of Geosciences

固体天体における大規模な真の極移動に関する理論的研究や数値的研究は、それ程には多くないが既に幾つか行なわれている。その一方、地球や火星のような実際の惑星に関しては、主に古地磁気を初めとする地質学的状況証拠から真の極移動が推定されており、こうしたシナリオは上記のようなモデル計算に基づいて力学的に解釈され得る。

しかしながら従来のモデル計算では、マントルの粘性構造の不均一性、取り分け低粘性層の潜在的影響は考慮されていない。現実的には例えば地球のマントルの内部、特にマントルの最上部や最下部において極端に粘性の低い層が存在する、という可能性が地球物理学の観測に基づいて指摘されている。そして火星においても、位置天文学的に見積もられた潮汐散逸や、水の混入の効果を含むマントル対流の数値実験の観点から、類似の顕著な粘性構造不均質が示唆されている。それに対して従来の研究では、大幅に平均化された内部構造を取り扱っており、上述のような物理的に特殊な層の可能性は考えられていない。

もし低粘性層がマントルに存在するならば、それは真の極移動の時間発展に大きな影響を与えると考えられる。何故なら、このような柔らかい層は、長期的観点においては遠心力ポテンシャルに対して事実上液体と同じように振る舞うと予想されるからである。それによって粘弾性変形の緩和モードの強度や特徴的時間スケールが変化する。それは粘性緩和による天体の静水圧形状の再調整の時間スケールが変わる事も意味している。従って低粘性層の有無、そして仮に存在するならばその深さに応じて、極位置が定常状態へ至るまでに要する時間も異なる筈である。こうした効果は過去のモデル計算において考察されていない。

この影響を検討する事は、観測量から導かれた真の極移動のシナリオ、特にその時間変化の理論的妥当性を定量的に検討する上で重要である。更に言えば、そのような変遷が起こり得る力学的条件を考察する事によって、当時の粘性構造を制約する上で有益な情報を得る事が出来るかもしれない。

そこで本研究では、固体天体のマントル内部における低粘性層の存在が真の極移動の時間スケールに及ぼす効果について調べる為、粘弾性変形と長期極運動のモデル計算を実施した。ここでは天体として地球と火星を想定したが、これに低粘性領域も組み込んだ。特に重要な点は、この低粘性層に対する粘弾性的応答の依存性である。尚、粘弾性ラプ数の緩和モードの算出に際して変形は非圧縮と見做した事を付記する。この前提に基づく計算の都合上、低粘性領域の存在以外に関しては依然として内部構造を或る程度簡略化した。但しこの簡略化は本研究の議論の妥当性を損なわない。

本計算においては、極運動方程式を非線形のまま積分可能とする準流体近似を適用した。その根拠は、ここで取り扱うような数十度程度の大規模な極運動の場合では線形近似を使えないからである。この準流体近似の適用範囲に従い、ここでは粘弾性変形の特徴的時間スケールよりも遅い荷重の進化を仮定した。この近似的手法自体に関しては、著者自身の研究も含む複数の先行研究によって既に確立されている。ここで扱う積分においても同様の手法を用いた。

上述の計算の結果、低粘性層を有する場合は有しない場合に比べて極位置の時間変化が速い、という事が分かった。その上、低粘性領域が浅い程、極の移動が速くなるという事も明らかとなった。低粘性層を有する天体において極の移動が速い原因は、低粘性層は比較的短期間の外力の変化に対しても流体的挙動を示すからである。これは遠心力ポテンシャルの擾乱に対する静水圧形状の再調整が速くなる事を意味するから、自転軸の変化に追従する慣性率テンソルの変化の時間スケールも短くなる。そしてこの低粘性層の緩和に伴う扁平形状の変化の大きさは、低粘性層の流体的変形を弾性的に抑制する上側の層の厚さに対して負の依存性を有する。従って上部の層が薄い、つまり低粘性層が浅い程、極の移動に対する低粘性層の影響が大きくなる。

以上の計算結果から得られる結論は、天体内部に低粘性層が存在する限り、たとえその層が薄くても真の極移動に対して大きな効果を及ぼす、という事である。以前の研究ではマントルの粘性構造が単純化され、その中では低粘性層が無視されていた。それらと比べて今回の研究では、低粘性層の影響を明示的に含む真の極移動の時間発展を計算した。地球の潮汐変形や荷重変形に関する粘弾性的応答においては、このような変形し易い領域が重要な役割を占めている事が過去に指摘されていたが、この傾向は一般に永年的な回転運動でも同様であると言える。

但し今回のモデル計算でも他の例と同様に非圧縮性の仮定を含んでいるので、注意が必要である。今後、より現実的なモデル計算を行なう際には、圧縮性の影響も吟味する必要があるだろう。

キーワード: 真の極移動, 準流体近似, 低粘性層, マントル

Keywords: true polar wander, quasi-fluid approximation, low-viscosity layer, mantle