

## The free and forced librations of the Moon with liquid shell and solid core The free and forced librations of the Moon with liquid shell and solid core

BARKIN, Yury<sup>1\*</sup>; HANADA, Hideo<sup>2</sup>; MATSUMOTO, Koji<sup>2</sup>; BARKIN, Mikhail<sup>3</sup>  
BARKIN, Yury<sup>1\*</sup>; HANADA, Hideo<sup>2</sup>; MATSUMOTO, Koji<sup>2</sup>; BARKIN, Mikhail<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sternberg Astronomical Institute, Moscow, Russia, <sup>2</sup>National Astronomical Observatory of Japan, Mizusawa, Japan, <sup>3</sup>Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia

<sup>1</sup>Sternberg Astronomical Institute, Moscow, Russia, <sup>2</sup>National Astronomical Observatory of Japan, Mizusawa, Japan, <sup>3</sup>Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia

In report we present our results of the study of lunar physical libration of the Moon on the base of its two and three layers models. On the base of analytical solution for two layers model (the Moon with liquid core) and empirical theory of the Moon's rotation (Rambaux, Williams, 2011), we have identified period, amplitude, and the initial phase of the fourth mode of free libration of the Moon, caused by liquid ellipsoidal core. Preliminary results of studies of three-layers model of physical librations of the Moon have been obtained on the base of some simplified approach for the problem of rotation of the Moon with liquid and rigid cores. The plans for future studies of the Moon rotation are discussed.

The modern view of internal structure of the Moon planet takes into account a complex two- or three-layer model. In our work the analytical theory of lunar physical libration based on its two-layer model consisting of a non-spherical solid mantle and of the ellipsoidal liquid core has been developed. The Moon moves on high-accurate perturbed orbit in the gravitational field of the Earth and other celestial bodies. On the base of two layers model of the Moon we have fulfilled systematic studies of the Moon physical librations. And in first we have presented a solution of the problem in components of vector of angular velocity of the Moon. An analytical presentation of LOD of the Moon with high accuracy in form of trigonometric series has here the progressive value. In first we have determined the fourth mode of free libration of the Moon caused by the influence of the liquid core oscillations of pole axis of rotation of the Moon (its mantle), with a long period in 205.7 yr, with an amplitude of  $0''$  0395 and the initial phase of  $-134^\circ$  (for the initial epoch 2000.0). This oscillation reflects the so-called phenomenon of free oscillation of the liquid core. The estimates for the dynamic (meridional) oblatenesses of the ellipsoidal liquid core of the Moon: 0.000442 and 0.000283 have been obtained. These fundamental parameters of geodynamics of the Moon could be determined only on the base of data of observations. Earlier the attempts to determine the period of free core nutation undertaken. Our results were obtained by comparing of the developed analytical theory of lunar physical libration with empirical theory libration of the Moon, constructed on the basis of laser observations in last about 40 years (Rambaux, Williams, 2011).

Preliminary results of studies of three-layers model of physical librations of the Moon have been obtained on the base of some simplified approach for the problem of rotation of the Moon with liquid and rigid cores. We have analyzed the Cassini's motion of the decoupled solid core and its librations in longitude to compare with the Moon motions. On the base of Getino, Ferrandiz et al. approach we give estimations of the periods of free librations of this system. We have constructed differential equations of rotational motion of three layers Moon from positions of the Hamiltonian formalism with application of Andoyer's and Poincaré's variables. Now we construct analytical theory of rotation of the Moon system consisting from the non-spherical mantle, ellipsoidal liquid core and solid core.

キーワード: Moon rotation, free libration, liquid core, solid core

Keywords: Moon rotation, free libration, liquid core, solid core

## 地球の大規模な真の極移動の速度の粘性構造依存性：地球マントル内部の低粘性領域が緩和モードの時定数に及ぼす潜在的影響の評価 Viscosity structure dependence of large-scale polar wander rate of the Earth: A potential impact of a low-viscosity zone

原田 雄司<sup>1\*</sup>; 肖 竜<sup>1</sup>  
HARADA, Yuji<sup>1\*</sup>; XIAO, Long<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 中国地質大学地球科学学院行星科学研究所  
<sup>1</sup>China University of Geosciences

地球の真の極移動の速度に与えるマントル内部の低粘性層の影響に関しては、それ程には多くないが幾つかの研究が行なわれている。種々の地球物理学的制約から、地球マントル、特に最上部や最下部において著しく粘性の低い層が存在する、という可能性が指摘されている。このような極端な粘性の差異は極移動にも或る程度の影響を及ぼす、という事が上述の先行研究で調べられている。

但し、これらの研究で取り扱われていたのは比較的小規模な極移動である。それらのモデル計算は主として後氷期回復による質量再分配に伴う極移動を想定していた。この場合、極移動の典型的な時間スケールは地質学的時間スケールと比べて短く、概ねマントルの粘弾性変形の特徴的時間スケールを反映する。そのような極移動の振幅は大きくても数度程度であり、線形近似された極運動方程式を適用するのが定石である。その一方、今の所、数十度程度の大規模な極移動に対する低粘性層の潜在的影響について議論された研究例は無い。

このような地球内部における粘性の不均質性の影響を検討する事は、観測量から導かれた極移動のシナリオ、特にその時間変化の妥当性を定量的に評価する上で重要であると考えられる。実際の地球の太古の極移動は古地磁気を初めとする地質学的状況証拠から推定されているが、この種の筋書きは上記のようなモデル計算に基づいて初めて物理的に解釈され得る。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観点において有益な情報が得られると期待される。こうした議論をする為には前述のような物理的に特殊な層の効果も重視すべきかもしれない。

そこで本研究では、地球マントル内部における低粘性層の存在が極移動の時間スケールに及ぼす影響について定量的評価を試みた。特に地球内部の力学的応答を特徴付ける粘弾性ラブ数のモデル計算を実施し、ラブ数に含まれる複数の緩和モードの強度と時間スケールの粘性構造に対する依存性について調査した。更にそれらの緩和モードの構造依存性を極移動速度の構造依存性と比較した。尚、数値計算の都合上、緩和モードの算出に際しては地球の層構造を簡略化し、かつ非圧縮性を仮定した。

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大規模な極移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、ここではアセノスフェアの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。

上述の計算の結果、極移動の時間スケールはほぼ最長期の緩和モードにのみ依存している事が分かった。ここで特筆すべき点は、この極移動において支配的な緩和モードの強度が粘弾性ラブ数全体に占める比率は、実は余り大きくないという事である。それは換言すれば、潮汐変形の振幅がより卓越する他のモードは、極移動の時間スケールに対しては殆んど影響しない事を意味する。これは一見すると奇妙な結果に感じられるかもしれない。

このような依存性を示す理由は、前述した最長期のモードの時間スケールだけが他のモードと比較して桁違いに長いからである。緩和の時定数が長いモードは、たとえ振幅が小さくても長期的に自転軸を安定化する作用を有する。逆に振幅が大きくても時定数が短いモードでは速やかに緩和する為、自転の長期的安定性に対する寄与は小さい。

この結果を踏まえるならば、極移動速度の構造依存性も概ね、この最長期のモードの緩和時間の依存性のみ反映していると言える。実際には、たとえマントル内部の低粘性層を含まない内部構造を仮定しても、このモードの影響は依然として支配的である。そして低粘性層が存在する場合、その粘性が低くなると、それに依拠してこの最長モードの時間スケールも短くなる。最も短い場合では四割にも満たない。但し粘性が或る値よりも低くなると、このモードの時間スケールは一定の値に漸近する。この傾向の理由は、この層の粘性が低過ぎる為、十分に長い時間スケールでは実質的に粘弾性体ではなく流体として振る舞うからである。

以上の計算結果から得られる結論は、一般に地球内部の低粘性層の存在は大規模極移動の時間スケールを短くする事、そしてその影響は主に最長期の緩和モードの時間スケールの変化に起因する事である。確かに地球の大規模極移動の時間スケールの内部構造依存性に関しては既に既存の研究でも議論されている。しかし以前の研究ではマントルの粘性構造が単純化され、その中の低粘性層の影響について検討されていなかった。かつ極移動速度を強く支配している要因も明確には指摘されていなかった。それに対して今回の研究では、この層の影響を明示的に含む極移動の時間スケールを見積もり、不均一な粘性構造が大規模極移動に与える影響が無視出来ない事を示した。

PPS03-P02

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 29 日 18:15-19:30

キーワード: 真の極移動, 地球, マントル, 低粘性層, 緩和モード, 時定数

Keywords: true polar wander, the Earth, mantle, low-viscosity layer, relaxation mode, time constant

## Effects of global geodynamics in a series of astrometry observations of latitude at Poltava

KHALYAVINA, Lydmila<sup>1</sup> ; BARKIN, Yury<sup>2\*</sup>  
KHALYAVINA, Lydmila<sup>1</sup> ; BARKIN, Yury<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Gravimetry Observatory, Poltava, Ukraine, <sup>2</sup>Sternberg Astronomical Institute, Moscow, Russia

<sup>1</sup>Gravimetry Observatory, Poltava, Ukraine, <sup>2</sup>Sternberg Astronomical Institute, Moscow, Russia

Diverse geodynamic phenomena observed in the modern era, received a convincing explanation in the framework of the northern drift of Earth's core. Model proposed and developed by Yuri Barkin relative to the set of ancient geodynamic processes: the secular drift of the Earth's pole, non-tidal acceleration of the Earth's rotation, secular change of gravity, the evolution of the earth's figure, plate tectonics, the formation of specific geological structures, etc.

The North drift of the core generates mass redistribution of the Earth and leads to changes in the gravitational field. Since astrometry instruments have as a reference axis direction of the local plumb line, then this process should be displayed in the slow position changes no polar zenith Observatory. It is shown that for locations in the northern hemisphere, the north drift of the core causes the displacement of local plumb in a southerly direction. Is the picture of long-term changes in the direction of gravity (NST) in the meridian of Poltava for the period 1962 - 2013 based on long-term observations of latitude prismatic astrolabe taking into account: 1) high-precision catalogs (HIPPARCOS, ARIHIP, Tycho-2), 2) improved model of the pole C01 IERS; 3) the theory of the precession-nutation IAU2000; 4) plate tectonics (NUVEL1A-NNR). The resulting long-period changes in NST can be represented as the sum of three components: a linear trend with velocity  $\sim -0.0003''/\text{yr}$ , the nonlinear part of the trend, consisting of two branches (descending - in 1962 to 1996. And rising - in 1998 and 2010.), which can be regarded as a fragment of a wave with period  $T \sim 50$  years and amplitude  $A \sim 0.02''$ ; quasi cyclic part with 11 - year period, close to the main period of index of solar activity period and amplitude  $< 0.01''$ .

The linear part of the translational displacement means the plumb line to the south of Poltava, which is consistent with the above Barkin's model. The observed velocity of motion of zenith corresponds to moving the center of mass of the Earth in a northerly direction at the velocity in 1.4 cm/yr. Found that the nonlinear part of the trend and the 11-year cyclicity in the shifts of plummet quite clearly reproduce the form of low-frequency polar latitude variations at Poltava derived from model C01 (EOP IERS). Actually observed amplitude of long-period oscillations of latitude caused by pole motion, in 2 times higher than the calculated amplitude. The non-linear part of the trend is the projection on the Poltava meridian of the Markowitz wave.

It is shown that both low-frequency cycles are negatively correlated with the corresponding components of the index of solar activity. The most probable mechanism of solar activity influence on the motion of the pole is the North Atlantic Oscillation. An increase in the amplitude of low-frequency polar displacements of Poltava zenith in astrometric observations requires a special study. One from possible explanations - the influence of the features of the geological structure in the vicinity of Poltava, which is located in the center of the so-called rift Poltava site.

キーワード: plate tectonics, secular change of gravity, Markowitz wave

Keywords: plate tectonics, secular change of gravity, Markowitz wave

## Minerals detection on Mars from Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) CRISM data Minerals detection on Mars from Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) CRISM data

Jin Shuanggen<sup>1</sup> ; Barkin Yury<sup>2\*</sup>  
JIN, Shuanggen<sup>1</sup> ; BARKIN, Yury<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> 上海天文台, <sup>2</sup> モスクワ大学

<sup>1</sup>Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Science, <sup>2</sup>Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University

Martian mineral detection and mapping can provide important information and constraints on Martian aqueous history, which can be used to assess the potential habitability of Mars. Degrees of addressing the key question for Martian aqueous alteration are dictated by the depth and extent of grasping the Martian hydrous mineral. Therefore, it is important to know detailed minerals and chemical induction of the existence of water on the Martian surface at past or present. In-situ observations of the Martian rovers, such as Spirit, Opportunity and Curiosity have provided the mineralogical analysis of Martian surface, but restricting in a limited areas. Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars (CRISM) aboard the Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) with enhanced spectral resolution can provide more information at spatial and time scale. In this paper, CRISM near-infrared spectral data are used to identify mineral classes and distribution at Martian Gale region, including kaolinite, chlorites, smectite, jarosite, northupite and salts. The detection of northupite that is indicative of evaporation in Gale region suggests that the Gale region has experienced the climate change from moist condition with mineral dissolution to dryer climate with water evaporation.

キーワード: Martian minerals, Mars Reconnaissance Orbiter, CRISM  
Keywords: Martian minerals, Mars Reconnaissance Orbiter, CRISM