

## 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<sup>1\*</sup>, 肖 竜<sup>2</sup>Yuji Harada<sup>1\*</sup>, XIAO, Long<sup>2</sup><sup>1</sup> 東京大学地震研究所物質科学系研究部門, <sup>2</sup> 中国地質大学地球科学学院行星科学研究所<sup>1</sup>the University of Tokyo, <sup>2</sup>China 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的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能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