

化石形状を記憶する準流体惑星の真の極移動：潮汐変形による歪みエネルギーの効果

True polar wander of a quasi-fluid planet with a fossil shape: Effect of strain energy due to tidal deformation

原田 雄司^{1*}

Yuji Harada^{1*}

¹ 上海天文台

¹Shanghai Astronomical Observatory

固体天体のリソスフェアに蓄積される弾性歪みエネルギーは、天体の自転軸の挙動、特に真の極移動に影響を及ぼす。もし仮に、リソスフェアを持たず完全に流体的に振る舞う仮想的な天体を想定するならば、その静水圧形状は常に保持される。この場合、最終的な自転軸は慣性能率の主軸と一致する。この状態において回転エネルギーが最小となるからである。その一方、弾性的に振る舞うリソスフェアを持つ現実的な天体においては、自転軸は慣性能率の主軸と一致しない、という可能性が一部の先行研究によって指摘されている。何故なら、長期的な自転軸の移動に起因する潮汐応力によって、膨大な歪みエネルギーがリソスフェアに蓄積されるからである。即ち、回転エネルギーのみならず歪みエネルギーも含めた、全エネルギーの和を最小化するように極位置が選択される。

しかしながら、上記の先行研究が取り扱った内容は、あくまで自転軸が移動する前と移動した後の極位置の差のみである。つまり初期状態から定常状態までの永年の極位置の時間変化については言及されていない。このような極位置の永年変動のモデリングは次の点において重要と考えられる。一つ目に、真の極移動の励起源が生じてから極位置が定常状態に達するまでの時間スケールを与える事が出来るようになる。よって複数の表面荷重・内部力源が存在する時、どれが真の極移動に寄与しているのか、そしてどれくらい寄与しているのか、という定量的議論が可能となる。二つ目に、地形や地磁気のような地質学的状況証拠から推定された真の極移動のシナリオについて、力学的解釈を与える事が出来るようになる。よって或る真の極移動のシナリオが提示された時、それについての物理的な妥当性の検討が可能となる。

そこで本研究では、前述の歪みエネルギーに関する先行研究を踏まえて、真の極移動における極位置の時間変化を定式化・数値計算した。特に大規模かつ長期的な極位置の時間変化に対しては準流体近似によるモデリングが適切である。従って本研究では、従来の準流体近似に基づく真の極移動を踏襲しつつ、それと同時にエネルギー全体の最小化も考慮して、各時点における自転軸の向きを求めた。これは実質上、リソスフェアの潮汐変形に起因する弾性トルクを準流体惑星のリュビル方程式の中に組み込む事と、物理的に等価である。尚、本研究では簡単の為、先行研究と同様、励起源として単独の軸対称の表面荷重を想定した。算出に際しては、荷重の最初の位置、荷重の成長の期間、荷重の大きさの最大値をパラメータとして与えた。更にそれらの結果を、歪みエネルギーを考慮しない場合と比較した。

その結果、歪みエネルギーを考慮した場合は、考慮しない場合と比べて次のような違いを示した。一つは、たとえ同じパラメータを与えても、定常状態に達した後の極位置が異なる事である。この点は、先行研究の結果と矛盾しない事を示している。もう一つは、やはり同じパラメータを与えても、極位置が定常状態に達するまでの時間スケールが異なる事である。この点は、リソスフェアの歪みエネルギーが実効的な荷重の影響を抑制する事を示している。定常状態自体に関してこのような効果が存在する事は、先行研究によって既に指摘されているが、それと類似の効果が真の極移動の特徴的な時間スケールにおいても見られる、という事を本結果は意味している。但しその厳密な時間スケールは、単に実効的な荷重の大きさを小さくするだけでは見積もる事が出来ない。と言うのも、真の極移動に伴う歪みエネルギーの変化は、励起源である荷重自体の変化に対して遅延を伴うからである。この遅延の原因は長期的極運動による遠心力形状の粘弾性的再調整である。

以上により、実際の惑星や衛星の永年の極移動の物理的解釈、即ち、定常状態に達するまでの時間スケールや、定常状態に至るまでの変化を見積もる上では、歪みエネルギーは必ずしも無視出来ない、という事が本結果から示唆される。

キーワード: 化石形状, 準流体近似, 極移動, 弾性リソスフェア, 潮汐変形, 歪みエネルギー

Keywords: fossil shape, quasi-fluid approximation, polar wander, elastic lithosphere, tidal deformation, strain energy