

惑星測地の対象と手法

Targets and methods of planetodesy

荒木 博志[1], 日置 幸介[2], 花田 英夫[3]

Hiroshi Araki[1], Kosuke Heki[2], Hideo Hanada[3]

[1] 国立天文台・水沢, [2] 国立天文台地球回転研究系, [3] 天文台・水沢

[1] NAO, Mizusawa, [2] Div. Earth Rotation, National Astron. Obs., [3] Div. Earth Rotation, Nat. Astr. Obs.

Hilton(1992)を参考に主な太陽系天体について回転変動の計測可能性を検討した。すでに観測が行われている月と火星以外で歳差・章動が確実にありそうなのは木星と海王星であること、また計測手法では、計測の性質から見ると惑星に設置した望遠鏡による位置天文観測の将来性も重要であることがわかった。月や火星は他の惑星に比べ歳差・章動が比較的起こりやすい力学的条件にある。特に月についてはこれまでに提起された内部構造の問題点を解決するため、我々を含むグループで検討している ILOM(In-situ Lunar Orientation Measurement)計画等の LLR を越える観測計画を推進すべきであろう。

月・惑星の内部構造、特に流体コアの存在を探る方法の一つに歳差・章動、極運動などの回転変動の計測がある事はよく知られている。一般に惑星の歳差・章動は、自転軸周りの慣性モーメント C 、重力場のストークス係数 J_2 、摂動天体(太陽、衛星)の質量、平均距離、離心率、軌道傾度(惑星赤道面と摂動天体の公転面の傾き)等によって決まる。チャンドラ揺動、自由コア章動といった自由運動は惑星内部に励起源が必要である。さらに惑星の周りを同期回転する衛星は月の自由秤動のような一種の自由運動モードを持つことが考えられる。月についてはすでに月レーザ測距(LLR)による30年にわたるデータからすでに多くの物理秤動が分離され、自由秤動成分の検出も行われている。火星についてもバイキングや近年のパスファインダー、MGSからのレンジ及びドップラー追跡データから歳差定数及び慣性モーメントの決定が行われた。

以下、月と火星以外の主な太陽系天体について回転変動の計測可能性を Hilton(1992)を参考に検討する。まず歳差・章動が存在するかを考える。水星は中心部に融けた金属鉄のコアを持つと考えられ興味深い対象である。しかし摂動源は太陽のみで軌道傾度が約 0.01 度しかなく、 J_2 (未決定)が非常に小さいと思われるため歳差・章動の存は疑わしい。金星も同様に軌道傾度、 J_2 が小さいが、逆方向に自転しているため歳差速度は 13 秒角/年と比較的大きい(地球は 20 秒角/年)。しかし軌道離心率が非常に小さいため章動成分がほとんどなくコアに関する情報が得られない。木星以遠の惑星は地球型惑星に比べて小さな C 、大きな J_2 を持つが太陽からの距離が遠く、太陽起源の歳差・章動は小さくなる。ただし木星の場合は軌道傾度が 3.13 度と小さいことが影響している。ガリレオ衛星の軌道もほぼ赤道面にあり、励起源として働かないが火星と同様に軌道面の昇降点傾度の変化に伴う長周期の章動が見つかる可能性はある。これらの惑星の場合はむしろチャンドラ揺動や自由コア章動のような自由運動の方が内部構造の情報源として重要かもしれない。海王星の場合は巨大衛星トリトンの軌道傾度が 159 度もあり(逆行衛星)歳差速度が 40 秒角/年と大きい。トリトンの離心率もほとんど 0 だが昇降点経度の変化による長周期の章動が1つは期待できる。遠いことが最大の問題だが歳差・章動の点では最も期待できる木星型惑星である。木星型惑星の衛星は地球の月と同様に同期回転しているため、さまざまな'物理秤動'があり得るが、離心率、軌道傾度いずれも小さいものが多く慎重な検討が必要である。冥王星と衛星シャロンは互いに同期自転しているため歳差衝動の励起は期待できない。

計測手法については1)地上から惑星表面あるいは設置した測地基準の観測、2)周回衛星のドップラー追跡、3)惑星表面からの位置天文観測の3種に分けられる。1)の例は月レーザ測距(LLR)、火星のバイキングやパスファインダーによる電波測距実験がある。計画変更前のSELENE-VRADミッションや現在火星探査を念頭に提案されている逆VLBI法もここに入る。2)は周回衛星ミッションでは必ず行われるものであるが3)はまだ実行例がない。この中では2)が最も一般的で技術的困難も比較的小さいが、間接的計測であるため解析モデルが複雑になる。しかし木星型惑星の場合は唯一の計測方法であろう。これに対し1)は直接計測であり比較的近い固体惑星の場合は有効である。レーザ光の利用は月以遠では容易ではないが電波は火星で実証済みである。しかし惑星が合のときのデータギャップや太陽風中の電波伝播モデリングなどでいくつか解決すべき問題が残っている。3)は未経験の方法で固体惑星にしか使えないが、地球から計測する必要がなく最も直接的な方法で大きな可能性を持つ。具体的には惑星表面に3-1)極望遠鏡を設置する、3-2)PZT型望遠鏡を設置する、3-3)VLBI観測網を設置するなどが考えられる。このうち3-3)はしばらく措くとして3-1)、3-2)は工夫次第で有力な装置となる可能性がある。ちなみに我々を含むILOM(In-situ Lunar Orientation Measurement)研究グループではSELENE-I以降の月探査としてPZT型望遠鏡を月の極に設置し、周極星の位置観測を行う計画を検討している。これは3-1)と3-2)の融合型になる。

以上のように月と火星以外で歳差・章動が確実にありそうなのは木星と海王星であること、また計測手法では、計測の性質から見ると惑星に設置した望遠鏡による位置天文観測の将来性も重要であることがわかった。月や火星

は他の惑星に比べ歳差・章動が比較的起こりやすい力学的条件に恵まれており、特に月はこれまでのミッションで提起された内部構造の問題点を解決するためにも、ILOM 等の LLR を越える計画を推進すべきであろう。