

## 逆行ホットジュピターの潮汐軌道進化 Tidal orbital evolution of retrograde hot jupiters

岡澤 直也<sup>1</sup>, 倉本 圭<sup>1\*</sup>  
Naoya Okazawa<sup>1</sup>, Kiyoshi Kuramoto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学 理学院 宇宙理学専攻  
<sup>1</sup>Hokkaido University

近年、恒星の自転に対して逆行しているホットジュピターが複数見つかってきている。こうした軌道傾斜角の大きなホットジュピターは、惑星系円盤においてその場で形成されたとも、あるいは、形成後に円盤との相互作用によって現在の位置に移動してきたとも考えにくい。なぜならこれらの過程では、円盤面から軌道が大きく外れることはないためである。そこでこれらの高傾斜角惑星の形成シナリオとして「スリングショットシナリオ」が提案されている。このシナリオでは、惑星同士の重力散乱により軌道傾斜角の大きな楕円軌道の惑星がつけられ、その後中心星の潮汐作用によって軌道半径が小さくなり、ホットジュピターへと進化する。

以上の過程のうち、潮汐作用については不明な点が多い。例えば、従来の研究では楕円軌道からの軌道進化であることから、潮汐作用として、近点通過時にインパルス的に強い潮汐力が働く動的潮汐作用による円軌道化が想定されてきた (e.g. Nagasawa et al. 2008)。しかし、軌道進化によって離心率は小さくなっていくため、軌道進化の進んだ段階では静的潮汐作用を考えるのが適当であると思われる。また、潮汐摩擦の大きさにも大きな不定性が残されている。

そこで本研究では、主星の年齢が既知である6つの逆行ホットジュピターについて潮汐作用による軌道進化を理論的に考察することにより、これらの惑星に対する潮汐作用について、その機構や大きさを明らかにすることを試みた。

潮汐作用による軌道進化では、惑星の軌道角運動量と、惑星および主星の自転角運動量のベクトル和は保存される。また、これらの角運動量のうち、惑星の自転角運動量は非常に小さく進化経路にはほとんど影響しない。そして、逆行惑星の場合、軌道角運動量は常に恒星の自転角運動量へと輸送され、過去の軌道角運動量は現在よりも大きかったと考えられる。つまり、軌道角運動量が保存される軌道経路が最も近点距離の小さい経路となる。そこでまず、軌道角運動量の保存を仮定して軌道要素の進化経路を求め、長楕円軌道を有していた時に想定される近点通過の時定数を導いた。その結果、長楕円軌道においても、近点通過の時定数は惑星の固有振動の時定数に比べて長く、これは静的潮汐作用モデルが妥当であることを示す。

そこで、静的潮汐作用を仮定して系の年齢だけ時間を遡る数値計算を行った。潮汐摩擦の強さを規定する散逸定数は不確定性が大きいパラメータとし、長楕円軌道から現在の軌道に進化しうる値を探索的に求めた。

軌道進化計算の結果、全ての系について、初期軌道がスリングショットシナリオから予想される条件 (系の年齢だけ遡ったときの軌道長半径が2-3 AU、軌道進化の途上で主星と衝突しない) を満たす解が存在することが分かった。条件を満たすことのできる散逸定数は、各惑星に対して比較的狭い範囲に限定でき、惑星半径と散逸定数の間に相関があることが示唆された。木星衛星系の軌道力学から推定される木星の散逸定数もこの相関に乗る。こうして推定された散逸定数を用い、軌道進化に沿った過去の潮汐加熱の履歴を見積もることができる。その結果、各惑星は初期の数億年の間は中心星輻射の0.05-2倍の潮汐加熱を受けていた可能性があることがわかった。さらに、得られた散逸定数を用いた場合、惑星は中心星に今後急速に落下することなく、今の軌道長半径を準定常的に維持できる。これは多くのホットジュピターが存在している観測結果と整合的であると言える。