

系外惑星の公転軌道の離心率に関する考察

新井 優凜子、江本 祐大、北原 美乃里、森本 朱音 (高2) 【大阪府立北野高等学校】

要旨

楕円軌道の近日点と遠日点における速さを真円の場合の速さと比較した。発見されている系外惑星のデータから、太陽系内惑星に比べ、系外惑星では公転軌道の離心率が大きいことについて考察し、その理由を探る。

1. 研究背景

惑星の楕円軌道を描く要因について考察し、その離心率の違いを決定する要因を探ることにした。一般的に系外惑星は楕円軌道をとるといわれているが、系外惑星データベースより、現在発見されている系外惑星のうち の半分以上は離心率が0に近く、これは真円に近い軌道をとる系外惑星が多いことを表している。しかし、真円に近いものの比率は太陽系内惑星に比べると低く、系内惑星よりも離心率が大きい系外惑星が多い。その理由について考察する。

2. 研究の方法

楕円軌道を行なっている惑星の、近日点における速さを V_p 、遠日点における速さを V_a とおく。楕円軌道において、①(運動エネルギー)と(中心星の引力による位置エネルギー)の和、すなわち力学的エネルギーが保存されること②ケプラー第二法則(面積速度一定の法則)が成り立つことを利用して、 V_p 、 V_a を求めた。図1は、横軸に離心率、縦軸に V_p に対する V_a の比を取ったものである。図2は、横軸に離心率、縦軸に質量を取った。系外惑星は、太陽系内惑星と比較すると、離心率が大きい軌道を描くものが多い。

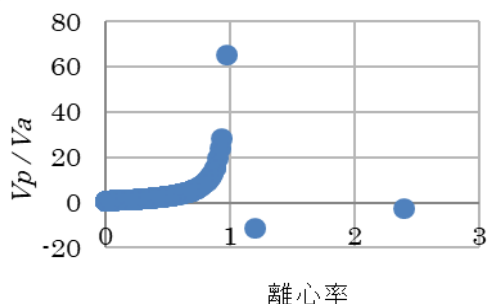


図1 離心率と速さの比との関係

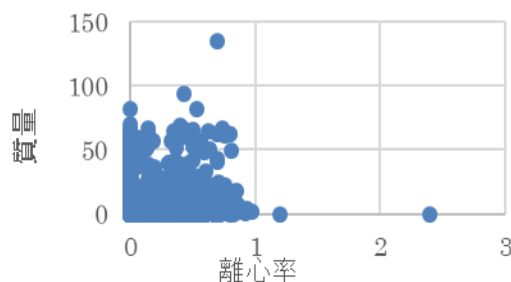


図2 離心率と惑星質量の関係

3. 考察

現在発見されている系外惑星が、系内惑星と比較して軌道の離心率が大きいものが多いことについて、理由を考察した。太陽系では、惑星は太陽と同時期に形成されたことは、その軌道が真円に近いものが多い理由ではないだろうか。一方、系外惑星では、多様な形成過程のものが存在し、中心星とは別の起源でできた惑星が近づいてきて中心星の引力で系内に留まり惑星となったものもあると考えられる。その場合、中心星に近づく際速度成分が楕円軌道を描く要因となる場合があると考えられる。

また、系外惑星は遠距離でも発見されていることから質量が大きいものが多いと考えられる。観測対象の中心星の質量が大きいと離心率の影響にも多様な可能性が想定される。

なお楕円では万有引力の大きさが軌道上の位置によって異なる。軌道上で遠心力と万有引力が逆向きで大きさが等しい地点を通過した直後に、惑星の質量が大きい場合は、そのバランスが崩れやすいのではないだろうか。使用したデータベースでは、全系外惑星の95%以上が地球の質量を超えていた。質量が大きいことによって、中心星と惑星の間の引力が大きく向心加速度が大きいため、接線方向の慣性とのバランスが崩れるのだろうか。円軌道と速さが等しくなる地点が楕円軌道上に存在することは、ケプラー第二法則を解いて示すことができた。図2の散布図から質量が大きいと離心率が大きい傾向にあることが見てとれる。恒星の質量との関係性は認められるかどうか、引き続き考察を続けたい。

次に、その系内の惑星が複数の場合、離心率に影響を及ぼすことが知られている。その理由について考察する。惑星の個数が2個と3個の場合とで比較すると、惑星の数が多いほど、離心率は大きくなる。惑星が系内で比較的近距离に複数存在する場合、惑星の運行は中心星の重心との引力に加え、他の惑星との位置関係、配置にも影響されるのではないだろうか。複数の惑星の配置がその軌道上の運行に影響を及ぼすと推測する。こちらについても引き続き考察を続けたい。また、軌道が楕円に近づくと、軌道における最大速度と最小速度の大きさの比が大きくなると考えられる。図1より楕円軌道の離心率が大きくなると、速さの比はより大きくなることがわかる。

4. まとめ

系外惑星は、太陽系内惑星に比べ、離心率が大きいものの比率が高い。中心星の質量や、惑星の個数および質量、複数の惑星の配置や重心に影響される。離心率の違いは、その系の形成過程と深く関わりがあると考えられる。

参考文献 シリーズ現代の天文学 第9巻「太陽系と惑星」渡部潤一・井田茂・佐々木昌編 日本評論社
ExoKyoto <https://www.exoplanetkyoto.org>