

系外惑星の表面温度の推定と観測値との比較

中澤 悠、村上 佳穂、山口 瑞月 (高2) 【大阪府立北野高等学校】

要旨

Jupiter's temperature is higher than the one estimated assuming only the energy injection from the sun. This fact implies that Jupiter has an internal heat source due to its large mass. Exoplanets with larger mass than Jupiter are expected to have larger internal heat sources. In this study, we estimated exoplanet temperatures considering energy injection from suns and compared them with the measured ones.

1. 背景・目的

木星の表面温度は、太陽から受けるエネルギーから予想される温度よりも、観測値の方が数十度高いことが知られている。これは内部熱源の存在を示唆する。すなわち、木星の誕生時に解放される重力エネルギーが大量の熱に変換され、それがまだ冷えていないと考えられている。

1995年の系外惑星の発見以降 (Mayor & Queloz 1995)、木星の数十倍の質量を持つ系外惑星が数多く見つかった。これらの惑星は、誕生時に解放する重力エネルギーが木星より大きく、より大きな内部熱源を持つと予想できる。この予想に基づき、系外惑星を表面温度と質量の観点から考察した。

2. 方法

惑星の表面温度 T は惑星全体に入射する恒星のエネルギーと惑星表面から放射されるエネルギーの釣り合いから $T_{\text{planet}} = T_{\text{star}} \sqrt{(R_{\text{star}}/2r)}$ (1)

と表せる。ここで T_{star} 、 R_{star} 、 r はそれぞれ、主星の表面温度、主星の半径、恒星と惑星の距離である。

R_{star} は、主星の絶対等級 M_V と温度 T_{star} から推定できる。星の光度 L はステファン・ボルツマンの法則を用いて

$$L = 4\pi R_{\text{star}}^2 T_{\text{star}}^2 \quad \dots \dots (2)$$

と表されるので、星の半径 R_{star} は、 M_V と T_{star} を用いて以下の関係式から求められる。

$$M_r = M_{r\odot} \cdot 5 \log (R_{\text{star}}/R_{\odot}) - 10 \log (T_{\text{star}}/T_{\odot}) \quad \dots \dots (3)$$

ここで、 $M_{r\odot}$ 、 R_{\odot} 、 T_{\odot} はそれぞれ太陽の絶対等級、半径、絶対等級である。

系外惑星のデータベースThe Extrasolar Planets Encyclopedia (<http://exoplanet.eu/catalog/>) に登録されている4000個以上の系外惑星の中で、 T_{planet} 、 T_{star} 、 R_{star} 、 r が測定されているものは13個あった。これらの天体について (1)式を用いて系外惑星の表面温度を計算した。また、 T_{planet} 、 T_{star} 、 r は測定されているが、 R_{star} が不明な系外惑星が8個あった。これらについては、(3)式を用いて R_{star} を推定した上で、表面温度を計算した。最後に、計算で求めた表面温度と観測値を比較した。

3. 結果

図1は、横軸に計算で求めた表面温度、縦軸に観測値をプロットしたものである。調査した21個の惑星のうち、17個は観測値が計算値より高く、その差はおおよそ1000-2500 K程度であった。4個は観測値が計算値とほぼ一致した。

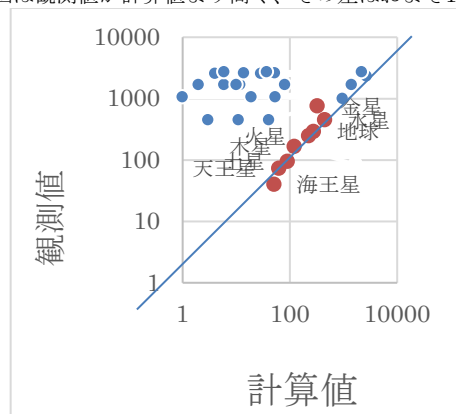


図1 惑星の表面温度の計算値と観測値の比較。小さい点は系外惑星、大きい点は太陽系内の惑星を示す。直線は計算値 = 観測値の場合を表す。

4. 考察

恒星から入射するエネルギーと惑星表面から放射されるエネルギーの釣り合いを仮定して、21個の系外惑星で表面温度を計算し、観測値と比較した。その結果、[1]観測値が計算値より1000-2500 K高いグループ、[2]観測値と計算値がほとんど同じグループが存在することがわかった。また[1]グループの惑星は木星質量の数十倍の質量であるのに対し、[2]グループは質量が比較的小さかった。[1]グループは、誕生時のエネルギーが内部熱源として残っているため高温になっていると考えられる。

参考文献

Mayor & Queloz "A Jupiter-mass companion to a solar-type star" Nature, 378, 355-359 (1995)
福江純・沢武文・高橋真聡 編 (2020年)『極・宇宙を解く』恒星社厚生閣
渡部潤一・井田茂・佐々木晶 編 (2008年)『太陽系と惑星 (シリーズ現代の天文学)』日本評論社