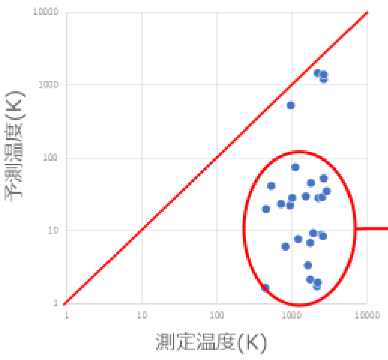
系外惑星の表面温度と内部熱源の影響の調査

北野高校

1.概要



主星から受けるエネルギーと
惑星が放出するエネルギーが釣り合うと仮定

$$T_{planet} = T_{star}\sqrt{\frac{R_{star}}{2r}}$$

1000～2500K観測値が高い

→ 内部熱源の影響

昨年の北野高校の課題研究 『系外惑星の表面温度の推定と観測値との比較』参照

2.仮説

内部熱源の起源は重力エネルギーの解放

重力エネルギー
∨
輻射で失われたエネルギー

仮に
重力エネルギー ＜ 輻射で失われたエネルギー
➡ 重力エネルギーが起源でない可能性が

重力エネルギーが内部熱源の起源
であることを計算で確認

3.検証

密度一定の場合 $\frac{3}{5}$

重力エネルギー

$$E_g = a\frac{GM^2}{R}[\mathrm{J}]$$

a:密度分布を表す定数
G:万有引力定数$[N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}]$
M:惑星の質量$[kg]$
R:惑星の半径$[m]$
σ:ステファン・ボルツマン定数$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}]$
t:惑星の年齢$[s]$
$f(t)$:年齢tでの温度$[K]$
T:予測表面温度[K]

輻射で失われたエネルギー

$$E_{lost} = 4\pi\sigma R^2\int_0^{t_1}\{f(t)-T\}^4 dt\ [\mathrm{J}]$$

時刻tでの内部熱源の温度

密度一定(ρ)の惑星に無限遠で静止していた物体が惑星表面に落下し、惑星の半径がdrだけ増えたとすると、増えた質量dmは、

$$\mathrm{dm} = 4\pi r^2 dr \cdot \rho = 4\pi r^2 dr \cdot \frac{3M}{4\pi R^3} = \frac{3Mr^2}{R^3}dr[kg]$$

このとき解放した重力エネルギーdEは、

$$dE = 0 - \left(-\frac{GM'dm}{r}\right) = \frac{G}{r}\cdot M\left(\frac{r}{R}\right)^3 \cdot \frac{3Mr^2}{R^3}dr = \frac{3GM^2r^4}{R^6}dr$$

$$E_g = \int dE = \int_0^R \frac{3GM^2r^4}{R^6}dr = \frac{3GM^2}{5R}[J]$$

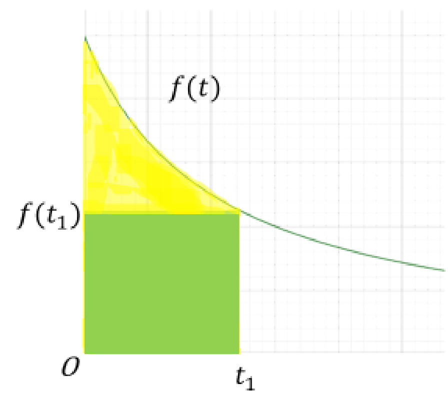
ステファン・ボルツマンの方程式から

$$W_{lost} = 4\pi\sigma R^2\{f(t)-T\}^4[J \cdot s^{-1}]$$

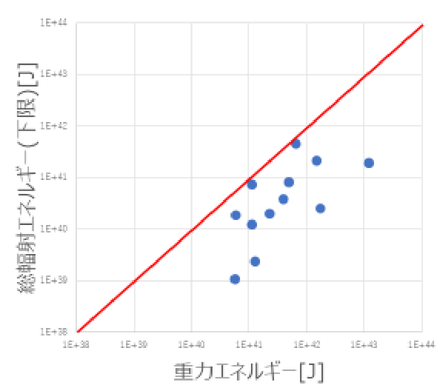
両辺を時間(t)、区間$[0,t_1]$で積分して

$$\int_0^{t_1} W_{lost}dt = \int_0^{t_1} 4\pi\sigma R^2\{f(t)-T\}^4 dt$$

$$E_{lost} = 4\pi\sigma R^2\int_0^{t_1}\{f(t)-T\}^4 dt\ [\mathrm{J}]$$



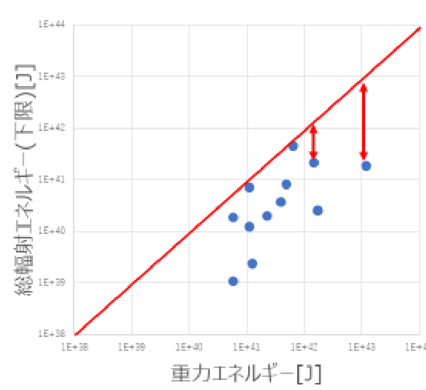
$f(t)$(温度)は
単調減少する
⬇
現在の温度と
惑星の年齢の積により
積分の下限値を求める



重力エネルギー
∨
輻射によって失われた
エネルギーの下限値

内部熱源は重力エネルギーが起源と考えられる

4.展望



▶差が何と相関関係にあるのかを調査

(例)
・年齢 ・公転半径
・質量 ・表面積

まとめ

▶ 内部熱源の起源が重力エネルギーであるという通説に矛盾がないといえる

▶ 今後は重力エネルギーと輻射で失われた総エネルギー量の差が何と相関関係があるかを調査する予定