

微惑星集積過程における固体惑星自転の決定

名取 修、高保 翔太、窪田 瑞樹（高2）【北杜市立甲陵高等学校】

要旨

現在、天王星のような大きな自転軸傾斜角を持つには原始惑星同士の巨大衝突が必要とされている。本研究では過去の文献をもとに、微惑星集積過程の角運動量の変化が後の原始惑星、惑星の自転軸傾斜角に与える影響を考察した。結果として新たな大きな自転軸傾斜角を持つためのシナリオを提示することができた。

1. はじめに

天王星のような大きな自転軸傾斜角を持つための条件を巨大衝突ではなく、微惑星集積時の角運動量から考察、議論する

2. 目的

微惑星集積が後の原始惑星、惑星の自転軸傾斜角へ与える影響について解明する

3. 方法

(1) 手順

- ①過去の文献から微惑星集積の条件を知る
- ②自転角運動量についての計算を行う
- ③質量と角速度、自転軸の関係を得る

(2) 計算方法

(2-1) 質量と半径の関係性

惑星の質量を m 、半径を r 、密度を ρ とすると

$$m = \frac{4\pi}{3} r^3 \rho$$

$$\Leftrightarrow r = \sqrt[3]{\frac{3m}{4\pi\rho}}$$

ここで $c = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi\rho}}$ とすると

$$r = cm^{\frac{1}{3}} \quad (\text{ア})$$

(2-2) 角運動量の計算

衝突される原始惑星の半径を r 、衝突する天体の質量を m 、衝突する天体の速さを v とすると、衝突される天体が受けとる角運動量 L の大きさは $|L| = rmv \sin \theta$ (イ)

また、衝突係数を b とすると L は式(ウ)のようにも表現できる $|L| = |b| \times mv$ (ウ)

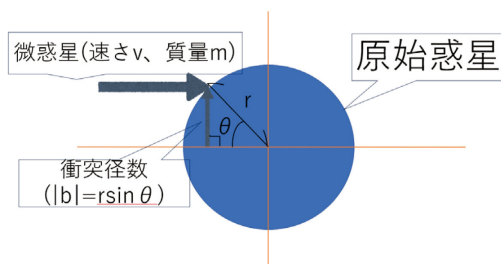


図1: 式(イ)、(ウ)に示す原始惑星衝突の略図

4. 結果

過去の文献からわかったこと

- ① 大きな自転軸の傾斜を持つには同サイズの天体の衝突が必要(参考文献1)
- ② 微惑星の衝突が起きる方向はランダム(参考文献2)

- ③ 微惑星の衝突時の速さはおよそ一定(参考文献4)

- ④ 微惑星の初期衝突では大きな自転軸傾斜角を持ちやすい→0度180度は各々パターンしかないが、軌道面内のすべての向きが90度になるため、同サイズの天体同士の衝突で得られる軸の傾斜角は高確率で90度になる(参考文献3)

5. 考察

原始惑星が受け取る角運動量の大きさの平均値 $\langle L \rangle$ を考えると式(ウ)から

$$\langle L \rangle = \langle |b| \times mv \rangle \quad (\text{エ})$$

4. 結果③より mv はおよそ一定、すなわち $\langle L \rangle$ は $\langle |b| \rangle$ に依存することが分かる。微惑星が衝突する方向はランダムなので

$$\langle |b| \rangle = \langle r \sin \theta \rangle = 0$$

よって天体が受け取る角運動量は0であることがわかる。従って、原始惑星は、質量は大きくなるが角運動量は最初期のものが保存されるので、自転軸傾斜角を維持したまま成長しうるといえる。よって4. 結果④と合わせて微惑星は初期の大きな自転軸の傾斜を維持したまま成長しうる。

また、 $|L| = rmv \sin \theta = mr^2 \omega$ (オ)

式(ア)を(オ)に代入して $|L| = c^2 m^{\frac{5}{3}} \omega$ (カ)

ここで L 、 c は定数であるから $\frac{|L|}{c^2} = k$ とすると

$$\omega = km^{-\frac{5}{3}}$$

対数に直して $\log \omega \propto -\frac{5}{3} \log m$

よって $\log \omega$ は $\log m$ と負の比例しその比例定数は $-\frac{5}{3}$ となることが分かる。

6. 今後の課題

考察の最後の部分にある ω と m の関係性について別研究を参考にその妥当性を評価したい。

7. 参考文献

1. Luke Donest, Scott Tremaine 1993
ICARUS103, P67~92
- 2 小久保英一郎, 井田茂 2000
Doi: doi:10.1006/icar.1999.6237
3. 小久保英一郎, 玄田英典 2010
Doi:10.1088/2041-8205/714/1/L21
4. 小久保英一郎, 井田茂 1996
ICARUS123, P180~191