

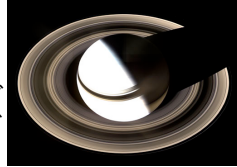
粒子衝突と重力相互作用による 土星リングでの角運動量輸送

安井 佑貴¹ 大槻 圭史^{1,2} 台坂 博³

1. 神戸大学・理 2. 惑星科学研究センター 3. 一橋大学・商

1. はじめに

土星リングは主に、cm~10mのサイズをもつ多数の氷粒子から形成されている。リング中では、それら粒子の間での衝突、重力相互作用、合体、破壊、などが起こっており、リングの力学進化はそのような現象に支配されている。また、リング粒子間の衝突、及び重力相互作用は、リング中での角運動量輸送率を決める。



目的

本研究では、数値シミュレーションにより、リング粒子間の衝突及び重力相互作用に起因する、リングの粘性を求める。

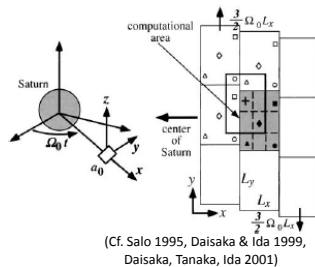
2. 計算方法(局所N体シミュレーション)

局所的な計算領域の設定

- ・リングの幅に比べて十分小さい
- ・土星から距離 a_0 の位置
- ・土星の周りを角速度 Ω_0 で公転 $\Omega_0 = \sqrt{\frac{GM_{\text{Saturn}}}{a_0^3}}$

この計算領域の中に、初期にN体の粒子をランダムに分布させ、以下を考慮し、N体の運動の時間進化を追う。

- ・土星重力
- ・粒子間相互重力
- ・衝突



(Cf. Salo 1995, Daisaka & Ida 1999, Daisaka, Tanaka, Ida 2001)

境界条件

公転角速度の差を考慮した周期境界条件を用いる。

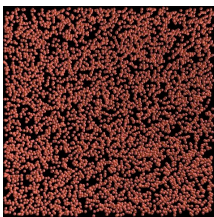
3. 微細構造(gravitational wake)の形成

計算条件

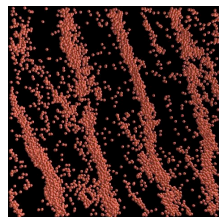
粒子数: 5000体, 密度: 0.9 g cm^{-3} , 半径: 1 m , 軌道長半径: $1.0 \times 10^5 \text{ km}$
光学的厚さ: 0.4, 反発係数: 0.5

$$\text{光学的厚さ } \tau \equiv \frac{N\pi R^2}{L_x L_y}$$

粒子分布



衝突のみ



衝突+粒子間相互重力

▶ 粒子間相互重力を考慮することで、自己重力不安定の結果、縞状の wake 構造が形成される(e.g. Salo 1995).

4. 角運動量輸送

リング粘性

系が準平衡状態にあるとき、エネルギーのつり合いから、粘性を見積もることができる。

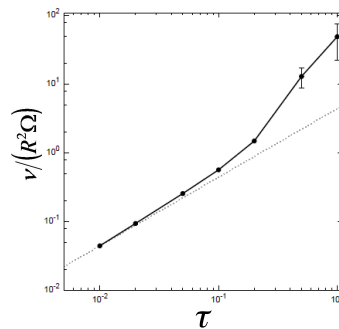
粘性加熱によるランダム運動エネルギーの増加

||

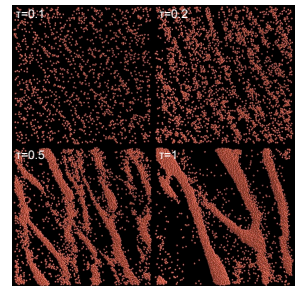
非弾性衝突によるランダム運動エネルギーの減少

(Tanaka, Ohtsuki, Daisaka, 2003)

粘性の τ 依存性



粒子分布



実線:N体シミュレーション結果
点線:3体計算結果
(Ohtsuki et al. in prep.)

粒子数は左上が1500, 右上が3000,
左下が7500, 右下が15000体. また, 計
算条件は, τ , 粒子数以外は3. と同様.

● $\tau \ll 1$ の場合

粒子分布はほぼ一様であり、角運動量輸送は2体だけの相互作用の影響の足し合わせと考えることができる。

3体計算結果とN体シミュレーション結果が一致。グラフより、 $\nu \propto \tau$ であることがわかる。

● $\tau \geq 0.1$ の場合

多体効果により粘性が大きくなり(Daisaka et al. 2001), 3体計算結果からずれる。

・ $\tau = 0.1$ の場合

局所的に粒子の集まりが見られる。

・ $\tau = 0.2$ の場合

小規模の wake 構造が多数見られる。

・ $\tau = 0.5, 1$ の場合

τ が増加するにつれて自己重力による wake 構造が顕著になり、粘性も3体計算結果から大きくずれる。

5. まとめ

・リングが光学的に厚いとき、粒子間相互重力により粒子が集まり、wake 構造が形成される。

・粘性について

$\tau \ll 1$ の場合、3体計算結果とN体シミュレーション結果はよく一致する。

$\tau \geq 0.1$ の場合、 τ の増加に伴って wake 構造の形成が顕著になり、粘性の値は3体計算結果から大きくずれていく。