

自己重力と粒子自転を考慮した惑星リングの粘性 Viscosity in planetary rings including spinning, self-gravitating particles

安井 佑貴^{1*}, 大槻 圭史², 台坂 博³

Yuki Yasui^{1*}, Keiji Ohtsuki², Hiroshi Daisaka³

¹ 神戸大学理学研究科, ² 神戸大学大学院理学研究科, ³ 一橋大学商学部

¹Dept. Earth Planet. Sci., Kobe Univ., ²Dept. Earth Planet. Sci., Kobe Univ./CPS, ³Hitotsubashi Univ.

土星のリングは多数の氷粒子で形成されており、これら粒子間の衝突および重力相互作用によって角運動量は輸送される。このような粒子間相互作用に起因するリングの粘性はリングの力学進化と構造形成を支配する。粒子間の衝突そして重力相互作用を含む局所 N 体シミュレーションによって、光学的に厚いリングではリングの自己重力のために、wake 構造が形成されることが示されている。また他の研究の数値計算の結果から、wake 構造が伴うような光学的に厚いリング中の粘性は自己重力の効果により著しく強められることが明らかになっている。しかし、この先行研究では表面摩擦の効果は考慮されていなかった。これまでに重力がなく自転している粒子からなる惑星リングの粘性は研究されてきた。しかし重力がある場合の粒子の表面摩擦と粒子の自転の効果が粘性に与える影響については調べられていない。

粘性加熱と表面摩擦を含む非弾性衝突によるエネルギー散逸の間でエネルギーのつり合いを考えることにより、本研究で、粒子間の衝突および重力相互作用に加え、粒子の自転の効果も考慮に入れた惑星リングにおける粘性を調べた。粒子間の衝突では垂直方向および接線方向の反発係数を使って衝突による速度の変化を計算している。表面摩擦がある場合、粒子の自転角速度の変化も計算している。我々は粘性が光学的厚さや土星からの距離、そして反発係数の垂直成分、接線成分にどのように依存するのか調べた。加えて室内の衝突実験から得られている速度依存性のある反発係数の場合についても調べた。光学的に薄いリングの場合、粘性は三体軌道計算を用いることで見積もられることが明らかになっている。我々は他の研究の三体軌道計算から得られた粘性と本研究の N 体計算から得られた粘性の比較も行っている。

始めに我々は表面摩擦がない場合の粘性を計算した。光学的に薄い場合、粘性は光学的厚さに比例して増加することがわかり、三体軌道計算に基づく結果と良く一致することが確認された。しかしながら、wake の形成を伴うような光学的に厚いリングでは N 体計算の結果は三体軌道計算に基づく結果からずれ、粘性は著しく増加することがわかった。これは自己重力があり粒子表面を滑らかと仮定したこれまでの研究の結果と一致する。次に我々は、表面摩擦と粒子自転の効果を調べた。光学的に薄い場合、表面摩擦が効く方が粘性がわずかに小さくなることがわかった。これは表面摩擦によって、より多くのエネルギー散逸が生じ、粒子のランダム運動が抑えられるためである。一方で、wake が顕著に形成されるような光学的に厚い場合、表面摩擦の粘性に対する依存性は無視できることがわかった。これは光学的に厚いリングの場合、リングの自己重力によって粘性が強められる効果が表面摩擦の効果よりもより支配的であることを示す。

キーワード: 惑星リング, 粘性, 自己重力, 粒子自転, 局所 N 体シミュレーション

Keywords: planetary rings, viscosity, self-gravity, particles' spin, Local N-body simulation