

氷球の低速度斜め衝突実験:反発係数に対する衝突角度依存性

*豊田優佳里¹, 荒川政彦¹

(1. 神戸大学大学院理学研究科)

背景:本研究は土星 A, B リング内でのリング粒子間の衝突過程に着目する。A, B リングは dense リングとも呼ばれ、幅~40 万 km, 厚さ~数十 m の円盤構造である。dense リングを構成する粒子は数 mm-数十 m サイズの水氷粒子であることが知られているが、Cassini による観測によってリング粒子の内部構造は空隙を含む氷粒子集合体であることが示唆された。dense リングには粒子が密に存在しているため、リング粒子間の平均自由行程は粒子サイズと同程度又は粒子サイズ以下であると予測されている。従って、dense リングの動力学を考える場合には、リング粒子間の衝突過程を調べるのが重要である。このような背景から、リング粒子間の衝突速度 (数 cm/s 以下) を再現するような氷を用いた低速度衝突実験が行われてきたが、最新の観測で提案された氷粒子集合体を使用した実験例は少ない。特に、リング間の衝突のほとんどは斜め衝突であることが予測されるが、氷粒子集合体の低速度衝突過程に対する衝突角度依存性は未解明である。以上より、本研究では氷粒子集合体を用いた低速度斜め衝突実験の実施を目標とし、斜め衝突実験装置及び二次元レーザー変位計を用いた解析方法の開発を行った。この装置及び解析方法の妥当性を検証するため、空隙を含まない氷球を用いて低速度斜め衝突実験を実施し、法線方向・接線方向の反発係数及び衝突前後の角速度変化を実測した。

実験方法・結果:衝突体である氷球は沸騰させた水道水をゴム型に入れ、冷凍庫 (-20C°) で凍結させることで準備した。標的板には市販の花崗岩板 (表面は鏡面仕上げ) を使用した。氷球は自由落下によって花崗岩板に衝突させ、衝突速度は花崗岩板の設置高さを変化させることでコントロールした ($v_i \sim 10-160$ cm/s)。衝突角度は花崗岩板の設置角度を変化させることで制御した ($\theta_i = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$)。斜め衝突による水平方向・高さ方向の運動を観測するため、二次元レーザー変位計 (測定周波数 1 or 2 kHz) を用いて、衝突前後における氷球の移動 (水平方向・高さ方向)・回転の時間変化を測定した。また、解析方法の妥当性を検証するため、同時に高速ビデオカメラ (10⁴ fps) を用いた観測も実施した。これらのデータを比較すると概ね一致したことから、二次元レーザー変位計は氷球の運動・回転の時間変化の測定に使用可能であることが明らかになった。しかし、定量的な評価をする場合には、高速ビデオカメラの位置補正を行う必要があることも明らかになった。解析した衝突速度と反発係数の関係を確認すると、衝

突速度・衝突角度の増加に伴って反発係数が低下することが確認された。この衝突角度依存性は、法線方向の衝突速度と法線方向の反発係数で表すと、概ね整理されることがわかった。これは、法線方向の衝突速度に従って発生する衝突応力が、氷球の衝突点付近にクラックを発生させ、衝突エネルギーを散逸するためであると考えられる。また、接線方向の反発係数は~1 であり、表面の滑らかな氷球の場合は摩擦によるエネルギー散逸がほとんど起こらないことが推測された。衝突前後の角速度変化を引き起こす原因については特定できていないが、衝突速度の増加に伴って角速度変化が増加する傾向が見られた。今後は氷粒子集合体を使用した低速度斜め衝突実験の実施に向けて、引き続き準備を行う。

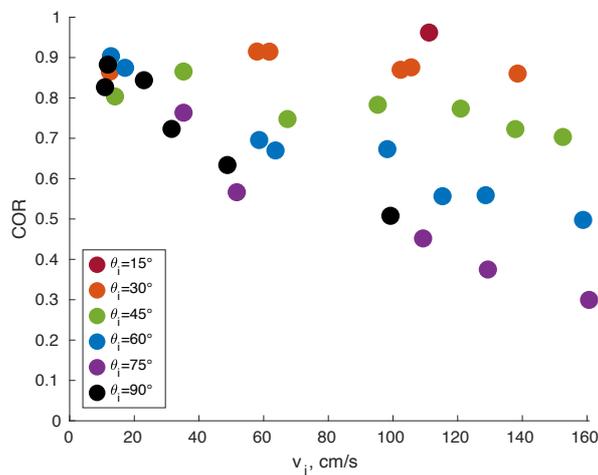


図 1. 衝突速度と反発係数の関係

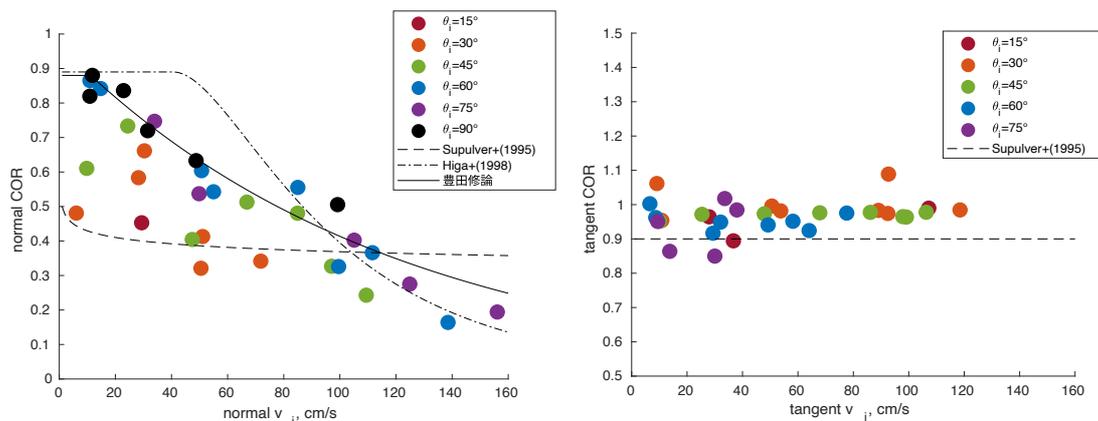


図 2. (左)法線方向の衝突速度と法線方向の反発係数の関係 (右)接線方向の衝突速度と接線方向の反発係数の関係