

# 土星リング粒子を模擬した多孔質氷球の衝突過程に関する実験的研究

神戸大学大学院理学研究科 ○豊田優佳里 保井みなみ 荒川政彦

はじめに：土星のリングは、サイズ数 mm～数 m までの水氷の粒子で構成されており、その粒子は数 cm/s 以下の速度で互いに衝突している。その相互衝突の結果、リング粒子は凝集・反発・破壊を起こし、土星リングの力学的進化やその構造に影響を及ぼしている。また、土星リングが非常に薄い円盤（厚さ 100-200m 以下）で平衡状態を保っているのは、土星リングを構成する水氷粒子が非弾性衝突を起こし、その結果、エネルギーを効果的に散逸しているためと考えられている。そのため、土星リングの起源や進化過程を明らかにするためには、リング粒子の衝突特性を調べる必要がある。特に、非弾性衝突を特徴付ける反発係数に対するリング粒子の構造や衝突速度依存性が重要となる。

これまでの地上望遠鏡や惑星探査などの観測から、土星リングの粒子構造として、多孔質な氷（雪）が提案されている。先行研究では、均質な氷と表面が霜に覆われた氷の反発係数（ $\epsilon$ ）については調べられているが、多孔質氷球（雪球）の反発係数については詳しく調べられていない。そこで本研究では、土星リング粒子の空隙率に着目し、反発係数と衝突速度の関係に対する空隙率の依存性を調べた。

実験方法：リング粒子の模擬物質には、表面をなめらかにした均質な氷球（空隙なし）と、空隙率を 46、52、60% とした多孔質氷球を用いた。直径は 3cm とした。この氷球の表面をなめらかにした氷板、花崗岩の板、雪で作成した板に自由落下させた。その際の落下速度は 0.2cm/s～280cm/s である。反発係数の測定は二つの方法で行った。一つ目の方法では圧電素子センサーを板に設置し、氷球が板に衝突する際に発生する弾性波を測定することで行った（AE 法）。氷球が複数回板に衝突するとその度に弾性波が発生するので、その弾性波の計測から氷球の衝突間隔を求めることができる。この時間間隔から衝突前後の氷球の速度変化を調べることができる。二つ目の方法ではレーザー変位計を用いて、自由落下させた球の高さ変化を測定することで行った。この方法でも AE 法と同様に衝突の時間間隔から反発係数を計算した。

実験結果：氷球と氷板の衝突実験では、衝突速度が小さいと反発係数が  $\epsilon=0.9$  でほぼ一定となったが（準弾性領域）、ある速度を超えると衝突速度が大きくなるにつれ、反発係数は急激に低下した（非弾性領域）。2つの領域の境界速度を限界速度  $v_c$  と呼び  $v_c=24.5\text{cm/s}$  となった。また、非弾性領域では、先行研究で示された経験式  $\epsilon = \epsilon_{qe}(v_i/v_c)^{-\log(v_i/v_c)}$  ( $v_i$  は衝突速度,  $\epsilon_{qe}$  は定数) を用いて整理することができた。一方、氷球と花崗岩板の実験でも、上記の氷板への衝突と同様の振る舞いを示したが、 $v_c$  は 11.2cm/s と約半分となった。

雪球の反発係数は花崗岩板・氷板・雪板ともに、衝突速度が大きくなるにつれて減少し続け、準弾性領域と非弾性領域の境界は確認できなかった。また、雪球の反発係数は空隙率が大きくなると全体的に下がるが、衝突速度が小さくなるにつれて収束することが分かった。（図 1,2,3 参照）これは空隙を潰すためにエネルギーが使用されて反発係数が下がるからだと考えられる。雪板との衝突では、花崗岩板・氷板の場合に比べて全体的に反発係数が小さくなった。これは、標的が雪板であるため、板の強度が弱く、板も塑性変形をすることが影響していると考えられる。

考察：雪球は衝突後、衝突点付近が凹むことが観察された。この雪球の凹みの幅を計測し、衝突速度との関係を調べた。（図 4 参照）この図から衝突速度の約 0.6 乗に比例して、凹みの幅は大きくなり、また、空隙率が大きくなるほどその凹みは大きくなることがわかった。この凹みは塑性変形によって生じるため、変軽量の増加とともに散逸するエネルギーが増加することがわかる。このため、衝突速度 20cm/s 以上では、空隙率が大きいほど反発係数は小さくなるという傾向があると考えられる。

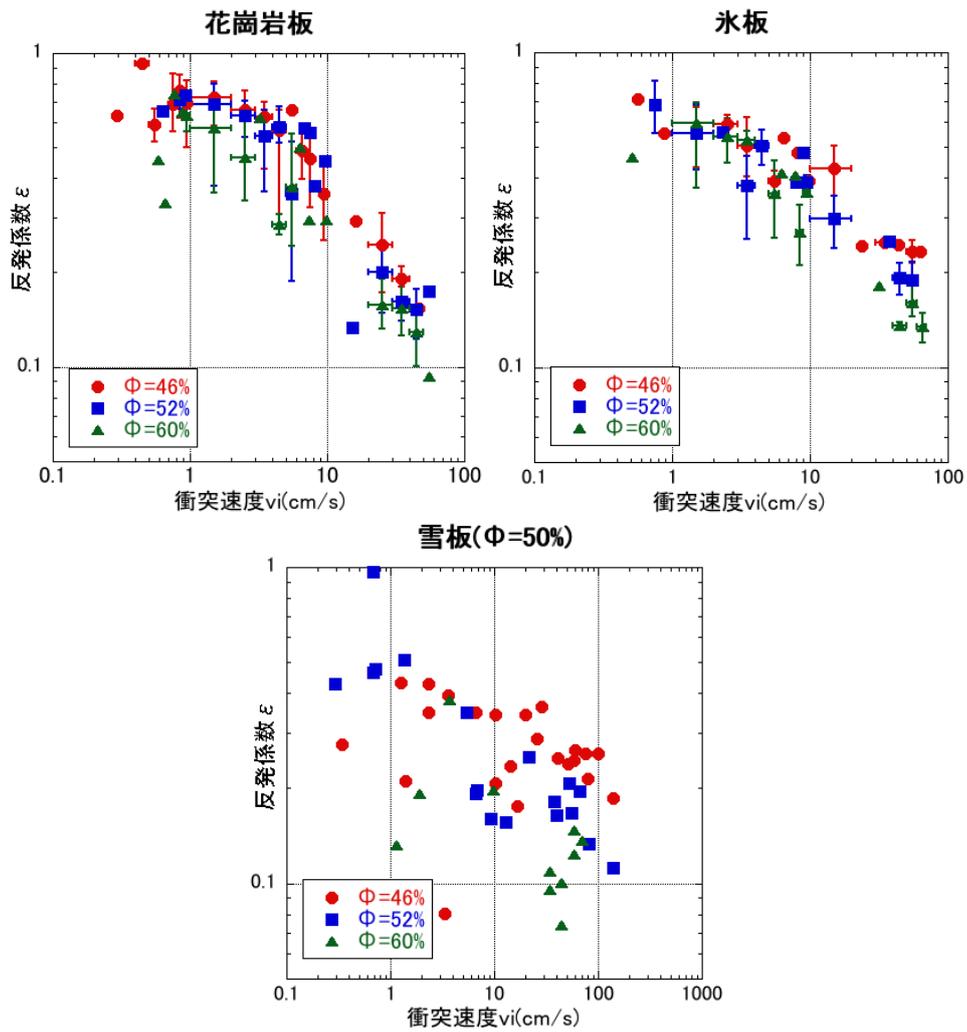


図 1,2,3 雪球の反発係数と衝突速度の関係

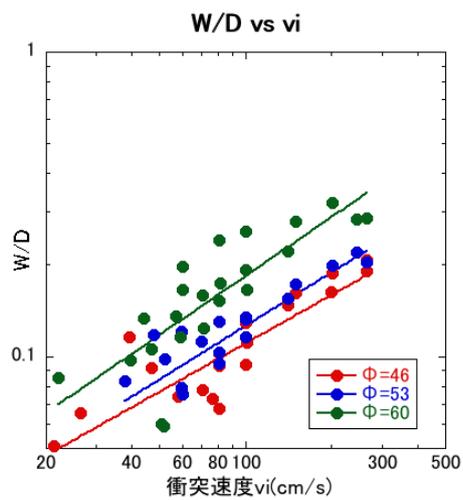


図 4 衝突速度と雪球の直径 D で規格化した凹みの幅 W の関係