

複数回衝突が及ぼす氷ターゲットの衝突破壊強度への影響

○羽山遼¹, 荒川政彦¹

¹神戸大学大学院理学研究科

はじめに

氷天体同士の衝突は、氷惑星・氷衛星、カイパーベルト天体の形成・進化に重要な役割を果たしたと考えられている。そこでこれまで氷試料を用いた衝突破壊実験が数多くなされてきた。実際の氷天体は、カタストロフィックに破壊して散乱する以前に複数回の衝突を経験したと思われるが、これまでの衝突実験では単一衝突による研究が多かった。複数回衝突に関する過去の研究では、事前衝突により発生したクラックにより衝突破壊強度が下がるということが報告されている (Gault et al., 1969; Housen, 2008)。さらに、衝突エネルギーの合計が等しく衝突回数を変化させた実験を行った場合、衝突により発生する最大破片と積算エネルギー密度の関係は、単一衝突によって得られたものとほぼ一致することが報告されている。一方、Nakamura et al. (1994)は、衝突破壊で得られたコア破片を2回目の衝突試料として実験を行い、その結果、1回目の衝突が破壊にはほとんど影響しないことを報告している。このような不一致が起こる理由は、衝突により発生するクラックが非均質だからであり、複数回衝突の研究では試料に入ったクラック分布を定量化した上で実験することが必須である。そこで本研究では氷試料を用いた複数回衝突実験を行い、事前衝突によるプレクラック分布と衝突破壊強度の関係を定量的に明らかにすることを試みた。

実験方法

既存クラックが氷ターゲットの衝突破壊強度に与える影響を調べるために、北海道大学低温科学研究所の低温室に設置したガス銃を用いた衝突実験を行った。実験では氷弾丸を氷試料に複数回（最大4回）衝突させた。衝突はすべてターゲットの異なる面に行った。実験温度は -15 、 -10°C で、衝突速度は $140\sim 480\text{m/s}$ の範囲で変化させた。氷弾丸は円筒形で、その質量は 1.6g である。氷ターゲットは立方体多結晶氷で、その質量は $240\sim 1280\text{g}$ である。実験後、回収した衝突破片の質量を計測した。また、カタストロフィックに破壊されなかったターゲットは、クラック分布を定量化するために縦波速度と横波速度の測定を行った。その後、次の衝突実験の標的とした。

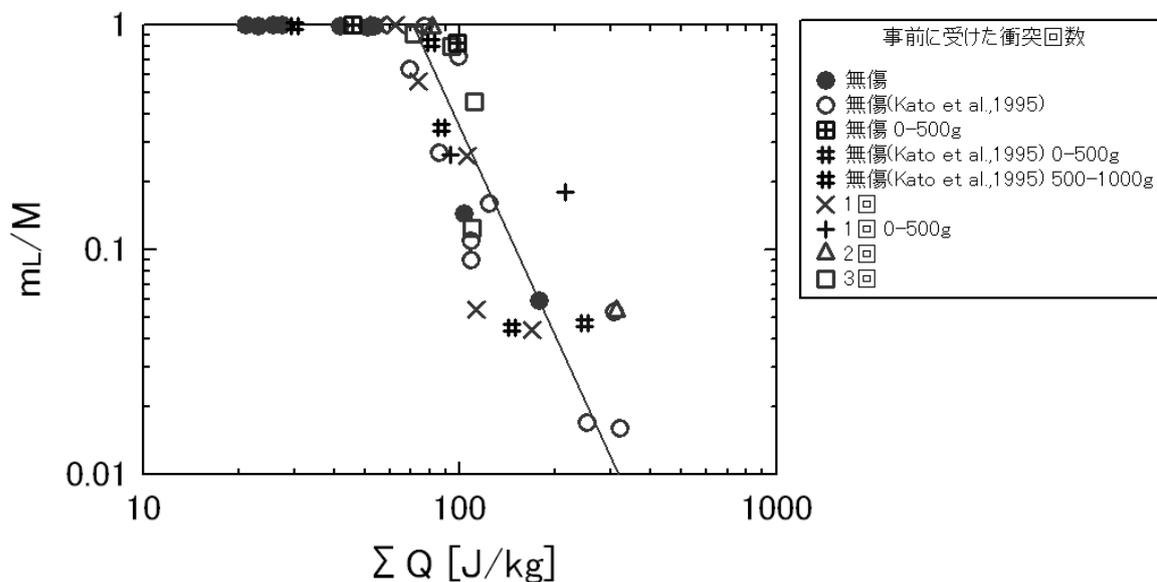
実験結果と考察

本研究では、1回目の衝突のエネルギー密度を変化させ、2回目以降のエネルギー密度を一定にした実験を行った。その結果、ターゲットの初期質量 (M) で規格化した最大破片質量 (m_f/M) は、1回目の衝突のエネルギー密度が高いターゲットのほうが無傷の

氷よりも小さい値だった。また、衝突回数増加に伴い m_L/M は減少した。そして、事前衝突を受けたターゲットの m_L/M は、既存の氷-氷1回衝突の m_L/M とエネルギー密度の関係と比較するとかなり小さくなっていることが確認された(Arakawa et al., 2002)。これらはプレクラックによりターゲットの強度が下がった結果であると考えられる。一方、規格化した破片の質量 (m/M) が 10^{-4} 以下の破片の積算個数分布は、衝突回数によらず一定であった。これはプレクラックが影響を及ぼすことができる破片サイズには下限があることを示している。

さらに、事前衝突のエネルギー密度をすべて積算した値で m_L/M を見た場合、複数回衝突を受けたターゲットの m_L/M は、無傷の氷の結果によく一致することが分かった。下の図は事前の衝突回数でマーカー分けした、 m_L/M と積算エネルギー密度の関係である。図をみると m_L/M の値は、積算エネルギー密度に依存し、事前の衝突回数やターゲット質量に依存しないことがわかる。

また、クラック密度の増加に伴い物質中の音速は減少することが知られており、この性質はO'Connell and Budiansky (1974)によって試料内部のクラック密度と弾性率の関係式として理論的に示されている。この式を実験試料に適用した結果、クラック密度は衝突回数によらず積算エネルギー密度の増加に伴い線形に増加することが分かった。



図：規格化最大破片質量と積算エネルギー密度の関係