

雪・氷の二層構造標的上へのクレーター形成実験 Impact crater formation on the snow-ice layered structure

荒川 政彦^{1*}, 齊田美香¹, 保井 みなみ²Masahiko Arakawa^{1*}, Mika Saita¹, Minami Yasui²¹ 神戸大学大学院理学研究科, ² 神戸大学自然科学系先端融合研究環重点研究部¹Graduate School of Science, Kobe University, ²Organization of Advanced Science and Technology, Kobe University

背景と目的: 太陽系内のほとんどの固体天体表面には、小天体の高速度衝突による衝突クレーターが普遍的に観察される。そこでこれまでクレーターの形成条件を定量的に理解するためのクレータースケール則の研究が、様々な標的物質に対するクレーター形成実験によって行われている。外惑星領域に広く存在する氷天体は、密度・大きさについて非常に多様性に富んでいるおり、中・大氷衛星は、雪レゴリスが基盤氷を覆う表層構造をとっている。こういった天体にも衝突クレーターは存在し、その形状や形成条件は表面雪層の影響を考慮する必要がある。これまでの研究では、岩石・氷等の均質標的や、岩石天体表層のレゴリス層を模した標的に対する衝突実験は行われているが、氷天体のレゴリス層-基盤氷を模した標的に対する実験は行われていない。本研究では、氷天体表層を模した標的に対するクレーター形成実験を行い、レゴリス層の厚さがクレーター形成に与える影響を明らかにすることを目的とする。また、レゴリス層-基盤氷の衝突において基盤氷に形成されるクレーターサイズを見積もるには、レゴリス層の粒子速度を知る必要がある。そこでレゴリス層を模した雪板を用いた衝突実験を行う。これらの実験結果を用いて、既存のスケール則を改良し、氷天体の層構造表面に適用可能なクレータースケール則を構築する。

実験方法: クレーター形成実験には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。実験温度は約-10℃で、衝突速度 (v_i) は 300,450m/s の 2 種類で行った。用いた弾丸は、氷弾丸とポリカーボネート弾丸の 2 種類で共に円柱形であり、その質量はそれぞれ 1.60, 1.68g である。また、密度 (ρ_p) はそれぞれ 0.92g/cm³ と 1 g/cm³ である。氷標的はブロック状の直方体多結晶氷で、その質量は約 8kg である。氷ブロック状に載せる雪は、氷を細かく砕き、ふるいを用いて 710 μ m 以下の氷粒子を用いた。その厚さは 5-30mm の間で変化させ、載せる際には紙で作成した枠を置き、ふるいで満たした後、すり切った雪層とした。実験後、クレーターの直径、深さ、体積を計測した。雪板の衝突実験にも前述のガス銃を用いた。弾丸は円柱形の氷弾丸とポリカ弾丸を用いて、質量はそれぞれ 1.60, 1.68g である。衝突速度は 300,450m/s の 2 種類で行った。打ち抜く雪板は、はがき大の大きさで、厚さは 10-40mm の間で変化させた。空隙率は、約 50% であった。高速度ビデオカメラ画像の解析から、板の反対点の粒子速度を求めた。両方の実験とも、高速度ビデオカメラを用いて記録した。フレームレートは 2 万-5 千コマ/s、シャッタースピードは 1/5 万-1/10 万 s である。

結果と考察: 雪板の衝突実験では、氷・ポリカ弾丸ともに雪の厚みが増加するにつれて粒子速度が減少することがわかった。またポリカ弾丸に比べて、氷弾丸の方がより減少度合いが大きかった。氷弾丸は衝突後に弾丸が破壊されずに残っているかは確認できなかったが、ポリカ弾丸は少々の変形はあっても破壊されていなかった。粒子速度 (v_e) と雪板の厚み (t) の関係は以下のように求めることができた、 $v_e/v_i = a(t/d)^{-b}$, ここで d は弾丸の厚みで 10mm である。

クレーター形成実験では、まず、同じ速度・同じ雪の厚みで比べた場合、氷弾丸よりもポリカ弾丸の方がクレーターが大きかった。雪の厚みが増加するにつれて、直径や深さ、体積は減少するが、氷弾丸の方がより絶対値は小さく、減少度合いも大きいことがわかった。Dohi et al.(2012) でクレータースケール則を二層構造標的に拡張するために提案された ($*Y = Y/\rho_p v_e^2$, Y は強度) を、今回の実験にも適用した。ただし、氷弾丸の場合、弾丸は雪層の衝突時に破壊しているため、実際に基盤氷に衝突するのは雪層であると考えて $*Y$ の弾丸の密度を雪の密度 (0.45g/cm³) とした。その結果を整理するとすべての実験結果は次の経験則で現れることが分かった、 $v_e = 2.05 \times 10^{-9} *Y^{-2.6}$ 。

Dohi, K., Arakawa, M., Okamoto, C., Hasegawa, S. and Yasui, M. (2012) The effect of a thin weak layer covering a basalt block on the impact cratering process, *Icarus*, 218, 751-759.

キーワード: レゴリス, 氷天体, クレーター, 層構造, スケール則, 衝撃波

Keywords: regolith, icy bodies, crater, layered structure, scaling law, shock wave