

高速度衝突実験による内海を覆う氷衛星上の貫通クレーター形成メカニズムの解明

○菊川涼介¹, 保井みなみ¹, 豊田優佳里^{2,3}, 笹井遙⁴, 荒川政彦¹

¹神戸大学大学院理学研究科 ²アストロバイオロジーセンター ³国立天文台 ⁴名古屋工業大学

背景：太陽系に存在するエウロパやエンセラドスといった氷衛星は氷地殻の下に内海を有するとされている。これらの天体は JUICE 計画による探査も計画されているなど、注目を集めめる天体であるが、その中でも特に注目を集めるのが、内海における生命存在の可能性である。この内海において生命が存在するためにはエネルギーが必要となるが、そのエネルギーは酸化剤と還元剤による酸化還元反応から生じると考えられている。このうち、還元剤の一種である H₂は内海中での熱水活動により生成され、内海中に継続的に供給される。一方、酸化剤の一種である O₂は太陽風の照射により氷衛星表面で生成されているように、酸化剤が内海中に継続的に供給される機構は未だ発見されていない。従って、酸化剤を含む氷地殻が定期的に内海へと輸送されれば内海中で継続的に酸化還元反応が起こると考えられるため、氷地殻への小天体の衝突は、氷地殻の貫通を通して生命材料物質輸送のキーメカニズムとなりうる。そこで、本研究では内海における生命の発生・維持に衝突現象が寄与している可能性を検証するという大きな目的のもと、氷板厚みを変えた氷-液体層構造標的、氷板単体標的の 2 種類の標的に、さまざまな衝突条件で衝突実験を行い、内海の有無がクレーター形成に与える影響、氷-液体層構造標的において氷板厚みがクレーター形成に与える影響、貫通-非貫通の境界となる氷板厚みを解き明かすことを通して、氷地殻の貫通に伴う物質輸送が起こる条件を明らかにするため研究を行った。

手法：実験は神戸大学の横型二段式軽ガス銃を用いて行った。図 1(a)に示す形で標的を設置し、衝突速度 1km/s、2km/s で射出した直径 1mm のアルミ球を氷板に衝突させ、形成されたクレーターの解析、及び撮影された実験動画の解析を行った。標的は、内海を有する氷衛星を模擬した氷-液体層構造標的と氷板単体標的の 2 種類であり、内海模擬物質として 15%食塩水、及びシリコンオイルを用いた。また、内海模擬物質に関しては、温度を変えた実験も行った。

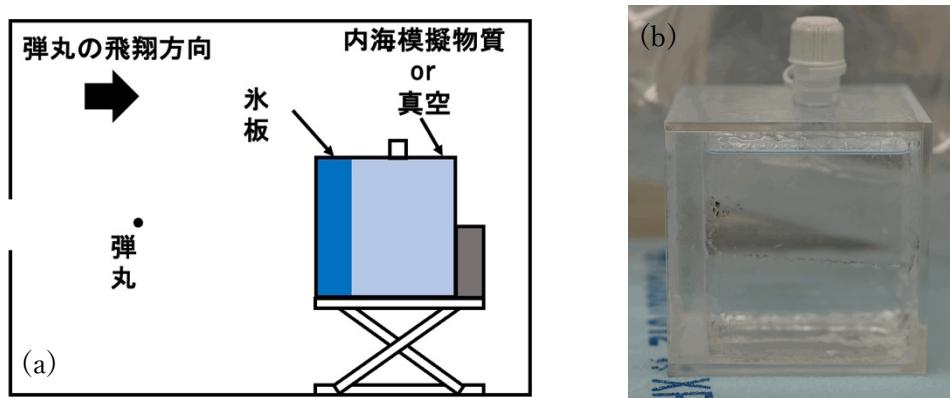


図 1：(a)実験の模式図。(b)内海を有する氷衛星を模擬した氷-液体層構造標的。

結果：氷板表側に形成される表側スポールの直径は、氷板厚みや衝突速度の増加に伴い増加した。一方、同じシリコンオイルの氷-液体層構造標的において内海模擬物質の温度を変えて実験を行うと、内海模擬物質の温度が高い場合に表側スポール直径が大きくなる傾向が見られた。氷板裏側に形成される裏側スポールの直径に関しては、氷板単体標的のものが氷-液体層構造標的のものよりも大きく成長した。一方、氷-液体層構造標的同士では、内海模擬物質の温度や種類の変化によって裏側スポール直径が変化しないことがわかった。

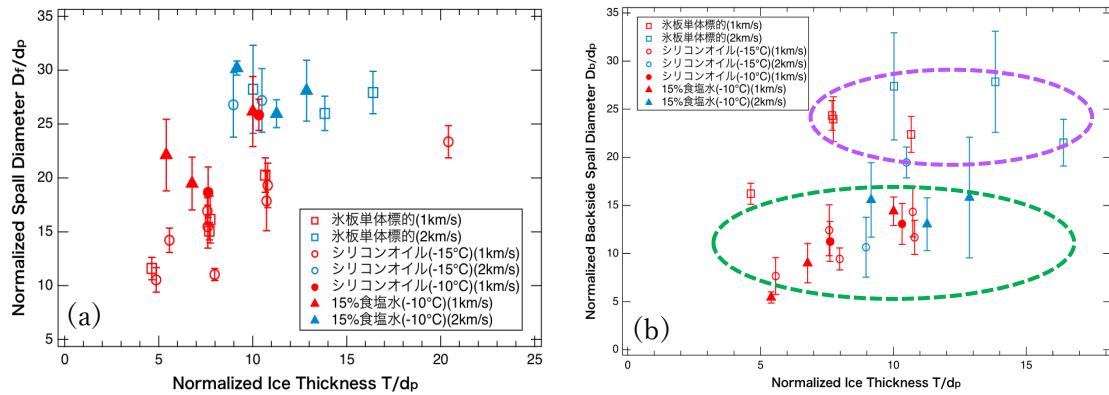


図2：(a)表側スポール直径の実験結果。横軸は規格化氷厚さ(氷板厚み/弾丸直径)、縦軸は規格化表側スポール直径(表側スポール直径/弾丸直径)。(b)裏側スポール直径の実験結果。横軸は規格化氷厚さ、縦軸は規格化裏側スポール直径(裏側スポール直径/弾丸直径)。緑色は氷-液体層構造標的を、紫色は氷板単体標的を表す。

統いて、貫通-非貫通の境界となる氷板厚みに関して、氷-液体層構造標的と氷板単体標的を比較すると、氷板単体標的のものの方がより厚い氷板でも貫通可能であることがわかった。このことは、氷板背面における反射波の振る舞いによる裏側スポール直径の成長度合いの差が影響していると考えられる。ここで、氷-液体層構造標的における貫通-非貫通の境界となる氷板厚みにおける反対点圧力を算出すると、87~180MPa という値が求められる。この結果と先行研究との比較から、小天体の衝突による氷地殻の貫通が発生する最低条件は、氷地殻の背面まで剪断破壊が達することであると考えることができる。一方、氷-液体層構造標的において同じ物質で温度が違う内海模擬物質を使用したケースを比較すると、より温度が高い内海模擬物質を使用したケースの方が貫通-非貫通境界に当たる氷板厚みが厚くなることがわかった。従って実際の氷衛星において内海の塩分濃度が低く融点が高い場合、今回算出した以上に容易に氷地殻の貫通が発生する可能性が示唆された。

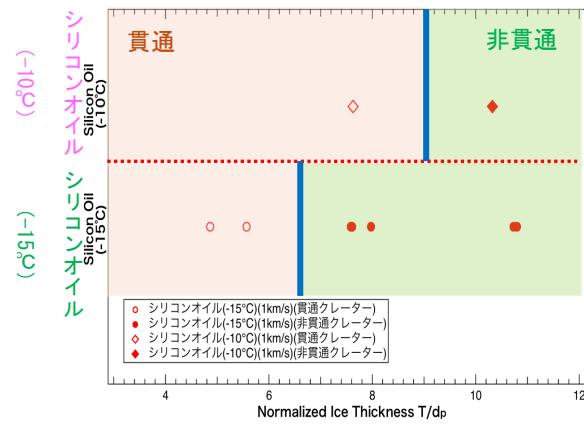


図3：同じ物質で温度が違う内海模擬物質を使用した際の氷-液体層構造標的における貫通-非貫通境界