

凍土層への衝突実験

Impact experiments on permafrost

荒川 政彦[1], 吉川 賢一[2], 中村 昭子[3]

Masahiko Arakawa[1], Ken-ichi Yoshikawa[2], Akiko Nakamura[3]

[1] 北大・低温研, [2] 神戸大・自然・地球惑星, [3] 神戸大・自然

[1] Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ., [2] Earth and Planetary Sci., Faculty of Sci., Kobe Univ, [3] Grad. Sch. of Sci. and Tech., Kobe Univ.

<http://risu.lowtem.hokudai.ac.jp/~arak>

永久凍土は、地球上においてはシベリアやアラスカに広く分布することが知られており、深さ数10mから数100mにまで広がっている。この凍土は地中温度が氷点下になった時、土壤中の水分が凍結して形成されるので、同様な物理条件が存在するならば地球に限らず他の惑星でも形成される可能性がある。火星は惑星探査の結果、現在でも水が地表に流出していると思われる。過去においてはさらに大規模な洪水があったとも言われている。それゆえ、現在、火星の地中には水が凍土として広く存在するのではないかと考えられている。一方、木星以遠の領域では、氷衛星や彗星のように水を多く含む天体が数多く存在する。それらの天体は氷と岩石、それに場合によっては有機物が混ざったような組成だと想像されている。氷もH₂Oだけでなく、さらに揮発性の高いCO₂, N₂などの固体を含むものと思われる。この氷天体を構成する氷・岩石混合物と惑星表面の寒冷域に存在する凍土を力学物性という点でモデル化すると、最も大きな違いは、岩石と氷の比、それに空隙の量であると考えられる。そこで、これまで氷・岩石・空隙の量比を制御した惑星凍土や氷天体の地表面の模擬試料が作成され、その力学実験がなされてきた。特にその衝突物性はクレーター地形や衝突集積過程の研究とも関連して重要度が高い。

Arakawa et al. (2000)では、H₂O 氷・CO₂ 氷・葉蠟石混合物を用いたクレーター形成実験を行ない、彗星や小氷衛星が持つ表層構造の衝突物性を調べた。上記混合物を液体窒素に浸し、表面だけを赤外線ランプにより照射・加熱することにより、彗星表面を模擬する試料を作成した。この試料は最表面に厚さ1mm程度の硬い氷の層を持ち、直下には揮発性物質が完全に抜けた空隙率の高い葉蠟石の粉末層を持つ。その下には揮発性物質が凝縮した密度の高い層が存在し、最下層は熱変成を受けない出発物質そのままの層となる。ここに衝突速度130m/s～630m/sで氷を衝突させることにより、形成されるクレーターの形状を調べた。その結果、速度が遅い時は表面の薄氷に小さな孔が空くだけで、クレーターは形成されないことが分った。速度が400m/sを超えると表面の薄氷が吹き飛び、葉蠟石粉末の層とその下部の凝縮層にクレーターが観察された。この二つの層は大きく異なる力学強度を持つため、葉蠟石粉末層には大きな孔があき、凝縮層には小さな穴があく。これは火星や氷衛星でしばしば観察されるピット型クレーターに似た形状である。このような二層力学構造を持つ地表への衝突でピット型クレーターができることは、これまでにも予測されていたが、この実験ではそれを実証したことになる。

一方、ピット型クレーターは火星や氷衛星特有のクレーターであることから、上記のような二層力学構造に頼らず、氷物性それ自身が成因と深く関連しているという考え方もある。実際、氷-氷衝突実験によりクレーターを形成した場合、中央部に深い小穴ができるピット型クレーターになる。そこで火星表面の凍土層を想定した氷・岩石混合物への衝突実験が行われている。この実験では雪・氷・蛇紋岩粉末を凍結させることにより、空隙のない均質な試料を作成している。そして岩石含有率を0～37.5wt.%で変化させることにより、氷から凍土に変わった場合、どのようにクレーター形状が変わるかを調べた。実験の結果、岩石を含む試料では純氷ほどはっきりしたピットは現れないことがわかった。また、同一運動エネルギーで比較した時、岩石を含む試料ではクレーター体積が系統的に小さくなることがわかった。これは、岩石の影響で専断・引っ張り強度が大きくなったため、衝突領域での破壊が抑制されたためと考えられる。

凍土クレーター形成に関する素過程を調べる一環として、岩石を含む氷の衝突破壊強度を計測した。その結果、衝突強度は空隙率に強く依存することがわかった。実験では空隙率の増加とともに衝突強度の大きな減少が見られた。一方、一定空隙率の場合(12.5%)、岩石含有率が0から10%に上がるだけで大きく衝突強度は増加した。しかしながら、10%から60%になってもほとんど強度は変化しなかった。これらの結果を総合して、凍土クレーター形成のメカニズムとそのスケール則に関するパラメータを決めることができる。

Arakawa et al.(2000) Planet. Space Sci., 48, 1437-1446.