

月、火星の縦穴構造とその形成に関する実験的研究

○道上達広（福島高専）

春山純一（ISAS/JAXA）

将来、人類が月へ活動の拠点を広げた場合、月面という過酷な環境に堪えうる基地が必要となるが、地球からの資材輸送費などを考えると、月面に基地を作るには多大なコストがかかることが予想される。しかしながら、月面下には東京ドームにも匹敵するような天然の大規模な空洞が存在している可能性がある。それは溶岩チューブによって形成されたと考えられる地形の中で、まだ天井が崩壊していない場所である。その内部は、月面に降り注ぐ有害な宇宙線や微小隕石の衝突を防ぎ、温度が一定と考えられるので、人類が恒久的に有人基地として活動するもっとも適した場所のひとつといえる。この溶岩チューブの場所、構造を明らかにし、周辺環境を調べることは、将来の月開発利用の視点から重要といえる。

日本の月探査機「かぐや」の画像データの解析結果から、昨年、地下空洞と繋がっているかもしれない縦穴が月面において初めて発見された (Haruyama et al. 2009)。その後、縦穴はさらに2つ発見され、直径 100m サイズの縦穴は全部で3つ確認されている。発見された場所はマリウスヒル、静かの海、賢者の海である。これらの縦穴は、米国の探査機ルナー・リコネサンス・オービター (LRO) によってより詳細な画像が得られ、次のような特徴が明らかになった。3つのうち、2つは周辺領域にリルが存在しない。縦穴の形は2つが円に近く、1つは楕円に近い。3つとも床面は平らで、そこに岩塊が存在する。また縦穴の周りには凹みが存在する。かぐやの TC データは月のほぼ全球を調査したので、100m サイズの縦穴はこれ以上ないだろう。一方、より小さな縦穴については、LRO の観測によって新たに見つかりつつある。

同様の縦穴は、火星において 2007 年から 10 個以上観測され、現在も発見が続いている (e. g. Cushing et al. 2007)。それらの直径は 100-260m 程度で、深さは直径以上の大きさのものもある。それらの縦穴のほとんどがアルシア山の北西部または周辺に集中し、大部分の縦穴の周りにはリルが存在する。観測された縦穴の中で、周辺にリルを持たないと考えられるのは2つだけである。主な特徴として、月の縦穴と同じく、大部分の縦穴は円か楕円で、床面は平ら、また岩塊が存在し、また縦穴の周りには凹みが存在するといえる。

では、これらの縦穴はどのように形成されたのであろうか。一般には形成起源として、溶岩チューブ、ダイク、マグマチャンバーの崩壊、カルスト、断層などが考えられる。観測された縦穴の形状を見ると、形成起源として特に溶岩チューブと断層が有力であると著者は考える。溶岩チューブの中でも、その形成は自然崩落と小天体衝突に分けることができるが、今回は小天体衝突起源で縦穴が形成される場合、どのような形状の縦穴もしくはクレーターが形成されるか模擬実験を行った。実験の概要は 2008 年の衝突研究会の発表内容と同じであるが、再び述べることにする。

実験装置は JAXA 宇宙研究所にある 2 段式軽ガス銃を使用し、弾丸に直径 7mm のナイロン球を用いた。質量は 0.213g である。標的の大きさは、直径約 15cm 高さが 6cm の円柱形を用いた。標的の材料としては平均粒径 0.2mm の豊浦砂をセメントで固めたものを使用し、かさ密度は約 1550kg/m³、圧縮強度は 3.2±0.9MPa である。標的の衝突反対面を長方形の形にくりぬいた。空洞の横幅は、4cm と 8cm の 2 種類、空洞の天井の厚さは 1-6cm の範囲で作成した。衝突速度は標準 1.2km/s で行い、衝突角度は標的面に対して垂直である。衝突の際の真空度は 0.40Torr 以下で、全部で 20 ショット実験を行い、破片が飛び出す様子を高速度カメラで撮影した。

今回の実験では、天井厚さ 3cm 以下のとき衝突反対面にクレーターが形成され、天井厚さ 4cm 以上ではそのようなクレーターは形成されなかった。穴は天井厚さ 2cm 以下で形成された。今回の実験で分かったことは、大きく分けて 3 つある。(1) 衝突面にできるクレーターの大きさは空洞の大きさ(すなわち天井厚さ、横幅)には関係なく一定であること。(2) 衝突反対面にできるクレーターの大きさは衝突面にできるクレーターよりも大きく、天井厚さが大きくなるにつれて、大きくなる傾向にあること。また縦穴が形成されたとき、衝突反対面にできたクレーターから飛び出した破片の質量の割合は、天井厚さに大きく影響はされず、破片総質量の 80%程度を占める。

(3) 衝突反対面に形成されたクレーターと衝突面に形成されたクレーターがつながったときに、穴が形成される。つまり、縦穴の周りに凹みが形成される。

以上の実験結果を、観測された 100m サイズの月と火星の縦穴形状と比較して、どのようなことが言えるのか考察してみる(ここで今回の縦穴形成は強度支配領域で、観測された 100m サイズの縦穴形成も強度支配領域であるという立場で話を進める)。上記の(1)において形成される縦穴の形状はほぼ円で、大きさも衝突角度、空洞の大きさに関係なく一定であることから、観測で見られるような楕円形のクレーターは 1 回の衝突では形成されないことが予想される。また上記(2)において、多くの破片は衝突反対面にできたクレーターから飛び出すことから、衝突面にできるクレーターには、あまり破片は飛び出さないためリムは形成されず、大部分の破片は床面に堆積している観測結果と一致する。上記(3)においては、縦穴の周りに凹みが形成されることから、観測された縦穴で多く存在する凹みを説明することができる。以上のことから、観測された縦穴形状の多くの特徴は、空洞が存在した場合の天井に小天体が衝突したことによっても説明できることがわかった。しかしながら、衝突起源以外の可能性についても多く残されているため、それら縦穴の形成起源については、今後より詳しい調査、研究が必要であろう。