

月、火星の縦穴と模擬形成実験

福島高専

道上達広

背景

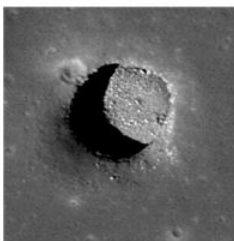
将来、人類が月や火星へ活動の拠点を広げた場合、過酷な環境に堪えうる基地が必要となるが、地球からの資材輸送費などを考えると、月面や火星表面に基地を作るには多大なコストがかかることが予想される。しかしながら、月面下や火星表面下には東京ドームにも匹敵する天然の大規模な空洞が存在している可能性が以前から指摘されていた。その大きさは東京ドーム程度の断面をもっており、しかもその内部は一定の温度で、宇宙線やメテオロイドを遮断するので、長期間の機器運用や将来の有人基地に有望である。特に最近(2009年10月)、地下空洞に関連する縦穴が、月探査機かぐやの研究チームによって世界で初めて発見された(Haruyama et al., 2009)。

本研究では、(1) まずはじめに、月、火星で発見された縦穴とその特徴について述べる。(2) 次に、その縦穴が衝突起源とした場合の衝突模擬実験と結果を述べる。(3) 最後に実験と観測について比較し、考察を行う。

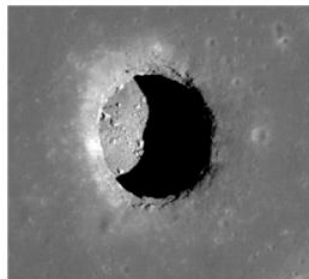
月、火星で発見された縦穴とその特徴

まず、月の縦穴についてみていく。月探査機かぐやの地形カメラから発見された100mサイズの縦穴は全部で3つである。図1は、かぐやで発見された縦穴を米国の月探査機LROで詳細に撮像した画像である。これらの縦穴の特徴とし

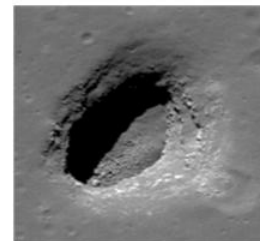
Marius Hills Hole (MHH)
LRO NAC M122584310LE



Mare Tranquillitatis Hole (MTH)
LRO NAC M126710873RE



Mare Ingenii Hole (MIH)
LRO NAC M123485893RE



©NASA/GSFC/Arizona State University

図1 月探査機LROで撮像された月の縦穴(100mサイズ)

で次のことが挙げられる。3つの縦穴は互いに離れた場所にある。かぐやの地形カメラはほぼ全球を調べたことから、この3つ以外に100mサイズの縦穴が存在する確率は低い。また、初めに発見された **Marius Hills Hole (MHH)** は溶岩流地形のようなリルが周辺に見られるが、残りの2つの縦穴周辺にはリルが見られない。縦穴の形は、円もしくは楕円に近い形をしており、床面にできている影の形と縦穴の輪郭の形が一致することから、床面は平らであると言える。床面には岩塊が複数存在し、縦穴の周囲には窪みが見られる。

次に火星の縦穴についてみよう。火星の縦穴はほとんどが **Arsia Mons** の北東に集中して発見されており、初めに発見された100mサイズの縦穴は7個であった。現在も発見が続いており、100mサイズは少なくとも10個以上ある。図2は米国の火星探査機 **Mars Reconnaissance Orbiter** の **HiRISE** という高解像度カメラ

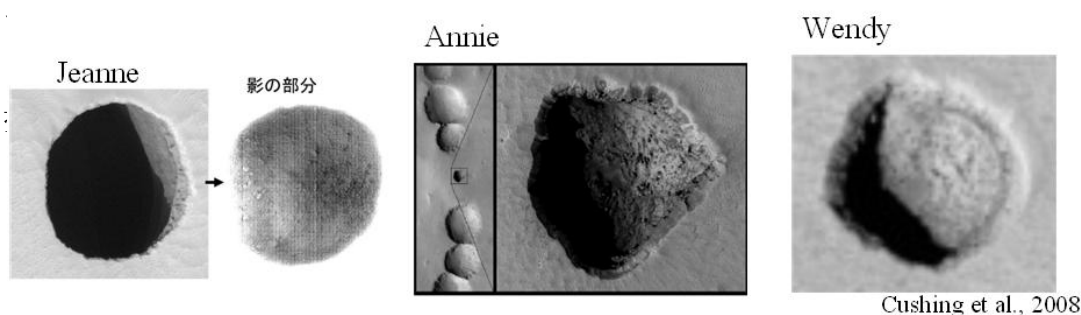


図2 HiRISE で撮像された火星の縦穴の例 (100m サイズ)

で撮像された縦穴の例を示したものである。火星の縦穴の場合、月とは反対に周囲にリルがほとんど見られる。縦穴の形は月と同じく多くは円もしくは楕円に近い形をしており、床面は平らであると言える。

これらの縦穴の形成メカニズムとして有力なのは2つ考えられる。1つは断層起源、もう1つは溶岩チューブ起源である。断層起源とは断層ができることによって、地下内部に隙間ができ、その隙間を埋めるように上層のルーズな層が流入し、表面にピット状の穴が見られる現象である。地球でもアイスランドで観測されている。溶岩チューブとは、地下内部にある横穴で、地球では火山などから噴出した溶岩が、穴を作って流れていくことによってできたものである。日本でも富士山麓の青木ヶ原などに存在する。

過去の研究では、溶岩チューブの天井に隕石が衝突した場合、どのような形になるのか実験的に調べられた例はない。そこで今回は溶岩チューブを模擬した標的を作り、その天井に穴を作るクレーター衝突実験を行うことで、それが特徴的な形状になるのかを調べることを目的とした。

衝突模擬実験と結果

実験装置は JAXA 宇宙研究本部にある 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 3MPa 程度である。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 T_C は、4 cm と 8 cm の 2 種類、空洞の天井の厚さ T_R は 1-6cm の範囲で作成した。衝突速度は標準 1.20km/s で行い、今回は追加で 6.75km/s まで行った。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 25 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。

今回得られたクレーターの形状を図 3 に示す。また主な実験結果は以下の通りである。

- (a) 衝突面にできたクレーターの大きさは、今回の実験の範囲で空洞の大きさ T_R と T_C には依らないことが分かった。
- (b) 衝突裏面にできたクレーターから飛び出した破片の総量は、衝突面から飛び出した破片の総量の数倍になる。すなわち、衝突裏面から飛び出す破片の方が多い。
- (c) 縦穴は衝突面にできたクレーターと衝突裏面にできたクレーターが繋がったときに形成される。

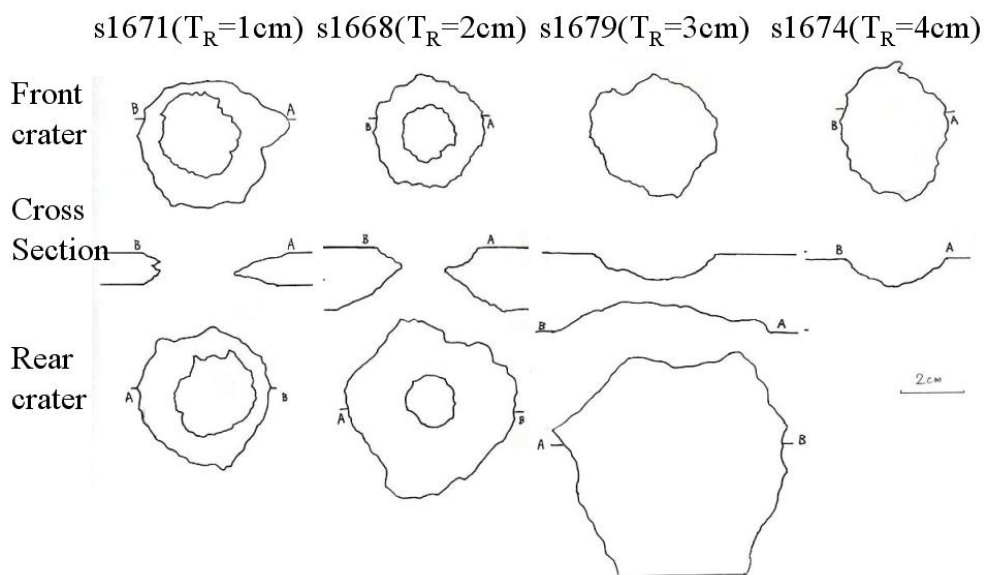


図 3 クレーターの形状($T_C=8\text{cm}$ のとき) 上段が衝突面にできたクレーター、中段がクレーター断面、下段が衝突反対面にできたクレーターを示す。

考察

今回得られた実験結果と観測結果を比較する。前述した3つの主な実験結果ごとにみていく。

(a) 衝突面にできたクレーターの大きさは、空洞の大きさに影響されず、ほとんど円形であった。このことは、月や火星で一部観測される楕円形の縦穴は、溶岩チューブの天井に対して1回の隕石衝突ではできないことを示している。楕円形の縦穴は周囲に直線のリルなどが見られることから、断層起源なのかもしれない。

(b) 衝突面よりも衝突裏面から飛び出す破片の方が多い。これは観測された縦穴の周辺には衝突破片と見られるボルダーがあまり見られない一方、縦穴の床面にはボルダーが数多く存在することと調和的である。

(c) 縦穴は衝突面にできたクレーターと衝突裏面にできたクレーターが繋がったときに形成される。このことは、縦穴の縁に凹みが見られる形と一致する。特に縦穴の直径と凹みの大きさの比は4 : 1 と実験、観測共にほぼ同じである。

以上のことから観測された縦穴の特徴（床にボルダーが存在、縦穴の周辺に凹みがある）を、空洞を持った天井に対する隕石衝突模擬によって再現することができた。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、それらの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。

最後に

東日本大震災で被災された皆様、関係者の皆様には、心よりお悔やみとお見舞いを申し上げます。私の所属する福島高専は原発の関係でどのようになるか分かりませんが、自分のできることを精一杯頑張っていきたいと思えます。この集録は大阪大学 理学研究科 宇宙地球科学専攻 土山研究室で書きました。土山先生、秘書の藤田さんをはじめ関係者の方にはこの場を借りて深く御礼申し上げます。