

2025年1月17日

新潟大学

実験室から火星表層に迫る

ー 超小型火山地形ルートレスコーンの空間分布と 山体サイズに関する研究 ー

新潟大学自然科学系（理学部）の野口里奈准教授および同大学理学部理学科自然環境科学プログラムの中川航（研究当時）は、地球と火星に共通してみられる小型火山地形であるルートレスコーンの形成メカニズムに関する実験的研究を行い、これらの地形の空間分布と山体サイズが自己組織化プロセスによって決定されることを実験的アプローチから明らかにしました。本研究は、溶岩と水の相互作用による噴火爆発現象の理解を深め、火星などの惑星地質学にも新たな知見を提供するものです。

【本研究成果のポイント】

- 火星表層に無数に存在する火山地形であるルートレスコーンの空間分布は、噴火地点間での水の争奪によって自己組織化されていると従来考えられてきた。
- 溶岩に相当する加熱した水飴と、水を含んだ地層に相当する重曹・ケーキシロップの混合物を用いた室内実験結果から、ルートレスコーンの空間分布には溶岩表面へ突き抜けるための通り道（火道）の争奪も重要な役割を果たすことを発見した。
- 噴火中に起こる火道の合体・切り離しは、ルートレスコーンの空間分布と山体サイズを決める重要な要素であることが示唆された。

1. 研究の背景

ルートレスコーン（図 1）は、地表を流れた溶岩と湖や河川など水環境との接触によって発生する連続爆発で形成される直径数 m～数百 m 程度の小丘状の火山地形です。通常の火山が地下深くのマグマだまりからマグマが上昇、地表に到達・噴出したその場所で形成されるのに対して、ルートレスコーンは、地表に噴出した溶岩が流れ着いた先で水を含んだ地層を覆うことで爆発を引き起こし形成されます。このため、ルートレスコーンは別名シュードクレーター（pseudocrater、偽火山）とも呼ばれます。地球上では、アイスランドに多数存在するものの、他ではハワイ島沿岸部等に小規模に存在する程度で一般的な地形ではありません。一方で、火星には広大なルートレスコーンフィールドが存在することが報告されており、その存在や形成メカニズムの解明は惑星地質学において重要な課題となっています。

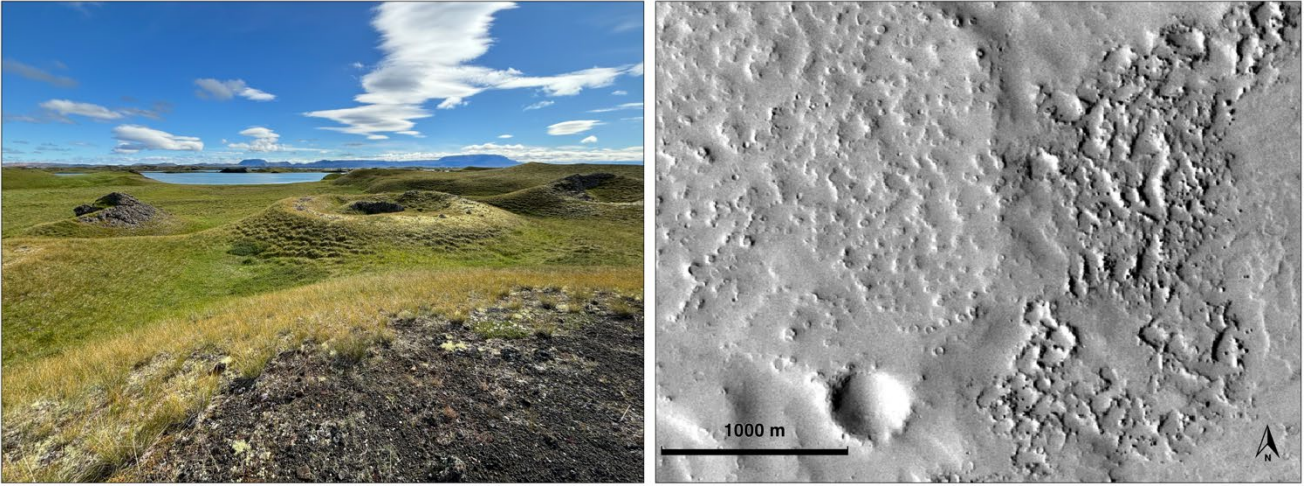


図1 地球上（左）と火星（右）で見られるルートレスコーン。左写真はアイスランドのミーヴァトン湖において撮影。右図はCTX Global Mosaic v.1.0 (Dickson et al., 2023) を用いて作成。

II. 研究の概要

本研究では、溶岩に相当する加熱した水飴と、水を含んだ地層に相当する重曹・ケーキシロップの混合物を用いた室内アナログ実験（図2）を実施し、溶岩と水の相互作用によるルートレスコーンの形成過程を再現しました。

自然界では 1000°C以上に達する溶岩が水を加熱することによって水の気化・膨張による爆発が起こりますが、水飴自体は加熱しても 140°C程度までしか温度を上昇させることができず水を十分に加熱・気化させることができません（これ以上加熱するとカラメル化してしまう）。そのため、本研究では、発泡現象をより激しくするためにお菓子のカルメ焼きをつくる際に使われる化学反応：重曹の熱分解を利用しました。炭酸水素ナトリウムである重曹が水飴の熱によって分解し二酸化炭素が発生することで発泡現象が盛んになり、ルートレスコーンを形成する際の爆発を模擬することができます。このため、水を含んだ地層の模擬として重曹とケーキシロップの混合物を用いました（ケーキシロップは粘性等の調整のために使用）。実験では、加熱水飴のビーカー内での分厚さ（=流し入れる水飴の量）を変化させ、ビーカー内に形成される火道（図2右）の数やサイズを詳細に観察・分析しました。

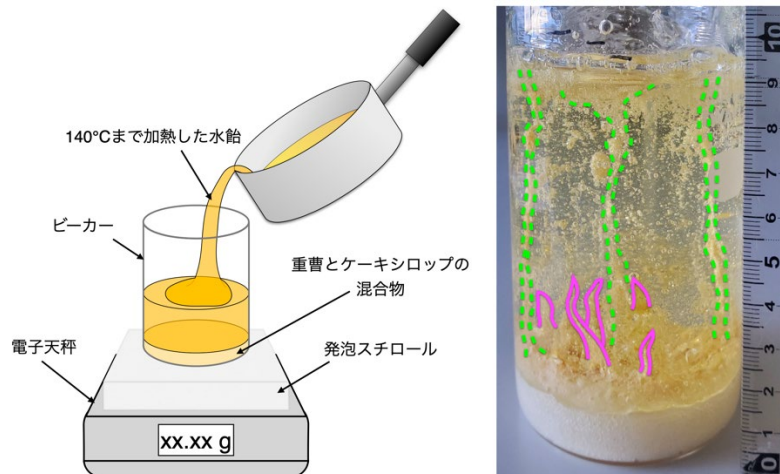


図2 実験の模式図（左）と実験終了後のビーカーの様子（右）。右図で黄緑破線は水飴表層にまで到達した火道、マゼンタ線は失敗火道を表す。

III. 研究の成果

実験の結果、形成中の周囲の火道に上昇経路を奪われて切り離されることで火道が維持できなくなる現象が観察されました。この切り離された火道(失敗火道、論文中では failed conduits)と水飴表層まで突き抜けた火道の数、および加熱水飴の分厚さの関係から、ルートレスコーンの空間分布には、従来指摘されてきた水の争奪のみならず溶岩表層へ突き抜けるための火道の争奪も重要な役割を果たすことが判明しました。実験において見られた加熱水飴層が分厚いほど火道の争奪(=失敗火道本数)が発生するという傾向は、火星表層で溶岩が分厚いほどルートレスコーンの分布数が少ないこととも調和的です。一方で火道数が多い(=ルートレスコーンが数多く形成される)場合、噴火に利用可能な水に限られる環境では爆発回数が減少することにつながるため、結果として山体サイズが小さくなると予想されます。これに関しても、火星表層で溶岩の薄い場所では明瞭なコーン地形が見られないことと整合的です。また、失敗火道と思われる構造は地球上で実際の溶岩露頭中にも存在することから、火道の争奪はルートレスコーン形成中に普遍的に起こりうることが示唆されました。これらの実験と実際の露頭での観察結果から、溶岩の分厚さに起因する噴火中における火道の合体・切り離しは、ルートレスコーンの空間分布と山体サイズを決める重要な要素であることが示されました。

IV. 今後の展開

本研究の成果は、地球上のルートレスコーンの形成メカニズムの理解を深めるだけでなく、火星などの惑星における類似地形の形成過程の解明にも寄与することが期待されます。今後は、地球上での詳細な露頭調査を実施し、地球・火星のリモートセンシングデータと組み合わせることで、より精緻な形成モデルの確立およびルートレスコーン形成当時の環境推定の高度化を目指します。

V. 研究成果の公表

本研究成果は、2025年1月10日、科学誌「Journal of Volcanology and Geothermal Research」に掲載されました。

【論文タイトル】 Experimental verification for self-organization process on the spatial distribution and edifice size of rootless cone

【著者】 Rina Noguchi and Wataru Nakagawa

【doi】 10.1016/j.jvolgeores.2024.108221

VI. 謝辞

本研究の一部は、公益財団法人日本科学協会 笹川科学研究助成(25-602)の支援を受けて行われました。

本件に関するお問い合わせ先

新潟大学自然科学系

准教授 野口里奈(のぐちりな)

E-mail : r-noguchi@env.sc.niigata-u.ac.jp