

大雪山永久凍土地帯の地表面に刻まれた幾何学模様

～高解像度画像・地形データによる詳細分布図の作成と形成過程の解明～

ポイント

- ・北海道大雪山の永久凍土地帯に分布する構造土をドローン空撮画像により高解像度でマッピング。
- ・気温・地温・風向・風速の現地観測値と構造土の分布から構造土の形成過程を解明。
- ・地表層変動が激しい強風低温多雪環境下でも高山植物は自身の生育適地を能動的に作り出している。

概要

北海道大学大学院地球環境科学研究院の石川 守准教授らの研究グループは、無人航空機（UAV）空撮により得た高解像度の画像解析により、北海道中央部大雪山の永久凍土*¹地帯に見られる幾何学模様（構造土）の分布や形態を示す詳細地図を作成しました。現地で観測した気象や地温データも解析することにより、これら構造土の形成要因を解明しました。

北海道中央部大雪山の永久凍土地帯では、地表面に多角形状、線状、耳たぶ状、階段状などの幾何学的な模様が見られます。これらは構造土と呼ばれ、地下氷の形成や融解に伴う礫の淘汰、活動層*²土壌の流動などによって形成されます。構造土の形成には、土壌中の季節性地下氷、及び冬季間を通じた毎秒 10 m 以上の強風による積雪の再配分などが大きく関与していますが、これらに加え不均質に分布した積雪が生み出す局所的な湿潤環境を選択して生育する高山植物も大きな役割を果たしています。植物は凍結融解による土砂移動を和らげ、自身の生育に適した環境を作り出しています。大雪山永久凍土地帯は、激しい地形変化や厳しい気象環境に抗って、植物が能動的に生育場所を拡張しようとしている場でもあるのです。

なお、本研究成果は、2025 年 1 月 20 日（月）公開の Permafrost and Periglacial Processes 誌に掲載されました。



（左）淘汰型礫質構造土（条線土）。粗粒礫が直線上に配列されている。比較的急傾斜地に発達する。ほかにも階状、多角形状を示すものがある（小泉岳周辺）。（右）植被階状土－植物に覆われた前縁斜面と裸地の平坦面から成る。前縁斜面は概ね斜面方位に直交する（五色岳周辺）。

【背景】

構造土は幾何学的な微地形模様であり、寒冷地では土壌の凍結融解が繰り返されることで形成されます。北海道大雪山系の永久凍土地帯、小泉岳（標高 2,158m）と五色岳（2,038m）周辺には様々なタイプの構造土が見られますが（p1 図）、これまでその形態や分布、成因は詳しく調べられていませんでした。

【研究手法・成果】

本研究では、UAV 観測や Structure-from-Motion (SfM) 技術*³ から作成した超高解像度地形図やオルソ画像*⁴ 上で、礫の集積部や植被の発達部を抽出することにより、構造土の位置・形状をマッピングしました。さらに、現地で観測している気象や地温のデータも解析しました。

小泉岳では礫質で淘汰型の多角形土、条線土、階状土が発達しています（図 1）。平坦な山稜部のやや東側では、径が比較的大きく円形に近い多角形土が多く見られましたが、傾斜が増すとこれらは楕円形へと遷移し径も小さくなります。さらに斜度 3.5~4.5° を超えると条線土が卓越するようになります。このような構造土分布は、冬季間の卓越風向や積雪再配分とそれに制御される地温環境を反映しています。頻繁な凍結融解作用を受ける西向き風衝斜面では、凍上*⁵ による礫の淘汰持ち上げや過飽和活動層中の深さ数十 cm までの土砂が活発に流動し、楕円型の多角形土や条線土が形成されます。他方、風背側東斜面では積雪により土壌温度が比較的高くなり、夏季には融解が深くにまで及びます。この深い活動層内で礫が淘汰されることにより、多角形土の径は大きくなります。

五色岳では、植物に覆われた急斜面と平坦な裸地からなる植被階状土が、斜面の方位と概ね直交して発達しています（図 2）。国土地理院が提供する地形データと比較すると、植被部斜面方位は主斜面方位に対し、やや東側を向いていることが分かりました。小泉岳と同様にここでも強風によって積雪は、風背（東）側の微小な階段状地形に再堆積します（図 3）。そこでは土壌の冷却が和らげられたり、融解期に融雪水が供給されたりすることにより、植物の生育や土壌の発達に適した環境が局所的に作り出されます。植生に覆われた土壌は力学的に安定するため、凍結融解による斜面上部からの土砂移動を堰き止め、ダム湖のような平坦部が形作られます（図 4）。このようなプロセスにより、主斜面方向からやや東側を向く植被階状土が形成されます。

五色岳は主稜線の風下に位置するため、比較的風が弱く雪が積もりやすく、湿潤土壌が形成されやすい一方で、多くの礫質淘汰構造土が分布する小泉岳の西向き風衝斜面は、冬季間を通じた強風により積雪が吹き払われ地盤は冷却されやすい環境のため、凍結融解に伴う土砂移動が極めて活発に起こります。土壌移動の速度は植物成長のそれを上回り、植被階状土は形成されません。

【今後への期待】

北海道大雪山の山頂部は、中緯度域高山帯のなかでは類を見ないほどの強風低温環境下にあり、いわば北極圏の飛び地に相当します。特に冬季間を通じて地盤が冷却される風衝地では、植物は少しでも条件の良い生育場所を選択するだけでなく、能動的に土壌を安定化させ、自らの生育環境を作り出しているといえます。この知見は、大雪山のみならず北極での永久凍土—植生間での相互性や競合性の深遠な理解に貢献できます。大雪山をトレッキングする際には、登山道の傍らで繰り広げられている地形変化と植生発達の共演にも注意を傾けてみてはいかがでしょうか。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費（JP17H01849）の助成を受けたものです。

論文情報

論文名 High-resolution morphometric analysis of patterned grounds in the Daisetsu Mountains, Hokkaido, northern Japan (北海道大雪山に分布する構造土の詳細形態解析)
著者名 Mamoru Ishikawa¹、Hiro Kamiya^{2, 3}、Go Iwahana⁴ (¹北海道大学大学院地球環境科学研究院、²(当時)北海道大学大学院環境科学院、³国際航業株式会社、⁴アラスカ大学国際北極研究センター)
雑誌名 Permafrost and Periglacial Processes (凍土学、自然地理学の専門誌)
DOI 10.1002/ppp.2265
公表日 2025年1月20日(月)(オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院地球環境科学研究院 准教授 石川 守 (いしかわまもる)
TEL 011-706-2221 FAX 011-706-4867 メール mishi@ees.hokudai.ac.jp
URL <https://sites.google.com/view/mamoru-ishikawa>

配信元

北海道大学社会共創部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)
TEL 011-706-2610 FAX 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

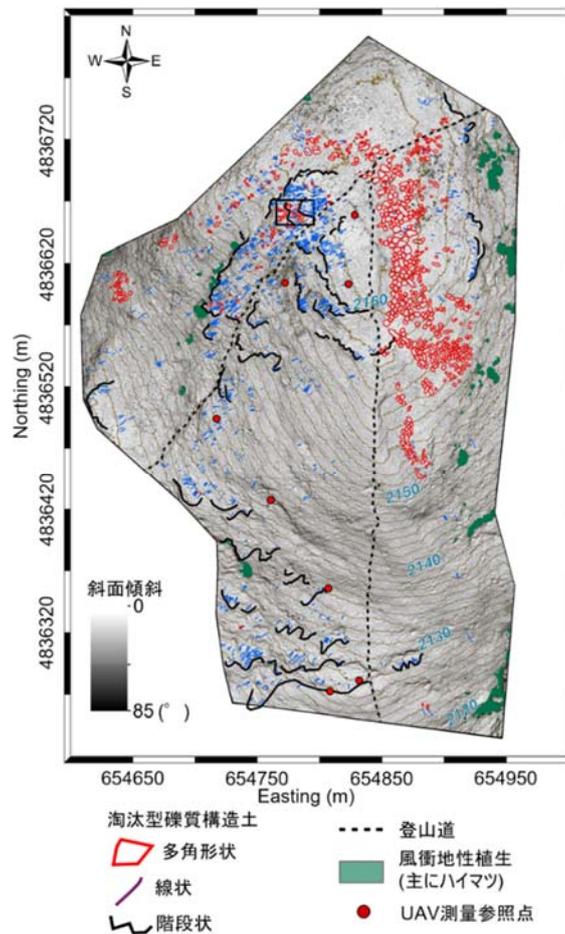


図 1. 小泉岳周辺の淘汰型礫質構造土の分布と形状。

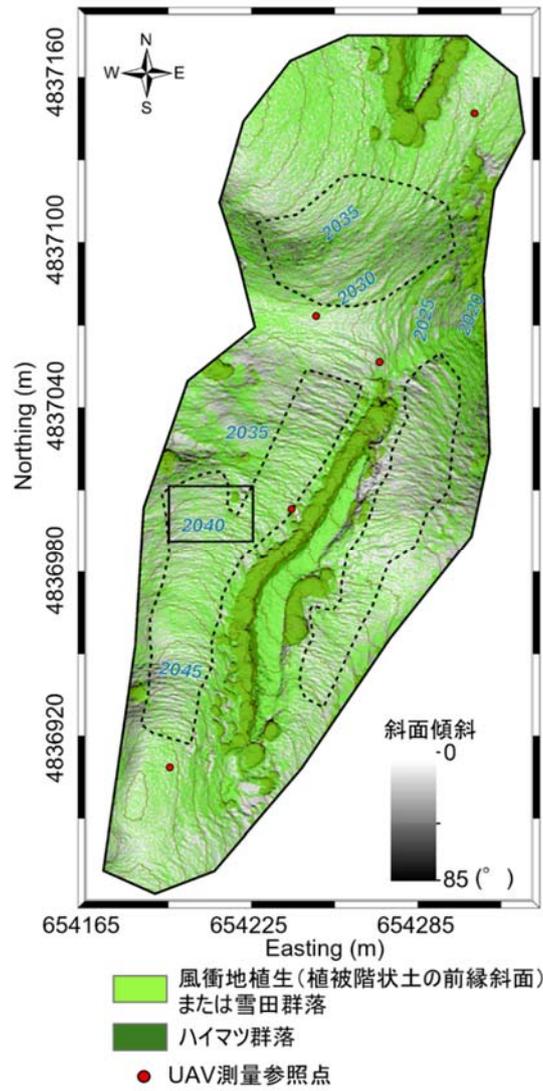


図 2. 五色岳周辺の植被階状土分布。風衝地性植生が階状土の前縁斜面に分布する。

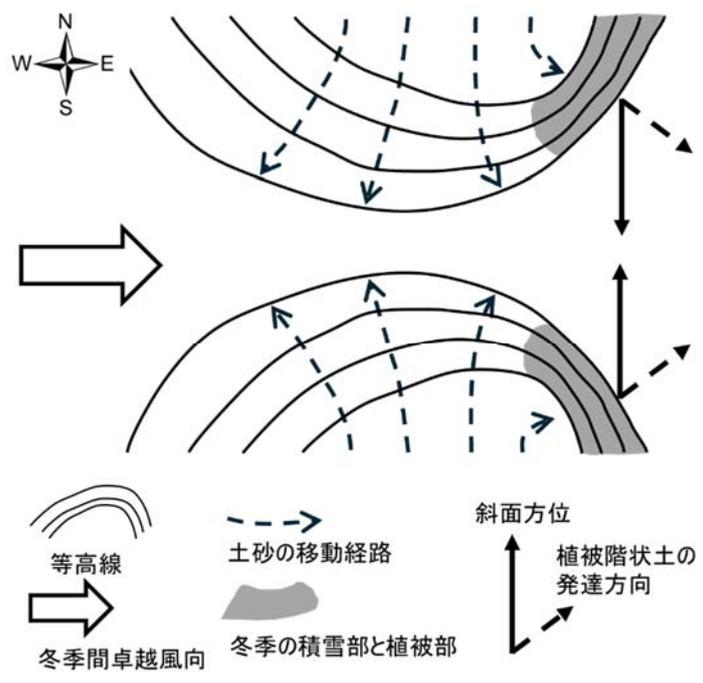


図 3. 五色岳における風向・積雪分布・植被階状土の発達方向。



図 4. 冬季、大雪山山頂部風衝地の積雪状態、強風により再配分された積雪が微小な凹地に堆積する。

【用語解説】

- *1 永久凍土 … 2年以上連続して0°C以下を保つ土壤や岩石。
- *2 活動層 … 永久凍土域で季節的に凍結融解を繰り返す地表層。
- *3 Structure from Motion 技術 … 異なる視点の画像データから三次元形状を復元する技術。
- *4 オルソ画像 … 写像の形状や位置が正しく配置されるように変換された画像。
- *5 凍上 … 地下氷の成長に伴い土壤が上方に膨張すること。これにより土壤中の礫が選択的に持ち上げられる。