

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01372

研究課題名(和文) 天山山脈北部地域における氷河起源型岩石氷河の空間分布と発達過程の解明

研究課題名(英文) Spatial distribution and development of glacier-derived rock glacier in the northern Tien Shan.

研究代表者

奈良間 千之(Narama, Chiyuki)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：50462205

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、天山山脈に分布する山岳永久凍土の水資源を評価する上で基礎資料となる山岳永久凍土の指標地形である岩石氷河の分布と形成環境を調べた。衛星画像解析とGISを用いて、1)天山山脈北部地域の岩石氷河の分布とその特徴、2)キルギス山脈の氷河面積、岩壁面積、岩石氷河面積、氷河高度差、氷河縮小面積、地質、崖錐などの地形データを作成し、岩石氷河の形成環境を明らかにした。岩壁面積に対して氷河面積の割合が小さい環境のほか、氷河面積は小さく、縮小面積が小さく、氷河の高度差が小さい、つまり氷の交換量が小さい氷河ほど氷河前面に氷河水が残存していた。これらは岩石氷河の形成環境にも適用できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

半乾燥地域の中央アジアにおいて、氷河と山岳永久凍土の水資源を有する天山山脈は重要な「給水塔」であるが、地中に存在する山岳永久凍土の空間分布は明らかでなく、水資源としての重要性も評価されていない。この地域には氷河末端部に多量の山岳永久凍土を保存する氷河起源型岩石氷河が多数形成されているが、その空間分布や形成環境はこれまで明らかでなかった。本研究では、氷河起源型岩石氷河の分布と形成環境がはじめて明らかにされ、温暖化で氷河縮小する際の永久凍土地域の氷河縮小の最終形態も明らかになった。岩石氷河の形成環境の解明は、他の山岳地域でも適用でき、山岳永久凍土の地域的な分布の違い評価にもつながるものである。

研究成果の概要(英文)：In the northern Tien Shan of Central Asia, we clarified the distribution and topographical environment of rock glacier, which are the index topography of mountain permafrost based on satellite data analysis and GIS. The number, size, and altitude of rock glaciers differed in each mountain range. In the Kyrgyz Range, the topographical environment of rock glacier was investigated using topographical factors such as glacier area, rock glacier area, rock wall area, glacier elevation range, glacier shrinkage area, geology, and talus. Our results show the environment that remains ice when glaciers shrink is that the ratio of glacier area to the rock wall area is smaller. This condition was also applicable to rock glacier. In addition to the topographical environment, a climatic environment in which mountain permafrost can be maintained is important.

研究分野：自然地理学

キーワード：岩石氷河 山岳永久凍土 衛星画像解析 水資源 天山山脈

## 1. 研究開始当初の背景

半乾燥地域の中央アジアにおいて、氷河と山岳永久凍土の水資源を有する天山山脈は重要な「給水塔」の役割を担う。特に大小の都市と灌漑農地が山麓沿いに立地する天山山脈北部地域では、氷河と山岳永久凍土のモニタリングは重要な課題であるが (Sorg et al., 2012; Hoesle et al., 2019), 地中に存在する山岳永久凍土の空間分布は明らかでなく、水資源としての重要性もデータから評価されていない。

永久凍土とは2年間以上0以下の凍結した土壌のことで、「山岳永久凍土」とは低・中緯度地域のチベットなどの山岳地域に不連続的に存在する永久凍土を指す。永久凍土は地中に存在するため、目視でそれらの存在を把握できない。山岳永久凍土の存在を示す指標地形として「岩石氷河」がある (Barsch, 1996)。岩石氷河は、その内部に氷と岩屑が入り交じる山岳永久凍土とそれを覆う岩屑によって構成され、氷河と同様に内部氷の塑性変形によって流動する。氷河に比べて内部氷の割合が少ないため流動速度は年間数 cm ~ 数 m と氷河に比べて小さい。岩石氷河は、表面に畝溝構造、安息角を呈する前縁斜面、ロープ状の地形といった特徴的な形態を持つ (Ballantyne, 2018)。岩石氷河は乾燥・半乾燥地域の山岳地域の周氷河帯で多く発達する (Brenning, 2005a, 2005b)。

岩石氷河は、岩屑と内部氷の供給源の違いから「崖錐起源型」と「氷河起源型」に分類される (松岡, 1998)。「崖錐起源型」は、背後の岩盤から供給された岩屑で形成された崖錐に、残雪や地下水が永久凍土化して発達するタイプである。「氷河起源型」は、岩石氷河の上流側に氷河が存在し、氷河周辺の岩壁から供給された岩屑と氷河氷や氷河からの融氷水が永久凍土化して発達するタイプである。調査地域では、世界の山岳地域と比べ「氷河起源型岩石氷河」の割合が非常に多く、多量の山岳永久凍土を保存している。また、巨大な岩石氷河が多く分布する天山山脈北部のイリ山脈では、岩石氷河内部の永久凍土の融解による流出は河川流量に大きく貢献していると推測されている (Bolch and Marchenko, 2006)。天山山脈北部地域における山岳永久凍土を調べる際に、多量の山岳永久凍土を保存する氷河起源型岩石氷河の分布と形成環境の解明は重要な課題である。

天山山脈北部のイリ山脈における岩石氷河の分布は、空中写真から調べられていたが (Grubunov et al., 1992), 岩石氷河が永久凍土を含むかどうかの判別はできておらず、山岳永久凍土の空間分布は明らかではなかった。近年、本研究と同様の DInSAR 解析により地表面変化から氷を含む岩石氷河の分布と流動速度が報告された (Kääb et al., 2021)。しかしながら、天山山脈北部地域はキルギス、イリ、クンゴイ、テスケイの4つの山脈で構成されており、岩石氷河の分布、サイズ、流動速度、起源タイプ、活動状態は各山脈で異なっている。これら各山脈の岩石氷河の基礎データ、各山脈の地域的な違い、その違いを作る環境要因は明らかでない。

本研究が対象とする「氷河起源型岩石氷河」の形成環境に関する先行研究として、グリーンランド本島の西側に位置するディスコ島では、「崖錐起源型」と「氷河起源型」に対して岩壁後退率と岩石氷河の岩屑量が調べられており、風化作用が強く岩壁後退率が大きい北側斜面でのみ、「氷河起源型」が形成されるとされた (Humlum, 2000)。天山山脈北部のイリ山脈では、「氷河起源型」岩石氷河の形成と空間分布には、気候、岩屑供給域の形状と大きさ、岩盤の高さ、岩質、岩屑、雪崩などさまざまな気象・地形要素が関係することが指摘されている (Gorbunov, 1983)。同山脈でさまざまな地形要素を用いて岩石氷河の形成環境の解明に取り組んだ Bolch et al. (2014)によると、「氷河起源型」岩石氷河の形成は、岩屑供給域の地形的特徴から部分的に説明できるがその相関は高くなかった。また、巨大な岩石氷河の発達要因は、地震動と雪崩による岩盤斜面の削剥による岩屑供給量の増加とされている。しかしながら、これらの地形要素がどの程度岩石氷河の形成に影響しているのかは曖昧であり、天山山脈のみならず世界の山岳地域においても、「氷河起源型」岩石氷河の形成環境はいまだに解明されていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、1) 天山山脈北部地域の岩石氷河の空間分布、2) 氷河起源型岩石氷河の形成環境の二つの課題に取り組む。本研究では、衛星画像解析や GIS を用いたデータ解析により、天山山脈北部地域のイリ山脈、クンゴイ山脈、テスケイ山脈、キルギス山脈における岩石氷河の分布を明らかにした。また、キルギス山脈において、「氷河起源型」岩石氷河の形成環境を明らかにした。キルギス山脈では、多くの「氷河起源型」岩石氷河が分布しており、形成環境を調べるのに適している。この山脈の氷河末端部では、岩石氷河が形成されているものと、モレーンが形成されている二つのタイプが存在する。これらは隣どうしに位置し、同じ気候環境にも関わらず違う形態を呈する。このように氷河末端部の形態が全く異なるタイプを比較することで形成環境の違いを調べた。

## 3. 研究の方法

### (1) 現成・停滞型の岩石氷河の抽出

イリ山脈、クンゴイ山脈、テスケイ山脈、キルギス山脈を対象に、Google Earth, Landsat8, Sentinel-2, PlanetScope の光学衛星画像、Corona 衛星写真、空中写真を用いて、1) 地表面の畝

溝構造, 2)前縁斜面, 3)凸型横断形という岩石氷河の形態的特徴を基準に岩石氷河を判読した。また, 差分干渉 SAR 解析から, 衛星視線方向に対する地表面変動を捉えることで, インタクト岩石氷河(現成型と停滞型)を抽出した。岩石氷河の起源分類に関しては, 岩石氷河の背後に氷河が存在する場合は氷河起源型, 背後の急崖から延びる岩石氷河は崖錐起源型として分類した。さらに, 差分干渉 SAR 解析期間 14 日間での解析から, インタクト岩石氷河を 1m 未満, 約 1m, 約 2m, 約 3m 以上の変動量に分類した。

現地調査では, 差分干渉 SAR 法の検証として, 2016 年, 2017 年, 2019 年の夏期にクンゴイ山脈のチョング・アクスウ岩石氷河にて現地調査を実施した。チョング・アクスウ岩石氷河では, GNSS 測量機器である Trimble GeoExplorer6000 (cm edition) と GEM-3 (イネープラー社) を用いて, 岩石氷河上 5 地点(2019 年は 4 地点)で流動観測をおこなった。また, 気温(1 地点), 地温(5 地点)の観測も実施した。

## (2) 氷河, 岩石氷河, 岩壁, モレーンのデータ作成

岩石氷河の形成環境を調べるため, 衛星画像解析と GIS で地形要素(氷河面積, 岩壁面積, 岩石氷河面積, 氷河の高度差, 氷河の縮小面積, 地質, 崖錐)を作成した。氷河面積は, Corona 衛星写真, PlanetScope 画像, Google Earth pro を用いて調べた。1968 年の氷河範囲は Corona 衛星写真を使用し, 2020 年の氷河範囲は PlanetScope 画像を使用した。氷河のポリゴンデータは, ArcGIS Pro でマニュアルで作成し, 面積を算出した。使用した衛星データは無雪期の 7 月~9 月の画像である。また, 1968 年~2020 年の氷河縮小面積も算出した。

岩石氷河の抽出は, Corona 衛星写真から岩石氷河の範囲を抽出した。Google Earth pro を用いて, 1)地表面の畝溝構造, 2)前縁斜面, 3)凸型横断形という岩石氷河の形態的特徴を基準に岩石氷河を判読した。さらに, ALOS-2/PALSAR-2 を用いた差分干渉 SAR 解析から岩石氷河の地表面変動を検出し, 短期間(1 か月程度), 長期間(1 年程度)で変動がみられた埋没氷を含む岩石氷河をインタクト型岩石氷河とした。岩石氷河の上流側の範囲は, 氷河末端と接する場所までとした。

岩石氷河の岩屑供給域となる岩壁面積の抽出には, Corona 衛星写真を使用した。ArcGIS Pro を使用して, 岩壁の輪郭のポリゴンを作成し, 面積を算出した。岩壁の抽出範囲は, 氷河上流端~岩石氷河末端まで, 氷河上流端~氷河末端までとして, Nagai et al (2013)を参考に, 傾斜 30 度以上の岩壁斜面のみ抽出した。ただし, Google Earth Pro の高解像度画像で確認できた隆起した地形や側方モレーンに遮られて, 氷河に岩屑を供給できない部分を除外した。また, 岩石氷河が形成された時の氷河面積は現在の氷河面積と岩石氷河の面積を含めて連続した領域とした。岩壁の範囲も同様である。

モレーンの抽出については, 明瞭なラテラルモレーンが発達し, 氷河末端部から下流側は平坦な河床面を持ち, 氷河末端からの融水流がある。横断面は凹型になる地形を抽出した。

## 4. 研究成果

### (1) 天山山脈北部地域におけるインタクト型(現成・停滞型)の岩石氷河の分布

天山山脈北部地域の岩石氷河は, 約 7~8 割が氷河起源型岩石氷河であった。氷を含むインタクト型岩石氷河は, イリ山脈で 329 個, クンゴイ山脈で 500 個, テスケイ山脈西部で 180 個であり, 地域によって大きな違いがみられた。各山脈の下限高度は, イリ山脈北側で 2600m と南側で 3000m (南北高度差 400m), クンゴイ山脈北側で 2600m と南側で 2900m (南北高度差 300m), テスケイ山脈北側で 2900m と南側で 3400m (南北高度差 500m) であった。北側斜面の下限高度が低い結果であり, 高度差や標高も各山脈で違いがみられた。

岩石氷河の高度分布は, イリ山脈とクンゴイ山脈の一部の標高帯を除いてピラミッド型であり, 氷河の高度分布と同じであった。これは各山脈で多くを占める氷河起源型岩石氷河が, 氷河高度分布に大きく依存するためである。この地域では, クンゴイ山脈のチョング・アクスウ岩石氷河でみられたように永久凍土下限高度付近で岩石氷河の流動速度が大きいだけでなく, 比較的高い末端高度をもつ岩石氷河においても地表面変動が大きい結果が得られた。また, イリ山脈とクンゴイ山脈では, 1)氷河と岩石氷河の下限高度の標高差が 600m と大きい, 2)年間約 2m 以上の変動速度を持つ岩石氷河が多い, 3)長大で巨大な岩石氷河が多く分布する特徴がみられた。これら特徴は, イリ山脈とクンゴイ山脈の一部の岩石氷河の高度分布がピラミッド型でない理由と関係していると考えられる。

チョング・アクスウ谷の岩石氷河では, 年平均気温に関しては永久凍土が存在しえる指標値を示したが, 年平均地温に関しては 1 地点以外の 4 地点で永久凍土の存在しえる指標値よりも暖かかった。チョング・アクスウ谷の岩石氷河の下限高度は 2900m であり, クンゴイ山脈南側の永久凍土の最下限高度に位置しており, 永久凍土が存在できるぎりぎりの環境であることを示す。0 付近に位置する岩石氷河では, 積雪の融解や内部氷の融解により, 内部に水が浸透することで, 内部氷の可塑性を増大させ, 急速に岩石氷河の変動が大きくなることが報告されている(Ikeda et al., 2008)。チョング・アクスウ谷の岩石氷河では, 氷温や融解の加速が氷の可塑性の増大につながり, 約 2~3m の地表面変動を示した要因として考えられる。

### (2) キルギス山脈における氷河起源型岩石氷河の形成環境

キルギス山脈では, 氷河末端部に「氷河起源型」岩石氷河が発達するものとモレーンが発達す

るものがある。氷河末端部の岩石氷河とモレーンの形態の違いについて、岩石氷河では、表面水流がなく、表面の畝水構造、末端の前縁斜面、小規模な湖盆(凹地)が発達する。横断面は凸型で、氷河末端部は岩屑に覆われ不明瞭な場合が多い。岩石氷河内部には氷が含まれる。一方、モレーンでは、明瞭なラテラルモレーンが発達し、氷河末端部から下流側は平坦な河床面を持ち、氷河末端からの融水流がある。横断面は凹型で、氷河末端は明瞭な形態の場合が多い。可視画像による地表面判読と SAR 画像による DInSAR 解析による内部氷の有無から、キルギス山脈北側斜面では、「氷河起源型」岩石氷河は 231 個、モレーンは 13 個が確認された。ほとんどの氷河末端部に岩石氷河が形成されており、氷河起源型の岩石氷河の面積は  $4.7\text{km}^2 \sim 0.034\text{km}^2$  であった。岩石氷河の末端高度は  $4,163\text{m} \sim 2,603\text{m}$  であった。

岩石氷河が形成されるには、氷河が後退しても氷河と岩石氷河の境界部は連続した氷体が保存されることが重要である。キルギス山脈全域の氷河末端部において、DInSAR 解析から最近の氷河後退にともなう氷河氷の残存・消滅について判別した結果、氷河氷が残存する氷河は 123 個あり、氷河氷が消滅する氷河は 60 個であった。岩石氷河の形成には、相対的に氷河の供給量が少なく、背後の岩壁からの岩屑供給量が多い環境が重要になる(Benn et al., 2003; Carrivick and Heckmann, 2017)。氷河面積と岩壁面積の割合でみた場合、氷河面積の割合が小さいほど、氷河氷を残存する傾向にあった。

さらに、氷河面積、氷河の高度差、氷河の縮小面積などの指標とも比較した結果、氷河氷残存タイプは、氷河面積の割合が小さい環境で、さらに氷河面積が小規模で、高度差が小さく、縮小面積が小さい氷河であった。これら環境の氷河は氷の交換量が非常に小さい状態であり、Benn et al. (2003) が指摘するように、岩石氷河形成には氷の供給量が少ない氷河の条件に合致する。一方、氷河氷消滅タイプの環境は、氷河面積の割合が大きい環境でみられ、さらに氷河面積が大きく、高度差が大きく、縮小面積が大きい氷の交換量大きい氷河であった。つまり気候変化に対して相対的に大きく変動する氷河である。面積が大きく、高度差が大きい氷河の場合、低高度で消費量が大きく、氷河を維持するために氷の交換量が大きくなるため、末端部に氷を維持することが難しく、岩石氷河に移行するのは難しい。

また、地質によって同じ岩壁面積でも岩屑供給量に違いがあるかについて検討した。調査地域では、岩石氷河に岩屑を供給する岩壁面積は、堆積岩質で  $187.180\text{km}^2$ 、火成岩質で  $97.989\text{km}^2$  であった。岩石氷河は、堆積岩質で  $62.220\text{km}^2$ 、火成岩質で  $38.181\text{km}^2$  であった。氷河氷残存タイプの岩質に対する過去の氷河面積の割合を調べた結果、堆積岩質と火成岩質で差異はみられなかった。

### (3) 短命氷河湖と山岳永久凍土環境との関係

この地域では、「氷河起源型」が大きく関与する「短命氷河湖」からの大規模出水による土石流災害が多発している。「短命氷河湖」とは、わずか数か月間で出現・出水する新規の氷河湖タイプである(Narama et al., 2010; 2018)。「短命氷河湖」による氷河湖災害は世界的にもこの地域で多く、それは「氷河起源型」岩石氷河の分布に関係していると考えられている。

現地 で測定した地温データから、ほとんどの氷河起源型岩石氷河が永久凍土帯に形成されている。これまでの調査結果から、「短命氷河湖」は、氷河と「氷河起源型」岩石氷河との間の遷移帯に出現することがわかった。また、出現の要因は、遷移帯の内部に発達したアイストンネルが冬季の凍結あるいは崩落によって閉鎖される場合や、夏期に融氷水が増加する場合であることが明らかになった(Daiyrov et al., 2020; Daiyrov and Narama, 2021)。短命氷河湖のサイズは、氷河起源型岩石氷河上に発達する湖盆地形の大きさや閉鎖期間により満水になるかなどに関係する。また、出水規模は、これら湖の体積のほか、トンネルの大きさによって異なる。大規模な出水は巨大なトンネルを持つ場所で生じるため、温暖化でトンネルが今後拡大すれば大規模な出水が多発する可能性がある。天山山脈北部地域では、氷河起源型岩石氷河が多く分布することから、多くの場所で短命氷河湖による大規模出水が生じる可能性がある。

### 引用文献

- Ballantyne, C.; Periglacial Geomorphology: WILEY Blackwell, 2018, 241-242.
- Barsch, D.; Rock Glaciers. Indicators for the Present and Former Geocology in High Mountain Environment. 1996.
- Benn, D.I.; Kirkbride, M.P.; Owen, L.A.; Brazier, V.; Glaciated valley landsystems. In: Evans, D.J.A. (Ed.), Glacial landsystems. Arnold, London. 2003, 372-406.
- Blagoveshchensky, V. P.; Calculation of vertical temperature gradients in mountain regions of Middle Asia and Kazakhstan. Cryogenic Phenomena in Middle Asia and Kazakhstan. Yakutsk. 1979, 83-89.
- Bolch, T., Marchenko, S. Significance of glaciers, rockglaciers and ice-rich permafrost in the Northern Tien Shan as water towers under climate change conditions. Selected Papers from the Workshop in Almaty, Kazakhstan, 2006. 8. 132-144, 2006.
- Bolch, T.; Gorbunov, A.; Characteristics and origin of rock glaciers in northern Tien Shan (Kazakhstan/Kyrgyzstan): Permafrost and Periglacial Processes. 2014, 25, 320-332.
- Brenning, A.; Climatic and geomorphological controls of rock glaciers in the Andes of central Chile: combining statistical modelling and field mapping. Ph.D. dissertation, Mathematisch-

- Naturwissenschaftliche Fakultät II, 2005a.
- Brenning, A.; Geomorphological, hydrological and climatic significance of rock glaciers in the Andes of central Chile (33-35° S). *Permafrost and Periglacial Processes*, 2005b, 16, 231-240.
- Carrivick, J.; Heckmann, T.; Short-term geomorphological evolution of proglacial systems: *Geomorphology*. 2017, 287, 3-28.
- Gorbulov, A.; Rock glaciers in the mountains of Middle Asia: In Proc. 4th Internat. Conference on Permafrost. National Academy Press: Washington, DC; 1983, 359- 362.
- Daiyrov, M., Narama, C., Kääh, A., Tadono, T., Formation and outburst of the Toguz-Bulak glacial lake in the northern Teskey Range, Tien Shan, Kyrgyzstan. *Geosciences*, 10(11)(468), 2020.
- Daiyrov, M., Narama, C., Formation, evolution and drainage of short-lived glacial lakes in permafrost environments of the northern Teskey Range, Central Asia. *Natural Hazard and Earth System Science*, 21, 2245-2256, 2021.
- Gorbulov, A., Titkov, S., Polyakov, V. Dynamics of rock glaciers of the Northern Tien Shan and the Djungar Ala Tau, Kazakhstan. *Permafrost and Periglacial Processes*. 3, 29-39, 1992. 10.1002/ppp.3430030105.
- Heckmann, T.; Hilger, L.; Vehling, M.; Becht Integrating field measurements, a geomorphological map and stochastic modelling to estimate the spatially distributed rockfall sediment budget of the Upper Kaunertal: Austrian Central Alps. *Geomorphology*. 2016, 260, 16-31.
- Hoelzle, M., Barandun, M., Bolch, T., Fiddes, J., Gafurov, A., Muccione, V., Saks, T., Shahgedanova, M. The status and role of the alpine cryosphere in Central Asia. 2019. 10.4324/9780429436475-8.
- Humlum, O.; The geomorphic significance of rock glaciers: estimates of rock glacier debris volumes and headwall recession rates in West Greenland. *Geomorphology*, 2000, 35, 41-67.
- Jones, D.B.; Harrison, S.; Anderson, K.; Rock glaciers and mountain hydrology: A review *Earth Sci. Rev.* 2019, 193, 66-90.
- Kääh, K., Strozzi, T., Bolch, T., Caduff, R., Trefall, H., Stoffel, M., Kokarev, A., Inventory and changes of rock glacier creep speeds in Ile Alatau and Kungöy Ala-Too, northern Tien Shan, since the 1950s. *The Cryosphere*, 15, 927-949, 2021.
- 松岡憲知 ネパール・ヒマラヤの氷河周辺における岩盤の凍結破砕作用について *雪氷* 1984, 46(1), 19-25.
- 松岡憲知 岩石氷河 氷河説と周氷河説 *地学雑誌* 1998, 107(1), 1-24.
- Monnier, S.; Kinnard, C.; Reconsidering the glacier to rock glacier transformation problem: new insights from the Central Andes of Chile. *Geomorphology*: 2015b, 238, 47-55.
- Nagai, H.; Fujita, K.; Nuimura, T.; Sakai, A.; Southwest-facing slopes control the formation of debris-covered glaciers in the Bhutan Himalaya. *The Cryosphere*: 2013, 7, 1303-1314.
- Narama, C., Duishonakunov, M., Kääh, A., Daiyrov, M., Abdrakhmatov K., The 24 July 2008 outburst flood at the western Zyndan glacier lake and recent regional changes in glacier lakes of the Teskey Ala-Too range, Tien Shan, Kyrgyzstan. *Natural Hazard and Earth System Science*, 10(4), 647-659, 2010.
- Narama, C., Daiyrov, M., Duishonakunov, M., Tadono, T., Sato, H., Kääh, A., Ukita, J., Large drainages from short-lived glacial lakes in the Teskey Range, Tien Shan Mountains, Central Asia. *Natural Hazard Earth System Sciences*, 18, 983-995, 2018
- Shroder, J.F.; Bishop, M.P.; Copland, L.; Sloan, V.F.; Debris-covered glaciers and rock glaciers in the Nanga Parbat Himalaya: *Pakistan Geografiska Annaler Ser. A Phys. Geogr.* 2000, 82 (1), 17-31.
- Sorg, A.; Bolch, T.; Stoffel, M.; Solomina, O.; Beniston, M.; Climate change impacts on glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia). *Nature Climate Change*. 2012, 2, 725-731.
- Villarreal, C.D.; Beliveau, G.T.; Forte, A.P.; Monserrat, O.; Morvillo, M.; DInSAR for a regional inventory of active rock glaciers in the dry Andes Mountains of Argentina and Chile with Sentinel-1 data. *Remote Sens*: 2018, 10 (10), 1588.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Daiyrov, M., Narama, C.	4. 巻 21
2. 論文標題 Formation, evolution and drainage of short-lived glacial lakes in permafrost environments of the northern Teskey Range, Central Asia.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Natural Hazard and Earth System Sciences	6. 最初と最後の頁 2245-2256
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/nhess-21-2245-2021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Sakurai, N., Narama, C., Daiyrov, M., Esenamanov, M., Usekov, Z., Inoue, H.	4. 巻 68
2. 論文標題 Simultaneous drainage events from supraglacial lakes on the southern Inylchek Glacier, Central Asia.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Glaciology	6. 最初と最後の頁 209-220
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/jog.2021.77	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Daiyrov, M., Narama, C., Kaab, A., Tadono, T.	4. 巻 10(11)(468)
2. 論文標題 Formation and outburst of the Toguz-Bulak glacial lake in the northern Teskey Range, Tien Shan, Kyrgyzstan.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geosciences	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/geosciences10110468	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計22件（うち招待講演 1件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 高玉秀之, 奈良間千之, 山之口勤, 田殿武雄
2. 発表標題 Recent surface changes of rock glaciers in Tien Shan Mountains.
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻井尚輝, 奈良間千之, 井上公, エセナマノブ・モハメド, ザルベク・ウセコブ,
2. 発表標題 南イニルチェック氷河における氷河上湖の日変動特性
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻井尚輝, 奈良間千之, 井上公, ミルラン・ダイウロフ, エセナマノブ・モハメド, ザルベク・ウセコブ
2. 発表標題 南イニルチェック氷河における氷河上湖の日変動特性
3. 学会等名 日本雪氷大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥山 駿, 奈良間 千之, 高玉 秀之, 山村 祥子
2. 発表標題 天山山脈北部地域の氷河起源型岩石氷河の空間分布と地表面変動
3. 学会等名 2019年度日本地理学会春季学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Narama, C., Takadama, H., Okuyama, S., Yamamura, A., Daiyrov, M., Tadono, T., Yamanokuchi, T.
2. 発表標題 Spatial distribution and flow of rock glaciers in the northern Tien Shan.
3. 学会等名 The joint PI meeting of JAXA earth observation mission 2019. (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 ダイウロフ・ミルラン, 奈良間千之, 山之口勤
2. 発表標題 中央アジア, 天山山脈における短命氷河湖からの出水現象.
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥山駿, 奈良間千之, 高玉秀之
2. 発表標題 天山山脈北部地域の氷河起源型岩石氷河の地表面変動
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木綾乃, 奈良間千之, Murataly Duishonakunov, 山之口勤
2. 発表標題 キルギス, クムトール鉱山における雪氷土砂堆積物の流動
3. 学会等名 日本山の科学会秋季研究大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田奈穂, 奈良間千之, Mirlan Daiyrov
2. 発表標題 キルギス・テスケイ山脈における短命氷河湖の面積変動から推定される排水路の考察
3. 学会等名 日本山の科学会秋季研究大会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 本間夏実, 奈良間千之, 櫻井尚輝, Mirlan Daiyrov
2. 発表標題 氷河上湖の出水規模の推定
3. 学会等名 日本山の科学会秋季研究大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥山駿, 奈良間千之, 高玉秀之, 山村祥子
2. 発表標題 中央アジア・天山山脈に位置する氷河起源型岩石氷河の空間分布と形成環境
3. 学会等名 日本雪氷大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Narama, C., Daiyrov, M., Tadono, T., Yamanokuchi, T.
2. 発表標題 Geohazards related to mountain permafrost in Central Asia using ALOS-2/PALSAR-2 data.
3. 学会等名 The Joint PI Meeting of JAXA Earth Observation Missions. (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奈良間千之, 山田奈穂
2. 発表標題 2021年2月7日にインド北部で発生した大規模洪水
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本間夏実, 奈良間千之, 櫻井尚輝
2. 発表標題 キルギス共和国, 南イニルチェック氷河における湖盆の地形変化
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田奈穂, 奈良間千之, Daiyrov Mirlan
2. 発表標題 中央アジア, テスケイ山脈における短命氷河湖の面積変動
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥山駿, 奈良間千之, 山村祥子, 高玉秀之, 山之口勤
2. 発表標題 中央アジア・天山山脈に位置する氷河起源型岩石氷河の形成環境
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田奈穂, 奈良間千之
2. 発表標題 中央アジア, テスケイ山脈における短命氷河湖の形成要因
3. 学会等名 日本山の科学会秋季研究大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamada, N., Narama, C.
2. 発表標題 Formation of short-lived glacial lake in the Teskey Range, Tien Shan.
3. 学会等名 ISFAE 2021 NIIGATA (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Homma, N., Narama, C., Sakurai, N.
2. 発表標題 Form of supraglacial lakes on the southern Inylchek Glacier, Central Asia.
3. 学会等名 ISFAE 2021 NIIGATA (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田奈穂, 奈良間千之, 飯田佑輔
2. 発表標題 中央アジアにおける短命氷河湖の水位変化とその要因
3. 学会等名 応用地質学会北陸支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奈良間千之
2. 発表標題 中央アジアの氷河災害の現状
3. 学会等名 中央アジア・コーカサスにおける環境問題と日本の役割 (「中央アジア + 日本」対話・第7回専門家会合), 外務省 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 奈良間千之, 奥山駿, 久富祥子, 山之口勤, 田殿武雄
2. 発表標題 中央アジア, 天山山脈における岩石氷河の形成環境
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2022
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 奈良間千之	4. 発行年 2022年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 777
3. 書名 自然災害科学・防災の百科事典	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	小森 次郎 (Komori Jiro)  (10572422)	帝京平成大学・現代ライフ学部・准教授  (32511)	
研究分担者	井上 公 (Inoue Hiroshi)  (80450253)	国立研究開発法人防災科学技術研究所・マルチハザードリスク評価研究部門・主幹研究員  (82102)	
研究分担者	田殿 武雄 (Tadono Takeo)  (50553351)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・第一宇宙技術部門・主任研究開発員  (82645)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	山之口 勤  (Yamanokuchi Tsutomu)	リモートセンシング技術センター・主任研究員	
研究協力者	ダイウロフ ミルラン  (Daiyrov Mirlan)	中央アジア応用地球科学研究所・研究員	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
キルギス	中央アジア応用地球科学研究所	キルギス緊急対策省	