

論文名 : Regional geomorphological conditions related to recent changes of glacial lakes in the Issyk-Kul Basin, the northern Tien Shan.

(「天山山脈北部, イシク・クル湖流域における最近の氷河湖変動に関わる地形環境に関する研究」(要約))

新潟大学大学院自然科学研究科

氏名 ダイウロフ ミルラン

---

キルギスタン北東部の天山山脈に位置するイシク・クル湖流域では、2006年～2014年にかけて4回の氷河湖からの大規模出水が生じている。これら出水した氷河湖は、数か月～1年の間に出現・出水する短命氷河湖と呼ばれるタイプである。2008年7月には、西ズンダン氷河湖の出水による洪水で3名の犠牲者や家畜の被害がでた (Narama et al., 2010, 2018)。この出水路の開閉は、氷河湖の面積変動に大きく影響するが、この地域の最近の氷河湖の現状はよくわかってない。そこで本研究では、イシク・クル湖流域のテスケイ山脈とクンゴイ山脈を対象に、衛星画像解析から2013年～2016年の氷河湖の面積変動を調べ、現地調査と合わせ氷河湖の変動特性に関わる地形要因について検討した。

2013年～2016年の6月～10月に取得された128枚の衛星画像 (Landsat7/ETM+, Landsat8/OLI) を用いて、339コの氷河湖 (>0.0005 km<sup>2</sup>) の各年の面積の季節変動から、停滞、拡大、縮小、出現、消滅、短命の6タイプに分類した。テスケイ山脈とクンゴイ山脈では、多くの出現、消滅、短命の3つのタイプの湖が確認された。短命タイプの中でも毎年くり返し出現するタイプも確認された。分類した6タイプのうち停滞を除く5タイプの出現数は毎年大きく異なっており、各年のタイプ分布も異なっていた。さらに、同年のクンゴイ山脈とテスケイ山脈でも大きな違いがみられた。この地域の氷河湖変動は、最近の気候変化と氷河縮小に大きく影響されるという報告がある (Wang et al., 2012; Kapitsa et al., 2017)。そこで、氷河湖変動と気温と降水量との関係を調べるため、チョルポン・アタと天山の二つの測候所の2013～2016年の夏季(5月～10月)の気温偏差の11年周期変動と、月降水量を比較した。2013年と2015年の夏季の気温変化を比べると、2015年の気温は平年より高く、2013年の気温はそれよりも低かったが、テスケイ山脈では2015年に5つのタイプが等しく出現していた。2013年は減少タイプが多く確認された。クンゴイ山脈の2013年の減少タイプは検出されなかった。2014年と2015年の気温変化を比べると、テスケイ山脈でタイプの変動は同じだった。一方、クンゴイ山脈でのタイプの変動は大きく異なっていた。これらは、夏季気温と降水量が氷河湖変動に大きく影響していない可能性を示す。相反する出現タイプと消滅タイプも同数みられる月も多く確認された。

次に、特異な氷河湖変動を地形環境から検討した。この地域では、2006年～2014年に出水した4つの大規模出水を生じた氷河湖周辺では、氷を含むデブリ地形、湖水を溜める湖盆地形、アイストンネルが確認されている (Narama et al., 2018)。イシク・クル湖流域にお

ける同様の地形環境の発達を知るため、氷河前面に発達する 1110 のデブリ地形を衛星画像解析から抽出した。このうち内部に氷を持つデブリ地形の分布を調べるため、ALOS-2/PALSAR-2 を用いた差分干渉 SAR (DInSAR) 解析により、地表面変動が検出されたデブリ地形から、484 の埋没氷を含むデブリ地形を認定した。これらデブリ地形は、イシク・クル流域に広く分布していた。1979 年の空中写真と 2016 年の UAV 画像から作成したオルソ画像から地形変化を調べたところ、氷河縮小に伴う巨大な湖盆が氷河前面に形成され、トンネル周辺の地形変化も確認された。氷を保持するデブリ地形周辺の永久凍土環境を調べるため、地温と気温の観測をおこなったところ、年平均気温は $-4^{\circ}\text{C}$ であり、年平均地温は $-1.3\sim-3.3^{\circ}\text{C}$ であった。氷河湖・湖盆と氷を含むデブリ地形を高度別に出現数を並べた図に 3200m の地温データを重ねたところ、この地域のほとんどの氷河湖・湖盆とデブリ地形が山岳永久凍土環境下にあることがわかった。

最後に、アイストンネルの閉鎖のタイプを氷河湖の出現時期から凍結タイプと崩落タイプに分類した。崩落タイプは、夏季にアイストンネル内部の崩落やトンネル入り口付近の斜面変化によって閉鎖が起こるタイプで、融解時期に出現する。凍結タイプは、冬期にトンネル内部の水が凍結して閉鎖するタイプで、春の融雪時に氷河湖が出現する。イシク・クル流域では、3 年間で 61 の短命タイプを抽出したが、同時期に大規模出水を生じた氷河湖は 2 つだけであった。これはアイストンネル内部のトンネルのサイズが大きく影響していると考えられる。研究地域の最近の氷河湖変動は、単純な氷河縮小、気温上昇、降水量変動によるものではなく、氷河前面に発達する埋没氷を含むデブリ地形とアイストンネルの開閉が大きく関係していることが明らかになった。

To assess the current state of glacial lakes, the seasonal lake-area changes of 339 glacial lakes were examined in the Teskey and Kungoy Ranges of the Issyk-Kul Basin, Kyrgyzstan, during 2013–2016 based on optical satellite images (Landsat7/ETM+ and 8/OLI). The glacial lakes are classified into six types based on their seasonal variations in area: stable, increasing, decreasing, appearing, vanishing, and short-lived. The number of each type was tracked in a given year and examined how each number changes from one year to the next. Many appearing, vanishing, and short-lived types occurred in both mountain ranges, having a large variability in number that is not directly related to the local short-term summer temperature anomaly, nor to precipitation or glacier recession. However, those in the Teskey Range vary significantly more than those in the Kungoy Range.

To determine if the changing number and distribution of the various lake types may be due to changes in ground ice, differential interferometric synthetic aperture radar (DInSAR) analysis was adapted using ALOS-2/PALSAR-2 for the debris landforms behind which glacial lakes appear. In the Teskey Range, ground ice occurs in 416 out of a total of 557 debris landforms, whereas in the Kungoy Range, ground ice occurs in 71 out of 131. In zones with predominant glacier-retreat during 1971–2010

(from Corona KH-4B and ALOS/PRISM), the Teskey Range had 180 new lake depressions as potential lake-basins, whereas the Kungoy Range had just 22. Existing depressions also expanded when melting ice produced subsidence. Such subsidence, together with debris landforms containing ground ice and ice tunnels, appear to cause the observed large number variability. In this way, the large variability in the number of each lake type and the distribution of types over this four-year period arises from regional geomorphological conditions and not directly from the local short-term summer temperature anomaly and precipitation or glacier recession.

This study found that the deposition of ice and debris by tunnel collapse or the freezing of storage water in a debris landform may close-off an ice tunnel, causing a lake to appear. Subsequent re-opening via melting of such blockage would produce either a vanishing or a short-lived type. These closure of ice tunnel were classified into two types as frozen and collapse types. A frozen type caused large drainages in recent years in the study area. But water from lakes of collapse type was discharged gradually. This was explained by tunnel conditions, such as a tunnel size and lake size which controls the lake drainages.