

ボリビア熱帯氷河の長期変動と人工衛星を用いた高解像度モニタリング

日本大学工学部 学生会員 ○小島直樹
 日本大学工学部 正会員 朝岡良浩
 サンアンドレス大学水理水文研究所 非会員 PabloFuchs

1. はじめに

ボリビアの首都ラパスと隣接するエル・アルト市では、年間降水量が 500 mm と少なく、乾季の降雨は極めて少ない。そのためアンデス山脈にある熱帯氷河の融解水が重要な水資源となっている。また首都圏の人口が急激に増加したことから、水需要が増加傾向にある。2016 年に起きたラパス大渇水では、ボリビア首都圏の大半が水不足になった。これは雨季の開始が 1 か月遅れたことによって起きた水害であり、1 か月先の水資源量の不足を予測できれば、事前に運用面の対策を講じることができたと考えられる。河川流量予報で使用する氷河融解・流出モデルは、氷河域の面積と気象データを入力して流出量を算出できる。1 ヶ月から 3 ヶ月先の短期予報においては、最新かつ高解像度の氷河域画像をモデルに導入する必要がある。Funaki and Asaoka (2016) は Landsat 衛星を用いて 1984 年から 2014 年コンドリリ氷河、トゥニ氷河、ワイナポトシ氷河の長期的な減少傾向を示した。また、Landsat8 の空間分解能は 30m であることから、短期予報に対してはより高解像度のモニタリングが必要と考えられる。

本研究では、Landsat8 を用いて 2016 年 8 月と 2019 年 6 月の氷河域を推定し、Funaki and Asaoka (2016) の氷河域データを更新して、最新の氷河変動を解明する。また、高解像度の衛星画像 Geo eye-1 (空間分解能 2m) と Landsat8 の画像を比較することによって、高解像度衛星による氷河モニタリングの有用性を評価する。

2. 対象氷河

図-1 に示すトゥニ貯水池は首都ラパスの北部に位置し、首都圏の水需要の約 3 割を供給している。最北部から順にコンドリリ集水域、トゥニ集水域、ワイナポトシ集水域である。貯水池に流入する水は氷河の融解水と降雨と降雪である。また雨季にコンドリリ集水域とワイナポトシ集水域に降った雨は、導水管を通じてトゥニ貯水池に送られる。上記 3 つの集水域内に存在する氷河を対象とした。

3. 研究手法

Landsat8 の衛星画像データは Landsat Look Viewer から入手した。氷河の抽出には、式(1)による Normalized Difference Snow Index (NDSI, 正規化積雪指数)²⁾を用い、ピクセルの値が 0.65 以上であれば氷河と判定した。

$$NDSI = \frac{Red - MIR}{Red + MIR} \quad (1)$$

ここで Red は赤色、MIR は中間赤外の波長帯の反射率を示している。

本研究は、各波長帯の放射輝度に対応した DN (デジタルナンバー) を反射率に変換した。さらに、緑色の波長帯の衛星画像を用いて氷河と氷河湖を判別した。また氷河域を数値標高モデル (DEM: Digital Elevation Model) と重ね合わせ、各標高帯の氷河面積を算出した。

Geo eye-1 は可視の赤、緑、青の波長帯の画像を用いてトゥルーカラー合成画像を作成した。

4. 結果及び考察

3 集水域の氷河面積の推移を図-2 に示す。また、複数の波長帯を用いて作成した RGB (トゥルーカラー) 画像と 1987 年、2016 年、2019 年の氷河面積の比較を図-3 に示す。2019 年のコンドリリ、トゥニ、ワイナポトシ集水域

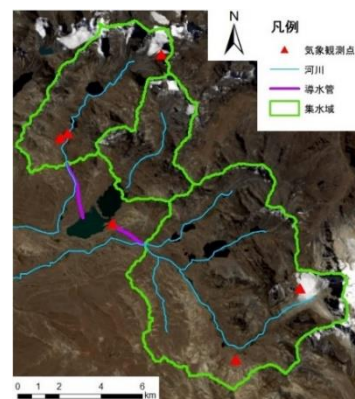


図-1 トゥニ貯水池周辺の流域

キーワード 氷河面積 Landsat8 Geo eye-1 平衡線 消耗域

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 日本大学工学部土木工学科 TEL024-956-8732

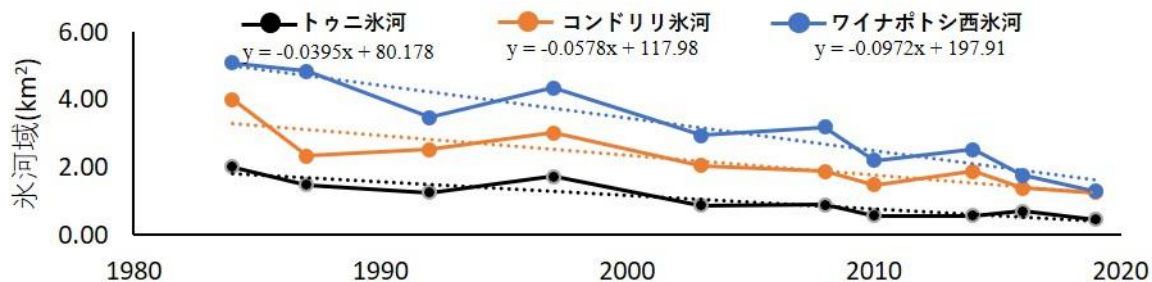


図-2 各集水域における氷河面積の推移

それぞれの氷河面積は 1.26km², 0.46km², 1.30km² で, 2014 年以降も減少していることが明らかとなった。

1984 年から 2019 年にかけて氷河はそれぞれ 69%, 77%, 74% 減少しており, また近似直線の傾きから 10 年でそれぞれ 0.9km², 0.6km², 0.4 km² 減少している。仮にこの傾きのまま氷河が減少し続けると仮定すれば, 2038 年, 2041 年, 2030 年に氷河は消失すると予想される。しかし, 熱帯氷河は質量収支が負になる消耗域と, 正になる涵養域の 2 つで構成されている。将来, 消耗域がすべて融解した場合, 氷河は涵養域のみとなり氷河減少は止まると考えられる。図-4 に 1984 年と 2016 年におけるコンドリリ氷河の高度分布を示す。2 つの年代を比較すると, 氷河末端の消耗域は減少が著しく見られるが, 標高が高いほど減少が緩やかである。コンドリリ氷河最東部の平衡線高度は 4990m であり, 2016 年の消耗域は 37.6% であった。また高度 5000m までに 37.7% の氷河が存在していた。

図-5 に示す氷河末端は 2016 年 9 月 12 日のワイナポトシ西氷河の最南端を, 実際に歩いて観測した GPS 測位の座標である。Landsat8 における氷河末端の凹みのある部分は, 土に覆われたデブリにより氷河を抽出できなかった。また 2016 年 5 月 18 日に撮影された Geo eye-1 の画像による氷河末端は 9 月の観測までに融解したと考えられる。

5. おわりに

本研究で抽出した氷河域の画像は, 河川流量予報を目的とした氷河融解流出モデルの入力条件として用いられる。詳細な氷河面積を用いることで, 高精度の予報が可能である。今後の課題として, モデルに分解能の異なる氷河面積を入力して得られる流出量を実測値と比較して, 衛星画像の高解像度化の効果を検証する必要がある。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費(17K06587, 代表:朝岡良浩)および JSPS 二国間交流事業の助成を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Shota Funaki, Yoshihiro Asaoka(2016): Long-term change in ablation area of tropical glaciers by Landsat data, Procedia Engineering, Vol.154, pp.168-175.
- 2) Dozier,J.(1989): Spectral signature of alpine snow cover from the landsat thematic mapper, Remote Sensing of Environment, 28, pp.9-22

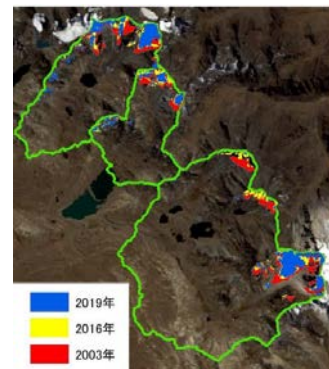


図-3 1987 年, 2016 年, 2019 年の氷河域の比較

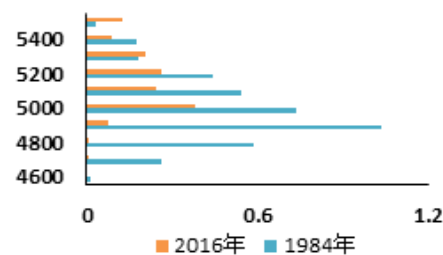


図-4 コンドリリ氷河の高度分布

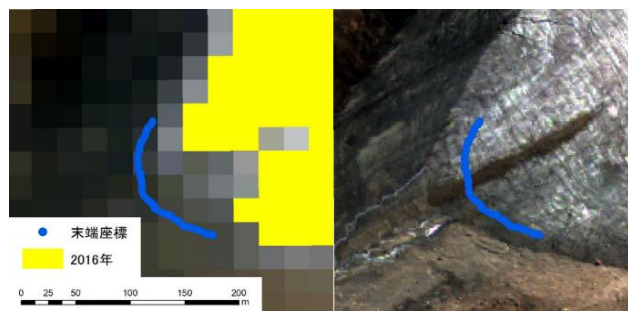


図-5 2016 年の氷河域の衛星画像
左:Landsat8, 右:Geo eye-1