

人工衛星 Sentinel-1 のマイクロ波データを用いた熱帯氷河のモニタリング

日本大学工学部 学生会員 ○堀江 祐希

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 Pablo Fuchs

1. はじめに

南米のボリビアの首都ラパスとそれに隣接する都市エル・アルトの年間降水量は約 500mm と少なく、乾季になるとほとんど降雨がないため、熱帯氷河からの融解水を重要な水資源としている。しかし、この熱帯氷河は地球温暖化による気温上昇の影響を受けやすく、長期的な減少が確認されている¹⁾。そのため、ラパスとエル・アルトの水不足が懸念されている。水不足の対策を講じるために氷河からの流出量を推定する研究が行われており、氷河の融解・流出量は氷河域の面積と気象データをモデルに入力することで算出できる。先行研究では Landsat 衛星の光学画像を用いて氷河域の抽出をした。しかし、光学センサは雲の多い雨季や夜間の観測を行うことができず、月単位の定期的な観測は困難であった。よって年間を通して月単位で観測する方法を氷河先端の計測データを用いて検討する必要がある。

本研究は Sentinel-1 衛星に搭載されている合成開口レーダを用いて 2016 年 3 月と 2016 年 9 月のデータより氷河先端を推定し、合成開口レーダによる氷河先端の変動モニタリングの可能性を検討する。

2. 対象地域

図-1 に示すのは、トゥニ貯水池に流入する河川の流域とその流域に含まれる氷河である。対象地域のトゥニ貯水池は首都ラパスより北西へ約 30km に位置する。トゥニ貯水池集水域には 3 つの氷河が存在し、北部からコンドリリ氷河、トゥニ氷河、ワイナポトシ氷河である。本研究はこの 3 つの氷河のうちコンドリリ氷河の先端を対象とした。

3. 研究手法

Sentinel-1 衛星の合成開口レーダの画像(SAR 画像)は ASF Date Search Vertex より入手した。空間分解能は 10m である。氷河解析を行うため、SAR 画像のデジタルナンバー(DN)を(1)式を用いて後方散乱係数 β^0 に変換し、(2)式を用いて地球楕円体上での後方散乱係数 γ^0 へ変換した²⁾。

$$\beta^0 = \frac{DN^2}{A_\beta^2} \quad (1)$$

$$\gamma^0 = \beta^0 \tan \theta \quad (2)$$

ここで、 A_β は SAR データに付属する Look Up Table によって与えられるスラントレンジ面の正規化面積、 θ は局所入射角である。局所入射角は標高データの SRTM 1 秒メッシュを用いて計算した。

合成開口レーダはマイクロ波を発射し、地表面で後方散乱したマイクロ波を観測する。後方散乱は地表面の材質や状態、形状によって変化する。表面に凹凸のあるほど値が大きくなり、水面などの滑らかな表面ではマイクロ波が衛星に返らず、そのまま反射してしまうため値が低くなる。この特性を利用し、図-2 に示すように氷河先端を縦断する点を 15 点ずつ A から L まで作成し各地点の後方散乱係

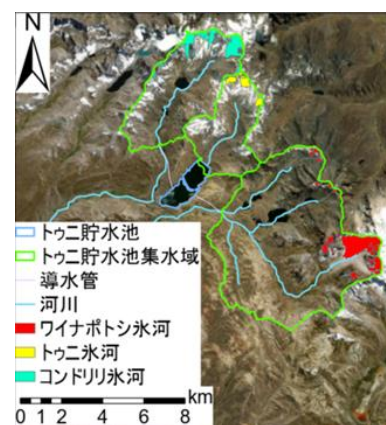


図-1 トゥニ貯水池周辺流域

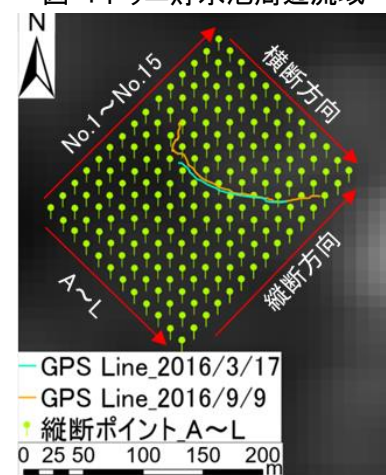


図-2 氷河縦断点と GPS 測位線

キーワード 後方散乱係数, リモートセンシング, SAR, ボリビア, アンデス山脈

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1, TEL 024-956-8732

数を抽出した。また、2016年3月と2016年9月に現地で観測したGPS測位の座標データを用いて真値を作成した。

4. 結果及び考察

氷河先端の真値となる点を2016年3月のGPSデータより決定した。真値はGPSデータと重なっているDからJの各縦断線上の点とした。DからGの縦断線はNo.9, Hの縦断線はNo.10, IとJの縦断線はNo.11となった。次に縦断線上で後方散乱係数の値が大きく変わる位置を氷河先端と仮定し、2016年3月のSAR画像より抽出したデータをNo.1からNo.15までの各区間の変化を数値化してGPSの真値と比較した。その結果、CからGの縦断線で勾配の値が最大となった直後の点と、真値であるNo.9の点が一貫することが分かった。しかしそれ以外の縦断線では一致しなかった。CからGの縦断線上の後方散乱係数を図-3に、それ以外の縦断線上の後方散乱係数を図-4に、勾配の値から求めた点より作成した先端線とGPSの真値を重ねたものを図-5に示す。このことから勾配が最大値になった区間と直後の区間に、地表と氷河の境界があると仮定した。

次に2016年9月のGPSデータを用いて仮定した手法を検証したところ、同じようにCからGの縦断線で真値と近い点を求めることができた。しかし、またCからG以外の縦断線からは真値と近い点を求めることができなかった。図-6に検証結果より求めた氷河先端線を示す。以上の仮定と検証によりCからGはこの区間ごとに勾配を求める方法で氷河先端を推定できると考える。A, BとHからLで求められなかった原因はそれらの列がU字谷の壁面部と氷河の側面部だったからと考える。CからGの列は氷河の中央付近だったため、横断方向に比較的平坦な地形だったと思われる。そのため、マイクロ波の局所入射角が一定であり、氷河の判別ができたと考えられる。しかし、氷河の側面付近は縦断線方向だけではなく、横断方向にも大きな傾斜があることと、縦断方向にU字谷の側壁が含まれているので、局所入射角が安定せず、後方散乱係数の値が大きくなり、氷河の判別ができなかったと考える。

以上の結果より氷河先端の全域を推定することはできなかったが、氷河中央付近に限定すれば合成開口レーダを用いて観測できると考えられる。

5. おわりに

本研究で合成開口レーダは、限られた地形条件であれば氷河域の判別に有効であることを示すことができた。今後の課題として、斜面部に対しても氷河の判別ができる手法を考える必要がある。

謝辞

本研究の一部はJSPS科研費（20K04712, 代表：朝岡良浩）およびJSPS 二国間交流事業の支援により実施された。ここに謝意を示す。

参考文献

- 1) Shota Funaki, Yoshihiro Asaoka (2016): Long-term change in ablation area of tropical glaciers by Landsat date, Procedia Engineering, Vol.154, pp.168-175.
- 2) 船木翔太・朝岡良浩・若林裕之・木内豪・Javier Mendoza (2018): C-band 合成開口レーダを用いた熱帯氷河の後方散乱特性, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, pp.I_889-I_894.

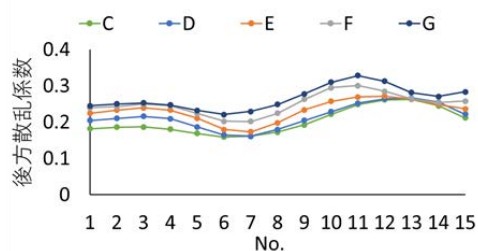


図-3 C～Gにおける縦断データ

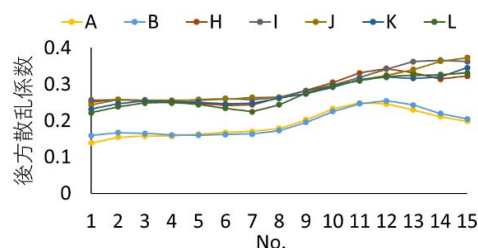


図-4 A, B, H～Lにおける縦断データ



図-5 2016年3月の氷河先端線



図-6 2016年9月の氷河先端線