

# 衛星画像を用いたコンドリリ氷河の経年変化

東北大学大学院 学生会員 ○森澤 海里  
東北大学大学院 正会員 朝岡 良浩  
東北大学大学院 正会員 風間 聡

## 1. 目的

近年、世界の氷河は急速に後退している。本研究の対象であるボリビアのコンドリリ氷河（図-1）についても、縮小傾向にある。年間降水量が約 500mm<sup>1)</sup>と低いアンデス高地で暮らす人々にとって、氷河の融解水は重要な水資源である。そのため、コンドリリ氷河の後退は重大な水資源問題を招く可能性があり、今後の対応のために、氷河融解の将来予測が必要となる。本研究では、Landsat 衛星画像データを用いて氷河融解量を計算するために必要となるアルベドを計算し、コンドリリ氷河周辺のアンドレス高地のアルベド分布図を作成することを目的とする。

## 2. 使用データと氷河域の抽出

本研究で使用した衛星画像はLandsat5号のTMセンサによって撮影された解像度 30m の画像であり、ブラジル国立宇宙研究所のホームページ(<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/index.php>)から取得した。まず、前処理としてアフィン変換による幾何補正を施し、氷河域の抽出を行った。氷河域抽出には正規化積雪指数(NDSI)を用いた。NDSIは雪の分光反射特性が波長 0.6μm 付近で高く、波長 1.5μm 付近において低いことを利用しており、Dozier<sup>2)</sup>により以下の式で定義された。

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

ここで、Green は緑色域(0.52~0.60μm)の観測値、MIR は短波長赤外域(1.55~1.75μm)の観測値である。NDSI は-1.0~+1.0 の値を示す。本研究では、NDSI が 0.7 以上であれば氷河域、0.7 未満であれば非氷河域とした。この結果をもとに氷河面積を計算した（図-2）。季節変動や分類精度によるばらつきはあるが、長期的な減少傾向が確認できた。

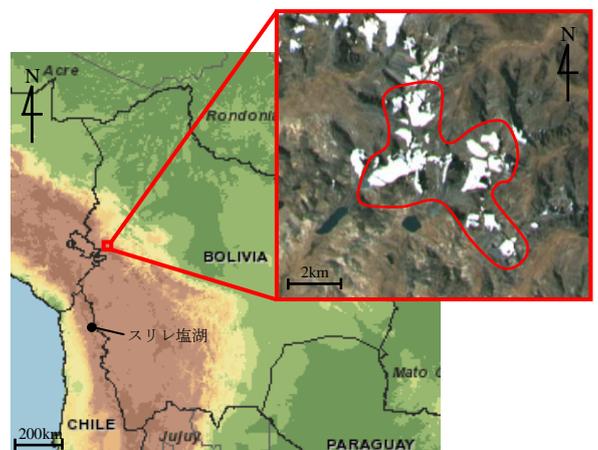


図-1 研究対象氷河（コンドリリ氷河）

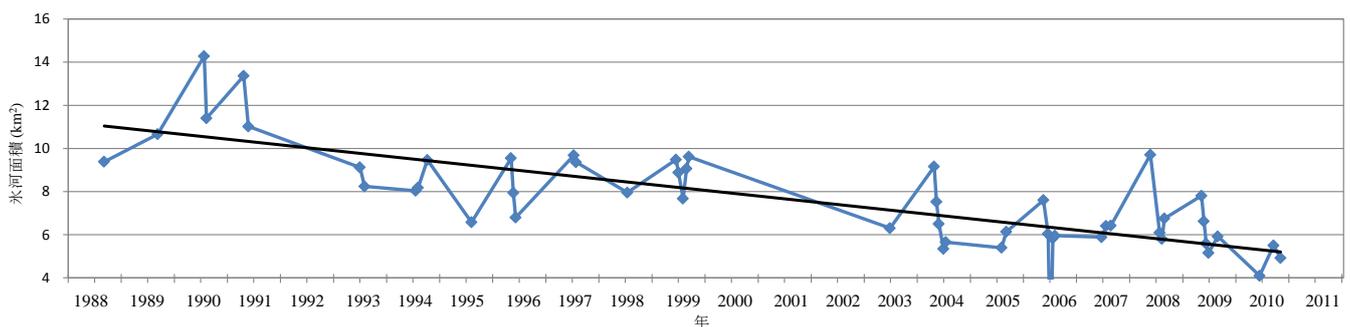


図-2 コンドリリ氷河面積の経年変化

## 3. アルベド推定方法

まず、衛星画像のデジタル値  $Q_{cal}$  を式(2)により分光放射輝度  $L_{\lambda}(W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1})$  に変換する。

$$L_{\lambda} = G_{rescale} \times Q_{cal} + B_{rescale} \quad (2)$$

ここで、定数  $G_{rescale}(W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1})$ 、 $B_{rescale}(W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1})$  は表-1 より得られる。

キーワード コンドリリ氷河, Landsat 衛星画像, NDSI, アルベド

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻水環境システム学研究室 TEL022-795-7455

アルベドは入射光と反射光のエネルギーの比であり、式(3)で定義される。

$$\text{albedo} = E_{\text{ref}} / E_{\text{in}} \quad (3)$$

ここで、 $E_{\text{in}}$  は入射光のエネルギー ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )、 $E_{\text{ref}}$  は反射光のエネルギー ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) を示す。

本研究では、図-3 に示すように可視域 (青, 緑, 赤) の分光放射輝度値 ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ) に各観測波長幅 ( $\mu\text{m}$ ) を乗じ、合計することで単位立体角あたりの反射エネルギー ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ ) を算出した。また、単位立体角あたりの入射エネルギー算出には、スリレ塩湖 (図-1) の衛星画像データを使用した。スリレ塩湖は、白色の平地であるため各デジタル値は高い値を示す。そこで、スリレ塩湖を純白とみなし、アルベドを 1 とすることで、スリレ塩湖における反射エネルギーは入射エネルギーと等しいと仮定して計算した。アルベド算出の際には、本来、入射光と反射光のエネルギーを用いるが、衛星高度に差がなく立体角は等しいため、単位立体角あたりのエネルギーを用いて計算を行った。

#### 4. 結果

スリレ塩湖のデジタル値には撮影日によって、大きなばらつきがあるため、バンド 1 のデジタル値が 245~255 を示す衛星画像を抽出し、アルベドの計算を行った。図-4 に、2005 年 9 月 4 日の衛星画像データを用いて作成したアルベド分布図を示す。氷河上でのアルベド計算値は他の土壌域や水域等と比べて高く、その平均値は 0.58 である。また、図-5 には、抽出した衛星画像の中でもバンド 1 のデジタル値が 246 と低い 2004 年 5 月 28 日と、255 と高い 2006 年 5 月 18 日のアルベド分布図から作成した相関図を示す。ただし、氷河は時間的変化が大きいため、相関係数計算の際には氷河上のアルベドは除いている。これらアルベド計算値間の相関係数は 0.97 と非常に高く、強い相関を示すため、アルベド計算値の空間的挙動は等しいと言える。

#### 5. まとめと今後の課題

1988 年から 2010 年の Landsat 衛星画像データを使用し、NDSI による氷河域の抽出を行い、コンドリリ氷河の後退を確認した。また、可視域 (青, 緑, 赤) のデジタル値を用いて、アルベドを推算し、アルベド分布図を作成した。今後の課題は、スリレ塩湖でのアルベドを 1 と仮定しているため、スリレ塩湖でのアルベドの真値を用いて、改めてコンドリリ氷河周辺におけるアルベドを計算し、精度を検討することである。

#### 参考文献

- 1) Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología– Bolivia : <http://www.senamhi.gob.bo/>
- 2) Dozier, J : Spectral Signature of Alpine Snow Cover from the Landsat Thematic Mapper, Remote Sensing of Environment, 28, pp.9-22, 1989.
- 3) GyaneshChander and Brian Markham : Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41, pp.2674–2677, 2003.

表-1 Landsat-5 TM のデジタル値から分光放射輝度値への較正<sup>3)</sup>

処理日	1984年3月1日～2003年5月4日		2003年5月5日～	
	$G_{\text{rescale}}$	$B_{\text{rescale}}$	$G_{\text{rescale}}$	$B_{\text{rescale}}$
バンド 1	0.602431	-1.52	0.762824	-1.52
バンド 2	1.175100	-2.84	1.442510	-2.84
バンド 3	0.805765	-1.17	1.039880	-1.17

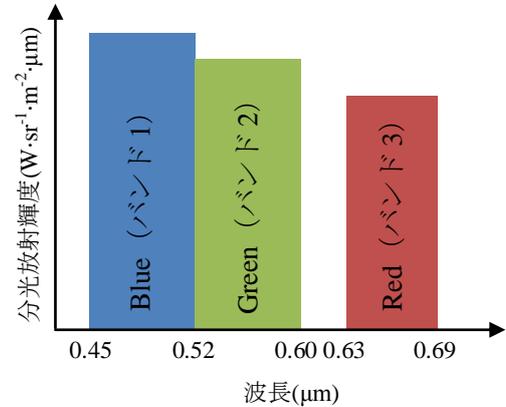


図-3 反射エネルギー算出方法

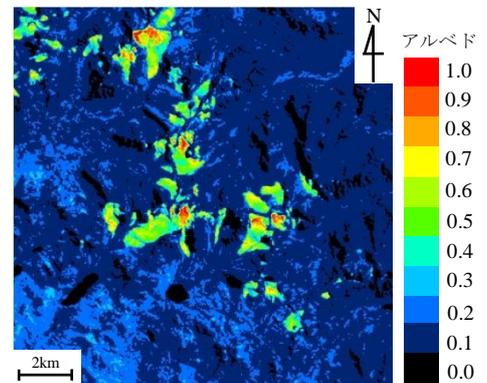


図-4 アルベド分布図 (2005 年 9 月 4 日)

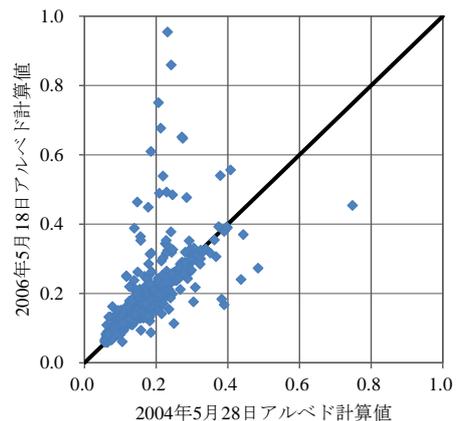


図-5 2004 年 5 月 28 日と 2006 年 5 月 18 日におけるアルベド計算値の相関図