

衛星画像を用いた熱帯氷河のアルベド時空間推定

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

ボリビアの都市部であるラパスやエル・アルトでは、年間降水量が約 500mm と少なく、乾季 (5~10 月) の月降水量は 10mm 程度となる。そのため、この地域では氷河融解水は重要な水資源であるが、氷河は急速に縮小している。氷河後退による水資源問題の対策を講じるためには、将来どれほどの水供給が可能であるかを把握しなければならず、氷河融解量の展望を行う必要がある。本研究では、熱収支による氷河融解計算の主要な要素であるアルベドの空間分布を推定した。

2. 研究対象氷河と使用データ

研究対象とする氷河は、中央アンデスの一部であるレアル山群上に位置する Condoriri 氷河 (緯度: 16°08'S~16°13'S, 経度: 68°12'W~68°16'W) である (図-1)。この氷河は標高 4800~5600m に広がり、氷河面積は約 5km² (2010 年現在) である。また、この氷河面積は 1988 年~2010 年の 22 年間で 41% 減少している¹⁾。

本研究で使用した衛星画像は、Landsat-5 号に搭載された TM センサによって 1989 年から 2011 年の間に撮影された計 62 枚の衛星画像であり、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。センサは地表面を可視光域から熱赤外域までの 7 つの波長帯で観測し、空間分解能は熱赤外域 (バンド 6) の 120m を除いて、30m である (表-1)。アルベド計算の際には可視域 (バンド 1~3) の衛星画像を用いた。

3. アルベド観測

2012 年 7 月 22 日 15 時に Condoriri 氷河末端から 400m 離れたエンド・モレーン上 (図-1 中 P1, 緯度: 16°11'03"S, 経度: 68°13'44"W, 標高: 4752m), 2012 年 7 月 20 日 13 時 30 分にウユニ塩湖 (図-1 中 P2, 緯度: 20°16'17"S, 経度: 67°25'26"W, 標高: 3662m) において、アルベドを測定した。エンド・モレーンとは、氷河上の岩屑が滑り落ち堆積し、谷氷河の末端にできる地形である。アルベドは、波長範囲 0.35~1.05μm を波長間隔 0.003μm で計測する携帯型分光放射計 MS-720 (英弘精機) を使用して観測した。アルベド観測値は携帯型分光放射計を使用して計測された鉛直上向き、下向きの分光放射 ($W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$) をそれぞれ波長範囲 0.35~1.05μm で積分することにより、全天日射量 ($W \cdot m^{-2}$), 反射日射量 ($W \cdot m^{-2}$) を算出し、式(1)で表されるアルベドの定義に従って計算した値である。

$$\alpha = \frac{E_{ref}}{E_{in}} \quad (1)$$

ここで、 α はアルベド、 E_{in} は全天日射量 ($W \cdot m^{-2}$), E_{ref} は反射日射量 ($W \cdot m^{-2}$) を示す。

キーワード ボリビア, Condoriri 氷河, アルベド, Landsat 衛星画像

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

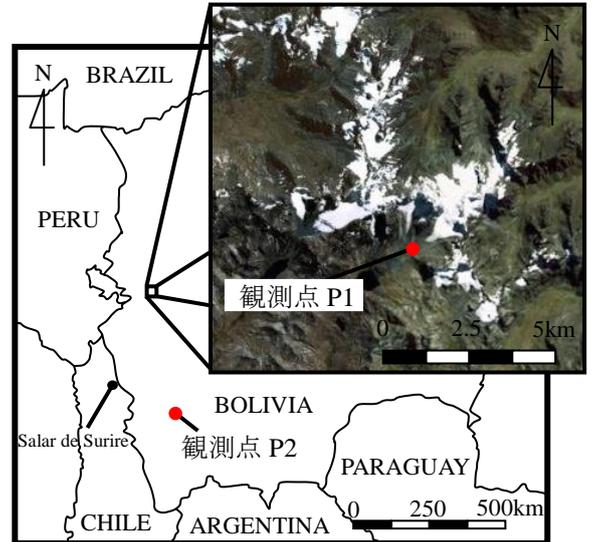


図-1 研究対象氷河

表-1 TM データの諸元

バンド	波長域(μm)	領域名	分解能(m)
1	0.45-0.52	可視	30
2	0.52-0.60		30
3	0.63-0.69		30
4	0.76-0.90	近赤外	30
5	1.55-1.75	短波長赤外	30
6	10.40-12.50	熱赤外	120
7	2.08-2.35	短波長赤外	30

放射量計測の際には、分光放射計の開口角を 180°として、計測者がつくる影が計測対象の地表面に映らないようにし、できるだけ腕を伸ばして衛星画像の解像度に合わせた 30m×30m の格子中の 36 点（ウユニ塩湖は 16 点）で鉛直上向き，下向きの分光放射を計測した。その結果を表-2 に示す。

4. アルベド推定方法

本研究では、シーンごとに地表面アルベド α と放射輝度 L の曲線を求め、この関係式 (式(2)) からアルベドを推定することで、アルベド分布図を作成する。この曲線には、(0,0), ($\alpha_{\text{moraine}}, L_{\text{moraine}}$), ($\alpha_{\text{max}}, L_{\text{max}}$) を通る関数を設定した。ここで、 α_{moraine} はエンド・モレーン上のアルベド観測値(=0.08), L_{moraine} は衛星画像から計算されるアルベド計測地点の放射輝度, α_{max} は設定するアルベド最高値, L_{max} はシーン内の放射輝度の最高値を意味する。雪氷上では反射日射量が非常に高く、デジタル値が上限値の 255 を示すセルが複数確認された。そのため、アルベドが高い領域では衛星画像から計算される放射輝度 L は実際より低く見積もられていると考えられる。そこで、アルベド α と放射輝度 L の関係を導くために、べき関数を用いた。

$$L = A\alpha^p \quad (2)$$

放射輝度 $L(\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1})$ は、可視域 (バンド 1~3) の分光放射輝度 $L_\lambda(\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1})$ に各観測波長幅 $\Delta\lambda(\mu\text{m})$ を乗じ、合計することで得られる (式(3))。

$$L = \sum_{i=1}^3 L_{\lambda_i} \Delta\lambda_i \quad (3)$$

ここで、分光放射輝度 L_λ はデジタル値 Q_{cal} から算出され、式中の定数 $G_{\text{rescale}}(\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1})$, $B_{\text{rescale}}(\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1})$ は表-3 より得られる (式(4))。また、式中の i はバンドを意味する。

$$L_\lambda = G_{\text{rescale}} \times Q_{\text{cal}} + B_{\text{rescale}} \quad (4)$$

5. 結果

安定した雪環境である氷河涵養域に存在するアルベド最高値 α_{max} の時間変化は小さいと考えられるため、アルベド最高値 α_{max} が常に一定の値であると仮定する。この値の決定には塩湖のアルベドを用いるが、Condoriri 氷河とウユニ塩湖の衛星画像のパスは異なる。そこで、ウユニ塩湖とスリレ塩湖のアルベドが等しいと仮定して、比較的 Condoriri 氷河に近いスリレ塩湖の衛星画像を用いる。エンド・モレーン上の放射輝度 L_{moraine} とアルベド α_{moraine} 、シーン内の最大放射輝度 L_{max} を固定し、アルベド最高値 α_{max} のみを変化させ、式(2)から得られる全 62 シーンの塩湖上アルベドの誤差が最小となるように計算した結果、アルベド最高値 $\alpha_{\text{max}}=0.82$ と決定した。新雪のアルベドは 0.75~0.95 であるため、本研究で用いたデータのほとんどが乾季のものであることやミックスピクセルの影響を考慮すれば、妥当な値であると思われる。また、トゥールスカラー画像の目視判読により氷河域を判別した結果、氷河域のアルベド計算値は 0.14~0.82 と非常に幅広い値をとった (図-2)。

謝辞: 本研究は、環境省の環境研究総合推進費(S-8)と地球規模課題対応国際科学技術協力事業(SATREPS)の支援により実施された。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- 1) 森澤海里, 朝岡良浩, 風間聡: 衛星画像を用いた Condoriri 氷河のアルベドの空間挙動推定, 土木学会論文集 G (環境), Vol. 68, No.5, pp.153-158, 2012.
- 2) Chandler, G. and Markham, B.: Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 41, pp.2674-2677, 2003.

表-2 アルベド観測結果

	平均値	標準偏差
エンド・モレーン	0.08	0.020
ウユニ塩湖	0.69	0.015

表-3 Landsat-5 TM のデジタル値から分光放射輝度値への較正²⁾

処理日	1984年3月1日～ 2003年5月4日		2003年5月5日～	
	G_{rescale}	B_{rescale}	G_{rescale}	B_{rescale}
バンド 1	0.60	-1.52	0.76	-1.52
バンド 2	1.18	-2.84	1.44	-2.84
バンド 3	0.81	-1.17	1.03	-1.17

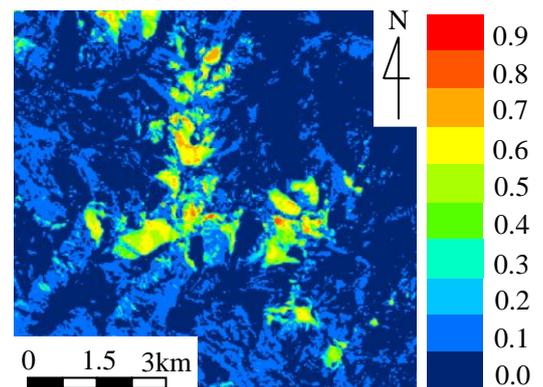


図-2 アルベド分布図 (2008年8月11日)