

# アンデス熱帯氷河における融解特性の評価

東北大学大学院工学研究科 学生会員 ○吉澤一樹  
東北大学大学院工学研究科 正会員 朝岡良浩  
東北大学大学院工学研究科 正会員 風間 聡

## 1. 背景と目的

ボリビアの首都ラパスの年間降水量は約 600mm と少なく、氷河の融解水を主要な水源としている。近年、地方部からの急激な人口流入が続いており、水需要は今後増える見込みである。また、気候変動に伴う氷河後退も発生しているため氷河融解水を起源とする将来的な水資源量を評価する必要がある。

Fuchs *et al.*(2013)は氷河の質量収支に着目し、涵養域と消耗域を考慮した氷河融解・質量収支(ETI, Enhanced temperature index model with albedo parameterization<sup>1)</sup>)モデルをボリビアの熱帯氷河に適用した<sup>1)</sup>。ETI モデルでは日射と気温の 2 つの気象項目からアンデス氷河特有のエネルギー収支を再現して、Zongo 氷河においてパラメータ最適化が行われた。しかし、氷河毎に氷河の規模や地形依存性などは異なるため、これらを考慮してパラメータを最適化する必要がある。そこで、本研究はボリビア・Condoriri 氷河で ETI モデルのパラメータ最適化を行い、パラメータの影響因子について考察する。

## 2. 対象地域と使用データ

研究対象地域はラパス首都圏の主要な水源となっているボリビア西部に位置する Condoriri 氷河 (0.60km<sup>2</sup>) (図-1) である。水位計(HCG)の設置地点の流域面積は 2.49km<sup>2</sup> である。既往研究<sup>1)</sup>が行われた Zongo 氷河(3.50km<sup>2</sup>)は Condoriri 氷河の南東約 13km 地点に位置する。

氷河域抽出には衛星画像が使用され、正規化積雪指数<sup>2)</sup> (NDSI, Normalized Difference Snow Index)を算出して、NDSIが 0.4 以上の画素を氷河域とした。モデル計算のために、氷河の下流側に設置した気象観測装置(MC1)から 2013 年 7 月 1 日~2014 年 6 月 30 日の 1 年間の気象データを取得した。また、モデル計算の検証のために、氷河下部に設置した水位計から気象データと同様に 1 年間の流量データを取得した。

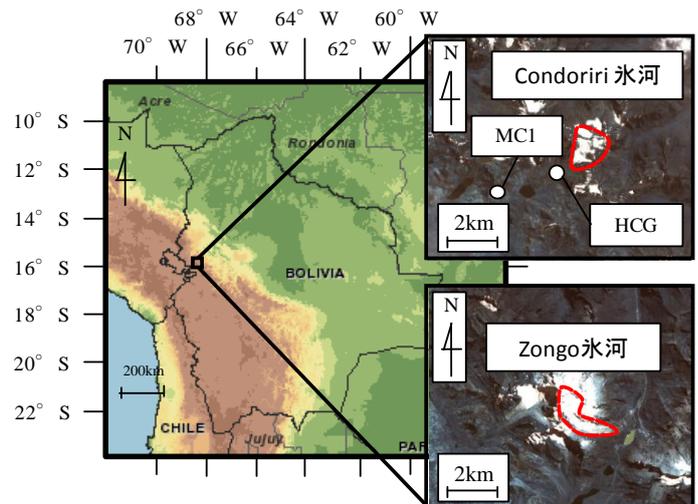


図-1 研究対象地域

## 3. 氷河融解モデル

本研究では ETI モデルを用いて 1 年間のシミュレーションを行った。氷河の質量収支(GMB, Glacier Mass Balance)は日毎の降雪量(cm)、融解量(cm/日)、昇華量(cm/日)から計算する。昇華量は Zhang *et al.*の経験式<sup>3)</sup>より計算する。融解量  $M_i$  (cm/日)は  $i$  日の日平均気温  $T_i$  (°C)、日平均日射量  $G_i$  (W/m<sup>2</sup>)、アルベド  $\alpha_i$  から以下のように計算する。

$$M_i = \begin{cases} TF \cdot T_i + SRF \cdot (1 - \alpha_i) \cdot G_i & (T_i > T_c) \\ 0 & (T_i \leq T_c) \end{cases} \quad (1)$$

キーワード 氷河融解・質量収支モデル, パラメータ最適化, モデル検証, 地形依存性, Condoriri 氷河, Zongo 氷河

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学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

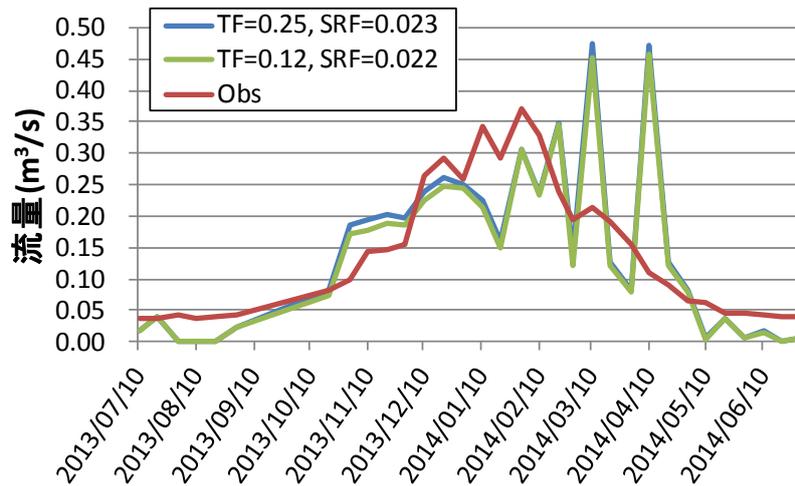


図-2 観測流量とモデル計算流量の比較

ここで、TF、SRF はそれぞれ気温と日射に関する融解係数である。T<sub>c</sub> は降雨と降雪の閾値であり、本研究では 1.5°C 以下の場合の降水を降雪とした。アルベド  $\alpha_i$  は Oerlemans, J. et al. の経験式<sup>4)</sup>より計算する。氷河下部の流量データを用いて年間流量で検討を行った。流量は以下の水収支式から算定した。

$$\text{年間流量} = \text{氷河融解量} + \text{降雨量} \times \text{流域面積} + \text{融雪量} \times (\text{流域面積} - \text{氷河面積}) \quad (2)$$

年間降雨量は日降雨量を流域面積に乗じて算出した。年間融雪量は日降雪量を流域面積から氷河面積を除いたものに乗じて算出した。2013年7月~2014年6月の1年間の観測流量とモデル計算の結果を比較し、TF、SRFの2つの融解係数について最適値を求めた。

#### 4. 結果および考察

融解係数の本研究で得た最適値(TF=0.25, SRF=0.023)と Fuchs *et al.* による Zongo 氷河における最適値<sup>1)</sup>(TF=0.12, SRF=0.022)を用いたモデル計算の結果と観測流量を比較したものを図-2に示す。年間流量のモデル計算値の誤差は既往研究の 175324m<sup>3</sup> に対して、392m<sup>3</sup> と大きく精度が向上した。流量(m<sup>3</sup>/s)の RMSE(Root Mean Squared Error)は 0.0964(m<sup>3</sup>/s)である。Zongo 氷河に比べ、Condoriri 氷河で TF の値が大きい。つまり、Condoriri 氷河では Zongo 氷河に比べて気温の及ぼす影響が大きいと言える。これは、氷河の規模が小さく、熱容量が小さいためだと考えられる。また、同じ気候状態が続いた場合、Zongo 氷河に比べて Condoriri 氷河の方が早く後退すると考えられる。

#### 5. 今後の課題

本研究では、1年間の総融解量に着目し、ETI モデルのパラメータの決定、考察を行った。今後は、融解係数と氷河の地理的要素の関係性について詳細な解析に取り組む予定である。

#### 謝辞

本研究は、地球規模課題対応国際科学技術協力(SATREPS)の援助による GRANDE によって実施されました。ここに記して謝意を表する。

#### 参考文献

- 1) FUCHS, P. *et al.*, 2013: Estimation of glacier melt in the tropical Zongo with an Enhanced temperature index model, *Journal of Japan Society Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)*, Vol.69, pp.187-192
- 2) Dozier, J., 1989: Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper, *Remote Sensing Environment*, 28, pp.9-22
- 3) Zhang, W. *et al.*, 1999 : Observation and estimation of daily actual evapotranspiration and evaporation on a glacierized watershed at the headwater of the Urumqi River, Tianshan, China, *Hydrological Processes*, 13, pp.1589-1601
- 4) Oerlemans, J. *et al.*, 1998: A 1 year record of global radiation and albedo in the ablation zone of Morteratschgletscher, Switzerland, *Journal of Glaciology*, 44(147), pp.231-238