

ボリビア・熱帯氷河群における融解特性評価

東北大学大学院工学研究科 学生会員 ○吉澤一樹

日本大学工学部 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

年間の降水量が約 600mm と少ない、ボリビア・ラパス首都圏では、氷河融解水が主要な水源の一つである。近年、気候変動に伴う氷河後退が発生しているため、将来的な水資源量の枯渇の危険性が示唆されている。加えて、地方部からの急激な人口流入も発生しているため、将来的な水資源量を早急に評価する必要がある。

氷河融解量の推定を行う上で、氷河の涵養域と消耗域を考慮する必要がある。この点に着目し、Pellicciotti *et al.* (2005)は氷河融解・質量収支モデル(ETI, Enhanced temperature index model¹⁾)をアルプス氷河で開発した。Fuchs *et al.* (2013)は、この ETI モデルをボリビアの熱帯氷河に適用した²⁾。この既往研究では日射と気温の2つの気象項目からアンデス熱帯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、各氷河で氷河の規模や地形依存性などは異なるため、ボリビアの他の氷河に適用するには、パラメータを各氷河で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、氷河や地形のデータを用いた解析を行うことで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 (0.60km²) (図-1) である。水位計(HCG)の設置地点の流域面積は 2.49km² である。既往研究²⁾が行われた Zongo 氷河(3.50km²)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(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。

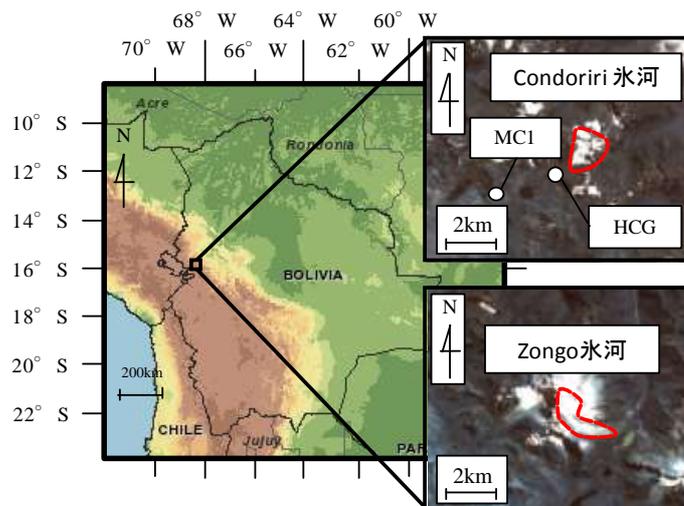


図-1 研究対象地域

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³⁾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/m²)、アルベド α_i から以下のように計算する。

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

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_c は降雨と降雪の閾値であり、本研究では 1.5°C

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

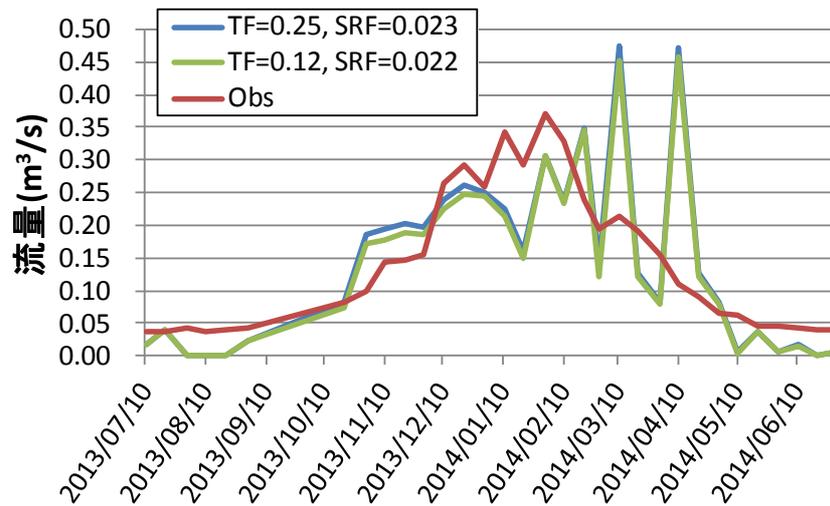


図-2 観測流量とモデル計算流量の比較

以下の場合の降水を降雪とした。アルベド α_i は Oerlemans, J. et al. の経験式⁴⁾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¹⁾(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 175324m³に対して、392m³と大きく精度が向上した。流量(m³/s)の RMSE(Root Mean Squared Error)は 0.0964(m³/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) Pellicciotti, F. et al., 2005: An enhanced temperature-index glacier melt model including the shortwave radiation balance: development and testing for Haut Glacier d'Arolla, Switzerland, *Journal of Glaciology*, Vol.51, pp.573-587
- 2) 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
- 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