

静止気象衛星解析高解像度短波放射データを用いた雪氷融解量推定 Estimation of Snow and Ice Melt Using High-Resolution Shortwave Radiation Data from Geostationary Satellite Analysis

○新川遥也・田中賢治・Temur Khujanazarov・峠嘉哉・萬和明

○Haruya SHINKAWA, Kenji TANAKA, Temur Khujanazarov, Yoshiya TOUGE, Kazuaki YOROZU

In arid Kyrgyzstan, accurate glacier melt estimation is essential for water management. This study evaluates high-resolution satellite solar radiation data for the complex Karabatkak Glacier using the SiBUC model. Two primary errors were identified: false cloud detection over fresh snow and omission of terrain shading. False detection peaks in winter and May around solar noon, driven by high albedo and solar altitude. Correcting the "snow-as-cloud" error increased the discrepancy in SWE, revealing that false detection previously offset the overestimation from ignoring terrain shadows. Thus, terrain shading is a dominant factor in steep glacial regions. Future work will integrate DEM-based terrain correction to enhance the precision of melt estimations for the Issyk-Kul region.

1. はじめに

乾燥地域に位置する中央アジア・キルギス共和国において、氷河の融水は農業・生活用水を支える極めて重要な水資源である。近年の気候変動に伴う氷河の縮小は深刻であり、その融解量を正確に推定することは、将来の水資源管理において喫緊の課題となっている。

先行研究では、陸面過程モデル SiBUC と気象庁の再解析データ JRA-55 を用い、キルギス・Bordu 氷河における融解量推定を行ってきた。しかし、再解析データは局所的な雲の影響を十分に反映できず、日射量を過大に評価することで融解量を大きく見積もる傾向があった。卒業研究では、千葉大学提供の衛星解析高解像度日射量データを用いた結果、Bordu 氷河において局地的な雲による日射減少を精度よく捉え、融解量推定の精度が向上することを明らかにした。そこで本研究では、より地形が急峻で複雑な Karabatkak 氷河を対象とし、衛星解析データが地形の陰や新雪と雲の誤判定に起因する誤差をどのように含んでいるかを解明し、より高精度な雪氷融解量推定を目的とする。

2. 本研究の目的：Karabatkak 氷河への展開

本研究では、前報の成果をさらに発展させ、Bordu 氷河よりも地形が急峻で複雑な Karabatkak 氷河を対象とする。本稿では、衛星解析データに含まれる「新雪と雲の誤判定」と「地形の陰」という 2 つのエラーに着目し、融解量推定に与える影響を把握することを目的とする。

3. 解析手法とデータ

3.1 対象地域と使用モデル

解析対象はキルギスに位置する Karabatkak 氷河とし、陸面過程モデル SiBUC を使用する。入力気象データとして、実際に現地で回収した現地観測データ（気温、風速、気圧、相対湿度、降水量、短波放射、長波放射）、千葉大学の竹中特任助教より提供された衛星解析高解像度短波放射データ、および再解析データ JRA3Q（短波放射）を用いた。

3.2 誤判定の定義

衛星解析アルゴリズムにおいて、地表面の新雪を雲と誤認するエラーを抽出するため、以下の条件を「誤判定」と定義した。

A: アルベド > 0.5 （新雪または残雪状態）

B: $\frac{\text{衛星解析短波放射値}}{\text{現地観測短波放射値}} < 0.3$

この誤判定を 3 回以上記録した日を完全誤判定日とする。

4. 結果と考察

4.1 新雪の雲誤判定エラーの季節・時刻特性

抽出された誤判定時間の発生頻度を分析した結果、積雪期である 10 月～12 月および 2 月～5 月に頻発することが明らかになった。特に 5 月には 10 日間の完全誤判定日が確認された。これは、山岳氷河特有の春季の降雪により氷河表面が新雪に覆われること、および夏至に近く太陽高度が高いために、雪面からの反射強度が衛星センサーの雲判

定閾値を容易に突破してしまうことが原因と考えられる。

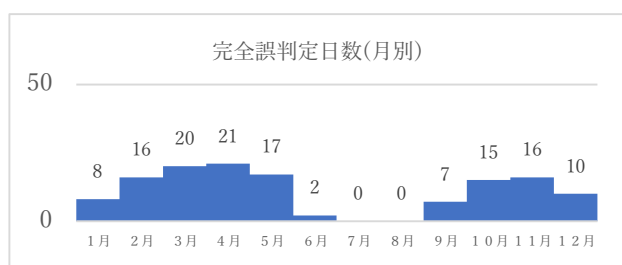


図 1：月別誤判定発生日数の推移

また、誤判定の時刻別発生頻度のグラフを作成したところ、正午（12 時～13 時）を頂点とする明確な山型の分布を示した（図 2）。もしエラーの原因が「本物の雪」であれば発生時刻はよりランダムになるはずだが、正午に集中していることは、太陽高度の上昇に伴う反射輝度の増大を衛星が雲と誤認している物理的な証拠である。さらに、12 月に比べ 5 月は山の裾野が広く、早い時間帯から誤判定が始まっていることが確認された。これは太陽高度が高い時期ほど、誤判定が生じる時間帯が拡大することを示唆している。

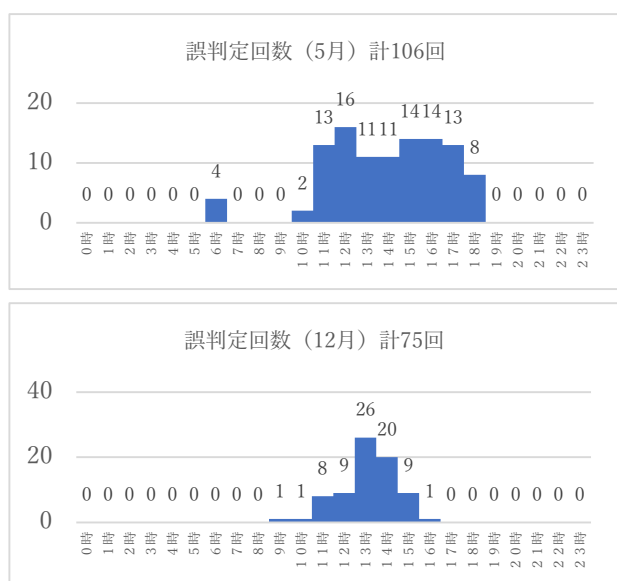


図 2：時刻別の誤判定回数（12 月と 5 月の比較）

4.2 誤判定修正による SWE への影響

誤判定フラグが立った時間帯の日射量を現地観測データで置き換える処理を行い、SWE（積雪水量）の変化を試算した。その結果、修正後のデータを用いた推定値は、修正前よりもさらに融解が進み、現地観測による真値から遠ざかるという結果が得られた（図 3）。

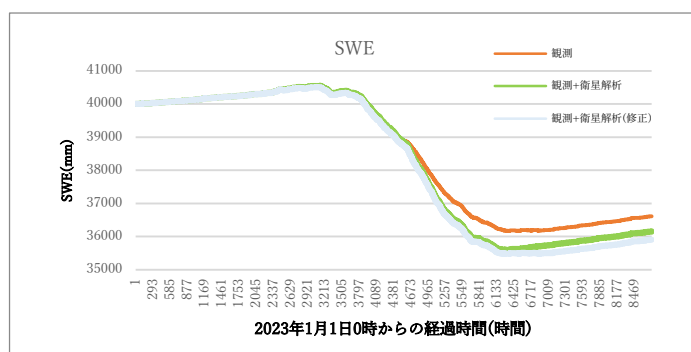


図 3：SWE の比較（現地観測，修正前，修正後）

この結果は、衛星解析データに含まれる 2 種類のエラーの存在を示している。

①地形の陰によるエラー（過大評価要因）

：衛星解析データは周囲の山による遮蔽を考慮していないため、短波放射量を多く見積もる。

②新雪誤判定エラー（過小評価要因）

：新雪を雲と誤判定、短波放射量を低く見積もる。修正前は、偶然にも②の負の誤差が①の正の誤差を相殺していたが、②のみを取り除いたことで、地形の陰を考慮していないことによる過大な短波放射量がダイレクトに反映され、真値から遠ざかったと考えられる。つまり、修正後の衛星解析データを入力して得られる SWE と現地観測短波放射データを入力して得られる SWE の差こそが、本氷河における「地形の陰」の影響の大きさを示していると言える。特に、融雪期の SWE 変化に対する地形の陰の影響が大きい。

5. 今後の展望

本解析により、Karabatkak 氷河のような急峻な山岳地形においては、衛星の雲誤判定以上に地形による遮蔽（日陰）が融解量推定に支配的な影響を与えることが判明した。

今後は、衛星解析短波放射データに DEM を用いた地形補正（微地形データに基づく日影計算）を行い、衛星解析データの地形的に日陰になる時間に対し、地形効果を考慮した補正を行う。その後、地形の陰を考慮した高解像度衛星解析データを用いて、より精度の高い雪氷融解量推定を行い、イシクル湖周辺領域での融解量推定を行う。

参考文献

- 1) 岩川岳史:中央天山地域における氷河観測による雪氷水文プロセスの改良, 修士論文, 京都大学, 2022