第Ⅱ部門　陸面過程モデル SiBUC を用いたイシククル湖表面温度の再現性向上に向けた基礎的検討

京都大学大学院工学研究科　学生会員　○新凌太郎
京都大学防災研究所　正会員　萬和明
京都大学防災研究所　正会員　田中賢治
京都大学防災研究所 正会員 Temur Khujanazarov
千葉大学環境リモートセンシング研究センター　正会員　峠嘉哉

１．はじめに

中央アジアの主要な大規模水体が水循環に果たす役割は分かっておらず、気象予測精度の向上による最適な水資源の利用のためにも、それらが中央アジアの水循環に与える影響を把握することが求められている。先行研究[1)]では、衛星による観測値を用いて中央アジアの主要な大規模水体およびその周辺の表面温度を分析し、イシククル湖は水循環への影響が大きいと推測される水体であることを示した。本稿では、陸面過程モデル SiBUC を用いて、イシククル湖周辺における熱収支特性の再現を試みる。

２．使用するデータと分析方法

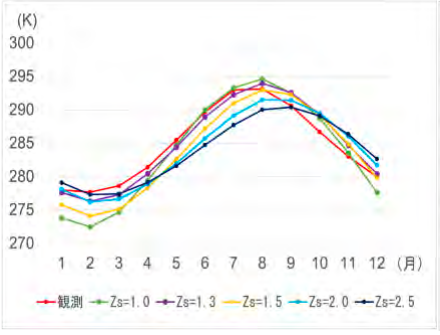
本稿では、先行研究[2)]を参考に、陸面過程モデル SiBUC を用いて、イシククル湖周辺における熱収支特性の再現を試みた。計算範囲は東経 75.5 度から 79.5 度、北緯 41.5 度から 43.5 度とし、格子サイズは 0.05 度、計算対象は 2002 年とし、気象強制力には JRA55 を用いた。表面温度の観測値には、MODIS の月単位 0.05 度格子の表面温度データ MOD21C3 version6.1 を基に作成した、2002 年の UTC 6 時の月平均表面温度データを用いた。

イシククル湖は世界で有数の水深の深い湖であり、この特徴を SiBUC において表現するために、水体の水深を示す有効深さ（Zs）を調整した。また、先行研究[1)]において、SiBUC による水面温度の再現計算に過小評価が確認されたため、水体のアルベドを表すパラメータを調整した。具体的には、SiBUC では水体のアルベド α を $\alpha = \mathrm{asw}\ \alpha^{\mathrm{asw}_2}$ と表現していることから、同式におけるアルベドに関するパラメータ（asw、asw2）の設定値を変更した。以上の変更を複数設定した SiBUC の計算を行い、SiBUC の計算値と観測値の比較分析を行った。

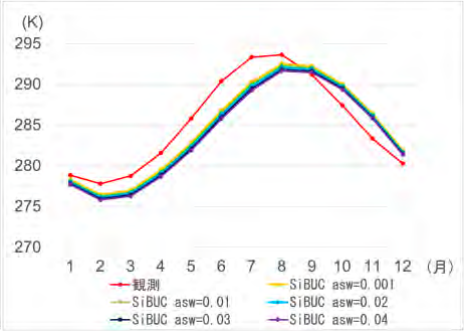
また、気象強制力の精度を評価するために観測値と比較した。下向き短波放射の観測値には、静止気象衛星（Meteosat）から千葉大学環境リモートセンシング研究センター竹中栄晶特任助教により作成された、0.04 度格子の 2023 年の日毎のデータを用いた。気温の観測値には、Global Surface Summary of the Day（GSOD）の 1984 年のデータから作成した月平均値を用いた。

３．結果

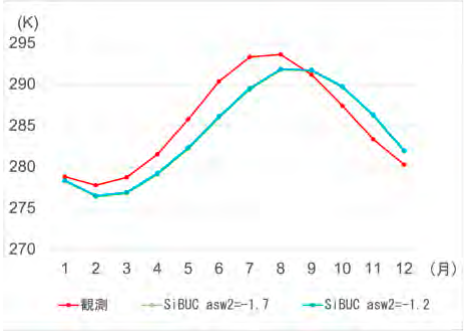
イシククル湖水面中心部の 1 格子における UTC 6 時の SiBUC による放射温度の計算値（2002 年の月平均値）と MODIS による表面温度の観測値の比較を図−1、図−2、図−3 に示す。図 1 では、SiBUC の計算では、有効深さ（Zs）を一般的な水体の値の 4 倍となる 2.0 を中心に設定し、他の設定値は一定値（asw=0.03、asw2=-1.7）として比較した。有効深さによって、最大値と最小値の差である振幅や位相が変化し、Zs=2.0（水色線）のとき、振幅の大きさが最も観測値（赤色）に近づき、Zs=1.3（紫線）のとき、位相が最も観測値（赤色）に近づくことがわかる。



図−1　有効深さの変更による SiBUC の計算値と観測値の比較。



図−2　アルベドの変更による SiBUC の計算値と観測値の比較。

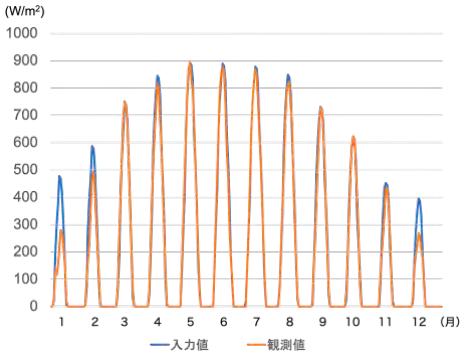


図−3　天頂角の変更による SiBUC の計算値と観測値の比較。

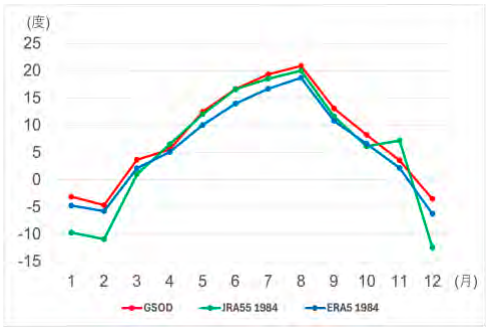
同様にアルベドについても設定値を変更して比較を行い、asw の比較では、Zs=1.9、asw2=-1.7、asw2 の比較では、Zs=2.0、asw=0.02 と設定した。asw を小さくすると、年間を通してわずかに温度が高くなることが分かり（図-2）、asw2 を大きくしても年間を通してわずかに温度が高くなることが分かる（図-3）。

以上の計算設定の変更では、有効深さによって年間を通した温度の振幅や位相が大きく変化する一方で、アルベドに関するパラメータは、温度の増減に微量に変化を与えるのみで、放射温度に対してほとんど影響を与えないことが分かった。また、表面温度の計算値と観測値において位相差や振幅の差があり、有効深さやアルベドに関するパラメータの調整ではその温度差を解消することができなかった。

SiBUC の計算では、水体の設定値を変更しても、計算値と観測値に振幅や位相の差があり、イシククル湖の水面温度を十分に再現できていない。そこで、SiBUC の入力となる気象強制力を精査することにした。特に、計算される放射温度に対して大きな影響を与える日射（下向き短波放射）と気温の入力値の精度に要因があると考えた。そこで、本稿では、SiBUC のモデル計算の入力となる JRA55 の下向き短波放射量と衛星観測値の比較、JRA55 の気温の標高補正値と気象観測値の比較を行い、入力値の妥当性の評価を試みた。まず、下向き短波放射の入力値と観測値の比較（イシククル湖中心の 1 格子）を図−4 に示す。1、2、12 月では観測値と比べて入力値が大きく、それ以外の期間では観測値と入力値が概ね一致しており、冬季を除いては年間を通して入力値の精度が高いことが分かる（図-4）。ここで、SiBUC の計算では、観測よりも大きい下向き短波放射量を与えているため、冬季から夏季にかけて、計算値の方が観測値よりも早く水面温度が上昇すると推測されるが、図-1〜図-3 を確認すると、観測値の方が早く上昇している。以上の結果から、入力として与える下向き短波放射は、冬季以外は精度が高く、冬季の誤差についても SiBUC における水面温度の計算精度の低下に対して与える影響は小さいことが分かる。



図−4　下向き短波放射の補正計算値と衛星観測値の比較。



図−5　JRA55 と ERA5 の気温の標高補正値と気象観測値（GSOD）の比較。

次に、SiBUC のモデル計算の入力となる JRA55 の気温の標高補正値と衛星観測値の比較（イシククル湖北岸の 1 格子）を図−5 に示す。同図より、1、2、12 月では、観測値と比べて JRA55 の入力値の方が著しく低く、それ以外の期間では概ね一致しているものの、冬季における JRA55 の入力値の精度は低いことが分かる。また、ここで他の気象データと比較し、その妥当性を検討するため、ERA5 の気温の標高補正値との比較も図−5 に示している。ERA5 の入力値は、年間を通して観測値と概ね一致しており、精度が高いことが分かる。ここで、図-1〜図-3 を確認すると、水面温度は冬季では観測値よりも計算値の方が低いため、気温の入力値が低いことが冬季における SiBUC の計算精度に大きく影響を与えていることが推測される。

４．まとめ

SiBUC の計算では、有効深さの値によって年間を通した水面温度の振幅や位相が変化するが、有効深さの調整だけではイシククル湖の水面温度を十分に再現できないことが分かった。また、入力として与える JRA55 の下向き短波放射量は精度が高い一方で、気温の標高補正値は、冬季において精度が低く、SiBUC の水面温度の計算精度低下の原因となっていることが示唆された。

参考文献

1) 新・萬・田中・峠・Temur，衛星観測と陸面過程モデルを用いた中央アジアの大規模水体の熱・水収支特性分析，水文・水資源学会研究発表会要旨集，PS-1-22，DOI: jshwr.38.0_159，2025.

2) Sadyrov Sanjar，Integrated Hydrological Modeling in Glaciated Mountain Basins: A Case Study in the Tien-Shan Mountains of Kyrgyzstan，Doctoral Thesis，118p，Kyoto University，2024.