

山岳域の陸面解析における雪氷融解プロセスに関する検討 Study on snow melting process in land surface model in mountainous area

○峠 嘉哉・田中賢治・中北英一

○Yoshiya TOUGE, Kenji TANAKA, Eiichi NAKAKITA

In Central Asia, since most of water resource is supplied in mountainous area in winter as snowfall, snow melting process is key factor to determine seasonal water resource. However, in the previous works with land surface model, there were early trends in the analysis and it was triggered by strong heat supply in mountainous region.

In this research, several studies are conducted and they were assessed by satellite-based snow cover area and monthly river discharge data. First of all, analyses at deferent spatial resolutions were compared. Secondly, elevation mosaic scheme was developed to consider a mixture of altitude within each mesh. And finally, altitude dependency of meteorological forcing for land surface analysis was studied. As a result of them, model was improved especially in spring, but there are still early trends on it.

1. はじめに

山岳域は一般に降水量が高い事が多く、特に乾燥域にとっては貴重な水資源の供給源となっている。筆者らが現在まで解析を行ってきた中央アジアにおいても同様で、山岳地で冬季を中心に降った降雪が夏にかけて融解することで灌漑による下流側の水需要が賄われている。そのため、水資源管理上山岳域での融雪過程は重要であるが、従来の陸面解析では冬季の融雪期が観測値より早い等の問題があったため、季節的に変化する水需給の変化について正確に表現することができなかった(峠ら, 2013)。そこで本研究では、山岳域での水熱収支解析手法について検討することで、その原因について考察し、現地の河川流量データや衛星解析を通した検証を行った。

対象流域は中央アジアに位置する Zaravshan 川流域である。上流はタジキスタンのパミール高原に位置し、高標高域に氷河を有する。下流はウズベキスタンのキジルクム砂漠を流れ、近年では大規模灌漑地による取水が原因で断流している。降水は主に冬季に山岳域において発生し、春から夏にかけて融解するために河川流量のピークは7月前後となる。

2. 解析手法

解析に使用したモデルは陸面過程モデル SiBUC (Tanaka, 2004) である。空間解像度は 5km で 1961～2000 年の 40 年間を解析した。夏季の河川水が

氷河からの融解によって涵養されているため、標高 4288m 以上のメッシュを氷河メッシュとすることで報告されている氷河面積 610km²を満たすよう設定した。以上に加え下記の検討・改良を行った。

i) 解析格子の空間解像度の違いに関する検討

従来の解析条件では標高をメッシュ平均値で与えたため、サブグリッドスケールの高標高域における融雪の融け残りを表現できていない可能性があった。特に、夏季においても雪が融け残っているのは解析格子規模に広がった領域ではなく、山頂付近や谷部といった地形条件上熱供給の少ない一部領域のみである。そこで、1km, 5km, 10km, 20km の 4 種類の空間解像度で解析を行い、それぞれを比較した。

ii) 標高モザイクスキームの検討

前節で検討したサブグリッドスケールの高標高域の影響は重要であるが、現実的に高解像度の解析を広域で行う事は難しい。そこで、標高帯の混在を低解像度での解析でも考慮するため標高モザイクスキームを構築し検討を行った。

一般的な陸面過程モデルではサブグリッドスケールの土地被覆の混在を考慮するためにモザイクスキームを用いている。これは解析メッシュ内の全土地被覆種に対し独立に解析を行った後、それらの面積率に応じて足し合わせるという手法であり、下の式 1 で表される。

$$F_{total} = \sum_i F_i V_i \quad (\text{但し, } \sum_i V_i = 1) \quad (1)$$

ここに、 F はフラックス、 V は面積率、添え字の i

はサブグリッドスケールの各要素を示す。従来は土地被覆に対して行う事が主流であったが、山岳域では標高の方が水熱収支に与える影響が大きいいため、本研究では標高が 1000m 以上のメッシュでは標高帯を用いたモザイクモデルを適用した。

iii) 気象要素の標高依存性

従来の陸面解析では、気象強制力の標高依存性は気温と気圧においてのみ考慮されていた。しかし、下向き長波放射量は気温に依存する気象要素であるため気温と同様に標高補正が必要である。加えて、比湿についても標高に応じて相対湿度が保存されるとした場合に比湿が保存される従来の解析結果と比べて高標高域で湿度が高くなり、蒸発量の過小評価や凝結量の過大評価に繋がっていた可能性がある。

下向き長波放射量の標高依存性は以下の方法で設定した。まず、シュテファンボルツマンの式

$$L = \sigma T^4 \quad (2)$$

より、

$$\frac{\partial L}{\partial T} = 4\sigma T^3 = \frac{4L}{T} \quad (3)$$

一方、気温の標高依存性は

$$\frac{dT}{dz} = -0.006 \quad (4)$$

となるため、式 3 と式 4 より、

$$\frac{\partial L}{\partial z} = \frac{\partial L}{\partial T} \frac{dT}{dz} = -0.006 \times 4\sigma T^3 \quad (5)$$

この式 5 に基づいて標高補正を行った。ここに、 L は長波放射(W/m^2)、 T は気温(K)、 z は標高(m)、 σ はシュテファン=ボルツマン定数である。

3. 解析結果と考察

まず、新旧手法間で雪被覆面積の解析結果を衛星観測結果と共に示したのが図 1 である。なお、ここで使用した衛星データは、MODIS の MOD10A2 と MYD10A2 の 8 日間最大積雪域データである。図より解析結果が雪被覆面積を過小評価していることや、新手法によって特に春や秋の雪被覆面積が改善されている事が分かる。次に、月平均河川流量を比較したのが図 2 である。新手法では従来手法より春先の融雪出水の時期が一ヶ月程遅れ、一方で夏季の氷河の融解強度が下がる事が分かった。今後は適切な氷河域の設定方法についても検討する必要がある。

両図において春や秋で改善効果が高いことは単年性の雪の積雪融解過程が改善されたことを意味し、一方で夏季の河川流量が過小評価するなど、氷河の

融解過程には依然として問題があると考えられる。

3 節で示した二つの改善手法を比較すると、気象データの標高補正に比べて標高モザイクの改善効果は比較的少なかった。その原因は、今回モザイクスキームで表現した要素は標高のみであったため、例えば氷河は谷部等の熱供給の少ない領域に立地することから、斜面方位による短波放射の補正方法等についても今後は検討することが必要である。

4. 結論

本研究では山岳域の水熱収支解析を改善させるための検討として、解析の空間解像度やサブグリッドスケールの標高帯の混在の影響、気象強制力の標高依存性について考察を行った。その結果、特に春頃の単年性の雪の融解過程において改善が見られた一方、衛星解析結果や河川流量観測値と比較して依然としてモデル上の融解強度は強かった。今後は地表面温度の衛星解析結果等とも比較することで山岳域の熱環境のモデル化について検討することが必要である。

参考文献

- 1) 峠嘉哉, 田中賢治, 小尻利治, 浜口俊雄 : 集水域の灌漑地拡大の影響を考慮した水・熱収支解析によるアラル海の経年的縮小の再現, 環境科学会誌, Vol26-2, pp180-190, 2013.

キーワード: 陸面解析, SiBUC, 山岳地, 融雪

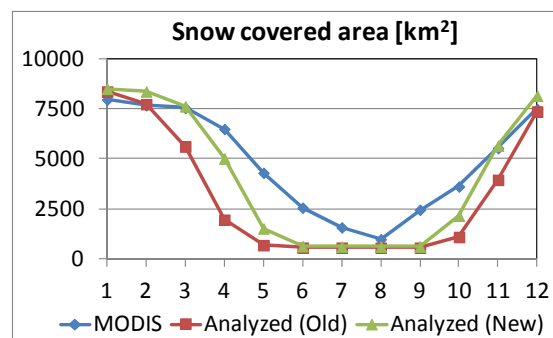


図 1 雪被覆面積の比較

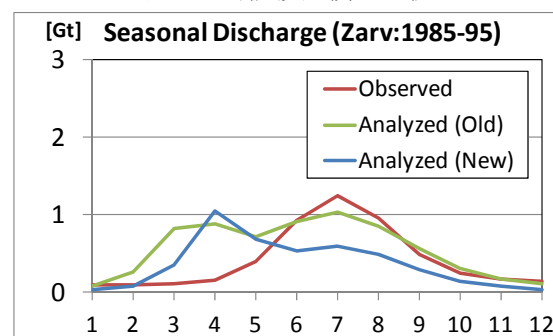


図 2 月平均河川流量の比較