

## 審査の結果の要旨

氏名 マハッジョール シュルスタ

季節積雪と氷河は、水資源として重要な役割を担っており、その融解流出量の推定と、気候変動による影響の評価において、信頼性の向上が急務となっている。季節積雪や氷河からの融解流出量の推定には、衛星観測を用いた手法が開発されてきたが、気候変動の影響評価までを視野に置くと、衛星観測値は利用できないことから、大気からの強制力のみで積雪、氷河の融解流出現象を精度よく評価できるモデル開発が望まれている。本論文は、積雪、変態、融解、流出の鉛直一次元過程とその空間分布特性を物理的に表現できる新たな分布型雪氷河融解流出モデルを開発するとともに、雪氷水文過程において不確定性がきわめて大きな降雪量の補正手法の提案を目的としている。

分布型積雪氷河融解流出モデルの開発において、本論文では、3層の積雪層を考慮した陸面スキーム(SSiB3)とアルベド予測に優れた陸面スキーム(BATS)をエネルギー水収支分布型水循環モデル(WEB-DHM)に組み込み、積雪層、土壌層の水の流れと、地表面でのエネルギー収支の両方を、物理的に表現することに成功している。また、WEB-DHMでは氷河流出特性を表現することができないため、氷河デブリの有無に応じて変化する熱収支特性を表現できるモジュールを開発し、WEB-DHMに組み込んでいる。

このようにして開発された分布型積雪氷河融解流出モデル(WEB-DHM-S)の有用性を検証するために、本研究では鉛直一次元過程の検証と流域スケールでの検証を実施している。

鉛直一次元過程の検証では、第一次積雪モデル相互比較実験(SnowMIP1)における4地点の裸地検証サイトに、WEB-DHM-Sを適用し、季節的、年々ごとの積雪、融雪過程の変化を、精度よく再現することに成功している。また、各スキームの導入によるモデルの改善効果の感度実験の結果、3層構造の導入とアルベドの予測システムの導入の効果による精度向上の効果が高いことを示している。植生の効果については、2地点での検証の結果、季節的、年々ごとの樹冠の下での積雪変化特性を精度よく表現できることを示すとともに、対象とした2地点では、放射収支と顕熱フラックスが同程度に重要であることが示された。

流域スケールの検証実験では、東ネパールヒマラヤのDudhkoshi地域と、カラコルムヒマラヤ地域のインダス川上流のHunza川流域を対象とした検証が実施されている。前者では、第三次水循環統合強化観測期間プロジェクト(CEOP3)のリファレンスサイトのデータを用いて、鉛直一次元過程の検証によ

り、積雪深や上向き短波、長波放射を、高い精度で再現できることを示している。積雪面積および地表温度の空間分布の計算精度は、中分解能画像分光放射計 (MODIS) の観測値との比較により、積雪面積で 90%、地表面温度の絶対平均誤差で  $2.42^{\circ}\text{C}$ 、平均相対誤差で  $0.77^{\circ}\text{C}$  と、非常に高いことが示された。

季節積雪、氷河を対象とした Hunza 川流域での検証では、大気強制力データとして全球陸面データ同化システム (GLDAS) データセット、降水量として APHRODITE データセットが用いられている。氷河が全流域の 34% と高い割合を占める当該流域においても、積雪面積の推定精度は 83% で、流出量の再現性は Nash 係数で 0.92 と、高い精度を有していることが示された。また、シミュレーションデータの解析結果、当該流域では、河川流出に占める降雨の割合は 10-12% で、融雪が 35-40%、氷河融解が 50-53% と高い割合を占めることが示された。

以上のように、本論文では、WEB-DHM-S が条件の異なる様々な地点、流域で高い再現性を有することをもとに、観測河川流量と衛星による観測積雪面積を用いて、利根川上流域の降水量の不確定性を補正するという手法を開発している。具体的には、モデルが算出する積雪面積や河川流出量が観測値と一致するように、降雪量の標高分布関数の係数を調節して、雨量計ネットワークデータ (AMeDAS) や降雨レーダー雨量計合成データ (Radar-AMeDAS) を補正するというものである。融雪末期には精度が低下する傾向はあるものの、積雪面積の推定精度は 91% と高い値を示した。さらに同様の手法を 1948-2006 年の長期再解析データを日本付近を対象に 10km で空間的ダウンスケーリングした結果 (JP10) に適用し、長期の降雪データセットを作成し、その解析により、降雪日数の長期低下傾向を見出している。

以上、本研究は、季節積雪および氷河の鉛直一次元の融解過程とその空間分布特性を物理的に表現できる分布型雪氷河融解流出モデル (WEB-DHM-S) を開発するとともに、観測あるいはモデルによって得られる降雪量の補正手法の提案し、それらの妥当性を、世界各地のデータを用いて検証している。この研究成果は、現在の水資源管理、および気候変動を考慮した将来の水資源計画に資するところが大きく、科学的、社会的有用性に富む独創的な研究成果と評価できる。よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。