

審査の結果の要旨

氏名 KOIRALA SUJAN

地下水は、全世界の都市における水供給の半分を担っていると推計される重要な水資源であると共に水循環における重要な要素の一つである。また、河川の基底流出の主要な供給源であり、表層土壌が乾燥した条件下では蒸発散に伴う表層への水分供給をも担うなど、比較的遅い時間スケールの現象を支配している。基底流出は、乾期における地表水資源賦存量の指標であり、基底流出の予測は、気候変動下における利用可能な水資源量のアセスメントにとって重要であり、乾燥条件下でどの程度地下水から表層へ水が供給されるかは、大気陸面相互作用にも影響を及ぼす。

このように、地下水過程が重要であることは理解されていたが、全球スケールの水循環のシミュレーションに用いられる陸面モデル(LSM)は、物理過程に基づいて地表面でのエネルギーや水、二酸化炭素などの収支に関する複雑な過程を数値的に解くために膨大な計算機資源を必要としており、気候シミュレーションの優先順位の関係から、流出発生機構をはじめとする種々の水文過程に関しては比較的単純な取り扱いがなされてきている。地下水過程もそうした中のひとつであり、これまで陸面モデルでは伝統的に地下水過程は無視されてきたか、せいぜい概念的に組み込まれるだけであった。

しかしながら、近年の領域スケールでの研究により、地下水と土壌水分とのダイナミックな相互作用が地表面からの水文フラックスに影響を与えることが示されてきた。適切に地下水を表現した LSM は、特に飽和-不飽和土壌層間の相互作用が大きな地域で、蒸発散(潜熱)や顕熱など地表面からの水文フラックスの再現性を大幅に向上させることが分かっている。しかし全球スケールでは、水循環過程における地下水動態を陽に表現し定量化する研究は、いまだになかった。

こうした背景により、本研究では、全球スケールの LSM である **Minimal Advanced Treatments of Surface Integration and Runoff (MATSIRO)** の土壌層に、動的な地下水過程を組み込むことで、この研究上のギャップを克服することを試みている。

第 1 章では陸面モデルによる地下水過程の取り扱いに関する既往研究のレビューをとりまとめ、本研究の狙いを示している。

第 2 章では、陸面モデル MATSIRO と、陸面モデル用ではあるがプロットス

ケールに対して開発された既往の地下水モデルが紹介されている。

第 3 章では、MATSIRO への地下水モデルの実装に関して、特に境界条件や数値的な離散化に伴う振動現象をいかに押さえ込むかに関する詳細な検討が加えられ、開発された地下水モデルを組み込んだ陸面モデルのプロットスケールでの検証結果が示されている。

第 4 章では、開発されたモデルのグローバルな適用対象流域と、検証流量データの概要が示されている。

第 5 章では、全球スケールのモデリングの課題であるモデルパラメータの推定に関する包括的な検討が行われている。グローバルな研究のほとんどは、流量データを用いることで限られた流域でパラメータを校正し、それを同様の気候条件で流量観測がない流域に外挿していることが多い。これに対し、本研究では、降水量や土壌水分量、地下水位など様々な物理変数に関する包括的な観測データが得られているイリノイ川流域における値をもとにパラメータを定めるといふ、既往の研究とはやや異なる手法を提案している。最終的に提案された手法ではグリッド格子規模で利用可能な降水量とその季節変動を利用するため、流域内における気候特性のばらつきを考慮することが可能であり、本研究で対象とした 20 流域のほぼすべてにおいて効果的であった。

第 6 章では動的な地下水過程を表現したことにより、大多数の流域において流出発生が遅れが適切に再現され、また基底流量(低水流量)の再現性が大幅に改善されたことが示されている。高緯度地域において、モデルは洪水ピーク流量を再現できなかったが、それは融雪過程が上手く再現されていないためであると考えられる。

第 7 章では、上向きの毛管力による地下水層からの正味の水移動は乾季に顕著となり、この過程を無視すると土壌が過剰に乾燥するため、蒸発散量の過大評価と流出量の過小評価を招くことが示されている。全球スケールでは、地下水層からの供給による蒸発散量は、全年間蒸発散量の 11% となることが推計されている。

このように、本論文はこれまでグローバルスケールでは陽に考慮されていなかった地下水過程を陸面モデルに組み込み、水循環過程の一部として動的に取り扱うことにより、よりの確に水循環過程の地理的時間的変動を推計することを可能にしたものであり、今後の水資源計画や水マネジメントに取り入れられる要素があり、学術的にも大きく貢献するものである。

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。