

論文の内容の要旨

論文題目 Explicit representation of groundwater process in a global-scale land surface model to improve hydrological predictions
(グローバルな陸面モデルへの地下水過程の組み込みによる水文予測精度の向上)

氏名 コイララ スジャン

地下水は、水循環における重要な要素の一つである。地下水は、全球にわたる淡水の貯留形態であり、2つの水文過程のソースとなる。つまり、基底流出および毛管力による不飽和層土壌層への水供給である。基底流出は、乾期における地表水資源賦在量の指標であり、基底流出の予測は、とりわけ気候変動下での水資源アセスメントにとって重要である。一方で、毛管力による水供給は、不飽和土壌層の水分量を増加させ、水分量が制限されている地域では蒸発量を促進させる。

全球スケールの陸面過程モデル (LSM) は、物理過程に基づいて地表面での熱収支をパラメタライズしており、複雑な関係性を数値的に解くために膨大な計算機資源を要求する。計算機資源への要求量を減らすために、アドホックな仮定により、流出発生機構をはじめとする種々の水文過程の概念化が行われてきた。そのうちの 하나가地下水過程であり、伝統的に地下水過程は無視されてきたか、よくても陰に扱われているだけだった。

しかし、近年の領域スケールモデルの研究により、地下水と土壌水分との動的な相互作用が地表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、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、これまでに存在しない。

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る。

MATSIRO に地下水過程を組み込み全球スケールでの解析を行うことに加え、全球スケール

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ついても、包括的な議論を行う。理論的には、完全に物理過程に基づく要素のパラメータは観測によって得られるが、概念的な要素のパラメータは直接観測することができない。それにもかかわらず、パラメータの不確実性は再現結果に影響を与え誤った結論に至る可能性があるため、パラメータは適切に定められる必要がある。言うならば、全球スケールの研究におけるパラメータは、観測データの不足に制限されている。本研究と同様のスケールと目的をもつ研究のほとんどは、河口での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。

本研究は、どの流域でも陽なパラメータの校正を行わず、多様な変数に関する包括的な観測データが得られた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う、既往の研究とはやや異なる手法を提案する。これは、流域全体の水文過程が集約され、サブ流域スケールの過程が見えなくなっている地点での、単一の水文フラックス（河川流量）のみから得られたパラメータより、多様な水文フラックスと貯留量から得られたパラメータのほうがより信頼性が高いという仮定に基づいている。また、この手法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用いているため、流域内における気候特性のばらつきに対する説明までを含めた、グリッド単位のパラメータ推定を可能にする。この手法は、大規模な流域内のすべてのグリッドに一定のパラメータを用いていた過去の研究に比べて優れていると言える。このパラメータ推定手法は、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。

全球スケールでのパラメータ検証の後に、開発したモデルを用いて、水文シミュレーションにおいて動的な地下水過程を表現したことの影響を評価した。大多数の流域において、地下水を組み込んだモデルは流出発生が遅れを適切に再現し、また基底流量（低水流量）の再現性が大幅に改善された。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。

さらに、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期に顕著となり、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分かった。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% となることが推定された。

モデル中で上向きの水分移動を考慮することで根域の土壌水分が増加しても、蒸発散量の増加は空間的に不均一であることがわかった。乾期が明白な半乾燥帯では、蒸発散量が水分量に規定されているため、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蒸発散量の増分は最大となる。湿潤地域では、蒸発散量はすでに可能蒸発散量

に近いため、地下水層からの供給によって土壌水分量が増加しても蒸発散量の推定値は大きく変わらない。高緯度では、放射量が蒸発散量を規定しているため、地下水層からの水供給によって土壌水分量が増加しても、蒸発散量が増えることはない。