

審査の結果の要旨

氏名 三浦 陽介

地球上の水循環過程の解明を進め、より正確な水資源への影響評価を行うために、地下水流動の理解は極めて重要である。例えば、特に半乾燥穀倉地帯でよく見られる揚水灌漑に伴う大陸規模の地下水流動が、河川流量や植生からの蒸散量に広範囲で影響しているなど、地下水流動が地球水循環に与える影響は大きい。しかしながら、気候変動の予測に広く使用されている地球システムモデルの陸域過程において、陸域全体での地下水流動はこれまであまり陽に考慮されてこなかった。三浦陽介氏の博士論文「全球への適用を目指した地下水流動モデルの開発」では、そのような背景を持つ地下水流動過程の詳細を明らかにすることに取り組んだものである。本論文は7章から構成されている。

第1章では、研究の背景、既往研究のレビュー及び研究目的について記されている。

第2章では、開発したモデルの基礎となる採用した支配方程式、その離散化手法を示し、開発したモデルで扱える現象が記されている。採用した支配方程式は、飽和・不飽和を一体的に扱える方程式であり、計算時の条件に応じて、自動的に飽和・不飽和を診断し、忠実に地下水の状況を再現するとともに、浸透過程や流出過程の再現性を高めるために採用した。離散化手法は空間的には有限体積法を、時間的にはオイラー陰解法を採用した。開発したモデルで扱える現象は地下における水の流動であり、地表水や河川水と地下水の水のやり取りが考慮できるものとなっている。

第3章では、計算コストがもっともかかる非線形解法と線形解法に対する高速化手法とその結果を示した。非線形解法には **Newton-Raphson** 法を採用しているが、線形解法における収束性を高めるための手法である **Inexact-Newton** 法を採用し、高速化を図った。また、非線形解法の最後にさらなる収束性改善のため、残差を最小化する **Backtracking** 法と緩和係数を導入した **Under-relaxation** を適用した。全球計算への適用を鑑み、計算時間が反復回数の増加の影響を受けにくく、問題の規模のみに依存しやすい解法である **Multigrid** 法 (MG 法)のうち、代数的MG法 (AMG 法)を採用している。

第4章では、開発したコードの確からしさ (**verification**) の結果が示された。

実施したケースは、今後のモデルの活用方法を想定し、鉛直一次元の降水浸透問題、鉛直二次元の河川水浸透問題、三次元地下水揚水問題、山間部における浸出面境界問題を設定し、それぞれ、他の研究者が実施した計算結果や模型実験による観測値と比較した。また、ある計算範囲における水収支が閉じているかどうかの確認も合わせて実施した。その結果、開発したコードは様々な流域の境界条件に応じて解を求めることができるコードであることが確認できた。

第5章では、開発したモデルの再現性 (validation) を平野部において確認する目的で、米国カリフォルニア州のセントラル・バレーに適用し、流域内で観測されている地下水位と比較し、モデルの再現性、妥当性の確認結果を示すとともに、平野部におけるスケールの大きな問題に対する表現方法を模索した。一連の結果から、全球においても適用可能な地下水揚水の新たなパラメタリゼーション手法を提案するとともに、計算の開始時期よりも前に地下水が利用されている場合には、その地下水揚水の量・場所に関する情報が重要であること、そのような情報がない場合でも補間することが可能な観測地下水位に関する情報が重要であることを示した。

第6章では、開発したモデルの再現性 (validation) を山間部において確認するために、日本全域に適用し、これまで日本全域にも適用されている陸面過程のモデルである MATSIRO、河川・氾濫現象を扱うモデルである CaMa-Flood と本モデルをカップリングし、そのカップリング手法による計算結果の違いや本モデルを用いた場合とそうでない場合における計算結果を比較した。その結果、これまでの全球スケールで適用されてきた陸面モデルである MATSIRO と本モデルを比較すると、本モデルでは観測されている河川流量が少ない場合に、良好な結果を示した。これは、本モデルで地下水流動を陽に表現したことにより、基底流出成分の精度が向上したことを示している。

第7章に結論として、全体のまとめ、今後のモデル開発及び研究の方向性、今後の展望を示した。

このように本論文では、地下水流動モデルに着目し、これまで全球スケールで活用されてきた地表付近を中心とする陸面モデルと結合させることを念頭に、全球への適用が可能な新たな地下水流動モデルを開発した。その結果、地球システムモデルにおける陸域過程の表現が飛躍的に進展することが強く期待できる。このように、三浦氏の研究成果は、水文学・気候学や数値地球システムモデリングの分野に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。

(2053 字)