

水循環は人類を始めとする生物を支える根源である。健全な水循環の保全、水供給の安定は、健康や農業生産、工業生産などを通じて社会の持続的な発展、安定と平和に寄与する。災害を回避しつつ水循環の恩恵を適切に受けるためには、水循環の現状と将来予測とを知ることが不可欠であり、水循環の数値モデルは将来予測をして統合的な水資源管理をするために有用である。

本論文の 2 章で詳しく述べられている通り、水循環の数値モデルは、入力としての降雨量もしくは融雪量と出力としての流量とを対応付けるモデルであったが、近年では降雨等の入力や土壌水分などの予報変数が水平分布を持つような分布型水文モデルも広く利用されるようになってきている。さらに、地表面の水やエネルギーの収支や循環に加えて、植生がそうしたエネルギー水循環に及ぼす影響を陽に表現した数値モデルが開発されるようになってきている。

また、自然の水循環のみならず、土地利用の変化や地形改変、人工的貯水池による貯留と放流、河川からの灌漑取水や地下水くみ上げなど人間活動が水循環に及ぼしている影響も積極的に取り込んでモデルで表現し、人間活動による水循環の改変がグローバルスケールでさえ大きな影響を持っている現実の水循環をきちんとシミュレートする研究にも先端的に取り組まれている。

本論文では、そうした植生の影響を考慮した水・エネルギー収支を算定可能な 1 次元の陸面モデルを 2 次元化し、分布型生物圏 (DBH) 水文モデルシステムのコアとして利用し、これに、モデルパラメータや外力、人間活動を考慮するサブシステムを結合して全体として植生の効果や人間活動の影響を考慮しつつ現実の水循環をシミュレート可能な DBH モデルを構築し、検証し、中国・黄河における長期の流量変動の要因の分析に応用している。

第 1 章では研究の動機として世界の水問題、特に流量減少、極端な場合には断流として知られるような極端な流量低下問題に触れ、そうした問題に立ち向かう学問としての水文科学に求められている研究のあり方、そして本研究の目標と構成について紹介されている。

第 2 章ではいわゆる水文モデルと陸面モデルとの歴史的な開発の経緯と世界的な発展段階の状況について広範なレビューととりまとめを行い、分布型水文モデルと植生を考慮した陸面モデルとを結合した DBH モデルシステムの開発という本研究の位置づけがなされている。

第 3 章では DBH モデルへの外力データを整備するにあたり、従来からの地点データの空間内挿法以外に、衛星リモートセンシングデータに基づいた葉面

積指数や光合成有効放射量データの利用、さらには、正規化植生指数(NDVI)の時系列から雲量を逆推定する手法を開発してその推定精度を検証した上で、外力として利用している。さらには、長期観測データに基づき、基本気象要素についての長期トレンドを解析し、最後の応用の章に繋がる成果を得ている。

第4章では、DBHの構築に関して記述されている。鉛直1次元の水エネルギー収支はSiB2と呼ばれる陸面モデルによって算定され、その入力には10kmといった比較的大きな水平グリッドの内部での降水強度の不均一性も考慮されている。表面流出、地下水流出は勾配を考慮しつつキネマティックウェイブ近似で河道に流下させ、地下水と河道内の水との交換も考慮されている。また、灌漑スキームや物理パラメータの与え方についても説明されている。

第5章では、黄河に適用した結果が示され、構築されたDBHシステムが過去の流出量の変動を的確に反映できること、また、降水強度の空間不均一性の考慮が及ぼす影響、灌漑取水が及ぼす影響に関する感度分析の結果も示されている。

第6章では1960年から2000年の中国黄河の流量シミュレーションにおいて、長期変動がどういう要因にもたらされたかを調べる数値実験が行われた。その結果、黄河上流、黄土高原における蒸発散量の減少に対しては気候変動の影響が大きい、下流域では灌漑取水量の増加など人間活動が長期変動要因として支配的であることが示されている。その結果、河口付近では人間活動影響の方が気候変動の影響よりも強いことがわかった。こうした結果により、貯留施設が生態系維持のための環境用水の保全や断流の阻止に有効であることが示されている。

以上、本研究は、植生の影響を陽に取り込んだ分布型水文モデルシステムを構築し、それが流域の水循環の長期的な変動を適切に表現できるのみならず、黄河断流の要因分析と解決策の検討といった重要な社会的課題の解決へ向けた取り組みにも応用可能であることを示した画期的なものであり、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。