

審査の結果の要旨

氏名 Yadu Nath Pokhrel
ポカレル ヤドゥ ナト

人間活動が地球環境にも多大な影響を及ぼしていることが認識されるようになってきた Anthropocene (人間紀)とも呼ばれる現代において、グローバルスケールでも現実の水循環は自然の水循環とは大きく異なり、灌漑や工業用水、生活用水などへの取水、ダムによる堰き止め、貯水池への貯留とその水の放流、さらには流動が極めて遅く化石水とも呼ばれるような地下水の汲み上げなど、人間活動の影響を色濃く反映している。

今後、途上国を中心として人口が増大し、増えた人口が都市に集中し、さらには経済発展も加わって、水需要が集中し、淡水資源を確保し、安定して供給することが難しくなることが懸念されている。人口増加と経済発展は飼料用も含めた食料需要をも増大させ、今後の食料増産を支えるためにも淡水資源がますます必要とされることになる。

水循環の観測データはグローバルには密度が低い地域も多く、適切な推計が可能な対象領域は限定されるため、世界の水資源供給を支える水循環の現状と利用可能性、今後の展望についての的確に把握推計するためには数値モデルによるシミュレーションが効果的である。

これまでも陸面モデルやグローバルな水文モデルによってそうした地球規模の水循環、世界の水資源に関する推計が行われてきたが、現実の水循環に多大な影響を及ぼしている人間活動を陽に考慮した研究は少なく、気候モデルの陸面境界条件を与えるために元来発達してきた陸面モデルではほとんど行われたことはなかった。

そこで、本研究では、陸面モデル(Minimal Advanced Treatments of Surface Interaction and Runoff; MATSIRO)に、ダム貯水池への貯留と灌漑需要に合わせた放流、その推計に必要な農地での作物の作付と生育・栽培、あるいは工業用水や生活用水への取水などの人間活動を表現するサブモジュールや環境用水要求量算定モジュールを H08 モデルから移植し、さらには地下水面の変動も陽に算定できるようにした新たな人間-自然系の水循環・水資源モデル(Human Intervention and Ground Water MATSIRO; HiGW-MAT)を開発した。

第 1 章では、研究の背景が述べられ、グローバルな水循環と世界の水資源研究の重要性と研究のギャップが、既存研究のレビューと共にまとめられている。

第 2 章では、本研究で構築した新たな人間-自然系の水循環・水資源モデルの基礎となった陸面モデルなどが説明されている。

第 3 章では、新たなモデル開発の解説ならびに、そのモデルの精度評価結果がまとめられている。河川流量データ、各国の灌漑水量統計データなどで精度を検証し、比較的シンプルな水循環・水収支算定アルゴリズムが組み込まれている元々の H08 に比べて、乾燥地や融雪が支配的な地域において、MATSIRO の方がより適切に水循環・水収支をシミュレーション可能であることが示された。さらに、土壌水分の欠損量に応じて灌漑を行う新たなスキームも開発され、各国の統計値と非常によく対応を見せること、また、人間活動を組み込むことによって世界の代表的な大河川の流量シミュレーションも改善されることが示されている。

こうして構築された人間活動を組み込んだ陸面モデルによる推計では、世界の灌漑取水量は 2000 年時点で年間 $2,462\text{km}^3$ であり、国際連合食糧農業機関(FAO)の統計値 $2,660\text{km}^3/\text{年}$ とよく対応している。また、灌漑の影響によって年平均の潜熱フラックス量が最大で $50\text{W}/\text{m}^2$ 上昇している領域もパキスタンなど一部の地域で見られることが明らかとなっている。

第 4 章では新たに構築されたモデルにおいて、貯水池での貯留・放流を考慮することが、陸面総貯留量の推計にどの程度効果的であるかが、衛星からの重力測定による陸面総貯水量変動観測値との比較によって調べられた。その結果、新モデルによって人工貯水池を組み込むことが衛星観測との対応を向上させることが示されている。

第 5 章では、1951 年～2000 年の平均的な水収支ならびに、1951～2007 年にわたる長期の水循環変動に対する人間活動の影響が評価された。ダム貯水池に人間が水を貯めると海水面を押し下げる効果がある一方、化石水と呼ばれる循環していない地下水を汲みだすと海水面を上昇させる効果があることに着目し、土壌水分など陸水貯留量の変化が海水面に及ぼす影響も含めて推計し、これらの要素全体として、正味では押し上げる効果があること、そしてその $0.7\text{mm}/\text{年}$ といった値が、IPCC、気候変動に関する政府間パネルの第 4 次報告書では、氷河や氷床の融解、海洋表面の膨張だけでは観測されている海面上昇を十分に説明しきれないギャップとして記載されていた未知の上昇分をちょうど説明できる可能性があることなどが明らかとなった。

第 6 章では地下水を陽に取り扱うモデルが組み込まれた結果が示され、アメリカ中西部など、検証データがある地域や、各国統計などと比較され、ばらつきは大きいもののマクロな地下水くみ上げ量などは適切にモデルで再現されて

いることが示されている。

第 7 章では、本研究で開発された人間活動も考慮したグローバルな水循環・水資源モデルを用いて、水不足、水ストレス指標や世界の潜在的な水力発電可能量を推計した応用例が紹介されている。

第 8 章にはこれらのまとめと、今後の展望が記述されている。

このように、本論文はこれまでグローバルな水循環研究では陽に考慮されていなかった人間活動を気候モデルの陸地境界条件部分である陸面モデルに組み込み、より現実的な水循環を再現し、人間活動の影響を的確に評価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るばかりではなく、気候変動において不確実性が高いため従来は推計不可能であった水循環に対する直接の人間活動が海水面変動に及ぼす影響をも定量的に算定するなど、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。