

審査の結果の要旨

氏名 ソボハン アフラズ

本論文は、農業・産業・生活セクターにおける水利用価値を、経済開発水準を考慮した上で全球スケールで評価したものである。経済発展に伴う水需要の増加と、将来の気候変動に伴う水資源賦存量の変化に関してはこれまでも様々な研究がなされている。しかし、その経済的な価値を評価し水資源の適切な分配に貢献するようなマルチセクター研究は、社会的要請に十分に応えられていなかった。それに加え、詳細な経済的所得レベルや国単位よりも小さいスケールでの分析は、平均値だけでは見えない不平等などの問題を根本的に解決するための重要な研究課題となっている。本研究では、上記の課題に関して既往研究を幅広くレビューしたうえで、国際研究プロジェクト・国際機関（国際連盟・世界銀行など）等から提供されているモデルシミュレーションや統計データを用いて農業・工業・生活セクターでの水需要を 0.5 度グリッド解像度で推定し、水利用の経済的な価値を算出する新しい方法論を提案した。

第 2 章では 1980 年～2010 年の全球の各グリッドを対象に、主要四作物（トウモロコシ、米、大豆、麦）の生産に用いられる水の経済価値を推定した。作物生産における取水は主に灌漑用水である。このため本研究では灌漑用水のシャドープライスを、ISI-MIP から得られた灌漑あり・なしの各条件下での収穫量のモデルシミュレーションを比較することによって推定した。本研究ではシャドープライスを灌漑の潜在的な限界追加価値で定義した。推定の結果、全球の年平均の灌漑用水シャドープライスはトウモロコシが最も高く、小麦が最も低いことが示された。グリッドスケールではどの作物においても地域および年によるシャドープライスの差がみられた。本研究では統計資料の不足と全球規模の複雑さのため、灌漑と天水の総コストの全球スケールの算定は行っていない。また、本研究における灌漑用水の取水は供給側での水の入手可能性については考慮していない潜在的なものであり、実際の取水量ではない。今後はコストと実際の灌漑需要を考慮することで、本分析の信頼性をより高めることができる。しかしながら本章の分析は、水資源の経済的価値を理解し、それを統合水資源システムの持続可能な開発に役立てるための最初のステップとして重要

なものである。

第3章では、1980年から2010年までの全球スケールの工業用水取水量を推定した。工業用水取水量の推計には全球水資源モデルである H08 モデルを用いた。Willmott 指標の一致度の観点で推計値を評価した結果、推計値は妥当なものであった。工業用水取水量 ($\text{km}^3/\text{年}$) は対象期間で約 1.5 倍に増加 (1980年の 600km^3 から 2010年には 920km^3 に増加) したが、工業用水の原単位 ($\text{m}^3/\text{MWh}/\text{年}$) は同期間で半減した。予想された通り、先進国は開発途上国よりも多くの取水を行っているが、ヨーロッパと北米では、効率の向上により 2000年以降工業用水取水量が減少している。一方でアジアでは工業用水取水量の明らかな増加が見られた。また工業用水取水量とともに、全球スケールでの工業用水の経済的価値を初めて推定した。工業用水の経済的価値の算定には独自の方法論を適用した。これは、最もエネルギー集約的な水生産技術である脱塩技術との比較に基づく計算である。この結果、工業用水の世界平均の総経済価値は継続的に増加しており、1980年の 1610 億米ドルから 2010年には 1.6 兆米ドルに達していることが示された。本結果で明らかになった工業用水の総価値と単位量当たりの価値の増加は、工業用水の利用効率と生産効率の増加を示している。なお本研究では製造業を考慮していないため、水の経済価値の過小評価されており、主に米国や中国などの先進国では、工業用水の経済的価値は他の先進国に比べて低いものとなっている。

第4章では 1980年から2010年まで生活用水取水量と原単位をグリッド単位で初めて推計した。既往研究の推計は国もしくは地域単位のものであった。国や地域単位の平均値では埋もれてしまう小さなスケールの差を正確に捉えるためには、本研究のようなグリッド単位での推計が不可欠である。たとえば米国では、西部の家庭用水の原単位は東部と比較して高くなっている。また都市部と農村部の給水効率の違いと、それによる生活用水取水量の違いは、国単位や地域単位の平均値では埋もれてしまう。実際、1990年に生活用水への基本的アクセスが困難であった人の数は、詳細な空間スケールでの推計を行った本研究では 14 億 3 千万人であり、これは国単位の推計を行った Gleick (1996) による推計値 (約 10 億人) を大きく上回る。本研究の推計によると、生活用水取水量は 1980年から 2010年にかけて $201\text{km}^3\text{yr}^{-1}$ から $469\text{km}^3\text{yr}^{-1}$ に増加しており、最も増加率が高かった地域はアジアおよび南アメリカであった。最後に、生活用水の経済価値を全球のグリッド単位で初めて推定し、全球の生活用水の経済的価値は 1980年から 2010年にかけて 3%増加したことが判明した。生活用水の経済価値はオセアニアと高所得国で最も高く、アジアおよび低所得国で最も低かった。高い水価格設定の影響により基本的な水必要量 ($18.25\text{m}^3/\text{年}/\text{人}$) への十分なアクセスが満たされていないアフリカのいくつかの国において、生活

用水の経済価値が先進国よりも高くなる場合があるが、全体としては家庭用水の経済価値は発展途上国と比較して発展途上国ではるかに高いことがわかった。

第5章では2章から4章までの結果をまとめ、水利用セクター別およびセクター横断の一人当たり取水量と総取水量を、全球および国ごとに分析した。生活用水の経済価値は工業用水と農業用水を大幅に上回り、農業用水の経済価値は最小である（農業用水=0.11USD/m³、工業用水=5.8USD/m³、生活用水=124.7USD/m³）。生活用水取水量の三つのカテゴリー（生存に必要な水、基本的生活を維持する為の水、それ以上の量の水）の中で、第一のカテゴリーの価値が最も高く（330USD/m³）、第2と3のカテゴリーの価値は10USD/m³未満である。すべての水利用セクターにおける人間活動は世界でおよそ30兆米ドルの経済的利益を生み出してあり、これは30年間で1.7倍に増加している。この値は世界GDPの総額の約40%であり、人間の生活にとって水の重要性を示している。

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。