

京都大学	博士（工学）	氏名	峠 嘉哉
論文題目	流域開発や気候変動の影響を考慮した陸域水循環モデルの構築 -中央アジア域を対象として-		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、近年、世界各地で深刻化している水資源問題に対し、持続可能な水管理実現へ向けた一助として、主に物理モデルから構成される統合水循環モデルの構築を試みたものであり、全7章から構成されている。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景として、物理モデルにより流域スケールで水循環を解明することの重要性について述べている。特に、流域内の水循環には未だに不明な点が多く科学的な課題が残されていること、加えて、持続可能な水利用には水資源量と水需要量を過去から将来にかけて定量的に推定することが社会的に求められていることを示している。</p> <p>第2章および第3章は本研究の前段であり、まず第2章では、本研究の対象である中央アジアの実情について概説されている。まず、東部のアラル海流域について、21世紀最大の環境問題とも言われる“アラル海の悲劇”の現状や原因について述べ、次に西部のカスピ海流域について、20世紀に発生した急激な水位変動の影響や、その原因が現在でも未解明であることについて解説している。第3章では、統合水循環モデルを構成する種々の物理モデルについて概説しており、特にモデルの中心となる陸面過程モデル SiBUC 内の灌漑スキームについて、現地の中央アジアで広く採用されている畝間灌漑を表現する灌漑スキームの改良を行っている。</p> <p>第4章では、従来のモデルにおいて山岳域で融雪期を早期評価する傾向があったため、それを改善するための種々の数値実験を行っている。まず、気象強制力の標高依存性について検討を行い、下向き長波放射と比湿についても標高依存性を考慮することで一定の効果をj得ている。次に、1km から 20km まで空間解像度が異なる解析を実施し、出力結果の違いについて詳細に分析した結果、気象強制力のメッシュ内の代表性と、氷河域の最低標高値が解析結果に大きく影響を与えるという結論を得ている。そこで、低解像度の解析において解析格子内のサブグリッドスケールの標高分布の効果を考慮するために標高モザイクスキームを導入し、その効果を検討した結果、低解像度解析においても高解像度解析とほぼ同等の結果を得る事に成功している。</p> <p>第5章では、陸域水循環モデルをアラル海流域に適用している。まず、灌漑スキームの改良を目的として、現地で行ってきた定点集中観測の結果を紹介している。現地観測はウズベキスタン国内で気候帯や地質条件の異なる二つの試験農場において3年間に渡り行い、観測した項目は土壌水分量、電気伝導度、地中温度、地下水位等である。その結果、現地農家によって経験的に行われているという灌漑規則や、それによる土壌塩害化の影響の実態を定量的に捉えている。一年間の灌漑回数や灌漑の頻度を基に灌漑スキームが改良され、現地機関での資料と整合した結果を得ている。同スキームは流域全体にも適用され、地域ごとの灌漑規則や流域全体の灌漑取水量といった</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	峠 嘉哉
<p>種々の統計資料と整合した結果を得ている。</p> <p>次に、アラル海流域全体の陸域水循環解析から過去の水収支の再現を行っている。その際には、過去の灌漑面積の拡大やカラクム運河からの取水量を過去の統計データや報告値を基に推定し、モデルに反映させている。加えて、水収支を検証することを目的として、流域全体の水収支の結果としてアラル海の水量・面積が動的に変動するアラル海消長モデルを導入している。その結果、過去のアラル海面積および貯水量の経年的な縮小を高精度で再現しており、水需要量や水資源量も種々な報告値と整合している。さらに、水開発シナリオに関する応答分析並びに気候変動の影響評価を行っている。応答分析では、水路の運搬効率の改善、畝間灌漑の点滴灌漑への転換、灌漑面積の縮小の3つの仮想的なシナリオ下でのアラル海面積の経年変化を推定している。その結果、1960年からの40年間で増加した灌漑面積のうち、25%を削減することによる水資源節約効果は、水路の運搬効率の5%の改善もしくは1/3の灌漑地を点滴灌漑に転換することにより実現可能であることが明らかにされた。気候変動の影響評価では、気象庁気象研究所の超高解像度全球大気モデルMRI-AGCM3.2Sを用いた解析を行っている。その結果、乾燥気候であるアラル海流域においては可能蒸発量が実蒸発量より大幅に大きいため、降水量の増加は蒸発散量の増加に吸収され水資源量に大きな変化がない一方、灌漑地からの蒸散量が増加するために水需要量は確実に増加し、現在より水需給は逼迫するという結果を得ている。加えて、降水量は増加するものの、気温の増加によって降雪量は減少するため、現在よりも融雪期が早まることが示唆されている。当流域では水資源量の大半が山岳域に冬季に発生する雪である。それが夏季に融解することによって灌漑水が賄われているため、融雪期の早期化によって夏季の渇水はより深刻化することも予想している。</p> <p>第6章では、陸域水循環モデルをカスピ海流域に適用している。当流域でのモデルでは、工業用水と生活用水について、FAOSTATから得られる国別統計データをグリッド人口分布データに比例配分することでメッシュごとの需要量を推定している。加えて、カスピ海からの唯一の排水先となっているカラボガズゴル湾への流出量も、種々の統計値・報告値や水面面積の変化から予想される蒸発量とを比較し与えている。まず、カスピ海水位の経年変化の再現を試みた際には、1978年を境としたV字の水位変動は再現されなかった。その原因は、入力的气象データや取水量に解析期間を通して大きな変化は見られなかったためである。次に、MRI-AGCM3.2S出力を用いてA1Bシナリオに基づく気候変動の影響評価が行われた。カスピ海への流入量については上流域での降水量増加と蒸発量増加がほぼ釣り合うために大きな変化は見られないものの、カスピ海面上からの蒸発量が大きく増加するために、カスピ海水位は最終的に20世紀の最低値を下回るほどまで低下することが推定されている。</p> <p>第7章は結論であり、各章で得られた成果について要約するとともに、本研究で構築された現地の特徴を最大限に反映させた統合水循環モデルによって、ようやく過去から将来に向けた水循環の解明へ向けたブレークスルーが果たせたことを示し、加えて今後のさらなる発展への課題について整理している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、持続可能な水管理の実現へ向けた一助として、中央アジアを対象に主に物理モデルから構成される統合水循環モデルの構築を試みたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 陸面過程モデルにおいて山岳域において融雪期が早く解析されてしまう課題を現地観測データや衛星解析を用いる事で見出し、その原因としての気象強制力の標高依存性やサブグリッドスケールの影響について定量的に評価している。加えて、低解像度解析においてサブグリッドスケールの標高分布を考慮するための標高モザイクスキームを構築している。
2. 現地調査や定点集中観測を行う事で、現地農家による経験的な灌漑規則を明らかにするとともに、アラル海流域においては灌漑地の9割において採用されている畝間灌漑スキームを導入することにより、灌漑に際して単に植物に吸収される水量だけでなく、農地表面から発生する蒸発や地下深層への浸透による損失についても水需要量の一部として適正に考慮できるようになり、灌漑手法ごとの灌漑効率についても定量的な推定が可能となっている。
3. アラル海流域における水収支解析を行い、過去の灌漑地拡大の影響でアラル海が大幅に縮小したことを正確に再現している。加えて、過去の開発に対し灌漑効率の向上や灌漑面積の縮小といった複数の開発シナリオを検討し、それぞれの効果が定量的に示されている。また、GCM出力値を用いて気候変動の影響を調べた結果、降水量の増加は水資源量増加に寄与せず、その一方で気温の増加が水需要量を増加させるため、今後水資源の逼迫は深刻化する可能性が示されている。
4. カスピ海流域における適用では、過去の水位変動に対し現状の統合水循環モデルのみでは再現が困難であることが示されている。その原因は入力に用いた気象データや水利用に関する情報に、カスピ海の水位を変動させるほどの大きな変化が見られなかったためであり、今後過去の水循環の変化について、現地の統計資料等を参考にしながら明らかにすることが必要であることが示された。また、GCM出力値を用いて気候変動の影響を調べた結果、流入する河川流量に大きな変化はないがカスピ海面からの蒸発量が増加するために、カスピ海水位が大幅に低下することが予測されている。

本論文は、現地の特徴を最大限に反映させた陸域水循環モデルを構築することで流域スケールの水循環解明を試みたものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年2月12日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。