

京都大学	博士（工学）	氏名	MUHAMMAD SOHAIB BAIG
論文題目	IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON THE QUANTITY AND TIMING OF RIVER FLOW IN THE UPPER INDUS BASIN, KARAKORAM-HIMALAYA, PAKISTAN (パキスタン国カラコルム・ヒマラヤ山脈インダス川上流域における河川流量と流出時期に及ぼす気候変動の影響)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、インダス川上流域(UIB)を対象に、将来の気候変動が河川流量に及ぼす影響を分析したものである。空間分布型の水文モデルとして Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) モデルを活用し、積算温度法に基づく積雪融雪モデル、氷河融解モデルを統合することによって、寒冷地域特有の複雑な水文現象の予測を実現している。また、気候変動の予測情報をもとに、氷河後退の影響も加味したうえで、河川流量と流出時期の変化を推定しており、全体で6章から構成されている。</p> <p>第1章は序論であり、インダス川流域の地理的特性を説明するとともに、UIBからの流出が下流部の水資源にとって重要であることを論じている。また、温暖化の影響によって、氷河や積雪の融解が促進されるとともに、降水分布の変化が洪水にも影響することに言及したうえで、本研究の目的を明示している。</p> <p>第2章は、インダス川流域を対象とした水文分野の研究を包括的にレビューしている。既往研究による重要な知見として、UIBでは氷河の融解によって、近未来では河川流量が増加する傾向にある一方、世紀末までには氷河の後退によって河川流量が減少することを指摘している。ただし、既往研究は低解像度の気候モデルや水文モデルを用いて議論していることが多く、特に河川流量の変化傾向を部分流域単位で比較した検討は十分に進んでいないことを指摘している。</p> <p>第3章は、本論で適用したモデルを説明している。Cema-Neigeの積雪融雪モデル、積算温度法に基づく氷河融解モデルを用いて、UIBにおける融解量を計算している。また、Cema-Neigeモデルに含まれる蒸発散の推定式を用いてRRIモデルの入力変数を求めている。</p> <p>第4章は、UIBの部分流域であるAstore川流域(3,927 km²)を対象にした分析結果を示している。本章は、まず地上で観測された降水量の標高依存性を分析して、その特性を反映した降水分布を推定する。その結果を第3章で示したモデルに入力して、積雪深の時間変化を推定し、観測結果と比較することで、モデルの再現性を検証している。また、CMIP5とCORDEXプロジェクトによる複数のシナリオに基づく気候変動予測結果から、昇温傾向と降水量の変化傾向を抽出し、その結果を反映した水文解析を実施している。さらに、将来気候下で推定される河川流量の成分が、氷河の融解によるものか、融雪によるものか、あるいは降雨流出によるものかを定量化している。その結果、RCP8.5のシナリオでは、温暖化によってAstore川流域からのピーク流出量の生起時期が1カ月程度早まること、年間流出量が減少することを予測している。</p> <p>第5章は、UIB全体(192,861 km²)を対象にした分析結果を示している。APHRODITEと呼ばれるグリッドベースの降水量・気温プロダクトを活用して氷河の融解と融雪を推定している。また将来気候(2075-2099)の降水量と気温を推定するために気象研究所によ</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	MUHAMMAD SOHAIB BAIG
<p>って開発された MRI-AGCM の予測結果を用いている。本章は、3 つの部分流域 (Gilgit, Shigar, Kharmong) と UIB (Bisham Qila 上流) を対象とし、それらの位置や標高がもたらす影響に着目して分析結果を示している。UIB 全体では、将来気候は現在気候に比べて 16 % の流量減少が見込まれ、その主たる原因は氷河の後退によることを明らかにしている。本論文の入力条件として参照した既往研究によれば、UIB 全体の氷河は現在気候に比べて 72 % 減少する。MRI-AGCM の予測結果によれば、7 月、8 月に降水量の増加が予測されているが、その増加量は、年間の流量を維持したり、増加させたりするほどに十分な量ではなく、5 月、6 月は降水量の減少に伴い、また 7 月、8 月は氷河の減少に伴い、河川流量が顕著に減少することを示している。</p> <p>第 6 章は結論であり、本論文の主要な結論をまとめている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、インダス川上流域(UIB)を対象に、気候変動が河川流量に及ぼす影響を分析したものである。分布型の水文モデルである Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) モデルに、積雪融解モデル、氷河融解を推定する積算温度モデルを統合することによって、寒冷地特有の水文予測を実現している。特定流域(Astore 川流域)では、地上観測の気象・積雪データを用いてモデルを実行、検証するとともに、UIB全体を対象とした広域の分析では、リモートセンシングや気候プロダクトを活用している。気候変動の影響を解析した結果、以下の研究成果を得ている。

(1) Astore 川流域の年間流出量のうち、65~73 %は融雪と氷河融解によることが示された。CMIP5 と CORDEX プロジェクトによる気候変動の予測情報を入力した結果、気温上昇によって融雪量が増えるため春季(3、4月)の流量は増加傾向であることが確認された。また、5~9月の流量は、今世紀半ば(2036-2065年)までに約11%増加するのに対し、21世紀末では氷河の減少に伴って同期の流量が約半分に減少するため、月流量のピークが6月から5月に早まることが分かった。

(2) 気象研究所によって開発されたMRI-AGCMによる将来気候(2075-2099年)の予測結果を用いて、3つの部分流域(Gilgit、Shigar、Khar mong 川流域)を対象に、河川流量の将来変化を推定した。UIBの北西部と北部に位置するGilgit 川流域と Sigar 川流域では、7月から9月の流量がそれぞれ85%、45%減少する予測となった。一方、UIBの東部に位置するKhar mong 川流域は、相対的に標高が高く、将来気候下でも氷河が維持され、温暖化によって氷河の融解量が増加することに加え、降水量の増加も見込まれるため、7月から9月の河川流量は現在の約2倍程度にまで増加する結果となった。

(3) UIB全体を対象にした分析では、当該地域の年平均気温が現在より5.3℃上昇し、降水量は17%増加することを示した。特に7、8月の降水量増加が顕著で、その増加幅は60%に達することが分かった。また、昇温傾向は空間的に一様に近いのに対し、降水量の変化は地域的なばらつきが大きいことも示された。しかし、UIB全体の河川流量は、現在気候に比べて16%の減少が見込まれ、その主たる原因は、氷河の減少によることが分かった。

(4) 特定流域、部分流域の変化予測に基づき、インダス川上流域における気候変動の影響は、降水、融雪、氷河の融解と減少に影響するため、河川流量の将来変化が時空間的に非常に複雑であることを示した。河川流量および流出時期の変化は、当該地域の灌漑農業、水力発電、水資源、洪水災害に大きな影響をもたらすため、部分流域毎の変化予測に基づいた適切な流域管理の必要性を述べている。

以上のように、本論は、インダス川上流域を対象にして、上記の水文現象を考慮して気候変動による影響評価を行い、流量の変化傾向を、流出成分を含めて分析したものであり、パキスタン国の水資源問題に学術上、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、令和3年6月17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。