

京都大学	博士 (工学)	氏名	STEVEN LY
論文題目	IMPACTS OF CLIMATE CHANGE AND HYDROPOWER DAMS ON FLOW REGIMES AND FLOOD INUNDATION IN THE MEKONG RIVER BASIN (メコン川流域の流況と洪水氾濫に及ぼす気候変動および水力発電ダムの影響)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、メコン川流域を対象に、将来の気候変動と水力発電ダムの開発が、河川の流況と洪水氾濫に及ぼす影響を分析したものである。メコン川流域全体に適用した降雨流出氾濫(RRI)モデルに、複数の大気大循環モデル(GCMs)による降水量の予測結果を入力し、流況と洪水氾濫の将来変化を予測した。その際、流域全体で既に運用が始まっている計 98 の発電ダムと将来運用が計画されているダムも含めた計 126 ダムを反映したシミュレーションを実施した。本論文はメコン川流域における気候変動と水力発電ダムの両者の影響とその関係性を論じたものであり、全 6 章で構成されている。</p> <p>第 1 章は序論であり、IPCC 第 6 次報告書の内容、メコン川流域における気候変動影響評価に関する研究をレビューしたうえで、本論文の目的と構成を記述している。</p> <p>第 2 章はメコン川流域の概要と構築した水文モデルについて説明している。メコン川流域については、流域内にあるトンレサップ湖の特徴や、メコンデルタにおける近年の洪水災害、流域内で急速に進む水力発電ダムの実態などを整理している。また、本論文で用いた RRI モデルの構造を説明するとともに、SCE-UA 法を用いたパラメータの最適化について説明している。</p> <p>第 3 章は RRI モデルに適用できる新たな水力発電ダムモデルの開発について記述している。開発したダムモデルは、当該ダム地点で年間の発電量を最適化するように放流量を決定するモデルである。貯水量、発電流量などをパラメータとし、RRI モデルで計算される流入量を入力として放流量を計算する。流入量の時系列情報を用いて水力発電ダムの最適操作を非線形計画法に基づいて推定したうえで、その結果得られた放流量や貯水量の時系列データからダム操作の基本的なルールを抽出した。最適化の結果と RRI に組み込むモデルの出力結果が、月単位の放流量ベースで再現することを検証している。また、ダムモデルの結果をもとに、既存ダムと計画中のダムの両ケースで流況変化を推定した。その結果、ダム操作によって乾季の流量が増加、雨季の流量が減少、年間のピーク流量が減少することを明らかにしている。特に上流の Chiang Sean 地点においては、既存ダムの影響で既に影響が現れている一方、下流の Kratie 地点においては、将来その影響がより顕著に出現して、乾季の流量が 41%以上増加、雨季の流量は 14%減少するという推定結果を得ている。</p> <p>第 4 章は気候変動と水力発電ダムによる流況制御の両方を考慮に入れたうえで、将来どちらが支配的に影響を及ぼすかを分析している。最新の気候変動予測を用いた既往研究では、メコン川の年間流出量が将来増加傾向になることを示した結果が多い。しかし、水力発電ダムと気候変動の両方を加味した場合にどのように変化するかは、まとまった研究成果が存在しない。本論文は、CMIP6 に含まれる 8 つの GCM の結果を用いた分析を行って、その両者の関係を調べた。その結果、第 3 章で示したような流況制御の影響が出現する一方で、気候変動の影響がより顕著に現れて、Kratie 地点における雨季の流量は現在に比べて 19%増加することを示した。気候変動の影響が将来の水力発電ダムによる流況制御の効果を上回るという傾向は、流域下流部に位置するメコンデルタの洪水氾濫でもみられた。年間の平均浸水面積は気候変動のみを考慮した場合に 37%増加、発電ダムの影響を含めると浸水面積が 27%増加に低減することを示した。</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	STEVEN LY
<p>第5章は既存ダムと計画ダムの地点で、流入量がどのように変化するか、それに伴って推定される実際の発電量はどのように変化するかを推定している。モデルを用いた分析の結果、SSP5-8.5 という4度上昇に相当する気候変動シナリオの場合、発電ダムへの流入量は24%増加する。一方で、落差高や各ダムの可能発電流量を加味して発電量に換算すると、その増加率は5%に留まることが明らかになった。本論文は、その理由を詳細に分析するため、各ダム地点における流況とタービン流量との関係から全てのダムを3つに分類した。また、気候変動による流況の変化についても、洪水流量が増加するか、低水流量が増加するかといった観点から全てのダムの流況変化傾向を3つに分類した。さらに、それらの組合せをメコン川全体でマッピングするとともに、各ダムのタービン流量が増加した場合の発電量の変化率を分析した。その結果、メコン川上流の本川沿いのダムは、タービン流量が <math>Q_{50}</math> (年平均流量) よりも小さい Type-C に分類され、流入量が増加しても基本的には余水吐きから放流する流量が増えるだけで発電量の増加が制限されることが明らかになった。一方、メコン川の支川や 3S 川流域とよばれるカンボジアの流域のダムは、タービン流量が <math>Q_{25}</math> (1年間の25%の日数がそれを上回る流量) よりも大きい Type-A に分類された。ただし、気候変動に伴うダム流入量の流況変化を現在と将来とで比較した結果、年間流入量の増加は高水流量の増加によってもたらされており、Type-A のダムであっても、Type-C と同様に流量の増加率に比して発電量の増加率が制限されることが明らかになった。各ダムでタービン流量を増加させたシミュレーションの結果によれば Type-C の方がより効率的に発電量を増やすことができるので、気候変動による流量増加分をより効率的に発電に使用するという観点からは、支川に多く存在する Type-A よりもメコン川本川上流部に位置する Type-C の方が有効であることを示した。</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、メコン川流域を対象に、気候変動と水力発電ダムの開発が、河川の流況と洪水氾濫に及ぼす影響を分析したものであり、以下の研究成果を得ている。

(1) 年間の発電量をなるべく最大に近づけるような操作ルールに従うダムモデルを開発し、メコン川流域全体の水文モデルに統合した。長期流出計算の結果、上流の Chiang Sean 地点では既に運用されているダムの影響が現れており、ダム操作によって乾季の流量が 35%増加、雨季の流量が 16%減少、ピーク流量が 24%減少することを示した。一方、下流の Kratie 地点では、現在計画されている発電ダムの影響が今後、より顕著に出現することを示した。

(2) 気候変動と発電ダムの両方の影響を考慮してメコン川の流況変化を推定した結果、ダムによる流況制御の影響に比べて、気候変動の影響が将来、より顕著に現れ、Kratie 地点における雨季の流量は現在に比べて 19%増加することを示した。仮に水力発電ダムによる流況制御の影響が無いと考えると、気候変動のみで流量は 33%増加すると推定されるため、その差分が水力発電ダムによる効果である。同様の傾向は、流域下流部に位置するメコンデルタの洪水氾濫でもみられ、年間の平均浸水面積は気候変動のみを考慮した場合に 37%増加、発電ダムの影響を含めると浸水面積が 27%増加に減少することを明らかにした。

(3) 気候変動に伴って河川流量が増加することは水力発電量の観点からは望ましい。しかし、本論文の分析の結果から、気候変動に伴って発電ダムの総流入量は 22%増加するのに対し、発電量の増加率は 5%に留まることを示した。その理由を詳しく分析するため、各ダム地点における流況とタービン流量との関係から全てのダムを 3つに分類した。メコン川上流の本川に位置するダムは、タービン流量が  $Q_{50}$ (年平均流量)よりも小さい Type-C に分類され、流入量が増加しても余水吐きから放流する流量の増分が多いことが判明した。一方、メコン川の支川や 3S 川流域とよばれるカンボジアの流域のダムは、タービン流量が  $Q_{25}$ (1年間の 25%の日数がそれを上回る流量)よりも大きい Type-A に分類された。ただし、気候変動に伴うダム流入量の流況変化を現在と将来とで比較した結果、年間流入量の増加は高水流量の増加によってもたらされており、Type-A のダムであっても、Type-C と同様に流量の増加率に比して発電量の増加率が制限されることが明らかになった。

(4) 気候変動による流量増加分をより効率的に発電に使用するためには、どのようなダムでタービン流量を増加させる開発が望ましいかを比較分析した。その結果、支川に多く位置する Type-A よりもメコン本川上流部に位置する Type-C の方がより効率的に発電量を増やせることが明らかになった。

以上のように、本論は、メコン川流域の気候変動と水力発電の影響評価に関する実用的な研究結果を示したものであり、メコン川の流域関係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 4 年 8 月 18 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。