

京都大学	博士（工学）	氏名	Thatkiat Meema
論文題目	Development of an integrated reservoir-hydropower-hydrologic model in tropical climate basins and its application to reservoir operation assessment under climate change and real-time optimization (熱帯気候流域における貯水池-水力発電-水文統合モデルの開発と気候変動下の貯水池運用評価および実時間最適化への応用)		

(論文内容の要旨)

本論文は、東南アジアの河川流域を対象として水力発電を含むダム貯水池運用を組み込んだ水文統合モデルを新たに開発し、気候変動下でのダム流入量を予測して貯水池運用方法を評価するとともに、アンサンブル長期気象予測情報を用いた実時間最適化への応用を検討したものである。本論文は以下の6章から構成されている。

第1章は序論である。東南アジアの河川流域を対象として、これまでに構築された河川流量予測モデルの開発や将来気候変動シナリオのもとでの水循環予測および水力発電予測に関する研究をレビューし、これらの研究では雨期・乾期を通じた長期間の流量予測が不十分であること、ダム操作や水力発電量の予測を加えた統合的な貯水池-水力発電-水文統合モデルの開発が重要性であることを指摘している。その上で、これらの課題を解決し、気候変動シナリオのもとでの水力発電量の将来変化を予測すること、水力発電量および灌漑水量の効率化を目的としてリアルタイムでのダム貯水池操作の最適化を図ることを本研究の目的とすることを述べている。

第2章は、東南アジアの熱帯域河川流域の河川流量予測に適用できる分布型水文モデルの開発について述べている。対象流域はメコン川の支流であるナムグム川流域(16,800km<sup>2</sup>)である。我が国の河川流域で開発された降雨流出モデルをもとに、東南アジア熱帯域の乾期および乾期から雨期への移行時期の河川流量の予測精度向上を図るために、地下水流出を考慮した3種類の異なる構造を持つ斜面流出モデルを分布型降雨流出モデルに組み込み、それらのモデルパラメータの最適化を図るとともに最適モデルパラメータ値と現地の地質特性との適合性を検討した。その結果、従来の斜面流出モデルに一層の地下水モデルを加えた斜面流出モデルはパラメータ同定期間・検証機関ともに元の降雨流出モデルを上回る再現性を有することを確認し、乾期から雨期への移行期を含めて年間を通じた河川流量の再現性を確保できることを示した。また、同定されたパラメータ値は、現地の地質特性により適合するものであることを確認した。

第3章は、自然の降雨流出過程にダム貯水池操作および水力発電モデルを組み合わせた水文統合モデルの開発について述べている。年間のダム貯水池操作曲線に従うダム放流方式と水力発電によるダム放流および水力発電量を推定するサブモデルを構築し、2章で構築した降雨流出モデルに組み込んで、ダム貯水池操作-水力発電-水文過程統合モデルを新たに開発した。この統合モデルをナムグム川流域に適用し、ダム流入量、ダム放流量、貯水位、水力発電量、洪水による無効放流量を適切に再現できることを示し同モデルの適合性を確認した。また、ダム開発が行われていない自

京都大学	博士 (工学)	氏名	Thatkiat Meema
<p>然状態から5つのダムが開発されるまでの5つの段階で、ダム貯水池操作－水力発電－水文過程をモデル化し、それぞれの段階においてダム流入量、ダム放流量、水力発電量、洪水による無効放流量を推定するとともにそれらの変化量を示すことに成功した。</p> <p>第4章は、上記の統合型モデルを用いて気候変動シナリオのもとでの河川流量と水力発電量の変化を予測した結果を述べている。日本の気象庁気象研究所などが作成した2度および4度上昇の気候変動シナリオを用い、それぞれのシナリオでの降水量と蒸発散量の推定値を用いて、ナグナム川の河川流量や水力発電量、洪水による無効放流量の変化を分析した。その結果、同流域では4度上昇シナリオのもとでダム貯水池への年間の河川流量が16%減少から6.5%増加の範囲で変化すること、それに伴い年間の水力発電量は18.8%減少から2.8%増加の範囲で変化することを見出し、地球温暖化に伴って同流域ではダム貯水池の水位が減少して水力発電量が減少する可能性があることを示した。また、ダム貯水池操作曲線を変更することで、発電量の減少を改善できる可能性があることを示した。</p> <p>5章は、リアルタイムの降水予測情報を用いてダム操作の最適化を図った結果について述べている。上記の分布型水文モデルをタイ王国のシリキットダム上流域(13,130km<sup>2</sup>)に適用し、欧州中期予報センターが提供する14日先アンサンブル降水予測と動的計画法とを組み合わせ、水力発電量および灌漑量を最適化するダム操作の最適化システムを開発した。14日以上先の流入量予測情報は既往観測データから統計的に設定することにし、流量予測統計データとして5種類のシナリオを準備した。この最適化システムを適用して一週間先のダム放流量を逐次決定した結果、5種類の予測情報を用いて逐次的に決定した放流量による便益は、経験的に実施されたダム放流量よりも大きく、現行の貯水池管理方式よりも効率の高いダム管理が可能であることを実証した。</p> <p>第6章は、結論であり、本論文の主要な結果をまとめている。</p>			

氏名	Thatkiat Meema
----	----------------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、東南アジアの河川流域を対象として水力発電を含むダム貯水池運用を組み込んだ水文統合モデルを新たに開発し、気候変動下でのダム流入量を予測して貯水池運用方法を評価するとともに、アンサンブル長期気象予測情報を用いた実時間最適化への応用を検討したものである。主な研究成果は以下のように要約できる。

1) 我が国の河川流域を対象として開発された降雨流出モデルを改善し、雨期と乾期が明瞭に分かれる東南アジアの河川流域の河川流量を再現する分布型水文モデルを新たに構築した。これにより、乾期から雨期への移行期を含めて年間を通した河川流量の再現性を確保することに成功した。

2) 上記の分布型水文モデルに、ダム貯水池による発電等の利水や治水による流水制御の効果を付加した統合型水文モデルを新たに開発した。同モデルをメコン川支流に位置するナグナム川流域 (16,800km<sup>2</sup>) に適用し、ダム流入量、放流量、貯水位、水力発電量を適切に再現できることを示して同モデルの適合性を確認した。また、この統合型モデルを用いて、今後のダム開発による河川流量の長期的な変化特性を予測することに成功した。

3) 上記の統合型モデルを用いて、2度および4度上昇の将来気候変化シナリオのもとで、ナグナム川の河川流量や水力発電量、洪水による無効放流量の将来変化を分析した。その結果、同流域では気温上昇に伴って河川流量およびダム貯水池水位が減少し、水力発電量も減少する可能性があることを見出した。また、ダム貯水池の操作曲線を変更することで、発電量を改善させることができることを示した。

4) 上記の分布型水文モデルをタイ王国のシリキットダム上流域 (13,130km<sup>2</sup>) に適用し、欧州中期予報センターが提供する14日先アンサンブル降水予測と動的計画法を組み合わせたダム貯水池の実時間最適化システムを開発した。この最適化システムを用いることで、経験的に実施されてきたダム管理よりも効率の高いダム管理が可能であることを実証した。

以上のように、本論文は、東南アジアの河川流域を対象として多目的のダム貯水池運用を組み込んだ統合型水文モデルを新たに開発し、気候変動下でのダム貯水池の運用方法の評価およびダム貯水池の実時間最適化手法を実現して、その適用性を検討したものであり、学術上、實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8月10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。