

( 続紙 1 )

|  |  |    |                     |
|--|--|----|---------------------|
| 京都大学   | 博士 (工学)  | 氏名 | 張 叡哲 (CHANG JUICHE) |
| 論文題目   | Analyzing Future Change of Frequency and Magnitude of Extreme Floods in River Basins in Taiwan by Using a Large Ensemble Climate Projection Dataset<br>(大規模アンサンブル気候予測データセットを用いた台湾の河川流域における極端洪水の頻度と強度の将来変化分析) |    |                     |
| (論文内容の要旨)  |  |    |                     |
| <p>本論文は、台湾での極端洪水に対する気候変動影響を分析することを目的とし、大規模アンサンブル気候予測データベース d4PDF を台湾の主要河川流域に適用して極端降雨と極端洪水の将来変化を評価するとともに、流域沿岸部での海面水位上昇および高潮と河川洪水の複合的な影響を分析したものである。本論文は以下の7章から構成されている。</p> <p>第1章は序論である。台湾における主要な洪水災害についてレビューし、気候変動下で極端洪水による水災害の激甚化が予測されていることを述べたうえで、台湾において気候変動予測データを活用した影響評価研究が十分でないことを指摘している。極端洪水に対する影響評価のために大規模アンサンブルデータを活用することが重要であることを述べ、大規模アンサンブルデータセット d4PDF の台湾の河川流域での適用可能性を検証するとともに、極端洪水の頻度と強度の将来変化を分析することを本研究の目的とすることを述べている。</p> <p>第2章は、台湾の4つの主要河川流域（濁水渓流域、高屏渓流域、淡水河流域、秀姑巒渓流域）を対象として d4PDF 過去実験による年最大流域平均雨量の確率分布の再現性を評価している。その結果、3つの河川流域で d4PDF 過去実験のそれらの極値降水量の適合性が高く、再現性がよいことを示した。一方、秀姑巒渓流域では系統的なバイアスが見られ、バイアス補正の必要性を述べている。</p> <p>第3章は、d4PDF の降水量のバイアスを補正するために三種類のバイアス補正手法を提案し、補正を施した d4PDF の降水量を用いて過去実験および4度上昇気候実験での降水量極値を推定した結果を示している。1つ目のバイアス補正手法は、極値統計に基づき観測データと d4PDF との双方で2年最大値を取って観測データに極値分布を当てはめ極値推定を安定させてバイアスを補正する方法である。2つ目は下位データを取り除いて観測データに極値分布を当てはめ極値推定を安定させてバイアスを補正する方法である。3つ目は累積確率値ごとのアンサンブル中央値を取り、アンサンブル中央値と観測データの累積頻度を比較してバイアスを補正する方法である。3つのバイアス補正手法を適用した結果、観測データの下位データを除く手法もしくはアンサンブル中央値のバイアスを補正する手法を用いることで安定したバイアス補正を施すことができることを見出した。また、過去の顕著台風による流域平均年最大雨量の再現期間を d4PDF 降水量データを用いて再評価し、台風ナーリーによる淡水河流域での再現期間が約125年、台風モーラコットによる高屏渓流域での再現期間が約120年であることを見出した。いずれの流域でも降水量極値が4度上昇気候実験のもとで増加し、台風ナーリーによる淡水河流域での再現期間が55年、台風モーラコットによる高屏渓流域での再現期間が34年にまで短期化することを示した。</p> |  |    |                     |

第4章では、濁水渓流域と高屏渓流域において分布型降雨流出モデルを構築し、過去の複数の主要台風による洪水事例を対象として降雨流出モデルの再現性を検証した結果を述べている。濁水渓流域では対象とした洪水を精度よく再現することができ、高屏渓流域では一部の事例で洪水ピーク流量を過大評価したものの複数の洪水事例をよく再現することを示した。構築した分布型降雨流出モデルに d4PDF の降水量を入力して河川流量極値の現在気候とその将来変化を分析した結果、濁水渓流域では過去実験における年最大河川流量の頻度分布が観測流量による頻度分布を良好に再現することがわかった。一方、高屏渓流域では年最大河川流量の頻度分布に乖離が見られた。そこで、同流域では年最大河川流量に対してもバイアス補正を行った。その結果、いずれの流域でも4度上昇気候実験のもとで河川流量極値が増加することを明らかにした。

第5章では、第4章で得られた年最大河川流量の計算結果を用いて濁水渓下流域を対象に外水氾濫に対する気候変動の影響評価を行った結果を示している。下流域の河川幅の拡大を考慮して適切な洪水氾濫計算を実施するために、一次元河川流計算を実施する計算格子と氾濫原での二次元氾濫計算を実施する計算格子とを接続する計算スキームを新たに開発し、洪水氾濫解析モデルに導入した。これによって、一次元河川流計算による効率的な洪水流解析モデルと詳細な地形特性を導入した洪水氾濫解析モデルとを統合することに成功した。開発した洪水氾濫解析モデルを用いて2017年洪水時の河川流の再現計算を実施し、観測河川水位を良好に再現することを確認した。そのうえで、4度上昇気候実験のもとで得られた推定河川流量を上流側境界条件として与え、河口域の洪水氾濫の将来変化を分析した。その結果、4度上昇気候下では氾濫域が大きく増加することを見出した。

第6章では流域沿岸部での海面水位上昇および高潮と河川洪水の複合的な影響を分析するために、第5章で実施した濁水渓下流域での洪水氾濫解析をより現実的な条件で実施して、河口での海面水位の変化を洪水氾濫解析モデルに反映させた結果を示している。その結果、河口水位変化を下流側境界条件として設定した場合、第5章で設定した等流による境界条件に比べて河川水位が低下し、推定浸水域が小さくなることを示した。次に、高潮時の河口水位を下流側境界条件として設定するために観測海面水位の極値頻度解析を実施し、再現期間100年に相当する高潮時の河口水位を求めた。その上で、第4章で得られた年最大河川流量の計算結果を上流側境界条件とし、高潮水位偏差および気候変動を考慮した海面水位を下流側境界条件として設定して河口域の洪水氾濫計算を実施した。その結果、4度上昇気候下では外水氾濫の頻度と浸水範囲が大きくなること、濁水渓下流域では海面水位上昇と高潮の外水氾濫への影響は相対的に小さいことを明らかにした。

第7章は結論であり、本論文の主要な結果をまとめている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、台湾での極端洪水への気候変動影響評価を目的とし、大規模アンサンブル気候予測データベース d4PDF を台湾の主要河川流域に適用して極端降雨と極端洪水の将来変化を評価するとともに、流域沿岸部での平均海面水位上昇および高潮と河川洪水の複合的な影響を分析したものである。主な研究成果は以下のように要約できる。

1) 台湾の4つの主要河川流域を対象に d4PDF 過去実験による年最大流域平均雨量の確率分布の再現性を評価した。その結果、3つの河川流域で再現性が高く d4PDF 過去実験の極端降水量の適合性が高いことを示した。バイアス補正の必要性が見られた流域では極値統計に基づいて複数のバイアス補正手法を提案し、観測データの下位データを除く手法もしくはアンサンブル平均値を補正する手法を用いることで安定したバイアス補正を施すことができることを見出した。

2) バイアス補正を施した d4PDF の降水量を用いて過去実験および4度上昇気候実験での降水量極値を推定した。過去の顕著台風を対象とした流域平均雨量の再現期間を再評価し、台風ナーリーによる淡水河流域での再現期間が約125年、台風モーラコットによる高屏溪流域での再現期間が約120年であることを見出した。いずれの流域でも降水量極値が4度上昇気候実験のもとで増加することを示した。

3) 濁水溪流域と高屏溪流域において分布型降雨流出モデルを構築し、d4PDF の降水量を入力して河川流量極値の将来変化を分析した。その結果、いずれの流域でも4度上昇気候実験のもとで河川流量極値が増加することを明らかにした。

4) 氾濫原の詳細な地形特性を二次元氾濫流解析モデルに反映しつつ、一次元計算による河川流モデルから氾濫原への越水を扱う計算スキームを新たに開発し、氾濫流解析モデルに導入した。次に、濁水溪流域を対象として、4度上昇気候実験のもとで得られた推定河川流量を上流境界条件として与え、河口域の洪水氾濫の将来変化を分析した。さらに、4度上昇気候実験での平均海面水位上昇と高潮の影響を分析した。その結果、極端洪水による氾濫域が拡大すること、平均海面水位および高潮による氾濫域拡大への影響は相対的に小さいことを明らかにした。

以上のように、本論文は、大規模アンサンブル気候予測データベース d4PDF を台湾の河川流域に適用して極端降雨と極端洪水の将来変化を評価するとともに、流域沿岸部での平均海面水位上昇および高潮と河川洪水の複合的な影響を分析したものであり、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、令和6年1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。