

1.1 ダム設計洪水流量への気候変動影響の反映手法に関する調査

研究年度：令和4年度

研究分野：ダムの計画及び操作に関する調査研究

調査研究名：ダム設計洪水流量への気候変動影響の反映手法に関する調査

研究者名：箱石憲昭、竹村雅樹、松井剛志、田中晶生

【要約】

平成30年7月豪雨について気象庁は「今回の豪雨にも地球温暖化の寄与があったと考えられる」とし、はじめて個別災害について気候変動による影響に言及した。令和元年10月には気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会による「気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言」が公表されている。このような状況のもと、ダム設計洪水流量に関する基準についても、気候変動の影響を踏まえて見直すことを想定し、治水計画における気候変動影響の反映方法や、海外のダム設計洪水流量への気候変動影響の反映状況に関する資料を収集・整理した。

【キーワード】

ダム設計洪水流量、気候変動、気候変動予測モデル、非定常水文統計解析

【背景・目的】

近年、毎年のように豪雨災害による甚大な人的被害・社会経済被害が生じている。平成30年7月豪雨について気象庁は「今回の豪雨にも地球温暖化の寄与があったと考えられる」とし、はじめて個別災害について気候変動による影響に言及した。令和元年10月には気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会による「気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言」が公表され、その後、暫定値を精査した改訂版が令和3年4月に公表されている。

また、令和2年7月には、社会資本整備審議会による「気候変動を踏まえた災害対策の在り方について～あらゆる関係者が流域全体で行う持続可能な「流域治水」への転換～ 答申」が公表され、近年の水災害による甚大な被害を受けて、施設能力を超過する洪水が発生することを前提に、社会全体で洪水に備える水防災意識社会の再構築を一步進め、気候変動の影響や社会状況の変化などを踏まえ、あらゆる関係者が協働して流域全体で行う、「流域治水」への転換を推進し、防災・減災が主流となる社会を目指す方針を打ち出している。

このような状況のもと、我が国のダム設計洪水流量に関する基準についても、気候変動の影響を踏まえて見直すことを想定し、治水計画における気候変動影響の反映方法や、海外のダム設計洪水流量への気候変動影響反映の状況に関する資料を収集・整理した。

【令和4年度の研究成果】

(1) 気候変動の影響反映についての検討事例収集

① 我が国の治水計画における気候変動影響の反

映検討

i 気候変動を踏まえた治水計画のあり方提言

国土交通省が設置した「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討委員会」は、気候変動予測モデル、力学的ダウンスケーリング法、アンサンブル将来予測などの計算手法といった気候変動の影響に関する予測技術の向上、高性能計算や大規模データ利用等のシステム開発の成果により、災害をもたらすような極端な現象を評価するために必要となる膨大なアンサンブル計算結果が整備されたことを踏まえ、これらの最新の科学技術を治水計画等にどのように活用するかについて具体的に検討してとりまとめた「気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言」を令和元年10月に公表した。それ以降、新たに整備された気候変動予測モデルによるアンサンブルデータを用いて実施した2℃上昇時の降雨量変化倍率の精査や、島しょ部および短時間・小流域への適用、気候変動を踏まえた治水計画の具体的手法等について議論を進め、令和3年4月に改訂している。

その概要は以下のとおりである。

1) 気候変動に伴う降雨量や洪水発生頻度の変化

○降雨特性が類似している地域区分ごとに将来の降雨量変化倍率を計算し、将来の海面水温分布毎の幅や平均値等の評価を行った上で、降雨量変化倍率を設定した。

○2℃上昇した場合の降雨量変化倍率は、北海道で1.15倍、その他（沖縄含む）地域で1.1倍、4℃上昇した場合の降雨量変化倍率は、北海道・九州北西部で1.4倍、その他（沖縄含む）地域で1.2倍とする。

○4℃上昇時には小流域・短時間降雨で影響が大きいため、別途降雨量変化倍率を設定する。

2) 降雨量変化倍率

○全地域区分の雨域面積、降雨継続時間毎の降雨量

変化倍率の算術平均は約 1.10 倍であるが、北海道北部と北海道南部については6つの SST(海面水温)の何れのケースでも全国平均値を超過する結果となったため、別途これらの 2 地域で評価を行い 1.15 倍とした。残りの 13 地域については、4℃上昇時において 6 つの SST の全ケースで全国平均値を超過していた九州北西部も含め、どの地域区分においても、SST モデルの違いによる幅に平均値約 1.10 倍が入っていることを確認しており、1.1 倍と評価した。

○流域面積 100km² 以下である水系や下水道の計画に前述の降雨量変化倍率を適用するにあたっては、対流による積乱雲の発達等の要因で発生する局所的大雨の評価ができておらず、降雨量変化倍率が今回設定した値より大きくなる可能性があることに留意する必要がある。今後引き続き技術的知見の蓄積に努め、検討を進める必要がある。

3)将来降雨予測データの評価

○ 気候変動計算モデルはモデル自身が有する物理過程の表現性の課題に加え、解像度 5km へのダウンスケール計算についても、その境界条件は解像度 20km モデルの計算結果が与えられており、台風の発生頻度などの解像度 20km モデルが持つバイアスを一部取り込んでしまう可能性があることや、メッシュにおける地形の設定条件によっても大幅に結果が変化することも確認されており、これらについて様々な研究が行われ、日々改善が図られている。しかし、現時点においては、将来予測計算から得られた計算値は現況の再現性に課題があることから、そのまま全国レベルで治水計画等の外力として活用する手法は採用しない。

○ また、これらの気候変動予測モデルが有するバイアスを補正するため、現在気候に関する再現実験と実際の気象観測結果との比較等から様々な手法が提案されているが、今回の検討においては、現在気候における補正手法を同様に将来気候においても適用することの可否について十分な知見が得られていないことから、バイアス補正手法を採用しない。

4) 気候変動予測モデルを活用した影響分析

○ 気候変動における影響として、降雨量の変化倍率や降雨の時空間分布などの変化、複合的な災害への影響を評価するにあたり、気候変動予測モデルの再現精度に限界があるため、計算結果をそのまま活用するのではなく、そのバイアスを打ち消すため現在気候と将来気候の計算結果の比較により、影響分析を行うことを基本とした。現時点においては、過去実験と将来実験で算出された年超過確率 1/100 の降雨量を比較することにより設定した降雨量変化倍率を治水計画等に反映する。

○ 治水計画の目標規模に幅 (1/10~1/200) があるため、確率規模を変化させて降雨量変化倍率の変化傾向を確認した。これらの結果として、治水計画で目標としている確率規模においても年超過確率 1/100 の降雨量変化倍率と同程度の値となっていることを確認しており、年超過確率 1/200 以上の規模の計画に適用する降雨量変化倍率として、年超過確率 1/100 の降雨量で算定した値を適用することが可能と考える。なお、降雨量変化倍率の算定に用いたアンサンブル数の制約から年超過確率 1/200 を大きく下回る低頻度の現象(想定し得る最大降雨等)については評価ができていない。

5)施設設計における考え方

○ 河川管理施設の設計にあたっては、施設又は部材等の耐用年数が経過するまで必要とされる安全性が確保されているよう考慮しておく必要がある。このため、施設の設計に気候変動の影響を取り込むにあたっては、耐用年数経過時点の降雨量変化倍率を活用して外力を見直すことが必要である。

○ また、将来の外力の変化予測には不確実性が含まれていることを踏まえ、さらなる外力の増加への対応として、外力の増加した場合の改築を容易に行うための工夫を予め行うのか、外力の増加が明確化した段階で改築するのか等について、予め方針を定めておくことが望ましい。

○ 具体的には、施設の新設にあたっては、少なくとも 2℃上昇時の外力を踏まえて設計を行うことが望ましく、さらに、ダムや堰、大規模な水門などの耐用期間の長い施設については、必要に応じて、更なる気温上昇(例えば 4℃上昇時)にも備えた設計の工夫を行うことにより、気候変動によって目標とする流量が増加した場合等でも、容易かつ安価に改造することが可能となる。

また、ポンプ等の施設については、その施設の耐用年数経過時点の気候変動の影響を考慮して設計をすることが望ましい。

○ さらに、治水計画と一体となって河川管理施設の構造の工夫や更なる強化を予め講じておくことにより、施設能力を上回る洪水に対しても減災効果を発揮させることも考えられる。

ii 非定常水文統計解析手法の適用性検討

既に水文現象に気候変動の影響が生じているとすれば、その影響も含む水文量に対して、トレンド成分を内包する非定常な水文量の統計解析手法を適用することが考えられる。しかし、現時点では後述するように、治水計画に適用するには引き続き研究開発を進めることが必要とされている。

1)非定常水文統計解析手法の概要

「河川砂防技術基準 調査編 第3章水文解析 第1節水文統計解析」における「非定常水文統計解析手法」において、「気候変化等の影響を受け解析対象水文資料の統計的特性が経年的に変化していると判断される場合の水文頻度解析には、本節の1.4の非定常性を考慮した検討を行う」とされている。

基準における記載内容は以下のとおりであり、2)が非定常水文統計解析手法に関する記述である。

1. 4 非定常な水文学の頻度解析

<考え方>

定常とみなせない場合の水文学の頻度解析として、以下の手順による方法が考えられる。

1) 水文資料の周期性やジャンプの有無を検討し、これらを含まない水文資料とする。

2) 水文時系列資料の統計特性の時間的変化がモデルの中に組み込まれた確率分布モデルの母数を推定し、確率評価を行う。例えば、年最大値等の極値資料を扱う一般極値分布の場合や POT 資料を扱う一般 Pareto 分布の場合、位置母数、尺度母数及び形状母数の3母数で表されるが、そのうち、位置母数及び尺度母数が時間的に変化するモデルを考える。

$$\xi(t) = \beta_0 + \beta_1 t \quad \text{又は} \quad \xi(t) = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2$$
$$\alpha(t) = \exp(\beta_3 + \beta_4 t)$$

このような母数の中のパラメータを最尤法で解くことにより、時系列変化を表す確率分布モデルを推定する。

2)気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討委員会における適用性検討

「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討委員会」の第6回において、非定常水文統計解析手法の気候変動を踏まえた治水計画への適用性の検討が行われており、「これまでの治水計画においては、年最大雨量等の極値分布が時間的に変化しない(定常)と見なして水文統計解析を実施してきた。しかしながら、時間50mmを超えるような短時間降雨の発生回数が近年増加していることや、非温暖化実験結果から地球温暖化の影響により降雨量が増加していることが示されており、過去の降雨量の標本を定常として扱うことが妥当か検証する必要がある。近年の地球温暖化の影響評価のためには、過去の標本も含めて非定常の水文統計解析を用いる必要がある。」とされている。

非定常統計解析手法の課題としては、次の3点が掲げられ、治水計画に適用するには、引き続き研究開発を進め、課題に対する検討が必要と考えられる

とされている。

○雨量標本が非定常性を示したとしても、それが気候変動の影響とは必ずしも言い切れない。

○元々、降雨量に対して時間は説明変数ではないため、母数を時間の関数ではなく気温や湿度の関数で表す方法が研究されている。

○ベースとなる確率分布モデル、母数の関数形など、非定常統計解析の手法が必ずしも確立していない。非定常水文解析手法を用いて気候変動の影響を分析した事例としては以下の参考文献がある。

1) 立川康人・森信二・キム スンミン・萬和明：非定常水文頻度解析手法を用いた極地降水量の変化予測—地球温暖化予測情報への適用、土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.71, No.4, I-367-I-372, 2015

2) 林 敬大、立川康人、椎葉充晴：時変母数による非定常水文頻度解析手法のモデル選択に関する考察、土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.71, No.1, 28-42, 2015

② 海外におけるダム設計洪水流量への気候変動影響の反映方法

国際大ダム会議 (ICOLD) や日本大ダム会議の関連文献を調査したところ、ダム設計洪水流量算定にあたり将来の気候変動を考慮していると思われる国は、韓国・スウェーデンであった。多くの国では、気候変動予測の不確実性から、水文データの蓄積に伴う見直しで対応していると思われる。

以下に、収集した文献の気候変動の反映に関する部分の抜粋を示す。

i 日本大ダム会議技術委員会報告「地球温暖化とダム第一フェーズ」(2013)における記述

ダム設計洪水流量が見直された事例は多くの国から報告されており、以下の3種類に大別される。

1)算定基準の改定

ダム設計基準の改定に伴い、PMF、想定下流被害によるランク分け等の新しい設定方法が導入された事例。

2)水文データの蓄積

定例的観測データの増加、過去に経験されなかったような大規模な降雨・出水事例の出現により、確率年洪水流量または PMF が変更された事例。

3)流域環境の変化

人為的環境改変による流出率等の変化により洪水流量そのものが変化した事例と、ダム下流の開発によりダムの決壊時に想定される被害が増加し、ダムに要求される洪水放流能力が増加した事例。

もっぱら地球温暖化への適応策として見直しを行ったと述べている論文は確認できなかった。これは、

どの国の研究者も異常な降雨・出水事例の出現が地球温暖化の結果であると断定することに慎重であるためだと推測される。しかし、韓国の研究者だけは一歩踏み込んで、地球温暖化は現実に行進中であり、そのことを念頭に置いて国策として水資源確保・水災害防止策を研究・実施していると述べている(金,2009:Yum, 2009)。

各国におけるダム設計洪水流量の見直しは、現在の事実として認識されている異常な降雨・出水事象の出現等を理由として行われているが、結果として地球温暖化への適応策となっていると考えられる。

韓国は、地球規模の温暖化が現実に行進中であるとの前提に立ち、将来の水資源確保・水災害防止の適応策を国家戦略「気候変化に備えた国家水安保確保方策」として研究・実施している。韓国建設技術研究院の金柄植氏(金,2009)がその概要を報告した。韓国では、ダム設計洪水流量を求める際に PMP を用いることとされている。温暖化によって PMP 等の極限水文現象の指標値がどの程度増大するかを予測評価するため、地球温暖化の全球レベルでの予測結果を高解像度 RCM(領域気候モデル)でダウンスケーリングし、自国における 100 年後までの「持続 5 日降雨強度」等の雨量や、それに起因する主要河川の洪水流量を計算している。

ii スウェーデン HALLBERG ら、DESIGN FLOOD ASSESSMENT IN A CHANGING CLIMATE -ADAPTATION BASED ON NEW EMISSION SCENARIOS、ICOLD (2015 年スタヴァンゲル大会 Q.97 -R.25) における記述

スウェーデンのダム設計洪水決定に関するガイドラインは、すべての設計検討において気候変動を考慮することを規定しているが、これは国のガイドラインとしてはまだまれなものである。

このプロジェクトで開発された全国的なバイアス補正された気温と降水量の大規模なデータは、新世代の RCP シナリオに基づく水文学的影響評価の基礎を築いた。開発された方法は 2012 年から運用上使用されているため、これは重要な近代化である。

iii ICOLD 技術委員会(気候変動委員会)報告 Global Climate Change, Dams, Reservoirs and Related Water Resources (2016) における記述

気候モデルシミュレーションを使用して地域影響解析の気候変動シナリオを生成した例をいくつか示す。

例 1:ダム設計洪水流量の評価は、変化する気候の中で成り立つか?-スウェーデン

国立ダム安全局(SVK、スウェーデン ナショナルグリッド庁)とスウェーデン気象水文研究所(SMHI)および水力発電と鉱業の当事者との共同のもと、スウェーデン全土の 1001 の流域のダム設計洪水流量が再検討された。11 の高危険度の流域については、2 つの将来の時間軸(2050 年、2100 年)の地域気候モデルからの 16 のシナリオを採用することにより、より詳細に研究された。シナリオは、将来の河川流量シナリオを得るために水文モデルとシームレスに統合されるようにバイアス補正された。分析の結果、将来のダム設計洪水流量の減少は、温暖化による設計積雪量の減少と蒸発散率の増加に起因することが明らかになった。しかし、温暖化により降水量の大幅な増加が予測されているスウェーデン南部では、ダム設計洪水流量の増加が見られた(Bergström 他.2012)。

iv ICOLD 技術委員会(ダムの安全のための洪水評価委員会)報告 FLOOD EVALUATION AND DAM SAFETY (2015) における記述

現時点では、ダム設計者が関心を持つ洪水が気候変動によってどのように影響を受けるかについて、気候学者からの定量的かつ信頼できるガイダンスはほとんどないことを認識するべきである。

v ノルウェー MIDTTØMME ら、CLIMATE CHANGE AND DAMS - PORTFOLIO RISK ANALYSIS OF DAMS VULNERABLE TO INCREASING FLOODS、ICOLD(2018年ウィーン大会 Q.101 - R.70) における記述

ノルウェーの多くの地域でダム設計洪水流量が増加すると予想されるにもかかわらず、洪水計算の更新を含む 15 年ごとのダムの定期的な安全性再評価システムは、今後、気候変動が進んでも安全レベルを「一定」に保つのに十分であると考えられている。

【結果とりまとめ】

- ① 最新の科学技術を治水計画等にどのように活用するかについて、具体的に検討してとりまとめた「気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言」においても、気候変動予測モデルの再現精度に限界があるため、計算結果をそのまま活用するのではなく、そのバイアスを打ち消すため、現在気候と将来気候の計算結果の比較により影響分析を行うこととしている。
- ② 既に水文現象に気候変動の影響が生じているとすれば、その影響も含む水量量に対して、ト

レンド成分を内包する非定常な水文量の統計解析手法を適用することが考えられるが、非定常統計解析手法を治水計画に適用するには、引き続き研究開発を進め、課題に対する検討が必要とされている。

- ③ 国際大ダム会議 (ICOLD) や日本大ダム会議の関連文献を調査したところ、ダム設計洪水流量算定にあたり将来の気候変動を考慮していると思われる国は、韓国・スウェーデンであり、その他の多くの国では、気候変動予測の不確実性から、水文データの蓄積に伴う見直しで対応していると思われる。

【謝辞】

本研究は、国土交通省水管理・国土保全局治水課からの受託業務の成果の一部であり、記して謝意を表す。