

気候変動を考慮した新たな治水計画への パラダイムシフト



河川政策グループ
主任研究員
岡部 真人



河川政策グループ
首席研究員
田村 善昭



河川政策グループ
首席研究員
柳澤 修

1 はじめに

1.1 近年の水災害の状況

我が国では2015年の関東・東北豪雨、2016年の台風10号、2017年の平成29年7月九州北部豪雨、2018年の平成30年7月豪雨、2019年の令和元年東日本台風、2020年の令和2年7月豪雨など激甚な被害をもたらした水災害が毎年のように発生している。自然災害のうち、風水害による死者・行方不明者数の割合は増加傾向にあり、水害による被害額は2019年に全国で2兆円を超え、統計開始以来最大となるなど、大きな被害をもたらしている。

1.2 気候変動が水災害に及ぼす影響

我が国の近年の水災害の特徴として、地球温暖化に伴う気候変動により広域かつ長時間の降雨が発生し、降雨の観測記録の更新する地点が多くなっている。気象庁の時間降水量データを分析すると、短時間降水量だけでなく長時間降水量も増加する傾向がある。

海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がなく、世界全体の陸域における平均降水量は1950年以降増加している可能性が高い」と示されている¹⁾。降水量の将来予測については、例えば、20世紀末と比較して21世紀末の50mm/h以上の雨の発生頻度は2°C上昇シナリオの場合で約1.6倍に増加すると気象庁は予測している。

このような状況に対し、国土交通省では、2°C上昇のシナリオの将来気候を想定し、温暖化の影響を予め治水計画に反映し、中長期的かつ計画的に河川整備を進めることとして、実績降雨データに加え気候変動予測モデルによる将来気候の降雨データ等も用いて基本高水を設定する手法（以下、「新たな手法」という）をとっている。これまで一貫して実績データを用いて基本高水が決定されてきたが、今回初めて将来予測データも用いられることになった。これは治水計画の歴史上大きな転換、パラダイムシフトである。

今後、気候変動による降雨波形の時空間的な将来変化における分析手法やこれに対する河川計画の適用手法が整理する必要がある。そこで、本稿では、新宮川水系の検討事例を基に気候変動を考慮した新たな基本高水設定手法について報告する。

2 気候変動に考慮した新たな治水計画への パラダイムシフト

2.1 我が国におけるこれまでの治水計画

我が国では、河川の整備は戦前から今日まで観測結果を用いて整備の基本となる流量を設定し行われてきた。明治以降、戦前までは、原則として既往最大洪水によって計画の対象とする流量を決定してきた。

その後、昭和33年（1958年）には、河川砂防技術基準において「計画対象地域の重要度に応じて年超過確率を考慮する」という概念が導入され、計画基準点における計画の基本となる洪水のハイドログラフ群（以下「基本高水」という）の設定において、全国の河川で、観測結果を用いた統計解析と年超過確率の関係から工事実施基本計画の策定や改定が行われるよ

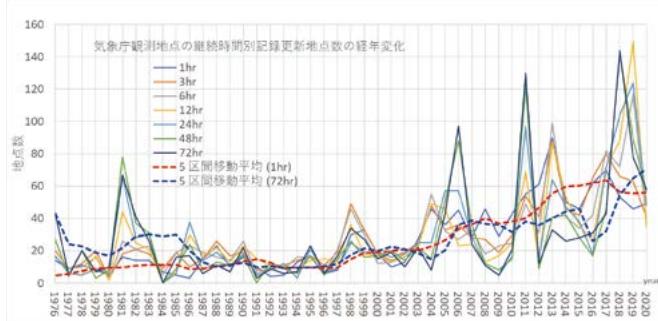


図1 気象庁の地域気象観測所における継続時間別記録更新
地点数の経年変化の状況

世界的な状況としては、気候変動に関する政府間パネル（以下、「IPCC」という）において2021年8月に公表した第6次評価報告書第1作業部会報告書では、「人間の影響が大気、

うになった（「既往最大主義」から「確率主義」への移行）。

このように、これまでの治水計画では、「既往最大主義」から「確率主義」への移行という大きな考え方の変更があったものの、実績の降雨・流量データを基に河川の整備の基本となる流量を設定し検討されてきた（以下「従来手法」という）。

2.2 河川整備基本方針における基本高水の検討手順

基本高水は、計画基準地点において計画の基本となる洪水ハイドログラフ群であり、この基本高水に対して計画の目的とする洪水防御効果が確保されるように計画が策定される。

平成9年（1997年）の河川法改正により策定されることになった、長期的な整備の方針や整備の基本となる事項を定める河川整備基本方針においては、計画基準点において、基本高水のうち最大流量となるハイドログラフのピーク流量である基本高水のピーク流量と、その河道及び洪水調節施設への配分、並びに主要地点での計画高水流量を定め、一定規模の洪水の氾濫を防止し、必要に応じそれを超える洪水に対する被害を軽減する計画としている。

従来手法による基本高水の設定においては以下の手順で検討を行っている^{2) 3)}。

① 計画規模の設定

河川の重要度を重視するとともに、既往洪水による被害の実態、経済効果等を総合的に考慮して設定。

② 対象降雨の降雨量の設定

基本高水に用いる対象降雨波形は、実績流量の大きな洪水や様々な降雨パターンを示す実績の降雨波形を選定し、これらを継続時間内の雨量から求めた確率雨量となるように引き伸ばして設定。

③ 対象降雨の降雨量への降雨パターンの引き伸ばし

継続時間内の雨量から求めた確率雨量となるように降雨量を引き伸ばす。著しい引き伸ばしと判定される場合には棄却。

④ 洪水流モデルを用いた流量への変換

引き伸ばした降雨を用いて流出計算を行い、計画対象となるハイドログラフ群を作成。

⑤ 基本高水の設定

「雨量データによる確率からの検討」、「流量データによる確率からの検討」、「既往洪水による検討」の観点から総合的に判断し基本高水のピーク流量を決定。

2.3 気候変動を考慮した新たな治水計画

国土交通省では、2021年10月に全国で初めて、新宮川水系及び五ヶ瀬川水系の河川整備基本方針が気候変動を踏まえたものへと変更された。この治水計画の考え方とその時代背景を整理すると図2のようになる。

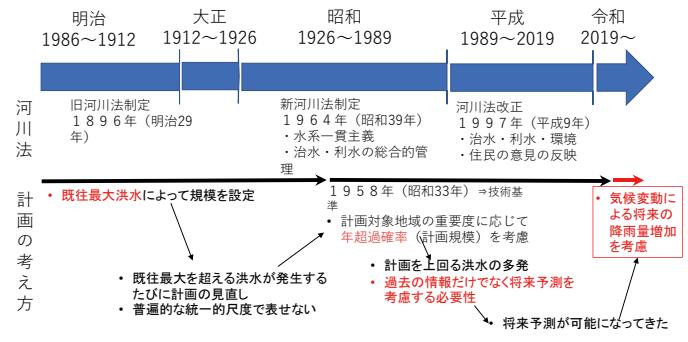


図2 治水計画の考え方の変遷とその時代背景

3 気候変動による将来の外力増大を考慮した基本高水の設定について

3.1 气候変動を踏まえた基本高水のピーク流量設定の流れ

気候変動を踏まえた基本高水の設定の流れは、従来手法の検討の流れを基本に取り入れたものである。本稿では、そのうち、以下の3項目について述べる。

- ① 気候変動を踏まえた対象降雨の設定
- ② アンサンブル予測降雨波形データを用いた検討を考慮した新たな総合的判断
- ③ アンサンブル予測降雨波形データを用いた基本高水の対象降雨波形群に不足する降雨波形の検討

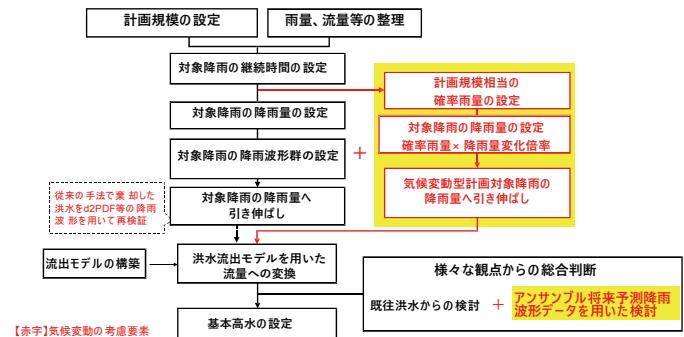


図3 基本高水設定の流れ

3.2 気候変動を踏まえた対象降雨の設定

将来にわたり河川整備で目標とする治水安全度を確保するためには、対象降雨の降雨量に温暖化による将来の降雨量の増加を予め見込んだものにする必要がある。将来予測降雨波形を直接用いる場合、気候変動予測モデルの計算手法によって結果が変化することや、水系単位での評価にはデータ数の制約があり、台風等の極端現象といった温暖化の影響が現れていると考えられる低頻度のイベント検出が難しい場合もあることから年超過確率1/100規模相当の降雨の生起頻度の再現性に課題があると考えられる。そのため、令和3年（2021年）4月に改訂された「気候変動を踏まえた治水計画のあり方」提言（以下、「提言」という）では、将来予測降雨波形から水系ごとに確率処理する手法を採用せず、気候変動予測モデルが有するバイアスを打ち消すために現在気候と将来気候の比を用い、降雨特性が類似している地域区分単位で評価し降雨データを増加させること

で、信頼度をより向上させた降雨量変化倍率を用いることとしている⁴⁾。

提言に基づき、新宮川水系の河川整備基本方針改定においては、対象降雨の降雨量は、実績降雨データから定常状態の気候を想定した水文統計解析により算定した確率雨量に、将来の降雨量変化倍率を乗じたものを用いることとしている。

新宮川水系では時間雨量が存在している1965年から2010年までの実績雨量データを用いて、定常の水文統計解析により、確率雨量を求めている。適合度や安定性の評価を行い1/100確率の相賀基準地点上流の流域平均雨量を499mm/24hとし、降雨量変化倍率1.1倍を乗じて、対象降雨の降雨量を549mm/24hとしている⁵⁾。

なお、参考として、降雨量変化倍率を用いるのではなく、将来予測降雨波形を直接用いた場合の確率雨量についても検討を行っている。IPCCのRCP8.5シナリオでおよそ2030-2050年頃における世界平均の地上気温が産業革命当時と比べて2°C上昇した世界を模した大規模アンサンブル気候予測データセット（以下、d2PDF（5km、SI-CAT）という）による新宮川水系における1/100確率雨量は568mm/24hとなった⁶⁾。

対象降雨の降雨量設定後、対象降雨波形群の設定について、新宮川水系では以下のように行っている。

- ① 1965年から2019年までの期間において、相賀基準地点で平均年最大流量以上の洪水の中から、洪水のピーク流量の生起時刻前後の24時間流域平均雨量が現在気候の1/100確率雨量499mm/24hの1/2以上を示す22洪水を抽出。
- ② これらの波形の中で短時間あるいは小流域の雨量が著しい引き伸ばし（年超過確率1/500規模の雨量以上）となっている13洪水を棄却。
- ③ 9洪水を将来気候の1/100確率雨量549mm/24hまで引き伸ばし、対象降雨波形群に設定。

一方、温暖化により小流域及び短時間集中度の変化等の降雨パターンの変化により、棄却した実績降雨の引き伸ばし降雨波形の発生が十分に予想される場合が考えられる。または、偶然、観測されていなかった可能性もある。このため、d2PDF（5km、SI-CAT）及び過去実験から得られた720年分（60年×12パターン）の降雨データから、24時間内の流域平均雨量が対象降雨の降雨量に最も近い10洪水を抽出し、棄却した13洪水の引き伸ばし降雨波形と降雨の時空間分布を比較検証している。

その結果として、1洪水（1979年10月波形）は、地域分布及び時間分布の両方において予測降雨波形から得られた最大比率の範囲内であることから、棄却せず参考波形として扱うこととした。

既往研究より、短時間の降水量では気温が上昇するほど飽和水蒸気量が増加し、そのために降水量が増えるClausius-Clapeyron関係を超える変化を示す結果が得られており、今後、小流域・短時間の降雨検証に用いるモデルの空間・時間解像度の設定は改善が必要であると考える。

近年の降雨については既に温暖化の影響を含んでいる可能性があるため確率雨量の算定には、従来手法のように定常状態を仮定した統計処理を行うことは限界があるという課題があり、雨量標本の取扱いについて検討が必要である。

3.3 新たな総合的判断による基本高水の設定

新宮川水系では、従来の「流量データによる確率からの検討」に代わる手法として、「アンサンブル予測降雨波形による検討」を新たに用いた。この検討では図4に示すように実績降雨の引き伸ばしで得られた対象降雨波形群から流出計算モデルを用い算定したハイドログラフ群に対し、「アンサンブル予測降雨波形による検討」や「既往洪水による検討」の観点から総合的に判断して基本高水を決定している。

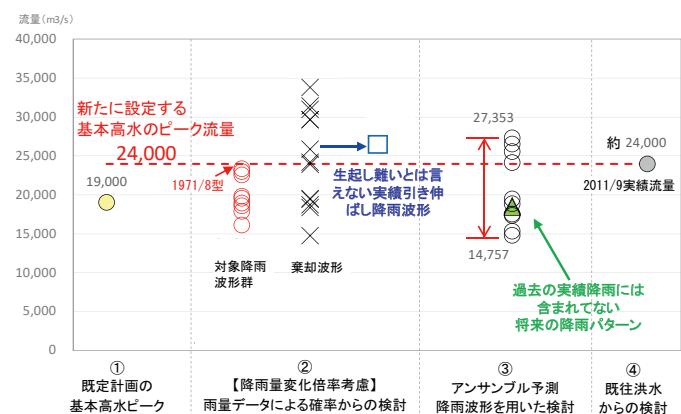


図4 総合判断による基本高水の決定例（新宮川）

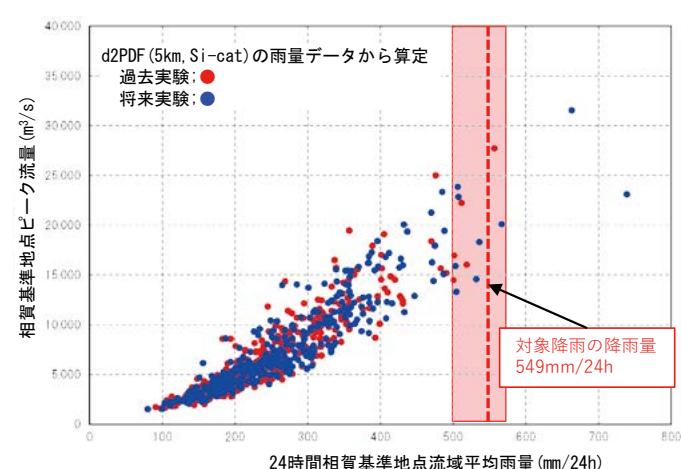


図5 d2PDF(5km, Si-cat)による流域平均雨量と基準地点のピーク流量の関係例（新宮川）

具体的には、対象降雨波形群においてピーク流量が最大値を示す1971年8月型が「アンサンブル予測降雨波形による検討」による流量の幅の範囲内となっていることから、1971年8月型のハイドログラフのピーク流量から基本高水のピーク流量を24,000m³/sに設定している。この値と同等である2011年9月実績降雨波形も含め、対象降雨波形によるハイドログラフ群を用いて河道と洪水調節施設等への配分を検討している。

ここで、「アンサンブル予測降雨波形による検討」は、d2PDF(5km, Si-CAT)の過去実験も含む720年間の雨量データから年最大流域平均雨量標本を作成し、図4に示すように、24時間雨量が対象降雨の降雨量(549mm/24h)に最も近い10降雨波形を抽出、さらに24時間雨量が対象降雨の降雨量になるよう波形の調整し、それらを流出計算により算定したハイドログラフ群を用いている。

「アンサンブル予測降雨波形による検討」におけるハイドログラフ群は、これまで実施している実績降雨を引き伸ばして設定した対象降雨波形群によるハイドログラフ群について、生起し難い尖鋭的な降雨波形及びハイドログラフを棄却するという側面において、対象降雨の降雨量近傍の洪水を調整することにより棄却が起こりづらくなるように設定しており、重要な判断基準であると考える。一方で、従来手法で実施していた流量の生起確率の観点からの検討については、将来の気候を想定した基本高水の検証には使えないことから、確率雨量及び確率流量の複合的な検討手法の開発が必要と考える。

3.4 基本高水の対象降雨波形群に不足する降雨波形

基本高水の設定に用いる対象降雨波形群は、対象流域において大規模洪水を生起し得る様々なパターンの降雨波形等を考慮して設定しているが、気候変動による降雨特性の変化により発生しやすくなるような降雨パターンをカバーしていない可能性もある。

そのため、これまで経験していない降雨波形や気候変動による降雨特性の変化によって氾濫により甚大な被害をもたらすような降雨波形がないかを確認することを目的に、アンサンブル計算による予測降雨波形を用いて空間分布のクラスター分析を行い、将来発生頻度が高まるものの基本高水の設定に用いる対象降雨波形群に含まれていないクラスターの有無を把握することとしている。

その結果、図6に示すように新宮川水系では5つの主要クラスターに降雨分布が分類された。基本高水の設定に用いる対象降雨波形群は、主要クラスターのうちクラスター1、クラスター2、クラスター3が評価されたが、クラスター4またはクラスター5の波形はなかった。なお、対象降雨の降雨量に最も近い10降雨波形もクラスター4またはクラスター5の波形ではなく、これらのクラスターに分類される将来実験の予測降雨波形のうち、24時間流域平均雨量が最も対象降雨の降雨量に近い波形を抽出し、対象降雨の降雨量に調整し得られたハイドログラフのピーク流量を図4の③に△としてプロットしている。

基本高水が図4に示す△や生起し難いとは言えない実績引き伸ばしの降雨波形である□などの将来予測される降雨波形、及び、基本高水のピーク流量を超過する予測降雨波形すべてをカバーすることは現実的には難しい。一方で、こうした降雨波形による洪水にも備えることが重要であり、基本高水を目標とした洪水防御のための河川整備に加え、ダムにおける危機管理上の操作方法の検討や堤防強化対策の実施箇所の設定等の具体

的な減災対策を検討することにより、基本高水ではカバーできていない部分についても対応していく必要がある。さらに、こうした降雨波形の不確実性や、基本高水の降雨規模以上の洪水が発生することも踏まえ、流域全体で氾濫による被害を軽減するための対応が求められる。

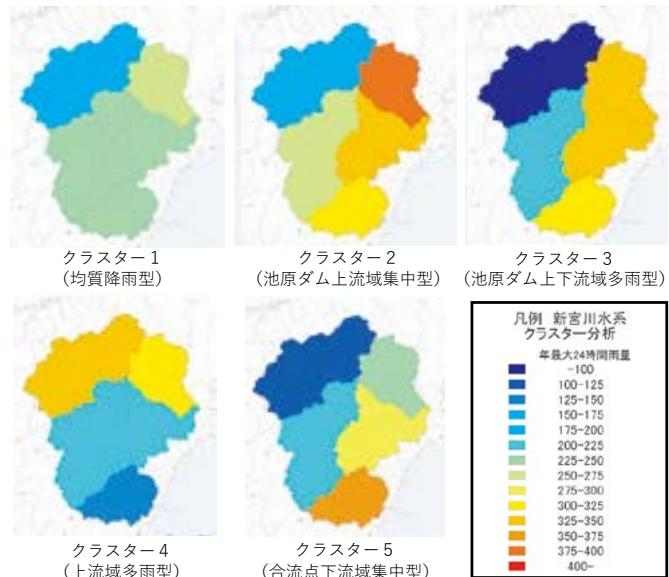


図6 d2PDF(5km, Si-cat)の将来実験と過去実験の降雨波形を用いた空間分布のクラスター分析例(新宮川)

4 おわりに

本稿では、新たな治水計画の手法として、特に河川整備の基本となる流量の設定、すなわち基本高水の設定手法について記載したが、河川の整備では設定した基本高水を合理的に河道、ダム等に分配する計画高水流量の設定が必要になる。計画高水流量の設定の検討には、これからは、あらゆる関係者が共同して流域全体で行う流域治水を考慮した流域毎の多層的な対策を組み合わせる必要がある。流域治水の検討は、まさに緒に就いたところであり、国土技術研究センターとしても、これまでに引き続き国土交通省の河川整備基本方針(109水系)の改定の支援を継続していく。

参考文献

- IPCC : AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis Summary for Policymakers.
- 泊宏：河川計画立案手法の現状と今後の展望、土木学会水工学委員会・海岸工学委員会、2012.
- 国土交通省水管理・国土保全局：河川砂防技術基準 計画編 基本計画編 第2章第2節 洪水防御計画に関する基本的な事項、2018.
- 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会：気候変動を踏まえた治水計画のあり方(提言)、2021.
- 国土交通省水管理・国土保全局：新宮川水系河川整備基本方針基本高水に関する資料、2021.
- 齋藤正徳、石田卓也、小島淳、前田裕太、岡部真人：気候変動による降雨量の増加を考慮した基本高水の設定手法の検討、河川技術論文集、2022.