

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

STUDY ON DESIGN FLOOD SETTING METHOD CONSIDERING THE INCREASE IN RAINFALL DUE TO CLIMATE CHANGE

齋藤正徳¹・石田卓也²・小島淳³・前田裕太⁴・岡部真人⁵

Masanori SAITO, Takuya ISHIDA, Jun KOJIMA, Yuta MAEDA and Masato OKABE

- ¹正会員 工博 国土交通省水管理・国土保全局河川計画課 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3)
²正会員 工修 国土交通省水管理・国土保全局河川計画課 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3)
³正会員 工修 国土交通省近畿地方整備局河川部河川計画課(〒540-8586 大阪府中央区大手前1-5-44)
⁴非会員 工修 国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)
⁵正会員 工修 国土技術研究センター河川政策グループ(〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-12-1)

気候変動を考慮した基本高水の設定手法に関して、新宮川水系をモデルケースとして、気候変動予測モデルを用いたアンサンブル計算結果(以下、「d2PDF」という。)を活用した新たな手法と、過去の降雨・流量観測値の統計解析による従来手法の両者について、検討プロセスや考え方の相違点について整理・考察を行った。

従来の基本高水は、対象降雨の降雨量を設定した上で、a)実績降雨波形群の選定、b)生起し難い引き伸ばし降雨の棄却、c)対象降雨の降雨量まで実績降雨波形を引き伸ばしたハイドログラフ群と確率流量との比較検証等のプロセスを経て決定されている。これらの検討に対し、d2PDFによる降雨波形を用いた新たな手法により、a)内水被害をもたらす降雨パターンが増加すること、b)従来手法では棄却していた1979年10月型引き伸ばし降雨が生起し難いとは言えないこと、c)確率流量の代替として、d2PDFによる流量群が実績降雨の引き伸ばしによるハイドログラフ群の生起可能性の判断基準として適用できることが示された。

Key Words : *design flood, flood control plan, ensemble experiment, climate change*

1. はじめに

水害をもたらした近年の極端豪雨において、地球温暖化による気温上昇の影響で降雨量が増加していたことが、イベント・アトリビューションにより定量的に評価されている¹。更に、パリ協定に基づき温室効果ガスの排出抑制対策を講じた場合でも、今後も地球温暖化により極端豪雨の発生頻度が世界的に増加し²、国内においても、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約1.6倍に増加すると予測されている³。こうした状況に対し、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、河道や洪水調節施設等により洪水を防御するとして定める基本高水が、将来の気候変動によりどの程度変化するか等の科学的な分析を水系ごとに実施し、21世紀末の未来に備えるため、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いる。

一方、諸外国では、気候変動適応策として、河川流量における気候変動による影響評価が実施されている。イギリスでは、気候変動法において、政府による気候変動リスクの公表、気候変動リスク評価の実施等が義務付けられており、環境庁は、イングランド地方における将来

の流量の増加率を流域別、年代別に気候変動係数として算出するなど地方政府を支援している⁴。オランダでは、ライン川における気候変動による外力増加分を考慮した2050年時点のピーク流量を治水対策の目標としている⁵。また、ドイツ南部のバイエルン州では、州内の河川について100年確率流量に15%の気候変動による割増係数を乗じて施設整備を進めている⁶。

国内におけるこれまでの治水計画として、過去の実績降雨・流量データを基に基本高水が設定されており(以下、「従来手法」という。)、2009年までに全国109全ての一級水系の河川整備の長期目標である河川整備基本方針が策定されている。なお、2009年までの基本高水の設定手法は泊による報告⁷が詳しい。こうして定められた基本高水を順次見直して行くこととしており、新宮川水系及び五ヶ瀬川水系では、気候変動を踏まえた河川整備基本方針へ2021年10月に全国で初めて変更された。この2水系では、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しており(以下、「新たな手法」という。)、図-1に示すように治水計画の歴史上大きな転換であると考えられる。

しかし、観測データを統計的に解析し確率雨量や確率流量等から基本高水を設定してきた従来手法に対する手

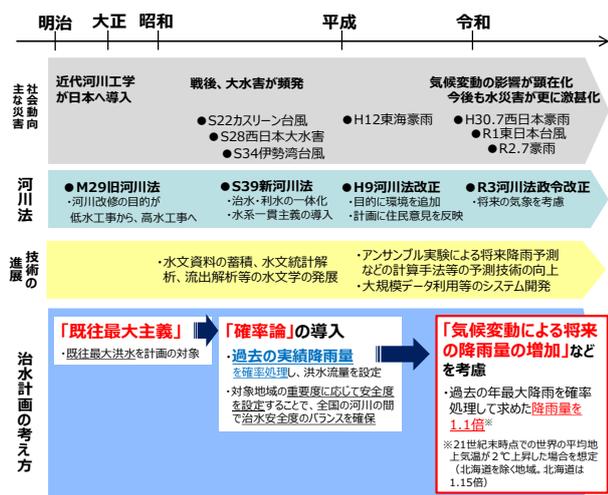


図-1 治水計画の考え方の変遷とその時代背景

法や考え方の相違点が、技術的かつ体系的に整理されていない。また、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されていない。そこで、本報告では、新宮川水系の検討事例を基に気候変動を考慮した基本高水設定手法について、これらの課題に対する考察を行った。

2. 基本高水に用いる対象降雨の設定

(1) 従来手法

洪水防御の基本となる洪水である基本高水に用いる対象降雨の降雨量は、雨量データが多いほど信頼性が高まるとの観点から、計画検討時点において最新年までの実績雨量データを用いて設定する。具体的な設定手法として、まず、流域の大きさや形状、洪水到達時間等を踏まえ設定した対象降雨の継続時間内において、定常状態の気候を想定して水文統計解析手法により実績の年最大流域平均雨量標本から確率雨量を求める。その確率規模は、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定められており、一級水系では年超過確率1/100～1/200となっている。次に、対象降雨、すなわち、基本高水に用いる対象降雨波形は、大きな実績流量の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する。引き伸ばした際に短時間または地域分布で見た場合、著しい引き伸ばしと判定され、設定する基本高水の確率規模(1/100～1/200)と大きく乖離している場合は、その降雨波形は生起し難いとして棄却している。その棄却基準として、年超過確率1/500を設定している水系が多い。

(2) 新たな手法

a) 対象降雨の降雨量の設定

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、対象降雨の降雨量を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。このため、対象降雨の降雨量は、新宮川水系の方針改定において、実績雨量データから定常の水文統計解析により算定した確率雨量に、降雨量変化倍率を乗じたものを用いることとした。なお、降雨量変化倍率は、RCP8.5シナリオにおける近未来の気候(2°C上昇時:およそ2040年頃)を前提とした気候変動予測モデルによる水平空間解像度5km及び1時間単位のアンサンブル計算結果(以下、「d2PDF(5km, SI-CAT)」という。)と、現在気候に関する再現実験結果(以下、「過去実験」という。)との年超過確率1/100規模の確率雨量の比であり、その値は1.1倍となっている⁹⁾。

ここで、確率雨量算定に用いる実績の雨量標本について、信頼性を高める観点から近年の雨量データも統計期間の対象とすべきと考える。しかし、温暖化が進行する状況下で、従来手法のように定常を仮定した統計処理を行うことは限界があること、近年の雨量標本に温暖化の影響があるものの、個々の雨量標本ごとの温暖化の影響評価の分析が揃っていないことが課題として挙げられる。このため、既に温暖化の影響を含んでいる可能性がある雨量標本の取扱いの検討が必要である。

この課題に対する手法として、非定常解析手法による評価¹⁰⁾があるが、引き続き、手法の確立のため、気温や時間を説明変数とした非定常解析の研究開発等が必要と考えられる。また、全国的な傾向として、2020年までの年最大流域平均雨量を用い一般化極値分布により算定した1/100確率雨量は、2010年までの標本を用いた場合の1/100確率雨量に対し、109水系の算術平均で約2.7%程度増加している。

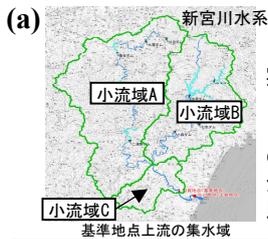
以上を踏まえ、降雨量変化倍率の算定に用いた過去実験の期間が2010年までとなっている点も鑑み、新宮川水系では時間雨量が存在している1965年から2010年までの実績雨量データを用いて、定常の水文統計解析により、確率雨量を求めることとした。そして適合度や安定性の評価を行い、対数ピアソンⅢ型分布(実数空間法)を用いて、1/100確率の相賀基準地点上流の流域平均雨量を499mm/24hとし、降雨量変化倍率1.1倍を乗じて、対象降雨の降雨量を549mm/24hとした。

別の手法として、d2PDF(5km, SI-CAT)による将来予測降雨波形群から、水系内における360年分の年最大流域平均雨量標本を作成し、定常の水文統計解析により将来の降雨量の増加を見込んだ確率雨量を算定する方法がある。なお、新宮川水系で参考として算定したところ1/100確率雨量は、568mm/24hとなった。ここで、用いた標本は6つの海面水温パターンから計算されたものであるが、データ数の観点から同一の母集団とし、水文統計解析は適合度のよい一般極値分布を採用した。しかし、この手法による1/100確率雨量は、適用する気候変動予測モデルによって値が変化する。また、水系単位での評

表-1 基本高水に用いる対象降雨波形群

分類	洪水の発生年月	相賀上流域平均雨量		相賀地点ピーク流量 (m³/s)	クラスター番号※2
		実績24時間雨量 (mm/24h)	引き伸ばし率※1		
基本高水に用いる対象降雨波形	1968/7	370.1	1.483	19,600	2
	1971/8	295.5	1.858	23,400	2
	1982/8	317.8	1.728	23,000	2
	1997/7	469.8	1.169	18,900	2
	2001/8	467.2	1.175	17,900	3
	2004/8	358.0	1.534	18,600	3
	2007/7	262.6	2.091	22,600	1
	2011/7	479.9	1.144	16,200	3
	2015/7	439.6	1.249	19,800	1
	参考降雨波形	1979/10	284.0	1.933	26,600

※1 対象降雨の降雨量549mm/24hへの降雨の引き伸ばし
 ※2 図7に示すクラスター番号



・d2PDF (5km, SI-CAT) 及び過去実験から対象降雨の降雨量近傍 (10洪水) の降雨波形を抽出。
 ・各波形について、継続時間内の各小流域の流域平均雨量を、全流域平均雨量で除することで比率を求める。

予測降雨波形	A流域平均雨量	B流域平均雨量	C流域平均雨量
洪水①	0.778	1.295	1.264
洪水②	0.843	1.196	1.240
洪水③	0.816	1.261	1.152
洪水④	0.727	1.330	1.446
洪水⑤	0.743	1.338	1.316
洪水⑥	0.841	1.265	0.982
洪水⑦	0.794	1.251	1.332
洪水⑧	0.844	1.411	0.398
洪水⑨	0.827	1.229	1.206
洪水⑩	0.845	1.239	1.054

■ : 各小流域の比率の最大値

(b) 棄却した引き伸ばし降雨波形も同様に比率を求め、実績引き伸ばし降雨波形の比率が予測降雨波形による最大比率の範囲内に収まっているかの検証

棄却実績洪水	A流域平均雨量	B流域平均雨量	C流域平均雨量
1970年7月	0.769	1.360	1.070
1975年8月	0.944	1.130	0.849
1979年10月	0.784	1.268	1.329
1990年9月	0.896	1.238	0.734
1994年9月	0.762	1.325	1.248
2003年8月	0.931	1.107	1.020
2004年10月	0.919	1.101	1.119
2011年9月	1.165	1.484	1.447
2011年9月	0.802	1.306	1.067
2013年9月	0.940	1.059	1.154
2014年8月	0.961	1.084	0.919
2017年10月	0.875	1.084	1.464
2018年8月	0.963	1.075	0.946
2019年10月	0.987	1.053	0.875

■ : 予測降雨波形による最大比率を超過しているため、降雨の地域分布として生起し難いと判断

図-2 将来降雨波形(a)と棄却した実績引き伸ばし降雨波形(b)における地域分布の検証

価はデータ数の制約や、台風等の極端現象の偶然性が高く温暖化の影響の検出が難しい場合もあり¹⁾、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。このため、新宮川水系では、568mm/24hを

(a) d2PDF (5km, SI-CAT) 及び過去実験から対象降雨の降雨量近傍 (10洪水) の降雨波形を抽出。
 ・各波形について、短時間 (継続時間の1/2の12時間や洪水到達時間の6時間) の流域平均雨量を、継続時間内 (24h) の流域平均雨量で除することで比率を求める。

予測降雨波形	12時間雨量	6時間雨量
洪水①	0.746	0.553
洪水②	0.539	0.280
洪水③	0.660	0.395
洪水④	0.661	0.336
洪水⑤	0.775	0.514
洪水⑥	0.603	0.334
洪水⑦	0.709	0.410
洪水⑧	0.785	0.581
洪水⑨	0.763	0.504
洪水⑩	0.603	0.345

■ : 比率の最大値

(b) 棄却した引き伸ばし降雨波形も同様に比率を求め、実績引き伸ばし降雨波形の比率が予測降雨波形による最大比率の範囲内に収まっているかの検証

棄却実績洪水	12時間雨量	6時間雨量
1970年7月	0.796	0.531
1975年8月	0.617	0.365
1979年10月	0.668	0.514
1990年9月	0.789	0.565
1994年9月	0.790	0.537
2003年8月	0.723	0.405
2004年10月	0.867	0.706
2011年9月	0.751	0.412
2011年9月	0.801	0.561
2013年9月	0.748	0.415
2014年8月	0.662	0.441
2017年10月	0.816	0.541
2018年8月	0.798	0.590
2019年10月	0.590	0.317

■ : 予測降雨波形による最大比率を超過しているため、降雨の時間分布として生起し難いと判断

図-3 将来降雨波形(a)と棄却した実績引き伸ばし降雨波形(b)における時間分布の検証

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適用した549mm/24hを採用した。

b) 基本高水に用いる対象降雨波形の選定

新宮川水系では、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洪水を抽出した。これらを499mm/24hまで引き伸ばした際に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洪水の降雨波形は生起し難いとして棄却し、表-1に示す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した。

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

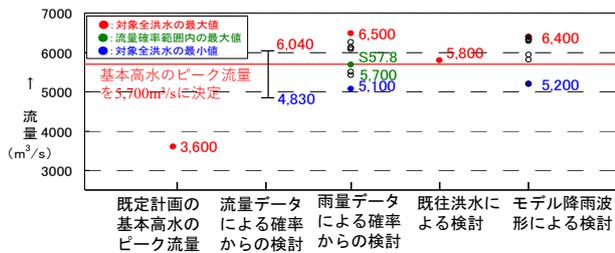


図-4 一級水系小丸川における総合判断による基本高水の決定

る。このため、d2PDF(5km, SI-CAT)及び過去実験から得られた720年分の降雨データから、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た。図-2に示すように、流域全体に対する各小流域の雨量比率を波形ごとに求め(a)、予測降雨波形から得られた最大比率に対し、その比率以下を示す実績引き伸ばし降雨波形(b)は、生起し難いとは言えないと考えた。併せて、図-3に示すように、短時間(12時間, 6時間)でも同様の手法により検証した。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。

ここで、既往の研究成果として、大気モデルの空間解像度を1,000m、500mと細かくしていくと線状対流現象による小流域の豪雨の現象をより正確に捉えられることが把握されている¹²⁾。また、継続時間を短くしていくと気温上昇による降雨量の増加の感度が大きくなり、1時間以下の雨量ではClausius-Clapeyron関係の2倍の変化を示す結果¹³⁾も得られている。よって、小流域・短時間検証に用いるモデルの解像度や短時間の単位設定は、引き続き改善していく必要があると考える。

3. 総合判断による基本高水の決定

(1) 従来手法

図-4に示すように、様々な観点から総合的に検討し、過去の降雨・流量観測値に基づく生起頻度を踏まえ、既往の大規模出水の規模も勘案する等、実態に即して基本高水を設定していた。ここで、「既往洪水による検討」は、観測値が存在する実績の洪水や過去の著名な洪水を再現し、基本高水のピーク流量が現実に起こり得るかどうかという観点から実施している。「モデル降雨波形による検討」は、全ての降雨継続時間において、定める確率規模相当の年超過確率の雨量となるよう設定するとともに、実績降雨の降雨波形に類似するよう設定したものである。また、「流量データによる確率からの検討」は、年最大流量標本を用い、定常の水文統計解析により、設定しようとする確率規模相当の年超過確率の流量を算定したものであり、幅は確率分布モデル間の差を示す。

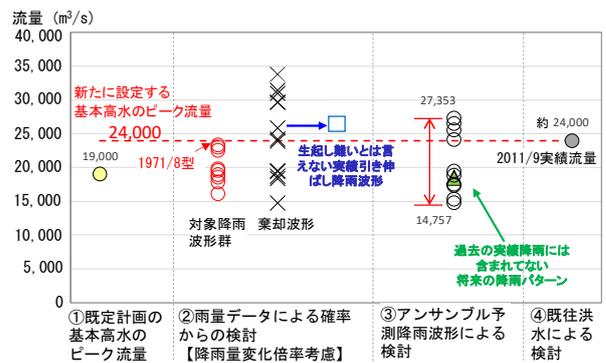


図-5 一級水系新宮川における総合判断による基本高水の決定

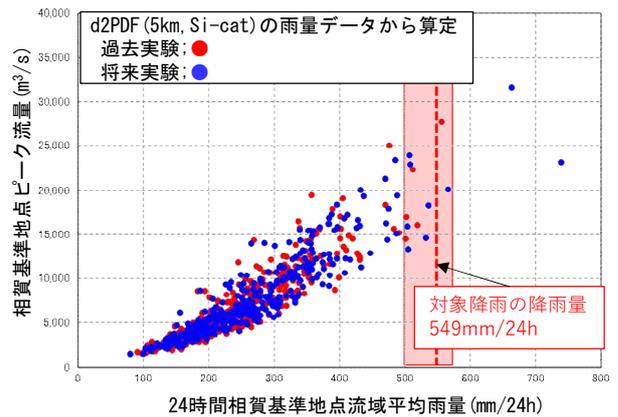


図-6 一級水系新宮川におけるd2PDF(5km, Si-cat)による流域平均雨量と基準地点のピーク流量の関係

図-4の小丸川水系のように、「雨量データによる確率からの検討」において雨量確率から求めた実績引き伸ばし降雨波形によるハイドログラフ群のうち「流量データによる確率からの検討」における確率流量値の幅の上限値を超えているハイドログラフは基本高水として採用していないケースがある。これは、実績降雨波形を引き伸ばして作成する対象降雨波形群には、引き伸ばし率が2倍に近いものも含まれており、引き伸ばす前のハイドログラフが尖った時間変化を示している降雨分布を引き伸ばすことでピーク流量が大幅に大きくなるケースがある。こうした対象降雨波形によるものを生起し難いとして基本高水の決定の対象外としている。また、この確率流量は降雨の時空間分布や流出過程の結果が表された基準地点における流量の生起確率を評価した値であり、基本高水を決定する上で重要な判断基準と考える。

(2) 新たな手法

新宮川水系では、「流量データによる確率からの検討」に変わる観点として、「アンサンブル予測降雨波形による検討」を新たに用いた。図-5に示すように2.(2)b)で述べた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た。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 $24,000\text{m}^3/\text{s}$ に設定した。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-6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を実施し、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る。このアンサンブル計算による予測降雨波形は、引き伸ばし等によって降雨波形を歪めることがないよう対象降雨の降雨量近傍の洪水を抽出しており、対象降雨波形群の引き伸ばし率1.144倍～2.091倍に対し、アンサンブル計算による予測降雨波形群の引き伸ばし率は0.973倍～1.093倍となっている。なお、予測降雨波形は大気モデルから物理的に得られたものであり、相対的に波形の調整を行っていない波形となっている。「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、年超過確率1/100における基本高水の設定の際に、実績降雨を相対的に大きく引き伸ばすことで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、「流量データによる確率からの検討」に替わる重要な判断基準であると考えられる。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相当する判断基準となっていない。引き続き、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。

現時点において、観測データに基づく「流量データによる確率からの検討」は、現在気候下において使用可能であるが、将来の気候を想定した基本高水の検証には使えないと考える。なお、参考として、近年(2019年)までの観測流量データを用い、年最大流量標本(n=55)から定常的水文統計解析により算定した年超過確率1/100の規模の確率流量の最小値は、対数ピアソンⅢ型分布(実数空間法)による $21,902\text{m}^3/\text{s}$ であり、既定計画(2008年策定)の基本高水 $19,000\text{m}^3/\text{s}$ を上回っていることから、既定計画の基本高水は策定時に想定していた年超過確率1/100規模相当になっていない可能性があるかと判断される。また、全国的な傾向として、2020年までの基準地点の年最大流量データを用い一般化極値分布により算定した1/100確率流量は、2010年までの標本を用いた場合の1/100確率流量に対し、一級109水系の算術平均で約1.3%程度増加している。

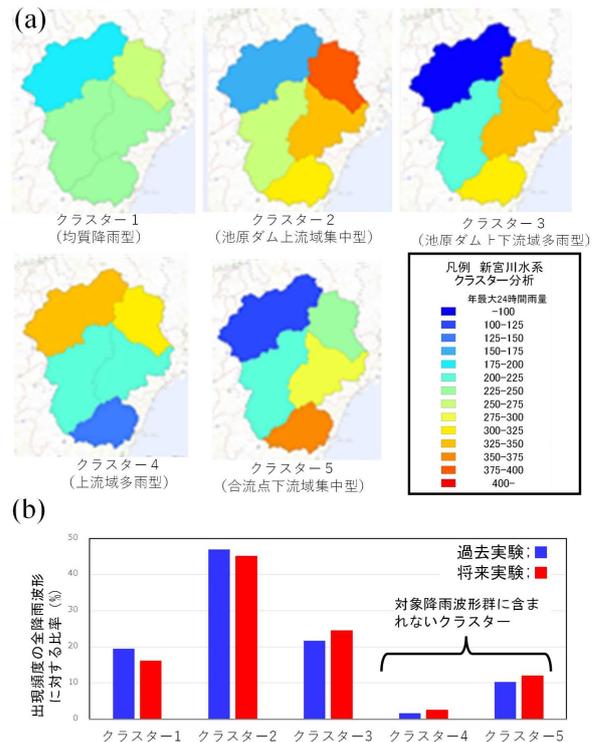


図-7 一級水系新宮川におけるd2PDF(5km, Si-cat)の将来実験と過去実験の降雨波形を用いた空間分布のクラスター分析〔(a) 5つの主要クラスターの降雨分布, (b) その出現頻度〕

さらに、d2PDF(5km, SI-CAT)による360年分の年最大流域平均雨量標本から流出計算モデルにより流量標本を作成し、定常的水文統計解析により算定した相賀基準地点の1/100確率流量は $21,901\text{m}^3/\text{s}$ (ゲンベル分布)～ $25,358\text{m}^3/\text{s}$ (指数分布)となった。この値も確率雨量と同様に予測降雨波形の生起頻度の再現性に課題があることから、総合判断の観点に用いていない。今後、課題が解決された場合は、この確率流量も総合判断に用いることが考えられる。

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、または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した。具体的には、新宮川水系におけるd2PDF(5km, SI-CAT)の将来実験

と過去実験それぞれ360年分の24時間年最大雨量の降雨分布を対象に、各小流域における雨量の流域平均雨量への寄与率を算出し、ユークリッド距離を指標としてウォード法によりクラスターに分類した¹⁴⁾。その結果、**図-7**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。**表-1**に示す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（均質降雨型）が2波形、クラスター2（池原ダム上流域集中型）が4波形、クラスター3（池原ダム上下流域多雨型）が3波形と評価されたが、クラスター4（上流域多雨型）またはクラスター5（合流点下流域集中型）と評価された波形はなかった。なお、**図-6**に示す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と評価された波形はなかった。そのため、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た。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を行い（引き伸ばし率が1.424及び1.466）、流出計算により得られたハイドログラフのピーク流量を**図-5**の③に△としてプロットしている。また、**図-7**には各クラスターの頻度分布を整理しているが、特に過去の降雨波形にないクラスター5が将来気候では増加傾向となっている。この降雨波形は、下流域に集中的に強い降雨をもたらすものであり、新宮市内を流下し熊野川本川に合流する支川流域の内水被害の増加を示唆するものである。

全国的な治水安全度のバランスを踏まえ設定される洪水防御のための基本高水が、**図-5**に示す□や△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でないと考える。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、基本高水を目指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。

5. おわりに

将来の降雨量の増加を反映した基本高水のピーク流量は、新宮川水系において旧方針の19,000m³/sから約1.26倍に増加している。河川整備でこの規模の洪水を防御するという目標達成には、相当期間を要することが想定される。さらに、基本高水や河道と洪水調節の配分に用いる対象降雨波形群は、将来起こり得る全ての降雨波形をカバーしているものではない。また、令和3年12月に策定された球磨川水系河川整備基本方針のように、温暖化により激甚化している実績洪水をカバーできない基本高

水を設定せざるを得ない事例¹⁵⁾もある。このため、基本高水を目指した洪水防御のための河川整備と並行して、流域全体で水害リスクを低減させていくためには、壊滅的な被害をもたらさないような堤防強化対策や、小流域単位の流出抑制対策、計画とは異なる降雨パターンによる洪水の氾濫に備えるための土地利用や住まい方の工夫が求められる。こうした様々な治水対策を多層的に組み合わせ、氾濫による被害軽減を図る必要がある。

今後、気候変動予測モデルの精度向上やデータセットの拡充等といった技術の発展状況等を踏まえ、関係機関と連携し、各流域単位での検討も含め、基本高水の設定手法の改善や治水対策の検討を継続的に実施していく。

参考文献

- 1) 気象研究所, 気象業務支援センター: 近年の気温上昇が令和元年東日本台風の大雨に与えた影響, 報道発表資料, 2020.
- 2) IPCC: AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis Summary for Policymakers, 2021.
- 3) 文部科学省, 気象庁: 日本の気候変動2020, 2020.
- 4) イギリス環境庁: Flood risk assessments: climate change allowances, 2021.
- 5) オランダ KNMI, Deltares: Wat betekenen de nieuwe klimaatscenario's voor de rivierafvoeren van Rijn en Maas?, 2015.
- 6) ドイツバイエルン州: Bundeswasserstraße Donau Ausbau der Wasserstraße und Verbesserung des Hochwasserschutzes Straubing-Vilshofen, 2016.
- 7) 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.
- 8) 文部科学省: SI-CAT: 気候変動適応技術社会実装プログラム (Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology).
- 9) 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.
- 10) 林敬大, 立川康人, 椎葉充晴: 事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.
- 11) 今田由紀子: 地球温暖化が近年の日本の豪雨に与えた影響について, 建設マネジメント, 2月号, pp. 26-30, 2021.
- 12) 小坂田ゆかり, 中北英一: 線状対流系の擬似温暖化実験における解像度依存性と将来変化のマルチスケール解析, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 76, No.2, I_1-I_6, 2020.
- 13) Hayley J. Fowler et al.: Anthropogenic intensification of short-duration rainfall extremes, *Nature Reviews Earth & Environment*, volume 2, pp. 107-122, 2021.
- 14) 舛屋繁和ら: 実河川流域における大量アンサンブル気候予測データに基づく将来気候下での降雨の時空間分布について, 河川技術論文集, 第25巻, pp.55-60, 2019.
- 15) 国土交通省水管理・国土保全局: 球磨川水系河川整備基本方針基本高水に関する資料, 2021.

(2022. 3. 25受付)