

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

一般財団法人 国土技術研究センター

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

本発表の構成

1. 検討の背景
2. 近年の災害、地球温暖化の定量的評価とその対応
3. 治水計画の変遷
4. 基本高水の設定と本報告での説明事項
5. 基本高水に用いる対象降雨の降雨量の設定
6. 総合判断による基本高水の決定
7. 基本高水の対象降雨波形群に不足する降雨波形
8. 今後の方向性

1. 検討の背景

- 「気候変動を踏まえた水災害対策のあり方について～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2020年7月、社会资本整備審議会でとりまとめられた

「流域治水」の方向性～気候変動を踏まえた総合的かつ多層的な水災害対策～

○ 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歩進め、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。**

これまでの対策

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
洪水防御の効果の高いハード対策と命を守るために避難対策とのソフト対策の組合せ

変化

気候変動の影響

今後も水災害が激化。これまでの水災害対策では安全度の早期向上に限界があるため、整備の加速と、対策手法の充実が必要。

社会の動向

人口減少や少子高齢化が進む中、「コンパクト+ネットワーク」を基本とした国土形成により地域の活力を維持するためにも、水災害に強い安全・安心なまちづくりが必要。

技術革新

5GやAI技術やビッグデータの活用、情報通信技術の進展は著しく、これらの技術を避難行動の支援や防災施策にも活用していくことが必要。

対策の重要な観点

強靭性

甚大な被害を回避し、早期復旧・復興まで見据えて、事前に備える

包摂性

あらゆる主体が協力して対策に取り組む

持続可能性

将来にわたり、継続的に対策に取組、社会や経済を発展させる

これから対策

気候変動を踏まえた、**計画の見直し**

河川の流域全体のあらゆる関係者が協働して
流域全体で行う持続可能な治水対策
「流域治水」への転換

2. 激甚な被害をもたらした近年の水災害(降雨イベント)

2017年

平成29年7月九州北部豪雨



桂川における浸水被害状況
(福岡県朝倉市)

2020年

令和2年7月豪雨



球磨川における浸水被害状況
(熊本県人吉市)

2018年

国土交通省：「流域治水の基本的な考え方」を基に作成

https://www.mlit.go.jp/river/kasen/suisin/pdf/01_kangaekata.pdf

※令和3年8月豪雨は広島県：
「浸水対策重点地域緊急事業」
を基に作成

<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/477687.pdf>

2019年

令和元年東日本台風



千曲川における浸水被害状況
(長野県長野市)

2016年

平成28年8月台風10号



小本川の氾濫による浸水被害状況
(岩手県常岩泉町)

2015年

平成27年9月関東・東北豪雨



鬼怒川の堤防決壊による浸水被害状況
(茨城県常総市)

2021年

令和3年8月豪雨



多治比川における浸水被害状況
(広島県安芸高田市)

2019年

平成30年7月豪雨



小田川における浸水被害状況
(岡山県倉敷市)

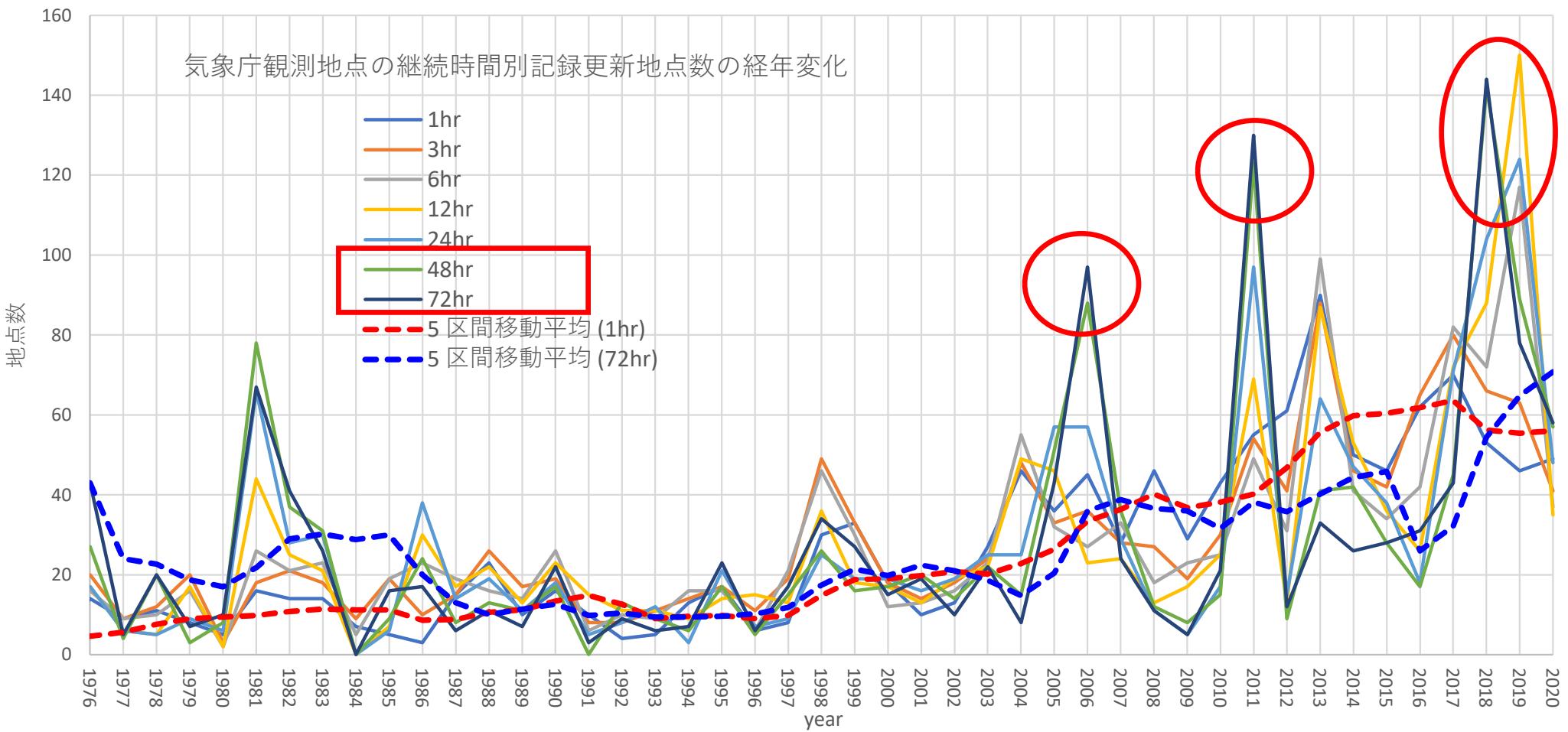
令和元年10月25日豪雨



一宮川における浸水被害状況
(千葉県茂原市)

2. 激甚な被害をもたらした近年の水災害(降雨)

- 近年、降水量の記録更新地点数が増加する傾向にある。
- 短時間降水量だけでなく長時間降水量（48時間、72時間）も同様の傾向にある。



気象庁の時間降水量のデータ（2021年6月18日時点）を基に作成。

参考：(20km×20km) × 100地点 = 40000km²
北海道の面積=83456 km²

2. 地球温暖化の定量的影響評価(国内の事例)

- 気象庁は、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。
- 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。

		既に生じている温暖化	これから生じる温暖化
水災害 (豪雨イベント)		現時点	将来
平成30年7月豪雨		1980年以降における温暖化による気温上昇と海面水温の上昇による影響 総降水量が 約 6. 5% 増加 (1)	現在気候に対する将来気候での状況 (2°C上昇シナリオ～4°C上昇シナリオ) —
令和元年東日本台風		総降水量が 約 1 1 % 増加 (1)	将来さらに、総降水量が 6. 3%～2 2 % 增加 (2)
令和2年7月豪雨		気温上昇により 降水量が増加 (1) ※定量的な評価は現在実施中	—

<注釈>

※それぞれの出典を元に、国土交通省水管理・国土保全局が作成。((1): 気象庁気象研究所が記者発表、(2): 環境省により公表)

※大気の数値シミュレーションを用いて実際の豪雨現象を忠実に再現した上で、地球温暖化に伴う気温上昇分を除去、または、さらに温暖化のシナリオに基づき気温を上昇させ、再度、大気の数値シミュレーションを行うことで、温暖化の影響を定量的に評価。

※気象研究所が開発した非静力学大気モデル(NHRCM)を用い、日本周辺を2～5kmの解像度で数値計算した結果によるもの。

2. 気候変動による外力増大に対する諸外国の取組

- 気候変動による外力増大を考慮した計画、施設整備等を進めている。

諸外国における気候変動適応策等の取組

	イギリス		オランダ	ドイツ
	UKCP09	UKCP18		
気候変動により考慮するシナリオ	<ul style="list-style-type: none">・高排出シナリオ～低排出シナリオ（河川の施設等では中庸シナリオを利用）・AR4 : A1FI、A1B、B1、独自極端シナリオ	<ul style="list-style-type: none">・高排出シナリオ～低排出シナリオ（河川の施設等では高排出シナリオを用いることを検討中）・AR5 : RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5	<ul style="list-style-type: none">・高排出シナリオ、中庸シナリオ・AR5 : RCP4.5、RCP8.5相当の独自シナリオ	<ul style="list-style-type: none">・中庸シナリオ・AR4 : A1Bシナリオ
気候変動影響の反映方法	<ul style="list-style-type: none">・事業評価（洪水のリスク管理含む）	※今後UKCP18のシナリオへ以降の見込み	<ul style="list-style-type: none">・事業計画	<ul style="list-style-type: none">・気候変動を考慮した洪水防御計画
具体的な取組事例	<ul style="list-style-type: none">・サウサンプトン市、ポーツマス市の海岸堤防整備	-	<ul style="list-style-type: none">・事業計画（Delta Programme）での取組	<ul style="list-style-type: none">・バイエルン州における気候変動係数の適用

UKCP09：イギリス気候予測2009（UKCP09） 今世紀末までのイギリスの気候変動の影響予測が行われた。本プロジェクトにより、洪水リスクの増加や夏季の熱波などの将来起こると予想されるリスクが明らかになった。

UKCP18：イギリス気候予測2018（UKCP18） UKCP09で用いていたAR4ベースの予測からAR5ベースの予測にアップデート

2. 気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言

- 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。
- 2°C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°C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°C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。

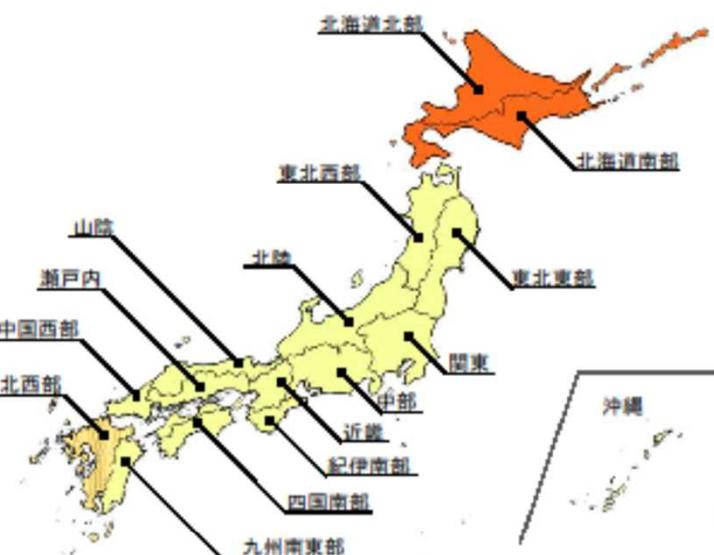
<地域区分毎の降雨量変化倍率>

地域区分	2°C上昇	4°C上昇	
		短時間	長時間
北海道北部、北海道南部	1.15	1.4	1.5
九州北西部	1.1	1.4	1.5
その他(沖縄含む)地域	1.1	1.2	1.3

※ 4°C上昇の降雨量変化倍率のうち、短時間とは、降雨継続時間が3時間以上12時間未満のこと
3時間未満の降雨に対しては適用できない

※ 雨域面積100km²以上について適用する。ただし、100km²未満の場合についても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しつつ適用可能とする。

※ 年超過確率1/200以上の規模(より高頻度)の計画に適用する。



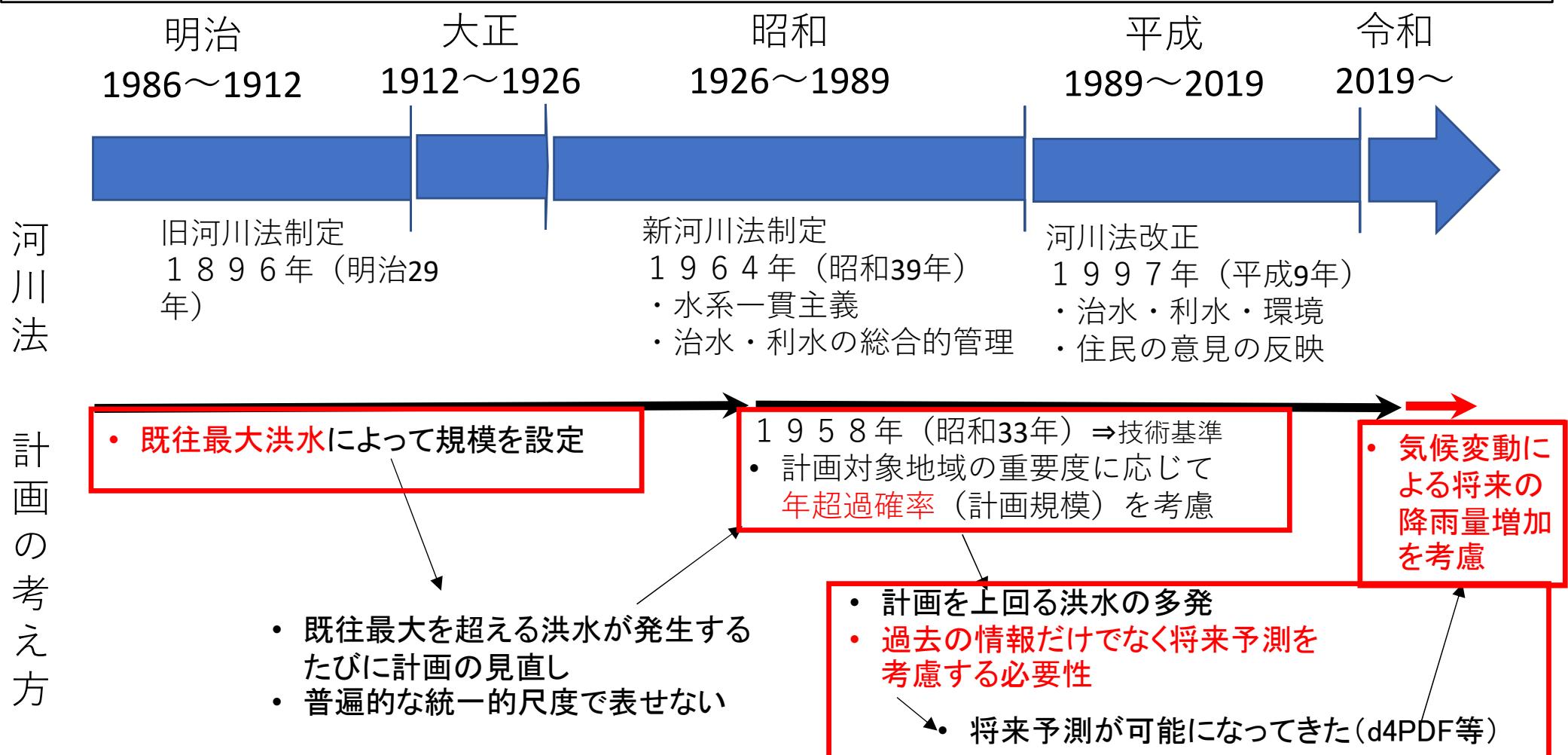
<参考>降雨量変化倍率をもとに算出した、流量変化倍率と洪水発生頻度の変化の一級水系における全国平均値

気候変動シナリオ	降雨量	流量	洪水発生頻度
2°C上昇時	約1.1倍	約1.2倍	約2倍
4°C上昇時	約1.3倍	約1.4倍	約4倍

※ 2°C、4°C上昇時の降雨量変化倍率は、産業革命以前に比べて全球平均温度がそれぞれ2°C、4°C上昇した世界をシミュレーションしたモデルから試算
※ 流量変化倍率は、降雨量変化倍率を乗じた降雨より算出した、一級水系の治水計画の目標とする規模(1/100～1/200)の流量の変化倍率の平均値
※ 洪水発生頻度の変化倍率は、一級水系の治水計画の目標とする規模(1/100～1/200)の降雨の、現在と将来の発生頻度の変化倍率の平均値
(例えば、ある降雨量の発生頻度が現在は1/100として、将来ではその発生頻度が1/50となる場合は、洪水発生頻度の変化倍率は2倍となる)

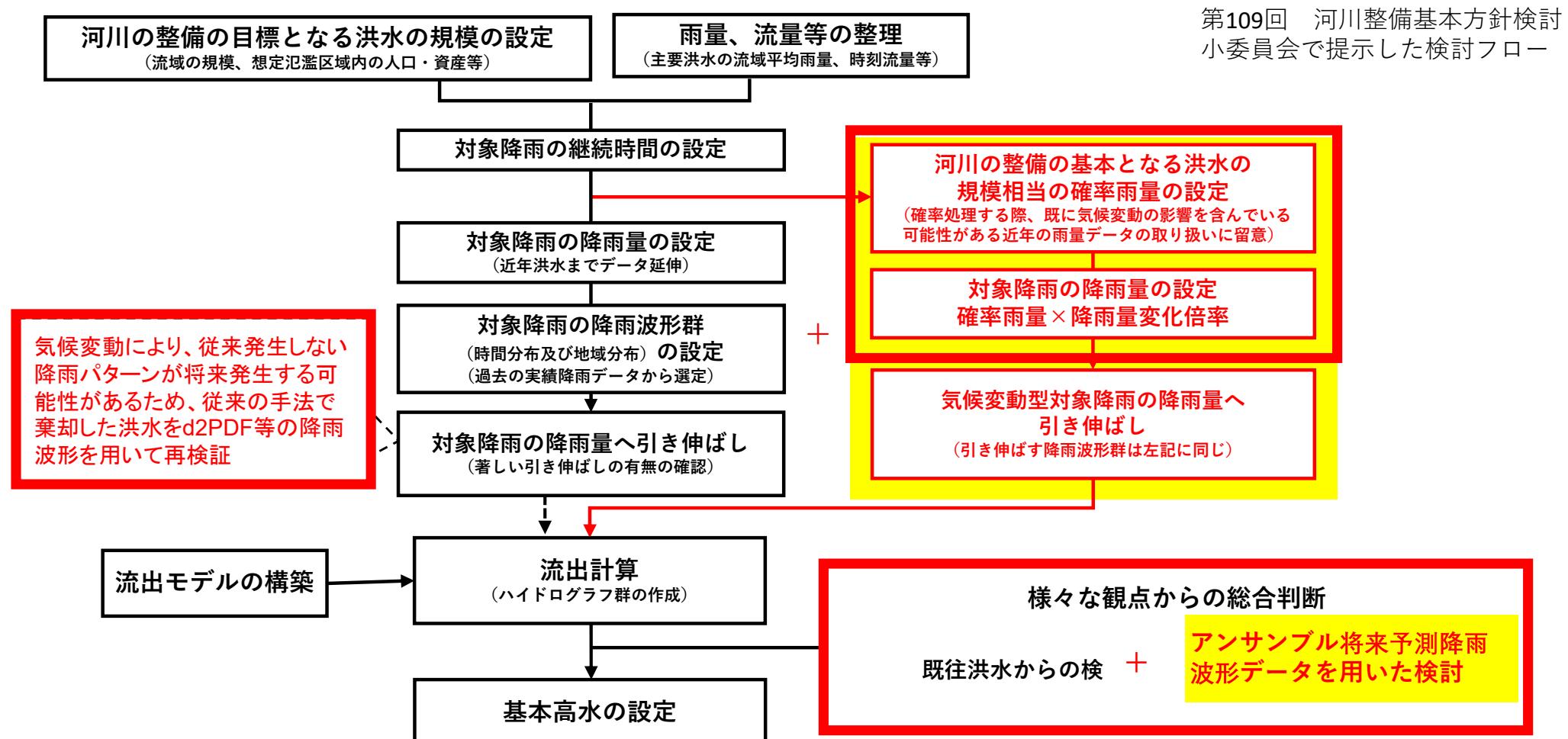
3. 治水計画の考え方の変遷とその時代背景

- 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治水計画の歴史上大きな転換である。



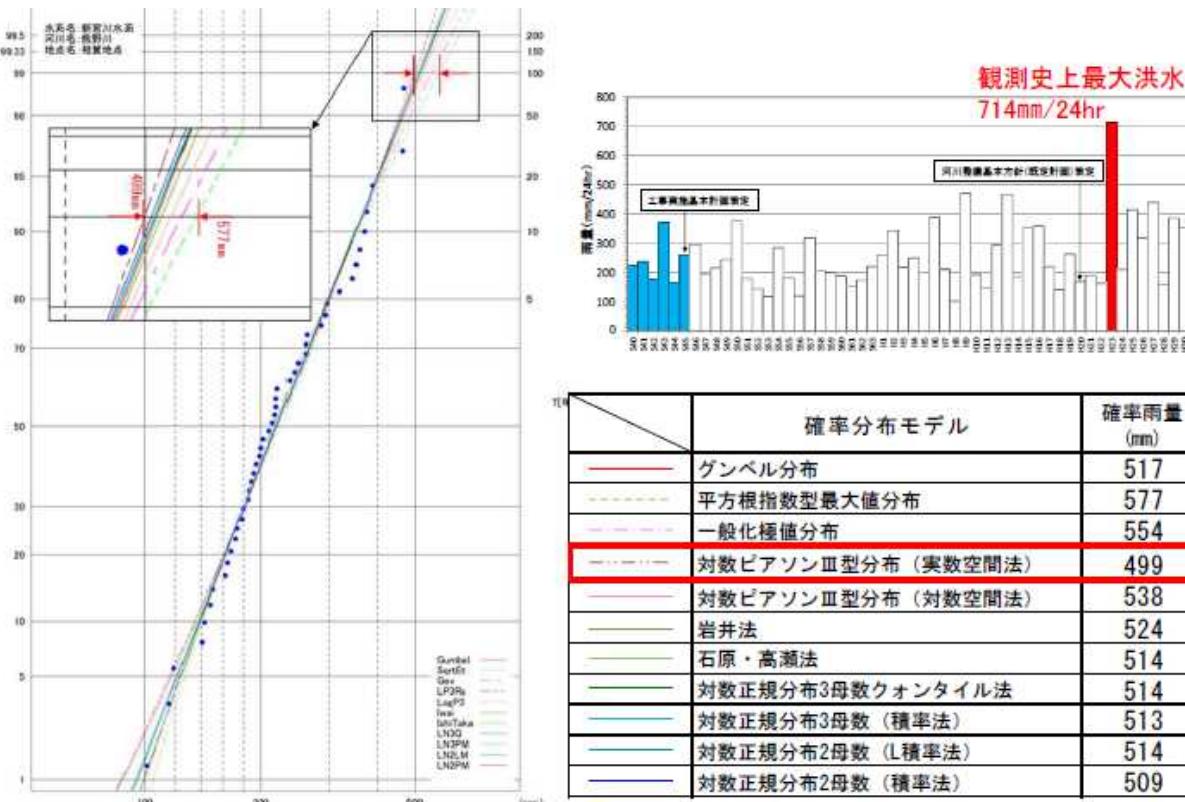
4. 基本高水の設定と本報告での説明事項

- これまで河川整備基本方針策定の過程で蓄積されてきた検討の流れを基本に、気候変動の影響を基本高水の設定プロセスに取り入れる。
- 本報告では、新宮川水系の事例を基に、対象降雨の設定、総合判断による基本高水の設定、基本高水の対象降雨波形群に不足する降雨波形について説明。



5. 基本高水に用いる対象降雨の降雨量の設定

- 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、これまで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。
- 対象降雨の降雨量は、新宮川水系の方針改定では、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で、将来にわたり河川整備で目標とする治水安全度を確保



- 時間雨量データの存在する昭和40年～平成22年の年最大24時間雨量を対象に、水文解析に一般的に用いられる確率分布モデルによる1/100確率雨量から、適合度の基準を満足し、安定性の良好な確率分布モデルを用い、年超過確率1/100確率雨量499mm/24hを算定。
- 2°C上昇時の降雨量変化倍率1.1倍を乗じ、計画対象降雨の降雨量を549mm/24hと設定。

5. 基本高水に用いる対象降雨波形の選定

- 新宮川では、以下の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。
- 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。



d2PDF(5km, SI-CAT)から対象降雨の降雨量近傍(10洪水)の将来予測降雨波形を抽出。

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	将来 実験	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	過去 実験	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				
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	
最大	0.845	1.411	1.446	

分類	洪水の発生年月	相賀上流流域平均雨量		相賀地点ピーク流量(m³/s)
		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
	1971/8	295.5	1.858	23,400
	1982/8	317.8	1.728	23,000
	1997/7	469.8	1.169	18,900
	2001/8	467.2	1.175	17,900
	2004/8	358.0	1.534	18,600
	2007/7	262.6	2.091	22,600
	2011/7	479.9	1.144	16,200
	2015/7	439.6	1.249	19,800
	参考降雨波形	1979/10	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

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将来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

棄却した実績洪水	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

赤：将来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

5. 基本高水に用いる対象降雨波形の選定

- 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、短時間(12時間, 6時間)においても検証。
- 検証の結果、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。

d2PDF(5km, SI-CAT)から対象降雨の降雨量近傍（10洪水）の将来予測降雨波形を抽出。
各波形について、短時間（洪水到達時間の12時間やその1/2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 

予測降雨波形	12時間雨量	6時間雨量
最大	0.785	0.581

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将来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

棄却した実績洪水	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

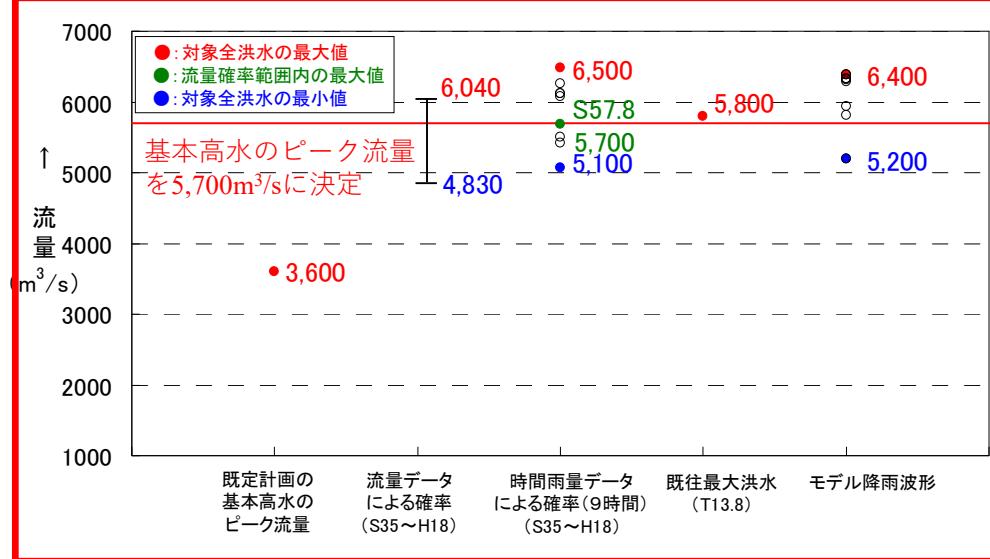
どちらの検証結果でも生起し難いと判断されなかった1979年10月波形を参考波形とした。

赤：将来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

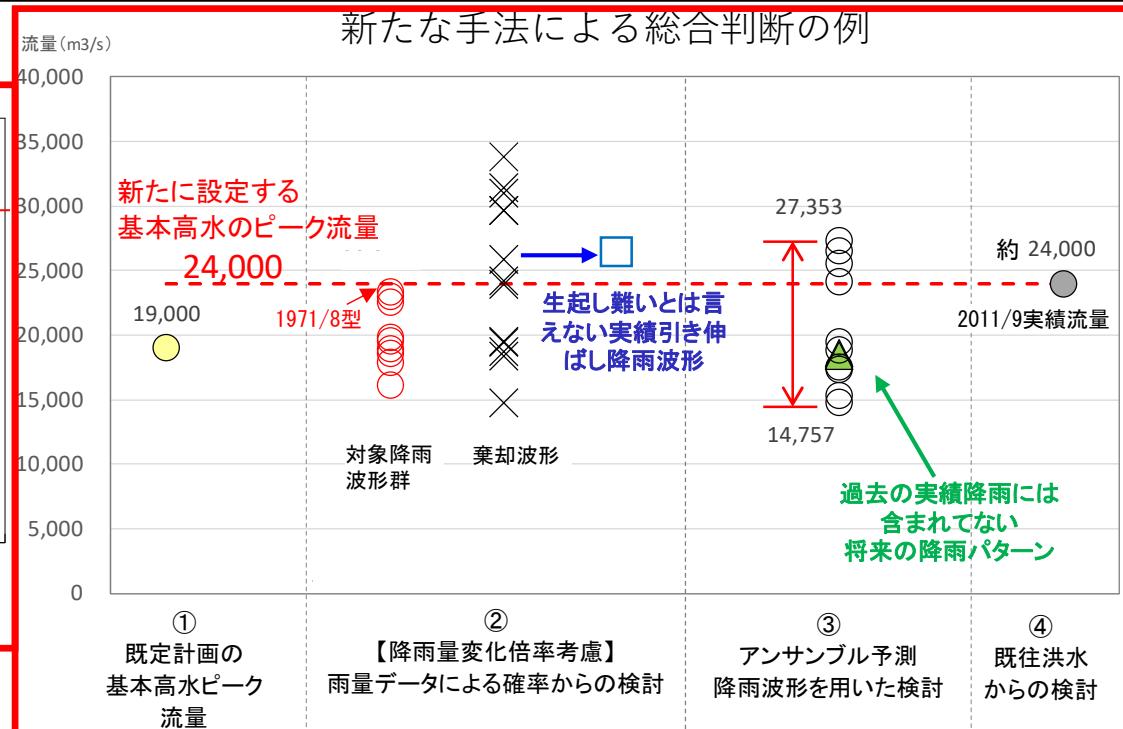
6. 総合判断による基本高水の決定

- 従来手法では、流量データによる確率、時間雨量データによる確率、既往最大洪水、モデル降雨波形の結果を基に総合的に判断して基本高水のピーク流量を決定。
- 新たな手法では、アンサンブル予測降雨波形による検討を新たに追加。
- 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

従来手法による総合判断の例



新たな手法による総合判断の例

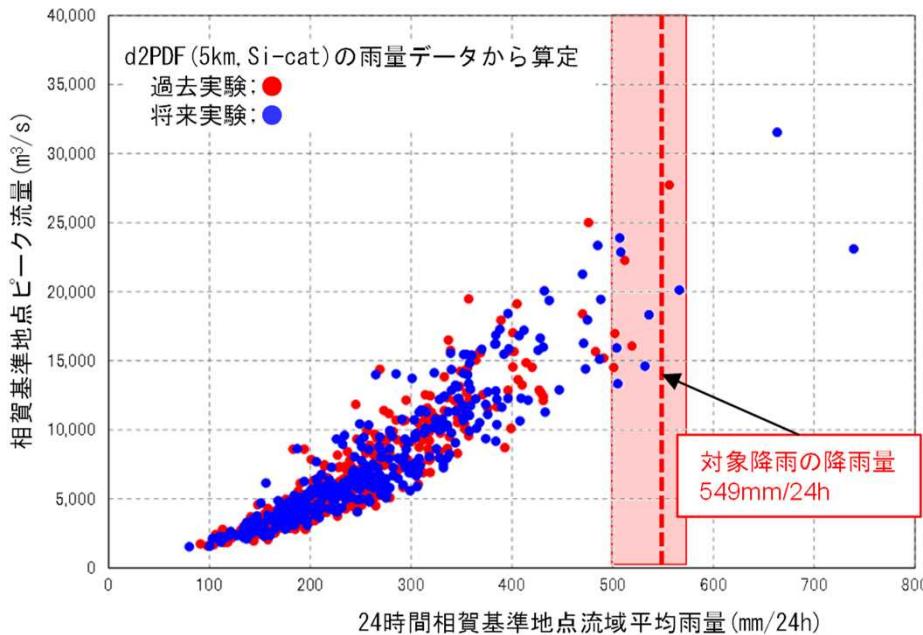


現時点において、観測データに基づく「流量データによる確率からの検討」は、現在気候下において使用可能であるが、将来の気候を想定した基本高水の検証には使えないと考える。

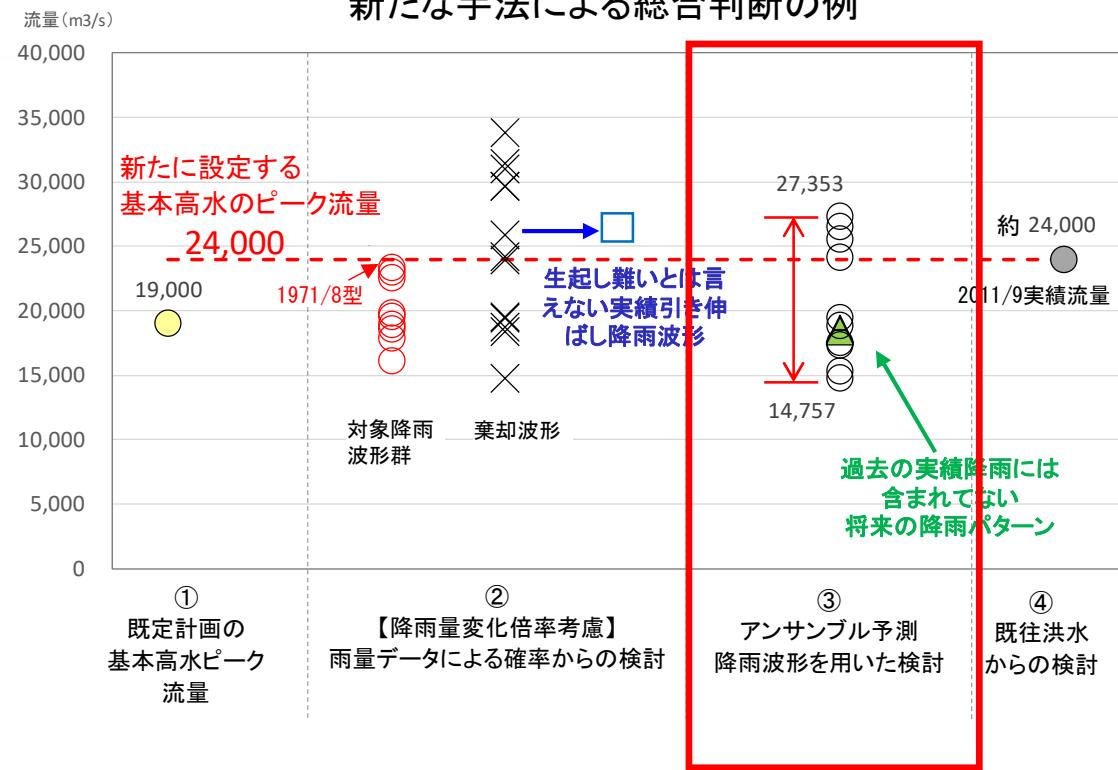
7. 基本高水の対象降雨波形群に不足する降雨波形

- 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、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ている。

アンサンブル予測降雨波形による検討

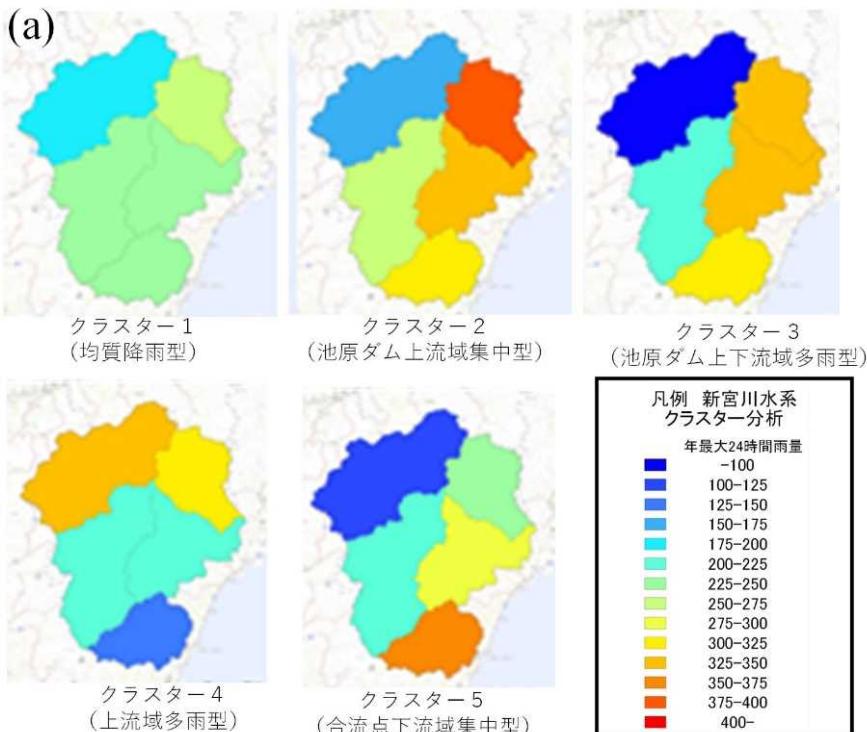


新たな手法による総合判断の例

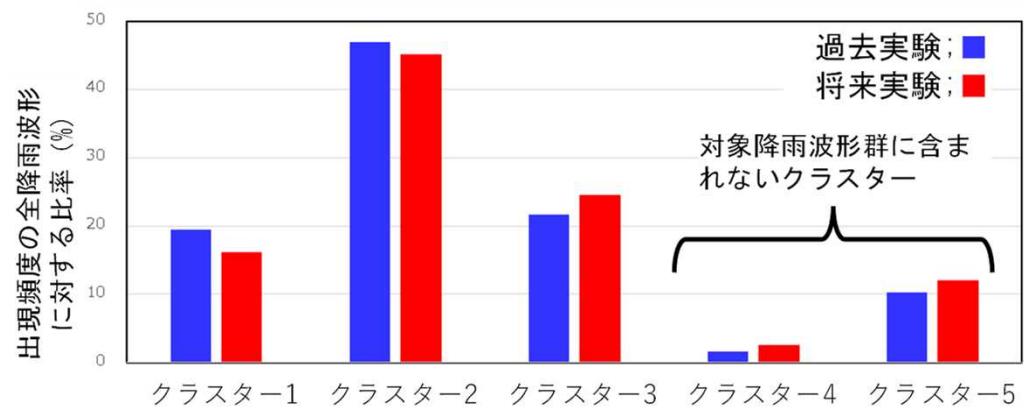


7. 基本高水の対象降雨波形群に不足する降雨波形

- 基本高水の設定に用いる対象降雨波形群は、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がある。
- 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。
- 基本高水の設定に用いる10波形にはクラスター4, 5に評価される波形はなく、クラスター5が将来気候で増加傾向となっている。



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



8. 今後の方針

- 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、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。
- 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とともに、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。
- 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述べたが、河川の整備では設定した基本高水を合理的に河道、ダム等に分配して計画高水流量を設定する必要がある。
- 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。