

気候変動の影響を考慮した河川整備基本方針の検討について

—目標降雨の設定方法など—

帯広開発建設部 治水課 ○三浦 拓也
高橋 賢司
猪子 長

近年の水災害の頻発に加え、今後、気候変動の影響により更に激化するとの予測を踏まえ、国土交通省では、治水計画を「過去の降雨実績に基づくもの」から「気候変動の影響を考慮したもの」へと見直し、抜本的な治水対策を推進することとしている。このたび、十勝川水系の河川整備基本方針について、気候変動の影響による将来の降雨量増大を考慮したものに変更したことから、既往計画検討手法との違いについて報告するものである。

キーワード：気候変動、アンサンブルデータ、基本高水ピーク流量

1. はじめに

近年、毎年のように水災害が発生し、**図-1**の通り、短時間強雨発生数の増加や台風の大規模化により、浸水被害が頻発している。

平成28年8月北海道豪雨は、1週間に3つの台風が北海道へ上陸する等、観測史上記録的な大雨となり、十勝川の基準地点茂岩、帯広では観測史上最大の流量を記録し、特に、帯広地点では洪水防御のための河川整備の既定目標（基本高水）6,800m³/sと同規模となった。

既に地球温暖化が顕在化していると見られ、今後さらに気候変動による水災害の激甚化・頻発化が予測されている。

このような状況を踏まえ、全国的に気候変動の影響を考慮した治水計画への見直しが進められており、十勝川水系においても河川整備基本方針の変更を行った。

本稿では、十勝川水系河川整備基本方針の変更において、気候変動の影響を考慮した基本高水ピーク流量の設定手法について報告する。

2. 河川法・技術進展を踏まえた治水計画の見直し

これまで、我が国の治水計画は**図-2**の通り、主な災害や社会動向、これを踏まえた河川法の改正、技術の進展に伴い、変遷を重ねてきた経緯がある。洪水・内水氾濫・土砂災害・高潮・高波等を防御する計画は、過去の降雨や潮位などに基づいて作成されてきた。しかし、気候変動の影響による降雨量の増大、海面水位の上昇などを考慮した場合、現在の計画の整備完了時点では実質的な安全度が確保できない恐れがある。過去の実績降雨を用いて確率処理を行い、所要の安全度を確保する治水計画から、技術進展によるアンサンブル将来予測などの計算手法を活用し、気候変動の影響による将来の降雨量の増加も考慮した治水計画への見直しが進められている。

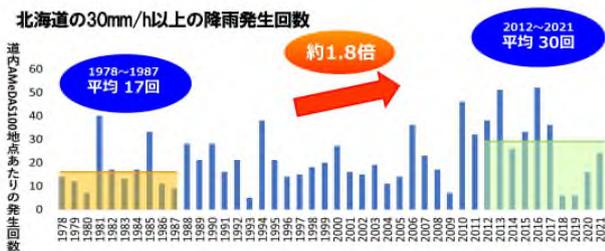


図-1 降雨量や洪水発生頻度の変化

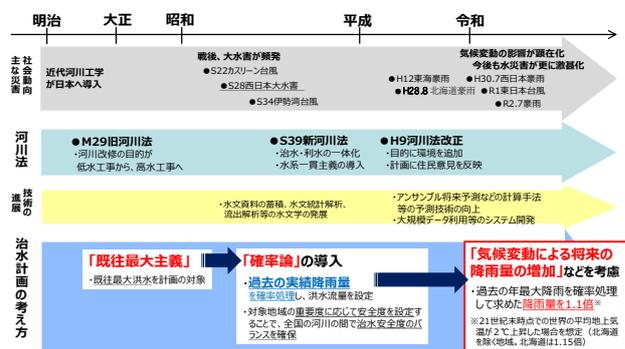


図-2 我が国の治水計画の変遷

3. 全国的な河川整備基本方針見直しの考え方

近年の科学技術の進展や現時点のデータの蓄積を踏まえ、国土交通省では、将来の降雨量変化倍率、アンサンブル実験による予測降雨波形などを活用し、**図-3**の通り気候変動の影響を考慮した基本高水のピーク流量等の変更を進めている。

河川整備の基本となる洪水の規模は維持しながら、「洪水調節施設等による調節流量」は、既存ダムの再生、利水ダム等の事前放流による洪水調節機能の強化、新たな洪水調節施設の整備の検討を行うこととし、また「河道への配分流量」は、沿川の土地利用状況やまちづくりの動向を踏まえた川幅や計画高水位のチェック、環境への配慮を踏まえた河床掘削等の可能性を検討することとしている。

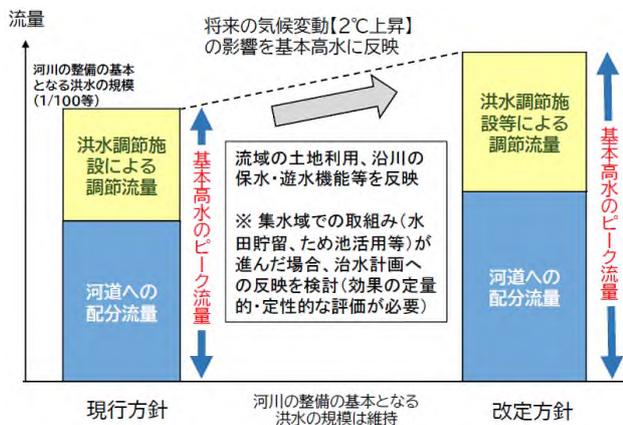


図-3 気候変動を踏まえた基本高水ピーク流量の考え方

4. 気候変動の影響を考慮した高水流量の設定

これまでの基本高水は、「河川整備の目標となる洪水の規模の設定」、「対象降雨の降雨量設定」、「主要降雨波形群の設定」、「流出解析」、「総合判断」により設定されてきた。この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に、**図-4**に示すフローの通り、気候変動による影響として、「① 対象降雨の降雨量の設定」、「② 起こり得る降雨波形の再検証」、「③ 基本高水の妥当性確認」といった視点を基本高水の設定プロセスに取り入れた。

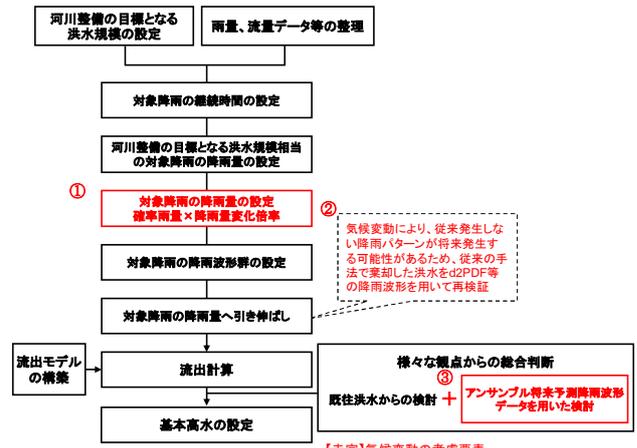


図-4 基本高水検討フロー

(1) 将来気候を踏まえた対象降雨の降雨量設定手法

対象降雨の降雨量には、実績降雨データから得られた確率雨量に過去の再現計算と将来の予測の比（降雨量変化倍率）を乗じて、基本高水を設定する。

降雨量変化倍率を乗じる対象となる、対象降雨の降雨量の算定に使用する雨量標本データの取り扱いにあたっては、①最新年まで延伸してデータ数を増やし信頼性を高める観点、②既に気候変動の影響を含んでいる可能性がある雨量標本データをどう取り扱うかの観点について検討する必要がある。

降雨量変化倍率の算定に用いている過去実験の期間が2010年までであることを踏まえ、既定計画から雨量標本のデータ延伸を一律に2010年までにとどめ、2010年までの雨量標本を用い、定常の水文統計解析により確率雨量を算定し、これに降雨量変化倍率を乗じた値を対象降雨の降雨量とすることとした。

(2) 計画対象降雨の降雨量設定

十勝川水系の治水安全度は、変更前基本方針策定時から流域の重要度等に大きな変化がないことから、変更前基本方針の計画規模の年超過確率1/150を踏襲した。

表-1の通り、降雨特性が類似した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の幅や平均等を評価した上で、北海道の降雨量変化倍率は2°C上昇時で1.15倍とされた。

表-2、**表-3**の通り、計画規模の年超過確率1/150の降雨量に降雨量変化倍率1.15倍を乗じた値、247mm/48hr（茂岩）、297mm/48hr（帯広）を対象降雨の降雨量と設定した。

表-1 地域区分毎の降雨量変化倍率

気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言 改訂版(令和3年4月)より

地域区分	2°C上昇	4°C上昇	
		短時間	
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

表-2 1/150確率規模降雨量（基準地点茂岩）

	茂岩	備考
1/150確率雨量 (S36~H22標本)	214.5mm/48hr	確率手法SLSC \leq 0.04 Jackknife推定誤差最小
気候変動を 考慮した降雨量	247mm/48hr	214.5mm/48hr \times 降雨量 変化倍率1.15

表-3 1/150確率規模降雨量（基準地点帯広）

	帯広	備考
1/150確率雨量 (S36~H22標本)	258.3mm/48hr	確率手法SLSC \leq 0.04 Jackknife推定誤差最小
気候変動を 考慮した降雨量	297mm/48hr	258.3mm/48hr \times 降雨量 変化倍率1.15

(3) 主要降雨波形群の設定

主要洪水の選定は、流域内雨量観測所が十分に整備された昭和36年以降を対象に、茂岩、帯広地点で平均年最大流量以上かつ基準地点茂岩でピーク流量生起時刻前後の最大48時間雨量の引き伸ばし率が2倍以下（1.15倍する前の確率雨量）となる12洪水（茂岩）、9洪水（帯広）を選定した。

主要洪水を対象に1/150確率48時間雨量247mmとなるよう引き伸ばし降雨波形を作成して流出計算を行い、基準地点茂岩において13,800~22,100m³/s、基準地点帯広において7,600~10,700m³/sとなることを確認した。

このうち、小流域あるいは短時間の降雨が著しい引き伸ばし（雨量確率1/500以上）となる洪水（茂岩地点：8洪水、帯広地点：1洪水）については棄却した。

(4) アンサンブルデータを用いた降雨波形群での再検証

本検討で用いた気候予測アンサンブルデータ¹⁾は、「文科省・気候変動リスク情報創生プログラム及び海洋研究開発機構・地球シミュレータ特別推進課題」において作成された「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース（d4PDF）」であり、海面水温や摂動といった様々な条件を考慮して予測計算した現在の気候3000年分（過去実験）、将来気候5400年分（4℃上昇時点）・3240年分（2℃上昇時点）（将来実験）という大量の予測データからなる。

a) アンサンブル予測降雨波形の抽出

アンサンブル将来予測降雨波形より算出した将来気候の年最大流域平均雨量標本から、基準地点茂岩の計画対象降雨247mm/48hr、基準地点帯広の計画対象降雨297mm/48hrに近い10洪水を抽出した。図-5に基準地点茂岩の10洪水を示す。

抽出した10洪水は、中央集中や複数の降雨ピークがある波形等、様々なタイプの降雨波形を含んでいることを確認の上、抽出した洪水の降雨波形について、気候変動を考慮した年超過確率1/150の48時間雨量247mm（茂岩）、297mm（帯広）まで引き伸ばし（引き縮め）を行い、流出計算により流出量を算出した。

洪水名	茂岩地点 48時間雨量 (mm)	気候変動後 1/150雨量 (mm)	拡大率	茂岩地点 ピーク流量 (m ³ /s)
将来実験				
HFB_2K_MP_m108	249.4	247	0.989	21,100
HFB_2K_MR_m108	249.3		0.990	12,800
HFB_2K_MI_m104	248.0		0.995	15,800
HFB_2K_MI_m109	246.0		1.003	16,300
HFB_2K_MR_m103	246.0		1.003	18,900
HFB_2K_HA_m101	243.2		1.014	15,300
HFB_2K_MI_m109	241.9		1.020	11,400
HFB_2K_HA_m108	241.8		1.020	11,500
HFB_2K_MR_m101	241.6		1.021	16,000
HFB_2K_MI_m103	240.5		1.026	21,700

図-5 アンサンブル予測降雨波形の抽出（基準地点茂岩）

b) 棄却された実績引き伸ばし降雨の再検証

気候変動による降雨パターンの変化（特に小流域集中度の変化）により、これまでの手法で棄却されていた実績引き伸ばし降雨波形の発生が予想される場合があることを踏まえ、これまでの手法で棄却されていた実績引き伸ばし降雨波形を、当該水系におけるアンサンブル予測降雨波形の降雨パターンと照らし合わせる等により再検証を実施した。

具体的には、アンサンブル降雨波形において、図-6に示した継続時間内の小流域の流域平均雨量/流域平均雨量【地域分布のチェック】や短時間の流域平均雨量/継続時間内の流域平均雨量【時間分布のチェック】を算出し、棄却した実績引き伸ばし降雨波形がアンサンブル降雨波形の比率を下回る場合は対象波形に含めることを検討した。



図-6 十勝川流域分割図【地域分布のチェック】

出典:国土交通省ウェブサイト
(https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyoku_keikaku/gaiyou/seibi/tokachi_index.html)

■ 地域分布のチェック (茂岩地点)

表4に示した基準地点茂岩で棄却した8洪水のうち6洪水は、実績引き伸ばし降雨波形の比率が表5のアンサンブル予測降雨波形による比率を上回り、アンサンブル予測降雨波形と比較しても生起し難いことを確認した。

表4 雨量の比率 (棄却した引き伸ばし降雨波形)

棄却した実績洪水	茂岩地点上流域 (8208.0km ²)		帯広地点上流域 (2677.9km ²)		喜更地点上流域 (707.9km ²)		南帯広地点上流域 (608.1km ²)		利根川地点上流域 (2714.9km ²)		茂岩残流域 (1499.3km ²)	
	実績雨量 (mm/48hr)	引き伸ばし雨量 (mm/48hr)	実績雨量 (mm/48hr)	引き伸ばし雨量 (mm/48hr)	実績雨量 (mm/48hr)	引き伸ばし雨量 (mm/48hr)	実績雨量 (mm/48hr)	引き伸ばし雨量 (mm/48hr)	実績雨量 (mm/48hr)	引き伸ばし雨量 (mm/48hr)	実績雨量 (mm/48hr)	引き伸ばし雨量 (mm/48hr)
S47.9.18	174.9	247.0	1.411	1.09	1.95.5	1.21	1.68.1	0.79	0.59	1.00	1.00	0.68
S63.11.25	121.6	247.0	2.029	0.64	2.39.8	0.39	2.01.9	0.81	0.94	0.81	0.81	0.81
H1.6.30	131.3	247.0	1.879	0.81	200.0	1.24	164.3	0.81	0.81	0.81	0.81	0.67
H10.8.29	134.2	247.0	1.838	0.81	200.0	1.24	168.5	0.81	0.81	0.81	0.81	0.68
H10.9.17	111.7	247.0	2.208	0.97	239.9	1.03	233.3	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
H13.9.12	162.4	247.0	1.519	0.78	191.9	1.26	152.6	0.78	0.78	0.78	0.78	0.66
H28.8.18	130.8	247.0	1.886	0.91	225.0	1.09	217.0	0.91	0.91	0.91	0.91	0.88
H28.8.31	160.7	247.0	1.535	1.01	248.0	1.01	221.3	1.01	1.01	1.01	1.01	0.90

表5 雨量の比率 (アンサンブル予測降雨波形)

洪水	茂岩地点上流域 (8208.0km ²)		帯広地点上流域 (2677.9km ²)		喜更地点上流域 (707.9km ²)		南帯広地点上流域 (608.1km ²)		利根川地点上流域 (2714.9km ²)		茂岩残流域 (1499.3km ²)	
	実績雨量 (mm/48hr)	アンサンブル予測雨量 (mm/48hr)	比率 (②/①)	実績雨量 (mm/48hr)	アンサンブル予測雨量 (mm/48hr)	比率 (②/①)	実績雨量 (mm/48hr)	アンサンブル予測雨量 (mm/48hr)	比率 (②/①)	実績雨量 (mm/48hr)	アンサンブル予測雨量 (mm/48hr)	比率 (②/①)
HFB_2K_MP_m108	249.4	247.0	0.97	269.3	1.08	157.9	0.61	399.4	1.24	204.1	0.82	
HFB_2K_MR_m102	246.0	247.0	0.93	270.1	1.10	253.8	1.08	277.7	1.12	222.2	0.90	
HFB_2K_MI_m104	248.0	247.0	0.99	241.9	0.97	242.1	0.97	242.1	0.97	242.1	0.97	
HFB_2K_MI_m109	246.0	247.0	0.93	246.0	1.00	246.0	1.00	246.0	1.00	246.0	1.00	
HFB_2K_HA_m101	243.2	247.0	0.98	243.2	1.00	243.2	1.00	243.2	1.00	243.2	1.00	
HFB_2K_MI_m109	246.0	247.0	0.93	246.0	1.00	246.0	1.00	246.0	1.00	246.0	1.00	
HFB_2K_HA_m108	241.8	247.0	1.01	241.8	0.97	241.8	0.97	241.8	0.97	241.8	0.97	
HFB_2K_MR_m101	241.6	247.0	1.01	241.6	0.99	241.6	0.99	241.6	0.99	241.6	0.99	
HFB_2K_MI_m103	240.5	247.0	1.11	240.5	1.01	240.5	1.01	240.5	1.01	240.5	1.01	

■ 時間分布のチェック (茂岩地点)

表6に示した基準地点茂岩で棄却した8洪水のうち3洪水は、実績引き伸ばし降雨波形の比率が表7のアンサンブル予測降雨波形による比率を上回り、アンサンブル予測降雨波形と比較しても生起し難いことを確認した。

表6 雨量の比率 (棄却した引き伸ばし降雨波形)

棄却した実績洪水	茂岩地点上流域						
	実績雨量 (mm/48hr)	計画雨量① (mm/48hr)	拡大率	24時間雨量② (mm/24hr)	18時間雨量③ (mm/18hr)	比率 ②/①	比率 ③/①
S47.9.18	174.9	247.0	1.411	195.5	168.1	0.79	0.68
S63.11.25	121.6	247.0	2.029	239.8	201.9	0.94	0.81
H1.6.30	131.3	247.0	1.879	200.0	164.3	0.81	0.67
H10.8.29	134.2	247.0	1.838	200.0	168.5	0.81	0.68
H10.9.17	111.7	247.0	2.208	239.9	233.3	0.97	0.97
H13.9.12	162.4	247.0	1.519	191.9	152.6	0.78	0.66
H28.8.18	130.8	247.0	1.886	225.0	217.0	0.91	0.88
H28.8.31	160.7	247.0	1.535	248.0	221.3	1.01	0.90

表7 雨量の比率 (アンサンブル予測降雨波形)

洪水	茂岩地点上流域					
	d2PDF	48時間予測雨量① (mm/48hr)	24時間予測雨量② (mm/24hr)	18時間予測雨量③ (mm/18hr)	比率 ②/①	比率 ③/①
HFB_2K_MP_m108		249.4	215.4	201.9	0.86	0.81
HFB_2K_MR_m102		246.0	247.0	246.0	1.00	1.00
HFB_2K_MI_m104		248.0	191.7	162.9	0.77	0.66
HFB_2K_MI_m109		246.0	180.2	146.6	0.73	0.60
HFB_2K_HA_m101		243.2	240.1	216.0	0.98	0.88
HFB_2K_MI_m109		246.0	241.9	137.2	0.67	0.56
HFB_2K_HA_m108		241.8	241.9	107.5	0.58	0.44
HFB_2K_MR_m101		241.6	157.4	129.1	0.65	0.53
HFB_2K_MI_m103		240.5	226.3	198.6	0.94	0.82
HFB_2K_MI_m103		240.5	221.6	201.9	0.92	0.84

その結果、基準地点茂岩で棄却した8洪水の実績引き伸ばし降雨波形のうち、地域分布・時間分布アンサンブル予測降雨波形による比率を共に上回らなかった1洪水を棄却せず参考波形として活用した。同様に基準地点帯広についても検証を行い、1洪水を棄却せず参考波形として活用した。

c) 主要洪水群に不足する降雨パターンの確認

これまで、実績の降雨波形のみを計画対象の降雨波形としてきましたが、基本高水の設定に用いる計画対象の降雨波形群は、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することが必要となる。

気候変動等による降雨特性の変化によって、追加すべき降雨波形が無いかを確認するため、アンサンブル将来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計画対象の実績降雨波形が含まれていないクラスターの確認を実施した。

図7に示す結果の通り、茂岩地点ではクラスター2、3、4、帯広地点ではクラスター1、2、3、4と評価されたため、茂岩地点では主要洪水に含まれないクラスター1、5の2洪水を、帯広地点ではクラスター5に該当する1洪水の降雨波形を将来実験アンサンブル予測から抽出した。

抽出した洪水の降雨波形を、気候変動を考慮した1/150確率規模の降雨量まで引き伸ばして、流出計算モデルにより流出量を算出し、基本高水の検討に用いた。

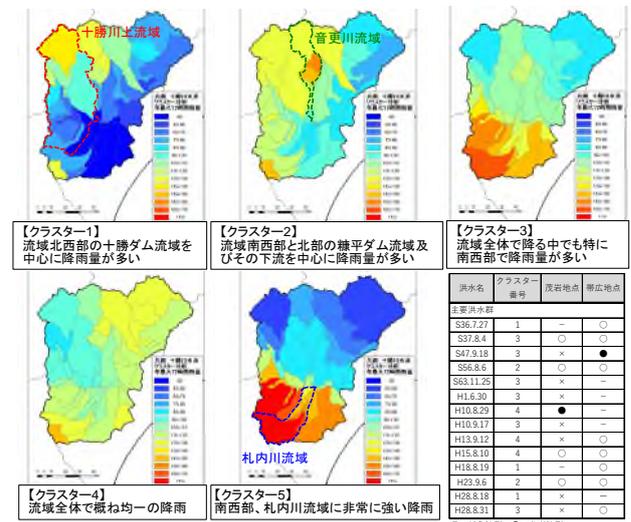


図7 主要洪水群に不足する降雨パターンの確認

(5) 基本高水ピーク流量の設定と妥当性の確認

前項までの検討を踏まえ、基本高水ピーク流量の設定と、その妥当性について確認を行った。

a) 総合的判断による基本高水ピーク流量の設定

気候変動による外力の増加に対応するため、**図-8**に示す通り、気候変動を考慮した雨量データによる確率からの検討、アンサンブル予測降雨波形を用いた検討、既往洪水検討から総合的に判断した結果、基準地点茂岩の基本高水のピーク流量は、基準地点茂岩において21,000m³/s、基準地点帯広の基本高水のピーク流量は、基準地点帯広において9,700m³/sと設定した。

また、抽出したアンサンブル予測降雨波形群を、気候変動を考慮した1/150確率規模の48時間雨量247mm（基準地点茂岩）、297mm（基準地点帯広）まで調整し、流出計算モデルにより流出量を算出した結果、約11,400m³/s～21,700m³/sの範囲（基準地点茂岩）、約4,500m³/s～12,400m³/sの範囲（基準地点帯広）となり、雨量データによる確率からの検討により算出された流量が数値の範囲に収まっていることを確認した。

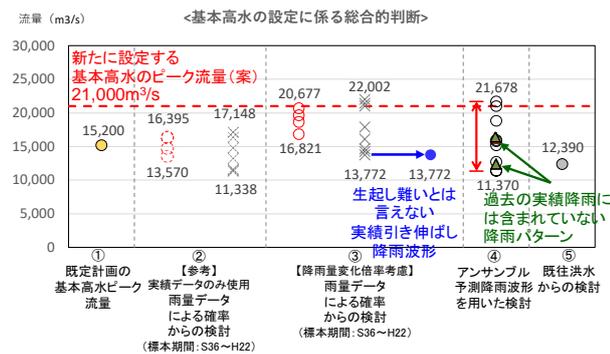


図-8 基本高水の設定に係る総合的判断（基準地点茂岩）

b) 基本高水ピーク流量の妥当性確認

アンサンブル予測降雨波形は物理的な気候モデルを用いて得られた計算結果であり、ここから計画対象降雨の降雨量相当の降雨波形を抽出し、将来起こり得る事象として基本高水の検証に活用したが、このアンサンブル予測計算から抽出した降雨波形のうち、**図-9**に示す最大の流量となった波形（茂岩地点：21,678m³/s）について妥当性を確認した。

具体的には、降雨強度の地域分布（流出計算の小流域ごとの平均値）の時間変化を分析したところ、**図-10**の通り常に強い雨域が上流域から下流域に移動することで、大きなピーク流量を発生させていることを確認した。これは、降雨波形によっては将来的にそのような流量が生じる可能性があることを示していると考えられる。

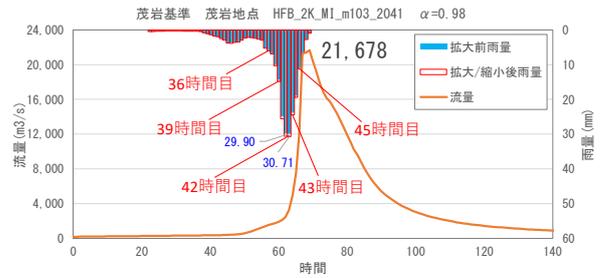


図-9 茂岩地点における降雨ハイト・流量ハイドロ

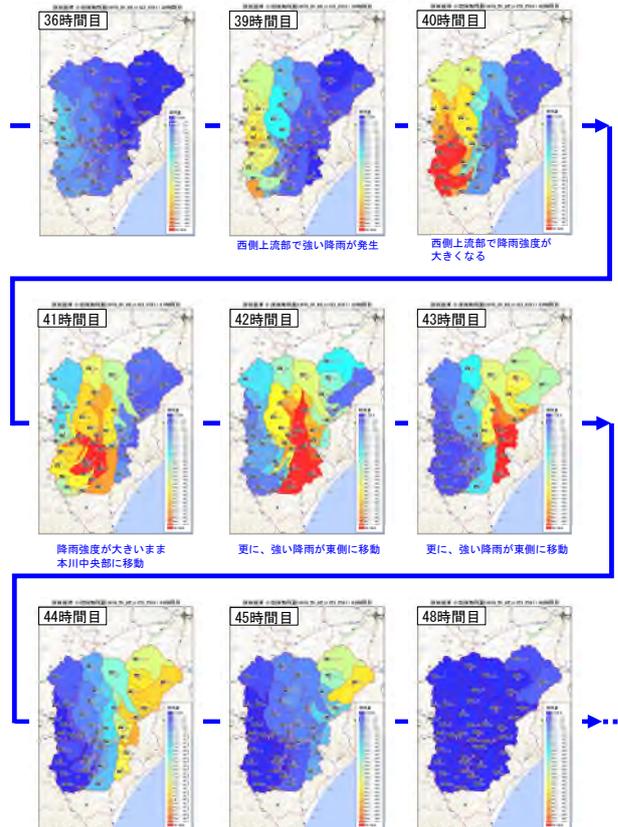


図-10 降雨強度地域分布の時間変化

出典:国土交通省ウェブサイト
https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyoku.keikaku/gaiyou/seibi/tokachi_index.html

5. おわりに

十勝川水系河川整備基本方針の変更は全国で4番目の早さであり、気候変動を踏まえた事例としては道内では初となる。これに合わせて、より具体的な対策を位置づける十勝川河川整備計画についても、気候変動や流域治水等の観点から令和5年3月に変更した。これを受け、地域の治水安全度の向上に向けて、より一層取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言 令和3年4月改訂 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会