

# 平成28年8月の大雨を踏まえた 今後の治水計画に関する研究（第2報） －設計超過洪水への対策と気候変動予測技術の検討－

とりまとめ担当 建設部 河川計画課  
建設部 河川工事課  
建設部 河川管理課  
各開発建設部（稚内除く）

## まえがき

北海道総合開発計画（第8期）では、「強靱で持続可能な国土」が目標として設定されており、近年の降雨の局地化・集中化・激甚化や、気候変動による更なる激甚化・頻発化への対応は、北海道開発における重要な課題となっている。その中で、平成28年8月、観測史上初めて1週間に3個の台風が北海道に上陸し、さらに台風第10号の接近により、全道各地で記録的な大雨となり、甚大な被害が発生した。

本研究は、上記災害を踏まえ、気候変動による影響を予測・評価し、具体的なリスク評価をもとに、施設では守り切れない洪水から被害を防ぎ軽減するための治水計画を検討・具体化するものである。

## 1. はじめに

### (1) 水防災委員会の報告

平成28年8月に北海道で発生した大雨激甚災害について、気象、治水（生産空間の保全を含む）、防災等の観点から検証を行い、今後の水防災対策のあり方を検討することを目的として、北海道開発局と北海道は共同で、「平成28年8月北海道大雨激甚災害を踏まえた水防災対策検討委員会（委員長：山田正中央大学教授。以下、「水防災委員会」という。）」を設置した。水防災委員会では、今回の災害の特徴や、近年の北海道の気象の変化と気候変動の影響を踏まえ、平成29年3月に報告書「平成28年8月北海道大雨激甚災害を踏まえた今後の水防災対策のあり方（以下、「あり方」という。）」<sup>1)</sup>がとりまとめられた（表-1）。この報告を踏まえ、北海道開発局及び北海道は概ね5年間の取組をまとめた行動計画（以下、「行動計画」という。）を作成し、具体的な治水対策に着手することとした。

### (2) 設計超過洪水を考慮した治水計画

河川整備基本方針の計画規模は、過去の降雨実績から降雨量の年超過確率を評価して定めるものであり、一級水系における計画規模は1/100～1/200となっている。そ

のため、計画規模の降雨は、発生する可能性のある降雨の上限を規定するものではなく、それを上回る洪水が発生することは否定できない。「国土交通省河川砂防技術基準計画編」<sup>2)</sup>では、超過洪水を「計画の規模を超える洪水」と定義し、「必要に応じて超過洪水対策を計画する」こととしている。そのため、計画規模の範囲内に収まる洪水だけでなく、超過洪水が発生した際の被害も考慮した上で治水計画を策定する必要がある。

また、我が国の河川はほぼ全ての区間において、計画規模に向けて整備途上である。例えば、道内の国管理区間の河川の完成堤防延長は、計画延長の73.3%となっている（平成29年3月末現在）<sup>3)</sup>。河川整備の進捗は、近年の厳しい財政事情や、社会的合意の難しさによって停滞する場合だけでなく、水系内の上下流バランス等の観点から河川整備に着手できていない区間もある。これらの区間に対しては、現況施設の能力を上回る洪水に対して被害を軽減できる治水計画で対応するとともに、河川整備を早期に完了させ、施設能力を超過する洪水の発生リスクを低減する治水計画を採用する必要がある。

本論では、将来の完成形である計画上の施設の能力を超過する洪水、および現況施設の能力を超過する洪水を

表-1 「あり方」の概要<sup>1)</sup>

#### 基本方針

- 北海道から先導的に気候変動の適応策に取り組む。将来の影響を科学的に予測し、リスク評価をもとに治水対策を講じる。
- あらゆる対策を総動員し、防災・減災対策に向けた取り組みを推進する。
- 今回の被害の要因を分析し、その対策を治水計画や維持管理へ反映する。
- 日本の食料供給基地としての農業を守る治水対策を強化し、国民全体に貢献する。

#### 今後の水防災対策のあり方

- 気候変動を考慮した治水対策
- ハード対策とソフト対策の総動員
- 避難の強化と避難体制の充実
- 支川や上流部等の治水対策
- 既設施設の評価及び有効活用
- 許可工作物等への対応
- 生産空間の保全

それぞれ「計画超過洪水」、「現況超過洪水」と呼び、完成した施設に対する計画超過洪水だけでなく、施設整備の途上に発生する可能性のある現況超過洪水を含めた、整備段階に応じた治水計画を議論する（図-1）。なお、本論における「治水計画」とは、河川管理施設や河道の整備計画にとどまらず、河川からの氾濫を防ぐ水防活動計画や、堤内地の浸水を軽減する設備配置計画等を含めた、流域内において被害を軽減するために洪水を制御するための計画全般のことを指す。

### (3) 気候変動影響を考慮した治水計画

平成27年8月に「社会資本整備審議会河川分科会気候変動に適応した治水対策検討小委員会」による答申<sup>4</sup>がとりまとめられ、同11月に「国土交通省気候変動適応計画」<sup>5</sup>が公表されるなど、従来の気候変動の緩和策だけでなく、気候変動への適応に向けた取組が進められている。これらの文書では、「比較的発生頻度の高い外力に対し、施設による災害の発生を防止」、「施設の能力を上回る外力に対し、施策を総動員して、できる限り被害を軽減」、「施設の能力を大幅に上回る外力に対し、ソフト対策に重点」という考え方が示されている。

また、「あり方」においても、「気候変動を考慮した治水計画」について、「対策に手遅れが生じぬよう、現行治水計画を早急に検証しつつ、現時点における気候変動を考慮した社会的・経済的に最適な治水計画を速やかに検討・策定する必要がある」としている。しかし、洪水被害を防ぐための施設配置を決定するための治水計画の検討手法に関しては、開発に着手した段階であり、具体的な治水計画の策定に活用できるまでに至っていない。

北海道における近年の降雨形態の変化や将来の気候変動予測に関する考察については、前報<sup>6</sup>にて報告しているため本報では省略するが、気候変動に伴う豪雨の発生頻度の増加により、現行の計画規模に対応する年超過確率が大きくなり（例えば、現行1/100の降雨が将来1/30になる）、治水安全度が低下する可能性がある。すると、その事態に対応するための治水計画の策定にあたり、以下のような対処すべき技術的課題が考えられる（図-2）。

- ① 気候変動の将来変動予測シナリオが複数ある中で、どのようにシナリオを選択して治水計画目標を設定するのか（例えば、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第5次報告書（AR5）<sup>7</sup>では、放射強制力の

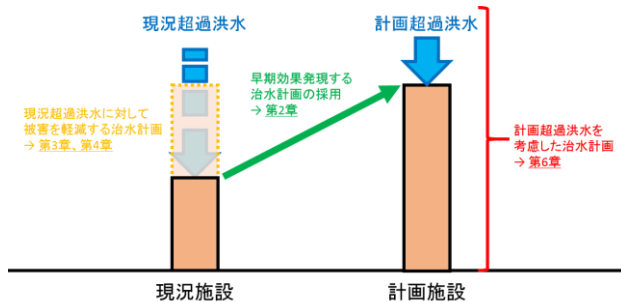


図-1 設計超過洪水対策の課題とその取組

代表的濃度経路（RCP）によって4シナリオが設定されており、今後の社会経済シナリオによって将来の取り得る気候変動予測シナリオが変化する）。

- ② 気候変動後の降雨の予測技術は開発段階であり、社会的合意が得られるまでの高い精度を持った予測手法を確立させる必要がある。
- ③ 気候変動後における治水計画目標を、どのような計画論で決定するのか（例えば、計画規模が現在の気候における年超過確率で1/100と設定されている河川整備の目標を、気候変動後においても、治水安全度を低下させないように変動後の気候における年超過確率1/100に再設定するのか、あるいは、治水安全度は低下しても計画規模は変更しないのか）。
- ④ 現行の河川整備が未完了の中で、降雨・流量実績に基づき計画規模を決定する現行の治水計画から、どのように気候変動予測に基づく治水計画へ移行するのか。ここに挙げた課題はあくまでも一部であり、今後検討が進むにつれて、新たな課題が顕在化してくる可能性がある。また、気候変動により計画超過洪水の規模の範囲が変化する可能性があるため、計画超過洪水を考慮した治水計画を検討するにあたって、気候変動影響を考慮することは避けて通ることはできない。

以上、前置きが長くなったが、第2報となる本報は、「あり方」および行動計画が策定されて初年度の今年度において、行動計画に基づき実施した治水計画に関する取組・検討事例を、「設計超過洪水への対策」と「気候変動影響の考慮」という2つの観点も踏まえて概観し、将来の治水計画のあり方について考察するものである。

## 2. 雨竜川ダム再生事業

石狩川水系雨竜川では、「あり方」の「既設ダムの有効活用」、および「支川や上流部等の治水安全度の向上」を踏まえ、平成29年7月に石狩川水系雨竜川河川整備計画（以下、本章において「整備計画」という。）を変更し、併せて同8月に雨竜川ダム再生事業が新規事業採択されることとなった。

### (1) 背景 —既設ダムの有効活用—

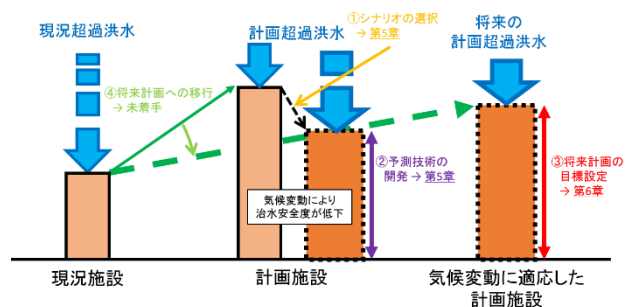


図-2 気候変動適応策の課題とその取組

キーワード：治水計画、超過洪水、気候変動、ダム再生、土地利用、堤防決壊締切

嵩上げ、放流能力増強、洪水調節容量確保等による既存ダムの再開発については、平成29年6月に策定された「ダム再生ビジョン」<sup>8)</sup>において、「運用改善だけで新たな効果を発揮」、「社会的コストや環境負荷を抑制」、「早期に効果を発揮」などの特長が言及され、「これまで実施してきた取組をより一層加速し、ダム再生を発展・加速する」ことを目指している。「あり方」にも、「今後、流域の既設ダム（発電・農業用ダムを含む）の機能をさらに活用して下流の被害軽減を図れるよう、ダムの再開発（放流施設の改良等）や、ダム上流域の降雨量やダムへの流入量の予測精度の向上を踏まえた事前放流等による有効活用、操作ルールの変更等の可能性を検討すべきである。」としている。

### (2) 背景 一支川や上流部等の治水安全度の向上

平成28年8月の連続台風による豪雨では、日高山脈付近における地形性豪雨により、一級水系の支川の多くの箇所でも堤防決壊、氾濫等の被害が発生し、また、平成29年7月の九州北部豪雨においても、筑後川右岸側の支川で、堤防決壊等による浸水被害に加えて、大量の土砂・流木を伴う洪水による甚大な被害が発生した。このように、本川や下流部と比較して治水安全度の相対的に低い支川や上流部において、局所的な豪雨により甚大な被害が発生する事例が多発している。

「社会資本整備審議会河川分科会大規模氾濫に対する減災のための治水対策検討小委員会」は、平成28年8月の北海道・東北の災害を踏まえ、平成29年1月に答申<sup>9)</sup>をとりまとめ、実施すべき対策として、「上下流バランスを考慮した本川上流や支川における治水対策」が掲げられている。また、同12月には、水管理・国土保全局で「中小河川緊急治水対策プロジェクト」<sup>10)</sup>がとりまとめられ、全国の約2万の中小河川において、「透過型砂防堰堤等の整備」、「河道掘削・堤防整備」、「危機管理型水位計の設置」を推進しているところである。

「あり方」では、「現状で比較的安全度の低い支川や上流部、中小河川における治水対策を進め、地域の安全度をバランス良く向上させる必要がある」とし、その手段として、「上下流バランスや地域の実情も踏まえた工夫」、「既設ダムの再開発や運用の工夫」、「遊水地の整備」等が挙げられている。

### (3) 整備計画の変更

雨竜川は、幹川流路延長177km、流域面積1,722km<sup>2</sup>の石狩川の1次支川である（図-3）。平成19年5月に策定された整備計画では、石狩川流域における戦後最大規模である昭和56年8月上旬降雨により発生する洪水のピーク流量を目標流量（雨竜橋基準地点において2,400m<sup>3</sup>/s）とし、河道掘削（本川実施延長約51.1km）等の河川改修を実施し、全流量を河道へ配分する計画であった。しかし、石狩川下流域の多くの区間において河川整備計画の完了

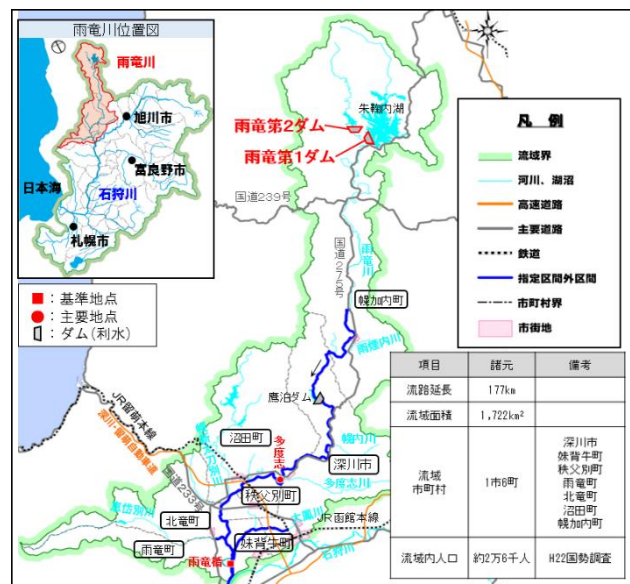


図-3 石狩川水系雨竜川の流域概要

していない区間が多く（図-4）、支川の雨竜川の流下能力の向上に着手できない状況が続いていた。その中で発生した平成26年8月洪水では、中上流域で既往最大であった昭和56年8月上旬洪水を上回る流量を観測し、幌加内観測所において氾濫危険水位を上回り、雨竜川沿いの各地で溢水氾濫および内水氾濫が発生し、田畑の冠水、家屋の床上・床下浸水が発生した。

上記の状況を踏まえ、変更後の整備計画では、上中流域については、平成26年8月降雨により発生する洪水のピーク流量を目標流量にするとともに、河道配分流量を見直し（同地点2,300m<sup>3</sup>/s）、最上流部にある発電用ダムの雨竜第1ダムおよび第2ダムにおいて、両ダムの予備放流水位以上の容量を洪水調節容量に振り替えるとともに、第2ダムの堤体の嵩上げにより、河道掘削区間と掘削土量を大幅に減少させることとした（図-5）。

### (4) 整備計画の変更による効果について

従来の河道掘削案（案U<sub>1</sub>）とダムの再開発を取り入れた変更案（案U<sub>2</sub>）を比較すると、表-2のようになる。案U<sub>1</sub>は河道掘削延長区間が長く、発生する多量の残土処理に費用がかかる一方で、案U<sub>2</sub>は河道掘削の延長区間およ

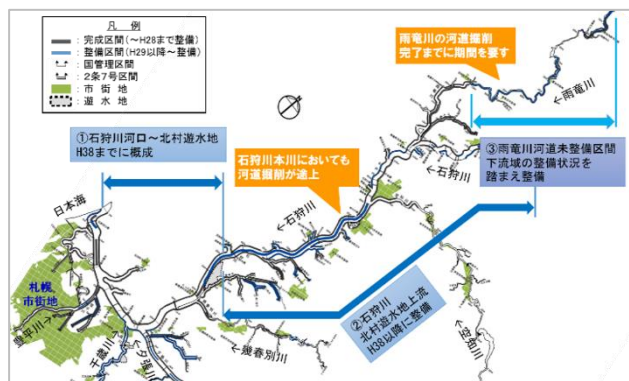


図-4 石狩川水系の河川整備の実施手順の概要

キーワード：治水計画、超過洪水、気候変動、ダム再生、土地利用、堤防決壊締切

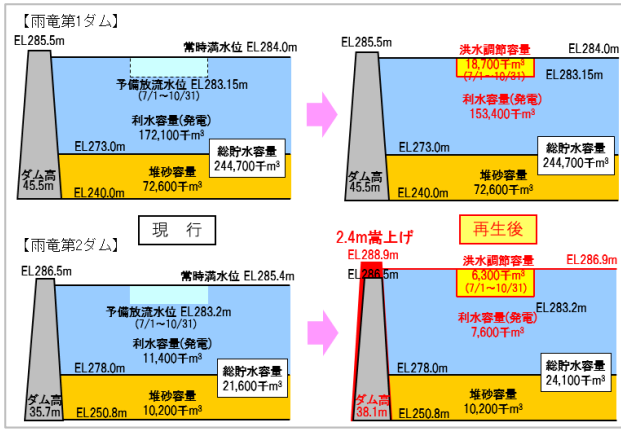


図-5 雨竜第1ダム・第2ダムの容量配分図

び残土処理量が減少することに加え、既存ダムの嵩上げであるため、新設ダムと比較して用地買収・補償等の費用が抑えられ、低コストで効果を発現することができる。かつ案U<sub>2</sub>は河道配分流量を減少させているため、石狩川本川の整備状況に関わらず整備に着手することが可能であり、早期に整備を完了させることにより、現況超過洪水により発生しうる被害を軽減させることができる。

また、整備内容を変更することにより、整備計画完了段階における計画超過洪水による被害にも違いが発生する。横軸に年超過確率、縦軸に年超過確率に対応する洪水による被害額をとり（以下、この関係による描かれる曲線を「リスクカーブ」という。）、案U<sub>1</sub>と案U<sub>2</sub>を比較すると、図-6のようになる。整備計画の計画規模を上回ると、両案とも被害が生じるようになるが、案U<sub>2</sub>の方が案U<sub>1</sub>よりも被害を抑えることができている。これは、案U<sub>1</sub>は洪水流量の増加に従って、氾濫面積や被害が拡大していくのに対し、案U<sub>2</sub>はダムの計画規模が1/100であるため、1/100の洪水までは通常の洪水調節操作で対応可能であり、1/200程度の計画超過洪水においても、洪水のピークを過ぎてから洪水調節容量を使い切るため、ピーク流量を低減させることができるからである。ただし、1/500を超える洪水に対しては、洪水のピーク前にダムの洪水調節容量を使い果たすため、ピーク流量を低減させることができず、両案の被害の差がほとんどない。

(5) 今後に向けて

表-2 案U<sub>1</sub>と案U<sub>2</sub>の比較表

	案U <sub>1</sub>	案U <sub>2</sub>
整備実施内容	河道掘削のみ	河道掘削+ダム再開発 (容量活用+嵩上げ)
完成までの費用	約620億円	約390億円 (内ダム：約190億円)
維持管理費用(50年)	約50億円	約170億円
効果発現までの時間	石狩川本川の河道改修に進捗を合わせるため時間を要する。	既設ダムを活用することで、早期の効果発現が見込まれる。
計画超過洪水への効果	洪水規模に比例して被害も増加する。	一定の規模まで被害を軽減することが可能。
その他	広域での残土処理調整が必要。	上流の道管理区間でも効果発現。

キーワード：治水計画、超過洪水、気候変動、ダム再生、土地利用、堤防決壊締切

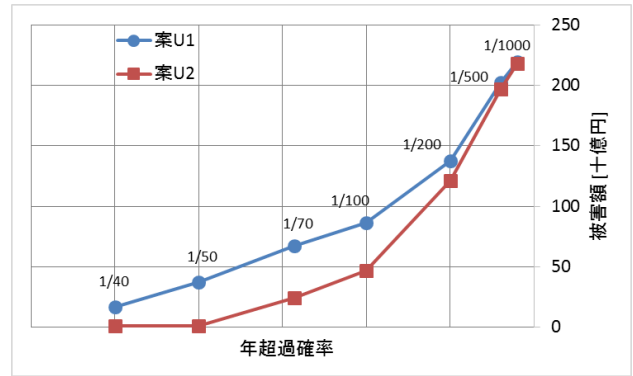


図-6 案U<sub>1</sub>と案U<sub>2</sub>のリスクカーブの比較（新規事業採択時における検討結果）

雨竜川ダム再生事業の新規事業採択により、平成30年度より実施計画調査に着手する予定である。この調査により、雨竜第1・第2ダムの具体的な建設・運用手法等を検討するとともに、この調査結果を今後の他の既設ダムの有効活用手法の検討にも活用することとしている。

### 3. 氾濫を軽減する防災連続盛土の整備

石狩川水系空知川では、「あり方」の「土地利用と一体となった氾濫抑制等の対策」、および「支川や上流部等の治水安全度の向上」（前述）を踏まえ、平成29年7月に石狩川水系空知川河川整備計画（以下、本章において「整備計画」という。）の変更に着手しており、学識者経験者で構成される石狩川流域委員会において、新たな整備内容案を提示しているところである。

#### (1) 背景 —土地利用と一体となった氾濫抑制等の対策—

「あり方」では、「氾濫した際にもその拡大を抑制し、壊滅的な被害を避けるために、土地利用状況等を考慮したうえで、霞堤や二線堤の整備、また、道路等の連続盛土構造物等の活用・保全等、土地利用と一体となった治水対策を検討すべき」とし、また、そのような治水対策の実現にあたっては、「治水施設の能力を超える規模の洪水は発生することを前提として、地域が氾濫形態や被害形態を選択できるような議論が重要」としている。

土地利用と一体となった治水計画の事例として、鳴瀬川水系吉田川では、河川管理者（東北地方整備局）、道路管理者（宮城県）、地元自治体が連携し、洪水に見舞われても被害を最小限にとどめるため、「水害に強いまちづくり事業」を推進している（図-7）。同事業では、道路との兼用施設として二線堤を整備して市街地への氾濫を防ぐとともに、土地利用の規制を実施している。<sup>11)</sup>

#### (2) 整備計画の変更

空知川は、幹川流路延長194.5km、流域面積2,618km<sup>2</sup>の石狩川最大の1次支川である（図-8）。平成18年12月に

策定された整備計画では、石狩川流域における戦後最大規模である昭和56年8月上旬降雨により発生する洪水のピーク流量を目標流量（赤平基準地点において4,300m<sup>3</sup>/s）とし、金山ダムおよび滝里ダムで洪水調節（合計1,000m<sup>3</sup>/s）を行い、河道配分流量を設定（同地点3,300m<sup>3</sup>/s）している。洪水調節施設（金山ダム：昭和42年完成、滝里ダム：平成11年完成）および金山ダムより下流で設定していた河道改修は、平成28年度時点で整備が完了していた。

平成28年8月降雨では、南富良野町幾寅地区で空知川の国管理区間の堤防が2箇所決壊し、市街地や農地が浸水し、家屋をはじめ避難所や要配慮者利用施設等においても浸水被害が発生した。幾寅地区は金山ダムの上流に位置し、整備計画において目標流量が設定されていない箇所であった。なお、金山ダムへのピーク流入量は1,560m<sup>3</sup>/sを記録しており、観測記録を更新している。

この洪水を踏まえ、整備計画の変更案では、幾寅地点において、平成28年8月降雨により発生する洪水のピーク流量を目標流量（1,400m<sup>3</sup>/s）に設定し、堤防整備・河道掘削による河川改修の実施とともに、南富良野市街地においては、町と河川管理者が連携し、既存道路の嵩上げ等の防災連続盛土（以下、「盛土」という。）を整備することで、被害軽減を図ることとしている（図-9）。

### (3) 整備計画の変更案による効果について

整備計画変更案で示された盛土は、河川計画上の堤防ではなく、あくまでも道路の嵩上げであるため、前述の吉田川における二線堤（河川管理施設）とは治水計画上および施設区画上異なる位置づけのものであるが、洪水



図-8 石狩川水系空知川の流域概要

被害の軽減については、河川が氾濫した場合に市街地の被害を軽減する同様の効果が発揮できると考えられる。

河川改修に関しては整備計画変更案どおり実施するが、盛土を設置しない案を案S<sub>1</sub>、盛土を図-9の位置に設置する案を案S<sub>2</sub>とし、河道から洪水流が越流した場合の氾濫状況を比較する。図-10は、平成28年8月洪水と同じ波形の洪水（ピーク流量1,400m<sup>3</sup>/s）を流した場合の氾濫シミュレーション結果である。北海道管理区間の現況河道の流下能力は約1,000m<sup>3</sup>/sであるため、同区間で400m<sup>3</sup>/s越水する想定となっている。案S<sub>1</sub>は氾濫流が市街地まで及んでいるのに対し、案S<sub>2</sub>は盛土により、市街地の浸水を防いでいる。また、平成28年8月洪水を河川整備基本方針規模に引き延ばした波形の洪水（ピーク流量1,600m<sup>3</sup>/s）を流下させた場合の氾濫シミュレーションも別途実施すると、案S<sub>2</sub>において氾濫流は盛土を超えて市街地に到達しているが、案S<sub>1</sub>と比較すると、盛土より市街地側の浸水深が総じて減少するという結果が得られた。以上



図-7 水害に強いまちづくり事業の概要（鳴瀬川水系吉田川）<sup>1)</sup>



図-9 空知川幾寅地区の河川改修・盛土（案）  
（盛土の設置位置については今後詳細に検討）

キーワード：治水計画、超過洪水、気候変動、ダム再生、土地利用、堤防決壊締切

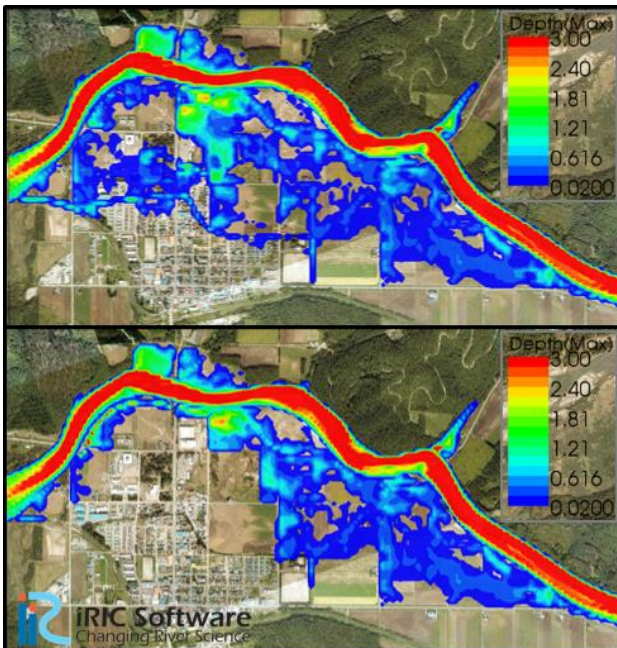


図-10 整備計画案規模の洪水を流下させた場合の氾濫シミュレーション結果 (上段) 案 S<sub>1</sub> (下段) 案 S<sub>2</sub>

より、現況超過洪水発生時に、盛土が資産の集中する市街地への浸水を軽減していることがわかり、地区全体の被害軽減に大きく寄与すると考えられる。

#### (4) 今後に向けて

盛土を盛り込んだ整備計画の変更については、今後、学識経験者、関係自治体、関係住民等からの意見聴取等を経て、変更を完了させるよう作業を進めている。盛土の高さや位置等の形状は、今後詳細な検討や調整を経て決定する。また、今回は二線堤のような機能を果たす盛土を検討しているが、今後は氾濫被害軽減効果のある他の土地利用方法についても実現に向けて検討していく。

### 4. 堤防決壊時の緊急締切工法の開発

「あり方」の「危機管理型の施設整備」を踏まえ、北海道開発局は寒地土木研究所と合同で、十勝川千代田実験水路（以下、「実験水路」という。）を活用し、堤防決壊時に行う緊急締切作業の効率化に向けた検討を実施している。

#### (1) 背景 ー危機管理型の施設整備ー

氾濫リスクが高いにも関わらず、当面の間、上下流バランス等の観点から堤防整備に至らない区間などにおいて、決壊までの時間を少しでも引き延ばすよう、堤防構造を工夫する対策（危機管理型ハード対策）は、「社会资本整備審議会河川分科会大規模氾濫に対する減災のための治水対策検討小委員会」が平成27年12月にとりまとめた答申<sup>12</sup>、および同答申を踏まえて策定された「水防災意識社会再構築ビジョン」<sup>13</sup>に基づき、平成32年度を

目途に全国で実施予定であり、北海道開発局管理区間においても、延長距離約720kmの区間で実施予定である。

また、「あり方」では、危機管理型ハード対策に加え、今後は、「施設能力を超える洪水時に氾濫を抑制するような水門等の施設の設置」、「特に弱点となる水衝部や狭窄部における堤防防護対策」などの危機管理型の施設整備を検討すべきとしている。また、「堤防決壊時の減災を図るための工法」、「氾濫水を早期に排除するための対策」等の検討も実施すべきとしている。

#### (2) 実験水路を活用した緊急締切工法の開発

実験水路では、平成25年度より、根固めブロックによる堤防決壊幅抑制の工法開発に関する実験を進めている。平成29年度は、7月に実験水路を実河川における堤防決壊部に見立て、ブロック投入実験を行い、汎用機械を用いて決壊箇所を締め切る際の手順、課題などの確認・検証を行った（図-11）。これまでの実験等の成果は、水管理・国土保全局治水課が作成している「堤防決壊時の緊急対策資料」に基づきつつ、最近の堤防決壊時の緊急対応例を踏まえ、できるだけ迅速に緊急締切を行うための資料としてとりまとめる予定である。

なお、この取組は、河川施設機能の向上を目的とした河川整備とは異なるが、河道では対応できない現況超過洪水が発生した場合に、洪水氾濫被害を抑制するための体制や知識を準備するものであり、流域一体となった治水計画の一部であるといえる。

#### (3) 今後に向けて

上記とりまとめ資料は、同12月に実験水路等実験アドバイザー委員会（委員長：辻本哲郎名古屋大学名誉教授）と実験水路等実験検討会（委員長：清水康行北海道大学教授）を合同開催した際に、概要と進捗状況を報告しており、平成30年3月に完成させる予定である。また、5年間実施してきた堤防決壊幅抑制の工法開発は、とりまとめ資料の完成により一区切りとなるため、今後は、平成28年度8月災害時に生じた課題への取組に資する新たな研究・開発を、実験水路を活用して行っていく予定である。



図-11 決壊締切工の作業サイクルタイム計測実験

キーワード：治水計画、超過洪水、気候変動、ダム再生、土地利用、堤防決壊締切

## 5. 気候変動予測技術の検討

「あり方」の「気候変動の影響予測とリスクの社会的共有」を踏まえ、北海道開発局は北海道と合同で、「北海道地方における気候変動予測（水分野）予測技術検討委員会（委員長：中津川誠室蘭工業大学教授。以下、「気候変動委員会」という。）」を設置し、気候変動による水分野への影響（降雨量、洪水流量の変化）を、最新の知見に基づき科学的に予測するとともに、気候変動の影響によるリスクの変化（規模・形態・頻度）を算定し、社会と共有することを目的として設置された。

### (1) 背景 —気候変動の影響予測とリスクの社会的共有—

「あり方」では、「気候変動の影響を科学的に予測するにあたっては、IPCC等の国際的な地球規模での予測をもとに、最新の知見により北海道における影響予測を行い、できる限り具体的に被害等の影響を評価していく必要がある」としている。また、「科学的な予測をもとに、将来の治水安全度の低下や被害想定などのリスクを評価し、社会的に共有する必要がある」としている。

### (2) 検討手法の概要と進捗状況

気候変動委員会では、平成28年8月に甚大な被害が発生した常呂川流域及び十勝川流域をモデル流域とし、将来気候における洪水流出量の変化を予測することとした。また、検討に活用する気候変動予測実験データについては、「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）」を活用することとした。d4PDFは、AR5の4つの気候変動シナリオのうち、政策的な緩和策を行わないことを想定しているRCP8.5を採用し、NHRCM（気象庁気象研究所が開発した、水平解像度が20kmの地域気候モデル）を用いて、日本周辺領域について過去実験3,000年分と将来実験5,400年分という多数の実験例（アンサンブル）を実施した結果のデータである。<sup>14)</sup>また、気候変動委員会では、極端降雨や流域の地形特性を十分に表現できるように、北海道周辺領域において水平解像度を20kmから5kmに力学的ダウンスケーリングすることとした。その他、検討における条件設定については、気候変動委員会の第1回委員会および第2回委

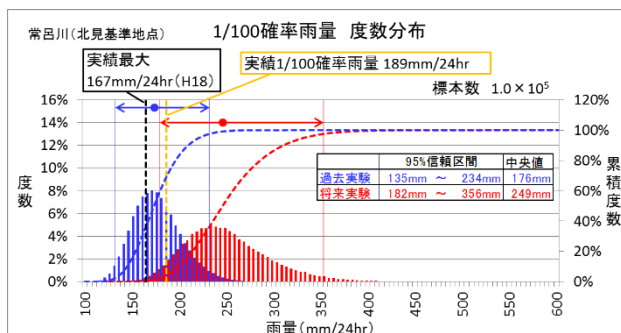


図-12 常呂川北見基準地点における計画規模降雨の変化

員会の事務局説明資料「北海道地方における気候変動予測について」に記載している。

第2回委員会で示された、常呂川北見基準点および十勝川帯広基準点における、それぞれの計画規模の連続降雨の過去実験結果と将来実験結果を比較したグラフが図-12および図-13である。北見基準地点における1/100の降雨（GEV分布中央値）は、将来実験（249mm/24h）が過去実験（176mm/24h）の約1.41倍となった。同様に、帯広基準地点における1/150の降雨量（GEV分布中央値）は、将来実験（344mm/72h）が過去実験（255mm/72h）の約1.35倍となった。なお、実験予測データから気候モデルによる系統誤差を修正するため、Piani et al. (2010)<sup>15)</sup>の方法を参考に補正係数を決定し、常呂川流域および十勝川流域の降雨量計算結果に、それぞれ補正係数1.13、および1.00を掛け合わせて検討結果としている。

### (3) 考察

今回の検討では、気候モデルの系統誤差をなくすための補正係数が1に近いことより、計算の精度の高さがうかがえ、気候変動予測の技術開発に向けて意義のある成果であると考えられる。今後、科学的に気候変動影響を考慮した手法を確立するには、今回の大量アンサンブル実験結果を有効に活用できる、精度の高い洪水流量計算手法および氾濫計算手法を開発していく必要がある。

前述の降雨の計算結果により、気候変動による連続降雨や局地的豪雨が大幅に増加する可能性が示されている。また、今回求められた降雨量に基づく洪水流量や氾濫可能性等については現在算定中であるが、国土技術政策研究所気候変動適応研究本部の研究報告（以下、「国総研レポート」という。）<sup>16)</sup>内にある、「気候変動が治水施策に与える影響の水系ごとの評価」において、気候変動による変化倍率は、雨量倍率、流量倍率、河川整備労力倍率、氾濫可能性倍率の順に増幅されていくことが示されており、気候変動による治水計画への影響が非常に大きくなることが想定される。ただし、図-12および図-13において、過去実験結果の降雨分布と将来実験結果の降雨分布が重なる箇所があることより、気候変動後に発生するような降雨が現在でも発生する可能性があることが示唆され、将来に向けた治水計画だけでなく、現在にお

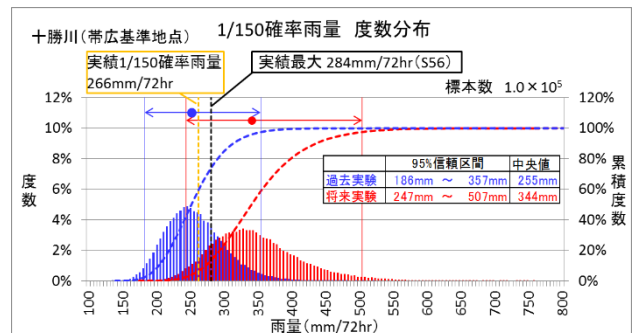


図-13 十勝川帯広基準地点における計画規模降雨の変化

キーワード：治水計画、超過洪水、気候変動、ダム再生、土地利用、堤防決壊締切

いてもそのような事象が発生することも想定した治水対策を実施していく必要性がうかがえる。

従来の計画規模の降雨量は、過去の実績降雨を統計確率処理することにより算出しているため、ある1つの値を「計画降雨量」と定めて高水計画を検討せざるを得なかったが、今回の検討では、大量アンサンブルの活用により、不確実性を持った値の分布を表現できるようになった。また、降雨の時空間分布も、主要洪水の数パターンのみを使用する従来の検討から、大量のパターンを活用した検討が可能になる。このことは、大量アンサンブルを用いた気候変動予測を治水計画に用いることになると、「基本高水」や「計画高水位」といった値が、不確実性の幅の中の代表値を示すにすぎないものとなり、高水計画や河道計画の検討手法が、気候変動の影響の検討とは直接的に関係のない部分から根本的に変えざるをえない可能性があることをも示している。

d4PDFはあくまでもRCP8.5を採用した気候変動予測実験データであるため、社会経済シナリオによってこの予測通りの気候変動が発生するとは限らない。そのため、気候変動予測手法の開発において、今回の結果をどのように扱うか、または、今回以外にどのようなシナリオを想定した予測計算を実施する必要があるか等を検討する必要がある。また、現行の治水計画検討手法から、いかに整合性を取って気候変動影響を踏まえた治水計画検討手法に移行させるかも今後検討すべき重要な事項である。

#### (4) 今後に向けて

気候変動委員会は、これまでの降雨計算結果や委員からの意見、海外での治水計画事例の研究等を踏まえ、洪水流量の計算手法の決定とその算出を行うとともに、気候変動による洪水リスクの変化の明示化に取り組み、年度内に開催予定の第3回委員会において、それらの検討結果を報告する予定である。また、高度な専門知識を用いた本委員会の検討結果の意味を、社会との共有を意識した上で委員会の開催にあたる必要がある。

## 6. 計画超過洪水・気候変動影響を踏まえた治水計画の選択手法の検討

「あり方」の「変動を考慮したリスク分析」を踏まえ、一級水系のR川流域をモデル流域として、計画超過洪水および気候変動影響を考慮した洪水リスクの分析を実施し、新たな治水計画の選択手法について検討している。

#### (1) 背景 —変動を考慮したリスク分析—

前章で述べたとおり、気候変動の予測結果は一定の変動幅を有し、加えて、今後のシナリオによっても気候変動の度合いが変化するため、降雨の年超過確率の変化する可能性のある幅が非常に大きいことが考えられる。

「あり方」においても、これらの不確実性を踏まえた上で、「変動幅を考慮したリスク分析を実施し、危機管理の際に活用するなど、今後の防災・減災対策に反映していくことを検討すべき」としており、このリスク分析を基に、「将来予測される外力の増大に対するリスクの最小化、経済性、治水効果の早期発現、予測が持つ変動幅に対する柔軟性等の観点から踏まえて（気候変動を考慮した治水計画を）検討」する必要があると考えられる。

#### (2) リスクカーブを用いた水害リスク評価

国総研レポート内、「気候変動影響・超過洪水生起を踏まえた新しい治水フレームの考え方」に基づく、リスクカーブを用いた洪水被害と降雨の年超過確率との関係性の分析を実施することにより、水害リスク評価を実施する。なお、現段階では、「効果発揮の確実性」および「技術的成熟度」が十分であり、被害想定が比較的行いやすい、「河川での施策（類型Ⅰ、類型Ⅰ<sup>+</sup>、類型Ⅰ<sup>++</sup>、および類型Ⅰ<sup>+++</sup>）」のみで検討を実施している。

気候変動による降雨量の変化倍率が前章の気候変動委員会の結果程度になるように設定し、現行の河川整備基本方針における計画降雨波形をこの倍率で引き延ばすことにより、気候変動後の降雨および洪水流を再現する。

#### (3) R川流域における検討条件

R川流域は、本川に沿って細長い形状をしており、本川と同程度の流域面積を持つ1次支川・G川が、中流部にある流域内最大都市であるM市の市街地付近で本川に合流している。本川上流部には洪水調節機能を持つ国管理のKダムがあり、G川には洪水調節機能を持つ国管理ダムが存在しない（図-14）。M市内にある基準地点の現行の1/1,000の降雨は、現行の計画降水量の約1.49倍となることから、将来の計画規模に対応する降雨の年超過確率を変更させない場合の将来の計画規模は、現行の1/1,000になると仮定する。以降、R川基準地点における現行及び将来の計画規模の外力をそれぞれ $F_p$ 、 $F_f$ と呼ぶ。河川整備案は、対応する洪水の規模、G川上流にダム（Gダム）を設置するかが異なる、案 $R_0$ ～案 $R_3$ を検討する（表-3）。河道の必要流下能力の確保は、全ての案において河道掘削により対応する。なお、案 $U_1$ が現行の河川整備基本方針に基づく計画案となる。

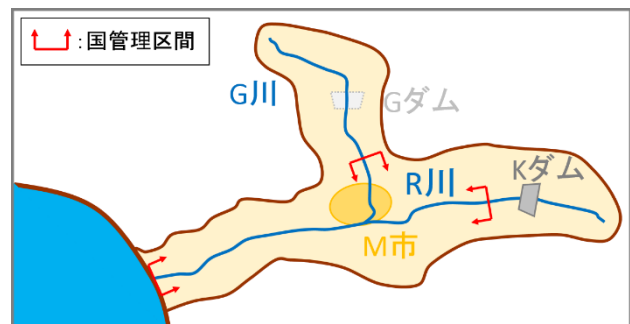


図-14 R川流域の概要とダム配置図（イメージ）

キーワード：治水計画、超過洪水、気候変動、ダム再生、土地利用、堤防決壊締切



表3 案R<sub>1</sub>～案R<sub>5</sub>の条件比較

	案R <sub>0</sub>	案R <sub>1</sub>	案R <sub>2</sub>	案R <sub>3</sub>	案R <sub>4</sub>	案R <sub>5</sub>
対応洪水	(現況)	F <sub>P</sub>	F <sub>P</sub>	M市街地付近はF <sub>F</sub> その他区間はF <sub>P</sub>	F <sub>F</sub>	F <sub>F</sub>
Gダム		設置しない	F <sub>P</sub>	F <sub>P</sub>	設置しない	F <sub>F</sub>

(4) リスクカーブの検討結果

それぞれの案におけるリスクカーブは図-15のようになる。案R<sub>1</sub>～案R<sub>5</sub>の全ての計画案において、F<sub>P</sub>までの洪水に対しては無被害であるが、案によってF<sub>P</sub>を上回る洪水に対しては被害の大きさが異なっている。

案R<sub>1</sub>は、F<sub>P</sub>を上回る洪水に対しては、規模が大きくなるに従って急激に被害が増大し、F<sub>F</sub>に達すると、河川改修前の案R<sub>0</sub>とあまり差がない。河道掘削による河道流下能力の向上のみでは、河道流下能力を大幅に上回る洪水が発生した場合の被害軽減効果がほとんどなく、気候変動が進行すると治水安全度が著しく低下するおそれがある。案R<sub>2</sub>は、Gダムの洪水調節操作によりF<sub>P</sub>を上回る洪水の被害を大幅に軽減することができている。ただし、河道はF<sub>P</sub>対応のため、F<sub>F</sub>では市街地で氾濫が発生し、被害が急激に大きくなっている。案R<sub>3</sub>は、案R<sub>2</sub>からM市街地付近の河道掘削を追加しただけであるが、F<sub>F</sub>が発生した場合でもM市街地は被害が発生しないため、案R<sub>2</sub>よりも流域全体の被害額を大きく抑えることができている。案R<sub>4</sub>は、G川上流の都道府県管理区間で被害が生じるものの、F<sub>F</sub>においてもほぼ無被害に抑えることができる。ただし、国管理区間の全川でF<sub>F</sub>に対応する河道掘削を実施するため、事業費や工期が増大することが考えられる。また、F<sub>F</sub>よりさらに大きい計画超過洪水が発生した場合は、案R<sub>1</sub>と同様に被害が急激に大きくなる可能性もある。案R<sub>5</sub>は、都道府県管理区間においても被害を抑えることができ、F<sub>F</sub>においてもほぼ無被害となる。ただし、案R<sub>4</sub>と同様、事業費は大きくなる。なお、F<sub>P</sub>に対応するGダムを設置してF<sub>F</sub>が発生した場合でも、洪水ピーク流量を低減させることができるため、第2章の雨竜第1・第2ダムの場合と異なり、F<sub>F</sub>程度における被害が急激に増加しない。

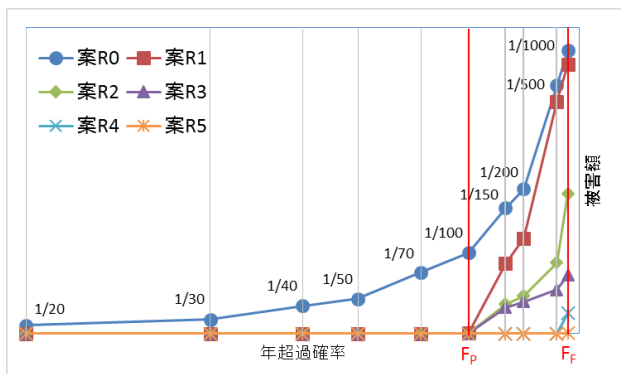


図-15 R川流域の河川整備案ごとのリスクカーブの比較

(5) 費用便益分析の検討結果

次に、それぞれの案の投資効果を確認するために、簡易な費用便益分析を実施する。横軸に年超過確率、縦軸にその年超過確率までの被害軽減便益を累計した費用便益比(B/C)をとり、河川整備案のB/Cを比較したグラフは図-16のとおりになる。ただし、現在実施している事業評価で考慮する事業期間中の被害軽減便益の変化や、費用および便益の現在価値化等は考慮していない。

案R<sub>1</sub>は、F<sub>P</sub>までのB/Cは比較的大きな評価を得られているが、F<sub>P</sub>より大きくなると、整備による被害軽減額が急激に小さくなるため、B/Cの増加は頭打ちになる。案R<sub>2</sub>および案R<sub>3</sub>は、F<sub>P</sub>までは案R<sub>1</sub>と同程度のB/Cとなるが、F<sub>P</sub>より大きくなっても、被害発生をある程度抑えられているため、B/Cの増加がF<sub>F</sub>まで維持される。案R<sub>4</sub>および案R<sub>5</sub>は、F<sub>P</sub>までの被害軽減効果が非常に大きいため、案R<sub>2</sub>および案R<sub>3</sub>と同様にB/Cの増加はF<sub>F</sub>まで維持されるが、ともに事業費が大きいため、B/Cは案R<sub>2</sub>および案R<sub>3</sub>よりも相対的に低くとどまる。その結果、現在実施されている事業評価における費用便益分析では、計画規模までの洪水を評価対象としているため、案R<sub>1</sub>～案R<sub>3</sub>がほぼ同程度の投資効果であると評価されるが、評価対象に計画超過洪水を加えた費用便益分析では、案R<sub>2</sub>および案R<sub>3</sub>は案R<sub>1</sub>より大きな投資効果があると評価される。

(6) 考察

リスクカーブを用いることにより、洪水規模に応じた被害の大きさを表現することができ、計画規模の範囲内だけでなく、計画超過洪水における被害の拡大の程度を河川整備案ごとに比較することが容易になる。また、計画超過洪水発生時の被害軽減便益までを累計した費用便益分析を実施することにより、実際に発生する可能性のある計画超過洪水での被害軽減効果を、適切に評価に組み込むことができ、計画超過洪水での被害軽減効果が大きく、かつ事業規模が過大にならない河川整備案が高い評価を得るようになる。ただし、現段階では時間軸を考慮した分析手法となっていないため、整備効果が早期に発現される河川整備案がより評価されるように分析手法を改善する必要がある。

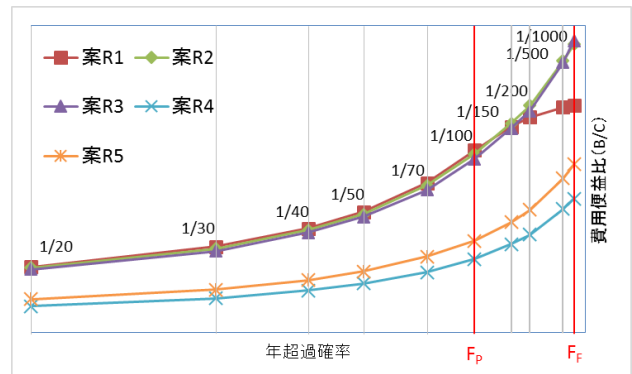


図-16 R川流域の河川整備案ごとの費用便益比の比較

キーワード：治水計画、超過洪水、気候変動、ダム再生、土地利用、堤防決壊締切

今回の検討においては、図-15で交差するリスクカーブがないことより、気候変動によって全ての河川整備案のB/Cが増加するが、大きさの順序は逆転しない。ただし、 $F_F$ よりさらに大きい洪水の発生頻度と被害額の増加の程度によっては、 $F_F$ より大きい計画超過洪水も考慮した際にB/Cの逆転が発生する可能性がある等、将来の不確実性によって河川整備案の一義的な定量的比較は難しい。この対応として、気候変動予測技術の精度向上による不確実性の幅を狭めることも重要であるが、河川整備案を絶対的に1つに決定するのではなく、ある程度の不確実性を許容した上で、気候変動の進行見込みに従って、必要があればより計画超過洪水の被害を軽減できる実施内容を手戻りなく追加していく計画論（例：案 $R_0$ （現況）→案 $R_2$ →案 $R_3$ →案 $R_5$ ）の採用も考えられる。

計画超過洪水といった大きな規模の洪水に対しては、ダムや遊水地のような洪水調節施設が大きな効果を発揮することがわかる。また、洪水調節施設の整備は、下流側の河川改修の状況に影響を受けず、早期に整備完了と下流全体への洪水調節効果が見込めるため、時間軸も考慮した費用便益分析を実施すると、洪水調節施設整備案がより高い評価を受けることになると考えられる。

案 $R_5$ のように、資産の集中する市街地の計画規模を流域内の他地域より上げるだけで、高い被害軽減効果を得ることができる。ただし、同じ流域内で地域ごとに計画規模を変えてよいのか、流域内の治水安全度のバランスを考慮せず、都市部に集中投資する河川整備案を、B/Cが大きくなるからという理由で採用してよいのかは、議論の余地がある。

#### (7) 今後に向けて

前述のとおり、時間軸を考慮した費用便益分析手法を活用した分析を行う必要がある。また、R川とは特徴の異なる他の流域においても同様の分析を実施し、この手法の妥当性の検証と精度の向上に努めていく。

現在の検討では、従来の高水計画検討手法を参考に将来の計画高水の検討を実施しているが、やがては気候変動予測技術とそれに基づいて決定される高水計画を基にした河川整備案策定手法へと移行させていく必要がある。また、河川整備案以外の治水計画案も複合的に評価できるような手法の検討も実施していく必要がある。

## 7. まとめ

昨年度に「あり方」および行動計画が策定され、それらに基づいた取組を順次実施しているところである。雨竜川と空知川の河川整備計画の変更では、雨竜川において既設ダムの再開発、空知川において防災連続盛土を盛り込んでいるが、これらは現況超過洪水対策にも適った治水計画となっている。また、実験水路を活用した堤防決壊締切工法の開発も、現況超過洪水に対して被害軽減

を図る取組である。気候変動予測技術の開発については、精度の高い降雨量の算出に成功しており、現在検討中の洪水流量および氾濫の計算手法を組み合わせることにより、不確実性を表現できた気候変動後の高水計画検討手法の開発が期待される。新たな河川整備案の選択手法の検討では、精度を向上すべき点や今後議論すべき事項は多いものの、計画超過洪水と気候変動影響を考慮した水害リスク評価と費用便益分析により、河川整備案の比較検討を実施することが可能となった。

今後も引き続き、全道ひいては全国でも活用できるような新たな治水計画策定手法の開発を目指して検討を重ねていく。また、行動計画で挙げられている治水計画に関わる他の技術的な検討も順次実施していく。

#### 参考文献

- 1) 平成28年8月北海道大雨激甚災害を踏まえた水防災対策検討委員会：平成28年8月北海道大雨激甚災害を踏まえた今後の水防災対策のあり方，2017年3月。
- 2) 水管理・国土保全局：国土交通省 河川砂防技術基準計画編，2004年3月。
- 3) 水管理・国土保全局治水課企画調整係：直轄河川堤防整備状況（平成29年3月末現在）。
- 4) 社会資本整備審議会河川分科会気候変動に適応した治水対策検討小委員会：水災害分野における気候変動適応策のあり方について，2015年8月。
- 5) 国土交通省：国土交通省気候変動適応計画，2015年11月。
- 6) 建設部河川計画課ほか：平成28年8月の大雨を踏まえた今後の治水計画に関する研究，2017年1月。
- 7) Intergovernmental Panel on Climate Change: Synthesis Report of the IPCC Fifth Assessment Report, 2014.
- 8) 水管理・国土保全局：ダム再生ビジョン，2017年6月。
- 9) 社会資本整備審議会：中小河川等における水防災意識社会の再構築のあり方について，2017年1月。
- 10) 水管理・国土保全局：中小河川緊急治水対策プロジェクト (<http://www.mlit.go.jp/common/001212849.pdf>)，2017年12月。
- 11) 東北地方整備局：鳴瀬川水系河川整備計画 [大臣管理区間]，2016年11月。
- 12) 社会資本整備審議会：大規模氾濫に対する減災のための治水対策のあり方，2015年12月。
- 13) 水管理・国土保全局：水防災意識社会再構築ビジョン ([http://www.mlit.go.jp/river/mizubousaivision/pdf/saikouchiku\\_v.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/mizubousaivision/pdf/saikouchiku_v.pdf))，2015年12月。
- 14) データベースd4PDFの特徴 (<https://www.jamstec.go.jp/sousei/jp/event/others/d4PDFsympo/about.html>)
- 15) Pianì, C., G. P. Weedon, M. Best, S. M. Gomes, P. Viterbo, S. Hagemann, and J. O. Haerter: Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models. *J. Hydrol.*, 395, 199-215, doi:10.1016/j.jhydrol.2010.10.024., 2010.
- 16) 国土技術政策総合研究所気候変動適応研究本部：国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告No.56，2017年4月。

キーワード：治水計画、超過洪水、気候変動、ダム再生、土地利用、堤防決壊締切