

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：92604

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04616

研究課題名（和文）多様な気象・水文情報の階層的な利用による流域ダム群の多目的運用の高度化

研究課題名（英文）Integrated operation of reservoirs for multiple purposes considering various hydro-meteorological information in a hierarchical fashion

研究代表者

野原 大督（NOHARA, Daisuke）

鹿島建設株式会社（技術研究所）・サステナブルソサエティラボ・主任研究員

研究者番号：00452326

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：長時間アンサンブル気象予測情報、短時間降水予測情報、レーダー観測雨量情報といった、近年整備が進んでいる多様な気象・水文情報を階層的に用いながら、流域内のダム貯水池の運用を一体的に高度化することを支援する方法論の構築を行った。現業の長時間アンサンブル気象予報やレーダー観測雨量情報等を利用して、各観測・予測情報の特性に応じて膨大な情報を集約しながら、平時と洪水時のシームレスなダム運用の鍵となる事前放流操作の最適化を通じて、流域ダム貯水池の多目的運用をリアルタイムで高度化することを支援する方法論を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多様な気象・水文予測情報の時空間解像度や予測リードタイムを勘案した上で、定量的な予測誤差解析結果を踏まえながら、平時から洪水時までの流域ダム貯水池の多目的運用をシームレスに高度化する体系的な方法論を構築した。特に、情報量が多い長時間アンサンブル予測を効果的に活用しながら、利水・発電機能を大きく損ねることなくダム治水機能を高める事前放流操作手法を明らかにしたことのダム適応操作分野での学術的意義は大きく、気候変動に伴う水害の激甚化への適応の観点から社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：A method to support decision making for integrated operation of reservoir systems was developed considering various hydro-meteorological information such as long-range ensemble hydrological prediction, short-term prediction of precipitation or radar rainfall analysis data in a hierarchical manner. The way of sophisticated operation of reservoir systems for multiple purposes with consideration of aggregated information derived from various advanced operational hydro-meteorological predictions was clarified through the optimization process of reservoir prior release operation that efficiently bridges short-term operation for flood control and long-term operation for water supply and power generation.

研究分野：水資源工学

キーワード：気象・水文情報 ダム統合操作 アンサンブル予測 事前放流 洪水調節 利水 水力発電

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 河川流域には様々な目的で多くのダム貯水池が設置されている。これらのダム貯水池の運用目的には、治水、利水、発電など、様々な目的が含まれ、一般的には、各ダムの運用目的に応じて定められた操作ルールに従って、操作されていることが多い。こうした固定的な操作ルールに基づく運用は、操作の意思決定の容易さや透明性の確保の面では有効性があるものの、流域の水文状況によっては、往々にして最適な操作とはならないことが課題であった。近年の極端な豪雨災害の頻発や、気候変動によって将来的に豪雨や少雨などの水災害の激甚化が懸念される中、流域全体の安全性を高める統合的な流域ダム操作方式を確立することは、喫緊の課題であった。

(2) 近年、様々な予測技術や観測技術が開発され、こうした最新の技術に基づく気象・水文予測情報や観測情報が一般に提供されるようになってきている。例えば、レーダー雨量観測技術の進展による面的雨量観測データの整備や、予測技術の進展や計算機能力の向上に伴う現業予測情報の高解像度化・高頻度化、長時間アンサンブル気象予測情報の提供・精緻化など、新しい予測情報が次々と提供されるようになってきている。こうした最新の気象・水文情報を活用しながら流域ダムをリアルタイムで適応的に操作できれば、流域における水資源管理は、治水面・利水面ともにさらに高度化できる可能性がある。しかし、一部の観測・予測情報の利用は現場レベルでは試行的に始まっているものの、これらの情報を網羅的に利用しながら流域内のダム運用を高度化する方法論についての学術的な検討はいまだ不足していた。

### 2. 研究の目的

長時間アンサンブル気象予測情報、短時間降水予測情報、レーダー観測雨量情報といった、近年開発が進んでいる多様な気象・水文情報を階層的に用いながら、流域ダムの運用を一体的に高度化することを支援するシステムの開発を通じて、合理的かつ体系的なダム操作手法を明らかにすることを目的とした。具体的には、現業の長時間アンサンブル気象予報やレーダー観測雨量情報等を利用して、流域ダムの多目的運用をリアルタイムで高度化することを支援するシステムを開発した。その際、各観測・予測情報の特性に応じて、膨大な情報を集約しながらダム運用高度化に役立てるための効果的な方法論を明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

(1) 予測リードタイムの長い中長期アンサンブル気象予報を活用して、流域ダム群の利水操作と発電操作を長期的な視点からリアルタイムで高度化する手法を開発する。中長期的に予測される降水量から、流域の渇水リスクを最小化しつつ、水力発電便益を最大化するよう、流域内のダム操作を最適化する手法を構築する。ダムの貯水容量や水位回復のしやすさ、需要水量などの関係から、ダム貯水池による合理的な貯留・放流方法を構築する。

(2) 出水の恐れがある場合に、ダム操作を利水・発電モードから治水モードへ円滑に移行できるよう、週間アンサンブル気象予報を考慮した移行操作手法を構築する。移行操作方式としては、事前放流操作を考え、予測される降雨の状況に応じて、洪水調節のための空き容量を増大させるよう、ダム貯水位を低下させる手法を開発する。このとき、流域内のダムからどの程度の量の水を事前に放流するかを、事前放流に伴う利水・発電目的への影響を最小限にしながら、期待治水効果を最大限とするよう合理化する。

(3) 短時間降水予測情報やレーダー観測雨量情報を考慮しながら、流域内のダム群をリアルタイムで連携し高度に洪水調節操作を行う方法論を開発する。向こう数時間に見込まれる降水量や流域での総降水量の予測状況を見ながら、流域の治水基準地点における最大河川流量が最小となるよう、ダム群の洪水調節操作を最適化する方法を構築する。このとき、レーダー観測雨量情報によって得られる雨量の空間分布を活用しながら、分布型流出モデルを用いて流域の各地点における河川流量の予測値を算出し、下流河川の氾濫を抑えるよう、ダム群の洪水調節操作をリアルタイムで高度化する。

### 4. 研究成果

(1) 長時間アンサンブル降水予測情報とレーダー降雨観測情報を活用しながらダム貯水池の治水・利水統合操作を高度に行う方法論の構築を行った。具体的には、気象庁週間アンサンブル予報をはじめとしたリードタイムが1週間を超える現業アンサンブル降水予測情報を活用して、治水面でのリスクと利水面でのリスクの双方を考慮しながらダム貯水池の事前放流操作を高度に実施する方法論を開発した。本手法では、まず、長時間アンサンブル降水予測情報から、分布型流出モデル Hydro-BEAM を用いて、対象ダム貯水池への流入量のアンサンブル予測値を算出する。この時、最新のレーダー降雨観測情報を入力値として与えることにより、流入量予測の精度向上を図る仕様とした。

次に、アンサンブル流入量予測値を考慮して、事前放流の適切な実施時機と放流量を決定する手法を開発した。事前放流の実施判断は洪水の発生可能性に基づいて行い、洪水発生危険性を見逃す確率を極力減じるため、流入量の時別値の予測のうち上位のアンサンブルメンバの予測値を用いて、事前放流の実施判断を行うこととした。事前放流量については、出水後の貯水位回復不足リスクを抑えるため、予測対象期間の総流入量の予測のうち下位のメンバの予測値を用いて貯水量の回復可能量を算定し、それに応じて事前放流量を決定する方法とした。

高梁川流域の発電ダムをベースにしたモデルダムに適用して貯水池操作シミュレーションを行ったところ、貯水量回復不足を防ぎながら、早ければ出水が発生する約10日前から事前放流が開始でき、より大きな空き容量を貯水池内に確保できるとともに、水力発電を行いながら事前放流を行うことで無効放流が減り、水力発電量は大きくなる可能性を示唆した。

(2) 令和元年台風第19号に伴う出水でのダム群洪水調節操作の分析を行い、大規模出水時におけるダム群洪水調節の効果と課題を踏まえた操作高度化手法を検討した。ダムの異常洪水時防災操作については、流入量のピーク付近での実施により洪水調節効果が低下する傾向が見られ、事前放流の実施や短時間降水予測等に基づく洪水初期の放流増加による貯留防止等によって、こうした事態を避けられる可能性を示した。また、相模川水系のダム操作の分析からは、事前放流の有効性を確認したほか、異常洪水時防災操作に至った場合においても、状況によってはダムによる下流河川の流量の低減効果が一定程度認められることを確認し、この意味でも短時間降雨予測情報や観測情報を踏まえたダム洪水調節操作の最適化が重要であることを示した。

さらに、事前放流の効果的な実施のための現業週間アンサンブル予報の利用性の分析を行い、水位回復不足のリスクを勘案した事前放流の判断が可能であること、特に期間降水量が小さい予測メンバに着目することで、条件によっては確実に水位回復が見込める事前放流量を早い段階から推定できることなど、流域ダム群の洪水調節効果を高める事前放流実施の可能性を把握する上で中期アンサンブル予報の利用の有効性を確認した。

(3) 多目的ダムを対象として、現業中期アンサンブル降水予報と予測特性を考慮した多目的ダムの事前放流実施手法の検討を行った。気象庁週間アンサンブル予報の降水量予報値を用い、大規模な洪水発生の可能性や貯水位回復可能性を踏まえながら事前放流を効果的に行う手法を開発した。このとき、各メンバの予測降水量の順位別に精度解析を行い、ダム管理者等が考える受容可能な治水・利水リスクのレベルと予測の誤差特性を踏まえて事前放流の実施方法を決定するアルゴリズムを開発した。

近畿地方の河川流域に位置するモデル多目的ダムの事前放流・洪水調節・長期利水操作シミュレーションにより有効性を検討した結果、予測の誤差特性を考慮することで、見逃し・空振りのリスクや期待される事前放流可能量を踏まえながら、管理者等が考える受容可能なリスクのレベルに応じて、事前放流へのアンサンブル降水予測の合理的な利用方法をある程度客観的に決定できることを明らかにした。また、中期アンサンブル予報のような空間解像度が粗い予報値を使ってもある程度の水準で事前放流の判断が行えることや、その場合に不要な事前放流の実施をどの程度受け入れる必要があるかといった情報を定量的に推定できることを示した。操作シミュレーションを通じては、長時間アンサンブル予測情報を考慮することにより、早い段階から事前放流が実施できることで、結果として大きな空き容量をダムに確保することができ、大規模出水時における洪水調節効果が向上する可能性を示した。また、事前放流の空振りが発生しても、最終的に貯水量の回復が困難となったり、利水補給面での支障が生じたりする事例は見られなかったほか、アンサンブル予測の利用方法を提案手法により適切に決定することで、洪水調節効果を大きく損なうことなく不要な事前放流の実施回数を減らせることを明らかにした。

(4) 多目的ダム貯水池を対象として、現業アンサンブル降水予測情報と解析降雨情報を考慮した、平時から洪水時までのシームレスなダム貯水池の高度運用手法の開発を行った。(2)で構築した中期アンサンブル降雨予測情報と各アンサンブル予測メンバの誤差特性を踏まえた多目的ダム貯水池の事前放流意思決定手法を活用しながら、長時間アンサンブル降雨予測情報を利用した出水前の長時間の事前放流実施によって得られる高い治水効果を維持しつつ、ダム貯水池による水補給機能と水力発電機能をできる限り高める操作手法の構築を行った。

近畿地方の河川流域に位置するモデル多目的ダム貯水池を対象に、事前放流、洪水調節、利水補給、水力発電の各操作を含めた長期操作シミュレーションによって有効性の検証を行った結果、長時間アンサンブル降雨予測情報の考慮による早い段階からの事前放流による貯水位低下とより大きな空き容量の確保により、大規模出水時における洪水調節効果の向上が期待できることを確認した。事前放流を実施したにも関わらず、その後大きな出水が生じなかった場合についても、ある程度の降雨があったことから最終的に貯水量は回復でき、モデルダム下流域における水需要量を仮想的に大きく設定した場合でも、長期的な利水補給に影響が及ぶケースは見られなかった。水力発電に関しては、計算期間を通じての年間発電量の平均値には大きな変化はなく、開発手法に基づく事前放流実施に伴う総発電量への悪影響は見られなかった。ただし、主に事前放流後の貯水位回復に時間を要する場合には、水力発電取水量が低下することから、貯水位回復期間中の水力発電量が低減し、水力発電を行いながら事前放流を実施することによる増電効果が相殺されるなど、出水前後の水力発電量が変わり得ることなどを明らかにした。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

|  |                           |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名<br>NOHARA Daisuke, SUMI Tetsuya   | 4. 巻<br>10                |
| 2. 論文標題<br>RESERVOIR OPERATION AGAINST LARGE-SCALE FLOODS DUE TO TYPHOON HAGIBIS AND APPLICABILITY OF ENSEMBLE FORECAST TO PRELIMINARY RELEASE | 5. 発行年<br>2022年           |
| 3. 雑誌名<br>Journal of JSCE  | 6. 最初と最後の頁<br>275 ~ 287   |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2208/journalofjsce.10.1_275   | 査読の有無<br>無                |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)   | 国際共著<br>-                 |
| 1. 著者名<br>野原大督   | 4. 巻<br>77(2)             |
| 2. 論文標題<br>中期アンサンブル降水予報と誤差特性を踏まえた多目的ダムの事前放流手法に関する検討  | 5. 発行年<br>2021年           |
| 3. 雑誌名<br>土木学会論文集B1(水工学)   | 6. 最初と最後の頁<br>I_91-I_96   |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2208/jscejhe.77.2_I_91  | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)   | 国際共著<br>-                 |
| 1. 著者名<br>野原大督・木谷和太・道広有理・角哲也   | 4. 巻<br>76(2)             |
| 2. 論文標題<br>利水ダムにおける事前放流の意思決定へのECMWF中期アンサンブル予報の利用性の分析   | 5. 発行年<br>2020年           |
| 3. 雑誌名<br>土木学会論文集B1(水工学)   | 6. 最初と最後の頁<br>I_829-I_834 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2208/jscejhe.76.2_I_829   | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)   | 国際共著<br>-                 |
| 1. 著者名<br>野原大督・角哲也   | 4. 巻<br>76(1)             |
| 2. 論文標題<br>令和元年台風第19号出水でのダム操作の状況と中期アンサンブル予報の事前放流への利用性  | 5. 発行年<br>2020年           |
| 3. 雑誌名<br>土木学会論文集B1(水工学)   | 6. 最初と最後の頁<br>212-222     |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2208/jscejhe.76.1_212   | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)   | 国際共著<br>-                 |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Nohara, D., Takemon, Y. and Sumi, T.   | 4. 巻<br>-             |
| 2. 論文標題<br>Real-time flood management and preparedness: Lessons from floods across the western Japan in 2018 | 5. 発行年<br>2020年       |
| 3. 雑誌名<br>Advances in Hydroinformatics - Models for Extreme Situations and Crisis Management                 | 6. 最初と最後の頁<br>287-304 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-             |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>野原大督・竹門康弘・角哲也                            | 4. 巻<br>63B           |
| 2. 論文標題<br>超過洪水時のダム洪水調節手法に関する一考察—平成30年7月豪雨災害を踏まえて— | 5. 発行年<br>2020年       |
| 3. 雑誌名<br>京都大学防災研究所年報                              | 6. 最初と最後の頁<br>320-327 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし                     | 査読の有無<br>無            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)             | 国際共著<br>-             |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Nohara, D., Iwamoto, M., Takemon, Y. and Sumi, T.  | 4. 巻<br>-               |
| 2. 論文標題<br>Optimized reservoir operation for flood control under extreme events based on rainfall-runoff-inundation analysis in the upper Katsura River basin, Japan | 5. 発行年<br>2019年         |
| 3. 雑誌名<br>Proc. 38th IAHR World Congress   | 6. 最初と最後の頁<br>1458-1465 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-               |

|  |                 |
|--|-----------------|
| 1. 著者名<br>Nohara, D., Takemon, Y. and Sumi, T.   | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>Real-time flood management and preparedness: Lessons from floods across the western Japan in 2018 | 5. 発行年<br>2020年 |
| 3. 雑誌名<br>Advances in Hydroinformatics - SimHydro 2019 - Models for Extreme Situations and Crisis Management | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-       |

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 9件 / うち国際学会 9件）

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>野原大督                                     |
| 2. 発表標題<br>中期アンサンブル予報を考慮したダム事前放流実施に伴う利水・発電への長期リスク評価 |
| 3. 学会等名<br>第78回土木学会年次学術講演会                          |
| 4. 発表年<br>2023年                                     |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Nohara, D., Kitani, K., Michihiro, Y. and Sumi, T.  |
| 2. 発表標題<br>Decision support for preliminary release of reservoir for flood control using ECMWF medium-range ensemble rainfall forecast |
| 3. 学会等名<br>90th ICOLD & CFBR Symposium (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Nohara, D.   |
| 2. 発表標題<br>Integrated reservoir operation for sustainable water resources management under changing climate                     |
| 3. 学会等名<br>UNESCO-IAHR-World Water Council Online Youth Water Congress "Emerging water challenges since COVID-19" (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Nohara, D.   |
| 2. 発表標題<br>Optimized prior release operation of a multi-purpose reservoir considering medium-range ensemble hydrological forecast |
| 3. 学会等名<br>39th IAHR World Congress (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Nohara, D., Kitani, K., Michihiro, Y. and Sumi, T.  |
| 2. 発表標題<br>Decision support for preliminary release of reservoir for flood control using ECMWF medium-range ensemble rainfall forecast |
| 3. 学会等名<br>89th ICOLD & CFBR Symposium (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Nohara, D.   |
| 2. 発表標題<br>Integrated operation of reservoirs for sustainable water resources management under changing climate |
| 3. 学会等名<br>1st IAHR Online Forum (招待講演) (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Nohara, D., Nakamoto, S., Suzuki, K., Nonaka, S., Shimbo, Y. and Yamada, Y.                     |
| 2. 発表標題<br>Flood and mudflow disasters due to heavy rain induced by frontal system in Japan in summer 2021 |
| 3. 学会等名<br>The 5th IWHR-UCA International Flash Flood Program Online Seminar (招待講演) (国際学会)                 |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Nohara, D.  |
| 2. 発表標題<br>Real-time reservoir operation for drought management considering operational ensemble predictions of precipitation in Japan   |
| 3. 学会等名<br>Online Seminar on Dam Operation Improvement Through New Technologies: Sharing Knowledges, Innovation and Operational Practices between Japan and Thailand (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Nohara, D.  |
| 2. 発表標題<br>Current status and new challenges in operation of reservoir systems in Japan                              |
| 3. 学会等名<br>The 4th Online Workshop on UNESCO Catalogue of Hydrologic Analysis for Asia and the Pacific (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Nohara, D.   |
| 2. 発表標題<br>Current status and new challenges in operation of reservoir systems in Japan                                     |
| 3. 学会等名<br>The 3rd Workshop of UNESCO International Hydrological Programme Catalogue of Hydrological Analysis (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2020年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>野原大督・木谷和大・道広有理・角哲也                |
| 2. 発表標題<br>ECMWF中期アンサンブル降雨予測情報を活用した発電ダムの事前放流 |
| 3. 学会等名<br>令和2年度京都大学防災研究所研究発表講演会             |
| 4. 発表年<br>2021年                              |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>野原大督  |
| 2. 発表標題<br>感染症指定医療機関の浸水想定状況と上流ダムの治水機能向上のための事前放流技術                        |
| 3. 学会等名<br>科学技術振興機構研究開発戦略センター感染症問題と環境・エネルギー分野に関するエキスパートセミナー「水と感染症」(招待講演) |
| 4. 発表年<br>2020年  |



|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>野原大督   |
| 2. 発表標題<br>大規模洪水時における多目的ダムの治水操作手法の検討                                  |
| 3. 学会等名<br>京都大学防災研究所特定研究集会2019C-01「下流域の洪水氾濫リスクに応じた多目的ダムの治水運用はどうあるべきか」 |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>野原大督・角哲也                          |
| 2. 発表標題<br>現業週間アンサンブル予報を用いた事前放流時のダム貯水量の回復可能性 |
| 3. 学会等名<br>令和元年度京都大学防災研究所研究発表講演会             |
| 4. 発表年<br>2020年                              |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|                           |                       |    |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|         |         |