

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420523

研究課題名(和文) 中長期アンサンブル降水予測情報を活用したダム貯水池の操作計画支援システムの開発

研究課題名(英文) Planning support system for reservoir operation considering operational ensemble forecasts of precipitation

研究代表者

野原 大督 (Nohara, Daisuke)

京都大学・防災研究所・助教

研究者番号：00452326

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：任意の予測精度のアンサンブル水文予測情報を模擬発生することのできるジェネレータを開発し、大量に模擬発生させた予測情報を用いて、ダム操作におけるアンサンブル予測情報の利用性分析を行い、アンサンブル予測情報の効果的な活用方法を明らかにした。その上で、分析結果を元にダム利水放流の操作規準の検討を行い、リアルタイムで提供される現業の中長期アンサンブル予測情報を考慮して、操作規準を元に最適放流戦略の策定支援を実時間で行うダム操作計画支援手法の開発を行った。

研究成果の概要(英文)：A supporting method for planning of real-time reservoir operation for water supply considering ensemble hydrological predictions was developed. Applicability of ensemble hydrological predictions in long-term reservoir operation for water supply was thoroughly investigated through a Monte Carlo simulation, employing ensemble inflow predictions generated with an arbitrary error structure by a simulated ensemble prediction generator. A method to support real-time reservoir operation for water supply considering operational ensemble hydrological predictions was developed with consideration of operation guidelines derived from the results of the investigation on applicability of ensemble hydrological predictions.

研究分野：水資源工学

キーワード：アンサンブル予報 ダム操作 濁水 不確実性 予測の模擬発生 モンテカルロシミュレーション 利水 操作支援

## 1. 研究開始当初の背景

ダム貯水池を有効に活用することを考える場合、気象や水文事象に関する予測情報をダム操作に関する意思決定に利用することは有用であると考えられる。しかし、特に渇水対策や発電を対象としたダムの長期管理においては、一般的に必要なとされる予測のリードタイムが数週間から数か月と長期間であることから、予測精度の低下が避けられず、そのため実管理では長期予測情報の定量的な利用が進んでいないのが現状である。

予測精度のこのような低下を抑える方法として、近年、複数の数値予報の集合を東低的に処理し、単独の数値予報より確からしい予報を得ようとする手法(経田, 2006)であるアンサンブル予報が、現業の中長期気象予報業務に取り入れられてきている。これらの複数の数値予報(メンバと呼ばれる)を考慮することによって、最終的に総合された予測値のみならず、想定される複数の状況とそれらの状況が発生する可能性、あるいは予測の信頼性に関する情報が得られる。こうした、予報メンバの分布特性を考慮に入れて放流意思決定を行うことができれば、従来の単一の予報を利用する場合と比較してより安定した操作を行うことができると考えられ、特に、参照すべき予測情報の精度が低い傾向にある長期の貯水池管理に対して有用であると考えられる。しかし、ダム利水操作におけるアンサンブル水文予測情報の効果的な利用手順の確立のためには、以下のような課題があった。

- 1) 中長期アンサンブル気象予測のメンバ別情報の提供が現業化されたのが比較的近年であり、実際に提供された予測情報を用いてアンサンブル予測情報の効果的な利用手順を統計的かつ網羅的に明らかにしようとするには、予測情報のデータ数が不足している。
- 2) 現業の気象予測モデルは、新たな学術的知見や技術をモデルに反映させ精度を高めるために適宜更新される傾向にあり、モデルの更新の度にモデルの統計的な特徴が変わるため、それまでの予測モデルによる予測データを使って行った分析結果が新しい予測モデルに対しても当てはまる保証が必ずしもない。
- 3) アンサンブル予測情報の各予測メンバの予測状況と、それぞれの状況において想定される流域やダム貯水池の状態を、ダム操作官が考慮しようとする場合、取り扱う情報量が膨大になる。将来の状況の分析や放流決定においてダム操作官を支援するために、そうした膨大な情報を効果的に処理することを支援する機能を持ったシステムが求められる。

## 2. 研究の目的

本研究では、以上に示したような課題を克服し、ダム貯水池の実管理現場における中長

期アンサンブル水文予測情報の利用を促進することを念頭に置き、予測情報の利用性に関する網羅的なシミュレーション分析によってアンサンブル予測情報の効果的な利用手順を明らかにし、その上でアンサンブル気象予測情報を活用したダム操作計画支援システムを開発することを目的とした。

## 3. 研究の方法

長期貯水池操作における中長期アンサンブル水文予測情報の利用性を網羅的に分析することによって、様々な予測精度や流域の状態の下でのアンサンブル水文予測情報の効果的な利用手順の検討を行った上で、操作官が実時間でアンサンブル降水予測情報を利用する際に必要となる複雑な情報処理を効率的に支援するフレームワークの在り方を検討した。具体的には、以下の研究手順を通じて検討を行った。

- 1) **任意の予測精度を有したアンサンブル予測情報の確率的ジェネレータの開発**：現業データの蓄積が現時点で多くないことを補うため、アンサンブル水文予測情報を模擬発生する機構を開発した。対象とする流域における気象・水文特性を反映させながら、アンサンブル予測情報の精度を評価する上で重要な指標である、スプレッド(予測メンバの分布の広がり)やスキル(アンサンブル平均予測の誤差)誤差の系列相関(予測情報の更新時における予測値の変化の度合い)に関する任意の特徴を持った予測情報を確率的に模擬発生する機構を開発する。
- 2) **長期貯水池操作におけるアンサンブル予測情報の利用性の分析**：上記で開発したジェネレータを用いて多数の中長期アンサンブル水文予測情報の模擬発生を行い、これを考慮した長期貯水池操作のモンテカルロシミュレーションを実施することによって、アンサンブル予測情報の長期貯水池操作(利水操作)への利用性の分析を行う。この際、アンサンブル予測情報の精度を網羅的に変化させながら、予測情報を利用することによる効果やリスクについて定量的な分析を行い、実管理における予測情報の合理的な利用手順の検討を行う。
- 3) **利用性分析結果を基礎とした貯水池操作ルールベースの構築**：利用性分析の結果をもとに、様々な予測状況や予測精度、流域の状況下での効果的かつ低リスクな長期貯水池操作手順の構築を行う。得られた操作手順を操作規準として整理し、実時間での放流操作決定時に操作規準をガイドラインとして参照できるようにする。
- 4) **実予測情報を用いたダム貯水池のリアルタイム操作計画支援手法の開発**：現業のアンサンブル降水予測情報を用いた放流操作戦略の決定を支援するための方法論

を検討する。上記3)で構築した操作ルールベースの操作規準を参照しながら、予測情報を考慮した最適な放流操作戦略を実時間で推論し決定する推論機構を開発する。さらに、操作官が実時間で大量の情報を処理することを支援するために、意思決定のどの段階でどのような情報が必要となるのかを明らかにした上で、最適操作戦略の推論過程や推論結果を効率的に示すことができる放流決定支援システムを開発する。

#### 4. 研究成果

まず、アンサンブル水文予測情報の長期貯水池操作への利用性分析を行うオフラインシステムを開発し、アンサンブル水文予測情報ジェネレータと予測情報の利用性分析シミュレーション機構を開発した。降水量の代わりに間欠性が少なく確率的な模擬発生が容易な河川流量を対象として予測流入量の模擬ジェネレータを開発し、流入量の真値を対象流域の水文統計データから1次自己回帰モデルによって模擬発生する機構と、各予測メンバの予測誤差を真値の周りに模擬発生させる機構とで構成した。この際、予測誤差が従う確率分布として、正規分布を仮定した。さらに、予測メンバ数やスプレッド、スキル、予測更新時の予測の変化率などを変更しながら疑似乱数を用いて確率的に模擬発生させる機構の開発を行った。その上で、上述のジェネレータによって大量に模擬発生させたアンサンブル流入量予測情報を用いて、アンサンブル流入量予測情報を考慮した長期貯水池操作のモンテカルロシミュレーションを実施して予測情報の利用性を網羅的に分析する機構を構築した。操作目的には、主に利水操作を取り上げ、貯水池操作の最適化手法には決定論的動的計画法、確率動的計画法、サンプリング確率動的計画法などを考えた上で、これらの最適化モデルによって渇水被害の最小化等を目的とした最適化計算を行うよう設計した。

次に、上述の予測情報の利用性分析シミュレーション機構を用いて、任意のアンサンブル平均誤差およびスプレッドとなるように模擬発生させた多数のアンサンブル流量予測情報を考慮した長期貯水池操作の利用性分析を、モンテカルロシミュレーションとして実施した。我が国における現業アンサンブル気象・水文予測情報の1つである気象庁1か月アンサンブル予報を念頭に置きながら、様々な予測精度特性をもったダム流入量に関する向こう1か月先までの日別アンサンブル予測値を模擬発生させた上で、それらをそれぞれ考慮したダム利水操作についてのシミュレーションを1000回実施した。その結果、アンサンブル予測情報を考慮した利水操作の最適化については、確率論的最適化手法を採る方が、ダム利水操作の精度を向上させることが期待できるこ

と、またアンサンブル予測情報を考慮する場合の方が、予測系列が1つしか提供されない決定論的予測情報を考慮する場合と比べて、予測が外れた場合においてもダム操作精度の悪化を抑えることが期待できることなどを明らかにした。

また、予測の不確実性として特にアンサンブル平均誤差が操作精度に大きく影響を与える可能性があることを明らかにした。特に、考慮するアンサンブル予測情報の平均誤差が十分に小さい場合においては、決定論的予測情報を考慮する場合や予測情報を考慮しない場合と比較して、ダム利水操作精度が平均的に向上すると期待されることを明らかにした。

一方、考慮するアンサンブル予測情報のスプレッドの大小については、ダム利水操作の平均的な精度に大きな影響を与えなかったが、特にスプレッドが大きい場合については、平均誤差が同じであっても、決定論的予測情報を考慮する場合と比較してアンサンブル予測情報を考慮する場合の方が、ダム利水操作による渇水被害のばらつきを小さく抑えることができることを示した。すなわち、決定論的予測情報よりもアンサンブル予測情報を考慮する方が、渇水被害の期待最大値を小さく抑えることができ、より安定的な利水操作を行う上では有効であることが示唆された。

一方で、流入量の予測誤差が従う確率分布として本研究では正規分布を仮定したが、特に流入量の真値が小さく、かつ平均誤差が大きな場合において、模擬発生される流入量の再現性が良くなかったことから、流入量の予測誤差が従う確率分布として対数生起確率分布などの右に歪んだ確率分布を導入する必要があるという課題も明らかになった。

これらの分析結果を踏まえた上で、各予測精度特性の下でのアンサンブル流量予測情報を考慮した貯水池の長期操作基準について検討を行い、これらを基にした長期貯水池操作ルールベースの構築を進めた。また、実時間放流戦略決定のための推論機構の構築に先立ち、現業アンサンブル降水予測情報から貯水池流入量や河川流量のアンサンブル予測値を算出するための流出計算モジュールとして分布型流出モデルHydro-BEAM (Hydrological River Basin Environment Assessment Model)を組み込んだ。これらのモジュールから得られる実時間アンサンブル流量予測情報を考慮した最適放流戦略の実時間推論機構の構築し、推論結果をダム操作官に分かりやすく表示するための実時間ダム利水操作計画支援のフレームワークの構築を行った。また、これらの検討を通じて、現業アンサンブル降水予測情報を考慮したダム利水操作の最適化精度を向上させるためには、アンサンブル降水予報格子点値から流域降水量のアン

サンプル予測値を推定する効果的な手法を構築する必要があるという課題も明らかとなった。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

##### [雑誌論文](計2件)

Tokutsu, M., Nohara, D. and Hori, T., A Monte Carlo-based method to analyze effectiveness of reservoir operation for water supply considering imperfect ensemble inflow prediction, Proc. of the 7<sup>th</sup> International Conference on Water Resources and Environment Research, Refereed, 2016, S07-02 (6pp).

得津萌佳、野原大督、堀智晴、アンサンブル水文予測情報を考慮したダム利水操作の効果分析手法の検討、土木学会論文集 B1 (水工学)、72(4)、2016、I\_1213-I\_1218.

##### [学会発表](計7件)

得津萌佳、野原大督、堀智晴、アンサンブル水文予測情報を考慮したダム利水操作の効果分析手法の検討、土木学会第70回年次学術講演会、2015年9月17日、岡山大学

得津萌佳、野原大督、堀智晴、アンサンブル水文予測情報を考慮したダム利水操作の効果分析手法の検討、水文・水資源学会2015年研究発表会、2015年9月10日、首都大学東京

Tokutsu, M., Nohara, D. and Hori, T., A Monte Carlo-based method to analyze effectiveness of reservoir operation for water supply considering ensemble inflow prediction, The 12<sup>th</sup> Annual Meeting of AOGS Together with 7<sup>th</sup> APHW, August 3, 2015, Singapore.

野原大督、得津萌佳、堀智晴、アンサンブル水文予測情報を考慮したダム利水操作の効果分析手法の検討、平成26年度京都大学防災研究所研究発表講演会、2015年2月24日、京都大学宇治おうばくプラザ

野原大督、堀智晴、現業アンサンブル降水予測情報を活用したダム利水操作とその効果の比較、水文・水資源学会2014年研究発表会、2014年9月26日、宮崎市

Nohara, D. and Hori, T., Real-time reservoir operation for drought management considering ensemble streamflow prediction derived from operational ensemble forecast of precipitation in Japan, The 11<sup>th</sup> International Conference on Hydroinformatics, August 19, 2014,

New York.

Nohara, D. and Hori, T., Real-time reservoir operation for drought management considering operational ensemble predictions of precipitation in Japan, The Smart Water Grid International Conference 2013, November 13, 2013, Incheon.

##### [図書](計0件)

##### [産業財産権]

出願状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

##### [その他]

ホームページ等

<http://gwd.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

(掲載情報は順次更新)

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

野原 大督 (NOHARA, Daisuke)  
京都大学・防災研究所・助教  
研究者番号：00452326

##### (2)研究分担者

無し

##### (3)連携研究者

堀 智晴 (HORI, Tomoharu)  
京都大学・防災研究所・教授  
研究者番号：20190225