

全球気圧高度分布情報を用いた長期降水予測と その貯水池操作への利用性に関する基礎的検討

野原大督・岡田知也*・堀智晴

* 京都大学大学院工学研究科

要 旨

本稿では、500hPa気圧高度分布を利用した二種類の流域降水量予測モデルを構築し、その精度比較を行った。また、予測モデルによって得られた二種類の降水予測状況を渇水被害の軽減を目的とした貯水池放流意思決定に反映させ、それぞれの予測情報が放流意思決定の効率化に寄与する程度を比較した。その結果、ブライアー・スコアによる降水予測精度比較では、二つの予測モデル間に精度の差異が認められたものの、放流意思決定の効率化への寄与の程度に関しては、渇水被害の軽減量に予測精度に見られたほどの差異は見られなかった。

キーワード： 全球気圧高度分布、降水予測、貯水池操作、渇水

1. はじめに

貯水池の効率的な管理を行おうとするとき、将来の管理流域の降水量に関する情報が得られることは重要である。特に渇水を対象とする低水操作では、渇水という現象が流域における少雨傾向が比較的長期間にわたって継続する場合に生じるものであることから、事前にその規模を予測して放流量を適切に制御し渇水による被害を最小限に止めるといった管理行動を考えると、数週間～数か月先の流況が予測できれば、適切な操作の選択を行うことができ、好都合であると考えられる（永井ら、2003）。

こうした長期の予測に対して有用な情報をもたらす可能性があるものに、近年世界的に整備が進んでいる広域気象情報がある。一般に、気象現象は空間スケールが大きいほど、その時間スケールも大きいことが知られており、惑星規模の現象であれば、その時間スケールは数か月を超えるものもある（小倉、1984）。このため、広域気象情報はその空間的・時間的スケールから、流域の比較的長期の将来における水動態に関する情報を含有している可能性が大きい。これらの広域情報から流域スケールの予測に有用な情報を取り出し、将来の流域の状態について定量的な評価方法を確立することは、効率的な水資源管理の実現に大きく貢献するものと期待される。

この観点から、これまでも全球を対象として出されている気象情報を用いて、流域の水文循環に対する全球規模の気象現象の影響を考慮した長期降水予測手法の開発が行われている。櫻井（1996）は、一般的に日本の長期的な降水量に影響を与えるとされる北半球500hPa気圧高度分布と日本近海・南海およびエルニーニョ現象監視領域における海面水温分布に関する情報を用いつつ、それらの分布状況を入力として遺伝的アルゴリズムやファジィ・ニューラルネットワークを用いて、日本各地における3か月先までの長期降水予測を行っている。また、野原・小尻（2006）は、治水・利水連続貯水池操作支援システムの構築の中で、同様の気象情報と気象庁の中・長期気象予報をファジィ・ベイズ理論によって組み合わせた長期降水予測手法を提案している。しかし、これらの手法では、分布情報の集約化にあたってある特定のクラスタリング手法のみを用いており、個々の気象情報から将来の流域降水量の推定に役立つ情報を最大限に取り出すことができているのかという点については未だ不明である。また、上述の研究では長期降水予測精度によって情報の利用性を評価しようとしているが、これらの情報が利水放流決定の効率化にどのように役立つのかについての比較検討はなされていない。

そこで、本稿では、こうした点を明らかにするこ

Table 1 Three latitudinal regions in which pressure height distributions are considered in this study

Area	Latitudinal range	Longitudinal range
Low-latitude	0°N - 30°N	All range
Mid-latitude	30°N - 60°N	All range
High-latitude	60°N - 90°N	All range

とを目的として、全球に渡って提供されている気象情報のうち、全球気圧高度分布情報を利用した二種類の長期降水予測モデルを構築し、予測精度の比較分析と、利水放流決定へ反映させた場合における操作性能の比較を行うためのシミュレーションを行う。具体的には、全球気圧高度分布情報のうち、500hPa気圧高度分布情報を利用し、観測・解析された気圧高度分布状況にベクトル量子化を施した上で、量子化された気圧高度分布と流域の将来降水量との統計的関係を利用して、3か月先までの月降水量を予測する手法を構築する。ただし、500hPa気圧高度分布情報の量子化にあたっては、外的基準無しに気圧高度分布状況を分類するクラスタリング手法と、続いて観測された降水量の多寡に応じて分布状況を分類する方法との二種類を用い、これらの手法の違いが長期降水予測精度に及ぼす影響について考察を行う。さらに、これら二種類の予測手法による降水予測情報をそれぞれ考慮した長期貯水池操作のシミュレーションを行い、予測手法の違いが利水放流意思決定へ与える影響についても考察を行う。

2. 予測・操作シミュレーションの概要

2.1 500hPa気圧高度分布情報

本研究では、全球気圧高度分布情報として月平均500hPa気圧高度分布情報を用いる。500hPa気圧高度分布情報を用いるのは、当該気圧高度面が、対流圏のほぼ中間高度にあたり、大気全体の流れを代表しているとみなされ、また、地上気温等との相関が高いことから、長期予報作業において多用されているからである（古川・酒井，2004）。利用するデータは、NCEP/NCAR再解析データである。NCEP/NCAR再解析データは、アメリカ合衆国のNOAA/ESRIのウェブサイトで開催されている空間解像度の2.5°の全球格子点データであり、毎月更新されている（Kistler et al., 2001）。ただし、解析時にはこのデータをさらに平年偏差分布に変換して利用する。本研究では、まずは日本の河川流域における降水量との関係を考えるため、このうち北半球の気圧高度分布を用いることにし、さらにこれを緯度方向に高緯度、中緯度、低緯度のそれぞれ南北幅30°の3つの異なる帯領域に分

割して考えた。Table 1 に本研究で考える北半球における3つの帯領域の範囲を示す。

2.2 操作モデルの概要

本研究では、3か月先までの月降水量を予測するそれぞれ異なる予測手法に基づいた二種の長期貯水池操作モデルを構築する。

一つは、500hPa気圧高度分布状況の教師無し分類結果を利用して3か月先までの月降水量の確率的予測を行い、当該予測を利用して確率DPにより最適放流計算を行う操作モデルである（以後、単に確率DP操作モデルと呼ぶ）。この操作モデルでは、あらかじめ月降水量をその多寡により5つのカテゴリー（以後、降水ランクと呼ぶ）に分けておき、教師無し分類によってあらかじめ6つの分類された各気圧高度分布パターンが観測された場合における各降水ランクの条件付き生起確率を利用して3か月先までの月降水量の確率的な予測を行う。そして、上記の過程で算出された降水ランクの生起確率分布を用い、確率DPによって3か月先までの放流戦略を決定する。ここでの気圧高度分布状況の分類は教師無し分類であり、望ましい分類結果、例えば、各気圧高度分布パターンの生起とその次の1か月間における各月降水量ランクの生起が1対1に対応するような分類結果に一致するように分類するのではなく、気圧高度分布の特徴そのものを使ってこれを最大限区別するように分類する。そのため、このモデルでは気圧高度分布の分類精度は後述するモデルと比較して良いと考えられる。ただし、分類された気圧高度分布の各パターンが特定の降水量カテゴリーとよく対応するとは限らないという性質も持つ。

もう一方のモデルは、500hPa気圧高度分布状況の教師有り分類結果を利用して3か月先までの月降水量の決定論的予測を行い、当該予測を利用して決定論的DPにより最適放流計算を行う操作モデルである（以後、単にDP操作モデルと呼ぶ）。この操作モデルでは、気圧高度分布を、過去の統計データを使ってその分布の観測後に引き続いて観測された降水量が5つの降水ランクのうちのどのランクに属するか1対1に対応するように、5つのパターンに分類しておく。予測時には、観測された気圧高度分布が

Table 2 Categorized precipitation ranks used in this paper (described with percentile for normal value of monthly precipitation)

Rank 1	Rank 2	Rank 3	Rank 4	Rank 5
0 - 72.5	72.5 - 91.5	91.5 - 114.5	114.5 - 133.5	133.5 -

分類されたパターンに対応する降水ランクに属する降水が3か月先までの各月に生起するものと考え。そして、上述で決定論的に予測された降水量を用い、決定論的DPによって3か月先までの最適な放流戦略を決定する。ここでの気圧高度分布状況の分類は教師有り分類であり、望ましい分類結果、例えば、各気圧高度分布パターンの生起とその次の1か月間における各月降水量ランクの生起が1対1に対応するような分類結果に一致するように5つのパターンに分類する。そのため、このモデルでは気圧高度分布の分類精度は前述の確率DP操作モデルにおける分類精度と比較して悪いと考えられるが、分類された気圧高度分布の各パターンはそれぞれ1つの降水量カテゴリーと1対1に対応するため、予測の分かりやすさという点で優位性を持つと考えられる。

3. 気圧高度分布の教師無し分類を用いた確率降水予測に基づく確率DP操作モデル

3.1 500hPa気圧高度平年偏差分布のパターン分類と降水・流入量予測

このモデルでは、まず、500hPa気圧高度平年偏差分布をMacQueenのK平均法 (MacQueen, 1967) を使って6つの典型的なパターンにクラスタリングする。一方、対象流域における月降水量についても、その多寡により5つの降水ランクに分類する。本研究における降水ランクの分類をTable 2に示す。続いて、分類された500hPa気圧高度平年偏差分布の各パターンが観測された場合に、続く3か月間に各降水ランクに属する月降水量が生起する確率をそれぞれ統計的に算出する。500hPa気圧高度平年偏差分布の観測情報が新たに得られたときには、観測分布を6つのパターンのうちの一つに分類し、分類されたパターンが持つ降水ランクの条件付き生起確率分布を使って3か月先までの各月における5つの降水ランクに属する降水事象の生起確率分布を算出する。

次に、パターン分類手法について以下に簡単に述べる。詳細については、野原ら (2008) を参照されたい。

気圧高度平年偏差分布の特徴は、その分布に含まれる正偏差域および負偏差域の中心の位置により表現する。まず、過去20～30年間ほどの観測データを

使い、1～12月の各月における気圧高度平年偏差分布をそれぞれ6つの典型的なグループ（以下、クラスターと呼ぶ）にK平均法を使ってクラスタリングする。K平均法を用いるにあたっては、クラスター間の距離を表わす距離関数を定義する必要があるが、本研究ではこれを偏差域中心の位置を用いて以下のように定義する。すなわち、分布パターン m と分布パターン m' との距離を考えるとすると、次式のように決める。

$$D_r(m, m') = \max \{ D_p(m, m'), D_n(m, m') \} \quad (1)$$

ここで、 $D_r(m, m')$ はパターン m とパターン m' との距離、 $D_p(m, m')$ はパターン m の正偏差域全体とパターン m' の正偏差域全体との距離、同様に、 $D_n(m, m')$ はパターン m の負偏差域全体とパターン m' の負偏差域全体との距離である。

次に、式(1)により算出された距離関数に基づき、各月における気圧高度平年偏差分布を6つのクラスターに分類する。分類は前述した北半球の3つの帯領域それぞれについて月ごとに行う。分類の結果、各クラスターに属するメンバー（分布パターン）が決まり、そのクラスターに属する全てのメンバーの平均分布をもってそのクラスターの代表パターンと定義する。

続いて、500hPa気圧高度平年偏差分布の各クラスターが観測された場合における続く3か月間の流域月降水量ランクの条件付き生起確率分布を、統計データをもとに算出する。降水予測では、この月降水量の条件付降水ランク確率分布を利用して、3か月先までの降水ランク確率分布の予測時系列を求める。

さらに、得られた降水ランク確率分布の時系列から統計回帰モデルを利用して3か月先までの流入量予測を行う。流量予測についても、降水予測が5降水ランクの確率分布の形式で与えられることを反映して、同様に3か月先までの月平均流量の確率分布として与えられる。

3.2 確率流量予測を用いた確率DP操作モデル

本研究では、操作目的として低水管理に着目し、操作の最適化問題を需要水量に対する供給不足によって生じる被害を最小化する問題として考える。い

ま, T 期先までの貯水池操作を最適化することを考えると, この最適化問題の目的関数は次のように定義できる (Nohara et al., 2009)。

$$\min_{r_t} \sum_{t=1}^T H_t, \quad H_t = \begin{cases} (d_t - q_t)^2 / d_t & (d_t > q_t) \\ 0 & (d_t \leq q_t) \end{cases} \quad (2)$$

ここで, r_t は第 t 期 ($t = 0, \dots, T$) における貯水池からの放流量, H_t は第 t 期において当該流域が受ける渇水被害を表わす被害関数, d_t は第 t 期の下流流況評価地点における需要量, q_t は第 t 期の下流流況評価地点における流量である。

確率DP操作モデルでは, 将来の流況が確率的に記述され, 将来の渇水被害の期待値が最小化される。貯水池操作のための確率DPモデルの関数方程式は, 一般的に次式のように記述される (Faber et al., 2001)。

$$f_t(s_t) = \min_{R_{\min} \leq r_t \leq R_{\max}} E_{q_t} \left\{ H_t(q_t) + E_{i_t} [f_{t+1}(s_{t+1})] \right\} \quad (3)$$

$$(s_{t+1} = s_t + i_t - r_t)$$

ここで, $f_t(s_t)$ は第 t 期における将来被害関数 (Future Damage Function, FDF), i_t は第 t 期における貯水池の流入量, s_t は第 t 期期首における貯水量, $R_{\min}$ 及び $R_{\max}$ はそれぞれ放流量の最小値及び最大値である。第 T 期から第1期まで遡って全ての期間に対する $f_t(s_t)$ を計算したのち, 第 t 期期首における貯水量から最適放流量 r_t^* を次式により算出する。

$$r_t^* = \min_{R_{\min} \leq r_t \leq R_{\max}} E_{q_t} \left\{ H_t(q_t) + f_{t+1}(s_{t+1}^*) \right\} \quad (4)$$

ここで, s_t^* は第 t 期期首における最適貯水量である。

4. 気圧高度分布の教師有り分類を用いた決定論的降水予測に基づくDP操作モデル

4.1 500hPa気圧高度平年偏差分布のパターン分類と降水・流入量予測

初めに, 500hPa気圧高度平年偏差分布の統計データを, その後に同じ月降水ランクに属する降水量が観測されたサンプル同士が同じ偏差分布パターンに属するように, 5つのパターンに分類する。降水ランクには, 前章で用いられたものと同じ5つのランクを使用する。観測された偏差分布データのパターン分類は, 1~12月の月毎に行い, これらの月からその後3か月先までに実際に生じた1か月ごとの降水ラン

クに基づいて行う。この結果, 5つの月降水ランクにそれぞれ1対1で対応する5つの気圧高度偏差分布パターンが, 向こう3か月に至るまでの1か月ごとに求まる。

降水予測時には, まず, 新たに観測された気圧高度平年偏差分布を上で作成した5つのパターンのうちの一つに分類する。このとき, 分類に用いる距離関数には, 式(1)の距離関数を利用する。そして, 各パターンが代表する3か月先までの各月の降水ランクに属する月降水量がそのまま実現すると予測する。すなわち, 3か月先までの月降水ランクの予測値がただ一つの時系列として求められる。さらに, 算出した3か月先までの月降水ランクの予測時系列から, 3か月先までの月平均予測流量時系列を, 統計回帰モデルを用いて算出する。

4.2 決定論的流量予測を用いたDP操作モデル

続いて, 前節で得られた流量予測時系列から決定論的DPを用いて3か月先までの放流戦略を最適化し, 決定する。前章と同じ変数を用いて記述すると, このDP操作モデルにおける関数方程式は次式のように記述できる。

$$f_T(s_T) = \min_{r_T} H_T(q_T) \quad (5)$$

$$f_t(s_t) = \min_{r_t} \{ H_t(q_t) + f_{t+1}(s_{t+1}) \} \quad (t=1, \dots, T-1)$$

全ての期に対する $f_t(s_t)$ を算出した後, 最低放流量 r_1^* を次式により求める。

$$r_1^* = \min_{r_1} \{ H_1(q_1) + f_2(s_2) \} \quad (6)$$

第2期から第 T 期における最適放流量についても同様にして求めることができる。

5. 操作シミュレーションと考察

5.1 適用した貯水池流域

吉野川流域早明浦ダムを対象に提案操作モデルを用いたシミュレーションを行った。早明浦ダムは, 吉野川水系における水資源開発の中核をなすもので, 洪水調節, 各種既得用水の安定取水を図るとともに, 新規用水開発による四国四県への供給および発電を行っている (水資源機構, 2004)。早明浦ダム流域は流域降水量が周辺より多いことから, 計画された供給量も多いが, 降水の年々変動率や日単位の集中度が大きく, 少雨時には貯水量が急激に減少し, そのため渇水が頻発している (藤部ら, 2008)。

Table 3 Specs of applied reservoir

Capacities		Specs
Active storage capacity		289,000,000 m ³
Water use capacity		173,000,000 m ³
Flood control capacity	Flood season (July 1 st – Oct. 10 th)	90,000,000 m ³
	Dry season (Oct. 11 th –June 30 th)	80,000,000 m ³
Power generation capacity	Flood season (July 1 st – Oct. 10 th)	26,000,000 m ³
	Dry season (Oct. 11 th –June 30 th)	36,000,000 m ³
Designed release discharge		2,000 m ³ /sec
Maximal release discharge in no flood situation		800 m ³ /sec

Table 4 Brior scores of two prediction methods of precipitation

Model	1 month ahead	2 month ahead	3 month ahead	Average
Unsupervised use of PHD	0.876	0.852	0.862	0.863
Supervised use of PHD	1.565	1.455	1.429	1.513

早明浦ダムの諸元をTable 3 に示す。前述のように、早明浦ダムは利水、治水、発電など、多目的ダムとして操作されているが、本研究では特に利水補給時の貯水池操作に着目して検討を行うため、これらの操作のうち、治水操作を制約とし、利水操作のみを最適放流決定の対象と仮定した。すなわち、洪水時には操作規則に定められた操作を行いながら、原則としてダム下流の評価地点における水不足量、すなわち渇水被害を最小化することを目的として操作を行い、発電による便益は評価しないものとした。

また、早明浦ダム流域のモデルとしては、DP手法を適用するため、利水操作を中心に行うことを念頭に置き、単純化したモデルを考えた。すなわち、流況の評価地点を早明浦ダムの直下流として考えた。ここで、状態量として考えるものは、早明浦ダムの流入量及び貯水量、決定量は早明浦ダムからの放流量、すなわち評価地点における河川流量である。

本適用計算では利水操作のみを対象としているため、最適化計算の対象となる貯水量には利水容量のみを考えた。最適化問題の制約条件は、Table 1 に示した貯水池諸元の物理的あるいは規則上の制約を用いて、以下のように記述される。

$$0(\text{m}^3) \leq s_t \leq 173 \times 10^6 (\text{m}^3) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} 0 \leq r_t &\leq 2000 (\text{m}^3/\text{sec}) && (\text{for flood situation}) \\ 0 \leq r_t &\leq 800 (\text{m}^3/\text{sec}) && (\text{for no flood situation}) \end{aligned} \quad (8)$$

ここで、洪水時とは、早明浦ダムへの流入量が800 m³/sec 以上である状態を指し、非洪水時とは流入量が800 m³/sec 未満である状態を指す。

以上の条件の下、2001年から2002年までの2年間についてシミュレーションを行った。

5.2 降水量予測結果

降水量の予測精度評価には一般にカテゴリー予測の評価に用いられるブライアー・スコア (Brior Score) を用いた。ブライアー・スコアは次式で定義される。

$$BS = \frac{1}{N} \sum_k (P_k - E_k)^2 \quad (9)$$

ここに、BS はブライアー・スコア、N は予測回数、 P_k はランク k に属する降水の予測生起確率、 E_k は予測通りランク k に属する降水が観測された場合には1、それ以外の場合（予測が外れた場合）には0を取る関数である。

提案した二つの降水予測モデルによってそれぞれ3か月先までの月降水量を予測した結果をTable 4に示す。ここに示す値は、前述の北半球を3つに分けた帯領域における500hPa気圧高度偏差分布を使って二種類の降水予測手法によりそれぞれ実施した降水予測結果のうち、各予測リードタイムにおいてそれぞれ最も予測精度が良かったものを示している。また、表中の「average」は、予測値を気候値とした場合を表わし、気圧高度平年偏差分布の教師無し分類を用

Table 5 Damages caused by water deficits as a result of optimized water release

Model	Averaged Damage (m ³ /sec)
SDP with unsupervised use of PHD	5.455
DDP with supervised use of PHD	5.787

いた降水予測手法では5つの降水ランクの気候的確率生起分布を予測値として、教師有り分類を用いた降水予測手法ではその期待値を予測値としたものである。

Table 4 に示す通り、500hPa気圧高度平年偏差分布の教師無し分類を利用した降水予測手法の方が、教師有り分類を用いた降水予測手法と比較して全般的に精度が良い結果となった。この理由については以下のように考えられる。気圧高度平年偏差分布の教師有り分類を使って構築された降水予測モデルでは、気圧高度平年偏差分布パターンが観測されてから3か月間の各月降水量がどの降水ランクに属するかによって5つのパターンの初期グループを決定したが、予測段階において観測された気圧高度平年偏差分布を5つのパターンに分類する際には、先験的に設定した分類指標（パターン間の距離関数）を用いている。初期のグループの作成とその後のパターン分類において異なる分類基準を用いていることから、予測時のパターン分類においては、必ずしも意図した分類、すなわち流域で見込まれる降水量の多寡に応じた分類になっていない可能性が大きく、このことが分類精度の悪化をもたらし、ひいては降水予測精度の悪化につながったのではないかと考えられる。この点については、パターン分類指標を逆問題として統計的学習などの手法により統計的に推定することによって、分類精度が向上し、予測精度を改善できる可能性がある。また、今回のシミュレーションでは、いずれの予測手法も気候値を予測値とした場合と比較して、予測精度があまり改善しておらず、この点も今後の課題と考えられる。

5.3 貯水池操作結果

500hPa気圧高度平年偏差分布の教師無し分類による降水予測を利用した確率DP操作モデルと、同平年偏差分布の教師有り分類による降水予測を利用したDP操作モデルの二つのモデルを用いて、前述の仮定条件の下、供給水量不足に伴う被害の最小化を目的として早明浦ダムの操作シミュレーションをそれぞれ行った。前節で得られた予測降水量から流量予測への変換は、あらかじめ統計データから推定した線形重回帰式を用いて行った。二つの操作モデルによる各操作シミュレーションにおいて実施された放流

操作による渇水被害の算出結果をTable 5 に示す。降水予測精度の算定結果を反映して、500hPa気圧高度平年偏差分布の教師無し分類による降水予測を利用した確率DP操作モデルの方が、渇水被害が抑えられる結果となった。しかし、降水予測のブライアー・スコアでは両モデル間に大きな差があるにも関わらず、渇水被害についてはそれほど大きな差は見られなかった。このことは、一般に確率予測やカテゴリー予測において予測精度評価に用いられるブライアー・スコアによる評価のみでは、当該予測の貯水池への利用性という観点からの評価としては不十分である可能性があり、予測の操作への利用性を考える際には、予測の精度や予測形式と貯水池放流における意思決定過程とを総合的に考慮する必要がある可能性があることを示唆している。しかし、本研究におけるシミュレーションは、対象とした期間についても流域についてもごく限られたものであることから、一般的な結論に向けてはさらなるシミュレーションによる検討が必要であり、今後の課題としたい。

6. おわりに

本稿では、500hPa気圧高度平年偏差分布を利用した二種類の長期降水予測モデルを構築し、その精度比較を行った。また、予測結果として得られた二種類の将来降水状況を渇水被害の軽減を目的とした貯水池放流操作意思決定に反映させ、放流決定の効率化に与える効果を比較した。その結果、ブライアー・スコアによる降水予測精度の比較では、二つの予測モデル間に精度の差異が認められたものの、放流意思決定の効率化への寄与の程度に関しては、渇水被害の軽減量に予測精度に見られたほどの差異は見られなかった。このことは、予測の操作への利用性を考える際には、予測の精度や予測形式と貯水池放流における意思決定過程とを総合的に考慮する必要がある可能性があることを示唆している。しかし、本研究におけるシミュレーションは、対象とした期間についても流域についてもごく限られたものであることから、一般的な結論に向けてはさらなるシミュレーションによる検討が必要である。本研究で得られた結果を踏まえつつ、今後さらに検討を行いたい。

謝 辞

本研究は科研費（20760328）の助成を受けたものである。また、流域データは、独立行政法人水資源機構吉野川局池田総合管理所より提供していただいた。関係者の皆様に対し、ここに深く謝意を表する。

参考文献

- 小倉義光（1984）：一般気象学，財団法人東京大学出版会，pp.158-202.
- 櫻井健一郎（1996）：時空間パターン分類化手法による少雨現象分析と渇水対策，岐阜大学大学院修士論文，39 pp.
- 永井明博・田中丸治哉・角屋睦（2003）：ダム管理の水文学，森北出版株式会社，p.126.
- 野原大督・岡田知也・堀智晴（2009）：地球規模気象情報を利用した渇水時貯水池操作のための長期降水予測に関する研究，水工学論文集，第54巻、pp.541-546.
- 野原大督・小尻利治（2006）：地球規模気象情報を考慮した学習型貯水池操作支援システム，水文・水資源学会誌，第19巻，第1号，pp.25-43.
- 藤部文昭・村上正隆・越田智喜・吉田一全（2008）：早明浦ダム周辺の降水量とダム貯水量の変動特性，天気，55巻，6号，pp.21-25（469-473）.
- 古川武彦・酒井重典（2004）：アンサンブル予報—新しい中・長期予報と利用法—，株式会社東京堂出版，pp.16-22.
- 水資源機構（2004）：輝く21世紀のくらしと水～四国の水資源～，独立行政法人水資源機構吉野川局，p.13.
- Faber, B. A. and Stedinger, J. (2001): Reservoir optimization using sampling SDP with ensemble streamflow prediction (ESP) forecasts, Journal of Hydrology, Vol. 249, pp. 113-133.
- Kistler, R., Kalnay, E., Collins, W., Saha, S., White, G., Woollen, J., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Kanamitsu, M., Kousky, V., Dool, H.V.D., Jenne, R. and Fiorino, M. (2001): The NCEP-NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation, Bull. Amer. Meteor. Soc., 82, 247-267.
- MacQueen, J. (1967): Some methods for classification and analysis of multivariate observations, 5th Berkeley Symp. Math. Statist. Prob., edited by L. Le Cam and J. Neyman, Volume 1, pp.281-297.
- Nohara, D., Tsuboi, A. and Hori, T. (2009): Long-term reservoir operation optimized by DP models with one-month ensemble forecast of precipitation, Proceedings of Symposium JS.4 at the Joint Convention of IAHS and IAH, IAHS Press, pp.284-295.

Fundamental Study on Long-term Precipitation Prediction Using Information on Global Pressure Height Distribution and Its Availability for Reservoir Operation

Daisuke NOHARA, Tomoya OKADA* and Tomoharu HORI

* Graduate School of Engineering, Kyoto University

Synopsis

Long-term reservoir operation scheme is proposed by use of pressure height distribution (PHD) with real-time data searching process in this study. Distribution of 500 hPa pressure height is utilized as global PHD, and considered in the long-term prediction of precipitation in the target basin for the coming three months. Two methods of precipitation prediction using PHD are introduced in this study. Long-term reservoir operation strategy which mainly focuses on drought management for water use are searched and optimized in real-time based on the current observed hydrological situation and predicted one in the future. Proposed operation schemes are applied to Sameura reservoir, and the difference of the operation results was analyzed.

Keywords: global pressure height distribution, precipitation prediction, reservoir operation, drought