

(26) 渇水被害の計量化と貯水池群運用について

(株)日本水道コンサルタント 萩原 良巳
" 中川 芳一
" ○辻本 善博

1. はじめに

近年における経済活動の拡大、都市への人口集中、生活構造の水多消費型への移行等による都市用水をはじめとした水需要量の急激な増大は、河川における水利用の高度化・複雑化をもたらし、一方、これに対する新規水資源開発は年々困難となつてきており、水需給は逼迫の度を強めている。このような状況のもとで、水需給のバランスをはかるには、水資源の供給可能性から見た水需要の適正配分、循環再利用等の水利用合理化とともに、河川水のより効率的な利用をはかる低水管理システムの確立が必要とされる。

水系内の貯水池群の統合管理は河川水の効率的な利用のための有効な方法であり、統合管理により、各貯水池単独操作の場合には無効放流されていた河川水が有効に資源化され、渇水時の水利調整がより有効に行なわれると考えられる。貯水池群の統合操作にあたっては、将来の貯水池流入量を的確に把握し、補給効果を考慮した運用計画（目標放流量の決定）をたて、渇水時あるいは渇水が予測される場合には、節水運用を行なうことが必要である。

本稿では、まず、渇水時の貯水池運用や水利調整を行なうにあたって不可欠と考えられる渇水被害の計量化を行なう。渇水被害の計量化としては種々の方法が提案されているが、ここでは、そのアプローチの一つとして、新聞記事をもとに主成分分析法による渇水被害の定量化を試み、被害関数の設定を行なう。

つぎに、渇水期の利水用貯水池群の目標放流量系列を渇水時の被害最小という評価基準のもとで決定するモデルを、確率ダイナミックプログラミング（確率DP）により設定するが、貯水池流入量の取扱いに際しては、気象台発表の降水量の長期予報をもとに、“確率分布をもった型紙”を作成することにより、確率的な変動を考慮した流入量系列の予測設定を行ない、実際に大きな渇水を生じた年度での適用例を示す。

2. 新聞記事による渇水被害関数の作成

渇水時の貯水池運用計画を立てるに際し、その評価基準としての渇水被害の計量化は不可欠のものである。しかし、渇水時における被害は多方面かつ細部にわたり、その実態を完全に把握することは困難である。そこで、ここでは、渇水に関わる被害を時系列的に、地域の社会、経済、心理等の特性（重要度）に応じて、概略ではあるが的確に報道していると考えられ、かつ、比較的人手の容易な新聞記事に着目し、これをもとにしたデータに主成分分析法を適用することにより、渇水被害の大きさを表わすと考えられる総合特性値を抽出することとする。そしてこの総合特性値を目的変数とし、渇水を表わす自然状態量（不足流量の2乗、不足貯水量）を説明変数とする回帰式を作成することにより被害関数の設定を行なう。

2-1 渇水被害の計量化

実際に大きな被害のあった1973年夏（7～9月）の渇水を対象として、この期間の渇水の影響を報道した新聞記事を分類整理して、表・1の13項目の渇水被害項目を設定した。そして、各被害項目に影響（被害）の大ききの順にランク分けした。このとき、異なる2つの被害項目間においても、同一ランクの被害は相対的に等しいとみ

表・1 被害項目のランク分け

項目	1	2	3	4	5
住民不安 ₁	困らない	少々困る	困る	我慢できる	我慢できない
住民将来不安 ₂	無	少々	有	大	バニッパ
上水給水制限 ₃	10%以下	20%以下	40%以下	40%以上	時間給水
上水被害 ₄	無	少々	有	大	甚大
大企業水確保 ₅	回収強化	海水利用	下水使用	タンカー送水	策なし
大企業給水制限 ₆	30%以下	50%以下	80%以下	保安用水のみ	ストップ
大企業不調 ₇	無	少々	有	大	反発
大企業被害 ₈	操業短縮	工場休止	工場閉鎖	保安のみ	完全閉鎖
中小企業給水制限 ₉	20%以下	50%以下	40%以下	40%以上	ストップ
農水確保 ₁₀	別になし	検討	ため池	ため池以外	策なし
農民不安 ₁₁	無	少々	有	大	請願・反発
農業被害 ₁₂	無	少々	有	大	甚大
貯水 ₁₃	600万トン以上	300万トン以上	200万トン以上	100万トン以上	100万トン以下

なせるようなランク分けになるように努めた。
この被害項目毎のランクを同じく表・1に示す。

ついで、日々の新聞記事の内容をもとに、各被害項目における日々の渇水の影響（被害）がどのランクに対応するかを調べ、ランクに応じた被害度を与える。ここで、ランク i の記事の出た日に被害度 i を与え、つぎに同じ被害項目中の記事がでるまでは被害度は同一として、渇水期間中のすべての日に被害度を与えることとする。

このようにして得られた日別被害度をもとに被害項目毎の渇水の大きさを示すデータ（得点）を5日毎に設定した（表・2）。なお、この期別（5日毎）の被害項目毎の得点の設定においては、被害項目の内容により、つぎの3種の設定法を使いわけている。

- ① 過去10日間の被害度を累加したものを得点とする。（住民不満（ y_1 ）、住民将来不安（ y_2 ）、大企業水確保（ y_5 ）、大企業不満（ y_7 ）、農水確保（ y_{10} ）、農民不満（ y_{11} ））
- ② その日の被害度を得点とする。（上水給水制限（ y_3 ）、大企業給水制限（ y_6 ）、中小企業給水制限（ y_9 ）、貯水量（ y_{13} ））
- ③ 渇水の始まった時点からの日々の被害度を累加したものを得点とする。（上水被害（ y_4 ）、大企業被害（ y_8 ）、農業被害（ y_{12} ））

以上のようにして設定した期別被害項目別得点に主成分分析法を適用した。この結果得られた主成分（総合特性値）の因子負荷量および累積寄与率を表・3に示す。これを見ると、第1主成分から第3主成分まで、全特性値すなわち全被害項目の持つ情報量の93%を要約しており、とくに第1主成分の説明力が大きくなっている。以下に、得られた主成分の意味づけを行なう。

① 第1主成分（ z_1 ）； いずれの特性値に対する因子負荷量も正であり、このことは、どの被害項目の得点が大きくなっても、第1主成分の値は大きくなることを示している。因子負荷量が正で大きな被害項目は、不満に関する項目（ y_1 、 y_7 、 y_{11} ）、不安に関する項目（ y_2 ）、水確保に関する項目（ y_5 、 y_{10} ）および貯水量（ y_{13} ）であることから、第1主成分（ z_1 ）を「住民の不安感を核とした被害の大きさを示すファクター」と、意味づけができると考えられる。

② 第2主成分（ z_2 ）； 因子負荷量が正で大きい被害項目は、上水被害（ y_4 ）、大企業被害（ y_8 ）および農業被害（ y_{12} ）あり、また、因子負荷量が負で大きい項目は、大企業給水制限（ y_6 ）および中小企業給水制限（ y_9 ）となっている。企業被害と企業給水制限はかなりの（正の）相関を持つと認められることから、これら二者の第2主成分への寄与は相殺されると考え、第2主成分（ z_2 ）を「上水、農水に注目した実質的な被害の大きさを示すファクター」と意味づけできよう。

③ 第3主成分（ z_3 ）； 因子負荷量が正で大きい項目は、上水給水制限（ y_3 ）であり、また、因子負荷量が負で大きい項目は、大企業給水制限（ y_6 ）および中小企業給水制限（ y_9 ）である。すなわち、第3主成分（ z_3 ）は上水と企業のいずれの給水制限を優先させるかを示し、「市の渇水対策の競合関係を示すファクター」と考えられる。

以上のように、寄与率の大きい第1主成分から第3主成分までの意味づけを行なったが、さらに、これらの三つの主成分を総合し、渇水被害を1変数のみで表わすことができると考えられる総合特性値を作成した。すなわち、以上の2主成分の寄与率の比による重み付き平均値 P を考えると、以下の渇水被害関数作成のための入力とした。この総合特性値 P の渇水期間中の変化を上る3主成分の値の変化とともに、図・

表・2 渇水被害得点

項目	日	7/15	20	25	30	8/5	10
住民不満 y_1	1	12	18	21	21	17	
住民将来不安 y_2	1	10	18	20	25	20	
上水給水制限 y_3	1	1	1	1	2	1	
上水被害 y_4	1	12	27	40	46	51	
大企業水確保 y_5	1	13	24	30	30	30	
大企業給水制限 y_6	1	2	2	3	3	2	
大企業不満 y_7	1	12	27	32	37	43	
大企業被害 y_8	1	13	28	45	65	88	
中小企業給水制限 y_9	1	2	2	5	3	4	
農水確保 y_{10}	1	13	26	30	30	28	
農民不満 y_{11}	1	10	18	22	27	27	
農業被害 y_{12}	1	13	28	45	65	81	
貯水量 y_{13}	1	2	2	2	3	4	

項目	日	15	20	25	30	9/5	10
住民不満 y_1	25	28	30	20	10	7	
住民将来不安 y_2	26	31	28	30	18	10	
上水給水制限 y_3	1	3	3	1	1	1	
上水被害 y_4	60	75	90	95	101	106	
大企業水確保 y_5	30	33	38	40	32	24	
大企業給水制限 y_6	4	5	2	5	2	1	
大企業不満 y_7	45	40	39	55	51	28	
大企業被害 y_8	108	128	142	163	178	191	
中小企業給水制限 y_9	4	3	1	1	1	1	
農水確保 y_{10}	30	32	39	40	19	13	
農民不満 y_{11}	30	32	37	26	12	10	
農業被害 y_{12}	108	128	148	168	178	191	
貯水量 y_{13}	4	5	4	3	2	1	

表・3 因子負荷量、累積寄与率

総合特性値				
被害項目		z_1	z_2	z_3
住民不満 y_1	0.880	-0.314	0.262	
住民将来不安 y_2	0.969	-0.081	0.055	
上水給水制限 y_3	0.563	0.003	0.780	
上水被害 y_4	0.627	0.760	-0.138	
大企業水確保 y_5	0.936	0.195	-0.134	
大企業給水制限 y_6	0.650	-0.506	-0.482	
大企業不満 y_7	0.938	-0.026	-0.224	
大企業被害 y_8	0.577	0.786	-0.162	
中小企業給水制限 y_9	0.305	-0.762	-0.401	
農水確保 y_{10}	0.927	-0.140	0.026	
農民不満 y_{11}	0.947	-0.247	0.153	
農業被害 y_{12}	0.574	0.793	-0.150	
貯水量 y_{13}	0.846	-0.511	0.172	
累積寄与率	0.60	0.83	0.93	

1に示す。

2-2. 渇水被害関数の作成

上述した渇水被害の大きさを示す総合特性値 P と、渇水を表わす自然状態量との相関を調べた結果(表・4)、相関の高い自然状態量として、不足流量、不足流量の2乗および不足貯水量等があげられた。このうち、不足流量の2乗は、簡単な指標でありかつ被害の非線形性をよく記述するものであると考えられることから、従来渇水被害関数としてしばしば用いられてきたものであり、一定期間内の一定不足水量に対しては、その期間を等節水量で運用するときその期間内の総和は最小値となるものである。また、不足貯水量とは、基準貯水量(ここでは貯水容量の1/2)からの不足量であるが、これは新聞の報道による住民の不安感や実際のダム運用にあたるダム管理者への圧迫感等心理的な被害をよく表わす指標であると考えられる。

さて、これらの自然状態量を説明変数とし、総合特性値 P を目的変数として作成した回帰式のうち、最も重相関係数が高かったもの、すなわち、渇水被害の大きさを示すと考えられる総合特性値を最もよく近以する回帰式は、以下のものであった。

$$R = 0.088 \cdot (\text{不足流量})^2 + 0.827 \cdot (\text{不足貯水量}) - 3.544 \quad \dots\dots\dots (1)$$

但し、単位は、不足流量； m^3/sec 、不足貯水量； 10^6m^3 。(重相関係数 0.88)

以上のようにして、測定可能な自然状態量、すなわち、不足流量の2乗と不足貯水量とを用いて、渇水被害の大きさを表わす渇水被害関数 R (1式)を設定することができた。

3. 確率DPによる貯水池群運用モデルの定式化とその解法

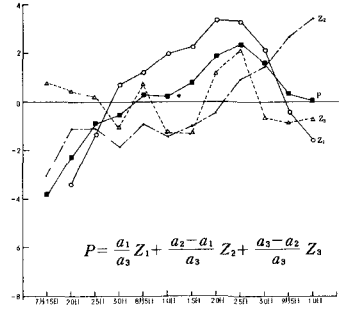
1で述べたように、水需要量の急激な増大と新規水資源開発の困難性から、河川水のより効率的な利用をはかる貯水池群の統合管理が必要とされてきた。利水用貯水池群の統合操作の問題は評価関数としての渇水被害を最適化(最小化)するための貯水池放流量の空間的、時間的配分の決定問題として扱われる。この問題に対しては従来、 LP 、 DP およびシミュレーション等によるアプローチがなされてきた。さらに近年、水資源システムの大規模化に伴う計算上の次元や演算時間の巨増加を克服するための手法として、竹内による DC ³⁾ L 手法等が開発され、また、大規模システムを直接的に解くかわりに、貯水池群システムを分割するなど単純化を加える方法も検討されている。これらの手法の基礎となっているものは、流況の予測であり、この予測精度により得られる解の信頼性も大きく変わるようである。しかし、貯水池流入量の供給源である降水現象や降水から流入量への変換過程の不確実性が強いことから、決定論的な予測は非常に困難である。

このことから、ここでは流況予測をある幅(確率分布)を持ったものであるとして、すなわち、貯水池流入量を確率論的に取り扱い、確率変数を入力とする制御システムの多段階決定問題に応用される OR 手法の一つである確率 DP を用いて、最適補給ルールすなわち最適目標放流量系列を決定することとする。ここで評価基準は渇水被害関数値の対象期間内総和の期待値を最小化することである。

3-1. 確率DPによるモデルの定式化

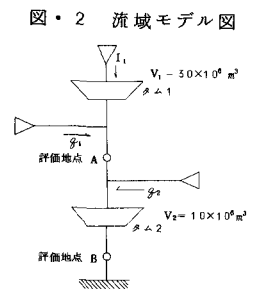
対象とする流域モデル(図・2)はダム1とダム2が直列型の位置関係にあり、評価地点 A 、 B のみで取水するものである。このモデルをダムによる流況制御システムとして扱えば、入力変数はダム1流入量 $I_1(t)$ および残流域流入量 $q_1(t)$ 、 $q_2(t)$ であり、これらは確率入力変数である。また状態変数はダム貯水量 $S_1(t)$ 、 $S_2(t)$ 、決定変数はダム目標放流量 $G_1(t)$ 、 $G_2(t)$ 、出力変数はダム実放流量 $O_1(t)$ 、 $O_2(t)$ および評価

図・1 総合特性値の変化



表・4 相関係数

	不足流量 (m^3/s)	不足流量自乗 ($\text{m}^3/\text{s})^2$	不足貯水量 (10^6m^3)
総合特性値 P	0.7861	0.7614	0.6697



地点流量 $Q_A(t)$ 、 $Q_B(t)$ となる。

渇水期ダム運用計画への確率 DP の適用に際しては、ダム流入量、残流域流入量の確率変動を考慮し、第 t 期以後終端までの渇水被害の和の期待値 $f_t(S_1, S_2)$ を最小化するように第 t 期ダム目標放流量を決定するものとし、 DP の最適性原理より以下の定式化が行なえる。

$$f_t(S_1, S_2) = \min_{G(t)} \sum_{\Pi} \{R(t) + f_{t+1}(S'_1, S'_2)\} P_t(\Pi) \tag{2}$$

$$G(t) = (G_1(t), G_2(t)), Q(t) = (Q_A(t), Q_B(t)), \Pi = (I_1, q_1, q_2) \tag{3}$$

ここに、 $R(t)$ は第 t 期渇水被害関数値、 $P_t(\Pi)$ は第 t 期における入力変数 Π の確率分布である。
また、ここで、第 t 期貯水量 S_i ($i=1, 2$) と第 $t+1$ 期貯水量 S'_i ($i=1, 2$) の関係および貯水池放流ルールは以下のものを設定している、すなわち、まず貯水池における第 t 期の水量連続式は以下の式である。

$$S'_i = S_i + I_i - O_i \quad (i=1, 2) \tag{4}$$

ここにおいて実放流量 O_i は、貯水量 S_i 、流入量 I_i 、貯水容量 V_i および目標放流量 G_i によって決まるものとし、この放流ルール、 $O_i = \varphi(S_i, I_i, V_i, G_i)$ を以下のように定式化する。

$$O_i = \begin{cases} G_i & \text{if } 0 \leq \theta_i \leq V_i \\ I_i & \text{if } \theta_i < 0 \\ G_i + (\theta_i - V_i) & \text{if } \theta_i > V_i \end{cases} \quad (i=1, 2) \tag{5}$$

ここで、 θ_i は、目標放流量を実際に放流するとしたときの仮想貯水量であり以下の式でもとめられる。

$$\theta_i = S_i + I_i - G_i \quad (i=1, 2) \tag{6}$$

すなわち、この放流ルールは貯水池が空のときには、放流量＝流入量、そうでないときには、放流量＝目標放流量、また満杯のときにはオーバーフローし無効放流が生じるものであり、線形決定ルールと呼ばれる。

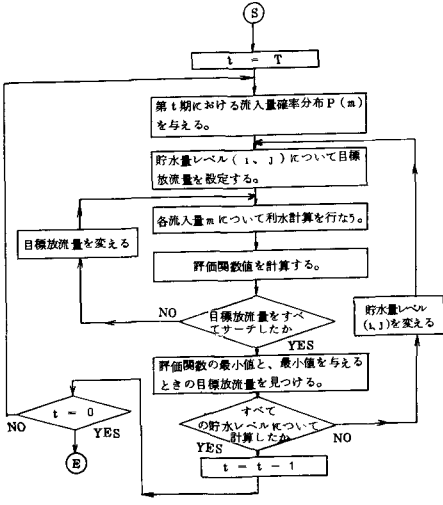
以上が確率 DP によるシステムモデルの定式化であるが、このモデルによると各期において、各貯水状態に応じて最適目標放流量を逐次決定してこととなり、この決定の際には、最終期までの流入量の確率分布および需要水量の情報を用いていることとなる。このことから、ここで定式化したシステムモデルは、流況予測を用いたフィードフォワード制御による確率制御システムであると言えよう。

3-2. 解法のアルゴリズム

(2)式のような形の関数方程式を解くには、後進型 DP の方法が有効であり、これによると、各変数を離散化し、数値計算により、最終期から出発して一期ごとに $f_t(S_1, S_2)$ を計算し、(2)式の右辺の値を最小とするように目標放流量を決定していくこととなる。変数の離散化の際には、その離散化単位すなわち、ここでは単位水量として妥当なものを選ぶ必要がある。単位水量を小さくすれば解の精度は向上するが次元数が増加し、貯水池の数が多い場合には必要な記憶容量や演算時間は飛躍的に増大する。他方、単位水量を大きくしすぎると実用的な解が得られないことも多い。このことから、制御時間単位の大きさも自ずと制約を受け、実用的に見て妥当な時間単位を選ぶ必要がある。(本稿では時間単位は旬、単位水量は $10^6 m^3$ としている。)

つぎに、モデルの解法のアルゴリズムであるが、これは任意の第 t 期において、貯水池の任意の状態 (S_1, S_2) における最適目標放流量 (G_1^*, G_2^*) を決定する本来の確率 DP による補給ルール求解の部分と、この解を用いて、実際の流入に対処しながら目標放流量を決定してゆく補給ルール運用の部分の二つに分けて考えられる。後の部分は、求めた目標放流量を貯水池状態に応じて選べばよいので省略し、ここでは前者の概略を図・3に示す。

図・3 アルゴリズム



4. 実流域への適用例

ここでは、3.において定式化したモデルとアルゴリズムを用いて、先に図・2に示した流域における2ダムの渇水時運用ルールを決定し、実際に大きな渇水を生じた年度(1973年)での適用例を示す。

貯水池流入量の取り扱いに際しては、気象台発表の降水量の長期予報をもとに、“確率分布を持った型紙”を作成することにより確率的な変動を考慮した流入量系列の予測設定を行なう。

この長期予報は3ヶ月先までのものであるため、ここでの運用計算は7月初日から9月末日までの3ヶ月間とする。対象とする年度および時期は、2.の渇水被害関数設定に際して対象としたものと全く同一のものとなっている。

また、水量の離散化単位は前述したように100万 m^3 とし、運用単位期間は旬とする。以上の運用計算の条件を表・5に示す。

ところで、ダム1流入量(I_1)と残流域流量(q_1, q_2)は理論的には3変数の確率分布を形成するが、ここでは対象流域が小さく、 I_1, q_1, q_2 間の相関も高いことより、各残流域流量 q_1, q_2 はダム1流入量(I_1)の回帰式でもって与え、確率入力変数をダム1流入量(I_1)のみとした。

つぎに、ここでの運用計算における評価関数について、とくに比較のため以下の二つを考えることとする。まず第一は評価地点A, Bにおける不足流量の2乗和を被害関数として、この値の期間内総和の期待値 J_1 を評価関数とするものであり、第二は本稿2.において作成した被害関数Rを用いて、同様にこの値の和の期待値 J_2 を評価関数とするものである。

4-1. 確率分布をもった型紙の設定

降雨の長期予報は5階級に区分されて発表されており、各段階の標準出現率は、表・6に示す通りである。ここで単位期間が旬ということもあり降雨の標準出現率に対応して旬流量も生起するものと見なし、この各予報階級の流入量標準出現率と過去10年間の月(7~9月)毎の実流入量の生起確率より、各階級が予報されたときの旬流入量の生起確率分布を作成した。そして降雨の長期予報に対応して、旬流入量の生起確率分布系列を型紙として設定した。この型紙を“確率分布をもった型紙”と呼ぶこととする。

ここで実際に設定した型紙は、対象年の6月末での長期予報(1ヶ月, 3ヶ月予報)をもとにしたもので、各旬の予報階級は〔並又は、並又は、並、並又は、並又は、並又は、並、並、並〕である。この型紙を実流入量、評価地点需要量とともに図・4に示す。

4-2. 演算結果とその考察

運用計算として、評価関数、ダム初期貯水量の相異により、表・7に示す4ケースを行なった。各ケースでの目標放流量系列を表・8に、不足水量を表・9に示し、ダム貯水量の変化を図・5に示す。以下、各ケースの結果の比較検討を行なう。

まず、初期貯水量が同じく満水であり、評価関数が異なるケース1とケース3の結果を比較する。ダム1について、8月の目標放流量がケース3ではケース1に比べ小さくなっている。このため、評価点Aにおける8月の不足水量はケース3の方が大きくなっている。またダム1貯水量の変化を見ると、ケース1のほうが水位変動が激しく、ケース3では比較的安定している。このことは、ケース3では不足貯水量を被害関数に組み込んだ評価(J_2)となっていることから、少ない流入量しか期待できない8月には、目標放流量を小さくし、貯水量を維持しようとするためであると考えられる。

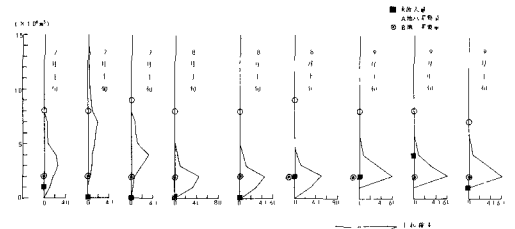
表・5 渇水時運用計算の条件

計算条件	値
操作時間単位	旬
水量離散化単位	100万 m^3
運用期間	7~9月

表・6 予報階級の標準出現率

階級	標準出現率
1 少ない	10%
2 やや少ない	20%
3 平年並	40%
4 やや多い	20%
5 多い	10%

図・4 流入量型紙および実流入量、需要量



表・7 演算ケース

ケース	評価関数	初期水位
1	J_1	満水
2	J_1	1/2水位
3	J_2	満水
4	J_2	1/2水位

表・8 目標放流量 (×100万 m^3)

ケース	ダム	7月			8月			9月		
		上	中	下	上	中	下	上	中	下
1	1	4	0	0	4	4	2	1	0	0
	2	5	1	1	2	2	2	10	2	0
2	1	1	0	0	10	2	2	1	1	0
	2	3	2	2	2	1	1	2	2	0
3	1	6	0	0	2	2	2	2	1	0
	2	7	1	1	2	2	2	2	10	2
4	1	1	0	0	2	0	0	1	4	0
	2	5	2	2	0	0	0	2	9	2

つぎに、初期水位を1/2水位としたケース2

、ケース4の結果を見ると前述の傾向がさらに表・9 不足水量 (×100万m³) | 顕著に出ていることがわかる。

すなわち、8月の目標放流量を見ると、ダム1、ダム2いずれもケース4のほうがかなり小さくなっている。このため不足水量はケース4の方が大きくなっている。貯水量の変化について見ると、初期水位が1/2であることから、ケース4ではできるだけ貯水量を回復させ、1/2水位を保とうとするのに対し、ケース2においては、貯水位は9月下旬においても1/2水位までも回復していない。

以上のことから本稿2.において作成した被害関数のように、住民の心理的な被害までも考慮した総合的な被害関数を渇水時貯水池運用の評価基準として用いる場合には、貯水池の水位維持ということが重要なファクターとなってくるものと考えられる。

5. おわりに

本稿では、利水用貯水池群のより効率的な運用方式の決定を目的とし、まず、渇水時の貯水池運用を行なうにあたって不可欠と考えられる渇水被害の計量化を新聞記事をもとにした主成分分析法により行なった。そしてこれにより得られた渇水被害の大きさを表わす総合特性値を目的変数とし、渇水を表わす自然状態量(不足流量の2乗、不足貯水量)を説明変数とする回帰式を作成することにより渇水被害関数を設定した。つぎに、渇水期の利水用貯水池群の目標放流量系列を渇水時の被害最小という評価基準のもとで決定するモデルを確率DPにより設定するとともに、モデルの解法のアルゴリズムを示した。最後に、気象台発表の降雨の長期予報をもとに“確率分布をもった型紙”を作成することにより流入量系列の予測設定を行ない、実際に大きな渇水を生じた年度での適用例を示し、また被害関数の差異による運用の差異を考察した。

この結果、設定したモデルのいくつかの特性を把握するとともに、モデルの有効性ある程度実証できたと思われる。さらに本研究の今後の発展について以下のことを考えている。

①上水、工水、および農水と、使用目的別に水量をとらえ、これら使用目的間のトレードオフをも記述するゲーム論的なアプローチによるモデルの改良。

②渇水期の型紙を予報が出されるたび、すなわち1ヶ月毎に、向こう3ヶ月間の型紙を設定し直し、その時点での貯水量を初期値として目標放流量系列を逐次修正していく適応的運用への発展。

最後に本研究に関する有益な御助言を頂いた建設省 山中敦、則近慶一の両氏ならびに計算および図表の整理において御協力頂いた日本水道コンサルタント 森邦夫氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) 山中敦・中村昭；降雨の長期予報の貯水池管理への利用，土木研究所土木技術資料19-6，1977
- 2) 中村昭；確率DPを用いた貯水池の放流目標の決定法，土木研究所土木技術資料18-8，1976
- 3) 竹内邦良；貯水量の累加損失係数を用いた貯水池群の最適操作手法，土木学会論文報告集222号，1974
- 4) 萩原・中川・辻本；確率DPによる貯水池群操作に関する一考察，土木学会第33回年講，第II部，1978
- 5) 萩原・中川・辻本；型紙DPによる渇水期貯水池群操作に関する一考察，同上，第II部，1978
- 6) 萩原・中川・森；新聞記事による渇水被害の分析，同上，第IV部，1978
- 7) 広田泰久；利水の安全度について，第24回建設省技術報告会，1970
- 8) 浜口博；渇水期における節水についての一考察，水資源に関するシンポジウム，1977

図・5 貯水量の変化

