

DDCルール・カーブ作成時の条件設定方法について
Studies on Conditions for Calculating "DDC Rule Curves"

共和技術株式会社 正員 図師 義幸
共和技術株式会社 正員 山田 均
山梨大学工学部 正員 竹内 邦良

1. はじめに

近年、首都圏における人口の集中及び生活用水の需要増に対して、水資源開発がそれに追いつかず、給水施設からの供給不足が問題となっている。又、それに対する利用者側の節水の必要性も訴え続けられている。竹内(1984)はこれにたいして、気象予測に頼らない安全で合理的な節水の時期・強度・長さの決定法として、渇水持続曲線 (Drought Duration Curve) を用いたルール・カーブによる貯水池運用法を提案した。本論文は、この手法の実河川への適用に際して、特に取水優先順位が定まっている場合、及び需要量が各年で変動する場合についての対応例を通じて、ルール・カーブ作成時における条件設定方法について検討したものである。

2. 渇水持続曲線の考え方

渇水持続曲線とは、任意のm日区間に危険率Pkで期待出来る平均流量であり、洪水の検討における「確率別降雨強度曲線」に相当する。貯水池運用に際しては過去のダム流入量データを用いて作成する。

渇水持続曲線算定の過程では、「季節早遅の考慮期間 (s)」というパラメータが用いられている。これは、例えば、梅雨入りがある年は5月20日であっても次の年は6月20日であると言うように、気象の偶然変動によって生じる季節のズレの可能な期間長である。

ダム流入量(q_l)に対する式は、次のとおりである。

$$fk(m|\tau) = k - th_{j=1, \dots, N}^{smallest} (j, \tau - s/2) \leq t_1 \leq (j, \tau + s/2) \frac{1}{m} \sum_{t=t_1}^{t_1+m-1} q_t \quad \text{----- (1)}$$

ここに、fk(m|τ)は危険率Pkでのあるτ時点からm日間の日平均流量であり、(j, τ)はj年目のτ時点を表す。又、sは季節早遅の考慮期間である。

模式的に示すと、図-1のようになる。

上記のfkから第m日目の流入量を想定する。危険率Pk (あるいは確率渇水年 Tk = 1/Pk) での流入量の想定量を q̂_k(m|τ) とすると、

$$\hat{q}_k(m|\tau) = fk(m|\tau) \cdot m - fk(m-1|\tau) \cdot (m-1) \quad \text{--- (2)}$$

これから、あるτ時点において横軸にmを、縦軸にfk(m|τ)を、Pkをパラメータにしてプロットすれば季節別(τ別)渇水持続曲線が描ける。

3. 需要持続曲線の考え方

貯水池運用のルール・カーブを作成する際に、ダム地点から取水点までに残流域があったり需要量が各年で変化する場合、渇水持続曲線と、もう一方需要持続曲線を算定しなければならない。需要持続曲線とは、渇水持続曲線と対極をなすものであり、任意のm日区間に危険率Pkで要求される平均需要量である。

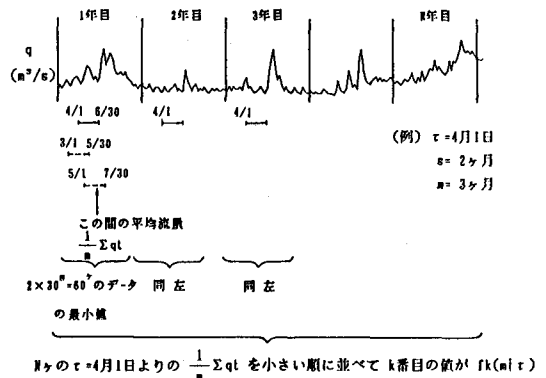


図-1 渇水持続曲線の作成法

よって、渇水持続曲線とは逆に超過確率を考える。需要量(dt)における式は次のとおりであるが、渇水持続曲線算定の際の季節早延の考慮期間(s)については導入しない。これは、需要量という人工的な要素が多分に入った変量であるので、自然の偶然発生の変数を基本にした考え方と反するところがあるからである。

$$fk'(m|\tau) = k - \text{th largest}_{j=1, \dots, N} \frac{1}{m} \sum_{t=t_i}^{t_i+m-1} dt \quad \text{--- (3)}$$

$$\hat{dk}(m|\tau) = fk'(m|\tau) \cdot m - fk'(m-1|\tau) \cdot (m-1) \quad \text{--- (4)}$$

4. 実河川への適用時に留意すべき点

(1). 従来の対応

これまでに実河川において渇水持続曲線を用いたルール・カーブを作成した例は少ないが、作成に当たっては複数ダムや複数基準点を有している既存の利水計算モデルを、各コンポーネント毎に単純に加え合わせて、総流入量、総貯水量、総放流量というトータルな量に対する単一要素モデルを設定して対応する例が多かった。これでは同条件下で計算しても、対象河川で策定されている渇水基準年や開発水量、不足容量等の計画値と微妙な差異が生じ、ルール・カーブを用いた場合との比較において正確な効果が判定できない。

よってここでは、各河川が継続使用している既存のモデルを侵す事なく、その特徴が反映されたデータを入力して渇水持続曲線および需要持続曲線を作成する方法について述べる。

(2). 実河川の実用例

ここに取りあげた河川は、一般的に多く見られるようなモデルであり、基準点を4つ、ダムを2つ有している。既存の利水計算の手順を概説すると、

- ①. ダムからの補給がないとして、残流域自流と需要の差より基準点1~3の余剰量(Y)と不足量(F)を算出

$$Y1 = (QZ1 - D1)^+, \quad F1 = (D1 - QZ1)^+$$

$$Y2 = (Y1 + QZ2 - D2)^+, \quad F2 = (D2 - (Y1 + QZ2))^+$$

$$Y3 = (QZ3 - D3)^+, \quad F3 = (D3 - QZ3)^+$$

ここに、 $()^+$ は正の場合のみ $()$ 内の値、それ以外は0であることを示す。

- ②. ダムBの依存量(IB)及び全放流量(HB)を算出

$$IB = F3, \quad HB = \min(IB, VB(t-1)/DT)$$

ここに、 $VB(t-1)$ はダムBの前日の貯留量

DT は計算時間間隔(1日)

- ③. 基準点4の余剰と不足の算出

$$Y4 = (Y2 + Y3 - D4)^+, \quad F4 = (D4 - (Y2 + Y3))^+$$

- ④. ダムAの依存量(IA)及び全放流量(HA)を算出

$$IA = (F1 + F2 + F4)^+, \quad HA = \min(IA, VA(t-1)/DT)$$

ここに、 $VA(t-1)$ はダムAの前日の貯留量

- ⑤. ダムの貯留量計算

$$VA(t) = \min(VA(t-1) + QA - HA, V_{Amax})$$

$$VB(t) = \min(VB(t-1) + QB - HB, V_{Bmax})$$

ここに、 $V(t)$ は当日の貯留量、 V_{max} は制限容量

となる。この河川でのモデルは、簡略化すれば、ある基準点でその上流地点からの残流域流量に対して過不足を見て、不足分をダムの依存量とする方式である。これを仮に残流域不足分補給型と名付ける。

従来の渇水持続曲線作成に当たってのモデル化では、例えば基準点4のみをその上流域トータルで見て、ダム流域は($A+B$)として扱った例が多かった。

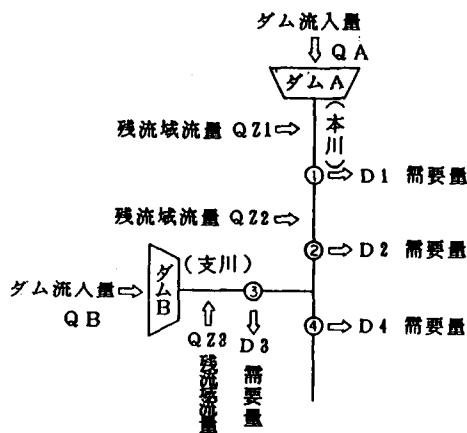


図-2 実河川のモデル図

(3) 渇水持続曲線・需要持続曲線作成のための流入量、需要量のとり方

このような実河川において、渇水持続曲線および需要持続曲線への入力法としては前式(1),(3)中の q_t, d_t に、実河川モデル上の値を次のような対応で入力する。

① 渇水持続曲線(ダム流入量)

$$q_t = QA \quad (\text{ダム A})$$

$$q_t = QB \quad (\text{ダム B})$$

② 需要持続曲線(必要放流量)

$$d_t = 1A \quad (\text{ダム A})$$

$$d_t = 1B \quad (\text{ダム B})$$

非常に単純な対応であるが、渇水及び需要持続曲線の理論から言えばこれでよい。

(4) 自然流量不足分補給型の場合

ところで、もし実河川の水利計算の考え方が残流域流量不足分型ではなく、各基準点での過不足計算においてダム流入量も含めたその地点上流の自然流量を用いている場合はどうであろうか。これを自然流量不足分補給型と名付ける。この場合は、ダム貯留量の計算の際に前述の

$$DQ(\text{調整量}) = Q_{in} - Q_{out}$$

の考え方ではなく、基準点過不足量が即調整量となり、貯留量計算では $V(t) = V(t-1) + Y + F$ としている。この時 Y をダム流入量(貯留調整量)、 F をダム放流量(放流調整量)として扱うと自然流量不足分型と残流域流量不足分型とは図-3のような違いとなる。(需要量を単純化のため一定とする)

後者のダム流域も含んだ自然流量不足分型で行うと特に0の値の発生頻度が多くなり、渇水持続曲線的前提である自然の水文量としての扱いとは異なってしまう。よって、もし当該河川のモデルが自然流量での過不足計算から成っている場合は、一旦元に戻って前項(2)の①~⑤の手順に従った、残流域流量に対する過不足計算に改める必要がある。このような変換を行っても当該河川に対しこれまでに行われてきた水利計算を結果に差異は生じないはずである。ただし、ダム流入量と下流基準点の自然流量が逆転している場合(逆算した残流域流量がマイナス)などは違いが生じてくるし、当然のことながら自然流量算出の際の基礎資料の見直しが必要である。

(5) 季節早遅の考慮期間(s)の決定法とその効果

まず、このsの現象の発生例として図-4に「梅雨入・出の時期のズレ」の調査例を示した。これを見ると、s. 20~59年の40年間で平均6月10日の梅雨入りが、一番早い例で1ヶ月余り前、遅い例で20日弱のち、平均7月17日の梅雨明けが、早い例で25日前、遅い例で15日のちとなっている。

前述(1)式における「ある τ 時点」を平均梅雨入りの6月10日とすると、年によって同様な気象状態になるのはこのように、前後1ヶ月程度のズレが生じている。よって「ある τ 時点」を代表する値としては、季節性を

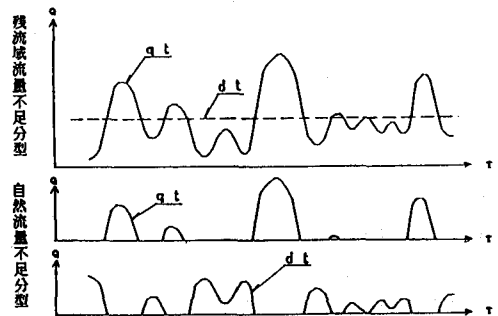


図-3 不足分補給型の違い

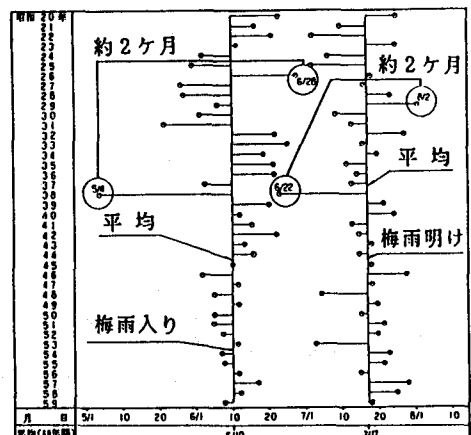


図-4 梅雨入・出のズレ

充分安全な形で取り入れる意味でダム流入量で言えば $\tau - s/2 \sim \tau + s/2$ の間の最小値を取ることが必要となる。

この河川の例では、近くの気象台の40年間の「梅雨入・出の時期」、「植物の開花時期」、「霜及び雪の初日・終日」等の資料から $s = 2$ ヶ月とした。

ちなみに、もし s を考慮しない場合の渇水持続曲線を $s = 2$ ヶ月とした場合と比べてみると図-6 ($T_k = 30$ 年確率の場合) のようになる。これを見ると、当然の事ながら s を考慮した方が想定される日平均流量が小さめに出自している。

(6) . 需要量の変動について

従来の例では需要量は主に都市用水を対象としていたため年間一定として扱った例が多かった。本検討では、実河川での既存利水計算モデルからの出発という観点で行っているため、(3)項で述べたように利水計算上のダム依存量を需要量の扱いにしている。ダム流域と基準点の間に残流域が存在するし、加えて基準点における需要量自体も農水、上水、工水、すべて含め、特に農水については有効雨量も考慮している事から各年のダム依存量のパターンが違う。(図-5に各年のダム依存量を重ね、各年平均の需要量も併記したものを示した。)

よって、この需要量について(3)(4)式から需要持続曲線を作成し、ダム必要容量、ルール・カーブ作成に用いる。求めた需要持続曲線を図-6に示した。この図で流入量と需要量に挟まれた最大内接四辺形の面積がダム必要容量になる。

(7) . 渇水及び需要持続曲線の評価の一例

渇水・需要持続曲線は、河川の流況などの特性を確率をパラメータにして評価することができる。たとえば、図-6に示す流入量(渇水持続曲線)では、その勾配がダムBは緩く比較的安定した流況を呈しているが、逆にダムAはその変動が著しい。このことは、ダムBの需要持続曲線が本来の需要量のパターンを反映しダムAはそのパターンが平滑化することを意味し、その結果を図-5、6にみることができる。

A・B両ダムの特徴を、図-5の需要量とダム依存量の図と合わせて見ると、 $T_k = 30$ 年確率の限りにおいて、まずダムBの方がダムAに比べて、需要量に対する残流域流量に余裕があり、規模の違いを考慮しても必要容量が少なくすんでいる。図-6の渇水及び需要持続曲線では、ダムAが冬期から需要>流入量となっており流況の厳しさを物語っている。

各確率毎の持続曲線については別に発表の機会を得たいと思っているが、現在の対象河川の実力(特性)や任意の安全度での河川の姿などを客観的な確率上で評価・選択するなどの検討を行い、この渇水・需要持続曲線の有益性を示す予定である。

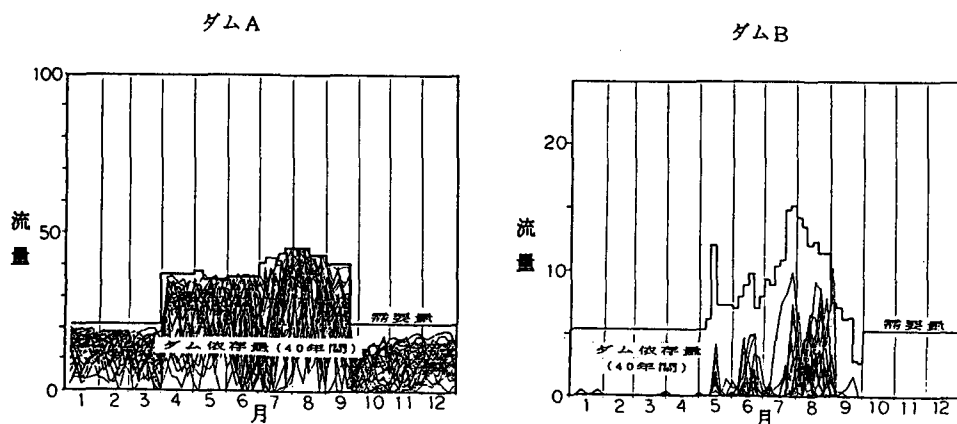
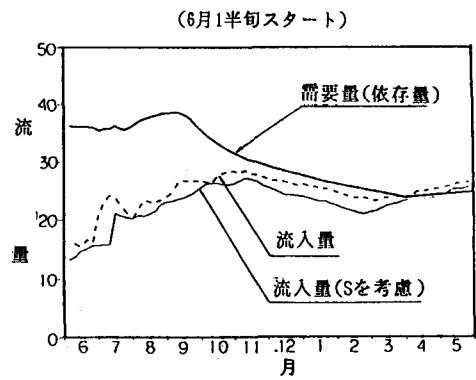
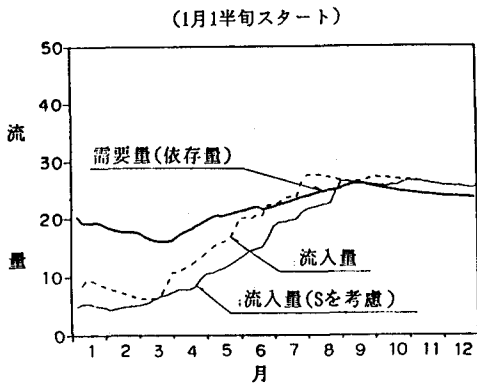


図-5 需要量とダム依存量

ダム A



ダム B

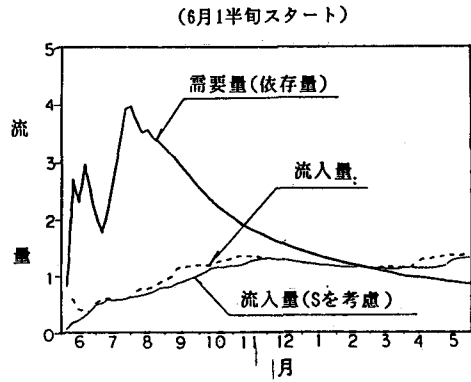
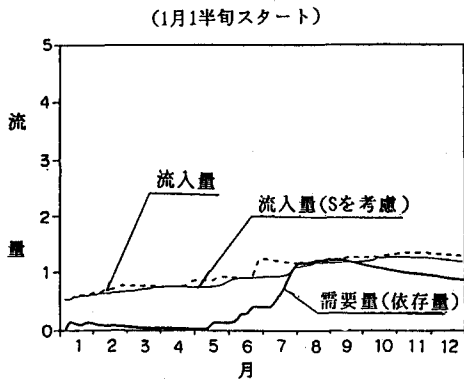


図-6 渇水持続曲線と需要持続曲線 ($P_k=1/30$)

5. おわりに

今回は実河川における既存の利水計算モデルからどう渇水持続曲線作成に結び付けるかと、 s の効果を中心に検討した。その結論をまとめると、次のようである。

①. 残流域流量に対する過不足計算から成り立っている既存の利水計算モデルにおいては、ダム流入量から渇水持続曲線を作成し、需要量としてはダム依存量をそれに充てた。

②. ①によれば当然需要量は各年変動するケースとなり、その実例を示した。従って需要量については従来より一歩進めて、超過確率の考え方から需要持続曲線の作成方法を提案し、その結果を示した。

③. 季節早遅の考慮期間(s)については、「梅雨の時期」、「植物の開花時期」などを40年間調査することによりその考え方の実証を示した。また、 s を考慮しない場合より安全側の効果が発揮されることが示された。

④. 渇水・需要持続曲線は、各河川の流況の特性を確率をパラメータにして見ることもでき有益である。

次に、これらの検討の中で現れた問題点や今後の検討方向を挙げると、

⑤. 今回の例では、 Q_{in} と Q_{out} を別々に確率処理しているが、これから必要容量を求めると両者を同時生起させた形となる。よって、容量が過大なものとして算出され、一般で言う確率の程度と渇水持続曲線の確率年に隔たりが生じる。従来の例では一方の需要量が一定で確率要素が入り込まなかったのでこのズレは生じていない。一般の利水計画で言う確率の程度と近似された結果が求められる方向で検討したい。

⑥. 節水率をパラメータにしたDDCルール・カーブを作成し、実績渇水における現実の節水操作とルール・カーブによるものとの差やルール・カーブによった場合の利水安全度に於ける評価などについて多くの実河川で適用を試みたい。

⑦. 渇水持続曲線は貯水池操作に利用するのみならず、低水管理、維持流量の検討など多くの用途があると思われるので、治水面上における降雨強度曲線の利用をも参考にしながら具体的な活用例を探っていきたい

最後に、本検討に当たって有意義な助言や資料を提供して頂いた多くの方々の御協力に対し、深く感謝の意を表します。

*)参考文献

1. 吉川・竹内、渇水持続曲線の性質とその応用、土木学会論文報告集、No234、1975
2. 竹内・吉川、渇水持続曲線法実用化のための検討と応用例、第23回水理講演会論文集、1979
3. 竹内・吉川、渇水持続曲線法とマスカーブ法、土木学会論文集、No303、1980
4. 竹内・富田、給水用貯水池のためのDDCルール・カーブ、第28回水理講演会論文集、1984
5. 竹内、DDCルール・カーブのChance Constraint Model表示、第40回土木学会年次学術講演概要集、1985
6. Takeuchi, K.: Chance-Constrained Model for Real-Time Reservoir Operation Using Drought Duration Curve, Water Resour. Res., 22(2), 1986