

渇水被害の分析と水管理への適用に関する研究

Evaluation of drought impact and its application to low-flow control
by reservoir

建設省土木研究所 正会員 ○今村瑞穂
海外建設協会 " 中沢式仁
建設省土木研究所 " 中村 昭

1. まえがき

近年頻発する渇水現象は、異常気象による少雨現象のほか、水の利用構造、水の供給構造とも密接な関係がある。本研究は、水利用量の増大にともない相対的に向上する河川水の利用率と水の供給構造との関係、および、水利用構造と渇水被害の関係を分析することにより渇水対策の必要性を明らかにした。また、渇水時におけるアンケート調査結果を用いて渇水時の被害額を計量化し、これらの渇水時における被害額を目的函数とした貯水池運用の最適化を試みた。なお、最適化にあたっては、現実的な貯水池の操作状況、水利調整の実態をふまえつつ、円滑な現地適用が可能となるよう配慮した。

2. 渇水と降雨特性

渇水は単なる異常少雨による流況の悪化という状況だけで説明される現象ではなく、河川の流況と水利用水準、水利用の構造等の要素が関連して発生する現象である。しかしながら、異常少雨が渇水現象の主要な要因であることは言うまでもない。このような観点から渇水と降雨特性の関係について分析してみることにする。

渇水に類似した用語として気象関係では「干ばつ」という表現があり「干害の要因となるような大規模な水不足をきたす異常天候をいう」と定義されている。干ばつの発生する季節は夏に多い。これは、梅雨、台風によってもたらされる豊かな流況をかんがい用水に利用するという歴史的な水利用形態に対して、空梅雨、空台風等の予期しない少雨現象に起因するものである。(図-1)

一方、このような渇水の発生パターンに対して、昭和53年の夏期(5月~9月)の総降雨量の平年比分布を

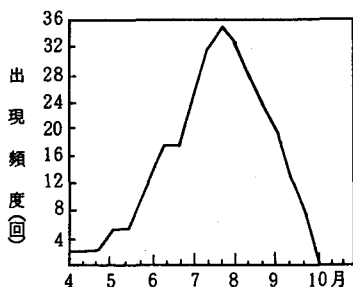
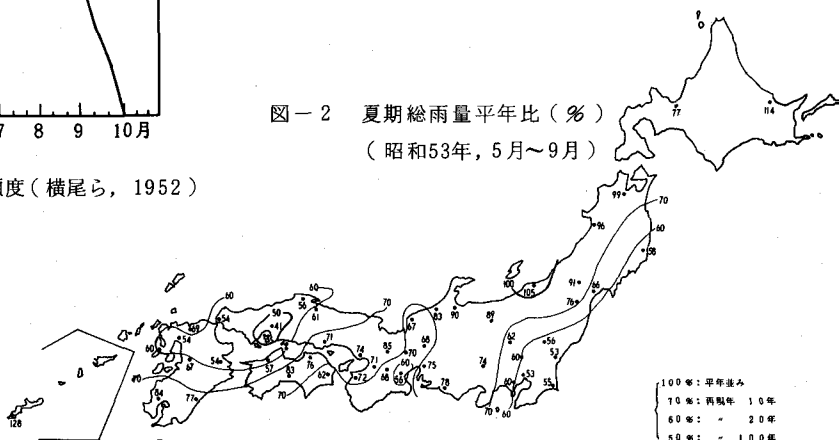


図-1 干ばつの出現頻度(横尾ら, 1952)

図-2 夏期総降雨量平年比(%)
(昭和53年, 5月~9月)



示したものが図-2である。この図によれば、西日本の北部、東日本の太平洋側が、平年比70%以下となっており、傾向的には渇水の発生地域を示しているといえる。一方、このような降雨量に対して、当該年の貯水池必要容量との関係を分析したものが図-3である。

この図によれば、少雨年に対して、貯水池必要容量は増大傾向にあることは示しているが、降雨量と貯水池必要容量を定量的に関係づけることは不可能であると言えよう。一方、これに対して、半旬雨量と半旬平均流量の相関関係から、半旬降雨量より求めた半旬平均流量時系列を用いて算出した貯水池必要容量と実測流量資料を用いて算出した貯水池必要容量との相関度を示したものが図-4である。図-3と図-4の各々の相関度は、当然のことながら、図-4が高くなっている。

つまり、渇水の程度を示す指標としては、必要とする用水量に対してどの程度供給できるかといった立場から設定されるべきものであり、このような観点から、降雨の総量とともに、その‘時系列的な変化’が重要となってくる。

従来の水利用形態は、当該河川の流況に順応したかたちで形成されてきたといえる。しかしながら近年における生活様式、産業構造の急激な変化は、河川の流況を半ば無視した新たな水利用形態を創り出し、このような水利用と河川の流況を整合させるための水の制御行為を水資源の開発といえる。

つまり、渇水はその時点における水利用形態と少雨現象との関係において論議されるべきものであり、したがって、水の利用形態が変化してくれば、当然渇水の構造も変化してくるといった立場からの検討が必要となってくるものと言わなければならない。

すなわち、農業用水を主体とした従来の水利用形態の中にあつては水利用量が最も多い夏期降雨量が渇水の主要な要因として挙げられたが、今後都市用水の利用量が増大するにともない冬期雨量も渇水の重要な要因として考慮する必要が生じてくるものと想定される。

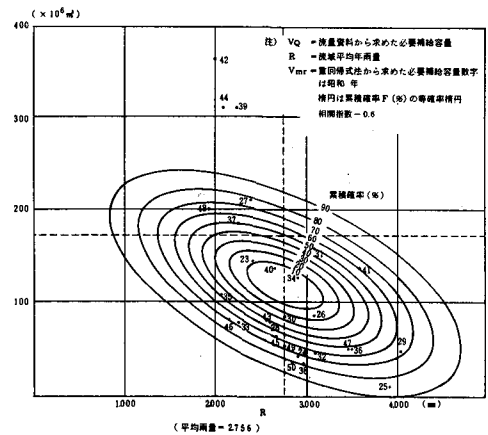


図-3 貯水池必要容量と年雨量の相関（Aダム）

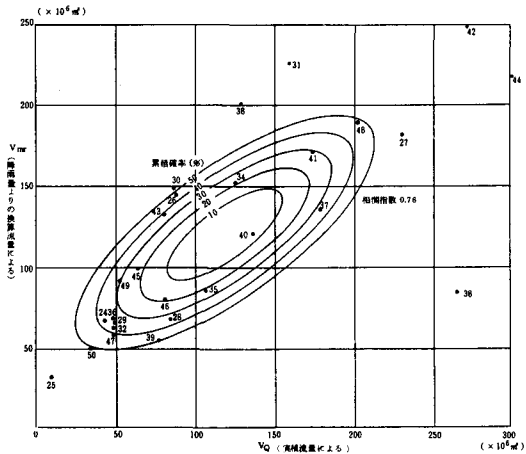


図-4 半旬雨量をもとにして求めた必要容量と貯水池必要容量の相関（Aダム）

3. 渇水と水の供給特性

前述のとおり、渇水は水利用の形態と河川の流況との関係において発生する。このような観点から現況における水資源の開発手法としては、開発しようとする河川における取水量とその時系列を河川の取水地点或は貯水池を建設しようとする地点の流量と対比させ、河川の流量が取水量に等しくなるように豊水を貯溜し渇水時に補給するといった方法で河川の流量を制御するために必要な貯水池の必要容量を算出する手法を採用している。このようにして決定された貯水池の計画容量が統計的に見てどのような位置づけにあるかといった立場から当該河川の水供給の安全度が評価される。

このような指標にもとづく水供給の安全度としては現状においては、最近10ヶ年間の流量資料に対して目標とする河川維持用水と目標とする取水量を満足するために必要な貯水池容量の最大値を原則的に採用することとしている。このように、最近10ヶ年間の最渇水時にも補給可能な貯水池容量を採用するといった基準は、古くから我国における水供給の安全度水準として存在したものではない。つまり、河川の水利用率が進展しない昭和30年代の前半においては、10ヶ年のうち渇水の2～3番目を採用する方法が行政慣行上採用されていた。これが原則的に10ヶ年のうち渇水第1番目を採用するようになったのは、河川水の利用率が急激に上昇した昭和30年代後半から40年代にかけての頃である。

すなわち、水利用の向上にともない水の安定的供給が円滑な社会経済活動の継続を支える主要な要因となるとともに、一方、河川管理上は、低い安全度の水供給は円滑な水利調整に支障を生じることとなり、必然的により高い安全度の水供給が要請されることとなったものと判断される。

このような観点からB水系における検討結果を紹介する。B水系は利水基準地点における流域面積で約320km²、ダム建設予定地点の流域面積約300km²である。この流域において1924年から1968年までの45年間の流量資料により、基準地点における確保流量水準を仮定して貯水池補給必要量を計算した。

このようにして計算された貯水池補給必要量の第5番目（超過確率で約1/10）の値を当該確保流量水準に対応する計画貯水池容量としてプロットしたものが図-5の実線である。

一方、視点を変えて、或る確保流量水準に対して、設定された貯水池の能力を超過するような渇水に対して、その時の節水率（この場合は、確保目標に対して不足した率と不足日数の積の総和、%・日で表示した。）を算出し、その節水の度合（%・日）が一定となるように貯水池の必要容量を算出して、当該確保流量水準との関係を示したものが図-5の破線である。

この図から、同じ安全度水準（必要貯水池容量の超過確率）で貯水池の規模を設定しても、河川水の利用率が增加するに従い同一渇水時における節水率（不足%・日）は増加することとなる。

また、図-6は、C水系において、超過確率を指標として貯水池容量を設定し、これらの貯水池を運用した場合渇水による被害額（渇水被害の計量化については後述する。）の総和を当該検討期間の計画使用水量で除した値（使用水量1m³に内在する渇水被害額）の関係を示したものであり、この図からも、河川の利用率が向上すれば、単位使用水量当りの内在する渇水被害額が向上することを示している。

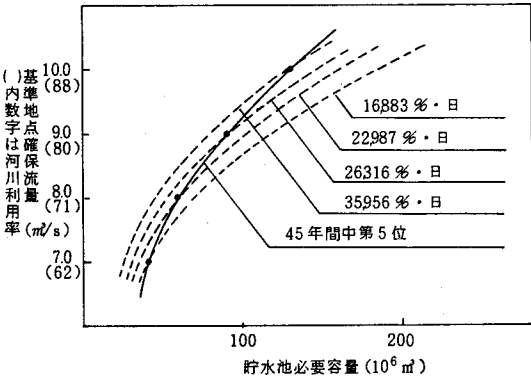


図-5 非超過確率と%・日を評価指標とした場合の必要容量と確保流量の関係

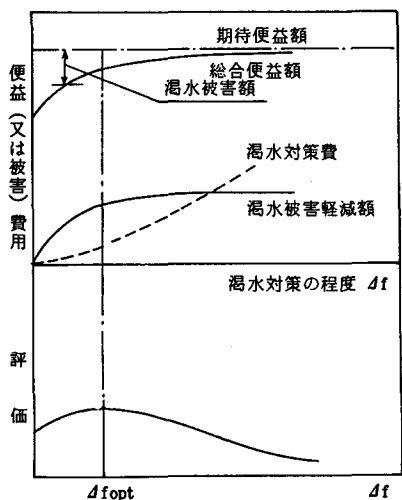


図-7 開発量、水資源開発安全度を固定した場合の渇水対策費と渇水被害軽減額の関係を示す概念図

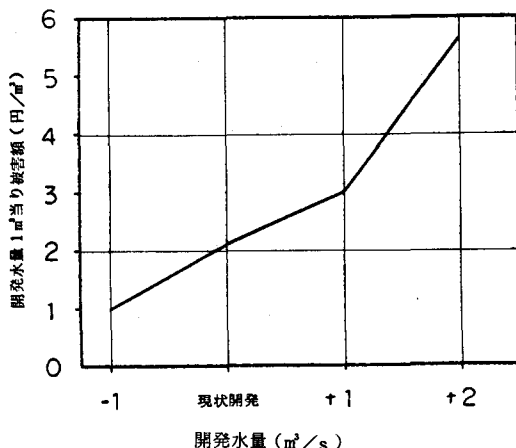
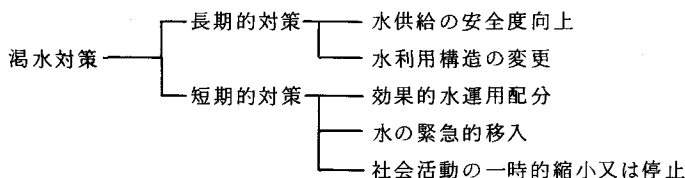


図-6 開発水量と開発水量 $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 当り渇水被害額の関係

以上のような分析をふまえて、水資源開発の評価としては、従来、単位開発水量当りのコストに対して、供給安全度が重要な要因の一つであるということが出来る。このような観点から水資源開発の評価としては図-7に示すような概念で説明することができる。

さらに、このような分析過程と今後我国における水需要の増加傾向を対比した場合河川水利用率の増大とともに渇水対策が水需給の解消とともに水管理上の重要な課題の一つとして検討されなければならないものと予想される。

渇水対策の代替案としては、次のような対応方策の中から具体的手段が選択されるものと思われる。



このような対応手段は、必ずしも単一とは限らず投資効率も考慮して複数手段の組合せとして具体化されるべきものであろう。また、これらの対応手段の中では長い期間と莫大な費用を要するものもあるが、ソフト的対応によっても可能なものもあり、さらにソフト的対応を踏えた長期的対応を目指すケースも考えられる。したがってソフト的対応方針を明らかにすることが渇水対策の第一段階ということもできる。殆どの河川の流量が貯水池によって制御されている今日においては、これらソフト的対応の中で最も影響度の高い手段の一つとして合理的な渇水対策としての貯水池運用方式の確立が挙げられる。

4. 渇水の構造と渇水被害の計量化

渇水被害の増加要因は前述の供給側の特性の変化とともに水利用の構造にも存在する。

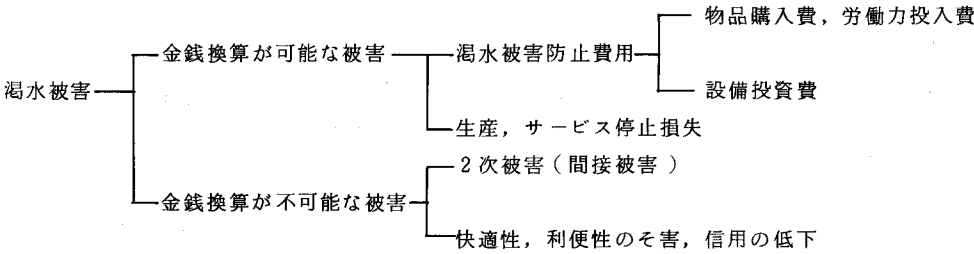
家庭用水についてみると従来は新水を必要とする用途のみに用水が利用され消費の形態もため洗い中心であった。これが現在では要求水質水準の低い用途が加わったにもかかわらず新水を使用しているとともに消費の形態もフローとなっている。このような水の使用形態が新しい生活様式と密接に結びついており、予期された水の供給が達成できない場合の不快感を一層増大させている。また、家族構成の変化、生活様式の変化による渇水時における対応行動の硬直化が認められる。このような渇水耐性の低下は、家庭用水のみならず、都市活動用水にも見られる。すなわち、冷房の完備、水洗便所の普及、業務用冷凍冷蔵庫の普及、外食

機会の増大、電子計算機の普及、により都市活動と水供給の結びつきはますます密接になってきており、加えてこれらの用途は大量の新水を利用するため利用の合理化が進展しており、渇水時における節水の余地も少なく渇水の都市活動に及ぼす影響は急速に増加しつつある。

工業用水は、公共用水域への排出規制ともあいまって大幅な生産増をわずかな新水増で達成してきた。つまり、大幅な回収率向上により新水 1 ㎡当りの工業出荷額に対する付加価値は加速度的に増大しており、渇水時の被害を増大させる要因の一つとなっている。

農業用水については、基幹労働力の流出、休日農業化等の生産様式の変化による渇水時対応行動の低下が認められる。

このような渇水時における社会経済活動の対応状況を踏えつつ渇水時における被害の計量化を試みた。渇水被害の発生メカニズムは利用目的別に異なるが以下のように整理することができる。



渇水被害の計量化は、上記被害項目の中で金銭換算が可能なものについて渇水被害地区の実態調査により、利用目的別、或は節水の程度に応じた節水 1 ㎡当りの付加価値（渇水被害原単位）を算出することとした。

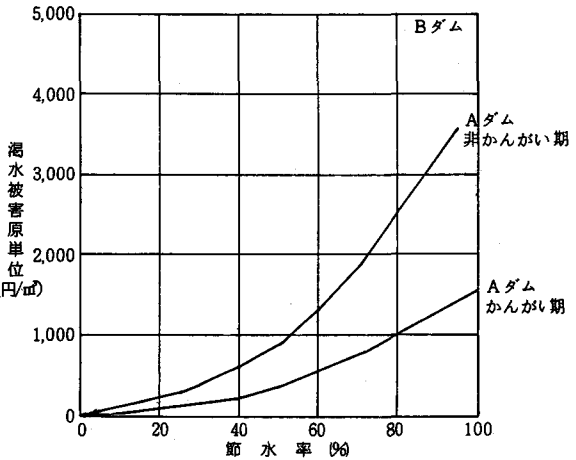
このようにして求めた渇水被害原単位を各ダムでの運用評価指標として採用することとなるが、この場合においては、各目的別用水を同じ率で節水するという前提で、各ダムにおける目的別用水量の比率で用途別渇水被害原単位を加重平均することとした。なお、このような渇水被害単位は、前述のとおり渇水被害の一部を表現しているに過ぎないため、貯水池運用方式相互の比較をおこなうための指標として適用するものとした。

5. 貯水池の最適運用

渇水時の貯水池運用の基本的方向としては、各水系ですでに実施されている実態から見ると、貯水池の現在保有量と密接に関係している。すなわち、貯水池現在保有量が或る限界を越えると、第 1 次の取水制限に移行し、さらに貯水池の現在保有量が減少すれば取水制限率を強化し、貯水池の保有量が増加すれば逆に取水制限率は緩和され、或限度以上に回復すれば取水制限は解除される。

図－8 は、A ダムにおけるかんがい期、及び非かんがい期における全用水の平均渇水被害原単位と節水率の関係を示したものである。この図から明らかに節水率が增大すれば、1 ㎡当りの渇水被害額が増大することを示している。このことは、低い節水率の機会を多くすることにより貯水池の容量を温存し、渇水時被害の増大する高い節水率の期間をできるだけ少なくすることが渇水の被害を減少するための方向であることを示している。

以上のような観点に加え、現実的に貯水池を管理する段階で得られる諸情報を考慮しつつ節水運用の方式としては、次に示す 3 通りの方法によりモデル水系における貯水池運用を試行し、図－8



図－8 渇水被害原単位（全用水平均）

に示す渇水被害原単位を用いて各方式の渇水被害の軽減効果を比較することにより、各運用方式の評価をおこなった。

- i) 貯水池残量に応じて節水の度合いを強化して行く方式…段階的節水方式（3段階とする）
- ii) 気象庁より発表される長期予報（3ヶ月予報）を利用して当該流域の降雨予測及び長期の流況予測をおこない貯水池の効率化を目指す方式…………… 予測方式
- iii) 将来の流況（月単位）を確率統計的に期待される値と考え、渇水被害の将来期待値を最少とするよう節水率を最適化する。このときの節水率は月別、貯水量別に最適化される。（表-1）

…………… 確率 D.P. 方式

これらの貯水池運用方式により、モデルケースにおいて運用した結果その渇水被害の10年間平均値を示したものが図-9である。

モデルケースにおいて各運用方式を評価してみると次のようなことが言える。

確率 D.P. 方式は、大きな渇水に対して被害軽減効果が大きく、3方式の中では、最も効果的であると言えよう。

これに次いで被害軽減効果の高いものが段階節水方式であるが、これには、年間を通じて一定の節水線を設けているため流況の季節変動を反映し得ない点で確率 D.P. 方式には及ばない。

予測方式は、予測が外れた場合の被害が増大し、必ずしも安定した効果を期待することができない。

表-1 確率 D.P. 方式最適確保流量
(Aダム, 単位=10⁷m³/月)

17	9	8	9	9	11	16	20	20	15	9	8	9
16	9	8	9	9	11	16	18	19	14	9	8	9
15	9	8	9	9	11	16	18	19	14	9	8	9
14	9	8	9	9	11	16	18	19	14	9	8	9
13	9	8	9	9	11	16	18	19	14	9	8	9
12	9	8	9	9	11	15	18	19	14	9	8	9
11	9	8	9	9	11	15	18	19	14	9	8	9
10	9	8	9	9	11	15	18	18	14	9	8	9
9	9	8	9	9	11	15	18	18	14	9	8	9
8	9	8	9	9	11	15	18	19	14	9	8	9
7	9	8	9	9	11	15	18	18	14	9	8	8
6	9	8	9	9	11	15	18	18	14	9	7	8
5	9	8	9	9	11	15	18	18	14	8	7	8
4	9	8	9	9	11	15	18	18	14	8	7	8
3	8	8	9	9	11	15	18	18	14	8	7	8
2	8	8	9	9	11	15	18	18	13	8	7	7
1	8	8	9	9	11	15	18	18	13	8	6	7
0	8	8	9	9	11	15	18	18	13	8	6	7
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12												
(月)												
確保流量(計画値, ×10 ⁷ m ³ /月)												
9 8 9 9 11 16 19 20 15 9 8 9												

(貯水開始貯水量)

6. あとがき

以上、渇水時における水の供給構造、水の利用構造、及び、水管理の実態を踏えつつ水管理手法についての分析結果を紹介した。今後は、渇水被害原単位の精度向上、計量化不可能な要素の水管理への適用方法等の検討が課題であると判断される。

又、本稿では、地下水、下水処理水等の環元問題、水質問題、河川維持用水の取り扱い等については触れなかったが、これらの諸問題の分析も踏えつつ、総合的立場から適正な水管理方式のあり方を追求して行く必要がある。

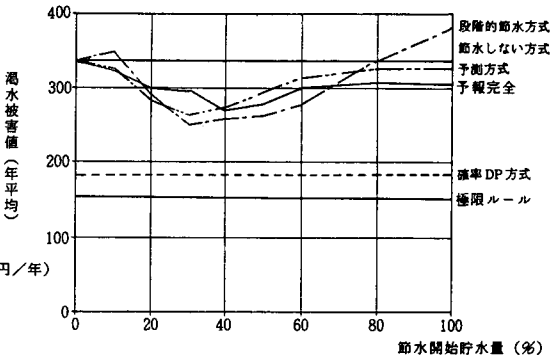


図-9 発生渇水被害額 (Aダム)

参考文献

1) 中沢式仁, 渇水時の水管理に関する計画学的研究, 昭和54年 6月
2) 今村, 関, 中村, 渇水の構造分析と流水管理への適用, 土木技術資料 21-9(1979)