利水安全度指標について

山内 彪*

A Study on Drought Severity Indices
Takeshi Yamauchi

Countermeasures against extraordinary droughts include manipulation of reservoirs and construction of reservoirs for water supply in extraordinary droughts. For effective implementation of these measures, it is important to establish methodology evaluating the effects of such tactics appropriately.

In this paper, the drought severity indices are examined before studying evaluation of these measures.

Key Words : countermeasures against extraordinary droughts, water resources development, drought severity indices

渇水対策を円滑かつ効果的に行うためには、貯水池の節水運用や渇水対策ダム建設等の各種施策を適正に評価する手法の確立が重要である。本研究では、この評価の前段として、利水安全度指標についての考察を行った。

キーワード：渇水対策、水資源開発、利水安全度

I. はじめに

水は経済社会活動を展開していく上で必要不可欠な資源のひとつであることはいうまでもないが、近年における産業・経済の発展と生活水準の向上により、社会全体として水に対する依存度は一層大きなものとなっている。その結果、一旦渇水が発生した時の被害は、その範囲、深刻さにおいて近年ますます大きくなっており、現代社会の渇水に対する脆弱さを示すに至っている。

このような問題に対処し、経済社会活動を支えてゆくには、安定的な水供給の達成が望まれるところであり、第四次全国総合開発計画では、渇水に対する水供給の安全度の向上として、「今後の経済社会の高度化等に対応し、渇水に対する適正な安全性を確保するため、渇水対策容量を持ったダムの建設、水源の複数化、節水ルールの確立等各種方策の有効性等について総合的に検討し、その具体化を図る。」こととされた。

また、昭和63年3月には、河川審議会より建設大臣に対し、渇水対策の推進方策についての提言と題して、経済社会の発展に対応した適切な渇水安全度を確保し、地域の実情に応じた総合的な渇水対策を行うことを基本方針として、渇水対策に係わる各種施策を総合的かつ計画

的に実施するため、高度な水利用が図られ渇水対策が急がれている地域について、渇水対策の全体計画を策定する必要があるとの提言がなされた。

本研究では、以上のような背景を踏まえ、渇水対策を円滑かつ効果的に行うための、これら各種方策を適正に評価する手法の確立を目標に、まずその前段として、利水安全度指標についての考察を行った(図-1参照)。

なお、本研究で使用している「渇水」とは、原則として“降水量又は河川流量の減少によって、河川からの水利権に基づく取水に不足をきたすこと。”を指すものとした。

II. 水資源開発と利水安全度

流域の水利用量が増大し、水への依存度が高まるにつれて、流域の経済社会活動は、次第に渇水に対して脆弱な体質へと変化しつつある。また、近年、生活水準の向上等に伴い、ゆとりと安心感のある質の高い地域環境の整備が求められており、水資源についても量の確保に加えて、水の持つ多面的な価値が再認識されてきている。このような問題に対処し、流域の経済社会活動を支えていくためには、水利用に応じた安定的な水供給の達成が望まれるが、その達成度を表す利水安全度指標の選定並びにその適正水準が重要な問題となる。

図－1 本研究の検討フロー

現在、水資源開発計画の安全度指標として、洪水基準年、あるいは超過確率の表示が使用されている。しかしこの方法だけでは、必ずしも水供給の安全度を表し得ない。

いま、図－2に示すような流況を想定してみる。確率的な安全度は同一であるが、河川水への依存度が異なる場合を示す。異常洪水年において貯水池が空になったとき、両者の流況を比較すると河川水への依存度が高いほど流況が急速に悪化し、不足総量、不足率は増大することとなる。

よって、計画基準年までの水供給の安全度を評価する指標としては、超過確率的表示など洪水の頻度を表す指標で十分であるが、計画を上回るような異常な洪水時においては、頻度に代わるその他の指標が必要となる。

III. 利水安全度指標の分類

洪水現象は、「頻度」、「長さ」、「厳しさ」などを表す言葉を組み合わせて表現評価されることが多く、したがって、利水安全度を表す指標にもいくつかのものが存在する。すなわち、洪水現象の発端となる少雨現象の程度を示すものから、終局的には経済社会活動への影響度合いといった指標まで考えられる。一般に用いられる利水安全度指標は、その評価の視点により、表－1に示すような分類となる。すなわち、洪水の発生頻度を表すものと、一旦発生した後の程度あるいは流域が蒙る被害の程度を表すものの2種類に大別され、さらに後者は、表現する属性によって分類される。

各グループの特性については一般に以下のように整理

図一 2 計画基準年と異常渇水年の水供給安全度の比較

されている（大内等，1982）。

第1群「頻度」：従来からの指標であるが，経済社会への影響を表現することは不可能である。

第2群「長さ」：渇水の長さと流域の蒙る影響・被害とは直接リンクしない。

第3群「大きさ」：渇水の大きさだけでは渇水の厳しさ（取水制限率等）を表現することは不可能である。

第4群「厳しさ」：流域の蒙る影響を表現するには適当である。

第5群「経済的被害」：渇水の経済社会への影響を最も直接的に表現できる。

これらの分類のうち，第2～5群に属する指標については，合計値あるいは，年間平均値で表示するばかりでなく確率評価値で表現することも可能である。また，第5群に属する指標は一種の経済的指標であり，単に流域の水需給バランスを定量的に表示するだけでなく，用途別の使用形態等の水利用構造特性もある程度反映させることのできる指標である。

IV. 利水安全度指標の分析

中国地方の0流域を対象に利水シミュレーションを実施し，前節において分類された利水安全度指標の分析を試みた。

表一 1 利水安全度指標の分類

分 類	表現内容	利水安全度指標	定 義	
渇水の発生頻度を表す指標	第1群	「頻 度」	(1)渇水の発生頻度	貯水池必要容量の超過確率で表現する。すなわち貯水池必要容量Vの計算対象期間(T年間)中の大きい方からの順位をnとすれば、 渇水の発生頻度＝n/T
		(2)貯水池容量不足発生年数	計算対象期間中、貯水池貯留量が0となる事態が生じた年数。	
		(3)取水制限実施年数	計算対象期間中、取水制限を実施した年数。	
渇水の程度を表す指標	第2群	「長 さ」	(4)貯水池容量不足発生日数	計算対象期間中、貯水池貯留量が0となる事態が生じた日数。
		(5)取水制限実施日数	計算対象期間中、取水制限を実施した日数。	
	第3群	「大きさ」	(6)総不足水量	総不足水量＝Σ(Q _i －W _i)×86,400、但し、Q _i －W _i ≥0 Q _i ：i日における計画確保流量(計画取水量)(m ³ /s) W _i ：i日における実確保流量(実取水量)(m ³ /s)
		(7)貯水池不足容量	任意の流況に対して、計画確保流量を補給するのに必要な貯水池容量Vと実績の貯水池容量V'との差(但し、V'－V≥0の場合のみ)。	
		(8)不足%・日	取水制限率の累加値。 不足%・日＝ΣS _i ＝Σ $\frac{Q_i - W_i}{Q_i} \times 100$ 、但し、Q _i －W _i ≥0 S _i ：i日における取水制限率(%)	
	第4群	「厳しさ」	(9)最大取水制限率	計算対象期間中の取水制限率S _i の最大値。
		(10)渇水被害関数	渇水被害関数として、次のような関数を定義する。 渇水被害関数＝ΣS _i ⁿ ・Q _i ^m 例えば、「ΣS _i ² 」「ΣS _i ³ 」「ΣS _i ² ・Q _i 」	
	第5群	「経済的被害」	(11)渇水被害額	渇水被害額＝最大給水制限率で決まる被害額 ＋給水制限率別日数に比例する被害額
		(12)単位水量当たりの渇水被害額	単位水量当たりの渇水被害額＝ 年平均渇水被害額/年間計画取水量	

表－2 検討対象利水安全度指標とその定義

分類	利水安全度指標	定義
第1群 「頻度」	渇水の発生頻度	貯水池必要容量の超過確率で表現する。すなわち貯水池必要容量Vの計算対象期間（T年間）中の大きい方からの順位をnとすれば、 渇水の発生頻度＝n/T
第2群 「長さ」	貯水池容量不足 発生日数	設定した貯水池容量の基で計算対象期間を通したダム補給計算を行い貯水池の残貯留量が0となる日数をD日とすれば、 貯水池容量不足発生日数＝D/T
第3群 「大きさ」	不足％・日	ダム補給計算を行い対象期間における取水制限率の累加値の年平均値とする。 不足％・日＝ $1/T \times \sum S_i = 1/T \times \sum (Q_i - W_i)/Q_i \times 100$ S_i ：取水制限率， Q_i ：計画確保流量， W_i ：実確保流量
第4群 「厳しさ」	(不足％) ² ・日	取水制限率の2乗値の累加値の年平均値とする。 (不足％) ² ・日＝ $1/T \times \sum S_i^2$ ＝ $1/T \times \sum [(Q_i - W_i)/Q_i \times 100]^2$
第5群 「経済的被害」	渇水被害額	渇水被害額＝最大給水制限率で決まる被害額＋給水制限率別日数に比例する被害額

1. モデル流域の概要

0流域は、瀬戸力海型気候区に位置する上に、流域規模、水利用などの諸条件が重なり、中国地方における代表的な渇水常襲河川となっており、毎年のように渇水調整が行われている。0流域における水利用の実態は、河川流量に比較して水利権量が大きく、河川水利用率（年間総取水／基準点年間流出量）は水利権量ベースで約50％となっている。なお、0流域には、現在、多目的ダム1、発電専用ダム2の計3ダムが設置されており、多目的ダム1（Aダム）が建設中である。

2. 検討方法

①利水計算モデル

利水計算はダム群をプールして行う。

②利水計算期間

昭和20～55年の36年間。

③利水計算ケース

各利水安全度指標の相互関係を検討するため、河川水利用率と貯水池容量率（貯水池容量／基準点年間流出量）の2要因を種々変化させ、利水計算を実施した。なお、河川水利用率及び貯水池容量率については、現在の状況、現在建設中のAダム完成後の状況、現在計画中のダム群完成後の状況等を勘案し設定した。

また、渇水時における貯水池の運用方法の変化に伴う利水安全度指標への影響度を検討するために、Aダム完成後の状況に対して、管理上の運用ルール

を適用した場合の利水計算を実施した。この管理上の運用ルールとは、渇水のおそれがある場合に、ダム容量が空にならないように取水制限を行うものであり、過去の取水制限実績を基に、貯水池残容量と取水制限率をルール化したものである。

④検討対象指標

検討対象とした利水安全度指標は、表－2に示す各グループ1指標とした。

3. 各指標の相互関係

図－3は、1/10渇水年に対応するように貯水池容量を設定した場合の、河川水利用率と各利水安全度指標の関係を示したものである。河川水利用率の上昇とともに利水安全度指標は増大しているが、指標によってその変化の度合は異なり、貯水池容量不足発生日数、不足％・日、(不足％)²・日、渇水被害額の順に変化の度合が大きくなり、特に渇水被害額の反応が敏感である。

図－4は、河川水利用率を固定して貯水池容量率を変化させた場合の、貯水池容量率と各利水安全度指標の関係を示したものである。指標値の変化は、渇水被害額、(不足％)²・日、不足％・日、貯水池容量不足発生日数の順に変化が大きくなっており、図－3と逆の傾向にあるが、各指標間に大差はみられない。また、ある貯水池容量率に達すると指標値の変化率がほぼ一定になっている。

表－3は、各指標値の相関を求めたものである。貯水池容量不足発生日数と他の指標との相関係数がやや低い値をとっているものの、全体として各指標間の相関はか

図一三 河川水利用率と利水安全度指標の関係

図一四 貯水池容量率と利水安全度指標の関係

なり高いものとなっている。

表一四は、貯水池等の運用に伴って指標値が変化する取水制限日数、(不足%)²・日、渇水被害額の3指標について、取水制限を実施した場合と実施しない場合の指標値を比較したものである(但し、河川水利用率、貯水池容量率は同一)。貯水池が空になる前にあらかじめ取水制限を実施することにより、取水制限日数は増大しているが、取水制限率を均一化し極端な取水制限率とならないようにしているため、(不足%)²・日、渇水被害額は減少している。変化率としては渇水被害額が最も大きな値を示している。

V. まとめ

表一三 各指標値の相関係数

	容量不足 発生日数	不足% ・日	(不足%) ² ・日	渇水被害額
容量不足発生日数				
不 足 % ・ %	0.883			
(不 足 %) ² ・ 日	0.881	0.989		
渇 水 被 害 額	0.737	0.891	0.917	

表一四 計画上の運用と管理上の運用による利水安全度指標値の比較

指標	取水制限日数	(不足%) ² ・日	渇水被害額
計画上の運用 (取水制限無)	1.0	1.0	1.0
管理上の運用 (取水制限有)	1.10	0.94	0.72

注) ・河川水利用率71%、貯水池容量率13.1%
・数値は、計画上の運用を1.0とした場合の比率を示す。

各利水安全度指標について、河川水利用率、貯水池容量率との関係、取水制限の有無による指標値の変化状況、さらに、各指標値の相関状況について考察を加えた。その結果、河川水利用率との関係や取水制限との関係においては、渇水被害額の感度が最も高くなったが、河川水利用率、貯水池容量率との関係における各指標値の相対的傾向は同一であり、各指標値の相関関係も非常に高いものとなった。

よって、流域の利水安全度を評価する指標としては、これら指標をすべて用いる必要はなく、目的に添った指標を選択することが可能であると考えられる。

すなわち、所定の計画に基づく水需要バランスの達成を図る通常の水資源開発施設の計画時においては、その容量決定が主眼であることから、第1群の渇水の発生頻度を表す指標のみで十分である。従来の計画でもほとんどの場合、同指標のみによって計画が立案されてきた。しかし、渇水対策を円滑かつ効率的に行うための渇水対策ダム等の計画時においては、渇水が発生した場合の状況を勘案して決定する必要がある。この場合、第3群の指標はいずれも渇水の絶対的な大きさを表したものであり、かつ、貯水池等の運用による影響が小さいことから、渇水対策ダム等の規模を決定する指標として適切である。中でも流域間の相対的な比較が可能な不足%・日が最も適した指標と考えられる。

一方、渇水時等の貯水池等の運用方式を評価する場合においては、所定の条件のもとで流域の蒙る被害を何処に軽減するかが重要な課題であるため、指標としては、

貯水池等の運用に応じて指標値が変化するものが適当であり、感度が最も高かった渇水被害額が最も適した指標と考えられる。

なお、渇水被害額の定量的評価手法及び渇水対策施策の評価手法の確立については、別の機会に論ずることとする。

引用文献

大内忠臣・佐々木元・松下越夫（1982）：利水安全度問題に関する 2，3 の分析と考察土木技術資料，第24巻第 1 号，pp. 21～26.