

貯水池の水資源確保効果の定量的把握

東北大学 学生会員 ○田中 大司
東北大学 正会員 奥村 誠
東北大学 正会員 大窪 和明

1. 研究背景・目的

近年、ダムがムダな公共事業の例として用いられる一方で、気候変動による異常少雨の影響で、ダム貯水池の重要性が高まる可能性もある。しかし、実際の降雨のパターンの中で、ダム貯水池が実際にどの程度の水資源確保効果を発揮したかというアウトカムズ評価は、これまでなされていない。本研究では、貯水池の流入量の変動に対する利水容量の比率を用いて、渇水を軽減する効果を分析することを目的とする。なお、東日本大震災後の電力需給の逼迫する中で、変動する需要に対してどの程度余力のある供給力を持つべきかの議論が重要になってきており、本研究は水資源を例としてこの問題に取り組むものである。

2. 渇水指標の作成

貯水池が存在しないと仮定した場合には、上流域からの貯水池流入量 Q^{in} がそのまま下流域に流れていくことになる。そこで、流入量 Q^{in} の流況に基づく渇水指標 y^{in} と貯水池からの放流量 Q^{out} の流況による渇水指標 y^{out} の値を比較することで、貯水池が実際に提供した水資源確保のアウトカムズ効果を把握することができる。

本研究では、小尻ら(1987)¹⁾の河川の利水安全度評価に関する3つの観点を参考に、渇水指標を定義する。また、小松ら(2009)²⁾を参考に、高水期における洪水防止のための放流抑制操作の影響を受けないように注意する。

2.1 不足流量比

不足流量比 y_1 は、(1)式のように定義される。

$$y_1^j = \frac{1}{n(T)} \sum_{t \in T} \frac{\bar{D} - Q_t^j}{Q_t^{\text{in}}} \quad (1)$$

ただし、 $T = \{t | \bar{D} > Q_t^{\text{in}}, \bar{D} > Q_t^j\}$

j : in または out $\bar{D}$: 下流域の利水要求量

$n(T)$: 分析対象日数 Q_t^j : t 日の流入量, 放流量

不足流量 y_1 は、下流の利水要求量に対する流量の不足分 $\bar{D} - Q_t^j$ の流入量 Q_t^{in} に対する比率を、分析対象日について平均化した値である。分析対象日 T としては、流入量 Q_t^{in} が下流の利水要求量 $\bar{D}$ を下回り、洪水抑制操作の影響がない日のうち、流量 Q_t^j が利水要求量 $\bar{D}$ を下回り不足が発生した日を考える。また、この y_1 は、流入量 Q_t^{in} が少ない日ほど、渇水が深刻であるため、 Q_t^{in} の逆数で重みづけして不足流量を加算した値とも解釈できる。

2.2 渇水総日数

本研究では、洪水抑制操作の影響がなく($D > Q_t^{\text{in}}$)、流量の不足が発生($D > Q_t^j$)した日 t を渇水日と呼び、その連続日数を記号 s^j で表す。ただし、渇水日は D に依存するため、 s^j を D の関数として $s^j(D)$ で表す。これらを踏まえて、渇水総日数 y_2 は、(2)式のように定義される。

$$y_2^j = \frac{\int_{\underline{D}}^{\bar{D}} \frac{1}{D} \sum s^j(D) dD}{\int_{\underline{D}}^{\bar{D}} \frac{1}{D} dD} \quad (2)$$

$\bar{D}$: D の上限値 $\underline{D}$: D の下限值

$\sum s^j(D)$ は、渇水日の年間合計日数である。渇水総日数 y_2 は、利水要求量 D を $\underline{D}$ から $\bar{D}$ まで変化させた際の、年間の渇水合計日数の平均値である。ただし、利水要求量が小さいにもかかわらず渇水が発生した場合、より深刻であると考えられるため、 D の逆数で重みづけしており、分母の積分によって基準化されている。

キーワード： 渇水, 流況変動, 利水容量

所在地： 仙台市青葉区片平 2-1-1 電気通信研究所 2 号館

TEL： 022-217-6379

2.3 渇水継続日数

渇水継続日数 y_3 は、(3)式のように定義される。

$$y_3^j = \frac{\int_{\underline{D}}^{\bar{D}} \frac{1}{\bar{D}} \max s^j(D) dD}{\int_{\underline{D}}^{\bar{D}} \frac{1}{\bar{D}} dD} \quad (3)$$

$\max s^j(D)$ は、渇水日の年間最大連続日数である。計算の意味は、渇水総日数と同様に解釈できる。

2.4 データ

国土交通省 水文水質データベースのダム統計情報 (<http://www2.river.go.jp/>) から、全国 462 の多目的ダムについて、1993 年～2010 年の日流入量・日放流量データを用いた。また、それぞれのダム下流の利水状況を調査することは困難であるため、利水要求量 $\bar{D}$ として、流入量の平水流量（降順 185 日目流量） $\bar{Q}^{\text{in}}$ を用いて、3 つの渇水指標値を算出した。

3. 水資源確保効果モデルの定式化

$$f^{\text{without}} = \exp[\alpha + \beta r] \quad (4)$$

$$f^{\text{with}} = \exp[\alpha + \beta r] \times \exp\left[\delta + \gamma_1 \frac{V}{\bar{Q}^{\text{in}} r} + \gamma_2 \left(\frac{V}{\bar{Q}^{\text{in}} r}\right)^2\right] \quad (5)$$

$\alpha, \beta, \delta, \gamma$: パラメーター

r : 渇水流況変動率 V : 貯水池の利水容量

(4)式は、貯水池が存在しないと仮定した場合の渇水指標 y^{in} を説明するモデルである。渇水流況変動率 r は、貯水池への流入量が少ない 180 日間の流況の変動の大きさを表す 0~1 の値である。流入量の変動が大きいほど渇水になりやすいと考えられるため、 β は正であると考えられる。

(5)式は、貯水池が存在する場合の渇水指標 y^{out} を説明するモデルであり、貯水池が存在しないと仮定した場合の渇水指標に対して、利水容量による効果を表す項を乗じたモデルとしている。利水容量 V が、流入量の変動に比較して十分な大きさがあるかに着目し、 $V/\bar{Q}^{\text{in}} r$ を用いて渇水の軽減効果を分析することにした。一方で、変動に対して過剰な容量が設定しても、渇水軽減の効果が期待できるため、 γ_1 は負、 γ_2 は正であると考えられる。

表 1 パラメーター推定の結果

		推定値	t 値	有意性	R^2
y_1	β	4.75E+00	81.166	0.1%	0.782
	γ_1	-1.36E-05	-12.132	0.1%	
	γ_2	4.32E-11	10.072	0.1%	
y_2	β	2.87E+00	60.886	0.1%	0.744
	γ_1	-1.94E-05	-21.62	0.1%	
	γ_2	5.28E-11	15.288	0.1%	
y_3	β	3.82E+00	68.391	0.1%	0.683
	γ_1	-1.87E-05	-17.502	0.1%	
	γ_2	5.26E-11	12.829	0.1%	

(サンプル数 12738, 貯水池数 462)

4. 個別効果の除去

本研究のデータセットは、同一貯水池の複数年次に渡るサンプルがプールされているため、貯水池ごとの個別の影響により、真の関係ではない関係性が有意に抽出される可能性がある。そこで、個別の効果を除去する手法として、貯水池ごとに異なった定数項 α, δ をそれぞれ推定できる、パネル分析の固定効果モデルを用いて、回帰分析を行った。計算には、統計分析ソフト R のパッケージ plm を使用した。

5. 結果と考察

表 1 のように、3 種類すべての渇水指標について、期待された符号でパラメーターが推定された。これらの結果を用いると、将来に河川の流況が変化した場合の渇水指標の数値を見積もることや、利水容量を増強した際の水資源確保効果を概算することも可能である。

参考文献

- 1) 利水システムの安全度評価に関する研究（小尻・池淵・飯島，1987）
- 2) 首都圏上流域のダム貯水池が渇水時流量に与える影響（小松・久米・大槻，2009）
- 3) ミクロ計量経済学の方法 パネルデータ分析（チェン・シャオ，2007）
- 4) R による統計解析（青木繁伸，2009）