

発電減水期間軽減型環境用水と補助金制度*

Subsidy for Environmental Flow in Hydropower Stations*

白川直樹**・武市格人***・玉井信行****

By Naoki SHIRAKAWA**・Norito TAKEICHI***・Nobuyuki TAMAI****

1. はじめに

河川の水量配分計画における環境用水の立場は曖昧である。河川法第一条の「流水の正常な機能が維持される」に基づいた維持流量の概念は、基準点の設定や既存水利権秩序との関係に問題があった。発電減水期間問題がその証左である。利水の価値基準をそのまま環境に適用するのではなく、環境独自の価値基準に基づいた環境用水概念の確立が必要である。

発電減水期間では、1988年の建設省通達に従って水利権更新時から放流が行われている。この放流は発電減水期間軽減型の環境用水と呼ぶべきものである。しかし、この環境用水が水利秩序の中でどういう地位を占めているのかは明確でない。また放流量の目安として通達に伴って示されている $0.1 \sim 0.3 \text{ m}^3/\text{s}/100 \text{ km}^2$ という値の根拠も不透明である。理想をいえば、環境用水といえども量と効果の関係を明確にし、発電の効果と比較して量が決定されるべきである。河川水の配分を争うという意味で環境用水は農業用水や都市用水などと同じ立場の利水者である。現在の方式では、環境用水の費用を発電者が一身に負い、その量はかなり恣意的に決められてしまっている（正常流量十項目があるにしても）。

本研究では、環境用水量－効果関係、そして費用負担のあり方を、発電減水期間を題材にして考える。現在のような通達による放流ではなく、経済的インセンティブによって放流が実現するような補助金制度を検討する。

2. 環境用水の費用と効果

(1) 環境用水の費用

発電減水期間軽減型の環境用水は、発電使用水量の一部を無効放流することによって確保される。無効放流なので逸失発電量が生じ、また場合によっては放流設備の改築費がかかる。

ある水力発電所における年間可能発電量 $E(\text{kWh})$ は、最大使用水量に対応する最大出力 $P(\text{kW})$ と設備利用率 η によって

$$E \approx P \cdot 24 \cdot 365 \cdot \zeta \quad \dots (1)$$

と表すことができる。 P は、重力加速度 9.8 m/s^2 、最大使用水量を $Q (\text{m}^3/\text{s})$ 、最大有効落差を $H (\text{m})$ 、最大出力の水車と発電機の合成効率を η として

$$P = 9.8 \cdot Q \cdot H \cdot \eta \quad \dots (2)$$

と書ける。合成効率は水車の種類や負荷により異なるが、既設発電所の実績や文献¹⁾から0.85程度と見積もられる。設備利用率は、流れ込み式水力発電所では45%～60%になるよう最大使用水量を定めることが多い¹⁾。

環境流量として $q(\text{m}^3/\text{s})$ を設定する。河川流量が $Q + q$ を上回っていれば放流の必要はなく、年間40～100日がこれに該当する。放流しなければならない日数を d 日とすると、発電減少量 $\Delta E(\text{kWh})$ は

$$\Delta E = 9.8 \cdot q \cdot H \cdot \eta \cdot 24 \cdot d \quad \dots (3)$$

として計算できる。ただし有効落差や効率に最大使用水量時とは厳密には異なる。

減少した発電量は、他の発電所で代替発電される。流れ込み式水力発電の性質から考えて、火力発電所で代替されると想定するのが妥当であろう。火力発電の燃料費は 3.81 円/kWh なので²⁾、環境用水放流に伴う発電費用増分は $3.81 \cdot \Delta E$ 円となる。

*キーワーズ：河川計画，水資源計画，財源・制度論

**正会員，工修，東京大学大学院工学系研究科助手
(東京都文京区本郷7-3-1，

TEL03-5841-6109，FAX03-5841-6130)

***東京大学大学院工学系研究科修士課程

****フェロー，工博，東京大学大学院工学系研究科教授

表－１ 環境用水の効果

効果（物理量として）		効果（環境として）	関係する物理量
流量増大	水体積増加	ハビタットの増加	断面積
	水面増加	ハビタットの増加	水面幅
	流速多様化	ハビタットの多様化	最大流速
	水深多様化	ハビタットの多様化	最大水深
	水質希釈	水質改善	流量
	水量感改善	景観改善	水面幅
	親水空間増	親水度の増加	？
変動増加	水際複雑化	ハビタットの多様化	水位変動
	河床保全	ハビタットの健全化	掃流力
	冠水頻度増	生息環境の攪乱（健全化）	洪水頻度
	土砂輸送	物質循環の健全化	掃流力

（２）環境用水の効果

環境用水には表－１に挙げるような効果がある。ここでは変動増加までは扱わず、流量増大のみを対象とする。流量増大は主としてハビタットの増加や多様化に寄与するが、代表する物理量をひとつとるなら水面幅が最も妥当であろう。水面幅はハビタットの量を表す指標だが、水面積が広がれば多様化にもつながる。なお、表－１は減水区間軽減の環境用水、すなわち河川上流域を念頭においており、洪水時や流量の大きい河川に応用するには適当でない。

流量と水面幅は、水理学的に関係づけられる。自然河川の断面を三角形と仮定し、その頂点の角度を 2θ とおく。勾配を i とすると等流状態で（Manningの式）流速 v は水深 h の関数として

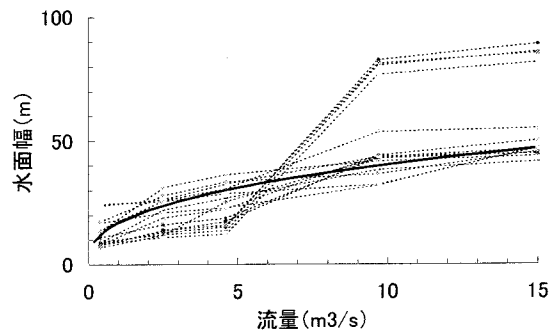
$$v = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{1}{2} h \cdot \sin \theta \right)^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} \quad \cdots (4)$$

と書ける（ n はManningの係数）。このとき流量 q は

$$q = v \cdot A = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{1}{2} \sin \theta \right)^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot \tan \theta \cdot h^{\frac{8}{3}} \quad \cdots (5)$$

となり（ A は断面積）、流量が水深の $8/3$ 乗に比例するという関係が導かれる。水面幅は水深に比例するから、流量の $3/8$ 乗に比例することになる。また断面積は流量の $3/4$ 乗に、平均流速は $1/4$ 乗にそれぞれ比例する。河床にはたらく掃流力は径深と勾配に比例することから水面幅と同じく流量の $3/8$ 乗に比例する。

実際の河川でも、図－１に示すようにこの関係は



図－１ 流量と水面幅の関係（実河道）

点線が各断面での計算値、実線が $3/8$ 乗の線

よくあてはまっている。ここでは、環境用水の効果は流量の $8/3$ 乗に比例するという関係を仮定して論をすすめる。

３．補助金による環境用水の放流

（１）補助金制度

減水区間軽減のための放流は現在、1988年の建設省通達に基づいて実施されている。一定規模以上の水力発電所は水利権更新の条件として放流を行わなければならない。いわば直接規制で河川環境の保護が図られている。

これに対し、経済的手段によって環境用水を確保することを考えてみる。河川環境税（水量税）ないしは補助金である。水力発電は二酸化炭素を出さないなど無形のメリットがあることや利水者としての実績があることなどから、税よりも補助金の方が現

実的な手段であると考えられる。

減水区間の軽減に補助金を出すこととし、その額は2 (2) で仮定した流量の3/8乗という関係を用いて決定する。ただし、減水区間は水量のほか区間長も重要な要素なので水量と区間長を掛け合わせた値（これを環境流量ポテンシャルと呼ぶ）を使う。勾配一定を仮定すれば区間長は落差に比例するので、環境流量ポテンシャルは発電エネルギーに比例することになる。すなわち補助金額 S は放流量 q と減水区間長 L の関数で、

$$S(q, L) = k \cdot q^{\frac{3}{8}} \cdot L \quad \dots (6)$$

と表せる（ k は比例定数）。一方、発電所は放流によって式(3)の発電量を失うから、

$$C = 3.81 \cdot 9.8 \cdot H \cdot \eta \cdot 24 \cdot d \cdot q \quad \dots (7)$$

だけ追加費用がかかることになる。

各発電所は、 $\frac{dC}{dq} = \frac{dS}{dq}$ となる流量 q 、すなわち

$$q = 3.93 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{1}{d\eta} \cdot \frac{L}{H} \cdot k \right)^{\frac{8}{5}} \quad \dots (8)$$

だけ放流を行う。

k が定数なら発電所の規模によらず q は一つに決まる。しかし環境用水は発電所立地地点の河川環境特性により異なってくるべきである。詳細な検討は個別性が強いのでここでは省くが、少なくとも発電所の規模は考慮しなくてはならない。そこで k を流域面積の関数とする。流域面積を $A(\text{km}^2)$ として

$$k = K \cdot A^{\frac{5}{8}} \quad \dots (9)$$

とする。

係数 K は社会が環境用水放流について持つ価値観を反映する。社会的価値観から係数 K が定まれば、各発電所は諸元に応じて放流量を決定する。逆に、社会的意思決定者の側で実現させたい放流量が決まっていれば適当な係数 K を定めることにより目標を達成することもできる。

(2) 計算例

典型的な発電所として、流域面積 500km^2 、有効落差 100m 、減水区間長 10km の流れ込み式水力発電所を

想定する。 $d=300$ 日、合成効率を 0.85 とすると、費用 $C(q)$ および補助金 $S(q)$ は

$$C = 2.29 \cdot 10^7 \cdot q \quad \dots (10)$$

$$S = k \cdot 10000 \cdot q^{\frac{3}{8}} \quad \dots (11)$$

となる。この発電所が行う放流は

$$q = 4.38 \cdot 10^{-4} \cdot K^{\frac{8}{5}} \quad \dots (12)$$

である。

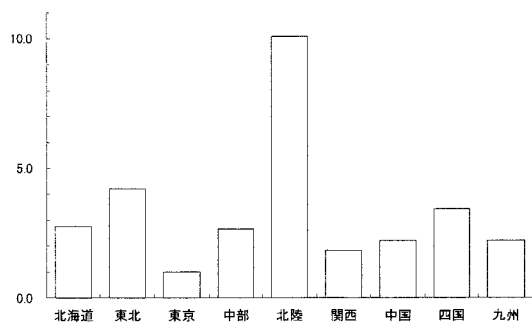
1988年の建設省通達では、 q の目安として流域面積 100km^2 あたり $0.1 \sim 0.3\text{m}^3/\text{s}$ という値が示されている。実際の放流例をみてもこの範囲に収まっているケースが多い。また、1992年に建設省河川局が出した「正常流量検討の手引き（案）」では、河川特性からの維持流量の推定値として $0.69\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2$ という比流量が示されている³⁾。式(12)の q としてこれらの比流量をあてはめてみると、 $0.1\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2$ の場合は $K=81.5$ 、 $0.3\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2$ なら 162 、 $0.69\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2$ なら 272 となる。仮に $K=200$ に設定すれば、この発電所では $2.10\text{m}^3/\text{s}$ ($0.42\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2$) の放流が実現し、年間約 $12,800$ 万円の補助金動くことになる（発電減少による費用増加は $4,810$ 万円）。

(3) 地域差について

河川流量には顕著な地域差がある。環境用水の目的は人間活動による水量面のダメージを回復することだが、その河川の自然状態の特性に合った回復をしなければならない。流域面積あたりの比流量を全国一律に適用することは不合理であろう。

年平均流量は、北陸や九州南部で大きく瀬戸内や北海道で小さい。これは気象条件、主として降水量を反映している。また渇水流量（355日流量）も地域の地質条件や人為条件を反映した分布を示す。減水区間が問題になるのは主として渇水期であることから、比流量よりも渇水流量との比で表現した方が各地域の特性に合った流量設定ができるだろう。

「正常流量検討の手引き（案）」でも、流量観測資料がある場合は10ヶ年平均渇水流量や10ヶ年最小渇水流量を正常流量規模の目安とするよう定めている³⁾。そこで、渇水流量との比で基準値を設定して、全国の水路式・ダム水路式発電所での影響を計算し



図－２ 環境用水放流の影響（電力会社別）

た。

9 電力会社別に相対的な影響の大きさを示したのが図－２である。代替発電にかかる費用増分が電気事業営業収益に占める割合を表した。最も影響の小さい東京電力を1として、比で表した。北陸電力は水力依存率が高いために失う発電量が大きく、経営規模も小さいので影響が大きい。東北電力は小規模な水力発電所が多いために影響が大きくなっている。関西電力や東京電力は経営規模が大きいために影響が小さいが、東京電力は水力依存率そのものが小さいのに対して関西電力は依存率は大きい。しかし発電所の平均規模が大きいため、環境用水放流の影響が軽微におさえられている。

すなわち、経営規模、水力依存率、発電所平均規模、といった要素が環境用水から受ける影響の大きさを左右している。もちろん渇水流量の大小を規定する気象要因や地質要因も関係する。図－２は地域によって影響が偏る可能性を示唆しており、補助金制度はその偏りを是正する役割ももつ。

4. まとめ

環境用水は最近になって登場してきた歴史の浅い水利用者であるが、環境用水に対する社会的関心は今後ますます増大していくだろう。環境用水を増やすと、既存の利水者は従来取水していた分のいくらかを譲らなければならなくなる。環境用水は、そのような既得権益の放棄を強いる論拠を持たねばならない。2（2）では環境用水の効果をアピールする

一つの方法を例示した。

環境用水量の量を決定するにあたっては、こういった効果と流量の関係に基づいて他利水者とのトレードオフ関係を解決していく必要があろう。環境用水といえども農業用水や都市用水と同じように何らかの役に立つための水利用であるのだから、特別扱いして優先的に一定の水量を無条件で得るようなシステムは水資源配分の合理性を損なう。環境用水の側からみても、その効果を正当に評価されず厄介者扱いされる危険性を含むことになる。

現行の維持流量や正常流量の決定法は恣意的要素に左右されやすいし過程が第三者にはよく見えない。環境税や補助金といった制度を導入し、発電所に放流のインセンティブを与えると同時に放流量決定のプロセスを誰の目にも明らかにし、広く議論を呼んでいくことがこれからの水資源問題に取り組む上で有用ではないだろうか。

参考文献

- 1) 新エネルギー財団水力本部編：中小水力発電ガイドブック、2000。
- 2) 東京電力有価証券報告書平成11年度実績。
- 3) 建設省河川局河川環境対策室：正常流量検討の手引き（案）、1992。
- 4) 日本ダム協会：ダム年鑑2001、2001。