

経済的評価に基づいた利水用貯留施設整備代替案設計モデル

鳥取大学大学院 学生員 ○大石 哲司
 鳥取大学工学部 正会員 多々納裕一
 鳥取大学工学部 正会員 小林 潔司

1. はじめに

渇水対策を目的とする利水用貯留施設は、流況の安定化を通じて渇水のリスクを軽減するという機能を有する。流況の安定性は貯水容量と操作ルールによって規定される。本研究では渇水リスクの軽減による家計の厚生の変化を貨幣タームにより表現する方法を考察する。そして、限られた予算の中で渇水被害の軽減額を最大にするような貯水容量と操作ルールの組を求めるための数理計画モデルを構築する。さらに、数値実験を通じて本モデルの特性について考察する。

2. 利水用貯留施設整備の経済的評価

利水用貯留施設整備に伴う貯水容量の拡大や操作ルールの改善は、渇水の生起確率分布(渇水リスク)を変化させる。従って、渇水対策を目的とする利水用貯留施設整備代替案を設計・評価する際には、利水用貯留施設整備によってもたらされる渇水リスクの変化の望ましさを計量化し、整備の経済的効果を分析することが不可欠である。

一般に、利水用貯留施設整備等のプロジェクトの経済的評価を行う場合には費用便益分析が適用される。渇水対策を目的とする利水用貯留施設の整備に伴う便益を算定するためには、まず、家計が享受する便益を渇水のリスクの変化に対する家計の支払意思額として計量化することが必要である。従来の研究では、直接被害額(家事労働時間増加量×家事労働単価+臨時出費額)の期待値や期待支払意思額が用いられてきている。しかし、これらは被害の期待軽減額を測る指標であるが、渇水対策プロジェクトによってもたらされる渇水リスク自体の変化に対する家計の支払意思額を与えているわけではない。これに対し、確定的支払意思額指標である option price は、利水用貯留施設整備によって生じる渇水の生起確率分布の変化に対する支払意思額を与えている。この意味で、等価的 option price

は家計が渇水対策によって家計の享受する便益の評価指標となりうる。また、不確実性下の家計の厚生は期待効用によって表現される。従って、不確実性下のプロジェクトの便益を評価する際には、プロジェクトに対する期待効用による評価指標と渇水被害軽減額を用いた評価結果の間に整合性が保たれることが必要となる。このような経済的評価の整合性は、渇水被害軽減額が期待効用に対して「符号保存性」、「順序保存性」を有するか否かによって判断される。既往の研究によれば、「符号保存性」と「順序保存性」をともに満たす指標は等価的 option price のみである。本研究では、このような性質を有する等価的 option price に着目し、貯水容量と操作ルールの組を求めるための数理計画モデルを定式化することとする。

3. モデルの定式化

本研究では、単一貯水池の規模拡張問題を考える。容量は v_0 で、操作ルール r_0 に従って操作がなされているとする。いま、貯水容量を v に拡大し、操作ルール r に改善するという計画問題を考える。流域には等質な N 戸の家計のみが存在し、整備によって移動は生じないと仮定する。便益を等価的 option price 指標で評価すると、利水用貯留施設整備計画問題は予算制約下の家計の享受便益最大化問題として以下のように定式化される。

$$\begin{aligned} \max_{r, v} \quad & N \cdot OP_e(r, v; r_0, v_0) \\ \text{s.t.} \quad & C(v) \leq \bar{C} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $C(v)$ は整備に関わる費用を、 $\bar{C}$ は予算の上限を表している。また、等価的 option price 指標 $OP_e(r, v; r_0, v_0)$ は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} & E[V(\tau(x; r_0, v_0), Y + OP_e) | (r_0, v_0)] \\ & = E[V(\tau(x; r, v), Y) | (r, v)] \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $V(\tau(x; r, v), Y)$ は間接効用関数であり、 τ は単位水量あたりの獲得所要時間、 x は放流可能量である。

本問題は、貯水容量及び操作ルールの同時設計問題ではあるが、操作ルールは貯水容量の関数となっており、問題(1)を貯水容量を所与として操作ルールを設計する最適化モデルを部分問題として包含するような2階層の貯水容量設計問題として書き直すことができる。

$$\begin{aligned} & \{\max_{r,v} N \cdot OP_e(r, v; r_0, v_0) \mid C(v) \leq \bar{C}\} \\ &= \{\max_v \{\max_r N \cdot OP_e(r, v; r_0, v_0) \mid C(v) \leq \bar{C}\}\} \\ &= \{\max_v N \cdot OP_e(r^*(x; v), v; r_0, v_0) \mid C(v) \leq \bar{C}\} \quad (3) \end{aligned}$$

ここで $r^*(x; v) = \arg\{\max_r N \cdot OP_e(r, v; r_0, v_0)\}$ 、すなわち貯水容量 v における最適操作ルールである。

操作ルール設計モデルは便益最大化問題として以下のように定式化される。

$$\max_v N \cdot OP_e(r, v; r_0, v_0) \quad (4)$$

OP_e による評価は期待効用による評価と整合性を持っている。放流可能量の推移確率 $P_{xy}^{(x;v)}$ がマルコフ連鎖をなすことを利用すれば、マルコフ決定過程 (Markov Decision Process) に従い、式(4)を以下の期待効用最大化問題として表すことができる。

$$u(x) + \gamma = \max_{r \in \Omega(x;v)} V(\tau(x; r, v), Y) + \sum_y u(y) p_{xy}^{(x;v)} \quad (5)$$

ここで $P_{xy}^{(x;v)}$ は操作ルール $r(x; v)$ を所与とした場合の放流可能量の推移確率である。 $u(x)$ は政策の相対値であり、 γ は期待効用の最大値を与える。また、 $\Omega(x; v)$ は放流量の取りうる範囲を与える。

$$\Omega(x; v) = \{r \mid \max(0, v - x) \leq r \leq x\} \quad (6)$$

操作ルール $r^*(x; v)$ を所与とした貯水容量設計モデルは予算制約下の便益最大化問題として、以下のように定式化される。

$$\begin{aligned} & \max_v N \cdot OP_e(r^*(x; v), v; r_0, v_0) \\ & \text{s.t. } C(v) \leq \bar{C} \quad (7) \end{aligned}$$

4. 数値実験結果

数値実験で本モデルの特性を考察するため、従来の研究で用いられた経済的評価指標 (期待EV、期待CV) に関しても同様なモデルを構築した。図-1は操作ルール設計モデルから得られた操作ルールを示している。数値実験によると、各々評価指標ごとに異なる操作ルールが設計される。本計算のケースでは操作ルールの違いは無視できないほど大きく、等価的 option price を用いた操作ルールの設計を行うことが必要であることがわかる。

次に、図-2は評価指標値と貯水容量の関係を示したものである。等価的 option price は、貯水容量の拡大に伴い、単調に増加しているが、増加率は逓減している。このことは、予算制約を満たす範囲内で最大の貯水容量が、貯水容量設計モデルの解となることを示している。また、線形操作ルールを仮定した場合と操作ルールと貯水容量を同時に考慮して最適設計した場合の等価的 option price の比較をすると、本研究のケースの場合、等価的 option price の値に2倍程度の差が生じている。指標値の差は、計画段階から操作ルールの最適化を考慮することにより得られる家計の享受する便益を表している。このことは、計画段階から操作ルールの設計も同時に考慮して整備代替案を設計することが、極めて重要なことを示している。

5. おわりに

本研究では渇水リスクの軽減による家計の厚生の変化を等価的 option price で評価し、貯水容量と操作ルールの組を求めるための数理計画モデルを構築した。今後は信頼性評価等の評価基準を盛り込んだ代替案の設計方法へと発展させたい。

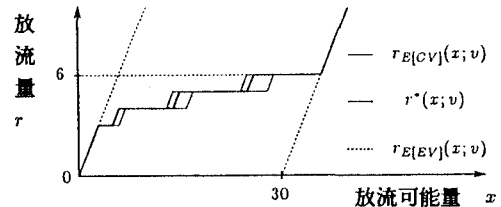


図-1 操作ルールの違い

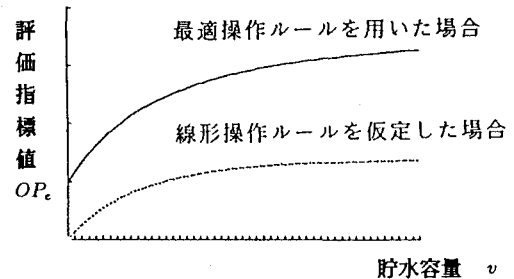


図-2 貯水容量と評価指標値の関係