

水融通のための利水者の意思決定支援モデルの開発

鳥取大学工学部 正会員 ○森田浩和
鳥取大学工学部 正会員 谷本圭志
鳥取大学工学部 正会員 喜多秀行

1. はじめに

大規模な水資源開発が困難となる今後においては、利水者間の水利調整が重要な渇水対策となる。現河川法は渇水が発生した際の調整を認めているものの、当事者間の円滑な合意形成の観点からは、事前の取り決めがより有効と考えられる。そこで本研究では、水融通に関する契約制度を設計するとともに、その制度の下での主体の意思決定を支援するためのモデルを動的計画法とゲーム理論を用いて開発する。また、契約制度を導入した場合に渇水がどれだけ軽減するかについて分析する。

2. 水融通契約の概要

利水者(以後、「主体」と呼ぶ)の間において水融通に関する契約を渇水発生前に結ぶものとする。契約の対象者として融通の手段を持つ二人の主体を想定する。各主体はそれぞれダムにおいて貯水量を確保している。 t 期に契約が締結された場合、その契約の満期は $t+1$ 期であるとする。契約時において、主体は融通するか融通を受けるか、契約を結ばないかの意思表示を行い、互いの意思が一致した場合に契約料の交渉を行う。

3. 主体の契約に関する意思決定モデル

ある期に締結された契約は以後の双方の主体の貯水量に影響を与える。このため、主体は満期以降の将来の貯水量の状態とそこで契約も考慮して今期における契約の締結を検討しなければならない。また、貯水量は不確実性を有して変動している。本研究では、このような状況下での主体の契約に関する決定過程を動的計画法を用いて定式化する。費用の構成要素として、その期の渇水被害 $D_i(v_i(t))$ 、水の融通を受ける主体 i が渡し手である主体 j に支払う契約料 x_i がある。ここに $v_i(t)$ は t 期における主体 i の貯水量である。すると、 t 期における契約の結果に対してそれ以降から無限遠までに生じる期待費用の合

計、すなわち総期待割引費用 V_i を以下のように定式化することができる。ただし $\beta (0 < \beta < 1)$ は割引因子である。また、契約料 x_i は交渉の結果として与えられる。

(1) 融通を受ける契約ができた場合

$$V_i(v_i(t), v_j(t), t) = x_i + D_i(v_i(t)) + \beta E[V_i^b] \quad (1)$$

(2) 融通する契約ができた場合

$$V_i(v_i(t), v_j(t), t) = -x_j + D_i(v_i(t)) + \beta E[V_i^s] \quad (2)$$

(3) 契約しなかった場合

$$V_i(v_i(t), v_j(t), t) = D_i(v_i(t)) + \beta E[V_i^d] \quad (3)$$

契約により次期以降の貯水量が異なり、それは上式の V_i^b , V_i^s , V_i^d に反映される。これらは、水の融通を受ける主体 i の融通量を $dv_i(t)$ とすると、それぞれ次式のように与えられる。

$$V_i^b = V_i(v_i(t+1) + dv_i(t+1), v_j(t+1) - dv_i(t+1), t+1) \quad (4)$$

$$V_i^s = V_i(v_i(t+1) - dv_j(t+1), v_j(t+1) + dv_j(t+1), t+1) \quad (5)$$

$$V_i^d = V_i(v_i(t+1), v_j(t+1), t+1) \quad (6)$$

契約に関するゲームは図. 1 で表される。各主体は自身が融通の受け手か渡し手のいずれかとして契約を結びたいのか、または、契約を結ばないかの意思表示をする。意思表示において、一方の主体が受け手になることを表明しかつもう一方の主体が渡し手になることを表明した場合に契約料の交渉を行うことができるとする。

主体間で契約料を決定する場面を交渉ゲーム¹⁾によりモデル化する。以下では意思表示の結果として融通の受け手と渡し手が既に決定されているとして交渉ゲームを議論する。融通の受け手を主体 i 、渡し手を主体 j と表す。主体 i にとっては以下の式が契約によって獲得する利得である。

$$\beta E[V_i^d] - \beta E[V_i^b] - x_i \quad (7)$$

主体 j にとっては以下の式が契約によって獲得する利得である。

$$x_i + \beta E[V_j^d] - \beta E[V_j^s] \quad (8)$$

契約料を巡る交渉は総利得すなわち(7)式+(8)式の配分を巡るそれと同等である。なお契約が成立しなかった場合の利得を0に基準化する。

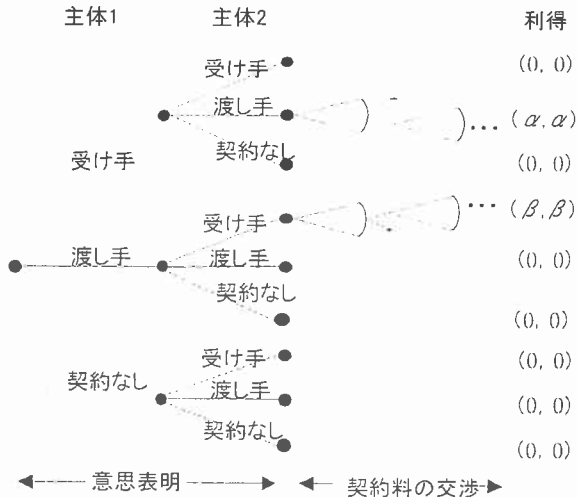


図.1 契約を決定するゲーム

図1における「契約料の交渉」段階に示す円弧は決定された契約料により配分される利得の範囲を表している。また、一方の主体が利得の配分を提案し他方の主体がそれを拒否すれば、提案側を交替し利得の配分の提案が承諾されるまで無限に繰り返されるゲームを想定している。

交渉は無限に繰り返され、交渉に要する時間は契約期間に比べ非常に短時間であると仮定すると交渉時には割引因子は限りなく1に近い。このとき、交渉の結果は各々の主体に等しい利得を与えることになり、契約料はその利得を実現する形で以下の式のように得られる。

$$x_i = \frac{\beta E[V_i^d] - \beta E[V_i^b] + \beta E[V_i^s] - \beta E[V_j^d]}{2} \quad (9)$$

以上に示した契約プロセスの下で主体らが $(v_i(t), v_j(t), t)$ の下で合意する契約内容は、(1)~(3)式の最小値、つまり最も効率的な費用を与えられることが理論的に証明された。その証明は紙面の都合上省略する。

4. シミュレーション分析

以上のモデルを用いて、水融通契約を導入することによる渇水の軽減効果を、仮想的な数値例を用い

て検討した。契約の機会を1年に12回とし、一ヶ月を一期間とする。ダムの規模や気象条件は、兵庫県の一庫ダムを参照とする。過去の渇水記録より、取水条件が厳しくなる貯水量の状態を渇水の被害が発生する限界状態とした。一期間に渇水が発生した場合に渇水が1回発生したとして渇水発生数を求める。一庫ダムのデータから推移確率を推定し、 β を $1/(1.04/12)$ で与えた。契約の満期に主体間で融通される水量については、受け手の渇水被害が回避できかつ渡し手に渇水被害が生じない範囲であるとした。双方の主体の貯水量の変動に正の相関、相関がない、負の相関がある場合をそれぞれ数値例1, 2, 3とし、それぞれの下での渇水発生数を図.2に示す。いずれのケースにおいても水融通契約の導入は渇水対策として有効であることが示された。また、ある期を例に主体が表明すべき意思を意思決定マップとして図.3のように整理した。このマップを用いることにより、主体は合理的な契約を容易に行うことができる。

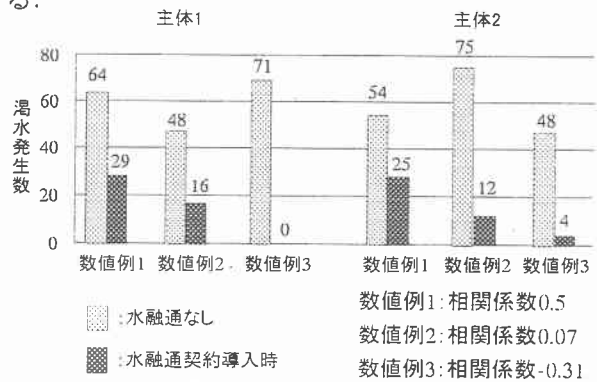


図.2 渇水発生数の比較

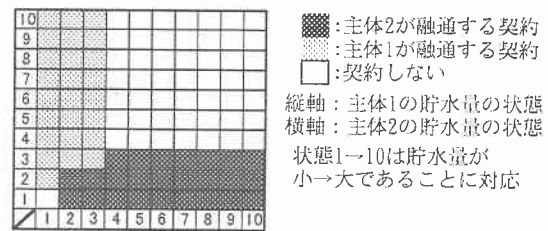


図.3 意思決定マップの例

5. おわりに

今後は、三人以上の主体の契約場面について検討していきたい。

¹⁾Rubinstein, A.: Perfect Equilibrium in a Bargaining Model, *Econometrica* 50, pp.97-109, 1982.