土木学会第46回年次学術講演会（平成３年９月）

Ⅳ-219　工業用水の高度利用に関するモデル分析

鳥取大学大学院　学生員　○上住　和男　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　京都大学防災研究所　正会員　岡田　憲夫

1. 研究のねらいと概要

本研究では、工業用水の高度利用に着目し、用水の再利用を行う企業の生産行動をミクロ経済学的にモデル化する。これにより、用水の供給量の制約や渇水等による用水供給量の不確実性が企業行動に与える影響を分析する。

2. 企業行動のモデル化

企業は、長期的には、用水供給量 χ の不確実性を考慮して自己の期待利潤の最大化行動を行うことにより、生産, 再生処理設備への資本投資 K, R や再生処理設備の能力 $\bar{d}$ を決定する。また、短期的には、長期的選択の結果定まった生産, 処理の資本 K^*, R^* 及び再生処理能力 $\bar{d}^*$ を所与とし、用水量 X 、再生処理水量 d や生産, 再生処理に投入されるエネルギー等の資源 q, q_r の需要量及び生産量 y を決定するものとする。

モデルの定式化にあたって、以下のような仮定を設ける。(1) 企業は上水・工業用水道から単位体積当たり一定の価格で用水の供給を受ける。(2) 用水の供給量上限の存在と渇水等の理由による上限値自体の確率的な変動を想定する。(3) 独占企業を想定し、再生処理設備の導入には、固定費用がかかる。(4) 企業は、立地の変更を行わず、同一地点に立地し続ける。以上のような仮定のもとで、企業行動モデルは以下のように定式化できる。

(1) 長期モデル

$$\max_{K,R,\bar{d}} E\left[\pi(v,w,\kappa,r,F_r,\chi;K,R,\bar{d})\right]$$
$$= \max_{K,R,\bar{d}} \int_0^{X_0} \pi(v,w,\kappa,r,F_r,\chi;K,R,\bar{d})d\mathcal{F}(\chi) + \{1-\mathcal{F}(X_0)\}\pi(v,w,\kappa,r,F_r,X_0;K,R,\bar{d}) \quad (1)$$

(2) 短期モデル

$$\pi(v,w,\kappa,r,F_r,\chi;K^*,R^*,\bar{d}^*)$$
$$= \max_{y,X,d,q,q_r} \{p(y)y - vX - w(q+q_r) - \kappa K^* - rR^* - F_r\}$$

$$\text{subject to} \quad y = f(X+d,q;K^*) \quad (2)$$
$$d = g(q_r;R^*)$$
$$d \le \bar{d}^*, \quad X \le \chi$$

ここで、X_0：平常時の用水の需要量、F_r：再生処理設備の固定費用、κ, r：生産, 再生処理設備導入の資本レント、v：用水の価格、w：エネルギー等の投入資源の価格、$\mathcal{F}(\chi)$：用水供給量の上限 χ の確率分布関数、$\pi(\cdot)$：企業の短期利潤関数、$f(\cdot)$：短期生産関数、$g(\cdot)$：短期再生処理水生産関数である。なお、$\partial f/\partial x \ge 0$, $\partial f/\partial q \ge 0$, $\partial f/\partial K \ge 0$, $\partial^2 f/\partial x^2 \le 0$, $\partial^2 f/\partial q^2 \le 0$, $\partial^2 f/\partial K^2 \le 0$, $\partial^2 f/\partial x\partial q \ge 0$, $\partial^2 f/\partial x\partial K \ge 0$, $\partial^2 f/\partial q\partial K \ge 0$, $\partial g/\partial q_r \ge 0$, $\partial g/\partial R \ge 0$, $\partial^2 g/\partial q_r^2 \le 0$, $\partial^2 g/\partial R^2 \le 0$, $\partial^2 g/\partial q_r\partial R \ge 0$ である。但し、$x = X + d$ である。

3. モデル分析の結果

ここでは、用水供給量の制約が企業の短期及び長期の行動に与える影響について先に定式化したモデルを用いて解析的に分析した結果を示す。

(1) 長期モデル

長期モデルにおいては、用水供給量の上限 χ が不確実性を持つ。従って、再生処理能力 $\bar{d}^*$ や、再生処理設備への投下資本量 R^* は、平常時に必要な水準 $\bar{d}(X_0), R(X_0)$ より大きく設定され、平常時には、設備に遊休 $(\bar{d}^* - \bar{d}(X_0) \ge 0)$ を生じる。

(2) 短期モデル

用水量 X 及び総エネルギー投入量 $Q(=q+q_r)$ の短期要素需要関数及び条件付き要素需要関数をそれぞれ $X(v,w,\kappa,r,\chi;K^*,R^*,\bar{d}^*)$, $Q(v,w,\kappa,r,\chi;K^*,R^*,\bar{d}^*)$, $X(v,w,\kappa,r,\chi,y;K^*,R^*,\bar{d}^*)$,$Q(v,w,\kappa,r,\chi,y;K^*,R^*,\bar{d}^*)$ とおく。これらを用いて、用水供給量の減少が企業行動に及ぼす影響は、以下のように表現される。

$$\frac{\partial X(v,w,\kappa,r,\chi;K^*,R^*,\bar{d}^*)}{\partial\chi} = \frac{\partial X(v,w,\kappa,r,\chi,y^*;K^*,R^*,\bar{d}^*)}{\partial\chi} + \frac{\partial X(v,w,\kappa,r,\chi,y;K^*,R^*,\bar{d}^*)}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial\chi} \tag{3}$$

$$\frac{\partial Q(v,w,\kappa,r,\chi;K^*,R^*,\bar{d}^*)}{\partial\chi} = \frac{\partial Q(v,w,\kappa,r,\chi,y^*;K^*,R^*,\bar{d}^*)}{\partial\chi} + \frac{\partial Q(v,w,\kappa,r,\chi,y;K^*,R^*,\bar{d}^*)}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial\chi} \tag{4}$$

ここで、y^* は、短期の最適生産量である。

すなわち、用水供給量 χ の減少が水量 X 及びエネルギーの総投入量 Q の短期需要に及ぼす影響は、(1) 用水供給量の減少による生産量の減少に伴う要素需要の減少 (式 (3),(4) 第 2 項)、(2) 用水供給量の減少による用水量 X のエネルギー総投入量 Q への代替 (式 (4) 第 1 項) として表れる。

図 1 に、用水供給量の上限 χ と生産量 y との関係を示す。この図から、用水供給量制約 χ が、平常時の用水の需要量 X_0 以下になると減産が生じることがわかる。また、制約 χ のとりうる状態により場合分けを行い、X 及び Q の条件付き要素需要の代替関係を図示すれば図 2 のようになる。ここで、用水供給量の制約がない場合の短期の用水需要量を $X_0(K^*,R^*,\bar{d}^*)$ とおき、$\bar{d}^*=\bar{d}(\hat{X})$ となるような用水供給量水準 $\hat{X}(K^*,R^*,\bar{d}^*)$ を考えることとする。以下、制約 χ の状態別に分析結果を示すことにする。

$a)$ $\chi > X_0(K^*,R^*,\bar{d}^*)$ の場合

用水供給量の制約は活性化せず、再生処理水量 d は $\bar{d}(X_0)$ の水準となる。この場合は、用水供給量の上限 χ が減少したとしても、生産要素の需要量や生産量には、何等影響を生じない。

$b)$ $\chi < \hat{X}(K^*,R^*,\bar{d}^*)$ の場合

図 1 より、用水供給量の上限 χ が減少すると、生産量 y は減少し、利潤も低下する。この際、処理水量 d は再生処理能力 $\bar{d}^*$ に達している。従って、式 (5) に示すように、再生処理水量を増加させることによって、対応することはできず、急激に減産が進むことになる。

$$\frac{\partial y}{\partial\chi} = \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial q}\frac{\partial q}{\partial\chi} \tag{5}$$

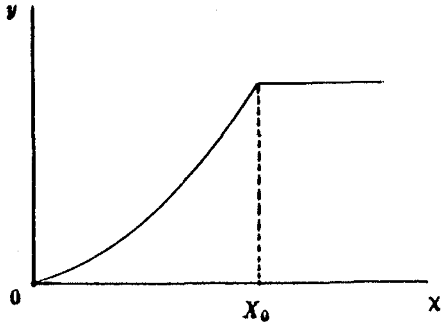

図 1　用水供給量制約と生産量の関係

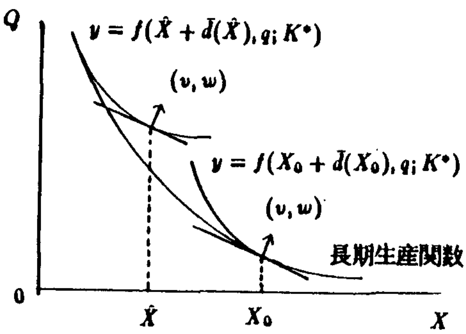

図 2　用水供給量制約と条件付き要素需要

$c)$ $\hat{X}(K^*,R^*,\bar{d}^*) < \chi \le X_0(K^*,R^*,\bar{d}^*)$ の場合

$\chi \le X_0(K^*,R^*,\bar{d}^*)$ であるから、用水供給量の制約は活性化する。しかし、$\hat{X}(K^*,R^*,\bar{d}^*) < \chi$ となるため、再生処理水量 d は $\bar{d}(\chi)$ の水準となり、再生処理設備の能力の制約は活性化しない。従って、式 (6) に示すように、用水供給量の上限 χ の減少とともに、生産量 y は減少し、利潤も低下する。再生処理設備の能力に余裕を生じているため、投入資源量 q とともに再生処理水量 d を増加させることが可能である。

$$\frac{\partial y}{\partial\chi} = \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial x}\frac{\partial d}{\partial\chi} + \frac{\partial f}{\partial q}\frac{\partial q}{\partial\chi} \tag{6}$$

そのため、生産量の減少の緩和や、エネルギー等の投入要素需要を節減することができる。従って、再生処理水量 d の増加が可能な分だけ、$b)$ の場合に比べて、用水供給量が減少してもさほど大きな影響を企業は受けないことがわかる。

4. おわりに

今後の課題としては、企業が再生処理設備導入を行う条件について解析を行うことが必要であると考えられる。