

京都大学工学部地球工学科	学生会員	藤井 隆行
京都大学大学院工学研究科	正会員	大西 正光
京都大学大学院工学研究科	フェロー会員	小林 潔司

## 1 はじめに

近年、下水道事業の処理過程で生じる下水汚泥を、再生可能なエネルギー資源（汚泥燃料）として、電力会社等へ販売可能となる技術（下水汚泥再利用技術）が開発されている。わが国において、下水汚泥処分に関する持続可能性の問題、また地球温暖化対策や地方財政の逼迫を背景として、導入が進みつつある。しかし、汚泥燃料が取引される燃料市場は競争的であることから、販売価格が予想を下回るといったリスク（需要リスク）の存在が考えられる。通常リスクの分担構造はスキームを選択することで決定される。リスクの分担構造は、従事者のインセンティブに影響を及ぼす。再利用技術の導入スキームには、燃料化事業の全てを公営企業が行うものと、民間を活用したPFI(Private Finance Initiative) というスキームがある。PFIとは、再利用技術導入における資金調達や、施設の設計、建設、運営を民間事業者に委託する方式である。PFIには、建設後、施設の所有権を公共へ移転し、民間事業者が運営を開始するBTO(Build Transfer Operate)方式と、建設、運営した後、所有権を移転するBOT(Build Operate Transfer)方式が存在する。地方自治体は需要リスクのマネジメントを目的として民間活用を行うが、そのためには、公共から民間に支払われる対価等について、民間と公共間で適切に契約が結ばれねばならない。

よって、本研究では、従来のスキームにおける問題点や、民間導入の際の適切な契約内容について明らかにするため、初めに技術導入の各スキームを契約理論におけるプリンシパル・エージェント・モデルを用いて定式化した。その際に、導入スキームは、需要リスクの負担構造の違いによって3種類に分類された。そして、分類された各スキームの特徴を考察し、下水汚泥再利用技術導入への示唆を述べた。

## 2 基本モデル

### 2.1 モデルの前提条件

次の二つの主体を想定する。1) 流入した下水を処理し汚泥を分離させる事業を行う主体（プリンシパル）2) 汚泥を燃料化し電力会社等へ販売する主体（エージェント）。流入してくる汚泥量を  $x$  と表す。また、エージェントは、プリンシパルから燃料化の運営に対する汚泥単位当りの対価（サービス購入料） $q$  を得る。プリンシパルの費用関数を  $C_1(x) = c_1(x) + F_1$ 、エージェントの費用関数を  $C_2(x) = c_2(x) + F_2$  と表す。エージェントは、汚泥燃料の販売に対して、努力水準  $e_H, e_L$  を選択する。この努力水準はプリンシパルによって観察不可能であり、エージェントに対して努力水準の選択を強制できないものとする。エージェントが  $e_H$  を選択すれば、確率  $p_H$  で高い燃料価格  $\omega_S$  が実現し、 $1 - p_H$  の確率で低い燃料価格  $\omega_F$  が実現する。また、 $e_L$  を選択すれば、確率  $p_L$  で  $\omega_S$  が実現するとする。ここで、 $e_H$  は  $e_L$  よりも高い努力水準を表し、 $p_H > p_L$  とする。さらに、 $e_H$  を選択することにより、エージェントには不効用  $\Phi$  が生じるとする。このような前提条件の下、以下3つのモデルを分析する。なお、エージェントはリスク中立的であるとする。

### 2.2 公営企業モデル

初めに、汚泥燃料販売による収益（販売収益）を全てプリンシパルが受け取り、エージェントに対して一定のサービス購入料を支払うモデルを考える。これは、エージェントが公営企業である場合を想定した仮定であるため、このモデルを公営企業モデルと呼ぶ。公営企業モデルでは、法律により、汚泥燃料化事業の費用をちょうどカバーするようなサービス購入料に決定される。このとき、エージェントが努力水準  $e_L$  を選択することは明らかである。なぜ

ならば  $e_H$  を選択すれば  $e_L$  を選択するとき比べ、不効用  $\Phi$  だけ期待効用が減少するからである。すなわち、公営企業モデルの場合、エージェントは低い努力水準を選択するという、モラルハザードの問題が生じる。

### 2.3 BTO モデル

次に、販売収益をエージェントが受け取る場合を考える。このとき、プリンシパルはエージェントが破産しないようにサービス購入料を支払うとする。ここで、この破産を定義するため、新たに債権者という主体を導入する。債権者は、エージェントに対し融資を行う。その際の融資額は、エージェントが自己資本  $A$  を所有していたなら  $F_2 - A$  となる。サービス購入料を  $q = \frac{F_2 - A}{x} + c_2$  とする事によって、エージェントはいずれの販売価格が実現しても負債を返済することができる。このモデルは、BTO 方式 PFI による技術導入を表している。よってこのモデルを BTO モデルと呼ぼう。BTO モデルにおいて、エージェントが  $e_H$  を選択した場合の期待効用は、 $p_H \omega_S + (1 - p_H) \omega_F - \Phi$  であり、 $e_L$  を選択した場合  $p_L \omega_S + (1 - p_L) \omega_F - \Phi$  となる。  $\Delta p = p_H - p_L$  とすると、

$$\Phi > \Delta p x \omega_S + (1 - \Delta p) x \omega_F \quad (1)$$

を得る。この場合、エージェントは  $e_L$  を選択し、モラルハザードが生じる。実際には、DBO (Design Build Operate) というスキームも多く用いられている。DBO は、資金調達を公共が行うという点で BTO 方式 PFI と異なるが、リスク分担という観点から本質的に同じと言え、本研究ではこの二つを区別しない。

### 2.4 BOT モデル

続いて、 $\omega_F$  が実現した場合に、エージェントが債権者に対して融資額  $F_2 - A$  を返済できず、破産する場合を考える。エージェントが破産した場合、プリンシパルは  $F_2 - A$  を支払うことによって、エージェントから汚泥燃料化事業を買い取ることができるとする。すなわち、債権者に元本割れのリスクが存在せず、債権者は、 $\omega_L$  が実現すると分かればエージェントを破産させる。このモデルは、BOT 方式 PFI による技術導入を表している。よって、このモデルを BOT モデルと呼ぶこととする。このとき、破産を存在させるために、サービス購入料について、 $q < \frac{F_2 - A}{x} + c_2 - \omega_F$  が言える。また、エージェントが  $e_H$  を選択した場合の期待効用は、 $p_H (\omega_S + q - c_2) - (\Phi + A)$  であり、

$e_L$  を選択した場合  $p_L (\omega_S + q - c_2) - A$  となるため、

$$q > \frac{\Phi}{\Delta p x} - (\omega_S - c_2) + \frac{F_2 - A}{x} \quad (2)$$

を得る。よって、

$$\frac{\Phi}{\Delta p x} - (\omega_S - c_2) + \frac{F_2 - A}{x} < q < \frac{F_2 - A}{x} + c_2 - \omega_F \quad (3)$$

となる。この範囲でサービス購入料を支払うことにり、エージェントに高い努力水準  $e_H$  を選択させることができ、モラルハザードを回避することができる。

## 3 考察

以上 3 つのモデルから、BOT 方式 PFI による技術導入を行うことによって、モラルハザードを回避し、エージェントに対し高い努力水準を選ばせることが可能であることが示された。ただし、ここで、(1) を (2) に代入することによって、

$$q > \frac{1 - \Delta p}{\Delta p} \omega_L + \frac{F_2 - A}{x} + c_2 \quad (4)$$

を得る。よって、BTO モデルと BOT モデルにおける自己資本  $A$  が同額であるとすれば、BTO 方式よりも BOT 方式 PFI のほうが、 $\frac{1 - \Delta p}{\Delta p} \omega_L$  だけ多くのサービス購入料 (情報レント) を支払わなければならない。もし、BOT モデルにおいて、情報レントが自己資本によってカバーされていたならば、従来方式の民間技術導入と同額のサービス購入料によって、エージェントのインセンティブを引き出すことが可能となる。ただし、本研究では破産における社会的損失を考慮していないことに注意する必要がある。下水道事業はその特性から、少しばかりも事業が滞ってはならない。そのため、地方公共団体が破産時の対策を怠った場合、本研究のように債権者がリスクを負わなければ、民間事業者はすぐさま破産となり、下水道事業全体が滞る可能性がある。このようにして生じる社会的損失は非常に大きいと考えられる。よって、BOT 方式 PFI を用いて技術導入する場合、民間事業者が破産しても、別の事業者によって運営がスムーズに継続されるような、下水道事業が滞らない枠組みを構築しておく必要がある。

## 4 おわりに

本研究のモデルは、需要リスクに着目し技術導入スキームを極めて簡略化したものとなっている。そのため、下水汚泥供給量の変動や資本提供者のリスク等、本研究では扱っていないリスクの導入や破産時の社会的損失を考慮したモデルの構築を今後の課題としたい。