

下水汚泥再利用技術導入のための  
制度スキームに関する研究

平成24年2月22日

京都大学工学部地球工学科土木コース

藤井 隆行

## 要 旨

下水道事業に下水汚泥再利用技術を導入する方法として、従来型の公設公営方式や民設民営のPFI方式などが考えられる。はじめに、各導入方式の構造を、下水道料金の決定問題を考えることで明らかにし、汚泥燃料売却における需要リスクが導入方式に与える違いについて考察する。さらに、各導入方式における需要リスクの負担構造の違いを、契約理論のプリンシパル・エージェント・モデルを用いて分析する。その結果、特定の条件下においてBOT方式PFIを用いることにより、汚泥燃料の売却行動に対して正のインセンティブを引き出すことができ、他の方式を用いる時に比べ社会厚生が改善することを示す。

# 目次

第1章 はじめに	1
第2章 本研究の基本的考え方	3
2.1 既存の研究概要	3
2.2 下水汚泥再利用技術の概要と特徴	4
2.3 下水汚泥再利用技術導入における制度スキームの特徴	5
2.4 下水道事業会計について	6
2.5 下水道事業における技術導入スキームの特徴	8
2.6 料金規制と下水道料金	10
2.7 PFI方式とインセンティブ	11
第3章 下水汚泥燃料の取引構造モデル	13
3.1 モデル化の前提条件	13
3.2 公営企業モデル	14
3.3 PFIモデル	16
第4章 燃料需要リスクを考慮したスキーム選択問題	18
4.1 モデル化の前提条件	18
4.2 公営企業方式モデル	21
4.3 PFI方式モデル	22
4.4 実務への示唆	25
第5章 おわりに	27
参考文献	29

## 第1章 はじめに

我が国の下水道事業の運営においては、多くのエネルギーを必要とし、多量の温室効果ガスを排出している現状がある。その一方、下水道の普及や処理技術の進歩に伴い、下水汚泥の回収量も増加傾向にある<sup>10)</sup>。下水汚泥は、様々な下水汚泥処理により濃縮、脱水され、焼却などの過程を経て、建築資材として利用され、処分されてきた。しかしながら、従来の処分方法には費用がかかり、さらに処分先の需要が少なくなってきたという事実がある。こうした下水汚泥の安定した処分先の早急な確保の必要性和、近年の環境問題意識の高まり、さらに我が国の地方公共団体の財政的逼迫を背景に、下水道事業における下水汚泥再利用技術の導入が注目されている<sup>12) 13)</sup>。

下水汚泥再利用技術とは、下水汚泥の多くを占める有機物を再生可能なエネルギー資源として利用可能とする技術であり、その中の一つに下水汚泥を固形燃料化し、電力会社等に環境負荷の低いエネルギー資源として販売可能となる技術がある<sup>11)</sup>。

技術導入によって、環境に配慮した下水道運営とこの売却収入による財政的改善が期待されるが、生成される固形燃料は、下水汚泥を利用した燃料であり、生産調整やその在庫に関して問題がある。そのため、生産された燃料を石油や石炭等が存在する競争的なエネルギー資源市場に売却する場合、その売却価格が変動するといった需要リスクが汚泥再利用技術には存在する。

一方こうした技術の導入方法としては、従来型の公設公営方式や、近年増え始めている公設民営方式や、民設民営のPFI方式などがあり、既にいくつかの地方公共団体の下水道事業において、導入の前例が存在する。昨今の地方分権化の流れや下水汚泥処理技術の国際展開に対する社会的動向から、今後こうした技術導入の増加が考えられ、その際には、各スキームによる技術導入の特徴を熟慮しなければならない。前述したように導入技術には需要リスクが存在し、各スキームによってこのリスク分担方法が異なる。それによって、技術導入による経済的価値に違いが生じる可能性がある。それゆえ、技術導入におけるリスク分担に着目した、理論的な制度スキームの構造分析を知る意味は大きい。

そうした背景から本研究では、下水汚泥再利用技術導入における制度スキームの特徴を分析するため、はじめに各導入方式のキャッシュフローを定式化することでそのリスク分担の構造を明らかにする。さらに需要リスクが存在する下での技術導入スキームの特徴を、情報の非対称性が存在する下での最適なインセンティブ設計の問題を考えることで定式化する。その結果、特定の条件下において技術導入にBOT方式のPFIを採用することによって、汚泥売却に関して事業者にインセンティブ付けすることが可能であり、公営企業方式を採用する場合よりも社会厚生が改善することを示す。

以下、2では本研究の基本的な考え方を述べ、3では技術導入に関するスキームのキャッシュフローを定式化し、下水道料金の決定にラムゼイ最適な料金設定を用いることでその導入スキームの構造について考察する。次に4において、各方式による技術導入に当たってのリスク分担の違いと契約者間での情報の非対称性を想定し、契約理論のプリンシパル・エージェント・モデルを用いることによって導入スキームの違いを定式化し、その特徴について考察し、実務への示唆を与える。

## 第2章 本研究の基本的考え方

### 2.1 既存の研究概要

本研究の対象である公的サービスの組織のあり方に関する研究は、すでに膨大に蓄積がある。特に、近年では、ガバナンス(統治)をキーワードとして、社会活動を構成する多様な主体のインセンティブを適切に導くという視点から、市場や組織の制度的構造の分析を行う研究が進んでいる<sup>1)</sup>。分析のための方法論として、プリンシパル・エージェントモデルと呼ばれる契約の経済学<sup>2),3)</sup>が発展してきた。契約の経済理論の発展により、情報の非対称性が存在する下での、望ましい契約メカニズムに関する形式的な知見が急速に蓄積された。本研究でも、下水汚泥再利用技術の導入スキームを検討する上で、事業の成功に影響を与える意思決定について、望ましいインセンティブを実現するという視点で分析を行う。

本研究では、下水汚泥再利用技術導入の制度スキームとその経済的帰結を分析するために、1)従来型の公営企業方式、2)PFI(Private Finance Initiative)方式の2つの代替案を検討する。PFI方式にも後述する通り、多様性が存在するが、基本的には、入札によって選ばれた民間事業者が財務的なリスクを負担しながら、建設から運営維持管理段階まで一括して請け負う形式の契約である。赤井(2006)<sup>4)</sup>は、行政組織のガバナンスに関する包括的な議論を行っている。そこでは、公営企業改革において、官民の役割分担として、官が関与する部分については情報公開によって住民への説明責任を果たす一方で、民に対しては、明確な契約により市場からのガバナンスを機能させることの重要性を指摘している。また、川本(2005)<sup>5)</sup>は、水道事業を対象とした官と民の役割について議論している。しかし、下水道事業は、地方公営企業法の義務的適用の対象とはなっておらず、下水道事業の運営形態について、わが国では必ずしも統一的な制度的枠組みが形成されていない分野となっている。

PFIの制度的特質に関する研究は、すでに国内外において膨大に蓄積されている。公共調達制度としてのPFI方式は、伝統的な公共調達方式との対比において特徴付けられる。すなわち、伝統的な公共調達では、建設と運営の主体が分離されているのに対して、PFI方式では、建設と運営の主体が同一であり、事業者が提供するサー

ビスに対して対価が支払われる。不完備契約理論に基づけば、建設と運営の一体化によって、運営段階のパフォーマンスに影響を与えるような建設段階での投資のインセンティブが引き出されることにより、効率化が実現できることが示される<sup>6), 7)</sup>。一方、Engel *et al.*<sup>8)</sup>は、PFI方式が有するファイナンス上の特性から得られる効果について論じている。特に、公共主体が、必要な事業の資金を調達できない流動性制約に直面する場合に、プロジェクトファイナンスを前提としたPFIが有効であると指摘している。

本研究の特徴は、従来、地方公共団体あるいは地方公営企業により実施されてきた下水道事業の一部のみをPFI方式によって調達した際の経済的帰結について分析する。特に、汚泥再利用技術導入の際の経済的問題は、汚泥固形燃料から得られる収益リスクの存在に起因するインセンティブ問題を適切に導くことである。本研究では、既存の研究アプローチを踏まえ、下水汚泥再利用技術導入の制度スキーム選択問題に関して、政策的示唆を導くことを目的とする。

## 2.2 下水汚泥再利用技術の概要と特徴

本研究で対象とする下水汚泥再利用技術とは、下水汚泥中に多く含まれる有機物を適切に処理することで、従来埋め立て処分や建設資材等に使われるのみであった下水汚泥を、バイオマス等のエネルギー資源として利用可能にする技術である。得られたエネルギー資源(汚泥燃料)は、下水道事業内での利用や、電力会社等へ販売される。そのため、この技術を下水道事業に導入することによって、下水汚泥の持続的な処分先の問題の解決や、地球温暖化対策への貢献、さらに下水道事業財政の改善が期待され、すでにいくつかの技術導入の前例が存在する。

下水汚泥再利用技術には主に、固形燃料化技術、バイオガス利用技術、ガス化技術の三つがある<sup>10)</sup>。固形燃料化技術では、下水汚泥を炭化もしくは乾燥させ固形燃料化し電力会社等の燃料として売却し、その売却によって収入を得ることで汚泥処理費用の縮減が見込まれる。バイオガス利用技術では、主に嫌気性消化により発生したバイオガスを利用する技術であり、発生したバイオガスは、バイオガス発電や燃料電池、自動車燃料等に利用される。また、ガス化技術では下水汚泥のガス化反応、改質反応により生成した可燃性ガスを汚泥の乾燥やガス化に利用し、残りの可燃性ガスを発電に利用する技術である。バイオガス利用技術とガス化技術に

については、発生したバイオガスや可燃性ガスを下水道事業にかかわる運営に使用するため、それによる、電力消費等の縮減により、運営費用の縮減が期待される。

一方で、下水汚泥の特徴として、絶えず発生するため、処理する汚泥量をコントロールできないことが挙げられる。よって汚泥燃料の生産調整は難しいと考えられる。そのような汚泥燃料の特徴をもとに、固形燃料化技術について考えてみると、この技術から生産される汚泥燃料の販売市場はエネルギー資源市場であり、石油や石炭等の代替的な商品が存在することから販売市場は競争的であると言える。さらに、生産した汚泥燃料の大部分を処理しなければならない事実を考慮すれば、販売段階においてその価格が予定を下回るような、需要リスクの存在が考えられる。本研究では、この需要リスクを、汚泥売却のマーケティングによってマネジメントできる事を想定している。4ではこの想定により、汚泥燃料化事業の関係主体間に情報の非対称性が存在する場合に、導入スキームによって経済的帰結に違いが生じることを示しており、以下、想定する下水汚泥再利用技術は固形化燃料技術である。

### 2.3 下水汚泥再利用技術導入における制度スキームの特徴

下水汚泥再利用技術の導入(以下技術導入と略する)には、公設公営方式と公設民営方式、また民設民営方式の大きく分けて三つのパターンが存在する<sup>10)</sup>。

公設公営方式には、自治体が施設の計画、設計から財源確保、建設、運営までを自治体主体で行う従来のPSC(Public Sector Compartment)方式と施設の計画、調査、財源確保、運営は地方自治体が行い、設計、建設は一括して建設業者に発注されるDB方式があるが、DB方式では自治体が事業を運営する際に設計や建設等の技術的ノウハウを生かすことが難しくなる可能性がある。しかし、本研究では、燃料化事業の運営にかかるリスクに焦点を当て、そのようなノウハウの分断による影響は、考慮しないためこの二つに違いは生じない。

次に公設民営方式について、DBO方式と呼ばれるものがある。これは、自治体が資金調達し施設は自治体が所有するが、民間会社に施設の設計、建設、運用、維持管理を一括して発注し、事業全体への責任を負わせるものである。この時、資金調達は公営企業債の発行で賄うため自治体によってその返済が保証され、DBO方式による技術導入の場合、汚泥燃料化部分の事業者に破産は存在しない。本研究では民間と公営の間の導入技術に関する違いを考慮しないため、公設公営方式と公設

民営方式に違いはなくこの二つ併せて公営企業方式と呼ぶこととする。

民設民営方式はPFI(Private Finance Initiative)方式と呼ばれ、対象事業を落札した事業者が特別目的会社(以下SPCと呼ぶ)を立ち上げ、資金調達から施設の設計、建設、運営、維持管理を行う方式である。PFI方式の事業形態には、その収益の源泉をどこに求めるかによって、サービス購入型、独立採算型、ジョイントベンチャー型(混合型)に区分される。SPCは汚泥燃料化事業だけを行う会社として設立され、本研究では誤解の恐れがない場合に限り、PFI事業者と呼ぶこととする。サービス購入型とは、PFI事業者が提供するサービスに対して自治体が対価を支払うもので、独立採算型とは、事業の受益者から料金を徴収することによって売り上げを立てる。混合型とは、受益者からの収益と自治体からの運営対価であるサービス購入料から収入を得るもので、このサービス購入料をゼロとみることで、独立採算型は混合型に含めることができると考える。また、施設の所有権の違いから、BTO、BOT、BOOの三方式に分けることが出来る。BTO方式は、事業者が施設を建設し、完成直後に自治体に所有権を移転し、事業者が維持、管理また、運営を行うものである。BOT方式は、事業者が施設等を建設、維持・管理及び運営し、事業終了後、自治体に施設所有権を移転する事業方式であり、BOO方式は、事業終了まではBOT方式と同じだが、事業終了後は、事業者が施設の解体撤去等を行う方式である。

本研究では、導入技術に固形化燃料技術を想定しているため、混合型PFI方式による導入スキームを分析している。また、本研究では燃料化事業において民間事業者によるオペレーションの結果、事業者が継続できなかった場合、自治体はその事業を買い取ると想定している。よって、本研究におけるPFI方式はBOT方式である。その理由は、オペレーションの前に事業を買い取るBTO方式では、需要リスクは全て自治体が負担することになり、公営企業方式と同じく事業者に破産が存在せず区別されないからである。

以下の分析において、技術導入スキームには公営企業方式とPFI方式の2種類が存在するものとしてその構造を分析する。

## 2.4 下水道事業会計について

下水道事業は、地方公共団体の経営する公営企業としてそのサービスが提供されている(地方財政法施行令第三十七条)。その経理は地方財政法のもと、特別会

計を設けることにより行われ、特別会計では、下水道事業の運営により得られた歳入をその歳出に充て、一般の歳入歳出(一般会計)と区別して経理されている。この特別会計の定義により、公営企業には独立採算性が求められていることが分かる。しかし一方で、公営企業は、地方財政法、または地方公営企業法により、「公営企業の経営に伴う収入をもって充てることが適当でない経費」や「性質上能率的な経営を行っても経営に伴う収入のみでもって充てることが困難な経費」に関して、一般会計からの繰入(一般会計繰入金)が認められている。下水道事業においては、「雨水公費・汚水私費の原則」にその一端を見ることが出来る。まず、「汚水私費」とは、汚水が日常生活及び生産活動により生じるものであり、下水道の使用者の汚水排出量を容易に測定できることから、その排出量に応じて特別会計によって負担することを指しており、独立採算性を表している。一方で、「雨水公費」とは、雨水が自然現象によるものであり、雨水の排除は生活環境の改善や浸水の防除に効果を発揮し、その受益が広く市民に及ぶことから、その費用は一般会計が負担することを指す。加えて、実際には、汚水にかかわる経費についても一般会計からの繰入がなされている。

こうした一般会計繰入金は、基準内繰入金と基準外繰入金の二つに分けられる。基準内繰入金は、総務省が一般会計から繰り入れるに妥当である基準を定め、各都道府県知事や各指定都市市長へ繰入基準が通知<sup>16)</sup>されるものである。一方、基準外繰入とは、通知された以外の経費への一般会計繰入金のことである。この基準外繰入によって、公営企業の実質収支等が黒字化しているという事実もある<sup>15)</sup>。いわゆる赤字補填のための一般会計繰入金である。そのため、仮に民間企業であれば、債務不履行となり得る場合であっても、後述するような暗黙の政府保証と、この一般会計からの繰入によって、債務が履行される。

また、下水道事業を行う公営企業は、地方公営企業法を全部若しくは一部適用している法適用企業と、地方公営企業法を任意によって適用していない法非適用企業の二つに分類される。法適用企業の場合、その特別会計は公営企業会計と呼ばれ、企業会計方式により経理が行われる。一方、法非適用の場合、地方自治法に基づいた経理が行われ、一般会計と同様にその会計処理は、単式簿記かつ現金主義の会計方式で行われている。つまり、法適用を行い、複式簿記かつ発生主義の会計方式である公営企業会計を用いることで、資産と負債等の区分を明確に把握することが可能である。現在の下水道事業においては、法非適用企業の方が多い<sup>14)</sup>。しかし、

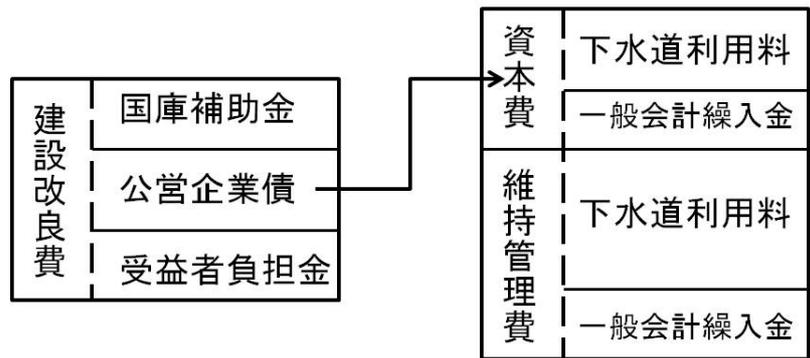


図-2.1 下水道事業費内訳

平成19年に「地方公共団体の財政の健全化に関する法律」が施行されたこともあって、公営企業の財政状態の透明性が必要とされている。そのため、現在、事業の計画性や透明性の確保、公費負担分の明確化を目的として、下水道事業への公営企業法の適用の動きが増えてきている<sup>14)</sup>。それに伴い本研究においては、地方公営企業法に基づいた下水道事業運営を考え、適切な下水道料金設定が可能であるとする。

## 2.5 下水道事業における技術導入スキームの特徴

公営企業方式による技術導入とPFI方式の異なる点は、燃料化事業に関する資金調達方法の違いから生じる運営リスクにある。以下では、二つの資金調達方法の違いとそこから生じる運営リスクについて述べる。

まず、より具体的な下水道事業における費用について述べる。下水道事業費は、建設改良費と管理運営費の二つに分けられる。「建設管理費」は、未整備の地域に下水管を伸ばすためにかかる経費や、処理場・ポンプ場の増設・更新等にかかる経費のことで、「管理運営費」は、処理場や下水管などの下水道施設の維持管理をするためにかかる経費や、企業債の元利償還金のことである。このうち、管理運営費は、建設改良費の財源とするために借り入れた企業債の元利償還金である資本費と、管渠・処理場などの管理費や人件費である維持管理費に分けられる。

図2.1のように、建設管理費については国庫補助金や公営企業債、受益者負担金を財源としている。管理運営費については、雨水公費・汚水私費の原則から、資本費の雨水にかかる部分は一般会計繰入金を、汚水にかかる部分は原則、下水道使用

料を財源としているが、一部、一般会計繰入金も充てられている。維持管理費についても同様に、雨水にかかる部分は一般会計繰入金を、汚水にかかる部分は下水道使用料を財源としている。建設管理費の財源にある公営企業債とは地方債の一部であり、公営企業がその経費や建設事業費の財源を外部から調達することによって負担する債務のことであり、その履行は一会計年度を超えて行われる。

地方自治体が資金調達を行う公設公営方式や公設民営方式によって技術導入される場合を考えると、前述のとおり、技術導入にかかる費用の一部を公営企業債で賄うことになり、その返済は下水道使用料と一般会計繰入金、更に燃料化物の売却によって得られる収入によって行われる。この場合、現時点においては、一般にその償還は政府によって保証されている（暗黙の政府保証）と認識されている。暗黙の政府保証が存在する理由の一つには、公営企業債を含む地方債の元利償還に対する国の財源保障があったことによる。地方債の新規発行額は、国が策定する地方財政計画の歳入に、地方債の元利償還金である公債費は、歳出に計上され、この歳出と歳入を均衡させることによって、公債費相当額の財源は地方財政計画によって担保され、自治体全体（マクロベース）での財源保障が行われてきた。こうした仕組みが働く背景には、地方債発行に関する起債許可制度の存在があった。起債許可制度によって、国は事前に地方財政の収支を把握することが出来た。しかし、2006年度より起債に関しては、許可制から協議制へと移り、それによって国の同意が無くとも起債することが可能となった。また、事後的な地方交付税による財源手当てを見直す動きや、更に企業債の引受先についても近年民間資金の割合が増加傾向にあり、地方自治体の国に依存しない財政を目指していることが分かる<sup>19)</sup>。しかしながらその財政は逼迫しているのが現状であり、従来行われてきたような導入方法では、自治体財政の悪化に拍車をかける可能性がある。

PFI方式による技術導入の場合、その資金調達はSPCがエクイティ(株式)とデット(負債)によって行う。この時のデットの担保は固形燃料化事業の収益とその資産であり、よって返済原資は、固形燃料化技術によって生じたキャッシュフローのみである。即ち、PFI方式の資金調達は、プロジェクトファイナンスの枠組みで行われる。そのためPFI事業において、デットの債権者(金融機関)は燃料化事業の悪化に伴い、PFI事業者が債務不履行となっても、事業に出資している親会社にその返済を要求することはできないので、金融機関は地方自治体と直接協定の契約を締結し、PFI事業者が破産した場合、金融機関は代替事業者を立て、自治体の承諾後、事業を継続さ

せることができる<sup>20)</sup>。

つまり、PFI方式の場合の事業者には破産のリスクが存在する。一方公営企業方式では公営企業債の返済が、特別会計によって賄いきれなくとも、一般会計からの繰入によって償還が行われるため、下水道事業者即ち公営企業に破産は存在しない。

## 2.6 料金規制と下水道料金

技術導入方法の違いから事業者に破産の可能性が生じた。しかしこれは前提として事業に需要リスクが存在していることによる。リスクが存在しなければ、技術に差がないと仮定すると、技術導入方法に差は生まれない。このことを本研究の3において、下水道料金決定の問題を分析することで述べている。

ラムゼイ料金とは、公営企業の利潤を最低限ゼロにするような規制の下、総余剰を最大化する、ラムゼイ最適な料金のことである。下水道料金の決定にこのラムゼイ料金を導入した理由として、下水道事業の経済的特徴が関係している。下水道事業の特徴は、莫大な固定費用が必要であり、生産量を増やすことによって平均費用が逓減し、平均費用が最小となる生産量水準である最少最適生産規模が、下水道市場の規模に対して大きいという、規模の経済性が存在するところである。この規模の経済性が存在するもとは、費用関数は劣加法的である。即ち、複数の企業が生産した時の総費用よりも、単一の企業で財・サービスを産出するときの費用のほうが小さくなる。そのため、ある企業が、その市場において独占的であれば、規模の経済性により参入障壁が存在し、そのため自然独占が生じる。このように下水道事業においては、市場の原理に任せておけば独占が生じる可能性がある。ある財・サービスが、利潤最大化を目的とする企業によって独占的に供給される場合、資源配分が効率的に行われずという問題が発生する。こうして独占によって生じた経済厚生損失を「独占の死荷重」と呼ぶ。こうした問題を解決する方法として、価格を公的に規制し、経済厚生を最大化する方法がある。このような価格規制の方法の一つとして限界費用料金規制があげられる。限界費用料金規制とは、生産量に対する価格を限界費用に一致させるように規制することである。

この限界費用料金規制を下水道事業に当てはめて考えてみる。下水道事業を有する地方自治体の目的は社会的総余剰の最大であり、さらに、独立採算で運営されることが求められる。ここでの独立採算とは下水道事業の汚水私費の原則に基づ

き、汚水処理にかかわる費用を下水道料金の徴収のみで運営費用を賄うことである。限界料金規制の下では独占による死荷重をゼロにすることが出来るため、「最善」の方法とよばれるが、下水道事業のように、規模の経済性が強く、限界料金規制による収入では平均費用を賄えないという事態が生じる可能性がある。この場合、企業は赤字となり、そのままでは運営を続けられなくなる。そのため、運営を続けるためには別の方法を考えなければならない。その方法として国が赤字補填をする方法が考えられる。赤字補填は税収によって賄われるのが常であるが、その税が課税対象の性質に無関係な一括型の税でない限り、課税による死荷重を生むことが知られている。よって、限界料金規制は、独占の死荷重と課税による死荷重のトレードオフ関係の上に成立している。いずれにせよ、この規制下では下水道事業は独立採算な運営が行えない可能性がある。

そこで、独立採算な運営が可能な料金設定としてラムゼイ料金が存在する。ラムゼイ料金とは、公営企業の利潤を最低限ゼロにするような規制の下、総余剰を最大化する、ラムゼイ最適な料金のことである。一方、地方公営企業法第三条の経営の基本原則に「地方公営企業は、常に企業の経済性を発揮するとともに、その本来の目的である公共の福祉を増進するように運営されなければならない」とあることから、公営企業は独立採算かつ社会的総余剰の最大化を目的とすることが言える。また、同法第二十一条第二項に「前項の料金（地方公共団体が徴収することが可能な料金）は、公正妥当なものでなければならず、かつ、能率的な経営の下における適正な原価を基礎とし、地方公営企業の健全な運営を確保することができるものでなければならない。」とあり、公営企業は利潤を生みださないよう定められている。これらのことから、3ではラムゼイ料金を考えることで下水道料金を導出している。

## 2.7 PFI方式とインセンティブ

前述したとおり、需要リスクが存在する下では、公営企業方式とPFI方式の間に破産リスクの有無が生じた。破産リスクの有無が技術導入による経済的帰結に与える影響について、本研究の4において述べている。4では、燃料化事業の事業者(4ではエージェントと呼んでいる)と事業の発注者である地方公共団体との間に情報の非対称性が存在すると仮定している。情報の非対称性とは、ここでは、地方公共

団体が、エージェントの行った努力水準を観察出来ないことを指す。情報の非対称性が存在する下（非対称情報下）では、契約が締結されたのちにエージェントが、適切な努力を行わず怠けるといふモラル・ハザードが生じる。モラル・ハザードが生じるのは、非対称情報下において、エージェントに対し適切な努力を行わせるような誘因（これをインセンティブと呼ぶ）を上手く与える、最適な契約を締結できていないことに原因がある。このモラル・ハザードの問題が、技術導入の際の契約如何によって生じる可能性がある。

よって、本研究では、情報の非対称性を扱う契約理論の分野における、プリンシパル・エージェント・モデルの枠組みから、地方公共団体をプリンシパル、燃料化事業を行う主体をエージェントと置くことで、技術導入におけるモラル・ハザードを議論している。その中では、公営企業方式の場合、破産が存在しないことからモラル・ハザードが生じる。一方PFI方式の場合には、エージェントに破産リスクが伴い、対称情報を想定した場合よりも多くの報酬を必要とするが、地方公共団体は、エージェントに対し汚泥燃料売却に対する正のインセンティブを引き出すことが可能であることを示している。

### 第3章 下水汚泥燃料の取引構造モデル

#### 3.1 モデル化の前提条件

下水汚泥再利用技術導入にあたり、従来方式とPFI方式の2つのスキームの下での各ステークホルダーの利得構造を定式化する。下水道事業は、1)発生した下水を汚泥と浄化された水に分離し、汚泥を脱水する過程(汚泥分離過程)と2)脱水された汚泥(脱水ケーキ)を最終的に処分可能な形にする過程(汚泥処理過程)から成る。従来の方法では、脱水ケーキは焼却され、埋め立て地で最終処分されていた。本研究が対象とする下水汚泥再利用技術は、脱水ケーキを燃料化することにより、埋め立て地で最終処分することなく、経済的価値を有する財として再利用することを可能にする。以下、脱水ケーキを汚泥固形燃料化する過程を汚泥燃料化過程と呼ぶ。

下水道事業は、地方公共団体の公営企業法の対象であり、下水道利用料金収入は、下水道事業に要する経費にのみ活用される。新技術導入にあたり、下水道事業体である公営企業が新技術を導入するスキームを従来方式と呼ぶ。従来方式の下での各ステークホルダー間の取引構造は図3.1のようになる。 $p$ は下水道利用の単位あたりの下水道料金を表す。下水道利用者による下水利用量(汚水発生量)は、下水道料金 $p$ に依存して需要関数 $x(p)$ と表す。

汚泥分離過程の費用関数を  $C_1(x) = c_1x + F_1$ 、汚泥燃料化過程の費用関数を  $C_2(x) =$

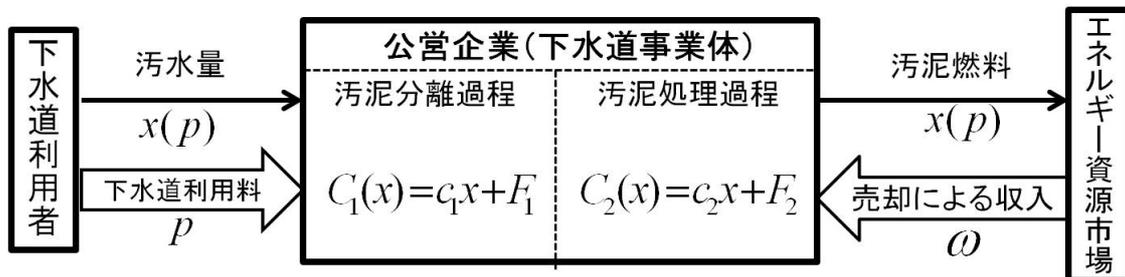


図-3.1 従来方式による技術導入

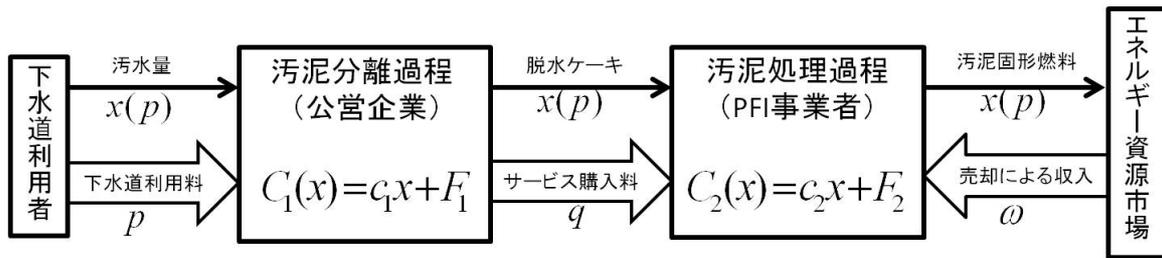


図-3.2 PFI方式による技術導入

$c_2x + F_2$  と表す。汚泥固形燃料は最終的に市場で売却される。いったん汚泥再利用技術を導入すると、焼却やその他の再利用技術を利用することができないと仮定する。また、発生した汚泥を一定期間保存することもできず、汚泥固形燃料の生産を制御することはできないと仮定する。汚水1単位から生産できる汚泥固形燃料の売却価格を  $\omega > 0$  と表す。このとき、汚泥固形燃料の売却による収入は  $\omega x(p)$  である。

本章では、下水道料金  $p$  の設定は、以上の取引構造についてすべての情報が明らかになっていると仮定する。しかし、実際には、需要関数  $x(p)$  や汚泥固形燃料の売却価格  $\omega$  に関する情報を、あらかじめ確定的に知ることができない。このような不確実性に伴う問題は、第4章で議論する。以下では、汚泥分離過程、汚泥燃料化過程ともに公営企業が実施する公営企業方式と、汚泥分離過程は公営企業が実施するが、汚泥燃料化過程は競争入札によって選ばれた民間事業者が実施するPFI事業方式による取引構造を分析する。

### 3.2 公営企業モデル

汚水私費原則から、汚水処理にかかる経費については、原則的に下水道料金によってカバーされる。また、地方公営企業法第21条第2項では、「前項の料金(地方公共団体が徴収することが可能な料金)は、公正妥当なものでなければならず、かつ、能率的な経営の下における適正な原価を基礎とし、地方公営企業の健全な運営を確保することができるものでなければならない。」と定められている。すなわち、料金は原価をカバーするのみであり、公営企業は利潤を生み出してはならない。したがって、地方公営企業が設定する料金は、地方公営企業の利潤が負にならない条

件の下で，社会的総余剰を最大化する水準で決定するラムゼイ料金として定式化しよう。

下水道利用者の下水道利用から生じる消費者余剰 (consumer surplus)  $CS$  は需要関数を用いて次のように定義できる。

$$CS = \int_p^{\infty} x(t)dt \quad (3.1)$$

公営企業の利潤 (生産者余剰; production surplus)  $PS$  は，下水道利用料金収入，汚泥固形燃料の売却収入から下水処理過程から発生する費用を差し引いたものである。すなわち，

$$PS = (p + \omega - c_1 - c_2)x(p) - F_1 - F_2 \quad (3.2)$$

と表される。したがって，地方公共団体による下水道利用料金の決定問題 (Max-Pub) は次のように定式化できる。

(Max-Pub)

$$\max_p \quad CS + PS \quad (3.3)$$

$$\text{subject to} \quad PS = 0 \quad (3.4)$$

となる。上記最大化問題のラグランジュ関数は，

$$L = \int_p^{\infty} x(t)dt + (p + \omega - c_1 - c_2)x(p) - F_1 - F_2 + \lambda \{(p + \omega - c_1 - c_2)x(p) - F_1 - F_2\} \quad (3.5)$$

ここで， $\lambda$  は，ラグランジュ乗数であり，制約条件 3.4 より  $\lambda > 0$  とする。したがって，一階条件は，

$$\frac{\partial L}{\partial p} = -x(p) + (1 + \lambda) \{x(p) + (p + \omega - c_1 - c_2)x'(p)\} = 0 \quad (3.6)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = (p + \omega - c_1 - c_2)x(p) - F_1 - F_2 = 0 \quad (3.7)$$

式 3.7 より，ラムゼイ料金は，

$$p = \frac{C_1(x(p)) + C_2(x(p))}{x(p)} - \omega \quad (3.8)$$

となる。さらに式 3.6 より，

$$\frac{p + E[\Omega] - C_1'(x(p)) - C_2'(x(p))}{p} = -\frac{\lambda}{1 + \lambda} \frac{x(p)}{px'(p)} \quad (3.9)$$

を得る。ここで，需要の価格弾力性を  $\epsilon$  とおけば，

$$\epsilon = \frac{\frac{\partial x(p)}{\partial p}}{\frac{x}{p}} = \frac{p \frac{\partial x(p)}{\partial p}}{x(p)} \quad (3.10)$$

より,式3.9に代入して,

$$\frac{p + \omega - c_1 - c_2}{p} = -\frac{\lambda}{\lambda + 1} \frac{1}{\epsilon} \quad (3.11)$$

$$p = \frac{\epsilon(\lambda + 1) + \lambda}{\epsilon(1 + \lambda)} (c_1 + c_2 - \omega) \quad (3.12)$$

が得られる.

### 3.3 PFIモデル

次に, PFI方式により汚泥再利用技術の導入する場合を考える. PFI方式では, 公営企業に代わって, 民間事業者(以下, PFI事業者と呼ぶ)が汚泥の燃料化, 受け入れ先の確保, 燃料化物の運送を行う. PFI事業者は, 汚泥固形燃料の売却によって得られる収入と公営企業から受け取る対価を受け取る. PFI方式による技術導入の流れは図3.2に示す通りである. さらに,  $q$ はサービス購入料を示しており,  $\omega$ については, 従来方式のものと同等である. 事業スキームの違いから生じる経済的帰結を分析するため, 公営企業方式とPFI方式で導入される技術は同一であると仮定する.

PFI方式では, 下水道利用料金 $p$ と公営企業からPFI事業者への汚水単位あたりから発生する脱水ケーキを引き取る対価 $q$ が内生的に決定される. 第一段階では, 公営企業がラムゼイルールにしたがって, 下水道利用料金 $p$ を決定する. 第二段階では, 下水道利用料金 $p$ を所与として, 民間事業者がサービス対価 $q$ を競争入札において提示し, 最も小さい $q$ を提示した民間事業者がPFI事業者として選ばれる.

公営企業の利潤 $PV_1(p, q)$ 及びPFI事業者の利潤 $PV_2(p, q)$ は

$$PV_1(p, q) = (p - q - c_1)x(p) - F_1 \quad (3.13)$$

$$PV_2(p, q) = (q + \omega - c_2)x(p) - F_2 \quad (3.14)$$

となる. PFI事業者は, 下水道利用料金 $p$ を所与として, 完全競争入札を経て, ゼロ利潤となる水準で $q$ を決定する. また, 民間事業者はリスク中立的であると仮定する. 下水道利用料金が $p$ の場合, PFI事業者が決定する対価を $q(p)$ と表すと,

$$q(p) = \frac{F_2}{x(p)} - \omega + c_2 \quad (3.15)$$

となる.

以上のように決定されるPFI事業者に対する対価を考慮して，地方公共団体は公営企業の利潤が負にならない条件で，社会的余剰を最大化する水準で下水道利用料金を決定する．下水道利用料金決定問題は，次のように定式化できる．

$$\begin{aligned} \max_p \quad & CS + PV_1 + PV_2 & (3.16) \\ \text{subject to} \quad & \end{aligned}$$

$$(p - q(p) - c_1)x(p) - F_1 = 0 \quad (3.17)$$

となる．ここで，式(3.15)を上記の問題に代入すると明らかに，公営企業方式の場合の料金設定問題(Max-Pub)の定式化である．したがって，PFI事業方式の場合の下水道利用料金は，

$$p = \frac{\epsilon(\lambda + 1) + \lambda}{\epsilon(1 + \lambda)}(c_1 + c_2 - \omega) \quad (3.18)$$

以上の分析結果から，次の命題1が得られる．

**命題1** 民間事業者と公営企業の間技術的優劣がなく，事前にリスクが存在しない場合には，公営企業方式とPFI事業方式のいずれの場合も，同一の経済的帰結がもたらされる．

本章で仮定したように，汚水の発生量及び汚泥固形燃料の売却収入があらかじめ確定的にすべての主体にとって既知であれば，下水汚泥再利用技術の導入について公営企業方式の場合とPFI方式の場合の経済的帰結は全く無差別となる．しかし，実際には，汚水の発生量も汚泥の固形燃料の売却収入もあらかじめ確定的に知ることは不可能である．以下の章では，リスクとそのマネジメントに対する投資の経済的価値が存在する場合には，公営企業方式とPFI事業方式の経済的帰結は異なることを示す．

## 第4章 燃料需要リスクを考慮したスキーム選択問題

### 4.1 モデル化の前提条件

前章では、すべてのパラメータが事前の料金設定の段階で既知であり、リスクがない場合を仮定した。そのため、下水道利用料金収入及び汚泥固形燃料の売却による収入により、ちょうどすべての必要な費用がカバーされる。しかし、実際には、事前にすべての経済的環境をあらかじめ予測することは困難であり、リスクが伴う。特に、収益が実際に必要となる費用をカバーできない場合のシナリオが、公営企業方式の場合とPFI方式の場合で異なる。その結果、スキームの選択が、事業の経済的帰結に大きく影響を与える。以下では、汚泥固形燃料の売却によって得られる収益のリスクが存在する場合を仮定し、公営企業方式とPFI方式での経済的帰結の違いを明らかにする。

2つの事業スキームを、図4.1のように、地方公共団体（政府）が汚泥再利用事業の依頼人として、エージェントに、公営企業方式かPFI方式により依頼するプリンシパル・エージェント・モデルにより定式化する。公営企業方式の場合には、エージェントは公営企業と呼ばれ、PFI方式の場合はPFI事業者と呼ばれる。地方公共団体から金銭が移転される場合、一般会計が財源であり、公営企業から金銭が移転される場合は、下水道利用料金収入の特別会計が財源である。モデルの時間的順序関係は、図4.3に示す通りである。

第1期では、固定費用 $F_2$ の投資が行われる。第1期では、汚泥固形燃料の売却単価 $\omega$ を確定的に知ることができない。汚泥固形燃料の売却単価 $\omega$ は、事業開始後の第2期において判明する。汚泥売却単価 $\omega$ について、汚泥燃料価格で表される状態の集合を $\Omega = [\omega_F, \omega_S]$ とする。ただし、 $\omega_F < \omega_S$ である。変数 $\omega$ を観察可能かつ立証可能である。なお、下水道利用の需要関数をあらかじめ知ることが困難であるが、ここでは、燃料売却収入のリスクに着目するため、下水道料金をいったん確定すれば、下水道利用量 $x$ も確実に予想できると仮定する。

燃料の売却単価の確率分布は、エージェントのマーケティングへの努力に依存して変化する。エージェントの努力水準の集合を $A = [a | a = a_L, a_H]$ と表す。 $a_H$ は高い努

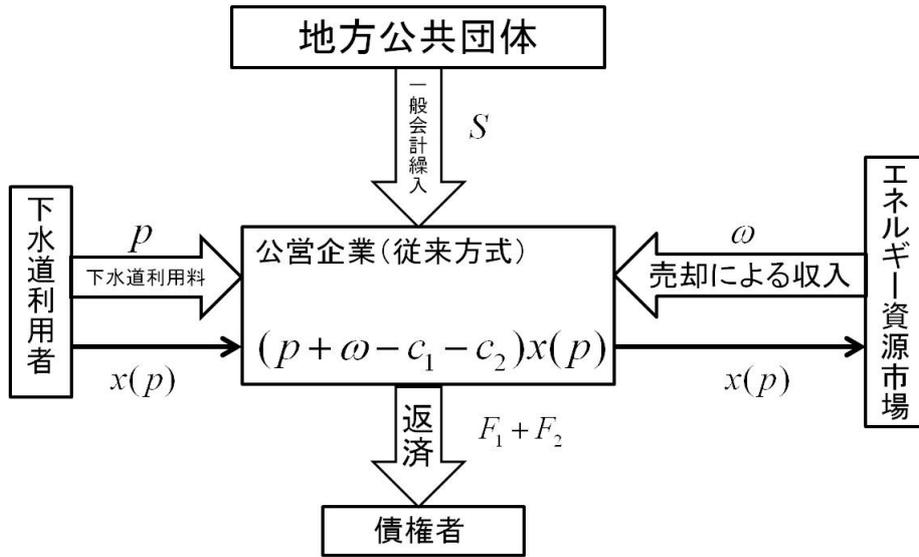


図-4.1 従来方式における現金の流れ

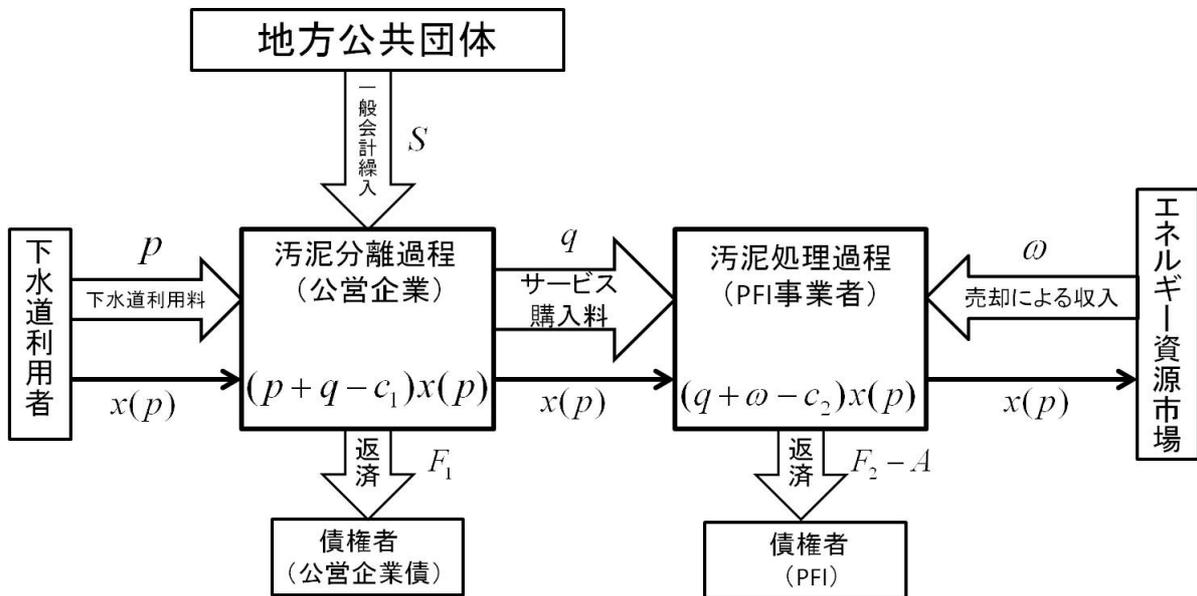


図-4.2 PFI方式における現金の流れ

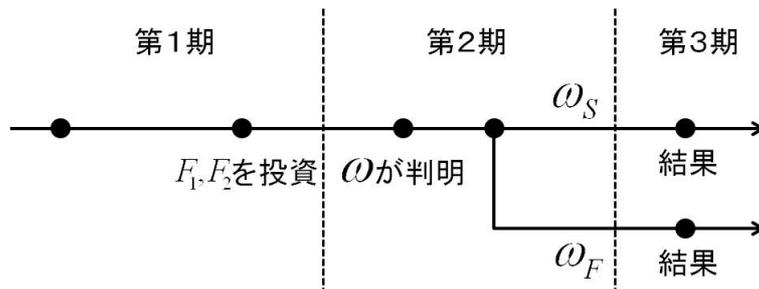


図-4.3 汚泥燃料化事業のタイムライン

主体 \ 売却価格	$\omega_S$	$\omega_F$
一般会計	0	$(p + \omega_F + c_1 + c_2)x(p) - F_1 - F_2$
特別会計	$(p + \omega_S - c_1 - c_2)x(p) - F_1 - F_2$	0
エージェント	0	0

但し,  $(p + \omega_S - c_1 - c_2)x(p) - F_1 - F_2 > 0 > (p + \omega_F - c_1 - c_2)x(p) - F_1 - F_2$

図-4.4 公営企業方式における各主体の利得表

主体 \ 売却価格	$\omega_S$	$\omega_F$
一般会計	0	$(p + \omega_F + c_1 + c_2)x(p) + A - F_1 - F_2$
特別会計	$(p - q - c_1)x(p) - F_1$	0
エージェント	$(q + \omega_S - c_2)x(p) - F_2$	$-A$
債権者(PFI)	0	0

$(p + \omega_S - c_1 - c_2)x(p) - F_1 - F_2 > 0 > (p + \omega_F - c_1 - c_2)x(p) + A - F_1 - F_2$

但し,  $\frac{F_2 - A}{x(p)} + c_2 - \omega_F > q \geq \frac{\Phi_{sp} + F_2 - A}{x(p)} - \omega_H + c_2$

図-4.5 PFI方式における各主体の利得表

力水準を表し， $a_L$ は低い努力水準を表す．エージェントが高い努力水準 $a_H$ を選択した場合に，高い汚泥固形燃料の売却単価 $\omega_S$ が実現する確率を $p_H$ ， $\omega_F$ が実現する確率を $1-p_H$ とする．また，エージェントが低い努力水準 $a_L$ を選択した場合に， $\omega_S$ が実現する確率を $p_L$ ， $\omega_F$ が実現する確率を $1-p_L$ とする．エージェントが負担する努力に伴う私的不効用を $\phi(a)$ と表し， $\phi(a_H) = \Phi$ ， $\phi(a_L) = 0$ と表す．高い努力水準の選択が社会的効率的であるための次の条件式を仮定する．

$$p_H\omega_S + (1-p_H)\omega_F - \Phi \geq p_L\omega_S + (1-p_L)\omega_F$$

$$\Leftrightarrow \Delta p(\omega_S - \omega_F) \geq \Phi \quad (4.1)$$

ただし， $\Delta p = p_H - p_L$ である．以上の前提条件の下では，第2期において，売却単価が下ぶれした場合に，初期投資費用が回収できないことが判明する可能性がある．このとき，公営企業方式とPFI方式が前提とする需要リスクの分担構造の違いにより，経済的帰結が異なることを以下で明らかにする．

## 4.2 公営企業方式モデル

公営企業方式では，公営企業債の発行により初期投資費用 $F_1 + F_2$ が調達される．初期投資費用は，地方公共団体によって，必ず返済されなければならない．仮に，汚泥固形燃料の売却収益が小さく，下水道事業にかかる収益のみで初期投資費用が回収できない場合には，一般会計からの繰入により償還財源とする．

公営企業方式の場合には，汚泥固形燃料の売却収益リスクが顕在化した場合であっても，一般会計からの繰入によって償還が行われることが保証されているため，事業が破産する可能性が存在しない．次節でPFI方式を定式化するが，この破産の可能性の有無によって，公営企業方式とPFI方式の違いが特徴付けられている．

公営企業方式の場合，エージェント（すなわち，経営責任者）は事業の成否にかかわらず，一定の利得を獲得する．すなわち，汚泥固形燃料の売却により高い事業収益が実現した場合も特別会計の事業収益とカウントされる．一方，低い事業収益が実現し，償還が困難であっても，一般会計からの繰入によって償還されるため，エージェントは自らの資産を失うことはない．このとき，エージェントは低い努力水準 $a_L$ を選択することは自明である．

いま，下水道利用料金  $p$  が

$$(p + \omega_F - c_1 - c_2)x(p) - F_1 - F_2 < 0 < (p + \omega_S - c_1 - c_2)x(p) - F_1 - F_2 \quad (4.2)$$

を満たす範囲で設定されていると仮定する．このとき，高い売却単価  $\omega_S$  が実現すれば，一般会計からの繰入がなく，特別会計に正の収益がもたらされる．一方，低い売却単価  $\omega_F$  が実現すれば，特別会計の収入のみでは償還できず，一般会計からの繰入が必要になる．以上のシナリオで実現する各主体及び会計の利得は，図4.4のように整理できる．

さらに， $p$  を所与とした場合の一般会計の期待利得  $E\pi_g(p)$ ，特別会計の期待利得  $E\pi_s(p)$ ，エージェントの期待利得  $E\pi_a(p)$  は，次のように導かれる．

$$E\pi_g(p) = (1 - p_L)\{(p + \omega_F - c_1 - c_2)x(p) - F_1 - F_2\} \quad (4.3)$$

$$E\pi_s(p) = p_L\{(p + \omega_S - c_1 - c_2)x(p) - F_1 - F_2\} \quad (4.4)$$

$$E\pi_a(p) = 0 \quad (4.5)$$

一般会計の繰入に費用  $\eta$  がかかると仮定する．このとき，社会的厚生は，

$$\begin{aligned} SW_{Public} &= \eta E\pi_g(p) + E\pi_s(p) + E\pi_a(p) \\ &= \eta(1 - p_L)\{(p + \omega_F - c_1 - c_2)x(p) - F_1 - F_2\} \\ &\quad + p_L\{(p + \omega_S - c_1 - c_2)x(p) - F_1 - F_2\} \end{aligned} \quad (4.6)$$

### 4.3 PFI方式モデル

PFI方式による技術導入スキームは図3.2のとおりである．PFI方式では，地方公共団体とPFI事業者が事業権契約を締結する．PFI事業者は，脱水ケーキの処分費用として地方公共団体から，汚水量単位あたりから発生する脱水ケーキあたり  $q$  を受け取る． $q$  は，競争入札を通じて決まる内生変数である．PFI事業者は，さらに，汚泥固形燃料の売却収入を獲得する．

PFI事業では，投資費用  $F_2$  のうち，PFI事業者が自己資本  $A$  を負担し，債権者が  $F_2 - A$  を負担すると仮定する．自己資本  $A$  は当面，所与とする．事業開始後の第2期において，債権者が事業を清算する権利を有している．燃料の売却価格が下落し，売却収入が少ないと判明した時点で，初期投資した固定費用を回収することが困難で

あることが判明する。債権者が事業を清算すれば、PFI事業者は破産する。期間2において、債権者はPFI事業として事業を継続するか、地方公共団体に売却するかを決定する。ここでは、簡単のため、債権者は融資の元本割れのリスクに直面しておらず、地方公共団体に事業権を売却するときの買い取り価格は、債権者の初期投資をカバーする額  $F_2 - A$  と設定されていると仮定する。

第2期で事業が継続された場合、公営企業が携わる汚泥分離事業のキャッシュフローは  $R_1 = (p - q - c_1)x(p)$  であり、PFI事業者の携わる汚泥処理事業のキャッシュフローは  $R_2 = (q + \omega - c_2)x(p)$  となる。第2期において、債権者が事業の継続を決めた場合、 $\min = [0, R_2 - F_2 + A]$  を獲得する。一方、債権者が事業の清算を決めた場合の利得は0である。したがって、 $R_2 - F_2 + A < 0$  の場合、債権者は事業の清算を決定する。 $R_2 - F_2 + A \geq 0$  の場合には、継続した場合も清算した場合も債権者は0を獲得するが、この場合には、事業の継続を選択すると仮定する。

PFI方式の場合、地方公共団体はPFI事業者を救済しないとコミットすることができると仮定する。このとき、エージェントのモラルハザードが存在する場合の競争入札では、最低価格入札を決定することにより、エージェントの努力を引き出すことができる<sup>9)</sup>。最適事業権契約問題は、地方公共団体の期待支払い額の最小化問題として定式化できる。インセンティブ制約条件は、

$$p_H\{(q + \omega_H - c_2)x(p) - F_2 + A\} - A - \Phi \geq p_L\{(q + \omega_H - c_2)x(p) - F_2 + A\} - A \quad (4.7)$$

すなわち、

$$q \geq \frac{\Phi/\Delta p + F_2 - A}{x(p)} - \omega_H + c_2 \quad (4.8)$$

と表される。ただし、 $\Delta p = p_H - p_L$  である。即ち、PFI事業者に高い努力水準を選択させるために、汚泥処理事業の平均費用に  $\frac{\Phi}{\Delta p x(p)}$  分の費用の上乗せが必要となる。この上乗せ分を情報レントと呼ぶ。ただし、 $q$  は売却価格が  $\omega_F$  の時にPFI事業者が破産するように設定されているので、

$$(q + \omega_F - c_2)x(p) - F_2 + A < 0 \quad (4.9)$$

よって、

$$q < \frac{F_2 - A}{x(p)} + c_2 - \omega_F \quad (4.10)$$

さて、この範囲にサービス購入料が設定されていれば、高い売却価格  $\omega_S$  が実現した際には、汚泥処理過程において赤字はなく事業は継続される。しかし、低い売却

価格 $\omega_F$ が実現した場合，前述の通り地方公営企業によって事業が買い取られ，PFI事業者は事実上破産する．その際の買い取りは，まず，特別会計からの支出が行われ，その後の不足分を一般会計からの支出で補う形で行われる．よって，サービス購入料 $q$ が式4.8と式4.10の範囲であるとき，下水道利用料 $p$ を所与とすれば，一般会計の期待利得 $E\Pi_g(p)$ ，特別会計の期待利得 $E\Pi_s(p)$ ，エージェントの期待利得 $E\Pi_a(p)$ は

$$E\Pi_g(p) = (1 - p_H)\{(p + \omega_F - c_1 - c_2)x(p) + A - F_1 - F_2\} \quad (4.11)$$

$$E\Pi_s(p) = p_H\{(p - q - c_1)x(p) - F_1\} \quad (4.12)$$

$$E\Pi_a(p) = p_H\{(q + \omega_S - c_2)x(p) - F_2\} + (1 - p_H)(-A) \quad (4.13)$$

一般会計の繰入に費用 $\eta$ がかかるとすれば，社会厚生は

$$\begin{aligned} SW_{PFI} &= \eta E\Pi_g(p) + E\Pi_s(p) + E\Pi_a(p) \\ &= \eta(1 - p_H)\{(p + \omega_F - c_1 - c_2)x(p) + A - F_1 - F_2\} \\ &\quad + p_H\{(p - q - c_1 - c_2)x(p) - F_1\} + p_H\{(q + \omega_S - c_2)x(p) - F_2\} + (1 - p_H)(-A) \\ &= \eta(1 - p_H)\{(p + \omega_F - c_1 - c_2)x(p) + A - F_1 - F_2\} \\ &\quad + p_H\{(p + \omega_S - c_1 - c_2)x(p) - F_1 - F_2\} - (1 - p_H)A \end{aligned} \quad (4.14)$$

ここから，PFI方式による技術導入の際の社会厚生と公営企業方式における場合の社会厚生の差は

$$\begin{aligned} SW_d &= SW_{PFI} - SW_{Public} \\ &= -\eta\Delta p\{(p + \omega_F - c_1 - c_2)x(p) - F_1 - F_2\} + \eta(1 - p_H)A \\ &\quad + \Delta p\{(p + \omega_S - c_1 - c_2)x(p) - F_1 - F_2\} - (1 - p_H)A \end{aligned} \quad (4.15)$$

となる．但し，この時の下水道料金 $p$ は

$$(p + \omega_F - c_1 - c_2)x(p) - F_1 - F_2 < 0 < (p + \omega_S - c_1 - c_2)x(p) + A - F_1 - F_2 \quad (4.16)$$

の範囲に設定されていると仮定する．式4.15の第1項は，PFI方式で技術導入を行うことによって，汚泥燃料売却に対して努力するインセンティブを高められることによる，一般会計からの繰入確率の減少を示しており，第2項はPFI事業者に自己資本分の破産リスクを負わせることで破産時の一般会計からの繰入額が減少することによる社会的利益を示している．また，第3項は，PFI事業者に対するインセン

タイプ付けが可能なことによって高い売却価格であるときの期待収益の増加を表しており、第4項はPFI事業者へ破産リスクを負わせることによる不効用を示している。式4.15は常に正の値をとることから、次の命題2を得る。

命題2 民間事業者と公営企業の間には技術的優劣がなく、対象技術に需要リスクが存在する時、PFI方式において適切な破産スキームを導入すれば、PFI方式による技術導入の方が、公営企業方式に比べ社会厚生観点から望ましくなる。

この命題2は、導入技術に需要リスクが存在し、事業者の努力によってそのリスクをある程度マネジメントできるという想定に大きく関わっている。この想定の下、PFI方式において民間事業者の破産を存在させると、適切なサービス購入料を支払うことで、地方公共団体は、汚泥燃料のマーケティングに関わるインセンティブを民間事業者から引き出すことが可能となっている。この引き出されたインセンティブによって、PFI事業者の破産による社会厚生の損失を考えないとすれば、社会厚生は公営企業方式の場合よりもPFI方式において改善されるのである。

#### 4.4 実務への示唆

下水汚泥処理分野は技術革新が激しく、民間の独自技術も多い。そのため、下水汚泥再利用技術を導入する際に、民間のノウハウや技術を導入しようという動きが、近年増加している。既に行われた導入例では、公設民営のDBO方式やBTO型のPFI方式による導入が多い。DBO方式では、資金調達を自治体が行うため、その際に生じた債務の返還が保証される。また、BTO型のPFI方式ではオペレーションの前に自治体によって、燃料化事業が買い取られるため、技術導入における債務の返還が保証されている。そのためこれら二つの方式では、汚泥燃料の売却が振るわず、燃料化事業部分の経営が悪化しても事業は継続される。即ち、これらの方式による汚泥固形燃料化技術の導入では、民間事業者に破産のリスクが生じない仕組みとなっている。さらに、サービス購入型のPFI方式での導入についても同様である。サービス購入型PFIでは、たとえ生産物にリスクが存在しても、事業のサービス全体を自治体買い取る方式であるため、民間事業者はリスクを負わない。即ち、汚泥固形燃料の導入に関して、DBO方式、BTO型PFI方式、サービス購入型PFI方式を

用いた場合，本研究で示した通り，民間事業者に対し汚泥燃料売却のマーケティングにおけるインセンティブを引き出すことができない．よって，汚泥燃料売却のマーケティング等に民間のノウハウを活用するためには，BOT型のPFI方式による導入を行わなければならない．ここで，これらが成り立つには，汚泥燃料における需要リスクに対して，適切なサービス購入料が支払われることが条件となる．即ち，自治体と民間事業者が需要リスクに対し正しい認識を持つことが前提にある．また，命題2より，直ちにBOT型のPFI方式が社会厚生的にも望ましいと判断するには注意が必要である．なぜなら，本研究のモデルでは，民間事業者の破産による社会厚生損失を考慮していないからである．BOT型のPFI方式を用いたとしても，需要リスクそのものは消えないため，需要リスクを過小評価することで，事業者の破産に対して自治体対策を怠れば，破産時に多大な社会厚生損失を招く恐れがある．特に，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，自治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厚生損失は非常に大きいと考えられる．よって，BOT型のPFI方式によっ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．

## 第5章 おわりに

本研究では、下水道事業における下水汚泥再利用技術の導入を対象に、ラムゼイ最適な性質を持った下水道料金を決定するスキームを定式化した。それによって、民間事業者と公営企業の間には技術的な差が存在せず、事前にリスクが存在しなければ、公営企業方式とPFI方式による技術導入の経済的帰結は無差別となることを示した。次に、汚泥売却に需要リスクが存在する場合を想定し、公営企業方式とPFI方式の技術導入スキームをプリンシパル・エージェント・モデルを用いることで定式化した。ここから、民間事業者の破産スキームを導入することで、BOT型のPFI方式においては民間事業者の需要リスクに関するインセンティブを引き出せることを示した。それにより、公営企業方式よりもBOT型のPFI方式による技術導入の方が、社会厚生観点から望ましい場合があることを明らかにした。しかしながら、これらは本研究で設定した仮定の上に得られた結論であり、これらの仮定は、下水道事業における汚泥再利用技術の導入スキームを極めて簡略化するために課したものである。そのため、引き続き分析すべき事項が残されている。

まず一つに、本研究においては、下水汚泥の流入量を下水道料金の需要関数として定義した。そのため、下水道料金を決定することにより、汚泥量も推定できるとした。しかし、現実にはその需要関数を知ることは困難であり、さらに、汚泥の流入量は変動すると考えられる。ここに本研究では考慮していない供給リスクが存在すると考えられる。第二に、本研究では債権者はリスクを負っていない。しかし、現実の債権者にはリスクが存在し、導入スキームにより資金調達費用等に差が生じることが容易に想像される。ここに資金調達者にリスクを負わせることと、資金調達費用のあいだのトレードオフが存在する。第三にPFI事業者の破産後のシナリオを分析していないため、前述したように、民間事業者の破産が多大な社会的損失を生む場合に、PFI方式は社会厚生観点から望ましくない導入方式となる可能性がある。このようなリスクを考慮することにより、本研究をベンチマークモデルとして発展なモデルを構築することが出来ると考える。

また、本研究の枠組みの延長上として分析すべきものに次のようなものが考えられる。公営企業方式による技術導入では、汚泥分離過程にモラル・ハザードが生

じているのか，それとも燃料化過程に生じているのか区別できない．しかし，PFI方式を用いれば，污泥分離事業と燃料化事業を切り離すことで，その間の脱水污泥の授受を可視化することができ，この二つのモラル・ハザードを区別することが出来ると考えられる．それゆえ，PFI方式による技術導入によって，公営企業部分の事業に規律付けが働く可能性がある．このような分析を今後の課題としたい．

## 参考文献

- 1) 伊藤秀史，小佐野広：インセンティブ設計の経済学，勁草書房，2003.
- 2) Salanie, B.: *The Economics of Contracts*, MIT Press, 1997.
- 3) 伊藤秀史：契約の経済理論，有斐閣，2003.
- 4) 赤井伸郎：行政組織とガバナンスの経済学，有斐閣，2006.
- 5) 川本明：水道事業の民営化，八代尚宏編『「官製市場」改革』，日本経済新聞社，2005.
- 6) Hart, O.: Incomplete contracts and public ownership: remarks, and an application to public-private partnerships, *Economic Journal*, Vol. 113(486), pages C69-C76, 2003.
- 7) Bennett, J. and Iossa, E.: Building and managing facilities for public services, *Journal of Public Economy*, Vol. 90, 2006.
- 8) Engel, E., Fischer, R. and Galetovic, A.: The basic public finance of public-private partnerships, *NBER Working Paper Series*, 13284, 2007.
- 9) 石磊，大西正光，小林潔司：PFI事業とモラルハザード，土木学会論文集D，Vol.62, No.4. pp.586-604, 2006 .
- 10) 国土交通省 都市・地域整備局 下水道部：下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン(案)，2011
- 11) 社団法人 日本下水道協会：下水汚泥エネルギー利用調査報告書，<http://www.jswa.jp/energy/index02.html>，2012年1月アクセス
- 12) 国土交通省成長戦略会議：国土交通省成長戦略，2010
- 13) 京都府：洛西院浄化センター汚泥処理方式検討委員会次第(第1回)，2011
- 14) 総務省：平成21年度地方公営企業決算の概況，p.147-168，2011

- 15) 石橋剛:負担区分のルールづくり 下水道事業の視点から ,自治大阪 ,p.39-47 ,  
2009
- 16) 総務副大臣:平成 2 3 年度地方公営企業繰出金について(通知),総財公第 4 8  
号 ,2011
- 17) 国土交通省国土交通政策研究所:事業目的別歳入債券の有効活用に関する研究 ,  
国土交通政策研究第 56 号 ,2005
- 18) 金融調査研究会:パブリック・ファイナンスの今後の方向性 自治体の外部資金調  
達のあり方に関する提言 ,2008
- 19) 前田高志:地方財政 制度と基礎理論 ,八千代出版,2009
- 20) 桑原秀史:公共料金の経済学 規制改革と競争政策 ,有斐閣 ,2008 .
- 21) 奥村正寛 ,鈴木興太郎:ミクロ経済学 ,モダン・エコノミクス 2 ,1988
- 22) 伊藤秀史:契約の経済理論 ,有斐閣 ,2003

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたって、多くの方々にご指導・ご協力を頂きました。ここに心より感謝の意を表します。京都大学工学研究科の小林潔司教授には、ご多忙の中、論文作成にあたり終始懇切丁寧なご指導を頂きました。さらに研究において含蓄深い的確な御助言を頂く中で、小林教授の研究に対する真摯な姿勢からも多くのことを学びました。ここに、心より深く感謝申し上げます。京都大学工学研究科の松島格也准教授には、研究ゼミにおいて鋭いご指摘を頂いた他、研究に対する姿勢についても貴重なご意見を頂きました。また、本研究が佳境を迎えた折に温かな心遣いも頂き、心より厚く御礼申し上げます。京都大学工学研究科の大西正光助教には、日頃から公私に関わらず相談に乗って頂き、常に適切な助言、助力を頂いた他、本研究の遂行に関わる基礎的素養から細部の修正にわたり、非常に有益なご指導・コメントを多く頂きました。心より厚く御礼申し上げます。京都大学工学研究科の吉田護GCOE特定助教には、研究に関する相談において有益なご指摘を頂いた他、毎日の研究生活においても大変お世話になりました。ここに深く感謝の意を表します。京都大学工学研究科の鄭蝦榮特定研究員には、研究室に入った当初から常に温かくご指導を頂きました。ここに、心より感謝申し上げます。計画マネジメント論研究室の諸兄・諸先輩には、日頃から親身に相談に乗って頂き、研究に対する温かい励ましの言葉やご指導を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。秘書の藤本彩氏には、日頃から多くの事務上のお手伝いの他、様々な場面でご支援を受けました。心より感謝いたします。