



# 水道事業の民営化に関する研究 : 需要・供給構造の 経済学的分析

溝淵, 真弓

---

(Degree)

博士 (経済学)

(Date of Degree)

2010-09-25

(Date of Publication)

2011-01-27

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲5054

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1005054>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



2010年6月21日提出

博士論文

水道事業の民営化に関する研究  
— 需要・供給構造の経済学的分析 —

神戸大学大学院

国際協力研究科国際開発政策専攻

研究指導教員：太田 博史 教授

氏名：溝淵 真弓

## まえがき

本研究は、水道事業の需要構造及び供給構造を経済学的に分析し、事業民営化の可能性を検討するものである。

公共サービスの民営化は、国内外問わず従来から様々な分野で議論されている話題であるが、ここ数年特に日本国内において、従来は民間事業者が実施するなど考えられなかったような公共サービスについても、民営化の可能性を追求することが求められるようになった。具体的には、地方公共団体がこれまで実施してきた公共施設管理や道路、港湾整備、廃棄物処理事業、上下水道事業などで、更には米国サンディ・スプリングス市が地方公共団体業務を丸ごと民間事業者に委託したことが話題となり、この分野はますます広がる方向にある。

一方、経済学的には公共財及び準公共財の提供には何らかの形で行政の関与が必要との周知の考え方がある。これに照らすと、上記のような公共サービスを本当に民間事業者が持続的に提供可能なのかどうかの理論的裏付けが曖昧なまま、民営化の施策が進められているのが現状といえる。これは民営化を進める行政側、公共サービスの新たな担い手となる民間事業者側の双方にとってリスクとなる。このような状況から、公共サービスの民営化を検討する地方公共団体にとって、本当に民営化が可能なのかどうかの判断の参考となる研究成果に対する需要が高まっている。

民営化が盛んに議論されている一方で、2010年1月、国内外の地方公共団体にとって衝撃的な事件が起きた。それは、水道事業民営化の先進事例であったフランス・パリ市の水道事業が再公営化されたのである。フランスでは、国内の水道給水人口のうち70%以上が民間水道事業者からのサービスを受けており、また18世紀から水道民営化が進められてきたことなど長い歴史をもつ。更に、世界的に民営水道事業を手掛けるフランス資本のヴェオリア・ウォーター社及びスエズ社は、世界における民営水道市場売上げの80%を占めるなど実績がある。そのような民営水道事業で象徴的なフランスにおいて、最も事業規模の大きいパリ市が再公営化されたという事実は、公共サービスの民営化の難しさをあらためて認識させるものとなった。

本研究は、以上のような現状を背景に、経済学的観点から公共サービスの民営化は実現可能なのかどうか、公共サービスと民営化の境界線はどこにあるのかを探ることを目的とする。その分析の具体的な対象分野として、水道事業を選ぶ。ここでの水道事業とは、上水道事業を指し、すなわち原水を取水して質を改善した浄水を生産し、それを配水して需要家に届ける事業全体を意味する。

なお、本研究では、実データを用いた実証分析をおこなうために、兵庫県及

び西宮市を主な事例としている。しかし、分析結果からは普遍的な考察を得ることに努めており、日本の他の地域だけでなく、先進国、開発途上国における水道事業にも適用可能な成果となっている。

また、本研究は、水道事業を経済学的観点から分析した他の研究と比較し、以下の点で特徴がある。

- (1) ひとつの水道事業者を対象に、水道事業の需要構造及び供給構造の細部に踏み込み、経済データが示す傾向や変化の要因の特定に注力している。これにより、水道事業が抱える課題をマクロ的に捉えて曖昧にするのではなく、個別具体的な課題の提起と改善可能性を考察している。
- (2) 水道事業の創設期から次期更新までの50年程度の長期時系列データを用いて分析することにより、どの時期にどのような傾向を示すか、現在の課題は過去のどの時期に起因するのかを特定する。これにより、今後、水道事業への需要が高まる中国、インド、東南アジア諸国等の開発途上国に向けた政策提言を導き出せるようにしている。

このような工夫により、現実には起きている水道事業の民営化にかかわる課題に対して、具体的かつ政策現場で使用可能な成果とすることに努めた。

なお、いくつかの頻繁に使用する言葉については統一を試みている。まず、「民営化」に関わる言葉には、その他にも民間委託や民間活用といった言葉があるが、すべて「民営化」としている。次に、都道府県や市町村などの自治体については「地方公共団体」に統一して使用している。地方公共団体の中でも特に市町村に限定して言及したい場合には、「市町村」や「市町」としている。

本研究の実施にあたっては多くの方々にご協力を頂いた。公益財団法人兵庫県国際交流協会多田昌史専務理事、兵庫県企業庁管理局藤田隆司局長には、兵庫県及び県内市町の水道事業関連データの収集に多大なご支援を頂いた。また、西宮市水道局水道総括室中野四朗室長、同工務部森本高正部長には、第3章から第5章の水道需要及び供給の分析結果をご確認頂き、実業務と照らして適切な分析であるかなど丁寧にアドバイスを頂いた。さらに、美原融大阪商業大学客員教授(株式会社三井物産戦略研究所プロジェクト・エンジニアリング室長)、竹内佐和子京都大学教授(工学系研究科都市環境工学専攻)、社団法人関西経済連合会徳田龍裕次長、プライスウォーターハウスクーパース株式会社マネージングディレクター古澤靖久氏、スマートウォーター代表高橋千里氏には、国内外において激動する水ビジネスの実態についてインタビューにご対応頂いた。ここに記して厚くお礼申し上げたい。

- \* 第 4 章は、日本地域学会『地域学研究』第 40 巻第 3 号に掲載予定の論文「水道事業の規模の経済性」をもとに執筆している。
- \* 第 5 章は、日本経済政策学会第 67 回全国大会（2010 年 5 月開催）にて発表した「水道事業の生産関数から見る民営化の可能性」をもとに執筆している。

## 【 目 次 】

第 1 章	水道事業の民営化をめぐる議論	1
1.1	はじめに	1
1.2	国内の動向	1
1.3	海外の動向	7
1.4	先行研究調査	13
1.5	おわりに	22
第 2 章	分析の枠組み	24
2.1	はじめに	24
2.2	水道事業の民営化を考える視点	24
2.3	本稿の構成と分析手法	26
第 3 章	水道事業の需要分析	30
3.1	はじめに	30
3.2	水道需要の用途別特性	31
3.3	水道需要の時系列的変遷と価格弾力性・所得弾力性	37
3.4	おわりに	50
第 4 章	水道事業の規模の経済性	52
4.1	はじめに	52
4.2	水道事業の実施の流れと経済的特性	53
4.3	推定モデル	60
4.4	データ	61
4.5	推定結果	67
4.6	おわりに	69
第 5 章	水道事業の投入要素間の代替性と構造分離	72
5.1	はじめに	72
5.2	水道事業の生産関数の仮説	72
5.3	水道生成工程生産関数の推定	80
5.4	水道配送工程生産関数の推定	96
5.5	おわりに	102
第 6 章	兵庫県内市町の水道事業民営化の可能性	104
6.1	はじめに	104
6.2	兵庫県内市町の地勢と配水規模	104
6.3	需要構造に基づく類型	106

6.4	供給構造に基づく類型 .....	111
6.5	需要・供給のバランス分析 .....	118
6.6	おわりに .....	121
第7章	今後の課題 .....	123
7.1	本研究における課題の整理 .....	123
7.2	本研究を発展させるための検討課題 .....	124

#### 参考文献

付録1	第3章 需要関数の推定で使 用したデータ
付録2	第4章 生産関数の推定で使 用したデータ
付録3	第5章 生産関数の推定で使 用したデータ

## 第1章 水道事業の民営化をめぐる議論

### 1.1 はじめに

ここ数年、新聞やテレビを通じて毎日のように「水ビジネス」という言葉を聞くようになった。水ビジネスとは、これまで主に公共サービスとして実施してきた水道事業を、ビジネスとして民間事業者が実施しようというものである。特に、人口増加や経済成長が著しい開発途上国において使用可能な水道水が不足していることから、先進国の大手水道事業者がこのような市場に参入する事例を多く取り上げている。また、1990年代以降、地方財政の逼迫と「小さな政府」路線を背景に、日本国内においても水道事業の民営化の話題が活発になってきた。一方で、公共サービスの民営化には常に公務員の雇用問題、民間事業者が公共性を維持できるのかという指摘がつきまとう。これらの議論は政治材料として取り上げられ、新聞やテレビが報じる内容は観念的になりがちであり、必ずしも学術的な裏付けをもって民営化の是非を問う状況にはいたっていない。

そこで本章では、国内外において新聞やテレビで報じられる水道事業民営化に関わる一般的な動向と、学術的な観点からの先行研究のレビューをおこなう。1.2 及び 1.3 では、日本、海外の先進国及び開発途上国の動向を整理する。1.4 では、経済学的観点から水道事業の市場の失敗に関する先行研究と、公営及び民営の比較研究を取り上げ整理する。

### 1.2 国内の動向

国内における水道事業の民営化の動向を見る前に、水道事業の概要を示す。

日本においては水道事業は、水道法により以下の種類に分類される。

#### (a) 水道事業（末端給水事業）

一般家庭や事業所に給水する事業。

計画給水人口が 5,000 人超の上水道事業と、計画給水人口が 5,000 人以下の簡易水道事業に分類される。

#### (b) 水道用水供給事業

水道事業者に水を卸売りする事業。

#### (c) 専用水道

100 人超の特定の居住区に供給する水道。

#### (d) 簡易専用水道

受水のみを水源とし水槽の有効容量の合計が 10 m<sup>3</sup>を超える水道。

このうち、水道事業の民営化などの議論において取り上げられるのは (a) 及び (b) であり、2007 年度における各事業の事業者数は表 1-1 に示すとおりである。一般的な上水道事業者数が 1,326 と最も多く、都道府県営や複数市町村が集まって構成される企業団営などは用水供給事業の実施割合が多い。また、日本においては基本的に地方公共団体が水道事業を実施しているが、藤和那須ハイランド水道（栃木県）や株式会社八ヶ岳高原ロッジ（長野県）、株式会社伊豆センチュリーパーク（静岡県）など、一部のリゾート開発地域においては開発会社が独自に民営水道事業を実施している場合もある。

表 1-1 日本における水道事業の種類別件数（2007 年度）

事業主体	上水道事業	簡易水道事業	用水供給事業
都道府県営	4	1	23
指定都市営	17	0	1
市営	689	9	0
町村営	567	14	0
企業団営	49	0	55
民営	9	0	0
合計	1,326	24	79

注：各数値は水道法の適用を受けている事業数を記載している。

（総務省自治財政局『地方公営企業年鑑』平成 19 年度版をもとに作成。）

本研究では、これらの水道事業種類のうち、上水道事業に焦点を絞って議論を進める。なお、本研究では現在地方公共団体が実施している一般的な水道事業をいかに民営化できるかという点が関心事であるため、既に民営で実施している一部の特殊な民営水道事業については検討の対象外とする。

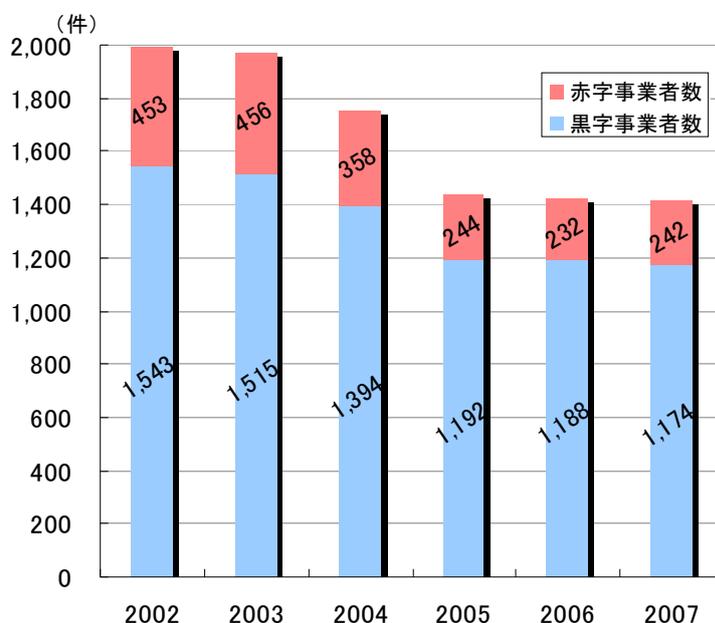
国内における水道事業の民営化をめぐる議論は、大きく分けて次の 2 種類がある。ひとつは、「民間でできることは民間で」という他の公共サービスの民営化も含めた国策レベルではじまった議論、もうひとつは、地方公共団体が保有する老朽設備の維持更新に向け今後必要となる資金を民間市場から調達しようという各地方公共団体の事情からはじまった議論である。

(1) 「民間でできることは民間で」

1999 年に「民間資金等の活用による公共施設等の整備等の促進に関する法

律」、いわゆる PFI (Private Finance Initiative) 法が施行され、また 2001 年から小泉内閣が推進した規制改革により、従来から公共の役割と位置付け提供してきたサービスであっても「民間でできることは民間で」という風潮が広まりつつある。水道事業についても、その後 2005 年に総務省から出された「地方公共団体における行政改革の推進のための新たな指針」を受け、2006 年に社団法人日本水道協会が「水道事業における民間的経営手法の導入に関する調査研究報告書」を発行するなど、本格的に取組みがはじまった。

水道事業において民間参入の可能性を示唆する事実として、①料金収入がある、②現行で黒字の事業者が多い、という 2 点があげられる。①の料金収入については、地方公営企業法において事業経費を収入で賄うことが原則とされていることによる。多くの事業者では、設備投資などの固定費を賄う基本料金と可変費を賄う従量料金から構成される二部料金制を採用し、需要家から料金徴収をおこなっている。水道法では、各事業者が設定した料金を厚生労働大臣に届出ることを規定しており、各事業者は 3～5 年ごとに料金を見直し、この期間で収支均衡をはかっている。②については、2007 年度実績で全国約 1,400 事業者のうち 80%以上が黒字と報告されており (図 1-1 を参照)、経済理論に従えば新規参入余地があることを示している。



(総務省自治財政局『地方公営企業年鑑』各年版をもとに作成。)

図 1-1 日本における黒字・赤字水道事業者数 (全国)

このような流れを背景として、水道事業における民間活用は既にはじまっている。社団法人日本水道協会[2006]によると、埼玉県や千葉県、東京都などは設備投資から運営、回収まで約 20 年間に及ぶ長期契約で民間事業者に委託する PFI 方式、群馬県太田市や神奈川県横浜市、神奈川県南足柄市などは維持更新と運営管理を約 5 年程度で民間委託する方式を採用している。また、現在構想段階ではあるが、兵庫県加西市は現市長が株式上場も見据えた完全民営化方式を目指すとしている<sup>1</sup>。

しかしながら一方で、このような民営化の事例では、民間事業者の方が人件費を安くできる、業務を効率化できるといった個々の事業者の運営上の工夫に期待したり、または民間事業者から提示される低額の積算を拠り所としている場合がほとんどであり、その持続性に警鐘を鳴らす声<sup>2</sup>もある。また、現在の黒字経営についても、将来の設備更新投資計画を策定せず老朽設備への投資を先送りして料金値下げをおこなう事業者が出てきており、やはり今後の持続性に課題が出るとの指摘<sup>3</sup>がある。

## (2) 維持更新資金調達手法としての民間活用

国内におけるもうひとつの流れは、1960 年代～1970 年代に整備された水道設備の一斉更新期を次の 10～20 年の間に迎えるにあたり、その資金調達手法として民間事業者を活用しようというものである。

従来は、水道設備投資のために発行する公営企業債を相対的に安い費用で調達できたため、地方公共団体が資金調達することが効率的であった。ところが、21 世紀政策研究所[2010]によると、従来の公営企業債は 30 年間固定金利で調達が行われる場合が多い一方で、民間資金は固定金利と変動金利、あるいは短期と長期を組み合わせて調達費用が低くなるように最適化されており、1990 年代以降、民間資金調達の方が割安な結果となっていると報告している<sup>4</sup>。また、従来は国による「暗黙の政府保証」<sup>5</sup>があるとして地方債の信用力に地域差はな

---

<sup>1</sup> 中川[2008], p.39 を参照。

<sup>2</sup> 2006 年 3 月 20 日発行の水道産業新聞「社説：費用削減の手段ではない/第三者委託」では、水道事業を民間事業者に委託するにあたり、コスト削減を追い求めるあまり、民間事業者側が予定価格を大幅に下回る入札価格で落札している現状を報告している。

<sup>3</sup> 2009 年 2 月 19 日発行の水道産業新聞「社説：値下げより果敢な投資を/水道料金改定」を参照。

<sup>4</sup> 21 世紀政策研究所[2010]、p.25 より。

<sup>5</sup> 「暗黙の政府保証」とは、リスクの高い地方公共団体には起債制限を課すことによって信用の低い地方債が市場に出るのを事前に防ぐ起債許可制度（地方自治法）

いとされてきたが、昨今の税収減などに伴う地方財政の逼迫から、地方債の格付けが下がる地方公共団体も出てきており<sup>6</sup>、今後は必ずしも地方債が最も安い資金源とは言い切れない状況となっている。

また、維持更新費用を水道料金に転嫁するだけでは賄いきれないとの考えから、地方公共団体と民間事業者が提携し、水道技術を海外に販売することで新たな収益源を見つけようとする動きがある。例えば大阪市は、関西の大手企業を母体とする社団法人関西経済連合会と提携し、ベトナム・ホーチミン市において 2009 年度より「省水型・環境調和型水循環プロジェクト」<sup>7</sup>を進めている。これは、大阪市が持つ水道供給の仕組みや運営管理技術をトータルソリューションとしてホーチミン市に移植しようという試みである。民間資金を活用して、大阪市だけでなく海外における成長段階の異なる複数の都市に投資することで、1 地域における需要リスクを分散させようという考え方である<sup>8</sup>。なお、このような地方公共団体による取組みは、表 1-2 に示すとおり大阪市以外にも東京都、横浜市、北九州市などが取組みをはじめている。

表 1-2 地方公共団体の水ビジネス海外展開状況

	概要	関係団体
東京都	<p><u>オーストラリア水道企業の買収に参画</u></p> <p>・豪州において上下水・工業排水処理・海水淡水化第 2 位の UUA (United Utilities Australia) を買収。</p> <p>・東京都の水道運営能力、料金徴収システム、漏水率の低さなどを売りに「東京ブランド」を打ち出し、海外展開を狙う。</p>	<p>東京水道サービス(株)</p> <p>(株)産業革新機構</p> <p>三菱商事(株)</p> <p>日揮(株)</p> <p>マニラウォーター</p>

や、地方債計画や地方財政計画の策定を地方公共団体に課すことによって返済能力の裏付けを取る制度などにより、国が地方公共団体の信用力を担保できるようにしていることを言う。詳細は、丹羽[2004]を参照。

<sup>6</sup> 2004 年 1 月に日本格付研究所が大阪府や神戸市など 14 地方公共団体を格下げ、また 2009 年 8 月にはムーディーズ・インベスターズ・サービスが東京都、大阪府を格下げした。(前者は株式会社日本格付研究所[2004]、後者は産経ニュース 2009 年 8 月 2 日より。)

<sup>7</sup> 2009 年度は独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の補助事業として実施しており、2009 年度をフェーズ 1：実施可能性調査と位置付け、今後 2013 年頃までを実証フェーズとしている。

<sup>8</sup> 社団法人関西経済連合会[2010]を参照。

	概要	関係団体
横浜市	<u>ベトナム水道事業への技術協力を提供</u> ・フエ市、ホーチミン市水道公社に対して水圧、水質、配水管網の管理能力向上に向け、経営改善、技術協力面で覚書を締結。	(独)国際協力機構
大阪市	<u>ベトナム・ホーチミン市の上水道事業に参入</u> ・ホーチミン市の水質や漏水率の課題を解決するために、「配水コントロールシステム」の構築・運営を目指す。	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (社)関西経済連合会 東洋エンジニアリング (株) パナソニック環境エンジニアリング(株)
北九州市	<u>実験プラント設置による海外視察の受入</u> ・北九州市下水処理場に、「海水と生活排水(下水道)から工業用水を作る省エネ実験プラント」を作り、海外からの視察を受け入れることで、海外からの受注を目指す。	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (株)日立プラントテクノロジー 東レ(株)

(日本経済新聞 2009年12月18日、2010年5月11日、5月24日付、日刊建設工業新聞 2010年5月12日付、建設通信新聞 2010年5月18日付等より作成。)

海外進出については、更に国策としての動きもある。経済産業省では、国内における人口減少や節水技術の普及により水道市場の拡大が見込めないこと、一方、海外市場では2007年時点で総額35兆円の市場が2025年には約80兆円規模と2倍以上に拡大する見込みがあるとの試算から、民間事業者の海外進出を支援するために、2009年に「水ビジネス国際展開研究会」<sup>9</sup>を設置した。世界中で水ビジネスを展開するフランス資本のヴェオリア・ウォーター社及びスエズ社、海水淡水化技術で一躍有名になったシンガポール資本のハイフラックス社などは、いずれも政府の強力な支援を得て海外進出を果たしている。日本においては、水処理膜技術で世界的にも50%以上のシェアを持ち、また漏水

<sup>9</sup> 経済産業省ウェブサイト：  
[http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/k\\_7.html#water](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/k_7.html#water) を参照。

率の低さは世界トップといった高い技術力を持ちながらも、水道事業のオペレーションを地方公共団体職員が直営で実施してきた経緯から、設計、建設から維持運営を一体で実施できる民間事業者が存在しない。そのため、世界における水道市場に参入できなかつたとの分析から、経済産業省によるこのような取組みが行われている。

### 1.3 海外の動向

海外における水道事業の民営化をめぐる議論は、大きく分けてフランスやイギリスなどの民営化先進国の動きと、南米や東南アジアなどの開発途上国における動きがある。

#### 1.3.1 民営化先進国における動向

水道事業民営化の先進国の動向として、フランス及びイギリスの動向を取り上げる。

##### (1) 民営と公営を行き来するフランス

フランスでは、1778年ルイ16世の時代に、当時パリ市の都市拡大に伴い生活用水及び工業用水への水需要が高まったことを受けて、ペレール兄弟が水道会社を設立し、有料の給水事業を開始したのが最初といわれるほど民営水道事業の歴史が古い。2006年末時点では、フランス国内基礎自治体（コミューン）12,400のうち約40%、給水人口では6,300万人のうち約72%を民間事業者がカバーしている<sup>10</sup>。

フランスでは、水道法において基礎自治体（コミューン）が水道事業の責任を持つことと規定しているため、水道事業の建設から運営までを包括的に民間事業者に委託することはできるが、完全民営化することはできない制度となっている。そのため、基礎自治体の状況に応じた委託ができるように様々な契約形態が発展しており、単純な運営委託から、水道料金回収と維持更新投資をおこなうアフェルマージュ、建設から料金回収、更新投資まで一括で実施するコンセッションなどの選択肢がある。契約期間も契約形態に応じて、例えばアフェルマージュであれば20年程度、コンセッションであれば20年～50年の長期間を設定することができる<sup>11</sup>。

しかしながら、水道事業が一貫して民営化傾向を辿っているかというところではない。18世紀末にペレール兄弟によって設立された民営事業者はその10

<sup>10</sup> BIPE and FP2E[2008], p.15 及び p.32.

<sup>11</sup> 各契約形態の特徴は、Menard and Saussier[2000]の pp.386-388 を参照。

年後に投資回収の目途が立たず倒産し、パリ市営の給水管理局に移管することになった<sup>12</sup>。また、その後 1960 年代から再びパリ市は事業の民営化を開始、1984 年にはヴェオリア社及びスエズ社の 2 社とコンセッション契約を結んで本格的に民間事業者による事業実施をおこなっていたが、2001 年に市長に選ばれたデラノエ氏が水道事業の公営化を公約として掲げ、実際に 2010 年 1 月から市営の公社に運営を戻すこととなった。

2010 年に実施された再公営化までの経緯を図 1-2 に示した。パリ市はシラク市長下の 1980 年代中旬、セーヌ川を挟んで右岸地域をヴェオリア社の子会社 CEP 社、左岸地域をスエズ社の子会社 EFPE 社と、配水・給水事業を 25 年間のアフェルマージュ方式で契約した。この契約では、各社は水道利用者への配・給水から薬品注入施設等の運営、設備更新投資の実施、水道利用者からの料金徴収、問合せ対応業務を実施するものとしていた。なお、取水から浄水・送水に関わる事業は、パリ市、ヴェオリア社及びスエズ社の 3 者が出資する Eau de Paris 社を設立して実施していた。2001 年に当選したデラノエ市長が、2004 年にパリ市の水道全事業の再公営化を公約として発表、2008 年、2009 年と段階的に運営母体となる商工公社の設立準備を行い、2010 年 1 月、ヴェオリア社及びスエズ社とのアフェルマージュ契約満了時期を機会として、完全公営化に戻した。パリ市は、民間事業者による設備更新の滞りとこれに起因する漏水等の給水効率の低下、その後の料金の値上げなどを再公営化の理由として挙げており、民間事業者が追及する利益分を事業運営に還元すれば、公営に戻すことにより料金を下げることができるとしている<sup>13</sup>。一方で、このような料金値上げは、1980 年代のインフレ対策で料金値上げできずに設備が老朽化したものを、1990 年代に料金を一気に値上げして設備更新に備えた結果であり、民間事業者に不備はなかったとの学識者の見解もあるが<sup>14</sup>、再公営化の効果が明らかになるにはもうしばらく時間が必要であろう。

---

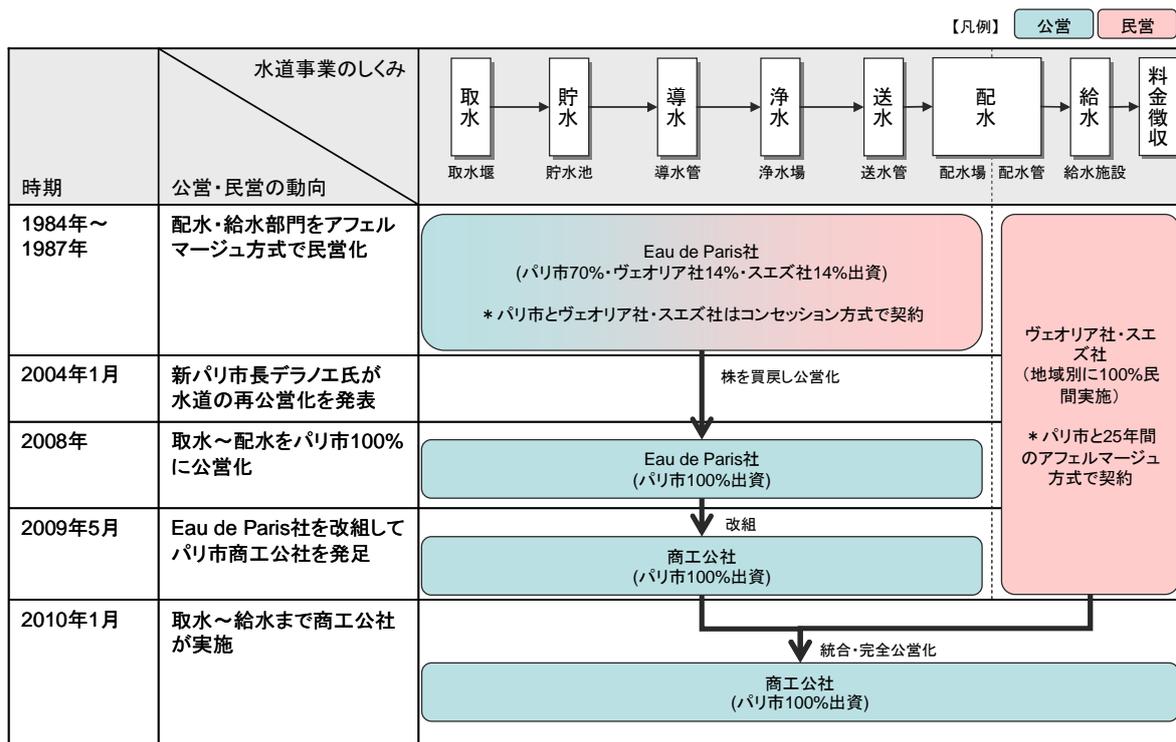
<sup>12</sup> 喜安[2009], pp.136-137 を参照。

<sup>13</sup> パリ市公表記事「Water management: the reform is completed」(2010 年 1 月 4 日) を参照。

([http://www.paris.fr/portail/Environnement/Portal.lut?page\\_id=134&document\\_type\\_id=5&document\\_id=2150&portlet\\_id=3118](http://www.paris.fr/portail/Environnement/Portal.lut?page_id=134&document_type_id=5&document_id=2150&portlet_id=3118))

また、株式会社三井物産戦略研究所プロジェクト・エンジニアリング室美原融室長メモ「フランス・パリ市水道供給について(経緯)」(2010 年 2 月 1 日インタビュー時に受領) より。

<sup>14</sup> ベルナル・バラケ教授(アグロ・パリ工科大学)インタビュー記事「パリ市の水道『再公営化』は、水道料金の急上昇が背景」(The Asahi Shimbun Globe) を参照。(<http://globe.asahi.com/feature/090525/side/05.html>)



(美原融[2008]及びパリ市公表記事を元に作成。)

図 1-2 フランス・パリ市の水道事業公営・民営の変遷

フランスにおいては、このような再公営化の動きはパリ市だけではなく、2000年以降カストル市、シェルブール市、グルノーブル市、イル・ド・フランス地域圏などいくつかの市・地域において実施されている<sup>15</sup>。このうちグルノーブル市については、水道事業者と市議会議員との間で汚職があったものとして公営に戻しているが、それ以外は民間事業者による水道料金の値上げが原因とされている。しかし、パリ市の場合と同様、料金値上げと設備の更新投資との関係は明らかにされておらず民間事業者に不備があったかどうかは定かではない。

このように、フランスは水道事業民営化先進国とは言え、実態は民営と公営を行き来している状況である。ここで重要なことは、料金の値上げの問題と公営とするか民営とするかの選択は、本来異なる議論であるにもかかわらず、因果関係として捉えられている点である。公営であっても設備更新投資が必要になれば、料金を上げるか、あるいは他の一般予算から補填する必要がある。つまり水道料金以外の税金から賄わなければならない、市民にとっての負担は同じ

<sup>15</sup> Corporate Europe Observatory and Transnational Institute ウェブサイト「Water remunicipalisation tracker」(<http://www.remunicipalisation.org/>)を参照。

である。また、地域独占事業であることは変わらないため、独占利潤を制限するための料金規制などの政策も必要となる。パリ市は、公営に戻すことにより民間事業者と比較して利益（株主への配当など資本コスト）相当分を事業に還元できるとしており、これについては一理ある。ただし、公営であっても設備投資のための資金調達は必要であり、その分については資本コストがかかるため、どちらが効率的かは資本コストを比較しなければ一概には判断できない。

## （2） 完全民営化を実現したイギリス

イギリス（イングランドとウェールズ地域のみ<sup>16</sup>）は、サッチャー政権時代に推進された「小さな政府」政策の一環として、1989年に上水道と下水道を担う10民間事業者と、上水道のみを担う別の11民間事業者に事業移管をおこなった。フランスや日本と異なり、イギリスでは民営化が進められる以前の1974年に、それまで基礎自治体が実施していた水道事業を水系ごとに国が管轄する10の地域水道機関（RWAs: Regional Water Authorities）に事業統合していた。1989年の民営化では、この10機関を民間事業者に移管する方法が取られたため、全地域で一気に民営化を進めることができた。また、10事業者だけで網羅できない小規模地域を別の11の民間事業者が給水する構成である。

民営化により、民間事業者は政府から25年間の地域独占の権限を与えられることとなった。合わせて、飲料水監察局（DWI: Drinking Water Inspectorate）が給水される水道水質を、環境局（EA: Environment Agency、民営化当初は国家河川局）が水域環境をモニタリングし、水道規制局（OFWAT: Water Services Regulation Authority）が水道料金を規制することにより、民間地域独占事業者の監視をおこなっている。水道料金は、上限価格を設定するプライス・キャップ規制<sup>17</sup>を採用しており、5年ごとにインフレ率や技術効率などを算出して上限価格の見直しをおこなっている。2008年に10民間事業者からOFWATに提出された2010年から2015年の投資計画及び料金改定申請によると、各事業者の平均資本投資額は5年間で22億ユーロ（約2,800億円）、投資の55%が浄水場や配水管の維持更新向けとなっている。平均資本コストは4.7%、物価上昇率を除いた料金値上げ幅は平均2.4%を要求している。これに対してOFWATは、最終的に値上げ幅を平均0.5%に規制する結果を公表している<sup>18</sup>。このように、民間事業者と規制当局の交渉経緯を公表することにより、

<sup>16</sup> スコットランドと北アイルランドでは、議会の反対により水道事業は民営化されていない。Lobina and Hall [2001], p.5 を参照。

<sup>17</sup> 桑原[2008]の「第2章 公共料金の水準と体系」を参照。

<sup>18</sup> OFWAT[2010]の pp.20-22 を参照。

民間事業者の透明性を確保している。

以上のとおり、イギリスでは民間独占事業者に対して各種の規制という形で非効率を解消しており、経済理論に合致した手法を適用していると言える。ただし、水道事業が地域独占でなければ供給できない事業であるかどうかという根本的な議論については課題が残る。OFWAT[2007]においても、現状の地域独占は必ずしも最良の方法ではないとし、今後、水道事業において競争をより促進するために、以下のような取組みを長期的に検討するとしている。

(a) 費用内訳の透明性の向上

現行では、プライス・キャップ規制を採用しているとは言え、料金の算出方法は水道事業に要した費用からの逆算でしか求めることができず、費用内訳に対して透明性が十分に確保できていない。しかし、水道事業を細分化し、どの事業にどれだけの費用がかかっているかを分離することができれば、消費者は自分が納得する事業分野にのみサービス提供を求めることができ、これにより水道事業者の競争促進につながる。

(b) 水道事業の構造分離（アンバンドル化）

現行の水道事業は、取水から浄水、配水、給水までが一体となって事業運営されているが、これを構造分離することにより潜在的に競争市場が生まれる可能性がある。

(c) 会計の分離

水道事業者が実施している事業を機能別に分離し、各機能で独立会計とする。例えば、末端給水事業と他の水道事業者への水道卸売り事業を別会計とすることにより、競争可能な事業分野を見つけることができる。

(d) 水道生成分野での競争

小規模水道事業おこなう事業者の参入により、競争を促進する。

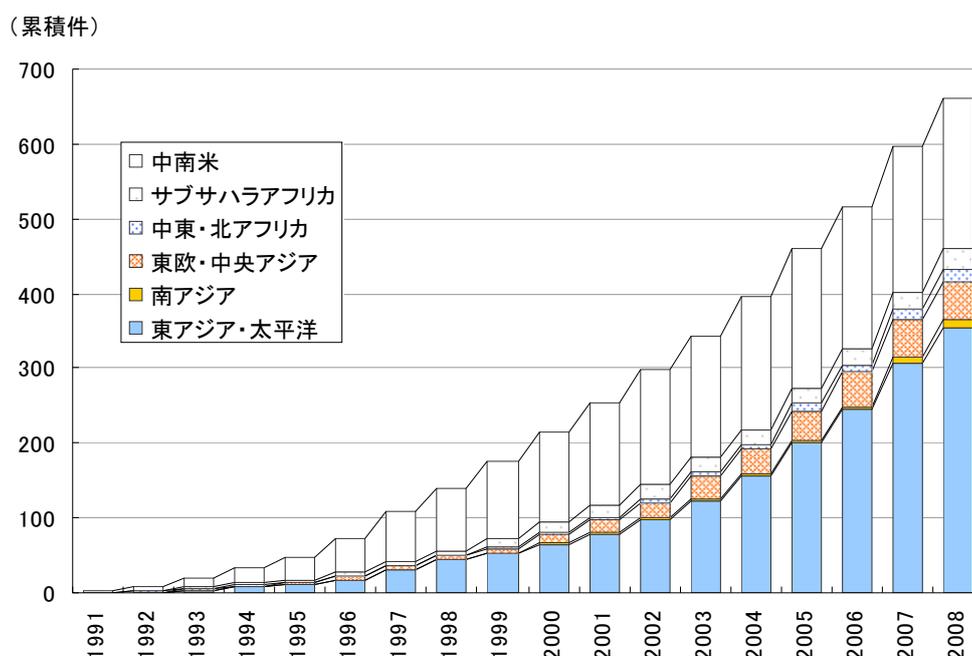
1989年の民営化後、2015年に25年の契約期間が終了するため、このタイミングでこれらの競争政策をどの程度導入していくのか注目したい。

### 1.3.2 開発途上国における動向

開発途上国における水道事業の民営化は、1980年代から世界銀行によって推進された構造調整融資の理念である自由化、民営化の考え方に基づき、1990

年代に世界銀行や他の開発機関の支援を受けて開始された。

図 1-3 は 1990 年から 2007 年までに実施された地域別の民間水道事業数を示している<sup>19</sup>。水道事業は、事業期間が数十年の長期間に渡る性質を持っているため、累積数で表した。これによると、1990 年代後半から事業数が増加し、特に東アジア・太平洋地域及び中南米地域の増加数が顕著であることが分かる。東アジア・太平洋地域については、1990 年代はマレーシア、フィリピン、タイなどの東南アジア諸国、2000 年代に入ってから中国が主な事業実施国である。特に、2003 年から 2007 年にかけて、中国国内の 40 ヶ所以上で新たな民間水道事業が開始されている。中南米地域については、1990 年代の初旬にアルゼンチンにおいて事業が開始された後、ブラジル、チリ、ウルグアイ等の多くの国で事業が実施されている。



(PPIAF “PPI Project Database”より作成。)

図 1-3 開発途上国における民営水道事業数の推移（累積件数）

民営化が推進された当初は、開発途上国における人口増加や産業発展により水道への需要が高まり恒常的な水不足に直面していた一方で、政府及び地方公

<sup>19</sup> PPIAF(Public-Private Infrastructure Advisory Facility)は世界銀行グループの一機関で、毎年、各国が公表するプロジェクト情報を元に PPI(Private Participation in Infrastructure)プロジェクトデータベースを更新している。

共同体の財源が不足していたことから民間資金に注目が集まり、先進各国の水道事業者が参入を果たした経緯がある。このようなインフラ事業では、償還責任が事業範囲にのみ限定されるプロジェクト・ファイナンス方式が採られるため、万一、事業が不採算となった場合でも民間事業者が債務を負う仕組みであり、開発途上国政府にとっては最良の手法と考えられた<sup>20</sup>。しかしながら、1990年代の民間水道事業は、事業数こそ伸びたものの個別事業への投資額は期待以上には伸びなかった。主な理由は、途上国における水道網の破損状態が著しく追加投資が大きくなる一方で、水道利用者にそれに見合った料金を課すことを規制されたこと、また、支払能力のある大口利用者は従前の水不足に対処するために自前の浄水設備を既に設置しており、新たな水道網へのアクセスを行わなかったことなどであった。結果的に、内部収益率が想定より低くなったため、民間事業者は事業継続に必要な資金を金融機関から借り入れできなくなり、事業実施途中で契約破棄となるケースも出てきた。このような事態から、その後プロジェクト・ファイナンスを実施する民間事業者に対して世界銀行などの援助機関が債務保証することにより事業の継続性を担保する試みも行われたが、今度は民間事業者や融資をおこなっている金融機関の規律が下がるといったモラル・ハザードが起きるケースも出てきた<sup>21</sup>

以上のように、開発途上国においては、国が国債を発行して資金調達し公営水道事業を実施するよりは、民間資金によるプロジェクト・ファイナンスで事業実施する方が割安になると考えられたが、実際には設備投資リスクや料金規制による費用回収リスク、優良利用者を取り込めない需要リスクなどの要因から、必ずしも民営が良いとは言えない結果が出ている。

## 1.4 先行研究調査

ここでは、水道事業の民営化に関わる先行研究をレビューする。大きく分けて水道事業において市場の失敗が起きているかを検証する研究、公営事業者と民間事業者の比較をおこなう研究の2種類をレビューする。

### 1.4.1 水道事業における市場の失敗を検証する先行研究

#### 1.4.1.1 不完全競争に関する先行研究

水道事業における市場の失敗を検証する先行研究のうち、不完全競争、特に平均費用が逡減し規模の経済性が存在するかどうかを実証分析により検証する

---

<sup>20</sup> 野崎[2004]の pp.130-131.

<sup>21</sup> Marin[2009]の pp.125-126.を参照。

研究が多数行われている。

表 1-3 に、水道事業における規模の経済性を推定した先行研究を一覧で示した。なお、先行研究はここに示したものの以外にも多数存在するため、推定対象地域が異なるものを可能な限り選定している。

表 1-3 水道事業における規模の経済性に関する先行研究

研究	地域	時期	関数型	RTS	備考
高田・茂野[1998]	日本 (関東)	1981 ~ 1995 (panel)	トランスログ型 費用関数	1.02	配水管延長を独自 説明変数として定 義
浦上[2001]	日本 (全国)	1994 (cross)	ヘドニック関数 を用いたトラン スログ型費用 関数	0.86~0.97	ダム比率, 浄水割 合, 世帯数等をヘド ニック関数で推定 し, また配水管延 長, 設備稼働率を 独自説明変数とし て定義
中山[2003]	日本 (関西)	1995 ~ 1997 (panel)	一般化費用 関数	0.96	配水管延長を独自 説明変数として定 義
Kim and Lee [1998]	韓国	1989 ~ 1994 (panel)	トランスログ型 費用関数	(地域に依 存)	人口密度, 労働人 口密度を独自説明 変数として定義
Kim[1985]	米国	1973 (cross)	トランスログ型 費用関数	0.87~1.33	設備稼働率, 配水 管延長を独自説明 変数として定義
Garcia, et al.[2007]	米国	1997~ 2000 (panel)	トランスログ型 費用関数	0.98~1.40	生産と配送を分離 したモデルと分離し ていないモデルを推 定
Garcia and Thomas [2001]	フランス	1995 ~ 1997 (panel)	トランスログ型 費用関数	1.00	配水管延長, 給水 能力, 取水能力等 を独自説明変数と して定義

研究	地域	時期	関数型	RTS	備考
Stone & Webster Consultants[2004]	イギリス	1993 ~ 2003 (panel)	ヘドニック関数 を用いたトラン スログ型費用 関数	0.67	水質基準値, 環境 基準値, 水圧, 断 水時間等をヘドニッ ク関数で推定し, 独 自説明変数として 定義
Nauges and Van den Berg [2008]	開発途 上国 4カ 国	1996 ~ 2004 (panel)	トランスログ型 費用関数	1.03~1.21	配水管延長, 給水 人口率, 1km あたり 給水人口, 1km あた り配水管破損率等 を独自説明変数と して定義

調査対象として抽出した事例は、日本、韓国、米国、フランス、イギリス、そして開発途上国 4 カ国の研究である。表 1-3 には、研究対象地域、対象時期、分析に用いた関数型、規模の経済性（RTS：Returns to Scale）の推定結果、水道事業の特性から独自に追加している説明変数等の備考を整理した。

まず、日本を対象にした研究として、高田・茂野[1998]、浦上[2001]及び中山[2003]を抽出した。いずれの研究も費用関数を用いている。高田・茂野[1998]及び浦上[2001]はトランスログ型費用関数、中山[2003]は一般化費用関数を用いている。推定結果を見ると、高田・茂野[1998]では規模の経済性が 1.02 で有意に存在することが示された。一方、浦上[2001]は、規模の経済性は事業規模が小さい事業者で 0.97、事業規模の大きい事業者で 0.86 という結果で、いずれの場合にも規模の経済性が存在しないことを示した。また、中山[2003]も、規模の経済性は 0.96 で存在しない結果を示した。

次に、Kim and Lee[1998]は、韓国における各地域の限界費用と平均費用の差から、規模の経済性が存在するかどうかを推定している。これによると、限界費用の方が大きかった地域、つまり規模の不経済が存在する地域は 4 地域、平均費用の方が大きかった地域は 12 地域、それ以外の 12 地域は限界費用と平均費用の差がなく収穫一定との結果であった。

Kim[1985]と Garcia, et al.[2007]は米国を対象として推定をおこなっている。Kim[1985]は、水道給水規模が小さい事業者ほど規模の経済性（1.33）がはた

らき、給水規模が大きい事業者ほど規模の不経済（0.87）がはたらいっているとの結果を示した。なお、全規模での平均は 0.99 で、収穫一定との結論である。Garcia, et al.[2007]は、水道事業を取水から浄水する生産部門と給水までの配水部門を分離したモデルと、分離しないモデルの 2 種類を推定した。分離モデルのうち生産部門は規模の経済性が 0.98 で収穫一定、配水部門は短期では 1.18、長期では 1.19 でやや規模の経済性あり、分離していないモデルは短期が 1.40、長期が 1.16 でこちらもやや規模の経済性が確認された。

Garcia and Thomas[2001]は、フランスにおける規模の経済性を推定したところ、1.00 と収穫一定という結果となった。また、Stone & Webster Consultants[2004]が分析したイギリスでは、規模の経済性は 0.67 で存在しないという結果になった。Stone & Webster Consultants[2004]では、更に上水道と下水道を一括で実施することによる範囲の経済性を推定したところ、資本設備投資に関しては範囲の経済性は確認されなかった。ただし、薬剤や電力購入などの資本設備以外の投入要素の購入には、範囲の経済性が確認された。

最後に、Nauges and Van den Berg [2008]は、ブラジル、モルドバ、ルーマニア、ベトナムの 4 カ国を選定し、規模の経済性、密度の経済性及び範囲の経済性を推定した。その結果、モルドバ、ルーマニア、ベトナムについては規模の経済性が、密度の経済性はいずれの国においても、範囲の経済性は上下水道一体方式で事業実施しているブラジル、モルドバ及びルーマニアについて確認された。

このように、規模の経済性を推定する先行研究は多数存在するものの、その結果は地域や推定対象とする事業規模により異なっており、水道事業の経済学的特性として自然独占が発生しやすいかどうかは断言できない結果となっている。

#### 1.4.1.2 外部性に関する先行研究

水道事業における外部性には、ある水道利用者が水を多量に利用することにより他の利用者が利用できなくなるケースと、ある水道利用者が水を汚すことにより他の利用者がその被害を蒙るケースがある。

##### (1) 水利用に関する外部不経済

ひとつの水系や湖沼から複数の地域が取水している場合、ある地域が多量の取水をおこなうことにより他の地域の取水が制約を受けてしまうことは容易に想像がつく。日本においても、例えば琵琶湖・淀川水系では、1960 年代の高度経済成長期の水需要が伸びた時期や渇水期には、近隣地域間で水争いが起きて

いた<sup>22</sup>。メコン川のような国際河川では、隣り合った国家間で水資源の獲得争いとなる場合もある。また、河川のような表流水ではなく地下水の場合でも、近隣地域の地下水取水量の増加が、別の地域の取水可能量を減らしてしまう。

このような外部不経済に対してまずはじめに考えられる対策は、そもそもの水供給量を増やす方法である。ダム建設による新たな水源開発やより遠方にある水源からの取水などである。しかし、有限である水に対して水源開発を続けることは、条件が不利な地域における水源を求めため取水費用が割高になったり、またそもそも無限に開発を実施することは不可能である。そこで、水使用者に対する水利権の設定による外部不経済の内部化が解決策として考えられてきた。

水利権については、水系管理者が水使用者に対して許可を出す方法が一般的である。日本の場合、例えば淀川では、国管理の1級河川であることから国土交通省近畿地方整備局が管理者となり、京都府や大阪府、大阪市、尼崎市などに対して許可を与えている。許可にあたっては水道用水、工業用水、発電用水、農業用水などの用途別に調整され、1～数年に1回更新をおこなう仕組みである。淀川において2006年度に水道用水目的で水利権を得ている団体は13団体で、大阪府、大阪市、京都市、阪神水道企業団が圧倒的に容量の大きな水利権者とされている<sup>23</sup>。

このような数年に1回の水利権許可制度に対して、近年、水利権の市場取引制度についても研究が進められている。Rosegrant and Binswanger[1994]は、水利権を取引することで、水使用者がその時々の水の機会費用を知ることができ水の効率利用につながる、取引価格の動きに合わせて水使用量を調節できる（例えば農業の場合、水価格が高くなる時期を避けるような農作物の種類に変更する）などの効果があるとしている。このような水利権の取引は、特に水使用量の多い農業分野で議論が活発であり、また、オーストラリアでは1980年代から先進的に取り組まれている<sup>24</sup>。しかし一方で、このような市場取引では、水を買占めて高値で転売する事業者が出現する、農業用水や水道用水、工業用水などの用途の異なる事業者間で競争が起き、水単価の高い水道用水として利用できる水量が確保できなくなるといった課題が想定されるため、ある程度の

---

<sup>22</sup> 1960年代から構想・実施されてきた琵琶湖総合開発事業では、利水を求める淀川下流域の開発要請と治水を求める琵琶湖周辺上流域との対立、また乱開発による環境汚染に対する訴訟など、国、地方公共団体、住民を巻き込んだ論争が繰り返されていた。（池見[1982]を参照。）

<sup>23</sup> 国土交通省近畿地方整備局、「淀川水系における水利権許可状況」を参照。  
（<http://www.kkr.mlit.go.jp/river/news/20050329-047453.html>）

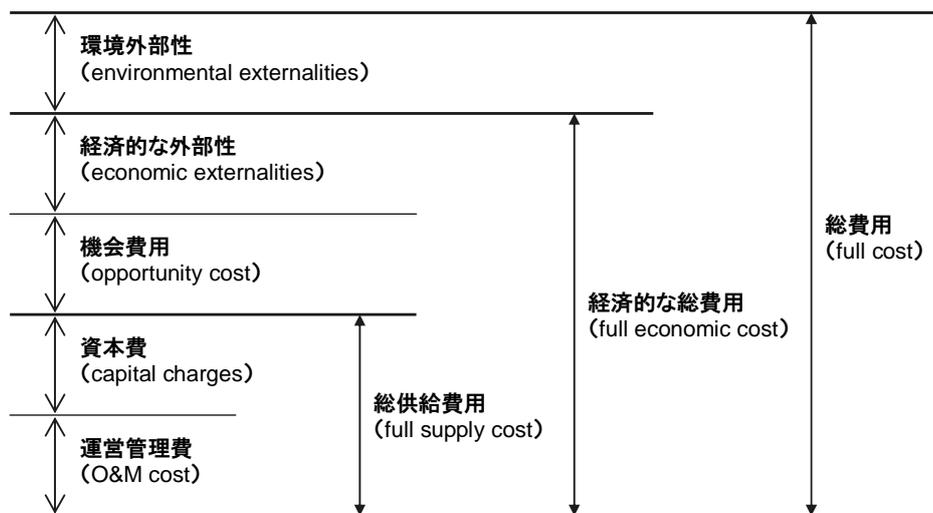
<sup>24</sup> 近藤[2008]を参照。

規制も含めた市場設計が求められる。

## (2) 水質に関する外部不経済

もうひとつは、外部性の中でも代表的な事例としてよく取り上げられる水質汚染による外部不経済である。経済理論ではコースの定理により、汚水を流している地域が費用負担をして処理をおこなうか、あるいは被害を受けている地域が汚水を流している地域に対して費用負担をして処理させるかという選択肢がある。

Rogers et al.[1998]は、このような外部不経済を明確にし、水道費用の一部として計上することを提起している。図 1-4 は、Rogers et al.[1998]による水道費用の構成を示している。これによると、外部性は経済的な外部性と環境外部性に分類される。経済的な外部性とは、(1) に示した水利用による外部不経済や水質に関する外部不経済など、水道生産に要する費用を直接増減させるような外部性と定義している。一方、環境外部性は、健康や生態系に影響を与える外部性で、汚染された水を元の水質に戻すための費用としている。これをコースの定理に当てはめて解釈すると、汚水を流している地域が費用負担して水質を改善する場合は環境外部性の費用として、被害を受けている地域が汚水を流している地域に対して費用負担をして処理させて(あるいは自身で処理して)水質を改善する場合は、経済的な外部性の費用として計上されることになる。Rogers et al.[1998]の同論文では、これらの費用を具体的に試算しており、例えばインドのスバルナレカ川の家事用・工業用水道の場合、運営費と資本費が合わせて\$0.066/m<sup>3</sup>、機会費用が\$0.097/m<sup>3</sup>、経済的な外部性が\$0.014/m<sup>3</sup>、環境外部性が\$0.29/m<sup>3</sup>としている。機会費用がゼロでないのは、農業用水への使用価値を評価したためである。経済的な外部性は上流域での取水が下流域での取水制約となっている費用であり、環境外部性は使用済みの水を元の水質に戻すために要する費用である。つまり、この事例はで、水質に関する外部不経済を環境外部性の費用において対処する方法をとっている。



(出典：Rogers et al.[1998],p.7.)

図 1-4 水道費用における外部性の位置付け<sup>25</sup>

多くの国においては上水道及び下水道を一体型で運営し、このような水道料金の徴収方法を採用している。一方日本においては、上水道と下水道は別組織、別会計として運営されている。これは、上水道は厚生労働省、下水道は国土交通省が管轄官庁であり、法令や規制の指揮系統が異なることに起因する。ひとつの地方公共団体全体で見た場合には図 1-4 の費用構造となるが、上水道、下水道が別々の事業者として民営化される場合には、外部性部分を切り離された上水道事業者は排水する水質への意識が低下する可能性が考えられる。また、外部性部分のみを事業対象とする下水道事業者は、水質を向上するインセンティブをなくす可能性が考えられる。このように、水質に関する外部不経済を解決する観点からは、上下水道の一体運営が望ましい可能性がある。

#### 1.4.1.3 不完全情報に関する先行研究

水道事業では、現行では地域独占事業として実施されていることが多いこと、また水質や環境などの外部不経済が生じる場合があることから、多くの国において規制当局が水道事業者を監視する体制を構築している。直接の消費者である水利用者は、規制当局を通じて間接的に水道事業者を監視する方法となる。このような構図であることから、水道事業における不完全情報に関する先行研

<sup>25</sup> 「運営管理費」は、水道事業を運営するために必要となる人件費、中間投入財費等を指す。「資本費」は、水道事業に必要となる浄水設備、配水設備、機材等を指す。「機会費用」は、他の用途に水を使用した場合に得られた、または失った可能性のある費用を指し、当該用途に適切に使用された場合はゼロとなる。(Rogers et al.[1998]を参照。)

究は、規制当局と水道事業者の関係を扱ったものが中心である。



図 1-5 水道事業におけるモニタリングの構図

水道事業者における不完全情報は、規制当局が水道事業者の費用構造を完全に把握することができないために起きる。規制当局が水道事業者の費用構造を把握できない場合、水道事業者が申請する水道料金が適正に設定されているかどうかを判断することができない。

日本の水道事業において従来から採用されている総括原価主義<sup>26</sup>、いわゆる公正報酬率規制では、規制当局は水道事業者から申請される料金しか情報として得ることができず、水道事業者の過剰設備投資を誘引し、料金が適正価格よりも高く設定される可能性がある。これに対し、水道事業者に一定の裁量権を持たせることで適正価格を実現しようとするインセンティブ規制の考え方が出てきた。インセンティブ規制には、公正報酬以上の利潤を達成した場合に事業者に超過利潤の一部を獲得する権利を付与する利潤配分規制や、規制当局が設定した上限価格範囲内で事業者が裁量的に料金を決定することができるプライス・キャップ規制などがある。

一方、インセンティブを付与して価格規制をおこなっても、規制当局が、水道事業者がどのように事業を実施するかを監視できなければ、水道事業者はその価格の下で水道設備に対して過少投資することで水質を悪化させたり不当に利益を上げたりする可能性も考えられる。モラル・ハザードや逆選択と呼ばれるこのような問題に対しては、規制当局と水道事業者が当初確約した価格及び水質に対して、事後に公開される会計書類を査定することによりペナルティを課すといった契約による解決方法がある (David B., et al.[1982]、Laffont J.J. and Tirole J.[1986]など)。また、水利用者が適正品質・適正価格で水を給水し

<sup>26</sup> 総費用に適正利潤を加えた総額を水使用者で割り戻して料金を決める方法。この方法では水道事業者が際限なく支出をおこなっても回収できるため、過剰設備投資を誘引する可能性が常にある。(桑原[2008], p.34 を参照。)

ている地域に転居するという足による投票も考えられる。

ただし、地方公共団体が水道事業を実施している日本においては、そもそも裁量で利潤をあげる動機がないためインセンティブ規制は適用しづらい。また、厚生労働省は規制当局とはいえ、地方公共団体の裁量で水道事業が実施されているため、厚生労働省と地方公共団体が契約により届出当初の事業内容を確約し、違反時にはペナルティを課すといった方法をとることも想定しづらい。更に、世帯所得のわずか数%でしかない水道料金の高低によって、水利用者である住民が別の地域に転居するということも考えにくい。このようなことから、先行研究で検討されているような不完全情報を解決する手法は、地方公共団体が水道事業を実施している場合には有効でない可能性がある。その一方で、インセンティブ規制及び規制当局との契約による方法は、民間事業者が実施する場合には有効である可能性があり、不完全情報の解消には民営化がひとつの手法と考えることもできる。

#### 1.4.2 水道事業の公営・民営を比較する先行研究

水道事業の民営化に関わる先行研究には、公営と民営の効率性を比較する研究がある。比較のためには、同一地域内または国内において公営と民営の水道事業者が存在しなければならないため、欧米地域を対象とした研究が主である。

Feigenbaum and Teeple[1983]では、米国における水道事業の費用関数を推定し、公営と民営で有意な差があるかどうかを検証している。費用関数は、トランスログ型費用関数と、産出量を浄水レベルや有収率、人口密度などの変数で代理するヘドニック関数を用いた費用関数の2種類としている。費用関数の推定結果に対して、推定に用いたサンプルを公営及び民営に分類し尤度比検定をおこなったところ、公営と民営に有意な差があるという帰無仮説は棄却された。つまり、水道事業の費用関数には、公営と民営の間に差はないとの結果となった。

Menard and Saussier[2000]は、水道事業を公営とするか、地方公共団体から民間への包括委託とするかの選択は、以下の3つの定理に基づくと提案している。

- (a) 水道事業を実施するにあたり、地形的に特殊な投資をより多く必要とする地域においては、公営が選択される。
- (b) 配水に関わる不確実な投資をより多く必要とする地域においては、公営が選択される。

(c) 地方公共団体の財政制約が大きい場合には、民営が選択される。

(a)及び(b)は、特殊性や不確実性の高い投資は、他の機関への委託ではなく直営で実施した方が取引費用が小さくなるという契約理論の考え方から導いている。一方(c)は、水道事業においては投資量が大きくまたその大部分がサunkコストになるという性質から、地方公共団体財政が逼迫している地域においては投資が滞るため、民営化が選択されるとしている。

Chong, et al.[2006]は、フランスの地方公共団体において、水道事業を公営または民営とすることによりどの程度効率性に差があるか、水道料金を比較することにより検証している。その結果、公営よりも民営の方が、水道料金が相対的に高いことを示した。これは、地方公共団体と民営企業の間の契約にかかる取引費用が影響していると結論付けている。

Feigenbaum and Teeple[1983]で示すように、公営と民営で費用構造に大きな差はないとしながらも、Menard and Saussier[2000]が示すとおり財政制約がある場合には民営が選択され、Chong, et al.[2006]が示すように民営になると料金が高くなるという結論は、1.3 で見たフランスや開発途上国の動向と一致している。

## 1.5 おわりに

以上、国内外における水道事業の民営化の動向と、経済学的観点から先行研究のレビューをおこなった。要点は以下のとおりである。

- (1) 日本においては、1990年代の小泉政権時代の規制緩和や、地方公共団体財政の逼迫及び地方債調達費の上昇などの背景から、水道事業を民間事業者に委託する事例が出てきている。また、地方公共団体と民間事業者が提携して海外に進出することにより、そこで得た収益を国内に還元する構想もあり、民営化路線に向かいつつある。
- (2) フランスでは、従来から水道事業を民間事業者が実施してきたが、再公営化する動きもある。イギリスでは、完全民営化が実現しており、今後も、地域独占の解消など、更なる競争市場での事業実施に向けた可能性の検討が進められている。
- (3) 開発途上国では、世界銀行などの援助機関の融資条件の一環で民営化が

進められてきた。しかし、需要リスクなどから資金回収ができなくなり、事業が途中で終了するケースも出てきた。

(4) 市場の失敗に関する先行研究のうち、規模の経済性については、地域や事業規模によって存在する場合とそうでない場合があり、必ずしも水道事業に地域独占が適しているという根拠があるとは言えなかった。外部性については、水利権の市場取引や水質汚染費の内部化などにより対処している。ただし、水質汚染の外部性については、上水道・下水道を別々に民営化した場合にも対処するインセンティブが働くか課題が残った。不完全情報については、インセンティブ規制や規制当局との契約による方法などがあるが、このような規制は民間事業者に対して実施する方が効果的な可能性が考えられた。

(5) 公営と民営を比較する先行研究については、費用構造には差はない、財政制約がある場合は民営が良い、料金は公営の方が安くなるなど、分析の視点によって異なる結果が出ていた。

## 第2章 分析の枠組み

### 2.1 はじめに

本章では、第1章で見た国内外における水道事業の民営化の動向及び経済学的観点からの先行研究レビューの結果を受けて、水道事業を民営化するとは何を意味するのかを整理し、これをもとに、本研究の第3章以降に示す分析の枠組みを提示する。

### 2.2 水道事業の民営化を考える視点

第1章では、様々な形態の民営化の事例が出てきた。ひとつは、日本やフランスが採用しているような地方公共団体から民間事業者へ包括委託をする方法である。この場合、資金調達から建設、運営に至るまでを長期に渡って民間事業者が担うが、地方公共団体との契約関係で事業が実施される。もうひとつは、イギリスや開発途上国で採用している完全民営化方式であり、これは当然ながら資金調達から建設、運営までを永続的に事業実施することになる。ただし、いずれの事例も地域独占形態であり、同一市場に対して複数の事業者が参入し、競争的にサービス提供している事例は見られない。これは、水道事業における規模の経済性を根拠としたものであるが、先行研究レビューからは、必ずしも規模の経済性が存在するとは言い切れない結果であったため、競争市場でのサービス提供も視野に入れることができるはずである。

図2-1に、水道事業の民営化を考える視点を軸として整理した。縦軸方向は産業構造が平均費用逓減的かそうでないかの軸、つまり、規模の経済性が存在する産業かどうかの軸である。横軸方向は公共部門の運営が効率的か、あるいは民間部門が効率的かの軸で、ここでは第1章で見た資金調達にかかる費用の大きさを表す軸を想定する。

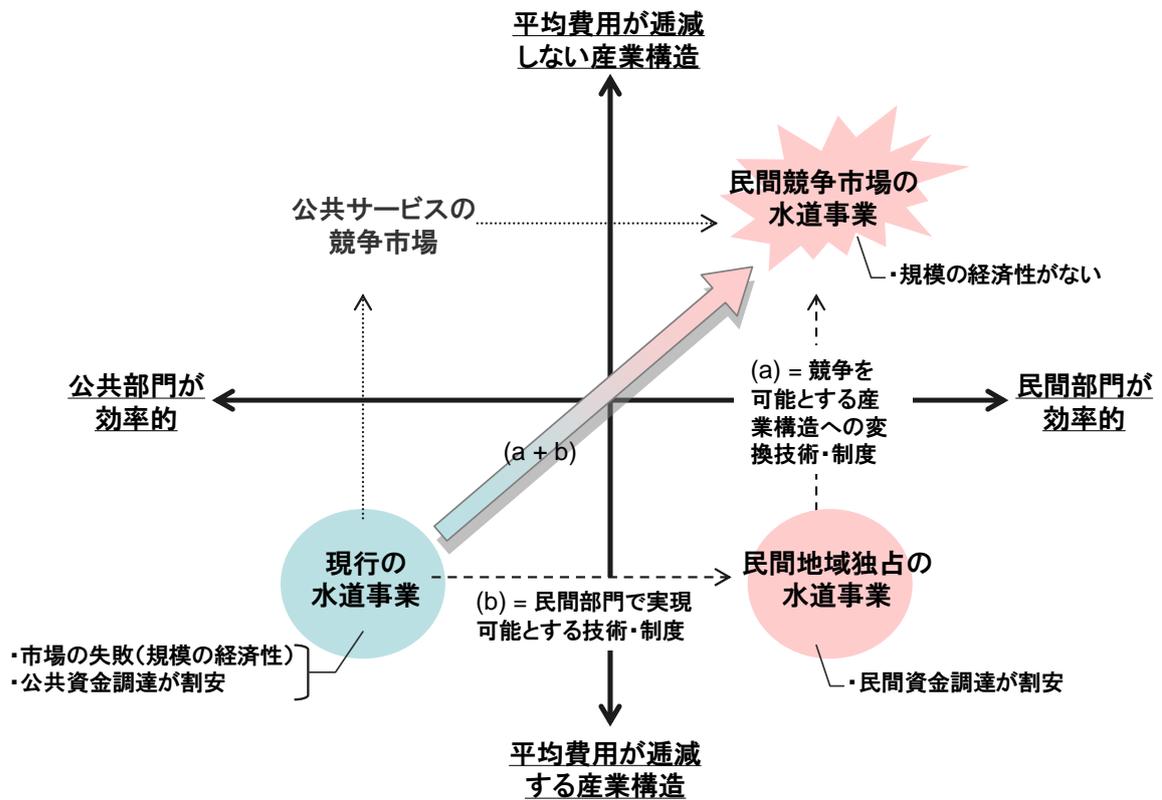


図 2-1 水道事業の民営化を考える視点

国内外における現行の多くの水道事業は、規模の経済性が存在する産業で、かつ割安の公共資金に依存しているため第3象限に位置付けられると思われる。この位置から、独占であることに変わりはないが、第4象限の民間市場に移行する（つまり、(b)の矢印）ためには、民間市場での資金調達費用が割安となるよう資金調達手法を改善する方法が考えられる。また、第1または第2象限の競争市場に移行する（つまり、(a)の矢印）ためには、平均費用逓減とならないよう供給技術・制度を改革し、複数企業が参入できる産業構造に変換する方法が考えられる。この両者の移行が行われる（つまり、(a)+(b)の矢印）と、第1象限の民間競争市場での水道事業実施となる。

実は、第1章の国内外の動向で見てきた民営化の議論は、競争市場で水道事業を供給できるかどうかという視点よりは、水道事業運営に必要な資金を民間市場で調達し、適切なリターンを生み出すことができるかどうかという視点に重点が置かれる傾向にある。これは、1990年代後半から出てきたPFI（Private Finance Initiative）手法の流行や近年のインフラファンド<sup>27</sup>の台頭

<sup>27</sup> 年金基金などの長期安定収益が期待される資金を元手に有料道路や港湾等のインフラ設備に投資するファンド。

などに起因している。公共分野にもファイナンス手法を取り入れることで、資金供給側から見れば新たな市場への参入機会を得ることができ、また資金需要側から見れば公的部門の財源不足を補う新たな資金調達先を見つけることができ、双方にとってメリットがある。しかし一方で、予想されたリターンが得られない事業や、またはリターンを得るために不当に料金を引き上げる事態が起きるなど、民間資金利用への不信感も出始めており、これは第1章の開発途上国の事例で見たとおりである。

本研究では、水道事業の民営化の形態として、最終的には図 2-1 の第1象限を目指すべきであると考えている。そのためには、近年議論されている資金調達手法の検討だけでは十分でなく、いまいちど水道事業の産業構造を分析し、多数の企業が自由に参入・退出できる競争市場に向けた課題と方策を検討する必要があると考える。ただしこの際、第1章の先行研究レビューで見たように、従来と同様の推定手法では規模の経済性が地域性や事業規模によって存在したり、存在しなかったりといった結果となり、公営、民営のいずれが適切かの判断ができない可能性がある。そこで、本研究では特にひとつの水道事業者に焦点を絞り、需要・供給構造を詳細に考察し分析手法を改良することにより、より細かな公営、民営の判断基準を抽出できるように努める。

## 2.3 本稿の構成と分析手法

以下、本研究では次のような構成で分析をおこなう。

### 2.3.1 水道事業の需要分析（第3章）

水道事業の需要の特性の分析をおこなう。民間事業者にとっては、水道需要がどのような傾向を持っており、需要の変動に対して供給をいかに柔軟に調整する手法を持てるかが、事業継続可能性を判断するために重要となる。

第3章ではまず、水道需要の用途別分析をおこなう(3.2)。このうち、本研究では上水道事業を対象とすることから、生活用水に焦点を絞る。生活用水にも更に家事用や事業用など用途があるためこれらを分類し、水道需要の変動を把握する上で家事用が鍵となることを明らかにする。

次に水道需要の時系列的変遷と価格弾力性、所得弾力性を分析する(3.3)。用途によって特性が異なることから、家事用と家事用以外に分けて分析する。家事用の分析では、グラフを用いた時系列での変遷を追った後、需要関数を推定し、価格弾力性及び所得弾力性を求める。また、水道需要のシフト要因として節水技術の普及状況、世帯あたり人員数を変数として組み込み、推定をおこ

なう。家事用以外の分析では、グラフを用いた時系列での変遷を追った後、特に事業用の需要に焦点を絞り分析する。事業用の分析では、水道需要の多い業種や上水道以外の水（工業用水、海水、回収水等）の使用状況を分析し、特性を把握する。

本章の結論として、民間事業者が水道事業に参入するにあたって安定需要を獲得するための地域条件を導き出す。

### 2.3.2 水道事業の規模の経済性（第4章）

第4章、第5章では、水道事業の供給側の分析をおこなう。

まず第4章では、水道事業が平均費用逓減産業であるのかどうかを確認するために、生産関数を推定する。ただし、第1章の先行研究調査でも見たとおり、過去に規模の経済性を推定した研究は多数あるが、推定対象によって規模の経済性の有無にばらつきがあり、同じ手法で推定しても結論の解釈が難しい。そこで本章では、先行研究と比較して以下の3点を改良し推定をおこなう。

- (1) 推定の標本を、市町村や都道府県などの水道事業者単位ではなく、水道事業者が運営する浄水場を中心とする配水システム単位とする。
- (2) 水道事業に必要となる設備資本をひとまとめにするのではなく、取水・浄水に関わる資本、配水に関わる資本及びその他資本の3種類に分け、特に、配水に関わる資本をネットワークの影響を把握するための変数として定義する。
- (3) 水質を考慮した配水量を産出量として利用する。

特に(1)及び(2)のような水道事業者の供給構造を詳細に分割して推定をおこなう試みは過去に例がなく、よって、本改良による推定結果は先行研究で解釈が難しかった規模の経済性の分析を一步先に進めるものとする。

### 2.3.3 水道事業の投入要素間の代替性と構造分離（第5章）

第5章では、第4章に引き続き水道事業の供給側の分析をおこなう。第4章では水道事業全体としての規模の経済性の有無を確認することに焦点を置いていたが、本章では第4章と比較して更に水道事業の供給構造に踏み入り、水道事業の供給プロセスごとの生産関数の定式化を試みる。具体的には、水道事業を以下の3つの供給プロセスに分解する。

- (1) オペレーションサービス工程  
労働と機械・装置資本を投入要素とし、オペレーションサービスを産出する工程。

## (2) 水道生成工程

オペレーションサービスと取水・浄水関連資本を投入要素とし、浄水を産出する工程。

## (3) 水道配送工程

浄水と配水設備資本を投入要素とし、配水を産出する工程。

上記のような工程に分割し、各工程における投入要素間の代替性・補完性の分析をおこなう。また、工程ごとの生産関数の推定をおこなう。これにより、民間事業者が水道事業を実施するにあたり、各工程で効率性を改善するためのどのような手法を採り得るか、民間事業者でも実施できる供給構造とはどのようなものかを導き出す。

### 2.3.4 兵庫県内市町の水道事業民営化の可能性（第6章）

本章では、第3章～第5章の分析で得られた知見をもとに、兵庫県内40市町を対象に、各市町が水道事業民営化に適した地域かどうかを分析する。

第6章ではまず、兵庫県内市町の地勢と配水規模を概観する(6.2)。兵庫県は平地で人口密集した神戸・阪神地区から山間地の但馬・丹波地区、播磨灘から山間部までを保有する播磨地区、島の淡路地区といった極めてバラエティに富んだ地域であり、その特性を把握する。

次に、需要側の観点から各市町を類型化し、民間事業者にとって安定需要を見込める地域を導き出す(6.3)。同様に、供給側の観点からも各市町を類型化し、効率的に水道供給をおこなうことができる地域を導き出す(6.4)。

最後に、需要と供給の両方の観点から、いくつかの市町を事例に安定需要や効率性のバランスを見る(6.5)。そして、民間事業者にとって相対的に参入可能性の高い地域を結論として導き出す。

### 2.3.5 今後の課題（第7章）

第7章では今後の課題を示す。

まず、第6章までに実施した分析結果から得られた課題を整理して示す。

次に、本研究を更に発展させるための課題を示す。本研究では、水道事業の需要及び供給構造の観点から、民間事業者でも事業が実施できるかどうかを分析した。しかし、民間事業者が実施できると分かったからといって、自動的に民間事業者がその市場に参入するとは限らない。特に、水道事業はこれまで公共サービスとして実施してきた経緯があり、更に大きな初期設備投資及び維持更新投資が必要となる事業であることが明らかであるため、民間事業者側の参

入意識が低い可能性がある。そこで、水道事業における民間事業者にとっての参入障壁の分析を今後の課題として示す。

また、民間事業者にとっての参入障壁が解消された後、民間事業者が市場に参入するにあたりどのように市場設計するかが重要となる。水道事業の場合、一度敷設した配水管ネットワークを民間事業者が変わる度に敷き直していたのでは経済効率が悪いことから、配水管ネットワークへのアクセス権あるいは使用权を設定し、複数の民間事業者が価格競争する方法が考えられる。あるいは、地方公共団体が民間事業者に水道設備の使用权を供与する場合には、入札制度が良いのか企画公募が良いのかなど、競争を促進する契約手法の開発も求められる。このような市場設計の分析についても、今後の課題として示す。

#### 2.3.6 推定に使用した各種データ（付録）

本研究では、実データをもとにしたグラフや関数の推定を主な分析手法として採用している。各分析に用いたデータを巻末の付録として収録する。

## 第3章 水道事業の需要分析

### 3.1 はじめに

近年、日本各地で水道需要が減少していると言われている。このような需要減少は、人口減少や節水技術・意識の普及、「水道離れ」、「蛇口離れ」と呼ばれる飲料水のボトルドウォーターへの移行が原因と考えられている。その一方で、水道事業者は浄水場や配水設備などへの投入資本を回収する必要がある、様々な対応策を講じている。飲料水に関わるものとしては、例えば大阪市の「ほんまや」、神戸市の「神戸の水だより～布引～」などブランド名を付けたボトルドウォーターを販売したり、あるいは小学校などでの出前講座を通じて水道水への理解の促進をはかったりといった取り組みがなされている<sup>28</sup>。もし、この需要減少がボトルドウォーターの普及によるものであればこれと競争可能な商品の開発及び販売が解決策となる。一方でもし、節水家電の普及や節水意識の向上によるものであれば、需要の減少が社会的に見て必ずしも問題視されるものではない。

他方、また近年、水道事業における民間活用や民営化が話題となっている。これは、1960年代～1970年代にかけて浄水場や配水設備などの水道設備を整備してきたものが、次の10～20年の間に一斉更新時期を向かえるため、民間資金を活用しなければ間に合わないとの課題意識から出てきている。しかし、水道需要の減少が本当に起きているのであれば、参入側の民間企業あるいは民間資金にとってはリスクが高い市場となり、参入がうまく進まない可能性も出てくる。

そこで本章では、需要側から見た水道事業の特性を捉えることで、需要の減少傾向が実際におきているのか、起きている場合にどのような要因によるものか（またはよらないものか）、この需要の減少は今後の民間活用の傾向に対してインパクトを与える可能性があるかを考察する。以下、まず3.2では、用途別の水使用量の変遷を分析することで、水道需要の構造を把握する。次に3.3では、水道需要を家事用と家事用以外に分け、家事用については価格弾力性、所得弾力性及びその他の需要シフト要因を特定し、家事用以外については上水道以外を水源とする水使用量も含めて分析することで水道事業への影響を考察する。なお、分析は時系列のデータが豊富にそろった兵庫県西宮市を事例とするが、西宮市のデータがない場合に限り、他の水道事業者のデータを補完的に使用する。

---

<sup>28</sup> 全国水道事業者の取り組み状況は、社団法人日本水道協会「安全でおいしい水道水推進運動」ウェブサイト (<http://www.jwwa.or.jp/anzen/index.html>) を参照。

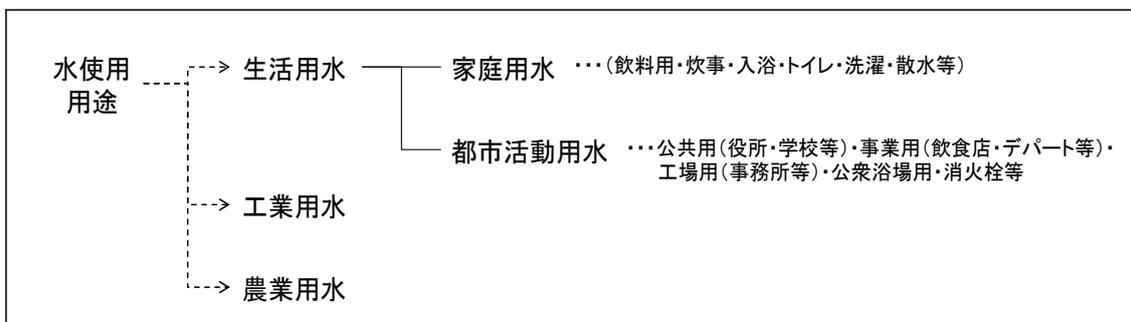
### 3.2 水道需要の用途別特性

#### 3.2.1 水使用用途の分類

国土交通省『日本の水資源』によると、水の使用用途には大きく分けて生活用水、工業用水及び農業用水の3種類があるとされている（図 3-1 参照）。

このうち生活用水は、いわゆる水道法で定める水道と定義が一致しており、更に詳細な用途区分として家庭用水と都市活動用水に分けられ、都市活動用水には公共用、事業用、工場用、公衆浴場用などある。これらの生活用水は、水道事業者によって上水道事業を通じて供給される。工業用水は、工業用水法で定められ、水道事業者が供給する場合と、工場主が自身で水源を所有し供給する場合がある。農業用水は、雨水を貯留して使用する場合と、河川法で定める河川管理者から水利権を得て取水した水を使用する場合がある。

日本全国における 2006 年度の各用途使用実績は、生活用水が 157 億 m<sup>3</sup>、工業用水が 126 億 m<sup>3</sup>、農業用水が 547 億 m<sup>3</sup>と推定されており<sup>29</sup>、農業用水が圧倒的な量を占めることが分かる。ただし本研究では、冒頭に示した水需要の減少傾向や民間活用などの課題に直面している生活用水に焦点を絞り分析を進めるものとする。



（出典：国土交通省，『平成 21 年版 日本の水資源』， p.39 を元に作成）

図 3-1 水使用用途の分類

#### 3.2.2 生活用水の用途別使用量

生活用水の用途分類は、図 3-1 に示した分類の他に、社団法人日本水道協会『水道統計』では、家庭用（一般）、家庭用（集合）、営業用、工場用、官公署・学校用、公衆浴場用、船舶用、その他といった分類を採用している。また、各

<sup>29</sup> 国土交通省，『平成 21 年版 日本の水資源』， p.40 より。

水道事業者が独自に分類を設けている場合があり、個別の水道事業者を対象として分析をおこなう場合には、対象事業者が採用する分類に基づき分析することが望ましいとされている<sup>30</sup>。本章では、兵庫県西宮市を事例として需要分析をおこなうため、西宮市水道局が採用する分類に従うものとする。

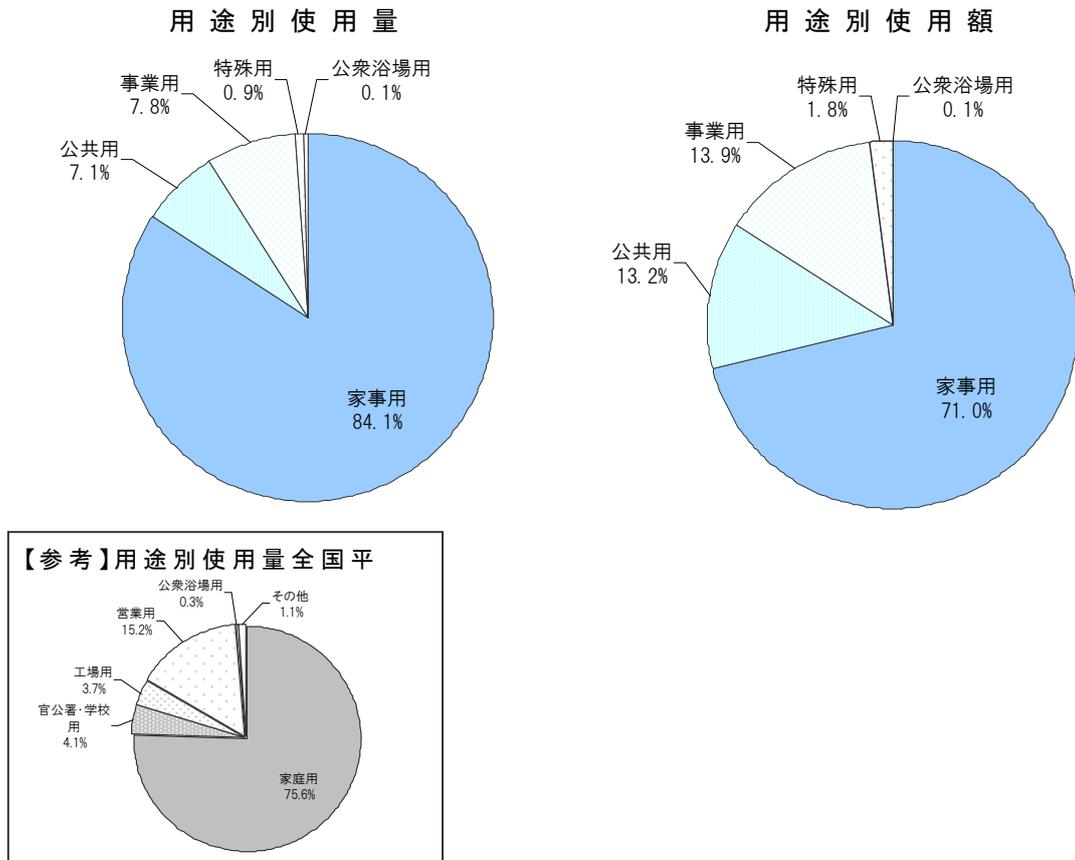
西宮市では生活用水の用途区分として、家事用（集合住宅含む）、公共用（官公署・学校等）、事業用（工場などの事務所等）、特殊用（宿泊施設やゴルフ場等）及び公衆浴場用の 5 つを設けている。また、料金換算されない用途として消火栓などの公共栓がある。

図 3-2 は、2007 年度西宮市の各用途別水道使用量及び使用額を示している。これによると、家事用は使用量が 84.1%、使用額が 71.0% を占め、使用量全国平均値 75.6%<sup>31</sup> と比較して 10% ほど割合が大きい。一方、公共用、事業用は使用量が 7~8%、使用額が 13~14% で、家事用と比較して契約口径が大きく 1 m<sup>3</sup> あたり使用料金が低いなどの理由から、使用額の割合が相対的に大きくなっている。特殊用は使用量が 0.9%、使用額が 1.8% と極めて小さな割合を示している。公共用及び事業用の使用量全国平均値 4.1%、3.7% と比較すると、西宮市では若干大きい値を示していることが分かる。

---

<sup>30</sup> 『水道統計』は、日本全国の水道事業者の各種情報を網羅した統計データではあるが、各事業者が社団法人日本水道協会にデータを提出する過程において、自事業者が採用する分類から『水道統計』が採用する分類に再集計し直す作業をおこなっている。そのため、分類が完全に一致しない場合もあり、各事業者のデータを横並びで比較する際には注意が必要とのことである。また、長期時系列でデータを使用する際も、統計分類の変更が起きている可能性もあるとのことである。このようなことから、各事業者が公開する統計書がある場合は、この分類を採用したデータ分析が適切と言える。（社団法人日本水道協会統計担当者インタビューより。）

<sup>31</sup> 社団法人日本水道協会、『水道統計』（平成 19 年度版），p.22 より。

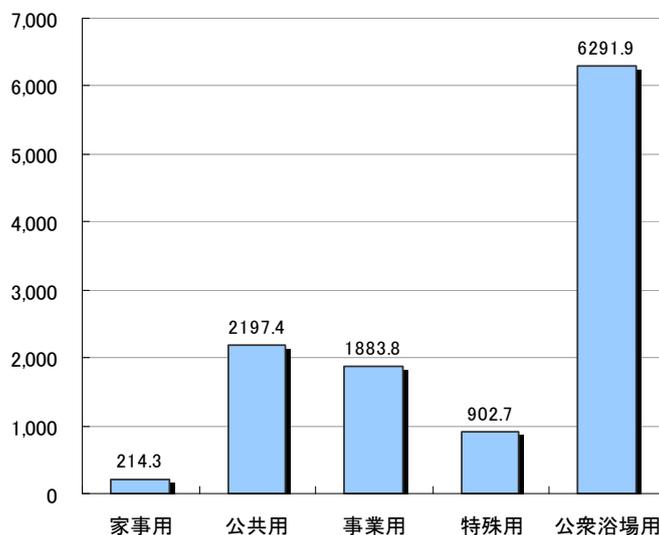


(出典：西宮市水道局『水道事業年報』(平成20年版)をもとに作成。)

図 3-2 西宮市における生活用水用途別使用量・額 (2007 年度)

一方、図 3-3 は、2007 年度西宮市の用途別 1 件 (契約) あたり水道使用量を示している。1 件あたりで見ると、公衆浴場用が圧倒的に大きく、公共用、事業用、特殊用と続き、家事用が最も小さい。図 3-2 と合わせて考えると、公衆浴場用や公共用、事業用の場合は、件数の増減が総使用量に影響するが、家事用の場合は 1 件あたり使用量が小さいため、件数の劇的な増減が無い限りは 1 件あたりの平均的な使用量の増減が総使用量に影響を与えられ。ただし、たとえば事業用のうちの工場については、工業用水や地下水などを浄水して使用する場合があります、工場が多い地域だからといって必ずしも事業用の総使用量が大きくなるとは限らない。また、従業員数が 1～数名程度の小規模事業者の場合、家事用の給水栓を使用していることが考えられるため、やはり事業所数と事業用の総使用量が相関するとは言い切れない。実際に西宮市では、

事業所の約 6 割が従業員数 1～4 人の小規模事業者であり<sup>32</sup>、事業用ではなく家事用として計上されている事業者が多数存在すると思われる。



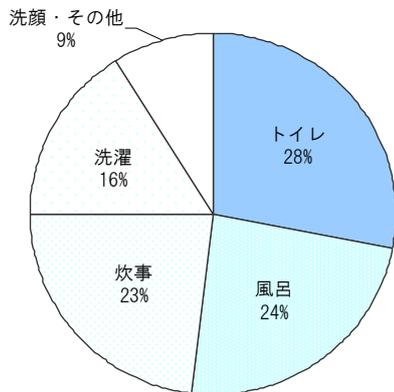
(出典：西宮市水道局『水道事業年報』(平成 20 年版) をもとに作成。)

図 3-3 西宮市における生活用水用途別 1 件あたり年間使用量 (2007 年度)

西宮市では、家事用の使用量が圧倒的な割合を占めるため、需要の特性を捉えるためには更に家事用の使用内訳を見る必要がある。しかしながら、西宮市においては過去に家事用の使用内訳を調査した実績がないため、ここでは日本国内であれば使用内訳に大きな地域差はないものと判断し、東京都の調査結果を用いることとする。

図 3-4 に家事用の水使用量の内訳を示した。これによると、トイレ、風呂及び炊事の割合がほぼ 1/4 ずつを占め、洗濯がこれに続く。水道需要の低下で指摘されることの多い飲み水については、図 3-4 では洗顔・その他に含まれるが、1 人 1 日あたり 1.5 リットル (=0.0015 m<sup>3</sup>) として 3 人世帯 1 ヶ月で 135 リットル (=0.135 m<sup>3</sup>)、世帯 1 ヶ月あたり水道平均使用量 21.6 m<sup>3</sup> のうちに占める割合を計算すると、約 0.6% であることが分かる。

<sup>32</sup> 西宮市, 『事業所・企業統計調査』(平成 18 年度版), p.49 より。



#### 世帯 1ヶ月あたり平均使用量

1人世帯・・・7.8m<sup>3</sup>

2人世帯・・・16.2m<sup>3</sup>

3人世帯・・・21.6m<sup>3</sup>

#### 使用量の例

トイレ・・・1回あたり 0.006m<sup>3</sup>～

0.015m<sup>3</sup>

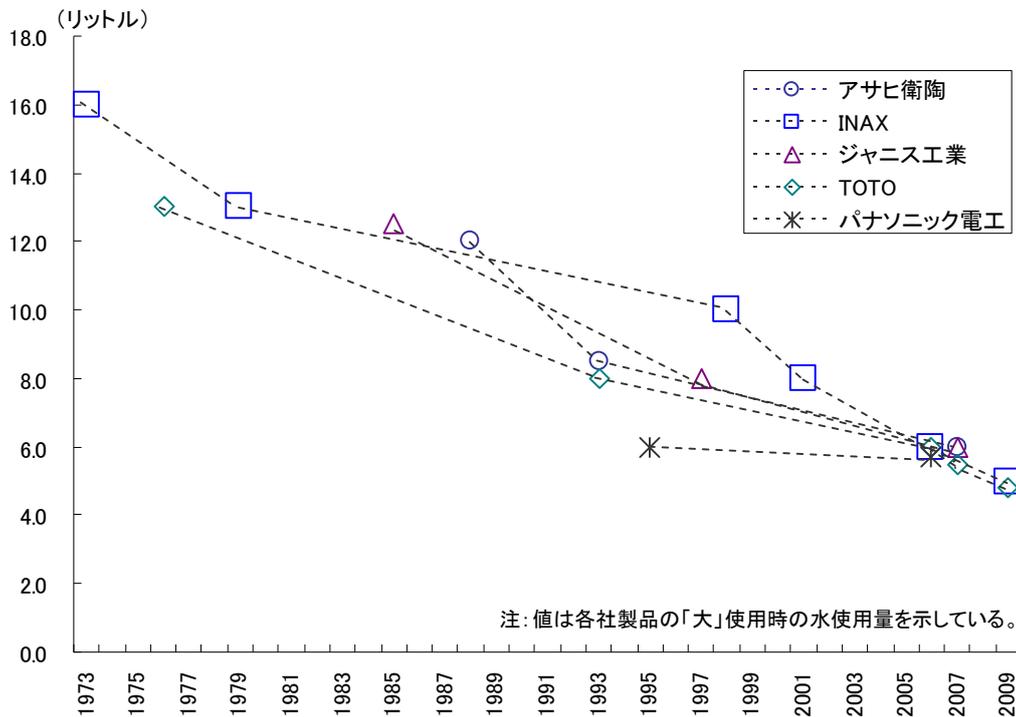
風呂・・・1回あたり 0.18m<sup>3</sup>

(出典：東京都水道局，『平成 18 年度一般家庭水使用目的別実態調査』より。)

図 3-4 家事用の水使用量内訳（東京都の例）

一方、図 3-5 に節水型水洗トイレ 1 回あたり水使用量の変遷を示した。これによると、1970 年代以降製造各社ともに節水技術の開発・採用をおこなっており、例えば、TOTO が提供する水洗便器では、1976 年時点では 1 回あたり 13 リットル使用していたが、1993 年に 8 リットル、2009 年には 4.8 リットルと 50% 以上の節水を実現している。また、1990 年代以降は、風呂水の洗濯への再利用が普及したとの報告もある<sup>33</sup>。家事用におけるトイレと洗濯の占める割合は 44% であり、この使用量が 1990 年代以降大きく減少しているとすると、すべての家庭が導入していないとしても、かなりの影響があると考えられる。

<sup>33</sup> 大瀧[2006], p.187.



(出典：日本衛生設備機器工業会/温水洗浄便座協議会ウェブサイト：各社節水便器の変遷 <http://www.sanitary-net.com/trend/transition.html> をもとに作成。)

図 3-5 節水型水洗トイレの1回あたり水使用量の変遷

### 3.2.3 用途別特性のまとめ

以上より、水道需要の増減を用途の観点から分析する場合に着目すべき点として、以下のとおりまとめることができる。

- (a) 水道総需要の 70～80% は家事用であるため、各家庭の使用量の増減が大きな影響要因となる。<sup>34</sup>
- (b) 家事用では、トイレ、風呂、洗濯など 1 回あたり水使用量が多い用途で採用される技術動向や使用者の意識が需要量を左右する。飲み水としての水道離れ・蛇口離れの影響は極めて小さいと考えられる<sup>35</sup>。

<sup>34</sup> ただし、例えば事業所が多い大阪市などでは家事用の需要が 50% 程度の場合もあるため、分析にあたっては注意が必要である。

<sup>35</sup> 日本ミネラルウォーター協会が 2009 年 10 月に公表したデータによると、国民 1 人当たり年間ミネラルウォーター消費量は 1980 年代に約 1 リットル程度であつ

- (c) 工場や商業施設、学校などの公共施設、公衆浴場は、1件あたりの使用量が大きいため、件数の増減が影響要因となる。ただし、事業用や特殊用の用途で水道契約をしていない場合もあるため、事業所数から需要を把握するのは難しい。

### 3.3 水道需要の時系列的変遷と価格弾力性・所得弾力性

3.2 では用途別の需要分析をおこなったが、ここでは、時系列での需要の変遷を水道価格、家計所得または事業所売上との関係から分析する。

#### 3.3.1 家事用の時系列分析

##### 3.3.1.1 時系列での変遷

図 3-6 は、西宮市における 1 世帯あたり水使用量の変遷に、水道料金の改定のタイミングと 1 世帯あたり所得のデータを重ねたグラフである。

1 世帯あたり水使用量とは、3.2 で見た家事用水使用量を世帯数で除した値である。1960 年代後半から 1970 年代前半まで上昇し、以降は徐々に減少、1980 年代はほぼ横ばい、1990 年代に入って更に減少傾向を示している。西宮市では、1960 年代以降、一貫して人口及び世帯数が増加しているため、3.2 で見たトイレ、洗濯などにおける節水技術の採用や、あるいは 1 世帯あたり人員の減少などが、1 世帯あたり水使用量の減少につながっているものと考えられる。この点は、3.1.2 の需要関数の推定で検証する。

水道料金の改定データは、家事用 20mm 口径の基本料金の変遷をグラフに示している。これによると、1976 年、1981 年に基本料がほぼ 2 倍になるほどの大きな上方改定、その後は 3～5 年間隔で 10～20% の上方改定をおこなっており、当時の物価指数の上昇率と比較するとかなり大きな改定であることが分かる。例えば、1981 年度の改定は 1976 年比で 95% アップとしているが、消費者物価指数は約 30% アップ<sup>36</sup>であった。また、1984 年度の改定は 1981 年度比で 20% アップとしているが、消費者物価指数は約 7% アップである。通常、水道事業は独立採算で実施されるため、収支均衡が維持できないと予想されるまた

---

たものが 2008 年には約 20 リットルと 20 倍近く消費量が延びていることが分かるが、それでも、1 人世帯で年間水道使用量 93.6m<sup>3</sup> (7.8m<sup>3</sup>×12 ヶ月) に比べて年間 20 リットル (=0.02m<sup>3</sup>) 程度と極めて少量であり、水道需要低下への影響は小さいものと考えられる。(出典：日本ミネラルウォーター協会ウェブサイト [http://minekyo.net/public/\\_upload/type017\\_5\\_1/file/file\\_12511037841.pdf](http://minekyo.net/public/_upload/type017_5_1/file/file_12511037841.pdf))

<sup>36</sup> 総務省統計局、「平成 17 年基準消費者物価指数」より。

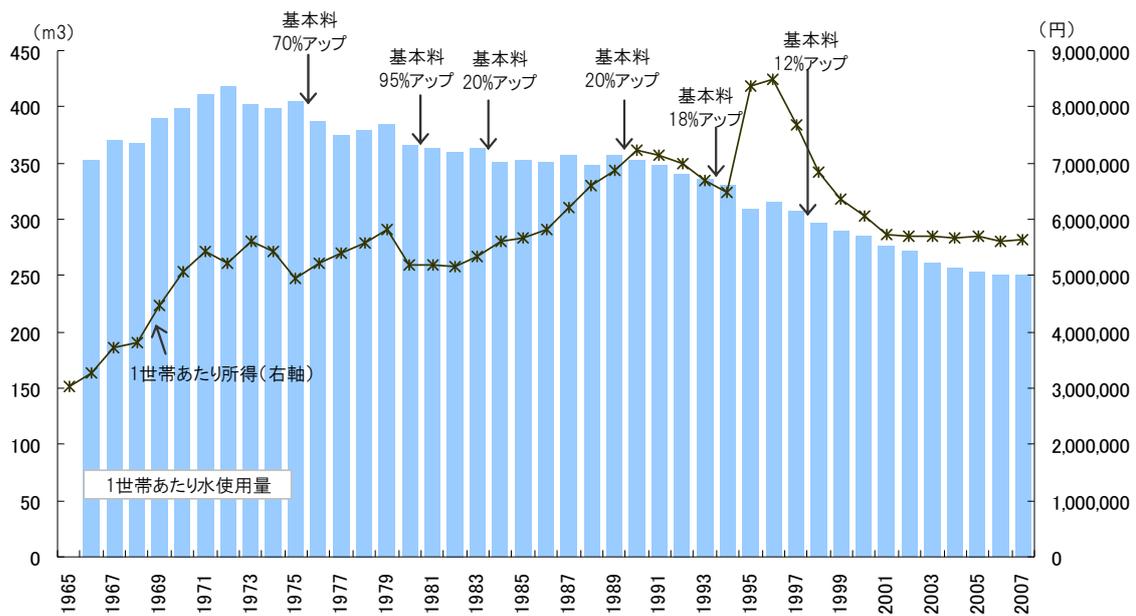
は既に維持できていない場合に、水道料金の改定が行われる。しかし、水道料金の改定には条例の改正が伴うため毎年実施することは稀であり、そのため、毎年物価が上昇するような時期には水道料金の方が割安になる。結果的に、数年に1度の改定のタイミングで、それまでの物価上昇に追いつけなかった累積分も含めて料金回収が必要となり、大幅な料金改定となるのである。実際、物価が安定している近年は料金改定が行われておらず、2007年度時点では1998年度の改定料金で運営されている。この料金改定と1世帯あたり水使用量の関係は、図3-6からは若干感度があるように見えるが、1970年代後半からの水使用量減少傾向によるものとの区別ができない。この点についても、3.1.2の需要関数の推定で検証する。

1世帯あたり所得には、西宮市における域内総生産を世帯数で除した値<sup>37</sup>を使用している。これによると、1980年代末までは上昇傾向、1990年代初頭から下降傾向になり、阪神・淡路大震災が起きた1995年前後に乱高下があり、以降は減少から横ばいとなっている。細かく見ると、1970年代から1980年代に2回減少している時期があるが、これはオイルショックによるものと思われる。また、1995年前後は、域内総生産は大きく変化していないが震災発生直前に16万3,000世帯あったうち約5万世帯が被災<sup>38</sup>、その関係で直後から5千～1万世帯が一時的に周辺市町村に転居していたため、1世帯あたり所得が高く算出されてしまっている。3年後の1997年度には世帯数が16万2,000世帯まで戻り、1世帯あたり所得の値も1990年代前半のトレンドに戻っている。震災発生前後の異常時を除外して1世帯あたり水使用量との関係を見ると、1970年代後半から1990年代前半は所得の上昇にもかかわらず水使用量は減少しており相関が見られない。これは、1970年代後半には、家庭における水使用量が安定し、以降は3.2で見た節水技術の採用や1世帯あたり人員の減少などが原因ではないかと考えられる。また、1990年代以降の水使用量の減少傾向と1世帯あたり所得の減少傾向は相関しているように見えるが、これも所得が減ったために水使用量が減ったとは言い切れないと考える。

---

<sup>37</sup> 域内総生産は、兵庫県『市町民経済計算』の値を使用し、デフレータとして内閣府『国民経済計算』の家計消費支出デフレータを使用している。

<sup>38</sup> 西宮現代史編集委員会、『西宮現代史 第一巻Ⅱ』, p.673.



(出典：西宮市水道局『水道事業年報』(各年版)をもとに作成。)

図 3-6 西宮市における 1 世帯あたり水使用量の変遷 (1966～2007 年度)

### 3.3.1.2 需要関数の推定

3.1.1 では、家事用の水使用量と水道料金、世帯あたり所得の関係をグラフを使用して分析したが、ここでは需要関数を推定し、需要の価格弾力性及び所得弾力性を推定する。また、価格及び所得以外の需要のシフト要因についても推定する。

#### (2) 推定モデル

需要関数を以下のように定式化する。

$$q_{dR} = f(p_R, m_R, x_{Ri}) \quad [3.1]$$

$q_{dR}$  は 1 世帯あたり水道需要量、 $p_R$  は水道価格、 $m_R$  は 1 世帯あたり所得、 $x_{Ri}$  はその他の需要に影響を与える要因で、 $i=1,2,3$  は 1 世帯あたり人員数 ( $x_{R1}$ )、節水技術の普及状況 ( $x_{R2}$ ) 及び気象条件 ( $x_{R3}$ ) を仮定する。なお、水道価格以外の財の価格については、水道価格 ( $p_R$ ) にデフレーターを用いて実質化することで表現するものとする。

本章では需要の価格弾力性、所得弾力性を知りたいため、対数変換して以下の式で推定をおこなう。

$$\ln q_{dR} = a + \alpha \ln p_R + \beta \ln m_R + \gamma_1 \ln x_{R1} + \gamma_2 \ln x_{R2} + \gamma_3 \ln x_{R3} + u \quad [3.2]$$

需要の価格弾力性は  $\alpha$ 、所得弾力性は  $\beta$  となる。 $u$  は攪乱項である。

### (3) データ

水道事業の需要関数の推定は、兵庫県西宮市における 1966 年度～2007 年度の 42 年間のデータ（サンプル数 42）を利用する。

#### (a) 1 世帯あたり水道需要量 ( $q_{dR}$ )

被説明変数である 1 世帯あたり水道需要量は、以下の方法で算出する。なお、家事用水道使用量及び家事用給水世帯数ともに、西宮市水道局『水道事業年報』（各年版）に記載されている値を利用する。

$$1 \text{ 世帯あたり水道需要量} = \text{家事用水道使用量} \div \text{家事用給水世帯数}$$

#### (b) 水道価格 ( $p_R$ )

需要関数における自己価格は、理論的には限界価格を用いることとしているが、水道事業の需要関数を推定するにあたっては、先行研究において限界価格を用いることに対して様々な議論が行われている<sup>39</sup>。これは、水道価格の体系が、「基本料金＋従量料金」という二部料金制を取っており、かつ、従量料金部分が不連続な区画別価格で水道事業者によって逡増型、逡減型など一様でないためである。

理論どおり限界価格を用いる場合は、世帯が使用した水量の最終区画に割り当てられた価格が限界価格となり、この価格に対して需要量が弾力的に変化すると想定して推定することとなる。しかし、限界価格が同一の区画内（例えば、21 m<sup>3</sup>～40 m<sup>3</sup>は 1 m<sup>3</sup>あたり 143 円）であれば、区画内の最大水量を使用しても最小水量を使用しても限界価格が変化しないため弾力性を正しく推定できない課題がある。これに対して Billings and Agthe[1980]は、限界価格に加えて、実際に支払った水道料金と最終区画の限界価格ですべての使用水量を支払った場合の料金の差額を変数として定義し、推定をおこなっている。一方、Foster and Beattie[1981]は、水道需要世帯は二部料金制や区画別価格などの複雑な価格体系を理解し自身が直

<sup>39</sup> 推定に使用する水道価格の議論は、Gispert[2004]にまとめられている。

面する限界価格を認識して水道使用量を決めているわけではないとし、最終的な支払水道料金を水道使用量で除した平均価格を推定に使用している。なお、日本の家庭用水道の需要関数を推定した先行研究として浦上[2001]があるが、浦上[2001]は Billings and Agthe[1980]が提起した限界価格と料金差額を変数とした推定式と、平均価格を変数とした推定式の 2 本を推定し、結果が大きく変わらないことを確認している。

西宮市では、料金体系は 20 m<sup>3</sup>までの口径別基本料金に加え、逓増型の区画別価格による従量料金を体系としている。しかしながら、世帯ごとの契約口径、使用量のデータは公開されておらず、本章では平均的な世帯の需要関数の推定とならざるを得ない。そこで、ここでは水道価格として、平均価格を用いて推定することとする。平均価格は、以下の方法で算出する。なお、家事用水道料金収入及び家事用水道使用量ともに、西宮市水道局『水道事業年報』（各年版）に記載されている値を利用する。また、家事用水道料金収入に対するデフレーターとして、内閣府が公表する国民経済計算の家計消費支出デフレーターを利用する。

$$1 \text{ m}^3 \text{あたり平均価格} = \text{家事用水道料金} \div \text{家事用水道使用量}$$

(c) 1 世帯あたり所得 ( $m_R$ )

1 世帯あたり所得は、以下の方法で算出する。なお、域内総生産は兵庫県『市町民経済計算』の値を使用し、デフレーターとして内閣府『国民経済計算』の家計消費支出デフレーターを利用する。また、世帯数は西宮市『西宮の統計』に記載されている値を利用する。

$$1 \text{ 世帯あたり所得} = \text{域内総生産} \div \text{世帯数}$$

(d) 1 世帯あたり人員数 ( $x_{R1}$ )

1 世帯あたり人員数は、西宮市における総人口を世帯数で除した値を利用する。なお、人口及び世帯数は西宮市『西宮の統計』に記載されている値を利用する。

(e) 節水技術の普及状況 ( $x_{R2}$ )

節水技術の普及状況として、ここでは、節水型水洗トイレ 1 回使用時の水使用量を利用する。水使用量のデータは、図 3-5 に示した製造企業 5 社が、衛生陶器業において 90% 以上の市場シェアを持つことから、この 5

社の製品の水使用量の平均値とする。各社製品の水使用量は、日本衛生設備機器工業会/温水洗浄便座協議会ウェブサイト『各社節水便器の変遷』(<http://www.sanitary-net.com/trend/transition.html>)の値を利用する。

(f) 気象条件 ( $x_{R3}$ )

先行研究では、水道需要のシフト要因として気象条件を変数として定義している場合が多い。特に夏の平均気温 (Wong[1972]、浦上[2001]) や降雨量 (Foster and Beattie[1976]、Williams and Suh[1986]) を用いている場合が多く、気温は水道需要量に対して正の方向に、降雨量は負の方向にシフトする結果が出ている。しかし、データ取得間隔を月別などで推定できればよいが、本研究のように 42 年間の年単位の時系列となると、例えば、気温は西宮市においてこの 40 年間で平均 1℃程度上昇しており、水道需要が減少傾向であるのに対して正の相関がないのは明らかである。

そこで、本章では試行的に、年間通して最高気温が 30℃以上の真夏日を記録した日数を気象条件を表すデータとして採用することとする。データは、西宮市『西宮の統計』に記載されている値を利用する。

(g) 震災ダミー

3.1.2 の分析より、1995 年の阪神・淡路大震災直後、5 千～1 万世帯が転居したことに伴い世帯数及び 1 世帯あたり所得の値に異常が見られた。よって、世帯数が極端に減少した 1994 年度～1996 年度 (震災は 1995 年 1 月に起きたため、データとしては 1994 年度分から) の 3 年間にダミーを適用することとする。

(4) 推定結果

推定に用いたデータの基本統計量を表 3-1 に示した。

表 3-1 基本統計量

変数	単位	平均	標準偏差	最小値	最大値
$q_{dR}$	m <sup>3</sup>	342.8	48.7	250.7	418.9
$p_R$	円	128.5	38.5	47.4	182.7
$m_R$	円	5,763,442	1,146,500	3,020,982	8,487,978
$x_{R1}$	人	2.9	0.4	2.4	3.7

変数	単位	平均	標準偏差	最小値	最大値
X <sub>R2</sub>	リットル	12.2	3.2	5.8	16.0
X <sub>R3</sub>	日	52.8	13.9	24.0	82.0

[3.2]式に基づき推定した結果を表 3-2 に示す。

Model1-1 は水道価格と 1 世帯あたり所得のみを説明変数として推定した結果を示している。これを見ると、1 世帯あたり所得の係数である  $\beta$  が有意ではなく、また負の値を取るなど需要関数の理論とは異なる結果を示している。

そこで、Model1-1 の説明変数に加えて、1 世帯あたり人員数、節水型水洗トイレの普及状況、気象条件及び震災ダミーを定義した Model1-2 を推定する。また推定にあたっては、42 年という長期のデータを扱っていることから系列相関が想定された。そこで、当期と 1 期前との残差の回帰分析をおこなったところ有意に相関が高い結果となったため、系列相関を考慮した以下の非線形最小二乗法により推定をおこなうこととした。これにより、1 期前との残差を取れなかった期間（1966 年度分）の 1 期間のサンプルが使用不可となったため、結果的にサンプル数は 41 となった。

$$\ln q_{dR} = \rho \ln q_{dR,t-1} + (1-\rho)a + \alpha(\ln p_{R_t} - \rho \ln p_{R,t-1}) + \beta(\ln m_{R_t} - \rho \ln m_{R,t-1}) + \gamma_1(\ln x_{R1_t} - \rho \ln x_{R1,t-1}) + \gamma_2(\ln x_{R2_t} - \rho \ln x_{R2,t-1}) + \gamma_3(\ln x_{R3_t} - \rho \ln x_{R3,t-1}) + u \quad [3.3]$$

ただし、 $t$  は期間、 $\rho$  は相関を表す係数、 $u$  は誤差項。

Model1-2 では、所得弾力性  $\beta$ 、気象条件  $\gamma_3$ 、震災ダミーが有意にならなかった。所得弾力性  $\beta$  については、有意にはならなかったものの Model1-1 と比較して符号は理論どおりとなっている。気象条件  $\gamma_3$  については、先行研究において有意な需要のシフト要因としてあげられており本章でも試行的に取り入れたが、有意ではなく符号も想定と異なっており、年間を単位として見た場合には、他の要因に比べて影響が小さいものと思われる。一方、価格弾力性  $\alpha$  は符号どおりで有意な結果となっているが、水道価格 1% の上昇に対して -0.049% の需要減少が起きることを意味しており、弾力性は極めて小さいと言える。需要のシフト要因のうち、世帯あたり人員数  $\gamma_1$  及び節水技術の普及状況  $\gamma_2$  については、符号は想定どおりで有意であり、家事用水道需要に影響を与えていることが明らかとなった。なお、系列相関を表す

係数  $\rho$  は 0.745 で、念のため  $\rho = 1$  を帰無仮説とする単位根検定をおこなったところ、1%水準で帰無仮説は棄却され単位根はないと判断された。

表 3-2 推定結果

係数	Model1-1	Model1-2
constant	7.959 (1.111)***	4.390 (1.331)***
$\alpha$	-0.345 (0.040)***	-0.049 (0.028)*
$\beta$	-0.031 (0.074)	0.035 (0.088)
$\gamma_1$	-	0.502 (0.187)***
$\gamma_2$	-	0.261 (0.064)***
$\gamma_3$	-	-0.005 (0.012)
震災ダミー	-	-0.019 (0.026)
$\rho$	-	0.745 (0.104)***
Adjusted-R <sup>2</sup>	0.668	0.974

注：推定結果の 1 段目は推定した係数値、2 段目の括弧内は標準誤差、\*\*\*は 1%水準、\*\*は 5%、\*は 10%水準で有意であることを示している。

### 3.3.2 家事用以外の時系列分析

#### 3.3.2.1 時系列での変遷

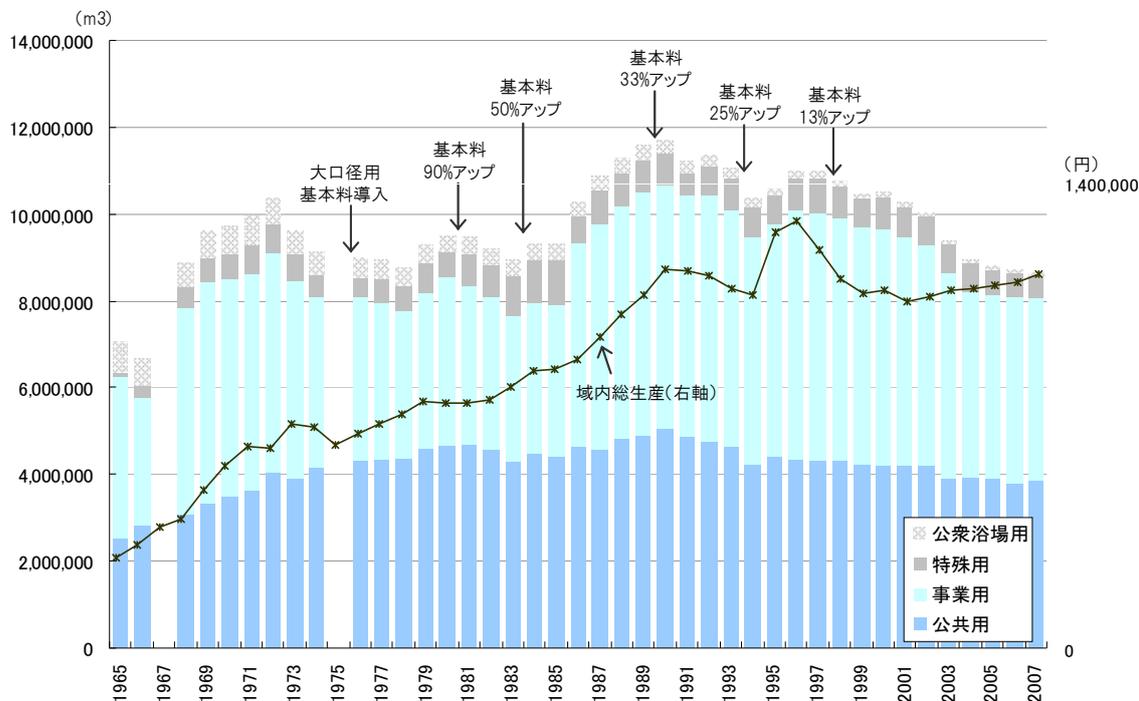
図 3-7 は、西宮市における家事用以外の水使用量の変遷に、水道料金の改定のタイミングと域内総生産のデータを重ねたグラフである。

家事用以外の水使用量とは、3.2 で見た公共用、事業用、特殊用及び公衆浴場用の 4 種類の値である。1970 年代前半に総量が増加した後、1970 年代後半から 1980 年代前半までは減少傾向から横ばい、その後 1990 年代前半に向けて増加した後は、徐々に下降傾向をたどっている。これは、1970 年代のオイルシ

ヨック、1990年代にかけた好景気、それ以降の景気低迷期にほぼ一致した推移となっている。特に増減が大きいのは事業用で、1985年度から1987年度にかけて50%程度使用量が増えている。これは、1984年に海岸部の埋立事業が竣工し、産業団地に企業が立地し始めたことが要因である。

水道料金の改定データは、代表値として50mm口径の基本料金の変遷をグラフに示している。1976年に大口径用の基本料金をはじめて設定され、以降、1981年90%アップ、1984年50%アップ、1990年33%アップ、1994年25%アップ、1998年13%アップとなっている。この上昇率は家事用と比較すると1984年改定時が顕著に異なっており、この時期の家事用以外の水道へのニーズの高さが伺える。

域内総生産は、兵庫県『市町民経済計算』の値（デフレート済み）を使用している。3.1.1で見たときと同様に、1995年の阪神・淡路大震災直後から3年間の値が異常値となっているが、それ以外は1990年代前半までがほぼ上昇傾向、それ以降は下降または横ばいとなっている。家事用以外の水道使用量の傾向が、域内総生産の傾向とほぼ一致しており、家事用以外の水道需要は経済状況と連動していることが分かる。



(出典：西宮市水道局『水道事業年報』(各年版)をもとに作成。)

図 3-7 西宮市における家事用以外の水使用量の変遷 (1965～2007年度)

### 3.3.2.2 事業用の水道需要の特性

家事用以外の用途のうち、使用割合が大きく増減が激しい事業用について更に詳しく特性を見ていく。

#### (1) 大口使用者の水道需要への影響

事業用の中には、工場などの大口使用企業が含まれる。表 3-3 は、1970 年度、1980 年度及び 1986 年度の 3 ヶ年の大口使用企業の動向を示した。なお、1986 年度以降はデータが得られなかったため記載していない。

これによると、食品・飲料関連が顕著に上位を占めており、1980 年度までは鉄鋼関連が 1 社（川崎製鉄西宮工場）、1986 年度には新たに医療・福祉関連が 1 社（ニチイ）が入っている。トップ 5 企業の合計水使用量は 1970 年度から 1986 年度にかけて減少しているが、事業用水使用量に占める割合は 5 企業だけで 1/4～1/3 と大きく、大口使用企業の進出・撤退が事業用水使用量に大きな影響を与えることが分かる。ただし、西宮市水道使用量全体に占める割合は、3.2 でも見たとおり比較的小さくトップ 5 企業で 5% 以下で、全体への影響はそれほど大きくないことが分かる。

表 3-3 西宮市における事業用水大口使用企業の動向

	1970 年度	→ 1980 年度	→ 1986 年度
大口使用企業 トップ 5	朝日ビール西宮工場 伊藤ハム栄養食品 ニッカウヰスキー 川崎製鉄西宮工場 大関酒造	伊藤ハム栄養食品 アサヒビール西宮工 場 川崎製鉄西宮工場 大関酒造 辰馬本家酒造	伊藤ハム栄養食品 アサヒビール西宮工 場 大関酒造 ニチイ 大阪白バラ
5 企業の 合計水使用量	1,897,745 m <sup>3</sup>	1,267,189 m <sup>3</sup>	1,208,916 m <sup>3</sup>
事業用水使用 量に占める割合	37.7%	32.9%	25.7%
西宮市水道全 使用量に占める 割合	4.8%	2.5%	2.2%

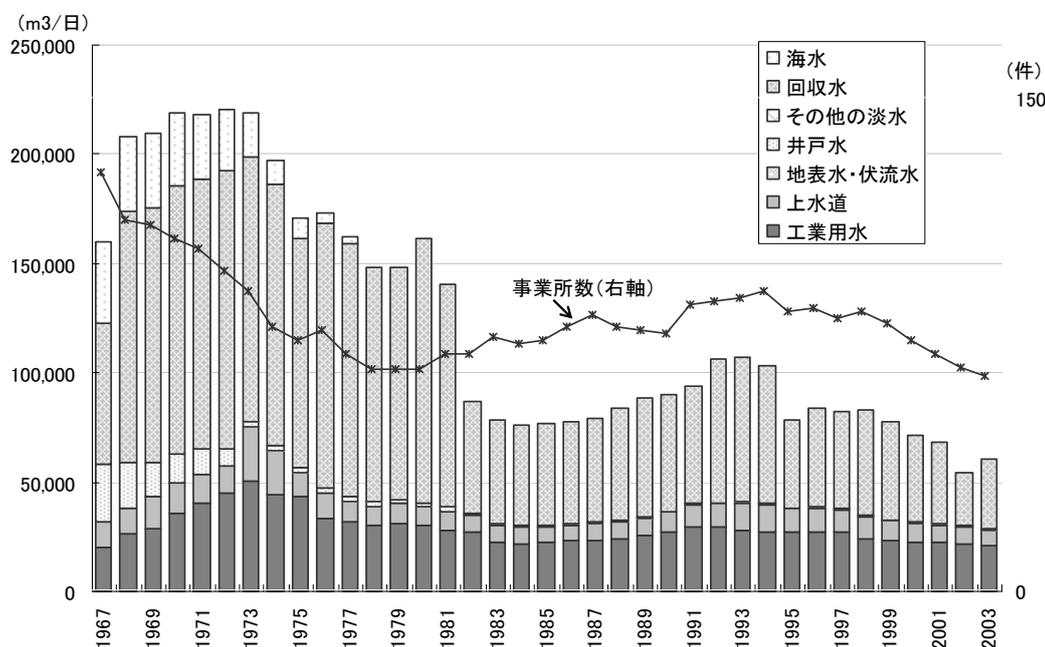
(出典：西宮市水道局『水道事業年報』（各年版）をもとに作成。)

(2) 事業所における上水道以外の水使用状況

鋳工業を営む事業所は、(1) で見た上水道以外にも工業用水や井戸水などを水源とする水も使用している。

図 3-8 は、西宮市における 1967～2003 年度の事業所（従業員数 30 人以上）の 1 日当たり水源別水使用量の変遷を示している。これを見ると、1970 年代から 1980 年代にかけて事業所数が減少するに伴い、全体の水使用量が減少しているのが分かる。1980 年代前半に大きく減少し、以降は 1990 年代前半に向けてやや増加傾向、1990 年代中ごろからは減少傾向を示している。1981～1982 年度の大幅な減少については、事業所数が 72 件で横ばい、製造業全体の生産額も 1981 年度から 1982 年度にかけて 4,900 億円から 5,100 億円に増加している<sup>40</sup>ことから、水の使用効率が大幅に改善するような技術を大規模企業が導入した、あるいは水をあまり使用しない製品に切り替えたなどの理由が考えられる。

一方、上水道の事業所使用水量全体に占める割合は 5～10%程度で、極めて小さいことが分かる。上水道以外では、工業用水が 15～35%、回収水が 40～75%を占め、事業用の主な水源であることが分かる。



(出典：兵庫県『工業統計調査』（各年版）をもとに作成。)

図 3-8 西宮市における鋳工業事業所の水源別水使用量の変遷(1967～2003 年度)

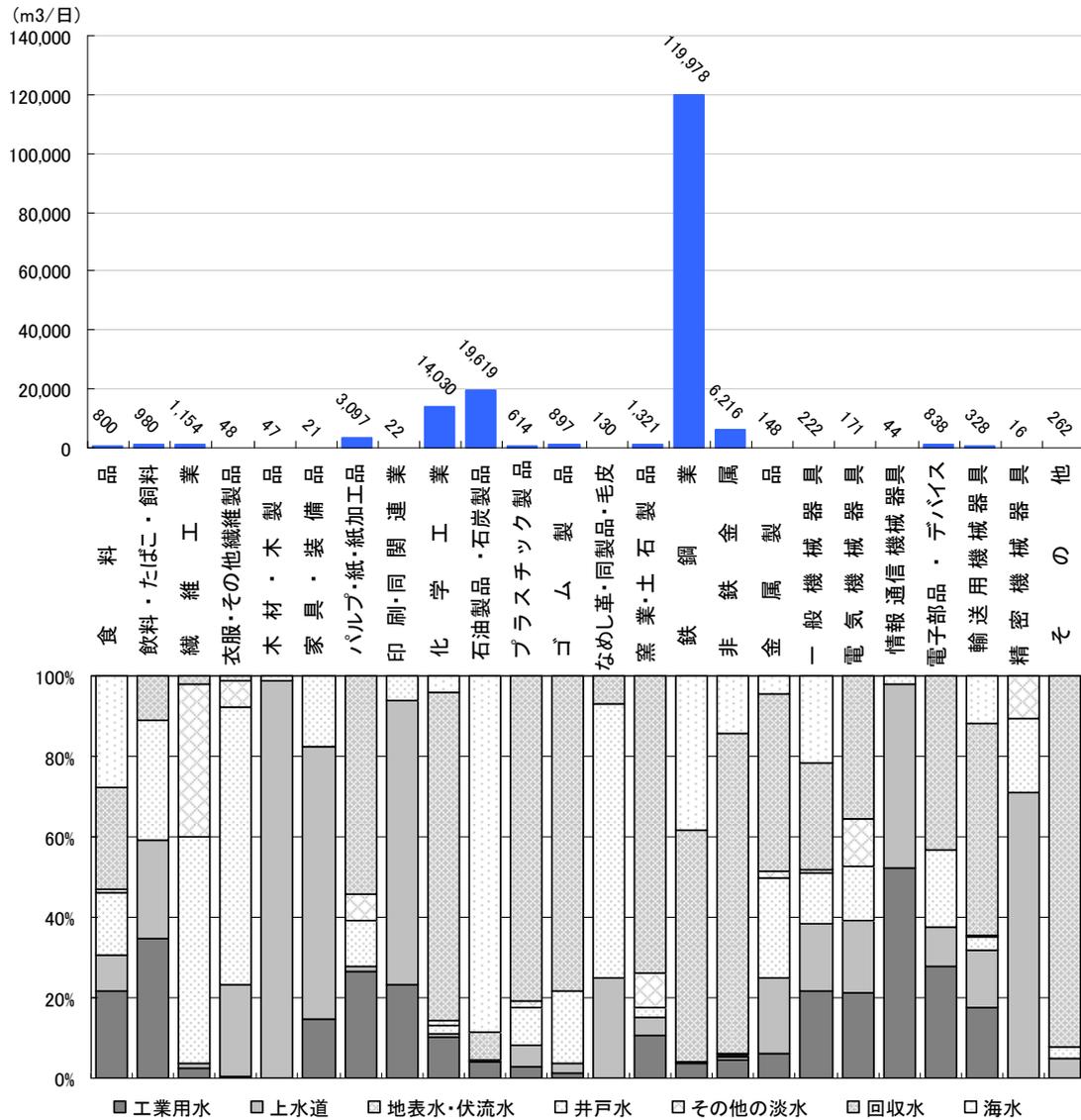
<sup>40</sup> 西宮市『工業統計調査結果』の 1981 年度、1982 年度版より。

### (3) 業種別水使用状況

図 3-9 は、鋳工業の業種別 1 事業所あたり水使用状況を示している。上段は 1 事業所あたり平均 1 日水道使用量、下段は 1 事業所あたりの水源別水使用割合である。なお、西宮市のデータは得られなかったため、兵庫県全体のデータを使用している。

まず、上段の 1 事業所あたり水使用量を見ると、鉄鋼業が圧倒的に大きな値であり、次に石油製品・石炭製品、化学工業、非鉄金属、パルプ・紙・紙加工品と続く。西宮市に多い食料品や飲料業種は水使用量が極めて少ない業種であることが分かる。

次に、下段の水源別水使用割合を見ると、水使用量の多い鉄鋼業や石油製品・石炭製品、化学工業では、回収水と海水が全体の 90% 程度を占めている。上水道の使用割合が多いのは木材・木製品、家具・装備品、印刷・同関連業、情報通信・機械器具、精密機械器具といった業種であるが、いずれも水使用量は極めて小さい業種であることが分かる。



(出典：兵庫県『工業統計調査』(2006年度版)をもとに作成。)

図 3-9 兵庫県における業種別1事業所あたり水使用状況 (2006年度)

### 3.3.3 時系列分析のまとめ

以上、水道需要を家事用と家事用以外に分けて時系列での変遷を追ってきた。この観点から水道需要の増減を分析する場合に着目すべき点として、以下のとおりまとめることができる。

- (a) 家事用では、1世帯あたり水使用量は1970年代後半以降、一貫して減少傾向を辿っている。需要関数の推定結果より、1世帯あたり人員数の

減少及び節水技術の普及が大きく影響していると考えられる。

- (b) 家事用の需要の価格弾力性は小さく、物価上昇率を上回る大幅な料金改定があった場合でも、需要量の増減の反応は小さい。
- (c) 家事用以外では、時系列的には域内総生産、つまり経済状況と連動して増減する。
- (d) 家事用以外のうち、事業用の水使用量の増減が激しい。特に、大口使用企業が事業用使用量の大きな割合を占めるため、これらの企業の進出・撤退が大きく影響を与える可能性がある。ただし、水道需要全体でみた場合の割合は数%程度であるため、全体に与える影響は小さい。
- (e) 事業用における上水道以外の工業用水や回収水、海水を水源とする水使用量は、上水道と比較して圧倒的に大きく、また業種によって使用量が大きく異なる。西宮市に主に立地する食料品や飲料事業者は、水使用量が極めて小さく、かつ上水道を主水源としない業種であるため、上水道需要全体に与える影響は小さい。

### 3.4 おわりに

本章では、水道需要の用途及び時系列の観点から分析することにより、以下の結果を得た。

- (1) 水道需要の 70%以上は家事用であり、需要の増減は家事用の増減に影響を受ける。特に、トイレや風呂、洗濯などの用途での使用割合が大きいため、この動向が鍵となる。
- (2) 西宮市の場合、家事用の水道需要量は確実に減少しており、1世帯あたり人員数の減少と節水技術の普及が要因となっている。価格弾力性は小さいため、料金改定による需要への影響は小さいと考えられる。
- (3) 家事用以外では、工場などの事業用の割合が大きく、また大口使用企業の使用割合が大きいため、これらの企業の進出・撤退が需要量に影響を与える。ただし、事業者は水道以外の水源の水使用量が圧倒的に大きいため、水

道需要全体への影響は小さいと言える。特に、西宮市のように上水道の使用割合が小さい食料品や飲料事業者の立地が多い地域では、更に水道需要全体への影響は小さい。

以上の結果を踏まえ、今後、水道事業に民間企業が参入する際に留意すべき事項として次のことが考えられる。まず、家事用の占める割合が高い住宅都市については、数年単位での需要量の乱高下はなく安定収入が得られるが、節水技術や雨水・再利用水を使用した給水技術が今後ますます普及すると考えられるため、水道需要が増加に転じるとは考えにくい。そのため、水道設備を段階的に縮小もできるような投資手法の開発や料金設定を柔軟に行えるような工夫などが求められる。次に、家事用の占める割合が小さい工業都市については、どのような業種が立地するかにより使用する水源が大きく異なるため、現在水道への需要が高い業種が立地していても、撤退や業種変換により需要が一気に減少する可能性もある。そのため、例えば、大規模事業者向けの浄水設備及び配水系統を切り分け、拡大・縮小が柔軟に行えるような投資手法の開発などが求められる。最後に、本文では触れなかったが、水道需要の中には消火栓や低所得世帯への給水などの料金を回収できない用途がある。現行は、これらの費用は市町村の一般会計から補填するものとしているが、フランスなどの民営水道の先進国では、民間事業者がこの費用を負担することが義務付けられている<sup>41</sup>。全体に占める費用は微々たるものと思われるが、低所得世帯が多く立地する地域の場合には、経済状況によって今後負担が大きくなる可能性もあるため、リスク要因として考慮すべき点であることを付記したい。

---

<sup>41</sup> PFI/PPP 推進協議会『水道アフェルマージュ標準契約の手引き 2001年6月フランス自治体長会』, p.34, 49を参照。

## 第4章 水道事業の規模の経済性

### 4.1 はじめに

第1章でもみたように、水道事業の生産構造や費用構造、効率性、規模の経済性に関する実証研究は、Feigenbaum and Teeples[1983]や Kim[1987]、Bhattacharyya et al.[1995]などによって1980年頃から欧米の事例を中心に分析が進められてきた。日本においては、1990年代後半から高田・茂野[1998]、桑原[1998]、浦上[2001]、中山[2003]などが全国を対象とした分析、または関東や関西などの特定地域を対象とした分析をおこなっている。これらの先行研究の大半が生産関数ではなく費用関数、特にトランスログ型費用関数を用いた分析であり、それは「水道事業は政府規制によって、需要があれば必ず生産しなければならず、また価格受容者として振舞う<sup>42)</sup>」、「公営企業は利潤最大化よりも費用最小化をインセンティブとして振舞う<sup>43)</sup>」といった Christensen and Greene[1976]や Feigenbaum and Teeples[1983]の主張に基づき、賃金率や資本コスト、産出量を前提として最適な労働量と資本量を推定しているものと考えられる。

しかし、いまいちど水道事業の生産プロセスを思い起こすと、①給水量の需要予測をする、②需要予測に基づき水源を選定し、浄水場・配水設備の規模を計画する、③浄水場・配水設備の運営に必要な職員数を計画する、④水源から取水し、浄水場・配水設備を利用し、職員が設備点検や水質検査を行い、浄水を配水する、流れとなり、賃金率や資本コストが高いからといって職員数や設備規模を縮小したり、資本コストが割高なので職員数を増やすといった判断は行われなれないと思われる。

そこで本章では、費用関数ではなく生産関数を用いて推定をおこなうこととする。また、先行研究の成果を分析し、標本の採り方や変数の設定方法など以下の3点を改良して推定を試みる。ただし、計量経済学的な観点での改良ではなく、水道事業を分析する観点での改良であることに注意してほしい。

- (1) 推定の標本を、市町村や都道府県などの水道事業者単位ではなく、水道事業者が運営する浄水場を中心とした配水系統単位とする。
- (2) 水道事業に必要となる設備資本をひとまとめにするのではなく、取水・浄水に関わる資本、配水に関わる資本及びその他資本の3種類に分け、

---

<sup>42)</sup> Christensen and Greene[1976]の p.658 を参照。

<sup>43)</sup> Feigenbaum and Teeples[1983]の p.673 を参照。

特に、配水に関わる資本をネットワークの影響を把握するための変数として定義する。

(3) 水質を考慮した配水量を産出量として利用する。

## 4.2 水道事業の実施の流れと経済的特性

### 4.2.1 水道事業の実施の流れ

水道事業の経済的特性を見るに先立ち、事業実施の流れを概観する。

図 4-1 は、水道事業の実施の流れの概要を示している。河川やダムから原水を取水し浄水場で浄化すると「浄水」ができあがる。この浄水が、配水管を通して各給水区域に配水され、各家庭に届き消費され、料金が徴収される。このように、水道事業は「浄水」と「配水」を産出する 2 つの工程から成り立っている。本章では、前者の工程を「水道生成」(water generation)、後者の工程を「水道配送」(water distribution) と呼ぶこととする<sup>44</sup>。

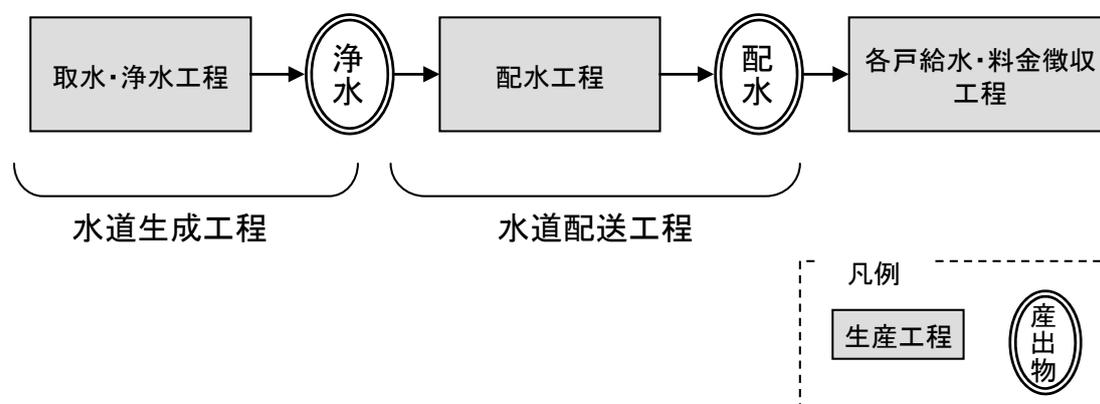


図 4-1 水道事業の実施の流れ

<sup>44</sup> 水道事業の工程区分とその呼び方は、Spulber and Sabbaghi[1994]における“water supply”、“water distribution”や Chakravorty, Hochman, Umetsu, Zilberman [2004]における“water generation”、“water distribution”がある。Spulber and Sabbaghi[1994]の“water supply”は、事業全般を指しているようにも解釈でき分かりづらいため、本章では、Chakravorty, Hochman, Umetsu, Zilberman [2004]の区分を採用し、各区分に「水道生成」及び「水道配送」と訳語を与えるものとした。

#### 4.2.2 水道事業の経済的特性

水道事業は競争市場で取引されている私的財と比較して、いくつかの経済的な特徴を持っている。

##### (1) 固定費が大きく平均費用が逡減する

水道事業の多くが地方公共団体などの独占事業者により運営されているが、その経済学的根拠として、固定費が大きく平均費用が逡減し、よって独占形態を容認せざるを得ないとされている。日本では、2007年3月末時点で全国水道事業総費用2兆9,000億円のうち減価償却費8,333億円で28.7%を占め、支払利息を合わせると41.3%にのぼる。これは、職員給与費の2.7倍の額になり、通常の民間企業、例えばトヨタ自動車でも2009年3月末決算<sup>45</sup>で4%程度であることを考えると、固定費が非常に大きいことが分かる。そのため、変動費割合が小さくなり、配水量を増やすほど1 m<sup>3</sup>あたりの平均費用が小さくなる傾向があると考えられている。

先行研究では、このような特徴を、費用の増加率よりも産出量の増加率が大きくなる「規模の経済性」を推定することにより実証している。桑原[1998]では、全国における154の水道事業者を選定しトランスログ型費用関数を推定したところ、規模の経済性が認められた。また、高田・茂野[1998]は関東地域を対象としてトランスログ型費用関数を推定し同じく規模の経済性が認められた。一方、浦上[2001]は全国112事業者を対象にトランスログ型費用関数を用いて、中山[14]は関西地域を対象にトランスログ型一般化費用関数を推定したところ、規模の経済性が認められない結果となった。このように規模の経済性が認められたり、認められなかったりするのには、水道事業者の以下のような特性によるものと考えられる。

通常、水道事業者は市町村または複数の市町村による広域組合、都道府県が担っているが、ひとつの水道事業者が複数の浄水場を中心とする配水系統を持っている場合がある。平成19年度地方公営企業年鑑<sup>46</sup>によると、水道事業者あたり多いところで20、少ないところで1~5程度の浄水場を運営している。これは、給水区域内が地形的に分断されている、水源の取水能力が小さいために小分けになっている、市町村合併後に配水系統を統合していない等が原因である。また、給水需要の増減に伴い、浄水場を新規に建設、統合または廃止する

<sup>45</sup> トヨタ自動車株式会社「平成21年3月期決算要旨」及び「補足資料」より、日本における減価償却額の営業支出に占める割合を算出した。

<sup>46</sup> 『平成19年度地方公営企業年鑑』の「施設・業務概況及び経営分析に関する調」より。

こともある。このように、ひとつの水道事業者が複数の配水系統を持つと、図4-2のような総費用曲線及び平均費用曲線に直面する。総費用曲線は固定費と変動費から構成され、配水量が増えるに従い1つ目の浄水場だけでは供給が足りなくなり、2つ目、3つ目と浄水場を建設することになる。総費用曲線上の点と原点を結んだ直線の傾きである平均費用は、単一の浄水場に対して配水量が増えるほど逡減する特徴がある。これは、1つ目の浄水場での配水量  $Q_1$  と  $Q_2$  の比較から明らかである。ところが、すべての浄水場の配水能力を十分に発揮できるだけの配水量＝需要があれば良いが、 $Q_3$  のように2つ目の浄水場の配水量が小さい場合、 $Q_2$  のときよりも平均費用が大きくなる現象が起きる。実際に、例えば兵庫県における末端給水事業をおこなう40市町村を見てみると、1市町村あたり平均浄水場数が2007年度実績で6箇所、配水設備平均稼働率（＝1日あたり平均配水量/1日あたり配水能力）が62.6%で、このような状況が現実には起きている可能性を示唆している<sup>47</sup>。つまり、固定費の増加率に配水量の増加率が追いつかない局面では、配水量が増加しても平均費用が上がる可能性があるということである。

---

<sup>47</sup> 平均浄水場数、配水設備平均稼働率は、『平成19年度地方公営企業年鑑』の「施設・業務概況及び経営分析に関する調」より算出。

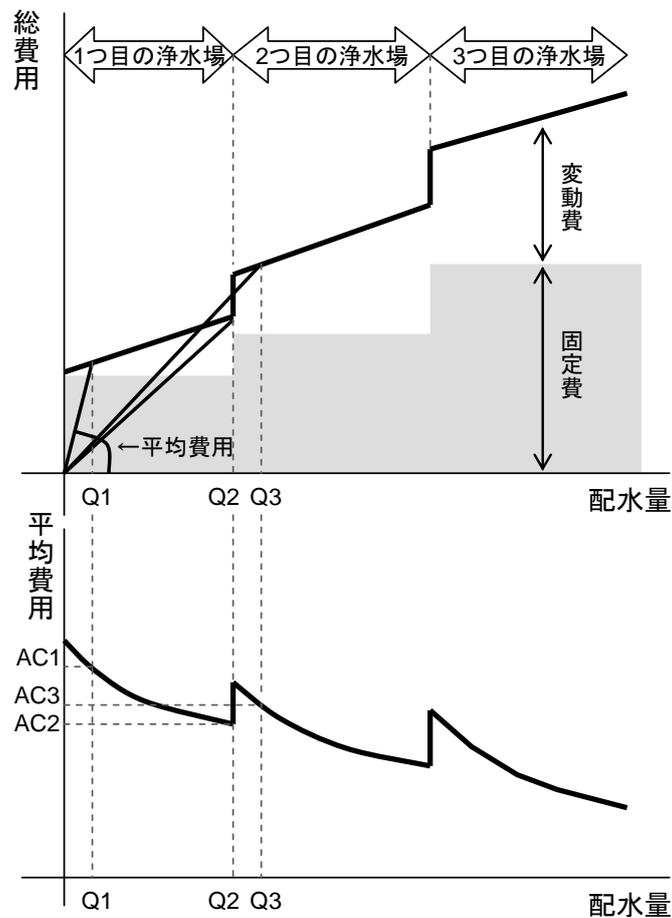


図 4-2 水道事業者の総費用曲線と平均費用曲線

以上より、水道事業者が総費用曲線のどの場面に遭遇しているかによって、平均費用が逡減している場合とそうでない場合が推定される可能性があることが分かった。本研究では、この影響を取り除くために、先行研究で採用されている市町村単位での分析ではなく、水道事業者が運営する個々の浄水場・配水系統を標本単位とし、生産関数の推定を試みることにする<sup>48</sup>。

## (2) 配水管延長が規模の経済性に影響を与える

水道事業の場合、取水量や薬剤投入量などの中間投入要素以外の投入要素を所与とした場合にそれ以上に産出量が増加するパターンとして、1人あたり水道需要量の増加、給水区域の拡大による水道総需要量の増加、給水区域あたり人口密度が高まることによる水道総需要量の増加が考えられる。

<sup>48</sup> このような固定費の影響を取り除く方法として、可変投入要素のみを対象とした推定も考えられる。水道事業の可変費用関数の推定は、中山[2002]を参照。

図 4-3 に投入要素を所与とした場合にそれ以上に産出量が増加するパターンと、これに対応する各経済性の関係を示した。まず、1 人あたり水道需要量の増加の場合で追加設備を必要としない場合は、浄水設備や配水管の稼働率が上がるため密度の経済性<sup>49</sup>が検出される。給水区域の拡大による水道総需要量の増加の場合は、配水管などの設備投資が必要となるため、設備増加率よりも配水量増加率が大きければ規模の経済、人口密度の低い郊外や山間地などで設備増加率が配水量増加率よりも大きくなる場合は規模の不経済が検出される。給水区域あたり人口密度が高まる場合は、1 人あたり水道需要量の増加の場合と同じく追加設備を必要としない場合は、設備の稼働率が上がり密度の経済性が検出される。これらの効果を需要者の立場で見た場合には、正または負のネットワーク外部性が検出される<sup>50</sup>。

<sup>49</sup> Caves et al.[1984]では、密度の経済性及び規模の経済性を以下のとおり定義している。

$$\text{密度の経済性} = \frac{1}{\varepsilon_Y} \quad \text{ただし、} \varepsilon_Y = \frac{\partial C}{\partial Y} \frac{C}{Y} \quad Y: \text{産出量, } C: \text{総費用}$$

$$\text{規模の経済性} = \frac{1}{\varepsilon_Y + \varepsilon_P} \quad \text{ただし、} \varepsilon_P = \frac{\partial C}{\partial N} \frac{C}{N} \quad N: \text{配水管延長}$$

$\frac{1}{\varepsilon_Y} > 1$  のとき密度の経済性が存在し、 $\frac{1}{\varepsilon_Y + \varepsilon_P} > 1$  のとき規模の経済性が存在することを意味する。

<sup>50</sup> 日本におけるネットワーク型産業の外部性を特定した論文として、衣笠[2005]がある。

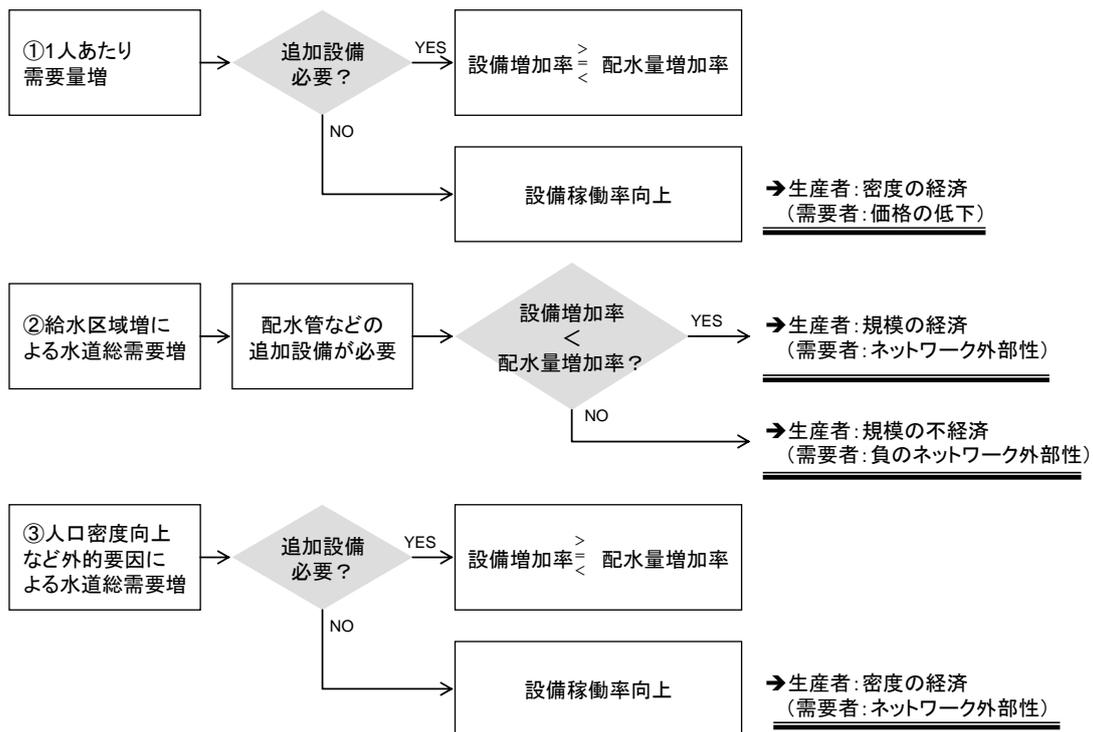


図 4-3 産出量が増加するパターンと各経済性の関係

高田・茂野[1998]、浦上[2001]、中山[2003]などの先行研究では、Caves et al.[1984]が定式化したトランスログ型費用関数にネットワーク変数を組み込む方法を採用し、配水管延長の増減による費用関数への影響をネットワーク変数に吸収させることで、総費用の増加率に対する配水量の増加率を密度の経済性、密度の経済性に加えて総費用への配水管延長の増加率の影響も考慮したものを規模の経済性として推定している。その結果、高田・茂野[1998]は、密度の経済性、規模の経済性ともに認められ、浦上[2001]、中山[2003]は密度の経済性は認められたが規模の経済性は認められないとしている。密度の経済性が認められる一方、規模の経済性認められないのは、配水管延長の増加率より以上に費用の増加率が高くなることを意味しており、配水管延長が増えるほど規模の不経済が生じていることを示している。

本章では、ネットワークの特性を捉えるために、先行研究で採用している配水管延長をモデルに組み込む方法ではなく、生産関数の投入要素である資本量を原水・浄水に関わる資本量、配水に関わる資本量及びその他資本量の3種類に分割し、配水に関わる資本量が産出量に与える影響を特定できるようにモデル化する。ただし、推定に使用する各配水系統、各年度の配水量の増加が何に起因するかの特定は行わないため、密度の経済性も含めた規模の経済性を推定

することとする。

### (3) 産出物（水）の質が場所・時間により異なる

水道事業の分析をおこなう場合、水質の取り扱いが課題となる。水質は主に水源の状態に依存し、一般的には地下水は水質が比較的良好、ダムや表流水は水質に課題があるとされてきた。しかし近年では、従来の塩素滅菌などによる浄水処理だけでは取り除けない臭いや味などへの需要家からの要求が高まり、また政府による水質基準の強化もあり、薬剤の改良や浄水処理設備の高度化が進められてきた。これらのことから、水源の種類や検出される水質により、採用される浄水技術や浄水した結果の水質が場所や時間によって異なることが想定される。つまり、同じ配水 1 m<sup>3</sup>でも、30 年前と現在、地下水と汚染された表流水では、投入要素が異なり、したがって産出物も同一とは言えず、推定にあたってはこれらの影響を取り除くために何らかの操作をする必要がある。

先行研究では、Feigenbaum and Teeples[1983]及び浦上[2001]が、トランスログ型費用関数の説明変数である配水量の代理変数として、質を考慮したヘドニック関数を採用し推定をおこなっている。ヘドニック関数の説明変数のうち水質に関わる変数として、Feigenbaum and Teeples[1983]は、取水した水が浄水処理を経ているかどうかの指標を採用している。浦上[2001]は、水源が非ダムの比率、非地下水の比率、浄水水準（＝（年間浄水量＋受水量）/取水能力）を採用している。その結果、両者共に質を考慮したモデルの方が質を考慮していないモデルよりも費用関数として説明力があるとしている。

本章では、ヘドニック関数を使用せず、生産関数の被説明変数である産出量を、配水量そのものと、配水量の代理変数として生産額（ここでは、総収入ではなく総生産費用を利用<sup>51</sup>）に置き換えた 2 種類のデータを用意し、後者を水質を考慮したモデルと見なして比較をおこなうこととする。通常、水源の水質が悪い場合は薬剤投入量や高度の浄水設備を導入するため配水量は変わらなくても生産費用が増加すると考えられるが、一方で、技術は日々進歩しており、水道事業者がある浄水設備を採用する段階では既に費用が従来の技術とほぼ変わらない水準に落ち着いている可能性があり、一概に、どの費目と水質が関係しているかを特定するのは難しい。ただし、それでも水質の変化は費用に体化されるものと想定し、総生産費用を配水量の代理変数として利用する方法とす

<sup>51</sup> 生産関数の推計では、生産額として総収入を利用する場合があるが、衣笠[2008]が分析しているとおおり、水道事業のような地方公営企業の場合は総収入の中に水道料金収入以外に一般会計からの繰入額も算入されており、水道生産の正しい生産額を表しているとは言えない。そのため、本章では総収入ではなく、総生産費用を生産額として利用することとする。

る。なお、総生産費用を配水量の代理変数として使用した先行研究を確認する範囲で見つけることができているが、本研究ではこれを仮説として推定を試みることとする。本来は水源の水質と浄水技術の関係、これらが産出量や費用に与える影響を推定し、工学的生産関数<sup>52</sup>としてモデル化すべきところであるが、これは今後の課題としたい。

### 4.3 推定モデル

4.2の分析に基づき、水道事業の生産関数を以下のように定式化する。

$$Q = F(L, K1, K2, K3) \quad [4.1]$$

Qは配水量、Lは労働量、K1は原水・浄水に関わる資本量、K2は配水に関わる資本量、K3はその他資本量である。この関数を、係数に1次同次の制約を設けないコブ・ダグラス型に展開し推計をおこなう。なお、コブ・ダグラス型生産関数と合わせて、同次性制約のないより柔軟なトランスログ型生産関数による推計も試みたが、コブ・ダグラス型生産関数の方が定式としての当てはまりが良かったため、本章ではコブ・ダグラス型生産関数の推定結果のみを掲載する。

係数に1次同次の制約を設けないコブ・ダグラス型生産関数を以下のとおり定式化する。

$$Q = A L^{\alpha} K1^{\beta_1} K2^{\beta_2} K3^{\beta_3} \quad [4.2]$$

これを、対数変換する。

$$\ln Q = a + \alpha \ln L + \beta_1 \ln K1 + \beta_2 \ln K2 + \beta_3 \ln K3 + u \quad [4.3]$$

上記の式を用い $\alpha$ 、 $\beta_1 \sim \beta_3$ の係数を推定する。また、推定結果から、規模の経済性を推定する。コブ・ダグラス型生産関数では、規模の経済性（RTS：Returns to Scale）は以下の式で計算される。

規模の経済性は、生産要素の投入量増加に対する産出量の増加率で表される

---

<sup>52</sup> “engineering production function”の訳。Chenery[1949]を参照。

ため、以下のとおり RTS を定義する。

$$\begin{aligned} RTS &= \frac{\partial \ln Q}{\partial \ln L} + \frac{\partial \ln Q}{\partial \ln K1} + \frac{\partial \ln Q}{\partial \ln K2} + \frac{\partial \ln Q}{\partial \ln K3} \\ &= \alpha + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 \end{aligned} \quad [4.4]$$

推定の結果、RTS=1 が認められれば 1 次同次の生産関数となり、RTS > 1 であれば規模の経済性が存在する、RTS < 1 であれば規模の不経済が存在することを意味する。

ただし、4.2 の (2) で分析したとおり、配水管延長による規模の経済・不経済の影響があるかどうかを確認するために、[4.3]式から配水に関わる資本量である K2 を外したモデルについても推定し、規模の経済性を算出する。

#### 4.4 データ

水道事業の生産関数の推定は、兵庫県西宮市が運営する 4 つの浄水場を中心とする配水システムを対象とし、1965 年度～2007 年度までの 43 年間のパネルデータ（サンプル数 = 4 × 43 年 = 172）を利用する。ただし、1967 年度のデータが入手できなかったこと、また 4 つの浄水場のうち 1 つは運営開始が 1975 年でありそれ以前のデータが入手できないことから、推定に利用可能なサンプル数は 158 となった。

##### (1) 対象とする浄水場・配水系統

4.2 の (1) で示したとおり、本研究では市町村等の水道事業者を単位とせず、水道事業者が運営する浄水場及びその配水システムを単位として推定する方法を採用する。具体的には、表 4-1 に示す 4 つの浄水場を対象とする。なお、以下の 4 つの浄水場を選定した理由は、2007 年度末時点で稼動していた浄水場が以下の 4 つであったためである。

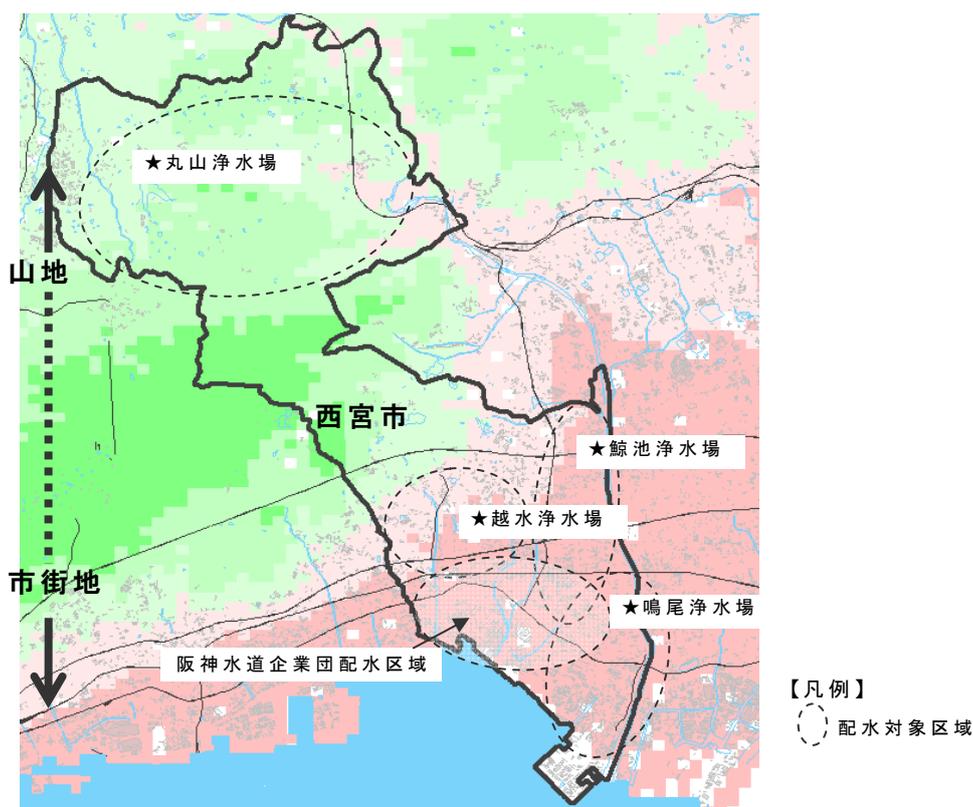
表 4-1 推定対象の浄水場諸元

浄水場名	運営開始 時期	年間配水量 ( $\text{m}^3$ )	水源種類	浄水処理方式	配水対象区域 (面積( $\text{km}^2$ ))
鯨池浄水場	1950年	10,356,140	地下水・ 表流水	急速ろ過方式	甲東地区 (8.80 $\text{km}^2$ )
鳴尾浄水場	1951年	3,837,020	地下水	急速ろ過方式	鳴尾地区 (9.54 $\text{km}^2$ )
越水浄水場	1924年	1,465,150	ダム	急速ろ過方式	本庁地区 (27.97 $\text{km}^2$ )
丸山浄水場	1975年	6,002,010	ダム	急速ろ過方式	山口・塩瀬地区 (50.34 $\text{km}^2$ )

注 1：運営開始時期以外は、2007年度実績を記載している。

注 2：運営開始時期、年間配水量、水源種類、浄水処理方式は西宮市水道局『平成 20 年版水道事業年報』より、配水対象区域は同書の配水系統図から読み取った地区名をもとに、町丁目別面積を集計して出している。ただし、越水浄水場が対象とする本庁地区は、阪神水道企業団<sup>53</sup>による配水系統と混在しているため、配水量から面積を按分して出している。

<sup>53</sup> 神戸市、芦屋市、西宮市、尼崎市の 4 市が共同で設立した広域用水供給事業者。西宮市は 2007 年度末時点で年間配水量の約 70%を受水で賄っており、その大半が阪神水道企業団からのものである。その他、兵庫県企業局からの受水も受けている。



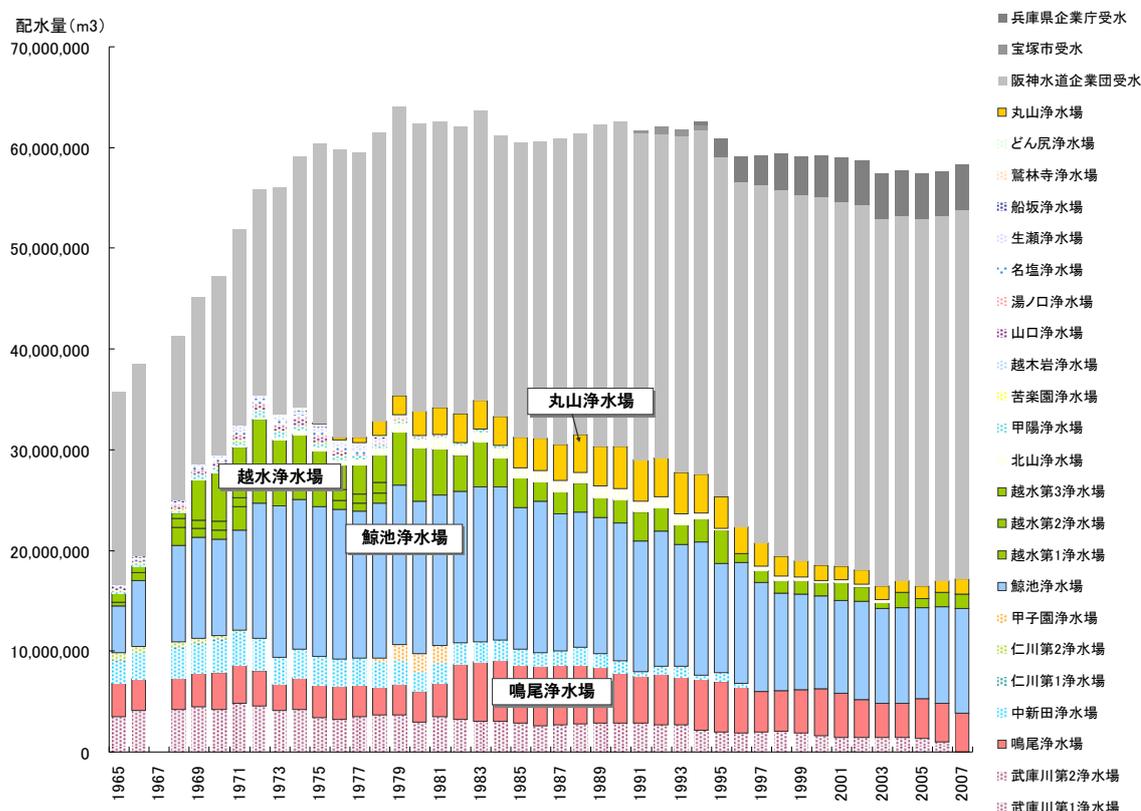
(出典：西宮市水道局『水道事業年報』における配水系統図をもとに、国土地理院発行の基盤地図情報を背景図として作成。)

図 4-4 浄水場の配水対象区域

運営開始時期は越水浄水場が最も古いですが、いずれの浄水場も運営開始後既に30年以上経過しており、4.2の(1)で見たような資本量の増加率に配水量の増加率が追いついていないという状況は想定しなくてもよさそうである。

年間配水量は鯨池浄水場が最も多いが配水対象区域面積を見ると鯨池浄水場が最も小さく、人口密度の高い地域に配水していることが分かる。一方、越水浄水場や丸山浄水場は、年間配水量に比べて配水対象区域面積が大きいいため、配水に関わる資本量(K2)が相対的に大きくなっている可能性がある。一方、図4-5に浄水場ごとの年間配水量の時系列変遷を示した。1970年代と2007年度を比較すると越水浄水場の配水規模が小さくなり、鳴尾浄水場の配水規模が大きくなっていることが分かる。これは、越水浄水場の給水区域と重なる阪神水道企業団からの受水量が増加したこと、鳴尾浄水場の給水区域に臨海埋立地が組み込まれたことによる。また、1970年代のオイル・ショックや1995年の阪神・淡路大震災などの影響は、西宮市全体としては配水量の若干の減少傾向が見られるものの、浄水場別に見た場合には特に大きな配水量の増減は見られ

ない<sup>54</sup>。これらのことから、推定にあたっては、時系列方向に対してはダミー変数を用いた調整は行わないが、浄水場ごとの差に対しては調整をおこなう必要があるであろう。



(出典：西宮市水道局『水道事業年報』各年版をもとに作成)

図 4-5 各浄水場の配水量の変遷 (1965～2007 年度)

水源種類は越水浄水場と丸山浄水場がダムであるが、浄水処理方式を見るとすべて急速ろ過方式であり、推定に影響するような水源の水質の差は見られないと思われる。また、急速ろ過方式は 1980 年代に確立した浄水処理技術であ

<sup>54</sup> 西宮市における水道需要量の約 80% (1965～2007 年度の各年%の平均) が家庭用であるため景気などの影響を受けにくい地域であり、時系列方向での激しい増減が起きていないものと思われる。一方、商業、工業が盛んな地域、例えば大阪市では、1970 年代の高度経済成長期には水道需要量の約 50%が営業用と工場用であり、このような場合には景気の影響を受けている可能性がある。分析対象地域によっては、時系列方向の調整も検討する必要がある。(用途別水道需要量は、西宮市水道局『水道事業年報』各年版より、大阪市については(社団法人日本水道協会『水道統計』より)

り、近年採用されている膜ろ過方式や高度処理方式ではないため、原水・浄水に関わる資本量（K1）の値が特に大きくなるといったことはなさそうである。

## （2） 配水量（Q）

被説明変数である配水量は、4.2の（3）で示したとおり、配水量そのもの（Q1）と、質を考慮した配水量と見なした総生産費用（Q2）を代理変数として利用する。

配水量（Q1）は、西宮市水道局『水道事業年報』に記載されている浄水場ごとの値を利用する。

総生産費用（Q2）は、職員給与費、資本費（原水・浄水、配水、その他、利払い）、動力費、その他費用から構成されるが、それぞれの浄水場別の計算方法は以下のとおりである。

総生産費用＝職員給与費＋資本コスト＋動力費＋その他費用

職員給与費＝西宮市全体の職員給与費×（当該浄水場の配水量/（西宮市全体の配水量－阪神水道企業団からの受水量））

資本費＝西宮市全体の各資本費×（当該浄水場の配水量/（西宮市全体の配水量－阪神水道企業団からの受水量））

動力費＝各浄水場の動力費

その他費用＝西宮市全体のその他費用×（当該浄水場の配水量/（西宮市全体の配水量－阪神水道企業団からの受水量））

配水量、動力費については、浄水場ごとの値が1965年度～2007年度を対象とした西宮市水道局『水道事業年報』に記載されているため、そのまま採用する。それ以外の費用は、西宮市全体の値のみが記載されていたため、配水量で按分する。ただし、阪神水道企業団からの受水については、西宮市全体の配水量に組み込まれている一方で、配水に利用する設備は阪神水道企業団が整備しており、西宮市の生産関数の一部と見なすことはできない。そのため、配水量で按分する分母から阪神水道企業団からの受水量を除外する。

なお、各費用には内閣府が公表する国民経済計算の政府消費支出デフレーターを利用する。ただし、動力費のみ経済活動別国内総生産の電気・ガス・水道業のデフレーターを利用する。

## （3） 労働量（L）

説明変数のうち労働量は、職員数を利用する。浄水場別の計算方法は以下の

とおりである。なお、西宮市全体の職員数は、1965年度～2007年度を対象とした西宮市水道局『水道事業年報』に記載されている値を利用する。

労働量＝西宮市全体の職員数×（当該浄水場の配水量/（西宮市全体の配水量－阪神水道企業団からの受水量））

#### （4） 原水・浄水に関わる資本量（K1）

説明変数のうち原水・浄水に関わる資本量は、有形固定資産のうち、構築物の原水及び浄水設備を利用する。浄水場別の計算方法は以下のとおりである。なお、西宮市全体の原水及び浄水設備の有形固定資産額は、1965年度～2007年度を対象とした西宮市水道局『水道事業年報』に記載されている値を利用する。デフレータとして、内閣府が公表する国民経済計算の国内総資本形成の公的企業設備を利用する。

原水・浄水に関わる資本量＝西宮市全体の原水・浄水に関わる資本量×（当該浄水場の配水量/（西宮市全体の配水量－阪神水道企業団からの受水量））

#### （5） 配水に関わる資本量（K2）

説明変数のうち配水に関わる資本量は、有形固定資産のうち、構築物の配水設備を利用する。浄水場別の計算方法は以下のとおりである。なお、西宮市全体の配水設備の有形固定資産額は、1965年度～2007年度を対象とした西宮市水道局『水道事業年報』に記載されている値を利用する。デフレータとして、内閣府が公表する国民経済計算の国内総資本形成の公的企業設備を利用する。

配水に関わる資本量＝西宮市全体の配水に関わる資本量×（当該浄水場の配水量/（西宮市全体の配水量－阪神水道企業団からの受水量））

#### （6） その他資本量（K3）

説明変数のうちその他資本量は、有形固定資産のうち、（4）及び（5）で示した原水及び浄水設備、配水設備以外の有形固定資産額を利用する。これには主に、電気設備やポンプ設備などの機械及び装置、事務所用の土地・建物などが含まれる。浄水場別の計算方法は以下のとおりである。なお、西宮市全体のその他の有形固定資産額は、1965年度～2007年度を対象とした西宮市水道局『水道事業年報』に記載されている値を利用する。デフレータとして、内閣府

が公表する国民経済計算の国内総資本形成の公的企業設備を利用する。

その他資本量 = 西宮市全体のその他資本量 × (当該浄水場の配水量 / (西宮市全体の配水量 - 阪神水道企業団からの受水量))

#### 4.5 推定結果

4.4 に示した各変数の基本統計量を表 4-2 に示す。

表 4-2 基本統計量

変数	単位	平均	標準偏差	最小値	最大値
Q1	m <sup>3</sup>	5,991,506	4,206,661	263,050	15,809,570
Q2	千円	1,725,794	1,298,320	41,781	5,419,195
L	人	65	43	3	161
K1	千円	1,672,729	1,333,111	40,700	4,860,892
K2	千円	6,065,929	6,868,332	36,686	24,428,713
K3	千円	3,774,944	3,455,592	97,279	14,340,948

4.3 及び 4.4 に示した推定モデル、データを利用し、推定をおこなった。

結果を表 4-3 に示した。Model1 は被説明変数を配水量 (Q1) としたモデル、Model2 は被説明変数を総生産費 (Q2) としたモデルである。推定にあたっては、4.4 の (1) で考察したとおり、パネルデータであることから浄水場・配水系統ごとの特性が固定効果としてあらわれる可能性があることが想定された。そこで、「固定効果はない」という帰無仮説を立て F 検定を実施したところ棄却されたため、固定効果を考慮した推定をおこなっている。また、43 年という長期のデータを扱っていることから系列相関が想定された。そこで、当期と 1 期前との残差の回帰分析をおこなったところ有意に相関が高い結果となったため、系列相関を考慮した非線形最小二乗法により推計をおこなっている。これにより、1 期前との残差を取れなかった期間 (1965 年度分、1967 年度のデータが欠損により影響を受けた 1968 年度分) の 7 サンプルが使用不可となったため、結果的にサンプル数は 151 となった。なお、時系列方向の構造変化については、4.4 の (1) で考察したとおり可能性がないものと考えたが、念のためオイルショック前後の 1979 年及び阪神・淡路大震災のあった 1995 年を境界と

した Chow 検定を実施したところ、1995 年についてはすべての浄水場に対して有意に構造変化は認められず、1979 年については鳴尾浄水場のみ 5%水準で構造変化の可能性が認められた。ただし、4.4 の (1) で見たとおり、1980 年代に鳴尾浄水場給水区域内に臨海埋立地ができたため、水道需要が増加したことが影響しているとも考えられる。よって、本研究では時系列方向の構造変化については特に調整を行わないこととする。

以上の処理をおこなった最終的な推定式を以下に示す。また、表 4-3 には、以上の処理をおこなった結果を掲載している。

$$\ln Q_{it} = \rho \ln Q_{it-1} + (1-\rho) \alpha_i + \alpha (\ln L_{it} - \rho \ln L_{it-1}) + \beta_1 (\ln K1_{it} - \rho \ln K1_{it-1}) + \beta_2 (\ln K2_{it} - \rho \ln K2_{it-1}) + \beta_3 (\ln K3_{it} - \rho \ln K3_{it-1}) + u \quad [4.5]$$

ただし、i は浄水場・配水系統、t は期間、 $\rho$  は系列相関を表す係数、u は誤差項。

Model1 の推定の結果、原水・浄水に関わる資本量 (K1) の係数  $\beta_1$  が負の値を取り有意にはならず、その他の係数は 1% または 5% 水準で有意となった。原水・浄水に関わる資本量 (K1) の係数が、有意ではないとは言え負の値ということは、浄水場設備が増加するほど配水量が減少することを意味しており、浄水場への設備投資に非効率が発生している、あるいは配水量 (Q2) の測定方法に不備があるなど、水道事業の生産関数としては解釈の難しい結果となった。更に、系列相関係数  $\rho$  は 0.982 で、 $\rho = 1$  を帰無仮説とする検定をおこなったところ棄却されず、推定結果の信頼性に問題が残る結果となった。

一方、Model2 の推定の結果、変数の係数は生産関数の理論どおりすべて正の値であり、いずれも 1% または 5% 水準で有意な結果となった。また、系列相関係数  $\rho$  は 0.810 で、 $\rho = 1$  を帰無仮説とする検定の結果、1% 水準で帰無仮説が棄却された。労働量及び各種資本量の係数の合計値である規模の経済の値は 0.965 で、1 に極めて近い値であったため「係数の合計が 1 である」という帰無仮説を立て F 検定をおこなったところ棄却できず、したがって本モデルは規模の不経済が発生しているとは言い切れず、1 次同次の可能性も考えられる結果となった。なお、本章で着目した配水に関わる資本量の係数  $\beta_2$  の値は 0.083 となり、本対象地域におけるネットワークの産出量に与える影響は小さいことが明らかとなった。

以上より、本研究では被説明変数に総生産費 (Q2) を用いた Model2 の方が、係数の符号や有意水準の観点からより説明力の高いモデルであることが分かった。この結果から、直ちに総生産費 (Q2) が水質を反映した適切な代理変数で

あると判断することはできないが、少なくとも配水量（Q1）の値を直接モデルに用いることには課題があると言えそうである。

表 4-3 推定結果

係数	Model1-1	Model2
constant	2.773 (1.274)**	5.045 (1.010)***
$\alpha$	0.567 (0.055)***	0.271 (0.056)***
$\beta_1$	-0.039 (0.038)	0.307 (0.063)***
$\beta_2$	0.117 (0.032)***	0.083 (0.037)**
$\beta_3$	0.336 (0.040)***	0.304 (0.059)***
$\rho$	0.982 (0.011)***	0.810 (0.035)***
R-squared	0.997	0.994
RTS	0.981	0.965

注：推定結果の1段目は推定した係数値、2段目の括弧内は標準誤差、\*\*\*は1%水準で有意、\*\*は5%水準で有意であることを示している。

#### 4.6 おわりに

本章では、水道事業における生産関数推定手法を、先行研究における手法を分析することにより、(1) 標本の採り方を、浄水場を中心とした配水系統単位とする、(2) 配水管延長の規模の経済への影響を把握するために資本量を原水・浄水、配水、その他の3つに分ける、(3) 水質を考慮した配水量の代理変数として総生産費用を利用する、3つの改良をおこなった。

(1) については、先行研究でも政策提言が行われている広域化や民営化を議論する上で、同一地域内で特徴が大きく異なる配水系統を複数持っていることが一般的な現行の水道事業者の単位で分析するのではなく、個々の配水系統の水源、地勢的特徴を考慮しなければどこも統合して広域化するのか、どの配水系統であれば民営化できるのかなどきめ細かな議論ができない。よって、こ

の改良は必須と考えられる。ただし、本章で示したとおり、現状で入手できる配水系統ごとの情報は配水量や動力量、水源種別、浄水処理方式等に限られており、最も重要となる資本量の情報は市全体の値から按分する方法を取らざるを得なかった。地方公共団体では、水道施設台帳を整備している場合が多いが、現行は設計図面、施工記録等にとどまっており、資本設備の性能から資本量を評価するといったことはまだ行われていない。ただし、公会計制度が浸透するにつれ、このようなきめ細かな資本情報も入手可能となる時代は近々やってくると思われるため、今後は、配水系統を単位とした分析が進むと考える。

(2) については、先行研究では資本量を1つの変数でまとめていたものを3つに分割することで、各資本の生産に与える影響を分析した。特に、水道事業の場合は、原水・浄水設備は法定耐用年数が58年で、設置された後は徐々に償却が進む特徴があるが、配水設備は法定耐用年数が38年と20年も短く、また配水区域の拡大や人為・自然災害による破損による付け替えなどの維持更新が頻繁に起こり、その資産量は年々増加する傾向にある<sup>55</sup>。また、その他資本量を構成する機器類は法定耐用年数が18年と更に短く、浄水技術の発展などにより比較的頻繁に更新が行われている。本研究では、推定結果から配水に関わる資本量(K2)の影響を十分には検出できなかったが、これ以外の着眼点であっても、分析目的によって資本の内容を詳細に見ることが必要と考える。

(3) については、本章では質を加味した配水量の代理変数として総生産費用を利用した。4.2の(3)にも記載したが、本来は、水源の水質と浄水技術の関係や産出量への影響を推定し、工学的生産関数としてモデル化することが望ましい。水道事業の政策的な議論のうち、広域化の一方で、人口減少、すなわち水道需要の減少に柔軟に対応できるような小規模分散型の技術開発が進められており、特に下水再生水や雨水などの循環利用が注目されている<sup>56</sup>。ここでは、技術的には取水した下水や雨水の水質の改善が注目されているが、経済学的に見ると、大規模運営でしか成り立たないと考えられていた水道事業を、小

---

<sup>55</sup> 西宮市の場合、表 4-2 を見ても分かるとおり、配水に関わる資本量(K2)が原水・浄水に関わる資本量(K1)に対して平均で5倍程度の額となっている。この結果より、水道事業分析で資本量を扱う際は、配水設備の資本量が大きく影響することに注意が必要である。

<sup>56</sup> 歴史的には、例えば西宮市では、戦後は西宮市が運営する水道以外に、阪神電鉄や日本ペイント株式会社などの地域のディベロッパーが都市開発した地域に独自に水道供給をする簡易水道が多数存在した。その後、1960～70年代の人口増、生活様式の変化による水需要増に対応するためにこれらの簡易水道は西宮市水道に統合されていった経緯がある。一方で、近年は西宮市においても水道需要の減少に直面している。今後は、地域によって広域化と小規模化の両方の流れが出てくるのではないかと考える。

規模かつ水質が維持された状態で運営できるような費用構造と効率性をいかに達成できるかが課題となる。このような観点からも、技術的側面を取り入れた分析が必要と考える。

なお、本研究では兵庫県西宮市のみを対象として推定を試みたが、同程度のデータを利用した分析は水道事業年報（あるいは、水道事業概要、水道事業年鑑といった資料名の場合もある）を策定している地方公共団体に対しては実施可能である。今後、他の地方公共団体の分析事例も増やし、水道事業の特性を捉えた更なる分析手法の改良に取り組みたい。

## 第5章 水道事業の投入要素間の代替性と構造分離

### 5.1 はじめに

産業の経済効率性を改善するには、その産業の産出量を最も小さな費用で実現する投入要素の組み合わせを見つける必要がある。経済学では、典型的には資本と労働を投入要素とし、各要素の価格比率によって要素の投入量を代替的に選択して、費用最小化を実現するものとしている。

水道事業では、資本、労働に加えエネルギーやその他の中間投入財（薬品、維持修繕など）が水道生産に必要な投入要素として利用される。しかし、水道事業は原水を取水してから浄水処理を経て配水するまでと、配水管や配水池を經由して給水するまでの大きく分けて2つの工程があり、それぞれの工程において投入する資本や労働の内容、これらの要素の代替性は一様ではないと考える。各工程においてどの要素が産出量を左右しているのか、どの要素とどの要素が代替的であるのか、各要素が本当に価格比率によって増減しているのかなど、費用最小化を実現するメカニズムについて知ることは、水道事業者が市場における需要の増減に合わせていかに効率的に産出量や投入要素を調整できるかを解明することを意味する。これは近年、国内外において注目されている水道事業の民営化を検討する上でも、民営事業者が市場において効率性改善のためにどのような手法を取りうるかを導くために必要と考える。

そこで本章では、水道事業における産出と投入要素の関係及び投入要素間の代替性を分析し、水道事業の効率性改善のために取りうる手法を検討する。以下では、はじめに水道事業の生産工程や産出量と投入要素、投入要素間の関係などの生産構造を考察することで、産出量の増減に寄与する投入要素や代替的な投入要素の組み合わせを特定し、生産関数を仮説として提示する。次に、兵庫県内水道事業者の統計データを利用して、仮説として提示した産出と投入要素、投入要素間の関係を検証し、生産関数の推定をおこなう。最後に、検証結果をもとに、水道事業の効率性改善の可能性について考察を示す。

### 5.2 水道事業の生産関数の仮説

#### 5.2.1 投入要素と産出量、投入要素間の関係

表 5-1 に、取水・浄水から各戸給水・料金徴収までの実施工程と各工程に対する主な投入要素を整理した。投入要素のうち「労働」は、事務職員、技術職

員、検針・集金員及びその他職員に分類される。「資本」は、法定耐用年数<sup>57</sup>が50～60年の取水・浄水設備（例：ダム・堰、沈でん池）、40年程度の配水設備（例：配水管）、5～10年の機械・装置（例：ポンプ設備、薬品注入設備）、その他の土地・建物に分類される。「その他」投入要素には動力や薬品が含まれる。

表 5-1 水道事業の生産工程と投入要素

生産 工程	投入要素		
	労働	資本	その他
取水・浄水 工程	・技術職員（配水調整・ 水質検査・施設検査等）	【取水・浄水設備資本】 ・ダム・堰 ・沈でん池 ・ろ過池  【機械・装置資本】 ・消毒設備 ・薬品注入設備 ・ポンプ設備 ・排水処理設備 ・集中管理設備	・動力 ・薬品
配水工程	—	・配水池 ・配水管	・動力
各戸給水・ 料金徴収 工程	・事務職員（給水受付・ 料金整理等） ・技術職員（給水工事） ・検針・集金職員	・給水管 ・計量器 ・OA 機器	・動力
その他	・事務職員（事業計画・ 財務・庶務） ・技術職員（維持修繕） ・その他技能職員（清掃・ 用務等，嘱託職員含む）	・事務所建物 ・土地 ・諸設備（OA 機器・車両 等）	・動力 ・諸雑費

（出典：自治大学校地方行政研究会監修、『シリーズ市町村の実務と課題 水道課』及び西宮市水道局、『水道事業年報』を参考に作成。）

<sup>57</sup> 水道設備の法定耐用年数は、地方公営企業法及び同施行規則において定められている。また、耐用年数満了後にもなお設備が稼動している場合は、取得原価の5%を残存価値として資産計上することが定められている。

以上の生産工程、投入要素をもとに水道水を産出する生産関数を、以下のとおり定式化する。

$$Q_1 = F_1(L_1, K_{1A}, K_{1B}, M_1) \quad [5.1]$$

$$Q_2 = F_2(Q_1, K_2, M_2) \quad [5.2]$$

$Q_1$ は浄水量、 $L_1$ 、 $K_{1A}$ 、 $K_{1B}$ 、 $M_1$ は取水・浄水工程に投入される労働、取水・浄水設備資本、機械・装置資本及びその他投入要素、 $Q_2$ は配水量、 $K_2$ 、 $M_2$ は配水工程に投入される配水設備資本及びその他投入要素である。[5.1]式が水道生成工程、[5.2]式が水道配送工程に対応する。

なお、本章では水道事業の効率性改善の可能性の検討を目的とするため、既に外部委託化が進む「戸別給水・料金徴収」工程は分析の対象外とする。

[5.1]式及び[5.2]式をもとに、以降では、投入要素と産出量、投入要素間の関係を考察する。

## 5.2.2 水道生成工程の投入要素間の関係

### (1) 浄水量 ( $Q_1$ ) と労働 ( $L_1$ ) の関係

浄水量と、事務職員、技術職員、検針・集金員及びその他職員に分類される労働との関係は、浄水量が増加（または減少）することにより、事務処理や水質検査、検針などの作業量が増加（減少）し、必要となる労働が増加（減少）するため、結果的に、労働の増加（減少）と浄水量の増加（減少）は連動すると考えられる。

以上より、産出である浄水量と労働には以下の関係が仮定される。

$$F_{L_1} = \frac{\partial Q_1}{\partial L_1} > 0 \quad [5.3]$$

### (2) 浄水量 ( $Q_1$ ) と取水・浄水設備資本 ( $K_{1A}$ ) の関係

浄水量と、取水・浄水設備資本との関係は、取水・浄水設備が増加（または減少）すると、浄水量は増加（減少）すると考えられる。

以上より、産出である浄水量と取水・浄水設備資本には以下の関係が仮定される。

$$F_{1K_{1A}} = \frac{\partial Q_1}{\partial K_{1A}} > 0 \quad [5.4]$$

(3) 浄水量 ( $Q_1$ ) と機械・装置資本 ( $K_{1B}$ ) の関係

浄水量と、機械・装置資本との関係は、浄水量が増加（または減少）することにより、消毒や薬品注入などの作業量が増加（減少）し、必要となる機械・装置資本が増加（減少）するため、結果的に、機械・装置資本の増加（減少）と浄水量の増加（減少）は連動すると考えられる。

以上より、産出である浄水量と機械・装置資本には以下の関係が仮定される。

$$F_{1K_{1B}} = \frac{\partial Q_1}{\partial K_{1B}} > 0 \quad [5.5]$$

(4) 浄水量 ( $Q_1$ ) とその他投入要素 ( $M_1$ ) の関係

浄水量と、動力や薬品などのその他投入要素との関係は、動力や薬品投入量が増加（または減少）しても浄水量は増加（減少）しないが、浄水量の増加（減少）により必要となるこれらの投入量が増加（減少）するため、結果的に両者は連動すると考えられる。

以上より、産出である浄水量とその他投入要素には以下の関係が仮定される。

$$F_{1M_1} = \frac{\partial Q_1}{\partial M_1} > 0 \quad [5.6]$$

(5) 労働 ( $L_1$ ) と取水・浄水設備資本 ( $K_{1A}$ ) の関係

取水・浄水工程では、沈でん池やろ過池などの資本設備に対して技術職員は補完的な関係にある。

以上より、労働と取水・浄水設備資本には以下の関係が仮定される。

$$\frac{K_{1A}}{L_1} = a, \quad \text{ただし、} a \text{は定数。} \quad [5.7]$$

なお、 $a$ は必ずしも定数になるとは限らないが、ここでは第一次近似として定数を想定している。

(6) 労働 ( $L_1$ ) と取水・機械・装置資本 ( $K_{1B}$ ) の関係

薬品注入設備や集中管理設備などの機械・装置資本は、技術職員の作業効率を向上させる目的で導入される特性を持つことから、代替的な関係にあると考えられる。

以上より、労働と機械・装置資本には以下の関係が仮定される。

$$\frac{dK_{1B}}{dL_1} = -\frac{F_{1L_1}}{F_{1K_{1B}}} < 0 \quad [5.8]$$

(7) 労働 ( $L_1$ ) とその他投入要素 ( $M_1$ ) の関係

労働とその他投入要素の関係は、労働が増加（または減少）したからといって、動力や薬品などのその他投入要素が増加（減少）することもなく、また、逆もない。よって、補完的でも代替的でもないと考えられる。

(8) 取水・浄水設備資本 ( $K_{1A}$ ) と機械・装置資本 ( $K_{1B}$ ) の関係

沈でん池やろ過池などの設備が増加（または減少）すると、消毒や薬品注入などの機械・装置が増加（減少）する補完的な関係にある。

以上より、取水・浄水設備資本と機械・装置資本には以下の関係が仮定される。

$$\frac{K_{1A}}{K_{1B}} = b, \quad \text{ただし } b \text{ は定数。} \quad [5.9]$$

なお、 $b$  は第一次近似として定数を想定している。

(9) 取水・浄水設備資本 ( $K_{1A}$ ) とその他投入要素 ( $M_1$ ) の関係

設備の稼働率が一定である場合、沈でん池やろ過池などの設備が増加（または減少）すると動力量が増加（減少）する補完的な関係にある。

以上より、取水・浄水設備資本とその他投入要素には以下の関係が仮定される。

$$\frac{K_{1A}}{M_1} = c, \quad \text{ただし} c \text{は定数。} \quad [5.10]^{58}$$

なお、 $c$ は第一次近似として定数を想定している。

(10) 機械・装置資本 ( $K_{1B}$ ) とその他投入要素 ( $M_1$ ) の関係

薬品注入設備や消毒設備など機械・装置が増加（または減少）すると薬品量が増加（減少）する補完的な関係にある。

以上より機械・装置資本とその他投入要素には以下の関係が仮定される。

$$\frac{K_{1B}}{M_1} = d, \quad \text{ただし} d \text{は定数。} \quad [5.11]$$

なお、 $d$ は第一次近似として定数を想定している。

### 5.2.3 水道配送工程の投入要素間の関係

(1) 配水量 ( $Q_2$ ) と浄水量 ( $Q_1$ ) の関係

配水量と浄水量の関係は、浄水量が増加（または減少）すると配水量が増加（減少）すると考えられる。

以上より、配水量と浄水量には以下の関係が仮定される。

$$F_{2Q_1} = \frac{\partial Q_2}{\partial Q_1} > 0 \quad [5.12]$$

(2) 配水量 ( $Q_2$ ) と配水設備資本 ( $K_2$ ) の関係

配水量と、配水設備資本との関係は、配水設備が増加（または減少）しても給水量は増加（減少）しないが、給水量の増加（減少）により必要となるこれらの資本が増加（または減少）するため、結果的に両者は連動すると考えられる。

---

<sup>58</sup> 浄水設備や配水設備は、近年、太陽光発電の利用や自然流下を利用した配水管ネットワークの整備など省エネルギー化が進められており、資本と動力が代替的である可能性も考えられるが、浄水設備や配水設備が省エネルギー仕様に入れ替わり、統計的に有意に代替性が認められるまでにはしばらく時間を要すると思われるため、本稿ではこの可能性を考慮しないものとする。

以上より、配水量と配水設備資本には以下の関係が仮定される。

$$F_{2K_2} = \frac{\partial Q_2}{\partial K_2} > 0 \quad [5.13]$$

(3) 配水量 ( $Q_2$ ) とその他投入要素 ( $M_2$ ) の関係

配水量と動力などのその他投入要素との関係は、動力が増加（または減少）しても配水量は増加（減少）しないが、配水量の増加（減少）により必要となるこれらの投入量が増加（減少）するため、結果的に両者は連動すると考えられる。

以上より、配水量とその他投入要素には以下の関係が仮定される。

$$F_{2M_2} = \frac{\partial Q_2}{\partial M_2} > 0 \quad [5.14]$$

(4) 浄水量 ( $Q_1$ ) と配水設備資本 ( $K_2$ ) の関係

浄水量と配水設備資本の関係は、浄水量が増加（または減少）すると、配水管や配水池を増加（減少）させる必要があり、補完的な関係にある。

以上より、浄水量と配水設備資本には以下の関係が仮定される。

$$\frac{Q_1}{K_2} = e, \quad \text{ただし } e \text{ は定数。} \quad [5.15]$$

なお、 $e$  は第一次近似として定数を想定している。

(5) その他投入要素 ( $M_2$ ) と浄水量 ( $Q_1$ )、配水設備資本 ( $K_2$ ) の関係

その他投入要素と浄水量、資本の関係は、その他投入要素が増加（または減少）したからといって浄水量、資本が増加（減少）することはなく、また、逆もない。よって、補完的でも代替的でもないと考えられる。

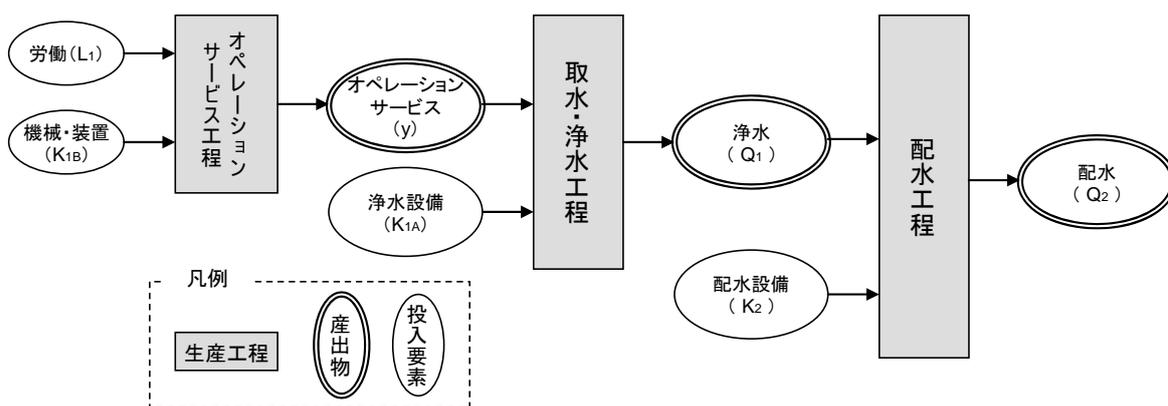
#### 5.2.4 生産関数の形状

5.2.2 ～ 5.2.3 に示した産出量と投入要素、投入要素間の関係は、次のとおり総括できる（図 5-1 を参照）。

まず、産出の 1 つである浄水量 ( $Q_1$ ) を強く規定するのは取水・浄水設備資本 ( $K_{1A}$ ) である。労働 ( $L_1$ ) と機械・装置資本 ( $K_{1B}$ ) は代替的であり、こ

の  $L_1$  と  $K_{1B}$  を水道生成工程のオペレーションサービスを産出していると考えらると、オペレーションサービス（「 $y$ 」とする）と取水・浄水設備資本（ $K_{1A}$ ）から、浄水（ $Q_1$ ）を産出すると見なすことができる。また、もう1つの産出である配水量（ $Q_2$ ）は、浄水量（ $Q_1$ ）と配水設備資本（ $K_2$ ）から生産されるが、投入要素間の代替性はない。

以上より、浄水（ $Q_1$ ）を産出する生産関数は、労働（ $L_1$ ）と機械・装置資本（ $K_{1B}$ ）が代替的で弾力性が一定の値を取り、オペレーションサービス（ $y$ ）を産出するCES型の生産関数が、取水・浄水設備資本（ $K_{1A}$ ）に規定され浄水（ $Q_1$ ）を産出するレオンチェフ型生産関数の部分として定義される階層型と仮定される（[16]～[18]式参照）。一方、配水（ $Q_2$ ）を産出する生産関数は、浄水（ $Q_1$ ）と配水設備資本（ $K_2$ ）を投入とするレオンチェフ型生産関数と仮定される（[5.19]式参照）。<sup>59</sup>



注：産出物に右矢印がある場合は、次の生産工程の投入要素となる

図 5-1 水道事業の生産関数の投入要素と産出の関係

水道生成工程生産関数：

$$Q_1 = F_1(L_1, K_{1A}, K_{1B}, M_1)$$

ここで、 $y = f_y(L_1, K_{1B})$ 。

よって、

$$Q_1 = F_1[f_y(L_1, K_{1B}), K_{1A}, M_1] \\ = F_1(y, K_{1A}, M_1)$$

[5.16]

オペレーションサービス（ $y$ ）を以下のとおり定式化する。

<sup>59</sup> 生産プロセスが複数に分かれている場合の生産関数の規定方法は、Leontief, W. (1947)を参考にした。

$$y = A_y [\alpha L_1^{-\rho} + (1-\alpha) K_{1B}^{-\rho}]^{-m/\rho}, \quad A_y > 0, 0 \leq \alpha \leq 1, -1 < \rho < \infty, m > 0 \quad [5.17]$$

$A_y$ 、 $\alpha$ 、 $\rho$ 、 $m$ は定数である。

[5.17]式を部分とする配水を産出する生産関数を以下のとおり定式化する。

$$Q_1 = A_{Q_1} \min\{y, K_{1A}, M_1\}, \quad A_{Q_1} > 0 \quad [5.18]$$

水道配送工程生産関数：

$$Q_2 = A_{Q_2} \min\{Q_1, K_2, M_2\}, \quad A_{Q_2} > 0 \quad [5.19]$$

### 5.3 水道生成工程生産関数の推定

5.2 において検討した水道事業の産出量と投入要素、投入要素間の関係及び生産関数の形状を、兵庫県西宮市のデータを用いて検証する。

なお、投入要素のうち動力や薬品などのその他投入要素については、水道事業費全体に占める割合が4%程度と小さく、また5.2の考察においても労働や資本との代替性が仮定せず、データを用いた検証からは除外するものとする。

#### 5.3.1 資本・労働と浄水量の関係

図5-2は兵庫県西宮市における労働量の推移、図5-3は取水・浄水設備資本ストック及び機械・装置資本ストックの推移を時系列的に示している。

まず、労働（図5-2を参照）については、1970年代後半から1990年代初頭までは職員数は300人前後で推移しており、浄水量の急増時期である1980年頃までは連動しているようには見受けられない。一方、1990年代中ごろから事務職員、技術職員は減少傾向にあり、これは浄水量の減少傾向と一致しているものと思われる。ただし、5.2で仮定した労働と機械・装置資本の代替により、労働が減少している可能性もある。また、検針・集金職員は1996年までとなっており、これは外部委託化が進められたためである。なお、2001年にその他技能職員が急激に増加しているが、政府の緊急雇用対策事業の影響であり、浄水量との関連性はない。

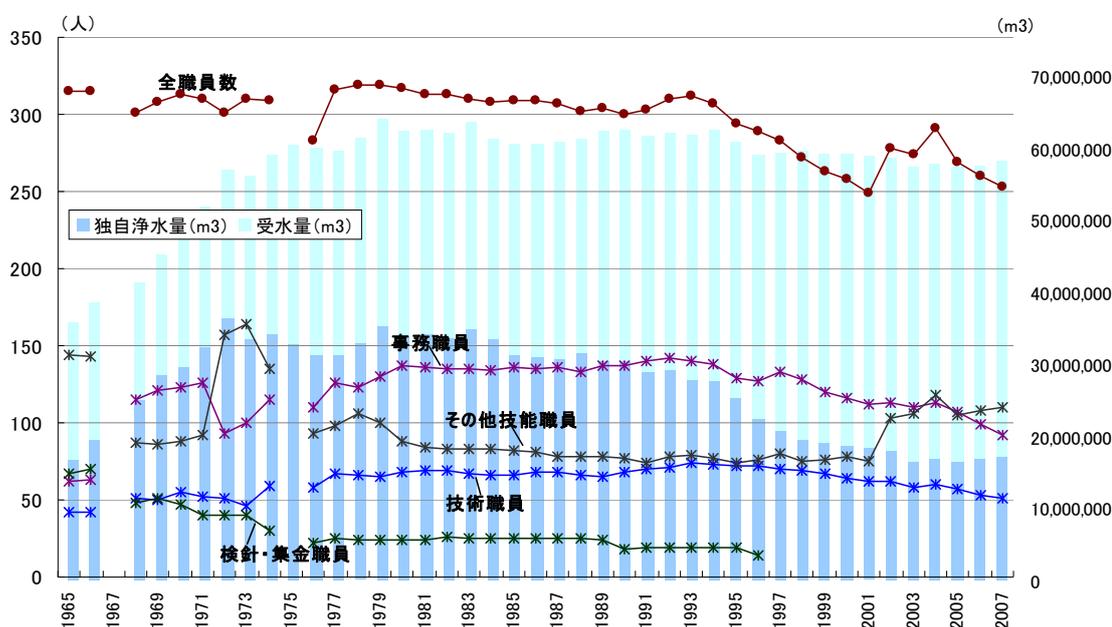
資本（図5-3を参照）については、1980年頃までの浄水量増加期には取水・浄水設備、機械・装置いずれも増加傾向にあるが、1990年代中ごろからの浄水

量減少期にはいずれの資本も減少していない。ただし、上述したとおり資本のうち機械・装置の1990年代中ごろ以降の増加傾向は、事務職員や技術職員などの労働との代替が起きている可能性も考えられる。

以上、図5-2及び図5-3を用いて5.2において仮定した資本、労働と産出量との関係を概観したが、以下の3点が当初の仮定と異なっている。

- (a) 浄水量増加期に労働量が増加していない場合がある（1970年代）。
- (b) 浄水量の減少に対して取水・浄水設備が減少していない場合がある（1990年代）。
- (c) 浄水量の減少に対して機械・装置資本が減少していない場合がある（1990年代）。

これらの点につき、以下の（1）～（3）においてより詳細に検証する。

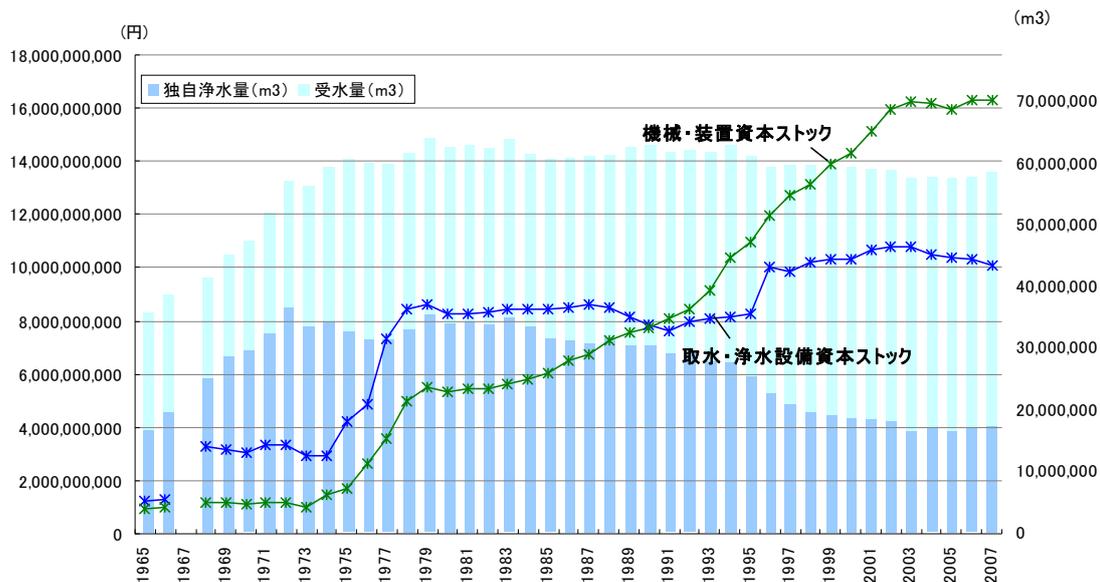


（出典：西宮市水道局『水道事業年報』各年版をもとに作成）

図 5-2 兵庫県西宮市の浄水量と職員数の推移（1965～2007年）<sup>60</sup>

<sup>60</sup> 本章での「浄水量」は、『水道事業年報』や『水道統計』における「配水量」の値を採用している。

なお、「独自浄水量」とは、対象地域への総配水量から、他の水道事業者からの購



(出典：西宮市水道局『水道事業年報』各年版をもとに作成、デフレータは国内総資本形成「公的企業設備」の値を利用)

図 5-3 兵庫県西宮市の浄水量と資本ストックの推移 (1965～2007年)

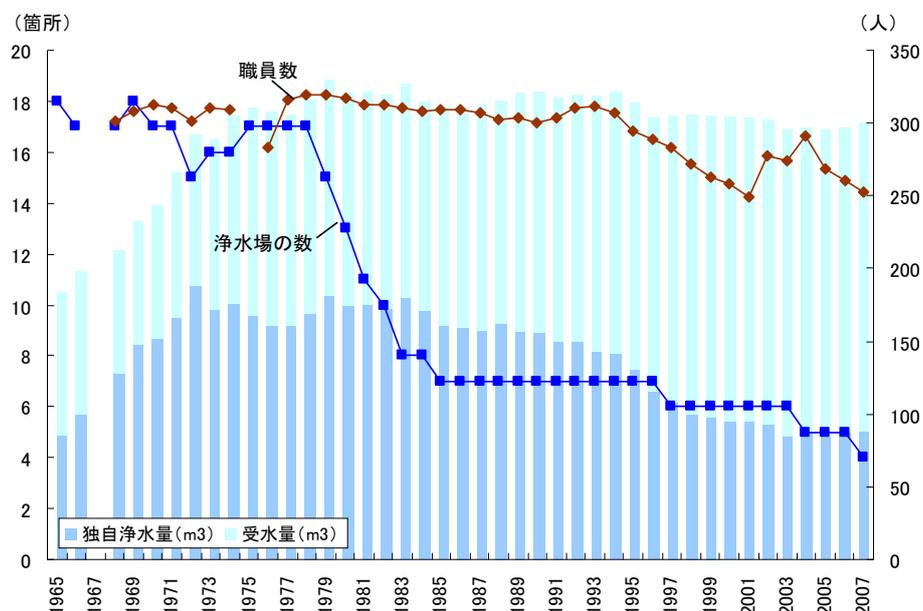
(1) 1970年代の浄水量と労働の関係

水道事業に携わる職員数は、浄水量と関係がある一方で、浄水場の数にも影響を受ける。西宮市の場合、1965年当初は市内に18箇所の浄水場が存在した(図5-4を参照)。浄水場が整備されると、表5-1に示した配水調整や水質検査をおこなう技術職員、事務所を構える場合は事務職員、清掃員や用務員などのその他技能職員を配置する必要がある。その後、1970年代後半までは15箇所程度で推移していたが、1980年代に入って浄水場の統合と受水の増加による浄水場の廃止が進み、1990年代は6～7箇所で推移、2007年時点では4箇所まで減少している。

1970年代の職員数の高止まりは浄水量との関係というよりは、浄水場の数が多かったためと考えられる。一方、1980年代以降、浄水場の数が減少する一方で、浄水量は高水位で維持していたため、職員数に大きな減少は見られなかったものと思われる。

入による配水量(=受水量)を控除した値である。「受水量」は他の水道事業者からの購入による配水量で、西宮市の場合、阪神水道企業団、兵庫県企業庁及び宝塚市(1990～1994年度のみ)から購入している。この定義は、以降の図においても同様である。

以上より、1970年代の労働者数の高止まりは浄水量とは関係がなく、よって、労働が増加すると浄水量が増加するという正の関係を示した 5.2 の仮定は維持されるものとする。



(出典：西宮市水道局『水道事業年報』各年版をもとに作成)

図 5-4 兵庫県西宮市の職員数と浄水場の数の推移 (1965～2007年)

## (2) 1990年代の浄水量と取水・浄水設備資本の関係

資本のうち、取水・浄水設備の増減は浄水量を強く規定すると考えられるが、図 5-3 では 1990 年代以降の浄水量の減少に対して取水・浄水設備資本が減少を示さなかった。

表 4-1 は、西宮市において 2007 年時点で稼働している浄水場 4 箇所が保有する取水・浄水設備の概要である。これを見ると、例えば、鯨池浄水場では年間浄水量約 1,000 万 m<sup>3</sup> に対し、沈でん池 6 池、ろ過池 12 池で浄水処理をおこなっている。沈でん池は全体で処理能力が 1 日 70,000 m<sup>3</sup>、1 池あたり約 12,000 m<sup>3</sup>、ろ過池は全体で 1 日 48,750 m<sup>3</sup>、1 池あたり約 4,000 m<sup>3</sup> の規模である。西宮市では、2007 年度実績で給水戸数 217,463 戸に対し 1 日平均 148,952 m<sup>3</sup> を浄水しているため、概ね 1 戸あたり 1 日 0.68 m<sup>3</sup> 消費している計算となる。これを、沈でん池及びろ過池を最大限稼働させる前提で計算すると、沈でん池 1 池で 17,600 戸、ろ過池 1 池で 5,900 戸を賄うことができる。この計算から言えることは、浄水量の減少に合わせて取水・浄水設備を減少させるためには、沈

でん池の場合 17,600 戸分、ろ過池の場合 5,900 戸分の需要減少が必要ということである。このような規模での減少が短期間で起きることは想定できないため、浄水量の減少に対して取水・浄水設備の減少は大きなタイムラグを伴うことが考えられる。西宮市では、浄水場における取水・浄水設備などの長期資本設備は、1980 年代の給水需要を予測して 1970 年代にほぼ現状の浄水能力を備えた設備の整備を完了しており、その後は、給水需要が増加すると稼働率が上がり、給水需要が減少すると稼働率が下がるという方法で運用している。

以上より、5.2 で仮定した取水・浄水設備資本が増加（または減少）すると浄水量が増加（減少）するという関係は、浄水量の増加期には当てはまるが、浄水量の減少期は取水・浄水設備の減少にタイムラグが伴うということを考慮する必要があることが明らかとなった。

表 5-2 兵庫県西宮市の浄水場ごとの取水・浄水設備

浄水場名	運営開始 時期	年間配水量 ( $\text{m}^3$ )	取水・浄水設備	
			沈でん池	ろ過池
鯨池浄水場	1964 年	10,356,140	6 池 (70,000 $\text{m}^3$ /日)	12 池 (48,750 $\text{m}^3$ /日)
鳴尾浄水場	1975 年	3,837,020	2 池 (12,000 $\text{m}^3$ /日)	3 池 (9,990 $\text{m}^3$ /日)
越水浄水場	1924 年	1,465,150	2 池 (32,000 $\text{m}^3$ /日)	6 池 (32,000 $\text{m}^3$ /日)
丸山浄水場	1975 年	6,002,010	2 池 (25,000 $\text{m}^3$ /日)	6 池 (25,000 $\text{m}^3$ /日)

注：運営開始時期以外は、2007 年度実績を記載している。

(出典：西宮市水道局、『水道事業年報』2007 年度版)

### (3) 1990 年代の浄水量と機械・装置資本の関係

機械・装置資本は、5.2 では浄水量の増加（または減少）に合わせて増加（減少）すると仮定されたが、図 5-3 においては 1990 年代以降、浄水量の減少にもかかわらず資本は増加の傾向を示した。

表 5-3 に機械・装置の 10 年ごとの導入状況を整理した。まず、薬品注入設備や消毒設備は、従来は主に水源の水質が全国的に問題となったことから、凝集剤として硫酸バンドや苛性ソーダ、消毒剤として塩素が採用されていた。

1980年代は、凝集効率を上げるためにポリ塩化アルミニウム、消毒剤として次亜塩素酸ソーダが使用されるようになった。また、異臭味が問題となってきたことから、活性炭を使用する設備も出てきた。その後、1990年代からは新たな病原菌などに対応するためにオゾン処理や紫外線処理などの設備も全国的には出てきている<sup>61</sup>が、西宮市の場合は、既存設備の更新を10年程度のサイクルで続けている。このように、時代ごとに水質に関して異なる課題が出てくるため、浄水量の多少にかかわらず水質改善のための設備を導入し続けていることが、機械・装置資本の増加につながっていると考えられる。

以上より、5.2で仮定した機械・装置資本が増加（減少）すると浄水量が増加（減少）するという関係は、薬品注入設備や消毒設備については、単純に浄水量のみとの関係では成り立たないことが明らかとなった。

表 5-3 兵庫県西宮市の浄水場ごとの機械・装置資本の変遷

年代	鯨池浄水場	鳴尾浄水場	越水浄水場	丸山浄水場
1970年代	薬品注入設備(硫酸バンド) 消毒設備(塩素)	薬品注入設備(硫酸バンド, 苛性ソーダ) 消毒設備(塩素) 集中監視設備	薬品注入設備(硫酸バンド, 苛性ソーダ) 活性炭吸着設備 集中監視設備	薬品注入設備(硫酸バンド, 苛性ソーダ)
1980年代	薬品注入設備(消石灰, ポリ塩化アルミニウム) 消毒設備(次亜塩素酸ソーダ) 活性炭吸着設備 急速ろ過機 中央監視制御設備	薬品注入設備(ポリ塩化アルミニウム) 消毒設備(次亜塩素酸ソーダ) 急速ろ過機 中央監視制御設備	消毒設備(次亜塩素酸ソーダ) 中央監視制御設備	消毒設備(次亜塩素酸ソーダ) 中央監視制御設備
1990年代	遠方監視制御設備	遠方監視制御設備	遠方監視制御設備	遠方監視制御設備

<sup>61</sup> 年代ごとの水質に関する課題と処理プロセスの発展過程は、持続可能な水供給システム研究会編、『水供給－これからの50年－』（技報堂出版、2007年）の第1章2を参照。

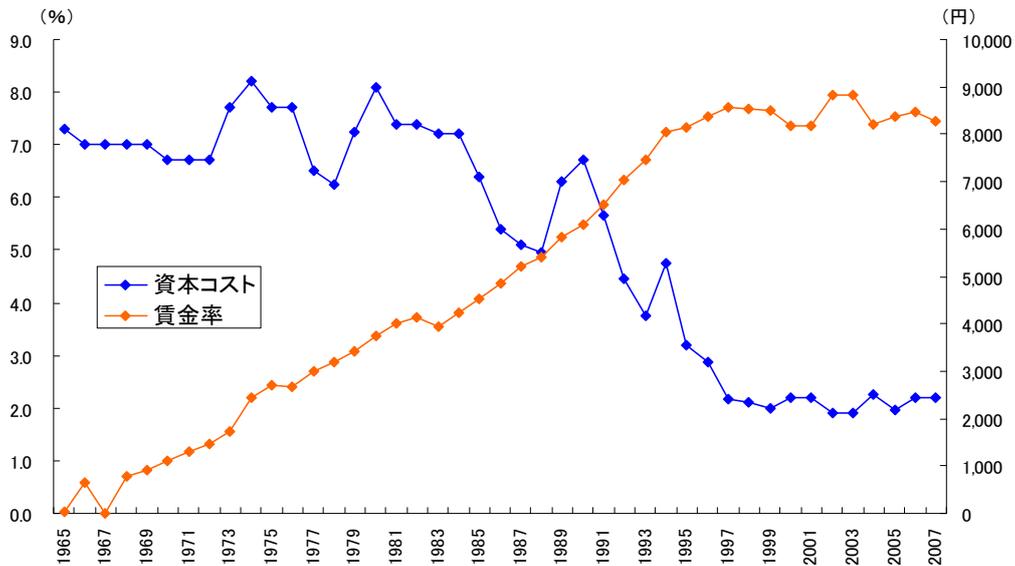
年代	鯨池浄水場	鳴尾浄水場	越水浄水場	丸山浄水場
2000年代	(設備構成変化なし)	(設備構成変化なし)	(設備構成変化なし)	活性炭吸着設備

(出典：西宮市水道局, 『水道事業年報』各年版をもとに作成)

また、集中監視設備や中央監視制御設備は、配水調整の自動化・半自動化や配水管網の情報システムによる監視など作業効率を向上させる資本である。西宮市では、1970年代から1980年代に導入されており、その後も定期的に10年程度のサイクルでハードウェアの更新などをおこなっている。この設備についても配水量の多少にかかわらず導入されることから、機械・装置資本の増加につながっていると考えられる。

一方で、これらの設備は労働との代替性があると思われる。図 5-2 及び図 5-3 を見ると、職員数の減少と機械・装置資本の増加が時期的に一致しており、代替の関係にある可能性が高い。図 5-5 は、西宮市における投入要素価格である資本コストと賃金率の推移を示したグラフであるが、年々資本コストが相対的に安くなっていることが分かる。このような傾向からも、機械・装置資本と労働の代替が起きうる状況であったことが予想される。

以上より、5.2 で仮定した機械・装置資本が増加（減少）すると浄水量が増加（減少）するという関係は、集中監視設備や中央監視制御設備については当てはまらないが、同じく 5.2 で仮定した労働と機械・装置資本との代替については成り立つ可能性がある。



注： 資本コストは公営企業債の利率，賃金率は年間職員給与費から時間単価を算出した値を使用。

(出典：西宮市水道局、『水道事業年報』各年版をもとに作成)

図 5-5 兵庫県西宮市における資本コストと賃金率の推移 (1965～2007年)

### 5.3.2 生産関数の推定

5.2 に示した仮説と 5.3.1 において統計データを用いて検証した結果に基づき、水道事業の生産工程のうち、水道生成工程の生産関数を推定する。なお、5.2 で示したとおり、オペレーションサービスを産出する生産関数と、浄水を産出する全体の生産関数の 2 種類を推定する。

#### 5.3.2.1 オペレーションサービス生産関数の推定

##### (1) 推定モデル

5.2 で仮定したオペレーションサービス生産関数は、労働と機械・装置資本が代替的な CES 型である。推定式を以下のとおり再掲する。

$$y = A_y \left[ \alpha L_1^{-\rho} + (1-\alpha) K_{1B}^{-\rho} \right]^{-m/\rho}, \quad A_y > 0, 0 \leq \alpha \leq 1, -1 < \rho < \infty, m > 0 \quad [5.20]$$

この式を、推定可能な形に変換する。

まず、投入要素の  $L_1$  及び  $K_{1B}$  は、限界生産性が要素価格と等しくなるという費用最小化条件より、

$$w = p \cdot \frac{\partial f_y}{\partial L_1} = p \cdot A_y \cdot \left( -\frac{m}{\rho} \right) \left[ \alpha L_1^{-\rho} + (1-\alpha) K_{1B}^{-\rho} \right]^{\frac{m}{\rho}-1} \cdot (-\rho) \alpha L_1^{-\rho-1} \quad [5.21]$$

$$r = p \cdot \frac{\partial f_y}{\partial K_{1B}} = p \cdot A_y \cdot \left( -\frac{m}{\rho} \right) \left[ \alpha L_1^{-\rho} + (1-\alpha) K_{1B}^{-\rho} \right]^{\frac{m}{\rho}-1} \cdot (-\rho) (1-\alpha) K_{1B}^{-\rho-1} \quad [5.22]$$

$w$  は賃金率、 $r$  は資本コスト、 $p$  は生産物の価格である。  
[5.21]、[5.22]より、

$$\frac{w}{r} = \frac{\alpha}{1-\alpha} \left( \frac{L_1}{K_{1B}} \right)^{-\rho-1} = \frac{\alpha}{1-\alpha} \left( \frac{K_{1B}}{L_1} \right)^{1+\rho} \quad [5.23]$$

右辺、左辺を入れ替えて対数変換すると、

$$\begin{aligned} \frac{K_{1B}}{L_1} &= \left( \frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\rho+1}} \left( \frac{w}{r} \right)^{\frac{1}{\rho+1}} \\ \ln \left( \frac{K_{1B}}{L_1} \right) &= \left( \frac{1}{\rho+1} \right) \ln \left( \frac{1-\alpha}{\alpha} \right) + \left( \frac{1}{\rho+1} \right) \ln \left( \frac{w}{r} \right) \end{aligned}$$

$1/(\rho+1)$  は代替の弾力性を表す。これを  $\sigma$  と置き換えて、

$$\ln \left( \frac{K_{1B}}{L_1} \right) = \sigma \ln \left( \frac{1-\alpha}{\alpha} \right) + \sigma \ln \left( \frac{w}{r} \right)$$

$\sigma \ln(1-\alpha)/\alpha$  は定数項と見なして  $a$  と置き換え、 $\ln(w/r)$  の係数を  $b$  と置くと、

$$\ln \left( \frac{K_{1B}}{L_1} \right) = a + b \ln \left( \frac{w}{r} \right) \quad [5.24]$$

[5.24]式を用いて、まずは係数  $a$  及び  $b$  を推定する。

次に、[5.24]の結果を用いて、以下の3式より、

$$\begin{aligned}
 a &= \sigma \ln \left( \frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \\
 b &= \sigma \\
 \sigma &= \frac{1}{\rho+1}
 \end{aligned}
 \tag{5.25}$$

$\sigma$ 、 $\alpha$ 、 $\rho$  を求める。

これらの値を利用して、[5.20]式を対数変換し、定数  $m$  の値を求めることで規模の経済性を確認する。

$$\ln y = \ln A_y + m \ln [\alpha L_1^{-\rho} + (1-\alpha) K_{IB}^{-\rho}]^{-1/\rho}
 \tag{5.26}$$

## (2) データ

### ① 対象データ

兵庫県西宮市の1965年～2007年のデータを利用する。浄水場ごとにサンプルを取得することも可能であるが、推定式で必要となる資本コスト及び賃金率は西宮市内で共通であるためサンプルを分ける利点がない。そのため、西宮市全体を1つの水道事業者とみなして推定をおこなう。

なお、推定期間のうち、1967年のデータが欠損しているため、サンプル数は42となる。

### ② オペレーションサービス量 ( $y$ )

産出であるオペレーションサービス自体を定量化するのは難しいため、代理変数を用いる必要がある。本章では、水道事業の総生産費のうち、人件費と機械・装置資本費（＝機械・装置資本ストック額×資本コスト）を足し合わせた額を利用する<sup>62</sup>。デフレーターとして、内閣府が公表する国民経済計算の政府消費支出デフレーターを利用する。

### ③ 労働 ( $L_1$ )

西宮市水道局『水道事業年報』各年版より年間労働時間を利用する。ただし、2002年以降のデータには緊急雇用対策事業の影響がある可能性が考えられ

---

<sup>62</sup> 脚注 51 を参照。

るため、ダミー変数を適用する。

$$\text{年間労働時間} = \text{職員数} \times (12 \text{ ヶ月} \times \text{月平均労働時間})$$

月平均労働時間は、『毎月勤労統計調査』の事業所規模 30 人以上、電気・ガス・熱供給・水道業の値を利用する。

#### ④ 賃金率 (w)

西宮市における時間単位給与を利用する。時間単位給与は以下の式で算出する。

$$\text{時間単位給与} = \text{年間職員給与費} \div (\text{全職員数} \times 12 \text{ ヶ月} \times \text{月平均労働時間})$$

年間職員給与費は、西宮市水道局『水道事業年報』各年版より取得する。

月平均労働時間は、『毎月勤労統計調査』の事業所規模 30 人以上、電気・ガス・熱供給・水道業の値を利用する。

#### ⑤ 機械・装置資本 (K<sub>1B</sub>)

西宮市水道局『水道事業年報』各年版より、有形固定資産の機械及び装置の額を利用する。なお、デフレーターとして、内閣府が公表する国民経済計算の国内総資本形成の公的企業設備を利用する。

#### ⑥ 資本コスト (r)

西宮市水道局『水道事業年報』各年版より、企業債の利率を利用する。

### (3) 推定結果

各変数の基本統計量を表 5-4 に示す。

表 5-4 基本統計量

変数	単位	平均	標準偏差	最小値	最大値
y	千円	2,578,738	794,386	139,361	3,546,489
L1	人・時間	384,834	74,134	282,576	438,984

変数	単位	平均	標準偏差	最小値	最大値
w	円	6,019	2,412	111	9,193
K1B	千円	7,695,319	5,402,535	958,861	16,308,012
r	%	5.27	2.23	1.90	8.20

[5.24]式に基づき推定した結果を表 5-5 に示す。

Model1-1 は[5.24]式をそのまま、Model1-2 は緊急雇用ダミーとして 2001 年以降のデータに対して労働量の異常増加を補正する役割のダミー変数を組み込んだ式である。結果を見ると、緊急雇用ダミーは有意にならず、Model1-1 の方が修正済み決定係数は若干高い。a 及び b の係数は両モデルでそれほど大きく変わらず、1%水準で有意な結果となっている。よって、以降の計算は、Model1-1 の結果を採用する。

表 5-5 [5.24]式の推定結果

係数	Model1-1	Model1-2
a	2.072 (0.534)***	2.351 (0.586)***
b	0.664 (0.047)***	0.636 (0.053)***
緊急雇用ダミー		0.245 (0.215)
Adjusted-R <sup>2</sup>	0.830	0.829

注：推定結果の 1 段目は推定した係数値、2 段目の括弧内は標準誤差、\*\*\*は 1%水準、\*\*は 5%水準で有意であることを示している。

まず、表 5-5 より代替の弾力性の値が分かる。[5.25]式の 2 式目「 $b = \sigma$ 」より、係数 b の値「0.664」が代替の弾力性となる。この値が 0 であればレオンチェフ型、1 であればコブ・ダグラス型になるが、「b の値は 1 である」、「b の値は 0 である」という帰無仮説を立て F 検定をおこなったところ、これらは棄却された。よって、レオンチェフ型、コブ・ダグラス型のいずれでもないことが明らかとなった。

次に、 $\alpha$ 、 $\rho$  を求める。 $\alpha$  は、[5.25]式の 1 式目より、

$$2.072 = 0.664 \times \ln\left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right)$$

$$\hat{\alpha} = 0.042$$

$\sigma = 1/(\rho + 1)$  より、

$$0.664 = \frac{1}{\rho + 1}$$

$$\hat{\rho} = 0.506$$

これらの値を用いて、[5.26]式を推定し、表 5-6 の結果を得た。

表 5-6 [5.26]式の推定結果<sup>63</sup>

係数	Model2
constant	-0.953 (3.078)
m	1.208 (0.198)***
Adjusted-R <sup>2</sup>	0.731

注：推定結果の 1 段目は推定した係数値、2 段目の括弧内は標準誤差、\*\*\*は 1%水準で有意であることを示している。

規模の経済性を表す係数  $m$  を見ると、値は「1.208」であり、1%水準で有意であった。ただし、「係数  $m$  は 1 である」という帰無仮説を立て F 検定をおこなったところ、5%有意水準で棄却できず、したがってオペレーションサービス生産関数は 1 次同次ではないとは言えない結果となった。

<sup>63</sup> 長期の時系列データを扱っていることから系列相関が想定された。そこで、当期と 1 期前との残差の回帰分析をおこなったところ有意に相関が高い結果となったため、系列相関を考慮した非線形最小二乗法により推計をおこなっている。推定結果には、本処理をおこなった結果を掲載している。

### 5.3.2.2 浄水生産関数の推定

#### (1) 推定モデル

5.2 で仮定した浄水を産出する生産関数は、投入要素間の代替がなく、浄水量が取水・浄水設備資本に強く規定されるレオンチェフ型である。推定式は、水道事業における投入要素比が極めて小さいその他投入要素  $M_1$  を除き、以下のとおりとする。

$$Q_1 = A_Q \min\{y, K_{1A}\} \quad [5.27]$$

$Q_1$  は浄水量、 $y$  はオペレーションサービス、 $K_{1A}$  は取水・浄水設備資本である。

レオンチェフ型では、産出量に対して必要となる  $y$  と  $K_{1A}$  の比率が定まっており、この比率に対して  $y$  と  $K_{1A}$  の両方を使い切る投入が行われた場合が最も効率のよい生産と見なされる。一方、この比率に対して  $y$  または  $K_{1A}$  が余る場合は、生産に寄与しない投入が行われ無駄が生じていることを意味する。

つまり、

$$\frac{y}{K_{1A}} = \bar{k} \quad [5.28]$$

を効率のよい組み合わせの比率とすると、例えば、ある時点の  $y/K_{1A}$  がこの値よりも大きい場合は  $y$  に、小さい場合は  $K_{1A}$  に無駄が生じていることになる。

レオンチェフ型生産関数の推計には、CES 型生産関数から代替の弾力性を求め、「代替の弾力性=0」を確認するという方法も考えられるが、本章では、投入要素と産出量の関係の変遷を詳細に考察するために、計量経済学的手法ではなくグラフを用いた推定手法をとることとする。

## (2) データ

### ① 対象データ

兵庫県西宮市の1965年～2007年のデータを利用する。

### ② 浄水量 ( $Q_1$ )

西宮市水道局『水道事業年報』各年版より独自配水量（総配水量から受水量を控除した値）を利用する。

### ③ オペレーションサービス量 ( $y$ )

5.3.2.1 で用いた人件費と機械・装置資本費を足し合わせた値を利用する。

### ④ 取水・浄水設備資本 ( $K_{1A}$ )

西宮市水道局『水道事業年報』各年版より、有形固定資産の原水・浄水設備資本の値を利用する。なお、デフレーターとして、内閣府が公表する国民経済計算の国内総資本形成の公的企業設備を利用する。

## (3) 推定結果

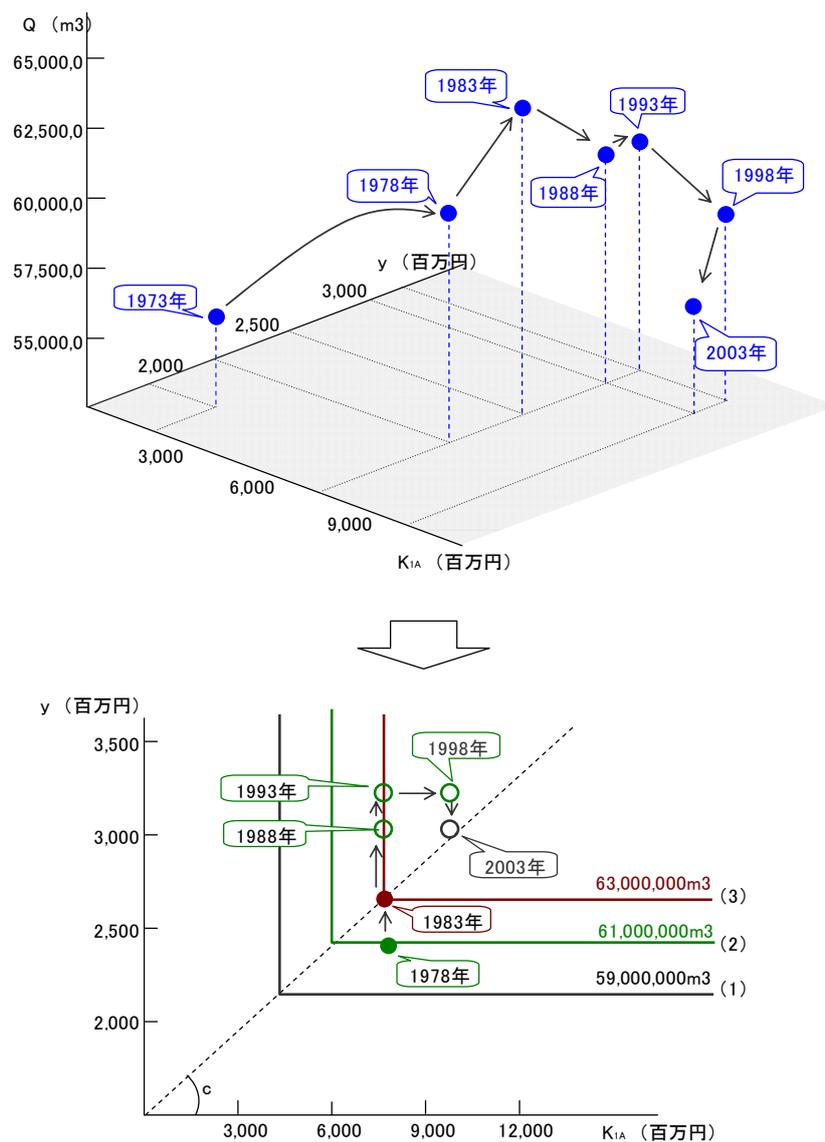
各変数の基本統計量を表 5-7 に示す。

表 5-7 基本統計量

変数	単位	平均	標準偏差	最小値	最大値
$Q_1$	千 $m^3$	26,984	7,787	16,444	36,489
$y$	千円	2,578,738	794,386	139,361	3,546,489
$K_{1A}$	千円	7,479,204	3,057,009	1,214,430	10,774,750

図 5-6 に、1973 年から 2003 年まで 5 年間隔で浄水量 ( $Q_1$ )、オペレーションサービス ( $y$ ) 及び取水・浄水設備資本 ( $K_{1A}$ ) の値をとったグラフを示した。上側が 3 次元グラフ、下側が  $y$  と  $K_{1A}$  を縦軸・横軸にして平面投影した 2 次元グラフである。なお、2 次元グラフは分かりやすさを重視するために、3 次元グラフの中から 1978 年から 1998 年までの値を抜粋して示している。

3次元グラフを読み取ると、1973年から1978年、1983年の動きは $Q_1$ 、 $y$ 、 $K_{1A}$ のすべてが増加し、右上の方向に移動している。次に、1983年から1988年、1993年は、 $y$ が増加するものの $K_{1A}$ の変化がなく、 $Q_1$ が減少している。1993年から1998年は、 $y$ は変化がなく $K_{1A}$ が増加し $Q_1$ が減少、更に1998年から2003年は $y$ が減少し $K_{1A}$ が横ばいで $Q_1$ が減少している。以上より、1983年の $y$ 、 $K_{1A}$ の組み合わせが最も効率よく $Q_1$ を産出していたと予想され、1988年から2003年は $y$ 及び $K_{1A}$ 共に過剰であった可能性がある。これを下側の2次元グラフで見ると、最も産出量が多く $y$ 、 $K_{1A}$ の組み合わせが効率的であったと予想される1983年を曲線(3)で表した場合、1988年及び1993年は、本来は曲線(2)で表されるはずが $y$ 及び $K_{1A}$ 共に曲線(2)から外れており、また、1998年は曲線(1)で表されるはずがこの曲線上には存在していないことが分かる。これは、1988年から2003年の $y$ は、図5-5に示したとおり単位当たり労働コスト(=賃金率)が上昇することによりオペレーションサービス量を増加させていることが原因と考えられる。また、 $K_{1A}$ については、5.3.1の(2)に示したとおり、取水・浄水設備資本の減少にはタイムラグが発生するため産出量の減少に合わせて調整ができなかったこと、増分については1995年に起きた阪神・淡路大震災の影響で復旧のための追加資本投資が行われたことが原因と考えられる。



(出典：西宮市水道局、『水道事業年報』各年版をもとに作成)

図 5-6 兵庫県西宮市における浄水生産関数のイメージ

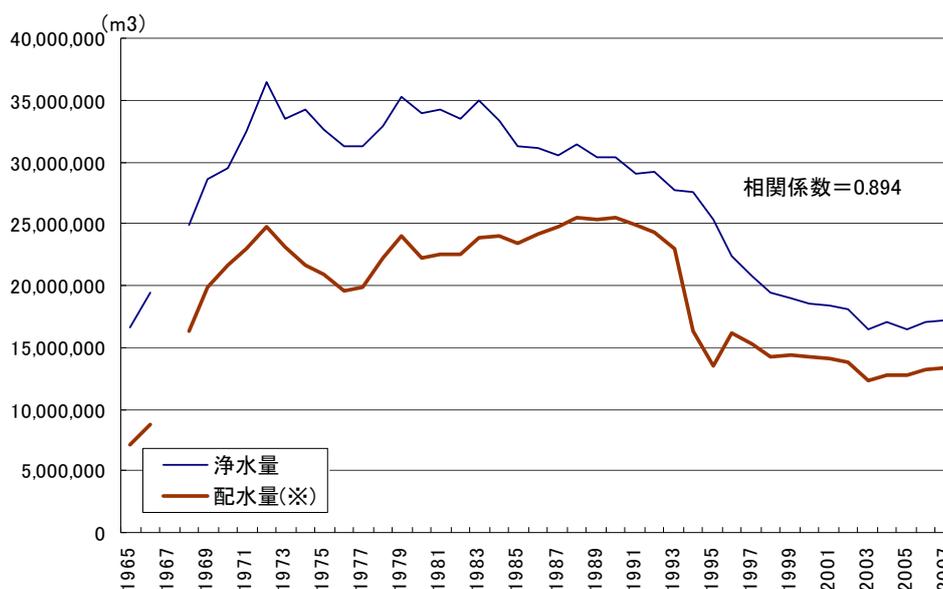
#### 5.4 水道配送工程生産関数の推定

5.2 において検討した水道事業の生産工程のうち、浄水 ( $Q_1$ ) と配水設備 ( $K_2$ ) を投入要素として配水 ( $Q_2$ ) を産出する生産関数を、兵庫県西宮市のデータを用いて検証する。

##### 5.4.1 浄水量・配水設備資本と配水量の関係

図 5-7 は兵庫県西宮市における浄水量と配水量の関係、図 5-8 は配水量と配水設備資本ストックの推移を示している。

まず、配水量については、1980年代後半にピークとなり、以降は一貫して減少傾向を示している。1995年の急激な落ち込みは、阪神・淡路大震災による影響と考えられる。浄水量と配水量の関係は、1995年以外はほぼ連動しており、相関係数は「0.894」と高い値を示している。浄水量と配水量の差は、水道工事などに利用される無収水量が大半であり、漏水による無効水量は全体の0～3%程度とされている<sup>64</sup>。



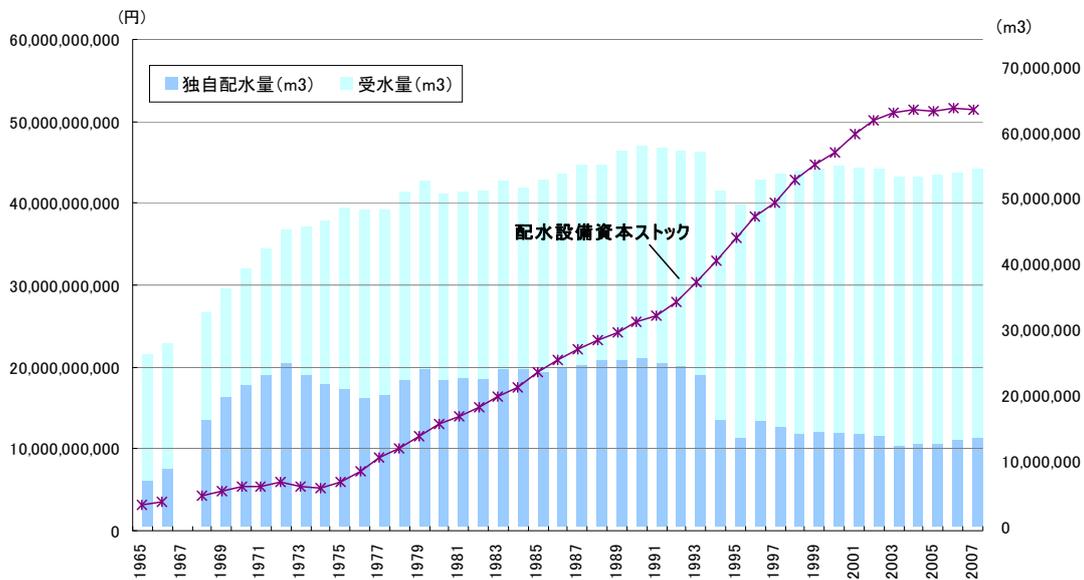
(出典：西宮市水道局、『水道事業年報』各年版、社団法人日本水道協会『水道統計』各年版をもとに作成)

※給水量として、「有収水量」の値を利用。

図 5-7 兵庫県西宮市における浄水量と配水量の関係

次に、配水設備資本ストックは図 5-8 に示すとおり 1970年代から年々蓄積されており、2007年度末時点では総額約 510 億円、水道資本ストック全体の約 6 割を占めるに至っている。配水量との関係は、1980年頃までの配水量増加期には増加傾向が一致しているが、1990年代中ごろからの独自配水量減少期には資本ストックは減少していない。

<sup>64</sup> 1970年代後半に漏水防止対策事業が行われたことにより、低い漏水率を実現している。(西宮市『西宮市水道七十年史』, p.366)



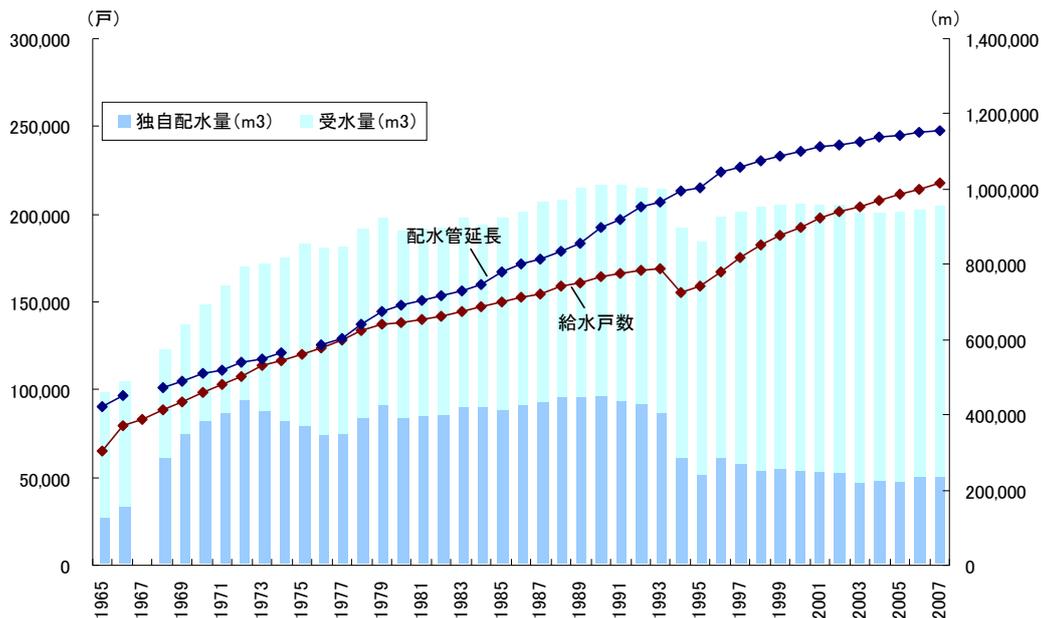
(出典：西宮市水道局『水道事業年報』各年版をもとに作成、デフレータは国内総資本形成「公的企業設備」の値を利用)

図 5-8 兵庫県西宮市の配水量と配水設備資本ストックの推移 (1965～2007年)

図 5-7 及び図 5-8 を用いて 5.2 において仮定した浄水量、配水設備資本と配水量の関係を概観したが、配水量の減少に対して配水設備資本が減少していない場合がある (1990 年代) 点が、当初の仮定と異なっている。

図 5-9 は、西宮市における給水戸数の推移である。これを見ると、1990 年代後半から配水量が減少しているにもかかわらず、給水戸数が増加しており、これに伴い配水管延長も増加している。これは 1 戸あたり水道使用量が減少しているためである。配水管は、各戸の水道使用量の多少にかかわらず、水道を利用するためには必ず敷設しなければならない設備であり、また、敷設する配水管の規格が統一されているため、使用量の多少によって配水管の種類を変更し設備投資額を調整するという方法は取りにくい。そのため、配水量が減少傾向にあるにもかかわらず、配水設備資本量が増加しているのである。

以上より、5.2 で仮定した配水設備資本が増加 (または減少) すると配水量が増加 (減少) するという関係は、1 戸あたりの水道使用量が一定の場合は当てはまるが、水道使用量が減少している場合には必ずしも当てはまらないことが明らかとなった。



(出典：西宮市水道局『水道事業年報』各年版をもとに作成)

図 5-9 兵庫県西宮市の給水戸数と配水管延長の推移 (1965～2007 年)

#### 5.4.2 生産関数の推定

##### (1) 推定モデル

5.2 で仮定した水道配送工程生産関数は、投入要素間の代替がないレオンチェフ型である。ここで、図 5-7 で見たとおり、浄水量 ( $Q_1$ ) と配水量 ( $Q_2$ ) の関係は明らかである一方で、配水量 ( $Q_2$ ) と配水設備資本 ( $K_2$ ) の間には、仮定と異なり投入量の増加にもかかわらず産出量が減少する可能性が考えられた。そこで、生産関数を以下のように定式化し、配水設備資本 ( $K_2$ ) の限界生産性の推定をおこなう。

$$Q_2 = A_{Q_2} [\min\{Q_1, K_2\}]^\beta \quad [5.29]$$

レオンチェフ型であるため、 $Q_1$  と  $K_2$  のいずれでも  $\beta$  の値が同じになるはずであるから、 $K_2$  のみを投入要素として残すと、

$$Q_2 = A_{Q_2} K_2^\beta \quad [5.30]$$

対数変換して、

$$\ln Q_2 = \ln A_{Q_2} + \beta \ln K_2 \quad [5.31]$$

この式より、 $\beta$  をまず推定する。

次に、配水設備資本 ( $K_2$ ) の限界生産性を以下の式より推定する。

$$\begin{aligned} F_{2K_2} &= \frac{\partial Q_2}{\partial K_2} = \beta \cdot A_{Q_2} K_2^{\beta-1} \\ &= \frac{\hat{\beta} Q_2}{K_2} \end{aligned} \quad [5.32]$$

## (2) データ

### ① 対象データ

兵庫県西宮市の 1965 年～2007 年のデータを利用する。

### ② 配水量 ( $Q_2$ )

西宮市水道局『水道事業年報』各年版より独自給水量（有収水量から受水量を控除した値）を利用する。

### ③ 配水設備資本 ( $K_2$ )

西宮市水道局『水道事業年報』各年版より、有形固定資産の配水設備資本の値を利用する。なお、デフレーターとして、内閣府が公表する国民経済計算の国内総資本形成の公的企業設備を利用する。

## (3) 推定結果

各変数の基本統計量を表 5-8 に示す。

表 5-8 基本統計量

変数	単位	平均	標準偏差	最小値	最大値
Q2	千 m <sup>3</sup>	19,157	5,910	7,092	25,552
K2	千円	24,258,535	17,291,606	3,138,345	51,687,063

[5.31]式に基づき推定した結果を表 5-9 に示す。

Model3-1 は[5.31]式をそのまま、Model3-2 は震災ダミーとして、1995 年のデータに対して阪神・淡路大震災による給水量の異常減少を補正する役割のダミー変数を組み込んだ式である。結果を見ると、震災ダミーは有意になり Model3-2 の方が修正済み決定係数も高いことから、Model3-2 の結果を採用する。

表 5-9 [5.31]式の推定結果<sup>65</sup>

係数	Model3-1	Model3-2
constant	24.860 (3.133)***	24.900 (2.960)***
$\beta$	-0.338 (0.130)**	-0.339 (0.122)***
震災ダミー		-0.186 (0.060)***
Adjusted-R <sup>2</sup>	0.904	0.923

注：推定結果の 1 段目は推定した係数値、2 段目の括弧内は標準誤差、\*\*\*は 1% 水準、\*\*は 5% 水準で有意であることを示している。

[5.25]式で推定した  $\beta$  の値「-0.339」、 $Q_2$  及び  $K_2$  の平均値より、[5.32]式の限界生産性は、

$$\begin{aligned}
 F_{2K_2} &= \frac{\hat{\beta}Q_2}{K_2} \\
 &= -0.339 \times \left( \frac{19,156,762}{24,258,535,565} \right) \\
 &= -429.28 < 0
 \end{aligned}$$

以上より、配水設備資本 ( $K_2$ ) の配水量 ( $Q_2$ ) に対する限界生産性は負の値となることが分かった。

<sup>65</sup> 長期の時系列データを扱っていることから系列相関が想定された。そこで、当期と 1 期前との残差の回帰分析をおこなったところ有意に相関が高い結果となったため、系列相関を考慮した非線形最小二乗法により推計をおこなっている。推定結果には、本処理をおこなった結果を掲載している。

## 5.5 おわりに

本章では、水道事業の投入要素に着目し、生産物である浄水量、配水量との関係、投入要素間の関係を分析した。分析結果から、水道事業の効率性の改善に向けて、以下のことが言える。

- (1) 労働と機械・装置資本は代替的であるため、要素価格比に基づき費用最小化を実現するような投入要素量に調整することができる。特に、機械・装置資本のうち中央監視設備や制御設備などの情報システムに関わる資本は、今後も技術革新が進むと予想されるため効率性の改善に寄与すると考えられる。
- (2) 取水・浄水関連資本は労働と機械・装置資本から産出されるオペレーションサービスとは代替的ではないため、要素価格である資本コストが高くなる場合でも投入要素量を調整することはできない。特に取水・浄水設備資本は一旦投資をおこなうと、浄水量が減少してもすぐに設備を減らす（サunkコストとして減損する）調整ができないため、浄水量に対する生産費用が割高になる。一方、需要家が支払う水道料金は規制されているため、割高になった生産費用を料金に転嫁することが容易ではない。このことから、効率性の改善が可能となるような取水・浄水設備資本に対する調整手法の開発が求められる。
- (3) 配水設備資本については、本研究で事例として分析した兵庫県西宮市では限界生産性が負になることが分かった。これは、配水設備資本への投資が過剰に行われている、あるいは非効率な給水区域（例えば、取水・浄水設備からの距離が大きい）への給水が行われているといった原因が考えられる。一方で、配水設備資本は、水道給水には不可欠かつ現状では代替手段のない設備であり、更に水道事業における費用の60%程度を占めていることから、この工程の効率性を改善する手法の開発が求められる。ただし、西宮市と異なり、給水範囲が狭く人口密集しているなど限界生産性が正になり効率性改善の余地がある地域が存在する可能性もあるため、合わせて分析事例を増やすことも求められる。

以上のとおり、本章では水道事業の生産工程を分析し、投入要素の代替性や

補完性の観点から分離可能な工程を取り出し生産関数の定式化とその実証分析を行った。ただし実証分析については、トランスログ型生産関数など変数への制約が小さいモデルを採用して推定を行い、その結果として本章で提示した生産関数の形状が適切であるかどうかを検証する必要がある。この点については、今後の課題としたい。

## 第6章 兵庫県内市町の水道事業民営化の可能性

### 6.1 はじめに

第3章から第5章では、水道事業の需要構造及び供給構造を経済学的観点から詳細に分析し、主に西宮市のデータを用いて実証をおこなった。その結果、需要については、家事用の安定需要を多く獲得できるかどうかの考察が得られた。また、供給については、稼動していない資本設備をいかに保有せずに調整できるかが鍵であることが分かった。

本章では、このような前章までの分析から得られた水道事業にとって鍵となる視点を拾い出し、兵庫県内40市町<sup>66</sup>を対象に、各市町村が統一した視点で見た場合にどのような状況にあるか、グラフを用いて分析をおこなう。

以下、6.2では分析に入る前に、兵庫県市町の地勢的特性を概観する。6.3は需要構造に着目した分析、6.4は供給構造に着目した分析をおこなう。6.5は需要及び供給の両方の視点を合わせて、レーダーチャートを用いたバランス分析をおこなう。最後に6.6で兵庫県内市町の水道事業民営化の可能性について本研究による結論を提示する。

### 6.2 兵庫県内市町の地勢と配水規模

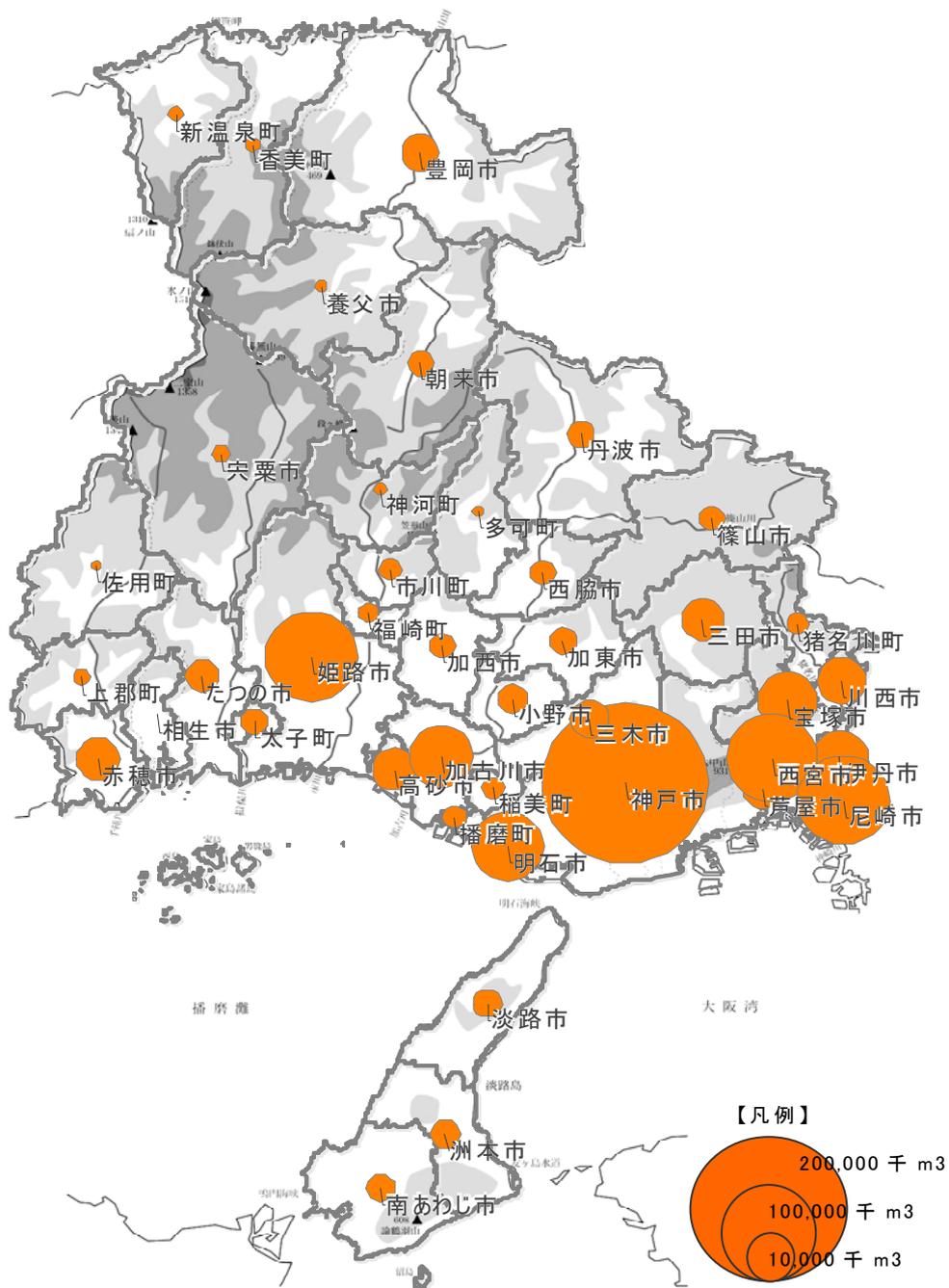
分析に入る前に、兵庫県における各市町の位置と地勢的特性、水道事業の規模を概観する。

兵庫県は、大阪湾に面する神戸市及び阪神地域、播磨灘に面する播磨地域、日本海に面する但馬・丹波地域、そして淡路地域に大きく分けることができる。図6-1に、これらの市町の地勢的分布と水道事業の年間配水量を示した。配水量は、円グラフの大きさが大きいほど規模が大きいことを示している。

図6-1によると、配水量は人口が多い神戸市及び阪神地域が圧倒的に大きく、続いて播磨地域の中でも播磨灘沿岸部の明石市や姫路市、赤穂市などが多い。播磨地域の中でも内陸部や但馬・丹波地域は、各市町の面積は広いが山間地であり、また人口が少なく、よって配水量が少ない分布となっている。

---

<sup>66</sup> 2010年4月現在、兵庫県内には41の市町が存在するが、このうち、相生市は水道事業を広域事業団である西播磨水道企業団のみで実施しており、市単独では実施していない。そのため、本章の分析からは除外している。



(出典：給水規模は兵庫県『平成 19 年度 地方公営企業の経営状況』より。)

図 6-1 兵庫県市町の地勢と配水規模

## 6.3 需要構造に基づく類型

### 6.3.1 分析の視点

第3章では、水道事業の需要分析をおこなったが、その結果、水道事業に民間企業が参入する場合に留意すべき点として以下のことが明らかになった。

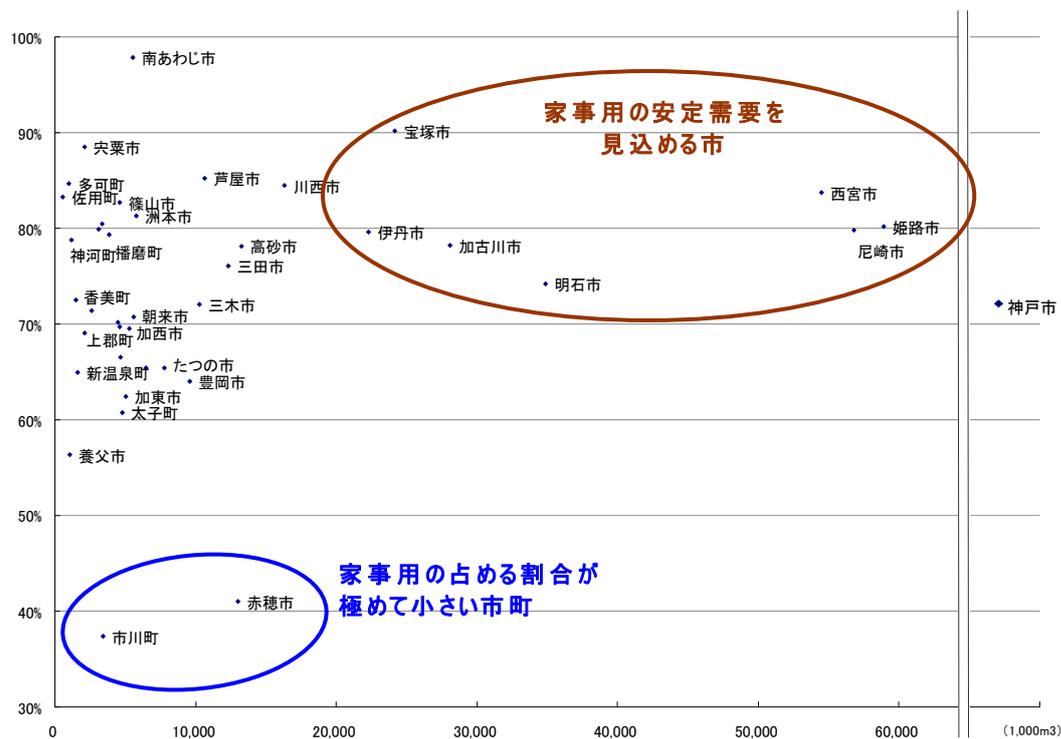
- (1) 水道需要のうち家事用の占める割合が多い住宅都市については、数年単位での需要の乱高下はなく安定収入が得られる。ただし、将来人口・世帯数の増減が長期的には影響を与える。
- (2) 家事用の占める割合が小さい工業都市については、どのような業種が立地するかにより水道需要量に大きな影響を与え、撤退や業種変換により需要が乱高下する可能性がある。

ここでは、以上の視点に基づき、各市町が住宅都市型であるのかそれとも工業都市型であるのかを分類する。分類結果に対し、特徴的な市町をいくつか取り上げ考察をおこなう。また、将来人口推計データを用いて長期的な水道需要の増減の可能性を分析する。

### 6.3.2 水道需要における家事用の占める割合

図6-2は、兵庫県内各市町の水道需要における家事用の占める割合をプロットしている。横軸は年間総配水量、縦軸は配水量に占める家事用の占める割合である。このグラフでは、配水量が多くかつ家事用の占める割合が大きい右上にプロットされる市町を、最も安定収入を確保できる市町と位置付ける。逆に、配水量が小さくかつ家事用の占める割合が小さい左下の原点付近にプロットされる市町を、最も需要リスクの高い市町と見なす。

このような考え方をもとに図6-2を見ると、配水量の多少にかかわらず大半の市町において、水道需要の70%以上を家事用が占めていることが分かる。特に、家事用の占める割合が大きく、かつある程度の給水規模がある右上にプロットされた宝塚市、伊丹市、加古川市、明石市、西宮市、尼崎市、姫路市は、安定収入が見込め需要リスクの小さい市と見なすことができる。一方、原点付近にプロットされた赤穂市及び市川町は、他の市町に比べて家事用の占める割合が極めて小さく需要リスクが相対的に大きい可能性がある。



(出典：兵庫県『平成 19 年度 地方公営企業の経営状況』より作成)

図 6-2 水道需要における家事用の占める割合 (2007 年度)

表 6-1 家事用の占める割合別市町分類 (2007 年度)

割合	地区別(※)対象市町			
	神戸・阪神	播磨	但馬・丹波	淡路
50%以下		市川町、赤穂市		
51~70%		太子町、加東市、小野市、たつの市、西脇市、上郡町、加西市	養父市、豊岡市、新温泉町、丹波市、	
71~80%	神戸市、三田市、伊丹市、尼崎市、猪名川町	福崎町、三木市、明石市、高砂市、加古川市、神河町、播磨町	朝来市、香美町、	淡路市
81%以上	西宮市、芦屋市、宝塚市、川西市、	姫路市、稲美町、佐用町、多可町、宍粟市	篠山市	洲本市、南あわじ市

※ 地区分類は、兵庫県が採用する分類を参照した。

### 6.3.3 赤穂市・市川町の水道需要

図 6-2 では、赤穂市及び市川町は、給水量が少なくかつ家事用の占める割合が小さいため、需要リスクの高い地域である可能性が考えられた。ここでは、両市町の水道需要の特性を考察する。

赤穂市の 2007 年度給水内訳を見ると、約 40%が家事用、約 30%が工場用、残り 30%はその他用途としている<sup>67</sup>。赤穂市は、給水量の半分を千種川から、残り半分を地下水から取水しており、水源が潤沢に存在する地域である。立地する工場は食料品、金属、化学、窯業などが主なものである。赤穂市では、工場が必ずしも上水道である必要がない業種であるにも関わらず、潤沢な水源があることから水道料金が安く抑えられており、工業団地において上水道を使用する方法がとられている。このため、工場用が約 30%を占めるに至っている。また、その他用途は、実は他事業者（姫路市及び西播磨水道企業団）への分水である。このように赤穂市においては、潤沢な水源をもとに家事用以外の用途への積極的な上水道の活用をおこなった結果、家事用の割合が小さな値を示したことが明らかになった。

一方、同じく 2007 年度の市川町の給水内訳を見ると、約 40%が家事用、残り 60%がその他用途となっている。市川町も赤穂市と同じく、その他用途として他事業者（加西市）への分水をおこなっており、これが原因で家事用の割合が小さな値を示した。

このように、赤穂市及び市川町の特性は、工場用については業種にかかわらず上水道を使用する、その他用途については他事業者への分水というもので、第 3 章の分析で想定した考察とは異なる結果となった。しかし、特にその他事業者への分水については、他市町の人口動態や景況に左右されるため、決して安定需要とは呼べない用途である。また工場用についても、昨今の再生水や中水など高品質すぎない適度な質の水需要が高まる中で、上水道から切り替えが起きる可能性もある。以上のことから、家事用の割合が小さな市町については、やはり需要リスクが相対的に高いものと思われる。

### 6.3.4 将来人口推計からみた水道需要増減の可能性

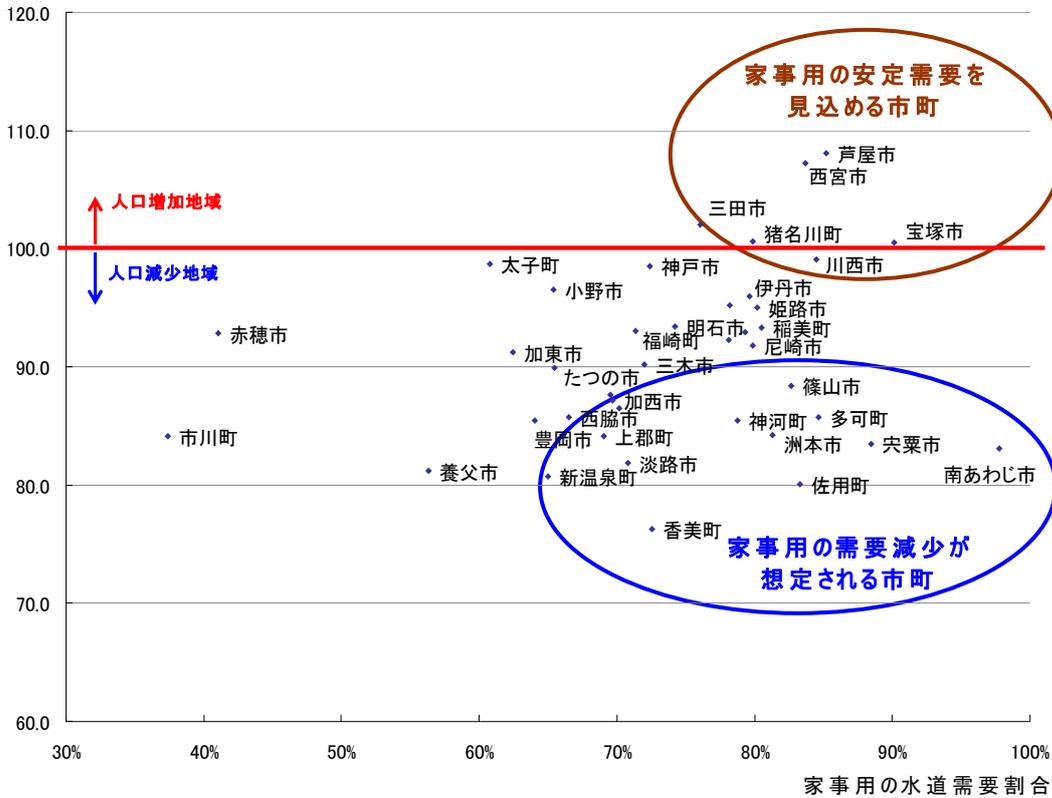
家事用の需要割合の多い市町では、将来人口・世帯数がどのように推移するかにより水道需要の増減の影響を受ける。図 6-3 に水道需要における家事用の占める割合と各市町の将来人口増加割合をプロットした。横軸は 2007 年度の

<sup>67</sup> 兵庫県『平成 19 年度 地方公営企業の経営状況』, p.73 より。

各市町における家事用の水道需要割合、縦軸は 2005 年を 100 とした場合の 2020 年における人口推計の指数である。縦軸の 100.0 より上側にプロットされた市町は人口増加が予測される地域、下側にプロットされた市町は人口減少が予測される地域である。家事用の割合が多く、かつ将来人口が増加すると予測される地域においては、水道需要の安定需要が見込める地域と考えられる。一方、家事用の割合が多く、かつ将来人口が減少すると予測される地域は、家事用の割合だけを見た際に安定的と考えられていた地域であっても、長期的には需要減少を見込まなければならない地域を意味する。

このような考え方をもとに図 6-3 を見ると、兵庫県内において人口増加が予測されている地域は 5 市町で、いずれの市町も家事用の需要が多い地域であることから、長期的な視点からも安定需要を見込める地域と見なすことができる。一方、家事用の割合が多い市町でも、人口減少が予測されている地域は多数存在することが分かる。表 6-2 に地区別の分布状況を示したが、家事用割合が 71% 以上で人口減少が予測されている市町はすべての地区において広く分布しており、特に地域的な偏りはないものと思われる。一方、家事用割合が 71% 以上で人口増加が予測されている 5 市町はすべて神戸・阪神地区に集中しており、大阪湾沿岸の市町の需要の安定性が確認できる。

人口増減指数  
(2005年を100とした場合の2020年の増減指数)



(出典：兵庫県『平成19年度 地方公営企業の経営状況』及び国立社会保障・人口問題研究所『市区町村別将来推計人口』より作成)

図 6-3 家事用の需要割合と将来人口増加率

表 6-2 家事用需要割合・人口増減指標別市町分類 (2007年度)

家事用需要割合・人口増減指標	地区別対象市町			
	神戸・阪神	播磨	但馬・丹波	淡路
家事用需要70%以下・人口減少		市川町、上郡町、豊岡市、西脇市、加西市、たつの市、加東市、赤穂市、小野市、太子町	新温泉町、養父市、丹波市	
家事用需要70%以下・人口増加				

家事用需要 割合・人口 増減指標	地区別対象市町			
	神戸・阪神	播磨	但馬・丹波	淡路
家事用需要 71%以上・人 口減少	尼崎市、伊丹市、神戸市、川西市	佐用町、宍粟市、神河町、多可町、三木市、高砂市、播磨町、福崎町、稲美町、明石市、姫路市、加古川市	香美町、朝来市、篠山市	淡路市、南あわじ市、洲本市
家事用需要 71%以上・人 口増加	宝塚市、猪名川町、三田市、西宮市、芦屋市			

## 6.4 供給構造に基づく類型

### 6.4.1 分析の視点

第4章及び第5章では、水道事業の供給側の分析をおこなったが、その結果、水道事業に民間企業が参入する場合に留意すべき点として以下のことが明らかになった。

- (1) 浄水場数が多く、かつ設備稼働率が低い場合、平均費用が逡減する局面まで設備を使用できておらず、費用が割高になる可能性がある。水道料金を規制により自由に調整できないため、割高になった費用を回収できなくなるリスクがある。
- (2) 取水・浄水関連資本が大きい場合、代替する投入要素がないため需要量が減少した際に資本量の調整がきかず効率性の改善を実施しにくい。
- (3) 配水関連資本は、取水・浄水設備から離れた地域など非効率な給水区域への配水を実施しなければならないといった地勢的な要因から、投資量が大きくなる場合があり、効率性の改善を実施しにくい。

ここでは、以上の視点に基づき、各市町の供給にかかわるデータを比較する。

### 6.4.2 各市町の浄水場数と設備稼働率

図6-4に、各市町の浄水場数と設備稼働率をプロットしたグラフを示している。横軸に各市町が保有する浄水場数、縦軸に取水・浄水関連設備や配水関連設備を含む水道資本設備全般の稼働率を示している。設備稼働率が低いほど余

剰設備を抱えており費用効率が悪い可能性がある。設備稼働率が低く、更に浄水場数が多い場合には、それぞれの浄水場ごとに余力を持っている状態となり、水道事業者全体として費用が割高になっている可能性がある。

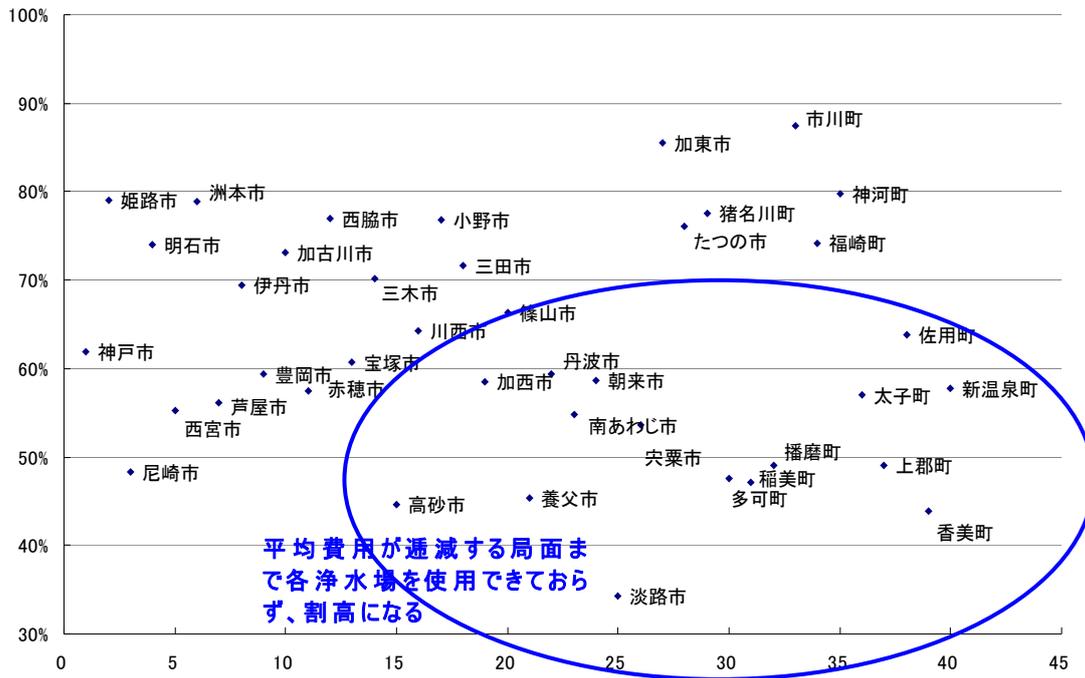
このような考え方をもとに図 6-4 を見ると、浄水場数が少ない市町は設備稼働率が高いといった相関は見られず、各市町により状況にバラつきがあることが分かる。表 6-3 により地区別に詳細に見てみると、設備稼働率が低く、かつ浄水場数が多いのは但馬・丹波地区及び淡路地区に集中していることが分かる。一方、設備稼働率が相対的に高く、かつ浄水場数が少ないのは神戸・阪神地区及び播磨地区に集中していることが分かる。

浄水場数は、面積が大きい、あるいは同一市町内で山地があるため地勢的に分断されているといった場合には、必然的に多くなる。また、市町村合併以降、浄水場を統合していない場合にもその数が多くなる傾向がある。但馬・丹波地区はその傾向が考えられる。朝来市や丹波市、南あわじ市、淡路市はそれぞれ 2004 年から 2005 年にかけて市町村合併を実施した市であり、相対的に浄水場数が多くなっている可能性がある。

設備稼働率は、水道設備建設時の想定よりも需要がのびなかった、あるいは人口減少などにより需要が減少している可能性が考えられる。例えば、朝来市では、水道設備の建設計画が立てられたと想定される 1960 年頃には人口 47,000 人であったのに対し、2005 年には約 35,000 人と 25% 減少している<sup>68</sup>。このような人口減少に対し、設備の縮小を柔軟に調整できていないことから、稼働率が低くなるものと考えられる。

---

<sup>68</sup> 朝来市の人口は、朝来市ホームページより引用。1960 年の人口には、2005 年の市町村合併で統合された元の町の人口も計上されている。



(出典：兵庫県『平成 19 年度 地方公営企業の経営状況』より作成)

図 6-4 各市町の浄水場数と設備稼働率 (2007 年度)

表 6-3 浄水場数・設備稼働率別市町分類 (2007 年度)

浄水場数・設備稼働率	地区別対象市町			
	神戸・阪神	播磨	但馬・丹波	淡路
浄水場数 11 以上・設備稼働率 60% 以下			朝来市、丹波市	南あわじ市、淡路市
浄水場数 9 以下・設備稼働率 60% 以下	尼崎市、芦屋市、西宮市	高砂市、稲美町、上郡町、播磨町、宍粟市、赤穂市、多可町、太子町	香美町、養父市、新温泉町、豊岡市	
浄水場数 10 以上・設備稼働率 61% 以上		神河町、姫路市	篠山市	洲本市

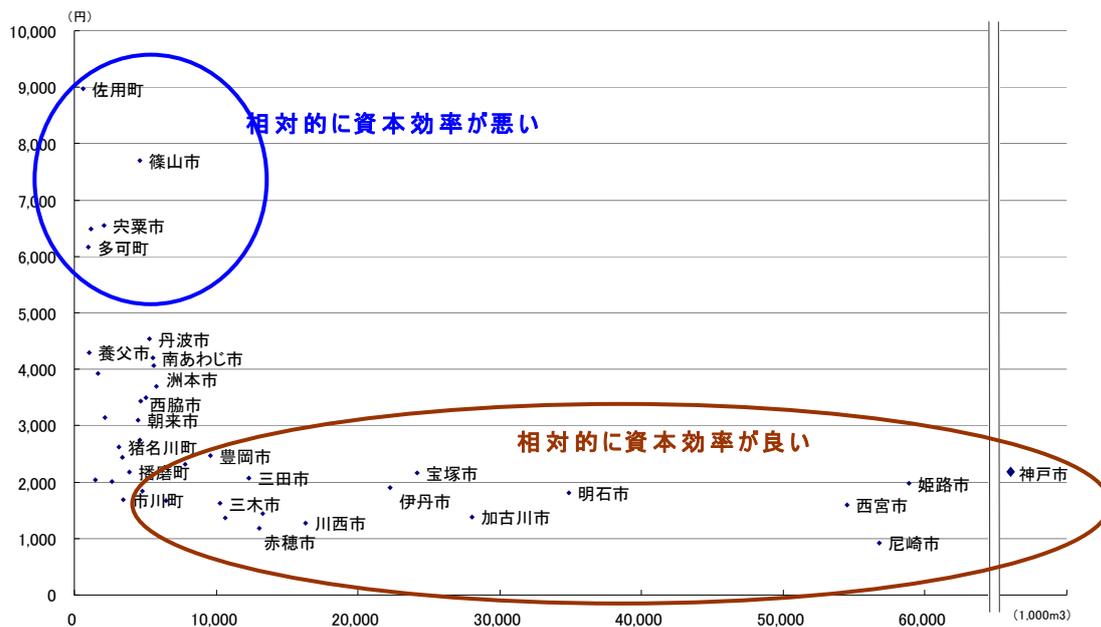
浄水場数・設備稼働率	地区別対象市町			
	神戸・阪神	播磨	但馬・丹波	淡路
浄水場数 9 以下・設備稼働率 61%以上	川西市、伊丹市、猪名川町、三田市、神戸市、宝塚市	市川町、佐用町、明石市、福崎町、三木市、たつの市、西脇市、加東市、加古川市、小野市		

#### 6.4.3 配水量 1 m<sup>3</sup>あたり資本量

図 6-5 に、各市町の配水 1 m<sup>3</sup>あたり資本量（円）を示した。横軸は年間総配水量、縦軸は各市町の水道固定資産のうち取水・浄水関連資本や配水関連資本を含む償却資産の総額を年間総配水量で除した値である。これは、配水に対する資本効率を見るもので、値が小さいほど少ない資本で配水をおこなうことができていることを意味しており、効率的な地域であると判断できる。逆に、値が大きいほど配水量 1 m<sup>3</sup>に対してより多くの資本を要しており、非効率な地域であると見なす。なお、本来は取水・浄水関連資本と配水関連資本を分けて分析すべきところであるが、兵庫県内市町を比較しようとした際には、詳細なデータを入手できる市町数が限られているため総資本額を用いている。

このような考え方をもとに図 6-5 を見ると、配水量の多少にかかわらず相対的に資本効率のよい地域は存在するが、配水量の少ない地域においてのみ、より資本効率が悪い地域が存在することが分かる。最も効率が良いのは尼崎市で約 910 円、最も効率が悪いのは佐用町で約 8,980 円であり、効率性に 10 倍程度の開きがあることが分かる。

更に表 6-4 で地区別に見ると、神戸・阪神地区及び播磨地区のうち沿岸部の地域は相対的に資本効率のよい地域に分類される。一方、播磨地区のうち山間部、但馬・丹波地区及び淡路地区は相対的に資本効率の悪い地域に分類される。これは地勢的な特性と一致しており、水道事業の資本設備の中でも特に大半の資本額を占める配水管網の資本量が影響しているものと考えられる。



(出典：兵庫県『平成 19 年度 地方公営企業の経営状況』より作成)

図 6-5 配水 1 m³あたり資本量 (2007 年度)

表 6-4 配水 1 m³あたり資本量別市町分類 (2007 年度)

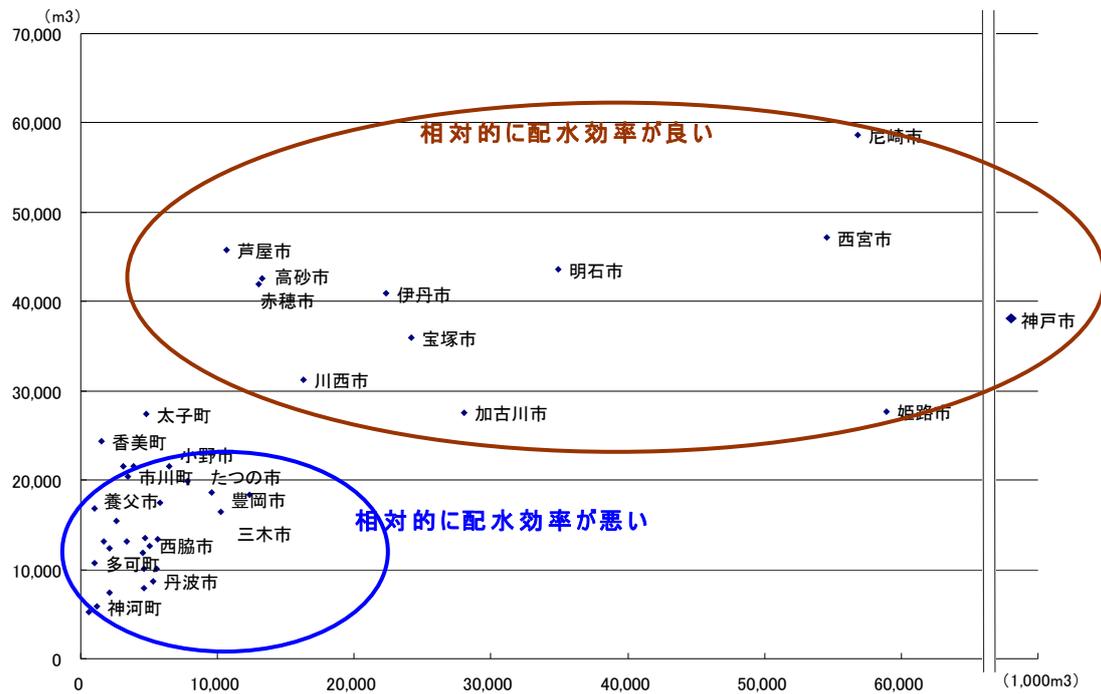
配水 1 m³あたり資本量	地区別対象市町			
	神戸・阪神	播磨	但馬・丹波	淡路
6,001 円以上		多可町、神河町、宍粟市、佐用町	篠山市	
4,001 ~ 6,000 円			養父市、丹波市	淡路市、南あわじ市
2,001 ~ 4,000 円	三田市、宝塚市、神戸市、猪名川町	福崎町、播磨町、たつの市、稲美町、加西市、上郡町、西脇市、加東市	香美町、豊岡市、朝来市、新温泉町	洲本市

配水 1 m <sup>3</sup> あたり資本量	地区別対象市町			
	神戸・阪神	播磨	但馬・丹波	淡路
2,000 円以下	尼崎市、川西市、芦屋市、西宮市、伊丹市	赤穂市、加古川市、高砂市、三木市、小野市、市川町、明石市、太子町、姫路市		

#### 6.4.4 配水管 1km あたり配水量

図 6-6 に、各市町の配水管 1km あたり配水量 (m<sup>3</sup>) を示した。横軸は年間総配水量、縦軸は各市町の年間総配水量を総配水管延長で除した値である。これは、配水管の使用効率を見るもので、値が大きいほど少ない配水管で多量の配水をおこなうことができることを意味しており、効率的な地域であると判断できる。逆に、値が小さいほど配水をおこなうためにより多くの配水管を要しており、非効率的な地域であると判断できる。6.4.3 では総資本量に対する分析であったが、ここでは資本設備のうち配水管に焦点を絞り、より詳細に分析するものである。

このような考え方をもとに図 6-6 及び表 6-5 を見ると、6.4.3 で見た傾向とほぼ一致していることが分かる。つまり、配水規模の大小にかかわらず相対的に効率的な地域は神戸・阪神地区及び播磨地区の沿岸部の市町であり、それ以外の山間部の市町は相対的に効率が悪い結果となっている。



(出典：兵庫県『平成 19 年度 地方公営企業の経営状況』より作成)

図 6-6 配水管 1km あたり配水量 (2007 年度)

表 6-5 配水管 1km あたり配水量別市町分類 (2007 年度)

配水管 1km あたり配水量	地区別対象市町			
	神戸・阪神	播磨	但馬・丹波	淡路
～1 万 m <sup>3</sup>		佐用町、神河町、宍粟市	篠山市、丹波市	
～2 万 m <sup>3</sup>	三田市	加西市、多可町、上郡町、加東市、稲美町、西脇市、福崎町、三木市、たつの市	朝来市、新温泉町、養父市、豊岡市	南あわじ市、淡路市、洲本市
～3 万 m <sup>3</sup>	猪名川町	市川町、小野市、播磨町、太子町、加古川市、姫路市	香美町	

配水管 1km あたり配水量	地区別対象市町			
	神戸・阪神	播磨	但馬・丹波	淡路
3万m <sup>3</sup> ～	川西市、宝塚市、神戸市、伊丹市、芦屋市、西宮市、尼崎市	赤穂市、高砂市、明石市		

## 6.5 需要・供給のバランス分析

6.3、6.4において需要及び供給の観点から兵庫県内市町の状況を分析した。ここでは、各地区から市町を1つ抽出し、6.3、6.4において分析した結果を合わせてどのようなことが言えるか、各市町に着目して分析する。

### 6.5.1 分析方法

6.3、6.4において示した結果を以下の指標に置き換え、レーダーチャートを用いて分析をおこなう。指標は4段階とし、いずれの項目においても1から4に指標が上がるに従い効率性や安定性などが相対的に良い結果であったことを表すものとする。なお、以下の指標のうち①と②は需要の観点、③から⑤は供給の観点からの分析結果を使用している。

#### ① 家事用割合

6.3.2において分析した水道需要における家事用の占める割合の結果を指標化する。指標に対応する内容を以下のとおりとする。

- 1：家事用の占める割合が50%以下
- 2：家事用の占める割合が51～70%
- 3：家事用の占める割合が71～80%
- 4：家事用の占める割合が81%以上

#### ② 人口増減

6.3.4において分析した2005年比で2020年に人口が増加しているか減少しているかを指標化する。指標に対応する内容を以下のとおりとする。

- 2：人口減少が予測されている
- 4：人口増加が予測されている

### ③ 浄水場数・設備稼働率

6.4.2 において分析した浄水場数と設備稼働率の関係の結果を指標化する。指標に対応する内容を以下のとおりとする。

- 1：浄水場数 11 以上・設備稼働率 60% 以下
- 2：浄水場数 9 以下・設備稼働率 60% 以下
- 3：浄水場数 10 以上・設備稼働率 61% 以上
- 4：浄水場数 9 以下・設備稼働率 61% 以上

### ④ 資本効率

6.4.3 において分析した配水量 1 m<sup>3</sup>あたり資本量の結果を指標化する。指標に対応する内容を以下のとおりとする。

- 1：6,001 円以上
- 2：4,001～6,000 円
- 3：2,001～4,000 円
- 4：2,000 円以下

### ⑤ 配水管効率

6.4.4 において分析した配水管 1km あたり配水量の結果を指標化する。指標に対応する内容を以下のとおりとする。

- 1：～1 万 m<sup>3</sup>
- 2：～2 万 m<sup>3</sup>
- 3：～3 万 m<sup>3</sup>
- 4：3 万 m<sup>3</sup>～

## 6.5.2 需要・供給バランス分析の事例

6.5.1 で設定した指標に基づき、兵庫県内における各地区から 1 市町ずつ選定し、レーダーチャートでバランス分析をおこなった。

図 6-7 に各市町のレーダーチャートの結果を示した。これによると、最も効率のよい指標でバランスしているのは西宮市（神戸・阪神地区）である。西宮市は、5 つの指標のうち、需要の観点からの指標である家事用割合及び人口増減、供給の観点からの指標である資本効率及び配水管効率の 4 つが最も効率のよい値を獲得しており、唯一、浄水場数・設備稼働率の指標が相対的に悪い値となっている。第 3 章の分析では、西宮市における需要減少からくる設備稼働率の低さは、節水技術の普及や世帯当たり人員数の減少が原因と考えられた。

しかし、兵庫県内において数少ない人口増加地域ということもあり、今後、設備稼働率が改善される可能性もある。また、第 5 章の分析では、西宮市における配水設備資本の限界生産性は負の値を示しており非効率が発生しているものと考えられたが、兵庫県内の他市町との相対比較においては効率性が高いという結論となった。もちろん、第 5 章の時系列での分析と本章における 2007 年度単年度での結果を単純に比較することはできないが、西宮市を基準として考えた場合には、少なくとも西宮市以上に他地域においては効率性や安定性の面で課題を抱えている可能性が示唆される。

次に相対的に指標の値が高いのは赤穂市（播磨地区）である。赤穂市は、需要の観点からの指標が相対的に低く、一方、供給の観点のうち資本効率及び配水管効率は高い結果を示している。需要については 6.3.3 で考察したとおり家事用需要が低い地域である。供給については、赤穂市は市の面積が狭く、また播磨灘沿岸の低地地形であることから、配水に必要な資本設備を効率的に配置できていると考えられる。

丹波市（但馬・丹波地区）及び淡路市（淡路地区）の両市は、全体的に指標の値が低く、需要面、供給面共に効率性、安定性に課題がある地域と考えられる。淡路市の場合は、唯一、家事用需要が相対的に高いため指標の値も高く出ているが、資本効率、配水管効率が低く更に人口減少が予想されている中では、設備稼働率が更に低くなる可能性が予想される。

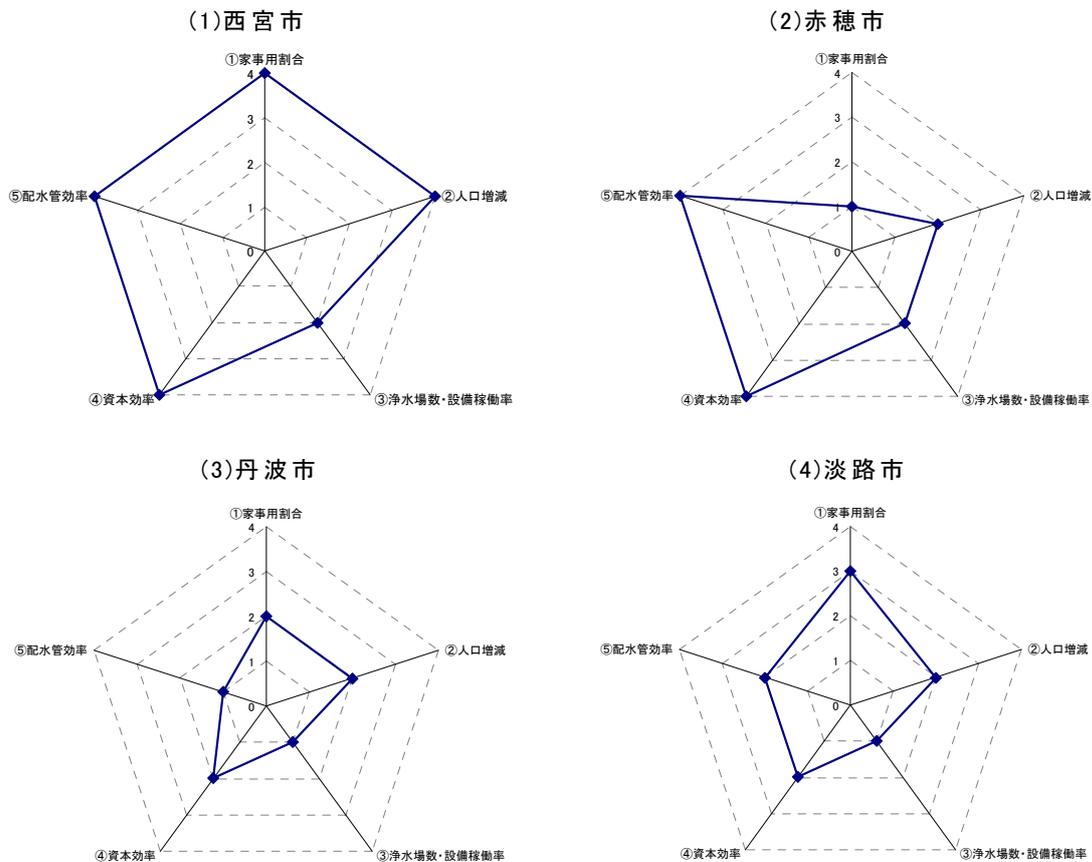


図 6-7 市町の需要・供給バランス分析

## 6.6 おわりに

本章では、第3章から第5章まで分析した水道事業における需要及び供給の観点を用い、兵庫県内市町を対象に相対的な効率性や安定性の比較、指標化をおこなった。本分析の結果より、兵庫県内市町の水道事業民営化の可能性について以下のことが言える。

- (1) 需要の面からは、家事用の需要割合が多く、かつ今後も人口増加が予測されている宝塚市、猪名川町、三田市、西宮市、芦屋市については、今後も安定需要が見込め、民間事業者にとって魅力のある市場と言える。
- (2) 供給の面からは、民間事業者にとっては投資に対する収益性をいかに高く確保できるかが経営指標として重要である。よって、資本効率及び配水管効率がよい川西市、伊丹市、芦屋市、西宮市、尼崎市、赤穂市、高砂市、明石市が魅力のある市場と言える。

- (3) よって、需要、供給の両面から条件の合致する市町は、西宮市と芦屋市の2市となる。

ただし、本結論は各市町のデータを相対的に比較した中でより効率的、安定的であった地域を選定しているものであり、絶対的な観点では、第3章から第5章の分析結果を参照しなければならない。第3章から第5章では西宮市を事例に分析をおこなっており、供給面については必ずしも効率的とはいえない結論が出ている。特に、資本設備の縮小方向に対する柔軟性がないため過剰な資本設備を抱えており、よって、設備稼働率が低い結果が出ている。本章でも、多くの市町において設備稼働率が低い結果が出ており、水道事業における共通の課題と言える。このようなことから、第5章において考察した取水・浄水設備資本及び配水設備資本の調整手法の開発が、水道事業の民営化においては鍵となることが本章でも明らかになった。

また、本章では、水道事業者として各市町を単位として分析をおこなっているが、民営化可能かどうかの判断は、第4章で分析したとおり更に市町の中の浄水場を中心とする配水系統単位で検討することが望ましい。西宮市のように、ひとつの市の中に沿岸の人口密集地域と山間部の住宅地域がある場合、両者の供給構造や費用構造は全く異なるものとなる。このような観点を取り入れることで、市町の中でも民営化可能な地域とそうでない地域を分けて取り扱うことが可能となる。あるいは、市町の境界を超えた広域単位で検討してみる必要がある。本章では民間事業者にとって参入可能性の高い地域として西宮市と芦屋市を導き出したが、両市は地勢的にも隣り合っており広域で水道事業をおこなうことで更に効率性を改善できる可能性もある。このように民間事業者が水道事業を実施する際には、既存の市町の単位を変化させる視点も取り入れていく必要があると考える。

## 第7章 今後の課題

本章では、第6章までの分析において積み残した課題と、本研究を今後発展させるために更に検討が求められる課題を示す。

### 7.1 本研究における課題の整理

第3章から第6章では、水道事業の需要構造、供給構造の経済学観点からの分析、分析結果を用いた兵庫県内市町の水道事業民営化の可能性を検討した。特に供給構造の分析では、生産関数の推定にあたり入手可能なデータや定式化の方法など、いくつか課題を残す結果となった。これらのうち、特に今後の水道事業の研究において改善が必要と思われる点を以下に整理しておく。

#### (1) 質を考慮した産出量の計測方法

第4章及び第5章では、水道事業の生産関数を推定し、規模の経済性や限界生産性などの値を求めた。このとき、浄水や配水などの産出量には水質を考慮した値とする必要があるため、本研究では総費用を代理変数として用いた。これは、資本設備の改良や薬剤投入量の変化などの費用の増分が水質にあらわれると考えたためである。

しかし本来は、水質が何によって決まっているのかを明らかにした上で代理変数を用いる必要がある。先行研究では、水源種類（ダム、表流水、地下水等）が水質に影響を与えるものとして、ヘドニック関数により産出を代理する方法を採用している場合もある。一方、水源種類以外にも浄水設備としてどのような技術（急速ろ過設備、オゾンなどを使用する高度浄水設備など）を採用しているか、投入する薬剤の種類に変化があったか、また浄水技術と薬剤種類の関係は補完的か代替的かなど、水質を左右する変数は多数あり、これらの関係の定式化に成功している研究は存在しない。

このような技術情報を工学的生産関数として定式化することができれば、今後の水道事業の実証分析において精度が高まるものと思われる。

#### (2) 資本設備の計測方法

第4章及び第5章では、水道事業の生産関数を推定するために水道設備資本を取水・浄水関連資本、配水関連資本及び機械・装置資本に分類し、その量を測る方法として固定資産額を採用した。

しかし、現在入手可能な固定資産額は、資本設備取得時の簿価から減価償却分を差し引いた金額であり、資本設備本来の能力を表す値とは必ずしもいえない

い。電力分野で採用されているような出力の能力で測る方法、つまり浄水能力や配水能力で資本設備を測る方法も考えられるが、同じ浄水量、配水量であっても、(1)で見たとおり水質を向上させるために付加的な機能を備えている場合が多く、単純に浄水量、配水量だけで測ることもできない。

地方公共団体においては、公会計制度の制定により、固定資産を簿価ではなく時価で評価して計上する方向性が出ている。また、設備台帳と公会計台帳をリンクさせることにより、より細かな設備ごとの資産価値を把握することができる時代もそう遠くないであろう。このような資産データの精緻化を待って、再度推定を行うことが求められる。

### (3) 水道事業の生産関数の定式化

第5章では、水道事業をオペレーションサービス工程、水道生成工程及び水道配送工程の3段階に分けて、かつ、各工程における投入要素間の代替性、補完性を分析することで、生産関数を仮説として提示した。本研究では、オペレーションサービス工程はCES型、水道生成工程及び水道配送工程はレオンチェフ型を仮説として提示し、一部、実証分析をおこなうことにより裏付けをおこなっている。しかし、本研究では、より汎用的な推定モデル、例えばトランスログ型生産関数から結果的にCES型やレオンチェフ型を求めたわけではないため、裏付けは弱い。これは、推定に用いるサンプル数の制約や(1)及び(2)のデータが抱える課題から、トランスログ型生産関数を採用しなかったためである。

水道事業の実証分析は、生産関数を使用したものは少なく、費用関数が圧倒的に多い。しかし、供給構造を正しく捉えるためには、生産活動の結果としてあらわれる費用ではなく、生産活動をどのように計画し、その計画をどのように実行しようとしているのかに注目すべきである。本研究以外にも、水道事業の生産関数にかかわる研究が増えることにより、供給構造の解明が進むことを期待したい。

## 7.2 本研究を発展させるための検討課題

### 7.2.1 参入障壁の研究

本研究では、水道事業の需要構造及び供給構造を詳細に分析することにより、民間事業者の水道事業の実施可能性を分析した。その結果、家事用などの安定的な水道需要があり、資本効率のよい地域であれば、相対的に民間事業者が実

施できる可能性が考えられた。しかし、水道事業の民営化の可能性が明らかになつたからといって、自動的に民間事業者がその市場に参入するとは限らない。特に、日本における水道事業はこれまで公共サービスとして実施してきた経緯があるため、民間事業者側に事業実施ノウハウが蓄積されておらず、すぐに参入できる民間事業者はそれほど多くない。また、水道事業は初期設備投資及び維持更新投資が巨額であることが明らかであるため、リスクを取れない民間事業者にはハードルの高い市場となる。このようなことから、民間事業者側の参入意識が高くない可能性が考えられる。

そこで、水道市場の環境にかかわる分析、つまり参入障壁にかかわる分析が次のステップとして求められる。

民間事業者が水道市場に参入する場合、水道事業者がいない市場にあらたな市場をつくる方法と、公営事業者が既存に存在する市場に参入する方法の2種類が考えられる。日本においては、既に公営事業者が水道事業を実施しているため、ここでは後者を想定する。

Stigler[1968]は参入障壁を「その市場の既存事業者は負わないが、新規に参入しようとする事業者が負う費用」<sup>69</sup>と定義しており、これを公営事業者が既に存在する水道市場に民間事業者が参入する場面をあてはめると、以下のように考えることができる。

表 7-1 水道事業における参入障壁

参入障壁の種類	参入可能	参入不可能	水道事業に民間事業者が参入する場合の参入可否を考える視点
絶対的費用優位性	なし	あり	①既存公営事業者には人的資本蓄積がある。 ②既存公営事業者は資本コストが割安で資金調達できる。
サンクコスト	なし	あり	③水道事業を実施するためには初期及び維持更新において巨額の資本設備が必要。

ひとつめの参入障壁の種類として、絶対的費用優位性がある。これは、新規参入事業者が市場に参入するにあたり、既存事業者と比較した際に費用面で絶

<sup>69</sup> Stigler[1968], p.67 を参照。

対的な差がある場合を指す。この優位性が既存事業者に存在しなければ新規参入は可能であり、逆に優位性が既存事業者に存在する場合は新規参入は不可能となる。

この考え方を水道事業に当てはめると、新規参入民間事業者と比較し既存公営事業者には2つの優位性があると考えられる。ひとつは、人的資本の蓄積である。日本においてはこれまで水道事業を地方公共団体が実施してきたため、民間事業者側には事業運営のノウハウがない。近年、ようやく料金徴収や水道管工事などの一部の業務を民間事業者に委託する方法が採られているが、従来はこれらの業務もすべて地方公共団体の職員が実施してきた。そのため、新規に参入する民間事業者は、水道事業を実施できる人材を育成するところから始めなければならない。この費用が、新規参入民間事業者にとっての障壁となる。一方、このような人的資本に関しては、例えばフランスにおいては水道事業が民営化された場合に、それまで水道事業に従事していた公務員は身分を保持したまま民間事業者に出向する形態を取ることができる<sup>70</sup>。このような制度が日本においても導入されれば、この障壁を小さくすることが可能となる。

もうひとつは資金調達の費用格差である。地方公共団体が水道事業を実施する場合、資本設備などのための資金は地方債を発行することにより調達する。この調達費用は企業債や株式と比較すると安く設定されていることが一般的であり、新規参入民間事業者にとっては障壁となる。ただし、第1章や第2章で見たとおり、近年は地方公共団体の財政難や巨額の債務残高を背景に債権の格下げが起きる傾向にあり、必ずしも地方債が割安であるとは言い切れなくなった。このようなことから、この障壁についても、小さくできる可能性がある。

二つ目の参入障壁としてサunkコストがある。これは、巨額の設備投資を要する市場で、かつその投資費用がサunkコストとなる可能性が高いような市場の場合、既存事業者は既に投資が完了しており費用がサunkしてしまっているが、新規参入事業者はこれからその費用を負わなければならないため障壁になるというものである。

水道事業では、取水・浄水から配水にかけて巨大な設備投資が必要となり、また、これらの設備は他の用途に転用できないためサunkコストとなる。本研究においても、この設備投資をいかに柔軟に調整できるものとするかが最大の課題とされた。これについては第4章の最後に若干触れているが、水道事業の小規模分散化による対応が可能性として考えられる。現行の地方公共団体が実施する数万世帯を対象とした大規模な浄水場及び配水ネットワークを構築する

---

<sup>70</sup> 竹内[2004]を参照。

のではなく、数百世帯程度の集落を対象とした小規模水道を構築する方法である。この場合、浄水場設備が小規模で済み、場合によっては近年注目を集めている膜処理技術を使った無人浄水設備により給水することも可能となる。無人浄水設備はパッケージ製品として設置可能なため、例えば浄水設備の買い替えや集落の人口減少による浄水設備の撤去の場面でも、中古市場を創設することでサンクコストをなくすことができる可能性がある。また、集落内で下水再生水を循環させて浄水を配水するコミュニティ水道が構築されれば、巨大な配水ネットワークを保有する必要がなくなり、配水設備に関わるサンクコストも小さく抑えることが可能となる。

以上のとおり、民間事業者が水道事業を実施するにあたっていくつかの参入障壁が考えられたが、いずれも近年の社会情勢や技術動向を踏まえると解決できる可能性がある。水道事業の民営化の可能性を現実社会において具現化していくためにも、本課題を引き続き研究していきたい。

## 7.2.2 市場設計の研究

民間事業者にとっての参入障壁が解消され、水道事業に民間事業者が参入できる段階になると、今度はどのような市場とするかその設計が課題となる。水道事業の競争市場を創設するにあたり、以下のような観点からの研究が求められる。

### (1) 構造分離に関する市場設計

水道事業では、広域にわたる配水管ネットワークを必要とする。一度このネットワークが敷設されると、例えば、水道供給する民間事業者が変わったからといってネットワークを再度敷設するのは経済的にも非効率であり現実的でない。7.2.1 で見たコミュニティ水道の場合でも、最低限の配水管ネットワークは必要となるため状況は同じである。この場合、配水管ネットワークを管理する中立的な立場の事業者と、このネットワークを使用する複数の競争的な民間事業者により、水道事業を構成する可能性が考えられる。

同じような産業構造を持つ電力市場では、電力系統を管理し、発電事業者に対して電力のリアルタイム取引市場を提供する中間法人が存在する<sup>71</sup>。発電事業は自由競争であり、従来の電力事業者に加えて、太陽光発電や風力発電をスポットで実施している事業者や、近年注目を集めているスマートグリッドのよ

---

<sup>71</sup> 日本においては、電力系統の管理機関として一般社団法人電力系統利用協議会、電力取引所として一般社団法人日本卸売電力取引所がある。

うに一般家庭で太陽光パネル等により発電し、余った電力を市場で売買する仕組みが構築されつつある。

水道事業において、このような制度を導入するには以下のような研究が必要となる。

(a) 配水系統と水道生成事業の分離

現行では各工程が垂直統合されているため、まずは構造分離する必要がある。本研究の第5章では取水・浄水事業を実施する水道生成工程と、浄水を配水する配水工程に構造を分離し生産関数を推定した結果、水道生成工程には規模の経済性が認められなかった。このことから、本工程を競争市場化することが考えられる。ただし、OFWAT[2007]においても触れられているが、水道生成工程のうち取水工程は競争の導入により水源の独占による水の高額転売などの弊害も起きる可能性があるため、取水工程と浄水工程を更に分けて市場を形成するなど、経済性や外部性の観点から検証が求められる。

(b) 配水系統を管理する中立機関の設置

水道生成事業を自由化する場合には、参入するこれらの事業者に公平に配水系統を使用させるための中立的な機関が必要となる。

(c) 水道売買のルールと取引市場の設置

水道生成事業者と需要家、水道生成事業者間での取引など、水道を売買するルールと取引市場の設置が必要となる。(b)の配水系統と合わせて取引市場にも中立性が求められる。この中立性を担保するためには、人為的な判断を可能な限り排除し、需要と供給で価格が自動的に決まる仕組みが求められる。

また、飲料水などに使用する上水道以外にも、使用済みの上水から生成する中水や下水再生水など、品質ごとに取引市場を設計する必要性もある。この際、第1章の先行研究調査で見た水質に関わる外部不経済をどのようにして価格に取り込むかなど、取引される財が均質な電力と比較し、水道事業の特性を踏まえた市場設計が求められる。

(2) 公共調達に関する市場設計

(1) で想定する民間事業者による競争市場の創設以外に、地方公共団体から契約により、単一または複数の民間事業者に水道事業を包括委託する方法が

考えられる。この際、民間事業者間の競争市場を入札とするか、または特定事業者への随意契約とするかなど、公共調達にかかわる市場設計方法を研究する必要がある。

Chong, Staropoli and Billon[2010]では、EUにおけるインフラ事業の地方公共団体から民間事業者への調達・契約方法に関するデータ分析を行い、以下のような結果を得ている。

(a) 道路や橋梁、公共施設、鉄道などのインフラ事業の70%以上が一般競争入札 (open auction) で調達されており、次に指名競争入札、交渉による契約 (随意契約) と続く。一般競争入札の割合が圧倒的に高いのは、競争者間の公平性、透明性を確保でき、行政機関と民間事業者の間の汚職を防ぐことが可能であるためである。

一方で、落札した事業者が適正価格ではなく低額で入札している場合が多く、その結果、落札後に契約内容の再交渉を行うことになる事例も出てきており、悪質なケースでは、落札後の再交渉を見越して低額で入札する事例もある。このように、一般競争入札についても、必ずしも透明性の高い調達方法とは言えない事例も出てきている。

(b) 契約に関する人材や経験が豊富な行政機関 (例えば、中央政府) は、より一般競争入札を選択する傾向にある。これは、このような行政機関は入札時に提示する仕様書をより詳細かつ明確に記載する能力があるため、応札する民間事業者が実施する見積りのブレ幅を小さくできるためである。

(c) 事業規模が大きく、また事業期間が長いような複雑な事業の場合、より一般競争入札を選択する傾向にある。これは、規模の大きい事業ほど外部監査の対象になりやすく、より透明性の高い調達方法を選択する方が、リスクが小さいためである。

(d) 潜在的な競争事業者が少ない地域の場合、一般競争入札よりは交渉による契約を選択する傾向にある。これは、市場において応札可能な民間事業者が既に寡占状態で少数に集中しており、多数の潜在競争事業者を獲得できる一般競争入札を採用する利点がないためである。

水道事業の特性として、事業規模が大きく、また単一地域に対して潜在的な競争事業者が必ずしも多くないと言える。このような特性の事業に対しては上

記の先行研究の結論に従うと、事業規模の観点を優先する場合は一般競争入札、潜在的競争事業者の数の観点を優先する場合は交渉による契約が選択される。

一方、一般競争入札や交渉による契約以外にも、公共調達的方式として入札価格と企画力から評価を行う「総合評価方式」や、社会的便益から総費用を差し引いた金額が最も高い事業者を選定する「ベスト・バリュー方式」など、様々な手法が開発されつつある。

調達を行う地方公共団体にとってリスクが小さく、また民間事業者にとって参加しやすい調達方式の研究は、安定的で継続運営が求められる水道事業にとって、民間事業者の参入が本格化する際に確立していなければならない制度である。このような観点から、本課題を引き続き研究していきたい。

【参考文献】

- Bhattacharyya.A., T.R.Harris, R.Narayanan and K.Raffiee, "Allocative efficiency of rural Nevada water systems: a hedonic shadow cost function approach," *Journal of Regional Science*, Vol.35, No.3, 1995, pp.485-501.
- Billings R. B. and Agthe D. E., Price elasticities for water: a case of increasing block rates, *Land Economics*, 56, 1980, pp.73-84.
- BIPE and FP2E (Federation of Professional water companies), Les services collectifs d'eau et d'assainissement en France (The water utilities and sanitation in France), January 2008.
- Caves,D.W. Christensen,L.R. and M.W.Tretheway, "Economies of density versus economies of scale: why trunk and local service airline costs differ," *Rand Journal of Economics*, Vol.15, No.4, 1984, pp.471-489.
- Chakravorty, U., Hochman, E., Umetsu, C., Zilberman, D., Privatizing Water Distribution, *Emory Economics*, No.0403, 2004.
- Chenery,H.B., "Engineering Production Function," *The Quarterly Journal of Economics*, Vol.63, No.4, 1949, pp.507-531.
- Chong E., Huet F., Saussier S. and Steiner F., Public-Private Partnerships and prices: Evidence from water distribution in France, *Review of Industrial Organization*, Vol.29, pp.149-169, 2006.
- Chong E., Staropoli C., and Billion A. Y., Auction versus Negotiation in Public Procurement: Looking for Empirical Evidence, *unpublished*, 2010.
- Christensen,L.R., D.W.Jorgenson, L.J.Lau, "Transcendental Logarithmic Production Frontiers," *The Review of Economics and Statistics*, Vol.55, No.1, 1973, pp.28-45.
- Christensen,L.R. and W.H.Greene, "Economies of Scale in U.S. Electric Power Generation," *Journal of Political Economy*, Vol.84, No.4, 1976, pp.655-678.
- David B., Baron P. Myerson R.B., Regulating a monopolist with unknown costs, *Econometrica*, Vol.50, No.4, pp.911-930, 1982.
- Feigenbaum,S. and Teeple,R., "Public Versus Private Water Delivery: A Hedonic Cost Approach," *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 65, No. 4, 1983, pp. 672-678.
- Foster H. S. Jr. and Beattie B., Urban residential demand for water in the

- United States: reply, *Land Economics*, 57, 1981, pp.257-265.
- Garcia S., Moreaux M. and Reynaud A., Measuring economies of vertical integration in network industries: An application to the water sector, *International Journal of Industrial Organization*, Vol.25, Issue 4, 2007, pp.791-820.
- Garcia S. and Thomas A., The structure of municipal water supply costs: Application to a panel of French local communities, *Journal of Productivity Analysis*, Vol.16, No.1, 2001, pp.5-29.
- Gispert C., The economic analysis of industrial water demand: a review, *Environment and Planning C: Government and Policy*, 22, 2004, pp.15-30.
- Kim E. and Lee H., Spatial integration of urban water services and economies of scale, *Review of Urban and Regional Development Studies*, Vol.10, Issue 1, 1998, pp.3-18.
- Kim, H.Y., "Economies of scale in multi-product firms: an empirical analysis," *Economica*, Vol.54, No.214, 1987, pp.185-206.
- Laffont J.J., Tirole J., Using cost observation to regulate firms, *The Journal of Political Economy*, Vol.94, No.3, Part1, 1986, pp.614-641.
- Leontief, W., Introduction to a theory of the internal structure of functional relationships, *Econometrica*, Vol.15, 1947, pp.361-373.
- Lobina E. and Hall D., UK water privatization – a briefing, Public Services International Research Unit (PSIRU), February 2001.
- Menard C. and Saussier S., Contractual choice and performance The case of water supply in France, *Revue d'économie industrielle*, Vol.92, 2000, pp. 385-404.
- Marin P., Public-Private Partnerships for Urban Water Utilities – A Review of Experiences in Developing Countries –, The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, 2009.
- Menard C., Saussier S., Contractual choice and performance the case of water supply in France, *Revue D' Ecnomie Industrielle*, Vol.92, 2000, pp.385-404.
- Nauges C. and Van den Berg C., Economies of density, scale and scope in the water supply and sewerage sector: a study of four developing and transition economies, *Journal of Regulatory Economics*, Vol.34, No.2, 2008, pp.144-163.

- OECD, Restructuring Public Utilities for Competition, 2001.
- OFWAT, Consultation on market competition in the water and sewerage industries in England and Wales, July 2007.
- OFWAT, Future water and sewerage charges 2010-15: Final determinations, January 2010.
- PPIAF, Private Participation in Infrastructure Database,  
<http://ppi.worldbank.org/index.aspx> .
- Renzetti S., The Economics of Water Demands, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- Rogers P., Bhatia R., Huber A., Water as a social and economic good: How to put the principle into practice, *TAC Background Papers No.2*, Global Water Partnership Technical Advisory Committee (TAC), 1998.
- Rosegrant M.W., Binswanger H.P., Markets in tradable water rights: Potential for efficiency gains in developing country water resource allocation, *World Development*, Vol.22, No.11, 1994, pp.1613-1625.
- Spulber, N., Sabbaghi, A., Economics of Water Resources: From Regulation to Privatization, Kluwer Academic Publishers, 1994.
- Stigler G. J., The Organization of Industry, The University of Chicago Press, 1968.
- Stone & Webster Consultants, Investigation into evidence for economies of scale in the water and sewerage industry in England and Wales, January 2004.
- Williams M., Suh B., The demand for urban water by customer class, *Applied Economics*, Vol.18, 1986, pp.1275-1289.
- Wong S. T., A Model on Municipal Water Demand: A Case Study of Northeastern Illinois, *Land Economics*, Vol.48, No.1, 1972, pp.34-44.
- 21世紀政策研究所, 地域主権時代の自治体財務のあり方～公的セクターの資金生産性の向上～, 第70回経団連シンポジウム, 2010年3月2日.
- 池見哲司, 『水戦争 琵琶湖現代史』, 緑風出版, 1982年.
- 浦上拓也, 日本の水道事業の需要・供給に関わる計量分析, 神戸大学大学院経営学研究科博士論文, 2001年.
- 大瀧雅寛, 環境問題の歴史(その3 ～水の使い方～, 『生活工学研究』, 第8巻, 第2号, 2006年, pp.186-187.
- 株式会社日本格付研究所, 地方債格付け見直しについて, 2004年1月28日.
- 衣笠達夫, 地方公営企業の生産関数の推定, 『地域学研究』, Vol.38, No.3, 2008

- 年, pp.599-614.
- 衣笠達夫, ネットワーク資本と外部性を含む Dynamic Factor Demand モデル, 『地域学研究』, Vol.34, No.2, 2005 年, pp.165-181.
- 黒田昌裕, 『実証経済学入門』, 日本評論社, 1984 年.
- 近藤学, オーストラリアの環境用水と水利権取引市場, 『環境技術』, Vol.37, No.10, pp.722-728, 2008 年.
- 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 年.
- 桑原秀史, 水道事業の産業組織－規模の経済性と効率性の計測－, 『公益事業研究』, 第 50 巻, 第 1 号, 1998 年, pp.45-54.
- 国土交通省, 『日本の水資源』,  
<http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/hakusyo/index5.html>.
- 国立社会保障・人口問題研究所, 『日本の市区町村別将来推計人口』, 平成 20 年 12 月推計.  
<http://www.ipss.go.jp/pp-shicyoson/j/shicyoson08/t-page.asp>
- 持続可能な水供給システム研究会編, 『水供給－これからの 50 年－』, 技術堂出版, 2007 年.
- 自治大学校地方行政研究会監修, 『シリーズ市町村の実務と課題 水道課』, ぎょうせい, 1994 年.
- 社団法人関西経済連合会, 官民連携による水環境事業を中心とするアジア PPP 戦略, 近畿経済産業局・PFI/PPP 推進協議会主催『PFI/PPP セミナー』, 2010 年 3 月 12 日.
- 社団法人日本水道協会, 『水道統計』, 1965 年度～2007 年度.
- 社団法人日本水道協会, 『水道事業における民間的経営手法の導入に関する調査研究報告書』, 2006 年.
- 総務省, 「地方公共団体における行政改革の推進のための新たな指針」, 2005 年.
- 総務省自治財政局編, 『地方公営企業年鑑』, 2007 年.
- 高田しのぶ・茂野隆一, 水道事業における規模の経済性と密度の経済性, 『公益事業研究』, 第 50 巻, 第 1 号, 1998 年, pp.37-44.
- 竹内佐和子, 海外調査方向－「地域経営」の確立に向けて－, 第 50 回地方分権改革推進会議小委員会, 2004 年 4 月 9 日.
- 谷村喜代司, 『水資源の開発』, 山海堂, 1982 年.
- 寺尾晃洋, 『日本の水道事業』, 東洋経済新報社, 1981 年.
- 中山徳良, 水道事業の費用構造－可変費用関数によるアプローチ－, 『公益事業研究』, 第 54 巻, 第 2 号, 2002 年, pp.83-89.

- 中山徳良，一般化費用関数による配分効率性の計測と検定，『日本の水道事業の効率性分析』，多賀出版，2003年，pp.95-112.
- 西宮現代史編集委員会，『西宮現代史 第一巻Ⅱ』，2007年.
- 西宮市，『事業所・企業統計調査 平成18年度版』.
- 西宮市水道局，『水道事業年報』，1965年度～2007年度.
- 西宮市水道局，『西宮市水道70年史』，1994年.
- 日本衛生設備機器工業会/温水洗浄便座協議会，『各社節水便器の変遷』，  
<http://www.sanitary-net.com/trend/transition.html>.
- 丹羽由夏，地方債の信用力，『農林金融』，2004年1月号，pp.28-43.
- 中川暢三，公民連携で進める自治体再生，『地域開発』，Vol.529，pp.35-39. 2008年.
- 喜安朗，『パリ 都市統治の近代』，岩波新書，2009年.
- 野崎久和，発展途上国における民活インフラストラクチャー・プロジェクトの問題点，北海学園大学経済論集，第51巻第3・4号，2004年3月，pp.129-162.
- PFI/PPP推進協議会，『水道アフェルマージュ標準契約の手引き 2001年6月フランス自治体長会』，PFI/PPP推進協議会，2009年.
- 兵庫県，『工業統計調査』，1967年度～2006年度.
- 兵庫県企画県民部企画財政局市町振興課編，『平成19年度 地方公営企業の経営状況』.
- 美原融，「アフェルマージュ・コンセッションの実務事例」，PFI/PPP推進協議会・水道事業者分科会資料，2008年11月.

付録 1 第 3 章 需要関数の推定で使用したデータ

西暦	1 世帯あたり水道需要量 (m <sup>3</sup> )	水道価格 (円)	1 世帯あたり所得 (円)	1 世帯あたり人員数 (人)	節水技術普及状況 (トイレ水使用量 l)	気象条件 (真夏日数)
1965	402.7	128.5	4,685,171	3.7	16.0	38
1966	352.1	119.9	4,889,677	3.6	16.0	53
1967	370.0	111.4	5,338,630	3.6	16.0	63
1968	367.1	129.4	5,181,308	3.5	16.0	31
1969	389.4	113.7	5,703,712	3.5	16.0	48
1970	399.6	99.7	6,076,366	3.5	16.0	53
1971	410.9	87.9	6,139,342	3.4	16.0	41
1972	418.9	79.0	5,612,507	3.3	16.0	42
1973	402.5	65.3	5,767,123	3.3	16.0	60
1974	398.3	48.4	5,063,164	3.3	16.0	39
1975	404.4	47.4	4,843,884	3.2	16.0	54
1976	387.3	86.5	5,296,705	3.2	14.5	37
1977	375.5	87.0	5,479,844	3.2	14.5	57
1978	380.2	82.5	5,772,390	3.2	14.5	67
1979	384.5	79.4	5,955,481	3.2	13.0	44
1980	366.1	72.9	5,358,949	2.9	13.0	26
1981	363.4	122.7	5,420,913	2.9	13.0	39
1982	359.8	123.0	5,437,467	2.8	13.0	24
1983	362.7	119.7	5,653,963	2.8	13.0	46
1984	350.4	138.9	5,871,266	2.8	13.0	58
1985	352.2	133.4	5,856,972	2.8	12.8	63
1986	351.0	133.4	6,042,918	2.8	12.8	54
1987	356.8	132.4	6,462,076	2.8	12.8	56
1988	347.3	130.1	6,799,711	2.8	12.6	40
1989	356.3	121.5	6,924,122	2.7	12.6	51
1990	352.0	136.3	7,104,927	2.7	12.6	68
1991	347.4	131.4	6,864,723	2.7	12.6	59
1992	340.3	128.6	6,679,760	2.6	12.6	48

西暦	1世帯あたり水道需要量 (m <sup>3</sup> )	水道価格 (円)	1世帯あたり所得 (円)	1世帯あたり人員数 (人)	節水技術普及状況 (トイレ水使用量 1)	気象条件 (真夏日数)
1993	336.2	127.3	6,425,202	2.6	10.5	25
1994	329.3	149.1	6,283,985	2.6	10.5	82
1995	309.0	156.9	8,103,349	2.6	9.6	53
1996	315.5	159.3	8,240,032	2.6	9.6	52
1997	306.9	156.0	7,499,900	2.5	8.7	52
1998	297.7	174.7	6,751,025	2.5	8.1	70
1999	290.1	175.7	6,359,661	2.5	8.1	68
2000	284.6	177.7	6,052,552	2.5	8.1	79
2001	276.0	179.1	5,718,056	2.4	7.7	63
2002	270.9	182.3	5,743,739	2.4	7.7	63
2003	261.1	182.7	5,762,986	2.4	7.7	48
2004	257.2	180.4	5,657,613	2.4	7.7	76
2005	253.6	178.7	5,598,220	2.4	7.7	64
2006	251.2	178.1	5,486,281	2.4	6.8	54
2007	250.7	177.1	5,399,816	2.4	5.8	62

付録 2 第 4 章 生産関数の推定で使用したデータ

(1) 鯨池浄水場

西暦	配水量 (m <sup>3</sup> )	総生産 費用 (円)	労働量 (人)	原水・浄 水に関わ る資本量 (千円)	配水に関 わる資本量 (千円)	その他資 本量 (千円)
1965	4,671,005	1,168,810	89	341,701	1,507,409	453,189
1966	6,536,345	1,424,305	107	439,839	2,123,757	757,094
1967	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1968	9,606,575	1,949,920	116	1,253,748	2,827,552	851,825
1969	10,057,915	1,718,764	108	1,113,601	3,185,977	932,282
1970	9,576,605	1,652,095	102	995,319	3,388,965	1,191,585
1971	9,958,280	1,525,562	95	1,021,835	3,563,126	1,621,701
1972	13,398,410	1,856,932	111	1,236,646	4,324,331	2,821,103
1973	15,017,240	1,951,825	139	1,325,737	4,416,793	3,688,874
1974	14,897,250	1,655,779	135	1,286,980	4,089,238	3,748,979
1975	14,826,670	2,178,126	143	1,928,052	4,595,372	4,775,927
1976	14,891,270	2,365,258	149	2,304,062	5,252,207	5,507,022
1977	14,653,750	2,371,247	146	3,438,940	5,970,387	5,276,324
1978	15,418,730	2,644,245	147	3,944,114	5,651,364	5,922,931
1979	15,809,570	2,529,554	142	3,851,577	5,976,172	5,763,773
1980	15,196,680	2,698,748	142	3,715,217	6,012,506	5,521,741
1981	14,959,780	3,398,804	139	3,619,699	6,087,311	5,373,615
1982	15,047,640	3,302,501	140	3,747,097	6,087,966	5,451,393
1983	15,368,350	3,441,205	149	3,710,552	6,447,637	5,477,218
1984	15,271,270	3,666,453	153	3,876,975	6,847,704	5,778,484
1985	14,060,180	3,686,669	151	3,809,825	7,196,889	5,820,528
1986	15,040,550	4,126,796	161	4,116,886	7,847,652	6,558,890
1987	13,546,850	3,816,432	147	3,829,088	7,344,268	6,537,753
1988	13,453,640	3,764,178	141	3,625,594	7,557,433	6,524,985
1989	13,489,450	3,919,697	146	3,619,149	7,738,701	6,974,736
1990	13,684,200	3,810,125	146	3,538,131	8,064,609	7,237,801
1991	13,050,150	3,847,696	145	3,395,444	8,173,249	7,747,086

西暦	配水量(m <sup>3</sup> )	総生産費用(円)	労働量(人)	原水・浄水に関する資本量(千円)	配水に関する資本量(千円)	その他資本量(千円)
1992	13,380,010	4,068,575	145	3,576,378	9,206,615	8,943,738
1993	12,129,570	3,906,769	140	3,446,001	8,944,062	9,272,133
1994	13,233,780	4,340,819	150	3,793,163	10,574,439	10,307,864
1995	10,853,690	4,064,216	125	3,304,256	11,304,145	9,377,032
1996	12,049,090	5,419,196	149	4,860,893	14,096,628	11,435,840
1997	10,791,870	4,833,812	137	4,464,102	14,905,993	11,279,079
1998	9,730,510	4,350,830	122	4,311,886	16,654,589	10,879,513
1999	9,436,480	4,228,166	116	4,257,005	17,903,643	11,131,744
2000	9,232,870	4,136,180	111	4,209,429	18,422,152	11,243,457
2001	9,265,230	4,272,008	108	4,336,413	20,724,297	11,745,655
2002	9,700,010	4,545,211	111	4,668,347	22,303,409	13,020,482
2003	9,379,180	4,709,211	112	4,823,476	23,392,252	13,722,215
2004	9,434,140	4,586,999	116	4,609,923	24,316,350	13,328,894
2005	9,025,270	4,399,846	110	4,461,469	22,394,767	12,946,815
2006	9,585,130	4,498,082	107	4,611,445	24,428,713	13,523,257
2007	10,356,140	4,691,313	111	4,813,418	22,738,935	14,340,949

(2) 鳴尾浄水場

西暦	配水量(m <sup>3</sup> )	総生産費用(円)	労働量(人)	原水・浄水に関する資本量(千円)	配水に関する資本量(千円)	その他資本量(千円)
1965	3,283,370	821,587	62	240,190	642,317	318,558
1966	3,163,815	689,412	52	212,897	530,849	366,460
1967	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1968	3,137,780	636,899	38	409,510	454,494	278,230
1969	3,298,180	563,615	36	365,171	510,523	305,713
1970	3,611,540	623,040	38	375,356	671,024	449,372
1971	3,768,550	577,324	36	386,697	647,981	613,707

西暦	配水量 (m <sup>3</sup> )	総生産 費用 (円)	労働量 (人)	原水・浄 水に関わ る資本量 (千円)	配水に関 わる資本 量 (千円)	その他資 本量 (千円)
1972	3,510,760	486,568	29	324,036	534,734	739,208
1973	2,564,500	333,314	24	226,397	313,456	629,950
1974	3,076,860	341,983	28	265,811	385,246	774,310
1975	3,247,830	477,126	31	422,346	534,675	1,046,182
1976	3,311,660	526,008	33	512,399	638,312	1,224,703
1977	3,093,540	500,592	31	725,992	639,446	1,113,880
1978	2,846,400	488,145	27	728,110	473,498	1,093,412
1979	3,025,310	484,054	27	737,036	454,967	1,102,952
1980	3,069,380	545,085	29	750,388	522,178	1,115,265
1981	3,275,410	744,160	30	792,525	562,229	1,176,541
1982	5,490,750	1,205,053	51	1,367,283	1,516,635	1,989,165
1983	5,912,610	1,323,922	57	1,427,547	1,784,233	2,107,230
1984	6,058,750	1,454,635	61	1,538,158	1,958,376	2,292,566
1985	5,731,470	1,502,828	61	1,553,031	2,117,878	2,372,671
1986	5,953,820	1,633,597	64	1,629,674	2,353,225	2,596,344
1987	5,889,130	1,659,091	64	1,664,593	2,365,915	2,842,113
1988	5,763,800	1,612,647	60	1,553,274	2,361,003	2,795,430
1989	5,615,460	1,631,712	61	1,506,599	2,319,438	2,903,480
1990	4,945,110	1,376,879	53	1,278,588	1,997,340	2,615,551
1991	4,696,760	1,384,789	52	1,222,023	1,992,341	2,788,183
1992	4,950,320	1,505,286	54	1,323,184	2,383,620	3,308,993
1993	4,746,330	1,528,728	55	1,348,429	2,428,595	3,628,208
1994	5,092,010	1,670,233	58	1,459,509	3,109,731	3,966,195
1995	4,968,760	1,860,576	57	1,512,670	4,000,491	4,292,754
1996	4,569,630	2,055,236	57	1,843,499	4,131,035	4,337,054
1997	4,103,210	1,837,878	52	1,697,310	4,174,935	4,288,453
1998	4,001,170	1,789,054	50	1,773,041	4,912,863	4,473,638
1999	4,298,120	1,925,842	53	1,938,977	6,120,335	5,070,277
2000	4,642,010	2,079,547	56	2,116,375	7,425,503	5,652,873
2001	4,380,930	2,019,957	51	2,050,410	8,043,429	5,553,763

西暦	配水量 (m <sup>3</sup> )	総生産費用 (円)	労働量 (人)	原水・浄水に関わる資本量 (千円)	配水に関わる資本量 (千円)	その他資本量 (千円)
2002	3,758,980	1,761,375	43	1,809,093	6,764,095	5,045,740
2003	3,376,160	1,695,143	40	1,736,274	6,357,086	4,939,493
2004	3,372,540	1,639,772	42	1,647,967	6,553,721	4,764,846
2005	3,958,290	1,929,678	48	1,956,705	7,950,925	5,678,196
2006	3,842,110	1,803,014	43	1,848,455	8,430,803	5,420,671
2007	3,837,020	1,738,163	41	1,783,404	9,133,389	5,313,419

(3) 越水浄水場

西暦	配水量 (m <sup>3</sup> )	総生産費用 (円)	労働量 (人)	原水・浄水に関わる資本量 (千円)	配水に関わる資本量 (千円)	その他資本量 (千円)
1965	1,235,085	309,051	23	90,351	36,686	119,830
1966	1,458,325	317,777	24	98,133	42,584	168,915
1967	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1968	3,211,825	651,929	39	419,173	96,696	284,796
1969	5,708,580	975,521	62	632,048	197,107	529,136
1970	6,599,050	1,138,426	70	685,855	254,740	821,098
1971	8,157,195	1,249,644	78	837,023	308,053	1,328,396
1972	8,351,100	1,157,408	69	770,789	274,876	1,758,366
1973	6,485,710	842,963	60	572,565	185,273	1,593,167
1974	5,341,590	593,700	48	461,462	142,055	1,344,242
1975	5,528,730	812,203	53	718,953	161,526	1,780,900
1976	4,475,070	710,799	45	692,408	146,423	1,654,950
1977	4,657,510	753,671	47	1,093,024	189,586	1,677,013
1978	4,766,410	817,419	46	1,219,249	171,460	1,830,963
1979	5,318,440	850,958	48	1,295,695	198,180	1,938,970
1980	5,254,400	933,118	49	1,284,572	204,431	1,909,196
1981	4,584,750	1,041,637	43	1,109,336	174,830	1,646,861

西暦	配水量(m <sup>3</sup> )	総生産 費用 (円)	労働量 (人)	原水・浄 水に関わ る資本量 (千円)	配水に関 わる資本 量 (千円)	その他資 本量 (千円)
1982	3,570,450	783,606	33	889,098	129,856	1,293,487
1983	4,473,350	1,001,650	43	1,080,051	178,504	1,594,284
1984	2,826,480	678,605	28	717,569	107,514	1,069,509
1985	2,956,590	775,237	32	801,134	137,170	1,223,947
1986	1,958,500	537,369	21	536,079	80,589	854,064
1987	2,244,720	632,385	24	634,482	100,434	1,083,309
1988	2,868,900	802,686	30	773,134	143,251	1,391,410
1989	2,001,920	581,708	22	537,105	89,038	1,035,095
1990	2,328,750	648,399	25	602,112	114,344	1,231,715
1991	2,834,750	835,795	31	737,557	158,697	1,682,820
1992	2,368,470	720,201	26	633,075	136,877	1,583,181
1993	1,947,870	627,382	22	553,388	113,073	1,488,998
1994	2,298,370	753,889	26	658,776	181,736	1,790,213
1995	3,396,410	1,271,802	39	1,033,990	423,796	2,934,324
1996	838,860	377,285	10	338,416	119,926	796,165
1997	1,177,890	527,591	15	487,239	146,020	1,231,067
1998	1,233,660	551,610	16	546,672	185,535	1,379,334
1999	1,344,040	602,219	16	606,326	240,975	1,585,497
2000	1,343,490	601,862	16	612,521	286,181	1,636,054
2001	1,758,140	810,642	20	822,864	411,275	2,228,817
2002	1,494,430	700,257	17	719,228	353,869	2,005,998
2003	612,490	307,526	7	314,988	123,174	896,104
2004	1,565,390	761,112	19	764,916	493,038	2,211,640
2005	908,050	442,677	11	448,877	275,333	1,302,604
2006	1,432,160	672,080	16	689,018	446,022	2,020,574
2007	1,465,150	663,710	16	680,985	393,112	2,028,907

## (4) 丸山浄水場

西暦	配水量 (m <sup>3</sup> )	総生産 費用 (円)	労働量 (人)	原水・浄 水に関わ る資本量 (千円)	配水に関 わる資本量 (千円)	その他資 本量 (千円)
1965	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1966	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1967	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1968	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1969	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1970	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1971	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1972	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1973	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1974	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1975	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1976	263,050	41,782	3	40,701	108,175	97,280
1977	555,360	89,867	6	130,332	445,746	199,967
1978	1,471,340	252,328	14	376,369	2,042,815	565,199
1979	1,855,950	296,955	17	452,152	3,326,212	676,633
1980	2,403,460	426,826	23	587,587	5,417,063	873,302
1981	2,674,640	607,668	25	647,161	6,225,814	960,742
1982	2,788,270	611,941	26	694,323	6,453,112	1,010,122
1983	2,896,570	648,586	28	699,351	6,951,650	1,032,326
1984	2,937,780	705,327	30	745,825	7,535,631	1,111,624
1985	3,013,770	790,230	32	816,628	8,824,591	1,247,618
1986	3,177,170	871,745	34	869,652	9,483,028	1,385,502
1987	3,619,200	1,019,604	39	1,022,986	11,224,146	1,746,637
1988	3,724,940	1,042,197	39	1,003,826	11,969,729	1,806,588
1989	3,939,500	1,144,720	43	1,056,947	12,928,421	2,036,923
1990	4,199,930	1,169,397	45	1,085,917	14,159,127	2,221,413
1991	4,115,360	1,213,369	46	1,070,752	14,744,077	2,443,041
1992	3,778,620	1,148,997	41	1,009,997	14,873,299	2,525,782

西暦	配水量 (m <sup>3</sup> )	総生産 費用 (円)	労働量 (人)	原水・浄 水に関わ る資本量 (千円)	配水に関 わる資本量 (千円)	その他資 本量 (千円)
1993	4,129,700	1,330,120	48	1,173,245	17,419,611	3,156,841
1994	4,290,600	1,407,362	49	1,229,803	17,833,687	3,341,972
1995	4,992,040	1,869,293	57	1,519,757	18,444,248	4,312,867
1996	5,164,100	2,322,604	64	2,083,322	18,317,906	4,901,268
1997	5,357,530	2,399,704	68	2,216,164	18,734,450	5,599,401
1998	5,468,150	2,444,989	69	2,423,104	18,522,005	6,113,843
1999	5,464,630	2,448,515	67	2,465,215	17,606,337	6,446,351
2000	5,608,700	2,512,609	68	2,557,106	17,360,774	6,830,073
2001	5,637,480	2,599,326	65	2,638,514	16,560,329	7,146,708
2002	5,707,700	2,674,502	66	2,746,958	17,951,544	7,661,539
2003	5,771,970	2,898,060	69	2,968,379	18,387,523	8,444,684
2004	5,635,370	2,739,988	70	2,753,682	17,177,649	7,961,854
2005	5,736,770	2,796,693	70	2,835,862	17,965,704	8,229,438
2006	5,581,710	2,619,369	62	2,685,383	16,196,887	7,875,000
2007	6,002,010	2,718,900	64	2,789,667	19,079,341	8,311,448

付録3 第5章 生産関数の推定で使したデータ

(1) オペレーションサービス生産関数

西暦	オペレーション費 (千円)	労働量 (人時間)	賃金率 (円)	機械・装置資本 (千円)	資本コスト (%)
1965	139,361	400,680	172	958,861	7.30
1966	1,437,864	381,982	3,583	975,614	7.00
1967	NA	NA	NA	NA	7.00
1968	1,560,930	409,240	3,614	1,171,488	7.00
1969	1,628,855	410,626	3,772	1,144,261	7.00
1970	1,745,878	417,667	3,998	1,132,919	6.70
1971	1,796,888	416,268	4,129	1,158,715	6.70
1972	1,794,831	408,517	4,204	1,148,753	6.70
1973	1,793,955	414,408	4,142	1,000,623	7.70
1974	1,903,720	402,318	4,431	1,478,559	8.20
1975	2,008,651	401,292	4,684	1,676,354	7.70
1976	1,957,017	400,234	4,384	2,633,566	7.70
1977	2,091,634	402,106	4,623	3,584,207	6.50
1978	2,270,240	409,205	4,786	4,985,056	6.25
1979	2,409,034	411,973	4,880	5,496,883	7.25
1980	2,485,796	407,789	5,031	5,356,843	8.10
1981	2,543,288	409,691	5,221	5,464,703	7.40
1982	2,529,762	402,268	5,291	5,424,674	7.40
1983	2,544,887	433,586	4,936	5,618,996	7.20
1984	2,681,776	438,984	5,154	5,817,930	7.20
1985	2,691,677	433,356	5,318	6,050,885	6.40
1986	2,832,646	435,269	5,702	6,497,908	5.40
1987	3,001,071	436,248	6,090	6,753,631	5.10
1988	3,042,814	430,056	6,239	7,273,252	4.95
1989	3,178,499	421,152	6,416	7,560,402	6.30
1990	3,139,816	411,244	6,374	7,740,389	6.70
1991	3,146,699	411,450	6,535	8,103,380	5.65
1992	3,171,750	404,820	6,906	8,449,502	4.45
1993	3,230,794	397,109	7,273	9,137,093	3.75

西暦	オペレーション費 (千円)	労働量 (人時間)	賃金率 (円)	機械・装置資本 (千円)	資本コスト (%)
1994	3,546,489	388,763	7,854	10,384,885	4.75
1995	3,378,524	380,390	7,959	10,972,350	3.20
1996	3,346,126	368,768	8,141	11,942,662	2.88
1997	3,220,339	357,227	8,237	12,751,805	2.18
1998	3,127,669	343,332	8,307	13,126,021	2.10
1999	3,050,715	329,280	8,419	13,924,506	2.00
2000	2,979,583	325,962	8,176	14,293,103	2.20
2001	2,930,244	314,582	8,259	15,099,858	2.20
2002	3,079,218	303,774	9,141	15,920,017	1.90
2003	3,034,439	293,100	9,299	16,254,412	1.90
2004	3,116,126	318,636	8,636	16,193,033	2.25
2005	2,994,870	306,000	8,772	15,935,308	1.95
2006	2,940,035	291,102	8,868	16,302,012	2.20
2007	2,802,504	282,576	8,648	16,308,012	2.20

(2) 水道生成工程生産関数

西暦	浄水量 (m <sup>3</sup> )	オペレーション費 (千円)	取水・浄水設備資本 (千円)
1965	16,601,105	139,361	1,214,430
1966	19,405,060	1,437,864	1,305,791
1967	NA	NA	NA
1968	24,945,225	1,560,930	3,255,586
1969	28,575,145	1,628,855	3,163,809
1970	29,446,650	1,745,878	3,060,459
1971	32,398,110	1,796,888	3,324,423
1972	36,488,905	1,794,831	3,367,851
1973	33,469,270	1,793,955	2,954,702
1974	34,203,610	1,903,720	2,954,865
1975	32,660,530	2,008,651	4,247,158
1976	31,263,440	1,957,017	4,837,258
1977	31,229,590	2,091,634	7,328,956

西暦	浄水量 (m <sup>3</sup> )	オペレーション費 (千円)	取水・浄水設備資本 (千円)
1978	32,892,790	2,270,240	8,413,982
1979	35,323,300	2,409,034	8,605,574
1980	33,852,400	2,485,796	8,276,085
1981	34,182,220	2,543,288	8,270,800
1982	33,535,360	2,529,762	8,350,844
1983	34,948,350	2,544,887	8,437,970
1984	33,339,470	2,681,776	8,464,018
1985	31,223,130	2,691,677	8,460,393
1986	31,111,800	2,832,646	8,515,894
1987	30,554,080	3,001,071	8,636,271
1988	31,467,160	3,042,814	8,480,020
1989	30,347,280	3,178,499	8,142,018
1990	30,354,750	3,139,816	7,851,682
1991	28,968,420	3,146,699	7,616,974
1992	29,152,080	3,171,750	7,989,519
1993	27,773,500	3,230,794	8,067,429
1994	27,608,880	3,546,489	8,160,170
1995	25,297,760	3,378,524	8,278,843
1996	22,393,270	3,346,126	10,013,111
1997	20,805,130	3,220,339	9,841,485
1998	19,384,370	3,127,669	10,174,627
1999	19,005,060	3,050,715	10,307,003
2000	18,568,720	2,979,583	10,329,454
2001	18,399,780	2,930,244	10,644,434
2002	18,045,160	3,079,218	10,774,750
2003	16,444,170	3,034,439	10,762,403
2004	17,013,960	3,116,126	10,498,145
2005	16,499,910	2,994,870	10,366,606
2006	16,965,950	2,940,035	10,313,283
2007	17,177,320	2,802,504	10,067,474

(3) 配水工程生産関数

西曆	配水量 (m <sup>3</sup> )	配水設備資本 (千円)
1965	7,091,912	3,138,345
1966	8,783,391	3,613,799
1967	NA	NA
1968	16,269,903	4,192,664
1969	19,865,949	4,819,028
1970	21,614,962	5,320,135
1971	22,961,525	5,459,719
1972	24,800,781	5,882,071
1973	23,064,091	5,467,574
1974	21,645,815	5,184,017
1975	20,941,032	6,008,844
1976	19,538,394	7,242,073
1977	19,886,590	8,863,033
1978	22,249,720	10,080,805
1979	24,026,460	11,474,886
1980	22,212,080	13,022,739
1981	22,517,626	13,985,974
1982	22,584,451	15,125,845
1983	23,872,162	16,317,790
1984	23,929,157	17,483,435
1985	23,479,941	19,386,838
1986	24,179,645	20,823,282
1987	24,712,354	22,178,324
1988	25,409,994	23,234,108
1989	25,309,984	24,299,870
1990	25,552,478	25,550,848
1991	24,869,546	26,323,191
1992	24,330,187	27,971,748
1993	22,941,097	30,333,324
1994	16,280,506	33,043,454

西曆	配水量 (m <sup>3</sup> )	配水設備資本 (千円)
1995	13,441,285	35,790,794
1996	16,129,292	38,330,184
1997	15,187,629	39,983,285
1998	14,203,374	42,858,839
1999	14,379,314	44,662,062
2000	14,207,335	46,151,457
2001	14,082,406	48,388,382
2002	13,827,738	50,044,740
2003	12,292,921	51,094,869
2004	12,671,977	51,410,681
2005	12,671,423	51,283,598
2006	13,178,051	51,687,064
2007	13,389,528	51,344,777