

No.50

水道事業におけるヤードスティック規制
に関する一考察

2008年1月

名古屋市立大学大学院経済学研究科
中山徳良

本研究は、名古屋市立大学大学院経済学研究科附属経済研究所のプロジェクト研究『名古屋における医療と介護・健康に関する研究』の一環として実施されたものである。

水道事業におけるヤードスティック規制に関する一考察

名古屋市立大学大学院経済学研究科

中山徳良

1. はじめに

近年、被規制産業に対して経営の効率化が求められるようになってきており、電力産業、ガス産業などで市場の自由化が進んでいる。水道事業においては、水道施設の管理（運転や保守点検など）、水質検査を含む水質管理、給水装置の検査などの管理技術上の業務を委託することが2001年の水道法の改正によりできるようになったし、PFIの導入や地方独立行政法人制度の創設ができるようになったのである。このように水道事業においても、規制緩和により経営の効率化を図ることが進められている。

水道事業の非効率性についてはAida et al.(1998)、高田・茂野(2001)、中山(2003)などの研究が行われている。それらの研究では、DEA、確率的フロンティア、一般化費用関数を用いて、技術非効率性や配分非効率性が発生していることを示している。

このような非効率性が発生している水道事業の経営の効率化を図るため、上述のような方法の他に、水道料金の算定の基礎となる費用を決める際にヤードスティック規制を導入することができるのではないだろうか。水谷(2007)にまとめられているように電力、ガス、鉄道などについてはすでに公正報酬率規制にヤードスティック規制が組み込まれており、実際に運用されている。しかし、わが国の水道事業には、現在のところヤードスティック規制は取り入られていない。

そこで本研究では、総括原価方式に換えて、わが国の水道事業にヤードスティック規制を導入し、料金算定の基礎となる費用を決める方法の1つを示すことを試みることにしたい。その際に包絡分析法（DEA）に基づくヤードスティック規制を考える。しかし、水道事業者は自ら制御できないさまざまな環境のもとで経営を行っているため、外的な環境を考慮することが必要である。これに対処するため、Freid et al.(1999)による4段階法を用いる。

ところで、DEAに基づくヤードスティック規制については、スウェーデンの電力配電事業について Agrell et al.(2005)、ブラジルの上下水道事業について Tupper and

Resende(2004)の研究がある。しかし、前者は事業者を取り巻く外的環境に配慮していない点、後者は外的環境には配慮しているが、すべての入力を比例的に削減した後に残るスラックを配慮していない点やトービットを用いて効率性を調整しているところに不明な点があり、改良の余地があるだろう。本研究では、スラックや事業者を取り巻く外的環境について考慮したものとなっている。

次節からの本稿の構成は以下のとおりである。第2節ではヤードスティック規制の導入により料金算定の基礎となる費用を決める方法について説明する。第3節では本研究で用いるデータについて説明する。第4節では効率性の計測結果と料金算定の基礎となる費用の推定値を示す。第5節では結論を述べる。

2. 分析方法

2-1. ヤードスティック規制による料金算定のため費用の決定

わが国の水道事業の料金算定は費用積み上げ方式により行われており、ヤードスティック規制は導入されていない。そこで、費用積み上げ方式に換えて、ヤードスティック規制により料金を算定するための費用を推計することを考える。

ヤードスティック規制が機能するための前提として、事業者間に同質性がなければならぬことがあげられる。わが国の水道事業を考えた場合、規模の違いや水源の違いなどが存在し、同質性があるとは思われない。そこで、次の項で示すような方法を用いて同質性をなるべく満たすような調整を行う。

そのような調整を行っても完全に同質的になるわけではない。そのため、料金を算定するための費用を横倉(1996)や Tupper and Resende(2004)で示されている以下のようなルールによって決めるものとする。

$$b = C^0 + \rho(C^E - C^0) \quad (1)$$

ここで b は料金算定の基礎となる費用、 C^0 は実際にかかった費用、 C^E は事業者が潜在的に達成できる費用を表している。 ρ については、 $\rho = 0$ のときには $b = C^0$ となり、実際にかかった費用が料金決定のときの費用になり、 $\rho = 1$ のときには $b = C^E$ となり、潜在的に達成できる費用が料金算定のときに費用になる¹。

¹ 政策当局が事業者の費用関数を正確に知ることができれば、その費用関数の値を C^E とし、 $\rho = 1$ とすればよい。

C^E をどのように決めるのかということであるが、本研究では C^E を次の項で説明するDEAによって決定する。DEAを用いる利点は評価のためのウェイトを自分に最も都合よいように決めることができるということである²。

2-2. 4段階法による効率性の計測

スラックや事業者を取り巻く外的環境を考慮するために、Freid et al.(1999)による4段階法により分析を行う。以下では彼らに従って4段階法の説明をする。

第1段階目は、通常のDEAにより、各生産要素のradialスラックと非radialスラックを求める。水道事業者は K 個の生産要素を投入し、 M 個の生産物を産出するとする。第 i 番目の事業者の投入ベクトルを x_i 、産出ベクトルを y_i とする。 x_i の次元は $K \times 1$ であり、 y_i の次元は $M \times 1$ である。事業者数を N とすれば、投入行列 X の次元は $K \times N$ であり、産出行列 Y の次元は $M \times N$ となる。ここではBanker et al. (1984)による規模に関して収穫可変なモデルであるVRS (Variable Returns to Scale) モデルを用いる。このVRSモデルは、

$$\begin{aligned}
 & \min \theta \\
 & \text{s.t. } -y_i + Y\lambda \geq 0 \\
 & \quad \theta x_i - X\lambda \geq 0 \\
 & \quad e'\lambda = 1 \\
 & \quad \lambda \geq 0
 \end{aligned} \tag{2}$$

と表せる。 e はすべての要素が1である $N \times 1$ のベクトルである。これにより得られる θ が技術効率性である。 θ はスカラーであり、この値の取り得る範囲は0と1の間である。

これにより各生産要素のradialスラックと非radialスラックを求めるのである。これらのスラックについては図1に示している。図では、AからDまでの4つの事業者が2つの生産要素(x_1, x_2)を用いて1つの産出物(y)を1単位だけ生産しているとしている。このとき最も効率的な生産を行っている事業者はAとCであり、それを結んだものがフロンティアとなる。一方、事業者BとDは非効率的な生産を行っている。事業者Bは2つの生産要素 x_1 と x_2 を $Bb/B0$ の割合だけ削減すれば、フロンティア上の b に移動でき、効率的な生産ができる。この場合、2つの生産要素を同率($Bb/B0$ という割合)で削減している。これによって削減できる生産要素の量がradialスラックである。一方、

² 詳しくは刀根(1993)の第1章を参照されたい。

事業者Dは2つの生産要素をD d / D0の割合だけ削減するとdに移動し、フロンティア上に移動することになる⁸。しかし、フロンティア上の点dでは、同じ生産量を生産するとしても生産要素 x_1 をC dだけさらに削減することができるのである。このC dが非radialスラックである。したがって、図1の場合、事業者Bについては生産要素 x_1 と x_2 にradialスラックだけが発生しているが、事業者Dについては生産要素 x_2 にはradialスラックだけが発生しており、 x_1 にはradialスラックと非radialスラックが発生していることになる。

[図1]

第2段階目は、事業者を取り巻く外的な環境を調整する。第1段階目で求めた第*i*事業者の第*r*生産要素のradialスラックと非radialスラックを加えたものを S_n として、

$$S_n = f(Z_i, \beta_r, u_n) \quad (3)$$

を推定する。ここで、 Z_i は第*i*事業者を取り巻く外的環境を表す変数、 β_r は推定するパラメーター、 u_n は攪乱項である。 S_n が効率的な事業者(図1のAとC)ではゼロ、非効率的な事業者(図のBとD)では正となるため、推定にはトービット推定が用いられる。

第3段階目は、第2段階で推定された結果に基づいて生産要素の量を調整する。(3)式の推定値は、

$$\hat{S}_n = f(Z_i, \hat{\beta}_r) \quad (4)$$

と表される。(4)式で推定されたスラックを用いて、第*i*事業者の第*r*生産要素の投入量を次のように調整する。

$$x_n^{adj} = x_n + \{\max(\hat{S}_n) - \hat{S}_n\} \quad (5)$$

第4段階目は、(5)式により調整された生産要素を用いて、改めて(2)式によりDEAを行うことによって、効率性を求める。Freid et al.(1999)による4段階法はここまでである。

しかし、本論文ではヤードスティック規制を考えているため、費用効率性を求める必要がある。したがって、第3段階で求めた調整された生産要素の投入量を用いて、次の(6)式を用いて費用効率性を求める。

⁸ したがって、これによって削減できる生産要素の量がradialスラックである。

$$\begin{aligned}
& \min w_i' x_i^{EE} \\
& \text{s.t. } -y_i + Y\lambda \geq 0 \\
& \quad x_i^{EE} - X\lambda \geq 0 \\
& \quad e'\lambda = 1 \\
& \quad \lambda \geq 0
\end{aligned} \tag{6}$$

ここで w_i は第 i 番目の事業者の投入価格ベクトルである。費用効率性は、

$$EE_i^{DEA} = w_i' x_i^{EE} / w_i' x_i \tag{7}$$

により求めることができる⁴。

3. 変数とデータ

本研究では、2005年度の東海地方（岐阜県，静岡県，愛知県，三重県）の政令指定都市である名古屋市を除く市営の水道事業者をサンプルとしている。したがって、86の事業者のデータを用いている。

ここでは水道事業は労働，資本，労働と資本以外の投入財（以下ではその他投入財とする）を生産要素として投入し，配水量を産出していると仮定する。

労働は職員数，資本は導送配水管総延長，その他投入財は費用から労働費用と資本費用を引いたものである。ただし，委託職員を考慮するために，委託費を常勤職員1人当たりの労働費用で割ることによって常勤換算した委託職員数を求め，それを常勤職員数に加えたものを職員数としている。また労働の価格は労働費用を職員数で割ることにより，資本の価格は資本費用を導送配水管総延長で割ることにより求めている。その他投入財の価格はすべての事業者が同じ価格に直面しているとして1としている。産出は年間総配水量としている。これらのデータは，地方公営企業経営研究会編「地方公営企業年鑑（第53集）」から得ている。

事業者を取り巻く外的な環境変数については，負荷率，需要者密度，有収率，受水率，事業者規模を用いている⁵。負荷率は，一日平均給水量／一日最大給水量により計算される。これはネットワークの使用効率を表しているが，需要に左右されるものであり，水道事業者が制御することは難しいものである。需要者密度は，給水人口を導送配水管延長で割っ

⁴ 費用効率性＝技術効率性×配分効率性の関係があるので，費用効率性と技術効率性が求まれば配分効率性を求めることができる。

⁵ Tupper and Resende(2004)では外的な環境要因として需要者密度，漏水率を用いている。

て求めたものである。需要者密度は都市では高く、地方では低くなると考えられるので、地理的な特性を表していると考えられる。有収率は、年間総有収水量／年間総配水量により計算される。水道事業は独立採算制とされ費用は料金収入でまかなうものとされているが、公園や消防で用いる水については水道料金でまかなう必要はなく、それを考慮したものである⁶。受水率は、1日当たり取水能力のうちの受水量を1日当たり取水能力で割ったものである。これは水源の特性を表す変数であり、水源を事業者が変更するのは容易ではないことを考慮したものである。事業者規模は計画給水人口を代理変数として用いている。事業者が計画給水人口を超えて規模を大きくすることは市町村合併が起こらない限り難しい。いずれの数値も「地方公営企業年鑑」から得ることができる。

生産要素、生産要素価格、産出、事業者を取り巻く外的な環境変数の記述統計は表1に示してある。

[表1]

4. 分析結果

4-1. 効率性の計測結果

第1段階目の効率性の計測結果は表2に示されている。本研究では、効率性の計測にあたってはZhu(2002)によるDEA Excel Solverを用いている。表を見ると技術効率性の平均値は0.7521、最小値は0.4191であることが示されている。最も効率が悪い事業者は現在使用しているよりも約58%の生産要素を削減する必要があることを示しており、かなり大きな非効率性を発生させていることになる。

[表2]

第2段階目のトービット推定の結果が表3に示されている。トービット推定はEviws 5.1により行っている。労働のスラックは需要者密度と事業者規模が有意であった⁷。資本のス

⁶ ただし、漏水を考慮していないことには注意が必要である。漏水の量を減少させ、有収率を上げることは事業者が可能なことである。しかし、「地方公営企業年鑑」では漏水の量はわからないので、本研究では漏水を考慮していない。

⁷ 受水率が低いということは取水・浄水設備のための職員が必要ないということをも意味

ラックは需要者密度，有収率，事業者規模が有意であった。その他投入財のスラックは負荷率，需要者密度，受水率，事業者規模が有意であった。

需要者密度の増加は各生産要素のスラックを減少させる。これは人口が密集している都市の方が有利な環境にあることを示唆している。また，事業者規模の増加は各生産要素のスラックを増加させることを示している。さらに，受水率の増加はその他投入財を増加させる。これは受水に係わる費用がその他投入財に含まれているためであり，水を自前の水源でまかなうことができず，用水供給事業者から購入せざるを得ない事業者は不利な立場にあることをうかがわせる。

[表 3]

第 4 段階目の DEA の結果は表 4 に示されている。これも第 1 段階目と同様に Zhu(2002) による DEA Excel Solver を用いている。効率性の平均値は表 4 において 0.8831 であり，表 1 の数値と比べて増加していることがわかる。また，標準偏差も 0.0728 であり，表 1 の数値の半分以下になっている。最小値も 0.7381 となっており，表 1 と比較して上昇している。また，費用効率性の平均値は 0.829 であり，0.171 程度の非効率性が発生していることがわかる。

[表 4]

4-2. 料金算定の基礎となる費用の推計

表 5 には料金算定の基礎となる費用の推計結果が示されている。 ρ の値が 1, 0.75, 0.5, 0.25, 0 の場合について計測している。 $\rho=0$ のときが実際の費用を用いる場合であり， $\rho=1$ のときが DEA で計算された効率的な費用を用いる場合である。表を見ると $\rho=1$ の場合には，現在の費用よりも 17.1% 削減する必要があることを示している。また，乗合バス事業で行われているような $\rho=0.5$ の場合には 8.55% の費用を削減する必要があることがわかる。

する，という指摘を受けた。そのため，有意な結果が得られていないのかもしれない。資本も同様である。

[表 5]

これらの結果から、平均値で見た場合、いずれのモデルによっても料金算定の基礎となる費用は実際の費用より小さくなっており、最大で3億5,900万円ほど費用を削減することができる。このように料金算定の基礎となる費用を決めるためにヤードスティック規制を導入することによって、費用を削減することができるのである。

問題はこのような規制を行うことができるかどうかである。 ρ の値を適切に決めれば劇的に費用を削減しなければならないということはなく、規制を導入しやすいかもしれない。しかし、どうやって ρ を決めるのかという問題は残る。また、ヤードスティック規制をするためには、すべての水道事業者を中央政府が規制する必要があるだろう。現在の日本では、各事業者が自主的に料金を決めているため、これを改める必要がある。まだ問題はあると思うが、水道事業の経営の効率化を求めるならば、このようなヤードスティック規制の導入を検討しても良いのではないだろうか。

5. 結論

本研究では、DEAに基づくヤードスティックを日本の水道事業に適用した。まず4段階法により事業者を取り巻く環境を考慮した上で効率性を計測した。その結果、技術効率性の平均値は0.8831、配分効率性の平均値は0.9381、費用効率性の平均値は0.8290であった。そして、費用効率性を用いてDEAに基づくヤードスティックによる費用支払を推計した。その結果によれば、実際の費用の平均値が19億1,400万円であるのに対して、 $\rho=1$ のときは15億5,500万円であり、実際の費用に対する比率を取ると82.9%であった。したがって、 ρ の値を適切に定めることができれば、わが国の水道事業にヤードスティック規制を導入することが可能ではないかと考えられる。

ただし、本研究にも改善する余地が残されている。事業者を取り巻く環境変数が適切なものかは考慮する余地がある。地域の産業要因なども含める必要があるかもしれない。また、水道事業者は外部環境や事業者規模が非常に異なっているため、本研究のような調整方法が適切であるかということも検討する必要があるだろう。さらに、Freid et al.(2002)による3段階法は実際の適用には困難が伴うため、本研究では4段階法を用いている。しかし、手法的にはより洗練されたものとなっており、適用の可能性を探る

必要があるだろう。

謝辞

本論文は日本経済政策学会第 41 回中部地方大会で奉公した論文を若干修正したものである。本論文を作成するに当たって、衣笠達夫先生（追手門学院大学）、田中智泰氏（大阪府立産業開発研究所）、浦上拓也先生（近畿大学）からコメントを頂いた。また、日本経済政策学会中部地方大会での報告の際には木船久雄先生（名古屋学院大学）から討論者としてコメントを頂いた。ここに記して感謝したい。言うまでもなく、ありうべき誤りはすべて筆者の責任である。

参考文献

- Agrell, P. J., Bogetoft, P., and Tind, J. (2005) "DEA and Dynamic Yardstick Competition in Scandinavian Electricity Distribution," *Journal of Productivity Analysis*, Vol.23, No.2, pp.173-201.
- Aida, K., Cooper, W. W., Pastor, J. T., and Sueyoshi, T. (1998) "Evaluating water supply services in Japan with RAM: A range-adjusted measure of inefficiency," *Omega*, Vol.26, No.2, pp.207-232.
- Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W. W. (1984) "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis," *Management Science*, Vol.30, No.9, pp.429-444.
- Fried, H. O., Lovell, C. A. K., Schmidt, S. S., and Yaisawarng, S. (2002) "Accounting for Environmental Effects and Statistical Noise in Data Envelopment Analysis," *Journal of Productivity Analysis*, Vol.17, No.1/2, pp.157-174.
- Fried, H. O., Schmidt, S. S., Yaisawarng, S. (1999) "Incorporating the Operating Environment into a Nonparametric Measure of Technical Efficiency," *Journal of Productivity Analysis*, Vol.12, No.3, pp.249-267.
- 水谷文俊(2007)「公益事業におけるヤードスティック規制」『国民経済雑誌』第 195 巻, 第 5 号, pp.1-18.

中山徳良(2003)『日本の水道事業の効率性分析』多賀出版.

高田しのぶ・茂野隆一(2001)「水道事業の効率性格差とその要因」『筑波大学農林社会経済研究』第18号, pp.31-47.

刀根薫(1993)『経営効率性の測定と改善 包絡分析法 DEAによる』日科技連.

Tupper, H. C., and Resende, M. (2004) "Efficiency and Regulation Issues in the Brazilian Water and Sewage Sector: An Empirical Study," *Utility Policy*, Vol.12, No.1, pp.29-40.

横倉尚(1996)「ヤードスティック規制の理論と政策」『公益事業研究』第48巻, 第1号, pp.21-29.

Zhu, J. (2002) *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking: Data Envelopment Analysis with Spreadsheets and DEA Excel Solver*, Boston, Kluwer Academic Press.

図1: radial スラックと非 radial スラック

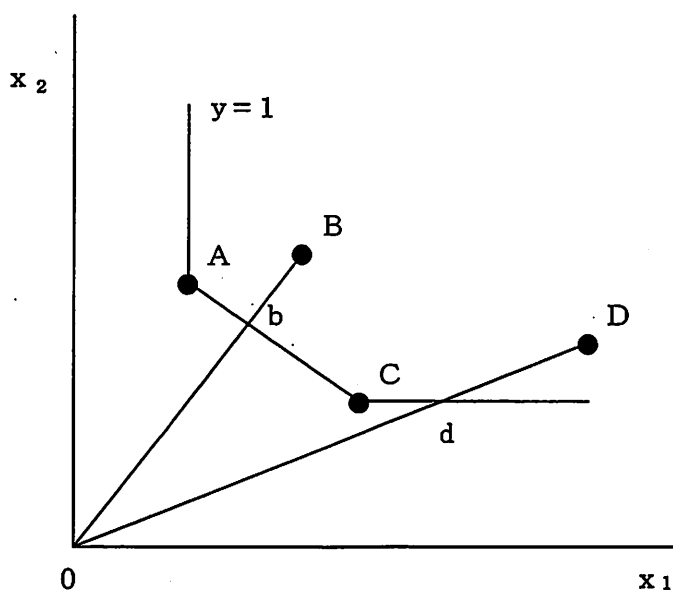


表1. データの記述統計

	平均	標準偏差	最小値	最大値
年間総配水量 (千 m^3)	15,562	14,920	2,440	9,186
職員数 (人)	41	42	5	257
導送水管総延長 (千 m)	673	626	65	4,221
その他投入財 (百万円)	831	887	27	4,837
労働価格 (百万円)	8.28	1.32	4.52	12.76
資本価格 (百万円)	1.04	0.32	0.34	1.89
負荷率 (%)	85.5	5.1	68.8	96.8
需要者密度 (人/千 m)	159.4	49.6	69.4	323.9
有収率 (%)	87.6	6.4	71.9	100.0
受水率 (%)	45.4	39.2	0.0	100.0
計画給水人口 (人)	122,123	120,280	10,000	796,400

表 2. 第 1 段階の DEA の結果

平均	標準偏差	最小値	最大値
0.7521	0.1639	0.4191	1.0000

表 3. トービットの推定結果

	労働	資本	その他投入財
定数項	-125.022** (29.040)	-2010.734** (361.741)	-3629.779** (1313.269)
負荷率	-0.450 (0.293)	-3.954 (3.642)	-23.765* (13.374)
需要者密度	-0.066** (0.030)	-2.003** (0.382)	-2.710** (1.375)
有収率	0.367 (0.288)	6.578* (3.570)	-14.336 (13.019)
受水率	0.004 (0.044)	0.453 (0.552)	8.503** (2.028)
ln 計画給水人口	13.267** (2.074)	196.584** (25.803)	642.531** (95.731)
σ	11.111** (0.952)	138.687** (11.786)	501.448** (42.228)
尤度	-283.987	-468.805	-559.576
0 の標本の割合	0.174	0.163	0.163

注) 括弧の中は標準誤差を表している。両側検定で**は有意水準 5%, *は有意水準 10%で有意であることを示している。

表 4. 第 4 段階の DEA の結果

	平均	標準偏差	最小値	最大値
技術効率性	0.8831	0.0728	0.7381	1.0000
配分効率性	0.9381	0.0600	0.7753	1.0000
経済効率性	0.8290	0.0916	0.6280	1.0000

表 5. 算定費用

	$\rho = 1$	$\rho = 0.75$	$\rho = 0.5$	$\rho = 0.25$	$\rho = 0$
平均	1,555	1,645	1,735	1,825	1,914
標準偏差	1,609	1,687	1,773	1,865	1,964
最小値	127	145	163	182	200
最大値	11,990	11,990	11,990	11,990	11,990
算定費用/ 実際の費用 (%)	82.90	87.17	91.45	95.72	100.00

注) 単位は百万円.