

公営地下鉄は大手私鉄よりも非効率か？ ―確率的フロンティア法による分析―

名古屋市立大学 中山徳良

1. はじめに

本稿では、確率的フロンティア分析（SFA）を用いて公営地下鉄と大手私鉄の効率性に差があるかどうかを検証することを目的としている。公営地下鉄は地方自治体が経営している鉄道であり、大手私鉄は民間企業が経営している鉄道である。ともに都市圏を中心に事業が行われている点では共通している。

公営の方が民営よりも非効率であるというのが一般的に言われていることである。しかし、実証分析では必ずしもそのような結果が常に示されているわけではない。水谷(2000)の表 4.1 には、民間企業と公営企業の効率性の比較を行った研究 67 例のうち、民間企業が効率的であるものが 36 例、差がないというものが 20 例、公営企業が効率的であるものが 11 例あったことが示されている。民間企業が効率的であるとするものが過半数を占めているという点は重要ではあるが、差がないというものも少なからずあることがわかる。したがって、公営と民営の効率性に差が存在するかどうかは検証すべき問題であると考えられる。

鉄道事業について、公営企業と民営企業の効率性の比較をした研究には、以下のようなものがある。Caves and Christensen(1980)は、カナダの鉄道事業について生産性を計測している。その結果、公営企業と民間企業の間において全要素生産性に差がないことを示している。Mizutani(1994)は、わが国の鉄道事業の偏要素生産性についてネットワークなどの外的条件をコントロールした上で比較を行っている。また、費用関数による比較も行っている。それらの結果によれば、公営企業の方が民営企業よりも非効率であることを示している。宮嶋他(1983)と宮嶋・李(1984)は、わが国の鉄道事業において公営企業の方が民営企業よりも非効率であることを示している。そして宮嶋・李(1985)において、公営企業が非効率である原因は組織の内部構造と人的な資源配分が不適切であることによるとしている。Cowie(1999)は、DEA を用いてスイスの鉄道事業について効率性を計測している。その結果、公営の方が非効率であることを示している。

本稿の目的は最初に述べたように SFA を用いて公営地下鉄と大手私鉄の効率性に差があるかどうかを比較することである。なお、ここでの効率性は SFA を用いることからわかるように事業者がフロンティアからどの程度乖離しているかにより計測されるものである。本稿のような分析を試みる理由は、1 つには公営地下鉄について SFA を適用したものは筆者の知る限り存在しないからである。わが国の鉄道事業において SFA を適用した研究に、倉本・広田(2008)、Mizutani et al.(2009)、柳川他(2010)があるが、それぞれ第 3 セクター鉄道、私鉄、地方鉄道と第 3 セクター鉄道を分析しており、公営地下鉄は分析に含まれていない。もう 1 つの理由は、わが国の鉄道事業について公営と民営のフロンティアからの乖離としての非効率性の差を分析している研究が、宮嶋他(1983)を除いて存在しないためである。しかし、彼らは DEA を用いているものの、統計的な分析を行っておらず、そこに更なる検証の余地があるものと思われる。そこで本稿では、SFA の研究の中でも Battese and Coelli(1993, 1995)によるモデルを用いて分析することにより、公営と民営の効率性の差について統計的な接近を試みる。

2. 分析方法

Coelli et al. (2005)にあるように SFA にもさまざまなモデルがある。本稿では Battese and Coelli(1993, 1995)によるモデルを用いて分析することにした。交通分野でも Roy and Yvrande-Billon(2007)や Mizutani et

al.(2009)などで分析に用いられているものである。 Battese and Coelli(1993, 1995)は確率的フロンティアに非効率性に影響を与える要因を組み込んだモデルを作ることによって、確率的フロンティアと効率性効果を同時に推定している。本稿では、非効率性に所有権が与える影響を見るので、彼らのモデルを用いることにした。

ここでは可変費用関数を推定することにする。推定にパネル・データを用いるので、可変費用関数は次のように表される。

$$VC_{it} = VC(y_{it}, w_{it}, K_{it}, N_{it}, T_{it}) \quad (1)$$

(1)式において y_{it} は第 i 事業者の第 t 年の生産量、 w_{it} は第 i 事業者の第 t 年の生産要素価格のベクトル、 K_{it} は第 i 事業者の第 t 年の固定的生産要素、 N_{it} は第 i 事業者の第 t 年のネットワーク変数、 T_{it} は時間を表している。

推定に当たっては、(1)の関数形を特定化する必要がある。ここでは可変費用関数をコブ・ダグラス型と仮定して推定を行う¹。また、鉄道事業者は労働、資本、エネルギー、労働、資本、エネルギー以外の投入財（以下ではその他投入財とする）を用いて1つの鉄道サービスを生産するものとする。生産要素のうち資本を固定的生産要素とする。したがって、推定する確率的フロンティア可変費用関数は以下のようになる。

$$\begin{aligned} \ln \frac{VC_{it}}{w_{it}^O} = & \beta_0 + \beta_1 \ln y_{it} + \beta_2 \ln \frac{w_{it}^L}{w_{it}^O} + \beta_3 \ln \frac{w_{it}^E}{w_{it}^O} + \beta_4 \ln K_{it} \\ & + \beta_5 \ln N_{it} + \beta_6 Year_{it} + v_{it} + u_{it} \end{aligned} \quad (2)$$

(2)式において VC_{it} は第 i 事業者の第 t 年の可変費用、 y_{it} は第 i 事業者の第 t 年の生産量、 w_{it}^L は第 i 事業者の第 t 年の労働価格、 w_{it}^E は第 i 事業者の第 t 年のエネルギー価格、 w_{it}^O は第 i 事業者の第 t 年のその他投入財価格、 K_{it} は第 i 事業者の第 t 年の資本、 N_{it} は第 i 事業者の第 t 年のネットワーク変数、 $year_{it}$ は時間を表している。 v_{it} は平均 0、分散 σ_v^2 の独立に同一の正規分布にしたがう誤差項であり、 u_{it} と v_{it} は独立である。 u_{it} は非負の確率変数で非効率性を表すものであり、平均 $z_{it}\delta$ 、分散 σ^2 のゼロで切断された正規分布に従っているものとする。

非効率性がいくつかの要因によって影響を受けるものとする、

$$u_{it} = z_{it}\delta + e_{it} \quad (3)$$

と表すことができる。(3)式において z_{it} は非効率性の要因のベクトル、 δ はそれに対応するパラメーターである。 e_{it} は $-z_{it}\delta$ で切断された平均 0、分散 σ^2 の正規分布に従う確率変数である。本稿では要因として2つのものを考えるので、

$$u_{it} = \delta_0 + \delta_1 tunnel_{it} + \delta_2 dummy_{it} + e_{it} \quad (4)$$

となる。ここでは $tunnel_{it}$ で表されている第 i 事業者の第 t 年のトンネル比率（定義は次節で説明）と $dummy_{it}$ で表されている公営地下鉄を1、大手私鉄を0とする公営ダミー変数を非効率性の要因として考えている。したがって、もし公営地下鉄の方が大手私鉄よりも非効率であれば、 δ_2 は有意でその符号は正になる。

¹ トランスログ型も考えられるが、Greene問題の存在により推定に困難が伴うため、コブ・ダグラス型を用いることにした。本研究の1つの問題でもある。

3. データ

(2)式と(4)式の推定に用いたデータは9つの公営地下鉄事業と15の大手私鉄である²。分析期間は1988年度から2008年度までの21年間である。したがって、24事業者21年間のパネル・データとなっている。

前述のように公営地下鉄と大手私鉄は、労働、資本、エネルギー、その他投入財を用いて1つの産出物を生産するものとする。ただし、ここでは労働、エネルギー、その他投入財は可変的生産要素であるが、資本は固定的生産要素とする。

よって可変費用は労働費用、エネルギー費用、その他投入財の費用の合計となる。労働費用は鉄軌道営業損益の人件費、エネルギー費用は運転用電力消費額、その他費用は鉄軌道営業損益の経費から修繕費と動力費を引いたものとしている。これらの費用は『鉄道統計年報』の各年版から得ている³。

労働価格は人件費を職員数で割ったものを用いており、エネルギー価格は運転用電力消費額を電力使用量で割ったものを用いている。職員数と電力使用量は『鉄道統計年報』の各年版から得ている。その他投入財価格は『企業物価指数』（日本銀行）から得た生産財の原材料の物価指数を代理変数として用いている。

資本の作成は次のように行っている⁴。まず事業者ごとの固定資産の年々の増加額に減価償却費と除却した固定資産額を加えて名目粗投資とする。除却した固定資産額は期首の固定資産額に除却率をかけて求めている。除却率は『法人企業統計調査』（財務省）の陸運業の関連項目より推計している。そのため除却率は各年度では異なるが、各事業者では同一となっている。この粗投資を『企業物価指数』（日本銀行）から得た投資財デフレーターで割って、実質粗投資を計算する。減価償却率は、減価償却費を期首の固定資産額で除して求めている。固定資産額および減価償却費は『鉄道統計年報』（各年版）から得ている。そして、1987年度の実質固定資産を初期値として、次の式によって推計する。

$$K_{it} = I_{it-1} + (1 - d_{it} - r_t)K_{it-1} \quad (5)$$

ここで、 K_{it} は第*i*事業者の第*t*年の固定資産、 I_{it} は第*i*事業者の第*t*年の実質粗投資、 d_{it} は第*i*事業者の第*t*年の減価償却率、 r_t は第*t*年の除却率を表している。

生産物は『鉄道統計年報』（各年版）より走行キロを用いている。ネットワーク変数としては『鉄道統計年報』（各年版）より営業キロを用いている。

非効率性の要因に用いているトンネル比率はトンネルの延長を営業キロで割って求めている。そのため1を超えてしまう場合があるが、分析上支障はないので、これを用いることにした。トンネル延長と営業キロは『鉄道統計年報』（各年版）から得ている。公営ダミーは公営地下鉄を1、大手私鉄を0とするダミー変数である。

4. 分析結果

表1には(2)式と(4)式の推定結果が示されている。推定にはCoelliとHenningsenにより作成されたRのパッ

² 公営地下鉄は札幌市、仙台市、東京都、横浜市、名古屋市、京都市、大阪市、神戸市、福岡市であり、大手私鉄は東武鉄道、西武鉄道、京成電鉄、京王電鉄、東京急行電鉄、小田急電鉄、京浜急行電鉄、相模鉄道、名古屋鉄道、近畿日本鉄道、南海電気鉄道、京阪電気鉄道、阪急電鉄、阪神電気鉄道、西日本鉄道である。なお東京地下鉄株式会社（旧帝都高速度交通営団）はデータに含めていない。2004年度に民営化されたが、現在まで国と東京都が株式会社のすべてを保有しているためである。

³ データの出所が『鉄道統計年報』であるため、正確に言えば軌道などの数値が含まれている。

⁴ 資本の作成については田中(2010)を参考に行っている。

ケースである `forntier` を用いている。これは Coelli による FRONTIER 4.1 を R の上で動くようにしたものである。推定は最尤法により行われている⁵。

表 1. 確率的費用フロンティアの推定結果

パラメーター	推定値	標準誤差
β_0	-0.242	0.574
β_1	0.791	0.027***
β_2	0.595	0.050***
β_3	0.182	0.073**
β_4	0.218	0.015***
β_5	-0.020	0.023
β_6	-0.020	0.002***
δ_0	-0.407	0.305
δ_1	0.500	0.129***
δ_2	-0.012	0.128
σ_s^2	0.069	0.024***
γ	0.785	0.079***
log likelihood	195.130	

注： $\sigma_s^2 = \sigma_v^2 + \sigma^2$, $\gamma = \frac{\sigma^2}{\sigma_s^2}$ である。***は有意水準 1%, **は有意水準 5%で有意であることを示している。

表 1 を見ると、生産量の係数、労働価格の係数、エネルギー価格の係数は有意であり、正となっている。したがって、費用関数の性質を満たしていることがわかる。資本の係数は有意で正である。これは費用関数の性質を満たしていない。しかし、Cowing and Holtmann(1983)や Filippini(1996)に指摘されているように資本が過剰に用いられているときには正になることがあり、正になっている推定結果を示した研究も多い。ネットワーク変数の係数は有意にはならなかった。時間の係数は有意で負であった。これはこの期間において可変費用関数が下にシフトしていることを示している。

非効率性の要因については、トンネル比率は有意で正になっており、路線においてトンネル区間が多いと非効率になることを示している。したがって、事業者の特性としてトンネルの長短はコントロールするべきであることがわかる。一方、公営ダミーは有意ではなかった。この結果は、公営地下鉄と大手私鉄との非効率性に差がないことを示している。

公営地下鉄と大手私鉄とで非効率性に差がないという結果を得たが、その要因はなんだろうか。1 つは可変費用を分析対象にしている点があげられる。そのため資本に対する費用が含まれていない。もし公営地下鉄の方が過剰に資本を持っている場合、公営地下鉄の方が非効率になる可能性は考えられる。もう 1 つは、ヤードスティック規制や経営改革の影響である。大手私鉄には 1970 年代からヤードスティック規制が行われていたが、1997 年からはヤードスティック規制の改善と強化が行われている⁶。このときから公営地下鉄にもヤードスティック規制が導入されている。また、近年の行政改革により公営企業の経営に厳しい目が向けられており、経営の効率化

⁵ この尤度関数は田中(2004)において導出されている。

⁶ 水谷(2011)による。

が求められていることもあるだろう。しかし、これらの点についてはより詳細な分析が必要である。

さて、表1の推定結果について調べるために、表2において2つの定式化について検定を行った結果を示している。1つは、帰無仮説が $\gamma = \delta_0 = \delta_1 = \delta_2 = 0$ とするものである。これは非効率性を考慮する必要があるかどうかを検定している。もしこの帰無仮説が棄却できなければ、確率的フロンティア費用関数を推定せずに、通常の費用関数を推定すればよいことになる。検定結果によれば、帰無仮説は棄却され、非効率性を考慮する必要があることを示している。したがって、確率的フロンティア費用関数は支持される。

表2. 特定化の検定

帰無仮説	検定統計値	閾値	判定
$\gamma = \delta_0 = \delta_1 = \delta_2 = 0$	45.795	$\chi^2_{0.95} = 9.488$	帰無仮説を棄却
$\delta_1 = \delta_2 = 0$	57.794	$\chi^2_{0.95} = 5.991$	帰無仮説を棄却

もう1つは帰無仮説が $\delta_1 = \delta_2 = 0$ である。これは、ここで考えている非効率性の要因が意味のあるものかどうかを検定するものである。もしこの帰無仮説が棄却できなければ、非効率性に影響を与えると本稿で考えている要因であるトンネル比率と公営ダミーは適当ではない可能性がある。検定の結果によれば、トンネル比率、公営ダミーとも非効率性に影響を与える要因として考えてよいことを示している。

したがって、これら2つの検定結果から表2のような効率性効果を組み込んだ確率的フロンティア費用関数の推定は支持されることになる。

5. 結論と今後の課題

本稿では、Battese and Coelli(1993, 1995)によるモデルを用いて確率的フロンティア費用関数を推定することにより、公営地下鉄と大手私鉄の間に効率性に差があるのかどうかを検討した。その結果、地下鉄という経営環境を考慮するならば、費用効率性には差がないことが示された。

本稿には残された課題もある。1つは費用関数の関数形の問題である。ここではコブ・ダグラス型に特定化した。費用関数の推定で一般的に使用されているトランスログ型の場合を検討する必要があるだろう。しかし、確率的フロンティア費用関数の推定においてはトランスログ型を推定するには困難が伴う。また、非効率性に影響する変数についても、他に考慮するものがないかどうかを検討するべきであるかもしれない。

参考文献

- Battese, G. E., and Coelli, T. J. (1993) "A stochastic frontier production function incorporating a model for technical inefficiency effects," Working papers in Econometrics and Applied Statistics, Department of Econometrics, University of New England, No.69.
- Battese, G. E., and Coelli, T. J. (1995) "A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data," *Empirical Economics* 20(2), pp.325-332.
- Caves, D. W., and Christensen, L. R. (1980) "The relative efficiency of public and private firms in a competitive environment: The case of Canadian railroads," *Journal of Political Economy* 88(5), pp.958-976.

- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., Battese, G. E. (2005) *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, 2nd Edition, New York: Springer.
- Cowie, J. (1999) "The Technical Efficiency of Public and Private Ownership in the Rail Industry: The Case of Swiss Private Railways," *Journal of Transport Economics and Policy* 33(3), pp.241-51.
- Cowing, T. G., and Holtmann, A. G. (1983) "Multiproduct short-run hospital cost functions: Empirical evidence and policy implications from cross-section data," *Southern Economic Journal* 49(3), pp.637-653.
- Filippini, M. (1996) "Economies of scale and utilization in the Swiss electric power distribution industry," *Applied Economics* 28(5), pp.543-550.
- 倉本宜史・広田啓朗(2008)「第3セクター鉄道における効率性と要因分析」『大阪大学経済学』第57巻第4号, pp.296-309.
- 宮嶋勝・李相徳(1984)「地方公営企業と民間企業の効率性と企業行動に関する研究—鉄道業を例にして—」,『公益事業研究』第36巻第1号, pp.69-103.
- 宮嶋勝・李相徳(1984)「地方公営企業と民間企業の効率性の比較に関する研究—鉄道業を例にして—」,『公益事業研究』第36巻第1号, pp.79-100.
- 宮嶋勝・櫻田一之・李相徳(1983)「地方公営企業（地下鉄）の経営効率に関する研究」『公益事業研究』第35巻第1号, pp.145-163.
- Mizutani, F. (1994) *Japanese Urban Railways: A Private-Public Comparison*, Aldershot: Ashgate Publishing Company.
- 水谷文俊(2000)「公益事業における民間供給と民営化」『国民経済雑誌』(神戸大学経済経学会) 第182巻第3号, pp.57-76.
- 水谷文俊(2011)「ヤードスティック規制」日本交通学会編『交通経済ハンドブック』白桃書房.
- Mizutani, F., Kozumi, H., and Matsushima, N. (2009) "Does yardstick regulation really work? Empirical evidence from Japan's rail industry," *Journal of Regulatory Economics* 36(3), pp.308-323.
- 田中智泰(2004)「地方自治体の政策評価に関する計量分析」神戸大学大学院経営学研究科博士論文.
- 田中智泰(2010)「地方公営企業の資本ストックの資産—公営地下鉄のケース—」『商経学叢』(近畿大学商経学会) 第57巻第1号, pp.223-238.
- Roy, W., and Yvrande-Billon, A. (2007) "Ownership, contractual practices and technical efficiency: The case of urban public transport in France," *Journal of Transport Economics and Policy* 41(2), pp.257-282.
- 柳川隆・播磨谷浩三・岡村薫(2010)「並行在来線鉄道会社の効率性の計測—距離関数を用いた確率的フロンティアモデルの適用—」『公益事業研究』第62巻第1号, pp.55-66.

謝辞

本研究は科研費（21530229）の助成を受けたものである。