

非営利事業の生産性と効率性を測る

根本二郎

I. はじめに

われわれの研究科では、社会経済システム専攻のメンバーの中に生産性と効率性の問題に関心を寄せる何人かのスタッフ・院生がおり、研究科外の研究者とも連携して緩やかな研究グループを形成している。生産性と効率性は、広く経済学や経済政策の諸分野に関わりを持つ。その中でわれわれのグループは、主として公益事業や非営利事業のパフォーマンス指標として、生産性や効率性の計測を行っている。

このような計測が重要であるのは、パフォーマンス指標を基準にした擬似的な競争を事業者間に作り出すことで、非営利事業全体の効率を向上できるという考え方があるからである。例えば、国立大学の運営交付金を成果指標に基づいて傾斜配分することなども、そうした考え方の一例であろう^{a)}。しかし利害関係が絡む問題の性質上、成果指標の作り方や配分の方式に関して、関係する当事者の間で最低限の合意が必要であることは、先駆的な試みを行っている EU 圏の経験からもあきらかである。こうしたことから、より広い範囲で受容可能な合理性を持ち、かつ厳密であるような生産性・効率性の評価方法が要請されている。

II. 生産性と効率性

生産性と効率性は、どちらも生産活動のパフォーマンスを測る指標である。図1のように、生

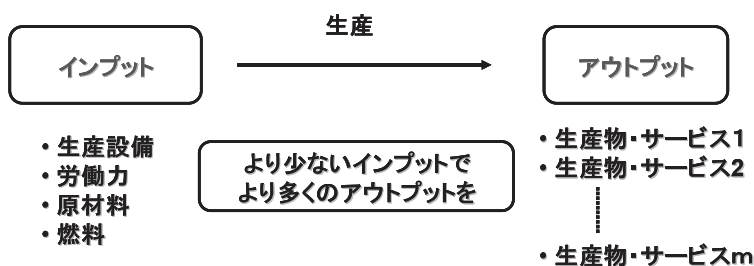


図1 生産性・効率性分析のフレームワーク

a) 財務省は5月21日開催の財政制度等審議会財政制度分科会財政構造改革部会に提出の資料において、国立大学運営交付金の傾斜配分の試算結果を公表したが、その基準指標は以下で紹介する生産性や効率性とは全く異なるものである。基準指標が変われば結果もまた変わるものであり、基準とする指標の合理性、受容可能性が問われる。

<http://www.mof.go.jp/singikai/zaiseido/siryou/zaiseib190521.htm> に掲載の資料2文教予算関係説明資料の(4)(5)を参照。

産活動をインプットがアウトプットに変換されるプロセスと捉える。

生産性は、実際に使用されたインプットと実際に産み出されたアウトプットの比として定義される。これに対して効率性は、実際と同水準のアウトプットを得ることが可能な技術的に最小のインプットの、実際に使用されたインプットに対する比によって定義する。両者の関係は、単一のインプットから単一のアウトプットが産出される(1入力1出力)場合には、つぎのように書ける。

$$\frac{\text{実際のアウトプット}}{\text{実際のインプット}} = \frac{\text{可能な最小インプット}}{\text{実際のインプット}} \times \frac{\text{実際のアウトプット}}{\text{可能な最小インプット}}$$

左辺が生産性、右辺第1項が効率性である。インプットの削減余地が小さいほど現状は効率的とみなせることから、この項が効率性の指標であることが理解できる。右辺第2項は、実際と同じアウトプットを得るために実現できる最高の生産性であり、技術水準によって決まると考える。両辺を変化率に書き換えれば

$$\text{生産性変化率} = \text{効率性変化率} + \text{技術進歩率}$$

となるから、生産性向上の源泉は効率改善と技術進歩である。一般のm出力n入力の場合も、インプットとアウトプットを集計する必要を別にすれば、この関係は本質的に同じである。実際のアウトプットとインプットは観察できるので、この式を評価するには技術的に可能な最小のインプットの水準を推定できればよい。それは、図2中の生産フロンティアを推定することである。

III 生産フロンティア

図2は2入力1出力の場合である。まずアウトプットの生産量がある水準に固定する。観察された生産活動のデータの中から、この固定した生産水準に等しいものを選び出し、それらの2種類のインプット使用量をプロットしたものを◎とする。点B-Fは生産フロンティア上にある。

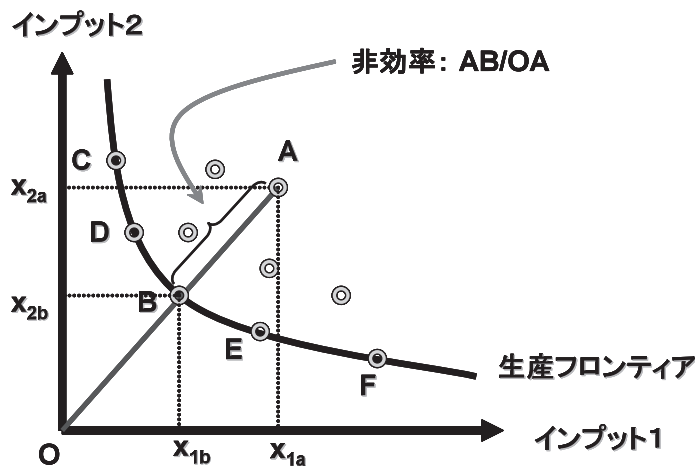


図2 生産フロンティアと非効率 (1出力2入力)

生産フロンティアは、一定量のアウトプットを効率的に生産可能なインプットの組合せを示す。ここで効率的とは、どちらか一方または両方のインプットを少しでも減らせば、必ずアウトプットが減少することを意味する。このため生産フロンティアより左側では、◎の点と同水準のアウトプットは生産不可能となり、この意味で点B-Fは効率的である。それ以外の点は非効率的である。非効率の大きさは、原点を通る直線に沿って削減可能なインプットの量で測る。例えば点Aは、アウトプットを減らすことなく二つのインプットを倍率 OB/OA で縮小して点Bに移行することができるので、非効率の大きさは AB/OA となる。

IV. 生産フロンティアの非パラメトリック推定 — 地方空港の生産性と効率性

生産フロンティアを推定する方法は、非パラメトリックなアプローチとパラメトリックなアプローチに大別できる。非パラメトリックな方法は、◎の点を含む最小の凸多面体を構成し、その境界を生産フロンティアとみなす。これを DEA (Data Envelopment Analysis) と呼んでいる。図2のようにデータが与えられている場合は、点B-Fを頂点とする多角形の辺として生産フロンティアが見出される(図3)。

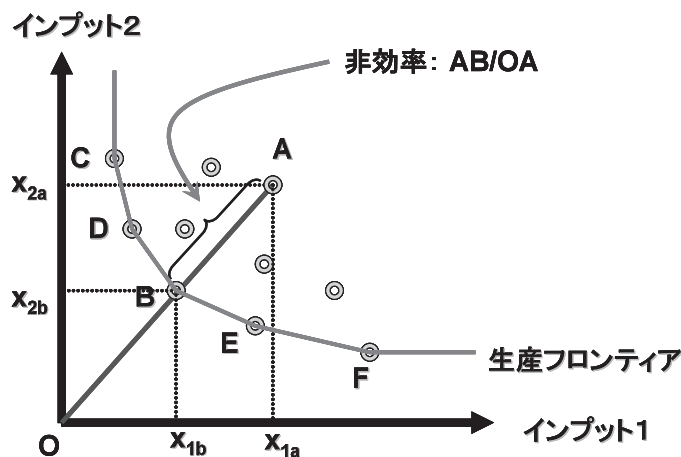


図3 DEAによる生産フロンティアの推定(1出力2入力)

DEAは線形計画問題として定式化でき、データの観測誤差などに関する統計的推測を行わないのであれば、容易に生産性や効率性を計測できるので広く用いられている。センターニュースの読者が関心を持ちそうな例では、次世代スーパーコンピュータ施設の立地場所決定の支援ツールとして利用されている。理化学研究所の立地検討部会は、立地候補地の比較評価のためいくつかの指標を指定して候補地の優劣を採点しているが、その得点を集計する際のウェイトの合理性をチェックするためにDEAが援用されている^{b)}。

b) 理化学研究所次世代スーパーコンピュータ開発戦略委員会立地検討部会『次世代スーパーコンピュータ施設立地評価報告書』2007年3月23日
<http://www.nsc.riken.jp/supercom-site/report-site.pdf>

われわれのグループによる応用例として、地方空港の生産性分析を紹介しよう^{c)}。第2種、第3種、共用空港に分類される計53空港の1997～2003年の営業データを用いて生産フロンティアを推定し、生産性とその要因の年変化率を計測する。インプットは従業員数、滑走路長（合計）、ターミナル面積（合計）、アウトプットは発着回数、乗降客数、取扱貨物量とした。表1に空港（一部）ごとの生産性などの平均年変化率を示す。また表2には、53空港の平均で評価したそれらの経年変化を示している。表2からは、効率性変化率と生産性変化率の上昇が2000年以降に見られ、2000年航空法改正による規制緩和の効果があらわれている可能性がある。

表1 地方空港の効率性とその要因

	生産性	効率性	技術進歩	規模効果
新千歳	0.915	1.000	0.916	0.999
釧路	0.997	1.008	0.990	0.999
三沢	0.954	0.956	1.002	0.996
花巻	0.998	0.983	1.015	1.000
仙台	1.071	1.056	1.021	0.994
八丈島	0.958	0.945	1.008	1.006
松本	0.955	0.958	1.011	0.987
新潟	0.997	0.998	1.002	0.998
名古屋	1.013	1.000	1.013	1.000
南紀白浜	0.960	0.947	1.012	1.002
出雲	1.016	1.010	1.006	1.000
山口宇部	0.931	0.927	1.000	1.005
徳島	0.972	0.984	0.989	0.998
高知	0.969	0.947	1.018	1.005
福岡	1.017	1.000	1.017	0.999
対馬	0.977	0.973	1.004	1.000
長崎	0.980	0.999	0.983	0.998
宮崎	0.978	0.968	1.008	1.002
屋久島	1.045	1.038	1.006	1.001
那覇	1.031	1.000	1.032	0.999

表2 生産性とその要因の年変化率（全空港の平均値で評価）

年	生産性変化率	効率性変化率	技術進歩率	規模要因変化率
1997/98	0.975	0.961	1.015	1.000
1998/99	0.975	0.958	1.017	1.000
1999/00	0.985	0.983	0.995	0.998
2000/01	1.000	1.009	0.991	1.000
2001/02	1.007	0.992	1.006	1.007
2002/03	0.994	0.987	0.996	0.994

V. 生産フロンティアのパラメトリック推定 — 一般廃棄物処理事業組合の効率性

DEAは計算が容易なため事業者評価の目的では使い勝手が良い。しかし、外的環境要因の効率性に及ぼす影響や、密接に関連する他の経済学的変量と効率性との関係を分析するなど、分析

c) 尾関淳哉「Malmquist 指数による地方空港の生産性変化の計測」2006年度名古屋大学経済学研究科修士論文

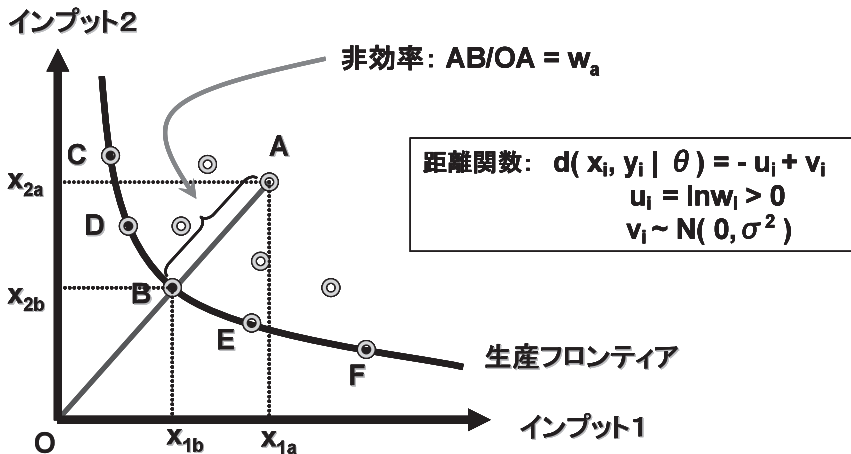


図4 距離関数による生産フロンティアの推定 (1 出力 2 入力)

を目的にする場合に DEA は非パラメトリックであるが故の困難を伴う。むしろ効率性をパラメトリックに定式化して、区間推定や検定など統計的推測の方法を適用する方が有利である。図4にあるように第 i 事業者の対数効率性を u_i とする。インプットとアウトプットをそれぞれ x_i, y_i とし、その変換プロセスはパラメータ θ を持つ関数 $d(x_i, y_i | \theta)$ であらわせるものとする。これを距離関数と呼ぶ。真の距離関数は関数形、パラメータ θ とも未知である。そこで $d(x_i, y_i | \theta)$ を適当な関数形 (多くは 2 次多項式) で近似し、それに伴う近似誤差とデータの測定誤差に由来する誤差項 v_i を導入する。このようにすると θ をデータから推定する標準的な統計的方法是最尤法である。もし v_i が正規分布にしたがいかつ u_i が存在しない場合は、最尤法は最小 2 乗法に帰着して、比較的容易に θ の推定値を得ることができる。しかし、ここでは非効率項 u_i の存在に加えて距離関数に経済学的制約 (アウトプットがインプットの非減少関数であること等) を課すため問題は複雑であり、古典的な最尤法の適用はかなり難しい。

代替的な方法はベイズ推測である。ベイズ推測では、観察されたデータ ($i=1$ から N までの全事業者のインプットとアウトプット) の情報とデータに依らない事前情報とを結合して、データの下での θ と u_i の確率分布を求める。これはつぎのように書ける。

$$p(\theta, u_1, u_2, \dots, u_N | data) \propto f(data | \theta, u_1, u_2, \dots, u_N) p(\theta, u_1, u_2, \dots, u_N)$$

左辺が求めるべき事後確率、右辺の最初の項がデータの得られる同時確率 (尤度関数) でいまの場合は正規分布の確率密度、右辺二番目の項がデータの外の情報を反映して決まる θ と u_i の事前確率である。よって事前確率が適当に設定されると比例定数を除いて事後確率が決まり、 u_i の推定値は事後確率の期待値として得られる。

ここで期待値の計算を定義通りに行えば、事後確率分布の密度関数を積分することになる。これを解析的に求められるのは事前分布が特別な場合に限定される。また数値積分も信頼できるのは低次の場合だけであり、多数の事業者の効率値を扱うここでの問題には適さない。実用的な

方法は、モンテカルロ・シミュレーションによって事後確率分布にしたがう標本を抽出し、その標本平均を求めることである。マルコフ連鎖モンテカルロ法 (Markov Chain Monte Carlo, MCMC) は、事後確率分布を定常分布に持つマルコフ連鎖を構成し、そのマルコフ連鎖から乱数生成を反復する。定常分布に収束したとみなし得るだけの十分な回数の反復の後に、事後確率分布からのモンテカルロ標本が得られる。

応用例として、一般廃棄物処理事業組合の効率性分析を紹介する^{d)}。インプットを職員数、ごみ処理費の2種類とし、アウトプットは焼却ごみ量、粗大ごみ処理量、資源化ごみ量の3種として、2002年度における全国105廃棄物処理組合の効率性を推定した。その推定値(事後分布の期待値)の度数分布を図5に示す。多くは効率値0.6以上であるが、少数ながら著しく非効率な組合が存

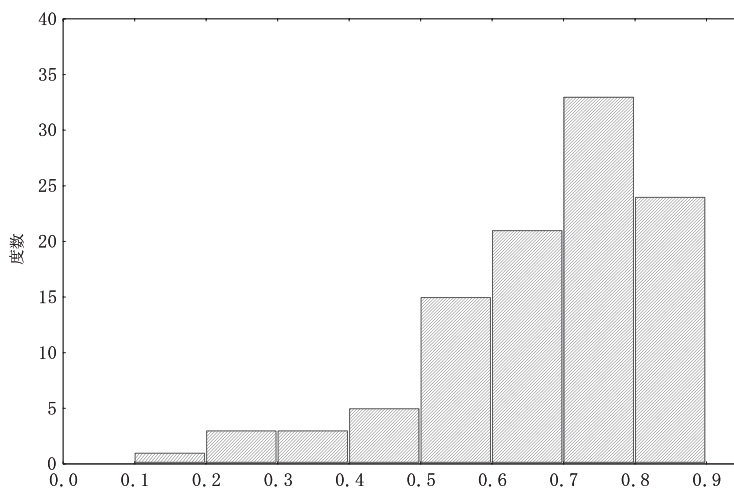


図5 効率性推定値の分布

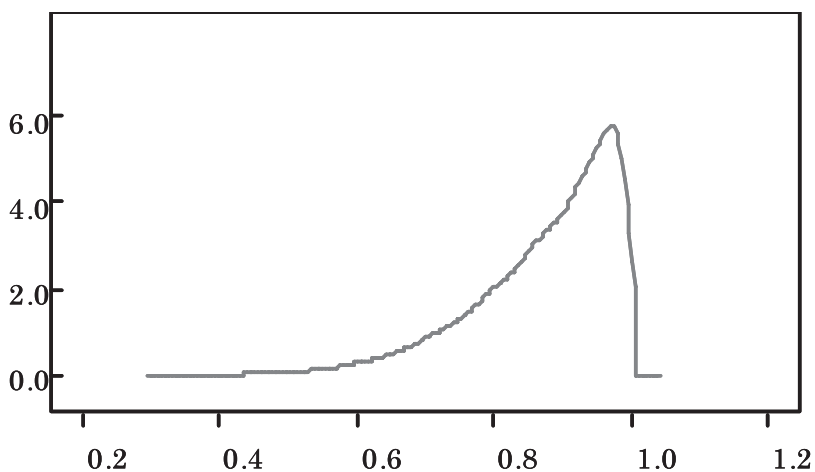


図6a 効率性の事後分布 (期待値 0.88)

d) 根本二郎・小澤良往「複数生産物の場合の確率的フロンティアと技術効率性の計測—一般廃棄物処理事業の効率性分析—」『経済科学』第54巻4号, 19-27, 2007年3月

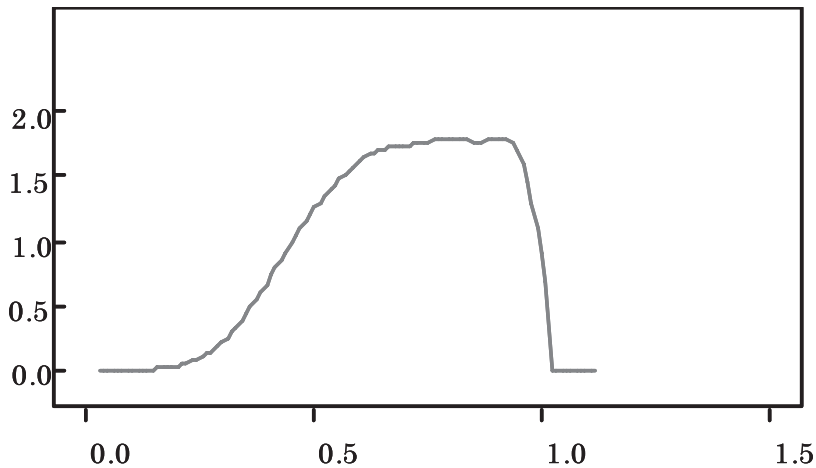


図 6b 効率性の事後分布（期待値 0.71）

在する。改善の余地が大きいことを示すと同時に、地方の組合の中には人口密度の低さなどから来る悪条件に直面しているケースもあるものと思われる。

図 6a には、最も効率的であった組合について、効率性の事後分布を示す。左に長く裾を引くため推定値の精度は高くなく、効率性の 95% 信頼区間は 0.88 ± 0.10 である。図 6b は効率性が中位の組合の効率性事後分布である。ピークがなく高原状の分布であるため、95% 信頼区間は広く 0.71 ± 0.18 である。結果として図 6ab に示す二つの事業者の効率性は、95% 信頼区間がかなり重なってしまう。このことが例示するように、事業者評価でしばしば行われる統計上の誤差を無視した詳細なランキング付けは、無意味であることが少なくない。

VI. おわりに

ここで紹介した分析のための計算は、これまでのところほぼ研究室の PC で実行可能であった。DEA のための線形計画問題は事業者の数だけ解く必要があり、与える条件の主なバリエーションも考えると事業者の数の 4 倍程度の回数繰り返し線形計画法を実行することになる。しかし、問題のサイズが小さいことから、今のところ計算時間が障害にはなっていない。これに比べるとさすがに MCMC は、問題によって 2 時間程度を要する場合がある。今後、モデルを拡張して費用効率（費用最小化条件からの乖離）等の計測も行うようになれば PC では対応できなくなる可能性もあり、情報連携基盤センターの計算機資源の利用も考慮することになろう。

（ねもと じろう：名古屋大学大学院経済学研究科）