

国立大学の費用関数
トランスログ・コストシェアモデルによる同時推定

北坂真一
同志社大学経済学部
2010年9月初稿
2011年3月改訂

*本研究には科学研究費補助金（基盤研究（C）課題番号 20530186）と平成 20 年度私立大学等経常費補助金特別補助高度化推進特別経費大学院重点特別経費（研究科分）の助成を受けた。

要 旨

本稿では、平成 16 年度から平成 20 年度の 5 年間にわたる国立大学法人 81 大学を対象にトランスログ型の費用関数をコストシェア方程式とともに同時推定した。

その結果は、以下の通りである。

第 1 に、資本、教員、職員、その他、という 4 つの生産要素を考えたとき、国立大学は必ずしも土地や建物といった資本について費用最小化行動をとっていない。

第 2 に、付属病院の有無や学部構成の違いなどによって国立大学を 7 種類に分類したダミー変数を推定に含めると、医学部および付属病院の有無が大きく影響することが示された。

第 3 に生産要素の価格弾力性について、3 つの生産要素の中で職員の自己価格弾力性が最も高く、教員の自己価格弾力性は低いことが示された。また生産要素の代替・補完関係では、職員とその他、教員とその他、の代替性が比較的高く、教員と職員の代替性が低いことが示された。

第 4 に規模の経済性について、全体についても、また個別のアウトプットについても規模の経済性が認められた。

第 5 に範囲の経済性について、学部と大学院、大学院と研究で範囲の経済性が認められたが、学部と研究については範囲の不経済性が認められた。

1 はじめに

これまで多くの産業について、費用関数の計量分析が行われてきた。例えば、金融自由化や規制緩和に関連して、銀行（粕谷(1986)、野間・筒井(1987)ほか）や証券会社（村山・渡邊(1989)ほか）、保険会社（北坂(1996)、姉崎・本間(2010)ほか）、消費者金融（樋口(2002)）などで費用関数の推定が行われている。また、競争政策や民営化、事業の効率化などの観点から公益事業についても、電気事業（新庄・北坂(1989)、根本(1992)、小林(1998)ほか）や郵便事業（角田・和田・根本(1997)）、電気通信事業・NTT（中島・八田(1993)、浅井・中村(1997)ほか）、航空業（衣笠(1994)）、JR（播磨谷・柳川(2009)）、乗合バス（大井(2009)ほか）水道事業（中山(2002)）、病院（斎藤(2000)）などで費用関数の推定が行われている。また製造業についても、技術進歩に焦点をあてた黒田(1989)をはじめとする一連の研究がある。

ある産業の費用関数を実証的に分析するとき、考察の視点は多岐に及ぶが、その代表的なものとして、次の2点を挙げることができる。第1は、規模の経済性や範囲の経済性である。企業の最適な規模や最適な生産物の組み合わせ、あるいは独占の有効性などを論じるとき、規模の経済性や範囲の経済性は有益な指標になる。第2は、生産要素間の代替・補完関係である。ミクロ経済学が教えるように費用関数は生産関数と双対関係にあり、費用関数を通じて最適な生産要素の組み合わせを検討できる。費用関数の計量分析は、企業や産業の実証的ミクロ経済分析の基本といえる¹。

欧米では、教育経済学の一分野として大学のような高等教育産業に関しても、費用関数の推定が数多く行われてきた²。わが国でも2004年の国立大学の法人化などをきっかけとして、ようやく大学の費用関数が推定されるようになった。そうした研究として、妹尾(2004)や中島ほか(2004)、山内研究室(2006)、菅原(2009a,b)を挙げることができる。これらの研究の共通した特徴は、生産物のデータだけを使って費用関数を単独で推定し、規模の経済性と範囲の経済性を計測していることである。また費用関数の関数型に関して、妹尾(2004)や中島ほか(2004)、山内研究室(2006)、菅原(2009a)は、いずれも米国の研究で用いられた Cohn, Rhine and Santos (1989)やわが国の私立大学に應用された Hashimoto and Cohn (1997)に従い、FFCQ(Flexible Fixed Cost Quadratic function)と呼ばれる2次関数を基礎とした関数型を用いている。わが国では、菅原(2009b)だけが他の産業でも利用されることの多いトランスログ型の費用関数を推定している。しかし、生産物のデータだけを利用した費用関数の単一方程式の推定にとどまっている。

トランスログ・モデルは費用関数として優れた性質と実績を持っており³、またトランスログ費用関数を単独推定するよりも費用最小化の条件（シェパードのレンマ）を用いて導出されるコストシェア方程式とあわせて同時推定した方が、情報量が多く安定した推定値の得られることがよく知られている。日本の大学に関する先行研究をみると、必ずしも費用関数について安定した推定値がいまだ得られておらず、規模や範囲の経済性の計測結果がまちまちであるという印象が強い。この問題は、従来のような費用関数の単独推定ではなく、コストシェア方程式を含む同時推定を行うことで解消できる可能性が大きく、規模や範囲の経済性についてより明確な結果を得ることが期待できる⁴。

また、トランスログ・コストシェアモデルの推定には生産要素価格やコストシェアのデータが必要だが、それらがモデルに明示されることによって規模と範囲の経済性だけではなく、生産要素の代替・補完関係を計測し、あわせて費用関数として費用最小化の条件を満たしているかどうかを検証できる。このことは大学の費用構造がさらに解明され、国立大学の組織や運営に関して有益な示唆が得られることを意味する。

そこで本稿では、わが国の国立大学を対象に、生産物データだけではなく生産要素価格やコストシェアのデータを整備し、トランスログ・コストシェアモデルを同時推定することによって、規模の経済性と範囲の経済性ととも生産要素間の代替・補完関係を計測する。高等教育機関に関する諸外国の研究でも費用関数の単独推定が圧倒的に多く、コストシェア方程式を同時推定した研究は Nelson and Herve(1992)や Glass, McKillop and Hyndman(1995)など一部にとどまっている。

本稿の構成は次の通りである。第2節では費用関数へのトランスログ・モデルの適用とシェア方程式の導出やその特徴について説明する。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節では推定結果を検討し、考察する。第5節で本研究のまとめを示す。

2 費用関数とトランスログ・モデル

一般的な費用関数は、次のようにあらわすことができる。

$$C = C(p_i, y_j), \quad i = 1 \cdots m, j = 1 \cdots n \quad (1)$$

ここで、 C は費用、 p_j は生産要素価格、 y_i は生産物である。費用関数はそれが費用最小化をあらわすためには、生産要素価格 p_j に関して増加的（単調性）でその1次同次性と

凹性を満たし、かつ生産物 y_i に関して増加的（単調性）であることが求められる⁵。

(1)の費用関数に Christensen, Jorgenson and Lau(1973)が提案したトランスログ・モデルを仮定すると、次のように表すことができる。

$$\begin{aligned} \ln C = & a_0 + \sum_j a_j \ln y_j + \sum_i \beta_i \ln p_i + \frac{1}{2} \sum_j \sum_k \alpha_{jk} \ln y_j \ln y_k + \frac{1}{2} \sum_i \sum_l \beta_{il} \ln p_i \ln p_l \\ & + \sum_j \sum_i \gamma_{ji} \ln y_j \ln p_i, \quad i=1 \cdots m, j=1 \cdots n \quad (2) \end{aligned}$$

トランスログ・コストモデルは一般的な費用関数について連続性を仮定し、2階微分の項までを残した近似式とみることができる。したがって、パラメータには $\alpha_{jk} = \alpha_{kj}$ 、 $\beta_{il} = \beta_{li}$ という対称性の制約が課せられる。また、費用関数の性質として求められる生産要素価格に関する1次同次性は、任意の要素価格を基準として費用 C と他の要素価格 p_i を相対価格化することによってモデルに制約として与えることが出来る。他の費用最小化の条件である生産要素価格に関する単調性と凹性、生産物に関する単調性は、パラメータの推定値から事後的にチェックする。

(2)の費用関数に対して、シェパードのレンマを使い要素価格に関する1次微分をもとめると、トランスログ・モデルでは第 i 生産要素のコストシェア方程式を得る。すなわち、

$$S_i = \frac{p_i f_i}{C} = \beta_i + \sum_l \beta_{il} \ln p_l + \sum_j \gamma_{ji} \ln y_j, \quad i=1 \cdots m \quad (3)$$

である。ここで、 f_i は第 i 生産要素の投入量であり、 S_i は第 i 生産要素のコストシェアである。コストシェア方程式に関しては、次のような adding-up（加法性）制約が成り立つ。

$$\sum_i S_i = 1 \quad (4)$$

(4)式はすべての生産要素のコストシェアの和が「1」になることを意味しており、その定義から自明であるが、この adding-up 制約によって生産要素の数だけ存在するコストシェ

ア方程式のうち1本は独立ではないことが分かる。したがって、(2)の費用関数と(3)の m 本（ m は生産要素の数）のコストシェア方程式のうち任意の1本を除いた連立方程式体系を同時推定することですべてのパラメータ推定値を得ることができる⁶。こうした費用関数の推定は、Berndt and Wood(1975)をはじめ1970年代から費用関数の計量分析で広く用いられている。

推定されたパラメータからは、生産要素に関する価格弾力性を求めることが出来る。生産要素の自己価格弾力性（ η_{ii} ）と交差価格弾力性（ η_{ij} ）は次のように計算される。

$$\eta_{ii} = \left(\frac{\beta_{ii} + S_i^2 - S_i}{S_i} \right) S_i, \quad \eta_{ij} = \left(\frac{\beta_{ij} + S_i S_j}{S_i S_j} \right) S_j \quad (5)$$

また規模の経済性については、それを費用関数を基礎にして考えると、生産物の規模が n 倍になったときその費用が n 倍以下で済むような状況と定義できる。ここでは複数生産物を考えているので、規模の経済性についてもすべての生産物が同時に n 倍されるような状況と個々の生産物が n 倍されるような状況が考えられる。前者のようにすべての生産物が一律に n 倍されるような状況を「全体の規模の経済性」とよび、(2)式のトランスログモデルにおいて、次のように示すことが出来る。

$$\sum_i \left(\frac{\partial \ln C}{\partial \ln y_i} \right) = \sum_i \left(a_i + \sum_j a_{ij} \ln y_j + \sum_i \gamma_{ij} \ln p_j \right) < 1 \quad (6)$$

そこで、「全体の規模の経済性」 SAL_0 を次のように定義し、その値がゼロを下回って有意にマイナスとなるかどうかを検定する。

$$SAL_0 = \sum_i \left(a_i + \sum_j a_{ij} \ln y_j + \sum_i \gamma_{ij} \ln p_j \right) - 1 < 0 \quad (7)$$

また「第 i 生産物の規模の経済性」 SAL_i は、「全体の規模の経済性」 SAL_0 から類推できるように、次の関係を検定する。

$$SAL_i = a_i + \sum_j a_{ij} \ln y_j + \sum_i \gamma_{ij} \ln p_j - 1 < 0 \quad (8)$$

次に、範囲の経済性については、Baumol, Panzar and Willing(1982)に従い、次に示す費用の補完性に基づいて検証する

$$\frac{\partial^2 C}{\partial y_i \partial y_j} < 0, \quad (i \neq j, \quad i, j = 1, \dots, m) \quad (9)$$

(9)式は第*i*生産物と第*j*生産物が共に増加したときに費用削減的な効果が働くかどうかを示している。

この(9)式を(2)式のトランスログ費用関数に用いると、次の関係式を得る。

$$\frac{\partial^2 C}{\partial y_i \partial y_j} = \left(\frac{C}{y_i y_j} \right) \left[\alpha_{ij} + \left(\alpha_i + \sum_j \alpha_{ij} \ln y_j + \sum_j \gamma_{ij} \ln p_j \right) \left(\alpha_j + \sum_i \alpha_{ij} \ln y_i + \sum_i \gamma_{ij} \ln p_i \right) \right] < 0 \quad (10)$$

したがって、第*i*生産物と第*j*生産物の間に費用の補完性、すなわち範囲の経済性 SCP_{ij} があるかどうかは、次の関係を検定することによって判別できる。

$$SCP_{ij} = \alpha_{ij} + \left(\alpha_i + \sum_j \alpha_{ij} \ln y_j + \sum_j \gamma_{ij} \ln p_j \right) \left(\alpha_j + \sum_i \alpha_{ij} \ln y_i + \sum_i \gamma_{ij} \ln p_i \right) < 0 \quad (11)$$

3 データ

本研究では平成 16 年度（2004 年）から平成 20 年度（2008 年）の 5 年間にわたる国立大学法人 81 大学を分析の対象とする。データはバランスしたパネル形式で、データ数は 405 である。具体的な大学は、表 1 の通りである。

表 1 分析の対象とした国立大学

表1の大学は、いずれも国立大学法人法により設立された大学であり、期間中に統合された大阪外国語大学や富山医科薬科大学、高岡短期大学は含まれていない。また、期間中に短期大学から4年制大学になった筑波技術大学も含まれていない。

次節で示すように実際に推定をする時には、各国立大学の特性を表すダミー変数を加え、付属病院の有無や学部構成の違いなどが財務構造に及ぼす影響を考慮する。表1に示されているように、国立大学の特性を表す区分としては、国立大学法人財務分析研究会編(2008)に従い、旧帝大(旧帝国大学)7校、医総大(付属病院を有する総合大学)31校、医無総大(付属病院を有しない総合大学)10校、理工大(理工系大学)12校、文科大(文科系大学)5校、医科大(医科系大学)4校、教育大(教育系大学)12校の7分類を用いた。

推定に用いる変数の定義と出所について説明する。まず大学の生産物(y_i)については、学部教育、大学院教育、研究の3種類とし、わが国の先行研究を参考に学部教育については学部学生数、大学院教育については大学院生数、研究については科学研究費補助金の金額を用いる。データの出所は、学部学生数と大学院生数については各大学のホームページに掲載されている事業報告書(各年版)である。また科学研究費補助金は、文部科学省のホームページに掲載されている科学研究費補助金の「機関別採択件数・配分額一覧(新規採択+継続分)」(各年版)である。

当初用いる大学の費用(C)は、損益計算書に記載されている経常費用と臨時損失の合計に、菅原(2009a)に従い次に示す方法で計算した資本コストを加えたものである。

$$\text{資本コスト} = (land \times plan) + (book \times pbok) + ((yuke - land - book) \times pyuk) \times (intr + rdep) \quad (12)$$

ここで、 $land$:各大学の土地資産(貸借対照表)、 $plan$:大学所在地の都道府県地価(国土交通省都道府県地価調査)、 $book$:各大学の書籍資産(貸借対照表)、 $pbok$:消費者物価指数の書籍・その他印刷物(総務省統計局)、 $yuke$:各大学の有形固定資産(貸借対照表)、 $pyuk$:国内企業物価指数(日本銀行)、 $intr$:全銀貸出約定平均金利(日本銀行)、 $rdep$:減価償却率(貸借対照表の減価償却費から計算)である。各年の損益計算書と貸借対照表は各大学のホームページに掲載されている。

大学の生産要素については、資本と教員、職員、その他(資本や人以外に教育・研究等

に関わる生産要素)の4種類とする。各コストシェアは大学の費用(C)をいずれも分母として、資本のコストシェアは先に定義した資本コストを分子に、教員のコストシェアは教員人件費を分子に、また職員のコストシェアは職員人件費に役員人件費を加えたものを分子としてそれぞれ計算し、その他(資本や人以外に教育・研究等に関わる要素)のコストシェアは先の3種類のコストシェアの残余とした。

生産要素価格について、資本の価格は(12)式で定義した資本コストと整合的な形で各価格を加重平均して求め、教員と職員の賃金は対応する費用をそれぞれ教員数と職員数で割って求め、その他については消費者物価指数の中分類指数(全国)における教育の指数を用いた。

以上の方法で計算されたデータの基本統計量が、表2に示されている。データは81大学の5年分というパネル形式で整備されており、表2の統計量はすべてのデータをプールして計算されている。変動の大きさは個体間、すなわち大学の違いによる部分が大きく、時系列での変化は相対的に小さい。したがって、最小値と最大値の違いは主に大学間の違いと見ることができる。

表2 データの基本統計量

表2のデータについて最大値が最小値の何倍になるかをみると、生産物については学部学生数では36.6倍、大学院生数で254倍、科学研究費で968倍となっており、学部生、大学院生、研究費の順で国立大学間の規模の格差が大きくなることが分かる。費用についてみると最大値は最小値の112倍であり、印象としてやはり国立大学法人間の規模の格差が非常に大きいという印象を受ける。コストシェアの平均をみると、大まかに言って資本2割、教員3割、職員2割弱、その他(資本や人以外に教育・研究等に関わる生産要素)3割強である。最大値と最小値をみると、資本コストのシェアの格差が大きい。最後に生産要素価格をみると、資本価格や教員賃金の格差は大きい、職員賃金やその他の価格の格差は相対的に小さく、直感的に予想された通りの結果となっている。

4 実証分析の結果と考察

推定は、これまで説明したように(2)式のトランスログ費用関数と(3)式のコストシェア方程式3本を連立させて計4本の式を同時推定(あるいはシステム推定)するが、(2)式の費

用関数については各大学の特性を示すダミー変数を加えた次のような費用関数を推定の対象とした。

$$\ln C = a_0 + \sum_j a_j \ln y_j + \sum_i \beta_i \ln p_i + \frac{1}{2} \sum_j \sum_k \alpha_{jk} \ln y_j \ln y_k + \frac{1}{2} \sum_i \sum_l \beta_{il} \ln p_i \ln p_l + \sum_j \sum_i \gamma_{ji} \ln y_j \ln p_i + \sum_i \delta_i U_i \quad (13)$$

ここで、 $U_i (i=1, \dots, 6)$ は表 1 で示した各国立大学の特性を表すダミー変数である。国立大学 81 校の内、最も数の多い医総大（附属病院を有する総合大学）31 校をダミー変数のつかない基準とし、旧帝大（旧帝国大学）7 校にダミー変数 U_1 、医無総大（附属病院を有しない総合大学）10 校にダミー変数 U_2 、理工大（理工系大学）12 校にダミー変数 U_3 、文科大（文科系大学）5 校にダミー変数 U_4 、医科大（医科系大学）4 校にダミー変数 U_5 、教育大（教育系大学）12 校にダミー変数 U_6 と、6 種類のダミー変数を費用関数に加えた。

推定において生産物と価格のデータは平均値で「1」と基準化されている。また生産要素価格の 1 次同次性を制約として与えるための基準価格として、その他（資本や人以外に教育・研究等に関わる生産要素）の価格を使い、連立させるコストシェア方程式としてはその他のシェア方程式を除く資本、教員、職員の 3 本のシェア方程式を明示的な推定の対象とした。推定方法は、目的関数が収束するまで繰り返しパラメータの計算をする SUR（Seemingly Unrelated Regression）推定である⁷。

推定結果は、表 3 に示されている。後で示す推定結果と区別するために、当初のモデルをモデル 1 と呼ぶことにする。パラメータの推定値は α_{02} 、 α_{13} 、 δ_1 の 3 つを除いて漸近的標準誤差は小さく、総じて統計的に安定している。費用関数が満たすべき性質を基準時点において評価すると、生産要素価格に関する単調性は β_{01} 、 β_{02} 、 β_{03} がプラスで有意に計測されていることからいずれも満たされていることが分かる。また生産物に関する単調性も α_{01} 、 α_{02} 、 α_{03} がプラスで有意に計測されており、いずれも満たされていることが分かる。

表 3 推定結果（モデル 1）

生産要素価格に関する凹性については、生産要素の自己価格弾力性が負になることによって確認できる。費用関数のパラメータ推定値から計算された生産要素の価格弾力性が表4に示されている。表4の対角線上のマス目に各生産要素の自己価格弾力性が示されている。価格弾力性は(5)式が示すように、パラメータ推定値から計算される推定値であるからその標準誤差がデルタ法によって計算され下段の（）内に示されている。これをみると、推定結果が統計的に安定しているために価格弾力性の標準誤差も総じて小さい。しかし、自己価格弾力性の符号をみると、教員や職員、その他の生産要素はミクロ経済学が示唆するようにマイナスになっているが、資本についてはプラスとなり費用最小化行動に反して生産要素価格の凹性は満たされていないことが分かる。またマイナスになっている教員や職員、その他の自己価格弾力性もいずれも「-1」より小さく必ずしも弾力的ではない。

表4 生産要素の価格弾力性（モデル1）

生産要素の交差価格弾力性をみると、資本と職員、職員とその他の間はマイナスとなりこれらの生産要素が互いに補完的であることを示している。他の生産要素の組み合わせ、例えば資本と教員や資本とその他、教員とその他の間では、交差価格弾力性がプラスとなり相互に代替的な関係となっている。また教員と職員の交差価格弾力性はプラスで計測されているがその値は他の生産要素の組み合わせより1ケタ小さくほぼ両者は独立的と見ることができる。

資本の自己価格弾力性がマイナスで計測されていないことは、国立大学が土地や建物といった国立大学の資本設備に関して費用最小化行動をとっていない可能性を示唆している。また、このままでは、費用関数としてその条件を満たしていない。

そこで、モデル1において標準誤差が大きく統計的に有意性の低い3つのパラメータ α_{02} 、 α_{13} 、 δ_1 にゼロ制約を課したモデルを推定した。それがモデル2であり、推定結果が表5に示されている。

表5 推定結果（モデル2）

推定結果は統計的にみて良好であり、すべての漸近的標準誤差は小さく漸近的 t 値は高

い。通常の有意水準にあてはめると、すべてのパラメータ推定値が有意である。トランスログ費用関数のパラメータ数が多いことを考えると、シェア方程式をあわせて同時推定したことによって統計的に安定した推定値が得られたものと考えられる。ここでも生産要素価格と生産物に関する単調性は満たされている。

国立大学の特性を表すダミー変数 $U_i (i = 1, \dots, 6)$ の係数推定値について触れておく。表3のモデル1では旧帝大（旧帝国大学）7校のダミー変数 U_1 の係数推定値 δ_1 が有意ではなく、モデル2でゼロ制約を与えた。このことは、旧帝大が医総大（付属病院を有する総合大学）と費用に関して加法的な違いは無いことを意味している。これに対して、医無総大（付属病院を有しない総合大学）10校 U_2 、理工大（理工系大学）12校 U_3 、文科大（文科系大学）5校 U_4 、教育大（教育系大学）12校 U_6 の係数はいずれも有意にマイナスであり、これらの大学の費用が旧帝大や医総大よりも一律に低いことを示している。唯一ダミー変数の係数推定値がプラスとなったのは医科大（医科系大学）4校 U_5 であり、医科大の費用が旧帝大や医総大よりもさらに一律に高いことを示している。これらの結果は、大学の費用にとって医学部や併設される付属病院の存在が大きな影響を持つことを示しており、これとは対照的に文科大 U_4 はもっとも大きなマイナスの係数推定値を得たことから低コストであることが示されている。こうした傾向は、他のモデルでも変わらず安定している。

表5のモデル2の推定値から計算された生産要素の価格弾力性が、表6に示されている。これをみると、やはりモデル1の場合と同様に資本の自己価格弾力性はプラスで計測されており、他の3つの生産要素についてはマイナスで計測されているものの、費用最小化の条件を満たしていない。

表6 生産要素の価格弾力性（モデル2）

モデル1とモデル2はともに資本の自己価格弾力性がマイナスとはならず、生産要素価格に関する凹性が満たされていない。したがって、資本費用を含む費用関数の妥当性については疑問が残る。しかしこの問題は後で対応するとして、表3や表5のパラメータ推定値から規模の経済性と範囲の経済性を計算し考察しておく。その結果が、表7に示されている。

表7 規模の経済性と範囲の経済性（モデル1とモデル2）

まず規模の経済性についてみると、モデル1では全体の規模の経済性も3つの生産物に関する規模の経済性もいずれもマイナスで計測されている。Wald 検定の統計量に基づく p-値も有意にゼロと異なることを示しており、全体と個別についてともに規模の経済性の存在が肯定されている。モデル2では大学院生に関するパラメータ α_{02} がゼロと制約されているので大学院生の規模の経済性は推定できないが、それを除くと結果はモデル1と同じで、規模の経済性はやはり全体と2つの生産物についていずれも有意にゼロと異なりマイナスで計測されていることから、規模の経済性が認められるという結果を示している。

次に、表8で範囲の経済性をみる。モデル1とモデル2で値はわずかに異なるものの傾向は同じで、学部学生と大学院生、大学院生と研究、という2つの組み合わせについては範囲の経済性がともにマイナスで計測されている。これらについては、Wald 検定の統計量に基づく p-値も有意にゼロと異なることを示しており、範囲の経済性が認められる。これに対して、学部学生と研究の間には負の範囲の経済性が計測されており、学部学生の指導と研究とが費用面で非効率になる可能性が示唆されている。

しかし、以上のような規模の経済性や範囲の経済性の結果は、費用最小化の条件を満たさない不十分な費用関数に基づく暫定的な考察である。そこで、さらに費用最小化の条件を満たす費用関数を探すために費用の定義から資本コストを除いたモデルを推定した。すなわち、損益計算書に記載されている経常費用と臨時損失の合計だけを費用と定義し、生産要素から資本を除いて教員と職員、その他の3つの生産要素に基づく費用関数をモデル3とし、それと整合的なコストシェア方程式2本をあわせて計3本の式を同時推定した。その結果が、表8に示されている。

表8 推定結果（モデル3）

表8について、標準誤差を見るとこれまでと同様に統計的には総じて安定した結果が得られている。国立大学の特性を考慮したダミー変数の係数推定値の傾向もモデル1と変わらない。標準誤差が大きく統計的に有意性が低いのは α_{02} 、 α_{13} 、 δ_1 の3つであり、生産要素費用と生産物の単調性は大学院生に関する α_{02} がマイナスとなったのを除いて満たされている。表9には表8のモデル3の推定値から計算された生産要素の価格弾力性が

示されている。

表 9 生産要素の価格弾力性（モデル 3）

表 9 をみると、まず対角線上に並ぶ自己価格弾力性は教員、職員、その他の 3 生産要素ともにマイナスとなり費用最小化行動と整合的である。3 つの生産要素の中では職員の価格弾力性が相対的に高く、教員の価格弾力性が低い。職員の価格効果は大きく職員の賃金上昇はその削減に作用するが、教員の価格効果は比較的小さく教員の賃金上昇はその削減に結びつきにくいことが示されている。生産要素間の代替・補完関係はいずれの交差価格弾力性もプラスで計測されていることから代替的であることが示されている。この中では職員とその他、教員とその他、という組み合わせの代替性が比較的高く、教員と職員の代替性は低いことが分かる。表 9 において、いずれの標準誤差も小さく、こうした計測値は統計的に安定している。

生産要素から資本を除いたモデル 3 は、資本を含むモデル 1 やモデル 2 と比較して各生産要素の自己価格弾力性がマイナスで計測され、その点で費用最小化行動と整合的である。しかし、 α_{02} 、 α_{13} 、 δ_1 の 3 つのパラメータの標準誤差は大きく、生産物の単調性は大学院生に関する α_{02} がマイナスとなっていることから満たされていない。そこでモデル 3 に対して、 α_{02} 、 α_{13} 、 δ_1 の 3 つのパラメータにゼロ制約を与えてモデル 4 としてコストシェア方程式とともに同時推定した。その結果が、表 10 である。

表 10 推定結果（モデル 4）

表 10 をみると、いずれの推定値の標準誤差も十分に小さく、通常の基準ですべてのパラメータの推定値は統計的に有意である。パラメータ推定値の傾向は、モデル 3 の結果と大きく異ならない。生産要素費用と生産物の単調性はいずれも満たされており、大学の特性を示すダミー変数の係数推定値も大きく変わらない。

このモデル 4 の推定値から計算された生産要素の価格弾力性が、表 11 に示されている。表 11 の対角線上に並ぶ 3 つの生産要素の自己価格弾力性はいずれもマイナスで費用最小化行動と整合的である。モデル 3 の結果と同様に、3 つの生産要素の中では職員の価格弾力性が相対的に高く、教員の価格弾力性が低い。生産要素間の代替・補完関係はいずれの

交差価格弾力性もプラスで計測されていることから代替的であり、職員とその他、教員とその他、という組み合わせの代替性は比較的高く、教員と職員の代替性は低い。こうした計測値の標準誤差は小さく統計的に安定した結果と言える。モデル4はミクロ経済学が示す費用最小化行動と整合的な結果が得られており、統計的にも良好な推定結果であることが確認できた。

表11 生産要素の価格弾力性（モデル4）

そこで、モデル3とモデル4の推定値に基づいて、規模の経済性と範囲の経済性を計算した。その結果が、表12に示されている。モデル4は一部のパラメータがゼロと制約されており、このために大学院生の規模の経済性が計測されていない。しかしこの点を除くと、2つのモデルの計測結果はほぼ同様であり、頑健な結果である

表12 規模の経済性と範囲の経済性（モデル3とモデル4）

まず全体の規模の経済性について、統計的に有意に認められる。また個別にみると、学部学生、大学院生、研究のいずれについても規模の経済性が認められる。次に範囲の経済性について、学部と大学院、大学院と研究について、それぞれ統計的にも有意に認められる。これに対して、学部と研究については範囲に経済性は認められず、むしろ範囲の不経済が有意に認められる。このことは、やはり費用の面からみるとひとつの大学で研究と学部教育をともに拡大させることは困難であることを示唆している。

5 まとめ

本稿では、平成16年度（2004年）から平成20年度（2008年）の5年間にわたる国立大学法人81大学を分析対象として、トランスログ型の費用関数をコストシェア方程式とともに同時推定した。この結果、統計的にみて良好な推定結果を得るとともに、生産要素の価格弾力性や規模の経済性、範囲の経済性について、十分に信頼できる計測結果を得た。

まず明らかになったことは、資本、教員、職員、その他、という4つの生産要素考えたとき、国立大学は必ずしも土地や建物といった資本設備について費用最小化行動をとって

いないということである。これは、国立大学が2004年に法人化されたとは言え、民間企業と異なり土地や建物については国立大学法人にコスト意識が十分に働くような仕組みになっていないことが考えられる。

次に費用関数の推定で、付属病院の有無や学部構成の違いなどによって国立大学を7種類に分類したダミー変数を作成し、費用関数に含めた。この結果、費用の水準には医学部および付属病院の有無が大きく影響することが示された。特に医科系大学の費用が高く、それに次いで旧帝大や医総大（付属病院を有する総合大学）の費用が高く、文科大（文科系大学）がもっとも低いという予想通りの結果を得た。

第3に明らかになったことは、生産要素の価格弾力性について、3つの生産要素の中では職員の自己価格弾力性が最も高く、費用削減の影響を受け易いこと、これに対して教員の自己価格弾力性は低く教員賃金が上昇してもその削減は難しいことが示された。また生産要素間の代替・補完関係では、職員とその他、教員とその他、という組み合わせの代替性が比較的高く、教員と職員の代替性は低いことが示された。これらもまた、予想された結果である。

第4に規模の経済性については、全体の規模の経済性が認められ、また個別についても学部教育や大学院教育、あるいは研究活動について、それぞれ規模の経済性が認められた。

第5に範囲の経済性については、学部と大学院、大学院と研究で範囲の経済性が認められ、これに対して学部と研究については範囲の不経済が有意に認められた。このことは、費用面からみると研究と学部教育をともに拡大することは困難で、やはり教育を中心とする大学と研究を中心とする大学に大きく分かれることが示唆された。

以上みてきたように、本稿での計測結果は意外なものは少なく、事前に予想された通りのことが精緻な計量分析によって計測されたといえる。これらの結果を直接的に高等教育政策に結び付けようとするれば、次のような提言が可能であろう。第1に、国立大学法人の制度に自らが持つ資本の有効活用を促すような仕組みが必要である。第2に、国立大学の費用構造に医学部や付属病院が及ぼす影響は大きく、会計制度上、それらを切り離して基準化することが望ましい。第3に、国立大学の平均的規模は依然として小さく、さらに大学を集約することによって費用を削減できる余地が残されている。第4に、教育中心の大学と研究センターの大学に分けることが費用面からみると妥当であり、そうした流れを促進することが必要である。もちろん、こうした提言は費用関数の計量分析の結果を直接的に政策に結びつけたものであり、高等教育政策を考えるときには他の多くの要因をあわせて考

慮しなければならない。

本稿の分析に対して残された課題を挙げると、生産関数と双対関係にある費用関数の計量分析としては、生産要素の代替・補完関係や規模の経済性、範囲の経済性以外に、技術進歩の計測という問題がある。技術進歩は、時間の変化に伴う現象であるから、大学に関してより長期の時系列データを整備する必要がある。こうした研究は、北坂(2011d)で取り組まれている。もうひとつの課題として、本稿では分析の対象を国立大学に限定したが、私立大学についてもその費用構造を計量分析により明らかにすることが考えられる。そうした研究は、北坂(2011b)で取り組まれている。

注

¹ 費用関数の実証分析についてここで挙げた視点以外にも、近年では効率性の分析も注目される。国立大学の効率性を確率的フロンティア費用関数で分析した実証研究として、北坂(2011c)がある。

² この分野の欧米における研究の展望については、Cohn and Cooper(2004)を参照。

³ 例えば、黒田(1989)を参照。

⁴ 規模の経済性や範囲の経済性を計測する方法としては、費用関数の計量分析以外に DEA (Data Envelopment Analysis: 包絡分析法) による方法がある。わが国の国立大学を対象に DEA を用いて規模の経済性や範囲の経済性を計測した最近の研究として、山崎・伊多波(2009)がある。

⁵ 例えば、ヴァリアン(1986)第 1 章を参照。

⁶ adding-up 制約を持つシェア方程式の推定と検定に関しては、いくつかの統計学的問題が存在し、1970 年代に多くの統計学者が取り組んだ。そうした問題については、例えば、和合(1983)を参照。

⁷ Zellner (1962)にちなんで Iterative Zellner Efficient (IZEF) 推定と呼ばれることもある。

参考文献

- Baumol, W. J., J. C. Panzar, and R. D. Willig, (1982) *Contestable Markets and the Theory of Industry Structure*, Harcourt Brace Jovanovich.
- Berndt, R.E. and D.O.Wood,(1975)“Technology, Prices, and the Derived Demand for Energy,” *The Review of Economic and Statistics*, Vol.57, No.3, pp.259-268.
- Christensen, L. R., D. W. Jorgenson and L. J. Lau, (1973) “Transcendental Logarithmic Production Frontiers,” *Review of Economics and Statistics* , Vol.55, pp.28-45.
- Cohn, E., and S. T. Cooper, (2004) “Multi-product Cost Functions for Universities: Economies of Scale and Scope,” *International Handbook on the Economics of Education*, in Johnes, G., and J. Johnes, eds., Edward Elgar, ch15, pp.579-612.
- Cohn, E., S. L. W. Rhine, and M. C. Santos, (1989) “Institutions of Higher Education as Multi-product Firms: Economies of Scale and Scope,” *Review of Economics and Statistics*, Vol.71, pp.284–290.
- Glass, J. C., D. G. McKillop and N. Hyndman, (1995) “Efficiency in the Provision of University Teaching and Research: An Empirical Analysis of UK Universities,” *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 10, No. 1, pp. 61-72.
- Hashimoto, K., and E. Cohn, (1997) “Economies of Scale and Scope in Japanese Private Universities,” *Education Economics* , Vol.5, pp.107–116.
- Nelson, R., and K. T. Hevert, (1992) “Effect of Class Size on Economies of Scale and Marginal Costs in Higher Education,” *Applied Economics*, Vol.24, pp.473–482.
- Zellner,Arnold,(1962)"An efficient method of estimating seemingly unrelated regression equations and tests for aggregation bias". *Journal of the American Statistical Association* 57,pp.348–368.
- 姉崎正起子・本間哲志,(2010)「損害保険会の産業組織に関する実証的研究」『金融経済研究』第30号 pp.21-41.
- 浅井澄子・中村清,(1997) 「地域通信事業の費用構造分析」『公益事業研究』、第48巻第3号, pp31-39
- 播磨谷浩三・柳川 隆,(2009)「日本の国鉄改革に関する検証」CPRC Discussion Paper Series (競争政策研究センター) ,CPDP-44-J September 2009,pp.1-33.
- 樋口大輔,(2002)「消費者金融業の産業組織論的分析－規模の経済性の観点から－」早稲田

- 大学消費者金融サービス研究所 WorkinPaper,IRCFS02-002,pp.1-23.
- 角田千枝子・和田哲夫・根本二郎,(1997)「郵便事業における規模の経済性・範囲の経済性・費用の劣加法性の検証」『情報通信学会年報1997年』,pp.22-36.
- 粕谷宗久,(1986)「Economies of scopeの理論と銀行業への適応」『金融研究』第5巻第3号,pp.49-80.
- 衣笠達夫,(1994)「トランスログ型関数による航空運輸産業の費用構造の分析」『地域学研究』第25巻第1号,pp.147-159
- 北坂真一,(1996)「生命保険業における規模と範囲の経済性—バブル経済崩壊後を対象として—」,『ファイナンス研究』,No.21,pp.61-83.
- 北坂真一(2011a)「わが国の高等教育政策と大学の市場構造—産業組織論の視点—」『経済学論叢』(同志社大学)掲載予定.
- 北坂真一(2011b)「私立大学の費用関数:トランスログ・コストシェアモデルによる同時推定」同志社大学経済学部ワーキングペーパー.
- 北坂真一(2011c)「国立大学の効率性:確率的フロンティアモデルによる計測」同志社大学経済学部ワーキングペーパー.
- 北坂真一(2011d)「国立大学の生産性:時系列分析による技術進歩率の計測」同志社大学経済学部ワーキングペーパー.
- 小林千春,(1998)「可変・総費用関数アプローチによる日米電気事業の費用要因分析」『経済学論叢』(同志社大学)第50巻第1号, pp.1-21.
- 国立大学法人財務分析研究会編,(2008)『平成19年度版国立大学の財務』発行:独立行政法人国立大学財務・経営センター,pp.1-857.
- 黒田昌裕,(1989)『一般均衡の数量分析』岩波書店.
- 村山純・渡邊健,(1989)「わが国証券業における規模の経済性について」『フィナンシャル・レビュー』(大蔵省財政金融研究所) June1989,pp.12-30.
- 中島英博・キース J.モーガン・鳥居朋子・小湊卓矢・池田輝政,(2004)「国立大学における規模及び範囲の経済に関する実証分析」『名古屋高等教育研究』第4号, pp.91-104.
- 中島隆信・八田恵子[1993]「わが国電気通信産業の経済性分析」『郵政研究レビュー』第4号,pp.22-40.
- 中山 徳良,(2002)「水道事業の費用構造」『公益事業研究』第54巻第2号,pp.83-89.
- 根本二郎,(1992)「電気事業の規模の経済性:最近の研究の展望」『電力経済研究』(電

- 力中央研究所) 第31号、pp.15-24
- 野間敏克・筒井義郎,(1987)「わが国銀行業における規模の経済性：トランスログ費用関数および資本レンタル価格の検討」『大阪大学経済学』第 36 巻第 3・4 号,pp.218-229.
- 大井尚司,(2009)「乗合バス事業における規制緩和の影響に関する定量的考察—費用面の分析から—」『交通学研究』(日本交通学会) 52 号, pp. 161-170.
- 小塩隆土,(2002)『教育の経済分析』日本評論社.
- 斎藤 鶴之助,(2000)「病院費用構造の計量経済学的分析：日米比較」『川崎医療福祉学会誌』(川崎医療福祉大学) Vol.10,No2, pp.299-304.
- 妹尾渉,(2004)「研究と教育に関する規模の経済と範囲の経済——日本の国立大学の場合——」『国際公共政策研究』,第 8 巻第 2 号,pp.1-15.
- 新庄浩二・北坂真一,(1989)「電気事業における規模の経済性の計測」『エネルギー経済』,第 15 巻第 5 号,pp.25-37.
- 菅原千織,(2009a)「国立大学の規模と範囲の経済性—パネル・データ分析—」『経済学論叢』(同志社大学) 第 61 巻第 1 号, pp.117-151.
- 菅原千織,(2009b)「国立大学の規模と範囲の経済性—トランスログ・モデルによる推定—」『経済学論叢』(同志社大学) 第 61 巻第 2 号, pp.147-170.
- 首藤恵,(1987)『日本の証券業』東洋経済新報社.
- ヴァリアン,ハル R.,(1986)『ミクロ経済分析』(佐藤隆三・三野和雄訳)勁草書房.
- 和合肇,(1983)「シェアモデルにおける推定と検定—トランスログ型モデルへの応用—」竹啓編『計量経済学の新展開』東京大学出版会,pp.203-236.
- 山内直人研究室(近江舞, 大塚亜紗人, 糸井久輝, 中川浩幸, 松本紗矢香, 好村早織), (2006)「国立大学法人の今後のあり方—規模および範囲の経済性に関する実証分析を通して—」ISFJ 日本政策学生会議「政策フォーラム 2006」http://www.isfj.net/ronbun_backup/2006/sangyo/yamauchi2.pdf.
- 山崎その・伊多波良雄,(2009)「国立大学法人における経営の効率性改善」『同志社政策科学研究』第 11 巻第 1 号,pp.97-113.

表1：分析対象とする国立大学法人

番号	大学名	分 類	番号	大学名	分 類
1	北海道大学	旧帝大	41	岐阜大学	医総大
2	北海道教育大学	教育大	42	静岡大学	医無総大
3	室蘭工業大学	理工大	43	浜松医科大学	医科大
4	小樽商科大学	文科大	44	名古屋大学	旧帝大
5	帯広畜産大学	理工大	45	愛知教育大学	教育大
6	北見工業大学	理工大	46	名古屋工業大学	理工大
7	旭川医科大学	医科大	47	豊橋技術科学大学	理工大
8	弘前大学	医総大	48	三重大大学	医総大
9	岩手大学	医無総大	49	滋賀大学	文科大
10	東北大学	旧帝大	50	滋賀医科大学	医科大
11	宮城教育大学	教育大	51	京都大学	旧帝大
12	秋田大学	医総大	52	京都教育大学	教育大
13	山形大学	医総大	53	京都工芸繊維大学	理工大
14	福島大学	医無総大	54	大阪大学	旧帝大
15	茨城大学	医無総大	55	大阪教育大学	教育大
16	筑波大学	医総大	56	神戸大学	医総大
17	宇都宮大学	医無総大	57	兵庫教育大学	教育大
18	群馬大学	医総大	58	奈良教育大学	教育大
19	埼玉大学	医無総大	59	奈良女子大学	医無総大
20	千葉大学	医総大	60	和歌山大学	医無総大
21	東京大学	旧帝大	61	鳥取大学	医総大
22	東京医科歯科大学	医科大	62	島根大学	医総大
23	東京外国語大学	文科大	63	岡山大学	医総大
24	東京学芸大学	教育大	64	広島大学	医総大
25	東京農工大学	理工大	65	山口大学	医総大
26	東京芸術大学	文科大	66	徳島大学	医総大
27	東京工業大学	理工大	67	鳴門教育大学	教育大
28	お茶の水女子大学	医無総大	68	香川大学	医総大
29	電気通信大学	理工大	69	愛媛大学	医総大
30	一橋大学	文科大	70	高知大学	医総大
31	東京海洋大学	理工大	71	福岡教育大学	教育大
32	横浜国立大学	医無総大	72	九州大学	旧帝大
33	新潟大学	医総大	73	九州工業大学	理工大
34	長岡技術科学大学	理工大	74	佐賀大学	医総大
35	上越教育大学	教育大	75	長崎大学	医総大
36	富山大学	医総大	76	熊本大学	医総大
37	金沢大学	医総大	77	大分大学	医総大
38	福井大学	医総大	78	宮崎大学	医総大
39	山梨大学	医総大	79	鹿児島大学	医総大
40	信州大学	医総大	80	鹿屋体育大学	教育大
			81	琉球大学	医総大

注：国立大学法人財務分析研究会編（2008）による分類。

旧帝大：旧帝国大学、医総大：付属病院を有する総合大学、
 医無総大：付属病院を有しない総合大学、理工大：理工系大学、
 文科大：文科系大学、医科大：医科系大学、教育大：教育系大学。

表2 データの基本統計量

変数名	変数の定義	平均値	標準偏差	最小値	最大値
y1	学部学生数	5535 人	3547 人	446 人	16339 人
y2	大学院生数	1820 人	2310 人	54 人	13732 人
y3	科学研究費	14 億 5085 万円	31 億 9349 万円	2282 万円	221 億 166 万円
cost	経常費用 +臨時損失 +資本コスト	367 億 5011 万円	408 億 7387 万円	25 億 9085 万円	2912 億 4225 万円
s1	資本コスト シェア	0.201	0.084	0.042	0.507
s2	教員コスト シェア	0.305	0.093	0.098	0.559
s3	職員コスト シェア	0.174	0.044	0.081	0.293
s4	研究・教育経 費等シェア	0.318	0.095	0.125	0.524
p1	資本価格	1.000	0.114	0.390	1.446
p2	教員賃金	1.000	0.216	0.621	2.342
p3	職員賃金	1.000	0.112	0.687	1.377
p4	研究・教育経 費等の価格	1.000	0.009	0.986	1.014

注：対象は平成 16 年度から平成 20 年度の国立大学 81 法人、データ数は 405。

表3 推定結果（モデル1）

パラメータ	推定値	標準誤差	t-統計量	P-値
α_0	10.7951	0.0200	539.327	[0.000]
α_{01}	0.3343	0.0355	9.422	[0.000]
α_{02}	0.0057	0.0429	0.132	[0.895]
α_{03}	0.4052	0.0354	11.438	[0.000]
β_{01}	0.1894	0.0051	36.853	[0.000]
β_{02}	0.2462	0.0044	55.418	[0.000]
β_{03}	0.1823	0.0024	76.735	[0.000]
α_{11}	0.1975	0.0461	4.286	[0.000]
α_{12}	-0.1977	0.0367	-5.390	[0.000]
α_{13}	-0.0071	0.0304	-0.232	[0.816]
α_{22}	0.3560	0.0497	7.167	[0.000]
α_{23}	-0.1960	0.0277	-7.089	[0.000]
α_{33}	0.2147	0.0330	6.514	[0.000]
β_{11}	0.2723	0.0320	8.502	[0.000]
β_{12}	0.0338	0.0164	2.067	[0.039]
β_{13}	-0.1386	0.0139	-9.995	[0.000]
β_{22}	0.0764	0.0165	4.619	[0.000]
β_{23}	-0.0415	0.0090	-4.605	[0.000]
β_{33}	0.0699	0.0107	6.523	[0.000]
γ_{11}	-0.0147	0.0068	-2.158	[0.031]
γ_{12}	0.0348	0.0058	6.005	[0.000]
γ_{13}	0.0093	0.0031	2.990	[0.003]
γ_{21}	0.0404	0.0078	5.163	[0.000]
γ_{22}	0.0515	0.0067	7.644	[0.000]
γ_{23}	-0.0404	0.0036	-11.168	[0.000]
γ_{31}	-0.0287	0.0058	-4.911	[0.000]
γ_{32}	-0.0846	0.0051	-16.697	[0.000]
γ_{33}	0.0258	0.0027	9.553	[0.000]
δ_1	0.0024	0.0458	0.053	[0.958]
δ_2	-0.6729	0.0225	-29.929	[0.000]
δ_3	-0.7427	0.0277	-26.787	[0.000]
δ_4	-0.9617	0.0346	-27.759	[0.000]
δ_5	0.5224	0.0823	6.345	[0.000]
δ_6	-0.6057	0.0339	-17.892	[0.000]

注：標準誤差は White の修正によるもの。

表4 生産要素の価格弾力性（モデル1）

	資本	教員	職員	その他
資本価格	0.87142 (0.36846)	0.32395 (0.05122)	-0.64800 (0.13221)	0.78967 (0.13887)
教員賃金	0.51296 (0.08668)	-0.41763 (0.06494)	0.05123 (0.05109)	0.54682 (0.04982)
職員賃金	-0.67544 (0.13231)	0.024197 (0.03021)	-0.39727 (0.07193)	-0.21251 (0.05814)
その他の価格	1.34592 (0.24254)	0.56749 (0.05142)	-0.35707 (0.10146)	-0.23905 (0.10126)

上段は価格弾力性、下段（ ）はデルタ法により計算された標準誤差。

表5 推定結果（モデル2）

パラメータ	推定値	標準誤差	t-統計量	P-値
α_0	10.7954	0.0168	643.939	[0.000]
α_{01}	0.3399	0.0279	12.205	[0.000]
α_{03}	0.4088	0.0111	36.958	[0.000]
β_{01}	0.1893	0.0051	36.864	[0.000]
β_{02}	0.2461	0.0044	55.467	[0.000]
β_{03}	0.1824	0.0024	76.738	[0.000]
α_{11}	0.1915	0.0370	5.183	[0.000]
α_{12}	-0.2032	0.0244	-8.336	[0.000]
α_{22}	0.3569	0.0477	7.476	[0.000]
α_{23}	-0.1955	0.0240	-8.149	[0.000]
α_{33}	0.2120	0.0181	11.697	[0.000]
β_{11}	0.2734	0.0321	8.524	[0.000]
β_{12}	0.0333	0.0163	2.040	[0.041]
β_{13}	-0.1390	0.0139	-10.006	[0.000]
β_{22}	0.0760	0.0165	4.613	[0.000]
β_{23}	-0.0412	0.0090	-4.583	[0.000]
β_{33}	0.0700	0.0107	6.535	[0.000]
γ_{11}	-0.0146	0.0068	-2.151	[0.031]
γ_{12}	0.0347	0.0058	6.017	[0.000]
γ_{13}	0.0093	0.0031	2.984	[0.003]
γ_{21}	0.0403	0.0077	5.210	[0.000]
γ_{22}	0.0517	0.0066	7.869	[0.000]
γ_{23}	-0.0405	0.0036	-11.170	[0.000]
γ_{31}	-0.0287	0.0058	-4.938	[0.000]
γ_{32}	-0.0847	0.0050	-16.945	[0.000]
γ_{33}	0.0258	0.0027	9.561	[0.000]
δ_2	-0.6669	0.0207	-32.203	[0.000]
δ_3	-0.7372	0.0244	-30.269	[0.000]
δ_4	-0.9558	0.0330	-28.931	[0.000]
δ_5	0.5358	0.0466	11.508	[0.000]
δ_6	-0.5983	0.0314	-19.059	[0.000]

注：標準誤差は White の修正によるもの。

表6 生産要素の価格弾力性（モデル2）

	資本	教員	職員	その他
資本価格	0.87823 (0.36957)	0.32212 (0.05108)	-0.65023 (0.13265)	0.79051 (0.13912)
教員賃金	0.50986 (0.08645)	-0.41923 (0.06483)	0.052961 (0.05139)	0.54448 (0.04989)
職員賃金	-0.67766 (0.13275)	0.025221 (0.03039)	-0.39635 (0.07192)	-0.21227 (0.05822)
その他の価格	1.34739 (0.24298)	0.56508 (0.05148)	-0.35664 (0.10162)	-0.24030 (0.10135)

上段は価格弾力性、下段（）はデルタ法により計算された標準誤差。

表7 規模の経済性と範囲の経済性（モデル1とモデル2）

	規模の経済性				範囲の経済性		
	全体	学部生	大学院生	研究	学部 －大学院	学部 －研究	大学院 －研究
モデル1	-0.2548	-0.6657	-0.9943	-0.5948	-0.1958	0.1283	-0.1937
	115.349	265.152	554.212	236.044	21.009	8.2999	18.880
	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.003)	(0.000)
モデル2	-0.2512	-0.6600	-1	-0.5912	-0.2032	0.1389	-0.1954
	167.073	505.153		2015.86	41.8026	265.521	42.5516
	(0.000)	(0.000)		(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)

注:上段は推定値、中段はWald検定のための χ^2 統計量（自由度は「1」）、下段はp-値。

モデル2において、大学院生の規模の経済性はゼロ制約により推定されていない。

表8 推定結果（モデル3）

パラメータ	推定値	標準誤差	t-統計量	P-値
α_0	10.5849	0.0197	538.370	[0.000]
α_{01}	0.3645	0.0356	10.247	[0.000]
α_{02}	-0.0349	0.0431	-0.810	[0.418]
α_{03}	0.4122	0.0358	11.520	[0.000]
β_{01}	0.3074	0.0057	54.055	[0.000]
β_{02}	0.2226	0.0024	93.012	[0.000]
α_{11}	0.2430	0.0469	5.180	[0.000]
α_{12}	-0.2170	0.0375	-5.790	[0.000]
α_{13}	-0.0082	0.0311	-0.263	[0.792]
α_{22}	0.3736	0.0509	7.342	[0.000]
α_{23}	-0.1961	0.0283	-6.918	[0.000]
α_{33}	0.2085	0.0338	6.175	[0.000]
β_{11}	0.1183	0.0226	5.243	[0.000]
β_{12}	-0.0517	0.0103	-5.036	[0.000]
β_{22}	0.0251	0.0118	2.122	[0.034]
γ_{11}	0.0303	0.0074	4.123	[0.000]
γ_{12}	0.0116	0.0031	3.747	[0.000]
γ_{21}	0.0853	0.0086	9.887	[0.000]
γ_{22}	-0.0407	0.0036	-11.203	[0.000]
γ_{31}	-0.1171	0.0065	-18.052	[0.000]
γ_{32}	0.0230	0.0027	8.453	[0.000]
δ_1	0.0156	0.0468	0.333	[0.739]
δ_2	-0.7325	0.0230	-31.806	[0.000]
δ_3	-0.7834	0.0282	-27.784	[0.000]
δ_4	-1.0273	0.0354	-29.018	[0.000]
δ_5	0.5226	0.0843	6.200	[0.000]
δ_6	-0.6993	0.0345	-20.282	[0.000]

注：標準誤差は White の修正によるもの。

表9 生産要素の価格弾力性（モデル3）

	教員	職員	その他
教員賃金	-0.27021 (0.06712)	0.13973 (0.04913)	0.57007 (0.04628)
職員賃金	0.06690 (0.02972)	-0.66313 (0.06438)	0.39945 (0.04628)
その他の価格	0.58866 (0.04879)	0.71442 (0.08065)	-0.49439 (0.04424)

上段は価格弾力性、下段（ ）はデルタ法により計算された標準誤差。

表 10 推定結果（モデル4）

パラメータ	推定値	標準誤差	t-統計量	P-値
α_0	10.5850	0.0162	655.165	[0.000]
α_{01}	0.3588	0.0276	13.018	[0.000]
α_{03}	0.3875	0.0105	36.810	[0.000]
β_{01}	0.3077	0.0057	54.160	[0.000]
β_{02}	0.2225	0.0024	93.046	[0.000]
α_{11}	0.2332	0.0375	6.226	[0.000]
α_{12}	-0.2270	0.0248	-9.149	[0.000]
α_{22}	0.3815	0.0490	7.787	[0.000]
α_{23}	-0.1863	0.0245	-7.606	[0.000]
α_{33}	0.1939	0.0183	10.617	[0.000]
β_{11}	0.1238	0.0229	5.406	[0.000]
β_{12}	-0.0534	0.0103	-5.163	[0.000]
β_{22}	0.0252	0.0118	2.131	[0.033]
γ_{11}	0.0307	0.0073	4.186	[0.000]
γ_{12}	0.0115	0.0031	3.725	[0.000]
γ_{21}	0.0839	0.0085	9.828	[0.000]
γ_{22}	-0.0403	0.0036	-11.147	[0.000]
γ_{31}	-0.1162	0.0065	-18.016	[0.000]
γ_{32}	0.0228	0.0027	8.391	[0.000]
δ_2	-0.7517	0.0212	-35.442	[0.000]
δ_3	-0.7986	0.0247	-32.321	[0.000]
δ_4	-1.0504	0.0338	-31.100	[0.000]
δ_5	0.5517	0.0476	11.587	[0.000]
δ_6	-0.7233	0.0319	-22.683	[0.000]

注：標準誤差は White の修正によるもの。

表11 生産要素の価格弾力性（モデル4）

	教員	職員	その他
教員賃金	-0.25420 (0.06656)	0.13194 (0.04867)	0.58078 (0.04612)
職員賃金	0.06218 (0.02945)	-0.66273 (0.06388)	0.41017 (0.04612)
その他の価格	0.59995 (0.04862)	0.73309 (0.08036)	-0.48791 (0.04400)

上段は価格弾力性、下段（ ）はデルタ法により計算された標準誤差。

表 1 2 規模の経済性と範囲の経済性（モデル 3 とモデル 4）

	規模の経済性				範囲の経済性		
	全体	学部生	大学院生	研究	学部 －大学院	学部 －研究	大学院 －研究
モデル 3	-0.2581	-0.6354	-1.0349	-0.5878	-0.2297	0.1420	-0.2104
	112.065	229.865	660.656	227.645	28.304	10.014	22.372
	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.001)	(0.000)
モデル 4	-0.2537	-0.6411	-1	-0.6125	-0.2269	0.1390	-0.1863
	157.700	442.751		2153.47	50.055	296.092	43.418
	(0.000)	(0.000)		(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)

注:上段は推定値、中段は Wald 検定のための χ^2 統計量（自由度は「1」）、下段は p-値。

モデル 2 において、大学院生の規模の経済性はゼロ制約により推定されていない。