日本における製材業の生産構造と技術変化に関する経済分析

関 庚 鐸^{*,1}

本稿は日本における製材業の生産構造や技術変化を分析したものであり、1970～2004年間の年次データを用いてトランスログ型費用関数を推定し、投入要素の代替関係と価格弾力性、規模の経済性、技術発展の方向、全要素生産性の成長率を計測した。生産構造の検討において、同調性、同次性、単位代替弾力性、中立的な技術発展、技術変化なしの仮説が棄却され、一般型関数を用いて分析を行った。投入要素は互いに非弾力的な代替関係にあり、一つの要素の不足を他要素により代替し難いことを意味する。また、製材業には規模の経済性が存在し、生産規模が市場需要に相応していないことが明らかとなり、生産規模を調整する必要があることが示された。次に、製材業の技術は、木材中立的、労働節約的、資本使用的に発展されたことが示された。最後に、製材業の全要素生産性は微減の傾向にあり、費用節減の技術発展が負の規模効果に相殺されていることが明らかになった。これは、製材業において生産性を向上させるため規模効果の改善が重要な課題であることを示唆する。

キーワード：製材業、技術変化、生産構造、全要素生産性、トランスログ型費用関数

Kyung-taek Min^{*,1} (2009) Economic Analysis of Production and Technological Change of Sawmill Industry in Japan. J. Jpn. For. Soc. 91: 27-34. This study analyzed the production structure, factor substitutability and technological change of sawmill industry in Japan. Translog cost function was employed to achieve the objectives using annual data of sawmill output and three inputs: material, labor and capital from 1970 to 2004. Six models, encompassing different restrictions on the translog cost function, were applied to determine the production structure. And the general functional form was selected, which reveals the inappropriateness of the existing research based on the Cobb-Douglas or CES production function. All inputs in the sawmill industry are inelastic substitutes each other, which indicate that the industry has limited options to make input adjustment with respect to changes in relative input prices. There exists the economy of size in the sawmill industry, which exhibits the need for concentration of industry to reduce the production cost. Technological changes are material-neutral, labor-saving and capital-using. Material-neutral technological bias is thought to be one of the factors affecting the depression of the sawmill industry. Total factor productivity growth had been decreased infinitesimally. The technological progress to diminish the cost seemed to be dominated by the negative scale effect. Consequently, the sawmill industry needs to restructure its production structure to increase its productivity.

Key words: sawmill, technological change, structure of production, total factor productivity, translog cost function

I. は じ め に

林業の発展は木材産業に大きく規定されている。林業部門がいかにより良質の素材を生産してもそれを加工する木材産業の発展水準が低ければ、林木は効果的に利用されず、その価値も林業側に還元されない。木材産業の中でも製材業は国産材素材消費の大半を占めており、林業または森林管理にとりわけ強く結びついている。しかし、日本の製材業は製材品輸入の拡大や建築材料需要の変化を受けて急激に縮小傾向にある。製材品の生産は1970年の42,127千 m^3 から2004年の13,654千 m^3 までに落ち込み、従業者数も1970年の254,343人から2004年には55,118人まで減少している。

このように製材業をめぐる競争環境は大きく変わってきた。その中、製材業の競争力を付けるためには、製材業の生産と流通に要する費用をいかにして引き下げるかが早速に取り組まなければならない課題となっている。このための基礎研究として製材業の生産構造と技術変化を分析することが必要である。生産構造を理解することは生産要素を

いかに配分するかを知ることだけではなく、木材産業振興政策にも有用な情報を提供する。

製材業を対象とする生産構造と技術変化の研究は、北米を中心に数多く行われており (Stier and Bengtson, 1992)、日本においても製材業を対象とした生産構造研究がいくつ散見される。森 (1978) は、1955～1975年の「工業統計表」のデータを用い、製材業において労働と資本の代替弾力性を計測し、資本の蓄積が製材業の成長に及ぼす効果を検証した。吉田 (1982) は、木材関連産業を対象としてコブ-ダグラス型とCES型生産関数の推定を行い、木材関連産業の生産において、要素の代替弾力性が1に近く、また、規模に関してほぼ収穫一定であると結論づけた。森 (1984) は、1966～1981年の年次データを用いて生産規模別のコブ-ダグラス型生産関数の推定を行い、資本と労働の生産弾力性を計測した。山本 (1991) は、時間変数を含むコブ-ダグラス型生産関数を推定し、国産材主製地域と外材主製地域、自県材主製地域の技術進歩率を比較した。立花 (1995) は、1978年から5年おきに都道府県単位のクロスセクションデータを用いてコブ-ダグラス型生産関数の計測を行い、製

* 連絡先著者 (Corresponding author) E-mail: min@fr.a.u-tokyo.ac.jp

¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻 〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1 (Department of Forest Sciences, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan.) (2008年2月15日受付; 2008年9月9日受理)

材品生産には規模の経済性があることと、国産材製材品生産は労働集約的であり、外材製材品生産は資本集約的であることを明らかにした。

以上の先行研究等は、単純な形態の生産関数を用いて厳しい制約条件を置いているため、その解釈にも制限がある。一方、経済理論において柔軟な関数型と双対理論 (dual approach) の開発が進んだことにより、生産構造に対してより多様な分析が可能になってきている。そこで本研究は、生産関数の双対である費用関数を用い、製材業の生産構造と技術変化を実証分析することを目的とする。具体的には、トランスログ型費用関数の推定を通じて、生産構造の検証、投入要素の代替関係、技術変化の方向、全要素生産性の変化に対して計量経済的な分析を行うことになる。

以下、本稿の構成を簡単に示す。II. においては、分析方法について概観する。その際、本稿では生産関数と双対である費用関数を用いるため、トランスログ型費用関数に特定化して述べる。III. では、推定方法とデータの説明をする。それらを踏まえて、IV. では、製材業の費用関数の推定を行い、生産構造と技術変化の特徴を明らかにする。V. では、本稿のまとめを行う。

II. 分 析 方 法

1. 理論的なモデル

はじめに、製材業の生産技術を表す生産関数を考える。投入財として丸太 (x_M)、労働 (x_L)、資本 (x_K) を投入して製材品を生産 (y) する製材業の生産関数は、式(1) のような一般形で表せる。ただし、 t は技術変化を表す時間変数であり、分析過程で一つの生産要素のように扱われる。

$$y = f(x_M, x_L, x_K, t) \quad (1)$$

生産関数と費用関数の間には双対性 (duality) があり、生産関数の分析から得られる情報は費用関数からも得られる (Shephard, 1970)。費用関数を分析に用い得ることの第一の強みは、費用関数を直接微分することによって、供給関数と要素需要関数を導出できることである。さらに、価格受容者である生産者は自ら要素投入量と生産量を定めるため、要素投入量を外生変数として扱う生産関数より価格を外生変数として扱う費用関数によるアプローチが、経済学的により望ましい性質をもっているといえる。このように費用関数アプローチは、応用の面で現実的な有利性をもっている。

上に述べた生産関数の双対としての費用関数は、式 (2) のように書かれる。ここで、 C は y という産出水準を達成するための最小費用であり、 w_i は投入要素 i の価格を指す。

$$C = C(y, w_M, w_L, w_K, t) \quad (2)$$

費用関数がうまく定義されるためには、ある性質を満たさなければならない。この条件は要素価格に対して単調増加すること、要素価格に対する 1 次同次性 (homogeneous of degree 1) を満たすこと、要素価格に対して連続で凹関数

であることである (Varian, 1992)。

一方、本稿では計量経済モデルの推定にトランスログ型費用関数 (translog cost function) を利用する。トランスログ型関数は Christensen, *et al.*, (1973) によって開発されたものであり、製材業をはじめとして多様な林業経済分析で幅広く応用されている (Merrifield and Haynes, 1985; Baardsen, 2000; 加藤・吉田, 2004; 李ら, 2006)。トランスログ型関数は生産構造、要素間の代替弾力性、技術変化などに対して先験的な仮定を置かなくても良いという意味で柔軟な関数型 (flexible functional form) であると考えられている。

式(2) の両辺に対数を取って二次の項までテイラー展開 (Taylor expansion) をすると、式(3) のトランスログ型費用関数が得られる。

$$\begin{aligned} \ln C(W, y, t) = & \beta_0 + \frac{1}{2} \beta_{yy} (\ln y)^2 + \sum_i \beta_i \ln w_i \\ & + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln w_i \ln w_j + \beta_y \ln y \\ & + \sum_i \beta_{yi} \ln y \ln w_i + \beta_T t + \frac{1}{2} \beta_{TT} t^2 \\ & + \sum_i \beta_{Ti} t \ln w_i + \beta_{Ty} t \ln y \end{aligned} \quad (i, j = M, L, K; t = 1, 2, \dots, T) \quad (3)$$

ところで、式(3) には多数のパラメータが含まれ、推定に当たって多重共線性の問題が生ずるため、直接推定することは適切ではない。そこで式(3) の費用関数をログ付きの要素価格で偏微分し、Shephard (1970) の補題を適用すると、式(4) のおのおのの費用配分シェア式が導かれる。実際には、費用関数式(3) と費用配分シェア式ら式(4) を連立して推定する。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln C}{\partial \ln w_i} &= \frac{x_i w_i}{C} = S_i(W, y, t) \\ &= \beta_i + \sum_j \beta_{ij} \ln w_j + \beta_{yi} \ln y + \beta_{Ti} t \end{aligned} \quad (4)$$

なお、費用関数の連続性から対称性 (symmetry) が成立し、 $\beta_{ij} = \beta_{ji}$ となる。また、費用関数は要素価格に対して 1 次同次性を満たさなければならないため、式(5) の制約条件を課した。

$$\begin{aligned} \sum_i \beta_i &= 1, \quad \sum_j \beta_{ij} = \sum_i \beta_{ji} = 0, \\ \sum_i \beta_{yi} &= 0, \quad \sum_i \beta_{Ti} = 0 \quad i, j = M, L, K \end{aligned} \quad (5)$$

さらに、費用関数は投入要素の価格に対して単調増加性と凹性をもっているが、これらの条件を制約としてあらかじめ設ける方法はない。その性質を満たしているか否かは、パラメータ推定後に検討することにする。

上述したようにトランスログ型費用関数は生産構造または要素間の代替関係を固定しない特徴をもつ柔軟な関数型である。トランスログ型費用関数を用いることによって、生産関数の同調性 (homotheticity)、同次性 (homogeneity)、単位代替弾力性 (unitary elasticity of substitution) などの生

産構造の特徴について統計的検定を行い得る。これらの条件が有効であれば、さらに単純なモデルを選ぶことができる。

まず、生産関数が同調的であれば費用関数において産出量と要素価格が分離可能な関数となり、要素価格の変化と産出量が独立であることを意味する。これに加えて産出に対する費用の弾力性が一定であれば生産関数は同次のとなる。トランスログ型費用関数においてこの条件はおのこの式 (6) と式 (7) のように表せる。

$$\beta_{iy} = 0, \quad i = M, L, K \quad (6)$$

$$\beta_{yy} = 0, \quad \beta_{ij} = 0, \quad i = M, L, K \quad (7)$$

次に、生産要素が完全な代替関係であれば代替弾力値は 1 となり、費用関数の価格の二次項を除くことができる。

$$\beta_{ij} = 0, \quad i, j = M, L, K \quad (8)$$

本稿では製材業の生産構造を確認するため費用関数に式 (6)～式 (8) の制約条件を置いて統計的な検証を行い、さまざまな生産構造の妥当性を検討した。

2. 代替弾力性の測定

ある所与の生産量を達成するような生産要素の組み合わせを示しているものが等量曲線であり、生産の技術的な特性を表す。生産要素間の代替弾力性は、この等量曲線の曲率 (curvature) であり、式 (9) のように要素間の結合比率の変化率を限界技術代替率の変化率で除したものと定義される。これは、等量曲線の傾きの変化によって投入要素の結合率はどれくらい変わるのかを測定したものである (Varian, 1992)。また、生産者の費用最小化行動の下で生産要素の限界技術代替率は 2 要素の価格比と等しくなり、費用関数により代替弾力性が求められる (Uzawa, 1962)。ここで、 C_i と C_j は費用関数をそれぞれの要素価格で偏微分したものであり、 C_{ij} は費用関数を両要素価格で 2 系偏微分したことを指す。

$$\sigma_{ij} = \frac{d \ln(x_i/x_j)}{d \ln(f_i/f_j)} = \frac{d \ln(x_i/x_j)}{d \ln(w_i/w_j)} = \frac{C_i \cdot C_{ij}}{C_j \cdot C_i} \quad (9)$$

代替弾力性はすべての他の条件を一定として投入財 i と j の価格比が変化したとき、その要素の投入比がどのように変化するかを測ったものである。ちなみに、代替弾力値が正であればそれらの生産要素は代替財 (substitute) であることを、負であれば補完財 (complement) であることを表す。

投入要素が多数である場合の代替弾力性はさまざまに定義される。まず、アレン-宇沢の偏代替弾力値が広く用いられている。トランスログ型費用関数では、要素需要の価格弾力値 (ε_{ij}) とアレン-宇沢の投入要素の偏代替弾力値 (σ_{ij}^A) は、各々式 (10) と式 (11) のように計算される (Binswagner, 1974)。ここで、 S_i は投入要素 i の費用配分シェアであり、平均値または中間値が用いられる。費用関数の凹性は、費用関数のヘッセ行列が半負値定符号 (negative semi-definite) となることを要請し、アレン-宇沢の偏代替弾力値行列が半

負値定符号行列であることにより確認される。

$$\varepsilon_{ij} = \frac{(\beta_{ij} + S_i S_j)}{S_i} \quad i \neq j$$

$$\varepsilon_{ii} = \frac{(\beta_{ii} + S_i^2 - S_i)}{S_i} \quad (10)$$

$$\sigma_{ij}^A = \frac{1}{S_i S_j} \beta_{ij} + 1 = \frac{\varepsilon_{ij}}{S_j} \quad i \neq j$$

$$\sigma_{ii}^A = \frac{1}{S_i^2} (\beta_{ii} + S_i^2 - S_i) \quad (11)$$

アレン-宇沢の偏代替弾力値は 1 要素価格の変化による 1 要素の需要変化であるため、多要素モデルでは曖昧な面を含んでいる。そこで、多要素モデルの場合はモリシマの偏代替弾力値がより適切であることが指摘される (Blackorby and Russell, 1989)。モリシマの偏代替弾力値 (σ_{ij}^M) は、トランスログ型費用関数では式 (12) として計測される。つまり、 j 要素価格の変化に対する i 要素の交差価格弾力値から j 要素の自己価格弾力値を引いたものであり、1 要素の価格変化に対する 2 要素の結合比の変化を表す。

$$\sigma_{ij}^M = S_j (\sigma_{ij}^M - \sigma_{jj}^A) = \varepsilon_{ij} - \varepsilon_{jj} = \frac{\partial \ln(x_i/x_j)}{\partial \ln w_j} \quad (12)$$

もう一つの重要な代替弾力値は式 (13) のシャドウ代替弾力値 (σ_{ij}^S) である。これは 2 要素の価格比の変化に対する 2 要素の結合比の調整であり、そもそもの代替弾力性の定義により整合的である (Ball and Chambers, 1982; Chambers, 1988)。

$$\sigma_{ij}^S = \frac{S_i}{S_i + S_j} \sigma_{ij}^M + \frac{S_j}{S_i + S_j} \sigma_{ji}^M$$

$$= \frac{S_i S_j}{S_i + S_j} (2\sigma_{ij}^A - \sigma_{ii}^A - \sigma_{jj}^A) \quad (13)$$

3. 規模の経済性

規模の経済 (economy of size) は、産出の増加によって平均費用の変化はどうなるのかの問題であり、生産経済学の理論に基づき、生産拡張経路に対応する費用曲線の形状によって確認される。たとえば、産出の増大に対して平均費用曲線が右下がりであるなら、規模に関して収穫逓増といい、逆を規模に関して収穫逓減という。このように規模の経済性は、生産関数または費用関数の推定によりその存在が検証できる。費用関数による規模の経済性は、式 (14) の費用伸縮性 (η , cost flexibility) により求められる (Chambers, 1988)。

$$\eta(w, y) = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln y} = \beta_y + \beta_{yy} \ln y + \sum_i \beta_{iy} \ln w_i + \beta_{ty} t \quad (14)$$

式 (14) は、限界費用と平均費用の関係を表す。もし、 $\eta = 1$ であれば平均費用の最小点で生産が行われていることを指す。 $\eta < 1$ であれば産出増加により平均費用が減少する部分で生産が行われており、すなわち規模の経済性が存在しているといえる。逆に $\eta > 1$ であれば平均費用曲線が限界費用曲線の下で増加する部分であり、規模の不経済性が作用しているといえる。規模の経済性の実証分析は、産業の適

正規模を判断するときに有用な情報を提供する。

一方、従来の研究ではコブ-ダグラス型生産関数が広く用いられている。コブ-ダグラス型生産関数は、拡張経路が原点から半直線という事前制約が付加されており、生産関数の同調性を仮定している。しかし生産関数が非同調的であれば拡張経路は曲線となる。それゆえに現実の生産関数が非同調的であれば、コブ-ダグラス型生産関数に基づく規模の経済性の計測はその定義と整合しないことになる。

4. 技術変化

製材業の技術変化を分析するために時間変数の t を含む費用関数を設定した。もし技術変化が全く行われていなかったとすれば、すべての時間変数項は 0 になってしまう。

$$\beta_T = \beta_{TT} = \beta_{Ti} = \beta_{Ty} = 0, \quad i = M, L, K \quad (15)$$

費用関数において技術効果は、時間変化による費用曲線のシフトとして現れる。つまり、技術発展の場合に費用関数は t に対する単調減少関数になり、技術退歩の場合には単調増加関数になる。したがって、技術効果は、式(16)の費用変化率 (θ) で計測される (Chambers, 1988)。

$$\theta(W, y, t) = \frac{\partial \ln C}{\partial t} = \beta_T + \beta_{TT}t + \sum \beta_{Ti} \ln w_i + \beta_{Ty} \ln y \quad (16)$$

技術変化分析においても一つの重要なものは、技術変化が生産要素の雇用構造と要素所得の分配構造に与える影響に関するものである。Hicks (1932) は技術変化が 2 要素の限界生産性を同じ比率で変化させると中立的技術変化であるとした。ヒックスの中立的技術変化は、等量曲線が傾きの変化なしでそのまま移ることであり、要素の費用配分シェアの変化が時間と独立的であることを意味する。

$$\beta_{Ti} = 0, \quad i = M, L, K \quad (17)$$

ヒックス中立的技術発展の仮説が棄却されれば、時間変数と要素需要は非独立的であり、技術変化は偏向性 (bias) をもつ。技術変化の偏向性は、要素価格と産出が固定されたもとで技術進歩が要素配分に与えた影響と定義される。トランスログ型費用関数により技術変化の偏向性は、式(18)のように計測される (Binswagner, 1974)。

$$B_i = \frac{\partial S_i}{\partial t} \frac{1}{S_i} = \beta_{Ti} \frac{1}{S_i} \quad (18)$$

ここで、 B_i は i 要素の技術変化の偏向性を、 S_i は i 要素の費用配分シェアを指す。 $B_i > 0$ であれば i 要素使用性、 $B_i = 0$ であれば i 要素中立的、 $B_i < 0$ であれば i 要素節約的な技術進歩と称する。ある要素の技術発展の偏向性が正であるといえ、要素価格と産出一定のもとでその要素の需要が時間によって増加されたことを意味する。つまり、その要素の生産性は低まったことになる。

5. 全要素生産性の変化

全要素生産性 (total factor productivity) の成長率 (TFPG) は生産経済学の重要な側面の一つであり、産出の成長率と投入の成長率の差として定義される。生産者の費用最小化行動により全要素生産性の成長率は、式(19)のように計算

される (Denny *et al.*, 1981; 黒田, 2005)。ここで、全要素生産性の成長率は、要素価格と産出水準一定のもとで時間変数 t の増加による要素投入量総和の減少率を表す。

$$\text{TFP growth} = \left(1 - \frac{\partial \ln C}{\partial \ln Y}\right) \frac{d \ln Y}{dt} - \frac{\partial \ln C}{\partial t} \quad (19)$$

右辺の一番目の項は、1 から費用伸縮性を引いたものに産出の変化率を乗じたものであり、規模変化の生産性への寄与である。また、二番目の項は、時間変化による費用関数のシフト、すなわち技術発展の生産性への寄与である。もし、生産が収穫一定であれば、費用の産出弾力性が 1 となり、全要素生産性の成長率は費用変化率と等しくなる。しかし、生産が一次同次でなければ、全要素生産性の成長率は、規模効果と技術効果に分解される。

III. 推定方法およびデータ

1. 推定方法

トランスログ型費用関数の推定は、総費用関数 (式(3)) と費用配分シェア式 (式(4)) を連立させて同時に行う。推定に当たってはあらかじめ費用関数の対称性と 1 次同次性条件を制約として課した。ところが、費用配分シェア式の和は 1 であり、シェア関数が線形従属 (linearly dependent) であるため一つの式を任意に取り除いて推定する。本稿では資本のシェア式 (S_K) を除き、資本の価格はデフレーターとして利用する。取り除かれたシェア式の係数は 1 次同次性と対称性の条件から求められる。また、取り除かれるシェア式によって推定結果が異なる問題があり、推定方法として最尤法 (maximum likelihood estimation) が薦められる (Greene, 2000)。本稿で用いた推定法は GMM (generalized method of moments) であり、漸近的に最尤法に近似する (Doan, 2004)。

また、費用関数を推定しながら製材業の生産構造と技術変化の仮説を検証するために、制約条件を課して検定を行った。本稿では無制約、同調性、同次性、単位代替弾力性、ヒックス中立的技術変化、技術変化なしに分け、それぞれの制約の妥当性を統計的に検定した。関数型の適切さは尤度比検定 (likelihood ratio test) を通じて判定された。制約条件を課した推定式の残差の共分散行列の行列式を $\det(\Omega_r)$ とし、無制約の推定式のそれを $\det(\Omega_u)$ とする。その上、式(20)の尤度比統計量 (λ) を算出し、 $-2 \ln \lambda$ がパラメータ制約数を自由度とするカイ 2 乗 (χ^2) 分布に従うことを用いて検定を行う。ここで、 N は観測値の数であり、 c は補正係数として無制約式の変数の数である (Doan, 2004)。

$$\lambda = \left[\frac{\det \Omega_r}{\det \Omega_u} \right]^{-(N-c)/2} \quad (20)$$

計算された χ^2 値が臨界値より大きければ、無制約式と制約式の差がないという帰無仮説が棄却され、制約条件を受け入れないこととなる。

2. データ

計測に使用するデータは主に、経済産業省の「工業統計

表-1. 費用配分シェアの記述統計

	原材料	労働	資本
平均	0.646719	0.166269	0.187012
標準偏差	0.033945	0.025800	0.014311
変動係数	5.248802	15.517024	7.652450
最小値	0.592831	0.114840	0.152571
最大値	0.701942	0.204517	0.210878

表」と農林水産省統計部の「木材需給報告書」より得た。分析期間は1970年から2004年の35カ年である。

費用関数の推定には、産出と各要素の投入および費用配分シェアのデータが必要である。まず、産出 (y) については、経済産業省の「工業統計表」より一般製材業と特殊製材業の出荷額をとることにする。出荷額は、企業の生産活動の経済的な成果であり、生産物の質的变化も反映している。

分析の際に、投入要素は、労働、原材料、資本とした。労働投入量は「工業統計表」の製材業の従業者数であり、労働価格 (w_L) は「工業統計表」の現金給与総額を従業者数で除して求めた。また、素材が主である原材料の投入量は「木材需給報告書」の製材用素材消費量であり、原材料価格 (w_M) は「工業統計表」の原材料使用額を素材消費量で除して求めた。最後に、資本ストックに関しては、適切なデータが求められないため、「木材需給報告書」の製材業の動力出力数を用いることにした。製材用動力出力数は、製材用機械を動かす原動力に、製材機用のみでなくそれに付随する設備、例えば目立て機、巻き上げ機、ベルトコンベアーなどの動力も含めた製材用動力の出力数のことである。資本費用は、企業が事業を行う際に調達した資本に対して支払うことが期待されるリターンであるという考え方に基づき、製材業の付加価値から労働費用を引いて求めた。その上で資本価格 (w_K) は、資本費用を資本ストックで除して求めた。そして、全ての価格データは日本銀行の2000年度基準の企業物価指数で実質化した。

総費用は、原材料費用、労働費用、資本費用の合計であり、これによりおのおの要素の費用配分シェア (S_i) を求めた。表-1は、要素の費用配分シェアの記述統計をそれぞれ示している。木材が主である原材料の費用シェアは、他の費用シェアに比して大きく、変動係数も低い。つまり、製材業の発展は原材料の費用に大きな影響を受けているといえよう。

IV. 推定結果および考察

1. 推定結果

製材業の生産構造を調べるため、無制約、同調性、同次性、単位代替弾力性、 Hicks 中立的技術変化、技術変化なしの制約条件を課して費用関数を推定した。それぞれの費用関数の推定結果を表-2に示した。推定された関数が費用関数としての性質を満たしているかを確かめるため、要素価格に対する単調性と凹性を検討した。費用関数の単調性は、要素価格に対する偏微分が正であること、すなわち費

表-2. 費用関数の推定結果

	無制約	同調性	同次性	単位代替弾力性	中立的技術変化	技術変化なし
β_0	117.9157 (2.7783)	91.5374 (2.1473)	3.9430 (3.3023)	15.5632 (0.4314)	110.9052 (2.6642)	-76.3907 (-9.0930)
β_y	-21.5594 (-2.5927)	-16.5065 (-1.9758)	0.8319 (7.0491)	-1.3391 (-0.1896)	-20.2537 (-2.4857)	18.2679 (10.4846)
β_M	0.0848 (1.0503)	0.4121 (8.5601)	0.4449 (9.7983)	0.6133 (5.2734)	0.0081 (0.1520)	-0.5568 (-6.3519)
β_L	0.5323 (7.1727)	0.2296 (5.6829)	0.1981 (4.8612)	0.2746 (3.3491)	0.3867 (4.9539)	0.6714 (9.0402)
β_{yy}	2.2024 (2.7038)	1.7161 (2.0967)	*	0.1934 (0.2797)	2.0828 (2.6124)	-1.8483 (-10.2124)
β_{My}	0.0239 (4.0094)	*	*	0.0087 (0.7797)	0.0300 (6.1252)	0.0485 (4.6745)
β_{Ly}	-0.0226 (-3.8564)	*	*	-0.0148 (-1.8491)	-0.0047 (-0.6439)	-0.0281 (-3.1031)
β_{MM}	0.1017 (9.1965)	0.0773 (5.6398)	0.0675 (5.1401)	*	0.1049 (14.7858)	0.1899 (20.5649)
β_{ML}	-0.0650 (-6.6957)	-0.0441 (-3.6292)	-0.0350 (-2.8571)	*	-0.0657 (-17.4741)	-0.0708 (-9.2228)
β_{LL}	0.0895 (8.5031)	0.0718 (5.5435)	0.0645 (4.8791)	*	0.0611 (12.9279)	0.0455 (6.3598)
β_T	-0.0376 (-0.1545)	0.1050 (0.4296)	0.5186 (9.6586)	0.2575 (1.2528)	-0.1374 (-0.5758)	*
β_{TT}	-0.0066 (-8.9482)	-0.0069 (-9.4032)	-0.0075 (-19.3671)	-0.0057 (-9.6292)	-0.0050 (-7.0707)	*
β_{TM}	-0.0002 (-0.4809)	-0.0017 (-3.4339)	-0.0021 (-4.0613)	-0.0029 (-7.9937)	*	*
β_{TL}	-0.0021 (-4.0816)	-0.0007 (-1.3448)	-0.0005 (-0.8191)	0.0019 (7.6644)	*	*
β_{Ty}	0.0147 (0.6178)	0.0012 (0.0483)	-0.0402 (-8.1106)	-0.0164 (-0.8135)	0.0228 (0.9768)	*

()内の数値は t -統計量である。

用配分シェア関数が正であれば十分である。また、費用関数の凹性は、アレン-宇沢の偏代替弾力値行列が半負定値符号であることにより保証される。それぞれの性質を調べた結果、推定された関数は費用関数のもつべき性質を満たしていることが確認された。

費用関数の推定に当たって課した制約条件の妥当性を検討するため尤度比検定を行い、その結果を表-3に示した。検定結果をみると、無制約費用関数に対する同調性、同次性、単位代替弾力性、中立的技術変化、技術変化なしの仮説が1%の有意水準で棄却された。まず、同調性の棄却は、規模増大による費用の増加が要素価格と独立ではないことを意味する。また、同次性関数は同調的であるため、同次性条件の棄却は当然である。同次性の棄却は、生産が収穫一定ではないという意味である。さらに、単位代替弾力性の仮説も棄却された。同次性と単位代替弾力性の条件をとるにも含む関数型がコブ-ダグラス型関数である。以上の仮説棄却は、コブ-ダグラス型あるいはCES型関数を用いた従来の生産構造研究の限界を示唆している。また、技術変化なしと中立的技術変化の仮説も棄却され、時間により費用関数のシフトがあったことと、また技術が偏向的に発展されたことが読み取れる。そこで、以下製材業の生産構造および技術変化分析に当たって無制約の関数型が適切だと判断され、そのパラメータを用いて分析を行う。

表-3. 生産構造の検定

	無制約	同調性	同次性	単位代替 弾力性	中立的 技術変化	技術変化 なし
制約数	0	2	3	3	2	5
$\ln(\det \Omega)$	-27.4874	-26.9377	-26.8909	-25.6222	-26.6253	-25.1460
検定統計量		10.9929	11.9292	37.3046	17.2415	46.8279
χ^2 臨界値(1%)		9.2103	11.3449	11.3449	9.2103	15.0863

2. 投入財の代替弾力性と価格弾力性

表-4 は、式 (11) のアレ-宇沢の偏代替弾力値を示したものであり、弾力値は費用シェアの平均値により計測された。アレ-宇沢の偏代替弾力値行列の主座小行列が非正となっており、平均値で費用関数が凹であることを裏付けている。

アレ-宇沢の偏代替弾力値の計測結果をみると、木材-労働と木材-資本は代替関係にあるものの、資本-労働の代替関係は統計的に有意ではない。したがって、木材価格の上昇が労働と資本の費用シェアを引き上げることとなる。

次に、式 (12) のモリシマの偏代替弾力値の計測結果を表-5 に示した。モリシマの偏代替弾力値は、1 要素価格の変化に対する 2 要素の結合比率の変化であり、非対称的である特徴をもつ。

モリシマの代替弾力値により、製材業の投入要素は互いに代替関係にあることがより明確に読み取れる。また、その値が 1 より小さいことにより非弾力的であることがわかる。つまり、ある要素の不足を他の要素により代替し難いことを意味する。たとえば、木材は製材業の主原材料であり、生産費用の大半を占めているものの、木材不足を他の要素により代替するのが難しいため、製材業は素材供給に大きく規定されることになる。すなわち、製材業の維持には製材用素材の安定供給が重要な課題である。一方、木材価格の変化に対して、労働の反応より資本の反応が大きいということがわかる。

また、式 (13) のシャドウ偏代替弾力値の計測結果を表-6 に示した。シャドウ偏代替弾力値は、2 要素の価格比率の変化に対する 2 要素の結合比率の変化であり、代替弾力性の定義により整合的である。これによっても、製材業の投入要素は互いに非弾力的な代替関係であることが読み取れる。

最後に、式 (10) の要素需要の価格弾力値を計測した結果を表-7 にまとめた。それぞれの自己価格弾力値が負であることにより経済理論に整合的であることがわかる。要素間の交差価格弾力値をみると、値が 1 より小さいことにより、非弾力的であることがわかる。また、木材価格の変化に対する他要素需要の反応は、労働より資本の方が大きい。

3. 規模の経済性

製材業の適正な生産規模を調べるため、各変数の平均値で式 (14) の費用伸縮性 (η) を計測した。無制約の費用関数により計測された費用伸縮性は 0.14853 であり、規模の経済性 (economy of size) が存在していることが確認された。このことは、生産量の 10% 増加による総費用の増加は約 1.49% であり、産出を増加することで平均費用を下げるこ

表-4. アレ-宇沢の偏代替弾力値 (σ_{ij}^A)

	木 材	労 働	資 本
木 材	-0.3031 (0.0264)*	0.3956 (0.0903)*	0.6966 (0.0410)*
労 働		-1.7767 (0.3874)*	0.2118 (0.1520)
資 本			-2.5974 (0.1350)*

() 内の数値は標準誤差であり、* 印は有意水準 5% で有意であることを指す。

表-5. モリシマの偏代替弾力値 (σ_{ij}^M)

要素需要	要素価格		
	木 材	労 働	資 本
木 材	—	0.3612 (0.0654)*	0.6160 (0.0205)*
労 働	0.4518 (0.0613)*	—	0.5253 (0.0383)*
資 本	0.6465 (0.0343)*	0.3306 (0.0684)*	—

() 内の数値は標準誤差であり、* 印は有意水準 5% で有意であることを指す。

表-6. シャドウ偏代替弾力性 (σ_{ij}^S)

	木 材	労 働	資 本
木 材	—	0.3797 (0.0517)*	0.6228 (0.0204)*
労 働		—	0.4223 (0.0366)*
資 本			—

() 内の数値は標準誤差であり、* 印は有意水準 5% で有意であることを指す。

表-7. 要素需要の価格弾力値 (ε_{ij})

要素需要	要素価格		
	木 材	労 働	資 本
木 材	-0.1960 (0.0171)*	0.0658 (0.0150)*	0.1303 (0.0077)*
労 働	0.2558 (0.0584)*	-0.2954 (0.0633)*	0.0396 (0.0284)
資 本	0.4505 (0.0265)*	0.0352 (0.0253)	-0.4857 (0.0253)*

() 内の数値は標準誤差であり、* 印は有意水準 5% で有意であることを指す。

を意味する。そうであるならば、製材業はなぜ規模の経済性を活かしていないのかという疑問が生じる。この疑問に対する一つの答えは、生産品に対する企業の予想より市場の需要が小さかったということであろう。つまり、生産者は予想需要によって設備投資を行っているが、市場の反応は予想より厳しかったということである。すなわち、製材業の生産能力が過剰状態であること、また製材業の収益環境が厳しいということを意味する。これは、製材工場数が減少傾向にあることにより裏付けられる。

4. 技術変化の偏向性

生産構造の検定により中立的な技術発展の仮説と技術変化なしの仮説が共に棄却され、製材業において時間変化による技術発展があったこと、さらにその技術発展は偏向性をもつことが明らかになった。

表-8. 技術発展の偏向性

	技術発展の偏向性 (B_i)
-木材	-0.000345 (0.000718)
-労働	-0.012409 (0.003048)*
-資本	0.012229 (0.001740)*

() 内の数値は標準誤差であり、* 印は有意水準 5% で有意であることを指す。

表-9. 全要素生産性の変化

	計測結果
全要素生産性の成長率 (TFPG)	-0.00007
規模効果	-0.01867
技術効果 ($-\theta$)	0.01860

そこで、各変数の平均値で式(18)の技術発展の偏向性を計測し、その結果を表-8に示した。製材業の技術は、ヒックスの用語法によると、いわゆる木材中立的、労働節約的、資本使用的に発展して来たことが読み取れる。いいかえれば、労働生産性は増加しており、資本生産性は減少している。

ここで日本の製材業が労働節約的で資本使用的な技術発展をとげたことは、おそらく疑問の余地は少なからうが、木材中立的な技術発展という結論は論争の余地があり得る。とはいえ、北米における製材業の技術変化研究によると、研究者によってさまざまな結論が出ている (Stier and Bengston, 1992)。木材中立的な技術発展とは、時間変化により木材費用シェアの変化がなかったという意味であり、原材料の費用シェアの変動係数が他要素のそれより小さいことによっても裏付けられる。上に述べたように製材業は木材供給に大きく依存するが、木材節約的な技術が開発されなかったというのが、市場自由化のもとで製材業の沈滞を説明する一つの要因ではなかろうかとも考えられる。

5. 全要素生産性の変化

製材業において全般的な技術発展を調べるため、各変数の平均値で式(19)の全要素生産性の成長率を計測し、その結果を表-9に示した。製材業の全要素生産性は微減してきたことがわかる。これを技術効果と規模効果に分解してみると、前者は0.01867、後者は-0.01867でほぼ同じ値である。つまり技術発展は、わずかであるが費用節減を実現してきたものの、規模経済性の存在と産出減少という負の規模効果により相殺されていることがわかる。これは、製材業の生産性を向上させるため、規模効果の改善が当面課題であることを示唆する。つまり、市場の需要に相應しく生産規模を調整していく必要があることを意味する。

V. ま と め

本稿は、日本において製材業の生産構造と技術変化を分析し、製材業発展の議論に資することを目的とする。分析のためトランスログ型費用関数を推定し、そのパラメータにより投入要素の代替関係、要素需要の価格弾力性、規模

の経済性、技術発展の方向、全要素生産性の成長率を計測した。

まず、製材業の生産構造を検討するため、費用関数に同調性、同次性、単位代替弾力性、中立的な技術変化、技術変化なしの仮説を課して統計的な検定を行った。統計的な検定によりそれぞれの仮説が棄却されたので、一般型の関数を用いて分析を行った。このことは、コブ-ダグラス型またはCES型生産関数の推定に基づいた既存研究の不適切さを示唆するものといえよう。

製材業において、投入要素は互いに代替関係にあることが明らかになった。要素間の代替関係は、モリシマ偏代替弾力値またはシャドウ偏代替弾力値でより明確に表される。要素間の代替関係は非弾力的であり、ある要素の不足を他の要素により代替し難いことがわかる。

また、製材業には規模の経済性が存在していることが示され、生産規模が費用最小化を遂げていないことが明らかになった。これは、産出への市場需要が生産者の予想を下回っていることに根ざしており、製材業の生産能力が過剰状態にあると考えられる。したがって、市場需要に相應しく生産規模を調整する必要があると思われる。

次に、製材業の技術は偏向的に発展し、いわゆる木材中立的、労働節約的、資本使用的に発展してきたことがわかった。つまり、賃金高騰に応じて資本集約的に発展されたことを意味する。一方、製材業の費用構造で、原材料のシェアが最も大きいので、木材費用の節減を追及することが重要であるものの、このような経営戦略または技術開発が行われなかったともいえよう。木材費用を節約する技術開発の難しさが市場自由化のもとで製材業の沈滞を説明する一つの要因ではなかろうかとも考えられる。

また、全要素生産性は微減してきたことが明らかになった。全要素生産性の成長率を分解してみると、技術発展により総費用は節減してきたが、負の規模効果により相殺されたことがわかる。これは、製材業において生産性の向上のため規模効果の改善が重要な課題であることを示唆する。つまり、過剰状態の生産要素を解消し、生産の効率化を追及すべきであるといえよう。

最後に、本研究の限界を指摘して、これからの課題を言及しておきたい。本稿は製材業のマクロ的な時系列データを用いて分析したものであり、企業単位における規模の経済性は扱っていない。横断データを用い、企業単位の規模の経済性を分析することも重要であろうが、それは今後の研究課題として残しておきたい。

引用文献

- Baardsen, S. (2000) An econometric analysis of Norwegian sawmilling 1974-1991 based on mill-level data. *Forest Sci.* 46: 537-547.
 Ball, V.E. and Chambers, R.G. (1982) An economic analysis of technology in the meat products industry. *Am. J. Agric. Econ.* 64: 699-709.
 Binswagner, W.P. (1974) The measurement of technical change bias with many factors of production. *Am. Econ. Rev.* 64: 964-976.
 Blackorby, C. and Russell, R.R. (1989) Will the real elasticity of substa-

- tion please stand up? A comparison of the Allen/Uzawa and Morishima elasticities. *Am. Econ. Rev.* 79: 882-888.
- Chambers, R.G. (1988) *Applied production analysis: a dual approach*. Cambridge University Press, London.
- Christenson, L.R., Jorgensen, D.W., and Lau, L.J. (1973) Transcendental logarithmic production frontiers. *Rev. Econ. Stat.* 55: 28-45.
- Denny, M., Fuss, M., and Waverman, L. (1981) The measurement and interpretation of total input productivity in regulated industries with application to Canadian telecommunications. *In* *Productivity measurement in regulated industries*. Cowing, T.G. and Stevenson, R.E. (eds.), Academic Press, New York, 179-218.
- Doan, T.A. (2004) *RATS Version 6; User's Guide*, Estima, Evanston.
- Greene, W.H. (2000) *Econometric analysis*. 4th ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Hicks, J.R. (1932) *The theory of wages*. Macmillan, London.
- 李 耀翰・尹 汝昌・関 庚鐸 (2006) 韓国における製材産業の技術変化分析. 韓国林学会誌 95(3): 268-273, 韓国.
- 加藤智章・吉田昌之 (2004) 大規模紙・パルプ企業の生産行動に関する計量分析. 林業経済 57(7): 1-16.
- 黒田 誼 (2005) 日本農業における技術変化の研究: 展望. (近代経済学的農業・農村分析の50年. 泉田洋一編, 農林統計協会, 東京). 121-158.
- Merrifield, D.E. and Haynes, R.W. (1985) A cost analysis of the lumber and plywood Industries in Two Pacific Northwest Subregions. *Anal. Region. Sci.* 19: 16-33.
- 森 義昭 (1978) 我国製材業の発展に関する一考察. 日林論 89: 21-22.
- 森 義昭 (1984) 製材業における規模の弾力性について. 日林論 95: 19-20.
- Shephard, R.W. (1970) *Cost and production functions*. Princeton University Press, Princeton.
- Stier, J.C. and Bengston, D.N. (1992) Technical change in the North American forestry sector: a review. *Forest Sci.* 38: 134-159.
- 立花 敏 (1995) 製材品生産構造の分析—製材品生産関数の計測を中心に—. 林業経済 48(11): 1-9.
- Uzawa, H. (1962) Production functions with constant elasticity of substitution. *Rev. Econ. Stud.* 29:291-299.
- Varian, R.H. (1992) *Microeconomic Analysis*. 3rd ed. Norton & Company, New York.
- 山本伸幸 (1991) 木材産業の生産構造—製材業の生産関数の計測を中心に—. 東京大学大学院修士論文.
- 吉田昌之 (1982) 木材関連産業の生産関数による分析. 林業経済 35(8): 12-19.