

ノンパラメトリック・アプローチを用いた製材生産 の技術効率性分析

Analysis of Technical Efficiency in the Japanese Sawmill Industry using Nonparametric Approach

関 庚鐸

Min, Kyung-Taek

キーワード: DEA, 技術効率性, 規模効率性, ノンパラメトリック・アプローチ, 製材業

要約: 本稿は、ノンパラメトリック・アプローチを用いて日本の製材生産における技術効率性を分析したものである。分析の際、各都道府県を一つの生産単位とし、投入要素は国産材入荷量、外材入荷量、従業者数、動力出力数を、また産出は、建築用製材出荷量とその他用製材出荷量とした。分析の結果、平均的な技術効率性は 0.958、規模効率性は 0.988 であり、高い技術効率性に恵まれていることが示された。ノンパラメトリック手法を用いた事後検定によると、時間とともに技術効率性が減っていること、生産の活発な地域が高い技術効率性を示しているものの、動力出力数や素材の樹種とは関係がないことが示された。

Abstract: The objective of this article is to analyze the technical efficiency of the sawmill industry by prefectures in Japan over the period of 1990-2006 using nonparametric approach, Data Envelopment Analysis. The data used in analysis are domestic roundwood purchased, foreign roundwood purchased, number of employees, and power capacity as inputs, and shipments of products for construction and others as outputs. Empirical results show that the Japanese sawmills have enjoyed highly technical and scale efficiency, averagely 0.958 and 0.988 re-

spectively. The first post-hoc test with Kruskal-Wallis revealed that the average efficiency of sawnwood production decreased significantly with time. The second post-hoc test with Mann-Whitney showed that the average technical efficiency in different production scale varied significantly, however, the power capacity and wood species had no effects on technical efficiency.

Keywords: DEA, nonparametric approach, sawnwood, scale efficiency, technical efficiency

1. はじめに

日本における製材業は国産素材の利用が多く、林業または森林管理にとりわけ強く結びついている。製材業の発展はその利益を林業に還元させ、林業や森林管理をうまく進ませる。しかし、日本の木材市場が自由化されてから 40 年以上を経た今日、製材品輸入の拡大や建築材料需要の変化を受けて製材品生産は著しく縮小している。このような状況で、製材業が競争力をつけるためには、生産・流通・取引に要する費用の節減が、早急に取り組まなければならない課題となっている。そのうち、経営面では、生産性を向上させることが何より重要な課題となるのは言うまでもない。生産性の向上には革新的な技術開発が必要であるものの、技術革新は短期的に行われるものではない。そのため既存の効率的な生産を行っている地域の生産プロセスを他地域に拡散することを模索することも意義があるだろう。その前提条件として他地域または他企業との効率性の差を客観的に計測することが求められる。

そこで、本稿は都道府県における製材生産の技術効率性を分析・比較することを目的とする。さらに、地域間効率性の差をもたらす決定要因を探る。これを踏まえて、製材業に示唆する点を論じることとする。

林業・林産業における効率性を分析した研究は、様々な主体を対象として多様な目的で行われている (Sowlati, 2003, 関, 2009)。その中、製材業を対象とした研究もいくつか行われている (Nyrud and Baardsen, 2003, Helvoigt, 2006, Salehirad and Sowlati, 2007)。これらの研究は製材業の生産主体における技術効率性を計測し、さらにその効率性の決定要因を分

析したものである。一方、日本において製材生産の地域性に注目した研究がいくつか散見される。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、自県材、外材、国産材の順に大きいことを示した。立花(1995)は、1978年から5年おきに都道府県単位の横断面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。嶋瀬(2005)は、製材品出荷に関する地理的变化として、自県向け・三大都市圏向けの縮小と地方圏向けの拡大、製材生産が活発な県と不活発な県の二極化、出荷シェアを拡大した県における出荷の広域化がみられることを明らかにした。

2. 効率性の概念と計測手法

2.1. 効率性の概念

「効率性 (efficiency)」と「生産性 (productivity)」という概念は生産主体の事業成果を評価する指標として一般的に用いられているが、互いに混同されることも多く、厳密な定義付けがなされることも少ない。生産性とは、一定期間における産出量の総和と、その期間に投入された投入量の総和の比率で定義されており、ある一定の生産要素のもとでどれだけ多くの産出物が生産できるかを表す指標である。これに対し、効率性とは最適の投入と産出に対する実際の投入と産出の程度として定義され、望ましい生産状態と比べて対象の生産がどの位置にあるのかを定量的に表す概念である (Lovell, 1993)。それゆえに生産性が時系列的にも横断面的にも幅広く言及されるのに対し、効率性は主として横断面での比較、つまり生産主体間の相対的な比較によって明らかになる場合が多い (中島, 2001)。

Farrell (1957) は、二つの効率性の概念、すなわち「技術効率性 (technical efficiency)」と「配分効率性 (allocative efficiency)」という考え方を提案した。技術効率性はある一定の生産要素投入を所与としたときに最大産出を達成する能力、あるいは一定の産出水準のもとで投入を最小化する能力のことである。また、配分効率性は所与の価格と生産技術のもとで最適な

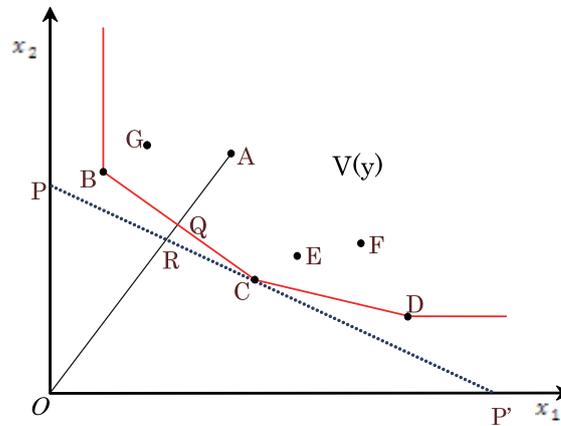


図 1. 2 要素モデルにおける効率性の概念

割合で投入要素を組み合わせる能力のことを言う。そして、両効率性の積が「経済効率性 (economic efficiency)」となる。このように効率性という概念は、生産に要する投入と生産された産出の関係、つまり資源の利用に基づいている。

説明の利便性のため、2 種類の生産要素 x_1 と x_2 から 1 つの産出 y を生み出す生産を考えよう (図 1)。A ~ G は、 y を生産する 7 つの企業の投入の組み合わせを表している。効率性を考える場合、なるべく少ない投入で所与の産出を出している企業ほど優れていると考えられる。そういった見方から、生産点 B, C, D を結んで、さらに、D から水平に伸びる線と、B から垂直に立つ線までを考慮すると、この線で囲まれる領域内にすべての標本データが包み込まれることになる。このとき、生産点 B, C, D は境界線に乗っているため、生産工程において無駄が生じていないという意味で効率的であると判断する。また、その境界線を効率フロンティア (efficient frontier) という。

一方、生産点 A は効率フロンティアの右上に位置しており、資源を浪費している。よって、生産点 A は、B, C, D より技術的に非効率といえる。このように各生産点において技術効率性は、効率フロンティア線との距離

によって説明される。たとえば、企業 A の場合、「OQ/OA」として企業 A の技術効率性を決める。効率性のスコアは 1 以下の値をとり、1 であれば生産点が効率フロンティア上に位置し、効率的な生産を行っているといえる。

投入要素の価格が利用可能であれば、配分効率性を計測することができる。要素価格を PP' とおくと、生産点 C は等費用線と接しているので費用最小化を遂げている。このとき、生産点 Q は技術的に効率的であるものの、C を通る等費用線より右上に位置し、相対的に高価な資源を多く使用しているという意味で、資源配分に関して非効率であるといえる。生産点 Q における配分効率性は、「OR/OQ」として定義される。さらに、技術的にも配分面でも効率的な企業 C の生産費用は企業 A の生産費用の「OR/OA」であり、これが企業 A の経済効率性または全体効率性となる。それぞれの効率性の関係は式 [1] のように表わせる。

$$\begin{aligned}
 [1] \quad \text{経済効率性} \left(\frac{OR}{OA} \right) \\
 = \text{技術効率性} \left(\frac{OQ}{OA} \right) \times \text{配分効率性} \left(\frac{OR}{OQ} \right)
 \end{aligned}$$

2.2. 効率性の計測手法

上述したように、与えられたデータを包絡し、線形近似によりフロンティアを構築し、個々の事業体の効率性を計測する手法を DEA (data envelopment analysis) と呼ぶ。これは、特定な関数型を仮定せず、線形計画法により効率性の計測を行う (末吉, 2001, Coelli *et al.*, 2005)。以下、これに関して説明を行う。

Farrell (1957) は、ある事業体の効率性を、他事業体の効率値が 1 以下という条件のもとでウェイト付き投入に対するウェイト付き産出を最大化して求められることを提示した。例えば n 個の事業体があって、それぞれ m 個の投入財 (x_1, \dots, x_m) を用いて s 個の生産物 (y_1, \dots, y_s) を生み出すとする。ある特定の事業体を添え字 J と書き、効率問題を数理計画法で表現すると、効率を最大化するには、産出と投入にどのようなウェイト $u_1, \dots, u_s, v_1, \dots, v_m$ を付ければよいのかという問題に帰着する。これを

数式化すると式 [2] のようになる.

$$[2] \quad \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rJ}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{iJ}}$$

ただし,

$$[3] \quad \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \quad (j = 1, \dots, n),$$

$$[4] \quad u_r \geq 0, v_i \geq 0$$

式 [2] は非線形 (分数計画) であるので, このままで解くのは困難である. そこで, Charnes *et al.* (1978) は, 式 [2] の分数計画モデルが次の線形計画モデルと同値であることを示した.

$$[5] \quad \max \sum_{r=1}^s u_r y_{rJ}$$

ただし,

$$[6] \quad \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad (j = 1, \dots, n)$$

$$[7] \quad \sum_{i=1}^m v_i x_{iJ} = 1, u_r \geq 0, v_i \geq 0$$

式 [5] の線形計画問題の最適解を (v^*, u^*) とし, 目的関数値を θ_j^* とする. その時, $\theta_j^* = 1$ ならば事業体 J は効率的であるといい, 逆に $\theta_j^* < 1$ ならば, 事業体 J は非効率的であると判定する. ここで, 事業体 J が非効率と判定させるのは, 式 [5] の制約式の中には (v^*, u^*) に対して, 等式を成立している事業体が必ず存在するはずである. それら生産点の集合を事業体 J に対する参照集合といい, それらの生産点を非負結合させたものが効率フロンティアを形成する.

式 [5] の問題に対する双対モデル (dual model) が式 [8] である. ここで, θ_j と λ_j ($j = 1, \dots, n$) は原問題の双対変数であり, 双対定理により式 [5]

と式 [8] の目的関数値は一致する。 θ_J は事業体 J が効率的になるために全ての投入をどのくらい減らすべきかを表すものであり、効率性の指標ともなる。式 [8] は投入と産出の数 $(m + s)$ 個の制約条件を有することに対し、式 [5] は $(n + 1)$ 個の制約条件を有するもので、式 [8] が効率性の計測に主に利用される。

$$[8] \quad \min \theta_J$$

ただし、

$$[9] \quad \theta_J x_{iJ} - \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \geq 0,$$

$$[10] \quad y_{rJ} - \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \leq 0, \lambda_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n)$$

この式 [8] は開発者の名をつけて CCR モデルと呼ばれる。CCR モデルにより計測された技術効率性を全体技術効率性 (overall technical efficiency) という。しかし、 θ^* の場合でも、スラックと呼ばれる投入の余剰や産出の不足が発生している場合がある。この問題を避けるためスラック変数を取り入れたものが式 [11] である。

$$[11] \quad \min \theta_J - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^n s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

ただし、

$$[12] \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta_J x_{iJ} \quad (i = 1, \dots, m),$$

$$[13] \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{rJ} \quad (r = 1, \dots, s),$$

$$[14] \quad \lambda_j \geq 0, s_i^- \geq 0, s_r^+ \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

ここで、 s_i^- や s_r^+ はスラック変数であり、それぞれ投入の剰余と産出の不足を指す。 ε はノンアーキミディアン (non-Archimedean) の小数と呼ばれる無限小数である。モデルの決定変数は θ_j , λ_j ($j = 1, \dots, n$), s_i^- ($i = 1, \dots, m$), s_r^+ ($r = 1, \dots, s$) である。式 [11] のモデルの解において $\theta_j^* = 1$ かつ $s_i^{-*} = s_r^{+*} = 0$ であれば、事業体は効率的であり、その逆も成立する。このモデルは一つの事業体における効率性の値を計算するものであり、すべての生産点において効率性を計測するためには、 n 回繰り返されなければならない。また、CCR モデルでは式 [2] の分数計画問題からわかるように分母分子を定数倍しても効率性は変わらない。このことを規模に関する収穫一定 (constant returns to scale, CRS) という。

一方、生産技術について規模に関する収穫可変 (variable returns to scale, VRS) を仮定するモデルもある。このモデルは Banker *et al.* (1984) によって開発され、BCC モデルと名づけられている。これは、CCR モデルに凸性 (convexity) の制約条件である式 [15] を付け加えたものである。BCC モデルにより計測された技術効率性は純技術効率性 (pure technical efficiency) とも呼ばれる。

$$[15] \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \quad j = 1, \dots, n$$

2.3. 規模効率性

事業体の規模効率性 (scale efficiency, SE) は CCR モデルによる全体技術効率性の値 (TE_{CRS}) と BCC モデルによる純技術効率性の値 (TE_{VRS}) を用いて式 [16] により算出される (末吉, 2001)。

$$[16] \quad SE = \frac{OTE}{PTE} = \frac{TE_{CRS}}{TE_{VRS}}$$

技術効率性と規模効率性の関係は図 2 に示されている。CCR モデルは収穫不変を仮定しているものでフロンティア技術は OH であらわせる。生産点 P において全体技術効率性 (TE_{CRS}) は「 AP_C/AP 」となる。また、生産技術について規模収穫可変を仮定する BCC モデルで、フロンティア

技術は FEBCD であらわせる。この場合に、生産点 P に対する純技術効率性 (TE_{VRS}) は「 AP_V/AP 」となる。ここで、生産点 P の産出 A を生産するには適正規模である収穫不変のフロンティア技術のもとでは AP_C が投入されることに對し、適正規模ではない収穫可変のフロンティア技術のもとでは AP_V が投入される。規模効率性は「 AP_C/AP_V 」によって計算され、式 [16] と等しくなる。

このように、規模効率性は適正規模 (optimal scale) ではないため、引き起こされた非効率性を表す指標である。もし規模効率性 (SE) が 1 であれば、規模効率的であることを、1 より小さければ規模効率的ではないと判断される。さらに、式 [16] から全体技術効率性は純技術効率性と規模効率性に分解されることがわかる。なお、生産点の位置によって非効率性の原因が異なる。例えば、生産点 E では規模に関する収穫通増 (irs, increasing returns to scale), すなわち生産規模を増加させることにより効率性を改善させられる。また、生産点 C では規模に関する収穫通減 (drs, decreasing returns to scale) となり、投入を縮減させて効率性を改善させることができる。

ノンパラメトリック・アプローチは、多数の投入と多数の産出を簡便な操作で分析できること、関数型や誤差の分布についてア priori な仮定を置かなくてもよいこと、用いられたデータが少なくても有意な結果が導かれることが大きなメリットとしてあげられる。これに對し、投入変数の選択とデータの量や質によって結果が敏感に変動することはノンパラメトリック・アプローチの大きな短所として指摘される。また、効率フロンティアからの距離はすべて「非効率」とみなされるので統計上の誤差を排除できないこと、分析に含まれなかったデータによって結果が影響を受けやすいことなどいくつかの問題点が残されていることをも注意しておきたい。

2.4. 仮説検定

効率性分析はどの事業体が非効率的な生産を行っているかに関しては教えてくれるが、その非効率性をもたらす要因についての情報は提供していない。しかし、効率性を改善する政策を打ち立てるには効率性を決定する

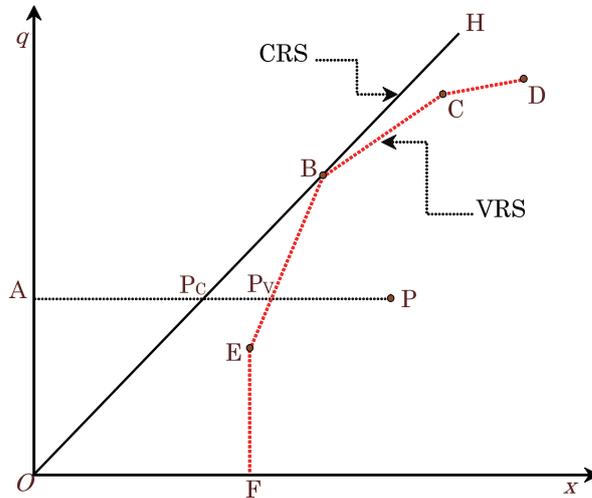


図 2. 技術効率性と規模効率性

要因を説明する情報が要求される。

このような要因を判別するには、これに関する仮説を検定する統計手法が用いられている。よく使われているのは回帰分析と分散分析である。これに関する先行研究を見ると、Fotiou (2000) はギリシャの 17 製材工場の生産効率性を評価したうえで、原材料市場との距離や工場の管理システムと効率性の関係を ANOVA で分析し、広い原材料市場を確保している工場がより効率的であることを明らかにした。Viitala and Hänninen (1998) はフィンランドにおいて地域林業委員会 19 ケ所の効率性を評価し、委員会間の効率性の格差を引き起こす要因探索にトービットモデルを利用した。Diaz-Balteiro *et al.* (2006) はスペインの木材産業の技術効率性を分析したうえで、ロジスティックモデルを応用し、効率性とイノベーション活動の関係を分析した。効率性スコアが知られている分布に従っているとは思われないことから、ノンパラメトリック統計手法が使われる場合もある (Grosskopf, 1996)。Nyrud and Bergseng (2002) はノルウェーの製材業における技術効率性と生産規模の関係を分析したうえで、ノンパラメト

リック統計手法を利用した。Salehirad and Sowlati (2005) はカナダのブリティッシュ・コロンビア州における製材工場の生産効率性を分析し、ノンパラメトリック統計手法を通じて地域性と作業日数との関係を調べ、地域間には効率性の差があるが、作業日数とは相関関係がないことを示した。

3. データ

本稿は、47 都道府県を一つの生産主体とし、地域間製材生産の技術効率性を実証分析することを目的とする。技術効率性を分析する際、産出や投入に関するデータが必要である。産出としての製材品生産量は、地域別に分けた数値を入手できなかったために、分けて集計している製材品出荷量を代理変数として利用した。これを用途別に、建築用製材とその他製材に分けて分析に用いた。次に、投入財として原料、資本、労働を用いることにする。原料としての製材用素材消費量は、製材品生産量と同じ理由により製材用素材入荷量で代用させた。製材工場に入荷される素材の形態が原産地により異なるため、素材を国産材と外材を区分した。資本量として用いられたのは製材用動力出力数であり、これは製材用機械を動かす原動力のことである。労働投入量は従業者数である。以上のように四つの要素を投入し、二つの生産物を生み出す生産プロセスを仮定した。また、同一のカテゴリの投入要素や生産物はすべて同質的なものであると仮定した。分析に用いられたデータは農林水産省の「木材需給報告書」からとり、分析期間は 1990 年から 2006 年までである。データの記述統計を表 1 にまとめた。

4. 計測結果及び考察

4.1. 技術効率性の計測結果

上述したアプローチに基づき、都道府県における製材生産の技術効率性と規模効率性を計測した。分析には、DEAP ver2.1 (Coelli, 1996) を利用した。

ノンパラメトリック・アプローチはデータの有する確率的な誤差を排除できない短所を持つもので、本稿では 2000-2006 年にわたる 7 年データの平均値をとり、分析を行った。それぞれの地域における技術効率性の計測

表 1. 投入と産出の記述統計

年度	産出 (千 m^3)				投入							
	建築用材		その他用材		出力数 (kW)		従業者数 (人)		国産材 (千 m^3)		外材 (千 m^3)	
	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.
1990	500	358	139	164	27,868	18,546	2,642	1,524	282	529	543	484
1995	423	308	104	134	26,041	17,181	2,217	1,278	346	415	434	428
2000	294	237	73	112	22,108	14,558	1,566	883	272	333	292	390
2001	268	224	62	102	21,070	13,742	1,426	812	250	304	258	361
2002	248	223	58	98	20,227	12,933	1,327	754	237	295	238	370
2003	241	228	55	103	19,324	12,308	1,247	716	239	314	226	386
2004	235	231	55	108	18,772	11,934	1,173	670	244	325	218	402
2005	224	229	49	100	18,242	11,663	1,046	617	246	340	191	371
2006	217	230	50	104	17,444	11,659	966	578	248	352	185	407

注) 「木材需給報告書」(各年度)より筆者作成

表 2. 都道府県における製材生産の技術効率性の計測結果

地域	TEcrs	TEvrs	SE		地域	TEcrs	TEvrs	SE	
北海道	1	1	1	-	京都	1	1	1	-
青森	0.834	0.835	0.998	drs	大阪	0.957	0.978	0.979	irs
岩手	0.906	0.907	0.999	drs	兵庫	0.950	0.977	0.973	drs
宮城	0.913	0.914	0.998	irs	奈良	0.937	0.944	0.933	drs
秋田	0.893	0.894	1	-	和歌山	0.995	0.995	1	-
山形	0.853	0.861	0.991	drs	鳥取	0.906	0.913	0.992	irs
福島	1	1	1	-	島根	0.901	0.906	0.995	drs
茨城	1	1	1	-	岡山	0.939	0.943	0.995	irs
栃木	0.987	0.988	0.999	drs	広島	1	1	1	-
群馬	0.938	0.942	0.995	drs	山口	0.990	0.990	1	-
埼玉	1	1	1	-	徳島	1	1	1	-
千葉	0.955	0.968	0.986	irs	香川	1	1	1	-
東京	0.951	0.974	0.977	irs	愛媛	1	1	1	-
神奈川	1	1	1	-	高知	1	1	1	-
新潟	0.941	1	0.941	drs	福岡	1	1	1	-
富山	1	1	1	-	佐賀	0.862	0.862	1	-
石川	0.893	0.907	0.984	drs	長崎	0.974	0.997	0.977	irs
福井	0.955	0.957	0.998	irs	熊本	1	1	1	-
山梨	1	1	1	-	大分	1	1	1	-
長野	1	1	1	-	宮崎	1	1	1	-
岐阜	0.953	0.966	0.987	drs	鹿児島	0.964	0.967	0.997	irs
静岡	0.959	0.988	0.971	drs	沖縄	0.725	1	0.725	irs
愛知	1	1	1	-	平均	0.958	0.969	0.988	o
三重	0.983	0.987	0.996	drs	中央値	0.983	0.995	1.000	
滋賀	1	1	1	-	標準偏差	0.057	0.044	0.041	

注) 2000-2006 年の平均値を用いて計測

結果は表 2 のように示された。これらの技術効率性は効率フロンティアとの距離で測られたもので、1 に近いほど効率フロンティアに近く位置することを意味する。また、この指数が高いというのは所与の産出水準で少ない投入を使用しているといえる。青森を例とすると、技術効率性が 0.834 であることは、この地域が最も効率的な地域と同じ技術を持つとすると、16.6% の投入を縮減しても現在の生産水準が達成できるというわけである。

全体技術効率性は 0.725 ~ 1.000 に分布し、平均値は 0.958 である。また、純技術効率性は 0.835 ~ 1.000 に分布し、平均値は 0.969 である。多くの地域が平均値辺りに位置しており、多数の地域が効率的な生産を行っていることがわかる。これらの地域では資源が効率的に利用されており、他地域にとってベンチマーキングの対象となると言えよう。また、多数の地域が効率性の 0.9 ~ 1.0 に位置して高い技術効率性を示しているもので、全体的に地域間技術効率性の格差は大きくないと評価される。

しかし、技術効率性の 0.9 以下の非効率的であると判定される地域もあ

る。これらの地域は短期間に効率的になり難く、経営の面で問題があると言えよう。非効率的だと判定された地域は資源の無駄使いがあり、投入を縮減させる余地があると考えられる。

なお、式 [11] で示されたように、分析過程でスラックと呼ばれる投入要素の過剰が算出される。これによると非効率的な生産を行っている地域では、とりわけ動力出力数の浪費がみられている。これらの地域では資本や設備利用の効率性向上を図る工夫が要求される。

規模効率性は 0.725 ~ 1.000 に分布しており、平均値は 0.988 であることから非常に高い規模効率性が示されている。その中、規模に関する収穫逓減地域 (drs) は規模を減らすことによって、また規模に関する収穫逓増地域 (irs) は規模を増やすことによって生産効率性を改善させられることが示されている。

4.2. 時期別技術効率性の計測

時間変化に伴う技術効率性の変化を分析するため、1990 年から 2005 年にかけて 5 年おきのデータをプーリングして技術効率性を計測した。さらに、各時期における代表値として平均値と中央値を計算し、時期別における効率性の差が有意であるか否かを検定した。ここでは、技術効率性について分布の正規性が棄却され、ノンパラメトリック手法の Kruskal-Wallis の順位和検定を利用する (加納・浅子, 1998)。その分析結果は表 3 に示されている。

技術効率性の平均値や中央値が時間変化に伴い減っていることが明らかにされた。これは時間変化に伴い平均生産点や中央生産点が効率フロンティアから離れていくことを意味する。さらに標準偏差が増えていることから地域間の技術格差が広がっていることがわかる。これは嶋瀬 (2005) が指摘したように、地域間二極化が進んでいることを裏づける結果である。

表 3. 時期別の技術効率性の計測

		1990	1995	2000	2005	K-W
全体技術効率性 (TE _{CRS})	平均値	0.945	0.924	0.914	0.912	9.205*
	中央値	0.948	0.923	0.905	0.920	
	標準誤差	0.055	0.055	0.062	0.066	
純技術効率性 (TE _{VRS})	平均値	0.956	0.934	0.930	0.925	8.467*
	中央値	0.969	0.932	0.924	0.929	
	標準誤差	0.050	0.053	0.055	0.066	
規模効率性 (SE)	平均値	0.989	0.989	0.983	0.986	3.403
	中央値	0.995	0.996	0.996	0.991	
	標準誤差	0.017	0.016	0.045	0.022	

注) K-W は Kruskal-Wallis テストの統計量(カイ 2 乗近似)を指す。また、* は 5% 有意水準で有意であることを示す。

4.3. 技術効率性の決定要因

各都道府県において技術効率性の差がみられることにはいろいろな要因が働いていると考えられる。まず、各地域が置かれている経営環境が異なることがあげられる。例えば、地域によって素材の確保条件、製材品消費市場への接近条件やその市場のサイズ、資本投資の要件などが異なる。これらは製材生産の効率性に影響を与える重要な要因であるものの、生産者が統制できない環境要因である。また、内的要因としては使われる技術水準や要素の組み合わせの違いがあげられる。

本稿では、生産規模、素材の樹種、動力出力数などを基準とし、中央値以上と以下の両グループに対して効率性の平均値を比較した。グループ間の効率性の差が有意であるか否かを検討するためには統計的な検定が要る。ここでは計測された効率性のスコアの分布の正規性が棄却され、ノンパラメトリック統計手法である Mann-Whitney 順位和検定を利用する(加納・浅子, 1998)。その結果が表 4 にまとめられている。

表 4. 技術効率性の決定要因の探索

基準	標本数	TE _{CRS}		TE _{VRS}		SE	
		平均	<i>U</i>	平均	<i>U</i>	平均	<i>U</i>
出荷量	大規模	0.9787	-2.237 (0.025)	0.9837	-1.865 (0.062)	0.9950	-2.069 (0.039)
	小規模	0.9377		0.9556		0.9817	
動力出力数	大規模	0.9680	-1.418 (0.156)	0.9710	-0.899 (0.369)	0.9969	-2.515 (0.012)
	小規模	0.9479		0.9677		0.9799	
素材産地	国産材県	0.9539	1.097 (0.273)	0.9574	1.954 (0.051)	0.9963	-0.126 (0.899)
	外材県	0.9615		0.9808		0.9805	

注) Mann-Whitney 検定より *U* 値であり, () 内数は *p*-value である. 帰無仮説は両グループの値が同一であること.

まず、生産規模と技術効率性の関係を検証するために1工場当たり出荷量の多い地域と少ない地域に対して技術効率性を比較した。出荷量が多い地域が少ない地域より技術効率性が高く、その差が統計的に有意であることが示された。このことは、生産規模が技術効率性と正の関係にあり、生産の活発な地域の技術効率性が高いことを意味しており、生産増大が製材生産の技術効率性を改善させることを意味する。しかし、生産量は市場条件の影響を受けており、地域別に異なる戦略をとるべきである。

次に、設備投資を増やすことが技術効率性を改善させるかどうかを検討するために1工場当たり動力出力数の高い地域と低い地域に対して技術効率性を比較した。平均値は大規模動力地域が上であるものの、その差は統計的に有意ではなく、両グループ間の技術効率性の差は認められなかった。生産量と動力出力数は概ね比例関係にあると思われるが、異なる結果が導かれたことは、生産規模に比べ動力出力数が大きい地域が存在することを意味する。つまり、一部地域では資本や設備が有効に利用されておらず、生産の効率化に手遅れていることを表す。これは、設備投資を増やすことのみで技術効率性は改善されず、幡・藤掛(1998)の調べのように効率性の改善には多様なアプローチがあることを裏付けている。

また、国産材を主に製材する地域と外材を主に製材する地域における技術効率性の差を比較した。外見上外材を主に製材する地域が高い技術効率性を示しているものの、その差は統計的に有意ではなかった。これは、外材を主に製材する地域が素材確保で有利な条件に置かれているものの、近年外産製材用材の確保が難しくなったことと、国産素材を製材する工場にも専門化が進んでいることと関連付けられると考えられる。

5. まとめ

本稿では、ノンパラメトリック・アプローチを用いて都道府県における製材生産の技術効率性を計測し、これに基づいて様々な仮説検定を行った。分析の結果、以下のようなことが明らかされた。

各都道府県における技術効率性の計測結果をみると、多くの地域が製材生産において高い技術効率性や規模効率性に恵まれていることがわかった。

しかし、相対的に低い技術効率性が示された地域もあり、効率性を改善する余地のあることが示されている。技術効率性の低い地域は、効率性の高い地域をベンチマーキングし、生産要素の調整を通して生産効率性を改善することが要求される。とりわけ動力数の浪費があることから、設備の効率的利用を図る努力が要求される。

また、時間変化に伴い技術効率性の平均値や中央値が減っていることが明らかになった。これは、時間とともに生産点が効率フロンティアから離れていくことであり、地域間の製材生産の技術格差が広がっていることを意味する。

技術効率性の決定要因を判別するため、生産規模、素材の樹種、動力出力数を基準とした両グループ間の技術効率性を比較した。製材生産の技術効率性は、生産規模とは正の関係にあったものの、素材の樹種や動力出力数とは有意ではなかった。これは製材業の生産効率性を向上させる上で生産量の増大が重要な課題となることを示唆する。ただし、良質材生産に特化し、数量的に効率性が悪いが、それによって高価な製品を生み出す場合がありうる。本稿では、生産物や投入要素の質的な差を分析に反映しなかったため、これに関する解釈に注意しておきたい。

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。本稿で用いたデータは都道府県別に集計されたもので結果の解釈にも限界がある。本稿で用いたデータは各地域における平均的な企業の水準を表すもので、地域内に分布する多様な技術水準を反映することができなかった。つまり、集計されたデータから成り立つフロンティアは日本における全製材業の技術水準ではないというわけである。もし、企業別データを入手して分析できれば、より正確かつ有意な結果が得られると考えられる。次に、技術効率性に影響を与える要因には、様々なものがある。例えば、企業のイノベーション活動、研究開発への投資、労使関係などがあげられる。これらの要因を反映させて分析することも重要な課題であると思う。また、本稿は物的なデータに基づいた単なる技術効率性を分析したものである。生産者は市場で所与の価格水準で費用最小化または利潤最大化行動をとるもので、異なる市場条件に置かれている事業体を一律的に分析するには無

理があるだろう。生産要素に対する費用や価格データが入手できれば、配分効率性を分析して本稿の弱点を補うことができると考えられる。これらの限界を乗り越える分析は今後の研究課題として残しておきたい。

引用文献

- Banker, R. D., Charnes, A. and Cooper, W. W. (1984) Some models for estimating technical and scale inefficiency in data envelopment analysis, *Mgmt. Sci.* 30: 1078–1092.
- Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes, E. (1978) Measuring the efficiency of the decision making units, *Eur. J. Oper. Res.* 2: 429–444.
- Coelli, T. J. (1996) *A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program*, Center for Efficiency and Productivity Analysis Working Paper 97/07, University of New England.
- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J. and Battese, G. E. (2005) *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis* (2nd Ed.), Springer, 349p.
- Diaz-Balteiro, L., Herruzo, A. C., Martinez, M. and Gonzalez-Pachon, J. (2006) An analysis of productive efficiency and innovation activity using DEA: An application to Spain's wood-based industry, *Forest Pol. Econ.* 8: 762–773.
- Farrell, M. J. (1957) The measurement of production efficiency, *J. Roy. Statist. Soc. Ser. A* 120: 253–282.
- Fotiou, S. I. (2000) Efficiency measures and logistics: The case of the sawmill industry, *1st World Symposium: Logistics in the Forestry Sector* (K. Sjöström ed.), pp. 189–204.
- Grosskopf, S. (1996) Statistical inference and nonparametric efficiency: a selective study, *J. Prod. Anal.* 7: 161–176.
- 幡 建樹・藤掛 一郎 (1998) 製材工場の生産性分析—国産材工場の経営戦略

- への接近一, 林業経済研究 44: 105–110.
- Helvoigt, T. L. (2006) *An Analysis of Technical Efficiency and Productivity Growth in the Pacific Northwest Sawmill Industry*, Ph. D Dissertation, Oregon State University.
- 加納 悟, 浅子 和美 (1998) 入門経済のための統計学第2版, 日本評論社, 356p.
- Lovell, C. A. K. (1993) Production frontiers and productive efficiency, *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications* (H. O. Fried, C. A. K. Lovell & S. S. Schmidt eds.), pp. 1–67.
- 関 庚鐸 (2009) 林業・林産業における生産効率性に関する方法論と研究, 林業経済 61: 1–15.
- 中島 隆信 (2001) 日本経済の生産分析: データによる実証的接近, 日本経済新聞社, 251p.
- Nyrud, A. Q. and Baardsen, S. (2003) Production efficiency and productivity growth in Norwegian sawmilling, *Forest Sci.* 49: 89–97.
- Nyrud, A. Q. and Bergseng, E. R. (2002) Production efficiency and size in Norwegian sawmilling, *Scand. J. Forest Res.* 17: 566–575.
- Salehirad, N. and Sowlati, T. (2005) Performance analysis of primary wood producers in British Columbia using data envelopment analysis, *Can. J. Forest Res.* 35: 285–294.
- Salehirad, N. and Sowlati, T. (2007) Dynamic efficiency analysis of primary wood producers in British Columbia, *Math. Comput. Modelling* 45: 1179–1188.
- 嶋瀬 拓也 (2005) 製材品流通の地理的变化と製材業大手の供給戦略, 林業経済 58: 1–16.
- 末吉 俊幸 (2001) DEA: 経営効率分析, 朝倉書店, 200p.
- Sowlati, T. (2003) Efficiency studies in forestry using data envelopment analysis, *Forest Prod. J.* 55: 49–57.
- 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: 1-9.

Viitala, E. and Hänninen, H. (1998) Measuring the efficiency of nonprofit forest organizations, *Forest Sci.* 44: 298-307.

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.