

# わが国森林事業の効率性分析<sup>1)</sup>

林 田 吉 恵  
豊 田 知 世  
鄭 世 桓  
李 憲

## 目次

1. はじめに
2. DEA分析方法
3. 分析結果
4. むすび

## 1. はじめに

日本は国土の7割を占める豊富な森林資源を有しているが、材木価格の低迷、林業従事者の不足や高齢化によって、間伐が十分に行き届いておらず、木材として利用可能な時期を過ぎても利用されていない状況が続いている。しかし今、森林の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）吸収能力に注目されている。

CO<sub>2</sub>の吸収がなぜ重要なのか。その背景はCO<sub>2</sub>などの温室効果ガス排出量の増加による気候変動問題が懸念されているからである。最新の国連報告書（IPCC第5次報告書）でも、人間活動が原因となる地球温暖化による気候変動によって、極端な気温の上昇や集中豪雨が頻発する懸念が改めて強調された。この問題の解決のため、世界レベルで温暖化対策に向けた取り組みが行われている。国際的な取り組みとして、2020年からはすべての国が参加する温暖化対策を実施することになっており、わが国も削減義務が発生すると予測されている<sup>2)</sup>。

森林はCO<sub>2</sub>吸収源として地球温暖化対策に大きく貢献している。そのため、森林に新たな地球温暖化対策としての経済的価値をつけることで、新しいビジネスモデルを構築することができる。ただし、森林に新たな経済的価値を公的部門が追加する場合、市場で達成されている生産効率が損なわれてしまう可能性がある。公的部門が地域の限られた資源を有効に活用するためには、最小の経費で最大の効果を生み出すような効率化が追求されなければならない。

こうした問題意識の下、現状分析として本稿では森林事業の技術効率性について、DEA（包絡分析法：Data Envelopment Analysis）の手法を用いて検証する。DEAは経営学から発達した分析方法だが、多入力（投入）、多出力（産出）で事業体の効率性を相対的に評価でき、効率が低いと判断された場合には、その改善の方向性を示すことができる手法である。森林事業の技術効率性を評価する際には、様々な要因が考えられるため、多入力（投入）、多出力（産出）で分析できるDEAを採用する。

本稿では、分析対象を47都道府県とし、投入には労働力、森林面積、労働資本を、産出には木材生産量、森林蓄積、さらに木が成長すればCO<sub>2</sub>を多く吸収してくれるということ、蓄積増加分を入れて分析する。日本の森林事業の現状分析として、森林のCO<sub>2</sub>吸収に関する技術効率的生について、都道府県別に検証する。

## 2. DEA分析方法

### (1) DEA分析の特徴

DEA (Data Envelopment Analysis) は、Charnes-Cooper-Rhodesによって、多入力多出力系システムにおける相対的な効率性の指標として1978年に開発され、近年、企業や自治体の効率性評価の方法として注目を集めている。

DEAは生産関数や費用関数の推定によって効率性フロンティアを求めるパラメトリックな方法と異なり、実績データに基づいて線形計画法を用いた最適化計算によって生産効率性フロンティアを求めるノンパラメトリックな方法である。最も効率的な事業体の生産性を基準とし、各事業体の相対的な効率性指標を計測することが可能となる。

効率性を計測する他の代表的な方法である確率的生産フロンティアと比べて、DEAの利点は、生産フロンティアの関数形を特定化する必要がないこと、比較的少数サンプルでも比較が可能であること、複数のアウトプットからなる生産活動の分析が可能であることである。しかしDEAではインプットに用いた変数が生産にどの程度寄与しているかを統計的に検定できないこと、誤差項を考慮しないため、データの誤差によって計測された効率性が左右されるといった欠点もあるため、インプットやアウトプットに用いる変数については十分に吟味して選択しなければならない。

DEA分析では、分析対象をDMU (Decision Making Unit: 意思決定者) という。DMUは多入力・多出力をもつ、ある程度独立した経営上の権限を備えた事業体のことで、多種多様であるが似たような機能をもって活動している。ここでは47都道府県がこれに当たる。次に、各活動に共通した投入（入力）項目と産出（出力）項目を選ぶ。投入（入力）項目と産出（出力）項目の選び方としては、効率性の特徴をよく表しているものを選ばなければならない<sup>3)</sup>。効率値は0と1の間にあり、最も効率的な事業体の効率値は1、非効率的な事業体ほど効率値は0に近い値をとる。

### (2) 分数計画問題

n個の活動それぞれについて、比率尺度で相対的な効率性を測定する。代表的な事業体をDMU<sub>o</sub>とし、記号oは1, 2, ..., nのどれかである。これらのDMUは互いに独立して活動しており、互いに影響されないものとする。

m種類の投入とs種類の産出それぞれに対してウエイトをつけた和を考える。m種類の投入につけるウエイトを $v_i (i=1,2,\dots,m)$ とし、s種類の産出につけるウエイトを $u_r (r=1,2,\dots,s)$ として、その値を以下の分数計画問題を解くことによって定める。

$$1) \text{ 分数計画問題 目的関数 } \max \theta = \frac{u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \dots + u_s y_{so}}{v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \dots + v_m x_{mo}}$$

- 2) 制約式 
$$\frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m y_{mj}} \leq 1 \quad (j=1 \dots n)$$
- 3)  $v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0$
- 4)  $u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0$

この制約式は、ウエイト  $v_i, u_r$  による仮想的投入と仮想的産出の比をすべてのDMU活動について1以下にすることを定めている。その上で当該DMUの比率尺度  $\theta$  を最大化するようにウエイト  $v_i, u_r$  を決める。

そして、分数計画問題は、次の線形計画問題と同値である。

### (3) 線形計画問題

次に、上記の分数計画に対して、以下では線形計画を考える。

- 1) 線形計画問題 目的関数  $\max \theta = u_1 y_{1o} + \dots + u_s y_{so}$
- 2) 制約式  $v_1 x_{1o} + \dots + v_m x_{mo} = 1$
- 3)  $u_1 y_{1j} + \dots + u_s y_{sj} \leq v_1 x_{1j} + \dots + v_m x_{mj} \quad (j=1 \dots n)$
- 4)  $v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0$
- 5)  $u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0$ .

線形計画の最適解として得られた  $(v^*, u^*)$  の値は、 $DMU_o$  に対する最適なウエイトである。比率尺度の値は、

$$6) \theta^* = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i^* x_{ij}}$$

である。2) より 6) の分母は1である。よって、

$$7) \theta^* = \sum_{r=1}^s u_r^* y_{rj}$$

である。この  $(v^*, u^*)$  は、 $DMU_o$  の比率尺度にとって最大化する目的のために最も好意的なウエイト付けの値である。さらに、 $v_i^* x_{i0}$  のそれぞれの値をみると、仮想的投入は、

$$8) \sum_{i=1}^m v_i^* x_{ij} (=1)$$

のなかで、どの投入項目がどのくらいの比重を占めているかがわかる。同様のことが  $u_r^* y_{ro}$  個々の値についても言え、これらの値は、それぞれのDMU活動において、どの投入・産出項目に特徴があるかを示すものである。

## 3. 分析結果

### (1) DEAの投入・産出項目

本稿では47都道府県を対象に、各都道府県の森林のCO<sub>2</sub>吸収に関する技術効率性を、

DEAを使って分析した。

森林のCO<sub>2</sub>吸収を最大にするためには、森林の手入れが必要である。そのために必要なデータとして、生産要素に該当する労働力、労働を助けるための機械、森林面積が考えられる。そしてこれらの3つのデータを、それぞれ林業労働力／森林面積、森林面積、高性能機械等／森林面積として用いた。

また、森林のCO<sub>2</sub>吸収に対しての産出は、森林蓄積、蓄積増加分、木材生産量が考えられ、それぞれを、木材生産量／森林面積、森林蓄積／森林面積、蓄積増加分／森林蓄積)として用いた。森林労働者力と森林面積は『農林業センサス』より、木材生産量は『日本の統計』の「木材統計調査」、森林蓄積は『森林生態系多様性基礎調査』より、平成11年度から平成15年度を森林蓄積の第1期、平成16年度から平成20年度を第2期とし、その差分を5年で除したものを年平均成長量とし、森林蓄積増加分とした。高性能林業機械等の保有台数は、森林整備部研究指導課技術開発推進室よりデータを入手した。それらの基本統計量は表1と表2に示している。

## (2) DEAの結果

DEAには、入力指向型と出力指向型がある。入力指向型とは、産出を所与として投入を最小にする考え方であり、出力指向型とは、投入を所与として産出を最大にする考え方である。また、CRS (CCR) モデルと、規模の経済による効率性の違いを取り除いたVRS (BCC) モデルがある<sup>4)</sup>。

表1 元データの基本統計量

データ名	年度	単位	平均	標準偏差	最大値	最小値
林業労働力	2005	人	9245.28	6127.39	34224.00	905.00
森林面積	2005	1,000ha	520.53	762.43	5336.00	58.00
木材素材生産量	2010	1,000m <sup>3</sup>	731.60	2502.96	17193.00	2.00
森林蓄積	2008	1,000m <sup>3</sup>	128170.71	149309.16	1033227.03	12015.29
年平均森林蓄積増加分	2008	1,000m <sup>3</sup>	3475.36	4655.23	30519.50	-418.50
高性能林業機械等の保有台数	2011	台	89.23	86.43	480.00	2.00

『農林業センサス』『日本の統計』『森林生態系多様性基礎調査』、森林整備部研究指導課技術開発推進室データより作成。

表2 DEA使用データの基本統計量

		平均	標準偏差	最大値	最小値
投入	森林労働力／森林面積	23.72	14.40	96.05	1.70
	森林面積	520.53	762.43	5336.00	58.00
	高性能林業機械／森林面積	0.19	0.13	0.64	0.02
産出	木材生産量／森林面積	1.14	1.25	5.52	0.01
	森林蓄積／森林面積	263.05	44.48	378.34	181.90
	蓄積増加分／森林蓄積	0.03	0.01	0.06	0.00

『農林業センサス』『日本の統計』『森林生態系多様性基礎調査』、森林整備部研究指導課技術開発推進室データより作成。

表3 技術効率性の要約

	平均	標準偏差	最大値	最小値
CRSモデル	0.726	0.202	1.000	0.343
VRSモデル	0.883	0.109	1.000	0.626
規模の経済	0.812	0.159	1.000	0.466

図1 VRSモデルの技術効率性の分布

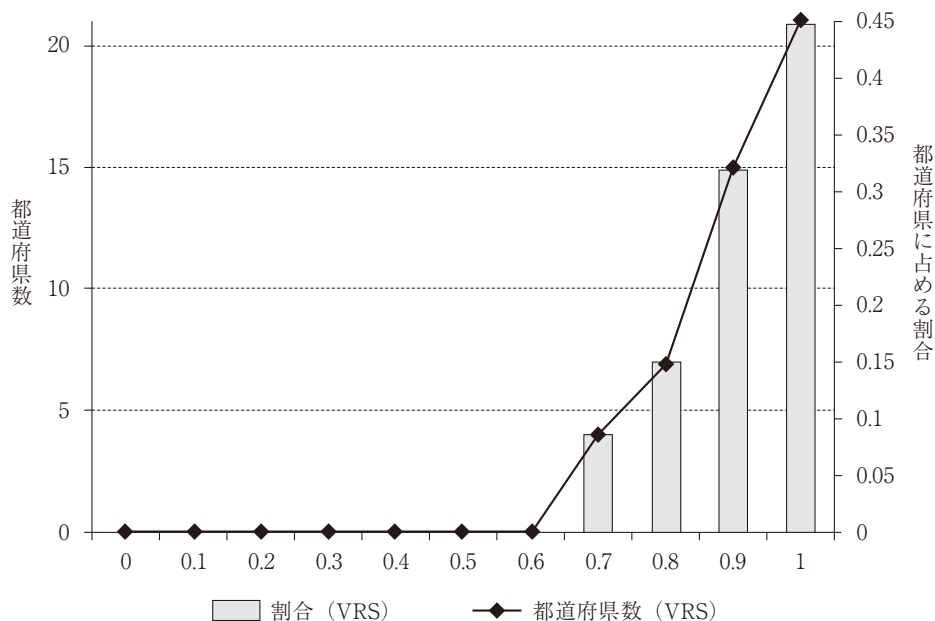


表3は、出力指向型CRSモデルと出力指向型VRSモデルに基づく技術効率性の要約、図1は、VRSモデルにおける技術効率性の分布を示している。表3を見ると、技術効率性の平均値は、CRSモデルでは0.726、VRSモデルでは0.883であり、全体的にかなり高い技術効率性になっている。技術効率値（VRS）の平均で、約12%前後の技術非効率が生じており、最大値と最小値を比べて、森林事業の効率性の格差があることがわかる。

また図1より、技術効率値が高いことを示す位置に分布していることが伺える。技術効率値1.0に頂点があり、全体の76%が技術効率値0.9以上である。技術効率値が0.6以下の事業者はなく、全体的に高いところに偏っている。しかし、技術効率性の最大値と最小値を比較すると、都道府県間の技術効率性格差は大きいことがわかる。

表4には、DEAから得られた技術効率性の都道府県順位が記されている。技術効率性が1、つまり最も効率的な都道府県は、北海道、青森県、茨城県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、大阪府、奈良県、和歌山県、岡山県、香川県、高知県、福岡県、鹿児島県、沖縄県であった。それに対して、最も非効率的な都道府県は長崎県であった。

VRSモデルの分析から得られる、規模に関する収穫の状況を示したのが表5である。IRS（収穫逓増）の場合、規模を拡大した方は効率が良くなり、DRS（収穫逓減）の場合、規模を縮小した方が効率は良くなることを概ね表しており、IRS（収穫一定）の場合、現状が最

表4 VRSモデルによる技術効率性ランキング

順位	都道府県名	効率値	順位	都道府県名	効率値	順位	都道府県名	効率値
1	北海道	1.000	17	宮城県	0.963	33	群馬県	0.835
1	青森県	1.000	18	静岡県	0.953	34	広島県	0.827
1	茨城県	1.000	19	岩手県	0.925	35	熊本県	0.823
1	埼玉県	1.000	20	山口県	0.921	36	富山県	0.816
1	千葉県	1.000	21	新潟県	0.905	37	福島県	0.788
1	東京都	1.000	22	山形県	0.896	38	愛媛県	0.780
1	神奈川県	1.000	23	大分県	0.892	39	鳥根県	0.764
1	大阪府	1.000	24	秋田県	0.890	40	三重県	0.751
1	奈良県	1.000	25	徳島県	0.890	41	鳥取県	0.739
1	和歌山県	1.000	26	佐賀県	0.881	42	福井県	0.726
1	岡山県	1.000	27	愛知県	0.860	43	岐阜県	0.717
1	香川県	1.000	28	滋賀県	0.859	44	兵庫県	0.699
1	高知県	1.000	29	京都府	0.852	45	山梨県	0.698
1	福岡県	1.000	30	石川県	0.848	46	長野県	0.696
1	鹿児島県	1.000	31	栃木県	0.840	47	長崎県	0.626
1	沖縄県	1.000	32	宮崎県	0.836			

表5 規模の経済性

	都道府県数	割合	規模の経済性 平均	VRS効率値 平均
IRS（収穫逓増）	0	0.000%	0.000	0.000
CRS（収穫一定）	11	23.404%	1.000	1.000
DRS（収穫逓減）	36	76.596%	0.755	0.847

も効率的な状況になると考えることができる。最も効率的な規模の都道府県は11あり、それ以外の都道府県（DRS、IRSの都道府県、全体の76.6%）は、規模の改善で効率化できることがわかる。経営規模が適正でかつ効率的な経営が行われている事業体は、11都道府県ある。規模の拡大で効率化できる都道府県はない結果となった。

#### 4. むすび

本稿では、2020年からすべての国で義務付けられる温暖化対策に先駆けて、日本の豊かな森林資源に着目し、CO<sub>2</sub>吸収が効率的に行われているのかを、DEAの手法を用いて検証した。

投入データを、森林労働力／森林面積、森林面積、高性能機械等／森林面積を用い、産出データを、木材生産量／森林面積、森林蓄積／森林面積、蓄積増加分／森林蓄積とし、出力指向型VRSモデルで分析した。

わが国の森林事業技術の効率性をDEAによって実際に分析した結果、林業は比較的効率的運営ができていくということがわかった。DEAの結果は0から1の間の数値で表される。1に近いほど効率的であり、0に近いほど非効率なのだが、今回の分析では、どれも結果

が0.7以上となった。このような結論は、林業に対する一般的な認識とは乖離しているが、これは投入に森林を手入れするための資本（機械器具や車両など）を入れなければならない所、データ制約のため高性能機械等しか入れられなかったことの結果であると考えられる。また国内だけの比較のなかで効率性分析をしているため、効率性が低くても母集団全体の効率性レベルが低いと高くなる可能性がある。そのため、今後はより効率的な運営をしている国との国際比較など必要である。

次に都道府県別にみると、森林率が高い都道府県でも、非効率の場合が多いことが示された。この結果の背景には、人工林の間伐がほとんどされていない、または、多くの森林面積があるにもかかわらず手入れをしていないことから、森林蓄積が少ないのがひとつの要因として考えられる。

今後の課題として、第1に本稿では、データの制約がある中で3投入3産出でDEA分析をしたが、上記で述べたように、資本項目のデータ等、地域ごとにあるデータを入手して改善するなどの余地があると考えられる。第2に次の段階として、効率性要因を裁量要因・非裁量要因に分けて、裁量要因のみでの技術効率性の比較をする必要があり、また、それらの要因はどのようなものによって影響をうけているのか要因分析をしていくことによって、森林のCO<sub>2</sub>吸収を効率的にするための検証もしていかなければならない。そして第3に森林のCO<sub>2</sub>吸収だけでなく、森林事業全体の効率性を高めるために、どのような要因が影響を与えているのか、今後の森林経営をよくするためにも検証していく必要がある。最後に、今回は日本国内のみの分析となったが、今後は国際比較を視野に入れて、日本の林業を包括的に評価し、日本の豊富な森林資源に経済的価値をつけることができれば、それは新しいビジネスモデルの構築に繋がると考えられる。

## 注

- 1) 本研究は、鳥根県立大学の「しまね地域共育・共創研究助成金」の助成を受けた研究成果の一部である。記して感謝申し上げたい。
- 2) 鳥根県では、「鳥根CO<sub>2</sub> 吸収認証制度」という独自制度を作っている。国は「J-クレジット」制度を設けている。これは、植林し、間伐をして森林機能を促進し、CO<sub>2</sub>の吸収部分や化石燃料を節約してバイオマス発電によるCO<sub>2</sub>の削減を、クレジットとして認定することができるものである。このクレジットは売ることができる。企業はこのクレジットを買うことで自らのCO<sub>2</sub>削減量を確保するという制度である。
- 3) ある出力を得るための入力に関して言えば、値の小さいものほど好ましく、ある入力による出力に関しては、大きいものほど好ましい状態にあるとする。
- 4) DEAについては、刀根（1993）に習っている。詳細は、刀根（1993）、Coelli（1996）、Charnes, Cooper, and Rhodes（1978）、Banker, Charnes, and Cooper（1984）、Cooper Seiford and Tone（2000）に詳しいので、参照されたい。

## 参考・参考文献

- Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W. W., (1984), "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis," *Management Science* 30 (9), pp. 429-444.
- Coelli, T. J., (1996), "A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer)

- Program,” *CEPA Working paper* 96/08, Department of Econometrics, University of New England, Armidale.
- Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E., (1978), “Measuring the efficiency of decision making units,” *European Journal of Operations Research* 2, pp. 429-444.
- Cooper, W. W., Seiford L. M. and Tone, K., (2000) *Data Envelopment Analysis* second edition New York Springer.
- Coelli, T. J., (1996), “A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program,” *CEPA Working paper* 96/08, Department of Econometrics, University of New England, Armidale.
- Banker, R. D., A. Charnes and W. W. Cooper (1984) “Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis,” *Management Science*, Vol. 30, No. 9, pp. 1078-1092.
- 林 宜嗣（1995）『地方分権の経済学』日本評論社。
- 林 亮輔、林田吉恵（2014）「日本の空港の効率性評価－非裁量要因を考慮したDEA効率値の計測」『日本経済研究（近刊）』。
- 関西社会経済研究所自治体生産性研究会（主査：林 宜嗣）編『地方公営企業の効率性に関する研究』、関西社会経済研究所。
- 刀根 薫（1993）『経営効率性の測定と改善－包絡分析法DEAによる－』日科技連。  
農林水産省『農林業センサス』  
農林水産省林野庁『森林生態系多様性基礎調査』  
森林整備部研究指導課技術開発推進室データ  
総務省『日本の統計』

キーワード：森林蓄積 二酸化炭素 技術効率性 DEA

(HAYASHIDA Yoshie, TOYOTA Tomoyo, JEONG Sachwan, LI Xian)