

論 文

DEA を用いた国有林における施業効率性評価

太田照久*・芝正己*

Managerial assessment in national forest using
Data Envelopment Analysis (DEA)

Teruhisa OHTA* and Masami SHIBA*

DEA (Data Envelopment Analysis) は、多入力・多出力システムの相対的効率性測定のための数理モデルの一つであり、線形計画法に基づいて一群の複数の入出力を持つ経営事業体の評価を行う手法である。本研究では、まず DEA の基本的な考え方について紹介し、実際の応用に際しての問題点のいくつかについて検討した。具体的には、大阪、高知、名古屋、長野の各営林局管内の営林署を解析対象単位として、その経営環境の総合評価と効率化のための改善方法について考察を加えた。その結果、効率的フロンティアの同定、効率的フロンティアを基準とした非効率と判定された事業体への改善案の提示等、DEA が各営林署の特徴や経営環境を考慮した実用的な評価を可能にすることが示された。

キーワード：意思決定、国有林、施業効率性評価、DEA

Data Envelopment Analysis (DEA) is a linear programming based upon technique for measuring the relative efficiency contained in the multiple outputs and inputs generated by managed entities called DMUs (Decision Making Units). This paper introduces the technique and focuses on some of the key issues that arise in applying DEA in practice. The practical case study concerned problem of managerial assessment encountered by the district forest offices in Osaka, Kochi, Nagoya and Nagano regional forest offices respectively. The application of DEA to the over all estimation of the managerial circumstances and to the guide in better performance control provided to emphasize the advantage of this method in examining the identification of efficient frontier and also better managerial control of the inefficient peer groups.

Key words: DEA, decision making, managerial assessment, national forest

1. はじめに

経営効率性の測定というテーマは、あらゆる事業体にとって重要な課題となりつつあるが、それは森林経営においても例外ではない。しかし、森林に対する社会的要求や価値観の多様化は、“資源利用の効率性：投資効果としての費用（投入）・便益（産出）の整合性”という課題に対して、単一の尺度による分析でなく多次元的な尺度と相対的観点からの総合的な判断基準を要求してきている。このような要求に応える分析法の一つとして DEA (Data Envelopment Analysis) がある。DEA は、多入力・多出力システムの経営効率性評価のための数理モデルの一つであり、線形計画法に基づいて経営事業体の効率性を「複数の入力変数の加重和に対する出力変数の加重和の比」によって多次元的に定量評価するものである。DEA は、1978年に Charnes, Cooper, Rhodes ら¹⁾によって開発されて以来、米国や英国を中心として、公共機関から民間企業におよぶ様々な事業体の効率性評価

のために適用されてきた^{3) 4) 8) 11) 13)}。また、森林や林業の分野にも、近年この手法が応用されようとしている。既存の報告としては、森林資源の経営管理計画、関連事業体のインフラ・基盤整備計画などをテーマとして、芝^{9) 10)}、Hanninen ら²⁾、Kao ら^{5) 6) 7)}による報告があるが、まだ事例は少ない。

そこで本報では、森林に対する社会的要求や価値観の多様化に伴い経営目標の多様化が求められてきた国有林において、人工林を対象として施業効率性評価の解析事例をおこない、DEA の応用上の諸問題について検討した。なお本研究の一部は、第108回日本林学会大会で報告した。

2. DEA 効率性と評価法の概要

2.1 評価法の特徴

1978年にテキサス大学の Charnes, Cooper, Rhodes らによって開発された DEA (CCR モデル) は、多入力・

* 京都大学農学研究科

* Grad. Sch. of Agric., Kyoto Univ., Kyoto 606-8502

多出力システムの経営効率性評価のための数理モデルの一つであり、線形計画法に基づいて経営事業体の効率性を「複数の入力変数の加重和に対する出力変数の加重和の比」によって定量評価するものである¹¹⁾。この方法は、経営効率の評価を一律におこなうのではなく、事業体の固有の特性に合わせて個々の立場での経営効率の評価をおこなうという意味で、刷新的な尺度である。

DEA においては、分析の対象となる事業体は複数あり、“同じ環境（共通の入出力を持つ）の中で互いに評価できる”と仮定し、分析対象の事業体が全事業体の経営活動と比較して相対的にどのような活動状態にあるかを経営効率として算出し、各事業体ごとに評価をおこなう。換言すれば、DEA は分析対象の事業体に対し、実現可能と思われる最適な経営状態をすべての事業体の経営活動から算出し、当該事業体がそれをどのくらい達成しているかをもってその事業体の経営効率の評価とする。

2.2 DEA の数理モデル

DEA の最も基本的なモデルである CCR モデル¹⁾ について概略を述べる。DEA では、分析対象となる複数の事業体は、同種の複数の入出力を持ち一般に、入出力値とも非負であることが必要である。そして、少ない入力で多くの出力を生み出すものほど望ましいものとして扱う。まず、 m 個の入力と k 個の出力を持つ事業体が n 個ある場合を想定して、DEA における効率性の尺度である D 効率値を求める方法を以下に示す。分析対象となる事業体 a ($a=1,2,\dots,n$) の D 効率値を θ として線形計画 (LP) を考えると、最小化

$$\theta - \epsilon \left[\sum_{r=1}^k S_r + \sum_{i=1}^m S_i \right] \quad (1)$$

制約条件

$$\sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j - Y_{ra} - S_r = 0, \quad r=1,2,\dots,k \quad (2)$$

$$X_{ia} \theta - \sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j - S_i = 0, \quad i=1,2,\dots,m \quad (3)$$

$$\lambda_j, S_r, S_i \geq 0, \quad j=1,2,\dots,n, \quad r=1,2,\dots,k, \quad i=1,2,\dots,m \quad (4)$$

ここで、

X_{ij} は事業体 j ($j=1,2,\dots,n$) の入力 i ($i=1,2,\dots,m$) の値、

Y_{rj} は事業体 j ($j=1,2,\dots,n$) の出力 r ($r=1,2,\dots,k$) の値、

ϵ は無限小正数、

S_i は出力 i ($i=1,2,\dots,m$) のスラック変数、

S_r は入力 r ($r=1,2,\dots,k$) のスラック変数、

λ_j は事業体 j ($j=1,2,\dots,n$) にかかるウェイトである。

これにより、事業体 a の D 効率値 θ が求まり、効率的な事業体は $\theta=1$ 、非効率的な事業体は $0 < \theta < 1$ と判定される。

2.3 数値解析例による DEA 効率性評価

ここでは前述した DEA 評価法の考え方に基づいて、入出力項目数の異なるいくつかの生産システム系を前提とした効率性評価法について数値解析例により検討する⁹⁾。

1) 1 入力-1 出力系生産システム

分析対象として A～E までの 5 つの事業体があり、入力値 (X) 及び出力値 (Y) が表-1 のとおりであるとする。この場合、各事業体の効率性は (出力/入力) の比率尺度で測定されるので、D 効率値は表の右欄のよ

表-1. 1 入力-1 出力の数値例

Example of data set in building a single input model.

Units	Input(X)	Output(Y)	Efficiency(Y/X)
A	2.0	1.0	0.5
B	3.0	3.0	1.0
C	4.0	2.0	0.5
D	3.0	1.5	0.5
E	3.0	1.0	0.3
Improvement / Alternative units			
A1	1.0	1.0	1.0
A2	2.0	2.0	1.0

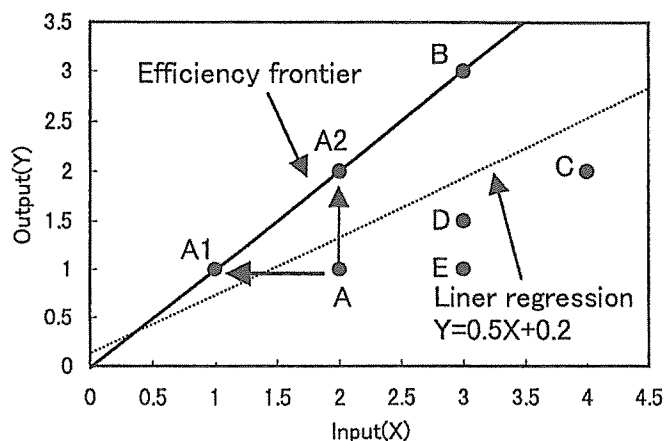


図-1. 1 入力-1 出力の図解

Graphical DEA efficiency measure: a single input-output.

うになる。図-1は、入出力値をXY座標系にプロットしたものであるが、原点とBを結ぶ直線の勾配が最も大きく、この直線上ではD効率値は常に1となることがわかる。DEAではこの直線を、“効率的フロンティア”と呼んでおり¹¹⁾、この直線は比較対象の事業体間で最も効率的なパフォーマンスの水準を与える。

一般にこのようなデータに対するモデルの推定問題を考える場合、最小二乗法による回帰直線の当てはめがなされる。事業体のほぼ中央を通過する破線が、予測モデルとしての回帰式： $Y = 0.5X + 0.2$ を与えるものであるが、この場合の解釈は「回帰線より上にある事業体は効率的に良好であり、下にあるものは不良である」と判断され、その度合いは偏差値等の統計量によって測られる。すなわち、回帰分析に依拠する効率性評価は、「現状の水準での平均像に基づく評価であり、事業体の効率性や非効率性は出力部分によってのみ判定される」ことを意味している。これに対し、DEAは、「効率的フロンティア上の最も効率的な事業体を目標とする評価法」であり、この基本的な考え方の違いが統計的回帰分析とDEAのアプローチの相違を明確にしている。

次に、図-1をもとに非効率的な事業体であるAの効率化を考える。この場合、3つの改善案を提示することができる。すなわち、

- ・ 入力Xを削減して→効率的フロンティアA1に移す (入力モデル型)
- ・ 出力Yを増加して→ A2に移す (出力モデル型)
- ・ 入出力(X,Y)の双方を調整して→線分A1、A2上のいずれかに移す (混交モデル型)

である。これにより、いずれの改善案を導入してもAの現状の入力レベルを増加させることなく、しかも出力レベルを落とすことなく効率化が可能であることを示唆している。

2) 2入力-1出力系生産システム

次に、2入力値(X1, X2)、1出力値(Y)をもつA~Fの6つの事業体の効率性を考える(表-2)。なお、表中のX1, X2の2入力値は、単位出力1を産出するのに要する値として換算したものである。図-2は入力1及び入力2を座標軸として事業体をプロットしたものであるが、なるべく少ない入力で所与の出力を与えている事業体ほど優れているため、原点に近くなればなるほど高い効率性を示すことは明らかである。この場合、効率的フロンティア(D効率値=1)は、線分AB、BC

表-2. 2入力-1出力の数値例

Example of data set in building two inputs-single output model

Units	Input(X1)	Input(X2)	Output(Y)
A	0.5	1.5	1.0
B	1.0	0.7	1.0
C	1.5	0.5	1.0
D	1.5	1.5	1.0
E	2.5	1.5	1.0
F	2.0	1.0	1.0

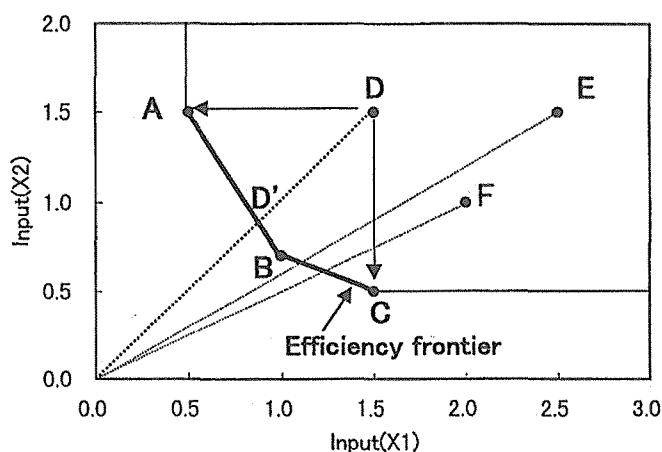


図-2. 2入力-1出力の図解

Graphical DEA efficiency measure: two inputs-single output.

によって形成されるが、このフロンティア線をもとにすべての事業体のD効率値を決定することができる。すなわち、非効率的な事業体であるDの場合を例にとると、原点Oと点Dとを結ぶ線がフロンティア線ABと交わる点をD'とすれば、

$$\theta = OD'/OD \quad (5)$$

により、事業体DのD効率値を求めることができる。

このときA, BはDに対する優位集合¹¹⁾と呼ばれるが、これはDが経営改善をする際、経営目標となる事業体であることを示している。また、E, Fの優位集合を考えると、原点と点E, Fを結ぶ線分はともに線分BCと交わることで、B, Cを優位集合としていることがわかる。この結果、他の事業体の優位集合として出現する回数は、Aが1回、Bが3回、Cが2回とBが最も多く、Bは改善の目標としてA, Cに比べ、一般性を有した経営をしていることが分かる。

一方、改善案についても1入力-1出力系の場合と同

様にして、Dの場合であれば「入力1、入力2のいずれかを減らしてA,Cに移すか、あるいは相互に減らして線分AB、BC上のいずれかに移動させる」ことによって効率化が図られる。

3. 施業効率性の解析事例

3.1 評価対象の概要

解析事例は、大阪、高知、名古屋、長野の各営林(支)局事業統計書より得た、47の営林署における人工林施業に関係する各種データを用いる。年度間の変動が激しいと思われる、伐採量、保育間伐量、林道新設量の3項目のデータを、分析可能であった平成4、5、6年度の3年分について調べてみると、いずれの項目もこの3年間に於いてはほぼ同様な推移をしていることが分かった。そこで、今回は最も新しいデータである平成6年度のデータを用いて分析をおこなった。表-3にこれらの営林署の主要項目について基礎統計量を示し、以下順に特徴を述べる。

対象とした森林は、大部分が奥地脊梁山地に位置しており、木材生産活動は、この奥地脊梁山地を中心におこなわれている。また、小面積で点在している都市部に近い国有林においては保安林としての役割が強く、木材生産活動は、ほとんどおこなわれていない。

総面積に占める人工林の割合は13.90~88.16%と営林署により大きく異なる。これは、営林署によって営林署内での人工林のばらつき方が違うことや環境的な違いによる人工林経営の適不適が存在することを示している。地域別に見ると、高知営林局管内は人工林率が高い傾向にある。また、人工林面積も営林署により大きく異なるため、以下の項目ではhaあたりでみていくこととする。

林道密度は、5.3~37.5m/haと営林署により大きく異なり、平均で18.4m/haとなっている。林野庁で用いられている適正林道密度計算結果では、人工林の普通施業の場合19~28m/haとなっており¹²⁾、17営林署(36.17%)しか、この基準を達成していない。また、林道新設量は、平均0.13m/haとなっており、営林署全体としては積極的な林道新設はおこなっていない。蓄積量は、平均で126m³/haとなっており、未だ保育間伐の必要な若齢林分が大半を占めていることが分かる。これは、民有林における平均蓄積量201m³/ha(平成6年度)に比べかなり少ない蓄積量である。

その他の項目も、営林署ごとにばらつきがあるが、これらの項目をもとに営林署をクラスター分析にかけてみると、まとまったグループは存在しなかった。また、環境の違いはあるものの、すべての営林署は林野庁の提示する同一の経営方針にしたがって経営を進めていることを考え、47の営林署すべてをDEA分析にかけることとした。

3.2 入出力の選定

分析における効率性評価の目標を、「制限された林地環境のなかで、現在の生産および将来の価値を上昇させる適切な施業をいかに効率よくおこなっているか」と設定し、これに沿った入出力要因を選定した。まず、事業統計書から、林地環境や施業に関係する数十項目の中から、各項目の独立性と目的性を考慮し、Model 1, Model 2を決定した。以下に特徴を述べる。

● Model 1

2入力(事業費(千円/ha)、作業員延べ人数(人/ha))、3出力(伐採量(m³/ha)、保育間伐面積(%))、林道新設量(m/ha))で分析をおこなう。従来において

表-3. 分析対象の営林署の主要項目、及び Model 1,2の出力項目

Characteristics related to production infrastructure of the district forest and final inputs/outputs factors for Model 1 and Model 2.

	全面積 Jurisdictional forest area (ha)	人工林面積 Artificial forest area (ha)	人工林率 ^{*1} Artificial forest ratio (%)	蓄積量 Stocking (m ³ /ha)	成長量 Annual increase of stand stocking (m ³ /ha)	林道密度 Road density (m/ha)	事業費 Operation cost (1000yen/ha)	作業員延べ人数 Investigated labor force (person/ha)	伐採量 Timber product (m ³ /ha)	保育間伐面積 ^{*2} Tending and thinning ratio (%)	林道新設量 Newly road construction (m/ha)
Mean	12251	6291	56.60	126	6.06	18.4	54.41	0.82	2.68	7.00	0.13
Min.	4800	1790	13.91	76	2.70	5.3	11.20	0.11	0.22	2.63	0.00
Max.	36579	14003	88.16	185	8.84	37.5	160.78	2.28	7.59	12.41	0.46
SD	6335	2712	20.43	27	1.62	6.8	28.38	0.46	1.64	2.00	0.09
Model 1							Input 1	Input 2	Output 1	Output 2	Output 3
Model 2			Input 1	Input 2	Input 3	Input 4	Input 5	Input 6	Output 1	Output 2	Output 3

^{*1}人工林率=人工林面積/全面積

Artificial forest ratio = artificial forest area / jurisdictional forest area.

^{*2}保育間伐面積=保育間伐実施面積/人工林面積

Tending and thinning ratio = tending and thinning area practiced / artificial

出力は、収益性とか労働生産性における伐採量のように、単一の出力により経営の効率性を求めることが多かった。しかし、現在国有林に求められている機能の多様化を考慮に入れ、単一の出力でなく伐採量とともに、保育間伐のような管理経営やこれらの出力の増加を容易にする林道新設の施業も評価の項目に加え分析をおこなった。また、入力に経営方針により制御可能な、事業費と作業員延べ人数の2項目のみを用いる。これにより、投資に対する出力の効率性を評価する。しかし、改善策においては、林地環境の大きく異なる営林署の経営を目標として改善策を提示してしまう危険性があり、注意が必要である。

● Model 2

Model 1の2入力に、人工林率(%)、蓄積量(m^3/ha)、成長量(m^3/ha)、林道密度(m/ha)の4つの林地環境項目を入力に加えた、6入力3出力で分析をおこなう。評価対象の概要で見たように林地環境は個々の営林署でばらつきがあるが、これにより、林地環境の違いによる経営における有利不利の影響をなくしたうえで生産・作業システムの効率性を評価する。また、非効率と判定された営林署の改善策の提示においては、経営方針や林地環境の似た営林署を改善の目標として選ぶため、Model 1に比べより現実的な改善策を提示することができる。

4. 結果と考察

4.1 効率的な営林署

Model 1,2の DEA 効率性の評価結果を図-3に示す。

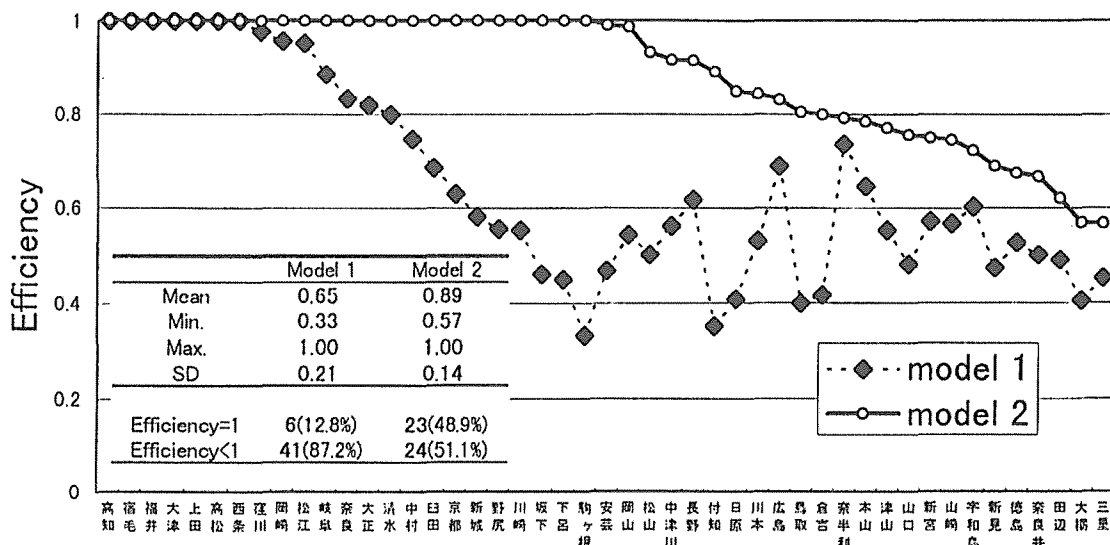


図-3. Model 間の D 効率値比較
Efficiency comparison between two models.

まず Model 間の D 効率値の比較をおこなうと、効率的と判定された営林署 (D 効率値=1) の数は Model 1では6営林署 (12.8%)であったが、Model 2では23営林署 (48.9%)に増加しており、非効率と判定された営林署 (D 効率値<1) の D 効率値も上昇している。これは、モデルによって評価に大きな違いがあることを示している。前述した DEA の評価方式から明らかなように、一般に入出力が増えれば増えるほど事業体は効率的であると評価される傾向が強くなるが、本解析結果もこの特徴をよくあらわしていることがわかる。今回の場合では、Model 1においては生産・作業システムの効率性は良好であるが林地環境が悪いために非効率と判定された営林署も、Model 2において効率的と判定されたためである。

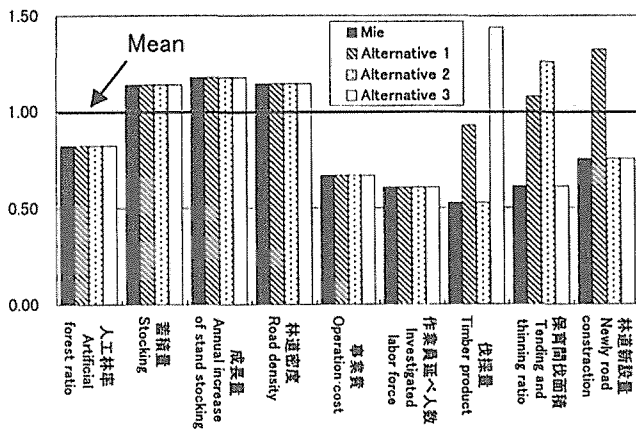
次に、Model 2において効率的と判定された営林署が他の営林署の優位集合として出現する回数に着目すると (図-4)、高知営林署と松江営林署は過半数 (13以上) の非効率な営林署の優位集合に出現しており、非効率と判定された営林署の改善目標として一般性が高い営林署であることがわかる。この2営林署を例として分析することにより、非効率と判定された営林署は具体的にはどのような経営を目指しているのかを検証する。2営林署の各入出力値を表-4に示し、各入出力値/営林署平均の値を、図-5に示す。

高知営林署は高入力高出力型の経営であり、林地環境を見てみると、蓄積量は営林署の平均よりわずかに少ないが、人工林率、成長量、林道密度は平均より高く、対象の中では比較的林地環境にはめぐまれている。このような環境において、限られた事業費や作業員を効率よく

表－5．三重営林署の項目別改善例

Computed target values on the frontier that represents Mie forest district could be achieved.

	Input					Output			
	人工林率 Artificial forest ratio (%)	蓄積量 Stocking (m ³ /ha)	成長量 Annual increase of stand stocking (m ³ /ha)	林道密度 Road density (m/ha)	事業費 Operation cost (1000yen/ha)	作業員延べ人数 Investigated labor force (person/ha)	伐採量 Timber product (m ³ /ha)	保育間伐面積 Tending and thinning ratio (%)	林道新設量 Newly road construction (m/ha)
Mie	46.44	143	7.14	21.1	36.37	0.50	1.41	4.28	0.09
Alternative 1	46.44	143	7.14	21.1	36.37	0.50	2.49	7.54	0.17
Alternative 2	46.44	143	7.14	21.1	36.37	0.50	1.41	8.81	0.09
Alternative 3	46.44	143	7.14	21.1	36.37	0.50	3.85	4.28	0.09
Mean	56.60	126	6.06	18.4	54.41	0.82	2.68	7.00	0.13



図－6．三重営林署の改善例

Examples of managerial improvement strategies for Mie forest district.

改善は、まず Model 2における三重営林署の D 効率値に従って、出力全般を増大させることにより効率性を高める方針で改善策 1 を求める。次に、営林署の現状に合わせた改善策の提示を試みる。三重営林署の林道密度は 21.1m/ha であり、先に述べた林野庁で用いられている人工林普通施業の場合の適正林道密度計算結果である 19～28m/ha の基準を達成している。そのため、今回は保育間伐面積を増加させることによる改善策 2 と、伐採量を増やすことによる改善策 3 を述べる。

結果は、図－6、表－5 のとおりである。改善策 1 においては 3 出力すべての項目において施業の効率化が目標とされる。改善策 2 においては、保育間伐面積を 4.28% から 8.81% に増やすことにより改善をおこない、将来への投資および、適正な管理に重点を置いた経営を目指す。改善策 3 においては、伐採量を 1.41m³/ha から 3.85m³/ha に増やすことにより改善をおこない、木材生産の充実を目指す。さらに、これらの中間的な改善策も提示することができ、経営者の経営方針に応じた経営改善目標を提示ができることがわかった。

また、これらの改善策は実際に他の営林署でおこなわれている経営を基にした改善策であり、具体的な改善は三重営林署の優位集合となった効率的と判定された営林署の経営が参考になる。

5. おわりに

以上のように本研究では、まず DEA の基本的な考え方についてまず紹介し、実際の応用に際しての問題点のいくつかについて検討した。国有林の人工林における施業効率性評価を解析事例とした結果、効率的フロンティアの同定、効率的フロンティアを基準とした非効率な事業体への改善案の提示等、DEA が各事業体の特徴や林地環境を考慮した実用的な評価を可能にすることが示された。このように、DEA は今日進んでいる国有林の経営目標の多様化に対応した、評価や改善策を提示できる手法の一つであり、今後も森林経営の分野で、さらなる応用の期待がもたれる。

今後の応用にあたって、問題点と課題を述べる。本論は国有林の事業統計書のデータだけに基づいた分析であるが、林地の環境要因をさらに厳密に含めた分析をおこない、林地環境が不利なため非効率と判定されたのか、生産・作業システムが悪いため非効率と判定されたのか、さらに厳密に分離する必要がある。また、分析は単年度内の施業のみを評価したものであり、長期的な経営方針の良否には触れられなかった。また、本論は人工林における分析であったが、天然林も含めた営林署全体の公益的機能面を抽出することも重要な課題である。

森林資源利用の問題は、近年益々複雑化し、特に、国有林を取り巻く我が国の状況は、材価の低迷、財政面など構造的な問題に加え、森林に対する社会的要求や価値観の多様化により一層厳しさを加えている。効率的な生産・作業システムの確立とともに、個々の事業体のシステムの向上は、限られた資源（原材料、資本、労働力）の効率的な活用のための必須条件でもあると言える。本研究がこれらの問題解決の一助になれば幸いである。

謝 辞

本研究を進めるにあたって、有益な御助言と御協力をいただきました林野庁の中島孝雄氏、民有林の中江氏、前京都大学農学部の神崎康一教授、京都大学大学院情報学研究科の吉村哲彦助手、そして森林利用学研究室の皆様に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) Charnes, A., Cooper, W.W., and Rhodes, E. (1978) Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research* 2. 429-444.
- 2) Haninen, H. and Vitala, E.J. (1995) Assessing the relative efficiency of forestry promotion units in Finland: An application of Data Envelopment Analysis. Abstracts of IUFRO XX World Congress Tampere. 1-19
- 3) 長谷部正・木谷 忍・伊藤房雄 (1995) 農協経営評価のための DEA 適用に関する一般論. *オペレーションズ・リサーチ* 40. 711-715.
- 4) 橋本昭洋 (1993) DEA による野球打者の評価. *オペレーションズ・リサーチ* 38. 146-153.
- 5) Kao, C. and Yang, Y. C. (1991) Measureing the Efficiency of Forest Management. *Forest Science* 37-5: 1239-1252
- 6) Kao, C. and Yang, Y. C. (1992) Reorganization of forest districts via efficiency measurement. *European Journal of Operational Research* 58: 356-362.
- 7) Kao, C., Chang, P., and Hwang, S. N. (1993) Reorganization of forest districts via efficiency measurement. *Journal of Environmental Management* 38: 73-83
- 8) Michael, N. and Barry, S. (1991) Data Envelopment Analysis? The Assessment of Performance. 262pp. John Wiley & Sons. Chichester.
- 9) 芝 正己 (1997) DEA を導入した伐出生産効率性の多次元評価法に関する研究. *三重大生物資源演報* 21. 63-100.
- 10) Shiba, M. (1997) Measuring the efficiency of managerial and technical performances in forestry activities by means of Data Envelopment Analysis (DEA). *Journal of Forest Engineering* 8. 7-19.
- 11) 刀根 薫 (1993) 経営効率性の測定と改善—包絡分析法 DEA による. 174 pp. 日科技連. 東京.
- 12) 上飯坂實・神崎康一 (1990) 林道密度理論 (森林作業システム学. 292pp. 文永堂出版. 東京). 81-82
- 13) 矢田 健・中山竜起・井上正之 (1995) 通信事業における DEA 法の適用事例. *オペレーションズ・リサーチ* 40. 706-710.