

DEA(Data Envelopment Analysis)を導入した伐出生産効率性の の多次元評価法に関する研究

芝 正 己*

Measuring the multi-dimensional efficiency of production
performances in timber harvesting operations by means of Data
Envelopment Analysis (DEA)

Masami Shiba

Faculty of Bioresources, Mie University, Tsu Mie 514

要 旨

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 DMUs (Decision Making Units) と呼ばれる一群の意思決定主体の評価を行う手法である。

本研究では、この 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。三重県下の素材生産事業体の伐出作業を解析事例とした結果、効率的フロンティアの同定、異なる作業システム間の効率性比較、効率的フロンティアを基準とした非効率的 DMUs への改善案の提示等、DEA が各事業体の特徴や生産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。

DEA に関する文献は既にかかなりの量に上っているが、森林・林業を対象とする我が国の研究分野ではほとんど知られていない。本論では、近年の複雑な森林資源の利用状況の下、厳しい課題（生産活動の再構築と抜本的な生産効率性の改善）に直面している素材生産事業に対し、特に伐出作業における効率性の評価と改善の二面にスポットを当て、DEA による解決法の可能性を明らかにした。

キーワード：DEA、効率性、目標設定、フロンティア、伐出生産活動

ABSTRACT

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. Some illustrations of the practical applications of these results to the estimation of the relative efficiency for timber harvesting operations practiced at the local level in Mie Prefecture are also provided to emphasize the advantage of this method in examining specific segments of the efficient production surface.

There exists a very large volume of literature on DEA, but there are few reports of practical application of DEA analysis in a field of economic analysis of forest management. By presenting a case study based on real data, this paper provides a comprehensive and practical guide to the use of DEA in solving real problems encountered by the forestry production sectors, such as the timber harvesting contractors, which in recent year have been forced to strive for greater efficiency, and better managerial control and decision making in the face of increased competition and dwindling forest resources.

Keywords : Data Envelopment Analysis, efficiency, target setting, frontier, timber harvesting activities

I. は じ め に

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、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。「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、それは国有林、民有林を問わず林業の生産部門にとっても例外ではない。最近、フィンランドの林業審議会 (Forestry Board Districts:FBDs) は、州有林の非営利的活動部門 (nonprofit public activities) の機構・組織改革の一環として、また一方では、民有林に対する素材生産活動の振興策のための効率化プロジェクトとして、DEAの導入を検討している(1)。このDEA(Data Envelopment Analysis)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等(7)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いる(1, 4, 5, 6, 14, 15, 17, 21)。

DEAの基本的考え方や評価法の枠組みについては、滋賀県や三重県の森林組合の事業活動実績を対象とした解析事例を示しながら既に紹介してきた(18, 19)。本報では、三重県下の素材生産事業体を対象

とした伐出作業の解析事例により、DEA 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 107 回日本林学会大会ならびに第 20 回 IUFRO 世界大会で報告した。

II. DEA 効率性と評価法の概観

1) 評価法の特徴

1978 年にテキサス大学の CHARNES, COOPER, RHODES 等によって開発された 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」によって定量評価するものである(8)。この方法は、経営効率の評価を一律に行うのではなく、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行うという意味で、刷新的な尺度である。そして現在までに、DEA の適用に際して生じる種々の問題点を克服し、かつ、その適用範囲を広めるために、20 以上の改良モデルが提案されている(10)。

DEA においては、分析の対象となる事業体は複数個あり、“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行う。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) 評価法の数学的記述

DEA では、分析対象となる事業体を DMU (Decision Making Unit: 意思決定主体) と呼び、これらは同種の複数の入出力を持つものとする。一般に、入出力値とも非負であり、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。 n 個の DMU を考え、記号を以下のように定義する。

X_{ij} : DMU $_j$ の入力 i の値	$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$
Y_{rj} : DMU $_j$ の出力 r の値	$(r = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, n)$
V_i : 入力 i にかかるウェイト	$(i = 1, 2, \dots, m)$
U_r : 出力 r にかかるウェイト	$(r = 1, 2, \dots, k)$
S_i^- : 入力 i のスラック変数	$(i = 1, 2, \dots, m)$
S_r^+ : 出力 r のスラック変数	$(r = 1, 2, \dots, k)$
λ_j : DMU $_j$ の双対変数	$(j = 1, 2, \dots, n)$

分析対象となる DMU を $j = a$ とし、DMU $_a$ について次の分数計画問題を考える。

最大化

$$h_a = \frac{\sum_{r=1}^k Y_{ra} U_r}{\sum_{i=1}^m X_{ia} V_i} \quad (1)$$

制約条件

$$\sum_{r=1}^k Y_{rj} U_r / \sum_{i=1}^m X_{ij} V_i \leq 1 \quad (2a)$$

$$(j = 1, 2, \dots, n)$$

$$U_r > 0 \quad (r = 1, 2, \dots, k) \quad (2b)$$

$$V_i > 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (2c)$$

この問題の最適解を $U_r^* (r = 1, 2, \dots, k)$ 、 $V_i^* (i = 1, 2, \dots, m)$ 、最適目的関数値を h_a^* とすると、 $h_a^* = 1$ である場合は DMU_a を効率的、 $h_a^* < 1$ である場合は非効率的であると定義する。上記の分数計画問題は次のような線形計画問題に変換して考えることができる (1, 7, 10)。

最大化

$$Z_a = \sum_{r=1}^k Y_{ra} U_r \quad (3)$$

制約条件

$$\sum_{i=1}^m X_{ia} V_i = 1 \quad (4a)$$

$$\sum_{r=1}^k Y_{rj} U_r - \sum_{i=1}^m X_{ij} V_i \leq 0 \quad (4b)$$

$$(j = 1, 2, \dots, n)$$

$$U_r > 0 \quad (r = 1, 2, \dots, k) \quad (4c)$$

$$V_i > 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (4d)$$

この問題の最適目的関数値が $Z_a^* = 1$ ならば、 DMU_a は効率的であり、 $Z_a^* < 1$ ならば非効率的である。実際に上式を解く場合、無限小正数 ε を用いて、 $U_r \geq \varepsilon$ 、 $V_i \geq \varepsilon$ として行う。次に、(3)、(4a) ~ (4d) 式の線形計画問題に対する双対問題は以下のようなになる。

最小化

$$\xi_a = F_a - \varepsilon \left(\sum_{r=1}^k S_r^+ + \sum_{i=1}^m S_i^- \right) \quad (5)$$

制約条件

$$X_{ia} F_a - \sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j - S_i^- = 0 \quad (6a)$$

$$(i = 1, 2, \dots, m)$$

$$\sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j - S_r^+ = Y_{ra} \quad (6b)$$

$$(r=1, 2, \dots, k)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (6c)$$

$$S_r^+ \geq 0 \quad (r=1, 2, \dots, k) \quad (6d)$$

$$S_i^- \geq 0 \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (6e)$$

F_a は符号無制約

ここで、 F_a 、 λ_j 、 S_r^+ 、 S_i^- はそれぞれ(4a)、(4b)、(4c)、(4d)式に対する双対変数である。(3)、(4a)～(4d)式の線形計画問題において、最適目的関数値 Z_a^* が1の時、双対定理より、(5)、(6a)～(6e)式の双対問題の最適目的関数値 ξ_a^* も1になる。さらに、この双対問題を利用して、非効率であるDMUに対する改善条件を求めることもできる。なお、上式の定式化は一般にCCRモデルと呼ばれる(7, 8, 10)。

III. 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。

1) 1入力-1出力系生産システム

DMUとしてA～Eまでの5事業体があり、入力値(X)及び出力値(Y)が表-1の通りであるとする。この場合、各DMUの効率性は{出力/入力}の比率尺度で測定されるので、効率値は表の右欄のようになる。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(8, 10, 23)、この直線は比較対象のDMU間の最も効率的なパフォーマンスの水準を与える。

表1 1入力(X) - 1出力(Y)系の数値例

DMU	入力(X)	出力(Y)	効率値(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
改善代替案			
A1	1.0	1.0	1.0
A2	2.0	2.0	1.0

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、最小自乗法による回帰直線の当てはめがなされる。DMUs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： $Y = 0.3375X + 0.775$ 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DMU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、回帰分析法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、DMU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DMU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

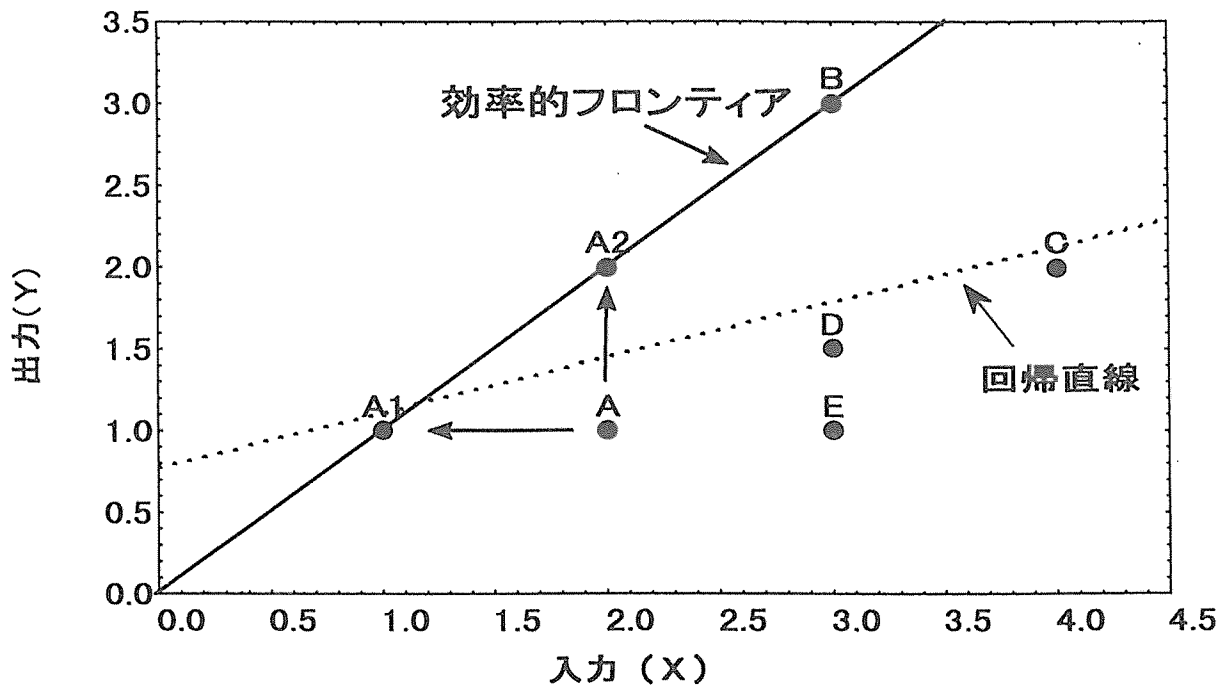


図-1 1入力-1出力系の図解

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 DMU 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 A1A2 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 (X_1, X_2)、1出力値 (Y) をもつ A~E の5つの DMU の効率性を考える (表-2)。

なお、表中の X_1, X_2 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 DMU をプロットしたものであるが、図より、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：なるべく少ない入力で所与の出力を与えている DMU ほど優れている。この場合、効率的フロンティア (効率値=1) は、B から水平に伸びる線分、C から垂直に伸びる線分

表-2 2入力 (X_1, X_2) - 1出力 (Y) 系の数値例

DMU	入力 (X_1)	入力 (X_2)	出力 (Y)
A	3.5	2.5	1.0
B	3.0	2.0	1.0
C	2.0	3.0	1.0
D	3.0	3.0	1.0
E	4.0	3.0	1.0

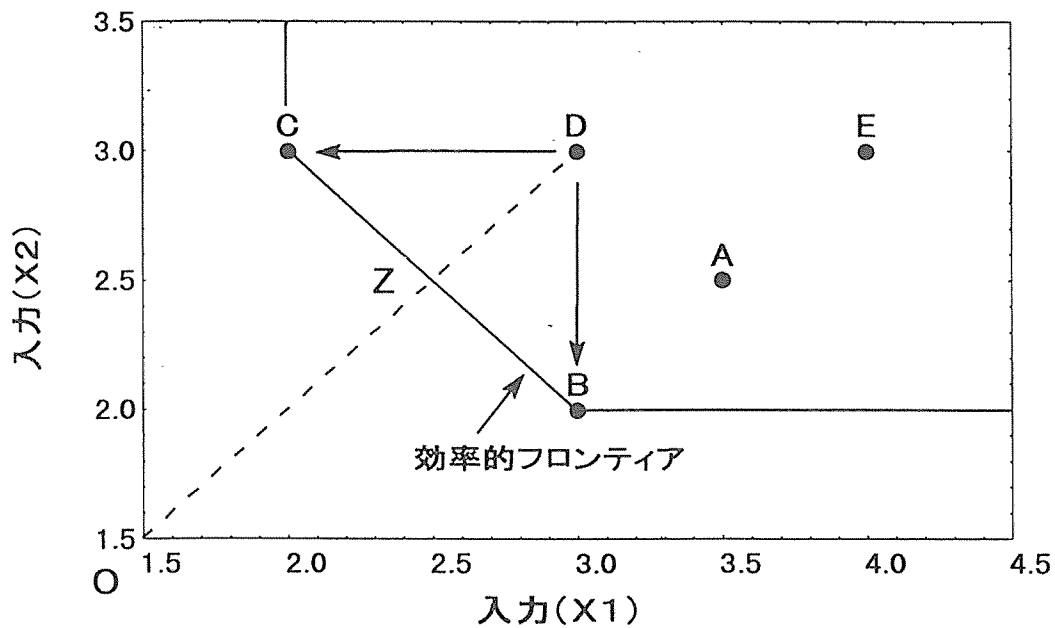


図-2 2入力-1出力系の図解

及びBCを結ぶ線分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DMUの効率値を決定することができる。すなわち、非効率的なDMUであるDの場合を例にとると、原点と点Dとを結ぶ線がフロンティア線BCと交わる点をZとすれば、

$$\frac{OZ}{OD} \quad (7)$$

としてDについての効率値を推定することができる。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、「入力1、入力2のいずれかを減らしてC、Bに移すか、あるいは相互に減らして線分BC上のいずれかに移動させる」かによって効率化が図られる。

3) 異なる生産システム系：2入力-1出力

異なった生産システムA及びBを有する2入力(X1, X2) - 1出力(Y)の場合を考える(表-3)。ただし、表中のA(A1 ~ A9)、B(B1 ~ B9)両システムの出力値(Y)は単位出力1とする。図-3より、

表-3 2入力(X1, X2) - 1出力(Y)系の数値例：異なる生産システムA及びB

システムA				システムB			
DMU	入力(X1)	入力(X2)	出力(Y)	DMU	入力(X1)	入力(X2)	出力(Y)
A1	1.0	4.0	1.0	B1	4.0	4.0	1.0
A2	2.0	4.5	1.0	B2	4.0	3.5	1.0
A3	2.0	3.5	1.0	B3	4.5	2.0	1.0
A4	2.0	2.5	1.0	B4	6.0	1.0	1.0
A5	3.5	3.5	1.0	B5	7.0	0.5	1.0
A6	3.5	2.0	1.0	B6	8.0	1.0	1.0
A7	4.5	2.5	1.0	B7	8.5	0.5	1.0
A8	6.0	1.5	1.0	B8	6.0	3.0	1.0
A9	8.5	1.5	1.0	B9	8.0	3.0	1.0

システムの区別を考慮しない場合、効率的フロンティアは A1, A4, A6, B4, B5, B7 を結ぶ線となるが、A6 と B4 を結ぶ線上の活動は存在しないので、図中の実線で示すような効率的フロンティアが形成される。この場合、システム A のみの効率的フロンティアは、A1, A4, A6, A8, A9 であり、システム B のみの効率的フロンティアは B1, B2, B3, B4, B5, B7 であるが、両者の交点はそれぞれの分岐点とみなすことができ、両システム間の差は、システム A は入力 1 の点で優越しており、逆にシステム B は入力 2 で優れていることがわかる (22, 23)。

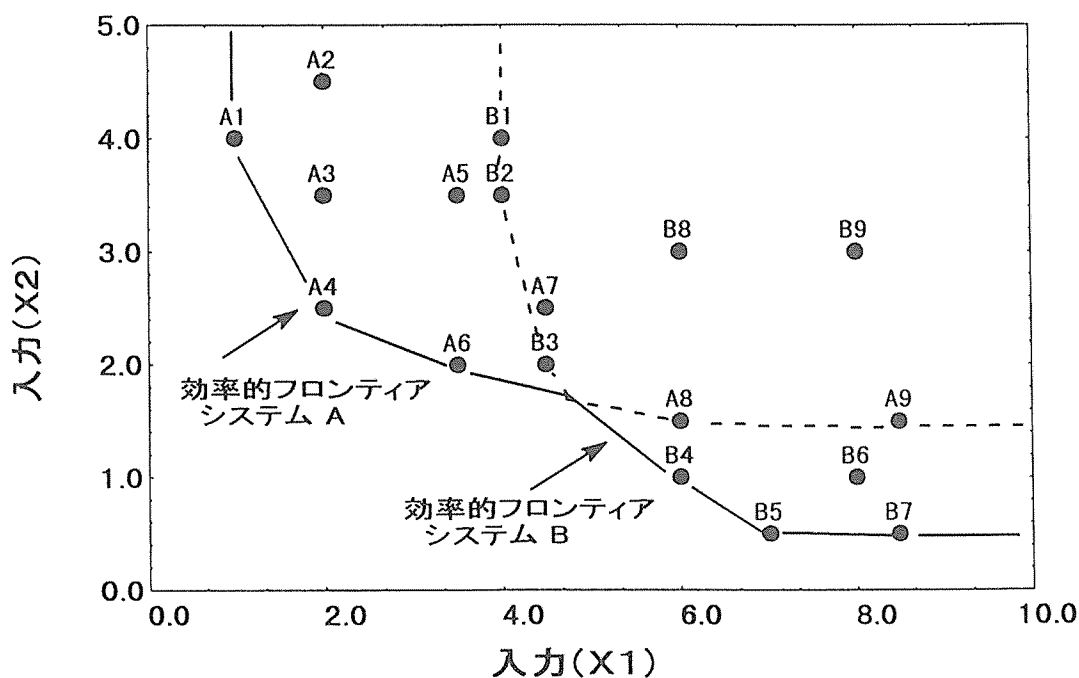


図-3 2入力-1出力系の図解：異なる生産システム A 及び B

IV. 伐出作業の解析事例

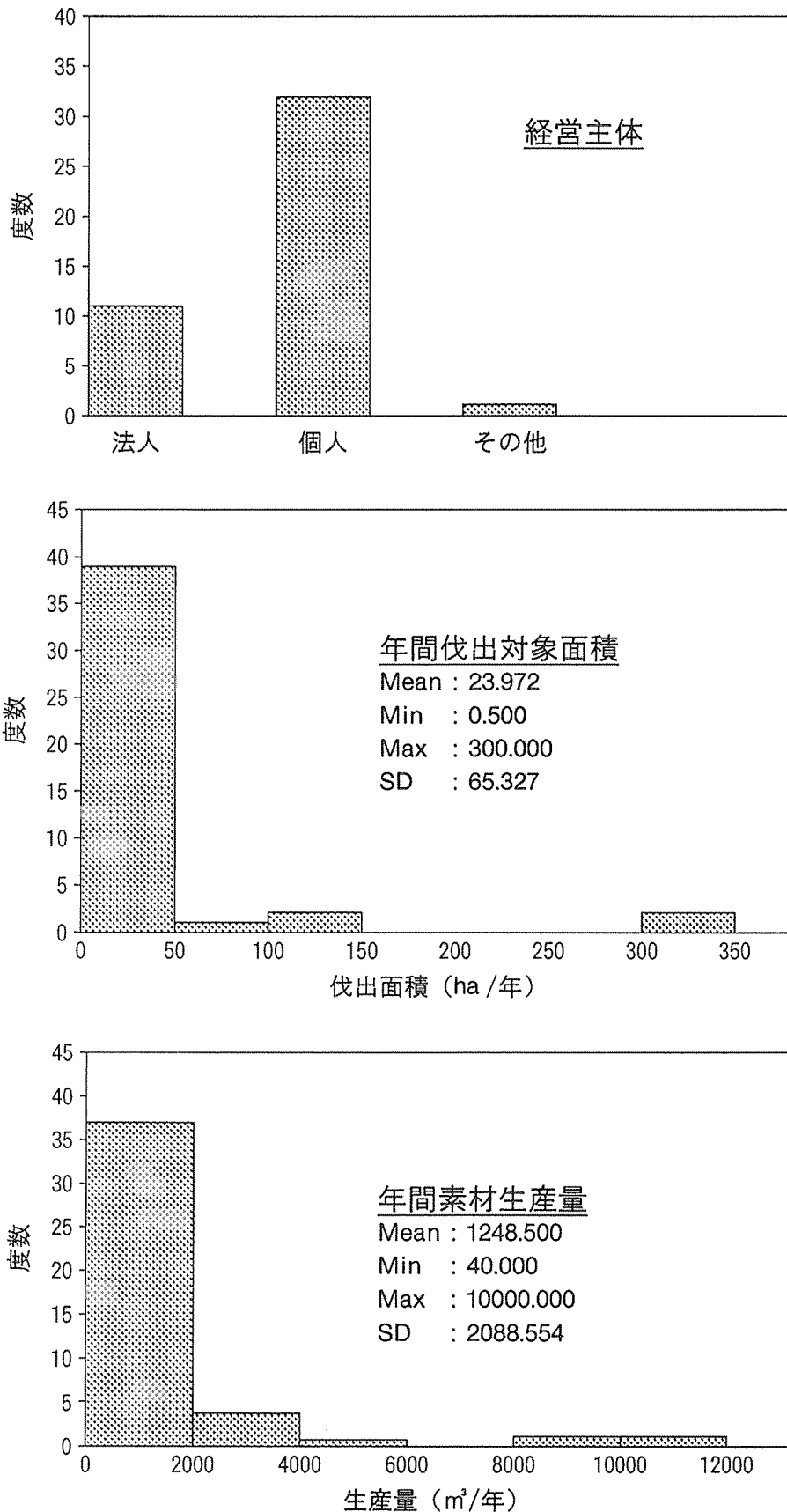
1) 調査法及び解析データ

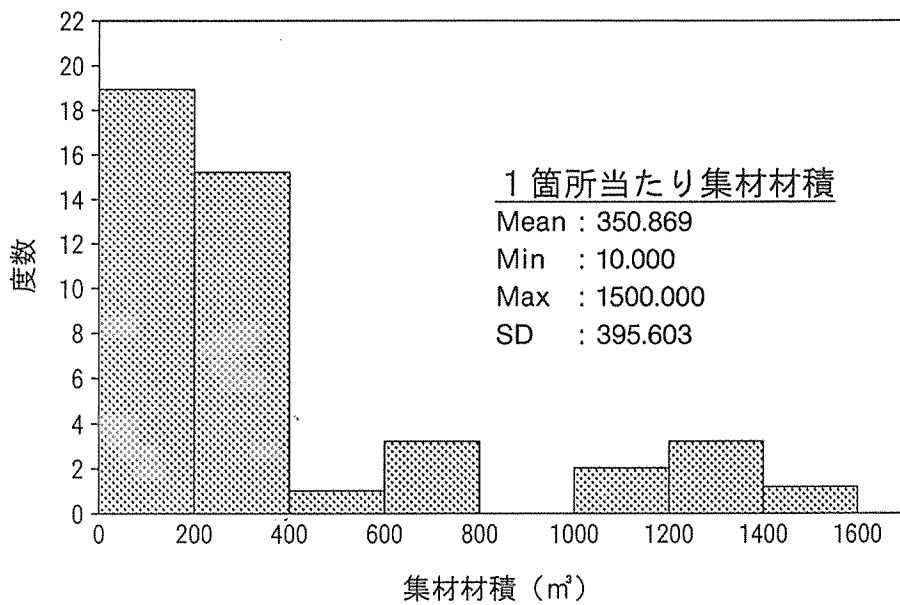
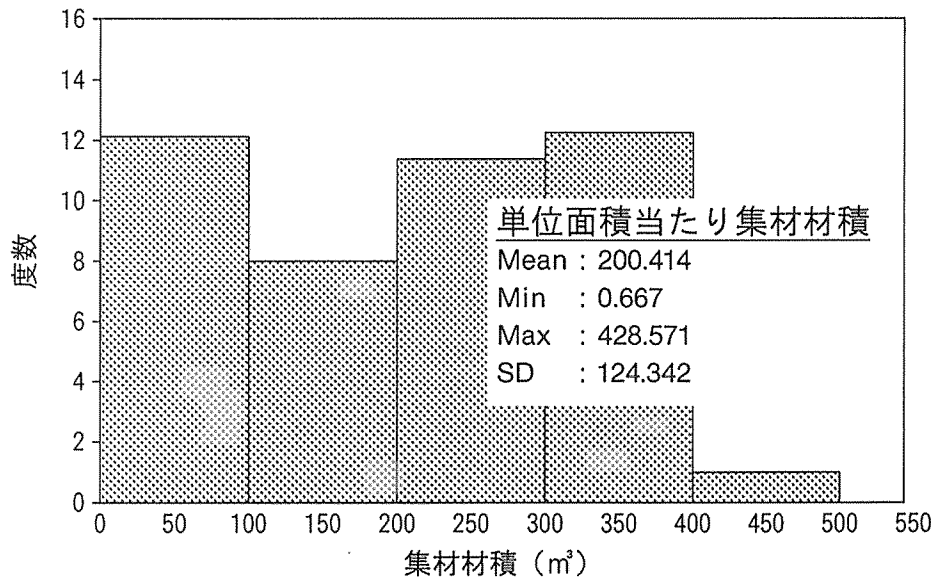
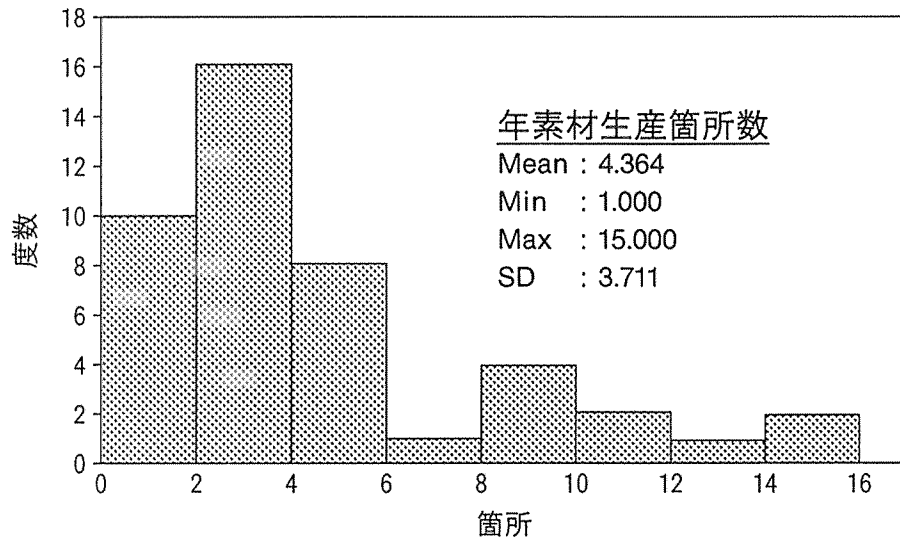
三重県木材組合連合会に加入している 215 の素材生産業者 (平成 6 年度時点) を対象として、アンケート方式による素材生産活動実績調査を行い、DEA 解析用の基礎データを得た (16)。一ヶ月の回収期間を設定して送付した全アンケートの内、何らかの回答が得られたものの総数は 62 件 (28.8%) であったが、これらの中には欠損値を含む回答が 9 件あり、最終的にはこれらを除く 53 件 (24.7%) が解析対象となった。

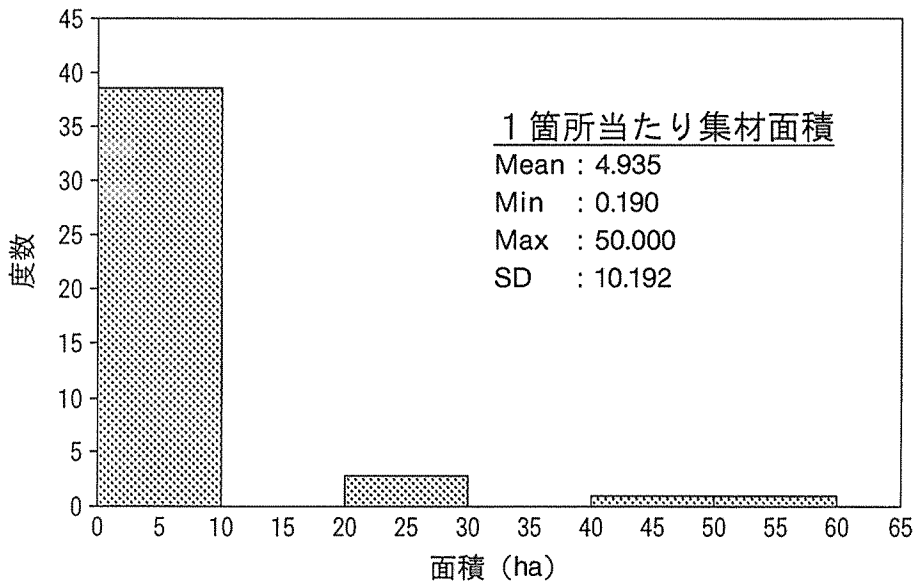
調査項目の内訳については、当該事業体の過去の生産活動実績の把握を目的とした「基礎調査部分」と、伐出事例単位ごとの DEA 効率性比較のための「細部調査部分」の 2 構成とした。基礎調査部分の主要項目は、事業主体、雇用形態、過去 3 年間 (平成 4 年～6 年) の主間伐別の素材生産量、伐出面積・箇所数、樹種・林齢、地形条件、集材方式等とし、伐出事例単位ごとの細部調査項目については、上記の基礎調査項目に加えて、造材方式、集材距離 (最大・最小、平均)、使用機械 (機種・定格出力、使用年数、機械経費等)、作業員数 (作業種・男女別)、作業日数、作業賃金等、併せて 30 項目を取り上げた。

2) アンケート集計結果からの素材生産活動実態：基礎調査部分

図-4に、過去3年間に於いて主伐による素材生産を実行した44素材業者についての主要調査項目別



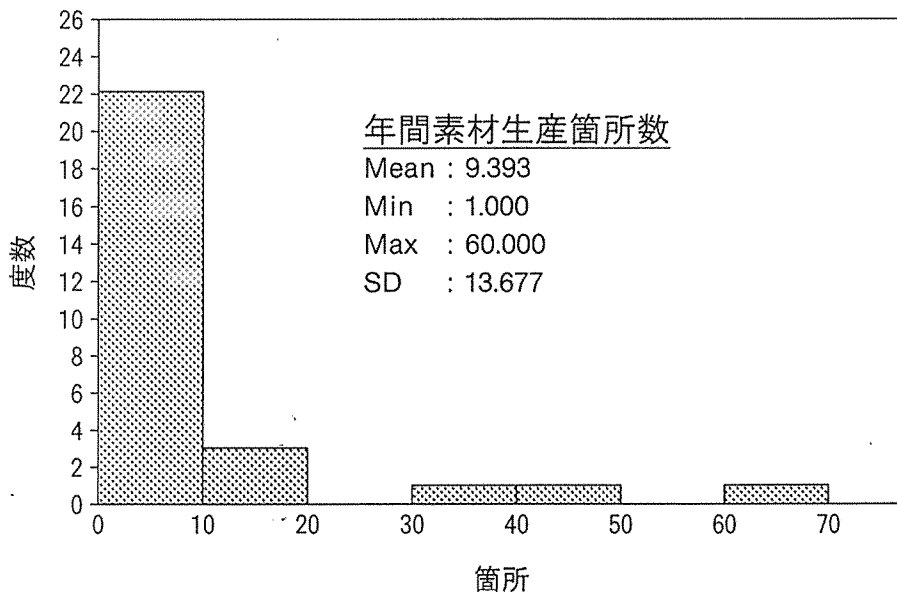
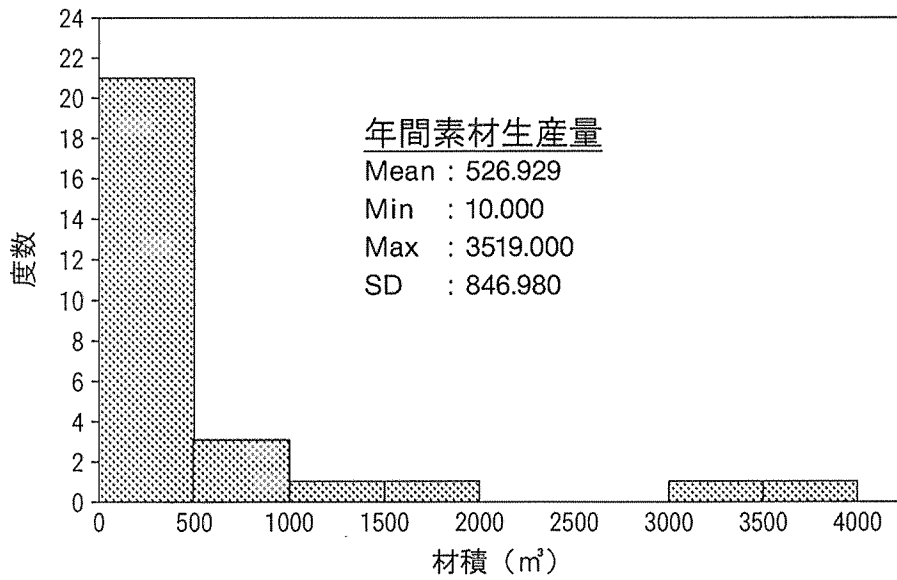
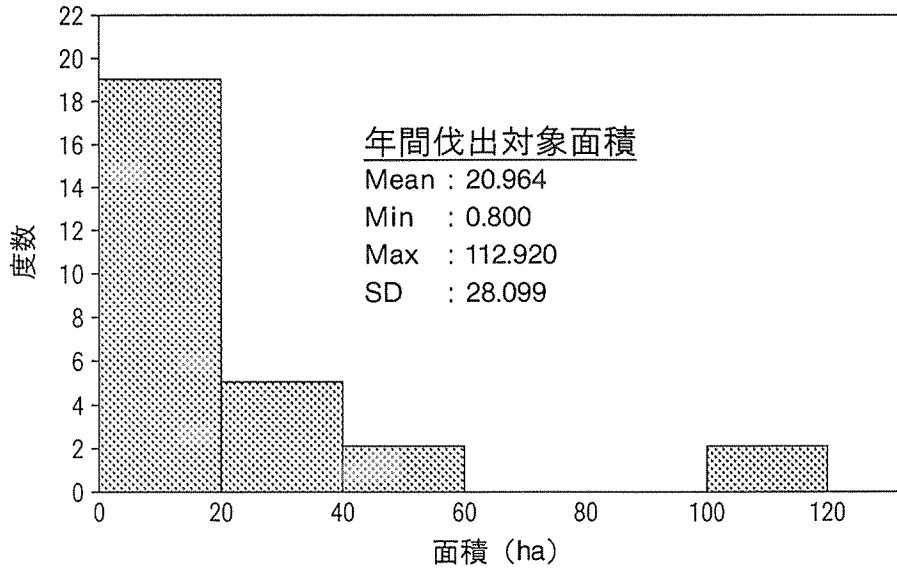




図ー4 素材生産業者の生産活動実績に関する統計数値：主伐

の集計結果を、ヒストグラムと基本統計量(平均：*Mean*、最小値：*Min*、最大値：*Max*、標準偏差：*SD*)で示す。経営主体別では個人が約3/4と最も多く、次いで法人が1/4で、その他に分類されるものが2事業体あった。年間素材生産量は平均で1248.5m³となっているが、その規模は最小40m³から最大10000m³と大きくばらついており、図から明らかなように、年間2000m³以下の比較的小規模の事業体が全体の84%を占めている。単位面積当たりの集材材積は、作業種、林齢、造材歩留まり等によって異なってくるが、ヒストグラムの分布やその統計量より、本主伐事例においては皆伐及び択伐方式の実行割合がほぼ同程度であったことが類推される。なお、一箇所当たりの集材面積については、20ha以上と比較的大きな規模の6事例も報告されているが、全体の86%は10ha以下であり、その平均も4.9haとなっている。

次に図ー5は、間伐による素材生産実行事例の集計結果を示している。ここでは28の事業体を対象としているが、過去3年間に継続的な素材生産を行わなかった事業体、伐出面積や間伐率・回数等の記録が不備な事業体等については一応除外した。なお、この28の事業体はいずれも主伐での実行実績も有しており、経営主体の内訳は法人：10、個人：18であった。図より、年間の素材生産量の平均は526.929m³となっており、この値は主伐生産量の4割程度に匹敵している。ヒストグラムは比較的小規模の生産活動を行っている事業体が多いことを示しているが、ちなみに500m³以下の割合が全体の75%を占めている。年間伐出対象面積の20.96haは、主伐の23.97haと大差はないが、生産箇所数は主伐の場合に比べてほぼ2倍、一箇所当たりの集材材積は81.903m³と主伐の23.3%程度に過ぎず、伐採面が広く分散し、しかもその出材量も極めて少ないことがうかがわれる。



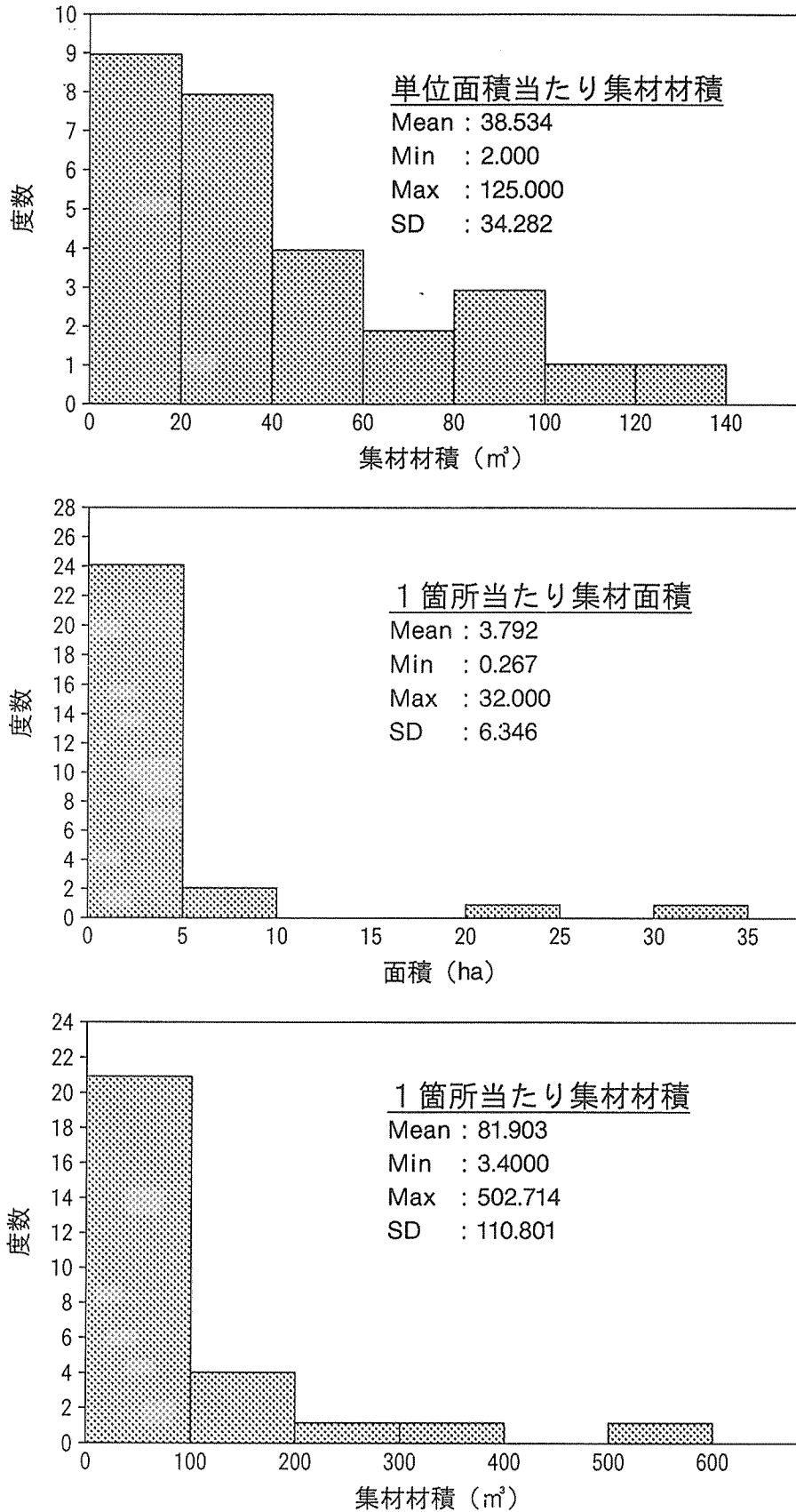
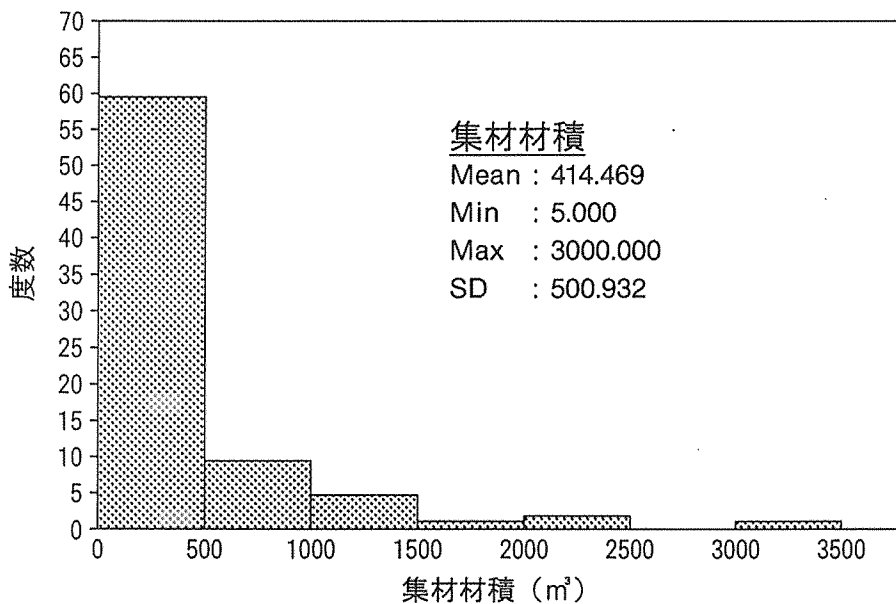
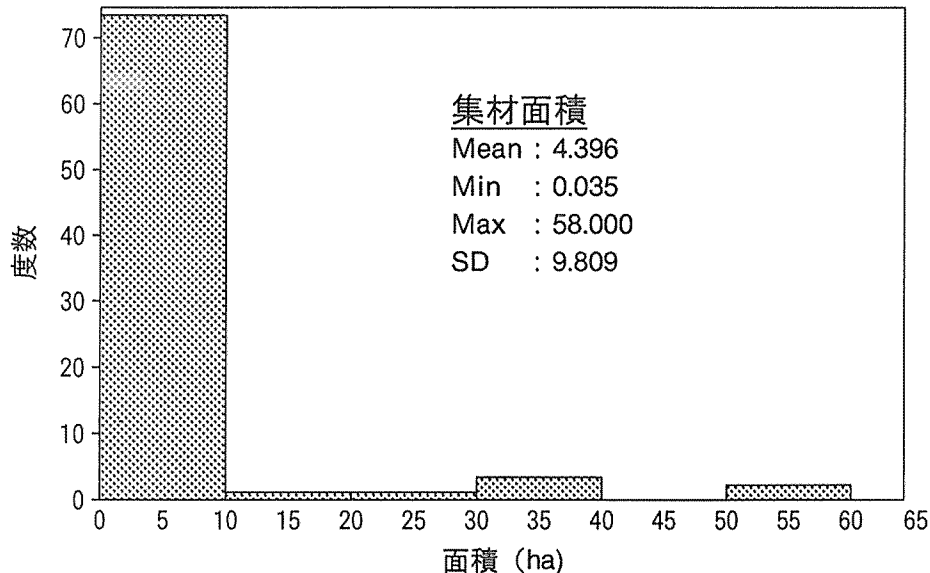
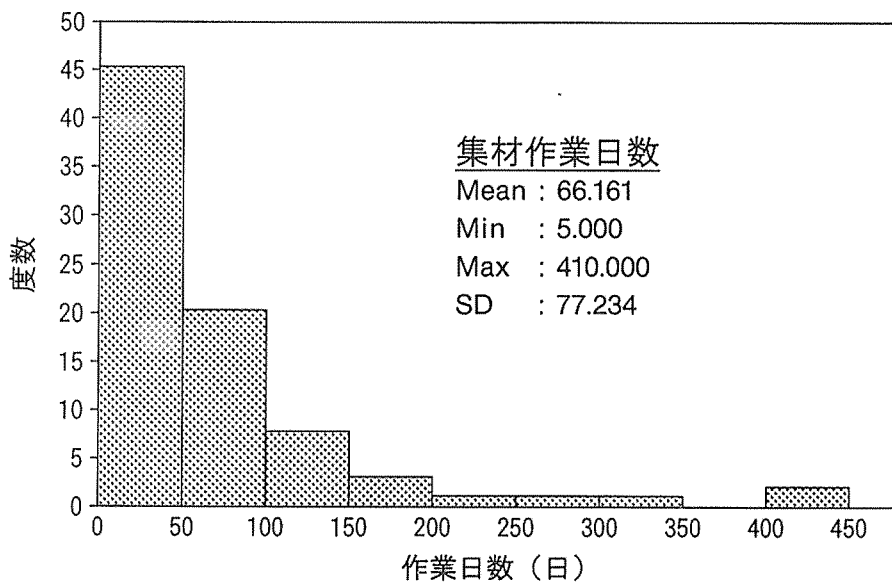
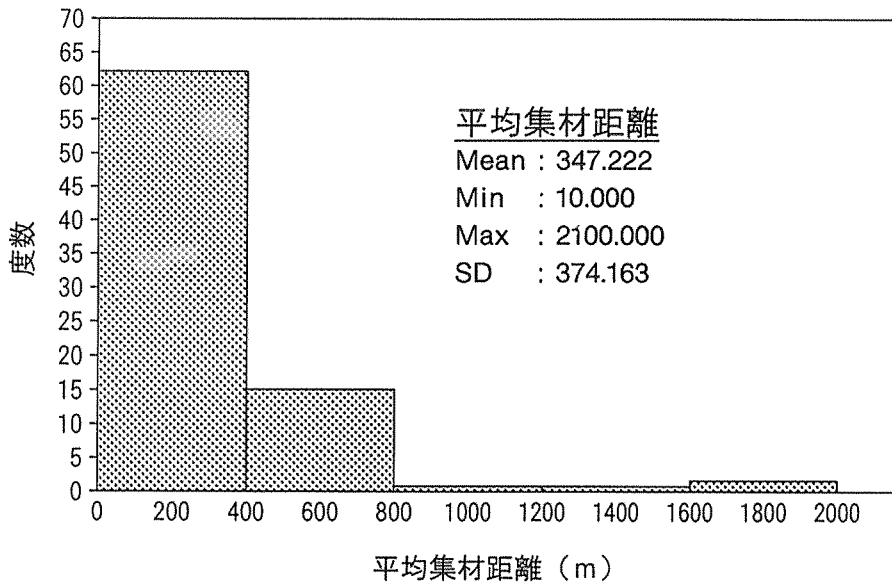
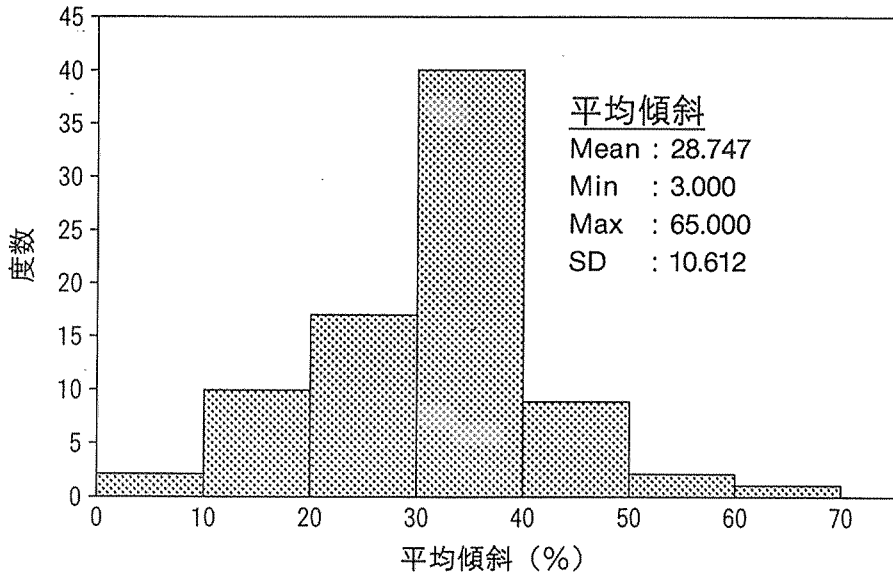


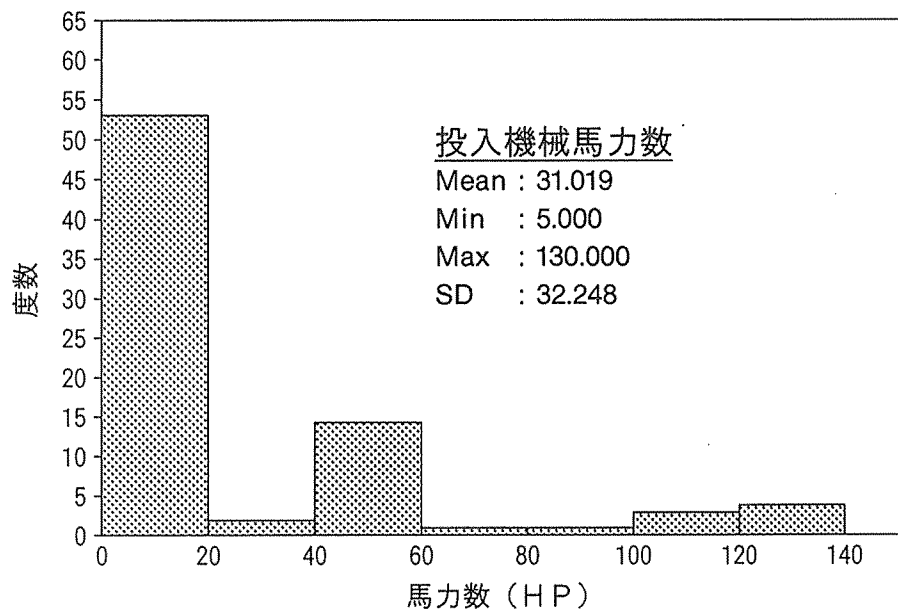
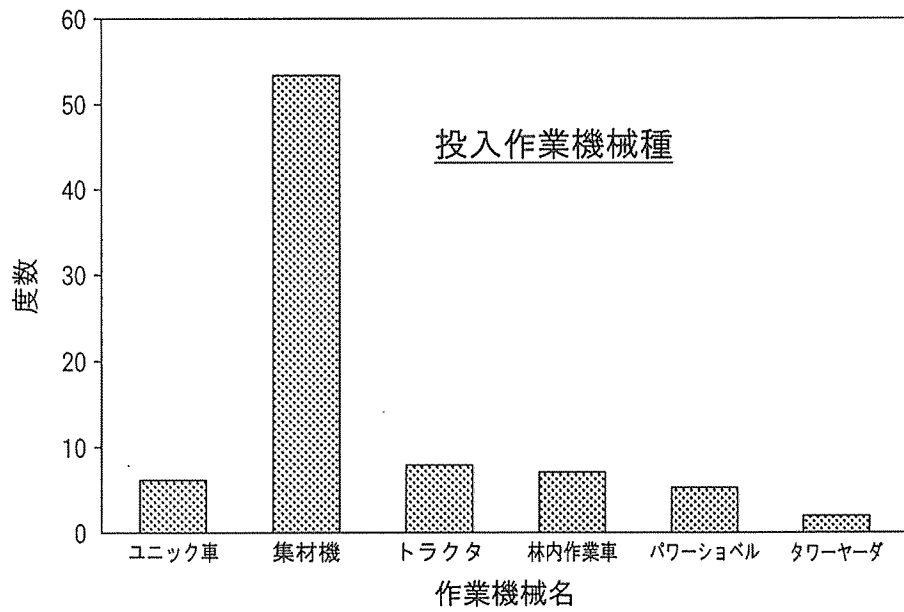
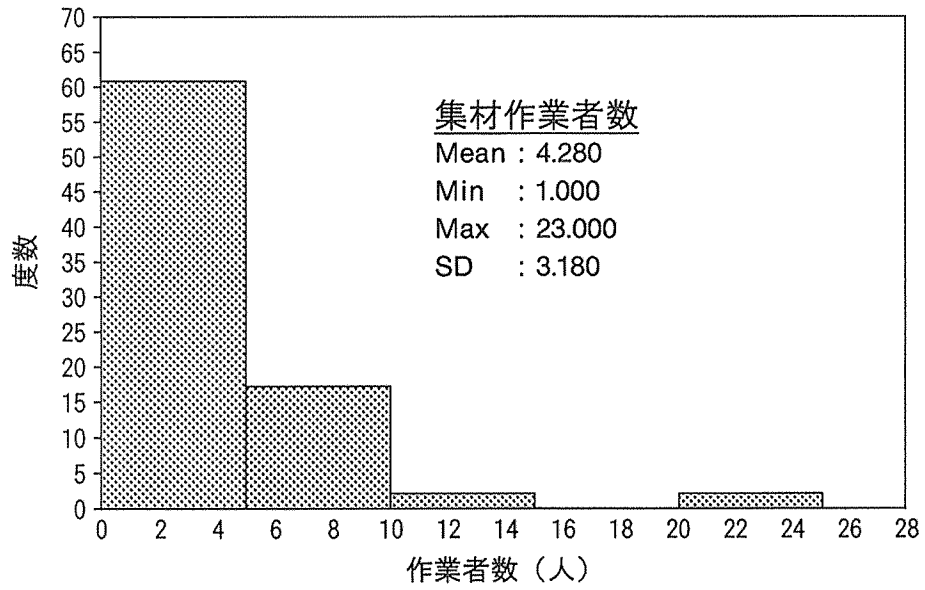
図-5 素材生産業者の生産活動実績に関する統計数値：間伐

3) アンケート集計結果からの素材生産活動実態：細部調査部分

ここでは、伐出事例単位ごとに集計した細部調査項目の主要部分について検討する。まず図-6は主伐81事例の結果である。集材面積及び一箇所当たりの集材材積のヒストグラムより、相当大きな伐採を実行している事例も認められるが、平均集材面積4.396ha、集材材積414.469m³の両数字から比較的標準的な規模の作業が実行されたことがわかる。次に作業条件としての林地傾斜についてみると、ヒストグラムの分布から明らかなように50%以上や10%以下での実行事例も若干みられるが、全体的にはばらつきは小さくほぼ平均傾斜(28.75%)を代表値とする範囲に集中していることがわかる。ちなみに、傾斜40%以下の林地での実行事例は全体のほぼ94%を占めている。作業機械や集材距離はこのような地形条件に大きく影響されると考えられるが、図中に示した投入作業機械種や平均集材距離の分布はこれらの傾向を良く表している。すなわち、投入機械の89%は集材機であり、しかも平均集材距離347.2mの数値は、中距離架線による一段集材の標準的な作業距離にほぼ匹敵している。投入機械の馬力数(平均31.02HP、20HP以下が全体の68%)や労働生産性(平均2.442m³/人・日、2m³/人・日以下が全体の59.3%)の統計数字からも、上述の作業方式の一般的特徴がうかがわれる。







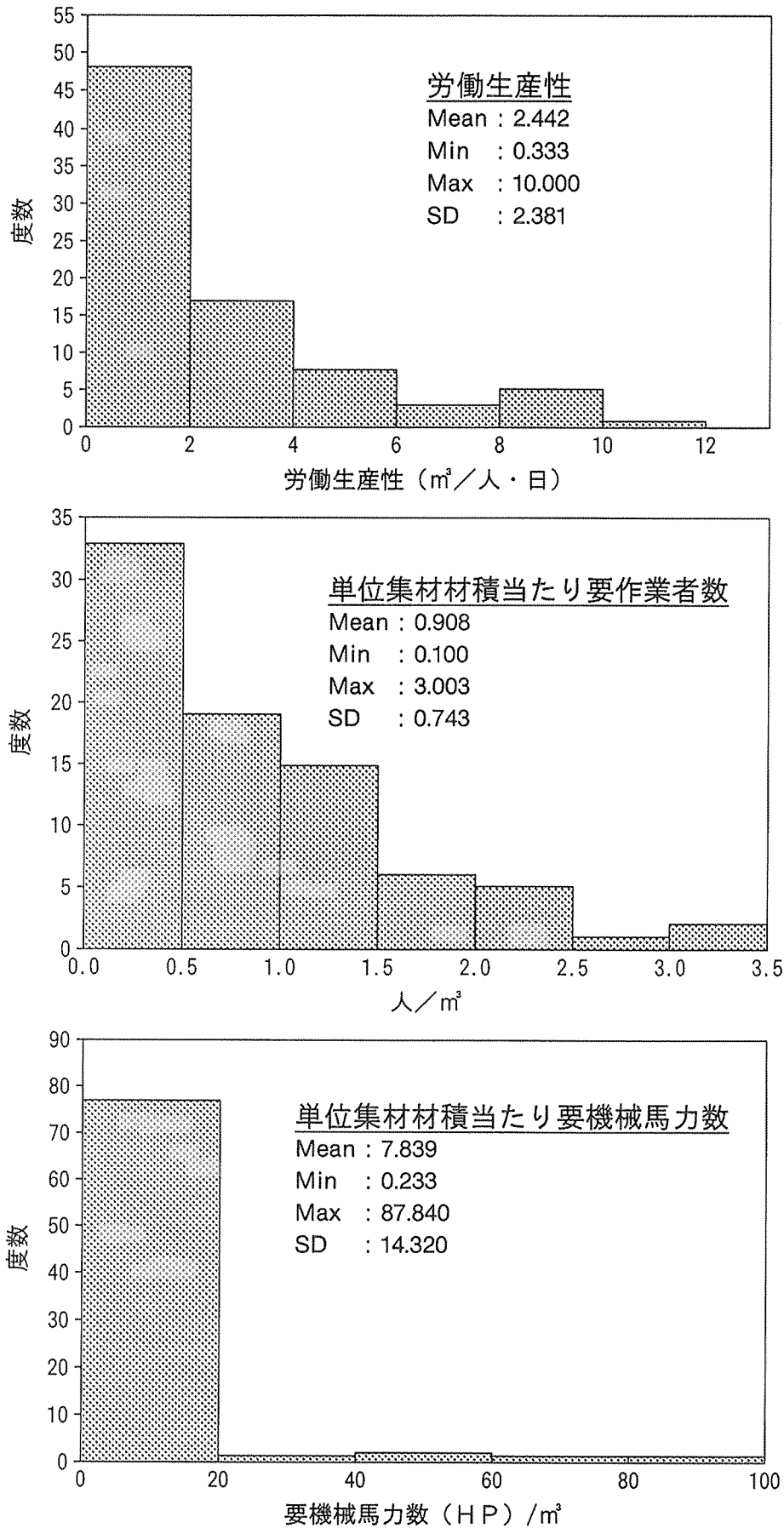
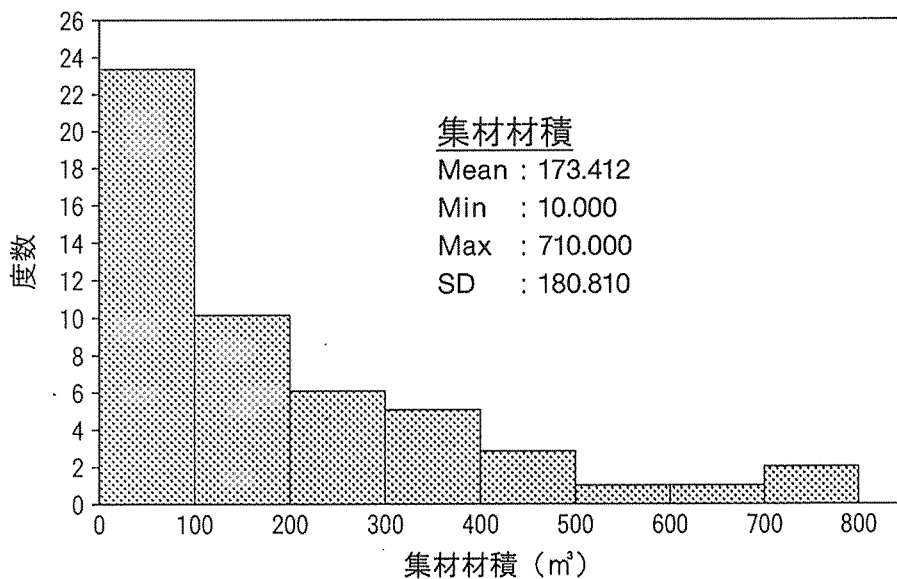
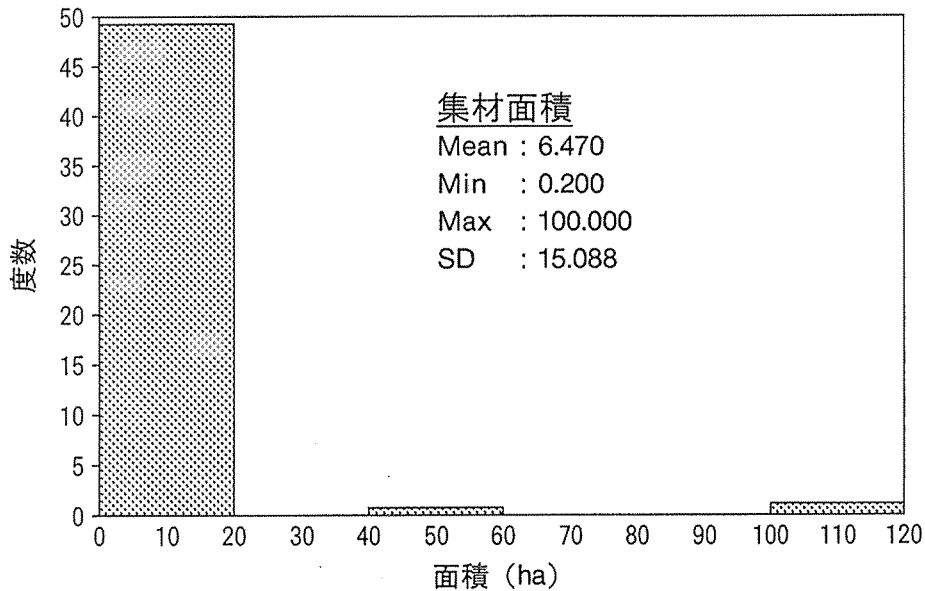
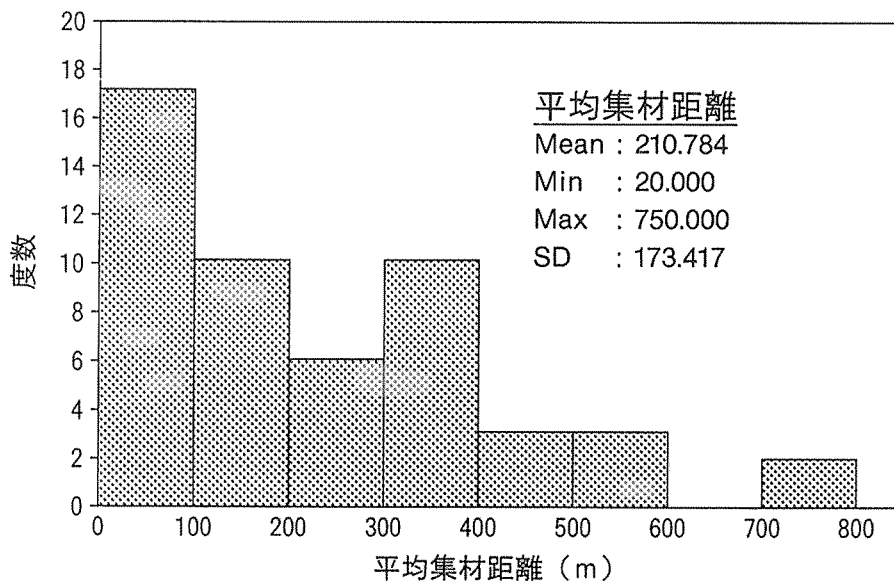
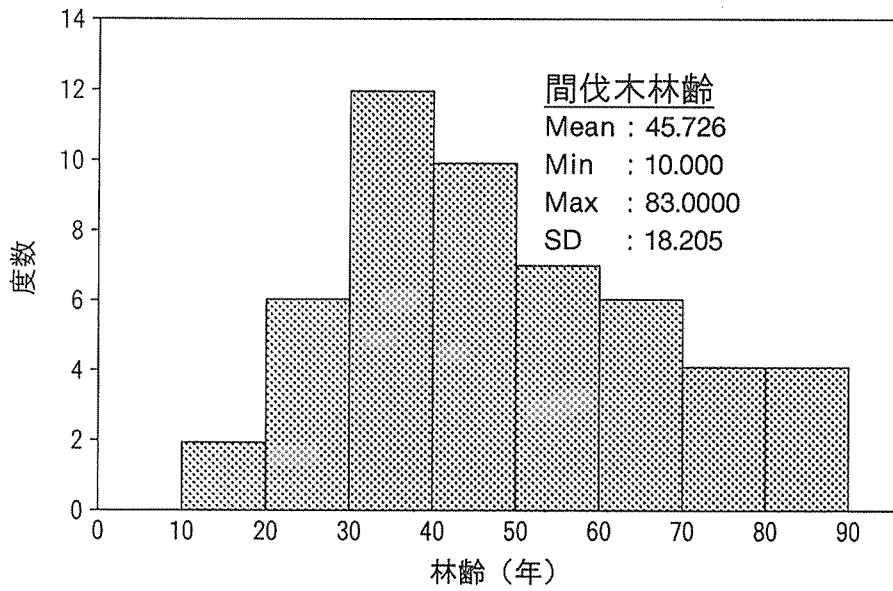
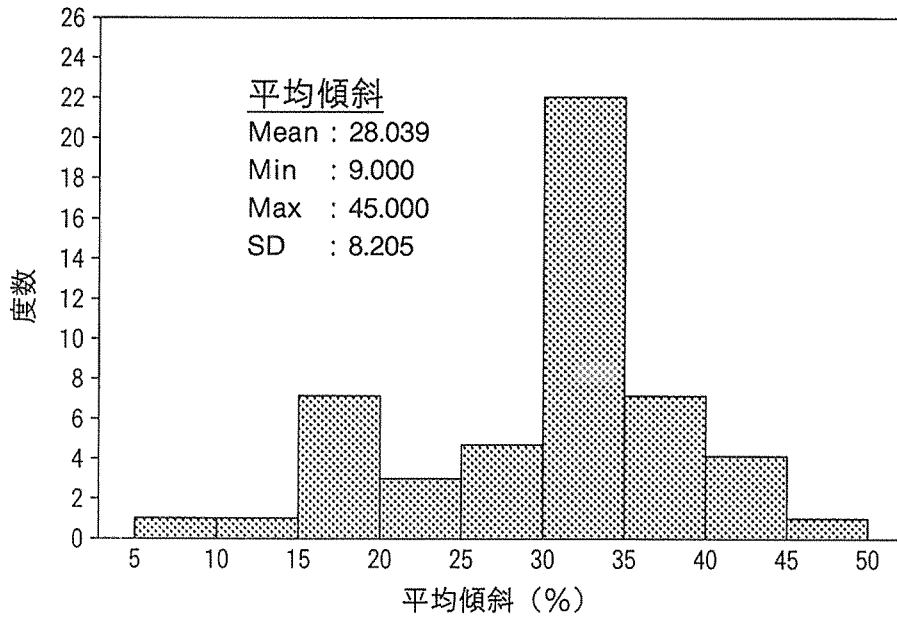
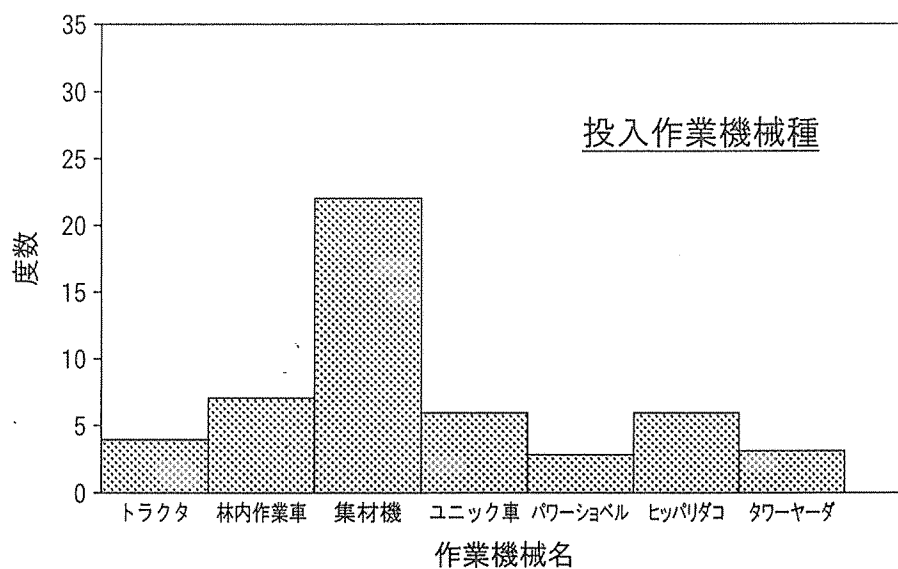
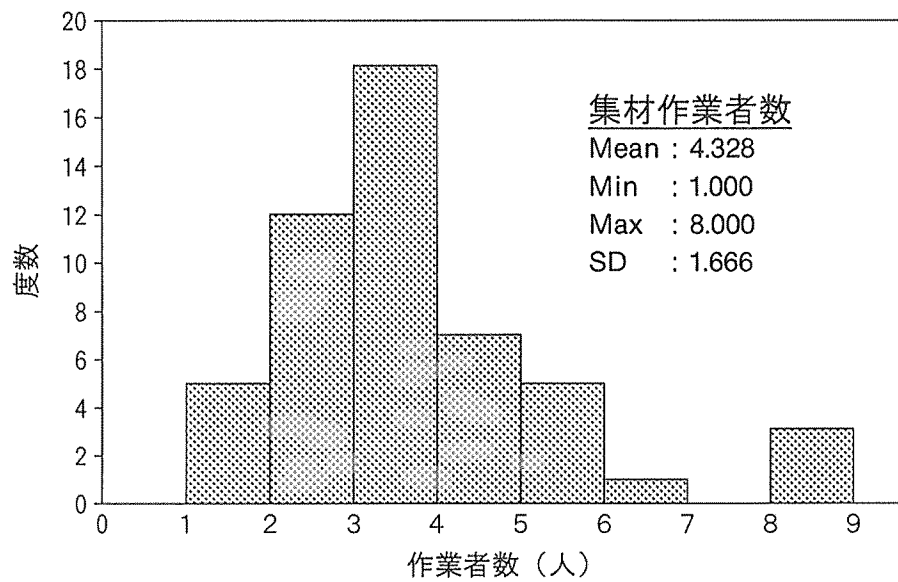
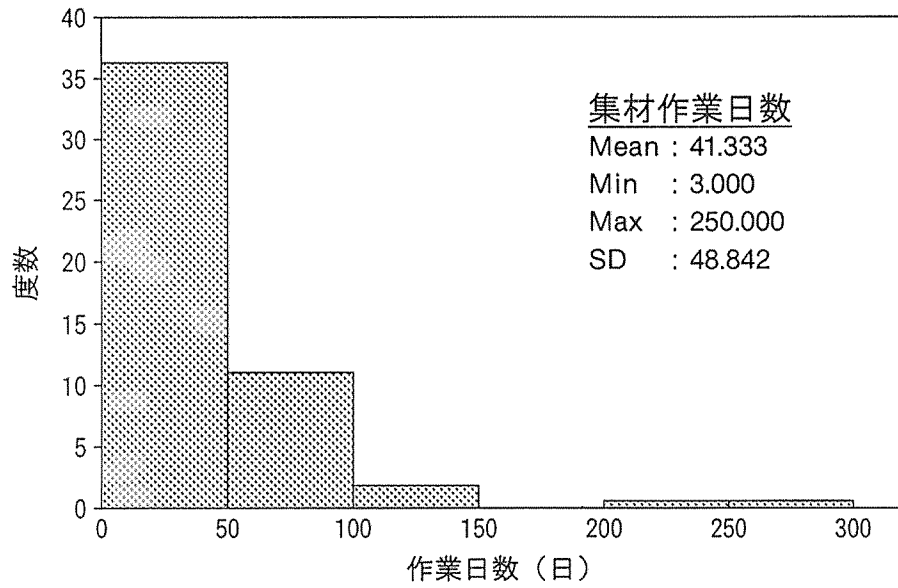


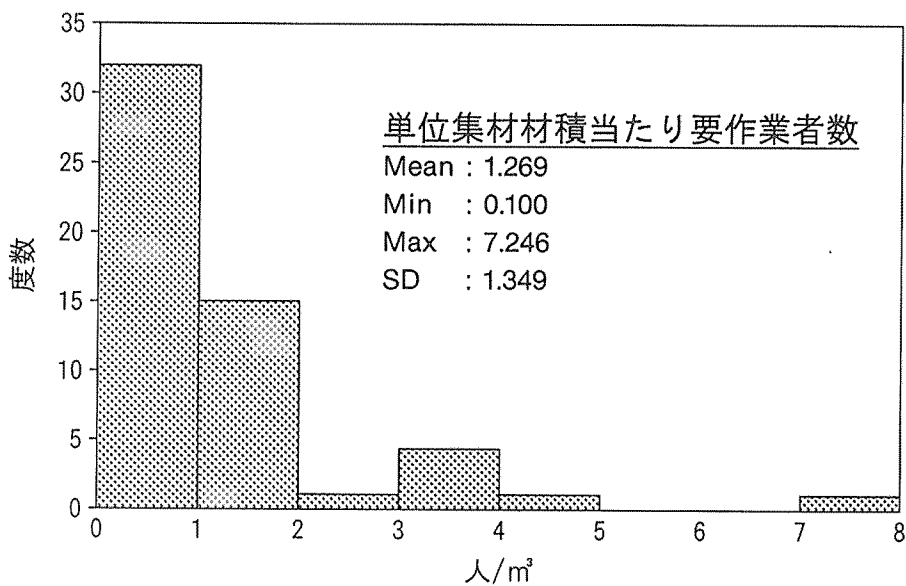
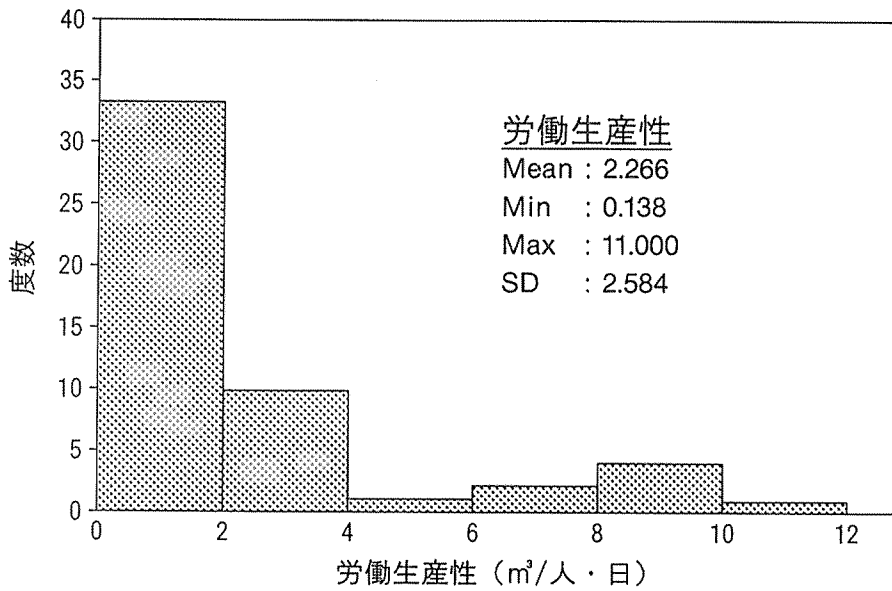
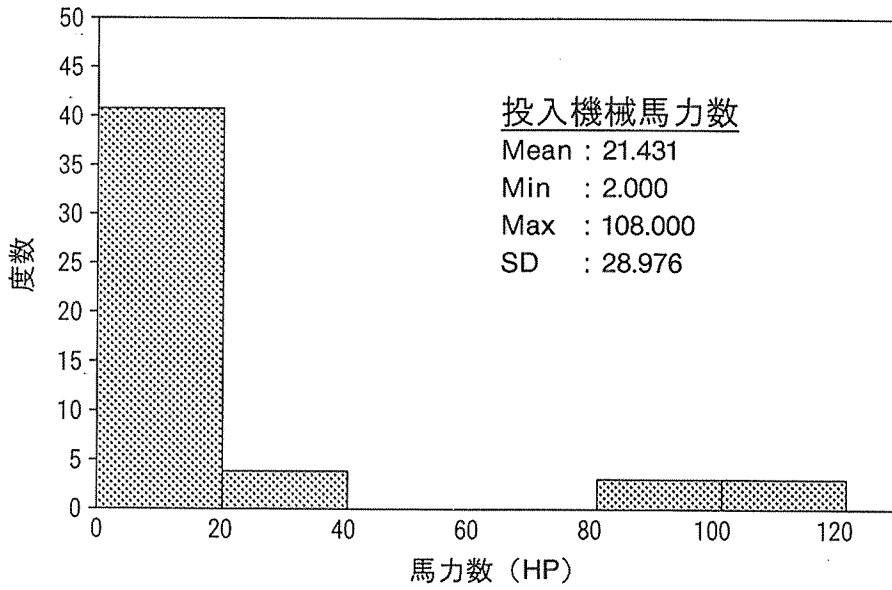
図-6 伐出事例単位ごとの主要項目別統計量比較：主伐 81 事例

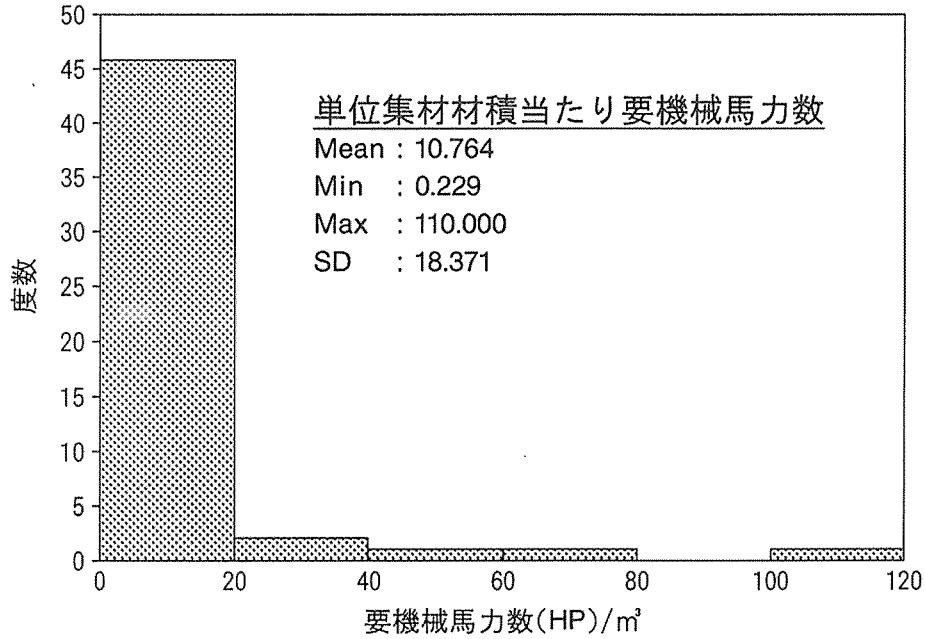
図-7は間伐51事例の結果を示している。主伐の結果に比べて項目によってはその分布や統計量にかなりの違いをみせているものもある。平均集材面積及び集材材積から換算したha当たりの集材量は26,802m³であり、主伐のほぼ28%程度を示している。地形条件としての林地傾斜は平均28.04%と、主伐の事例(28.75%)と大差はない。集材面積や集材材積で示される伐採規模の違いを反映するように、平均集材距離、投入作業機械種・馬力数等に関しては若干違いが認められる。すなわち、平均集材距離(210.8m)は主伐の6割程度の距離となっているが、この差は作業機械の種類、特に林内作業車やトラクタ等の比較的短距離作業型の車両系機械の導入割合が高くなっていること、「ひっぱりだこ」のような小径木の簡易型木寄せウインチが使用されていることから理解される。ちなみに投入機械の馬力数の変動係数から比較しても、主伐103.96%、間伐135.20%と、後者の方の変動幅が大きいことが示される。すなわち、間伐作業における作業方式や投入機械の多様性をうかがわせる結果を表している。次に労働生産性についてみると、平均2,266m³/人・日の数字は主伐の2,442m³/人・日に比べて若干小さい値を示しているが、標準偏差や最小・最大値の大きさを勘案すれば、主間伐別の労働生産性には大差はなかったと言える。











図一七 伐出事例単位ごとの主要項目別統計量比較：間伐 51 事例

V. DEA による効率性の評価結果

1) 入出力変数と CCR モデルの決定

各事例を DMU とする DEA 効率性評価を目的として、主間伐別の細部調査項目を入出力変数とする CCR モデルをまず決定した。入出力項目の選定に当たっては、相関分析及びクラスター分析 (測定距離：ユークリッド距離、結合方法：最近隣法) を用い、変数間の相関構造から表一 4 に示す 3 つの CCR モデル (Mod-

表一 4 DEA 効率性評価のための入出力項目数の異なる 3 つの CCR モデル

	<i>Model 0</i>	<i>Model 1</i>	<i>Model 2</i>
入力項目数	6	6	8
入力(1)	平均傾斜	集材面積	集材面積
入力(2)	林齢	平均傾斜	平均傾斜
入力(3)	集材材積	集材材積	林齢
入力(4)	平均集材距離	平均集材距離	集材材積
入力(5)	集材延人数	集材延人数	集材延作業日数
入力(6)	全機械投入馬力数	全機械投入馬力数	集材延人数
入力(7)			全機械投入馬力数
入力(8)			平均集材距離
出力項目数	1	2	4
出力(1)	集材材積／単位作業者	要作業者数／単位材積・距離	要作業者数／単位材積
出力(2)		要投入馬力数／単位材積・距離	要投入馬力数／単位材積
出力(3)			集材材積／単位距離
出力(4)			要投入馬力数／単位距離

el 0, Model 1, Model 2) を決定した。各モデルの特徴について簡単に説明する。

[Model 0]

伐出作業における労働集約的な効率性の評価に主眼を置いたモデルで、労働生産性 ($m^3/人 \cdot 日$) のみを出力変数として、平均傾斜、林齢、集材材積、平均集材距離、集材延人数、全機械投入馬力数の6項目を入力変数とする。このモデルの場合、出力変数の値が大きいほどDMUの効率性が良好なことを示すが、生産システムとしての作業方式や投入機械に影響される技術的効率性の部分は、入力変数によって間接的・潜在的に反映されていると仮定している。

[Model 1]

伐出作業の労働集約的な生産効率性と、作業方式や投入機械の違いによる技術的生産効率性の双方を包含したモデルで、単位材積・距離当たりの要作業者数と要投入機械馬力数の2出力変数に対して、集材面積、平均傾斜、集材材積、平均集材距離、集材延人数、全機械投入馬力数の6項目を入力変数とする。このモデルの場合 Model 0とは対照的に、出力変数の値が小さいほど効率的なDMUであることを意味しており、Model 0が技術的生産環境条件の違いを入力変数に間接的に反映させているのに対し、技術的効率性を2つの出力変数で直接的に評価する点で Model 0と大きく異なっている。

[Model 2]

集材面積、平均傾斜、林齢、集材材積、集材延作業日数、集材延人数、全機械投入馬力数、平均集材距離の8項目の入力変数に対し、単位材積当たりの要作業者数・要投入機械馬力数、単位距離当たりの集材材積・要投入機械馬力数の4出力変数からなり、3CCRモデルの中で最も多くの出力変数を含む評価モデルである。このモデルの特徴は、入出力変数を増やすことにより各DMUのもつ個々の作業特性や環境を広義的に加味した、いわゆる「長所誘導型」のDEA効率性評価を行うことであり(2, 22, 23)、出力変数の組み合わせから明らかなように、DMUの効率性は出力変数の値の大小混交方式で評価される。すなわち、Model 2はModel 0とModel 1の中間型の評価モデルである。

2) CCR 効率値の算定結果

主伐81事例及び間伐51事例をDMUとするDEA効率性の評価結果を図-8と図-9に示す。まず主伐の場合についてみると、効率的(CCR値=1)と判定されたDMUの数は、Model 0で11(13.6%)、Model 1で8(9.9%)、Model 2で21(25.9%)となり、モデルによってDEAの評価に違いがあることがわかる。一方、図中に示したモデル別のCCR値の平均はこれらの効率的と判定されたDMUの数とよく対応している。前述したDEAの評価方式から明らかなように、一般に入出力数が増えれば増えるほど、DMUは効率的であると評価される傾向が強くなり(9, 20, 23)、本解析結果もこの特徴を良く表している：入出力数の最も多いModel 2において、効率的なDMUの数、CCR値の平均とも他モデルに比べて大きくなっている。一方、入出力数でModel 0を上回っているModel 1による評価は最も厳しいCCR値を与えているが、これはDEA効率性の判定が出力指向(出力2変数の単位基準を材積と距離の双方としている)に重きを置いて行っていることに起因している。

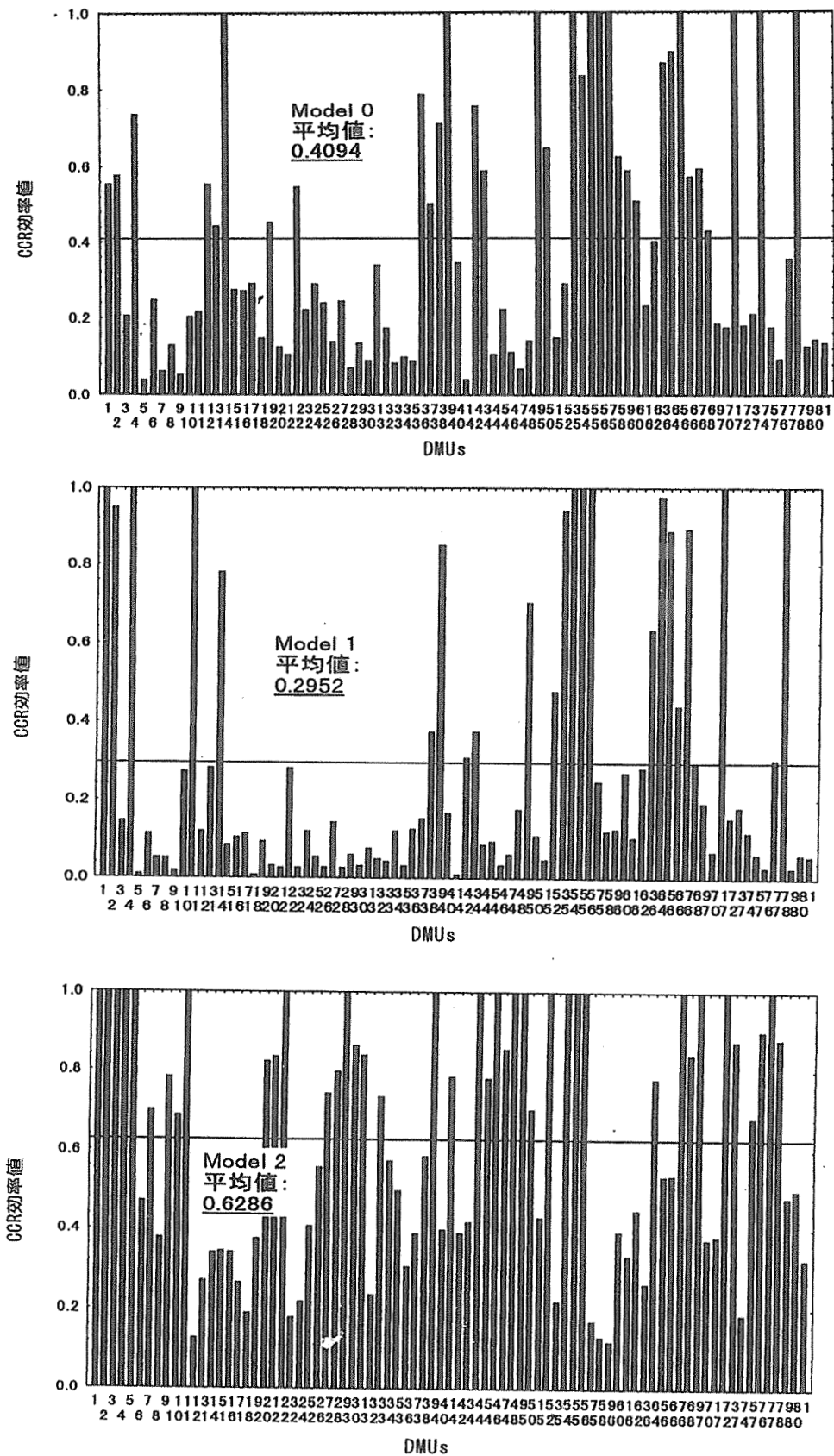


図-8 DMUs別のCCR効率値算定結果：主伐

表-5は、モデル別のCCR効率値と順位を上位評価されたDMUについて比較したものである。モデルによってその順位が大きく異なってくるものもあるが、55、56のようにすべてのモデルに対して効率的であると判定されるもの、14、39、49、53、65、78の各DMUのように複数のモデルで上位に位置づけられるもの等、全体的な序列化の構造はほぼ安定した結果を与えていると言える。

表-5 CCR効率値及びDMU_s*の順位：主伐

Model 0			Model 1			Model 2		
Rank	DMU _s	CCR	Rank	DMU _s	CCR	Rank	DMU _s	CCR
1	14	1	1	1	1	1	1	1
1	39	1	1	4	1	1	2	1
1	49	1	1	11	1	1	3	1
1	53	1	1	54	1	1	4	1
1	55	1	1	55	1	1	5	1
1	56	1	1	56	1	1	11	1
1	57	1	1	71	1	1	22	1
1	65	1	1	78	1	1	29	1
1	71	1	9	64	0.9752	1	39	1
1	74	1	10	2	0.0478	1	44	1
1	78	1	11	53	0.9404	1	46	1
12	64	0.8945	12	67	0.8929	1	48	1
13	63	0.8666	13	65	0.8877	1	49	1
14	54	0.8324	14	39	0.8521	1	52	1
15	36	0.7836	15	14	0.7804	1	54	1
16	42	0.7539	16	49	0.6999	1	55	1
17	4	0.7360	17	63	0.6326	1	56	1
18	38	0.7065	18	52	0.4747	1	67	1
19	50	0.6452	19	66	0.4374	1	69	1
20	58	0.6234	20	38	0.3731	1	72	1
21	67	0.5888	21	43	0.3727	1	77	1
22	59	0.5853	22	42	0.3078	22	76	0.8985
23	43	0.5849	23	77	0.3013	23	78	0.8792
24	2	0.5772				24	73	0.8743
25	66	0.5684				25	30	0.8631

備考：CCR効率値がモデルの平均値以上のDMU

次に図-9は、間伐51事例の結果を示している。効率的と判定されたDMUの割合は、Model 0(13.7%)、Model 1(13.7%)、Model 2(41.2%)と、主伐の場合と若干異なった値を呈しているが、CCR値の平均値の相対的大きさの違いは、主伐の解析結果とほぼ一致している。表-6に上位評価されたDMUについてのCCR効率値とその順位を示す。全てのモデルで効率的であると判定されたDMUは26のみであり、次いで4、5が複数のモデルで上位に位置している。モデルごとの効率的DMUの出現度や序列変動に若干違いが認められるが、DMUの総数や作業規模、投入機械の種類等を考慮すれば、間伐事例を対象としたDEA評価は主伐のそれとほぼ同様な結果を与えていると言える。この点をより詳細に検討するため、

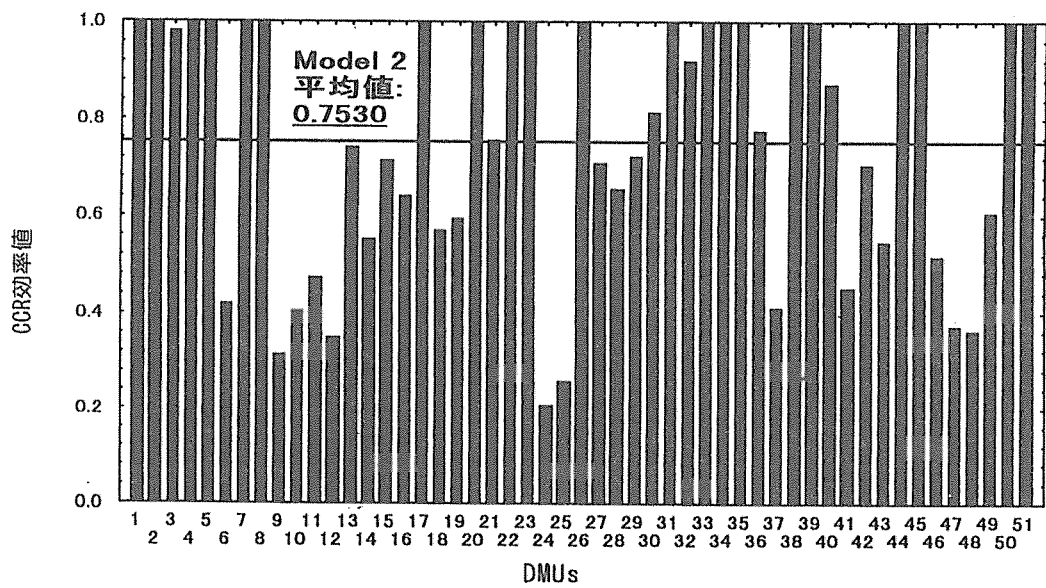
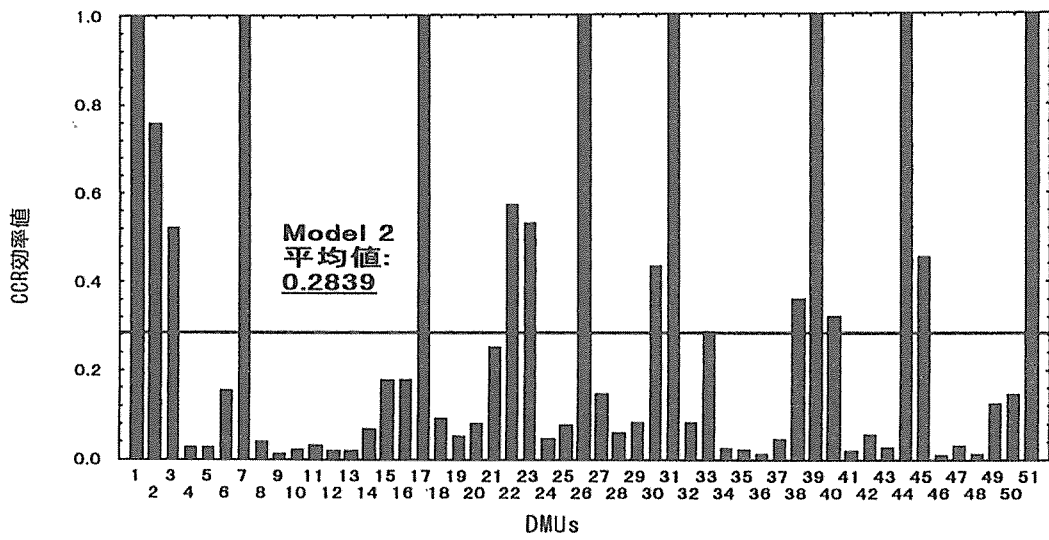
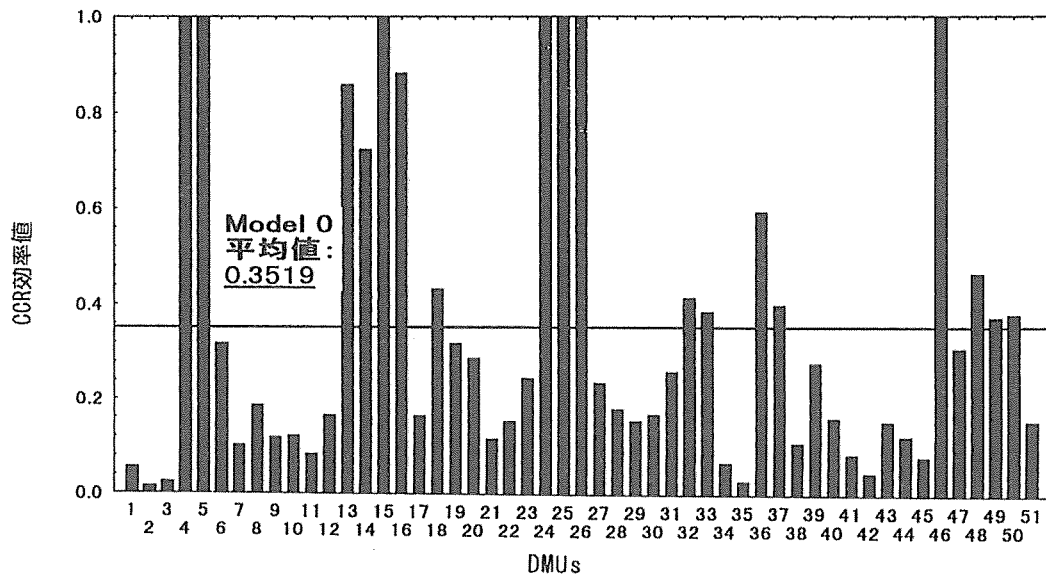


図-9 DMUs別のCCR効率値算定結果：間伐

表一六 CCR 効率値及び DMU_s*の順位：間伐

<i>Model 0</i>			<i>Model 1</i>			<i>Model 2</i>		
Rank	DMU _s	CCR	Rank	DMU _s	CCR	Rank	DMU _s	CCR
1	4	1	1	1	1	1	1	1
1	5	1	1	7	1	1	2	1
1	15	1	1	26	1	1	4	1
1	25	1	1	31	1	1	5	1
1	26	1	1	39	1	1	7	1
1	46	1	1	44	1	1	8	1
1	24	1	1	51	1	1	17	1
8	16	0.8805	8	17	0.9948	1	20	1
9	13	0.8578	9	2	0.7577	1	22	1
10	14	0.7232	10	22	0.5738	1	23	1
11	36	0.5918	11	23	0.5299	1	26	1
12	48	0.4632	12	3	0.5235	1	31	1
13	18	0.4318	13	45	0.4545	1	33	1
14	32	0.4123	14	30	0.4337	1	34	1
15	37	0.3971	15	38	0.3588	1	35	1
16	33	0.3827	16	40	0.3218	1	38	1
17	50	0.3775	17	33	0.2866	1	39	1
18	49	0.3713				1	44	1
						1	45	1
						1	50	1
						1	51	1
						22	3	0.9802
						23	32	0.9191
						24	40	0.8739
						25	30	0.8129
						26	36	0.7766
						27	21	0.7548

備考：CCR 効率値がモデルの平均値以上の DMU

主間伐別に算定された CCR 値をヒストグラムとして 3 種のモデルに対応させて比較したのが図一 10 及び図一 11 である。DMU の総数に違いがあるので、両者の分布傾向を直接比較することには若干の問題が残るが、図中に矢印で示したようにモデル間の一般的評価特性として、(1) *Model 1* による評価が最も厳しいこと、(2) *Model 2* による評価は逆に最も甘くなっていること、(3) *Model 0* は効率性上位及び下位の DMU の検出に特徴があり、中位グループに対しては総じて鈍感であること、等がわかる。また図一 12 及び図一 13 は、3 モデル間の CCR 値の関係を立体的に表したものであり（図中の等値線はスプライン関数によって補間したものである）、上述のモデル評価特性がこれらの図からもよく理解される。

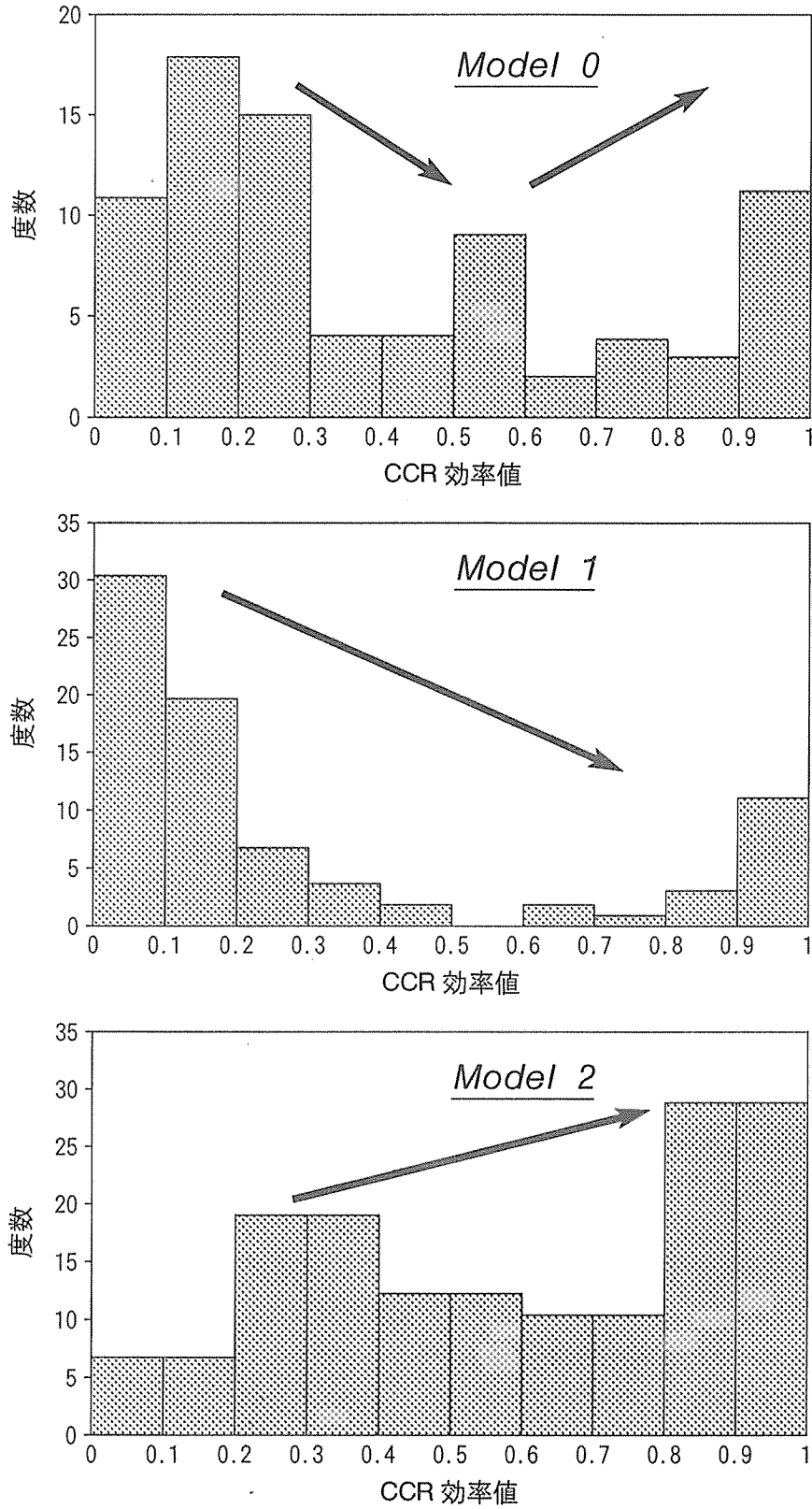


図-10 CCR 効率値のヒストグラム：主伐モデル

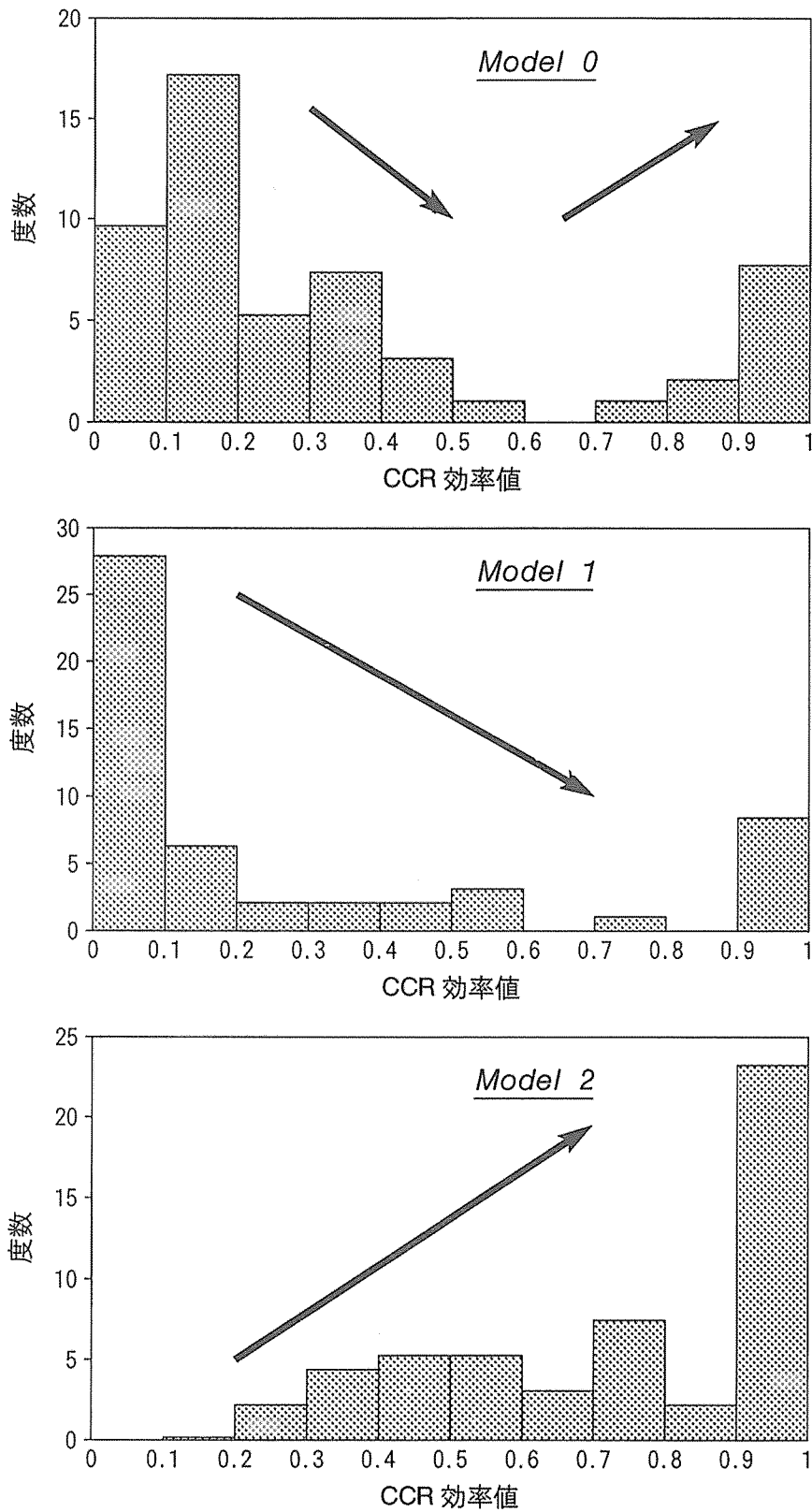


図-11 CCR効率値のヒストグラム：間伐モデル

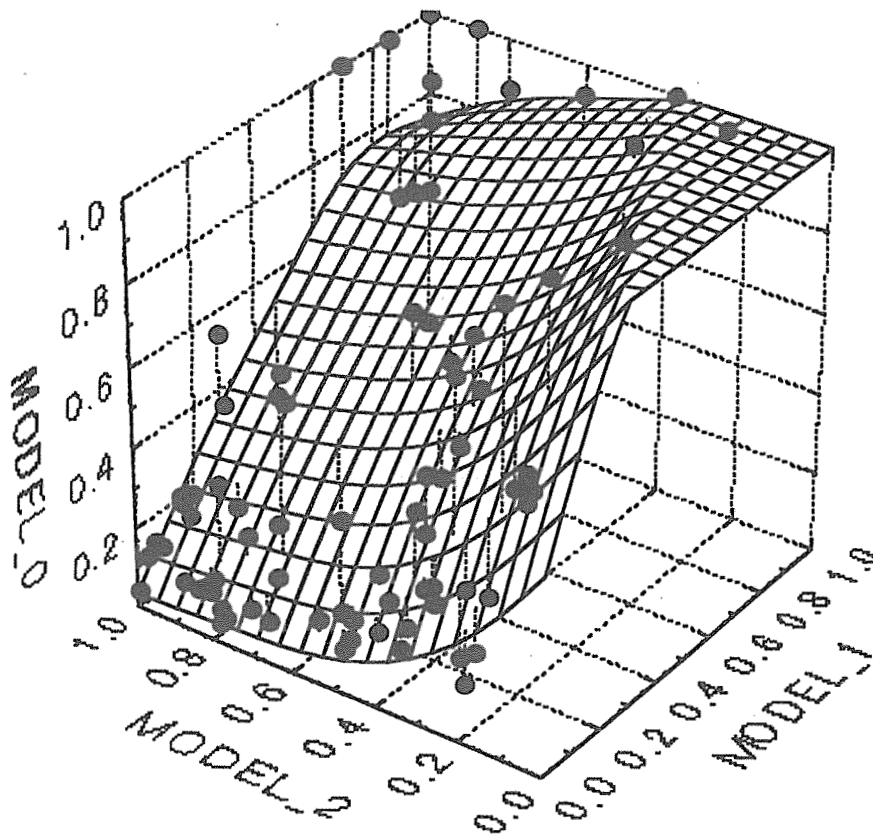


図-12 3モデル間の CCR 効率値の関係：主伐

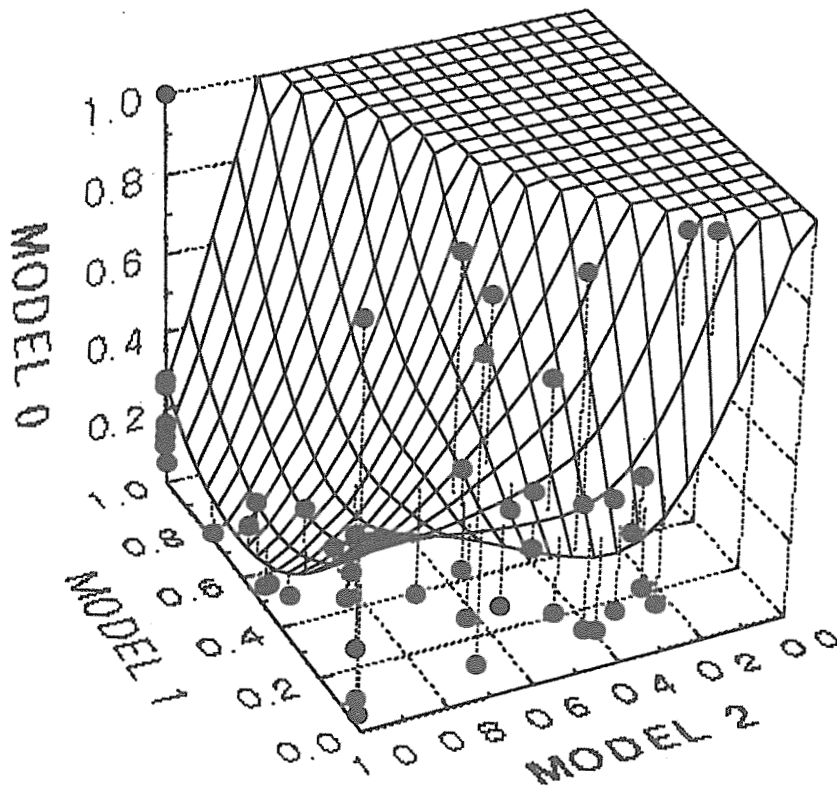


図-13 3モデル間の CCR 効率値の関係：間伐

3) 異なった生産システム間の DEA 効率性比較

前述してきた主間伐別の作業事例からも明らかなように、実際の伐出作業現場においては、生産規模や作業条件、造材法や投入機械等によって様々な形態の作業方式が展開されるのが一般的である。このような異なった作業方式下での効率性評価の問題は、いわば「異なる生産システム環境下での効率性比較の問題」として捉えることが出来るので、III章の数値解析事例で示した考え方を導入することによって相互の比較検討が可能となる。

DEAによるこのようなアプローチは前章でも若干触れたが、伐出作業における生産効率性の一元的評価の問題点、すなわち、「労働生産性 ($m^3/人 \cdot 日$) を効率性の尺度とする場合、出力単位から明らかなように、その効率性評価の主体は労働集約的部分に置かれており、技術的効率性に依拠する部分については、生産システムの制御条件である入力因子に間接的に包含されている、あるいは反映されているものと仮定する」に対しても一つの解決法を提示しうるものである(3, 23, 25)。ここでは、投入機械種によって異なった作業方式がとられるものと仮定して、前述の主間伐別調査事例から大別分類された4つの作業方式を例にとり検討した。なお導入するCCRモデルについては、伐出作業の技術的効率性評価に主眼を置いたものとするため、Model 1(6入力-2出力系)を採用した。表-7に投入機械種によって分類した4作業システム及びCCRモデルを示す。

表-7 投入機械別の4作業システム及びCCRモデル

システム1	集材機
システム2	集材機+林内作業車(トラクタを含む)
システム3	林内作業車(トラクタを含む)
システム4	集材機+ユニック車
<hr/>	
<i>Model 1</i>	
入力項目数	6
入力(1)	集材面積
入力(2)	平均傾斜
入力(3)	集材材積
入力(4)	平均集材距離
入力(5)	集材延人数
入力(6)	全機械投入馬力数
<hr/>	
出力項目数	2
出力(1)	要作業者数/単位材積・距離
出力(2)	要投入馬力数/単位材積・距離

主間伐別に算定されたCCR効率値の統計量を表-8に示す。主伐についてみると、林内作業車単独方式によるシステム3がもっとも高い効率値(平均0.5771)を与えており、次いでシステム4(集材機+ユニック車:0.2989)、システム1(集材機単独方式:0.2865)の順で、集材機と林内作業車の組み合わせによるシステム2(平均:0.0715)が最も非効率であるという結果になった。ただし、システム間のDMU総数の違いや標準偏差、最大・最小値の統計量等の大きさを考慮すると、システム4とシステム1の平均値の差は必ずしも有意なものとは言えず、両システムはほぼ同水準の効率性を与えていると考え

表一八 主間伐別に算定された4システム間のCCR効率値の統計量比較

主 伐				
	システム1	システム2	システム3	システム4
DMU _s	40	7	12	22
平均値	0.2865	0.0715	0.5771	0.2989
標準偏差	0.3221	0.0251	0.4296	0.3142
最大値	1	0.1073	1	1
最小値	0.0094	0.0320	0.0096	0.0088
間 伐				
	システム1	システム2	システム3	システム4
DMU _s	27	10	7	7
平均値	0.2516	0.3397	0.4279	0.5717
標準偏差	0.3240	0.3780	0.3978	0.3814
最大値	1	1	1	1
最小値	0.0890	0.0232	0.0174	0.1495

られる。全体的傾向として、システム間の効率性の差は明確であり、特に興味深い点は、システム3のように単独の車両系作業機械による方式が、架線系単独の作業方式（システム1）や2種類の作業機械の組み合わせの場合（システム2、システム4）よりも効率的であるということである。

次に間伐の場合についてみると、最も効率的であると判定されたのはシステム4（平均：0.5717）であり、次いでシステム3（平均：0.4279）、システム2（平均：0.3397）、システム1（平均：0.2516）の順となっている。全体的にはシステム間の効率値の差は主伐の場合ほど顕著ではなく、しかも標準偏差や最大・最小値の統計量から、システム間のばらつきはほぼ同程度であることが類推される。システム間のDMU総数に違いがあることは若干問題となる点ではあるが、間伐の場合、車両系機械の投入の有無が効率性に影響していることがうかがわれる。すなわち、システム4、システム3、システム2での相対的に高い効率値は、小面積・分散伐採等の生産状況に対する作業機の機動性の自由度が反映しているためであると考察される。

以上、ここでは異なった作業機械を前提とする作業システム間の効率性の比較を試みた。4システム間のDMU総数の違い等の問題はあがあるが、伐出作業における生産技術的部分に依拠する効率性の輪郭を明確にする上で、本結果は多くの有効な情報を提供していると言える。

4) 入出力項目に対する最適ウェイトと効率性の改善策

DEAの算定式から明らかなように、各DMUに対する最適解として与えられる入出力項目のウェイト値(U , V)は、当該DMUにとって効率性の比率尺度を最大化するという目的のために最も好意的なウェイト付けの値である。すなわち、(1)式の V は入力項目に対する最適ウェイトであり、その大小によってDMUのどの入力項目が高く評価されているかがわかり、同様に、 U は出力項目に対する最適ウェイトであり、その大小によって出力のどの項目が高く評価されているかがわかる。したがって、これらの入出力項目のウェイト値から、現状の効率性を改善するための一つの対策法をDMUごとに提示することが

可能となる(8, 23, 24)。ここでは、主伐81事例をDMUとするModel 1によるDEA評価結果を用いて具体的に説明する。

表一9は、(1)～(4d)式を解いて得られた入出力項目別の最適ウェイトであり、表中には81DMUの一部についてのみの結果を掲載した。表中の斜体で示した部分は、 $V=0$ 、 $U=0$ のウェイト値を与えており、これらの入出力項目は当該DMUの効率性にはほとんど影響していないことを示している。換言すれば、CCR値=1以外の各DMUについては、入出力項目のウェイトの大きいものから順次改善することにより効率化が図られるということを意味している。

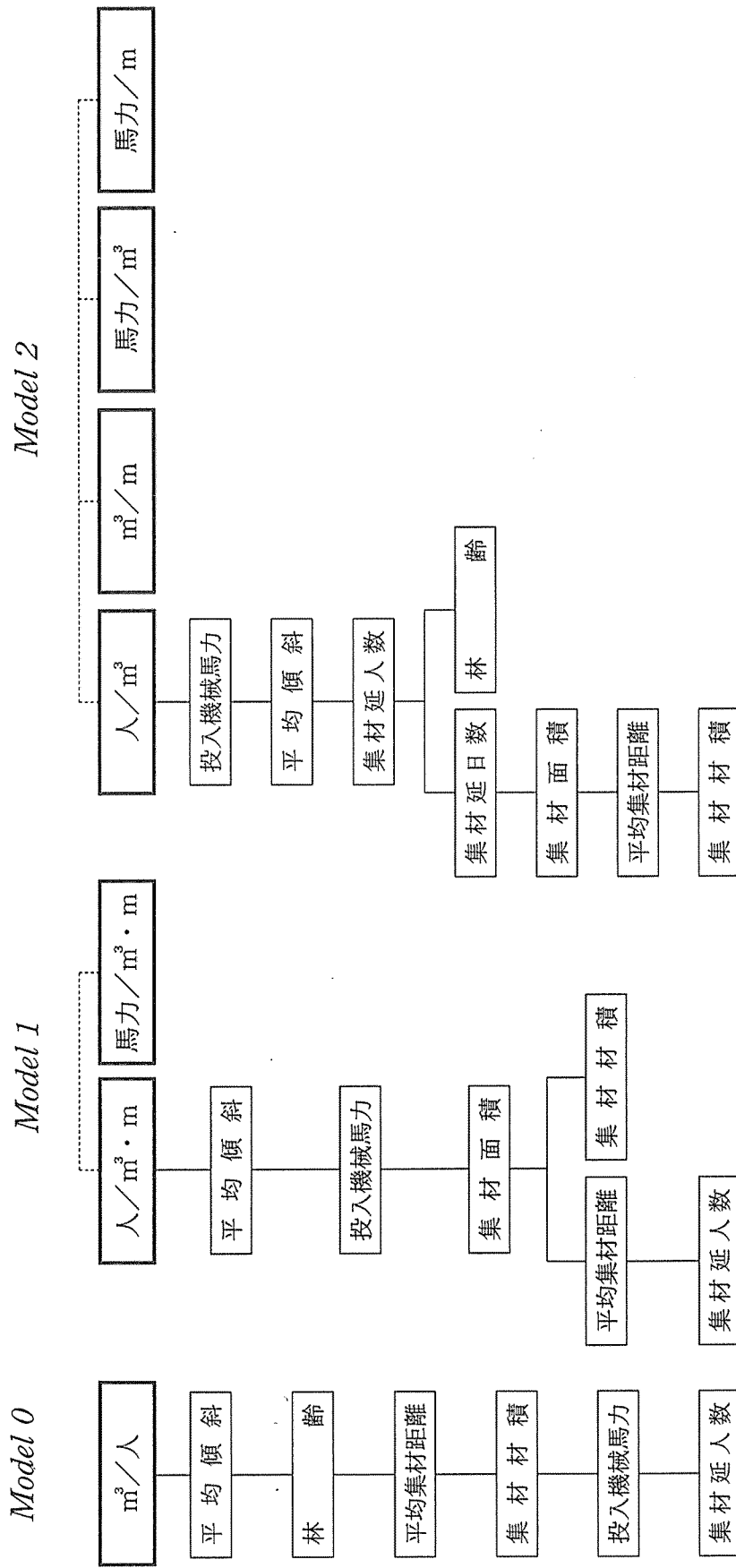
表一9 入出力項目に対する最適ウェイト値の算定例(主伐: Model 1)

DMUs	CCR効率値	集材面	平均傾	集材材	集材距	集延人	馬力数	入/m ³ ・m	HP/m ³ ・m
		V(1)	V(2)	V(3)	V(4)	V(5)	V(6)	U(1)	U(2)
1	1.0000								
2	0.9478	.000E+00	.453E-01	.000E+00	.000E+00	.644E-02	.605E-04	.162E+02	.152E+01
3	0.1460	.251E+01	.166E-01	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.104E-02	.304E+02	.139E+01
4	1.0000								
5	0.0085	.000E+00	.333E-01	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.116E+02	.103E+00
6	0.1123	.000E+00	.400E-01	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.139E+02	.124E+00
7	0.0523	.000E+00	.195E-01	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.345E-03	.790E+01	.109E+01
8	0.0509	.000E+00	.243E-01	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.296E-03	.989E+01	.944E+00
9	0.0177	.000E+00	.154E-01	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.188E-03	.627E+01	.598E+00
10	0.2716	.000E+00	.158E-01	.000E+00	.825E-03	.000E+00	.279E-03	.734E+01	.857E+00
11	1.0000								
12	0.1190	.000E+00	.500E-01	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.174E+02	.155E+00
13	0.2817	.000E+00	.667E-01	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.232E+02	.206E+00
14	0.7804	.000E+00	.100E+01	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.350E+02	.000E+00
15	0.0841	.000E+00	.500E-01	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.174E+02	.155E+00
16	0.1038	.000E+00	.333E-01	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.117E+02	.000E+00
17	0.1120	.000E+00	.400E-01	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.139E+02	.124E+00
70	0.0663	.000E+00	.270E-01	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.554E-03	.122E+02	.144E+01
71	1.0000								
72	0.1530	.000E+00	.375E-01	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.457E-03	.152E+02	.145E+01
73	0.1816	.000E+00	.833E-01	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.290E+02	.258E+00
74	0.1172	.000E+00	.500E-01	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.000E+00	.175E+02	.000E+00

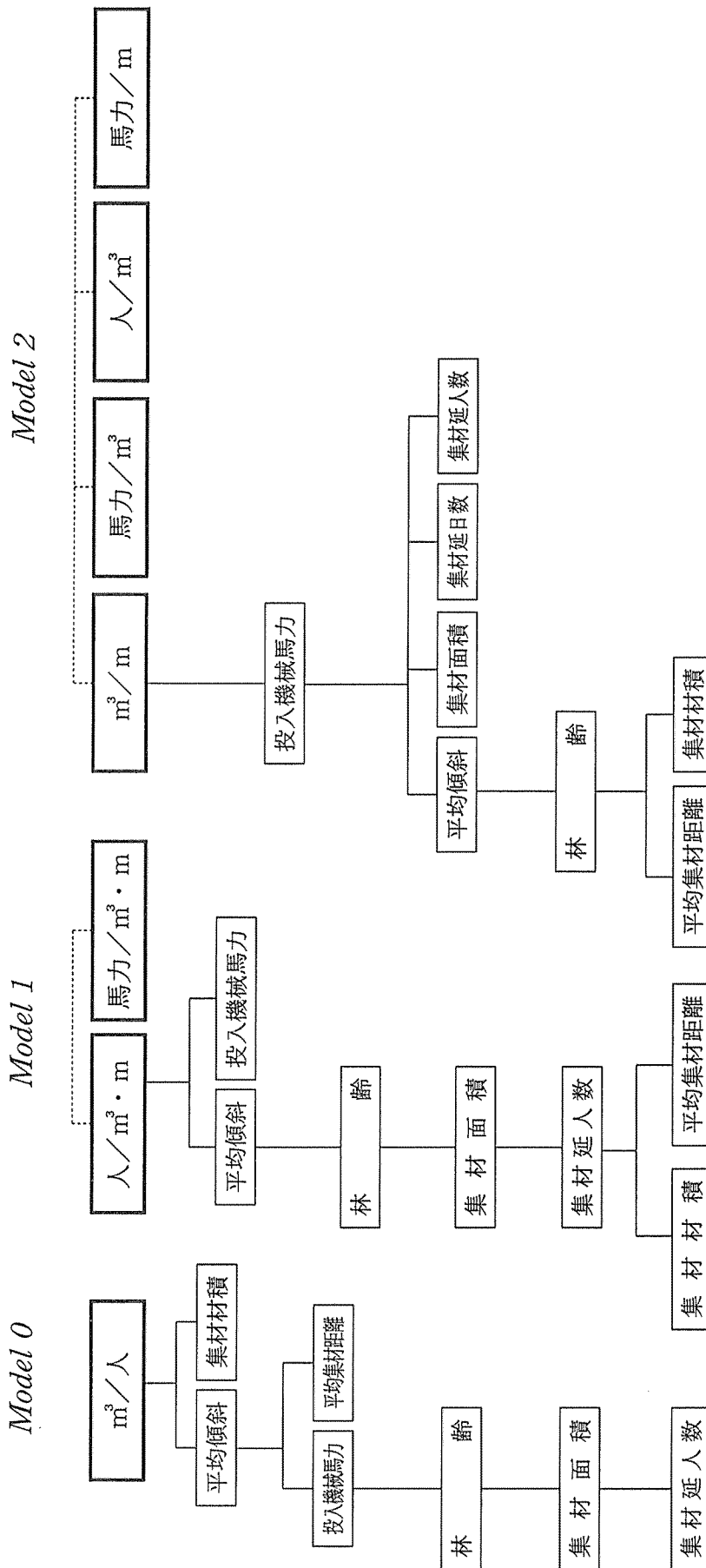
ところで、従来このようなシステムの最適化の問題を考える場合、多変量解析や重回帰分析にみられるように、「入出力に関するデータを全部使って関数(モデル)やパラメータを決定する方法: 入出力関係の基本に“真”のモデルが存在するものと仮定して、その関数型やパラメータを統計的な方法で推定し、その有効性を検定する」が一般的であるが、DEA評価法ではこのようなモデルの存在を前提条件とはせず、効率的なフロンティアを検出することで、非効率的なDMUをそのフロンティアからの偏差によって相対的に評価するものである。この点が、従来のシステム評価法の考え方と全く異なる点であり、上述してきたように、「効率性の評価と改善策の提示が個々のデータ単位で、しかもその特徴を生かしながら行える」ことである。

本法により、主間伐別・モデル別に効率性改善のための入出力項目間の内部構造を決定したものが図一14及び図一15である。なおこの階層化は、全てのDMUから算定された最適ウェイトについて、ウェイト値が「0」でない入出力項目の出現頻度に準拠して決定したものである。

まず主伐の場合についてみると、モデル間でその階層構造に違いがあることがわかる。特に、Model 0



図一 14 効率性改善のための最適ウェイト値に基づく入力項目間の階層構造：主伐



図一 15 効率性改善のための最適ウェイト値に基づく入力項目間の階層構造：間伐

と *Model 1*、*Model 2*間での差が顕著である。効率化のための改善条件として、*Model 0*では「平均傾斜」や「林齢」のように非制御的な入力項目が上位に位置しているのに対し、*Model 1*や*Model 2*では「投入機械馬力」のように技術的に操作可能（オペレーショナル）な項目が主要な改善因子となっていることを示しており、この場合、生産規模の指標となる「平均集材距離」や「集材面積」、「集材材積」は、必ずしも効率改善に効果的に作用しないという結果を与えている。

次に間伐の場合をみると、モデルごとの階層構造は水平・垂直方向とも主伐のそれと若干異なった形態を示しているが、主要な入力項目の相互の位置関係はほぼ類似したものとなっている。*Model 1*や*Model 2*では、主伐の場合と同様に、技術的な制御条件としての「投入機械馬力」が効率化に大きく影響すること、「集材材積」や「平均集材距離」の関与が顕著ではないこと等がわかる。ただし、*Model 0*については、「投入機械馬力」や「集材材積」が上位に位置し、主伐の場合と異なった状況を呈している。いずれにせよ、このような結果が前章で言及した間伐作業における「作業機械の機動性の自由度」に少なからず関係していることは明らかである。

VI. あ と が き

DEAは、複数個の入力と出力にそれぞれウェイトを掛けて和を作り、「出力／入力」という比率で効率性を評価しようとするものである。そのウェイト値について、従来、人間の勘や経験に頼っていたものを“データ自身に決めさせる”という所に大きな特徴がある。しかもそのウェイトを対象とするDMU（意思決定主体・単位）ごとに可変とし、最も好ましいウェイト付けを行った上で効率性を判定する。その結果、DEAで非効率的と判定されたDMUは、他のどのような組み合わせのウェイト付けによっても非効率的であると結論される。この方法によれば、効率的フィロントピアを検出することによって、フィロントピアに達していない非効率的な事業体の改善策を具体的に提示することもできる。

DEAは、公共機関から民間企業におよぶ様々な分野の事業体の効率性評価のために、主に米国や英国を中心として広く適用され、多くの成果を上げている。森林資源の経営管理計画、関連事業体のインフラ・基盤整備計画等をテーマとして、KAO等(12, 13)、HÄNNINEN等(11)、芝(18, 19)等によって、ようやく我々の分野においても研究が進められようとしている。

森林資源利用の問題は、内外問わず近年益々複雑化し、特に、素材生産事業を取り巻く我が国の状況は、材価の低迷、労働力の減少と高齢化など構造的な問題に加え、資源保全の面からも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、個々の事業体の効率性の向上は、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

本研究を行うにあたって多くの方々のお力を頂いた。まず、煩雑なアンケートへの回答や現地調査の機会等に多くの助言と激励を頂戴した三重県下の素材生産業者の皆様は心よりお礼申し上げる。県下の素材生産実態に関する資料提供や調査依頼等に関してご配慮頂いた、三重県農林水産部林政課ならびに木材組合連合会の関係各位に深謝致します。

本論に引用した貴重な文献の多くを提供して下さった埼玉大学大学院政策研究科刀根 薫教授研究室の皆様、ならびに、本論中にも紹介したフィンランド林業試験場 HÄNNINEN、VIITALA 両氏には文献交換や文通を通して多くの有益な情報を頂いた。ここに深くお礼申し上げる。京都大学神崎康一教授には、遅々とした本研究の進展にもかかわらず、最後まで適時な叱正勉励を頂戴した。心より感謝致します。

本研究の早急な取りまとめと公表を進言して下さった IUFRO Division 3 S3.04: *Operational Planning and Control* の RICKARDS 教授 (New Brunswick 大学)、TOMANIC 教授 (Zagreb 大学)、WHYTE 教授 (Canterbury 大学)、また、残念ながら昨年初頭に急逝された CORCORAN 教授 (Main 大学) の各先生方にも記してお礼申し上げます。本研究の一部を卒業論文を通して協力してくれた王子緑化 KK の佐々木浩司君に感謝するとともに、研究室のゼミ等で有益な助言をたびたび頂いた飛岡次郎ならびに山崎忠久両教授にもお礼申し上げます。

引用文献

- (1) Banker, R.D., Charnes, A. and Cooper, W.W. (1984): Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, vol. 30, pp.1079-1092.
- (2) Banker, R.D. and Morey, R.C. (1986): The use of categorical variables in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, vol. 32, pp.1613-1626.
- (3) Banker, R.D. and Thrall, R.M. (1992): Estimation of returns to scale using Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research* vol. 62, pp.74-84.
- (4) Bessent, A.M., Bessent E.W., Cooper, W.W. and Thorogoog, N.C. (1983): Evaluation of educational program proposals by means of DEA. *Educational Administration Quarterly* vol. 19, pp.82-107.
- (5) Boyd G. and Fare, R. (1984): Measuring the efficiency of decision making units: A comment. *European Journal of Operational Research* vol. 15, pp. 331-332.
- (6) Charnes, A., Clark, C.T., Cooper, W.W. and Golany, B. (1985): A development study of Data Envelopment Analysis in measuring the efficiency of maintenance units in the U.S. Air Forces. *Annals of Operations Research* vol. 2, pp. 95-112.
- (7) Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E. (1978): Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research* vol. 2, pp. 429-444.
- (8) Charnes, A., Cooper, W.W. and Thrall, R.M. (1991): A structure for classifying and characterizing efficiency and inefficiency in Data Envelopment Analysis. *Journal of Productivity Analysis* vol. 2, pp.197-237.
- (9) Charnes, A., Haag, S., Jaska, P. and Semple, J. (1992): Sensitivity of efficiency classification in the additive model of Data Envelopment Analysis. *International Journal of Systems Science* vol. 23, pp. 789-798.
- (10) Cooper, W.W. ・刀根 薫・高森 寛・末吉俊幸 (1994):DEA の解釈と展望 -その1- . オペレーションズ・リサーチ 420, pp.31-37.

- (11) Hänninen, H. and Viitala, E.J. (1995): Assessing the relative efficiency of forestry promotion units in Finland: An application of Data Envelopment Analysis. Abstracts of invited papers IUFRO XX World Congress Tampere, Finland, pp.458.
- (12) Kao, C. and Yang, Y.C. (1991): Measuring the efficiency of forest management. *Forest Science* 37(5), pp.1239-1252.
- (13) Kao, C., Chang, P. and Hwang, S.N. (1993): Data Envelopment Analysis in measuring the efficiency of forest management. *Journal of Environmental Management* 38, pp.73-83.
- (14) Lewin, A.Y. and Morey, R.C. (1981): Measuring the relative efficiency and output potential of public sector organizations: an application of Data Envelopment Analysis. *International Journal of Policy and Information Systems*, vol. 5, pp. 267-285.
- (15) Rousseau, J. and Semple, J., (1993): Notes: Categorical outputs in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, vol. 39, pp. 384-386.
- (16) 佐々木浩司 (1994): 三重県下の素材生産事業体における生産事業実績の現状と DEA モデルによる生産効率性の評価. 三重大学生物資源学部卒業論文, pp.1-140.
- (17) Sherman, H.D. (1954): Data Envelopment Analysis as a new managerial audit methodology - Test evaluation, auditing: *Journal of Practice and Theory* vol. 4, pp. 35-53.
- (18) Shiba, M. (1995): Measuring the efficiency of managerial and technical performances in harvesting operations by means of Data Envelopment Analysis(DEA). Abstracts of invited papers IUFRO XX World Congress Tampere, Finland, pp.213.
- (19) Shiba, M. (1996): Measuring the efficiency of managerial and technical performances in forestry activities by means of Data Envelopment Analysis(DEA). *Journal of Forest Engineering* 8(1), pp. 7-19.
- (20) 末吉俊幸 (1990): DEA による効率性分析に関する一考察. *オペレーションズ・リサーチ* 167, pp. 33-39.
- (21) Thanassoulis, E. and Dyson, R.G. (1992): Estimating preferred target input-output levels using DEA. *European Journal of Operational Research* vol. 56, pp.80-97.
- (22) 刀根 薫・阿蘇品 圭之・山本康弘 (1992): DEA 事例集 92, pp.1-75, 埼玉大学大学院政策研究科, 埼玉.
- (23) 刀根 薫 (1993): 経営効率性の測定と改善, pp.1-176, 日科技連, 東京.
- (24) 山口俊和・清水康之・福川忠昭 (1991): DEA モデルにもとづく新規出店問題への多目的計画法への応用. *オペレーションズ・リサーチ* 456, pp.25-31
- (25) 吉井邦恒 (1992): 農業共済団体の事業の効率性に関する研究. *オペレーションズ・リサーチ* 437, pp.18-24.

Received November 25, 1996.