

伐採収入及び生産コスト予測システムの開発

黒瀬 勝雄

Development of the prediction system of the felling income and production cost

Katsuo KUROSE

要 旨

黒瀬勝雄：伐採収入及び生産コスト予測システムの開発 岡山県林試研報23：1-19. 2007. 高性能林業機械を使用した列状間伐及び皆伐作業における伐採収入及び生産コストを予測するために、間伐対象林の調査、高性能林業機械作業工期調査、木材市況調査を行い、伐採収入及び生産コスト予測システムを作成した。これにより、必要最小限のデータから伐採時の収支予測を事前に行うことが可能となった。また、列状（带状）伐採跡地を低コストで更新するために、光環境を測定するとともに下層植栽木の成長、下層雑草木の植生量、ポット苗の植栽工期調査を行った。列内の光環境は、中央部で良好、林縁部で劣る結果であり、下層植栽木の成長にも同様の傾向が見られた。林縁部においては、植栽木の成長を阻害する雑草木が中央部に比べて減少しており、下刈りが不要とまでは言えないが、画一的な毎年の下刈りは必要ないと考えられ、下刈り省略の可能性が示唆された。ポット苗の植栽工期は、運搬を含めた場合、裸苗の1.42倍であった。

キーワード：高性能林業機械、列状伐採、収支予測、光環境、下層雑草木

I はじめに

木材価格が低迷し労務事情の厳しい中で、伐期の多様化、長期化を図りながら健全な森林を造成するためには、安全で低コストな高性能林業機械による作業の推進が必要である。しかし、高性能林業機械を使用する作業は、多様な種類・規格の機械を使用することから、構築される作業システムも多種・多様となる。

岡山県では、高性能林業機械の導入初期段階（1993年）において、林業試験場にタワーヤーダ、プロセッサ、フォワーダを配備し、調査を進めた結果、急傾斜の多い岡山県にはタワーヤーダ（スイングヤーダ）システムが適している（岡山県林業機械化促進検討会 1995）として、その普及に努めるとともに、生産性の調査や現場作業員の研修等に積極的に活用してきた。

近年、全国的に高性能林業機械の導入が進み、生産性や生産コストにおいて、多くの事例が報告されている（林野庁研究・保全課 2007）が、伐採・搬出作業における生産性や生産コストは、伐採木の大きさ、伐採方法、作業道等路網の整備状況、システムとしての作業工期、作業員の習熟度、機械経費、人件費、木材価格、木材輸送費等に影響を受けるため、伐採前にその収支を予測することは非常に困難な状況にある。このことは、森林組合等の林業事業体に立木の販売を伴う作業を委託した場合、収入が得られるのか、経費の支払いが必要なのかといったことが不明確であり、森林所有者が間伐を始めとする森林施業に消極的となる一因となっている。

このような森林所有者の不安を払拭するために、施業にかかる経費を提示した提案型施業によって森林施業を推進する方法が進められているが、収支を予測する方法については確立されていない。

また、高性能林業機械に適した作業方法である列状伐採（植木 2007）後、持続的に利用可能な針葉樹多段林や針広混交林等へ低コストで更新することは、森林所有者の施業意欲の高揚や森林のもつ多面的機能の持続的かつ高度発揮の面から重要である。

列状（带状）伐採跡地では隣接する保残木によって列（帯）内の光環境が制限されている。これによって下層雑草木の成長が抑制されることから下刈り作業の省力化が期待されており、各地で取り組みが進められている。しかし、事業的な実施事例は少なく、施業法の確立が求められている。

このことから、間伐対象林調査、列状間伐実施地における高性能林業機械作業工期調査、木材市況調査、小面積带状伐採跡地における光環境調査、列（帯）内の植栽木生育状況調査、下層植生調査及びポット苗植栽試験等を実施し、伐採前に樹種、林齢、面積、作業方法、作業道の設置状況等から高性能林業機械を使用した列（帯）状伐採及び皆伐作業における伐採収入及び生産コストを予測するシステムを作成するとともに、高性能林業機械の効果的な作業方法である小面積带状（列状）伐採の跡地における低コスト省力更新作業法を検討した。

II 試験の概要

試験地の位置を図-1に示す。各調査地の概要は次のとおりである。

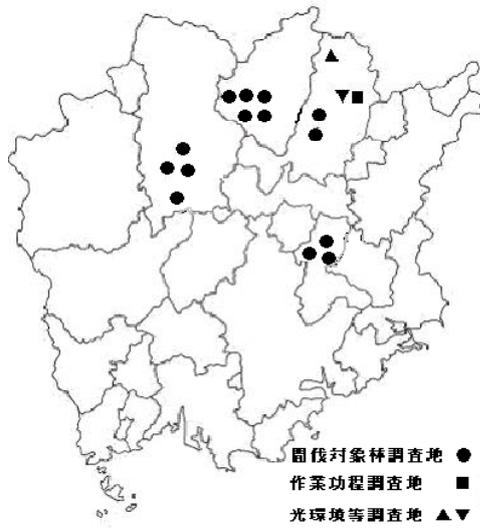


図-1 各調査場所位置図

1. 伐採収入及び生産コスト予測システム

(1) 間伐対象林調査

調査地の概要

岡山県北のヒノキ人工林4市14か所

調査方法

2002～2004年に県下14か所の間伐対象林(図-1の●)において、伐採前の林分に20m×20mのプロットを設定し、林齢、樹高、胸高直径、立木密度、曲がり及び病虫害等形質不良木の状況を間伐前後で比較した。14か所の間伐対象林の状況は表-1のとおりである。伐採の方法は列状間伐実施8か所、定性間伐実施6か所である。

表-1 間伐対象林調査地の状況

調査地	樹種	(年) (°)		立木密度 (本/ha)	(cm)		(m)	間伐方法
		林齢	傾斜		平均胸高直径	平均樹高		
調査地 1	ヒノキ	43	27	1,370	23.5	15.8	列状	
調査地 2	ヒノキ	28	18	2,950	15.5	13.7	定性	
調査地 3	ヒノキ	32	15	1,800	18.1	13.5	列状	
調査地 4	ヒノキ	36	28	1,440	20.0	18.8	定性	
調査地 5	ヒノキ	37	27	1,980	18.2	17.0	定性	
調査地 6	ヒノキ	28	28	1,080	19.7	17.7	定性	
調査地 7	ヒノキ	31	23	903	20.5	13.9	定性	
調査地 8	ヒノキ	28	28	2,184	17.6	14.7	定性	
調査地 9	ヒノキ	41	20	2,399	17.1	19.4	列状	
調査地 10	ヒノキ	41	32	2,476	17.7	17.3	列状	
調査地 11	ヒノキ	35	16	1,116	23.5	18.4	列状	
調査地 12	ヒノキ	35	35	1,052	22.9	14.7	列状	
調査地 13	ヒノキ	36	15	790	24.9	16.0	列状	
調査地 14	ヒノキ	36	25	740	26.6	16.6	列状	

調査地のデータは、おかやまの森整備公社の間伐実施林16か所の調査地データで補完し、大曲がり、二股等欠点のない健全木と立木密度の関係を検討した。

(2) 高性能林業機械作業工程調査

調査地の概要

津山市加茂町の林分(図-1の■)、樹種ヒノキ、林齢45年生、平均胸高直径 23.5cm、平均樹高16.3m、平均傾斜

34度、集材距離90m、下げ荷、南東向き、森林組合作業班員による高性能林業機械作業(チェーンソー伐採、スイングヤード集材、プロセッサ造材)を行った列状間伐の実施地である。

調査方法

2004年7月、スイングヤード集材とプロセッサ造材の連携作業における作業工程を調査した(図-2)。伐倒は下方列状方式である。また、作業道縁に集積した全木のプロセッサ単独作業の作業工程も調査した。調査はビデオカメラで作業状況を録画し、作業時間を要素作業別に振り分け、1サイクル当たりの各要素作業の平均時間を求めた。各作業の調査数は、スイングヤード集材21サイクル、プロセッサ造材(スイングヤードとの連携作業) 46サイクル、プロセッサ単独造材作業23サイクルであった。



図-2 調査中の高性能林業機械作業

(3) 木材市況調査

調査方法

津山市にある岡山県森林組合連合会の津山共販所の市売りデータ(開催市ごとの末口径級に応じた平均価格)を基に収入予測の基礎資料となる木材価格を算出した。

(4) 伐採収入及び生産コスト予測システムの作成

上記調査(1)～(3)の調査データ及び文献資料を基にmicrosoft社製excelで伐採収入及び生産コスト予測システムを作成した。

2. 低コスト更新作業法

(1) 光環境調査

試験地の概要

津山市加茂町内の会社有林において、斜面方向に帯状伐採(20m伐区及び10m伐区)試験地(図-1の▼、以下試験地1)を設定した。伐採は2003年である。樹種は谷側から中部まで約40mがスギ、中部から上部約40mがヒノキである。スギは48年生、平均樹高22.3m、ヒノキは45年生、平均樹高17.1mである。斜面は南東向き、平均傾斜39度である(図-3～5)。

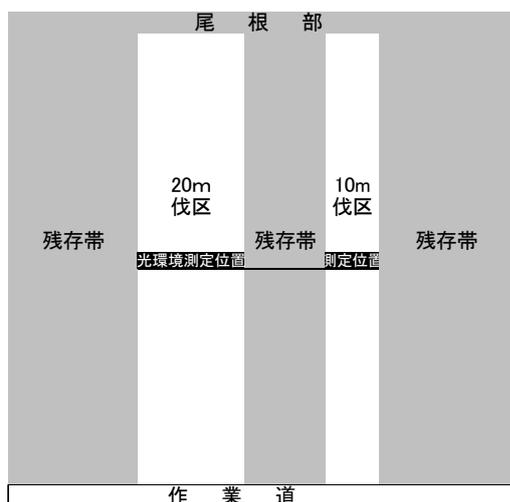


図-3 試験地 1のモデル図



図-4 試験地 1 (20m伐区) の状況



図-5 試験地 1 (10m伐区) の状況

また、同町内の県有林において等高線方向に列状伐採 (10m伐幅) 試験地(図-1の▲, 以下試験地 2) を設定した。伐採は2002年度である。列の向きは北北西, 長さは76m, 樹種は下部(谷部) がスギ(一部ヒノキ), 上部(尾根部) がヒノキである。スギは林齢69年生, 平均樹高17.8m, ヒノキは林齢68年生, 平均樹高15.4mである。斜面は東向き, 平均傾斜は23度である(図-6, 7)。



図-6 試験地 2のモデル図



図-7 試験地 2の状況

調査方法

試験地の光環境を位置別に測定した。試験地 1では帯の長さ方向の中央部にそれぞれ2m間隔に20m伐区では11ポイント, 10m伐区では6ポイントの測定ポイントを設け(図-8) 光量子センサーを設置し, 2004年7月9日, 5時から19時まで5分おきに光量子束密度を測定し, ポールをつなぎ残木樹上に設置した光量子センサー測定値との相対光量子束密度を求めた。帯内の光量子センサー設置高は植栽した苗木とほぼ等しい70cmとした。また, 帯内の上部, 中部, 下部の3か所に同様の測点を設け, 曇天時に照度計によって樹上との相対照度を求めた。



図-8 光量子センサー設置状況(20m伐区)

試験地 2では, 列中心部に傾斜方向に2列, 11ポイントの測点を設け, 2003年5月23日, 光量子束密度を測定した。

調査地の光量子束密度は, 小糸工業社製光量子センサーIKS-27及びLI-COR社製ライトメーターLI-250, 照度は竹村電気製作所製デジタル照度計DX-100で測定した。

(2) 植栽木生育状況調査

試験地の概要

2004年4月, 試験地 1にヒノキ11本×7列, ヤマザクラ10本×3列(20m伐区), ヒノキ6本×7列, ヤマザクラ5本×3列(10m伐区)を斜面の上部, 中部, 下部に3反復で植栽し(図-9 ○: ヒノキ, ●: ヤマザクラ), 生育状況を調査した。植栽密度は, ヒノキ単植区域3,000本/ha, ヤマザクラとの混植区域6,000本/haである(図-10)。

また, 2003年5月, 試験地 2にヒノキを植栽し(図-11), 生育状況を調査した。植栽密度は3,000本/haである。

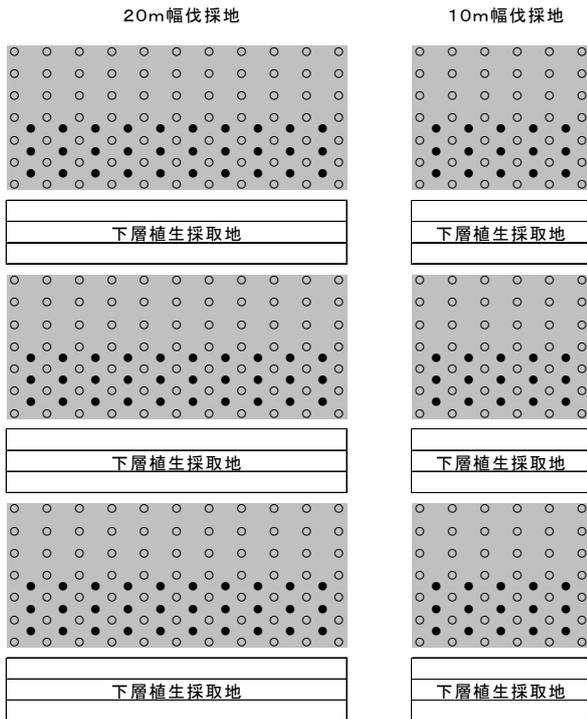


図-9 植栽木の配置モデル (試験地 1)



図-10 樹木の植栽状況 (帯状伐採区)

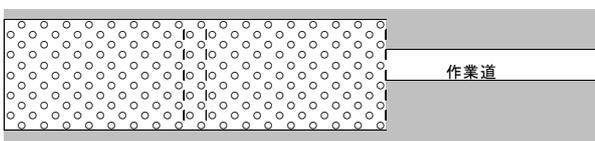


図-11 植栽木の配置モデル (試験地 2)

(3) 下層植生調査

試験地の概要

試験地 1に調査プロットを設置し, 現存植生の除去後, 侵入してくる下層雑草木を刈り取り, 生重量及び乾燥重量を測定した。調査プロットの大きさは1プロット当たり 2m×2mとし, 20m伐区では1か所当たり10プロット, 10m伐区では1か所当たり5プロットを採取した(図-12, 13)。この調査か所は帯の上部, 中部, 下部3か所に設置し, 3反復とした。調査は3年間(2004~2006年)継続し, 各プロット1回限りの刈り取りとした。刈り取り時期は毎年, 9月~10月である。なお, 2005年の20m伐区上部の調査か所については, オオスズメバチが営巣しており, 刈り取り作業が危険なため, 下層雑草木を採取できなかった。

また, 2004年11月, 試験地 1に1プロット当たり2m×2mの調査地を20m伐区, 10m伐区それぞれ帯の中央部の上部, 中部, 下部の3か所に設置し, 侵入している木本類の根元径, 樹高(つる性の木本類は長さ)を調査した(図-14)。



図-12 下層雑草木の状態 (20m伐区中央)



図-13 下層雑草木刈り取り後 (20m伐区中央)



図-14 試験地 1での下層植生状況調査



図-16 間伐前の状況(調査地9)

(4)ポット苗植栽試験

試験地の概要

試験地 1 において、2005年の下層雑草木の刈り取り後、ヒノキの裸苗とジフィーポット苗を植栽し、苗木の運搬時間及び植栽時間を調査した。作業員3人で植栽し、植栽本数は裸苗、ジフィーポット苗をそれぞれ、20m伐区に50本、10m伐区に30本、計160本である(図-15)。



図-15 ポット苗植栽状況



図-17 間伐後の状況(調査地9)

表-2 調査対象林の間伐前後の状況

	間伐方法	間伐率	立木密度(本/ha)		平均胸高直径(cm)		健全木率(%)		
			間伐前	間伐後	間伐前	間伐後	間伐前	間伐後	増減
調査地2	定性	53.9	2,950	1,360	15.5	17.2	46.1	53.5	7.4
調査地4	定性	35.4	1,440	930	20.0	20.9	74.3	75.3	1.0
調査地5	定性	44.4	1,980	880	18.2	17.9	80.3	82.7	2.4
調査地6	定性	11.1	1,080	960	19.7	20.0	68.5	71.9	3.4
調査地7	定性	31.2	903	621	20.4	20.9	71.4	74.5	3.1
調査地8	定性	31.9	2,184	1,488	17.6	18.8	67.0	75.5	8.5
調査地1	列状	36.5	1,370	870	23.5	22.9	78.8	75.9	-2.9
調査地3	列状	26.1	1,800	1,330	18.1	18.3	56.1	51.1	-5.0
調査地9	列状	37.4	2,399	1,501	17.1	16.9	53.1	56.2	3.1
調査地10	列状	38.9	2,476	1,513	17.7	17.8	57.5	62.0	4.5
調査地11	列状	63.9	1,116	403	23.5	24.1	43.3	36.7	-6.6
調査地12	列状	33.9	1,052	696	22.9	23.7	63.1	64.0	0.9
調査地13	列状	36.7	790	500	24.9	25.0	76.0	84.0	8.0
調査地14	列状	37.8	740	460	26.6	27.2	67.6	65.2	-2.4

III 結果

1. 伐採収入及び生産コスト予測システム

(1)間伐対象林調査

調査地の間伐率、間伐前後の立木密度、平均胸高直径、健全木率は表-2のとおりである。

間伐後、曲がり、二股、病虫害等の被害のない健全木の割合が向上していたのは列状間伐実施地で8か所中4か所、定性間伐実施地で6か所全てであった。

また、おかやまの森整備公社のデータを加えた30か所における間伐前の本数密度と健全木率の関係は図-18のとおりであった。

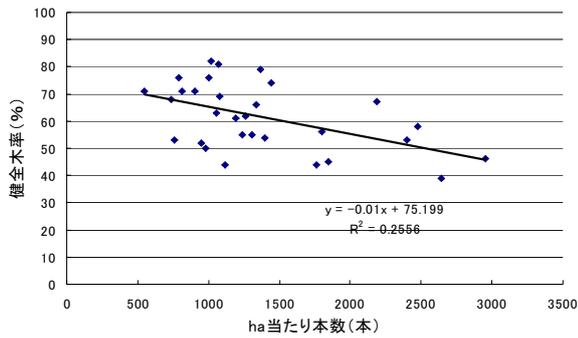


図-18 間伐対象林における本数密度と健全木率

間伐時期までの保育状況によって同じ林齢でも本数密度が大きく異なるため、林齢ではなく本数密度で比較した。この結果、ばらつきは大きいものの、本数密度が減少するに従って、過去に実施した保育間伐の効果によって健全木率は向上する傾向が見られた。

(2) 高性能林業機械作業工程調査

調査地においてスイングヤード及びプロセッサの作業状況を調査した。スイングヤードはプロセッサとの連携作業で索張りから作業終了まで、プロセッサはスイングヤードとの連携作業及び作業道縁に集積してある全木を処理する単独作業である。

スイングヤード作業は21サイクル(本)の集材作業を1時間21分54秒(1サイクル当たり3分54秒)で処理していた。作業内容の内訳は図-19のとおりであった。

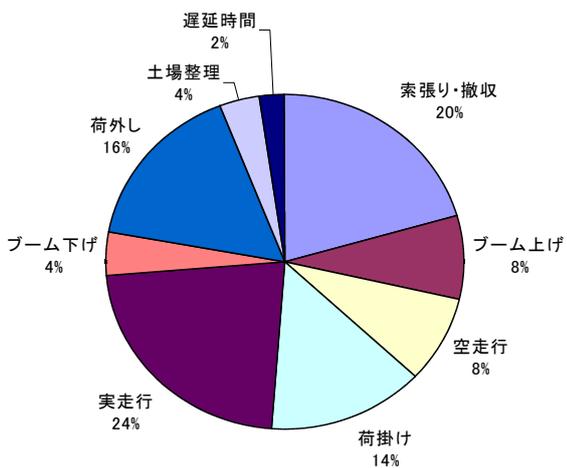


図-19 スイングヤード集材における工程割合

プロセッサはスイングヤードとの連携作業では46サイクルを1時間33分17秒(1サイクル当たり2分2秒)であり、作業内容の内訳は図-20のとおりであった。また、プロセッサ単独作業では23サイクルで33分35秒(1サイクル当たり1分28秒)であり、作業内容の内訳は図-21のと

おりであった。

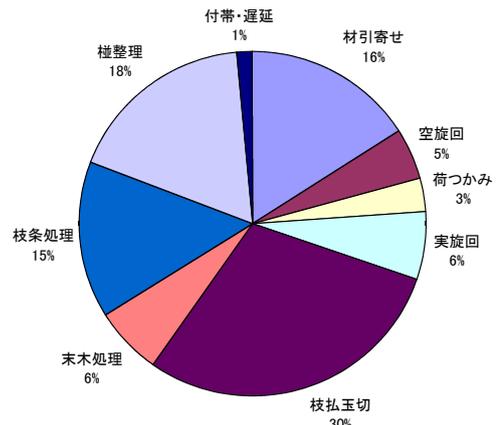


図-20 プロセッサ造材(連携作業)における工程割合

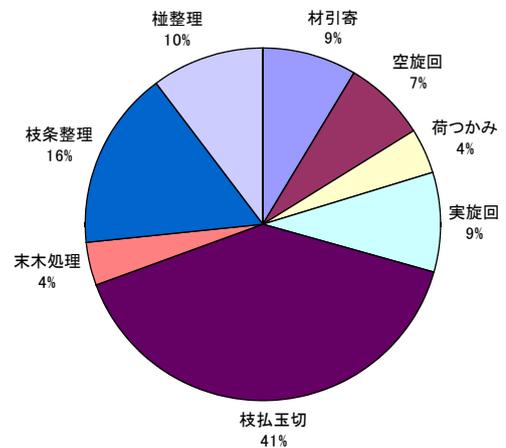


図-21 プロセッサ造材(単独作業)における工程割合

また、連携作業と単独作業の所要時間を要素別に比較した(図-22)。連携作業では、1サイクル当たり、材引寄せ、末木処理、梢整理の時間を多く必要とし、プロセッサとの関係で付帯・遅延時間が発生していた。

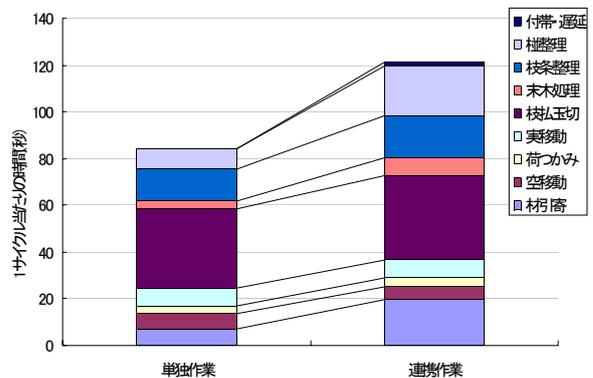


図-22 1サイクル当たりの要素別時間(プロセッサ)

(3) 木材市況調査

岡山県森林組合連合会津山共販所の直径階級別売上データから各市の樹種別直径別平均単価を算出した。岡山県では2004年10月20日に台風第23号が襲来し、その後、風倒木が市場に持ち込まれるに従って木材価格が大きく変動した。このため、システムに使用する木材単価は風倒木による価格変動の影響が少なくなった2006年度のデータを採用した。2006年度の価格推移は図-23のとおりであり、季節的な変化はあるものの、合板需要増大の影響でスギに緩やかな価格の上昇傾向が見受けられた。

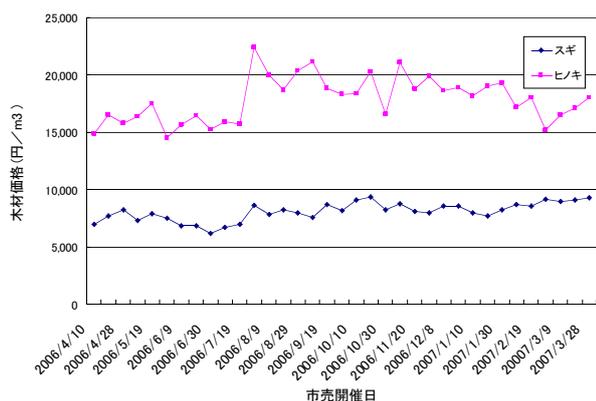


図-23 平均木材価格の推移 (2006年度)

(4) 伐採収入及び生産コスト予測システムの作成

上記(1), (2), (3)のデータを基に伐採収入及び生産コストを伐採前に予測するシステムを作成した。

① 伐採収入

林齢から平均樹高, 平均胸高直径を, 平均胸高直径から本数密度を予測する岡山県長伐期収穫予測システム (牧本ら 2005) を使用し, 該当する林分の林齢から標準的な立木の樹高及び胸高直径を算出し, 「立木幹材積表」(日本林業調査会 1984) による標準的な立木の単木材積に林分の立木本数を乗じて林分材積を算出した。岡山県長伐期収穫予測システムでは地位級毎に対応した予測値が算出できるが, 今回は地位級3で算出した(別図-1)。

利用材積率は, 基準利用材積率 (基準伐期齢未満では60%, 基準伐期齢以上では70%) に間伐地調査で得られた本数密度に対応した健全木率を乗じたものに非健全木率に基準利用率の50%を乗じたものを加えて算出した。

間伐地調査では調査対象木をヒノキとして健全木率を算出したが, 今回はスギも同様の値とした。また, 標準的な立木を任意な材長で玉取りし, その末口径から標準的な立木の利用材積率を算出し, 林分全体の利用材積率として使用することも可能である。この利用材積率に林分材積及び間伐率を乗じて生産材積の予測値としている。

この方法によって, 樹種・林齢がわかれば, 間伐率に応じた生産材積が予測可能となった。さらに, 標準地のデータ (直径階級別の本数, 平均樹高) が存在する場合に

は, 標準地のデータから各直径階級別の玉取り計画を入力することで利用材積率を算出するシステム (岡山県林政課 1999) を使用し, より高い精度での生産材積予測が可能となっている。ただし, 径級の大きい立木からの間伐や, 形質不良木のみでの間伐に対応するためには, より多くのデータを必要とする上, 作業員の経験を重視して実施される現実の間伐との整合が困難なため, 今回作成したシステムは機械的な伐採である列状間伐及び皆伐への対応となっている。

伐採収入は, 生産材積と木材市場の平均価格を乗じたものから伐採・搬出経費, 木材市場までの木材輸送費及び市場手数料を減じたものとしている。

標準地のデータが存在する場合には, 直径階級別の玉取りデータを利用し, 直径階級別の立木価格を入力することで径級別の木材価格に対応した詳細な伐採収入の算出が可能となっている。また, 出荷者の市場への登録状況による市場手数料の差違, 木材運搬トラックの規格や輸送距離による輸送コストの差違に対応が可能であり, 木材輸送費はm3当たりの価格設定も可能である。

② 生産コスト

間伐対象林の調査から, 定性間伐地においては選木に伐採者の意図が大きく影響し, 伐採木の予測が困難であるため, 今回作成したシステムではスイングヤードシステムを使用した列状間伐 (帯状択伐) 及び皆伐を対象としている。少ないデータでも使用できることを想定し, システムの稼働に必須なデータを限定し, 現状に合わせて変更あるいはデータの追加が可能なものとしている。

高性能林業機械の価格, 年稼働日数等基礎的なデータは文献 (井上 2001) から引用し, 機械の損料等は文献 (岡ら 2005) のデータを引用した。

スイングヤード, プロセッサの作業工程は高性能林業機械作業工程調査のデータを標準データとして使用し, スイングヤードには傾斜による補正を加えている。バックホウ, チェーンソー, フォワードの作業工程は, 既存資料 (梅田ら 1982) 等で算出した。なお, 機械の作業工程は時間当たりのm3数で表示するのが一般的であるが, プロセッサの単位材長当たりの処理時間は材径が異なっても大差がない (中島 1996) ことから, 時間当たりの処理延長とした。また, スイングヤードの作業工程も現実作業に近い時間当たりの集材本数とした。各機械の標準作業工程が作業現場と異なる場合には変更も可能であり, スイングヤードの複数本掛けの集材作業やプロセッサの無処理長の増減など, 詳細な状況についても対応が可能である。

高性能林業機械の稼働日数及び作業員の給与, 年間作業日数, 社会保険料の加入状況等は標準的なデータを設定し, 現状と異なる場合には変更する方法とした。集材工程に大きな影響を与える集材距離は, 既存の作業道と

新設の作業道合計の路網密度から算出（澤口 2001）している。なお、新設の作業道については開設に必要なバックホウの経費を計上し、土質、傾斜で補正している。この開設経費はm当たりの単価を入力することも可能である。列状伐採における線数（集材線本数）は伐採幅、残存幅、間伐率から算出しているが、現状に合わせて変更も可能である。

機械、木材等重量物運搬経費は現況に合わせて、重量物運搬単価の8割を標準として設定している。トラック土場までの運搬がある場合はフォワーダを必要に応じて積算するシステムである。

これらのことから生産コスト予測に必須のデータは、機械運搬距離、木材運搬距離、作業対象地内の既設及び新設作業道延長、トラック土場までの平均距離（フォワーダを使用する場合）、間伐率（伐採幅及び残存幅）のみである。その他の条件はシステムに表示されているため、現況に一致しない場合は変更が可能であり、一部を変更した場合は、再計算が行われ、生産経費全体が変更されるようになっている。なお、生産コストに大きな影響を与える木材生産量に関係する樹種、林齢のデータは、伐採収入の算出で利用したものを使用している。

高性能林業機械作業を普及する上で、常に比較対象となる林内作業車を使った作業とのコスト比較も可能であるが、林内作業車の場合は林内を走行することが多いため、高性能林業機械作業に必須な条件以外に林内作業車路の延長が必要である。

実際の使用は、データ入力画面の必須入力部分に数値を入力すると、設定済あるいは計算に使用したデータが表示され、計算結果がデータ出力画面に表示される。この際、設定されたデータが現況に合わない場合は、数値の変更がである。

計算例では、ヒノキ45年生、1.00haの林分において、伐採幅5m、残存幅5mの50%列状間伐を想定した。このほ

かに必須条件として機械運搬距離25km、木材運搬距離30km、作業路延長既設50m、新設100m、フォワーダでの平均林内運搬距離75mを入力し、修正データとして、平均傾斜30度、木材運搬トラック8t、木材輸送費2,000円/m3を入力している（図-24）。

この結果、生産材積86.79m3、作業日数8日、労働生産性3.92m3/人・日、土場での生産コスト10,673円、市場経費を含む生産コスト15,264円、収益202,373円となり、これとは別にこの作業によって受けられる補助金242,080円が表示されている。また、林内作業車の作業についても林内作業車路450mを入力することで、作業日数19日、労働生産性2.28m3/人・日、土場での生産コスト10,800円、市場経費を含む生産コスト15,392円、収益191,297円が表示され、比較できるようになっている。なお、各機械の機械経費、労務費、回送費、諸経費、付帯人件費等も詳細出力に表示される（図-25）。

このようにデータ入力画面の数値を変えることによって、データ出力欄の数値がリアルタイムに変化する。このため、どの要素が生産コストに影響するか把握しやすく、目標とする収益を得るためには、樹種がヒノキの場合、何年生の林分でどのような作業をすればよいか、作業道の開設はどの程度必要か、木材価格がどの程度であれば収益が見込めるかの検討も可能となっている。

また、計算に使用している時間単価表（別表-2）を表示できるようにしているため、間伐及び皆伐時に使用している機械の単価をバックホウ、チェーンソー、スイングヤーダ、プロセッサ、フォワーダ別に把握でき、それぞれの機械が1時間当たりどのくらいの経費がかかっているかを把握できる。さらに明細表（別表-3）を表示するため、各工程での作業量、作業工程、作業時間、労務単価、機械単価、労務経費、機械経費、機械運搬費等の把握を簡単に行うことが可能である。

基本データ入力

林況	作業現場名	ヒノキ
面積	1.00 ha	
林齢	45 年生	
平均樹高	16.31 m	
平均胸高直径	21.05 cm	
立木密度	1,046 本/ha	
*標準地データ使用の場合: 1		
スギ	面積	ha
林齢	年生	
平均樹高	m	
平均胸高直径	cm	
立木密度	本/ha	
*標準地データ使用の場合: 1		
地況	総作業面積	1.00 ha
機械搬送距離	25 km	
木材運搬距離	30 km	
平均傾斜	15度未満	
作業路網	既存 50 m 新設 100 m	
路網密度	150 m/ha	
土質	普通	
*空白: 普: 1; 硬: 2; 軟		
作業道開設単価	686 円/m	
トラック土場までの平均距離	75 m	
*空白: フォワーダなし		
作業方法	伐採幅	5 m
残存幅	5 m	
伐採率	50 %	
*皆伐: 残存幅0		
利用材積率	ヒノキ	57.62 %
	スギ	%

作業員	作業員数	3 人
日労働時間	8 時間	
オペレーター賃金	13,500 円/日	
作業員賃金	12,000 円/日	
年間労働日数	バックホウ	200 日
	チェーンソー	150 日
	スイングヤーダ	160 日
	プロセッサ	180 日
	フォワーダ	130 日
機械回送	片道	8 t
*空白: 片道, 1: 往復		
木材運搬	木材運搬トラック	4t 8t車
*空白: 4t 6.8.10.12t車に対応		
木材運搬費	2,179 2,000 円/m3	
諸経費等	諸経費	20 %
	付帯人件費	15 %
	人員輸送費	0 円/日
木材価格	ヒノキ	16,758 円
	スギ	円
作業工程	バックホウ	15 m/h
チェーンソー	15 本/h	
スイングヤーダ	21.3 本/h	
プロセッサ	420 m/h	
フォワーダ	723 m3/h	
田舎者割引	一般	1 %
*空白: 一般, 1: 森林組合, 2: 登録業者		

詳細データ入力

*標準木による利用材積率を算定する場合: 1			
ヒノキ	樹高 m	材長 m	末口径 cm
スギ	材積 m3	材積 m3	樹高 m
胸高直径 cm	1 番玉		胸高直径 cm
	2 番玉		
	3 番玉		
単木材積 m3	4 番玉		単木材積
	5 番玉		
利用材積率 %	6 番玉		利用材積率
	計		
作業詳細	集材距離	59 m	
スイングヤーダ	集材線本数	18 本	
	下げ荷割合	%	*空白: 上荷のみ
	1回掛け本数	1 本	*3本以内
プロセッサ	無処理の材長	0 m	
フォワーダ	造材玉長のみ枝払いする場合: 1		*標準地データを使用する場合: 0
	走行速度	10 km/h	
社会保険料率	保険料率(%)	加入対象外	
オペレーター	労災保険	6 %	
	雇用保険	1.00 %	
	健康(40歳未満)	4.1 %	
	健康(40歳以上)	4.715 %	
	厚生年金	7.321 %	
作業員	労災保険	6 %	
	雇用保険	1.00 %	
	健康(40歳未満)	4.1 %	
	健康(40歳以上)	4.715 %	
	厚生年金	7.321 %	
*各保険加入対象外の場合、加入対象外欄: 1			
品質低下率		5 %	

図-24 データ入力画面

基本データ出力

生産材種	ヒノキ	86.79 m ³	242,080 円
	スギ	86.79 m ³	
	計	86.79 m ³	
	高性能林業機械	8 日	1,527,178 円
	労働生産性	3.92 m ³ /人・日	175,979 円
	生産コスト(土地)	10,673 円/m ³	222,542 円
	生産コスト(市場)	15,264 円/m ³	
	木材販売収入	1,527,178 円	
	業材生産経費	926,284 円	
	木材運搬費	175,979 円	
	市場経費等	222,542 円	
収益		202,373 円	191,297 円

詳細データ出力

生産経費詳細	機械経費	労務費	機械回送費	計
バックホウ	17,339	19,806	17,750	54,895
チェーンソー	15,379	92,046		107,425
スイングヤーダ	117,504	137,332	17,750	272,586
プロセッサ	98,076	54,288	19,875	172,179
フォワーダ	48,480	32,076	17,750	98,306
計	296,718	335,548	73,125	705,391
			諸経費	126,453
			付帯人件費	50,332
			人員輸送費	
			合計	882,176
			消費税込み	926,284

図-25 データ出力画面

2. 低コスト更新作業法

(1) 光環境調査

試験地 1 の光環境は相対照度及び相対光量子束密度で評価した (図-26~29)。

相対照度は保残木樹上との比較である。20m 伐区では中心部が80.3%であるのに対し両林縁部では55.2%~58.9%であった。10m 伐区でも中心部が両林縁部よりも明るいものの林縁部との差は小さく、樹上との相対照度は中央部で45.7%両林縁部で34.4%, 37.9%であった。10m 伐区では、中央部においても20m 伐区の両端よりも相対照度が低かった。

相対光量子束密度も保残木樹上との比較である。20m 伐区では最も高いのが中心から1ポイント西側の測点で、93.2%であるのに対し、両林縁部では61.5%~66.6%であった。10m 伐区では最も明るいのは中央部より東側のポイントで49.8%, 両林縁部では23.1%, 35.9%と同じ林縁部であっても差が生じていた。このことから、相対照度と同様に相対光量子束密度においても10m 伐区では、中央部であっても20m 伐区の両端よりも暗い光環境であった。また、保残帯内の相対光量子束密度は9.5%と樹上の1割以下の値であった。

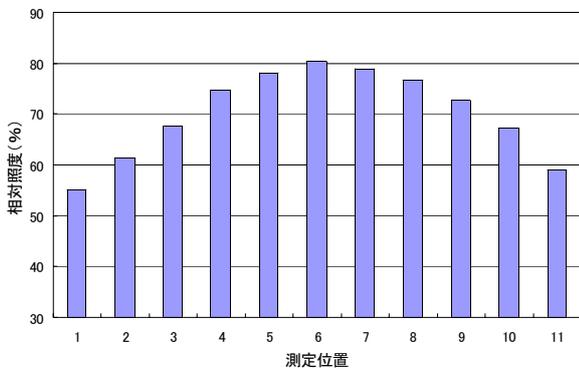


図-26 試験地 1 の相対照度 (20m 伐区)

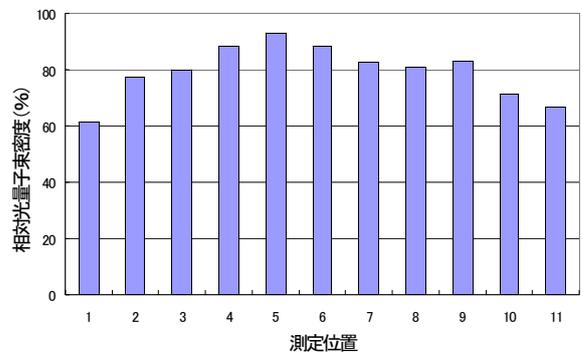


図-28 試験地 1 の相対光量子束密度 (20m 伐区)

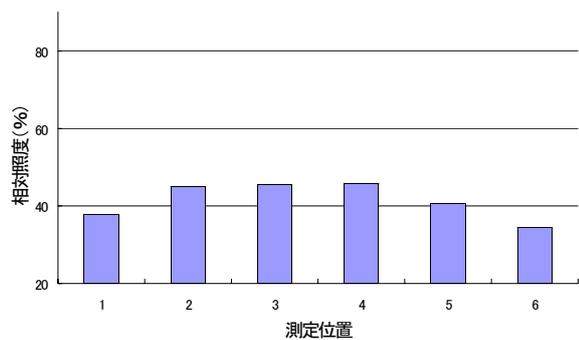


図-27 試験地 1 の相対照度 (10m 伐区)

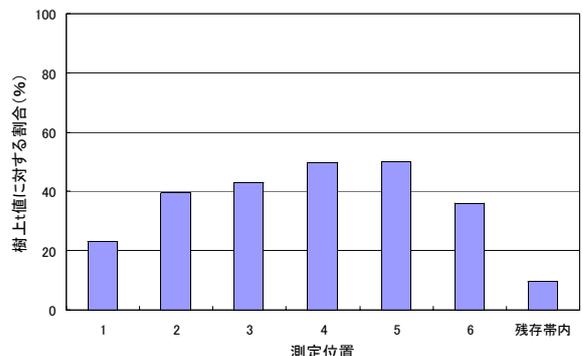


図-29 試験地 1 の相対光量子束密度 (10m 伐区)

試験地 2における光環境は光量子束密度で検討した。傾斜方向に設置した11ポイントの値は、斜面下部の3ポイントで大きく減少していた(図-30)。これは、等高線に沿って設置した列状試験地の傾斜方向下部には上部より樹高が高く、樹冠も茂ったスギ保残木が存在していることが大きく影響していると考えられた。

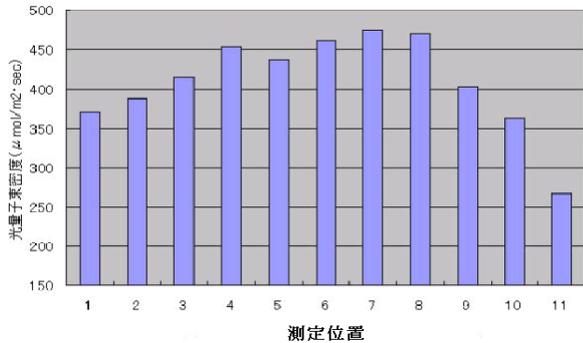


図-30 列内位置別の光量子束密度 (試験地 2)

(2) 植栽木生育状況調査

試験地 1では20m伐区, 10m伐区ともにヒノキの平均樹高, 平均根元径で林縁付近は成長率が劣る傾向が見られた(図-31)。また, ヤマザクラはニホンジカと思われる食害(折損)を多く受け(図-32), 特に樹高においては有効なデータが得られなかった(図-33)。

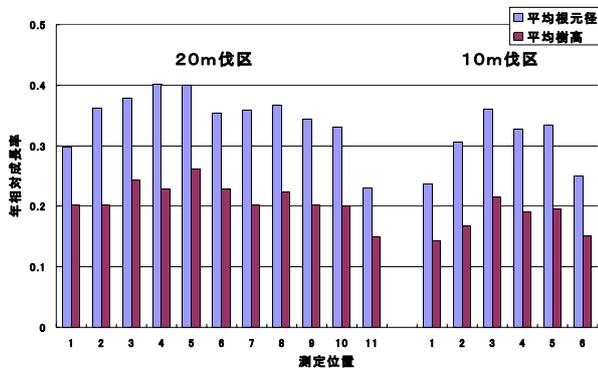


図-31 ヒノキの年相対成長率 (試験地 1)



図-32 ヤマザクラの被害(試験地 1)

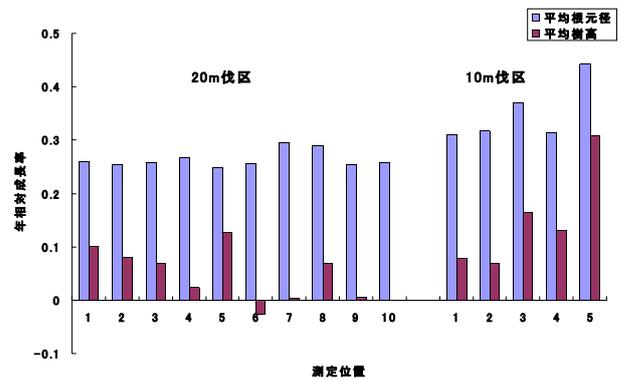


図-33 ヤマザクラの年相対成長率 (試験地 1)

試験地 2では, ヒノキの平均根元径及び平均樹高の4成長期後の成長率で列内の位置別に検討した(図-34, 35)

平均胸高直径, 平均樹高ともに部分的な差違はあるが, 中心部で成長率が高い傾向であった。また, 斜面下方の成長が劣るのは光量子束密度と同様の傾向であった。

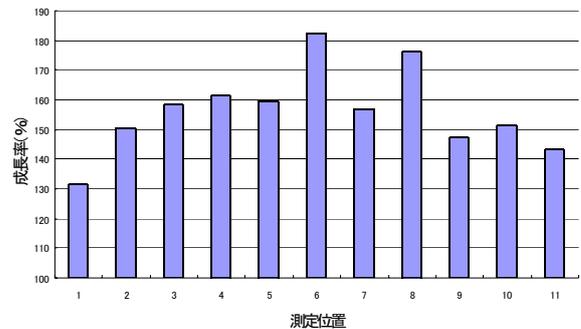


図-34 平均根元径の成長率(試験地 2)

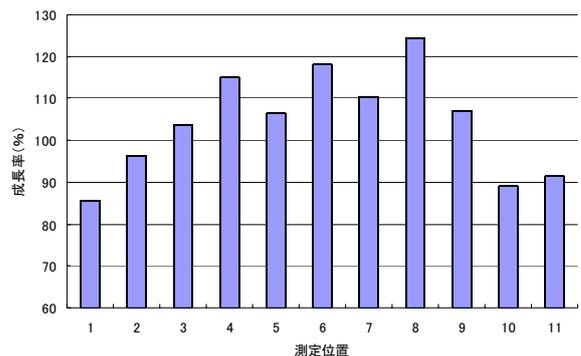


図-35 平均樹高の成長率(試験地 2)

(3) 下層植生調査

試験地 1の位置別の下層雑草木の状況及び変化を示す(図-36~39)。下層雑草木の量は下層の植生を除去した後に侵入及び萌芽によって生じた草本類及び木本類を刈り取り, 乾燥重量で検討した。20m区, 10m区ともに1成長期後の下層植生量は少なく, 2成長期後では位置によ

ってばらつきがあった。3成長期後では、帯中心部で多く、両端に行くほど減少する傾向が現れていた。

また、侵入している木本類の個体数は中部で少なく、20m伐区では下部で多く、10m伐区では上部で多かった。個体数の多い種としては、全体を通してイチゴ類が多く、下部ではクサギが多くなっていた。

出現する種類数は、20m伐区、10m伐区ともに上部から下部にいくに従って減少していた(表-3)。これは、(黒瀬 2005)と同様の結果であった。樹種の詳細は別表-4のとおりである。

表-3 下層植生(木本類)の状況(試験地 1)

	20m伐区		10m伐区	
	樹種数	個体数	樹種数	個体数
上部	20	55	21	116
中部	11	20	12	34
下部	7	101	9	43



図-36 下層雑草木の状況(20m伐区)

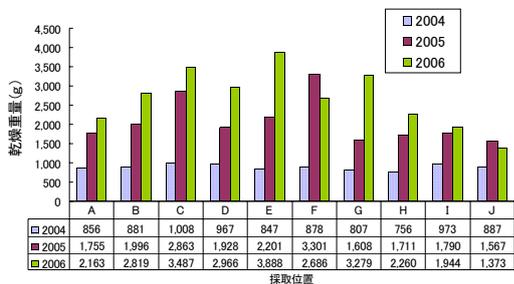


図-37 下層雑草木の変化(20m伐区)



図-38 下層雑草木の状況(10m伐区)

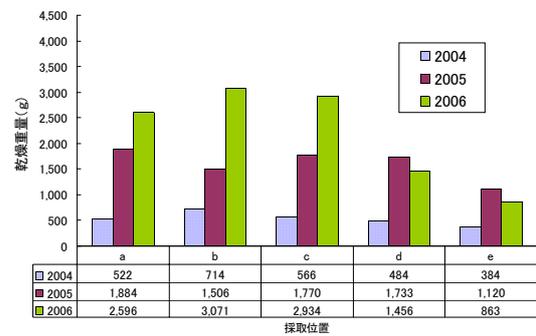


図-39 下層雑草木の変化(10m伐区)

(4) ポット苗植栽試験

苗木の運搬及び植栽にかかった時間から作業能率を算出した。作業時間は、20m伐区、10m伐区合計で、裸苗が運搬に10分、植栽に72分、計82分、ジフィーポット苗が運搬に17分、植栽に41分、計58分であった。これを一人1時間当たりの作業能率に換算すると、裸苗は運搬に160本/時、植栽に22.2本/時、一連の作業で19.5本/時、ジフィーポット苗は、運搬に94.1本/時、植栽に39.0本/時、一連の作業で27.6本/時であった。

このことから、ジフィーポット苗木は、植栽時、裸苗に比べて1.76倍の作業能率であるが、苗木運搬では裸苗の方が1.70倍の作業能率であり、運搬と植栽を併せた作業能率は、裸苗に比べ、ジフィーポット苗木のほうが1.42倍であった。

IV 考察

1. 伐採収入及び生産コスト予測システム

(1) 間伐対象林調査

間伐は林分内の個体間競争を緩和し、植栽木を健全に成長させることを主たる目的として行われ、この過程において、植栽木を目的とする材質、径級に育成する作業である。近年、素材生産作業の低コスト化を目的として高性能林業機械を使用した列状間伐が実施されているが、列状間伐のみでは、保残木への間伐効果が劣ることが明らかになっている（中島ら 2000, 細田ら 2006）。

今回の調査結果から、機械的な伐採方法である列状間伐のみでは保残木の質的改善効果は期待できず、健全木率は間伐前と大きな変化はないと考えられた。

このことから、列状間伐では伐採前の状態から伐採木の質的な予測が可能となり、生産材積の予測が可能となった。また、通常、収入を伴わない保育段階においては定性情間伐を実施するため、間伐の実施方法に左右されるものの、本数密度の減少に伴って健全木率が向上することが確認された。

(2) 高性能林業機械作業工程調査

高性能林業機械の作業工程は、現場、機械、作業員の状況によって大きく変化する。今回の調査では、最終的な生産材積を測定していないが、林分調査と伐採木の状態から、連携作業時におけるスイングヤードの生産性は15.4本/h (3.14m³/h)、プロセッサの生産性(処理延長)は連携作業時で480.9m/h (6.02m³/h)、単独作業時で720m/h (8.34m³/h)であった。

この数字はi-cost（林業機械化協会 2005）に使用されている生産性の数値であるスイングヤード3.8m³/h、プロセッサ10.0m³/hに比較するとやや劣る数値であるが、作業員が経験年数5年未満の若手中心の作業班員であり、地形傾斜も部分的には35度を超える場所も存在するなどやや困難な状況であった上、スイングヤードは、下げ荷集材であったこと、プロセッサ連携作業は、オペレーターがスイングヤードの荷外しを行っていたこと、プロセッサ単独作業ではそれぞれの列に分散配置された全木の造材作業であったことなどから妥当な作業能率であったと考えられた。また、連携作業と単独作業の比較では、材引寄、末木処理、桤整理の時間において連携作業が不利であったが、作業現場が制約されているために生じた結果であり、作業道の幅員等制約が多い間伐作業では他の事例(林野庁研究・保全課 2007)と比較しても現実的な結果であるとと考えられた。

(3) 木材市況調査

岡山県の木材市況は、2004年の台風第23号の襲来以降、大きく下落し、一般的な木材価格として判断できない状

態が続いていた。2006年度からは、台風被害木の影響が少なくなったことからシステムの判断材料としてデータを使用した。季節的な変動もあり、木材価格の決定には経験が必要と考えられるが、材の品質等が確認できない予測段階においては樹種別の1m³当たりの平均価格を使用するのが妥当と考えられた。なお、新生産システムによる製材工場への直納体制が進んでいることから、木材市場へ出荷される材の内容も変化しており、木材価格の判断には今後の傾向を見極める必要がある。

(4) 伐採収入及び生産コスト予測システムの作成

伐採時の収入を予測するためには、多くの要因が必要であるが、最も大きな要因が生産材積と木材価格である。

生産材積は現場で林分の状況を把握できなければ、予測は非常に困難であるが、今回作成したシステムでは、林齢のみで林分の状況を判断できるようにしている。しかし、不確定な要素が多いことから、その結果については誤差が生じることが推測される。このため、実際の使用にあつては、標準地の調査が不可欠と考えられる。システムの予測精度を高めるためには、今後も調査を継続し、システムの検証を続けていくことが必要である。また、木材価格は、一般材を想定しているが、保育段階の施業や材の品質によって価格は大きく変動するため木材価格の判断には材に対する知識と経験が重要となる。

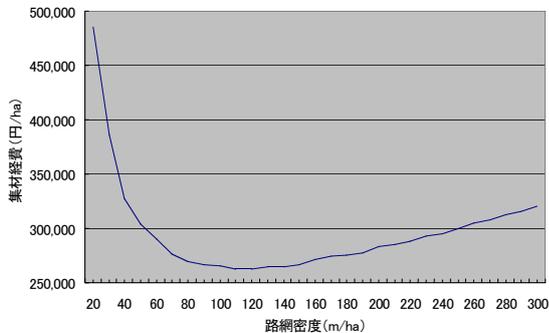
生産コストについては様々な要因が関与するものの、高性能林業機械作業については各地で調査が進み多くの事例が報告されており、判断材料は比較的豊富に存在する。このため、現場条件が把握できればかなりの精度で予測は可能であるが、作業員の経験、能力によって大きな差が生じる可能性もある。

また、高性能林業機械作業と林内作業車作業を比較した計算例のとおり、条件によっては両作業のコストに大きな差が生じず、高性能林業機械を使用すれば必ずしも低コストにならない場合もある。しかし、計算例では作業日数に2倍以上の差があり、要間伐森林が増加している現在、作業日数の短い高性能林業機械作業の必要性は高いと考えられる。

今回作成したシステムは限られた情報で予測できることを目標に作成しているため、簡単に収支の予測を行うことができるが、システムの使用方法を熟知し、可能な限り多くの情報を収集することでより高い精度の予測が可能となる。このため、林業普及指導員等への研修を実施し、システムの内容を周知させることが重要であると考えている。また、作業システムの追加等を行い、対応できる施業を拡大していくことが必要である。

システムの応用的な使用方法としては、想定する林分で想定した間伐作業を行う場合、最も効率的な路網密度を検討するなどが考えられる。

この例では、ヒノキ35年生、1.00ha、50%列状間伐、スイングヤード集材の集材経費（路網開設費＋集材費）をグラフに示したものである（図－40）。この結果から設定された条件では、最も効率的な路網密度は110～130m/haであることが示された（岡山県林業試験場場報 2007）。

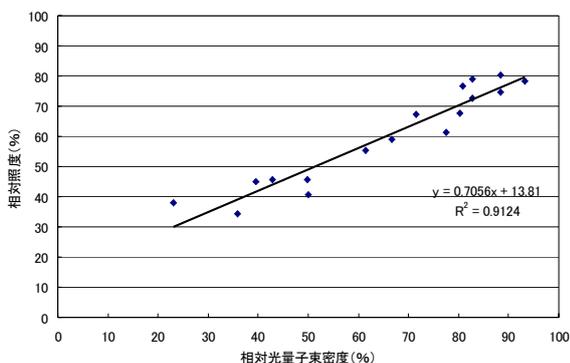


図－40 路網密度と集材経費

2. 低コスト更新作業法

(1) 光環境調査

今回の調査地は、帯状の調査地であったため、真上には上層木の林冠がなく開放地に近い状態であった。このため、直達光の状態によって値が大きく変化する相対光量子束密度が相対照度と同様に指標として使用できるかを検討したところ、相対照度と平均光量子束密度には高い相関が見られた（図－41）。



図－41 相対照度と相対光量子束密度

相対照度と相対光量子束密度の関係では、林冠が粗な明るい林床では5%程度、林冠が密な林床では10%程度、相対照度が相対光量子束密度を上回るが、両者の相関は非常に強い（村岡 2001）との報告がある。今回の調査では、直達光のあつた場合が多く、光量子束密度の値が大きくなり、相対光量子束密度の値が相対照度よりも大きい傾向であったが、両者の相関は高く、帯状の伐採跡地においても相対光量子束密度を指標として使用することが可能であることがわかった。

帯（列）内の光環境は、相対照度及び相対光量子束密度ともに中心部で高く、林縁部ほど減少していた。帯内の光環境については、帯の中央部で相対日射量が70～90%前後、林縁部付近では30%以下（谷口 2002）との報告があるが、20m伐区では林縁部であっても相対照度が50%を超えており、光環境は良好であると言える。しかし、10m伐区では中心部でも相対照度が50%未満、林縁部では40%未満であり、林縁部では植栽木の健全な生育には厳しい条件と考えられた。

帯（列）内の光環境は保残木の樹高、帯（列）幅、傾斜、傾斜方向によって影響を受けるため予測は困難である。

帯内の光環境を予測する方法としてはいくつかの報告（飯盛 1983、久保田ら 1996）があり、光環境が帯内の植栽木の成長とも対応しているとされているが、不確実な部分もあり、事例を積み重ねて一般的な技術として確立を進めることが重要である。

(2) 植栽木生育状況調査

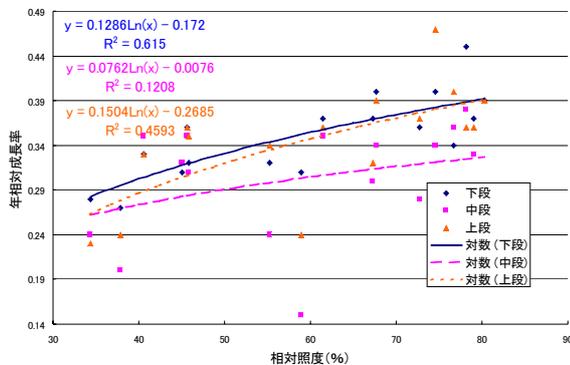
試験地 1、試験地 2ともにヒノキの平均根元径、平均樹高の成長は光環境と同様に中心部でよい結果となったが、平均値の差の検定を行ったところ、試験地 1の20m伐区では最も東端のポイントで、10m伐区では両端のポイントで、平均胸高直径、平均樹高ともに中心部と優位な差があった。試験地 2では最も下端のポイントで、平均胸高直径と平均樹高、最も上端のポイントで平均樹高が中心部と優位な差があった。このことから、現段階では中心部と比較して両端を除き植栽木に大きな成長差は生じていないと言える。しかし、帯状更新地における下木の成長は、帯中心部で大きく、林縁部付近で小さい（竹内 1995）、複層林における下木の重量成長は相対照度30～40%までは低下が少なく、それ以下で急速に低下する（堤 1994）、帯状伐採跡地では植栽木の成長を抑制しない植栽エリアは相対日射量40%以上の部分（谷口 2002）との報告がある。

試験地 1の10m伐区では、中央部でも保残木樹上と比較し、4割程度の光環境であり、今後、植栽木の健全な成長を期待するためにはこれ以下の伐採幅では帯の中央部分を除き困難であると考えられた。

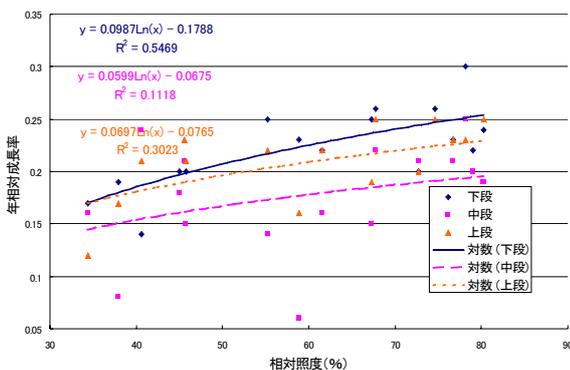
また、試験地 1における相対照度と平均根元径及び樹高の年成長率を検討した結果、帯の下段では相関が高かったが、上段でやや低く、中段で大きく低い結果となった（図－42、43）。これは、帯の中段は傾斜が急であり、腐植層が浅いことが原因と推測された。上段は保残木が樹高の低いヒノキであったことが光環境に影響したと考えられ、下段は水分条件や土壌条件が良好であり、特に光条件に反応が高かったと推測された。

ヤマザクラが有効なデータとならなかったのはニホンジカによる被害のためであり、ニホンジカの生育する場

所に広葉樹を植栽する場合は、忌避剤、防護ネット、ツリーシェルター等による食害防止対策が必要である。植栽木の保育にあたって坪刈りを実施していたが、このことが植栽木を目立たせることになり、食害防止の点ではマイナス効果であったと推察された。



図一42 相対照度と年相対成長率（平均根元径）



図一43 相対照度と年相対成長率（平均樹高）

(3) 下層植生調査

下層植生の状態については、3成長期から、光環境に対応した結果となった。このことから、試験地では3成長期の初夏には下刈りを実施する必要があると考えられた。

樹木は、一般的には全光量の30%以上で繁茂するとされている(只木 2000)が、10m伐区の間端でも相対照度は40%近くあり、下層植生の成長は衰えるものの下刈りが不要とは言いがたい。しかし、林縁部では2成長期後に比較して3成長期後のほうが下層植生が減少しているポイントがあり、また、相対照度50%程度の条件においては画一的な毎年の下刈りは必要でない(丹原 1998)との報告があることから、10m伐区ではほぼ全域、20m伐区においては両林縁部分において下刈り省略の可能性が示唆された。

(4) ポット苗植栽試験

ポット苗は裸苗よりも植栽効率が劣る(藤田ら 2000)との報告と異なり、ポット苗のほうが植栽の作業能率が

高い結果であったが、ジフィーポットはそのまま植栽でき、ポットの片付けに時間を要しないメリットがあるため、このような結果になったと考えられる。ポット苗には植栽時期が限定されないメリットはあるものの、運搬に労力が必要とされるため、路網の充実が不可欠な上、資材コスト等のデメリットがある。このため、ポット苗は大苗と带状更新と組み合わせて、下刈りの省力化をはかる(竹内ら 1992)ことがトータルコスト低減の上で重要であると考えられた。

V おわりに

林業の採算性は、材価の低迷や労働力の減少・高齢化によって低下し、森林所有者の施業意欲が減退してきている。この問題解決のため、高密度路網と高性能林業機械、さらには団地化を組み合わせた低コスト林業が推進されている。また、森林組合等林業事業者は施業経費の提案による森林所有者への施業意欲の喚起にも取り組んでいる。しかし、岡山県では高性能林業機械を始めとする大型機械をシステムとして使用し、大幅な低コストを成功させている林業事業者は多くない。また、長伐期施業や針広混交林造成に積極的に取り組む森林所有者も一部を除き少ないのが現状である。

岡山県には2004年の台風被害地の復旧のため、多くの高性能林業機械が導入されたが、被害地の復旧が落ち着く2008年以降はこれらの機械を活用した積極的な林産事業に取り組む必要があると考えられる。高性能林業機械を使って低コスト林業に取り組むためには、路網の整備はもとより、効率的な施業を実施することが必要である。このためには、列状間伐(带状択伐)の得失を十分把握し、収益性を確認しながら施業を推進することが必要であり、今回作成したシステムの現場での活用を期待している。また、带状(列状)伐採跡地には、植栽による二段林の造成や広葉樹による針広混交林の造成などが考えられるが、これらの方法については、現場の状況を十分把握し、取り組むことが必要であり、本論がその参考になることを期待している。

調査に対し、前田林業(株)前田多恵子氏には調査地及び試験地の提供をいただき、厚く感謝する次第である。

引用文献

- 藤田亮・池本省吾(2000). 森林応用研究. 9巻第1号:145-147
- 細田和男(2006)日本林学会関東支部論文集. 第57回:55-56
- 飯盛功(1983)带状伐採区での陽光把握の方法. 林業試験場研究報告. 第323号:41-46
- 井上源基(2001) 伐出コストを計算しよう. 機械化のマネジメント. 全国林業改良普及協会:139

- 久保田典子・藤本浩平・西村武二(1996)高知大学農学部
演習林報告第23号. 11-24
- 黒瀬勝雄(2005)スギ・ヒノキ人工林を広葉樹林に更新す
る技術の研究. 岡山県林業試験場研究報告. 第21号:1
-14
- 牧本卓史・西山嘉寛(2005)長伐期林の収穫予測システ
ムの開発. 岡山県林業試験場研究報告. 第21号:43-52
- 村岡裕由(2001)植物にとっての光環境をどのように測
るか. 第32回種生物学シンポジウム要旨
- 中島嘉彦(1996)タワーヤーダ, プロセッサによる伐出作
業. 機械化林業. N0515. 林業機械化協会:23-30
- 中島嘉彦・且良則(2000)小型タワーヤーダを用いた列状
間伐の間伐効果Ⅱ. 森林応用研究9巻第2号:19-22
- 岡勝・井上源基・小林洋司(2005)稼働実績を基にした高
性能林業機械の損料率の算定. 森林利用学会誌第20
巻第3号:183-189
- 岡山県林業機械化促進検討会(1995)岡山県に適した高
性能林業機械作業システム. 岡山県林業機械化促進
検討会報告書「おかやまの林業の機械化をめざして」
:28
- 岡山県林政課(1999)立木評価システムの使用について
. 立木評価の手引きー収入間伐を推進するためにー:
37-47
- 林業機械化協会(2005)伐出経費計算ソフトi-cost. 林業
機械化協会
- 林野庁研究・保全課(2007)低コスト林業の実践ー高性
能林業機械の活用と可能性ー
- 澤口勇雄(2001)林道密度と集材距離. 林業技術ハンドブ
ック. 全国林業改良普及協会:1394-1395
- 只木良也(2000)環境と森林. 森林環境科学. 朝倉書店:54
- 竹内郁雄・川崎達郎・森茂太(1992)低コスト育林の事例
(Ⅱ)ー下刈りを省いた帯状更新ー. 日本林学会大会発表
論文集. 第103回:457-458
- 竹内郁雄・川崎達郎(1995)低コスト林業の事例(Ⅳ)ー
帯状更新地におけるスギ・ヒノキの成長ー. 日本林
学会関西支部論文集4:125-126
- 丹原哲夫(1998)落葉広葉樹林およびアカマツ林を利用し
たヒノキの育成ー生育初期の結果ー. 岡山県林業試
験場研究報告. 第14号:51-62
- 谷口真吾(2002)帯状複層林皆伐帯における下木の成長お
よび林床植生の変化. 森林応用研究. 11巻第2号. :43-
47
- 堤利夫(1994)造林学. 文永堂出版:41
- 植木達人(2007)列状間伐の考え方. 列状間伐の考え方
と実践. 全国林業改良普及協会:25
- 梅田三樹男・辻隆道・井上公基(1982)標準功程表と立木
評価. 日本林業調査会

