

# 高性能林業機械を用いた列状間伐と定性間伐の比較試験

中島嘉彦、芦田素廣、旦 良則、山岡嘉助

## 要 旨

3箇所の列状間伐試験地を設定し、高性能林業機械を用いた作業を実施してその作業能率や作業特性、間伐の効果等を調査した。定性間伐との比較対照ではその作業能率が高いことが確かめられた。小型タワーヤードを用いた集材では平均集材距離と立木材積によってその作業能率が推定できることが確かめられた。プロセッサ造材作業は機種やオペレータの熟練度によって大きく能率が違うが、間伐でも事前に集材された材を一度に連続して処理すれば非常に高能率な作業が可能となり、能率の低い集材とプロセッサ造材を分離する「時間差作業」が有効なことが示された。列状間伐は定性間伐に比べて間伐の効果は劣るが、定性間伐と組み合わせるなど作業上の工夫によってその欠点を相当程度補えることがわかった。ほぼ同じ条件で、高性能林業機械を用いた列状間伐と小型運材車を用いた定性間伐を実施し経済性や労働量を比較したところ列状間伐によってコストダウンが図れ、労働生産性が高くなることがわかった。

キーワード：列状間伐、作業能率、高性能林業機械、間伐効果

## I. はじめに

高性能林業機械の能力を生かし、低コストで生産性の高い間伐法としてタワーヤードを用いた列状間伐が注目されている。この列状間伐は生産性が高いものの、定性間伐と比較して保育効果が劣るとされ一般には普及していない。

そこで、この間伐の効果や能率を実際に試験地を設けて比較検討し、その得失を明らかにすることを目的として試験を行った。

一般に本研究報告のような論文は、実験計画により試験内容を設定し、これからデータを収集しそれを統計処理して普遍的な事実をその中から見つける事に重点が置かれる。しかし、今回の調査は、その対象となった試験地は地形条件などの因子を人為的に設定できないし、また厳密な意味の比較対照や繰り返しを設定することはできなかった。このため、これらの調査結果を基に標準的な作業能率を提示することはできなかった。なるべく観察結果を記述し、生きた考察とするようつとめた。また、これらの作業能率は作業者の熟練度に大きく左右されるが、この熟練度は経験年数や年齢のみで客観的に評価することができないので、筆者らの平成4年から7年間の調査経験を基に大まかに初心者と一般的技量および熟練者に区分した。

高性能林業機械の普及や開発改良の進展はめざましく、機械化に対する試験研究調査データの提供は迅速でなくてはならないので、今回は不完全ながら調査途中のデータも含めてとりまとめたため稚拙な部分も多いがご理解をいただきたい。

## II. 試験の概要

### 1. 試験地の設定と調査の概要

岡山県北部の苫田郡加茂町、勝田郡奈義町及び真庭郡新庄村の3箇所に試験地を設けた。

成安試験地

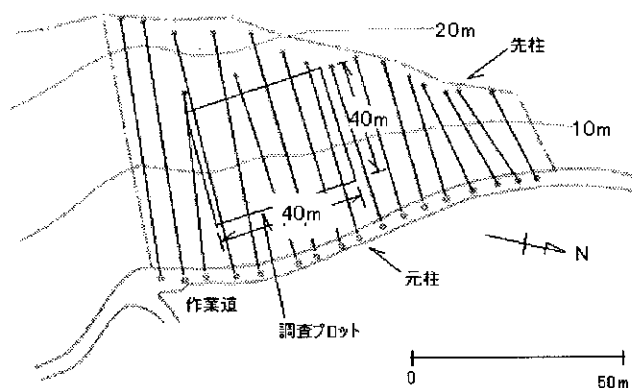


図-1 成安試験地概要図

苫田郡加茂町成安字観音堂840-1、8林班に小班38、私有林。幅約3.0mの作業道に添った0.50haの35年生のヒノキ（一部スギ）林。平均直径14.0cm、平均樹高15.0m、平均立木幹材積0.12m<sup>3</sup>/本、2,600本/haの傾斜約17度の比較的平坦な林分である。植栽列を集材線として3残1伐になるように平均集材線間隔5.7mの集材線17本を設定し列状間伐を行った。集材スパンは24~67m、平均集材距離は21.5mであった。1,300本の立木のうち440本が間伐対象となり本数間伐率33.8%であった。作業計画の樹立と毎木調査や測量は当林業試験場の林業専門技術員が行い、伐木は一般的な技量を持つ近隣の森林組合作業班6名が行った。プロセッサ及びタワーヤード作業は当場の林業専門技術員を中心とした臨時の3名の作業班を編成して行った。これら機械関係の作業者の技量は中心となるオペレータはある程度の熟練者であるが全体の技量は専門業者としては初心者である。

ここでは、人力伐倒、タワーヤード集材、プロセッサ造材の作業能率を検討した。また、精密な樹幹位置図を基に、樹冠占有面積の変化をシュミレーションにより検討した。

使用機械はタワーヤーダがリョウシンRME-200T、プロセッサがコマツPC60+シングウCP30、補助的にフォワーダのリョウシンRM8WD-6HGを使用した。

関本試験地

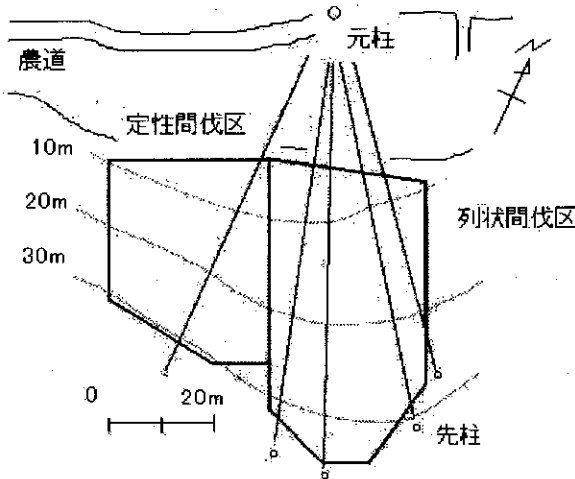


図-2 関本試験地概要図

勝田郡奈義町関本字ハンカサコ1442、31林班ほ小班3、林業公社造林地。農道の終点から約30m離れた30年生のヒノキ林に列状間伐区と定性間伐区の2箇所を設けた。

列状間伐区は面積0.13haで平均胸高直径20.0cm、平均樹高13.7m、平均立木幹材積0.21m<sup>3</sup>、立木密度1,408本/haとなっていた。ここでは平行な集材線が設定できないのでタワーヤーダを1箇所固定した放射状の4本の集材線を設けた。集材線のスパンは83m~103m、平均集材距離63mであった。列状間伐区には183本の立木がありそのうち42本を伐採し、本数間伐率22.9%となった。これは定性区が間伐率20.6%になるように選木されたためこれになるべく合わせるよう集材線上の支障木を主に選木したものである。

定性間伐区は面積0.10haで平均胸高直径20.1cm、平均樹高13.7m、立木密度1,310本/haとなっていた。ここでは20%の間伐率を目標に選木を行い、立木131本のうち27本を伐採し本数間伐率20.6%となった。区域内に集材線を1本(スパン76m、平均集材距離30m)設けこれにより集材を行った。

両区とも林内で4名による伐木造材を行い3mあるいは4m材で3名作業のタワーヤーダで搬出した。これらの選木は一般的な技量の当場の林業専門技術員、その他の作業はすべて熟練したN森林組合の作業班員が行った

両区とも人力伐倒、人力造材、タワーヤーダ集材の作業能率を調査した。使用機械はタワーヤーダがリョウシンRME-200T、補助的作業のフォワーダがリョウシンRM8WD-6HGであった。

新庄試験地

真庭郡新庄村三郎カ平ル2421-1、26林班い小班26,27。幅約3.0mの作業道に添った1.11haの39~42年生のヒノキ(一部スギ)林。平均直径20.8cm、平均樹高15.5m、平均立木幹材積0.23m<sup>3</sup>、1,640本/haの傾斜約16度の比較的平坦な林分をほぼ2等分し列状間伐区と定性間伐区を設けた。

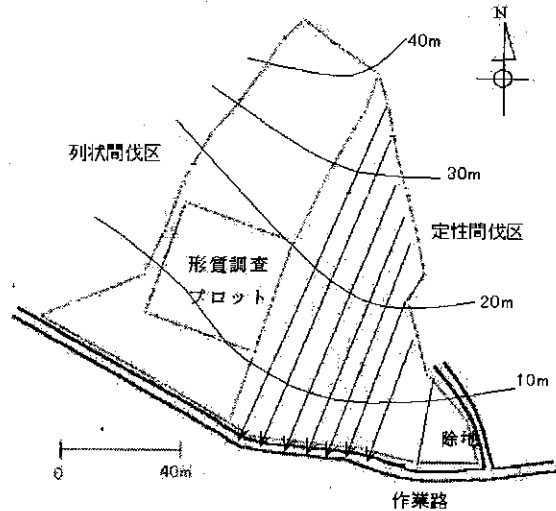


図-3 新庄試験地概要図

列状間伐区は面積0.515ha、立木本数884本のうち245本を伐採し、本数間伐率29.0%となった。平行な集材線を7.5m間隔に7本設け集材線の両側各1.25m以内の立木を伐採する列状間伐を行った。集材スパンは42~117m、平均集材距離は44.9mであった。伐倒した材は下げ荷で集材し作業道べりに集積し、集材完了後プロセッサで造材しグラップルローダで作業道わきへ集積した。この列状区での作業のうち、選木は一般的な技量の当場の林業専門技術員、伐採は4名、タワーヤーダ集材は3名の熟練したT森林組合の作業班員、グラップル作業はM森林組合職員1名が行い、プロセッサ作業はこの機械の所有者である熟練したM林業のオペレータが行った。ただし、作業計画は列状間伐が一般的でなく作業班が自主的に作業を行うことができないので、筆者らが計画したものである。

定性間伐区は面積0.596ha、立木本数977本のうち306本を伐採し本数間伐率32.0%となった。林内で伐木造材されたものを2台のウインチ付き小型運材車で集材し作業道わきに集積した。この選木は熟練したM森林組合職員、その他の作業はすべて熟練したM森林組合の作業班員が行い、伐木から片づけまでこの地域で行われている一般的な作業法を用いた。

列状間伐区では、人力伐倒、タワーヤーダ集材、プロセッサ造材、定性区では人力伐木造材、小型運材車集材の作業能率を調査した。また、両区で立木の樹幹形状の良否を調査し間伐方法と不良木の除去効果を検討した。使用機械はタワーヤーダがリョウシンRME-200T、プロセッサがコマツPC75UU+イワフジGP25T、ウインチ付き小型運材車はチクスイBFY904:1,000kg積載、カワシマ 型式不明:850kg積載の2台、グラップルローダはコマツPC60固定式グラップル、補助的にフォワーダのリョウシンRM8WD-6HGを使用した。

2. 調査内容

1) 作業能率調査

各試験地において時計による時間観測とVTRを用いた各種作業の時間観測を行うとともに、調査対象作業につい

ては作業後、作業員とのミーティングを行い、作業内容について聞き取り調査を行った。なお、以下の作業能率の検討においては、時間観測によって得られたデータを基に1日の実作業時間を6時間として1日の作業能率を算定した。

2) 樹冠占有面積の変化と調査間伐後の生育

成安試験地において40m×40mの正方形の調査プロットを設け、この中の立木全てに番号を付け胸高部の樹幹中心位置をコンパスで測量し立木位置図を作成するとともに胸高直径をその後も毎年測定した。そして、この調査プロット内を1辺25cmのメッシュに区切り(160個×160個)、これを単位として各立木の占有面積の推定に用いた。各立木ごとの占有メッシュは実際の樹幹投影図を作成しそれを基に決定すべきであるが、多くの立木の樹幹投影図を正確に測定することはその膨大な作業量から困難であるので、その代替として各立木の位置と胸高直径により占有メッシュを推定した。

これは図-4に示すようにあるメッシュと周りの立木との距離(立木の太さで重みをつけたもの)を計算し、もっとも近い立木にそのメッシュが属すると考えるものである。

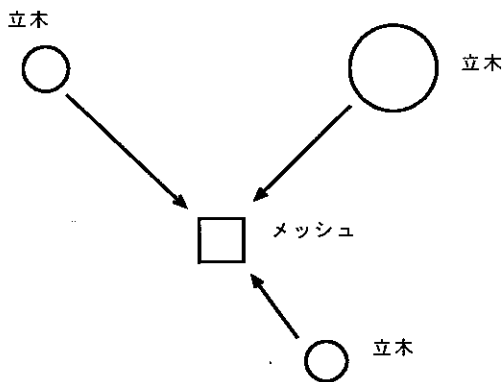


図-4 立木とメッシュの距離

このようなコンピュータシミュレーションについては、より高精度で各立木の樹冠の形状と生育による変化を定量的に求めることができる水永(1998)<sup>1)</sup>の方法があるが、計算に地形と樹冠相互の立体的位置関係を知るため、各立木の地際の樹幹中心部の位置(x, y, z)と樹高データが必要であり手軽に適用できない。そこで、今回は間伐の効果

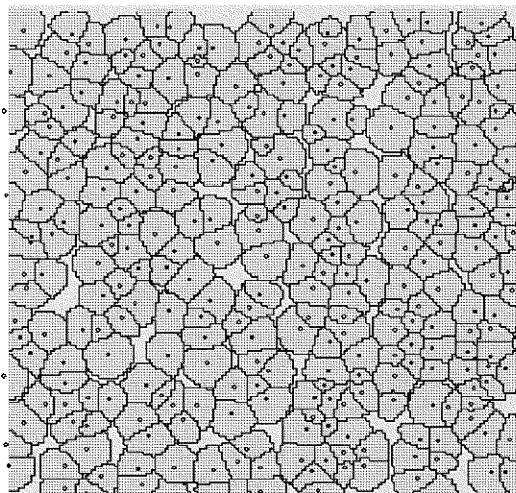


図-5 列状間伐後の立木の占有面積(樹冠投影図)

を、プロットの傾斜を考慮しない平面上の占有面積のみに注目した簡易な方法で解析した。

一般に、間伐効果は、残存木がその枝葉を展開できる面積が増加したかどうかで評価できる。ここでは成安試験地の立木位置図のデータを用い図上で選木する方法で間伐前後の立木の占有平面の変化をメッシュ法で推定し、占有面積が増加した木は間伐効果があったと考えた。このようにして求めた列状間伐後の各立木の樹幹占有状況を図-5に例として示す。なお、この方法の詳細は「森林応用研究第8号(日本林学会関西支部論文集)」に掲載予定である。

Ⅲ. 結果と考察

1. 作業能率

1) 伐倒及び林内での伐木造材

表-1 伐倒および伐木造材の作業能率

試験地名	伐倒のみ		伐木造材	
	列状	定性	列状	定性
成安試験地	8.4	-	-	-
関本試験地	-	-	6.2	9.2
新庄試験地	29.4	20.6	-	12.1
	127.8	89.6	-	-

注) 上段は材積m<sup>3</sup>/人・日・下段は本数で本/人・日

・列状間伐の伐倒作業

表-1に示すように列状間伐の伐倒のみでは新庄試験が成安試験地に比べて材積で3.5倍、本数で1.8倍程度能率が高かった。これは成安試験地が立木密度が高く掛かり木が多発したため、1人作業では伐倒ができず2人作業が必要であったこと、成安試験地の作業対象木(0.12m<sup>3</sup>/本)が新庄試験地の作業対象木(0.23m<sup>3</sup>/本)より小さかったためと考える。この場合の伐倒方法は成安試験地では2人組でチルホールあるいはロープを用いて山側へ伐倒し、新庄試験地では1人でくさびを用いて山側へ伐倒したものである。

列状間伐と定性間伐の伐倒作業能率の比較については、作業対象や作業場所の条件がほぼ等しい新庄試験地で調査を行った。ここでは列状間伐が材積、本数とも定性間伐の1.43倍の能率となった。列状間伐の能率がもう少し高いのではないかと予想したが、山側への伐倒で方向を規制するためにくさびを打ったり、掛かり木の処理に時間がかかったりしたためこのような結果になった。

・伐木造材作業

列状間伐と定性間伐の伐木造材作業の比較を関本試験地で行ったところ列状間伐が定性間伐の67%と能率が低かった。これは列状間伐は伐倒方向が一定で伐倒木が重なり枝払いなどその後の作業がやりにくいが、定性間伐の場合は伐倒方向が比較的自由に伐倒された材が重なりにくく作業がやりやすかったためであった。

定性間伐で林内で伐木造材をした関本試験地と新庄試験地の場合、1本当たりの材積が大きく、足場がよく作業がやりやすかった新庄試験地が関本試験地の1.32倍と能率が高かった。

2) 集材作業

表-2 集材作業能率

試験地名	列状	定性	備考
成安試験地	2.8	-	全幹集材
	23.3	-	
関本試験地	2.9	2.0	短幹集材
	-	-	
新庄試験地	9.4	3.0	列状：全木集材 定性：短幹集材
	42.7	-	

注) 上段は材積で $m^3/人 \cdot 日$ 、下段は本数で本 $/人 \cdot 日$ 材積は幹材積、ただし下線をつけたものは丸太材積。新庄試験地の定性間伐は小型運材車による1台2人作業、それ以外はタワーヤードによる3人作業。

・列状間伐の集材能率

3箇所の試験地で2.8~9.4 $m^3/人 \cdot 日$ と大きく能率が異なった。成安試験地は全木であったが、作業者が初心者であったこと、1本当たりの材積が0.12 $m^3$ と小さかったため能率が低かった。関本試験地は列状間伐であったが、林内で造材したため材が分散し能率が低下していた。

この小型タワーヤードの作業能率について、中島ら(1996)は今回の調査と同じ機種における集材距離と時間当たり集材回数との関係の試算を示している。今回の例のうち、時間当たりの集材回数を調査した関本試験地と新庄試験地の例ををこれを当てはめ、実際の時間当たりの集材回数と比較した。

この表-3に示すように、1本当たりの材積や集材距離を考慮しない見かけの能率は大きく異なっているが、集材距離によって決まる時間当たりの集材回数は試算値とそれほど変わらないことがわかる。つまり、タワーヤードの作業能率をこれらの事例のように各種の因子を考慮せず単純に時間当たりの材積で表した能率で評価してもあまり意味がないといえる。

表-3 タワーヤードの時間当たり集材回数  
— 試算値と測定値の比較 —

試験地	試算値	実測値	備考
関本試験地	10	13.4	30サイクル測定
新庄試験地	12	14.6	50サイクル測定

注) 単位は集材回数/時間、試算値は中島ら(1996)の報告のグラフからの読みとりである。

・列状間伐と定性間伐の集材能率の比較

林内で伐木造材し、短幹で集材した関本試験地では横取りが必要な定性間伐の能率が列状間伐の69%と低かった。また、地形条件のほぼ同じ新庄試験地では定性間伐は短幹材を小型運材車、列状間伐は全木をタワーヤード集材であるので、直接比較はできにくい。定性間伐では傾斜が緩く良好な作業条件であるにもかかわらず全木で集材した列状間伐の31%しか能率が上がらなかった。

3) プロセッサ造材作業

プロセッサを用いた造材作業は成安試験地と新庄試験地の2箇所で行われた。この結果を表-4に示す。

この2箇所の作業能率は材積で7.19倍、本数で3.93倍も大きく異なっていた。これは成安試験地ではオペレータが

表-4 プロセッサ造材の作業能率

試験地	材積	本数
成安	2.1	17.5
新庄	15.1	68.7

注) 材積は $m^3/時間$ 、本数は本 $/時間$



図-6 集材された材を処理するプロセッサ

全くの初心者で、プロセッサ自体の枝払い能力も低いものであった。これに比較して新庄試験地ではオペレータは熟練者でプロセッサも最新の高性能な機種であったため機械の能力をフルに発揮したと考える。

この新庄試験地の作業能率は林野庁のプロジェクト研究(1998)の結果からまとめられたプロセッサの標準工期から見ても高いもので、間伐といえども材が事前に集積されプロセッサがフルに能力を発揮すれば非常に能率の高い作業ができることを示している。

特にこの新庄試験地ではプロセッサが集材された後まとめて作業を行ったので集材待ちがなく非常に合理的な作業であった。一般の架線系の集材作業では張り替えの手間を省くため元柱をなるべく移動させないようにすることが多く、このため材がたまりすぎて処理が困難になることがしばしば見られる。この場合は材がたまらないようにプロセッサで順次処理するが、そうすれば逆にプロセッサの待ち時間が多く合理的な作業とならない。このように、この集材を先行させる「時間差作業」の場合材を集積させる場所がないことが多い。

今回のように架設撤去の簡単な小型タワーヤードを用いて多くの集材線を設けることにより材を分散して集積すれば上記のような材のたまりすぎによる問題は解決され合理的な作業とすることができる。

このことは間伐のみでなく、一般の主伐作業にもいえることで、高能率であるがその能力をフルに発揮させにくいとされるプロセッサの活用法として、材の分散集積と時間差作業は大変有効なものである。

この材の集積について、列状間伐の場合1本の集材線で集材される全木をプロセッサで処理できる範囲にまとめて集積できるかが懸念されるが、新庄試験地のようにスパンが100m程度、伐採幅が2.5m程度であれば全く問題なかった。小型タワーヤードの集材距離程度であれば伐採幅が広くなればその分集積できる広さも広がるので問題はないと考える。(図-7)

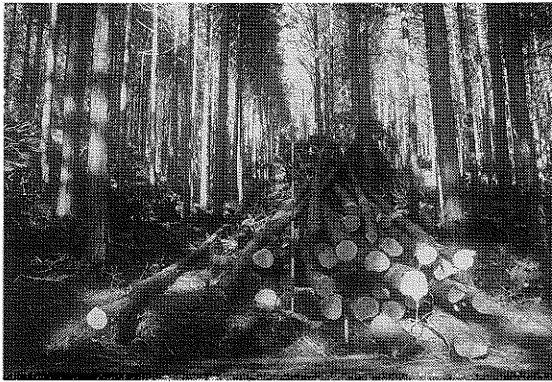


図-7 列状間伐で集積された材

2. 間伐効果

1) 列状間伐と従来の定性間伐の樹幹占有面積による効果比較

成安試験地についてメッシュ法を用いて推定したところ、列状間伐の間伐効果は定性間伐にはいくぶん劣ることがわかった。

図-8に残存木の占有メッシュ数の増加割合の区分ごとの立木本数を示す。これによると、列状間伐では、占有メッシュ数の全く増加しない立木、つまり間伐効果の及ばなかった立木はプロット内の残存木297本のうち61本で、従来の非列状間伐の15本より多い。

しかし、当地域の一般の森林所有者がイメージする模式的な3残1伐の列状間伐、つまり植栽列のうち3列を残して1列を伐採する方式で考えられる残存木の3分の1、つまり297本の3分の1(99本)より少なく、より多くの残存木が間伐の恩恵を受けていることになる。

また、一つの例として、列状間伐の集材線を利用して集材線下のみでなく近傍の少数の残存木(15本、残存木の5%)の間伐を同時に実施すれば、間伐の効果を受けない残存木は従来の間伐とほぼ変わらず、列状間伐の欠点をかなり補うことができることがわかった。

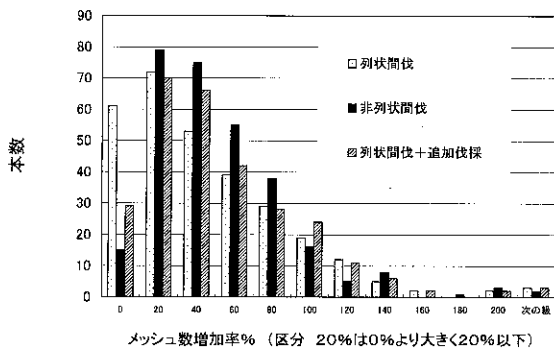


図-8 占有メッシュ数の増加割合の頻度分布

2) 占有面積の変化と間伐後の成長

4 成長期経過後の毎木調査によると、間伐後の成長量(胸高断面積の増加)と間伐による占有面積の増加については、占有メッシュが増加した立木ほど太くなっている傾向は見られたが、明確ではなかった。(図-9)

これは、この占有面積の推定が水永(1998)<sup>1)</sup>の方法のよ

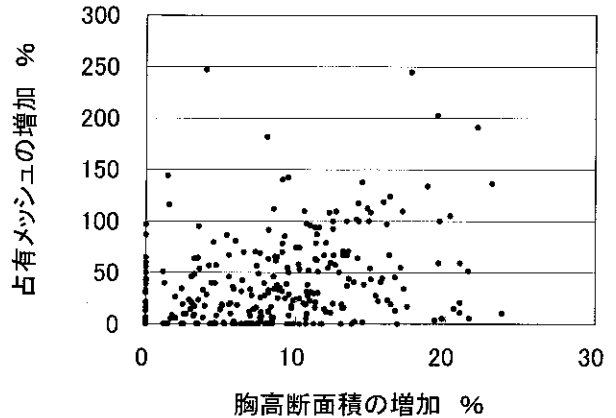


図-9 占有メッシュ数と胸高断面積の増加割合の関係(1998年10月)

うに各種のパラメーターを考慮しなかったこと、毎木調査を伐採後の短期に実施したためではないかと考えられる。

3. 不良木の除去効果

新庄試験地において、立木の形質を曲がりや傷がなく採材可能かどうかを基準に、「普通木」、「採材可能木：1玉採材可能」、「不良木：採材不可」に分けて調査プロットを設けて調査した。調査プロットは定性間伐区のほぼ中央に40m×40m、0.16ha設定した。

列状間伐では機械的に位置のみで間伐対象が決定されるので間伐前と間伐後ではこれらの木の割合はほとんど変わらない。定性間伐では、選木方針によってこれは変わるが今回は「普通木」が81.9%から93.0%に増加し、利用対象外と考えられる「採材不可能木」、「不良木」が18.1%から7.0%へ減少し不良木の除去効果があった。(図-10)

列状間伐はこのような不良木の除去効果がないので、残存木をこの非列状間伐程度の不良木の除去効果と同様にするためには、残存木中の「採材可能木」、「不良木」のうち2/3程度は除去する必要がある。

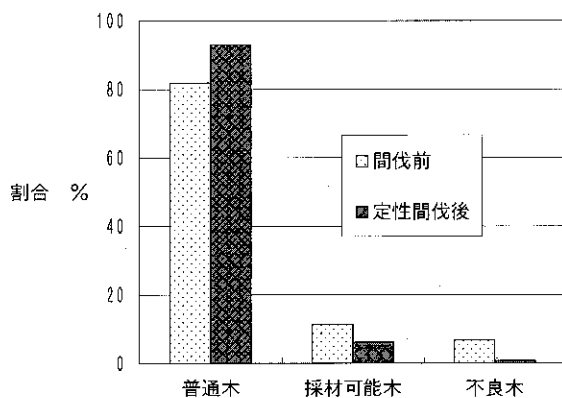


図-10 不良木の除去効果の比較

4. 経済性の比較

列状間伐の作業能率が定性間伐より高いことは、関本試験地、新庄試験地の調査で確かめられたが、その経済性について、新庄試験地のデータで検討した。

実際の作業人工数などから生産コストを計算したのが表-5である。これによると定性間伐より列状間伐の方がコストが低くなっていることがわかる。また、列状間伐は機

表-5 列状間伐と定性間伐の生産コスト等の比較  
(新庄試験地)

項目	列状間伐	定性間伐
総人工数	9.9人	31.0人
総人件費	152,801円	659,678円
立木幹材積	53.9m <sup>3</sup>	73.4m <sup>3</sup>
丸太生産量	25.9m <sup>3</sup>	44.5m <sup>3</sup>
売上高	636,562円	1,008,197円
総経費	457,147円	1,064,991円
m <sup>3</sup> 当たり経費	17,651円	23,933円
労働生産性	2.62m <sup>3</sup> /人	1.44m <sup>3</sup> /人
人件費比率	33%	62%
機械経費比率	54%	21%

注) この数値は聞き取りを中心にまとめたもの。

械関係の経費が多いため、作業能率が高い割には大幅なコストダウンにはならなかったが十分間伐に適用できることを示したものとなった。ここで両者を比較する上で重要なのは生産経費にしめる人件費の割合である。列状間伐は33%でこれは定性間伐(約62%)の53%と低い割合になっていた。今後の労務の不足を考えると、この労働生産性の高い点は今後の間伐推進に大きなメリットとなるであろう。

なお、この経済性については「立木評価の手引き：芦田素廣ら1999年3月、岡山県農林部、岡山県林業試験場」で詳しく検討されている。

#### IV. ま と め

間伐はその目的に応じて立木の生育をコントロールする施業であり、列状間伐が高性能林業機械の能力を生かせるとはいえ、竹内ら(1975)や水永(1998)<sup>2)</sup>が指摘するとおり、間伐方法としては完全なものではない。しかし、この方式のメリットを生かし、施業的な工夫を加えることにより新しい間伐体系が生み出せるのではないかと考える。また、列状間伐の作業能率の高さは今回の調査や阿部(1993)らの調査でも認められているとおり、タワーヤードなど高性能林業機械の活用方法として有望と考える。

そのうえ、再度の間伐や小面積の皆伐時に改めて集材線敷を伐採確保する必要が無く「林地を攪乱しない高密度作業路」としてその後の各種作業に長期間利用することができる。

しかし、列状間伐による伐出コストの低減を訴えるのみでは一般の森林所有者にとって間伐を実行しようというきっかけを与えることはできない。一般の零細な所有者の森林の所有目的は財産保持的な性格が強いので、その財産価値を間伐によって低コストで高めることができるという点を訴える必要があると考える。

最後に、試験地を快く提供していただいた、加茂町の平山氏、岡山県林業公社、新庄村、試験地の設定、調査等に現地に何度も足を運んでいただいた新庄村役場の建部氏、真庭森林組合新庄支所の山田支所長および当林業試験場の技術員各位に感謝いたします。また、制約の多いなかで試

験の趣旨をご理解いただき、各種作業に取り組んでいただいた向井林業の向井氏、西粟倉村森林組合、富村森林組合、真庭森林組合の各作業班の方々に感謝いたします。

#### 引 用 文 献

- 阿部鴻文・猪内正雄・佐々木幸敏(1993)：モービルタワーヤードによる列状間伐集材作業の生産性とコスト、日林論 104:849~850  
 水永博己(1998)<sup>1)</sup>：林冠動態モデルを用いた間伐方法の評価に関する研究、岡山県林業試験場研究報告 14:1~50  
 水永博己(1998)<sup>2)</sup>：間伐が樹冠の安定性に及ぼす影響の予測、鹿児島大学農学部学術報告 48:23~30  
 中島嘉彦・玉木正夫(1996)：小型タワーヤードの集材能率と経済性—実証試験結果からの試算—、日林関西支論 5:25~28  
 林野庁(1998)：大型プロジェクト研究成果・地域に適合した林業機械作業システム研究、70~76  
 竹内郁男・只木良也・蜂谷欣二・川原輝彦・佐藤明(1975)：ヒノキ30年生林分の間伐試験—列状間伐を中心として—、林試研報 272:141~155