

高性能林業機械による列状間伐の生産性評価に関する研究

2002年度～2004年度（県単）

鈴木祥仁 竹内 豊
山本勝洋 熊川忠芳*

要 旨

タワーヤーダ、プロセッサ等の高性能林業機械を使用して列状間伐を実施した結果、従来の間伐より生産性が向上したが、主要因はプロセッサ使用による造材工程の能率向上によるものであった。列状間伐ではタワーヤーダの架設撤去に要する時間が作業時間の大きな割合を占めるため、1列当たりの生産量を一定量確保することが必要であるとともに、架設撤去の時間短縮が今後の課題であると考えられた。列状間伐後の残存木の成長量は、間伐率が同じ定性間伐の場合と違いがなかった。残存木の枝張りは伐採列方向に伸長し樹冠の偏りが大きくなったが、間伐後の年輪成長の偏りはなく、偏心については問題ないことが明らかになった。損傷木として形成層が失われ傷跡が残る程度のものが残存木の5%から15%の範囲で発生した。損傷を受けた木は樹皮の巻込みによって傷の面積は縮小しているものの、材の内部の変色、腐朽が広がっている事例が認められた。施業の違いによる下層植生の状態は、林内相対照度が関係したが、列状間伐と定性間伐との間に明らかな差は認められなかった。

I 目的

木材価格の低迷している状況において、一層の木材生産性の向上が求められている。今までの研究により、列状に間伐し、高性能林業機械を使用して集材・造材することにより、生産性向上が図られることが解明された(1)が、主伐までの収益や残存木の成長について不明な点があり、間伐推進の妨げになっている。従って、列状間伐の生産性を調査し収支を解明するとともに、残存木の成長特性及び損傷・気象害等の調査を実施し、列状間伐後の林分動態を明らかにする。

II 方法

1. 列状間伐の生産収支の解明

(1) 列状間伐と従来型間伐の生産性・収支の調査 —試験林—

南設楽郡鳳来町上吉田にある森林・林業センター試験林（以下試験林）において1997年度、1998年度に間伐を行った林分（以下試験林97区、試験林98区）について、第2回の間伐を行った（図-1、2、表-1）。試験林97区では第1回の間伐で列状の植栽列（列間隔約2m）に沿って1列伐3列残の列状間伐が行われたが、その半分の区域について残存列の中間1列を2003年1月に間伐した。伐木はチェーンソーで上方に伐倒し、タワーヤーダ（リョウシン200T）で下げ荷全木集材したのち、プロセッサ（イワフジGP25A）を使用して造材した。

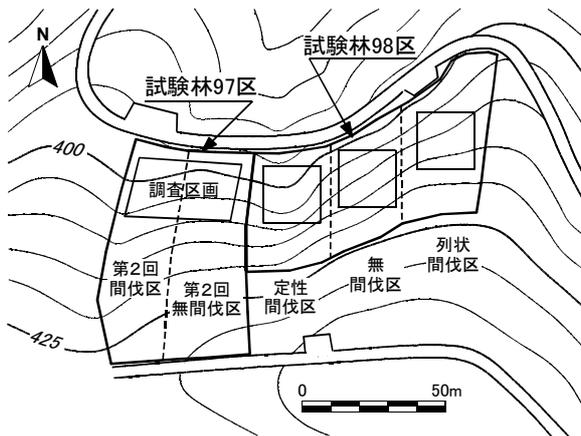
試験林98区は第1回の施業内容によって、定性間伐区、無間伐区、列状間伐区に区分されている。2003年12月から2004年3月にかけて定性間伐区では定性間伐を、列状間伐区のうち残存列3本では

Yoshihito Suzuki, Yutaka Takeuchi, Katsuhiko Yamamoto : Evaluation of line-thinning productivity using high-efficiency forestry machines.

*2005年3月退職



図－1 調査地位置図

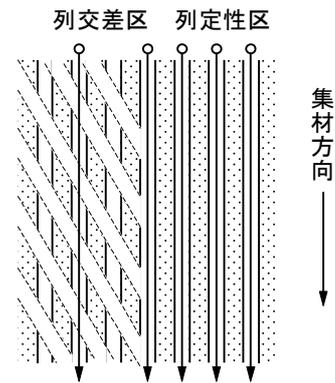


図－2 試験林97区・98区平面図

定性間伐を（以下列定性区）、残存列4本では第1回と30°列方向を変えた列状間伐を行った（以下列交差区）（図－3）。定性間伐区では伐木・造材をチェーンソーで行い、タワーヤーダ（リョウシン200T）で短幹集材した。列状間伐区ではチェーンソーで伐倒した後、タワーヤーダを使用して列定性区では3本、列交差区では2本の索張りを第1回

表－1 試験林97区、98区の概要

| | 試験林97区 | 試験林98区 |
|----------|--------|--------|
| 樹種 | ヒノキ | ヒノキ |
| 林齢(2004) | 47年生 | 42年生 |
| 面積 | 0.56ha | 0.46ha |



図－3 試験林98区第2回間伐模式図

伐採列に行い、下げ荷全木集材し、プロセッサ（イワフジGP25A）で造材した。

（2）列状間伐と従来型間伐の生産性・収支の調査 一県内事例一

県内で1997年度から1999年度にかけて高性能林業機械を使用して行われた間伐の生産性について分析を行った（表－2）。間伐方式は1か所を除き列状間伐で、集材にはタワーヤーダまたはスイングヤーダが使用された。造材は列状間伐においてはプロセッサを用いる場合がほとんどであったが、一部においてプロセッサの能力不足のため、土場でチェーンソー造材を行った事例があった。

2. 列状間伐残存木の成長特性・被害実態の調査

（1）残存木の成長量調査

試験林97区及び98区において残存木の胸高直径成長量を調査した。試験林97区では調査区画内の立木の胸高直径を2002年11月と2004年12月に測定し、1999年1月の測定データと併せて成長量を分析した。試験林98区では各施業区の全立木の胸高直径を2004年12月に測定し1998年12月からの成長量を比較した。

また額田郡額田町大字大代地内の1998年度に間伐を実施した林分（以下大代調査地）においても調査を行った（図－1）。大代調査地では3残1伐区、2残1伐区、1残1伐区、定性間伐区が設定されている（表－3）。各調査区について、胸高直

表－2 県内調査結果一覧

| 調査地 | | | 地況 | | | | 林況 | | | | |
|-------------|------------|---------|------|----|----|--------|--------------|------------|------|------|-------|
| 市町村* | 施業年月 | 作業主体* | 面積 | 地形 | 傾斜 | 平均集材距離 | 樹種 | 林齢 | 樹高 | 胸高直径 | 林分密度 |
| | | | ha | | 度 | m | | 年 | m | cm | 本/ha |
| 1 鳳来町上吉田 | 1998/3 | 鳳来町森林組合 | 0.13 | 平衡 | 34 | 33 | ヒノキ | 36~40 | 13.3 | 17.6 | 2,307 |
| 2 足助町 | 1999/11 | 旭町森林組合 | 0.54 | 凹 | 21 | 29 | スギ90%,ヒノキ10% | スギ49,ヒノキ85 | 20.9 | 30.3 | 694 |
| 3 設楽町大字松戸 | 2000/2 | 設楽町森林組合 | 0.85 | 平衡 | 12 | 31 | スギ | 30 | 23.1 | 29.1 | 884 |
| 4 鳳来町上吉田 | 1999/3 | 鳳来町森林組合 | 0.19 | 平衡 | 20 | 38 | ヒノキ | 36 | 13.3 | 17.5 | 1,873 |
| 5 下山村大字立岩 | 1999/3 | 下山村森林組合 | 0.17 | 凹 | 20 | 30 | スギ5%,ヒノキ95% | 41 | 18.7 | 21.4 | 1,533 |
| 6 下山村大字立岩 | 1999/10 | 下山村森林組合 | 0.17 | 凹 | 12 | 39 | スギ35%,ヒノキ65% | 41 | 19.9 | 24.1 | 1,300 |
| 7 足助町大字御内蔵連 | 1999/1-2 | 下山村森林組合 | 1.38 | 凹凸 | 24 | 45 | スギ15%,ヒノキ85% | 45 | 13.5 | 19.1 | 1,126 |
| 8 足助町大字御内蔵連 | 1999/1-2 | 下山村森林組合 | 0.83 | 凹凸 | 19 | 40 | スギ30%,ヒノキ70% | 45 | 17.8 | 23.3 | 829 |
| 9 下山村大字立岩 | 1999/10-11 | 下山村森林組合 | 1.54 | 凹凸 | 14 | 32 | ヒノキ | 41,54 | 19.2 | 22.5 | 1,410 |
| 10 稲武町大字桑原 | 2000/4-5 | 稲武町森林組合 | 0.16 | 平衡 | 21 | 42 | ヒノキ | 34 | 15.6 | 18.2 | 1,781 |

*施業当時の名称

| 伐採方式 | | | | 作業方法 | | | | | |
|-------|-------|----------|------------|--------|------------------------|-------------------|------|-----|-------|
| 伐採形状 | 伐採率 % | 伐採間隔 | 列数 索張数 列 本 | 伐倒 | 集材 | 造材 | 伐倒方向 | 荷方向 | 集材方式 |
| 1 定性 | 36 | | 2 | チェーンソー | タワーヤーダ(リョウシン200T) | チェーンソー | — | 下 | 短材 |
| 2 列状 | 21 | 6m残3m伐 | 7 1 | チェーンソー | スイングヤーダ(コマツHC-30)、クレーン | チェーンソー(HC-30補助) | 上下 | 下 | 全幹、短材 |
| 3 列状 | 33 | 4m残2m伐 | 18 18 | チェーンソー | スイングヤーダ(コマツHC-30) | チェーンソー(HC-30補助) | 下 | 上 | 全幹 |
| 4 列状 | 33 | 2列残1列伐 | 8 7 | チェーンソー | タワーヤーダ(リョウシン200T) | プロセッサ(KETO-51) | 上 | 下 | 全木 |
| 5 列状 | 33 | 2~3列残1列伐 | 4 4 | チェーンソー | タワーヤーダ(リョウシン200T) | プロセッサ(イワフジGP-25A) | 上下 | 下 | 全木 |
| 6 列状 | 33 | 2列残1列伐 | 4 4 | チェーンソー | タワーヤーダ(リョウシン200T) | プロセッサ(イワフジGP-35A) | 上下 | 下 | 全木 |
| 7 列状 | 33 | 2列残1列伐 | 10 10 | チェーンソー | タワーヤーダ(リョウシン200T) | プロセッサ(イワフジGP-25A) | 上下 | 下 | 全木 |
| 8 列状 | 33 | 2列残1列伐 | 9 9 | チェーンソー | タワーヤーダ(リョウシン200T) | プロセッサ(イワフジGP-25A) | 上下 | 下 | 全木 |
| 9 列状 | 28 | 2~3列残1列伐 | 34 34 | チェーンソー | タワーヤーダ(リョウシン200T) | プロセッサ(イワフジGP-35A) | 上 | 下 | 全木 |
| 10 列状 | 44 | 4m残3m伐 | 3 3 | チェーンソー | タワーヤーダ(リョウシン300T) | プロセッサ(KETO-51) | 下 | 上 | 頭落し |

表－3 大代調査地の概要

| 樹種 | 列状間伐区 | | | 定性間伐区 |
|----------|--------|--------|--------|--------|
| | 3残1伐区 | 2残1伐区 | 1残1伐区 | |
| 樹種 | ヒノキ | | | |
| 林齢(2004) | 43年生 | | | |
| 面積 | 0.30ha | 0.37ha | 0.36ha | 0.42ha |
| 間伐率 | 26.1% | 30.3% | 44.5% | 37.8% |
| 伐採間隔 | 2m伐6m残 | 2m伐4m残 | 2m伐2m残 | — |

径を毎年測定するとともに、間伐により隣接木が開放された本数を調査し、直径成長との関係を解析した。

(2) 残存木の成長特性・形質調査

試験林97区において枝張り及び偏心の調査を行い、列状間伐の残存木に及ぼす影響を調べた。試験林97区のうち第2回の間伐が行われていない調査区画内の立木について12方向で枝張りを測定するとともに、樹幹の傾きを根元と梢端の水平距離で測定した。また、残存列の列上方に向かって右側、中央、左側から各4本、計12本を選び、伐倒後2mごとに円盤を採取し、12方向で5年ごとに

年輪幅を測定した。年輪幅の分析にあたっては、間伐前の20年から30年まで、30年から40年までの各10年間と間伐後の40年から47年までの7年間の年成長量について、高さ間及び立木の列位置間で比較を行った。

(3) 残存木の損傷及び気象害等調査

試験林97区及び98区における間伐作業時に発生した損傷について、位置及び大きさを測定した。試験林97区において第1回間伐時に損傷を受けた立木1本を伐倒し、傷の位置付近を5cm間隔で玉切りし、材の内部の変色、腐朽状態を調べた。

試験林において1997年度から2000年度にかけて列状間伐を実施した林分について、気象害やその他被害の発生状況を調査した(表-4)。

3. 列状間伐施業地の下層植生の動態

試験林97区及び98区において1m四方の下層植生調査プロットを設置し、下層植生の動態を調査した。プロットは試験林97区では第2回間伐区に

表－4 気象害等調査箇所一覧

| | 試験林 99区 | 試験林 00スギ区 | 試験林 00ヒノキ区 |
|----------|------------|--------------|---------------|
| 樹種 | ヒノキ | スギ | ヒノキ |
| 林齢(2004) | 79年生 | 47年生 | 41年生 |
| 面積 | 0.16ha | 0.26ha | 0.26ha |
| 間伐年月 | 2000年3月 | 2001年3月 | 2001年4月 |

4か所、第2回無間伐区に4か所の計8か所、試験林98区では定性間伐区、無間伐区に各2か所、列状間伐区に3か所の計7か所設置した。プロット内に出現した植物について2004年6月と11月の2回、出現種、被度、本数、高さを調査した。また、下層植生プロットの林内照度を2004年8月に測定した。照度ロガー（HIOKI3640）を用いて高さ約1.5mの位置で測定し、開放地における照度に対する相対照度を求めた。試験林97区においては横断面の照度の変化を把握するため、林内を移動しながら連続的に測定した。

Ⅲ 結果と考察

1. 列状間伐の生産収支の解明

(1) 列状間伐と従来型間伐の生産性・収支の調査 —試験林—

試験林97区の第2回間伐における1本当たり伐倒時間は、掛り木処理を除けば第1回間伐とほぼ同じであったが、処理に30秒以上要した掛り木が34%発生し、有意な差ではないが第2回のほうが全体の伐倒時間では長くなった（表－5）。

試験林98区の第2回間伐における掛り木処理を除く1本当たり伐採時間は、列定性区が列交差区、定性間伐区より長かったが、有意な差は認められ

表－5 試験林97区作業時間

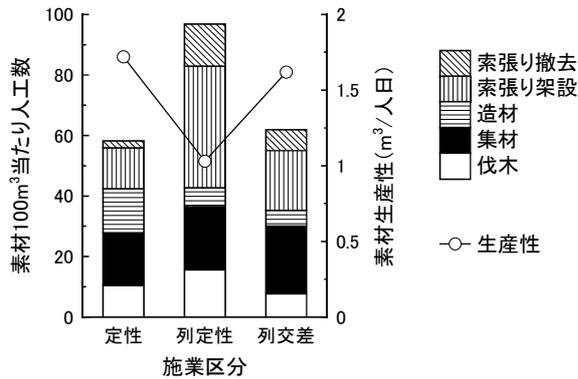
| | 第1回間伐 | 第2回間伐 |
|------------------------|-------|-------|
| 1本当たり伐倒時間 (掛り木処理除く) | 203秒 | 197秒 |
| 掛り木率 | 20% | 34% |
| 1本当たり伐倒時間 (掛り木処理含む) | 238秒 | 270秒 |

なかった。掛り木率は各区ほぼ同じで、掛り木処理に要した時間も大きな違いはなかった。集材1回当たりの時間は、列交差区が列定性区、定性間伐区より有意に時間を要した。列交差区は列定性区に対し索張り間隔が広いと推測された。また、列状間伐区では集材回数の約3割で梢端を切り落とす作業が発生し、作業能率が低下した。生産性が向上しなかった理由として、第2回の間伐木の多くが集材列内に伐倒されておらず、横取り集材する必要が生じたことが原因であった。造材では、プロセッサで処理した列状間伐区がチェーンソーによる定性間伐区と比較して3倍以上の生産性を示した（表－6）。

素材生産性は、定性間伐区が1.72m³/人日となり、列交差区は1.62m³/人日、列定性区は1.03m³/人日であった。列状間伐区で生産性が低くなった理由として、索張り1本当たりの素材生産量が定性間伐区と比較して少なく、生産量当たりの索張りに要する時間が大きくなったためであると考えられた（図－4）。

表－6 試験林98区作業時間

| | | 列状間伐区 | | 定性 間伐区 |
|----|------------------------|-------|-------|-----------|
| | | 列定性区 | 列交差区 | |
| 伐倒 | 1本当たり伐倒時間 (掛り木処理除く) | 227秒 | 172秒 | 179秒 |
| | 掛り木率 | 53% | 53% | 55% |
| | 掛り木処理1本当たり 作業時間 | 162秒 | 179秒 | 158秒 |
| | 1本当たり伐倒時間 (掛り木処理含む) | 313秒 | 267秒 | 265秒 |
| 集材 | 1回当たり集材時間 (梢端落とし除く) | 192秒 | 266秒 | 209秒 |
| | 梢端落とし発生率 | 36% | 26% | |
| | 梢端落とし1本当たり 作業時間 | 88秒 | 134秒 | |
| | 1回当たり集材時間 (梢端落とし含む) | 223秒 | 301秒 | 209秒 |
| | 1回当たり集材本数 | 1.14本 | 1.10本 | 1.42本 |
| | 立木1本当たり短材数 | | | 1.59本 |
| | 立木1本当たり集材時 間換算値 | 195秒 | 274秒 | 233秒 |
| 造材 | 1本当たり造材時間 | 117秒 | 124秒 | 391秒 |



図－4 試験林98区作業別人工数と素材生産性

(2) 列状間伐と従来型間伐の生産性・収支の調査 ー県内事例ー

県内の間伐の事例では定性間伐は1か所で行われ、生産性は1.8m³/人日であった。列状間伐の事例は1.3～4.2m³/人日と幅があり、単位面積当たりの蓄積が大きいほど生産性が向上する傾向がみ

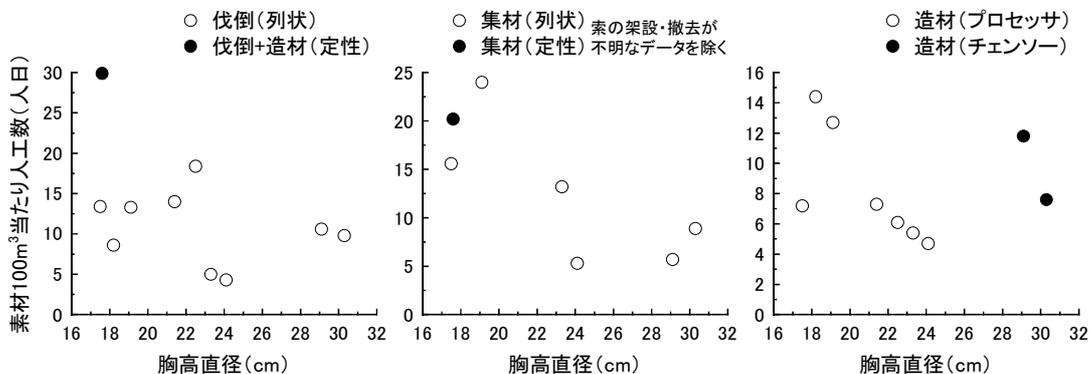
られた(表－7)。

伐倒工程では定性間伐は造材と同時作業であるため比較はできなかった。集材工程では定性と列状の間に違いは認められなかった。伐倒、集材工程とも生産性と立木のサイズとの関係がみられ、単木材積が大きくなるほど、材積当たりの所要労務は減少し、生産性が向上した(図－5)。材積当たりでは単木材積に影響され大きい木のほうが有利であるため、異なる林分における作業能率の指標として本数当たりの所要労務をみると、単木材積が大きいほど不利になった(図－6)。そこで、胸高直径合計(胸高直径と本数の積)と所要労務との比較をしたところ、単木材積の影響を受けずほぼ一定となり、作業能率の指標になると考えられた(図－7)。

造材工程においてはプロセッサによる造材がチェーンソー造材と比較して能率が高かった(図－5)。

表－7 県内における作業調査結果

| 伐採本数 | 伐採本数・材積 | | | | | | 所要労務 | | | | | | 労働生産性 | | | |
|------|------------|----------------|----------|----------------|---------------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|-------------|------------|----------------|
| | 立木材積 m3 | 単木立木材積 m3/本 | 素材 m3 | 単木素材材積 m3/本 | 索張り架設 素材材積 | 伐採 | 選木 | 伐倒+造材 | 伐倒 | 集材 | 架設撤去 | 造材 | 計 | 材積 m3/人日 | 本数 本/人日 | 胸高直径合計 m/人日 |
| 1 | 110 | 15.95 | 0.15 | 7.458 | 0.07 | 3.73 | | 2.23 | | 1.51 | 0.44 | | 4.18 | 1.78 | 26.3 | 4.6 |
| 2 | 79 | 64 | 0.81 | 40.9 | 0.52 | | | | 4.02 | 3.62 | 0.15 | 3.09 | 10.88 | 3.76 | 7.3 | 2.2 |
| 3 | 209 | 157.32 | 0.75 | 115.76 | 0.55 | 6.43 | | 3 | 12.23 | 6.63 | 8.89 | 13.7 | 44.45 | 2.60 | 4.7 | 1.4 |
| 4 | 121 | 21.74 | 0.18 | 10.346 | 0.09 | 1.48 | | | 1.39 | 1.61 | 2.25 | 0.75 | 6 | 1.72 | 20.2 | 3.5 |
| 5 | 72 | 24.3 | 0.34 | 13.618 | 0.19 | 3.40 | 0.2 | 0.2 | 1.9 | 2 | 不明 | 1 | 5.3 | 2.57 | 13.6 | 2.9 |
| 6 | 59 | 26.53 | 0.45 | 15.427 | 0.26 | 3.86 | 0.2 | 0.2 | 0.66 | 0.82 | 1.12 | 0.72 | 3.72 | 4.15 | 15.9 | 3.8 |
| 7 | 314 | | | 25.036 | 0.08 | 2.50 | | 2.17 | 3.33 | 6 | 4 | 3.17 | 18.67 | 1.34 | 16.8 | 3.2 |
| 8 | 204 | | | 44.849 | 0.22 | 4.98 | | 1.25 | 2.25 | 5.92 | 4.83 | 2.42 | 16.67 | 2.69 | 12.2 | 2.9 |
| 9 | 608 | 228 | 0.38 | 119.44 | 0.20 | 3.51 | 1.9 | 1.5 | 22 | 23.1 | 不明 | 7.3 | 55.8 | 2.14 | 10.9 | 2.5 |
| 10 | 127 | 26.4 | 0.21 | 17.4 | 0.14 | 5.80 | | 0.2 | 1.5 | 4.5 | 不明 | 2.5 | 8.7 | 2.00 | 14.6 | 2.7 |



図－5 立木の大きさと材積当たり所要労務

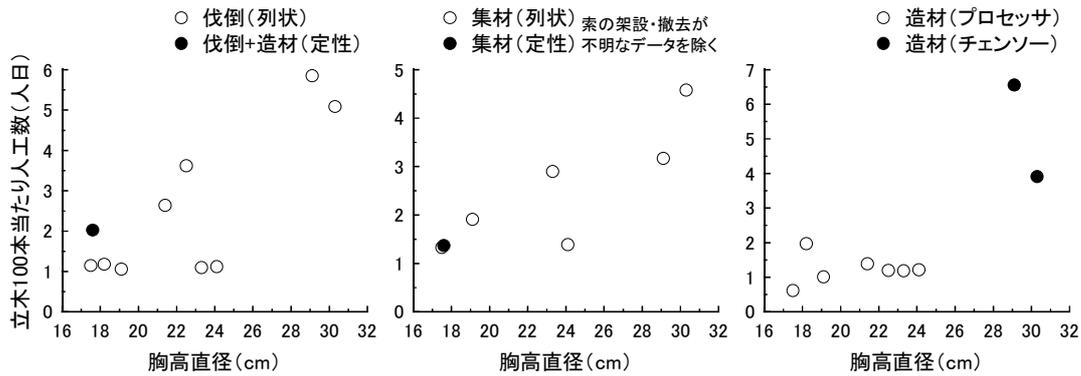


図-6 立木の大きさと本数当たり所要労務

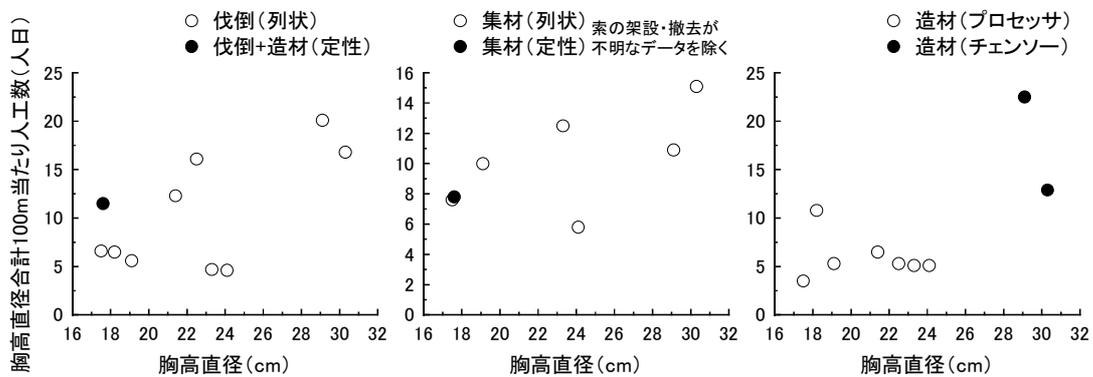


図-7 立木の大きさと胸高直径当たり所要労務

チェンソー造材と異なり、プロセッサ造材は単木材積が大きいほど生産性が向上することから、大きい木ほどプロセッサ造材の生産性向上効果が大きいことが明らかになった。

以上のことから、列状間伐では造材工程にプロセッサを使用することが生産性を向上させる大きな要素であり、チェンソー造材と短幹集材という方法では大きな生産性向上が望めないと考えられた。木の径に対してプロセッサの能力が不足せずチェンソー造材を行った事例がみられたことから、適切な能力のプロセッサを導入していく必要があると思われた。プロセッサの作業能率の向上については、タワーヤードの集材能力と比べプロセッサの造材能力のほうが高いことから、中島ら(2)が述べたように「材の分散集積と時間差作業」を行うことも一つの方法である。

2. 列状間伐残存木の成長特性・被害実態の調査

(1) 残存木の成長量調査

試験林97区の残存木の直径成長量は、残存列の中央が右側、左側と比べやや小さかったが、有意な差はなかった(図-8)。第2回間伐区と第2回無間伐区とで成長を比較すると、第2回間伐前は直径成長量に有意な差はなかったが、間伐後の2年間の成長では第2回間伐区の成長が有意に大きく、約1mm/年の差があった(図-9)。

試験林98区の残存木の直径成長量を各施業区間で比較すると、無間伐区が有意に小さく、定性間伐区と列状間伐区とでは定性間伐区のほうが成長量が大きかったが有意な差はなかった(図-10)。残存木の直径分布は間伐後に変化しており、無間伐区、列状間伐区、定性間伐区の順で直径の小さい木が多く残っていた。間伐時の直径が大きいほど成長量が大きかったことから、直径分布の違い

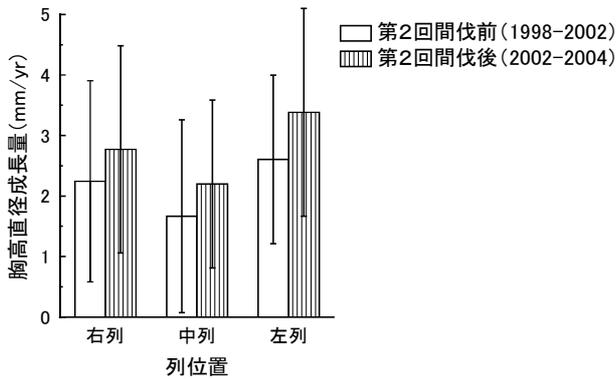


図-8 試験林97区の列位置別直径成長量

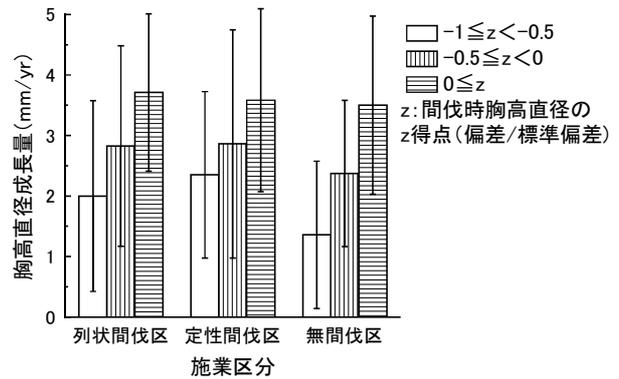


図-11 試験林98区直径階級別直径成長量

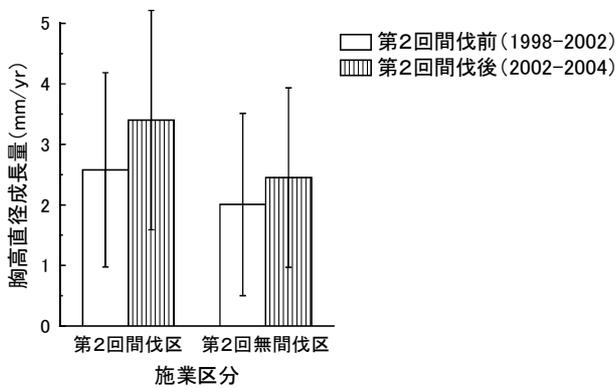


図-9 試験林97区の施業区分別直径成長量

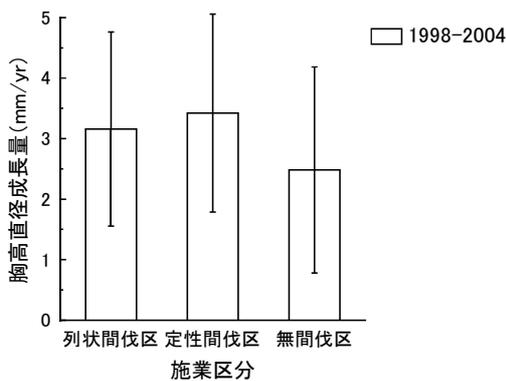
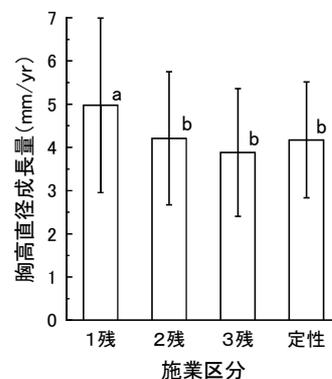


図-10 試験林98区直径成長量

により成長量の差が生じたとも考えられたため、直径階級別に成長量を比較した。間伐時の直径が平均以上の木では施業区間で成長量に差は認められず、直径が平均以下の木の成長量では無間伐区の成長量が有意に小さかった。列状間伐と定性間

伐との間には同じ直径階級において成長量に差がなく、列状間伐の残存木成長量は定性間伐と同等であることが明らかになった (図-11)。

大代調査地の各施業区での1999年度から2004年度までの直径成長量は1残区が最も大きく、2残区と定性区が同程度で3残区がやや小さかったが、1残区以外は有意な差ではなかった (図-12)。間伐前に立木が隣接していた立木数は平均6本であり、間伐時に伐採され開放された本数は1残区で平均3.0本と有意に多く、2残区2.4本、定性区2.0本が同程度で、3残区が1.3本と有意に少なかった。また3残区では周囲が1本も開放されない木が約2割現れ、ほとんどが残存列の中央に位置する木であった (図-13)。開放本数間の直径成長には有意な差があり、開放される本数が多いほど成長が



同一の添字は有意差(危険率5%未満)がないことを示す

図-12 大代調査地の施業区分別直径成長量

良かった（図-14）。したがって、間伐率が高いほど平均開放本数は多くなり、直径成長量が大きくなったが、間伐方法による差は認められなかった。

残存木を直径階別に分け、開放本数と成長量の関係を調べたところ、直径のz得点（偏差/標準偏

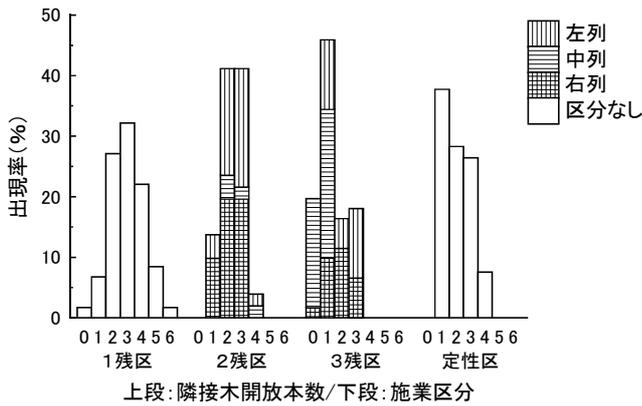


図-13 大代調査地の間伐時開放本数

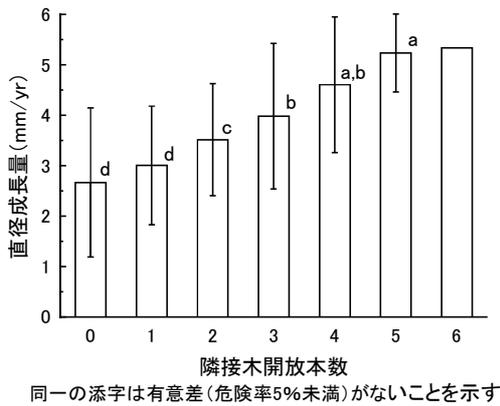


図-14 大代調査地の開放本数別直径成長量

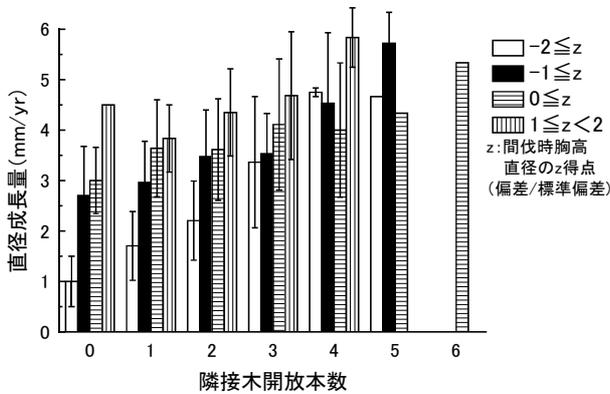


図-15 大代調査地の開放本数-直径階別直径成長量

差) が-2未満の極端な劣勢木は開放本数に関わらず成長しなかった。-2から-1までの劣勢木は開放本数の増加による成長の回復が著しく、3本以上の開放で他の直径階と同程度の成長になった。-1から0以下の木は開放なしでも一定の成長があるものの開放本数の増加により成長が増加し、2本の開放で成長量は平均値に近くなった。直径が平均以上の木は開放本数の増加による成長の差は小さかった（図-15）。以上のことから、劣勢木を除き2本の開放があれば間伐効果として十分であり、列状間伐のみ行うのであれば2残1伐程度の間伐率が適当であると思われる。また、残存列内に不良木がみられる場合は、将来の収益性を考慮して、3残1伐程度の列状間伐と残存列の定性間伐を同時に行うことも一つの方法として考えられた。

(2) 残存木の成長特性・形質調査

試験林97区における残存木の枝は伐採列方向への伸長し、伐採列の空間はほぼ閉鎖されていた（図-16）。また、列横方向の枝張りのほうが縦方向の枝張りよりも大きかった（図-17）。列の横方向における樹冠の偏りは残存列内の位置によって有意な差が認められ、樹冠の重心は残存列内の列上方に向かって右側の個体は右方向に、左側の個体は左方向に偏り、伐採列沿いの個体の樹冠は開放方

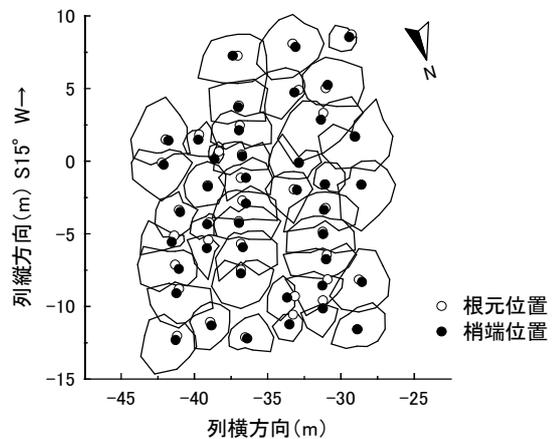


図-16 試験林97区樹冠投影図

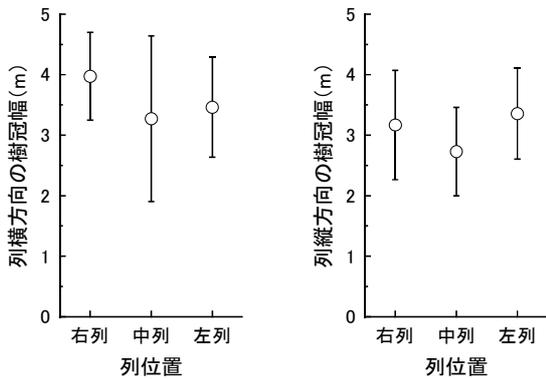


図-17 試験林97区における樹冠幅

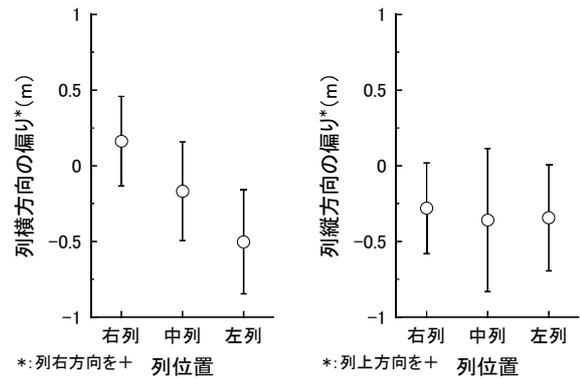


図-19 試験林97区における樹冠の偏り

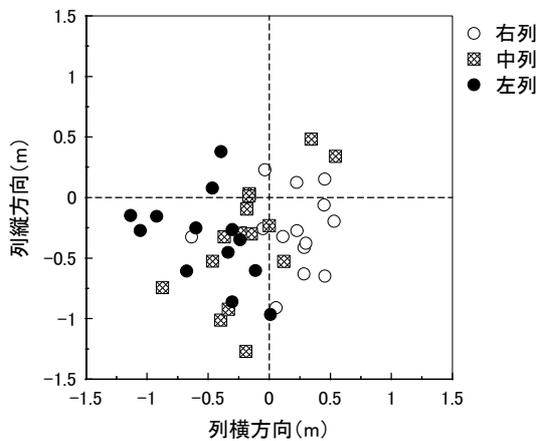


図-18 試験林97区における樹冠重心位置散布図

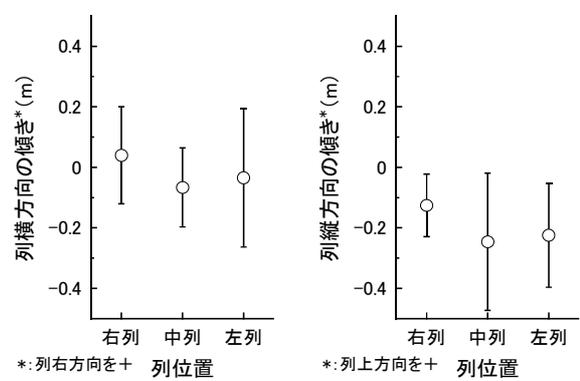


図-20 試験林97区における樹幹の傾き

向に偏るとする中山(3)と同様の結果を得た(図-18、19)。全体としてやや左方向に偏った理由については、日射や風向の影響が推測されるものの不明である。一方、樹幹の傾きは列内の位置による違いは認められなかった(図-20)。

列の縦方向における樹冠の偏りは残存列内の位置に関わらず下側に偏り、樹幹の傾きも同様の傾向を示した(図-18~20)。このことは、傾斜地の林分における一般的な傾向であると考えられるが、列状間伐施行地では列上下方向の立木間隔が広がらないため、隣り合う上方の木が下方の木に及ぼす影響が懸念された。実際に調査林分においても列上方に枝張りがほとんどない木が認められた。

年輪幅は年数が大きいほど小さく、高い位置ほ

ど大きかった(図-21)。断面積成長量についても年数が大きいほど成長量は小さく、間伐後7年間の年成長量は間伐前10年間の値を上回らなかった。一方、初期の肥大成長となる20年から30年までの高さ9.2m以上の成長量を除けば、高さ間の差はな

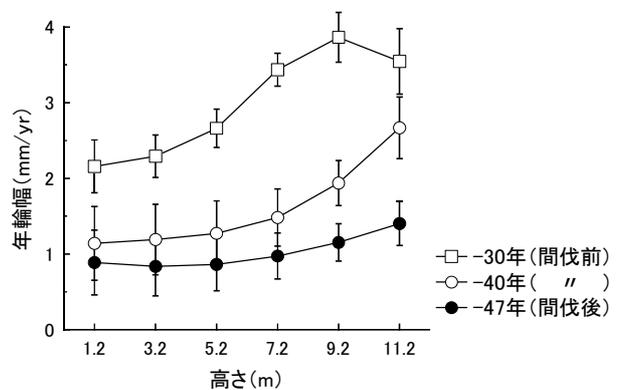


図-21 高さ別の年輪幅

かった (図-22)。

年輪幅の偏りは列縦方向、列横方向ともにほとんどなく、列内の位置間による差も認められなかった (図-23、24)。列縦方向と横方向の年輪幅の差は、間伐前より間伐後のほうが差が小さい傾向を示したが、有意な差ではなかった (図-25)。樹

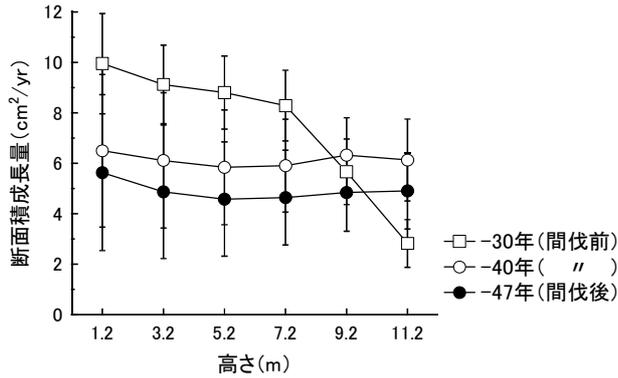


図-22 高さ別の断面積成長量

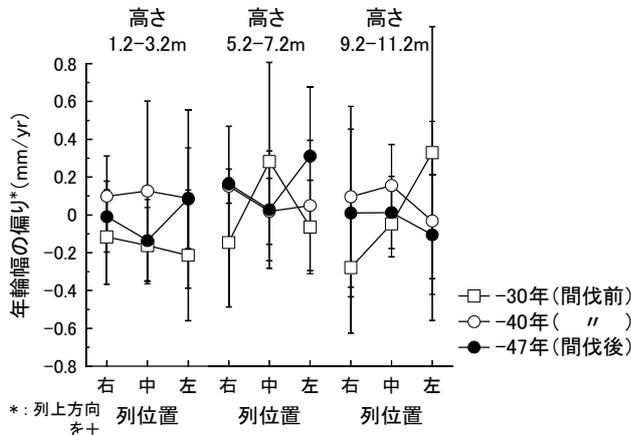


図-23 列位置間の年輪幅偏り (列縦方向)

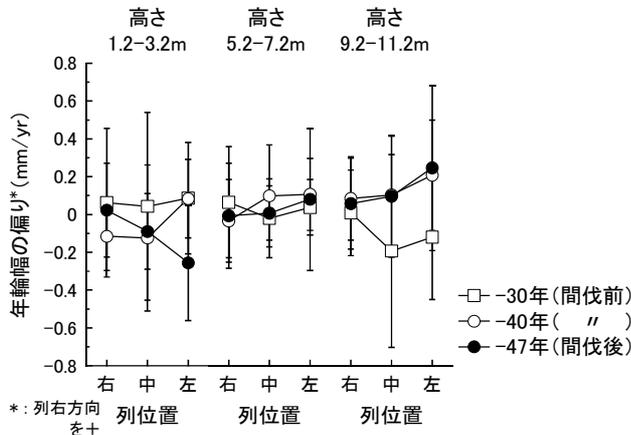


図-24 列位置間の年輪幅偏り (列横方向)

幹の傾きや樹冠の偏りの方向と年輪幅の偏り (相対する方向の成長差) や縦横差 (直交する方向の成長差) との関係についても、はっきりとした傾向は認められなかった (図-26、27)。間伐後の年

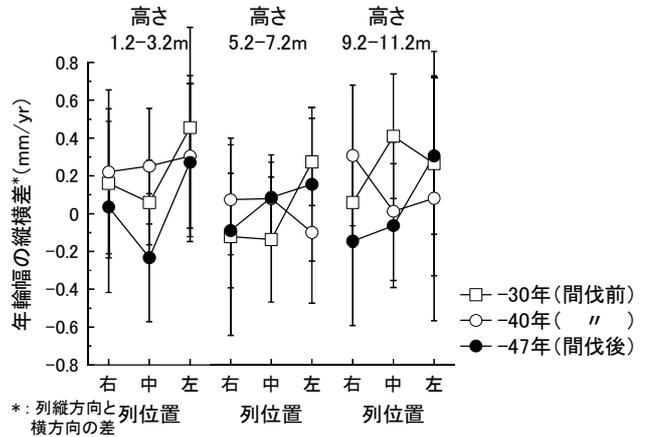


図-25 列位置間の年輪幅縦横差

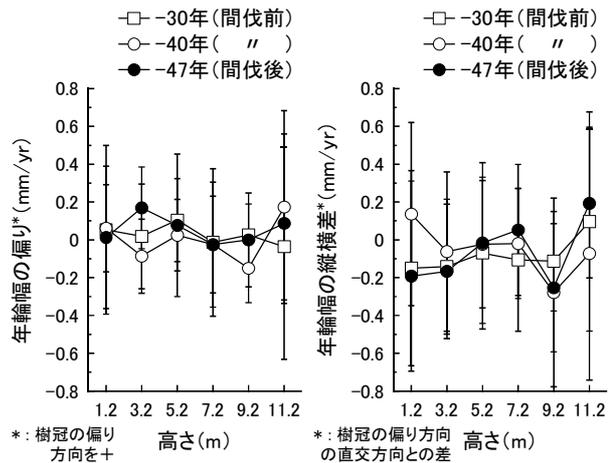


図-26 樹冠の偏り方向と年輪幅との関係

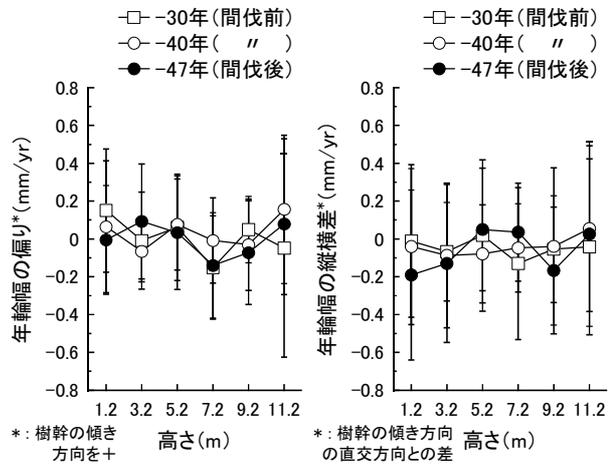


図-27 樹幹の傾き方向と年輪幅との関係

輪幅の偏りは間伐前と同程度であり、偏心の問題は生じないと判断された。

(3) 残存木の損傷及び気象害等調査

ア. 残存木の損傷

試験林97区の第2回間伐における残存木の損傷率は第1回の損傷率と同程度であった。試験林98区の第2回間伐の損傷率は列状間伐区、定性間伐区ともに、第1回間伐と比較して高い値を示した(表-8)。この理由として、列状間伐区では第1回のように集材列に沿った伐倒を行わなかったため、横取り作業が必要な全木集材となり、集材木による立木の損傷の危険性が高まったためであると考えられた。したがって、残存木の損傷を避けるためには伐採列に沿って集材するのが原則であり、立木の形質向上のため残存列の定性間伐を行う場合は、切捨てにするか短幹集材を行うべきであると思われた。

間伐時に受けた形成層が失われる程度の傷は、年数の経過とともに周囲からの樹皮の巻込みによ

表-8 損傷木発生状況

| | 試験林 97区 | 試験林98区 | |
|-------|------------|----------------------------|-------|
| | | 列状間伐区 | 定性間伐区 |
| 第1回間伐 | 5.8% | 5.5% | 2.2% |
| 第2回間伐 | 7.3% | 17.0% | 10.4% |
| | | (列定性区16.1% 列交差区17.6%) | |

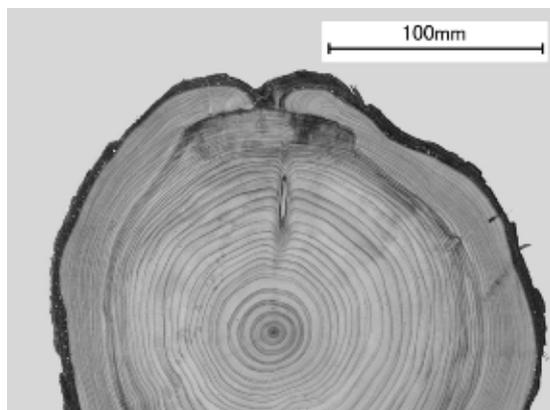


写真-1 損傷木の断面

り面積は縮小しているが、材表面の腐朽は進行していた。縦50cm、横8cmの大きさで形成層が失われた立木では、傷の表面から深さ約2cmの辺材と心材の境界付近まで材が変色し、傷の上端から約60cm上方まで明らかな変色が認められた(写真-1)。したがって、損傷木の材利用価値は大きく損なわれることから、間伐時に損傷を受けた立木は同時に伐採しておくのが望ましいと考えられた。

イ. 残存木の気象害

試験林内の列状間伐施行地で気象害のうち風害が認められた。その内訳として、「もめ」(強風により風下側の繊維細胞が圧縮破壊されて生じる材の欠点)が1,269本中10本、幹折れが1本、風により根系が損傷し傾いた木が1本であった(表-9)。である。もめが生じた木は1本を除き直径が平均以下で、幹折れした木は極度の劣勢木であった。列状間伐の風害の危険性については、今回調査した45年生以下の林分においては、4m以下の伐採列幅において発生率は1%以下と低く、特に支障はないと考えられた。なお、その他の気象害については調査の範囲内では認められなかった。

試験林で1999年度に間伐を行ったヒノキ林分において、3m残3m伐の列状間伐を行った区域において高い割合で枯死が発生した(表-10)。この理由として、この林分が間伐時74年生と高齢級のヒノキ林であり、強度の間伐を行ったため、葉量の少ない木が蒸散のバランスを失い枯死したものと判断された。

表-9 風害発生状況

| 樹種 | 試験林 97区 | 試験林 00スギ区 | 試験林 00ヒノキ区 |
|------|------------|--------------|---------------|
| | ヒノキ | スギ | ヒノキ |
| 伐採列幅 | 2m | 2~4m | 2~4m |
| 調査本数 | 509 | 255 | 505 |
| もめ | 4 | 2 | 4 |
| 幹折れ | | 1 | |
| 傾き | | | 1 |

表-10 枯損木発生状況

| | 試験林99区 | | |
|------|--------|-------|------|
| | 列状間伐区 | 定性間伐区 | 無間伐区 |
| 樹種 | ヒノキ | ヒノキ | ヒノキ |
| 調査本数 | 70 | 161 | 89 |
| 枯死 | 10 | 1 | 3 |

3. 列状間伐施業地の下層植生の動態

試験林97区における下層植生は種類数、被度、本数のいずれも、第2回間伐区と第2回無間伐区との間に有意な差は認められなかった(図-28)。林内相対照度では第2回間伐区は20~25%であるのに対し、第2回無間伐区は7~10%と低かった(図-29)。照度の差と比較して下層植生の差がみられないのは、間伐後まだ1年半しか経過していないためであると考えられた。

試験林98区の各施業区における下層植生は、定性間伐区が種類数、被度ともに値が高く、無間伐

区と列状間伐区との間には大きな差はなかった。

一方、本数では定性間伐区と列状間伐区が同程度で、無間伐区が有意に少なかった(図-30)。下層植生プロットにおける林内相対照度では、定性間伐区と列状間伐区が20~30%であったのに対し、無間伐区では5%に満たなかった(図-31)。照度と比較して定性間伐区において下層植生の種類数、被度が高かった理由として、やや凹地形であり土壌水分条件が良好であったことが考えられた。

試験林97区における林内相対照度の横断方向の変化は、第2回間伐区の中央部分で30%前後の値を示し、第2回無間伐区では10%弱であった。両施業区の境界では中間の値を示し、前後約6m(樹高の約3分の1)にかけて変化の範囲が及んでいた。また、伐採列と残存列の林床照度に差は認められなかった(図-32)。

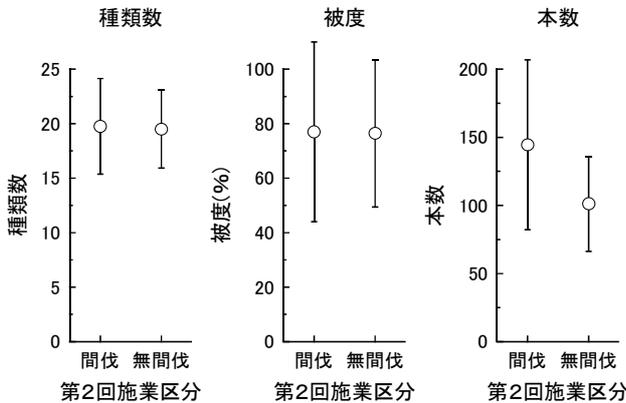


図-28 試験林97区における下層植生

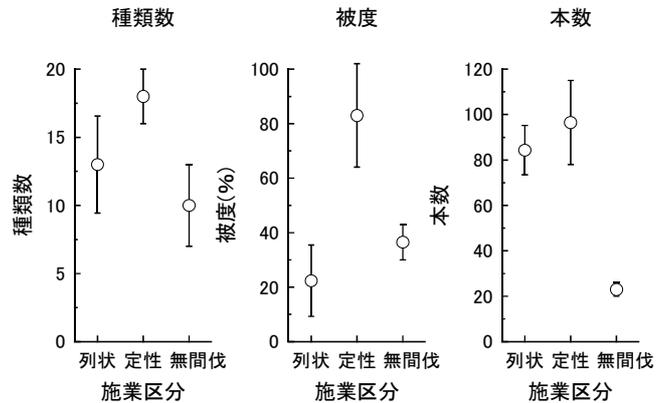


図-30 試験林98区における下層植生

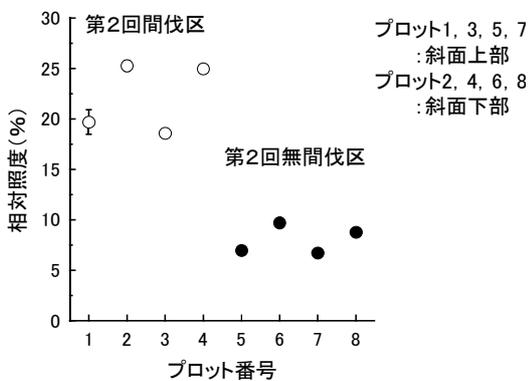


図-29 試験林97区における林内相対照度

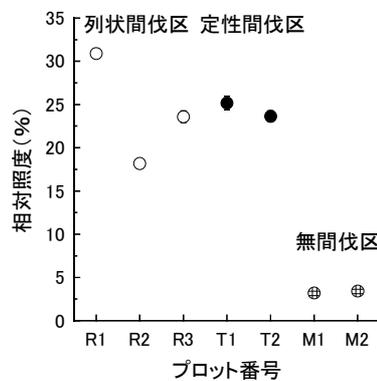


図-31 試験林98区における林内相対照度

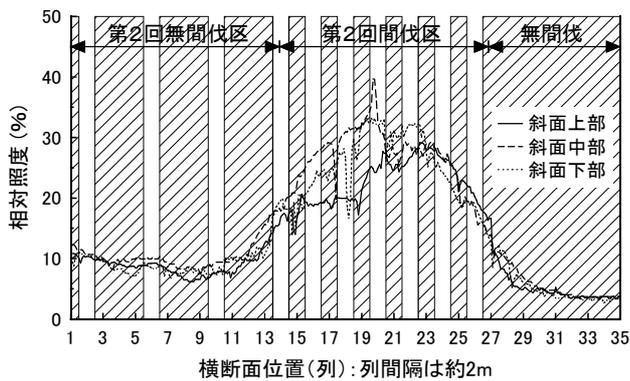


図-32 試験林97区横断面照度分布

IV まとめ

高性能林業機械を使用した列状間伐において、従来間伐より生産性が大きく向上する工程は、プロセッサによる造材工程であることが明らかになった。一方、列状間伐で生産性向上の制限になっているのが、タワーヤードの架設撤去作業であった。今後、列状間伐の生産性向上にあたっては、タワーヤードの架設撤去の時間短縮とプロセッサの効率的運用が課題として示された。

列状間伐後の残存木の成長量は従来間伐と違いが認められず、間伐率が大きくなるほど隣接木の開放本数が増加し、立木の成長量は大きくなった。列状間伐で残存列幅が広い場合、隣が開放されない立木が出現したが、劣勢木では成長量が小さかったものの、優勢木では開放された木と成長量に大きな差は認められなかった。

残存木の枝張りは伐採列方向に伸張り樹冠の偏りが大きくなった。一方、間伐後の年輪の成長の偏りはほとんどなく、偏心の問題は生じていなかった。

列状間伐における損傷木の発生率は、定性間伐と同程度であったが、全木集材で横取りを行った事例では損傷率が高くなった。損傷木は樹皮の巻込みによって傷の面積が縮小していたが、材の内

部の変色、腐朽が傷の上方向に広がっている事例が認められた。気象害では、風による「もめ」の発生が確認されたが、発生率は低く大きな問題ではないと判断された。高齢級のヒノキ林において高い間伐率による枯死が発生したため、注意する必要性が示された。

施業の違いによる下層植生の種類数及び被度、本数は、林内相対照度とある程度関係があったが、ほかの要因による影響も考えられた。間伐区では無間伐と比較して下層植生が豊かになったが、列状間伐と定性間伐との差ははっきりしなかった。林床照度は施業の境界から樹高の約3分の1の幅で変化していることから、樹高の半分程度の残存列幅では伐採列と残存列の照度の差は少ないと考えられた。

V 引用文献

- (1) 菱田重寿ほか(2002) 機械化作業システムに適合した森林施業法の開発. 愛知森林セ報39:9-22.
- (2) 中島嘉彦ほか(1999) 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. 岡山林試研報15:1-6.
- (3) 中山富士男(1996) 列状間伐技術の開発. 鹿児島林試業報44:32-34.