

省力的手法による主伐後再造林の低コスト化

—静岡県における調査研究からの試算—

袴田哲司¹⁾・平山賢次¹⁾・大場孝裕¹⁾・山本茂弘¹⁾
渡井 純²⁾・伊藤 愛³⁾・野末尚希⁴⁾・近藤 晃⁵⁾

¹⁾農林技術研究所森林・林業研究センター・²⁾林業振興課
³⁾自然保護課・⁴⁾森林保全課・⁵⁾西部農林事務所天竜農林局

Labor-saving, Low-cost Reforestation after Clearcutting

—Cost Estimation by a Practical Survey in Shizuoka Prefecture—

Tetsuji Hakamata¹⁾, Kenji Hirayama¹⁾, Takahiro Ohba¹⁾, Shigehiro Yamamoto¹⁾,
Jun Watai²⁾, Ai Ito³⁾, Naoki Nozue⁴⁾ and Akira Kondo⁵⁾

Abstract

To save on labor that is employed for reforestation after clear cutting, costs were analyzed based on practical surveys in Shizuoka Prefecture. The costs of site preparations were lower for full-tree yarding than for tree-length log yarding. In forest lands with a gentle slope, the cost of site preparation by a grapple loader was 25–42 % that of the standard manpower-dependent cost. A slanting netting fence, used as a countermeasure for feeding damage by sika deer, was 37 % the cost of a wire netting fence and 70 % that of vertical netting ones. The cost for carriage of seedlings by a speedy self-propelled hoist carriage was 6% that of the standard carriage method involving manpower. The cost of planting 2000 trees/ha of containerized seedlings using the dibble planting implement reduced the costs by 71 % compared to the costs for standard planting of bare-root seedlings at 3000 trees/ha. The cost of weeding around trees in the planting site comprising 2000 trees/ha was 75 % that of weeding entire planting sites containing 3000 trees/ha. Some seedlings that were the progenies of mating crosses with plus trees attained a height of 3 m three years after planting. The trees that showed excellent initial growth were expected to reduce weeding times, and therefore, costs were predicted to decrease by 50–60 % from those for standard weed management. In a simulation of reforestation with the new methods based on this survey, the cost was predicted to be 61 % less than that of the standard method in the case of ordinary wood production at sites with a gentle slope.

キーワード：再造林, 初期成長, コンテナ苗, 下刈り, 獣害対策, 地拵え

I 結 言

静岡県におけるスギやヒノキの人工林は、柱材、板材などの住宅資材としての利用が可能な46年生以上の林齢の森林が80%以上を占めており、偏った林齢構成になっている。森林の多面的機能を持続的に発揮させていくためには、こうした成熟した森林資源を有効に活用し、偏った林齢構成を平準化させ、木材生産の持続性を確保した森林経営を構築する必要がある。2016年時点では、県産材の生産量は41.5万m³/年で、そのうち主伐によるものが12.4万m³/年、間伐によるものが29.1万m³/年とな

っている。しかし、高まる木材需要に応え、今後も持続的に木材の安定生産・供給を行っていくためには、次世代への更新（植林・育林）を伴う主伐（皆伐）を進めていく必要がある。主伐を行なった後、放置しておけば草地化または天然更新した低質広葉樹林等へ遷移し、用材として利用可能な森林資源の枯渇が生じる。そのため再造林を行なうことが必要であるが、現状の造林技術では植林から育林までの再投資経費が約240万円/ha必要であり²⁾、シカ等の獣害対策費を上積みすると、伐採で得られる収入150万円/ha程度を大幅に上回ることになる。このため収益を確保できず、森林所有者の主伐に対する

意欲が減退し、林業生産活動が停滞する結果となっている。この状況を打開するためには、費用を抑えた森林施業を行う必要がある¹⁶⁾、これは静岡県のみならず我が国の林業再生にとって喫緊の課題となっている。

主伐した後の植林と育林に掛かる再投資経費の中で、初期の10年間に行なう植栽と下刈りの占める割合が約7割となっている⁹⁾。この時期における再造林経費の削減については、雑草木の高さを短期間に上回ることで下刈り回数の低減を図るエリートツリーを開発すること^{3,4)}、伐採後の木材搬出に用いた林業用機械による地拵えや苗木運搬¹⁵⁾を行い、それに引き続いて春季以外でも活着性に優れるコンテナ苗を植栽し、従来は季節ごとに分断されていた作業を一連で行うことで作業の効率化を図る伐採・造林一貫作業を導入することのほか²⁰⁾、低密度植栽による苗木代と植栽経費の削減⁶⁾、効果的な獣害対策資材の活用や苗木周辺の植生を残すことによる食害回避¹⁴⁾、回数削減や手法の改良による下刈りの効率化と植栽木の成長の解明¹⁹⁾など多くの調査研究が行われてきた¹³⁾。

これまでに行われてきたこのような手法によって再造林の低コスト化が期待できるが、天竜地域のスギ人工林や富士地域のヒノキ人工林など、全国的にも有名な林業地域を抱える静岡県での実証事例が少なく、施策的に進める主伐・再造林の事業を森林所有者や林業事業体に取り組んでもらうためには、県内における検証が必要である。そこで本研究では、新たに導入されつつある手法¹³⁾や静岡県および他地域で試行している手法の中で、地拵えの省力化、新しい資材による獣害対策、架線機械による苗木運搬、植栽効率に優れるコンテナ苗の低密度植栽、坪刈りによる下刈り方法の改良、短期間で草丈を上回る初期成長を重視した苗の植栽による下刈り回数の低減について実証調査を行った。静岡県では再造林の経費を詳細に分析した事例がなかったことから、今後の主伐・再造林を進めるに当たって、経費の予測を立てることは重要である。そのため、得られた結果から再造林の各作業に要する経費を試算し、従来から行われていた通常的手法による標準経費と比較し、再造林の低コスト化に関する検討を行った。

II 調査地及び方法

1. 調査概要

再造林の低コスト化につながると考えられる、全木集材による林内残置枝条量の軽減、集材に使ったグラブブルでの機械地拵え、設置が容易で安価な資材を用いた防

鹿柵、架線を使つてのコンテナ苗運搬、コンテナ苗の低密度植栽(2000本/ha)、植栽木の周囲を刈払う坪刈りについて作業工程の調査を行うとともに、初期成長に優れるスギ苗の成長を調査し、下刈り回数の推定を行った。作業に掛かった時間や人工数等のデータに基づき、一般的な賃金単価等(表1)を用いて各作業の1ha当りに要する経費を算出した。ただし、経費の算出には間接経費(共通仮設費等の諸経費)や消費税は含まなかった。各種の調査、試験はすべて静岡県内で行った(表2)。

今後、低コストな再造林を行うに当たって、苗木代と植栽経費の抑制が求められるが、樹型や材積、材の強度等の点から2000本/ha程度でも望ましい植栽密度であるとされている²⁾。また、静岡県では2015年度から花粉症発生源対策促進事業を展開しており、花粉症対策品種のコンテナ苗を2000本/haの密度で植栽することを補助金事業として実施している。これらのことから、本研究でのコンテナ苗植栽は2000本/haの密度で植栽することを前提とした。

実証調査から得られた各作業の経費について、従来から行われていた方法による標準経費との比較を行った。標準経費は、事業を設計する際の積算根拠となる静岡県の平成30年度県営林事業設計基準、県営林事業設計単価表、森林病虫害等防除事業参考標準設計(獣害関係)に記載されている各作業に要する人工、歩掛、単価を用いて(表1)、1ha当たりの金額を算出した。

2. 地拵え

調査1:全幹集材と全木集材を併設した主伐地で、人力地拵えに要した作業人工から²⁰⁾、地拵えの経費を算出した。調査地は浜松市天竜区龍山町瀬尻の国有林で、標高600~630m、傾斜は約35度である。2014年10~11月に、浜松市北区内の林業事業体が0.055haを全幹集材、0.205haを全木集材した後に人力で地拵えを行った。これに要した1ha当たりの作業人工を求め、普通作業員の賃金単価を乗じて算出した。

調査2:短幹集材した主伐地で、機械地拵えに要した作業時間から¹⁰⁾、地拵えの経費を算出した。調査地は富士市大淵の市有林で、標高約840m、5度程度の緩傾斜である。2014年9月に、富士市内の林業事業体が0.35haを短幹集材した後に規格0.2m³のグラブブルで地拵えし、集めた枝条は主伐地内に筋状に積載した。この作業に要した時間を測定し、1ha当たりの時間に換算した。この時間に、静岡県農林技術研究所森林・林業研究センターが開発した「低コスト森林作業システムコスト計算プログラム」で¹⁸⁾、2018年5月時点でインターネット上に公

開されている機械運転労務費と機械経費の単価をそれぞれ乗じ、合算することでグラップルによる地拵え経費を算出した。

県営林事業設計基準には新伐採跡地での人力地拵えの人工が示されており、林況の難易度により 25%以内の人工数の増減ができるとしている。この増減した人工と普通作業員の賃金単価から、比較対照とする標準経費を算出した。

3. 獣害対策

賀茂郡南伊豆町蛇石の標高約 300m、傾斜約 10 度の民有林において、主伐後に地拵えした場所で獣害対策の柵を設置する工期を調査した。埼玉県寄居林業事務所森林

研究室と公益社団法人埼玉県農林公社が開発した斜め張りネット柵「さいねっと」⁹⁾について、3m 間隔での支柱の打ち込み、支柱へのネット取り付け、2m 間隔でのネット裾のアンカー杭留め、出入口の取付けの合計 108m の柵設置時間を測定した。一連の設置作業は、南伊豆町の林業事業体が 2015 年 11 月に 3 名で行った。作業人数と作業時間から 1ha 当たりの設置作業人工数を求め、普通作業員の賃金単価を乗じることで設置作業費を算出した。1ha の面積において、平面の形によって柵張りの距離は異なるが、本研究では 1ha の正方形を想定して 400m とした。「さいねっと」の資材費は、販売業者による 2018 年 2 月時点の納品書単価から 1ha(400m)あたりに換算した金額とした。

表 1 経費の算出基準

作業種	単価, 人工, 歩掛 (単位)	根拠資料
基準賃金単価		
特殊作業員	21200 (円/日)	平成 30 年度県営林事業設計単価表
特殊運転手	21700 (円/日)	
普通作業員	20100 (円/日)	
地拵え		
人力	13.00 (人/ha) 林況の難易度により 25%以内の増減可	平成 30 年度県営林事業設計基準
機械運転労務費	3617 (円/h)	低コスト森林作業システムコスト計算プログラム (引用文献 17)
機械経費	2401 (円/h)	
獣害対策		
金網柵		平成 30 年度森林病害虫等防除事業参考標準設計 (獣害関係)
設置作業費	561393 (円/400m)	
資材費	538360 (円/400m)	
縦張り柵		
設置作業費	66590 (円/100m)	
資材費	77970 (円/100m)	
苗木運搬		
スギ 人力	1200 (本/人日)	平成 30 年度県営林事業設計基準
機械運転労務費	6970 (円/h)	低コスト森林作業システムコスト計算プログラム (引用文献 17)
機械経費	6201 (円/h)	
コンテナ苗低密度植栽		
スギコンテナ苗	170 (円/本)	静岡県種苗委員会 平成 30 年度産系統確認苗木標準価格表
スギ裸苗	120 (円/本)	平成 30 年度県営林事業設計単価表
下刈り		
世話役	0.20 (人/ha)	平成 30 年度県営林事業設計基準
特殊作業員	3.70 (人/ha)	
普通作業員	3.70 (人/ha)	
初期成長に優れる苗の植栽		
通常下刈り回数	5~6 回	山川ら 2016 (引用文献 24)
下刈りを終了できる植栽木の樹高	3m	星ら 2013 (引用文献 4)

比較する標準経費は、森林病虫害等防除事業参考標準設計に示されている金網柵 400m 当たりの設置作業費と資材費のそれぞれを合算して 1ha 当たりとした金額、縦張りネット柵（支柱 3m 間隔、ネット網目 5cm）100m 当たりの設置作業費と資材費のそれぞれを 1ha(400m) 当りに換算して合算した金額とした。

4. 苗木運搬

集材架線の高速自走式搬器（ウッドライナー：オーストリア、KONRAD 社製）を利用したスギコンテナ苗の運搬時間から²⁶⁾、苗木の運搬にかかる経費を算出した。調査地は、浜松市天竜区龍山町瀬尻の国有林で、標高 550～640m、傾斜は約 35 度である。スギやヒノキの主伐後、タワーヤーダを元柱とした高速自走式搬器で集材を行った後の林地で、650 本のコンテナ苗を袋に入れて 220m の距離を上げ荷で運搬する時間を計測した。2000 本/ha を想定した植栽密度から 1ha 当たりの運搬回数を求め、これに機械運転労務費と機械経費をそれぞれ乗じて合算することで運搬経費を算出した。「低コスト森林作業システムコスト計算プログラム」¹⁷⁾では高速自走式搬器を扱っていないため、スイングヤーダの作業システムの単価を代用した。

県営林設計基準には、人力による往復 30 分から 180 分の間で 6 段階の所要時間での苗木運搬可能本数が示され

ている。高速自走式搬器で運搬した距離を踏査したところ、往復 60 分以内の歩行時間であったため、その場合の本/ha から必要人工数を求め、これと普通作業員の賃金単価から標準経費を求めた。

5. コンテナ苗の低密度植栽

2015 年に賀茂郡南伊豆町蛇石の民有林（標高 290～350m、傾斜約 20 度）、静岡市葵区の民有林（標高 390～410m、傾斜約 40 度）、榛原郡川根本町崎平の町有林（標高 460～480m、傾斜約 20 度）、島田市高熊の民有林（標高 460～510m、傾斜約 30 度）でコンテナ苗の植栽効率を調査した。各調査地でコンテナ苗を専用の植栽器具デュブルで植栽する時間を計測し、コンテナ苗 1 本を植栽することに必要な時間から、1 人 1 日（6 時間）当たりの植栽本数を求めた。4ヶ所の平均値から、中～緩傾斜における 1 人 1 日当たりの植栽本数と 1ha 当たりの植栽人工を求め、普通作業員の賃金単価で植栽経費を算出した。コンテナ苗の価格は静岡県種苗委員会で示しているスギ 1 本 170 円とした。これに植栽本数 2000 本/ha を乗じることで苗木代を算出した。

県営林事業設計でのスギを皆伐跡地へ植栽する場合の植栽密度と、1 日 1 人当たりの植栽本数、裸苗単価 120 円から標準経費を求めた。

表 2 調査地の概要

作業種	調査地	標高 (m)	傾斜 (度)	調査対象の面積, 距離, 本数
地拵え	浜松市天竜区龍山町瀬尻 富士市大淵	600～630 840	35 5	0.055ha, 0.205ha 0.35ha
獣害対策	賀茂郡南伊豆町蛇石	300	10	108m
苗木運搬	浜松市天竜区龍山町瀬尻	550～640	35	220m
コンテナ苗の 低密度植栽	賀茂郡南伊豆町蛇石 静岡市葵区桂山 榛原郡川根本町崎平 島田市高熊	290～350 390～410 460～480 460～510	20 40 20 30	218 本 237 本 166 本 38 本
下刈り	浜松市天竜区西藤平	250	35	0.2ha
初期成長に優れる 苗の植栽	浜松市天竜区龍山町瀬尻	640	5	220 本

6. 下刈り

2000 本/ha の密度でスギを植栽した造林地における坪刈りの工期調査結果に基づき⁷⁾、経費を算出した。調査地は浜松市天竜区西藤平の民有林で、傾斜は約 35 度である。浜松市天竜区の事業者が、3000 本/ha のスギ植栽地を草刈機で全刈りする時間と、2000 本/ha の植栽地で苗木周囲 1m を草刈機で坪刈りする時間をそれぞれ計測した。3000 本/ha 全刈り時間に対する 2000 本/ha 坪刈り時間の割合を標準経費に乗じることで経費を算出した。

県営林事業設計基準の草刈機と鎌を併用した場合の下刈り人工は、世話役が 0.20 人/ha、特殊作業員が 3.70 人/ha、普通作業員が 3.70 人/ha である。世話役、特殊作業員、普通作業員の賃金単価をそれぞれ乗じて合算することで下刈り 1 回の標準経費とした。

7. 初期成長に優れるスギ苗の植栽

スギを対象樹種として、静岡県の第一世代精英樹の中から特に優れた形質を持つ推奨品種どうしで交配を行い、容量 300ml の M スターコンテナで育成した苗を 2014 年 4 月に浜松市天竜区龍山町瀬尻の国有林に植栽した²⁰⁾。また、第一世代精英樹の自然交配苗や少・低花粉品種で構成されるミニチュア採種園産種苗も植栽した。2016 年 11 月に植栽から 3 成長期後の樹高を測定した。調査対象とした計 220 本の植栽木のデータから樹高偏差値 65 以上を初期成長に優れる植栽木として平均を求めた。下刈りを終了できる植栽木の樹高を 3m とし⁴⁾、初期成長に優れる植栽木の成長から下刈りが必要な期間 (回数) を示し、これに下刈り 1 回の標準経費を乗じて経費を算出した。

前述の下刈り 1 回の標準経費に通常施業での下刈り回数²⁰⁾を乗じて標準経費とした。

8. 再生林経費のシミュレーション

初期成長に優れる苗をコンテナ苗として植えること、安価な斜め張りネット柵を設置することを前提として、得られたデータに基づき、4 つの再生林方法を想定して経費を試算した。通直完満で節が少なく主に柱材として活用される優良材を生産目標とする場合と、集成材や合板用等として活用され曲がりや節について必ずしも厳密さが求められない並材²¹⁾を生産目標とする場合に分け、さらに急傾斜地と緩い傾斜地に分け、再生林方法を 4 パターンとした (表 3)。優良材生産では 3000 本/ha の密度で植栽し、下刈りは全刈りを 3 回行うこと、並材生産では 2000 本/ha の密度で植栽し、全刈り 2 回、坪刈り 1 回を行うことにした。

苗木運搬コストについては、本研究では急斜面での高速自走式搬器利用を調査したが、緩傾斜地におけるフォワーダでの運搬は調査しなかったため、このシミュレーションからは除外した。

4 パターンについて、地拵え、獣害対策、植栽、下刈りの積算額を試算し、人力地拵えを行い、縦張り柵を張り、現状で植えられている精英樹の裸苗を 3000 本/ha の密度で植栽し、下刈りを 5 年間 (5 回) 行う想定で従来施業の経費 (標準経費 1) と比較した。また、裸苗で並材生産を行う場合 (標準経費 2) との経費比較も行った。この場合、植栽密度は 2000 本/ha、下刈りは全刈り 3 回、坪刈り 2 回とした。

表 3 再生林の経費試算項目

目標・作業・試算	標準経費 1	標準経費 2	試算例 1	試算例 2	試算例 3	試算例 4
生産目標	優良材	並材	優良材	優良材	並材	並材
傾斜	—	—	急～中	中～緩	急～中	中～緩
地拵え	人力	人力	人力	グラップル	人力	グラップル
獣害対策	縦張りネット柵	縦張りネット柵	斜め張りネット柵	斜め張りネット柵	斜め張りネット柵	斜め張りネット柵
植栽	精英樹系苗 裸苗 3000 本/ha	精英樹系苗 裸苗 2000 本/ha	初期成長に優れる苗 コンテナ苗 3000 本/ha	初期成長に優れる苗 コンテナ苗 3000 本/ha	初期成長に優れる苗 コンテナ苗 2000 本/ha	初期成長に優れる苗 コンテナ苗 2000 本/ha
下刈り	全刈り 5 回	全刈り 3 回 坪刈り 2 回	全刈り 3 回	全刈り 3 回	全刈り 2 回 坪刈り 1 回	全刈り 2 回 坪刈り 1 回

傾斜は、急が 35 度以上、中は 10～35 度、緩は 10 度以下

Ⅲ 結 果

1. 地拵え

急傾斜(35度)の調査1において、全幹集材および全木集材した後の人力地拵えは、それぞれ 556770 円/ha (27.70 人/ha²⁵×20100 円/人日)、410241 円/ha (20.41 人/ha²⁵×20100 円/人日)の経費であった。

緩傾斜(5度)の調査2において、短幹集材後にグラップルで地拵えした経費は 81665 円/ha (13.57h/ha⁹×3617 円/h と 13.57h/ha×2401 円/h の合算額)であった。

これに対し、人力で地拵えする標準経費は 261300 円/ha (13.00 人/ha×20100 円/人日)となる。県営林事業設計基準の記載にしたがい林況によって 25%の増減をした場合は、195975 円～326625 円/ha となった(表4)。

急傾斜地の人力地拵えでは、全幹集材、全木集材とも標準経費を大きく上回った。緩傾斜地での機械による地拵えは、標準経費の 25～42%であった。

2. 獣害対策

斜め張りネット柵「さいねっと」の設置作業人工は 7.44 人/ha であった。したがって、経費は 149544 円/ha (7.44 人/ha×20100 円/人日)であった。2018年2月時点の納品単価は、ネットが 10500 円/反(50m)、2.4m 支柱が 1125 円/本、出入口用 3.0m 支柱が 1350 円/本、アンカー杭が 80 円/本であった。これを ha(400m)に換算すると、ネットが 84000 円/ha (8反×10500 円/反(50m))、

2.4m 支柱が 150750 円/ha (3m 間隔 134 本×1125 円/本)、出入口用 3.0m 支柱が 5400 円/ha (2ヶ所 4 本 1350 円/本)、アンカー杭が 16000 円/ha (2m 間隔 200 本×80 円/本)で、計 256150 円/ha であった。設置作業費と資材費を合わせて 405694 円/ha となった(表5)。

標準経費は、金網柵が 1099753 円/ha(400m) (設置作業費 561393 円/400m と資材費 538360 円/400m の合算額) 縦張りネット柵は 578240 円/ha(400m) (設置作業費 66590 円/100m×4 と資材費 77970 円/100m×4 の合算額)であった。

斜め張りネット柵は、金網柵の 37%、縦張りネット柵の 70%の経費であった。

3. 苗木運搬

高速自走式搬器でコンテナ苗を運搬した場合、2766 円/ha (2000 本/ha÷650 本=3.08 回、3.08 回×245s²⁵=755s =0.21h、機械運転労務費 0.21h×6970 円/h と機械経費 0.21h×6201/h の合算額)の経費となった(表6)。

県営林事業設計基準では、人力で往復 60 分以内の距離の場合 1200 本/人日となっている。したがって、標準経費は 50250 円/ha (3000 本/ha÷1200 本/人日=2.50 人工、2.50 人工×20100 円/人日)となった。

高速自走式搬器での苗木運搬は人力で運搬する経費の 6%であった。

表4 地拵えの経費算出

調査データから算出した経費	算出式	標準経費	算出式
○全幹集材後の人力地拵え 浜松市天竜区龍山町 556770 円/ha	=27.70 人/ha×20100 円/人日	○人力地拵え 標準 261300 円/ha	=13.00 人/ha×20100 円/人日
○全木集材後の人力地拵え 浜松市天竜区龍山町 410241 円/ha	=20.41 人/ha×20100 円/人日	25%減 195975 円/ha	=9.75 人/ha×20100 円/人日
○短幹集材後のグラップル地拵え 富士市大淵 機械運転労務費 49083 円/ha	=13.57h/ha×3617 円/h	25%増 326625 円/ha	=16.25 人/ha×20100 円/人日
機械経費 32582 円/ha	=13.57h/ha×2401 円/h		
合計 81665 円/ha			

平成30年度県営林事業設計基準、県営林事業設計単価表、森林病害虫等防除事業参考標準設計(獣害関係)、低コスト森林作業システムコスト計算プログラムの人工、歩掛、単価を利用した。以下の表も同様。

4. コンテナ苗の低密度植栽

4箇所の調査において、コンテナ苗をディブルで植栽した場合の1本当たりの作業時間は46~89sであり、平均は68.5sであった。これから算出すると植栽経費は127434円/ha ($68.5s \times 2000 \text{本/ha} = 137000s = 38.06h$, $38.06h \div 6h = 6.34 \text{人/ha}$, $6.34 \text{人/ha} \times 20100 \text{円/人日}$)となった。コンテナ苗の単価は170円/本なので、2000本/haで植栽する場合の苗木代は340000円/haである。これを植栽経費に加えると合計467434円/haとなった(表7)。

県営林事業設計基準では、皆伐地におけるスギの植栽密度は3000本/haで、植栽本数は200本/人日となっている。したがって、植栽の標準経費は301500円/ha ($3000 \text{本/ha} \div 200 \text{本/人日} = 15 \text{人工/ha}$, $15 \text{人工/ha} \times 20100 \text{円/人日}$)である。裸苗の苗木代は120円/本であるため、3000本/haの植栽では360000円/haとなる。植栽経費と苗木代を合わせると661500円/haとなった。

コンテナ苗をディブルを使って2000本/haの密度で植栽すると、裸苗を3000本/haの密度で植栽する通常植栽

の71%の経費であった。

5. 下刈り

密度3000本/haのスギ植栽地において全刈りした場合の作業時間に対し、2000本/haの植栽地での坪刈りでは75%の作業時間であった⁷⁾。県営林事業設計の人工数と作業員賃金単価を用いると、世話役4700円、特殊作業員78440円、普通作業員74370円で、これを合計すると157510円が標準経費である。したがって、坪刈りの場合118133円/ha ($157510 \text{円/ha} \times 75\%$)と算出された(表8)。

6. 初期成長に優れるスギ苗の植栽

植栽した交配苗のうち、3成長期後において樹高偏差値が65以上であったものは7本あった。これらの平均樹高は382cmであり、同地に植栽した対照系統の平均293cmよりも85cm高かった。植栽地の条件にもよるが、このような成長を示すスギを植栽すると仮定し、下刈り

表5 獣害対策の経費算出

調査データから算出した経費	算出式	標準経費	算出式
○斜め張りネット柵 設置作業費		○金網柵 設置作業費	
149544円/ha	$= 7.44 \text{人/ha} \times 20100 \text{円/人日}$	561393円/ha(400m)	—
資材費		資材費	
ネット		538360円/ha(400m)	—
84000円/ha	$= 10500 \text{円/反} \times 8 \text{反}$	合計 1099753円/ha	
2.4m支柱		○縦張りネット柵 設置作業費	
150750円/ha	$= 1125 \text{円/本} \times 134 \text{本}$	266360円/ha(400m)	$= 66590 \text{円/100m} \times 4$
3.0m支柱		資材費	
5400円/ha	$= 1350 \text{円/本} \times 4 \text{本}$	311880円/ha(400m)	$= 77970 \text{円/100m} \times 4$
アンカー杭		合計 578240円/ha	
16000円/ha	$= 80 \text{円/本} \times 200 \text{本}$		
計 256150円/ha			
合計 405694円/ha			

表6 苗木運搬の経費算出

調査データから算出した経費	算出式	標準経費	算出式
○高速自走式搬器での運搬		○人力で往復60分以内の運搬	
3.08回	$= 2000 \text{本} \div 650 \text{本}$	2.50人工/ha	$= 3000 \text{本/ha} \div 1200 \text{本/人日}$
755s (=0.21h)	$= 3.08 \text{回} \times 245s$	50250円/ha	$= 2.50 \text{人工/ha} \times 20100 \text{円/人日}$
機械運転労務費			
1464円/ha	$= 0.21h \times 6970 \text{円/h}$		
機械経費			
1302円/ha	$= 0.21h \times 6201 \text{円/h}$		
合計 2766円/ha			

を終了できる植栽木の高さを3mにすると⁴²⁾、3年間(1年に1回として、3回)で終了できることになる。前述のように下刈りの標準経費は157510円/haであるので、これを3年間行うことで下刈り経費は472530円/ha(157510円/ha×3年(3回))と試算された(表9)。

下刈りの標準回数は5~6回であるため²⁰⁾、787550円/ha~945060円/haが通常施工による下刈り経費となった。

下刈り回数の低減にともない経費も下がるため、初期成長に優れる苗を植栽することで従来の50~60%になると試算された。

7. 再造林経費のシミュレーション

地拵え、獣害対策、植栽、下刈りの積算で優良材生産を目標とした従来施業の標準経費1は、2288590円/haであった(図1)。また、裸苗植栽で並材生産を目標にした標準経費2は1989336円/haであった。

これに対し、優良材生産を目標とし、急傾斜地でグラップルによる地拵えができず、人力地拵えにしなくてはならない場合は1840675円/haとなった(試算例1)。優良材生産を目標とし、緩傾斜地でグラップルによる地拵えが可能ならば1661026円/haと試算された(試算例2)。一方、並材生産が目標で急傾斜地の場合は1567581円/ha(試算例3)、並材生産が目標で緩傾斜地の場合は1387932円/haと試算された(試算例4)。

標準経費1に対して、急傾斜地で優良材生産を目標とする場合は80%、緩傾斜地で優良材生産を目標とする場合は73%、急傾斜地で並材生産を目標とする場合は68%、緩傾斜地で並材生産を目標とする場合は61%になった。また、標準経費2との比較では、それぞれ93%、83%、79%、70%であった。

表7 コンテナ苗低密度植栽の経費算出

調査データから算出した経費	算出式	標準経費	算出式
○コンテナ苗2000本/ha植栽 植栽経費 137000s(=38.06h) 6.34人/ha 127434円/ha 苗木代 340000円/ha 合計467434円/ha	$=68.5s \times 2000 \text{ 本/ha}$ $=38.06 \div 6h$ $=6.34 \text{ 人/ha} \times 20100 \text{ 円}$ $=170 \text{ 円/本} \times 2000 \text{ 本/ha}$	○裸苗3000本/ha植栽 植栽経費 15人工 301500円/ha 苗木代 360000円/ha 合計661500円/ha	$=3000 \text{ 本/ha} \div 200 \text{ 本}$ $=15 \text{ 人工} \times 20100 \text{ 円}$ $=120 \text{ 円/本} \times 3000 \text{ 本/ha}$

表8 下刈りの経費算出

調査データから算出した経費	算出式	標準経費	算出式
○2000本/ha坪刈り 118133円/ha	$=157510 \text{ 円/ha} \times 75\%$	○3000本/ha全刈り 世話役 4700円 特殊作業員 78440円 普通作業員 74370円 合計157510円/ha	$=23500 \text{ 円} \times 0.2 \text{ 人}$ $=21200 \text{ 円} \times 3.7 \text{ 人}$ $=20100 \text{ 円} \times 3.7 \text{ 人}$

表9 初期成長に優れる苗の植栽での下刈り回数の低減による経費算出

調査データから算出した経費	算出式	標準経費	算出式
○下刈り3回 472530円/ha	$=157510 \text{ 円/ha} \times 3 \text{ 年 (3回)}$	○下刈り5~6回 787550円/ha 945060円/ha	$=157510 \text{ 円/ha} \times 5 \text{ 回}$ $=157510 \text{ 円/ha} \times 6 \text{ 回}$

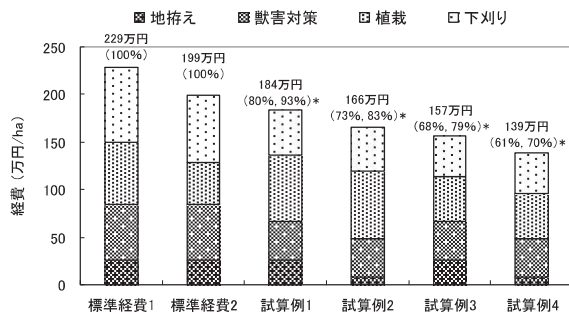


図1 再造林の経費試算結果

*括弧内左は標準経費1と比較した場合の割合、括弧内右は標準経費2と比較した場合の割合として表示した。試算に苗木運搬費を含んでいない。

IV 考 察

主伐・搬出後に再び造林する場合、苗木の植栽場所を確保するために、散乱した枝条を整理する必要がある。従来は、立木の伐倒後にその場所でチェーンソー等による枝払いを行い、全幹集材（幹のみの集材）していたため、大量の枝条が残る主伐跡地を人力により地拵えしていた。これを全木集材（伐倒木の枝葉を幹に残したまま集材）し、危険で困難な林内での枝払いをハーベスタやプロセッサを使って土場で行う方式に切り替えることで、林内に残る枝条を減らすことが可能となる。本研究では、急傾斜地で調査した全幹集材後の人力地拵え経費は標準経費を上回っていたが、これは傾斜が急であったことや伐採木が70年生で大きく、払った枝が大量にあったことなどが影響していると推測される。これに対し、隣接する全木集材区での人力地拵えは20.41人工/haで全幹集材区27.70人工/haの74%の人工で作業ができる結果になっており²⁵⁾、その経費も下がっていることから、全木集材は林内に散乱する枝条が少ないために地拵えの低コスト化につながることを示されている。一方、緩傾斜地で短幹集材（林内での枝払い、玉切り後に幹のみ集材）した後にグラップルで地拵えした場合は、人力による従来経費よりも大幅に削減できることが実証された。林内に枝払い後の枝条が残っていたとはいえ、集材に用いた機械を使って枝条を短時間で整理できたことで、地拵えの省力化が図られたと考えられる。長野県の緩傾斜地での調査では、人力地拵えの39.5万円/haに対し、グラップル地拵えが10.0万円/haとなっている¹⁵⁾。長野県の結果と本研究では、伐採した樹種や林況、グラップルの性能、傾斜などさまざまな条件が異なるが、機械地拵えで大幅

に経費を削減できることは一致しており、地拵えでの機械の優位性が示されたと考えられる。

静岡県の人工林は急傾斜地も多く、すべての場所で機械が導入できるとは限らない。場所によっては、機械と人力の併用、または人力のみで地拵えせざるを得ない場所もある。これまでの調査では、整然と地拵えした場合とある程度省力化した地拵えでは、経費に大きな違いが表れる¹⁸⁾。地拵えを簡素化すればその経費は少なくて済むが、枝条が支障となって植栽や下刈りの効率が悪くなり、再造林のトータル経費が高くなる可能性もある。そのため、地拵えの程度と植栽や下刈りの効率性について検討することが今後の課題である。

ニホンジカ等の食害に対して、本研究では埼玉県が低コスト化造林の目的で開発した新方式の斜め張りシカ防護ネット²⁶⁾での対策費用を検証したが、従来の柵経費よりも安価であった。埼玉県で公表している造林事業標準歩掛り表でも、垂直張りネット（縦張りネット柵）の普通作業員人工は4.35人/100mであるが、これに対し斜め張りネット柵は1.46人/100mとなっており、設置が容易であることが示されている¹²⁾。また、斜め張りネット柵は一般的なネット柵よりも資材費が安いこと、設置の件費が低いことも報告されている^{8,29)}。本研究の結果もこれらを支持するものであった。

しかし、獣害対策として柵を設置した現場では、斜め張りネット柵だけでなく、縦張りネット柵においても、設置後に倒木やニホンジカ等が絡まることにより、柵が破損した事例が確認されている。また、ネットの目合いが約10cmで、ノウサギが侵入する心配もある。これらの懸念は斜め張りネット柵に限ったことではなく、縦張りネット柵や金網柵でも起こることである⁸⁾。したがって、柵設置だけでは万全ではなく、見回りや補修が必要なこと、ニホンジカ等が柵内に侵入した場合には、苗木が食べられたり、樹皮剥ぎされる心配があり、補植する可能性も出てくることを認識しておく必要がある。現状では倒木や柵の破損については具体的なデータのとりまとめがないため、それらについても事例を集積し、柵設置後の上乗せ経費を示していくことも必要である。

苗木を植栽場所へ小運搬する場合、従来は人力で背負子などを使って担ぎ上げていた。再造林で伐採から植栽までを一時期に行う一貫作業システムを導入すれば、伐採や集材に引き続いて苗木を植栽することになり、緩傾斜地では車両系機械（フォワーダ等）¹⁵⁾、急傾斜地では集材に用いた架線系機械（高速自走式搬器、スイングヤード等）¹⁾を使って苗木を効率的に運ぶことが可能となる¹⁾。高知県では本研究と同様に架線でのコンテナ苗運搬を実

証しているが、人力の14~22%の人工となっている¹⁾。本研究でも高速自走式搬器での運搬経費は人力での運搬経費を下回っており、架線での優位性が示されている。

今回の調査地点は往復の小運搬時間が60分以内の短時間であったため、人力による運搬経費は50250円/haと大きな金額にならなかった。しかし、運搬時間が長くなると1日に運べる苗木本数が反比例して減少するため運搬経費は上昇する。運搬時間が長い場合は機械の利用効果が高くなると考えられ、距離が長くなるほどフォワードによる運搬の効果が発揮されることも実証されている¹⁹⁾。また、県営林事業設計基準では、苗木1梱包で30kgとなっているが、その重量を背負って植栽地を移動する人力運搬は相当な重労働であり、機械で運搬すれば経費が減るだけでなく、人体への負担も少なくなると考えられる。

一方、柵設置後では架線の撤去や車両系機械の進入が難しくなるため、集材に使った機械による運搬は防鹿柵設置前の搬入が想定される。培地付きのコンテナ苗であれば、ある程度の乾燥に耐えることができるので、運搬した場所にまとめてネットや枝条で覆うことにより、ニホンジカ等の食害を防いで保管することが可能となる²⁾。本研究の調査現場でも、戸田森林組合がコンテナ苗を枝条で覆って15日間保管した後に植栽しても苗は問題なく活着したため、機械で運搬して林内に保管中に防鹿柵を設置することも可能であると考えられる。

人力と異なり、木材搬出に用いる高速自走式搬器やスイングヤードでは、一度に大量の苗を運ぶことが可能である。苗木を入れる吊り袋やカゴ等を工夫することで、より多くの苗を一度で運搬することができ、運搬経費をさらに下げることにつながると考えられる。

コンテナ苗は植栽可能な期間が長く活着が良いことが大きな特徴である²⁰⁾。これに加えて、根鉢の形成により根系がコンパクトになり、植栽効率が高いという利点がある¹¹⁾。その一方で、現状のコンテナ苗の価格は裸苗よりも高いため、本研究のように2000本/haにすれば、従来の3000本/ha植栽よりも安い経費となる。しかし、より一層のコスト削減を図るため、生産規模の拡大や²⁰⁾、育苗期間を短縮する等のコンテナ苗の価格を下げる技術開発¹⁹⁾が必要であろう。

造林コストの約4割を占めると試算されている²⁰⁾下刈りの経費削減には、下刈りの手法を改良することも考えられる。苗木植栽地の全面を刈る全刈りが一般的ではあるが、本研究の試算では植栽密度を2000本/ha程度に抑えて苗木の周辺のみを刈る坪刈りを行えば、下刈り経費を削減できることが示された。植栽木の梢端部が周辺の雑草に覆われていなければ樹高成長の影響は小さいと

されている²⁰⁾。全刈りに対して坪刈りでは苗の肥大成長はやや遅れるものの、樹高成長には差が認められない⁷⁾。したがって、苗木が3mを超えるまでの期間は、全刈りと坪刈りとは変わらないと考えられ、坪刈りは下刈り経費を減らすためには有効な方法の一つであると考えられる。

下刈りの経費削減には、手法の改良以外に短期間で草丈を上回る初期成長に優れる苗を植えることで、下刈りの回数を減らす方法がある^{3,4)}。本研究で、優良な精英樹(優れた成長性や通直性を示す樹木)を親とした交配苗を植栽したところ、対照系統や周辺木よりも初期成長に優れるものが得られ、これらの平均樹高は植栽から3年目には下刈り終了の目安とされる3m⁴⁾を超えていた。挿し木による推定ではあるが、優れた成長が期待できるエリートツリー苗木では約5年で3mを超えるとされており^{3,4)}、本研究での初期成長に優れる苗はそれよりも早く3mに達していた。仮にこのような苗を植栽できれば、下刈りを3年間行えば良いことになり、これまで植栽後5~6年間行ってきた下刈り期間²⁰⁾を短縮することが可能となる。

また、樹高偏差値が65以上の植栽木の中には、若齢時ではあるが材の強度が対照木よりも優れ、雄花着生量が少ない傾向にあるものも含まれ(未発表)、10年生以上の成木となる時期には、エリートツリーや特定母樹の基準を満たすことも期待されるため、将来的にも調査を継続する必要がある。

主伐後の再生林の低コスト化を図るためには、本研究で実証した手法を導入していくことが効果的であると考えられるが、森林所有者らの経営目標や施業地の傾斜などの要因により経費は変わる。そのため、目標と傾斜の観点から再生林経費を試算した。優良材生産を目標にすると、高密度で植栽した後に雑草木を確実に除き、間伐で優良木を残すという施業方法になるため、苗木植栽や下刈り経費が高くなる。急傾斜地になれば人力地拵えにせざるを得ないため、その経費が上乘せになる。これに対して、並材生産を目指せば苗木の植栽本数が少なくなり、坪刈りの導入で下刈りの省力化を図ることができるため、再生林経費の中でも割合が大きい植栽や下刈りの経費について低コスト化が図られる。さらに緩傾斜地であれば地拵えの機械化で経費の削減ができる。このような条件であれば、地拵え、植栽、獣害対策、下刈りの積算経費が裸苗植栽で優良材生産を目標とする従来施業の標準経費の61%となるため、大幅な低コスト化が期待できると考えられた。

裸苗で並材生産を目標とした施業との比較でも、試算結果は低コストとなり経費が下がることが期待され、コンテナ苗の植栽、初期成長に優れる苗での下刈り回数の低減などの新手法は、再造林の経費削減に対する有効な手法であると考えられた。また、獣害対策も再造林経費の中で大きな割合となっているが、斜め張りネット柵の導入で当初の経費削減が可能になると思われた。シミュレーションによる標準経費 1 や標準経費 2 から見た場合、苗木運搬標準経費は3%以下で、高速自走式搬器を使った場合はさらに低い割合となるが、フォワードによる苗木搬出の経費も含めてより正確な再造林経費を算出することが今後の課題である。

以上のように、再造林の各種作業における経費の削減方法を示した。これらは再造林の経費を低く抑える手法であるが、人工林の立地条件や目標林型はさまざまであり、すべてを画一的な施業方法で対処できるとは限らない。傾斜が緩く道から 200m 以内の場所を優先的に対象地とするなど、森林をゾーニングし²⁰⁾、実行可能な人工林を対象として低コスト化の技術を導入し、主伐・再造林を進めていくことが重要である。

再造林の試算額は地域によって賃金格差などがあり、全国一律で適用できない場合も考えられる。しかし、この試算は静岡県において事業を進める際に参考となり、再造林の手法として主伐・再造林を進める他地域でも活用されることが期待される。

V 摘 要

主伐後における再造林の低コスト化を図るため、静岡県での実証調査を行い、その経費を試算した。全木集材地は全幹集材地に比べて地堆え経費が低く、緩傾斜地でグラップルを使用した場合は、人力による標準経費の 25～42%であった。獣害対策の初期投資としての斜め張りネット柵は、金網柵の 37%、縦張りネット柵の 70%の経費であった。高速自走式搬器での苗木の運搬経費は、人力運搬による標準経費の 6%であった。コンテナ苗をディンプルを使って 2000 本/ha の密度で植栽すると、裸苗を 3000 本/ha で植栽する標準植栽の 71%の経費であった。植栽密度 2000 本/ha での坪刈りは、3000 本/ha で全刈りする場合よりも作業時間が短く、75%の経費と試算された。精英樹交配苗の林地植栽で 3 成長期後に樹高 3m 以上となるものが得られ、このような初期成長に優れる苗の植栽によって下刈り回数の削減が期待でき、経費は標準の 50～60%になると考えられた。再造林の低コスト化

について、緩傾斜地で並材生産を目標とするならば、本研究の実証試験の手法を導入することで、標準経費の 61%まで削減できると試算された。

謝 辞

本研究を行うに当たり、関東森林管理局、天竜森林管理署、富士市林政課、沼津市農林農地課、川根本町産業課、戸田森林組合、水窪町森林組合、春野森林組合、天竜森林組合、富士市森林組合、森林組合おおいがわ、(株)いしい林業、(有)氏原林業、(有)落合製材所、望月木材、静岡県経済産業部森林局、静岡県の農林事務所の皆様には、多大なる協力をいただいたので、御礼を申し上げる。

引用文献

- 1) 藤本浩平・山崎真・渡辺直史・山崎敏彦 (2016) : 架線系一貫作業システムの実用化にむけて—コンテナ苗の架線による運搬・現地保存・植栽—。森林技術 897, 16～19.
- 2) 福地晋輔・吉田茂二郎・溝上展也・村上拓彦・加治佐剛・太田徹志・長島啓子 (2011) : 低コスト林業に向けた植栽密度の検討—オビシギ植栽密度試験地の結果から—。日林誌93, 303～308.
- 3) 星比呂志・倉本哲嗣 (2013) : エリートツリーにより期待される施業の効率化。低コスト造林・育林技術最前線, 全国林業改良普及協会, 東京, 132～140.
- 4) 星比呂志・倉本哲嗣・平岡裕一郎 (2013) : 今後のエリートツリーの活用による育種の推進。森林遺伝育種 2, 132～135.
- 5) 池田和弘 (2013) : 埼玉県農林公社式シカ防除ネット歩掛調査及び効果等報告書 平成 24 年度革新的低コスト化造林事業. 44pp
- 6) 石塚森吉 (2013) : 低コスト化造林技術の研究開発方向。低コスト造林・育林技術最前線, 全国林業改良普及協会, 東京, 14～23.
- 7) 伊藤愛・綿野好則・袴田哲司・山本茂弘・近藤晃 (2015) : 植栽密度別試験地における省力的な下刈り方法の検討—作業工程と植栽木の初期成長量の比較—。静岡農技研報 8, 89～93.
- 8) 伊藤愛 (2014) : 斜めに設置する新方式ニホンジカ防除ネットの検証。F&F1057, 静岡県林業会議所

- 9) 鹿又秀聡 (2014) : 再生林の低コスト化を進めていくために一国产材の安定供給を目指して一. 木材情報 283, 13~16.
- 10) 近藤晃・袴田哲司・渡井純・山田晋也・伊藤愛 (2014) : 伐採と植栽の一貫作業による再生林コストの削減. 静岡農技研成績概要集 (森林・林業編), 51~52.
- 11) 近藤晃・袴田哲司・山田晋也・伊藤愛・山本茂弘 (2015) : コンテナ苗の植栽作業工程に及ぼす植栽器具と作業者の影響. 中森研 63, 111~114.
- 12) 公益財団法人埼玉県農林公社 (2013) : 造林事業標準歩掛表. 26pp
- 13) 松本和馬・小谷英司・駒木貴彰 (2015) : 東北地方における低コスト化再生林の実用化と課題. 東北森科誌 20, 1~15.
- 14) 野宮治人・重永英年・矢部恒晶 (2013) : 無下刈りによるシカ食害の軽減とスギ苗の成長低下. 九森研 66, 54~56.
- 15) 大矢信次郎・斎藤仁志・城田徹央・大塚大・宮崎隆幸・柳澤信行・小林直樹 (2016) : 長野県の緩傾斜地における車両系伐出作業システムによる伐採・造林一貫作業の生産性. 日林誌 98, 233~240.
- 16) 林野庁 (2017) : 森林・林業白書, 236pp
- 17) 佐々木重樹 (2003) : 低コスト林業生産システム原価計算プログラムの作成. 静岡林技セ研報 31, 23~26.
- 18) 静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター (2018) : 省力的手法による主伐後の再生林の低コスト化一静岡県における調査研究からの試算一. 17pp
- 19) 鳥海春夫 (2002) : 地域林業の多角化に関する研究 (2) 下刈りの省力化に関する研究. 東京林試年報平成14年 (2002年) 度版, 17~22.
- 20) 上村佳奈・落合幸仁・山田健・鹿又秀聡 (2012) : スギのコンテナ育苗の生産コスト分析. 関東森研 63, 49~52.
- 21) 宇都木玄 (2015) : これからの森林施業の道筋を考える. 山林 1570, 20~29.
- 22) 渡邊仁志・茂木靖和 (2012) : スギの初期成長に及ぼす立地と施肥の影響, および省力造林の可能性. 岐阜森林研研報 41, 1~6.
- 23) 山川博美・重永英年・久保幸治・中村松三 (2013) : 植栽時期の違いがスギコンテナ苗の植栽後1年目の活着と成長に及ぼす影響. 日林誌95, 214~219.
- 24) 山川博美・重永英年・荒木眞岳・野宮治人 (2016) : スギ植栽木の樹高成長に及ぼす期首サイズと周辺雑草木の影響. 日林誌 98, 241~246.
- 25) 山本道裕・野末尚希 (2016) : 急傾斜地における架線系高性能林業機械を活用した一貫作業システム実証試験の成果について. 森林技術 897, 12~15.
- 26) 山本茂弘・袴田哲司・近藤晃 (2016) : スギ精英樹交配苗の育苗時の成長と山地植栽1年後の結果. 中森研 64, 9~10.
- 27) 吉村洋 (2016) : 森林の循環利用確立に向けた再生林コストの低減一伐採から再生林までの一貫作業システムの可能性. 林経協季報林道 41, 1~6.