

斜面傾斜および土壌硬度がスギ裸苗および コンテナ苗の植栽効率に及ぼす影響

図子 光太郎・斎藤 真己

The influences of slope gradient and soil hardness on the planting efficiency of sugi bare-rooted and containerized seedlings

Kotaro ZUSHI, Maki SAITO

スギの裸苗およびコンテナ苗の植栽に要する作業時間と斜面傾斜および土壌硬度（貫入抵抗値）との関係について検討した。裸苗の植栽には唐鋤を用い、コンテナ苗の植栽にはディブルおよび唐鋤を用いた。植栽に要する作業時間は、裸苗で 112.8 ± 37.8 秒/本（平均値 \pm 標準誤差）、コンテナ苗の唐鋤植えで 86.9 ± 33.8 秒/本、コンテナ苗のディブル植えで 64.9 ± 22.9 秒/本となった。一般化線形モデルによる解析の結果、斜面傾斜および土壌硬度が植栽作業時間に対し有意に影響した。斜面傾斜が 10° 増加すると植栽時間は約14%増加した。また、貫入抵抗値が $20\text{N}/\text{cm}^2$ 増加すると植栽時間は約3%増加した。本調査の結果から、斜面傾斜と土壌硬度の影響を考慮した植栽作業時間の推定が可能となった。

1. はじめに

林業の収益性が低下するなか、持続的な林業経営を行うためには、造林経費の削減を図る必要がある。特に、全体の6割を占めるとされる植栽を含めた初期保育の経費削減は（林野庁2011）、多くの人工林が伐期を迎えるなか、喫緊の課題と言える。こうした課題に対する解決策の1つとして大きな期待を寄せられているのがコンテナ苗の導入である。

コンテナ苗は、マルチキャビティコンテナなどのコンテナトレーを使って育苗された、培地付きの苗である。これを導入する大きな利点は、植栽作業の効率向上とそれによる植栽経費の削減にある。コンテナ苗の導入が進んでいるヨーロッパや北米では、ディブル、スペード、プランティングチューブといったコンテナ苗専用の様々な植栽器具が開発され、これを用いることで植栽作業の効率化ならびに経費の削減を実現している（三好1996、山田ら2013）。

日本でも、ここ数年、コンテナ苗の普及に向け、コンテナ苗植栽の作業効率に関する調査が多数行われ、その多くが、コンテナ苗の植栽効率における優位性を実証している（今富2011、金澤2012、山田ら2013）。さらに、いくつかの研究が、植栽効率におよぼす斜面傾斜の影響に言及している。例えば、渡邊ら

（2013）および渡邊ら（2014）は、急傾斜地においてコンテナ苗の植栽効率が低下したと報告している。また、福田ら（2012）は急傾斜地では、唐鋤による植栽の効率が高くなるとしている。その一方、山田ら（2013）は、コンテナ苗の植栽に要する時間は斜面傾斜の影響を受けないとしている。斜面傾斜は、林地での作業効率を考えるうえで、基本的な因子であるにもかかわらず、その評価は報告によって必ずしも一致していない。また、植栽作業では土壌の掘削などを伴うことから、土壌硬度も作業効率に影響すると考えられるが、これについて検討した研究も見当たらない。

コンテナ苗導入の主目的が作業効率の向上や植栽経費の削減にあることから、導入にあたって作業効率や経費の予測を求められることが多い。これを可能にするには、植栽の作業時間と各種作業条件との関係を定量的に表す予測式が必要となる。

そこで、本研究ではスギの裸苗およびコンテナ苗について、植栽の作業効率に対する斜面傾斜と土壌硬度の影響について検討した。さらに、植栽に要する作業時間と苗の種別、斜面傾斜、土壌硬度などとの関係を表す予測式の作成を試みた。

2. 調査方法

本研究は富山県内の3箇所のスギ伐採跡地で行われた(表-1)。大熊の前生スギ林分は2013年の秋に皆伐され、尾畑および芦峯寺は2014年の春に皆伐された。それぞれの調査地において、皆伐後に残置された枝条が植栽作業の障害にならないよう、植栽前に筋地拵えを施した。

表-1 調査地の概要

	面積 (ha)	標高 (m)	平均傾斜 (°)	緯度	経度
大熊	0.10	229	32	N36° 44' 45"	E137° 26' 08"
尾畑	0.15	418	29	N36° 30' 56"	E137° 05' 33"
芦峯寺	0.21	783	9	N36° 35' 35"	E137° 25' 44"

植栽には、3年生のスギ裸苗と2年生のスギコンテナ苗を用いた。裸苗は新潟県の民間の種苗生産者によって育苗された。コンテナ苗は富山県の新川森林組合によりM-StARコンテナ(三樹 2014)を用い育苗された。M-StARコンテナは筒状に巻いた波形ポリエチレンシートと筒状のシートを支えるトレーによって構成されている。コンテナ容量は筒状シートの直径や高さを変えることによって自在に変えることができる。本研究では、コンテナ容量を394ml(内径56mm, 高さ160mm)に設定し、緩効性肥料を混合したパーミキュライトを育苗基材として充填した。山出しを行う直前に、裸苗およびコンテナ苗からそれぞれ20本を無作為に抜き取り、苗高、根元直径、乾重などを測定した(表-2)。

2014年11月、各調査地において裸苗およびコンテナ苗の植栽功程調査を実施した。作業はいつでも、これまでに植栽作業に従事したことのある森林組合の作業員が行った。ただし、コンテナ苗の植栽については、いずれの作業員も初めて行った。各調査地において、それぞれ2名の作業員が作業を行い、一方が裸苗の植栽を、もう一方がコンテナ苗の植栽を担当した。2時間程度作業を行った後、担当を入れ替えて、同

様の作業を行った。苗の植栽間隔は基本的に2mとし、根株や大型の礫などの障害物がある場合にはそれらを避け、その近辺に植栽するようにした。植栽間隔の測定には長さ2mに調整した竹竿や測量用ポールを用いた。植栽器具には、裸苗に唐鋤を、コンテナ苗にディブルおよび唐鋤のいずれかを用いた。ここで用いたディブルは宮城県農林種苗農業協同組合によってコンテナ苗植栽用に開発されたもので、これを用いた場合、他の植栽器具に比べ、効率的に植栽できることが実証されている(山田ら 2013, 近藤ら 2014)。なお、それぞれの調査地における植栽本数を表-3に示した。

表-3 苗タイプ別の植栽本数

	植栽本数(本)		
	コンテナ苗		裸苗
	ディブル植栽	唐鋤植栽	
大熊	115	40	92
尾畑	100	46	89
芦峯寺	129	90	193

苗の植栽にあたり、作業員に対し以下のとおり指示を行った。裸苗については、植栽位置の周りを整地した後に、唐鋤を用いて植え穴を掘り、根を広げて植え穴に入れ、土をかけてから苗木の周りを軽く踏み固めることとする。コンテナ苗については、根鉢に対し十分な深さの植え穴を掘り、根鉢の上端が地表面より上に露出しないように植え、周囲を軽く踏み固めることとする。

作業時間解析のため、ビデオカメラを用いて全ての苗の植栽状況を記録し、要素作業毎の時間を測定した。解析に用いた要素作業は以下のとおりである。植栽間隔を測定し、苗の植栽位置までの移動する「移動」、植栽位置周辺の枝葉など障害物を除去する「地表面整理」、植え穴を掘る「植え穴掘り」、植え穴に苗を入れ、土をかける「植え付け」、植え穴周辺を踏み固め、苗の植え付け状態を確認する「締固め・確

表-2 植栽に用いた苗の概要

	苗高 (cm)	根元直径 (mm)	形状比	地上部乾重 (g)	根乾重 (g)	地上部/根乾重比
コンテナ苗	30.8±4.6	5.2±1.1	61.1±7.7	4.8±2.9	1.4±1.0	3.6±1.0
裸苗	57.2±3.5	9.9±0.6	57.9±4.5	32.7±4.6	11.0±1.5	3.0±0.5

平均値±標準偏差

認」，運搬用の袋や苗の束から苗を取り出す「苗取り」とした。なお、裸苗については、苗運搬用の袋に20本程度の苗を入れ、それを背負いながら作業を行った。コンテナ苗については、ポリフィルムにより10本ずつまとめの束にされており、その束を1つ持って移動した。また、苗の運搬に用いた車両からの荷下ろしに要する時間、荷下ろし地点から植栽箇所までの苗の運搬に要する時間、休憩時間は本論の解析には含めなかった。

植栽終了後、全ての苗にラベルを付け、苗高と地際直径を測定した。また、それぞれの苗の植栽位置について測量を行い、植栽位置の座標と斜面傾斜を求めた。

本研究では、コーン・ペネトロメーター（（株）篠原製作所）による貫入抵抗値（N/cm²）を土壌硬度の指標とした。貫入試験は、全ての苗を対象に、植え穴の出来るだけ近くで、3回繰り返して行い、深さ10cmに達した時点におけるダイヤルゲージの値を読み取り、その平均値を採用した。

苗の種類や植栽器具による作業時間の違いを検討するため、裸苗、ダブル植栽によるコンテナ苗、唐鋤植栽によるコンテナ苗の3つのタイプ（以下、苗タイプとする）にカテゴリ分けし、分散分析およびTukeyの多重比較検定により作業時間を統計的に比較した。また、植栽作業および各要素作業の作業時間に対する苗タイプ、斜面傾斜、土壌硬度および苗の大きさなどの影響を評価するとともに、作業時間の予測式を作成するため、ガンマ分布と対数リンク関数を組み合わせた一般化線形モデルを用いて解析を行った。苗タイプによって斜面傾斜の影響が異なる可能性がある（渡邊ら 2014）、苗タイプと斜面傾斜との交互作用についても検討した。モデルの最適化を図るため、赤池情報量基準（AIC）をもとに変数の取捨選択を行った。なお、これらの解析はR3.1.3（R Core Team 2015）により行った。

3. 結果

苗タイプ別の植栽作業時間について、全調査木の結果を平均すると、裸苗で112.8±37.8秒/本（平均値±標準誤差）、コンテナ苗の唐鋤植栽で86.9±33.8秒/本、コンテナ苗のダブル植栽で64.9±22.9秒/本となった。Tukeyの多重比

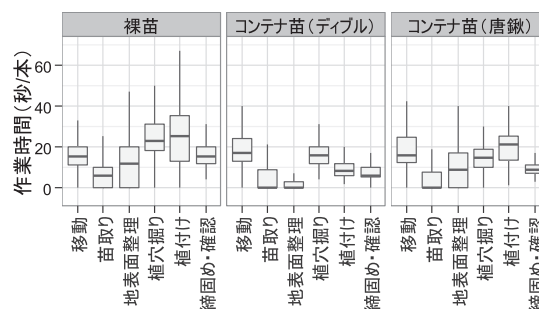


図-1 要素作業別作業時間の比較

較検定により苗タイプ別のそれぞれの作業時間間に有意差が認められた ($p < 0.001$)。

要素作業別の作業時間の比較を図-1に示した。裸苗では、「植え付け」に最も時間を要しており、次いで「植え穴掘り」、「締固め・確認」および「移動」の順となった。コンテナ苗のダブル植栽では、「移動」および「植え穴掘り」に最も時間を要し、次いで「植え付け」、「締固め・確認」の順となった。コンテナ苗の唐鋤植栽では、「植え付け」および「移動」に最も時間を要しており、次いで「植え穴掘り」、「地表面整理」および「締固め・確認」の順となった。

要素作業別の作業時間を苗タイプの間で比較すると、「植え付け」、「地表面整理」および「締固め・確認」は裸苗で最も時間を要し、次いでコンテナ苗の唐鋤植栽、コンテナ苗のダブル植栽の順となり、苗タイプ間で有意差が認められた ($p < 0.001$)。さらに、「植え穴掘り」については、裸苗と他の苗タイプとの間に有意差が認められた ($p < 0.001$)。一方、「移動時間」および「苗取り」については苗タイプ間で有意差は認められなかった。

植栽に要する作業時間を応答変数に、苗タイプ、斜面傾斜、土壌硬度、苗の地際直径および苗高を説明変数として投入し、予測モデルを作成した。AICによる変数選択の結果、コンテナ

表-4 植栽作業時間の解析結果

	推定値	標準誤差	p 値
切片	4.280	0.089	<0.001
コンテナ苗 (ダブル)	-0.539	0.046	<0.001
コンテナ苗 (唐鋤)	-0.199	0.050	<0.001
斜面傾斜	0.013	0.001	<0.001
土壌硬度	0.002	0.001	<0.05
地際直径	0.016	0.009	0.088

AIC: 8234

苗のダブル植え，コンテナ苗の唐鋤植え，斜面傾斜，土壤硬度および地際直径が説明変数として採用された（表-4）。また，苗タイプと斜面傾斜との交互作用項については説明変数として採用されなかった。このモデルをもとに作成した植栽作業時間，斜面傾斜および土壤硬度の関係は図-2のようになった。斜面傾斜が0～45°の範囲において，作業時間はほぼ直線的に増加した。また，貫入抵抗値の増加に伴って作業時間が増加する傾向があった。

各要素作業の作業時間を応答変数に，苗タイプ，斜面傾斜，土壤硬度，苗の地際直径および苗高を説明変数として投入し，予測式を作成した（表-5）。斜面傾斜が説明変数として採用されたモデルは「移動」，「地表面整理」，「植え穴掘り」および「締固め・確認」となり，いずれのモデルにおいても斜面傾斜の増加に伴い，作業時間が増加した。一方，土壤硬度が説明変数として採用されたモデルは「植え穴掘り」のみとなり，土壤硬度の増加に伴い，作業時間が増加した。

4. 考察

山田ら（2013）は，ダブルを用いてコンテナ苗を植栽した場合，唐鋤を用いて裸苗を植栽した場合に比べ，単位時間当たりに約2倍の本数を植栽できると報告している。近藤ら（2014）も同じく2.2倍の本数を植栽できるとしている。また，いずれの報告においても，唐鋤を用いてコンテナ苗を植栽すると，唐鋤による裸苗植栽とダブルによるコンテナ苗植栽の中間的な植栽効率となるとしている。本調査ではダブルによるコンテナ苗植栽および唐鋤によるコンテナ苗植栽は，裸苗植栽に比べ，単位時間当たりそれぞれ1.7倍および1.3倍の本数を植栽することができ，山田らや近藤らの報告と同

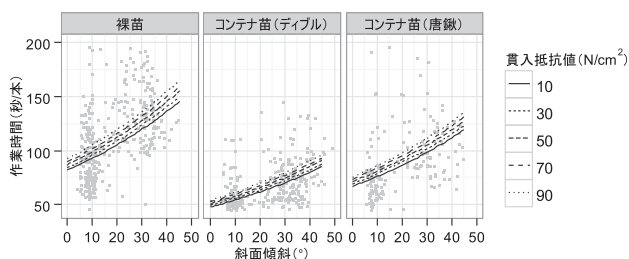


図-2 植栽作業時間，斜面傾斜および土壤硬度の関係

様，植栽効率におけるコンテナ苗の優位性が確認された。

要素作業別にみると，苗タイプによる作業時間の差は，「植え付け」の時間に端的に表れる。裸苗では，「植え付け」に一本当たり平均26秒を要する。これに対し，コンテナ苗の唐鋤植えでは平均21秒，コンテナ苗のダブル植えでは平均10秒しか要しない。ダブルを用いた場合，「植え付け」は植え穴に苗を落とし込むだけであるが，唐鋤の場合は，苗を植え穴に据えた後，周囲の土を植え穴に投入する必要がある。特に，裸苗はコンテナ苗に比べ，植え穴が大きくなり，投入する土の量も多くなることから，より多くの時間を要することになる。「地表面整理」および「締固め・確認」についても，植え穴の大きさに比例して作業時間が増加すると考えられる。

植栽に要する作業時間は斜面傾斜の増加に伴って増加した。この傾向は裸苗およびコンテナ苗のいずれにおいても認められ，「移動」，「地表面整理」，「植え穴掘り」，「締固め・確認」といった要素作業にその影響が顕著に現れた。急傾斜地では作業者の足場が不安定となり，作業姿勢も無理を伴うことから，労働負荷が大きくなり，作業時間の増加を招くと考えられる。また，植栽作業時間の予測式によれば，斜面傾斜が10°増加すると，植栽に要する時間

表-5 植栽における要素作業別作業時間の解析結果

	移動		苗取り		地表面整理		植穴掘り		植付け		締固め・確認	
	推定値	p値	推定値	p値	推定値	p値	推定値	p値	推定値	p値	推定値	p値
切片	2.575	<0.001	1.997	<0.001	1.580	<0.001	3.470	<0.001	2.906	<0.001	1.902	<0.001
コンテナ苗（ダブル）	—	—	—	—	-1.388	<0.001	-0.612	<0.001	-0.795	<0.001	-0.853	<0.001
コンテナ苗（唐鋤）	—	—	—	—	-0.115	0.642	-0.647	<0.001	-0.046	0.595	-0.369	<0.001
斜面傾斜	0.017	<0.001	—	—	0.030	<0.001	0.009	<0.001	—	—	0.018	<0.001
土壤硬度	—	—	—	—	—	—	0.004	<0.001	—	—	—	—
地際直径	—	—	—	—	0.063	0.173	—	—	0.036	<0.05	—	—
苗高	—	—	—	—	—	—	-0.009	<0.01	—	—	0.013	<0.001
AIC	6593		4321		4768		6565		6593		5833	

は約14%増加することになり、植栽経費への影響も無視できないと考えられる。

渡邊ら (2014) は、緩傾斜地では専用植栽器具によるコンテナ苗植栽が効率的であるが、急傾斜地では唐鋤による裸苗植栽の方が効率的であると指摘している。また中森・斉藤 (2013) も、急傾斜地において裸苗とコンテナ苗の植栽時間を測定したところ、裸苗の方が短い時間で植栽できたとしている。このように裸苗とコンテナ苗の植栽効率において、斜面傾斜に対する影響の受け方に差があるとの見方がある。本調査では0~45°までの傾斜を含んだが、傾斜に関わらず、コンテナ苗植栽の効率が裸苗植栽のそれを上回った。また、苗タイプと斜面傾斜の交互作用についても検討したが、その影響は小さく、そうした見方を裏付ける結果は得られなかった。こうした結果の違いは使用した苗の樹種や根のサイズによって生じた可能性がある。斜面傾斜によって植栽効率に差が生じるとした渡邊ら (2014) や中森・斉藤 (2013) の研究はともにヒノキを対象に試験を行っている。ヒノキ裸苗の場合、植栽前に根切りが行われることから、植え穴は比較的小さくてすむ。一方、本研究では根系の充実したスギ裸苗を用いており、比較的大きな植え穴が必要となる。このことが急傾斜地での植栽効率に影響したかもしれない。

植栽作業時間に対する土壌硬度の影響についてみると、土壌硬度の増加に伴い、作業時間が増加する傾向があった。予想されたとおり、土壌硬度は「植え穴掘り」作業に影響した。作業時間の予測式によれば、貫入抵抗値が20N/cm²増加した場合であっても、作業時間の増加は3.2%程度にすぎない。したがって、一般的な再生林地であれば、土壌硬度が作業効率や経費に与える影響は限定的であろう。

謝辞

調査の実施に際し、新川森林組合、立山山麓森林組合、婦負森林組合の職員および作業員の皆様に、多大なるご協力をいただいた。ここに記して厚く感謝の意を表す。なお、本研究は農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センターが実施する「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業（うち産学の英知を結集した革新的な技術体

系の確立）」の一環として行われた。

引用文献

- 福田達胤・松尾亨・渡辺貞幸・木戸口佐織 (2012) 民国連携によるコンテナ苗の実証試験と普及. 平成23年度森林・林業技術交流発表集 (東北森林管理局) : 113-117
- 今富裕樹 (2011) スギ再生林の低コスト化を目指した技術開発 伐採・地拵え・植栽の一貫作業による低コスト化. 現代林業542 : 52-55
- 金澤巖 (2012) コンテナ苗木生産と低コスト造林. 現代林業555 : 26-30
- 近藤晃・袴田哲司・山本茂弘・渡井純・山田晋也・伊藤愛 (2014) 森林・林業再生を加速する静岡型エリートツリーによる次世代省力造林技術の開発 2-2 コンテナ苗による省力的造林技術の開発 2-2-2 コンテナ苗の植栽工程に及ぼす植栽器具の影響. 静岡県農林技術研究所成績概要集(森林・林業編) 2014 : 35-36
- 三樹陽一郎 (2014) Mスターコンテナ苗の栽培技術の開発. 森林技術863 : 17-19
- 三好英勝 (1996) スウェーデンとドイツの苗木生産と造林作業. 北海道の林木育種39 : 1-4
- 中森由美子・斉藤雅一 (2013) ヒノキコンテナ苗類の植栽工程の一事例 (第1報). 和歌山県林業試験場業務報告71 : 5-6
- R Core Team (2015) The R project for statistical computing. <https://www.r-project.org/> (最終アクセス日: 2016年1月4日)
- 林野庁 (2011) 平成20年度 森林・林業白書. <http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyoy/20hakusho/zenbun.html> (最終アクセス日: 2016年1月4日)
- 渡邊仁志・白田寿生・茂木靖和 (2013) ヒノキ2年生コンテナ苗の植栽工程と初期生存率. 岐阜県森林研究所研究報告42 : 19-24
- 渡邊仁志・茂木靖和・早川幸治・白田寿生・古川邦明 (2014) 植栽器具の違いが急傾斜地におけるヒノキ・コンテナ苗の植栽工程に及ぼす影響. 中部森林研究62 : 5-8
- 山田健・落合幸仁・岡勝 (2013) コンテナ苗の植栽器具と植栽作業能率. (低コスト再生林の実用化に向けた研究成果集. 森林総合研究所九州支所偏, 森林総合研究所) . 14-15

Summary

We examined the relationships between the time required for planting of sugi bare-rooted seedlings and containerized seedlings and slope gradient and soil hardness (penetration resistance) at the planting points. The bare-rooted seedlings were planted using a hoe and the containerized seedlings were planted using a hoe or a dibble. The time required for planting bare-rooted seedlings, containerized seedlings with a hoe, and containerized seedlings with a dibble was 112.8 ± 37.8 sec/seedling (Mean \pm SD), 86.9 ± 33.8 sec/seedling, and 64.9 ± 22.9 sec/seedling, respectively. As the result of analysis using a generalized linear model, the time required for planting was significantly influenced by slope gradient and soil hardness. The working time increased by 14% when the slope gradient increased by 10 degree. Also, the working time increased by 3% when the penetration resistance increased by 20 N/cm². Furthermore, the time required for planting of bare-rooted and containerized seedlings could be predicted in consideration of the influences of slope gradient and soil hardness.