

急傾斜地におけるスギコンテナ大苗の生育成績評価

由利森林管理署	発 表 者	主 事	渡辺 陽平
	チーム員	森林整備官	伊藤 裕太
		主任主事	小木曾 快
	チームリーダー	総括森林整備官	原田 裕介
	アドバイザー	次長	三上 貢

1 はじめに

森林は国土の保全や水源の涵養など様々な機能を有しており、これらの多面的機能を十分に発揮させるためには、主伐後の再造林や間伐等の森林整備を適正に進める必要があります。しかし近年、民有林における主伐面積に対する人工造林面積は3～4割程度で推移しており（林野庁 2020）、伐採後再造林されないまま放置されるケースが多くなっています。その原因の一つに、造林費用の負担が大きいことが挙げられます。令和4年現在、山元立木価格が157万円/haであるのに対し、地拵えから下刈までの造林初期費用は192万円/haとなっており（林野庁 2023）、山元立木価格を上回っているのが現状です。そのため、主伐後の確実な再造林を進めるためには、造林経費の低コスト化が重要な課題となっています。

造林初期費用の中で最も高い割合を占める作業種が下刈であることから、近年、下刈回数の削減等を目的に、スギコンテナ大苗（以下、大苗）の植栽が行われています。大苗は従来からのスギコンテナ苗（以下、普通苗）と比較して、根鉢の容量が大きなコンテナを用いてより大きく生育させたもので（表－1）、普通苗よりも早期に競合植生の高さを上回り、下刈作業の軽減が図れると期待されています。

主伐後の再造林は、平坦地など条件の良い場所だけではなく急傾斜地や雪害等が起こりやすい生育条件の厳しい場所でも実施され、そのような場所に大苗が植栽される可能性もあります。先行研究では、標高や斜度の異なる3地点にスギのコンテナ

表－1 スギコンテナ苗の規格（林野庁東北森林管理局 2022）

	苗 齢	苗 長	根 元 径	根 鉢
普通苗	2～3	35 cm以上	4.0 mm以上	150 cc
大 苗	2～3	60 cm以上	8.0 mm以上	300 cc

苗と裸苗を植栽し雪害の発生状況を調査したところ、急傾斜になるほど、あるいは苗高が大きくなるほど引き抜けや倒伏が起こりやすくなることが報告されています（図子 2016）。また、普通苗と大苗の間で生存率や成長を比較した研究では、生存率については大きな差は無く、成長量については普通苗と比べて根元直径の成長量が大いという結果が示されています（小谷ら 2019）。しかし、大苗が植栽されるようになったのは比較的最近のことであり、生育条件の厳しい場所での大苗の定着や成長についての知見はまだ十分ではありません。

そこで本研究では、急傾斜地における大苗の導入の得失について検証することを目的に、植栽場所の斜度が大苗と普通苗の定着や成長に与える影響を調査しました。

2 研究方法

(1) 調査地

調査地は、由利森林管理署管内の斜面傾斜が異なる2か所に、計6調査区を設置しました(表-2)。

急傾斜地の調査区は、秋田県由利本荘市鳥海町上笹子字大火国有林 1028 林班ほ小班、及び丁森国有林 1029 林班り小班で(図-1(a))、令和3年に伐採し、同年秋にスギコンテナ苗を植栽しました。この場所には、令和3年11月に東北森林管理局森林整備課が苗サイズ及び下刈回数(下刈0回、1回)の違いに応じて4か所の植栽試験地を設置し調査を行っていることから、その試験地を調査区としました。調査区の斜度は $27.0\sim 42.3^{\circ}$ 、斜面方位は北または西、冬季の最深積雪は約200cm(気象庁2020)となっています。なお、大苗区②及び普通苗区②では、植栽翌年の令和4年に下刈が行われる予定でしたが、入札不調により令和5年夏に下刈が行われました。

緩傾斜地の調査区は、秋田県にかほ市馬場字冬師山国有林 62 林班つ小班及びの小班で(図-1(b))、令和4年に伐採し、同年秋にスギコンテナ苗を植栽しました。令和5年5月、つ小班に大苗区③を、の小班に普通苗区③を設置しました。調査区の斜度は $5.8\sim 10.0^{\circ}$ 、斜面方位は北西、冬季の最深積雪は約200cm(気象庁2020)となっています。両調査区では、令和5年夏に下刈が行われました。

表-2 調査地の概要

林小班	傾斜区分	名称	斜度($^{\circ}$) [注1]	斜面方位	最深積雪 (cm)	伐採 年度	植栽苗	下刈	調査 時期
1029り	急	大苗区①	36.0	西	202	R3	スギ大苗	無	R3~R5
1029り	急	大苗区②	39.3	西	202	R3	スギ大苗	R5	R3~R5
1028ほ	急	普通苗区①	27.0	北	196	R3	スギ普通苗	無	R3~R5
1028ほ	急	普通苗区②	42.3	北	196	R3	スギ普通苗	R5	R3~R5
62つ	緩	大苗区③	5.8	北西	196	R4	スギ大苗	R5	R5
62の	緩	普通苗区③	10.0	北西	196	R4	スギ普通苗	R5	R5

[注1] 測定方法は(2)調査方法を参照。

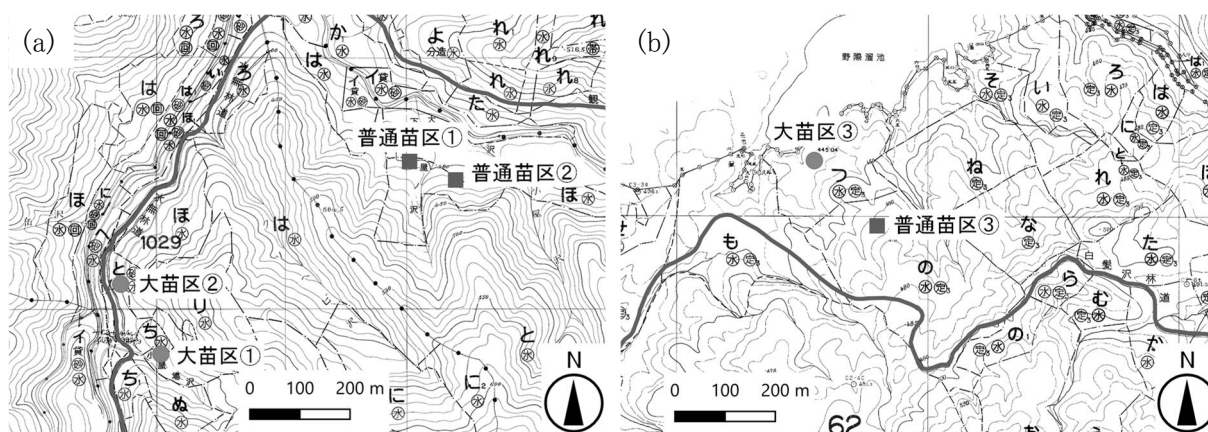


図-1 急傾斜地(a)および緩傾斜地(b)の調査地の詳細図

（２）調査方法

各調査区から 30～35 個体を選定し、急傾斜地は令和 3 年 11 月から令和 5 年 11 月にかけて、緩傾斜地は令和 5 年 5 月から同年 11 月にかけての春と秋の 2 回、苗の生死と雪害の発生状況、樹高、地際直径を測定しました（急傾斜地では令和 5 年春は未調査）。雪害は、引き抜け（植穴から根鉢が完全に、または一部露出しているもの）、幹曲がり、折損を調査対象としました。樹高は、幹長をコンベックスを用いて測定し、地際直径は任意の 1 方向の直径をデジタルノギスを用いて測定しました。

また、各調査区の最大傾斜角度を、レーザー距離計 TruPulse360 (Laser Technology, Inc.) を用いて計測しました。

（３）解析方法

①苗の生死

苗の枯死率について、急傾斜地と緩傾斜地の調査区の間では植栽からの経過年数が異なるため、1 年あたりの枯死率を解析に用いました。1 年あたりの枯死率は正規分布に従わなかったことから（Shapiro-Wilk 検定、 $p < 0.05$ ）、対数変換したのち、応答変数を $\ln$ （1 年あたりの枯死率）、説明変数を斜度及び苗サイズ、斜度と苗サイズの交互作用、ランダム効果を調査区とした、線形混合モデルを用いて解析しました。

②雪害の発生状況

応答変数を、引き抜け率（植栽翌年の春時点）、または幹曲がり率、折損率（令和 5 年 11 月時点）、説明変数を斜度及び苗サイズ、斜度と苗サイズの交互作用、ランダム効果を調査区とした、一般化線形混合モデルを用いて解析しました。誤差構造には二項分布を仮定しました。

③樹高及び地際直径

調査区によって植栽からの経過年数及び下刈の回数が異なるため、本研究では植栽から 1 成長期経過後までの成長量を評価対象としました。応答変数を 1 成長期経過後の樹高成長量または地際直径成長量、説明変数を斜度及び苗サイズ、斜度と苗サイズの交互作用、ランダム効果を調査区とした、一般化線形混合モデルを用いて解析しました。誤差構造にはガンマ分布を仮定し、リンク関数に対数関数を用いました。

以上の解析は、R version 4.3.0 (R Core Team 2023)、及び R 内のパッケージ lme4、lmerTest を用いて行いました。

3 結果

（１）苗の生死

令和 5 年 11 月時点で、急傾斜地の調査区で数本枯死している個体が観察されましたが、いずれの調査区でも枯死率は 10%未満と低くなっていました（表－3）。また、斜度や苗サイズと 1 年あたりの枯死率との関係について分析しましたが、枯死率に斜度による有意な違いは認められませんでした（表－4）。

表－3 苗の生死及び雪害の発生状況

		生死			引き抜け			幹曲がり			折損		
		生存	枯死	枯死率(%)	無	有	被害率(%)	無	有	被害率(%)	無	有	被害率(%)
急傾斜地	大苗区①	32	0	0.0	28	4	12.5	27	5	15.6	32	0	0.0
	大苗区②	28	2	6.7	28	2	6.7	20	10	33.3	28	2	6.7
	普通苗区①	29	1	3.3	30	0	0.0	25	5	16.7	27	3	10.0
	普通苗区②	28	2	6.7	28	2	6.7	21	9	30.0	23	7	23.3
緩傾斜地	大苗区	35	0	0.0	35	0	0.0	17	18	51.4	30	5	14.3
	普通苗区	35	0	0.0	35	0	0.0	22	13	37.1	32	3	8.6

引き抜けは植栽翌年春時点の値、それ以外は令和5年11月時点の値

表－4 斜度が苗の枯死率及び雪害の発生率に及ぼす影響の推定値

	枯死率		引き抜け率		幹曲がり率		折損率
切片	−0.0059	n.s.	−7.502	n.s.	−0.126	n.s.	−1.540 **
斜度	0.0007	n.s.	0.137	n.s.	−0.027	n.s.	−0.048 n.s.
苗サイズ	−0.0056	n.s.	3.443	n.s.	−0.678	n.s.	−1.395 n.s.
斜度×苗サイズ	0.0005	n.s.	−0.129	n.s.	0.017	n.s.	0.087 *

有意確率は以下のとおり。n.s. $p > 0.05$; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$ 。

(2) 雪害の発生状況

引き抜けについては、急傾斜地の調査区で10%程度の苗が被害を受けていた一方、緩傾斜地の調査区では発生していませんでした

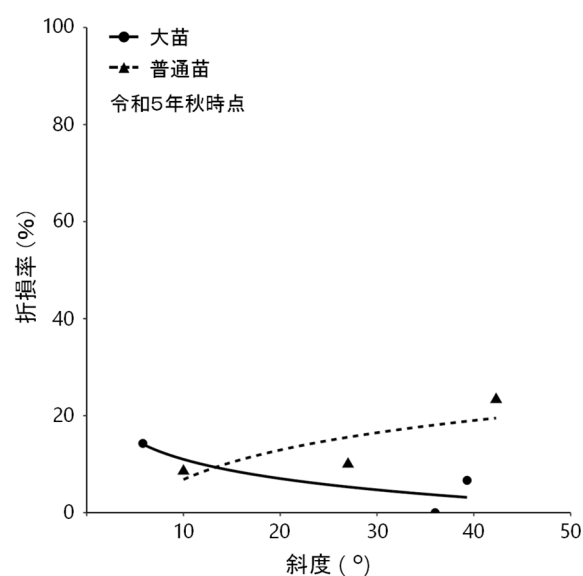
(表－3)。幹曲がりについては斜度に関わらず被害が発生しており、特に緩傾斜地の大苗区では半数以上の苗が被害を受けていました(表－3)。引き抜け率及び幹曲がり率について、斜度や苗サイズとの関係を分析しましたが、有意な関係は認められませんでした(表－4)。

折損については、急傾斜地の普通苗区や緩傾斜地の大苗区で被害率が10%以上となりました(表－3)。分析の結果、斜度と苗サ

イズの交互作用と折損率との間に有意な関係が認められ、斜度が増加するほど大苗の折損率は低くなり、普通苗の折損率は高くなる傾向が認められました(表－4、図－2)。

(3) 成長量

植栽直後の樹高は、大苗区②では 67.5 ± 6.0 cm(平均値±標準偏差、以下同じ)、普通苗区②では 51.4 ± 7.0 cm、大苗区③で 64.4 ± 5.6 cm、普通苗区③で 47.9 ± 5.6 cmでした。急傾斜地の調査区では2成長期経過後、緩傾斜地の調査区では1成長期経過後の令和5年11月の時点では、それぞれ 96.8 ± 20.0 cm、 67.2 ± 12.9 cm、 75.2 ± 16.3 cm、 66.5 ± 17.2 cmと



図－2 斜度と折損率との関係

なっていました(図-3(a))。樹高成長量について斜度や苗サイズとの関係を分析したところ、有意な関係が認められ、斜度が大きくなるほど成長量は減少すると推定されました(表-5、図-4(a))。また、急傾斜地では大苗の方が、緩傾斜地では普通苗の方が成長量が大きくなると推定されました(表-5、図-4(a))。

植栽直後の地際直径は、大苗区②で 8.5 ± 1.2 mm、普通苗区②で 7.8 ± 1.4 mm、大苗区③で 8.2 ± 1.5 mm、普通苗区③で 5.3 ± 0.8 mmでした。令和5年11月の時点では、それぞれ 17.5 ± 3.7 mm、 11.0 ± 2.3 mm、 12.7 ± 2.9 mm、 11.0 ± 3.8 mmとなっていました(図-3(b))。地際直径成長量について斜度や苗サイズとの関係を分析したところ、樹高成長量と同様に、斜度が大きくなるほど成長量は減少し、急傾斜地では大苗の方が、緩傾斜地では普通苗の方が成長量が大きくなると推定されました(表-5、図-4(b))。

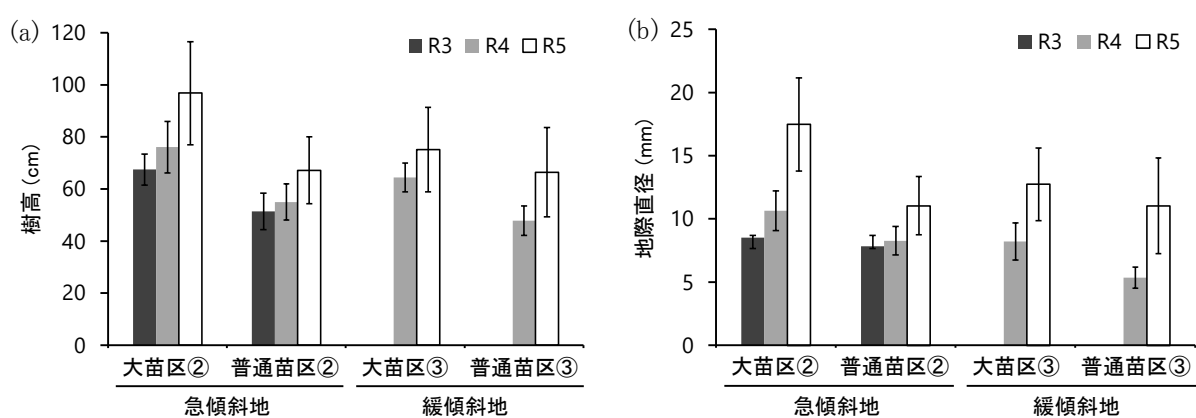


図-3 令和3年から令和5年の、樹高(a)及び地際直径(b)の変化(平均値±標準偏差)

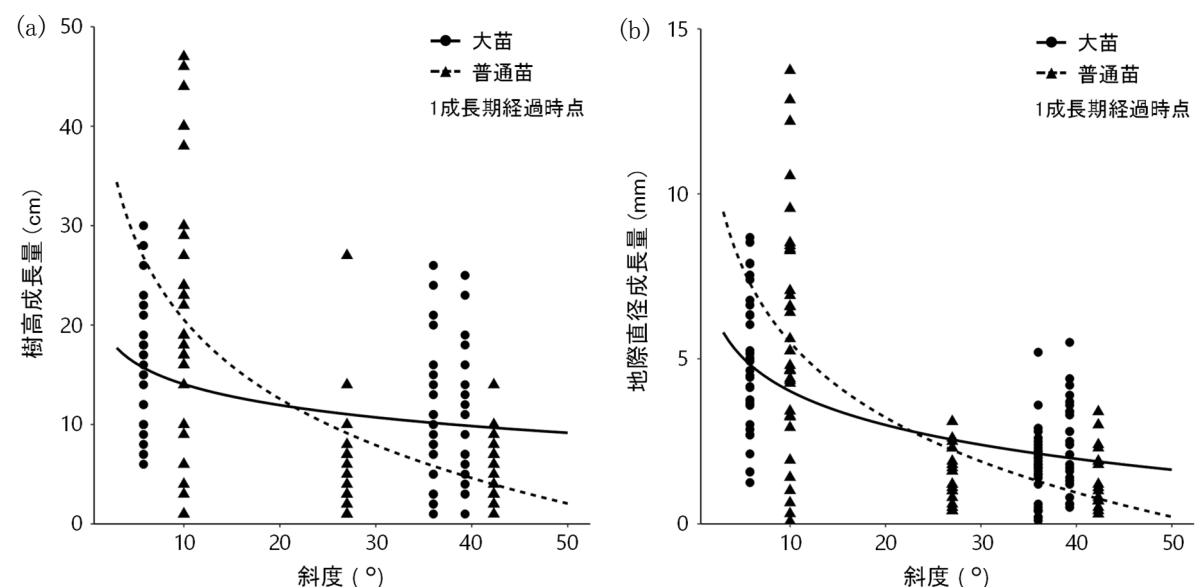


図-4 斜度と樹高成長量(a)及び地際直径成長量(b)との関係

表－５ 斜度が樹高成長量および地際直径成長量に及ぼす影響の推定値

	樹高成長量	地際直径成長量
切片	2.826 ***	1.461 ***
斜度	－0.014 *	－0.020 ***
苗サイズ	0.583 **	0.449 *
斜度×苗サイズ	－0.030 ***	－0.024 **

有意確率は以下のとおり。n.s. $p>0.05$; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$ 。

４ 考察

枯死率や雪害の状況について斜度の影響があるかどうか分析したところ、折損率以外は斜度による有意な影響は認められませんでした（表－４）。この結果から、急傾斜地に大苗を植栽しても定着に大きな影響はないと考えられます。折損率について、緩傾斜地では普通苗よりも大苗の方が折損率が高くなると推定されました（図－２）。調査時に苗を観察したところ、地際付近で折れている個体が多く見られました。また令和５年１２月に大苗区③の苗を観察した際は、幹の先端が雪に埋もれ幹が大きく曲がっていました。このことから、樹幹への着雪によって苗が倒伏し、その後積雪により苗が埋もれ、沈降圧により幹が折れた可能性があります。大苗で倒伏が多く発生した原因としては、植栽した苗の形状比が高かったことが考えられます。大苗区③における植栽時の苗の形状比は 81.2 ± 17.1 （平均値±標準偏差）で、個体によっては１００を超えるものもありました。形状比の高い徒長苗が植栽後に倒伏し枯死した事例が報告されていることから（全国山林種苗協同組合連合会 2010）、本調査区の大苗では倒伏が起こりやすかった可能性があります。

樹高と地際直径の成長量について斜度の影響があるかどうか分析したところ、斜度は成長量に負の影響を及ぼしており、斜度が大きくなるほど成長量は少なくなっていました。また苗サイズに着目すると、急傾斜地においては大苗の方が普通苗よりも成長量が大きいと推定されました。これは、斜度によって苗が得られる日射量が異なることが影響していると考えられます。斜面に到達する日射量は斜面の傾斜角度や方位等の地形条件、太陽高度などにより変化します（黒瀬ら 1991）。本研究で設置した調査区はいずれも北から西の方角に面しており、そのような環境の日射量は、年間を通して斜度が大きくなるほど少なくなります（上原 1961；小沢 1962；黒瀬ら 1991）。林床には、下刈後においてもササや低木等の競合植生が多かった（特に急傾斜地）ことから、少ない光を獲得しようと競争する上で苗サイズが大きい方が生育に有利だった可能性があります。

急傾斜地におけるスギコンテナ大苗の生育成績について、生存、雪害、成長の点から調査したところ、生存率は普通苗と同等に高く、雪害の状況は普通苗と差が認められない、もしくは普通苗よりも雪害を受けにくい、成長量は普通苗よりも大きいことがわかりました。よって、今回の調査結果からは、急傾斜地に大苗を植栽することは利益が大きいと推察されます。しかし、本研究では植栽から１～２年という非常に短い期間しか観察できておらず、本研究の結果をもって急傾斜地における大苗の生育成績について結論付けることは尚早であると考えます。そのため、今後も調査を継続し、より長期間経過した時点での雪害の発生状況や成長量の差を比較する必要があると考えられます。

5 謝辞

由利森林管理署の皆様には、野外調査や論文の添削等多くのご協力をいただきました。また、東北森林管理局森林整備部森林整備課造林係の皆様には有意義な指導を、弘前大学農学生命科学部生物学科の石田清教授には、統計解析に際して有益な助言をいただきました。ここに深く感謝申し上げます。

6 参考文献

気象庁 (2020) メッシュ平年値 2020.

小谷 二郎・千木 容・池田 虎三・小倉 晃 (2019) 多雪地帯でのスギコンテナ苗の成長に対する苗木の大きさや植栽方法の影響. 石川県農林総合研究センター林業試験場研究報告 50: 6-11

黒瀬 義孝・林 陽生・真木 太一 (1991) 複雑地形地域における日射環境の把握. 四国農業試験場報告 54:147-159

小沢 行雄 (1962) 斜面の日射量について. 農業気象 18(1):39-41

R Core Team (2023) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>

林野庁 (2020) 令和 2 年 10 月 12 日林政審議会 配布資料 6 再造林の推進. <https://www.rinya.maff.go.jp/j/rinsei/singikai/attach/pdf/201012si-18.pdf>

林野庁 (2023) 令和 4 年度森林・林業白書. <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/r4hakusyo/attach/pdf/zenbun-41.pdf>

林野庁東北森林管理局 (2022) 造林事業請負取扱要領 別紙 1 苗木仕様書.

上原 勝樹 (1961) 傾斜地開発利用に関する物理気象的研究. 香川大学農学部紀要第 7 号
全国山林種苗協同組合連合会 (2010) コンテナ苗の取り組みの現状と課題について. 緑化と苗木 151: 3-7

図子 光太郎 (2016) 富山県におけるスギコンテナ苗の活用と留意点. 富山県農林水産総合技術センター森林研究所 研究レポート No.14.