

## (資 料)

## 造林・育林初期経費の低減技術の開発

新井 隆介

Development of low cost technology for forestation at the initial stage

Ryusuke ARAI

## 要 旨

再造林の促進を図るため、造林・育林経費の多くを占める初期における経費低減手法のうち低密度植栽と下刈り回数削減の取組を紹介した。低密度植栽は、現時点ではスギは目的により1000～2000本/ha、カラマツは1800本/haが適当と考えられるが、今後は得られる材の強度などの収入面も踏まえた検討を行う必要がある。カラマツの下刈り回数削減は、植栽初期の2～3年間に削減可能で、競合植生の平均高が植栽木の樹高の80%の高さであれば、下刈りを終了する判断の目安になると考えられた。造林・育林初期の経費を試算した結果、通常施業に比べスギは24～40%、カラマツは16～27%経費が削減された。

キーワード：低密度植栽，下刈り回数削減，スギ，カラマツ

## 目 次

1 はじめに	2	2.4 スギ系統的配置試験	
2 低密度植栽試験		2.4.1 試験地および調査・解析方法	12
2.1 スギ方形区試験		2.4.2 結果	13
2.1.1 試験および調査・解析方法	2	2.4.3 考察	13
2.1.2 結果	4	2.5 まとめ	14
2.1.3 考察	6	3 カラマツ下刈り回数削減試験	
2.2 少花粉スギ方形区試験		3.1 試験概要	14
2.2.1 試験地および調査・解析方法	7	3.2 試験地および調査・解析方法	15
2.2.2 結果	8	3.3 結果	15
2.2.3 考察	9	3.4 考察	17
2.3 カラマツ方形区試験		4 造林・育林初期経費の試算	18
2.3.1 試験地および調査・解析方法	9	謝辞	18
2.3.2 結果	10	引用文献	20
2.3.3 考察	11		

## 1 はじめに

岩手県では、民有林人工林の伐採面積が年間約1,800haであるのに対し、再造林面積は約500haとなっており<sup>17)</sup>、今後の持続可能な森林資源の確保には、再造林の促進が不可欠である。地拵えや植栽、下刈りといった造林・育林初期にかかる経費が全体に占める割合は、スギで約85%、カラマツで約71%となっており<sup>31)</sup>、再造林の促進を図るには、この経費の低減が重要である。

このため、岩手県林業技術センターでは、2009年度から「植栽密度を変えた省保育による低コスト育林技術に関する研究」として、造林・育林初期経費の低減技術の開発に関する研究が進められ、2013年度からは、課題名が「コンテナ苗等を活用した育林初期経費の低減技術の開発」に変更され、2018年度までの10年間実施された。

本研究の内容は、①機械地拵え、②低密度植栽、③コンテナ苗、④下刈り回数削減の4項目からなっている。本報告では、そのうち低密度植栽と下刈り回数削減について研究内容を報告するとともに、これらの結果を踏まえて、造林・育林初期経費を試算した結果についても報告する。

## 2 低密度植栽試験

岩手県では、一般的にスギは3000本/ha、カラマツは2500本/haの密度で植栽されるが、低密度で植栽することにより、植栽に係る苗木代や労務を低減できることから、低密度植栽は造林・育林初期経費を下げる手法の一つである。しかしながら、低密度で植栽された場合、成林まで植栽木が受ける影響を調査した事例は少ない<sup>23)</sup>。このため、当センターでは、県内に密度を変えて植栽した試験地を設置し、植栽密度が植栽木に与える影響を調査している。ここでは、当センターが実施したスギおよび少花粉スギ、カラマツの方形区試験と、スギの系統的配置<sup>29)</sup>試験について報告する。系統的配置は、植栽木が等

間隔に離れるよう、同心円弧と半径方向の直線との交点で植栽位置を定める方法で、試験区間の地力の差の影響などを受ける方形区試験の欠点を補う方法として提案されたものである<sup>10)</sup>。

なお、方形区試験のうち、スギについては、植栽16年目までの調査結果が、高橋(2011)<sup>37)</sup>および成松(2014a, 2014b)<sup>25,26)</sup>、成松ら(2014)<sup>27)</sup>、新井(2018)<sup>9)</sup>により既に報告されており、試験地の設定状況や下刈り履歴、2014年以前の調査方法は既報<sup>25,37)</sup>による。また、カラマツについては、新井(2016a, 2016b)<sup>34)</sup>および新井ら(2016)<sup>9)</sup>により、植栽5年目の調査結果が既に報告されたものである。

### 2.1 スギ方形区試験

#### 2.1.1 試験地および調査・解析方法

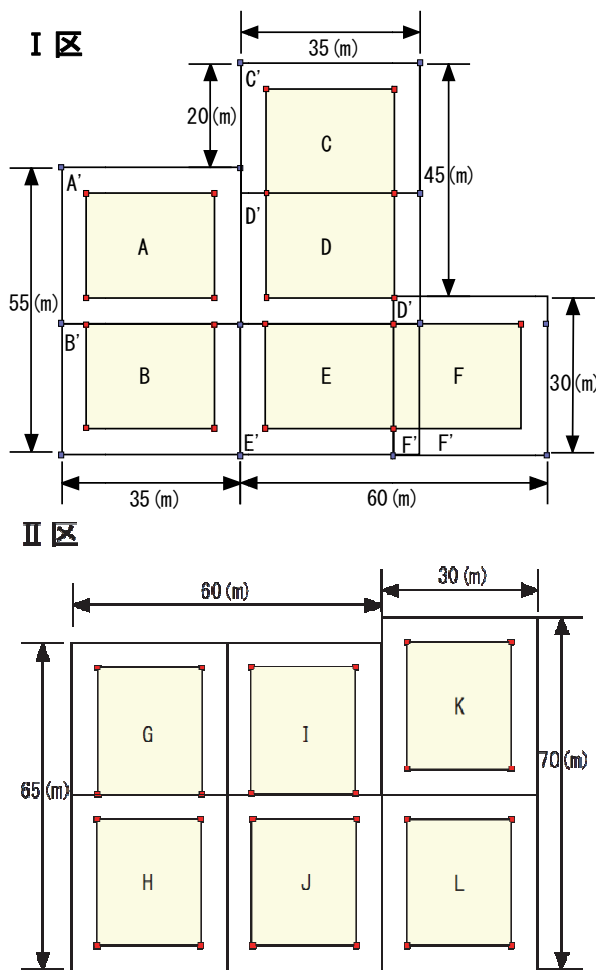
2003年4月、岩手県紫波郡矢巾町の当センター敷地内平坦地に、植栽密度500本/ha、1000本/ha、2000本/ha、3000本/haでスギ3年生大規格苗を植栽した(以下、500本区、1000本区、2000本区、3000本区とする)。植栽した試験区の面積は20m×25m=500m<sup>2</sup>で、各条件3反復のランダム配置とした(図1, 写真1)。

施業履歴については、植栽から5年間下刈りを行い、2017年10月にF区(3000本区)で間伐および枝打ち、E区(2000本区)で枯れ枝払い、2018年10月にL区(3000本区)で間伐および枝打ちを行った。

調査は、2004年4月(植栽2年目)、2008年5月(植栽6年目)、2013年12月(植栽11年目)、2014年4月(植栽12年目)、2015年8月(植栽13年目)、2018年10~12月(植栽16年目)に行った(表1)。これらの調査時期に、植栽木の生存を確認のうえ、生存木について、樹高と植栽6年目以降から胸高直径を測定した(表1)。また、2014年4月、2018年10~12月に各試験区における植栽木10本程度について、枝下高を測定した(表1)。さ

表1 スギ方形区試験における調査年月および植栽年数、生育期間、調査内容

調査年月	2003年4月	2004年4月	2008年4月	2013年12月	2014年4月	2015年8月	2018年10-12月
植栽年数	1年目	2年目	6年目	11年目	12年目	13年目	16年目
生育期間	—	1	5	11	11	—	16
調査内容							
樹高		○	○	○			○
胸高直径			○※	○			○
枝下高					○		○
相対光量子束密度						○	



試験区および植栽密度, 植栽本数 (I区)

試験区	植栽密度 (本/ha)	植栽本数 (本/0.05ha)
A	500	25
B	1000	48
C	2000	99
D	3000	154
E	2000	99
F	3000	154

試験区および植栽密度, 植栽本数 (II区)

試験区	植栽密度 (本/ha)	植栽本数 (本/0.05ha)
G	500	25
H	1000	48
I	1000	48
J	2000	99
K	500	25
L	3000	154

図1 試験区配置図 (スギ方形区試験)

らに、光環境を調査するため、2015年8月、各試験区内でランダムに設定した5箇所において、コイト電工(株)社製 MEMORY SENSER MES-136を用い、光量子束密度を高さ2mで測定し、相対光量子束密度を算出した(表1)。

調査した植栽木のうち、補植や誤伐、幹折れなどのあった植栽木は解析から除外した。枯死木については、試験区毎に枯死率を算出し、植栽密度毎に平均した。毎木調査から得られた樹高と胸高直径から、樹高および胸高直径の相対成長率を以下の式により各々算出した。

$$\text{相対樹高成長率} = \log(\text{植栽 } t_2 \text{ 年後の樹高} / \text{植栽 } t_1 \text{ 年後の樹高}) / (t_1 \text{ から } t_2 \text{ までの生育期間})$$

$$\text{相対胸高直径成長率} = \log(\text{植栽 } t_2 \text{ 年後の胸高直径} / \text{植栽 } t_1 \text{ 年後の胸高直径}) / (t_1 \text{ から } t_2 \text{ までの生育期間})$$

また、植栽木の幹材積は、幹材積計算プログラム<sup>13)</sup>を用いて計算した。

さらに、密度管理指標として、植栽木毎に形状比および樹冠長率を、試験区毎に収量比数<sup>16)</sup>、相対幹距比を以下の式により各々算出した。なお、2014年の樹冠長率は、当年に調査した枝下高と、同じ生育期間である前年に調査した樹高を用いて算出した。

$$\text{形状比} = \text{樹高} / \text{胸高直径}$$

$$\text{樹冠長率} (\%) = (\text{樹高} - \text{枝下高}) / \text{樹高} \times 100$$

$$\text{収量比数} = (1 - (\text{幹材積} / \text{成立本数}) \times 6662.50 \times \text{上層平均樹高}^{-2.91004216}) / (1 - 0.3376)$$

$$\text{幹材積} = (0.05870440 \times \text{上層平均樹高}^{-1.39313007} + 6662.50 \times \text{上層平均樹高}^{-2.91004216} / \text{成立本数})^{-1}$$

$$\text{相対幹距比} (\%) =$$

$$10000 / \text{平均樹高} \times \sqrt{\text{成立本数} / \text{ha}}$$

統計処理には、統計解析フリーソフトウェア R3.2.3 (R Core Team 2015) <sup>33)</sup>, 同 3.4.3 (R Core Team 2017) <sup>34)</sup>を用いた (特に明記しない場合は、以下の項目でも同じ)。植栽木の樹高および胸高直径、それらの相対成長率、形状比、樹冠長率、試験区の相対幹距比について、各調査年の植栽密度間で一元配置分散分析を行った後、有意差があった事項について多重比較 (Tukey-Kramer) を行った。

## 2.1.2 結果

### 1) 枯死率

植栽2年目, 同6年目, 同11年目, 同16年目における植栽密度別の枯死率の平均値の推移を図2に示した。

植栽2年目は、3000本区で枯死木が1本あったが、枯死率はいずれの植栽密度も0%であった。植栽6年目に枯死率が上昇し、500本区が $11 \pm 6\%$  (平均値 $\pm$ 標準偏差)、1000本区が $4 \pm 3\%$ 、2000本区が $9 \pm 5\%$ 、3000本区が $11 \pm 2\%$ であった。その後、500本区と1000本区は枯死率に変化がなく、2000本区が植栽11年目に $11 \pm 6\%$ 、3000本区が植栽11年目に $12 \pm 4\%$ 、植栽16年目に $15 \pm 4\%$ となった。

### 2) 樹高

植栽2年目, 同6年目, 同11年目, 同16年目における植栽密度別の平均樹高の推移を表2に示した。

植栽2年目の樹高は、各植栽密度間で同程度であったが (Tukey-Kramer :  $p > 0.05$ )、植栽6年目以降は、植栽密度が高くなるほど、樹高が高くなる傾向にあり、植栽16年目でも同様であった。

各植栽密度における植栽2年目から同16年目までの15成長期間の相対樹高成長率を図3に示した。その平均値は各々、500本区 ( $n=64$ ) が $0.22 \pm 0.02$ 、1000本区 ( $n=134$ ) が $0.22 \pm 0.01$ 、2000本区 ( $n=256$ ) が $0.23 \pm 0.01$ 、3000本区 ( $n=367$ ) が $0.23 \pm 0.02$ で、2000本区と3000本区が500本区と1000本区より有意に高かった (Tukey-Kramer :  $p < 0.05$ )。

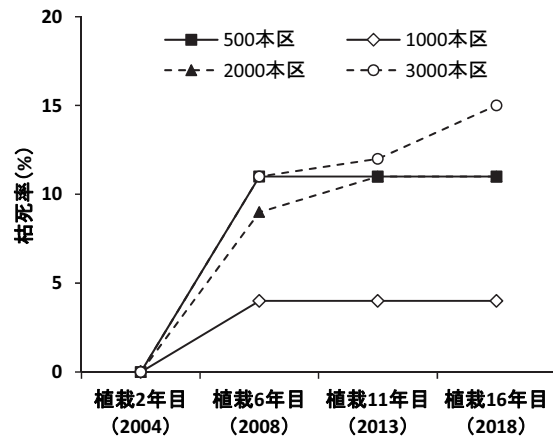


図2 植栽密度別の枯死率の推移

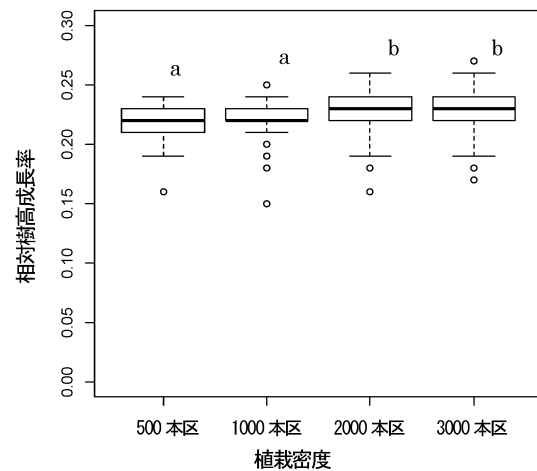


図3 植栽2年目から16年目までの植栽密度別の相対樹高成長率

箱中の太線が中央値、箱の下端が第一四分位、箱の上端が第三四分位、ひげの両端が箱の長さの1.5倍内にある最大値および最小値、ひげの外側の白丸 (○) は外れ値を表す。植栽密度間で多重比較を行い、異なるアルファベット間で有意差があることを示す (Tukey-Kramer :  $p < 0.05$ )。

### 3) 胸高直径

植栽6年目, 同11年目, 同16年目における植栽密度別の平均胸高直径の推移を表3に示した。

植栽6年目の胸高直径は、500本区が他の植栽密度に比べ有意に低かったが (Tukey-Kramer :  $p <$

表2 植栽密度別の樹高の推移

植栽密度 (本/ha)	植栽2年目(2004)		植栽6年目(2008)		植栽11年目(2013)		植栽16年目(2018)	
	n(本)	樹高(m)	n(本)	樹高(m)	n(本)	樹高(m)	n(本)	樹高(m)
500	64	0.40 $\pm$ 0.04 a	62	2.48 $\pm$ 0.68 a	64	6.6 $\pm$ 1.5 a	64	10.7 $\pm$ 2.0 a
1000	134	0.41 $\pm$ 0.06 a	134	2.90 $\pm$ 0.56 b	134	7.4 $\pm$ 1.3 b	134	11.5 $\pm$ 1.6 a
2000	256	0.41 $\pm$ 0.06 a	255	3.00 $\pm$ 0.67 bc	256	7.9 $\pm$ 1.6 c	256	12.2 $\pm$ 1.9 b
3000	382	0.40 $\pm$ 0.05 a	381	3.09 $\pm$ 0.72 c	382	8.3 $\pm$ 1.9 d	367	12.7 $\pm$ 2.5 c

平均値 $\pm$ 標準偏差。各植栽経過年の植栽密度間で多重比較を行い、異なるアルファベット間で有意差があることを示す (Tukey-Kramer :  $p < 0.05$ )。

0.05), 植栽 11 年目には同程度となり (Tukey-Kramer:  $p > 0.05$ ), 植栽 16 年目になると, 500 本区と 1000 本区, 2000 本区, 3000 本区の順で有意に高かった (Tukey-Kramer:  $p < 0.05$ )。

各植栽密度における植栽 6 年目から同 16 年目までの 11 成長期間の相対胸高直径成長率を図 4 に示した。その平均値は各々, 500 本区 (n=48) が  $0.19 \pm 0.03$ , 1000 本区 (n=123) が  $0.16 \pm 0.02$ , 2000 本区 (n=235) が  $0.15 \pm 0.02$ , 3000 本区 (n=339) が  $0.14 \pm 0.02$  で, 500 本区, 1000 本区, 2000 本区, 3000 本区の順で有意に高かった (Tukey-Kramer:  $p < 0.05$ )。

#### 4) 幹材積

植栽 16 年目における植栽密度別の植栽木 1 本あたりおよびヘクタール当たりの幹材積を表 4 に示した。1 本当たりの幹材積は, 密度が低くなるほど, 大きくなる傾向にあったが, ヘクタール当たりの幹材積は, 反対に小さくなる傾向にあった。

#### 5) 形状比

植栽 6 年目, 同 11 年目, 同 16 年目における植栽密度別の形状比の平均値の推移を図 5 に示した。植栽 6 年目では植栽密度間で有意な差はなかったが (Tukey-Kramer:  $p > 0.05$ ), 植栽 11 年目には 3000 本区, 2000 本区, 1000 本区と 500 本区の順で有意に高かった (Tukey-Kramer:  $p < 0.05$ )。植栽 16 年目では, 植栽密度が高くなるほど形状比が高く (Tukey-Kramer:  $p < 0.05$ ), 特に 3000 本区の形状比は  $83.2 \pm 13.7$  で, 風雪害に対して危険性が高い形状比  $80^{11,21)}$  を超えていた。

表 4 植栽 16 年目の植栽密度別の幹材積

植栽密度 (本/ha)	n(本)	幹材積 (m <sup>3</sup> /本)		幹材積 (m <sup>3</sup> /ha)
500	64	$0.20 \pm 0.12$	a	85.13
1000	134	$0.18 \pm 0.08$	ab	160.68
2000	256	$0.16 \pm 0.09$	bc	272.42
3000	367	$0.15 \pm 0.09$	c	371.39

幹材積 (m<sup>3</sup>/本) は平均値±標準偏差。植栽密度間で多重比較を行い, 異なるアルファベット間で有意差があることを示す (Tukey-Kramer:  $p < 0.05$ )。

表 3 植栽密度別の胸高直径の推移

植栽密度 (本/ha)	植栽6年目(2008)		植栽11年目(2013)		植栽16年目(2018)				
	n(本)	胸高直径(cm)	n(本)	胸高直径(cm)	n(本)	胸高直径(cm)			
500	48	$2.9 \pm 0.9$	a	64	$10.8 \pm 3.5$	a	64	$20.4 \pm 5.4$	a
1000	123	$3.5 \pm 0.9$	b	134	$11.6 \pm 2.8$	a	134	$18.9 \pm 4.1$	a
2000	235	$3.6 \pm 1.1$	b	256	$11.4 \pm 3.2$	a	256	$16.9 \pm 4.3$	b
3000	354	$3.8 \pm 1.3$	b	382	$11.1 \pm 3.4$	a	367	$15.8 \pm 4.4$	c

平均値±標準偏差。各植栽経過年の植栽密度間で多重比較を行い, 異なるアルファベット間で有意差があることを示す (Tukey-Kramer:  $p < 0.05$ )。

#### 6) 樹冠長率

植栽 12 年目と同 16 年目における植栽密度別の樹冠長率の平均値を表 5 に示した。植栽 12 年目では,

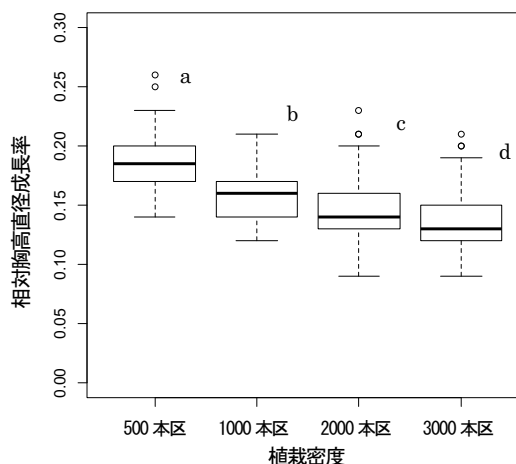


図 4 植栽 6 年目から 16 年目間の植栽密度別の相対胸高直径成長率

箱中の太線が中央値, 箱の下端が第一四分位, 箱の上端が第三四分位, ひげの両端が箱の長さの 1.5 倍以内にある最大値および最小値, ひげの外の白丸 (○) は外れ値を表す。植栽密度間で多重比較を行い, 異なるアルファベット間で有意差があることを示す (Tukey-Kramer:  $p < 0.05$ )。

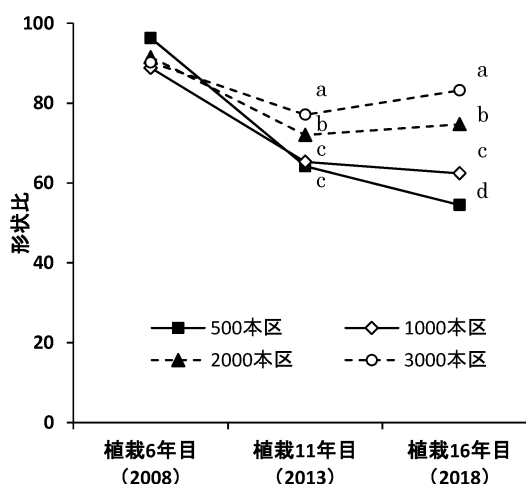


図 5 植栽密度別の形状比の推移

各植栽経過年の植栽密度間で多重比較 (Tukey-Kramer) を行った。

3000 本区が他の植栽密度より高かったが (Tukey-Kramer :  $p < 0.05$ ), 植栽 16 年目には, 500 本区と 1000 本区, 2000 本区, 3000 本区の順で有意に低かった (Tukey-Kramer :  $p < 0.05$ )。スギを長く安全に育てるためには, 樹冠長率は最低で 40%とされる<sup>21)</sup>が, いずれの植栽密度も 50%を上回った (表 5)。

7) 相対幹距比・収量比数

植栽 11 年目と同 16 年目における植栽密度別の相対幹距比の平均値を表 6 に示した。植栽 11 年目, 同 16 年目ともに, 500 本区, 1000 本区, 2000 本区と 3000 本区の順で有意に高かった (Tukey-Kramer :  $p < 0.05$ )。相対幹距比は 17 から 22%ぐらいが適切な値とされている<sup>11,21)</sup>が, 植栽 16 年目には, 3000 本区で 17%より低くなっていた。

植栽 16 年目における 3000 本区の収量比数は, 0.74~0.84 (平均値  $0.79 \pm 0.04$ ) で, 一般に混み過ぎとされる収量比数 0.8<sup>11)</sup>を超える試験区がみられた。

8) 相対光量子束密度

植栽 13 年目における各植栽密度の相対光量子束密度の平均値は各々, 500 本区が  $81.9 \pm 18.5\%$ , 1000 本区が  $38.7 \pm 7.5\%$ , 2000 本区が  $9.7 \pm 6.8\%$ , 3000 本区が  $4.8 \pm 6.3\%$ で, 500 本区, 1000 本区, 2000 本区と 3000 本区の順で有意に高かった (Tukey-Kramer :  $p < 0.05$ )

2.1.3 考察

1) 植栽密度による成長の違い

一般的に植栽密度は, 植栽木の樹高成長に影響を

与えず, 直径成長に影響を与えるとされる。今回の試験では, 植栽 16 年目の胸高直径やその相対成長率 (11 成長期間) は, 密度が高いほど低くなる傾向を示し (表 3, 図 4), 既知の知見と合致した。その一方, 樹高やその相対成長率 (15 成長期間) は密度が高いほど高い傾向を示し (表 2, 図 3), 既知の知見と異なっていた。

相対樹高成長率は植栽密度間で有意な差があるものの, その差は小さいことから (図 3), 植栽 6 年目における 500 本区の植栽木の樹高が他の植栽密度に比べ, 有意に小さかったこと (表 2) が影響したと考えられた。なお, 植栽初期で 500 本区の成長が悪かった原因としては, 風や乾燥などのストレスによ

表 5 植栽密度別の樹冠長率の推移

植栽密度 (本/ha)	植栽12年目(2014)		植栽16年目(2018)	
	n(本)	樹冠長率(%)	n(本)	樹冠長率(%)
500	31	90.8 ± 4.1 a	31	92.7 ± 2.8 a
1000	35	93.7 ± 3.6 a	35	92.3 ± 3.4 a
2000	34	92.0 ± 3.9 a	34	77.8 ± 15.8 b
3000	32	83.1 ± 10.6 b	32	56.6 ± 18.5 c

平均値±標準偏差。各植栽経過年の植栽密度間で多重比較を行い, 異なるアルファベット間で有意差があることを示す (Tukey-Kramer :  $p < 0.05$ )。

表 6 植栽密度別の相対幹距比の推移

植栽密度 (本/ha)	相対幹距比(%)	
	植栽11年目 (2013)	植栽16年目 (2018)
500	72.5 ± 9.0 a	44.8 ± 5.3 a
1000	45.5 ± 2.5 b	29.2 ± 1.6 b
2000	30.3 ± 2.8 c	19.7 ± 1.3 c
3000	24.1 ± 5.0 c	15.7 ± 2.5 c

平均値±標準偏差。各植栽経過年の植栽密度間で多重比較を行い, 異なるアルファベット間で有意差があることを示す (Tukey-Kramer :  $p < 0.05$ )。

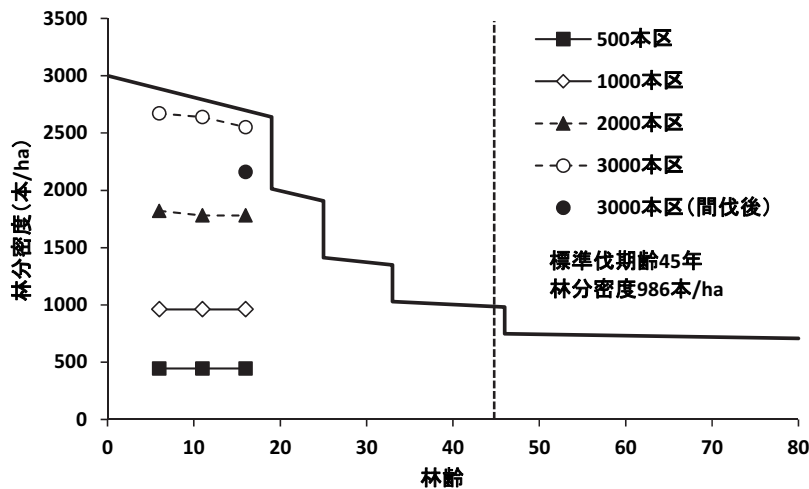


図 6 スギ一般材施業の指針 (地位中) における植栽密度別の林分密度の推移  
北上川上流地域森林計画書 (岩手県 2015)<sup>15)</sup> を一部改変した。

り成長が抑えられた可能性<sup>20)</sup>が考えられた。

2) 密度管理指標と間伐

3000 本区は、植栽 11 年目には樹冠の開鎖が確認されており<sup>25,26)</sup>、林内の相対光量子束密度の低下による劣勢木の枯死の増加 (図 2) や下枝の枯れ上がりによる樹冠長率の低下が確認された (表 5)。密度管理指標では、樹冠長率は問題なかったが、形状比や相対幹距比、一部の試験区の収量比数で混み過ぎと判定され、間伐が必要と判断された。

3000 本区のうち、植栽 16 年目の調査前年に間伐を実施した F 区では、収量比数は 0.78 と適正範囲 (0.6 から 0.8)<sup>11)</sup>内であったが、相対幹距比は 15.2% で適切な数値 (17 から約 22%)<sup>11,21)</sup>より低かった。

調査後に間伐を実施した L 区では、収量比数は間伐前後で 0.84 から 0.78 に低下し、適正範囲内になったが、相対幹距比は 14.4% から 15.1% と適切な数値より依然として低い状態であった。今回の間伐は枯死木を含めた本数間伐率 30% で実施したが、この間伐率では不十分だった可能性が考えられた。

今後の間伐回数を検討するため、各植栽密度の林分密度を算出し、スギ林の標準的な間伐スケジュールを示した、「スギ一般材施業の指針 (地位中)」<sup>15)</sup>に重ね合わせた (図 6)。スギの標準伐期齢は 45 年<sup>15)</sup>で、その時点の林分密度は 986 本/ha、それまでの標準的な間伐回数は 3 回である。植栽 16 年目における 500 本区の林分密度は 445 本/ha、1000 本区が 960 本/ha であり、ともに標準伐期齢の林分密度より低かった。このため、今後間伐を実施する必要はないが、間伐により形質不良木が除去できない恐れが考えられた。植栽 16 年目における 2000 本区の林分密度は 1780 本/ha であり、初回間伐は林齢 25 年付近で実施し、標準伐期齢まで間伐は 2 回必要となるが、標準的な間伐回数から 1 回削減することができる。植栽 16 年目における 3000 本区の林分密度は 2550 本/ha であるが、これは実施された間伐を考慮していない。間伐を実施した F 区と L 区を平均した林分密度は 2160 本/ha で (図 6 の●)、施業指針<sup>15)</sup>の林齢 19 年時の林分密度 2012 本/ha より多くなっていた。このため、前述のとおり間伐が不十分だった可能性が考えられた。

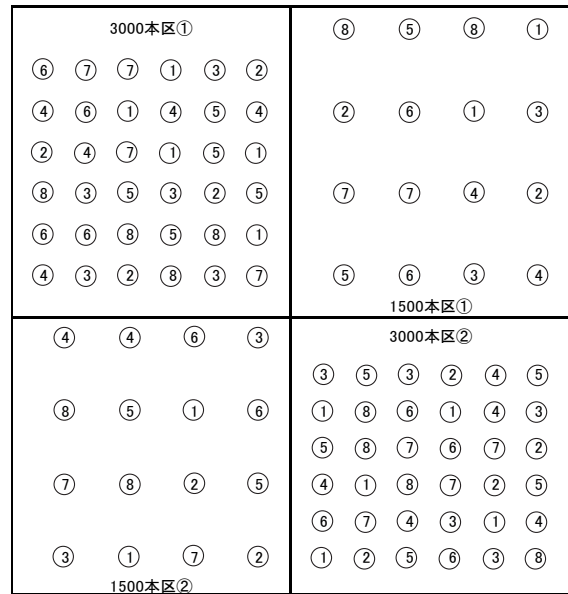


図 7 試験区配置図 (少花粉スギ方形区試験)  
丸数字は植栽した系統番号を表し、その詳細は表 7 を参照のこと。

表 7 少花粉スギ方形区試験で用いた系統名および繁殖法、苗齢と植栽本数

系統番号	系統名・繁殖法・苗齢	植栽本数(本)		
		3000本区	1500本区	計
精英樹交配家系さし木苗 1年生				
1	交配家系5号 稗貴2×上閉伊11	10	4	14
2	交配家系8号 稗貴2×上閉伊14	8	4	12
3	交配家系24号 稗貴2×気仙8	10	4	14
4	交配家系48号 上閉伊8×稗貴2	10	4	14
5	交配家系52号 大樺2×岩手県5	10	4	14
花粉症対策品種さし木苗 2年生				
6	北秋田1号	8	4	12
7	岩手県11号	8	4	12
対照 事業用実生苗 3年生				
8	事業用大規格	8	4	12
植栽本数計		72	32	104

2.2 少花粉スギ方形区試験

2.2.1 試験地および調査・解析方法

2013 年 7 月、岩手県遠野市にスギ精英樹の交配家系から個体選抜したさし木苗 (以下、交配家系とする。) (1 年生) 5 系統および花粉症対策品種さし木苗 (2 年生) 2 系統、対照として事業用実生苗 (3 年生) を密度 1500 本/ha、3000 本/ha で各々植栽した (以下、1500 本区、3000 本区とする。)。試験区の面積は 10m×10m=100m<sup>2</sup> で、各条件 2 反復設定した (図 7, 表 7)。

施業履歴としては、植栽から 5 年間下刈りを行った。また、当該試験地周辺ではニホンジカによるスギ食害が確認されたことから、2013 年 11 月、植栽木にハイトカルチャ (株) 社製ヘキサチューブ (H=70cm) を設置した。

調査は、植栽した 2013 年 7 月から 2017 年 10 月までの植栽から 5 年間の各生育期間終了後に、樹高

および根元径の測定を行った。調査した植栽木のうち、シカの食害を受けた又は上層の広葉樹により被圧された植栽木は解析から除外した。測定した樹高および根元径から、以下の式により材積を算出した。

$$\text{材積 (cm}^3\text{)} = (\text{根元径})^2 \times \text{樹高}$$

また、2.1.1 で示した式により、植栽から5年間の樹高および根元径、材積の相対成長率を求めた。植栽密度の影響を確認するため、同じ系統における樹高および根元径、それらの相対成長率について、1500本区と3000本区との間でt検定を行った。また、各系統の成長を比較するため、同じ植栽密度における樹高および根元径、それらの相対材積成長率について、全系統間で一元配置分散分析を行った後、有意差があった項目について多重比較(Tukey-Kramer)を行った。

## 2.2.2 結果

### 1) 樹高

系統別に1500本区および3000本区の植栽5年目の平均樹高と、植栽から5成長期間の相対樹高成長

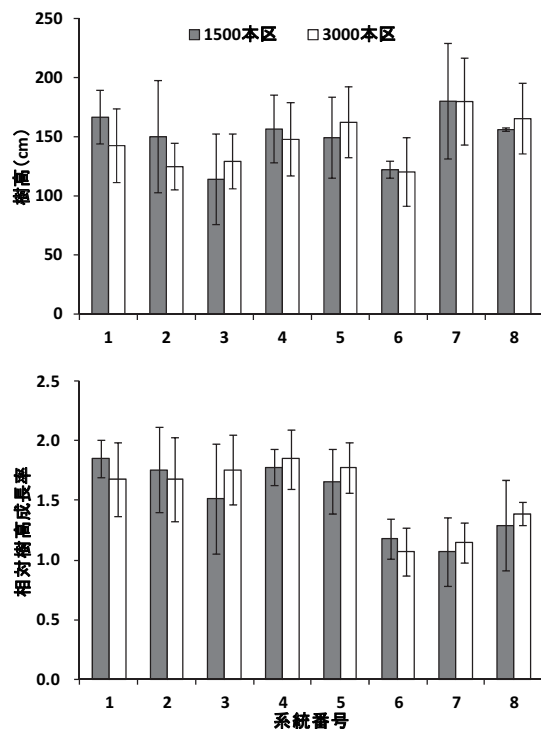


図8 系統別、植栽密度別の植栽5年目の樹高(上)および5生育期間の相対樹高成長率(下) エラーバーは標準偏差。系統番号の詳細は表7を参照のこと。

長率の平均値を図8に示した。いずれの系統も1500本区と3000本区との間で樹高とその相対成長率どちらも有意な差がなく(t検定:  $p > 0.05$ )、植栽密度の違いによる樹高成長の明らかな傾向はみられなかった。

同じ植栽密度では、1500本区の各系統間で、樹高および相対樹高成長率のいずれも有意な差はなかったが(一元配置分散分析:  $p > 0.05$ 、もしくはTukey-Kramer:  $p > 0.05$ )、全ての交配家系(系統番号: 1~5, 以下同じ)の相対樹高成長率が事業用実生苗(8)より高い傾向にあった。

3000本区では、岩手県11号(7)の樹高が交配家系8号(2)および交配家系24号(3)、北秋田1号(6)より有意に高かった(Tukey-Kramer:  $p < 0.05$ )。また、相対樹高成長率は、全ての交配家系が少花粉対策品種より有意に高かった(Tukey-Kramer:  $p < 0.05$ )。

### 2) 根元径

系統別に1500本区および3000本区の植栽5年目の平均根元径と植栽から5成長期間の相対根元径成長率の平均値を図9に示した。樹高および相対樹高成長率と同様に、いずれの系統も1500本区と

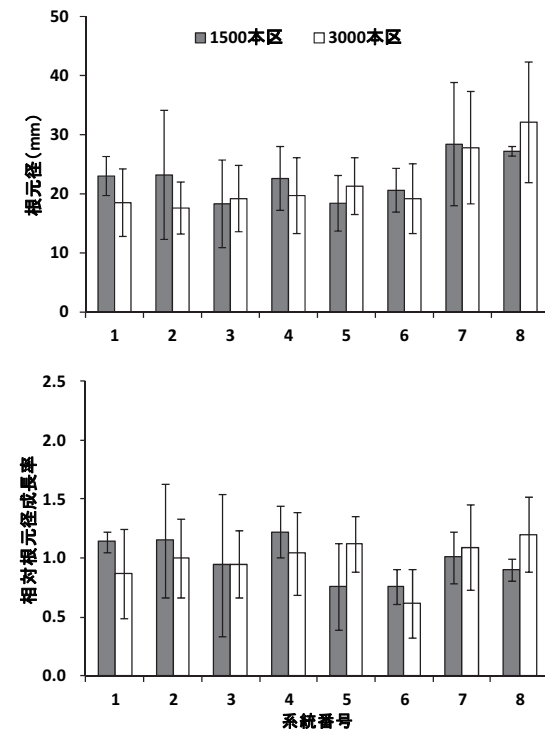


図9 系統別、植栽密度別の植栽5年目の根元径(上)および5生育期間の相対根元径成長率(下) エラーバーは標準偏差。系統番号の詳細は表7を参照のこと。



表 8 系統別, 植栽密度別の 5 生育期間の相対材積成長率

系統番号	1500本区		3000本区	
	n(本)	相対材積成長率	n(本)	相対材積成長率
1	3	0.83±0.06 a	10	0.68±0.20 ab
2	4	0.81±0.26 a	8	0.74±0.20 ab
3	3	0.68±0.32 a	9	0.73±0.16 a
4	4	0.84±0.12 a	6	0.79±0.18 a
5	4	0.64±0.20 a	6	0.81±0.13 a
6	3	0.54±0.08 a	7	0.46±0.15 b
7	3	0.62±0.14 a	6	0.67±0.17 ab
8	2	0.62±0.11 a	7	0.76±0.14 a

平均値±標準偏差。系統番号の詳細は表 7 を参照のこと。各植栽密度の系統間で一元配置分散分析および多重比較を行い、異なるアルファベット間で有意差があることを示す (Tukey-Kramer :  $p < 0.05$ )。

3000 本区との間で根元径とその相対成長率どちらも有意な差がなく (t 検定 :  $p > 0.05$ )、植栽密度の違いによる直径成長の明らかな傾向はみられなかった。また、同じ植栽密度の各系統間でも有意な差はなかった (一元配置分散分析 :  $p > 0.05$ )。

交配家系の相対根元径成長率が事業用実生苗 (8) より上回った系統は、1500 本区で、48 号 (4)、8 号 (2)、5 号 (1) であったが (各々  $1.22 \pm 0.22$ ,  $1.15 \pm 0.48$ ,  $1.14 \pm 0.09$ )、3000 本区ではなかった。

### 3) 材積

系統別に 1500 本区および 3000 本区における植栽から 5 成長期間の相対材積成長率の平均値を表 8 に示した。1500 本区では系統間で有意な差はなかったが (一元配置分散分析 :  $p > 0.05$ )、3000 本区では、交配家系 24 号 (3)、同 48 号 (4)、同 52 号 (5)、事業用実生苗 (8) の相対材積成長率が北秋田 1 号 (6) より高かった (Tukey-Kramer :  $p < 0.05$ )。

1500 本区および 3000 本区ともに、交配家系の相対根元径成長率が事業用実生苗 (8) より上回った系統は、交配家系 48 号 (4) と同 52 号 (5) のみであった。

### 2.2.3 考察

本試験では、植栽密度による成長の違いは確認されなかった。これは、植栽 5 年目までの調査結果では、まだ樹冠閉鎖が起こっておらず、植栽密度による影響が生じていないこと、また、今回の試験で最も低い植栽密度は 1500 本区であり、低密度植栽による植栽初期の風や乾燥などのストレス<sup>20)</sup>は生じていない可能性が考えられた。

系統の違いでは、交配家系は少花粉対策品種および対照の事業用実生苗より樹高成長が良い傾向がみられた一方、直径成長では、明確な傾向はみられな

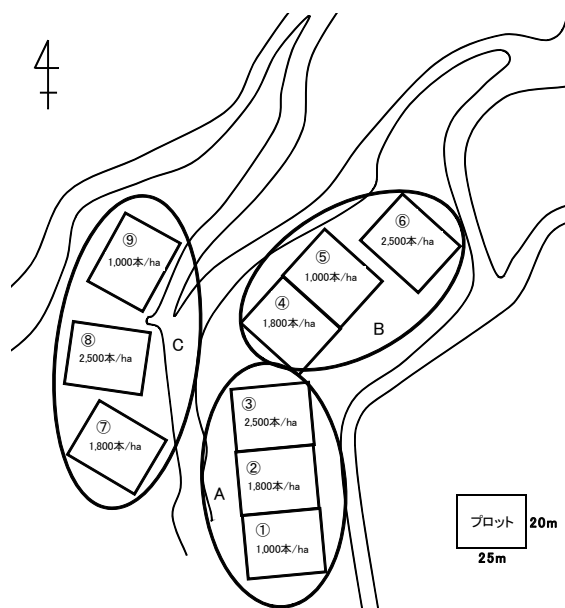


図 10 試験区配置図 (カラマツ方形区試験)

円で囲った範囲およびアルファベットは、ブロックを示す。

かった。特定母樹の選定基準の一つとして、植栽 10 年目以上における単木材積が対照個体の 1.5 倍以上とされている。今回の試験は植栽 5 年目であるが、1500 本区および 3000 本区において最も相対材積成長率が高い交配家系は各々 48 号 (4) と同 52 号 (5) で、その相対材積成長率は事業用実生苗の約 1.4 倍、約 1.1 倍となっていた。このように、特定母樹の選定基準はまだ満たしていないが、植栽 5 年目における交配家系の樹高成長が良好であることから、今回も継続して成長調査を行う。

## 2.3 カラマツ方形区試験

### 2.3.1 試験地および調査・解析方法

2011 年 5 月、岩手県岩手郡葛巻町にカラマツ裸苗を密度 1000 本/ha、2000 本/ha、3000 本/ha で植栽した (以下、1000 本区、2000 本区、3000 本区とする)。試験区の面積は  $25\text{m} \times 20\text{m} = 500\text{m}^2$  で、各条件 3 反復設定した (図 10)。施業履歴としては、植栽から 5 年間下刈りを行った。

調査は、植栽した 2011 年 7 月と 11 月、植栽 2 年目の 2012 年 11 月、植栽 5 年目の 2015 年 10 月に行った。これらの調査時期に、植栽木の生存を確認のうえ、生存木について、樹高と根元径を測定した。また、植栽密度が下刈り労務に与える影響を調査するため、2012 年 7 月に各試験区で下刈り工程を調

査した。

調査した植栽木のうち、誤伐などの植栽木は解析から除外した。枯死木や誤伐と判断された植栽木については、植栽密度毎に枯死率および誤伐率を算出した。また、測定した樹高および根元径から、2.1.1で示した式により、植栽から5年間の各相対成長率を算出した。

さらに、植栽木の成長に対する植栽密度と試験区の位置(ブロック)との交互作用を確認するため、植栽5年目の樹高および根元径、植栽から5生育期間の樹高および根元径相対成長率について、統計解析ソフト SPSS (IBM 社製) を用いて二元配置分散分析を行い、有意差があった項目について多重比較 (Tukey-Kramer) を行った。

### 2.3.2 結果

#### 1) 枯死率

各植栽密度における植栽5年目の枯死率は各々、1000本区が20%、1800本区が13%、2500本区が18%で、1000本区の枯死率が高かったが、植栽密度と枯死率との明瞭な傾向はみられなかった。

#### 2) 樹高

植栽密度別に植栽5年目までの植栽木の平均樹高と5生育期間の相対成長率の平均値を図11および図12に各々示した。

植栽5年目で、1800本区と2500本区の樹高が1000本区より高かった (Tukey-Kramer:  $p < 0.05$ )。相対成長率は植栽密度間で有意な差はなかった (二元配置分散分析:  $p > 0.05$ )。

#### 3) 根元径

植栽密度別に植栽5年目までの植栽木の平均根元径と5生育期間の相対成長率の平均値を図13および図14に各々示した。

樹高と同様、植栽5年目で、1800本区と2500本区の根元径が1000本区より大きく、相対成長率も同様であった (Tukey-Kramer:  $p < 0.05$ )。

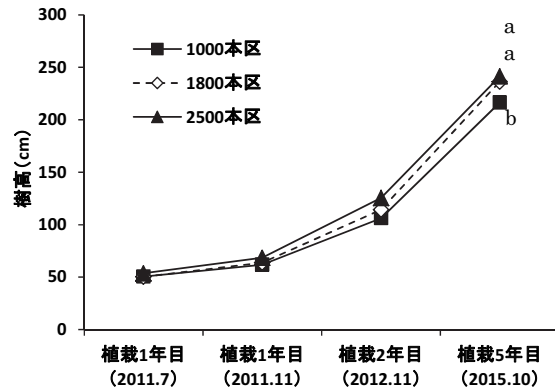


図11 植栽密度別の樹高の推移

異なるアルファベットは、有意差があることを示す。  
Tukey-Kramer:  $p < 0.05$

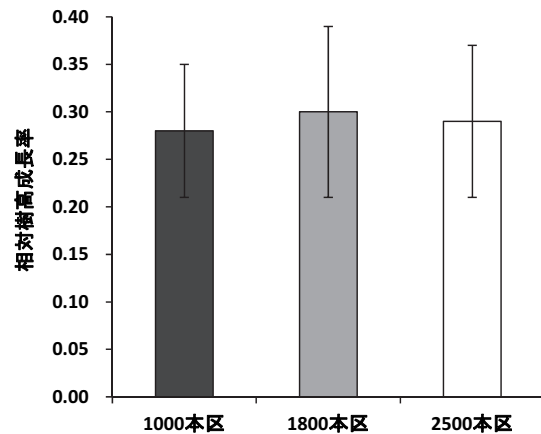


図12 植栽密度別の5生育期間の相対樹高成長率  
エラーバーは標準偏差。

#### 4) 交互作用

植栽5年目の植栽木の樹高および根元径、これら5生育期間の相対成長率について、植栽密度と試験区の位置(図10のブロック)の二元配置分散分析を行った(表9)。植栽密度間では、相対樹高成長率以外で有意差があり、ブロック間では、全ての項目で有意差があった(二元配置分散分析:  $p < 0.05$ )。植栽密度と植栽位置には全ての項目で有意な交互作用があり(二元配置分散分析:  $p < 0.05$ )、植栽木の成長は植栽密度だけではなく、試験区の位置の影響も受けていた。

表9 二元配置分散分析の結果

要因	樹高2015		相対樹高成長率		根元径2015		相対根元径成長率	
	自由度	平均平方	自由度	平均平方	自由度	平均平方	自由度	平均平方
植栽密度	2	15721 *	2	0.01	2	710 **	2	0.03 **
ブロック	2	535248 **	2	0.45 **	2	7156 **	2	0.22 **
植栽密度×ブロック	4	56160 **	4	0.07 **	4	602 **	4	0.04 **
誤差		4615.137		0.005		64.399		0.003

ブロックは図10のA, B, Cによる。\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$

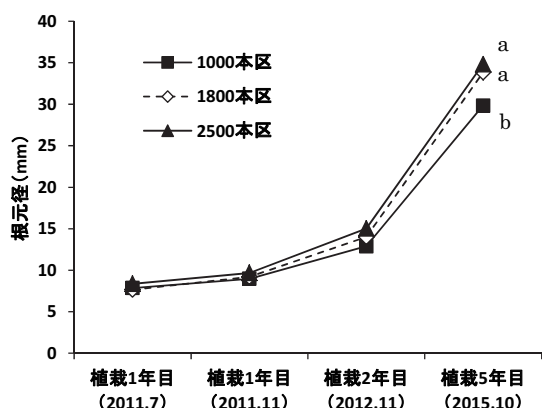


図13 植栽密度別の根元径の推移  
異なるアルファベットは、有意差があることを示す。  
Tukey-Kramer :  $p < 0.05$

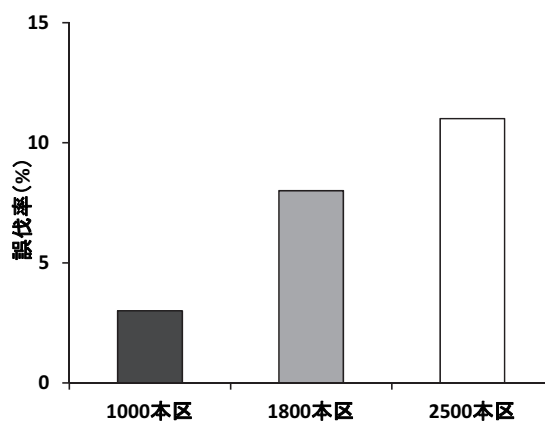


図15 植栽密度別の誤伐率 (2015年10月)  
誤伐による枯死を含む。

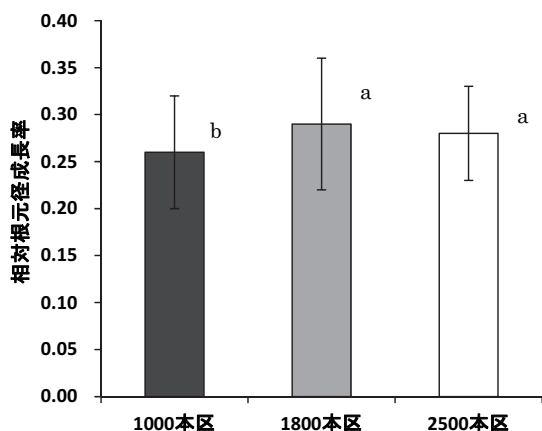


図14 植栽密度別の5生育期間の相対根元径成長率

エラーバーは標準偏差。異なるアルファベットは、有意差があることを示す。Tukey-Kramer :  $p < 0.05$

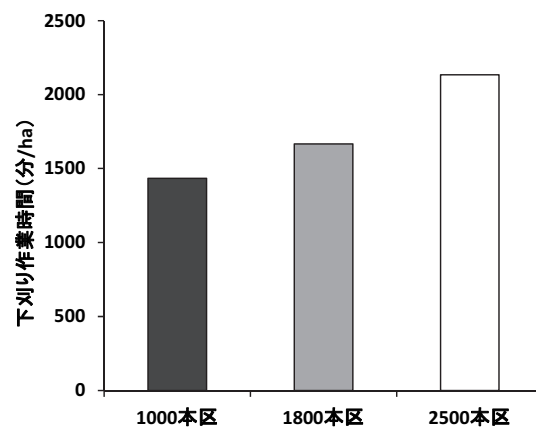


図16 植栽密度別の下刈り作業時間 (2012年7月)

5) 誤伐率

植栽5年目における植栽密度別の誤伐率を図15に示した。各植栽密度の誤伐率は各々、1000本区が3%、1800本区が8%、2500本区が11%で、植栽密度が高くなるほど誤伐率が高くなる傾向にあった。

6) 下刈り工期

植栽2年目における植栽密度別の下刈り作業時間を図16に示した。

各植栽密度の下刈り作業時間は各々、1000本区が1,434分/ha、1800本区が1,666分/ha、2500本区が2,134分/haで、植栽密度が高くなるほど下刈り作業時間が増加する傾向にあった。

2.3.3 考察

植栽5年目の成長は1000本区が他の植栽密度に比べ悪かった(図11,13,14)。これは、植栽初期の風や乾燥などのストレス<sup>20)</sup>を受けた可能性が考

えられた。しかしながら、本試験地は植栽5年目であり、どの植栽密度もまだ樹冠閉鎖していない。このため、密度による成長への影響は今後表れると考えられた。

低密度植栽では、従来の植栽密度とは苗木の植栽間隔が異なることから、下刈り対象木が見つけにくくなり、誤伐や下刈り工期の増加が懸念された。しかしながら、今回の調査結果では、どちらも植栽密度が低くなるほど小さい値となった(図15, 16)。誤伐については、低密度植栽では従来の植栽間隔と異なるため、慎重に下刈りを行い、誤伐が減った可能性が考えられた。作業工期については、下刈り対象木が見つけにくくなるよりも、下刈り対象木が少なくなったため、作業時間が少なくなったと考えられた。

今後の間伐回数を検討するため、各植栽密度の林分密度を算出し、カラマツ林の標準的な間伐スケジ

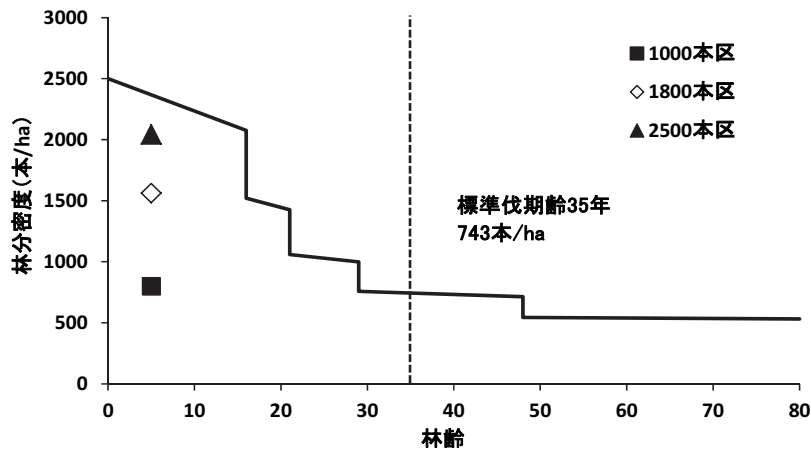


図 17 カラマツ一般材施業の指針（地位中）における植栽密度別の林分密度  
馬淵川上流地域森林計画書（岩手県 2008）<sup>14</sup>を一部改変した。

ルールを示した、「カラマツ一般材施業の指針（地位中）」<sup>14</sup>に重ね合わせた（図 17）。カラマツの標準伐期齢は35年<sup>14</sup>で、その時点の林分密度は743本/ha、それまでの標準的な間伐回数は3回である。植栽5年目における各植栽密度の林分密度は各々、1000本区が799本/ha、1800本区が1560本/ha、2500本区が2042本/haであった。1000本区は標準伐期齢の林分密度と同程度であることから、今後間伐を実施する必要はないが、間伐により形質不良木が除去できない恐れが考えられた。1800本区は、21年生時に初回間伐を実施し、標準伐期齢まで間伐が2回必要であるが、標準的な間伐回数から1回削減することができる。一方、従来の植栽密度である2500本区は、標準的な間伐回数と同様に標準伐期齢まで間伐が3回必要であった。

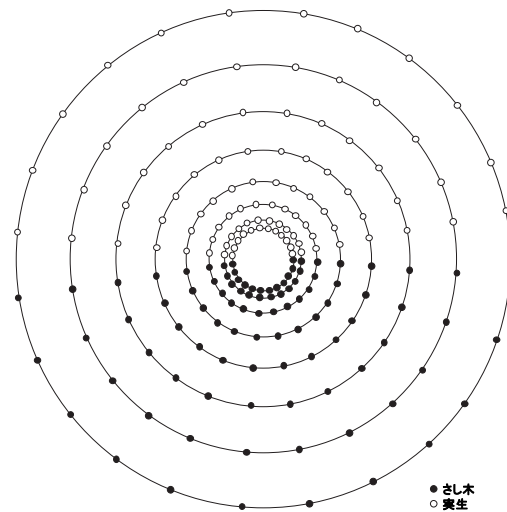


図 18 スギ系統的配置試験による植栽模式図

## 2.4 スギ系統的配置試験

### 2.4.1 試験地および調査・解析方法

2010年5月、岩手県紫波郡矢巾町の当センター敷地内平坦地に、8個の同心円を設定し、一円周上にスギ（上閉伊14号）のさし木苗と実生苗を12本ずつ計24本植栽し、植栽密度の異なる試験区とした（図18）。各試験区と植栽密度は表10のとおり、最も高い植栽密度は18245本/ha（最内円）、最も低い植栽密度は272本/ha（最外円）である。施業履歴としては植栽当年に下刈りを行ったが、以後は不明である。

調査は、植栽した2010年6月と植栽6年目の2015年4月に、植栽木の生存を確認のうえ、生存木について、植栽木の樹高および根元径を測定した。

調査した植栽木のうち、補植は解析から除外し、

表 10 スギ系統的配置試験による試験区設定状況

試験区	最内円	10000本区	5000本区	3000本区
円周半径(m)	2.59	3.50	4.73	6.39
占有面積(m <sup>2</sup> /本)	0.55	1.00	1.83	3.34
植栽密度(本/ha)	18245	9972	5464	2975

試験区	1500本区	1000本区	500本区	最外円
円周半径(m)	8.63	11.65	15.73	21.24
占有面積(m <sup>2</sup> /本)	6.08	11.07	20.20	36.79
植栽密度(本/ha)	1646	903	495	272

測定した樹高および根元径から、2.1.1で示した式により、植栽から5生育期間の各相対成長率を算出した。植栽6年目の樹高および根元径、植栽から5生育期間の樹高および根元径相対成長率について、苗種毎に各試験区間で一元配置分散分析を行った。

### 2.4.2 結果

植栽から6年目(5生育期間)における各試験区の苗種別の平均樹高および相対成長率の平均値を図19に各々示した。

各苗種における樹高やその相対成長率について、試験区間で有意な差はなかった(一元配置分散分析:  $p>0.05$ )。植栽密度と樹高成長には明瞭な傾向はみられず、最も成長が良い試験区は実生苗で5000本区、さし木苗で最内円、1000本区、500本区と苗種でも傾向が異なった(図19下)。また、実生苗がさし木苗に比べ、最内円を除き成長が良い傾向にあった。

植栽から6年目(5生育期間)における各試験区の苗種別の平均根元径および相対成長率の平均値を図20に各々示した。

各苗種における根元径やその相対成長率について、試験区間には有意な差がなかった(一元配置分散分析:  $p>0.05$ )。植栽密度と直径成長には明瞭な傾向はみられず、最も成長が良い試験区は実生苗で樹高

と同様に5000本区、さし木苗で500本区と苗種でも傾向が異なった(図20下)。また、樹高と同様に、実生苗がさし木苗に比べ、最内円を除き成長が良い傾向にあった。

### 2.4.3 考察

宮崎県に設定された系統的配置試験のスギ35年生では、植栽密度が低くなるほど、植栽木の樹高や胸高直径が大きくなる傾向にあった<sup>12)</sup>。また、北海道に設定された同試験のトドマツ34年生では、密度が低くなるほど樹高が高くなる傾向にあったが、アカエゾマツ34年生とカラマツ30年生にはそのような傾向はみられなかった<sup>36)</sup>。既報では、低密度になるほど植栽木の成長が良い傾向がみられているが、今回の試験では植栽密度による明瞭な傾向はみられなかった。これは、植栽から5年目であるため、密度の効果が表れていない可能性も考えられるが、植栽箇所の地位や風雪害など他の要因が作用している可能性も考えられた。

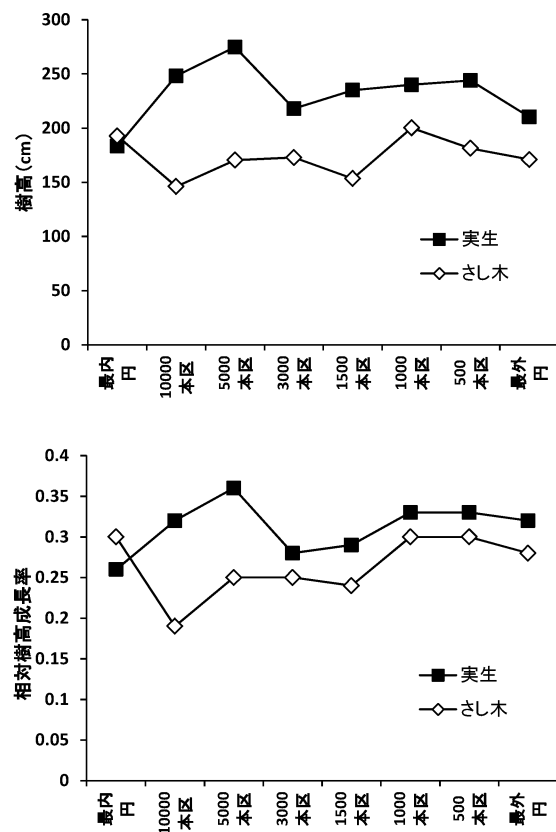


図19 各試験区における苗種別の植栽6年目の樹高(上)および5生育期間の相対樹高成長率(下)

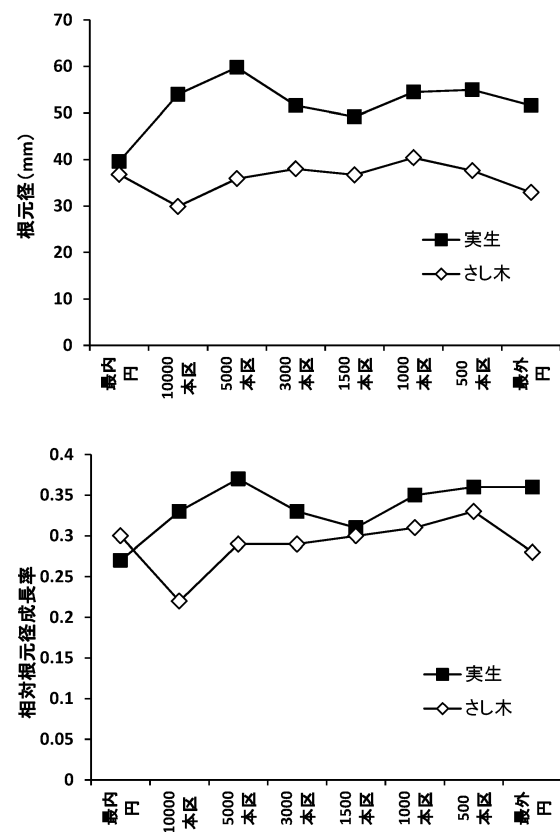


図20 各試験区における苗種別の植栽6年目の根元径(上)および5生育期間の相対根元径成長率(下)

実生苗の成長がさし木苗に比べ良いという報告<sup>22)</sup>はあるが、品種によりさし木苗の成長が良い可能性もある。今回の試験で用いられた閉伊 14 号は、実生苗の成長がさし木苗に比べ良い品種であると考えられた。

## 2.5 まとめ

スギ方形区試験の結果から、密度が低いほど直径成長が大きくなるという、植栽密度が植栽木の成長に与える影響は植栽 11 年目以降に確認された。樹種や地位、植栽密度により、この影響が表れる植栽年数は異なると考えられるが、今回の試験結果からは樹冠閉鎖以降に表れることが示唆された。このため、少花粉スギ方形区やカラマツ方形区では、まだ樹冠閉鎖していないため、このような影響は表れていないと考えられた。

また、スギやカラマツ方形区試験では、低密度で植栽された試験区で、植栽初期に風や乾燥などのストレス<sup>20)</sup>を受けたことによるものと思われる成長低下が確認された。今回の試験では、植栽密度別に土壌含水率の測定や気象観測を行っていないため、このような影響は不明である。この影響は植栽密度 500~1000 本/ha で生じる可能性が示唆され、既報<sup>20)</sup>とも合致した。しかしながら、スギ方形区試験の 1000 本/ha では 500 本/ha ほど植栽初期に大きな成長低下がみられないため、樹種により影響を受ける植栽密度が異なる可能性が考えられた。

宮崎県のスギ系統配置試験の結果では、低密度では林分材積やヤング率が低い傾向にあり、高密度では形質が悪くなることから、中間的な植栽密度である 2000~2800 本/ha が望ましいとされた<sup>12)</sup>。また、秋田県のスギ密度試験の結果では、1000 本/ha は量と質両面で標準的な資源量を確保することが難しいことから、再造林コストを削減し、並材生産を目指す場合の植栽密度として、1500~2000 本/ha が提案されている<sup>38)</sup>。宮崎県では優良木の割合の低下、秋田県では雪害や広葉樹の侵入を懸念しているため、上記のような提案になったと考えられる。

今回のスギ方形区試験では、一部の試験区内に広葉樹やツルが発生していたが、その影響は小さく、植栽密度間で大きな違いはなかった。500 本/ha は、1 本当たりの幹材積が最も大きかったが、林分材積は最も少ないため(表 4)、収量の面からこの植栽密度を採用するのは難しいと考えられた。1000 本/ha は、標準伐期齢まで間伐は必要ないが、形質不良木

を除去できない恐れがあり、植栽 16 年目の林分材積は 3000 本/ha の半分以下である(表 4)。2000 本/ha は、標準伐期齢まで間伐は 2 回必要であるが、間伐で形質不良木を除去でき、植栽 16 年目の林分材積は 3000 本/ha の約 7 割となっている(表 4)。造林や間伐経費をあまりかけず、収量は少ないが、並材・低質材利用を想定するのであれば植栽密度 1000 本/ha、ある程度造林や間伐経費をかけて、優良材や収量を期待するのであれば同 2000 本/ha のように、植栽 16 年目の調査結果から、植栽する目的により植栽密度を変える必要があると考えられた。

北海道におけるカラマツとグイマツの交配種であるグイマツ雑種 F<sub>1</sub> の密度試験の結果では、直径成長と間伐材利用の観点から、2000 本/ha に比べ 1000 本/ha が有利である<sup>42)</sup>ことを示している。今回のカラマツ方形区試験では、1000 本/ha は成長が悪く、標準伐期齢まで間伐は必要ないが、間伐で形質不良木を除去できない恐れがあると考えられた。1800 本/ha は従来の植栽密度である 2500 本/ha と同程度の成長で、標準伐期齢までの間伐回数を 2500 本/ha より 1 回減らすことができると考えられた。また植栽 5 年目であり、最終的な結論とはならないが、植栽木の成長の面から低密度植栽の密度としては 1000 本/ha ではなく、1800 本/ha が現時点では適当であると考えられた。

今回の低密度植栽の評価は、主に植栽木の成長によるもので、主間伐時の収入を考慮していない。低密度植栽では植栽木の木材強度が低下することが知られており<sup>12)</sup>、集成材利用を想定する場合、強度が低いラミナが多いと収入の低下につながる。また、低密度植栽は得られる材の節が大きくなる可能性が考えられ、ラミナ歩留りの低下も懸念される。今後は、植栽密度と木材強度との関係を調査し、主伐時に得られる収入と造林・育林経費から適用可能な植栽密度を検討する必要があると考えられた。

## 3 カラマツ下刈り回数削減試験

### 3.1 試験概要

岩手県では、樹種に関わらず年 1 回の下刈りが植栽から 5 年間行われる。カラマツはアカマツやスギに比べ、初期成長が良いことから、早期に下刈りを終了できる可能性が高い。このことから、岩手県内に下刈り省略試験地を設定し、下刈り回数の削減が植栽木の成長および植栽木と競合する周辺植生(競合植生)に与える影響を調査した。

なお、本研究の一部については、新井（2015a, 2015b）<sup>12)</sup>および新井・成松（2016a,2016b）<sup>7,8)</sup>により既に報告されたものである。

### 3.2 試験地および調査・解析方法

2011年、岩手県宮古市川井、九戸郡軽米町（写真2,3）に、2012年、奥州市胆沢および江刺にカラマツコンテナ苗を密度1000本/haで植栽し、下刈り回数を削減した試験地を設定した（表11）。カラマツは競合植生の繁茂に伴う湿度上昇により、くもの巢病やカビが発生しやすいことから<sup>6,35)</sup>、下刈りは植栽当年から連年で行うこととし、下刈り条件は、植栽初期の1,2年目のみ下刈りを行う2年刈区、1~3年目のみ下刈りを行う3年刈区、1~4年目のみ下刈りを行う4年刈区、5年目まで毎年行う毎年刈区とした。試験地と下刈り条件は表11のとおりであるが、奥州市胆沢は秋植栽であったため、下刈りは植栽2年目から行うこととし、2年刈区は植栽2,3年目、毎年刈区は植栽2から5年目までの下刈りとした。

調査は宮古市川井と軽米町は植栽後の2011年から、奥州市の2試験地は植栽2年目の2013年から植栽5年目までの各生育期間終了後、植栽木の生存を確認のうえ、生存木については、樹高と根元径を測定した。また、植栽木周辺の競合植生を調査するため、7月に各試験区の植栽木10本程度について、下刈り前に植栽木を中心とした半径1mの円を設定のうえ、上下左右の4象限に分け、象限毎に競合植生タイプ（常緑針葉樹、落葉広葉樹、バラ科落葉低木、イネ科草本、その他草本（ツル植物を含む）、裸地）別の植被率を記録し、競合植生の平均高を測定した。

競合植生の平均高は、調査対象とした植栽木の樹高に対する割合により評価した。なお、奥州市江刺は、植栽6年目にも競合植生の調査を行った。

調査した植栽木のうち、ニホンジカによる食害や誤伐などがあつた植栽木は解析から除外した。測定した樹高および根元径から、2.1.1で示した式により、下刈り終了から植栽5年目（宮古市川井は植栽4年目）までの各相対成長率を求めた。植栽木の樹高、根元径、それらの相対成長率について、各試験地の下刈り条件間でt検定を行った。

なお、宮古市川井では、植栽5年目の競合植生調査後に再度下刈りが行われたため、植栽5年目秋の調査データは解析に用いなかった。

### 3.3 結果

#### 1) 生存率

各試験区における下刈り終了前と植栽4,5年目の生存率を表12に示した。

下刈り終了前後で、軽米町では2年刈区で生存率が15%減少したが、毎年刈区も17%減少し、その減

表12 各試験地における下刈り終了前後の生存率

試験地	試験区	生存率(%)			
		下刈り終了前		下刈り終了後	
軽米町	2年刈区	植栽2年目	100	植栽5年目	85
	毎年刈区	植栽2年目	88	植栽5年目	73
宮古市川井	2年刈区	植栽2年目	94	植栽4年目	94
	3年刈区	植栽3年目	80	植栽4年目	70
奥州市胆沢	2年刈区	植栽2年目	51	植栽5年目	47
	毎年刈区	植栽2年目	63	植栽5年目	63
奥州市江刺	4年刈区	植栽4年目	97	植栽5年目	97
	毎年刈区	植栽4年目	94	植栽5年目	94

表11 各試験地の植栽年月と下刈り条件

試験地	植栽年月	試験区	下刈り					
			2011	2012	2013	2014	2015	2016
軽米町	2011年5月	2年刈区	○	○	—	—	—	—
		毎年刈区	○	○	○	○	○	○
宮古市川井	2011年6月	2年刈区	○	○	—	—	(○)	—
		3年刈区	○	○	○	—	(○)	—
奥州市胆沢	2012年11月	2年刈区	—	—	○	○	—	—
		毎年刈区	—	—	○	○	○	○
奥州市江刺	2012年6月	4年刈区	—	○	○	○	○	—
		毎年刈区	—	○	○	○	○	○

川井試験地は、2015年7月の調査後、下刈りが行われた。

少率は同程度だった。宮古市川井では3年刈区で生存率が13%減少したが、2年刈区は変わらなかった。

奥州市胆沢では2年刈区で生存率が8%減少したが、毎年刈区では期間中枯死がなく、奥州市江刺では4年刈区、毎年刈区ともに生存率に変化がなかった。

2) 植栽木の成長

各試験区における植栽4,5年目の平均樹高と平均根元径, 下刈り終了から植栽4,5年目までの樹高と根元径の相対成長率の平均値を表13に示した。

樹高は軽米町で2年刈区が毎年刈区より高く (t検定:  $p < 0.01$ ), 相対成長率も同様であった (t検定:  $p < 0.01$ )。根元径は宮古市川井で3年刈区が2年刈区より, 奥州市胆沢で毎年刈区が2年刈区より, 奥州市江刺で毎年刈区が4年刈区より大きかったが (t検定:  $p < 0.05$ ), 相対成長率は奥州市胆沢のみ有意差があった (t検定:  $p < 0.05$ )。

3) 競合植生のタイプ

各試験地における植栽5年目の植栽木周辺の競合植生の植生タイプ別植被率の平均値を図21に示し

た。

軽米町では, ヤマグワなど落葉広葉樹とササ類のイネ科草本, ワラビなどその他草本の植被率が各々約3割と同程度で, 宮古市川井では, ヒヨドリバナなどその他草本植物の割合が半分程度を占めた。奥州市胆沢では, ノリウツギなど落葉広葉樹の植被率が約4割と高く, 奥州市江刺では, モミジイチゴのバラ科落葉低木とヨモギなどその他草本の植被率が各々約3割と同程度であった。

4) 植栽木の樹高と競合植生高の関係

各試験地における植栽3年目から5年目までの植栽木の平均樹高と競合植生高の平均値, 樹高に対する競合植生高の割合を図22に示した。ただし, 奥州市江刺は下刈り回数削減の効果を検証するため, 植栽4年目から6年目までを示した。

植栽5年目における植栽木の樹高に対する競合植生高の割合は各々, 軽米町の2年刈区が35%, 毎年刈区が32%, 宮古市川井の2年刈区が44%, 3年刈区が38%, 奥州市胆沢の2年刈区が39%, 毎年刈区が34%, 奥州市江刺の4年刈区が23%, 毎年刈

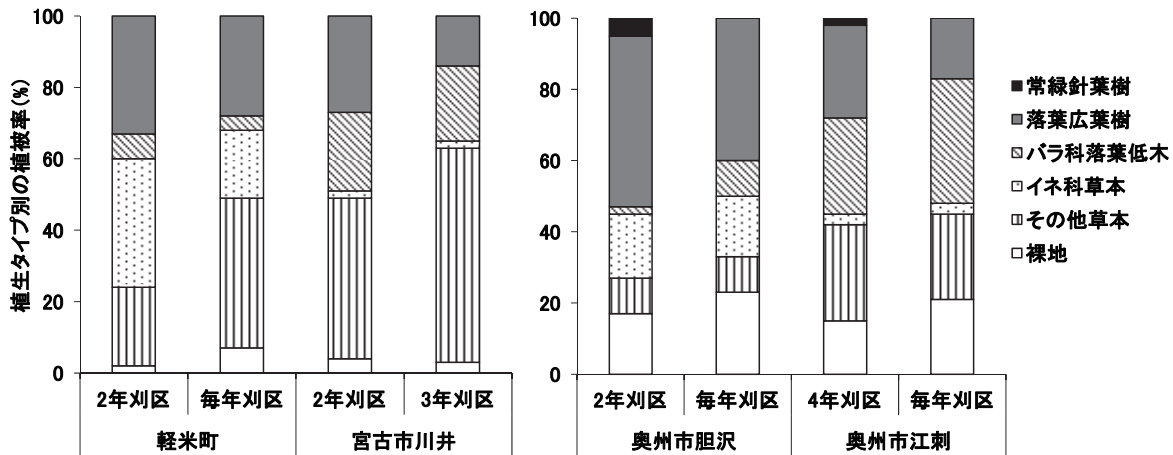


図21 各試験地における植栽5年目の植生タイプ別の植被率

表13 各試験地における植栽4,5年目の樹高と根元径, 相対成長率

試験地	試験区	植栽5年目*			下刈り終了から植栽5年目までの相対成長率*		
		n(本)	樹高(cm)	根元径(mm)	n(本)	樹高	根元径
軽米町	2年刈区	33	396.7±64.4 **	49.4±12.9	33	0.40±0.06 **	0.40±0.07
	毎年刈区	40	322.3±92.9 **	50.0±16.1	40	0.34±0.09 **	0.46±0.09
宮古市川井	2年刈区	28	241.3±58.8	34.3±8.7 **	25	0.30±0.10	0.55±0.09
	3年刈区	15	278.6±56.9	45.0±10.3 **	15	0.30±0.11	0.59±0.08
奥州市胆沢	2年刈区	21	240.6±79.5	32.5±11.6 **	21	0.52±0.16	0.39±0.11 *
	毎年刈区	27	272.7±89.2	45.7±15.2 **	27	0.52±0.12	0.46±0.10 *
奥州市江刺	4年刈区	39	389.5±94.7	60.9±18.8 *	39	0.36±0.11	0.36±0.07
	毎年刈区	33	406.8±80.4	71.5±16.8 *	33	0.36±0.09	0.37±0.07

\*: 川井試験地の樹高と根元径は植栽4年目, 相対成長率は下刈り終了から植栽4年目まで。平均値±標準偏差, 各試験地の試験区間でt検定を行った。\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$



区が28%で、どの試験区でも50%以下であった。また、奥州市江刺における植栽6年目の植栽木の樹高に対する競合植生高の割合は、4年刈区が26%、毎年刈区が14%で、4年刈区がやや高かった。

下刈り終了時の植栽木の樹高に対する競合植生高の割合は各々、軽米町の2年刈区が64%、宮古市川井の2年刈区が49%、3年刈区が49%、奥州市胆沢の2年刈区が87%、奥州市江刺の4年刈区が23%であった。

### 3.4 考察

下刈り回数を削減したことによる、カラマツ植栽木の生存率や成長の大幅な低下といった大きな影響はみられなかった(表12,13)。

カラマツ林の下刈りは、ほとんどの植栽木の上方第1枝が周辺の植生高を超えた時点で終了して良いとされる<sup>32)</sup>。その場合の植栽木の樹高に対する競合

植生高の割合は、80%程度と考えられる。下刈り回数を削減した試験区のうち、下刈り終了時にこの目安を上回っていたのは奥州市胆沢の2年刈区のみであった。それ以外の試験区では、岩手県で一般的に下刈りを終了する植栽5年目でも競合植生高は植栽木の樹高の半分以下であったため、今回の下刈り条件で下刈りを終了しても良いと考えられ、さらにこの目安は下刈りを終了する際の基準になると考えられた。

奥州市胆沢は、土壌が湿潤でカラマツ植林には適さない土壌であったこと、また秋植栽であったことから、他の試験地よりカラマツの成長が悪かった(表13)。このため、2年刈区の下刈り終了時の植栽木の樹高に対する競合植生高の割合は87%と前記目安より高くなったと考えられた。競合植生は落葉広葉樹の割合が高かったが(図21)、その優占種はノリウツギやタニウツギといったあまり樹高が高くなら

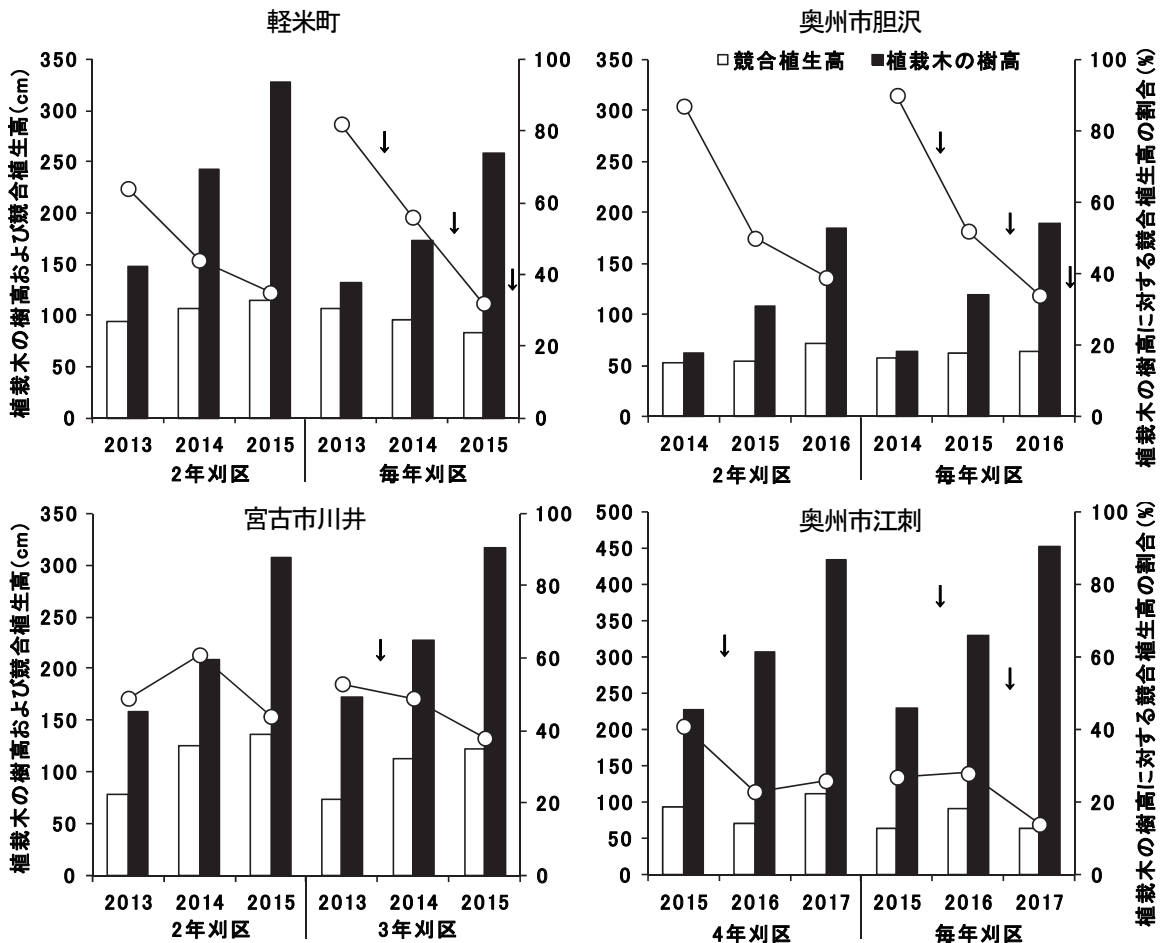


図22 各試験地における植栽3年目から5年目の植栽木の樹高と競合植生高、樹高に対する競合植生高の割合ただし、奥州市江刺は植栽4年目から6年目を示した。↓は下刈り実施を示す。

ない種であったため、植栽5年目には競合植生高は植栽木樹高の半分以下となった。この場合でも植栽初期2年間の下刈りで終了して良いと考えられるが、競合植生が高木性の落葉広葉樹で植栽木より成長が良好であった場合は、下刈りは3年間必要だった可能性が考えられた。

以上のことから、植栽木の成長と競合植生の繁茂状況や植生タイプを考慮したうえで、下刈り回数を従来の5年間から植栽初期の2年間もしくは3年間に削減できると考えられた。さらに、競合植生の平均高が植栽木の樹高の80%の高さであった場合、下刈りを終了する判断の目安になると考えられた。

なお、今回の下刈り条件は、初期に連年で行うこととしたが、カラマツの隔年下刈りは毎年下刈りに比べ植栽木の成長の低下が報告されている<sup>30)</sup>。これは、陽樹であるカラマツは若齢時に十分な光が当たらないと成長が低下する<sup>30)</sup>ことを示しており、植栽初期の2年間もしくは3年間に下刈りを行い、十分な光環境を確保のうえ、カラマツの成長を促すことは有効であると考えられた。

#### 4 造林・育林初期経費の試算

これまでの検討を踏まえて、スギとカラマツについて、地拵え、植付、下刈りまでの造林・育林初期経費の試算を行い、通常施業と低コスト施業を比較した。なお、地拵えは、急な傾斜では機械地拵えを行うことが難しいことから、人力地拵えとして試算を行った。また、低コスト施業では、植栽適期が裸苗に比べて長く<sup>28,41)</sup>など、植栽効率が良い<sup>19,40)</sup>などコンテナ苗を植栽することとした。

##### 1) スギ

スギについては、岩手県の一般的な通常施業として、裸苗3000本/ha植栽、下刈り5回とした。低コスト施業の下刈り回数は、秋田県の事例<sup>24)</sup>を参考に、植栽2, 3, 5年目の下刈り3回とした。なお、下刈りを省略した翌年の下刈り労務は毎年下刈りより増加するが<sup>39)</sup>、その点は考慮しなかった。「2 低密度植栽試験」の結果から、低コスト施業①は、ある程度経費をかけて、優良材や収量を期待する密度2000本/haでコンテナ苗を植栽し、下刈りを3回行うこととした。同②は、収量は少ないが、造林や間伐経費をあまりかけず、並材・低質材用を想定する密度1000本/haで同①と同様にコンテナ苗を植栽し、下刈りを3回行うこととした。

上記条件で造林・育林初期経費を試算した結果(図

23)、通常施業は1,871千円、低コスト施業①は1,424千円、同②は1,119千円となり、通常施業に比べ、低コスト施業①が24%、同②が40%の経費削減となった。

##### 2) カラマツ

カラマツについては、岩手県の一般的な通常施業として、裸苗2500本/ha植栽、下刈り5回とした。

「2 低密度植栽試験」、「3 カラマツ下刈り回数削減試験」の結果から、低コスト施業は、コンテナ苗1800本/ha植栽とし、①は下刈り回数3回、②は下刈り回数2回とした。

上記条件で造林・育林初期経費を試算した結果(図24)、通常施業は1,594千円、低コスト施業①は1,333千円、同②は1,170千円となり、通常施業に比べ、低コスト施業①が16%、同②が27%の経費削減となった。

##### 3) まとめ

スギはカラマツに比べて造林・育林初期経費の削減率が大きかった。これはカラマツに比べて、低コスト施業における植栽密度の低減が大きかったこと、コンテナ苗の価格がスギ裸苗の約1.5倍で、カラマツ裸苗の約2.5倍に比べ低いことから、裸苗より価格が高いコンテナ苗を選択しても植栽密度を低減することで経費を削減できたと考えられた。特に低コスト②では、通常施業に比べ植栽に係る苗木代が51%、同労務費が68%削減された。

一方、カラマツは、植栽に係る労務費は低コスト施業で通常施業に比べ40%の削減となったが、同苗木代が79%の増加となった。植栽密度を2500本/haから1800本/haに削減しただけでは、苗木代の上昇を抑えられなかったことから、カラマツコンテナ苗の価格低下など裸苗との大きな価格差を解消することにより、更なる経費削減が図られると考えられた。

#### 謝辞

本研究の試験地設定に当たり、奥州市役所および宮古市役所、山内生産森林組合(当時)、東種牧野組合、近藤精助氏からの許可をいただいた。また、本研究の実施に当たり、岩手県林業技術センター研究部成松眞樹博士にご指導をいただいた。ここに御礼申し上げます。

本研究の一部は、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「東北地方の多雪環境に適した低コスト再造林システムの開発(25036B)」(平成25から27年度)により行った。

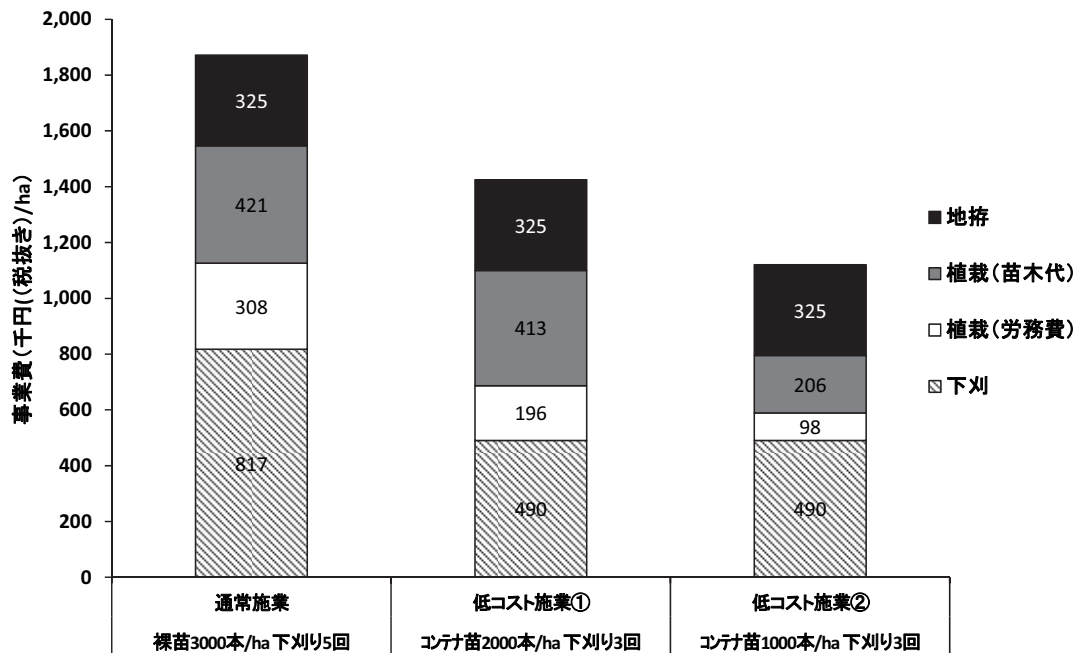


図 23 スギにおける造林・育林初期経費の試算

平成 30 年度森林整備事業標準単価表<sup>18)</sup>により試算。(1)人力地拵：H30 標準単価、(2)植栽(苗木代)：H30 標準単価、(3)植栽(労務費)：H30 標準単価植付費(地拵え除く)から(2)を引算、(4)下刈：H30 標準単価(全刈)に実施回数を乗算

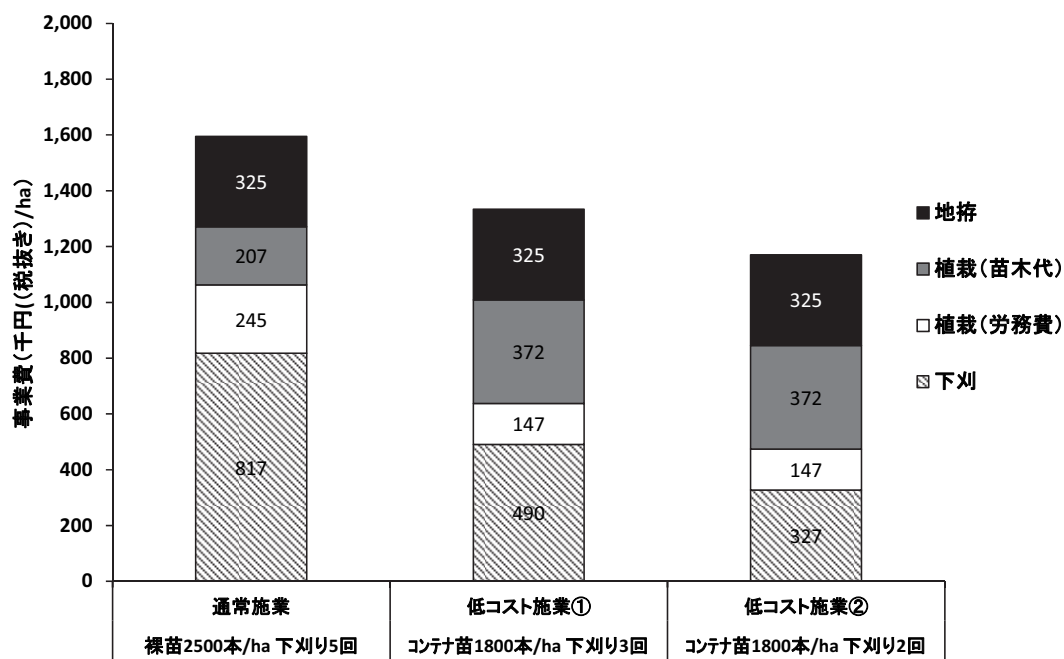


図 24 カラマツにおける造林・育林初期経費の試算

平成 30 年度森林整備事業標準単価表<sup>18)</sup>により試算。(1)人力地拵：H30 標準単価、(2)植栽(苗木代)：H30 標準単価、(3)植栽(労務費)：H30 標準単価植付費(地拵え除く)から(2)を引算、(4)下刈：H30 標準単価(全刈)に実施回数を乗算

## 引用文献

- 1) 新井隆介 (2015a) 下刈り回数削減がカラマツの生残や成長に与える影響. 岩手県林業技術センター研究成果速報 309.
- 2) 新井隆介 (2015b) カラマツ植栽地における下刈り回数削減の影響とコスト削減. 岩手の林業 692 : 8-9.
- 3) 新井隆介 (2016a) カラマツ低密度植栽試験における植栽5年目の生育状況. 岩手県林業技術センター研究成果速報 332.
- 4) 新井隆介 (2016b) 低コスト再造林に向けた取組～カラマツコンテナ苗活用と低密度植栽～. 岩手の林業 704 : 4-5.
- 5) 新井隆介 (2018) スギ低密度植栽試験における植栽15年後の生育状況. 岩手県林業技術センター研究成果速報 354.
- 6) 新井隆介・成松眞樹 (2015) 異なる競合植生高がカラマツ植栽木に与える影響. 第20回東北森林科学学会大会講演要旨集 : 43.
- 7) 新井隆介・成松眞樹 (2016a) カラマツの下刈り回数削減. ここまでやれる再造林の低コスト化 : 18-19.
- 8) 新井隆介・成松眞樹 (2016b) カラマツ下刈り回数の削減技術の開発. 現代林業 2016.12 : 34-38.
- 9) 新井隆介・成松眞樹・野口麻穂子 (2016) 異なる密度で植栽したカラマツの5年目の生育状況. 第127回日本森林学会大会学術講演集 : 247.
- 10) 栗屋仁志・本田健二郎 (1969) 系統的配置による植栽密度試験の設計. 日本林学会誌 51(8) : 217-220.
- 11) 藤森隆郎 (2010) 間伐と目標林型を考える. (社) 全国林業改良普及協会, 東京.
- 12) 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ーオビスギ植栽密度試験地の結果からー. 日本林学会誌 93 : 303-308.
- 13) 細田和男・光田靖・家原敏郎 (2010) 現行立木幹材積表と材積式による計算値との相違およびその修正方法. 森林計画学会誌 44(2) : 23-39.
- 14) 岩手県 (2008) 馬淵川上流地域森林計画書.
- 15) 岩手県 (2015) 北上川上流地域森林計画書.
- 16) 岩手県林業水産部 (1983) 岩手県民有林スギ収穫予想表等作成に関する基礎調査書.
- 17) 岩手県農林水産部森林整備課 (2014) 岩手県低コスト再造林事例集. (<http://www.pref.iwate.jp/ringyou/seibi/28764/031499.html> 参照)
- 18) 岩手県農林水産部森林整備課 (2018) 平成30年度森林整備事業標準単価表. (<http://www.pref.iwate.jp/ringyou/seibi/28764/28769/028859.html> 参照)
- 19) 木戸口佐織 (2011) カラマツコンテナ苗の普及に向けた植栽実証試験はじまるーカラマツコンテナ苗と2年生大苗の植栽工期と成長量の比較ー. 岩手の林業 649 : 2-3
- 20) 小山浩正・福地稔 (1993) グイマツ雑種 F1 の植栽密度と初期成長. 日本林学会北海道支部論文集 41 : 172-174.
- 21) 正木隆 (2018) 森づくりの原理・原則. 全国林業改良普及協会, 東京.
- 22) 松永孝治・倉本哲嗣・下村治雄・江藤幸二 (2008) スギおよびヒノキにおける実生とさし木の初期成長形質の比較. 九州森林研究 61 : 124-127.
- 23) 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再造林の実用化と課題. 東北森林科学会誌 20(1) : 1-15.
- 24) 長岐昭彦 (2017) 下刈りの省略. 秋田県林業普及冊子 25 (スギの再造林を低コストで行うために) : 15-20.
- 25) 成松眞樹 (2014a) 植栽密度がスギの成長に及ぼす影響ー植栽10年目の調査結果ー. 岩手の林業 678 : 4-5.
- 26) 成松眞樹 (2014b) スギ低密度植栽試験における植栽10年目の生育状況ー矢巾町煙山試験地における事例ー. 岩手県林業技術センター研究成果速報 303.
- 27) 成松眞樹・新井隆介・野口麻穂子・八木貴信 (2014) 植栽密度がスギの植栽後10年間の成長に及ぼす影響. 第19回東北森林科学学会大会講演要旨集 : 61.
- 28) 成松眞樹・八木貴信・野口麻穂子 (2016) カラマツコンテナ苗の植栽時期が植栽後の活着と成長に及ぼす影響. 日本森林学会誌 98(4) : 167-175.
- 29) Nelder J. A. (1962) New kinds of systematic designs for spacing experiments. Biometrics 18 : 283-307
- 30) 野口麻穂子 (2017) カラマツ下刈り省略の注意点ー植栽初期に十分な下刈りをー. 岩手の林業 711 : 6-7.
- 31) 農林水産省大臣官房統計部経営・構造統計課 (2015) 林齢別樹種別林業経営費 (1ha 当たり)

- 東北・北陸. 平成 25 年度林業経営統計調査報告.  
(<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500202&tstat=000001015632&cycle=8&year=20131&month=0&tclass1=000001020287&tclass2=000001072484> 参照)
- 32) 帯広営林支局 (1979) カラマツ林の施業. 北海道林業改良普及協会, 札幌市.
- 33) R Core Team (2015) R: A language and environment for statistical computing . R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- 34) R Core Team (2017) R: A language and environment for statistical computing . R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- 35) 作山健 (1974) くもの巣病に対するバリダシンの防除効果. 岩手県林業試験場成果報告 6:27-30.
- 36) 高橋正義・古家直行 (2013) 系統的配置による植栽密度試験と樹高成長. 北方森林研究 61:9-10.
- 37) 高橋美恵子 (2011) スギ低密度植栽試験における植栽後 5 年目の生育状況—矢巾町煙山試験地における事例—. 岩手県林業技術センター研究成果速報 281.
- 38) 和田覚 (2017) 低密度植栽. 秋田県林業普及冊子 25 (スギの再造林を低コストで行うために): 8-14.
- 39) 渡辺直史・徳久潔・深田英久・藤本浩平 (2013) 下刈り省略によるコスト削減とスギ植栽木の成長と形質. 低コスト再造林の実用化に向けた研究成果集: 24-25.
- 40) 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. 低コスト再造林の実用化に向けた研究成果集: 14-15.
- 41) 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. 日本森林学会誌 95 (4): 214-219.
- 42) 八坂通泰 (2013) ギイマツ雑種 F1 の低密度植栽. 低コスト造林・育林技術最前線 (全国林業改良普及協会編). p117-129, 全国林業改良普及協会, 東京.

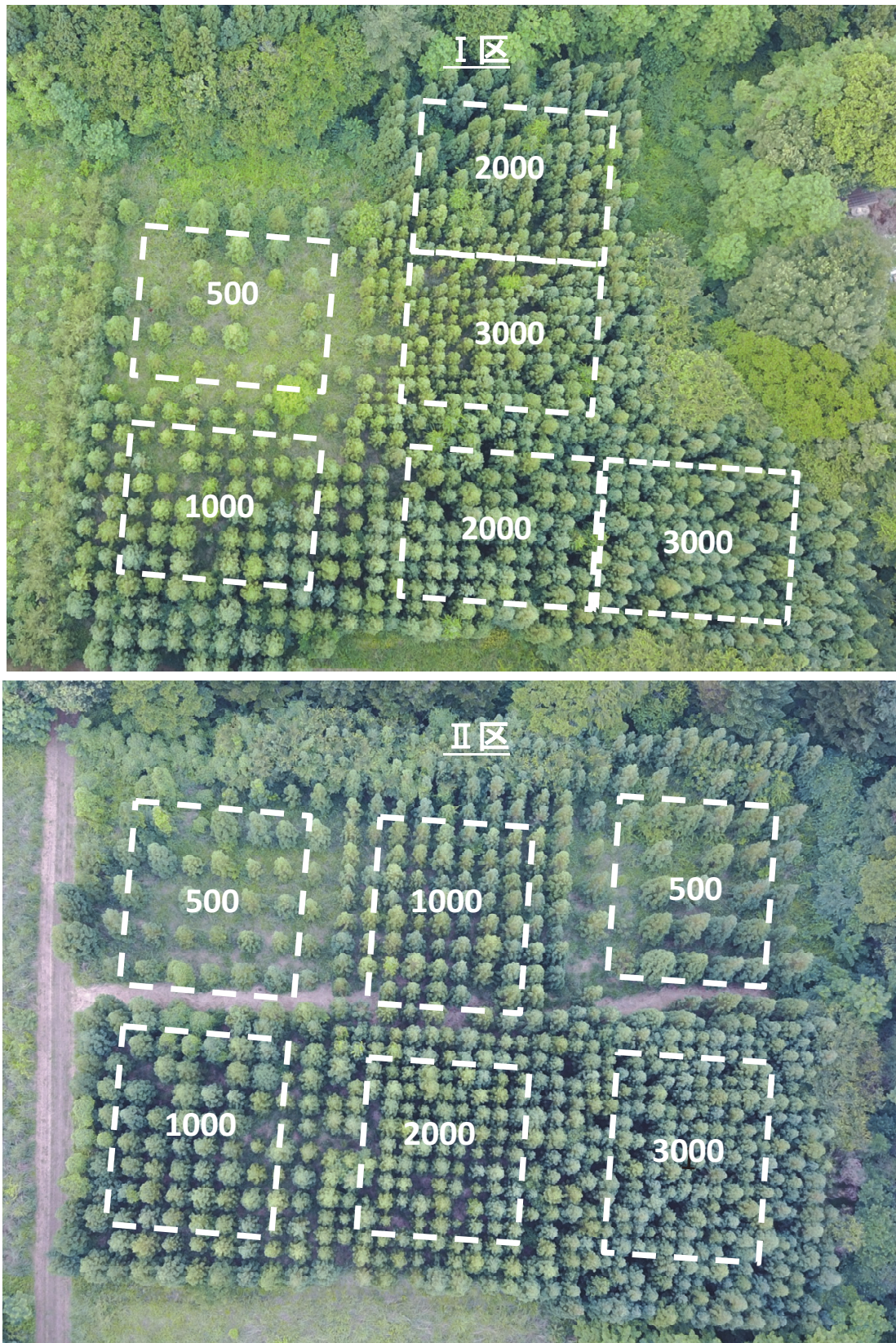


写真1 上空から見た試験区（スギ方形区試験）の状況  
白色破線で囲んだ四角が試験区を，四角内の数字は植栽密度を表す。

DJI 社製 Phantom 4 Pro により撮影（2017年7月11日）



写真2 下刈り回数削減試験地（軽米町）における植栽5年目の状況  
中央の白色破線から左側が2年刈区、右側が毎年刈区



写真3 下刈り回数削減試験地（軽米町）における植栽5年目の植栽木  
左が2年刈区、右が毎年刈区