

# 成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発

## —成長に優れた苗木の育苗技術の高度化—

二本松裕太・小山泰弘・清水香代\*

優れた樹高成長が期待できる形状比の低いカラマツコンテナ苗を1年で生産することを目指し、コンテナ容器、元肥量、育苗密度について検討した。県内に最も普及している150ccコンテナ容器でも、育苗密度を1コンテナあたり24個体に調整し、元肥量を抑えることで、形状比100未満の得苗率は92%、80未満の得苗率は71%となり、形状比の低い1年生コンテナ苗の生産は可能と判断した。植栽後の樹高成長は形状比100未満の苗であれば良好であったが、形状比80以上で枯死率が高くなる場合があり、目指すべきカラマツコンテナ苗の条件としては形状比80を1つの目安とするのが妥当と考えられた。

キーワード：カラマツ、1年生コンテナ苗、育苗密度、形状比

### 1 緒言

近年、長野県は主伐再造林を推進しており、それに伴い、特にカラマツの苗木需要が増加している。再造林にあたっては、マルチキャビティコンテナにより育苗された苗木（以下、コンテナ苗）を利用する造林地が国有林を中心に急増しており、令和4年度時点で、カラマツの植栽本数の半数以上がコンテナ苗へと転換している（2022長野県林務部）。

コンテナ苗は植栽適期が広く、植栽の作業効率も良いメリットがある一方、現状では価格が裸苗の2倍程度のため、造林コストは裸苗よりも高い（大矢ら 2016）。長野県内では多くの生産現場で露地の苗畑で苗木を育成し、翌春にその幼苗をコンテナ容器に移植する方法を採用しているため、カラマツコンテナ苗の生産に2成長期を要している。一方、カラマツは施肥量や育苗密度を調整することで、成長のコントロールが容易な樹種であり、播種1年で植栽可能な大きさにすることができるとする研究事例もある（来田ら 2020）。本県においても出荷までにかかる期間を1年に短縮できれば、育苗コストを抑えられる（島根県 2018）とともに需給調整も容易になる。

また、コンテナ苗は裸苗より形状比（苗高/根元径）が高い事例が多く、形状比が高い苗は、植栽後は伸長成長より直径成長を優先させ（八木橋ら 2016）、カラマツでは形状比が100を超えると生存率が下がるといわれている（北海道立総合研究機構 2019）。長野県内のカラマツ裸苗の出荷規格は形状比83を上限としていたことから、それ以上に形状比の高いコンテナ苗は植栽後の成長性など品質に不安が残る。

そこで、本研究では植栽後に優れた樹高成長が期待できる形状比の低いカラマツコンテナ苗を1

年で生産する技術の開発を目指した。形状比の目安としては80または100を暫定的に設定し、コンテナ容器、元肥量、育苗密度を調整して、苗木形状の比較検証を行った。また、苗木の成長を促進すると言われている酸化型グルタチオン（以下、GSSG）の効果的な施用方法についても検討した。さらに得られた苗木の一部は植栽試験に供し、植栽後に優れた成長を示す苗木の条件を確認した。

本研究は、戦略的プロジェクト研究推進事業「成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発（平成30～令和4年度）」として実施した。なお、本研究の一部は日本森林学会大会（二本松 2021ら、二本松 2022、二本松ら 2023a）において発表するとともに、中部森林研究（二本松ら 2023b）へ公表した。

### 2 1年生コンテナ苗の生産技術

#### 2.1 育苗環境とスケジュール

コンテナ容器と育苗密度に関する比較試験を2019年に、元肥量と育苗密度に関する比較試験を2021年～2022年に、グルタチオンの施用効果に関する試験を2020年～2022年に実施した。育苗は長野県林業総合センター（塩尻市片丘）構内にある育苗施設で実施した。

各年とも低温湿層処理を行ったカラマツ種子を4月上旬に播種しており、2019年の育苗では培土を充填したコンテナに3粒/孔を直接播種し、赤玉細粒で覆土した。その後複数発芽した孔については、1本/孔となるよう間引きを行った。2020年から2022年の育苗では固化培土付きセルトレイ（みのる産業㈱）に1粒ずつ播種し、鹿沼土細粒で覆土し、約1か月後に発芽した2cm程度の毛苗を培土を充填したコンテナに移植した。播種後は25℃以上で自動的に換気扇が作動するよう

設定したビニールハウス内で過度に高温にならないよう育苗した。その後、6月上旬～中旬に高さ約60cmの空中根切り用の露地棚にコンテナを移動した。このとき、2019年と2020年はコンテナを同列の棚上では隙間なく設置したが一部で病害が発生したことから、2021年と2022年は縦横ともに数cm程度の間隔をあけ、風通しを改善した。ビニールハウス内及び露地棚では、自動灌水設備により散水を行った。成長停止後の秋期に苗高及び根元径を計測した。

## 2.2 試験設計

### 2.2.1 コンテナ容器と育苗密度の比較検証

本試験は2019年度に、県内生産者が広く利用しているコンテナ、培地、肥料を用いて行った。コンテナは容量と形状が異なる4種類を使用した(表-1)。育苗密度の違いを確認するため、150ccのコンテナ2種(MT-150及びJFA-150)では40孔のうち千鳥配置の20孔で育苗する試験区を設けた。培地はヤシ殻を主体に有機肥料(とくとく有機、みのり化学株)を10%混合したものと、緩効性肥料オスモコートエクザクトスタンダード3～4ヶ月(N-P-K:16-9-12、株ハイポネックスジャパン)を6g/L配合した。培地や元肥の配合は生産現場の実態を参考として決定した。

表-1 コンテナの容量及び形状と育苗密度

試験区名	容量(cc)	スリット	リブ	育苗配置	育苗密度(本/m <sup>2</sup> )
MT-150 <sup>*1</sup>	150	有	無	全孔	292
JFA-150 <sup>*2</sup>	150	無	有	全孔	296
JFA-300 <sup>*2</sup>	300	無	有	全孔	178
200cc <sup>*3</sup>	200	有	無	独立	112
ちどりMT-150 <sup>*1</sup>	150	有	無	ちどり状	146
ちどりJFA-150 <sup>*2</sup>	150	無	有	ちどり状	148

\*1: 株東北タチバナ \*2: 全国山林種苗協同組合 \*3: 北海道山林種苗協同組合

### 2.2.2 元肥量と育苗密度の比較試験

2021年度は溶出タイプの異なる緩効性肥料(ハイコントロール、ジェイカムアグリ株)を使用し、元肥量に関する検証では表-2の配合でヤシ殻培土に混和した。コンテナ容器は2019年度の結果を参考に150ccのコンテナを使用し、1コンテナ当たり24本とした(図-1)。育苗密度に関する検証では、施肥量を「中」として、24本区、30本区、40本区の3処理を設定した(表-3、図-1)。

2022年度は、2021年度の結果を参考として、元肥を前年度の「少」よりも窒素溶出量が控えめの

条件で統一し(表-2)、育苗密度のみを調整した。スリット入りの150cc容器を使用し、1コンテナ当たりの育苗本数として6本区、12本区、24本区、40本区を設定した(図-1)。

表-2 元肥量の比較検証における元肥の配合

年	施肥量	溶出タイプ		
		700 <sup>*1</sup>	100E <sup>*1</sup>	360 <sup>*2</sup>
2021年	少	10g/L	5g/L	
	中	10g/L	10g/L	
	多	10g/L	20g/L	
2022年	少	10g/L		10g/L

\*1: ハイコントロール650 \*2: ハイコントロール085

表-3 育苗密度の比較検証における密度設定

年-施肥量	使用コンテナ	1コンテナあたり本数	育苗密度(本/m <sup>2</sup> )
2021-中	MT-150 <sup>*1</sup>	24本	175
		30本	219
		40本	292
2022-少	TT-150 <sup>*2</sup>	6本	44
		12本	89
		24本	178
		40本	296

\*1: 株東北タチバナ \*2: 立花容器株

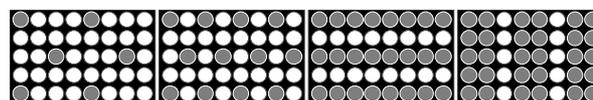


図-1 コンテナ内の育苗密度の調整

左から150cc容器の6本区、12本区、24本区、30本区。白丸は空き孔。

### 2.2.3 酸化型グルタチオン(GSSG)の施用試験

2020年度から2022年度にかけて、カラマツのコンテナ苗に対するGSSGの施用効果を検証した。GSSG有区ではカネカペプチドW2(株カネカ)を、GSSG無区ではハイポネックスプロフェッショナル(株ハイポネックスジャパン)を、窒素量が同量になるように希釈し、追肥として1回あたり15ml/個体施用した。施肥は降水のない日に、朝の灌水から数時間あけて実施した。追肥の施用回数やその他の育苗条件は表-4のとおりとした。

## 2.3 結果と考察

### 2.3.1 コンテナ容器と育苗密度の比較検証

成長停止後に各試験区の苗高を比較したとこ

表-4 GSSG の施用試験における育苗条件

年度	2020	2021	2022
コンテナ	300 ccスリット		
培土	ヤシガラのみ		
元肥	ハイコントロール650-700日タイプ 20g/L		
追肥の種類(N-P-K)と希釈率	GSSG有区：カネカペプチドW2 (10-10-10) を250倍希釈 GSSG無区：ハイポネックスプロフェッショナル (20-20-20) を500倍希釈		
追肥の時期と頻度	週1回×9週 7/6～9/1	週2回×5週 6/17～7/19	週2回×5週 6/22～7/28

る、今回の施肥設計では 200cc の苗高が低い傾向であったが、他の処理区では明確な優劣はつかなかった (図-2)。また、各区の平均形状比を比較したところ、MT-150 区が 95.5、JFA150 区が 91.3 で、育苗密度の低い他の区と比べて形状比が高い傾向があった (図-3)。JFA150 区と JFA300 区を比較すると JFA300 の方が苗高はわずかに大きく、形状比は有意に小さくなった。150cc 容器で育苗密度を半分にしたちどり MT-150 区とちどり JFA150 区では形状比 100 以上の苗はなく、平均形状比は 70.2、69.9 と低かった。育苗密度が高い場合、容器の内側に位置する個体が光合成のために上方から当たる光を求め伸長成長を優先させた結果、苗高が高い苗が増加したためと考えられた。

県内で最も普及している 150cc のコンテナ容器で、1 成長期で苗高 25cm 以上の得苗を目指す場合、40 孔すべてで苗を育成すると形状比が過大となった。カラマツにおけるコンテナ容器と形状比の関係については、既往の研究で JFA150 よりも JFA300 の方が苗長と根元径が有意に大きく、形状比が有意に低くなったとの報告がある (来田ら 2020)。しかし、150cc 容器を使った育苗でも、あえて空き孔を入れて育苗密度を調整することで形状比は改善できた。根鉢が大きいほど、育苗資材の量は増え、現場での運搬がしにくくなることを

考えると、300cc のコンテナを必ずしも使う必要はないと判断した。

### 2.3.2 元肥量と育苗密度の比較試験

2021 年度の試験結果について、施肥量別の苗高の分布を図-4 に、苗高 25cm 以上かつ形状比 100 未満あるいは 80 未満を基準とした形状比の頻度割合を図-5 に示した。苗高は、施肥量が多いほど有意に高くなった。形状比は、施肥量が多いほど高くなる傾向があり、その平均値は施肥量が少ない方から順に 71.3、84.8、87.0 となった。形状比 80 未満の得苗率は、施肥量を「少」とした処理区では 62.5% となったが、それ以外は 30% を下回った。

次に、密度別の苗高の分布を図-6 に、各区の形状比の頻度割合については図-7 に示した。苗高は 24 本区が低く、30 本区と 40 本区では差がなかった。形状比についても 24 本区が低く、その平均値は 24 本区が 84.8 だったが、30 本区は 102.4、40 本区は 102.0 と高かった。

元肥量を減らした 2022 年度の試験の成長停止後の苗高を図-8 に示した。6 本区、12 本区では苗高 25cm に満たない規格外の苗が発生した。この元肥量では、密度を 12 本以下まで疎にすることは不適と判断した。次に、各処理区の形状比の頻度割合を図-9 に示した。最も成績の良かった 24 本区

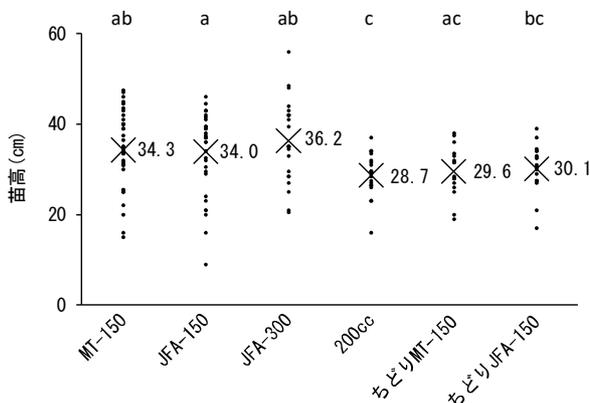


図-2 育苗容器別の平均苗高の比較 (2019 年)  
異なる符号間に有意差 (Steel-Dwass の多重比較検定,  $p < 0.05$ )

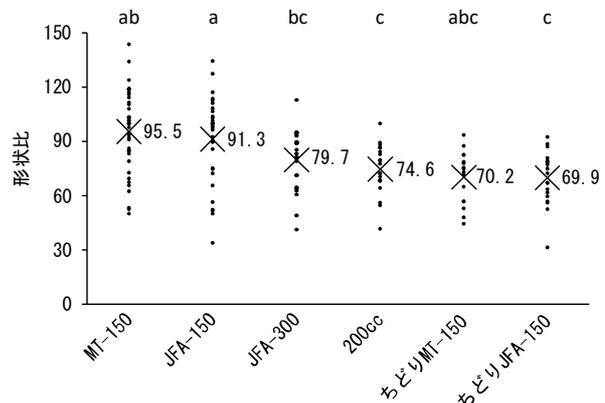


図-3 育苗容器別の平均形状比の比較 (2019 年)  
異なる符号間に有意差 (Steel-Dwass の多重比較検定,  $p < 0.05$ )

では平均形状比が 72.9 であり、苗高 25cm 以上かつ形状比 100 未満の得苗率は 92%，形状比を 80 未満としても 71%と高かった。一方、40 本区では苗高、形状比ともに苗木形質にばらつきが大きく、苗高 25cm 以上かつ形状比 100 未満の得苗率は 73%，形状比 80 未満では 30%だった。

これらの試験結果から、元肥量を抑えつつ密度を 24 本に下げること、1 年で形状比の低い苗を生産することは可能と考えられた。小面積で生産効率を高める必要のあるコンテナ苗だが、1 コンテナ当たり 40 本 (292 本/m<sup>2</sup>) で形質のそろった良苗を作るとは元肥量の調整だけでは困難であった。24 本区は密度が 175 本/m<sup>2</sup>で、一般的に 50 本/m<sup>2</sup>程度とされる裸苗よりも密であるものの、根鉢が制限されている中で形状比を抑えつつ 25cm 以上の苗高を確保するには、この程度の密度が良いと考えられた。

### 2.3.3 酸化型グルタチオン (GSSG) の施用試験

GSSG 有区では、いずれの年も苗長、根元直径、

形状比が、GSSG 無区に比べ有意に大きくなった (図-10)。しかし、2021 年と同じ施肥条件で実施した 2022 年の試験では GSSG の有無にかかわらず苗長が小さくなり、得苗率が低下した。一孔あたりの養分の溶出量としては、表-2 の「少」と「中」の中間程度であり、元肥量が過少だったとは考えにくかった。北海道でグイマツとカラマツの雑種を対象に同様の育苗試験を実施した事例があり、GSSG が苗木サイズを大きくする結果が得られているが、年度間の差が大きく得苗率が極めて低い年もあった (北海道立総合研究機構 2023)。これは日照等の気象条件に加え、元肥として混和した緩効性肥料は温度や水分条件によって溶出量が増減するため、それが影響したと考えられた。

今回の結果から GSSG が苗の成長促進に寄与する可能性は認められたが、得苗率を確実に安定させるためには GSSG の施用方法だけでなく、育苗環境に応じた基本的な施肥設計や育苗管理の検討がより重要であると考えられた。

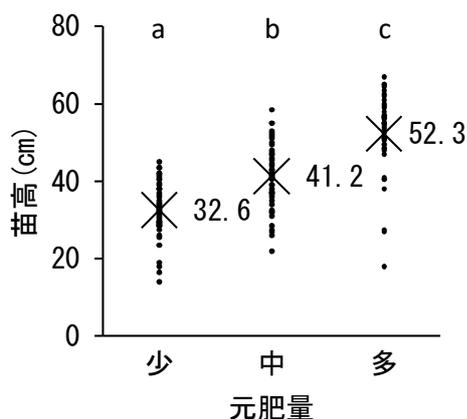


図-4 施肥量別の苗高の分布 (2021 年)

異なる符号間に有意差 (Steel-Dwass の多重比較検定,  $p < 0.05$ )

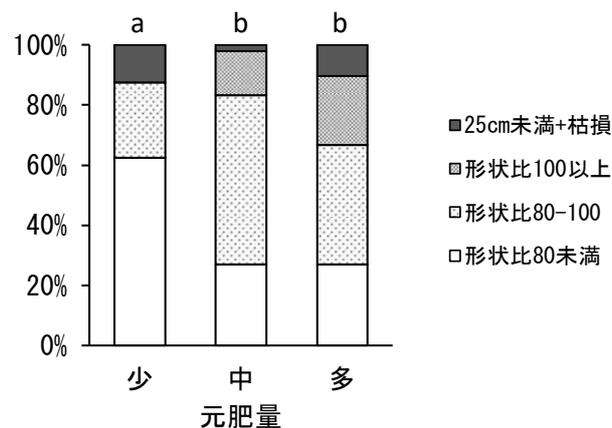


図-5 施肥量別の形状比の頻度割合 (2021 年)

異なる符号間に有意差 (Steel-Dwass の多重比較検定,  $p < 0.05$ )

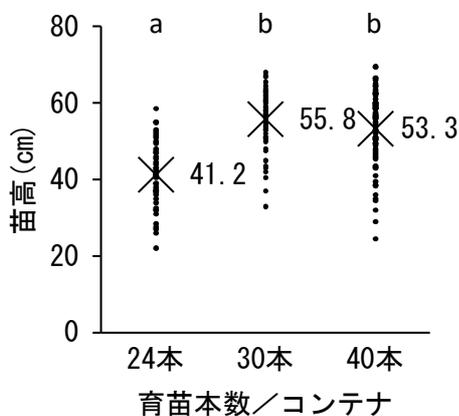


図-6 育苗密度別の苗高の分布 (2021 年)

異なる符号間に有意差 (Steel-Dwass の多重比較検定,  $p < 0.05$ )

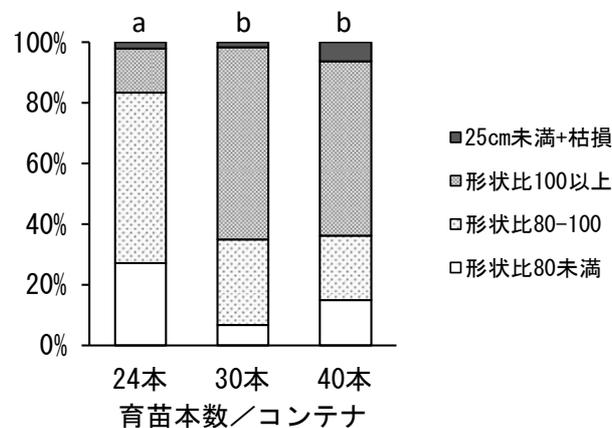


図-7 育苗密度別の形状比の頻度割合 (2021 年)

異なる符号間に有意差 (Steel-Dwass の多重比較検定,  $p < 0.05$ )

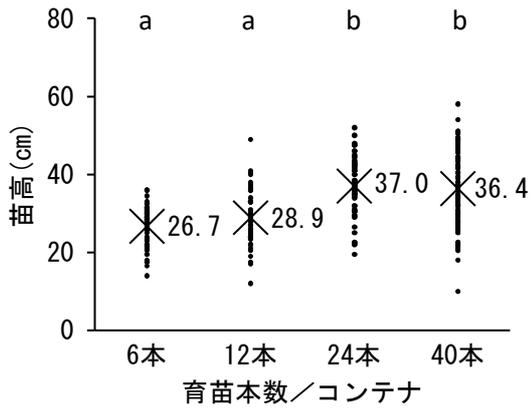


図-8 育苗密度・コンテナ別の苗高の分布 (2022 年)  
異なる符号間に有意差 (Steel-Dwass の多重比較検定,  $p < 0.05$ )

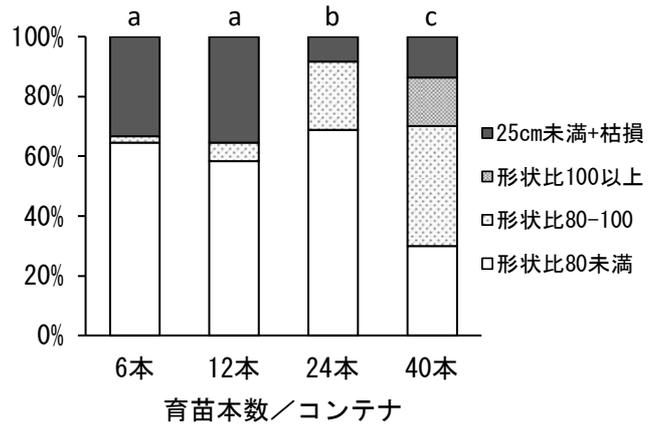


図-9 苗高と形状比を基準とした得苗率(2022 年)  
異なる符号間に有意差 (Steel-Dwass の多重比較検定,  $p < 0.05$ )

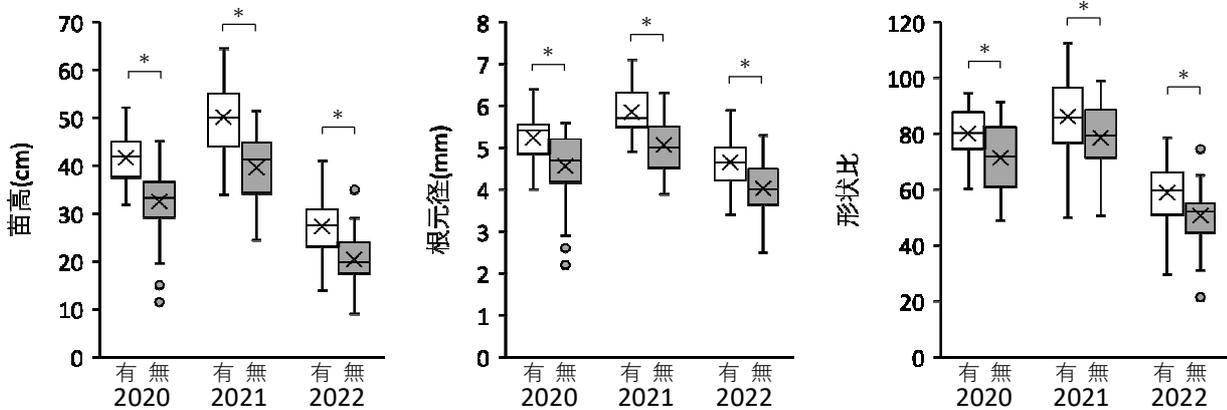


図-10 苗長, 根元直径, 形状比に対する GSSG の施用効果  
\*:有意差 (t 検定,  $p < 0.05$ )

## 2.4 まとめ

形状比の低いカラマツのコンテナ苗を1年で作成することを目指し、コンテナ容器、育苗密度、元肥の量、GSSGの施用について検討した。

コンテナ容器については150ccから300ccのものを使用したが、今回の育苗条件では苗高に有意差はなく、育苗密度が小さい方が形状比が低くなった。すなわち、生産コストや植栽効率の面でデメリットのある300cc容器を必ずしも使う必要はなく、150ccで密度調整をすれば形状比を下げることは可能と判断した。

この結果を受け、150cc容器を使用して施肥量と育苗密度を調整した試験では、1コンテナ当たり24本まで密度を下げ、施肥量を「少」程度に抑えた場合に最も成績が良く、苗高25cm以上、形状比100未満の得苗率は9割を超えた。根鉢容量と生育空間に制限のあるコンテナ苗で、裸苗と同水

準の形状比83を上限とするのはやや厳しいが、形状比100未満の1年生苗を生産することは十分可能であると結論づけた。

生産性を上げるためには育苗密度をあげつつ形状比の低い苗の得苗率を上げることが課題となるが、150ccコンテナ40本の密度ではいずれの施肥条件でも平均形状比が90を超え、苗木形質にばらつきが発生した(図-6~9)。本試験より少ない施肥で育苗した既往の試験(来田ら2020)でも、平均形状比が90超であったことから、施肥の調整だけでは形状比を抑えることは困難といえる。形質の均質化については、生育期間中の並べ替えによる密度調整(山中2022)や、接触や風による刺激(阿部2023)、傾斜育成(三樹2019)等による伸長成長の抑制も適用できる可能性があり、今後検証していく必要がある。

### 3 1年生コンテナ苗の植栽試験

#### 3.1 方法

植栽後の初期成長が早い苗木の条件を調べるため、2章で検証したものを含む様々な条件で作成した初期形状に幅のある1年生コンテナ苗を林業総合センター構内（塩尻市）に植栽した。供試した1年生苗は2019年及び2020年に林業総合センターで作成したもので、それぞれ2020年5月8日、2021年4月9日に植栽した。供試苗の育苗条件は表-5のとおりとした。また、2020年の植栽の

際には、植栽時のGSSG施用が苗木の初期成長に影響するかを調べるため、一部の苗に対し植栽直前にGSSGを含有する液剤（W2）または粒剤（R1）タイプの施肥を実施した。W2の施用にあたっては250倍希釈液に根鉢を1分程度浸漬処理し、R1の施用にあたっては植穴の底に16gの粒剤を投入し、そのままコンテナ苗を植栽した。

計測は植栽1か月後、1成長期後、2成長期後の3回行った。植栽1か月後の計測では、前年の冬芽の位置を植栽直後の樹高とした。

表-5 植栽試験に供試した1年生コンテナ苗の育苗条件と植栽本数

2020年植栽（上）、2021年植栽（下）。期間中に誤伐されたものは除外した。

処理区名	コンテナ	元肥の種類 <sup>*1</sup> と量	育苗時GSSG	植栽時GSSG	本数
a-1				-	30
a-1-W			有	W2	29
a-1-R	150スリット	OS34 <sup>*2</sup> +有機肥料10% 6g/L		R1	29
a-2				-	15
a-2-W			無	W2	15
a-2-R				R1	15
b-2	150リブ				15
c-2	150スリットちどり	OS34 <sup>*2</sup> +有機肥料10% 6g/L	無	-	10
d-2	H200独立				10
合計					168

\*1：OS34はオスモコートエグザクトスタンダード3～4か月を示す。

\*2：オスモコートエグザクトスタンダード5～6か月、ハイコントロール650-100Eで育成した苗も混在するが、いずれも残効がないものと判断し区別していない。

処理区名	コンテナ	肥効期間	元肥の種類 <sup>*1</sup> と量	育苗時GSSG	本数
A-1				9回	19
A-2		短期	HC650-180 20g/L	6回	19
A-3				無	20
B-1				9回	20
B-2	300ccスリット	混合	HC650-100+HC650-700 10g/L+10g/L	6回	20
B-3				無	20
C-1				9回	19
C-2		長期	HC650-700 20g/L	6回	20
C-3				無	20
D-1	150ccスリットちどり			9回	20
D-2				6回	19
E-1	230ccスリット	長期	HC650-700 20g/L	9回	19
E-2				6回	20
F-1	200ccスリット独立			9回	20
G-1	150ccスリット			9回	20
合計					295

\*1：HCはハイコントロールを示す。

## 3.2 結果と考察

### 3.2.1 1年生コンテナ苗の初期形質と成長

育苗条件別に植栽直後、1 成長期後、2 成長期後の樹高と根元径の推移を図-11 に示した。2020 年と 2021 年に植栽した 1 年生コンテナ苗は初期の平均形状比がそれぞれ 63~89, 56~82 だったが、その形状比をほぼ維持したまま成長し、2 成長期後には平均樹高がそれぞれ 193cm, 216cm となった。一部の日当たりの悪かった処理区では樹高の伸びが悪く 60cm ほどの差が生じたものの、いずれの試験地でも植栽 3 年目以降は周辺の競合植生の背丈を超えており下刈りが不要となった。

植栽時点の各苗の形状比と 2 成長期後の樹高の関係を図-12 に示した。今回供試した苗の初期樹高は 23.0~68.0cm, 初期根元径は 3.3~8.4mm, 初期形状比は 42.8~107.3 であったが、いずれの年もこれらの数値と 2 成長期後の樹高の間にはほとんど相関関係がなかった。つまり、今回用いた苗木の初期形質は 2 成長期後に樹高に影響するものではなく、植栽後の成長性という観点ではこの範囲内で差別化する必要はないと考えられた。

2020 年に植栽した 168 本の苗木のうち 3 本が、2021 年に植栽した 295 本の苗木のうち 17 本が 2 成長期の間に枯死した。2021 年植栽の苗について、初期形状比別の枯死率を見ると、GSSG を施用しなかった苗では形状比が 80 以上になると枯死率が高くなっていった (図-13)。また、2021 年に植栽した苗のうち形状比が 100 を超えていた 2 個体は植栽直後からたわみ始め、1 年以内に枯死した。

### 3.2.2 コンテナ容器と初期成長

容器以外の育苗条件をそろえた苗木について、樹高の推移を比較した (図-14)。2020 年に植栽した苗は育苗時に GSSG は使っていないもの (a-2, b-2, c-2, d-2), 2021 年に植栽した苗は GSSG を施用したもの (C-1, D-1, E-1, F-1, G-1) で条件を揃えた。初期樹高は 23.0~52.0cm, 初期根元径は 3.8~6.9mm, 初期形状比は 46.0~100.0 であり、いずれの年度とも 2 成長期後の樹高に差が生じなかった。一方、上村ら (2021) は北海道において容量の異なるコンテナで育てたカラマツの 1 年生コンテナ苗を植栽した結果、300cc コンテナで作った苗の方が植栽 2 成長期後の樹高が大きくなったことを報告した。この事例では平均苗高が 150cc, 300cc ともに平均 60cm 程度の大きい苗を用いていたが、300cc の苗は 150cc の苗と比べて形状比が低く、地上部乾重と地下部乾重が大きか

ったとしている。苗高の大きいコンテナ苗では根鉢の容量の違いで植栽後の成長に差が出る事例があるものの、本研究で今回供試した範囲のサイズであれば根鉢の大きいコンテナ苗の優位性はないと考えられた。

### 3.2.3 元肥の肥効期間と初期成長

2021 年に植栽した苗木のうち元肥と追肥の種類以外の育苗条件を揃えたものについて、使用した緩効性肥料の肥効期間に応じて、短期区 (A-1~A-3), 混合区 (B-1~B-3), 長期区 (C-1~C-3) の 3 区に分け、樹高の推移を図-15 に示した。初期樹高は育苗期間中の養分の溶出が少ない長期区の苗が有意に小さく、その傾向は 2 成長期の間継続したが、時間の経過とともに樹高のばらつきが大きくなり、2 成長期後には有意な差はなくなった。長期区または混合区における植栽後の養分溶出が樹高成長を促進する可能性は否定できず、今回のように元肥の総量が同じ条件では、植栽時の 10cm 程度の樹高差は 2 成長期後の樹高には影響しないことが示唆された。

残る課題として、育苗期間中の養分溶出量を統一した条件で、植栽後の肥料の残効が樹高成長に与える影響を調べる必要がある。

### 3.2.4 グルタチオンの施用と初期成長

育苗中及び植栽時に GSSG を施用した 1 年生コンテナ苗の樹高の推移を図-16 に示した。いずれの施用方法でも、無施用の苗と比較して 2 成長期後の樹高に有意差は認められなかった。また、2021 年に植栽した試験地では 295 本の苗木のうち 17 本が枯死し、形状比が 80 以上で枯死率が高くなったが、この内訳をみると GSSG を施用している区では無施用区に比べて枯死率が低かった (図-13)。

GSSG の施用効果については、カラマツでは育苗時に施用することで植栽後の生存率が向上する事例が報告されており (北海道立総合研究機構 2023, 清水 2019), 今回の結果と一致した。また、植栽時に通常の肥料とあわせて GSSG を施用すると無施用に比べて 3 年目の樹高がわずかに高くなった事例がある (北海道立総合研究機構 2023)。同様にスギで植栽時に GSSG を施用した事例では、植栽時の施用では成長促進の効果は認められなかったものの、単独施用よりも緩効性肥料と併用することで効果が改善される可能性が示されている (飛田ら 2023)。GSSG は通常の施肥と併用することで効果が表れやすくなると考えられ、適切な施用方法についてはさらなる検討が必要である。

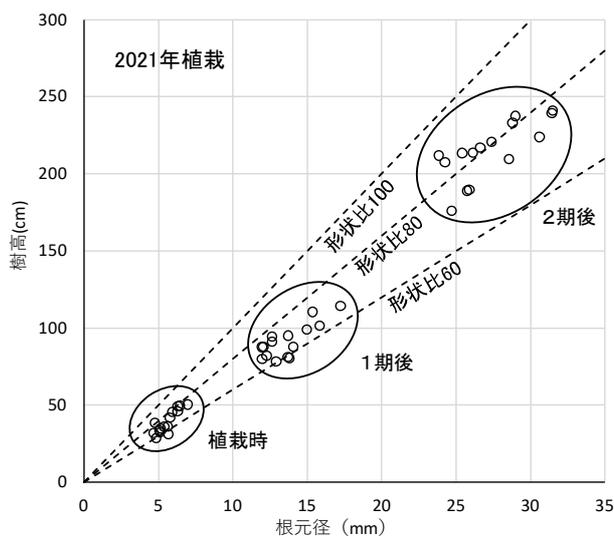
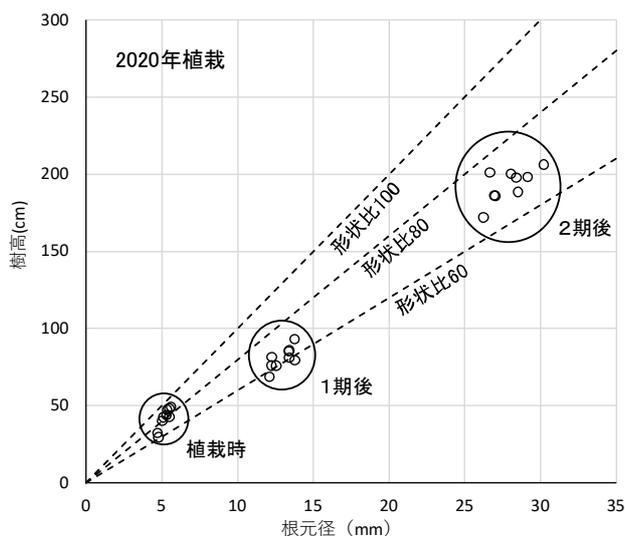


図-11 各処理区の植栽後の平均樹高と平均根元径の関係

2020年植栽（左）と2021年植栽（右）。2成長期のうちに枯死した個体は除外して作図した。

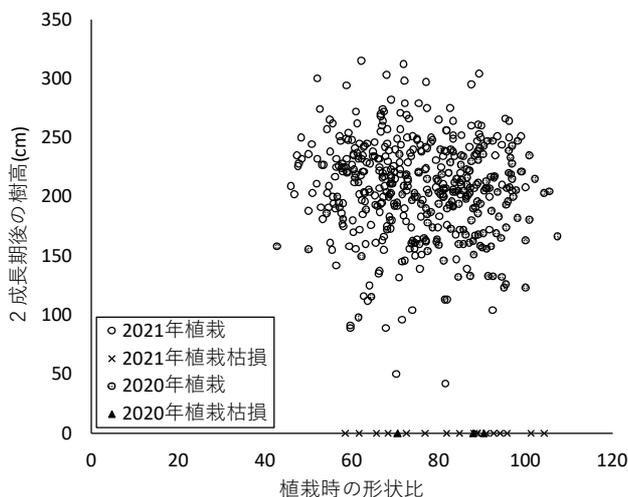


図-12 各苗の初期形状比と2成長期後の樹高

横軸上の点は枯損個体。

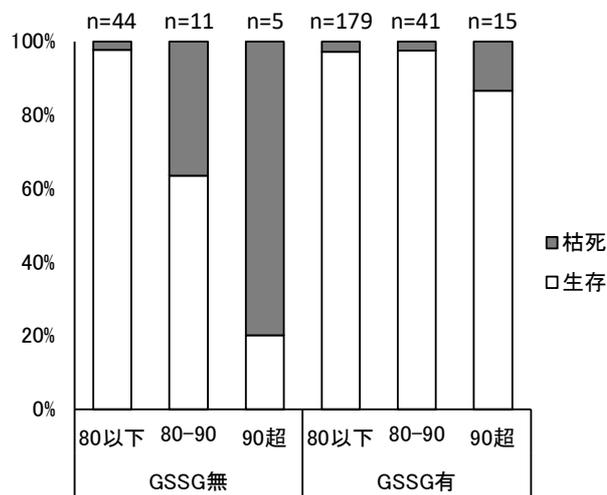


図-13 植栽時形状比と育苗時GSSG処理別の2成長期後の枯死率

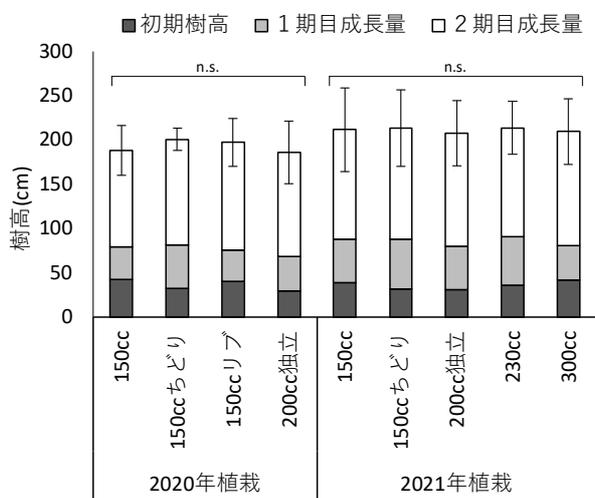


図-14 コンテナ容器別の樹高成長の推移

有意差なし（一元配置分散分析法）

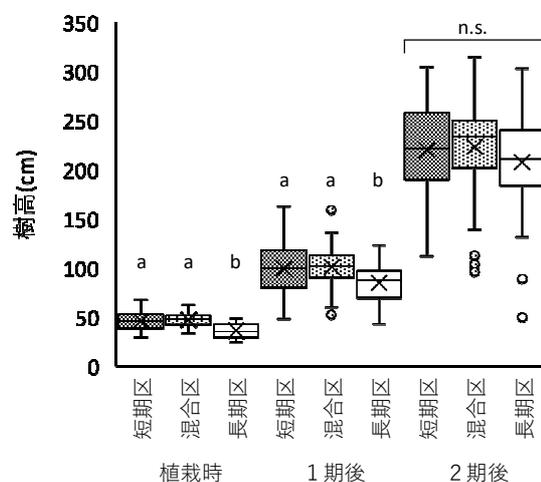


図-15 元肥の肥効期間別の樹高成長の推移

異なる符号間に有意差（Tukey-Kramerの多重比較検定,  $p < 0.05$ ）

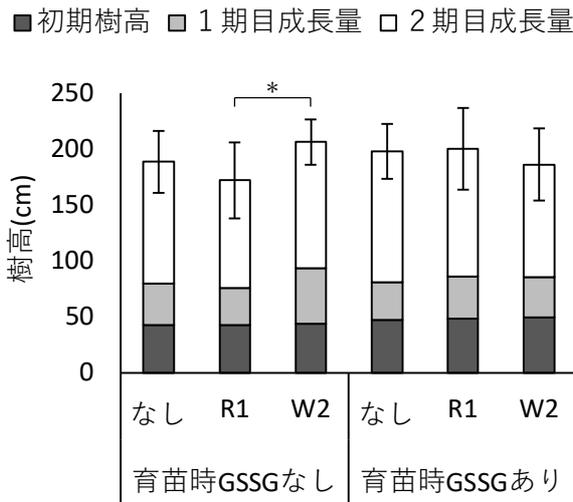


図-16 育苗時及び植栽時に GSSG を施用した苗の植栽後の樹高成長の推移

\*: 有意差 (Tukey-Kramer の多重比較検定,  $p < 0.05$ )

### 3.3 まとめ

様々な育苗条件で育成した1年生コンテナ苗を植栽し、2成長期の間、成長の推移を調査した。2020年と2021年に植栽した2箇所ではいずれも良好な樹高成長を示し、3年目以降の下刈りは不要となった。本研究では、植栽時の苗木の形状、コンテナ容器の種類、元肥の肥効期間、GSSGの施用有無について比較検証したが、下刈り回数の増減にかかわるほどの成長量の違いは見いだせなかった。

今回供試した苗の範囲では、初期成長との相関はほとんどなかったものの、形状比80を超えると枯死率が上がるケースが確認された。東信地域で実施したカラマツ裸苗とカラマツコンテナ苗の植栽試験では、平均形状比が100程度と裸苗より極端に高いコンテナ苗は植栽1年目の樹高成長が悪かったこと、植栽時点で苗種によって形状比に差があったものの、植栽2年後には形状比が70~80程度に収斂することが示されている(大矢ら2023)。このことから植栽後の活着と樹高成長が良好なカラマツコンテナ苗の条件としては、形状比80を1つの目安とするのが妥当であろうと考えられる。

苗木の初期形質と植栽後の樹高成長の関係は、カラマツとグイマツの雑種であるクリーンラーチでも調査されている。北海道で実施された植栽試験では、初期形質としては苗高や根元径よりも形

状比が重要であり、形状比110以上の場合は3成長期後の樹高が低くなる傾向があることが指摘されている(北海道立総合研究機構2023)。本研究の調査では形状比110以上のデータがないため、規格として設定すべき上限を明確に言及することはできないが、同様の調査事例を増やすことで出荷すべきではない限界値を線引きする必要がある。

## 4 結言

本研究では、品質の良いカラマツコンテナ苗を1年で生産することを目指し、様々な育苗条件を検討した。その結果、県内に最も普及している150ccコンテナ容器では、育苗密度を1コンテナあたり24個体に調整し、元肥量は抑えることで、形状比100未満または80未満の得苗率が向上することが明らかとなった。元肥が少ない場合は12個体以下まで密度を下げることはむしろ得苗率の低下をまねき、24個体程度が適切だろうと判断した。

1年生コンテナ苗の植栽試験からは、今回供試した苗の形質の範囲内では2成長期後の樹高と明確に関連がある要素は見いだせず、形状比100未満の苗であれば初期成長に問題はないと考えられた。しかしながら、形状比80以上で枯死率が高くなる場合があり、既往の研究でも形状比が初期の樹高成長や枯死率に影響する事例が示されていることから、目指すべきカラマツコンテナ苗の条件としては形状比が重要であり、形状比80を1つの目安とするのが妥当であろうと考えられた。本研究で実施した育苗試験では、1コンテナ当たり24個体での得苗率は、合格ラインを形状比100未満とすると92%、80未満では71%であり、生育環境に制限の多いコンテナ苗であっても実現できない数字ではない。今後、適切な出荷規格を設定するためには、さらに調査事例を増やすことで苗木形質の上限あるいは下限を設定する必要がある。

育苗試験の結果、育苗密度を下げることで形状比の低い苗が得られたが、生産効率を上げるためには、より育苗密度を上げつつ、形状比80未満の得苗数を増やすことが今後の課題となる。育苗密度、コンテナ容量あるいは元肥量の調整だけで改善することは困難と思われ、別の樹種で取り組まれている育苗中の並べ替えや苗木に対する物理刺激といった別のアプローチによる形質の均質化を検討する必要があると考えられた。

## 謝辞

本研究を行うにあたっては、戦略的プロジェクト研究推進事業に参画された森林総合研究所及び各道県試験場の担当者の皆様に様々なご助言、ご指導を頂きました。この場を借りて感謝申し上げます。

## 引用文献

- 阿部森也 (2023) スギコンテナ苗に対する接触刺激および風刺激の徒長抑制効果, 関東森林研究 74 巻, 57-60
- 北海道立総合研究機構森林研究本部林業試験場 (2023) クリーンラーチ・カラマツ類の優れた成長を活かす育苗と育林, 施業モデル
- 北海道立総合研究機構森林研究本部林業試験場・林産試験場 (2019) カラマツ播種コンテナ苗の育苗方法とコンテナ苗運搬・植栽システム
- 来田和人・今博計 (2020) 施肥とコンテナのセル容量がカラマツ播種コンテナ苗の成長に与える影響, 北海道林業試験場研究報告 57, 1-11
- 三樹陽一郎 (2019) 宮崎県におけるコンテナ苗の現状と研究事例, 森林遺伝育種 8 巻 4 号, 178-182
- 長野県林務部 (2022) 令和 4 年度長野県山林種苗需給調整協議会資料
- 二本松裕太 (2022) カラマツコンテナ苗の育苗における施肥内容の検討, 第 133 回日本森林学会大会学術講演要旨集 133, P-122
- 二本松裕太・小山泰弘 (2023a) 植栽後の成長から見たカラマツコンテナ苗の条件, 第 134 回日本森林学会大会学術講演要旨集 134, P-121
- 二本松裕太・小山泰弘 (2023b) 施肥量と育苗密度がカラマツコンテナ苗の形状に与える影響, 中部森林研究 71 巻, 7-8
- 二本松裕太・清水香代 (2021) 1 年生カラマツコンテナ苗の植栽後の成長, 第 132 回日本森林学会大会学術講演要旨集 132, P-095
- 大矢信次郎・二本松裕太・田中裕二郎・小山泰弘 (2024) 成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発—最適な植栽密度・下刈り回数の提示—, 長野県林業総合センター研究報告 38, 1-8
- 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, 日本森林学会誌 98 巻 5 号, 233-240
- 島根県中山間地域研究センター (2018) スギ・ヒ

## ノキのコンテナ苗生産の手引き (改訂版)

- 清水香代 (2019) 成長に優れた苗木を活用した施用モデルの開発—グルタチオン施用技術の開発—, 長野県林業総合センター平成 30 年度業務報告, 46-47
- 飛田博順・奥田史郎・原山尚徳・上村章・小川健一 (2023) スギコンテナ苗の成長に及ぼす植栽時のグルタチオン施用の影響, 関東森林研究 74 巻, 53-56
- 上村章・原山尚徳・鈴木真一 (2021) 異なるコンテナで育てたカラマツ苗の林地植栽後の成長, 北方森林研究 69 巻, 29-30
- 山中豪 (2022) 選苗と密度調整がスギ実生コンテナ苗の形態的性質に与える影響, 日本森林学会誌 104 巻 5 号, 243-253
- 八木橋勉・中谷友樹・中原健一・那須野俊・櫃間岳・野口麻穂子・八木貴信・齋藤智之・松本和馬・山田健・落合幸仁 (2016) スギコンテナ苗と裸苗の成長と形状比の関係, 日本森林学会誌 98 巻 4 号, 139-145