

【話 題】

プロジェクト「コンテナ苗を活用した低コスト再造林技術の実証研究」の紹介

梶本 卓也^{1,*}・宇都木 玄¹

はじめに

現在、日本の針葉樹人工林は、その多くが戦後の拡大造林期に造成されたため、林齢が50～60年生とちょうど主伐期を迎えている。これらを計画的に伐採して再び植林できれば、国産材の供給力を高め、長期的には林齢構成が平準化された森林の育成につながるであろう。ひいては、人工林とは言え、生物多様性や炭素貯留など森林の多機能を維持する面でもその意義は大きい。しかし、この皆伐-再造林の流れを進めるためには、材価に対して高すぎる造林経費の低減や、苗木の安定供給体制の確立など、克服すべき様々な問題がある。とくに、主伐後の地拵えから植栽、下刈りなど初期保育までを含めたいわゆる再造林にかかる経費は、造林総経費の半分以上を占め、それらをいかに削減できるかが大きな課題とされている(宇都木2015)。そうした中、切り札として登場したのが、コンテナ苗を活用した一貫作業システムである。一貫作業とは、伐採から集材・搬出、地拵え、そして苗木の植栽という、従来、日本の林業では別々に行っていた作業の幾つかを連続して行うもので、それによる効率化で経費を削減しようというのが、一貫作業による低コスト化の基本的な考え方である。例えば、ハーベスタやフォワーダーなど伐出用の機械を、伐採後もそのまま地拵えや苗木の運搬に用いれば、大幅な作業効率の向上とコスト削減が期待できる。

この4～5年、一貫作業による再造林の低コスト化に関する実証的な研究は、全国各地でさかんに行われている。九州で挿し木スギのコンテナ苗を用いた取り組みを皮切りに(山川ら2013; 森林総合研究所九州支所2013; 平田ら2014)、東北の多雪地域でスギやカラマツ(実生)のコンテナ苗を活用したもの(森林総合研究所東北支所2016)や、各都道府県、国有林の事業など、じつに多くの一貫作業の功程調査や植栽試験が実施されている。そうした流れを受けて、一昨年、大型のプロジェクト

研究「コンテナ苗を活用した低コスト再造林技術の実証研究」(平成26～27年、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)がスタートした。本稿では、その概要と成果について、一貫作業におけるコンテナ苗の取り扱いや、育苗・植栽技術に関する話題を中心に紹介する。

一貫作業システムの全国展開に向けた実証研究

この研究プロジェクトの最終的な目標は、一貫作業システムを全国展開するにあたって、各地域に適合したシステムを提案することである。日本の国土は狭いが、気温や積雪など気象条件は地域により大きく異なる。それに応じて、おもな造林樹種や植栽適期なども地域で異なる。さらに造林地の立地条件も、地域によっては急峻な山地に集中したり、逆に緩傾斜地に多いなど変化に富む。したがって、地域に適合した一貫作業システムの構築には、こうした地域特有の気象や立地条件、そして植栽樹種の特徴を十分反映したカスタマイズが重要と言える。そのためには、基本的な一貫作業システム、例えば、先行した九州での成功事例のパターン(森林総合研究所九州支所2013)を当てはめると、どのような問題が生じるのか洗い出して整理する作業が必要になる。このような観点から、本プロジェクトでは、森林総合研究所を中核機関に、北海道から九州までほぼ全国を網羅する16の公立試験研究機関が参画し、それに6大学(東大、東京農大、信州大、九州大、宮崎大、鹿児島大)と2民間企業(住友林業、東北タチバナ)を加えたコンソーシアムを形成して、伐出や地拵えの功程調査とコンテナ苗の植栽試験を各地で一斉に行い、それらのデータを統合的に分析するというアプローチがとられた。研究内容は多岐にわたるが、大別すると、1) 地域に適合した一貫作業システムの構築、2) コンテ

* E-mail: tkaji@ffpri.affrc.go.jp

¹かじもとたくや、うつぎはじめ 森林総合研究所

ナ苗の生産・植栽技術の開発、3) コンテナ苗の安定供給体制の確立、の3つに分けられる。ここでは、以下、おもに1)と2)の研究課題を中心に、成果の一部や今後の課題を述べる。

地域に適した作業システムとコンテナ苗

このプロジェクトの特徴のひとつは、高知県と長野県を2つの実証地に選び、それぞれ異なる伐出方法(架線系と車両系)による一貫作業システムを行うと、工夫次第でどれくらい生産性の向上やコスト削減が可能か集中的に検討された点である。まず高知県では、急峻な山間部で路網の整備が難しく、おもに架線系(H型架線)による伐採・集材が行われている地域のスギ、ヒノキの造林地を対象に、各作業の工期調査が行われた(写真-1上)。その結果、例えば、伐出後に架線をそのまま利用してコンテナ苗を専用のかごに入れて植栽地へ運搬すると(写真-1下)、一日に1万本近くの苗木が運搬でき、大幅に作業効率が向上するのが確認された。その一方で、大量の苗木が一度に運ばれるために、植栽まで現地で保管する際、苗木が乾燥して枯死や活着率が落ちるのを防ぐ必要も生じた。そこで、伐採時に出た枝条で苗木を覆う方法を試みたところ、2~4週間保管した後に植栽しても、活着率は95%以上と良好な結果が得られている(藤本浩平ら未発表)。

長野県では、浅間山麓の国有林など比較的傾斜が緩く、車両系機械で伐出や地拵えが可能なカラマツの造林地に複数試験地を設定し、高性能あるいは先進的林業機械を組み合わせた一貫作業の工期調査が行われた(写真-2)。その結果、伐出作業の生産性は15~24 m³/人・日に達し、グラップルローダによる地拵えは人力に比べて作業効率が最大10倍も高く、またフォワーダを用いると時間当たり約2000本の苗木運搬が可能になったことがわかった(大矢信次郎ら未発表)。

コンテナ苗は、根鉢がある分、通常の裸苗に比べて重いのが欠点とされる。しかし、こと植栽地への運搬に限れば、上述した両県の事例が示すように、架線や車両の利用でこの問題はほぼ解消される。このほかプロジェクトでは、コンテナ苗の植栽器具(唐クワ、スパーダ、ディブル、プランティングチューブ)を用いた場合の作業効率や労働負担の評価、また裸苗との植栽効率の比較なども行われた(猪俣雄太ら投稿中)。その結果、器具ごとに利点や欠点があり明確な結論には至っていないが、唐クワ以外の器具はいずれも重量に難があり、

普及にはさらに軽量化を図るなど改良の余地があることがわかった。



写真-1 高知県の実証地におけるヒノキコンテナ苗と植栽試験地(いの町、上2枚)。架線を用いたコンテナ苗運搬の調査時の様子(下2枚)。渡辺直史氏提供。



写真-2 長野県の実証地における伐出機械を用いた工期調査の様子。

(上) グラップルローダによる地拵え。
(下) フォワーダによるコンテナ苗運搬。
(写真提供、大矢信次郎氏)

コンテナ苗の生産、育苗技術

コンテナ苗の普及にあたり、値段の高さが大きな障害になっている。樹種や地域による差異はあるが、現在(2015年)の価格は、1本130～220円と裸苗70～120円のおよそ2倍である(森林総合研究所編2016)。この生産コストを下げるには、大量に苗木を生産し育苗できる機械化、自動化したシステム開発が必要となる。プロジェクトでは、将来こうした苗木生産システムのパーツとして、農園芸用の培地自動充填機や播種機が造林樹種に適用可能かどうか検討された。その結果、年間100万本の苗木生産を想定すると、これらの高額な機械を使っても、苗木1本の生産コストは従来の手作業に比べて約半分にできる可能性が示された(住友林業つくば研究所による試算)。また、従来のコンテナ(リブ入り)に比べると、良好な根鉢を形成して活着率の向上が期待できるスリット入りの新型コンテナ(MT-150-40P、東北タチバナ)(写真-3)も開発された。さらに、種子の発芽率増加に結びつく充実種子の新しい判別技術も開発された。この技術は、不稔種子などのせいで一般に発芽率が低いスギやヒノキなどを対象に、近赤外光の反射特性を利用して充実種子を非破壊的に判別するもので、近い将来、一粒播種機と組み合わせられて苗木の大量生産・育苗システム構築に寄与することが期待されている(Matsuda et al. 2015; 松田ら2016)。

コンテナ苗の早期出荷を目指した研究も、徳島県の実生スギや北海道のカラマツなどを対象に行われた。これは、現在、移植しながら2～3年かけて育てるところを、育苗期間の短縮でコスト削減を図るのがねらいである。その場合、苗のサイズが小さくなり、植栽後の活着や成長に問題が生じる懸念がある。そこで、カラマツについては、コンテナに直接播種した1年生苗を通常の2年生裸苗と比較する植栽試験が行われた。その結果、コンテナ苗の光合成能力は高く、樹高や根重も植栽後2年目には裸苗にほぼ追いつくなど、その成長は通常の裸苗と遜色ないことが確かめられている(原山ら2016)。一方で、形状比が高めの苗だと植栽後の活着が悪くなるなど、早出しコンテナ苗の品質向上や管理技術に関してはまだ課題が多く残されている。

コンテナ苗の活着、成長と植栽時期

一貫作業でコンテナ苗が期待される理由には、上述した機械による運搬時の取り扱い易さ以外にも、植栽



写真-3 スリットが付いた新型コンテナ MT-150-40P (上)。従来のマルチキャビティのリブ付コンテナ (下左) とこの新型コンテナ (下右) で育てた苗の根鉢の様子。

時期の柔軟さが挙げられる。コンテナ苗の通年植栽の可能性は、すでに九州の挿し木スギ(山川ら2013)や東北のクロマツ1年生苗(八木橋ら2015)で示唆されている。プロジェクトにおいても、上述のカラマツ(原山ら2016)やヒノキ(諏訪謙平ら未発表)のコンテナ苗について、それぞれ季節別の植栽試験から、その活着率が裸苗と同程度か、時期(夏季)によっては高くなる結果が得られている。他の参画県での植栽試験の結果においても、高温や乾燥ストレスを受けやすい夏季(本州だと7～9月)植栽で、コンテナ苗が高い活着率を示す例が少なくない(プロジェクト報告書より、未発表)。さらに、スギ(新保ら2016)やヒノキ(Yamashita Net al. submitted)のコンテナ苗で植栽後に葉の水ポテンシャルを測定した試験結果は、コンテナ苗の耐乾性が高いことを示唆しており、夏季の植栽には裸苗よりもやや有利な可能性がある。一般に、根鉢を持つコンテナ苗は、植栽時に受ける根の損傷が少なく、速やかに発根して周囲の土壤に根系を形成させる能力が裸苗よりも高いと言われている(たとえば、Grossnickle 2012)。こうしたコンテナ苗の耐乾性など生理的特性と植栽適期の関係については、今後、根箱などを用いた植栽後の苗木

の根系形成の観察や、さらに灌水制御実験や摘葉処理試験なども行って検討する必要がある。

コンテナ苗については、夏季以外にも、春や秋植えの場合どれくらい植栽時期が前後に延長できるか見極めることも、地域の気象条件に応じた一貫作業システムを提案していくためには重要である。とくに、晩秋や春先は、突発的な気候イベント（遅霜や凍上など）で苗木に致命的な被害が起こる場合が想定される。このプロジェクト期間中にも、茨城県の植栽試験地では秋植え（9月）したコンテナ苗の多くが枯死した（写真-4）。その原因としては、気象データの解析などから、晩秋に発生した極端な低温障害（寒風害）の可能性が考えられている。こうした気象害に対するコンテナ苗と裸苗の反応の違いなどの情報はほとんどないが、今後そうした事例を蓄積し、リスク回避も加味した植栽適期の検討が必要と思われる。

プロジェクトでは、参画県やそれ以外の協力県も含めて、全国各地で行われているコンテナ苗の植栽試験についてデータベース化を進めており、現在、19の都道府県から計約100地点のデータが集められている。樹種はスギ、ヒノキ、カラマツ、トドマツ、クロマツなどを含み、植栽された苗木の総計は約8000本に及ぶ。この多点データの解析は進行中だが、例えば、立地や樹種などの違いを無視すると、コンテナ苗と裸苗とでは平均的な活着率や成長量に関して明瞭な違いはないといった全体的な傾向が得られている（壁谷大介ら、投稿中）。コンテナ苗の成長が裸苗に比べてとくに優れていないことは、個別の比較研究事例（平田ら2014）とも一致する。今後、このデータベースについては、使用したコンテナタイプやサイズの影響、また育苗期間や植栽時期、樹種別で比較するなど詳細な解析を行うとともに、上述

したような気象害リスクの発生事例などの情報も加えて、コンテナ苗の植栽時に活用できる情報源としてネット上で公開する予定である。

おわりに

林業先進国の北欧や北米では、コンテナ苗の育苗・造林技術の研究は、20世紀半ばには始まり60年以上が経過している。その間、多くの技術が現場に普及されているようだが、その一方で、多くの課題が研究途上にあることも事実である（Nilsson et al. 2010）。例えば、フィンランドやスウェーデンでは、主要造林樹種（ドイツトウヒ、欧州アカマツ）のコンテナ苗について、夏季植栽や秋季の霜害を回避するための短日処理など乾燥や低温に対するハードニング技術に関する実験や植栽試験が盛んに行われている（たとえば、Luoranen et al. 2006 ; Luoranen and Rikala 2015）。また、早期出荷によるコスト削減を目指したコンテナ苗の小型化（ミニ・コンテナ）の開発研究も進められており（Walsh et al. 2014）、夏が短く伐採跡地に雑草木がそれほど繁茂しない北欧ならではの研究方向と言える。一方、日本の場合、下刈り作業の省力化は、再生林のコスト削減には避けては通れない問題である。したがって、欧米とは逆にコンテナ苗を成長の点では有利な大苗にして、隔年下刈りなど下刈り作業の省略法を模索する実証試験が実施されている（たとえば、大矢2015）。とくに九州では、この下刈り省力にシカによる食害軽減の効果も加味しようとする研究も行われつつある（重永ら2015）。再生林の低コスト化実現のためには、コンテナ苗の育苗や植栽技術とともに、今後は、こうした植栽後の初期保育技術に関連した研究を一層進める必要がある。

なお本稿で紹介した研究結果の詳細については、プロジェクトの成果集（森林総合研究所2016）や引用文献に記載した関連の論文を参考にいただければと思う。



写真-4 茨城県の植栽試験地（左）で寒風害で枯死したと思われるスギのコンテナ苗（右）。壁谷大介氏提供。

引用文献

- 原山尚徳・来田和人・今博計・石塚航・飛田博順・宇都木玄 異なる時期に植栽したカラマツコンテナ苗の生存率, 成長および生理生態特性. 日本森林学会誌 (印刷中)
- 平田令子・大塚温子・伊藤哲・高木正博 (2014) スギ挿し木コンテナ苗と裸苗の植栽後2年間の地上部成長と根系発達. 日本森林学会誌 96: 1-5
- Grossnickle SC (2012) Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New Forests* 43: 711-738
- Luoranen J, Rikala R, Konttinen K, Smolander H (2006) Summer planting of *Picea abies* container-grown seedlings: Effects of planting date on survival, height growth and root egress. *Forest Ecology and Management* 237: 534-544
- Luoranen J, Rikala R (2015) Post-planting effects of early-season short-day treatment and summer planting on Norway spruce seedlings. *Silva Fennica* 49: 1300
- Matsuda O, Hara M, Tobita H, Yazaki K, Nakagawa T, Shimizu K, Uemura A, Utsugi H (2015) Determination of seed soundness in conifers *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* using narrow-multiband spectral imaging in the short-wavelength infrared range. *PLoS ONE* 10: e0128358
- 松田修・原真司・飛田博順・宇都木玄 (2016) 高発芽率を実現する樹木種子の選別技術. 森林遺伝育種 5: 21-25
- Nilsson U, Luoranen J, Kolstrom T, Orlander G, Puttonen P (2010) Reforestation with planting in northern Europe. *Scandinavian Journal of Forest Research* 25: 283-294
- 大矢信次郎 (2015) カラマツのコンテナ苗及び大苗の植栽2年後における成長量評価. 中部森林研究 63: 45-45
- 森林総合研究所九州支所 (編) (2013) 低コスト再造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, 熊本
- 森林総合研究所東北支所 (編) (2016) 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実用化に向けた研究成果集「ここまでやれる再造林の低コスト化 - 東北地域の挑戦 -」. 森林総合研究所東北支所, 盛岡
- 森林総合研究所 (編) (2016) コンテナ苗を活用した主伐・再造林技術の新たな展開 ~実証研究の現場から~. 森林総合研究所, つくば (印刷中)
- 重永英年・山川博美・野宮治人・荒木眞岳 (2015) 育苗期間を延長したスギ挿し木コンテナ苗のサイズと形状. 九州森林研究 68: 111-113
- 新保優美・平田令子・溝口拓朗・高木正博・伊藤哲 スギコンテナ苗は夏季植栽で本当に有利か? - 植栽時の水ストレスから1年後の活着・成長・物質分配までの比較 - . 日本森林学会誌 (印刷中)
- 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
- Walsh D, Rossi S, Lord D (2014) Size and age: Intrinsic confounding factors affecting the responses to a water deficit in black spruce seedlings. *iForest* 8: 401-409
- 八木橋勉・中村克典・齋藤智之・松本和馬・八木貴信・柴田銃江・野口麻穂子・駒木貴彰 (2015) クロマツコンテナ苗の当年生苗利用と通年植栽の可能性. 日本森林学会誌 97: 257-260
- 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: 214-219