

【特 集】カラマツの遺伝育種学の進展と育種の展望

カラマツの次世代化に向けた材質育種の取り組み

田村 明^{*1}・松本 和茂²・藤本 高明³・黒丸 亮⁴・来田 和人⁴

はじめに

北海道のカラマツは、戦後の拡大造林期に積極的に造林され、現在の林齢のピークは41～50年生となっており、本格的な伐採が行われている。24年度の道産のカラマツ材の素材生産量は158万m³であり、全国のカラマツの供給量225万m³の7割を占めている(林野庁2014)。しかし、その内訳を見ると、約半数を占める製材用途の殆どが梱包・パレット材であり、建築用材は集成材用ラミナ原板を併せても17%に過ぎない。近年の梱包・パレット材の製品価格を見ると25,000円/m³前後で推移しており(北海道庁2015)、他の針葉樹の製品価格と比較しても安価で取引されている。更に梱包・パレット材は景気に影響されやすいため、持続的な林業経営と人工林材の安定供給に向けて、付加価値の高い用途を開発する必要がある。

カラマツは、国産の針葉樹の中では材の強度(ヤング係数)が高く、心材含水率も少なく、材の耐久性も高い。一方、樹心付近を含む製材では乾燥時のねじれが大きいため、これらの影響が少ない梱包・パレット材としての利用が主力になった。しかし、近年林産試験場を中心にコアドライという乾燥・水分管理技術が開発され(北海道総合研究機構 林産試験場2013)、直角材が内部(コア)までしっかりと乾燥され、ねじれや割れの少ない建築用材として使うことが可能となった。現在、住宅建築の横架材や柱材などの構造部材には、外材の使用割合が高いが(林野庁2015)、国産のカラマツ材は、輸入針葉樹材と同等以上の強度を有するため(市村ら2013)、外材に代わる国産材として有望である。道内の高次加工技術の向上や安定供給体制の確立が不可欠であるが、外材製品に負けない品質をもつ

優良な品種を開発できれば、将来の国産自給率を上げられ、持続的な林業経営と人工林材の安定供給、木材産業の振興に貢献していくものと考えられる。

本報では、北海道育種基本区で取り組んでいるカラマツ属(グイマツを含む)の次世代化について紹介する。特に、将来のカラマツ属の低コスト化と高付加価値化と関連する材質育種を中心に紹介する。

将来の優良品種の改良目標

低コスト化と高付加価値化のためには、次の3つの特長をもつ品種を開発する必要があると考えている。1つ目は、成長が良い品種である。成長が良ければ、下刈コストの軽減や伐期の短縮が期待でき、収益改善に繋がると考えられる。2つ目は、幹曲りの少ない品種である。幹曲りが少ないと無垢材や集成材のラミナを製材するときの歩留りが向上する。3つ目は、ヤング率の優れた品種である。強度が要求される建築構造材に利用されると考えられる。

カラマツにおける遺伝的改良の可能性

カラマツにおける成長量の研究例として、久保田らが行った5年次における要因交配(6×6)1セットの解析結果がある。この研究では、樹高と胸高直径は、雌親間と雄親間で差が認められたが、雌親と雄親の交互作用には有意差がなかったとしている(久保田ら2000)。また大島らは20年次の要因交配(5×13)の結果から、幹曲りは家系間で差があり、親子回帰か

*E-mail: akirat@affrc.go.jp

1 たむら あきら 森林総合研究所林木育種センター

2 まつもと かずしげ 北海道立総合研究機構林産試験場

3 ふじもと たかあき 鳥取大学農学部生物資源環境学科

4 くるまる まこと、きた かずひと 北海道立総合研究機構林業試験場

ら推定した遺伝率は0.588だったとしている(大島ら1997)。また、武津らが行った30年次におけるフルダイアレルクロス(8×8)の結果では、樹高、胸高直径、応力波伝搬速度、ピロディン陥入量は一般組合せ能力が高く、特定組合せ能力や正逆交雑による効果は小さかったとしている(Fukatsu et al. 2015)。なお、カラマツでは、応力波伝搬速度が大きいほど、丸太のヤング係数が高く(Ishiguri et al. 2008)、ピロディン陥入量が小さいほど、丸太のヤング係数が低くなる(田村・井城2011)。これらの形質は相加的遺伝効果によるものと考えられ、既存の採種園から優良種苗を生産するためには、育種価が劣るクローンを除去することや、育種価が優れたクローンから優先的に種子を採種することが効果的であり、次世代化のためには、育種価が優れた第二世代精英樹を交配親として利用していくことが重要である。

グイマツ雑種F₁における遺伝的改良の可能性

グイマツ雑種F₁(グイマツ(*Larix gmelinii* var. *japonica*)×カラマツ(*Larix kaempferi*))は、カラマツに比べ野ねずみに対する食害抵抗性が高く(福地1987)、カラマツハラアカハバチに対する抵抗性も強く(宮木・東浦1991)、成長が優れ(大島ら1997)、幹が通直で(市村ら2013; 黒丸ら1996)、材の強度が高い(市村ら2013; 根井ら2005)。そのため、北海道ではグイマツ雑種F₁種苗の需要量は供給量を常に上回っている。北海道立総合研究機構 林業試験場では優れたグイマツ雑種F₁種苗を生産するために、大規模な種間交配を実施し、雑種にした場合でも一般組合せ能力が高い、いわゆる雑種一般組合せ能力(GHA)が高いクローンを選抜してきた。例えば、グイマツ精英樹の中標津5号を母樹として生産されるグイマツ雑種F₁種苗は、林分当たりの材積とヤング率が通常のカラマツより高い。中標津5号は2013年に特定母樹として指定され、北海道では民間活力も利用して大々的に生産する予定にしている。このようにGHAが高いクローンをグイマツ雑種F₁採種園に利用することが最も確実性がある。しかし、GHAが評価されたクローン数は少なく、グイマツ雑種F₁採種園に導入できるクローン数に限界がある。未だに評価されていない多数の第一世代精英樹や材質優良木等を使って種間交雑し、GHAの高いクローンを選抜することが必要であるが、現在ある種内交配の検定林から選抜した育種価の優れた第二

世代精英樹等が、グイマツ雑種F₁の交配親として利用した場合に、優れたグイマツ雑種F₁ができるかどうかは分からない。第二世代精英樹等を、グイマツ雑種F₁の新たな交配親として用いるためには、カラマツとグイマツのそれぞれの種内で推定した一般組合せ能力(GCA)とグイマツ雑種F₁にした場合のGHAの間に正の相関関係があることが前提条件になる。そこで筆者らは北海道育種場内にある林齢20年生グイマツ×グイマツ(セットA:4×5不完全ダイアレル交配)とカラマツ×カラマツ(セットB:3×4不完全ダイアレル交配)およびグイマツ×カラマツ(セットC:4×4の要因交配)の個体を使い、GCAとGHAの関係を調べた。調査した形質は樹高、幹曲り、ピロディン陥入量、および地上高1.3 m付近の生材丸太のヤング係数である。なお、セットAで利用した4親はセットCの母親に使われている。同様にセットBで利用した4親は、セットCの花粉親に使われている。セットAとセットBで求めた各クローンのGCAと、セットCで求めた各クローンのGHAは統計ソフトASREMLを使って推定した。セットAで推定したGCAとセットCで推定したGHAの相関係数を算出した結果、樹高で+0.61、幹曲りで+0.80、生材丸太のヤング係数で+0.86であった。また、セットBで推定したGCAとセットCで推定したGHAの相関係数を算出した結果、樹高で+0.84、幹曲りで+0.95、生材丸太のヤング係数で+0.81であった。使われた交配親数が少ないため、GCAとGHAの一般的な関係を明らかにすることはできないが、カラマツおよびグイマツの種内からGCAの高いクローンを選び、それらをグイマツ雑種F₁の交配親として用いることによって、グイマツ雑種F₁の成長および材質を向上できることが伺われた。

ピロディン陥入量のGCAと雑種の生材丸太のヤング係数のGHAの相関係数を算出した結果、カラマツでは-0.51、グイマツでは-0.89と負の相関が見られた。非破壊的に立木状態でピロディン陥入量の育種価が小さい第二世代精英樹を選抜することによって、グイマツ雑種F₁のヤング係数を向上できる可能性が示唆された(田村ら2012)。

優良クローンを利用した場合の材質向上の試算

優良な母樹または家系を選択した場合に、生産される種苗のヤング係数がどれだけ向上できたかを示した結果を紹介する。

2007年度から2010年度の4年間実施された新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業（道内カラマツ資源の循環利用促進のための林業システムの開発）の中で、北海道立総合研究機構林業試験場と同林産試験場は2007年に北海道の訓子府町に設定された道有林カラマツ遺伝試験林L-14（1974年設定）とL-27（1977年設定）に植栽されていた全兄弟59家系から1番玉を採取し、これらの丸太から厚さ37mm、幅118mmのラミナを採取し、仕上がり含水率12%に人工乾燥した後、ラミナのヤング係数を測定した。これらの検定木の1番玉から生産されるラミナのヤング係数の平均は11.7 GPa（8.7～15.8 GPa）であった。この全兄弟59家系の中から上位20%の家系（12家系）を選ぶと、ラミナのヤング係数の平均は13.7 GPaに向上し、1ランク上位の強度等級の構造用集成材を製造できる可能性があることが分かった。さらに上位5%の家系（3家系）を選ぶと、15.1 GPaに向上した（図-1）。

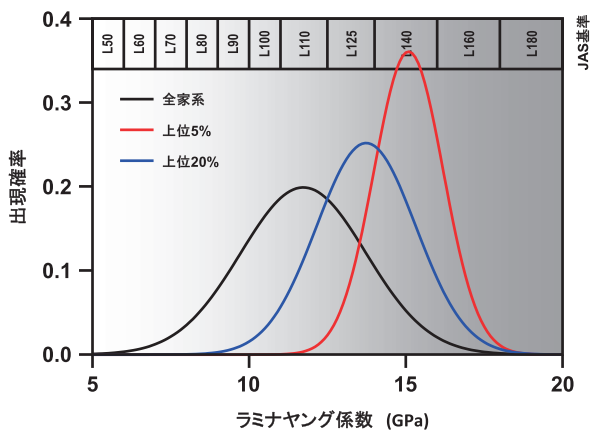


図-1 カラマツ優良家系から生産されるラミナのヤング係数の出現頻度。図中のL〇〇は、JAS基準によって区分されたラミナのヤング係数を表す。

また、同事業において北海道立総合研究機構林業試験場と同林産試験場は、カラマツと同じ訓子府町に設定された道有林グイマツ雑種F₁遺伝試験林G-16（1974年設定）とG-26（1977年設定）に植栽されていたグイマツ雑種F₁ 46家系（グイマツ6クローン×カラマツ12クローンの要因交配）の1番玉から採取したラミナのヤング係数を測定している。その結果、ラミナのヤング係数の平均値は13.2 GPaであり、グイマツ雑種F₁から製造される製品は、カラマツに比べて高いランクの集成材を効率的に製造できると考えられ

る。例えば、対称異等級構成集成材を作る場合、ラミナの等級ごとの頻度分布を考えると、北海道内の集成材メーカーで流通しているカラマツでは強度等級E95-F270を製造するのに概ねバランスの良い分布であるが、グイマツ雑種F₁から生産されるラミナでは、強度等級E120-F330を、余裕を持って製造できる分布であるとしている（松本ら2010）。また、中標津5号を母樹としたグイマツ雑種F₁種苗は、グイマツ雑種F₁の平均値より高い強度のラミナが高頻度で生産できる（図-2）。母樹を中標津5号とし、花粉親を胆振1号にした交配家系からは、さらに高い強度のラミナが高頻度で採取できることが分かった。通常、国産材ではL140クラスのラミナの生産は難しいが、特定の母樹あるいは特定の家系のグイマツ雑種F₁から外材と同等以上の高強度のラミナを高頻度で生産できる可能性があると考えられる。このことは、ペイマツやダフリカカラマツなどの輸入材に頼っていた強度等級の製品が、国産材で供給可能になるという意味があり、育種によって強度が優れた材を大量かつ安定的に供給できれば、国産材の自給率を向上できる可能性がある。集成材業界、建築業界にとっても非常に意義が高いと考えられる。

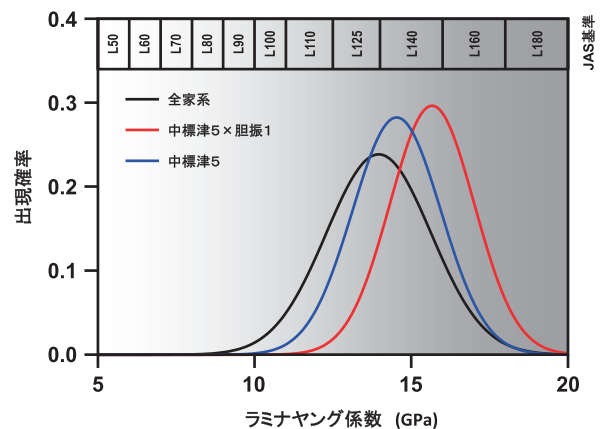


図-2 グイマツ雑種F₁の優良家系、優良母樹から生産されるラミナのヤング係数の出現頻度。図中のL〇〇は、JAS基準によって区分されたラミナのヤング係数を表す。

北海道におけるカラマツ属の次世代化の現状と課題

北海道では、北海道立総合研究機構林業試験場、北海道森林管理局、北海道育種場が一体となってカラマツ属の次世代化を図っている。グイマツでは、2011年

度から次世代の育種集団となる第二世代精英樹候補木35個体と優良木21個体、計56個体を選抜した(来田ら2013; 田村ら2015)。ここで優良木とは、両親が精英樹ではないが第二世代精英樹候補木と同等以上の性能をもつ個体である。

カラマツでは、2013年度から選抜を開始し、現在3個体の第二世代精英樹候補木が選抜されている(田村ら2015)。今後70個体程度の第二世代精英樹候補木を追加選抜する予定にしている。これらの第二世代精英樹候補木と優良木の中で特に優れた個体については、血縁関係を考慮した上で採種園に導入しておく予定にしている。ただし、次世代化を進めていく上で改良効果と同様に多様性の確保も必要である。北海道で選抜された第一世代のカラマツ精英樹の産地を推定した結果では、甲武信岳や高瀬川由来のものが多く、限られた遺伝プールから導入された可能性があるとしている(San Jose-Maldia 2010)。そのため、本州で選抜された第二世代精英樹等からの追加導入や遺伝資源保存林からの追加も検討されている。特にカラマツ属は着花促進技術が確立されていないため、成長や材質以外にも雌花の着花性が良いクローンを次世代集団へ導入していくことも必要であろう。また着花制御ができないカラマツ属では計画的な人工交配が難しいため、豊作年時に採種園から採取した自然受粉種子を利用する方法が検討されている。母樹別に植栽した自然受粉の検定林は、後から花粉親を特定することによって、両親がはっきりしている育種集団林と同等に扱うことができる可能性がある。そのため、難着花性のカラマツ属の場合、採種園産自然受粉種子を使った方法は、次世代化を進める一つの有効な方法として期待している。

引用文献

- Fukatsu E, Hiraoka Y, Matsunaga K, Tsubomura M, Nakada R (2015) Genetic relationship between wood properties and growth traits in *Larix kaempferi* obtained from a diallel mating test. *Journal of Wood Science* 61: 10–18
- 福地 稔 (1987) 野外でのカラマツ類の耐鼠性比較. 日本林学会大会発表論文集 98: 257–258
- 北海道総合研究機構 林産試験場 (2013) 道総研が開発中の木材乾燥技術「コアドライ」. <http://www.fpri.hro.or.jp/manual/coredry/coredry.htm> (2015年7月23日アクセス)
- 北海道庁 (2015) 木材市況調査について. <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/rrm/mokuzaisaikyo.htm> (2015年8月3日アクセス)
- 市村康裕・来田和人・藤本高明・内山和子・松本和茂・黒丸 亮 (2013) グイマツ雑種F₁とカラマツ次代検定林の成長と材質の変異. 北海道林業試験場研究報告 50: 7–14
- Ishiguri F, Matsui R, Iizuka K, Yokota S, Yoshizawa N (2008) Prediction of the mechanical properties of lumber by stress-wave velocity and Pilodyn penetration of 36-year-old Japanese larch trees. *Holz als Roh- und Werkstoff* 66: 275–280
- 来田和人・田村 明・今 博計・秋元正信・生方正俊・黒丸 亮 (2013) 第2世代グイマツ精英樹の選抜. 北海道の林木育種 55 (2) : 30–33
- 久保田正裕・河崎久男・大谷賢二 (2000) カラマツ精英樹の交配家系から試算した幼齢期の成長形質の遺伝率. 林木育種センター研究報告 17: 109–116
- 黒丸亮・大島紹郎・錦織正智 (1996) グイマツ雑種F₁の幹はどの程度通直か. 光珠内季報 103: 11–13
- 松本和茂・藤本高明・安久津久 (2010) グイマツ雑種F₁の建築用材としての強度性能評価と住宅への利用. 北海道の林木育種 53 (1) : 8–11
- 宮木雅美・東浦康友 (1991) グイマツ雑種F₁はカラマツハラアカハバチにも強い. 北海道の林木育種 34 (1) : 27–30
- 根井三貴・安久津久・藤本高明・土橋英亮 (2005) グイマツ雑種F₁の乾燥特性と強度性能. 林産試験場報 19: 1–6
- 大島紹郎・黒丸亮・山田浩二 (1997) カラマツ精英樹交配家系において推定した幹曲がりの遺伝率. 日本林学会論文集 108: 311–312
- 林野庁 (2014) 第IV章 林業と山村. 平成25年度森林及び林業の動向, 99. 林野庁, 東京
- 林野庁 (2015) 第I章 森林資源の循環利用を担う木材産業. 平成26年度森林及び林業の動向, 40. 林野庁, 東京
- San Jose-Maldia L (2010) Evaluation of genetic diversity in natural populations of Japanese larch for its conservation and breeding. Ph.D. Dissertation, Nagoya University, Nagoya
- 田村 明・井城泰一 (2011) カラマツの非破壊による材質評価法の開発. 新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業成果集 –カラマツ資源の循環利用をめざして–, 13–14. 森林総合研究所・北海道立総

合研究機構林業試験場・林産試験場, 札幌
田村明・山田浩雄・福田陽子・矢野慶介・生方正俊・
武津英太郎 (2012) グイマツ雑種F₁の交配親に用い
る次世代精英樹選抜の有効性. 第62回日本木材学
会大会要旨集: 119
田村明・山田浩雄・福田陽子・矢野慶介・竹田宣明・

大城浩司・上野義人・植田守・佐藤亜樹彦・湯浅真・
上田雄介・佐藤新一・織田春紀・黒丸亮・来田和人・
今博計 (2015) 北海道育種基本区における第2世代
精英樹候補木と優良木の選抜ー平成25年度の実施
結果ー. 平成25年度版林木育種センター年報, 112-
121. 森林総合研究所林木育種センター, 日立