

【特集】ゲノム情報に基づく林木育種の可能性 —スギを対象として—

材質形質育種の可能性

井城 泰一^{*1}

はじめに

スギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) は日本を代表する針葉樹であり、古くから建築用材などに広く使用されてきており、現在でも最大の造林面積と蓄積を有している。近年、建築基準法や日本農林規格の改訂により利用で求められる木材性質が規定され、収量だけでなく木材としての性能向上が求められており、林木育種センターにおいてもヤング率や密度といった木材性質 (材質) の育種に取り組んできたところである。

近年、次世代シーケンサーの普及により、デーダマツやユーカリ等では数十万単位で遺伝子情報が整備されており (Neale and Kremer 2011)、これら遺伝子データと成長や材質といった形質データとを対応させることで形質変異に関与する染色体領域を推定する手法であるアソシエーション解析が行われ、遺伝子と形質の関連性を明らかにする試みが検討され始めている (Lepoint et al. 2012)。スギにおいても遺伝子情報の蓄積・整備が進められており、アソシエーション解析に向けた形質データの取得が進められてきた (三嶋ら 2011; 坪村ら 2013)。これら解析は、大量サンプルにおける形質データが必要であり、測定においては精度が高くかつ迅速にデータを取得することが求められる。そこで本報告では、材質を対象に簡易的かつ迅速な測定法である立木状態で測定する方法を紹介するとともに、よりハイスループットな手法として近赤外 (以下、NIR) スペクトルを用いた方法をスギへ適応して事例についても報告する。

立木状態でのヤング率および密度の推定

材質の測定を行うには、対象となる個体を伐倒しサンプルを収集する必要があるため、材質データの取得には多くの労力と時間がかかる上、測定の行程が煩雑である。

さらに対象となる個体を伐倒するため、貴重な材料を永久に失ってしまう。そのため、立木状態で材質を推定できる手法の開発がすすめられてきた。ヤング率を立木状態で推定する手法としてぶら下がり法 (小泉 1987) や応力波伝播速度法 (名波ら 1992a; 1992b) の技術開発が進められてきた。近年、携帯型の計測機器である FAKOPP や TREE SONIC (いずれも FAKOPP 社製) が市販されており、これらを用いて測定した応力波伝播速度とヤング率との関係が多く報告されている (Kumar et al. 2002; 井城ら 2006; Ishiguri et al. 2008)。FAKOPP および TREE SONIC とともに、2つのセンサーを 1m の間隔で測定木に打ち込み、1つのセンサーを打撃することで発生した応力波が、もう一方のセンサーに到達した時間を測定している。容積密度を立木状態で推定する手法として PILODYN 6J FOREST (以下、「ピロディン」) やレジストグラフを用いた方法が開発されている。ピロディンは、電柱の腐朽検査用として開発されたもので、6ジュールの力でストライカーピンを木材に打ち込み、その打ち込み深さを計測する機械である。これまで、ピロディン打ち込み深さと容積密度との関係を報告した例は多い (Cown 1978; Taylor 1981)。FAKOPP やピロディンは、ラジアータパインやデーダマツなどの育種現場においても広く用いられている (Apolaza 2009)。

スギにおいても応力波伝播速度とピロディン打ち込み深さは、動的ヤング率と容積密度とそれぞれ高い相関関係にあることが報告されている (藤澤ら 2003; Fukatsu et al. 2010)。三嶋ら (2011) は、関東育種基本区で選抜されたスギ精英樹 745 クロウンの応力波伝播速度とピロディン打ち込み深さを評価し、クロウン間変異や成長との関係、早期選抜の可能性について報告しており、これらの立木材質のデータはアソシエーション解析に供試されている (Uchiyama et al. 2013)。

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

¹いき たいいち 森林総合研究所林木育種センター

晩材仮道管 S₂層のマイクロフィブリル傾角の推定

ヤング率と密接な関わりのある形質として晩材仮道管 S₂層のマイクロフィブリル傾角 (以下、MFA) がある。MFA はヤング率を評価する重要な指標となっている (Megraw 1985)。スギにおいても、MFA と密度でヤング率の 6 割程度は説明でき、特に MFA の影響が大きいとされる (平川ら 1997)。そのためスギにおいても、MFA はヤング率を評価する重要な指標であり丸太の動的ヤング率と曲げヤング率が早期に選抜できることが報告されている (Nakada et al. 2003 ; 石堂ら 2009)。このような MFA の一般的な測定方法としてヨウ素法がある。平川ら (1997) は、仮道管相互壁孔のスリット状の壁孔口と仮道管長軸のなす角度がヨウ素法で測定した MFA が高い相関関係にあることを報告している。しかし、これらいずれの方法も時間がかかることが大きな難点となっている。ラジアータパインなどでは、MFA を高精度で簡易的に測定できる方法として SilviScan を用いた方法が開発されている (Evans and Ilic 2001)。同法は、X 線回折を利用した方法であり、同法で測定した MFA を用いた育種関係の研究報告は多い。しかし、大量サンプルの測定を行うためには SilviScan を用いた方法は高額であることが指摘されている (Isik et al. 2008 ; Isik et al. 2011)。他の MFA を迅速にかつ高い精度で推定する手法として NIR スペクトルを用いた方法がある。NIR 分光法の特徴として、非破壊分析、前処理および試薬が不要、測定が簡単かつ迅速、液体・粉末・固体とその状態を問わず測定が可能、化学量のみでなく物理量も測定可能、光ファイバーを用いた遠隔操作が可能などの点がある。そのため同方法は、食品・農業分野や化学工業などの分野で幅広く利用されている。このような NIR 分光法を用いた MFA 推定法の開発は、ラジアータパインやユーカリ、テーダマツなどにおいて進められており (Schimleck et al. 2001, 2002 ; Schimleck and Evans 2002 ; Jones et al. 2005)、同手法を用いた育種関係の研究報告も多い。著者も、スギにおける NIR 分光法を用いた MFA の推定法の開発に鳥取大学の藤本高明准教授と共同研究で着手しており (井城ら 2013)、図-1 に 16 個体の結果を示す。今後は測定個体数を増やし、また測定条件の詳細を検討し、キャリブレーションモデルを構築していく予定である。同手法は、簡便かつ短時間で測定が可能であり、また成長錐コアでの測定も可能であることから、将来的にはアソシエーション解析やゲノミックセレクションに供試する形質データの取得に役立てていきたいと考えている。

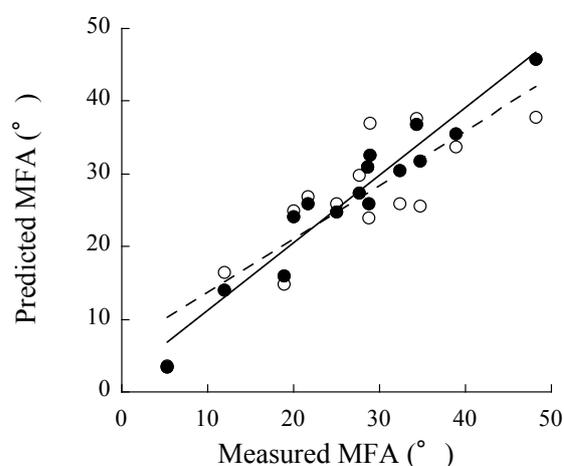


図-1 MFA の実測値と NIR 法による推定値の関係。実線は Calibration model、破線は Validation model。

おわりに

次世代シーケンサーの普及により数十万単位の遺伝子情報が蓄積され、アソシエーション解析やゲノミックセレクションが世界規模で行われている (平岡・平尾 2014)。これらに対応するための形質データには、高精度のデータを迅速に取得することが求められる。今後もこれまでの手法の精度の検証や新たな手法による材質データの取得を進めていきたいと考えている。

引用文献

- Neale D, Kremer A (2011) Forest tree genomics: growing resources and applications. *Nature Reviews Genetics* 12: 111–121
- Lepoittevin C, Harvengt L, Plomion C, Garnier-Gege P (2012) Association mapping for growth, straightness and wood chemistry traits in the *Pinus pinaster* Aquitaine breeding population. *Tree Genetics and Genome* 8: 113–126
- 三嶋賢太郎・井城泰一・平岡裕一郎・宮本尚子・渡辺敦史 (2011) 関東育種基本区におけるスギ精英樹クローンの立木材質の評価. *木材学会誌* 57: 256–264
- 坪村美代子・武津英太郎・渡辺敦史 (2013) 関東育種基本区におけるスギ精英樹クローン雄花着花量の評価. *日本森林学会誌* 95: 156–162

- 小泉章夫 (1987) 生立木の非破壊試験による材質評価に関する研究. 北海道大学農学部演習林研究報告 44: 1329-1415
- 名波直道・中村昇・有馬孝禮・大熊幹章 (1992a) 応力波による立木の材質測定 (第1報) 測定方法と応力波の伝播経路. 木材学会誌 38:739-746
- 名波直道・中村昇・有馬孝禮・大熊幹章 (1992b) 応力波による立木の材質測定 (第2報) 立木への適用. 木材学会誌 38: 747-752
- 井城泰一・田村明・西岡直樹・阿部正信 (2006) トドマツ精英樹等クローンの動的ヤング率における樹高方向の変動と立木非破壊評価. 木材学会誌 52: 344-351
- 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
- Kumar S, Jayawickrama KJS, Lee J, Lausberg M (2002) Direct and Indirect measures of stiffness and strength show high heritability in a wind-pollinated radiata pine progeny test in New Zealand. *Silvae Genetica* 51: 256-261
- Cown DJ (1978) Comparison of the Pilodyn and Torsiometer methods for the rapid assessment of wood density in living trees. *New Zealand Journal of Forest Science* 8: 384-391
- Taylor FW (1981) Rapid determination of southern pine specific gravity with a Pilodyn tester. *Forest Science* 27: 59-61
- Apiolaza LA (2009) Very early selection for solid wood quality: screening for early winners. *Annals of Forest Science* 66: 601
- 藤澤義武・倉本哲嗣・平岡裕一郎・柏木学・井上雄二郎 (2003) FAKOPP によるスギクローンの非破壊的材質評価. 第53回日本木材学会大会研究発表要旨集: 55
- Fukatsu E, Tamura A, Takahashi M, Fukuda Y, Nakada R, Kubota M and Kurinobu S (2010) Efficiency of the indirect selection and the evaluation of the genotype by environment interaction using Pilodyn for the genetic improvement of wood density in *Cryptomeria japonica*. *Journal of Forest Research* 16: 128-135
- Uchiyama K, Iwata H, Moriguchi Y, Ujino-Ihara T, Ueno S, Taguchi Y, Tsubomura M, Mishima K, Iki T, Watanabe A, Futamura N, Shinohara K and Tsumura Y (2013) Demonstration of genome-wide association studies for identifying markers for wood property and male strobili traits in *Cryptomeria japonica*. *PloS ONE* 8: e79866
- Megraw RA (1985) Wood quality factors in loblolly pine. The influence of tree age, position in tree, and cultural practice on wood specific gravity, fiber length and fibril angle. Tappi Press, Norcross, GA, USA
- 平川泰彦・山下香菜・中田了五・藤澤義武 (1997) スギ丸太のヤング率の変動に関わる晩材仮道管 S₂層のマイクロフィブリル傾角と密度の影響. 木材学会誌 43: 717-724
- Nakada R, Fujisawa Y and Hirakawa Y (2003) Effects of clonal selection by microfibril angle on the genetic improvement of stiffness in *Cryptomeria japonica* D. Don. *Holzforschung* 57: 553-560
- 石堂恵・石栗太・飯塚和也・横田信三・大野英克・吉澤伸夫 (2009) 晩材仮道管 S₂層マイクロフィブリル傾角を材質指標としたスギ材におけるヤング率の早期評価. 木材学会誌 55: 10-17
- Evans R, Ilic J (2001) Rapid prediction of wood stiffness from microfibril angle and density. *Forest Product Journal* 51: 53-57
- Isik F, Gumpertz M, Li B, Goldfarb B and Sun X (2008) Analysis of cellulose microfibril angle (MFA) using a linear mixed model in *Pinus taeda* clones. *Canadian Journal of Forest Research* 38: 1676-1689
- Isik F, Mora CR, Schmeleck LR (2011) Genetic variation in *Pinus taeda* wood properties predicted using non-destructive techniques. *Annals of Forest Science* 68: 283-293
- Schmeleck LR, Evans R, Ilic J (2001) Estimation of *Eucalyptus delegatensis* wood properties by near infrared spectroscopy. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 1671-1675
- Schmeleck LR, Evans R and Ilic J (2002) Estimation of *Pinus radiata* D. Don clear wood properties by near-infrared spectroscopy. *Journal of Wood Science* 48: 132-137
- Schmeleck LR and Evans R (2002) Estimation of microfibril angle of increment cores by near infrared spectroscopy. *IAWA journal* 23: 225-234
- Jones PD, Schmeleck LR, Peter GF, Daniels RF and Clark III A (2005) Nondestructive estimation of *Pinus taeda* L. wood properties for samples from a wide range of sites in Georgia. *Canadian Journal of Forest Research* 35: 85-92
- 井城泰一・藤本高明・平岡裕一郎・藤澤義武・渡辺敦史 (2013) 近赤外分光法によるスギの晩材仮道管 S₂層のマイクロフィブリル傾角の推定. 第63回日本木材学会大会研究発表要旨集: B28-P-AM04
- 平岡裕一郎・平尾知士 (2014) 植物および動物ゲノム国際学会 (Plant & Animal Genome XXII) の概要. 森林遺伝育種 3: 93-96