

Pilodyn を用いたカラマツ材密度の簡易推定精度の検討

武津英太郎・古本 良・中田了五 (森林総研林育セ)

要旨: 本報告では, Pilodyn を用いたカラマツの材密度の簡易推定の精度についての検討を行った。21 年生のカラマツ 81 個体を対象とし, 立木状態で樹皮あり Pilodyn の貫入値, 樹皮なし Pilodyn の貫入値, 樹皮厚を測定したのち, 伐採し軟 X 線デンシトメトリ法により容積密度を測定した。材への貫入年輪数は, 樹皮あり Pilodyn で平均 2.6 年輪, 樹皮なし Pilodyn では平均 4.0 年輪であった。外側 5 年輪の平均材密度との相関係数は, 樹皮なし Pilodyn 貫入値で -0.747 , 樹皮あり Pilodyn 貫入値で -0.595 であった。外側 5 年輪の平均材密度を目的変数とした回帰分析における決定係数 (R^2 値) は樹皮なし Pilodyn 貫入値で 0.558 , 樹皮あり Pilodyn 貫入値で 0.354 , 樹皮あり Pilodyn 貫入値から樹皮厚を減算した場合で 0.417 , 樹皮あり Pilodyn 貫入値と樹皮厚との 2 変数による重回帰分析では 0.467 であった。これらの結果より, カラマツにおいて Pilodyn による材密度の推定は樹皮を除去した場合にもっとも精度が高く, 樹皮を除去することが困難な場合でも樹皮厚を測定することにより材密度の推定精度をある程度向上させることが可能であることが示された。

キーワード: カラマツ, 材密度, 簡易推定, 育種, Pilodyn

I はじめに

ニホンカラマツ(以下, カラマツ)は本州の中部山岳地帯および関東・東北地方の山岳部のごく限られた地帯にのみ天然分布する日本固有の樹種である。その成長の早さ, 冷涼な気候への適応性から, 天然分布域のみならず東北地方, 北海道にも広く植栽されている。林木育種事業の中でカラマツは対象樹種とされ, 1953 年から 1964 年の間に関東育種基本区, 東北育種基本区, 北海道育種基本区で計 538 個体が精英樹として選抜された(5)。関東育種基本区で選抜された精英樹は 232 個体であり, 全体の半数を越える。1973 年から 1992 年にかけてこれら精英樹の次代検定林が設定され, 現在関東育種基本区内に計 51 ヶ所の一般次代検定林(国有林内 26 ヶ所, 民有林内 25 ヶ所), および 8 ヶ所の遺伝試験林(国有林内のみ)にて継続した調査が行われている(5)。これらの一般次代検定林は, 採種園産の種子により精英樹のオープン実生苗として乱塊法で植栽され, 5 年次, 10 年次, 15 年次, 20 年次, 以後 10 年ごとに成長量・樹型の調査が行われ, 精英樹の遺伝的評価のためのデータの蓄積が行われている。

一方で, これらの関東育種基本区の次代検定林における材質の調査はこれまでにほとんど行われていないのが現状である。精英樹の材質評価としては, カラマツ集植所のクローン個体を用いた報告(3)がまとまったものとして存在するが, 成長形質の調査に比べて, 労力が大きい, 間伐等の破壊調査を伴うなどの理由により一般次代検定林においてはほとんど進められていない。しかし, 成長等で優れた形質を示した精英樹については, 一般次代検定林においても材質の評価を進めていくことが今後の林木育種において重要である。

材質形質の一つである材密度を立木状態で推定する

非破壊評価法については, いくつかの方法が考案されているが, Pilodyn を用いる方法が最も広く用いられている。Pilodyn (PROCEQ 社, スイス) は一定の力のバネによって直径 2mm~2.5mm の金属製のピンを材部に打ち込み, その貫入値を測定する機器である。材密度との相関が高いことが古くから報告され(1), 材密度の簡易推定法として広く用いられている。これまでに北海道におけるカラマツ属の評価(4)やスギ(2)についての報告があり, これらによると Pilodyn 貫入値と材密度は高い負の相関を示し, 林木育種における材密度の非破壊評価法として適していることが示されている。しかしながらカラマツは樹皮がスギと比較して厚く, また不均一で硬い。測定効率や樹体に与えるダメージを考えると樹皮の上から Pilodyn 貫入値を測定したほうがよいが, 樹皮の有無がカラマツにおいて Pilodyn による簡易推定精度にどのような影響を与えるのかは明らかにされていない。

材密度はヤング係数と相関が見られる(3)など, 材質指標の一つとして重要であり, またバイオマス生産, CO_2 吸収・固定等に関わる重要な形質である。したがって, カラマツにおいて Pilodyn により材密度の簡易推定をどの程度の精度で行うことができるのかを示すことは今後の林木育種を進める上で必要であると考え, 本研究を行った。

II 材料と方法

1. 供試材料

本研究では, 森林総合研究所林木育種センター長野増殖保存園構内に植栽されていたカラマツ 81 個体を供試材料とした。これらの個体は, 1986 年に接ぎ木個体が植栽されたものであり, 精英樹, 材質優良木を含むが, 81 個体がすべて異なる遺伝子型である。測定時の樹齡

Eitaro FUKATSU, Ryo FURUMOTO, Ryogo NAKADA (Forest and Forest Product Research Institute, Forest Tree Breeding Center, Ishi 3809-1, Juo-cho, Hitachi-shi, Ibaraki 319-1301) The precision in the indirect estimation of wood density using Pilodyn in Japanese larch (*Larix kaempferi*)

は21年生であった。

2. 立木調査

2008年4月に、すべての個体の胸高部で、南側と西側の2ヶ所より樹皮の上からの Pilodyn (以下、樹皮あり Pilodyn) の貫入値、樹皮厚、樹皮を取り除いた後の Pilodyn (以下、樹皮無し Pilodyn) の貫入値を測定した。樹皮厚の測定はハグロフ社の樹皮厚計を用いた。2ヶ所の平均値を以下の解析に用いた。

3. 材密度の測定

対象個体を2008年5月に伐採し、胸高部より円盤を採取した。立木調査を行った2方向より髓から樹皮までのストリップを採取した。軸方向厚さ2mmの試験体を Dendrocot (WALESCH Electronic, スイス) により作成し、恒温恒湿室(20℃, 相対湿度60%)において含水率の調整を行った。軟X線照射装置(ソフテックス社)により軟X線フィルム(Fuji IX FR)に試験体像を撮影した。撮影条件は、18kv, 14mA, 4分とした。フィルムを現像したのち、フィルムスキャナ(GT-X900, エプソン)でコンピュータにデジタル画像として読み込み、年輪密度解析ソフトウェア WinDENDRO (Regent Instruments Inc., カナダ)を用いて年輪ごとの平均材密度、年輪幅を測定した。外側5年輪および10年輪の平均材密度を求め、2方向の平均値を算出し、以下の解析に用いた。

4. 解析方法

平均材密度と立木調査の測定値との積率相関係数を求めた。また、材密度を目的形質とした単回帰分析、重回帰分析を行い、それぞれの簡易推定値による材密度の自由度調整済み決定係数を求めた。解析は統計パッケージ R(6) を使って行った。

III 結果

図-1に、供試木の年輪ごとの年輪幅を示した。今回調査を行った試験地は2003年に間伐が強度に行われたために、各供試木は強く被圧されることはなく、平均して良好な年輪成長を示した。

樹皮あり Pilodyn 貫入値の平均値は19.4mm、樹皮無し Pilodyn 貫入値の平均値は13.9mmであり、樹皮あり Pilodyn のほうが貫入値が大きかった(図-2)。一方、樹皮厚は平均11.4mmであり(図-2)、樹皮あり Pilodyn 貫入値から樹皮厚を引いた値は平均で7.99mmであったことから、樹皮あり Pilodyn の貫入量の半分以上は樹皮部位であり、実際の材部への貫入量は少ないことが示された。

軟X線デンストメトリにより得られた年輪幅から Pilodyn の貫入年輪数を算出したところ、樹皮あり Pilodyn では平均2.6年輪、樹皮無し Pilodyn では平均4.0年輪に

わたって Pilodyn のピンが貫入していることが示された(図-3)。

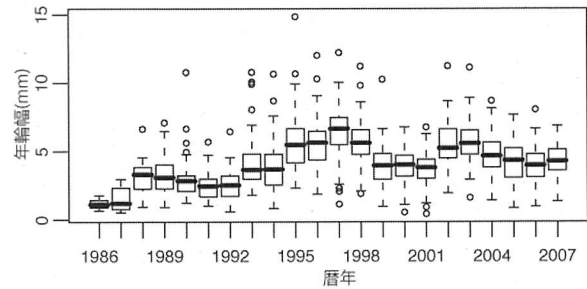


図-1. 供試材料の各年次の年輪幅

ボックス内の太線は中央値、ボックスの上端は上側四分位、下端は下側四分位、上側のヒゲは、第3四分位からボックスの長さ(第1四分位と第3四分位の間隔)×1.5の範囲内の最大値、下側のヒゲは第1四分位からボックスの長さ×1.5の範囲内の最小値、点ははずれ値を示す。n=81。

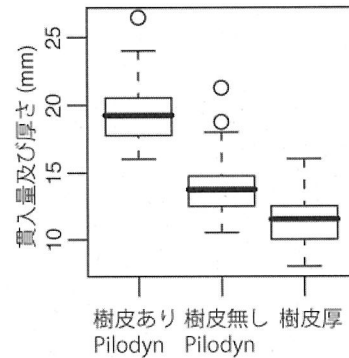


図-2. Pilodyn 貫入値と樹皮厚のばらつき
凡例については図-1参照。n=81。

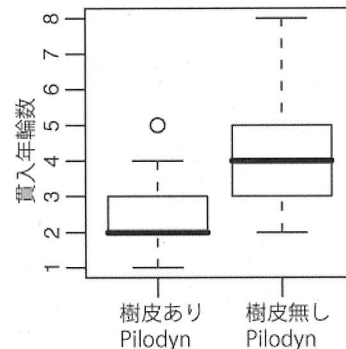


図-3. Pilodyn の貫入年輪数
凡例については図-1参照。n=81。

立木調査での形質間の関係を図-4に示した。樹皮あり Pilodyn 貫入値と樹皮無し Pilodyn 貫入値は高い相関

を示した($r=0.819$)。樹皮厚と他の形質との関係を見ると、樹皮あり Pilodyn 貫入値と樹皮厚の間には相関が認められ($r=0.523$)、樹皮厚と胸高直径との間には相関が認められた($r=0.449$)。また、樹皮あり Pilodyn 貫入値と胸高直径には弱い相関が認められた($r=0.292$)が、樹皮無し Pilodyn 貫入値と胸高直径、樹皮無し Pilodyn 貫入値と樹皮厚との間には相関は認められなかった。

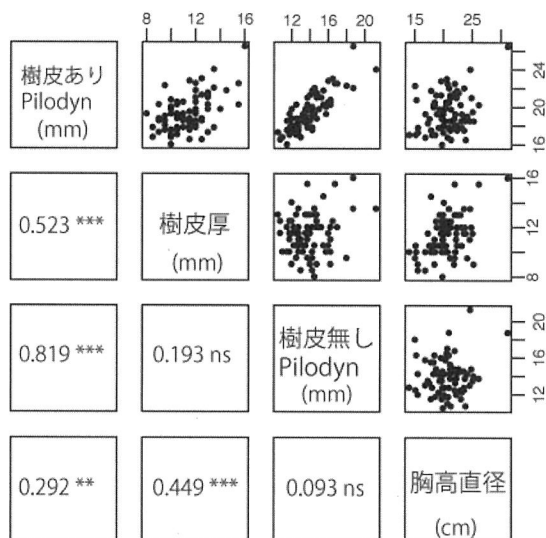


図-4. 立木調査形質間の関係。

左下三角は、各形質間の相関係数(r)を示す。ns は有意ではないことを示す。アスタリスクは p 値を示し、**: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$ である。 $n=81$ 。

外側5年輪の平均材密度と樹皮無し Pilodyn 貫入値とは相関が認められた($r=-0.747$, $p < 0.001$, 図-5)。一方で、外側5年輪材密度と樹皮あり Pilodyn 貫入値との相関は -0.595 ($p < 0.001$)であり、樹皮無し Pilodyn 貫入値と比較して低い関係性を示した。また、外側5年輪平均材密度と樹皮厚、胸高直径との間に相関は見られなかった。外側10年輪との相関係数は樹皮無し Pilodyn 貫入値で -0.591 ($p < 0.001$)、樹皮あり Pilodyn 貫入値で -0.445 ($p < 0.001$)であった。また、材密度5外側5年輪と外側10年輪の平均値間の相関は 0.854 ($p < 0.001$)であった。

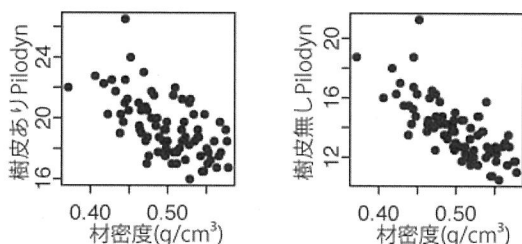


図-5 材密度と Pilodyn 貫入値の相関
材密度は外側5年輪の平均値。 $n=81$ 。

材密度を Pilodyn 貫入値と樹皮厚の組み合わせでどの程度評価できるかを検討するために、回帰分析を行った。各モデル式の自由度調整済み決定係数(R_{adj}^2)を表-1に示す。樹皮無し Pilodyn 貫入値が最も高い決定係数を示した。樹皮あり Pilodyn 貫入値と樹皮厚を説明変数とした場合に、それにつぐ決定係数が得られた。樹皮あり Pilodyn 貫入値から樹皮厚を減算した値を説明変数とした場合、両者を独立した説明変数とした場合よりも決定係数は低かったが、樹皮あり Pilodyn 貫入値を単独で説明変数とした場合よりも高い値が得られた。

表-1. 材密度に関する回帰分析の決定係数

モデル式	R_{adj}^2
材密度 = 樹皮無し Pilodyn 貫入値	0.553
材密度 = 樹皮あり Pilodyn 貫入値 + 樹皮厚	0.467
材密度 = 樹皮あり Pilodyn 貫入値	0.346
材密度 = [樹皮あり Pilodyn 貫入値 - 樹皮厚]	0.410

[樹皮あり Pilodyn 貫入値 - 樹皮厚]は、樹皮あり Pilodyn 貫入値から樹皮厚を減算した値を説明変数としたことを示す。 R_{adj}^2 は自由度調整済み決定係数を示す。

IV 考察

本研究においては、樹皮無し Pilodyn 貫入値と材密度(外側5年輪平均値)の間には高い相関が認められた。この値は、既報(4)における辺材部との相関値(-0.733)とほぼ同じ値であり、樹皮を除去した場合には 0.7 を越える程度の相関が得られることが示された。しかしながら、樹皮を除去しなかった場合には相関係数は低くなり、樹皮の影響が大きいことが示された。スギで樹皮の上から測定した場合、外側5年輪とは -0.83 という高い相関が報告されており(2)、カラマツの場合にはスギと比べて樹皮の影響が大きいことが示唆された。樹皮の上から Pilodyn 貫入値を測定した場合には、胸高直径と相関が認められた。一方で、樹皮を除去した場合には相関関係は認められなかった。樹皮厚と胸高直径との間に正の相関が認められたことから、樹皮厚の影響で樹皮あり Pilodyn 貫入値と胸高直径との間に相関が生じたと考えられる。これらの結果から、Pilodyn 貫入値を用いた材密度の簡易推定の精度を高めるためには、樹皮の影響を取り除くことが重要であることが示された。

樹皮の除去は直接的に樹皮の影響を取り除くことができるために有効であるが、樹体へのダメージの観点からそれが好ましくない、または許可が得られないという状況が想定される。樹皮を除去しない場合には樹皮厚を測

定し、その値と樹皮の上から測定した Pilodyn 貫入値とを用いることにより、ある程度の推定精度が得られることが示された。樹皮厚と樹皮あり Pilodyn 貫入値とを用いる場合、今回の報告で示したように両者を説明変数とした回帰式を用いることが最も決定係数が高かったが、回帰パラメータは樹齢や測定対象の試験地の成長の良否により変化することが想定される。そのため、本研究で得られたパラメータを他の異なる試験地にそのまま用いることはできない。理想的には対象試験地において一部のサンプルについて材密度の実測までを行い回帰式を作成し、それを同一試験地内の他のデータに適用すべきであるが、それが困難な場合も想定される。今回の結果より樹皮の上から測定した Pilodyn 貫入値から樹皮厚を減算することでも樹皮厚の影響をある程度取り除き、決定係数を上昇させることができたことから、樹皮を取り除くことができず回帰式の作成も行えないような状況では、Pilodyn 貫入値と樹皮厚を同時に測定し Pilodyn 貫入値から樹皮厚を減算した値を用いることがよいといえる。

本研究では、材密度について個体値の簡易推定精度についての検討を行った。今後は今回の結果をもとに、次代検定林において家系の材密度の評価を行うために、必要測定個体数や、遺伝的獲得量の推定誤差などを検討していく必要がある。

引用文献

- (1) COWN DJ (1978) Comparison of the pilodyn and torsionmeter methods for the rapid assessment of wood density in living trees. NEW ZEALAND JOURNAL OF FORESTRY SCIENCE 8:387-391.
- (2) 武津英太郎・東原貴志・中田了五 (2007) スギ交配家系における容積密度の遺伝性と家系内のばらつきの検討. 関東森林研究 58:83-86.
- (3) 中田了五・藤澤義武・谷口亨 (2005) カラマツ精英樹における材質形質のクローン間変異. 林木育種センター研究報告 21:85-106.
- (4) 田村明・井城泰一・坂本庄生・西岡直樹・笹島芳信・黒沼幸樹 (2002) カラマツ属における密度推定のためのピロディンの適用とカラマツ及びグイマツ精英樹クローンの密度の変異. 北海道の林木育種 45:1-3.
- (5) 独立行政法人林木育種センターとりまとめ (2007) 林木育種の実施状況および統計(平成 17 年度)
- (6) R DEVELOPMENT CORE TEAM (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.