

## 論文

Pilodyn を用いたヒノキの材密度の間接選抜における樹皮の影響<sup>\*1</sup>武津英太郎<sup>\*2</sup>・松永孝治<sup>\*2</sup>・倉原雄二<sup>\*2</sup>・千吉良治<sup>\*2</sup>・高橋 誠<sup>\*3</sup>・倉本哲嗣<sup>\*2</sup>

武津英太郎・松永孝治・倉原雄二・千吉良治・高橋 誠・倉本哲嗣：Pilodyn を用いたヒノキの材密度の間接選抜における樹皮の影響  
九州森林研究 67：33－36，2014 九州育種基本区において、Pilodyn を用いたヒノキの材密度の間接選抜における樹皮の影響を明らかにするため、複数の検定林において樹皮の上から測定した Pilodyn 陥入値（樹皮有 Pilodyn 値）および樹皮を取り除いて測定した Pilodyn 陥入値（樹皮無 Pilodyn 値）の遺伝率と両者の遺伝相関を求めるとともに、材密度の間接選抜による遺伝的獲得量の比較を行った。調査対象 5 検定林のうち 4 検定林で樹皮有 Pilodyn 陥入値が樹皮無 Pilodyn よりも高い遺伝率を示した。樹皮無 Pilodyn 値と樹皮有 Pilodyn 値は 0.78 以上の高い遺伝相関を示した。材密度の遺伝的獲得量は樹皮有 Pilodyn 値が高い値を示したがその差は大きくなかった。ヒノキにおいて Pilodyn を用いて材密度の間接選抜を行うにあたり、樹皮の除去を行わなくても同程度の遺伝的獲得量が得られることが示唆された。

キーワード：ヒノキ，材密度，Pilodyn，遺伝性，樹皮

## I. はじめに

材密度は樹幹中の炭素固定量や材の強度に影響する形質であり、林木育種において重要な形質の一つである。材密度の直接の測定は伐採等のサンプリングを伴うために測定コスト・測定時間が大きい。林木育種において系統評価を行うためには大量の個体の測定が必要であり、より少ないコストで短時間に測定を行うことの出来る簡易推定法の利用が有効である。Pilodyn (PROCEQ 社、スイス) は樹幹に一定の力でピンを打込み、その打込み深さ（以下、ピロディン陥入値）を測定する機器であり、立木状態で短時間に測定ができることから材密度の簡易推定法として広く用いられている (Cown, 1979; Hall, 1988; Hansen and Roulund, 1997; 山下ほか, 2007 など)。日本の林木育種分野でもスギ、ヒノキ、カラマツ、トドマツ等の多くの樹種で報告がある (田村ほか, 2002; 井城ほか, 2009; Fukatsu et al., 2011; 三嶋ほか, 2011; 武津ほか, 2013 など)。

材密度の推定を目的とする場合、Pilodyn 陥入値測定時の樹皮の存在は誤差の原因となると考えられ、樹皮を取り除くことが多い。実際、立木状態で Pilodyn 陥入値の測定を行う場合、樹皮を除去して測定したほうが材密度との相関が高いことがトドマツ (井城ほか, 2009) やカラマツ (武津ほか, 2009) で報告されている。しかしながら、樹皮の除去は測定時間の増加や、対象個体の胸高部に大きな傷を与えるために森林所有者の許可が困難であることなどの理由から、実際に事業的に大量個体の測定を行うには樹皮を除去しないほうが望ましい。Pilodyn 陥入値の遺伝性や Pilodyn による材密度の間接選抜の遺伝的獲得量に関して、測定時の樹皮の除去の有無の影響について比較した報告はない。

ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) は全国の新規造林面積の

13.1%、九州育種基本区の新規造林面積の 12.3% を占める (林木育種センター, 2013)、日本の代表的な林業用樹種の 1 つである。1950 年代に開始された日本の林木育種事業において成長形質と樹型により全国で 1058 個体のヒノキ精英樹、九州育種基本区で 188 個体のヒノキ精英樹が選抜されている。しかし、九州育種基本区において材密度の評価は十分に行われておらず、今後検定林等において簡易推定法を用いて進めていく必要がある。そのためには、Pilodyn による材密度の簡易推定について樹皮の除去の有無について検討し、測定コスト・時間を削減できるかの検討が必要である。

本研究では九州育種基本区においてヒノキを対象として材密度の簡易推定を行うために必要な知見として、Pilodyn を用いた材密度の間接選抜における樹皮の影響について検討を行った。

## II. 材料と方法

国有林内に設定されたヒノキ検定林 5 箇所において、Pilodyn 陥入量の調査を行った (表-1)。これらの検定林のうち、九熊本第 116 号は母親 10 精英樹・父親 3 精英樹による人工交配実生が、それ以外の検定林は精英樹の open 実生が植栽されている。試験地の設計は乱塊法であり、各反復においてそれぞれの家系が方型プロットで植栽されている。調査時の林齢は 21~30 年、各検定林の調査系統数は 19~29 系統であった。

全供試検定林においてプロット毎に成長が良好な個体について樹皮の上から Pilodyn 陥入値を測定した (以下、樹皮有 Pilodyn 値)。樹皮有 Pilodyn 値の測定後、内樹皮と木部との間にノミの刃を入れて樹皮を剥皮し木部を露出させた状態で Pilodyn 陥入値を測定した (以下、樹皮無 Pilodyn 値)。個体あたりの測定回数

<sup>\*1</sup> Fukatsu, E., Matsunaga, K., Kurahara, Y., Chigira, O. and Takahashi, M.: The effect of the bark on the indirect selection of wood density using Pilodyn in Hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*).

<sup>\*2</sup> 森林総合研究所林木育種センター九州育種場 Kyushu Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Ctr., FFPRI, Koshi, Kumamoto 861-1102, Japan.

<sup>\*3</sup> 森林総合研究所林木育種センター Forest Tree Breeding Ctr., FFPRI, Hitachi, Ibaraki 319-1301, Japan.

表-1: 供試検定林の一覧

	設定年	調査時 林齢	所在地	調査 系統数	調査 個体数	調査項目	
						Pilodyn	材密度
九熊本第 82号	1983	30	熊本県葦北郡芦北町	29	261	○	
九熊本第 90号	1985	28	宮崎県都城市	23	105	○	
九熊本第100号	1988	25	大分県由布市	20	180	○	
九熊本第111号	1991	22	熊本県人吉市	19	171	○	
九熊本第116号	1992	21	鹿児島県伊佐市	27	228	○	○

調査系統数は、九熊本第116号は人工交配組合せ数、それ以外は open 実生家系統を示す。

は2回もしくは4回であり、その平均値を個体代表値として用いた。プロットあたりの測定個体数は3~6個体(平均3.8個体)、検定林あたりの調査ブロック数は2~5ブロック(平均3.3ブロック)であった。既報(武津ら, 2013)で九熊本第116号における樹皮有 Pilodyn 値が報告されているが、今回、樹皮無 Pilodyn 値との関係を検討するために新たに樹皮有 Pilodyn 値と樹皮無 Pilodyn 値の両方の測定を行った。

九熊本第116号においては胸高部から採取した成長錐コア試料を用いて、樹皮側5年輪と6年輪目以降の2つのコア試料に分割し、それぞれの試料の密度を浮力法により測定した。詳細は既報(武津ほか, 2013)に示されている。本報告では、2つのコア試料の長さによる重み付平均値を個体の平均材密度(以下、材密度)として算出し、個体の代表値として用いた。

各検定林における樹皮有 Pilodyn 値と樹皮無 Pilodyn 値との間で表現型値および家系平均値について積率相関係数を求めた。各検定林における樹皮有 Pilodyn 値と樹皮無 Pilodyn 値それぞれについて、以下の線形モデルを仮定し、単形質モデルで各形質の分散成分を求めた(Gilmour et al., 2009)。

$$y_{ijk} = B_i + M_j + p_{ij} + e_{ijk}$$

ここで  $y_{ijk}$  は測定値、 $B_i$  は反復  $i$  の効果、 $M_j$  は母親  $j$  の効果、 $p_{ij}$  はプロットの効果、 $e_{ijk}$  は残差である。分散成分の推定はソフトウェア ASReml (VNI international, イギリス) を用いて REML 法で行った。得られた分散成分から、以下の式により個体の狭義の遺伝率を求めた。

$$h_i^2 = \frac{4 \cdot \sigma_m^2}{\sigma_m^2 + \sigma_{plot}^2 + \sigma_e^2}$$

ここで  $h_i^2$  は個体の狭義の遺伝率、 $\sigma_m^2$  は母親の一般組合せ能力の分散、 $\sigma_{plot}^2$  はプロットの効果の分散、 $\sigma_e^2$  は誤差分散である。また、樹皮有 Pilodyn 値と樹皮無 Pilodyn 値の分散成分・共分散成分から、両者の遺伝相関を求めた。

Pilodyn 値と材密度との遺伝相関および Pilodyn 値による間接選抜における遺伝的獲得量を九熊本第116号において求めた。既報(武津ほか, 2013)に従い、材密度・樹皮有 Pilodyn 値・樹皮無 Pilodyn 値について家系平均値の遺伝率を算出し、また材密度の遺伝的獲得量を算出した。樹皮有 Pilodyn 値および樹皮無 Pilodyn 値で材密度を間接選抜した場合の材密度の遺伝的獲得量を次式により求めた(栗延・久保田, 2012)。

$$\Delta G_{den} = 2 \cdot i \cdot h_{fpilo} \cdot h_{fden} \cdot r_{A,(den,pilo)} \cdot \sigma_{fden}$$

ここで  $\Delta G_{den}$  は材密度の遺伝的獲得量、 $h_{fpilo}$  は樹皮無 Pilodyn 値もしくは樹皮有 Pilodyn 値の家系平均値の遺伝率の平方根、 $h_{fden}$  は材密度の家系平均値の遺伝率の平方根、 $r_{A,(den,pilo)}$  は材密度

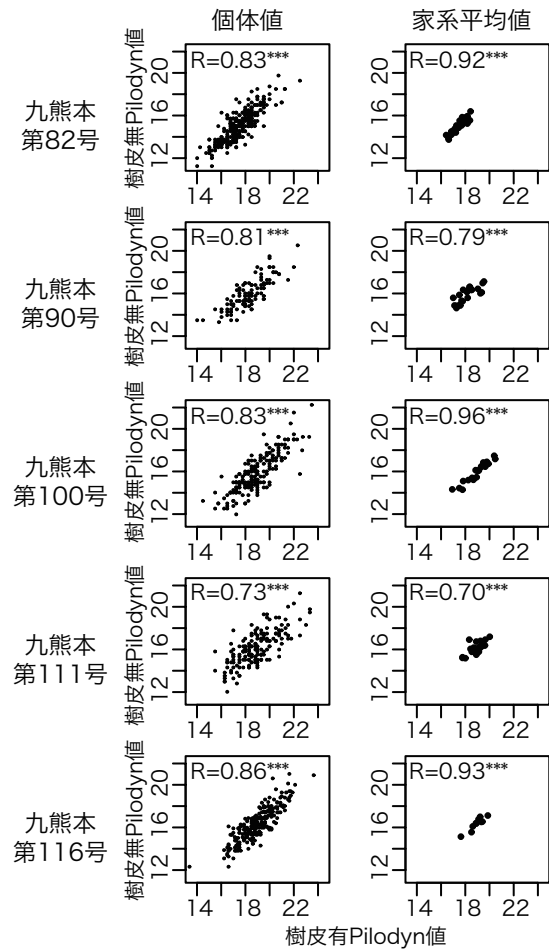


図-1: 各検定林における樹皮有 Pilodyn 値と樹皮無 Pilodyn 値の個体値(左図)および家系平均値(右図)の相関関係 R は積率相関係数を示す。\*\*\*は相関関係が0.1%水準で有意であることを示す。

と樹皮有 Pilodyn 値もしくは樹皮無 Pilodyn 値との遺伝相関、 $\sigma_{fden}$  は材密度の家系平均値の分散の平方根である。遺伝的獲得量は、材密度の集団平均値に対する割合(%)として表した。

### Ⅲ. 結果

図-1に、検定林毎の樹皮有 Pilodyn と樹皮無 Pilodyn の個体値および家系平均値の相関関係を示した。両者の相関係数は個体値で0.737~0.864(平均0.816)、家系平均値で0.704~0.960(平均0.861)となり、高い相関関係を示した。検定林平均値は樹皮

表-2: 検定林毎の Pilodyn の遺伝率と遺伝相関

検定林名	個体の狭義の遺伝率		遺伝相関
	樹皮有 Pilodyn	樹皮無 Pilodyn	
九熊本第82号	0.205 ± 0.195	0.318 ± 0.211	1.210 ± 0.216
九熊本第90号	0.288 ± 0.425	0.085 ± 0.415	0.989 ± 0.975
九熊本第100号	0.896 ± 0.346	0.658 ± 0.299	1.024 ± 0.030
九熊本第111号	1.024 ± 0.030	0.164 ± 0.215	0.787 ± 0.358
九熊本第116号	0.553 ± 0.219	0.529 ± 0.215	0.974 ± 0.031

値は推定値 ± 標準誤差を示す。

有 Pilodyn 値で 17.5~18.9mm (平均 18.5mm), 樹皮無 Pilodyn 値で 15.0~16.3mm (平均 15.9mm) となり, 樹皮無 Pilodyn 値が常に低い値を示した。

表-2に, 検定林毎の樹皮有 Pilodyn 値と樹皮無 Pilodyn 値の個体の狭義の遺伝率, および両者の遺伝相関を示した。樹皮有 Pilodyn の遺伝率は 0.205~1.02 (平均 0.436), 樹皮無 Pilodyn の遺伝率は 0.085~0.658 (平均 0.307) の範囲であり, 1 検定林を除いて樹皮有 Pilodyn が高い遺伝率を示した。両者の遺伝相関は 0.787~1.21 (平均 1.01) の範囲であり, 高い値を示した。

九熊本第 116 号における材密度の検定林平均値は 0.398 g/cm<sup>3</sup>, 個体の狭義の遺伝率は 0.312 (標準誤差 0.164) であった。同検定林における Pilodyn 値と材密度との表現型相関, 遺伝相関及び Pilodyn による材密度の間接選抜の改良効果を表-3に示した。

個体の表現型相関はほぼ同程度であったが, 家系平均値の表現型相関は樹皮有 Pilodyn が高い絶対値 (-0.732) を示した。また, 材密度との遺伝相関は樹皮有 Pilodyn が樹皮無 Pilodyn より高い絶対値を示したが, 両者の遺伝相関の推定値からの標準誤差範囲は互いの推定値を含んでいた。間接選抜による材密度の遺伝的改良効果は, 樹皮有 Pilodyn が高い値を示した。

#### IV. 考察

##### (1) Pilodyn 陥入値の遺伝性と樹皮の影響

本研究において, 調査を行った 5 検定林中 4 検定林において樹皮有 Pilodyn 値は樹皮無 Pilodyn 値よりも高い遺伝率を示した。このことから, ヒノキにおいて樹皮有 Pilodyn 値は樹皮無 Pilodyn 値よりも高い遺伝性を示す傾向があることが示唆される。樹皮有 Pilodyn 値と樹皮無 Pilodyn 値について遺伝率を比較した研究はないが, 井城ほか (2009) ではトドマツにおいてクローンを要因とした分散分析において F 値が樹皮有 Pilodyn 値のほうが樹皮無 Pilodyn 値よりも高いことを報告しており, 本研究と同様の傾向がある。樹皮の外側から Pilodyn の測定を行った場合, 樹皮を貫通した後に木部に陥入する。樹皮有 Pilodyn 値が高い遺伝率を示すという結果は, 樹皮の厚さや樹皮の硬さなど, 樹皮と木部を含めた Pilodyn 陥入量全体に影響を与える遺伝的要因が樹皮に存在する可能性が考えられる。

樹皮有 Pilodyn 値と樹皮無 Pilodyn 値は高い遺伝相関を示した。ヒノキや他樹種を含めて両者の遺伝相関に関する報告はないが, 表現型相関ではカラマツ (武津ら, 2009) で高い相関が報告されており, 本研究でも同様の高い表現型相関を示した。これらの結果は, 林木育種において材密度について系統のランキングを樹皮無 Pilodyn 値で行うことを想定した場合, 樹皮有 Pilodyn 値を用

表-3: 材密度と Pilodyn の相関関係と間接選抜による遺伝的改良効果

	個体の狭義の遺伝率	
	樹皮有	樹皮無
材密度との表現型相関係数 (個体値)	-0.549***	-0.554***
材密度との表現型相関係数 (家系平均値)	-0.732***	-0.654***
材密度との遺伝相関	-0.805 ± 0.148	-0.762 ± 0.187
間接選抜による 材密度の遺伝的改良効果	3.60%	3.36%

\*\*\*: 0.1% 水準で相関係数が有意であることを示す。

遺伝相関の値は, 推定値 ± 標準誤差を示す。

材密度の遺伝的改良効果は, 集団の上位 10% 選抜の場合の値を示す。

いても樹皮無 Pilodyn を用いた場合と同様の結果が得られることを示す。

##### (2) Pilodyn を用いた材密度の間接選抜における樹皮の影響

材密度との家系平均値の相関および遺伝相関において, 樹皮有 Pilodyn 値は樹皮無 Pilodyn 値と比較して高い絶対値を示した。また, 遺伝率も樹皮有 Pilodyn 値が高い値を示したことから, 間接選抜による材密度の遺伝的獲得量も樹皮有 Pilodyn 値が高い値を示す結果となった (表-3)。樹皮は材密度が測定される木部とは別の部位であることから, Pilodyn 陥入値による材密度の簡易推定においては誤差を大きくする要因となると考えられるが, 本研究では樹皮有 Pilodyn が高い値を示す結果となった。これまでの報告では樹皮を除去したほうが Pilodyn 陥入値と材密度との相関が強いことがトドマツで家系平均値・個体値について (井城ほか, 2009), カラマツで個体値について (武津ほか, 2009) 報告されている。本研究で得られた樹皮有 Pilodyn 値と樹皮無 Pilodyn 値との相関関係は既報とは異なる結果となった。特にカラマツのような樹皮の表面が平滑でない樹種においては, Pilodyn の測定位置により樹皮厚が異なる可能性が高いことから, 樹皮の影響が大きいと考えられる。スギやヒノキでは特に高樹齢でない場合には樹皮表面は比較的凹凸が少ないことから, Pilodyn 陥入値の測定に大きく影響しない可能性が考えられる。

しかしながら, なぜ材密度との遺伝相関について樹皮有 Pilodyn が樹皮無 Pilodyn 値よりも高い絶対値を示したかを説明することはできない。本研究では材密度と Pilodyn の関係については 1 検定林のみの結果であること, 得られた遺伝相関の標準誤差が大きいことから, ヒノキにおいて樹皮を除去しないことが Pilodyn による材密度の間接選抜効果を高めると結論づけることはできない。しかしながら, 複数の検定林において樹皮有 Pilodyn が樹皮無 Pilodyn よりも高い遺伝率を示す傾向にあったこと, 1 検定林での結果ではあるが材密度との遺伝相関について樹皮有 Pilodyn が樹皮無 Pilodyn と同等かそれ以上の値を示したことを考慮に入れると, Pilodyn を用いた材密度の間接選抜において樹皮を除去しなくても除去した場合と同程度の遺伝的獲得量が得られる可能性が高いことが示唆される。

#### V. おわりに

林木育種において系統評価を行うには大量の個体を測定する必

要がある。そのためには個体あたりの測定時間が少ないことが望ましい。また、多くの検定林は国有林や民有林内に設定されていることから、所有者の意向により樹皮の除去が困難である場合もある。本研究により、ヒノキにおいてPilodynを用いて材密度の間接選抜を行うにあたり、樹皮除去を行わなくても同程度の遺伝的獲得量が得られる可能性が高いことが示唆された。本研究の結果はヒノキにおける材密度の系統評価に有益であると考えられる。

### 謝辞

試験地の設定・管理・測定に関った林野庁・九州森林管理局および林木育種センターの関係者の皆様に深く感謝する。

### 引用文献

Cown DJ (1978) New Zealand J For Res 8:284-391.

- Fukatsu E et al. (2011) J For Res 16:128-135.  
武津英太郎ほか (2009) 関東森林研究 60:103-106.  
武津英太郎ほか (2013) 九州森林研究 66:13-16.  
Gilmour AR et al. (2009) ASReml User Guide, 398 pp, VSN International Ltd, Hemel Hempstead.  
Hall JP (1988) Northern J Appl Forestry 5:170-171.  
Hansen JK, Roulund H (1997) Silvae Genetica 46:107-112.  
井城泰一ほか (2009) 木材学会誌 55:18-28.  
栗延晋・久保田正裕 (2012) 林木育種のための統計解析, 140 pp, 林木育種協会, 東京.  
三嶋賢太郎ほか (2011) 木材学会誌 57:256-264.  
林木育種センター (2013) 平成 24 年版 林木育種の実施状況および統計, 81 pp, 森林総合研究所林木育種センター, 日立.  
田村明ほか (2002) 北海道の林木育種 45:1-3.  
山下香葉ほか (2007) 木材学会誌 53:72-81.  
(2013 年 11 月 13 日受付; 2014 年 1 月 28 日受理)