

北関東で成育する 19 年生コウヨウザンの木材性質とその家系間変異

Variation of wood characteristics of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) among nineteen years old families planted at North Kanto area

藤澤義武^{*1}・佐藤新一^{*1}・山田浩雄^{*1}・近藤慎二^{*1}

Yoshitake FUJISAWA^{*1}, Shinichi SATO^{*1}, Hiroo YAMADA^{*1} and Teiji KONDO^{*1}

* 1 森林総合研究所林木育種センター

Forest Tree Breeding Center, FFPRI, Ishi 3809-1, Jyuou, Hitachi, Ibaraki 319-1301

要旨：コウヨウザン(*Cunninghamia lanceolata*)は中国南部原産であり、成長旺盛で材質的に優れているところから、長江以南の重要な造林樹種となっており、我が国にも江戸時代後期に移入された。この旺盛な成長を活かした低コスト短伐期林業経営の確立へ寄与するため、材の需要開拓に必要な材質関連データの蓄積を目的とし、茨城県日立市で優れた成長を示す19年生のコウヨウザン、9家系の樹幹の応力波伝搬速度を測定した。その結果、最小値は2,520m/sec、最大値は4,195m/sec、平均は3,275m/secであり、29年生のスギ、28年生のヒノキのデータとの比較ではスギより優れ、ヒノキに近い性能であることが示唆された。本供試材料は17年生時の平均胸高直径が25cmと優れた成長を示しており、今回の結果によって構造材生産を目的とした短伐期施業の可能性が示唆された。また、応力波伝搬速度は家系間に有意差が認められたが、胸高直径との間に負の相関関係があった($r = -0.62$)。このため、短伐期構造材生産に向けた優良種苗の開発では、構造材としての優れた性能を活かし、成長に重点を置き、材質に関しては足りり程度とした選抜を実施するのが最良であると考えられた。

キーワード：コウヨウザン、早生樹、構造材利用、応力波伝搬速度、家系間差

Abstract : Chinese fir(*Cunninghamia lanceolata*) is an indigenous coniferous species in South China. It shows excellent growth with over 30m height and 1m diameter of stem, and also shows superior wood characteristics. Then Chinese fir is recognized as the most useful planting stocks in South China. Chinese fir was introduced to Japan in the late of Edo era, and there are many stands showing better growth than Sugi stands near those. Recently, some foresters aim to build up a forestry system by low-input and short term rotation with Chinese fir, and therefore data of wood characteristics are needed to develop the demand for its lumber. Authors collected data of stress wave velocity (SWV) of standing stems in 9 families of 19-year-old Chinese fir planted at Hitachi city. As a result, minimum value of SWV was 2,520m/sec, maximum value was 4,195m/sec, and mean value was 3,275m/sec. Those results were superior to the values of 29-year-old Sugi cedar, and similar to the values of 28-year-old Hinoki cypress. These families also showed excellent growth with stem diameters 25cm at 17-year-old. But a negative relationship ($r = -0.62$) was recognized between stem diameters and SWV. These results suggested that family selection should be planned mainly basis on the growth rate improvement and SWV is considered for sub-factor as a screening method.

Keywords: Chinese fir, fast grown species, structural timber, stress wave velocity, variation among families

I はじめに

コウヨウザン(*Cunninghamia lanceolata*)は中国南部原産で、長江以南の地域における重要な造林樹種の一つである。成長旺盛で、樹高は30m以上、胸高直径は1m以上に達し、樹幹は通直、材は加工が容易で、耐腐朽性、耐蟻性に優れる。我が国には、江戸時代後期に移入され、寺社林等各地に小規模の林分が点在し、優れた成長を示す例もある。

このため、1950年代にはコウヨウザンの成長に着目し、

短伐期林業経営への利用を目的とする試験的な植栽が各地で実施された。九州林木育種場（現森林総合研究所九州育種場）も1959年に熊本営林局（現九州森林管理局）と共同で阿蘇外輪山に台湾から導入したコウヨウザンの実生苗500本を試験植栽して調査結果を報告している（2）。それによれば、25年次の生存本数は397本、平均樹高は13m、胸高直径は18cm、林分材積は582m³/ha、30年次の生存本数は395本、平均樹高は17m、胸高直径は19cm（6~38cm）、林分材積は867 m³/haであり、30



図-1. 最大の調査木

Fig. 1 The maximum tree in
tested stand

を迎えており、伐採量の増加に見合った更新が行われず、再造林放棄地が拡大していくのではないかと憂慮されている。

そこで、コウヨウザンの優れた成長を施業コストの縮減や伐期短縮に活かして低コスト林業経営を図ろうとする向きがある。また、本樹種は地中海沿岸諸国や熱帯、亜熱帯地方に適応した造林樹種と捉えられているが、茨城県北部の日立市にある林木育種センターでコウヨウザンは同齡のスギよりも優れた成長を示しており、このことは比較的冷涼な地域にも適応できる可能性を示唆するものである。コウヨウザンの造林を推進するためには、コウヨウザン材の需要を創出する必要があり、材質に関するデータが必要不可欠となる。しかしながら、我が国ではコウヨウザンの材質に関する情報は少なく、しかも大半は中国のデータもしくは中国で採取した供試木に関するものであり、我が国の生育木についてのデータは皆無に近いのが現状である。

そこで、コウヨウザンの需要開拓に資する材質情報を蓄積するため、先述した日立市に植栽されたコウヨウザンを対象とし、ヤング率と相関の高い応力波伝搬速度を評価したので報告する。

II 材料と方法

1. 供試材料 供試材料は森林総合研究所林木育種センター構内（茨城県日立市）の遺伝資源保存園に植栽されているコウヨウザンであり、中国貴州省産9家系の実生苗によって1995年に造成された。試験設計は各家系を2列に割り付けた列プロットの乱塊法となっており、反復はない。試験地は台地の上部でほぼ平坦な南向き緩斜面である。調査時は極めて旺盛な成長を示し、最大木

年次における同林齢の隣接したスギ林との成長比較では、樹高で12%，胸高直径で14%，林分材積では41%上回っていた。

一方、我が国の林業は経済のグローバル化の影響などで衰退し、木材価格の低迷などによって林業家の経営マインドは低下する一方となっている。このため、拡大造林などで増大した人工林は主伐期

表-1. 系統別の供試個体数と折損率
Table 1 Number of samples and ratio of stem breakage trees to normal trees on each family

通し番号	系統名	個体数	胸高直径※(cm)	折損個体数	折損率
1	コウヨウザン109	31	25	7	0.23
2	コウヨウザン469	30	23	10	0.33
3	コウヨウザン470	38	23	10	0.26
4	コウヨウザン471	35	23	5	0.14
5	コウヨウザン472	29	24	2	0.07
6	コウヨウザン473	37	24	3	0.08
7	コウヨウザン582	15	24	1	0.07
8	コウヨウザン588	28	30	2	0.07
9	コウヨウザン593	18	33	7	0.39
計		261	25	47	0.18

*17年生時の測定結果

の胸高直径は50cmを越えていたが（図-1），植栽木の20%程度が折損木であった。しかし、生存木で6m材が採材可能であれば調査の対象とした結果、家系ごとの供試数は15~38個体となった。家系ごとの調査本数とそこに含まれる折損木の本数及び比率を表-1に示した。なお、調査時の林齢は標題のとおり19年生であった。

2. 実験方法 構造材利用における重要な材質指標であるヤング率と相関が高い応力波伝搬速度を立木状態で測定した。測定手順を次に示す。

樹幹の短径方向において樹幹方向に腐朽や変形などの欠点がない2部位を選択し、地上高70cmより上方へ1mの区間の応力波伝搬速度をTreeSonic（ハンガリー国FAKOPP Enterprise 製）によって測定した。これらを平均して個体の測定値とした。TreeSonicはスタート及びストップセンサー付きの精密ストップウォッチとも言うべき装置であり、2つのセンサーを測定する区間の両端にセットし、スタートセンサーをハンマーで叩くことで応力波の発生と測定のスタートを同時にを行い、発生した応力波がストップセンサーに達することでこの区間の伝搬時間を表示する。応力波伝搬速度は測定区間の距離を伝搬時間で除して求める。応力波伝搬速度とヤング率との関係を式1に示す。

$$Ed(P)=V(\text{m/sec})^2 \cdot \rho(\text{kg/m}^3) \quad \text{式1}$$

Ed:ヤング率, V:応力波伝搬速度, ρ:密度

すなわち、ヤング率 ($P=N/\text{m}^2$) は応力波伝搬速度 (m/sec) の自乗に密度 (kg/m^3) を乗じて得られることから、応力波伝搬速度の影響を強く受ける。スギ、ヒノキ、トドマツ等に加え、コウヨウザンにおいても相関係数0.8~0.9程度の高い相関関係が認められている。また、応力波伝搬速度は樹幹の凍結がない限り、年間を通じて測定が可能であり、2014年7月28~30日に測定を実施した。

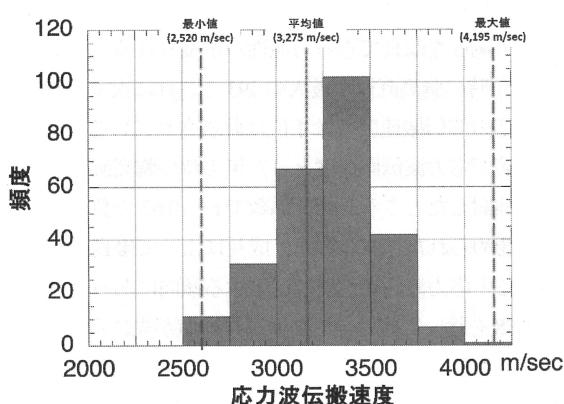


図-2. 測定した応力波伝搬速度の頻度分布

Fig.2 Frequency distribution of stress wave velocity

III 結果と考察

折損木を含む応力波伝搬速度の測定結果を頻度分布として図-2に示す。J字型に若干の歪みを認めるものの、概ね正規分布を示し、最小値は2,520m/sec、最大値は4,195m/sec、平均は3,275m/secであった。これらの値が相当するヤング率を次の手順で推定した。まず、コウヨウザンの生材密度値を次のように仮定した。木材活用辞典によるとスギの気乾密度は380kg/m³であるのに対して、コウヨウザンは既報ではほぼ同等の400kg/m³とされる(3)。また、針葉樹の立木状態での正常な辺材部は樹種にかかわらずほぼ飽水状態にある。これらから、コウヨウザンの生材密度はスギの生材密度と同様の700~800kg/m³程度とみなした。これを基に式1によってヤング率を計算すると最小値は4~5GP、平均値は7.5GP~

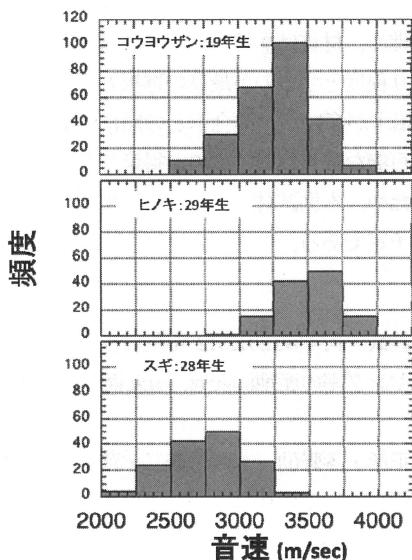


図-3. スギ、ヒノキの応力波伝搬速度との比較

Fig.3 Comparison of stress wave velocity among Sugi, Hinoki and Chines fir

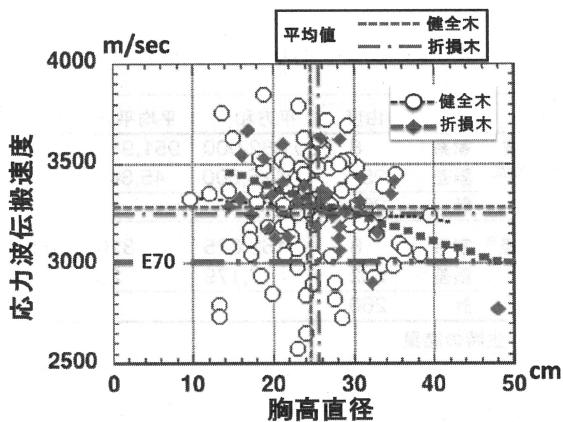


図-4. 応力波伝搬速度と17年生時胸高直径との相関関係

Fig.4 Relationship between stress wave velocity and DBH

8.5GP、最大値は12GP~14GPと推定される。また、本報告と同様の条件で測定した他樹種のデータがないので参考として九州の28年生のヒノキ、29年生のスギの応力波伝搬速度のデータとの比較を図-3に示した。本図ではコウヨウザンの応力波伝搬速度はスギを上回り、ヒノキに近い値を示しており、スギよりもむしろヒノキに近い性能であることを示唆する。中国のデータでは23年生個体からの供試材による評価でヤング率は9~12GP(4)、12年生の立木で評価したヤング率で7~10GPの値が得られており(1)、これらはスギの一般的な値7.4GPを上回り、ヒノキの値に近い。本報告では韌性への影響が大きい密度を評価していないので、今後さらにデータを蓄積する必要があるものの、我が国で造林したコウヨウザンも中国のものと同様に構造材としてスギを上回り、ヒノキに近い優れた性能を期待できることを示唆する。

一方、コウヨウザンはヤング率と成長形質との間に比較的強い負の相関関係があったことが報告されている(1)。本報告ではサイズを測定していないので、17年生時の胸高直径と応力波伝搬速度との相関関係を図-4へ示した。明確ではないものの、弱い負の相関関係が認められた($r=-0.23$)。ただし、先述の方法に従ったヤング率の推定により、3,000m/secで構造材利用の可否の判断基準の一つであるJAS機械的等級区分のE70をクリアすると判断できる。したがって、成長良好なものは応力波伝搬速度が下がる傾向にあるものの、大半は図-4に示した3,000m/secのラインを越えており、構造材利用に適した範囲に収まっていることを期待できる。

ところで、今回の測定値には折損木の測定値を含んでおり、表-1に示したとおり、全調査個体数の18%が

表-2. 分散分析の結果

Table 2 Results of analysis of variance

項目	変動因	自由度	平方和	平均平方	F値
応力波伝搬速度	家系	8	280,682,000	951,915	21.0
	誤差	252	11,425,600	45,340	
	計	260			
胸高直径*	家系	8	163,825	310	10.9
	誤差	252	7,179	28	
	計	260			

※ 17年生時の結果

折損木であった。そこで、応力波伝搬速度が折損木と健全木との間で差があり、両者を区分する必要があるのかを図-4から検討した。胸高直径は折損木が、応力波伝搬速度は健全木がそれぞれ上回ったものの、僅差であった。また、差をt検定した結果は応力波伝搬速度がp=0.45、胸高直径がp=0.54で有意ではなかった。ただし、折損木は応力波伝搬速度と胸高直径との間の負の相関関係がより明確に認められる傾向にあった($r=-0.46$)。

このように、折損個体と健全個体との間で応力波伝搬速度、胸高直径ともに差がなかったことから、家系間の変異についての分散分析は折損木と健全木を込みにして行った。植栽地はほぼ平坦地であり、林分内に大きな環境差はないことから、一元配置の試験設計として実施し、その結果を表-2に示す。表-2に示されるように応力波伝搬速度には家系間に0.1%水準の高い有意差が認められた。そこで、応力波伝搬速度と17年生時の胸高直径の家系平均値を最大、最小値とともに示したのが図-5である。応力波伝搬速度の最大値は472の3,449m/sec、最小値は588の2,896m/sec、その差は553m/secであった。先述した方法でヤング率を推定すると最大値は8.3~9.5GP、最小値は5.9~6.7GP、最大値と最小値の

差は2.1~2.4GPと推定できる。このように、家系選抜によって剛性を改良できる可能性が示唆される。しかし、17年生時の胸高直径が最大の593とこれに次ぐ588はともに応力波伝搬速度では下位に評価されている。家系平均値で応力波伝搬速度と17年生時の胸高直径との関係を検討したところ、相関係数で $r=-0.62$ の負の相関関係が認められた。すなわち、成長によって優良家系を選抜すると応力波伝搬速度は低下する傾向にあった。ただし、588を除いて他の全ての家系平均値が先に示したE70のクリアが期待できる3,000m/secを越えており、胸高直径最大の593の応力波伝搬速度も3,119m/secであった。すなわち、コウヨウザンは応力波伝搬速度から推測されるヤング率は十分に高いので、成長に基づいて選抜したうえで、例えばE70を閾値として足きりを行うことによって、成長に優れ、材質も適切な性能を示す家系を選抜できると考えられる。

IV まとめ

北関東に位置する日立市に造林した貴州省産9家系のコウヨウザンは17年生時に平均胸高直径25cmの優れた成長を示し、19年生時には構造材利用においてヒノキに迫る優れた性能を示した。このことは、構造材生産を目的とした短伐期施業が可能であることを示唆するものである。また、19年生時の応力波伝搬速度、17年生時の胸高直径ともに家系間に有意差があったが、それぞれの家系平均値の間に負の相関関係があった。このことは成長と材質の同時改良が難しいことを示唆する。このことから、応力波伝搬速度は十分に高いので、成長に重点を置いた選抜を進め、材質は構造材利用を念頭においた基準による足きり程度とするのが最良の選択と考えられる。

また、折損木が多いが、健全木との間に性能の差もないことから可能な限り利用するのが得策であり、その可能性を探るため、本供試材料について折損木の腐朽程度を把握する予定である。

引用文献

- (1) 藤澤義武・何学友(2012)12年生コウヨウザンにおける樹幹ヤング率の産地間変異. 関東森林研究 63(1): 59-62
- (2) 森田正彦・冬野劭一・西村慶二・藤正勝 (1988) コウヨウザン 30年生林分についてのスギとの成長比較. 九州林木育種場年報 17: 91-98
- (3) 劉元・中山義雄(1999) コウヨウザン植栽木の曲げ強さ. 木材学会誌 44(6): 387-394
- (4) 劉元・中山義雄・金川靖・藤原新二(1999) コウヨウザン植栽木の曲げ仕事量. 木材学会誌 45(5): 359-366

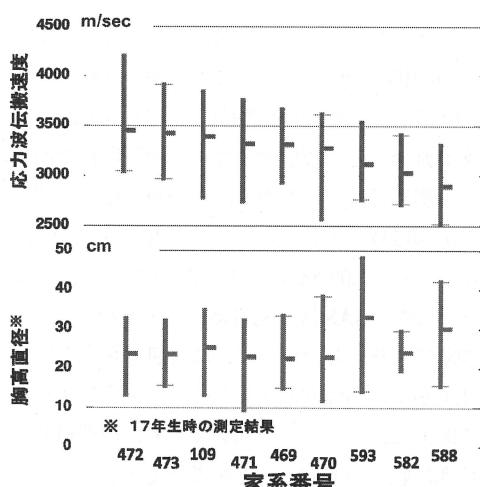


図-5. 家系平均値の比較

Fig.5 Comparison of mean values among families