

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

藤澤義武(林育セ), 何学友(福建省林科院)

要旨: 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、耐虫性にも優れるところから、中国では建築、船舶、器具、棺材等に広く利用されている。我が国には、江戸時代後期に移入されたとされ、寺社林等に古木が見られる他、各地に小規模の林分が点在し、周囲のスギ林等に比べて格段に優れた成長を示している例が散見される。このこともあって、我が国においてもコウヨウザンによって低コスト短伐期林業経営を目指す向きがあり、その実用化に向け、材の需要を開拓するために木材の理学、力学的特性に関するデータが求められている。そこで、12年生のコウヨウザン産地試験地において樹幹ヤング率を測定した結果、平均胸高直径は17cmと旺盛な成長を示し、平均ヤング率は8.5GPaと構造材として利用可能な値を示した。これらは構造材生産を目的とした短伐期経営の可能性を示唆する。また、ヤング率は産地間に有意差が認められ、6.6GPaから10.0GPaまでの変異があった。これは、育種による改良が可能であることを示唆するものである。

キーワード: コウヨウザン、ヤング率、産地試験地、早生樹

Abstracts: Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) is an indigenous coniferous tree in South China with height of 30m and stem diameter of 1m. It also has superior characteristics, for example straight stems, easy for processing, resistant to decay, resistant to bole insects and so on. Then, Chinese fir is recognized as the most useful coniferous species in South China.

Chinese fir was introduced to Japan in end of Edo era, and there are many stands showing better growth than about Sugi stands. Recently, some forester aim to use Chinese fir for a short term rotation. So they would collect data of wood characteristics on timber uses to develop the demand for its lumber. On the other hand, author could collect data of modulus of elasticity (MOE) of standing stems at 12 years provenance test stand established in Fujian province of China. As a result, total mean value of diameter of breast height was 17.1cm and same value of MOE was 8.5GPa which means to suitable for structural timber use. It was recognized a statistical significant difference among mean values for provinces of MOE at 1% significant level, varied from 6.6GPa to 10GPa. This result suggested that Chinese fir has a potential to improve MOE with a clonal selection of superior clones.

Key words: Chinese fir, Modulus of elasticity, provenance test, fast grown species

I 今なぜコウヨウザンか?

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以上に達するうえに、樹幹は通直、材は加工が容易で、耐腐朽性、耐虫性にも優れるところから、中国では建築、船舶、器具、棺材等として広く利用されている。我が国には、江戸時代後期に移入されたとされ、寺社林等に古木が見られる他、各地に小規模の林分が点在し、周囲のスギ林等に比べて格段に優れた成長を示している例が散見される。

このような背景からコウヨウザンの成長に着目し、早生樹として短伐期林業経営への利用をねらった向きがあ

り、拡大造林が盛んな1950年代には各処で試験的に植栽された。九州林木育種場(現森林総合研究所九州育種場)は、1959年に熊本営林局(現九州森林管理局)と共同で台湾から導入したコウヨウザンの実生苗500本で0.13haの試験地を阿蘇外輪山に造成し、植栽後25年次、30年次における成長の調査結果を報告している(3)。それによれば、25年次の生存本数は397本、平均樹高は13m(5~19m)、胸高直径は18cm(6~34cm)、林分材積は582m³/ha、30年次の生存本数は395本、平均樹高は17.2m(10~23m)、胸高直径は18.9cm(6~38cm)、林分材積は867m³/haであった。また、30年次に隣接する同林齢のスギ林と成長を比較したところ、樹高で12%、胸高直径で14%、林分材積では41%上回っていた。このように、

Yoshitake FUJISAWA, (Forest Tree Breeding Center, FFPRI, Ishi 3809-1, Jyuh, Hitachi, Ibaraki 319-1301), He XUE-YOU (Research Department of Forest Protection Fujian Research Institute of Forestry, Xingdian 35, Fuzhou, Fujian, China), Comparison of modulus of elasticity between China fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.), Hook) on twelve years old provenance test stand.

成長に優れたコウヨウザンであるが、大規模に造林されることはなく、今日に至っている。

一方、拡大造林等によって増大した人工林が主伐期を迎え、さらには「森林・林業再生プラン」もあって伐採量とそれに伴う更新面積の増加が予測されている。しかし、木材価格の低下、さらにはシカ害の激増等によって造林マインドは低下しており、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することを憂慮する向きもある。

このような状況下、コウヨウザンの優れた成長を見直し、これ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の実現を図ろうとする動きがある。さらには、コウヨウザンがシカ害を受けにくいと言う報告(1)から、シカ害忌避への期待もある。また、本樹種は原産地の中国における自然分布が長江以南に限定されているところから、地中海沿岸諸国、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、北関東の茨城県日立市にある林木育種センターでもコウヨウザンはスギを凌駕する優れた成長を示しており、比較的冷涼な地域にも適応できる可能性がある。

ところで、コウヨウザンはスギ科に属するが、材の外見はスギよりもマツに近く、材色や光沢ではマツとヒノキの中間にある。コウヨウザンの材は、原産地中国において我が国のスギと同種である柳杉よりも高価に取引され、広く利用されているが、我が国では小規模に中国からフローリング材が輸入されている程度で、一般にはなじみが少ない。また、材の理学・力学的性質に関する情報が少ないが、劉らが広東省から採取した試験材の密度やヤング率(MOE)等を報告した例がある(4, 5, 6)。それによると、気乾密度は 400kg/m^3 前後でスギのそれとほぼ同等か若干上回るが、密度の半径方向の変化はマツ類と同様に髄から樹皮に向かって上昇する傾向にあり、スギでは髄で高く樹皮に向かって低下する傾向にあるとは異なる。また、MOEについて、成熟材部ではマイクロフィブリル傾角よりも密度の影響が強いことも報告しており(5)、このこともマツ類に類似した傾向である。

このように、コウヨウザンはスギ同様に針葉樹材としては比較的軽い部類に属するものの、密度、MOEの半径方向の変異等の特徴はマツ材に似た傾向を示す。

また、コウヨウザンは挿し木が容易であることも知られており、このことはクローン品種の育成が可能であることを示唆する。前述したように我が国各地にはコウヨウザンの林分が点在しており、これらから成長、材質に優れた個体を選抜してクローン品種化することにより、さし木林地帯である九州等で造林の促進に寄与できる

可能性がある。しかしながら、コウヨウザンの造林を拡大するためには、我が国でなじみが薄い材の需要を開拓する必要があり、そのためには木材の利用拡大に資する材質データの蓄積が求められるところである。

筆者はかつて中国においてヤング率の非破壊的測定技術の移転を行った際、12年生の産地試験地において樹幹ヤング率を測定する機会を得た。今回はそのデータから構造材としての利用及び育種技術による材質改良の可能性を検討した。

II 材料と方法

供試材料は、中国内の自然分布域内 81 産地の実生苗によって 1981 年に造成した「広葉杉産地試験地」である。本試験地は福建省福州市から北西方向 150km の南平市郊外、来舟に位置する。試験設計は三重格子法に従っており、 2×2 個体の方形プロットに各産地を割り付け、これを 9×9 プロットの方角ブロックに配置し、これをさらに 10 回反復させるものである。ここから 20 産地を選択し、10 反復のうち 2 反復でプロットごとに 2 個体の MOE を測定した。よって、供試個体数は 2 (個体) $\times 2$ (反復) $\times 20$ 産地 = 80 個体となる。なお、植栽間隔は 2×2 m、測定時の林齢は 12 年生であったが、林冠はすでに完全に閉鎖した状態にあった。

MOE はぶら下がり法によって測定した。本手法は小泉らによって開発され(6)、図 1 に示したように立木の 1.8m 点に設置した 1.2m 長のカンチレバーに測定者がぶら下がって樹幹に曲げモーメントを加え、これによる樹幹の曲げ変形量をカンチレバーの反対側に設置した変

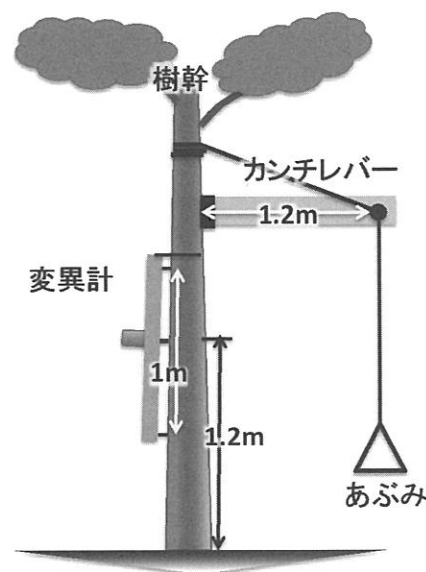


図-1. ぶら下がり法によるヤング率測定の概要
Fig.1 Outline of the bending test system on standing trees.

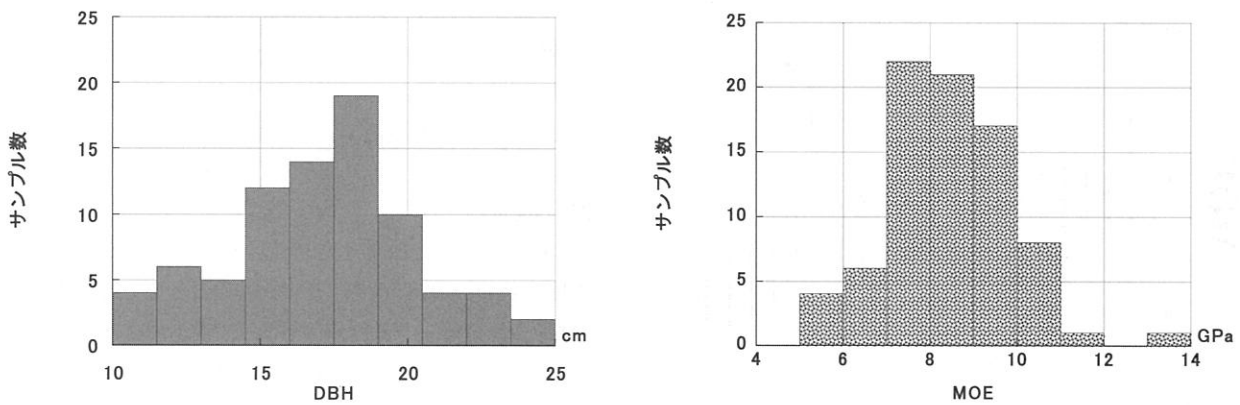


図-2. ヤング率と胸高直径の測定結果の頻度分布

Fig.2 Histograms of MOE and DBH of 12 years old China fir.

異計によって測定し、MOE を得るものである。変異計の測定スパンは 1m であり、中心位置にデジタルリニアゲージを取り付け、地上高 1.2m 点を中心にこの区間の曲げ変形量を 1/1000mm 単位で測定する。荷重となる測定者については、午前と午後の測定開始前に衣服、装備を含めた体重をヘルスメーターで測定した。また、カンチレバー設置点及び地上高 1.2m 点の直径を直径巻き尺によって 1mm 単位で測定するとともに、地上高 1.2m 点の樹皮厚を樹皮厚計によって 1/10mm 単位で測定し、樹幹の木部のみ直径（木部径）の算出に用いた。これらの測定値を次式に代入して MOE を得た。

$$E_s = S^3 M / (2 \pi \sigma (\rho 120 - t_b)^4)$$

s : 矢高測定区間長、M: 曲げ負荷モーメント（試験者体重 × (カンチレバー長 + カンチレバー設置点の半径)）、 $\rho 120$: 地上高 120cm 点の樹皮付き半径、 t_b : 平均樹皮厚、 σ : 曲げ変形量

なお、求めた MOE に対する樹幹形状、テーパの効果による剪断負荷たわみ、体重の変化等の影響は数%程度とされている (6)。

III 結果と考察

測定の結果、胸高直径 (DBH) は 10.5cm~24.3cm の範囲にあり、MOE は 5.5~13.5GPa の範囲にあった。それぞれの頻度分布を図 2 に示したが、各測定項目ともに概ね正規分布と見なせるものであり、胸高直径の平均値は 17.1cm、MOE の平均値は 8.5GPa であった。この MOE 値は木材工業ハンドブック (第 3 版) に示されたスギの値 7.4GPa を上回る。

先述したように当該林分は測定時には林冠が完全に閉鎖しており、こうした状況下においてぶら下がり法では枝がふれあうことによって MOE を過大に評価する可能性がある。一方、劉らは広東省から採取した供試材のヤン

グ率を年輪別に測定し、髓から 12 年輪目では 9~12GPa であったことを報告している (4)。今回の結果は、立木、すなわち生材状態での MOE を示しており、気乾状態では 20% 程度上昇することを考慮すると劉らと同様の値となる。このことから、特に過大に測定した可能性は少ないものと考えられる。

12 年生では未成熟材部の影響が強いと考えられるが、それにもかかわらず、機械的等級区分で E70 を上回る性能を示した。このことは、すでに構造材としての利用が可能であることを示唆するものであり、成長のみならず、材質的にも短伐期経営の可能性を示唆するものである。

測定値の分散分析結果を表 1 に示す。供試した産地試験地は、三重格子法で試験設計されているものの、供試産地、反復の一部を使用していること、供試した 2 ブロックは平均胸高直径がそれぞれ 17.0cm、17.3cm と両者に成長の差が認められなかったことから、ブロックを込みにして一元配置で行った。産地毎の供試数が 4 個体と少なく、産地間差を検出するためには厳しい条件であったが、MOE では産地平均値間に 1% 水準で有意差が認められた。しかし、DBH には有意差は認められず、産地間差を有意に比較するためにはサンプル数が少なかったと考えられる。

図 3 は MOE の産地ごとの平均値の比較を示しており、

表-1. ヤング率と胸高直径の分散分析結果
Table 1. Analysis of variances of MOE and DBH.

	変動因	自由度	平方和	平均平方	F値
MOE	産地間	19	70.4	3.70	2.5 **
	誤差	60	90.1	1.50	
DBH	産地間	19	275.7	14.51	1.7 NS
	誤差	60	509.3	8.49	

** : 1%水準で有意、NS : 有意差無し
MOE : ヤング率、DBH : 胸高直径

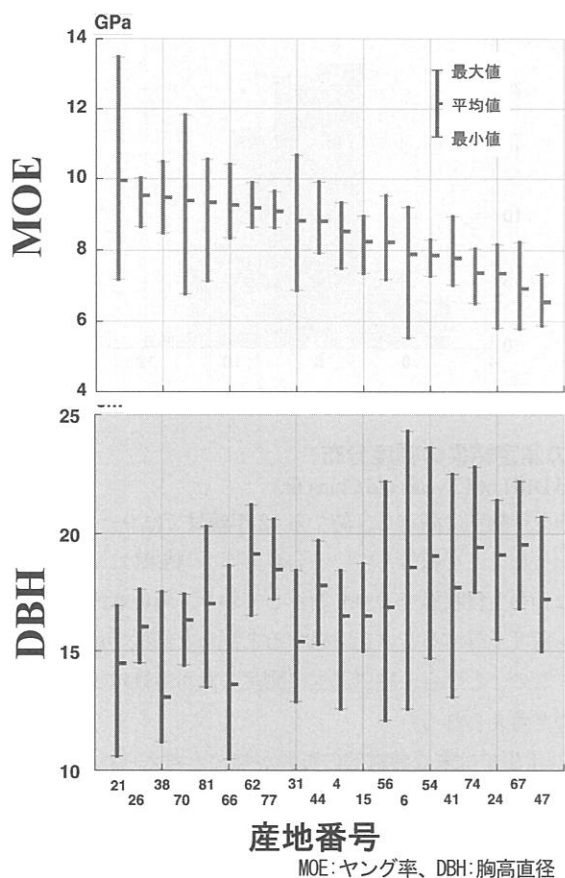


図-3. ヤング率と胸高直径の産地別平均値
Fig. 3 Mean values of MOE and DBH on provenances.

産地毎の最大値及び最小値を同時に示した。また、参考としてDBHについても同様に平均値、最大値、最小値を示した。ここに示したとおり、MOEには産地番号47の6.6GPaから同じく21の10.0GPaまでの変異が認められた。一方、MOEとDBHでは産地ごとの平均値が異なった傾向を示した。そこで、図4にDBHとMOEとの相関関係を示したが、DBHとMOEの間に0.1%水準で有意な負の相関関係が認められた。ただし、寄与率は23%と大きくは

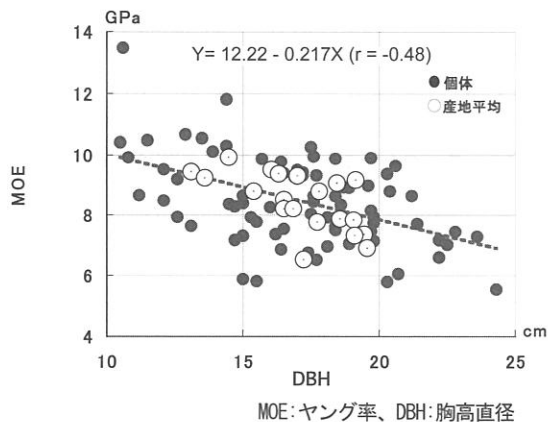


図-4. ヤング率と胸高直径の相関関係
Fig. 4 Relationship between MOE and DBH.

なかった。これは、スギではDBHとMOEの間に明確な相関関係が認められないのとは異なっており、成長・材質の同時改良を目標とした選抜はそれぞれの形質の選抜効果を損ない、効果的ではないこと示す。

IV まとめ

コウヨウザンは12年生でDBHが17cmに達する優れた成長を示すだけでなく、建築用構造材として利用可能な高いMOEを示し、これらは短伐期で構造用材を生産できる可能性を示す。また、MOEは産地間に有意差がみとめられ、変異幅も大きかったが、DBHとMOEの間には負の相関関係が認められ、MOEとDBHの同時改良をねらうのは得策ではないことが示された。したがって、コウヨウザンは十分に高いMOEを示すことを考慮し、例えば構造材利用としての指標となるE70を材質評価の閾値としてこれを上回る成長良好な系統を選抜するなど、選抜法を考慮する必要がある。

冒頭に述べたとおり、コウヨウザンは比較的広い範囲に適応できる可能性がある。また、コウヨウザンはシカ害を受け難いとする報告もあり、こうした面での効果も期待できる可能性がある。初期成長に優れたスギ等によって短伐期低コスト林業を指向する向きがあるが、この面において、コウヨウザンも選択肢の一つとして考慮する価値があろう。

引用文献

- (1) 門脇正史、遠藤好和(2006) 南アルプス静岡地域におけるイチイ (*Taxus cuspidate*) 人工林のニホンジカ (*Cervus nippon*) による被害、森林立地、Vol. 48, No. 2, 99~103
- (2) 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、北大演報、Vol. 44, No. 4, 1329~1415
- (3) 森田正彦他(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号: 91~98.
- (4) 劉元他(1999) コウヨウザン植栽木の曲げ仕事量、木材学会誌、Vol. 45, No. 5: 359~366.
- (5) 劉元他(1999) コウヨウザン植栽木の曲げ強さ、木材学会誌、Vol. 44, No. 6: 387~394.
- (6) 劉元他(1998) コウヨウザン植栽木の年輪構造に及ぼす地位及び成長の影響、木材学会誌、Vol. 44, No. 3: 153~161.