

【特 集】 これからの林業とコウヨウザン

## コウヨウザンの材質

涌嶋 智<sup>\*,1</sup>・渡辺 靖崇<sup>1</sup>

### はじめに

コウヨウザン（広葉杉、*Cunninghamia lanceolata* Hook.）は、ヒノキ科コウヨウザン属の常緑針葉樹で、主に中国、台湾に分布しており、中国においては主要な造林樹種の一つで、建築材、内装材、合板、家具材、棺材等に利用されている（林 1969；劉 1999；立花 2009）。日本には江戸時代後期に導入され、社寺有林などに単木的に植えられているほか、各地の大学演習林や国有林等に林分があることが報告されている（近藤ら 2016）。

コウヨウザンは成長が早く幹が通直で、胸高直径 1 m 以上、樹高 30 m 以上に達するほか、伐採後に萌芽更新が可能という特徴があり、再造林時における植栽樹種の選択肢の一つとして期待されている。一方で、今後コウヨウザンを林業用の樹種として利用していくとするならば、その材質を明らかにし、どのような用途に使うことができるかを検討する必要がある。このため、本研究では、平成 27 年に広島県庄原市の民有林内、平成 28 年に茨城県日立市の森林総合研究所林木育種センターの遺伝資源保存林内のコウヨウザン林分においてそれぞれ立木を伐採し、実大の製材品を作成して強度試験や材質評価を行った。

日本で生育したコウヨウザンの強度や材質については、いくつかの調査事例があるが（福田・村山 1956；森田ら 1990；井上・豆田 2014；上杉・黒木 2016；涌嶋ら 2017）、これらの研究ではいずれも供試個体数が 3 以下であった。コウヨウザンの生育本数が少ないため、伐採して材質等の試験に供することができるサンプル数が限られるのは仕方のないことではあるが、コウヨウザンの材質を明らかにするためには、より多くの個体を調査する必要がある。このため、本研究においては、先行事例と比べて供試個体数を多く取ることとし、庄原市産で 10 個体、日立市産で 26 個体とした。また、実際の製品を想定した平角材（庄原市産）および正角材（日

立市産）の実大試験体の曲げ強度試験を行い、強度性能を明らかにすることとした（渡辺ら 2017）。

なお、本研究は平成 27～29 年度農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「西南日本に適した木材強度の高い新たな造林用樹種・系統の選定及び改良指針の策定」によって実施したものである。

### 材料と方法

#### 林分状況と供試材料

##### (1) 広島県庄原市民有林

材料を採取したのは、広島県庄原市川北町の民有林内のコウヨウザン林分（北緯 34°54'06"、東経 133°00'45"、標高 310～370 m）で、伐採時点で 52 年生であった。所有者への聞き取りによると、種子を昭和 30 年頃に台湾から導入し、実生苗木を母樹としてさし木クローン苗を養成し（磯田ら 2016）、昭和 40 年（1965 年）頃に 3,000 本/ha の密度で植栽した。初期に下刈り、枝打ち等を行い、その後施業は行っていないが、平成 20 年前後に一部で搬出間伐を実施し、平成 27 年度時点での立木密度は 1164 本/ha であった（近藤ら 2016）。

平成 27 年 10 月 13～15 日に約 0.7 ha の毎木調査を行い伐採対象を選木した。選木基準は、最大の元口径が 50 cm 以下で、最小の末口径が 30 cm 以上（心去り平角 2 丁取りを想定）の長さ 4 m の原木丸太が 4 玉採材できる立木とした。平成 27 年 10 月 20、21 日に立木を 10 本伐採し、原木丸太を 40 本採材・搬出した（図-1）。

平成 27 年 10 月 21 日に搬出した原木丸太のうち末口径の大きい 34 本について、全長、元口径・末口径、重量及び縦振動法による動的ヤング係数測定を行った（図-2）。

原木丸太は中国木材株式会社北広島工場へ搬送し、製材後、同社本社工場において乾燥、仕上げを行った。製

\* E-mail: s-wakushima81268@pref.hiroshima.lg.jp

<sup>1</sup> わくしまさとる、わたなべやすたか 広島県立総合技術研究所林業技術センター林業研究部



図-1 コウヨウザンの原木丸太の搬出(広島県庄原市)



図-2 縦振動法による原木丸太の動的ヤング係数測定

材サイズは、平角材が心去りの2丁取りで仕上がり製品寸法が $105 \times 150 \times 4,000$  mmとした。乾燥は $80^{\circ}\text{C}$ 一定で約10日間で行った。ひき板材は平角材製材後の周辺部から採取し、仕上がり寸法が $20 \times 90 \times 4,000$  mmとした。最終的に作成した平角材の数量は56本、ひき板材は220枚であった。

(2) 茨城県日立市林木育種センター構内遺伝資源保存林対象とした茨城県日立市十王町伊師の林木育種センター構内の22年生コウヨウザン林分(北緯 $36^{\circ}41'38''$ 、東経 $140^{\circ}41'22''$ 、標高50m)は、中国貴州省産の種子をもとに苗木を育成し、当初1,852本/haの密度で植栽したもので、枝打ち、間伐等の施業はしていない。平成28年度時点での立木密度は1,346本/haであった。

平成28年10月12日、13日に立木を26本伐採し、長さ4mで各2玉ずつを目途に原木丸太を採材した。このうち、末口径が小さいものを除き、50本を広島県の

中国木材株式会社北広島工場へ搬送し、平成28年10月19日に全長、元口径・末口径(長辺および短辺)、重量、縦振動法による動的ヤング係数を測定した。

庄原市産と同様に、製材は中国木材株式会社北広島工場で、乾燥・仕上げは同社本社工場で行った。原木丸太の中心部から心持ち正角を取ることとし、製材サイズは仕上がり製品寸法が $105 \times 105 \times 4,000$  mmとした。乾燥は $120^{\circ}\text{C}$ で表面セット後 $60^{\circ}\text{C}$ まで下げて行った。ひき板材は平角材製材後の周辺部から採取し、仕上がり寸法が $20 \times 100 \times 4,000$  mmとした。作成した正角材の数量は42本、ひき板材は170枚であった。

### 製材品の強度試験

#### (1) 縦振動法による動的ヤング係数測定

庄原市産の平角材、ひき板材、日立市産の正角材、ひき板材について、全製材品の重量、高さ、幅、長さを計測した後、縦振動法による動的ヤング係数を測定した。

#### (2) 実大曲げ強度試験

庄原市産の平角材49本、日立市産の正角材42本について、構造用木材の強度試験マニュアル(日本住宅・木材技術センター2011)に従い、実大曲げ試験機(前川試験機製作所製、最大容量1,000kN)を使用して、3等分4点荷重、支点間は厚さの18倍、荷重点間は厚さの6倍の条件で、曲げ強度とせん断を含む見かけの曲げヤング係数(以下「見かけの曲げヤング係数」と略する)を測定した(図-3)。また、曲げ強度試験実施後に各試験体からサンプルを採取して含水率を算出した。



図-3 実大曲げ試験機(前川試験機製作所製、最大容量1,000kN)による曲げ強度試験

### 製材品木口の年輪

製材品の木口面の年輪について、髄からの距離を計測した。庄原市産の平角材については、曲げ強度試験実施後に両木口から約1m内側に寄った位置から採取した含水率測定用のサンプルについて、髄から反対側にある角まで2方向を測定した。日立市産の正角材は、曲げ試験用の試験体作成時に切断した面について、中心の髄から各角まで4方向を測定した(図-4)。

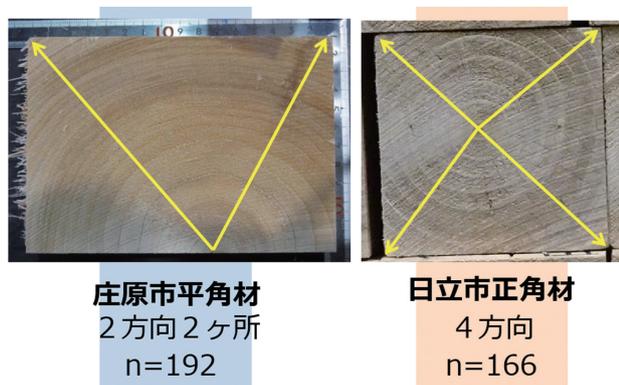


図-4 製材品木口の年輪計測(髄から頂点までの年輪数、年輪幅)

## 結果

### 原木丸太の動的ヤング係数等

#### (1) 原木丸太の調査結果

表-1に庄原市産と日立市産の原木丸太の調査結果及び縦振動法による動的ヤング係数の平均値及び標準偏差を示す。材の末口・元口径、材積は庄原市産が大きい、密度については逆に日立市産の方が高い値を示した。日立市産の密度が高い理由として、含水率の高さのためと推察される。動的ヤング係数は庄原市産の方が高い値を示した。

#### (2) 採材位置による動的ヤング係数と密度

図-5に原木丸太の採材位置ごとの動的ヤング係数を示す。庄原市産、日立市産とも、1番玉よりも2番玉の

方が高い傾向を示した。庄原市産では、2番玉が最も高く、3番、4番と低下していた。

図-6に原木丸太採材位置ごとの密度を示す。庄原市産、日立市産とも1番玉が低く、2番玉で上昇していた。庄原市産では、3番、4番と上になるほど高い値となった。これは含水率の高い辺材部の原木丸太全体に占める割合が、上部に行くほど高くなるためと推察される。

#### (3) 動的ヤング係数の分布

図-7に原木丸太の動的ヤング係数の等級区分ごとの出現率を示す。庄原市産ではE90が最も多く、次いでE110であったが、日立市産ではE70が最も多く、次いでE90であった。

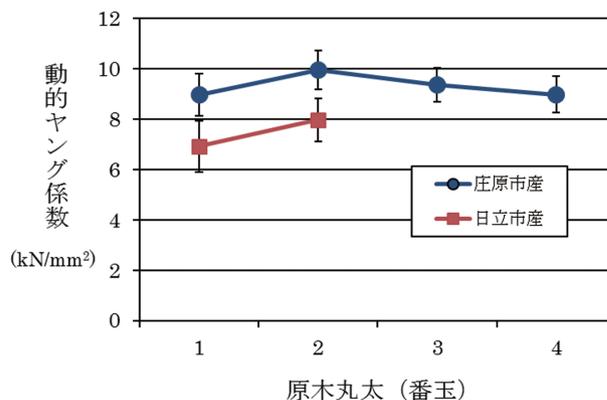


図-5 原木丸太採材位置ごとの動的ヤング係数(平均値及び標準偏差)

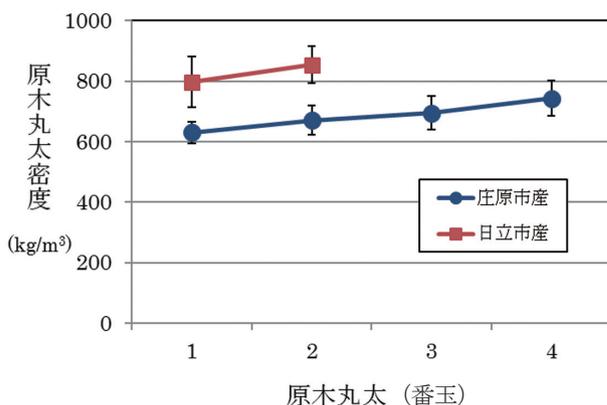


図-6 原木丸太採材位置ごとの密度(平均値及び標準偏差)

表-1 原木丸太の調査結果(平均値)

産地	本数	平均重量(kg)	平均材長(mm)	平均末口径(mm)	平均元口径(mm)	平均材積(m³)	平均密度(kg/m³)	動的ヤング係数 平均値±標準偏差 (kN/mm²)
庄原市	34	292.1	4200	339	379	0.44	676	9.37 ± 0.84
日立市	50	163.3	3992	223	278	0.20	825	7.43 ± 1.10

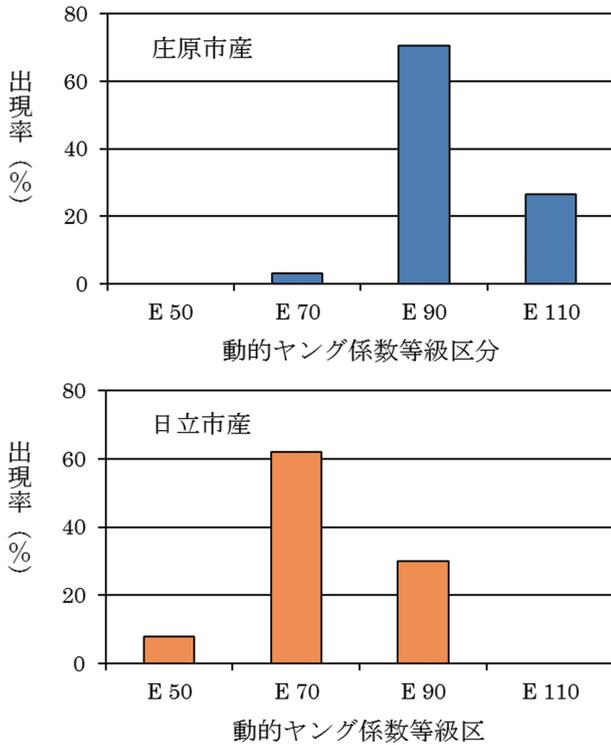


図-7 原木丸太の動的ヤング係数等級区分

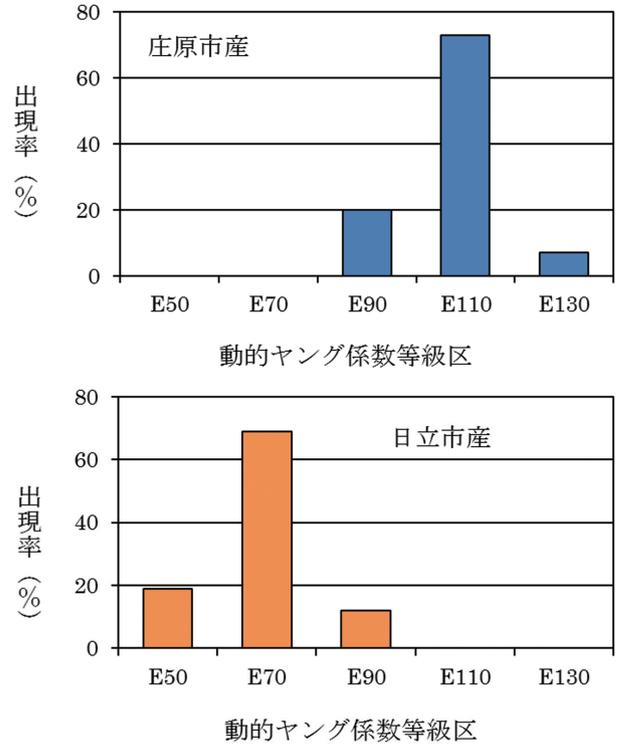


図-8 製材品の動的ヤング係数等級区分

製材品の動的ヤング係数

(1) 平角材および正角材

表-2に製材品の調査結果を示す。動的ヤング係数は庄原市産が平均 10.56 kN/mm<sup>2</sup> に対し、日立市産は 7.45 kN/mm<sup>2</sup> とやや低めの数値となった。また、日立市産の製材後の含水率が 37.4% と高かったほか、乾燥による内部割れが多く見られた (42 断面中 30 断面) ことから、材の乾燥を行う前に原木丸太の含水率を把握するとともに、乾燥スケジュールの検討を行う必要があると考えられる。

図-8に製材品の動的ヤング係数の等級区分ごとの出現率を示すが、庄原市産では原木丸太よりやや高めで E110 が最も多く、日立市産では原木丸太と同様に、E70 が最も多かった。

(2) ひき板材

表-3にひき板材の動的ヤング係数の測定結果を示す。

表-3 ひき板材の動的ヤング係数測定結果

産地	本数	平均密度 (kg/m <sup>3</sup> )	動的ヤング係数 平均値±標準偏差 (kN/mm <sup>2</sup> )
庄原市	220	386	12.17 ± 1.26
日立市	169	329	8.10 ± 1.17

ひき板材の動的ヤング係数は庄原市産、日立市産とも原木の中央から製材した平角材・正角材よりも高い数値であった。劉・中山 (1998)、井上・豆田 (2014) は、コウヨウザンの曲げヤング係数が髓から外側に向かって大きくなる傾向があることを報告しており、同様の結果となった。

図-9にひき板材の動的ヤング係数の等級区分ごとの出現率を示す。庄原市産では L80 ~ L140 の範囲で、最も多かったのは L110 で約 6 割を占めた。日立市産では L60 ~ L110 の範囲となり、L70 が約 4 割、次いで L80 が約 3 割であった。

表-2 製材品の動的ヤング係数調査結果

産地	製材	本数	平均密度 (kg/m <sup>3</sup> )	平均含水率 (%)	動的ヤング係数 平均値±標準偏差 (k N/mm <sup>2</sup> )
庄原市	平角	56	378	18.6	10.56 ± 0.90
日立市	正角	42	418	37.4	7.45 ± 1.08

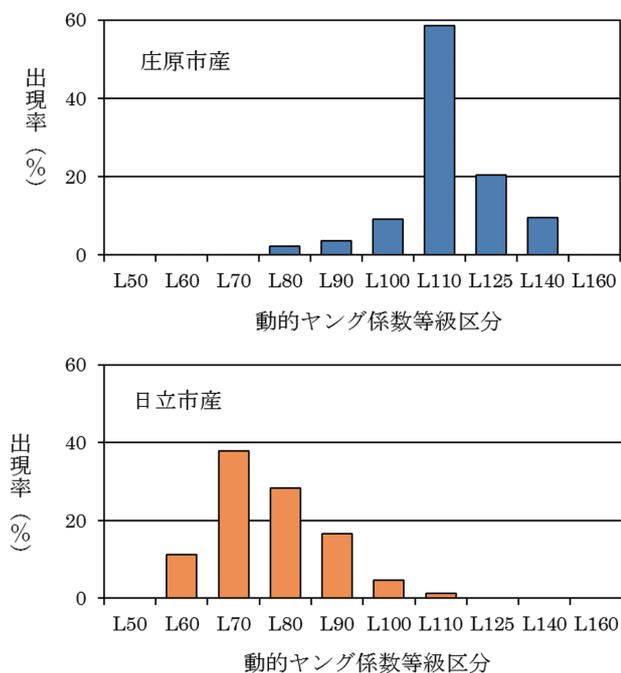


図-9 ひき板材の動的ヤング係数等級区分

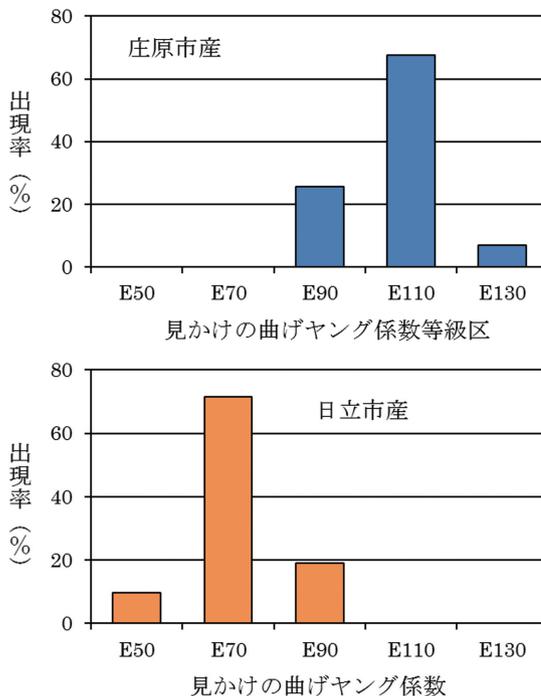


図-10 見かけの曲げヤング係数の等級区分 (含水率調整後)

製材品の曲げ強度試験

表-4 に製材品の曲げ強度試験の結果を示す。なお、庄原市産平角材 49 本のうち 6 本は台風害によるモノ等で折れたためデータから外した。一方、日立市産正角材は節が多く表面に出ており、この部分で折れるものが多かった。スギ、ヒノキの無等級材基準強度 (建設省告示第 1452 号第 6、曲げ強度) はそれぞれ 22.2 N/mm<sup>2</sup>、26.7 N/mm<sup>2</sup> であるが、これをコウヨウザンの曲げ強度の 5% 下限値と比較すると、庄原市産でヒノキを上回り、日立市産でスギをやや下回っていた。一方、見かけの曲げヤング係数の 5% 下限値については、普通構造材の繊維方向特性値の基準弾性係数 E<sub>0.05</sub> (日本建築学会木質構造設計基準) のスギ 4.5 kN/mm<sup>2</sup>、ヒノキ 6.0 kN/mm<sup>2</sup> と比較すると、庄原市産がヒノキを上回り、日立市産がスギとヒノキの中間の値であった。

見かけの曲げヤング係数の等級区分を図-10 に示す。庄原市産では E110、日立市産では E70 が最も多く出現した。

製材品木口の年輪

図-11 に木口の年輪と木取りの模式図を示す。庄原市産平角材では木口で観察される平均年輪数が 27 であったが、初期成長が早くかつ中心部から採材している日立市産正角材では、平均年輪数が 7 であった。劉 (1999) はコウヨウザンの未成熟材部は髄からの年輪数で 16 ~ 20 年までの範囲であるとしているが、初期成長の速度や木取りの方法によって製材品の中に占める未成熟材と成熟材の割合が増減し、これが材の強度の差に影響している可能性がある。

その他の特徴

コウヨウザン製材品の表面に成長点の痕跡である小孔が、節の周辺などに列状に並んで観察される場合がある (玉泉・須崎 1989)。また、製材品の表面や節に白色の針状結晶が見られることがある (図-12)。これは

表-4 製材品の強度試験結果

産地	製材	本数	平均含水率 (%)	曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )		見かけの曲げヤング係数 (k N/mm <sup>2</sup> )	
				平均値±標準偏差	5% 下限値	平均値±標準偏差	5% 下限値
庄原市	平角	43	18.6	41.6 ± 6.6	29.5	9.69 ± 0.81	8.21
日立市	正角	42	37.4	23.3 ± 4.1	16.6	6.34 ± 0.83	4.83

幹内に含有されるセドロール (Cedrol) というセスキテルペン類の一種が析出したものである (加福 1917)。

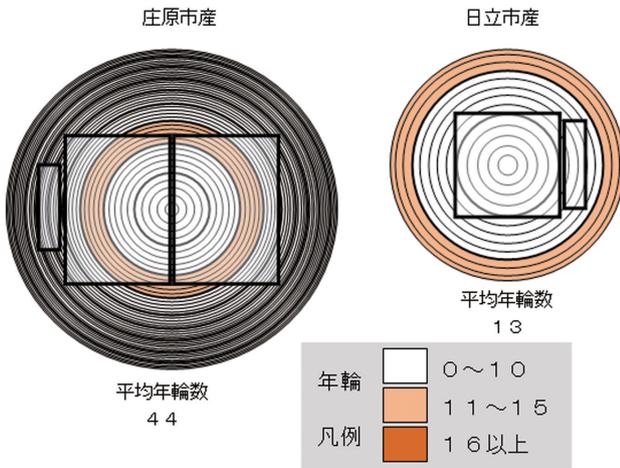


図-11 年輪数と木取りの模式図 (円は髓から各年輪までの距離の平均値)



図-12 節の周辺の成長点痕跡 (小孔) と節に析出したセドロール結晶

### 考 察

これまで日本で植栽されたコウヨウザンの材の強度について調査した事例について概要をまとめると以下のとおりである。

森田ら (1990) は熊本県の国有林内の 30 年生のコウヨウザン立木 3 本から合板 (12 × 910 × 1,820 mm) を作成し、曲げ強度が平均 40.6 N/mm<sup>2</sup> (398 kg/cm<sup>2</sup>)、曲げヤング係数が平均 12.4 kN/mm<sup>2</sup> (122 × 10<sup>3</sup> kg/cm<sup>2</sup>) で、隣接地のスギと比較してほぼ同程度の強度であったとしている。井上と豆田 (2014) は熊本県の 54 年生の立

木 3 本から無欠点試験体 (30 × 30 × 600 mm) を作成し、心材・辺材で地上高別の曲げ強度と曲げヤング係数を測定した。その結果、曲げ強度は 51.5 ~ 112.2 N/mm<sup>2</sup>、曲げヤング係数は 5.3 ~ 13.4 kN/mm<sup>2</sup> で、対照としたスギ試験片よりも概ね大きな値を示した。また、福田・村山 (1956) は高知県の国有林内の 21 年生の立木 2 本について材質試験を行い、詳細については不明であるがスギと比べて 1 割程度劣り、サワラに近い値であったことを述べている。上杉・黒木 (2016) は鹿児島県の会社有林の 55 年生の立木 1 本を伐採し、乾燥、曲げ、圧縮試験を実施し、気乾密度が 0.38 g/cm<sup>3</sup> でスギと同等、曲げ強度が 54.8 N/mm<sup>2</sup> でスギより低く、曲げヤング係数が 8.2 kN/mm<sup>2</sup>、縦圧縮強度が 37.5 N/mm<sup>2</sup> でスギとヒノキの中間の値であるとした。涌嶋ら (2017) は、広島県の民有林の 51 年生の立木 1 本から、心去り平角材 (150 × 105 × 4,000 mm) を 12 本、その周囲からひき板材 (90 × 20 × 4,000 mm) を 38 枚作成し、実大曲げ強度試験、引張強度試験を実施した。その結果、平均値で平角材の曲げ強度が 28.1 N/mm<sup>2</sup>、見かけの曲げヤング係数が 9.22 kN/mm<sup>2</sup>、ひき板材の引張強度が 38.4 N/mm<sup>2</sup>、引張ヤング係数が 10.3 kN/mm<sup>2</sup> であった。これらの事例は、立木の樹齢や試験体の大きさ、採取部位、試験方法が異なるため、単純に比較することは難しいが、若い立木でスギと同等かやや低く、樹齢が高くなるとスギよりやや高めと、数値に幅があった。

本研究では、産地・系統、施業、樹齢、木取りなどが異なる庄原市産と日立市産のコウヨウザンについて材質を調べたが、曲げ強度や曲げヤング係数について、庄原市産はヒノキを上回り、日立市産はスギと同等程度と数値に幅が認められた。この原因としては、表-5 のとおり幾つもの要素が関連していると推察されるが、詳細について明らかにするためには、他の林分や系統、木取り方法等について、更なる調査が必要であると考えられる。

一方、実大製材品を用いた本研究の結果から、コウヨウザンの材が建築用材として十分に利用できる材質である可能性が示された。特に庄原市産のコウヨウザンは強度的にも優れているほか、プレーナー後の表面は滑らかで光沢があり、節も少なく小さいなど、良好な材質であった。現在、庄原市産および日立市産の製材品については、今回報告した以外の縦圧縮、せん断、めり込み、引張強度等の試験を引き続き実施しているところであり、さらに平成 29 年度は千葉県と京都府でコウヨウザン立木を伐採し、製材品を作成し強度試験を行う予定である。今後これらのデータを順次公表していくとともに、

表-5 庄原市産と日立市産の違い

項目		庄原市産	日立市産
遺伝	品種系統	台湾	中国貴州省
施業	伐採樹齢 (年)	52	22
	初期植栽密度 (本/ha)	3000	1852
	枝打ち	あり	なし
材質	節	少	多
	心材含水率	低	高
	乾燥方法 (最高温度)	80°C	120°C
	木取り	平角	正角
	木口面の年輪数	平均 27 本	平均 7 本

コウヨウザン材の様々な用途の面から見た利用可能性について評価をしていきたいと考えている。

### 謝 辞

広島県立総合技術研究所林業技術センター藤田和彦氏には強度試験とその評価に係る技術的な助言をいただいた。中国木材株式会社の小西浩和氏、西川祥子氏には原木及び製材品の計測にご協力いただいた。合わせて感謝の意を表したい。

### 引用文献

立花 敏 (2009) 中国江西省における人工林の展開—コウヨウザンとスラッシュマツを中心に—。木材情報 2009年11月号:10-13

劉 元 (1999) コウヨウザン植栽木の材質に及ぼす地位および成長率の影響。高知大学紀要 68: 1-66

林 弥栄 (1969) 有用樹木図説林木編。誠文堂新光社、東京

近藤禎二・山田浩雄・磯田圭哉・大塚次郎・飯田啓達・飯野貴美子・木下 敏・生方正俊・久保田正裕・三浦真弘・藤澤義武 (2016) 広島県におけるコウヨウザンの成長。第127回日本森林学会大会学術講演集: 209

井上千種・豆田俊治 (2014) 早生有用広葉樹等を活用

した短伐期林業に関する研究。大分県農林水産研究指導センター林業研究部年報 54: 2-8

福田次郎・村山茂明 (1956) 高知県産コウヨウザンの研究 (第2報) 材質について。第65回日本林学会大会講演要旨集: 7

上杉 基・黒木逸郎 (2016) 多様な人工林に対応した森林管理技術に関する研究(平成24年度～28年度)～早生樹の導入に関する研究～。宮崎県林業技術センター業務報告 48: 4-5

涌嶋 智・渡辺靖崇・石井利典・黒田幸喜 (2017) 広島県庄原市のコウヨウザンの生育と材質。広島県立総合技術研究所林業技術センター研究報告 43号

渡辺靖崇・涌嶋 智・藤田和彦・小西浩和 (2017) 広島県で生育したコウヨウザンの強度性能。第67回日本木材学会大会研究発表要旨集: 99-100

磯田圭哉・上野真義・久保田正裕・三浦真弘・倉本哲嗣・倉原雄二・竹田宣明・大塚次郎・飯野貴美子・飯田啓達・近藤禎二・山田浩雄・生方正俊 (2016) 国内コウヨウザン人工林における遺伝的多様性の解明。第127回日本森林学会大会学術講演集: 118

公益財団法人日本住宅・木材技術センター (2011) 構造用木材の強度試験マニュアル。東京

劉 元・中山義雄 (1998) コウヨウザン植栽木の曲げ強さ。木材学会誌 44: 387-394

玉泉幸一郎・須崎民雄 (1989) コウヨウザンの休眠芽について。日林九林支研論集 42: 91-92

加福均三 (1917) 福州杉の揮発成分。東京化学會誌 38: 563-578