キリ材 (*Paulownia tomentosa*) の伝統的用途における合目的性[†]

湊 和 也* 伊 東 祐 子** 菅 原 はるか**

Rationality of Kiri Wood (*Paulownia tomentosa*) in Traditional Uses

by

Kazuya MINATO*, Yuko ITO** and Haruka SUGAWARA**

Physical and mechanical properties of kiri wood (*Paulownia tomentosa*) were estimated from the viewpoint of rationality as the Japanese traditional uses, such as furniture, fittings, and Japanese harp. From the responses of dimension and moisture content to the humidity change, the superiority of kiri wood among many kinds of hardwoods was verified in dimensional stability and humidity-controlling function. These properties of kiri wood accord with the aptitude to the furniture and woodcrafts. Furthermore, it was supported that the vibrational properties of kiri satisfy the necessary conditions (low loss tangent and high acoustic converting efficiency) for the soundboard of stringed instruments.

Key words : Kiri, Dimensional stability, Humidity-controlling function, Moisture content, Japanese harp, Vibrational property, Furniture

1 緒 言

キリ (*Paulownia tomentosa* Steud.) は古くから、タンスをはじめとする高級家具や木工芸品などに広く用いられてきた。軽量で木目が美しいなどの理由で愛好されてきたのは自明であるが、家具や調度類の機能性から見れば、寸法安定性や調湿機能に優れていることなども基本的かつ重要な因子である。しかしながら、これらの点で、他の樹種に対するキリ材の優位性を具体的に表した報告は少ない。

キリはまた日本の伝統的な楽器の一つである和琴の材料としても用いられている。木材が楽器として用いられる場合、もっとも重要なのは音色、あるいはそれを生み出す振動体としての特性であり、外観、軽重、寸法安定性などは最優先の性質ではない。しかし、振動特性の点でキリが楽器用材としての適性を備えているかどうかは小野らの報告¹⁾を除いてほとんど議論されていない。

本研究では、キリ材について、家具などに用いられる場合に重要となる寸法安定性や調湿機能、さらに楽器用材としての振動特性を明らかにし、その伝統的な用法の合目的性を検証することを目的とした。

2 実 験 方 法

2・1 試料

振動特性以外の各種特性値の測定には、京都産のキリ (*Paulownia tomentosa*) の他に、比較の対照として日本産の12種の広葉樹を用いた。これらの全乾比重を Table I に示す。

水分吸着実験には150～355 μ mの木粉を試料とした。また寸法安定性の測定には25mm(T)×25mm(R)×5mm(L)を、調湿機能の測定にはコナラ、ミズメ、カエデを除

く10樹種について、5mm(T)×45mm(R)×70mm(L)の形状の試片を用いた。

一方、振動特性の測定には、上記とは別の、日本産(会津地方)、米国産、中国産の3種のキリを用いた。これらはいずれも、宮崎木材工業(株)から提供を受けた一般の家具用材である。同一の原木から作成した2mm(T)×12mm(R)×150mm(L)の試片、各30本ずつを用いた。

2・2 水分吸着量および寸法安定性の測定

105℃で2時間乾燥後、精秤した約1gの木粉を用い、各種の塩の飽和水溶液により湿度を調節したデシケータ

Table I. Wood species and their oven dry specific gravity (S. G.) subjected to the dimensional stability and humidity measurements.

Wood species	S.G.
Kiri (<i>Paulownia tomentosa</i>)	0.30
Shiinoki (<i>Shiia Sieboldi</i>)	0.47
Kuri (<i>Castanea crenata</i>)	0.54
Tochinoki (<i>Aesculus turbinata</i>)	0.55
Kusunoki (<i>Cinnamomum Camphora</i>)	0.58
Sakura (<i>Prunus sp.</i>)	0.59
Mizume (<i>Betula grossa</i>)	0.61
Makanba (<i>Betula maximowiczii</i>)	0.63
Buna (<i>Fagus crenata</i>)	0.63
Kaede (<i>Acer sp.</i>)	0.68
Keyaki (<i>Zelkova serrata</i>)	0.69
Shide (<i>Carpinus sp.</i>)	0.71
Konara (<i>Quercus serrata</i>)	0.79

[†] 原稿受理 平成16年6月8日 Received June 8, 2004

* 正 会 員 京都府立大学大学院農学研究科生物機能学専攻 〒606-8522 京都市左京区下鴨半木町, Biological Function Sci. Course, Graduate School of Agriculture, Kyoto Pref. Univ., Sakyo-ku, Kyoto, 606-8522

** 京都府立大学農学部森林科学科 〒606-8522 京都市左京区下鴨半木町, Forest Sci., Faculty of Agriculture, Kyoto Pref. Univ., Sakyo-ku, Kyoto, 606-8522

中で20℃において平衡に達するまで調湿を行なった。一方、試片を用いて各相対湿度で接線方向および半径方向の寸法を測定し、それぞれの方向の膨潤率を算出した。

2・3 調湿機能の測定

吸湿過程と乾燥過程における各樹種の調湿機能を相対的に比較することを目的として、Fig. 1に示す装置を作成した。容器として内容積1.65ℓのデシケータを用い、この内部に温度、湿度を連続的に測定できるセンサー(T & D 株: TR-72S)を挿入した。

加湿過程における木材の調湿機能の測定では、容器の底部に蒸留水の入ったシャーレ(直径7cm)と木材試片を設置して10分間、デシケータ内の湿度変化をモニターリングした。測定温度は20℃とした。比較のために、試片を含まない状態でも同様の測定を行った。

一方、乾燥過程における測定では、15gの乾燥シリカゲルを入れたシャーレと木材試片を設置して、湿度変化を10分間測定した。なお、測定の前後には試片のない状態の測定を行い、シリカゲルの乾燥能力を確認した。試片は測定に先立って20℃、60%R. H.で調湿した。

2・4 振動特性の測定

両端自由たわみ振動法²⁾により、試片の基本振動の共振周波数から比動的ヤング率、すなわち E/γ (E : 動的ヤング率、 γ : 比重)を、また減衰波形から損失正接($\tan\delta$)を求めた。20℃、65%R. H.で2週間調湿した後、同条件下で測定を行った。

振動特性にはしばしば抽出成分が関与することが知られているため、ここでもその影響を調べた。振動特性測定後、産地ごとに各10本ずつの試片を選び、ソックスレー抽出器を用いて6時間のアセトン抽出を2回繰り返した。抽出処理した試片は60℃で2晩減圧乾燥を行い、全乾質量を測定した後、20℃、65%R. H.で2週間調湿を行い、再び振動測定を行った。

3 結果と考察

3・1 水分吸着特性

全乾から95%R. H.にわたって吸着等温線を作成した結果、樹種間で平衡含水率の差はあるものの、全相対湿度域で大小関係はほとんど変わらなかった。したがって

Fig. 2には一例として55%R. H.における全樹種の平衡含水率を示した。

相対湿度55%において平衡含水率が最も高かったのはクリで、次いでブナ、コナラの順であった。一方、最も低かったのはケヤキで、次にサクラ、キリの順に高くなり、本実験で調べた13樹種の中で、キリは平衡含水率が低い部類に属した。

平衡含水率を木材の調湿機能と直接結びつけることはできないが、平衡含水率が高いことは、単位質量の木材が多量の水分を保持することを意味し、乾燥、吸湿の際のバッファー効果をもつことになる。その意味でクリやブナは多量の水分を取り込む要素を持ち合わせているが、ケヤキやキリなどはバッファー効果が小さい。

3・2 寸法安定性

Fig. 3は各相対湿度における接線方向の膨潤率を示した。図の簡略化のために、ほぼ同様の傾向を示す樹種ごとに5つのグループに分けて表した。キリはサクラとほとんど一致し、接線方向の膨潤率が最も低かった。一方、コナラ、シデ、カエデはほぼ同等でほとんど全相対湿度域にわたって最も高かった。ケヤキやミズメはキリなどに次いで小さく、その他の樹種は中庸な寸法安定性を示した。なお、半径方向についてもほぼ同様、キリの膨潤率は最小であった。したがって、キリやサクラ材は寸法安定性の点で優れており、家具材などとしての必要条件を満たしていることは明らかである。

Fig. 2. Equilibrium moisture content at 55% R. H.

Fig. 1. Device for the measurement of humidity controlling ability.

Fig. 3. Swelling in tangential direction.

Fig. 4 は 55% R. H. における接線方向と半径方向の膨潤率の関係をプロットした。この図は異方性を表しており、45°の直線からの距離が最も大きいミズメでは異方性が小さいことになる。またキリやマカンバ、サクラも異方性の小さい樹種といえる。一方、異方性の大きいものとしてはシイノキ、シデ、コナラなどが挙げられる。

3・3 調湿機能

加湿過程における容器内の湿度変化を Fig. 5 に示す。木材が存在しない状態では、測定時間内に容器内の相対湿度が 90% 近くまで上昇した。これに対して、木材試片を入れた場合、相対湿度の上昇速度は明らかに遅く、木材が湿度の上昇を抑制していることがわかる。各樹種間での差は小さかったが、そのなかで比較的湿度上昇が大きかったのはクリで、測定時間内に相対湿度は 75% まで上昇した。一方、相対湿度の上昇が最も小さかったのはシデで 69% であった。キリもシデとほぼ同等の湿度上昇を抑制する効果を示した。低比重のキリでは透湿性、ひいては吸湿速度の大きいためと考えられるが、クリよりも高比重のシデで抑制効果が大きいなど、比重だけでは説明が困難である。

乾燥過程では、プランクの場合 10 分間で容器内の相

Fig. 4. Anisotropic property of swelling.

Fig. 5. Humidity change during humidifying process.

対湿度が約 60% から 20% にまで低下したのに対して試片が存在する場合、52 ~ 55% にとどまったが、樹種間で顕著な差はなかった。

キリ材はその用途からも調湿機能に優れていると予想されたが、他の樹種に比べて際立って大きい差は認められなかった。

3・4 振動特性

キリの振動特性の測定結果を産地別に Table II にまとめた。比動的ヤング率は産地間で差がなく、キリ材全体の平均値は 17.9 GPa で、バイオリンやピアノの響板に使われるシトカスプルスについて報告されている 25 GPa³⁾ に比較して著しく低かった。一方、損失正接は産地間に大きい違いはなかったがスプルスについて報告されている 8.1×10^{-3} に比べるとやや小さい。

Fig. 6 には $\log (E/\gamma)$ と $\log \{ \tan \delta / (E/\gamma) \}$ の関係をプロットした。ここで波線は種々の広葉樹について、小野ら⁴⁾が報告した回帰直線を引用した。彼らと同様、キリについても直線関係が認められたが個々のプロットは回帰直線よりもやや下方に位置した。したがって、一定の比動的ヤング率で比較すると、キリはやや損失正接の小さい材であるといえる。

小野ら⁴⁾によると、比動的ヤング率が大きく、損失正接が小さいことは、ピアノやバイオリン用材にとっての必要条件といわれており、実際の楽器用材の選別にあたってもこの基準が適用されている。これに照らし合わせると、キリの比動的ヤング率の低さは、この条件から大きく逸脱するが、損失正接は楽器用材として用いられるスプルスと同等または幾分小さいことから、損失正接に関しては、キリ材は楽器用材としての適性を有していると言える。

Yankovskii⁵⁾は比動的ヤング率と損失正接に加えて、比重を考慮した音響変換効率 (Acoustic converting efficiency: ACE) すなわち、

$$ACE = \frac{\sqrt{E/\gamma}}{\gamma \cdot \tan \delta}$$

を定義している。音響変換効率は楽器において、与えられた弦の振動エネルギーが共鳴板を振動させ、音として放射される際のエネルギー効率である。

Fig. 6. Relationship between $\log (E/\gamma)$ and $\log \{ \tan \delta / (E/\gamma) \}$.

Table II. Physical and vibrational properties of kiri.

Sources	Oven-dry specific gravity	E/γ (GPa)	$\tan \delta \times 10^3$	ACE ^{a)} (Relative)	Extractives content (%)
Japanese	$0.255 \pm 0.005^{b)}$	$17.5 \pm 0.6^{b)}$	$7.17 \pm 0.17^{b)}$	1.55	$2.54 \pm 0.24^{c)}$
American	0.277 ± 0.004	17.9 ± 0.4	7.32 ± 0.15	1.37	1.97 ± 0.21
Chinese	0.242 ± 0.009	18.2 ± 0.6	7.27 ± 0.23	1.62	2.96 ± 0.33

^{a)} Relative value to the acoustic converting efficiency reported for spruce³⁾

^{b)} Average and its 95% confidence limit of 30 specimens

^{c)} Average and its 95% confidence limit of 10 specimens

Table IIには文献値³⁾から得られたスプリースの音響変換効率を1として各産地のキリ材についてのそれを相対値で表した。これによるとキリ材の音響変換効率はスプリース材に比べて40～60%程度高い。キリ材の比重の小さいことが極めて大きく反映した結果である。したがって、音響変換効率を評価の基準とすれば、キリ材は楽器の振動板としての要件を満たしている。

アセトン抽出による抽出成分量は産地間で幾分異なり、2～3%であった (Table II)。また Fig. 6 に示すように、抽出処理後の $\log (E/\gamma)$ と $\log \{ \tan \delta / (E/\gamma) \}$ の関係は全体的に右に移動した。これは抽出による E/γ と $\tan \delta$ の増大を意味する。スプリースでは抽出操作により E/γ は減少するのが一般的で、キリについては逆の結果となった。抽出による E/γ の増減に関しては、抽出による形状の変化や抽出成分が木材の平衡含水率に及ぼす影響などが複雑に関与した結果、総合的に E/γ の僅かな増大をもたらしたものと考えられる。一方、抽出による $\tan \delta$ の増加は多くの樹種で見られ、抽出成分が $\tan \delta$ を引き下げていたことがうかがえる。しかし、抽出による $\tan \delta$ の増大は大幅なものではなかったことから、キリ材の抽出成分

が $\tan \delta$ を低下させる効果は小さい。

4 結 論

キリの平衡含水率は供試した広葉樹の中では低く、水分量調節のためのバッファーとしての効果は大きいとは言えなかった。しかし、多くの広葉樹材の中でキリは寸法安定性が高い、異方性が小さい、調湿機能が比較的高いなどの点で、家具・調度類の材料としての適性を示した。一方、振動特性に関しては、損失正接が楽器共鳴板用のスプリース材よりもむしろ小さく、さらに比重が小さいために音響変換効率が大きいことから、総合的には楽器材料としての適性を備えている。

参 考 文 献

- 1) 小野晃明, 片岡明雄, 木材学会誌, **25**, 535 (1979).
- 2) R. F. S. Hearmon, Br. J. Appl. Phys., **9**, 381 (1958).
- 3) R. Yasuda and K. Minato, Wood Sci. Technol., **28**, 101 (1993).
- 4) T. Ono and M. Norimoto, Reol. Acta, **23**, 652 (1984).
- 5) B. A. Yankovskii, Sov. Phys. Acoust., **13**, 125 (1967).