

中国産キリ材の材質とその利用に関する調査研究 (II)

高橋 徹*・董 玉庫*・趙 春瑞*
魏 亜玲*・中尾 哲也*・田中 千秋*

THE RESEARCH STUDY OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CHINESE KIRI WOODS (*Paulownia* spp.) AND ITS USE (PART II)

Akira TAKAHASHI*, Yuku DONG*, Chunrui ZHAO*,
Yaling WEI*, Testuya NAKAO*,
and Chiaki TANAKA*

The densities of Chinese kiri woods vary from 0.257(Kawa-gili) to 0.328(Taiwan-gili). The moisture contents in green are between 77 and 206% and are a few times more than those of others. The shrinkage ratio is 1.862% in volume on an average and is very small. The characteristics of the light density and small shrinkage ratio are useful. The silk-like luster of kiri wood surface is valuable as furniture wood. The heat transmission rate in longitudinal direction, 0.26-0.36kJ/m.h.K, is smaller than others. Kiri woods have high viscosity and are good for musical instruments such as a *biwa*(Chinese mandolin), a *shamisen*(Chinese guitar), piano, and so on. The mechanical properties are not so great on the contrary of the physical properties mentioned above. The high resin contents often cause the color change of the surface. Some protection procedures for it are needed. Kiri woods, useful industrial materials, are used as timbers not only for furniture and house but also for plywood, particleboard, fiberboard, and laminated wood.

1. 序 言

前報¹⁾では中国産キリ材の品種と分布, 組織構造特性を調査したが, 本報では中国産キリ材の物理的特性, 力学的特性, 加工性, 耐朽性, 抗蟻性, 工業と生活用品の利用について調査検討した.

2. 物理的特性

2.1 比重

キリ材の気乾(含水率15%)比重は平均0.257~0.328で, 品種の間で川ギリ(0.257) < 蘭考ギリ(0.279) < 白花ギリ(0.282) < 南方ギリ(0.287) < 光ギリ(0.315) < 楸葉ギリ(0.316) < 毛ギリ(0.319) < 台湾ギリ(0.328)

の順次に大きくなる. 中国産有用材の中ではキリ材は最も軽軟材の種類に入る.

2.2 水分分布

キリ材の生材含水率は樹高の増加に従い低くなる. 1.3 m以下の基部は含水率が206%, 樹幹の中部は138.5%, 樹幹の頂部は85%, 樹冠は77~96%である. キリ材の生材含水率は他の広葉樹材の2.58~4.86倍であり, 成長は早ければ早いほど軽軟になり, 生材含水率も大きくなる. たとえば, カナダポプラ (*Populus canadensis* Moench)の成長速度はキリとほぼ同じ, 胸高のところの含水率は130%である.

木口面での生材含水率の変化は髄と辺材外部の含水率は低く, 両者の間の部分は高い. そして, 心材と辺材の含水率の差も大きい.

* 生物材料工学講座 Materials Science and Technology of Natural Products.

第1表 含水率1%当りのキリ材の平均収縮率と異方差

樹種	収縮率			異方差
	半径方向	接線方向	容積	
南方ギリ	0.093	0.179	0.272	1.924
楸葉ギリ	0.112	0.259	0.371	2.313
蘭考ギリ	0.098	0.213	0.310	2.173
川ギリ	0.074	0.195	0.269	2.635
白花ギリ	0.094	0.268	0.362	2.851
台湾ギリ	0.134	0.238	0.371	1.776
毛ギリ	0.093	0.207	0.301	2.225
光ギリ	0.107	0.208	0.333	1.944
山明ギリ	0.094	0.210	0.327	2.340
平均	0.100	0.220	0.324	2.242
日本ギリ	0.090	0.230	-	2.555
中国産広葉樹平均	0.171	0.299	0.492	1.748

第2表 キリ材の重量摩耗量(%)

樹種	木口面	柃目面	板目面
南方ギリ	0.774	0.953	0.798
楸葉ギリ	0.831	0.897	0.865
蘭考ギリ	0.945	1.420	1.410
川ギリ	1.097	1.737	1.601
白花ギリ	0.824	1.050	0.898
台湾ギリ	0.937	1.953	1.636
毛ギリ	0.940	1.109	1.095
光ギリ	0.825	1.206	1.088
平均	0.897	1.291	1.174
中国産広葉樹平均	0.159	0.374	0.307

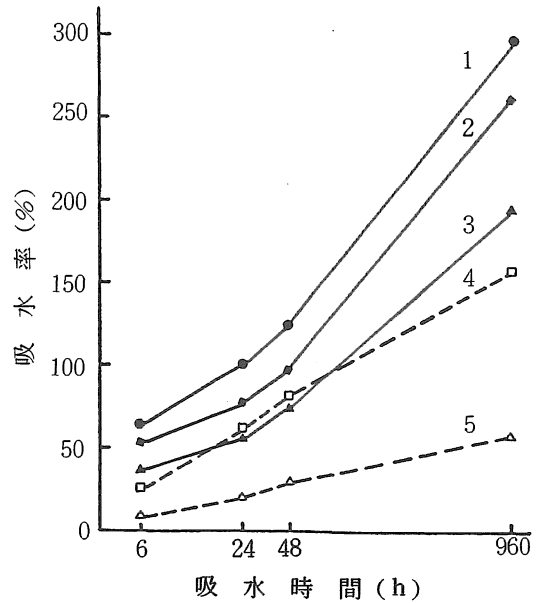
日本ギリ24時間摩耗量: 1.5mm
(J I S A 1415法に準ずる)⁴⁾

2.3 収縮

中国産木材の半径方向の収縮率は含水率1%当り0.016~0.363% (平均0.166%), 接線方向は0.132~0.479% (平均0.298%), 容積は0.249%~0.806% (平均0.485%), 収縮異方差は1.004~3.143 (平均1.862) である²⁾. キリ材の収縮率は第1表²⁻⁵⁾に示すように, 半径と接線の両方向とも小さく, 収縮異方差は他の木材に比べ, ほとんど同じである. 比重と収縮率が小さいということはキリ材の材質として最も良い性質である.

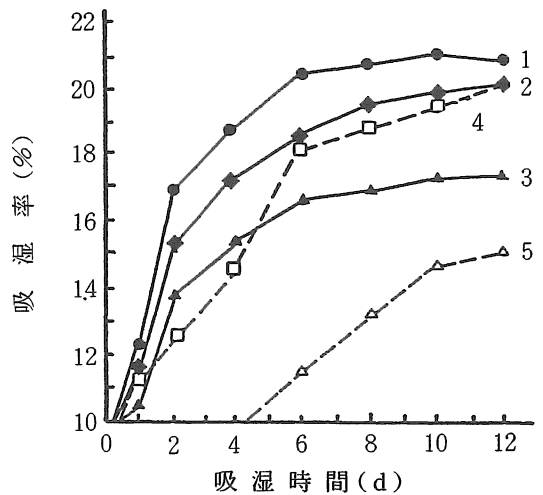
2.4 摩耗と光沢

木材の摩耗量と比重の間に逆比例の関係がある. 摩耗量が柃目面>板目面>木口面の順に大きく, その比率は1:0.6~0.9:0.2~0.5である⁶⁾. 中国産18種広葉樹材の平均摩耗量はそれぞれ0.374, 0.307, 0.159%で, 三断面の比率は1:0.82:0.43である⁷⁾. これらの木材に比べる



第1図 吸水時間と吸水率の関係

1-山明ギリ, 2-毛ギリ, 3-光ギリ, 4-ヤナギ (Salix matsudana), 5-ハリエンジュ



第2図 吸湿時間と吸湿率の関係

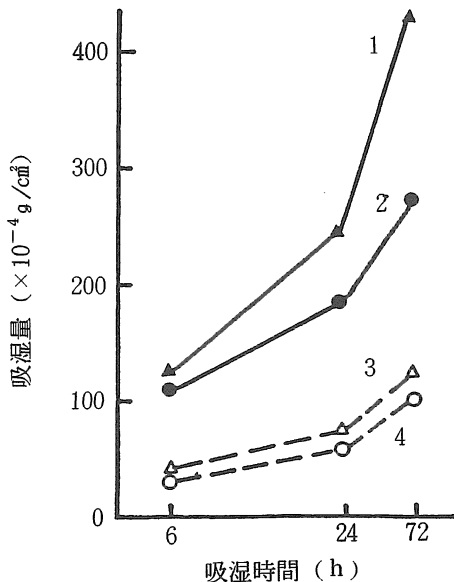
1-山明ギリ, 2-毛ギリ, 3-光ギリ, 4-ヤナギ, 5-ハリエンジュ

と、キリ材の摩耗量が大きく、平均値は1.29, 1.17, 0.89%, 比率は1:0.90:0.70である（第2表²⁷⁾。

良質なキリ材を鉋削すると、美しい絹糸光沢を発して優美である。研磨すると、晩材部分の発達しているものは象牙に似た銀白色のよい光沢を示す。家具、下駄等ではことさうづくりなどで材面をに研磨、いわゆる洗出しをして、木理の凹凸を明瞭にすること、光沢を出すことが行われる。また、下駄にキリが賞用されるのは軽いばかりでなく、初めに土粒が材の表面によく食い込んで付着し、かえってその後の全体としての磨減を少なくすることによる⁸⁾。

2.5 吸水性

キリ材の吸水速度は第1図に示した。キリ材の吸水量はハリエンジュ (*Robinia pseudoacacia* L.)の4~6倍、最大吸水量に達する時間は130日間ぐらいであるが、ハリエ



第3図 断面別吸湿性の差異

- 1—ミズナラ（木口面）、2—日本ギリ（木口面）
3—ミズナラ（柢目面）、4—日本ギリ（柢目面）

ンジュは30日間ぐらいである。これによりキリ材の吸水は早いけれども、最大吸水量に達する吸水時間が長いという特徴を持つので、キリ材で漁網用浮子が作られる。木口面には吸水量の差異もあり、中間部分が最大、心材が最小である。

2.6 吸湿性

キリ材3種類と他2種類の木材の吸湿速度変化は第2図に要約した。吸湿率はキリ材の品種間にすこし差異が

あり、とくに、2日間以上になると、次第に大きくなった。乾燥方法の履歴により吸湿率も異なり、人工乾燥材の最大吸湿率は天然乾燥材の2倍程度である。柢目面と板目面の吸湿量がほぼ同じ、木口面に比べると、相違が大きい（第3図）。最大吸湿率は比重との関係が見られないが、細胞壁の化学成分の構造により異なる。他の樹種に比べると、初期の吸湿速度はやや早く、最大吸湿率はポプラとだいたい同じである。実験結果によると、キリ材の吸水、吸湿性が中等で、筆筒、長持ちなどの和家具の材料として、防湿性能により、収縮と膨張が小さく、体積の安定性がよく、接合部や開け閉め活動部の隙間が小さく、外界の湿気を遮断するなどの特長が重要である。《有用樹木図説》⁹⁾にも「湿気を吸収透過することが少な

第3表 キリ材の熱的性質

樹種	方向	比重	含水率 (%)	比熱 ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$)	熱伝導率 ($\frac{\text{kJ}}{\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{K}}$)	熱拡散率 ($\frac{\text{m}^2}{\text{h}}$)
南方ギリ	接線	0.274	12.93	1.649*	0.280	0.615
	半径	0.266	12.41	—	0.310	0.731
椴葉ギリ	接線	0.312	12.73	1.771*	0.306	0.561
	半径	0.327	12.71	—	0.340	0.613
蘭考ギリ	接線	0.274	12.43	1.534	0.297	0.625
	半径	0.259	12.54	—	0.310	0.673
川ギリ	接線	0.259	10.27	1.662*	0.264	0.607
	半径	0.258	10.13	—	0.289	0.677
	縦	0.281	10.10	1.628	0.666	1.786
白花ギリ	接線	0.246	12.96	1.725*	0.272	0.631
	半径	0.262	13.33	—	0.318	0.716
	縦	0.275	10.39	1.406	0.661	1.719
台湾ギリ	半径	0.304	11.04	1.649	0.327	0.651
毛ギリ	接線	0.341	12.03	1.712*	0.335	0.570
	半径	0.335	12.66	—	0.339	0.598
光ギリ	接線	0.321	11.32	1.695*	0.322	0.611
	半径	0.305	10.58	—	0.327	0.616
山明ギリ	接線	0.202	10	—	0.244	—
	半径	0.227	10	—	0.272	—
	縦	0.220	10	—	0.553	—
平均	接線	—	—	1.678*	0.294	0.603
	半径	—	—	—	0.315	0.660
	縦	—	—	1.517	0.627	1.753

*接線と半径方向の平均値。日本ギリの熱伝導率は0.334 kJ/m·h·Kである。

く、狂いや割れも少ない」と論説してある。一方、以前に「空気中の湿度が上がると、直ちに空気中の水分を吸収して膨張し、タンスの引出しなどはびったりと外界を遮断し、中の衣料の水分を吸収しながら、引出しの中を乾燥状態に維持する」⁸⁾と述べた論説もある。

2.7 熱的性質

キリ材は多孔質で発火時間が短いので燃えやすい、炎にあった場合、すこし厚い板であると表面が炭化するので、その後は熱伝導率の値が小さくて、熱気を内部に通しにくくなり、キリ箱内部の品物を火から保護する性能が大きい⁸⁾。着火点が269℃で、針葉樹材平均値の257℃、広葉樹材平均値の223℃により高く、発火点が425℃で、

第4表 キリ材の音響的性質

樹種	比重	動的 ヤング率 (GPa)	繊維方向 音の速度 (km/s)	放射減衰 $(\frac{m^4}{kg \cdot s})$	対減衰率 (δ) $\times 10^{-2}$	音響抵抗 ($\times 10^4$) (dyn·s/cm)
南方ギリ	0.253	4.86	4.33	17.26	2.39	10.96
楸葉ギリ	0.299	6.06	4.44	14.95	2.64	13.31
蘭考ギリ	0.261	4.34	3.98	15.43	3.00	10.40
川ギリ	0.239	5.58	4.78	20.84	2.52	11.44
白花ギリ	0.252	4.99	4.56	14.56	2.12	14.38
台湾ギリ	0.315	6.70	4.56	14.56	2.12	14.38
毛ギリ	0.321	6.60	4.48	14.06	2.36	14.27
光ギリ	0.301	6.01	4.36	14.17	2.54	13.51
平均	0.280	5.64	4.44	15.73	2.46	12.83
エゾマツ*	0.432	11.69	5.16	12.41	2.38	22.00
エゾマツ**	0.406	10.47	5.08	12.50	1.84	20.60
ヒノキ**	0.377	10.97	5.39	14.30	1.76	20.30

*: 中国産, **: 日本産

第5表 キリ材の力学的性質

樹種	比重	曲げ 強さ (MPa) L	ヤング率 (GPa) L	引張り 強さ (MPa) L	せん断強さ (MPa)		圧縮強さ (MPa)				衝撃 強度 ($\frac{kJ}{m^2}$)	かたさ (MPa)			
					R	T	部分		全面			L	R	T	
							L	T	R	T					
楸葉ギリ	0.290	32.9	5.4	52.1	4.1	4.7	19.6	2.8	2.0	1.7	1.1	17.1	15.1	8.7	9.4
蘭考ギリ	0.264	28.9	4.2	39.4	4.4	4.4	15.9	2.2	1.6	1.4	1.2	13.2	12.5	8.4	8.6
川ギリ	0.269	36.3	5.2	51.8	4.2	3.5	16.0	2.1	2.4	1.4	1.8	21.4	17.1	11.4	12.1
白花ギリ	0.309	40.5	6.3	56.3	5.6	5.0	18.8	2.9	2.7	2.1	1.9	32.5	21.5	12.4	12.4
台湾ギリ	0.249	49.4	8.4	37.3	8.1		25.0	3.1						14.6	
毛ギリ	0.315	40.6	4.8	60.5	5.1	5.6	22.3	3.5	2.8	2.0	2.0	34.8	18.3	11.7	13.5
光ギリ	0.347	41.5	5.8	56.8	5.9	5.4	22.0	3.0	3.0	1.7	2.0	41.6	19.8	14.2	14.3
山明ギリ	0.215	30.5	4.4	39.3	3.5	3.7	17.9	2.0	1.8	1.3	1.2	15.0	14.1	7.9	8.7
平均	0.282	37.6	5.6	50.9	4.7	4.6	18.9	2.7	2.3	1.7	1.6	25.1	16.9	10.7	11.3
日本ギリ	-	35.0	5.0	60.0	5.5		20.0	-	-	-	-	42.0	15.0	11.0	10.0
中国産広 葉樹平均	0.640	95.4	11.6	111.9	10.4	11.9	46.6	9.6	7.2	6.7	4.9	76.4	60.8	50.5	51.7

L: 縦方向, R: 半径方向, T: 接線方向

第6表 キリ材の化学成分 (%) と pH 値

樹種	灰分	冷水 抽出分	熱水 抽出分	1%NaOH 抽出分	アルコール ・ベンゼン 抽出分	セル ロース	α -セル ロース	リグ ニン	ペント ーサン	タン ニン	pH 値
南方ギリ	0.46	4.18	6.20	22.45	4.36	54.73	40.86	24.11	23.95	0.61	4.93
楸葉ギリ	0.51	8.74	11.34	26.03	10.00	53.10	39.67	21.92	20.56	0.71	4.70
蘭考ギリ	0.74	7.99	10.60	25.74	9.69	52.82	39.20	24.11	23.31	0.67	5.03
川ギリ	0.33	6.15	8.91	27.81	7.32	52.99	38.50	22.64	25.35	1.38	4.57
白花ギリ	0.73	7.23	8.70	22.52	7.12	53.99	40.37	24.28	20.89	0.44	4.84
台湾ギリ	0.29	5.43	7.59	24.97	5.48	55.02	41.46	22.63	25.06	1.20	4.50
毛ギリ	0.19	7.57	10.78	26.80	9.70	54.71	40.72	20.87	24.78	1.65	4.08
光ギリ	0.21	7.35	10.30	26.65	9.55	54.56	40.65	21.24	24.02	1.54	4.22
山明ギリ	0.52	6.07	6.42	22.20	5.85	48.88	-	21.16	20.14	-	-
平均	0.43	6.83	9.30	25.37	7.90	53.99	40.18	22.73	23.49	1.03	4.61
日本ギリ	0.21	-	9.00	-	8.20	72.40*	45.30	20.40	16.00	-	-
広葉樹材 平均	0.61	3.31	4.67	19.67	4.16	57.53	43.68	23.66	21.13	-	5.03

*: ホロセルロース

針葉樹材平均値の458℃、広葉樹材平均値の439℃より低い。キリ材の比熱、熱伝導率、熱拡散率の測定データは第3表³⁻⁹⁾に示した。比熱は1.65~1.77 k J/kg·K、普通の木材と相違がなく、繊維に直角方向の熱伝導率は0.26~0.36 k J/m·h·K、普通木材の0.34~0.59 k J/m·h·Kよりずっと低く、確かに保温・断熱の良質材料である。

2.8 音響的性質

キリ材の年輪幅が均一である場合、多孔質で粘性に富み、音の損失減衰が小さく、放射減衰も大きく、音響振動性が優れているので、各種の弦楽器によく使われ、中国の民族楽器、例えば琵琶、月琴、古筝、三味線などに利用されている。第4表³⁻⁹⁾によれば、その音響的性質はピアノ、バイオリン、ステレオのボデーなどがよく使うスプルスなどの性質に近い。中国北京楽器研究所はキリ材を利用して音響的性質が優れたピアノを試作している。既製のピアノの欠点は重すぎることと防湿の面で無防備である。この点から、キリ材の利用が将来考えられる。

3. 力学的特性

一般的に言えば、樹種の種類にかかわらず、成長速度が早ければ比重が低く、強度も低くなる。第5表^{4,5,10,11)}に示すように、キリ材の強度は他の木材に比べると、最も弱いグループに所属し、利用する時には、できるだけその物理的な特長を発揮するよう工夫する必要がある。

4. 化学的性質

4.1 化学成分

木材化学成分は主としてセルロース、ヘミセルロース、リグニンから成り、抽出成分と無機質など副成分も含む。第6表⁹⁾によれば、キリ材と中国産57種広葉樹材に比べると、主成分の相違は小さく、抽出成分の量は高くなる。抽出成分は細胞内腔に充填されており、細胞壁に沈着している。それはキリ材の性質と利用に対して、大変重要な役割をする。たとえば、キリ材の変色、収縮性、ポリマーの注入性などに与える影響がある。

4.2 変色

伐材あるいは含水率の高いキリの製材品は空気中で変色しやすい。これは売り出す値段や利用の価値などに対して、大変重要なことである。変色の原因はキリ材抽出成分中のフェノール性成分、タンニン、リグニン、カフェー酸糖エステル、水・メタノール抽出成分中のフェノール性成分などを含んでいるからである。Zur¹²⁾は水・アルコール抽出成分中のロイコアントシアニン (leucoantho-

cyenin)、プロアントシアニン (proanthocyanin)は水分により表面に移り、酸化され変色することを見出した。変色の除去について3%のNaBS₄、0.7%NaSO₃などで表面に塗り、製材後に水の中に浸せきし、特殊な人工乾燥などの方法が試みられている^{3,9)}。

5. 利用・用途

5.1 加工性

キリ材の比重が低く、材質も軽軟で、気乾材と生材の鋸断性も平易し、仕上げかんなによる加工の際、表面の光沢が高く、製品に狂いが無い。くぎの保持力は低いが、打ち込みやすく、割れない。ロータリー単板、スライド単板の製造、乾燥、接着なども簡単である。キリ材は優雅な工芸材として、また、卓越した実用材として数々の分野で利用され、広く愛されてきた。

5.2 耐朽性・抗蟻性

Cheng⁹⁾はカワラタケ (*Corolus versicolor*)木材腐朽菌とクロシロアリ (*Reticulitermes chinensis* SNYDER)、イエシロアリ (*Coptotermes formosanus* SHIRAKI)、タイワンシロアリ (*Odontotermes formosanus* SHIRAKI)および *Macrotermes barnegei* LIGHT を利用し、耐朽性と抗蟻性を試験した。キリ材8種類の耐朽性が小~極めて小で、抗蟻性も弱い。

5.3 工業利用

工業生産中でキリ材は次の主要な用途がある。

1) 板類 キリ材は製材、水で浸せき、天然乾燥あるいは人工乾燥、かんな加工、接着などの作業を経て、板類が作られる。この種類の板は日本に大量に輸入し、1990年間4.5万立方メートルにのぼった。

2) 合板 生材の含水率が高くて、丸太の煮沸・蒸煮処理をしなくて、ベニヤレス、スライサにより単板が切削された。続いて、裁断・乾燥 (150℃, 14分間)、調板、接着剤塗布 (ユリア樹脂接着剤、塗布量270~300 g/㎡)、圧縮 (圧力1.2MPa, 温度120℃, 加熱時間7分間)などの製造工程を経て、合板が製造された。もし、品質の劣るもの、または他の樹種を芯材として、表面に良質なキリ材突板を化粧板として貼り合わせれば、このような高級キリ合板の用途は無限に拡がると言えるであろう。

3) 集成材 劉ら¹³⁾は台湾キリ材とレゾルシノール系、ユリア系、酢酸ビニル系接着剤を用い、集成材の性能を試験した。比重0.25ぐらいの時、曲げ強さが35~45MPa、常態せん断強さが3.6~5.0MPaである。

4) パーティクルボードとファイバーボード キリの廃材を利用し、パーティクルボード、ファイバーボードなど比重の低いボードが作られる。陳¹⁴⁾は台湾ギリの矩形

片(長・幅・厚さ比=75・10・0.5mm), 正方形片(=40・40・0.5mm)とユリア系接着剤を用い, キリ材パーティクルボードの性質を研究した. 比重0.35の時, 矩形片ボードの曲げ強さは17.7MPa, 正方形片は12.0MPaになった.

5) パルプと紙 キリ材の繊維長は0.9~1.6mm, 長・幅比は35以上, 細胞壁厚さ・内腔径比は0.27~0.38であり, パルプの原料としては歩留りが高く, また紙として白色度は高く, 引き裂き強さが大きい. なお, キリの成長が早く, 他の樹種に比べると, 単位面積の生産量も高いので, パルプ用材林として重要な役割を果たしている.

その他, キリ材が飛行機, 船舶, 模型, コンクリート型わく, 木炭, 活性炭, 木毛などの方面が利用される.

5. 4 生活用品

。キリ材は寸法安定性が良く, 狂いが小さく, 材色と紋様があっさりして落ち着いて, 昔から中国では家具(箆筒・箱・卓・椅子など), 楽器(音響板), 食品用具(たらい・桶・小箱・柄杓など), 建築(桁・柱・天井板・内壁・間仕切壁・扉・窓など), 農具(水車・風車・蜂箱), 手工芸品(仏像・神器・漆器木地・花瓶・筆立て・人形・屏風など)などによく使われてきた.

日本人の生活感覚とキリ材の工芸価値を切り離すこともできないし, 日本の特異な風土とキリの優れた実用性・工芸美を切り離すことはできないのである. 日本ではキリ材はいわゆる指物材をはじめとして, きわめて多方面の用途がある. 例えば, 家具(箆筒・長持など), 器具(胴丸・火鉢・衣桁など), 建具(彫刻欄間, 障子の枠・組子・腰板・板戸・襖の骨など), 建築(天井板・内部装

飾材など), 小箱(什器箱・金庫内箱・菓子箱・書箱・表具箱・折箱など), 楽器(琴・八雲琴・二弦琴・琵琶の腹板など), 下駄, 運動用具(ピンポンラケット・羽子板など), 彫刻品(人形・仮面など), 漁網用浮子, 名刺用スライス桐紙(厚さ0.15mm), 桐炭など非常に多彩である. キリ材の特性が理解されるほど, 今後ますますその用途が拡大されていくことであろう.

引用文献

- 1) 董玉庫他: 島根大学農学部研究報告, 25, (1991).
- 2) 董玉庫, 趙春瑞: 東北林業大学学報, 18, 49-58 (1990).
- 3) Cheng Junqing: SCIENTIA SILVAE SINICAE, 19, 57-63, 153-167, 284-291 (1983).
- 4) 林業試験場: 木材工業ハンドブック, 丸善株式会社, 1982.
- 5) 蔣建平: 泡桐栽培学, 中国林業出版社, 1990.
- 6) 渡辺治人: 木材理学総論, 農林出版株式会社, 1978.
- 7) 胡 栄: 木材学, 中国林業出版社, 1982.
- 8) 平井信二: 木の事典, かなえ書房, 1981.
- 9) 林 彌栄: 有用樹木図説-林木編, 新光社, 1969.
- 10) 中国林業科学研究院木材工業研究所等: 中国重要樹種の木材物理力学性質, 中国林業出版社, 1982.
- 11) 中華林学会編: 台湾主要木材図誌, 中華林学会出版社, 1967.
- 12) Zu Bosun: SCIENTIA SILVAE SINICAE, 23, 448-455 (1987).
- 13) 劉正字, 李文昭: 林産工業, 7, 109-126 (1988).
- 14) 陳載永: 林産工業, 7, 13-22 (1988).