

弓材としての樹木について

山本博一

はじめに

日本列島にはおよそ5,300種の維管束植物が知られているが、そのうち自生する木本類はおよそ1,000種とされている。しかし、弓材としての記録のある樹木の種類は10種余りと少ない。本報告ではこれらの樹木について、弓材となる樹木の樹種別の分布域、生態的特長、材料としての物理的性質および主な用途について記述する。また、本研究において復元弓の製作のために東京大学演習林の3地域の森林より6種、71本の試料を提供したので、採取した地域の特徴について記述する。

1 材料としての樹木の構造的特性

樹木は植物分類学上、種子植物の中で裸子植物と被子植物に分けられ、さらに被子植物は双子葉植物と単子葉植物に分けられる。イチイやカヤなどの針葉樹は裸子植物であるのに対して、ヤマグワ、スダジイ、マユミなどの広葉樹は被子植物のうちの双子葉植物に分類される。これに対して現在の主な弓材である竹は単子葉植物である。このように弓材料として記述のある樹木は種数は少ないものの植物分類上は非常に広範囲にわたっている。単子葉植物には形成層がないので、幹軸方向には伸長しても半径方向への肥大は見られない点で単子葉植物材の構造は針葉樹・広葉樹と大きく異なる。

樹木には針葉樹類と広葉樹類があるが、それぞれの木材の細胞構造はかなり異なっているので、それぞれ針葉樹材、広葉樹材と呼ばれる。前者は一般に軽軟であるので軟材 (softwood) と呼ばれ、後者は一般に重硬なので硬材 (hardwood) とも呼ばれる。一般に大材ほど利用しやすく評価も高いので、多く利用されている樹種はほとんどが高木性のもので、低木性のものは少ない。形成層から樹体の内側に生産されていく木材は、円周状に層をなした無数の細胞から成り立っている。この層を生長層という。季節によって生長の差が大きく、外観的に明りょうに区分できるので、一年間の生長層を年輪という。針葉樹材では年輪幅の広い材は軽軟で材質が劣ることを意味するが、広葉樹材では逆に年輪幅の広い材は重硬で材質が優れている。

樹種や生長状態によっても差があるが、針葉樹材の大部分は、長さ1～7mm程度、幅0.005～0.07mm程度の両端の尖った縦長の紡錘形の細胞で構成されている。この細胞は「仮道管」と呼ばれ、樹体を支える役割を果たすと同時に、生育時には水分や養分を流動させる役割をも果たしている。これよりも進化した広葉樹の場合には細胞の機能が分化し、水分や養分を流動させるのは「道管」と呼ばれる縦につながった管状の細胞であり、樹体を支えるのは主として「木繊維」と呼ばれる長さ0.5～2.5mm、幅0.01～0.06mm程度で仮道管よりは短いやはり縦長の細胞によっている。道管の径は樹種によって大差があり、0.02～0.08mm程度と肉眼ではほとんど見えないものから、0.1～0.5mmと肉眼でもよく見え、木目の外観を形成しているものまで広範囲にわたっている。このような縦につながった細胞の間に、柔らかく膜の薄い細胞が横につながった帯状の組織があり、樹体の中心から放射状に分布するので「放射組織」と呼ばれている。この放射組織は針葉樹では細く目立たないが、広葉樹ではかなり多くの細胞が集まっていて肉眼的にも目立つ樹種があり、道管の配列や大きさと相まって樹種特有の外観を示している。

広葉樹では道管の配列は樹種によって並び方が決まっている。木口面を見た場合、おもな道管が年輪の境目にそって並ぶものが「環孔材」である。クリ、ケヤキなど温帯産の樹種に多い。これに対して、道管がほぼ一様に分散するものを「散孔材」とよぶ。ブナ、ウダイカンバなどが代表的で、このタイプが最も多い。そして、道管が半径方向に放射状に並ぶものを「放射孔材」という。カシ、スダジイなどが代表的である(表1)。

表1 樹木細胞の特徴

樹種	仮道管の直径 (μ)				仮道管の長さ (μ)
	春		秋		
針葉樹	放射方向	材	放射方向	材	繊維方向
	接線方向	接線方向	接線方向	接線方向	
イチイ	30～40	30～38	15～30	30～35	2,000～3,700
カヤ	30～50	30～48	16～30	30～40	2,300～5,000
イヌガヤ	15～30	20～30	8～15	16～25	1,500～3,000
広葉樹	道管		木繊維		道管の配列
	直径 (μ)	直径 (μ)	長さ (μ)		
ケヤキ	200～400	12～16	1,100～2,000		環孔波状
スダジイ	180～300	20～25	800～1,500		放射孔
ミズメ	90～180	24～28	1,000～2,100		散孔

針葉樹、広葉樹を問わず、丸太の横断面で外周部の色の白っぽい部分を「辺材」、中心部の濃色の部分を「心材」と呼ぶ。辺材は養分が多く腐りやすいが、心材には心材物質が形成されていて一般に腐りにくい。針葉樹の場合は立木の含水率は心材では40%前後だが、辺材

では100~200%にも及ぶ。広葉樹ではその差は縮まり、逆転することもあるが、やはり差が見られる。木材は方向性をもった細胞の集まりなので、方向によって性質が異なる異方性をもっている。材軸の方向を繊維方向、樹心から放射した方向を放射方向、年輪円に接するような方向を接線方向と呼び、それぞれの方向に直角な面を木口面、板目面、柀目面と呼んでいる。それぞれの面で細胞の配列状態が違うので外観も異なってくる。一般にこのような年輪、道管、放射組織など、木材を構成する組織の配列や大小などに基づく材面の状態を「木理」あるいは「木目」と呼んでいる。

木材の物理的性質に最も大きい影響を与えているものは比重と含水率である。

木材の比重は同じ樹種の木材内でも若干の開きはあるが、樹種によってかなり違っている。軽いものはバルサの0.17から、重いものはリグナムバイタの1.23まであり、国産材でもキリの0.30からイスノキの0.90までまちまちである。一般に比重が大きいほど強度は大きく、膨張収縮も大きくなる傾向があり、その他の性質も比重に影響される場合が少なくない。生材から水分が減少しても、初めは重量が減るだけで木材の性質は変化しない。これは細胞の空孔にたまっている自由水が抜けていだけだからである。この状態の密度を「気乾比重」とよぶ。しかし、含水率が約30%以下になると、細胞と分子的に結合している結合水が抜けていくので、含水率が減少するにつれて木材は収縮し、強度も大きくなっていく。含水率が増えていくときはその逆になる。木材は熱によってはほとんど伸び縮みしないが、水分の増減によって伸び縮みする。その程度（平均収縮率）は含水率1%当り接線方向で0.15~0.50%程度、放射方向、繊維方向はそれぞれさらにその60%、4%程度で、繊維方向の伸縮はかなり長い材の場合のほかは問題にならない。木材はその細胞構成上、繊維方向の強度がきわめて大きく、金属などに比べると低くとも比重がそれ以上に小さいため、両者の比をとると軽いわりに強いすぐれた材料といえる。一般に横方向の強度は、強度の種類(圧縮強さや曲げ強さなど)や樹種によって異なるが、縦方向強度の1/3~1/20程度である(表2)。

図1、2は弓材となる樹木の物理的特性を比較したものである。気乾比重はカマツカ、ミズメ、ケヤキなどの広葉樹材がカヤ、イヌガヤなどの針葉樹材よりも大きい。単純には述べられないが、弓としての反発力に関連すると考えられる曲げ弾性係数の値はミズメ(梓)が最も高く、次いでケヤキ、スダジイの順となっており、最下位のイヌガヤの値はミズメの40%である。曲げ強さについても同じ傾向が見られ、広葉樹材の値が高い。こうした物理的特性値を見る限りにおいてはイヌガヤ、マユミは弓材としての適性は低いように思われる。

表2 弓材となる樹木の物理的性質

樹種	気乾比重 (g/cm ³)	曲げ弾性係数 (t/c m ²)	曲げ強さ (kg/cm ²)	鋸断性 (kg/cm ²)	平均収縮率 (柁目) (%)
針葉樹					
イチイ	0.51	80	700	70	0.20
カヤ	0.53	75	800	125	0.14
イヌガヤ	0.56	57	460	105	
イヌマキ	0.54	80	850		0.15
(参考)					
アカマツ	0.52	115	900	95	0.18
ヒノキ	0.44	90	750	75	0.12
広葉樹					
ケヤキ	0.69	120	1000	130	0.16
ヤマグワ	0.62	70	800	140	0.16
スダジイ	0.52	100	960		
ミズメ	0.72	140	1100	150	0.18
マユミ	0.67	91	680		
クリ	0.60	90	800	80	0.17
カマツカ	0.86				

注) 出典は原色木材大図鑑 (1962, 保育社)

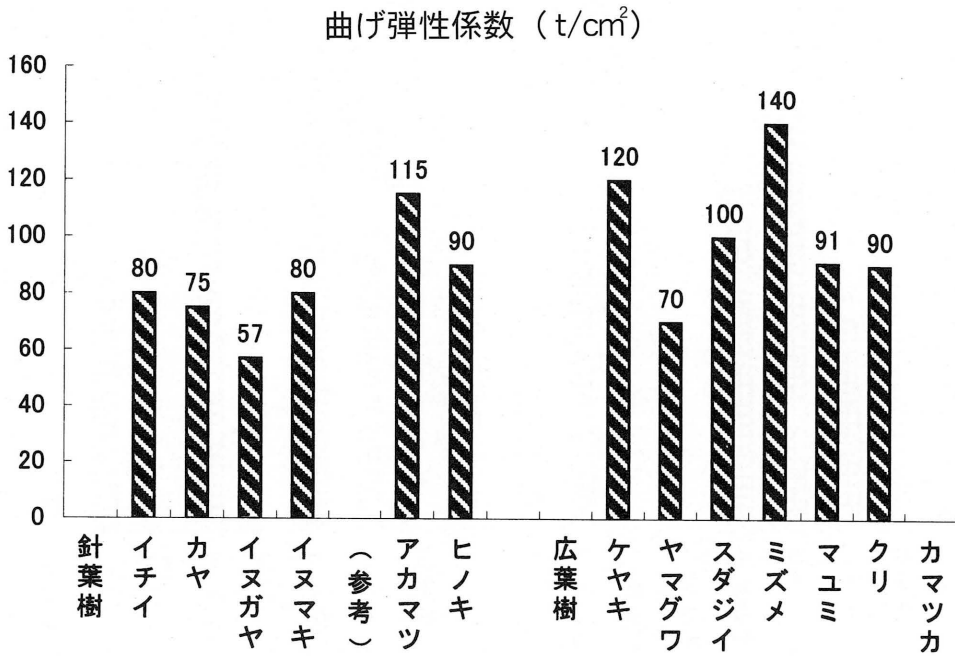
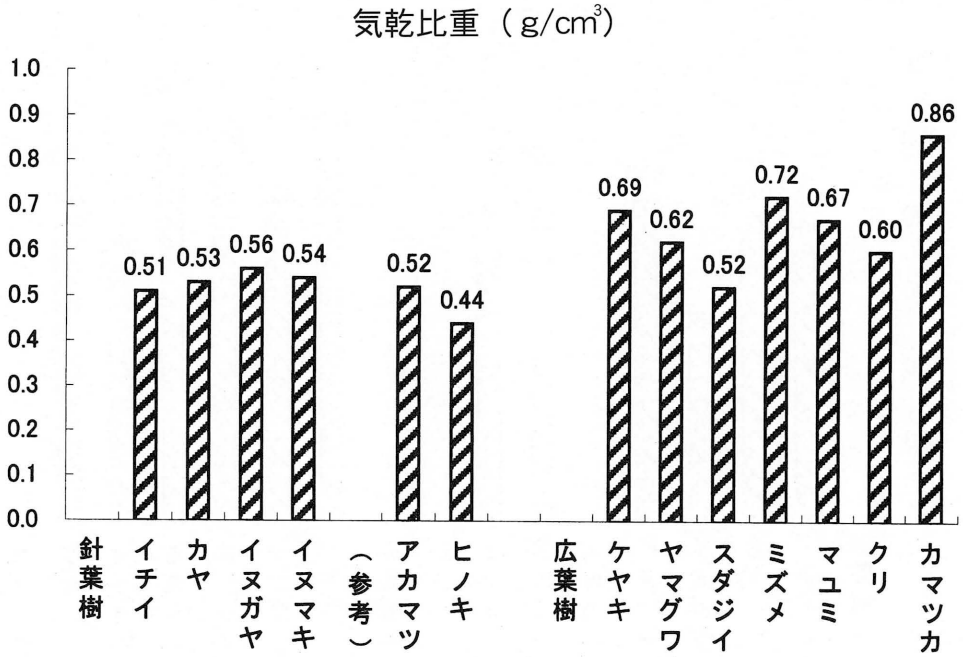


図1 弓材となる樹木の物理的特性(1)

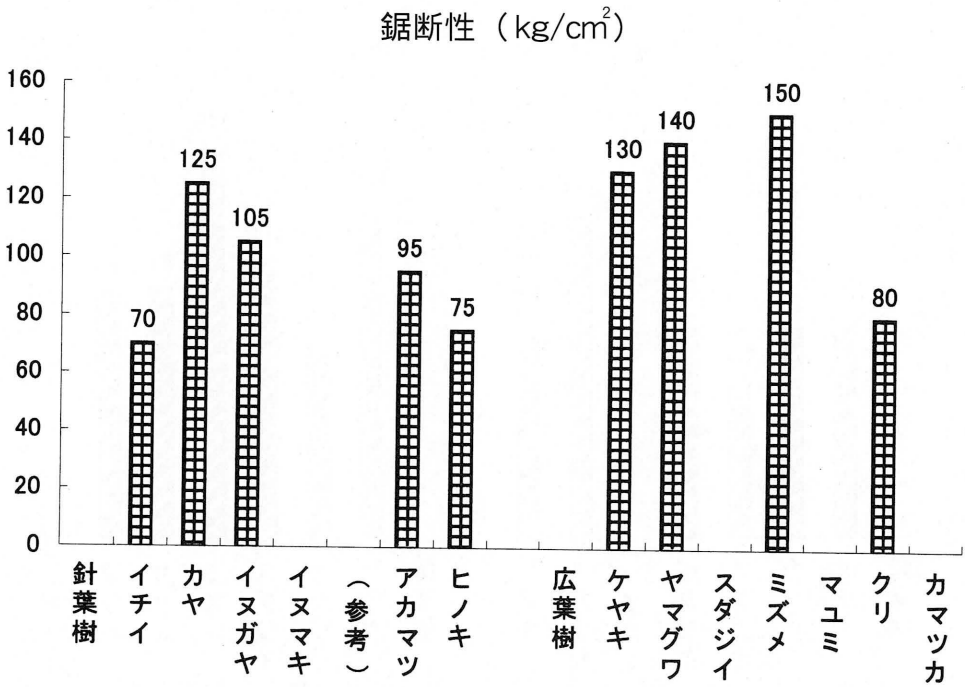
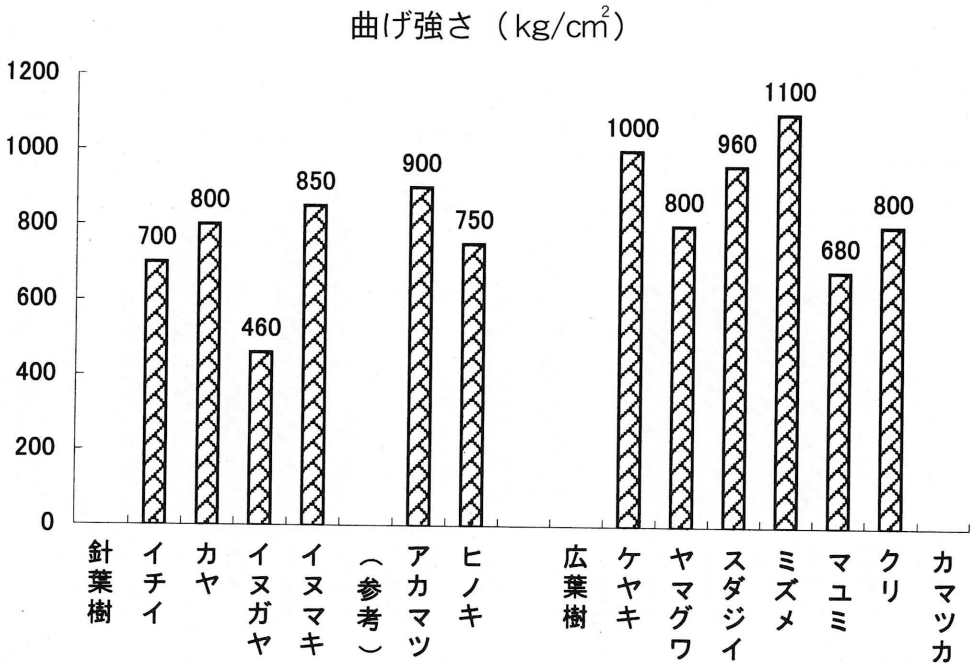


図2 弓材となる樹木の物理的特性(2)

2 弓材となるの樹種の特性

弓材としての記述のある針葉樹4種、広葉樹7種について分布域、生態的特長、材料としての性質や主な用途について樹種別に記述する(図3, 4 出典は日本林業樹木図鑑(地球出版, 1964))。

[針葉樹材]

a) イチイ 学名 *Taxus cuspidata* (英文表記 Japanese yew)

属名 *Taxus* はラテン語で「弓」、種名 *cuspidata* は「先端の尖った」という意味である。和名ではオンコ、アララギとも呼ばれる。

シベリア東部、サハリン、中国東北、朝鮮と南千島から鹿児島県高隈山までの温帯上部と亜寒帯のやや湿潤な土地の山林中に混生する常緑針葉樹。高さ20m, 胸高直径は75cmにまでなる。葉は互生し、先端は尖るが質はやわらかく、触っても痛くない。みずみずしい赤い実をつける。成長が遅いため年輪は狭く材質は硬い。心材は紅褐色で加工性・保存性ともに優れている。辺材は狭く白色。鉛筆材としては日本産中最良であり、また彫刻材、床柱、風呂桶、櫛などに利用される。昔、高官の笏(しゃく)に用いたので「一位」の名が付いたという。イチイ属はヨーロッパ各地に見られるが成長が遅いため少なくなっている。

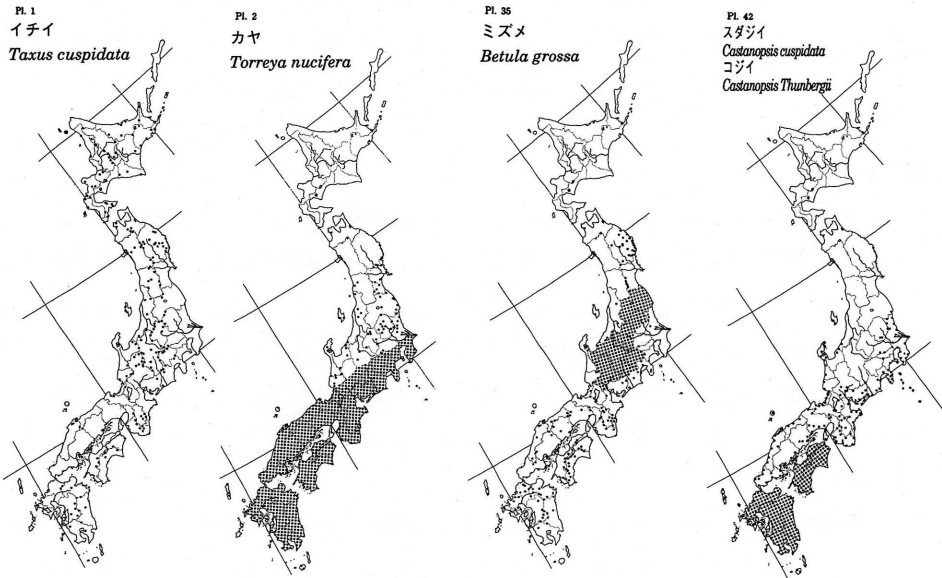


図 3

b) カヤ *Torreya nucifera* (Japanese Torreya)

暖地の森林中に散生するイチイ科の常緑針葉樹。成長はきわめて遅いが高さ25m、胸高直径2mにも達する。岩手・山形両県から屋久島までと済州島の暖帯林中に広く散生する。九州ではシイ・カシの常緑広葉樹と単木的に混在する。葉は螺旋性で2列に並ぶ。先は鋭く尖り触ると痛い。材は黄白色で、辺・心材の区別が不明りょうであり、加工性・保存性が高く水湿にも耐えるので、建築・器具・土木用に供されるが、とくに大径木の柁目材は基盤として最高級品であり、宮崎県産が名高い。材が均質で切削加工しやすいため彫刻に用いられた。種子は食用と十二指腸虫駆除薬に利用される。

c) イヌガヤ *Cephalotaxus harringtonia* (Japanese plum-yew)

属名は頭状のイチイ。イヌガヤ科。カヤによく似ているのでかつてはイチイ科に分類されていたが、花の構造が違うので現在では別科とされている。

岩手県以南の太平洋側、四国、九州、朝鮮南部の暖温帯に分布し、高さ10m、胸高直径30cmになる常緑小高木。東北以北には変種のハイイヌガヤが分布する。葉は対生し先端は尖るが触っても痛くない。大木になることはなく用材にはならないが、材は緻密で堅く、粘りがあるのでさまざまな細工物に使われる。種子の内乳から油をしぼり、灯油に用いた。材は緻密で堅い。

d) イヌマキ *Podocarpus macrophyllus* (Longleaf Podocarp)

房総半島以西琉球諸島までの主として太平洋側と台湾、中国中・南部の暖帯、亜熱帯に分布する。適潤地を好み、海岸林に多い。材は黄褐色で木目が通り、水湿に耐え、またシロアリに強いので、建築・土木用に供される。潮風に強いので沖縄県では海岸砂防林としても植えられる。高さ20m、胸高直径50cmに達する常緑高木。コウヤマキのホンマキに対して犬の字を冠して区別した方言名が、そのまま和名に用いられた。

[広葉樹材]

e) スダジイ *Castanopsis cuspidata* (Western chinquapin)

日本の暖帯林の最も中心となるブナ科の常緑広葉樹。福島県および佐渡島以南の本州、四国、九州、斉州島に分布する。高さ25mにも達する。シイにはスダジイ var. *sieboldii* とコジイ var. *cuspidata* Schottky (ツブラジイともいう) の2型が知られる。スダジイは堅果が大きく長く、樹皮は早くから縦にひび割れ、葉も大きい。日本の海岸沿いに多い。コジイは、堅果が小型で丸く、樹皮は老木になるまで平滑、葉はやや小型で球状の樹冠をつくる。

心材は黄褐色、辺材は黄白色。材は薪炭、建築、器具などに用いられ、シイタケの柁木(ほたぎ)ともなる。堅果の養分をためた子葉は、渋みがなくやや透明な白色で、食用となる。萌芽性が高い。

f) ヤマグワ *Morus bombycis* (Mulberry)

養蚕用に日本で広く栽培されるクワの母種の一つになったもので、自然状態では高木になる雌雄異株の落葉樹である。日本全域、さらにサハリンや朝鮮に分布し、地域的、生態的な変異が大きい。高さ12m、胸高直径60cmに達する。材質はやや堅硬、切削加工は容易でない。材は韌性とみ従曲性がある。

心材の耐朽性は高く、機械（柱時計・滑車）、楽器（ヴァイオリン・三味線の胴）、車輛、家具（鏡台・箆筒）、床柱、旋作（ろくろ細工）など装飾的用途に供されることが多い。

g) ケヤキ *Zelkova serrata* (Japanese Zelkova)

谷間の肥沃地に生え、都市の街路樹としても多いニレ科の落葉大高木で、日本の代表的広葉樹の一つである。扇を半開したような美しい樹容をなし、高さ40mに達するものがある。青森県から鹿児島県北部までの各地と、朝鮮、中国の温帯と暖帯に分布し、湿潤肥沃地を好む。材は黄褐色か紅褐色の環孔材で木目が美しい。心材の耐朽・保存性は高く、水湿にもよく耐える。比重は大きく、含水率1%の減少に伴う収縮率が柁目方向で0.16%と小さいため、重硬で狂いがなく保存性も高いので、建築・船舶・車両・機械・楽器・彫刻材に幅広く供され、とくに社寺建築の構造材や大黒柱に、また盆、漆器の木地などに賞用される。曲げ強さの値が高く強靱でかつ従曲性に富んでいるので曲木に適している。樹皮は細工物に利用される。

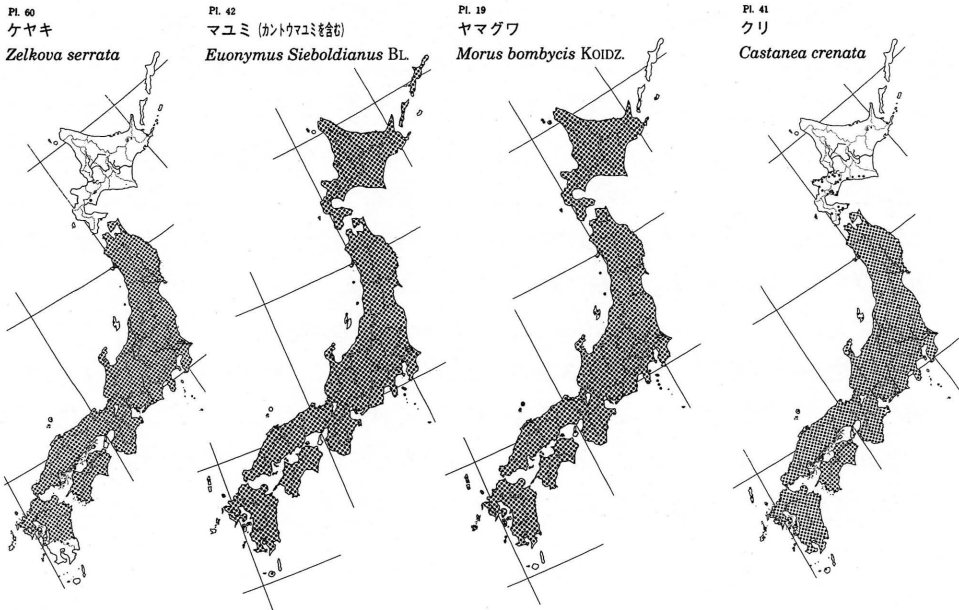


図 4

h) マユミ *Euonymus sieboldianus* (Japanese spindle tree)

ニシキギ科ニシキギ属の落葉小高木、高さ6m、胸高直径30cmに達する。日本全土、朝鮮、サハリンの温帯林に分布する。秋の紅葉の美しさから「錦木 (にしきぎ)」の和名がついた。ニシキギ属は北半球の温帯・暖帯を中心に約175種を産し、特に東アジアに分化して、日本にも約15種ある。果実は赤くて美しい。実は薬用に用いた。材は黄白色、材質は緻密でやや堅硬、割裂は容易、材はツゲ材に似ていることから彫刻 (版木・印判)、器具 (櫛、ステッキ、寄木細工)、家具、室内造作、ろくろ細工に使用される。

i) ミズメ *Betula grossa* (Japanese cherry birch)

梓弓の梓にあたる植物には、古来キササゲ、アカメガシワ、オノオレ、リンボク(ヒイラギガシ)などの諸説があり一定しなかった。ところが白井光太郎がカバノキ科のヨグソミネバリ (ミズメ) 説を唱え、正倉院の梓弓についての顕微鏡的調査の結果からも実証され、現在これが定説になっている。落葉高木、高さ20m、胸高直径60cm、岩手県以南の本州、四国、九州の温帯および暖帯山地に分布するが、東北地方の日本海側にはほとんど見られず、房総半島には産しない。枝を折るか樹皮を剥けばサロメチールの香りがする。良質の散孔材で、心材は紅褐色、辺材は黄白色。比重は大きく、含水率1%の減少に伴う収縮率が柾目方向で0.18%と小さいため、重硬で狂いが少ない。木器、盆、漆器木地、道具の柄、三味線の棹、琵琶の胴、算盤、櫛など材の用途は広い。

j) クリ *Castanea crenata* (Japanese chestnut)

北海道西南部、本州、四国、九州の暖帯から温帯に分布する落葉高木。高さ17m、胸高直径60cmに達する。優良な環孔材で、心材は褐色、辺材は帯褐灰白色で狭い。含水率1%の減少に伴う収縮率が柾目方向で0.17%と小さく、狂いが少ない。タンニンの含量が多く、耐朽・保存性は極めて高い。また、水湿に耐える特性がある。切削加工は容易ではないが、割裂は容易。材の用途は広範で、建築 (柱、床柱、窓格子、手摺)、家具 (筆筒、食卓、椅子)、器具 (葡萄酒樽、ビール樽、柄)、枕木、坑木、舵、櫂、彫刻、椎茸原木などに使用され、堅果は食用にされる。

k) カマツカ *Pourthiaea villosa* (Chinese christmas berry)

北海道から九州まで、暖帯から温帯の適潤な陽地に広く分布するバラ科の落葉低木。高さ5m、胸高直径20cmに達する。散孔材で心辺材の区別はない。材は淡紅褐色、比重の値が0.86と大きい。緻密で一名「ウシコロシ」とも呼ばれる。杖、道具の柄などの器具材、牛の鼻環、櫛に使用される。堅果は食用になる。

3 本研究に使用した資材を採取した地域の特徴

本研究に際し東京大学から提供した弓材料の樹種と本数はイチイ15本、ミズメ4本、イヌガヤ33本、ヤマグワ15本、カヤ12本、スタジイ3本の6種、82本である。これらは千葉県天津小湊町の千葉演習林、北海道富良野市の北海道演習林、埼玉県大滝村の秩父演習林にある3地域の森林から採取した。その内訳は、イチイ15本はすべて北海道演習林、ミズメ4本とイヌガヤのうち7本は秩父演習林から、その他はすべて千葉演習林から採取した。

南北に長い日本列島は亜寒帯から亜熱帯まで多様な森林植生を擁している。このため東京大学では各植生帯を代表する森林を演習林として維持し、教育研究に供している。北海道演習林は亜寒帯から冷温帯にまたがり中央ヨーロッパや五大湖周辺と同様に常緑針葉樹と落葉広葉樹から構成されている。秩父演習林は温帯地域の森林を代表し朝鮮半島や中国揚子江以北と近似する落葉広葉樹が主体である。千葉演習林は暖温帯地域をカバーしており揚子江以南と同様な照葉樹林を形成する常緑広葉樹を主体としている。このように演習林は多様な樹木種を擁し、遺伝子バンクの機能を果たしている。東京大学の7箇所の演習林ではわが国の樹木種の過半数を擁している。これらの森林では気象観測など基礎的な情報とともに過去の森林取り扱いの経緯についても検証ができる。また、わが国には27の大学が91箇所の演習林を擁しており、島嶼部をのぞいては日本列島のほぼすべての森林タイプをカバーし、基礎的な情報を収集している。本研究のような実証的研究の資材を採取するには最適のフィールドである。

おわりに

本研究のように数千年レベルの過去の事象を実証的に検証する際に、材料となる生物の変化を視野に入れておく必要がある。樹木についても100代以上の世代交代があったと考えられるので遺伝形質の変化や気候状態の違いにより、成長パターンが変化している可能性がある。例えば、現在よりも寒冷的な気候を想定すると年輪の間隔は狭くなり、気乾比重や曲げ弾性係数が高くなっていた可能性も否定できない。また、植生の分布地域も現在と異なる可能性があることを考慮するべきである。