

歴史や文化にかかわる木材の科学的調査

杉山淳司*

1. 木材の標本庫とその活動

ハーバリウム Herbarium とは、ラテン語 (herba 草 + arium に関する場所) に由来する植物標本室のことを意味し、植物分類学者が分類の仕事に従事し、新種を発見したり、標本の整理をするところである。また、Xylem (木) + arium (場所) と併せて、Xylarium は、木材標本室のことをいう。実は、イギリスのロンドン南西部にあるキュー王立植物園が中心となって、世界中の Xylarium のディレクターを作製しており¹⁾、インターネットで閲覧することができる。Xylarium は、木材の標本を採集し、整理・管理し、また世界中の同様の施設と材の交換を行う。このような協調的な作業によって標本や資料が分散管理されることになり、貴重な学術資料として、また生物多様性に関わる生物標本として様々な研究に利活用されている。

筆者が所属する京大大学生存圏研究所は、共同利用・共同研究拠点として国内外の研究者に利用される「生存圏科学」のハブ校となってきた。その柱となるのが、MU (ミュー) レーダー (中層・高層域の大気分析に開発された大型のレーダー) をはじめとする大型研究施設など 12 の施設・設備利用型共同利用・共同研究と、衛星からの電子データや「もの」のデータを利用するデータベース型共同利用・共同研究である。材鑑調査室は、もちろん「もの」のデータベースの中核的存在で、木材解剖学、年輪学、

気象学、地球惑星科学、保存修復学、歴史学、考古学などの学際的・文理融合研究を育むリソースとなっている。

現在、標準材鑑標本は、19,534 点、さく葉標本 3,860 点、古材標本、448 点、標準プレパラート標本 10,275 点、識別用プレパラート標本 2,485 点など、多数のデータを管理し、継続的に収集を進めているところである。これら材鑑調査室のコレクションは、共同研究はもとより、大学のオープンキャンパス、公開講演会、SSH 指定校などの見学の際には一般公開される。また、「木の文化と科学」というシリーズものの生存圏シンポジウムを毎年開催し、異分野研究者の交流の場ともなっている (図 1)。



図 1 材鑑調査室の活動。標準木材標本庫 (左上)、光学顕微鏡用プレパラート (右上)、大学生・院生を対象とした木材識別講習会 (左下)、一般公開の「木の文化と科学」生存圏シンポジウム (右下)。

*京都大学生存圏研究所教授

2. 標本について

標準木材標本は、京都大学の KYO に木材 (wood) の頭文字を添えて KYOw という識別記号で区別される²⁾。178科 1,131属 3,617種(前回調査時なので、種は増加している可能性あり)を保有しており、日本産がその大半を占めるものの、産地が明確な外国産材 6,000 点以上を含んでいる。それらの国別内訳を図 2 に模式的に示した。帝国大学時代からの蓄積もあり、木材標本は樺太地方から東アジア、東南アジアの国々、パプアニューギニアにかけて広く分布し、環太平洋地域でかなり充実したものとなっている。一方でアメリカや、オランダ、フランス系(植民地を含む)の国々とは木材標本サンプルの相互交換や研究者交流の結果、その数が大きく増加してきている。多くの木材を所有しているように見えても、まだまだ標本のない地域もあり、木材サンプルは生物多様性データそのものであると同時に後で述べる過去に遡る様々な情報を得るためのタイムカプセルであるので、今後も積極的に収集・交換を進めていきたいと考えている。

3. 適材適所

日本書紀には、スサノヲノミコトが、「から国の島には金銀がある。我が子の治める国に「船」がないというのは良くないだろう」と言って、ひげを抜いて放つと「すぎ」の木になった。また胸の毛を抜いて放つと「ひのき」の木になった。尻の毛は「まき」の木になった。眉の毛は「くすのき」の木になった。そうしてその用途を定めて、「すぎ」と「くすのき」、この二つの木は「船」としよう。「ひのき」は宮殿を作る建材にしよう。「まき」はこの世の人々をほうむる際の棺ひつぎの材料としよう。そして、その用いるたくさんの樹木は皆でよくま播いて生やそう」と言った、との記載がある。また陵墓(古墳)があまりにも有名な仁徳天皇に関する記載の中には、非常に長い在位期間中に手がけられた数多くの業績のなかに、今の大阪の大規模な治水工事があったと記されている。おそらく、堤の建設に際して、木材の土木利用があったのではないであろうか。

このように見てみると、古代わが国では、総力を挙げて国づくりに木材を利用していたことはまず間違いないだろう。それが日本固有の木



図 2 材鑑室所蔵木材の産地一覧。日本を除く海外からのサンプルを国別に表示した。最大 600 点、6 段階表示したもの。

の文化を生んだということにつながるのではないだろうか。育て、利用し、流通させる、日本ブランドの木材を最大限利用する、これをやり遂げる能力はわれわれのDNAの中にあるのだと思う。

古代から伝わるこのような木材の利用は、物性、耐久性、加工性など現代の目で視てみても合点のいく選択である。つまり、この時期すでに、長い経験に基づいた用材選択の知識があったということである。さらに、日本書紀以前の古い遺跡から出土する木材を調べても同様、道具それぞれの用途に応じた木材が出土する。適材適所という字面通りの、「木の文化」が我が国には存在するわけである。

樹種を調べることで、過去の植生を復元することも可能である。一例を挙げれば、阿蘇山の火砕流で埋没した現在の佐賀県に位置する森林に、八ヶ岳など限られた地域に生育する樹木が多く出土したことから、現在よりも冷涼な気候であったと推定されている³⁾。このような古気候や古植生に関する研究について、さらに知りたい方は「日本人と木の文化」⁴⁾を読まれるとよいであろう。

4. 年輪から何を知る

樹木は先端が伸びる「先端成長」と、横方向に太る「肥大成長」を行う。春、梢が伸びるのが先端成長、その枝が太るのが肥大成長である。幹はすでに伸びる成長を行わないので肥大するのみである。そうやって出来ていく（蓄積されていく）木部が木材として利用される部分である。余談になるが、ある有名な家族マンガでおじさんが孫に向かって曰く、「わしが子供のころに、背丈を測ってこの木につけた傷は、今ではあんなに高いところにってしまった」という一コマがあるらしいのだが、これは樹木の生

長を考えると全くあり得ない話である。つけた傷はすでに肥大成長によって覆われ、修復されているはずである。ただし、その傷が分裂組織をいためるほど深いものであったら、同じ高さのところ、木材の内部に記録として残っていることになるが、切るかX線CTを撮るなどしない限り、表面からその記録を知ることはできない。

樹木は人間や動物のように相似的に大きくはならない。相似的という表現が適切かどうか分からないが、とにかく一度できた組織は変わらないということである。図3をみると、多くの方は樹木が徐々に膨らむように成長して地面を押し壊しているように見るかもしれない。実際は、樹体が受ける横風などの影響で根が持ち上げられ地面が破壊される。続いて、破壊された地面は塑性変形なので元に戻ることはないのに対し、木材は肥大成長を続けてその隙間を埋めていく。この繰り返してである。

樹皮を剥いだときのこと、あるいは枝を折ったときのことを思い浮かべると良い。樹皮の少し内側、幹あるいは枝の中心部の固いところに到達する手前にあるみずみずしい部分が活発に細胞分裂しているところである。樹体を薄皮で覆うように存在するこの部分を形成層と呼び、



図3 地面をこわす？クスノキ。京都大学吉田本部キャンパス内にて。

この部分の生命活動により、内側に木部（しばらくは水分を導導）、外側に師部（葉から光合成産物を転流）を形成する。木部側の細胞はほんの一部を除いて分裂後数週間で死細胞となり、いわゆる木化した細胞壁を残す、これが木材。師部側は外側にいくにつれ死細胞のみになり、徐々にはげ落ちてゆく。こちらが樹皮として知られる部分である。このような樹木の生命活動は、温帯に位置するわが国では初春から晩夏にかけて行われ、時期によって少し異なる組織を形成するために、年単位の周期性である年輪が形成される。

図4は材鑑調査室が保管する法隆寺五重塔の心柱である。材はヒノキで354年の年輪が確認されている。年輪の幅には気候変動のリズムが記録されるのであるが、ヒノキに関しては、紀元前にまで遡る年輪リズムの物差し（マスタークロノロジー）が奈良文化財研究所の研究により確立されている。それをもとに測定したところ、この354年の年輪が、西暦241年から594年の年輪であることが明らかになり、法隆寺の歴史について大きな議論となった⁵⁾。

このように、樹木の年輪の幅の経年変化を詳しく調べることで、年代を測定する（年輪年代

学）、また個々の年輪に含まれる放射性炭素や、炭素や酸素の安定同位体を調べることで、その木材の生きた年代、木材がどこから来たか（年輪植生学・地域学）、環境変化、気候変動（年輪気候学）など、さまざまな過去のイベントを推定することが可能になりつつある。

このような研究が可能となるのは、木材が二酸化炭素と水を利用して形成され、その時の時間と空間を構造内に固定するためである。さらに、それが難分解性の物質（セルロース）として細胞壁に蓄積されることで千年を越すスパンで情報が蓄積・保存される。現在、非可食性バイオマス資源としていかに効率的にセルロース分解するかを議論する一方、その難分解性ゆえに残されてきた歴史的な史実や気候変動等の情報を与えるタイムカプセルとしても木材は大いに注目されている。

5. 樹種を非破壊でしらべる

木質文化財に用いられている木材の樹種を特定することは、文化財の保存や継承の観点のみでなく、歴史的な背景を理解する上でも非常に重要である。しかしながら木材の樹種識別で通常用いられる手法は、木材の三断面（木口面、柃目面、板目面：図5左上参照）を切り出して顕微鏡による組織観察を行うというものであるために、非破壊検査を原則とする貴重な文化財に対しては適用できない。そこで筆者らは、樹種識別の非破壊的分析法として近赤外分光法⁶⁾やシンクロトロン放射光を用いたCT法⁷⁾について検討してきた。近赤外分光法は化学成分の違いに基づく手法であり、簡便かつ迅速であるという特長から幅広い分野で既に应用されている。樹種識別への適用もこれまでに複数の研究がなされており、ポータブルデバイスを用いたフィールド調査への利用も検討されている。

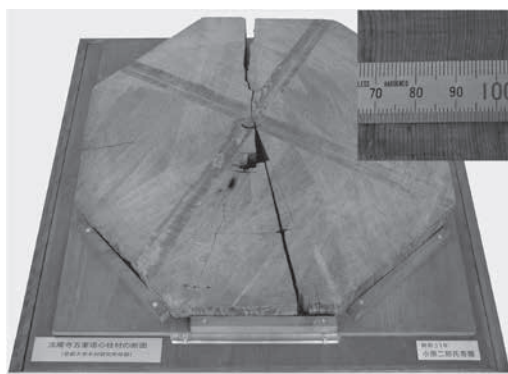


図4 法隆寺五重塔の心柱の断面(小原二郎氏寄贈、生存圏研究所所蔵)。最も長いところの直径85cm、挿入部は柱の外周付近の拡大図。

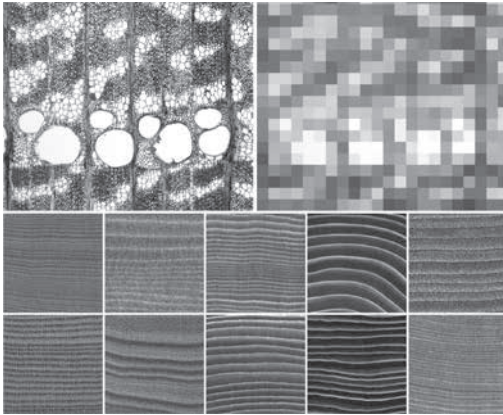


図5 ケヤキ木口面の光学顕微鏡写真（左上）と同じ場所を0.1ミリメートルの解像度で表現した画像（右上），実際の0.1mm分解能で撮影した10種類の木材木口面のCT画像（一辺3cmに相当）（下段）。

一方のシンクロトロン放射光を用いたCT法は高解像度のCTデータが得られることから、顕微鏡を用いた場合と同様の組織観察に基づいた識別が可能である。しかしながら現状では、大型放射光施設での測定が必要であることや試料の大きさに大幅な制限があるために汎用性に欠ける点が課題である。

現在、九州国立博物館では大型X線CT装置を導入し、「文化財の健康診断」としての非破壊的な測定が行われている。この測定データの解析により、保存や修復のための有用な情報もたらされてきたが、用材の樹種の特定には至っていなかった。得られる画像の解像度は最高でも0.1mmほどであり、光学顕微鏡レベルの組織観察によって判別する従来の識別手法に必要な情報が得られないためである（図5右上）。しかしながらCTデータから得られた木口面の二次元画像には、年輪より細かいオーダーの濃度変化を明瞭に観測することができる（図5下段）。CT画像のグレーレベルの濃淡は木材の密度の差異が反映されたものであるため、組織構造を直接観察することはできなくとも、樹種

間の組織構造の違いがその分布に反映されているはずである。

そこで現在、濃度分布（＝テクスチャー）情報に基づいた画像による樹種の自動認識に取り組んでいる。これは、顔認識や文字認識をはじめとして今日我々の身近に広く用いられている技術であり、未知の物体の画像から何かしらの特徴を抽出し、これを予め学習させたデータベースと照合させて物体を特定するというものである。1973年に衛星写真や航空写真の解析に提案されたグレースケール同時生起行列⁸⁾を用いて画像に頻繁に用いられる特定の材質をもつ樹種のデータベースを作成したところ、非常に高い確率で樹種の特定が可能であることがわかってきた。今後、さらにデータベースを充実させることで、非破壊検査が原則とされる木製品や、塗装により木部の観察が出来ない木製品などの識別に応用できればと考えている。

6. 謝辞

木材の画像による自動認識に関する研究は日本学術振興会（SPD）の小林加代子博士、九州国立博物館の今津節生氏、赤田昌倫氏、奈良国立博物館の鳥越俊行氏との共同研究であり、この場を借りて深謝する。

参考文献

- 1) Index Xylariorum 4. URL: <http://www.kew.org/collections/wood-index>
- 2) 生存圏研究所生存圏データベース（木材多様性）URL: <http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/arch/bmi>
- 3) Matsumae, TandIttoh, T., The Composition of Tree Species in the Forest Buried by the Aso-4 Pyroclastic Flow : Identification of Wooden Remains Excavated from Yato

- Relics in Saga Prefecture, *Wood Research*, **83**, 30-32 (1996)
- 4) 鈴木三男, 日本人と木の文化, 八坂書房, 2002
 - 5) 光谷拓実, 年輪年代法と文化財, 日本の美術, No.421, 至文堂, 2001
 - 6) Horikawa, Y., Mizuno-Tazuru, S., Sugiyama, J., Near-Infrared Spectroscopy as a Potential Method for Identification of Anatomically Similar Japanese Diploxyloids, *J. Wood. Sci.*, DOI 10.1007/S10086-015-1462-2, 2015.
 - 7) Mizuno, S., Torizu, R., Sugiyama, J., Wood Identification of a Wooden Mask Using Synchrotron X-Ray Micrography, *J. Archaeol. Sci.*, **37**, 2842-2845, 2010.
 - 8) Haralick, R.M., Shanmugam, K., Dinstein, I., Textural Features for Image Classification, *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, **3**, 610-621, 1973.