

歴史的建造物由来ヒノキ材の年代判定

Age Determination of Hinoki Wood from Historical Buildings

横山 操・伊東隆夫・川井秀一・尾崎大真・
坂本 稔・今村峯雄・光谷拓実・窪寺 茂・濱島正士

YOKOYAMA Misao, ITOH Takao, KAWAI Shuichi, OZAKI Hiromasa, SAKAMOTO Minoru,
IMAMURA Mineo, MITSUTANI Takumi, KUBODERA Shigeru and HAMASHIMA Masaji

- ①はじめに
- ②研究の背景と目的
- ③資料と方法
- ④結果と考察
- ⑤まとめ

【論文要旨】

我が国に多数現存する歴史的木造建築群は、それ自体が実証編年を示しており、歴史文化的価値が非常に高い。このことから、著者らは、歴史的建造物由来古材が単なる建築史資料として重要であるばかりでなく、出自の明確な歴史的木質材料としての価値を有することに着目した。そして、それらを材料工学的試料として捉える上で必要となる古材の年代を得るための試みとして、飛鳥期から現代までの歴史的建造物由来試料9点を選定し、年輪年代と¹⁴C ウィグルマッチ法による年代、ならびに古材に関する建築史的情報とを複合的に比較検討し、それぞれの古材試料に関する基本情報を抽出した。

【キーワード】 ヒノキ、歴史的木造建築、樹種識別、年輪年代法、炭素 14 ウィグルマッチ法

①……………はじめに

わが国は“木の文化”という言葉に端的に表現されるような、自然風土と文化遺産を多数保有しており、木材は古来より現在に至るまで主たる建築材料としても用いられてきた。また、建立から1200年以上の時を経て現存する法隆寺五重塔をはじめ、これらの日本列島に多数現存する木造建築群は、世界に誇る精緻な実証編年を有している。それらの歴史的建造物由来の古材は、建築史資料として重要であるばかりでなく、「出自の明確な歴史的な木質材料」としての価値を有している。そこでそれらが材料工学的試料として扱うために必要とされるのは、歴史的木造建築にかかわる文書類や棟札などの史資料による年代情報、建築様式に基づいた時代区分の判定、木製品表面に残る加工道具の痕跡や釘孔痕などの建築史的な情報、そして古材自体の生物科学的情報や年代情報である。

本研究では、歴史的建造物由来古材を材料工学的視点からとらえる上で、特に従来研究の進んでいなかった「古材の年代情報」を得る試みとして、飛鳥期から現代までの歴史的建造物由来試料9点を選定し、年輪年代法と¹⁴C ウィグルマッチ法 (¹⁴C 暦年校正曲線の凸凹 (ウィグル) の特性を利用し、一試料から複数の年輪における¹⁴C を測定し、得られたパターンと校正曲線パターンとを比較照合することによる高精度・高確度年代測定法) を適用した。そして古材に関する建築史的情報と得られた年代情報とを複合的に比較検討し、それぞれの古材に関する基本情報を明らかにした上で、古材の各種材料特性を抽出することを試みた。

②……………研究の背景と目的

著者らは、指定文化財建造物の修理に際して、文化庁、文化財保護課、公益財団法人文化財建造物保存技術協会などの関係機関や所有者の協力を得て、修理後に再利用されないと判断された古材を貴重な材標本として保存管理するとともに研究への利活用を図っている⁽¹⁾。それらの古材について、樹種識別や木材を構成する化学成分や細胞壁構造、物理特性など、木質科学的手法を総合的に行うことによって、木材物性の経年変化や材料寿命をはじめとする種々の研究プロジェクトを進めている⁽²⁾。その際、各々の古材試料の履歴を明らかにすることが必須であり、そのため、国庫補助事業によるわが国の文化財建造物保存修理工事において行われる詳細な調査から得られる履歴情報に注目している。

文化財建造物における調査とは、具体的には、建物の解体に伴う「寸法調査」「痕跡手法等資料調査」「仕様調査」「構成部材調査」「補足資材 (取替え部材) 調査」などであり、このとき、建物の履歴の全体像を把握するための基本情報として当該建造物の技法・工法をはじめ建築学および歴史学的情報が把握される^(3,4)。保存修理時に行われるこれらの諸調査は、旧来の建築の姿を究明する作業にとって重要となるばかりでなく、歴史資料である文化財建造物を適切に修理するために不可欠な情報である。

著者らが注目しているのは、このようにして得られる情報のなかでもとくに建造物の建立年代および修理年代である。これらは、建築様式をはじめ、瓦や石材、釘などの建築部材の特徴に基づく

編年によっても判定されているが⁽⁵⁾、木質部材に関しては、その形状のほか、表面の加工痕跡によって大工道具を推定することにより加工道具の変遷史を考察することで部材の製作時期が判定される場合もあるが⁽⁶⁾、これらの方法によるのみでは十分ではない。

加えて、決定的な年代情報としては、当該建造物の歴史的経緯を記録するもの、すなわち棟札や文書資料などである。棟札は当該建造物の建立年や修理年などが墨書された板のことで、このほか、年記等の墨書年号記銘のある瓦や墨書が発見されることもある。また、建立当時（当初）の建築内容や建立後の修理・改造内容を記録した造営関係文書が遺存する場合や、当該建造物に関連するなんらかの記録が記載されている文書資料が確認されることもある。

本研究では、文化財に使用されるヒノキ材（*Chamaecyparis obtusa* Endl）について、飛鳥期から現代までの歴史的建造物由来古材試料を用いてこれらの人文科学的情報ならびに年輪年代法と¹⁴C ウィグルマッチ法を併用した多角的な年代評価を試みた。

③……………資料と方法

3.1 資料

本研究では、飛鳥期から現代にいたる建造物由来古材9点（A～H, X）および現生材（I）それぞれについて、伝承および古記録の確認、および部材の形状ならびに表面の加工痕跡の観察により資料履歴を明らかにした後、年輪年代測定ならびに¹⁴C年代測定を行った。

本実験で用いた供試古材の由来と外観を表1および図1に示す。

有史以来、ヒノキが建造物にもっとも適した優秀で価値ある材料として尊ばれてきたことは、記紀の記述にも認められている⁽⁷⁾。ヒノキは、飛鳥期から現在に至るまで系統的に扱うことができる代表的な建築用材である。

そのことを示す一例として図2に、柱材に用いられた樹種の変遷を示したい。これは、近年、著者

表1 供試古材の由来

古材試料	建造物名	部材名	備考
A	法隆寺 五重塔	垂木	KYOw2701
B	法隆寺 五重塔	柱	KYOw2738
C	法隆寺	断片	
D	法隆寺	断片	
E	法隆寺	断片	
F	法隆寺	断片	
G	法隆寺	断片	
H	専修寺 御影堂	柱	
I	現生材		木曾産
X	二条城 米蔵	貫	KYOw16679

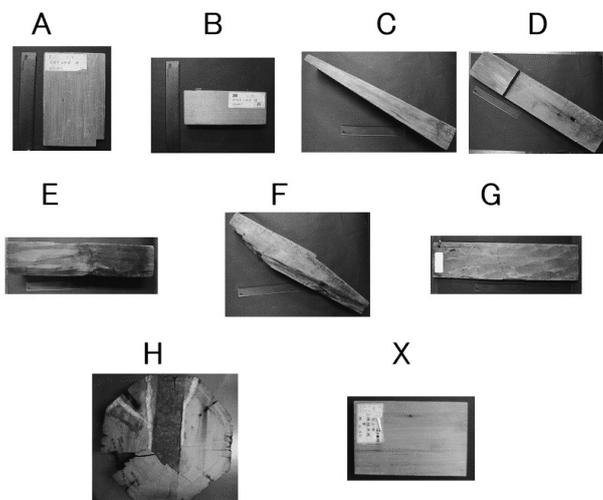


図1 ヒノキ古材試料外観

A～G：伝法隆寺古材，H：専修寺古材，X：二条城古材

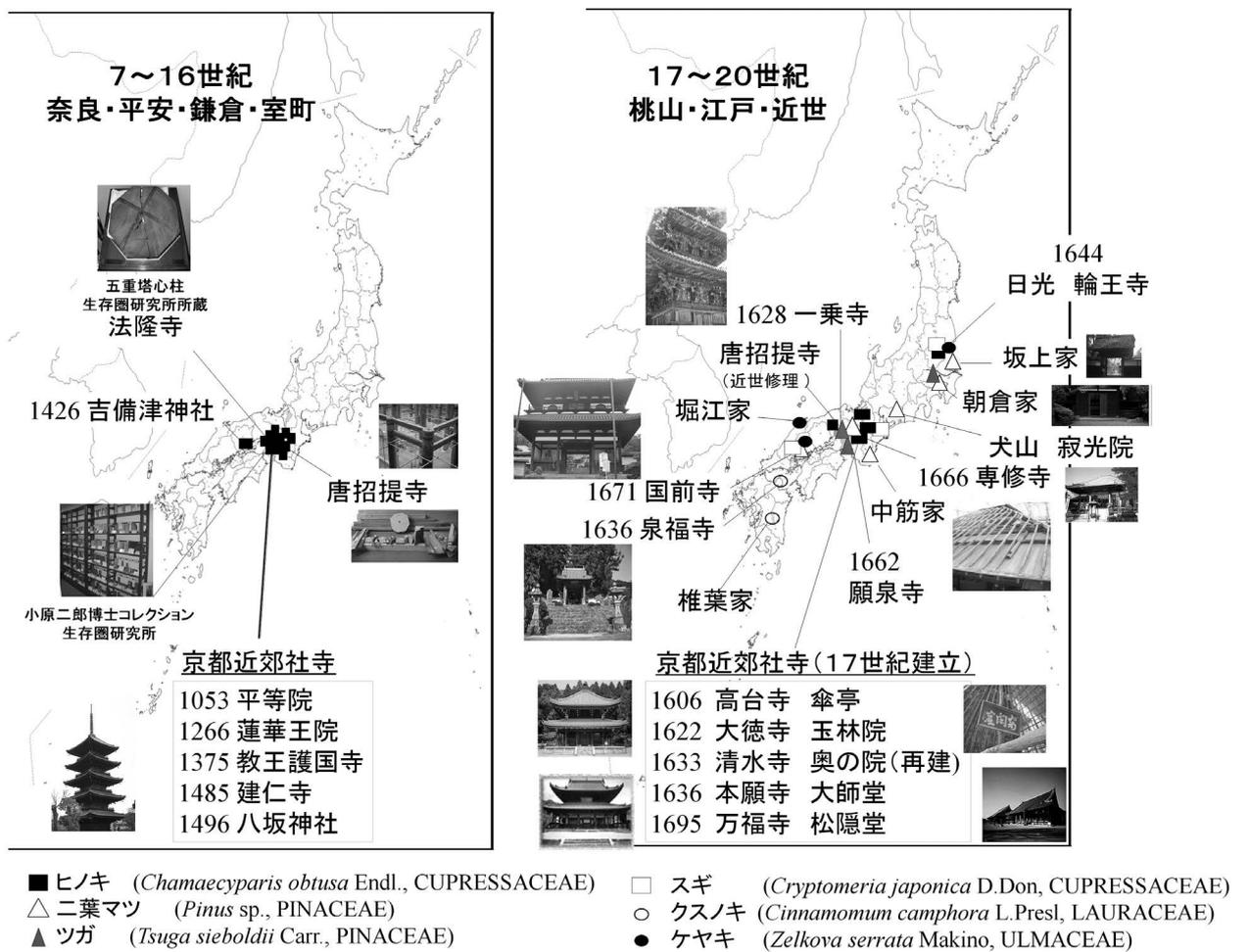


図2 歴史的建造物に用いられた樹種の変遷

左：7～16世紀に建立された建造物，右：17～20世紀に建立された建造物

らが中心となって、歴史的建造物に用いられた柱材の樹種について、主に修理現場に赴き調査を行った現時点でのプロットである。これより、16世紀以前に建立された建造物については、柱材をはじめとする主要な構造材がヒノキで構成されている場合が多いが、17世紀以後に建立された建造物、あるいは17世紀以降に修理された場合には、用いられた木材の種類が多様性を示すという傾向が明らかである。ここに示す16世紀から17世紀にかけて、建造物用材の樹種選択に大きな変化が生じたという背景には、建築用材の供給源の変化や、木材加工道具の変遷^(8,9)、また、植生の変化など種々の影響が考えられるが、いずれにせよ、現存する歴史的建造物において、7世紀から現在に至るまで系統的に扱う建造物由来木材試料として、ヒノキが最適の樹種であることを示すものと考えられる。

そこで本研究では、木材の解剖的特徴に基づいて国産ヒノキ材を選別し、このうち、さらに年輪年代測定ならびに¹⁴C ウィグルマッチ法を行うに十分なだけの年輪数として少なくとも60年輪を有する資料10点(表1)を実験に供した。対照となる現生材には、仏像などの文化財修理に用いられる良質の本曾産ヒノキを用いた。なぜなら、文化財保存修理において、腐朽等により再使用することが適当でない部分は、在来のものと同樹種、同品質の木材を使用してこれに替えることを原則としているためである。

3.1.1 樹種判定について

ここで、ヒノキ科ヒノキ属の木材解剖学的特徴に基づく識別根拠としては

1. 早・晩材の移行が緩やかであること。
2. 晩材幅が狭く、樹脂細胞が接線あるいは散在状に分布していること。
3. 早材仮道管分野壁孔がヒノキ型であること。

⁽¹³⁾があげられる。

ヒノキの解剖学的特徴を示す光学顕微鏡写真画像の一例を図3に示す。

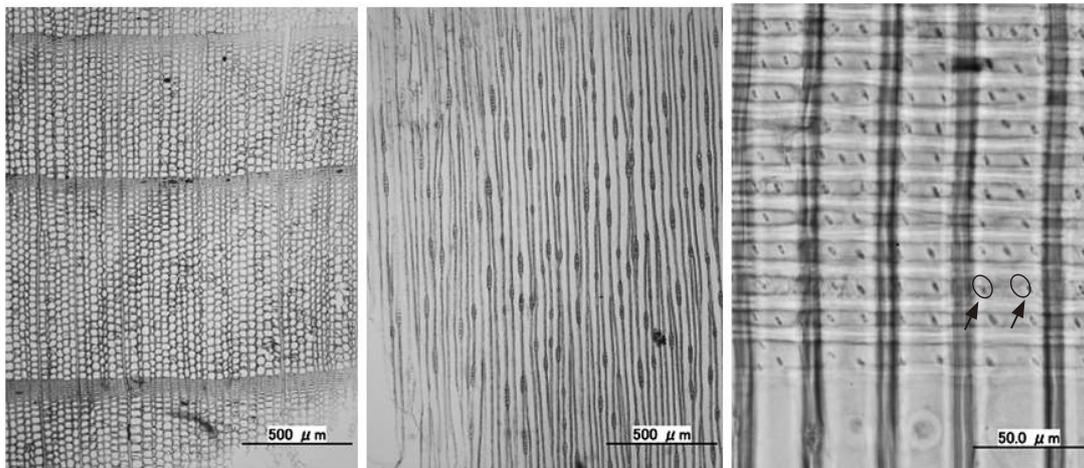


図3 光学顕微鏡写真 ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* Endl) 古材 C
(写真左より、木口面、板目面、柁目面。矢印は分野壁孔をさす。)

ここではさらにサワラなどの近縁種と区別するため、光学顕微鏡を用いた組織学的特徴として、早材仮道管分野壁孔の寸法および各々の分野内に二個ずつ整然と存在することも、ヒノキの識別根拠とした。

さらに、国産ヒノキの近縁樹種、たとえば、台湾ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* S. et Z. var. *formosana* Hayata) については、大径国産ヒノキの入手が困難になった近代以降、その代替材として文化財修理用材として輸入されており、木材解剖学的な特徴からは両者の判別は困難とされている。この場合については、新しく切削した表面の材特有の匂いによって両者を判別した。

3.1.2 部材の履歴について

ここでは、はじめに木材の年代情報について整理しておきたい。図4に示すように、木製部材から得られる情報としては、樹木として生育していた期間、およびその後、建築部材として使用されていた期間、二つの履歴がある。

歴史的建造物由来部材の理化学的な年代測定法には、年輪年代法と¹⁴C年代法とがあり、これによって明らかにされるのは、それぞれの年輪解析に基づいた、樹木として生育していた年代である。

図4において、本来の樹木の生育期間としてはA—Bであるが、樹皮あるいは辺材最外部分がなければ最後の伐採年代Bは明らかにできない。すなわち、年輪年代および¹⁴C年代による部材年輪から得られるのは生育期間情報の一部A'—B'ということになる。

一方で、建築部材としての使用期間は建立された時期Cから解体される時期DまでのC—Dである。場合によっては、修理で取り替えられた時期C'が明らかになる場合や、その後転用された場合もあるであろう。これらの情報は、墨書や史料によって明らかにされる場合が多いが、C'とDの時期の相対的な前後関係については、道具の加工痕跡や用いられた釘の形状などの変遷が有力

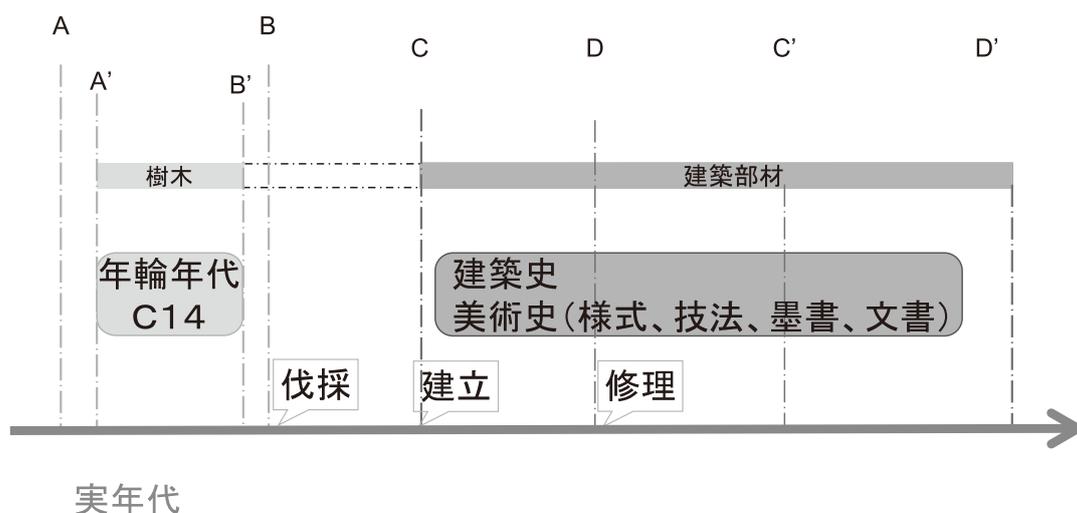


図4 木材(当初材)から得られる年代情報について
後補材の場合は「建立」を「修理」と置き換えて考える。

な根拠とされる場合が多い。ちなみに伐採期 B から部材として利用される C 期までの期間は、多くの場合は、伐採後の材の枯らしや運搬などの期間を意味し、比較的短期間である場合が多いが、他の建造物から転用される場合などはこの限りでなく、この B—C 期間が長期に及ぶこともある。

この図からも明らかなように、理化学的な方法で明らかにされうるのは樹木としての年代 A'—B' (あるいは A'—B) であり、建造物付帯文書などから明らかにされるのは部材としての年代は C—D である。それぞれの年代情報を精査することによって、炭素 14 年代が較正曲線と複数点で交差する場合の年代判定には、部材としての C—D に関する年代情報によって条件の絞込みが可能となることが考えられる。

そこで本研究では、年輪年代および炭素 14 年代測定に供するとともに、個々の古材試料について得られた部材履歴情報との対応を明らかにすることによって、年代評価の質を高めることを試みた。各々の古材試料から連続した木口試験片 (試料) を作製し、年輪年代および炭素 14 年代測定を行った。その際、それぞれの年代法による結果比較を円滑に行うため、欠損などが危惧される最外年輪ではなく、試料中央部に「基準年輪」を設定した。一例を図 5 に示している。

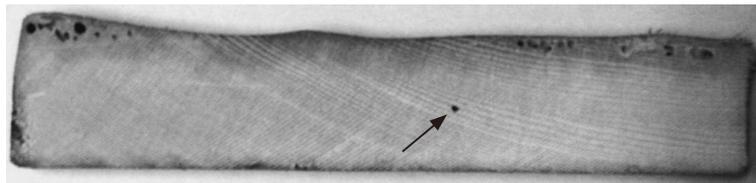


図5 基準年輪の一例：古材 G (左の試料中央の黒点が基準年輪)

3.2 年代測定

3.2.1 年輪年代測定

樹木の樹皮とその内側の木部との間には、形成層と呼ばれる樹木の肥大成長のための分裂組織がある。この形成層の活動には一定の周期があり、それに伴い木材組織にも周期的変化、すなわち成長輪が認められる。この成長輪は、温帯での成長は一年を周期とするため、年輪という。早材は春に、晩材は夏に形成されるが、その年の気象条件、温度や降水量などによって、各々の年輪の幅は左右される。そのため同じような気象条件のなかで生育した同じ樹種では、年輪幅の変動変化が同様の傾向を示すものがあり、日本ではそれがヒノキやスギ、コウヤマキ、ヒバなどで確認されている⁽¹⁴⁾。このような年輪幅の計測データの変動パターンについて、一定の同時代に生育した数十点の年輪試料から、各々の樹種について標準変動パターンが得られており、ヒノキの場合には紀元前 912 年から現在までの約 2900 年間の暦年標準パターン (マスタークロノロジー) が得られている⁽¹⁴⁾。

そこで、奈良国立文化財研究所において、実体顕微鏡付の年輪読み取り装置を用いて各々の歴史建造物由来古材について 10 μ m 単位で年輪幅を計測した。得られたそれぞれの年輪幅の変動パターンについて、ヒノキの暦年標準パターン (マスタークロノロジー) と照合し、その年輪が形成された年代を特定した。

3.2.2 ^{14}C 年代測定

個々の試験片において、基準年輪を中心に外側および内側に5年輪ごとに分割した。虫害や紫外線劣化の影響を含むと推察される表層を除いた健全な部位から、5年分の年輪層を6点ずつ採取し測定対象とした。試料は徒手で剃刀により薄片に切削した後、各々約30 mgを秤量した。アセトン中で超音波洗浄を行い、混在する物質を物理的に除去した。続いて、自動AAA処理装置（光信理化学製作所：K-RS-C-U）を用いて、酸・アルカリ・酸処理（AAA処理）を施し、試料中にあった汚染物質を溶出させて除去した。⁽¹⁵⁾超純水で十分に洗浄した後、試料を吸引濾過により回収し、110°Cの電気オープンにより乾燥させた。

AAA処理済の試料およそ3 mgを酸化銅とともに石英管に真空封入し、850°Cの電気炉で3時間加熱して完全に燃焼させた。生成した気体をガラス製真空装置に導き、液体窒素および冷却エタノールなどの寒剤を用いて二酸化炭素を分離・精製した。二酸化炭素を鉄粉および水素ガスとともに石英管に封入し、600°Cの電気管状炉で10時間加熱してグラファイトに転換した。グラファイトは加速器質量分析法（AMS）による ^{14}C 年代測定に供するため、専用のアルミ製試料ホルダーに充填した。

測定は東京大学大学院工学系研究科タンデム加速器研究施設（機関番号MTC）、（株）加速器分析研究所（機関番号IAAA）、（株）パレオ・ラボ（機関番号PLD）の各AMS装置で行った。なお、後者の2施設での測定は依頼分析として行なった。それぞれの試料について、表中に測定試料名とともに測定機関番号も記載している。

3.2.3 ^{14}C ウィグルマッチ法による年代較正の高精度化

得られた ^{14}C 年代は、較正曲線IntCal04⁽¹⁶⁾に基づいて暦上の実年代に修正した。較正曲線には過去の ^{14}C 濃度の変動を反映したでこぼこ（wiggle）が存在し、通常単一試料の ^{14}C 年代を較正しても実年代を絞り込むことが難しい。ところが樹木年輪のように、既知の年数間隔を持つ試料は、それらの ^{14}C 年代を較正曲線上に最適に配置することで較正年代を絞り込むことができる。

ウィグルマッチ法による年代較正は較正プログラムRHC⁽¹⁷⁾によった。ベイズ統計に基づき個々の較正年代の確率密度分布を算出し、年数間隔だけずらして掛け合わせて、注目する試料について新しい確率密度分布を導く。較正年代は確率密度分布が信頼限界 2σ （95.4%）になるよう絞り込み、最も確率の高い年代を最尤値として示した。⁽¹⁷⁾

④……………結果と考察

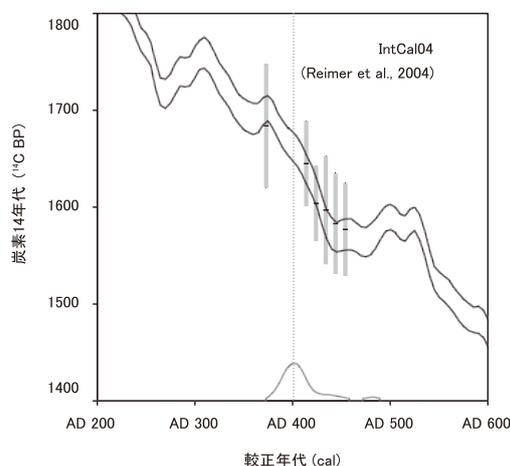
以下に個々の試料についての ^{14}C 年代測定法結果を示し、年代に関する議論を行う。前述のように、年輪年代法との比較を円滑に行うため、試料には「基準年輪」を設定した。それぞれの表には測定試料それぞれの基準年輪からの相対的採取位置と、測定機関番号、および炭素14年代を記載した。基準年輪の実年代は年輪年代法によって与えられ、ウィグルマッチ法による基準年輪（図中の縦線）の較正年代を、年代範囲と確率、および最尤値によって図に表記した。

4.1 法隆寺古材 A (NRHRJ-A)

法隆寺古材と伝承される小原二郎コレクションのひとつである (KYOW2701)。法隆寺西院伽藍の建築年代については、金堂・五重塔ともにその建築様式が、天平時代の様式とは異なっていることから、現存する建物が聖徳太子の建立による推古14,15年(606,607年)のままであるか、日本書記に認められる天智9年(670年)の火災以降のものであるか否か、という再建非再建論争が明治期より繰り返されてきた⁽¹⁸⁾。その後、発掘調査や天智9年の焼失後まもなくの和銅4年(711年)頃の再建によるものという説が有力となりつつあるが、これはその再建当初材の一つと伝承されている部材である。

図6にウィグルマッチ法による較正年代を示す。較正曲線 IntCal04 に対する測定結果のマッチングは良好である。年輪年代法によって得られた

基準年輪の年代 AD 377 (図12b) は、¹⁴C年代法による較正年代 AD 372~AD 459 (91.1%) に含まれ、良好な結果が得られた。試料そのものに樹皮および辺材部を含まないため、この結果から試料の伐採年そのものについては議論できないが、年輪年代から得られた最外年輪の年代 AD 434 (図12b) は前述の創建の年代とも矛盾することはない。



試料名	NRHRJ-A			
基準年輪	AD 377			
較正年代	AD 372	-	AD 459	91.1%
	AD 472	-	AD 490	4.4%
				95.4%
最尤値	AD 401			

図6

表2 法隆寺古材 A の各年輪試料の¹⁴C年代

測定試料名	測定機関番号	炭素14年代 (¹⁴ C BP)	基準年輪からの位置
NRHRJ-A 6-	MTC-08014	1684 ± 64	内に30~26層
NRHRJ-A 3	MTC-08013	1645 ± 44	外に11~15層
NRHRJ-A 5	MTC-08012	1604 ± 39	外に21~25層
NRHRJ-A 7	MTC-08011	1597 ± 56	外に31~35層
NRHRJ-A 9	MTC-08010	1583 ± 52	外に41~45層
NRHRJ-A 11	MTC-08009	1577 ± 48	外に51~55層

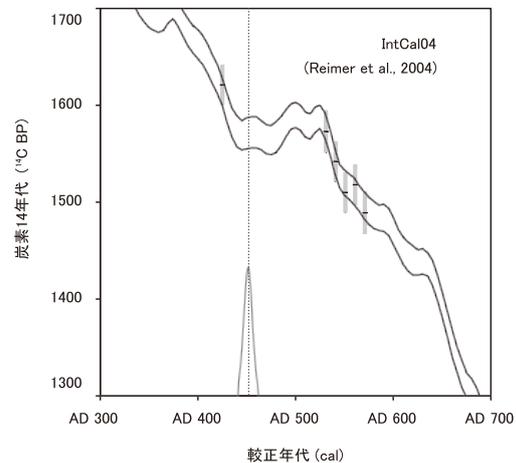
4.2 法隆寺古材 B (NRHRJ-B)

Aと同じく、小原二郎コレクションのひとつである (KYOW2738)。

これも、小原二郎博士によって試料が加工されており、当初の部材原型をとどめていないため、部材の全体像は不明である。桃山時代に用いられた柱材の一部と伝えられている。表3にウイグルマッチ法による較正年代を示す。較正曲線 IntCal04 に対する6点の測定結果のマッチングは良好ではあるが、年輪年代法による基準年輪の年代 AD 492 に比べ、¹⁴C年代法による較正年代 AD 442~AD 461 (95.4%) は若干古い結果となった。

いずれにせよ、得られた年代としては、伝承による桃山時代よりは古く遡り、最外年輪は AD 612 となる。しかしこの年代は創建当初の材であった可能性を排除するものである。平安時代後

期以降に建物の破損が進んだことや、鎌倉時代に東大寺や興福寺をはじめとする南部の諸寺がそれぞれ再建や大修理を行い、寺観を整えたことなどを考慮すると、この試料は転用された材であった可能性もありうる。年代判定の結果は、建造物保存修理における古材の再利用や後の改修における材の転用などの利用実態を判断することにも関係するので重要である。



試料名	NRHRJ-B		
基準年輪	AD 492		
較正年代	AD 442	-	AD 461
			95.4%
			-
			95.4%
最尤値	AD 452		

図7

表3 法隆寺古材 B の各年輪試料の¹⁴C年代

測定試料名	測定機関番号	炭素14年代 (¹⁴ C BP)	基準年輪からの位置
NRHRJ-B 6-	PLD-6731	1621 ± 21	内に30~26層
NRHRJ-B 16	PLD-6730	1573 ± 22	外に76~80層
NRHRJ-B 18	PLD-6729	1542 ± 21	外に86~90層
NRHRJ-B 20	PLD-6728	1510 ± 21	外に96~100層
NRHRJ-B 22	PLD-6727	1518 ± 21	外に106~110層
NRHRJ-B 24	PLD-6726	1489 ± 22	外に116~120層

4.3 法隆寺古材 C (NRHRJ-C)

法隆寺伝来とされる材であるが、建造物名、部材名、使用年代の詳細は不明である。図9にウィグルマッチ法による較正年代を示す。年輪年代法による基準年輪の年代 AD 451 は、¹⁴C年代法による較正年代 AD 449～AD 500 (95.4%) に含まれてはいるが、較正曲線 IntCal04 に対するマッチングは外側の2点が上方に外れ、必ずしも良好ではない。基準年輪より内側の未測定試料を測定することで、より詳細な検討が可能になるとと思われる。試料の最外年輪は AD 502 であり、再建当初材として矛盾のない値である。

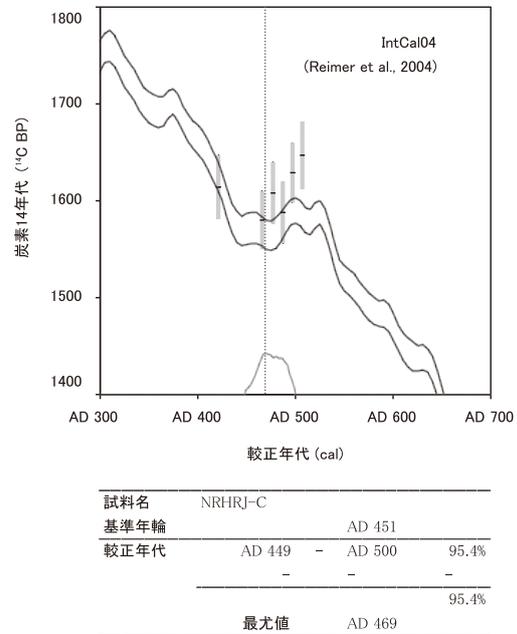


図9

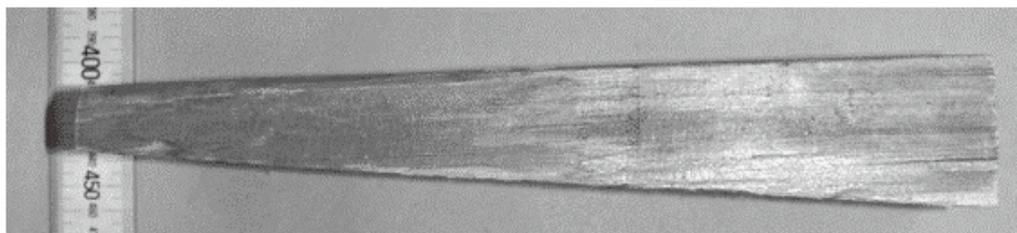


図8 古材試料 C 外観

表4 法隆寺古材 C の各年輪試料の¹⁴C年代

測定試料名	測定機関番号	炭素14年代 (¹⁴ C BP)	基準年輪からの位置
NRHRJ-C 10-	IAAA-62109	1614 ± 33	内に50～46層
NRHRJ-C 1-	IAAA-62108	1580 ± 30	内に5～1層
NRHRJ-C 2	IAAA-62107	1608 ± 32	外に6～10層
NRHRJ-C 4	IAAA-62106	1588 ± 32	外に16～20層
NRHRJ-C 6	IAAA-62105	1629 ± 31	外に26～30層
NRHRJ-C 8	IAAA-62104	1647 ± 35	外に36～40層

4.4 法隆寺古材 D

建造物名、部材名、使用年代の詳細は不明であるものの、創建当初に法隆寺で使用された材と伝えられる。仕口加工の形状、ならびに加工痕跡が残っているものの、部材の特定はできない。図11にウィグルマッチ法による較正年代を示す。年輪年代法による基準年輪の年代 AD 471 は、¹⁴C年代法による較正年代 AD 447～AD 485 (95.4%) に含まれている。較正曲線に対するマッチングは内側の3点が下方に外れ、必ずしも良好ではないが、全体的な変動パターンはCに類似し、年代範囲もCと同様と考えられる。最外年輪は AD 537 (表12b) であり、当初材と伝えられる所見と一致する。

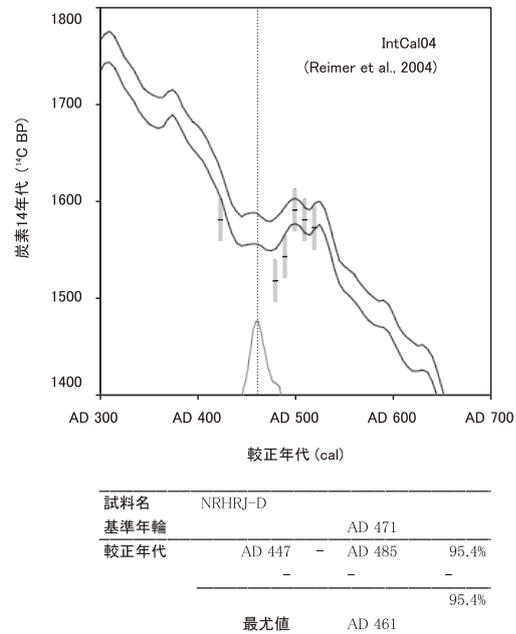


図11

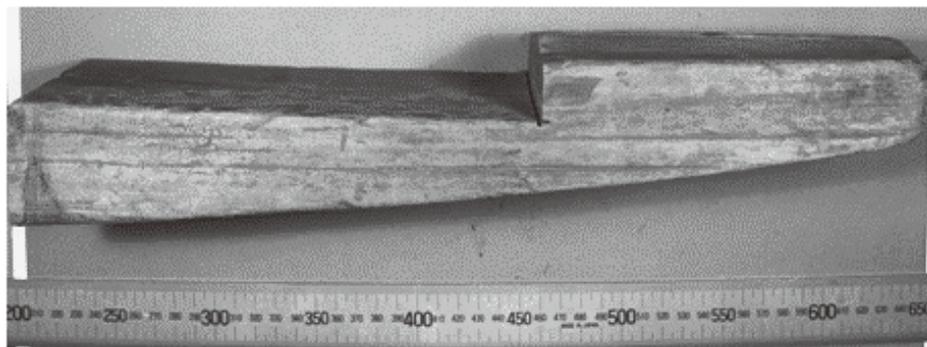


図10 古材試料 D 外観

表5 法隆寺古材 D の各年輪試料の¹⁴C年代

測定試料名	測定機関番号	炭素14年代 (¹⁴ C BP)	基準年輪からの位置
NRHRJ-D 8-	PLD-6743	1581 ± 22	内に40～36層
NRHRJ-D 4	PLD-6742	1518 ± 22	外に15～20層
NRHRJ-D 6	PLD-6741	1543 ± 22	外に26～30層
NRHRJ-D 8	PLD-6740	1591 ± 22	外に36～40層
NRHRJ-D 10	PLD-6739	1581 ± 22	外に46～50層
NRHRJ-D 12	PLD-6738	1573 ± 23	外に56～60層

4.5 法隆寺古材 E (NRHRJ-E)

伝法隆寺材で、個人に旧蔵されていたものである。端部は切断されているものの、残り4面のうち3つの表面には加工道具痕跡が認められた。建造物名、部材名、使用年代の詳細は不明である。図13にウイグルマッチ法による較正年代を示す。較正曲線 IntCal04 (Reimer et al., 2004) に対する測定結果のマッチングは良好で、ウイグルをよく再現している。年輪年代法による基準年輪の年代 AD 687 は、¹⁴C年代法による較正年代 AD 684~AD 695 (95.4%) という絞り込まれた年代幅に含まれ、きわめて良好な結果が得られた。これは試料に200年近い年輪数を含んでいることによるものでもある。最外年輪はAD 792であり、再建後の部材であることを示している。

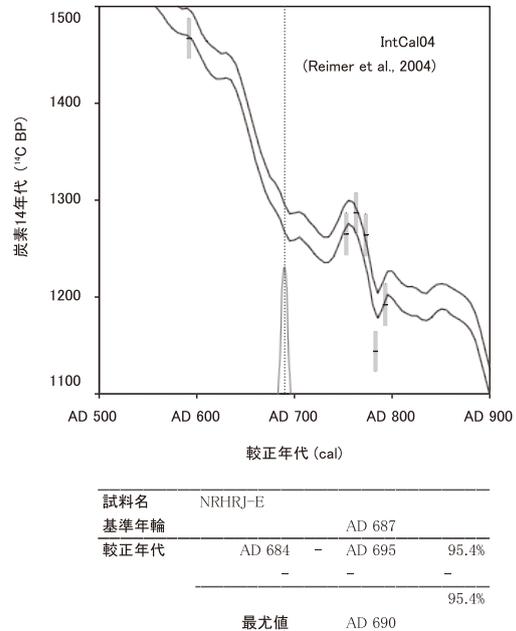


図13

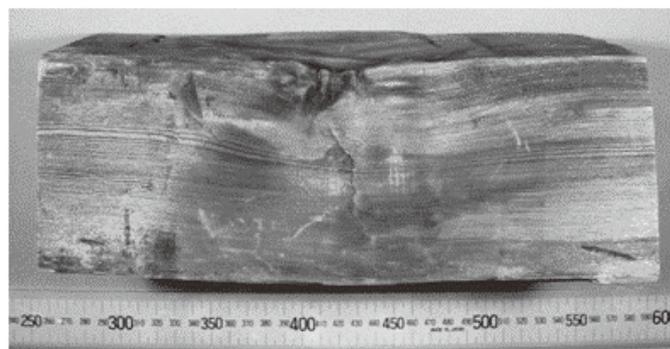


図12 古材試料 E 外観

表6 法隆寺古材 E の各年輪試料の¹⁴C年代

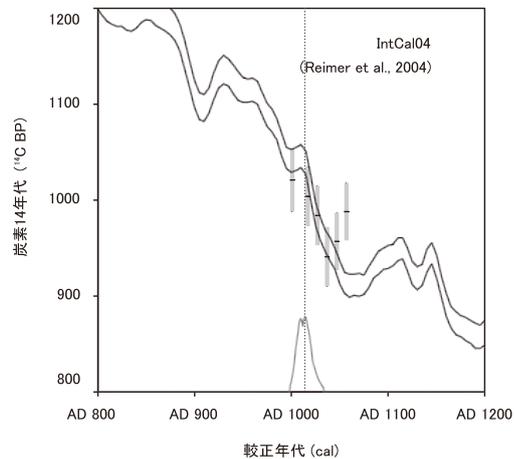
測定試料名	測定機関番号	炭素14年代 (¹⁴ C BP)	基準年輪からの位置
NRHRJ-E 20-	PLD-6749	1467 ± 21	内に100~96層
NRHRJ-E 13	PLD-6748	1265 ± 22	外に61~65層
NRHRJ-E 15	PLD-6747	1287 ± 21	外に71~75層
NRHRJ-E 17	PLD-6746	1264 ± 22	外に81~85層
NRHRJ-E 19	PLD-6745	1144 ± 21	外に91~95層
NRHRJ-E 21 (rt)	PLD-6744	1192 ± 22	外に101~105層

(rt は同一試料の前処理やり直しを示す)

4.6 法隆寺古材 F(NRHRJ-F)

伝法隆寺材であり、建造物名、部材名、使用年代の詳細は不明であるものの、鎌倉期の修理の際に使用された材と伝えられる。仕口加工の形状、ならびに加工痕跡が残っているものの、部材の特定はできない。材に残存する鉄釘の形状から、中近世に使用された部材であることが推察された。

図15にウィグルマッチ法による較正年代を示す。年輪年代法による基準年輪の年代AD1041に比べ、¹⁴C年代法による較正年代AD998～AD1033(95.4%)は若干古い結果となった。較正曲線IntCal04に対するマッチングは最も外側の層が上方に外れているが、その他の5点はほぼ較正曲線に沿っていて、年輪年代と較正年代とは整合的と考えられる。試料の最外年輪はAD1086であり、部材加工のために表層部100余年が失われているとすれば、鎌倉期の木材であることと整合する。



試料名	NRHRJ-F		
基準年輪		AD 1041	
較正年代	AD 998	AD 1033	95.4%
			95.4%
最尤値	AD 1014		

図15

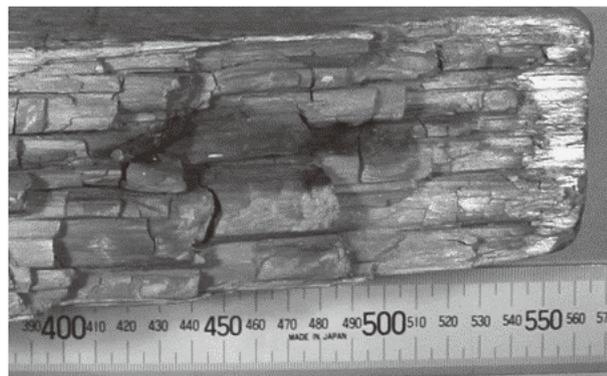


図14 古材試料F 外観(端部)

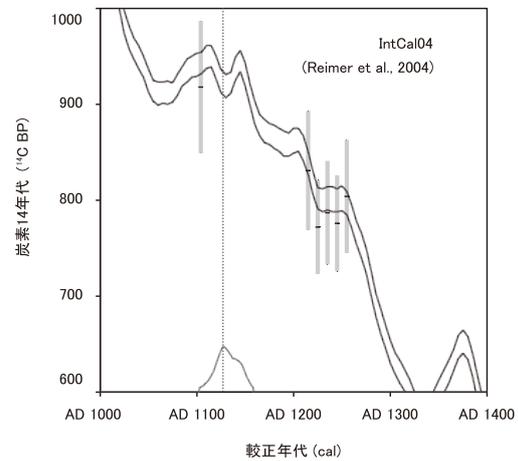
表7 法隆寺古材Fの各年輪試料の¹⁴C年代

測定試料名	測定機関番号	炭素14年代 (¹⁴ C BP)	基準年輪からの位置
NRHRJ-F 3-	IAAA-62115	1021 ± 33	内に15～11層
NRHRJ-F 1	IAAA-62114	1004 ± 31	外に1～5層
NRHRJ-F 3	IAAA-62113	984 ± 31	外に11～15層
NRHRJ-F 5	IAAA-62112	941 ± 31	外に21～25層
NRHRJ-F 7	IAAA-62111	957 ± 30	外に31～35層
NRHRJ-F 9	IAAA-62110	988 ± 30	外に41～45層

4.7 法隆寺古材 G (NRHRJ-G)

伝法隆寺材とされる板材である。建造物名、部材名、使用年代の詳細は不明である。端部は切断されているため部材の全容は不明であるが、板の表面の一方には手斧（ちょうな）によると思われる加工道具痕跡が認められた。

図 17 にウィグルマッチ法による較正年代を示す。年輪年代法による基準年輪の年代 AD 1135 は、¹⁴C 年代法による較正年代 AD 1102～AD 1159 (95.4%) に含まれている。測定誤差が若干大きいものの、較正曲線 IntCal04 に対する測定結果のマッチングは良好である。この試料にも比較的多くの年輪数があり、¹⁴C 年代法による追加測定、ないし再測定により較正年代の高精度化が期待できる。試料の最外年輪は AD 1270 であり、鎌倉～室町期の材であることを示唆している。



試料名	NRHRJ-G		
基準年輪	AD 1135		
較正年代	AD 1102	-	AD 1159
			95.4%
			95.4%
最尤値	AD 1127		

図 17



図 16 古材試料 G 外観

表 8 法隆寺古材 G の各年輪試料の ¹⁴C 年代

測定試料名	測定機関番号	炭素 14 年代 (¹⁴ C BP)	基準年輪からの位置
NRHRJ-G 5- (rt)	MTC-08157	918 ± 69	内に 25～21 層
NRHRJ-G 18 (rt)	MTC-08156	831 ± 62	外に 86～90 層
NRHRJ-G 20 (rt)	MTC-08155	772 ± 49	外に 96～100 層
NRHRJ-G 22 (rt)	MTC-08154	787 ± 54	外に 106～110 層
NRHRJ-G 24 (rt)	MTC-08153	776 ± 50	外に 116～200 層
NRHRJ-G 26 (rt)	MTC-08152	804 ± 59	外に 126～130 層

(rt は同一試料の前処理やり直しを示す)

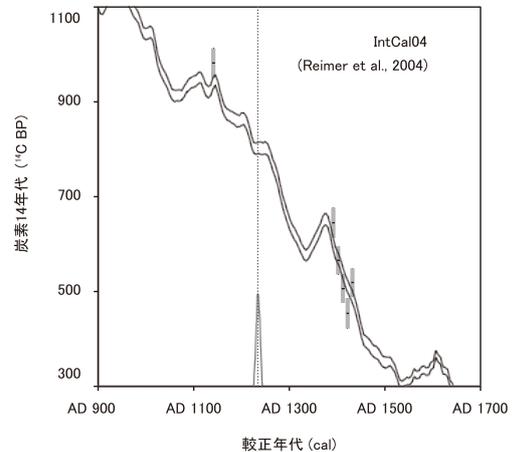
4.8 専修寺御影堂柱材 (MESSJ)

平成 19 年 12 月に保存修理が完了した三重県専修寺御影堂の平成の大修理において生じた取替え古材である。これは御影堂の柱の一部で、床下部分にあたる根継ぎ材である。その表面には山から切り出した後、運搬のため、筏組みにして川を下したことを示す、えつり穴も認められた。

専修寺の建立に関わる文書である“如来堂御建立録”にも川を下して木材を運搬した記載が認められ、加工痕跡とも矛盾はない。辺材を含む直径約 80 cm の心持ち材である。

図 19 にウィグルマッチ法による較正年代を示す。較正曲線 IntCal04 に対する測定結果のマッチングは、年輪数が多いこともあり良好である。

しかし、寺の造営は文書によると 14 世紀であり、最外年輪の年輪年代の結果 1435 年はその年代より新しい。



試料名	MESSJ			
基準年輪	AD 1233			
較正年代	AD 1226	-	AD 1243	95.4%
	-	-	-	95.4%
最尤値	AD 1234			

図 19

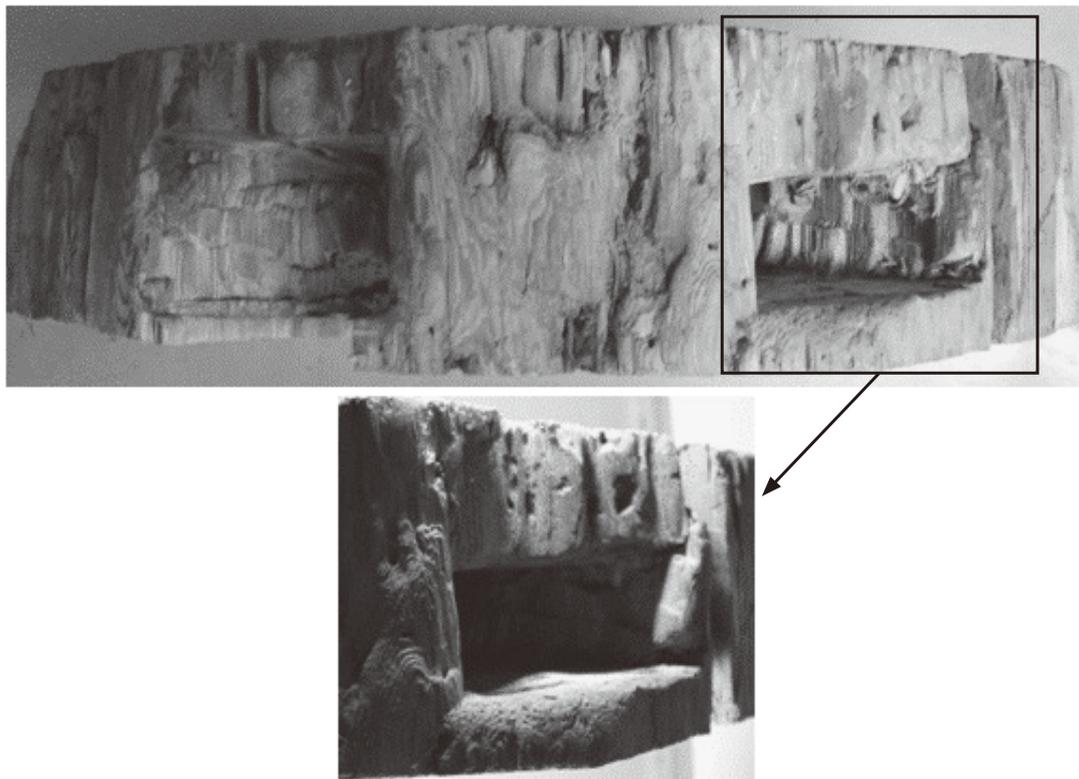


図 18 古材試料 H 外観(上) 加工痕跡(下)

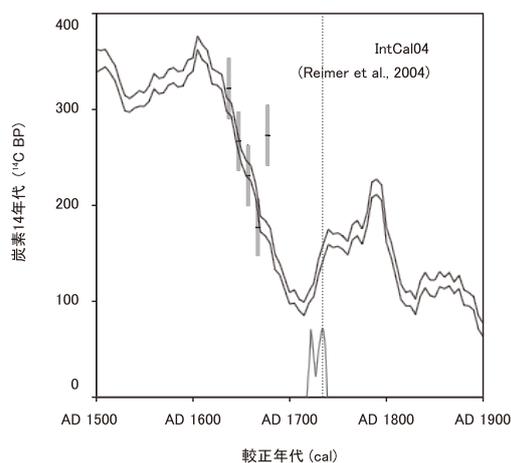
表9 専修寺御影堂柱材の各年輪試料の¹⁴C年代

測定試料名	測定機関番号	炭素14年代 (¹⁴ C BP)	基準年輪からの位置
MESSJ 19-	IAAA-62103	982 ± 31	内に95~91層
MESSJ 32	IAAA-62102	645 ± 32	外に156~160層
MESSJ 34	IAAA-62101	566 ± 30	外に166~170層
MESSJ 36	IAAA-62100	506 ± 30	外に176~180層
MESSJ 38	IAAA-62099	454 ± 32	外に186~190層
MESSJ 40	IAAA-62098	519 ± 30	外に196~200層

4.9 現生材 (GSR)

現生材には、木曽の天然林から1988年に伐採されたヒノキ材を選定した。これは、仏像彫刻等に用いられる特級に分類される直径110~120 cmの良質なヒノキ材である。仏師矢野健一郎氏より提供を受けた。伐採後、切り出され、約15年間暗室に保管されていた。辺材を含む材である。

図20にウィグルマッチ法による較正年代を示す。外側の試料GSR 47は現代炭素の値を示したため、計算に用いていない。GSR 12-は較正曲線IntCal04の上方に外れているものの、これを含む残りの4試料による結果はAD 1719~AD 1739 (95.4%)で、年輪年代法による基準年輪の年代AD 1725を含み、良好である。



試料名	GSR		
基準年輪	AD 1725		
較正年代	AD 1719	-	AD 1739
	-	-	-
	95.4%		
	最尤値		
	AD 1734		

図20

表10 コントロール材(現生)の各年輪試料の¹⁴C年代

測定試料名	測定機関番号	炭素14年代 (¹⁴ C BP)	基準年輪からの位置
GSR20-	IAAA-62121	322 ± 32	内に100~96層
GSR18-	IAAA-62120	267 ± 31	内に90~86層
GSR16-	IAAA-62119	231 ± 32	内に80~76層
GSR14-	IAAA-62118	177 ± 30	内に70~66層
GSR12-	IAAA-62117	273 ± 32	内に60~56層
GSR47	IAAA-62116	modern	外に231~235層

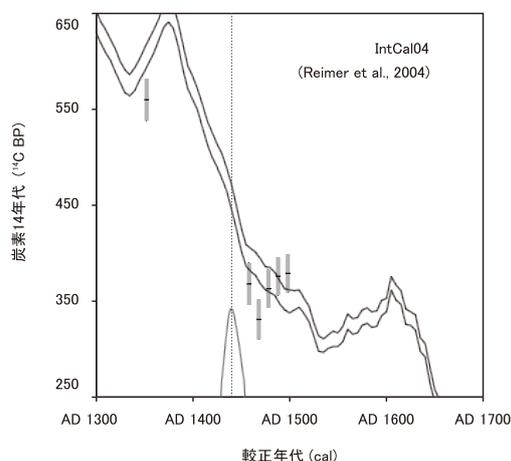
(modern は測定結果が現代炭素 (modern carbon) であったことを示す)

4.10 二条城米蔵貫材 (KYNJJ)

二条城古材と伝承される京都大学生存圏研究所小原二郎コレクションのひとつである (KYOw 16679)。これも、小原二郎博士によって試料が加工されており、当初の部材原型をとどめていないため、部材の全体像は不明である。

二条城の米蔵の貫で、当初材であったとされるが、その米蔵 (土蔵) が、現存する北と南の二棟のいずれであったかは判明しない。昭和 26 年の土蔵 (南) (米蔵) 解体修理、昭和 27 年の土蔵 (北) (米蔵) 半解体修理、昭和 29 年の土蔵 (米蔵) 解体修理のいずれかにおいて取り替えられた材の一部であろう。⁽¹⁴⁾ところで、二条城二の丸の重要文化財建造物 10 棟各々の主要な建物が桃山期—江戸 (慶長 7-8 年および寛永 2-3 年) の建立、東大手門が寛文 2 年も建立であるものの、米蔵が建てられた時期そのものは文書等から明らかではない。この試料は、年輪年代法による年代特定ができなかった。

図 21 にウィグルマッチ法による較正年代を示す。この試料は年輪年代法による基準年輪の年代が与えられなかったが、炭素 14 年代法による較正年代は AD 1430~AD 1454 (95.4%) である。したがって基準年輪から外に 56~60 層の試料 KYNJJ 12 の較正年代は、AD 1500 前後になることが予想される。



試料名	KYNJJ		
基準年輪	-		N. A.
較正年代	AD 1430	-	AD 1454 95.4%
	-	-	95.4%
	最尤値	AD 1440	
χ 二乗検定	TRUE		
平均値解析	TRUE		

図21

表11 二条城米蔵貫の各年輪試料の¹⁴C年代

測定試料名	測定機関番号	炭素14年代 (¹⁴ C BP)	基準年輪からの位置
KYNJJ 18-	PLD-6737	560 ± 22	内に90~86層
KYNJJ 4	PLD-6736	368 ± 22	外に16~20層
KYNJJ 6 (rt)	PLD-6735	331 ± 21	外に26~30層
KYNJJ 8	PLD-6734	363 ± 20	外に36~40層
KYNJJ 10	PLD-6733	376 ± 20	外に46~50層
KYNJJ 12	PLD-6732	379 ± 20	外に56~60層

4.11 年輪年代と ^{14}C ウィグルマッチ年代の比較

以上の供試材の年輪年代測定結果と ^{14}C ウィグルマッチ年代測定結果を一覧にしてまとめたものを下表（表 12a, 表 12b）に記す。表 12b から明らかなように、基準年輪に対して得られた年輪年代は、9 試料中 7 試料で ^{14}C ウィグルマッチ法で推定された 95% の年代範囲に含まれており、一致は良い。範囲内に収まらなかったものは 2 例（B および F）である。

ここではその原因について検討してみたい。測定値は全体として較正曲線に沿ったなめらかな傾向をみせているので、もし ^{14}C 年代測定においてその原因を求めるとすると、測定値全体が（一様に）古い数値を示しているか、あるいは、用いる較正曲線に原因があるかが考えられる。

測定値が全体として古すぎる場合に考えられる原因としては、試料調製上の問題などにより測定値を規格化する際に測定値が一様に古い数値として計算されたケースが考えられる。例えば試料 F について真の値が 30 炭素年ほど低いとすると、年輪年代あるいは較正曲線との一致は良好である。この方向をサポートするデータとしては、試料 C と試料 D のデータの関係がある。両者は同じ年代領域にあるが、試料 C が全体として古い測定値を示している。試料 C, F は同時測定されており、両者に約 30 炭素年の下方修正を加えると、観測された測定値の系統的な差の説明が可能である。しかしながらこの仮定に基づき試料 B について同様の理由を考えるのは難しい。

一方で較正曲線に原因があるという考えも可能である。すなわち、較正曲線が実際には約 30 炭素年古いというケースである。較正曲線には、本来日本産の樹木のデータを用いるのが理想的であるが、現実には世界標準とされる IntCal のデータセット（北半球版）に頼っている。そこで国立歴史民俗博物館では、日本産樹木による ^{14}C データベースの整備を行ってきた。具体的には、炭素年輪年代で値付けした年輪試料の ^{14}C 測定を、Gronningen 大学、東京大学、名古屋大学等の AMS 測定施設との協力のもとで 1998 年以來行っており、それらの基準試料は奈良文化財研究所

表 12a 供試古材の年輪年代測定の結果

古材試料	建造物名	部材名	年輪数	年輪年代			
				最内	最外	基準年輪	
A	法隆寺 五重塔	垂木	92	343	-	434	377
B	法隆寺 五重塔	柱	155	458	-	612	492
C	法隆寺	断片	103	400	-	502	451
D	法隆寺	断片	107	431	-	537	471
E	法隆寺	断片	209	584	-	792	687
F	法隆寺	断片	60	1029	-	1086	1041
G	法隆寺	断片	165	1106	-	1270	1135
H	専修寺 御影堂	柱	368	1073	-	1438	1234
I	現生材		158	1622	-	1964	1725
X	二条城 米蔵	貫	157		N. A.		N. A.

表12b 供試古材の¹⁴C ウィグルマッチング年代測定の結果

古材試料	建造物名	部材名	年輪年代	基準年輪の年代				
				最尤値	¹⁴ C ウィグルマッチ法 年代範囲(確率)			
A	法隆寺 五重塔	垂木	377	401	373	-	457	(90.9%)
					472	-	489	(4.4%)
B	法隆寺 五重塔	柱	492	452	443	-	461	(95.1%)
C	法隆寺	断片	451	469	449	-	499	(95.3%)
D	法隆寺	断片	471	461	448	-	484	(94.9%)
E	法隆寺	断片	687	690	685	-	695	(94.8%)
F	法隆寺	断片	1041	1014	998	-	1032	(95.3%)
G	法隆寺	断片	1135	1127	1099	-	1157	(95.3%)
H	専修寺 御影堂	柱	1234	1234	1227	-	1242	(94.9%)
I	現生材		1725	1734	1720	-	1738	(93.7%)
X	二条城 米蔵	貫	N. A.	1440	1430	-	1453	(95.3%)

の光谷拓実氏によって提供された7地点の遺跡・遺構から発掘された約10点の木材資料である。これまで820 BCからAD 900の約1600年間の¹⁴C濃度が、5年輪ごと、または10年輪ごとに得られており、両者の比較が進められてきた。その結果、1世紀～3世紀を除いて日本産の樹木の¹⁴Cは殆どの年代域でIntCalの標準校正曲線に誤差範囲で一致している。しかしながら、1世紀～3世紀においては系統的に30～50炭素年の差異があったという事実がある。日本産樹木による¹⁴C研究は本研究の対象とする年代域では事実上未整備であり、同様の地域効果の存在は否定できない。

以上、年輪年代と¹⁴Cウィグルマッチングで不一致のあった2例についてその原因を追及することを試みたが、特定するには至らなかった。日本産樹木による¹⁴Cデータベース作成を進めて「校正曲線」の問題を明らかにすることが本質的に重要であろう。

⑤……………まとめ

本報告は、生存圏研究所・奈良文化財研究所・国立歴史民俗博物館の共同研究において、飛鳥期から現在までの歴史的建造物由来古材9点の試料について年輪年代と¹⁴Cウィグルマッチ法による年代判定を行い、これら古材の建築史的情報との比較検討を行なった結果についてまとめたものである。一連の結果については、参照試料として測定した現生材1点を含め、年輪年代とウィグルマッチングを行った¹⁴C年代の結果は概ね良好な対応を示した。得られた年代情報は、古材の建築史的情報と殆どの試料において整合性が得られるとともに、それらを補完する新たな情報を提供している。すなわち、これらの歴史的建造物由来古材は、材料工学的価値を高める上で、生物科学的情報や年代情報に加え、建築史的な情報を用いて複合的に比較検討することによって、信頼性の高い、

古材の基本情報の抽出が可能となることを示唆している。

一方、年代測定上の課題として、年輪年代と¹⁴C ウィグルマッチ法に小さいながら有意の差異が認められたケースが2試料で存在した。その原因については試料調製や実験条件、あるいは較正曲線によるものかについては明確な結論を得られなかった。最近 AMS-¹⁴C 年代測定技術が改良されるにつれ、日本と欧米の¹⁴C 濃度には有意の差異がいくつかの年代域で見出されるようになっており、将来年代測定の精度・確度を上げるために日本版の較正曲線 (JCAL) の必要性が意識されている。現状では、¹⁴C 年代の較正曲線を国際標準で作成しているが、より正確な年代判定のためには、地域性を考慮した、日本あるいは東アジア圏標準の較正曲線を作成することが必要である。将来的に、日本産木材の¹⁴C 濃度の問題解決に繋げるためにも、系統だった試料を用いた年代測定の事例を増やし、一事例における年代測定の点数をできるだけ多く取ることによりデータを蓄積評価することが重要であろう。その際にも、古材基本情報の抽出には、本研究で試みた学際的な取り組みが有用であることを強調しておきたい。

謝辞

本研究の遂行にあたり、「木材の材料寿命—歴史的木造古建築および木彫文化財由来の試料を用いた検討—」(平成 17 年度・基盤研究 B 一般：研究代表者川井秀一)ならびに、生存圏研究所・材鑑調査室全国共同利用研究課題「歴史的建造物由来古材の材質評価」(平成 18・19 年度：研究代表者横山操)の援助を受けた。また、本研究の成果の一部は、京都大学生存圏研究所主催第 61 回生存圏シンポジウム“木の文化と科学 VI 歴史的建造物の古材を観る”(京都大学 百周年時計台記念館 2006 年 12 月 20 日)においても報告した。

引用文献

- (1) 横山 操, 杉山淳司, 伊東隆夫, 川井秀一 歴史的建造物由来古材のデータベース構築に向けて—文化財指定建造物修理事業からの古材提供— 生存圏研究 第 4 巻 4-14 2008
- (2) Misao Yokoyama, Joseph GRIL, Miyuki Matsuo, Hiroyuki Yano, Junji Sugiyama, Bruno Clair, Sigeru Kubodera, Takumi Mitsutani, Minoru Sakamoto, Hiromasa Ozaki, Mineo Imamura, Shuichi Kawai, Mechanical characteristics of aged Hinoki wood from Japanese historical buildings, *Computes Rendus Physique*, 10, 601-611, 2009
- (3) 横山操ほか 7 名 歴史的建造物由来古材の材質調査 文化財建造物保存事業主任技術者研修会テキスト 文化財建造物保存技術協会 87-95 2007
- (4) 文化庁文化財保護部建造物課編 重要文化財建造物保存修理技術者実務必携 1 48-50 1974
- (5) 岡田英男 日本建築の構造と技法 岡田英男論集 思文閣出版 2005
- (6) 植村昌子 建築部材刃痕にみる古代の鑿の形状と工作技術 建築生産工程における道具刃部の形状と使用法の研究 その 1 日本建築学会計画系論文集 73 巻 634 号 2755-2761 2008
- (7) 大野俊一 古事記及び日本書記に現はれたる樹木に就いて 林学会誌 第 16 巻 第 4 号 昭和 8 年
- (8) タットマン C 著 熊崎実 (訳) 日本人はどのように森をつくってきたのか 築地書房 1998
- (9) 所三男 近世林業史の研究 吉川弘文館 1980
- (10) 渡辺晶 日本建築技術史の研究—大工道具の発達史— 中央公論美術出版 2004
- (11) 高原光 近畿地方の植生史 安田喜憲・三好教夫 (編書) 図説日本列島植生史 114-137 朝倉書店 1998
- (12) 湯本貴和編 日本列島の三万五千年一人と自然の環境史 6—責任編集 高原光・村上哲明 環境史を捉える技法 文一総合出版 2011
- (13) IAWA 委員会編 伊東隆夫・藤井智之・佐野雄三・安部久・内海泰弘 日本語版監修「針葉樹材の識別—

-
- IAWAによる光学顕微鏡的特徴リスト」 海青社 2006
- (14) 田中琢, 光谷拓実, 佐藤忠信 年輪に歴史を読む—日本における古年輪学の成立— 奈良国立文化財研究所学報四八冊 同朋社 1990
- (15) Sakamoto, M., Kodaira, A. and Imamura M. An automated AAA preparation system for AMS radiocarbon dating, Nuclear Instruments and Methods for Physics Research B, 223-224: 298-301. 2002.
- (16) Reimer, P. J., Baillie, M. G. L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Bertrand, C. J. H., Blackwell, P. G., Buck, C. E., Burr, G. S., Cutler, K. B., Damon, P. E., Edwards, R. L., Fairbanks, R. G., Friedrich, M., Guilderson, T. P., Hoog, A. G., Hughen, K. A., Kromer, B., McCormac, G., Manning, S., Ramsey, C. B., Reimer, R. W., Remmele, S., Southon, J. R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F. W., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C. E. 2004. IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. Radiocarbon, 46: 1029-1058.
- (17) 今村峯雄 炭素14年代較正ソフトRH3.2について 国立歴史民俗博物館研究報告 137: 79-88 2007
- (18) 法隆寺資材帳 奈良国立博物館特別展図録 1994
- (19) 文化庁 国宝・重要文化財指定建造物目録 1998

横山 操 (京都大学生存圏研究所日本学術振興会特別研究員 (RPD),
国立歴史民俗博物館共同研究研究協力者)

伊東隆夫 (京都大学名誉教授, 国立文化財機構奈良文化財研究所)

川井秀一 (京都大学生存圏研究所, 国立歴史民俗博物館共同研究員)

尾崎大真 (東京大学総合博物館, 国立歴史民俗博物館共同研究研究協力者)

坂本 稔 (国立歴史民俗博物館研究部)

今村峯雄 (国立歴史民俗博物館名誉教授)

光谷拓実 (国立文化財機構奈良文化財研究所)

窪寺 茂 (建築装飾技術史研究所)

濱島正士 (財団法人文化財建造物保存技術協会, 国立歴史民俗博物館名誉教授)

(2011年7月14日受付, 2012年3月16日審査終了)

Age Determination of Hinoki Wood from Historical Buildings

YOKOYAMA Misao, ITOH Takao, KAWAI Shuichi, OZAKI Hiromasa, SAKAMOTO Minoru, IMAMURA Mineo, MITSUTANI Takumi, KUBODERA Shigeru and HAMASHIMA Masaji

The groups of historical wooden buildings that still exist in large numbers in Japan themselves present a verified chronology, and have extremely high historical and cultural value. From this, the authors have focused not just on the importance of old lumber sourced from historical buildings as simple objects of architectural history, but as having value as historical wooden objects of known provenance. As an attempt to obtain the age of old timber in order to use it for materials engineering samples, nine samples from historical buildings, from the Asuka period to the contemporary era, were selected and dendrochronology and ^{14}C -wiggle matching, as well as architectural history information related to old building materials, were comparatively evaluated in a compound manner and the basic information related to each of these old lumber samples was extracted.

Key words: Hinoki (*Chamaecyparis obtuse*), Historical Japanese wooden buildings, Wood identification, Dendrochronology, ^{14}C -wiggle matching