歴史的建造物を対象にした放射性炭素年代測定の方法

中　尾　七　重*

The method of ^{14}C-dating for historical buildings

Nanae Nakao

要　　旨　歴史的建造物の建築年代はこれまで建築史研究において様式編年の手法を用いて調べられてきた。重要文化財等の文化財指定においても建築物の歴史的評価においても建築年代は重要な建築情報である。編年法は優れた方法であるが，編年の最初の時期設定や調査遺構数が少ない場合などの弱点も存在する。絶対年代によって相対年代法である編年を補う方法として，年輪年代法と放射性炭素年代測定法の紹介を行う。そして放射性炭素年代測定法の原理（^{14}Cの生成と壊変，生命体の^{14}C取り込み），高精度化をもたらしたAMS（Accelerator Mass Spectrometry）法，暦年較正法と暦年較正曲線（IntCal），ウィグルマッチ法（wiggle-matching）について解説する。放射性炭素年代測定法を建築史研究において使いこなすために，測定対象の選定，測定部再の選定と試料採取の方法，解析グラフの見方を説明し，放射性炭素年代測定法が建築史研究に益する研究方法であることを述べる。

キーワード　放射性炭素年代測定（^{14}C-dating）　年輪年代法（dendrochronology）　加速器質量分析（accelerator mass spectrometry）

Ⅰ．歴史的建造物の建築年代

歴史的建造物には社寺等の宗教建築や城郭建築，住宅および住居建築が含まれる。これらの建築の建築年代は文献記録や棟札等の部材に記された墨書などによるほか，時代に伴い発達変化した建築様式に基づく年代観によって判断されている。それは部材に残る痕跡から当初復原と改造の変遷過程を明らかにする痕跡復原法で，法隆寺の昭和の大修理（1934～85）にこの方法が用いられたことはよく知られている。

日本建築史学は主に現存建築物を対象に意匠や構造，技術の形式や発達変化について研究を行ってきた。さらに建築遺構の少ない時代や建築遺構だけでは分からない建築生産などの建築を取り巻く領域についても研究がなされてきた。これら先学の成果により，先史時代から今日に至る日本の建築文化の様相と発達が明らかになってきている。このような歴史的建造物に関する調査研究により2010年6月現在で建造物2,367件4,363棟うち国宝215件263棟の文化財指定が行われ，保存維持管理と公開活用が行われている。重要文化財の指定基準は「建築物，土木建造物及びその他の工作物のうち，次の各号の一に該当し，かつ，各時代又は類型の典型となるもの　(1) 意匠的に優秀なもの　(2) 技術的に優秀なもの　(3) 歴史的価値の高いもの　(4) 学術的価値の高いもの　(5) 流派的又は地方的特色において顕著なもの」であり，国宝は「重要文化財のうち極めて優秀で，かつ，文化史的意義の特に深いもの」となっている。建

*非常勤講師　日本建築史

物の建築年代は歴史的・学術的価値において大変重要な要素である。

社寺などの様式建築は文献記録を持つ場合が多く，また痕跡復原法により当初復原した建物に用いられている様式の意匠や構造の変遷発達度から建築年代の判明する場合が多い。一方中世地方建築や民家は建築に関する記録が少なく，地方的な意匠や構造が中央や近隣との影響関係において時間差を持ちつつ取捨展開しているため様式による判断は困難な場合も多い。最も地方色が豊かで改造が多く形式による年代判定の困難な民家の場合，前述の痕跡復原法と形式編年法を用いて建築年代の推定を行う。すなわち地方形式である民家型に属する多数の民家群を痕跡復原調査し，時代によって変化する編年指標を見出し，民家遺構ごとの新旧関係を確定し，時系列に沿って並べ編年を行う。このままでは相対年代であるから，棟札や墨書などで年代の判定した民家を示準として暦年代に対応させ，建築年代を推定するのである。

民家編年は，時代に様式が対応し，時代が移ると様式が変化する，という様式史の考え方と，建築技術および住環境は生活に対応して合理的に向上してゆくという進歩史観にベースを置いていた。編年研究の初期には間取りや室の使い方が編年指標に準じて重視され，たしかにそれらは生活史の大きな流れに従い変化しているが，地域的階層的偏差が大きい。最近では構造発達のなかに編年指標を見出す研究が進んでいる。

社寺などの様式建築における様式編年や民家編年は，考古学における土器編年と同様遺物の前後関係から相対年代を求めるものである。民家における18世紀のように，大量の遺構が優秀な研究者によって的確に調査された場合，精緻な編年が作成され，妥当な年代観が得られる。しかし方法論的な限界として編年の最初の部分，民家であれば中世から近世初頭の年代推定が困難となる。また編年において示準となる年代の分かる民家が存在しない場合や複数の民家型が非連続に存在する場合，遺構が一時期に集中する場合なども編年では年代推定が困難である。

近年，植物学や放射線化学などの研究成果を歴史研究に適用する文化財科学の発達で，遺物から絶対年代を導く方法が実用化されおり，なかでも木材を対象にした年代測定法が考古学や建築史学で成果を挙げてきている。これらの絶対年代を測定する方法は，考古学や建築史学の型式編年法を否定するものでは全くない。木材を対象にした年代測定法は伐採年を明らかにするものであるが，建築遺構を構成する木材の伐採年がそのまま建築年とはならず，古材，転用材，貯木，乾燥，建築期間，など木材伐採から建築竣工までに多くの可能性が存在する。そのため測定部材の選定や測定結果の解釈は，痕跡復原調査や編年や類例調査などによる建築史の手法と成果が不可欠なのである。また，年代測定調査によって得られた測定結果は，建物の建築年代を推定する有力な手掛かりとなるだけではない。示準となる年代の分かる民家が無い場合でも，あるいはある程度編年がなされている場合でも，年代測定調査を編年研究に加えることで，絶対年代に裏打ちされた説得力のある編年が作成できる。編年指標の有効性や適用範囲も明確にできる。そのためには，建築史研究の一部として年代測定研究を行う必要がある。そうなれば科学的な年代測定は建築史研究をさらに発展させる有効な研究方法となるだろう。

現在，歴史的建築物の年代測定法として，木質遺物を対象とする年輪年代法と放射性炭素（^{14}C）年代測定法が用いられている。
年輪年代法は，調べる部材にノタなどの表皮隣接部分が残存していれば誤差なしに伐採年が判明するが，100年輪以上ある部材で，かつ樹種がスギ，ヒノキ，コウヤマキ，ヒバに限定される。^{14}C年代測定法は，樹木に限らず炭素を含む材料であれば年代測定ができ，樹種を問わない。壁土に抄き込まれた藁スサや木の実など，測定対象の広いことが特長であるが，樹皮が残存していてもなお，20年以上の測定誤差がある。

このようなそれぞれの特徴から，これまで，歴史時代の文化財遺構である文化財建造物には測定誤差の少ない年輪年代法が用いられ，測定誤差はあまり気にならないが，測定対象が枝や土器の煤，植物の種といった埋蔵文化財には^{14}C年代測定法の用いられることが多かった。しかし，いずれの方法も近年の技術的な開発による測定精度の向上と適用範囲の拡大が見られ，測定対象が広がっている。ツガやマツ，ブナについても年輪年代法の標準曲線が作られつつある。一方，^{14}C年代測定法もAMS法や暦年較正の技術進化により高精度測定が可能となってきている。そのため，ケヤキなど年輪年代法対象外樹種を多用する中世地方建築や，雑木の細い部材で造られた古民家には^{14}C年代測定法が適している。

Ⅱ．年輪年代法

年輪年代法は，温帯・寒帯など気候の年周期性が明瞭な地域において，毎年1層ずつ形成される樹木の年輪を用いた年代測定法である。気候により年ごとの年輪幅は変動する。年輪幅は個体ごとに異なるが，年輪幅の変動パターンは共通する。個体の偏差を数値処理し，標準化・平均化し，共通の変動パターンを抽出し，折れ線グラフに表現したものを標準年輪曲線（暦年標準年輪幅変動パターン）という。1000年以上の樹齢木の変動パターンと歴史的建造物や発掘された木材の変動パターンをつなぎ合わせ，過去から今日までの標準年輪曲線を作成し，調べたい木材と標準年輪曲線の変動パターンを比べ，合致検証すると，その木材の伐採年を知ることができる。

年輪年代学の原理は1920年代にアメリカの天文学者A.E.ダグラスによって始められ，現在ドイツでは，オークと呼ばれるカシ・ナラ類で1万年，アメリカでは，マツで8200年ほどの標準年代曲線が作成されている。日本では，光谷拓実先生が，スギ，ヒノキ，コウヤマキ，ヒバについて標準年代曲線を作成され，3300年ほどに適用できる。

年輪年代法の最もよいところは，樹皮の残る部材なら，伐採年が誤差なしで計測できることで，奈良文化財研究所年代学研究室が，法隆寺五重塔心柱や唐招提寺本堂，元興寺極楽房禅室などの部材を年輪年代測定し，建築年代に関わる年代情報を得ている[1)]。また近年は高精度デジタルカメラによる画像を計算機処理することで，資料に触れることなく年輪計測が可能となった。仏像等の小型の資料についてはCTスキャンを用いた年輪計測も行われている。

法隆寺金堂部材の年輪年代による伐採年は650年代末から690年代末とされ，7世紀後半の法隆寺西院伽藍再建が裏付けられた。一方，金堂部材の一部が日本書紀に記された法隆寺焼失の670年よりも以前の伐採と思われ，若草伽藍焼失以前に現在の金堂の建築が開始していた可能性を示唆することとなり，法隆寺二寺説が出された。すなわち部材伐採年代は建築年代を導き出す場合だけでない。法隆寺金堂の場合，これまで前提としてきた法隆寺の前身としての若草伽藍の位置づけそのものの再考に発展したのである。このように個別建物の建築年代に止まらず，建築史学のテーマに深く関わる場合もあり，得られた部材年代の解釈は建築史研究者が取組むべき分野である。

ただ，年輪年代法は日本の場合，今のところ先の4樹種に限定される。また合致検証に必要な年輪資料は100年以上の年輪が必要なため，古代の寺院などヒノキ・スギの良質な素材を用いた木造建造物の年代測定に適しているが，中世以降の建築物，特に民家など樹種が多様でかつ比較的細い部材を用いた建築には不適である。

Ⅲ．^{14}C年代測定法

^{14}C年代測定法は，大気中の^{14}Cを取り込んだ生命体の生命活動終了後，放射壊変により^{14}C濃度が次第に減少することを利用した年代測定法で，シカゴ大学のウィラード・リビーが

1947年に原理を発見し，1960年にノーベル化学賞を受けている。

地球は恒常的に宇宙からの放射線を浴びており，大気の上層で宇宙線から生成された二次宇宙線の中性子と大気中の窒素が核反応して^{14}Cが生成される。^{14}Cとは炭素の同位体で，地球上にはこのほか安定同位体である^{12}Cと^{13}Cが存在する。^{14}Cは生成後，酸素と結合し二酸化炭素（$^{14}CO_2$）になり，炭素安定同位体でできた二酸化炭素（$^{12}CO_2$，$^{13}CO_2$,）と混合し大気中に拡散する。大気中の^{14}C濃度は地球上のどこでもほぼ一定とされ，^{12}C：^{13}C：^{14}Cの存在比は，0.989：0.011：1.2×10^{-12}である。二酸化炭素が光合成によって植物に取り込まれる際にもこの比率は変わらない。生きている間は食物連鎖により植物も動物も体組成の^{14}C濃度は大気と同じ濃度である。ところが生物が死ぬと遺体中の^{12}Cや^{13}Cはそのままであるが，^{14}Cは放射壊変により5,730年を半減期としてベータ（β）線を放出し元の窒素に戻ってゆく。^{14}C年代測定法は生物遺体の^{14}C濃度を測定して減少の程度を調べ，死んで以降の時間経過を推定する方法である。

近年，加速器質量分析法（AMS法：Accelerator Mass Spectrometry）による試料量の僅少化と測定精度の向上，暦年較正曲線による暦年代変換，ウィグルマッチ法により，^{14}C年代測定法は飛躍的に測定精度を高めている。次に，これらの高精度測定法について述べる。

Ⅳ．加速器質量分析法（AMS法）

加速器質量分析法（AMS法：accelerator mass spectrometry）とは，試料中の^{14}C濃度の計測の方法である。従来，試料中の^{14}C濃度は^{14}Cが放射壊変する際に放出するベータ線を，液体シンチレーション計数装置などを用いた放射能測定法で測定した。これは，崩壊中の^{14}Cを数える方法であるが，^{14}Cの半減期が長いため崩壊する^{14}Cはさほど多くない。そのため試料量を増やすことと時間をかけて崩壊をカウントすることが必要である。カウント数は比較的少ないので測定誤差は大きくなる。

AMS法は炭素中の^{14}C原子を直接数える方法である。等速度の荷電イオンに磁場を作用させると，軽い粒子ほど大きな角度で進行方向が偏向するという質量分析の原理を用いる。AMSは大きな電圧差で高速に加速し，高い分析感度を得ている。試料の炭素を原子に分離しイオン化し，加速器にかけて^{12}C，^{13}C，^{14}C の各イオンを数えるので，試料量が僅かですみ，さらに計測される^{14}Cの個数が多いため測定誤差は小さくなる。AMS法の場合，測定に必要な試料量が10mg程度と微量であるため，試料採取の難しい文化財建造物でも適用可能である。ただＡＭＳには大規模な設備投資が必要なため，測定費が高額となる。

Ⅴ．暦　年　較　正

大気中の^{14}C濃度が常に一定なら，崩壊による^{14}C濃度の減少程度を表わす^{14}C年代で実年代が表せるが，実際には宇宙線強度や地球磁場の変動により大気中の^{14}C濃度は絶えず変化している。そのため，年輪年代法で年代の確定した樹木年輪を試料にした炭素14年代較正曲線によってAMS測定値を補正し，実年代に換算するのが暦年較正である。

暦年較正の方法が確立する以前の1960年頃に学習院大学の木越邦彦先生が放射性炭素年代測定法を試みられ，法隆寺五重塔や平等院鳳凰堂のベータ線測定を行っている[2)]が，建立年代と理論値（1950－炭素年代値）のズレが大きかった。既に大気中の^{14}C濃度が一定でないことは判明していたが，較正曲線が作成される以前のため較正の方法が無く，この段階では，^{14}C年代測定は建築物など歴史時代の資料には不適あるいは時期尚早と考えられた。

歴史的建築物に使えるほどの精度を持たなかったこの時期の^{14}C年代測定の印象が強かったため，今日でも^{14}C年代測定は誤差が大きく

て使えないと考えている人もいるようであるが，暦年較正法による精度の向上と歴史的建造物への適用について認識を新たにしていただきたいものである。

^{14}C年代を暦年代に変換するための高精度較正曲線と較正データベースが作成され，1986年に最初の国際標準較正曲線およびデータベースが公表されて以降，1993年，1998年，2004年と大きい改定がなされ，IntCal08以降 毎年新しいデータを加えて修正され[3)]，IntCal10に至っている。この高精度較正曲線はアイルランド・ドイツのオーク材，松材，アメリカのブリスルコーン松，セコイア杉，樅材から得られた較正データベースに基づいている。

IntCalは欧米の木材で作成されているが，日本産木材を使った較正曲線との比較研究から日本と欧米で大きな有意差は認められないという結果が得られている。大気は約2週間で地球を一周するため大気中の二酸化炭素はよく撹拌されて^{14}C濃度の地域差はほとんど無いと仮定されている。欧米の年輪年代学と^{14}C 年代測定は相互的な関係であり，日本の年輪年代標準曲線ともクロスチェックされている。

欧米のカシやナラによる年輪年代法は，欧米ではすでに広く認められているが，日本の樹木で可能かどうか日本では疑っている人がまだたくさんいる。ところが，欧米産木材の年輪年代と日本産木材の年輪年代は，放射性炭素年代測定を通じてつながっているのである。日本の放射性炭素年代測定は，欧米の樹木から作成された暦年較正曲線IntCalを使って，日本産木材の年代を得ている。この欧米産暦年較正曲線が日本の樹木に適用できるかどうか確かめるために，日本の年輪年代法によって年代を割り出された木材試料を放射性炭素年代測定すると，同年代の欧米産樹木を測定して得られた測定値と一致する。同一試料を年輪年代法と放射性炭素年代測定法で測定する比較研究も多くなされて，その結果も，年輪年代法による年代と放射性炭素年代測定の結果がよく一致することが確かめられている。欧米産木材の年代測定を媒介にすることで，日本の年輪年代法と放射性炭素年代測定が，その年代測定の信頼性を相互に確認できるのである。このように，年輪年代法と放射性炭素年代測定は，相反したり競合したりするどころか，相互に助け合う関係なのだが，最近は，より高度な共同研究も行われている。京都府宇治市の宇治市街遺跡は，平等院鳳凰堂を建築した藤原頼道の別荘と考えられている平安時代の遺跡であるが，その下の地層から古墳時代の遺跡も発見された。この古墳時代の遺跡部分にはヒノキの木製品と大量の須恵器が埋まっていた。ヒノキの木製品は表皮のついた43年輪しかない小さな遺物で年輪年代法の測定対象外であったため，放射性炭素年代測定を行ったところ西暦294～326年　あるいは　西暦359年～396年という結果が得られた。放射性炭素年代測定ではどちらであるかは分からない。そこで，改めてこの2つの年代域に注目して年輪年代法で調査したところ，このヒノキが伐採されたのは西暦389年ということが判明した。年輪数が少ない試料の年代測定の場合に放射性炭素年代測定でおおよその年代を出して，年輪年代法でより精度の高い年代測定を行うといった相互補完的な共同研究が実を結んだわけである。

しかしこれは^{14}C年代測定の精度が推定幅40年程度という段階での成果であって，ますます高精度化が進行し^{14}C年代測定が数年単位の精度を持つようになると，より細部に至るまで日本産樹木がIntCalに対応するかどうかが重要な問題になってくる。

現在，日本産樹木に基づく暦年較正曲線を国立歴史民族博物館年代測定研究室や名古屋大学年代測定総合研究センターなどが作成しつつある。年輪年代法で年代の判明した日本産樹木年輪の^{14}C濃度を測定しIntCalと比較すると，弥生時代と平安時代後期に，日本産樹木の^{14}C年代が約30年程度古く出ることが分かってきている。また1600年ごろにも日本産樹木の^{14}C濃度が大きくなる一時期が存在する[4)]。1600年頃は中世と近世の転換期で，城郭，茶室，数寄

屋，民家，町家などの世俗建築が成立した時期である。今日まで残されている文化財建造物でも，この時期に建設された遺構が数多くある。そのため1600年頃の日本産暦年較正曲線J-Calの整備は，建築物の^{14}C年代調査にとってたいへん重要な課題であり，研究の進展を期待している。

Ⅵ．ウィグルマッチング

建築部材などの年輪のある資料の場合，ウィグルマッチングを用いることで，精度を高めることが出来る。較正曲線は，長期周期変動と，長期周期変動に重なる2～30年周期の短周期変動からなる凸凹（wiggle）のある右肩下がりの曲線である。試料1点の^{14}C年代値を較正曲線に対応させると，1対1対応する場合と，一つの測定値に複数の較正年が対応する場合がある。また^{14}C年代値と較正曲線自体にも誤差の幅があるため，対応する暦年代の範囲は広くなってしまう。そのため，年代間隔のわかった複数試料で炭素14測定値を得て，暦年較正曲線の凸凹の特性と照合解析し年代推定誤差を小さくする方法がウィグルマッチングである。

光合成で取り込まれる二酸化炭素は大気中の^{14}C濃度を反映しているが，植物組織形成後直ちに放射壊変が進むため，樹木の場合は，内側の年輪のほうが^{14}Cは少なく，外側の年輪は^{14}Cが多い。しかもそれぞれの年の大気中の^{14}C濃度の変動によって凸凹の特性を持っている。そこで年輪に沿って多数の試料を測定し，得られた炭素年代値を較正曲線と対比すると，全体のデータのパターンを満たす条件は極めて限られ，高精度に年代が決定される。

本論文ではウィグルマッチングに国立歴史民俗博物館製解析プログラムRHC3.2w[5]を用いた。このプログラムは現在国際的に広く用いられているベイズ統計の方法を用い，通常95%の信頼限度で推定年代範囲を算出する。暦年較正データベースはIntCal04を用いている。

このほかウィグルマッチングに用いる暦年較正プログラムとしてRADIOCARBONのホームページに較正ソフトCALIBが公開されている。また世界的に広く用いられている較正解析プログラムOxCalの日本語版（OxCal.jp）もhttp://sites.google.com/site/oxcaljp/に公開されている[6]。これらの較正ソフトによる年代の計算値は，用いる基準データ（暦年較正データベース）や計算法で一桁台は変わりうるので，細かな数字の違いを議論することは意味がない。

今年度の日本文化財科学会大会で，さらに誤差を1～2年とした^{14}Cウィグルマッチングが研究発表された[7]。測定資料の重要文化財彦部家住宅の大引材は，33年輪のマツ材で，辺材が3.8㎝残存しており，材の一番外側はかなり樹皮に近い部分と思われる。試料は表皮に近い部分を2年ごとに22年輪分11点採取し^{14}C測定を行った。この11試料の^{14}Cデータを，1年ごとの較正データ[8]でウィグルマッチングし，さらに「形状」での解析を行ったところ，1652±1～2年という結果が得られた。これは現時点で^{14}C年代測定としては最も高精度の結果である。この方法の確立のためには，日本産樹木についての1年単位の^{14}C年代較正曲線が整備されなければならない。

Ⅶ．測定対象の選択

建築史研究として歴史的建造物の^{14}C年代測定を行うにあたって測定対象の選択が重要である。歴史の真実を追求する研究者は誰でも自分の研究テーマにかかわる歴史的建造物や保存修復に関わった建物の建築年代が知りたい。様式・編年研究を実証したい。これは当然のことであり，研究者として欠くことのできない情熱である。また，自分の家の歴史を知り子孫に伝えたい，地域の歴史を明らかにしたいと所有者がお考えの場合もある。歴史的建造物を維持保存してゆくために文化財指定を目指す場合，建築年代が特定されることは大きな意味を持つため，所有者が建物の保存を願う立場から^{14}C年代測定を希望される場合もある。一方^{14}C年代

測定は，先にのべたように微量の試料採取が必要である。いかに知りたい気持ちが強くても，試料採取の可能な建造物に測定対象は限定しなければならない。

^{14}C年代測定は試料を建物部材から採取しなければならない破壊検査であるから全く原則的に許容できないといった議論がある。先にも述べたようにAMS法の開発によって測定に必要な試料量は最少で10ミリグラム程度，これは私たちが普段使っている爪楊枝130ミリグラムの13分の1であり微量である。以前そのように説明したところ，必要試料量が多いか少ないかの問題ではなく原理的思想的な問題であると御意見を頂いたことがある。しかし微量の試料採取が必要だからといって，^{14}C年代年代測定調査そのものを文化財破壊と決めつけるのはどうだろうか。人が住み出入りする規模の建築からすれば必要試料量は非常に僅かである。特に屋外に建つ建築の場合，自然的人工的な劣化や消耗が日常的に進行しているため，定期的な修理が必要である。そのような際には必要試料量以上の廃材が捨てられるのであるから，それを年代測定試料に用いることは可能だろう。このように建築保存の現場から考えれば，是か非かという原理的思考よりは，技術の適用範囲や限界など理解した上で実用化することが現実的であると分かる。

オリジナル部材の入れ替えによる修復，中古改造の取り除きを伴う当初復原修復，調査と個人情報，保存と公開活用など，文化財保存は両立の難しい課題を現実の中で両立させるべく努力している。次代に文化財を継承してゆくためには，文化財そのものの劣化を技術的に食い止めることはもちろん重要であるが，それに加えて文化財保存の社会的理解が重要であるというのが今日の認識である。文化財建造物の凍結保存から活用保存へとおおきく舵を切っている流れのなかで，有用な技術は使える範囲で使い，文化財保存を実のあるものに育ててゆく方向に進んでいる。頭から年代研究を否定することは，文化財保護に有用かつ建築史研究に有効な技術と研究手法の芽を摘んでしまうこととなる。今必要なことは，年代測定の適用可能な範囲を明らかにし，測定事例を増やし，測定結果を検証し，建築史研究として年代研究に取り組むことである。文化財建造物の年代調査が認知され，年代測定の需要が増大してゆくならば，さらに文化財を傷めない年代調査の方法が技術的に開発されてゆくだろう。年代測定を否定して葬り去るのではなく，育てることで文化財保存に生かし建築史研究を発展させることが大切である。

^{14}C年代調査において試料採取の可能な建物とは，まず所有者が^{14}C年代測定を希望されている建物である。所有者の試料提供が確保されていることが，調査の前提となる。その上で最も試料採取に適切なのは修理工事中の建物である。高精度に伐採年代を特定するためのウィグルマッチングには年輪の露出している面から試料採取をする必要がある。建てられた状態の場合，柾目面であれば年輪を見ることができるが，心持ち材の場合は木口でのみ年輪を見ることができるため，解体時が最も良い。文化財修理等の解体時には部材の傷んだ部分を削ぎ落として新材で継ぐため，不要の部分が廃材となる。この捨てられる部分を年代測定に利用できる。文化財修理工事においては建物の文化財調査が行われるので，年代測定は試料の提供を受けるだけではなく，建物の建築年や変遷年代などの年代情報を提供することができる。年代調査や樹種調査の試料採取は修理工事の時でないと採取できない場合も多いから，文化財修理工事には調査予算を組んで年代調査や樹種調査を必ず行うことが今後求められる。

その次に良いのは保存材を対象にした^{14}C年代調査である。近年の文化財修理では，変遷や技法などの解明に重要な非再用の当初材・後補材のみならず，取り外して再利用しない部材はできるだけ廃棄せずに保存されている。これらの古材は歴史情報を持っており，^{14}C年代測定のように後の時代に新しい技術が開発された時，古材の持つ情報が明らかになる可能性を秘

めている。指定文化財の場合試料採取が現状変更とならないようにする必要があり，保存材を対象にするとその点の問題は生じない。ただ創建建築年や改造年など年代調査の目的に応じた部材が残されているかどうかを調べなければならない。修理工事報告書には保存材のリストは記載されない場合もあるので，現在の管理者や修理工事担当者にご協力をお願いするといい。

未指定の歴史的建造物の年代調査も今後増えてくると思われる。指定物件ではないので現状変更等の問題は存在しない。保存対象とするかどうかの参考資料として，あるいは指定申請を考えて年代調査が希望される。指定保存の対象となれば今後の解体調査も可能性があるので，詳細な年代調査はその時に行えば良い。建築年代など当面必要な情報を得るための調査を行う。

建築年代が分かったことで保存に結びつく場合もある。最近の例では，広島国際大学の藤田盟児教授と行った年代調査がある。居住者がいなくなり空き家となった宮島町家の民家調査と年代調査を行ったところ，17世紀の町家と判明した。17世紀の町家であれば重要文化財クラスの貴重な文化遺産である。ところが，この画期的な年代調査の結果を管轄の教育委員会に連絡したところその町家は取り壊されたという。あわてて藤田先生が現地に急行すると二戸一の町家の半分だけが取り壊されていた。幸い年代調査を行った半分が残されており，それも今まさに壊されようとしていた。貴重な文化遺産であることを所有者の方に理解していただき部材を確保し，移築保存の方策を追求することとなった。この町家はこれまで18世紀建築で記録保存やむなしと考えられていたが，建築年代が17世紀に遡ることが判明し，藤田先生や関係者の熱意により取り壊しを免れた。このように^{14}C年代測定は文化財破壊どころか貴重な文化財建造物を破壊から救う手助けをしたのである。

Ⅷ．部材選択と試料採取

^{14}C年代測定によって何を明らかにしたいかで，測定対象の部材を選択する必要がある。多くの場合建築年代を追求するため，当初部材が選択される。その条件は

1.建築当初の材であること

2.建築に当たって伐採された材であること。

3.ノタなどの表皮隣接面が残されている部材あること

4.汚染されていないこと

5.ウィグルマッチングを用いる場合30年輪程度の年輪数があり，年輪が目視できる部材であること。

1は建築調査により当初材と認められた部材である。2は，当初材であってもはるか以前に伐採され保存された材や，前身建物の転用材，他から持ってきた古材では建物の建築年は分からないのである。年代測定で分かるのは伐採年である。伐採から建築までの期間が長ければ伐採年から建築年を推定することができない。前身建物の転用材なら前身建物の年代情報を知ることができる。3は，測定されるのは試料の年輪が形成された年であるから，部材のいちばん外側の年まで分かることになる。一番外側が表皮に接した年輪層であるなら，部材の樹木が伐採された年が分かる。ところが製材時に外側をばっさり削っていたら，残された部分の年代しか分からなくなる。外側に20年あるか100年あるか分からないのだから，得られた部材最外層の年代は，建築年代とは結びつかない。当初の棟札測定を依頼されたことがあるが，棟札は小さい材であるから，木の内側のどの辺から取った材か分からない。元の木が樹齢400年あれば400年の誤差が生じてしまう。ノタなど表皮隣接層あるいは白太という表皮に近い部分の組織が残存している部材を選択する必要がある。また心持ちで瓜剝きの材や年輪幅の大きい材も表皮に近い可能性を持つという点では測定候補に挙げてよいかもしれない。例えば年輪幅が2㎝

と大きい場合，製材時の削除部分が10㎝と仮定しても5年の誤差で済むからである。これが1㎜に3年輪もある目の詰まったヒノキ材なら10㎝で300年輪あることになる。4は，これまで人が使用してきた建造物は発掘された木材遺物に比べて汚染が少ないと考えられてきた。しかし建築部材でも囲炉裏などの煤や文化財修理工事にともなう防腐処理に用いられた薬剤による汚染がこれまでに判明している。煤は年輪のなかでも柔らかく組織が疎な春材に溜まることが多く，試料は着色した部分を除く必要がある。また文化財保存修理工事では，昭和期に一時防腐剤としてタールが用いられた。タールは石油から作られた粘り気のある黒褐色の液体であるから，石油の元となった樹木が生育した遥か太古の時代の^{14}C濃度を持っている。そのためタールのしみ込んだ試料は測定すると古い年代を示してしまう。また表面の劣化を進行させないために膠浸潤した例もある。膠は動物由来のコラーゲンで最近の^{14}C濃度を持つため，膠のしみ込んだ試料は新しい年代を示してしまう。タールは有機溶剤，膠は水洗いで洗浄するが，完全には除去できず，あるいは完全除去が証明できない。このような処理剤に汚染されていない部位を選択する必要がある。5はウィグルマッチングを用いるのであれば，30年輪程度以上の年輪数のある部材が必要である。IntCalは5年を1試料とした平均値をデータとしているため，標準的な暦年較正やウィグルマッチングを行うには5年輪分を1試料として試料採取を行う。10年おきに3点試料を採取するなら，例えば汚染の可能性のある表面を避け，6-10年，16-20年，26-30年と試料採取する。もっと多くの年輪数を持つ部材であるなら，最も内側と外側とその間に予算の範囲で数点適度な間隔で測定すると良い。ウィグルマッチングには採取試料の年輪位置が必要情報であるので，年輪を数える必要がある。測定試料をブロックで借用して研究室で作業を行う場合は顕微鏡などを用いて年輪を数えることが可能であるが，現場で目視観察する場合は年輪の読める部材を選択する必要がある。クスノキなど年輪界の不明瞭な散孔材には目視での年輪確認が困難な樹種もある。

暦年標準曲線IntCalを見ると，較正結果の出やすい時期と較正結果の出にくい時期があるのが分かる。全体には右肩下がりの曲線であるが，ところどころ上下に振れて（ウィグル）いる。ウィグルが無く急角度で右肩下がりの時期は1点の測定結果でも暦年代を決定することができる。一方右肩にあまり下がらずウィグルの激しい時期は，ウィグルマッチングを行っても暦年代の絞り込みは困難である。年代調査においては建築調査で予測された年代と暦年標準曲線を見比べながら，測定部材や試料点数を考えるとよい。

Ⅸ．解析グラフ

測定結果は炭素14濃度（^{14}C/^{12}C比）の測定によって得られた値を炭素14年代に換算した炭素14年代値（BP）で表されている。これを暦年較正曲線によって暦年代に換算する。ここではRHC（国立歴史民俗博物館製炭素14年代較正ソフトウェア）で解析したグラフの見方を説明する。
群馬県桐生市の重要文化財彦部家住宅は17世紀に遡る古民家で，2010年に^{14}C年代測定を

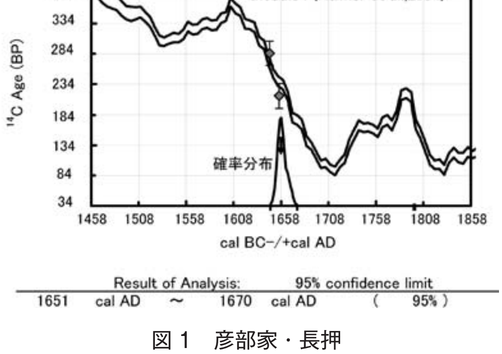

図1　彦部家・長押

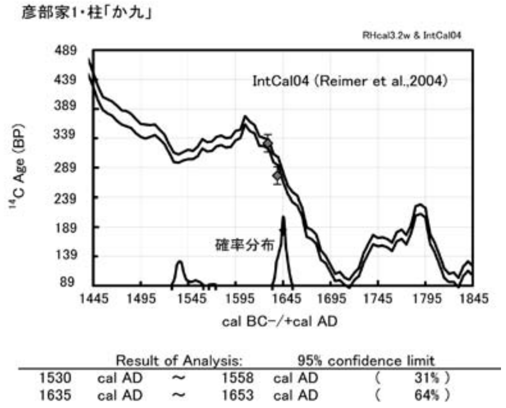

図２　彦部家・柱「か九」

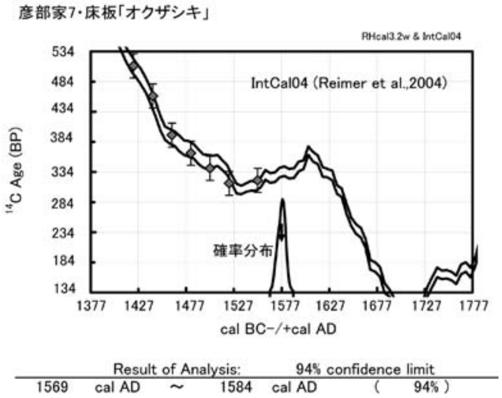

図３　彦部家・オクザシキ床板

行った[9]。図1は彦部家の長押「ぬ八-ぬ九」で30㎜の辺材を持つ18年輪のアカマツ材である。1-5年輪と11-15年輪の測定を行い，1-5年輪は215±20BP，11-15年輪は285±20BPとなった。折れ線グラフが暦年較正曲線IntCal04で，その上に乗る右側の菱形が1-5年輪，左側の菱形が11-15年輪である。菱形の上下に付いている羽根は±20の誤差の範囲を表している。95%の確率で1651~1670年となり，1658年にピークのあるのが分かる。この長押の場合，17世紀中頃という，近世では最も較正結果が出やすい時期であるので，たった2点でもこのように高い確率で暦年代が絞り込めた。17世紀の前半であれば1500年代の勾配の緩い較正曲線とBP値が重なってしまい，較正年代を特定することが難しい。また，17世紀も後半以降になると，今度は18世紀のでこぼこに引っかかってしまうのでこれも較正年代の絞り込みが難しいことが図からわかるだろう。

図2は彦部家の16年輪の「か九」柱である。この場合，1500年代のBP値に少し引っかかってしまい，1530～1558年に31%の確率が存在する。^{14}C年代測定では1530～1558年か，それとも1635～1653年かは分からない。しかし建築史の痕跡復原調査で，この「か九」柱は長押と同時期の江戸時代と分かっているので，1635～1653年（ピーク値1645年）が選択される。

図3は彦部家オクザシキの床板で26㎜の辺材を持つ163年輪のアカマツ板である。年輪数の多い板材のため，7点（23-27，53-57，73-77，93-97，113-117，133-137，153-157 年輪）のウィグルマッチングを行い，暦年較正曲線によく適合する結果が得られた。菱形が測定したそれぞれの値（25，55，75，95，115，135，155年輪）である。部材最外層の年代は1569～1584年でピーク値は1577年となった。得られた年代は床板の最外年輪層であるから，一番外側の測定箇所25年輪目より25年外側に示されている。

測定結果をウィグルマッチングで暦年較正すると以上のようなグラフで表すことができる。建築史研究において^{14}C年代測定は有効な方法であるが，部材の選択や，彦部家の柱で見たような測定結果の解析，得られた部材年代をもとにした建築年代や改造年代の解明のためには，建築史研究の手法と研究成果の蓄積なくして成り立つものではない。^{14}C年代測定による建築年代推定に依拠して編年をおろそかにするような研究がもし出てきたならば，それは建築史研究とはいえず，水準の低い研究という評価が下されるだろう。一方で^{14}C年代測定は遺構に秘められていた新しい情報を引き出す研究手法である。^{14}C年代測定が多くの研究者に理解され，建築史各分野が研究領域を広げ，次代の建築史研究の一助となることを願うものである。

注

1）古年輪，独立行政法人奈良文化財研究所飛鳥資料館，2003.10

2）木越邦彦，年代を測る，中央公論社，1978.2

3）P. J. Reimer et al.（2009）. IntCal09 and Marine09 Calibration Curves, 0–50,000 Years cal BP. Radiocarbon 51-4: 1111-1150.

4）中尾七重・今村峯雄，麦島城建築部材の放射性炭素年代調査について，日本文化財科学会第25回大会研究発表要旨集A-18，2008.6

5）今村峯雄　炭素14年代較正ソフトRHC3.2について. 国立歴史民俗博物館研究報告137: 79-88. 2007.

6）大森貴之・西本寛・中村俊夫，較正解析プログラムOxCalの日本語化について，日本文化財科学会第27回大会研究発表要旨集B-28

7）今村峯雄・パレオラボAMS測定グループ，年代決定±1年レベルでの炭素14ウィグルマッチ法について，日本文化財科学会第27回大会研究発表要旨集B-22，2010.6

8）M.Stuiver et al.（1998）:Radiocarbon 40,1127-1151

9）尾嵜大真他　重要文化財彦部家住宅建築部材の ^{14}C 年代調査　ポスターセッション，　中尾七重　民家研究とAMS14C年代測定—重文彦部家住宅の建築年代調査—，　第12回AMSシンポジウムProgram and Abstracts，2010.5