

古 年 輪 学 研 究 (1)

光 谷 拓 実・田 中 琢

STUDY ON PALEO-TREE-RING (1)

By *Takumi* MITUTANI and *Migaku* TANAKA

Synopsis

Paleo-tree-ring study, which is composed of dendrochronology and dendroclimatology, has been carried out on a full scale since 1985 in Japan, after a preliminary work since 1980. As a result, the standard ring pattern of a hinoki (Japanese cypress, *Chamaecyparis obtusa* ENDL.) has been established from 37 B. C. till 1984 and some methodological investigations have been made. Some applied approaches also have been on the way. The further approaches will be focussed on extending of hinoki standard ring pattern into older years and application of current results of hinoki to the other various species.

1. は じ め に

年輪によって樹木の年代や過去の気象を推定する研究分野は、年輪年代学 (Dendrochronology) や年輪気象学 (Dendroclimatology) とよばれている。この分野の研究を20世紀はじめアメリカ合衆国で開始し、その方法を確立したのは、Andrew E. Douglass である。かれによって創始されたこの研究は、1937年アリゾナ大学に設立された年輪研究所を中心に著しく進展した。さらに、アメリカのみでなく、その後ヨーロッパにも及び、現在では、世界の20か国以上において、この分野の研究が実施されている¹⁾。

日本においては、Douglass の業績を知った、建築史や気象学、あるいは、林学などの分野の研究者のなかに、試行的研究を実施するものが断続的にあらわれた。しかし、それらは、広範な継続的な研究には発展せず、大きな成果をもたらすまでにはいたらなかった。それは、「日本のように湿潤温暖の気候のところでは、樹木の年輪は特定の気候変化を反映しにくい。そのうえ地勢が複雑で、地方ごとに降雨量の多寡の差がはげしいことも、年輪法の発達を阻んでいる」²⁾ とする考えが、事実の検討もなく、一般に受け入れられていたためであった。

このような状況のなかで、われわれの所属する奈良国立文化財研究所では、年輪年代学の可能性あるいは限界を確認するため、1970年ごろに一度研究テーマにとりあげたが、この最初の試みは、研究方法を正確に理解していなかったことや年輪計測方法、あるいは、試料の選択などにも問題があって、本格的な研究の開始までにはいたらなかった。その後、10年のちの1980年にふたたび試行的研究を再開、この分野の研究が日本でも十分実施可能であることを確認し、1985年からは、本格的の研究に着手し、実際に予想以上の成果が预期できる段階に到達した。

従来、この分野の研究は、その目的とするところが年代決定にある場合には、年輪年代学とよび、気象環境の復原にあるときは、年輪気象学とよびわけ、両者を総合した呼称がなかった。しかし、過去の年輪、すなわち、古年輪を計測し、変動パターンを作成する作業過程は、年輪年代学と年輪気象学のいずれにもまったく共通するところであり、同一データをごく普通に両方で使用する。したがって、両者を総合してよぶことが必要な場合も少なくない。今後、この総合した研究分野の呼称に古年輪学のことばをあて、両者の区分が必要なきときには、それぞれ、年輪年代法と年輪気象法とよびわけることとする。

2. 古年輪調査と試料

2.1 調査の原理

樹木、とくに、ヒノキ、スギ、マツなどの針葉樹材の横断面には、色調の濃淡としてあらわれた、1年を1単位とする生長輪、すなわち、年輪をみることができる。この年輪は、樹種、樹齢、立地、気象、結実、病害虫など、さまざまな要因によって、年ごとに差異が生じる。とくに、形成年における気象環境の違いを反映して、その構造と生育量、たとえば、春材部と夏材部との関係や年輪幅などにおいて、変化ができる。周知の事実だ。この変化、とくに、生育量である年輪幅の変化は、経年的に追跡すると、生育環境の共通する一定の地域内においては、樹種ごとに固有の変動パターンをえがくことが判明している。したがって、このような特性をそなえた樹種の材ならば、それぞれの材の年輪変動パターンを作成対比することによって、同年代に生育した樹木から採った材なのかどうか、判定することができる。この同年代に生育した複数の樹木の年輪を総合すると、標準になる年輪の変動パターン（以下、標準パターンと略称）を作成できる。さらに、現生木、古建築材、遺跡出土材などから作成したこの標準パターンのあいだで、同じ変動パターンをもつ部分を照合し、その部分で重ねあわせ、連鎖していくと、過去に遡った長期におよぶ連続した標準年輪変動パターンを得ることができる。この連続した標準パターンでは、現生木の伐採年代あるいは枯死年代（以下、あわせて伐採年代という）、すなわち、その最終形成年輪の暦年代は判明していることが多いから、そのなかの年輪データの暦年は確定していることになる。これを暦年確定標準パターン、略して、暦年標準パターンとよぶことにする。この暦年標準パターンができあがっておれば、任意の樹木、たとえば遺跡出土材をとりあげ、その年輪幅を計測して年輪変動パターンを作成、暦年標準パターンのなかにこの試料年輪変動パターン（以下、試料パターンと略称）と合致する部分を探索、発見することができれば、暦年標準パターンのなかの年輪データの暦年は判明しているのだから、合致部分の暦年を試料材に於て、その暦年を推定することが可能になる。さらに、年輪は、その年の気象、その他の各種の外的要因による結果であるのだから、その関係が判明しておれば、暦年標準パターンを構成する年輪データを分析することによって、それぞれの年輪形成年の気象環境その他を復原することも可能になる。したがって、この研究においては、暦年標準パターンの作成が第一段階の、そして不可欠の作業となる。ちなみに、先進地であるアメリカでは、現在から8200年前までのヒッコリーマツの暦年標準パターンが、西ドイツでは、8000年前までのナラ類の暦年標準パターンがすでに作成されている。

2.2 試料の伐採年代

年輪は1年に1層が形成されるのだから、年輪年代法では、これまでに実用化されている自然科学的な年代決定法の多く、たとえば、放射性炭素年代測定法などとはちがって、土何年といった統計的誤差は原則として発生しない。しかし、試料の形状によっては、すべてがその材の伐採年代を正確に決定できるとはかぎらない。試料の形状はつぎの3種類にわけることができる。

Aタイプ——樹皮または最終形成年輪の一部が残存しているもの

Bタイプ——部に辺材部をとどめているもの

Cタイプ——辺材部をすべて喪失し、心材部のみからなるもの

樹木の横断面をみると、中心部に髓があり、それから外側へ心材、辺材、形成層、樹皮となっている。心材部は、赤味と通称され、樹種や産地によって多少の差異はあるが、一般に色調が濃厚な部分である。辺材部は、心材部の周囲の色調の薄い年輪部分で、白太の名がある。心材部はほとんどが死細胞からなっており、辺材部は木部細胞の一部がなお生理的活動をおこなっている。樹木は、形成層の活動によって、肥大生長が進行し、新しい辺材部が外周に形成されていく。それにつれて、中心により近い部分を構成している古い細胞から原形質を喪失して死細胞となり、心材化が進行する。辺材部は腐朽しやすく、あるいは、この部分を含む材は変形しやすいため、用材とする場合には、辺材部を取り去って心材部のみとするのが普通である。したがって、古建築材や木製品では、BやCのタイプの試料となることが多い。

Aタイプの試料は、その材の正確な伐採年代を決定できるものである。ただし、最終形成年輪のなかの夏材部の形成状況によって、計測年代に1年の誤差が生じるおそれがある。

年輪1層のなかの木材組織は、大型で薄膜の仮道管からなる春材部と、小型で厚膜の仮道管からなる夏材部とで構成されている。春材部は春から夏にかけて形成され、夏材部の形成時期は夏から秋にかけてである。したがって、試料の最終形成年輪が春材部のみからなっていて、夏材部がまだ形成されていないものについては、その伐採時期を夏期と特定し、計測したその年輪の年代を試料材の伐採年代にあてることができる。また、春材部につづく夏材部がわずかでも形成されておれば、その伐採時期を夏から秋にかけてと推定してよい。しかし、問題は最終形成年輪の春材部と夏材部との1組がすでに完全に形成されている場合である。その伐採時期は、地域による生育環境の違いによって差異はあるが、ほぼ11月ごろから翌年の4月ごろまでの暦年の2年にまたがった時期が想定され、伐採年代はこの2年間のいずれか、特定しがたい。それを誤ると、暦年を1年誤ることになる。Aタイプのなかでも、とくにこの種の試料は、その判別のために、最外年輪の春材部と夏材部との年輪構造を細胞レベルで確認調査しておく必要がある。ちなみに、早く1930年、当時高山測候所長だった山沢金五郎が木曽ヒノキの年輪データを『檜年輪調査成績』として公表しており、それは1920年を下限とする1119年までの802年分とされてきていた。そして、この年代を信頼して、このデータを使用、特定年の気象状況を論じたむきもこれまでにあった。しかし、今回作成した暦年標準パターンと照合したところ、それには1年のずれがあって、1118年から1919年までのものと判明した。この誤りの原因は、おそらく最終形成年輪の判読にあったのであろう。

Bタイプ、すなわち、一部辺材部をとどめている試料の最外年輪のしめす年代は、その材の伐採年代に比較的近い、とみてよい。辺材部を構成する平均年輪数が算定できておれば、それを加算することによって、伐採年代のおおまかな推測も可能である。辺材部の年輪数については、7.1で述べる。ただし、遺跡出土試料の場合、長年月の土中埋没期間中に色調の変化が生じ、辺材部と心材部の判別が困難になっているものが多い。この種の試料は、つぎのCタイプのものと区別できないことになる。遺跡出土試料のほとんどは、Aタイプではなく、このBまたはつぎのCタイプである。したがって、年輪年代法の応用研究にとって、辺材部と心材部との識別は重要であって、そのための手法の開発は今後の大きな課題のひとつとなっている。

古年輪試料のうち、現生木試料以外のその他の試料の圧倒的多数は、Cタイプ、すなわち、辺材部をすべて喪失し、心材部のみからなるもので占められている。これらの試料では、最外年輪の外にもともと何層、何年分の年輪があったのか、それを試料そのものから直接確定することはできない。その推定には、試料を手に入れた遺跡や古建築などから得られるそのほかの情報を勘案することになる。

3. 試料

これまで年輪計測した試料は、現生木、古建築材、遺跡出土材などであり、その樹種はさまざまだが、とくに集中して計測データを収集し、標準パターンの作成にいたったものは、ヒノキとコウヤマキとである。とくに、ヒノキについては、標準パターンが現代まで連鎖されており、前37年まで達する暦年標準パターンを作成している。これに対して、コウヤマキは、8世紀を下限として、それより古くさかのぼって連鎖されているが、現代とはつながっておらず、それぞれの年輪データの暦年はおおよその推定はできるが、厳密な暦年標準パターンにはなっていない。

3.1 試料の選定

最初の主要な試料として、ヒノキとコウヤマキ、とくにヒノキを選定したのは、それが古代から現代まで広範に利用されていて、標準入手が比較的容易なこと、樹齢が長いこと、植生分布が広いことなどによる。はじめて研究に着手し、方法を検討開発すべき段階では、それらの点が有利に働く、と考えたからである。さらに、奈良国立文化財研究所では、過去30年以上の平城宮跡をはじめとする都城遺跡の発掘の結果、500本以上の古代の柱根を所蔵しており、それらを試料として使用できたからでもある。それらはほとんどがヒ

ノキとコウヤマキであったのである。柱根は、土中に直接柱を掘り立てた掘立柱式の建物で、その柱穴のなかに残存していた柱の基部である。この柱は、直径 70 cm 以上の太いものもあるが、多くは 30 cm 内外の丸柱である。

標準パターンを現代と連鎖し、暦年連続パターンとするには、まず伐採年代の判明している現生木の標本を入手しなければならない。選定したのは天然林の木曽ヒノキである。さらに、解体修理した古建築の部材の廃材のなかから、年輪数の多いものを入手、これに平城宮跡や藤原宮跡などの遺跡出土掘立柱柱根やそのほかの遺跡から出土する木製遺物を試料として加え、暦年標準パターンを過去に連鎖遡上させていった。

3.2 標本の採取と調整

年輪計測に際しては、試料から直接計測する場合と、試料から標本を採取する場合とがある。現生木については、できうるかぎり標本入手に努めた。標本は、樹木の根張りによって生じた不整形年輪を避けるため、地上高約 5 m の位置で輪切りにした円盤形品を原則とした。この円盤標本の採取が不可能な場合には、林学調査用のスウェーデン製生長錐を使用し、直接立木から直径 5 mm 前後の棒状品を抜きとって標本とした。この種の抜きとり標本は、できうるかぎり 1 本の樹木から 2 方向以上のものを採取することにした。古建築材では、試料となる建築部材から直接計測することが多いが、大形品については、適切な厚さの円盤標本を作成したり、アメリカ製の乾燥材用抜きとり器で直径 1 cm の棒状標本を採取することもある。また、古建築修理工事の際にでる廃材は有効な標本になる。遺跡出土品では直接計測が多いが、それが不可能な場合には、湿潤な状況で保存されているものについては生長錐で、乾燥状況にあるものについては専用抜きとり器で、棒状標本を作成することもある。ただし、古建築材や遺跡出土材は、損傷することが好ましくないものが多く、標本の作成は、それが許されるもののみに限っていることはいうまでもない。

棒状標本は、放置すれば、乾燥によって、収縮したり、変形する恐れがあるので、上面に溝を彫りこんだ木製標本台上に接着固定し、保存することとしている。

採取した標本は、そのままでは年輪境界の識別が困難なことが少なくない。そのために、観察面を調整加工する。現生木の円盤標本では、表面を木工用サンダーで研磨、さらにカッターナイフなどの鋭利な刃物で測線部分の表面を薄く削る。この削り面に白色ワセリンを塗布すると、年輪観察が容易になることが多い。棒状標本についても鋭利な刃物による表面の調整とワセリン塗布とは同じである。古建築材標本は現生木に準ずる。遺跡出土標本は、埋没中の変色が著しく、年輪境界が不鮮明なものが少なくない。その種の標本は、鋭利な刃物で表面を削って調整し、白色チョークの粉末を塗布すれば、観察が容易になることもある。

4. 試料パターンの作成

4.1 年輪幅の計測

年輪幅の計測には、年輪幅読みとり器（双眼実体顕微鏡付き、0.01 mm までの計測可能、アメリカ・F・ヘンソン社製）、ルーペ（10倍ないし15倍、目盛り付き）と濃度測定器（年輪の X 線撮影像を走査し、その像の濃度を解析して年輪データとする）などを使用する。

年輪幅は、同じ年に形成された 1 層の年輪でも、その部位によって広狭が生じていることが少なくない。たとえば広狭があっても、その前後の年の年輪幅とくらべて、相対的に広い、狭い、そのどちらかであれば、問題は少ないのだが、部位によって、あるところでは狭く、別のところでは広がって、逆転していることがある。こうなると、作成した年輪パターンは、その年のところで逆の形のものになる。この逆転現象を消去するためには、円盤標本では、2 ないし 4 方向に測線を設定し、計測する。また、現生の立木から棒状標本を採取するとき、2 方向以上を原則としたのもこのためである。もちろん、実物試料や棒状標本の場合、それが不可能なことが多い。計測は、設定した測線にそって、最外年輪から材の中心方向にむかって、0.01 mm 単位でおこなう。複数の測線を設定し、計測をおこなった試料については、各層ごとの複数の計測値の平均値を算定、それをその層の年輪幅としている。

計測に際してとくに注意すべきは、偽年輪と不連続年輪である。

年輪は1年に1層形成されるのが原則であることはいうまでもない。しかし、肥大生長が極端に良好な場合、あるいは、長期のあいだで、肥大生長が一時不活発となり、その後また活発化することがあった場合には、その境になった年の1年間に1層以上、ときには数層の生長輪が形成されることがある。この現象を重年輪とよび、正常な年輪以外に形成されたものを偽年輪とよんでいる。偽年輪は、年輪境界が不鮮明であって、それによって識別可能だが、最終的には、顕微鏡観察による細胞レベルの検査を必要とする。ヒノキの例では、集計していないので厳密ではないが、1ないし2%の頻度で出現する。

正常な年輪は、樹幹の全周にわたってほぼ同じように形成されるが、細胞分裂がおこなわれない部分が発生して、一部分が途切れた年輪となっていることもある。不連続年輪である。この途切れた部分で計測すると、1年分の年輪データが消滅してしまうことになる。ヒノキでは、この不連続年輪現象は劣勢木にみられる。この不連続年輪は、測線を2方向以上に設定できれば、比較的容易に検出できる。その出現頻度は、偽年輪より1桁低い。

4.2 年輪パターングラフの作成

年輪計測値は、経年的に連続した状況で年輪パターンとして視覚的に確認できるようにするために、グラフ化する。われわれは、ヨーロッパの古年輪学研究者と同じように、片対数グラフを、横方向に年を、対数目盛りになった縦方向に測定値をとって、使用している。いうまでもなく、年輪幅の広狭の極端な差を視覚的に減じ、微細な年輪幅の変化を感知しやすいようにするためである。なお、グラフ用紙はトレーシングペーパーに印刷したものがよい。目視で照合することが不可欠な場合がしばしばあって、透視台（ライトボックス）上で重ねあわせる必要が生ずるからである。なお、アメリカでは、年輪パターンの表現方法として、Douglass が創始したスケルトン・プロット法を採用することが多い。これは、おもに狭い年輪幅の部分のみを抽出し、その出現位置を比較対照する方法である。

4.3 年輪パターンの相互照合

計測データによって作成した、ある1試料の年輪変動パターンと他の試料のそれとを対比し、同一年に形成された年輪をそれぞれのなかで検出する作業がある。これによって検出した重複部分を基準にして、同一年の年輪幅の計測データの平均値を算定、それによって標準パターンを作成することになる。また、この標準パターンを伐採年代の判明している試料データと連鎖すれば、暦年標準パターンとなる。さらに、暦年標準パターンのなかにおける試料パターンの位置が検出できれば、その試料材の伐採年代の推定が可能になる。この作業を年輪パターン照合とよぶことにする。この年輪パターン照合は、偽年輪や不連続年輪を検出するうえでも有効である。

年輪パターン照合作業は、コンピュータを使用する方法と年輪パターングラフを透視台の上で重ねあわせて目視で照合する方法とがある。現在、この2方法を併用し、コンピュータで照合した結果にもとづいて、さらにそれを目視で再確認することになっている。

(1) コンピュータによる年輪パターン照合作業

照合作業の第一段階として、年輪データの標準化の問題がある。同一年に形成された年輪でも、樹齢や生育環境条件などの差異に応じて、個体のあいだで差が生ずる。この個体の特徴がとくに強い試料であると、他の試料との対比が困難になることがある。それを避けるために、年輪データを補正し、個体的特徴を除去する。これが標準化処理である。この標準化処理には、欧米では、多項式あてはめ法、移動平均法、加重移動平均法、指数式あてはめ法、スプライン関数あてはめ法など、さまざまな手法がとられているが、ヨーロッパの研究で広く採用されている5年移動平均法を採用することとした。この5年移動平均法によって得られるのは、連続する5年間の年輪のデータの平均値とその中央の年の年輪データとの百分比である。この移動平均値を各年輪について算定し、それをさらに自然対数に変換しておく。

つぎに、この標準化処理して得られた自然対数値を使用して、2試料のあいだのデータの照合をおこなう。これが照合作業の第2段階になる。まず、片方の試料の自然対数値データを基本にして、他方の自然対数値

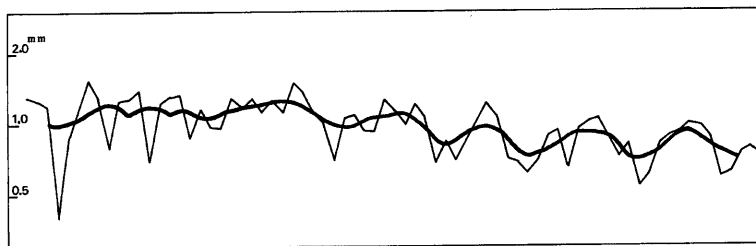


Fig. 1 Measured ring-width pattern and pattern standardized by 5 years mean.

データを1層分ずつずらしながら、そのたびごとの相関係数を求め、ついで t 検定をおこなう。ヨーロッパでは、 t 値が3.5以上になれば、その位置で両試料パターンに相関あり、とみなしている。危険率は0.1%である。実際に日本においてヒノキで検討したところ、樹齢200年から300年程度の試料だと、 t 値が3.5以上になる位置が数か所以上になることが少なくない。したがって、最大の t 値を示す位置で両試料の年輪が重複している、とひとまずみなすことにしている。しかし、このコンピュータによる操作結果によって最大の t 値を得られた位置が必ずしも重複位置になるとは限らない。その確認には、目視照合を必ず併用する。

(2) 目視による照合作業

年輪パターングラフを透視台に重ねあわせておき、コンピュータによる照合結果を参考にしながら、試料パターンの重複状況を確認する。この際には、試料パターン全体を観察することはもちろんだが、とくに指標年輪部を参考にする。

指標年輪部とは、すべての試料を通じて、同じ変化動向をしめす年輪部分をいう。いいかえると、すべての試料について、ある年の年輪データに対して、その次の年のものが、同じように大きい数値をしめしたり、逆に小さかったりしている部分である。おそらく樹木生長の内的条件の変化を消し去るほど外的条件の影響が大きかった年に形成された年輪であろう。異常気象の影響などがあったのか。この指標年輪部は、すべての年輪パターンに共通して出現するものなのだから、新しく照合する試料にも共通するはずであって、目視による照合作業では、この指標年輪部が一致するかどうか、まず検討することになる。指標年輪部は、標準パターンを作成するときに検出しておく。当然、試料数が増加し、標準パターン作成試料を増加させると、し

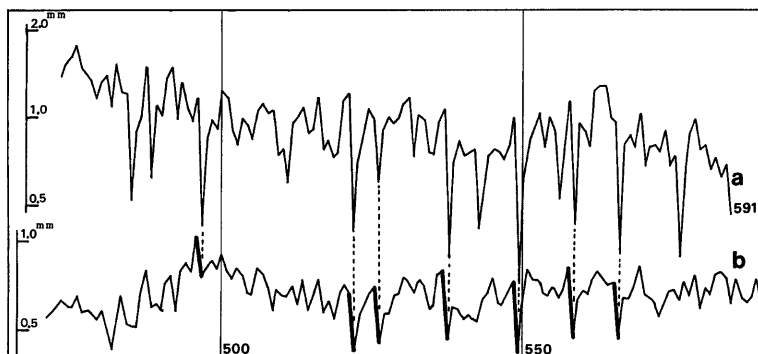


Fig. 2 Cross-correlation of the patterns of the pagoda pillar in Hōryūji temple (a) with hinoki standard pattern (b). The thick lines are key signatures.

だいにこの指標年輪部も減少していく。

樹齡構成の比較のそっている長野県上松産のヒノキ20点についてみると、指標年輪部は、1752年から1984年までの233層のなかに、17か所検出している。約7%の出現頻度である。この17か所のうち、前年より生長の良い形になったものが8か所、逆に悪い形のものが9か所と、ほぼ同数である。

5. 暦年標準パターンの作成

古年輪学研究の基礎は、暦年標準パターンの作成にある。現生木は、伐採年が判明しているから、現生木試料による標準パターンの作成が暦年標準パターン作成の第一段階になる。また、暦年標準パターンを含めて、標準パターンは、当然ながら、できうるかぎり、安定した生長をしめす年輪データを使用して作成することが望ましい。したがって、その作成に際しては、安定した生長をしめす年輪を識別するために、年輪のそなえる特徴について、いくつかの問題を検討しておく必要がある。

5.1 現生木による年輪の特性検討

(1) 同一材の異なった部位における年輪データのバラツキ

年輪はすべてが同心円状に発達しているものばかりでない。そのため、円盤標本では、数方向の測線を設定し、それぞれにおける計測値の平均値を年輪データとしていることは、4.1ですでに述べたところである。しかし、棒状標本の場合、あるいは、実物試料を直接計測する場合でも、往々にして一方向だけの測線設定になるから、この問題を回避する方法を欠く。そのため、円盤試料を使用して、それに数方向の測線を設定し、計測したとき、その計測値にどの程度のバラツキがあるのか、それを検討しておくこともまた必要なことになる。

この検討のための試料としたのは、長野県木曽郡三浦産のヒノキの円盤標本2点である。そのうち、No.1標本は、樹齡258年、同心円状に近い成長をしめているものであり、No.2標本は、樹齡245年、偏心生長したものである。この標本のそれぞれに、中心から円周を3分割する方向に測線（A1, A2, A3, と B1, B2, B3）を設定し、各測線の計測値の相関関係を知るために、年輪データの照合をおこなうときと同じように、 t 検定をおこなってみた（Table 1）。この結果からみれば、たとえ偏心生長部分でも、他の部分との相関は決して低くない。ただし、多数の試料を計測した経験からすると、偏心生長部分の年輪パターンは、他とずれるものも少なくない、と感じている。この問題は、さらに今後検討を重ねたい。

(2) 中央部と周辺部における年輪データのバラツキ

樹木の横断面中央部、すなわち、その樹木が若齡のころに形成された年輪部分は、樹木が老齡になったころに形成された周辺部の年輪にくらべて、樹木の個性的特徴がやすい、といわれている。それが正しければ、標準パターン作成に際しては、この中央部分のデータの使用を避けることが望ましいことになる。

この点を伐採年を同じくする長野県上松産の10点の現生木試料について検討した。その平均年輪数は263.0、標準偏差は24.0である。これらの試料について、まず伐採年を基準にそれから100層の新しい年輪部分のデータをそれぞれの ED1 とし、その内側から中央にむかう古い部分の年輪データを ED2 とし、同じように t 検定をおこなった（Table 2）。これからみると、周辺の100年の年輪部分は、どの組み合わせでも、3.5以上となっているのに対して、その内側の中央部では、45組の組合せのうち17組までが3.5以下の t 値をしめす。ちなみに、それぞれの平均値をとると、前者は8.1、後者では4.5となって、倍近い差異がある。この状況からみて、樹木が若いころに形成された中央部の年輪部分は、老齡になって形成された周辺の年輪にくらべて、樹木の個

Table 1 T -values between ring-widths of different diameters on the same specimen.

	Specimen No. 1		Specimen No. 2	
	A2	A3	B2	B3
A1	12.0	11.3	B1	16.3
A2		11.0	B2	11.0

Table 2 *T*-values of ring-widths of outer 100 layers (ED1) and central layers (ED2) of different specimens

Specimen	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 ED1	8.1	5.7	9.4	7.2	7.6	10.4	8.3	7.2	7.8
ED2	4.5	2.5	4.1	3.4	11.6	6.1	0.6	4.0	3.4
2 ED1		7.7	11.4	7.1	6.3	10.4	11.5	8.5	12.2
ED2		4.8	8.9	3.5	5.3	6.4	4.9	6.6	4.8
3 ED1			6.0	7.6	4.0	6.7	9.3	8.6	9.3
ED2			2.9	2.8	1.9	2.9	7.8	8.6	8.8
4 ED1				6.7	6.6	6.6	7.8	6.5	7.1
ED2				3.7	3.9	4.3	4.4	4.4	2.6
5 ED1					6.2	6.7	8.7	9.7	7.7
ED2					2.8	2.5	5.3	2.2	4.3
6 ED1						7.2	5.9	6.0	5.0
ED2						5.8	0.2	4.1	0.5
7 ED1							10.5	8.5	10.3
ED2							2.3	3.4	2.6
8 ED1								10.4	14.3
ED2								6.5	9.9
9 ED1									9.8
ED2									5.3

性的特徴がでやすい、とする推定はあたっていたことになろう。したがって、年輪照合や標準パターン作成には、可能なかぎり、周辺年輪部分を使用し、中心部を排除することが望ましい。実際には、さらに、年輪グラフを参照し、生長程度の比較的安定した部分を選別して、標準パターンの作成に使用する。この作業を年輪データの編集とよんでいる。

(3) 同一産地における年輪データのバラツキ

一定の範囲の地域のみで生長した樹木の年輪データのあいだの相関が高いこと、これは古年輪学が成立するための前提である。さらにまた、暦年標準パターンの作成とその応用研究のためにも検討しておくべきことがらである。

この検討に使用した試料は、長野県木曽郡4か所49点、岐阜県恵那郡4か所51点、三重県北牟婁郡1か所6点、和歌山県伊都郡1か所2点、総計108点である。このうち、和歌山県1か所の資料が不明なのを除けば、他はすべて天然林から伐採した試料であり、それぞれ1か所の産地としたのは、山林管理上設定されている小林班を同じくするもので、ほとんどが50ヘクタールを超えない範囲内にあったものである。これらの試料について、まず、それぞれの産地ごとにそのなかで試料間の相関関係を検討したところ、きわめて高いことが判明している。そのなかで、長野県木曽郡上松の試料20点の結果を表示しておこう (Table 3)。年輪データ照合の他の場合と同じく、相関係数による t 検定である。なお、その平均年輪数は265.2、標準偏差は17.7である。

20点の t 値の平均値は、8.4ときわめて高い。ただ、詳細にみれば、なかに t 値が3.5以下の数値を示しているところがある。試料6と試料10が2.7、試料6と試料15とか3.3、試料11と試料20とか3.1になっている。そこで、問題になる試料6と11とを除いた18点の試料の年輪データをそれぞれの年ごとに平均したものを基準として、それと試料6および試料11との相関関係をしらべたところ、9.8と8.7となり、高い t 値をしめすことが判明した。これは、18点の試料のデータを平均化することによって、試料個体のバラツキが消去された結果によるのであろう。標準パターンは、それぞれの年の年輪データの平均値を算定して作成するものだ

Table 3 *T*-values between ring-widths of different specimens from the same site.

Specimen	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	8.3	5.2	8.4	6.9	13.8	10.6	5.5	7.6	7.2	6.4	11.0	8.5	11.0	5.7	11.9	8.0	9.0	7.4	7.2
2		9.3	13.5	7.9	7.2	12.1	12.1	11.3	11.4	6.2	11.9	12.1	14.8	6.9	7.6	11.3	10.1	14.4	8.5
3			6.0	7.2	3.7	6.7	12.2	11.9	12.8	6.8	5.3	10.4	9.0	6.0	6.6	7.2	3.8	10.8	5.7
4				7.0	6.3	7.5	8.2	7.7	6.3	4.9	10.0	7.4	11.4	6.3	6.6	7.2	10.7	10.5	8.8
5					5.1	6.4	10.2	8.4	8.4	7.8	8.4	8.6	10.2	8.9	8.2	8.0	5.5	9.8	7.1
6						8.3	5.9	6.0	2.7	5.6	10.3	6.1	9.8	3.3	11.3	6.3	8.0	5.1	5.2
7							8.9	8.4	8.2	6.9	9.5	9.2	13.8	5.9	9.8	11.1	7.2	11.4	7.4
8								13.0	16.4	7.7	8.0	11.8	9.7	7.6	7.7	8.5	4.7	11.8	7.3
9									10.8	8.7	8.1	11.2	11.4	7.3	8.3	9.3	5.1	10.1	6.5
10										8.4	5.4	11.5	7.9	7.8	5.5	6.7	4.2	9.7	6.0
11											5.4	5.9	7.2	5.5	6.4	4.7	3.9	7.2	3.1
12												7.0	16.0	5.9	11.4	8.4	11.7	8.9	9.4
13													10.1	6.8	8.1	8.1	6.1	11.0	7.8
14														6.6	12.3	10.2	12.5	13.2	9.8
15															6.9	7.9	3.7	8.3	5.6
16																8.3	7.7	7.7	7.9
17																	8.6	10.9	8.5
18																		8.3	7.6
19																			8.7
20																			

から、できるだけ相関係数の良い試料を選別しておくことが有効なものをつくりあげる結果となることがわかる。

なお、ここに表示した上松産20点の試料相互の組合せ190通りのそれぞれについて、2試料のあいだのデータの年輪照合をおこなう場合とおなじように、片方の試料の年輪データを基本にして、他のデータを1年分ずつずらしながら、そのたびごとに1検定をおこなってみた。伐採年が判明しているのだから、その位置で重ね合わせた状況において1値も最高になるべきであろう。たしかに、190の組合せのうちの98%までは、そのとおりだったが、問題の2点の試料については、それ以外の重ね合わせの位置で最高値をだしたことは無視しえない。こうした状況は他の産地の試料においても確認することができる。

(4) 産地間相互の相関係数

前節で1か所の産地のなかの複数の試料の相関係数について述べたが、ここでは複数の産地のあいだでどのような関係になるのか、それを検討しておこう。これは、作成した暦年標準パターンの有効範囲の確認でもある。速くはなれた産地のデータのあいだに高い相関係数がみられれば、1つの暦年標準パターンの有効範囲が広がることであり、とくに年輪年代法の研究には有利である。しかし、たとえそれが狭い範囲にしか有効でなくとも、逆にその暦年標準パターンと合致する試料は、その地域産の材と特定できる可能性があるわけだから、古年輪学の一分野として発展が期待されている産地同定法にとっては有利に働く可能性を秘めている。いずれにしても、年輪データの産地間相互の相関係数の検討は、古年輪学には不可欠である。

ヒノキについてこの検討をおこなったが (Table 4)、使用した年輪データは、採取地ごとに相関係数の高い試料のデータを平均したものである。ただし、産地ごとの試料数に差がありすぎるので、これで結論を簡単に引きだすことはやや軽率かもしれないが、一応のめやす程度にはなるであろう。これで見ると、長野県側のヒノキの試料は、それぞれの産地のあいだできわめて高い相関係数にあり、さらに岐阜県側の裏木曾ヒノキ試料とのあいだの相関係数も高い。これは、同一産地の試料のなかの関係とはほぼ似た状況といえる。

Table 4 T-values between average ring-widths from different sites.

	Kōrigase	Komata	Miure	Tsukechi	Osaka	Owase	Kōya	Kōchi	km distance	Specimen Number
Agematsu・Nagano	8.6	8.0	6.0	14.7	7.5	4.3	3.7	3.1	0	17
Kōrigase・Nagano		11.6	7.6	10.3	9.0	5.6	2.8	3.2	7	6
Komata・Nagano			11.3	12.0	10.0	4.5	4.0	1.6	14	5
Miure・Nagano				7.9	7.6	6.9	3.6	0.6	20	11
Tsukechi・Gifu					10.3	4.3	6.1	4.0	17	12
Osaka・Gifu						5.0	4.9	3.0	30	9
Owase・Mie							4.7	4.7	250	6
Kōya・Wakayama								6.9	260	2
Kōchi・Kōchi									470	1

そして、距離が離れるにつれて、 t 値が低下するのは当然として、250 km 離れた三重県尾鷲試料が木曽ヒノキと3.5以上、和歌山県高野山試料が、2.8の1例を除くと、これまた3.5以上となっていることも重要である。さらに、高知試料は、伐採地、伐採年ともに詳細不明のもののだが、岐阜県付知試料とかなり高い相関関係にあることもおどろくべきことであった。つぎに述べる岐阜県付知産試料による暦年標準パターンは、高知地方まで使用できる可能性がある、といえよう。

5.2 現生木による暦年標準パターンの作成

以上、5.1.1から5.1.4までの検討から、適切な木曽ヒノキの試料によれば、かなり広範に有効な暦年標準パターンを作成できる見通しを得ることができた。とくに、木曽ヒノキは、伐採年の明確な天然林標本を入手しやすい、という好条件がある。

現生木による標準パターン作成に使用したのは、岐阜県付知産の13点の円盤標本と、925層の年輪をもつ名古屋営林支局保管付知産大円盤標本1点とである。それによって、1009年から1984年までの標準パターン乃至その資料となるデータを作成した。ただし、18世紀前半以前の部分はわずかに3点のみ、16世紀以前については2点の試料によるものであり、現生木によって作成できた暦年標準パターンは、厳密には1770年から1984年までといってよい。このあいだの約200年のあいだに認められる指標年輪部は16か所である。

6. 暦年標準パターンの延長

現代から18世紀後半までの暦年標準パターンは、13点の木曽ヒノキによるものであったが、これは現在保管している現生木で今後補強することができる。ちなみに、欧米では、標準パターン作成には、最低20試料が必要としている。しかし、それより古い時代に関しては、現生木試料では、いくつかのデータは入手可能だが、標準パターンとするには、あまりにも点数不足である。それを補うものは、古建築材や遺跡出土材しかない。

6.1 古建築と遺跡出土との試料による暦年標準パターンの延長

重要文化財東大寺二月堂参籠所は、食堂の柱に大永2（1522）年の落書が刻まれていることと建築様式とから、室町時代創建とされてきた。その解体修理が1981年4月から1984年6月にかけて実施され、不用になった腐材を古年輪試料として提供していただいた。

試料は、天井や羽目に使用した板材39点で、切断されていた木口面を調整して計測した。その結果、最多年輪をもつものは494層、最少は95層、平均191層、標準偏差は93であり、試料相互の年輪照合の結果、729年分の標準パターンを得ることができた。この標準パターンを現生木試料による暦年標準パターンと照合したところ、その1027年から1755年の部分と重複することを確認し得た。この両者を連続することによって、

暦年標準パターンを11世紀にまで連続することが可能になったが、その古い部分はお試料不足である。ちなみに、この建物は、天井裏にあった修理棟札から、天明6（1786）年と1904年に修理されていることが判明しているが、試料とした板材は、年輪計測結果からすると、天明修理のときの後補材とみてよい。

愛知県清洲城下町遺跡の発掘調査で出土した各種木製品のなかから選別した、曲物容器や折敷など、数十点の試料の計測の結果、最多年輪をもつものは420層、最少年輪は56層、平均185層、標準偏差97となった。ヒノキの薄板を加工して製造した曲物容器の底板や蓋板は、表面が柾目になっており、保存状況の良好なもので、試料から直接計測することが可能である。これらの木製遺物から得た標準パターンは、568年分であり、現生木試料によって作成し、東大寺参籠所試料によって補強した暦年標準パターンとは、1024年から1591年までの部分で照合可能であることを確認した。これまた、暦年標準パターンの有効な補強試料となる。

福井県一乗谷朝倉氏遺跡は、戦国大名朝倉氏が文明3（1471）年に居を構え、天正元（1573）年信長に滅ぼされるまで本拠地としたところ。この遺跡から出土した曲物容器の蓋板と底板、各1点の年輪計測の結果、蓋板には468層、底板は776層の年輪があり、それらが暦年標準パターンと重複連続し、それを補強するとともに、現生木による暦年標準パターンの先端を1009年から783年まで延長することができた。ただし、この試料の検出はやや遅れ、暦年標準パターンの先端が1009年にあった期間は永かった。ちなみに、この底板は直径約30cm、そのなかに含まれている776層は驚異的な年輪数である。

6.2 暦年の確定しない標準パターン

現生木試料その他によって作成した暦年標準パターンと併行して、それとは遊離した標準パターンを別に作成している。

広島県草戸千軒町遺跡は、中世の代表的な遺跡として著名なものである。この遺跡から出土した多量の木製品のうち、鼻繰5点の年輪を計測した。鼻繰は、大型の材木の先端に運搬用の縄掛孔をあけ、運搬後、不用になって、切り捨てたもの。この試料の平均年輪数は227、標準偏差は39、相互のあいだで照合した結果では、5点のうち4点は平均 δ 値が9.8ときわめて高いところで重複できることが判明した。現生木試料の経験からすると、この4点は同一産地のものとみてよい。この4点の試料によって作成した323年分の標準パターンは、しかし、さきの暦年標準パターンと照合したところ、 δ 値が同じ3.6をしめす位置が1009年から1058年までと1526年から1848年までの2か所で検出できた。このいずれかで重複させるにしても、 δ 値は小さい。それだけではなく、草戸千軒町遺跡は17世紀の大洪水で壊滅した町であるから、まず後者の年代は否定せざるを得ない。あるいは、発掘結果によると、これら試料の出土した遺構は鎌倉時代と推定されているから、前者の位置での重複もありえないであろう。結局、この草戸千軒町遺跡試料は、木曽ヒノキを中心として作成した暦年標準パターンとは、異なった年輪変動パターンをもつグループを構成するもの、と結論せざるを得ない。

京都市南部にある鳥羽離宮跡は、平安時代後期、11世紀末から12世紀前半、上皇の御所となったところ。この遺跡から出土した角材1点と井戸枠7点を試料として、年輪計測した結果、角材は569層、井戸枠7点は平均218層、標準偏差72の年輪をもち、相互に照合したところ、1点を除いて、その重複位置を確認、611年分の標準パターンを作成することができた。これをさきの暦年標準パターンと照合したところ、最高の δ 値3.8をしめすのは、1017年から1627年までの部分であり、つぎに高い3.5では、1157年から1767年の部分であった。この年代はいずれも、鳥羽離宮の年代からすれば、否定せざるを得ない。この標準パターンも、草戸千軒町遺跡試料による標準パターンと同じく、ひとまず暦年を確認できないものとなった。

しかし、さきに草戸千軒町遺跡の標準パターンとこの鳥羽離宮跡の標準パターンとを照合したところ、前者の新しい199層の部分と後者の古い199層の部分とが、12.4というきわめて高い δ 値で重複し、この位置で連続できることが判明した。これによって、暦年にはまだ結びついていない735年分の長さをもつ標準パターンを得ることができた。

奈良市の平城宮跡の発掘調査は、四半世紀以上にわたって継続的に実施されてきた。この遺跡から出土する遺物や遺構は、ほとんどが8世紀に属し、一部に9世紀初頭のものもある。そのなかから、まず、柱根24

点を選定計測し、相互に相関関係の良い20点で637年分の長さの標準パターンを作成、さらに、その後、他の試料も加えて、875年分の標準パターンとした。

この平城宮跡出土試料による標準パターンをさきの草戸千軒町遺跡と鳥羽離宮跡との試料による標準パターンと照合したところ、平城宮跡標準パターンのうしろ327層の部分が後者の先頭部分と重複することが確認できた。 t 値は6.2であった。これによって、両者を総合した結果、1283年分の長さをもつ標準パターンが完成したことになる。さきの現生木その他による暦年標準パターンはその先端が783年、8世紀の平城宮の時代に到達しているのだから、平城宮よりはるかのちに下限をおくこの1283年分の長さの標準パターンとは、年代的には当然重複しているはずなのだが、しかし、まだ直接結合させることはできなかった。

6.3 前37年から1984年までにおよぶ暦年標準パターンの完成

平城宮跡その他の試料による1283年分の長さの標準パターンと現生木その他による暦年標準パターンとは、12都道府県におよぶ試料探索とその年輪計測を経過したのち、ようやく東京都一ツ橋高校遺跡出土試料によって連鎖に成功した。この遺跡は17世紀から18世紀にかけての江戸の町屋と墓地からなる。試料は、容器の蓋で、411層の年輪をもち、783年に到達していた暦年標準パターンの先端部分364層、すなわち783年から1146年のところで重複していることを確認した。さらに、平城宮跡その他の試料による1283年分の標準パターンとは、第773層から第1183層の部分で重複することを確認した。これによって、2021年分からなり、前37年から1984年におよぶ暦年標準パターンが完成したのである。

さらに、この連鎖を強化する試料を、その後の草戸千軒町遺跡試料のなかで発見することができた。試料は折敷1点で、年輪数294層、さきの暦年標準パターンとは1029年から1322年のところで、1283年分の標準パターンとはその後部218層で、それぞれ重複していることが確定できた。

前37年に達する暦年標準パターンの作成作業を通じて、一つの知見を加えることができた。遠く離れた産地の試料による標準パターンが直接連鎖できない場合でも、その中間の地方で産出した試料を介在させることによって、連鎖できる可能性である。おそらく、完成していく暦年標準パターンは、各地の標準パターンを系統樹状、あるいは、網目状に連鎖したものになるのではないかと想像できる。

7. 暦年標準パターンを応用した研究

暦年標準パターンが作成できれば、それを応用して、年輪年代法や年輪気象法の研究が可能になる。しかし、年輪年代法による研究を実施するには、さらに検討しておくべき問題がある。ここでは、その問題を検討したのち、これまでに実施した年輪年代法による研究成果のいくつかを紹介する。

7.1 辺材部を構成する年輪数

年輪年代法で取り扱う試料は、現生木を除くと、2.2で述べたBタイプとCタイプが圧倒的に多い。その試料材の伐採年代を推定するには、まず第一に辺材年輪数を知り、それを参考にすることが必要である。辺材部の幅とそのなかに含まれる年輪数は、樹種が違えば、差異が生ずるし、同一樹種でも、樹齢や肥大生長の程度、あるいは、産地の違いによって、差ができるのは当然である。しかし、多数の試料から平均的な辺材部構成年輪数を求めることは可能である。ここでは、現生ヒノキ試料101点（岐阜と長野産のヒノキ95点、三重尾鷲産ヒノキ6点）から算定した数値と樹齢とを表示しておこう（Table 5）。今後、試料数を増加し、さらに検討を加える必要があるが、現在のところ、試料総数101点の平均は、年輪数53.4層で、標準偏差は16.5であり、これを四捨五入して、53±17層をヒノキの辺材部年輪数としている。BタイプやCタイプの試料では、試料推定年代にこの辺材部年輪数を加算することによって、試料材伐採年を推定するよりどころにすることができる。なお、この101点の試料をみると辺材部幅 2.2 cm で96層を数えたものがある一方、肥大生長の良好な試料には、辺材部幅 3.9 cm でわずか18層しかないものもあった。

7.2 年輪年代法による二、三の研究成果

滋賀県安土市にある滋賀県立近江風土記の丘資料館には、紫香楽宮推定地出土と伝える柱根3点が所蔵さ

Table 5 Averages of ring number of complete series and sapwood part.

Site	Specimen Number	Complete Series		Sapwood Part	
		Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation
Agematu	20	265.2	18.2	48.8	11.7
Miure	18	272.9	28.4	60.9	17.9
Komata	5	298.0	19.2	72.8	17.2
Korigase	6	230.5	16.0	56.0	12.0
Tsukechi	19	257.4	30.5	52.6	19.2
Osaka	27	241.6	31.7	48.3	15.1
Owase	6	241.7	43.9	53.7	12.5
Total	101	257.6	31.9	53.4	16.5

れている。そのうちの1点はきわめて珍しいことには、樹皮部が一部に残存していた。この柱根から棒状標本を採取、年輪計測したところ、245層で、暦年標準パターンとの照合の結果、499年から743年までの部分で重複した。f値は5.9だった。顕微鏡下の観察では、最外年輪の夏材細胞は2ないし3列形成されているが、明瞭な年輪界を構成するにはいたっていない。したがって、この試料材の伐採は、743年の秋と推定できる。紫香楽宮は、聖武天皇が天平14（742）年8月に造営を開始した都であるが、その所在地は厳密にはわかっていない。しかし、この柱根の年輪年代法による推定年代はこの史実と完全に一致する。

法隆寺の五重塔は、第2次大戦前後に解体修理されたが、その心柱は、地中深く埋めこまれていたため、基部が腐朽しており、修理に際しては、腐朽部を切断、それに新材を根継ぎした。このときに、厚さ約10 cmの円盤標本が切り取られていた。心柱の年輪を調査すれば、古くから議論のあった法隆寺西院伽藍の創建年代が決定できるのでないかと考えたからだ、という。これは、現存西院伽藍を7世紀はじめの推古朝創建のものとするか、『日本書紀』にある天智9（670）年の記事を認めて、いったん火災で全焼したのち、再建されたものとみるか、この議論である。現在この標本は京都大学木材研究所に保管されている。樹種はヒノキ、さしわたし約82 cmの八角形に成形されたもので、樹木の中心の髓の部分をもつ心持ち材であり、周辺部は削りおとされ、試料としては、Cタイプに属する。

この心柱については、西岡秀雄が法隆寺東院夢殿の桁材の年輪と比較検討した結果、その伐採年代を推古15（607）年以前とする結論を1952年に発表している。今回の調査では、計測できた年輪数は351層、これを暦年標準パターンと照合したところ、重複位置が241年から591年のところにあることが判明した。ただし、Cタイプの試料だから、591年以後の伐採材といえるだけで、これに削りおとした心材部分と辺材部の年輪数を加算しなければ、正しい伐採年代とはならない。かりにさきに検討した辺材部の平均値を加えると、伐採年は $591+53(\pm 17)$ 年、すなわち、644（ ± 17 ）年以後のこととなるのかもしれない。西岡の結論は当たっていない蓋然性が高い、とみるべきであろうか。

長野県松本市にある若宮八幡社本殿は、もとの松本城の鎮守と伝えられ、桃山時代のものとして重要文化財に指定されている。先年、その解体修理がおこなわれており、そのときできた本体主要部の角柱の截断面を1点入手した。年輪数は143層、暦年標準パターンと対照したところでは、最外年輪は1614年に形成されたものと判明。この試料もCタイプであり、1614年よりかなりのちに伐採されたものであることは確かである。ところが、修理のときの所見では、この建物の主要部は創建当初のままであることになっている。家康が征夷大將軍になったのは1603年、したがって、この建物はこれまでの推定とはちがって、江戸時代の創建か、あるいは、今回の修理のときの所見とは異なって、この柱はのちの修理で補充されていたもののなか、そのいずれかになろう。

美術品についても年輪年代法を適用できた例がある。京都府下の某寺所蔵の漆塗曲物容器は、底部下面に

天福元年五月の墨書銘があり、工芸品としてこれまで高く評価されてきた。天福元年は1233年にあたる。しかし、この容器の年輪計測をおこなったところ、身の部分で398層、蓋板部分で305層、底板部分で286層を検出、暦年標準パターンと照合して、それぞれ下限が1576年、1548年、1467年にある結果を得た。銘にある1233年よりはるかに新しい。これらの試料は当然Cタイプであって、材の伐採年はそれよりもさらに新しくなる。辺材部年輪数も考慮にいれると、おそらく銘にある年代より400年ほど後世の製品であろう。

古年輪学の試行的研究に取り組んで5年、さらに本格的研究に着手して1年、ようやく基礎的な調査法の開発も進展し、その応用研究の成果もしだいにあがりつつある。しかし、なお基礎的なことがらについても研究すべき点は多々あるし、これまで作成してきたヒノキ材の暦年標準パターンをさらに古く連鎖し、できるだけ過去に遡らせて、同時にそれを使用した応用研究を推進することも必要である。あるいは、また、古年輪学を多面的に発展させるために、ヒノキ材を試料とした研究で得た経験を他の樹種に及ぼしていくことが肝要なことはいうまでもない。

参 考 文 献

- 1) Fritts, H. G.: Tree Rings and Climate, 1976, London
Baillie, M. G. L.: Tree-Ring Dating and Archaeology, 1982, London
- 2) 有光教一：先史の世界の年代決定法，世界歴史，第1巻，1965。