

年 輪 年 代 法

野 田 真 人*・東 村 武 信*・東 村 隆 子**

1. ま え が き

出土した遺物材などの年輪巾の年々変動のパターンからその材木が育成していた年代を判定する年輪年代法について、洋書では Fritts の総合的な大著があるが、¹⁾ 日本語で書かれた解説は、昭和 36 年「自然」に載った渡辺直径氏のものが最初であったと思われる。²⁾ それ以後、年代測定法を取扱った書物の中にはその中の一つの章として紹介されているものが二三見受けられるが、いずれも極めて短い簡単な紹介である。³⁾

年輪年代法は、アリゾナのように樹木の生育にきびしい場所では有利な方法であって、日本のように温暖湿潤な気候の地帯では適用できるものなのかどうか年代測定法に興味を持つ研究者たちが、長い間抱いていた疑問であった。日本で適用できたとしても、適用できる樹種とその地域、さらには、試料材の中で何パーセントのものが適用できるものなのか、そういった基礎的データをととのえていくことがまづ必要であって、それを解決するまでには非常に地道な、長い途のりが存在する。もしこの方法が不成功に終るものならば、この樹種でこの地域では成功しなかったというデータをはっきりと残しておくことが将来の研究者のために最も大切なことである。数年前より筆者たちは、ヒノキ、スギ、コウヤマキの現生木について年輪を測定しているが、こゝではその結果の一部にふれながら、年輪年代法の方法論の一般的なことについてやや詳しく紹介していく。

2. 年輪年代測定法の原理

樹の年輪を見ると、年輪と年輪との間隔は一定していない。2つの輪がごく近接している年もあれば、逆に、広い間隔の年もある。前者は、樹の生育が悪かった年であり、後者は、その樹がよく成長した年である。たとえば早魃の年の年輪巾は狭いであろうし、気候が順調であった年の年輪巾は広いであろう。このため樹の年輪巾を見ればその年の生育条件が順調であったが否かが判る。

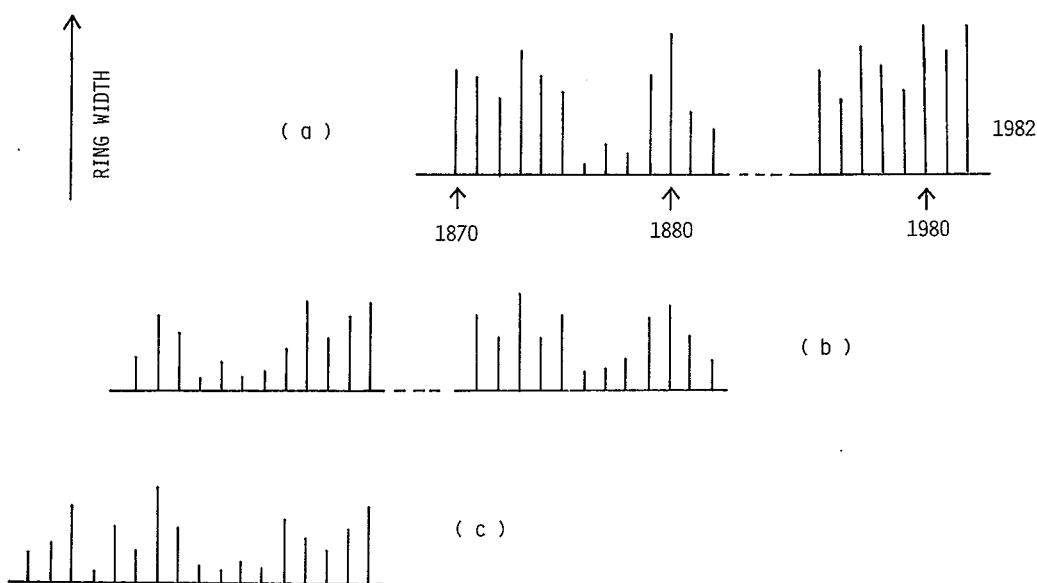
樹木の生長には後述するようにいろいろの条件が影響する。それらの条件の中で、気候的要因が他のものに優越しているような地域では、樹々の年輪巾はみな同じような広い狭いの年々パターンを示すであろう。このような地域で多数の樹を伐ってその年輪巾を測り、年輪を外側から数えて何

* : 京都大学原子炉実験所, 大阪府泉南郡熊取町野田

** : 奈良教育大, 奈良市高畑町

年目かという年数を横軸にとり、その年の年輪巾を縦軸にとって第1図(a)のような棒グラフを作ると、どの樹も同じようなパターンのグラフになる。多数の樹の年輪巾の平均値をもって作ったパターンを「基準パターン」と称する。

現生の樹でもって基準パターンを作る場合には、樹令の大きい樹を利用できたとしても、200～300年間しか得られないのが普通である。しかし、古い建築物で、たとえば、100年ほど前に建ったものの柱が多数得られたとしよう。そうしてその年輪巾計測から得られた年輪巾の平均パターンが第1図(b)のようであったとしよう。図は、年数をちぎめて描いてあるが、(a)と比べると、ほとんど同じパターンをしている部分がある。するとその部分は同じ年であったということになり、(a)と(b)とを第1図のようにずらして重ねることができる。そこで(b)を基準パターンにとり入れることゝすると、基準パターンは(b)がずれ越している分だけ年数が延長できることになる。この作業は「交叉接続法(Crossdating)」と称ばれていて、より古い建築の材などを用いてこの交叉接続を繰返していくと、長年月にわたる基準パターンが(a)～(c)のように作られていく。



第1図 年輪年代法の原理

Fig. 1. Principle of dendrochronology.

いつの時代か判らない材が出土した場合には、その材から、年輪巾を測定して年輪巾パターンを描き、基準パターンのどの部分にあわせれば一番良く一致するかを探す。それが見付かると、材の

年代はきっちりと得られる。そこには、他の年代測定法の場合のように±何年といった統計的誤差は含まれていない。誤差は、基準パターンの精度のみによるものであって、それは、その地域でその樹種の樹の年輪に起っている年輪欠失の頻度、偽年輪の頻度などに起因する。アリゾナのような地域では、8,000年に対して±10年といわれている。

3. 年 輪 形 成

シダ植物と種子植物（被子植物、裸子植物）は、植物体のなかに明瞭に分化した維管束組織をもっているために維管束植物と称ばれるが、この植物の茎の先端の生長点には分裂組織があって、そこではたえず新しい細胞がつくり出されている。このようにして生長点から分化された組織は一次組織といわれるが、いっぽう、木本性双子葉植物（広葉樹）、裸子植物（針葉樹）では、一次木部と一次篩部との間に維管束内形成層が分化し、つぎに維管束間の柔組織の細胞が維管束間形成層に分化する結果、維管束形成層は環状になる。この形成層は一層の細胞層で外側に篩部の細胞をつくり、内側に木部の細胞をつくり出していく。このように形成層によってつくり出された組織は二次組織と称ばれる。形成層は多年に亘って活動して年々外側に篩部、内側に木部が蓄積されていく。特に木部は発達が著しく、これが木材の主体である。

形成層が材をつくり出していく程度は年中同じでなく、四季の変化によって変化する。すなわち、形成層活動は春から秋にかけて活発に細胞分裂し、秋から冬にかけては殆んど活動を休止する。その上、季節によってつくられる木部の細胞の形、細胞壁の厚さ、木部の要素にちがいができる。例えば、松柏類のマツ、スギ、等では材は主として仮道管からできている。仮道管の接線方向の中は一年を通じてほぼ同じであるが、放射方向の厚さが、春から秋につくられたものは大きく、細胞壁の厚さが薄い。いっぽう、秋から冬につくられるものは扁平で細胞壁の厚さが厚くなる。またヤシ等の木本性双子葉植物（広葉樹）のように主として道管と木部繊維及び木部柔組織の3種類の要素からなる材では植物の種類によって材を構成する要素が、春、秋により異なる。又各要素の大きさや配列がかなりちがう。一般的には春と夏には、主として大きい道管を多くつくり、秋に向ってしだいに道管は少なくなり、しかも径が小さくなる。この道管の減少につれて、木部繊維が多くつくられ、木部繊維が材の主要素となる。したがって春に作られた材よりも秋につくられた材は質が密で堅い。このように形成層から1年間につくられる木部の部分を一年輪という。この一年輪で主として春から夏にかけてつくられる部分を普通春材といい、夏から秋にかけてつくられる部分を秋材と呼んでいる。同じ一年輪の中で春材と秋材との境はその細胞の形や大きさ、分布の推移が徐々にあるために明瞭でないが、一つの年輪と次の年輪の間には明瞭な境界線がみられる。特にこの形態は松柏類を主とする裸子植物（針葉樹）のマツ属、イチイ属、ネズコ属、ヒノキ属、スギ属、アスナロ属に顕著である。木本性双子葉植物（広葉樹）ではコナラ属、ハリエンジュ属、トリネコ属、

等環孔材では明瞭であるが、トチノキ属、カバノキ属等の散孔材では比較的不明瞭である。

年輪の形成は四季の移りかわりにともなう外界の温度、降雨量等植物生長条件に関する環境要因の変化にともなって形成されるものであるから、日本のように四季の変化が比較的是っきりしている地方では形成される年輪は明瞭である。他方、熱帯地方のように一年中気候の変化の少ない地方に生育する植物では明瞭な年輪は認められない。たゞ熱帯地方でも乾期と雨期があるところでは、乾期に形成層活動が休止し、雨期に活動するのでその結果年輪と同じ組織が認められる。年輪は一年に一年輪つくられるのが普通であるが、植物の生長過程において、霜や害虫により生長を停止又は減退することがある。すなわち、形成層活動が停止又はおとろえた場合、通常の年輪の秋材の部分に似た組織を形成する。これは普通偽年輪といわれている。この現象は単に霜や害虫等に限らず極度の乾燥によってももたされるようである。偽年輪の細胞は秋材につくられる厚膜細胞が主で、たゞ細胞層数が秋材の細胞層数に比べて少いのが特徴である。しかも通常の年輪では秋材と次の年輪の春材との境界が明瞭であるが偽年輪では不明瞭である。また普通完全な環状を形成することがなく、通常の年輪に比べ年輪の形状及び色調が不鮮明で、判別することができる。一方被子植物では偽年輪は通常の年輪に比して道管の大きさと分布のちがいににより区別することができるといわれている。例えばカエデの種類では一般に一年輪の中に道管が散状に分布する散孔材であるが、偽年輪の部分では数箇の道管がグループをつくり、放射方向に接合して分布しているのが認められる。

一年輪の生長量（通常年輪巾）はその木の特性と生長する立地条件により大きく支配される。すなわち、生活条件がよければ巾が広くなり、悪いときは狭い。この結果、樹幹の横断面に現われた年輪の状態からその樹木の生活史を知ることができるとともに、反面、年輪巾の広狭からその木の生活史を通じて昔の自然環境の変遷を類推することができるのである。

4. 気候と年輪巾

4.1. 水

植物の生長と水が密接な関係にあることは論ずるまでもない。特に形成層活動は水の過不足に影響されやすい。生育する立地条件のなかで水分の過不足がほぼそのまま年輪巾に現れることは広く知られている。立地の水分はすなわち、その地方における降水量と比例すると考えられる。形成層活動の速度、期間、春材から秋材への移行の時期等は、降雨量と、降雨量が一年の各季節にどのように配分されているかによっても左右される。旱魃の年では形成層活動の期間は当然短くなり、いきおい、その年に形成される木部細胞の層数は少なくなる。ある樹種では雨量が多い年の細胞層数は旱魃の年のほゞ2倍であるとさえいわれる。木部細胞の形成量と雨量との相関は乾燥している地方ほど高いことは明らかである。また年輪巾は気候及び立地条件により影響されることは前述の通りであるが、一方樹種固有の特性も考えられる。即ち、同じ環境条件にあっても、

それぞれ樹種特有の形成層活動の速度、開始時期、活動停止時期等があり、このことが年輪巾に大きく影響している。被子植物2種類(トリネコ属、ブナ属)と裸子植物の2種類(ツガ属、マツ属)を1949～1953年の5年間連続して年輪巾を測定した結果によると3種類は1953年の早魃でこの年の年輪巾が狭くなったが、ツガ属のものだけは影響されなかった、このツガ属のものは形成層の開始時期が他の年よりも早かったので年輪巾への影響が表われなかったという報告がある。更に年間雨量が同一でも雨が各季節に均等に降る地域と、ある季節にだけ集中的に降り、あとは乾期が続く地域とでは年輪の構造が異なる。例えば、北米太平洋岸では冬季に雨が降り、夏から秋にかけて乾期がずっと気候条件で、冬の降水が土壌水分として貯えられている。春利用できる土壌水分が充分にあるので、気温の上昇とともに形成層は活発に活動して木部組織を形成する。形成された年輪は巾が一様で年輪間の境界も明瞭である。一方、夏季に雨が降り冬季は殆んど降らない西テキサス地方では、夏の雨も間断的でその雨量も少ない。そのため、植物の生長に必要とされる土壌水分は、春先には殆んど含まれず、夏には降雨量と同様に間断的に変動する。この結果、形成層活動が活発な時期と、そうでない時期があり、重年輪を形成することがみとめられている。

4.2 気 温

温度は光合成、呼吸、ホルモン合成等すべての代謝反応の速度に影響を及ぼすことによって植物の生長を支配している。気温が樹木の生長に大きな影響をもち特に肥大生長に大きくかわることについて多くの報告がある。すなわち気温は形成層活動の開始時期、速度、活動期間等に影響し、その結果樹種固有の年輪巾の広狭を現出する。カナダ地方の樹木の肥大生長について調査された結果によると、春先の気温が高い程よく肥大生長する。⁴⁾ このことは、特に春の形成層活動は春季初期の気温に左右され、気温が高いと早くから形成層活動が始まり、生長期間が長くなるためであると結論している。また、生育期間に気温が下がるとそれにともなって形成層活動がおとろえ、生長が低下することを報告している。更に、緯度や高度がちがったとき、温度の差による形成層活動への影響についても示されている。一般に森林の成立は年間降雨量によって支配され、森林を構成する樹種の分布は温度によって支配されるといわれる。その中で樹木分布限界にある樹種では活動期間が短く、その樹木分布限界から温度が上るにしたがって生長期間が長くなるので年輪巾は広くなる。このことは樹木の水平分布、垂直分布の面からもいえる。

南方の気温の温暖な地域では降水量が樹木の生長を支配するし、北方の寒冷地帯では生長期の温度が生長を支配するといわれる。例えば Hustich (1948) は北ヨーロッパの寒冷地帯では生長期の温度によって樹木の肥大生長が支配されると報告している。⁵⁾ また、Brier (1948)、Mikola (1962) および、Siren (1963) らは、夏の生長期の温度変化が形成層活動に影響を及ぼすことについて北フィンランド(寒冷地帯)の樹木の調査結果を報告している。⁶⁾ Mikola

は特に7月の温度が形成層活動と密接な関係があると結論しているし、Siren は特に裸子植物に温度の影響が明瞭であるとしている。⁷⁾

4.3 日照

植物の生長が光の強さによって影響される主な原因は光合成の速度が光の強さに依存するためである。

形成層活動は直接に光の影響をうけるのではなく光合成と葉量に支配される。だから、年輪巾は生長期間中の葉量と光合成による単位葉量の生産量に相関することが推測できる。

5. 年輪年代法の歴史

樹木の年輪が一年に一個づつ生じて、気候条件の悪い年にはどの樹も同じように成長が阻害されて、その年の年輪巾が狭くなることは随分と昔から知られていたらしく、そのことに気付いた最初の人が誰であったかははっきりしない。1737年フランスの Duhamel と Buffon とは、中部ヨーロッパの森林でどの樹にも非常に年輪巾の狭い年があり、それが同一年の年輪であることに注目した。この年は1709年年輪とよばれて有名になり、以後、年輪の年代を評価する基準年として使われるようになったものである。⁸⁾ Duhamel 以後、各国で多くの人が年輪の年代に関して調べ始めたが、興味があるのは、それらの研究者には林学や気象学、考古学などとは全く無縁の分野の人が多いことである。19世紀になって年輪を研究したイギリスの Babedge は数学者、フランスの Lemon は動物学者であった。米国では C. Twinning, J. Cuchler などが研究を始めていて、19世紀の末には、O. Svedov⁹⁾と J. C. Kapteyn¹⁰⁾とがそれぞれ独立に年輪でもって年代を測る方法を発見している。しかしこれらは、すべて系統的な発展を見るには至らなかった。

年輪年代法の事実上の元祖である A. E. Douglass は太陽物理学者であった。彼は、太陽黒点周期が地球上の気候と密接な関係があるのではないかと考えて気象記録を調査したが、記録が始まってからはまだごく短期間しか経っていないので、過去の気候を記憶している自然界の現象を探索していた。そしてアリゾナ州の森林を旅行しているうちに年輪年代測定の方法に気がつき、以後、彼の90才までの生涯を通じて年輪年代法の発展に力を尽くし、ここで年輪年代学および年輪気候学が確立したのであった。Douglass による年輪法の再発見とその発展の跡をたどるとき、科学の一つの新しい分野がどのような偶然と必然との結果として生れていくのか非常に面白い一つの物語りがあるが、それは本稿の目的ではないので別の機会に譲ろう。

Douglass による年輪年代学の成功がすでに1900年ごろに告げられて、それがヨーロッパの国々にもひろまっていたのに反して、日本では東京国立文化財研究所の関野克氏が1950年ごろにこれに目をつけて若干の調査を進めただけで、年輪年代法は全くと言ってもよいほど手がつけられなかった。ヨーロッパと比べると雨が豊かな日本では、この種の仕事の成功の見通しが少ないからで

あったのだろう。

年輪年代学の仕事はなかったが、年輪気候学に関する仕事は、断片的に少数ながらも行われていた。この面での先覚者は、京都大学理学部の地球物理学教室の初代教授であった故志田順氏である。志田教授は当時日本の植民地であった台湾の阿里山のベニヒノキの太木を入手し、その年輪巾を測定した。¹¹⁾ 実際の計測は、学部学生の卒業研究として行われたらしく、結果の学術誌への報告も行われなかった様子で、どのような結論が導出されたのか判っていない。以後の長い年月の間に、教授も何代か変り教室の建物も改築が重ねられて、この卒業論文も行方が判らなくなってしまった。しかし試料自体は残っていて、近年、京大理学部地球物理学研究施設の吉川恭三氏がそれを再計測している。^{註)}

吉川氏の再計測のデーターは、京都教育大学の大内正夫氏の論文で陽の目を見たと言えよう。¹²⁾ この論文では、台湾産ベニヒノキの年輪巾変動にどのような気候要因が相関するかを解析されている。こゝでは、台湾の阿里山、大平山の2試料以外に、山形県産のケヤキ(樹令323年)¹³⁾ との合計3試料についてしらべているが、結局、本州の東側の低気圧の気圧が関係し、すなわち風による影響が効いているとの結論になっている。

同じ台湾ベニヒノキのデーターが、香川大学教育学部の森征洋氏によって、最近、詳細に解析されて、¹⁴⁾ 年輪巾に、A.D. 1100から現在までの間には明らかに11年同期の変動が認められた。これはDouglassが最初に意図した目的そのものであって、太陽の黒点活動が年輪巾に影響を及ぼしていることを始めて証明した論文である。

年輪巾を支配する気候要因に関しては、秋田営林署での秋田杉の調査が一番古いものと思われる。そこでは、四手井綱英氏によって「降雨係数」なるアイデアが出されている。¹⁵⁾ 降雨係数の考えがどのくらい広く成立するかについては、宮城教育大学の高橋宏明氏によって、県内のスギについて追求され続けている。

最近では、広島大学の武市伸幸氏によって、広島県内5ヶ所のスギ、高知県内4ヶ所のスギ、ヒノキ、それぞれ約10試料の年輪巾が計測され、結果が分散分析、主成分分析されているが、その結果は年輪年代学の立場から見るとあまり有望なものではない。すなわち、年輪巾を支配するものは年間降水量と気温とであるが、これによって説明できる部分は、アカマツの天然林の場合には年輪巾変動のうちの40%であると結論されている。¹⁶⁾

年輪巾に触れられている古気候関係の一般書を参考にあげておく。¹⁷⁾

6. 年輪巾計測

現在の段階では、年輪年代法が日本で、どの程度成立つか、成立つとすればどの範囲の地域まで適用できるのか、これを明らかにすることが日本における年輪年代法の発展を左右する重要なポ

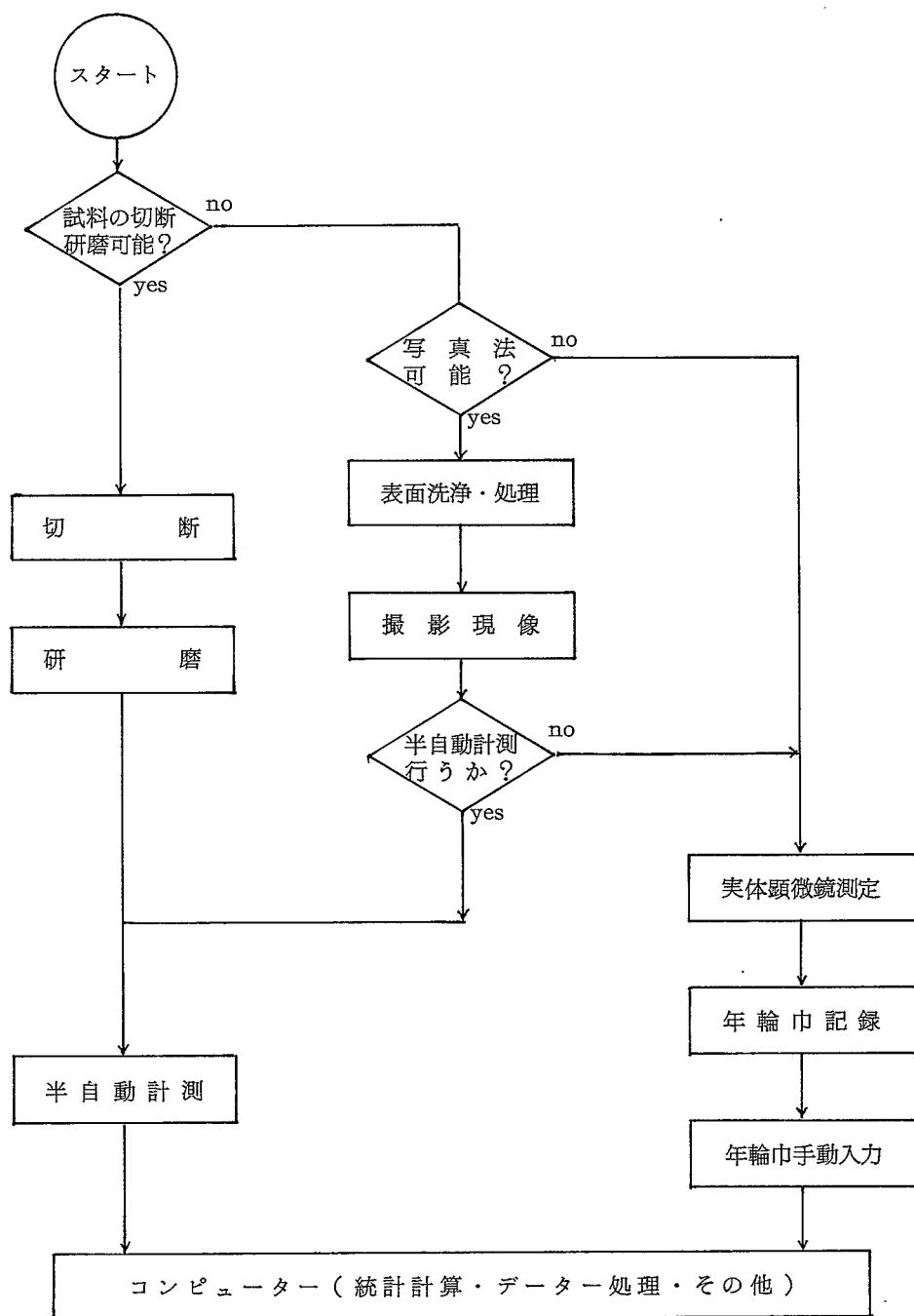
イントである。このような観点から、筆者たちは現生木を用いてこれらの問題点を調べてきた。年輪巾の計測、処理においては方法の細かい点等は研究者によって違いがあるので筆者達のグループで行っている方法に従って説明する。年輪年代法の基礎データーを与えるためには、対象とする現生木の樹種は遺物として比較的残りやすいヒノキ、コウヤマキ、スギが適当である。手順としては、第一に試料の樹の伐採地での基準パターンを作る。次にこの他を中心にサンプリング地点を選び基準パターンとの相関関係を求めたマップを作る。このマップから、有意である地域を結んだ内側を適用範囲と考えるのである。

古代に使われた樹は植林されたものでなく天然林であったことは間違いなからう。そのため、現生木の試料を採取するにも天然林のものに着目する。しかし、日本で天然林のヒノキを入手することは容易でない。天然林そのものがほとんど残っていないうえ、その木を切倒すことはまず不可能である。筆者等が入手したのは、京大農学部上賀茂試験地のヒノキや高野山学術参考林の風倒木の合計40本余りであった。

天然林の樹を入手するのが不可能であるとすれば、人工林を利用するしかない。枝打ち等による人工の手が加わっていても、反対に何時、枝打ちが行われたかという記録が残っていれば年輪巾に対する枝打ちの影響を評価することができる。人工林が利用できるとサンプリング地点もかなり自由に選べ、地域差を評価するために役立つが、今度は樹令50年以上の樹を伐採するとなると費用も問題になってくる。このため、切株や用材の切口を写真に撮すことを試みている。まだ完全に成功しているとは言いきれないが、あるていどの見込のある結果を得ている。もし写真法が成功すれば、古い建築材を用いて年輪年代を交叉接続していく場合に極めて有用であろう。

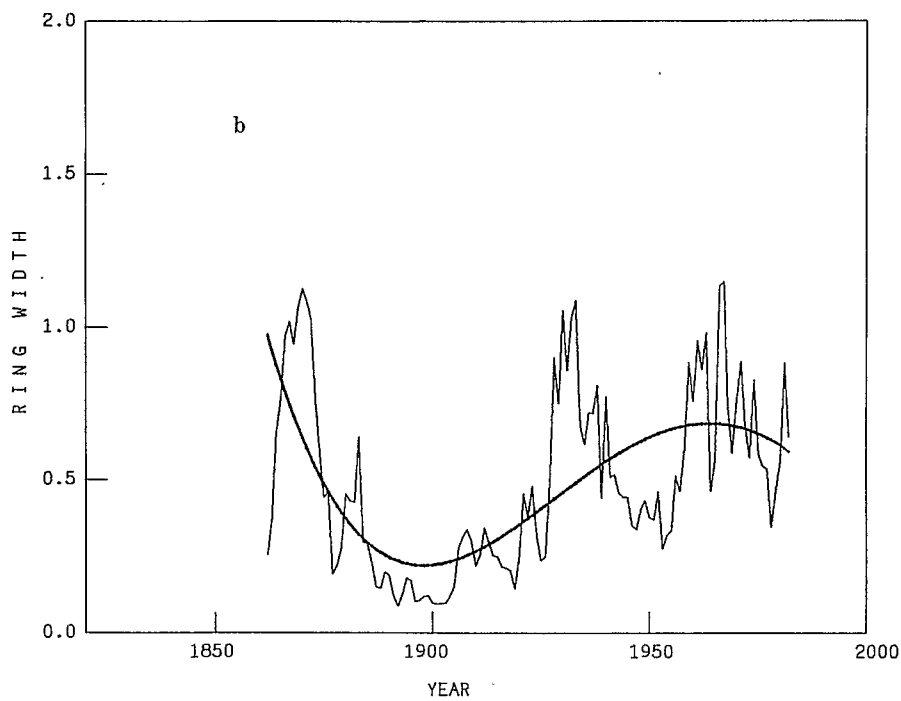
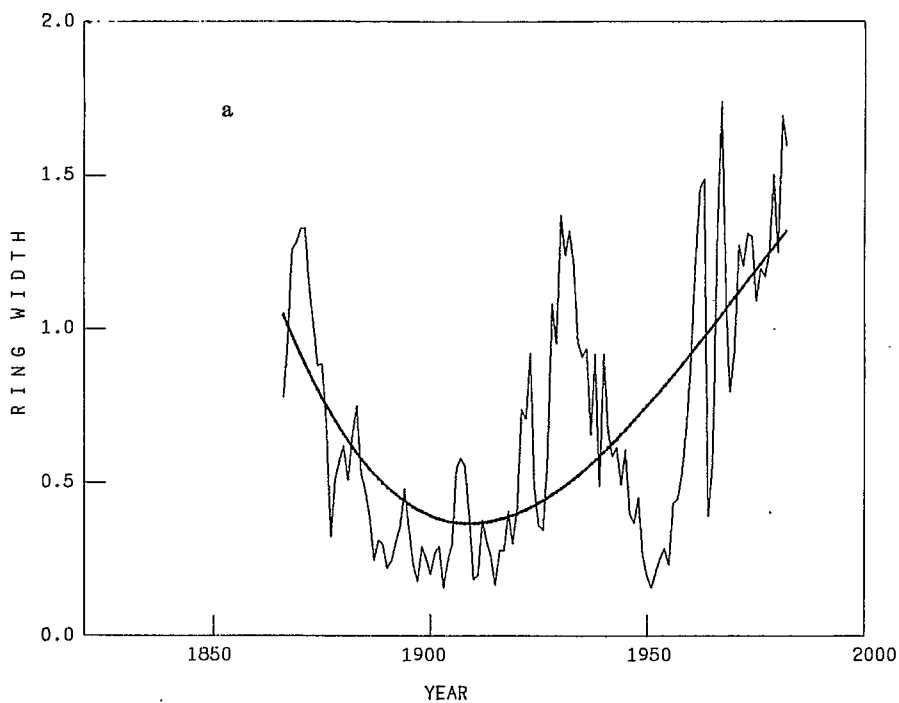
現生木、建築材共、年輪巾の計算機への入力は、図2の流れによって方法が3つに別れる。まず計測すべき試料木材が伐採、切断、輪切りの可能な材料であるか否かによって、可能な場合は、チェーンソーか鋸で適当な厚さの円板に切った後、実験室へ持ち帰り電動研磨機を使って断面を磨く。鋸で切った状態では木材の細胞が潰れて変形し秋材（年輪の濃い部分、夏材ともいう）と春材（同じく淡い部分）との境目の判別が難しいためである。研磨された円板は一定速度で移動する大型ステージ（300φ）を備えた実体顕微鏡を使って半自動計測をする。実体顕微鏡にはモニターテレビを装着して、画面上の基準線を年輪が通過するごとにスイッチを押して信号を入れる。この方法は、年輪巾の広狭は時間の長短に変換された形でコンピューターにデーターが入力され、最も簡便かつ迅速な年輪巾測定法である。

試料の切断や研磨が不可能か困難な時には写真法を試みる。リバーサルフィルムを使い、高精度レンズ付カメラでもって、年輪を撮影する至めて単純な方法である。年輪巾の緻密度により撮影倍率を調整し、円板の年輪数が多い場合には、何等分にも分割して個々に撮影したフィルムを読み取り時に接続すればよい。このように記録したフィルムを投影器で年輪巾を計測するか、あるいは先に



第2図 年輪巾計測法のフローチャート。

Fig. 2. Flowchart in the procedure of ring-width measurement.



第3図 上賀茂試験地ヒノキ材の年輪巾.

Fig. 3. Ring-width of samples taken in Kamigamo in Kyoto.

使った定速移動式の半自動計測器にかけて、円板のかわりにフィルムを載せ、下部から照明し、同様の手順でコンピューターに入力する。古建築に使われている材などのように、切り口は見えていても切断などとうてい不可能な場合に写真法は有効な手段である。問題点としては汚染・腐蝕等による断面のコントラストと表面の凹凸による焦点のぼけである。また微粒子モノクロフィルムを使用した場合、年輪を判別できるだけの濃淡を得るには露出条件等が非常に難しく、これを用いる場合には、現場で現像できる事が望ましい。しかし、光学的技法（偏光、フィルター等の利用）が確立すれば応用範囲が広がるであろう。

写真法でも撮影が不可能なほどコントラストの無い試料の場合には現場における肉眼観察の手段を採る。この方法は、視野に十字線の入ったスケール付実体顕微鏡を使って、年輪の秋材の外縁から次の年の秋材の外縁までの巾を順次記録する。肉眼観察法ではほとんどの樹の断面の年輪巾を読取ることができるが、実体顕微鏡を支えるスタンドの構造に対する要請のために装置全体が大型化してしまわざるを得ないという難問を抱えている。その構造に対する要請とは、①実体顕微鏡自身と試料との距離を保ちながら、試料断面と平行に連続的に移動できる構造。②顕微鏡設置場所は傾斜地や用材の上部などの不安定な場所であり、また顕微鏡自身を垂直、水平と自由な角度から観察することが可能な構造であることが必要とされることである。

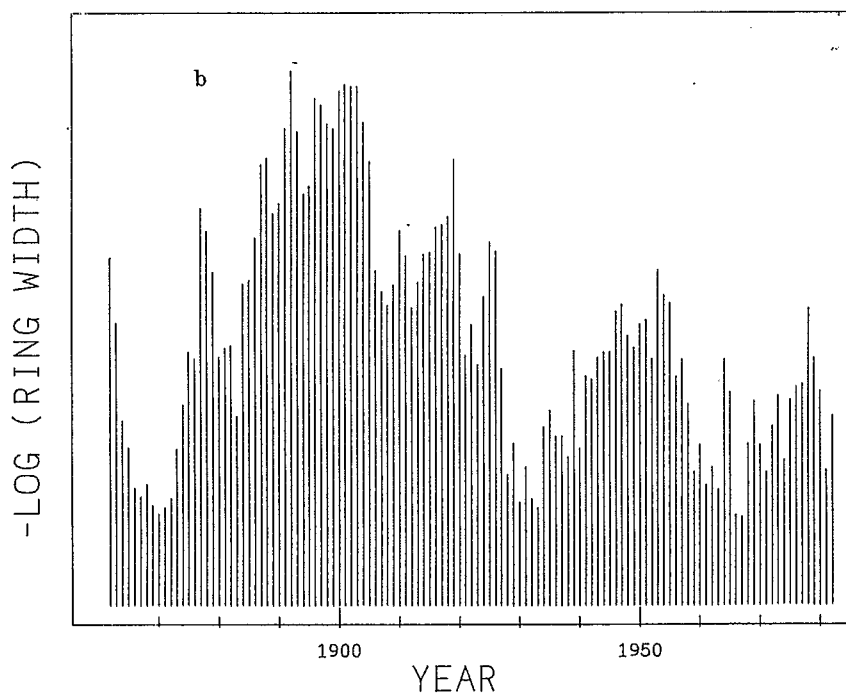
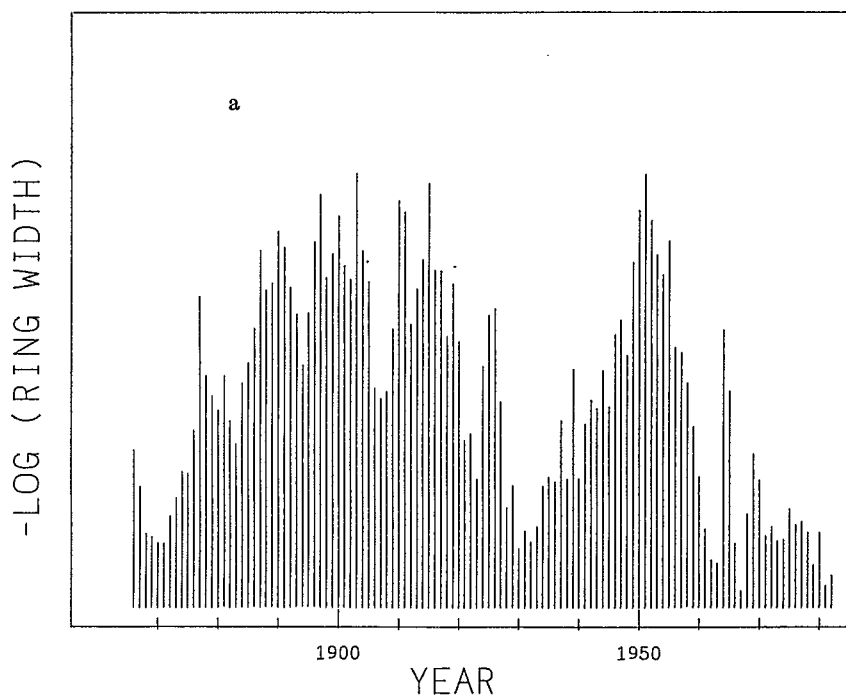
このようにして得た年輪巾をプロットした例を図3に示す。この年輪巾グラフを見ると、西暦1900、1950年附近が極端に狭く、1930、1960年附近は広がっている。この状況は木によっても若干は異なるが、上賀茂試験地の木は大部分この特性を備えている。年輪巾は樹の芯から、どの方向の動径に沿って計測するかで随分異なるので、図は互いに直角をなす4方向での計測値を平均した値である。

7. 年輪巾指標

年輪年代測定法の基礎にある仮定は、どの樹も同じような年々生長をしているということであるから、この仮定が成立するか否か、すなわち第3図aとbとの2本の樹の年輪巾が同じような年々変動を示しているか否かをまず調べなければならない。この場合、考え方の異なる2つの方法がある。

7.1 骨格法

その第1は Skeleton 法（骨格法）である。¹⁸⁾ この方法は電子計算機が発達する前に行われていた方法であるが、便利のために今もなお使っている研究室がある。この方法では、年輪巾の逆数の対数をとって年ごとにその長さの棒をグラフ上に書き、棒グラフを作る（第4図）。すると年輪巾の狭い年には、長い棒が生じる。これを2本の樹について行くと、第3図は第4図aおよびbになる。両者を比較すると、例えば1950年附近はaもbも長い棒であって1930年は反



第4図 第3図aおよびbの骨格プロット。

Fig. 4. Skelton plots of samples in Fig. 3a and 3b.

対に a も b も棒が短い。こうして両者とも長い棒になっている年を比較するのである。今の例は 2 本とも成育年が知られているものであるが、仮に b が成育年が知られていなかったサンプルであれば、b の長い棒が a の長い棒にできるだけ一致するように横軸をずらしながら両グラフを重ねてみる。すると、b グラフの横軸目盛りのように歴年を入れるのが一番よく重なることが判るであろう。

この Skeleton 法の考え方は、生長が阻害されている年に目をつけるということである。生長が十分に行われている場合は、生長を制限する原因は隣接木との競争などといった個体によって違う要因が主であるが、早魃や異常低温などといった気候要因は樹々に等しく働くため、樹 a が生育の悪かった年は樹 b の生育も悪いということが真であると考えるのである。すなわち年輪巾の狭い年に注目するということである。この意味から、棒グラフの長さは年輪巾ではなくてその逆数、しかもその対数をとるとということが B. Huber によって提案され、その後この方法が各地で用いられている。

7.2 年輪巾指標の方法

生育限界線に近い地域で育っている樹には Skeleton 法が有効であることはすぐに想像がつく。ぎりぎりの気候条件で育っているから、その条件が少しでも限界を越すと、すなわち例年よりも少し寒すぎたり雨量が少なすぎたりすると、その地帯の樹はすべて生長が極端に悪くなるからである。

非常に複雑な気候条件下で育っている樹については、生長の悪かった年も、良かった年も利用して、定量的に考えを進めていく必要があろう。その方法が以下に説明する年輪巾指標の方法である。

再び第 3 図の a と b とを比べてみる。両樹は幹の太さも樹令も異なっている。2 本を比べる場合、意味があるのは、その年の生長が例年よりも良かったか悪かったかということであって、生長量そのものではない。例年の生長量をどのようにして見積るのか、ここで方法がさらに 2 つに分れる。

第 1 は年輪巾の年々値を、なだらかな曲線（図の太線）で近似する年輪巾指標の方法であって、年輪巾指標値 I_1 とは年々の図の細線の値の太線の値に対する割合をいうものである。第 2 は、その年の前後数年間の全生長量（全年輪巾）に対する割合を求める移動平均法（Running mean）であって 7.3 項で述べる。

各年の年輪巾を W_i と書く。 W_i のグラフが第 2 図の細線である。 W_i を近似した曲線（図の太線）を $F(t_i)$ とする。ここで t_i とは、その各年を指す。すると年輪巾指標値は

$$I_1 = W_i / F(t_i) \quad (1)$$

で計算できる。

近似関数 $F(t_i)$ には、数種類の形が提案されており、最もよく用いられているのは指数関数形で

$$F(t_i) = a e^{-b t_i} + k \quad (2)$$

と表わす。

米国中西部の針葉樹についてはこの形が成長を最もよく表わしていることがたしかめられている。

(2)式の中の a , b , k は定数であって、(2)式が W_i を最もよく近似しうる最適定数値を求め、各試料ごとに定数を決定する。最適定数値を決める条件は、数理統計で常に使われる $F(t_i)$ からの W_i の差の平方の総和すなわち残差 2 乗和が最小になるという条件

$$\Sigma [F(t_i) - W_i]^2 : \text{最小} \quad (3)$$

である。

指数関数の次によく用いられるのは

$$F(t_i) = \alpha + \beta t_i + \gamma t_i^2 + \delta t_i^3 + \dots \quad (4)$$

という整次関数の形である。これはヨーロッパでよく用いられていて、筆者たちもこれを使っている。 α , β , γ , δ , $\dots$ はやはり定数で、指数関数のときと同様(3)式の条件によって試料ごとに決めていく。(4)式は、3 次または 4 次までとられることが多い。項の数を多くして未定定数を多くするほど W_i をよく近似するのは当然であるが、あまり項を増すと、気候要因に基づく年輪巾変動までも消し去り、気候要因によるものだけを年輪巾指標にとり出そうとした本来の目的に適さなくなる。整次関数型(4)を何次の項まででとどめておくべきかについて、一般的な目安を作っておかねばならない。この目安は次のようにする。

たとえば 2 次の項までで表されるとしての、 β , γ , を決めたとき、(3)なる残差 2 乗和

$$S = \sum_1 [(\alpha + \beta t_i + \gamma t_i^2) - W_i]^2$$

を計算しておく。次に、同じものが 3 次の項までで表されるとして α' , β' , γ' , δ' , を決めたとき、残差 2 乗和を

$$S' = \sum_1 [(\alpha' + \beta' t_i + \gamma' t_i^2 + \delta' t_i^3) - W_i]^2$$

とすると、3 次関数の方が 2 次関数よりも W_i に近いから、当然、 S' は S より小さくなる。その小さくなり方が 5 % を超えないとき ($S - S' < 0.05 S$) 3 次関数で近似しても、2 次関数で近似するよりもたいして改善されていないと言える。従って、近似は 2 次関数で十分であると考え

$$F(t_i) = \alpha + \beta t_i + \gamma t_i^2$$

を採用する。反対に、その小さくなり方が 5 % をこえるとき、すなわち

$$S - S' > 0.05 S \quad (5)$$

のときには、2 次関数より 3 次関数の方がはるかに良く W_i を近似しているから、すくなくとも 3 次関数で近似すべきである。しかし、4 次関数で近似するともっと良くなるかも知れない。そこで、次には 3 次関数と 4 次関数とで残差 2 乗和を比較し、改善が 5 % を超えないときには 3 次関数で近

似し、越えれば4次関数を用い、この手順で続けていく。筆者たちの上賀茂試験地のヒノキでは、大部分の試料は3次関数で近似された。

近似関数が決まると、(1)式に代入し年輪巾指標を計算する。当然ながら指標値 I_i は1のまわりに散布され、その平均値は1である。

7.3 移動平均の方法

幹の年々の太りが幹の径の何%であるかを見ていって、個体による太さの差を消去する方法である。但し全体の径を基準にするのではなくて、その年の前後数年間の太りを基準にする。式で表わすと、5年の移動平均 $A(t_i)$ は^{脚注)}

$$A(t_i) = 5 F(t_i) / \{F(t_i-2) + F(t_i-1) + F(t_i) + F(t_i+1) + F(t_i+2)\} \quad (6)$$

この方法は生長がどんな関数形であろうと同じ操作で計算できる点が便利である。問題は何年の移動平均をとるのがよいかの点である。例えば5年間にわたって異常に寒い年が続いて、その期間は樹の生長が良くない場合には、3年の移動平均を計算してはこの気候の影響が数値に出てこない。7年の移動平均を採ると現れてくるが十分ではなく、11年以上の移動平均をとるとき明瞭に現れる。

移動平均を求めると、平均値の年数は計測した年輪巾の年数よりも小さくなる。例えば5年移動平均をとると最初の2年と終りの2年との4年間だけ短くなる。11年平均をとると前後5年ずつ10年分小さくなる。この意味で、折角得られた情報量が十分に活用されていない。移動平均をとる期間が短いと長周期の変動が消え、長いと情報量が減少する2点がこの方法の難点である。移動平均をとるとき、それぞれの項に荷重をかけて、荷重移動平均をとっていくことも論じられている。

8. 相関性テスト

米国中西部のyellow pine のような年輪年代法に適することが判明している樹種であっても、樹によっては隣接木の影響が大きかったり、あるいは風害を受けた個体であったりして、その地域の他の個体とは違った成長を遂げている樹がある。そのような樹をサンプルから除外するのがこのテストである。

このためには2本の樹の年輪巾の相関の検定を行う。すなわち2本の樹の年輪巾指数(または移動平均)の値を x_i , y_i とするとき、相関係数 r は

$$r = \sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) / \sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}$$

注) 正確には移動平均に対するその年の年輪巾の割合の意味である。

で与えられ、この r が有意か否かは

$$t = r\sqrt{N-1} / \sqrt{1-r^2}$$

の t を Stirling の t^2 検定して確かめる。

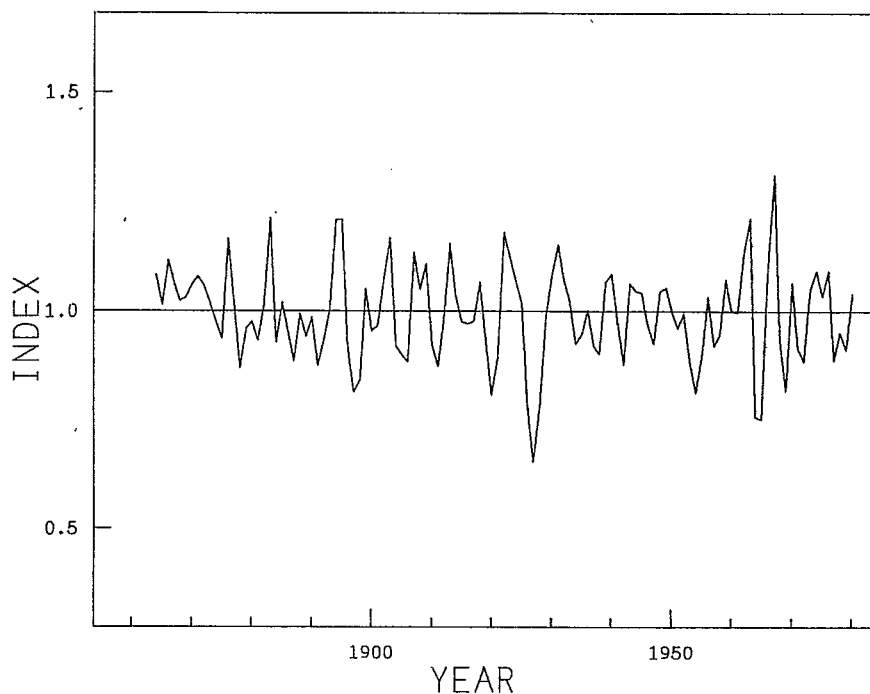
第1表 移動平均法による樹間相関、*は、相関性があるとした場合の危険率

Table 1. Inter-tree correlations.

○：危険率10%以下で相関が良い組合せ																				基準指標値と各個体間の相関係数と危険率		
	Sample																				Cross Correl. Coefficient	Probability [*]
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T		
A	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0.562	0.0 %
B	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0.735	0.0
C	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0.572	0.0
D	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0.475	0.0
E	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0.493	0.0
F	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0.504	0.0
G	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0.613	0.0
H	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0.468	0.0
I	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0.281	0.4
J	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0.399	0.0
K	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0.643	0.0
L	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0.629	0.0
M	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0.522	0.0
N	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0.469	0.0
O	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0.596	0.0
P	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0.164	8.6
Q	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0.137	35.8
R	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0.022	83.9
S	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-0.157	188.6
T	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0.007	95.5

相関テストの結果の例を第1表に記す。試料は京大上賀茂試験地のヒノキであって、傾斜30度でいどの砂質の北向斜面に生えた天然木であって、地上約1米で伐採したものである。20本のサンプルは4本を除いて全て相関が良く、すなわち同じように成長している。この指標を平均して基準指標として、第5図にそれを示す。この基準指標が、位置的広がりとしてどの範囲まで通用するかが最大の問題である。この山でのみしか通用しないようであれば、年輪年代法としては全く意味がなくなり、反対に、通用する領域が広ければ広いほど年代測定としては有用になる。上賀茂試験地は京都市の北山の麓にあり、この北山の谷間を約20 km北へ入った花背における、ヒノキのサンプルを計測し、上賀茂基準指標との相関を計算すると第2表のように、4本のうち2本が相関がよかった。

年輪巾の計測には偽年輪が混入するのは避けられない。偽年輪とは、第3章で述べたように一年間に2本以上の年輪が作られるものであって、何等かの理由で生長期に一時生長が止った場合、そ



第5図 上賀茂試験地ヒノキの基準指標

Fig. 5. Master pattern of cypress in Kamigamo in Kyoto.

第2表 上賀茂基準指標値と、花背地区のヒノキの指標値との相関係数（移動平均法）

Table 2. Correlation factors between Kamigamo master indices and ring-width indices of Hanase samples.

Locality	Species	Cross Correl. Coefficient	Probability*
Hanase	Cypress A	0.265	2.3 %
	B	0.055	74.0
	C	0.372	0.9
	D	-0.320	199.4

の部分での樹幹組織が濃密になり、ちょうど年輪のように見えることを言う。例えば病虫害や火災に遭ったりすると、このような現象がおこる。顕微鏡でもって細胞を観察すると、正常な年輪で

は、年輪の内側から、すなわち秋材の部分から段々と細胞が小さく細胞膜が厚くなっているのが観察されるが、偽年輪の場合には、春材の中に突如として小型の細胞が生じて偽年輪を形成するのが特徴である。しかし、全てのサンプルの全ての部分について顕微鏡切片を作って観察することは不可能に近い。偽年輪は樹幹を完全に一周していることは稀で、その一部分にのみ輪が入り、輪をたどると途中で消えていることが多い。そのため、輪切りサンプルをとって年輪をみると、偽年輪を確かめることができる。もし一周しているような場合とか、一周することが不可能な試料（角柱・円板の一部が腐蝕等で欠けている）では、偽年輪を発見することはできない。筆者等はそれを発見する方法として、次のようにしている。

基準指標値を $I_1, I_2, \dots, I_m$ とする。いま、新しい（偽年輪を発見しようとする）樹の年輪巾を、外側から $d_1, d_2, \dots, d_m$ とする。このまま年輪巾指標値を求めて、 $I'_1, I'_2, \dots, I'_m$ となったとする。そのときの基準指標値との相関は r' である。いま、 i 年目と $i+1$ 年目の巾を加えて I_0 とする。即ち、 i 年目が偽年輪であって年輪巾は本当は $d_i + d_{i+1}$ であったと考えるのである。この結果から巾指標値を改めて求めなおして、 $I'_1, I'_2, \dots, I'_{m-1}$ となった。見かけ上 2 年間と考えていたものを 1 年間と考え直したから、 $m-1$ と 1 年減少したのである。この I'' を使って基準指標値との相関を計算して r'' という値を得る。もし偽年輪と考えたのが正しいとすれば、相関係数 r'' は大きくなるであろう。正しくなければ r'' は小さく、基準指標値との相関性は悪い。この「 i 年目」という i を 1 から $m-1$ まで順々に変えて、 r'' を全て計算する。その結果から、急激に相関性の良くなった i を見つける。

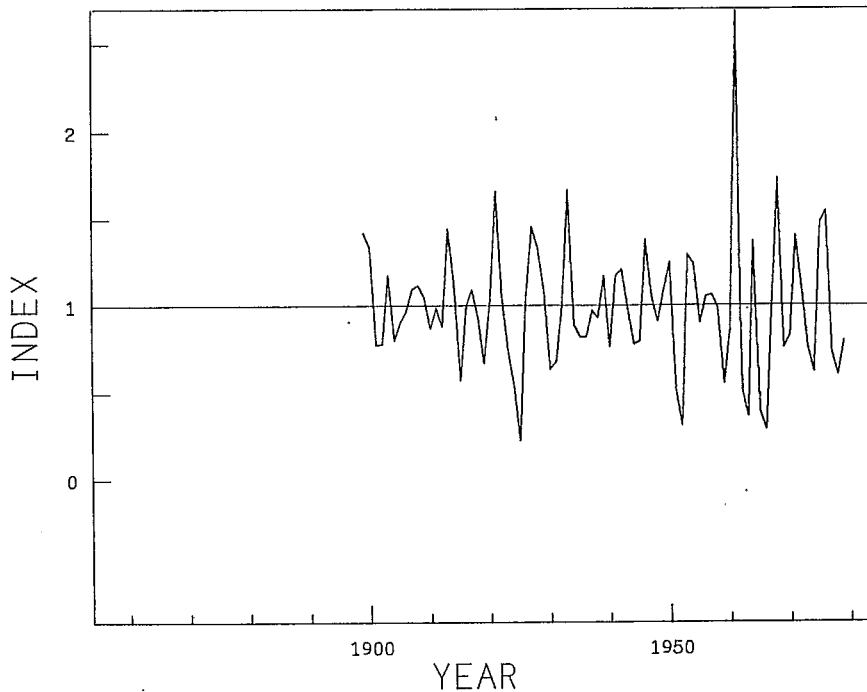
これが偽年輪の発見法である。 i を変えていく計算は計算機を使えば簡単に出来る。勿論、今まで述べた方法は偽年輪が 1 本しか混入していない場合であるが、2 本以上混入していても、基本的にはこの方法でよい。上賀茂試験地での伐採年未知の試料について、補正前の年輪巾指標値を図 6 に、相関関係の結果を表 3 に示す。この試料の場合、補正前は -0.175 であった相関係数が西暦

第 3 表 偽年輪補正法による相関係数の推移

Table 3. Effects of correction of false rings on correlation factors

偽年輪補正を行った年号	相 関 係 数
	-0.175
1966	0.080
1965	0.474
1905	0.533
1911	0.542

1966 年の年輪を偽年輪とすると 0.080 と改善され、さらに 1965 年も偽年輪とすると 0.474 と大幅に改善された。従って、この試料の場合偽年輪が 2 本存在したと仮定すると、極端な相関係数の改善が説明できる。



第 6 図 上賀茂試験地伐採年未知のヒノキの指標, 偽年輪補正処理前

Fig. 6. 5 years running means of a Kamigamo sample of unknown cutting year without correction on false rings.

9. 世界 の 現 状

年輪年代法は Douglass の成功からすでに約 80 年を経過した。そしてこの方法の研究は最近の 20 年間に大いにさかんになって世界各国へひろがり、各地の基準パターンが得られてきた。約 50 年前から年輪年代法に関する雑誌『Tree-Ring Bulletin』がアリゾナ大学年輪研究室から発行されていて、世界の主要な研究結果はこれに発表されることが多い。また世界各地のデーターはこの研究室へ送られ、電子計算機に記憶される。

米国中西部では過去 8000 年にわたっての基準パターンの指標値が完成されていて、¹⁹⁾ 遺跡の年代測定に活用されている。この成果に刺激されて、米国の他の地域とりわけ東海岸や南部などでも基準パターン作りが努力され、年を追って成功が報告されている。

北米の次に長期間にわたっての基準パターンが完成し、しかも最近これに成功したのは、アイルランドを中心とする中部ヨーロッパである。長年にわたった着実な努力と国際協力との結果であるので、すこし詳しくその跡をたどってみよう。

アイルランド島では 3000 年ほど前に植生の大変動があったらしく、pine などはそこでほとん

ど絶えてしまって、前後にわたって生続けている樹種は oak のみである。そしてまた樹齢の大きい現生木は oak だけしか発見されない。40 年ほど前に G. Harrington は「発掘された材から採取した 50 年輪くらいの試料でも相互に良い相関を示すから、アイルランドでも年輪年代法が可能であるかもしれない。しかしそれが確立するまでには、北米などと比べるとはるかに大きな努力を費さねばならないだろう」と述べたが、²⁰⁾ そのせいか、その後誰も年輪年代法の研究に手をそめなかった。

しかし oak は年輪が鮮明で、腐蝕に強く、偽年輪や年輪欠失も少くて年輪年代には好個の樹種である。しかもアイルランドでは、湖や河底から oak の埋れ木が見付かることが多い。アイルランド中東部の Belfast 大学では oak の年輪年代を確立すべく、J. Pilcher と M. Baillies とが主になって 1968 年ごろから研究が始まった。

研究は同時に二つの方向から行われた。第一は埋れ木などを試料として浮遊年代（紀元何年という絶対年代ではなく、紀元（ x +何）年といった x を未知のまま残しておく相対年代）の基準指標値を作っていくもの、第二は現生木より始めて古建築材で交叉接続して絶対年代の基準指標値を作っていく、また同時に、この基準指標値が適用できる地域（年輪域と仮称しておく）の範囲をたしかめていくものである。アイルランドは A. D. 1177 には John De Courcy が北部地域全部を領有していたが、A. D. 1333 にはノルマン人がこれを占領した。このときに森林を皆伐されたらしく、現存している最古の A. D. 1600 ころに建った建物の材でも、14 世紀以後に生育した樹の材ばかりである。天然林はほとんど残っていないくて、全域を通じて 3 ケ所だけが知られているにすぎない。J. Pilcher はこの中の一つである北部の Rostrevor の急斜面に育っている oak 天然木の風倒木から試料をとり、その 20 本を計測して分散分析を行い、年輪年代法が成功するとの見通しを得た。²¹⁾ その後 Pilcher は、北アイルランド内で直径 80 km の地域を限定し、その内部の数ヶ所から現生木試料を得てその年輪を計測した。この地域は西海岸の山々によって卓越風が遮ぎられるので、同じ気候帯に属し、したがって同一の年輪域である可能性が高い地域である。解析した結果では、樹々の相互の相関は良くて同一の年輪域であることが確認された。Baillie はこの地域をもうすこ



第7図 アイルランド地図

Fig. 7. Map of Ireland.

し拡大し、互いに 110 km ほど離れた 4 地点から 30 本の試料をとり、そのことごとくが良く相関していることをたしかめた後、そのうちの 2 地点の 9 本によって基準指標値を計算したが、残りの 21 本の試料はすべてこの基準指標値に非常に良く相関していた。こうして Belfast 基準パターンが A. D. 1649～1970 の 322 年間にわたって得られたのである。²²⁾

その後 Hillsborough の城壁の修理に際して、その床から 17 世紀の材が発見された。その近くの教会からも古材試料が得られ、それらを合わせて年輪年代を作ると、その試料は紀元 $x-200 \sim x+60$ 年の間のものであることが判明したが、Belfast 基準パターンと重なる部分がなく交叉接続できないので、 x が何年であるかは判らなかつた。1971 年になって Gloverstone の農家の屋根に使われていた古材が発見され、計測されたところ、この材は 17 世紀後半から 18 世紀前半までの期間に育った oak であって、Belfast 基準パターンともまた前述の Hillsborough の材とも重なる部分が見出された結果、 x は A. D. 1580 であることが決定した。この結果 Belfast 基準パターンは A. D. 1380～1970 の 591 年間にまで延長された。

その後北アイルランドでは、減水時の川底から古い材が多数出現したが、それらは 15 世紀以前のものらしかったためにその付近が計画発掘された。発掘地点は 100 ケ所に及んだが、その材の中から Belfast 基準パターンに一致する部分があるものが発見され、結局、Belfast 基準パターンは A. D. 1001～1970 の 970 年間のものに延長された。²³⁾ このようにして Belfast 基準パターンが次々と延長されていったのである。

いっぽう、年輪域の拡大も行われて、これもまた基準パターンを延長することに役立っていく。Belfast から南へ、約 130 km 離れた Dublin 市内で、埋没した廃屋の材が 3 本発見されたが、その相互の相関をみると 3 本の間の年代差がはっきりと求まり、全体として 452 年間の年輪指標値の時系列が得られる。この指標値はわずかに 3 本から作られたものであり、その中にはただ 1 本によってしかカバーされていない年代の部分もあるので、基準指標値と言うには値しない。しかしこれを Belfast 基準パターンと比べると、あとの方の 300 年間は非常に良く一致する。すなわち 150 km 離れていても、Belfast と Dublin とは年輪パターンが酷似している。また、Dublin の西方 110 km にある Athlone から出土した試料にも同じことが言えたので、これらの試料を基準パターンに包含させて、Belfast 基準パターンは A. D. 855～1970 の 1116 年間に延長された。²⁴⁾

いっぽう、出土する古材の年輪測定と、その ¹⁴C 年代測定から、4000 B. C.～1000 B. C. ころの間の 2990 年間の浮遊年代基準パターンが作られていた。その上に、これから短期間の欠落時期をおいて、700 年間と 800 年間との 2 ケの浮遊年代基準パターンが作られていた。そうしてまた各地よりの埋れ木の分析からはアイルランド島は全体が同一の年輪域に属していることが明らかになった。²⁵⁾ さらに、Belfast の基準指標値をイングランド東部地域の基準指標値 (A. D. 780～1193) と比べると非常に良く合致する。また西ドイツ地方の基準指標値とも相関性が極めて良い。²⁴⁾

すなわち年輪域は意外に拡がっていて、ヨーロッパ中部のほとんど全域と、ブリテン島、アイルランド島にまたがっているようである。こうして1982年夏、Köln, Stuttgart, Belfast の三大学の年輪年代研究者が集ってヨーロッパ各地の基準パターンの相関性について検討した結果、アイルランド、イングランド、北ドイツ、南ドイツは同一の基準パターンで表されることを確認した。その結果、7000年間にわたる oak の年輪年代が確立したのである。²⁶⁾

oak 年代はヨーロッパの中部から西部へかけて取扱われていて、バルト海沿岸から北ヨーロッパへかけては pine 年代が主である。後者の地方でとりわけ有名なのはノヴゴドロの年代研究であって、そこでは10世紀から15世紀の間、道路の舗装に木(pine または spruce) が用いられていた。²²⁾ 舗装が古くなって傷むと古い舗装の上に新しい舗装を重ねて修繕したので、この結果舗装された木材層が合計32層に達していて、年輪年代に好箇のサンプルを提供した。2000余個のサンプルより基準パターンが作られた結果、9世紀にまで遡るパターンが得られている。

他のヨーロッパ諸国でも各地で研究が進められていて、年輪年代研究室の数は合計20をこえる。

他の地域では年輪年代はあまり手をつけられていない。ヨーロッパでも地中海沿岸の研究はほとんどなく、²⁷⁾ アフリカのモロッコ、²⁸⁾ トルコ、イラン³⁰⁾ およびオーストラリアのタスマニア³¹⁾ についてはごく初期的な研究結果が報告されている。

中国での年輪年代は漸く始まったばかりである。北京の科学院地理研究所ではチベットの柏材についての年輪巾の測定が行われている。³²⁾ その地方は高度3000m以上であって、柏材の成育限界線に近いところから成功が期待される。しかし論文では古気候の研究をめざしているように受取られるから、年輪年代の確立がいつになるかは判らない。

10. その他の問題

年輪年代法またはこれと同じ手法は、別の問題を対象にしても利用される。まず、古気候の問題である。わが国では、サクラの開花日や湖の水結日などの記録から古い時代の気候が研究され、それと、他の歴史事象たとえば戦乱との関係を考えるなど面白い議論がある。しかしこれらはみな、間接的な気候記録にすぎないから、もし年輪巾によってもっと直接に古気候が解読されたならば、歴史の背景がもっと詳しく明らかになるであろう。

と言っても、年輪巾と気候との関係はまだ解明されていない。第4章に述べたていどのことしか判っていない。イランのような乾燥地帯ではその前年の雨量が関係し、しかもそのことは年間雨量450mm以下の地域で成立つと言うし、²⁵⁾ また、ロンドン(年平均気温10.5℃、年間雨量594mm)の elm のデーターでは、4～8月の間の総雨量とその年の年輪巾とが良く相関すると報告されている。³³⁾ この他、断片的なデーターはいろいろな報告があるが、³⁴⁾ 統一的な結論は全く得られていない。

年輪巾は、工業化による空気公害の影響を見るに適している。³⁵⁾ ロサンジェルス郊外の樹の研究によると、石油工業が急速に発展した時期から樹の成長は明らかに悪くなっている。公害が何年からひどくなり始めたか、あるいは大工場による空気汚染がどの範囲まで及んでいるかなどをしらべるのに利用できるであろう。

年輪計測法の最近の発展として注目されるのは、年輪巾の変動を測るかわりに、秋材部分の密度の年々変動をX線透過写真でもって測るという試みである。元来この方法は、樹木の組織学的研究に用いられていたが、年輪年代の研究法にこれを応用した結果が発表されている。³⁶⁾ その結果によると、温帯地方では年輪巾の方法よりも良い結果が得られるということである。

引用文献

- 1) Fritts, H. C. (1976) "Tree Rings and Climate", Academic Press, p. 567.
- 2) 渡辺直経 (1961) 自然 16 8月号: 58-67
- 3) 鈴木正男 (1976) 「過去をさぐる科学」, ブルーバックス, 講談社 234頁; 木越邦彦 (1978) 「年代を測る」, 中央公論社 191頁; 東村武信 (1980) 「考古学と物理化学」, 学生社, 191頁.
- 4) Fraster, D. A. (1956) Ecology 37 : 777 ~ 789.
- 5) Hustich I. (1948) Acta Bot. Fenn. 42: 4 ~ 75.
- 6) Mikola P. (1962) "Tree Growth" chapter 16, Ronald Press. New York.
- 7) Siren, G. (1963) New Sci. 346: 18 ~ 20.
- 8) Eckstein D. (1972) Tree Ring Bulletin 32 : 1 ~ 18.
- 9) Svedov O. (1892) Meteorologices No. 5 : 163 ~ 178.
- 10) Kapteyn J. C. (1914) Rev. Trav. Bot. Neerl 11 : 70 ~ 93.
- 11) 「京都帝国大学史」, 京都帝国大学. 昭和18年刊.
- 12) 大内正夫 (1961) Bull. Kyoto Gakugei Univ. B19 : 41 ~ 61 ; 木内正夫 (1962) ibid. B 20 : 25 ~ 48.
- 13) 大内正夫 (1964) 京都学芸大学紀要 B 25 : 89 ~ 107.
- 14) Mori Y. (1981) J J. Climatology 1 : 345 ~ 354.
- 15) 四手井綱英 (1944) 「杉林施業法基礎調査生長編」, 秋田営林局; 四手井綱英 (1976) 「森の生態学」, 講談社.
- 16) 武市伸幸 (1980) 広島大学環境科学研究科修士論文.
- 17) 荒川秀俊 (1955) 「気候変動論」, 地人書館: 82頁; 山本武夫 (1976) 「気候の語る歴史」, そしえて社; 高橋宏明 (1979) 「年輪の証明」, 地産出版 (現, 竹井書店) : 172頁.

- 18) Bannister B. (1963) " Science in Archaeology " pp 162~176, ed. by D. Brothwell and E. Higgs, Thames and Hudson.
- 19) Ferguson C. W. (1969) Tree Ring Bulletin 29 : 3~29 ; LaMarche V. C. and Stockton C. W. (1974) *ibid.* 34 : 21~45.
- 20) Harrington G. (1943) Proc. Royal Irish Academy 43 : 235~238.
- 21) Pilcher J. R. (1976) Tree Ring Bulletin 36 : 21~27.
- 22) Baillie M. G. L. (1973) Tree Ring Bulletin 33 : 15~28.
- 23) Baillie M. G. L. (1977) Tree Ring Bulletin 37 : 1~12.
- 24) Baillie M. G. L. (1977) Tree Ring Bulletin 37 : 13~20.
- 25) Pilcher J. R. and Baillie M. G. L. (1980) Tree Ring Bulletin 40 : 23~34.
- 26) Pilcher (1982) の私信.
- 27) Dean J. S. (1968) Miscellaneous Paper No. 24, Univ. Utah.
- 28) Seree F. (1977) Tree Ring Bulletin 37 : 21~31.
- 29) Till C. (1980) の私信.
- 30) Lipschitz N., Waisel Y. and Lev-Yadun S. (1979) Tree Ring Bulletin 39 : 39~46.
- 31) Orden J. (1975) Tree Ring Bulletin 35 : 1~13.
- 32) 鄭祥定, 林振耀 (1981) 気象学報 39 : 90~96.
- 33) Brett D. W. (1978) Tree Ring Bulletin 38 : 35~47.
- 34) LaMarche V. C. Jr. and Stockton C. W. (1974) Tree Ring Bulletin 34 : 21~45 ; Stockton C. W. and Fritts H. C. (1971) *ibid.* 31 : 3~24 ; Naylor T. H. (1971) *ibid.* 31 : 25~29 ; Hughes M. K., Leggett P., Milson S. J. and Hilbert F. A. (1978) *ibid.* 38 : 15~24 ; Serre F. (1978) *ibid.* 38 : 25~29.
- 35) Nash III T. H., Fritts H. C. and Stokes M. A. (1975) Tree Ring Bulletin 35 : 15~24 ; Gemmill B., McBride J. R. and Laven R. D. (1982) *ibid.* 42 : 23~32.
- 36) Polge H. (1970) Tree Ring Bulletin 30 : 1~10 ; Parker M. L. and Melepie K. R. (1970) *ibid.* 30 : 11~22.

註) 投稿後、京都大学農学部林学教室の故市河三録教授にも年輪気候学に関する仕事があることが判った。市河研究室では、昭和8年以来京都、長野などの各種の樹木の年輪巾を計測し、年輪巾と太陽黒点数との相関が調査されていたが、あまり肯定的な結論が得られないまま中絶した。

Dendrochronology

Masato NODA*, Takenobu HIGASHIMURA* and Takako HIGASHIMURA**

* Reserch Reactor Institute, Kyoto University, Noda, Kumatori-cho, Sennan-gun, Osaka

** Nara University of Education, Takabatake-cho Nara

The procedure of dendrochronology is auto reviewed and factors effecting on the growth of trees are discussed. Development of dendrochronology in the world, especially in Japan, is traced historically. Sampling and preparation of tree ring specimens are described in detail with the procedure of measurements. Correlation between trees and master indices are exemplified about cypress samples in Kamigamo in Kyoto.

Volume 41, Number 1, March 2008

Editorial Board: *Journal of the History of Biology* is published quarterly by the American Society for the History of Biology, 11 Dupont Circle, N.W., Washington, D.C. 20036. The Journal is published by the American Society for the History of Biology, 11 Dupont Circle, N.W., Washington, D.C. 20036.

The *Journal of the History of Biology* is a peer-reviewed journal that publishes original research articles, reviews, and book reviews. The journal is published quarterly by the American Society for the History of Biology, 11 Dupont Circle, N.W., Washington, D.C. 20036. The journal is published by the American Society for the History of Biology, 11 Dupont Circle, N.W., Washington, D.C. 20036.