

木材年輪年代学序説

伊藤延男・三浦定俊

はじめに

東京国立文化財研究所では、文化財に関連する木材について、その実年代を判定する科学的方法の1種として、年輪年代学の適用を考慮し、かねてより奈良国立文化財研究所と共同して、研究開発を推進してきた。

しかしながら、日本では、まだ木材年輪年代学そのものがまったく未開拓の状態にあったので、いきおい研究は、基礎部分から積み上げねばならない状態であった。そのため、研究はなかなか進捗しなかったが、最近になってようやく基礎研究の一部について若干の見通しが立つようになったので、ここに木材年輪年代学序説と題し、はじめて報告することとする。

1. 木材年輪年代学の原理

木材年輪年代学 (dendrochronology) とは、木材の年輪 (tree-ring) 幅にみられる特異なパターンをたよりにして、その木材が生育していた年代を定める学問である。文化財に使用されている木材について、それが生育を停止した (多くの場合、伐採された) 年が求められるならば、しぜん文化財そのものの年代もかなり高い正確さを以て推定することができるわけである。

では、特異なパターンの実年代はいかにして求められるかといえば、それは、あらかじめ収集した多数のサンプルによって作成された標準チャートと照合することによって可能となる。標準チャートを作成するには、まず第一歩として、伐採された年の明確なサンプルによって、一定期間のチャートを作成し、次には、それより古い時代のサンプルによるチャートを作成し、共通する特異なパターンをたよりにして両者を接合する。こうした作業を繰返すことによって、長年月にわたる標準チャートができあがるのである。

2. 年輪年代学の発達 (第1期)

年輪から過去を読み取ろうとする試みは、すでに18世紀から行われていたというが、年輪年代学を今日の学問に築きあげたのは、アメリカ人 Andrew E. Douglass であった。彼は、今世紀の初頭、天文学者として太陽黒点と気象との関連を追求するうちに年輪年代学の原理を考えた。かように、彼の研究の真の目的は、年輪気候学 (dendroclimatology) であったが、標準チャート作成の過程で、文化財研究というべき領域でも成果をあげている。即ち彼がインディアン遺跡から発掘された木材の年代を決定したことにより、アメリカとしては先史時代に属し、それまではまったく古さの分らなかったこの種遺跡に対し、年代推定の大きな手掛りを与えたのである。

20世紀初頭からその20年代にかけてダグラス等によって開発された年輪年代学は、日本にも伝えられ、幾人かの学者の研究意欲をそそった。しかし戦前戦後を通じ、まだ見るべき成果は報告されていない(注1)。年輪年代学というものは、アリゾナのような乾燥した大陸においてはじめて成立することであり、条件の複雑な日本では不可能というのが、当時の結論であったようである。

3. 年輪年代学の発達 (第2期)

アメリカにおいて開発された木材年輪年代学は、その後ヨーロッパに波及し、近年著しい発展を示している。発表された図書や論文も多く、1977年にはシンポジウムも開催され、その報告書が *Dendrochronology in Europe* と題して刊行されている。現在ヨーロッパでは、各地域ごとに数千年に及ぶ標準チャートが完成しており、文化財の年代判定に大きな寄与をなしつつある。

研究成果の顕著な1例をあげよう。ドイツ北部やフランドル地方の oak 材は、15~16世紀の板絵の素地に用いられているが、その実年代が年輪年代学によって判定されており、作家の活動期間や画面に記されている年号との照合が行われている。その間に意外な事実も発見されている。たとえばある作品は、真筆であるにもかかわらず、材が示す年代が記載年号より新しい。これは、一見不合理だが、恐らく一度描かれた作品が作者又は注文主の意にそわなかったためか、後年描きなおされたものと推定されている。

4. 日本における年輪年代学の揺籃期

筆者のうち伊藤は、昭和42年から46年まで、奈良国立文化財研究所に勤務していた。その間同僚の田中琢氏より若干の外国文献の教示を受け、この学問に興味を覚えるようになった。たまたま奈良公園において伐採されたマツの年輪を測定し、過去の災害記録と対照してみたこともあった。しかしこれまでの研究者と同様、特に成果はなく、研究は頓坐した。

伊藤は、その後文化庁勤務を経て、昭和53年より東京国立文化財研究所に転じたが、奈良国立文化財研究所の田中氏や佐原真氏とは相互に情報を交換しあって、研究の端緒を模索していた。そのような時、たまたま目にふれたのが前記シンポジウム報告であった。その内容はわれわれの研究意欲をわき立たせるに十分なものであった。昭和55年3月、伊藤は、ユネスコ主催の政府専門家会議出席の命を受けパリに出張することになったので、その帰途、前記板絵研究に大きな成果をあげたハンブルク大学の Bauch 教授を訪ねることとし連絡したところ、教授不在のため助手の P. Klein 氏の紹介を得た。一方奈良側では教授の協力者 D. Eckstein 氏と連絡をとっていた。こうして東京、奈良それぞれ独自に同じグループと接触したのである。

3月29日ハンブルク到着、翌日出発というあわただしい日程のなかで、伊藤は Eckstein, Klein 両氏より年輪年代学の基礎について懇切な説明を受けることができた。ことに測定技術、チャート用紙の形式、標準チャート作成法など、実務面の教示がたいへん有益であった。文献では省略されていた基礎作業がこれで明らかとなり、研究の展望が開ける思いがした。時間に追われながらも、疑問点を矢継ぎばやに質問し、答えをむさぼるように吸収した記憶は、今も生々しい。ここに両氏の教示に対し改めて深甚たる感謝の意を表したい。

帰国した伊藤は、三浦の協力を得て、年輪年代学に必要な機器や用紙を整えることから開始した。以下に必要な用器の概要を記しておく。

A 年輪幅測定用具

- a 目盛付ルーペ 数千円程度で市販されているものでも十分であるが、ピント合わせができるものならばなおよい。精度は 1/10 mm である。ドイツで板絵の板年輪を測定したときもこのルーペを用いたというから、精度としてはこれで十分であろう。簡単な器具で測定できることは、多数の考古学者や修復技術者の参加が期待できる長所を持っている。欠点としては目が疲労しやすいこと、測定点を見失いやすいこと等があげられる。
- b 読取顕微鏡 研究室据付けの大型のものは、機動性に乏しいので不適當である。携帯用

としては、アメリカのヘンソン社で年輪測定用に考察されたものが発売されている。当研究所ではこれを購入した。ただし顕微鏡は別売であるので、オリンパス双眼顕微鏡(10×)を購入し、またそれを支持する台も国内で特注した。この機械を用いるとダイヤルゲージで1/100 mmまで読み取りが可能である。またコンピューターに接続することも可能である。この機械は、たいへん読み取りやすく、かつ能率的である。ただし1/100 mmまで読むことがこの研究に必須かどうかは、もう少し研究を進めてみないとよく分らない。

B チャート用紙

ドイツの例にならい片対数グラフを用いることとした(注2)。日本ではロール状の既製品がないので、ドイツと同じく縦軸方向は対数2桁、1桁の実長10 cm、横軸方向は5 mm間隔のものを特注製作した。なお将来国内において研究成果を交換する場合の便宜を考慮し、用紙は奈良国立文化財研究所と同じとした。

5. 日光付近のスギ年輪の測定

筆者は、標準チャート作成の最初の試みに日光のスギをとりあげた。その理由は、

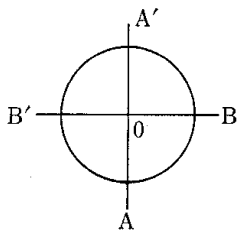
- 1) 杉並木に代表されるように300年以上の樹令のものが多数あり、毎年風損木、枯損木、危険木として相当本数伐採されるので、サンプルの収集が容易であること。
- 2) 地域が数キロメートルの狭い範囲に限定され、平地又は山裾地であるので、気象や地形による変化が少いと思われること。
- 3) スギは、ヒノキとならぶ日本の代表的針葉樹であること。
- 4) 東京に近く、所有者に理解があり、かつ国宝修理工事々務所があって、採集の便が得られること(注3)。
- 5) 「社家御番所日記」(日光叢書)に300年以上にわたる天候、気象が記されていること(もちろん科学的観測結果ではないが)。
- 6) 宇都宮大学名誉教授鈴木平馬氏の研究によって、天明、天保の各年代における特異気象の痕跡がすでに指摘されており(注4)、年輪年代学成立の見通しが明るいこと。
- 7) 現に生育している日光杉並木は、そのものが「特別天然記念物」に指定された文化財であること。

等である。年輪採集を行った期間は、主として昭和56年1月及び2月であった。この時は当研究所が招へい研究員として1カ月間迎えていた奈良国立文化財研究所の光谷拓実氏も参加した。現在までに採集されたのは8個体であり、さらに修理工事々務所の手をわずらわし追加収集中である。採集した8個体は、現在光谷氏の手によって数値化され、検討が加えられており、その一部はすでに発表されている(注5)。

6. 木曾産ヒノキ年輪の分析

日光のスギの検討を光谷氏に託している間に、伊藤は、関野克氏より木曾ヒノキに関する長大なチャート1枚の提示を受けた。これは、関野氏が東大教授であった昭和18年に入手されたある研究報告をもとにして、当時の助手金森氏が作成したものであるという。しかし原研究報告は現在手元に見当たらないとのことであった(注6)。残念ながらこのチャートだけでは利用価値がないので、原報告に遡って調べることとし、気象庁の図書室に問い合わせたところ、即座に原報告を見出すことができた。

それは、かつて高山測候所長であった山沢金五郎氏の「檜年輪調査成績」と題する報告であった。前編1冊、後編2冊よりなる部厚な報告書で、騰写版刷りのため正確な出版時期は分ら



図—1 山沢氏による
木曾ヒノキ年輪
測定の方角

ないが、昭和5年であることはたしかである。その内容は、昭和4年の伊勢神宮造替用として大正9年8月9日に伐採されたヒノキ、樹令803年の巨木の年輪を測定し、その結果と気象との関連を種々論じたものである(注7)。測定は、皇室林野局名古屋支局に保管されていた円盤について行われた。その樹木がどここの産か、明確には記載されていないが、文意から察すると、岐阜県恵那郡付知町出小路、即ち裏木曾の御料林から産したものと考えられる。

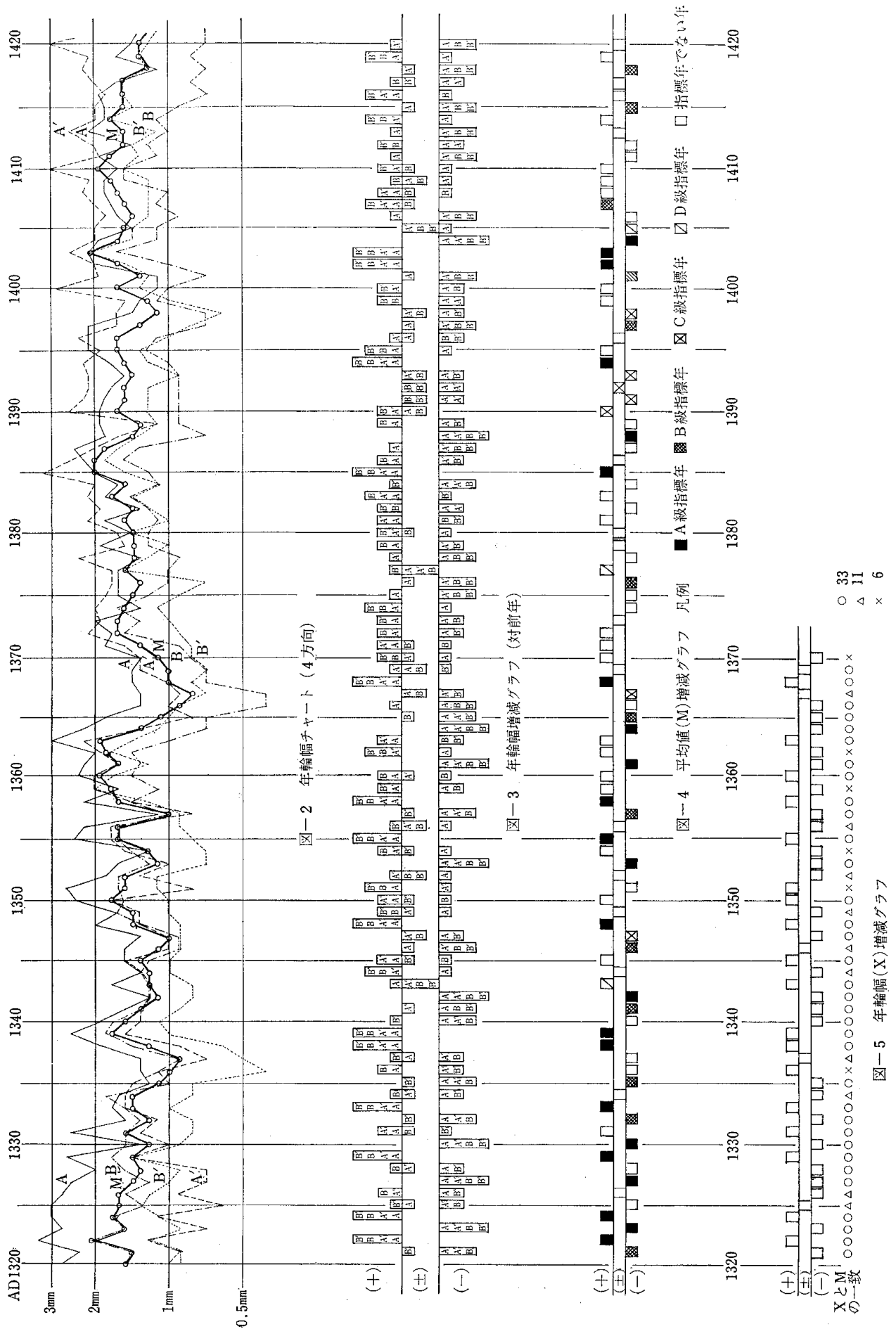
年輪測定は、初心0から図—1のごとく4方向に行っている。A方向は、初心から伐採時までほぼ完全に測定でき、1119年～1920年と数えられる。しかし他の3方向は、初心近くに空洞部があったらしく、A'方向は1320年から、B方向は1217年から、またB'方向は1297年からそれぞれ始まっている。そこでまず、4方向それぞれのチャートを描いてみた。1320年～1920年の間は4方向すべての測定値がそろそろ。図—2はそのうち1320年～1420年の100年間について4方向及び平均値Mの値を示したチャートである。

まずこのチャートをよく見てみよう。第1に知られるのは、年輪幅というものは、たとえ同一材であっても、方向によってその実長がかなり異なるものであること、従って実長は年代判断にあまり意味がないということである。第2には、どの方向に測っても一様に幅が極端に狭く、図に示すとはげしく落ち込む年というものはあまり顕著でなく、落ち込みを目安とするヨーロッパ方式はうまく行きそうにないことが想像される。そこで今度は、年輪幅を前年と比較した場合の傾向、すなわち前年に較べて増加(+)しているか、減少(-)しているか、あるいは同じ(±)かを調べることにした。たしかに4方向とも同一傾向を示す年はある。例えば1322年は全部(+)である。したがってMも(+)となるし、さらに同一材から採取した別の年輪を重ねても、1322年は(+)のはずだから、この年は年代判定の重要な鍵となろう(指標年と名付けておく)。同様に1323年は全部(-)の指標となる。しかし1325年はA(±)、A'とB(-)、B'(+)とバラバラである。したがってMが(+)か(-)かあるいは(±)かは一概に決められない。このような年は指標年となりえない。

以上の考察をふまえて、今度は4方向の(+)、(±)、(-)だけを図—3に示し、またMの傾向を図—4に示した。前記のように4方向傾向のそろっている年は、もっとも信頼できる指標となるから、これをA級指標年と呼ぶ。次に1321年のように3方向が(-)[(+)の場合も同じ]で1方向だけ(±)という年も、(±)は本来(+)か(-)かどちらかであるので、1/2の確率で指標年といえる。これをB級指標年とする。同様にして(±)が2方向の年は確率1/4のC級指標年、(±)が3方向の年は確率1/8のD級指標年となる。

では指標年は、いったいどれ位の頻度で現われるのだろうか。100年ごとに集計してみると、表—1のようになる。この表を見て直ちに感ずることは、指標年、特にA級及びB級の指標年が1521年以降急激に減少していることである。その原因は詳かでないが、測定された材が円盤であったことから考えると、樹根に近い部分である可能性が強い。若しそうであれば、いわゆる「根張り」現象によって年輪形成が不規則になっていたことも十分考えられる。しかしこのことは文化財を問題とするときには大きな障害にはなるまい。何故ならば用材とするときは根張り部分はたいてい除去されるからである。なおこの材の場合は、初心から数えると1321年以前に200年間もあるから、もし完全に残っていればかなり長期間にわたり良好なデータが得られたはずである。

未知年輪の年代は、そのチャートを標準(ここではM)チャートと比較して定められる。し



図一 5 年輪幅(X)増減グラフ

表 1 指標年頻度表

年 代 (A. D.)	A 級 指 標 年			B 級 指 標 年			C 級 指 標 年			D 級 指 標 年			総計
	(+)	(-)	計	(+)	(-)	計	(+)	(-)	計	(+)	(-)	計	
1321~1420	14	9	23	1	12	13	1	6	7	2	1	3	46
1421~1520	12	10	22	6	9	15	2	2	4	0	1	1	42
1521~1620	4	8	12	2	7	9	4	5	9	1	0	1	31
1621~1720	6	4	10	3	7	10	1	2	3	0	2	2	25
1721~1820	1	3	4	2	4	6	4	3	7	0	2	2	19
1821~1920	3	4	7	3	4	7	5	4	9	1	1	2	25

かし未知年輪の傾向とMの傾向(図-4)とを比較しても、結果は同じはずである。今は未知年輪のデータがないから、仮にAの1321~1370年の50年を未知Xとしてその傾向を図-5に示した。ここでは、(+), (±), (-)の区別はあるがどれが指標年に当るか分らない。したがって直ちに指標年同志を重ね合せることはできない。そこで次のような2段の操作で判断することを考えた。即ち第1段として、MとXとの傾向の一致率の高い場所を探し、その上で指標年についてMとXが完全に一致するかをたしかめ、そこでXとMの年代が合致したとみるのである。

では年代が合致した時のMとXの傾向はどれだけ一致するだろうか。理論的には(この場合XとMとは同一材であるから)指標年は100%、その他の年は大ざっぱに見て50%だけ一致するはずである。実際にXとMが年代合致した場合は、(+)又は(-)どちらかが一致したのは66%で、これにM又はXのどちらかが(±)であった場合を確率1/2として加えると、実に77%が一致していることになる。反対に次の年代の合致しない場合は、一致率はかなり低下するはずである。その実験としてXの年代を1年ずつ後世に向けて順次ずらしてMとの一致率をみることにし、この操作を20年分試みた。そうすると一致率は、最高61%、最低39%となって、バラツキは大きく、かつ2グループに分れるようであるが、ともかく年代が合致した時に較べると少くとも16%以上も低い。なおXはAから採ったが、これをA', B, B'から採ってみても、年代が合致した時の一致率はそれぞれ87%、77%、73%となって、いずれも高率である。こうして一致率の高い所を見出したのち、さらに指標年について精査すればよいのである。

ところで、未知の年輪ははたして何年分あったらその年代が確定できるのであろうか。それは一致した指標年がいくつあるかを考えればよい。一般にひとつの一致指標年を起点として、ある年数たったとき次の一致指標年があらわれる確率は1/2だから、それがn回あれば、n回全部が一致する確率は $1/2^n$ となる。たとえばn=10であれば $1/2^{10}=1/1,024$ となって、1000年に1回の確率で年代が合致したこととなり、十分実用的であるといえる。

ただしこれには、各指標年が独立しているという条件が前提になる。ところが図-3~5を見て明らかのように、(+)指標年の次は(-)指標年となる場合〔あるいはその逆の場合〕がかなり多い。1321年~1324年のように(-), (+), (-), (+)と指標年が4年連続することもある。これらの指標年がそれぞれ独立した事象なのか否かは、簡単には判断することができない(注8)。そこで独立であらわれる指標年とそれに連続する指標年群をまとめて1回として回数を数えると、1321~1420年の間に独立指標年が19回あることとなる。つまりn=18であるから、全部が一致するのは約26万年に1回という確率で年代を推定できることになる。もちろん指標年がこれより少ない時期もあるが、n=10ぐらひは常に存在しようから、年輪100年分で少くとも歴史時代を取扱うには十分である。

む す び

以上報告したところは、1本のヒノキから求めた結果であって、およそ100年分の良好な年輪さえあれば、その年代を確定しうる可能性があることを証明したにすぎない。したがって日本における木材年輪年代学が一挙に可能になったわけではなく、さらに樹種を変えて検討し、また1地域さらには国全体の問題に押しひろげてゆかねばならない。その間にはまだ多くの克服すべき問題点が多々あらうと思われるし、ここで述べた理論で訂正すべき点も出てこよう。しかしながら、少くとも、従来云われていたような観念、すなわち日本では年輪年代学は成立しないという考えは、打破される日が遠くないと思われる。

〔注〕

- 1) 関野克、渡辺直経両氏が興味を示されたようであるが、具体的成果は発表されていない。不可能と考えられた理由は、両氏の談を総合して推測したものである。なお、文化財関係の古材年輪を測定した例には、小原二郎氏による法隆寺五重塔心柱の測定があり、これが日本における年輪年代学の一成果として一部海外にも紹介されているが、この場合は樹木成長測定に準じ5年毎に年輪幅を測っている。したがってここに述べる年輪年代学とは異なるものというべきである。
- 2) 通常のグラフ用紙を用いている研究者も多い。片対数グラフの長所は、年輪幅の狭い年が強調される点にある。しかし実際に使用してみると、日本では年輪幅の広い年、狭い年双方に着目せねばならないから、対数グラフ必ずしも有利というわけではないようである。
- 3) 所有者である東照宮、二荒山神社は、残存切株からの年輪採集を許可され、工事々務所の職員からは全面的な協力を得ている。ここに謝意を表したい。
- 4) 鈴木平馬「日光杉並木街道保存の国際的意義」(日光杉並木街道保存委員会 昭和45年)
- 5) 「木材年輪年代学」(奈良国立文化財研究所年報1981)
- 6) 貴重な成果を提示された関野先生に感謝する。
- 7) 山沢氏の研究は、窮極的には年輪気候学であったが、その正確な年輪測定は先駆的業績として高く評価されねばならない。
- 8) (+), (-)がセットになるという現象は、このグラフ作成法そのものに由来する面もあるが、また樹木に2年周期で生長する性質があるからではないかとも思われる。しかし現在の筆者にとっては原因追求はあまり必要でないので、今はこのような現象があることを指摘するに止めたい。

Introduction to Dendrochronology

Nobuo ITO and Sadatoshi MIURA

The Tokyo National Research Institute of Cultural Properties, in cooperation with the Nara National Cultural Properties Research Institute, has been developing the dendrochronology as one of the ways of determining the age of wood found in cultural property. This is the first report of our fundamental research of dendrochronology.

The dendrochronology, which was originated back at the beginning of twentieth century in the U.S., had widely been developed in Europe and many studies were reported. In Japan, there have been several researchers so far who took interests in this field. However, the study has not been developed at all, because they concluded that the dendrochronology was impossible to be established in Japan.

Dr. Ito, one of the authors, has also been interested in dendrochronology, and was especially stimulated by 'Dendrochronology in Europe' (the report of Symposium 1977). He paid a short visit to Humburg Institute in March, 1980 and was given the instruction in practical methods of dendrochronology by Drs. D. Eckstein and P. Klein. After homecoming he started the study from the first step.

The fundamental work in the dendrochronology is drawing-up of the standard chart gathering many samples whose falling dates are identified. For this purpose, *Cryptomeria japonica* D. Don in Nikko district was chosen because of its various advantages. Samples gathered so far were measured and analysed by Mr. T. Mitsutani, a researcher of Nara Institute, and a part of his study has been published in the Annual Bulletin of Nara Institute for 1981.

Meanwhile, Tokyo Institute examined the data of a cypress of Kiso Valley, which was originally measured by Mr. K. Yamazawa in 1930. We found the following four types of characteristic years; A—the tree-ring widths are all wider (+) or all narrower (−) than those of the previous year in four directions, B—(+) [or (−)] in three directions and equivalent (±) in one direction, C—(+) [or (−)] in two directions and (±) in other two directions, and D—(+) [or (−)] in one direction and (±) in three directions. If another unknown sample X is brought from the same tree, the graph of (+) (−) and (±) of this sample must show a very high coincidence with the graph of mean value M of this tree only when both ages are exactly the same.

Though our study is only a first step toward the dendrochronology, we expect the establishment of this new science in Japan by promoting the study more and more.