

杉材による年輪年代法の研究

一年輪読み取り器および伊豆半島杉材の測定結果—

黒田 晃 弘*・和田 秀 樹**

A Dendrochronological Study of *Sugi* (*Cryptomeria japonica*) Logs from Izu Peninsula, Central Japan, with Special Reference to the Hand-made Tree Ring Width Reader

Akihiro KURODA* and Hideki WADA**

The annual-growth-rings of *Sugi* (*Cryptomeria japonica*) trees are useful for dendrochronological study at least in restricted areas of Izu Peninsula, Central Japan.

Measurements of tree ring width were performed by a hand-made "tree ring width reader" with the minimum readable step-width of 0.01 mm.

Sugi logs from five locations in Izu Peninsula were studied. The variational patterns of annual-growth-rings of *Sugi* tree disks cut out from various heights of a tree trunk generally coincide with each other. This fact shows that the tree-ring variational pattern of a tree is available from any disk irrespective of its cutout height.

The correlation coefficients among the growth ring widths of recent *Sugi* trees were calculated. When two patterns of growth-rings coincide with each other in age, the correlation coefficient is the highest.

1. は じ め に

年輪年代学 (dendrochronology) は、樹木の年輪幅の変動パターンを手掛かりにして、その樹木の生長していた年代、あるいは伐採年代等を推定すること、又はそれによってその樹木に関連する過去の事象の年代を推定する学問である(成瀬, 1982)。この学問は今日、アメリカ、ヨーロッパを中心として遺跡や建物の年代を決定するうえで、きわめて有効な方法として活用されている(FRITTS, 1976; HUGHES *et al.*, 1982)。完新世の年代を決めるのに使われる¹⁴C年代測定法に比べると、¹⁴C法は放射能測定など

の過程で必ず統計誤差を含むが、年輪年代学は原理的に1年の誤差も含まないのが特徴である。

日本におけるこの種の研究は、第二次世界大戦以前から関心は持たれていたが、適用した例は少なかった。最近まで年輪年代法はアメリカのアリゾナ州のような大陸地域の乾燥地帯で比較的気候因子の単純な場合成功する方法であると言われ、日本のように温暖多湿で複雑な地形をもち、微気候に富む地域で生育する樹木の年輪は、それらの影響を受け大きな気候変動を反映しにくいので、わが国でこの方法の適用は困難である、との誤った見解が広まっていた。

1987年3月23日受理

* パスコ(株) Pasco Corporation, 1-12-17, Nishi-Honmachi, Nishi-ku, Osaka, 550.

** 静岡大学理学部地球科学教室 Institute of Geosciences, School of Science, Shizuoka University, Shizuoka 422.

しかし、奈良国立文化財研究所の光谷拓実氏による最近の研究成果から、これまでの通説に反してわが国でも少なくともヒノキとコウヤマキでは年輪年代法が十分に適用できることが判明し、平城宮跡から出土した柱根や木棺などの年代測定に利用された(光谷, 1984; 1987a, b).

本研究は、日本独特の杉 (*Cryptomeria japonica*) に年輪年代法の適用ができるか否かを確認することを目的として始めた。年輪年代学では、年輪の変化パターンがどのような気候因子とつながりがあるのかによって適用できる地域が限定される(野田・東村, 1985)。ヒノキ、コウヤマキなどでは、西日本、近畿から中国地方にかけては同一の変化パターンが得られている。しかし、杉ではそのような地域の分布や広さも分かっていない。本研究では伊豆半島内での適用が可能であるかを知るため、伊豆半島内で生育した試料を調べた。この研究のため年輪幅の測定の能率化、正確化を計る“年輪読み取り器”を、静岡大学工作センター金工室の加藤睦男氏と共同で作成したので、その構造と性能を記述し、また本器を用いた年輪幅の測定結果を示した。

2. 年輪読み取り器

年輪読み取り器の作成の意図は、年輪幅の測定の省力・能率化および正確化にある。また、通常輪切りにされた年輪試料は常に研究室に持ち運ぶとは限らない。切り株や展示物など運搬が不可能な試料の年輪幅の測定は、年輪読み取り器を現場に持ち込んで測定することになる。そのため年輪読み取り器は持ち運びの可能なものである必要があり、このようなことを考慮して図1に示す年輪読み取り器を作成した。本器は測定する年輪試料の上に置いて、双眼実体顕微鏡で年輪幅を観察しながら顕微鏡を移動させ、その移動量をコンピューターで処理するという方法をとっている。

本器の材質は真鍮で、図1のように双眼実体顕微鏡が取り付けられる。中心はピッチ2 mmのボルトが通っており、このボルトを左端部に取り付けしたステッピング・モーターで回転させると、顕微鏡を載せた台が移動する。ピッチが2 mmなので、ステッピング・モーターが1回転すると、顕微鏡を載せた台が2 mm左右にスライドする。ステッピング・モーターを回

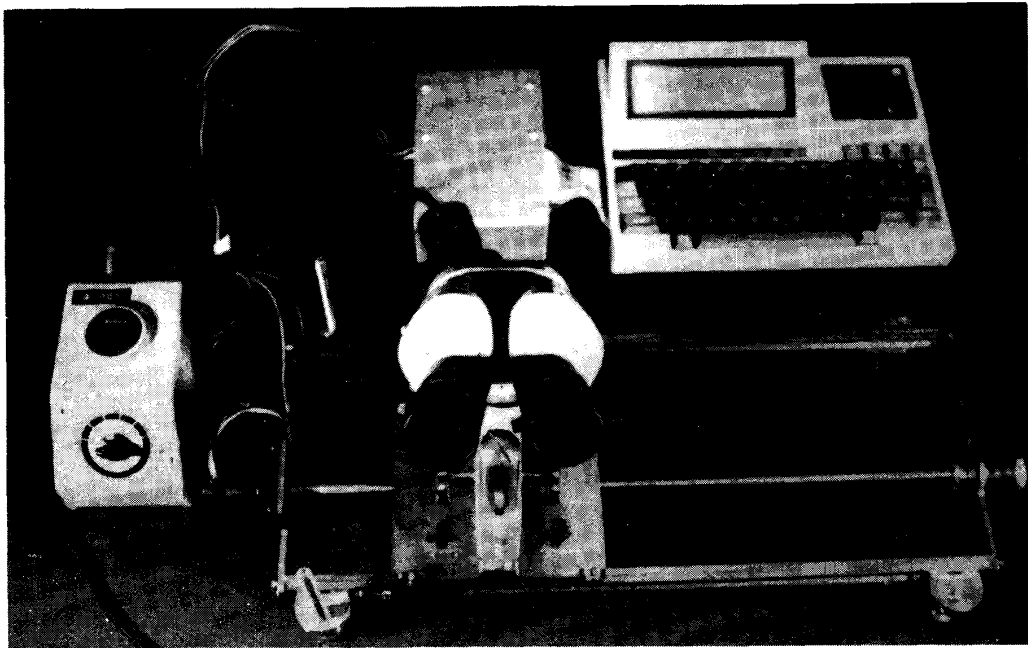


図1 年輪読み取り器。

中心の棒はピッチ2 mmのボルトになっている。左端部に取り付けたステッピング・モーターにハンドヘルド・コンピューターから駆動回路を通してパルスを送り、このボルトを回転させ、顕微鏡を載せた台を移動させる。

転させるパルスは、ハンドヘルド・コンピューター（図1、右上のコンピューター）からステップング・モーター駆動回路（図1、中央上のbox）を通して転送する。この駆動回路は市販のキットを購入して作成した。このステップング・モーターは1回転するのに、つまり顕微鏡の台を2 mm スライドするのに、400パルスが必要である。したがって、1パルスにつき顕微鏡の台が0.005 mm スライドするが、実際の年輪幅の測定では最小パルスを2パルスとし、顕微鏡の台が0.01 mm スライドするようにした。

本器の使用法を以下に簡単に説明する。まず試料の年輪がはっきりと確認できるよう研磨した材上の測線上に本器を載せ、四隅の水平調節ねじで高さを調節する。そして、双眼実体顕微鏡をのぞき、接眼レンズの十字線といちばん外側の年輪の境界とを合わせる。あらかじめハンドヘルド・コンピューターのファンクション・キーのうち3つを利用して、それぞれの1回のキー操作で200, 20, 2パルス(1 mm, 0.1 mm, 0.01 mm) ずつステップング・モーターに送るようにセットしておく。これらのキーをうまく使って、十字線を次の年輪境界まで移動させる。そして順次年輪幅を測定してゆき、この間に要したパルス数をハンドヘルド・コンピューターに記憶させる。この後の年輪幅の測定値の計算処理は別のパーソナル・コンピューターを使って行うため、データの転送をするが、その際にパルスデータの単位を mm に変換する。

本器の測定誤差について調べた。まず、本器の顕微鏡台座を移動させるボルトの場所による精度を知るため、ボルトの左端部（ステップング・モーター側）を起点として10 cm ごとに区間を区切って3つの区間を設け、顕微鏡の台それぞれの10 cm 区間をスライドさせるのに何パルス必要であるか(理論値は20,000パルス)を求めた。その結果は、左端の10 cm 区間は20,006パルス、中央の10 cm 区間は19,992パルス、右端の10 cm 区間は20,028パルス必要であり、平均で0.004%、最大で0.14%の誤差があった。また、顕微鏡用のマイクロメーターを用いて台を1 mm スライドさせるのに何パルス必要であるか(理論値は200パルス)を求めた。その結果は、ボルトの左端部付近で204パルス、左端部から10 cm 付近で202パルス、20 cm

付近で198パルス、30 cm 付近で208パルス必要であり、平均で1.3%、最大で4%の誤差があった。

図2A~H に本器の設計図を掲載した。

3. 年輪幅の測定および計算処理

本研究で使用した杉(*Cryptomeria japonica*)材は、伊豆半島各地(5ヶ所)から営林署を通じて入手した。試料は杉の木を輪切りにしたものを使用した。入手した試料について表1に、また生育地点を図3に示した。試料採取地点は、カワゴ平西部(KDW)、天城山北側(AMN)、天城山南側(AMS)、長九郎山南側(CKS)、長九郎山北側(CKN)の5地点である。それぞれの地点の試料数は、KDWが1、AMNが17、AMSが14、CKSが6、CKNが4である。試料の入手に当たっては、天城営林署、河津営林署の方に協力を頂き、高さと方向をチェックし、伐採してもらった。AMS、CKS、CKNの試料は地上高4 mのものである。AMNの試料のうち、年輪幅の変化パターンの高さによる違いを調べるために、1本の杉の木より地上高1 m、4 m、8 mからの試料を得た。KDWの試料は、既に伐採されたものから得たので、高さ、方向のチェックはできなかった。

入手した杉材は、チェーンソーによる切断面のままなので、年輪をはっきりと確認することができない。そのため木口面の研磨を行った。研磨には電気ディスクサンダーを用いて、#30, 50, 80, 120番を使い、年輪が完全に確認できるまで磨いた。また測定の際、年輪がより見分けやすいように材の表面に白色ワセリンを塗布した。

年輪幅の測定は次のようにして行なう。通常年輪幅は、どの方向に測定してもおおまかには同じような増減関係を示すが、それでも少しずつ違っている。図4はCKS-5の年輪を中心から4方向に測定し、それを片対数グラフに表したものである。この図では、1967~1970年、1955年などで下向きのピークがずれている。このことから、1測線のための年輪幅データでその木の年輪幅を代表させるのは危険であろうと考えられる。そこで年輪の中心から4方向に測線を設けて、その測線に沿って年輪幅を測定した。このようにして得られた測定値を各年ごとに合計、平均したものをその木の年輪幅データとした。

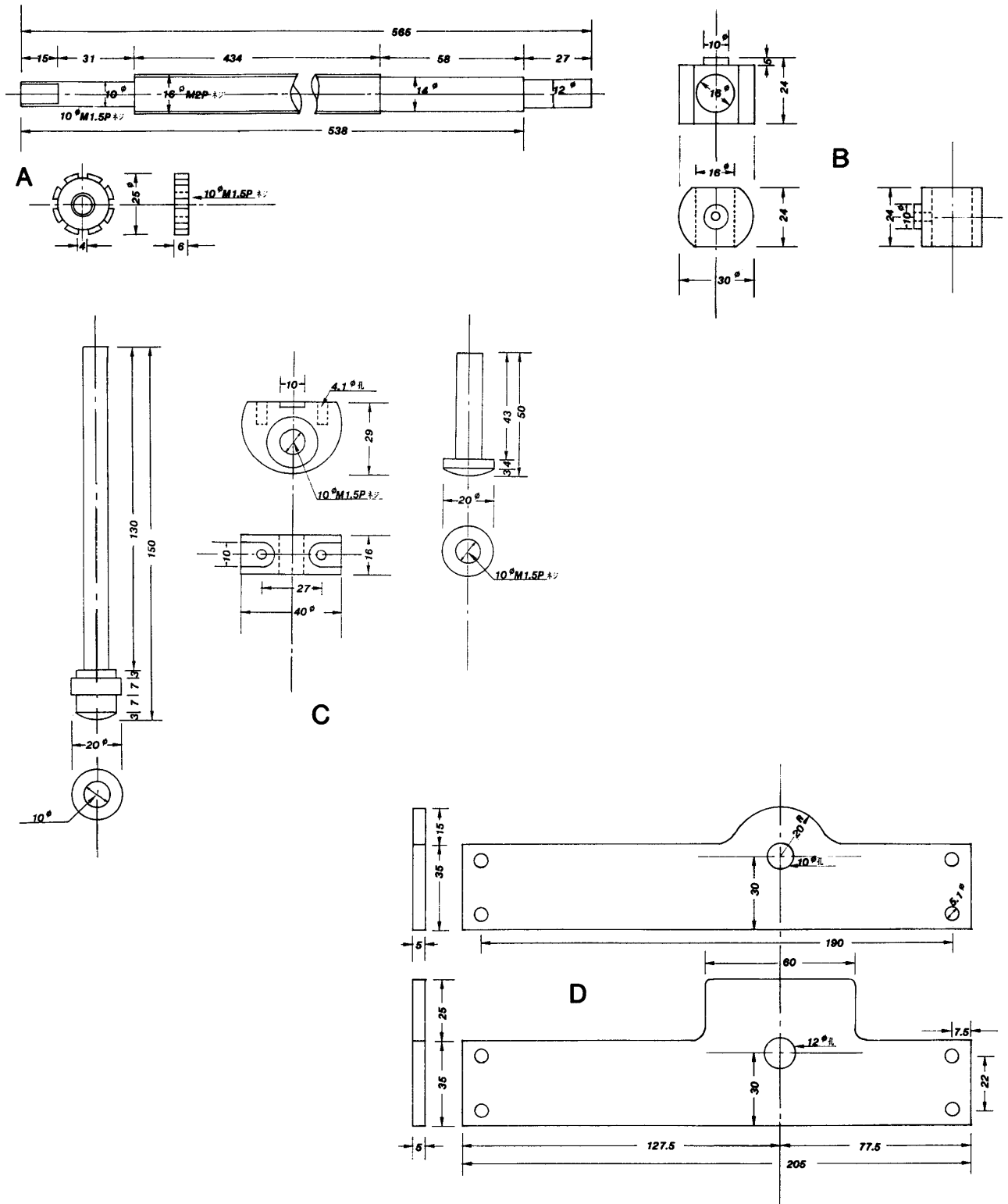


図2 年輪読取り器の設計図(次ページへ続く)

- A: 主送ねじ, B: 主送ねじ(めねじ, 顕微鏡台座の下に取り付ける), C: 高さ調節ねじ,
 D: 枠組, E: 枠組, F: 枠組ステー, G: 顕微鏡支持柱, H: 顕微鏡台座

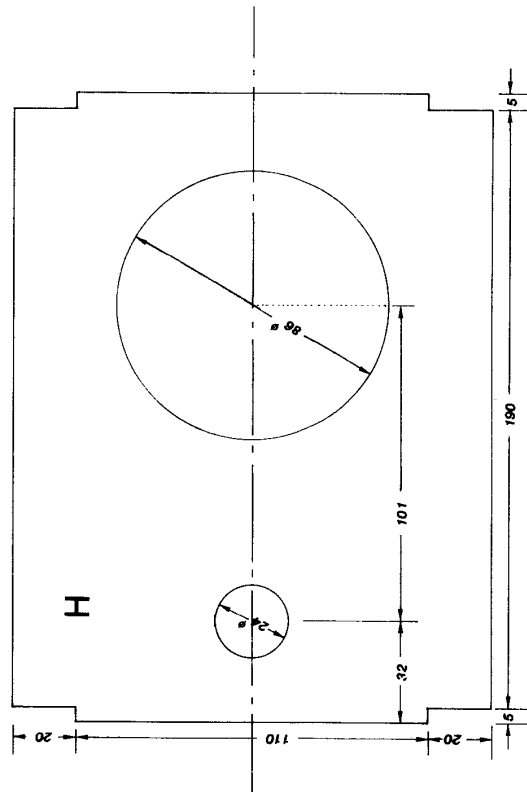
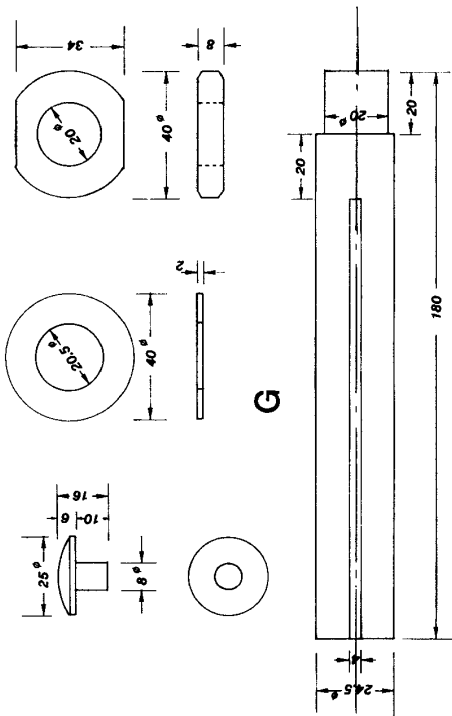
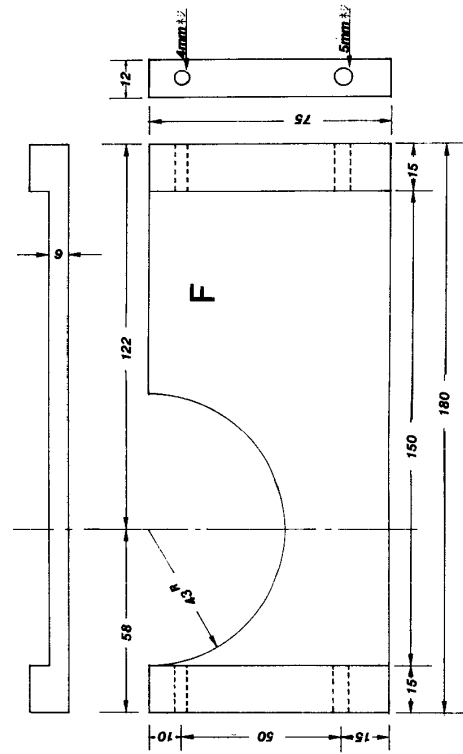
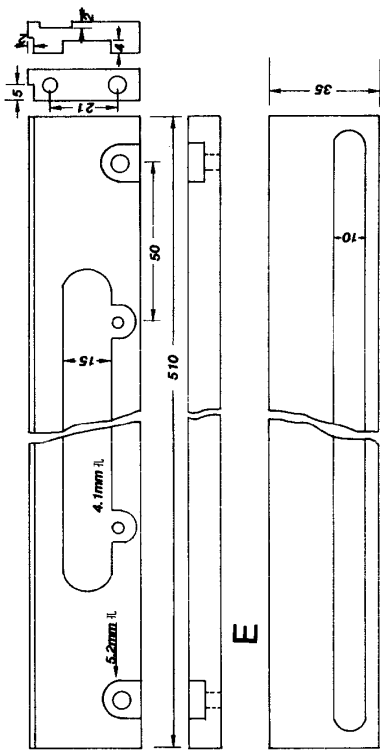


表1 杉材年輪幅測定試料の生育環境。

採集場所	試料数	年輪数	地上高	生育環境
カワゴ平西部・KDW	1	155	——	標高980m・北西谷側斜面
天城山北側・AMN	17	29—49	1・4・8 m	標高960m・北斜面・尾根
天城山南側・AMS	14	43—80	4 m	標高780m・北東谷側斜面
長九郎山南側・CKS	6	63—73	4 m	標高720m・西谷側斜面
長九郎山北側・CKN	4	170—195	4 m	標高600m

樹木の年輪幅の成長は、同一年度に形成されたものでも、樹齢や生育環境等の違いにより、個体によって異なるのが普通である。2つ、あるいはそれ以上の年輪を比較する場合、この個別的特徴が強い試料だと、年輪幅の測定値そのものを使うと、比較が困難である。そこでこのような個体差を除去するために、年輪データの標準化をおこなう必要が生ずる。

本研究では、光谷（1987 a）の相関分析手法を用いて以下に行なった。

まず標準化を次式①で行った。

$$X(i) = \frac{A(i)}{(A(i-2)+A(i-1)+A(i)+A(i+1)+A(i+2)) \div 5} \times 100(\%) \dots\dots\dots ①$$

A (i-2), A (i-1), A (i), A (i+1), A (i+2) はそれぞれ連続する年輪幅データである。X (i) は、ある年の年輪幅をその年とその前後2年、合計5年の連続する年輪幅の平均値で割り、その値を百分比で表したものである。この計算を1年ずつずらしながら、順次この百分比を求めていき、そして、ここで求めた値を分布関数に近づけるために自然対数に変換した。

2つの年輪を比較し年代を合わせる場合の判定基準として、t 検定を行ない年代の重複位置を決定する方法がある。t 検定を行なうためにまず、先に求めた自然対数値を用いて相関係数 r を求める。相関係数の求め方は次式②によって与えられる。

$$r = \frac{\sum x_i y_i - N \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{(\sum x_i^2 - N \bar{x}^2)(\sum y_i^2 - N \bar{y}^2)}} \dots\dots\dots ②$$

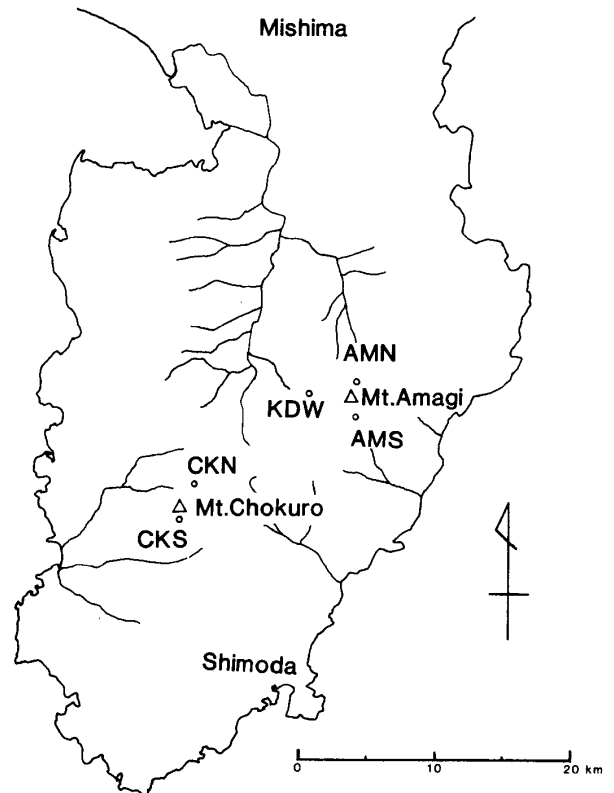


図3 試料採集地点。
KDW: カワゴ平西部, AMN: 天城山北側, AMS: 天城山南側, CKS: 長九郎山南側, CKN: 長九郎山北側

x_i, y_i は相関を求める2つの年輪幅を、先の標準化で計算した自然対数値である。 \bar{x}, \bar{y} は各々の木の年輪幅 (mm) の自然対数値の平均値、N は自然対数値データの個数 (年輪数マイナス4個) である。この計算を、一方の年輪幅データを基本にしてもう一方の年輪幅データを1年ずつずらしながら行っていき、そのたびごとの相関係数 r を求め、同時に t 検定を行う。t 検定の計算式は次式③の通りである。

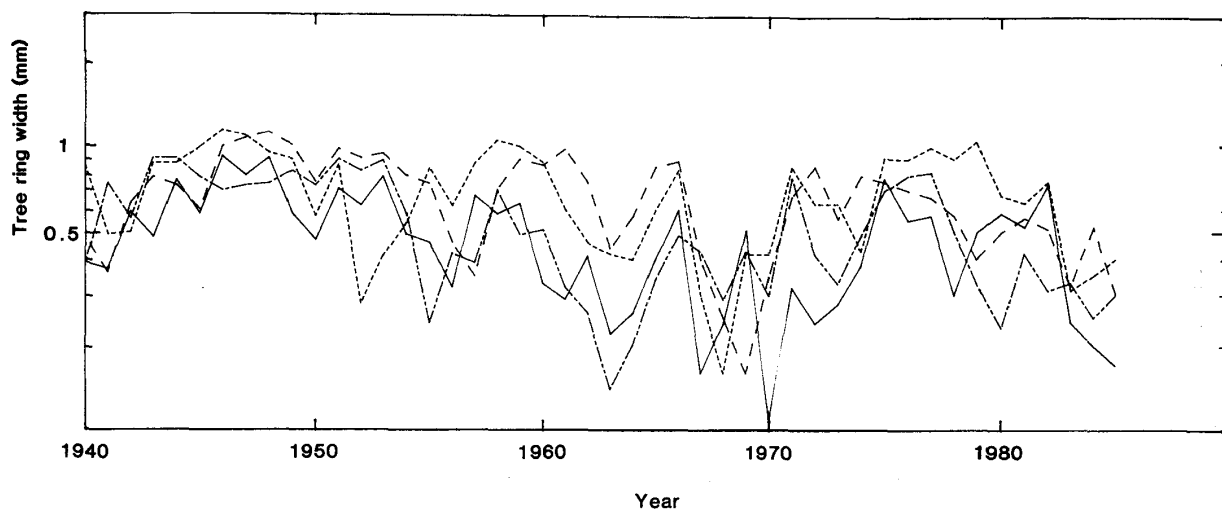


図4 CKS-5の4方向の年輪幅曲線。東—, 西——, 南……, 北—

$$t = r\sqrt{(N-2)/(1-r^2)} \dots\dots\dots ③$$

この t 値が最高値を示すところで、2つの年輪の年代が最もよく合っていると考えられる。

統計上危険率0.1%以下で t 値が3.5以上となる。

4. 測定結果

同一の杉の木で地上高の違う部分の年輪幅の測定を行った。図5は AMN-3-1, 3-2, 3-3 (地上高はそれぞれ1 m, 4 m, 8 m) の年輪幅のグラフである。このグラフは一見しただけでも、3つの曲線の増減関係はよく一致していると思われる。この3つの試料について t 検定を行い、その結果を表2 Aにまとめた。3つの試料ともそれぞれ高い値を示しており、年輪幅の増減関係に高い相関があることが分かる。このことから、杉には地上高による年輪幅の差異というものはほとんどなく、どの高さのものでもその木の年輪幅データとして扱うことが可能である。

年輪年代学では、年輪幅の変化パターンがある場所で完全に合致し、他の場所では必ずずれている必要がある。そこで年代の合致した時と、そうでない時とで t 検定値にどの位の差があるかを調べてみた。今回用いた試料はすべて現生木であり、伐採年代がはっきりと分かっているため、年代の合っているところを0年とし、ずらした年数を横軸に、それに対する t 値を縦軸にとった。AMS と CKS の試料の年

代のずれによる t 値の変化を図6に示した。このグラフより、2つの年輪の年代が合致しているときに t 値が最高値を示すことが分かる。年輪幅が数少ないので、長期間の中でどの程度相関の高いパターンが見られるかは、今後調べる必要がある。

年輪の年代を合わせる方法には、t 検定を用いる方法の他に、視覚的に合わせる方法がある光谷 (1984)。図7 A~Dは測定した年輪幅のグラフである。これらのグラフはそれぞれの地点で得られた個々の試料の年輪幅データを合計、平均したものである。この図を見ると、すべての曲線が共通して特徴的に同じ変化動向を示す部分がある(例えば1970年、1966年、1954年など)。このような部分を“指標年輪”という。この指標年輪を目安にして年代を合わせるのである。この図から、それぞれの年輪曲線はほぼ同じような変化動向を示しており、指標年輪を用いた年代測定法も使用可能であると思われる。図7に示した年輪曲線の t 検定値を、表2 Bに示したので参考にさせていただきたい。

以上のようにして、伊豆半島内の杉の年輪は、樹齢50年程度の材でも相互に生長パターンにかなり高い相関があることが判明した。このような高い相関がどのくらいの地域内で認められるのか、また古い試料としては埋没林などや、巨木などを使って過去に遡る必要がある。また¹⁴C年代測定とは相補的に行なわれるべきものであろう。杉材だけでなく、他の樹種の年輪との比較を行うことなどが今後の課題である。

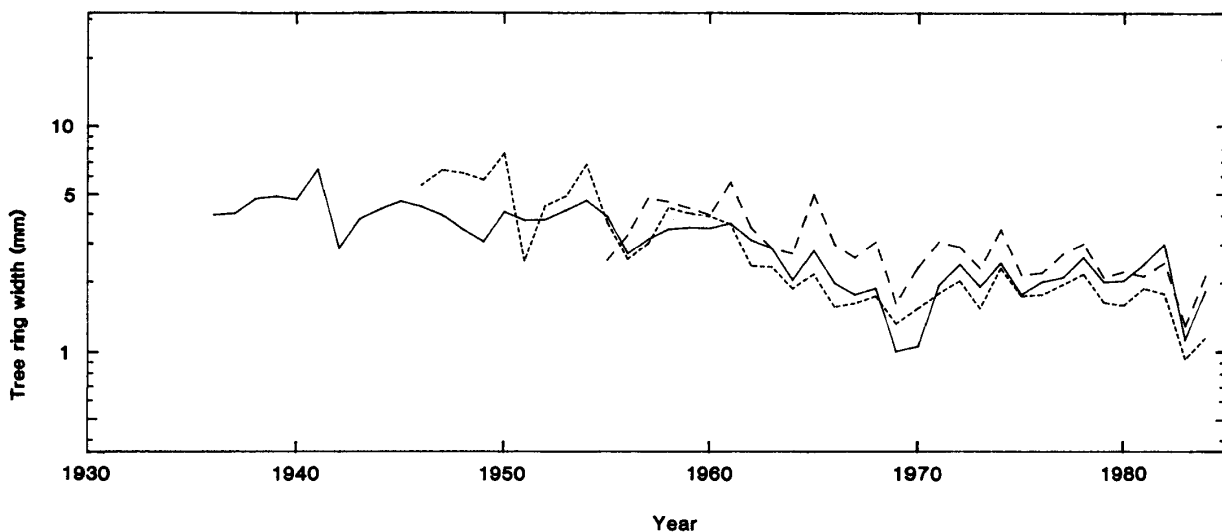


図5 同一杉の高さのちがいによる年輪幅曲線.
 AMN 3-1 (1m)——, AMN 3-2 (4m)....., AMN 3-3 (8m) - - -.

表2 A: AMN 3-1 (地上高1m), 3-2 (4m), 3-3 (8m)の年輪幅データのt検定値.
 B: 伊豆半島各所の年輪幅データのt検定値.

AMN	3-2	3-3
3-1	4.21	5.01
3-2	—	4.67

(A)

	CKS	AMS	AMN	KDW
CKN	3.95	3.84	4.09	6.73
CKS	—	4.65	3.14	1.56
AMS	—	—	6.83	1.90
AMN	—	—	—	3.23

(B)

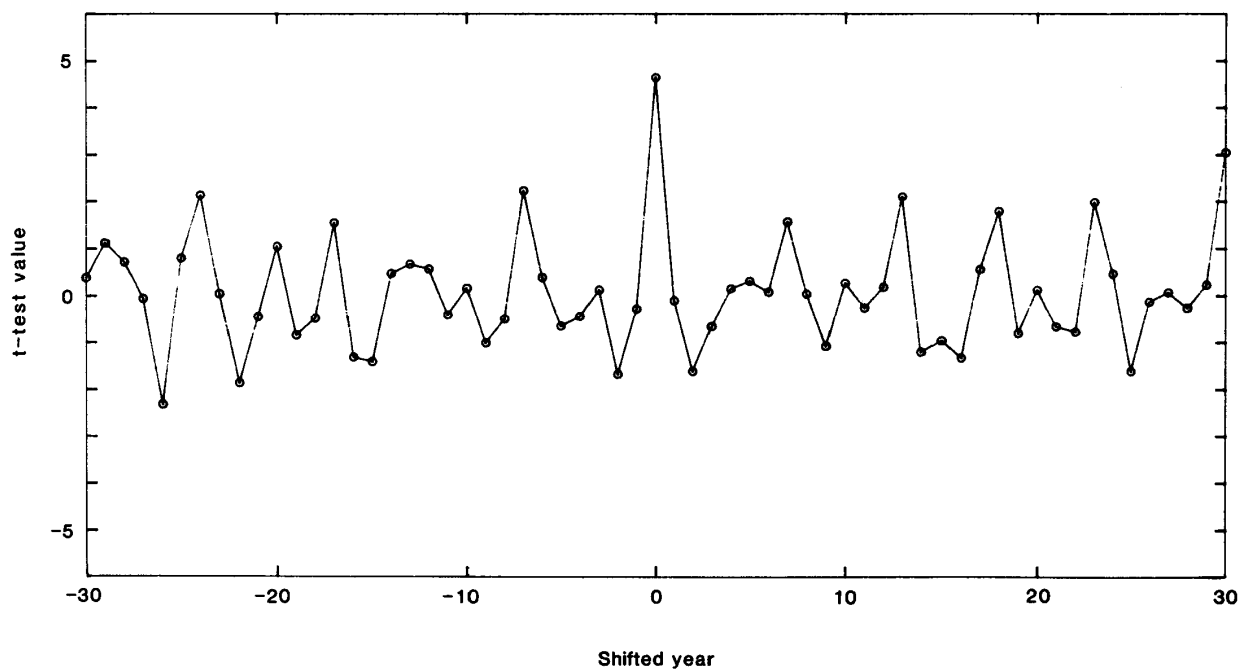


図6 AMSとCKSの年輪幅データの年代のずれに対するt検定値.

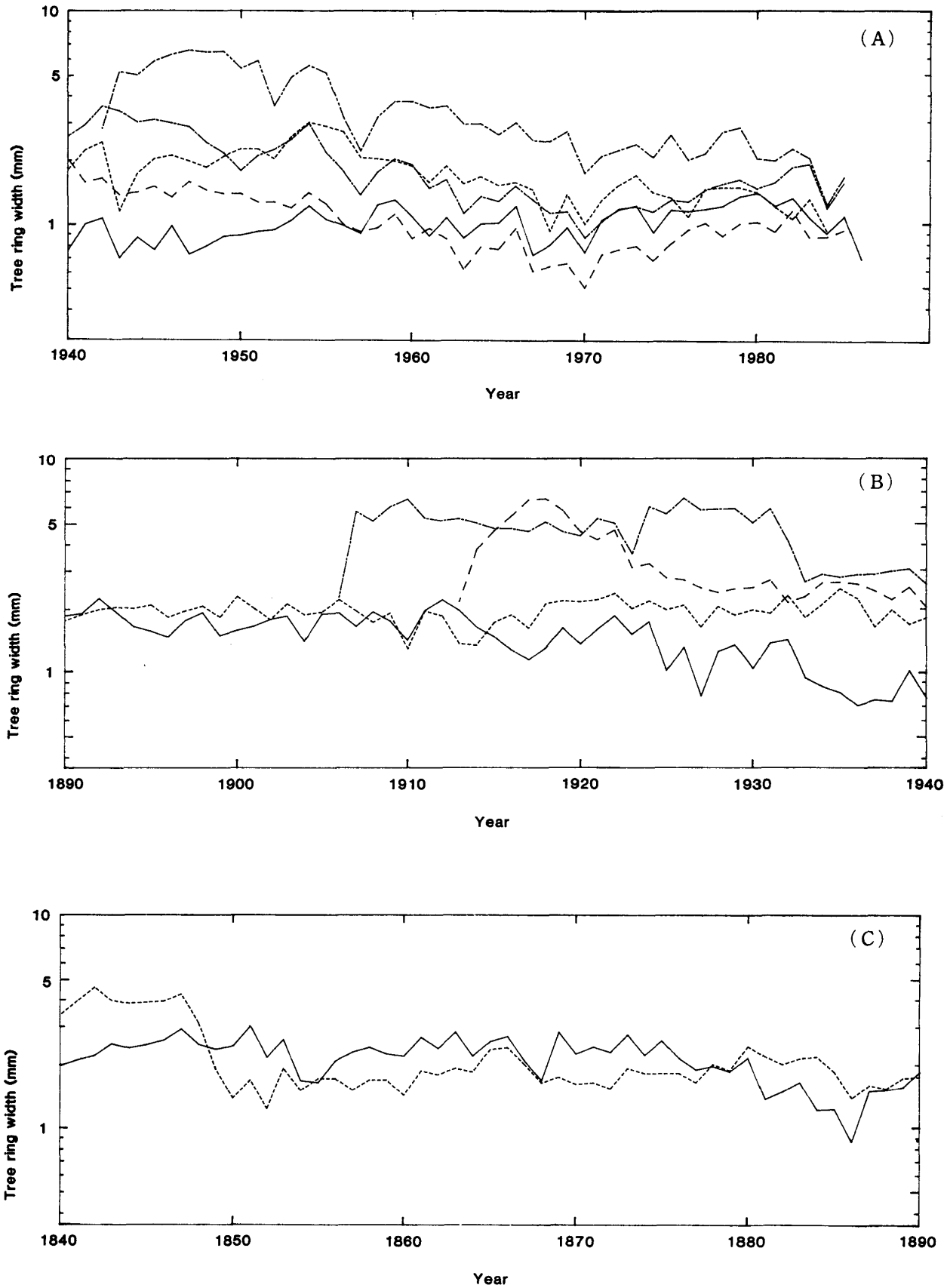


図7 伊豆半島各所の杉年輪曲線 (次ページに続く).
 A: 1940-1986, B: 1890-1940, C: 1840-1890, D: 1790-1840
 KDW (·····), AMN (—), AMS (—), CKS (—), CKN (~~~~).

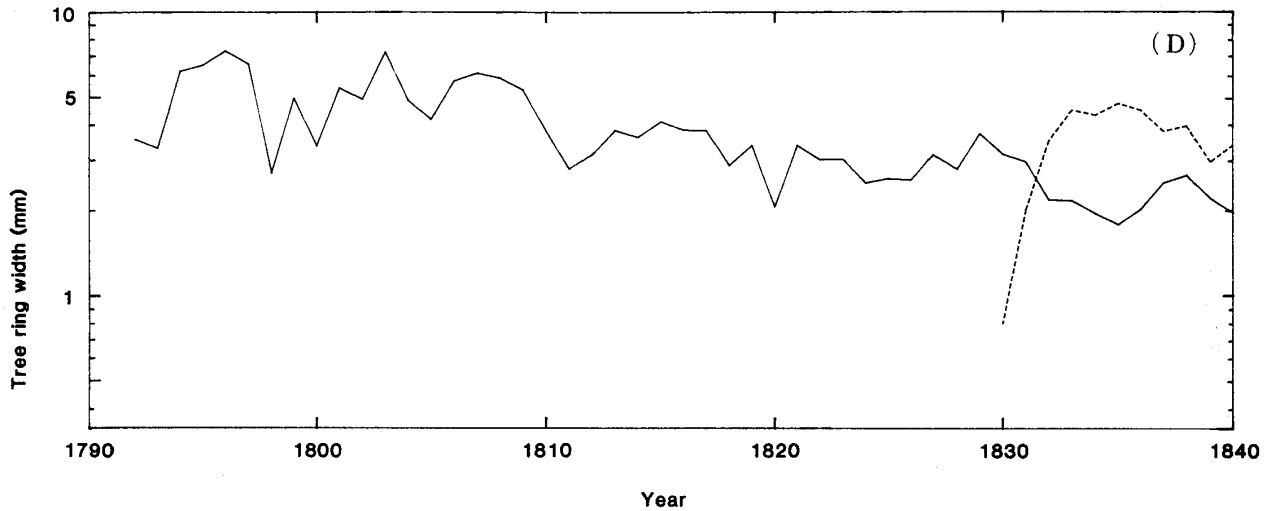


図7 伊豆半島各所の杉年輪幅曲線（続き）.

謝 辞

本研究を行うにあたり、静岡大学工作センター金工室の加藤睦男氏には年輪読み取り器作成に関して、設計から完成まで親切に御指導して頂いた。国立奈良文化財研究所の光谷拓実氏には年輪年代学について様々な問題点を御教示して頂き、静岡大学鮫島輝彦教授とともに本稿の査読をして頂いた。試料採取にあたっては、天城営林署ならびに河津営林署の方々に御協力をしていただき、貴重な試料を得ることができた。また静岡大学大学院生北川浩之、岩橋悟の両氏には年輪幅測定のコピューター化に際して多くの御協力をして頂いた。ここに記して感謝をいたします。

文 献

- FRITTS, H.C. (1976), *Tree Rings and Climate*. pp. 567, Academic Press, London.
- HUGHES, M.K., KELLY, P.M., PILCHER, J.R. and LA-MARCHE, Jr., V.C. (1982), *Climate from Tree Rings*, pp. 223, Cambridge University Press.
- 光谷拓実(1984), 日本における年輪年代学. 名古屋営林雑誌『みどり』312号.
- (1987a), わが国における年輪年代学の確立とその応用(第1報) 現生木のヒノキによる年輪変動パターンの特性検討. 木材学会誌, **33**, no. 3, 165-174.
- (1987b), わが国における年輪年代学の確立とその応用(第2報) 産地を異にするヒノキ相互間およびヒノキと異樹種間との年輪変動パターンの相関分析. 木材学会誌, **33**, no. 3, 175-181.
- 成瀬 洋 (1982), 第四紀. 269pp. 岩波書店, 65-80.
- 野田真人・東村武信 (1985), 年輪年代法2. 昭和60年度日本文化財科学大会研究発表要旨, 13-14.