

日本産スギ・ヒノキの PIXE 分析

—文化財試料への応用をめざして

景守紀子、川井秀一、矢野健一郎^{*1}

二ツ川章二^{*2}、世良耕一郎^{*3}

京都大学木質科学研究所
611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

^{*1} 東京芸術大学美術学部
110-0007 東京都台東区上野公園 12-8

^{*2} (社) 日本アイソトープ協会仁科記念サイクロトロンセンター
020-0173 岩手郡滝沢村字留が森 348-58

^{*3} 岩手医科大学サイクロトロンセンター
020-0173 岩手郡滝沢村字留が森 348-58

1 はじめに

最古の木造建築を保有しているわが国においては、古い木質文化財は専門家だけでなく一般の人々の関心も高い。たとえば、歴史的建造物や埋蔵文化財が科学的に調べられた場合、その結果がしばしばマスメディアで大きく報道され、話題になる。その樹種がヒノキやスギであった場合、年代決定には年輪年代法が用いられることが多い。

年輪年代法は、年輪幅と暦年との関係を表す標準暦年パターンと、年代不詳の木材の年輪パターンを照合することによって年代を決定する方法である。この方法は 1910 年代からアメリカで研究され、その後ヨーロッパ各国においても考古学、地質学、建築史、美術史、気候学などに広く適用されてきた。近年わが国においても年代決定法として文化財に応用されるようになった。

ところで、年輪年代法に用いる木材試料の形状について、光谷¹⁾は3つの型すなわち、樹皮型、辺材型および心材型に分類し、その良否を説明している。樹皮型は樹皮がついている試料または樹皮に一番近い年輪が残存している試料であり、伐採年代もしくは枯死年代を知ることができる。辺材型は試料の一部に辺材が含まれているものであり、切り取られた辺材部の年輪数を推定することにより、伐採年代が推定できる。また、心材型は辺材をまったく含まず心材のみの試料であり、実際の心材部のどれだけが残存しているのか、切り取られた心材辺材の部分が推定できないため、伐採年代の推定が難しい試料である。

したがって、辺材の有無は試料の価値を大きく左右することになる。通常、新材のスギ、ヒノキでは心材(中心部の暗色部分)、辺材(心材外側の淡色部分)の判別は目視によって判別できる(図1)。しかし、古材で

は材色が変色しているうえに、柱や仏像には心材が使われることが多いため、わずかな辺材が残存している場合、それを目視によって判断することはしばしば困難である。

そこで、少量の採取試料で辺材を判別する方法がないかと模索した結果、微量元素に着目した。もし、古材中の微量元素の含有量やその比によって心材辺材の判別が可能であるならば、木質文化財の年代決定に大いに寄与できるであろうと推察した。

ここでは古材の分析に取りかかる前段階として現生のスギ、ヒノキについて心材、辺材およびその境界部分に含くまている微量元素を PIXE 法によって分析した結果を報告する。

2 測定方法

2.1 試料

分析に用いたスギ(*Cryptomeria japonica* D.Don)は奈良県産、年輪数 98、樹皮型で、直径 50 cm、1998 年に伐採されたものであり、ヒノキ(*Chamencyparis obtuse* Thun. et Zucc.)は長野県産、年輪数 272、樹皮型で、直径 100cm、1999 年に伐採されたと推定、最外形成年輪を確認することができる。

表 1 スギの分析試料

部位	生育年
心材	1940 ~ 49 年
心材	1950 ~ 59
心材	1960 ~ 69
境界部	1970 ~ 79
辺材	1982 ~ 80
辺材	1985 ~ 83
辺材	1988 ~ 86
辺材	1991 ~ 89
辺材	1995 ~ 93
辺材	1998 ~ 96

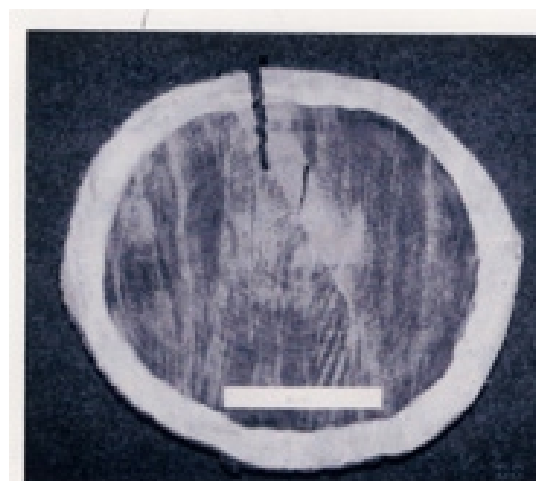


図 1 分析したスギの円盤

2.2 試料調製

スギ、ヒノキともに円盤状樹幹から丸鋸とノミを用いて年代ごとに分析用試料を切りとった。スギ試料は既報のデータと比較するため、表 1 のように 10 試料を切り分けたが、ヒノキ試料については今回心材による微量成分組成の違いの有無を調べるだけに留めたため、辺材部から 2 試料、心材部から 2 試料、境界部から 1 試料を切り取った。それぞれの切片は振動ミルによって粉末にし、篩にかけて、100 メッシュより細かい部分を 105 で 24 時間乾燥した。スギについては硝酸灰化法²⁾で液化した後、バックリング膜に滴下し、PIXE 分析に供した。ヒノキはより簡便な Pd-C 粉末法³⁾によって試料調製をした。

測定は、NMCC にて常法により行われた。

3 結果と考察

得られた結果は、図 2・3 および 5 に示されている。

試料中から検出された微量元素は Na から Pb まで 29 元素であった。これらは現生の木材中に普通にみられる元素⁴⁾であり、各元素の含有率についても異常値はなかった。それらの含有率を年代との関係で見ると、K, Mg, Cl, Al は年輪の年代が古くなるにつれて、含有率が増加する傾向にあり、Ca, Sr, Mn は逆に減少する傾向が認められた(図 2)。そこで、含有率の比較的大きい K (5611~236 $\mu\text{g/g}$) と Ca (928~279 $\mu\text{g/g}$) の比をとり、年輪年代との関係を検討した。図 3 では、辺材の Ca/K 比は 1.04~0.71 の範囲にあり、年輪の生育年が古くなるにつれて、すなわち心材に近づくにつれてわずかに減少し、境界部から心材では、急激に増大している。また、心材の Ca/K 比は 9.44~6.63 であり、辺材に比べて約 9 倍大きい。

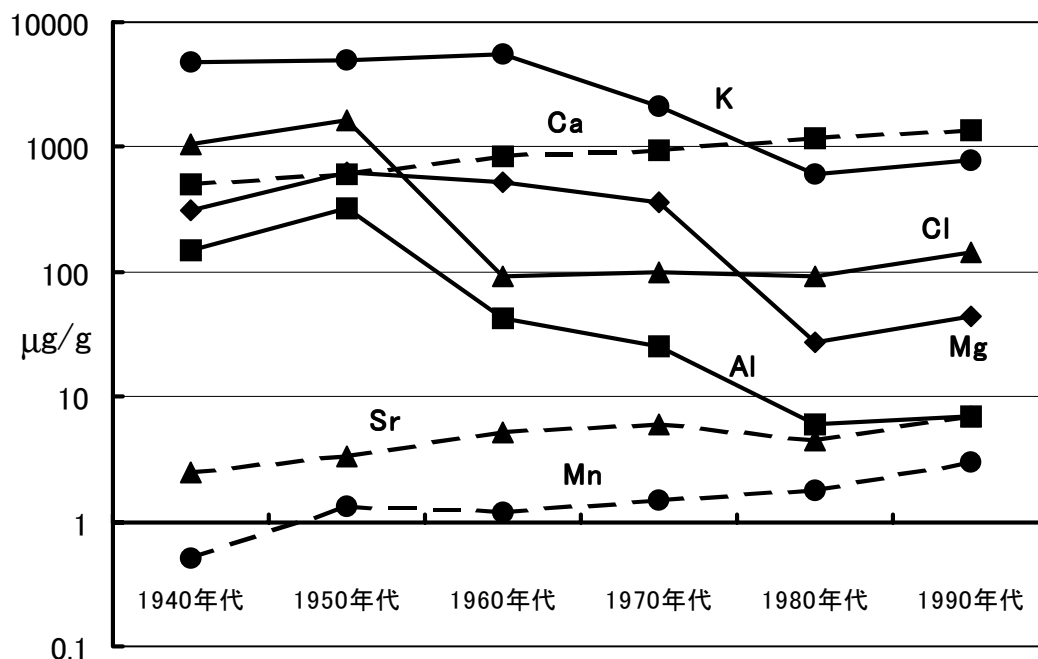


図 2 スギ樹幹の主要な微量元素と年輪年代との関係

いっぽう、木材中の Ca, K 含有率を報告した論文は決して少なくないが、その中から、樹種(スギ) 部位(樹幹、心材、辺材の区分) 分析値の精度を考慮して、片山ら⁵⁾(1986)、片山ら⁶⁾(1987)、岡田ら⁷⁾(1987)、港ら⁸⁾(1990)による分析値との比較を試みた。かれらは、スギ樹幹内での微量元素の分布および移動性を明らかにする目的で、芦生産(京都府) 屋久島産、徳山産(山口県)スギの樹幹について熱中性子放射化分析をおこなった。これらの報告のうち、港ら⁸⁾(1990)と片山ら⁵⁾(1986)の分析値をもとに図 4 を作成した。

図 4 について、まず、辺材から心材への Ca/K 比の変化曲線の形状についてみると、図 3 同様に、Ca/K 比は心材で大きく、辺材では小さい、かつ、その差はいちじるしい。すなわち、その差は、図 4 A ではおよそ 10 倍、図 4 B では 5 倍である。

つぎに、Ca/K 値の変動範囲についてみると、奈良産スギ(図 3)では 9.48~0.71、芦生(図 4 A)では 5.38~0.29(以上は年輪数 100 オーダー)であるのに比べ、屋久スギ(図 4 B)では 2.40~0.20(年輪数 1000 オーダー)であり、かなり小さい。すなわち、Ca/K 値は試料によって変化の幅は異なっている。

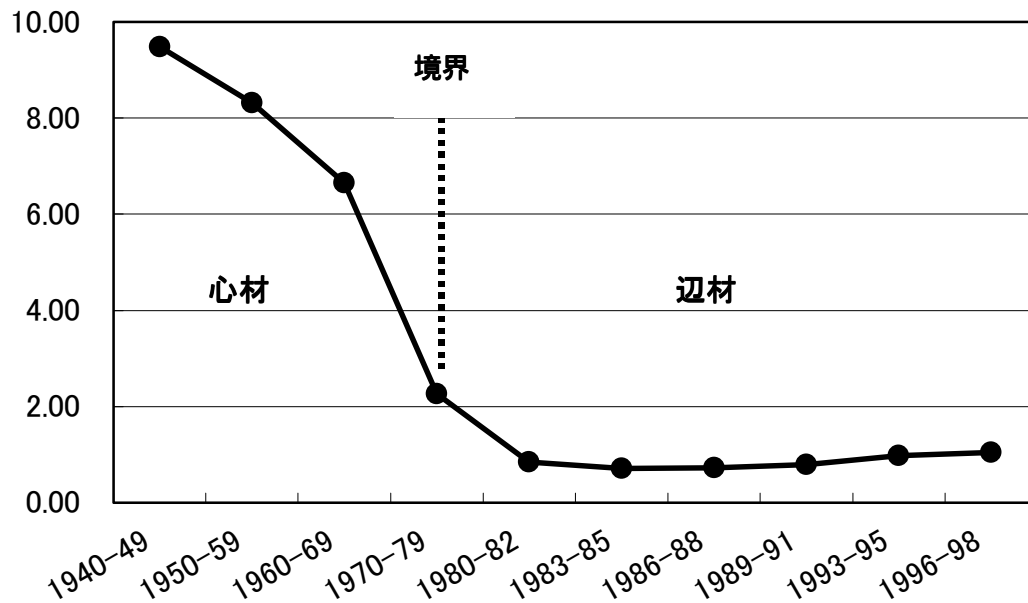


図3 スギの心材と辺材における K/Ca 比と年輪年代

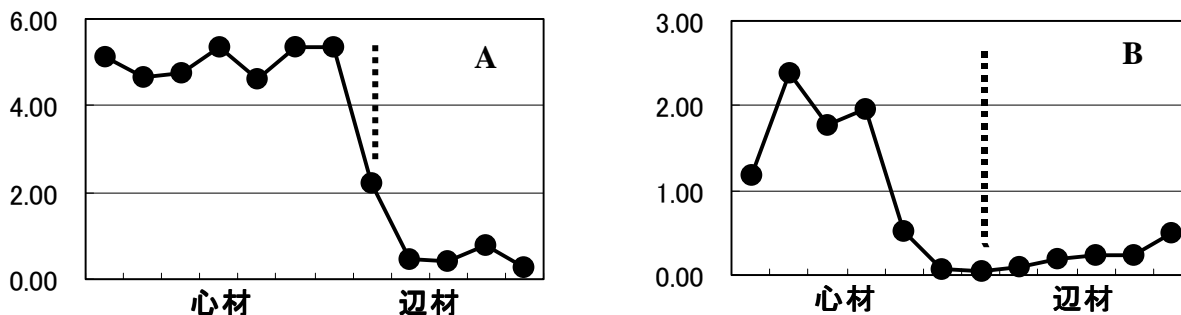


図4 スギの心材と辺材における K/Ca 比

A は港ほか(1990)の分析値 (153 年輪) を、B は片山ほか (1986) の分析値 (1369 年輪) をもとにグラフ化したもの

以上の図3・4から明らかなように、スギ樹幹の Ca/K 比は心材と辺材でかなり差が大きいこと、辺材ではその値がおおむね 1 以下であることが言えそうである。このことは片山ら⁶⁾や岡田ら⁷⁾による他の分析結果とも一致している。しかし、今後、木材中の Ca/K 値によって心材辺材の判別する方法を確立するためには、産地、樹齢など生育環境の異なるスギについて分析データの集積が必要であることはいうまでもない。

同時に、図3・4において、それぞれの Ca/K 比変動曲線パターンが異なること、とくに心材における変動曲線の形状や変動幅がかなり異なっているに注目したい。このような結果は、辺材が年月の経過に伴って心材に変化するという樹木生理と関係していると思われる。一般に、樹木が活着している時は K や Ca

は細胞中では水和調節や酵素の活性化に関与し、たがいに拮抗的な関係にあることが知られている。たしかに筆者らの分析結果だけでなく、片山ら⁵⁾、岡田ら⁶⁾、港ら⁷⁾の分析値においても、心材辺材中でKとCaの含有率は拮抗的な関係を示している。このことは、木材中に過去の樹木生理作用が原子レベルで残されているならば、古い木材の生育環境が推定できることを示唆しているのかもしれない。

最後に、ヒノキの分析結果を図5に示した。図5では、心材のCa/K値が辺材に比べて大きいですが、その差は小さく、その値も小さい。しかし、今回は試料をPd-C粉末法³⁾で調製したため、スギの分析結果と比べることは控え、硝酸灰化法²⁾であらためて分析し、再検討したい。

今後ひきつづきスギ、ヒノキのK/Ca比を調べ、樹幹内での分布の特徴が辺材識別にどの程度有効であるか検討したい。

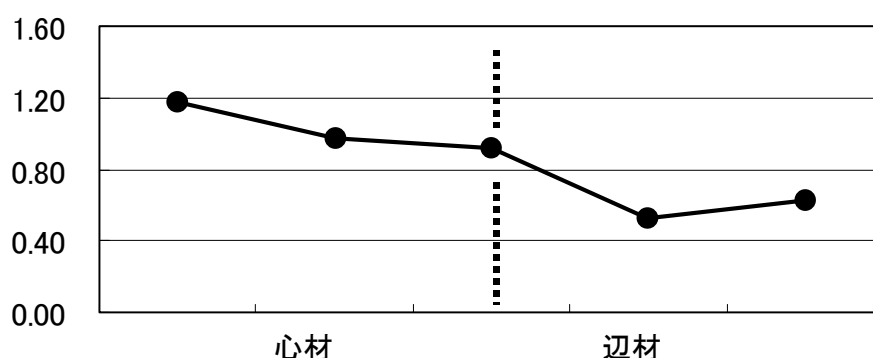


図5 ヒノキの心材と辺材におけるK/Ca比

謝辞

本研究を進めるにあたり、貴重な木材試料を御提供くださった大阪市立大学理学部地球学研究科の吉川周作教授、ならびに試料の年輪年代を測定して下さった奈良文化財研究所光谷拓実博士、東北大学理学部大山幹成博士、分析にご協力下さった仁科記念サイクロトロンセンターの方々に深く感謝いたします。

文献

- 1) 光谷拓実、年輪年代法と文化財、日本の美術第421号、31ページ、至分堂(2001).
- 2) S. Futatsugawa, S. Hatakeyama, S. Saitou and K. Sera, Present status of NMCC and sample preparation method for bio-samples, Int. J. PIXE, 3, No.4, 319-328 (1993).
- 3) K. Sera and S. Futatsugawa, Quantitative analysis of powdered samples composed of High-Z elements, Int. J. PIXE, 8, Nos.2 & 3, 185-202 (1998).
- 4) 景守紀子、二ツ川章二、世良耕一郎、材化石に含まれる無機成分のPIXE分析、NMCC共同利用研究成果報文集5、189-193(1997).
- 5) 片山幸士、岡田直紀、石丸 優、野淵 正、山下 洋、青木 敦、屋久島産スギの微量元素の熱中性子放射化分析、RADIOISOTOPES, 35, No. 11, 577-582 (1996).
- 6) 片山幸士、環境指標としての樹木年輪の有効性、樹木年輪短期研究会報告書、京都大学原子炉実験所、49-59(1987).
- 7) 岡田直紀、片山幸士、野淵 正、石丸 優、山下 洋、青木 敦、樹木中の微量元素(第1報)、木材学会誌、33, No. 12, 913-920(1987).
- 8) 港 和也、小島永裕、石丸 優、片山幸士、スギ樹幹に含まれる微量元素の各種抽出操作による移動性、京都大学農学部演習林報告、No. 62, 326-337(1990).