

# マイクロフォーカスX線CT による非破壊年輪年代測定

はじめに 年輪年代法は、木造文化財の調査において一年単位で年代を決定できる自然科学的年代決定法として、重要な役割を担っている。従来、年輪年代測定のための年輪幅の計測は、試料表面でおこなわれるのが通常であった。この場合、試料表面に彩色や漆塗が施されている場合、試料表面の凹凸が激しい場合、あるいは試料表面が劣化している場合には、年輪幅を正確に計測することがきわめて困難であった。また、生長錐などを用いて対象からコアサンプルを抜き取る方法や計測箇所に切削研磨などの加工を施す方法は、非破壊計測を原則とする木造文化財の調査には適用できない。したがって、非破壊で試料内部の年輪を計測する方法の実現が望まれてきた。これまでもX線CT装置を用いて非破壊で年輪を計測する研究は国内外でおこなわれてきたものの<sup>1-3)</sup>、装置の解像度の点で問題があり、木造文化財の年輪年代測定に際して最も重要である幅1mm未満の狭小な年輪層の計測ができなかった。

**研究目的** 本研究の目的は、マイクロフォーカスX線CT装置を用いて木造文化財試料内部の高解像な年輪断層画像を取得し、これから年輪データを収集することで非破壊年輪年代測定をおこなう技術確立することである。

**装置概要** 奈良文化財研究所では、非破壊年輪計測用に特注したマイクロフォーカスX線CT装置（島津製作所SMX-100CT-D）を導入し、2004年度から運用を開始した。装置の構成図・外観・撮像系を図53～55に示す。この装置は、最高出力100kV・焦点寸法5 $\mu$ mのX線管球と4

inch高感度イメージインテンシファイアを備えており、木材などの比較的X線吸収の少ない試料を高解像で断層撮影するのに特化した仕様となっている。本仕様は、装置導入に先立って筆者らのおこなってきた先行研究<sup>4)</sup>の結果をもとに決定したものである。撮影試料を載せる回転昇降ステージは、計測対象箇所全域にわたって高解像な断層画像を撮影するためのスライド機構を備えており、直径30cm・高50cmの範囲の断層画像の取得が可能である。この範囲を超えるような撮影対象であっても、直径50cm・高1m以内のものであれば、撮影方法を工夫することで断層画像を取得できる可能性がある。

**実験および結果** 実際にこの装置を文化財調査に応用することを想定し、個人所蔵の木彫像数点について、上記装置を用いて断層撮影実験をおこなった。本報では男神像と迦陵頻伽の事例を紹介する<sup>5)</sup>。

①男神像 高27cm・岩座幅14cm・岩座奥11cm。岩座と本体が一木から形成されたヒノキの男神像で、表面には彩色が施されている（図56）。岩座の正面左角が最外層年輪箇所である。X線管電圧65kV・X線管電流95 $\mu$ A・撮像

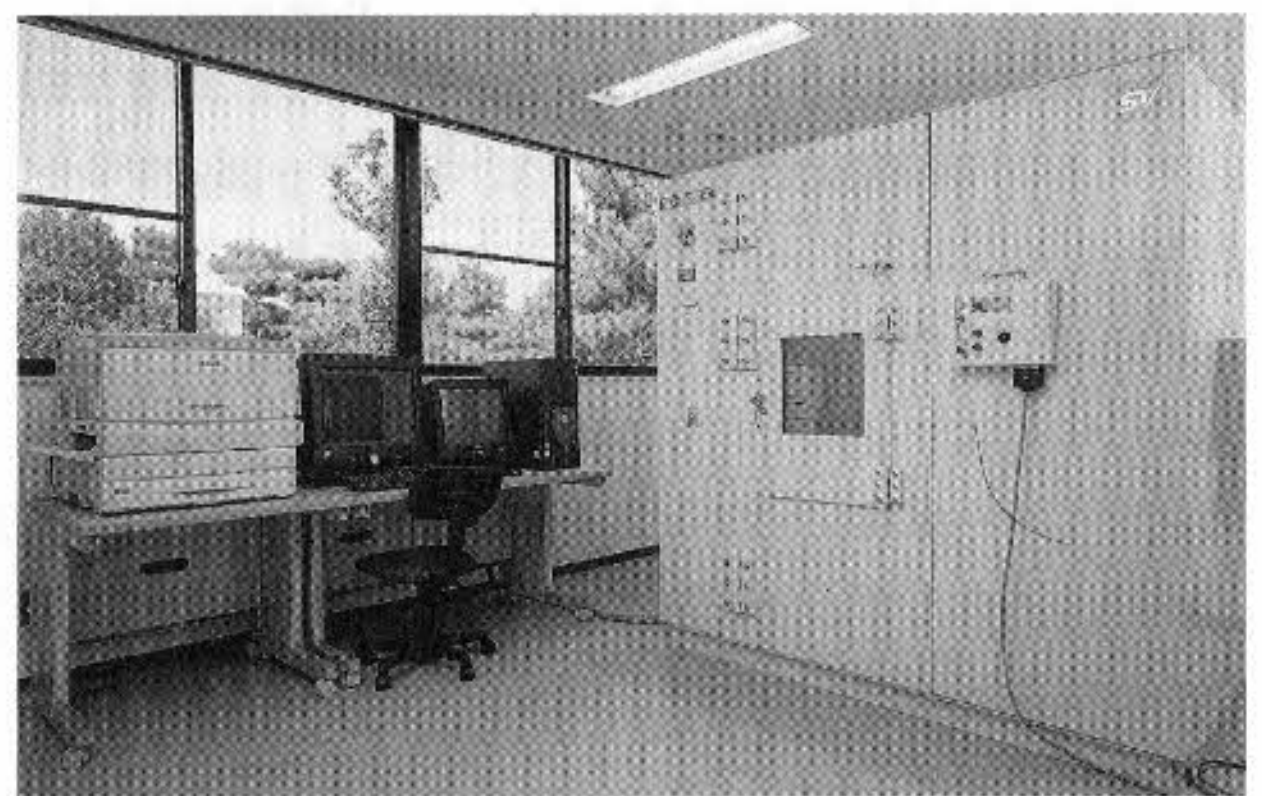


図54 マイクロフォーカスX線CT装置の外観

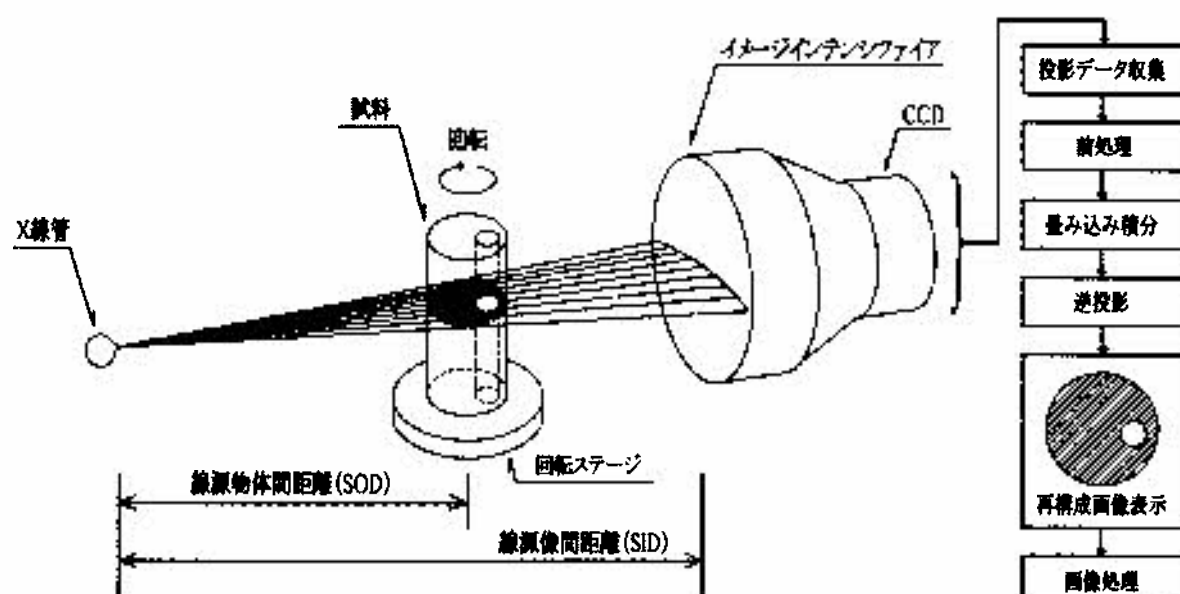


図53 マイクロフォーカスX線CT装置の構成図

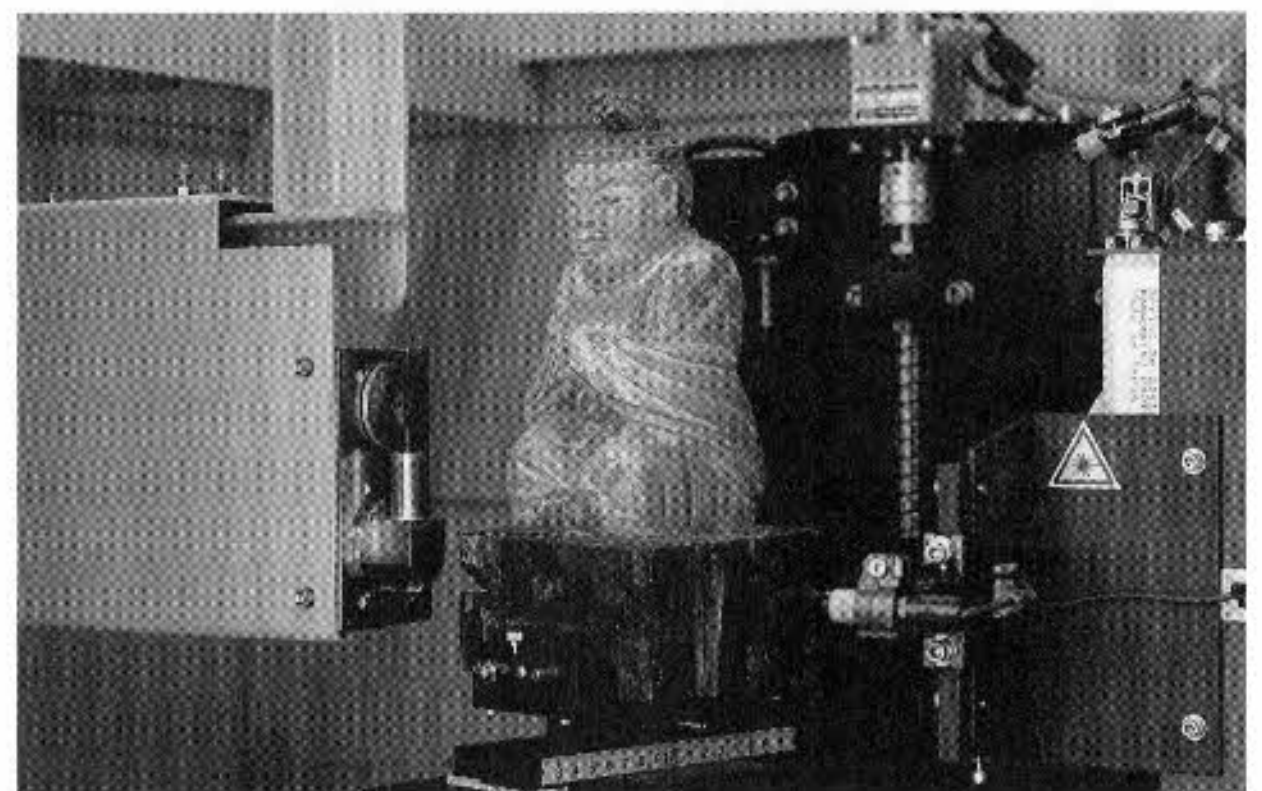


図55 マイクロフォーカスX線CT装置の撮像系



図56 男神像



図58 迦陵頻伽

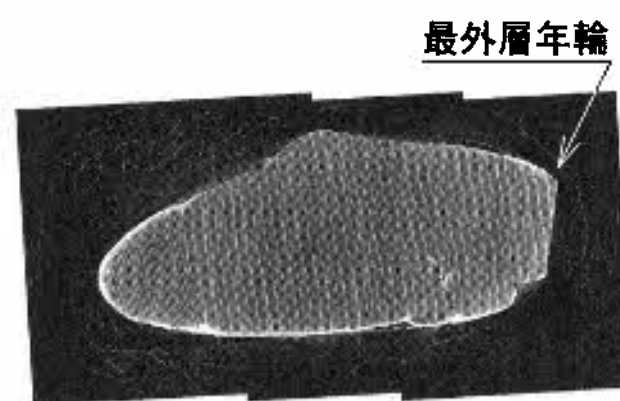


図59 肩部の断層画像



図57 岩座の断層画像

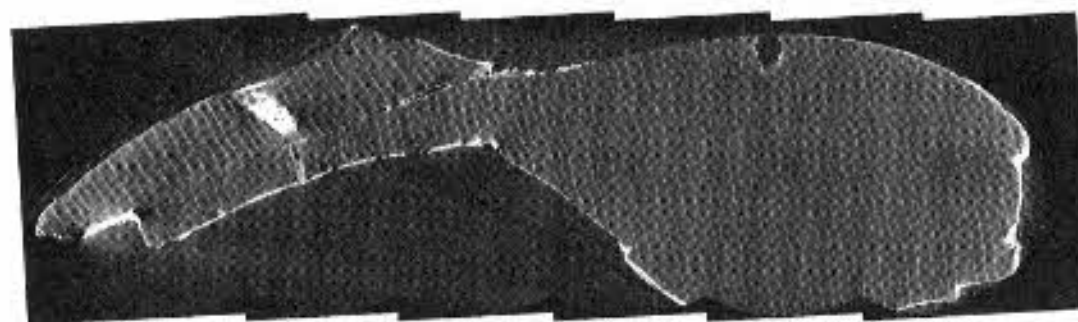


図60 大腿上部から尾羽にかけての断層画像

視野28.8mmの条件下で断層撮影をおこなった。岩座部分を10枚の断層画像で構成したところ、計測箇所には187層の年輪を確認することができた(図57)。当研究所で開発した年輪画像計測システムを用いて、コンピュータ上で計測精度28 $\mu$ mの条件下で年輪幅の計測をおこなった。ヒノキの暦年標準年輪パターンと照合した結果、1555年の年輪年代を得た。彩色のため、辺材や樹皮の存在を確認することができず、これは製作の上限年代を示している。

②迦陵頻伽 高11cm・幅10cm・奥3cm。光背に取り付けられていたと思われる泥地漆箔のヒノキの荘厳具である(図58)。肩の部分、大腿上部から尾羽にかけての部分の2箇所を、X線管電47kV・X線管電流53 $\mu$ A・撮像視野28.7mmの条件下で断層撮影したところ、腕と尾羽の部分を別材で矧いだ構造であることが判明した(図59・60)。年輪数は、断層撮影した2箇所を合わせても86層を数えるにとどまった。ヒノキの暦年標準年輪パターンとの照合をおこなったが、当研究所の年代照合基準(年輪数 $\geq 100$ かつt値 $\geq 5$ )を満たすことができず、年輪年代不明との結論に至った。年輪年代を測定することはできなかったものの、金箔が施された仏像でもメタルアーチファクトなどの影響を受けることなく非破壊年輪計測が可能なことを確認した。

まとめ 以上の実験事例により、マイクロフォーカスX線CT装置が木造文化財の非破壊年輪年代測定に有効であることを確認し、非破壊年輪年代測定技術を確立す

るという所期の目的を達成することができた。今後はこの技術を木造文化財の調査にひろく活用していきたいと考えている。対象となるのは、仏像や神像などの木彫像、漆器などの木工芸品、小型の建築部材などで、前記寸法範囲内に収まる大きさのものである。なお、寺院や神社などの文化財所有者、大学や博物館などの文化財調査研究機関、都道府県や市町村などの公的な機関からの依頼があった場合には、当研究所は本報で紹介した非破壊年輪年代測定技術を用いた木造文化財の調査研究に協力させていただく用意がある。(大河内隆之・光谷拓実)

本研究は、科学研究費補助金若手研究(A)(研究代表者：大河内隆之)「マイクロフォーカスX線CTを用いた木造文化財の非破壊年輪計測に関する基礎的研究」の一環としておこなわれたものである。

#### 註

- 1) 尾上守夫ほか、「計算トモグラフィーの産業応用」、第13回画像工学コンファレンス、73-76, (1982)
- 2) M. Onoe, et al., "Computed Tomography for Measuring Annual Rings of a Live Tree", Proc. of IEEE, Vol. 71, July (1983)
- 3) P. Reimers, et al., "Dendrochronology by means of X-ray computed tomography (CT)", In Archaeometry: Proceedings of the 25th International Symposium, 121-125, (1989)
- 4) 大河内隆之ほか、「マイクロフォーカスX線CTによるヒノキ年輪の幅計測および密度解析」、第53回日本木材学会大会研究発表要旨集、16, (2003)
- 5) 奈良文化財研究所、「マイクロフォーカスX線CT装置を用いた木造文化財の非破壊年輪年代測定」、埋蔵文化財ニュース118, (2004)