

## 連載講座



## 中性子イメージング技術の基礎と応用 (応用編第8回)

中性子イメージングの美術品・史跡出土品検査への応用<sup>†</sup>

松林政仁, 増澤文武\*

独立行政法人 日本原子力研究開発機構  
319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

\*財団法人 元興寺文化財研究所  
630-8392 奈良県奈良市中院町 11

Key Words : neutron, neutron imaging, neutron radiography, art object, ancient artifact,  
sutra, Buddha statue, bronze mirror, ancient jar, textile, autoradiography

## 1. はじめに

我が国の古代文化財へのラジオグラフィの利用は、1934年、大阪府高槻市の阿武山古墳出土乾漆棺のX線ラジオグラフィ(XR)に始まる<sup>1)</sup>。その後、戦後になって仏像や絵画、建築物など多くのものに適用され一般化した<sup>2)</sup>。その理由は、文化財では非破壊試験を原則としており、脆弱なものを含むため非接触が求められ、外部から観察できない内部の状況や素材の組み合わせを掴むこと、加えて錆や劣化状態などを把握することが要求されるからである。それにはラジオグラフィが最も適している。

このような中において、経筒のような金属製容器の中に入った経巻や金属と有機物が組み合わせられた文化財の有機質部分をXRで画像として得ることは、金属元素のX線質量減衰係

数が大きく有機物のそれが著しく小さいため、困難であった。これを補完するものとして中性子ラジオグラフィ(NR)が取り上げられた。最初の文化財への応用は1975年の報告で、2000年前の中国の鼎の脚部内部の中子とインドグプタ王朝時代の仏像内部の中子、修理時に用いられた木材と接着剤の検出であった<sup>3)</sup>。我が国では、1983年の刀子と保存処理中の鉄剣、前者は金銅装<sup>\*1</sup>の柄と鋤<sup>\*2</sup>内部の木部の様子が、後者は補填したマイクロバルーン入りの合成樹脂と接合部の接着剤を画像として確認したことに始まる<sup>4)</sup>。

古代に用いられている主要な金属元素は金、銀、水銀、銅、錫、鉛、鉄であり、X線の場合、それらの質量減衰係数は、有機物を構成する元素：水素、炭素、酸素、窒素のそれに比べ著しく大きい。一方、中性子の場合、これらの金属元素の中で水銀を除いて質量減衰係数が有機物のそれに比べ著しく小さい。それゆえに金属

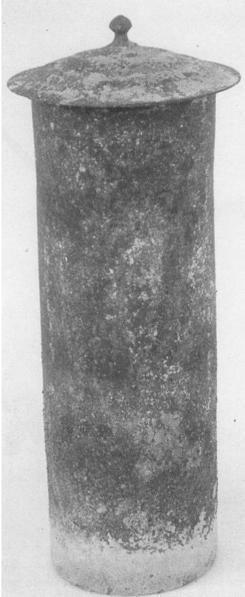
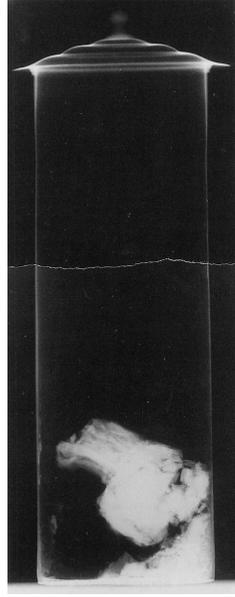
<sup>†</sup>Fundamentals and Applications of Neutron Imaging (Applications Part 8).

Application of Neutron Imaging to Inspection of Art Objects and Ancient Artifacts.

Masahito MATSUBAYASHI and Fumitake MASUZAWA\*: Japan Atomic Energy Agency, 2-4, Shirane, Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki Pref. 319-1195, Japan, \*Gangoji Institute for Research of Cultural Property, 11, Chuin-cho, Nara-shi, Nara Pref. 630-8392, Japan.

\*1 金アマルガムによる鍍金(金メッキ)ないしは金箔を貼った銅板で表面を覆ったものを「金銅装(こんどうそう)」と呼ぶ。鉄地金銅装、又は鉄地金銅張といい鉄地を覆い装飾したものが古墳から多く出土している。

\*2 刀の刀身が鞘から抜け出さないように鐔(つば)元を押さえる金具を「鋤(はばき)」と呼ぶ。

図1 一乗寺経塚出土経筒の概観<sup>5)</sup>図2 経筒のNR画像<sup>5)</sup>図3 経筒のXR画像<sup>5)</sup>

と有機物で構成される複合試料の場合、XRは金属部分の調査には適するが、有機物の観察は困難又は不可能である場合が多い。これに対してNRは金属容器内部にある、または共存する有機物を画像として捉え観察できることが期待される。

ここでは筆者らが中心となって実施してきた遺物等の検査の事例を紹介するとともに、美術品(絵画)への中性子イメージングの応用についても簡単に紹介する。

## 2. 金属製容器状資料及び内容物の可視化

### 2.1 兵庫県和田山町一乗寺経塚出土経筒(兵庫県立考古博物館)<sup>5)</sup>

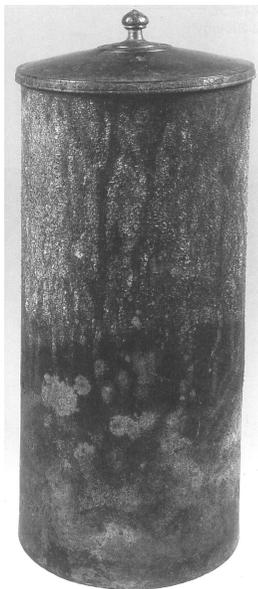
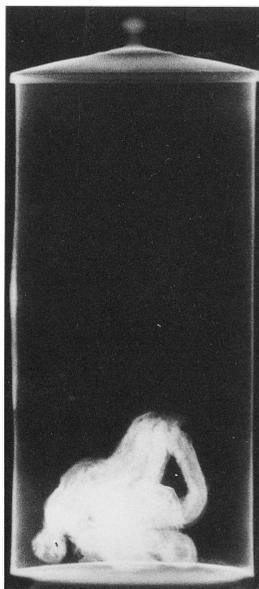
平安中期の末法思想に基づき、經典保存の目的で經典を経筒に入れ経塚に埋納された。本経筒は、図1に示される身と蓋から構成される平安時代(12世紀後半)の物で、高さ29.5 cm、直径12.1 cmである。底部では錆が進行している。動かすと音が聞こえ、経卷の残存が推定された。NR画像を図2に示す。内部の劣化した経卷の細片が経筒底部に溜まり、その上に曲がった塊状の経卷が観察された。蓋の構造、底

板と側板の継ぎ目の隙間、並びに蓋と筒のはめこみ状態が判別できる。XR画像を図3に示す。経卷の存在は判断できないが側板の濃淡の縦縞が観察され、これより銅板を筒状に曲げたものと推測された。経筒の鬆と孔食の状態、底板は錆が激しいこと、側板と底板の接合部は白い線から鑑付けによるものと判断される。

### 2.2 経卷の塊と青銅製経筒(奈良国立博物館所蔵)<sup>6)</sup>

平安時代の青銅製経筒(図4参照)であり、高さ29.5 cm、直径12.1 cmである。経卷は青銅製経筒の中で埋納中に劣化して灰色となり、収縮してよじれ糞状の塊と化していた。経筒自体は出土遺物としては保存状態が良く、金属表面が見られるものの、その多くは緑青による錆で覆われていた。NR画像を図5に示す。経筒部分は中性子が良く透過し、わずかに錆掛け<sup>\*3</sup>

\*3 金属製品にひびが入ったり、穴が開いたりしたとき、それと同じか、別の金属を溶かして、ふさぎ、修理又は強化することを「錆掛(いか)け」と呼ぶ。

図4 青銅製経筒の概観<sup>6)</sup>図5 青銅製経筒のNR画像<sup>6)</sup>図6 青銅製経筒のXR画像<sup>6)</sup>

部分が薄く確認できる。また内部の経巻の紙の重なり具合も良くわかる。XR画像を図6に示す。経筒の錆の状態や、<sup>い</sup> 鑄掛けの部分はコントラストが強く鮮明に捉えられている。しかし、内部にある経巻は頂部のみが画像として写っており、NRの経巻の画像を見なければ判断は困難である。

### 2・3 青銅製誕生仏 (大和文華館所蔵)<sup>7)</sup>

図7に示される仏像は江戸時代のもので、高さ16.7cmである。胸に髻が確認され、その部分に<sup>い</sup> 鑄掛けがなされている。足は<sup>い</sup> 鑄掛けにより補填され、その前面は、埋まりが厚く、内部をはっきりと見る事ができない。NR画像を図8に示す。頭部と胴部に対し、腕と手とのコントラストは図9に示すXR画像に比べて小さく、カブリがない。髻及び<sup>い</sup> 鑄掛けを観察でき、像の肉厚がわかる。仏像の中央の上下方向に3mm幅の帯と、側面からの画像には1mm幅の帯が観察される。腰には端部が交差する2本の線が走る。これらは<sup>なか</sup> 中子を固定する心材と推定される。また、胴から腰、膝にかけて薄く霞がかかった状態であるが、<sup>ちゆうぞう</sup> 鑄造時の<sup>なか</sup> 中子の砂と推

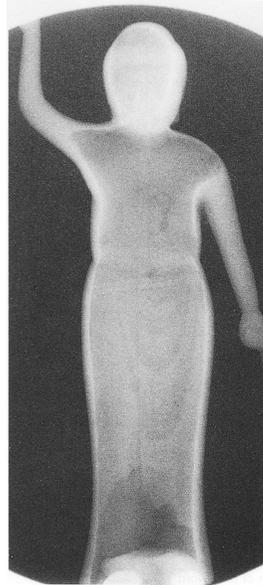
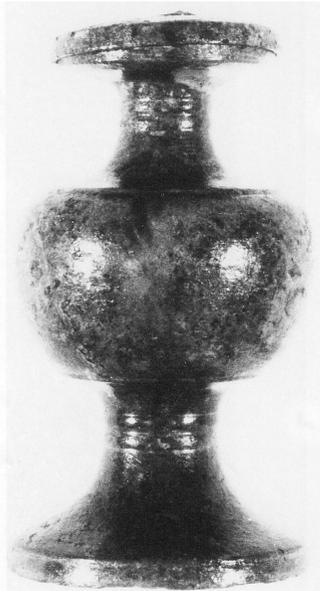
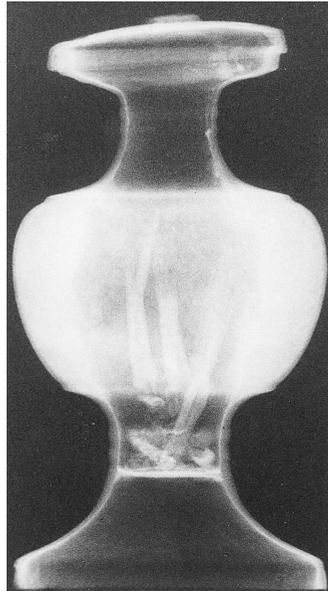
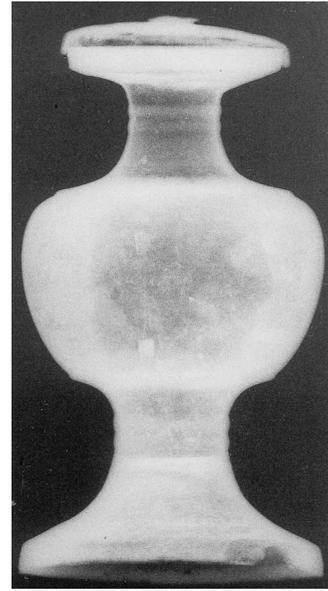
定される。あわせて足の<sup>い</sup> 鑄掛け部分が観察できる。これは、江戸時代を特徴とする“<sup>なか</sup> 包み中子”技法で、本来除くべき砂を<sup>なか</sup> 除くことなく、むしろ足の<sup>い</sup> 鑄掛けにより砂が漏れない処置がとられている。このことから江戸時代の製作になる仏像として間違いなことが証明された。XR画像では、頭部と胴部の肉が厚く腕や手のカブリが激しい。首の部分の肉が厚く、肩から胸は薄く、頭部と胴とは<sup>い</sup> 鑄込み<sup>い</sup> が異なる。胸の<sup>す</sup> 髻と足に<sup>い</sup> 鑄掛けが観察できる。

### 2・4 和歌山県根来寺出土賢瓶 (和歌山県教育委員会)<sup>8)</sup>

鎌倉時代—安土桃山時代の賢瓶<sup>5)</sup> (図10参照)で、高さ9.3cm、最大直径5.1cmである。本賢瓶は、根来寺の焼失した建物の一つで建造

\*4 溶かした金属を鑄型に流し入れること、また、そうして鑄物を製作する方法を「鑄込(いこみ)」と呼ぶ。

\*5 「賢瓶(けんびょう)」は仏具で、地鎮具として使われる。密教では地鎮供養をする際に、賢瓶の中に「五宝・五穀・五葉・五香」を入れて敷地中央に埋納する。

図7 誕生仏の概観<sup>7)</sup>図8 誕生仏のNR画像<sup>7)</sup>図9 誕生仏のXR画像<sup>7)</sup>図10 根来寺出土賢瓶の概観<sup>8)</sup>図11 根来寺出土賢瓶のNR画像<sup>8)</sup>図12 根来寺出土賢瓶のXR画像<sup>8)</sup>

する際の地鎮に際して埋納された遺物である。このような場合、中に五宝<sup>ごほう</sup>、五薬<sup>ごやく</sup>、五穀<sup>ごこく</sup>、五香<sup>ごこう</sup>を入れていることが推測された。発掘後、動かすごとに何か内部で動く音がしたため、非破壊試験により内部の遺物確認が求められた。NR

画像を図11に示す。賢瓶<sup>けんびょう</sup>自体は中性子を良く透過しており肉厚が鮮明である。蓋と口、壺の底と支台の構造、接合部分の判別が可能である。壺中央に湾曲する小枝状の物と、底部に粒状と粉状の物が鮮明に見られる。XR画像を図12



図13 根来寺出土賢瓶内部の遺物<sup>9)</sup>

に示す。青銅部分の厚みや錆の状態がわかる。壺の中央部内壁に沿って厚い白い層が見られるが、NR画像ほど鮮明ではない。蓋と口、支台の部分の構造はわかるが、接合部分の判別はできない。壺の中央に湾曲した線らしき像があるが、それが何かは認識できない。NR画像から推定して初めて小枝状の物と推測される程度である。以上の結果を基に蓋を開け、内部の遺物を取り出した結果、小枝状の物、粒状と粉状の物(図13参照)が得られた。小枝状の物は香木で、粒状の物の中には二つの真珠があった。

### 3. 桜井古墳群<sup>しよふさし</sup>洗佐支7号墳出土青銅鏡(福島県南相馬市教育委員会)<sup>9)</sup>

本青銅鏡は直径8.7cmで、表面は全面が<sup>ろく</sup>緑青色の錆で覆われ、布が付着していた(図14左上参照)。更に、<sup>ちゅう</sup>鈕付近に付着した<sup>ひも</sup>鈕状物質も観察されていた。鏡背の一部に丸い凸部があり青白色の粉状錆と布で覆われていたが真珠と

推定されていた。また、一部に緑が欠けたと思われる部分に青白色の粉状の錆が見られた。布は、<sup>きょうはい</sup>鏡背において粗い目と少し細かい目があり、向かって右上は、表面の布が折りたたまれ浮いた状態又は二重で、粗い目が下層、少し細かい目が上層又は折りたたまれ浮いた部分にあるように思われる。一方、鏡面の側にも布があり、折りたたまれた状況である。ただし、人為的に折りたたまれたのではなく、<sup>しむわ</sup>覆われた際に皺ができたものと推定される。NR画像(図14右下)では比較的大きい目の繊維の画像が確認され、折りたたまれたと思われる部分には、はっきりはしないが錯綜する織り目と思われる画像が確認された。あわせて折り目部分の画像がNR画像では幅広く現れ、XR画像(図14左下)では細い画像で現れている。これは、折り目部分の繊維の重なりがNR画像では詳細に、XR画像の<sup>ろくしゅう</sup>それでは繊維内に浸透、ないしは付着している緑青の錆が画像として現れ、布の折り目を表しているものと考えられる。真珠と思われる部分の画像は真円に近い細い線が確認できたが、その内側はその外側に比べ、画像濃度に大きな差がなく、むしろ繊維の織りの画像が確認されることから、真珠の芯まで詰まっているCaCO<sub>3</sub>ないしは蛋白質の層を考えると、真珠であるとの判断は難しい。緑青(CuCO<sub>3</sub>・Cu(OH)<sub>2</sub>、CuSO<sub>4</sub>・3Cu(OH)<sub>2</sub>又はCuCl<sub>2</sub>・3Cu(OH)<sub>2</sub>など)の酸素・炭素、水素のように中性子の質量減衰係数の比較的大きい元素中にある有機質繊維(炭素、水素、酸素と窒素:ただし繊維の同定結果を見ていないため正確な元素は掴めていない)中に埋没した形で存在する繊維の画像が得られるかどうかは大きな課題であった。あわせて、本件ではアクリル樹脂が浸透しており、この元素は正しく繊維と同元素を含むため、その画像により織り目の画像が曖昧となり、確認できないことが懸念された。しかし、上述の結果から、このように<sup>ろくしゅう</sup>緑青の錆並びにある程度の樹脂が含まれていても、NRによる画像が得られることを明らかにできた。

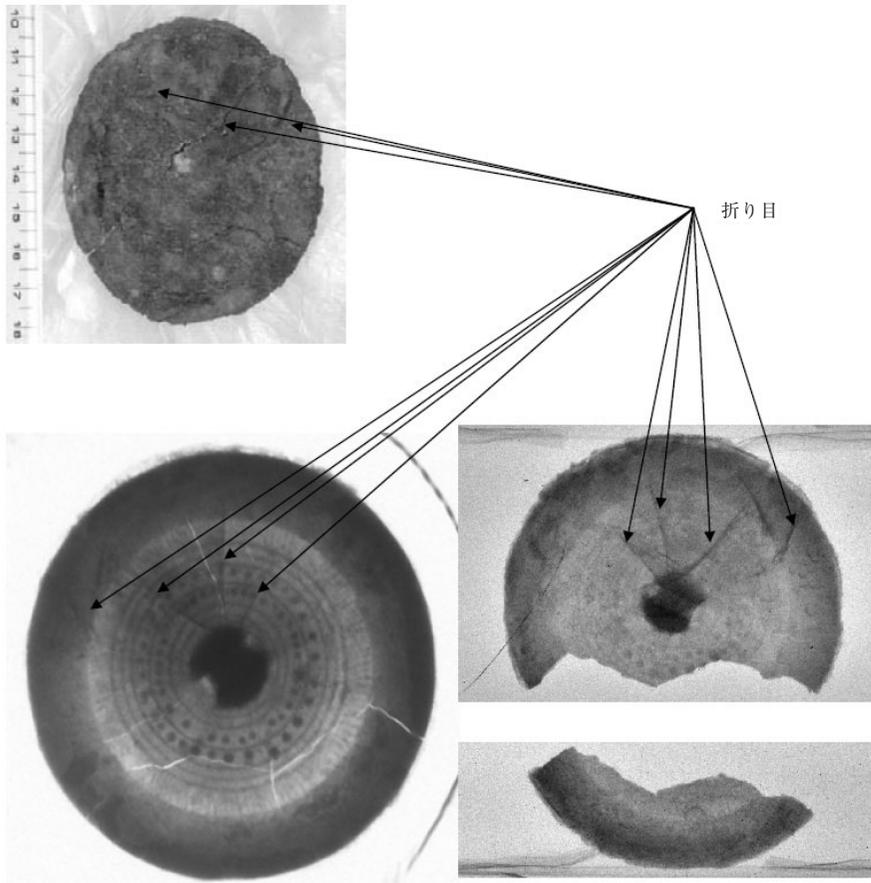


図14 桜井古墳群渋谷支7号墳出土青銅鏡 (左上：概観，左下 XR 画像，右下 NR 画像)<sup>9)</sup>

#### 4. 保存処理中の文化財への応用 (静岡県掛川市教育委員会)<sup>10)</sup>

鉄剣の外観は図15に示されるとおり全面錆で覆われており、保存処理・修復状態図(図16参照)に示されるとおり、鉄剣の表面に鞘木の一部が残っている。アクリル樹脂の含浸、ステンレス鋼針金による補強、折損部のエポキシ系接着剤による接合、欠損部のエポキシ樹脂等での補填がなされている。NR画像を図17に示す。剣身と鞘の残存部分は、前者が良く透過しているのに対し後者は錆の状況が鮮明である。接合箇所の接着剤のみの部分は白く鮮明に確認できる。欠損部のマイクロバルーン入りエポキシ樹脂は半ば暗色の像であり、ステンレス

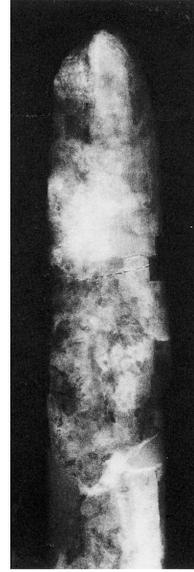
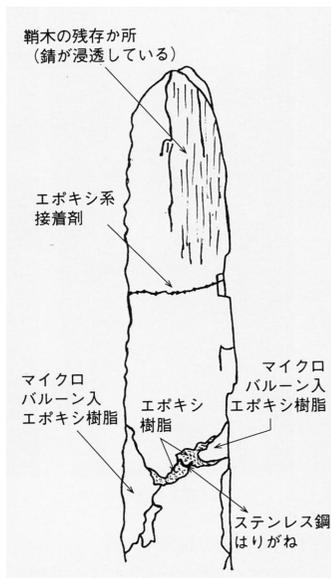
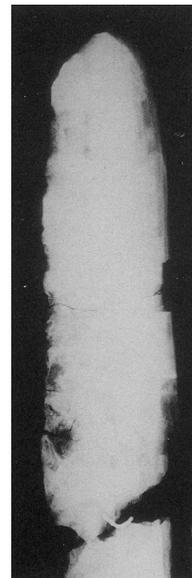
の針金は暗色の像である。XR画像を図18に示す。剣身、鞘の残存部の状態が鮮明にわかる。接合部の接着剤、欠損部の補填樹脂材は像となっていない。ステンレスの針金は白く抜け鮮明に見える。以上の結果、NR画像から鉄部分と修復材料である接着剤など有機物を同一の画像で確認でき、修理状態のチェックや、その記録として効果がある。

#### 5. 繊維製品の分析への応用

5・1 かざがえいなりやま 風返稻荷山古墳出土馬具 (古墳時代後期)<sup>11)</sup>

5・1・1 こんどうぼりうず 鉄地金銅張雲珠 (かすみがうら市郷土資料館)

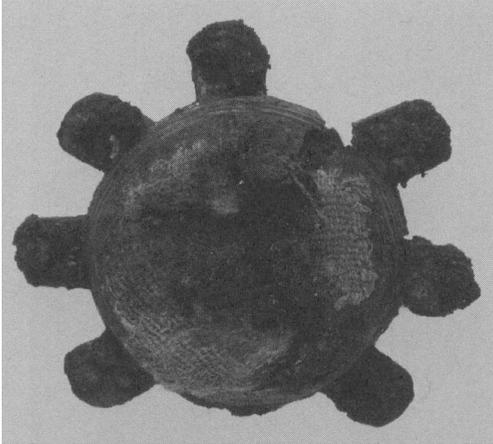
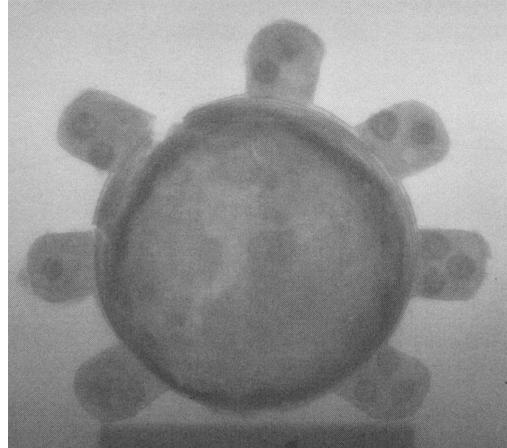
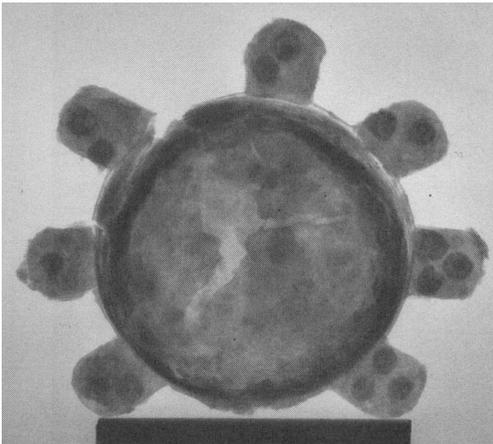
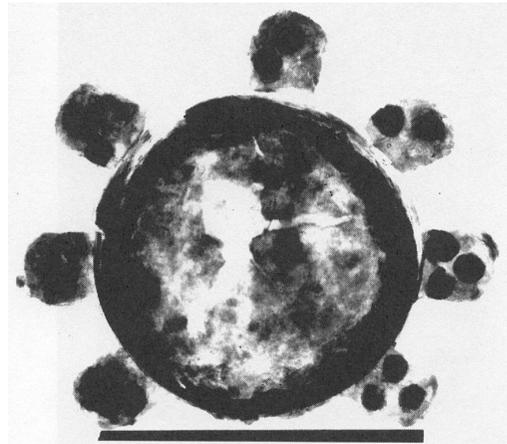
うず 雲珠\*6 表面にのる形で、肉眼では良好に白

図 15 宇洞ヶ谷横穴出土保存処理鉄剣の概観<sup>10)</sup>図 17 保存処理鉄剣の NR 画像<sup>10)</sup>図 16 保存処理鉄剣の修復状態図<sup>10)</sup>図 18 保存処理鉄剣の XR 画像<sup>10)</sup>

色を呈する平織りの麻布 (8~10×5 本/cm) が残存していた (図 19 参照)。本体の亀裂で分

断されているが、<sup>たていと</sup>経糸・<sup>よこいと</sup>緯糸ともに同一の麻布の一部と判断された<sup>12)</sup>。しかし、この布は NR 画像 (図 20 参照) で確認できなかった。図 21 に示す  $\gamma$  線による透過画像 ( $\gamma$ -ray radiography: GR 画像) と NR 画像を重複させ、画像処理により布部分に着目してコントラストを強調させ

\*6 「雲珠 (うず)」は馬につけるかざり金具の一種で、<sup>くら</sup>鞍をつなぐ皮帯の交差する部分につける。<sup>つじがなぐ</sup>辻金具の一部だが、その中でも大型のもの。

図 19 鉄地金銅張雲珠の概観<sup>11)</sup>図 21 鉄地金銅張雲珠のGR画像<sup>11)</sup>図 20 鉄地金銅張雲珠のNR画像<sup>11)</sup>図 22 鉄地金銅張雲珠のNR強調画像<sup>11)</sup>

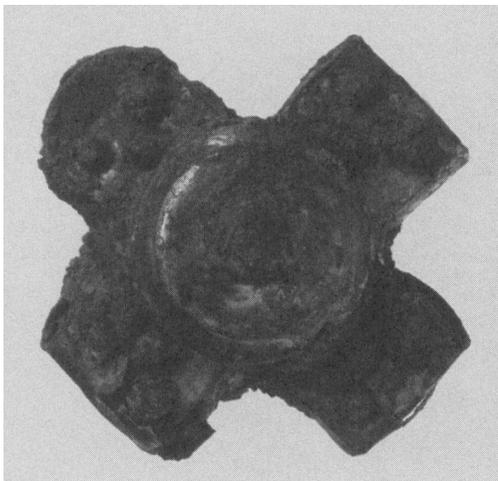
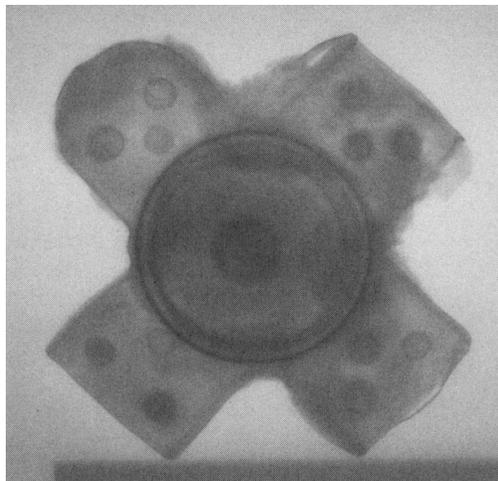
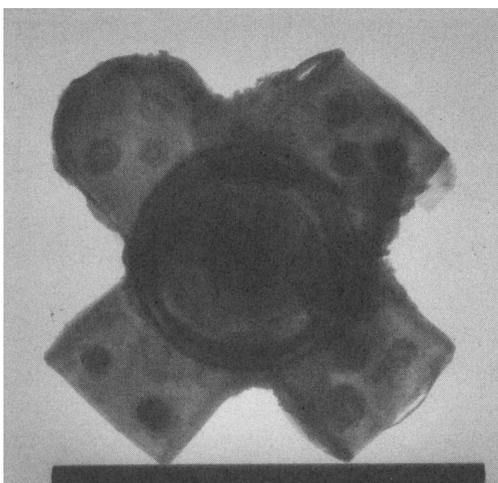
た結果 (図 22 参照), わずかに部分的に布目を確認できたにすぎない。また、脚部分の鋳<sup>ひょう</sup>が外れている箇所では、鋳孔<sup>ひょうこう</sup>の形状がGR画像とNR画像でかなり異なっており、NR画像では鋳孔<sup>ひょうこう</sup>がかなり潰れて見えたのに対して、GR画像では本来の正円な形状に観察されたことが注目された。これはNR画像では、鋳孔<sup>ひょうこう</sup>に錆が浸透して詰まっていた影響であると推定された。更に、比較的錆が少ない金銅板<sup>こんどう</sup>に付着した布であるにもかかわらず、画像となるはずの布がほとんど確認できなかったのは、鉄地部分の錆が激しいため、錆自体に含まれる酸素・水素に加え、多孔質の錆中に含まれる水分による中性子

の吸収が著しいことが原因と考えられる。そのため、錆と布の画像がそれぞれ拮抗して、両者の間に画像としては認識できない状態が生じたためと判断された。事実、鉄地は著しく錆びて膨張し厚くなっており、鉄錆が亀裂の間から表面に噴出した状態であった。

#### 5・1・2 鉄地金銅張辻金具<sup>こんどうぼりつじかなぐ</sup> (かすみがうら市郷土資料館)

辻金具<sup>つじかなぐ</sup>\*7の場合も、肉眼では裏面に革の断

\*7「辻金具 (つじかなぐ)」は半球の四方に板を付けた馬具で、馬具の皮帯が交差する部分に取り付ける。

図 23 辻金具の概観<sup>11)</sup>図 25 辻金具の GR 画像<sup>11)</sup>図 24 辻金具の NR 画像<sup>11)</sup>

片のような有機質が厚く付着しているように観察された (図 23 参照)。しかし, NR 画像 (図 24 参照), GR 画像 (図 25 参照) 共に, コントラストの差はあるが, 両者の画像に大きな差はみられず, 画像として確認できなかつた。鉄地に直接付着した裂<sup>\*8</sup>で, 鉄地の錆が進行して

\*8 古代織物の断片を「裂(きれ)」と呼ぶ。歴史の古いものは古代裂といわれ, 昔の高貴な人や茶人が愛蔵していたものは名物裂といわれる。

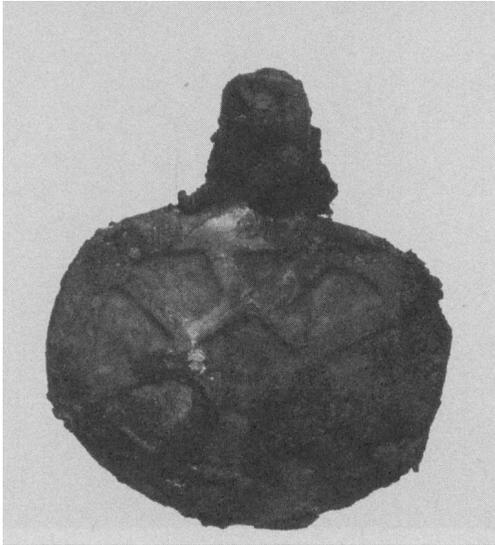
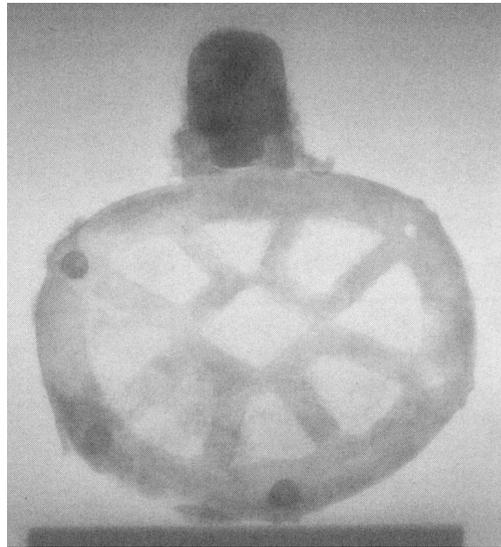
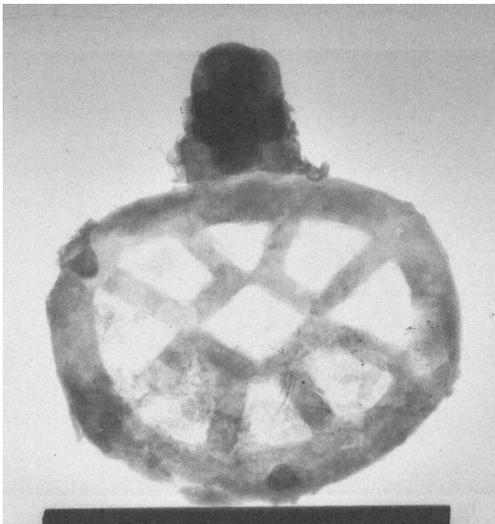
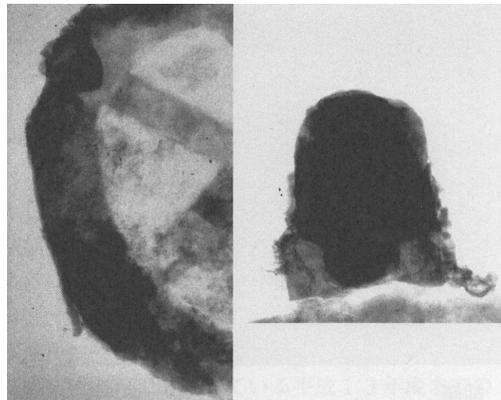
いるものについては, 肉眼では織り目が認められるが, 錆色を呈し錆の質感を示しており, 本来の有機質の繊維は分解して消失したものと考えられる<sup>13)</sup>。

#### 5・1・3 鉄地金銅張杏葉 (かすみがうら市郷土資料館)

杏葉<sup>\*9</sup>表面の向かって右側下部, 並びに吊り金具との結合部分 (立間) に, 布の付着を肉眼で認めることができる (図 26 参照)。これらは錦<sup>\*10</sup>と麻布と判断され, 杏葉表面に付着した錦は一部裏面へまわっており, 本体を包んでいた布であると考えられた。NR 画像 (図 27 参照) と GR 画像 (図 28 参照) を比較すると, 中性子における本品の左肩から右下部に輪郭, 並びに内部に画像がより濃く確認できる。これを更に拡大すると図 29 となり, 部分的に布目の画像を確認できた。ここでは平織の大きい目と小さい目が観察できる。これは, 布が表面部分の金銅板に付着していた結果, 裏側部分にあ

\*9 「杏葉(ぎょうよう)」は馬の背中につける鞍をつなぎとめるひもに取り付ける飾り。杏子又は銀杏の葉の形に似ていることからこう呼ばれる。

\*10 複数の色糸を一組として1本の糸のようにして使い, 必要とする色の糸を表面に浮かせて文様を表わす絹織物を「錦(にしき)」という。

図 26 杏葉の概観<sup>11)</sup>図 28 杏葉の GR 画像<sup>11)</sup>図 27 杏葉の NR 画像<sup>11)</sup>図 29 杏葉の NR 画像拡大<sup>11)</sup>

る布が鉱物化しているものとは異なり、鉄イオンによる分解が遅かったため、布の有機質が残存した結果、画像として現れたと考えることができる<sup>13)</sup>。

## 5.2 繊維製品の分析のまとめ

金属の腐食状態と繊維の劣化状態のバランスによって、NR 画像上で有機質部分が確認でき

るかどうかは決まる。このため、繊維の織り目を画像として得ることができるかどうかは、資料の有機質部分の保存状態に大きく依存するものと考えられる。金属の腐食に比して有機質の繊維が残存している場合、NR では織り目の画像が得られ、XR ではその画像は得られない。しかし、鉄器に接している有機質は分解して有機質部分を有していないものが多い。外観上、鉄錆色と質感で織り目を形成しているものは、繊維に付着した鉄錆が繊維上で固化して形状を維持しているものである。しかし、その内部の

繊維は分解して空洞化しており NR, XR ともにコントラストに差があるが, ともに織り目の画像が得られる。NR による出土繊維製品の調査においては以上のような課題が残るものの金属と繊維が共存している場合は著しく鮮明に, 繊維を画像として捉えることができ, XR で困難な遺物の調査に有効である<sup>14)</sup>。特に, 金属器に代表される出土後の劣化が著しい出土文化財については, 保存処理前の事前調査に欠かせない方法であると考えられる<sup>15)</sup>。しかし出土繊維製品を対象とした調査から, 付着する金属器の錆化条件により繊維本体の変質, あるいは分解によって有機質の繊維が消失しており, 良好な画像が得られない場合が多いことも判明した。

## 6. 芸術の分野への応用

一般的な NR と大きく異なるが, 絵画の調査にも中性子イメージングが利用されている<sup>16) - 20)</sup>。近年まで, 絵画の調査は赤外線リフレクトグラフィ, XR を用いて埋もれた塗料の層を調べて行われていた。これらの手法の適用は限定されており, 赤外線リフレクトグラフィは黒い下描きを, X 線は鉛ベースの顔料の分布を見せるのみである<sup>16)</sup>。中性子放射化オートラジオグラフィ (neutron activation autoradiography: NAAR) の手法は 1964 - 1966 にブルックヘブン国立研究所で開発された<sup>21), 22)</sup>。原子炉からの中性子ビームを絵画に照射し, 画材の顔料中の原子核に中性子捕獲反応を起こし, 人工的な放射線を誘起させる。いろいろな顔料の 10 までの異なる元素 ( $^{32}\text{P}$ [ $T_{1/2}$ : 14.2 d],  $^{56}\text{Mn}$ [ $T_{1/2}$ : 2.6 h],  $^{60}\text{Co}$ [ $T_{1/2}$ : 5.3 d],  $^{64}\text{Cu}$ [ $T_{1/2}$ : 12.8 d],  $^{76}\text{As}$ [ $T_{1/2}$ : 1.1 d],  $^{122}\text{Sb}$ [ $T_{1/2}$ : 2.8 d],  $^{203}\text{Hg}$ [ $T_{1/2}$ : 46.6 d]等)が, 非常に異なった半減期で崩壊する。NAAR はフィルムが絵画表面に密着された時, 放射化された顔料からの  $\beta^-$  線によって生成される。このため, 照射終了後における時間を変えた一連の露光は, RI の半減期に起因して同一の絵画に対して異なった画像を与える。NAAR は Rembrandt を代表とした著

名な絵画に実際に適用され, ベルリン絵画美術館 (Berlin Painting Galleries) が所蔵していた有名な「黄金の兜の男 (The Man with the Golden Helmet)」は, 1985 年の調査によって Rembrandt の作でないことが確認された<sup>18)</sup>。これらの研究はドイツ ハーンマイトナー研究所の C. O. Fischer 等を中心としたグループによって積極的に実施されている<sup>16) - 20)</sup>。この NAAR が, 芸術家が残した準備段階のスケッチ, コンセプトの変更, 署名, それから芸術家の筆の運びのような個人の特徴等, 絵画の内側に残された潜在的な構造を浮き彫りにし, その作品が本物であるかどうかを示してくれる<sup>16)</sup>。

ここでは画像を示していないが, ハーンマイトナー研究所のホームページ<sup>23)</sup>で画像と詳しい説明を確認できるので, そちらを参照頂きたい。

## 7. 現状と将来

ドイツで開催された第 5 回中性子ラジオグラフィ国際会議 (1996 年) において, 3 次元トモグラフィを用いて西暦 600 年頃の青銅箱の詳細な観察<sup>24)</sup>, またローマ時代の剣の観察例が報告された<sup>25)</sup>。第 8 回中性子ラジオグラフィ国際会議 (2006 年) でも次の 3 件が報告されている。

- ①鉄製の手斧及び剣の握りに対して 3 次元トモグラフィを実施し, 資料の酸化の状態やひび割れなどの情報を得た<sup>26)</sup>。
- ②修復作業のため紀元前 4 世紀の兜の構造を NR に加えて GR, XR で調査した<sup>27)</sup>。
- ③有機物を残した中世初期の剣を XR と中性子トモグラフィで比較した<sup>28)</sup>。

また, 国際会議の中間の時期に開催されている中性子ラジオグラフィ・トピカルミーティングでも, 第 5 回 (2004 年) に NR と XR を古文化財に相補的に適用した研究報告がなされている<sup>29)</sup>。腐食の進んだ短剣では刃に生じたひびの様子や装飾が明らかにされ, ローマの青銅製彫像では内部構造, 製造工程, 欠陥, 内包物等が明らかにされている。更に, ローマのベルトではバックルの修理の状態を確認している。3

次元トモグラフィの利用はより詳細な遺物の内部構造の可視化を可能とするものであり、今後の進展が大いに期待される。

ただし、金属製の遺物の場合、中性子照射に伴う放射化が避けられず、トモグラフィ用のデータ取得過程での長時間照射が避けられない。このため、いかに短照射時間で必要な画像を得るかが重要となってくる。ちなみに JRR-3M における検査では、撮影時間の短縮化を図るため、主として中性子用イメージングプレートを用いている。

NR は、対象としての文化財が限定されること、また施設数の少なさとそこへの文化財の移動、撮影室の大きさ、マシンタイムなど制約があるものの、XR や GR では得られないものが検出でき、それらを補完するものとして認識されつつある。今後は上記の最近の動きを更に進めることであり、3次元トモグラフィの利用が可能になれば、より一層普及すると思われる。

## 文 献

- 梅原末治, 摂津阿武山古墳調査報告書(1936)
- 東京国立文化財研究所光学研究班, 光学的方法による古美術品の研究, 吉川弘文館(1955)
- Hilling, O. R., ASTM Special Publication(586), pp.268-276(1975)
- 増澤文武, 平岡英一, 古田純一郎, 桂山幸典, 辻本 忠, 米田憲司, 岡本賢一, KURRI-TR-252, pp.39-43(1983)
- 日本非破壊検査協会編, 中性子ラジオグラフィ写真集, pp.86-87(1995)
- 日本非破壊検査協会編, 中性子ラジオグラフィ写真集, pp.88-89(1995)
- 日本非破壊検査協会編, 中性子ラジオグラフィ写真集, pp.82-83(1995)
- 日本非破壊検査協会編, 中性子ラジオグラフィ写真集, pp.84-85(1995)
- 平成 18 年度中性子利用技術移転推進プログラム成果報告(2007)
- 日本非破壊検査協会編, 中性子ラジオグラフィ写真集, p.79(1995)
- 松浦宥一郎, 研究成果報告書「日本出土原始古代繊維製品の集成及び基礎的研究(平成 10 年度～平成 13 年度)」, pp.110-122(2002)
- 沢田むつ代, 風返稲荷山古墳出土品に付着する繊維「風返稲荷山古墳」霞ヶ浦町教育委員会・日本大学考古学会(2000)
- Masuzawa, F., Sato, M., Murata, T., Ozaki, M., Yoneda, K., Okamoto, K., Tsujimoto, T., Nagai, M., Yokoshima, Y. and Yasuda, A., Fifth World Conference on Neutron Radiography, DGZfP, pp.694-701(1997)
- 増澤文武, *RADIOISOTOPES*, **46**, 664-669(1997)
- 古谷 毅, 金属器の修理と事前調査, 「帝京大学山梨文化財研究所報」第 32 号, 帝京大学山梨文化財研究所(1998)
- Fischer, C. -O., Leuther, W., Laurenze, C. and Slusallek, K., Neutron Radiography(2), D. Reidel Publishing Company, pp.519-524(1987)
- Fischer, C. -O., Laurenze, C., Leuther, W. and Slusallek, K., Neutron Radiography(3), Kluwer Academic Publishers, pp.781-786(1990)
- Fischer, C. -O., Neutron Radiography(4), Gordon and Breach Science Publishers, pp.291-297(1994)
- Fischer, C. -O., Leuther, W., Schmidt, C., Kelch, J., Laurenze, C., Moisa, W., Yaldiz, M. and Slusallek, K., Fifth World Conference on Neutron Radiography, DGZfP, pp.681-687(1997)
- Fischer, C. -O., Laurenze, C., Schmidt, C. and Slusallek, K., Neutron Radiography(6), Gordon and Breach Science Publ., pp.563-570(2001)
- Lechtman, H. N., Neutron Activation Autoradiography of Oil Paintings, Master of Arts Thesis, Institute of Fine Arts, New York University (June 1966)
- Sayre, E.V. and Lechtman, H. N., Neutron activation autoradiography of oil paintings, *Studies in Conservation*, **13**, 161(1968)
- [http://www.hmi.de/bensc/instrumentation/instrumente/b8/activities\\_en.htm](http://www.hmi.de/bensc/instrumentation/instrumente/b8/activities_en.htm)
- Scillinger, B., Ludwig, W., Rausch, C., Wagner, U., Gebhard, R. and Haas, B., Fifth World Conference on Neutron Radiography, DGZfP, pp.688-693(1997)
- Rant, J. J., Milic, Z., Nemeč, I., Nemeč, T., Glumac, B. and Stade, J., Fifth World Conference on Neutron Radiography, DGZfP, pp.742-749(1997)

- 26) Kawabata, Y., Ozaki, M., Lee, S.W., Sun, G. -M. and Sato, M., Book of Abstracts (8th World Conference on Neutron Radiography), p.26 (2006)
- 27) Balasko, M., Koszegi, L. and Dombovari, J., Book of Abstracts (8th World Conference on Neutron Radiography), p.27 (2006)
- 28) Haas-Gebhard, B., Gebhard, R., Calzada, E., Muhl-  
bauer, M. and Scillinger, B., Book of Abstracts (8th World Conference on Neutron Radiography), p.28 (2006)
- 29) Lehmann, E. H., Vontobel, P., Deschler-Erb, E. and Soares, M., *Nucl. Instrum. Methods, Phys. Res.*, **A542**, 68-75 (2005)
-