

【論 文】

## X線 CT による細長形のアイヌ民族資料の測定と形状計測

大江 克己、竹内 隼人、八幡 巴絵

**要 旨**：コンピュータ断層撮影装置(X線 CT 以下、CT)は、断面観察や断面画像上での形状計測を可能にする機器である。アイヌ民族資料へ CT の調査が適合できれば、非破壊で自由に内部を観察できる新規観察法になると推測するが、中でも、細長形のアイヌ民族資料は、測定時の X 線量の増減等で取得画像が不鮮明になりやすいことが予見される。そのため、CT の測定で必要な効果的な設置方法と断面画像上での形状計測能力を検証した。検証では、柄(金属装)、鞘(複合材)、鞘(単一材)を選定し、設置角度 0 度、長辺方法に設置角度 45 度・90 度、短辺方法に設置角度 45 度・90 度の設置方法で取得した断面画像の比較、実測値と断面画像上の計測値の差の比較にて調査した。設置方法の検証では、柄(金属装)、鞘(複合材)、鞘(単一材)の各資料共に、長辺方向に設置角度 90 度の時が安定して鮮明な画像が得られた。この設置方法を基準に、資料コンディションに即して段階的に設置角度を調節すると効果的に調査が可能と考えられた。断面画像上の形状計測能力の検証では、柄(金属装)、鞘(複合材)、鞘(単一材)共にほぼ原寸を維持するが、実測値と断面画像上の計測値の差は長辺方向に設置角度 90 度の場合で、柄(金属装)は 0.5~1.0mm 程、鞘(複合材)は 0.5~1.5mm 程、鞘(単一材)は-0.5~1.0mm 程が見られた。観察補助や実測困難な内部の概寸を知るには十分な能力と考えられる。本検証にて、CT による細長形のアイヌ民族資料の測定と形状計測を実用する基礎を整えた。

**キーワード**：アイヌ民族資料、X線 CT、構造調査、形状計測、文化財科学

### 1. はじめに

コンピュータ断層撮影装置(X線 CT 以下、CT)は、調査資料に 360°方向から照射した X 線を捉え、三次元的な画像を再構成表示する機器である。CT は、非破壊による任意位置の断面観察や三次元的な立体観察を可能にするため、国内では美術工芸品や埋蔵文化財などを中心に多くの調査が行われている。国立アイヌ民族博物館では、アイヌ民族資料を中心に CT による調査の有効性を検討し、利用幅の拡大に向けた研究を進めている(大江ほか 2021:1-12)。

CT による調査は資料内部の観察に効果を発揮することに加え、断面厚などの実測困難な領域の形状計測、すなわち任意位置の寸法測定も可能とする。文化財の調査ではこの特性を活かし、断面画像による観察と形状測定を組み合わせた方法が用いられている。加藤和歳は福岡県福津市手光波切不動古墳出土馬具の保存処理を行う際、発掘現場で土壌ごと取り上げた磯金具を CT で撮影した。表面の土砂から磯金具までの深さを断面画像上で測定し、画像を確認しながら画像上で土砂の除去を実施した(加藤 2014:65-80)。山口隆介らは平等院の雲中供養菩薩像(南 14 号)を CT で調査し、胸部や臀部の厚さを断面画像上で測定している。断面の観察と厚さ測定にて他の部位よりも薄く作られていることを確認し、壁面に懸けることを想定して軽量化が計られたためと推測した(山口ほか 2018:35-47)。杉山智昭らは行器を CT で調査し、本体と脚部をつなぐ合釘の断面画像の観察と寸法測定をして形状観察を行った。解体を伴わず製作技術や状態に関わる詳細情報を抽出可能と報告した(杉山ほか 2019:21-27)。今津節生や楠井隆志らは、興福寺の脱乾漆像の調査において阿修羅像を CT で測定している。断面画像上で顔部分の布着せを観察して、布層の厚さを測定して制作工程の詳細を報告した(今津 2020:6-7、楠井 2020:9-10)。

CTは、立体資料を中心に断面観察や画像上での形状計測を知るための観察法として調査に使用されている。しかし、アイヌ民族資料を含む文化財は、画像検出器から見た位置や角度によって回転時に形状が著しく変化し素材も一様ではない。そのため、取得した画像は透過するX線量の増減等で不鮮明になりやすく、その影響が形状計測にも表れることが予想される。荒木臣紀らは、立体資料の鮮明な断面画像を取得するためにCTの測定時の資料の設置方法について注意の必要性を記している(荒木ほか 2017:25-38)。CTでアイヌ民族資料を調査する際も同様の注意が必要と推測され、中でも、宝刀や小刀などの細長形<sup>1</sup>のアイヌ民族資料は長辺方向と短辺方向の寸法差が大きく、例えば、垂直に設置した時と水平に設置した時では、測定時に資料が1回転する際に端部が描く軌道が大きく異なるために、設置方法次第では回転時の形状変化が著しいと考えられる。CTは測定資料を回転させながらX線を照射し、資料を透過したX線を捉えて画像構築を行っている。照射したX線は、測定資料を構成する部材や構造、使用材料などの影響で透過するX線量が増減するため、測定結果を得るには対象の実資料を基に測定方法を検討する必要がある。しかし、細長形のアイヌ民族資料の測定方法の検討は未実施であり調査例もほぼない。

CTの調査が適合できれば、非破壊で自由に資料内部を観察できる新規観察法になると推測する。資料の断面観察や内部の構造解析から、切削痕跡や部材連結技法の把握、厚さや切削ピッチ等の不可視領域の寸法計測が可能となり、資料内部の詳細な情報を知ることができるため、資料の製作に関する技術的変遷や地域性の研究など、物質文化や民族学等の調査研究へ不可視領域の情報が提供できるようになると考える。そこで、本稿ではCTによる細長形のアイヌ民族資料の測定に関する基礎調査として、鮮明な断面画像が得られる設置方法の把握、断面画像上での形状計測能力の把握を目的に検証を行った。

## 2. 検証方法について

### 2-1. 使用装置

国立アイヌ民族博物館設置のCT「エクスロン・インターナショナル株式会社(現 コメットテクノロジーズ・ジャパン株式会社)製 Y.CT Modular」を用いた(図1)。高さ約3000mm、左右幅約3760mm、奥行約980mmの装置寸法を測る。X線管球は、ミニフォーカス管球(最大出力320kV、焦点寸法0.3mm)、マイクロフォーカス管球(最大出力225kV、最小焦点寸法6 $\mu$ m)の2本を備え、画像検出器はフラットパネルディテクタを採用している。



図1 使用したX線CT

### 2-2. 検証資料の選定と資料概要

細長形のアイヌ民族資料は、複合材で作られた資料や単一材で作られた資料などいくつかの構造的な種類がある。主立った資料として、ここでは宝刀の柄(金属装)1点、小刀の鞘(複合材)1点、小刀の鞘(単一材)1点を選定し検証に用いた。いずれも国立アイヌ民族博物館の収蔵品である。以下に各資料の概要を記す。

#### ① 柄(金属装)

木製の本体の表裏に金属板を配し、覆輪、柄口金具、柄尻金具等で装飾した宝刀の柄である(図2)。腐食により外観は黒色化しているが、蛍光X線分析装置による調査から、表裏の

金属板は銀と銅の合金製と見られ、覆輪や柄尻金具、鳩目金具、俵鉾は銅製の地金に銀メッキを施したと見られる。長さ 194mm、幅 40mm、厚さ 19mm を測る。

② 鞘(複合材)

木製の本体に鞘口と鞘尻に鹿角をはめて装飾した小刀の鞘である(図 3)。表裏には線刻で模様が施されている。長さ 190mm、幅(鞘口)40mm、厚さ 25mm を測る。

③ 鞘(単一材)

木製の小刀の鞘である(図 4)。表裏には線刻や鱗彫りで模様を施し、一部には樹皮革を巻いて装飾する。長さ 191mm、幅(鞘口)42mm、厚さ 19mm を測る。



図 2 柄(金属装) 外観



図 3 鞘(複合材) 外観



図 4 鞘(単一材) 外観

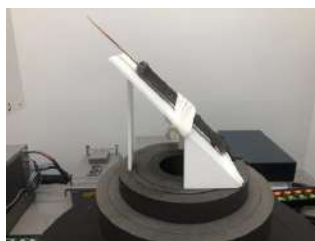
### 2-3. 調査手法

① 鮮明な断面画像が得られる設置方法の把握

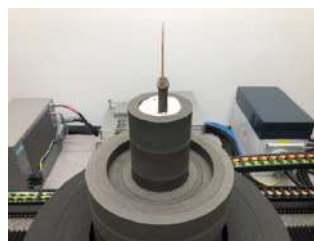
文化財の調査の中で、透過した X 線量の増減が起こりづらいよう転倒しない程度に資料を傾け測定した事例がある(荒木ほか 2017:25-38)。この方法を細長形のアイヌ民族資料に当てはめて考えると、直上状態に近いほど 360°回転時の変化が抑えられ、透過した X 線量の偏りが減り画質の向上が見込まれると予想する。そこで、検証として、設置角度 0 度、長辺方向の設置角度 45 度と 90 度、短辺方向の設置角度 45 度と 90 度の各状態で得た 1 スライス断面画像(中央水平断面)を比較した。設置方法を図 5 に示す。



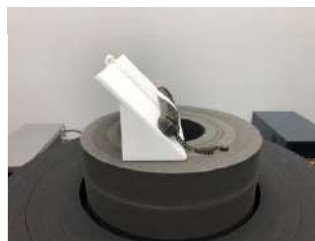
設置角度 0 度



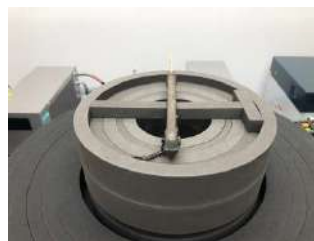
長辺方向 設置角度 45 度



長辺方向 設置角度 90 度



短辺方向 設置角度 45 度



短辺方向 設置角度 90 度

図 5 断面画像を取得する資料の設置方法

## ② 断面画像上での形状計測能力の把握

文化財の分野では、断面画像上の計測値と資料の実測値の比較は報告例が少ないが<sup>2</sup>、産業分野では CT の寸法測定誤差の低減に関する報告がある。この報告では方形のアルミサンプルを用いて角度を変えて測定し、三次元測定器と断面画像で計測した長さ、幅、高さの寸法差を観察している(菊池ほか 2017:10-14)。しかし、細長形のアイヌ民族資料では形状の個体差が大きく 3 方向の観察では評価しづらい。金属製品や資料の黒色部分など三次元測定器での測定が困難な資料もある。そこで、実資料と断面画像で同じ位置が計測できる箇所(計測位置)を複数設定し(図 6~8)、実測値と断面画像上の計測値との差(以下、実測値差)を調べ、最大値と最小値、その値差(絶対値)から形状計測能力を観察した。

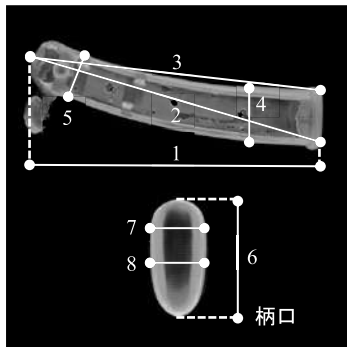


図6 柄(金属装)の計測位

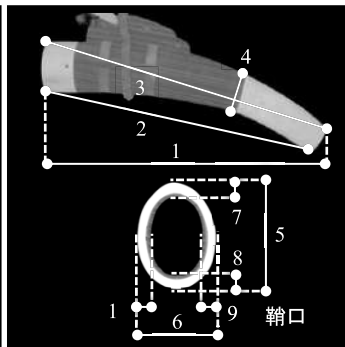


図7 鞘(複合材)の計測位

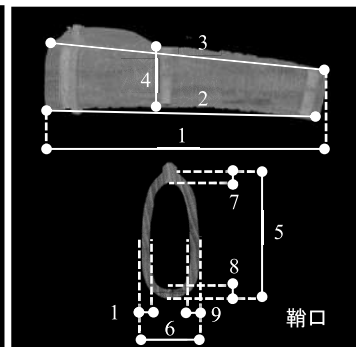


図8 鞘(単一材)の計測位

## 2-4. 測定条件

照射する X 線量で取得画像に差が出ないよう、測定条件を揃えた。X線が透過しづらい金属装の資料があるため、高出力で X 線が照射できるミニフォーカス管球を使用した。画像検出器のサチュレーション<sup>3</sup>は70%前後、拡大率は1.82~1.83倍、空間分解能<sup>4</sup>は0.22mmとした。柄(金属装)のみフィルター条件を変えてビームハードニング<sup>5</sup>を抑えた。測定条件を表 1<sup>6</sup>に記

表 1 選定資料の設置方法及び測定条件一覧

No.	対象資料	設置方法		測定条件						
		方向	設置角度	管電圧 (kV)	管電流 (mA)	プロジェクション数	インテグレーションタイム (m/s)	資料位置 (mm)	検出器とX線管球間の距離 (mm)	フィルター (mm)
①	柄 (金属装)	なし	0°	320	2.0	900	400	420	1200	Al: 1.5mm Cu: 0.5mm
		長辺	45°	320	2.0	900	400	420	1200	Al: 1.5mm Cu: 0.5mm
		長辺	90°	320	2.0	900	400	420	1200	Al: 1.5mm Cu: 0.5mm
		短辺	45°	320	2.0	900	400	420	1200	Al: 1.5mm Cu: 0.5mm
		短辺	90°	320	2.0	900	400	420	1200	Al: 1.5mm Cu: 0.5mm
②	鞘 (複合材)	なし	0°	320	2.0	900	400	690	1700	Al: 1.5mm
		長辺	45°	320	2.0	900	400	690	1700	Al: 1.5mm
		長辺	90°	320	2.0	900	400	690	1700	Al: 1.5mm
		短辺	45°	320	2.0	900	400	690	1700	Al: 1.5mm
		短辺	90°	320	2.0	900	400	690	1700	Al: 1.5mm
③	鞘 (単一材)	なし	0°	320	2.0	900	400	690	1700	Al: 1.5mm
		長辺	45°	320	2.0	900	400	690	1700	Al: 1.5mm
		長辺	90°	320	2.0	900	400	690	1700	Al: 1.5mm
		短辺	45°	320	2.0	900	400	690	1700	Al: 1.5mm
		短辺	90°	320	2.0	900	400	690	1700	Al: 1.5mm

す。画像解析には、VGstudio MAX 3.3(ボリュームグラフィックス株式会社製)を使用し、得た断面画像はグレイバリュー(不透明度)を調節して観察した。形状計測は、測定誤差を少なくするため面定義<sup>7</sup>を行い計測した。

### 3. 結果と考察

#### ① 柄(金属装)

鮮明な断面画像が得られる設置方法を検討した。設置角度 0 度、長辺方向の設置角度 45 度と設置角度 90 度で取得した断面画像を図 9～11 に示す。図 9～11 の断面画像を観察すると、設置角度が上がるにつれて断面画像のアーチファクトが減り明瞭な画像になる。図 11 の設置角度 90 度が最も画質は良く、覆輪を柄尻金具にはめ込む様子が観察でき輪郭も明確であった。図 12～13 の短辺方向の設置角度 45 度と設置角度 90 度でも、長辺方向と同様に設置角度が上がるにつれて明瞭な断面画像になっている。図 13 の設置角度 90 度が最も鮮明であった。同じ設置角度の図 11 と図 13 を比べると、図 13 はアーチファクトが発生し輪郭も一部不鮮明のため図 11 の方が画質は良い。以上の結果から、鮮明な断面画像を得る設置方法として、長辺方向の設置角度 90 度が最も良く、長辺方向の設置角度 45 度、短辺方向の設置角度 90 度が次に良い。しかし、短辺方向の設置角度 45 度、設置角度 0 度については、観察しづらくなることがわかった。

次に、形状計測の能力を検討してみる。実測値と断面画像上の計測値の比較を表 2、表 3 に示す。計測には図 9～13 のデータを用いた。表 2 より、実測値差の最大値や最小値、その値差を見ると、設置角度が上がるにつれて差が少なくなる。最も値差が少ないのは設置角度 90 度であった。表 3 では、設置角度 45 度の実測値差の最小値の値が大きい。図 12 を見ると

表 2 柄(金属装)の実測値と断面画像上の計測値の比較(長辺方向)

計測位置	実測値 (mm)	設置角度0度		設置角度45度		設置角度90度	
		断面画像の計測値 (mm)	実測値差 (mm)	断面画像の計測値 (mm)	実測値差 (mm)	断面画像の計測値 (mm)	実測値差 (mm)
1	194.0	195.31	1.31	194.19	0.19	194.71	0.71
2	195.0	196.17	1.17	194.97	-0.03	195.60	0.60
3	202.0	202.88	0.88	202.48	0.48	202.85	0.85
4	34.0	34.77	0.77	35.06	1.06	34.79	0.79
5	31.0	31.25	0.25	31.97	0.97	31.87	0.87
6	40.0	40.35	0.35	40.04	0.04	40.19	0.19
7	19.0	18.74	-0.26	18.78	-0.22	19.15	0.15
8	19.0	19.52	0.52	18.78	-0.22	19.59	0.59
実測値差の最大値		1.31		1.06		0.87	
実測値差の最小値		-0.26		-0.22		0.15	
値差(絶対値)		1.57		1.28		0.72	

筋状のアーチファクト<sup>8</sup>があり、その影響で値が大きくなったと考えられる。値差は設置角度 90 度が最も少なかった。表 2 と表 3 の設置角度 90 度を比較すると、表 2 の方が値差は少ない。形状計測は断面画像に面定義を施し行うため、アーチファクトの発生量や方向の影響があり、長辺方向の方が鮮明な画像のため値差が少なく、形状に沿う定義面が与えられたためと推測する。表 2 や表 3 の中で他の設置角度と比較しても設置角度 90 度の値差が少ないことも同様の理由と考えられる。全体的に実測値差は概ねプラス方向に表れ、コーンビームアーチファクト<sup>9</sup>の影響と推測する。形状計測能力として全体的に概ね原寸を維持するが、最も値差の少ない長辺方向の設置角度 90 度で 0.5～1.0mm 程の実測値差は出るこ

表 3 柄(金属装)の実測値と断面画像上の計測値の比較(短辺方向)

計測位置	実測値 (mm)	設置角度0度		設置角度45度		設置角度90度	
		断面画像の計測値 (mm)	実測値差 (mm)	断面画像の計測値 (mm)	実測値差 (mm)	断面画像の計測値 (mm)	実測値差 (mm)
1	194.0	195.31	1.31	193.67	-0.33	194.79	0.79
2	195.0	196.17	1.17	194.51	-0.49	195.62	0.62
3	202.0	202.88	0.88	202.04	0.04	203.54	1.54
4	34.0	34.77	0.77	34.83	0.83	34.64	0.64
5	31.0	31.25	0.25	28.83	-2.17	31.90	0.90
6	40.0	40.35	0.35	40.59	0.59	40.22	0.22
7	19.0	18.74	-0.26	19.85	0.85	19.25	0.25
8	19.0	19.52	0.52	19.45	0.45	19.25	0.25
実測値差の最大値		1.31		0.85		1.54	
実測値差の最小値		-0.26		-2.17		0.22	
値差(絶対値)		1.57		3.02		1.32	

とがわかった。

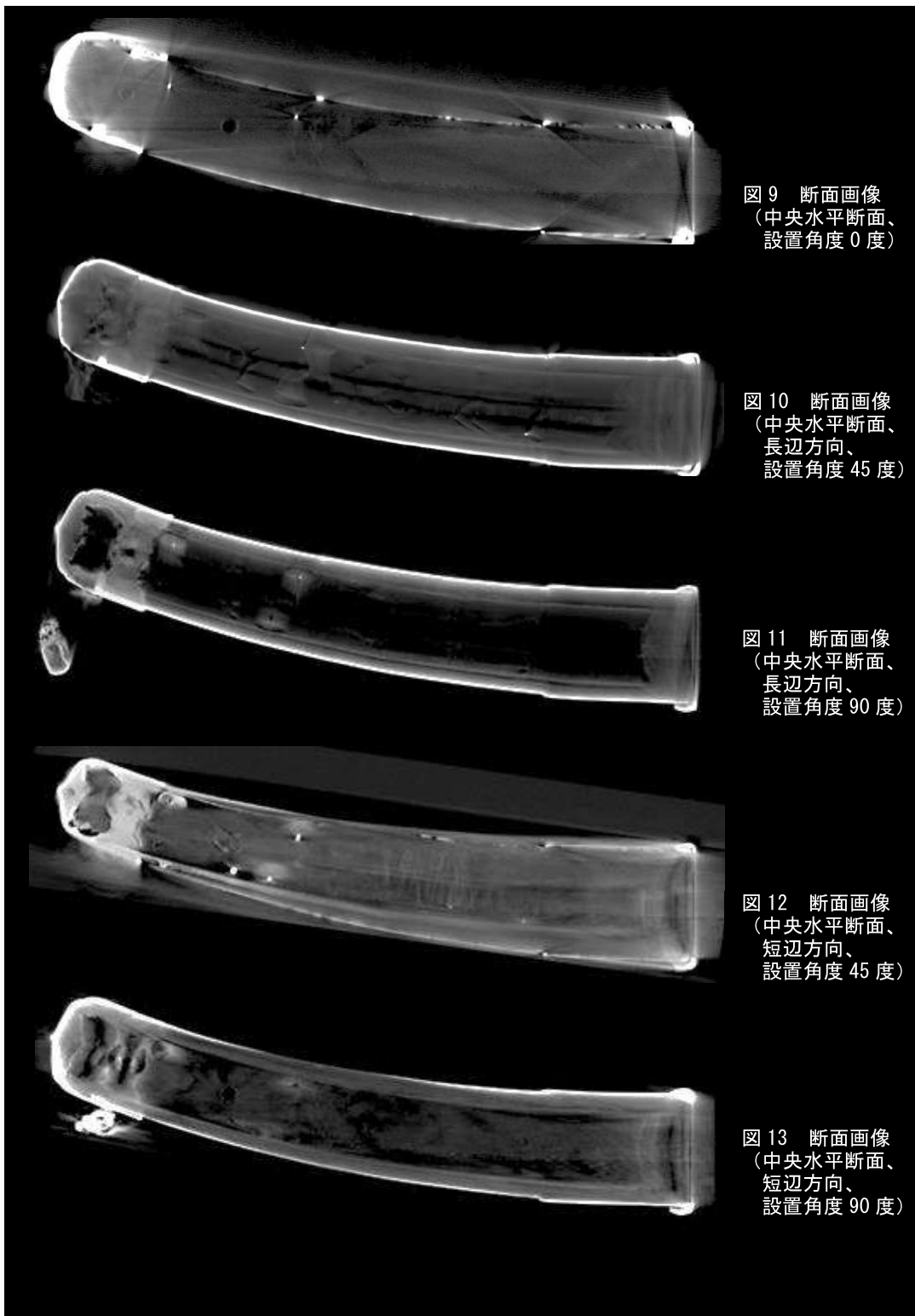


図9 断面画像  
(中央水平断面、  
設置角度 0 度)

図10 断面画像  
(中央水平断面、  
長辺方向、  
設置角度 45 度)

図11 断面画像  
(中央水平断面、  
長辺方向、  
設置角度 90 度)

図12 断面画像  
(中央水平断面、  
短辺方向、  
設置角度 45 度)

図13 断面画像  
(中央水平断面、  
短辺方向、  
設置角度 90 度)

② 鞞(複合材)

鮮明な断面画像が得られる設置方法を検討した。設置角度 0 度、長辺方向の設置角度 45 度と設置角度 90 度で取得した断面画像を図 14~16 に示す。図 14~16 の断面画像を観察すると、設置角度 0 度の断面画像でも内部観察は可能であるが、鹿角内部等にアーチファクトが発生しややぼけている。設置角度が上がるにつれてアーチファクト等はなくなり、図 16 の設置角度 90 度が最も画質が良かった。図 17~18 の短辺方向に設置角度 45 度と設置角度 90 度で測定した断面画像は、図 14 の設置角度 0 度とあまり変わらない。図 15、図 16 の長辺方向の断面画像の方が明瞭な画像であった。以上の結果から、鮮明な断面画像を得る設置方法として、長辺方向の設置角度 90 度が最も良く、長辺方向の設置角度 45 度が次に良い。短辺方向の設置角度 90 度と設置角度 45 度、設置角度 0 度は同等であることがわかった。

次に、形状計測の能力を検討してみる。計測には図 14~18 のデータを用いた。空間分解能は 0.22mm のため、この値以上の数値差が有効値となる。計測の結果を表 4、表 5 に示す。

表 4 の実測値差の最大値や最小値、値差を見ると、設置角度が上がるにつれて値差は少なくなる。最も値差が少ないのは設置角度 90 度であった。表 5 の設置角度 45 度と設置角度 90 度の値差は 0.22mm 未満のため差はない。表 4 と表 5 の設置角度 90 度を比較すると、表 4 の長辺方向の方が値差は少なかった。これは、鮮明な断面画像を得た設置角度の順に値差も少なくなるため、断面画像の画質が形状計測に影響したと考える。全体的に柄(金属装)よりも値差が大きいのは、金属より X 線が透過しやすい素材の資料であり、より多方向の X 線を捉え、コーンビームアーチファクトが強くなるためと推測する。形状計測能力として全体的に概ね原寸を維持するが、最も値差の少ない長辺方向の設置角度 90 度で 0.5~1.5mm 程の実測値差は出ることがわかった。

表 4 鞞(複合材)の実測値と断面画像上の計測値の比較(長辺方向)

計測位置	実測値 (mm)	設置角度0°		設置角度45°		設置角度90°	
		断面画像の計測値 (mm)	実測値差 (mm)	断面画像の計測値 (mm)	実測値差 (mm)	断面画像の計測値 (mm)	実測値差 (mm)
1	190.0	190.75	0.75	190.38	0.38	190.21	0.21
2	182.0	183.84	1.84	183.56	1.56	183.46	1.46
3	196.0	197.55	1.55	197.15	1.15	197.47	1.47
4	26.0	25.54	-0.46	25.70	-0.30	25.83	-0.17
5	32.0	33.36	1.36	33.12	1.12	33.11	1.11
6	25.0	25.61	0.61	25.63	0.63	25.62	0.62
7	4.0	4.91	0.91	4.71	0.71	4.55	0.55
8	4.0	4.70	0.70	4.55	0.55	4.51	0.51
9	4.0	4.74	0.74	4.81	0.81	4.58	0.58
10	4.0	4.66	0.66	4.75	0.75	4.53	0.53
実測値差の最大値		1.84		1.56		1.47	
実測値差の最小値		-0.46		-0.30		-0.17	
値差(絶対値)		2.30		1.86		1.64	

表 5 鞞(複合材)の実測値と断面画像上の計測値の比較(短辺方向)

計測位置	実測値 (mm)	設置角度0°		設置角度45°		設置角度90°	
		断面画像の計測値 (mm)	実測値差 (mm)	断面画像の計測値 (mm)	実測値差 (mm)	断面画像の計測値 (mm)	実測値差 (mm)
1	190.0	190.75	0.75	190.49	0.49	190.38	0.38
2	182.0	183.84	1.84	183.63	1.63	183.66	1.66
3	196.0	197.55	1.55	197.25	1.25	197.47	1.47
4	26.0	25.54	-0.46	25.66	-0.34	25.72	-0.28
5	32.0	33.36	1.36	33.16	1.16	33.15	1.15
6	25.0	25.61	0.61	25.56	0.56	25.83	0.83
7	4.0	4.91	0.91	4.62	0.62	4.70	0.70
8	4.0	4.70	0.70	4.65	0.65	4.74	0.74
9	4.0	4.74	0.74	4.52	0.52	4.75	0.75
10	4.0	4.66	0.66	4.62	0.62	4.86	0.86
実測値差の最大値		1.84		1.63		1.66	
実測値差の最小値		-0.46		-0.34		-0.28	
値差(絶対値)		2.30		1.97		1.94	

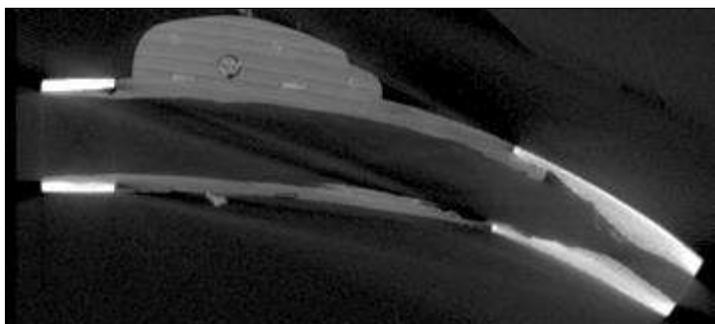


图 14 断面画像  
(中央水平断面、  
設置角度 0 度)



图 15 断面画像  
(中央水平断面、  
長辺方向、  
設置角度 45 度)

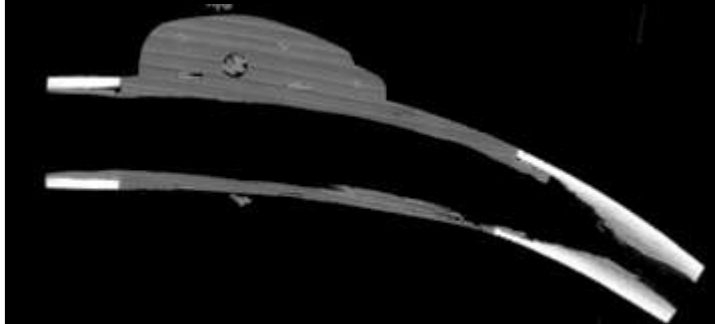


图 16 断面画像  
(中央水平断面、  
長辺方向、  
設置角度 90 度)



图 17 断面画像  
(中央水平断面、  
短辺方向、  
設置角度 45 度)



图 18 断面画像  
(中央水平断面、  
短辺方向、  
設置角度 90 度)



## ③ 鞘(単一材)

鮮明な断面画像が得られる設置方法を検討した。設置角度 0 度、長辺方向に設置角度 45 度と設置角度 90 度で取得した断面画像を図 19～21 に示す。図 19～21 を観察すると、設置角度 0 度の断面画像で内部観察は可能だが、鞘尻の木目にわずかなぼけがある。設置角度が上がるにつれて木目は明確になり、図 21 の設置角度 90 度がわずかに画質は良い。図 22～23 の短辺方向の設置角度 45 度と設置角度 90 度の断面画像では、図 22 の設置角度 45 度のみ他にはないアーチファクトが中央付近に発生している。図 23 の設置角度 90 度は図 21 と同等の画質であった。以上の結果から、鮮明な断面画像を得る設置方法として、長辺方向と短辺方向の設置角度 90 度が他よりわずかに良く、長辺方向の設置角度 45 度、設置角度 0 度は同等であることがわかった。また、短辺方向の設置角度 45 度は設置角度 0 度等と同等の画質だが、アーチファクトが発生する場合があることを確認した。

次に、形状計測の能力を検討してみる。計測には図 19～21 のデータを用いた。空間分解能は 0.22mm のため、この値以上の数値差が有効値となる。計測の結果を表 6、表 7 に示す。表 6 の実測値差の最大値や最小値、その値差を見ると、数値差は 0.22mm 未満であるが値差が少ないのは設置角度 90 度であった。表 7 の設置角度 45 度と設置角度 90 度の値差は 0.22mm 以上あり、設置角度

90 度の方がやや精度が良い。表 6 と表 7 の設置角度 90 度の値差を比較すると、0.22mm 未満のためほぼ変わらないが、表 7 は同表中の設置角度 45 度よりも精度が良いため、相対的に表 7 の方がわずかに精度は良いと考えられる。ただ、設置角度に限らず全体的に近似した値差であり、これは単一材の資料のため X 線が透過しやすく取得した画質に差が少ないためと推測する。実測値差の中で、他の資料よりもマイナス方向に差が大きいことについては、X 線が通りやすく透過気味であることが要因と考えられる。形状計測能力として全体的に概ね原寸を維持するが、長辺方向と短辺方向の設置角度 90 度で -0.5～1.0mm 程の実測値差は出ることがわかった。

表 6 鞘(単一材)の実測値と断面画像上の計測値の比較(長辺方向)

計測位置	実測値 (mm)	設置角度0°		設置角度45°		設置角度90°	
		断面画像の計測値 (mm)	実測値差 (mm)	断面画像の計測値 (mm)	実測値差 (mm)	断面画像の計測値 (mm)	実測値差 (mm)
1	191.0	190.20	-0.80	190.06	-0.94	190.33	-0.67
2	183.0	183.27	0.27	183.20	0.20	183.12	0.12
3	190.0	190.77	0.77	190.62	0.62	190.56	0.56
4	40.0	40.47	0.47	40.09	0.09	40.23	0.23
5	44.0	44.54	0.54	44.87	0.87	44.99	0.99
6	19.0	20.04	1.04	19.70	0.70	19.78	0.78
7	3.0	3.99	0.99	3.78	0.78	3.40	0.40
8	3.0	2.81	-0.19	3.21	0.21	3.30	0.30
9	3.0	3.49	0.49	3.21	0.21	3.25	0.25
10	3.0	2.78	-0.22	2.63	-0.37	2.80	-0.20
実測値差の最大値			1.04		0.87		0.99
実測値差の最小値			-0.80		-0.94		-0.67
値差(絶対値)			1.84		1.81		1.66

表 7 鞘(単一材)の実測値と断面画像上の計測値の比較(短辺方向)

計測位置	実測値 (mm)	設置角度0°		設置角度45°		設置角度90°	
		断面画像の計測値 (mm)	実測値差 (mm)	断面画像の計測値 (mm)	実測値差 (mm)	断面画像の計測値 (mm)	実測値差 (mm)
1	191.0	190.20	-0.80	190.08	-0.92	190.42	-0.58
2	183.0	183.27	0.27	183.28	0.28	183.47	0.47
3	190.0	190.77	0.77	190.48	0.48	190.76	0.76
4	40.0	40.47	0.47	39.69	-0.31	40.28	0.28
5	44.0	44.54	0.54	44.06	0.06	44.75	0.75
6	19.0	20.04	1.04	19.91	0.91	19.89	0.89
7	3.0	3.99	0.99	3.78	0.78	3.38	0.38
8	3.0	2.81	-0.19	3.19	0.19	3.32	0.32
9	3.0	3.49	0.49	3.29	0.29	3.13	0.13
10	3.0	2.78	-0.22	2.72	-0.28	2.74	-0.26
実測値差の最大値			1.04		0.91		0.89
実測値差の最小値			-0.80		-0.92		-0.58
値差(絶対値)			1.84		1.83		1.47

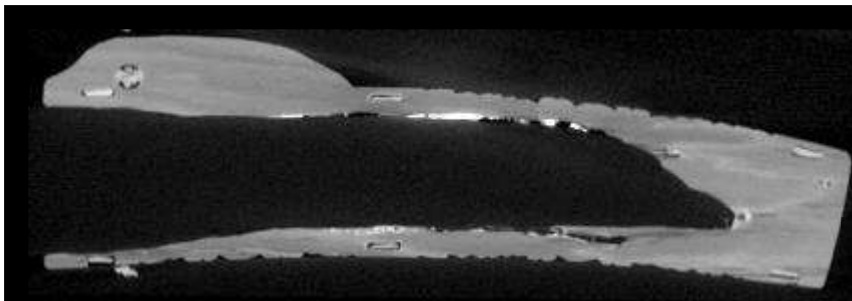


图 19 断面画像  
(中央水平断面、  
設置角度 0 度)

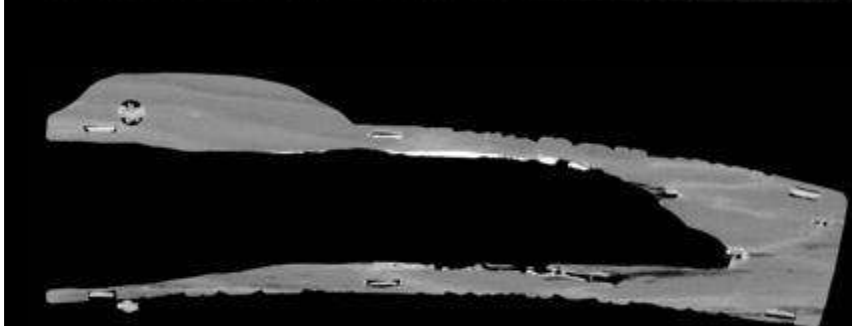


图 20 断面画像  
(中央水平断面、  
長辺方向、  
設置角度 45 度)

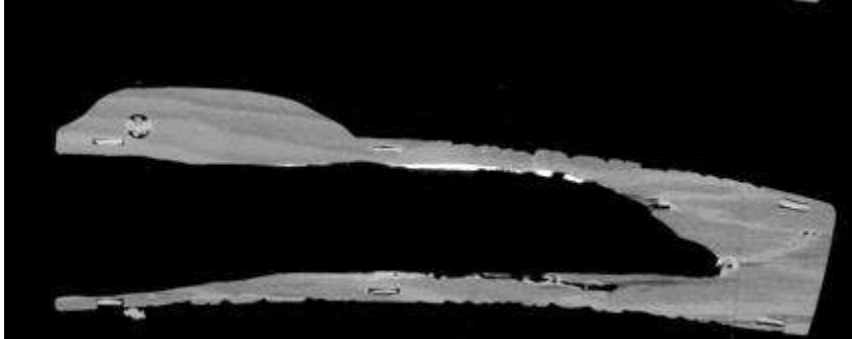


图 21 断面画像  
(中央水平断面、  
長辺方向、  
設置角度 90 度)



图 22 断面画像  
(中央水平断面、  
短辺方向、  
設置角度 45 度)

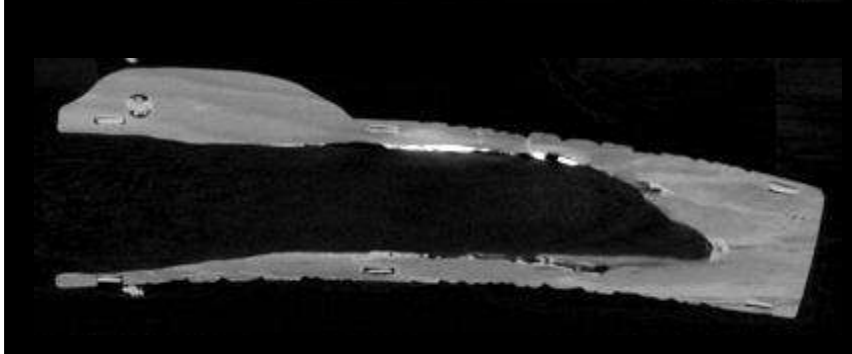


图 23 断面画像  
(中央水平断面、  
短辺方向、  
設置角度 90 度)

全ての調査結果を比べると、全体的に鮮明で形状計測能力の良い断面画像が安定して得られるのは、長辺方向の設置角度 90 度であった。実際の観察時を想定し、この設置方法で得た観察用の三次元画像(中央水平断面)を図 24~26 に示す。図 24 では、立体情報を持つと共に覆輪と鞆尻金具の連結構造や各金具の厚みが明確に観察でき、図 25 や図 26 では内部の切削痕や切削ピッチ等の観察が可能になることがわかる。これらにより、実用可能な画像が得られたことが確認できる。長辺方向の設置角度 90 度の断面画像の形状計測では、0.5~1.0mm 程、0.5~1.5mm 程、-0.5~1.0mm 程の実測値差が各資料である。使用した CT は三次元計測器に比べると形状計測精度は劣るが<sup>10</sup>、実測困難な箇所を任意に計測できる点に優位性があり、断面画像の観察補助として概寸を把握するには十分な能力と言える。実用時には、長辺方向の設置角度 90 度を基準に、資料コンディションに即して設置角度を調節すると効果的な調査が可能と考えられる。



図 24 三次元画像  
(中央水平断面、  
長辺方向、  
設置角度 90 度)

図 25 三次元画像  
(中央水平断面、  
長辺方向、  
設置角度 90 度)

図 26 三次元画像  
(中央水平断面、  
長辺方向、  
設置角度 90 度)

#### 4. まとめ

CTによる細長形のアイヌ民族資料の測定に関する基礎調査として、鮮明な断面画像が得ら

れる設置方法、断面画像上での形状計測能力の把握について検証した。柄(金属装)、鞘(複合材)、鞘(単一材)の各資料の調査から次の結果を得た。

鮮明な断面画像が得られる設置方法として、柄(金属装)と鞘(複合材)は長辺方向の設置角度 90 度、鞘(単一材)は長辺方向の設置角度 90 度と短辺方向の設置角度 90 度が良いことがわかった。全体的に鮮明な断面画像が安定して得られるのは、長辺方向の設置角度 90 度である。断面画像上での形状計測能力について、実測値差の少ない長辺方向の設置角度 90 度の時、ほぼ原寸を維持しつつも、柄(金属装)では 0.5~1.0mm 程、鞘(複合材)では 0.5~1.5mm 程、鞘(単一材)では-0.5~1.0mm 程の差を含むことがわかった。CT の形状計測は実測困難な箇所を任意に計測できる点に優位性があり、断面画像の観察補助として概寸を把握するには十分な能力と言える。実用時は長辺方向の設置角度 90 度を基準に、資料コンディションに即して設置角度を調節すると効果的な調査が可能と考えられる。

本稿の検証から、CT による細長形のアイヌ民族資料の測定で必要な、鮮明な画像が得られる設置方法、断面画像上の形状計測能力を把握した。従来の X 線透過撮影装置では困難な、三次元的な断面観察や形状計測を実用する基礎が整ったと言える。形状計測能力をより向上するには、資料断面厚や空洞部分の内径などの肉厚解析に焦点を当てた検討が必要であり今後の課題としたい。

CT で得た断面画像は形状計測や三次元的な観察ができ、資料内部の情報から技術的な特徴や構造等の把握を可能にする。調査事例を集積することで細部をより詳しく知ることができ、内部構造の特徴を抽出し比較検討を行うことで、製作技術の変遷や地域的な技術体系のまとめなどの物質文化や民族学等の調査研究へ不可視領域の情報が提供できるようになる。また、CT のデータは寸法情報を持つデータであるため、3D プリンタなどの立体造形が可能な機器と組み合わせることで模型作成も可能となり、出力した模型を手元見本として文化伝承活動等へ活用することや、断面微細部の拡大模型を作ることでのより詳細な資料観察に役立つ。出力模型や CT データを形状比較の対象に据えることで、今後、背景情報が不明なアイヌ民族資料の調査へ、情報のフィードバックも可能になるのではと推測する。アイヌ民族資料を対象とした CT の利用は途についたばかりであり、より多くの資料が調査対象になるよう研究を継続する。

※ 本稿は、国立アイヌ民族博物館令和 3 年度調査研究プロジェクト「アイヌ民族資料の科学的保存に関する基礎研究」(2021A05) の成果を含む。

## 注

- 1 便宜上、ここでは細長い形状のことを細長形と表記する。
- 2 平面形のアイヌ民族資料を対象とした CT による構造調査の中で、若干触れた事例はある(大江ほか 2021 : 1-12)。
- 3 画像検出器(フラットパネルディテクタ)が感知する X 線の飽和度を示す。
- 4 見分けられる 2 点間の最小距離を示す。値が小さいほど細かな部分まで画像上で区別できる。
- 5 X 線管球から照射される X 線は様々な波長を有する。資料の素材によって透過する X 線の波長が異なり、X 線の吸収量が対象資料の厚みに比例しないために発生するノイズを示す。
- 6 表中のプロジェクト数は資料測定時の 1 回転あたりの分割撮影数を示し、インテグレーションタイムは検出器が X 線を検出している時間を示す。
- 7 CT で取得した断面画像の中で、資料面と空気との間に境界を設ける設定のことを示す。
- 8 断面画像中に発生している線状や靄状などの白色のノイズのことを示す。

- 9 使用したCTは、コーン状（放射状）にX線を検出器側へ照射している。測定時には資料を斜めに透過したX線も検出器へ入るため、検出位置にずれが生じることとなる。このずれが生じたまま画像が再構成されるために歪みが生じるノイズのことである。
- 10 例えば、国立アイヌ民族博物館の小型資料用三次元計測器（Artec社製 Artec Space Spider）の精度は0.05mm（理論値）である。

#### 引用文献

荒木臣紀、宮田将寛

- 2017 「二つの双羊尊 エックス線CT撮影と画像解析について」『根津美術館紀要 此君』8: 5-38.

今津節生

- 2020 「X線CT調査の概要」奈良大学、九州国立博物館、東京国立博物館（編）『興福寺乾漆像の研究—X線CTスキャナによる構造解析—』奈良大学、奈良、6-7.

大江克己、古田嶋智子、北嶋由紀、八幡巴絵、中井貴規

- 2022 「平面形のアイヌ民族資料を対象としたX線CTによる構造調査の有効性」『北海道民族学』18: 1-12.

加藤和歳

- 2014 「博物館におけるX線CTスキャナを利用した研究の課題と展望」『九州歴史資料館研究論集』39: 65-80.

菊池貴、和合健、池浩之

- 2017 「X線断層撮影（CT）装置を用いた寸法測定における誤差の低減」『地方独立行政法人岩手県工業技術センター 研究報告』20: 10-14.

楠井隆志

- 2020 「制作工程の概要」奈良大学、九州国立博物館、東京国立博物館（編）『興福寺乾漆像の研究—X線CTスキャナによる構造解析—』奈良大学、奈良、9-10.

杉山智昭、赤田昌倫、鳥越俊行、長田佳宏、大江克己、今津節生

- 2019 「X線CTによるアイヌ民族資料「シントコ(行器)」の製作技法および劣化現況に関する調査」『北海道博物館研究紀要』4: 21-28.

山口隆介、鳥越俊行

- 2018 「雲中供養菩薩像（南十四号）のX線CTスキャン調査報告」『鳳翔学叢』14: 35-47.

（おおえ・かつき、たけうち・はやと、やはた・ともえ／国立アイヌ民族博物館）