

## 文化財的価値が期待される石材に対する放射光分析 —学校設定科目「地域・生活の科学」から派生した物理学実験—

奈良県立奈良高等学校 仲野純章

独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所 上相英之

龍谷大学社会学部コミュニティマネジメント学科 松浦哲郎

公益財団法人高輝度光科学研究センター 上相真之

浦上キリシタン資料館 岩波智代子

### I. はじめに

キリスト教禁教政策下の「浦上四番崩れ」では、1867年から長崎奉行所が長崎・浦上地区の潜伏キリシタン（浦上キリシタン）に棄教を迫り、約3400人が全国に流配された。当時郡山藩の施政下にあった奈良県大和郡山市もこうした流配地の一つであり、当地には86人が流配・収容され、改心を迫られたり。筆者らは、2022年度、本校学校設定科目「地域・生活の科学」の教育実践として、「大和郡山市における浦上キリシタンの歴史」に関わる多面的調査に着手した<sup>1)</sup>。そして、大和郡山市とも連携しながら活動を進める過程において、同市内の浦上キリシタン収容所跡に隣接した古民家屋根裏から、一体の石像が見いだされた。この石像の由来・来歴は種々考えられるが、以下(a)~(c)の観点から、聖母マリアに擬して潜伏キリシタンが崇拝した観音像、いわゆるマリア観音である可能性が期待され、特に、(b)(c)から、「浦上キリシタンが浦上地区から持ち出した」マリア観音である可能性が大いに期待される<sup>2)</sup>。

(a) 保管場所・保管形態

(b) 浦上キリシタン収容所跡と古民家との距離的近さ

(c) 長崎奉行所収容のマリア観音（例えば、東京国立博物館所蔵のマリア観音 C-649）との類似性

今後、当該石像の追究を核として調査を本格化させることは、「大和郡山市における浦上キリシタンの歴史」、ひいては浦上キリシタンの歴史全体に関わる新知見<sup>2)</sup>に辿り着くための意義あるアプローチといえる。そこで、筆者らは、当該石像に焦点を絞り、2023年度以降も継続調査を進めてきた（2023年度以降の生徒参加は任意とした）。今回、その一環として石像の科学分析を行い、既存マリア観音との類似性検証に向けた基礎的データを取得することを目指した。なお、2022年度の「地域・生活の科学」受講生徒で、「大和郡山市における浦上キリシタンの歴史」に関わる多面的調

査に参画していた一人が当該科学分析への同席を希望したため、人材育成視座に立ち、安全な範囲内で関与させた。

### II. 方法

X線によるCT観察とXRD測定を通じて、石像の母材の内部構造や素材の特徴を大きく把握することを試みた。ただし、今回の分析対象である石像（高さ115 mm、幅57 mm、厚さ33 mm）のように、厚さ10 mmを超える試料を非破壊で分析するためには、30 keVを超えるX線を用いたCT観察、XRD測定が必須であり、更に、両者を連携させながら現実的な時間で分析を完了するためには、大輝度・大強度のX線が必須であると考えた。そこで、大型放射光施設SPring-8のビームラインBL20XUにおいて、30 keVの放射光<sup>3)</sup>を用いてCT観察とXRD測定を行うこととした。なお、SPring-8において、CT観察とXRD測定を連動させて試料内部の詳細な把握を行うための統合CT環境は、BL20XUとBL47XUのみに設置されている。そのため、本研究の目的達成には、BL20XUあるいはBL47XUの活用が欠かせず、このうち30 keVのX線を用いて10 mm近い視野のCT観察を行うことができる唯一のビームラインBL20XUの活用が強く望まれた。このことが、当該ビームライン選定の背景にあった。

実験はBL20XUの下流ハッチで実施した（図1）。CT観察、XRD測定のための各検出器、光学素子は移動ステージ上に設置し、放射光軸上に移動させることで切り替えて使用した。一方、試料である石像は、共通の回転ステージ上にセットした。実験の構成としては、CT観察を中心に据える形とした。具体的には、石像の幾つかの部位に対してCT観察を行い、各部位で不純物が見つかった場合、XRD測定にセットアップを切り替え、不純物箇所を含む水平面に対してXRD測

定を実施することとした。表1, 2には, CT 観察と XRD 測定に関連する詳細条件を示す。



図 1. BL20XU における CT 観察/XRD 測定環境

表 1. CT 観察に関連する詳細条件

CT 検出器	BM2-Lightning (蛍光体 GAGG 20 μm) + 浜松ホトニクス ORCA-Lightning
Pixel size	0.85 μm, 画素数 4608×2596 (視野 3.917 mm×2.207 mm)
CT 投影数	3600/180 度 (on the fly 方式)
CT 露光時間	60 ms (syncreadout mode)
CT 再構成法	Convolution Back-Projection (CBP) 法

表 2. XRD 測定に関連する詳細条件

XRD 検出器	BM4 (蛍光体 P43 50 μm) + 浜松ホトニクス ORCA-Fusion
Pixel size	19 μm, 画素数 2304×2304, 測定範囲 (0-20 度 (30 keV), 2θ)
XRD 投影数	150/45 度 (on the fly 方式)
XRD 測定回転角	0-45 度
XRD 露光時間	500 ms (syncreadout mode)
XRD カメラ長	131 mm 程度

### III. 結果概要と今後の方向性

石像頭部に対する CT 観察から, 内部に六角柱状鉱物が多数含まれていることが分かった (図 2)。そのサイズは最小 27 μm×51 μm, 最大 140 μm×210 μm 程度で, 数密度は 4238 個/cm<sup>3</sup> と計算された。また, 石像胴体に対しても部分的に CT 観察したところ, 同様の六角柱状鉱物が多数含まれることが確認され, 石像の頭部から胴体にかけて, 均質な石材であることが把握された。

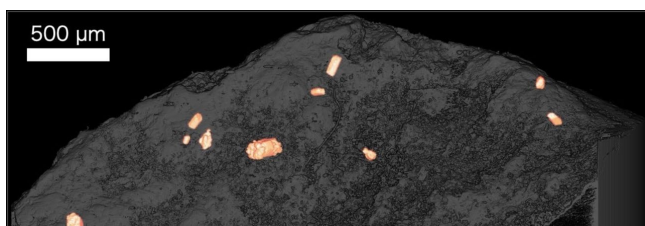


図 2. CT 観察により可視化された石像頭部の 3 次元像 (グレー) と内部に分布する六角柱状鉱物 (赤)

一方, XRD 測定は, この六角柱状鉱物を含む水平面に対して複数回実施した。石像母材については極めて均質なリング状の回折イメージが得られ, 回折パターンでは 2θ=5 度付近にプリズム反射が確認されたが, これらの特徴は, シート状の結晶構造を持ち, 結晶性が低い粘土鉱物に特徴的に見られる。スタンダードデータとの比較から, 石像母材は, 粘土鉱物の一種である「葉蠟石 (pyrophyllite)」と良い一致を示した。また, 六角柱状鉱物については, その特徴的な外観形状と XRD 測定結果を総合し, 「燐灰石 (apatite)」の可能性が高いと判断された。

今後, 当該石像に関しては, 上記結果を踏まえながら追加的な科学分析 (例えば, Sr 同位体比分析を通じた石材産地推定や石像表面に残存する塗料の分析) を行い, 既存マリア観音との類似性検証, そして「浦上四番崩れ」との関連性追究を進めていく予定である。

### IV. おわりに

本校の学校設定科目「地域・生活の科学」から派生した物理学実験として, 放射光を用いた科学分析の概要を紹介した。今回の例に限らず, 普段の授業から新たな研究の芽が派生することは少なくない。授業者たる教員自身, 授業から派生したことに興味を持ち, 追究する姿勢は, 専門的知見の強化は勿論のこと, その後の授業にフィードバックし得る題材や人的繋がり

創出にも寄与するものとして、重要視していきたいものである。

なお、本研究でも利用した SPring-8 は国内外の産学官の研究者に開かれた共同利用施設であるが、その利用には、利用研究課題申請書を提出し、審査を受けた上で採択される必要がある。今回の場合、2023年10月～2024年2月下旬頃のいわゆる2023B期の一般課題枠で利用研究課題申請書を提出し、採択された（課題番号：2023B1216、課題種別：一般課題、成果形態：成果非専有）。学校教育の中で、SPring-8を始めとする共同利用施設を活用する場面は決して多くは想定されないが、科学技術分野へ突出した興味関心を有する生徒の更なる能力・興味関心伸長、あるいは教員自身の力量向上のために、積極的な活用検討がなされることを期待する。

#### 注

- (1) 本校では、総合的な探究の時間として、「地域・生活の科学」が第1学年生徒に向けて開設されている。これは、グループで主体的に設定した「地元・奈良に関するテーマ」の探究に取り組む科目であり、本校独自の学校設定科目である。スーパーサイエンスハイスクール指定校である本校では、全生徒が3年間を通して探究する力を系統的に育む特色ある教育課程が編成されており、「地域・生活の科学」は、その根幹となる力を養う重要な位置付けにある。これまで、自然・科学分野から歴史・文化分野に至るまでの多彩なテーマが設定され、積極的に探究活動が展開されてきたが、2022年度、「地域・生活の科学」に携わる生徒・教員双方に意識改革を促す一つのモデルケースの構築を目指して、「大和郡山市における浦上キリシタンの歴史」に関わる多面的調査を題材とした教育実践を進めた<sup>3)</sup>。
- (2) 従来、浦上キリシタンが流配される際、一人一人に厳しい詮議があり、聖具の持ち出しはできないとされてきた。そのため、その足跡をたどるような積極的な調査もされてこなかった。しかし、今回見いだされた石像が「浦上キリシタンが浦上地区から持ち出した」マリア観音となれば、今後は従来の考え方を換え、流配される際の聖具持ち出しを視野に入れていく必要性が出るなど、学術上の大きな転換点となる。

- (3) 電子を光とほぼ等しい速度まで加速し、磁石によって進行方向を曲げた際に発生する、細く強力なX線を放射光と呼ぶ<sup>4)</sup>。

#### 謝辞

本報告は、JSPS 科研費 JP23H00706 の助成を受けたものである。

#### 参考文献

- 1) 谷山正道（2020）「浦上キリシタンの配流と郡山」『奈良県立同和問題関係史料センター研究紀要』第24号、1-32.
- 2) 仲野純章・松浦哲郎・上相英之・岩波智代子・米田敬司・ほか4名（2024）「側光法による浦上四番崩れ流配者記念碑の拓本とこれを起点とした学際的調査」『令和4年度大和郡山市文化財調査年報』77-84.
- 3) 仲野純章・米田敬司・上相英之・松浦哲郎（2023）「STEAM 教育視点を意識した地域連携型の探究活動—浦上四番崩れ流配者記念碑を題材とした多面的調査の教育実践—」『奈良高等学校実践論集』第1号、3-8.
- 4) 高輝度光科学研究センター光源・光学系部門光学系グループ（2017）「放射光利用研究の礎・X線ビームライン光学技術の開発」『精密工学会誌』第83巻、第1号、59-60.

（受付：2024年1月9日 受理：2024年3月1日）