

A Re-examination of *Girl and Swan*

— Material Analysis, Attribution, and the Public Disclosure of a Forgery

TAGUCHI Kaori, TSUKAMOTO Mari, NAKATANI Yuri, YASUDA Atsuo,
SOMA Yuka, NAKANO Hitomi, AMPO Takuma, TAKA Megumi, NUMATA Tomoko,
KOMATANI Shintaro, ABE Yoshinari, MURAKUSHI Madoka, SAITO Asahi,
TAKAHASHI Haruto, MORI Naoyoshi, SATO Hiroko

Abstract

This paper reports on a series of investigations conducted on *Girl and Swan*, a painting in the collection of the Museum of Art, Kochi, as well as on the exhibition and public disclosure that followed from their results. The museum acquired *Girl and Swan* in 1996 as an art work painted in 1919 by the German Expressionist artist Heinrich Campendonk. At the time, the available provenance documentation and related information were considered sufficient to support the attribution of the work to Campendonk. However, in June 2024, information was received by the Tokushima Modern Art Museum and the Berlin State Police, indicating a high likelihood that the painting had in fact been produced by the German forger Wolfgang Beltracchi (arrested and imprisoned in 2010) and falsely presented as a work by Campendonk. In response, a team of specialists was immediately assembled, and a comprehensive investigation was carried out over approximately eighteen months.

The investigation comprised close visual examination from a conservation perspective, infrared reflectography and ultraviolet-induced fluorescence imaging, as well as a series of scientific analyses, including X-ray fluorescence analysis and micro Raman spectroscopy, in order to examine the material composition and the date of production of the work. These analyses revealed, among other findings, the presence of pigments that

only came into general use in the latter half of the twentieth century, together with numerous features inconsistent with Campendonk's known working methods and period of activity. On the basis of these scientific results, combined with documentary and provenance research, the painting was judged to be, with a very high degree of probability, a forgery by Wolfgang Beltracchi.

The discussion that follows takes as its primary aim the systematic documentation and sharing of the scope, procedures, and findings of this multidisciplinary scientific investigation of *Girl and Swan*. At the same time, by re-examining the aims of the special exhibition *Reconsidering "Girl and Swan": Thinking about Forgery in a Museum That Holds One*, which was organized on the basis of these results, this paper seeks to show the role that scientific analysis can play in reconfiguring the attribution and meaning of an artwork, as well as the potential of re-exhibiting a forgery to open up a field of discussion that moves beyond the simple binary of "authentic" versus "fake."

Keywords:

Forgery; Attribution; Painting Structure and Material Analysis; Optical Investigation, Conservation and Restoration; Museum Transparency / Public Disclosure

《少女と白鳥》再検証

—— 組成分析・真贋と帰属・情報公開の
射程をめぐって

田口かおり⁽¹⁾ | 塚本麻莉⁽²⁾ | 中谷有里⁽²⁾ |
安田篤生⁽²⁾ | 相馬結花⁽³⁾ | 中野ひとみ⁽³⁾ |
安保拓真⁽³⁾ | 高めぐみ⁽³⁾ | 沼田朋子⁽³⁾ |
駒谷慎太郎⁽³⁾ | 阿部善也⁽⁴⁾ | 村串まどか⁽⁵⁾ |
齋藤旭飛⁽⁴⁾ | 高橋暖人⁽⁴⁾ | 森直義⁽⁶⁾ | 佐藤寛子⁽⁶⁾

- (1) 京都大学 人間・環境学研究科
(2) 高知県立美術館
(3) 榊場テクノサービス分析技術本部
(4) 東京電機大学 工学部応用化学科
(5) 明治大学 理工学部応用化学科
(6) 森絵画保存修復工房

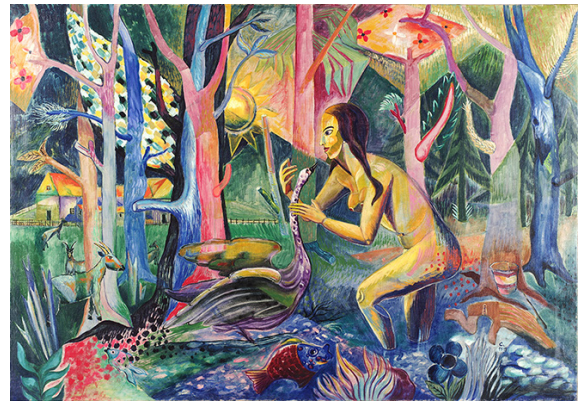


図1: ハインリヒ・カンペンドnkを詐称した
ヴォルフガング・ベルトラッキ《少女と白鳥》
1990年代、カンヴァスに油彩、69.0×99.3 cm

要旨

本稿は、高知県立美術館が所蔵する油彩画《少女と白鳥》について実施された一連の調査と、その成果にもとづく展示および情報公開のプロセスを報告するものである。

1996年、高知県立美術館は、ドイツ表現主義の画家ハインリヒ・カンペンドnkによる1919年の作品として《少女と白鳥》を購入した。当時入手可能であった来歴資料および関連情報は、本作をカンペンドnkの真作と判断するに足るものと考えられていた。しかし、2024年、本作がドイツの贋作画家ヴォルフガング・ベルトラッキ(2010年に逮捕・服役)によってカンペンドnk作と偽り制作された贋作である可能性が高いとの情報が、徳島県立美術館やドイツベルリン州警察などから寄せられる。これを契機に専門家による調査チームが組織され、各機関の協力のもと、およそ一年半にわたる包括的な調査が実施された。

検証過程においては、保存修復分野で常時おこなわれる熟覧調査に加え、蛍光X線分析や顕微ラマン分光分析などの科学的手法を段階的に適用し、作品の材質的特徴を調べ、制作年代を再考した。その結果、本作品には20世紀半ばから後半以降に一

般化した顔料が含まれていることが確認されるなど、カンペンドnkの制作年代や技法と整合しない点が多数発見された。こうした科学分析の成果と文献精読、来歴調査を合わせ総合的に検討した結果、高知県立美術館は《少女と白鳥》はハインリヒ・カンペンドnkの真作ではなく、ヴォルフガング・ベルトラッキによって制作された贋作であるとの結論に至り、その旨が公表された。

以下の論は、《少女と白鳥》について実施された各調査の実施過程や結果を体系的に記録し共有することを目的として執筆されるものである。なお、本稿の最終章では、調査結果にもとづいて実施された特別展「再考《少女と白鳥》——贋作を持つ美術館で贋作について考える」の射程にも言及し、科学分析が美術作品の帰属と意味の再構成に果たしうる役割と、贋作の再展示が「真作／贋作」という二分法的枠組みを超えた議論の場を形成しうる可能性を示す。

【キーワード】

贋作、作品帰属、絵画の構造・材質分析、光学調査、保存修復、博物館学(ガバナンス・情報公開)

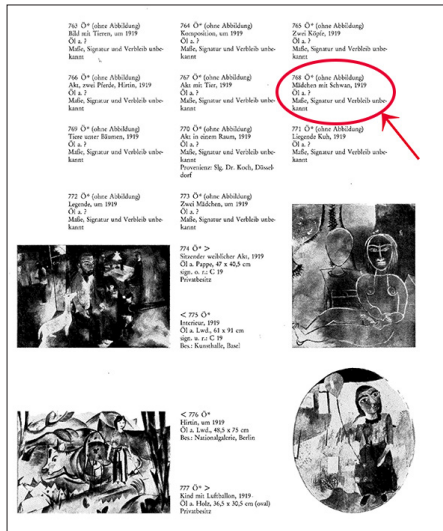


図2: カタログ・レゾネに掲載された《少女と白鳥》の情報
掲載元: Andrea Firmenich, *Heinrich Campendonk. 1889 - 1957. Leben und Expressionistisches Werk*, Bongers

1. 序論

1-1. 調査の背景

2024年夏、高知県立美術館に収蔵されているハインリヒ・カンペンドク(1889-1957)の油彩画《少女と白鳥》が後世の贋作である可能性が高いとの情報が関係者のあいだで共有されたことを契機として、本調査が開始された【図1】。ドイツの美術界を揺るがした贋作家ヴォルフガング・ベルトラッキ(1951-)の逮捕に貢献したベルリン州警察芸術犯罪専門部の捜査官ルネ・アロンジェ氏より先行調査資料の提供を受けたことも、本調査を組織化する重要な契機となった。のちに詳述するように、その後の調査の過程で、本作はベルトラッキによる贋作である可能性がきわめて高いと判断されるに至った。

《少女と白鳥》は1996年の購入以降、長らくハインリヒ・カンペンドクの真作として展示されてきた経緯がある。なぜ購入時点で本作が贋作であることを見抜くことができなかったのか。この問いは、実のところ《少女と白鳥》という一作品にとどまらず、美術品市場と鑑定の制度そのものに関わる問題を含んでいる。



図3: ヘレーネ・ベルトラッキが祖母に扮して撮影した来歴偽装用の写真

掲載元: Stefan Koldehoff et Tobias Timm, *L'Affaire Beltracchi: enquête sur l'un des plus grands scandales de faux tableaux du siècle et sur ceux qui en ont profité* (Arles: Actes Sud, coll. « Babel », 2015)

美術品の真贋や帰属をめぐる判断において重要な役割を果たすのが、いわゆるカタログ・レゾネ(catalogue raisonné)である。レゾネは、特定の作家が生涯に制作したとされる全作品について、題名、制作年、素材技法、寸法、来歴などを網羅的に記録した作品総目録であり、専門的な作家研究の集大成として位置づけられる。一般に、レゾネに掲載された作品は、当該作家の真作として扱われるため、市場や美術館における評価の重要な基準となってきた。

ベルトラッキは、この制度的枠組みを巧妙に利用し、数多くの絵画を売り捌いていた⁽⁷⁾。図版に掲載されていないレゾネ記載作品を選び、当該作家の様式を模倣して新たに制作した絵画を、あたかも既存の失われた作品であるかのように市場に流通させたのである【図2】。さらに家族と共謀し、妻の祖父が所蔵していたとされる架空の来歴を付与することで、作品の「出自」と信憑性を補強した【図3】。かくして、《少女と白鳥》は、カンペンドクのレゾネ編纂者である美術史家アンドレア・フィルメニヒによって真作と認定され、国際的なオークションハウスであるクリスティーズに出品された。「正規の手続きを経て流通し

(7) 以下を参照。Noah Charney, “The Beltracchi Case: The Anatomy of a Forgery Scandal,” in *The Art of Forgery: The Minds, Motives and Methods of Master Forgers* (London: Phaidon Press, 2015).

図4: *German and Austrian Art '95: Nineteenth and Twentieth Century Paintings, Drawings and Prints, Christie's, London, 11 October 1995, pp.170-171.* (オークションカタログ、個人蔵)



た」という事実そのものが真贋の保証として機能する市場の慣行を、ベルトラッキは逆手に取ったといえよう【図4】。

この詐術に欺かれたのは、フィルメニヒ一人ではない。欧米の多くの美術史家、ギャラリスト、さらには作家遺族までもが、ベルトラッキの手がけた贋作群を真作と信じた⁽⁸⁾。作品が視覚的に「それらしく」見えたことに加え、いったん公式な鑑定や来歴が与えられた作品については、その判断を覆すことが訴訟リスクや市場への影響を伴うため容易ではない、という制度的背景も少なからず作用していただろう。歴史的にみても、真贋の判断がしばしば熟練した専門家の目と経験に大きく依存することは、よく知られているとおりで⁽⁹⁾。真贋が疑われる作品については、熟覧調査と並行して物質的証拠にもとづく科学的調査を組み合わせた総合的な検証が求められるが、《少女と白鳥》にかんしてはこれまで本格的な科学調査が実施されたことはなく、判定に資する客観的資料は乏しい状況にあった。本作がカンペンドンクによる1919年の真作なのか、それともベルトラッキによる後年の贋作なのかを再検討するためには、証言や捜査資料に加えて複数の調査手法を組み合

わせた科学的検証が不可欠であるとの判断に至り、本研究の方法論が設定された。

1-2. 調査の目的と方法

上述のように、本調査は、《少女と白鳥》の構造および技法を複合的な調査によって明らかにし、作品の制作年代を再検証することで「1919年」とされてきた制作年代について科学的見地から再考し、一定の結論を提示することを目指して実施された。先行研究の精査にもとづき、ベルトラッキによる贋作であるか否かを判断するための主要な指標として、次の三点を設定した。すなわち(A)制作年代の詐称を示す物質的痕跡(古い画布の再利用や、制作年代を偽るための人工的な擦れや古色付けなど)が認められるかどうか、(B)ベルトラッキ自身が作成したとされる来歴偽造ラベルが付されているかどうか、(C)絵具や表現のなかに当該年代と整合しない成分が検出されるかどうか、である。これらの指標を検証するため、以下の調査を実施した。

(A)額装を解除したうえでの熟覧調査、赤外線および紫外線撮影、ならびに実体顕微鏡による観察を含む基礎調査、(B)作品裏面に付されたラベルの確

(8) ベルトラッキの贋作は、ドイツ、スイス、フランスを中心に、複数の美術史家、ギャラリー、オークション関係者、さらにはマックス・エルンストの遺族を含む権利者たちによっても長く真正と認められていたことが、裁判記録および当事者の証言によって確認されている。以下を参照。Johannes Hirsch, *Narrationen der Fälschung: Von Kunstfälschung und Erzählkunst bei Wolfgang Beltracchi, Eric Hebborn und Elmyr de Hory* (Gießen: Psychosozial-Verlag, 2016), pp. 77-124.

(9) 19世紀以降の美術史において、作品の真贋は長らく、鑑定家や美術史家が長年の経験によって培った「眼」によって判断されてきたことが繰り返し指摘されてきた。とりわけジョヴァンニ・モレリやマックス・J・フリードレンダーの著作は、このような真贋判断の伝統を理論化した古典的文献とされている。詳細は以下を参照。Giovanni Morelli, *Della pittura italiana. Studii storico-critici, 2 vols.* (Milan: Treves, 1890-1897); Max J. Friedländer, *On Art and Connoisseurship*, trans. Tancred Borenius (Boston: Beacon Press, 1959).



図5



図6

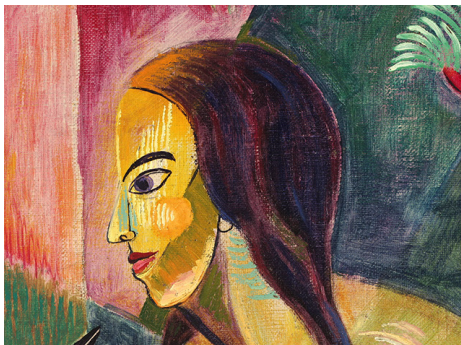


図7

図5: 《少女と白鳥》裏面の構造

撮影: 田口かおり、佐藤寛子(図5-図13まで同撮影者)

図6: 《少女と白鳥》透過光撮影写真

図7: 《少女と白鳥》部分撮影写真

認とその特徴の記録、(C)微小部蛍光X線分析装置および蛍光X線分析装置(XRF)による顔料分析、微小な絵具片(直径約0.1~0.5 mm)を用いた走査電子顕微鏡・エネルギー分散型X線分析(SEM-EDS)、ラマン分光分析、ならびに複数の可搬型装置を複合的に用いて館内で実施した非破壊・非接触のオンサイト分析による検証である。オンサイト分析は、採取したごく限られた試料に依存する結果の妥当性を検証し、点的に得られた分析結果を面的な理解へと拡張して作品全体の傾向との整合性を確認するための補強的手段として位置づけられる。以下では、これらの調査の詳細について順に記述する。

2. 基礎調査

2-1. 額装解除と観察

《少女と白鳥》の額装を解除し、支持体および画面全体の観察を行った結果、まず木枠の構造に顕著な特徴が認められた。本作に用いられている木枠

は、楔を用いて張力を調整する一般的な伸縮式の構造ではなく、薄い板材を合わせて数点を釘留めした簡素な組立式のものであり、全体としてきわめて軽量である【図5】。この種の簡易な木枠は、ヴォルフガング・ベルトラッキによる他の贋作群においても繰り返し確認されており、本作の支持体の構造はその作例と技術的に整合している⁽¹⁰⁾。

画面の観察からは、明度の高い絵具が薄く塗布されていること、筆致が速く重ね塗りが浅いことが確認された。地塗りの白色が随所に見え、厚塗りされた箇所は少なく、描かれた形態の輪郭が比較的明確に把握できる。透過光観察によっても絵具層の薄さは明瞭である【図6】。とくに人物の顔貌や樹木の幹などには、連続的で一筆書きのような線が用いられており、描画過程における速度と計画性を示唆する特徴が認められる【図7】。赤外線反射撮影によって、画面の各所に淡い下描き線が確認され、構図および主要な輪郭が事前に設定されたうえで比較的

(10) Diana Blumenroth, Jenny Nieberle, and Gunnar Heydenreich, *Möglichkeiten und Grenzen kunsttechnologischer Untersuchungen: Heinrich Campendoncks Gemälde im Kontext des Beltracchi-Fälschungsskandals*. Research report (Cologne: Institut für Restaurierungs- und Konservierungswissenschaft [CICS], TH Köln, 2014), 264.



図8:《少女と白鳥》赤外線反射画像 720 nm



図9:《少女と白鳥》紫外線励起蛍光撮影画像

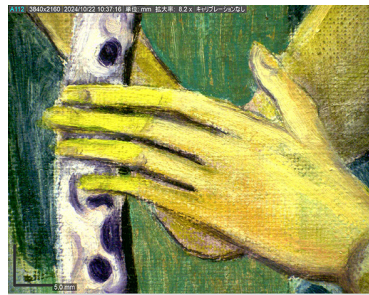
図10:《少女と白鳥》
デジタルマイクロスコープ撮影画像

図11:《少女と白鳥》部分撮影写真

図12:《少女と白鳥》木枠の裏面に
貼られた来歴偽造ラベル

一貫した手順により描画が進められたことが示唆された。一方で、下層に別の構図や異なるイメージが存在する痕跡は認められなかった【図8】。紫外線励起蛍光撮影においても、不自然な蛍光反応や広範な吸光域は観察されず、過去の修復介入を示す明確な痕跡は確認されなかった【図9】。また、画面全体にわたって人工的な古色付けや、別の絵画を削り取って再利用したことを示す痕跡も認められなかった。木枠には古い釘穴などの痕跡が見られることから、それ自体が再利用された可能性は示唆されるものの、これらの所見のみから贋作であることを決定づけるには十分とは述べがたい。

実体顕微鏡による観察では、少女の輪郭線が比較的単調に引かれている一方で、指先や腕部の描写には色彩のにじみが多く、骨格や関節の起伏が明確に表現されていないことが確認された。とくに指の形態には不均一な歪みが見られ、形態が十分に整

理されないまま速い筆致のもとで描写された可能性が示唆される【図10、11】。

構図および主題については、裸婦と動物が自然の中で共存するモチーフが用いられており、これはカンペンドンク作品に繰り返し見られる主題や要素と形式的に一致する⁽¹¹⁾。しかし、こうした視覚情報にもとづく類似点を根拠として真贋を判断することには限界があり、外観の観察のみから本作の帰属を確定することは困難である。

2-2. 裏面の検証

作品裏面の観察を行ったところ、木枠裏面に「Sammlung Flechtheim(フレヒトハイム・コレクション)」と記されたラベルが貼付されていることが確認された【図12】。このラベルは、すでに他国で贋作と判断された複数のベルトラッキ作品裏面から発見されているものと同一の形式を有している。ベルトラッ

(11) カンペンドンク作品において、裸婦像と動物(鹿、馬、鳥など)が楽園的・象徴的な自然の中で共存する構図が反復的に用いられている。Andrea Firmenich, *Heinrich Campendonk 1889–1957: Leben und expressionistisches Werk: mit Werkkatalog des malerischen Œuvres*, Andrea Firmenich (Recklinghausen: Verlag Aurel Bongers, 1989).

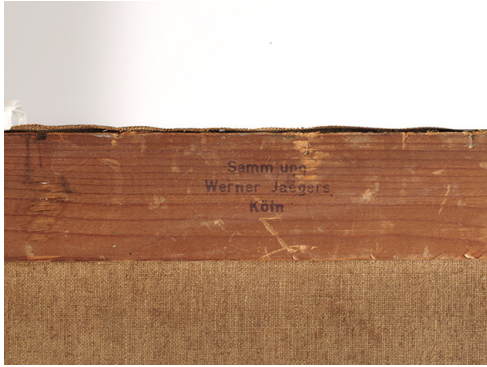


図13

図13:《少女と白鳥》木枠の裏面に押された来歴偽造スタンプ

図14: ハイน์リヒ・カンペンドルクを詐称したヴォルフガング・ベルトラッキ《人物と鳥のいる風景》木枠裏面の来歴偽造ラベルおよびスタンプ

掲載元: Rathgen-Forschungslabor der Staatlichen Museen zu Berlin, 20.08.2011, S. 25–26.



図14-1



図14-2

キ自身が自伝において、この種のラベルを用いて来歴を偽造したことを認めていることから、本ラベルは「贋作の証拠物」として位置づけられている。さらに、ヴェルナー・イエーガース・コレクションに属していたことを示すスタンプも併せて確認された【図13】。ヴェルナー・イエーガースはベルトラッキの妻の祖父にあたる実在の人物であり、ベルトラッキはこの人物をフレヒトハイムと関係のあった収集家であるかのように装うことで、贋作にもっともらしい来歴を付与していた事実が知られている。まさにその来歴偽造スタンプが、本作でも発見されたということになる。画面および支持体の表面的観察のみからは決定的な判断に至らなかったものの、裏面のラベルおよび来歴スタンプは、他国での調査においてすでに重要な証拠物とされているそれと同一のものであり【図14】、本作の帰属に重大な疑義を生じさせる重要

な所見であった。しかし、これらの物証の評価を確定的なものとするためには、作品を構成する材料そのものに関する科学的検証がさらに求められると考え、以降の詳細な材料分析へと調査を進めることとなった。

3. 科学調査

3-1. 調査の背景と分析指標

ヴォルフガング・ベルトラッキによる贋作は、1980年代後半以降に国際的な美術市場に流通するようになった。2006年には、ハイน์リヒ・カンペンドルクの1914年作とされていた《馬のある赤い絵》がドイツのオークションで落札されたが、その後の鑑定過程において、当該作品から当時の絵画制作には使用されていない白色顔料であるチタニウムホワイトが検出された⁽¹²⁾。この発見を端緒として、2009年から

(12) バイエルン州立絵画コレクション附属デルナー研究所(Doerner Institut, Bayerische Staatsgemäldesammlungen)による材料分析の結果、絵具層からルチル型チタン(チタニウムホワイト)および1938年以前には市販されていなかった緑色顔料が検出された。ルチル型二酸化チタン顔料の工業的生産は1930年代以降であることから、本作の1914年制作という帰属は技術的に否定された。以下を参照。Stefan Koldehoff et Tobias Timm, *L’Affaire Beltracchi: enquête sur l’un des plus grands scandales de faux tableaux du siècle et sur ceux qui en ont profité* (Arles: Actes Sud, coll. « Babel », 2015), p. 31.

2010年にかけてベルリン州警察が捜査を行い、絵具の組成分析および作品裏面に貼付されたラベルの検証を通じて組織的な贋作の存在が明らかとなった。2010年8月、ベルトラッキおよび関係者が逮捕される。以降、各国の研究機関において、ベルトラッキ作品の制作年代の詐称を検証するための科学的調査が進められてきた。先行研究では、ベルトラッキが制作した贋作上において頻繁に確認されるチタニウムホワイト⁽¹³⁾、フタロシアニンブルーやフタロシアニングリーン⁽¹⁴⁾などの顔料の検出が真贋判定における重要な指標として位置づけられている。なぜなら、上記の顔料はいずれも工業的に合成されるものであり、1930年代以降に画材として流通が一般化したものであるため、カンペンドクが活動していた1910年代の作品に含まれることは想定しがたいからである。本調査の初期段階においても、ベルリン州警察芸術犯罪専門部のルネ・アロンジェ捜査官より、複数の分析手法を組み合わせるこれらの顔料の使用痕跡を検出することが推奨された。こうした情報を踏まえた上で、本研究では蛍光X線分析(X-ray fluorescence analysis, XRF)、微小部蛍光X線分析(Micro XRF)、走査電子顕微鏡-エネルギー分散型X線分析(Scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray spectroscopy, SEM-EDS)、顕微ラマン分光分析(Micro Raman spectroscopy)、デジタル光学顕微鏡撮影(Digital optical microscopy)、マルチスペクトル撮影(Multispectral imaging)、ハイパースペクトル撮影(Hyperspectral

imaging)を組み合わせた分析を行い、《少女と白鳥》においてこれらの指標となる顔料が検出されるかどうかを検証することとした。第一段階の顔料分析は(株)堀場テクノサービス分析技術本部が、第二段階の顔料分析は東京電機大学および明治大学の調査チームが実施した。以下にそれぞれの調査内容と、主な成果を記す(なお、詳細については論文末の付録1 および付録2を参照のこと)。

3-2. 二段階調査とそれぞれの成果

第一段階の調査では、まず、微小部蛍光X線分析装置およびハンドヘルド型蛍光X線分析装置を用いた非破壊の元素分析を実施した。画面の各色調に対応して元素分布を確認したところ、本作には鉛を主成分とする地塗り、ジンクホワイト、クロム系緑色顔料、コバルトを含む青色顔料、鉄系土性顔料など、複数の無機顔料が用いられていることが推定されたが、真贋判定の決定的指標とされるチタニウムホワイトおよびフタロシアニン系顔料については、この段階での分析では検出の可否を確定できなかった。

そこで《少女と白鳥》から微細なサンプルを採取し、SEM-EDSおよび顕微ラマン分光分析を実施した。色調の異なる顔料サンプルに対して実施したSEM-EDSにより、非破壊の蛍光X線分析による各種顔料の推定結果が強く補強された。顕微ラマン分光分析では、元素分析のみでは判別困難であった特徴的な顔料の相同定に成功した。白色試料から得られたラマンスペクトルは、チタニウムホワイト(酸化

(13) チタニウムホワイトは、チタンの酸化物である二酸化チタン(TiO_2)からなる白色顔料の名称である。この物質自体の発見は19世紀にまで遡るが、爆発的に普及するきっかけとなったのは、1910年代に米国やノルウェーで相次いで開始された工業的な生産である。以降、市場にゆっくりと登場し、1920年代後半-30年代にかけて徐々に白色顔料として受け入れられるようになる。有害な金属である鉛を含むシルバーホワイト等とは異なり、チタニウムホワイトにはほとんど毒性がなく、さらにきわめて高い隠蔽力と着色力を持つことから、新しい画材として瞬く間に広がった。Marilyn Laver, "Titanium Dioxide Whites," in *Artists' Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics*, vol. 3, ed. Elizabeth West FitzHugh (Oxford: Oxford University Press, 1997), pp. 295-355; ラザフォード・J・グეტテンズ、ジョージ・L・スタウト『絵画材料事典』森田恒之訳(東京:美術出版社、1973年)、157頁; Ch. Coffignier, *Couleurs et Peintures* (Paris: J.-B. Baillièrre et Fils, 1924); Noel Heaton, *Outlines of Paint Technology* (London: Charles Griffin & Co., 1928).

(14) フタロシアニンブルーおよびフタロシアニングリーンはいずれも、フタロシアニン($\text{C}_{32}\text{H}_{16}\text{N}_8$)を基盤とする合成有機顔料である。フタロシアニンは1907年に顔料研究とは無関係の文脈で偶然発見されたが、のちに各種金属と錯体を形成しうることが明らかとなり、顔料として利用されるようになった。銅(Cu)との結合によりフタロシアニンブルー($\text{C}_{32}\text{H}_{16}\text{N}_8\text{Cu}$)が、さらに塩素化によりフタロシアニングリーン($\text{C}_{32}\text{H}_{10}\text{N}_8\text{Cl}_{14}\text{Cu}$)が得られ、いずれも1930年代に工業的な生産が開始された。両者は従来の青・緑顔料に比して発色が鮮明で、耐候性・耐熱性・耐薬品性に優れていたため急速に普及した。Suzanne Quillen Lomax, "Phthalocyanine and quinacridone pigments: their history, properties and use," *Studies in Conservation* 50 (suppl. 1) (2005): 19-29.



図15:「特別展示・調査報告 再考《少女と白鳥》贋作を持つ美術館で贋作について考える」展 会場風景

チタン)のアナターゼ型に特有のピークを示していることが明らかとなった。青色試料や緑色試料から得られたラマンスペクトルは、フタロシアニン系顔料に特有のピークパターンを示し、ライブラリデータおよび市販の顔料のラマンスペクトルとの照合によって同定された。これらはいずれも20世紀後半以降に画材として広く普及した合成有機顔料であり、カンペンドクが活動していた1910年代の制作環境とは整合しない。

上記の成果は、《少女と白鳥》のこれまでの帰属や真贋を再考するにあたって有力な材料となった。ただしこれらは限られたエリアから採取した微小試料に基づく成果であり、絵画全体における顔料分布の広がりや一貫性を評価するためには、より非破壊的かつ広範囲の検証が必要であると考えた。よって、異なるエリアからも情報を取得することを目的に、第二段階の調査として各種の可搬型装置を複合的に用いた非破壊・非接触かつオンサイトの手法での分析を実施した。その結果、緑や青の絵具が重ね塗られ異なる色調を示す複数のエリアに、銅を主成分とするフタロシアニン系顔料やアナターゼ型のチタニウムホワイト顔料に帰属される顔料が使用されている痕跡を認めた。

二段階の分析はいずれも、1910年にカンペンドクが本作を制作していたとすれば検出されるはずの

ない顔料が絵画に含まれていることを実証する結果となった。銅を主成分とするフタロシアニン系顔料やアナターゼ型チタニウムホワイトの検出などは、20世紀前半の画家の制作環境を前提とする理解とは整合しない。既述のように、これらの顔料は、贋作家ヴォルフガング・ベルトラッキの絵画群からも繰り返し確認され、真贋判断における決定的な指標として参照されてきた素材である。科学調査により、本作に利用された痕跡が示された一部の顔料は、《少女と白鳥》の帰属および制作年代の再考を強く促すものとなった。美術史的様式分析や来歴研究と併せて本作の物質的構造の特徴を検証すれば、本作《少女と白鳥》は、ヴォルフガング・ベルトラッキがハインリヒ・カンペンドクを詐称して手がけた贋作である可能性はきわめて高いと判断できる。

4. 展示企画と情報公開

4-1. 趣旨

上記のような成果を公開する場として企画されたのが、高知県立美術館の特別展示・調査報告「再考《少女と白鳥》 贋作を持つ美術館で贋作について考える」展(2025年9月13日(土)–2025年10月19日(日))である【図15】。

1996年の購入以降、贋作である可能性が指摘されるまでの約28年間にわたって《少女と白鳥》がカ

ンペンドク作品として展示され鑑賞されてきたという事実は、本作が美術館制度と鑑賞の歴史の中で一定の役割を担ってきたことを示している。このような経緯を踏まえ、本展は単に贋作を排除するのではなく、むしろ作品の真正性はいかなる条件のもとで成立するのか、美術館はいかにして真贋問題に向き合うべきかといった問いに対峙する場として構想された。

展覧会では、《少女と白鳥》とあわせて、科学調査の過程や、他の収蔵作品の科学調査成果、また、学芸員、美術史家、修復士、科学者、警察官、法曹関係者など、異なる専門領域の関係者による見解も併せて紹介するなど、贋作問題を多面的に捉える枠組みを提供することが目指された。これらの議論は、作品の真贋判断が科学的データの解釈、様式分析、来歴調査、法的・倫理的検討といった複数の知の実践の交差によって形成されるものであることを改めて私たちに語りかける。こうした知見を可視化し共有することは、今後の作品収集や調査における検証指針の構築、ひいては再発防止のための基盤を形成することにもつながりうる。

4-2. 展示構成

展覧会は、《少女と白鳥》一作に焦点を絞るのではなく、贋作をめぐる問題を歴史・制度・物質の三つの次元から問い直す四章構成として企画された。第1章「贋作の歴史」では、国内外の代表的な贋作事件が年表形式で提示された。ここでは、贋作という現象が美術史の歩みと切り離せないものであったことを通史的に俯瞰できる導入が目指された。

第2章「作品の外側から分かること」では、高知県立美術館のコレクションから、作者の同定が容易ではなく、真作と贋作の二分法では捉えられない作品の来歴や鑑定をめぐる慣行の紹介を通じて、真贋の内実を検討した。たとえば来歴が定かではなくても、特定の地域の中で受け継がれてきた作品の事例として、土佐の絵師・絵金の芝居絵屏風などの展示を試み、「真筆か否か」だけが価値を決定するわけでは

ないことを主張した。続く第3章「《少女と白鳥》を視る」においては、《少女と白鳥》をめぐる科学調査の過程を、実際の作品と関連資料とともに公開した。購入当時の判断根拠となったカタログ・レゾネやオークション資料もあわせて展示し、複数の鑑定を経ても贋作が見抜かれなかった経緯を詳らかにしている。なお、調査過程で採取した絵具片も、あわせて公開することとした。第4章「絵画の内側を視る」では、高知県立美術館が所蔵するマルク・シャガール、マックス・ペヒシュタイン、ヴァシリー・カンディンスキー、パウル・クレーの作品と、各作品について実施された非破壊オンサイト分析の成果を展示した。彼らはいずれもハインリヒ・カンペンドクと同時代に活動した画家たちである。これらの作品の分析では、ヒ素を含む緑色顔料など、現在では流通していない顔料の存在も確認され、当時の画材環境の実態が浮かび上がった。こうした同時代作品にみられる顔料情報は、《少女と白鳥》の分析結果と明確に異なっており、改めて《少女と白鳥》の素材の「新しさ」——1910年代の作品としての「不自然さ」——を浮き彫りにする。本章では、技法研究が果たしうる役割や、絵画の物質がどのように歴史を語りうるのかをあらためて思考する場を開くことが目指された。展覧会の最終エリアでは、美術・法律・科学の専門家に加え、本件に深く関わった関係者のコメントを収集し提示し、贋作の再展示が「真作／贋作」という二分法的枠組みを超えた議論の場を形成しうる可能性についての考察で締めくくられた。

4-3. 開かれた検討

以上のように本展は、ひとつの作品の真贋をめぐる事例報告にとどまらず、科学的検証と判断そのものの公開を展示の中心に据える試みであった。結論だけでなくその解釈や判断に至る過程が共有されることで、作品の帰属がいかに構築されるのが具体的に示され、また、科学分析が単なる証明装置ではなく帰属と意味を再編する契機として機能しうることが示された。本展は、そのような知の形成過程

を、展示というかたちで可視化する提案であったといえる。こうした展示実践のありかたが国内外において注目を集めたことは、ニューヨーク・タイムズ紙の報道にも示されている。同紙は、「真正な作品に何が期待されるのかという指標を来館者自身に問い、鑑定の現場へと鑑賞者を位置づけた」と評し、美術館の対応が「スキャンダルを探究の機会へと変えた」と総括した⁽¹⁵⁾。

本企画が作品の真正性をめぐる議論を社会的対話の文脈に置き直したことは、絵画の真贋がどのような根拠にもとづいて判断されるのか、またその判断はいかなる手続きのもとで成立するのかという問いに改めて光をあてる一契機となった。そこには、こうした決定が専門家内部に閉じたものではなく、公開の場で検討されうる主題であるという認識が含まれている。「再考《少女と白鳥》贋作を持つ美術館で贋作について考える」展は、帰属と意味の形成過程を提示する展示であり、専門的判断が公開場においていかに扱われうるかを考えるための一つの素材として位置づけられよう。

5. 結言

上記のとおり、本研究は《少女と白鳥》の構造および使用材料を複合的な科学調査によって検証し、作品の制作年代を再評価すること、ならびに1919年作とされてきた従来の帰属を科学的見地から再考することを目的として実施された。二段階に及ぶ科学的な調査の結果、本作にはチタニウムホワイト、フタロシアニンブルー、フタロシアニングリーンといった合成顔料が使用されている可能性が高いことが明らかとなった。これらはいずれも、カンペンドクが本作を制作したとされる1919年当時には描画用画材として一般化していなかった材料であり、本作品を1910年代の制作物とみなすことは困難である。さ

らに、偽造来歴ラベルの存在、ベルリン州警察の捜査資料、ベルトラッキ本人の証言および先行研究の成果をあわせて総合的に検討した結果、本作は後年にヴォルフガング・ベルトラッキによって制作された贋作であるとの結論に至った。

以上の結論に至る過程そのものが、本研究の方法論的な意義を形づくっている。本研究の特徴は、この帰属問題に対して、美術館と複数分野の研究者が協働し、科学分析、美術史的検討、来歴調査を横断的に組み合わせた点にある。贋作の調査そのものは決して新しい営みではないが、その過程と結果を体系的に記録し、検証可能なかたちで公開した事例は、それほど多くはないだろう。本件は、作品の真贋判断が単一の専門領域に還元されるものではなく、物質的証拠、歴史的な文脈、制度的枠組みを含む複合的な知の実践によって形成されることを示している。

本作を排除するのではなく、展覧会というかたちで調査成果とともに公開するという決断は、美術館における作品の意味づけが固定的なものではなく、調査と解釈の更新を通じて再構成されうることを示す試みであった。贋作と判断された後においても、その作品が制度的・歴史的な文脈の中で果たしてきた役割が消去されるわけではない。本件は、科学的調査によって作品の物質的な実態が明らかにされると同時に、美術館という制度の中で作品がどのように価値づけられてきたのかを再考する契機ともなった。《少女と白鳥》をめぐる本調査とその公開は、保存修復と科学分析が、美術作品の帰属だけでなく、その意味と位置づけを再編成しうることを具体的に示す事例である。本稿が、その過程を記録し、今後の類似事例における調査と判断の基盤となることを期待したい。

(15) Stefan Ephrat Livni, "Aftershocks of an Art Crime Reverberate in Japan: At Least Four Works by a Famous Convicted Forger Have Been Discovered in Japan. Transparency About the Mistakes, however, Has Sparked as Much Curiosity as Scandal," *The New York Times*, November 28, 2025, <https://www.nytimes.com/2025/11/28/world/asia/japan-art-forgeries.html> (2026年2月28日最終アクセス)

謝辞

本研究の実施にあたっては、多くの方々から多大なるご支援とご協力を賜りました。とりわけ、カンペンドンク作品を多く所蔵するペンツベルク美術館のアネッテ・フォーゲル氏、また、調査に際して先行研究や裁判資料を共有して下さったベルリン州警察のルネ・アロンジェ氏に深く御礼を申し上げます。なお、本研究の一部は科学研究費(基盤B:24K00159 および基盤C:24K03506)の助成を受けて実施されたことを申し添えます。

付録1: 科学調査第一段階

— 蛍光X線分析、SEM-EDX、顕微ラマン分光分析

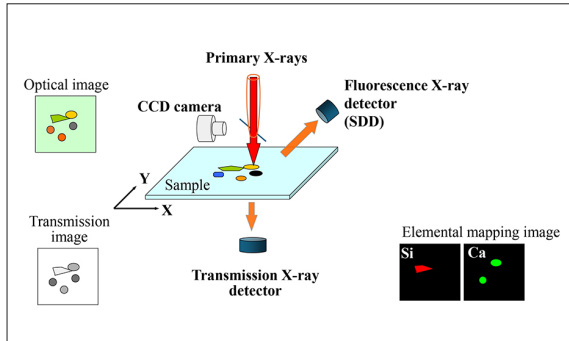


図1

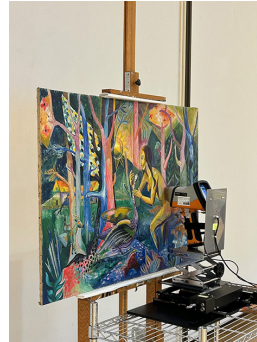


図2



図3

図1: X線分析顕微鏡XGT-5200 分析概略図

図2: ハンドヘルド型蛍光X線分析装置X-MET8000 調査風景

図3: ステージ拡張用のアームを取り付けたXGT

1-1-1. 微小部蛍光X線分析装置および

ハンドヘルド型蛍光X線分析装置:装置と調査方法

非破壊・非接触の分析から情報を得ることを目的として、微小部蛍光X線分析装置XGT-5200(以下XGT)(堀場製作所製)およびハンドヘルド型蛍光X線分析装置X-MET8000(以下X-MET)(日立ハイテクノロジー製)を用いた。これらの装置はいずれも、試料にX線を照射し、そこから発生する蛍光X線を検出することにより、含有元素の種類および相対量を測定するものであり、作品からサンプルを採取せずとも材料情報を取得できる点に大きな利点がある。とくにXGTは、ステージを走査することにより、ステージ上に設置した試料内の元素の空間分布を可視化するマッピング機能を有しているため、特定の元素が画面のどの部分に分布しているかを画像として把握することが可能である。この機能により、顔料の使用状況を面的に評価し、後続の詳細分析の対象領域を選定するための指針を得ることができる【図1】。ただし、《少女と白鳥》は画面サイズが大きいため、XGTのステージ上では作品中央部の一部が測定範囲に収まらない領域が生じた。そこで、この領域については作品をイーゼルに固定した状態で、ハ

ンドヘルド型のX-METを用いて補完的な測定を行うこととした【図2】。XGTによるマッピング結果とX-METによるスポット測定とを組み合わせ、「人物の顔」「背景の家」「植生」など、比較的色彩の多いエリアを複数選択し、元素分布の把握を試みた。

1-1-2. 測定条件

《少女と白鳥》のXGT分析にあたっては、大型作品の測定に対応するために設計・製作された大型試料ステージを使用した。XGTには、900 mm × 600 mmのアルミニウム合金製ステージを搭載し、さらに可能な限り広範囲の測定を行うため、ステージ拡張用のアームを取り付けて使用した【図3】。XGTによるマッピング分析の測定条件は、管電圧50 kV、管電流1.0 mA、分析領域100 mm角、ピクセルサイズ400 μm、測定時間1277秒(1ピクセルあたり20 ms)、作動距離10 mmとした。ポイント分析については、管電圧50 kV、管電流1.0 mA、測定時間100秒、X線ビーム径155 μmの条件で実施した。一方、ハンドヘルド型蛍光X線分析装置X-METによるポイント分析の測定条件は、管電圧40 kV、管電流8 μA、測定時間15秒とした。

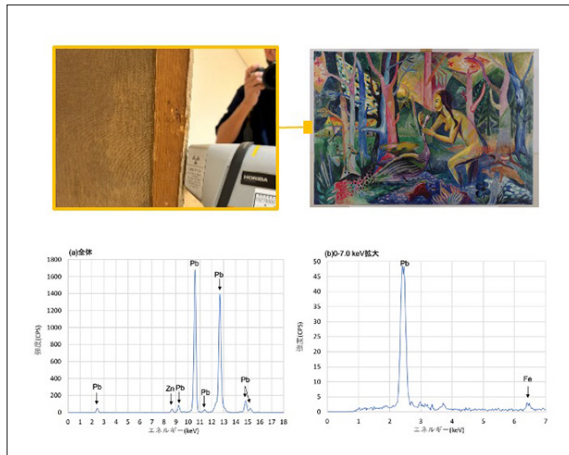


図4

図4: 白色地塗りから検出される鉛(Pb):X-MET

図5: 少女の顔、樹木の枝、魚、白鳥の羽の元素マッピング:XGT

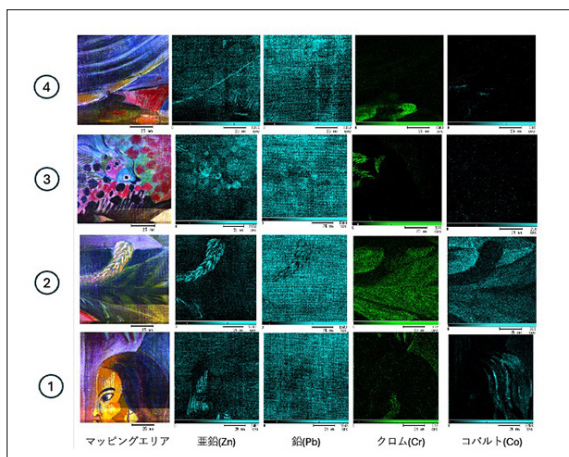


図5-1

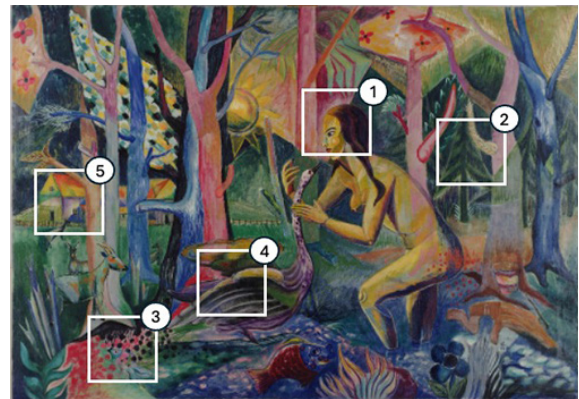


図5-2

1-1-3 . 結果と考察

XGTおよびX-METによる分析結果は、画面の各色調に対応して以下のような元素分布を示した。主要な色調ごとに結果を整理し、記述することとする。

まず、XGTマッピング像およびX-METによるポイント分析において、描画層からも絵具が塗布されていない側面からも一定して鉛(Pb)が検出されたことから、本作にはPbを主成分とするシルバーホワイトなどの白色絵具($2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ 、塩基性炭酸鉛)による地塗りが施されていることが示唆された【図4】。

白色部については、少女の眉上の白い垂直線、魚の白目、樹木の枝の一部などから亜鉛(Zn)が検出された。これらのマッピング像およびスペクトルからは、当該箇所Znを主成分とするジンクホワイト(ZnO 、酸化亜鉛)が使用されている様子がうかがえ

る。なお、本作上では多様な緑色を使い分けられている。魚の鱗、樹木の枝、白鳥の羽の一部など曇った緑色や濃緑色の領域からはクロム(Cr)が検出されたことから、Crを含むクロムグリーン(Cr_2O_3 、酸化クロム)ないしヴェリジアンの使用が推測された。一方、魚の周囲のより明るく透明度の高い緑色からは特徴的な元素が検出されず、蛍光X線では検出が困難な有機物を含む合成顔料等が用いられている可能性が高い【図5-1,2】。

背景の家屋の青色や樹木の薄紫色部分からはコバルト(Co)が検出されたものの、家屋の一部に塗布された鮮やかな青色や、魚の青色領域等からはCoが確認されなかった。このことから、本作にはCoを主成分とするコバルトブルー(CoAl_2O_4 、アルミン酸コバルト)やコバルトヴァイオレット($\text{Co}_3\text{As}_2\text{O}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 、ヒ酸コバルト八水和物)のみならず、Coを含まない青や

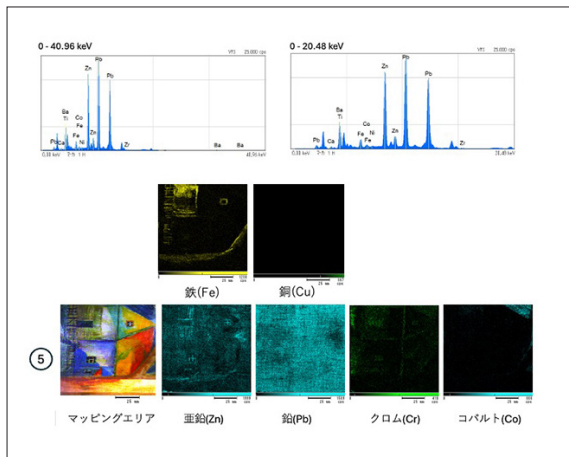


図6: 家屋の元素マッピングとスペクトル:XGT

紫の顔料が併用されている可能性が高いと考えられる【図6】。茶色部については、家屋の窓枠や柵などから鉄(Fe)が顕著に検出され、酸化鉄を主成分とする土性顔料(Fe_2O_3 、酸化第二鉄)の使用が示唆された。同マッピング像では、家屋中央に描かれた緑色の線からCrが、窓内の白色の十字部分からZnが検出され、緑色部にはクロム系顔料、白色部にはジンクホワイトが用いられていることが確認された。

赤色およびピンク色部は、家屋の屋根、魚の描写部、人物の頬など様々な領域に及ぶが、いずれからも特徴的な元素は検出されなかった。この分析結果は、当該領域で蛍光X線分析では検出されにくい有機系顔料やレーキ顔料などが用いられている可能性を示唆しており、ひいては、元素分析のみでは本作に用いられた顔料の同定が困難であるといえる。

以上の結果から、本作にはPbを主成分とする地塗り、ジンクホワイト、クロム系緑色顔料、Coを含む青色顔料、鉄系土性顔料など、複数の無機顔料が用いられていることが明らかとなったが、真贋判定の決定的指標とされるチタニウムホワイトおよびフタロシアニン系顔料については、本段階の非破壊分析のみでは検出の可否を確定できなかった。とくにチタニウムホワイトに関しては、チタン(Ti) $K\alpha$ 線(4.509 keV)のピークがバリウム(Ba) $L\alpha$ 線(4.466 keV)と近接しており、スペクトル上で両者を明確に識別することが困難であった。また、フタロシ



図7: 試料採取箇所

アニンブルーおよびフタロシアニングリーンは、通常は銅(Cu)を中心金属とする顔料として美術用に流通していることから、Cuの検出が重要な指標となるが、本分析ではCuの明確なピークは確認されなかった。青色および紫色領域からはCoが検出されたものの、蛍光X線分析のみからは、それがコバルトブルーなどの無機顔料に由来するのか、あるいは中心金属としてCoを有するフタロシアニン系顔料に由来するのかを判別することはできない。したがって、これらの顔料の有無を確定するためには、分子構造に基づく同定が可能な追加分析が求められる。上記の結果を踏まえ、ベルリン州警察および先行研究が指摘してきた贋作の「証拠物」としての顔料群の有無を検証するため、試料採取による詳細分析が必要であると判断された。美術館と協議のうえ、作品から微量の絵具片を採取し、SEM-EDSおよび顕微ラマン分光分析を実施するサンプリング調査を行うこととした。

採取箇所は、白色、緑色、青色、ピンク色など、本作の帰属判定において重要と考えられる色調を含む領域を中心として、直径約0.1 mm程度の絵具片を医療用メス(フェザー外科手術用メスNo.15C等)で採取した。本稿で扱う4点の試料の採取箇所は以下の図に示すとおりである【図7】。

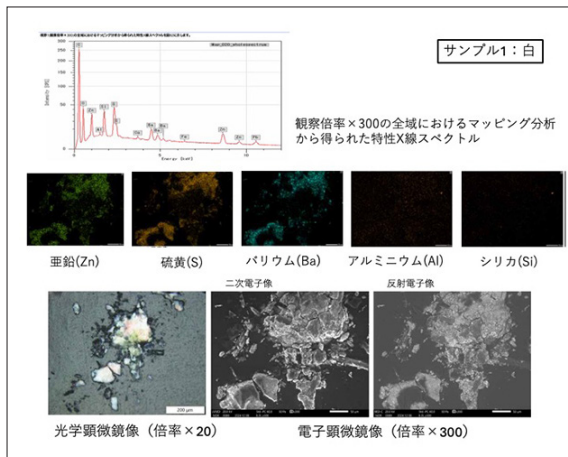


図8: 白色試料:SEM-EDS

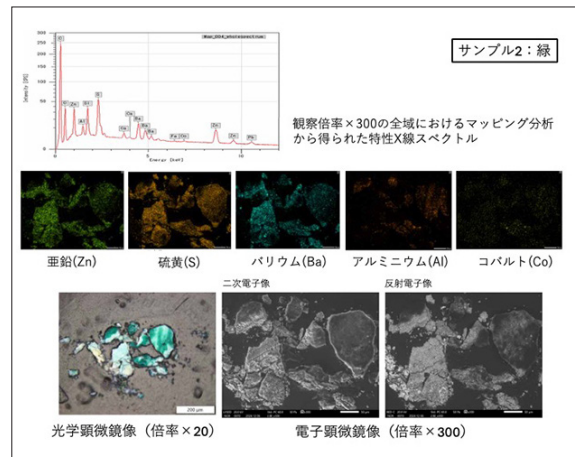


図9: 緑色試料:SEM-EDS

1-2-1. SEM-EDX:装置と調査方法

絵具片中に含まれる顔料粒子の元素組成を高い空間分解能で確認することを目的として、まず走査電子顕微鏡-エネルギー分散型X線分析(SEM-EDS)を採用した。SEM-EDSは、電子線を試料表面に照射して発生する二次電子像により微細構造を観察すると同時に、試料から放出される特性X線を検出することで元素組成を分析する手法である。高倍率での形態観察と局所的な元素分析を同時に行うことができるため、蛍光X線分析(XRF)では検出が困難な微小試料や不均質な粒子の分析に適している。本調査で使用した装置は、走査電子顕微鏡JSM-IT500HR/LA(日本電子株式会社製)およびエネルギー分散型X線検出器EX-74211U4L2Q(同社製)である。採取した微小な絵具片をカーボンテープ上に固定し、これをシリコンウエハ上に貼付した状態で測定を行った。

1-2-2. 測定条件

SEM観察は加速電圧20 kV、観察倍率300倍、低真空条件(50 Pa)で実施した。EDXによる元素マッピング分析は、約20分間の測定時間(スイープ回数20回)を設定して行い、各試料中の主要元素および微量元素の分布を評価した。

1-2-3. 結果と考察

SEM-EDSによる調査の結果、各試料においてZn、硫黄(S)、Baが互いに近い分布を示す傾向が確認された。以下、試料の色調ごとに結果を整理する。

白色試料では、Zn、S、Baがほぼ同一のマッピング像を示した【図8】。このことから、白色層にはZnを含む成分が存在し、同時にSおよびBaを含む成分が空間的に近接して分布していることが示された。アルミニウム(Al)とシリコン(Si)が同一箇所からわずかに検出されている。緑色試料においてもZn、S、Baがほぼ同一のマッピング像を示し、AlやCoが部分的に検出された【図9】。

青色試料ではZn、S、Alが概ね類似した分布を示している。青色の発色が強い部分ではAlのシグナルが強い一方、白色が目立つ箇所ではZnのシグナルが強くジンクホワイトの使用が伺える。Baが数箇所検出されている【図10】。ピンク色試料においても、Zn、S、Baがほぼ同一の分布を示した【図11】。

以上のように、Zn、S、Baが共通して近い分布を示すこと、およびAlとSiが一部試料で同時に観察されることが本分析で確認された。Zn、S、Alの共分布は、有機系青色顔料(たとえばフタロシアニン系顔料など)がアルミナおよび硫酸塩系担体に沈着されたレーキ顔料として存在している可能性を示唆する。また、AlとSiが同一領域で検出されることから、有機赤色顔料(たとえばアゾ系あるいはキナクリド

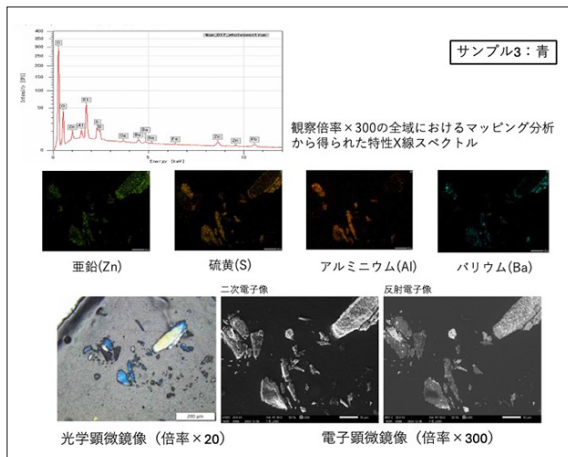


図10: 青色試料:SEM-EDS

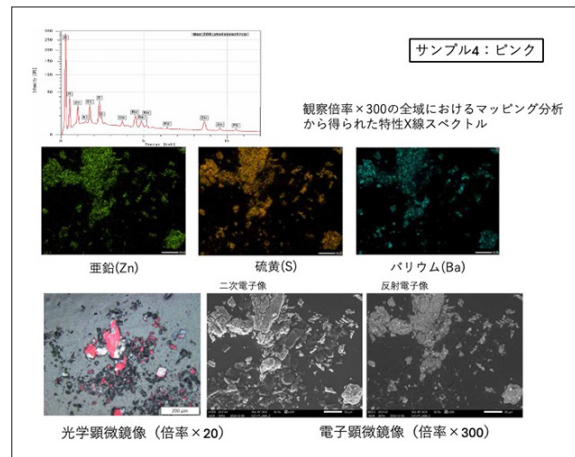


図11: ピンク色試料:SEM-EDS

ン系顔料など)が無機担体に沈着されたレーキ顔料として用いられている可能性が示唆される。これは、ベルトラッキ作品を対象とした先行研究においてピグメントレッド系顔料の使用が報告されていることも符合する⁽¹⁶⁾。

ただし、SEM-EDSによる元素情報のみからは、これらの元素がどのような化合物として存在するか、また発色に寄与する有機顔料の分子種を直接同定することはできない。さらに、XRFで課題となったTiとBaの識別についても、本分析条件下では明確な判別に至らなかった。以上より、本段階ではフタロシアニン系顔料などの存在を直接裏づける情報は得られず、顔料種の最終的な同定には分子構造に基づく分析が必要であると判断した。次節では、引き続いて実施した顕微ラマン分光分析による同定結果について述べる。

1-3-1. 顕微ラマン分光分析:装置と調査方法

ラマン分光分析とは、分子の振動エネルギーにもとづいて物質の化学構造を解析する分析手法である。物質を構成する分子は、それぞれ固有の振動モードを有しており、レーザー光を照射した際に生じるラマン散乱光を波長ごとに分光して得られたラマ

ンスペクトルは、化学結合の種類や分子構造に応じた特徴的なパターンを示す。このため、得られたラマンスペクトルを既存の参照データベースと照合することにより、顔料などの物質を分子レベルで同定することが可能となる。

本研究では、採取した微小試料を対象に、ラマン顕微鏡 XploRA™ PLUS(堀場製作所製)を用いて測定を行った。本装置は顕微鏡下で微小領域にレーザーを集光して測定を行うことができるため、数十マイクロメートル以下の絵具片であっても、特定の粒子や層を選択的に分析することが可能となる。試料はガラススライド上に設置し、顔料粒子が露出した部位を顕微鏡観察によって選定した上で、局所的にレーザーを照射してスペクトルを取得した。

本項目では、得られたスペクトルを市販および公開されている顔料データベース(ライブラリ)と照合するだけでなく、あらかじめ用意した顔料標品(リファレンス試料)のラマンスペクトルを同一装置で測定し、絵画試料から得られたスペクトルと直接比較する方法を併用した。この手法により、文献データとの照合にとどまらず、実測スペクトルどうしの一致度を検証することができ、顔料同定の信頼性を高めることが可能となると考えた。

(16) 《少女と白鳥》調査に先立って、ラートゲン研究所(Rathgen-Forschungslabor, Staatliche Museen zu Berlin) や、米国の分析機関オリオン・アナリティカル(Orion Analytical, LLC, A Materials Analysis and Consulting Firm)などで、ベルトラッキが手がけた贋作の調査が実施されている。

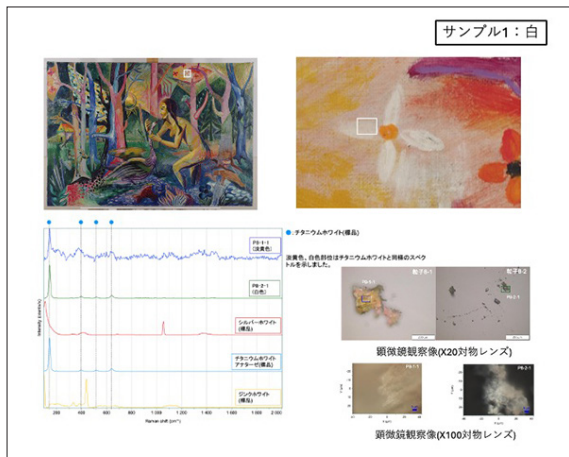


図12: 白色試料から得られたラマンスペクトルの比較

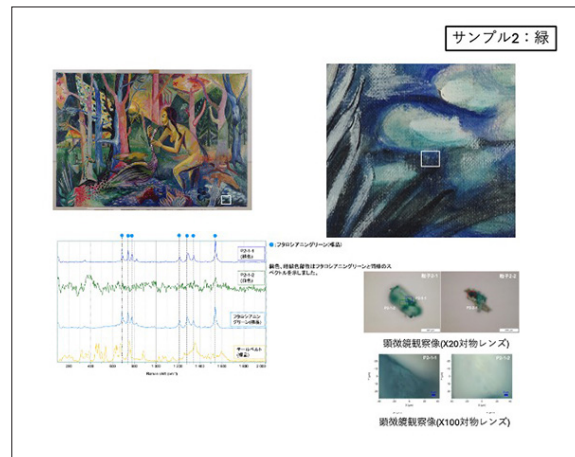


図13: 緑色試料から得られたラマンスペクトルの比較

1-3-2. 測定条件

測定は、試料の発色、蛍光の有無、信号強度などに応じて条件を適宜調整して行った。使用したレーザー波長、出力、積算時間、対物レンズおよび回折格子については、下記の条件で実施した。励起レーザー波長は785 nm(ウルトラマリンのみ532 nm)を選択し、分光には600 gr/mm(ウルトラマリンのみ1200 gr/mm)のグレーティングを使用した。サンプル片は数～数10 μm サイズのため、x100対物レンズ(OLYMPUS製)を使用し、露光時間と積算回数はサンプルのシグナル強度等に合わせて適宜設定した。

1-3-3. 結果と考察

白色試料から得られたラマンスペクトルは、ライブラリデータとの照合により、チタニウムホワイト(酸化チタン)のアナターゼ型に特有のピークを示していることが確認された。比較のため、市販のチタニウムホワイト顔料(クサカベ・ピグメント278、記載組成:酸化チタン)、シルバーホワイト顔料(クサカベ・ピグメント271、記載組成:塩基性炭酸鉛)、およびジンクホワイト(クサカベ・ピグメント273、記載組成:酸化亜鉛)についても同一機材でラマンスペクトルを取得

し、試料スペクトルとの比較を行った。その結果、《少女と白鳥》から採取した白色絵具片のスペクトルは、チタニウムホワイト(アナターゼ型)と一致し、鉛白やジンクホワイトとは明確に異なることが確認された【図12】。

ベルトラッキ作品を対象とした先行研究においては、ルチル型チタニウムホワイトの検出例が報告されているが⁽¹⁷⁾、本試料ではアナターゼ型が確認されている。いずれの結晶相であっても、チタニウムホワイトは20世紀初頭のカンペドックの制作年代には画家用白色顔料として一般化していなかった材料であり、その存在は本作の制作年代が1919年とされる帰属と整合しないことを示唆する。

緑色試料から得られたラマンスペクトルは、フタロシアニングリーン(フタロシアニンCu-Cl)に特有のピークパターンを示し、ライブラリデータとの照合によって同定された。比較のため、市販のフタロシアニングリーン顔料(クサカベ・ピグメント083、記載組成:フタロシアニンCu-Cl)およびテールベルト顔料(クサカベ・ピグメント078、記載組成:混合物)のラマンスペクトルを測定したところ、《少女と白鳥》の試料はフタロシアニングリーンのスペクトルと類似しており、混合顔料であるテールベルト顔料とは明確に異なることが確認された【図13】。

(17) 注12を参照。

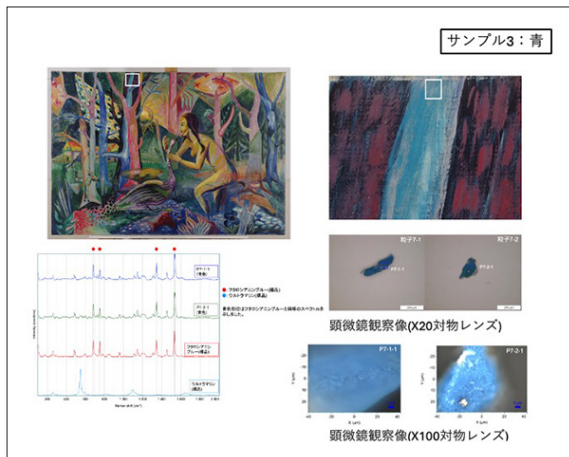


図14: 青色試料から得られたラマンスペクトルの比較

青色試料についても、ラマンスペクトルはフタロシアニンブルーに特有のバンドを示した。比較のため、市販のフタロシアニンブルー顔料(クサカベ・ピグメント083、記載組成:フタロシアニンCu)およびウルトラマリン顔料(クサカベ・ピグメント035、記載組成:アルミノケイ酸塩・硫黄)を測定し、ここでもまた本試料のスペクトルはフタロシアニンブルーのそれと類似していること、また、ウルトラマリンとは明確に異なることが明らかになった【図14】。

ピンク色試料については、ライブラリデータとの照合に加え、市販のナフトールレッド顔料(クサカベ・ピグメント179、記載組成:ナフトール)および Pigment Red 179(東京化成、N,N'-ジメチル-3,4,9,10-ペリレンテトラカルボン酸ジイミド)のラマンスペクトルと比較を行った。その結果、一部のピークはナフトールレッドおよび Pigment Red 179 に類似したラマンシフトを示したものの、スペクトル全体の形状は完全には一致しなかった。ただし、SEM-EDSにおいて Al および Si を含む担体成分が検出されたこと、ならびに先行研究においてベルトラッキ作品にピグメントレッド系有機顔料の使用が報告されていることを踏まえると、本試料には赤色の有機系レーキ顔料が用いられている可能性が高いと考えられる【図15】。

以上のように、ラマン分光分析により、本作にはフタロシアニン系青色および緑色顔料、ならびに有機

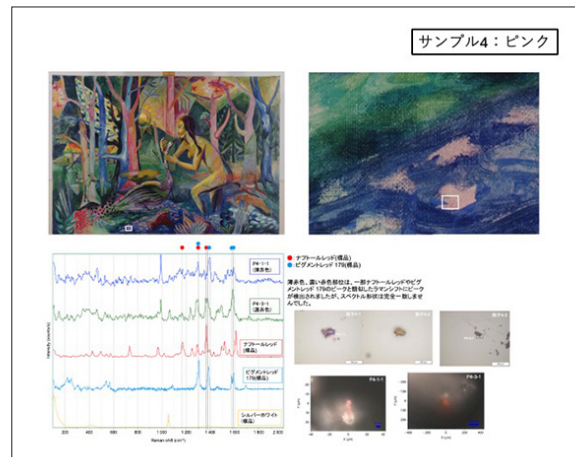


図15: ピンク色試料から得られたラマンスペクトルの比較

系赤色顔料が使用されていることが高いと判断できる状況が整った。これらはいずれも20世紀後半以降に画材として広く普及した合成有機顔料であり、カンペドックが活動していた1910年代の制作環境とは整合しないといえる。

付録2: 科学調査第二段階

—可搬型装置を用いた非破壊オンサイト光学分析調査

(阿部善也、村串まどか、齋藤旭飛、高橋暖人)

2-1-1. 調査の位置づけ

付録1で詳述したとおり、第一段階の調査として行われた理化学的な分析によって、《少女と白鳥》の絵画層から20世紀後半以降に普及した顔料が検出され、カンペンドクノ作品への帰属を否定する根拠となり得る。しかし、これらの“時代錯誤”な顔料の検出は、作品上の目立たない部分から採取された微小な絵具片という「点」の分析に基づくものであった。これらの“時代錯誤”な顔料が補彩等に伴う後世の加筆ではなく、制作当初に使用された絵具の成分であったと判断するためには、作品の中央付近を含めた広範囲の描画に対して改めて理化学的な分析調査を実施し、作品全体についてその存在を検証する必要がある。

そこで第二段階の調査として、2025年7月に阿部、村串、齋藤、高橋が可搬型の分析装置を当館に持ち込み、田口および塚本の立会のもと、《少女と白鳥》を対象とした非破壊かつオンサイトでの光学分析調査を実施した。調査の目的は“時代錯誤”な顔料の探索に限ったものではなく、《少女と白鳥》に使用された各種色料を科学的に推定することであり、蛍光X線分析、デジタル顕微鏡観察、顕微ラマン分光分析、マルチスペクトル撮影、そしてハイパースペクトル撮影という5種類の光学的な分析手法を複合的に利用した。さらにこの調査では、《少女と白鳥》以外にも当館に所蔵された20世紀初頭の油彩画作品の分析も実施しており、当時の画家らが利用した材質および技法の科学的な検証も目的としている。本稿では、《少女と白鳥》について行われた蛍光X線分析、デジタル顕微鏡撮影、および顕微ラマン分光分析の結果の一部を報告する。なお、詳細については別途発表の場を設ける予定である。

2-1-2. 実験方法

可搬型装置を用いた光学分析調査は、2025年7月23日から26日にかけて、当館の講義室にて実施した。《少女と白鳥》をイーゼルまたは机上に安定させた状態で、非破壊かつ非接触にて以下の分析を適用した。また、館内での調査と前後して、市販の画材や実験試薬を用いて様々な種類の絵画サンプルを制作し、分析時の安全性の検証を目的とした予備実験や、データ解釈のための追加実験を実施した。なお、本研究で使用した可搬型分析装置は東京電機大学(阿部)および明治大学(村串)の所管である。

蛍光X線分析には、アワーズテック(株)製の可搬型装置100FAの改造機を使用した。この装置は、阿部および村串が文化財応用を志向して同社と共同開発中のものである。本装置は、可搬型としては高出力な最大出力50 Wの小型X線管球(Varex Imaging製VF-50J)、ターゲット材は金属パラジウムPd)を備える。ヘッドには励起X線用のモノクロメータ(パラジウムPdのK α 線に単色化可能、エネルギーは21.1 keV)および金属モリブデンMo(K吸収端エネルギー:20.0 keV)箔の一次X線フィルターが内蔵されている。本研究で用いた改造機では、グラフェン薄膜製の入射窓を備えた新型のシリコンドリフト検出器(KETEK製VITUS H30 CH)を導入しており、これは有感面積約30 mm²の大面积のモジュールを搭載しているため、軽元素を含む分析能力が大幅に向上している。測定ヘッドはCMOSカメラおよび白色LEDを内蔵し、測定点の観察が可能である。測定面積(X線照射範囲)は直径約2 mmである。本装置は最大管電圧40 kVの白色X線による励起に加えて、励起X線の単色化や一次X線フィルターの挿入を選択でき、目的元素に応じて励起モードを切り替

えることで、実験室系装置にも匹敵する高感度な分析が実現される。分析にあたっては、測定ヘッドを横向きで電動XYステージ上に固定した。このステージは、阿部・村串がアズワン(株)および(有)コスモテックと共同開発中の試作品であり、縦横の可動範囲は各30 cmである。作品上の計19点を測定点に設定し、装置先端と作品の間には約5 mmの間隔を確保して、目視確認しながら作品の安全に十分配慮して位置調整を行った。各測定点に対し、白色X線励起、単色X線励起、一次X線フィルター励起の各モードで積算時間100秒(有効計測時間)の測定を行った。それぞれ測定モードにおけるX線出力(管電圧/最大管電流)は、白色X線励起モードでは40 kV/0.10 mA、単色X線励起モードでは40 kV/1.00 mA、一次X線フィルター励起モードでは40 kV/1.00 mAとした。なお、管電流は検出器の不感時間(dead time)の割合が30 %未満になるよう自動調整される。同装置はこれまでに国内外で絵画を含む多くの文化財の研究に応用された実績がある⁽¹⁸⁾。装置の詳細は先行研究を参照されたい。

このたびの調査では、蛍光X線分析による微量な銅Cuの検出が課題となる。本研究で使用した100FAは励起X線の単色化機構を搭載しており、ごく微量な重元素を高感度で検出することが可能である。ガラス製の認証標準物質を用いた検証によれば、同型の装置による銅Cuの検出下限は単色X線励起(管電圧:40 kV/最大管電流:1.00 mA)かつ積算時間を200秒(有効計測時間)とした場合に7.6 ppmである。本研究の測定条件では積算時間を100秒としているものの、大面積の検出器を使用することで感度が大幅に向上しているため、同程度の銅Cuを十分に検出可能であると期待される。

デジタル顕微鏡撮影は、(株)ハイロックス製のデ

ジタルマイクロスコプVCR-800に低倍率ズームレンズ(VCR-209)を装着し、前述の電動XYステージに固定した状態で実施した。レンズの先端に取り付けられたリング状の白色LED照明は90度ごとに4分割されており、その点灯パターンにより、撮影時の反射光や陰影の様子を切り替えて撮影することができ、蛍光X線分析と同一の19点において、20倍および90倍の倍率で写真を撮影した。

顕微ラマン分光分析は、B&W Tek製の可搬型装置iRaman(レーザー波長は785 nm)に、専用のビデオ顕微鏡システム(BAC151C)を接続した状態で行った。iRamanはレーザー光源として安定性に優れたCleanLaze™(最大出力:300 mW)を搭載する。検出器は2048素子の電子冷却CCDであり、スペクトル分解能は約 3 cm^{-1} である。BAC151Cは、iRamanの測定プローブと対物レンズを接続する顕微ヘッド部分と、メカニカルステージや焦点ハンドルを含む筐体部分から構成され、顕微ヘッド部分を筐体から外した状態でも使用できる。対物レンズ(40倍)を使用することで、照射径約 $50\text{ }\mu\text{m}$ という微小領域の分析を可能にしている。《少女と白鳥》の測定では、iRamanを接続したBAC151Cの顕微ヘッドを自作の3軸微調整ステージに設置し、19点において分析を実施した。このステージは、シグマ光機(株)製の手動ステージと精密ラボジャッキを組み合わせた自作品である。レーザー出力は、絵画サンプルを用いた予備実験の結果に基づき、熱負荷による損傷が生じない30 mW(最大出力の10 %)以下に設定した。積算時間は100秒または300秒(実時間)とした。ラマン分光分析の参照物質として、市販品の顔料および実験試薬を同じ条件で分析した。本稿内でデータを提示する参照物質は以下のとおり。(株)クサカベ製の顔料3種(フタロシアニンブルー:No.

(18) 例:阿部 善也, 寺島 海, 古山 月, 村串 まどか, 谷口 陽子, 高嶋 美穂:「非破壊オンサイト分析による国立西洋美術館所蔵2作品の自然科学的調査—カルロ・ドルチ《悲しみの聖母》およびヤコブ・ヨルダース(に帰属)《ソドムを去るロトとその家族》」『国立西洋美術館研究紀要』26: 25-47 (2022)。阿部 善也, 下濱 一稀, 村串 まどか, 浅川 真実子, 高嶋 美穂:「バプロ・ピカソ作《小さな丸帽子を被って座る女性》の非破壊光学調査」『国立西洋美術館研究紀要』30: 51-59 (2026)。Yoshinari Abe, Ryuji Shikaku, Madoka Murakushi, Makiko Fukushima, Izumi Nakai: “Did ancient glassware travel the Silk Road? X-ray fluorescence analysis of a Sasanian glass vessel from Okinoshima Island, Japan.” *J. Archaeol. Sci. Rep.* 40: #103195 (2021)。

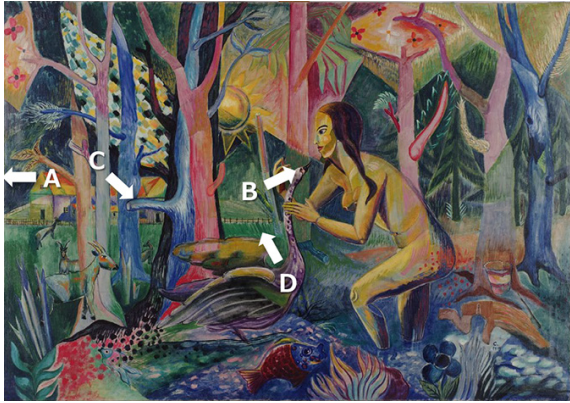
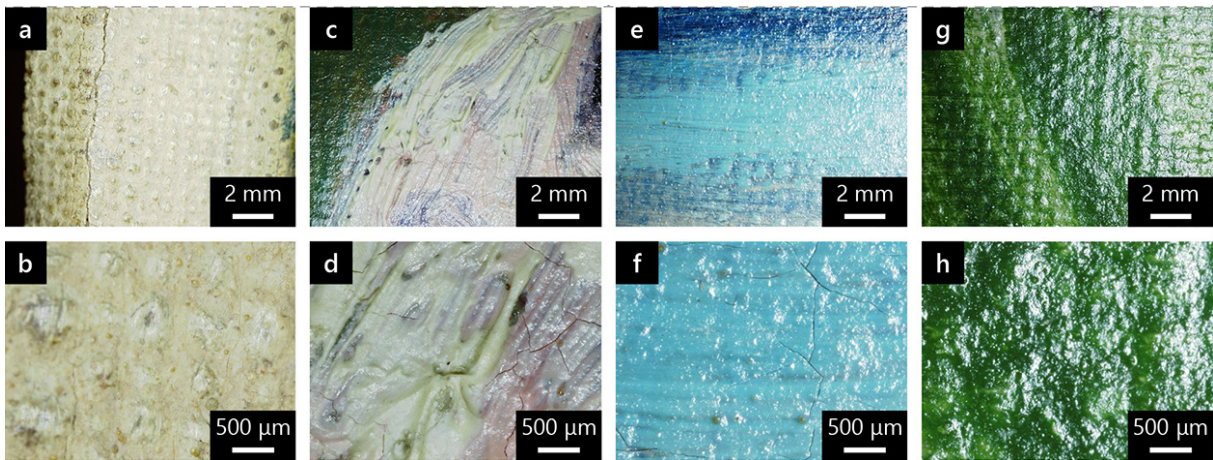


図1: 本稿で取り扱う《少女と白鳥》の測定点(A~D)

図2:

デジタル顕微鏡による《少女と白鳥》の高倍率写真:(a)・(b)は点A(地塗り部分)の倍率20倍・90倍、(c)・(d)は点B(白色部分)の倍率20倍・90倍、(e)・(f)は点C(青色部分)の倍率20倍・90倍、(g)・(h)は点D(緑色部分)の倍率20倍・90倍



035、フタロシアニングリーン:No.083、およびウルトラマリン:No.021)、関東化学(株)製実験試薬1種(アナターゼ型二酸化チタン:鹿1級)。

2-1-3. 結果と考察

本稿では、《少女と白鳥》上の4点(点A~D:図1参照)で得られた分析結果を報告する。各測定点で撮影された顕微鏡写真を図2にまとめた。点Aは、作品左側側面の地塗りの露出部分である。この点の顕微鏡写真(図2(a)および(b))からは、わずかにクリーム色がかった白色の地塗り層を視認できる。透過力の高いX線を用いた分析では、絵画層の情報に加えて下層からの信号も少なからず検出される。従って、蛍光X線分析によって絵画層の元素情報を調べる際には、地塗り層などの下層の分析は不可欠である。点Bは、作品中央に描かれた白鳥の頭部である。この点の顕微鏡写真(図2(c)および(d))を見ると、マットな

質感の白色絵具が厚く塗り重ねられている様子を確認できる。点Cは、白鳥の後方に寒色系の絵具で描かれた木の一部である。点Cの顕微鏡写真(図2(e)および(f))からは、色調の異なるいくつかの青色系の絵具を塗り重ねていることを確認した。点Dは、白鳥の奥に描かれた緑色の草部分である。この点の顕微鏡写真(図2(g)および(h))より、緑色に濃淡は認められるものの、明らかな色の斑はなく、青色と黄色を混ぜて作られた色ではないと推定された。

これらの4点で得られた蛍光X線スペクトルを比較する形で図3に示した。本研究では各測定点で3種類の励起モードによる分析を実施しているが、ここでは軽元素の検出に適した白色X線励起モードのスペクトルを図3(a)に、微量重元素の検出に優れた単色X線励起モードのスペクトルを図3(b)に示した。スペクトル上には様々な元素が検出されているが、ここでは特徴的な元素にのみ着目する。点A(地

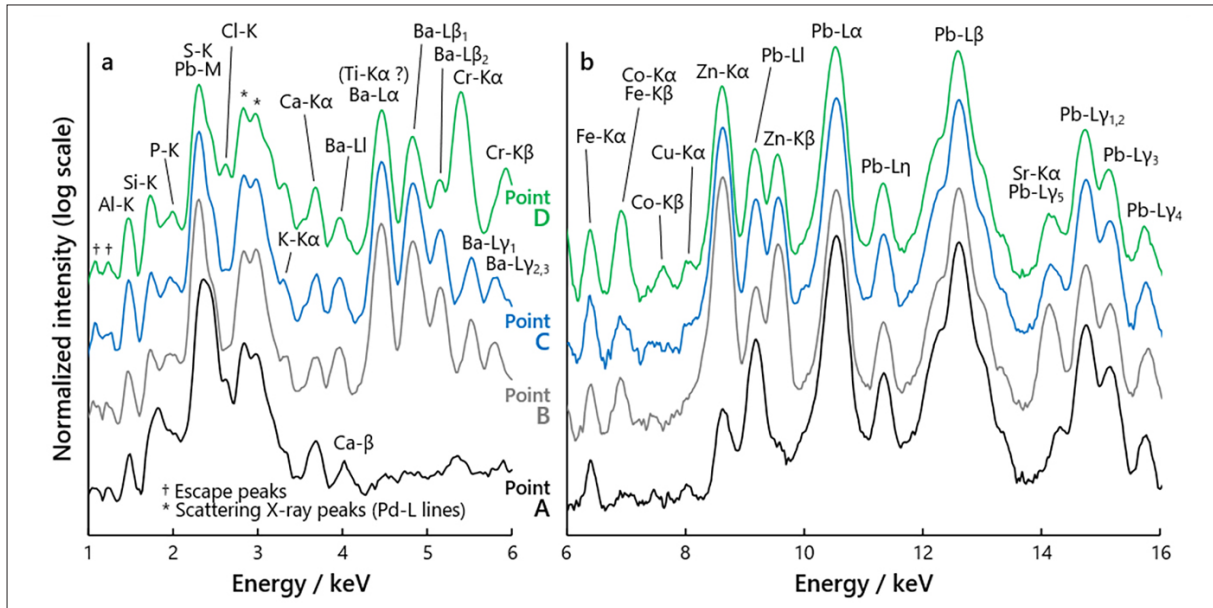


図3:

《少女と白鳥》の点A～Dで得られた蛍光X線スペクトルの比較。

(a)は白色X線励起モード、(b)は単色X線励起モードで得られたスペクトルである。

各スペクトルの強度は散乱X線の信号強度を用いて規格化しており、縦方向にずらして表示してある。

塗り部分)のスペクトル上には鉛PbのM線(M α 線: 2.3 keV)およびL線(L α 線:10.5 keV、L β 線:12.6 keVほか)が明瞭に検出され、シルバーホワイト(主成分は塩基性炭酸鉛 $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$)を含む白色絵具による地塗りが施されているものと考えられる。一方、点B(白色部分)では鉛Pbの他にバリウムBaのL線(L α 線:4.5 keV、L β_1 線:4.8keV、L β_2 線:5.2 keVほか)および亜鉛ZnのK線(K α 線:8.6 keV、K β 線:9.6 keV)が検出され、硫酸バリウムBaSO₄と硫化亜鉛ZnSを共沈させて得られる白色顔料のリトポンか、硫酸バリウムBaSO₄と亜鉛華ZnOの混合物から成る白色絵具の利用が推定された。なお、“時代錯誤”の顔料の一つであるチタニウムホワイトの主成分はチタンTiであるが、チタンTiのK α 線(4.5 keV)はバリウムBaのL α 線とエネルギー的に重複し、スペクトル上で区別することは難しい。点C(青色部分)および点D(緑色部分)では、単色X線励起モードで得られたスペクトル(図3(b))上で銅CuのK α 線(8.0 keV)が微弱ながら検出された。第一段階の調査時に実施された非破壊・非接触の蛍光X線分析(付録1を参照)では銅Cuに帰属で

きるピークは検出されていないが、本研究で用いた装置は先述のように励起X線の単色化によって重元素を高感度で検出できるという特長がある。銅Cuは地塗り(点A)でもごくわずかに検出されているが、絵画層の白色絵具(点B)には含まれない。従って、この分析結果は青色絵具(点C)および緑色絵具(点D)に銅Cuの化合物が含まれることを意味すると同時に、それが主成分ではなく、ごくわずかな成分であることを示している。さらに、白色X線励起モードで得られたスペクトル(図3(a))を見てみると、点D(緑色部分)では塩素ClのK線(K α :2.6 keV)に帰属されるピークが検出されており、塩素Clを含む何らかの化合物の存在が示された。

蛍光X線分析によって示された青色絵具および緑色絵具の組成的特徴は、“時代錯誤”な顔料であるフタロシアニンブルー($\text{C}_{32}\text{H}_{16}\text{N}_8\text{Cu}$)およびフタロシアニングリーン($\text{C}_{32}\text{H}_{0-2}\text{N}_8\text{Cl}_{14-16}\text{Cu}$)の組成とも対応している。ただし、言うまでもなく銅Cuや塩素Clを含む化合物は無数に存在し、これらの“時代錯誤”な顔料の存在を示すためには、より具体的に物質の相を同定可能な分析手法が不可欠である。そこ

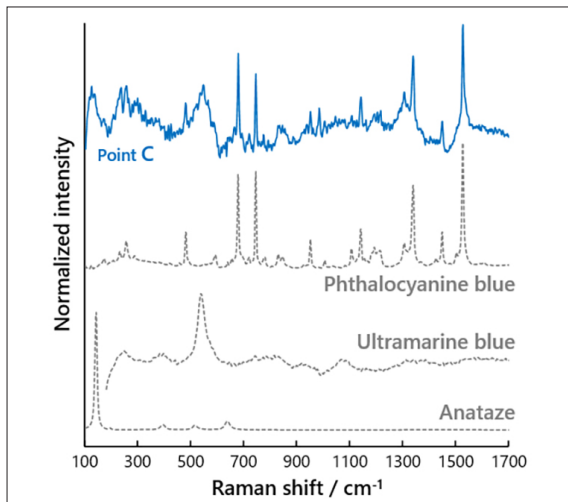


図4: 《少女と白鳥》の点C(青色部分)および参照物質のラマンスペクトルの比較

で、点C(青色部分)および点D(緑色部分)において顕微ラマン分光分析を実施し、フタロシアニン化合物を含む参照物質とスペクトルを比較した。まず、点C(青色部分)で得られたラマンスペクトルを図4に示した。スペクトル上に検出されたシャープな散乱ピークのほとんどが、参照物質として測定したフタロシアニンブルーのものと一致した。なお、点Cのスペクトル上に検出された約 140 cm^{-1} と約 540 cm^{-1} の散乱ピークはフタロシアニンブルーのデータには見られないが、これらはそれぞれアナターゼ型のチタニウムホワイトおよびウルトラマリンに帰属されるものと推定される。同様に、点D(緑色部分)のラマンスペクトルを図5に示した。こちら、フタロシアニングリーンに帰属できる多数の明瞭な散乱ピークが検出された。また、点Cと同様に、アナターゼ型のチタニウムホワイトおよびウルトラマリンに由来すると考えられる散乱ピークも検出されている。

ここで問題となるのは、蛍光X線分析によって検出された元素としての銅Cuがごく少量であったにもかかわらず、顕微ラマン分光分析によって銅Cuを主成分とするフタロシアニン系顔料の信号が明瞭に検出されたという点である。一見すると分析結果に齟齬が生じているように思えるが、この差は特定の物質に対する分析手法ごとの感度の違い、あるいは分析

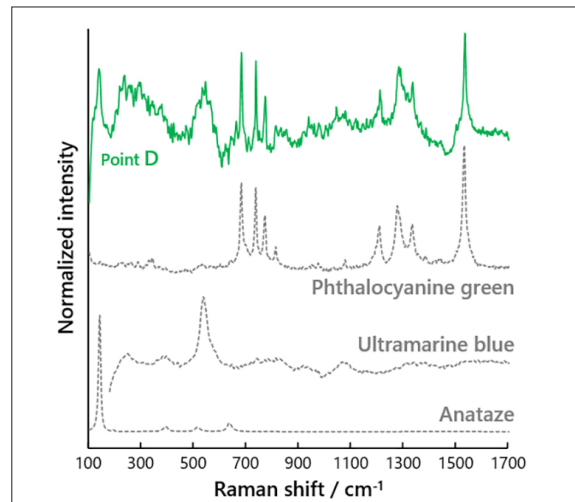


図5: 《少女と白鳥》の点D(緑色部分)および参照物質のラマンスペクトルの比較

面積の違い(蛍光X線分析:約 2 mm 、顕微ラマン分光分析:約 $50\text{ }\mu\text{m}$)に起因するものと推定される。今後、フタロシアニン化合物を含む各種顔料を用いた検証により、分析法による検出能および感度の違いを定量的に評価したい。

2-1-4. 小結

非破壊かつオンサイトの手法で行われた光学分析調査により、《少女と白鳥》を1910年代のカンペンドクによる作品に帰属すべきではないとする判断の根拠となった“時代錯誤”な顔料が、作品の広範囲に分布していることが実証された。作品の一部から採取された絵具片の分析によって「点」の形で示されていた可能性が、この調査を通じて「面」の形の理解へと昇華されたと言えるだろう。前述のように、この調査は《少女と白鳥》に用いられた材質や技法を広く検証することを目的に行われており、本稿で示した“時代錯誤”な顔料以外にも様々な色料の推定に成功している。その詳細については、改めて報告の機会を設けたい。