

2022年10月30日開催，全国大会協賛3部会（化学・繊維・金属）合同専門会議から

## 色材技術におけるイノベーションの歴史 ～古代から現代へ～

History of technological innovation of color material from ancient times to the present

出口 義国 中田 将裕

DEGUCHI Yoshikuni NAKATA Masahiro

「まほろばの国から未来社会へ！～技術の融合と新たなイノベーション～」をテーマに奈良で開催された第48回技術士全国大会の協賛行事として，化学・繊維・金属の3部会合同専門会議が開催された。前半の講演会では奈良県立橿原考古学研究所の奥山誠義氏から，最新の化学分析手法を用いた文化財保存科学の概要について，藤ノ木古墳や高松塚古墳の実例を挙げながら解説頂いた。後半のパネル討議では各部会を代表する3人の技術士から，色材に関連する話題提供を頂いた後，素材が牽引するイノベーションについて総合討議を行った。

As a sponsored event of IPEJ 48th annual conference in Nara, the joint professional meeting was held by the three IPEJ divisions of Fiber & Textiles, Metals and Chemistry. Dr. Masayoshi Okuyama from Archaeological Institute of Kashihara, gave a lecture on preservation science of cultural properties, which had been developed by the latest technologies of chemical analyses, by illustrating the examples of ancient tombs. The lecture was followed by the panel discussion on the technological innovation of color material.

キーワード：まほろばの国奈良，イノベーション，色材，文化財保存科学

## 1 はじめに

第48回技術士全国大会（奈良・関西）の協賛行事として，化学・繊維・金属の3部会合同専門会議が王寺町交流センターで開催された（参加者50名）。

開会のご挨拶は田岡直規近畿本部長から賜り、司会は伊藤雄二近畿本部化学部会長、講演会は堂道剛氏、パネル討議は田中和明金属部会長で進められた。

講演会は奈良県立橿原考古学研究所の奥山誠義氏から講演を頂き、パネル討議は各部会からの3人の技術士による話題提供の後、総合討議を行った。以下に概要を報告する。

## 2 講演概要

### 2.1 演題，講師，所属機関紹介

**演題：** 現代科学技術が紐解く古墳時代の技術 ～出土品が語る古代の技術～

**講師：** 奥山誠義氏 奈良県立橿原考古学研究所 総括研究員（博士(学術)）

### 橿原考古学研究所の紹介：

橿原考古学研究所は私設の研究所として1938年に創設され，その後奈良県に移管された。発掘調査を主業務としており，県内各地で調査活動を実施している。発掘物を付属博物館で展示したり，現地を公開することも行っている。また，中韓を中心とした国際交流にも取り組んでいる。

研究所職員は約60名のうち研究員は約50名。多くが発掘調査を専門としており，本講演の主題である文化財保存科学の業務には4名が従事している。



写真1 講演の様子

### 2.2 文化財保存科学

考古学は人間が作った物から過去の人間の活動を客観的に読み解く学問で，文字で示された史料を

研究する歴史学とは異なる。調査の対象には、遺跡や伝え残されてきた建造物・仏像・工芸品が含まれ、これらは有形の文化財に分類される。中でも遺跡は埋蔵文化財と呼ばれ、さらに発掘調査によって確認される動産（動かせる物質）を遺物、不動産（生活に関する施設全体の跡）を遺構と分類する。

文化財保存科学は、文化財をどう観察し、どう保存するかを扱う科学分野である。埋蔵文化財は長期間土に埋蔵されており、土壌や水分の影響を受けて腐食・腐朽しているものがほとんどであるため、より良い状態で後世に伝え残すことが必要である。

また、埋蔵文化財は発掘されることで、環境が急激に変化し劣化の進行が加速するため、これを食い止める保存科学が必要になる。遺物には、有機系・無機系・複合系など様々な種類があるため、それぞれの材料に合わせた処理が施される。

例えば木質材料は、水田など水が満たされた状態で保存された場合、酸素が遮断されるため酸化やバクテリア等の活動が抑制され、腐らずに残っている場合が多い。しかし発掘後の木質材は乾燥に伴って形が大きく変化し、今の技術では一旦変形したものを元に戻すことができない。よって、変形を止めて形状を維持するため、水分を特殊な薬品に置き換えるなどの処理が施される。

一方、金属材料は腐食があり、鉄は最も錆びて変形しやすいが、青銅も錆びる。この場合は錆の進行を止めるための表面処理がなされる。以上のように、文化財の「延命処理」を行う保存科学は、文化財のお医者さんのような立場だと考えている。

## 2.3 文化財調査の実例：奈良県内の遺跡

### (1) 藤ノ木古墳

藤ノ木古墳は法隆寺の西方にある円墳で、6世紀後半の築造とされている。埋葬施設は大型の横穴式石室で、玄室の奥壁に沿って朱塗りの家形石棺が置かれていた。

石棺内からは装身具を着けた二人の壮年男性の人骨とともに、銅鏡、刀剣、冠、履等多数の副葬品が出土した。石棺内は埋葬当時の状態を保っており、後期古墳の調査としては稀有な事例である。これら出土品は2004年に国宝に指定された。

出土品は、1985年の第1次発掘調査以降、応急的な保存処置や保存修理が行われたが、前回の修理から約30年が経過し経年による劣化が確認されていたため、今後の展示活用のために2021年度より再修理を開始した。

出土品である鉄刀子（6振り）は、銀鍍金（青銅に銀鍍金）製および銀製の2種類あると考えられてきた。修理事業の中で観察と蛍光X線分析をおこなった結果、銀が顕著に検出されたことから銀鍍金や青銅製ではなくすべて銀製であると判断された。

### (2) 高松塚古墳

古墳時代末期の高松塚古墳は、1972年に明日香村と橿原考古学研究所によって発掘され、人物画などの美しい壁画が発見された。その後、壁画は国宝に指定されたが、カビ繁殖による劣化のため、解体された後修理施設へ移され、修復作業が行われた。

発掘で発見された小片が附属博物館に収蔵されており、その中に顔料と思しき小片が多数確認されたため、青、赤、緑色の付着物が確認できた漆喰片に対し材質を確認する調査を行った。古墳時代の顔料は岩石を砕いて色を取り出したものと考えられており、正倉院宝物において得られていた無機顔料に関する知見を基に分析を行った。手法としては、電子/光学顕微鏡による形態観察、X線回折による結晶構造解析、電子顕微鏡付帯のエネルギー分散型X線分光法による非破壊の成分分析などを用いた。

青色顔料付着漆喰片においては、蛍光X線分析で銅元素が検出されたことなどから、青色顔料として利用されるアズライトを確認した<sup>1)</sup>。赤色顔料付着漆喰片においては、水銀元素が検出されたため、赤色の成分である朱（辰砂）を確認した<sup>2)</sup>。また、鉛元素の検出から、漆喰中の白鉛鉱の存在を確認した。

このように高松塚古墳の遺物分析では、微細な領域での元素分析や顔料の結晶学的研究を行うことにより、新たな事実を確認することができ、今後の壁画の修理に大きく寄与する成果が得られた。

### (3) 桜井茶臼山古墳

桜井茶臼山古墳は、古墳時代前期に築かれた前方後円墳である。2008～9年度に発掘調査された同古墳の竪穴式石室は全面に赤色顔料を塗布した石材に囲まれていた。石室の底面及び壁面を構成する板

状石（板石）にも全面に赤色の顔料が塗布されていた。この石材の赤色顔料について、蛍光 X 線法により元素分析を行った結果、水銀元素の検出を確認し、赤色顔料が辰砂（硫化水銀）であることを確認した。また、顕微鏡観察などにより、塗布されている朱の粒子径がおおよそ 15~160  $\mu\text{m}$  であることが確認できた。

さらに、石室の全石に塗布されている朱の総量を算出した結果、約 230 kg となった。それ以前の遺跡での使用量 約 30 kg に比べて非常に大きな量であったため、これほど大量の朱を中国から運んできたのか、あるいは国内のどこかの鉱山から運んだか、はたまた近隣の大和水銀鉱山周辺（現在の宇陀市）の水銀鉱石が用いられたか、といった産地の特定に関心が向けられた。

そこで、硫黄や鉛の同位体比分析法を用いた研究が行われた結果、朱には大和水銀鉱山産の鉱石が利用されている可能性が高いことが明らかになった<sup>3)</sup>。これより、大和水銀鉱山が古墳時代前期から利用されていたことを示す貴重なデータが得られた。

## 2.4 最新技術を利用した繊維製品の分析

金属に比べると 1 割程度と少ないが、繊維や織物が出土することもある。綿が使われ出したのは中世以降で時代が違うので、発掘で出てくるのは動物系か麻類が主となる。赤外分光分析を行うと繊維種の判別ができ、断面観察で植物の種類まで分かる。光音響赤外分光法（PAS-IR 法）は小さな破片で非破壊分析ができるので、文化財の分析に向いている<sup>4)</sup>。

また、SPring-8 での顕微赤外分光分析では、絹の中に植物繊維である麻が入っていることが判明した例もある。放射光 X 線ラミノグラフィーを利用した構造研究により、群馬県の金井東裏遺跡の出土物についても同分析を行った結果、繊維に太いものと細いものが混在していることが分かり、獣毛に特有の形態と一致した。

## 2.5 質疑応答

Q 刀子の蛍光 X 線分析で金の不使用を断定していたが、金と銀はスペクトル出現位置が近く、蛍光 X 線での識別は難しいのではないか。

A ピーク位置が近いのはご指摘の通り。他の事例も判断材料にしており、蛍光 X 線のデータだけが判断基準ではない。

# 3 パネル討議概要

## 3.1 概要

渡辺春夫化学部会長より挨拶を頂いた後、まほろばの国奈良、イノベーション、色材をテーマに、パネル討議を行った。

パネラー：堂道剛技術士（化学）、八木健吉技術士（繊維、総監）、吉村泰治技術士（金属）、奥山講師



写真2 パネラー一陣

## 3.2 各部会パネラーからの話題提供

### (1) 堂道剛技術士 「色を演出し現代社会を支える色材技術とは」

顔料は色素粒子として働くのに対し、染料は分子で色を出す。顔料は光の吸収、散乱、反射の結果を見ているが、染料は光の吸収だけが起こる。

印刷物はシアン・マゼンタ・黄の3色+黒で印刷され、減色混合で色を作る。ディスプレイのような発光体からの色は、光の3原色の加色混合で作る。

顔料の種類は多く、分類も複雑である。顔料の種類によって、顔料の粒子形状は異なる。筆記具のフリクション・インキが面白い応用例である。紙に記入し消しゴムをかけると、局所的に温度が 60℃程度まで上がって色が消え、これを-10℃まで冷却すると色が戻る仕組みになっている。

### (2) 八木健吉技術士 「雁皮紙に学ぶイノベーション」

繊維の歴史を紐解いてみると、天然繊維に始まって人絹、合成繊維、スペシャリティ繊維、スーパー

繊維と進んできたが、最近ではバイオマス繊維に関心が集まっている。特にセルロース繊維の復活や、紙分野でのイノベーションが見られ、同じセルロースである、紙から学ぼうという考え方があ

る。大津市桐生に近江雁皮紙の技術があり、沈丁花科の植物から作る紙は滑らかさや耐久性が特長である。敦賀や越前では雁皮紙の復活事業や、漫画の原画を保存する取り組みが行われている。

パルプをナノ繊維まで解繊して得られるセルロースナノファイバー（CNF）を、樹脂やゴムにナノ分散状態で混ぜ込んで添加することで、サステナブルな成形体や複合材料とする取り組みが行われている。

### (3) 吉村泰治技術士 「身近な金属の歴史」

銅は人類が最初に触れた金属である。奈良東大寺の大仏には実に 400 トンもの銅が使用され、山口県の鉱山から運ばれたことが分かっている。

純銅を青銅にしたことで硬くする技術が生まれ、利用が進んだことから、金属の進化は金属加工の進化と言っても良い。

銅の性質の中で導電性の高さが重要であり、加工性の良さや相まって線材化して利用される。EV の発展等に伴い銅は今後も需要が増大すると見込まれている。今後は、社会に蓄積している金属をどうリサイクルするかが、重要となる。

### 3.3 総合討議

Q1 銅の使用量を減らしつつ性能維持を図る手は。

A1 銅に代えてアルミニウムを使う手はある。銅合金で高強度化を目指す研究も進められている。

Q2 天然顔料が時代により変化したことはあるか。

A2 粒径は時代によって変化している。朱色の場合縄文時代はベンガラであったが、縄文後期には辰砂が増えている。

Q3 大仏は昔金色だったという話があるが、金のアマルガムを塗って水銀を飛ばしたのは本当か。

A3 詳細は分からないが、周囲の水銀濃度が高いのは事実なので推定は正しそう。水銀の産地は分からないが、おそらく国内産ではないか。

Q4 素材の歴史で特筆されるイノベーションとは。

A4-1 繊維では弥生時代にそれまでの植物性繊維利用に加えて絹が導入されたことが大きなイノベ

ーションであった。

A4-2 既に奈良時代には紙のすき返しが行われていた模様で、これは紙のリサイクルに当たる。

## 4 おわりに

最後に井塚淑夫繊維部会長から総括があり、素材には社会を変える力があり、サステナブル、カーボンニュートラル社会は 3 部会が先導して貢献していきたい、との決意表明で閉会の辞とされた。



写真 3 散会前集合写真

### 〈参考文献〉

- 1) 奥山誠義ほか、「高松塚古墳出土青色顔料の成分分析『橿原考古学研究所紀要考古学論攷』第 38 冊（2015）」
- 2) 柳田明進ほか、「高松塚古墳の赤色顔料試料の材料分析研究」『橿原考古学研究所紀要考古学論攷』第 38 冊（2015）」
- 3) 南武志ほか、「硫黄・水銀・鉛同位体分析法を組み合わせた遺跡朱の産地推定法」『日本文化財科学会第 31 回大会研究発表要旨集』（2014）」
- 4) 奥山誠義「光音響赤外分光法 (PAS) による文化財分析の基礎的研究」『日本赤外線学会学会誌』29 巻 2 号（2020）」

出口 義国 (でぐち よしくに)  
技術士 (化学・総合技術監理) 博士 (工学)  
日本技術士会近畿本部化学部会幹事  
出口技術士事務所  
E-mail: [yoshikuni@deguchi-tech.com](mailto:yoshikuni@deguchi-tech.com)



中田 将裕 (なかた まさひろ)  
技術士 (化学・総合技術監理)  
日本技術士会近畿本部化学部会幹事  
E-mail: [masapechem@gmail.com](mailto:masapechem@gmail.com)

