

京都御所紫宸殿廻り回廊整備工事にともなう科学分析調査

長 崎 紀 子

1 はじめに

紫宸殿の南庭を取り囲む回廊ならびにその中に構えられる門は、部材に塗装が施されているのが特徴である。一般に伝統的な建造物塗装は、膠や漆など美術工芸品に使用される素材が用いられているにもかかわらず、常に屋外の環境に曝されていることから劣化の進行が速いとされている。回廊も例外ではなく、史料や工事の記録、塗膜状態から、複数回の塗り直しが行われてきたことが明らかになっている。しかし、その時々で最良と判断されたと思われる材料と技法が用いられてきたため、創建当初の色味や材料は外観からはわからない状態となっていた。

今回、紫宸殿廻り回廊の整備工事において塗装修理を行うにあたり、安政度造営（安政2年[1855]）当初の塗装の仕様を明らかにし、今回の工事に合わせた材料と施工方法の選定を行うため、色味と材料についての科学分析調査を行うこととなった。さらに、施工後にみられた塗膜上の白華現象の調査についても併せて報告する。

2 紫宸殿廻り回廊の塗装修理履歴について

造営時の回廊の色味と材料について、寛政度の造営（寛政2年[1790]）においては「丹塗」^{にぬり}や「光明丹塗」^{こうみょうたんぬり}と仕様が記録されているが^(註1)、現在の京都御所につながる安政度の造営については、明確に色味と材料を示す史料は現時点では確認できていない。しかし、安政度の造営は、寛政度内裏を復原する方針であったことが知られ、見た目にも関わる部分で変更を行うことは考えにくく、「丹塗」、「光明丹塗」から大きく離れることはなかったと推察される。

なお、安政度造営以降確認できている工事の履歴としては、Ⅱ事業報告「京都御所紫宸殿廻り回廊整備工事」に示されている(p25)。これまでの工事では、基本的に色味を踏襲していくことに主眼が置かれ、材料技法を統一しておらず、史料からも、また分析調査からも、各時代によってさまざまな材料技法で修理が行われてきたことが判明している。しかし、造営当初の色味については、試料採取箇所等の制約もあり物的な確証が得られずにいた。

建造物塗装の修理において、塗り直しを行う場合、基本的にはこれまでの塗膜を掻き落とし、木地が見える状態にしたのちに素地の調整から行うのが現在では一般的な方法である。そのため、創建当初の痕跡は残りにくい。回廊に関しては、場所や時代によって修理や残存の程度がさまざまであり、また大規模な根本修理の記録がないことから、漆喰壁に取り付く円柱の壁内側については造営以降ほとんど手が加えられていない可能性が高く、旧塗装が残っていると考えられた。今回は、そこから新たに試料を採取し、分析を行った^(註2)。

3 色味と材料についての科学分析調査

先述のとおり、部材の取り替えの可能性が低いこと、漆喰壁に覆われているため、塗装の塗り替えにともなう掻き落としが行われていないと考えられること、日射の影響が軽微で材料の変質が少ないと考えられること等の条件を踏まえ、円柱の漆喰壁内部に接した箇所が最適であると考え、日華門より南に2本目の東回廊の柱より試料の採取を行った(図1・2)。

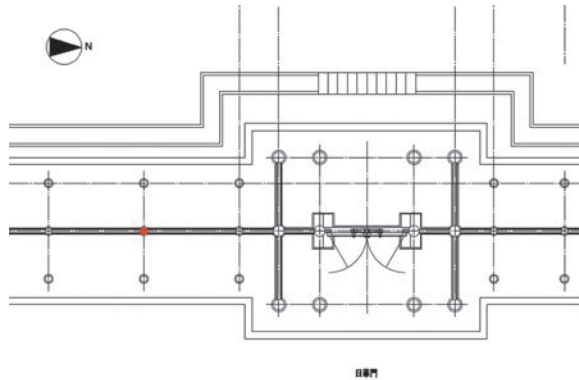


図1 日華門・東回廊図面 (採取箇所は赤丸で示した円柱)



図2 試料採取箇所 (黄丸で囲んだ円柱壁内部分)



図3 試料採取箇所

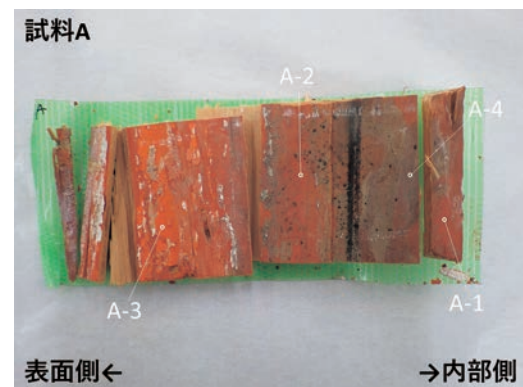


図4 採取試料A

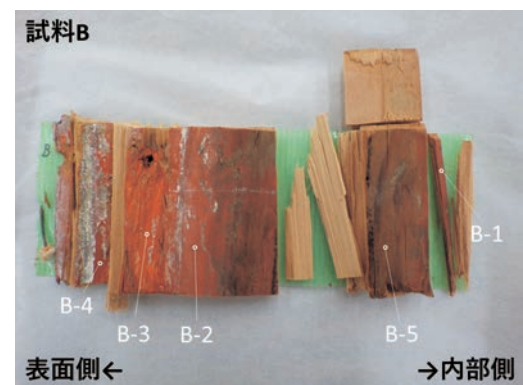


図5 採取試料B

試料は、漆喰壁内部に接する2箇所から採取し、それぞれ試料A、Bとした(図3~5)。当該箇所は、表面側から内部側に向かっていくにつれ、橙色から赤褐色を呈する色味に変化している。

漆喰壁が取り付け円柱の南北方向の中心には、縦方向に墨線が打たれており、ポイント A-1・A-3 の赤褐色の層は、この墨線より下に塗られていた (図 6)。墨線は、部材の加工時に直線を打つためのものであることを考えると、柱芯となる箇所事前に打たれたものと推察され、その下層にある赤褐色はさらにその前に塗られたものである可能性がある。すなわち、この時点で赤褐色の層はいわゆる“下塗り”であると考えられた。橙色を呈するポイント A-3、B-3・4 では、この赤褐色層の上に橙色層が塗り重ねられていることが確認された (図7)。



図 6 試料 A 墨線付近の塗装



図 7 試料 A 塗り重ね部分

3-1 採取試料の分析

採取試料 A・B について、図 4・5 に示す各ポイントの分析調査を行った。表面観察は実体顕微鏡ならびにデジタル顕微鏡、元素分析ならびに微細構造観察には走査型電子顕微鏡 (SEM-EDS)、結晶構造解析には X 線回折 (XRD) を用いた。色味の測定には可視分光分析を行い、使用した機器は、オーシャン光学社製可視分光光度計 (測定条件: 波長 400-800 nm、露光時間 3 msec、積算回数 10 回) である。なお、本稿では主に試料 A についての各種分析の結果を記す。

エネルギー分散型 X 線分析法 (EDS) では、外側から漆喰壁奥へとつながる赤褐色層にあたるポイント A-1 からは主成分として原子数濃度 (%: C、O を除く) で Si (ケイ素) が約 47%、Fe (鉄) が約 38%、Al (アルミニウム) が約 12%、K (カリウム) が約 2%、Pb (鉛) が約 1% 検出され (図 8)、柱外側付近の橙色層 A-3 からは主成分として Pb が約 92% と強く検出され、Al が 4%、そのほか Fe、K、Si、Ca (カルシウム) の順に、それぞれ 1% に満たないものの検出が認

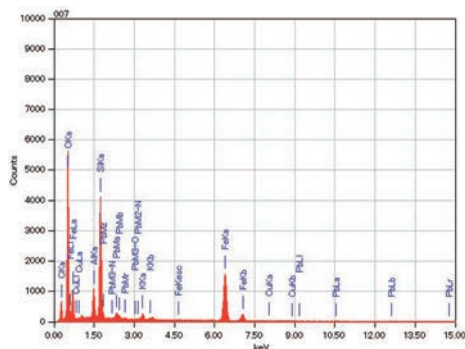


図 8 A-1 の EDS スペクトル

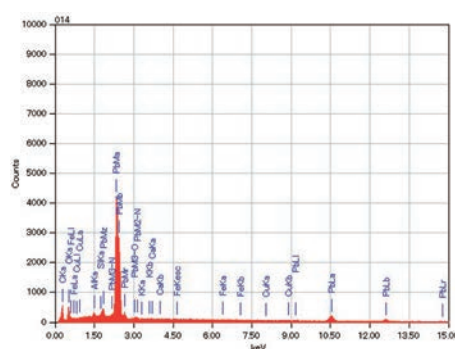


図 9 A-3 の EDS スペクトル

められた (図 9)。

また、XRD では、赤褐色層は塗膜層が薄く不明瞭ながら石英、赤鉄鉱、橙色層からは鉛丹が検出された (図 10・11)。

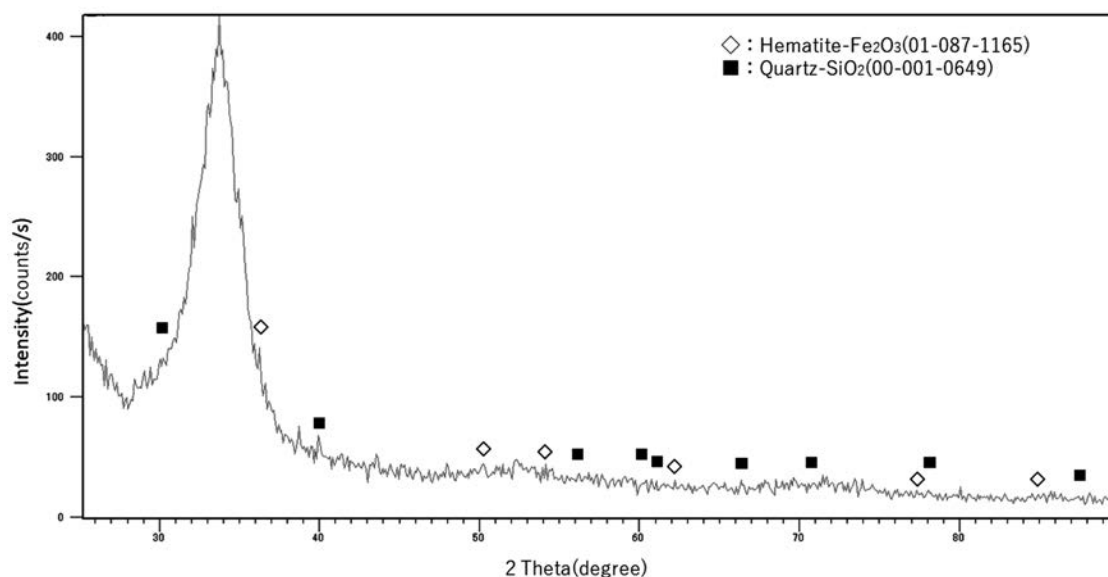


図 10 A-1 の X 線回折スペクトル

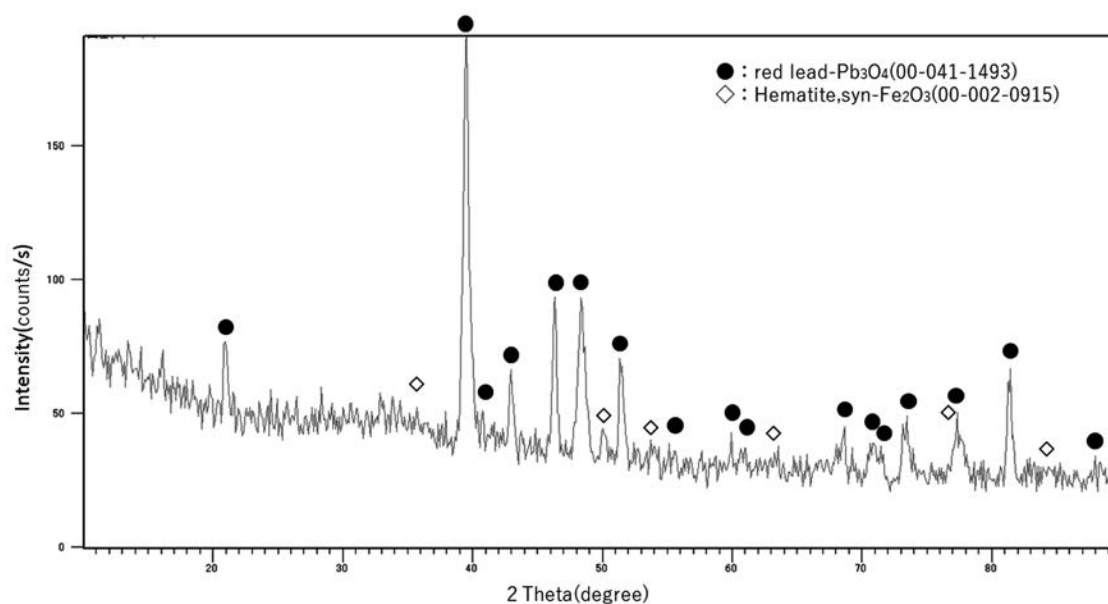


図 11 A-3 の X 線回折スペクトル

可視分光分析では、A-1 は 560 nm 付近、670 nm に吸収がみられ、そこからスペクトルは右肩上がりになっていく (図12)。A-3 は、550 nm 付近に大きな吸収がみられ、670 nm 付近にもゆるやかな吸収がみられる (図13)。550 nm 付近の吸収極大は、鉛丹に特有なものである。また、ともに波形が二段階の吸収をもつことが判明した。この特徴は^{えんたん}弁柄にみられるものである。

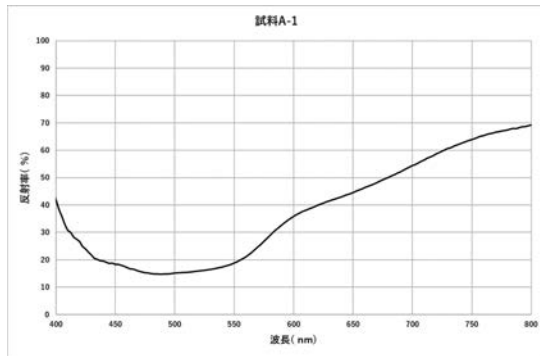


図 12 A-1 の分光反射スペクトル

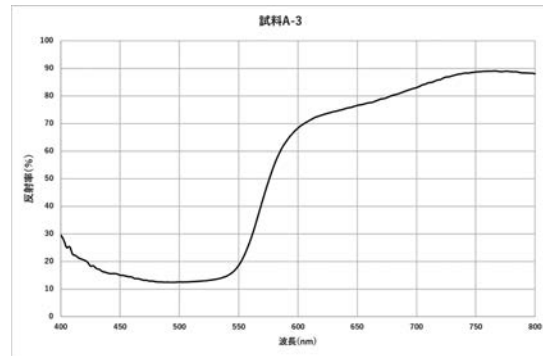


図 13 A-3 の分光反射スペクトル

電子顕微鏡により粒子形状を確認したところ、A-1 においては非晶質の物質と結晶状の物質がみられた。これは石英など色材の主原料としての土壌成分あるいは白壁に用いられている材料の成分と考えられるが、赤褐色を呈する酸化鉄系顔料とよく混ざっていることから、赤土や黄土を焼成し作られたとされる「丹土ベンガラ」(註3)に近いものであるとみている。A-3 では、上記の A-1 と同様の形状の物質の上に、現代の鉛丹に近い楕円形状の物質が確認できた。

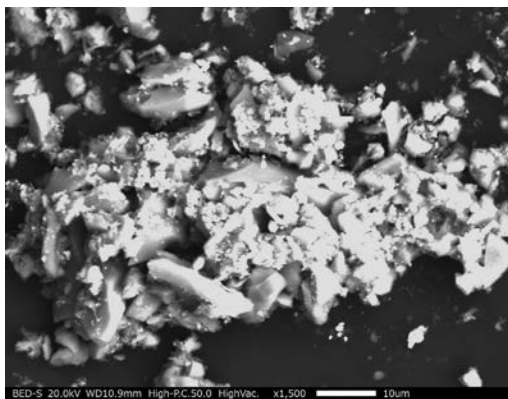


図 14 A-1 の SEM 像

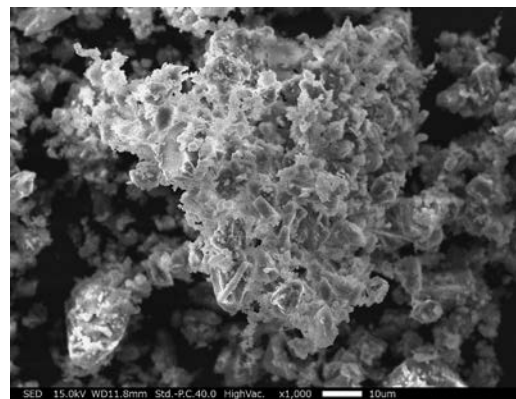


図 15 A-3 の SEM 像

以上のことから、最下層には石英等のよく混ざった、赤褐色を呈する酸化鉄系の顔料が用いられ、その上に鉛系顔料が用いられていることが明らかとなった。最下層の赤褐色の顔料が単独で塗られた時代があった可能性の議論もなされたが、色味や粒子の形状が酸化鉄の純度の高い弁柄とは様相が異なること、木地が所々で透けるほどごく薄い層であったこと(註4)、墨線が顔料層の上にあること、寛政度の史料からは弁柄に類するものの記述はなく、「丹塗」、「光明丹塗」の記述のみが確認できることなどから、あくまで下塗りとして用いられたという判断をした。

3-2 今回の工事における色味選定の方針

今回の工事にあたっては、これまでの色味と大きく変わらず、史料から寛政度造営での使用が明らかである光明丹を主体とすべきではないかという当初からの検討事項があった。さらに、工期や施工方法、仕上がり的美観(註5)という点で、2つの異なる色味の材を用いた重ね塗りは

現実的でないという工程上の問題があった。

そのような中で、元々寛政・安政の造営時に目指した色は、下塗りに酸化鉄系の茶褐色、上塗りに鉛系の橙色が用いられていることが明らかとなったため、少なくとも最表面はそれぞれの単独の色ではなく、塗り重ねによって表れる色であることが明白であった。現代の鉛丹は非常に被覆力の強い顔料であるが、それでも、下塗りに弁柄を塗った場合とそうでない場合では、見え方に違いがみられる (図 16)。このことから、今回の工事では、採取試料中にみられた塗り重ねの色味を目指し、鉛丹と弁柄を混色することで、見え方としての色味の復元を行うという方針が定まった。採取試料中で最も残存状態が良好である試料 A の A-3 (図 4) を目標の色味とした。

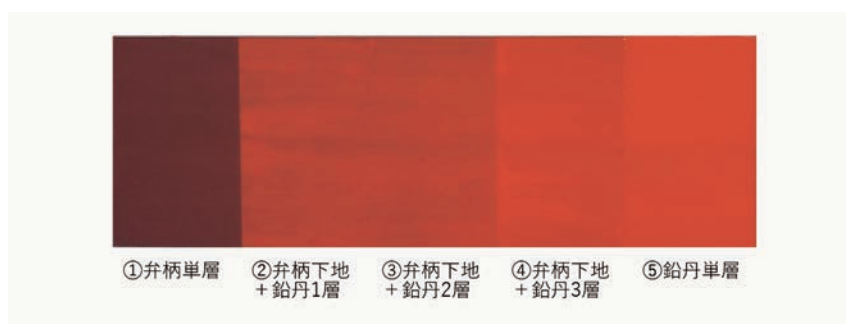


図 16 塗り重ね手板 (②－③では塗り斑、④では⑤単層との色味の差がみてとれる)

3-2-1 色味選定のための測色

まず、目標の色味に近づけるため、可視反射スペクトルならびに、採取試料の下層にみられる赤褐色とその上層にみられる橙色の色味の $L^*a^*b^*$ 値の比較、それぞれの測定点を基準とした色差 ΔE^*_{ab} から、施工に使用する市販材料の候補と比較し最も近似するものを使用する根拠とした。さらに、その市販材料を用いて、弁柄と鉛丹の配合比を変え作成した数種類の手板見本を測色し、もっとも目標色に近い配合を提案することとした。

3-2-2 採取試料ならびに市販材料の特徴

[試料 A-1]

試料 A-1 (図 12) は、先述の通り、全体的に明度は低い。波長 560 nm 付近に吸収がみられ、670 nm 付近にもゆるやかな吸収がみられる。市販弁柄では、740 nm 付近からの特徴的な反射がみられるが、この測定ポイントではみられない。

[試料 A-3]

試料 A-3 (図 13) は、鉛丹の特徴と類似した反射スペクトルを示すが、670 nm 付近から弁柄の特徴を示すようになっている。

[市販弁柄]

業者提供の 5 種類の市販製品を分析した (図 17)。共通して、波長 560 nm、670 nm 付近での

吸収、波長 740nm 付近での反射がみられる。

[市販鉛丹]

商品名「光明丹」と「嵩高鉛丹」の 2 種類の製品を分析した (図 18)^(註6)。いずれも、波長 550 nm 付近での吸収、波長 600 nm 付近での大きな反射がみられた。

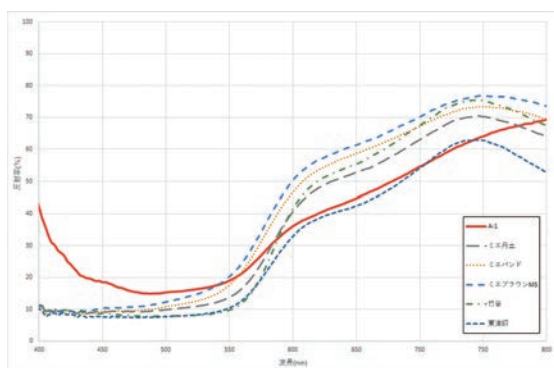


図 17 試料 A-1 と市販弁柄の反射スペクトル

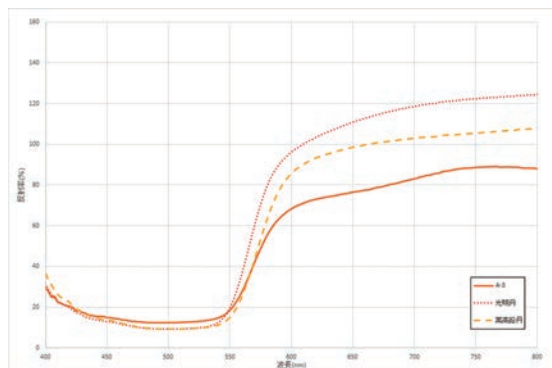


図 18 試料 A-3 と市販鉛丹の反射スペクトル

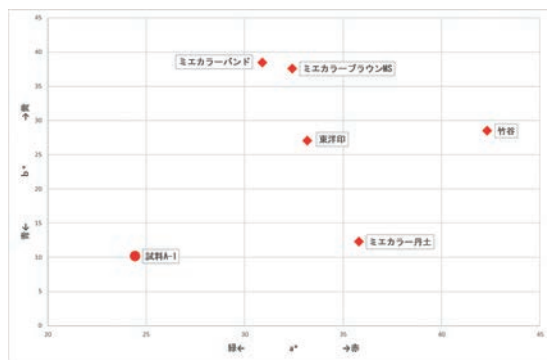


図 19 試料 A-1 と市販弁柄の a*b* 値

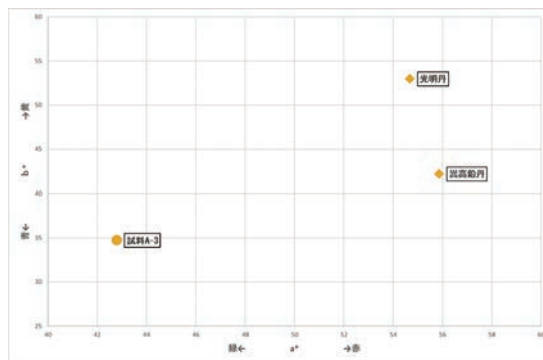


図 20 試料 A-3 と市販鉛丹の a*b* 値

表 1 試料 A-1 と市販弁柄の L*a*b* 値と色差 ΔE^*ab

	L*	a*	b*	ΔE^*ab
試料A-1	57.4	24.5	10.1	基準色
丹土	52.7	35.8	12.2	12.5
バンドシンナー	59.3	32.4	37.6	28.6
ブラウンMS	61.8	30.9	38.5	29.4
竹谷	52.6	42.3	28.5	26.0
東洋印	49.7	33.2	27.0	20.5

表 2 試料 A-3 と市販鉛丹の L*a*b* 値と色差 ΔE^*ab

	L*	a*	b*	ΔE^*ab
試料A-3	67.0823	42.80415	34.70819	基準色
光明丹	74.60924	54.68495	52.96907	23.04925
嵩高鉛丹	69.5251	55.87167	42.19301	15.25614

3-2-3 結果

今回の工事にあたり、新規に採取し塗膜の残存状態も良好である試料Aをもとに、市販の弁柄・鉛丹との色味の比較をおこなった。試料 A の最下層にあたる A-1 は、波長 560・670 nm 付近での吸収が特徴的であり、反射スペクトルならびに L*a*b* 表色系で比較した結果、市販材料は試料と比較し全体的に赤味が強いものの、この中では b* 値が近く (図 19)、A-1 を基準とした色差 ΔE^*ab の値が最も小さい「三重カラーテクノ丹土」が採取試料 A 最下層の色味に近い

ものと判断した。A-3 と鉛系顔料に関しては、市販 2 種はいずれも鉛丹に特徴的な反射スペクトルを得ているが、緑味と赤味に関わる a^* 値は A-3 の下層に赤褐色が重ねられているため大きく異なる (図 20)。しかし、青味と黄色味に関わる b^* 値の比較では光明丹よりも嵩高鉛丹の方が近く、また色差 ΔE^*ab の値についても嵩高鉛丹の方が小さいため、嵩高鉛丹を用いるのが望ましいという結果となった。

以上より、上記の市販材料を混色し、目標の色味である試料 A-3 の分光反射スペクトルの波長 740 nm 付近で表れた弁柄の特徴がみられる程度に調整することが今回最も適した施工方法であると判断した。上記を踏まえた上で弁柄と鉛丹を混色した手板見本を作成し、配合比を確定するため、改めてその手板見本に対し可視分光分析を行うこととした。

3-3 配合比別の手板試料の測色

「嵩高鉛丹」に、「三重カラーテクノ丹土」を混ぜた手板見本を作成し、可視分光分析に供した。配合比は、鉛丹 100 g に対して弁柄 1・3・5・7・9 g を混合した 5 パターンである (図 21)。これらの配合比は、いずれも波長 550 nm の吸収が顕著な鉛丹が優勢の反射スペクトルが得られたが、670 nm 付近の吸収という弁柄の特徴も表れており、A-3 の反射スペクトルと重ねてみると、特に弁柄 3 g と 5 g の配合比の間にあたることを判明した (図 22)。しかし、570 nm 付近の反射からのなだらかな傾きは、今回の混色する施工法では再現が困難であり、塗り重ねによって得られるものと考えられた。

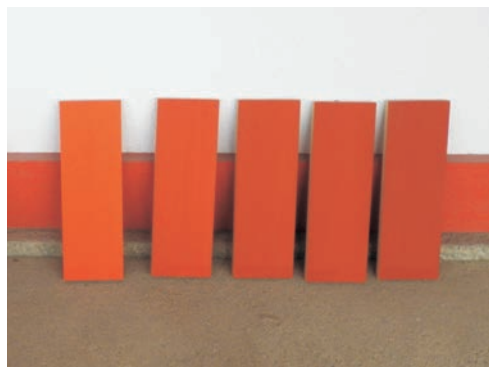


図 21 鉛丹 + 弁柄混色手板

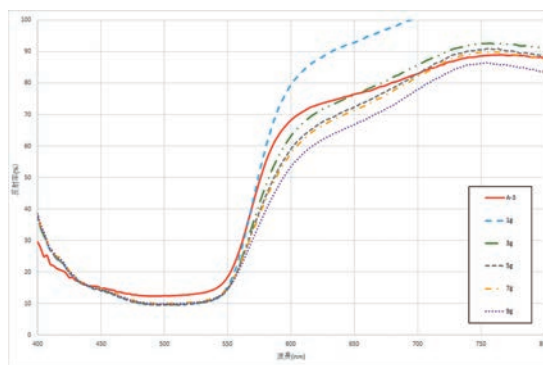


図 22 鉛丹 + 弁柄混色配合比別反射スペクトル

以上より、「嵩高鉛丹」:「三重カラーテクノ丹土」=100:4 (g) が目標とする色味に最も近いことから、今回の工事では、この配合比に基づいて鉛丹と弁柄を混色し、施工を行うこととなった。

4 白華現象について

平成 29 年度は、塗膜掻き落としから塗装にいたるまで、まず初めに日華門北側回廊、西側に飛んで月華門、西側回廊、南側回廊は承明門西側まで順次行われていた (「京都御所紫宸殿廻り回廊整備工事」p23 図 3 及び p25 表 1 参照)。日華門北側回廊では、6~7 月にかけて塗膜除去後、比

較的早い段階から塗装工程が開始されたが、上塗りを終えたのち、一ヶ月足らずで塗膜表面が白く濁ったようになる白華現象がみられた (図 23・24)。これを受け、一部では髹水引きを行わない等工程を見直したものの、その箇所においても後日白華が確認された。施工業者への聞き取りと現地での観察により、当該箇所では旧塗膜の掻き落としの際にジクロロメタン (CH_2Cl_2) 系の剥離剤を使用したこと、塗装用足場の撤去前より白華が発生し、その際足場 2 階より下の 1 階部分で顕著にみられたこと、雨天の翌日の晴れあるいは曇りの天候時によく確認されることなどが明らかとなった (表 3・図 25)。なお、効率性や作業環境への考慮により、剥離剤は白華が発生する前から順次アルコール系のものに置き換わり、それが使用された場所では、方角の差はありながらも白華が発生していないことから、剥離剤による何らかの作用によるものの可能性がある。

白華は、顔料の隙間からにじみ出ているような様子で、水に濡らしかたくしぼった布での拭き取り、あるいは柔らかい刷毛等で払うことで、見た目には除去が可能であった。しかし、後日同じ箇所に再度白華が出現するなど、根本的な解決には至らなかった。この白華は美観を大きく損ねる上、塗膜面を劣化させる可能性が考えられたため、原因を特定し、発生をおさえるべく対策を講じる必要があった。そこで、白華箇所の塗膜の試料採取を行い、各種分析を行った。なお、先述のとおり、剥離剤が変更されて以降の施工箇所では白華はみられていないため、日華門北側回廊を対象とした。



図 23 日華門北側回廊 (東面) (撮影: 2017/9/19)



図 24 日華門北側回廊 (東面) (撮影: 2017/11/6)

表 3 白華発生経緯

日華門北側回廊白華			
日付	曜日	天気	作業内容
7月10日	月	晴	養生
7月11日	火	晴	捨膠
7月12日	水	晴のち曇	髹水引き
7月13日	木	晴	作業なし
7月14日	金	曇	下塗り
7月15日	土	晴	中塗り、上塗り
7月19日	水	曇	視察 (この時点で白華なし)
～			
7月28日	金	曇のち雨	
7月29日	土	曇	白華確認 (それ以後、徐々に出てくる)

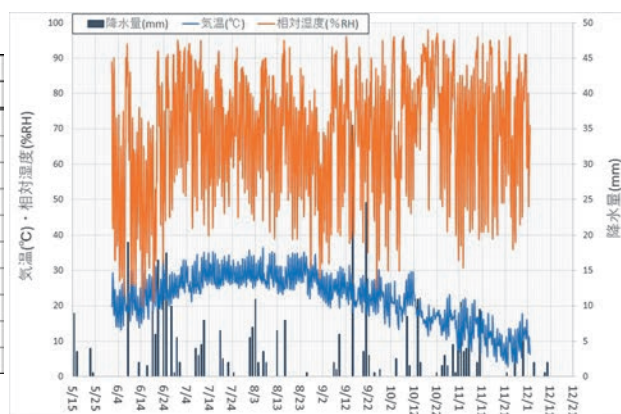


図 25 京都市外気温湿度と降水量グラフ (気象庁データより作成)

4-1 白色生成物の分析

鉛丹の変色は、白色化・黒色化ともに知られており^(註7)、それらは鉛丹 ($\text{Minium-Pb}_3\text{O}_4$) が水白鉛鉱 ($\text{Hydrocerussite-Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$)、ラウリオナイト (Laurionite-PbClOH) 等に変質したために変色していることが既往研究により示されている。しかし、今回の白華現象においては、一ヶ月にも満たない早い段階で白華が起きていること、一時であっても、見た目に除去が可能であることから、カビなどの生物由来の物質、あるいは何らかの白色物質が生成された可能性も視野に入れ、分析調査を行うこととなった。試料は木割れ付近の白華箇所から木地ごと注意深く採取し、実体顕微鏡による観察、SEM-EDS による観察と元素分析、X 線回折分析を行った。

実体顕微鏡観察では、塗膜表面に白い生成物が表出していること、さらに塗膜層と木部の間に白色の層が出来ていることが確認された (図 26)。すなわち、木部→白色層→丹塗層→薄い白色層の順に層が形成されていることが判明した。また、採取試料の木口にあたる箇所には、結晶状の粒子が複数みられた (図 27)。



図 26 白華箇所から採取した試料の実体顕微鏡像



図 27 採取試料木口の結晶

電子顕微鏡観察では、丹塗り層の顔料粒子の隙間から、針状の結晶が表出し、表面全体を覆っている様子が確認された (図 28・29)。これは、最表面にみられる薄い白色層にあたるものとみられる。EDSでは、本来表面層にあるべき鉛丹のPbピークが非常に大きく、軽元素の検出はごく僅かであった (図 30・31)。

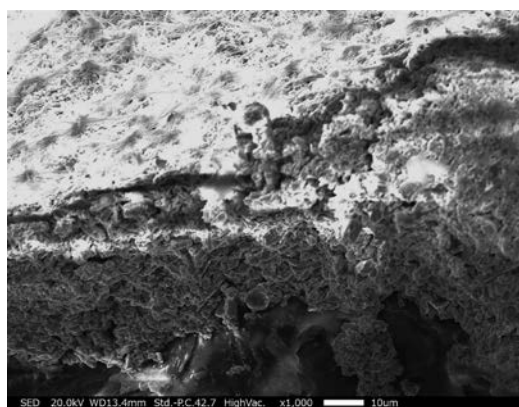


図 28 白華断面 SEM 像

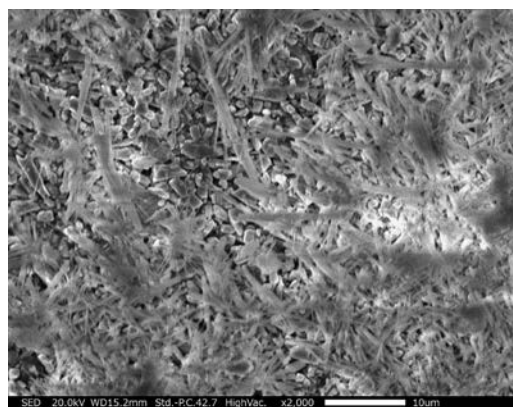


図 29 白華表面針状結晶 SEM 像

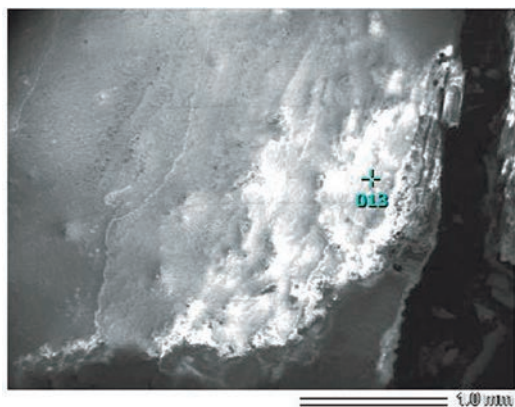


図 30 白華表面のEDS測定ポイント

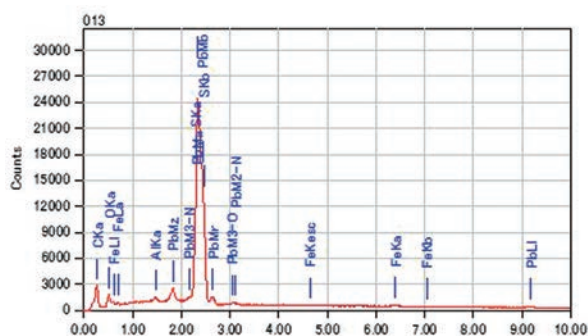


図 31 白華表面のEDS結果

X線回折分析では、鉛丹のピークのほかに、硫酸ナトリウム等のピークがみられ、白色生成物が塩類である可能性が示された (図 32)。

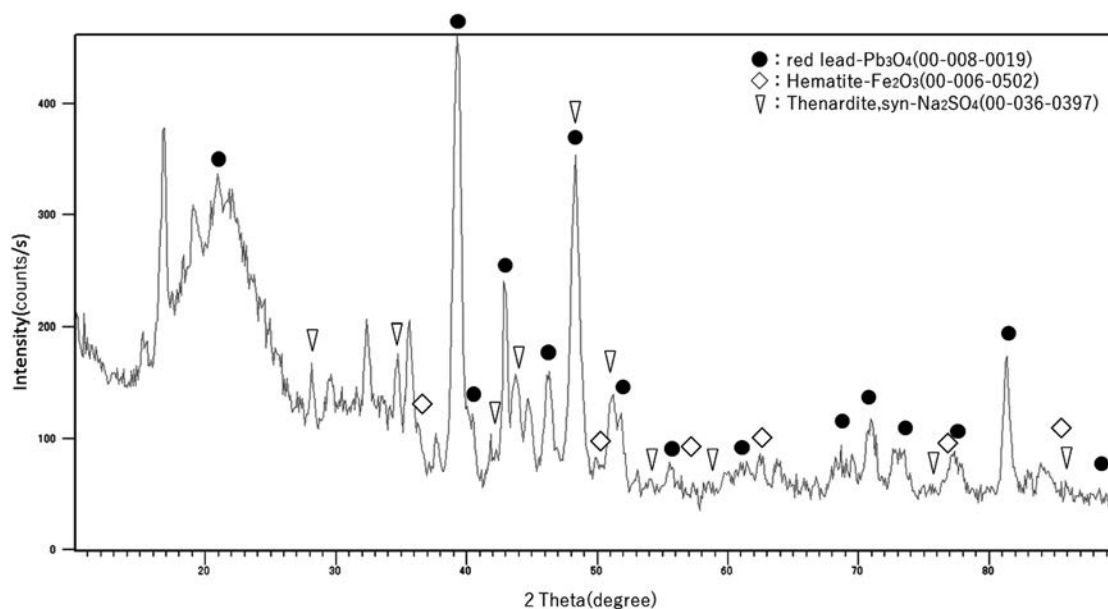


図 32 白華箇所の X 線回折スペクトル

4-2 考察

塩類は、石造物や土質遺構、レンガ造等の多孔質材で構成される文化財において析出の事例があり、その析出にともなう圧力により構造が破壊されてしまう現象は塩類風化と呼ばれ、大きな問題となっている。木材や塗装においてはあまり報告例がなかったが、条件が揃ったときに発生する可能性は十分に考えられた。塩類は析出する相対湿度とその温度依存性が塩の種類によって異なることが知られている。今回主にみられた硫酸ナトリウムは、 32.4°C 以下では溶解度の温度依存性が大きく、温度低下にともない溶解度は急激に減少する。一方で 32.4°C 以上では温度上昇に対して溶解度変化が負の相関を示すことが特徴である。前者は十水和物であるミラビライト (Mirabilite- $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) の、後者は無水物テナルダイト (Thenardite- Na_2SO_4) の溶解度曲線となる (図 33)。

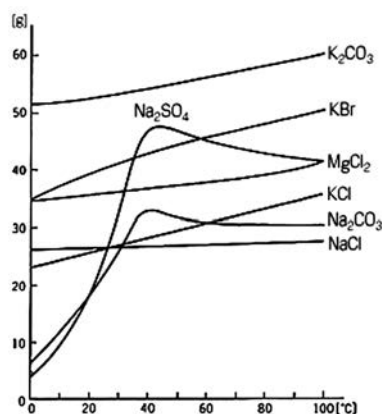


図 33 無機物の水に対する溶解度 (註8)

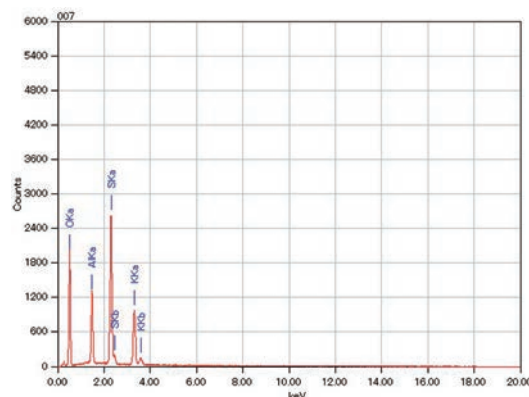


図 34 市販ミヨウバンの構成元素 (EDSによる)

まず、ジクロロメタン系剥離剤の使用により、木地固めに使用した髹水や木材内部の残存物質の溶解を促進した可能性が高く、さらに梅雨時から夏場にかけて施工が行われたため、足場覆屋内部、特に白華が顕著にみられた一階部分は図 25 に示した外気温湿度よりも非常に高温多湿な状態であったことが推察される。その環境から、十分に剥離剤の成分が抜けきらないうちに塗装工程に入り水分が与えられ、高濃度の塩溶液が形成され木材内部に浸透、雨天時に、溶解した塩が木材表面に移動し、その後晴天時や季節の変化による外気温湿度の低下とともに塗膜表面層に析出したとみられる。白色物質層は木材と塗膜層の間にみられたことから (図 26)、髹水が剥離剤の影響により溶解し、それが他のイオンと結合して今回の析出塩となったことも考えられる。髹水はミヨウバン (硫酸カリウムアルミニウム- $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) (図 34)^(註9)を水に溶かし、膠を混ぜてにじみ止めに使用されるものであるが、絵画でも広く使用されるものである。今回は、剥離剤との相性、また工事の季節や工程など諸条件が揃ったことにより塩の析出が発生したものと考えられる。しかし、髹水引きを止めた箇所でも白華がみられていることから、長年塗膜によって木材内部への大量の水の浸透が抑制されていたものの、今回の施工によって水分が木材内部へと供給されたことで、内部に留まっていた塩の起源となる物質が一気に移動したということも考えられる。

このことから、白華が著しくみられた日華門北側回廊においても再度塗直しを行うこととなり、剥離剤の残存成分をなくすための入念な水拭きと十分な乾燥期間をおくこと^(註10)、外気温がやや低くなってから施工をすること、塗装の各工程はできる限り間をあけることなどの対策を行った。その後、白華はほとんどみられなくなった。

今回は温湿度環境の測定などを現地で行うことができず、析出のメカニズムについては推定の域を出ない仮説である。今後も引き続き塗膜状態の定期的な観察ならびに材料や環境について調査を行っていく。

5 まとめ

今回、紫宸殿廻り回廊整備工事において、採取試料の科学分析調査により安政度造営当初の色味と材料について明らかにし、工事の状況に合わせた見え方としての色味の復元を目指して、市販品の鉛丹と弁柄の配合比を求めた。施工後には、早い段階での変色が起こるなど想定外の事態があったが、不確定な部分は多いものの考えられる要因に対処し、以降は大きな問題が起こることなく竣工に至った。はじめに記したとおり、建造物の塗装は劣化が避けられないことから、一定期間での塗り直しが必要となる。今後もよりよい施工時期や方法について検討していくため、引き続き塗膜状態の観察と周辺環境の調査を行っていく。

謝辞

本報告において、建造物塗装について龍谷大学文学部歴史学科文化遺産学専攻 北野信彦教授、塩類風化について奈良文化財研究所埋蔵文化財センター保存修復科学研究室 脇谷草一郎室長に、多大なるご協力をいただきましたことを、ここに記して深く感謝申し上げます。

註

- (1) 詫間直樹編『京都御所造営録—造内裏御指図御用記(三)』(中央公論美術出版、2012年)、『禁裏御所御用日記』(国会図書館蔵・826-91)、『禁裏廻廊小積』(宮内庁書陵部蔵)など
- (2) 今回の工事に先立つ事前調査において北野信彦氏(龍谷大学教授)が科学分析調査を行っており、塗装修理の履歴と材質を明らかにした。今回は、新たに漆喰壁内側から採取した試料より、造営当初の材料と色味についての科学分析調査を行った。
- (3) 北野信彦「歴史的な木造建造物のベンガラ塗装に関する基礎的調査—応用編—」(れいめい、2011年)
- (4) 塗膜層の薄さから、XRDでは基底材である木材(セルロース)のピークを強く拾っている。
- (5) 図16に示すように、異なる2種類の色材を組み合わせた際、塗り斑が目立ち、何層も塗り重ねなければならないことから、工期等を考慮すると困難であるとの判断であった。
- (6) おもに流通している市販の鉛丹には製品名「光明丹」と「嵩高鉛丹」の2種類があり、一般に文化財建造物の修理には退色の速度や施工上の理由から「嵩高鉛丹」が使用されている。2つの製品の組成は同様(Pb_3O_4)で、製造工程差と粒子径の違いによる区別とされている。
- (7) 山崎一雄『古文化財の科学』(同朋社、1987年)、朽津信明「鉛丹の変色に関する鉱物学的考察」(『保存科学』第36号、1997年)、島津美子、森井順之、川野邊渉「臨海環境における丹塗りの変色に関する研究」(『保存科学』第41号、2002年)など
- (8) 出典: 理科年表編集委員会「無機物の水に対する溶解度」[理科年表オフィシャルサイト(国立天文台・丸善出版、2006年11月) https://www.rikanenpyo.jp/kaisetsu/buka/buka_010.html (2021年2月16日閲覧)]
- (9) ミョウバン $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ は、硫酸アルミニウム $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ と硫酸カリウム K_2SO_4 という2種類の塩が1:1の物質量の比で単一の組成の結晶になったものである。水溶液中では次のように電離する。
$$\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}^{3+} + \text{K}^+ + 2\text{SO}_4^{2-} + 12\text{H}_2\text{O}$$
- (10) 本来、塩の溶解・析出をおさえるには水分の供給を絶つことが有効であるが、木材へのFT-IR分析の結果、ジクロロメタンの残存が認められ、水拭きと十分な乾燥により残存量が減少していくことが分かったため、そちらを優先する形となった。