

劣化した漆塗膜に対する強化手法の外観への影響

神谷 嘉美・加藤 寛

1. はじめに

漆はアジア地域に産出する固有の天然高分子であり、古来より優れた耐久性と美観などから使用されている。しかしながら漆は紫外線に弱い¹⁻³⁾ことで知られ、紫外線照射により塗膜の光沢低下、白色化、亀裂発生などを生じる。そこで劣化塗膜の強化が必要となる。

現在漆文化財の修復で劣化塗膜の強化に用いられている手法は、大きく分けて二種類ある。一つは古くから行われていた漆液を用いる方法で、一方は合成樹脂を用いる方法である。漆液を用いる劣化塗膜の強化手法は、文化財のオリジナル保持という部分でしばしば問題にされてきた経緯を持つ。合成樹脂を使用した実験報告に比べると、漆液を用いる手法の評価に関する科学的な報告は多くない。そこで本研究では漆液を使用する手法に着目し、劣化塗膜の強化手法が漆塗膜表面に与える影響を検証した。

劣化塗膜の強化を施す修復現場においては、劣化塗膜に漆をどれだけ残すかという点が最も重要な検討課題であり、非破壊調査が中心となる漆文化財にとって、劣化状態の把握を塗膜表面の観察から行うことは重要である。そこで劣化塗膜表面に対する漆の残存量が塗膜表面の外観に与える影響を見るため、施行回数を変えた場合での艶と色調の変化を求めた。

本研究は、劣化漆塗膜の強化手法に関する基礎的研究として、「摺り漆」「漆固め」という各手法を施した漆塗膜表面の外観変化を定量化し、修復の際に重要と考えられる光沢および色の変化について観察したので、ここに報告する。

2. 実験

2-1. 試料の作成

漆液は樹種の違いがなくとも育成地域や採取時期など様々な要因によって変化し、同じ地域、同じ採取時期であっても気候などの影響で成分が異なってくる複雑なものである。また同じ名称の漆であっても、精製方法のわずかな違いにより性質には差異があらわれる。本研究では相対的な漆塗膜の劣化を観察する目的から、漆液による性質差を小さくするため、黒漆は販売店を変えた3種類を混合し、調製したものを使用した。黒漆は2000年中国城口産黒呂色漆（高野漆工より購入）に、2倍量の2002年中国城口産黒呂色漆（播与漆工より購入）を混入した。さらに2000年の日本産黒呂色漆（日本文化財漆協会より購入）を10%混入して黒漆塗料とした。また蠟色磨きの工程を行う際に用いる生漆は、2004年の日本産（産地：浄法寺）生漆を使用した。

基板にはアクリル(110mm×65mm×厚さ3mm)を用いた。下塗りおよび中塗りを想定して上記の黒漆を3回刷毛塗りして研ぎやぶりのない均一面にした後、上塗りとしてさらに1回塗布した。漆塗布後は温度約15~20℃、約60~70%の室（むろ）に48時間入れて硬化させた。そして蠟色磨きの工程を行って艶を上げた後、太陽光など紫外線のあたらない暗所に約3週間放置し、その後、紫外線による強制劣化促進試験を行った。

紫外線照射には、紫外線オートフェードメーターFAL-AU（スガ試験機株製）を使用した。

照射は48時間を一区切りとして最長192時間行った。これは北緯35度41分東経135度42分設置、南面35度の測定角度による太陽エネルギー観測データ^(註)より算出して、屋外放置の約1年間分の紫外線量に相当する。

なお、劣化させた漆塗膜の強化試験には、摺り漆手法・漆固め手法に各2枚使用した。

2-2. 劣化塗膜の強化試験

2-2-1. 塗布材料

強化用の漆には試料作成時に用いた2004年の日本産生漆を使用した。表1に試料作成の際に調整した黒漆と、磨き工程及び強化試験で使用した日本産生漆の水分量、ウルシオール分子量分布、屈折率などの物性値を示す。

表1 黒漆および生漆の物性

Entry	Sample	Moisture (%)	Molecular weight distribution (%) ¹⁾			Refractive index (%)
			Monomer	Oligomer	Polymer	
1	Black lacquer	4.34	4.34	21.19	19.45	1.55
2	Raw lacquer	23.92	23.92	5.90	—	1.52

1) Measured by GPC (Monomer: MW≒300, Oligomer: 600≦MW<10000, Polymer: MW≧10000)

2-2-2. 摺り漆による強化手法

摺り漆手法は、漆液を用いる劣化塗膜の強化において、通常使用されることの多い方法で、一般的に劣化塗膜の光沢等を回復させる。漆液を塗膜に塗布してから表面をティッシュなどで拭き上げ、漆液が紙面に付着しなくなるまで拭く動作を繰り返して、室に入れ硬化させる。本実験では日本産生漆3に対し、溶剤(リグロイン)7の割合で混合希釈して行った。

2-2-3. 漆固めによる強化手法

漆固め手法とは、塗膜強化により艶を出さないために修復現場で行われる方法の一つである。漆液を塗膜に塗布してから表面をティッシュなどで拭き、漆液が紙面に付着しなくなるまで摺り漆手法と同様の動作を繰り返す。その後、拭き取りきれわずかに表面へ残存する漆液を溶剤(リグロイン)にて拭き取った。溶剤で塗膜表面を拭き上げた後で、室に入れ硬化させる。本実験で塗布した強化用の漆液は、日本産生漆1に対し、溶剤(リグロイン)9の割合で混合希釈した漆液である。

2-3. 表面状態の評価手法

紫外線強制促進劣化試験によって劣化させた試料表面の状態の定量化は、光沢と色彩の変化により評価した。測定機器にはカラーガイド分光色彩計(BYK-Gardner)を使用した。光沢の測定は同機種に搭載されている機能を用いて、60度の鏡面反射率を測定した。測色条件はD65光源および視野角条件10度で行い、漆塗膜の反射色はCIELAB式で測定した。光沢計および色差計での測定は、各サンプル5回の測定を行い平均値を算出した。

また漆塗膜の表面の状態観察には、マイクロスコープVH-5000(KEYENCE株製/450~3000倍VH-Z450)を使用した。

3. 結果及び考察

3-1. 目視による塗膜表面の評価

摺り漆手法を行った試料と漆固めを行った試料とを、写真1に示す。摺り漆手法を用いた試料ははっきりと光沢の上昇を目視で確認できたが、漆固めを行った試料では、目視からは全く変化が見られなかった。

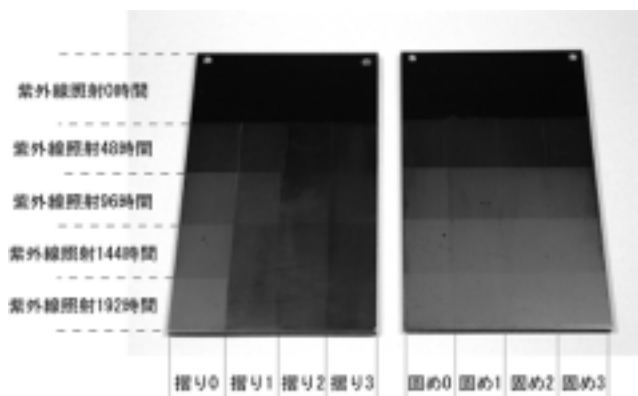


写真1 摺り漆を施した試料（左）と漆固めを施した試料（右）

摺り漆を施した試料について紫外線照射時間ごとに見ると、最も大きな変化を感じられたのは紫外線照射192時間の塗膜であった。摺り漆1回目の塗膜に注目すると、紫外線照射48時間の塗膜上における光沢変化と比較して、急激な表面の変化を見せている。紫外線照射192時間塗膜では48時間よりも劣化が進行しているため、漆液の吸い込み程度が大きかったと考えられる。

一方で48時間、96時間、144時間、192時間といった紫外線照射時間に関係なく、摺り漆を3回行った塗面の状態は類似していた。劣化の程度に応じて、漆液の吸収量の差が初期の光沢上昇差につながるが、ある程度の漆液が劣化部分に補充されると、それ以上の漆液はあまり吸収されず、次第にその変化幅は小さくなったと推測する。

3-2. 光沢の変化

図1に各紫外線照射時間の試料に対して、摺り漆、漆固めを行った場合の、施行回数ごとの光沢の変化を示す。摺り漆試料は紫外線の照射時間が長い塗膜ほど、1回目の摺り漆により光沢が上昇したが、施行前と施行後における光沢の差はどの塗膜においても顕著に目視で観察された。また施行3回後の光沢率は照射時間に関わらず近い値になっており、これらの傾向は目視観察の結果と良く一致している。

漆固め試料では、紫外線照射時間別に見ても光沢の上昇は極めて小さい。摺り漆試料に比べると、上昇の幅が大きかったのは紫外線照射48時間の塗面で、紫外線照射192時間の塗膜における光沢上昇の幅は最も小さくなっている点に注目したい。これは劣化してスポンジ状になっている塗膜内部に、どれだけの漆液が含浸するか否かによる現象であると考えられる。つまり劣化の少ない紫外線照射48時間光沢の塗膜では内部に含浸できる漆量は少なく、3回の施行後に塗膜内部へ含浸している漆液は、最表面近くまで満たされている状態であると推測する。一方で紫外線照射192時間の塗膜においては、劣化が最も促進されているため、塗膜内部にはよ

り多くの漆液が含浸できる。紫外線照射48時間の漆塗膜と比較すると、漆液の含浸可能な量は必然的に多くなり、3回の漆固め施行後における塗膜内部への漆液量では、まだ最表面まで満たす量ではなかった。これが紫外線照射192時間の塗膜において光沢の上昇へつながらなかった原因であると推察する。

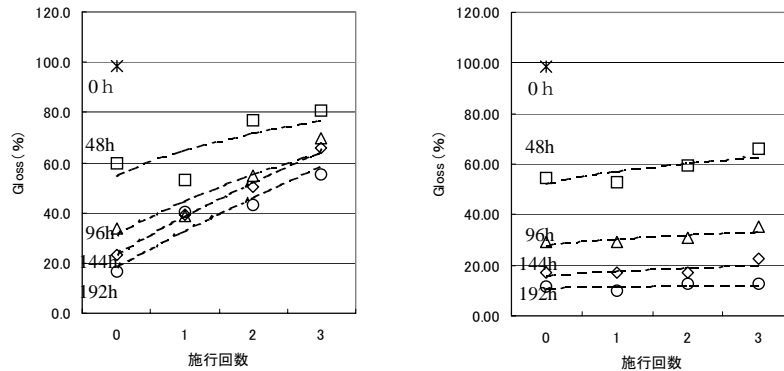


図1 摺り漆試料（左）と漆固め試料（右）における施行回数ごとの光沢率の変化

3-3. 色彩の変化

黒漆塗膜における外観変化をとらえやすい明度指数 L^* と施行回数との関係を図2に示し、摺り漆手法および漆固め手法を施工した後の試料に対する色測定結果の一覧を、表2および表3としてまとめる。

明度の変化でも光沢率の変化と同様な結果となった。摺り漆試料では変化幅が大きく、漆固め試料での変化幅は小さいものになった。これは明らかに漆液の色味によってもたらされる暗さを数値化しており、塗膜表面に多く漆液が残る状態の摺り漆試料では、より黒味の増加を見せているといえる。

摺り漆試料について紫外線照射時間別に見ると、3-2で述べた状態と同じく、劣化が進行している塗膜ほど初期の漆液吸収量があり、 L^* の変化幅が大きなものとなっている。それゆえ劣化の比較的少ない紫外線照射48時間の塗膜では、漆液の吸収による色味の差はあまり感じられなくなっている。また施行3回後の明度値は、紫外線照射時間に関係なく近似している。

漆固め試料では、紫外線照射時間に関係なく極わずかな変化を見せるにとどまった。目視上で変化を感じられなかったが、漆液が内部に含浸して

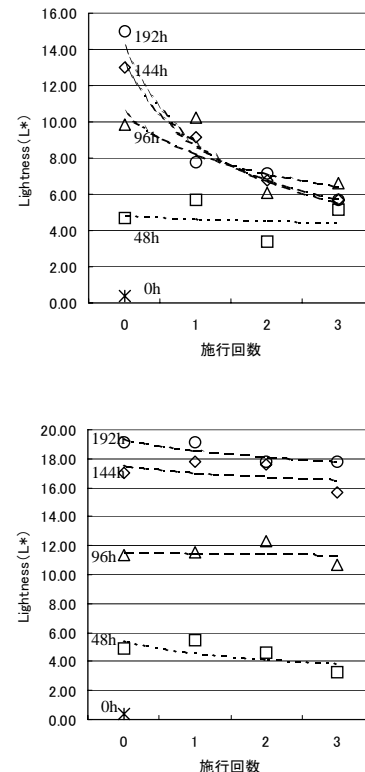


図2 摺り漆試料（上）と漆固め試料（下）における施行回数ごとの明度の変化

いることにより引き起こされるわずかな黒味の上昇がここで示された。

以上の光沢と色彩の検討において、摺り漆手法を用いた試料では光沢および色差の増加傾向が見られ、漆固め手法を用いた試料での変化幅は小さいという結果を得た。目視による観察で全く変化を感じられなかった漆固め試料に関しては、黒味の上昇という色測定の結果より、塗膜内部に漆液は含浸されていることが示された。しかしながら、実際に各劣化塗膜に対して漆液はどこまで含浸されているのか、光沢と色彩からではまだ推測の域を出ない。そこで摺り漆と漆固めを施したそれぞれの塗膜表面を、顕微鏡で観察した。

表 2. 摺り漆手法を施した試料の色測定結果一覧

Sample	L*	a*	b*	$\Delta E^*(ab)$	$\Delta C^*(ab)$	$\Delta H^*(ab)$
48h摺り0回目	11.09	-0.09	-1.64	0.00	0.00	0.00
48h摺り1回目	5.66	0.08	-1.79	5.44	0.15	0.17
48h摺り2回目	3.36	0.14	-1.40	7.74	-0.24	0.24
48h摺り3回目	5.13	-0.03	-2.32	6.00	0.68	0.08
96h摺り0回目	9.82	0.17	-1.50	0.00	0.00	0.00
96h摺り1回目	10.24	0.02	-1.85	0.57	0.34	0.17
96h摺り2回目	6.16	0.06	-1.83	3.68	0.32	0.13
96h摺り3回目	6.59	-0.03	-2.72	3.46	1.21	0.25
144h摺り0回目	12.97	0.19	-1.61	0.00	0.00	0.00
144h摺り1回目	9.16	0.25	-1.55	3.81	-0.05	0.07
144h摺り2回目	6.75	0.10	-1.83	6.23	0.21	0.11
144h摺り3回目	5.68	0.11	-2.00	7.30	0.38	0.11
192h摺り0回目	14.98	0.59	-1.42	0.00	0.00	0.00
192h摺り1回目	7.77	1.89	-0.86	7.35	0.54	1.31
192h摺り2回目	7.13	0.42	-1.81	7.86	0.32	0.28
192h摺り3回目	5.68	0.17	-1.90	9.32	0.37	0.52

表 3. 漆固め手法を施した試料の色測定結果一覧

Sample	L*	a*	b*	$\Delta E^*(ab)$	$\Delta C^*(ab)$	$\Delta H^*(ab)$
48h漆固め0回目	4.92	0.26	-1.04	0.00	0.00	0.00
48h漆固め1回目	5.50	0.21	-1.30	0.64	0.25	0.10
48h漆固め2回目	4.57	0.21	-1.37	0.48	0.31	0.11
48h漆固め3回目	3.31	0.29	-1.03	1.61	0.00	0.03
96h漆固め0回目	11.37	0.06	-1.52	0.00	0.00	0.00
96h漆固め1回目	11.55	0.03	-1.68	0.24	0.16	0.04
96h漆固め2回目	12.32	0.01	-1.64	0.96	0.12	0.05
96h漆固め3回目	10.69	0.07	-1.57	0.68	0.05	0.01
144h漆固め0回目	17.02	-0.02	-1.31	0.00	0.00	0.00
144h漆固め1回目	17.78	-0.04	-1.37	0.76	0.06	0.02
144h漆固め2回目	17.58	-0.04	-1.30	0.56	-0.01	0.02
144h漆固め3回目	15.64	-0.04	-1.30	1.38	-0.01	0.02
192h漆固め0回目	19.16	0.07	-0.93	0.00	0.00	0.00
192h漆固め1回目	19.17	0.04	-0.97	0.05	0.04	0.03
192h漆固め2回目	17.80	0.05	-1.23	1.39	0.30	0.04
192h漆固め3回目	17.80	0.05	-1.23	1.39	0.30	0.04

3-4. 顕微鏡による表面観察

写真2には摺り漆を施した紫外線照射48時間の塗膜と、紫外線照射192時間における塗膜の顕微鏡画像を示す。写真3には漆固めを施した紫外線照射48時間の塗膜と、紫外線照射192時間における塗膜の顕微鏡画像を示す。

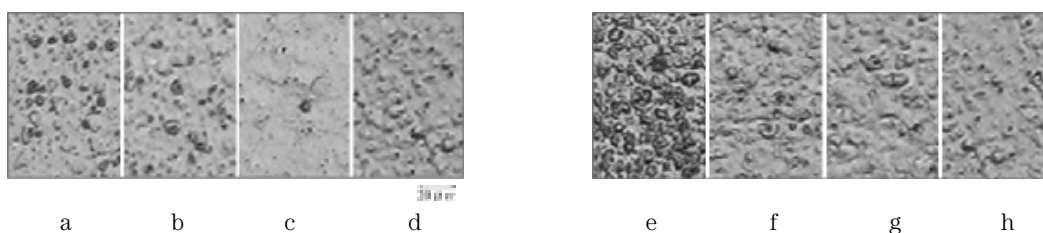


写真2. 摺り漆を施した塗膜表面の顕微鏡写真
a-d)紫外線照射48時間の塗膜 e-h)紫外線照射192時間の塗膜
a,e)摺り漆なし b,f)摺り漆1回 c,g)摺り漆2回 d,h)摺り漆3回

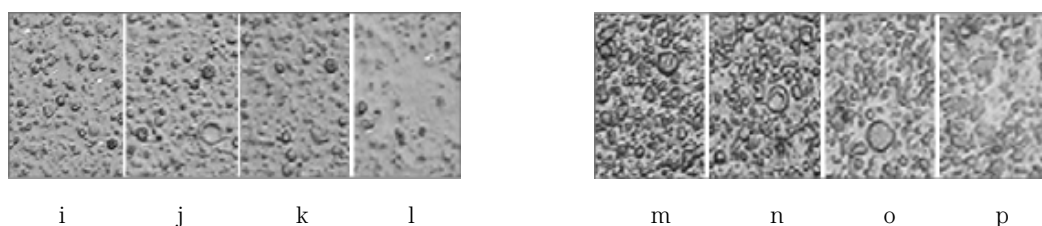


写真3. 漆固めを施した塗膜表面の顕微鏡写真
i-l)紫外線照射48時間の塗膜 m-p)紫外線照射192時間の塗膜
i,m)漆固めなし j,n)漆固め1回 k,o)漆固め2回 l,p)漆固め3回

塗膜表面の光学顕微鏡による観察により、摺り漆手法と漆固め手法のもたらす効果には、明確な違いがあると示された。摺り漆試料は推測通り漆層が積層していく様子が観察でき、新たな漆層によって光沢の上昇や色彩の変化がもたらされたと判断できる。漆固め使用では光沢や色彩の変化幅が小さかったことから、劣化塗膜の強化はされているのかという疑問が出てきていたが、細かな粒子の凹凸はゆるやかに補充されていることが顕微鏡観察によって明らかとなった。また紫外線照射48時間の塗膜における施行3回後のわずかな光沢上昇は、劣化塗膜内部に含浸される漆液の量をやや超えたために起こったものであると示された。

写真2では漆液の吸い込み程度の違いにより、同じ施行回数においても表面状態は大きく異なっていることも観察できた。紫外線照射48時間の塗膜表面における3回目の摺り漆後では、雪崩のような状態が観察できる。しかし摺り漆を3回行った塗面の状態は、48時間、192時間といった紫外線照射時間に関係なく、ほぼ類似しているといえる。初期の光沢上昇は漆塗膜の劣化の進行程度に依存しているため、含浸される漆液の吸収量の差によりもたらされる。一方で摺り漆手法の場合は施行ごとに表面へ漆液が残るため、1回目の摺り漆を行って硬化した後、塗膜表面には極薄い層を形成することになる。続けて2回目の摺り漆を行う際の塗膜状態は、劣化に伴う凹凸がより小さくなっているために、塗布した漆液の充填は少ないものとなり、結果として摺り漆を重ねるごとに変化の幅は小さくなったと推測できる。

一方で漆固め手法の変化幅が何故小さいのかを、光沢や色彩の変化と顕微鏡写真を総合して

次のように考察した。摺り漆手法と比較すると、漆固め手法では表面に残る漆液を完全に除去するため凹部のみに漆液は層を形成していくことになる。次の施行は一回目に漆が補充されて浅くなってきた凹部に対して、再び層を形成していく。このようにして、細かな粒子により平滑度の低下している劣化塗膜の内部にのみ漆液を充填していくため、最表面の変化は極小さいものとなる。紫外線照射48時間の塗膜において見られたわずかな変化は、最表面にまで漆が補充されたことに起因すると判断できる。

4 . 結論

本試験においては漆液を用いた伝統的手法の「摺り漆」と、漆文化財の修復において近年開発された「漆固め」という2種類の方法に対して、外観変化の影響を検証した。光沢測定および色彩測定の結果は、目視による観察結果とほぼ一致する結果となった。また塗膜表面の状態を顕微鏡によって観察することで、異なる2種類の手法の差異を示した。

これまでの検討から摺り漆手法は光沢が上昇するため、漆文化財の修復における艶合わせの手法に適している。また漆固め手法は光沢や色彩の変化をほぼ抑えることが可能であり、現状維持を基本とする文化財修復の現場において、一般的に適した手法であるといえる。

本報告は漆液を用いた劣化塗膜強化の一手法について試験したものであるが、施行者により様々な方法がとられており、それをひとくくりにすることは出来ない。また塗膜の強化手法に関して、表面に現れる傾向を把握する試験にとどめたため、使用する漆液の種類や漆液の希釈率による影響、また力学的な判断などは今後の課題とする。しかしながら漆液による塗膜の強化は、効果の異なる手法を容易に使い分けできるという利点があることは明らかである。多様な劣化状態の漆文化財が存在する中で、漆液を用いた修復技法の合理性を確認した。

謝辞

漆固め手法に関して田口義明氏、測定に関して明治大学宮腰哲雄教授に多大なご助言を頂きました。ここに記して深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 登石健三, 見城敏子: うるし塗膜の劣化, 色材, 40(2), 92-93 (1967)
- 2) 笹森正人, 江頭俊郎, 鍼田一男: 紫外線照射による漆塗膜物性の変化, 石川県工業試験場研究報告, 38, 35-41 (1990)
- 3) 豊島清: 漆塗膜の紫外線による劣化の研究, マテリアルライフ, 8(1), 28-35 (1996)

注) スガ試験機株式会社提供データによる

キーワード: 漆(lacquer/urushi); 紫外線照射(ultraviolet irradiation); 強化(restoration); 光沢(gloss); 色差(color difference)

Effect of Restoration Techniques on Deteriorated Urushi Coating Films

Yoshimi KAMIYA and Hiroshi KATO

Lacquer called *urushi*, which is the only natural polymer produced in Asia, is polymerized by laccase to produce a beautiful coating. Recent studies have made it clear that urushi coating films are weak against ultraviolet irradiation and that exposure to ultraviolet rays could cause them to deteriorate. For example, flaking off of films, loss in gloss, or cracking might possibly occur. Restoration for conservation is, therefore, necessary for historic urushi objects.

There are many experimental reports using a single-layer urushi coating film on a glass board, but there are few chemical research data of traditional restoration techniques using urushi. Therefore, in this study, samples of polished four-layer urushi coating films were first exposed to ultraviolet irradiation. Then the effect of restoration techniques for conservation was examined by applying two techniques, *suri urushi* and *urushi gatame*, on the deteriorated coating films. Through this study, it was verified that the appearance of the films changes differently with the two techniques.

Suri urushi is suitable for adjusting the gloss, because gloss rises on the deteriorated films. *Urushi gatame* is suitable for restoration in general, because it suppresses changes of gloss and color in the restoration of cultural properties to a great degree. The results show that repair of and protection against deteriorated urushi coating films are possible by restoration techniques using urushi sap.