

みんなくりポジトリ

国立民族学博物館学術情報リポジトリ National Museum of Ethnology

A Retrospection : Early Examples of the Application of Synthetic Resins for the Conservation of Japanese Cultural Properties

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2009-04-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 樋口, 清治 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.15021/00001955

回顧：日本における文化財修理への合成樹脂利用のはじまり

樋口 清治

東京国立文化財研究所* 名誉研究員

A Retrospection Early Examples of the Application of Synthetic Resins for the Conservation of Japanese Cultural Properties

Seiji Higuchi

1998年12月17日開催の共同研究会における樋口清治氏の報告「わが国の文化財への合成樹脂の使用の歴史、およびその問題点」の口述記録をもとに園田、森田が整理し、氏の校正を経てまとめた。細部において記憶違いと思われる箇所もあるが、この主題に関する記録が大幅に不足している現在、当事者による貴重な回顧談であり、加筆・修正せずに掲載する。また、研究会での配布資料を後掲した。本文と配布資料の脚注は園田、森田による。

剥落止め

- | | |
|---------------------|---------------------|
| 1 合成樹脂による最初の剥落止め | 4 昭和40年代以降：市販の合成樹脂へ |
| 2 ポリビニルアルコールによる剥落止め | 5 樹脂の濃度と粘度 |
| 3 アクリルエマルジョン | 6 日本画固有の問題 |

法隆寺金堂の保存修理

- | | |
|---------------|-------------|
| 1 法隆寺金堂、壁画の焼失 | 3 壁画の強化保存処置 |
| 2 壁画の剥落止め | 4 柱の強化 |

人工木材

- | | |
|------------------|----------------|
| 1 人工木材のはじまり | 4 別のタイプのエポキシ樹脂 |
| 2 人工木材による復元例：羅漢堂 | 5 人工木材の評価 |
| 3 人工木材による復元例：如庵 | |

記録を残すということ

* 平成13(2001)年4月より、独立行政法人文化財研究所東京文化財研究所

剥落止め

1 合成樹脂による最初の剥落止め

科学的保存調査のはじまり

文化財に対する合成樹脂の応用は、戦前からあった。その頃は文化財といわなくて、古建築、古美術、考古学資料という表現をしていた。文化財という言葉は、文化財保護法ができてからのこと。今でいう保存科学的発端というのは、昭和24年に法隆寺金堂が焼けただることからはじまる。

とはいっても、その前からすでに、岡倉天心が、大正2年に、法隆寺金堂壁画の科学的保存を提唱されていた。壁画の前を歩いただけで、ばらばらと顔料が落ちてくるような状態であり、それに対する対策として、フランスから大きなガラス板を輸入しておさえようとか、いろいろな意見がでていた。文部省に法隆寺金堂壁画保存調査委員会というのができ、大正9年に報告がまとめられた。剥落止め関係では、京都大学の近重真澄先生が、天然樹脂の琥珀でワニスをつくった。この天然化石樹脂は非常に溶剤に溶けにくいから、熱分解して分子量を下げたものを、アルコールとエーテルに溶かして使っていた。実験的に、ほんのわずか数平方cmのところに使ったけど、天然樹脂を熱分解しているから、当然のことながら色がついて白い壁にシミになってしまい、実行できなかった。

東京大学、櫻井研究室でのアクリル樹脂合成

そのうちに法隆寺金堂の壁画をどう保存するか真剣な議論がはじまった。東京大学の三四郎池のわきに教官食堂があって、昼になると、理学部、工学部などの先生がくる。当時の文学部長の瀧精一先生が、法隆寺金堂壁画保存に関して、理学部の柴田雄次先生をはじめ工学部の先生に相談をもちかけた。そのとき、東京大学の応用化学に、田中芳雄先生がおられた。その頃の東京大学の工学部応用化学には高分子などという講座はなかった。田中先生は、石油、油脂、塗料の講座をもっていた。そして塗料部門のなかに、合成樹脂関係の人たちがいた。その高分子関係をあついていたのが櫻井高景先生で、ぼくは、昭和15年から37年まで22年間、数え年で16才のときから先生のところで、ビーカー洗いをしていた。

櫻井先生は、アクリル樹脂の合成をしていた。アセトン中に炭酸カリを触媒として青酸ガスをバブルさせてアセトシアンヒドリンをつくり、それを脱水してニトリル化して、それをさらに加水分解とメタノールでエステル化して、メタクリル酸メチルのモノマーをつくっていた。あの当時、猛毒の青酸ガスをあつかっていて、よく死ななかつたと思う。青酸ガスをつくるのに、1キロくらいの青酸ソーダの塊を鉄乳鉢でバンバンとくずすので、当然、飛び散る危険性がある、というのが当時の状況だった。

アクリル酸メチルも合成していた。これは、エチレンクロールヒドリンと青酸ソーダを反応させてエチレンシアンヒドリンにしたものを脱水してニトリル化、さらに加水分解とメタノールでエステル化して、アクリル酸メチルを合成した。

櫻井先生は無色透明な樹脂で、安定性ができるだけ高いものをつくることを考えていた。重合度を上げて耐久性をよくする方針であったのだと思う。そこで、メタクリル酸メチルとアクリル酸メチルを三角フラスコにいれて、ベンゾイルパーオキサイドで塊状重合¹⁾して、それを混合溶媒（酢酸メチル、アセトン、トルエン、ジアセトンアルコールなど）で溶かしていた。ときには重合中に橋かけ（クロスリンク）がおきて、不溶解のゲルになることもあった。

戦時中の合成樹脂：耐久性のないもの

こうしてつくった樹脂を法隆寺に使おうとしたのだけど、当時、非常に反対が多かった。というのも、当時、戦争で日本に資源がなくなっていた。なかでも繊維類、とくに木綿が、全然なくなった。それで木綿の代わりに、いわゆる人造絹糸というものが全盛を極めていた。京都大学の櫻田一郎先生などが、ポリビニルアルコールから、木綿に相当する合成繊維をつくるということが華やかな時代だった。そういう代用品でつくったものは、かなり出回ってはいたが、朝履いた靴下が夕方帰ってくるともう穴があいてしまう状態だった。だから、人間がつくった合成物というのは耐久性がないと信じられていた。そういう耐久性のないものを、文化財である法隆寺の壁画に使うというのはとんでもない話だ、というのが一番大きな反対理由だった。科学的な理由がどうのこうのというのはまったくない。ただ、耐久性だけが問題だった。

現在は、むしろ耐久性がありすぎて困るということもある。文化財というものは、10年、20年とたったあかつきには、また修理をやり直ししながら、次の世代にバトンタッチしようというのが、今の基本的な考え方だ。昔はモノが欠乏した貧乏な時代だから、1回やったものをやり直すなんてとんでもない話で、永久に守ろうという思想のほうが強かった。だから、文化財の保存なんていうのは、ある程度、世相に反映するというのが、ほくのいいたいこと。

合成樹脂による剥落止めの最初の事例：霊山寺の三重塔

法隆寺に対して非常に反対が多かったから、昭和17年に、法隆寺にやる前に一度実験的に他をやってみたらどうかということになった。そこで、当時の法隆寺の事務所長の幹

1) 合成の高分子は、1種または数種の構成単位（モノマー）が合成（重合）反応により繰り返し結合してできている。溶媒や水などの媒体を用いずに、モノマーに少量の開始剤や促進剤を加えて重合させる方法をとくに塊状重合という。

旋で、生駒の靈山寺、三重塔の内部建築彩色の剥落止めをすることになった。たしか、漆下地の上に描かれた古い時代のもの。これが、そもそも、アクリル樹脂による剥落止めの始まりだけど、その頃、それでもまだ反対が多くて、法隆寺金堂にはすぐには実施されなかった。

でんぶん糊かアクリル樹脂か

法隆寺の壁画の模写に携わっておられたいろいろな画家の先生、とくに入江波光先生が非常に樹脂に反対していた。樹脂がいいというのは大岡實²⁾先生。大岡先生の提案で昭和21年に、入江先生と櫻井先生が、立ち会い実験をやることになった。櫻井先生が、アクリル樹脂を有機溶媒に溶かした、3%か5%くらいの溶液を、注射器でくずれかかった壁画にポトッと落とすと、当然のことながらスーッとしみこんで一応顔料が固定される。最初はポリメタクリル酸メチルを使っていたのだけど、かたすぎるということでメタクリル酸メチルとアクリル酸メチルのコポリマー³⁾を使った。

それに対して、入江先生は絵巻物の顔料の剥落止めに昔から使われている方法を用いた。沈糊（でんぶん糊）を筆の穂先にたっぷりつけて、絵巻物の剥離に上からポトッと落とす。そうすると、下に広げている絵の上にうまく落ちて、剥落止めができる。ところが、壁画になるとそうはいかない。直立している壁面に沈糊をたっぷりふくませた筆先を近づけると、筆のほうに顔料の細片がすいよせられる。当然のことなんだ。それに対して溶剤を使うと、表面張力が小さいので、スーッと入る。

それで、剥落止めは合成樹脂に限るということになった。それが、合成樹脂乱用の悲劇を招いたというか、ひとつの原因をつくっている。

法隆寺では、金堂壁画の模写（上げ写し）の必要上、樹脂処置が正式に決定して、昭和23年に一部が施工されているが、全面的実施にはいたらなかった。

GHQからの問い合わせ

終戦後すぐ、昭和21年頃に、GHQから法隆寺の保存についての問い合わせが櫻井先生のところに来たそうだ。担当したのは、アメリカのG.スタウト中尉⁴⁾だった。法隆寺では何を使ってやっているのかということで、アクリル樹脂でやっているという、それはいいことだと賛成したそうだ。それでまたアクリルの株が上がって、今まで絶対だめだと反対する声小さくなった。市販してなかったアクリル樹脂を東京大学の研究室で基礎材料

²⁾ 建築史家。当時の法隆寺保存事務所長。

³⁾ 数種のモノマーの重合によってできた高分子をコポリマーとよぶ。

⁴⁾ 1927年に、アメリカ、フォグ美術館の研究員になり、1929年から1947年まで同美術館の保存科学部長をつとめた。第二次世界大戦直後には、ヨーロッパおよび極東占領地域の文化財および古文書に関する問題の担当者として日本に駐留する。

から合成していたので、よけい樹脂が非常に貴重なものになってきた。つまり、希少価値が上がったわけだ。

航空機の風防ガラスにポリメタクリ酸メチルを使っていたのは一般に知られているけど、それを溶かして使うことはなかった。しかも報告書も何もない。簡便な方法が世間に知られた結果、化学の門外漢の人たちにやりちらかされるのを非常に嫌ったわけだ。だから、いっさい発表なんてのはなかった。そういう状況だったけど、戦後になって『古文化財の科学』が発刊された。そのときに、櫻井先生が書いたのが一番最初の合成樹脂の報告になる⁵⁾。

奈良，興福寺の北圓堂

解体修理に際して壁画が剥がれるのが危ないからということで、小壁をはずしてからアクリル樹脂で剥落止めをした後、和紙で表打ち（フェーシング）した。使用したのは、メタクリル酸メチルとアクリル酸メチルのコポリマー。もう40数年前になる。

2 ポリビニルアルコール⁶⁾ による剥落止め

二条城の障壁画

二条城には多数の襖がある。それを昔から、繰り返し繰り返し、いろんな人が剥落止めをやって、今日に及んでいる。剥落した跡はそのままで、剥落しかかっている所もかなり多い。

入江画伯は、法隆寺で沈糊ではうまくいかなかったから、樹脂はいいものだと認識を変えた。昭和18年、アクリルで、戦前に二条城の襖絵の一部をやっている。テストとしてチョーキングしているところだけ。記憶は曖昧だけど、たしか、メタクリル酸メチルとアクリル酸メチルのコポリマーでやっている。

二条城の障壁画は、法隆寺とまったく違う層状剥離になっている。桃山時代の彩色画というのは、絵具の層が厚い。厚い絵具の層がかたまると、下地から剥がれてくる。そういうものを法隆寺でやったアクリル樹脂、溶液タイプのものでやってもくっつくはずがない。やっているうちに、顔料層が厚いものはやわらかくしなければまずいというので、水溶性

5) 櫻井高景「合成樹脂による文化財の保存に就いて」『古文化財の科学』第1号，1951。

櫻井高景「合成樹脂による顔料剥落防止処置に関する二・三の問題——主として処置後における壁画および障壁画の経年変化に就いて」『古文化財の科学』第2号，1951。

櫻井高景「法隆寺金堂焼損壁体の修理に就いて」『古文化財の科学』第4号，1952。

6) ポリビニルアルコールを、日本ではPVAと略称していた。欧米ではポリ酢酸ビニルをPVAとよぶことが多く、混乱のもとになっている。また、日本では、ポリビニルアルコールを、製品名のゴーセノールあるいはポパールでよぶ人もいる。ここでは、ポリビニルアルコールで統一した。

のものでないといけないと気がついた。それではじめて、ポリビニルアルコールという線がでてくることになる。この樹脂が入ってくるのは、昭和19年なんだか20年なんだかは、あまりはっきりしません。

ポリビニルアルコールの精製

ポリビニルアルコールは、ポリ酢酸ビニルからつくられる。ポリ酢酸ビニルを鹼化してポリビニルアルコールにするので、そのときの加水分解にアルカリを使う。具体的には苛性ソーダを使う。というわけで、当時の市販品のポリビニルアルコールには、結果として不純物の酢酸ソーダがかなり入っている。酢酸ソーダはアルカリ性でいけないだろうということで、この精製が櫻井研に課せられてきた。その実験を、ぼくがやっていた。普通の方法としては、ポリ酢酸ビニルを溶剤に溶かした後に、それに溶けない溶剤としてアルコールとか水とかを加えて精製するのだけど、そうするとポリビニルアルコールが凝固してしまう。それで、まず、ポリビニルアルコールにナトリウムがどのくらいあるかということ进行分析することになった。今だったら簡単なことだけど、その当時の分析レベルでは難しかった。ポリビニルアルコールを白金るつぽで焼いて灰にし、水に溶かして、滴定分析で酢酸ソーダが何%だということを決めた。その当時、機器分析に水銀滴下電極を使ったポーラログラフというのがあって、分析すると、金属ごとに特有の電流の波形がでるので、電流計（ガルバノメータ）を暗室で揺らして、印画紙に記録するというをやっていた。しかし、電流計でやるよりは、白金るつぽで焼いて灰にしたほうがずっと早いと、ぼくが発表したことがあった。

不純物の酢酸ソーダをとるために、いろんな方法をやったんだけど、最終的にぼくのやった方法は氷水で洗う方法だった。氷水で洗って、プフナロートでろ過する。その頃は凍結乾燥のない時代だから、低温で乾燥したものを使った。その結果、水で洗っているから、鹼化度の低いものだったら溶ける量が多くなって、収量が少なくなる。だから、できるだけ鹼化度の高い、つまり水に溶けにくいものを使った。それをさらに水で洗っているから、低分子量のものはほとんど溶けて、高分子量のポリビニルアルコールだけが残っている。

平等院の壁画

昭和20年代のはじめになってくると、顔料層のかなり厚手のものはポリビニルアルコールで剥落止めをするようになった。そのときに櫻井先生や岩崎友吉⁷⁾さんが、ポリビニルアルコールが水に溶けるので、耐久性がないと判断した。アクリル樹脂は耐久性がある、だから、ポリビニルアルコールで剥落止めをした後、その耐久性をのばすために、耐久性

⁷⁾ 戦後にできた国立博物館修理室技官。その後、そこから独立して設立された国立文化財研究所(後の東京国立文化財研究所)の初代化学研究室長、1971年から1973年までは同所初代修復技術部長をつとめた。長い間、日本の合成樹脂による文化財処置の指導的役割を果たした。

のあるアクリル樹脂の溶液を噴霧するという方法がずっと続くことになる。

扉絵は、ぼくが知っている限りで、3～4回剥落止めがやられている。一番最後は、立田三朗⁸⁾さんがポリビニルアルコールとアクリルで処置している。

智積院の「桜の図」

昭和22年頃に、ポリビニルアルコールとアクリル樹脂で剥落止めがおこなわれている。ここの桜の花弁の部分は顔料層がかなり厚い。そこにポリビニルアルコールをぬりたくっているから、彩色表面の凹部にたまっている。これが収縮して、ウエットの状態とドライの状態を繰り返すうちに、だんだん収縮して絵具を一緒にもってきて剥がれたわけだ。

大覚寺、牡丹の襖絵

たしか昭和28年頃に、宮本滋基⁹⁾氏がポリビニルアルコールで剥落止めして、アクリル樹脂を噴霧している。これは、ぼくの知っている限り、最高にうまくいった例。高分子量のポリビニルアルコールを2～3%にうすく溶かしているから、かなり粘度が高くなって、よい結果が得られた。

後で、土井画伯¹⁰⁾にこれ非常にうまくいってるでしょっていったら、いやあ、しかしねえ剥落止めする前の牡丹はもっとあったかみがあったっていうんだ。あったかみのあった絵が剥落止めをしたために、冷たくなっちゃいましたと。これは、もう剥落止めの限界。あったかみというのは、顕微鏡的に見れば、すごく表面が荒れているような状態だから。剥落止めをすることによってフワーとした感じがピタっとなっているんだから、これは避けられない。(写真1.1および1.2)。

ぼくにしてみれば、落ちるよりは残っているほうがいいだろう、むしろ顔料の色がはつきりしていいじゃないかと、当時はそう思った。だから大覚寺の牡丹だって、ぼわーとした白さがなくなったって仕方がないという気がしていた。そういう意味で、だんだん文化財ということの難しさとか、技術の立場と科学的な立場の交流って必要なんだけど、実物で研究するのは難しい。

瑞巖寺

宮城県、瑞巖寺の本堂には、多数の襖絵がある。話によると、昔から何度も剥落止めがやられているという。主に現地の経師屋さんが、たとえば呉汁のようなものを使ってやっていたようだ。呉汁というのは、大豆をこすってつぶした水溶液。そのほか、寒天なども

8) 当時の文化財保護委員会所属の技官(専門は工芸史)。その後、東京国立文化財研究所修復技術室長をつとめた。

9) 日本画家。法隆寺金堂壁画の剥落止めをした。その後、民間で各種の剥落止めを職業とする。

10) 土井光知。日本画家。



1.1 剥落止めの処置をする前



1.2 剥落止めの処置をした後

写真1 大覚寺、牡丹の襖絵(写真提供 樋口清治)

使っていたが、また浮き上がってきたので、東文研¹¹⁾でポリビニルアルコールとアクリル樹脂で再処置を2回くらいやっている。全部あわせると何回剥落止めをやったか分からない。ぼくが処置したのは、その後の、東文研で3回目の処置で、たしか昭和44年か45年くらい。

たまたまよく残っているところもあるけど、大部分はほとんど剥落している。源氏雲とって、上のほうにある雲のところは、めくりあがっている。紙の上に胡粉を塗って、その上に金箔をはっている。その金箔がはってあるところから、めくりあがるように剥がれている。その原因は、ポリビニルアルコールや呉汁が剥離した層までしみこまないで、ごく表面だけに留まっているから。金箔の上に、樹脂膜ができています。これが収縮してめくりあがったんだらうと、わたしは判断したわけだ。緑青は粒子が粗いんで、かなり厚くなっているから、顔料層がさけるように剥がれていた。

それで、その表面に付着している収縮性の樹脂をとりのぞくということがまず必要になった。ポリビニルアルコールというのは水酸基-OHがたくさんあるから、いわゆるエーテル結合をして、次第に水に溶けなくなってくる。ポリビニルアルコールが水に溶けないものに変化するの、今日の高分子化学の常識でもってすれば当然なんだ。ただ、その昔は、そのことに気づかなくて、ポリビニルアルコールは水に溶けるものだと信じていた。水に溶けるものだから耐水性を与えるために、アクリルを噴霧したというわけだ。

それで、東文研でやった3回目の処置のとき、溶けないならしょうがないから物理的にとろうということになった。水で濡らして膨潤させ、やわらかくなったところで、表面をふいた。新しい剥落止めには、アクリルのエマルジョンを使った。エマルジョンなら接着力が強いから、ポリビニルアルコールよりもっと有効に接着してくれるだろうということ。濃度は忘れたけど、ポリビニルアルコールよりはずっと濃度の高い状態で、それを面相筆で再接着しながら、画面を慎重にこすって昔の樹脂膜を除去した。皮膜が、ちょうど鼻くそがやわらかくなったような状態にふやけるので除去できた。

とれたものを東京大学の総合試験所にもって行って、赤外分光で分析したら、ポリビニルアルコールが検出できた。それと、寒天らしき多糖類の吸収もあった。寒天とポリビニルアルコールは一応確認ができたけど、呉汁のたんぱく質の確認まではできなかった。

処置の結果、古色がみんなとれて、顔料の肌がかなり荒れたことは事実。これらの処置はテクニックが重要になってくる。同じ材料を使いながら、結果にすごい違いがでてくる。画面の人の衣装のところをルーペで拡大して見ると、胡粉の下地の上に丹が塗ってあり、その上に顔料が塗ってある。その上に、いろんな収縮性の剥落止めの過去の樹脂が何層にもある。これを、今度、岡岩太郎¹²⁾さんは、とんでもない時間と手間を費やして、改め

11) 東京国立文化財研究所をさす。平成13年4月より、独立行政法人文化財研究所東京文化財研究所となる。

12) 京都在中の装演師。国宝修理装演師連盟理事長。(株)岡墨光堂代表取締役社長。

て剥落止めをした。

瑞巖寺は、潮風もいっばいはいつてくるし、条件としては非常に悪い。文化財のダメージというのは、ひとつのダメージではなくて、結局複合的なものが作用する。樹脂だけの劣化でトラブルがおきるということはあるが、いろんな条件が重なりあう、相乗的なトラブルが多い。どういう条件のときに悪いかということ、記録しておく必要がある。

報告書と現実の違い

お話しているのは、これはまだ一部分の事例で、実際はもっと多数の事例がある。しかし、お寺にも記録が残っていない。文化庁にも残っていない。(社)美術院にもなくて、東文研にも残っていない。一番こういう古いところを知っているのは宮本さんなんだけど、もう80すぎている。ほくが知っているかぎりでは、京都の有名な彩色壁画で樹脂処置していないのはないんじゃないか。

昭和45年くらいまでの国の補助金事業では、PVA（ポリビニルアルコール）とアクリル樹脂にて剥落止めをおこなうことと仕様書に書いてある。受注した表具師の人たちは経験的に樹脂の害を知っていて、実際には使用を控えているけど、報告書には使ったと書いた例もあるという。

たとえば上杉神社の小袖の強化処理の場合、ルーベで拡大したところ、樹脂処置をしたといっても名目だけで、ごくうすいポリビニルアルコールが申し訳のようにスプレーされているだけで、実際の樹脂による害は生じてなかった。樹脂の危険性を知っていて使用をさけている。補助金事業だから仕様書があって、指定された材料を使ったということにしないと、うるさいわけですよ。実状と報告書では、樹脂処置に関してはかなり違う。国宝装飾師連盟では絵画と衣類、いわゆる美術工芸品の剥落止めをおこない、東文研が直接やったのは建造物彩色および一部の壁画や障壁画。

変色かどうか

昭和47年かそれより少し前に、日本画の剥落止めをしたら変色したという大きな記事が朝日新聞にでたことがあった。そこで、文化庁の浜田隆¹³⁾さんとほくが調査した。浜田さんが、問題の絵巻物を見たら、紙のうしろが真黄色にぬけていた。日本画は顔料しか使わないって思っていたら、藤黄（ガンボージ）などの染料もかなり使っている。そこに溶剤をかけたら、当然、溶けて、ぬけちゃうわけですよ。合成樹脂による剥落止めの変色ではない。だけど、実際にはぬけているわけだから、絵がだいなしになってしまった。

13) 当時の文化庁美術工芸課主任文化財調査官。

溶剤の問題

アクリルをスプレーするときの溶剤は、アセトン、トルエン、酢酸メチル、キシレン、ジアセトンアルコール、それからもう1種類。アセトフェノン。なぜアセトフェノンを入れたのかは分からない。混合溶媒にしている。なぜ混合溶媒にしたかっていうと、溶剤というのは、たとえば、市販のアクリル樹脂のパラロイドB-72でもアセトンだけで溶かして処置すると非常に蒸散が早いから、日本みたいな湿度の高いところだと、蒸発熱をうばわれて、水分が露結することがある。その結果、白濁することがよくおきた。白化する要因とならないために沸点の高いものだけに溶かせばいいわけだけど、そうするとなかなか乾かない。だから、なるべく早く乾いて、白化しないために、いろいろな溶媒を混合する。機械的にいれるのではなくて、ちゃんと実験して、溶剤の混合割合を決める。低沸点のものから、だんだん高沸点の溶剤が蒸発するように調合した。

3 アクリルエマルション

アクリルエマルションの合成

昭和34年頃、日本には、アクリルエマルションは市販されていなかった。それで、櫻井研で自家生産していた。エマルションは、界面活性剤を選ばないといけないのにポリ酢酸ビニルをつくる方法と同じ方法でしていた。つまり、ポリビニルアルコールの3%水溶液にアクリルモノマーを滴下し、乳化重合させていた。乳化重合の技術が悪かったので、固形分としてせいぜい20数%のエマルションしかできなかった。しかも、粒子が粗かった。

蜆塚遺跡

そのエマルションを、昭和34年頃、浜松の蜆塚の保存処置に岩崎さんたちが使用した。これは偶然にも評判がよかった。樹脂がよかったのではなくて、立地条件がよかったために成功したのだけど。なぜよかったかという、処置後に光沢がでなかったから。いいエマルションというのはちゃんとのびて皮膜になる。粒子の粗い、できの悪いのは皮膜になり難く、光沢がでない。その上、粒子が粗いので、土と土のすき間にひっかかって、一応表面だけにはとまっている。

このエマルションは常温で皮膜化しない。だから蜆塚の場合は、トーチランプと赤外線であぶって置いて、それで皮膜化させていた。

ポリビニルアルコールとアクリルエマルションの併用

当時の剥落止めには、ポリビニルアルコールの3%か、せいぜい4%の水溶液を使っていた。3%か4%のものでは、つっぱりの強い絵具を接着することは無理で、もっと濃い

ものを使うべきだというふう思った。だけどポリビニルアルコールは、化学構造からいっても、粘度が高くなるために使えるのはせいぜい4%が限度で、10%程度になるとかたまって動かない。流動しない状態だから使えない。

エマルジョンにすれば10%でも20%でも容易に流動性のものが得られる。だからアクリルのエマルジョンで剥落止めをしたい、と考えたのが昭和39年頃。だけど、そんなことを岩崎さんにいえば、岩崎さんは反対する。そこで、ポリビニルアルコール溶液では弱いときに、アクリルエマルジョンを少し入れてやってみれば濃度が高くなって、接着できるだろうと進言した。それを始めてやったのが、久能山東照宮の建築彩色。今から考えると、この考え方は間違っていた。

京都東照宮の三十六歌仙板絵

写真2.1および2.2は、ぼくが東文研に入る前の昭和34～35年頃、岩崎さんたちが一度剥落止めしたときのもの。これがうまくいったということで、受託研究報告の5号¹⁴⁾にでている。

その後、障壁画の特別研究のときに、ぼくがこれを再調査したところ、画面上のほうの文字のところ、10年後に元の木阿弥になって剥がれている(写真2.3)。ポリビニルアルコールをうんとすくして剥落止めをやったわけだけど、あまりうすすぎて再び剥がれた。そこで、ぼくは接着力が足りないんだという誤解をした。濃度が低すぎるからということでエマルジョンを使うようにしたら、その結果、接着はしたが、光沢がますます大きくなった。

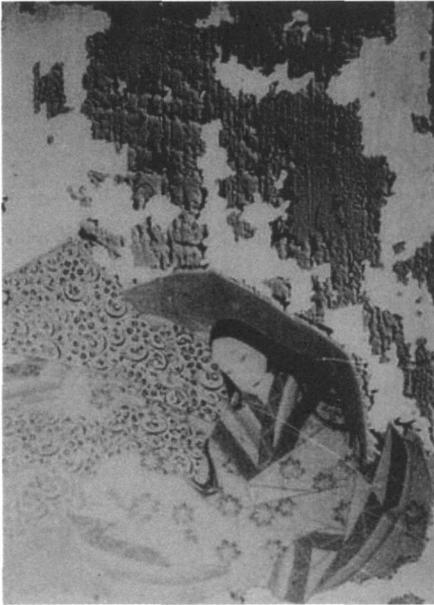
4 昭和40年代以降：市販の合成樹脂へ

東京大学から東京国立文化財研究所へ

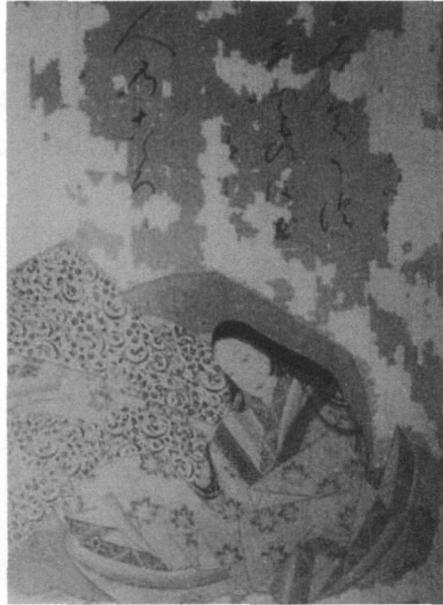
櫻井先生が定年前に東大を辞められたので、ぼくは東文研に移籍した。

法隆寺が焼ける前と現在とは、状況が全然違う。昭和37年に、ぼくが文化財研究所に行くといったら、あんた「文化財」なんかに行って何するのかといわれた。文化財は世の中の食いつぶしみたいなことをいわれた。日本の再建にどれだけ役に立つかどうかで評価された時代だった。今は、逆に生産ということが蔑視される世の中。今、製造会社社員というのは、肩身がせまい状況。むしろ、文化とか博物館のほう、世の中の評価が高い。評価というのは、その時代、時代によって違う。

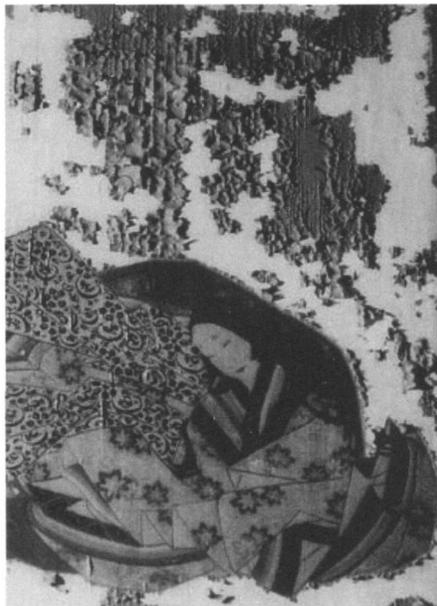
¹⁴⁾『東京国立文化財研究所受託研究報告保存科学部第5号』昭和36年3月。



2.1 昭和34～35年に処置する前



2.2 昭和34～35年に処置した直後



2.3 処置から10年後

写真2 京都東照宮,三十六歌仙板絵 (写真提供 樋口清治)

市販のアクリルエマルジョン

昭和38～39年くらいから徐々に、文化財に使用する樹脂を自ら合成する時代ではなくなってくる。いろんなサンプルが市場から入手可能になってきた。工業的につくられた製品を使う時代が、昭和40年代頃からはじまる。

昭和40～41年頃に、(株)日本アクリルの人が東文研に訪ねてきた。その理由が「この間、浜松の蜷塚を見学したら、アクリルのエマルジョンでかためてあるという話をきいた。日本ではアクリルエマルジョンをつくりはじめたのは昭和38、39年で、昭和34年には使われているはずはない」といったら、上野の東文研というところがやった、といわれたので調べにきたという。そこで、ほくがこれこれこういうことで自家生産したと答えたら、へーって感心していた。そして「今は、こういうよい製品がありますよ」と紹介されたのが、アクリルエマルジョンのプライマルAC34。

そして、その次にもってきた製品がバインダー17なんだ。考古では、今は、土器などの修理でバインダー17を知らない人はいないくらい一般に普及している。ほくが奈文研¹⁵⁾にバインダー17を紹介した。まだ奈文研でも保存科学の部門はできていない頃、墨書土器がでてきた。その墨書がうすれてくる。その墨書をとめるのに、蜷塚のできそこないのエマルジョンを使っていた。できそこないのエマルジョンを墨書土器につけて、ストーブにあてて乾かしていた。それだったら、バインダー17を使ったらどうですかってもちこんだ。墨書の表面の強化だけにはよい。でも、その後、樹脂が一人歩きして、脆弱な土器までどぶ浸けにして使うようになっていくけど、それはバインダー17の正しい使い方ではない。

バインダー17は水溶性で、においがしない。溶剤を使いたくないときには便利だ。本当はパラロイドB-72のほうがいいんだけど、溶剤のにおいがする。だから、現場での樹脂の選択というのは、使いやすいか使いにくいかで決まる要素が大きいの。そういう意味で、劣化の要素を考えていないのが実状。でも、バインダー17は水溶性アクリル樹脂とはいっても、真の水溶性ではない。見た感じは半透明で、完全に溶剤に溶けていけば透明になるけど、エマルジョンとも違う。その「合いのこ」みたいなところがある。エマルジョンとは粒子の大きさが全然違って小さい。水でうすめて使える。

5 樹脂の濃度と粘度

高松塚の発見

昭和47年に高松塚が発見された。このときになって、はじめて外国の様子とかが入っ

¹⁵⁾ 奈良国立文化財研究所をさす。平成13年4月より、独立行政法人文化財研究所奈良文化財研究所となる。

てくる。また、剥落止めも東文研の岩崎さんだけの専門ではなくなる機運になってくる。高松塚の保存方法について、一番はじめに、フランスのパスツール研究所とルーブルのコンサバータの2人が来日された。そして、はぎ取りをすすめられた。向こうで壁画を保存するときに、はぎ取りが一番確実に保存がきくということであった。はぎ取りに美術史の人たちは疑問をもっていた。それで、岩崎さんと浜田隆さんがヨーロッパに視察にでかけ、イタリアの国立修理センターでP. モーラ先生に会う。先生は、壁画保存の第一人者だ。

モーラ先生がご夫婦で来たときに、これははぎ取ったらだめで、剥がさないで現地保存のほうが良いといわれた。日本の関野克¹⁶⁾先生が座長だった高松塚の保存に関する委員会でも、おおかたの意見が現地保存ということになった。それで、市販のアクリル樹脂、パラロイドB-72で剥落止めをすることになった。この樹脂は溶けやすいし、世界のあちこちで使っているし、この樹脂はよいということだ。

溶剤の問題

パラロイドB-72をトリクロルエチレン（トリクレン）で溶かして使えとの指示があった。しかし、トリクレンは毒性が強く、発ガン性があるといわれている。なぜこんなに毒性の強いものを使うのかという疑問があった。高松塚の壁画はビショビショに濡れた状態だったから、そういうところにパラロイドB-72のアセトン溶液、いわゆる水となじむような溶剤で溶かした樹脂をもってくれば、白くなってしまふ。なぜ白くなるかっていうのは簡単なことなんだ。樹脂は溶剤に対しては親和性があるけど、水に対しては親和性はない。その溶剤が樹脂と親和性が大きいか、水との親和性が大きいか。樹脂との親和性より水との親和性が大きいアセトンは、みんな水のほうに移行してしまふ。そうしたら、樹脂だけ取り残されて、白化する。それに対して、トリクレンは水となじみが悪いから、水が存在しても樹脂を溶かして白化する現象はない。しかし、何分にも毒性があるから、何かほかの溶剤を使ったらいいんじゃないかなと、その頃から思っていた。

高松塚の修復

昭和51年頃から、本格的な剥落止めの処置がはじまった。高松塚の壁画は、遠くから見たらしっかりしているようだけど、実際は極めて危険な状態だった（写真3）。凝灰岩の上をみがいて、その上に漆喰（水酸化カルシウム）、その上に彩色しているが、地下水をたっぷり含んでいる。

昭和50年頃に東文研の増田勝彦¹⁷⁾さんが、モーラ先生のところに留学して帰り、高松

16) 東京大学工学部（建築史）教授であり、文化財保護委員会の初代と3代建造物課長をつとめた。その後、東京国立文化財研究所長となった。登呂遺跡の住居復元で知られる。人工木材の文化財修理への応用研究で日本建築学会賞を受けた。

17) 元東京国立文化財研究所修復技術部長（専門は紙本修理）。現在、昭和女子大学教授。



写真3 高松塚,処置前の壁画(写真提供 樋口清治)

塚の保存処置に参加した。処置は、東京芸術大学の人々など数人の人が参加していた。高松塚古墳内は、家庭の押し入れの下よりちょっと広いかなあと思われるくらいの大きさしかなかった。壁画の漆喰層は水を含んだ酒粕のような状態で、部分的に岩面から剥がれている。剥落止めは、落ちそうな箇所にあらかじめうすい和紙をパラロイドB-72のトリクレン溶液で表貼りしてから、剥離面にパラロイドB-72(2~10%溶液)をツベルクリン注射器で注入していく。接着が完了したら、表面の紙は溶剤を塗って剥がす。溶剤の毒性のため、防毒マスクをつけての作業で、1日にほんのわずかの面積しか処置できない。緊張と根気を要する上に、樹脂濃度とか、おさえ加減、いわゆるテクニクが難しい作業だった。

長谷寺

長谷寺の本堂の「二十五菩薩来迎図」の剥落止めを昭和59年におこなった。この絵は漆の上に描かれていて、剥がれた面が、折れちゃうような剥離をしていた。これは過去に一度処置されたものだけど、その記録がなんにも残っていない。

この壁画の剥落止めをやるときに、だいたい高松塚に準じた方法でやった。この壁画は、水に濡れていないので、かなりかたい。板の上に漆を塗って、その上に彩色がある。顔料層は厚く、非常にかたい。つっぱりが強い。それでスプレーで水を与えて、ある程度しと

りをもたせると、剥がれたものが少しやわらかくなるのでおさえられる。水気を与えて、やわらかくしておいて、接着しようとした。溶剤にはトリクレンが一番いいんだけど、毒性が高いから、そのかわりにパラキシレンを使った。パラキシレンを使うことによって、白化の現象はおさえられたが、高松塚とくらべて結果はよくなかった。

パラロイドB-72の10%パラキシレン溶液をいれて、そして表面にうす美濃紙をはって、高松塚と同じ方法でやったけど、なかなかくっつかない。だから、繰り返し回数を重ねるうちに、表面がテカテカになってしまった。これはなぜだろうという疑問が生じ、剥落止めのパラロイドB-72の溶液の粘度、同じ5%でも溶剤によって粘度がすごく違ってくるということが、非常に影響すると思いはじめた。

濃度、粘度、蒸発速度

その前に、エマルジョンで剥落止めをしたときにも、同じようなことを感じた。ポリビニルアルコールでは濃度が低くてだめだから、エマルジョンを少し混ぜて使えばいいじゃないかと、岩崎さんに対する言い訳として使っていた。だけど、結果的には、ポリビニルアルコールの粘度が上がったところを、エマルジョンでうすくした効果があったような気がする。

パラロイドB-72をトリクレンで溶かしたときの粘度が高いということは、外国から入ってきた文献に書いてあった。同じ3%でも、他の溶剤にくらべてトリクレンが一番粘度が高くなる。だから、うすい溶液でも粘度が高い。しかも水となじまない溶剤としては、現在はトリクレンしかないんじゃないかと思う。だから、そういう見地から溶剤を選べば、まだ可能性があるんじゃないかという感じは、未だにしている。樹脂の実際の濃度と、粘度と、それから蒸発速度。このみっつのからみあい、適するか適さないか決まってくると思う。樹脂の選択というところも、かなりそういう部分があるんじゃないか。もう少し、そういうことを基本的にだれか実験やってくれればいいと思っている。

パラキシレンだと同じ10%でも比較的低粘度で、しみこみがいいから、くっつかないんだと思う。それだったら、溶剤に増粘材か何かいれてやれば解決するだろうと思うが、それは今後の問題。

6 日本画固有の問題

日本画の剥落止め

日本画の剥落ということをもっと真剣に研究してほしいという気がする。その点、モーラ先生の書いた壁画の本¹⁸⁾。日本画に関するあれだけの研究の本なんてない。

¹⁸⁾ Paolo Mora, Laura Mora, and Paul Philippot, *Conservation of wall paintings*. London, Boston, Durban, Singapore, Sydney, Toronto, Wellington: Butterworths, 1984.

美人画の顔などの白い彩色は、ニカワの量をうんとすくしている。胡粉を濃いニカワで練って団子にし、それを幾回もたたいたり、お湯をいれて溶かしたりする。そうして精製する。何が精製かという、ほくの解釈では、胡粉をできるだけ少量のニカワで固定させるための方法が、百たたき¹⁹⁾ではないだろうかという気がする。胡粉の百たたきをした表面に、ニカワがどのくらい残っているだろうか、東文研で電子顕微鏡写真をとったけど、ニカワらしきものは何も見えなかった(写真4)。そこで、油絵と日本画のちがいは、顔料に対する展色剤の量のちがいが重要なファクターであると考えている。むしろ油絵は、油という展色剤のなかに顔料がうめこまれている。それに対して、日本画というのは、ニカワをものすごく少量しか使っていない。少量しか使っていないから、顔料が露出している。

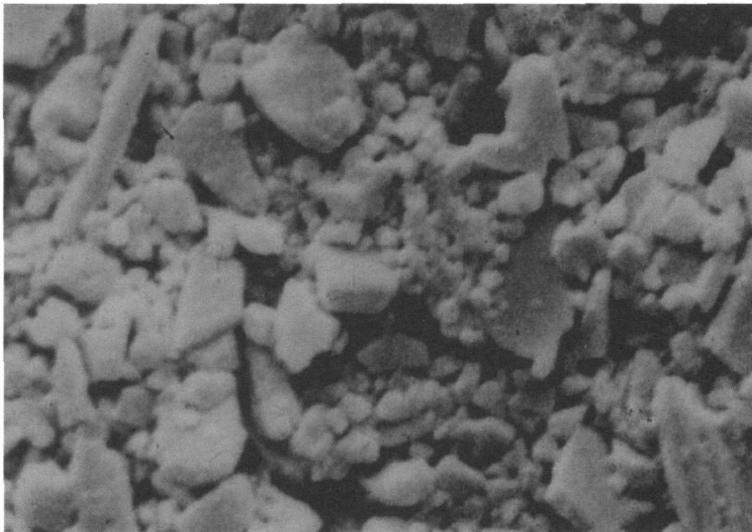


写真4 百たたきした後の胡粉彩色の電子顕微鏡写真(写真提供 樋口清治)

ニカワの特徴

それと、もうひとつ。ニカワは凝集力が高い。うすいニカワ溶液で顔料をとくと、顔料粒子のまわりに、うすいニカワが塗布される。ニカワが乾くときに、お互いに引っ張ってくる。顔料粒子と顔料粒子の接触面に、ニカワが集中していく。その結果、ニカワの量が少なくとも均等にとまる。

そのひとつの根拠として、丹彩色を、ニカワやいろいろな合成樹脂を同じ濃度パーセン

¹⁹⁾ 胡粉を少量の濃い膠水溶液を加え、掌で団子状にまるめながら百回近く皿にたたきつける。そうしてからこの団子をぬるま湯に静かにつけて余分の膠分を溶出させることを何回も繰り返し、最後にこの団子状の胡粉を水で溶いて絵具とする。

ページでテストピースにして、ウエザーメーターにかけた。そうしたら、ニカワは、一定量以上ではかえって凝集力で剥がれてしまい、ニカワの顔料に対する最適という量というものがある。その再現実験に使ったニカワは「三千本」²⁰⁾。

非常に濃度が低い場合、合成樹脂でもニカワでも、ウエザーメーターで劣化、剥落させたものを比較すると、ほとんど剥がれかたは同じだった。濃度をどんどん上げていくと、ニカワは、ある濃度以上になると剥がれてしまう。それに対して、樹脂のほうは、濃度が上がれば上がるほど、どんどん剥げにくくなっていく。そのかわりに、顔料の周りに樹脂の層ができて、光沢が増してくる。樹脂をニカワの代わりに使ったら、いわゆる日本画の感じがでてこない。今のアクリル絵具というのが、そういうタイプ。アクリル絵具と顔料をくらべたら、感じがまったく変わったものになる。その認識が、かなり重要ではないだろうか。

剥落止めの条件というのを考えると、ニカワは乾くときの凝集力で表面から乾くから、表面のほうはニカワの濃度が高くなって、下のほうは低い。これは、登石健三²¹⁾さんも実験的に確認しているが、ニカワで盛り上げ彩色をやって、一度に厚塗りして乾かすと、塗った面にすき間がある。ニカワが輪郭にそって強くなっているためだ。だから、凝集力を低くしたものを使ったらいいんだろうけど、凝集力が少ないと、今度は接着力が弱くなる。ニカワは結局、ひっぱりがひとつの特徴になっている。ひっぱりのために、浮き上がって剥がれる。剥がれやすくなるが、少量のニカワでやることによって、顔料の発色がよくなる。だから、顔料の発色のいいことと、剥がれないことは、相矛盾することになる。

チョーキング

剥がれるとき、古い時代の彩色は劣化して、顔料粒子がつぶつぶになって、ばらばら、ばらばら落ちる。いわゆるチョーキング。それに対して、時代のより新しい、厚手の彩色は、層になって剥がれる。そして、当然のことながら、顔料層はかたい。かたいから、これをもどして、再接着するのは困難。それに対して、チョーキングであれば、ふのりのようなものでも、接着は充分できる。

建築彩色としては、日本最古のものといわれている唐招提寺の天井板。これは、法隆寺の壁画とかなり共通点がある。このように顔料がチョーキングしている場合は、剥落止めは比較的簡単にできる。

剥落止めが困難な壁画

時代が新しくなって江戸期くらいになると、顔料層が厚くなってかたくて、それが反り

20) 日本画家が日常的に使う棒状のニカワ。

21) 東京国立文化財研究所の物理室長を経て、初代の保存科学部長をつとめた（物理学専攻）。

返るように剥がれる。あるものは鱗片状に剥がれるけど、こういうものは未だに接着が困難。そういうものを将来どうするのかというのが、今後の大きな課題になってくる。それから、近世の人形などのように、反り返るように顔料層が剥がれているのも同様。そういうものの修理は、今後の課題と思う。

たとえば、江戸時代末の絵馬は、剥がれた画面を無理に押すと、ぼっきり折れるような感じのものが少なくない。こういう彩色で剥落止めの必要なものが、日本にはまだいっぱいある。むかしの、古い、価値のある絵馬でも、チョーキングしているような剥落止めのほうが、ずっと楽なわけだ。

濡れ色

剥落止めでは、濡れ色の問題が非常に大きい。剥落止めすると、前に大覚寺の牡丹の花ででてきたが、感じが変わってくるのは当然なんだ。色の種類によって濡れ色の程度が大きく違う。剥落止めをすると、明度は下がる。彩度は上がる。そして、色相は変わらない。濡れ色に見えるというのは、明度が落ちると、暗くなるからだと思う。

接着剤の凝集力

各接着剤によって、そのめくり具合、凝集力をみるために、濾紙に樹脂をふくませ、室内で自然乾燥させた(写真5)。試料は、ニカワと、ポリビニルアルコール5%、10%、市販の製品としてはアクリルエマルジョンのプライマルAC3444を10%、バインダー18を10%、パラロイドB-72を10%、ゼムラック(架橋タイプのアクリル樹脂溶液接着剤)10%、エバフレックス40(ポリエチレン・酢酸ビニルのコポリマー)10%。写真から分か

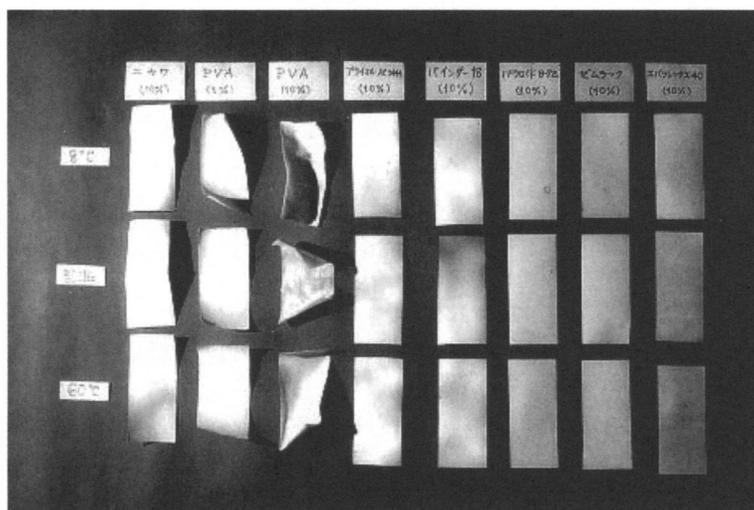


写真5 濾紙に接着剤をふくませて自然乾燥した実験(写真提供 樋口清治)

るように、ポリビニルアルコールは、いちばん一番波打ちがひどい。ニカワは濃度は案外うすくないんですが、湿度が高いと、比較的変形しないで安定している。だから絵描きさんが、温度や湿度を気にしたりするのは、当然のことだろうと思う。

ふのりは、パーセンテージのオーダーが違うんで、テストしていない。ふのりをやっても、変形しないと思う。合成樹脂は凝集力が低いかわりに、ある程度量を多く使わないと意味がない。

アクリル絵具なんていうのは、樹脂の量が多い。ちゃんとした、剥がれにくい彩色ができるかわりに、ニカワの彩色とは違う色なんだ。

法隆寺金堂の保存修理

1 法隆寺金堂、壁画の焼損

法隆寺金堂は昭和24年1月24日の未明に出火し、壁画は焼損してしまった。5日後に、櫻井先生とほくが、今でいう文化庁、当時の文化財保護委員会の美術工芸課の人たちと一緒に現地へ行った。それが、ほくの公務出張の第1回目だった。そのときには、まだ金堂の仮屋根から水がポタポタとたれていた。その頃、ほくは文化財に全然興味がなかったから、事の重大さがよく分からなかった。

昭和24年に焼けて、25～26年くらいから本格的に保存修理がはじまった。その保存修理は、現在でもあれほど大がかりな保存科学処置というのは、法隆寺金堂以外にないと思う。

実は戦前から、東京大学の浜田稔先生という建築の教授が、壁画をどうやって移すかいろいろと検討されていた。それまでの解体修理では全部、壁を壊していた。壊して、建物だけを組み替えて、建て替えていた。それから、新しく壁をつくっていた。法隆寺の場合は、壁画という貴重なものがあつたがために、解体修理ができなかった。解体すれば壁画が壊れる。壁画を残しておけば、建物がくずれることになる。岡倉天心時代から何とかしないといけないといいながらふみきれず、それで戦争になって、いよいよ建物のほうがもたないと、それで踏み切ることになった。と同時に何とか壁画の保存を考えようとした。浜田稔先生が壁をサンドイッチに養生して、クレーンでつり上げるという方法を提案した。それで、表面の顔料だけをどうやって止めるかということになり、櫻井先生と浜田先生が組んで、法隆寺の壁画保存処置になるわけだ。

2 壁画の剥落止め

そういう準備をしているうちに金堂が焼けてしまう。焼けた壁画をどうかためるか。焼ける前は、樹脂処置にもものすごく反対があつたが、焼けた後は、もう文化財的価値はなくなったと絵描きさんや一般の人たちは思うようになる。実際に、その当時は真っ黒に焼けただけでしまったので、無理はない。それでも、焼けても大切なんだという運動がはじまった。戦後、日本が文化国家再建というスローガンで、戦争中の感じとまったく変わってきた。いわゆる文化財を大切にするという機運が、戦争に負けたおかげで、平和国家再建というスローガンのもとに、法隆寺の修理がクローズアップされるようになってくる。

そういうときに、たまたま樹脂の剥落止めというのを今まで反対していた人も、焼けた壁だから、反対はない。やっとな、本格的な保存修復がはじまった。そうしたら、今まで焼けて見えていなかった線が見えるようになってきた。樹脂処置をすると表面が濡れ色

になる。つまり、表面の乱反射がなくなったので見えてきただけで、水に濡らしたってそういうふうになる。べつに樹脂でやったからというわけとは違うのだけど、当時の人たちは樹脂処置というものを見直すようになった。今まで反対していた人たちも賛成側になる。それで3年かかって本格的な保存処置が施工された。その当時、ぼくはまだ櫻井研にいて、樹脂をもっぱらつくるほうだったので、現地の処置は全然知りません。実際にやったのは、浜田研究室の技官だった茂木曙さんと、画家の宮本滋基さん。この二人が、足掛け3年かけて実施した。

壁画のほうは、処置後にカビがでたという話がある。昭和45～46年頃から、江本義数²²⁾さんたちが、毎年調査してカビが大きくなるか測定していた。そのときに、大槻虎夫²³⁾先生が、ポリビニルアルコールにカビがはえるということをいわれた。確かに、ポリビニルアルコールの5%水溶液を三角フラスコにいれておくと、カビがはえてくる。だけど、いったん皮膜化されて乾いていれば、べつにポリビニルアルコールが栄養物になるわけでもないから、カビははえないと思う。ポリビニルアルコールは含水状態では汚れが付着してカビがはえるけど、固体のポリビニルアルコールにはカビははえない。

3 壁画の強化保存処置

焼損した壁画には、全面的に合成樹脂処置と鋼材による補強が施された。焼けた壁体は、まずガラスウールとアスベストでサンドイッチ状に養生してクレーンで引き抜き、架台に横たえた。そして、画面に数%のアクリル樹脂を浸透させて剥落止めをした後、厚さ16cmの壁を裏側から削って約8.5cmにし、裏側から表面に達しないように7cm間隔で穴をあけ、直径5mmのステンレスボルトを生け花の剣山を連ねたように差し込んで接着固定した。ボルトはあらかじめ麻布を巻きつけ、差し込むときに酢酸ビニル樹脂と石炭酸樹脂の溶液タイプの混合物でかためた。

このときの接着力を浜田研究室で実測したところ、予定した強度の2～3倍あったという。この植え込まれたボルトはステンレススチールの枠に連結して補強され、別途保存されている。また、壁体の割れ目には尿素樹脂が注入接着されている。

4 柱の強化

焼けた柱というのは、正面が2cm以上の深さまで炭化している。木材というのはすごいもので、炭化していてもくずれない。その形のまんま、炭の塊が全部くっついたまま、

²²⁾ 元国立文化財研究所の生物研究室長(学習院大学教授兼任)。停年退官後も嘱託研究員として長い間活躍した。

²³⁾ 元お茶の水女子大学教授(微生物学専攻)。

形が残っている。その炭化した炭をどうやって固定するかというときに、今だったらポリエステルとか、エポキシ樹脂だとかあるけど、当時、常温で硬化して使える樹脂というのは尿素樹脂だけだった。

戦争中に尿素樹脂というのは、合板とか集成材とか、そういう面でかなり研究が進んでいた。終戦になって、尿素樹脂の使い道があまりなく、下駄の塗料などに使いはじめた。普通の尿素樹脂だけだと縮合して収縮する関係でクラックがいっぱいあるので、アセタール化した尿素樹脂を使った。たしか名古屋の(株)愛知化学の製品だったと思う。

実際は、樹脂は、炭の組織のなかにはまったく入っていない。炭の塊の間にひっかかるようにしているだけです。現在は、この尿素樹脂は黄色化しているけど、炭が剥落するようなことはない。

人工木材

1 人工木材のはじまり

市販のエポキシ樹脂

昭和38年頃、(株)ポスチックジャパンという会社の人が「アラルダイトSV426²⁴⁾というエポキシ樹脂がモデリング材として具合のいいもんだけど、文化財に何か使えないだろうか」と、ほくのところに来た。

岩崎友吉さんは、「そういうものは使ってはいけないよ」といった。理由は、なんだか分からない組成のものを文化財には使用できないというわけだ。

それでほくは、SV426をまずソックスレーの抽出器で、樹脂とフィラーに分離した。そして、赤外分光分析の結果、樹脂は完全にエポキシの吸収がみとめられた。フィラーを顕微鏡で見ると、風船玉みたいな細い中空球体が見えた。赤外分光分析で、石炭酸樹脂であることが判明した。つまり、フィラーは石炭酸樹脂のマイクロバルーンだった。

文献をみたところ、このマイクロバルーンは水の蒸発をとめるのに、貯水池の表面にまくとあった。耐候性もあるし、素性も分かったから、使ってもいいということになった。昭和38年の日光の本地堂の解体修理にはじめて使ったけど、量は1キログラム程度で、本格的使用ではなかった。

伊賀八幡

昭和40年以降に伊賀八幡にも使ったが、一部に失敗した例があった。

木にクラックがはいっていて、漆を塗るときに具合が悪いので、埋木をしないとイケない。だけど、埋木するのは大変だから、割れ目にSV426を充填するという指導をして帰った。そうしたら、これはいいものだど、現地で勝手に漆の下地に使ってしまった。漆の下地というのは、コテでやったり、ハケで塗ったりするけど、それをやるのがめんどうくさいからSV426を塗ろうと、SV426を溶剤でうすめてハケ塗りした上に漆塗装をした。だから半年たたないうちに、漆が剥がれてきた。それがSV426の失敗の一番はじめ。

元興寺の五重の小塔

鎌倉時代の作といわれている国宝の模型の五重塔(写真6)だけど、これが何回も解体修理されている。古い垂木に釘が打ってあるが、釘の周りが炭化してボロボロに穴が空いている。そのメカニズムっていうのが、未だにはっきりしたことは分からない。修理する

²⁴⁾ 慣例的に型番でよばれることが多く、以下本文中では「アラルダイトSV426」は「SV426」と略す。



写真6 元興寺の小塔(写真提供 元興寺)

たびに、垂木を前にだして、穴のあいたところをさけて釘打ちしていた。

昭和42年の修理で、この炭化した釘穴にSV426を充填した。その結果、再び釘打ちすることができるようになり、もとの垂木も再度使用できた。

2 人工木材による復元例：羅漢堂

貞観の塔

昭和46年。貞観の建物の遺構というのが残っていた。当初三重塔だったか、五重塔だったかは不明。初層の骨組みだけが残っていた。それを解体して、昭和の初期頃から、新聞紙に巻いて、倉庫に大事に保管してあった。そうしたら、その倉庫が雨漏りして、水がたれて、ひどく腐朽、虫害の被害をこうむった。昭和45年頃、初層だけ残っているものを何とかしたいというので、大岡實先生をはじめとし、鈴木嘉吉²⁵⁾さんたちが復元しようということになった。しかし、腐朽、虫害がひどくて、原形が分からないほど損傷しているものは、いくら樹脂を使っても無理だと思った。三軒茶屋の安岡工務店で新しい木材で原寸大の斗椽の写しをつくりはじめた。しかし、結果的には、200あまりの部材は樹脂加工に成功し、その90%を再建に使用することができた。

²⁵⁾ 元奈良国立文化財研究所長。当時は、文化庁建造物課主任文化財調査官。

顔料の練りこみによる着色

関野克先生が、「羅漢堂の部材は常識では修理不可能と思われているので、失敗してもともとだから、思い切って全部合成樹脂加工で修復してみてもいい」といわれたので、起死回生の修復処置を試みた。

当時、SV426は人工木材と呼ばれていたが、仕上がりが、木材の色とはまったく違って石炭酸樹脂の煉瓦色になるのが欠点とされていた。そこで着色の必要があったけど、上から色を塗ったのでは耐久性がない。SV426に顔料を練り込んで着色しようとしたけど、すでに多量のマイクロバルーンが混入されて、流動性がまったくない粘土状のものなので、顔料を練り込む余地はない。そこで、耐候性のあるチオコール変性エポキシ樹脂に、多少の流動性が残る程度に石炭酸樹脂マイクロバルーンを加減して練り込み、さらにチタンホワイトを混入して煉瓦色をうすくした後、黄土などの各種の顔料を練り込んで木材の色に似せた人工木材を調整した。これを仕上げ用の人工木材と称し、市販のSV426で下地整形をおこなった上に盛りつけて、化粧、整形用に使った。

後日、この仕上げ用人工木材は、紫外線で経年変化して、はなはだしく変色するトラブルが生じている。その原因のひとつが、チタンホワイトにあったのではないかと、後で反省した。塗料中のある種のチタンホワイトは、水と紫外線で、樹脂を著しく劣化させるとの研究報告があったから。それを裏書きするように、この人工木材の変色は、室外や直射日光に晒される場所がもっとも著しく、室内の比較的暗いところでは、ほとんど変色が目立たない。

羅漢堂は、このような樹脂加工を得て、石田茂作²⁶⁾先生のご意向で、単層の塔として修復され、法隆寺に寄進された。

2 人工木材による復元例：如庵

如庵の移転

昭和47年。日本には国宝のお茶室が3棟ある。そのうちの1棟が、犬山市に現在ある如庵。

如庵は、1618年に織田有楽斎によって京都建仁寺の正伝院境内に建てられた。明治42年に三井家に引き取られ、東京の三井本邸に移築された。その後、昭和12年に、二分割して東京から大磯の別邸に、道なきところに道をつけながら苦勞して運搬され、その後の大戦の戦禍からも免れた。昭和45年に(株)名古屋鉄道の所有になって、有楽斎の生まれ故郷の愛知県犬山市に移築されることになった。このとき、如庵は損傷、老朽化が著しく、多数のエクソ線写真撮影の結果、とても移動、運搬には耐えられないことが分かっ

²⁶⁾ 当時の仏教考古学の第一人者。東京国立文化財研究所長を経て、奈良国立博物館長をつとめる。

た。解体、移築するにしても、一度解体したら各部材は腐朽、損傷がはなはだしいので、再建は無理とのことになった。

そこで、委員会の決定で解体部材は全部、前の羅漢堂と同じ起死回生の樹脂加工による修復をすることになった。結果はともかく、国宝が一件なくなるか否かの瀬戸際のことで樹脂加工に踏み切ったわけだ。

木材の含浸強化

木材がくさって材質がやわらかくなった場合に、合成樹脂を浸み込ませて強化することを木材の含浸強化という。羅漢堂にも如庵にもウレタン系の樹脂溶液を使った。市販のウレタン系の樹脂にはいろいろあるけど、そのなかで(株)寿化工のPSNY6またはPSNY10を主に使用した。これは、遊離のイソシアネート基を含むウレタンプリポリマーで、木材中の水分と反応して、二酸化炭素を発生して樹脂化するので、多孔質の木材の含浸強化には適応性があると考えた。しかし、強化の程度は期待したほどはなかった。確かに含浸後の圧縮強度は上がるけど、曲げや引っ張り強さはほとんど増加しない。腐朽解体部材に含浸させると、濡れ色になって色調が暗色化する。強度の増加は、未処理の場合は指先で擦るとくずれる程度に腐朽しているものが、くずれなくなる程度になるだけだった。ゆえに腐朽部材も形がくずれない程度の強度増加を期待するだけで、部材としての強度の復元を要する腐朽箇所には、腐朽部分を除去して人工木材と置き換えて修復した。

今後、さらに強化力の強い含浸用合成樹脂の開発が望まれる。

如庵の樹脂加工

東文研でおこなわれた羅漢堂の解体部材の人工木材による充填整形は、粘土細工のように竹べらなどで凹凸をつけて木肌を感じを再現していたけど、如庵を施工した安井空工務店の安井清さんはこれを見て、練り物細工のようだと批判した。

「わび」「さび」を理想とする如庵のような茶室は、面皮や皮付きの木材、竹、葦、土などの自然の素材で空間が構成されている。丸太や竹の節の形や配置まで厳しい作意が見られ、木目の状態まで「景色」と称して大切にするので、これらはすべて元のままに保存する必要がある。この点、ほかの建造物と違ってむしろ美術工芸品に近い性格であると主張された。安井さんは、部材の欠損部を羅漢堂の場合と同じようにSV426で下地をつくり、その上に仕上げ用人工木材でだいたい大体の形を整形してから、硬化後に彫刻刀を用いて元の形に模刻して整形する方法を採用した。こうした模刻整形後、さらにマコモなどで古色づけした結果、修復箇所がほとんど分からなくなるような精巧、緻密を極めた修理になった。

柱の仕口部分が腐朽で崩壊した如庵の松の自然木の軒桁は、腐朽した内部の空洞部分をガラスFRPで裏打ちし、さらに空洞部分にSV426と木材を詰めて修復したけど、これも

外観上、修復箇所がまったく分からないような精密な修復ができた。

杉の木の天井の化粧野地板は、雨漏りのため極端に腐朽し、再用不可能とされていたけど、ウレタンポリマーの含浸強化とガラスFRPの裏打ち、および仕上げ用人工木材の利用で見事に修復され、現在でもまったく異常がない。

人工木材の劣化

人工木材で修復した箇所は、如庵でも羅漢堂でも、屋内では目立つような劣化はほとんど見受けられなかったけど、屋外では人工木材の部分は数年で古色が剥げ落ち、樹脂表面は劣化した。

また、10年以上経過した後に、木と樹脂の境界面が一部剥がれたこともあった。これは、木と樹脂とでは吸水量が異なるための膨張差によるのではないかと考えている。紫外線の強い屋外での人工木材の古色づけの剥落、劣化ははなはだしいが、これは表面的なもので、中はまったく劣化はなく、強度も安定している。如庵の場合には、古色がとれてあまり見苦しくなると、また、古色のつけ直しをしている。

仕上げ用人工木材は、顔料を練り込んで着色しているけど、これだけでは絶対に木材の質感はでてこない。そのため、さらに、マコモとか松煙、漆などで古色づけして、古材の感じをだしている。

4 別のタイプのエポキシ樹脂

ガラスマイクロバルーンのエポキシ樹脂

昭和52年。桂離宮は創建以来300数十年の星霜に老朽化が著しくなり、6ヶ年かけて、安井奎工務店により精密な解体修理がおこなわれた。修理の基本方針に、「美しいとされる現状を重視し、柱、縁板、その他の木質部を可能な限り補強して再利用する」ことが定められ、そのために「合成樹脂による根継ぎ、埋め木、補強、古色づけ、模刻などを行う」ことが明示された。

前の羅漢堂や如庵の経験から、人工木材の利点と欠点も次第に明らかになってきたので、人工木材も屋外に露出するところには使用をできるだけ控え、なるべく表面には木材をだすようにした。そして人工木材の種類も変更し、アラルダイトSV426や仕上げ用人工木材を、全面的にアラルダイトXN1023²⁷⁾にとり替えた。

このXN1023は、ガラス製のマイクロバルーンがエポキシ樹脂に混入されたもので、外観は淡黄褐色の粘土状の樹脂。これはSV426よりも吸水性が少ないため耐久性に優れ、硬

²⁷⁾ 慣例的に型番でよばれることが多く、以下本文中では「アラルダイトXN1023」は「XN1023」と略す。

化物の強度もより高い。松煙を微量添加するだけで、そこそこ古材の色調に近くなる利点もある。しかし、よりかたいため、加工する際に刃物の損耗が大きいのが欠点だった。

人工木材の強度

木材の強さは、繊維方向によって著しく異なるけど、人工木材は強さに方向性がなく、強さは均一となる。

- 圧縮強さ …… ヒノキの繊維方向の強さは、だいたい1平方cmあたり430から440キログラムなのに対し、XN1023は450キログラム以上ある。ただし、ヒノキは粘りがあってすぐには潰れないが、XN1023はかたいので伸びがなく、ある時点で一挙に潰れる。SV426の圧縮強さは、XN1023の半分以下だけど、やわらかいので伸びがあり、すぐには潰れない(図1)。
- 曲げ強さ …… ヒノキの曲げ強さは、だいたい600から700キログラムだけど、XN1023は、その1/3以下で、比較的低い荷重でぼっきり折れるので注意を要する(図2)。

つまり、人工木材は、圧縮強さには強いので問題はないけど、曲げや引っ張り強さは、木材にくらべはるかに低いので、引っ張りや曲げ応力のかかる箇所での使用はさけるべきと思う。もし必要であれば、木材、金属、FRPなどの補強材を併用しなければならない。

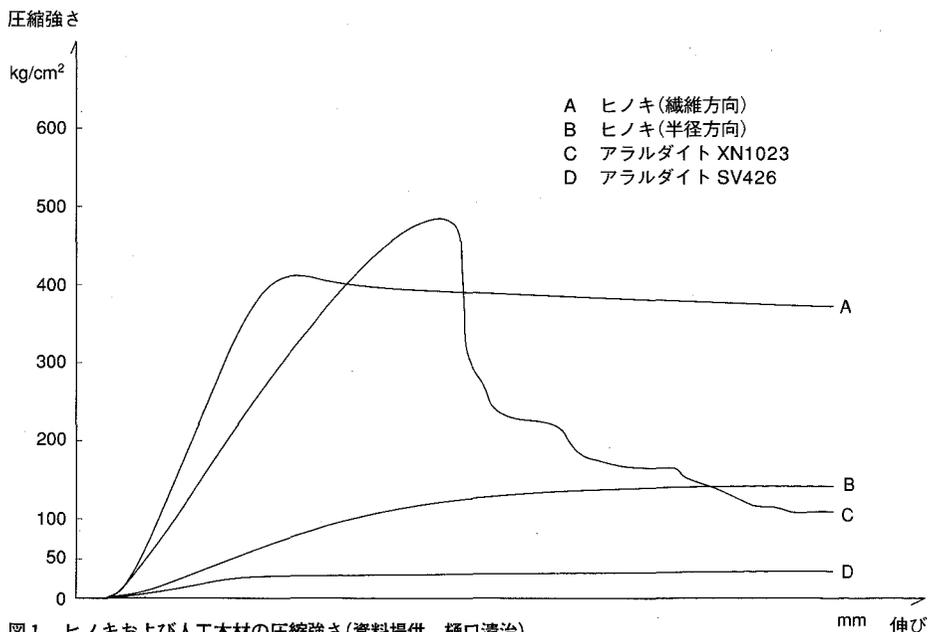
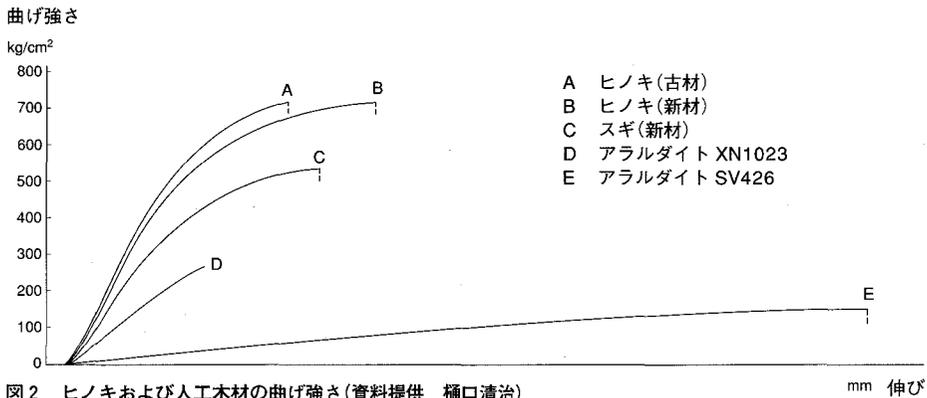


図1 ヒノキおよび人工木材の圧縮強さ(資料提供 樋口清治)



5 人工木材の評価

人工木材の評価は、人によって違う。屋外の修理箇所では激しく劣化したところ(写真7.1および7.2)を見た人は、樹脂加工は全然だめというし、屋内でまだ古色づけが残っているところ(写真8.1および8.2)を見た人は、それなりの評価をして納得する。修理前と修理後を比較してはじめて正しい評価ができる。

人工木材の使い方にはふたつあって、ひとつはお茶室の場合のように外観の美しさの復元であり、もうひとつは建造物部材としての形状と強度の復元。

最近では、前者の場合のような模刻などを施す外観上に重点をおいた修復は少なくなり、民家の梁や柱などの強度の修復を目的とする人工木材の利用が次第に多くなってきた。たとえば、白蟻に食害されて内部が空洞化した梁を縦方向にふたつ割りにして、空洞になった脆弱な木質部を除去してから、内側をガラスFRPで裏打ち補強し、そこに補強材となる新材を人工木材を使って充填してから元通りに接合するような方法が普及してきた。補強には鋼材も使われている。

人工木材の本当の使い方は、エポキシ樹脂の強度と接着性の良さ、マイクロバルーンによる可塑性の良さ、硬化後の刃物による加工性の良さなどを生かした使用にあると思う。

市販のエポキシ樹脂とその硬化剤には多種多様あって、その選択は容易ではない。とくに硬化剤は耐候性に大きく影響するけど、市販されているものはその組成が詳らかにされていない。本来ならば、使用目的に応じて、人工木材をそれぞれ調整するのが望ましいのだけど、実際問題としてそれは難しい。



7.1 柱と腰板の一部に人工木材が使用された



7.2 処置から10年後の人工木材：古色が剥げ落ちている

写真7 屋外で使用した人工木材（写真提供 樋口清治）



8.1 柱の上部, チョークで囲まれた部分が人工木材



8.2 処置から10年後の人工木材：ほとんど変化していない

写真8 屋内で使用した人工木材 (写真提供 樋口清治)

記録を残すということ

ぼく、東文研を辞めるとき、ノートが15冊燃やしてしまった。捨ててきた。合成だとか、日記みたいなもので、整理するのも大変だから。もう東京大学にいた頃からだから、大学ノートで15冊くらい。定年になったらおしまいだと思っていたから。書いた本人が、それを読んで、整理することだって大変なんだから、他人さんが見たって全然分からないですよ。

もし天然素材でうまくいっていたら、合成樹脂を使うはずはないですよ。天然素材でうまくいかないから、新しいものを使ってみたい。それで実際に新しいものを使ったら、こんなトラブルがおきた、あんなトラブルがおきた、ということになる。そこで、やっぱり昔のものがよかった、という段階がひとつある。

合成樹脂を使いはじめたのは、近々50年かそこらのこと。しかも、ある程度、問題点が意識されてから、20年そこそこの話だから。まだまだ、これからの時代ですよ。

<資料> わが国の文化財への合成樹脂使用の歴史の一部¹

1 顔料彩色の合成樹脂による剥落止め

法隆寺金堂壁画の保存が起点

1913 岡倉天心が金堂壁画の科学的保存処置を要望

1920 文部省「法隆寺金堂壁画保存方法調査報告書」

京大 近重真澄教授 天然化石樹脂「コハク」のアルコール・エーテル溶液

1933 法隆寺昭和大修理

1939 東大理・工 教授が集まる（古文化財科学研究会）。

田中芳雄教授・桜井高景助教授（応用化学専攻）アクリル樹脂の登場

アセトンと青酸ガス→アセトンシヤンヒドリン→脱水・エステル化→メチルメタクリレートモノマー

エチレンクロールヒドリンと青酸ソーダ→エチレンヒヤンヒドリン→脱水・エステル化→メチルアクリレートモノマー

メチルメタクリレートとメチルアクリレートの共重合体（BPO触媒，塊重合），混合溶媒（アセトン，酢酸エチル，トルエン，ジアセトンアルコールなど）

1935 博物館中央科学研究所（ベルギー王立文化財研究所の前身）設立

1939 ローマ 中央修復研究所誕生

1942 生駒 霊山寺三重塔内部建築彩色（漆下地）の試験的剥落止め（わが国最初の合成樹脂の応用）

樹脂の耐久性が問題となり，金堂には実施至らず。

1945 終戦

1946 入江画伯との立ち会い実験（じん糊と樹脂溶液の比較）

平等院壁画，知積院，円満院障壁画，その他

1948 模写（上げ写し）の必要上，樹脂処置が正式に決定し一部に施工。

東博 保存修理課保存修理研究室開設

1949 金堂炎上（剥落止めをした部分は罹災後も絵の具が落ちていなかった）

1950～1956 焼損壁画のアクリル樹脂（霊山寺と同じ）による剥落止めと炭化木材の強化。変性尿素樹脂（愛知化学？）による土壁強化と炭化木材の割れ目の充填。ステンレスボルトを壁体に植え込むのに麻布を酢酸ビニルと石炭酸樹脂の混合物を使用する。

1952 国立文化財研究所（後の東京国立文化財研究所²）開設

- 1943 二条城障壁画 (アクリル樹脂)
- 1946, 1951 平等院板絵剥落止め (アクリル樹脂, ポリビニルアルコールPVA)
精製PVA (冷水洗淨してアルカリ除去)
- 1947 養源院障壁画・板絵, 智積院障壁画, 円満院襖絵 (PVA, アクリル樹脂)
- 1949 瑞巖寺襖 (第一回目, PVA, アクリル樹脂, 表具師は寒天使用)
- 1950 中尊寺ミイラ (尿素樹脂, アクリル樹脂による接着)
- 1953 平等院板絵 (PVA, アクリル樹脂)
- 1954 法隆寺金堂天蓋, 延暦寺根本中堂天井絵, 大崎八幡板絵 (アクリル樹脂, PVA)
- 1955 醍醐寺五重塔 (アクリル樹脂, PVA)
- 1956 白水阿弥陀堂, 泉谷寺板戸 (アクリル樹脂, PVA)
- 1957 鳴無神社, 大樹寺襖絵 (1回目) (アクリル樹脂, PVA)
- 1958 三溪園襖絵1回目 (アクリル樹脂, PVA)
明王院五重塔内部 (アクリル樹脂)
西明寺三重塔内部, 京都, 東照宮内部 (アクリル樹脂, PVA)
- 1959 円成寺本堂内陣 (アクリル樹脂, PVA)
海住山寺内陣板絵など (アクリル樹脂, PVA)
- 1961 成田山新勝寺絵馬 (アクリル樹脂, PVA)
熊本 舟屋形内部 (アクリル樹脂, PVA)
- 1962 万福寺本額, 聯 (アクリル樹脂, PVA)
興福寺北円堂壁画 (アクリル樹脂, PVA)
- 1963 崇福寺第一峰門 (アクリル樹脂, PVA)
- 1964 " 三門 (")
久能山東照宮 (1回目同上, 2回目自家製アクリルエマルジョン)
吉野水分神社本殿彩色 (アクリル樹脂, PVA)
薬師寺東塔内部彩色 (アクリル樹脂, PVA)
久能山東照宮本殿内部 (ブチラール, アクリルエマルジョン)
- 1965 成田山新勝寺靈光館絵馬 (PVA, ブチラール, アクリルエマルジョン)
- 1966 青山御殿板戸絵 (アクリル樹脂, PVA)
知恩院経蔵内部 (アクリルエマルジョン, PVA)
この頃より市販の合成樹脂の使用が部分的に始まる。
- 1967 東福寺三門上層内部 (アクリルエマルジョン, PVA)
仙台 大崎八幡神社内部2回目 (")
浄瑠璃寺三重塔内部 (")
- 1968 千金甲装飾古墳内部彩色 (アクリルエマルジョン)
- 1969 南部利康靈廟, 称名寺板絵, 石山寺多宝塔巻柱 (")

- 1970 日光輪王寺大猷院内部板絵 (")
 国宝 浄土寺阿弥陀三尊仏漆箔剥落止め指導(水溶性アクリル樹脂と揺変性アクリルエマルジョン)
- 1971 山形 羽黒山神社合祭殿板戸 (")
 新潟県荒川神社舟絵馬 (")
- 1973 東福寺三門天井絵 (")
- 1974 高松塚古墳壁画 (パラロイド B72)
 鳳来山東照宮内部剥落止め指導 (水溶性アクリル樹脂, アクリルエマルジョン)
 名古屋城旧本丸御殿杉戸絵 (")
- 1976 北野天満宮本殿板絵 (水溶性アクリル樹脂, 揺変性アクリルエマルジョン)
 大樹寺方丈襖絵 2 回目 (水溶性アクリル樹脂, アクリルエマルジョン)
- 1977 東京 護国寺本堂天井絵処置指導 (パラロイド B72, アクリルエマルジョン)
 逋信総合博物館蔵「平賀源内エレキテル」彩色 (水溶性アクリル樹脂, 揺変性アクリルエマルジョン)
- 1978 興福寺三重塔板絵処置指導 (水溶性アクリル樹脂, アクリルエマルジョン)
- 1979 法名寺蔵大森彦七絵馬 (" ")
- 1980 和歌山 東照宮本殿建築彩色指導 (" ")
- 1981 称名寺板絵 2 回目 中沢氏 (パラロイド B72, 高松塚方式)
 東京 法名寺蔵禪定図絵馬 (アクリルエマルジョン)
- 1984 長谷寺本堂「二十五菩薩来迎図」壁画 2 回目? (パラロイド B72)
- 1985 麻布美術館蔵芝居絵 (パラロイド B72, p キシレン溶液)
- 1987 喜多院天海座像彩色剥落止め (パラロイド B72, 揺変性アクリルエマルジョン)
- 2 文化財修理におけるエポキシ樹脂の応用
- 1954 薬師寺国宝月光菩薩銅像 (頸部接合)
- 1959 長崎 眼鏡橋 (目地の擬石処理)
- 1960 鎌倉大仏 (頸部, 膝部分のポリエステル FRP 補強時のプライマー)
- 1962 大谷寺磨崖仏 (剥離石片接着, 擬石)
 法隆寺金剛力士塑像 (FRP 補強)
- 1963 日光本地堂 (焼損束, 木粉とエポキシ樹脂)
- 1964 般若寺一三重石塔 (接着, 擬石)
- 1965 千代神社手狭 (木材腐朽空洞部充填, 木粉とエポキシ樹脂)
- 1966 伊賀八幡神社漆下地補修 (マイクロバルーンエポキシ樹脂)
- 1967 元興寺国宝五重塔 (")
 千金甲裝飾古墳槨障 (接合, 擬石)

- 1968 明恵上人紀州七ヶ所遺跡卒塔婆 (擬石, 接着)
- 1969 於美阿志神社十三重石塔 (エチルシリケート低縮合体の含浸強化, 擬石, 接着)
- 1970 明泉寺石造五重塔 (" " ")
東博庭園鉄灯籠 (エポキシ塗料と鉄錆粉)
- 1971 法隆寺羅漢堂 (ウレタン系含浸強化, マイクロバルーンエポキシ樹脂人工木材)
- 1972 国宝茶席「如庵」 (" " ")
- 1973 茶室淀看席 (" " ")
- 1974 熊野神社長床 (" " ")
- 1975 羽山裝飾古墳 (エポキシエマルジョンと土で天井部補修)
- 1976 平山家宅梁 (FRP, ウレタン, 人工木材)
- 1977 桂離宮 (アクリルオリゴマー, 人工木材, アクリルエマルジョン, レゾルシン樹脂, その他)
源義賢墓 (接合, 擬石)
- 1978 箱木家住宅柱 (人工木材, FRP, 金属封入補強その他)
- 1979 白杵石仏 (アルコキシラン系強化剤, 接合)
- 1980 吾妻家住宅梁 (FRP, 人工木材, ウレタン発砲体)
- 1981 旧恵日寺徳一廟石塔 (接合, 擬石, アルコキシラン系強化剤)
- 1982 通潤橋 (接合, アルコキシラン系強化剤, RTV シリコーンゴム)

3 その他 仏像 木造品関係

- 1898 和歌山 速玉神社御神体 (木造) の虫孔を漆を混合した石膏で充填
- 1945 東大寺三月堂脱乾漆仏の麻布強化にアクリル樹脂を使うも失敗
- 1965 三井バンク木造柱頭飾り アクリル樹脂減圧含浸強化
- 1967 輪王寺木造男神像女神像 "
- 1973 竜ヶ崎 自然乾燥した丸木舟修復 (ウレタン樹脂 PSNY10, エポキシ樹脂 SV426)
美術院での合成樹脂の使用例 (法隆寺五重塔内部塑像にアクリル樹脂, 中宮寺如意輪観音の虫食い孔の充填にブチラール樹脂と砥の粉を使用)

4 考古関係

<遺跡保存>

- 1959 静岡 蜷塚貝塚遺跡 (自家製アクリルエマルジョン)
- 1966 箕面市 銅鐸出土跡 (自家製ブチラールアクリルエマルジョン)
横浜三殿台遺跡 (1回目PEG, 2回目アクリルアマイドAM9, 3回目アクリル酸マグネシウムモノマーのレドックス重合で実施)

- 1967 千葉加曾利貝塚遺跡（水溶性アクリル樹脂，アクリルエマルジョン）
後に追加実験としてMMAとNaHSO₃のレドックス重合試みるも失敗
現在は特殊な親水性ポリシロキサン系薬剤処置により良い成果があがっている。
横浜三殿台も同様な処置をしている。

<出土鉄器の樹脂含浸>

- 1964 鹿角付刀子を自家製アクリル樹脂の減圧含浸で強化修復
1968 この頃より東文研では市販品アクリルエマルジョンMV1を出土鉄器に使用。
奈文研では1971ころよりアクリルエマルジョンNAD10を使用
観音山古墳出土金属製品処置
1975 この頃より鉄器の脱塩処理

<出土木材関係>

- 1961? 元興寺こけら経のアクリルアマイドのレドックス重合
1969 鏡塚七回り古墳出土品の一括科学的保存処置 PEG 木棺 漆製品 皮革 他

¹ 本報告書では、乳濁液 emulsion を「エマルション」で統一しているが、配布資料からの転載のためここでは「エマルジョン」の表記を用いる。

² 平成13年4月より、独立行政法人文化財研究所東京文化財研究所となる。

