

甘竹簫の再修理—明治期修理解体のための酵素の応用

中 村 力 也
永 田 大 輔

1. はじめに

正倉院に伝わる甘竹簫（南倉112）は、18本の竹管を横に並べた気鳴楽器である。管の中に紙を詰めて調律し、管の端から息を吹き込むと音が出る。

『国家珍宝帳』所載の品で、天平勝宝8歳（756年）、聖武天皇の七七忌に、大仏に献納された。

しかしながら、伝来する間に管同士や縁木の接着がはずれ、簫の表裏を挟んでいた帯も失われて、明治時代には、『国家珍宝帳』所載の宝物であることどころか、18管の楽器「簫」であることすらわからない状態であった。当時、宝物の修理にあたった御物整理掛は、バラバラになった竹の管をみて、調律のための12管の楽器「律」であったと想定し、甘竹律と命名して、管や縁木、紫革帯を新しく補った（挿図1）^{（註1）}。そのほかにも、9本の管と1枚の縁木が残されたが、これらはそのままの状態で留められた（挿図2）^{（註2）}。

その後、昭和40年（1965年）に、宝物の残材の中から、脱落して失われていた旧帯（挿図3）の1枚が発見され^{（註3・4）}、甘竹律は18管の簫であることが明らかとなった。これにより、宝物名は甘竹簫（其1・其2）に変更されて現在に至っている。

甘竹簫は、誤った形に修理されたことはわかったものの、その際に新しく補われた管は強固に接着されており、取り外して再修理することが難しい状態であった。画像の合成や昭和48年（1973年）に製作された模造品^{（註5）}によって、甘竹簫の本来の姿を知ることができるようになったものの、



挿図1 南倉112 甘竹簫 其1（再修理前）
管4'、9'～12'、縁木1枚、紫革帯は明治時代に補われた部分



挿図2 同前 其2（再修理前）
画像では管が並んでいるが、管10～14／管15～16／管17～18／縁木の4つの部分に分離していた



挿図3 南倉187 甘竹簫帯（琴瑟類残材のうち）

宝物自体は本来の姿に復することが叶わず、課題となっていた。

ところで、近年、修理技術の発展に伴い、過去の修理で施された接着剤の除去が可能となってきた。例えば、膠についてみると、加熱せずに溶かすことができる溶媒が発見され、材同士の接合部を解体できる状況にある^(註6)。また、酵素を使って様々な種類の接着剤を分解・除去する方法も開発されており^(註7～9)、膠の除去については、絵画修復において適用された事例が報告されている^(註10)。

本論文は、甘竹簫を本来の18管の姿に復元すべく、平成28年から令和5年にかけて再修理^(註11)を行った報告である。特記すべき事項として、正倉院宝物の修理に初めて酵素を用いたことが挙げられる。用いるにあたっては、接着剤の除去効果や安全性を担保する必要があり、模擬試料を使った基礎実験を実施したので、併せて報告する。

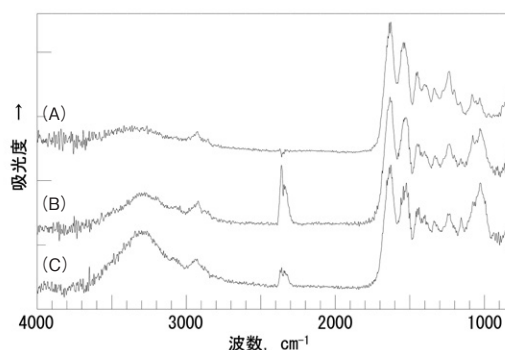
2. 再修理の課題

2-1. 明治時代の修理

明治時代の修理により、其1には管4'と管9'～12'、紫革帯が補われ、接着剤を使って修復されていた。これらの接着剤については、赤外分光分析^(註12)により膠であることが確認されている(第1図)。なお、其2は管10～18と縁木からなるが、修理の手は加えられなかった。

この甘竹簫(其1・其2)を本来の姿に近づけるためには、旧物が欠けている管4'と

管9'は明治時代の新補を生かしつつ、其1の管9'と10'の間を分離し、管9'の右側に其2の管10～18を接合する必要がある。そのためには、明治時代に補われた紫革帯を取り外す必要がある。



第1図 明治時代の修理において用いられた接着剤の赤外分光スペクトル
(A) 現代の牛膠(比較試料)、(B) 紫革帯の接着剤、(C) 管9'と管10'の間の接着剤

2-2. 再修理前の状態

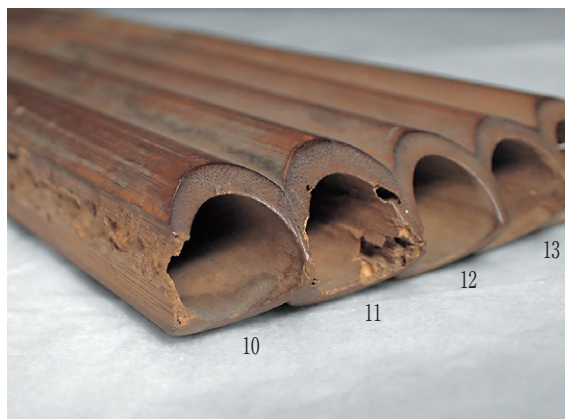
今回の再修理にあたって状態調査したところ、以下の不具合が確認された。

其1は、旧物同士の管2と3、および管6と7が、経年による当初の接着剤の劣化で分離しており、縁木と管1、2／管3～6(新補の4'を含む)／管7～12'(新補の9'～12'を含む)の3つの部分に分かれた状態であった。

其2の管10～18と縁木は、管10～14／管15～16／管17～18／縁木の4つの部分に分かれた状態で保管されていた。また、接着剤の経年劣化により今回の再修理過程において管17と18の接着がはずれた。

各部分の保存状態を詳しくみると、管1、3、5～8、10～12、14、16の吹き口は虫害によっ

て欠け、ささくれが生じていた（挿図4）。管5、6の吹き口はささくれのほか、トンネル状の深い虫孔が生じていた。また、管1、12、13、16は底部の木口にも虫孔が生じていた。管10における管9との接着面には、虫孔が無数にあり、表面が荒れていた（挿図4）。管14における管15との接着面は、虫害による木質の空洞化によって、繊維方向に一部割れが生じており、また、管の内側には薄皮が剥離しているところがあった。管16における管15との接着面は、虫害によって竹の木質部が一部粉状化していた。また、X線透過像をみると（挿図5）、管1における補われた紫革帯に隠れた部分には、虫孔があいていた。

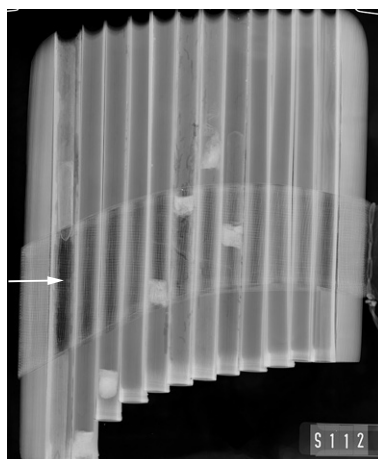


挿図4 南倉112 甘竹簫 其2（再修理前） 口縁部
管10および11の口縁部はささくれており、管10の接着がはずれた面には無数の虫孔が認められた

旧帯（南倉187甘竹簫帯）は、其1・2とは分かれた状態で、経年でねじれていた。

以上の不具合から、再修理にあたっては、
・其1について、明治時代に補われた紫革帯を取り外し、管9'と管10'間の膠を除去して分離すること。幸い、新補の管同士を分離させるため、旧物の接着剤には影響はない。

・管の虫害による損傷を補強すること。
の2点の課題が明らかとなった。



挿図5 同前 其1（再修理前）のX線透過像
矢印部分は虫孔を示している

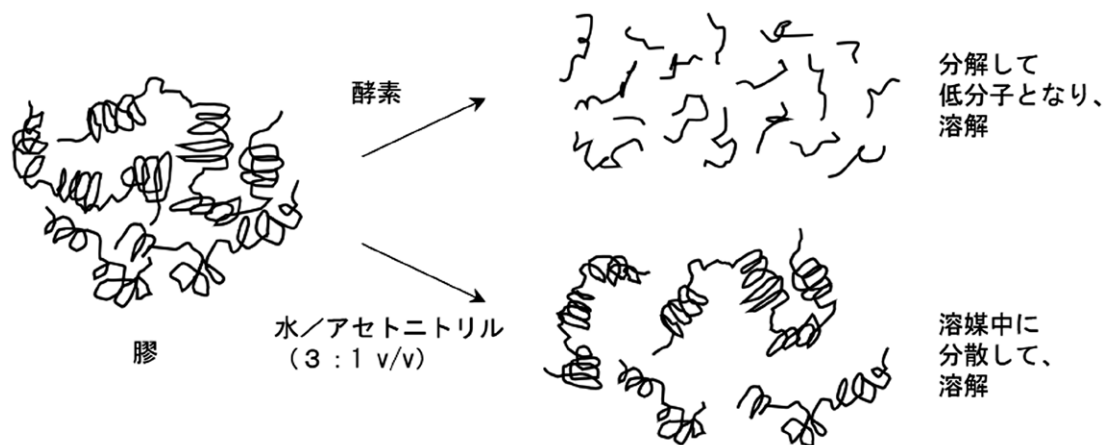
3. 宝物修理にむけた酵素応用の検討

3-1. 酵素利用の理由

再修理における明治時代に補われた紫革帯の取り外し、および管9'と管10'の分離には、膠を溶解する、水／アセトニトリル混合溶媒^(註6)の使用が想定されたが、隙間のごく狭い管同士においては混合溶媒が有効に作用しない可能性があり、実際の修理（後述）においても、溶解した膠が除去する前にふたたび不溶化したことから、別の手段として酵素の利用が検討された。

3-2. 酵素の選別

酵素は、化学反応の触媒として用いられる、生物由来のタンパク質である。酵素の重要な特性は、特定の物質にのみ作用し、特定の化学反応のみを引き起こす（基質特異性）ことである。この基質特異性によって、甘竹簫の竹管には作用せず、接着剤である膠にのみ作用して分解反

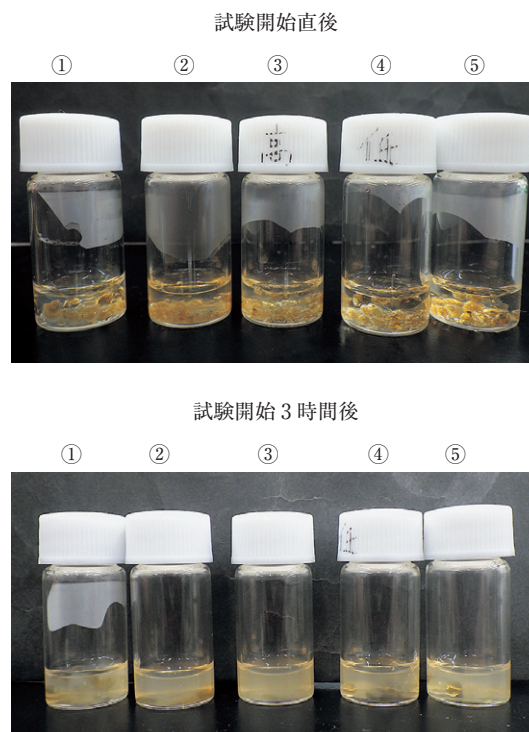


第2図 酵素および水／アセトニトリル混合溶媒による膠の溶解メカニズム

応（第2図）を引き起こし、分解した膠のみを選択的に除去できると考えられた。

膠を分解する酵素として、文化財修理の分野において応用例があるものの中から、汎用性のあるトリプシン^(註13)と、プロナーゼE^(註14)を選び、水に溶かして、室温で牛皮由来の膠に作用させた（挿図6）。すると、3時間後には、0.33g/L濃度のトリプシン水溶液中の膠は分解し、ほぼ溶解した。また、より少量のトリプシン（濃度： 3.3×10^{-2} g/L）で作用させた場合についても、膠は一部溶解した。一方、プロナーゼE（濃度： 3.3×10^{-2} g/L）については、膠の分解反応はトリプシンより鈍く、3時間作用させた場合、供した膠は溶解せず、固体のまま残っていた。

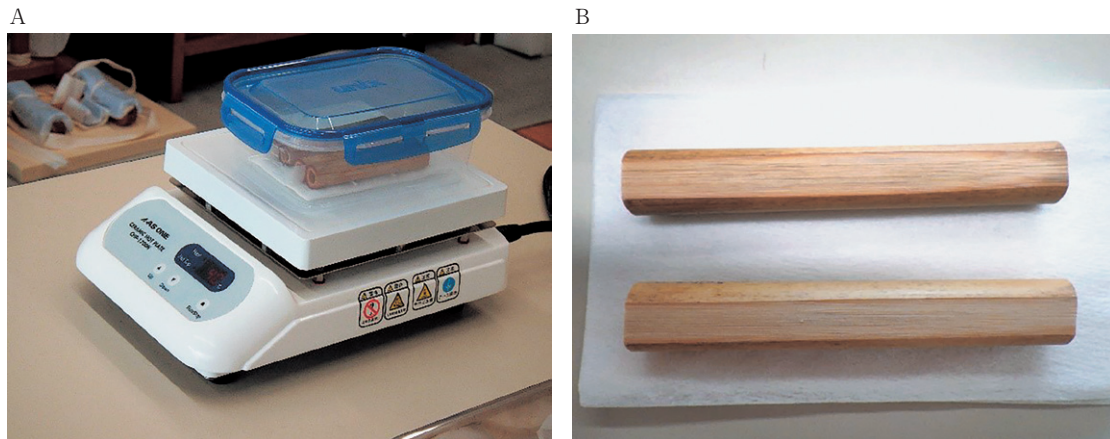
これらの結果から、甘竹簫の再修理において、管を分離するために用いる酵素は、トリプシンが適していると判断した。



挿図6 牛膠の溶解試験
試料①水中、②水／アセトニトリル（3：1 v/v）混合溶媒中、③トリプシン水溶液中（濃度：0.33 g/L）、④トリプシン水溶液中（濃度： 3.3×10^{-2} g/L）⑤プロナーゼE（濃度： 3.3×10^{-2} g/L）

3-3. 酵素作用の検証試験

膠で接着した竹管を、トリプシンを使って分離できるかを検証するため、2本の竹管の側面に牛膠を塗って接着した模擬試料を製作し、検証試験を実施した。接着部分にトリプシンの水溶液（ 1.7×10^{-3} g/L）^(註15)を細筆で挿し、プラスチック容器に入れて反応させた（挿図7 A）。すると、トリプシンが作用して膠は溶解し、竹管を分離することができた。



挿図7 2本の竹管を膠で接着した模擬試料を用いたトリプシンの作用の検証試験
(A) 模擬試料の試験風景、(B) 分離後の竹管の接着面

3-4. 酵素使用により発生する問題点への対処

文化財修理において酵素を利用する際、下記の3つの問題がある^(註16)。

- ・ 酵素に不純物が含まれていた場合、対象以外の物質にも作用する可能性がある。
- ・ 処置後、酵素が残留した場合、膠による再接着ができない可能性がある。
- ・ 残留した酵素にカビが発生する恐れがある。

これらの問題をクリアして、安全に酵素を作用させるため、下記の検証実験を行う必要がある。

- ① 酵素処置によって、竹の木質が分解していないかを検証すること。
- ② 処置後、膠による再接着が可能かを確認すること。
- ③ 処置部位に殺菌処置ができるかを検証すること。

そこでまず、①を検証するため、前項3-2において実施した酵素作用の検証試験後、竹管の接着面を観察したところ、荒れなど、竹の木質が分解した痕跡は認められなかった(挿図7 B)。したがって、用いたトリプシンは、竹には作用せず、膠のみに作用することが確かめられた。

つぎに、②を検証するため、前項3-3において実施した酵素作用の検証試験において分離した竹管の接着面に残る酵素液を拭き取り、70vol%エタノール水溶液を塗布して乾燥した後、竹管同士を牛膠で再度貼り合わせたところ、接着できることがわかった。示された再接着性は、70vol%エタノール水溶液がトリプシンを失活させたことによる。

③については、70vol%エタノールの殺菌作用によって、カビ発生を予防できると考えられた。

4. 修理

再修理は第3図に示す工程で行った。

4-1. 明治時代に補われた紫革帯の除去(挿図8)

紫革帯と管との間の接着は、膠の経年劣化により強度が低下していたため、ほとんどの部分

において、竹べらを用いて物理的に剥離することが可能であった。しかしながら、管1の側面にあった虫孔部分は木質が劣化しており、紫革帯を物理的に剥離すると、壁面が崩壊する恐れがあった。そこで、崩壊を避ける目的で、膠を溶かすことのできる、水／アセトニトリル混合溶媒（3：1 v/v）を使用して、化学的に剥離することとした。水／アセトニトリル混合溶媒（3：1 v/v）を虫孔部分と紫革帯との隙間に細筆で挿したところ、接着剤の膠は溶解し、管の壁面を崩壊させることなく、紫革帯を剥離することができた。竹管の接着面に残った膠は、水／アセトニトリル混合溶媒（3：1 v/v）を浸み込ませた不織布で拭いて、除去した。

4-2. 管の分離

管9'と管10'とを分離するため、接着部分に水／アセトニトリル混合溶媒（3：1 v/v）を挿したが、隙間が狭く、いったん溶解した膠が再度不溶化する現象が認められ、結果、膠の除去が難しかった。

そこで、分離する代替法として、第3項で検討したトリプシンを使用することとした。

管9'と管10'との接着部分に、トリプシン溶液（ $1.7 \times 10^{-3} \text{g/L}$ ）を細筆で挿し、室温で放置したところ、接着剤の膠は、徐々

に溶解した。トリプシン溶液の浸透を促進させるため、ポリエステルフィルムを接着部分に挿入して隙間を広げながら、トリプシン溶液を挿し、溶解した膠を不織布で吸い取る作業を繰り返し、竹管を分離した（挿図9）。接着面に残る分解した膠およびトリプシン溶液はよく拭き取って、極力除去した。さらに、接着面に70vol%エタノール水溶液を塗布することによって、残留している可能性があるトリプシンを失活させると同時に、カビ予防にもなるため、処置を行った。

- ①新補の紫革帯の除去
使用材料：
水とアセトニトリルの
混合溶媒



- ②管9'と管10'との間の
接合部を分離
使用材料：
トリプシン（酵素）



- ③管の補強
使用材料：
漆木屎、樹脂木屎、膠



第3図 甘竹簫の修理工程



挿図8 南倉112 甘竹簫 其1 新補の紫革帯を剥離した後



挿図9 同前 管9'と管10'の分離後

4-3. 管の補強

管に強度を付与するため、管1、3、5～8、10～12、13、14、16の木口に生じた虫損や、管10の接着面に見られる虫孔には、生漆に薄力粉、樺の木粉、麻繊維を混ぜた、いわゆる漆木屎を充填した。充填部分は黒褐色になったが、乾固後、リユーター用ビットを使って漆木屎の表面を荒し、淡褐色になるよう仕上げ、充填部分と竹管との色を調和させた（挿図10）。

管5、6の吹き口に見られるような、トンネル状の深い虫孔には、アクリル樹脂エマルジョン（ロイシール6260）とアクリル系増粘剤（プライマルASE60）、塩化ビニリデン樹脂マイクロバルーン（エクспанセル）を混合し、褐色のアクリル絵の具（ホルベイン製）で色付けした、いわゆる樹脂木屎^{（註17）}を注入して木質を強化した後、漆木屎で表面を整えた（挿図11）。

管1の虫孔は、径が大きかったため、充填せず、口縁部に樹脂木屎を塗布して強化した。管14の内側に見られる空洞化した虫孔や、剥離した薄皮についても、樹脂木屎を使って安定化させた。

管1や16に認められた木質の粉状化した部分には、30vol%エタノール水溶液を挿し込んで、木質に濡れ性を持たせた後、5wt%の膠水溶液（牛由来）を含浸して、安定化させた。

接着がはずれた管17と18は、麦漆を用いて再接着した。

4-4. 18管の簫の再現にむけて

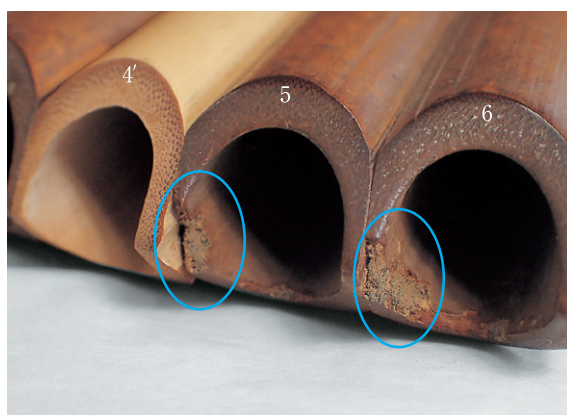
甘竹簫を本来の姿に復するためには、すべての竹管を横に並べて、再度、接着固定し、縁木や帯も接着して一体化させることが理想である。

しかしながら、旧物の管同士をつける接着剤の強度は低下しており、実際に一体化させると、接着部分に負荷がかかり、簫としての形状を保持できない恐れがあった。また、旧帯については、経年によって生じたねじれから、管にある帯を取り付けるための割り込みと形状が厳密には合わなくなっていた。さらに、伝わっている旧帯は1枚のみであり、表裏に帯を取り付けようとする、もう1枚の帯を新しく補う必要があった。

以上のような問題から、すべての管を接着し、帯を取り付けて一体化させることは、今回の



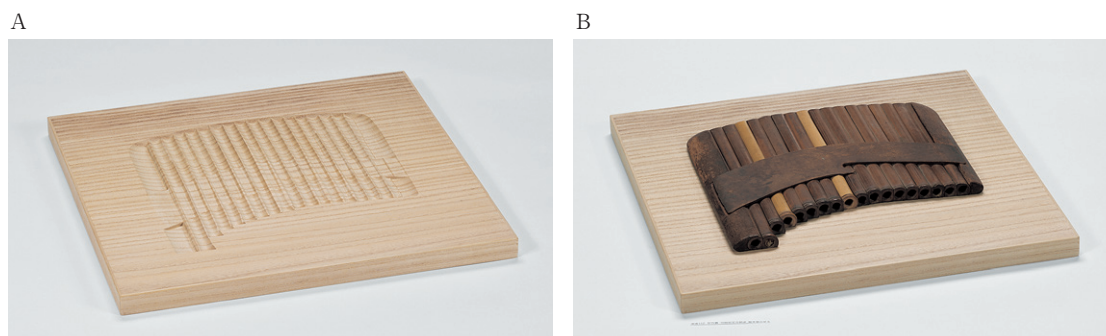
挿図10 南倉112 甘竹簫 其2 管10における虫孔への処置
漆木屎を充填し、表面をリユーター用ビットを使って荒し、管の色と調和させた



挿図11 同前 管5、6の丸で囲った部分は漆木屎によって整形した部分を示す

修理では行わなかった。現在は管1～2（縁木つき）、管3～6（新補の管4'を含む）、管7～9'、管10～14、管15～16、管17～18、縁木の7つの部分、および旧帯に分かれた状態である。

その代わりに、本来の18本の簫としての姿がうかがえるようにするため、これらの部分を本来の配置に復した形で保存・展示が可能な桐製の安定台を製作した（挿図12A）。安定台の製作にあたっては、三次元計測^(註18)のデータを活用して、管の接地面の形状に合わせて、桐板の表面を機械的に切削した。18本の管が横並びになるよう型取りをし、板の表面を削って落とし込み、復元的な配置を保持できるようにした。安定台に甘竹簫を設置し、その上に旧帯を置くと、本来の姿が再現された（挿図12B）。



挿図12 三次元計測データを活用して機械切削で製作された甘竹簫用の安定台（A）と甘竹簫の納姿（B）

5. おわりに

本論文では、明治時代に誤った修理を受けた甘竹簫の再修理について報告した。本件では、宝物修理においてはじめて酵素を使用し、新補の竹管を分離することに成功した。また、同時期に補われた紫革帯については、水／アセトニトリル混合溶媒を使って除去した。虫害を受けた竹管については、漆木屑や樹脂木屑、膠を使って被害箇所を処置することで、木質を強化し、ささくれや粉状化といった症状を解決した。管・帯を接着しての復元については見合わせたが、形状に合わせた安定台を桐の板で製作して設置することで、甘竹簫の本来の姿がうかがえるようになった。

現状、保存を勘案して、竹管同士は未接着の状態にある部分が残されていることが課題である。旧物同士の接着部分の強度が担保されれば、今後、甘竹簫の復元に向けた追加の再修理も検討できるようになるであろう。

謝辞

酵素の失活処理については、山内章氏（一般社団法人天野山文化遺産研究所）から助言をいただいた。修理における管の補強の工程は北村繁氏（合同会社北村文化財漆工）によるものである。また、三次元計測ならびに安定台製作は、公益財団法人元興寺文化財研究所により実施された。安定台に用いられた桐の板は、鈴鹿桐箱店より調達した。本事業への貢献に対し、記して感謝の意を表したい。

註

- (1) 明治37年『正倉院御物修繕第八回還納目録』（館資1057）によれば、大破した状態であったため、欠失部分を補修したことが記されている。
- (2) 明治37年『正倉院御物未修繕還納目録』（館資1057）によると、第3回回送品の中に記されている。
- (3) 宮内庁正倉院事務所編『正倉院の楽器』日本経済新聞社、1967。
- (4) 南倉187琴瑟類残材のうちの1片で、『国家珍宝帳』所載の名称は「楸木帶」である。
- (5) 昭和48年、坂本曲齋（二代）氏により製作。
- (6) 楠京子、早川典子、山本記子、的場礼、横堀篤代「東洋絵画の剝落止めにおけるアセトニトリルの有効性について」、文化財保存修復学会第36回大会研究発表要旨集、136-137、2014。
- (7) 早川典子、酒井清文、貴田啓子、坪倉早智子、大河原典子、岡田祐輔、藤松仁、川野邊渉「文化財修復に用いられたポリビニルアルコール除去における酵素利用の検討」、文化財保存修復学会誌、56、27-36、2013。
- (8) 早川典子、山中勇人、山田祐子、趙依寧、上垣浩一、大本貴士「デンプン糊で裏打ちされる文化財への α -アミラーゼ適用方法に関する検討」、保存科学、62、99-107、2022。
- (9) Paolo Cremonesi, Antonella Casoli “Enzymes as tools for conservation of works of arts” Journal of Cultural Heritage, 50, 73-87, 2021.
- (10) Yana van Dyke “Practical applications of protease enzymes in paper conservation” The Book and Paper Group Annual, 23, 93-107, 2004.
- (11) 西川明彦「正倉院宝物の修理の歴史と理念—附森鷗外からの宿題「甘竹簫」の修理」、『御即位記念特別展 正倉院の世界—皇室が守り伝えた美』東京国立博物館、242-246、2019。
- (12) 日本分光(株)製 VIR-100装置を用い、検出器のプリズム：ZnSe、測定モード：全反射吸収法により分析。
- (13) 富士フィルム和光純薬(株)のブタ膵臓由来。
- (14) SERVA社のストレプトミセス・グリセウス (*Streptomyces griseus*) 由来。
- (15) 修理後のトリプシンの残留を避けるため、酵素選定試験における濃度よりさらに低い濃度設定で実施した。
- (16) 竹上幸宏、君嶋隆幸、岡岩太郎、木川りか、川野邊渉「装演技術における酵素利用の可能性について」、保存科学、37、76-83、1997。
- (17) 樹脂木屑は、正倉院の伎楽面修理において使用の実績がある。片岡真純「正倉院宝物の修理における合成樹脂の使用について」、正倉院紀要、46、81-118、2024参照。
- (18) 山片唯華子、吉田卓爾「年次報告 調査8 三次元計測 南倉112 甘竹簫」、正倉院紀要、44、107、2022。