

令和 2 年 11 月 27 日現在

機関番号：82620

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2018

課題番号：26702005

研究課題名（和文）墨、煤、膠の製法と性状の体系化 -伝統的製法の再現-

研究課題名（英文）Systematization on Production Methods and Properties of Inkstick, Soot, and Animal Glue: Revival of Traditional Production Methods

研究代表者

宇高 健太郎 (UDAKA, Kentaro)

独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所・保存科学研究センター・客員研究員

研究者番号：30704671

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 18,500,000円

研究成果の概要（和文）：近代以前の中国式松煙煤の製法再現を行なった。炉が小径で低断熱性、時間毎原料投入量の多い条件で得られた試料群は特に大きい凝集体規模を示した（MV: 30 μm以上）。炉が小径で高断熱性、時間毎原料投入量の多い条件で得られた試料群は、0.1 μmを超える大きな一次粒子径を総じて示しつつも凝集体規模については他試料群と比して特に大きな値を示さなかった（数μm程度）。また炉が大径の試料群は凝集体規模が1 μmを下回る傾向にあった。さらに古典的膠について、『墨譜』（李孝美）、『墨経』（伝 晁貫之）等の製法再現や分析を通して体系化を進めた。また書画等文化財の保存修復用途に好適な該材料の開発を行なった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

膠やそれに煤を加えて作られる墨は、非常に多くの東洋書画に使用されてきた伝統材料である。しかしながらその一方で、材料学的な検証が充分に行われてきたとは言い難い状況にあった。本研究では近代以前の各文献等を踏まえ、該材料において製造条件が性状に及ぼす影響を実践的かつ広範に体系化した。これによって、製膠技術史や製墨技術史を踏まえた新しい書画及び工芸等文化財研究の可能性を拓くことができた。また特に膠は書画等の保存において重要な修復材料でもある。本研究を通して様々な特性を備えた古典的膠の製造方法が明らかになり、各課題に応じて、より好適な修復材料の選定乃至製造、活用等応用展開が可能となった。

研究成果の概要（英文）：In this study, classical Chinese pine soot production method was revived. Samples that were produced under the condition of using a kiln with a small diameter with low insulation, with raw materials being added in large amounts per unit time, tended to be large in aggregate・agglomerate sizes. Samples that were produced under the condition of using a kiln with a small diameter and high insulation, with raw materials being added in large amounts per unit time, tended to be particularly large in aggregate・agglomerate sizes, although the primary particle sizes were large. In addition, samples that were produced under the condition of using a kiln with a large diameter, tended to have small aggregate・agglomerate sizes. Moreover, various production methods of classical animal glue have been revived referring classic literature, to systematize this material. These samples also were used for conservation of cultural properties.

研究分野：文化財科学

キーワード：墨 煤 膠 文化財 修復材料 水墨画 美術 日本画

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

墨とその原料である煤および膠は、多くの書画文化財に使用されてきた非常に一般的な伝統材料である。また特に膠は製墨原料であるほか、文化財修復や日本画制作用途にも広く使用されている汎用性の高い材料である。しかし墨、煤、膠の製造方法と性状の関係を実践的、体系的に扱った研究は極めて少なく、和紙や染料など他の文化財材料のそれに比して大きく研究が遅れていた。

報告者は当該研究以前より、伝統的製法再現による140種類の膠試作を主に抽出温度90℃において行なっていた。そして膠の分子量、粘度やゼリー強度等諸性状が、原料の下処理除毛方法と抽出条件の組み合わせによってどのように決定されるのかについて体系化を進めていた。また近代以前の古典的膠が、現在の和膠や洋膠のいずれとも大きく異なる材料であることを明らかにしていた。なお昭和以降の市販膠製品は一般に各種薬剤が多用されており、各用途において膠に起因する変色や脆弱化のリスクがしばしば問題となっていた。

墨は膠と煤を主原料として、混練、成形、乾燥の工程を経て製造される。古典的煤は油煙煤と松煙煤に大別され、さらに製造方法によって粒子径や凝集体規模が異なり、墨の色相や書画作品の視覚効果、鑑賞性を左右している。松煙煤は、日本では「障子焚き」と呼ばれる小火力の製法、一方中国では大火力の製法によって製造されるなどしてきた。これらのうち油煙煤と日本式の障子焚き松煙煤については、報告者による当該研究開始以前の研究によって、約50種類の再現製造と分析を通して材料学的に体系化していた。日本式の障子焚き松煙煤では、原料松材寸法や煤採取箇所に関わらず一次粒子径は0.1 μm弱程度であった。また江戸期の各種松煙墨についても、同様の分析結果であった。一方、明代の中国製松煙墨については、0.1 μmを大きく超える一次粒子径が小口より報告されていた（『徳川美術館蔵 古墨』（しこうしゃ図書販売、1991））。書画文化財全般に対して汎用的に比較照合可能なデータベースを構築するにあたり、これまでに網羅できていない中国製松煙煤の試作と分析を通じた技術史的・材料学的な体系化が大きな課題であった。なお『天工開物』（宋応星、明代）には中国製松煙煤の製造について、日本のものとは著しく異なる大火力の方法と、長さ約30mに及ぶ煙道状設備が挿絵付きで記されていた。

墨の製造技術と性能は、時代や地域によって大きく異なる。例えば江戸期や明・清代の墨は、現在の製品と比べて、低濃度墨液においても遥かに分散安定性に優れたものが散見される。分散安定性に優れた墨は、宣紙系生紙に用いた際に均質な滲みや発色を生むうえで好適である。報告者は当該研究開始以前の研究において、伊藤若冲紙本墨画2点の分析と材料の再現製造を行なっていた。さらに技法再現模写による検証を行い、そうした近代以前の墨のもつ特性が、該作品の芸術性と密接に関連していたことを実践的に明らかにしていた。

2. 研究の目的

墨、煤、膠について、製造時の条件が製品性状に及ぼす影響を明らかにする。またそれらの各時代・地域における製造方法の違いが、書画文化財の画面効果や芸術性に、どのように影響を及ぼしていたのかについて検証する。

製膠技術史、製墨技術史を踏まえた新しい知見に基づく書画研究の可能性を拓き、さらに文化財修復への応用展開を目指す。

墨、煤、膠の製造技術は、製品の性状と、それが使用された各時代の書画文化財の表現や芸術性に大きく影響している。本研究ではこれらの関連について実践的に体系化を進める。

3. 研究の方法

(1) 近代以前の中国製松煙煤を各条件において復元製造し、その分析等を通して製造条件と性状の関係を明らかにする。

- ① 明代の松煙煤製造方法に関する代表的記録である『天工開物』（宋応星）記載の方法の近似再現を行なう。同書には日本のものとは著しく異なる大火力の製法と、長さ約30mに及ぶ煙道状設備が挿絵付きで記されている。ただし該文献には炉及び燃焼条件に関する記述が無いことから、径、長さ、角度、断熱性の異なる各種の炉を用い、また単位時間毎原料投入量を調整する等、各条件を検討する。
- ② 裁断寸法や下処理加熱強度等の異なる各種原料松材を燃焼させ、その後設備からの採取位置別に試料を得る。
- ③ 得られた各松煙煤試料について走査型電子顕微鏡（SEM）及びレーザー回折・散乱式粒度分布測定装置による一次粒子径及び凝集体規模の測定を行ない、該材料の製造条件と性状の関係について明らかにする。
- ④ 得られた試料分析結果を近代以前の墨及び古画に含まれる煤の分析結果と比較し、各時代・地域における煤ならびに墨の製造技術について検証する。

- (2) 膠の製造条件と製品性状の関係について、過去研究より広範な製造条件下で体系化する。
- ① 牛生皮に剃毛（毛刈り）乃至川晒し脱毛（微生物あるいは皮中の自己分解酵素を利用した古典的脱毛方法）等の、伝統的除毛方法による各種下処理を行なう。また特に現在市販製品としての製造流通が皆無である鹿角や鯉鱗由来の膠について、『墨経』（伝 晁貫之，宋代）、『墨譜』（李孝美（伯揚），宋代）等の記録を参考として下処理の再現等を行なう。
 - ② 下処理後の各原料を用いて、各抽出温度において膠の抽出を行なう。抽出は恒温装置を用いた定量的加熱処理によって行なう。抽出後の膠液を凝固、裁断、乾燥等し試料とする。
 - ③ 各膠試料の物理化学的特性及び成分等について、JIS K 6503 の粘度、ゼリー強度等の 10 項目と、PAGI 法の等イオン点と起泡率、また表面張力、接着力、分子量分布、アミノ酸組成等について分析を行なう。
 - ④ 各分析結果を、過去の研究によって明らかにした約 140 試料のデータと照合し、膠の原料及び抽出条件等によって製品の物理化学的特性や成分にどのような違いが生じるのかをより広範に検証する。また得られた膠試料を用いて墨の試作を進める。
 - ⑤ 各膠試料について複数の使用技術者等による試用評価を行ない、該材料の製造条件から、物理化学的特性、成分、用途適性の関係までを包括的に体系化する。
- (3) 墨の製造条件と原料間の相互作用、製品の性状、使用時の画面効果等の関連を検証する。
- ① 各煤試料と膠試料を用いて墨の試作を行なう。当該研究開始以前の実験では手練と杵打によって墨原料の混練を行なってきたが、そうした手作業では処理強度の定量化が極めて困難であった。このため本研究では、古典的方法と機能的に等価な工程を担うことのできる恒温混練装置等を用いて定量的処理を行なう。原料の膠、煤の種類および配合比と、混練条件を段階的に変えて墨試料を製造する。理論的に墨液における分散安定性には膠と煤の電気的性質等が関係するため、原料の等イオン点及び pH 等を考慮のうえ配合条件を検討する。
 - ② 墨試料の滲み拡散性及び分散安定性について、宣紙への滴下試験等によって定量的に評価する。各実験を通して、墨の原料や分散状態が描画時の視覚効果等に及ぼす影響を実践的に検証する。また江戸期及び清代の各種古墨等についても同様に試用し、試作墨との比較を行なう。

4. 研究成果

中国式松煙煤について『天工開物』（宋応星，明代）等の記録を勘案のうえ各種原料、原料投入周期、設備形状、煤採取位置等の組み合わせにおいて製造実験を行ない、約180種の試料を得た。

各試料について、SEM及び粒度分布測定装置による一次粒子径及び凝集体規模の測定を行ない、製造条件と試料性状の関連解明を進めた。また過去の研究で体系化を進めていた油煙煤ならびに日本式障子焚き松煙煤との照合を通して、該材料の諸性状決定条件について検証した。

その結果、一次粒子径が $0.1\ \mu\text{m}$ を大きく上回る松煙煤が得られる製造条件は非常に限定的であり、径が小さくかつ一定の長さで断熱性を備えた炉を用い、単位時間毎原料投入量が大きい場合にのみ、前述の『徳川美術館蔵 古墨』（しこうしゃ図書販売，1991）などに報告されるような、 $0.1\ \mu\text{m}$ を大きく上回る一次粒子径を備えた製品が得られることが分かった。また『天工開物』記載の方法は当時の一般的なものとするには少なくとも一部誤謬であり、実際には『墨譜』（伝 晁貫之，宋代）記載設備に類する細く長くかつ高い断熱性を備えた炉が存在し、原料としても特に肥松材が使用されていたことが窺われた。炉が小径で低断熱性、かつ時間毎原料投入量の多い条件において、設備集塵部分から得られた試料群は他条件試料と比し概して特に大きい凝集体規模を示した（MV: $30\ \mu\text{m}$ 程度以上）。一方、一次粒子径が $0.1\ \mu\text{m}$ を大きく上回ることがSEMでの観察により確認された、炉が小径で高断熱性、かつ時間毎原料投入量の多い条件で得られた試料群は、凝集体規模については他試料群と比して特に大きな値を示さなかった（MV: 数 μm 程度）。また炉が大径の試料群は総じて凝集体規模が小さく、MVが $1\ \mu\text{m}$ を下回るものが多く認められた。なお『天工開物』には、松煙煤は製品等級を区別して扱われていた旨の記述があり、また往古の松煙煤製造において採取位置を分けたのは粒子径の異なる煤を得るためであったとする巷説があったが、凝集体規模について当該実験結果はこれを支持しなかった。ただしその凝集構造の内訳の検証等については今後の課題である。

『墨経』（伝 晁貫之，宋代）及び『墨譜』（李孝美，宋代）等近代以前の文献的記録を参照し、牛皮、鹿角、鯉鱗等の各原料を用いて古典的膠の復元を行なった。得られた各試料の物理化学的特性及び成分について分析を行ない、また加熱劣化処理により安定性等を評価した。さらに各膠試料について複数の日本画制作者や文化財修復技術者による用途適性評価を行ない、製造条件や物理化学特性等との関連解明を進めた。

鯉鱗及び鹿角の骨質原料由来膠はいずれも各種皮質原料と比べて長い抽出時間を要した。またこれらは総じて油脂分が少なく、淡色透明となる傾向にあった。いずれも等イオン点は総じて弱酸性域、pHは中性域であり、水溶時にはアニオン化する傾向にあると考えられる。鯉鱗由

来膠は特に淡色かつ透明であり、油脂分が極めて少なく高光沢であった。粘度、ゼリー強度、融点、凝固点が非常に低かったが、木材接着における圧縮せん断接着強さは一般的な市販膠製品よりも大きかった。また同程度の粘度、ゼリー強度の和膠系市販膠製品である京上膠等と比較して融点及び凝固点が低く、低温環境下での溶解使用により適することが示唆された。該試料の原料は一般的な魚鱗オセイン（酸浸漬等を経た脱灰乾燥鱗）ではなく脱灰処理を経ない生のままの鱗であるが、得られた試料の灰分含有量は極めて少なく、古典的技術のみによって低灰分量の魚鱗由来膠を問題無く製造可能であったことが分かった。皮質原料からは古典的方法によって高～低粘度、高～中ゼリー強度かつ淡色の膠を得ることが可能であるが、低ゼリー強度の膠については濃色となる傾向にある。本研究で明らかにした骨質原料由来膠の性状はこの製品種上の空隙を大きく補完するものであり、これが皮質原料由来膠と合わせられることによって、より広範な要求特性を満たすことが可能になると考えられる。なお古書画等彩色層の剥落止めにおける膠の用途適性について複数の使用者による試用評価を行なった結果、牛剃毛生皮由来の後番手軟水抽出試料は特に白色顔料における発色担保性が良好であった。鹿角由来の後番手抽出試料及び鯉鱗由来試料は流動性が高く施工作業性に優れ、また発色担保性も良好であった。

本研究を通し、極めて多様な性状を備えた各種古典的膠の安定的製造方法が明らかになった。さらに、得られた知見をもとに、複数の国宝及び重要文化財を含む絵画、書跡、彩色建造物、彩色彫刻等の各文化財の保存修復について好適な修復材料の製造ならびに提供等を行なった。

また本研究により得られた各膠及び煤試料を材料として墨の製造実験を行なった。各墨試料について宣紙への滴下試験等を行ない、分散安定性や呈色等の評価、使用時の視覚効果等に関する検証と比較を行なった。これらを通して、墨製造における膠配合比及び原料混練条件と製品の分散安定性の関連等について体系化を進めた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 1 件）

- ① 宇高健太郎, 早川典子, 藤井佑果, 柏谷明美「膠の性状と湿熱劣化処理の影響に関する研究 -表面観察による検証-」/ 保存科学第 58 号 (東京文化財研究所) / 2019 年/ 論文, 査読有り / pp. 107-117

〔学会発表〕（計 9 件）

- ① 宇高健太郎, 早川典子, 藤井佑果, 大場詩野子, 岡部迪子「古典的膠の調整方法及び性状」/ 第 42 回文化財保存修復学会大会 電子開催/ 2020 年/ 学会発表/ 要旨集 pp. 82-85
- ② UDAKA Kentaro, Jennifer A. Giaccari「Research on Properties of Soot for Inkstick Productions」/ 第 42 回文化財保存修復学会大会 電子開催/ 2020 年/ 学会発表, 英語/ 要旨集 pp. 334-337
- ③ 宇高健太郎, 早川典子, 藤井佑果, 大場詩野子「膠の調製等に関する研究」/ 第 41 回文化財保存修復学会大会 於 帝京大学/ 2019 年/ 学会発表/ 要旨集 pp. 112-113
- ④ 宇高健太郎「松煙煤に関する研究」/ 第 40 回文化財保存修復学会大会 於 高知県文化プラザかるぼーと/ 2018 年/ 学会発表/ 要旨集 pp. 234-235
- ⑤ 宇高健太郎, 早川典子, 半田昌規, 岡泰央, 藤井佑果, 小笠原具子, 亀井亮子, 半田幾子, 宇和川史彦, 柏谷明美「膠の性状と装演における適性の関連」/ 文化財保存修復学会第 39 回大会 於 金沢歌劇座/ 2017 年/ 学会発表/ 要旨集 pp. 66-67
- ⑥ 宇高健太郎, 早川典子, 柏谷明美, 半田昌規, 岡泰央, 小笠原具子, 亀井亮子, 半田幾子, 宇和川史彦, 藤井佑果「膠を用いた模擬劣化彩色体の調製方法」/ 文化財保存修復学会第 39 回大会 於 金沢歌劇座/ 2017 年/ 学会発表/ 要旨集 pp. 232-233
- ⑦ 宇高健太郎「膠の性状に関する研究」/ 文化財保存修復学会第 38 回大会 於 東海大学/ 2016 年/ 学会発表/ 要旨集 pp. 256-257
- ⑧ 宇高健太郎「煤及び膠に関する研究」/ 文化財保存修復学会第 37 回大会 於 京都工芸繊維大学/ 2015 年/ 学会発表/ 要旨集 pp. 224-225
- ⑨ 宇高健太郎「膠製造における諸条件と製品の性状の関連 (5)」/ 文化財保存修復学会第 36 回大会 於 明治大学/ 2014 年/ 学会発表/ 要旨集 pp. 110-111

〔図書等〕（計 5 件）

- ① 編 東京農工大学硬蛋白質利用研究施設, 著 西山敏夫, 水野一乗, 野村義宏, K. L. Goh, 宮田真路, 石川善弘, 多賀祐喜, 山内三男, 寺嶋雅彦, 稲田全規, 伊藤義文, 黒田一稀, 小出隆規, 佐藤健司, 重村泰毅, 田中啓友, 服部俊治, 石原賢司, 平岡芳信, 新井克彦, 吉村圭司, 土居昌裕, 宇高健太郎, 鈴木哲, 小泉聖子, 松下綾, 大門桃茄, 姫野愛, 天野聡, 藤本一朗, 西山敏夫「コラーゲン 基礎から応用」/ 株式会社 impress R&D/ 2020 年/ 刊行物, ISBN : 9784844379140/ pp. 1-256
- ② 早川典子, 宇高健太郎, 水上みのり「イチから作る のり 接着剤」/ 一般社団法人農産

- 漁村文化協会/ 2020年/ 刊行物, ISBN: 4540191691, 978-4540191695/ pp. 1-36
- ③ UDAKA Kentaro, HAYAKAWA Noriko, KITADA Katsumi, MORITA Tsuneyuki, ARAI Kei, INABA Masamitsu, HANDA Masaki, SAITO Norihiko, translation: MATSUBARA Michiko 「Basic Knowledge about Animal Glue」 / Nikawa Labs/ 2018年/ 刊行物, 英文/ pp. 1-4
 - ④ 北田克己, 早川典子, 宇高健太郎, 荒井経, 森田恒之「膠入門」 / 膠文化研究会/ 2016年 / 刊行物/ pp. 1-17
 - ⑤ 宇高健太郎, 早川典子, 北田克己, 森田恒之, 荒井経, 稲葉政満, 半田昌規, 齋藤典彦 「膠の基礎知識 -膠とはなにか/ 膠の原料と製造方法/ 膠の現在とこれから-」 / 膠文化研究会/ 2015年/ 刊行物/ pp. 1-2

〔産業財産権〕 (計1件)

- ① 宇高健太郎, 早川典子「膠の製造方法」特願 2020-70231/ 2020年/ 特許, 出願中

〔その他〕 (計11件)

- ① 宇高健太郎「墨と書画の構造と材料」 / 文化庁 日本博シンポジウム 日本文学展 ～文学とメディアの千年譚～文化財リマスター 於 六本木ヒルズ 49F アカデミーヒルズ, Zoom ウェビナー/ 2020年/ 講演
- ② 宇高健太郎「文化財修復における膠の適性」 / 膠文化研究会第12回公開研究会「膠千年」 於 龍谷大学/ 2019年/ 講演/ 予稿集 pp. 10-13
- ③ 宇高健太郎, 佐藤千晴, 他「膠千年 研究発表展示」 / 於 龍谷大学/ 2019年/ 研究発表展示
- ④ 宇高健太郎「膠の性状と装演における適性」 / 膠文化研究会第11回公開研究会「膠と修理-《序の舞》を守る-」 於 東京藝術大学/ 2018年/ 講演/ 予稿集 pp. 4-9
- ⑤ 宇高健太郎, 宇和川史彦, 他「膠と修理-《序の舞》を守る- 研究発表展示」 / 於 東京藝術大学大学美術館陳列館/ 2018年/ 研究発表展示
- ⑥ UDAKA Kentaro 「Basic Knowledge about Animal Glue: Categories and Production Methods」 / At Freer Gallery of Art and Arthur M. Sackler Gallery, Smithsonian Institution (The United States of America) / 2018年/ 講演及びワークショップ, 英語
- ⑦ 宇高健太郎「中国及び欧州における膠の現状」 / 膠文化研究会第10回公開研究会「膠 人と旅」 於 東京藝術大学/ 講演/ 予稿集 pp. 12-18
- ⑧ 宇高健太郎「修復用膠の基礎科学」 / 於 正倉院事務所/ 2017年/ 講演
- ⑨ 宇高健太郎「概説 膠の基礎知識リーフレットについて」 / 膠文化研究会第9回公開研究会「膠と継承者」 於 愛知県立芸術大学/ 2016年/ 講演
- ⑩ 宇高健太郎「膠の製造方法と性状」 / 国宝修理装演師連盟講習会「科学的な材料とその使用方法の講習会」 於 東京文化財研究所/ 2016年/ 講演
- ⑪ 宇高健太郎「膠の基礎知識」 / 膠文化研究会第7回公開研究会「膠入門」 於 東京藝術大学/ 2015年/ 講演/ 予稿集 pp. 3-6