

墨における膠-煤間相互作用の評価ならびに構成様態に関する検証

宇高 健太郎

(独立行政法人国立文化財機構 東京文化財研究所)

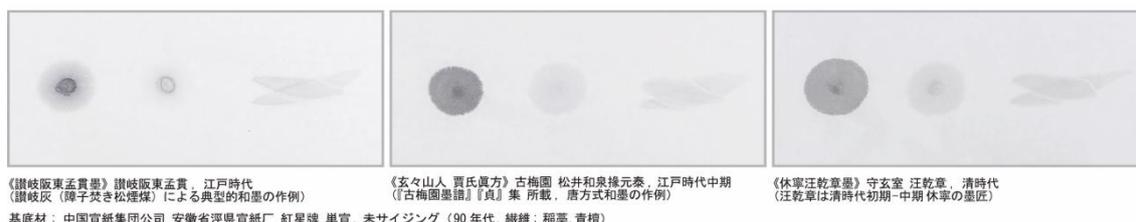
本研究では墨原料等における表面特性や製品性状決定因子について検証を進めた。墨は、黒色系顔料である煤と分散剤兼接着剤である膠を主原料として作られ、東洋伝統書画において古来広く用いられてきた象徴的材料である。

煤はその原料、製造設備、燃焼条件等によって粒子径や凝集構造、物理化学的特性等が多様であり、またそれらは東洋伝統書画において墨の滲みや色、質感等を大きく左右している。当該材料は主に疑似グラファイト/アモルファスカーボンからなるが、表面にヒドロキシ基やカルボキシル基などの極性官能基も偏在しており、それらは煤の荷電傾向や親水親油バランス (Hydrophilic-lipophilic balance) と関係し、また墨液における分散安定性、特に分散剤である膠や分散媒である水との相互作用にも深く関わっていると考えられる。近代以前の古墨には、近現代の一般的製品と異なり、含有膠濃度が臨界ミセル濃度 (Critical micelle concentration) 未満となるような低濃度墨液においても安定分散可能なものがある (図1 一部例示)。また当該特性は、そうした材料が用いられた古典書画における表現効果や鑑賞性と密接に関連している。これらの体系化は、古典書画に関する美術史的理解や制作基盤の解明、適切な保存修復や活用、現代における新規書画制作の水準向上や応用工業技術開発等に広く資するものであるが、そのうえで煤-膠間の相互作用や物理化学的機構、基盤等についての検証が課題であった。なお近年では多様な古典的煤の確保自体が困難であり、その表面構造や物理化学的特性等に関する検証事例も限定的である。報告者は過年度研究において近代以前の文献的記録に基づく設備再現等を経て200試料以上の古典的煤を調製しており、本研究ではそれらの一部についてXPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy; X線光電子分光法) 分析を実施し、表面官能基等に関する情報を得て化学的構造や特性等を検証した。諸製造条件によって煤表面の構成元素や結合状態に一定の差異が認められた (図2 一部例示)。現時点においては実施件数が限定的でピーク帰属等再検討余地もあるが、得られた表面情報及び関連する化学的性質を勘案のうえ今後より広範な試料において比較照合を進めることで、墨における煤-膠間相互作用や水中分散様態や、書画における表現効果に及ぼすその影響の機構解明につながると考えられ、本研究によってその端緒を開くこと

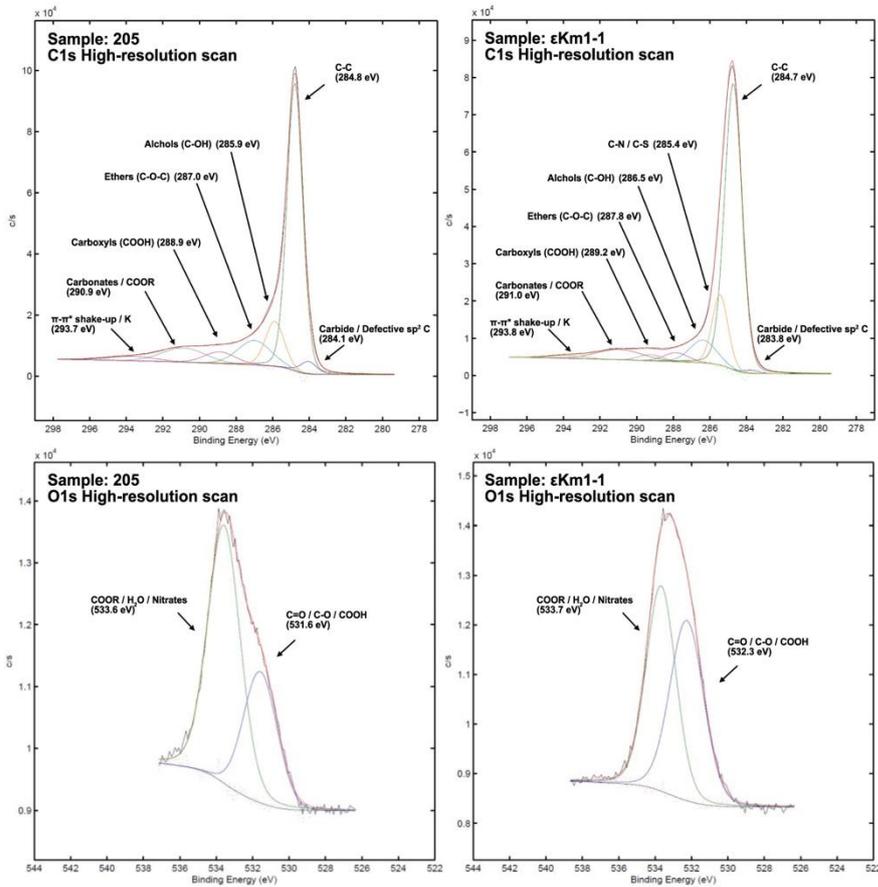
ができた。今後、史学的諸研究や書画制作等における実用化も図り、判別精度等を含めてより詳細に検証したいと考えている。

さらに、報告者過年度研究において見出された材料区分である古典的膠に関して、製造の安定化及び他材料との相互作用を含む諸用途適性について検証を進めた。膠はゼラチンを主成分として灰分や油脂分等を微量含む高分子複合材料であり、特に東洋伝統書画においては墨や他種の諸色料の使用に際し分散剤兼接着剤として広く活用されてきた。当該材料は原料や製造方法等によって洋膠 (Industrial animal glue)、和膠 (Domestic animal glue)、古典的膠 (Classical animal glue) に大別され、うち古典的膠には淡色かつ不光沢、経時的変質が軽微といった文化財修復において特に好適な性状を示すものがあることから、報告者による過年度研究成果が直接的・間接的に広く活用されてきている。但し供給安定化や調製効率化に関し、製造に際して散発的に生じる暗色化の機構解明及び解決が課題となっていた。反復的再現実験を通して当該現象の因子は若干種あることが分かっており、うち一種に関しては十全な解決方法が報告者の過年度研究等を通して確立され (特許 7216429)、実用化されている。本研究では残る他因子の解明を期し、暗色化の生じたロットの原料残渣について顕微鏡観察及びEDX (Energy dispersive X-ray spectroscopy; エネルギー分散型X線分析法) 分析を実施した。EDX分析結果 (図3) において、正常製造単位原料残渣及び暗色化製造単位原料残渣の間でS K α (2.307 keV)、Mn K α (5.894 keV)、Fe K α (6.398 keV)、Cu K α (8.040 keV) 等の検出強度に顕著な差異は認められなかったことから、金属化合物や錯体等の関与の蓋然性は低いと考えられる。当該現象発生状況や光学顕微鏡観察結果を併せ踏まえると、何らかの微細有機成分、特に極限環境微生物関連成分等が関与している可能性が示唆される。今後さらに質量分析や微生物の単離及び核酸分析等によって当該現象の因子及び機構を解明するとともに、前処理や熱履歴等を含む製造条件の最適化指標確立に繋がりたいと考えている。

また墨試料の調製及びレーザ回折・散乱法粒度分布測定等による分散安定性評価を通して、応用的性質及び原料間相互作用の検証を進めた。製膠技術史や製墨技術史を踏まえた科学的新知見に基づく書画研究、文化財の保存修復や制作等への応用展開を期した。

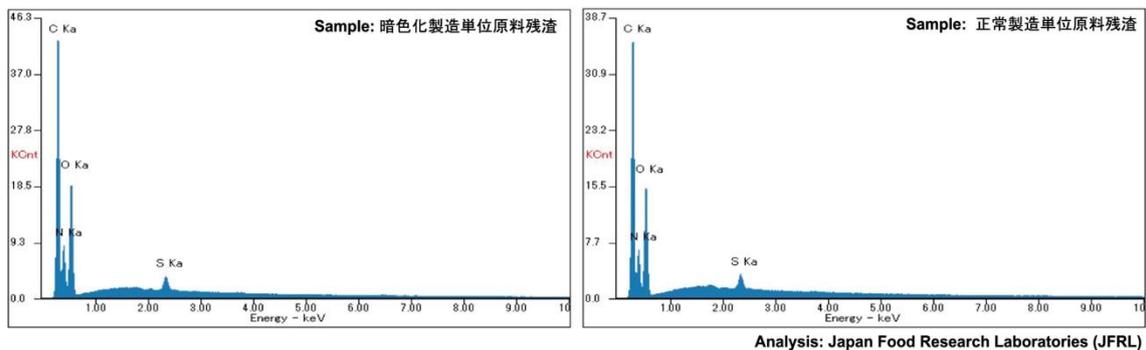


[図1] 近代以前の墨の表現効果例



Left; Sample 205: derived from rapeseed oil, sara-daki 皿焼き method
 Right; Sample εKm1-1: derived from pine wood, the method recorded in Tian-Goung-Kai-Wu 天工開物 (SONG Yingxing 宋应星, 1637)
 Analysis: Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute (TIRI)

[図 2] 煤 XPS 分析結果例
 (左：菜種油由来試料，右：中国式松材由来試料)



[図 3] 膠原料残渣 EDX 分析結果

参考文献等：UDAKA Kentaro. *Inkstick (sumi) and Classical Animal Glue*. Collagens - Basic Science and Applications. Chap.18. Impress NextPublishing, TUAT. pp.138-149; 2024 / UDAKA Kentaro. *Science and Applications of Animal Glue and Inkstick (Sumi/Mo/Meok) : Production, Art Practices, and Conservation*. Lecture, University of Delaware (US) ; 2025 / 宇高健太郎. 墨用煤の性状及び古典的膠の製造方法改良に関する研究. 文化財保存修復学会第47回大会; 2025 / 宇高健太郎. 伊藤若冲作品の技法材料及び機構等に関する概説. 膠文化研究会第17回公開研究会「膠・滲・暈 -若冲から近代日本画まで-」; 2025 / 宇高健太郎 et al. 若冲の三大超絶技巧 *Jakuchu's 超絶技巧*, 二. 和楽 10・11 (No. 218) . pp.156-159; 2024 / 宇高健太郎, 平論一郎, 寺師太郎, 佐藤信博, 碓彩音, 間瀬康夫. 松煙煤及び膠を用いた近似墨液インクによる書画出力技術の開発. 文化財保存修復学会第46回大会; 2024 / 飯沼春子, 山田修, 宇高健太郎, 岡田靖, 李品誼, 朱若麟, 曹智健. 各分野の研究者と制作者の連携による仏像における古典彩色技法の解明 - 個人蔵「春日本地仏」修復および復元制作を通して-. 文化財保存修復学会第46回大会; 2024 / TERADA Torahiko, YAMAMOTO Ryuzo. *Experimental studies on colloid nature of Chinese black ink Part I*. Scientific Papers of the Institute of Physical and Chemical Research 23; 1934 / 宮坂和雄, 斉藤昌子, 有馬智加子, 片岡友子. 墨の粒子の定着状態と墨色に関する研究. 共立女子大学家政学部紀要 20; 1974 / 小口八郎. 墨の研究. 古文化財之科学 文化財保存修復学会誌 20・21; 1977 / Joseph R. Swider, Vincent A. Hackley, John Winter. *Characterization of Chinese Ink in Size and Surface*. Journal of Cultural Heritage 4; 2003 / Nam Tae-Gwang, Shin Soo-Jeong, Park, Won-Kyu, Kim Byung-Ro. *Analysis of Characterization on Ancient Ink Stick*. Journal of Conservation Science; 2012