

顏料與染料的科學研究工作坊 紀要

翁婉容整理

顏料與染料作為繪畫、織品等類型文物的著色材料，在相關的學術研究領域，如藝術史、文化史、科技史甚至是文物保存科學之中，向來占有一席之地。因此，為了增進國人認識此課題在人文及科學的跨領域研究上豐富的成果，國立故宮博物院於2019年11月26日，舉辦「顏料與染料的科學研究工作坊」，邀請來自法國、義大利以及國內數位學者發表專題演講，並藉由座談討論，促進東西方各領域專家之間的交流，以及專家與學生、社會大眾之間的串連。

文物，除了可以從人文學科的角度去欣賞，並追溯其背後的歷史脈絡外，透過日新月異的科學技術，我們獲賜「透視」的能力，能夠更全面地認識文物，更細緻地挖掘箇中奧秘。以推廣、交流文物科學研究經驗為宗旨，國立故宮博物院於2014年首次舉辦「文物科學檢測工作坊」。隨著國內文物科學研究成果的累積，會議模式轉向由不同的文物類型為主軸進行聚焦討論，續於2016年籌辦「文物科學檢測工作坊——金屬文物工藝技術與保存」。2018年與中央研究院歷史語言研究所攜手主辦「考古與歷史所見之玻璃——文化、經濟與藝術交流國際學術研討會」。去（2019）年，討論的主題由器物拓展到藝術品的重要材料——顏料與染料上，舉辦了「顏料與染料的科學研究工作坊」。（圖1）

本次工作坊共有七場專題演講，依序由法國博物館研究與修復中心（Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, C2RMF）研究部繪畫組組長 Anne-Solenn Le Hô 博士、



圖1 「2019顏料與染料的科學研究工作坊」海報 登錄保存處提供

國立故宮博物院登錄保存處副研究員陳東和博士、國立故宮博物院圖書文獻處副研



圖2 | 與會學者合照 登錄保存處提供

究員蔡承豪博士、義大利國家科學研究委員會化學科技研究所（Institute of Chemical Sciences and Technologies of National Research Council, CNR-SCITEC）研究員暨義大利佩魯賈大學 SMAArt 卓越中心（SMAArt Center of Excellence of University of Perugia）副研究員 Letizia Monico 博士、國立清華大學人類學研究所助理教授謝艾倫博士、國立臺灣大學凝態科學中心及中央研究院原子與分子科學研究所研究員王俊凱博士、國立清華大學歷史研究所副教授毛傳慧博士進行精彩的發表。（圖2）以下便以宏觀式的研究脈絡爬梳，及焦點式的文物科學研究案例分析為經緯，概述本次工作坊的演講內容。

從顏料與染料追尋過去的面貌：宏觀式研究脈絡爬梳

首先，筆者將內容屬於較長時段、多面向、或非專論某一個案例之演講，歸類與此並依序概述如下。另，蔡承豪博士之專文已刊載於《故宮文物月刊》第444期，而陳東和及毛傳慧博士二人亦將另行發表，因此本文僅擇要敘之。

Anne-Soleenn Le Hô 博士（圖3）以〈色彩與裝飾之實踐、轉變及交流——以藍色與綠色顏料為例〉為題，從藝術史、經濟史、文物科學分析等面向，探討十八世紀普魯士藍的應用、發展及其影響。在藝術材料尚未被大規模生產及市場化的十八世紀，「顏色」的領域成為人們大展身手的舞臺，發明、藝



圖3 | 法國博物館研究與修復中心 Anne-Soleenn Le Hô 博士 登錄保存處提供

術實驗、技術發展、甚至商業獲利等活動相繼登場——普魯士藍（Prussian Blue）便是一個很好的例子。普魯士藍可說是第一個現代人工製成的顏料，約於 1704～1707 年間由柏林的顏料製造者狄耶巴赫（Johann Jacob Diesbach），在企圖製作胭脂紅色澱時意外製成。1704～1723 年間，普魯士藍在德國生產後出口到歐洲，1724 年後其製作方法才流通到英國和法國。當時，普魯士藍的使用在極短的時間內變得相當普遍且受歡迎，其原因在於十八世紀已有許多種藍色顏料，如青金石（Lapis Lazuli，群青-ultramarine 之原料）、石青、花紺青或稱大青（smalt）、藍靛等，但大多稀少且昂貴，或有使用上不便、易褪色等缺點。相較之下，普魯士藍不僅具有耐油、耐水、耐酸、耐石灰等特性，而且易磨碎、遮蓋力佳、無毒、可混色。此外，價格便宜卻又有和青金石同等的呈色效果。上述種種優點使它在當時成為無可取代的藍色顏料。

在探討普魯士藍的使用變遷方面，Le Hô 博士透過可見光與紅外光攝影，以及光學顯微鏡、電子顯微鏡、X 光分析、紅外顯微光譜等科學檢測技術，穿透畫作的表層，以非破壞性的方式呈現畫作上使用普魯士藍的部分。藉由檢測分析結果發現，1720 年代以前的畫作只在底層構圖部分使用普魯士藍，表層大多依然使用群青上色；但在 1720～1730 年代期間，普魯士藍的使用漸漸開始普遍，譬如用於彩繪海洋。接著，到了 1730～1740 年代，普魯士藍已成為藍色顏料的首選，也被用作作品中畫龍點睛的角色。值得一提的是，當時的歐洲並不常使用綠色，而是隨著普魯士藍的發現，因其製備過程會產生綠色沉澱物的特性，人們將其和黃色顏料如那不

勒斯黃（Naples yellow）混成綠色，此後綠色才越來越常出現在西方繪畫中。最後，Le Hô 博士也簡短分享因亞洲漆器傳入歐洲而誕生的法國漆器，於其上檢測發現普魯士藍及其混成的綠色顏料之案例。

陳東和博士（圖 4）延續 Le Hô 博士的演講內容，發表〈東亞繪畫中的普魯士藍〉，藉由梳理日本與中國使用普魯士藍的畫作，探討普魯士藍是何時、如何由西方傳入東亞世界。此外，陳東和博士亦在郎世寧雍正時期畫作，以及國立臺灣博物館所藏之〈鄭成功畫像〉上，檢測發現普魯士藍的蹤跡，期望可作為研究普魯士藍於中國及臺灣之應用與發展的關鍵線索。

除了普魯士藍，在化學染劑出現以前，藍靛（indigo）亦因其優秀的染色持久力，而成為國際貿易市場上炙手可熱的商品。蔡承豪博士（圖 5）便以〈尋藍記——十七世紀東印度公



圖 4 | 國立故宮博物院登錄保存處 陳東和博士 登錄保存處提供

司在亞洲的藍靛探尋》為題，透過荷蘭東印度公司檔案等文獻的解讀，帶領我們關注到臺灣歷史上另一種不同的色彩。由於荷蘭國內紡織業的需求以及為求降低成本，荷蘭東印度公司（Vereenigde Oost-Indische Compagnie, VOC）於 1640 年代左右開始嘗試在臺灣經營藍靛種植，而這段藍靛夢追尋的歷史，既展現了十七世紀國際貿易體系下的臺灣，如何受到歐洲經濟市場的影響，亦使我們得以更全面地認識早期臺灣的產業發展。

毛傳慧博士（圖 6）則發表〈十九世紀「中國綠」的研究熱潮與中國傳統絲染技術〉，從法國第一任駐上海領事敏體呢（Charles de Montigny, 1805-1868）寄回巴黎的一大批中國織品樣本，激起十九世紀的歐美學界相繼對「綠膠」這個神祕的中國染料進行研究為引，藉由當時留下的研究與調查成果等法文史料，與中文相關文獻對照補充，重現這一段由顏

料的流動，帶給西方世界新的刺激與好奇心的歷史，同時，除了使我們認識綠膠的製作和使用技術，也更詳實地展現中國的傳統絲染技術，填補中文文獻在這一方面的不足。

顯微鏡頭下的顏料與染料：焦點式案例分析

此處「焦點式的文物科學研究案例分析」，係指演講內容大多聚焦於某作品案例，或某項特定研究成果，且研究方法著重於某一領域進行深入探討。接著，便將屬於此類之三場專題演講，依發表順序摘錄如下。

Letizia Monico 博士（圖 7）發表〈梵谷（Vincent van Gogh）與孟克（Edvard Munch）繪畫中導致黃色顏料變色之化學變化〉，以特定顏料發生化學變化（chemical alteration）的機制為何，以及又是哪些因素觸發其轉變為問題意識，期望能發展出解決或減輕畫作變色的



圖 5 | 國立故宮博物院圖書文獻處 蔡承豪博士 登錄保存處提供



圖 6 | 國立清華大學歷史研究所 毛傳慧博士 登錄保存處提供

策略，並改善畫作的長期保存方法。由於畫作的組成是異構（heterogeneous）、複合、且多層的，Monico 博士及其研究團隊使用大尺度的大範圍 X 光螢光分析及 X 光繞射分析、可見光高光譜成像，中尺度的非破壞性定點傅立葉轉換紅外光譜分析、拉曼光譜分析，小尺度的同步輻射 X 光分析、微型傅立葉轉換紅外光譜分析、微型拉曼光譜分析，甚至是奈米尺度的以掃描透射電子顯微鏡進行能量色散 X 光光譜分析等，從各種技術面向、結構層次、範圍尺度，全面地剖析畫作。

檢測的對象主要是藏於阿姆斯特丹的梵谷（1853-1890）〈向日葵〉中，變得暗沉的鉻黃（ $\text{PbCr}_{1-x}\text{S}_x\text{O}_4$ ），以及孟克（1863-1944）〈吶喊〉中變色的鎘黃（ $\text{CdS}/\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ ）。比對畫作中各區域的檢測分析結果後發現，導致孟克畫作中的鎘黃變化的原因在於，顏料中的硫酸

鎘存在硫酸鈉和其他水溶性氯化物，如氯化鉀、氯化鈉等。而在梵谷的〈向日葵〉上，檢測發現畫作中使用不同類型的鉻黃，如耐光的鉻酸鉛（ PbCrO_4 ）和光敏的 $\text{PbCr}_{0.5}\text{S}_{0.5}\text{O}_4$ ，它們彼此混合，也可能和其他顏料混合。因此暗沉的因素在於不耐光的 $\text{PbCr}_{0.5}\text{S}_{0.5}\text{O}_4$ 受到光源刺激後，鉻由五價變為三價。畫作中的顏料受環境影響產生的變化，使我們現在所見的畫作樣貌，與畫家完成作品之初所期許應有的樣貌有所差異。而我們的後代所看到的，或許又會是另一種樣態。即便我們無法將畫作還原，但還可以依據檢測分析的結果，嘗試減緩或停止其隨著歲月荏苒而光采不再。

謝艾倫博士（圖 8）發表〈殖民地的顏色——Boxer Codex 圖像顏料的非破壞性分析〉，以 Boxer Codex（或譯作《謨區查抄本》）中豐富的插畫為主要檢測分析對象，探討其所使用的顏料、來源，以及背後反映的馬尼拉殖民時期文化。歷史學家謨區查（Charles Ralph Boxer, 1904-2000）於 1947 年發現這份製作於 1590 年馬尼拉的手稿，其中共有九十五頁融合東西方藝術風格的插畫，描繪馬里亞納群島、菲律賓群島及其周邊東亞、東南亞等許多族群的人物圖像。有中文文字的插圖，可再細分為各階級的人、道教人物、真實與想像的動物三類。

針對插圖的顏料辨識，謝艾倫博士使用手持式 X 光螢光分析儀、光纖反射光譜儀進行檢測分析，同時搭配對插畫的圖像資料蒐集整理、文獻參照比對等，進行脈絡分析。根據檢測結果，藍色顏料有藍銅礦（石膏 -Azurite）——使用於貴族服裝，及藍靛（Indigo）——使用於平民服裝，在日本人的服裝上另可看到分層設色的畫法。綠色顏料



圖 7 義大利國家科學研究委員會化學與科技研究所、義大利佩魯賈大學 SMA Art 卓越中心 Letizia Monico 博士 登錄保存處提供

有孔雀石 (Malachite) 及由藍靛與黃色顏料調成的淺綠色。紅色顏料來源可能為紫膠蟲或胭脂蟲；紫色顏料中有一類與紅色顏料來源相同，另一類為藍靛加上紅色顏料；金色部分確實為金元素；黃、橙色部分未檢測出；填白處使用粉筆或蛤粉，塗改則使用鉛白。此外，朱砂及用於著色的鉛白僅出現在封面摺頁的圖畫中，此頁尚有用碳酸鈣稀釋石青以呈現各種色調的藍色海浪。透過解析插畫的周圍裝飾與主要圖像，謝艾倫博士在前人研究下進一步提出 *Boxer Codex* 的作者不只一人，可能包含福建人、西班牙人等，且這些圖畫原本可能分屬於不同作品，藉此考察馬尼拉殖民時期的物質和思想流動。然而，非侵入性科學檢測技術在分析有機顏料上的困難仍有待克服。

王俊凱博士 (圖 9) 將與陳東和博士等人

共同研究成果，以〈黃蘗染紙的光學分析〉為題進行發表。中國自唐代開始使用黃蘗染紙以防止蟲蛀，譬如在敦煌莫高窟發現的經文以及皇帝的畫像。而常見的黃色著色劑除了黃蘗，還有梔子花、槐花、薑黃和藤黃等，因此若能以不採樣為前提，將黃蘗染紙與其他黃色染紙進行區別，將有助於文物的保存修復工作。王俊凱博士等人將宣紙以前述五種黃色染料染色後，透過反射式螢光光譜分析使用弱光照射激發的特性，在不破壞被檢測物的同時，得到其分子特性，進而得出各自的螢光光譜特徵，建立分辨黃色染紙之重要資料庫。未來便可利用反射式螢光光譜技術，協助分辨古代紙張上的黃色顏料分布情形。此外，此檢測方法可透過更廣泛的資料蒐集分類，以及進階或純熟的技術使用而得到發展。



圖 8 | 國立清華大學人類學研究所 謝艾倫博士 登錄保存處提供

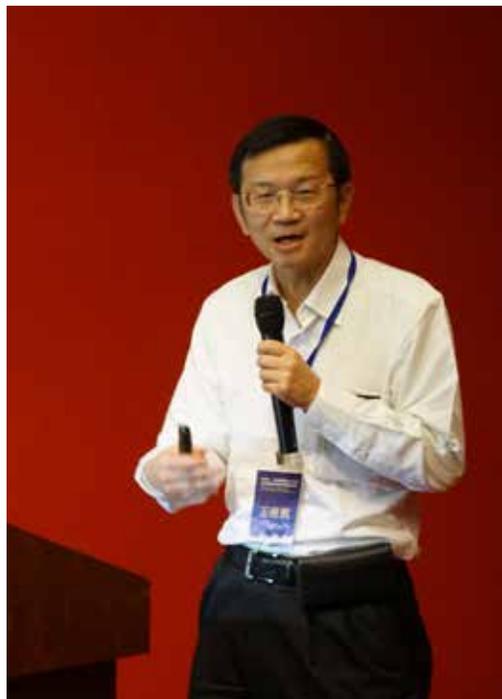


圖 9 | 國立臺灣大學凝態科學中心、中央研究院原子與分子科學研究所 王俊凱博士 登錄保存處提供



圖 10 | 參加民眾於綜合座談時間提問與講者對談 登錄保存處提供



圖 11 | 國立故宮博物院書畫修復室洪順興副研究員提問 登錄保存處提供



圖 12 | 講者回覆提問 登錄保存處提供

綜合座談：打破空間距離與專業界線的交流

工作坊尾聲由國立故宮博物院登錄保存處處長岩素芬博士、副研究員陳東和博士，偕所有發表人就演講內容與在場與會者進行討論（圖 10 ~ 12），譬如 Letizia Monico 博士對於其研究成果在現況或未來，是否能達到讓畫作還原成最初的樣貌一問之回應，便提醒我們：身為博物館人員，當我們愈來愈「了解」文物真實面貌之時，這些知識與技術應當用於如何更好地保存它們，而非改變其樣貌，逕自對其進行「再創作」。此外，與會學者亦期待東亞繪畫中普魯士藍的檢測與研究能有更進一步的成果、Boxer Codex 的研究能拓展到用紙材質分析，並展望黃蘗染紙的光學分析成果在未來的應用等。

本工作坊涵蓋藝術史、經濟史、文化史與科學研究等面向，講者各自發揮所長，為我們帶來場場精彩發表的同時，難得齊聚於此的國內外專家學者，亦藉此分享彼此的研究經驗，促進歐亞間的跨領域交流。最後，期望透過本次工作坊，國內的顏料與染料相關研究能夠更加充實且豐富，並拓展文物科學研究在各領域之應用與深化。

整理者為本院登錄保存處研究助理