

想像中的虛擬殿堂 ——臺博館3D掃描 歷程與運用分享

A Virtual Palace in Imagination: 3D Scanning and Application Project of National Taiwan Museum

呂錦瀚 國立臺灣博物館教育推廣組

Lu, Chin-Han Education Department, National Taiwan Museum

為了未來做保存

博物館是社會化的產物，百年來發展出嚴謹的研究、典藏、展示及教育等重要功能，給予社會一種信賴及專業感。當今國內外博物館已不再單純被視為典藏及展示文物的場域，許多富有特殊風格、歷史意義，以及具文化資產身份的建築本體，亦被視為博物館的典藏及展示品，同時也乘載著人民對城市的集體記憶。

難以預料的是，人為及自然的風險依舊存在於每個細節裡。2018年巴西國家博物館及2019年法國巴黎聖母院大火，造成建築本體及典藏文物嚴重損毀，是人類文化資產的重大損失。聖母院於後續重建過程中，除了涉及經費、時間、重建技術等議題，藝術史學家塔隆(Andrew Tallon)生前所建立的聖母院3D掃描點雲數據，在未來修復的歷程，可能提供了重要的線索，在其50站的雷射掃描資料裡，詳實的記錄聖母院燒毀前的結構與尺寸，並且誤差值不超過5mm，不僅成為此次建築復原重建的重要參考依據，也讓學者及民眾認知建置古蹟資料庫的重要性。另外，法商UBisoft開發的系列遊戲：「刺客教條」中的「大革命」，遊戲內精心建置的聖母院3D建築模型，不僅造成了一時的話題，亦有機會成為重建的參考依據之一。

我們可以從聖母院因人為災損的經歷中反思，身處天然災害高風險區域的臺灣，是否更應提高對於文化資產危機處理的意識，以及應正視重要文化資產的歷史記載和圖像考究。

國立臺灣博物館(以下簡稱臺博館)自日本時代設立至今，擁有豐富的人類學、地質學、動物學及植物學等共11萬餘件藏品；2005年起啟動「臺灣博物館系統計畫」，也陸續修復日本勸業銀行臺北支店、專賣局臺北南門工場為土銀展示館、南門園區，以及修復中的鐵道部，皆擁有國定古蹟或市定古蹟的文資價值，可說包容了臺灣最為精華的自然史典藏及文化資產。

因體認臺博系統各館舍為國內重要文化資產，再加以前述國外文化資產毀損的前車之鑑，臺博館在博物館界中率先展開建築內外的3D掃描及建模作業，期能完整保存臺灣重要文化資產的建築空間及結構紀錄，以利進一步—雖然希望永不發生—為未來各種可能發生的風險，進行重要參據的準備。

本文即探討和分享臺博館自2016年所開啟的3D掃描及建模計畫案例，說明由3D掃描技術層面，以及就臺博館對於典藏文物與建築空間所進行的計畫內容與加值應用經驗進行分享。

從平面到三維的想像

數位時代發展至今，幾乎人手一臺數位相機，即便沒有相機，至少會用口袋裡的手機隨手記錄生活的點滴，而這些產出的相片檔案，如果放大來看，可以發現是由一格格「像素」(pixel)所組成的畫面，這些基礎方格所構成的數位圖像，便是我們日常生活中經常接觸的數位檔案之一。而3D掃描(Three-Dimensional Scanning)又稱立體掃描，是透過接觸式掃描儀器或非接觸式掃描儀器對物物的表面起伏進行量測並逐一將量測結果記錄在電腦中，最後獲得該文物在量測時間點下之數位化的立體模型，透過特定的電腦軟體可以對3D模型進行觀察、量測與修改等作業(蔡育林等2015)。

所以我們可以這樣比喻，3D掃描儀就像另一種取樣量測的照相機，記錄物體的三維資訊，以掃描儀為中心座標，利用雷射或光學的方式，運算掃描

儀到物體的距離，這些距離的差異構成一個三維立體圖，就是所謂點雲(Point cloud)資料。當使用特定的軟體閱讀點雲資料時，會發現檔案由「點」構成，其中每一點都包含了三維座標與色彩資訊，點雲的密度越高，代表該模型的資料越豐富，越能完整呈現該物體的特徵跟資訊，對於後續3D模型的製作亦能提供完整的建模幫助(圖1)。

3D掃描用途繁多，除本文論述的文物典藏及古蹟掃描，亦可用於工業設計、工程測量、逆向工程、醫學、電影素材、遊戲製作等用途。目前常用的3D掃描方式有雷射掃描(Laser scanning)、結構光掃描(Structured light)，以及攝影測量(Photogrammetry)等方式。各類3D掃描儀依照其原理與儀器設計會有不同的解析度、精準度、掃描速度與限制性，且文物種類與材質十分複雜，故同一臺掃描設備並不能完全適用於掃描任何文物(張舜孔等2013)。因此，在進行掃描作業前，使用者應思考掃描用途、時間及人力成本，根據掃描物件的大小、材質特性及後續利用等，選擇最適切的掃描方式。

博物館裡的3D掃描

有賴於光學技術的進步及電腦硬體效能的提升，掃描儀器的市場更加活絡及多樣化，門檻及成本更易親近。同時間，開始思考「新經驗」及「新方法」的博物館，在展示及教育活動中大量運用科技及互動展示，文物及建築的3D掃描亦是現今文化部及

各博物館的重要政策，除了作為博物館典藏、研究使用，也增添展覽及教育活動的新體驗及趣味性。

從典藏研究的觀點來看，相較於過往以2D平面影像紀錄為主的保存方式，3D掃描能詳實的記錄物體的表面起伏、立體資訊及紋理材質，研究者利用3D檔案，可以在不接觸文物、減少移動及損害風險下，直接使用數位檔案進行觀看及量測，甚至可進一步使用虛擬修復的方式重建文物遺失的資訊。

3D數位資料也可以由共享的角度出發，民眾可以直接由數位保存的平臺觀看3D掃描檔案的成果，同時也是資訊的共享與展示，目前國內博物館陸續針對館藏品3D建模建置資料庫，例如國立臺灣史前文化博物館所建置的考古文物3D資料庫¹，內容及功能性相當完整，使觀者不需安裝任何軟體，可直接使用網頁或手機預覽，自由於該平臺觀看文字資訊、3D模型或量測等，臺博館近年亦針對各研究學門建置代表性典藏品的3D資料庫²。



圖1 臺博館大廳點雲資料圖

¹ <http://3d.nmp.gov.tw/>

² https://www.ntm.gov.tw/collection3d_293.html

另一方面，文化部為推動文化科技共享，成立了臺灣數位模型庫³，提供具臺灣特色的數位模型，以及文化資產的點雲資料供民眾檢索，並且對外開放授權使用，使用者可以依照需求，用於電影工業、遊戲產業的3D 場景搭設及加值應用。

從微觀到巨觀——臺博館的3D 掃描歷程

雙手捧起的小儒艮

2016年起，臺博館開始嘗試進行3D 掃描及建模計畫，初期以文創應用角度出發，與臺灣創意經濟產業發展協進會簽訂合作協議，由該會進行3D 掃描及建模，雙方共同行銷、推廣，希望以建立3D 模型檔案公開檢索及文創應用平臺為首要目標。過程中選擇具文創開發可能性的銅牛、動植物學門代表標本為掃描物件進行嘗試，並於該年館慶，以3D 列印技術製作館藏儒艮標本，贈與當年捐贈儒艮標本的澎湖漁民(圖2)。雖然該年由於技術、設備、時間尚未到位，以及館藏物件選擇的限制等因素，掃描成果與研究人員預期尚有落差，但也提供館內人員在後續規劃上的經驗參考，對於3D 技術使用應從應用端需求、經費及時間考量作全盤性的思考。

種子美術館

2017年，於臺博館二樓迴廊展出的「種子美術館特展」，是臺博館植物學門研究人員以掃描式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope, SEM)，將大小約一公釐到一公分的蔬果種子進行3D 建模作業，再運用3D 列印方式，將種子模型列印成人眼可見的大小進行展出。

將微觀的科技影像轉化成便於觀看的型態，研究者及民眾即可用肉眼就近觀察種子的外觀及特徵，

同時結合AR 互動裝置，將種子的建模資料呈現在平板上，轉成風格多變的藝術創作，亦結合文創品運用，將展場可見的果實與種子，設計成溫暖又可愛的抱枕產品(圖3)。

從兩臺蒸汽老火車頭開始——研究、應用相輔的文物掃描

2017年著眼於鐵道部園區已進入開籌備階段，以及未來擬爭取指定騰雲號為國寶，臺博館進而展開「騰雲號蒸汽火車頭調查研究案」計畫，並以重要人類學典藏——「騰雲號」及「臺鐵九號」兩輛老火車頭為掃描對象，希能產出符合數位典藏等級之原始掃描點雲資料，並依未來可能使用方式，如原尺寸複製、動畫製作、AR/VR 等運用方式，產出合乎需求之3D 模型檔案。

本次掃描作業主要使用基站式雷射掃描儀執行，其重點掃描部位，如駕駛艙、鐵軌、銘板、重點構件及零件號碼，輔以手持式雷射掃描儀蒐集資料，由於兩輛火車頭為量體較大之文物，為求點雲資料量完整性，全案共執行高、中、低等70個掃描站位點(圖4)。其中，因作業空間為半室外展示空間，容易因天氣光影變化影響掃描成果，騰雲號本身

過黑的漆料及反光的折角處，也容易造成雷射資料不易擷取；再者，騰雲號因過往修復過程中使用不同塗料因素，導致點雲資料多有破損缺漏之情形，使用手持式掃描儀已不敷應對該情形。為此，特請文化部文化資產局文化資產保存研究中心技術諮詢，提供了海克斯康關節臂測量機配備，以補足點雲資料量不足的情形。

本次掃描工作為兩輛火車頭留下完整的點雲現況資料與3D 建模檔案，前述調查研究案也發現，現在



圖2 儒艮的3D 列印模型



圖3 種子美術館特展的文創商品，左為果實午安枕，右為種子午安枕(黃冠龍 攝影)



圖4 騰雲號3D 掃描作業情形



圖5 使用3D 建模方式復原1924年騰雲號樣貌

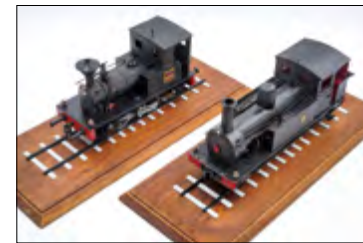


圖6 騰雲號及臺鐵九號3D 列印火車頭模型成品

的騰雲號樣貌在1999年鐵路局修復後，在緩衝器、銘版樣式、塗裝顏色及諸多結構多有差異。故此，本次也針對騰雲號在歷年修復的差異，邀請鐵道文史專家選擇進行多次比對及考究，最後選擇以1924年的火車頭樣式，進行3D 數位重建工作，不僅提供給研究者在後續研究上的參考，也顯示出數位檔案在研究輔助上的彈性(圖5)。此計畫為臺博館首次完整的3D 掃描案，也依兩輛火車頭現況列印製作1:24 比例之模型，作為未來3D 列印文物的參考(圖6)。

建築即是臺博館最重要的典藏——場域掃描

2018年，配合文化部「臺灣行卷——博物館示範計畫」，啟動建築物3D 掃描計畫，針對臺博館本館及土銀展示館室內及室外，進行全面性

的3D 掃描及建模作業，可說是近年臺博館第一次針對場域進行大規模的3D 掃描工程，除希望能記錄及保存古蹟資料外，同時也規劃未來於文化部「臺灣數位模型資料庫」開放授權，以利文化傳播及文化產業應用。

本次掃描範圍包含建築室內及室外本體，並且針對建築重點部位進行精細掃描，例如臺博館南北立面山牆雕飾、鑲嵌玻璃、燈座、牛眼窗、石膏柱頭裝飾、迴廊鑿井等區域，掃描方式則依據建築區域、結構及裝飾材質特性，綜合運用雷射基站式與手持掃描、空拍及攝影建模等技術，兩館總共執行346基站位的掃描(本館175站、土銀171站)，並要求重點掃描區域平均點距需達2-3mm，整體平均掃描點距達5mm，希望產出穩定良好的掃描品質(圖7、圖8)。

在執行場域掃描期間，發現容易因建築結構、氣候影響、光影變化及人為因素等增加掃描限制及難度，需要在事前於現場多次評估，選定不同的儀器及配合特定的時間和天氣。舉例來說，由於兩館室內大廳高度較高，多數高處石膏裝飾需要在掃描儀上加裝延伸桿進行掃描。其中，本館挑高的穹頂空間匯集了該建築裝飾的精華與焦點，但大廳自樓地板到彩色鑲嵌玻璃約有15公尺，又



圖7 臺博館大廳點雲資料

³ <https://tda1.culture.tw/>

無法承擔飛行無人機的風險，為避免掃描死角，採用搭設移動式工作站，將掃描儀加設於鷹架上進行拍攝(圖9)。

另一方面，建築外觀包含羅馬式圓頂及屋頂結構，或是受公園植物遮蔽部分，需採無人空拍機進行資料蒐集，另由於兩館座落博愛特區，屬於空拍限航區域，除需向交通部民用航空局及總統府侍衛室提出申請及協調，也需考慮天候及風速，方能進行拍攝。人為干擾方面，博物館為開放空間，為使人為影響降至最低，選擇每週一的休館日及每日5點後閉館時間進行掃描，在土銀人潮來往較多的廊道，也需採用分段封閉，使掃描作業順利進行。

現場掃描資料蒐集完畢，後續的3D點雲資料編修及3D建模作業亦是繁複耗時的作業流程。首先，需將各掃描儀器資料進行套疊、去除多餘雜點，確認掃描精度及掃描檔案完整性，例如掃描死角、玻璃材質、過黑材質及其他反光面，皆會造成資料的不完整，處理人員必須逐一檢視資料不足之處，以備下次作業進行適時補掃。當主體點雲資料編修完畢後，後續則開始進行建築物的3D建模作業，越完整的點雲資料，越可以提供更精確的建模參考。根據點雲資料為基礎轉成三角網格模型，透過人工修模、網格佈線、降面處理，再依照後續利用方式，轉成高精緻模型或低精緻模型(圖10)。

為了解3D檔案後續利用的可行性，本次場域掃描也製作了建築VR體驗軟體試作，並於本館111週年館慶暨518國際博物館日搶先予民眾體驗(圖

11、12)。在5分鐘的體驗內，民眾可使用操作手把，從本館外觀移動至大廳，亦可使用剖面效果認識建築結構，在設定的關卡中點開解說牌，在看似真實卻又虛擬的世界裡認識臺博館，脫下眼罩後又



圖9 採用移動式工作站進行臺博館大廳掃描



圖10 3D建模流程



圖8 土銀展示館建築外觀點雲資料



圖11 臺博館大廳3D建模成果



圖12 觀眾自VR體驗中所見的臺博館建築剖面影像

回到真實的世界，此形態之互動裝置，後續可與相關教育、導覽活動搭配使用(圖13)。

3D掃描了之後？

今年518博物館日以「博物館作為文化樞紐：傳統的未來(Museums as Cultural Hubs: The Future of Tradition)」為主題，期待博物館成為文化與知識的聚集中心，透過影像傳播、科技互動、創新服務，拉近與觀者的距離，讓博物館不再只是單方傳遞知識的守舊場域。因此，使用文化科技載體處理博物館各個面向，是要從什麼時候開始？如何開始？應該是每座博物館應該認真思考的問題。

本文嘗試回顧臺博館從2016年開始的3D掃描歷程，從微小的顯微3D到大型的建築掃描，都在博物館各組室的專業分工下逐一嘗試進行，使用3D掃描已不再是陌生的名詞，以下歸納出一些現象及自省：



圖13 館慶暨博物館日活動「透視臺博館」民眾體驗建築VR情形

應於執行前確立應用端實際需求

當3D掃描成為博物館重要的執行政策時，應考量實際運用端的需求，博物館裡各學門及組室性質的不同，將影響承辦作業的方式及產出檔案內容，承辦方應將需求呈現於標案的契約規定中，以避免造成不敷承辦單位使用的結果。

是否有長遠的後續規劃

現行臺博館3D作業執行大多運用招標委外的方式，評選合適的廠商進行作業，其中各廠商履約能力及產出品質不同，館內亦無3D掃描技術的專業人員，因此對於3D技術的理解不一，容易造成研究人員認知及實際運用層面的差異。博物館應思考是否有更完整的規劃及經費考量，後續更能從相關硬體及人員知識進行增能及應用。

3D掃描一直都是進行式，未來在軟體、技術及硬體設備日漸成熟下，會提供博物館更多可行性及想像的空間，希望3D掃描技術這類從平面到三維立體的視覺新體驗，可逐漸成為博物館從典藏研究到展示教育的選項之一，也能持續為文化資產研究提供重要的數據參考，一起為了未來做保存，為博物館未來製造更多元的互動體驗，為民眾帶來更深刻的博物館參觀經驗。

參考文獻
張舜孔(2013)。3D掃描技術應用於文化資產之適用性討論。文化資產保存學刊，26：63-78。
蔡育林(2015)。立體掃描在文物保存研究之應用初探。文化資產保存學刊，37：7-21。