

近景攝影測量技術於考古遺物 3D 建模的應用與展望



國寶蟠螭紋鑑 3D 建模成品

李怡萱 陳佳翎 呂雅婷

中央研究院歷史語言研究所

古今論衡 第 36 期 2021.6

一、前言

「考古資料數位典藏創新計畫」（以下簡稱「本計畫」）3D 模型建置需求始於歷史文物陳列館二〇一六年「縈青繚白——安陽隋唐墓瓷器特展」^①，為增加觀展的品質和友善度，委託外包廠商以 Pix4Dmapper 軟體建置瓷器的 3D 模型，獲得廣大迴響。同年度與本院數位文化中心合作「考古遺物 3D 建模」一案，挑選本所考古遺物精品製作 3D 模型推廣本所考古研究成果，以互動式的瀏覽，加深民衆對於考古學、考古遺物與古代歷史之認識。

目前可知建立器物的 3D 模型，可用 3D 掃描儀對文物進行掃描^②，或利用近景攝影測量（Close-range Photogrammetry）技術來建置，若想要進一步建立考古遺物的內部結構，就必須利用電腦斷層掃描技術。相較於高精度掃描儀的維護成本，本計畫選擇整體成本較為低廉、且較熟稔易上手的近景攝影測量技術建置考古遺物的 3D 模型。利用此技術完成的文物 3D 建模成本低、擬真度高，而模型可在線上展示，沒有時間、空間的限制，更能讓觀眾多角度欣賞文物。若能運用得宜，或許會是新的教育、推廣方式，讓更多觀眾了解考古遺物，以及其豐富蘊含的歷史資訊。自二〇一六年迄今已建置逾六十件並展示於成果網站「3D 考古文物櫥窗」（http://archeodata.sinica.edu.tw/1_2/3DAA/），包含歷史文物陳列館於二〇一八年^③、二〇一九年^④主辦特展，以及與德國日耳曼國家博物館於二〇二〇年^⑤合作展出之文物。透過重要古物及國寶等級的考古遺物 3D 模型建置，為二〇二〇年至今受新冠肺炎影響的後疫情時代，提供更豐富的線上閱覽視角。

本文先簡介如何利用近景攝影測量技術製作 3D 模型，並以本計畫至今建置的成果為例，列舉影響建模成敗的各種因素。本計畫對於建模成功的標準，為考古遺物的 3D 模型外觀完整、無任何非遺物本身之結構，且主要紋飾、特徵均可辨識的狀態。若 3D 模型破洞、變形，與遺物實際狀態相異，即為建模失敗。

二、製作 3D 模型的步驟與要點

- ① 歷史文物陳列館於二〇一六年十月二十九日至二〇一八年五月三十日展出之安陽小屯隋唐墓地之陶瓷器珍品。
- ② 包含地載光達、雷射掃描儀、結構光掃描儀、顯微 3D 等技術。
- ③ 特展「島嶼群相——臺灣考古展覽」（<http://museum.sinica.edu.tw/exhibitions/57/>）於二〇一八年六月二十七日起展出臺灣考古出土文物。
- ④ 特展「東周實相——河南出土東周文物展」（<http://museum.sinica.edu.tw/exhibitions/60/>）於二〇一九年五月十五日起展出東周時代的出土器物。
- ⑤ 特展「此命當何——歐亞的卜術、數術與神術（Signs of the Future : Divination in East Asia and Europe）」（<https://signs-of-the-future.gnm.de/signs>），歷史語言研究所共受邀參展 8 件文物，原訂於二〇二〇年十二月三日開展，受新冠肺炎疫情影響，建置 2 件展品供線上展示。

（一）近景攝影測量技術簡介

近景攝影測量技術是以相機拍攝目標物的多角度影像，透過影像匹配等步驟來建立模型（Modeling）。將多張影像進行影像匹配產生器物點雲（Point Clouds），再由點與點組成不規則三角網（Triangulated Irregular Network, TIN），最後貼上目標物的紋理（Texture），來完成 3D 模型。目前市面上有多款軟體都是以此原理建置 3D 模型，常見如 Agisoft Metashape、Pix4Dmapper 等。惟透過近景攝影測量技術建置的 3D 模型，模型的顏色或細節都可能因器物特性及拍攝環境導致失真，在優化拍攝影像之餘，欲讓模型更接近實物，需要透過展示介面優化光源及視覺效果，或另尋專門編修模型的軟體來後製。

（二）製作步驟與要點

1. 拍攝

利用近景攝影測量技術來建置 3D 模型，是透過相機拍攝器物之各種角度影像，經解算獲得器物特徵在不同影像中的位置，重建物體輪廓在物空間的相對座標，請參考圖 1。而拍攝的影像則參照傳統攝影測量在空拍影像的經驗，影像重疊率需達 60-80%，以獲得較好的影像匹配成果，如圖 2 所示。

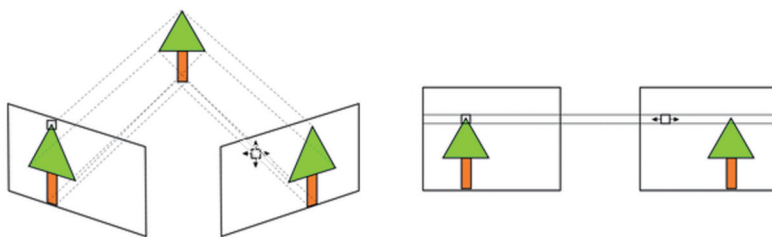


圖 1：拍攝示意圖（引自：“Stereo Matching: From the Basis to Neuromorphic Engineering,”
<http://www.intechopen.com/books/current-advancements-in-stereo-vision/stereo-matching-from-the-basis-to-neuromorphic-engineering>）



圖 2：影像重疊率示意圖（引自：“How to set up a successful photogrammetry project,”
<https://blog.sketchfab.com/how-to-set-up-a-successful-photogrammetry-project/>）

然而影像的解析度直接影響 3D 模型成品的精緻度，因此在攝影器材選用上，至少需使用 500 萬畫素以上的手機或相機，其成像品質才足以成功建模。若是選用數位單眼相機，建議搭配 50mm 或更短焦距的定焦鏡頭，但不建議使用短焦或超短焦的廣角或魚眼鏡頭，以避免物體邊緣變形過於嚴重，影響建模成果之正確性。

最佳的拍攝環境是光源充足而均勻，器物周邊無陰影，如戶外無風的陰天，或是室內有 360 度漫射照明的環境。拍攝時亦能視情況利用腳架、轉盤、偏光鏡等輔助工具，以取得更適宜建模的數位影像。使用腳架固定相機可減少手持拍攝時的畫面晃動，以取得更清晰的影像。使用轉盤可以保持光源的一致，若身處狹小空間，也能藉由轉盤拍攝到目標物 360 度的影像。偏光鏡則能消除物體的反光，適用於非金屬物的目標物。

本計畫使用 Sony SLT-A77V 相機、iPhone6 與 iPhone6s 手機拍攝。拍攝時以目標物為軸心環繞拍攝，為兼顧效率與影像品質。以目標物為中心的仰俯多角度環繞物體一周拍攝如圖 3 所示，由此圖可見目標物被相機環繞，而相機在不同的仰角水平移動並連續拍攝。為取得器物背面或底部的資訊，亦需要將器物反轉以同樣的方式環繞拍攝，最後再針對特徵點或細部紋飾加強拍攝。本計畫執行時，每件考古遺物的拍攝時間約一到兩個小時，但若影像品質不佳導致匹配失敗，就會需要重新拍攝。

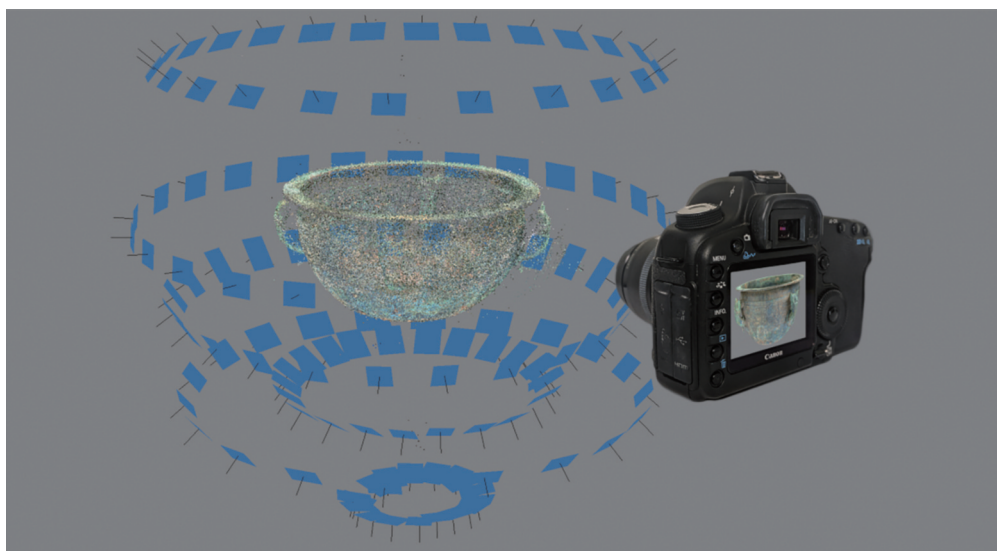


圖 3：蟠螭紋鑑拍攝影像匯入電腦軟體（Agisoft Metashape）的示意圖，圖中藍色方格狀的物體即為影像，中央貌似器物的密集點雲即是 3D 模型初始型態。

2. 挑選影像，產生點雲

由前述獲得之影像進行篩選，將模糊、變形或失真之影像剔除後匯入軟體中。首先透過軟體影像在物空間中之相對方位，影像相對關係建立後，藉由多張影像萃取出特徵點形成點雲。由於影像中除了目標器物外，仍有其他背景或支撐物亦同時被納

入特徵點之中，因此需手動清除目標物之外的雜點以增加後續建模的正確性，如圖 4 所示。部分軟體也可在篩選影像後，利用遮罩來遮蔽影像中目標物以外的前景或背景，再進行影像匹配，但匹配結果會受特徵減少的影响失真。

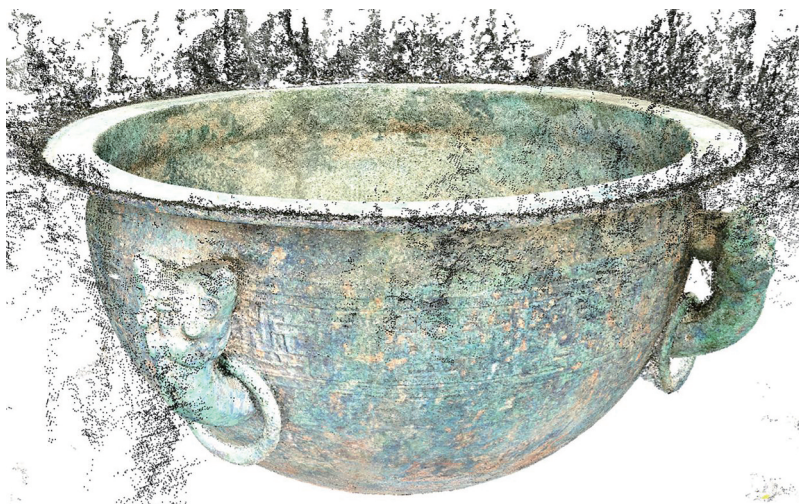


圖 4：蟠螭紋鑑產生之密集點雲。

圖中可看出本階段產出之點雲除了目標器物外，仍有背景或雜訊需手動剔除。

3. 產生不規則三角網

由點雲連結成的不規則三角網示意圖如圖 5。在此階段，需檢查目標物之模型是否有破損或與原件不符的結構，例如：原平坦表面有不規則之起伏。若有類似情況，必須回到點雲狀態重新編修不必要之雜點，或重選影像產製新的點雲；模型若嚴重變形，亦可能需要回到步驟 1，拍攝另一組相片重新建置。

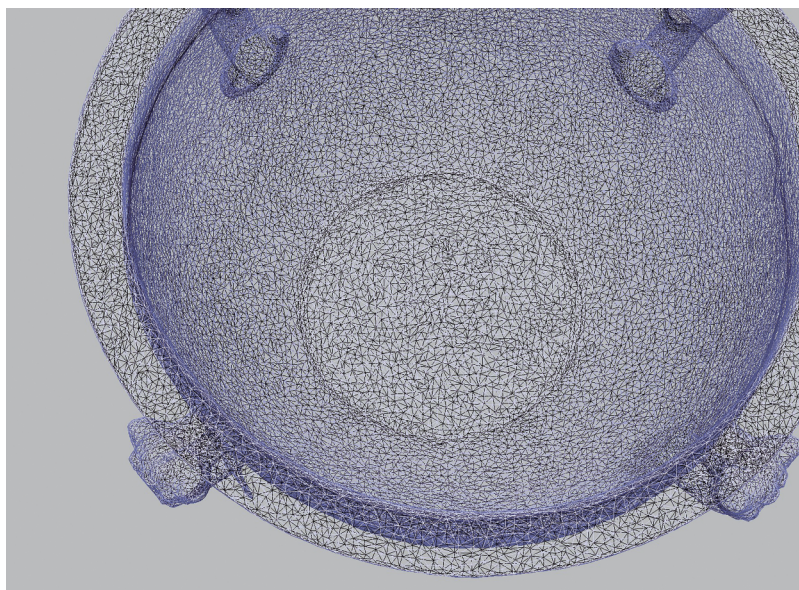


圖 5：蟠螭紋鑑三角網階段

4. 貼上紋理，完成 3D 建模

經點雲產製密集且正確的不規則三角網，貼上由多組相片獲得的器物紋理，即完成 3D 建模，如圖 6 所示。本階段選用的紋理資訊實則是所有影像平均後的結果，其中若有任何器物的部分受光源或器物材質影響產生之陰影、反光等失真狀況時，會直接影響最終模型紋理貼圖之正確性，因此部分軟體的遮罩功能在此步驟扮演重要角色，此階段可透過手動設定遮罩的功能，逐張影像遮蔽失真之紋理，提升模型表面色彩的正確度。



圖 6：蟠螭紋鑑 3D 建模成品。透過 300 餘張影像逐一手動設定遮罩產製的紋理貼圖成果。

綜合上述 3D 建模步驟可知，器物本身的複雜程度，直接影響所需之編修、建模時間。依目前案件處理經驗，欲成功產製一件中小型文物之 3D 模型，從拍攝到建模，以一人之力，平均耗費一到五個工作天不等。

（三）影響建模成敗之因素

透過近景攝影測量建置 3D 模型的方式，原始素材均取自於拍攝之影像，影響建模成果的因素，除了後製軟體使用的數學演算方法、製作模型人員的經驗與技術之外，便取決於選件與攝影。挑選的物件形制、紋理、顏色與尺寸，都會影響拍攝的成果，若是堅硬、無光澤、有紋理的物體，如石頭、樹幹、雕像等，建模的成功率最高。攝影當下，包括使用之相機、環境光源、拍照位置、拍照人員技術等，也都是需要注意的環節，方能取得清晰、物體顏色一致、自然反光與避免陰影之影像，以提升建模的品質與成功率。

三、結果與分析

二〇一六至二〇二一年五月，由本計畫同仁及歷史文物陳列館展覽安排需求挑選考古遺物精品進行 3D 建模，共拍攝 116 件典藏文物。其中包含外包廠商嘗試拍照並使用 Pix4Dmapper 的電腦軟體來建置模型的 38 件遺物，最終完成 11 件 3D 模型，成功率約為 29%，請參考表 1。

表 1：本計畫 3D 建模之件數統計（2016 年 10 月至 2021 年 5 月）

建置單位	建置期間	建模成功	建模失敗	成功率
廠商	2016 年 10~12 月	11	27	29%
本計畫	2016~2021 年 5 月	64	14	82%
總計		75	41	65%

廠商嘗試建模的 38 件文物，分別為青銅器 13 件、瓷器 9 件、獸骨／龜甲 8 件、大理石 4 件、陶器 4 件。經事前評估並搭配展覽需求，已盡量排除容易反光之玉器、玻璃器等材質，或許因為如此，完成的 11 件 3D 模型並未特別集中在某一種材質上，分別為青銅器的右方彝、頭盔；瓷器的燭臺、圓形器、瓷盒、凸型器、碗及鏟斗；大理石材質的石虎首、石立梟；陶器的白陶雲雷紋帶蓋罐，可參考圖 7。由成果歸納，成功建模的文物共通特色，均是在紋飾、顏色或形狀上提供多個特徵點，少有凹陷、極度容易反光等不易拍攝清晰影像的狀況。



圖 7：廠商成功建模的文物，由左至右依序為右方彝、頭盔、燭臺、圓形器、瓷盒、凸型器、碗、鏟斗、石虎首、石立梟及白陶雲雷紋帶蓋罐。

本計畫彙整影響 3D 建模成功率的要素有三：製作時間、建模軟體選擇、文物特性。一般狀況從拍攝到完成模型，以一人之力約需一到五個工作天，亦可能針對建模狀況不理想的文物，需反覆重拍及重新建模。

除時間的因素，軟體似乎也影響建模成功率。本計畫自二〇一六年至二〇二一年五月間利用他款建模軟體 Agisoft Metashape（原名：Agisoft Photoscan）嘗試製作 78 件文物的 3D 模型，成功 64 件，成功率約為 82%，其中 10 件為廠商回報無法建模之文物。故本計畫推測在文物建模上，Agisoft Metashape 或許有較大的優勢。但影響建模成敗的還有人員技術、製作策略等，故這兩套軟體的評比，尚待進一步研究。

最後，以下篇幅集中討論文物特性，乃因不論選擇何款軟體，若能更掌握考古遺物的特性，不僅能作為未來選件的參考，拍攝時也更能注意要點，對於提升建模的品質與成功率，都有所助益。

（一）形制

1. 目標物過深，內部建置不易

圖 8 為鑲嵌綠松石虎首韜頭飾，是直筒管狀物，全長 14.8 公分，光線不易照射到器物內部，從圖 8（左）可見內壁被陰影壟罩，缺乏細節。這種情況下，建模軟體一般會以擷取外側紋飾，反向貼在內壁的方式，彌補此一不足，如圖 8（中）的 3D 模型所示，器物內壁清晰的眼睛與牙齒，便是擷取圖 8（右）所示的外部正面資訊而來。如此模型雖然外觀完整沒有破洞，但內裡卻非文物本身真實的呈現，有誤導觀眾之虞。



圖 8：鑲嵌綠松石虎首韜頭飾。左圖為建模選用影像；中圖為 3D 模型成果（角度略有不同）；右圖為鑲嵌綠松石虎首韜頭飾正面影像。

同為青銅器，有深度的器物如圖 9 鳥尊，高度 13.8 公分，由自然光及補光板的攝影環境拍攝的器物內部樣貌，透過軟體的遮罩功能取用每張影像中符合現況的區域進行紋理擷取，完整呈現器物內部的真實狀態（http://archeodata.sinica.edu.tw/1_2/3DAA/object.php?item=58&）。



圖 9：鳥尊。左圖為建模選用影像；中圖為 3D 模型建置鳥尊內部的成果；右圖為鳥尊 3D 模型成果（角度略有不同）。

2. 文物凹陷建置不易

此外，縱使拍攝時無陰影影響，但軟體仍可能無法精確獲得建模所需的資訊，如從影像判斷器物凹陷處的深度。因此，器物表面凹凸較淺的紋飾可能會被省略，建置出的模型紋飾會過淺或消失不清。若是甲骨鑽鑿等顏色較深的器物凹陷處，也可能因為軟體無法從影像判斷深度，而使建置的模型產生錯誤。

以帶填硃卜辭龜腹甲為例，廠商雖未建置成功，本計畫二〇一七年初試作失敗，原因是此片甲骨背面有深色的燒灼鑿痕，模型在正反重組時，便可能發生背面的鑿痕過深，穿透到正面造成破洞的狀況，如圖 10（右）、圖 11（右）打紅圈處所示的情況。透過重選正反模型重組之控制點，本計畫透過增強模型厚度資訊於同年度末順利建置完成（http://archeodata.sinica.edu.tw/1_2/3DAA/object.php?item=14&）。

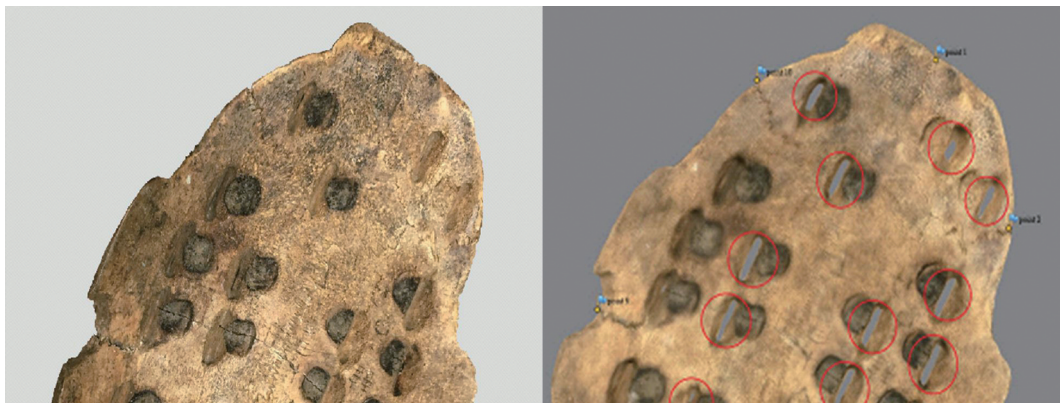


圖 10：帶填硃卜辭龜腹甲背面。左圖為建模選用影像；右圖為 3D 模型（角度略有不同）。



圖 11：帶填硃卜辭龜腹甲正面。左圖為建模選用影像；右圖為 3D 模型（角度略有不同）。

（二）紋理

1. 反光材質建置耗時

若器物容易反光，拍攝到的影像缺乏反光處的資訊，建模時軟體可能無法判定該

處的特徵取用性；且隨著光源的變化，影像中器物的反光部位也可能隨之移動，軟體進行匹配時若將反光處也視為特徵點，則可能會造成特徵點匹配錯誤，進一步導致紋理失真的可能。這些情況如模型在反光處出現破洞，導致建模失敗。

以圖 12 的帶填硃卜辭獸骨殘片為例，可以看到獸骨的表面泛著光澤，廠商在製作模型時，就在反光處產生破洞，如圖 12（右）打紅圈處。本計畫解決廠商測試時的問題，透過紋理貼圖階段的遮罩功能擷取正確紋理資訊，成功建模如圖 13（http://archeodata.sinica.edu.tw/1_2/3DAA/object.php?item=28&）。



圖 12：帶填硃卜辭獸骨殘片。左圖為建模選用影像；右圖為 3D 模型（角度略有不同）。



圖 13：帶填硃卜辭獸骨殘片 3D 模型正面、側面及背面

2. 表面紋理過於單純無法建置

若器物表面紋理、顏色單純，過於平滑單一，也會造成軟體辨識上的困難，如經大片石膏修補的陶容器、深黑但有紋飾的器物等。

以圖 14 的夔龍紋角形器為例，可以見到上半部有紋飾的地方雖成功建模，但下半部因為色調相對單純，又沒有明顯可供辨識的特徵點，使得模型產生破洞，如圖 14（右）打紅圈處。又如石陶質杯蓋的修補用石膏為例，因白色區域無特徵點可取用，造成建模成果有缺陷及不平整的狀態，如圖 15（右）打紅圈處。



圖 14：夔龍紋角形器。左圖為建模選用影像；右圖為 3D 模型（角度略有不同）。



圖 15：石陶質杯蓋。左圖為建模選用影像；右圖為 3D 模型成果（角度略有不同），可見石膏修復處因紋理單純造成邊緣紅圈處殘破的狀況。

3. 帶有細緻紋理無法建置

器物本身若帶有毛髮或絲線，也不建議利用此技術來製作 3D 模型，乃因多張影像產製大量的三角網格組成模型為原理，在影像品質不佳或目標物外部型態變化較大時，產製的模型無法真實呈現原物平順的曲線。再加上若此件器物需要拍攝背面或反面影像，也不易控制線條的形狀在正反面均保持一致，倘若線條位置稍有移動，亦無法順利製模。

本計畫曾經拍攝棉花與棉線作為測試，參見圖 16（下）打紅圈處，即便成功建模，受限於目標物本身型態的影響，不論是棉花或棉線，在模型中均呈現結球的狀態。

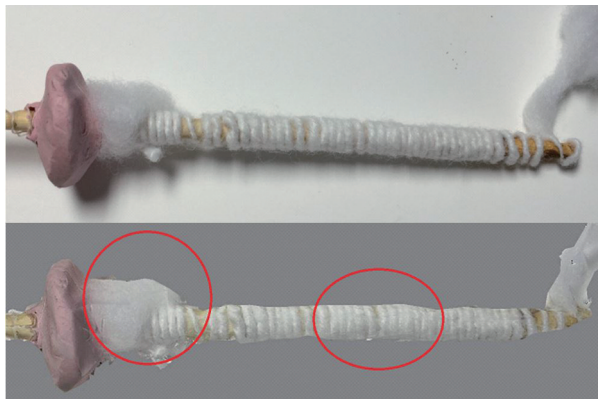


圖 16：纏於竹筷上的棉線與棉花。上圖為建模選用影像；下圖為 3D 模型。

（三）尺寸

1. 尺寸過小建置不易

如果器物過小，需使用短焦距單眼相機拍攝以符合器物視覺上可見的解析度，以玉象為例，長 3.7 公分、寬 2.3 公分、厚 0.7 公分，由重組或單眼相機拍攝之影像需提前利用遮罩限制建模範圍，成功建置如圖 17（http://archeodata.sinica.edu.tw/1_2/3DAA/object.php?item=57&）。



圖 17：玉象。左圖為建模選用影像；右圖為 3D 模型成果（角度略有不同）。

2. 厚度過薄建置不易

如果器物太薄，也會增加建模的難度，以帶硃書龜背甲為例，邊緣厚度平均不到 0.5 公分，即使欲透過手動在邊緣加上正反兩面重組用的特徵點亦有難度，如圖

18（中）紅色箭頭指示處，可見到正反面甲骨無法順利疊合，分離為前後大小不一的兩片。

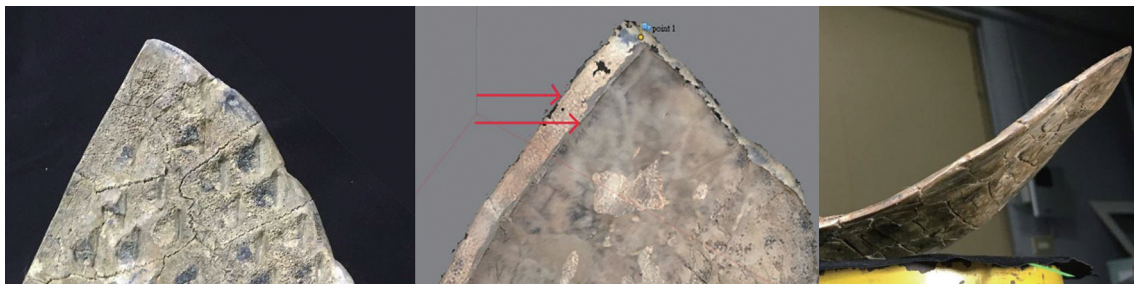


圖 18：帶硃書龜背甲。左、右圖為建模選用影像；中圖為修整到一半的 3D 模型（角度略有不同）。

又以厚度 0.8 公分的夔紋銅鉞為例，因厚度大致相近，透過不同保護措施，垂直拍攝器物側面的多張影像，本計畫成功建置如圖 19（http://archeodata.sinica.edu.tw/1_2/3DAA/object.php?item=59&）。



圖 19：夔紋銅鉞 3D 模型側面及正面

四、3D 模型之運用

考古遺物的 3D 建模，不僅有吸睛的作用，更有展示、教育與研究三種用途。本計畫認為，即便受限於目前的 3D 建模技術，模型雖無法達到百分之百擬真的效果，但展場因保護文物所設置的燈光環境限制，可由 3D 模型呈現更真實、多面向的文物狀態，必要時亦可代替脆弱的原件展出，或顧及藏品的安全，作為替代展演使用。再者，可作為行銷媒介，透過網路平臺展出，吸引更多群眾到現場參觀。展示平臺的註解功能如圖 20 所示，可協助說明展件細節，讓觀眾在欣賞模型之餘，針對感

興趣的部分點選，就能獲得更多關於文物的資訊。未來亦可利用 3D 模型當作虛擬情境的素材，還原文物的原始脈絡，幫助觀眾想像與體驗。同為 3D 文物模型的展示及運用，除本計畫於二〇一七年上線之「3D 考古文物櫥窗」(http://archeodata.sinica.edu.tw/1_2/3DAA/)，另有國立臺灣史前文化博物館的「考古文物 3D 資料庫」(<http://3d.nmp.gov.tw/>)。



圖 20：侈口縮頸單把折肩束腰圈足罐（人面陶罐）3D 模型於展示平臺的註解文字
(http://archeodata.sinica.edu.tw/1_2/3DAA/object.php?item=39&)

文化部文化資產局及國立臺灣史前文化博物館致力於文化資產的 3D 建模，如國定古蹟裂縫監測、古物修復前的 3D 環景建模。^⑥有別於本案建置之 3D 文物模型的小比例，大範圍的建模須利用基站式雷射掃描儀獲得高精度之成品以利維護及保存古物原有面貌。然而因資料精度高檔案過大，受限於硬體設備限制，展示方式多數以錄影檔為主，無法讓觀眾自行閱覽，但對於古蹟修復亦有很大的幫助。如二〇一九年十月底於沖繩發生的火災意外致使首里城幾近全毀，當地團隊號召世界各地曾到訪的旅客提供影像，協助復原首里城的樣貌（Team OUR Shurijo, 2019）。

五、檢討與展望

本文僅從本計畫建置之 3D 模型推論影響建模成敗的因素，若要更確切的了解使用近景攝影測量原理製作文物 3D 模型的要點，必須由選件、拍攝到建模，逐一控制各步驟中的變因，透過系統性的嘗試來進一步分析成敗因素。

以下分就選件、拍攝、軟體後製及展示介面，簡述可能調整之方向，以提升建模之成功率。

^⑥ 國立臺灣史前文化博物館主辦「文化 x 科技：3D 技術應用國際工作坊」，由多位國內外學者及國內單位分享考古與文化 3D 技術應用（國立臺灣史前文化博物館，2019）。

1. 選件：排除帶有不利拍攝條件之文物，以提升建模率。
2. 拍攝：建立更均勻穩定的光源，並以補光或遮光等攝影器材及實務經驗，盡可能避免陰影、反光的產生。惟考古遺物各視角的樣貌無法在相同的光源下真實呈現，因此光源的調整尚須考慮考古遺物的真實性以免誤導觀眾對考古遺物的認知。若有單眼相機的定焦鏡頭也可嘗試拍攝，並比較不同拍攝工具的影像品質與建模成功率。
3. 軟體後製：拍攝時若有無法避免器物之前景或背景，有干擾軟體辨識之虞時，可將其無關的前景或背景在建模各階段分梯次利用遮罩去除，以減少軟體辨識錯誤的可能。此外，更深入了解建模軟體功能並多方嘗試各種不同的建模軟體，比較異同，也有助於建置出品質更精緻，成功率更高的文物 3D 模型。
4. 展示平臺：市面上有多個網路平臺提供 3D 模型的展示介面，除了讓管理者增加模型標籤以利觀賞者迅速了解器物特性外，尚能透過影像處理工具提升模型的真實度，如加深對比、調整光源等。

本計畫在經費、設備及人力有限的情況下選用近景攝影測量原理建置 3D 模型，經多方評估該技術建置出的模型品質已足以顯示考古遺物的特性。配合歷史文物陳列館的特展推廣考古遺物的重要性，在短短的五年間，達到高瀏覽量並獲得國內外的一致肯定，成為國內少數可自行建置 3D 模型的單位，接獲不少國內單位的諮詢及請益。期許在科技發展快速的時期中，發展出 3D 建模的標準作業流程，亦透過網路平臺及歷史文物陳列館的活動推廣，達到技術交流共享的目標。

六、結論

本文檢討本計畫應用近景攝影測量原理建置考古遺物 3D 模型的成果，認為影響成敗的要素有三：製作時間、建模軟體選擇、文物特性。此三要素中，針對文物特性細分成形制、紋理與尺寸三個面向深入討論，輔以實例說明文物特性如何影響模型的成果。未來若要再使用此技術建置 3D 模型，從選件、拍攝到軟體後製，都還有可以調整及優化的空間。

相較於高精度、高費時、耗成本的雷射掃描儀，利用近景攝影測量技術完成的文物 3D 建模，是目前既有 3D 建模技術中，所需軟、硬體成本相對低廉且快速的方式。透過此技術重建多影像相對方位，建立文物的外部模型及紋理，得以 3D 模型的型態在線上展示。沒有時間空間的限制，更能讓觀眾多角度欣賞文物，有著圖錄、相片或展示館所沒有的優勢，若能運用得宜，將會是新的教育、推廣方式，讓更多觀眾了解考古遺物，以及其豐富蘊含的歷史資訊。

參考資料

張舜孔、邵慶旺、蔡育林、陳俊宇

- 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。

國立臺灣史前文化博物館

- 2019 《文化 x 科技：文化資產 3D 技術應用國際工作坊手冊》，臺東：國立
臺灣史前文化博物館。

M. Domínguez-Morales, A. Jiménez-Fernández, R. Paz-Vicente, A. Linares-Barranco and
G. Jiménez-Moreno

- 2012 “Stereo Matching: From the Basis to Neuromorphic Engineering.”
In *Current Advancements in Stereo Vision*, edited by Asim Bhatti.
([http://www.intechopen.com/books/current-advancements-in-stereo-
vision/stereo-matching-from-the-basis-to-neuromorphic-engineering](http://www.intechopen.com/books/current-advancements-in-stereo-vision/stereo-matching-from-the-basis-to-neuromorphic-engineering)，搜
尋日期：2019.09.26)。

SKETCHFAB TEAM

- 2015 “How to set up a successful photogrammetry project.”
[https://blog.sketchfab.com/how-to-set-up-a-successful-photogrammetry-
project](https://blog.sketchfab.com/how-to-set-up-a-successful-photogrammetry-project)，搜尋日期：2019.10.28。

Team OUR Shurijo

- 2019 みんなの首里城デジタル復元プロジェクト
<https://www.our-shurijo.org/>，搜尋日期：2019.11.19。

國立臺灣史前文化博物館「考古文物 3D 資料庫」<http://3d.nmp.gov.tw/>