親愛的，我把微化石和種子3D了

Come on 3D Microfossils and Seeds

汪良奇[1]　國立中正大學地球與環境科學系
Wang, Liang-Chi　Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng University

圖1 國立臺灣博物館利用3D掃描與3D列印技術所製作的儒艮模型

隨著科技進步與3D掃描技術快速的發展與普及，世界各大博物館皆加速進行其所珍藏文物與標本的3D數位典藏。與2D影像相比，3D的數位典藏除了能保存更為完整的空間資料外，高品質的藏品3D數位資料能讓研究人員在不碰觸藏品的前提下，進行深入研究，並於藏品修護前進行事先模擬，以減少對脆弱藏品的破壞。教育推廣與展示上，藏品3D數位典藏也具有極高的應用價值，可應用在藏品3D列印、虛擬實境（Virtual Reality, VR）與擴充實境（Augmented Reality, AR）。近年，大英博物館就將其所典藏珍貴文物的高解析3D模型釋出供大眾下載。因此在世界任何一個角落，只要透過網際網路，便能在家裡列印典藏在英國倫敦大英博物館的復活節島石像，或埃及法老王的頭像。在臺灣，雖然尚未有典藏品高解析3D模型的釋出，但隨著3D掃描所需設備與技術門檻逐漸下降，國內各大博物館皆投入大量經費進行藏品3D數位化的工作，並且有初步的成果。如國立臺灣史前文化博物館的「考古文物3D資料庫」與國立臺灣博物館的「3D典藏」，皆已提供藏品的3D模型供民眾於網路進行檢視，以及用於3D列印供陳設展示用（圖1）。

相較於肉眼可見的藏品，能夠透過簡單光學或X光掃描即能進行3D模型重建，微型藏品（1公分以下）3D數位典藏的建立則困難許多。國立臺灣博物館自106年度開始執行科技部「古物新知—臺博館自然史藏品科技檢測研究計畫」，其中部分工作便是針對體型僅約頭髮寬度的微化石標本，與大小僅數公釐的蔬果種子標本進行3D典藏數位化的工作，本文即是針對其部份研究成果進行介紹。

微化石的3D數位化

微化石（microfossil）泛指體型小於1公釐以下的生物殼體或生物骨架化石，通常大量保存在沉積物或特定沈積岩內，可做為地層年代或古環境變遷的指標。由於微化石體型極小，因此需要運用到光學顯微鏡，或是掃描式電子顯微來進行形態的觀察與影像的拍攝。與一般文物或標本的3D數位化相比，微化石的3D數位化有較高的技術門檻。倫敦自然史博物館微體古生物實驗室中，目前微化石3D數位化工作主要是針對有孔蟲的殼體（圖2）與放射蟲的骨骼。這兩類微化石的體型約在100-1000微米之間，且其材質非常適合利用顯微X光攝影技術來產生電腦斷層掃描資料（Computed Tomography, CT）。他們在解剖顯微鏡下將有孔蟲殼體黏在針頭上固定後，運用裝設於掃描式電子顯微鏡內的奈米斷層掃描系統（nano-CT system）進行X光剖面影像的拍攝。為了要能組合出完整的3D影像，樣品必須要以不同旋轉角度進行拍攝。然而樣品旋轉時若中心偏移，則產生的X光剖面照片也會偏移，因而會造成3D影像重建時有所偏差。因此必須在解剖顯微鏡下，不斷調整樣本位置並進行光學模擬拍攝，在確認中心沒有偏移後才能正式進行樣本拍攝。而完成一個微化石3D化X光剖面影像拍攝，可

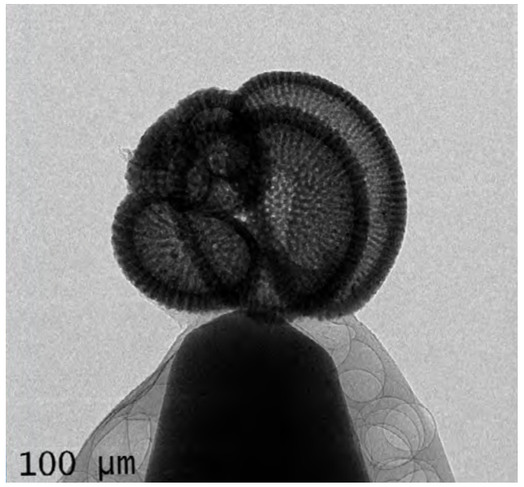

圖2 倫敦自然史博物館將大小僅有0.4公釐的有孔蟲黏在針的尖端後，所拍攝的X光剖面影像（網路資料，http://www.nhm.ac.uk/）

能要耗費1天甚至更久的時間。最後所拍攝的X光剖面影像則利用影像處理軟體組合，便可得到完整且高解析度的3D影像資料。

在臺灣，筆者則與國家同步輻射中心王俊杰博士合作進行微化石的3D數位化工作（圖3）。國家同步輻射中心擁有臺灣最大的同步輻射加速器，能產生不同波長的光束，波長從長到短涵蓋了紅外線、可見光、紫外線及X光等，能夠提供高品質與高強度的同步輻射光源。由於光有波動特性，波長越短的；光影像解析力越高。在特定強度、特定波長的光源下，科學家可依需求進行不同樣品的影像擷取與結構分析。與倫敦自然史博物館的方式不同，王博士是將微化石直接黏在膠帶上後，垂直夾在載臺上，進行全角度（360度）的顯微影像拍攝。要完成一個微化石所有角度高解析的X光剖面影像拍攝，約需8小時。而X光影像拍攝過程中所產生高熱會造成微化石位置的些許偏移，為解決這項問題，王博士發展出全新的演算法來解決這個困擾。運用此演算法的修正，可在不提升系統載臺定位精度的情況下，快速且精準地重建高可信度3D超微結構影像（圖4）。此項技術除了可運用在微化石3D數位典藏建立

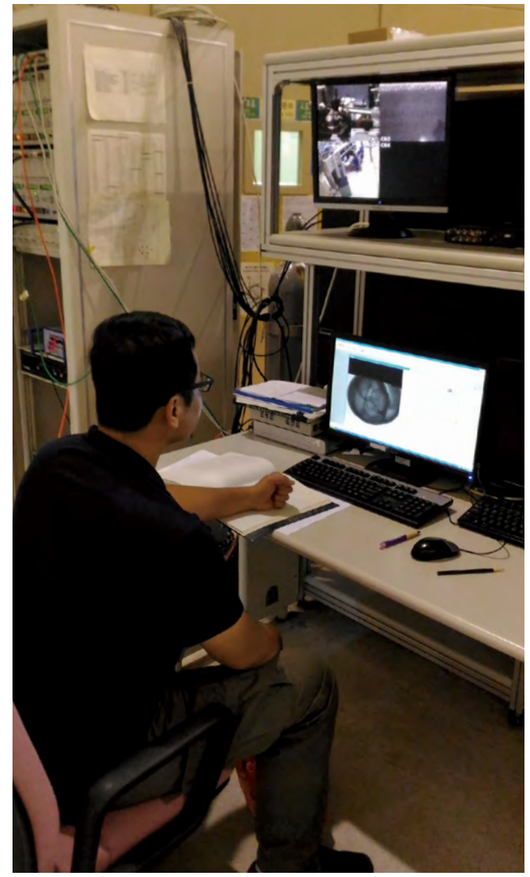

圖3 筆者於國家同步輻射中心進行微化石超高解析X光剖面影像的拍攝

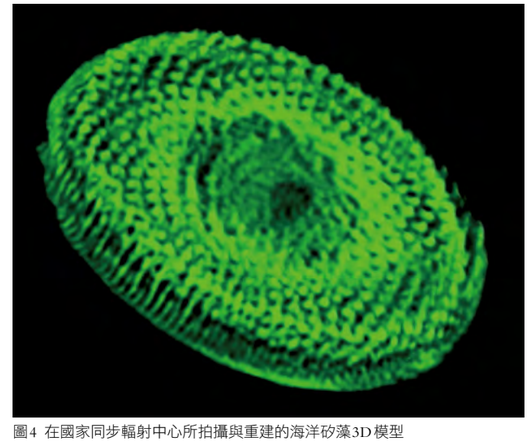

圖4 在國家同步輻射中心所拍攝與重建的海洋矽藻3D模型

外，更可有效提升醫療與工業用電腦斷層掃瞄3D模型重建結果精確度。由本技術所建立的微化石3D模型，包含了所有剖面的空間資訊，可以直接運用在

[1] 筆者先前服務於國立臺灣博物館典藏管理組

圖5 微化石3D列印模型

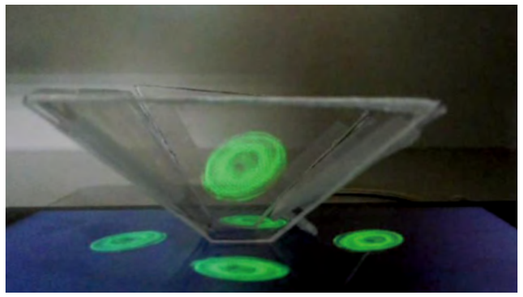
圖6 海洋矽藻化石的3D全像投影

圖7 十字花科蘿蔔種子，大小約0.5公分

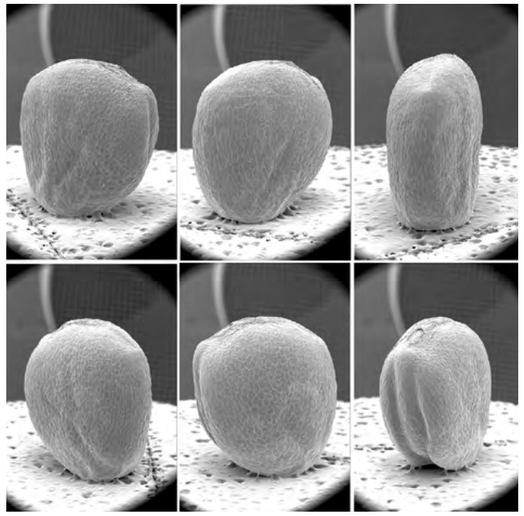
圖8 不同角度下蘿蔔種子透過掃描式電子顯微鏡呈現的2D影像

3D列印上（圖5）。而運用3D列印技術所印出的微化石放大模型，可直接用肉眼觀察微化石殼體微細構造，對於研究微化石演化與型態分類有極高的科學價值。而微化石3D模型影像也可直接用於3D全像投影製作（圖6），供教育推廣之用。

蔬果種子的3D數位化

蔬果種子大小約1-0.1公分（圖7），相較於微化石，顯微攝影的難度較低。由於國立臺灣博物館館內具備掃描式電子顯微鏡（Scanning Electron Microscope, SEM），因此筆者便開始發展以掃描式電子顯微鏡擷取的影像進行蔬果種子3D模型建製作業。

不同於X光顯微攝影，掃描式電子顯微鏡呈像原理為運用電子束掃描樣品表面，並偵測單點所產生二次電子的訊息，再由點構成線、線構成面來呈現樣本表面高低起伏的變化，因此所產生的影像為樣本表面微細構造。那要如何運用種子表面的2D影像來做3D模型重建呢？一般而言，含水量較高的樣本（譬如植物的葉片），為避免自然乾燥時大氣壓力將樣本表面超微結構壞，會進行固定、脫水與臨界點乾燥等前置處理。由於蔬果種子多以自然乾燥方式保存，為呈現種子原始的樣貌，因此並沒有進行臨界點乾燥的處理，而是將蔬果種子浸泡在蒸餾水中，以超音波震盪器進行清洗以去除表面雜質後，再置於乾燥箱內自然乾燥。而為了能獲得種子最多的表面影像資訊，乾燥後的蔬果種子，在解剖顯微鏡下以與載臺最少接觸面積的方式黏貼。黏貼於載臺後，將種子置入鍍金機中，在表面鍍上一層約5-20奈米厚的金層。鍍金目的是為了增加樣品導電及導熱程度，如此不僅可保護樣本免受電子束掃描時產生的熱傷害，也可增加二次電子產生。完成鍍金後，種子便移到掃描式電子顯微鏡內，拍攝種子表面2D超微影像。開始拍攝時先將掃描式電子顯微鏡載臺傾斜約75度，之後每旋轉5度拍一張影像（圖8），環繞360度共可得到72張影像，之後將這72張不同角度的2D影像進行種子表面3D點雲建模演算，便可得到種子表面高精度且高解析度的點雲資料。再將各角度拍攝的種子表面微細特徵影像合成為全景圖片，如同穿衣服一般套貼在種子3D模型表面，便能得到包含電子顯微鏡影像的3D種子模型。種子與樣品載臺黏接處因為沒有影像資料，所產生的3D種子模型會有一塊資料缺失，因此需要參考其他角度的2D掃描式電子顯微鏡影像，以3D繪圖的方式將缺少資料的部份，採人工方式進行填補。與顯微X光3D建模技術最大的不同，此項技術僅能提供樣本表面的3D資訊，因此所列印出來的3D模型，僅能呈現種子表面特徵。與顯微X光3D建模技術相比，掃描式電子顯微鏡3D技術所需經費與時間較少，而且設備門檻較低，故在運用上有較高的價值（圖9）。

未來展望

人類為了將所見之物永久記錄下來，從最初的繪畫、攝影發展到今日的3D掃描，科技的進展使得博物館文物數位典藏從2D進展到了3D，而微化石與蔬果種子的3D數位典藏，更是受惠於高解析度科學檢測儀器不斷發展的成果。然而這些資料若無提供民眾加值運用，將只是保存在博物館資料庫內的一筆數據而已。博物館既為公眾利益而蒐藏，3D典藏作為博物館蒐藏的一部分，應逐步將所完成3D模型釋出，供大眾下載、應用及與教育推廣使用，以期利益得以最大化。

參考資料
汪良奇、許毓純、范綱祐，2017。種子美術館-蔬果篇。國立臺灣博物館。
Tafti, A.P., Holz, J.D., Baghaie, A., Owen, H.A., He, M.M., Yu, Z., 2016. 3DSEM++: Adaptive and intelligent 3D SEM surface reconstruction. Micron 87, 33–45.
Wang, C.-C., Chiang, C.-C., Liang, B., Yin, G.-C., Weng, Y.-T., Wang, L.-C., 2017. Fast Projection Matching for X-ray Tomography. Scientific Reports 7, 3691.

圖9 種子3D列印