



2008年的八月，我因開始進博物館工作，
因緣際會地接手，帶著家人住進了德仁學長在豐田國中旁的租屋處。
如今，三年多了……

德仁學長使用過的書桌、書櫃、傢俱，依舊安然如昔。

屋外，德仁學長曾小心呵護餵養過的流浪貓狗，

不時帶著牠們的小貓小狗們躍過圍牆，徘徊在客廳門前，

我想，這些貓貓狗狗，可能都還在等著外出流浪的主人回家……

德仁學長走了嗎？還是，只是一直沒回來……？

流星，劃過天際……

是上帝不及人間的最後嘆息！

國立臺灣史前文化博物館研究典藏組 楊政賢

學長，我們都很想念你，我們的想念將是永恆的。在宇宙中，它將是個不會抹滅的痕跡。

國立臺灣大學人類學系 學弟 鄭建文

笑咪咪的德仁學長就像是一頭默默守護卑南文物的溫柔大熊，高大又和善。

國立臺灣大學人類學系學妹 阿啞(黃維君)

認識德仁學長的時間很短，但常受到學長的幫助及贈書，他的敦厚個性也給予學弟妹許多鼓勵。謝謝你，學長。

國立臺灣大學人類學系 學弟 楊宏政

地質學方法於考古學研究之應用

文／圖·楊小青

全球環境變遷為二十一世紀炙手可熱的研究議題，地球科學在此扮演舉足輕重的角色，尤其將之應用在考古學研究上，對於人類社會與自然生態環境變遷的互動可以提供更多的資訊，因此近年對於考古學的研究，地質學方法除了傳統上對於遺物的質地與來源運用更多的先進技術從事分析外，同時也累積了有關人類與環境互動的豐富證據。他們一方面能提供說明人類文化演化的軌跡，另一方面也能在自然和社會環境變遷過程中，提供當時社群如何選擇食物資源的因應策略。因此遺物的質地、來源地以及遺物製作技術的研究分析、遺址探勘及古環境解析等成為新興的地質考古學 (geoarchaeology) 主要研究議題。

(一) 遺物的質地與來源地分析

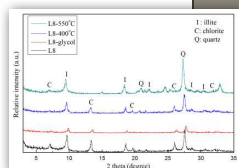
出土遺物，如玉器、石器、陶器或玻璃製品等遺物的化學分析結果，可提供考古學家對於人類在自然資源的擷取、交換以及人群間的往來明確的訊息，傳統上受到考古學家極大的關注，也是地質科學在考古學領域最廣泛的應用。偏光顯微鏡、X光繞射儀、掃描式電子顯微鏡、電子微探儀、拉曼光譜分析儀、質譜儀等都是常用工具，以目前的分析技術而言，對於遺物材質的辨識毫無問題，重點只在於是否有足夠的地質資料庫可供分析結果比對，以確認遺物的來源地。

偏光顯微鏡 (圖一) 為地質學家研究岩石中礦物組成的基礎工具，考古學家也常應用於陶片組成分析。基本上陶器可以視為一種沈積物的燒結物，而陶土與摻合料的選擇反映了製陶者對於自然材質的瞭解與燒製的技術。為了讓陶土具有一定的黏滯性可以把陶器捏製成型，一般選用顆粒度在粉砂級 (<0.06mm) 以下的土壤沈積物，這樣的顆粒度是無法以顯微鏡鑑定礦物種類，必須使用X光繞射儀 (圖二)。但是X光繞射儀是一種半定量分析儀器，台灣新石器時代陶器的燒製溫度未超過900°C，黏土礦物尚未產生相變，造成分析上的困難，只有從摻合料組成來推論來源地，此時偏光顯微鏡分析足以解決。

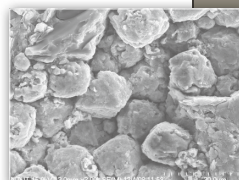
掃描式電子顯微鏡 (圖三) 最大的好處在於他是一種非破



圖一：利用偏光顯微鏡觀察陶片摻合料的組成，可判定陶器為當地製造或是外來輸入。



圖二：陶土本身的礦物過於細小，無法由顯微鏡直接以肉眼觀察，必須藉由X光繞射分析儀鑑定礦物組成。同樣由礦物組成可以推論陶土的來源地。

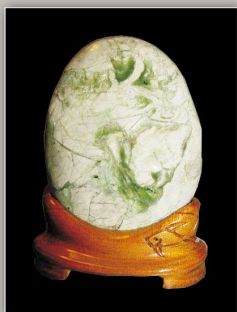


圖三：掃描式電子顯微鏡可用來觀察物體表面的顯微結構，對於陶片受熱後結晶態的瞭解相當便利，如圖所示，陶土與摻合料均保持原有型態，幾乎沒有燒結或玻璃化的現象，表示陶器燒製的溫度低且受熱時間短。掃描式電子顯微鏡也可結合能量光譜分析儀 (EDS)，可初步瞭解觀察物的化學組成。

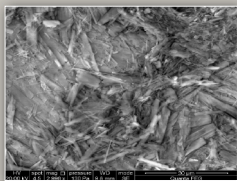
壞性分析，又能從事半定量的化學成分分析，從七〇年代以來，考古學家便常用於陶片或是玻璃器分析。拉曼光譜分析也有非破壞性分析的好處，而且也是一種微量分析，最常用於陶器的陶虹紋或是釉料的組成礦物分析。

如果要確實知道遺物的化學組成，只有仰賴電子微探儀、X光螢光(XRF)以及各式質譜儀的分析。以台灣新石器時代經常出現的玉器為例，材料皆為閃玉(nephrite)(圖四)。閃玉主要由透閃石(tremolite)(圖五)一類的角閃石(amphibole)礦物構成，可能含有一些其他微量的礦物，如鉻鐵礦或滑石等，除了如和闐羊脂玉(圖六)為花崗岩侵入至白雲石所形成的特殊玉礦床之外，全世界的閃玉大致都是產於板塊邊界，無論是礦物組成或是化學成分都十分類似，所以只鑑定出玉器材質為閃玉，並不足以說明玉料的來源地。因此有考古學家藉助電子微探儀對於玉料的微量礦物進行成分分析，並與鄰近地區玉礦床進行成分比對，確認台灣豐田所產的台灣玉具有獨特性，進一步推論整個新石器中晚期的玉文化传播。此外也有地質學者利用質譜儀對玉料本身進行同位素定年研究，由礦物的形成年代推論玉料的來源地，可惜玉礦本身的化學組成並不太適合用來定年，因此定年結果並不太理想。

質譜儀的同位素分析除了可以提供年代資料之外，事實上對於人類的生業模式或是居住地的地質環境也可以提供相當的訊息，比如利用玻璃器或是青銅器中的鉛元素同位素比值，可以瞭解鉛原料是來自沉積性或是火成來源的鉛礦，若有各地鉛礦的同位素資料，還可以進一步確認來源地。環境中同位素的化學組成也會在生物體內留下痕跡，比如人骨蛋白質殘留物的穩定同位素(如碳、氮、氧等)比值可以反應古人類主食為穀類或根莖類植物，牙齒琺瑯質的總同位素比值則告訴我們這個古人類的幼年青少年是生長在穩定的大陸地區還是變動的板塊邊緣。



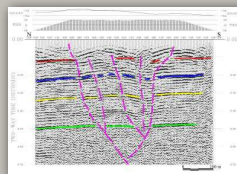
圖四：閃玉為新石器時代的史前人類用來製作玉器，因為礦物本身含鐵量的高低，玉的顏色可由白色過渡至深綠色。



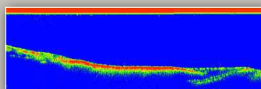
圖五：台灣玉是一種岩石，幾乎都由纖維狀的透閃石礦物構成。



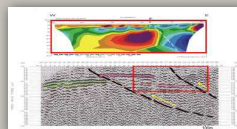
圖六：白色的羊脂玉的組成礦物也是透閃石，只是礦物中鐵質的含量很低，很少超過3%。



圖七：藉由地底物質對於人造震波的反射狀態，地球物理學家可以判斷地底下組成物的變化，本圖針對台南平原地下物的反射震波，判斷梅山斷層可能的分佈位置。



圖八：利用音波探測瞭解淡水河河床及淺部沉積物的分佈情形。



圖九：地電阻配合震波探測可進一步確認地下地層的結構。上圖為車籠埔斷層大坑地電阻與震測剖面。

(二) 遺址探勘

對於一個遺址的古環境瞭解，可以從兩個面向著手：未發掘前的地質探勘與發掘過程中自然層位的解析。一般對於地下地質的探勘採取地球物理方法，可以得知遺址的位置與分佈情形，也可利用鑽探取得岩芯，由岩性分析建立文化層與生土層等地層層序，兩者都提供了考古學家發掘前，對於文化層的深度以及沈積層序的初步瞭解，避免發掘過程遺漏重要資訊。

地球物理探勘方法

主要包含震波探勘(Seismic reflection survey)、音波探測(Sonic survey)、地電阻探勘(Resistivity survey)及透地雷達探勘(Ground-probing radar)等方法。

震波探勘為地質學家瞭解地下岩層分層與結構最常見的方法(圖七)，依炸藥能量高低，探測深度由數十公尺至數十公里，剖面越淺越容易受到地表沈積物的干擾，一般在三十公尺以內很難解析，如果要瞭解地殼結構則必須依賴地球內部引發的地震，才有足夠的能量製造震波瞭解地球內部的結構。由於文化層一般深度在數公尺以內，因此震波探測很少應用於考古研究。相對而言，超音波探測、地電阻探勘及透地雷達探勘等方法的探測深度比較常見於考古學研究。

音波探測一般運用於水下地質調查，它由水密金屬容器沿水底底部拖曳製造音波，再由水聽器通過電纜連接到合適的音頻放大器監控設備接收(圖八)。由於泥、沙、石、岩石底部所造成的噪音在性質上不同，它是可以通過聽放大的輸出，以確定水底下地層的岩性組成。今日水下考古已成為考古學另一熱門研究領域，音波探測很有潛力發展成為一個相當好的研究工具。

地電阻探勘主要利用通入地下電流強度與量測的電位差來計算介質(岩性)電阻率的分佈，研究岩層或沉積物的岩性差異(圖九)。地層中大部分的礦物組成類似絕緣體，導電時，主要靠孔隙裡的水來傳導電流，因此疏鬆地層的孔隙高，含有的水分越多，電阻越低，

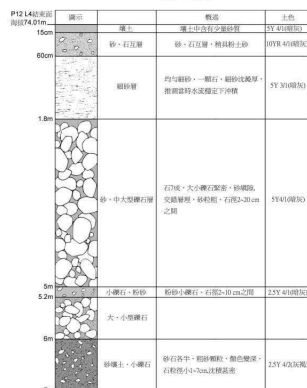
反而膠結度高的岩石，電阻越大，以卑南遺址的地電阻探勘為例，文化層中的房屋結構，多為孔隙度很低的變質岩組成，在地電阻探勘中呈現高電阻的表象。此外，岩層中黏土礦物的含量也會影響導電度，因為位於黏土礦物的層狀結構間的鉀、鈉、鈣等陽離子，遇水很容易釋出，因此可降低電阻。溫度也會是影響岩層物質的導電度另一項因子，溫度升高時導電度增加，電阻降低。



透地雷達探測的原理是利用天線發射出高頻電磁波(雷達波)穿透地層，在兩個不同電性介質的界面產生反射訊號，再由天線接收訊號進而分析，可推測地下界面的起伏，並偵測地下異常於地層的結構體，這種方法廣泛運用於歐美考古界。可是台灣地處活躍的造山帶，廣泛分佈遺址的平原區，常見大量的礫石堆積，在透地雷達探測的過程中，很難把礫石與建築結構物區別清楚，容易造成資料的誤判，如台中盆地曾用透地雷達來偵測遭掩埋的遺址，成效不彰。不過文化層上下如果都是細緻的氾濫平原沉積物，倒是很容易利用透地雷達偵測到人為的建築結構，例如中國西北的黃土區域，利用透地雷達探測就非常容易分辨疏鬆的沉積物或經人為夯實的城牆或結構物。

鑽井岩芯分析方法

鑽井岩芯分析是考古發掘前，實質取得地層標本最直接的一種方法，對於單一岩芯仔細分析可以瞭解考古遺址(文化層)形成前後的層序變化(圖十)，這些分析資料除了可以瞭



圖十：從岩芯觀察可直接瞭解遺址的地層堆積。

解過去人類生活環境變遷，對於後期土壤化或地下水等地質作用，是否對遺物產生影響，都可以提供相當訊息。同時，遺址發掘前有了完整的地層層序資料，也有助於發掘者在一般採用的人工層位發掘法，所注重的遺物在平面空間展佈造成的『現象』之外，也能注意自然層位的變化所引發的時間變化。地質學家常利用多口岩芯的建立地層資料，找出具有明顯辨識特徵的關鍵層(key bed)，配合岩芯定年資料，以地層對比的方法，進一步瞭解古地形面的變化以及大區域沉積環境的變化。

地層層序的建立

史丹諾(Nicolaus Steno)於1669年提出疊置定律(law of superposition)，他觀察到沈積物的堆積過程，早期的堆積物會在比較下面，上覆的地層則越來越年輕，這個定律合理解決沈積地層的相對年齡問題。疊置定律是地層學研究的基本法則，事實上，若無任何擾亂，文化層的堆積也完全符合這個定律。但是人類為了儲存物品、建築物的需要或是埋葬祖先，常常有向下挖洞的行為，導致同一個年代的行為產物，卻位在不同深度的地層中。如果當時人們的生活面與後期將遺物掩埋的沈積層有明顯的差異，考古發掘者可以直接判讀加以區別。然而，當人類逐漸由狩獵採集進入到農業社會之後，為了耕作之需要，常會選擇氾濫平原或是河流階地作為生活居所，而這些區域的沈積環境數千年間不致有太大的變化，換言之，文化層與上覆地層或下伏地層(生土層)，沈積物的變化性很小，當以人工層位法向下逐層發掘時，很容易忽略自然地層的變化。

對於自然層位變化的忽略所引發的最大問題，在於年代的解釋。遺址的文化層的絕對年代，一般採用碳十四定年法確立，定年材料除了採用本身含有碳質的遺物(如木質遺物、穀粒、織品、海貝...)外，最常用的還是採自地層中的焦炭物質。在文化層與生土層沈積物變化不大的情況下，地層中採集到的碳樣究竟是屬於文化層還是生土層?這個問題必須在採集當時判讀出來，否則同一遺址取得的年代可能有很大的分歧。如果一個遺址有許多定年資料，當然可以濾除不合理的年代，然而以台灣的地質環境而言，地層中碳樣的保存條件很差，可供分析的碳樣不易取得，有限的定年資料讓遺址間的時間排序增加了的困難度。

重建古生態環境

重建古生態環境的方法，主要是依據遺址發掘探坑側牆地層剖面，或密集的鑽井岩芯的沉積相建立遺址以及鄰近區域的地層層序。從遺址發掘探坑側牆與岩芯的地層層序的沉積環境，以及配合鄰近遺址區域現今地形，可以重建此地區從文化層以下生土層至地表所經歷的古沉積環境變遷。

除了沈積相分析可以提供遺址的古環境訊息外，植物的孢粉分析也是瞭解古氣候變遷一項很好的指標工具。但孢粉分析與沈積相分析面臨同樣的問題：標本保存狀況、地層的連續性、需配合絕對年代資料等等。以台南地區為例，數千年來人類活動在此地留下非常多的遺址，以鑽探岩芯與地層剖面重建（圖十一）台南平原以及鄰近遺址地區的古環境變遷（圖十二），發現早期人類居住的環境大都選擇在鄰近海岸區域（圖十三），而遺址出土許多貝塚以及貝殼類製品，也正顯示當時人們非常善用海洋資源，地質學與考古學的研究在此有了完美的結合！

（作者為史前館研究典藏組助理研究員）

