

攝影測量法在考古學舊社遺址研究與空間 分析中的運用：以高士排灣 Saqacengalj 為例

吳牧鐔*

摘 要

本研究旨在呈現攝影測量法在臺灣舊社考古研究中對三維資料擷取與分析的運用，並進一步與地表光達技術比較，評估兩技術的資料成果在空間分析中的潛力與差異。地表光達與攝影測量法在臺灣考古學界的認識與應用已逐漸普遍，針對此二者的成本、效率與技術要求亦有一定的了解。此研究將針對兩技術擷取與輸出的地表資料進行分析，並以此比較兩者在舊社內部空間分析成果差異。所進行用以比較的分析含括遺址內部的地貌分析、路徑分析、視域分析與人群互動分析等等，旨在呈現攝影測量法擷取的空間資訊品質與運用潛力。研究成果顯示兩技術擷取所得資料的分析成果呈現相當大的一致性，唯有地貌分析成果有些微出入；此差異可能主要源自於攝影測量法對貼近地面的矮小植被穿透度較弱，而此差異對整體分析成果而言影響有限。儘管此分析成果顯示使用攝影測量法有其優勢，不過兩技術的選擇取決須奠基於資料的後續分析與運用上的考量而非絕對的。此研究顯示的是在舊社的遺址內部空間分析研究中，攝影測量法提供一個相當經濟、便利、有效、可普遍運用的地形地貌資料擷取紀錄途徑。

關鍵詞：攝影測量法，舊社考古學，地理資訊系統，排灣族，Saqacengalj

* 臺灣大學人類學系助理教授。

An Application of Photogrammetry on Abandoned Settlement Research and Spatial Analysis: A Case Study of Saqacengalj, Taiwan

Mu-chun Wu*

ABSTRACT

This research highlights the potential for utilizing photogrammetry for 3D data recording in abandoned indigenous settlements and further spatial analyses. Indigenous abandoned settlements in Taiwan are usually located deep in the mountains where transport and mobility proves difficult and dangerous for terrestrial LiDAR equipment. As an alternative approach to LiDAR, this research utilizes photogrammetry to generate DTM and further compares that data with the terrestrial LiDAR dataset to examine its quality and analytical potential. Using the site Saqacengalj as a case study, this research shows that the two datasets exhibit high consistency in analyses such as morphology, least-cost path, visibility, and social meshworks. The results suggest that, in terms of abandoned settlement research, photogrammetry provides a convenient, efficient, and highly adaptable approach for acquiring topographic information and site documentation.

Keywords: Photogrammetry, Abandoned Settlement Research, GIS, Saqacengalj

* Assistant Professor, Department of Anthropology, National Taiwan University

前言

光達資料與技術在臺灣考古學界的應用已逐漸被認識，但礙於其技術與成本要能普及非是容易之事。相對而言，攝影測量法（Photogrammetry）所需技術與成本低，可普及的潛力高許多。本研究旨在呈現攝影測量法對三維資料的擷取與記錄在考古學研究中的應用，在與地表光達（Terrestrial LiDAR）作進一步比較與評估兩技術提供的資料與成果後，確認有其在地理研究與空間分析中的潛力與助益，在考古學運用的普及性上當是可加以肯定的。另外，本研究針對兩技術擷取與輸出的地表資料進行在舊社遺址內部的空間分析，並以此比較兩者成果差異。所進行的分析包括遺址內部的地貌分析、路徑分析、視域分析、人群互動分析等等，目的不只在探索兩資料可供分析的空間資訊品質，也進而對攝影測量法在地理與空間分析的效益與成果加以呈現。

研究旨趣

三維資料與三維建模在歐美考古學的運用在近年來是越加廣泛與普及（Evans and Daly 2006; Opitz and Cowley 2013; Siart et al. 2017; Vincent et al. 2017），幾何立體物件如各類器物、建築、地景等考古學資料，可由三維資料掃描儀器擷取產生點組（set of points）或稱點雲（point cloud）的資料。此種點雲的資料因無定型，可在呈現、儲存、擷取、特殊樣貌的抽取、視覺的檢索介面等方面上，依需求而可任意與彈性的變異，並進一步計算三維模型三角網格的表面、尺寸與容積等等。三維點雲資料配合特定幾何影像軟體的處理，可提供自動化與精準的測量數據，提供各種不同需求的擷取與呈現要求，滿足各類與各層次的分析需求；因此，此種資料的擷取與呈現技術的運用，在世界考古學界已普遍運用且效益良多。運用在考古學器物上的資料擷取與三維模型建置的許多案例，學者進而運用這些資料與模型進行器物更精細的記錄與分析、器物復原、器型網路展示與分享、甚至虛擬博物館的建置與展示（Miles et al. 2014; Miles et al. 2016; Minkin et al. 2013; von Schwerin et al. 2016）。另有運用於建築、結構與發掘現象與探坑資料的擷取與建模（Campana et al. 2012; Richter et al. 2012; Sapirstein and Murray 2017），這些除進行視覺的記錄與展示外，進而建置虛擬實境以供群眾體驗。最後，是各種尺度的地景與地形資料的擷取（Chase et al. 2011; Crutchley and Crow 2010; Devereux et al. 2005; Verhoeven 2011），配合 GIS 與其他空間分析技術與方法，提供地景考古學發展了相當多元多樣研究分析的新議題，也因此讓考古學有了許多觀看與思

考早期人群文化的新視角與理念。

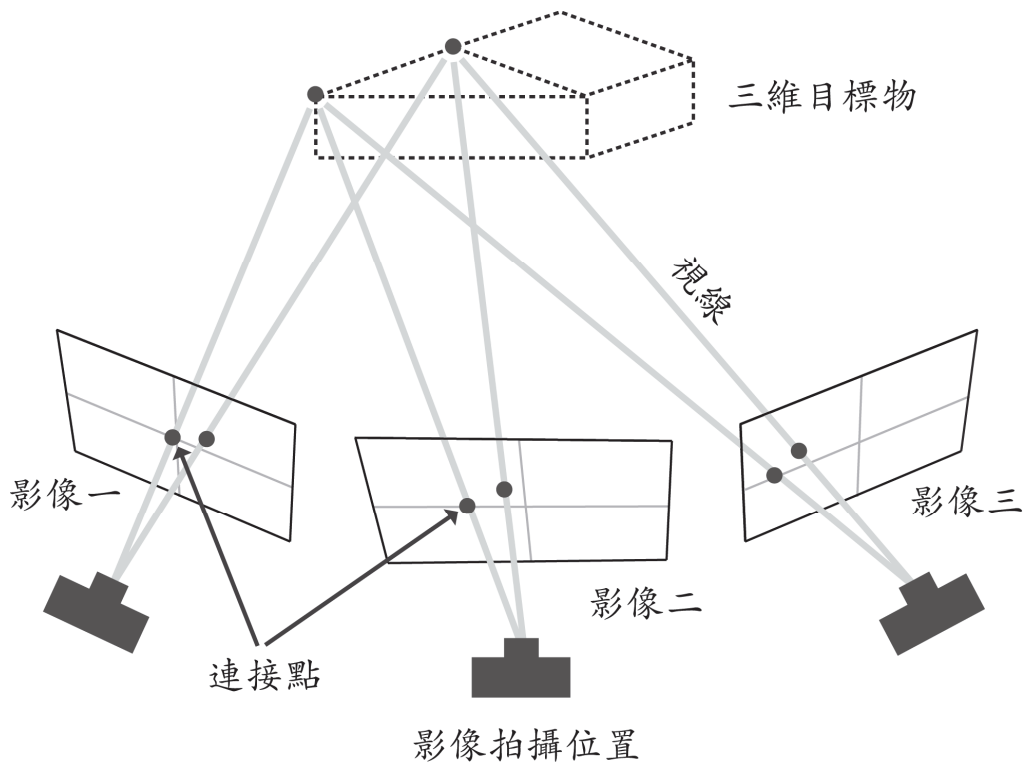
臺灣原住民舊社的研究在臺灣考古學界正積極地被關注與推動中，地景考古學各種研究取徑與視角也開始被引介進入。如上所述，各種尺度的地景、地形與房舍等結構資料的擷取，配合 GIS 與其他空間分析技術與方法，在舊社的研究上由地景考古學取徑的探討與分析上，提供了相當多元多樣的新議題與視角的可能性（吳牧鎔 2013；劉亭攸 2013；Wu 2015；Wu and Lock 2012）。因此，各種尺度的地景、地形與房舍結構等三維資料的擷取，成為這方面研究的基礎與關鍵點。無論是空載或地面光達所擷取的三維資料當是目前在細緻度與廣度上、以及尺度變換上，對考古學尤其是舊社的研究都是最強而有力的（吳牧鎔 2013；郭素秋等 2017；葉長庚 2017）。然而，臺灣原住民舊社所在大都是山區密林地帶，房舍結構與地形資料的擷取相當困難，光達資料擷取在儀器的攜帶與使用，在經費、人力與氣候上都會面臨種種困境。近年來國外已展開如何以光達技術搭配攝影測量法進行資料互補，或是依研究主題、範圍大小比例等個別執行的討論（Fernandez-Lozano and Gutierrez-Alonso 2016; Remondino 2013）。因此，本研究試圖在攝影測量法資料處理（photogrammetric）的軟體可運用的優勢下，評估攝影測量法擷取研究所需資料。尤其是在山區密林地帶的原住民舊社的房舍結構與地形資料的擷取以進行分析研究的有效性，以期降低三維資料擷取的成本與困難度。一方面增加研究工作的效益，一方面能達到地景考古學研究取徑在考古學尤其是原住民舊社的研究發展上的有效推動。

由於各式資料處理程式的精進，攝影測量法近年被大力推廣，關鍵點即在其擷取工作較地面光達有不可忽視的便利性，因此運用在一般考古遺址與遺物都有其可見的直接效益與精細資料品質。但由於舊社遺址內地形起伏不定與破碎、樹木雜草叢生，其精細度、操作流程都須再加以評估，才能有效的加以運用與推廣。是故，本研究規劃對此攝影測量法的擷取工作與其資料的有效度與精細度、操作流程能加以評估。一方面以地面光達、攝影測量法擷取所得二組資料進行如地貌、路徑、視域、人群互動等的分析，以比對其結果之精細與有效度。另一方面以不同操作方式進行攝影測量法的資料擷取，以評估面對相似遺址的擷取對象時，最有效、適宜的操作流程為何，並同時呈現此種運用在舊社內部地景研究與空間分析的所得與成效。

攝影測量法、考古學與文化資產

攝影測量法的技術原理最早可追溯自 19 世紀中影像學的立體觀測 (stereoscopy) 概念，經過長時間不斷的修正與精進，當代的攝影測量法主要奠基在「移動推斷結構 (structure from motion)」的成像技術 (Carrivick et al. 2016; Cosmas et al. 2001; Pollefeys et al. 2001, 2003a, 2003b) 上。藉由一連串針對同一器物不同視角的二維影像擷取，進而建構出該器物的三維點雲模型 (圖一)。攝影測量法的技術處理 (Pollefeys et al. 2003a) 大略步驟如下：

1. 首先針對目標物拍攝一連串不同視角的照片。這一系列照片須為連續與部分重疊性的影像，照片間隔的前後兩張須具有 75% 以上的重疊性以利後續接圖所用。
2. 攝影測量法資料處理的電腦程式會執行影像辨識，判別出每張照片中相同



圖一 攝影測量法的理論示意圖

的物件，並產出相對應的連結參考點。

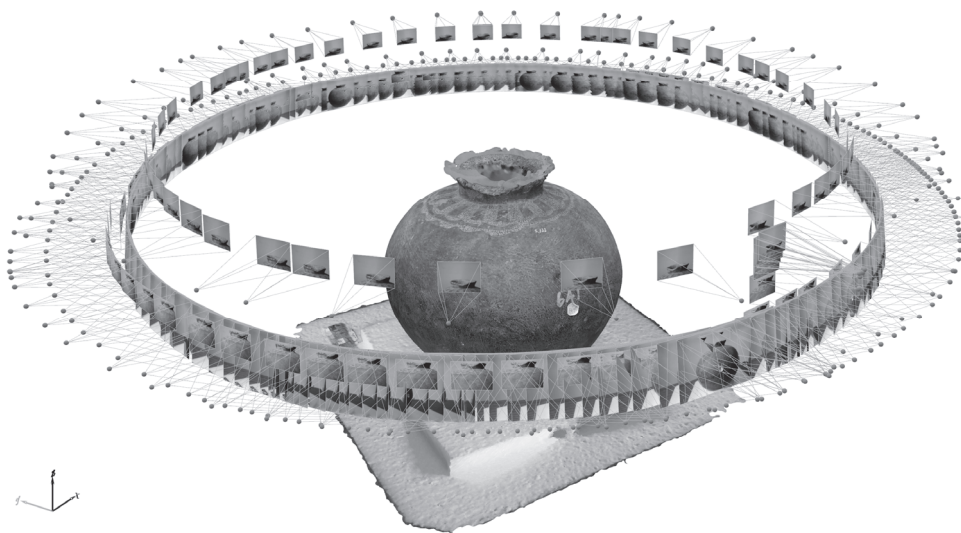
3. 經由連接參考點推斷出物件的三維結構，並反身推斷出原始照片在拍攝時相對應的相機位置與移動路徑。

4. 通過連接參考點、相機位置與其拍攝出的照片，再次進行目標物的密集化點雲建構。

5. 利用密集化點雲計算出目標物的三角網格模型，並進行材質色彩拼接，產出完整的目標物三維模型。

此技術所產出的資料中，有兩種資料會主要受到考古學與文化資產領域所運用，其一為最終的目標物三維模型，其二為目標物的密集化點雲。

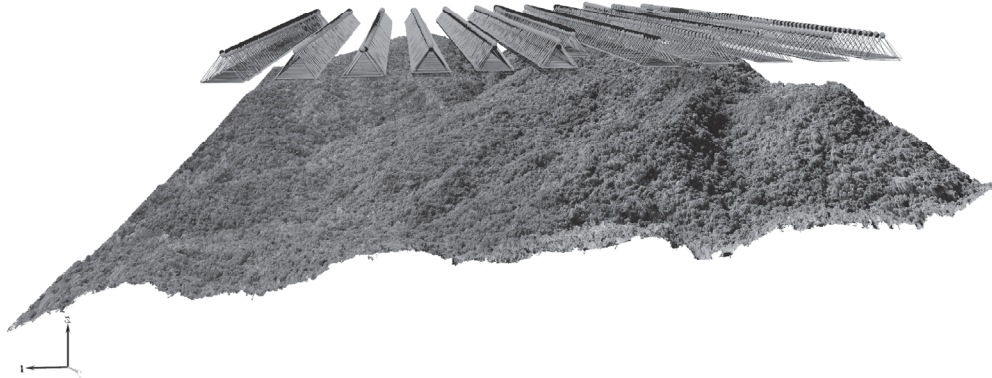
目標物三維模型通常為此技術的最終產出資料，也是在考古學與文化資產領域主要使用的展示資料。攝影測量法產出的三維模型一般具備相當程度上的細緻度與精準性，加上成品外觀的材質貼圖是經由真實世界拍攝的照片為基礎生成，因此相較於通過虛擬三維軟體建構出的模型，其外觀較具有貼近實品的真實性與還原性（圖二）。攝影測量法具有的真實還原性，使得其所產出的三維模型在文化資產與博物館的展示中受到相當程度的運用。以臺灣考古工作為例，像是中央研究院歷史語言研究所歷史文物陳列館的「3D 考古文物櫥窗」、國立臺灣史前文化博物館的「考古文物 3D 資料庫」部分文物資料等等，都是運用攝影測量法建置數位典藏文物資料庫的案例。



圖二 以攝影測量法建置排灣陶壺三維模型案例

吳牧鎔·攝影測量法在考古學舊社遺址研究與空間分析中的運用：以高士排灣 Saqacengalj 為例

除了器物的數位典藏資料建置外，攝影測量法也廣泛的被運用在考古學中的資訊呈現與展示之中（林圭偵等 2018；陳光祖、鄭玠甫 2014；陸泰龍 2016；葉長庚 2017）。由於該技術產出的三維模型可以忠實的呈現出目標物的原貌，因此廣泛的被運用在考古田野發掘坑與現象的紀錄、遺跡結構呈現、遺址樣貌、遺址周遭地景呈現（圖三）等等。加上一般的攝影測量軟體通常具備進一步的正射影像輸出功能，因此也常被用來取代衛星圖像，作為一般考古發掘報告書或會議論文發表時的遺址位置示意圖。是故，攝影測量法所產出的三維模型，由於其有針對目標物的高度真實還原性，在臺灣考古與文化資產領域的資料與資訊呈現上已展現相當大的發展潛力。



圖三 以攝影測量法建置 Saqacengalj 舊社遺址周遭三維地形案例

相較於三維模型運用於資訊與資料的呈現與展示，目標物的密集化點雲於考古學中的運用則較偏重於學術性的研究分析與議題討論。密集化點雲的資料模式主要是將目標物以無數個「點」的型態做為記錄與呈現，每一個點都具備各自的三維空間資訊（X、Y、Z），這使得密集化點雲在資訊的儲存、擷取、重組與分析上具備較高的操作性與自由度。由於點雲具備的空間屬性屬於數據型的資料型態，亦使得研究者可以依據需求擷取獨立的研究區域點雲資料，或是整體性的進行點雲在不同的空間尺度中進行測量統計、數據分析與數位轉化的空間分析。在這些不同的空間尺度中，小的如器物的表面使用痕跡與製造過程，中的如房舍結構或遺址內部的空間配置，大的如地景研究中的遺跡辨識、地貌分析與其相關地景議題等等，都展現出密集化點雲資料在考古議題中強大的分析應用能力。這些不同的運用方式，主要仍是將目標物的點雲資訊擷取出來視為一表面資訊來分析。小型器物表面像石器刀刃表面，可通過陰影圖或表面形態學分析等理解刃面的使用方式與切割痕跡；中大型地景地貌研究則是通過將地

表點雲資料轉化成不同型態的數值地表高程 DEM、DSM、與 DTM（郭素秋等 2017；Conolly and Lake 2006；Wu 2015；Wheatley and Gillings 2002），並進一步針對這個 DEM 進行地貌、路徑、坡度等空間分析，進行考古學議題的討論。

光達與攝影測量法

三維資訊與模型在考古學中的運用行之有年，最常見的當屬光達技術的運用。光達技術主要以掃描儀對目標物發射雷射光束，藉由目標物反射的訊號時間及光速計算儀器與目標物的相對距離，並進一步獲取三維資訊（技術原理詳見郭素秋等 2017；Devereux et al. 2005）。該技術一般區分為空載光達、地表基站式光達與行動光達三者，空載光達將掃描儀裝置於航空器上，從空中對地面進行掃描以取得大範圍的三維資訊；地表基站式光達將掃描器裝置於三腳架上，通過不同測站的資訊拼接，取得掃描區域的資料；行動光達則是小型手持式掃描儀，具有較高的靈活性與操作度。前兩者在舊社遺址研究中已展現出相當大的運用能力（吳牧鎔 2013；郭素秋等 2017）。

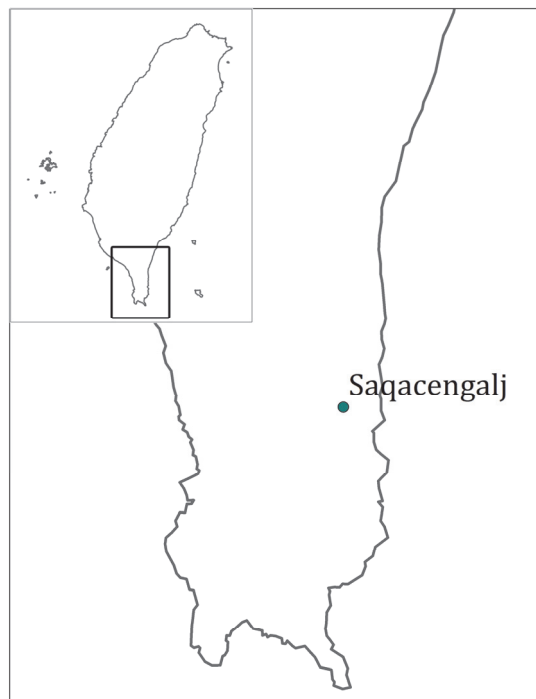
針對密集化點雲原始資料的蒐集，目前考古學中一般偏向光達技術與攝影測量法兩者混和搭配使用（Fernandez-Lozano and Gutierrez-Alonso 2016；Remondino 2013）。針對一個遺址的密集化點雲資訊，通常會先使用空載光達或攝影測量法蒐集大範圍地形地貌資訊，接著以地表光達蒐集遺址內部的空間資訊，最終再以攝影測量法蒐集遺址內部特定區域的細微資料，或是光達技術無法取得的狹小空間或是轉角的空間資訊。這樣的資料蒐集策略主要考量在於光達資訊的快捷與精準度，加上攝影測量法在細緻度與小型空間的靈活操作能力，最終將三個不同尺度的點雲資料整合為一，呈現完整的遺址三維模型呈現。

然而，臺灣的舊社遺址大多位於深山林地之中，地表光達掃描儀器一般相當昂貴與笨重，在山區長途跋涉將造成無比的困擾與風險；另一方面，雖然空載光達可以迅速且有效的獲取舊社遺址的位置與大致的地形地貌，不過其資料細緻度仍僅限於一平方公尺一個點的程度（內政部資料，詳見郭素秋等 2017），對於進行聚落遺址內部的空間分析而言，其研究分析的運用潛力有所侷限。相對的，攝影測量法在舊社研究的單一石板屋結構密集化點雲資料蒐集中，近年來開始展現相當有效的運用能力（陳光祖、鄭玠甫 2014）。本研究即以屏東高士部落 Saqacengalj 舊社遺址為例，試圖以攝影測量法建置舊社遺址的密集度點雲資料，並進一步的運用該資料在地景研究中不同分

吳牧鎔·攝影測量法在考古學舊社遺址研究與空間分析中的運用：以高士排灣 Saqacengalj 為例
析法的發展潛力評估。

研究對象與資料的擷取

高士村為屏東縣牡丹鄉南排灣族村落，現址聚落為該村族人 70 餘年前所遷入建立。而離現址七公里處；車行六公里約 20 分鐘，再入山一公里步行約 30 至 40 分鐘的林班地內，坐標為 120°51'25"E、22°09'07"N，名為 Saqacengalj 的石板屋舊社，相傳為該村族人遷入恆春地區的首居地（圖四）。Saqacengalj 意為鑿石板的工具，據村中耆老口傳，該舊居聚落已有 600 年的歷史，整個聚落遺址座落在一平坦的緩坡上，此緩坡包含了 14 個階地，呈東西走向，海拔約為 250 至 300 公尺。

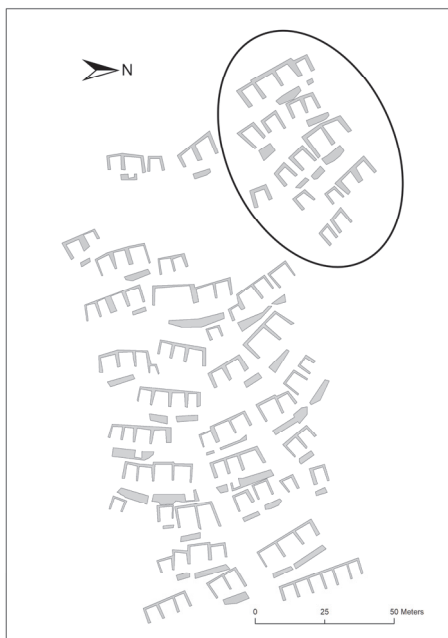


圖四 Saqacengalj 舊社遺址位置圖

Saqacengalj 石板結構大致是沿著地形、依階地平行排列分布。此平坡的北方臨一小縱谷，因為坡地漸趨陡峭、面積縮減，所以石板結構逐漸減少；平坡南面則接一乾涸的舊溪谷河床，成為聚落與石板結構分布的南界。在此舊河床的南面林地內，雖然

仍可見一些殘留的石板，但因樹木密布，灌木植被亦多，實難以斷定這些石板是否為完整結構的部分露頭，或只為斷瓦殘片。坡地西方外側，則因為山勢逐漸往上陡峭，而接另一階地平坡，結構數量隨著陡坡而減少，但在此上坡階地的北側，又另成一小結構群（含約 20 石板結構，村人稱為「上小部落」）。東面則面海、接一陡坡至瀑布，下接今中科院院區。此平坡範圍東西長 170 公尺、南北寬 130 公尺，占地面積約為 22,100 平方公尺（兩），此面積只以貼近石板結構群範圍為主。由於未見到相關的民族誌與文獻所記載的排灣族聚落一般外圍常設置的牆圍、哨站結構、刺竹等，當時住民聚落的範圍是否是以如此的地形為界，尚待考查（Chen 2008）。

Saqacengalj 舊社遺址的考古紀錄與發掘工作最早從 2003 年開始，由臺灣大學人類學系陳瑪玲帶領團隊至今超過 15 年的研究。其間於 2004 年進行遺址平面的平板測繪（圖五），2008 年與金門大學吳宗江團隊合作，進行地表基站式光達掃描以完成舊社遺址的數位化典藏紀錄，並取得遺址內部的數值地表高程（DEM）。爾後陳瑪玲團隊於 Saqacengalj 舊社遺址陸續進行三個石板家屋結構的發掘工作，並針對 Saqacengalj 舊社遺址陸續產出形成過程、社會結構、社群關係、空間分析、物質文化討論等考古學相關議題之論文（杜美慧 2006；吳牧鎔 2013；蔡佩穎 2007；慶昭蓉 2005；Chen 2008, 2011；Chen et al. 2010；Wu 2015；Wu and Lock 2012）。



圖五 簡化的 Saqacengalj 全區石板屋分布圖（橢圓區為本研究區域）

吳牧鎔·攝影測量法在考古學舊社遺址研究與空間分析中的運用：以高土排灣 Saqacengalj 為例

眾多發表的論文中，針對空間與社群關係間的關聯性進行了諸多的討論（吳牧鎔 2013；Chen 2011；Wu 2015；Wu and Lock 2012）。藉由地理資訊系統（GIS）作為空間分析平台，輔以其他相關分析技巧如空間型構（space syntax）與社會網絡分析等，進一步討論空間結構與社會結構的關聯性，與個體主體性在舊社遺址空間的社群互動中扮演的能動性與角色。在這些研究中的空間分析主要運用的資料，即為運用地表基站式光達所取得的 DEM、遺址平面圖與相關特殊石板結構遺留。由於大部分舊社遺址皆位於山坡地之上，遺址內部空間亦因應著地形形成數個階地與開放式平整空間，因此遺址內部的地形地貌對於空間分析中的空間連結與個體移動方式皆有重大的影響力與決定性。不僅在空間連結中或是人群互動上的討論都相當關鍵，也凸顯出遺址內部地形的 DEM 是舊社研究中對空間與社會相關議題討論不可或缺的必要資料。

本研究以前述上小部落石板屋結構群作為主要研究對象，利用攝影測量法取得的點雲產出 DEM，並進一步與光達掃描產出的 DEM 進行空間分析與人群互動分析的比較，藉此討論攝影測量法在取得舊社遺址 DEM 上的運用潛力與有效性。

資料蒐集策略

攝影測量法所產出的密集化點雲在目標物的照片拍攝技巧上，通常具有因應不同目標物而異的拍攝策略差異。以小型器物而言，如陶罐、石器、民族學標本等等，一般的影像拍攝手法會以環繞目標物的移動模式進行，並在不同的角度上重複執行此環形拍攝手法，以達到完整覆蓋器物的上部與下部的影像重疊性需求（圖二）；針對中型目標物，如小型發掘坑或是單一建築遺留結構，則會依目標物形制而定，採取環狀或追隨目標物形狀的拍攝手法進行；另一方面，針對大型目標物，如遺址全景或是大範圍的地形地貌，通常則是搭配無人載具或是空拍機，以條列狀「之」字形來回拍攝來達到整體區域的影像覆蓋率（圖三）。然而一般舊社遺址皆位於山區密林地帶，空拍機拍攝技巧無法穿透樹林取得地形地貌的資訊；同時，舊社遺址本身具有相當可觀的面積範圍，加上石板屋結構分布在不同的階地平台上，導致環狀拍攝的手法並不適用。因此，本研究主要採用的是追隨目標物形狀的拍攝手法，嘗試完成整個研究區域的影像覆蓋率的拍攝。

為有效取得舊社遺址的地形地貌，本研究拍攝策略如下：

1. 首先從最高（或是最低）的坡階平台作為起始點，從一角落面對石板屋後牆結構

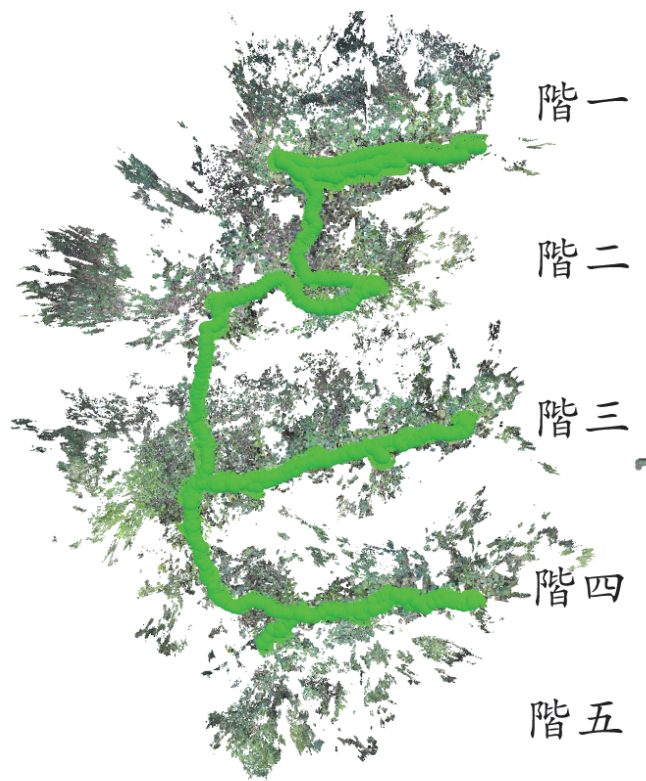
與山坡壁開始沿著階地水平移動，此部分主要在蒐集石板屋結構與上坡的三維資訊。

2. 移動到階地尾端後，轉向朝地面與下坡以約 45%角繼續拍攝，並沿原路水平移動回到起始點，此部分主要在蒐集階地平台與部分下坡的三維資訊。

3. 在起始點或是具有通往下一層（或上一層）階地的通道入口，繼續以 45%角向下並面對下一層階地側向 45%角，開始往下一層階地移動拍攝，此部分主要在蒐集連接不同階地平台的策略性影像與三維資訊。

4. 到下一階地平台後重複 1-3 的步驟，直到完成整個區域的影像覆蓋率。

本研究所採取的拍攝策略最終也會形成類似條列狀「之」字形或是「E」字形的動態拍攝移動路徑（圖六），不過與空拍機的拍攝手法不同的是在於每一條水平移動路徑重複行走兩次。第一次（上述步驟 1）為蒐集石板屋結構與上坡的資訊，第二次（上述步驟 2）為蒐集階地平台與下坡的資訊，藉此完成研究區域的影像覆蓋率。本研究於影



圖六 研究區域的拍攝路線與點雲圖

吳牧鎔·攝影測量法在考古學舊社遺址研究與空間分析中的運用：以高土排灣 Saqacengalj 為例

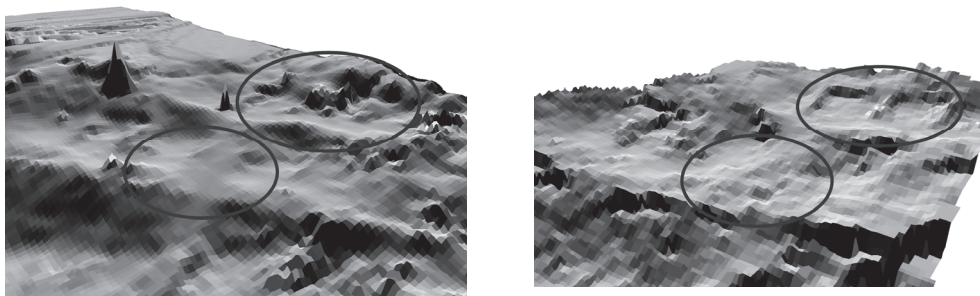
像拍攝時，以此策略總共拍攝兩組照片與一段影片，第一組以較密集的影像覆蓋率為主，約每半步拍攝一張照片，總計 1,222 張；第二組則嘗試以較快速的方式進行，約一步半拍一張，總計 452 張；第三則嘗試以影片方式獲取影像資訊。然而第二組照片可能因為間隔過大的關係，導致在圖像間的連接參考點不足，無法有效產出相機定位與三維資訊。而第三個影片可能因手持相機晃動容易過大，導致影像模糊且對焦在移動過程中失準，同樣無法產出有效的成果，因此以下研究皆以第一組照片產出的成果作討論。

地表光達與攝影測量法的分析成效比較

本研究針對 Saqacengalj 舊社遺址上小部落約 60 公尺*80 公尺範圍大小的區域，分別執行地表基站式光達與攝影測量法的三維資訊建模，並以此比較兩者在舊社內部的空間分析成果差異。所進行用以比較的分析涵蓋遺址內部的地貌分析、路徑分析、視域分析、人群互動分析等等，重在分析比較兩資料可供分析的空間資訊品質精細度與後續社會文化相關討論的潛力。

一、地形地貌的辨識與分析

針對密集化點雲在舊社遺址內部空間分析運用，主要重點在於其所產出的 DEM 是否可以有效地呈現出石板屋結構位置、階地平台差異與坡度地形的變化。圖七為兩技術在上小部落上方區域各自呈現的地形對照圖，此圖中可明顯看出兩技術所得資料皆相當成功地呈現出石板屋石牆堆砌「ㄇ」字形結構的空間分布、連接不同階地的緩坡與房舍結構前的通道。以此案例而言，藉由攝影測量法所建置的 DEM，呈現出較為「乾淨」與「清晰」的石板屋「ㄇ」字形結構。不過在連接不同階地的緩坡與平面通道上，由於攝影測量法穿透地面雜草與枯枝的能力與光達掃描相較之下較為薄弱，在貼近地面的呈現上則出現些微的參差不齊，不像光達資料那麼的平順。不過，兩者之間的差距一般約略僅限於五公分左右，對於地形地貌與建物結構的辨識不會造成影響。在兩者比對之下，藉由攝影測量法所建置的 DEM，不僅在地形地貌上可以達到與光達掃描幾近相同的品質，在石板屋結構的空間分布呈現上甚至有較清晰的成果。

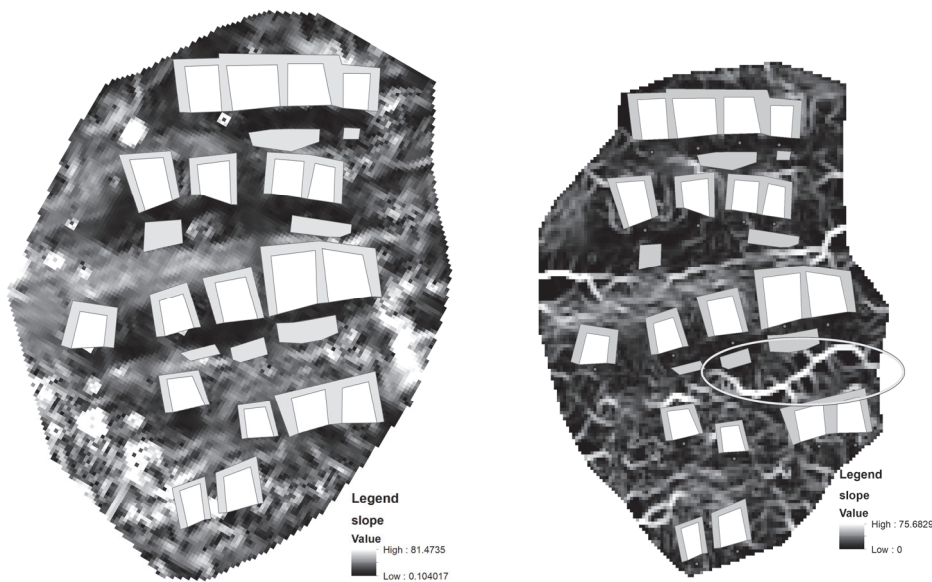


7a 地表光達

7b 攝影測量法

圖七 兩組資料在地形地貌及結構上的比較
(橢圓區為「」字型建築結構與地面平滑性)

然而，兩技術在上小部落整體的地形地貌擷取上有一明顯的區別，此差異主要在於第三階地與第四階地右側的坡度分析表現上。圖八可見經由攝影測量法產出的 DEM，其坡度分析顯示在第三階地與第四階地右側有明顯的斷裂；相對的地表光達產出的 DEM 坡度分析呈現的是一連續的平滑坡面。造成這個現象的關鍵主要是在影像拍攝時，照片在針對此一坡面的覆蓋率不足，導致電腦軟體無法針對此一坡面計算出有



8a 地表光達

8b 攝影測量法

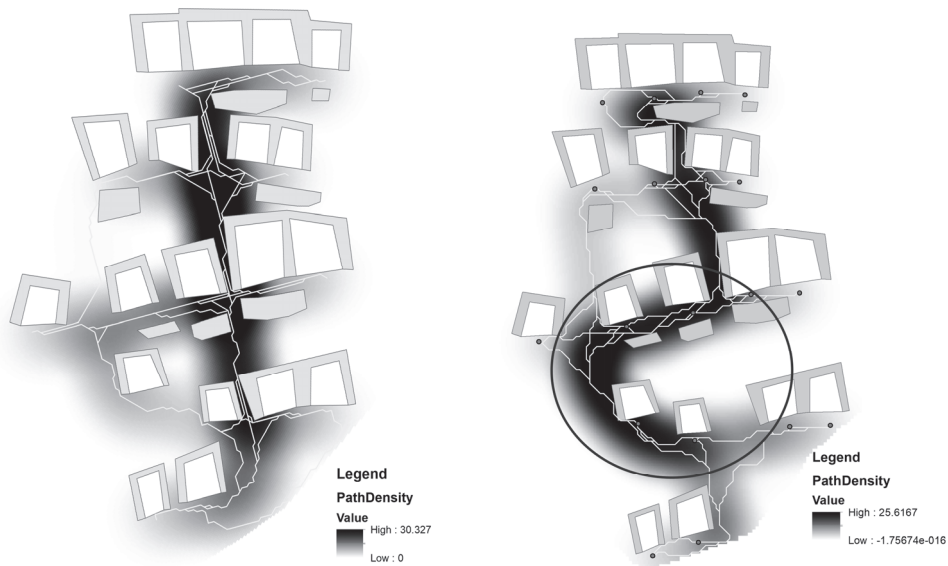
圖八 兩組資料在坡度分析上的比較 (橢圓區為第三階與第四階間的斷層)

吳牧鎔·攝影測量法在考古學舊社遺址研究與空間分析中的運用：以高士排灣 Saqacengalj 為例

效的點雲資訊，因而造成此二階地間呈現資料的空白斷層（參見圖六，階三、階四間右側空白處），進一步影響到 DEM 生成時的內插法計算，最終形成兩階地間的垂直坡度斷面。不過本研究強調，此坡度的斷裂原因主要在於影像拍攝當下的瑕疵所造成，並非攝影測量法技術上的缺失。而兩技術在其他區域的點雲建構與 DEM 生成上，並沒有明顯差異，因此在去除人為操作的瑕疵後，攝影測量法在 DEM 的產出與分析使用上，可以達到與地表光達產出的 DEM 有同等的品質和潛力。

二、路徑分析

舊社遺址內部的路徑分析主要在模擬討論個體在聚落內部的移動路徑與活動空間配置的可能性（吳牧鎔 2013；Wu 2015；Wu and Lock 2012）。圖九顯示出路徑分析的成果在兩技術產出的 DEM 中呈現出明顯的差異，此差異集中在第三階與第四階之間的中央通道的有無、攝影測量法分析成果在左上方路徑出現些微較高的路徑密集度。造成這個差異的原因依舊在於前述第三階與第四階的坡度斷裂上，由於大部分的路徑分析以地形坡度作為能量或時間消耗的考量依據，過於陡峭的坡度極容易被判別為不易通過的路段；而在資料空白形成的垂直坡度斷面上，一般會被資料分析程式直接判別



圖九 兩組資料在路徑分析上的比較（橢圓區為第三階與第四階間的路徑轉折）

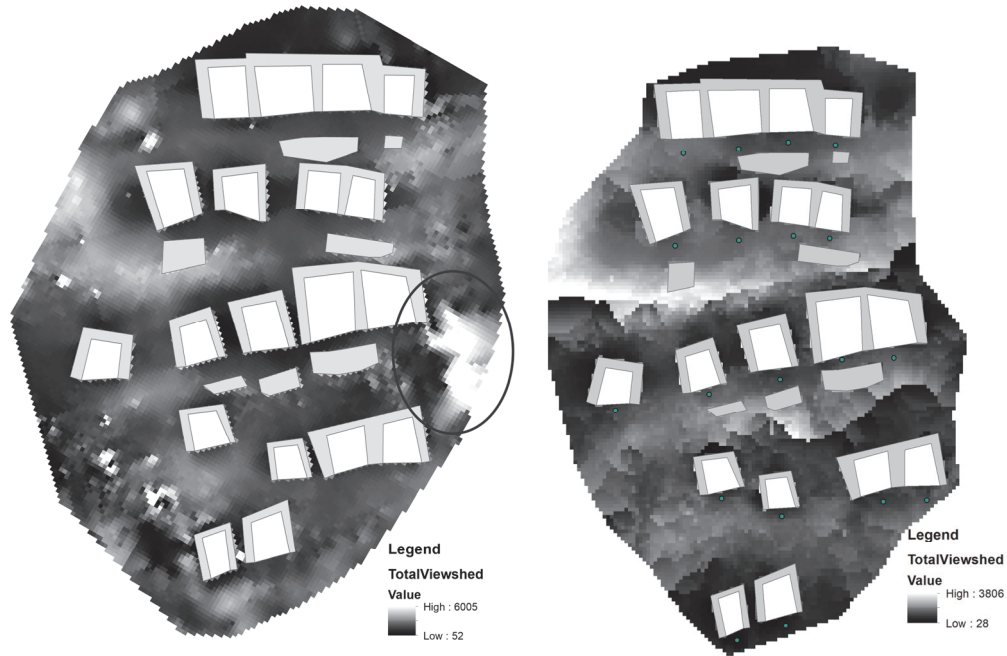
為無法通過的情況。因此，在此次分析上由於兩階地之間的坡度斷裂，導致程式在執行路徑分析時，讓個體移動路徑避開中央的通道而轉往使用左側的聯絡道路；而在中央通道不易通過的情況之下，同樣也導致程式讓少部分個體在上下階移動時，完全放棄使用中央通道而轉用左上方的小型連結通道，呈現出左上方路徑密集度有些微提高的結果。

從兩組資料各自的路徑分析成果來看（圖九），地表光達資料分析出的路徑密度圖，顯示使用路徑集中在上小部落中央通道；另一方面攝影測量法資料分析出的路徑密度圖，使用路徑則集中在中央位置與左下側的階地連結通道上。綜合兩者顯示上小部落人群的主要活動區域在於中央聯絡通道，與早期研究 Saqacengalj 下半部利用中央通道為主要移動路徑相同，亦顯示出兩區域應該要不都是經過空間規劃所形成的社群空間（吳牧鎔 2013；Wu 2015；Wu and Lock 2012），或是有著相同的空間運用理念與人群互動及移動原則所建構而成的。雖然攝影測量法所得的分析成果在上小部落下方有所差異，但造成這個差異性的影像拍攝瑕疵在補正過後，當可以獲得有效的修正。

三、視域分析

針對舊社遺址內部的視域分析，本研究主要使用的是「全視域分析（Total Viewshed）」（Llobera et al. 2010），旨在討論一地區的絕對視覺曝光度，亦即，在一個既定空間環境之中，哪些地方最常被人看到，哪些地方最不常被人看到。其分析成果時常被用來討論社會文化面向的議題，像是空間的感官認知、特定建物或區域是否經常被人看見而形成該區域的代表性或標誌性地景、敏感儀式是否位於不易被人看見的區域等等。是故此分析對於後續的社會文化議題與地景討論，具有相當程度上的發展潛力與運用能力。

兩組資料在全視域分析的成果上（圖十），兩者高曝光度區域皆位於分析區域左上方斜坡，這個現象主要是由於此斜坡地勢較高，因此相較其他地區形成較為明顯的視覺曝光度。另一方面，在地表光達的全視域分析中，第三階與第四階的右側及第三階的左側有明顯較高的視覺曝光度，這個現象主要是因在地表光達三維點雲中，此二處的樹叢資料無法清除乾淨，而樹叢由於高度較高，因此形成較高的視覺曝光度。相較之下，由於攝影測量法所產出的密集化點雲在人工刪點的過程中，樹木資料清除得比較乾淨，因而此二處的地形呈現了回歸正常的狀態。



10a 地表光達

10b 攝影測量法

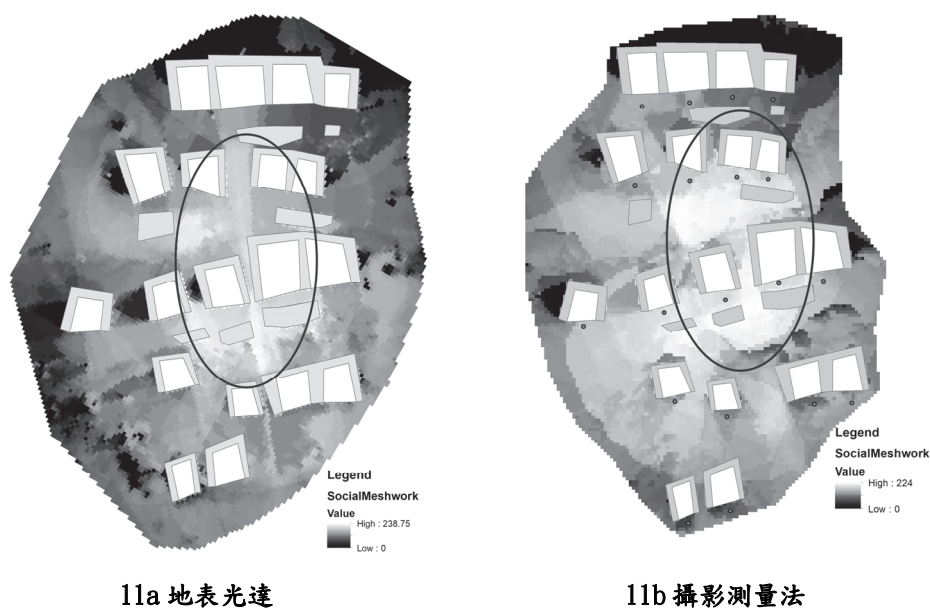
圖十 兩組資料在全視域分析上的比較（橢圓區為樹叢雜訊）

除了分析區域左上側斜坡明顯的高視覺曝光度外，其他區域有較高曝光度的，基本上是集中在階地與階地之間的斜坡上。由於舊社遺址一般位於山坡地上，階地與階地之間的斜坡自然形成視覺上的阻礙與屏障，導致階地間的斜坡呈現較高的視覺曝光度。若單看各階地平台的視覺曝光度，最常被看見的區域是位於第二階地，最不常被看見的則是位於第五階地。這個全視域的分析結果可以提供未來在社會文化研究議題上的討論，像是儀式性質的隱蔽性、特定家屋在個體感官認知上所形成的意念、或是特定家屋在空間與視覺上的易達性等等。

四、人群互動分析

本研究的人群互動分析主要採用的是「社會編網（social meshwork）」分析（Ingold 2011; Wu 2015; Wu and Lock 2012），旨在討論在一既定空間中，人群如何因應空間配置產生交流與互動，並進一步形塑該地區的社群關係。在此分析中，兩組資料的分析成果皆呈現出社群交流互動量集中在中央通道區域（圖十一）。不過攝影測量法的分析成

果在第三階地與第四階地的左側有明顯較高的交流互動量，導致這個差異的主要原因還是在於上述第三階地和第四階地之間的坡度斷層，由於攝影測量法所得的資料在此斷層上呈現出不易通過的現象，因此下半部人群的互動也因此集中到左側的區域。同樣的，這個差異性起因在於攝影測量法影像拍攝時的瑕疵，相信在資料補正之後可以獲得分析上的修正，而與光達資料會有較相似的分析成果。



圖十一 兩組資料在人群互動分析上的比較（橢圓區為中央通道）

兩組資料在人群互動分析的成果相當程度上與路徑分析相互呼應，兩者的差異性主要在攝影測量法於第三階地與第四階地間的空白斷層，導致模擬個體在分析區域活動時產生相對應的影響。不過人群互動分析在兩組資料上皆反映出對於中央聯絡通道的依賴性，再次呈現出該區域以中央聯絡通道作為社群整合的空間規劃模式，而這個空間規劃的特性依前期的分析成果顯示主要出現在 Saqacengalj 舊社遺址的中晚期(吳牧鎔 2013；Wu 2015)，因此此二分析成果可以為未來該舊社在形成過程與社群互動的分析上，提供寶貴的資訊與論述基礎。

討論—Saqacengalj 上小部落區域空間特性

地表基站式光達與攝影測量法兩技術所產出的 Saqacengalj 舊社遺址上小部落區域 DEM，在本研究的地形地貌、路徑、視域與人群互動四項分析成果中，顯示兩資料的分析成果在大部分區域呈現整體相當大的一致性。唯有在攝影測量法產出的密集化點雲中，因影像拍攝時的人為瑕疵，導致第三階地與第四階地之間出現坡面空白斷層，影響後續的分析成果。

一、成果精準度、細致度比較

在本研究的地形地貌與視域分析之中，兩技術產出的 DEM 在分析成果僅呈現相當細微的差異性。地形地貌與石板屋的結構辨識上，攝影測量法產出的 DEM 呈現出較為清晰的石板屋結構，然而在階地平台與緩坡上顯示出細微的雜訊；此差異可能主要源自於兩技術對貼近地面的矮小植被穿透度不一，而此差異對整體分析成果而言影響有限。而在視域分析的比較上，地表基站式光達的 DEM 則呈現出上小部落下部左右兩側明顯的樹叢雜訊；相對的，攝影測量法產出的 DEM 由於人工刪點工作較為完善，因此兩側樹叢的瑕疵得到妥善的修正。

二、操作流程

在資料擷取的操作與流程上，攝影測量法易因地形高度落差大而造成地形三維資訊的建構出現問題。故在類似不同階地之間斜坡地形高度落差較大的區域，影像擷取密度當須提高。如果無法在單一影像同時覆蓋石板屋結構與後方山坡的情況之下，建議單一階地來回拍攝三次，分別針對石板屋結構、後方坡面與階地平台進行拍攝。而在執行田野當下，最好攜帶小型工作站式的筆記型電腦，可以在影像拍攝結束之後立刻做初步資料處理，檢視影像拍攝成果是否符合研究所需，與是否完整覆蓋相對應的研究區域。

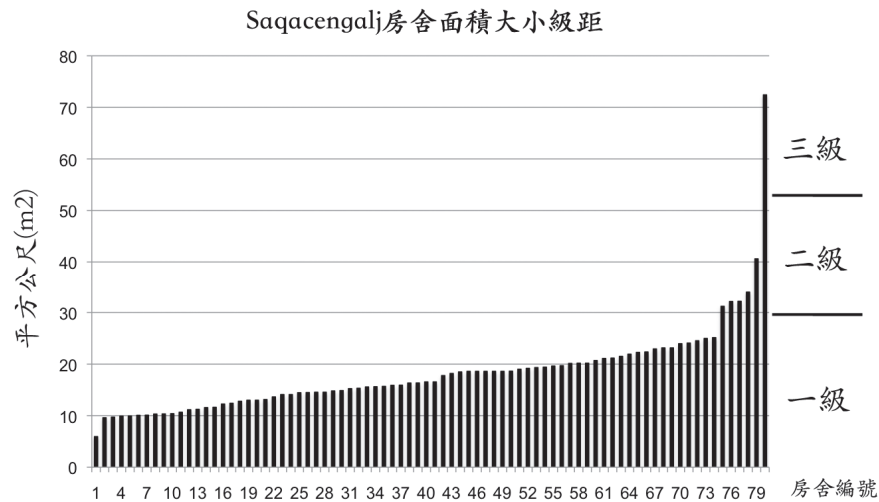
加入上小部落區域的 Saqacengalj 地景

由上述所進行的，地面光達與攝影測量法二技術所擷取與輸出的地表資料的效度比較，本研究運用其資料進行遺址內部的空間分析包括遺址內部的地貌分析、路徑分析、視域分析、人群互動分析等。而這些分析的結果，可以協助研究者理解分析區域

居住人群的組成結構與社群關係，並進一步的整合進入原有已分析的 Saqacengalj 舊社遺址資料中去進行社會文化議題的討論，對 Saqacengalj 整體社會結構、社群關係與地景做更多的理解與詮釋。

上小部落位於 Saqacengalj 舊社遺址的邊陲地帶（圖五），與主體區域之間被一陡峭山坡所隔絕，兩者之間僅有一崎嶇破碎的小型通道連結。從上小部落本身的石板屋結構群聚性及其與主體的空間區隔性來看，上小部落無疑呈現的是一個空間上的鄰群結構（吳牧鎔 2013）。而通過本研究的路徑與社群互動分析，顯示出中央聯絡通道作為此區域主要的人群活動與社群交流區域，此現象與先前主體區域的社群形成討論相互呼應。先前主體區域的社群研究強調，鄰群必須具備平坦的開放式空間，以供該區域居民交流互動與舉辦公眾性活動及儀式行為，這類開放式空間所形塑的是群體間的鄰居意識與同類意識（ibid.: 98）。在本研究區域中有至少兩個小型開放空間，顯示研究區域具備公共空間供居民做社會交流與公眾活動，有助於形成同類意識與鄰群凝聚力。因此上小部落相當程度上反映出的是一具社會互動交流與凝聚力的社會群體存在，不過問題在於這個社群本身的人群組成為何，及其與主體的社群關係為何？

從上小部落的房舍結構大小上判斷，此區域具有三間面積大小超過 30 平方公尺的石板屋結構，其他房舍結構大小約略坐落於 12-23 平方公尺之間。這個面積大小的差異性與 Saqacengalj 舊社主體的房舍結構差異性相當符合（圖十二）。依據早期的 Saqacengalj 研究成果，五個較大型的房舍結構（包含頭目家屋）皆群聚於頭目家屋周遭，而頭目通常為第一個居住於該地景中的家屋，因此推論五個較大型的房舍屬於最早定居於此聚落的居民；而作為最早定居於此的幾個家屋，依排灣族實踐的「家屋社會（House Society）」制度，這些家屋便形成後續人口增長中的原家與貴族，而該舊社的人口與空間成長呈現由上而下的發展歷程（吳牧鎔 2013；Wu 2015）。若上小部落與 Saqacengalj 主體在房舍結構大小級距與社會階級的關聯性相同，此區域總計 23 戶的區域中便居住了四個貴族家屋；相較於 Saqacengalj 主體 84 戶中五個貴族家屋，此區域在貴族與平民家屋的比例上呈現相當明顯的差異。針對這個差異懸殊的現象，或可能有三種可能性。



圖十二 Saqacengalj 舊社主體的房舍結構大小級距

其一，依前期對 Saqacengalj 的分析成果，以中央聯絡通道整合階地平台的空間規劃模式主要出現在主體區域的中晚期（吳牧鎔 2013；Wu 2015）。若此分析結果對理解 Saqacengalj 聚落的成長與發展模式是有其效度的，那或可推測上小部落僅為 Saqacengalj 舊社在日漸擴張下，人口溢出形成的新區域。在路徑分析與社群互動分析中呈現，此區域主要的活動與社會交流與主體區域一樣也同是主要集中在中央聯絡通道上，且這個中央聯絡通道也是整合各平台空間的主要幹道。而房舍面積大小的提升或許是部落在中後期採取石板上的能力提升或建造房舍結構技術的提升，因此部落人群有較充足的石板材料與技術來建造較大型的房舍，或是社群結構在身分或資源的取得與控制上，在中晚期有了些許的變動。

其二，Saqacengalj 主體區域與上小部落同時建造居住，但是屬另一獨立家族或鄰群群體的可能性。此論述主要將上小部落視為與高土部落對等但有極親近連結的的另一獨立群體，如同文樂舊社遺址包含文樂與望嘉兩系統（郭素秋等 2017）、舊來義舊社包含排灣與箕模兩系統（吳政隆 1994）等。在這個推論的前提之下，兩不同系統的族人分別居住於具明顯區隔的地理位置之上，而不同族群的頭目與貴族各自管理所轄的區域，可以有效解釋為何上小部落有如此數量的貴族家屋。

其三，上小部落為中後期遷移進入 Saqacengalj 舊社的另一與 Saqacengalj 有所關聯或依附的獨立群體。如同第二項論述，此論述將上小部落視為與高士部落對等的另一獨立群體；不過差異在於，此獨立群體是在 Saqacengalj 舊社已發展至相當程度後，才從原本的居住地遷移至上小部落區與居住。這個推論可以有效的解釋為何有多個大型石板屋結構，而由於該群體為外地遷入者，在與當時的高士部落頭目交涉過程中，該群體的頭目或許因此放棄豎立頭目石柱，以表示在某種程度上對於高士部落頭目的服從；而由於該群體進入上小部落時為集體進駐，因此得以在該區域先進行空間規劃再開始建造石板屋房舍結構，最終呈現整體區域依附中央聯絡通道的空間布局。

針對上小部落的社群組成特性及其與 Saqacengalj 舊社主體在社會結構上的關聯特性，相信需要未來考古發掘資料的驗證與諸多討論。本研究單從三維資料運用與空間分析中討論該區域呈現出的社會結構差異與空間現象，顯示 Saqacengalj 舊社遺址整體的社群組成，或許並非先前研究想像的單純，是否能僅從單一高士部落社群含括該遺址整體的取向來討論社會文化議題需謹慎檢視的。除了部落內部次群體的社會關係外，上小部落呈現出具有另一獨立社群的可能性。在加入上小部落區域的三維資料與空間分析討論後，未來 Saqacengalj 舊社遺址的社會文化討論，可以呈現出更加完整與全貌的研究議題發展。

結論

本研究旨在討論攝影測量法在臺灣舊社遺址的運用與分析潛力，從三維資訊的擷取工作與其資料的有效度與精細度、操作流程加以評估；並以地表光達、攝影測量法擷取所得二組資料進行如地貌、路徑、視域、人群互動等的分析，以比對其結果之精細與有效度。研究分析成果顯示，在兩技術建置的舊社遺址 DEM 資料上，通過攝影測量法所產出的地形地貌資訊，在石板屋結構的呈現上具有較為清晰乾淨的成果；然而，在貼近地面的地表呈現上，由於攝影測量法穿透地面雜草與枯枝的能力較為薄弱，因此會有大約五公分左右的誤差，在地表的呈現上不像地表光達技術產出的 DEM 般滑順。另外，攝影測量法受到影像拍攝時的策略與品質影響較大，人為拍攝時的瑕疵會相當程度上的反映在三維資訊的建置上，因此在資料蒐集過程中對人為操作的要求需要特別的嚴謹與周全。

儘管此分析成果顯示使用攝影測量法有其優勢，不過仍須注意兩技術運用的選擇

吳牧鎔·攝影測量法在考古學舊社遺址研究與空間分析中的運用：以高士排灣 Saqacengalj 為例

取決須奠定在資料的後續分析與運用上的考量而非是絕對的。本研究目的不在提倡以攝影測量法取代地表光達作為舊社遺址主要的三維資訊的擷取與建立。地表光達資料在提供遺址三維資訊上的運用行之有年，在臺灣舊社遺址的數位紀錄與研究分析上亦展現出非常強大的運用潛力，其三維資訊的細緻度與精準度相較攝影測量法是有其優勢的。此研究顯示的是在舊社的遺址內部空間分析研究中，攝影測量法提供一個相當經濟、便利、有效、可普遍運用的地形地貌資料擷取紀錄途徑。

未來在執行舊社遺址的地形地貌三維資料紀錄與蒐集上，本研究建議先從空載光達圖資開始著手，針對研究主體進行大範圍的遺址範圍辨識與確認，以此避免在實際田野時期可能因地形或植被阻隔地表調查，導致舊社遺址邊陲地帶或有段距離的房舍結構未被發現。在確認舊社遺址大致的範圍大小與空間分布之後，以地表基站式光達或是攝影測量法進入田野地，執行舊社遺址的數位三維資訊擷取與模型建置。最終再以攝影測量法添增特定房舍或目標物的細節資訊，一方面補足許多轉角與死角空間不易取得的三維資料，另一方面增加特定器物或結構在三維模型中的細緻度與真實度。

另外，本研究主要討論 Saqacengalj 舊社遺址的上小部落區域，研究成果顯示上小部落內部包含多個大型房舍結構，而路徑分析與人群互動分析呈現出，該區主要通過中央聯絡道路作為空間及社群整合的活動樞紐。種種分析成果顯示上小部落區域與 Saqacengalj 主體區域在空間的配置與運用上具有相同的特性，但又具有完整而與主體有所區隔的鄰群區域特點；此區域的居住者或許有可能為一具有與 Saqacengalj 主體人群有密切社會互動交流，但本身具內部自有凝聚力的社會群體。如此，Saqacengalj 舊社整體內部的社群組成或可能要比早期想像的要複雜許多。因此，將上小部落的資訊整合進入 Saqacengalj 舊社本體，未來可為該遺址提供更加充足與多樣的資訊，進行社會結構、群體互動、權力運作等等，更加完整與全貌的研究議題發展。

致謝

本研究感謝金門大學吳宗江教授團隊協助光達資料的掃描；陳瑪玲計畫主持人提供筆者獨立運用資料與發表的機會與多次意見的交流；高士社區發展協會於田野期間的協助；以及科技部提供「GIS 在人類學地景研究的運用：新分析取徑的可能—考古學路的研究」研究計畫的經費支持。

參考書目

吳牧鎔

- 2013 〈聚落空間與社會鄰群：電子運算考古學在排灣高士舊社 Saqacengalj 的運用〉。《考古人類學刊》79：71-104。doi: 10.6152/jaa.2013.12.0004

吳政隆

- 1994 《排灣族舊來義聚落與空間之研究》。私立東海大學建築學研究所碩士論文。

杜美慧

- 2006 《遺址形成過程之探究：以排灣族舊社 Saqacengalj 遺址為例》。國立臺灣大學人類學研究所碩士論文。doi: 10.6342/NTU.2006.00353

林圭偵、鄭玠甫、廖泓銘、陳郁茹

- 2018 《拉庫拉庫流域布農族佳心舊社調查研究暨 GIS 故事地圖建置計畫成果報告書》。花蓮縣文化局委託中央研究院歷史語言研究所。

郭素秋、鄭玠甫、黃鐘、林柏丞、胡植慶

- 2017 〈空載光達技術在台灣山區舊社考古學研究的應用：以排灣族文樂舊社為例〉。《考古人類學刊》87：67-88。doi: 10.6152/jaa.2017.12.0003

陳光祖、鄭玠甫

- 2014 〈八通關古道東段拉庫拉庫流域舊社初步考古調查〉。「中央研究院歷史語言研究所 2014 年度本院考古研究計畫成果報告」宣讀論文，中央研究院歷史語言研究所，1 月 28 日。

陸泰龍

- 2016 〈Photoscan 在考古工作中的應用—以清代機器局東側圍牆與道路之發掘研究為例〉。「2015 年臺灣考古工作會報」宣讀論文，國立臺灣史前文化博物館，6 月 6 日。

葉長庚

- 2017 《地貌擷取科技於考古田野作業之應用；以花蓮縣豐濱·宮下遺址為例》。花蓮：花蓮縣文化局。

吳牧鎔・攝影測量法在考古學舊社遺址研究與空間分析中的運用：以高士排灣 Saqacengalj 為例

劉亭攸

2013 〈地理資訊系統在集域分析及地景空間的應用：以鵝鑾鼻第三／第四文化相遺址為例〉。《考古人類學刊》79：47-70。doi: 10.6152/jaa.2013.12.0003

慶昭蓉

2005 《土壤化學分析在考古學空間分析上的應用—以屏東牡丹鄉排灣族 Saqacengalj 舊社遺址為例》。國立臺灣大學人類學研究所碩士論文。

蔡佩穎

2007 《空間分析與房舍結構：以屏東縣牡丹鄉排灣族 Saqacengalj 舊社遺址為例》。國立臺灣大學人類學研究所碩士論文。doi: 10.6342/NTU.2007.02058

Campana, Stephano, Matteo Sordini, Giovanna Bianchi, Giuseppe Alessandro Fichera, and Laura Lai

2012 3D Recording and Total Archaeology: From Landscapes to Historical Buildings. *International Journal of Heritage in the Digital Era* 1(3): 443-460. doi: 10.1260/2047-4970.1.3.443

Carrivick, Jonathan L, Mark W Smith, and Duncan J. Quincey

2016 *Structure from Motion in the Geosciences*. Chicester: John Wiley & Sons. doi: 10.1002/9781118895818

Chase, Arlen F., Diane Z. Chase, John F. Weishampel, Jason B. Drake, Ramesh L. Shrestha, K. Clint Slatton, Jaime J. Awe, and William E. Carter

2011 Airborne LiDAR, Archaeology, and the Ancient Maya Landscape at Caracol, Belize. *Journal of Archaeological Science* 38(2): 387-398. doi: 10.1016/j.jas.2010.09.018

Chen, Maa-ling

2008 Settlement Patterns at Saqacengalj, a Slate House Settlement in Southern Taiwan. *Asian Perspectives* 47: 210-241. doi: 10.1353/asi.0.0002

2011 Interpreting Social Differentiation by Examining the House and Settlement Patterns and the Flow of Resources: A Case Study of Pai-wan Slate House Settlements in Southern Taiwan. *Asian Perspectives* 50: 107-131. doi: 10.1353/asi.2011.0003

Chen, Maa-ling, Yi-lin Chen, and Hai-ling Lee

- 2010 Interpreting the Social Meaning of Different Shapes of House Structures by Examining the Flow of Resources: A Case Study of Saqacengalj at the Southern Tip of Taiwan. *Archaeometry* 52(6): 1057-1078. doi: 10.1111/j.1475-4754.2010.00517.x

Conolly, James, and Mark Lake

- 2006 *Geographical Information Systems in Archaeology*. Cambridge: Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9780511807459

Cosmas, John, Take Itegaki, Damian Green, Edward Grabczewski, Fred Weimer, Luc Van Gool, Alexy Zalesny, Desi Vanrintel, Franz Leberl, and Markus Grabner

- 2001 3D MURALE: A Multimedia System for Archaeology. *In Proceedings of the 2001 Conference on Virtual Reality, Archeology, and Cultural Heritage*. David Arnold, Alan Chalmers, and Dieter Fellner, eds. Pp. 297-306. New York: ACM. doi: 10.1145/584993.585048

Crutchley, Simon, and Peter Crow

- 2010 *The Light Fantastic: Using Airborne LiDAR in Archaeological Survey*. Swindon: English Heritage.

Devereux, Bernard J., Gabriel S. Amable, Peter Crow, and Andrew D. Cliff

- 2005 The Potential of Airborne LiDAR for Detection of Archaeological Features under Woodland Canopies. *Antiquity* 79(305): 648-660. doi: 10.1017/S0003598 X00114589

Evans, Thomas L., and Patrick Daly, eds.

- 2006 *Digital Archaeology: Bridging Method and Theory*. London: Routledge.

Fernandez-Lozano, Javier and Gabriel Gutierrez-Alonso

- 2016 Improving Archaeological Propection using Localized UAVs Assisted Photogrammetry: An Example from the Roman Gold District of the Eria River Valley(NW Spain). *Journal of Archaeological Science, Reports* 5: 509-520. doi: 10.1016/j.jasrep.2016.01.007

Ingold, Tim

- 2011 *Being Alive: Essays on Movement, Knowledge and Description*. London:

吳牧鎔・攝影測量法在考古學舊社遺址研究與空間分析中的運用：以高士排灣 Saqacengalj 為例

Routledge.

Llobera, Marcos, David Wheatley, James Steele, Simon Cox, and Oz Parchment

2010 Calculating the Inherent Visual Structure of a Landscape('Inherent Viewshed') using Highthroughput Computing. *In Beyond the Artefact: Digital Interpretation of the Past*. Franco Niccolucci and Sorin Hermon, eds. Pp. 146-151. Budapest: Archaeolingua.

Miles, James, Mark Mavrogordato, Ian Sinclair, David Hinton, Richard Boardman, and Graeme Earl

2016 The Use of Computed Tomography for the Study of Archaeological Coins. *Journal of Archaeological Science, Reports* 6: 35-41. doi: 10.1016/j.jasrep.2016.01.019

Miles, James, Mike Pitts, Hembo Pagi, and Graeme Earl

2014 New Applications of Photogrammetry and Reflectance Transformation Imaging to an Easter Island Statue. *Antiquity* 88(340): 596-605. doi: 10.1017/S0003598X00101206

Minkin, Louisa, Ian Dawson, Nicole Beale, and Gareth Beale

2013 Making Digital: Visual Approaches to the Digital Humanities. *Journal of Digital Humanities* 2(3): 240-247.

Opitz, Rachel S., and David C. Cowley, eds.

2013 Interpreting Archaeological Topography: Airborne Laser Scanning, 3D Data and Ground Observation. Oxford: Oxbow. doi: 10.2307/j.ctvh1dqdz

Pollefeys, Marc, Luc Van Gool, Maarten Vergauwen, Kurt Cornelis, Frank Verbiest, and Jan Tops

2001 Image-based 3D Acquisition of Archaeological Heritage and Applications. *In Proceedings of the 2001 Conference on Virtual Reality, Archeology, and Cultural Heritage*. David Arnold, Alan Chalmers, and Dieter Fellner, eds. Pp. 255-262. New York: ACM. doi: 10.1145/585031.585033

2003a 3D Capture of Archaeology and Architecture with a Hand-held Camera. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 34(5/W12): 262-267.

2003b 3D Recording for Archaeological Fieldwork. *IEEE Computer Graphics and Applications* 23(3): 20-27. doi: 10.1109/MCG.2003.1198259

Remondino, Fabio

2013 Worth a Thousand Words – Photogrammetry for Archaeological 3D Survey. *In* *Interpreting Archaeological Topography: Airborne Laser Scanning, 3D Data and Ground Observation*. Rachel Opitz and David Cowley, eds. Pp. 115-122. Oxford: Oxbow. doi: 10.2307/j.ctvh1dqdz.14

Richter, Ashley M., Falko Kuester, Thomas E. Levy, and Mohammad Najjar

2012 Terrestrial Laser Scanning(LiDAR) as a Means of Digital Documentation in Rescue Archaeology: Two Examples from the Faynan of Jordan. Paper presented at 2012 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, Milan, September 2-5. doi: 10.1109/VSMM.2012.6365967

Sapirstein, Philip, and Sarah Murray

2017 Establishing Best Practices for Photogrammetric Recording During Archaeological Fieldwork. *Journal of Field Archaeology* 42(4): 337-350. doi: 10.1080/00934690.2017.1338513

Siart, Christoph, Markus Forbriger, and Olaf Bubenzer

2017 *Digital Geoarchaeology: New Techniques for Interdisciplinary Human- Environmental Research*. Berlin: Springer. doi: 10.1007/978-3-319-25316-9

Verhoeven, Geert

2011 Taking Computer Vision Aloft-archaeological Three-dimensional Reconstructions from Aerial Photographs with Photoscan. *Archaeological Prospection* 18(1): 67-73. doi: 10.1002/arp.399

Vincent, Matthew L., Víctor Manuel López-Menchero Bendicho, Marinos Ioannides, and Thomas E. Levy

2017 *Heritage and Archaeology in the Digital Age: Acquisition, Curation, and Dissemination of Spatial Cultural Heritage Data*. Berlin: Springer. doi: 10.1007/978-3-319-65370-9

吳牧鎔 · 攝影測量法在考古學舊社遺址研究與空間分析中的運用：以高士排灣 Saqacengalj 為例

von Schwerin, Jennifer, Heather Richards-Rissetto, Fabio Remondino, Maria Grazia Spera, Michael Auer, Nicolas Billen, Lukas Loos, Laura Stelson, and Markus Reindel

2016 Airborne LiDAR Acquisition, Post-processing and Accuracy-checking for a 3D WebGIS of Copan, Honduras. *Journal of Archaeological Science, Reports* 5: 85-104. doi: 10.1016/j.jasrep.2015.11.005

Wheatley, David, and Mark Gillings

2002 *Spatial Technologies and Archaeology: The Archaeological Applications of GIS*. London: Taylor & Francis. doi: 10.1201/b12806

Wu, Mu-chun

2015 *Spatial Construct of Social Relations: Social Transformation in Early Kaushi, Taiwan*. Ph.D. dissertation, Institute of Archaeology, University of Oxford.

Wu, Mu-chun, and Gary Lock

2012 *The Spatial Construct of Social Relations: Human Interaction and Modelling Agency*. In *Thinking Beyond the Tool: Archaeological Computing and the Interpretative Process*. Angeliki Chrysanthi, Patricia Murrieta Flores, and Constantinos Papadopoulos, eds. Pp. 88-102. Oxford: Archaeopress.

