

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

郭素秋*、鄭玠甫**、黃鐘***、林柏丞****、胡植慶*****

摘要

研究位於山區的原住民舊聚落，往往會受限於山地的困難地形與茂密植被。有許多舊社位於無路徑或未知之處，幾乎無法以徒步調查的方式取得這些舊聚落的分布。而已知的山區舊社，也因植被覆蓋，以致紀錄於地表上的石砌結構時，需要先以大量人力將低層的植被清除，才得以窺其全貌。本研究將空載光達技術，應用於台灣舊社考古學研究。屏東縣來義鄉的排灣族文樂舊社為例，將本區以考古學方法測繪之全區聚落平面圖與政府現有之空載光達資料比對。在地理資訊系統的協助下，我們分析了兩者之間的異同，並討論光達資料應用於台灣山區原住民舊社考古學研究的可行方向。

關鍵詞：空載光達、舊社考古學、地理資訊系統、排灣族、文樂舊社

* 中央研究院歷史語言研究所副研究員。

** 波士頓大學考古學系博士候選人，通訊作者 email:chiehfu.c@gmail.com。

*** 台灣大學地質科學系博士後研究員。

**** 中央研究院人文社會科學研究中心地理資訊科學研究專題中心博士後研究員。

*****台灣大學地質科學系教授。

An Application of Airborne LiDAR to the Archaeological Study of Abandoned Indigenous Settlements in Mountain Areas – A Case Study of the Wun-lou Site of the Paiwan Group, Taiwan

Kuo, Su-chiu *、**Cheng, Chieh-fu Jeff ****、**Lin, Bo-Cheng *****、
Huang, Chung ****、**Hu, Jyr-Ching *******

ABSTRACT

The archaeological study of abandoned indigenous settlements in the mountains of Taiwan is often restricted by thick vegetation and difficult terrain. Some of these sites are in inaccessible known areas and it is unlikely that they could be located by investigators on foot due to the difficult mountainous environment. The sites we are able to locate were often covered with thick vegetation, which requires massive energy and time to clear before any study can be done. Our research applies the airborne LiDAR to the study of the above-mentioned sites. We compared the site layout of Wun-lou, an abandoned Paiwan settlement, mapped by archaeologists in 2014 with the data provided by airborne LiDAR from the government, using GIS. Through this comparison, we provide an evaluation and suggestions as to the application of LiDAR data to the archaeological study of abandoned indigenous settlements in the mountains of Taiwan.

Keywords: Airborne LiDAR, archaeological study of abandoned indigenous settlements in the mountain area of Taiwan, GIS, Paiwan group, Wun-lou site

* Associate Research Fellow, Institute of History and Philology, Academia Sinica

** Ph.D. Candidate, Archaeology Dept., Boston University

*** Postdoctoral Fellow, Dept. of Geosciences, National Taiwan University

**** Postdoctoral Fellow, Center for GIS, RCHSS, Academia Sinica

***** Professor, Dept. of Geosciences, National Taiwan University

前言：台灣山區舊社考古學研究的困難處

台灣約有三分之二的土地為山區，其中相當的範圍為原住民長久居住的傳統領域。然由於歷史的發展，原居於深山地區的原住民現已遷移至較為淺山或者是平地之區域，而他們原本傳統的家屋與聚落，便隨著時代變遷而荒蕪於山煙蔓草之中了。台灣的考古學者自 1980 年代開始有較為正式的「舊社」調查工作，其中一個重要的焦點，即是前述位於山區的原住民舊聚落（黃士強、劉益昌 1980）。對於這些山區舊聚落的全面性考古學研究，可以讓我們從物質文化的角度，理解早期原住民的生活。若再配合文獻、民族誌與口傳文學的資料，更可以協助我們討論先民在傳統領域時的歷史與變遷。

然而，從事山區的舊社考古學研究，往往會受限於台灣山地的困難地形與茂密植被。其一，在台灣廣大的山林中有無數的舊社遺址，許多往往路途遙遠且路徑險阻，或者無路徑可達。甚至，有些遺址的位置根本不為人所知。而山區幅員廣大，加上地形與植被的阻礙，幾乎無法使用系統性調查的方式來掌握大區域範圍內所有遺址的位置（陳光祖、鄭珍甫 2013），這阻礙了我們全面了解舊聚落分佈以及其相互關係的可能性。其二，即便是針對已知位置的舊社進行研究，在界定範圍與紀錄周遭環境時，亦會受到地形與植被的影響。除了山區地形陡峭，視野不佳外，地表上的石板屋或其他石砌結構等遺跡，往往受到高層與低層的植被覆蓋，不易觀察。故在進行單一聚落空間分布的紀錄時，需要先以大量人力將低層的植被清除，才得以窺其全貌。

上述台灣山區自然環境特徵造成造成的困難，增添了山區舊社研究的時間與人力成本，也阻礙了我們對區域聚落關係的探查。所幸，近年來空載光達技術（Airborne Light Detection and Ranging, Airborne LiDAR）的蓬勃發展，以及其在考古學的調查上廣泛應用，有機會協助我們降低台灣山區舊社考古學研究時常遭遇的困難。

空載光達技術說明以及其在台灣山區舊社考古學調查上的可能應用

空載光達技術大約於 20 年前開始發展。其可以快速、精確且有效率的取得地形資料，如今已是為國際上數值地形模型（Digital Elevation Model, DEM）的主要產製技術，並被廣泛地應用於考古學、地貌學（geomorphology）、地球科學與其他會使用到精確地形資訊的學科。尤其在傳統調查方式（如空中調查 aerial survey 或地表調查 field survey）較為困難或費時，效果不佳的地方，空載光達技術的應用更顯可貴（Mayoral et. al

2017）。空載光達技術的大略步驟如下：

1. 首先利用架設於飛行器上之雷射掃描儀掃描地面。
2. 當掃描儀內之偵測器測得由地面物反向散射之雷射光束訊號後，可藉由時間與光速計算掃描儀和該物體之相對距離（Wehr 1999）。
3. 在求得掃描儀與地面物之相對位置後，再將飛行器之空間坐標（由全球定位系統提供）與地面上設立之全球定位系統接收站進行差分計算，以求得飛行器之精確位置，並與飛行器之飛行姿態（由慣性導航系統提供）一起計算，以得到雷射回波點於地表上之精確位置（圖 1）。

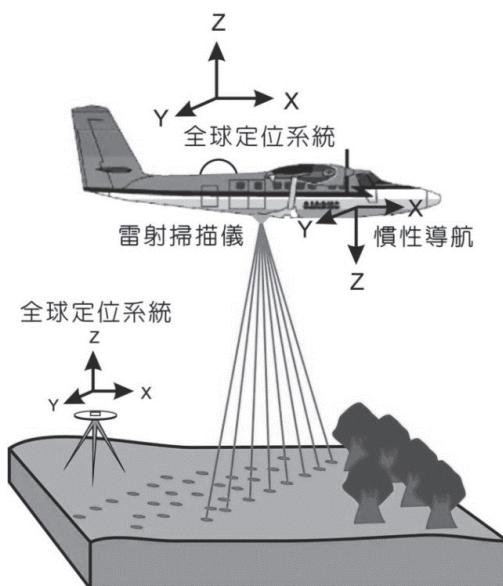


圖 1 空載雷射掃描技術示意圖（引自黃鐘等 2004）

4. 雷射光束經過植被覆蓋區時會穿過林木之枝幹，因此會有多次回波（圖 2）資料。所以在建構數值地形模型時必須萃取最後一個回波，以取得原始地面之高程資料。此外，若掃描區域內有建築物等人文構造，在資料後處理時會透過演算法和人工辨識等方式將其濾除以產製數值地形模型，而經由所有第一次回波點所建立之模型則稱之為數值地表模型（Digital Surface Model, DSM）。例如圖 3 為台中市潭子區新興國小一帶之數值地表模型（圖 3-A）與數值地形模型（圖 3-B）比較圖，在數值地表模型剖面（圖 3 左下圖）之中可見房舍、樹林等物體，而在數值地形模型剖面（圖 3 右下圖）中這些物體均已濾除。

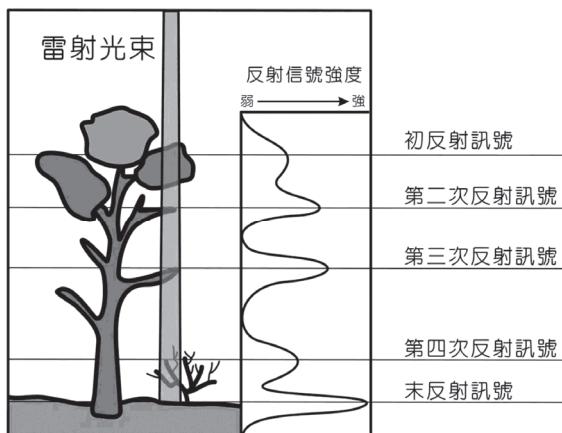


圖 2 雷射光回波次數示意圖（引自黃鐘等 2004）
(雷射光束經過植被覆蓋區時會穿過林木之枝幹，因此會有多次回波)

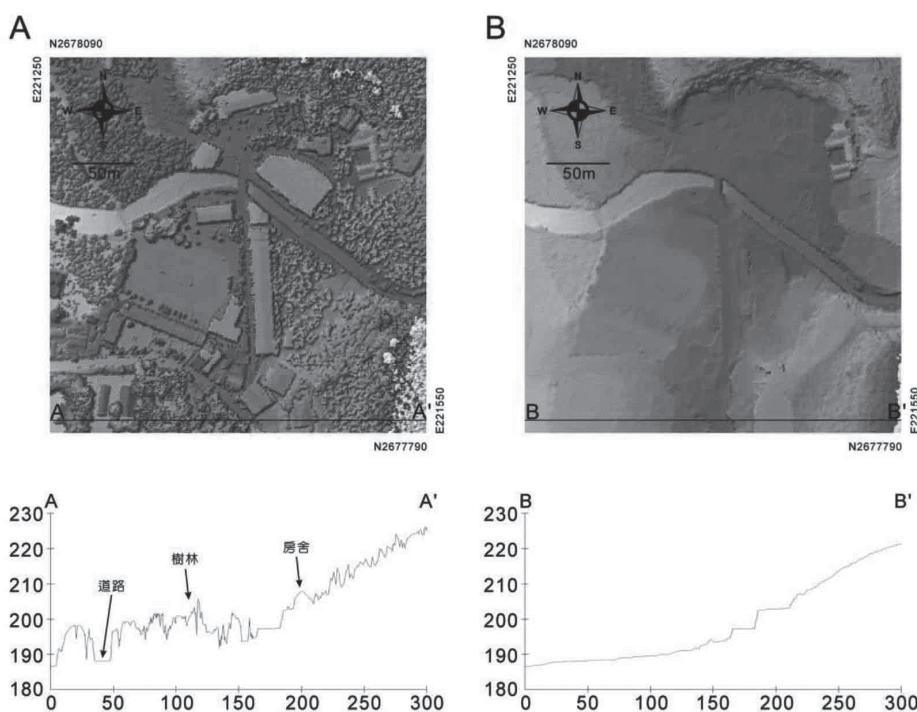


圖 3 台中市潭子區新興國小一帶 DSM 與 DEM 比較圖（修改自黃鐘等 2004）
(新興國小一帶之數值地表模型（圖 3-A）與數值地形模型（圖 3-B）比較圖，在數值地表模型剖面（圖 3 左下圖）之中可見房舍、樹林等物體，而在數值地形模型剖面（圖 3 右下圖）中這些物體均已移除。)

利用此技術產製出之數值地形模型主要具備兩種特徵，一為高解析度（地表解析度可達 1 平方公尺）；其二為由於光束具有穿透葉隙的能力，能夠獲得植生覆蓋下地形地物的高程資料，進而顯示原始地形面之形貌。台灣於 2002 年進行第一次空載光達測試掃描，並產製第一批高解析度的數值地形模型資料。2004 年開始，多家民間業者引進空載光達掃描儀，並在政府各部會支持下進行數個覆蓋全島之大規模光達掃描計畫，目的主要包含基礎地形資料建置、災害調查分析、林業資源調查、高壓電塔與電線維護、水利項目、及地質調查等，其中，所產製的高解析度數值地形模型資料，已大致涵蓋全台灣（劉進金、徐瑋城 2012）。

也就是因為空載光達技術產製之高解析度數值地形模型（DEM），能夠濾除地表植被覆蓋而辨識出高密度植生區內的地表特徵。近年來，國外已有許多探討空載光達產製之 DEM 在考古學調查研究的應用。且隨著此項技術的成熟，亦有案例可供台灣山區舊社考古學研究借鏡。

Devereux 等人（2005）的研究可以說是空載光達技術在考古學應用的濫觴。他們指出，在考古學調查上，此項技術可以克服以往使用航照圖辨識考古遺跡與遺構的受限之處——如拍照時光線的條件以及樹林的遮蔽。他們以位於英國，坐落於落葉與針葉混雜林中的史前遺址 Welshbury Hill 為研究案例。由於本遺址位於樹林中，以往學者只能靠徒步調查的方式，掌握遺址範圍內防禦、田園系統遺構與其他小規模遺跡的空間分佈。Devereux 等人使用空載光達，取得研究區域的 DEM 資料，並加入模擬光源取得地表的陰影。由於地表上的植被已被去除，DEM 陰影呈現出遺址上史前人工建物的結構，在與歷年來徒步調查所獲得之遺址測繪成果比對後，他們發現 DEM 資料除了可以解讀出多數藉由徒步調查所紀錄之遺跡與遺構，甚至可找到以往徒步調查未能發現之結構。

Devereux 等人（2005）的成功經驗，開啟了後來對空載光達技術在考古學調查上的廣泛應用。研究對象除了史前遺址，亦有針對文化資產上的應用。此外，也有針對空載光達資料後製的討論，可謂相當豐富（如 Chase et al. 2011; Cowley 2011; Crutchley 2009; Crutchley and Crow 2009; Devereux et al. 2005; Devereux et al. 2008; Doneus et al. 2008; Gallagher and Josephs 2008; Harmon et al. 2006; Johnson and Ouimet 2014; Lasaponara et al. 2010; Masini et al. 2011; Millard et al. 2009; Opitz and Cowley 2013; Pluckhahn and Thompson 2012; Rosenswig et al. 2013; Werbrouck et al. 2009）。其中，Doneus 等人（2008）的研究，加強了空載光達技術於植被茂密地區的應用性。他們指

出，傳統的空載光達在掃描地表時，往往只會紀錄少數的回波響應值。然而在植被較為茂盛的地區，除了有較高層的樹木枝葉外，地表也有低矮的樹叢。因此，傳統的空載光達紀錄的地形資料往往會忽略位於低矮樹叢中的遺跡或遺構。Doneus 的研究團隊在奧地利的鐵器時代 Purbach 遺址的研究，則採取較新的全波形（full-waveform）空載光達¹來記錄地形資料，這項技術可記錄光達行進路線中完整的物體反射，資料處理後可獲得更細緻的地形資訊。他們將全波形光達產製出來的 DEM 與 60 年代的測繪結果比較，發現新方法的確詳實紀錄了覆蓋於高層與低層植被中的遺跡與遺構。

Devereux 等人（2005）與 Doneus 等人（2008）的研究，藉由比較空載光達資料與過往以考古學調查法取得之測繪圖，確立了此項技術在植被豐富地區考古學研究上的有效性。然而，上述的研究皆屬於地形相對平緩的地區，與台灣山區舊社的自然環境有一定的差異。Chase 等人（2011）的研究案例，則是確認了空載光達在植被茂密山區的效能。他們掃描貝里斯 Caracol 區域的馬雅遺址，在這個廣約 200 平方公里的熱帶密林中，徒步進行考古學調查非常花時間且效能不佳。然而，從空載光達獲得的 DEM 中，考古學家成功地解讀出廣大區域內的建築遺構、堤道與耕作平台遺跡的位置。並藉由分析這些過往人工建物的空間分佈，他們得以探討古代馬雅人如何利用自然環境，以維持他們的大型聚落。Caracol 與其研究團隊對空載光達的應用，確認了此技術做為考古學調查方法，在植被茂密山區的應用潛力。

空載光達資料在台灣山區舊社考古學的應用——文樂舊社的案例研究

如前文所述，空載光達技術可濾除地表的植被覆蓋，產製出高密度植生區的數值地形模型，在考古學遺址調查上已有廣泛的應用。在有限的資源下，為評估這樣的技術在台灣山區舊社考古學研究應用的可能性，我們參考康乃狄克大學地質科學整合中心與地理系 Johnson 與 Ouime（2014）的研究方法與策略。他們利用美國政府已公開之空載空載光達資料，成功地辨識出美國新英格蘭，位於植生區的 17 世紀石牆遺跡與遺構。由於實地使用飛行器取得空載光達資料所費不貲，本研究作為台灣考古學首次應用此技術，我們決定採用政府現有的空載光達資料，並選定排灣族的文樂舊社區為研究範圍。2014 年時，筆者之一的郭素秋曾於本區域進行全區測繪，已有具體成果可供討論。政府取得之空載光達資料與研究區域的資訊詳述如下：

空載光達資料來源與特性

2009 年莫拉克風災之後，政府為了要了解風災後台灣南部地區經由山崩以及土石流所產生的地表變化，因此經濟部中央地質調查所於 2010 年起委託國立成功大學執行「莫拉克颱風受災區域之地質敏感特性分析」三年計畫（地調所計畫編號：99-5826901000-7-D3-01、100-5826901000-7-D3-01、以及 101-5826901000-7-D3-01），於 2012 年結束。此計畫在處理與分析空載光達技術所收集的地形資料後，將資料移轉至內政部地政司。本研究團隊即依據內政部數值地形模型成果供應及管制要點，向內政部地政司申請並取得研究區域內不同解析度的數值地形資料，包含利用空載光達技術產製的 1 公尺解析度之 DEM 與 DSM 以及利用傳統航空攝影測量產製之 5 公尺解析度之 DEM，本研究使用的是 1 公尺解析度之 DEM 與 DSM 資料。

研究區域介紹——文樂舊社

文樂舊社位於屏東縣來義鄉，為排灣族的舊聚落。因 1951 年政府開始推動「山地平地化」及「山地生活改進」等政策的影響，族人於 1952-1953 年陸續遷移至如今文樂部落所在（郭素秋、羅安吉 2017）。筆者之一的郭素秋曾於 2014 年在本地執行中央研究院歷史語言研究所的「屏東縣來義鄉舊文樂舊社調查計畫」。其首先對遺址進行全面地表調查，清除雜草後，根據遺跡分布情形，界定遺址範圍。其後，結合遺跡分布狀況和部落報導人的口述資料，進行文樂舊社全區的平板測繪，總共記錄了 87 間家屋。測繪的結果與文樂部落莊義泰祭司繪製之「文樂舊社各家族家屋分布示意圖」進行比對後，將各家屋的家名於平面測繪圖中標出，以掌握各家屋空間分佈與階級制度的關聯（郭素秋 2014）。

文樂舊社的社地斜度在 30~45 度之間，家屋全部由石板砌疊而成，以石板舖地、石板蓋頂。全社家屋基地亦以石板岩砌築為梯式迴廊，左右為平面而毗連，上下以狹窄坡路和梯路交通。上排的庭院基地和下排的屋頂略成平面（文樂舊社現地狀況參見圖 4）。依山腰路蜒蜿的情形，文樂舊社可分為三個集中區塊，呈南北向排列。其中第 I 區為頭目、先生媽、簡化總管（處理頭目家相關事務者）等貴族階級所居住的區域，共有七排，19 間單室家屋、6 間複室家屋。第 II 區則為一般平民居住，共有四排，20 間單室家屋，無複室家屋。第 III 區則為望嘉系統的居住區域，共有六排，39 間單室家屋、2 間複室家屋，日治時期的行政中心亦設於此。第 I、II、III 區分別之測繪圖如圖 5-7（郭素秋 2014：7-17）。



圖 4-1 文樂舊社一景



圖 4-2 文樂舊社一景



圖 4-3 文樂舊社一景



圖 4-4 文樂舊社一景



圖 4-5 文樂舊社一景



圖 4-6 文樂舊社一景

圖 4 文樂舊社石板屋遺跡照（郭素秋提供）

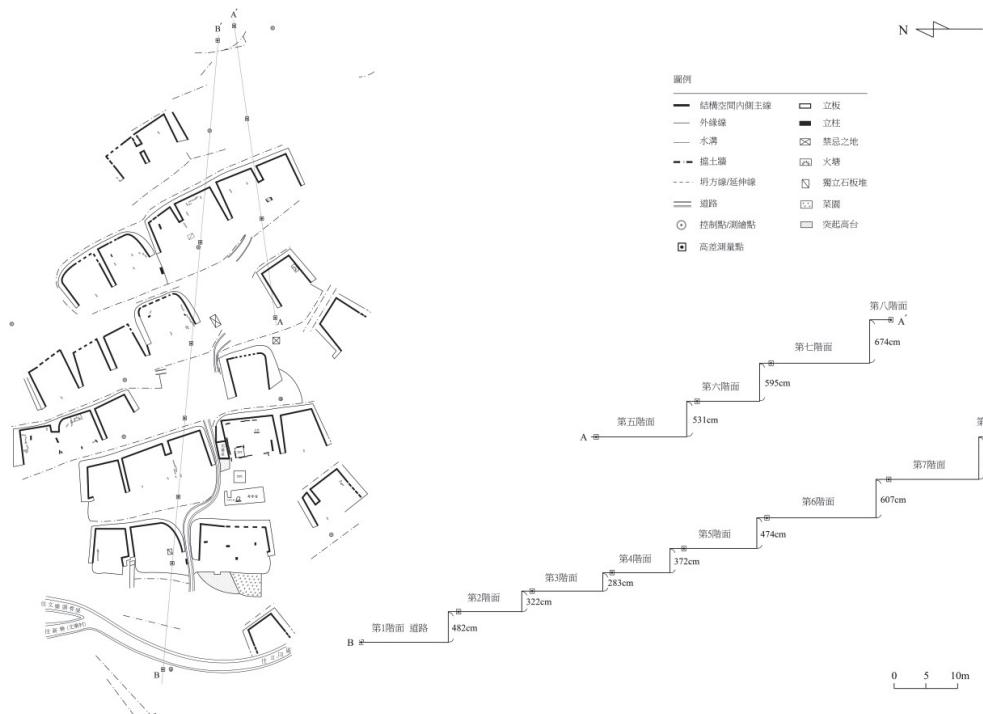


圖 5 文樂舊社 I 區家屋平面繪圖（引自郭素秋、羅安吉 2017：398）

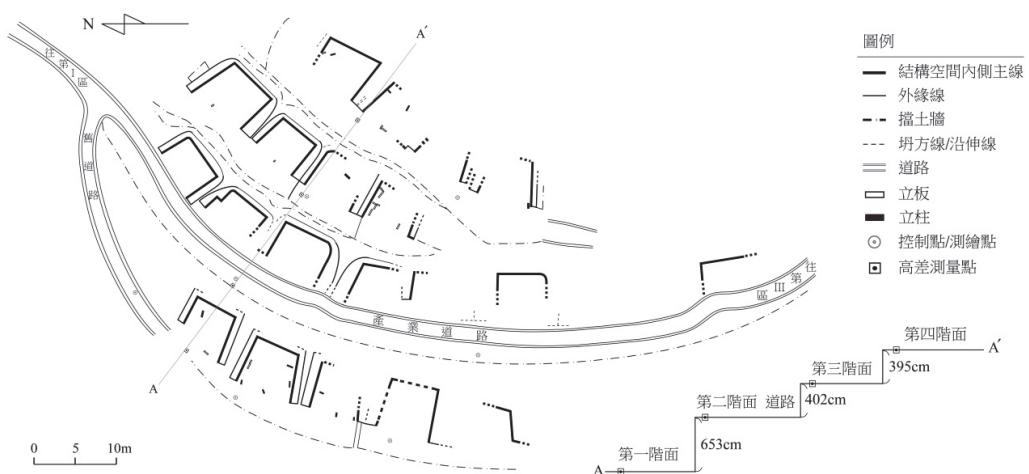


圖 6 文樂舊社 II 區家屋平面繪圖（引自郭素秋、羅安吉 2017：399）

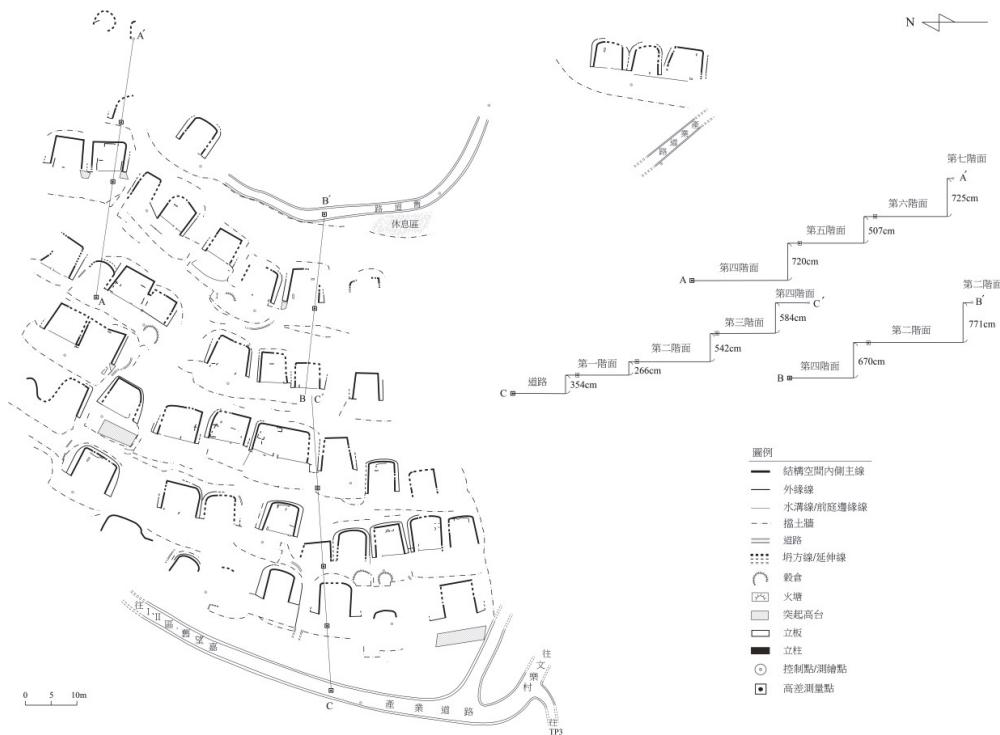


圖 7 文樂舊社 III 區家屋平面繪圖（引自郭素秋、羅安吉 2017：400）

文樂舊社的家屋，有著排灣族北部型的住屋特徵，如（1）依山坡建屋，後壁靠在挖開的山牆上。（2）家屋建築規模較小，聚落海拔高度較低。（3）以石板建屋，左右牆及後壁為石積式牆。（4）文樂舊社家屋和家屋之間有聯絡通道，在通道旁並設有排水設施。（5）屋內分為起居間、寢室、穀倉及豬舍四部分，門口通常在家屋的一側。（6）屋內中央靠前方一帶，地下有室內葬石棺，為家族的墓葬，可能行蹲踞式屈肢葬，為複體多次葬。（7）屋內後壁有神龕，為放置祭祀用等物品之用，屬神聖空間（郭素秋 2014：7）。

文樂舊社即為典型地山區原住民舊社遺址，其所在位置地形崎嶇，阻礙視野且移動不易。遺址內的石板結構被高層的樹木與低矮的樹叢覆蓋，研究團隊進行工作時，無法快速了解遺址全貌。只有在全面清除低矮植被後，才有辦法界定遺址內人工建物範圍，並根據上述結果進行後續的測繪。整體的工作共耗費大量人例，共計兩個多月才得以完成平面圖。然在人力物力資源有限的情況下，未能以人工測量的方式取得遺址與周遭區域的較高解析度的地形資料。

研究成果與討論——文樂舊社區域空載光達資料與平板測繪圖之比對

本研究團隊使用 ArcGIS 軟體的「陰影分析」，將文樂舊社所在區域政府現有之光達產製的 DSM 資料，加上模擬自西北方向入射之光線（圖 8）。由於 DSM 為光達雷射第一次回波點所建立之模型，其顯示出來的陰影反映出的是區域地表的狀況，圖中除了西南部分區塊可辨識為人工建物，其餘區域則反應出本地的植被密佈的狀態。但若將 DEM 加上同方向入射之光源模擬的陰影後（圖 9），則顯示出不同的結果。由於 DEM 為光達雷射最後一次回波點所建立之模型，原地表上的植被已被濾除，其顯示出來的陰影顯示出區域內更多人為造成的結構，如圖中南北向匯合的線性結構（根據當初實地觀察的結果，此結構為產業道路）。然更值得注意的是，在原本林木覆蓋的地方，可觀察到有三個叢集，分別佈滿約 3~5 m²大小的陰影。

本計畫將郭素秋 2014 年測繪之遺址三區平面圖（如圖 5、圖 6、圖 7），配合文樂部落族人根據口傳與歷史記憶資料所圈劃的各區範圍，套繪於航照圖中，以取得文樂遺址各區的相對位置（圖 10）。我們再將文樂遺址各區的相對位置標示於農林航空測量所的正射影像（日期 2015/6/19）（圖 11）、本區域的 DSM（圖 12）與 DEM（圖 13）中。農林航空測量所的正射影像確認了 DSM 圖中西南部反映的人工建物為當代人為開墾的痕跡，其他部分皆是高層植被密集的樣貌。

而圖 9 反映出來，覆蓋於樹林中的三個陰影叢集分佈，實則與文樂舊社的 I, II, III 區的位置（圖 13）符合。DEM 中的 3~5 m²大小的陰影結構分布，不是地表自然造成的效果，而是反映出遺址內的石板屋聚落結構特徵：「依山坡建屋，房舍建築用石板建屋，有左右與後壁牆及後壁，後壁靠在山牆上；房舍並排，由高而低有數個橫向平台階面，階面的符合等高線的走向」。這樣的結果，也顯示 3~5 m²大小的格狀低地形異常，實為排灣族北部型石板屋在政府現有空載光達產製之 DEM 中的特徵。

除了陰影分析外，研究團隊也使用 ArcGIS 軟體的「坡度分析（slope）」功能，分析文樂舊社區域的 DEM（圖 14），分析圖中的紅色代表本地區坡度最為陡峭的區塊，黃色次之，綠色則代表坡度較為平緩。以圖中西南部當代人為開墾的區塊為例來說明：此區域為山坡地剷平而成，是故本區塊呈現綠色黃色交錯，綠色低坡度的部分為依山勢闢建，做為種植作物的平台，而隔開各綠色區塊的黃色部分，則可能為與原本地勢相同的坡面。

而在 I、II、III 所在的區塊，我們可以注意到植被以下的地形，呈現依照山勢走向，由高而低的「綠色長形區塊－黃、紅色間隔－綠色長形區塊...」趨勢。與測繪平面圖（圖 10）比對，可推論綠色區塊為石板屋所在之橫向平台階面，而黃色、紅色高坡度間隔則呈現的是平台間的高差與靠在山牆上的石板屋後壁。橫向平台階面走向，呈現出排灣族聚落背山面谷的特色。

文樂舊社案例分析的結果顯示，現有空載光達產製的 DEM 資料經處理後，十分有機會辨識出排灣族石板屋聚落的大致位置。然而，若參照圖 13 與圖 10，比對測繪平面圖與 DEM 資料，以我們現有文樂舊社區域的空載光達資料，仍無法用來取代或驗證平板測繪所獲得之遺址平面圖（圖 5-7）。但坡度分析的結果，有助於我們判斷舊社的遺址範圍與平台空間分布。

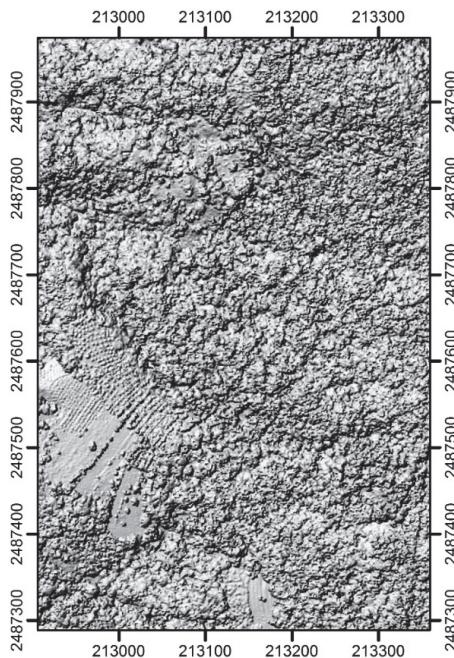


圖 8 文樂舊社區域之 DSM 陰影分析圖
(坐標系統為 TWD97 二度分帶)

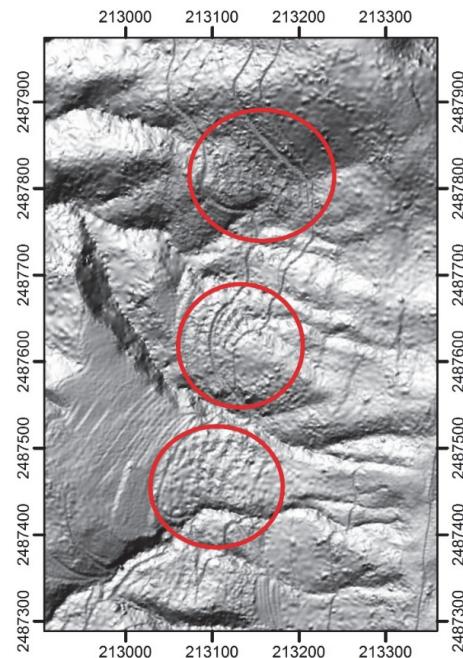


圖 9 文樂舊社區域之 DEM 陰影分析圖
與三個叢集 (坐標系統為 TWD97
二度分帶)

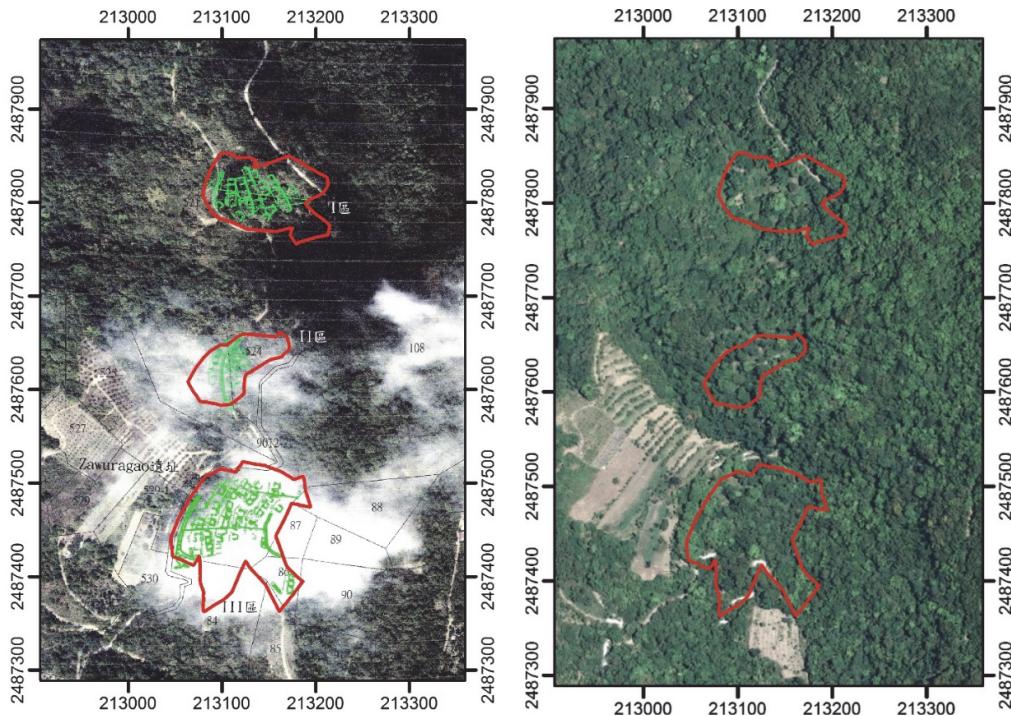


圖 10 文樂舊社位置圖(將文樂舊社位置區域套繪於航照地籍圖中，紅框範圍文樂部落各區範圍，郭素秋提供；外框的 GIS 坐標為本團隊所套製，坐標系統為 TWD97 二度分帶)

圖 11 文樂舊社區域之衛星影像圖，加上平板測繪區域相對位置資訊
(底圖來源：農林航空測量所正射影像 2015/6/19，紅色框內由上而下分別為舊社 I、II、III 三區，坐標系統為 TWD97 二度分帶)

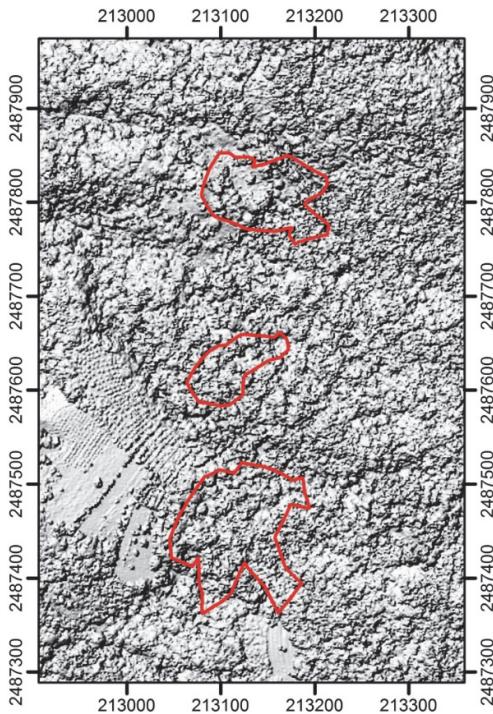


圖 12 文樂舊社區域之 DSM 陰影分析圖，加上平板測繪區域相對位置資訊(坐標系統為 TWD97 二度分帶)

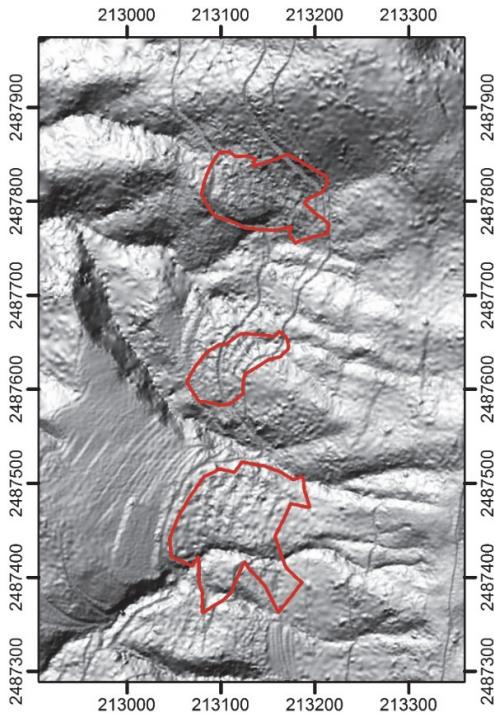


圖 13 文樂舊社區域之 DEM 陰影分析圖，加上平板測繪區域相對位置資訊(坐標系統為 TWD97 二度分帶)

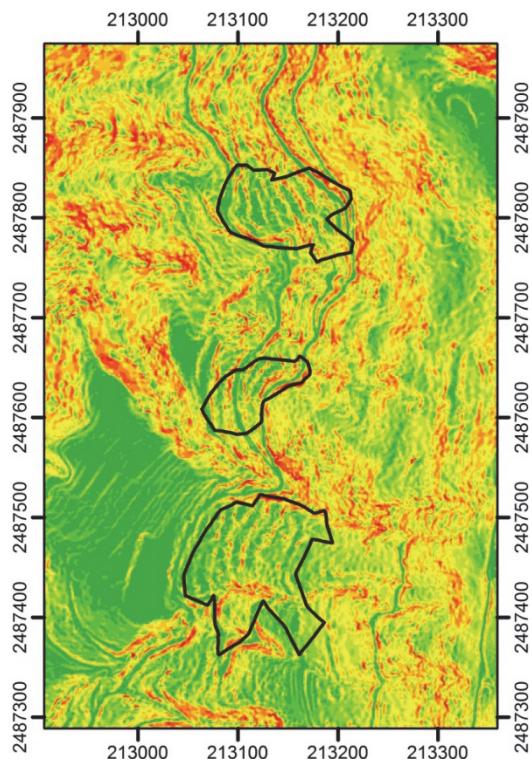


圖 14 文樂舊社區 DEM 的坡度分析圖，加上平板測繪區域
相對位置資訊（坐標系統為 TWD97 二度分帶。）

結語與展望

作為台灣考古學首次應用空載光達技術的研究，我們選擇使用政府目前現有與最新（2010~2012 年）的空載光達資料進行分析。即便這批資料的原意是要了解莫拉克風災後台灣南部地區經由山崩以及土石流所產生的地表變化，並非專為考古學研究而設定，但我們的分析成果還是相當令人振奮。

雖然我們的研究成果顯示，文樂舊社區內政府現有的 DEM 資料經分析後，不足以用來取得遺址內精密地人工建物的空間分佈資料。然值得注意的是，根據前述的比對結果，藉由 DEM 的陰影分析，我們可以辨識出排灣族石板屋舊聚落的特徵以及其所在之主要區域。另外，藉由坡度分析，我們可以界定遺址大致的範圍與平台走向。這

樣的結果，說明在研究已知位置遺址時，現有之空載光達資料確實可以幫助考古學家在第一時間掌握遺址的大致範圍、空間分布與周遭環境等狀況。此外，光達資料產製的高解析度 DEM 資料，可以補足了平板測量因植被、石板屋遺跡阻礙，而較難獲得研究區域周遭絕對高程資料的缺憾，轉製之等高線圖（如圖 15），可以幫助考古學家在現地，或者是後續研究時，更容易理解舊社聚落內外的地形和坡度等自然環境的資訊。

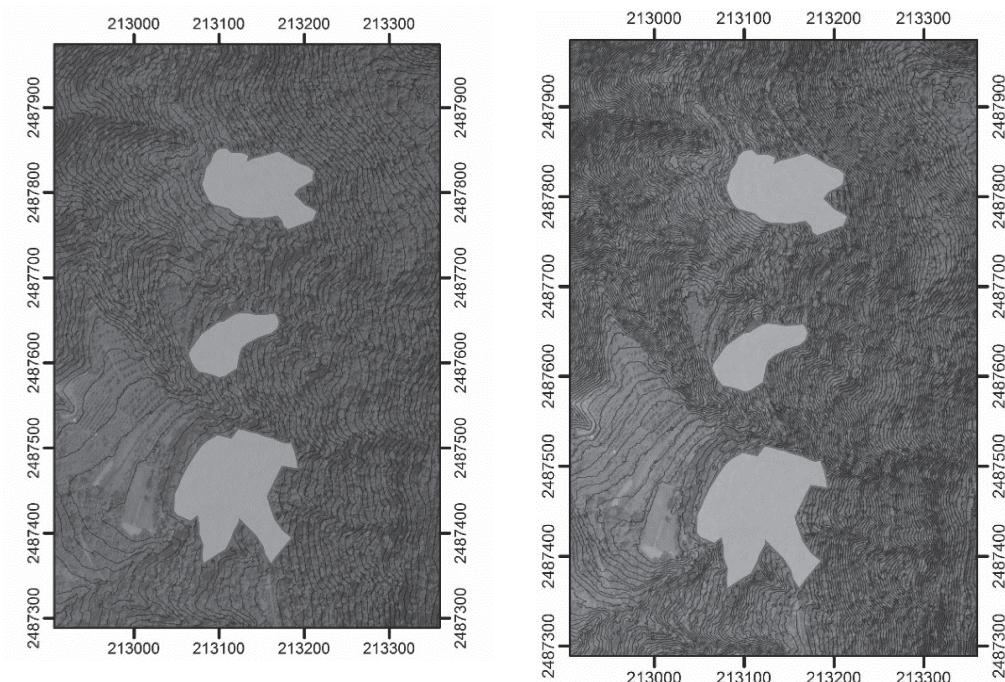


圖 15-1 文樂舊社 5m 等高線圖，坐標系統為 TWD97 二度分帶
圖 15-2 文樂舊社 2m 等高線圖，坐標系統為 TWD97 二度分帶

圖 15 根據光達資料所製作的高精度等高線圖

更重要的是，我們的研究確認了排灣族的石板屋遺跡在空載光達資料中的特徵。如在陰影分析後所發現之「成區塊的 3~5 m²方形陰影」，實為反映了聚落內的石板屋結構。而坡度分析後發現之「綠色長形區塊－黃、紅色間隔－綠色長形區塊...」趨勢，則呈現了聚落內的依山坡建立之橫向平台階面。根據這樣的結果，我們認為：以政府現有之空載光達產製的 DEM 資料，配合陰影分析與坡度分析的相互參照，確實可以幫助考古學家在未知的區域中，辨識出可能之排灣族石板屋聚落遺址特徵。這樣的分析取

徑，對於研究單一遺址的考古學家來說，可以較有效率的掌握遺址的概況，如其大致的範圍，平台分布與周遭地形狀況，有利於調查工作安排（如人力、時程與資源的規劃）。對於研究區域關係的考古學家來說，空載光達資料是目前最為可行的方法，來幫助他們掌握大範圍中聚落分布，進而討論地景中的人群與人群，以及人群與自然之間的相互關係。

我們的發現確定了空載光達在舊社考古學研究上，有著相當大的助益。然而，許多的後續工作仍待本研究團隊進行。首要之務當然是開啟更多的案例研究，尤其是屏東縣排灣族傳統領域的其他舊社遺址。此外，在研究團隊整理光達資料的過程中，曾注意到部分其他區域的 DEM 經陰影分析後，可辨識出空間關係較清楚的排灣族舊聚落。對於這樣的差異，我們請教了成功大學測量及空間資訊學系的曾義星教授（2016 年 11 月電子郵件聯繫），他說明光達資料是否能夠清晰顯示植被下的遺址形貌與許多因素有關，主要是點雲密度的因素，然由於國立成功大學執行「莫拉克颱風受災區域之地質敏感特性分析」計畫時，嚴格控制了光達掃描的密度標準，因此前述光達資料分析後的差異，與遺址上的植被密度有相當程度的關係。因此，本研究希望能藉由現地觀察，比較案例間的遺址狀況與植被狀況，以及其在政府現有之空載光達資料（在相同光達掃描密度的標準下）中呈現出的差異，並進行更進一步的討論。

再者，截至目前為止，內政部地政司能提供之數值地形模型資料，是從原始的光達資料經過點雲的分類與編修後產製的一公尺規則網格的高程資料（侯進雄等 2014）。然而，由於部分遺跡的結構特徵有可能小於一公尺，又或者是資料處理時的程序，有可能造成原本量測到結構特徵點遺失，進而影響後續的分析結果。因此，本研究團隊的後續工作，會包括持續申請原始資料，期盼經處理後可提高對遺址的辨識程度。

致 謝

研究團隊感謝匿名審查人對本文的指正與建議；經濟部中央地質調查所的謝有忠博士在資料判別上的協助；成功大學測量及空間資訊學系曾義星教授提供之訊息與論文方向的建議；以及 2014 年中央研究院經費支持筆者之一的郭素秋執行「屏東縣來義鄉舊文樂舊社調查計畫」。最後，我們衷心感謝台灣大學人類系的陳伯楨教授的促成，他的努力使得本研究的得以完成，謹以此文紀念我們的好朋友伯楨老師。

附 註

- 關於全波形空載光達的詳細資訊可參考《航測及遙測學刊》第 19 卷第 2 期全波形空載光達特刊（2014）。

引用書目

侯進雄、費立汎、邱禎龍、陳宏仁、謝有忠、胡植慶、林慶偉

2014 〈空載光達數值地形產製與地質災害的應用〉。《地質》23(1)：43-54。doi: 10.6574/JPRS.2014.18(2).3

黃士強、劉益昌

1980 〈全省重要史蹟探勘與整修建議：考古與舊社部份〉。交通部觀光局委託國立台灣大學考古人類學系之研究報告，台北。

黃鐘、胡植慶、陳于高、詹瑜璋、李建成、史天元

2004 〈空載雷射掃描數值高程模型簡介〉。《航測及遙測學刊》18(2)：93-108。

郭素秋

2014 〈屏東縣來義鄉舊文樂舊社調查計畫〉。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」發表報告，中央研究院歷史語言研究所，2015 年 1 月 28 日。

郭素秋、羅安吉

2017 《屏東縣文樂舊社的內涵——以 Tiawdudu（佳屋督都）家族頭目家屋為例》。「2016 年台灣考古工作會報」發表報告，國立自然科學博物館，2017 年 7 月 7 日。

陳光祖、鄭玠甫

2014 〈八通關古道東段拉庫拉庫溪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」發表報告，中央研究院歷史語言研究所，2015 年 1 月 28 日。doi: 10.6522/BICAS.1989.36.15

劉進金、徐偉城

2012 〈我國空載光達的蓬勃發展史〉。《地質》31(2)：31-35。doi: 10.6574/JPRS.2014.18(2).6

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

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

Cowley, David C., ed.

2011 Remote Sensing for Archaeological Heritage Management. Europae Archaeologia Consilium, Brussels. EAC Occasional Paper No. 5.

Crutchley, Simon

2009 Ancient and Modern: Combining Different Remote Sensing Techniques to Interpret Historic Landscapes. Journal of Cultural Heritage 10: 65-71.
doi:10.1016/j.culher.2009.09.005

Crutchley, Simon, and Crow, P.

2009 The Light Fantastic: Using Airborne Lidar in Archaeological Survey. Swindon: English Heritage.

Devereux, B. J., Amable, G. S., Crow, P., and Cliff, A. D.

2005 The Potential of Airborne Lidar for Detection of Archaeological Features under Woodland Canopies. Antiquity 79: 648-660. doi: 10.1017/S0003598X00114589

Devereux, B. J., Amable, G. S., and Crow, P.

2008 Visualisation of LiDAR Terrain Models for Archaeological Feature Detection. Antiquity 82: 470-479. doi: 10.1017/S0003598X00096952

Doneus, Michael, Briese, Christian, Fera, Martin, and Janner, Martin

2008 Archaeological Prospection of Forested Areas Using Full-Waveform Airborne Laser Scanning. Journal of Archaeological Science 35: 882-893. doi: 10.1016/j.jas.2007.06.013

郭素秋、鄭玠甫、黃鐘、林柏丞、胡植慶・空載光達技術在台灣山區舊社考古學研究的應用

Gallagher, Julie M., and Josephs, Richard L.

- 2008 Using LiDAR to Detect Cultural Resources in a Forested Environment: An Example from Isle Royale National Park, Michigan, USA. *Archaeol Prospect* 15: 187-206. doi: 10.1002/arp.333

Harmon, James M., Leone, Mark P., Prince, Stephen D., and Snyder, Marcia

- 2006 LiDAR for Archaeological Landscape Analysis: A Case Study of Two Eighteenth-Century Maryland Plantation Sites. *American Antiquity* 71(4): 649-670. doi: 10.2307/40035883 doi: 10.1016/j.jas.2013.12.004

Johnson, Katharine M., and Ouimet, William B.

- 2014 Rediscovering The Lost Archaeological Landscape of Southern New England Using Airborne Light Detection and Ranging (LiDAR). *Journal of Archaeological Science* 43: 9-20. doi: 10.1016/j.jas.2013.12.004

Lasaponara, Rosa, Coluzzi, Rosa, Gizzi, Fabrizio T., and Masini, Nicola

- 2010 On the LiDAR Contribution for the Archaeological and Geomorphological Study of a Desolated Medieval Village in Southern Italy. *Journal of Geophysics and Engineering* 7(2): 155-163. doi: 10.1088/1742-2132/7/2/S01

Masini, Nicola, Coluzzi, Rosa, and Lasaponara, Rosa

- 2011 On the Airborne Lidar Contribution in Archaeology: From Site Identification to Landscape Investigation. In *Laser Scanning, Theory and Applications*. Chau-Chang Wang, ed. Pp. 263-290. InTech Online Publishers. doi: 10.5772/14655

Mayoral, Alfredo, Toumazet, Jean-Pierre, Simon, François-Xavier, Vautier, Franck, Peiry, Jean-Luc

- 2017 The Highest Gradient Model: A New Method for Analytical Assessment of the Efficiency of LiDAR-Derived Visualization Techniques for Landform Detection and Mapping. *Remote Sens* 9(2): 1-23. doi: 10.3390/rs9020120

Millard, Koreen, Burke, Charles, Stiff, Douglas, Redden, Anna

- 2009 Detection of a Low-relief 18th Century British Siege Trench Using LiDAR
Vegetation Penetration Capabilities at Fort Beauséjour-Fort Cumberland National
Historic Site, Canada. *Geoarchaeology* 24: 576-588. doi: 10.1002/gea.20281

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

- 2013 Interpreting Archaeological Topography: Lasers, 3D Data, Observation,
Visualisation, and Applications. Oxford: Oxbow Books.

Pluckhahn, Thomas J., Thompson, Victor D.

- 2012 Integrating LiDAR Data and Conventional Mapping of the Fort Center Site in
South-central Florida: A Comparative Approach. *Journal of Field Archaeology*
37(4): 289-301. doi: 10.1179/0093469012Z.00000000026

Rosenwig, Robert M., López-Torrijos, Ricardo, Antonelli, Caroline E., Mendelsohn, Rebecca
R.

- 2013 Lidar Mapping and Surface Survey of the Izapa State on the Tropical Piedmont of
Chiapas, Mexico. *Journal of Archaeol* 40(3): 1493-1507. doi:10.1016/j.jas.2012.10.034

Werbrouck, Ilke, Eetvelde, Veerle Van, A.N., Antrop, Marc, and Maeyer, Philippe De

- 2009 Integrating Historical Maps and Lidar Elevation Data for Landscape Reconstruction:
A Case Study in Flanders. Paper presented at the International Association for
Landscape Ecology, Salzburg, July 12-16.

Wehr, Aloysius, Lohr, Uwe

- 1999 Airborne Laser Scanning - An Introduction and Overview. *ISPRS Journal of
Photogrammetry and Remote Sensing* 54: 68-82. doi: 10.1016/S0924-2716 (99)
00011-8