

曲冰史前遺址之透地雷達研究

余竑旻*、陳志松**、鄭懌***

*國立臺灣師範大學地球科學系博士候選人

**國立臺灣師範大學地球科學系博士後研究人員

***國立臺灣師範大學地球科學系教授 (通訊作者)

【摘要】

曲冰遺址位處高山河階台地，文物蘊藏豐富，範圍廣闊，是台灣考古研究中所發現的高山地區最為完整的史前聚落。該遺址的徹底研究將對台灣初民的來源、遷徙、與文化發展有重要的貢獻。歷年來雖經三次發掘，仍無法呈現全貌。本研究除了探討曲冰遺址在台灣原民歷史上的意義及保存的價值外，也利用淺層解析度最佳的地球物理考古方法--透地雷達，做模擬研究，並在曲冰遺址及其鄰近地區做重點式的探測，了解後續發掘的可能性及未來古蹟維護保存的方式。由目前所得結果顯示，本研究之探勘技術，可快速地定出地下目標物之位置。經與已知資料比對，曲冰遺址周遭未發掘的測區非常值得續挖；已發掘區之深處，也有具考古意義之明顯事件。這對支持曲冰遺址爾後再次考古發掘提供有利證據，並對原址的古蹟保存提出有效的檢測技術。

關鍵字：地球物理考古方法；透地雷達；曲冰遺址；考古發掘



Use of Ground Penetrating Radar in Studies of the Chuping Prehistoric Site

Hung-Ming Yu^{*}, Chih-Sung Chen^{}, Yih Jeng^{***}**

^{*}Ph.D. Candidate, Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University

^{**}Postdoctoral Research Associate, Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University

^{***}Professor, Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University
(corresponding author)

【Abstract】

The Chuping relic site located in central Taiwan is the most inclusive high altitude prehistoric settlement site found to date in Taiwan with abundant relics of Taiwanese aboriginal heritage. It is important in Taiwan archaeological studies because the Chuping relic site has the potential to yield significant information about the ancient Taiwanese aboriginal ways of life and the prehistory regarding their origin, migration, and culture development. Excavations have been carried out three times in the 1980s, but more efforts are still needed to gain a complete knowledge about the founding history of different settlements in this area. To assess the possibility of further excavation in this area and propose a fast technique for detecting backfilled and undiscovered remains, we performed ground penetrating radar studies over a model area on campus, and two selected sites in the Chuping area. The acquired field data were processed by incorporating an interpolating technique into the standard reflection data analysis procedure. Our results indicate that the methodology renders profiles with significant events as signs of buried targets which are valuable for field archaeologists to locate further excavation sites and inventory backfilled remains in the future. With the findings over the unexcavated spots and the deeper reflections from the

1980s excavated sites, further excavations are suggested.

Keywords: geophysical archaeology; ground penetrating radar; Chuping relic; archaeological excavation

壹、前言

台灣人類史的研究在銜接中國（中原）人類史與東南亞人類史上具有樞紐的地位。而台灣史前文化在發展、進步的形態上，與漢文化有極大的差異。其與漢文化及東南太平洋的南島語族文化的關聯一直是學術界重要的議題（張至善，2011），而考古工作是最能提供具體且直接的歷史證據。台灣地區的考古研究分散各處，皆有重要的成果發表。中部地區特別是南投縣境內，由於生態環境優良，且地處內陸，在台灣初民文化的保存上有地理的優勢。再者，南投縣境內原住民族群分布多樣化，彼此競爭、融合，因此，各族原住民之生活、文化的互動也形成相當特殊的人類社會發展模式。這兩個因素讓南投地區的考古研究歷年來備受重視。

本研究探討的考古遺址主要分布於南投仁愛鄉的曲冰部落（萬豐村）一帶（圖 1）。該地區的考古研究可追溯至日據時代，日本考古學者森丙午於 1911 年春天在南投仁愛鄉靜觀村發現史前石斧（劉枝萬，1956）；其後馬淵東一於 1935 年夏天在濁水溪上游河段，即今天的仁愛鄉武界、妹原、曲冰、姊原、松林等部落做人類學田野調查時，於多處採集到人工打製的石器標本（陳仲玉，1982）。這些發現逐漸開啓了曲冰考古的研究。



圖 1 曲冰遺址之地理位置圖 (修改自中華民國內政部南投縣仁愛鄉行政區域圖(2012))。

台灣光復後，中央研究院歷史語言研究所（中研院史語所）於 1972 年開始在台灣中部濁水溪與大肚流域執行考古計畫，至 1975 年完成了濁水溪中、下游的調查。上游則一直到 1980 年代初期才由中研院史語所石璋如、陳仲玉規畫調查，總共發現十九處遺址，曲冰遺址為其中之一，並選定為優先試掘、發掘的地點。至 1987 年止，歷經三次正式發掘，面積達 3765.5 平方公尺，發現有 171 處石棺墓葬及大量的陶器、石器標本（陳仲玉，1994）。根據陳仲玉（1994）的研究，曲冰遺址出土的標本，其放射性碳 14 定年的年代距離今天大約由最古老的 4300 ± 170 B.P. 到最新近的 750 ± 75 B.P.。一般認定可信的年代約介於 2700 B.P. 至 1300 B.P. 之間。涵蓋時間範圍大致與台灣北部史前新石器時代的圓山文化（4300 B.P.-2000 B.P.）、中部的營埔文化（3700 B.P.-1800 B.P.）、南部的大湖文化（3300 B.P.-2000 B.P.）、東部的麒麟文化（3200 B.P. -2000 B.P.）相近。換算中原漢文化年代大約在春秋戰國至隋代（2800 B.P.-1400 B.P.）之間。顯示該遺址文物除了蘊藏量大，範圍廣之外，在了解台灣先民文化的分布、發展，及研究與其他文化的時序對比上，皆值得後續更進一步的研究發掘與保存。由於曲冰遺址及相鄰地區具有考古價值的區域遼闊，也不宜進行侵入式的工程鑽探，以避免人為的破壞。因此必須借助非侵入性且無破壞性的地球物理探勘方法，做全面性的測勘，以選取有意義的試掘點。在各類地球物理探勘方法中，以透地雷達（ground penetrating radar; GPR）探勘技術最為適合。本研究以近代的 GPR 方法，對曲冰遺址及其鄰近地區做重點式的探測，提出具體的證據，供考古學者評估再發掘的可能性，及以後定點試掘的參考。

另外，近代對考古文物的保存與典藏觀念已逐漸跳脫人工收藏展覽的方式，希望能以原地封存定時盤點的自然環境保育法保存古物。這種方法除了可節約龐大的維護經費外，也更能保持古物的原狀，留給後代真實的文化遺產。這種原址保存的方法更須要有精準的地下映像技術，確定埋藏點是否有環境、地質的變化，並提供三度空間的埋藏位置以供盤點探測之用，這也是本論文探討的重點之一。

貳、曲冰遺址背景簡述

曲冰遺址海拔約 924 公尺，是目前台灣唯一發現的高山地區完整且範圍廣闊的

史前聚落。曲冰遺址值得再發掘研究的項目很多，以目前所取得的各項資料研判，古代台灣原住民在此地區的活動主要以位於高位河階的曲冰為聚落。目前這個地區的原住民為布農族，稱此地為 Qais（意即“界限”）。地質屬第三紀（Tertiary）地層。岩性主要是灰、黑板岩（蘇澳相上部層）及頁岩、砂岩互層（烏來相水長流層）（林朝棨，1964）。山坡的板岩層被濁水溪侵蝕切割，形成當地典型的聳立地峽，為泰雅族與布農族在河谷中的界限；零散的板岩則是當地疊砌房屋、墓葬石棺所使用的石材。單就墓葬區而言，台灣原住先民特別是布農族盛行疊葬及室內葬。經訪談當地鄉民得知，已發掘的墓葬區之下層仍可能有更早期的石棺存在。換句話說，遺址的文化層深度是否須重新估算？另外，此地區之武界與曲冰的原住民目前屬布農族，北邊的松林部落為賽德克族，東北邊的萬大為泰雅族（圖 1），以民族學的觀點而言，這三個族群在過往的歷史中有何關聯是值得研究的議題（台灣原住民族資訊資源網，2012；台灣原住民數位博物館，2012；台灣原住民族歷史語言文化大辭典網路版，2012）。三族在近代歷史上皆有移居或受到迫遷的記載（Wikipedia, 2012），布農族很可能是從別處遷徙至曲冰地區，那麼最早定居此處的初民又是來自何處？為何消失（陳仲玉，1994）？以目前發掘出的豐富標本及遺跡，顯示曲冰遺址的聚落文明相當複雜。以如此複雜且豐富的文化遺址，僅有 1980 年代歷時約 6 年的發掘調查，事實上是無法看出曲冰文化遺址的全貌。例如由刀斧石器所使用的石材大多使用砂岩，但也有使用不產於此地的石材，如玄武岩，蛇紋岩等花東縱谷的石材。此地的曲冰人如何取得外地的石材是饒富趣味的問題。因為曲冰的地理與生態環境優良，出土的器物大致質樸，穿著裝飾的石質配件貧乏，推斷其生活方式相當保守封閉，似乎與外界鮮有交流。這些出土的石器與保守封閉的文化特質在解釋上顯然有所衝突。近半個世紀以來，台灣的考古學家一直在努力找出曲冰遺址的屬性與台灣中部其他遺址的相關性。目前較傾向認定曲冰遺址與埔里水蛙窟有相當大的關聯性，很可能都是源自中部新石器時代牛罵頭文化（5000-4000 B.P.）。而發展出該文化的先民可能來自不同的族群。有適合在海岸與盆地生活的族群（發展出繩紋紅陶文化），與喜好丘陵、高山生活的族群（發展出素面紅陶、灰陶文化）。而曲冰遺址的先民很可能就是喜好山地生活的族群，最早由中部大肚山和烏溪為起始點，逐漸擴展到埔里盆地。其中部份的人定居下來，喜好高山生活的則繼續往高山遷移，進

入濁水溪上游河谷 (張光直, 1977; 陳仲玉, 1994)。這可能就是在曲冰遺址出土的陶器九成以上為素面紅陶, 約只有一成是素面黑灰陶 (埔里盆地先民所使用之陶器) 的原因。但這又意味著曲冰的先民其實與埔里盆地並無太多的交流, 而使用的石器卻與花東地區的先民似乎有所關聯, 顯然另有原因。至於石棺普遍在台灣中、南、東部的海岸或山地發現, 似乎不是“就地取材”可以解釋, 或許是共同源自同一文化, 是海外或台灣本地? 前述諸多問題無論從考古學或人類學觀點而言, 皆值得深入研究, 發掘更多的證據才能說明清楚。以曲冰遺址地理位置的特殊性相信可提供重要的史前證據。

參、研究方法

一、GPR 地球物理考古方法簡介

傳統的考古學方法在遺址的發掘上, 初步必須要有歷史資料參考, 搜集民間或其他研究偶然發現的採樣或標本而判斷該地區是否有考古研究的價值。在經過考古專業的研判後, 定出試掘地點。但野外環境複雜, 如何定出最佳的試掘點是極為困難的。1940 年代之後, 歐洲的考古學者逐漸尋求將物理方法應用於考古學的可能性 (Batayneh, 2011), 因此衍生出了地球物理考古方法。

地球物理考古方法顧名思義就是將地球物理的探勘技術應用到考古遺址的尋找與考古文物蘊藏量的評估。目前應用到考古田野調查的地球物理方法, 傳統上有磁力、電測、電磁測。新近則加入了重力、震測、GPR, 並利用地形航測, 衛星遙測等航太技術做大區域的空中粗測。細部、地區性的精測, GPR 是常用的方法。

GPR 為一快速經濟的電磁波探勘法。這種探測技術使用高頻 (約數十 MHz 至二 GHz) 電磁波 (雷達波) 為波源。此種雷達波入射到地面下之後, 對地下介質之電磁參數變化的反應極為靈敏。由反射回來的電磁波信號, 地球物理學家可以判斷地下可能的構造 (Davis and Annan, 1989)。雖然其穿透深度有限, 但卻是目前所有方法中淺層解析度最高的。GPR 方法受到考古學家重視的另一個原因是施測較同樣具有高解析度的震測輕便快速。野外工作一到兩個人即足夠, 而且施測過程完全不具破壞性。但如同任何一種探勘方法, GPR 在複雜的地形區也存在著許多難以掌控的不

確定性。因此，施測前必須盡可能對測區之地形、地質、地下目標的形態等因素做詳細了解，規劃可行之佈線方式及發射和接收天線的最佳置放方式。在曲冰的 GPR 測勘中，我們主要使用 500 MHz 全罩式天線。但為取得較精確的速度資料，我們也使用 200 MHz 分離式天線做同中點 (common mid-point; CMP) 測勘。師大地球物理實驗室在 1990 年代後期至 2000 年初期曾在曲冰地區做過磁力的探測 (李玉龍，1999；Jeng et al., 2003)，對該測區的地質環境已有充份的了解。本研究於 2011 年數次重回曲冰，改用解析度較高的 GPR，希望可取得精確的量化數據。就專業技術而言，高解析度的 GPR 測勘方法必須採用類似 3D 震測的技術。但真正 3D 震測方法用到 GPR 考古測勘中是有爭議的。主要原因是野外工時太長，較傳統方法多十倍以上。另外在儀器設計及成本考量上也未盡理想。而且測勘地區不能有樹木或太長的野草阻礙測線，因此 3D 測勘前必須整地。在可能有古蹟存在的地區施工整地則多所顧慮，除了要遵守遺址保護法令的規範外，也必須考慮是否會破壞到遺址的完整性。在這些考量之下，我們希望能顧及實際作業的困難，以所謂的準 3D 測勘方法，利用單測線高密度的空間採樣，及正交雙向的佈線技巧，將數據採樣儘可能提昇至合乎全解析 (full resolution) 的標準。

二、GPR 技術對曲冰遺址的維護及再發掘的重要性

由於位處南投偏遠山區，遺址的維護相當困難，而且曲冰遺址目前已是南投縣境內著名的知性旅遊景點，雖經鄉公所及村里辦公室極盡可能的維護，但限於經費及人力，僅能勉強維持一個不受惡意破壞的局面，自然的衰敗與環境的侵蝕則難以避免。例如圖 2 所示，具有歷史及教育意義的原先遺址發掘工作室牆面倒塌，室內都長出大樹。目前尚留在發掘地區的文化古蹟，僅能在原地以薄層砂土加不織布覆蓋封存。因此不論是後續新的發掘，或確認原地封存的古蹟，皆必須要有精準而且不能具有任何侵入性及破壞性的地下探測方法。一般而言，無侵入性及破壞性的方法往往解析度不佳 (如電磁、重力等方法)。反之，解析度佳的卻有侵入性及破壞性的顧慮 (例如震測，或井測)。GPR 是目前可以兼顧二者的理想技術，但以一般考古學者的經驗，認為 GPR 在野外施測上工時仍嫌較長，資料處理的技術門檻也較

高。因此本研究針對上述的想法與疑慮，設計一低成本，但又不失其精準度的 GPR 方法，希望能有助於考古學家對曲冰遺址的研究與維護。



圖 2 曲冰遺址發掘時期之工作室年久失修，室內都長出大樹穿破屋頂（箭頭指處）

本研究除了測試 GPR 方法在高山台地的古蹟探測成效外，另一重點是評估曲冰遺址擴大發掘的可能性與學術意義。由於山區平地取得不易，加上信仰與習俗的影響，歷代曲冰的先民對該地區一再疊複使用。例如在同一地點可發掘出不同時期的房屋遺址，或是墓葬與居室同處一地的情況極多。曲冰在最後一次以住居使用之後經多年的廢置，為土石掩埋。到近代則被開墾為農田，古蹟嚴重破壞，遺物的辨識難度增高。而且，發展千年的歷史遺跡是否會擠壓在不到一公尺的文化層內是有待進一步的探測分析。因此本研究除了用模型實驗和實地探測遺址回填區，以了解 GPR 對曲冰地下之考古目標的解析能力外，更往外圍未發掘區域做真實探測，以判斷未發掘區是否具發掘意義。

三、GPR 剖面解讀與模型測試

GPR 的探測技術雖已廣泛使用到許多領域，但在野外取得的數據剖面如何判讀其實一直是一大挑戰。因為反射的信號來源極為複雜，不一定來自實體的目標物。而且在硬體(如天線)的設計上，原本就有預設的目標材質。野外的地質環境不可能

與原廠的硬體設計構想吻合，因此 GPR 剖面普遍存在著似是而非的事件 (events)。若無法將雜波或人工假相 (artifacts) 消除，在判讀上就會有偏差 (Chen et al., 2011)。

另外一個麻煩就是信號頻寬與振幅衰減的問題，GPR 系統屬於無線電波發射機 (radio transmitters)，必須受到國內或國際通信法規的約束，因此一般的 GPR 系統常會有頻域不盡理想，或能量消散過快的問題。

圖 3 顯示的是本研究在曲冰測區一條未經處理原始數據剖面，橫軸是距離軸，標示 GPR 天線在地表接收信號的位置。縱軸是時間軸，標示雷達波來回的走時 (two-way travel time)。

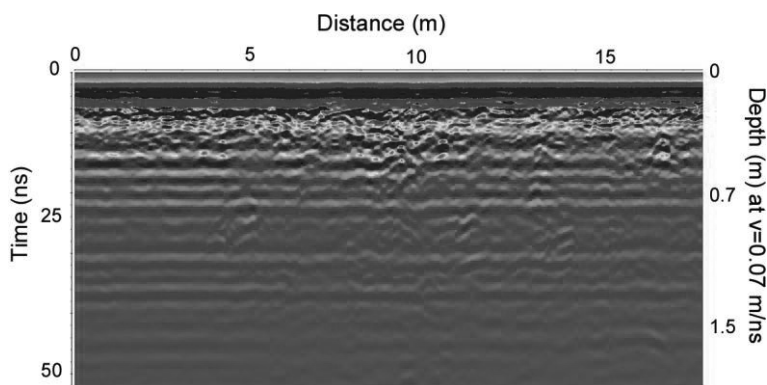


圖 3 常見的具代表性未經處理之原始 GPR 數據剖面 (曲冰測區原始記錄之一)

圖中大約在 2 ns 處開始出現極為平整清晰的的水平事件，這可能是雷達波直接由發射天線經由空氣到達接收天線的空氣波 (airwave) 或沿著地表直接傳到接收天線的直達波 (direct wave) (Chen et al., 2011)，這兩種波都不是由地下反射上來的信號，僅可供判斷地表在剖面圖中的位置。自 14 ns 以下則充斥著極大片重複的水平事件，這在 GPR 剖面的解釋上相當麻煩，因為可能的原因很多，一般大多是做增益控制 (gain control) 以補償振幅衰減所造成的假象，或其他的雜波。這種水平雜波或假事件沒有意義，但也不容易消除。因為其來源可能是天線或系統本身的因素，也可能是背景雜波或電磁干擾，而其頻域往往與真的信號重疊。因此，只要不

將反射事件完全掩蓋，一般都不特別處理，也不做任何解釋。本文為降低水平雜波干擾乃不使用增益控制，並以背景雜波濾除法 (background noise removal) 增強原始信號。對淺層目標而言，是可行的方法。當然，新近有研究論文提出其他更為有效的解決的方法 (Chen and Jeng, 2011; Jeng and Chen, 2011; Jeng et al., 2011)，但須花費較長的電腦計算時間及更專業的時頻分析技術。

水平雜波若是多重反射或波源形態的相位問題 (如不滿足最小相位標準或脈衝波形)，一般可用解迴旋 (deconvolution) 濾波法修正之。但這些傳統的方法常因使用者不明瞭關鍵參數的使用而弄巧成拙。本研究以震波資料處理的原理，審慎地測試各種處理技術的最佳參數，以做出可信的剖面。某些較複雜的數據則必須將多種處理技術交互組合使用，例如可用移位 (migration)、解迴旋，波形修整 (wavelet shaping) 等傳統的反射信號處理技術，做進一步的反射事件幾何位置的修正與信號增強。但不一定處理方法多就好，主要是看結果是否合理。過於複雜的處理流程相對付出的成本必然較高，若效果有限，甚至在剖面上衍生出假像，則寧簡勿繁。

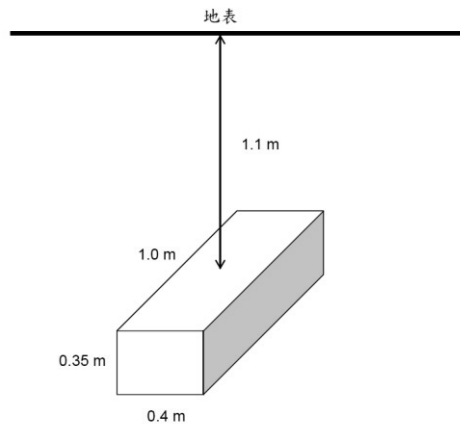


圖 4 控制場實驗所埋設之石棺模型。埋藏深度因時間長久已略為縮減

為了解所使用之 GPR 方法的可信度與解析能力，我們在校園的模型試驗場埋設一石棺模型做控制場實驗。該模型為以磚塊圍成一 $35\text{ cm} \times 40\text{ cm} \times 100\text{ cm}$ 的假想石棺，內部以現場挖起之砂石填實，埋置於約 110 cm 的深處 (圖 4)。由於試驗場

地鄰近新店溪，在整闢為校區前原為農地，因此在地質環境上與本是農田的曲冰相似，較有說服力。該模型埋設已超過十年之久，雖然埋深會有些許變化，但表土經多年的重力壓實，相較於初設時期，在信號特質上更為接近真實的長年埋藏地點。

我們在模型區的地表佈置一 $3.2 \text{ m} \times 3.2 \text{ m}$ 的施測網格面，測線間距 0.2 m 。使用全罩式 500 MHz 的 GPR 系統施測，施測方向為二正交方向，因此總測線數為 34 條。每條測線的空間採樣間距為 0.018 m ，深度（時間）採樣間距為 0.052 ns 。一般所謂的空間全解析度的採樣標準的計算公式為

$$\Delta X_{\max} < \frac{\lambda_{\text{app}}}{4} = \frac{v}{4f \sin \alpha}$$

(Booth et al., 2008)。其中 v 為近地表的 GPR 波速， f 為信號主頻帶頻率。由於反射信號頻率會被地層衰減降低，一般約略是天線中心頻率的一半左右。 α 為入射角度，若非在極端要求精準的情況下， α 在 60° 角內皆可視為垂直入射。我們的佈線參數已高過此通用標準。

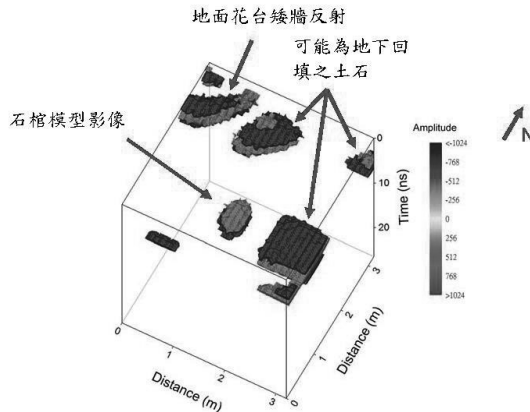


圖 5 石棺模型的準三度空間立體影像及其它反射事件

圖 5 所顯示的為此石棺模型的準三度空間反射立體影像。原始數據經背景雜波移除之後為了能更清楚的顯示地下目標物，我們再以帶通濾波 (band-pass filtering) 和移位修正加以處理，以擷取真實的信號。結果顯示，石棺模型清晰可見。由於數

據的深度與空間採樣密度已超過所需解析度的要求，因此不擬再做進一步的人工內插 (interpolation) 補點處理以避免因過度處理而出現的假構造。

肆、曲冰遺址測勘

一、測區一

曲冰遺址已發掘區之遺跡、遺物的種類與分佈相當複雜。其原因除了因山區平地取得不易，先民在同一地點，不同年代，重複興建家屋而留下交錯的房屋基座外，也有可能是信仰或民俗因素。曲冰先民較特殊的風俗是將自然過逝的家人葬於室內，除了尊敬其靈魂之外，也有與逝者繼續生活的懷念意義。由已發掘的資料顯示，曲冰遺址發現的石棺整體而言，長度大多小於 1 m，寬度短於 0.4 m 居多。而根據當年發掘的數據，僅發現一具石棺可能為屈肢葬，因此曲冰遺址發現的石棺尺寸小的原因，推論可能有體型小的史前先民曾居住過。但也有可能是埋葬嬰兒或幼童。而小的石棺較多為室內葬，可能是父母對早逝孩童的不捨與眷念；較大的成人石棺因葬於室外，土地經過近千年的重複使用或許已遭剷除破壞而沒有留存，也可能埋於較深處尚未發現。因此曲冰地區的文化層可能具有多層次的結構外，同一層次埋藏的古蹟也相對複雜。

為了進一步了解曲冰遺址的特質，我們先在 1980 年代發掘後再回填的範圍內，選取適當位置為控制場址做現場測試，量測該區 GPR 的響應，以了解天線與測區地層的偶合程度及數據的解析能力。由於遺址已回填多年，現場地表景觀 (圖 6a) 與當年的情況已有極大差異。GPR 測勘地區所對應之發掘區只能依據當年發掘時之聚落和墓葬平面圖 (圖 6b) 與現場地形測量數據比對推算。經與圖 6b 之原發掘地區位置圖比對，及查閱原發掘的遺物分佈圖片與數據，判斷測區一可能覆蓋的地下古蹟除有不同時期的房屋疊建該處外，還存在七具石棺，其中五具葬於室內。此測區中由西端往東約六公尺的範圍落於當年編號為 F18 的房屋遺址上。該房屋基座呈東北—西南走向，長 13.6m，寬 3.5m。前述五具葬於室內的石棺有四具即位於此房內，長度介於 0.5 m 至 1 m 之間，屬孩童尺寸；在房屋西南角落還發現有屋內火塘及方形石盆。因工作時間短暫，我們在此測區以簡約的準三度空間 (pseudo-3D)

佈線方式，測試在最短的工時內如何取得滿意的結果，及以事後數據內插補點的方式增加採樣的可行性。因此採取單向高密度的測線內距離採樣 (0.017 m)，測線間

(a)



(b)

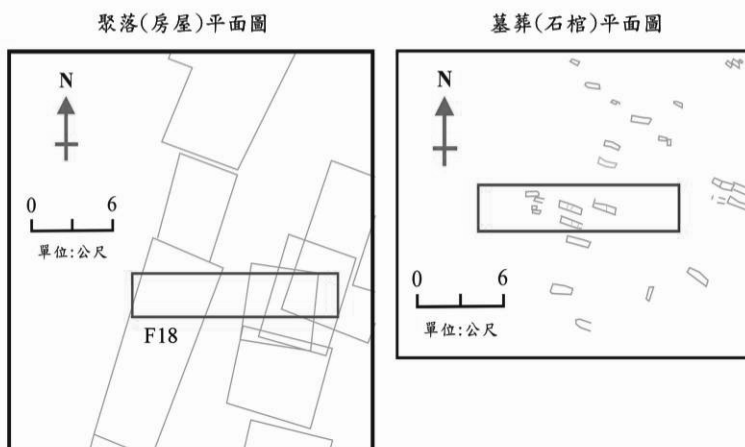


圖 6 曲冰遺址測區一 (a)目前現場及鄰近地表景觀 (b)部份 1980 年代發掘位於本測區之聚落平面圖及墓葬平面圖 (重繪自 陳仲玉 (1994))。紅色矩形範圍為本測區，面積為 $3\text{ m} \times 15\text{ m}$

距為 1 m。每條測線 15 m 長。測線中每條波跡線 (trace) 的深度 (時間) 採樣為 0.18 ns。由於是使用 500 MHz 全罩式天線，其發射和接收天線的間距僅 0.18m，信號可視為垂直入射。

根據採樣理論，若要採樣不失真，在最窄的目標寬度內至少要取 2 個以上的採樣。上述的佈線幾何足以發現該屋基座，但因該處有體積較小之火塘、立柱、及石棺，就可能採樣不足。為了測試若有某一方向採樣不足時，數據的補點效果，因此仍用既定的佈線幾何施測。我們在該處總共平行佈置四條上述的準三度空間測線。雖然 0.017 m 的測線內距離採樣間距可解析至 0.034 m 的長度 (寬度)，但測線旁向間距則僅可滿足 2 m 的長度 (寬度) 之最低採樣標準。為彌補測線旁向間距過寬的缺點，我們先將數據組成方塊，然後沿著深度 (時間) 軸，在每個採樣切面 (slice) 上，使用快速傅氏轉換內插 (fast Fourier transform interpolation, FFTI) 平方曲線的演算法加以補點。此法的優點是影像較為平滑自然，但影像邊界會稍為擴大且計算時間長。

在資料處理與解釋 GPR 剖面時，雷達波在地下的傳播速度必須要能精確掌握，否則在移位或解迴旋及深度換算上就會發生極大的誤差，甚至毫無意義。因此在野外現場我們必須做同中點廣角反射與折射 (CMP-wide angle reflection and refraction; CMP-WARR) 的測試，這種方式源自震波測勘的走離雜波測試 (walk-away noise test)。方法是固定一根天線，另一根天線逐漸移開，然後記錄不同支距 (offset) 的信號來回走時，所得到的數據可供估算雷達波在地下傳播的速度模型。至於測線的走向 (strike)，我們儘可能與地下目標物的走向正交，因為這樣在測勘原理上符合取得目標物反射信號的最可能方向。由已出土的遺存房屋及石棺資料得知，曲冰地區的房屋方向大致略偏東北—西南；石棺則呈西北—東南走向，因此我們的測線大約取東—西向。

圖 7 為經過基本的數據處理 (背景雜波移除、帶通濾波、和移位修正) 後，再以 FFTI 平方曲線補點後的 GPR 立體影像及部份解釋。由於所有的目標物皆屬相同材質 (板岩)，因此僅能根據影像幾何形態與原始發掘的數據資料比對解釋。淺部 (0.3 m 以上) 的事件基本上與已發掘的資料吻合，較深部則存在有多處事件可能來自尚未發現的古蹟。

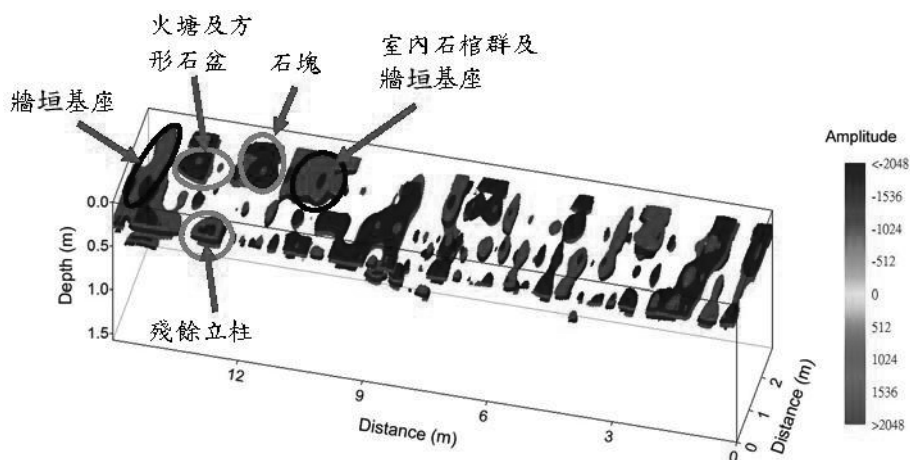


圖 7 曲冰測區一之 GPR 準三度空間立體影像，顯示有多層事件。未標示之反射事件可能為室外石棺群及其它房屋牆垣基座

二、測區二

為確認未發掘區的考古價值，本研究將探測範圍延伸至曲冰遺址之外的未發掘區。我們選定的測區二，位於發掘區的北端邊界外的林地（圖 8a），面積為 11 m × 16 m。區內有一回填的房屋遺址，當年編號為 F15，跨越發掘區的鐵絲網牆（圖 8b）。該房屋在曲冰遺址的房屋分類上屬第五類房屋，室內鋪置碎塊板岩地板。此屋基座約有五分之二落在測區二範圍內，可供信號比對之用。

我們在此測區先使用 200MHz 分離式天線做 CMP-WARR 走離雜波測試，以取得速度分析的數據。CMP 測量時為了取得最佳的信號，天線佈置的方向也須留意。我們採用的方式是 PR-BD 的方式，即天線方向與測線正交（perpendicular; PR），且天線的寬邊（broadside; BD）相對。然後沿著測線方向移動天線。走離雜波測試必須將一天線固定，只移動另一天線。不同的支距得到不同的走時，記錄到的所有波跡線可組成共發射源（common source）或共接收點（common receiver）的集聚（gather），供速度分析之用。為提高速度分析結果的可行性，我們也參考已知目標物的深度，修正用來換算深度的實際速度。

測區二的準三度空間測線佈線方式大致與測區一相似，此區總共佈置 12 條至少 16 m 長由東向西的測線。測線中每條波跡線的深度（時間）採樣間距為 0.052ns。每條波跡線採樣數為 1024 個，以兩區的雷達波速度約略相同的情況下，測區二的採樣總深不及測區一，但採樣密度為測區一的三倍。因考慮到測線間距仍嫌過寬，故比照測區一採取 FFTI 平方曲線補點技術，在每兩條測線之間補了間距 0.1m 的九條測線，所以實際在 3D 影像組合上總測線數為 111 條。

(a)



(b)

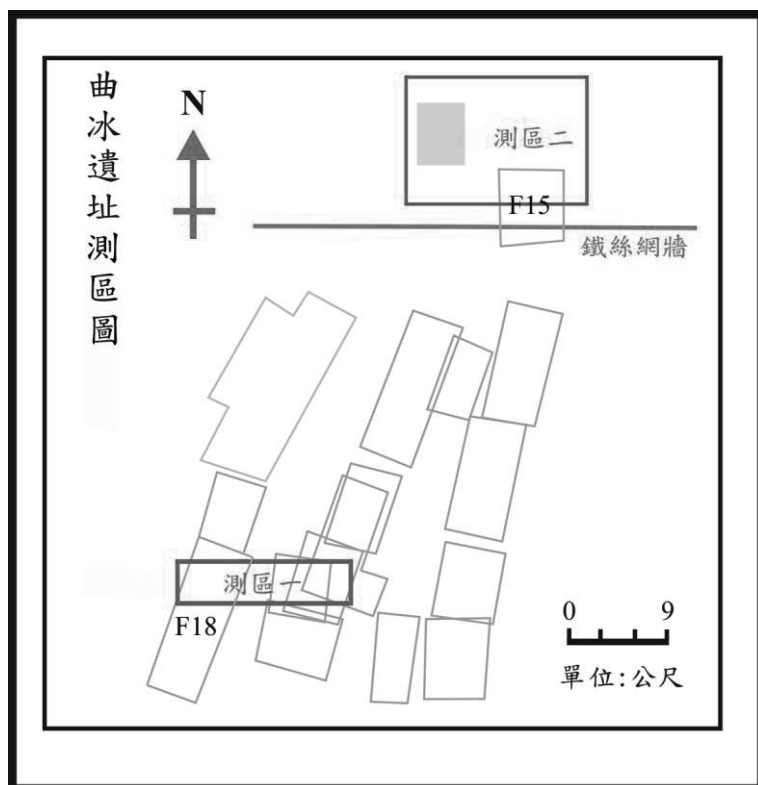


圖 8 曲冰遺址測區二之地形與位址 (a)現場地表景觀 (b)測區二與測區一之相對位置，底圖為部份 1980 年代發掘出之聚落平面圖 (重繪自 陳仲玉 (1994))。測區二中之灰色區為可能尚未發掘的房屋遺址

圖 9 為在測區二的數據經背景雜波移除、帶通濾波、和移位修正後，再內插補點所取得的地下剖面。由反射事件的形態與尺度，回填的 F15 房屋基座信號明顯可見，西邊有兩區影像信號推測應為兩處尚未發掘的房屋基座。考古學家陳仲玉由當年的發掘資料研判，西北邊可能存在有未發現的房屋遺址。經比對其位置與此測區

西北邊的推測區相近，建議該位置應列為優先試掘區。

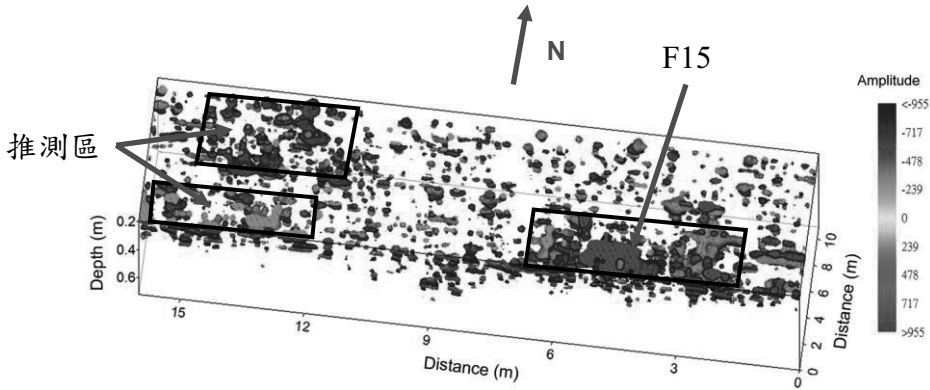


圖 9 曲冰測區二之 GPR 準三度空間立體影像

伍、結論與建議

曲冰遺址在台灣考古研究上已有其定位，目前傾向認定屬台灣中部的史前文化序列，代表中部素面文化中之水蛙窟文化的山地嶺型，至於是否可用曲冰文化稱之，尚需對其內涵做更詳細的探討。

由於曲冰的布農族是日據時代才被迫遷至該地，由目前已知的考古資料推斷，曲冰遺址的規模應不是布農族在短短不到百年之間所建立。如果能了解布農族落戶此地之前的曲冰，對台灣先民的歷史必定有所貢獻。因此曲冰研究仍需要再次的發掘，而如何精準且不破壞現有遺址的發掘，GPR 的非侵入性及非破壞性本質應是最佳的探索方法。

本文所提供的 GPR 在曲冰遺址之測試結果，顯示該地區極可能仍有未發現之史前文化遺址，再次並擴大發掘是有其考古學意義的。而 GPR 在考古發掘前可提供快速可信的定位參考。曲冰地區類似已發掘區之河階台地尚有多處未做考古評估。若能擴大探勘，相信類似規模的史前遺址必定不只一處。以現代的考古觀念而

言，發現後只需做完整詳細的檔案記錄，不必全部發掘，以原址地下天然保存為佳；已發掘處，則可就地回填，定時定點檢測，將珍貴的文化遺產留給子孫，更能合乎考古的人文精神。至於如何落實這個想法，相信 GPR 在技術層面上是非常值得信賴的。

在實地探勘作業上，本研究所使用的 GPR 探勘技術及數據處理方法，由文中所示之案例證實，對淺層的考古遺址發掘極有幫助。以曲冰文化層的深度與埋藏古物的平面分布，我們使用 200 MHz 至 500 MHz 頻率的天線及數據補點的方法尚稱理想。若需要更深層的資料及更真實的旁向變化數據，以相同的模式，採用更低頻的天線，以更密集的測線分佈即可取得。當然，野外工時必定隨測線數增加。另外必須說明的是，以此方法所得的數據，不論測線多寡，其實皆非真正的 3D 資料，呈現的立體圖形僅能稱為準 3D 或 2.5D 圖塊。雖然目前真正的 3D GPR 測勘在某些西歐國家已應用到考古調查上，但以台灣地區的山地地形與尺度，3D 測勘並不切實際。本研究所使用的方法，快速、低廉，若再與近代非線性的濾波方法如組合經驗模組分解法 (ensemble empirical mode decomposition; EEMD) 併合使用，以增強信號的解析度，同時再以對數轉換 (logarithmic transform) 的技巧延伸測深，彌補硬體上的不足，皆為進一步可行的方法。這一部分將以另文發表，提供考古學家若需對曲冰或台灣其它地區的遺址做進一步的調查時，有更多探勘方法的選擇。

致謝

感謝陳仲玉教授對本研究在曲冰地區的田野測勘提供珍貴的參考資料與現場協助。本文部分研究經費來自國科會研究計畫 NSC 99-2116-M-003-008。

參考文獻

中華民國內政部網站 (2012)。 <http://www.moi.gov.tw/>

台灣原住民族資訊資源網 (2012)。

http://www.tipp.org.tw/formosan/tribe/tribe_detail3.aspx?id=20071219000006

台灣原住民族歷史語言文化大辭典網路版 (2012)。

- http://citing.hohayan.net.tw/citing_content.asp?id=3706&keyword=%E8%95%83
台灣原住民數位博物館 (2012)。
[http://www.dmtip.gov.tw/Aborigines/Article.aspx?CategoryID=1&ClassID=1&TypeID=2
&RaceID=2](http://www.dmtip.gov.tw/Aborigines/Article.aspx?CategoryID=1&ClassID=1&TypeID=2&RaceID=2)
李玉龍 (1999)。曲冰遺址之地磁特性分析。國立台灣師範大學地球科學研究所碩士
論文，臺北。
林朝榮 (1964)。南投縣地理志地形篇稿。南投文獻叢輯(12)，南投縣文獻委員會。
陳仲玉 (1982)。濁水溪上游河谷的考古學調查。中央研究院歷史語言研究所集刊，
第53本第4分，頁711-745。
陳仲玉 (1994)。曲冰。中央研究院歷史語言研究所田野工作報告之二。
張光直 (1977)。台灣省濁水溪與大肚河流域考古調查報告。中央研究院歷史語言研
究專刊之七十，頁425-435。
張至善 (2011)。打樹成衣—南島語族的樹皮布及其文化。國立臺灣史前文化博物館
電子期刊—文化驛站，第29期，頁28-31。
劉枝萬 (1956)。南投縣考古誌要。南投文獻叢輯(4)，南投縣文獻委員會。
Batayneh, A. T., (2011). Archaeogeophysics—Archaeological Prospection – A Mini
Review. *Journal of King Saud University (Science)*, Vol. 23, No. 1, pp. 83–89.
Booth, A. D., N. T. Linford, R. A., Clark, and T. Murray, (2008). Three-dimensional,
Multi-offset Ground-penetrating Radar Imaging of Archaeological Targets.
Archaeological Prospection, Vol. 15, No. 2, pp. 93-112.
Chen, C.-S., and Y. Jeng, (2011). Nonlinear Data Processing Method for the Signal
Enhancement of GPR Data. *Journal of Applied Geophysics*, V. 75, No. 1, pp. 113-123,
doi:10.1016/j.jappgeo.2011.06.017.
Chen, C.-S., Y. Jeng, and L.-C. Chen, (2011). A New Processing Scheme for the Ground
Penetrating Radar Technology to Image Geological Features. *Taiwan Mining
Industry*, Vol. 63, No. 2, pp. 13-24 (In Chinese with English abstract).
Davis, J. L., and A. P. Annan, (1989). Ground-Penetrating Radar for High-Resolution
Mapping of Soil and Rock Stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, Vol. 37, No. 5, pp.

531–551.

Jeng, Y., and C.-S. Chen, (2011). A Nonlinear Method of Removing Harmonic Noise in Geophysical Data. *Nonlinear Processes in Geophysics*, Vol. 18, No. 3, pp. 367–379, doi:10.5194/npg-18-367-2011.

Jeng, Y., Y.-L. Lee, C.-Y. Chen, and M.-J. Lin, (2003). Integrated Signal Enhancements in Magnetic Investigation in Archaeology. *Journal of Applied Geophysics*, Vol. 53, No. 1, pp. 31-48.

Jeng, Y., C.-H. Lin, Y.-W. Li, C.-S. Chen, and H.-M. Yu, (2011). Application of Sub-image Multiresolution Analysis of Ground-penetrating Radar Data in a Study of Shallow Structures. *Journal of Applied Geophysics*, V. 73, No. 3, pp. 251-260, doi:10.1016/j.jappgeo.2011.01.007.

Wikipedia (2012). http://en.wikipedia.org/wiki/Taiwanese_aborigines