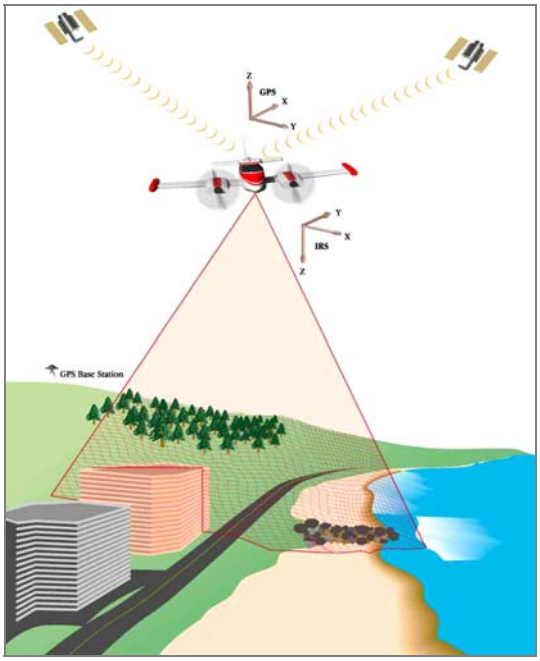
知識天地

空載雷射測距掃描及其在地質與地形調查之應用

詹瑜璋助研究員（地球科學研究所）

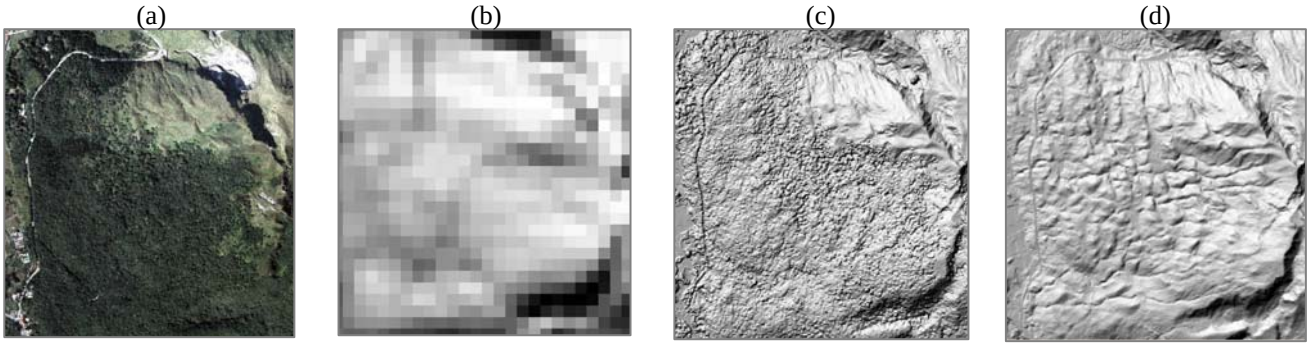
為精確地呈現地表的立體形貌，除了需要航空照片或衛星影像外，更需要高精度及高解析度的數值高程模型（Digital Elevation Model）。數值高程模型可依研究與應用須求，展現不同角度的地形模型。利用數值高程模型，可準確快速地繪製地形剖面，而且相關的地質與地形特徵也都能加以檢視與量化。目前以空載雷射測距掃描（Light Detection and Ranging，簡稱 LiDAR）所製成的數值高程模型，在解析度、精確度、方便性與去除因建物與樹木遮蔽等方面，最符合未來各種地質與地形研究應用的要求，例如斷層的位置與活動性。臺灣的活斷層廣泛分布於人口稠密地區，近百年來已經發生多次嚴重的地震與地表破裂，造成民眾生命與財產的重大損失，今年 5 月 12 日的汶川大地震再次提醒我們對活斷層特性調查之重要性。



圖一、空載雷射測距掃描施測示意圖。

空載雷射測距掃描的原理是利用近紅外光之脈衝雷射進行掃描，於記錄反射回波及時間後，再將其轉換為距離。飛機則以差分全球衛星定位系統（Differential GPS）精密地定位，同時利用慣性測量系統獲取飛機的姿態角度，之後整合雷射測距掃描資料而獲得地面點的三度空間座標。雷射測距掃描系統中之測距性能，例如測距範圍、掃描寬度、掃描頻率等，將直接影響施測之能力，而定位與定向之性能，則是影響最後精度之關鍵。基本上，整個空載雷射測距掃描系統結合了雷射測距、光學掃描、全球定位系統及慣性導航系統等技術，能以每秒約七萬點的掃描速度，獲得地表全面的三度空間座標，此系統掃描觀測示意如圖一。

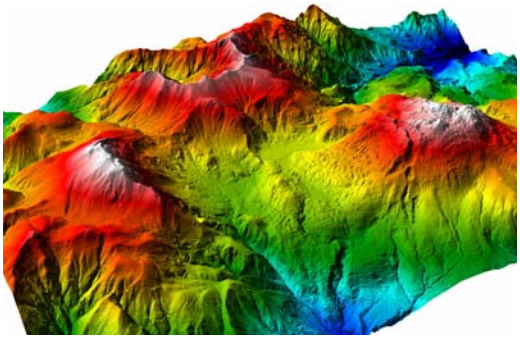
空載雷射測距掃描所取得的資料可分類為表面資料點與地面資料點，經內插網格化處理後，可分別製成數值表面模型（Digital Surface Model，簡稱 DSM）與數值地面模型（Digital Terrain Model，簡稱 DTM）。臺灣地區目前常用的數值高程模型，其水平解析度為四十公尺，高程精度為數公尺。圖二比較四十公尺數值高程模型與空載雷射掃描所獲取的高解析度數值高程模型，比較區域位於大屯火山群的小油坑地區。這個火山地形基本上受大量植被覆蓋（圖二 a）。四十公尺解析度的數值高程模型，很顯然的，無法呈現這個區域精細的地貌（圖二 b）。相反的，雷射掃描數值高程模型則呈現清晰的地貌（圖二 c），經資料處理去除植被影響，可呈現出清晰裸露的地形，這種數值地形最適合進行地質與地形之分析研究（圖二 d）。



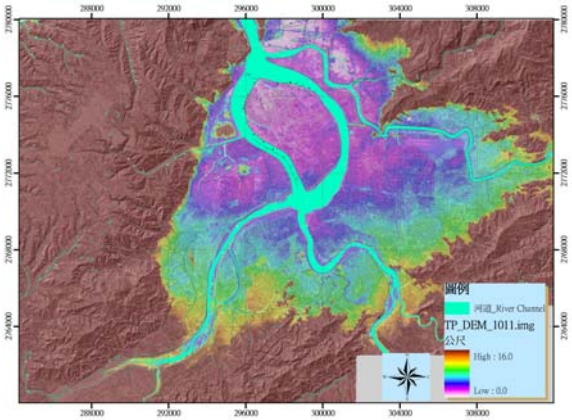
圖二、大屯火山群小油坑地區的航空照片與不同類型的數值高程模型比較，寬約一公里 (a) 航空照片、(b) 40m 數值高程模型、(c) LiDAR DSM 數值高程模型、(d) LiDAR DTM 數值高程模型。

經 LiDAR DTM 數值高程模型判釋後，顯示大屯火山群中存在許多線形構造，這些線形構造反應了大屯火山群地區複雜的斷層與節理系統。沿著竹子山、小觀音山、與大屯山等山峰的東南側（圖三），相關的地質調查認為是正斷層作用經過之處。諸多的證據已顯示大屯火山地區存在正斷層作用，例如大尺度的地形高差、與斷層兩側的地質鑽探資料。然而這個大家熟知的大尺度線形，是否存在近期發生的地表錯移現象、位於何處、落差多少，這些則是活斷層判釋的重點。根據去除植生的 LiDAR DTM，我們才有機會描繪出保存良好的地形崖，這些地形崖的特點是錯移較為平坦的地形面，包括熔岩平臺，及坡度較緩的坡面等。由於排除了河流作用與人為開發的可能，這些新發現的地形崖推論為正斷層作用產生，經測量得平均斷層落差為 3.3 公尺，可能為一次重大地震所造成的地表斷層。

此外，臺北盆地受到人為高度地開發，現在大部份的原地形面已經不易見到。因此全面性的高精度高程資料，將有助於檢視與探討臺北盆地先前之地質與地形特徵。本研究室獲取的臺北盆地 LiDAR DTM，經過數值影像增揚處理後，已可將臺北盆地的高程清晰地展現出來（圖四），大部份臺北盆地的高程介於 0-16 公尺，其中以臺北盆地的西北區地勢最低，離海平面僅有數公尺。由於臺北盆地建築物很多，藉由 LiDAR 相關技術將地上物移除後，我們已可以進一步判釋不易見到的平原地表地形，特別是過去殘留的河道侵蝕現象與曲流分布。如此判釋而得的古河蝕崖，將能夠提供研究臺北盆地河道變遷的歷史，並且可對過去古地圖之真實性進行評估與確認。綜觀所得之資料，大漢溪的活動變遷寬度可達三、四公里，而新店溪與基隆河之河流活動也有相同情形，特別值得注意的是，於永和與中和建築密集的地區，存在明顯的殘存曲流，而於臺北盆地西北地區，古河蝕崖則殘存不多，顯示本區可能受到過去湖泊作用的影響。



圖三、以 LiDAR DTM 數值高程資料展示的大屯火山群立體圖。



圖四、LiDAR DTM 數值高程圖清楚呈現臺北盆地的高程分布與變化。

近年來利用新興的技術，國內在活斷層與地形研究方面已有相當的進展。這些新興的技術包括大地測量、衛星遙測、空間資訊系統、與活動構造年代測定等。鑑於活斷層常因可供判釋的高程資料有限，其斷層跡分布與斷層特徵行為，仍有相當臆測與爭論的空間。為了改善辨識活斷層的基本資料，進一步瞭解地震活動與構造地形關聯問題，以及思考未來相關的工程應用，例如城市低窪區的淹水問題，測製高解析度與高精度的數值高程模型如 LiDAR DTM，已成為未來活斷層構造與地形變遷研究的重要基礎。

※各期知識天地文章請逕於本院網頁：http://www.sinica.edu.tw/「常用連結」之「週報〈知識天地〉」項下瀏覽。※