

地表觀測技術的進展

文・圖／莊昀叡

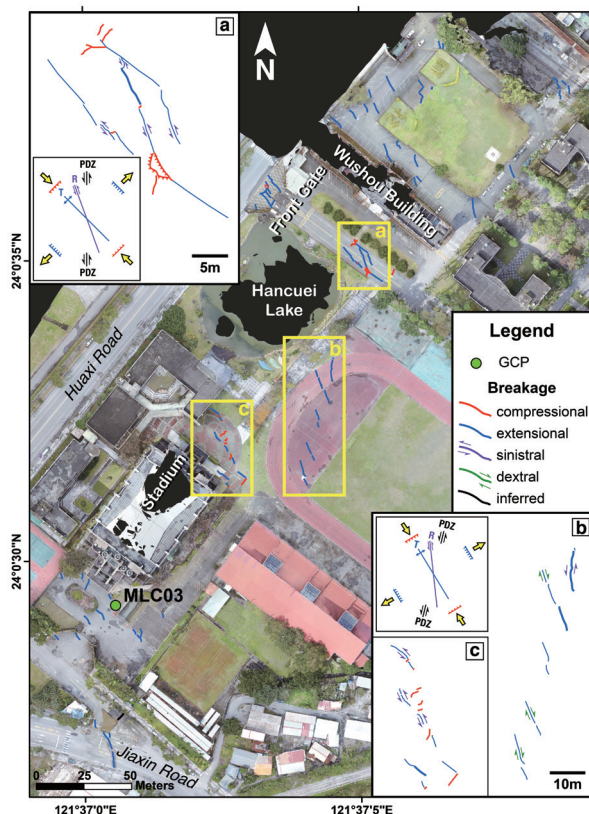
地理學是一門歷史悠久的學科，也是一門新興發展的學科。從大航海時代對於新世界的探索開始，地理學家們對於世界各地長得什麼樣？有什麼現象？為什麼有這些現象？都充滿了好奇與疑問。隨著時間與科技的發展，不只是人們的生活更為便利，現代的地理學和過往也截然不同，有著更加廣泛的技術應用。

在現今的地理學之中，更多的關注在於人類所生活範圍裡，不同的作用力如何在所關注的空間中發揮影響。地理這門學科的發展在現代可以分作三大領域：自然地理、人文地理、空間技術。這些領域也從各自的觀點來討論空間中的作用。在這三大領域當中，自然地理學是歷史最悠久的。保持著對自然界的好奇與地球科學的傳統，現代的自然地理學家們透過不同的工具與技術，來研究地球系統中，自然現象的分佈、因子與機制。

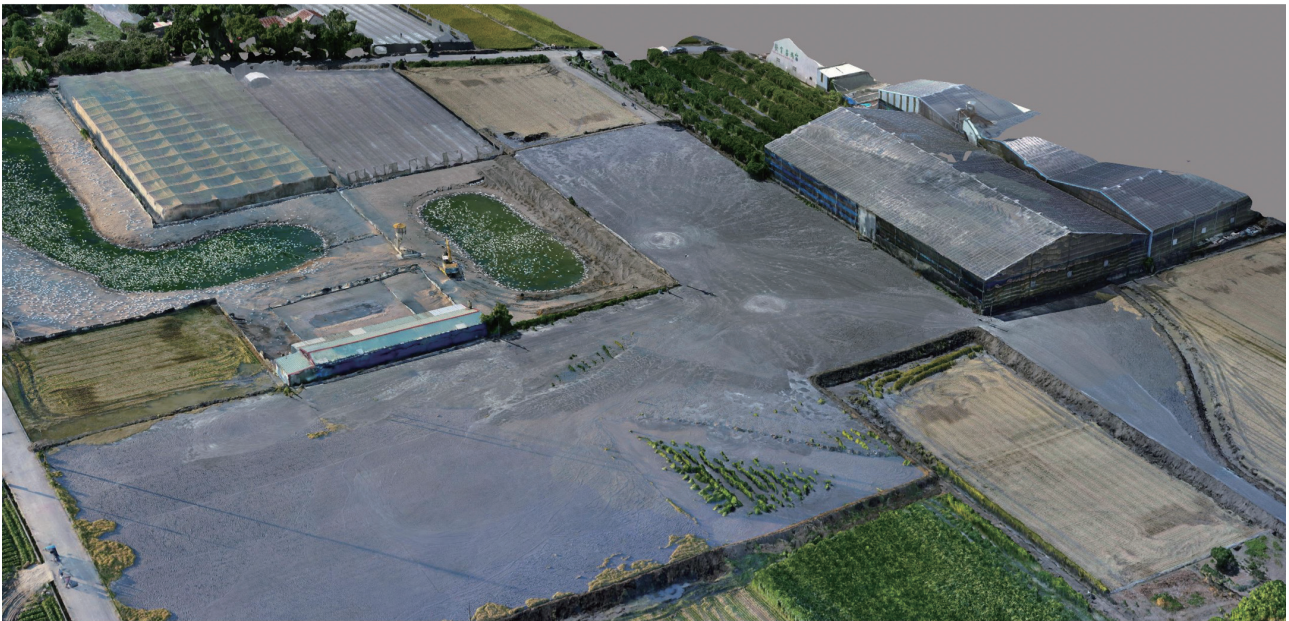
許多自然科學與工程相關的學者們也會關注著地球系統的作用，然而自然地理學家更聚焦於人類主要活動的範圍中，這些自然現象的空間分佈成因，乃至於這些現象對於

人類活動的影響，以及人類和環境之間的交互作用。因此，地理學家們對於人類活動地表上的地形、水文、地表氣候、環境生態等議題特別有興趣，並擴展到國土監測、自然災害、環境分析等方面的應用。

在如此的脈絡下，筆者研究團隊的興趣即是在於近地表的地質與地形現象與作用，



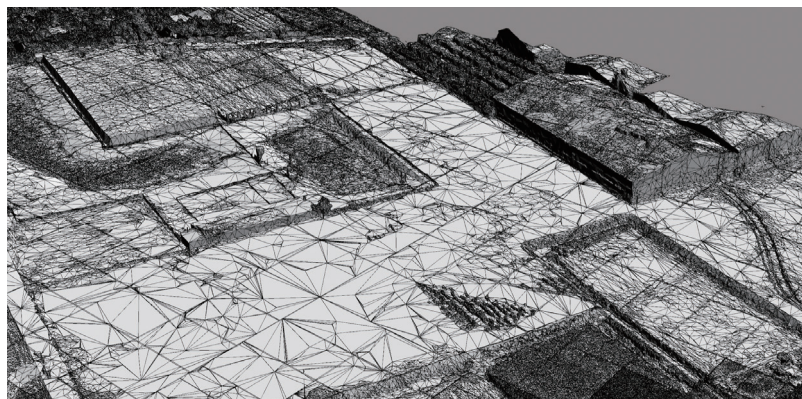
應用「運動恢復結構」結合電腦視覺與攝影測量，建立相對三維座標，進行高精準度之斷層測量與繪圖。



東華大學創新園區（原花蓮師範大學校區）內地表破裂繪圖。

也就是地殼如何變形造成地表的移動，以及地表的地質材料如何受到外力作用。這樣的研究主題，也與自然災害的現象與應用緊密結合，並透過許多先進技術的幫助，可以讓我們清楚的觀測到不同尺度的地表作用與現象。

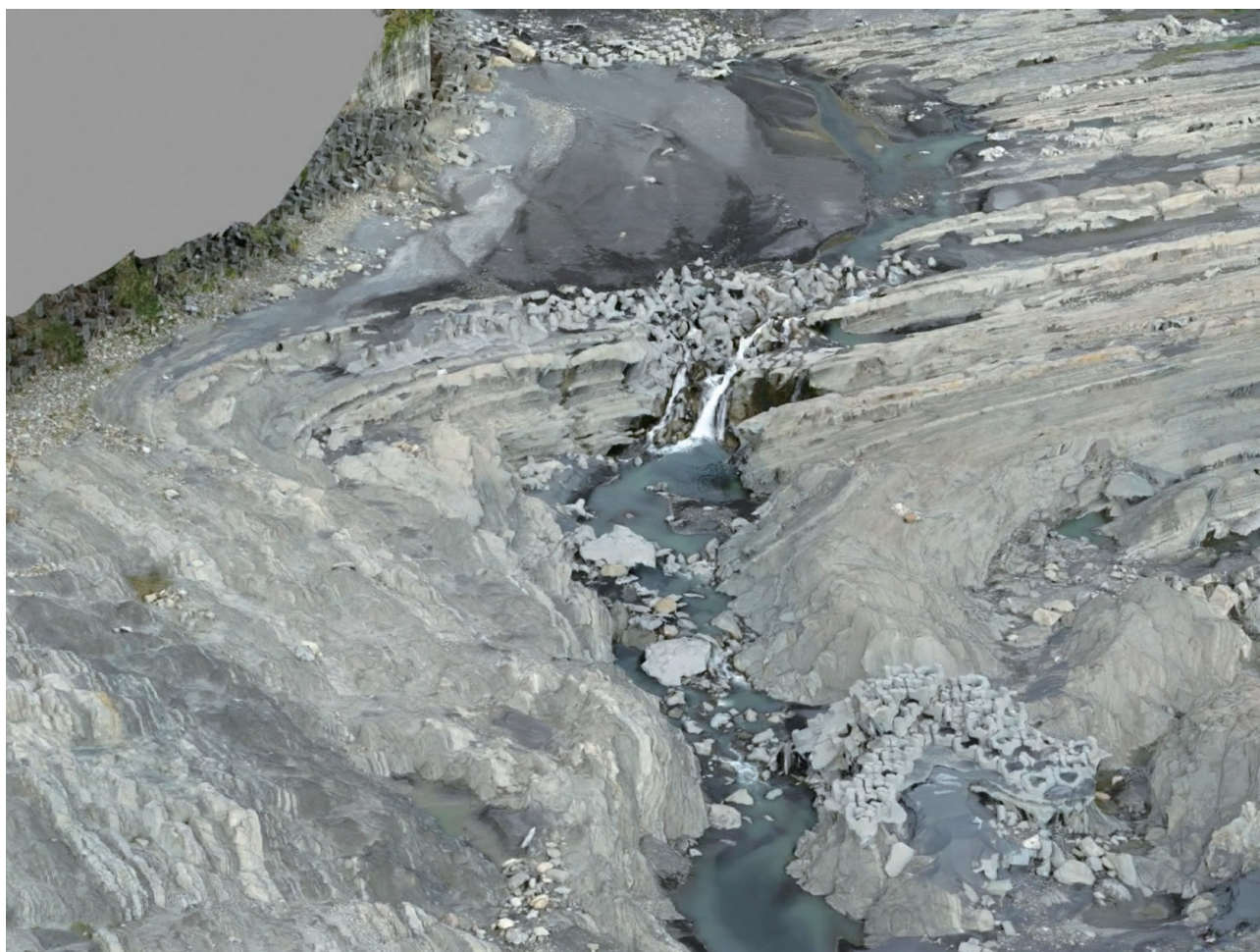
今年2月6日發生於臺灣東部的花蓮地震，就是一個我們關注的例子。當地震發生時，除了地震波造成的劇烈搖晃之外，地表也會快速的位移。若是某條斷層在地震時有活動，則跨過斷層兩側的地表也會有不同方向的移動，而橫跨於斷層上的房屋建屋也會因此受到破壞，造成生命財產很大的損失。所以地震發生後，我們便想盡快地了解地震造成地表怎樣的移動與改變，知道了地表的



萬丹泥火山三維地形建模，圖中泥地中兩個灰色圓點為泥火山噴口。

變動，也可以幫助我們推估地震與斷層活動詳細的情況。

因此，筆者與相關合作團隊便於地震發生後，立刻透過不同的技術來量測地表的變動。首先是透過現地的調查與量測，找尋可能的斷層活動證據，並在當場量測斷層的移



濁水溪河道遷急點地形三維建模。

動量。同時，也使用無人機搜集航空影像，於斷層沿線進行連續性的拍攝。整合地表與空中的調查，便可以在短時間內確定斷層在地表的破壞。無人機技術是近幾年來重要的科技發展之一，透過無人機可以從空中快速搜集大範圍的影像與空間資訊，相關的應用也在許多應用科學與實務工程上快速發展。

對於觀測地表變動的目的而言，利用無人機進行攝影測量則是關鍵的研究方法。我們先擬定具體無人機飛行計畫，再利用程式自動控制無人機飛行與拍攝，將斷層沿線的

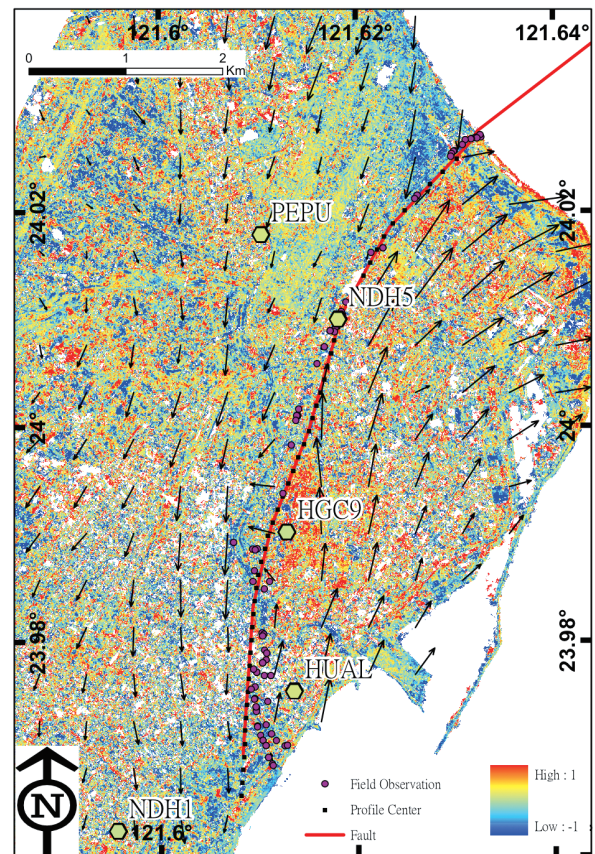
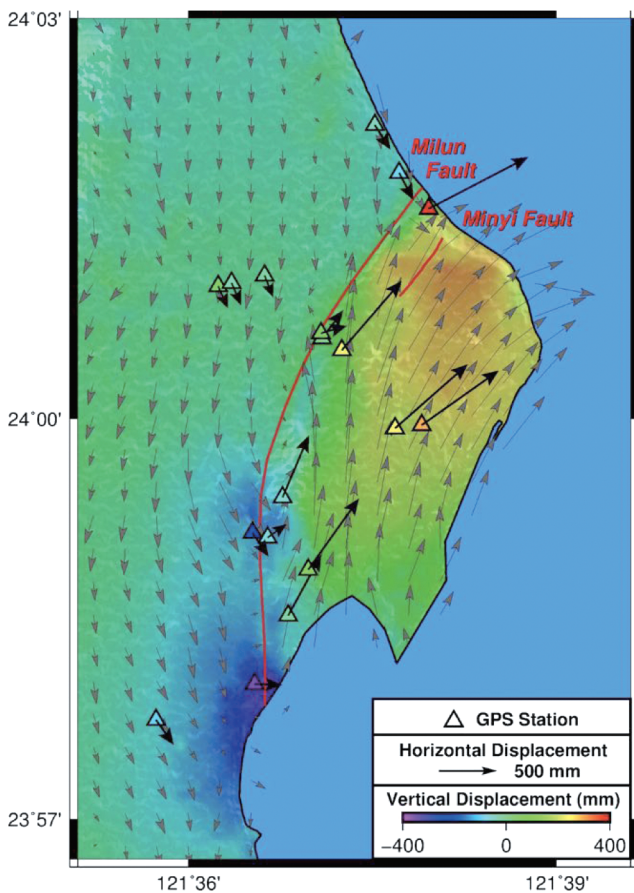
區域連續拍攝許多部分重疊的空拍影像。接著利用另一項近年快速發展的技術——運動恢復結構（**structure from motion**），來進行攝影測量程序。運動恢復結構是電腦視覺與攝影測量相結合的一種技術，透過影像判釋與對比找出影像重疊處的特徵點，再利用特徵點在影像上的幾何推算原始無人機拍攝時的相機位置與參數，以重建整個影像物體的相對三維座標，並得到公分級精度的成果。透過這樣的方式，我們可以快速的進行斷層沿線地表的調查與繪圖，並發現此次花蓮地

震米崙斷層是主要在地表活動的斷層，並且在斷層北段有比較高且集中的變形，而在斷層南段則比較分散的變形。

相同的技術也可以利用在其他地表作用上，我們透過無人機攝影測量與三維建模，也針對了萬丹泥火山與濁水溪河道進行觀測。萬丹泥火山是臺灣西南部許多泥火山當中，噴發量最大的泥火山。與其他泥火山不一樣的是，萬丹的泥火山每次噴發地點都不一樣且無法預測；噴發的間隔也不固定，每年噴發次數可能是零到數次，每次噴發維持可能數十小時到數日。因此，我們便分析萬

丹泥火山歷史噴發的趨勢，找出可能的噴發熱區範圍，再利用無人機與大地測量技術先行量測地形面，並於今年5月底的萬丹泥火山噴發時迅速立即施作無人機測量。透過噴發前後地形面的比對，我們可以準確地估計泥火山的噴發規模與體積。

濁水溪是臺灣最大的河川，充沛的水量使得河川水力沖蝕力道強大。而臺灣中部於集集地震時，沿著車籠埔斷層沿線造成數公尺的抬升。斷層橫跨河道處的抬升，便立刻形成瀑布，在地形上這樣河道坡度突然變化的地方即稱為「遷急點」。由於車籠埔斷層



左圖為花蓮地震雷達遙測地表位移結果，右圖為光學遙測地表位移圖。

造成的抬升與濁水溪強力的侵蝕能力，讓我們可以在數年之間即可觀測到遷急點的地形演育。我們因此透過過去數年的航空照片與現地的無人機空拍，同樣藉由相同的技術，得出集集地震震後歷年河道的變遷，以及一年中乾濕季之間的地形變化。

除了利用無人機技術，我們也使用衛星遙測影像技術作為分析工具。常見的衛星影像分為被動式的光學遙測與主動式的雷達遙測，兩種方式有各自的長處與局限。光學影像讓我們可以立即判斷地物屬性，但會受到雲層遮蔽與夜晚光線不足的限制。而雷達影像反而可以透過雲層，且不受夜晚影像，但影像本身反映的是地表地物反射雷達波的能力，需要進行更多的處理以解析地表的特徵與變化。

今年的花蓮地震分析，我們除了野外調查與無人機空拍建模之外，也利用光學與雷達遙測，

步分析區域性的地表變動特徵。透過衛星遙測技術比對地震前後影像，我們可以得知地震造成怎樣的區域性地表位移，並可得知地表的移動方向與規模。結果顯示地表在跨過米崙斷層兩側有相反方向的位移，也證明了米崙斷層的活動，而且從位移分析中可以發現，米崙台地北側有較大的移動量，最大位移達一公尺，並呈現往東旋轉的樣子，可能受到米崙斷層的斷層幾何影響。

透過不同的測量技術，我們可以解析出高精度的地表變化，進而得知地表是如何變動，變動量有多大，以及變動的空間分佈特徵，並且由此可以推估造成如此地表變動的原因，讓我們能進一步了解大自然的作用力。 （本期專題策畫／地理系林俊全教授）



莊昀叡小檔案

現任臺灣大學地理環境資源學系助理教授，臺大地理系畢業，美國中央華盛頓大學碩士，印第安納大學博士，曾任日本東京大學地震研究所特任研究員。研究領域為測地學與空間資訊技術在地表作用與自然災害的應用，主要結合遙測技術、衛星測量與無人機等觀測技術，探討地表的物理作用機制。