



# 透視台灣變臉的大地

地殼變形的過程非常緩慢，  
短時間內的變形量極為微小，  
僅數毫米至數厘米。  
但藉最近發展的全球衛星定位系統測量方法，  
可精確偵測斷層活動、大區域的地殼變形與板塊運動。

## 余水倍

地殼變形的過程非常緩慢，短時間內的變形量極為微小，僅數毫米至數厘米。但藉最近發展的全球衛星定位系統 ( global positioning system, GPS ) 測量方法，可精確偵測斷層活動、大區域的地殼變形與板塊運動。當有大地震發生時，更可獲知震前、同震及震後變形，使我們對地震的震源機制、地殼應變的累積與能量釋放過程有更多的了解。

## 全球衛星定位系統

全球衛星定位系統乃美國國防部為對海上、陸地和空中設施，進行高精度導航與定位的軍事需求而建立的。該系統自一九七〇年代初開始設計研發，歷經二十餘年，於一九九四年初布設完成，並維持正常營運。全球衛星定位系統由分布於20,200公里，高空六個軌道面的二十四顆衛星組成，另有三顆備用衛星亦同時在軌道上運行，以隨時替換發生故障的衛星。衛星運行週期為十一小時五十八分。因此，同一地點每天出現的衛星分布型態相同，只是每天提早約四分鐘。同時位於地平線之上的衛星數，隨時間和地點而異，最少四顆，最多可達十二顆。

GPS衛星使用L波段之兩種不同頻率的電磁波為載波，在載波上調制有測距電碼及其他訊息。每顆衛星裝有高精度的鈷原子鐘及銫原子鐘，以提供精密的時間基準。

全球衛星定位系統定位的基本觀測量，是測站接收天線至發射天線的距離。只要測得衛星信號的傳播時間和傳播速率，就可計算衛星至測站的距離，即： $\text{距離} = \text{傳播速率} \times \text{傳播時間}$ 。同時接收三顆以上全球衛星定位系統衛星信號，就可定出測點的三維座標。在定位及導航應用上，是將衛星的位置（即軌道）當做已知，據此推求測點位置。目前地面控制站預估，經由全球衛星定位系統衛星即時傳送的廣播星曆（即軌道資料）精度約20公尺。而國際全球衛星定位系統服務計畫，利用全球合作之大量地面監測站資料，延後計算而公布的精密星曆精度更可達5公分，使得地殼變形GPS觀測之軌道誤差幾乎可忽略不計。

衛星的原子鐘及接收儀內部石英鐘都有某種程度的偏差，使得衛星信號傳播時間的量測隱含一些誤差。而全球衛星定位系統衛星信號的傳播路徑，會通過電離層和大氣層（或稱對流層），因折射現象導致傳播速率的改變，這些因素都會造成GPS定位誤差。在不同地點同時接收相同衛星群發出的信號，藉差分方式（信號相減）消除大部分的各種共同誤差，再經嚴謹的誤差修正與資料處理程序，可達毫米級的定位精度，故可應用於高精度需求之地殼變形測量。

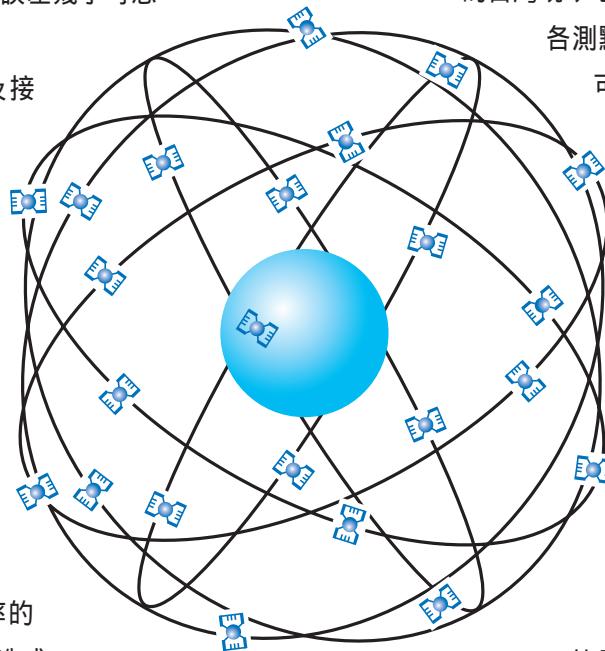
全球衛星定位系統衛星測量方法，可精確獲知測點的三維座標和測點之間的基線向量，具有全球性、全天候及連續性觀測的能力。只要測點透空度良好，無須測點間相互通視，較易根據研究目的而設計適當的觀測網形。因此，全球衛星定位系統衛星測量已取代傳統大地測量，而成為研究地殼變形與活動地質構

造的利器。

## 台灣全球衛星定位系統測網與地殼運動速度場

台灣位於歐亞及菲律賓海兩大板塊交界處，由於板塊的隱沒與碰撞作用，台灣地區地震活動頻繁，地殼變動劇烈。中央研究院地球科學研究所於一九八九年建立涵蓋台灣全島及附近各主要離島的大型「台灣全球衛星定位系統測網」，並自一九九一年起每年實施一次全網之高精度全球衛星定位系統測量。

根據一九九二至一九九八年七次觀測資料，估算的台灣現今地殼水平運動速度場如圖所示，箭頭代表各測點相對於澎湖的速度，箭頭末端為95%



全球衛星定位系統衛星軌道分布示意圖

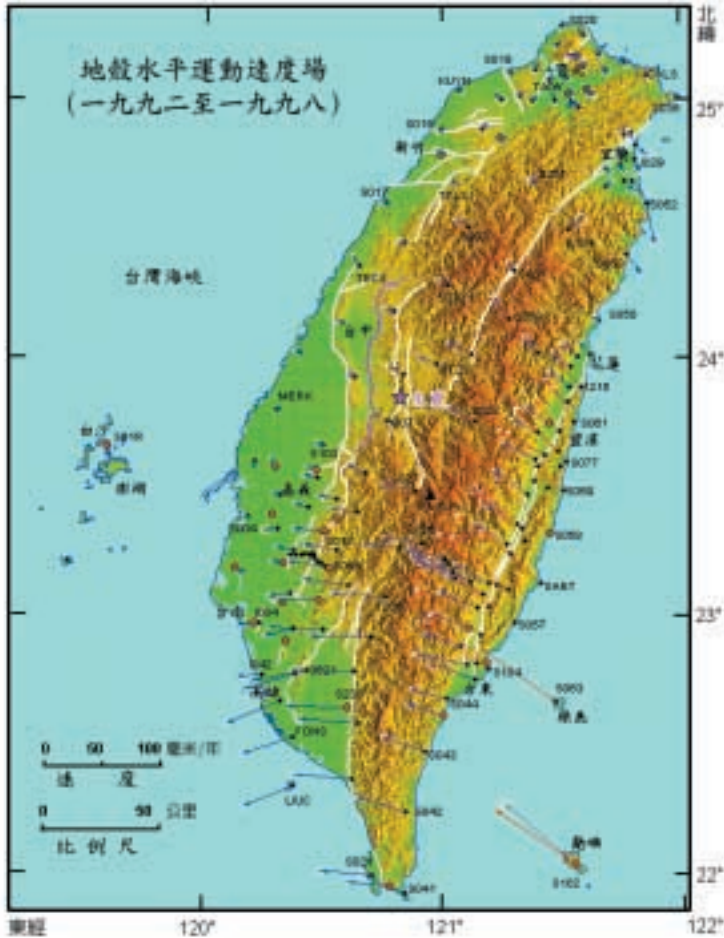
可信度誤差橢圓。位於菲律賓海板塊上的綠島，和蘭嶼以8.2公分/年之速率朝西北方的澎湖靠近，使得台灣島的大部分地區受到不等的擠壓作用。此種地殼縮短現象在新竹以南的台灣西部平原區及麓山帶都極為顯著，地殼縮短率在中部地區約2公分/年，至西南部地區更高達4公分/年。跨越台東縱谷，有3公分/年的速度不連續，主要是因縱谷斷層的無震滑移所致。

台灣北部及宜蘭平原則因沖繩海槽的弧後伸張作用，呈輕微至顯著伸張變形。指示此區主要受張應力影響，與台灣

中、南部受大地壓應力的情形不同。一般而言，台灣地區之地殼水平運動速度場分布型態與現今大地構造應力方向頗為一致。

## 集集大地震之同震位移

一九九九年九月二十一日凌晨發生規模7.3的集集大地震，造成長達100公里的地面斷裂，此斷裂帶大致沿著已知的車籠埔斷層線。斷層兩側瞬間數公尺的巨大錯移量，導致斷層沿線建築物的損毀、人命傷亡及地形地貌的改變。為了解集集大震後震央區附近的詳



一九九二至一九九八年各測點相對於澎湖白沙 (S01R) 之地殼運動速度場，藍色與紅色箭頭分別為位於歐亞板塊與菲律賓海板塊上觀測之速度，星形為集集大地震之震央，粗紫線為地表破裂帶，白線為活斷層。

細地殼變動情形，地震發生後第二天，筆者與工作團隊立即展開震後全球衛星定位系統之測量。根據震前、震後兩次觀測結果比較，可獲知伴隨集集大地震的同震位移。

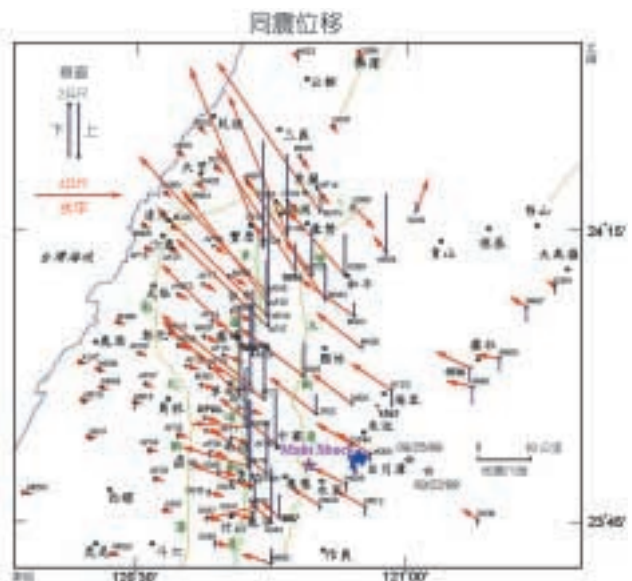
初步分析內政部及中研院的全球衛星定位系統連續觀測網資料獲知，集集大震造成的同震地殼變形範圍廣大，包括苗栗以南、嘉義以北的地區，自西海岸至東海岸都有顯著位移。因此，筆者與工作團隊選擇遠離震央區已無顯著變動的金門為參考點，比較震前與震後兩次觀測結果，計算各測點相對於金門的同震位移量。觀測同震水平與垂直位移分布情形，以箭頭指示同震水平位移方向，長短則隨位移量大小而異；測點上、下方的粗線分別表示上升及下陷量。圖中亦

標示本區的彰化、車籠埔及雙冬等活斷層，集集大震造成的地表破裂帶，則以粗黑曲線表示。後者雖大致沿著原先推測或已知的車籠埔斷層線，但原先推測者有些地方仍有某種程度的誤差。

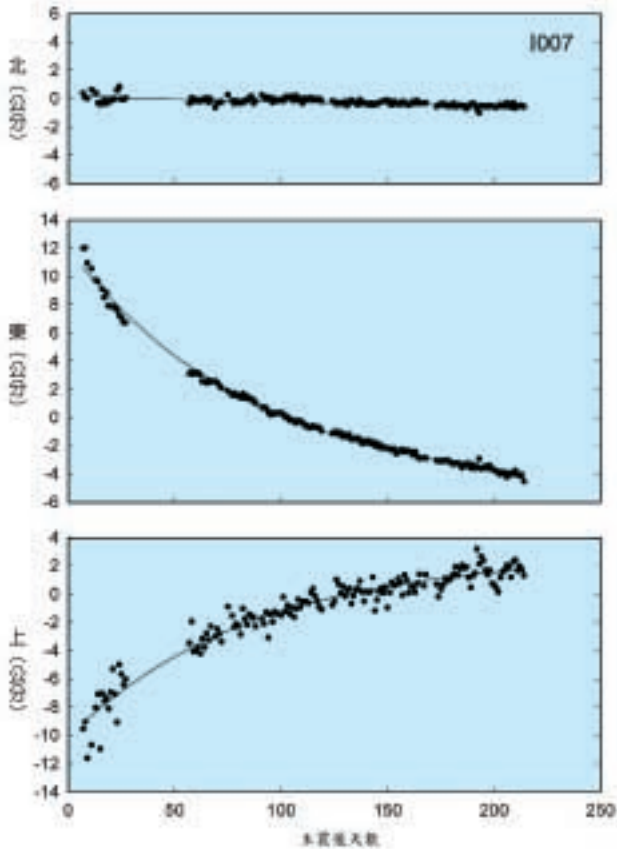
車籠埔斷層東側（上盤）的水平位移量達1.1~9.1公尺，呈西北至西北北方向，由南向北遞增；斷層西側（下盤）及豐原至東勢北側，則有0.1~1.5公尺朝東南至東南東方向的水平位移。鄰近斷層的上、下盤之間，有1.2~4.4公尺的垂直錯移量，東側抬升。上盤抬升量向東急遽減小，距斷層線約15公里以東的日月潭及埔里-霧社地區已轉為下陷。斷層下盤都呈下陷現象，最大者位於斷層線附近達0.3公尺。埔里的虎子山係原有台灣地理座標的起算原點，經此次地震已有2.3公尺朝西北方的水平位移及0.6公尺的下陷量。

### 集集大地震之震後變形

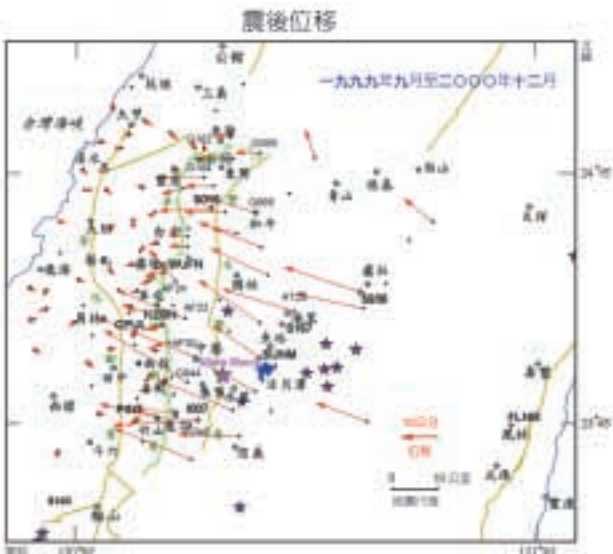
集集大地震的地表同震位移量極大，餘震分布範圍廣闊。藉由震後變形觀測，可以得知震源



集集大地震同震水平與垂直位移，紅色箭頭指示位移方向，長短表示水平位移量大小；藍色空心粗線在測點上方表上升。反之，藍色實線在測點下方表下陷；紫色曲線為地表破裂帶，白線為活斷層。



集集大地震後，鹿谷連續觀測站（I007）相對於澎湖之基線分量變化情形。



集集大地震後十五個月期間中部地區全球衛星定位系統測點震後位移分布。

區之地殼及上部地函的岩石性質、斷層面的摩擦特性，以及了解大地震後地殼應力如何調整。主震發生後迅速布設的臨時全球衛星定位系統連續觀測站，提

供震後變形研究的最佳基本資料。分析震後兩百多天的連續觀測資料發現，在鄰近車籠埔斷層的測站震後變形型態與同震變形相似，斷層西側的測站仍然向東或東南東移動，斷層東側的測站則向西或西北西方向移動。同震變形較大的測站，震後變形反而較小；反之，同震變形較小的地方，震後變形則較大。例如，位於主震震央附近的鹿谷（I007）向西移動16公分，上升14公分，南北分量則不顯著。在下盤的測站各分量較無顯著變化，位於台灣東部的固定站也有顯著的震後變形。

為了解震後變形如何隨時間演變，連續站將繼續觀測，其他測點亦將在震後一、二年內實施較頻繁的重測，以了解整個震源區的震後變形特性。集集大地震後十五個月期間，中部地區全球衛星定位系統測點的震後位移分布情形顯示，在扣除長期地殼運動量後，車籠埔斷層以東的地區，仍有高達近30公分的位移量，遠大於震前每年2公分左右的速度。

## 未來展望

由「台灣全球衛星定位系統測網」過去幾年的多次重複觀測資料，已能大致了解台灣現今地殼運動型態與應變累積情形。然而，台灣地區斷層密布，而該測網大部分測點間距為10-30公里，故仍難以獲知個別斷層的活動情形。若能進行鄰近各主要活斷層的密集全球衛星定位系統觀測，以估算現在的斷層滑移率，並與地質觀測的較長期間（數千年至數萬年）平均滑移率比較，即可據以評估個別斷層的地震潛勢。

集集大地震後，行政院國家科學委員會積極推動「地震及活斷層研究」大型整合計畫，其中一項重要工作為結合中央氣象局與學術界的力量，建立一個密集的「台灣全球衛星定位系統連續觀測網」。未來五年，在台灣地區新設一百五十個全球衛星定位系統連續觀測站，以即時掌握地殼應變累積的時空變化。將有助於了解孕震機制，並可做為地震潛勢評估的依據。

余水倍

中央研究院地球科學研究所

# 國科會推動數位典藏國家型科技計畫

在這世紀交替期，人類文明的紀錄與傳承已經從紙上轉變到數位上。為因應這一趨勢，世界各國特別是資訊大國以及重視文化傳統的國家，無不致力於發展文化與資訊的數位化，建立相關之數位博物館或數位圖書館。

在國科會的推動下，「數位典藏國家型科技計畫」於九十一年一月一日正式成立，年度概算為三億八千三百萬元（其中一億九千三十八萬元由典藏機構編列，其餘由國科會編列）。總計畫主持人為中央研究院副院長楊國樞院士，協同主持人為杜正勝院士、彭旭明院士、邵廣昭所長。目前參與的典藏機構有：國史館、國立自然科學博物館、故宮博物院、國立臺灣大學、國立歷史博物館、國家圖書館、國史館台灣文獻館、行政院文化建設委員會、中央研究院等九個。這些機構產出之各類數位典藏，其原始檔案來自各個特定的政府與機構，但產出之典藏品，將可被該機構做多重使用，並可應用於文化、軟體、以及其他加值產業。數位典藏之應用，將有助於教育與學習，鼓勵資訊的分享，進而提升國人的創造力、生產力、競爭力以及生活品質。

該計畫是以九十年既有的「數位博物館」、「國家典藏數位化」及「國際數位圖書館合作研究」三個計畫為基礎，依據國家整體發展方向，重新規劃整合而成，將視需要逐年擴大計畫內涵。總計畫辦公室下設置內容發展、技術研發、應用服務、訓練推廣等四個分項計畫及一個祕書組，負責溝通協調各參與機構間及各類計畫間的合作。



Digital Museum  
博物館在我家



國科會數位博物館專案