

# 丈量我們的島： 以0918池上地震 同震地表變形觀測為例

## Measuring the Taiwan Island: Co-Seismic Deformation of the 2022 Chihshang Earthquake

---

---

梁勝雄

經濟部中央地質調查所  
國立臺灣大學地質科學系

Liang, Shen-Hsiung  
Central Geological Survey, MOEA  
Department of Geosciences, NTU

梁均合

經濟部中央地質調查所

Liang, Jiun-Her  
Central Geological Survey, MOEA

陳建良

經濟部中央地質調查所

Chen, Chien-Liang  
Central Geological Survey, MOEA

陳盈璇

經濟部中央地質調查所

Chen, Yin-Hsuan  
Central Geological Survey, MOEA

景國恩

國立成功大學測量及空間資訊學系

Ching, Kuo-En  
Department of Geomatics, NCKU

---

---

2022年9月18日下午，臺灣東部發生規模6.8之地震，「震」撼全臺，本文簡要介紹水準測量與全球導航系統，以及丈量0918地震時的地表變形觀測資料，請繼續看下去……



1

0918地震發生後，在地表產生破裂，造成局部地表變形現象。從照片中地表破裂的方式，我們能觀察到此為左移地表破裂現象，拍攝時間為2022年9月，拍攝地點為花蓮玉里客城

## 前言

臺灣位於環太平洋地震帶，因菲律賓海板塊每年往西北方向移動8.2公分與歐亞板塊聚合碰撞，造就臺灣3.6萬平方公里的面積，擁有269座3,000公尺以上的高山，是地球上高山密度最高的島嶼之一，同時，也是地球上地震頻繁發生的地區之一，伴隨夠大地震的發生，會在地表產生斷層破裂，造成局部地表抬升，或局部地層下陷等同震地表變形現象(圖1)。

善用大地測量相關技術，能協助人們觀測與分析這些地表變形資訊，本文介紹水準測量(Levelling Survey)與全球導航系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)技術，並呈現觀測去年0918池上地震同震地表變形成果，有關野外地質調查的介紹，讀者若有興趣可參考本文「延伸閱讀」之文獻，進一步閱讀。

## 何為水準測量技術

不知各位讀者有沒有看過改編自小說的電影《丈量世界(Measuring the world)》? 故事描述兩個18世紀德國少年分別為博物學家馮·洪堡德(Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von Humboldt, 1769-1859)<sup>①</sup>與天才數學家高斯(Johann Carl Friedrich Gauß, 1777-1855)，兩人各自以不同方式丈量這個地球。

電影有一幕，高斯為女伴介紹之儀器就是現今測量人員常用的經緯儀原型，高斯就是用它來進行各項大地測量研究，並藉由大地測量的相關工作，反饋他數學的成就，如測量平差、高斯分布、微分幾何等，將實地工作與數學計算合而為一的代表人物，然而什麼是大地測量?

顧名思義，量測大地的科學就是大地測量學(Geodetic Survey)，即利用準確測量方法丈量地球形貌、空間方位與

① 馮·洪堡德不僅是博物學家，他對近代地理學、地質學等學科啟蒙皆有相當程度貢獻，例如：他可能是最早觀察到大西洋兩側土地曾經相連的人，特別是南美洲與非洲，此外，對中美洲地質圖幅測繪也相當有作為，有興趣的讀者能進一步參閱本文延伸閱讀。



重力等的一門學科，常用的測量技術包括邊角測量技術(平板測量、經緯儀測量等)、高程測量技術(水準測量等)、重力測量技術等等相當豐富且多元。

用來建立或驗證量測某地點高程之測量方式，稱為水準測量(圖2)。實務上，是在地面埋設很多椿點(圖3)，每年定期施測，透過地震前後的數據比對，就能知道地表高程是抬升還是下降，其數值是多少。水準測量能協助我們瞭解同震地表高程變化，但如果想知道水平變化，則必須要靠全球導航系統。

## 全球導航系統介紹

全球導航系統是透過不斷接收衛星傳輸無線電波的時間訊號，加以運算後，來確定載有接收器目標之位置，包括經度、緯度，以及高度(或高程)，通常需接收至少四顆以上的衛星訊號，其精度介於數公分至數公尺之間。讀者最常聽到的應該是美國研發的全球定位系統(Global Positioning System, GPS)，實際上，現今接收器除了能接收美國的衛星外，還能接收歐盟、俄羅斯等國家之衛星，多星系的好處是能增強訊號、提高高緯度地區的觀測精度。

2

地殼變形觀測點位



3

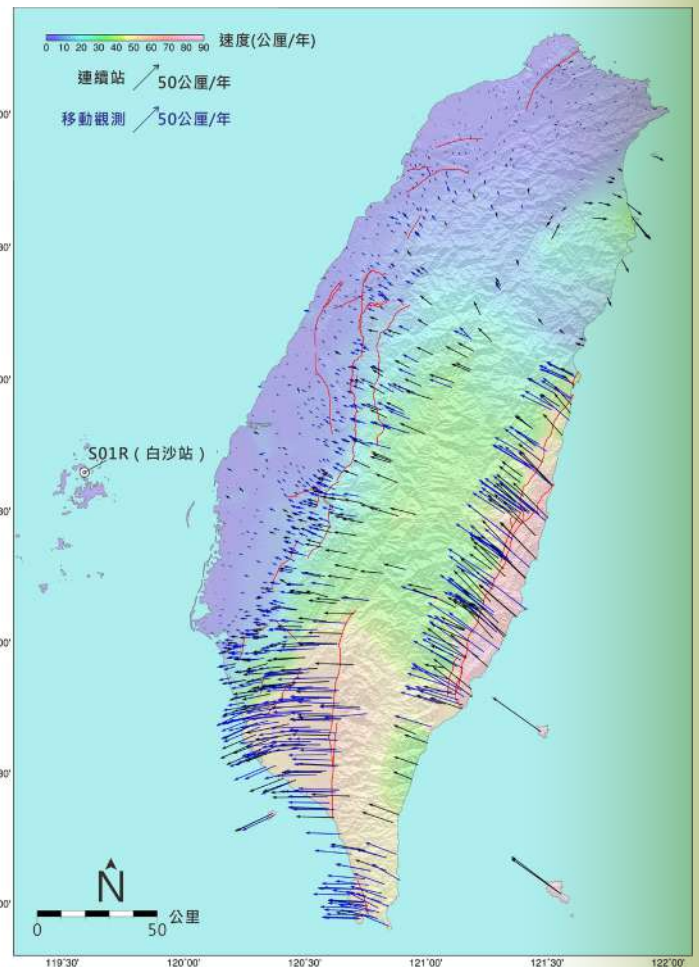
水準測量施測。照片左方人員使用的儀器為水準尺，右方的人員使用之儀器為水準儀



4



5



6

4  
全球導航系統連續觀測站——海星中學站

5  
0918地震後，進行移動式全球導航系統觀測

6  
臺灣的水平速度場，觀測時間：2002-2019年，觀測數值皆已放置「政府資料開放平臺」無償供各界加值利用，網址：<https://data.gov.tw/>。圖中，黑色箭頭為全球導航系統連續站，藍色箭頭為全球導航系統移動觀測之結果，紅色線段為斷層位置，左上方為速度比例尺及等值化後的參考色階

全球導航系統如果以觀測時間來分類的話，又可分為連續觀測站(圖4)與移動式觀測(圖5)。由連續觀測站這個名稱就能知道，即測站24小時全年無休的不停接收並回傳供解算，分析地震前後數據就能知道地震時的地表水平與垂直位移變化量，目前全臺各機關單位設置超過500個連續觀測站。

進一步的說，若假設澎湖群島白沙站(S01R)為不動的點，經過長時間連續的觀測並進行演算後，能得到在震間時期的水平速度場資料(圖6)。其中，臺北地區的數值每年小於1公分，愈往南部與東部速度越來越快，西南部的臺南與

高雄地區，速度達每年4至5公分；花東地區之位移速度最快，能達到每年6至7公分，與世界其他地區比較，這樣的的速度算是相當快速。

利用全球導航系統能用來觀測活動斷層，也用來探知火山活動與地層下陷區域等多用途。此外，為了進一步提高觀測能量，還採用移動式全球導航系統進行勘測，其原理與水準測量同樣，每年定期量測埋設樁點，並於地震發生後，在震央附近進行重複量測工作，經過前後數據比對，就能知道地震時的地表水平與垂直位移變化量。

## 池上地震地表變形

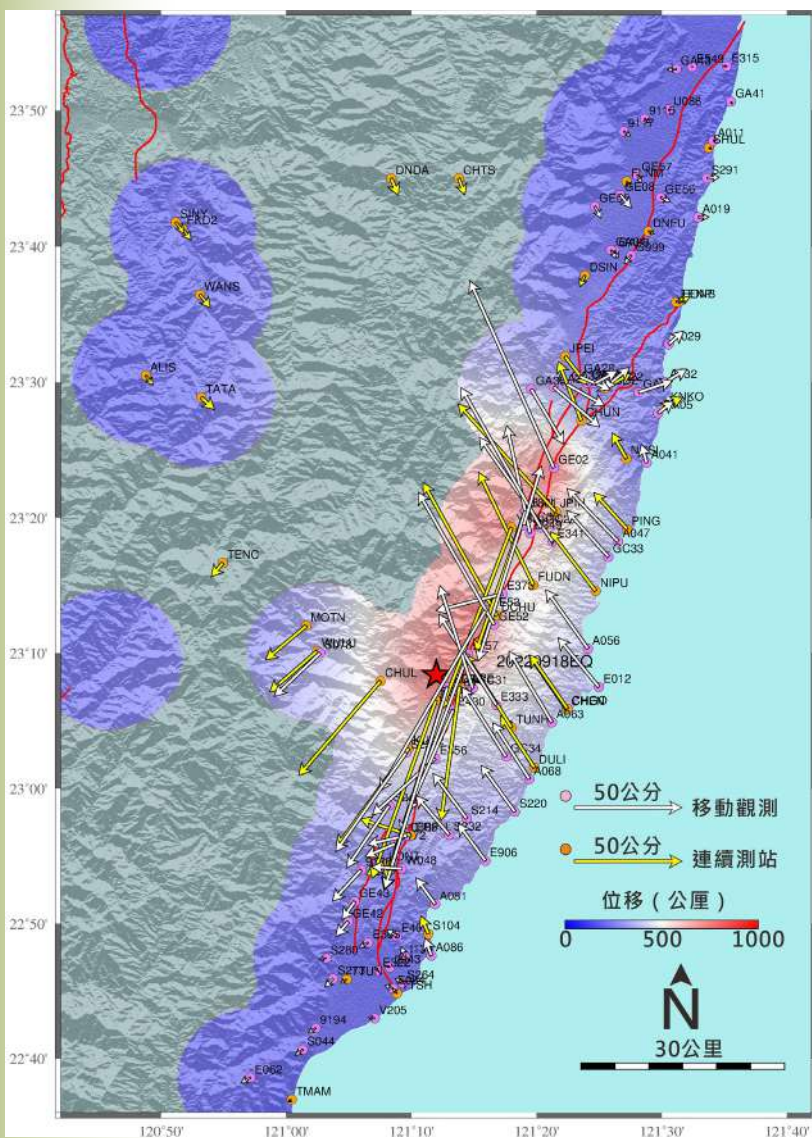
各式測量技術有其優勢與侷限，通常會視任務選擇適合的觀測方式，或搭配兩種方法。此次0918池上地震同時應用兩種測量資料，幫助我們丈量地震前後地表變形差異。

圖7為0918地震前後之地表同震水平位移，觀測資料包含水準測量與全球導航系統，由彩虹色階表示。其中，紅色到藍色表示地表變形量大到小的意思。首先，能觀察到，在縱谷中段的變形量較大，呈現紅色區塊，主要分布在玉里至池上之間，而以池上斷層為分野，測站的移動方向皆為往西北方向移動，最大水平位移為震央鄰近的臺東池上鄉福原國小測站(GC35)，往西南方向位移98.5公分，反之，在縱谷西側則往南南西的方向移動。

圖8為0918地震前後之地表同震垂直位移，觀測資料同

樣包含水準測量與全球導航系統，由紅色到藍色表示地表垂直變形量大到小之意，若以池上斷層為分野，斷層的東側呈相對沉降的現象，斷層的西側則呈相對抬升的現象。最大垂直位移為震央東北側的花蓮卓溪古風國小測站(GE53)，垂直抬升97.5公分，精密水準觀測到的垂直變形最大為抬升8.1公分的紅葉內溫泉水準點(W031)。

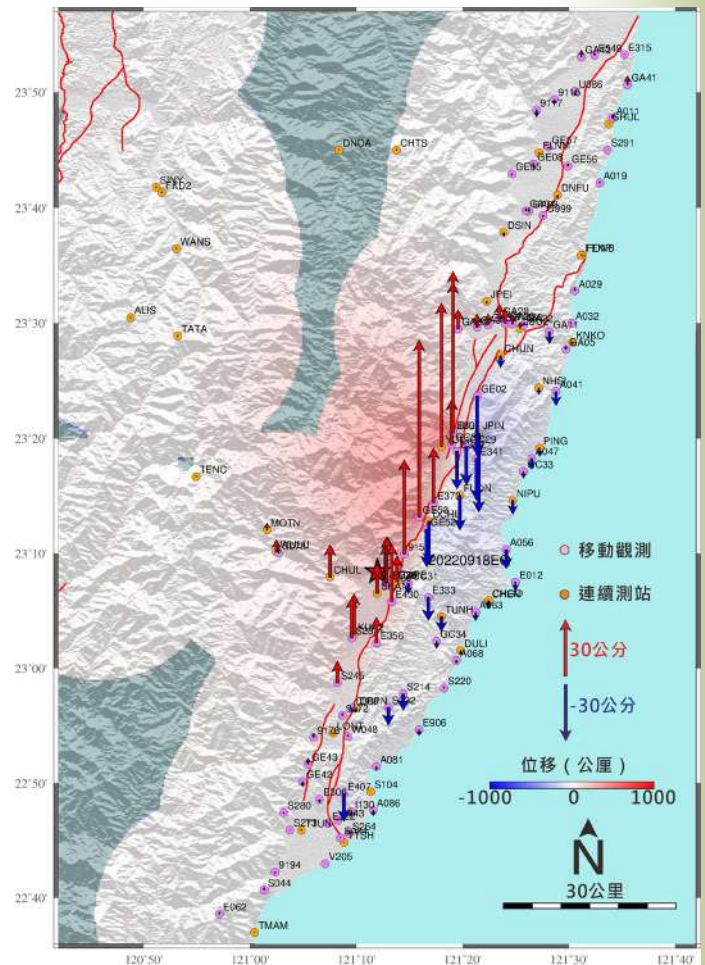
值得一提的是，本文全球導航系統連續站採用的時間為9月17日關山地震發生後至9月25日之資料進行解算；移動式全球導航系統觀測時間在震前觀測時間主要為7月6日與7月7日，震後觀測時間為10月3日至10月7日；精密水準測量震前觀測時間為3月28日至4月9日，以及7月4日與7月7日，震後觀測時間為10月3日至10月9日，故移動式觀測與精密水準測量結果將涵蓋9月17日關山地震的地表變量。



7 全球導航系統觀測0918池上地震水平方向同震位移分布圖，箭頭代表水平位移方向、長度代表量值，色階顯示等值化之成果，紅色星號代表震央(數值引用自陳建良等，2022；此圖片由陳建良重新繪製)

## 8

全球導航系統觀測0918池上地震垂直方向同震位移分布圖，箭頭代表水平位移方向、長度代表量值，色階顯示等值化之成果，紅色星號代表震央(數值引用自陳建良等，2022；此圖片由陳建良重新繪製)



## 後記

臺灣位於兩個板塊聚合擠壓交界，其中花東地區是臺灣陸上地震最頻繁與活動斷層最密集區域之一，地震發生機率較高，故經濟部中央地質調查所近年積極規劃在花東地區，陸續設置6至8座之全球導航系統連續觀測站，已完成海星中學站(圖4)、東華創新站、平和國中站與月眉國小站等四站，將可與其他機關的觀測站形成觀測網，提高觀測精度。

目前這些測量資料皆已公開給各界進一步運用與研究，作為防災與應變之參據。最後，感謝地震發生後立即投入救災的各機關團體，願受地震影響的人事物皆能盡快恢復往昔生活。

**致謝** 衛星導航系統連續測站資料由中央研究院地球科學研究所、交通部中央氣象局、內政部地政司、內政部國土測繪中心、經濟部水利署及花蓮縣政府等單位提供；GNSS移動站與精密水準測量委請中興測量有限公司協助施測。地變動觀測分析除了成功大學景國恩教授團隊協助外，中央大學張午龍教授與臺灣大學莊昀鈞教授的團隊也提供支援，特此感謝。

## 延伸閱讀

- 梁勝雄(2015)。地質科學的黃金年代：淺談19世紀中葉之前美洲地質圖發展史。地質，34(1)，82-90。
- 梁勝雄、張中白、陳建良、盧詩丁(2016)。從天空看0206美濃地震地表變形。科學研習，55(6)，42-52。
- 梁勝雄與陳建良，2019。從地面到太空—全方位觀測地表變形。地質，38(3)，35-39。
- 梁勝雄，2022。上天下地—淺談龜山島地形與地質。科學研習雙月刊，61(3)，89-96。
- 陳建良、梁勝雄、胡植慶(2016)。地表脈動的聽診器—GPS測量與水準測量。科學月刊，554，146-149。
- 陳建良、梁勝雄、梁均合、陳盈璇(2022)。20220917關山地震、0918池上地震地質調查報告—第二部分：大地測量地表變形觀測結果。經濟部中央地質調查所，共48頁。
- 顏一清(1998)。數學巨擘高斯(Carl Fridrich Gauss)(上)。數學傳播，22(4)，25-42。
- 顏一清(1999)。數學巨擘高斯(Carl Fridrich Gauss)(下)。數學傳播，23(1)，24-34。
- 劉彥求、林蕪慧、梁勝雄、周窠珊、陳盈璇、李忠勳、陳建良、石同生、王怡方，(2022)。20220917關山地震、0918池上地震地質調查報告。經濟部中央地質調查所，共78頁。
- 有關0918地震地表破裂地質調查工作，請參閱友刊特輯：林啟文等(2022)。0918池上地震地質特輯。地質，41(3-4)，22-79。(檢索日期：2023年6月16日，網址：[https://twgeoref.moeacgs.gov.tw/GipOpenWeb/wSite/ct?xItem=269495&ctNode=331&mp=106&idPath=326\\_331](https://twgeoref.moeacgs.gov.tw/GipOpenWeb/wSite/ct?xItem=269495&ctNode=331&mp=106&idPath=326_331))