

# 出國報告（出國類別：國際會議）

## 參加 2024 年日本地球科學聯合會

服務機關：交通部中央氣象署

姓名職稱：蔡旻倩技士、賴姿心技士

派赴國家/地區：日本

出國期間：113 年 5 月 26 日至 5 月 31 日

報告日期：112 年 8 月 6 日

摘要

日本地球科學聯合會(Japan Geoscience Union, JPGU) 所探討的科學領域涵蓋地球、行星及太空等學科，其主要目的在提供科學家或年輕的研究學者相互交流的機會，每年都在日本東京的千葉舉辦。

本次出席日本地球科學聯合會，蔡旻倩技士於會議中以海報形式報告發表研究論文，論文題目為：「利用 GNSS 資料分析討論臺灣地震前兆所面臨的挑戰」，英文：（Challenge for detection of earthquake precursor in Taiwan revealed by GNSS analysis），賴姿心技士於會議中以口頭報告形式發表論文，論文題目為：「使用臺灣井下地震儀陣列分析近地表場址效應」，英文：（Site Effects Analysis of Shallow Subsurface Layer Using Borehole Seismic Arrays in Taiwan）。藉由參加此次聯合會，希望達成以下三大目標：1. 學習與了解各國地震前兆技術並尋求合作開發機會。2. 與地殼形變研究領域專家交換研究心得，3. 本文介紹研討會過程及最新研究成果，另外提供參加研討會後心得，以及未來建議事項。

## 目次

一、目的 .....	4
二、過程 .....	8
三、心得及建議 .....	25
四、附錄 .....	28

## 一、目的

全球衛星定位系統（Global Positioning System, GPS）原是美國海軍於 1973 年為了軍事導航及定位的需要而研發，其發展至今已三十多年。隨著美國 GPS 及俄羅斯 GLONASS 現代化計畫展開與歐盟 Galileo 衛星即將發射，宣告著全球導航衛星系統（Global Navigation Satellite System, GNSS）時代來臨。GNSS 使用者在全世界任何時間與地點皆可將位置定到公分級的精度。而定位精度的提升，開發了許多新的應用領域，近年來，全球衛星定位系統已成為地殼變形及地體動力學研究的利器。GNSS 衛星大地測量方法，克服了傳統測量方法中測量範圍的限制，不受時間空間的影響，可獲得廣大區域的測量結果。在不同地點同時接收 GPS 發出的電碼及載波相位訊號，可精確定出各測點的相對位置。除了常見的民用導航外，也可用於標準鐘校時、衛星軌道定位、電離層研究、大氣層水氣含量模擬、局部地層下陷觀測、地殼變形監測、或是地震前兆的相關研究。

臺灣位於歐亞板塊之大陸邊緣以及菲律賓海板塊之呂宋島弧間，晚中新世以來的斜向聚合，頻繁的地震活動與快速大地變形顯示臺灣正處於活躍的構造運動中。且自然災害不斷侵襲我們居住的環境，山崩、土石流、地震等自然現象時常造成生命財產損失，因此世界各國研究學者均投入極大的心力，瞭解這些現象背後的發生機制，並且發展監測方法，希望能夠在現象發生之前或是之後快速地提供災害相關資訊，以達到減災或是防災的目的。近百年來臺灣地區所曾發生多次重大災害性地震（例如：1906 年梅山地震，1941 年中埔地震，1964 年白河地震，1999 年之集集地震等，圖 1）。藉由 GNSS 資料分析座標變動與時間、空間的關係，不僅可做為不同時空尺度地殼變形的研究基本資料，配合時間序列分析及模式研究，更可掌握臺灣地區地殼變形的時空變化。而地震資料本身直接提供了有利證據用為判定活動斷層的位置，尤其是存於

地殼中的盲斷層，除了藉由精確的地震定位結果，配合近斷層的密集 GNSS 觀測，可有效偵測活動中盲斷層的位置與變形，判定斷層活動度且提供地下活動構造的相關資訊。

近年來隨著全球衛星定位系統相關應用的技術日趨成熟，世界各國亦投入資金發展各自的導航系統，包含俄羅斯的 GLONASS、歐洲的 Galileo、日本的 QZSS 和中國大陸北斗衛星系統 Beidou 等，現已發展成多星軌道之 GNSS。氣象署自 1994 年開始設置永久性的 GNSS 連續觀測站，而在 1999 年集集地震發生後，有感於地殼變形監測與前兆觀測之重要性與測站密度之不足，中央氣象署更將連續觀測網提升為 GNSS，以提高測量結果之解析度，截至 2023 年底已有 154 個 GNSS 連續觀測站在運作中。配合其他政府單位與研究機構等，整體說來，目前全臺由不同單位所建立運轉中的連續觀測站接近 400 站（圖 2），對比其他國家測站密度相當高。因此，如何有效的運用地殼變形與地震觀測資料，並進一步探討分析地殼變形與地震活動間之關連性，進而達到區域地震潛勢評估、地震前兆訊號偵測、斷層活動度分析，為本次與會之主要目標。

GNSS 在地殼形變方面的資料處理技術和經驗，也可以藉由此次與會機會向臨近國家學習，近年來採用地殼形變資料於地震預警系統與地震前兆觀測的研究愈來愈受到重視，未來考慮將地殼形變觀測網與地震觀測網結合，共同進行地震觀測，特別是針對大規模的地震，可以提供最真實的地表位移資料，幫助我們計算出真正的地震規模。本次參與日本地球科學聯合會，一方面觀摩各國技術並與各國科學家交流，一方面也可以藉此機會和旅居國外的臺灣學者交換心得。由臺灣培養的科學家，有許多人在海外研究單位任職，包含日本海洋研究機構，火山研究機構，新加坡地震研究機構等，可以藉此了解世界各國研究學者在此方面最新的研究成果，也可以透過面對面交流意見，更深入了解彼此研究內容，並也對外說明本署目前的業務概況。總而言之，

藉由參與此國際研討會，互相討論並彼此分享不同的工作與生活經驗，擴大彼此的國際觀與視野。

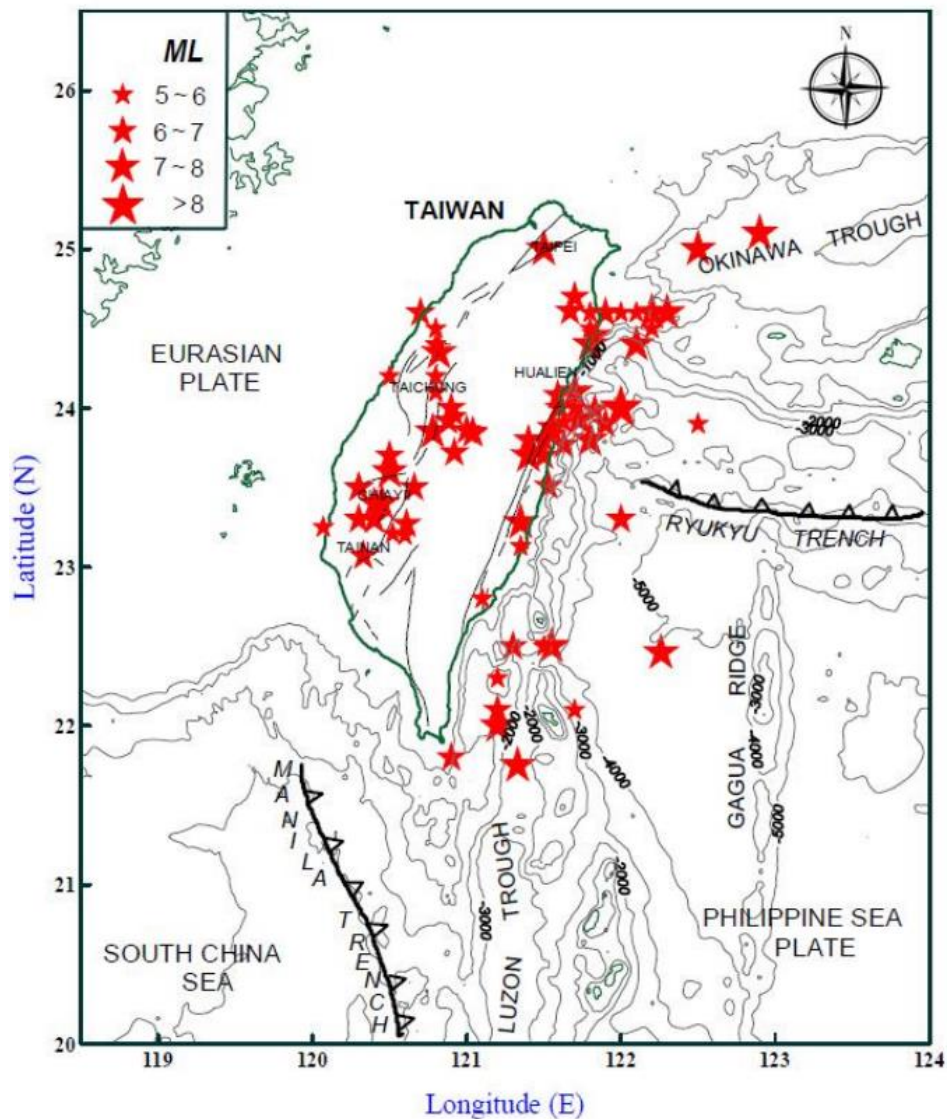


圖1、二十世紀臺灣地區災害性地震之震央分布圖。圖中紅色星號為地震震央位置，大小分別代表不同規模，圖中可見大部分地震發生在東部與中西部地區（臺中—嘉義—臺南地區），東部地區的地震型態通常為典型隱沒帶地震，深度較深。大部分的淺源地震，還是以臺灣中西部為主。圖中顯示過去一世紀以來臺灣發生過 20 次以上的災害性地震。

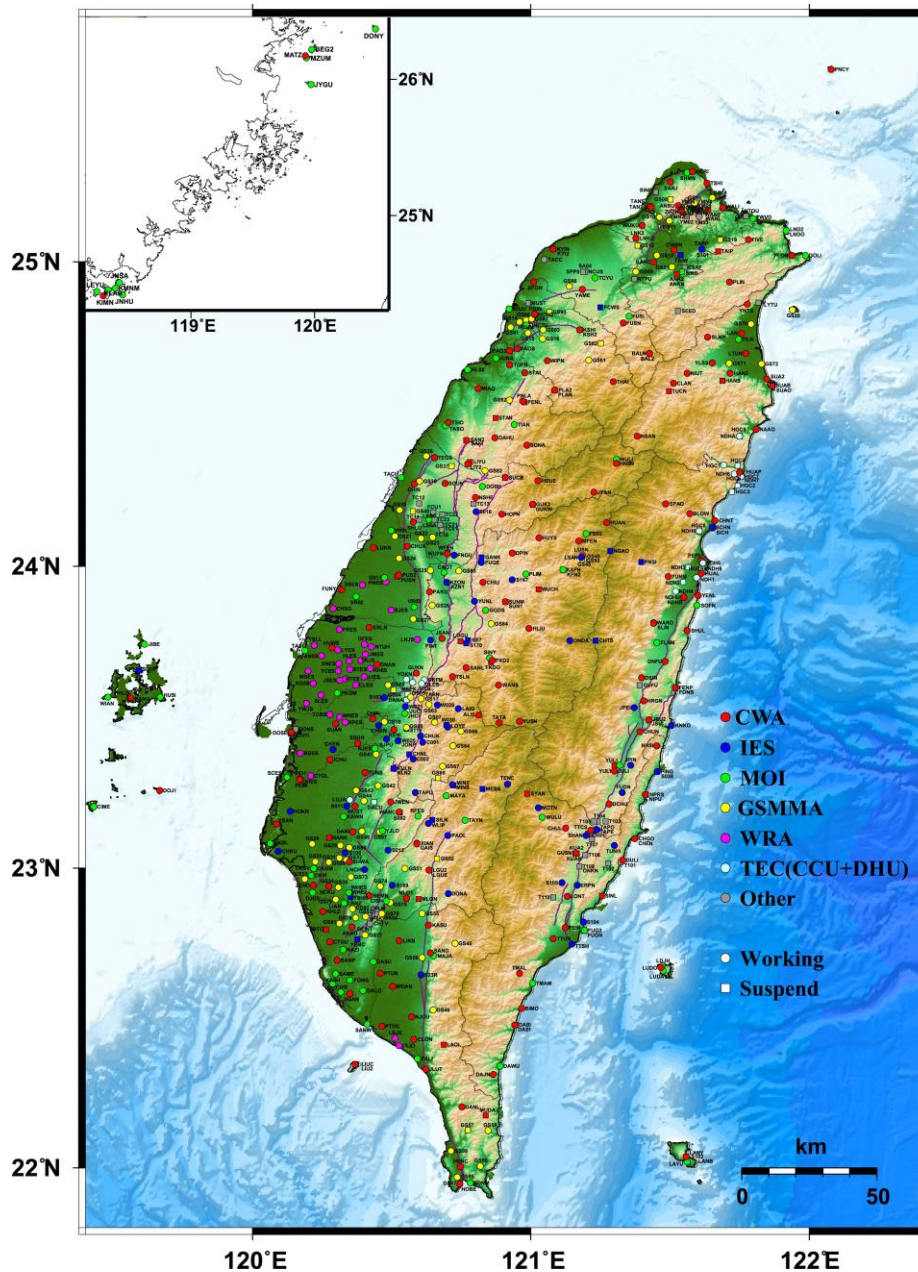


圖 2、臺灣 GNSS 連續觀測網測站分佈圖。不同圖形與顏色符號，分別代表不同單位之測站。其中包含交通部中央氣象署（CWA）、中央研究院地球科學研究所（IESAS）、內政部國土測繪中心（MOI）、經濟部地礦中心（GSMMA）、經濟部水利署（WRA）、東部地震中心（TEC），其他包含：工業技術研究院（ITRI）、國立成功大學（NCKU），以及 IGS（International GPS Service for Geodynamics）國際參考站。

## 二、過程

今年的日本地球科學聯合會（JPGU 2024）在日本東京的千葉幕張國際會議中心盛大舉辦（圖 3 與圖 4），時間期間為 2024 年 5/26~5/31 日。本次報告中，本署共派赴了 2 位技士前往與會，其中為地震測報中心的蔡旻倩技士與賴姿心技士。兩位分別以海報形式與口頭形式各發表一篇論文，海報論文題目為：「利用 GNSS 資料分析討論臺灣地震前兆所面臨的挑戰」，英文：（Challenge for detection of earthquake precursor in Taiwan revealed by GNSS analysis），口頭論文題目為：「使用臺灣井下地震儀陣列分析近地表場址效應」，英文：（Site Effects Analysis of Shallow Subsurface Layer Using Borehole Seismic Arrays in Taiwan）。與此同時，與會過程中介紹了本署地震測報中心的地殼形變與前兆的相互關係與應用井下地震儀觀測網的研究成果。本次提供了與來自不同國家的地震學、地殼變形學、太空、天文、水文、海洋等相關學者，給予大量進行交流的機會，並有助於增進未來的合作機會。期望透過此次研討會的互動與討論，獲得新的知識並實現在地震學研究和防災工作方面的突破。

會議主題廣泛涵蓋了大氣科學、生物地質學、氣候變遷、冰凍圈科學、能源、資源與環境、空間科學資訊、大地測量、地球動力學、地質科學儀器分析及資料系統、地形、地球化學、礦物學、岩石和火山學、水文科學、同位素儀器在地質科學上的分析及應用、磁學、古地磁、岩石物理與物質、自然災害、地球物理、海洋科學、行星與太陽系科學、地震學、地層學、沉積學、古生物學、土壤系統科學、太陽地球科學、大地構造與構造地質學等領域。

本次研討共有8,450人參加，有253討論子題，包含以英文演說的國際議程、全場日語的日文議程、海報議程、展場攤位。會議主題計有以下幾項：

1. 大氣與太空電學(Atmospheric and Space Electricity)。



2. 大氣科學(Atmospheric Sciences)。
3. 生物科技(Biogeosciences)。
4. 冰凍圈相關研究(Cryosphere)。
5. 地球與行星表面過程研究(Earth and Planetary Surface Processes)。
6. 地球與空間科學訊息(Earth and Space Science Informatics)。
7. 教育(Education)。
8. 地震預警與地震預測 (Earthquake Forecast and Earthquake prediction)。
9. 地磁與古地磁研究(Geomagnetism and Paleomagnetism)。
10. 全球環境變遷(Global Environmental Change)。
11. 水文學(Hydrology)。
12. 礦物與岩石物理學(Mineral and Rock Physics)。
13. 自然災害(Natural Hazards)。
14. 近地表地球物理(Near Surface Geophysics)。
15. 非線性地球物理(Nonlinear Geophysics)。
16. 海洋科學(Ocean Sciences)。
17. 古海洋和古氣候學(Paleoceanography and Paleoclimatology)。
18. 行星科學(Planetary Sciences)。
19. 公共事務(Public Affairs)。
20. 地震(Seismology)。
21. 高層大氣物理學(SPA-Aeronomy)。
22. 磁層物理學(SPA-Magnetospheric Physics)。
23. 太陽與日光層物理學(SPA-Solar and Heliospheric Physics)。

24.地球深部研究(Study of Earth's Deep Interior)。

25.構造地質學(Tectonophysics)。

26.火山、地球化學及岩石礦物(Volcanology, Geochemistry and Petrology)。



圖 3、本次開會場地千葉幕張國際會議中心- 賴技士提供。



圖 4、大會日場出入口，採用類似臺灣捷運的方式，利用電子郵件中（或可存在手機中）的電子條碼（如圖左），刷過即可列印出自己的名牌（如圖右）- 蔡技士提供。



圖 5、大門口一進去就可以看到大會議程表，為期6天的議程，以不同顏色來區分以英文演說的國際議程與全場日語的日文議程，當然也包括了海報部分，每天進會場都會看過這張表，把想聽的演講標明下來時間地點，方便不錯過！ - 蔡技士提供

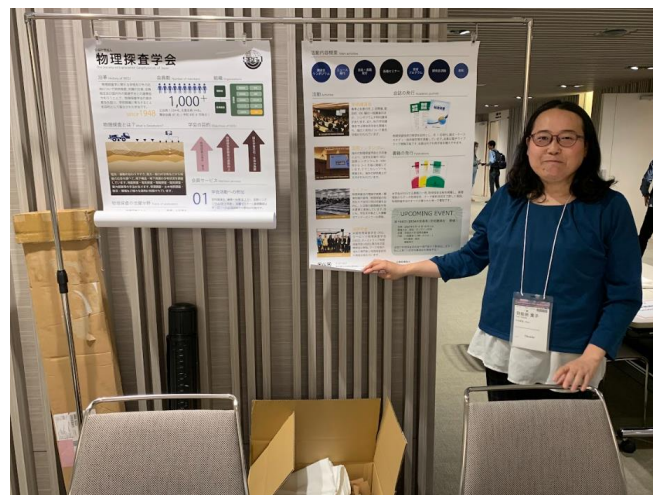


圖 6、大會議程表之後是一連串的了學術協會小攤位，攤位上人員都會非常詳盡的介紹自身學會的內容並準備一些小獎品，並會放一些有趣並且與自身協會相關的刊物。（此處與海報廳的展場並不同） - 蔡技士提供。





圖 7、各種不同學會的出版品，都可以自行拿取。內容包羅萬象，因照片太多無法全部秀出，有一些比較特別的向是火山、水文、太空電離層、大氣化學等等。 - 蔡技士提供



圖 8、海報展場及現場攤位主題展示。 - 賴技士提供



圖 9、現場攤位展示GeoGPT，與作者群討論其產品。 - 賴技士提供



圖 10、聆聽口頭報告演講。 - 賴技士提供

(圖 5~圖 10 說明研討會與會過程)

## 蔡技士與會過程、發表之論文摘要說明其研究內容如下：

本次參加此研討會，蔡旻倩技士於5月25日搭乘中華航空抵達日本羽田機場。住宿於幕張市區，每日花40分鐘走路前往千葉幕張研討會場，蔡技士出國的詳細行程如下所示：

日期	地點	工作摘要
113年5月25日	臺灣松山機場 - 日本東京羽田機場	5月25日早上9:00從臺灣搭機前往日本，當日下午13點10分抵達，並為研討會的海報報告預作準備。
113年5月26日至5月31日	日本千葉	參加研討會進行聆聽國際對於地震科學相關新的發展，並在5月29號以海報報告方式發表論文。
113年6月1日	日本東京羽田機場-臺灣松山機場	下午14點30分於日本東京羽田機場返回臺北，抵達松山機場時間為下午16點55分。

在研討會一週的時間內，除了聽到許多精彩的口頭報告，也在海報區（每日主題與海報內容都不相同）發現許多寶藏並交流。包括:地震觀測網、背景雜訊分析、地震統計分析、震源破裂過程…等。本次投稿主題「地震預警與地震預測」並沒有口頭發表的主題場次，所以整場都安排在5月29日的海報場，一場次發表時間長達兩小時。海報發表時非常熱鬧，學習到許多新的知識。尤其在2013瑞穗地震與2016美濃地震在基線變化與應變轉移結果，吸引許多人的關注。有許多日本教授前來討論時也提到在基線速率變緩這一塊，日本都有觀測到相同的現象。會議中感受到各國對於地震預測的研究都投入相當的心力，體會到地震前兆研究並不是孤獨的一條路，在國際上可以找到一群朋友共同研究與討論，讓此研究的慢慢萌芽發展直至可以更加完善。

口頭報告的部分，比較可惜是因為通常演講後給予的討論時間很少，較重要的場



次通常會到場廳A與場廳B舉辦，且大會規定禁止飲食與「攝影」（圖11），係第一天職（蔡技士）在現場發現，在聆聽口頭報告或是演講時都幾乎沒有拍照，我想這也是對講者智慧財產權的尊重。在科技方面，口頭報告有直接連線（非影片）到該教授的地點直接進行演講，問題的討論也透過網路，非常方便。另外 FLASH TALK 快閃演講是針對海報講者或是大會有興趣的邀請講者會在所有報告後進行，時間大概是5分鐘，強調精簡與精彩，非常有趣。海報方面，今年要求都要上傳 e-POSTER 電子海報，方便無法到場的人一樣可以在連接網路上觀看。



圖 11、展廳B外面可見明顯的標誌「禁止拍照攝影」（圖左），人潮非常多的會議廳。

蔡技士提供。



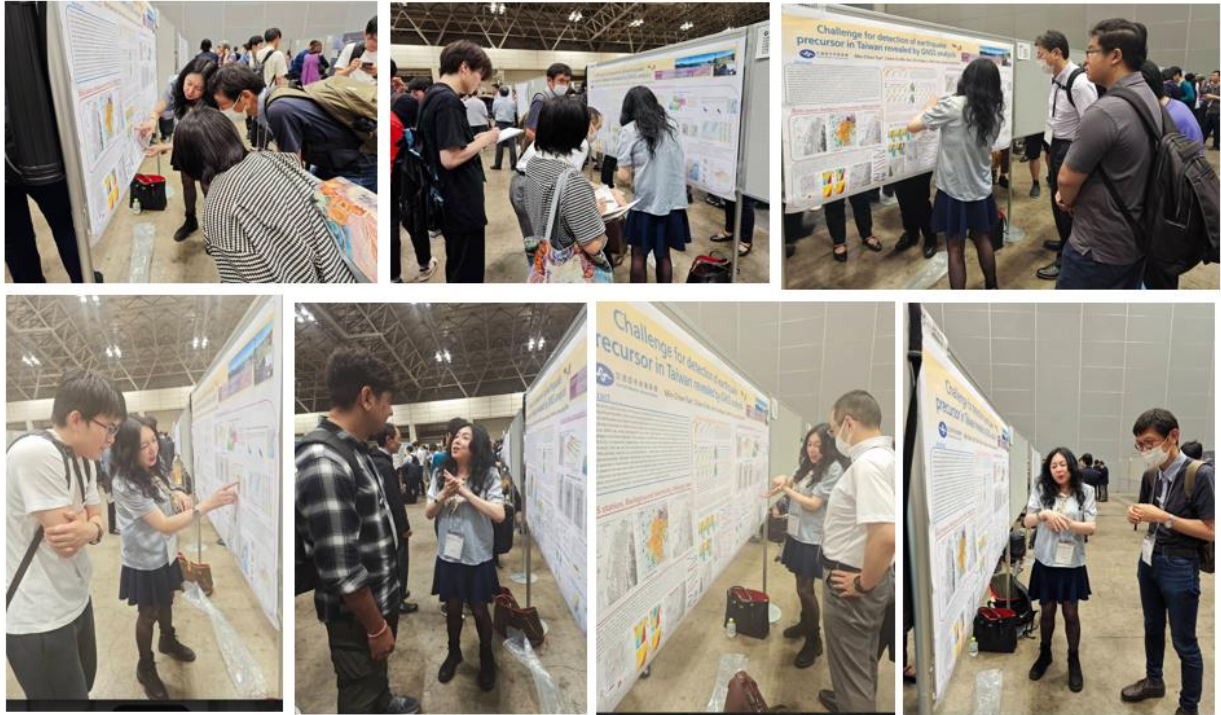


圖 12、蔡旻倩技士海報論文發表現場（海報長寬 180X90 mm）。

（圖12～圖13 為蔡技士發表場景與內容）



0403花蓮地震的。主題是從精密GNSS與InSAR資料反演0403花蓮的孕震構造。在此方面雖然我們沒討論到0403花蓮地震的前兆，但是職（蔡技士）還是有持續觀測，而海報主題主要跟花蓮地區陸上與海上的可能構造相關。根據反演與地震分析的果來看，花蓮地震主震可能源自於一個較淺並向西傾斜的背衝斷層，但餘震序列分布方面則顯示該地震所致一直向北破的餘震應該屬於另外一個孕震構造，這一可從庫倫應變轉換的結果得知，此結果顯示花蓮地震孕震構造的複雜性。

參與本次地球科學聯合大會過程中，藉由口頭演講聆聽及海報張貼論文，與各國相關領域人員 交流討論，學習到許多新的知識，可以運用於氣象署業務，以下就蔡技士發表之論文分項摘要說明其研究內容如下：

（一）GNSS連續觀測資料解算與分析：

為確保解算成果之正確性（因地震前兆觀測須要相當精確得觀測資料結果），將針對不同的解算需求而實行不同的解算策略之成果做比較，其中包含解算框架的差異、固定站選取之的差異等等。力求標準化解算流程，並將解算策略公開於成果報告中以供後續資料使用者使用。然而連續觀測GPS資料包含許多時間相關的訊號，這些訊號可能和地震相關，或是受環境因子影響。以集集地震為例，於GPS 時間序列資料中，明顯觀測到近場與遠場測站之同震與震後的變形，這些隨時間變化的衰變過程，代表岩石受力後隨時間恢復之情形；詳細之物理機制可能與地下之岩石性質、狀態及地質環境有關。根據實際測量所得資料作時間序列分析及模式研究，可以掌握地殼變形的時空變化及其與地震活動的關係。因此，時間序列分析為不可或缺的首要步驟。然而，在GNSS連續觀測資料中，尚隱含一些誤差。這些誤差可能來自自然因素，如氣候、大氣層之變動等，也可能來自人為因素如衛星和接收儀的鐘差、衛星軌道誤差、多路徑效應、對流層和電離層的折射誤差、相位中心使用不完善之模型改正等。研究中將透

過移動平均法將離群點剔除，且使用歷時較長之測站作為基準站，估計臺灣地區時間序列中之共同誤差並移除，以求有效提高資料精度。雜訊研究（noise analysis）與分析也是提昇資料品質的一種方法。在多數GPS 時間序列的研究中，僅將觀測資料的誤差視為與觀測時間無關（time independent）的白雜訊（white noise，或稱全頻等幅雜波），因為白雜訊的數值模型及計算較為容易，藉由大量觀測資料即可削減其影響，但若不考慮與時間相關（time dependent）之色雜訊（color noise）的存在將會低估地殼變形速度的誤差值。尤其是地殼變形率較低的地區測得的GPS 位移量很小，若低估誤差可能會導致地殼形變大小及方向上的錯估，這時考慮色雜訊的影響就格外重要。

氣象署目前所有GNSS連續觀測站分別以ADSL和3.5G通訊方式即時接收資料，資料接收後採用自動化作業將資料進行備份，並藉由UNAVCO開發的TEQC（Translation, Editing, and Quality Check）軟體進行透空度圖和QC時間序列的繪製來監控資料品質。於解算軟體方面，目前氣象署有主要使用GNSS資料解算系統為GAMIT/GLOBK軟體。GAMIT/GLOBK軟體採用相對定位中網形平差的技術和最小二乘法進行解算，利用差分的方法消除或降低衛星和接收儀的鐘差、軌道誤差、對流層、電離層等系統性誤差（圖14）。

## （二）基線變化分析：

基線泛指測站與測站兩兩相對所得長度變化，本次報告中蔡技士之研究將選定臺灣西南部美濃地區與東部瑞穗地區地區共30條以上跨斷層的基線作時空分析之研究。但在做基線分析時，需要考慮到的重要因素為測站本身品質是否良好，因此在選定測站時，環境品質之控管很重要。垂直向的基線精度非常差，因此在現在氣象署作業中，只採用水平分量（東西與南北分量）做基線分析為佳。當基線於時間序列中用簡單的線性回歸估算其斜率，當斜率為正時表示伸張（**extension**），為負值則表示縮短或壓



縮 (shortening)。跨斷層的基線不僅可以瞭解斷層於時間序列中表現的行為，若有更進一步的研究，還可以用大地震前異常等相關研究。

其中，2013瑞穗地震我們觀測到有3條基線有發生異常。在此次地震事件我們觀測到了所謂基線前兆的變化，由其時間序列變化觀測所得，此3條由南向北分別為鶴岡 (HRGN) - 瑞北 (JPEI)，東管處 (YENL) - 東華大學 (NDHU)，與花蓮 (HUAL) - 銅門 (TUNM) 三條基線。鶴岡 (HRGN) - 瑞北 (JPEI) 是最接近震央的基線，所以他的基線時間序列變化也相當明顯，在瑞穗地前都呈現一個緩慢的壓縮，其平均壓縮量約為1.4 豪米每年。但在地震前一年左右，其壓縮量開始趨緩，基線變化呈現停頓的狀態我們稱這個現象為基線趨緩 (baseline velocity slow down)。在該區7條基線中有3條基線可以看到基線趨緩現象且都發生在大地震之前，可見基線趨緩不容小覷。可視為地震前兆的一種。另外2016美濃地震也不例外，臺灣西南部地區共有26條基線，但計算美濃地震發生目標區域的基線數量大約只有12條，其中有8條也發現了「基線趨緩」的前兆相關。

### (三) 新奇的探知：

與會中有一些滿有趣的東西，先說說「大氣化學」，這個是職 (蔡旻倩技士) 以前沒聽過的名詞。經過溝通聆聽才瞭解該研究主要是用於大氣組成和化學過程的學科，是大氣科學的一個重要分支。該研究的空間與時間尺度範圍廣大，從全球到區域，從幾天到幾年，以至幾十年，但主要還是在對流層與平流層。大氣化學研究的對象包括大氣微量氣體、氣膠、大氣放射性物質和降水化學。可以利用有現場觀測、實驗室模擬和數值模擬等。不僅研究大氣的化學反應，還要研究大氣的複雜物理化學過程的數值模擬。有很多東西是專業名詞，與講者溝通時還是利用翻譯方能得到正確的資訊，算是一次相當有趣的討論過程。

當然還有一些與地震相關的，比如地球的重力探查，較新奇的是該研究有發明一種較接近地表的移動式的探測儀，可以直接利用重力異常量測地表下在是否有存在特殊物質或是洞穴。在展場方面，看了很多不同的攤位。其中我最喜歡的是 JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA) 宇宙航空研究開發機構的攤位。因職自身有學習干涉合成孔徑雷達 (Interferometric synthetic aperture radar, InSAR) 的演算，其中使用較長時間演算的為ALOS衛星的影像，該攤位這次正好有出展ALOS衛星很多相關的資訊與模型，交流後真的受益良多。其他還有地震儀器的公司，我也去參訪一下和地震中心目前使用有何不同，另外還有很多地質相關的有趣實驗，可以讓參訪者親自動手試做，五花八門相當有趣，很值得回味！

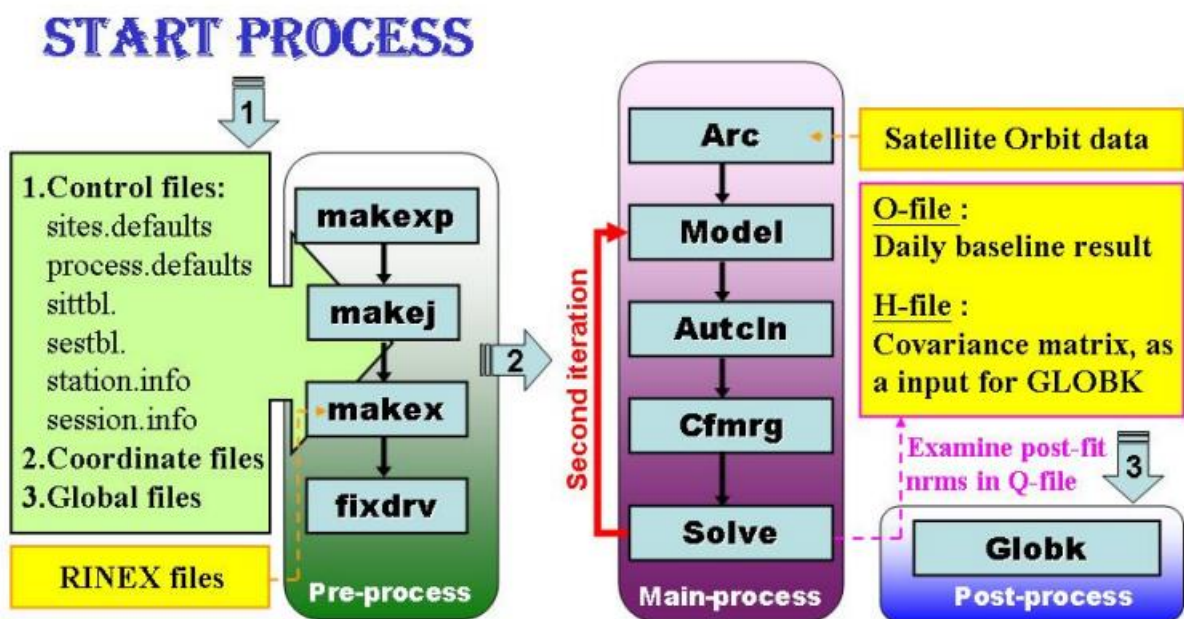


圖 14、GAMIT\GLOBKT資料處理流程圖，包含前處理 (pre-process)、主要解算 (main-process) 與後處理 (post-process) 三大部分。每個部分皆有其主要使用的模組、輸入檔與輸出檔。

就賴技士與會過程、發表之論文摘要說明其研究內容如下：

井下地震站(含地表及井下地震儀)，從2008年開始建置，至2022年共建立62站，每站各裝設3部地震儀，分別在地表與井下各有一部力平衡式加速度型地震儀與一部在井下的速度型寬頻地震儀。目前使用之井下地震站地震儀為Geotech、Guralp與Nanometrics所生產，詳細儀器型號如下：(1) Geotech的PA-23加速度型和KS-2000寬頻地震儀；(2) Guralp的CMG-5T加速度型和CMG-3TB寬頻地震儀；(3) Nanometrics的TitanPH加速度型和Trillium 120PH寬頻地震儀，井下地震站能有效降低地表的噪訊，井下強震儀與井下寬頻儀都相較於地表強震儀有記錄更好的資料品質。井下地震站建置計畫至2022年底，雖然已完成62站，但是近幾年為更精進都會區的強震監測能力，繼續規劃於2025年底前在都會區完成擴建32個井下地震站，以每年8~10站進度建立觀測站，預計將會提供更高品質地震資料，用以精進地震定位的準確性，並提升都會區強震預警之效益。

本研究使用井下地震站所記錄到440個地震事件，選取S波訊號並使用雙站頻譜法得到0.1Hz至20Hz頻率範圍內的經驗放大係數。從頻譜比值中，位於西部平原測站的放大係數顯著比在山區測站大。頻率為1.0Hz時，在西部平原與蘭陽平原的測站有較高的放大倍率，多數在3倍以上的放大係數，而在中央山脈及山區的測站，放大倍率則比較小，約1至2倍的放大係數。

透過建置井下地震站，可以降低地表雜訊的干擾，提供高品質地震紀錄，有效地提升微地動監測能力、提升地震定位的精確度與縮短地震發布時間，並且井下地震站觀測系統提供了寶貴的資料。本研究透過雙站頻譜比法求得的放大倍率，能夠更了解淺層地質特性與場址效應，此研究成果對於強地動預估、地震危害度評估等研究都能提供重要的參考。

本次參與會議，有機會與GeoGPT的作者討論，GeoGPT是融合了語言模型和地理空間資料的人工智慧對話平台，此系統未來會朝向免費開放，可提供直接圖像化的展示，例如將地震位置以EXCEL形式給予輸入，可以直接請他畫出在空間上的分布，或許在地震業務上能搭配這個工具使用，期待未來的發展也會持續關注此工具。

賴技士出國的詳細行程如下所示：

日期	地點	工作摘要
113年5月25日	臺灣松山機場 - 日本東京羽田機場	5月25日下午16:00從臺灣搭機前往日本，當日晚上20:05抵達，並為隔日研討會的口頭報告預作準備。
113年5月26日 至5月31日	日本千葉	參加研討會並以口頭報告方式發表論文。
113年6月1日	日本千葉	個人休假(假日)
113年6月2日	日本東京羽田機場-臺灣松山機場	12:40於日本東京羽田機場返回臺北



圖 15、賴姿心技士於大會發表的口頭報告



### 三、心得與建議

JPGU 研討會有逐年國際化的趨勢，這已經不僅是日本國內最大的地球科學聯合會，也慢慢成為全世界學者共同參與討論的一個會議。由於日本與臺灣的距離不遠，可以在節省時間和旅費的情況下參加國際性的研討會，是一項好消息。參加國際會議似乎對我開啟了另一扇窗，窗外的風景使我了解研究一門學問，個人從基礎知識的建立開始，接著設計實驗，執行，產生結果，討論科學意義，再經由撰寫論文以及參與研討會與世界上相同研究領域的學者交換意見，互相吸取經驗。每一次論文發表都是一件興奮的事情，讓別人看到自己努力的成果，與別人激發出更新的研究構想，這就是參與研討會最大的收穫。

本次參與日本地球科學聯會，一方面觀摩各國技術並與各國科學家交流，一方面也可以藉此機會和旅居國外的臺灣學者交換心得。由臺灣培養的科學家，有許多人在海外研究單位任職，藉由此次研討會彼此分享不同的工作與生活經驗，擴大彼此的國際觀與視野，也從彼此的生活經驗體互相學習。在聊天的過程中，我體會到了自己如果不願意改變，再過幾年還是不會有太大的進步，未來能夠做的事情與能夠得到的機會就是現在情況的延伸，若是從未察覺問題的關鍵點是在自己，卻成天抱怨，對現狀不滿，總是質疑別人為何不給自己一個機會，其實是自己錯失機會，不是別人造成的。

我想改變就要從現在開始，發覺自己在發表不盡理想後，剛好在研討會裡的書攤看到一本書教導如何於國際研討會發表演說，書中提供實用的建議，在買書之後，應該時常翻閱並且在接下來的每一次演說機會中練習，我希望幾年後，演說的時候不在像是現在的我。參加研討會時常會覺得自己知識貧乏，跳脫自己熟悉的研究題目之後，時常是一無所知，就會刻意避開。偶爾會想轉念，何不利用這次機會，開始了解這些研究內容。否則若干年後，我依舊還是現在狀態的延伸，仍然只會處在熟悉的領域中。

機會就會變少，我仍然還是數年前的我。不僅是能力上的改變，如演說能力。心態及生活習慣也必須修正。

臺灣與日本在歷史上都曾經發生多起災害性地震，因此都投入相當多的心力在地震前兆觀測上，延續每年辛苦的研究基礎，積極地與日本學者討論地震預測相關細節，有深刻的感受，心得建議如下：

1. 臺灣與日本地理位置接近，許多觀測資料若能共享，觀測技術若能相互學習，對於雙方的發展都有很大的助益，但是礙於政治因素與日本氣象廳的交流無法浮出臺面上，目前除了透過日本氣象交流協會協助兩方交流之外，建議多透過研討會型式，以學術交流方式較能成功推動雙方面對面的實質交流。
2. 山崩和土石流是近年來影響臺灣十分劇烈的天然災害，對於較偏遠山區而言，在災害發生的當下通常無法第一時間得知，往往在災害發生後數天透過直升機進入山區才能知道災害發生的面積和影響的範圍。目前透過即時的地震與地球物理（例如 GNSS）觀測網資料，已經能夠在發生山崩和土石流之後，確定發生的位置和規模。雖然此項建議與地震前兆無關，但是聆聽那麼多演講也是頗有。
3. 相較於其他國家，臺灣擁有更高之全球導航衛星系統（GNSS）連續觀測記錄網，因此相當受用於活動板塊界之地殼變形觀測與大區域構造之探討。若未來能對於 GNSS 連續觀測資料與分析方法有進一步的交流機會，互相激盪出更多研究模式，或許有找出地震前兆訊號之潛能。
4. 高精度 GNSS 觀測資料解算、分析與線上成果提供：除例行資料解算外，需經時間序列分析、共同誤差移除、雜訊分析等，方可得到較正確且高精度之臺灣地區地殼運動速度場。臺灣目前有高密度的 GNSS 連續觀測記錄站，期望透過合作方式將解算成果與後續如時間序列分析、測站狀況、基本測站資訊結果等統整於一

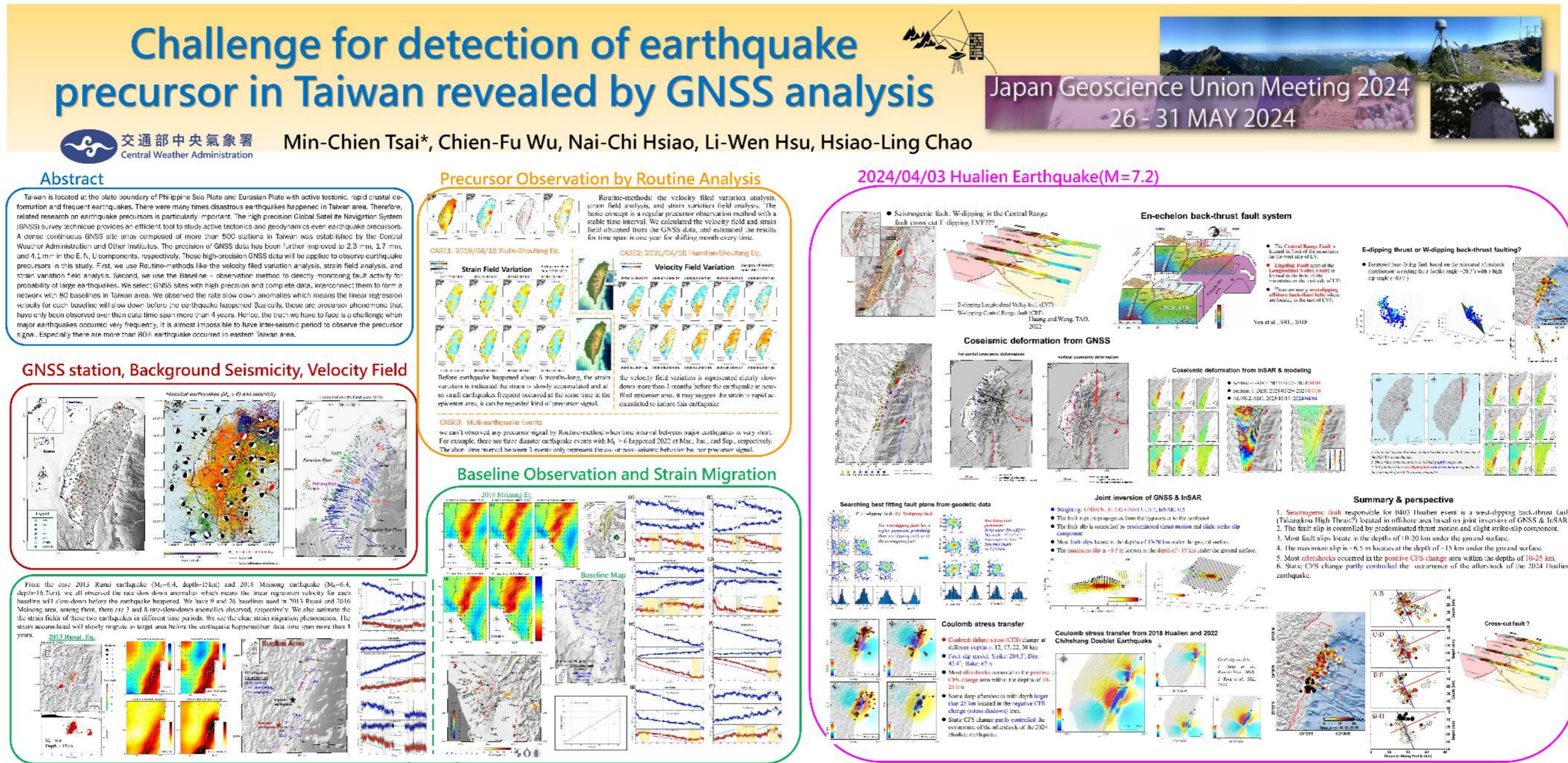
公開的平台，方便相關研究人員使用。

5. 地殼變形與地震活動之相關性探討：經時間序列分析後之 GNSS 連續觀測資料精度甚高，可以用於解釋板塊活動、監測斷層活動及計算區域應變場，或應用於其他更進一步的地殼變形模式模擬研究。配合地震活動度分析結果，可以探討地震活動與地殼形變之間的相關性問題，了解可能的孕震機制，提供孕震過程及震源力學研究的重要資訊，提供相關地震前兆之訊息，與作為地震潛能評估之依據。
6. 本次口頭報告後，有聽者詢問有關井下地震儀資料下載是否為開放資料，開放資料確實是世界的趨勢，而我們已經資料全面開放至臺灣地震與地球物理資料管理系統(<https://gdms.cwa.gov.tw/>)，建議能推廣至國際上，並在各個官網上註明資料開放的網址，提供資料的國際能見度。
7. 在地震資料上除了傳統地震儀外，近年來蓬勃發展的光纖地震觀測技術，與人工智慧與機器學習的應用，已是未來趨勢，未來將要多多與相關學者學習並合作，用於地震相關研究與實務應用面上。



# 四、附錄

附錄 1：蔡技士發表海報內容。研究論文題目為：「利用 GNSS 資料分析討論臺灣地震前兆所面臨的挑戰」，英文：（Challenge for detection of earthquake precursor in Taiwan revealed by GNSS analysis）。





附錄 2: 賴姿心技士口頭報告「使用臺灣井下地震儀陣列分析近地表場址效應」(Site Effects Analysis of Shallow Subsurface Layer Using Borehole Seismic Arrays in Taiwan) 簡報內容。

### Site Effects Analysis of Shallow Subsurface Layer Using Borehole Seismic Arrays in Taiwan

Tz-Shin Lai<sup>1,2</sup>, Yih-Min Wu<sup>3,4,5,6</sup>, and Wei-An Chao<sup>5,6</sup>

<sup>1</sup>Department of Geodesy, National Taiwan University  
<sup>2</sup>Seismological Observation Center, Central Weather Administration  
<sup>3</sup>Institute of Earth Sciences, Academia Sinica  
<sup>4</sup>Research Center for Future Earth, National Taiwan University  
<sup>5</sup>Department of Civil Engineering, National Yang Ming Chiao Tung University  
<sup>6</sup>Disaster Preventing and Water Environment Research Center, National Yang Ming Chiao Tung University

### Borehole Seismic Arrays in Taiwan

- 62 borehole seismic arrays in Taiwan until the end of 2022
- Force Balance Accelerometers (FBA)
- Broadband Seismometer (BB)
- Depth: 30m ~ 492m

### A Study on Kappa Value in Taiwan Using Borehole and Surface Seismic Array

(Lai et al., 2016)

What is kappa?  $\kappa = K_0 + K_B \times R(x)$  (1)

- Site amplification factor
- larger parameter in ground-motion predictive equations (GPEs)
- Indicator of local site conditions

### Regression analysis

CHI surface

CHI borehole

### Near-surface attenuation parameter $\kappa_0$

Surface

Downhole

### The Advantage of Downhole Stations

(a) Surface

(b) Downhole

### Introduction of $M_L$

The local magnitude,  $M_L$ , popularly used by local seismic network was formulated by Richter (1935, 1958) as

$$M_L = \log A(\Delta) - \log A_0(\Delta) \quad (2)$$

A Maximum amplitude in millimeters for Empirically determined distance correction

In Taiwan, the empirical formulas used in the current official operation for calculation of local magnitude proposed by Shin (1993) by using short-period seismograms

$$M_L = \log A + \log r + 0.00716r + 0.39 \quad h = 3.5 \text{ km}, \Delta = 0 \sim 80 \text{ km} \quad (3)$$

$$M_L = \log A + 0.83 \log r + 0.00261r + 1.07 \quad h = 3.5 \text{ km}, \Delta = 80 \sim 300 \text{ km} \quad (4)$$

$$M_L = \log A + 0.83 \log r + 0.00326r + 1.01 \quad h = 3.5 \text{ km} \quad (5)$$

$r$ : Hypocentral distance  
 $\Delta$ : Epicentral distance  
 $h$ : Focal depth

### Data

- Earthquakes from Central Weather Administration (CWA) catalog
- Totals: 19079 events
- Stations: 62 borehole seismic arrays

### Data Processing

Waveform recorded by borehole seismic array

Simulate the waveform to Wood-Anderson seismogram

Calculate the peak amplitude of the horizontal seismogram for each event

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} \quad (6)$$

$$F = A_x/A_y \quad (7)$$

Amplification factor for each station

$$M_L = \log A_x - \log A_0 = 8.92 - [-2.23] = 6.69$$

9th Feb 2018, EWT

### Distribution of amplification factor

### Vs30 values in Taiwan

(Kuo et al., 2012)

### Comparison with Vs30 values

### Using Site Correction to revised $M_{LB}$

$$M_{LS} = \log A_s - \log A_0 \quad (6)$$

$$M_{LB} = \log A_b - \log A_0 \quad (7)$$

$$M_{LSXZRW} = \log(A_b \cdot F) - \log A_0$$

$$= \log A_b - \log A_0 + \log F \quad (8)$$

$$= \log A_b - \log A_0 + C$$

### Comparison of $M_L$ from Surface and Downhole

(a)  $M_L = 1.33 M_{LB}$ , S.D. = 0.26

(b)  $M_L = 0.99 M_{LSXZRW}$ , S.D. = 0.11

### Case study

2018-02-09 18:03:10 - 18:03:40 EWT 1.5 ~ 39.5km

$M_L = 4.97$

Surface FBA

Downhole FBA

Surface BB

Downhole BB

### Conclusions

- We used 19079 earthquakes to investigate the site amplification factors between downhole and surface stations.
- Results show the amplification factors which provide site correction of the surface-to-downhole ranging from 1.10 to 6.06, have a strong relationship with Vs30 and the revised  $M_L$  correlate well with  $M_L$ .
- The main goal for this study is to involve the borehole recordings for the estimation of  $M_L$  scale and to provide the more comprehensive earthquake catalog to advance the seismological studies based on the catalog.

### Thank you for your attention!

\*Corresponding author: Tz-Shin Lai (tshlai@cwa.gov.tw)

Lai, T. S., Mizell, H., Chao, W. A., & Wu, Y. M. (2022). A study on kappa value in Taiwan using borehole and surface seismic array. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 112(6), 3100-3112.

Lai, T. S., Chao, W. A., & Wu, Y. M. (2022). A local magnitude scale from borehole recordings with site correction of the surface to downhole. *Seismological Research Letters*, 93(2), 1524-1531.

Model/Geometry	Surface FBA	SH FBA	SH BB
Geotek	Ph-22 1.8m 1.8m	Ph-2200 1.8m 1.8m	RS-2000 1.8m 1.8m
Geulph	CM60-S101 1.8m 1.8m	CM6-S100 1.8m 1.8m	CM6-210 1.8m 1.8m
Hamamatsu	Titan PH 1.8m 1.8m	Titan PH 1.8m 1.8m	Yilmaz 120 PH 1.8m 1.8m