

出國報告（出國類別：國際會議）

出席美國地球物理學會 2019 年秋季會議 心得報告

服務機關：交通部中央氣象局

姓名職稱：蔡旻倩 技士 (地震測報中心)

派赴國家/地區：美國/舊金山

出國期間：民國 108 年 12 月 8 日至 12 月 16 日

報告日期：民國 109 年 4 月 20 日

摘要

2019 年的美國地球物理學會秋季大會於 12 月 9 日至 13 日舉行，會議地點由華盛頓特區移至美國舊金市。美國地球科學聯合會為世界上最重要的地球科學會議，聚集世界各地不同地球科學領域的眾多學者專家與會，為一個重要的學術交流平台，也增加不同研究團隊合作的機會。蔡員在此次會議中，以口頭方式報告發表「Assessment of seismic hazards after Mw 7.5 Palu earthquake, Indonesia by Coulomb Stress Transfer」，報告重點為利用在北蘇拉威西隱沒帶的歷史大地震($M > 7$)，計算其對芭魯斷層應力觸發的可能性。由於北蘇拉威西隱沒帶歷史上曾發生多次海嘯事件，因此也針對由差分合成雷達干涉的同震變形場計算庫倫應力對及北蘇拉威西隱沒帶及鄰近地區重要的斷層系統如 Matano fault & Median Line 的應力觸發，以評估此區的地震潛勢。參加本次會議，不僅可介紹中央氣象局地震及地球物理相關研究之最新成果，同時可觀摩學習國外相關研究與開發之最新理論技術，並尋求加強未來合作之機會。

目 錄

摘要	2
目錄.....	3
一、目的.....	4
二、過程.....	5
三、心得及建議.....	18
附錄.....	19

一、目的

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。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）。藉由 GPS 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，再配合以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 GPS 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 及中國大陸北斗衛星系統 Beidou 等，現已發展成多星軌道之全球導航衛星系統（Global Navigation Satellite System, GNSS）。自 1994 年開始，中央氣象局開始設置永久性的 GPS 連續觀測站，而在 1999 年集集地震發生後，有鑑於地殼變形監測之重要性與測站密度之不足，中央氣象局更配合科技部「地震及活斷層研究」跨部會整合計畫，逐年擴建 GPS 連續觀測網，並於 2012 年起將測站儀器陸續更新成 Trimble NetR9，開始接收 GLONASS 和 Galileo 等多星 GNSS 系統資料，以提高測量結果之解析度，截至 2019 年底已有 162 個 GNSS 連續觀測站在運作中，至今全臺由不同單位所建立運轉中的連續觀測站近乎 400 站，對比其他國家測站密度而言已屬相當高。

測地學的領域中，最近有一項免費且可用於地殼形變偵測等方面的新技術—「持久性散射體合成孔徑雷達」技術。此技術為遙測學的一種，常用的方法有二，其一為：合成孔徑雷達干涉技術（Interferometry SAR; InSAR），其二為：合成孔徑雷達差分干涉技術（Differential InSAR; DInSAR）來產製數值地形模型（Digital Terrain Model; DTM）與變形量測的方法，其受雲、霧水氣等的影響量小、提供大範圍的量測資訊、可較快速得到突發的地表起伏變化（如山崩、地震）及緩慢的地表起伏變化（如地層

下陷)等。所謂 InSAR 是利用同一地區不同時間所拍攝之兩幅影像進行干涉處理，可產生高精度之 DTM，其主要概念為解算影像像對中，對應像元間雷達回波訊號之振幅 (Amplitude) 與相位 (Phase)，並回復 (Unwrapping) 影像像對之間的相位差，即可獲得大面積之 DTM。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的。

二、過程

2019 年的美國地球物理學會秋季大會於 12 月 9 日至 13 日舉行，會議地點由華盛頓特區移至美國舊金市(圖 1、圖 2)。美國地球科學聯合會為世界上最重要的地球科學會議，聚集世界各地不同地球科學領域的眾多學者專家與會(圖 3、圖 4、圖 5)，為一個重要的學術交流平台，也增加不同研究團隊合作的機會。蔡員在此次會議中，以口頭方式報告發表「Assessment of seismic hazards after Mw 7.5 Palu earthquake, Indonesia by Coulomb Stress Transfer」(圖 6、圖 7)，AGU 會議每年都會更新手機 App，可以輕鬆搜尋到相關主題或作者發表之內文，非常方便(圖 8)。蔡員於本次會議中發表之論文電子全文可直接在手機或網站上獲得(圖 9)。報告重點為利用在北蘇拉威西隱沒帶的歷史大地震($M > 7$)，計算其對芭魯斷層應力觸發的可能性。由於北蘇拉威西隱沒帶歷史上曾發生多次海嘯事件，因此也針對由差分合成雷達干涉的同震變形場計算庫倫應力對及北蘇拉威西隱沒帶及鄰近地區重要的斷層系統如 Matano fault & Median Line 的應力觸發，以評估此區的地震潛勢。此次口頭報告非常順利，會後也和多位專家討論，渠等針對同震模型及歷史地震資料提供不少的建議，收獲很多。另蔡員亦參加與專長相關的議題，特別是 GNSS 的資料處理和應用，由於蔡員正將研究主題轉往 InSAR 的處理和應用，這也是蔡員特別關注的議題。

此次會議涵蓋之主要議題包括 Atmospheric and Space Electricity、Atmospheric Sciences、Biogeosciences、Cryosphere Sciences, Earth and Planetary Surface Processes、Earth and Space Science Informatics、Education、Geodesy、GeoHealth、Global Environmental Change、Geomagnetism, Paleomagnetism, and Electromagnetism、Hydrology、

Mineral and Rock Physics、Natural Hazards、Near-surface Geophysics、Nonlinear Geophysics、Ocean Sciences、Paleoceanography and Paleoclimatology、Planetary Sciences、Public Affairs、Seismology、Societal Impacts and Policy Sciences、Space Physics and Aeronomy、Study of the Earth's Deep Interior、Tectonophysics、Volcanology, Geochemical and Petrology，圖 10 為本次會議各子題項目摘要彙整，相關資訊請參閱 AGU 官方網址 (<https://www.agu.org/fall-meeting>)。本次與會所需經費由蔡員所執行之科技部委託研究計畫中的出席國外研討會費用支應，行程之摘要表如下：

日期	地點	工作摘要
108年12月8日	臺北-舊金山	12月8日23:40於臺灣桃園國際機場出發，並於同日抵達舊金山。
108年12月9日至12月13日	美國舊金山	參加2019年美國地球物理聯合會秋季大會。
108年12月14日	美國舊金山	前往舊金山國際機場。
108年12月15日至12月16日	舊金山-臺北	15日00:05於美國舊金山國際機場出發，16日抵達臺灣桃園國際機場。

在此次會議中，蔡員比較關注的是與測地學相關的議題，首先看到一篇非常有趣的研究主題「Estimated GPS-inferred terrestrial waters storage variation in Taiwan with two inversion strategies: Tikhonov Regularization and Truncated Singular Value Decomposition」(圖 11)，作者為 Yen-Ru Lai，目前就讀於 Ohio State University 博士班，他畢業於國立臺灣大學土木系碩士班，對地球科學非常有興趣，曾在中央研究院地球科學研究所許雅儒研究員團隊下擔任研究助理多年，對臺灣連續 GPS 處理非常有經驗，在攻讀博士學位時，就利用臺灣的連續 GPS 資料的時間序列和測站的空間分布，反推 TWS (Terrestrial Waters Storage)水資源的分布特性，反推主要驗證 Tikhonov Regularization 和 Truncated Singular Value Decomposition 這 2 種模式的優劣。蔡員對此研究非常有興趣，詳細詢問有關 GPS 時序訊號中與水資源相關的訊號特性以及 2 種逆推方法的細節。另外一篇與上篇研究相關，也是探討加州 TWS 的變化與地殼應力變化的相關性，題目為

「Integration groundwater into TWS change estimate and crustal stress change in California」(圖 12)，此研究第一作者為 Arizona State University 的 Grace Carlson，他整合不同尺度的測地學資料，包含 GNSS 和 GRACE 衛星重力資料，求得動態的地下貯水層系統，利用孔彈性(poroelastic) 及彈性變形模式，推估加州地殼的應力變化。Carlson 君特別強調此動態貯水系統所造成的地殼應力大小足以影響加州孕震構造的應力積累和鬆弛。由於加州和臺灣都是地震好發區，此部分的研究非常具有啟發性，蔡員希望在將來也可以往此研究方向前進。在相似的研究主題中，另一篇為「The effects of hydrologically-related process on Long Valley Caldera and adjacent Sierra Nevada at different temporal and spatial scales」，蔡員與來自 Scripps Institution of Oceanography 的講者 Francesca Silveril 有很好的交流及討論。另外蔡員也關注幾個 GNSS 觀測相關議題，有助於蔡員對未來研究的規劃，研究主題如「A proposed data exchange file format for vertical ties to GNSS at tide gauges」及「NOAA is modernizing the U.S. National Water Level Observing Network with the establishment of the new GNSS systems collected with water level sensors」。

在利用 GPS 的垂直變形資料上，一直存在很大的爭議和不確定性，主要是 GPS 垂直變形精度大約是水平變形精度的 3 至 5 倍。有會場中的一張海報上寫著「Are we able to reliably explain the entire GPS-derived uplift?」，大大吸引蔡員的目光，該海報主題為「Contribution of present-day process into GPS vertical rates in a seismogenic region of Pacific basin」(圖 13)，講者為來自波蘭的 Anna Klos，研究的主軸為利用環太平洋的 GPS 測站探討其垂直變形速率是否能夠用於環太平洋盆地孕震帶震間變形的應變積累情形。講者用了很多日本的測站資料，特別探討日本東北大地震前垂直變形的一些斷層閉鎖的信號特性。講者認為在良好地濾除年週期或半年週期訊號及季節性訊號後，GPS 時序資料的垂直變形可以反映震間閉鎖的訊號。蔡員跟講者分享臺灣 GPS 垂直變形的訊號特性，根據蔡員在臺灣西南部的研究經驗，很多的垂直變形來自無震滑移，特別是臺灣西南部泥岩區底下的基底滑移斷層的強度非常弱，加上泥基背斜中有很多的流體，造成在高應力狀態下泥岩的塑性變形，局部地區造成可達 20-30 mm/yr 的垂直變形。蔡員也分享發表於 TAO 的兩篇文章如下：

Tsai, M. C., S. B. Yu, T. C. Shin, K. W. Kuo, P. L. Leu, C. H. Chang, and M. Y. Ho, 2015: Velocity field derived from Taiwan continuous GPS array (2007-2013), Terr. Atm. Ocean. Sci.,

26, 557-570. doi: 10.3319/TAO.2015.05.21.01(T).

Tsai, M. C., T. C. Shin, and K. W. Kuo 2015: Pre-seismic strain anomalies and coseismic deformation of Meinong earthquake from continuous GPS. *Terr. Atm. Ocean. Sci.*, 28, 763-785. doi: 10.3319/TAO.2017.04.19.01.

另外蔡員也分享其他研究團隊在垂直變形的研究經驗，例如美國馬里大學黃孟涵教授利用 GPS 及 InSAR 時序分析，顯示臺灣西部地區的垂直變形訊號，很大一部分來自季節因素及地下水；另外中央研究院地球科學研究所童忻博士亦在 *Tectonophysics* 發表一篇臺北盆地結合精密水準和 X 波段 PS-InSAR 結果，得到臺北盆地的盆地尺度垂直變形主要受控於捷運系統開挖的地下水抽取，並可由垂直變形及地下水升降得到主要貯水層的貯水係數。

在這次的會議中蔡員也對菲律賓斷層的研究非常有興趣，蔡員曾和大陸西南石油大學的楊瑩輝博士在 *Geophysical Research Letters* 共同發表一篇有關菲律賓 Leyte Island 地熱區的異常同震變形虧損的文章(Yang, Y.-H., Tsai, M.-C., Hu, J.-C., Aurelio, M. A., Hashimoto, M., Escudero, J. A. P., Su, Z., Chen, Q., 2018. Coseismic slip deficit of the 2017 Mw 6.5 Ormoc earthquake that occurred along a creeping segment and geothermal field of the Philippine Fault. *Geophys. Res. Lett.*, 45, 2659–2668, Doi: 10.1002/2017GL076417.)，目前用 InSAR 資料持續觀測此島上菲律賓斷層的潛移段和地熱區的關聯性，已有初步成果。此外，很高興看到國立成功大學饒瑞鈞教授團隊發表有關菲律賓斷層活動性成果，他們發表的題目為「Earthquake potential of the creeping-to-locked Masbate Segment of the Philippine Fault based on GPS observations」(圖 14)，Masbate 斷層段與 Leyte 斷層段非常靠近，在潛移的行為上有其相似性，因此我們對在 Leyte 斷層的研究上有很多相互交流的想法。



圖 1、2019 年 AGU 秋季大會會議大樓外觀。

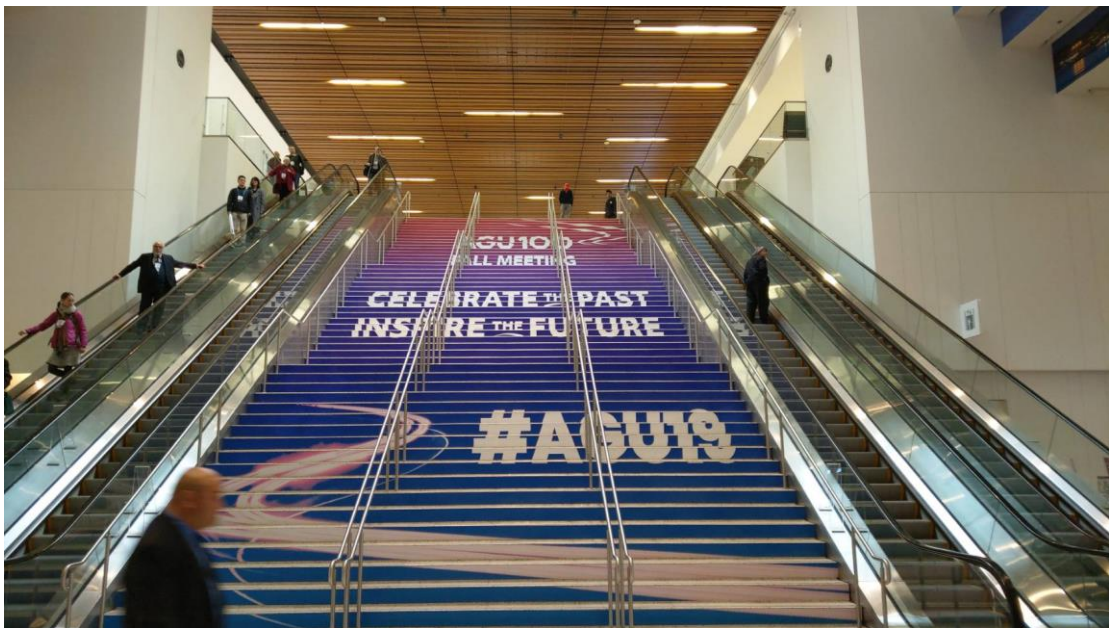


圖 2、2019 年 AGU 秋季大會會議大樓內觀。



圖 3、2019 年 AGU 秋季大會報到區，與會者以電子條碼掃描報到。

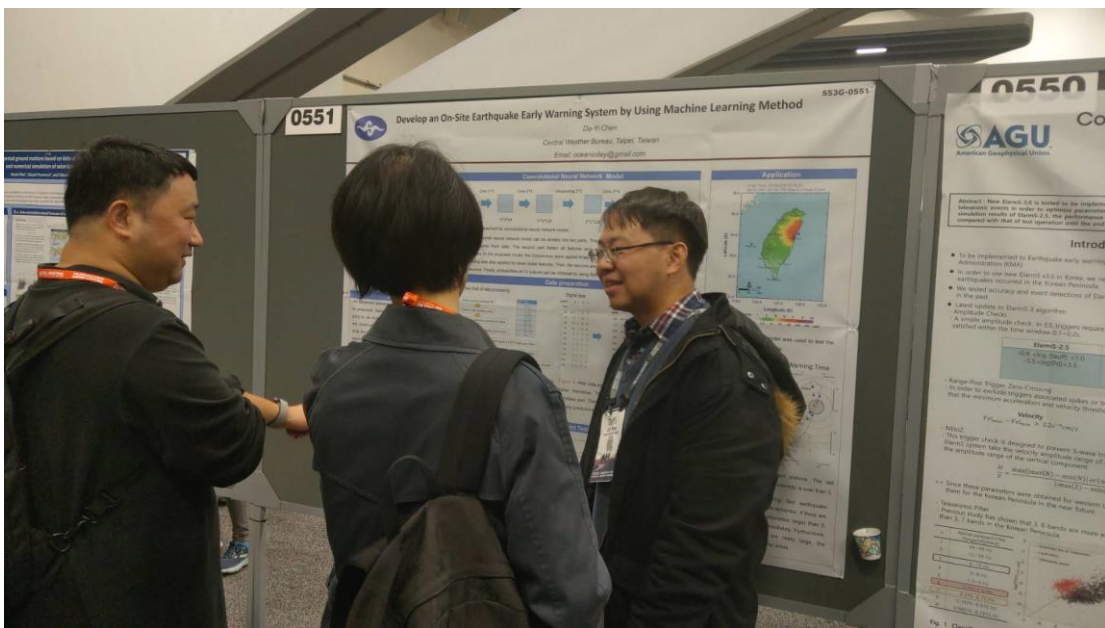


圖 4、2019 年 AGU 秋季大會海報論文區(一)



圖 5、2019 年 AGU 秋季大會海報論文區(二)。



圖 6、會場外液晶螢幕顯示蔡員的報告時間為早上 8 點 15 分。



圖 7、2019 年 AGU 秋季大會各議題場外地點。

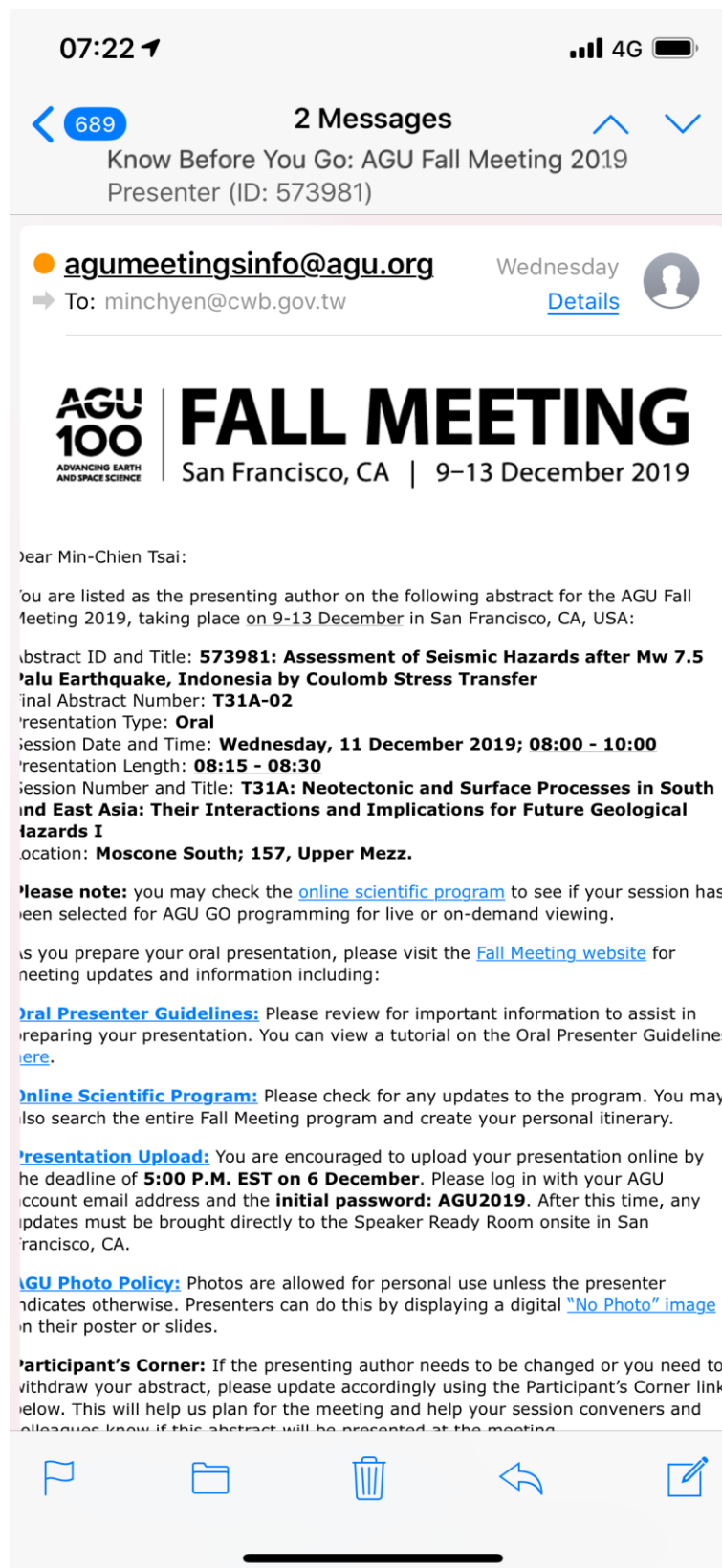


圖 8、蔡員報告題目與日期之通知函。

The screenshot shows the AGU 100 Fall Meeting website interface. The top navigation bar includes a 'Sign In' link, social media icons for Facebook and LinkedIn, and a search icon. The main header features the 'AGU 100 FALL MEETING' logo and the event details: 'San Francisco, CA | 9-13 December 2019'. A left-hand navigation menu lists various meeting activities such as Home, Sign In, Search, Browse by Day, Sections, Union, AGU GO, SWIRLs and Tracks, eLightning Sessions, Co-Organized, Co-Sponsored, Cross-Listed, Scientific Workshops, Field Trips, Events, Index Terms, Meeting Resources, Pod Reservation, Code of Conduct, and ePoster. The main content area displays the title 'T31A-02 - Assessment of Seismic Hazards after Mw 7.5 Palu Earthquake, Indonesia by Coulomb Stress Transfer'. Below the title, it indicates the date 'Wednesday, 11 December 2019', the time '08:15 - 08:30', and the location 'Moscone South - 157, Upper Mezz.'. The 'ePoster' section includes a 'Copy and pasted text document 2.txt' link and a 'Download' button. The 'Swirl Topics' section lists 'Earth Processes - SWIRL'. The 'Abstract' section contains the following text: 'We used InSAR technique and pixel offset tracking method to map the coseismic deformation for the 2018 Mw=7.5 strike-slip earthquake of 28 September 2018 in Palu, Sulawesi, Indonesia to inverse earthquake source model for calculation of Coulomb stress transfer on active fault systems. This seismogenic fault is a left-lateral strike-slip event along the Palu-Koro fault at shallow depth occurred within the interior of the Molucca Sea microplate, a part of the Sunda plate. We first use D-InSAR technique with ALOS-2 descending orbit radar images to characterize coseismic deformation pattern induced by Palu earthquake. Due to the decorrelation of near-field and non-sensitive of along-strike movement of the N-S trending Palu-Koro fault, we also use with offset-tracking technique to get 3-D near-field deformation patterns to inverse the distribution of coseismic slip on the fault patches. Consequently we can calculate the Coulomb stress transfer for assessing the potential seismic hazards on the major fault systems, such as the active Poso Fault Zone and Mamuju - Lariang Active Fault Zone. In addition, we will assess the seismic potential by Coulomb stress transfer in Minahasa Active Subduction Zone together with two events with Mw 7.9 and Mw 7.0 happened on 1996/01/01 and 1996/07/22 which is a crucial topic for the tsunamigenic potential of active faults on north Sulawesi subduction zone.' The 'Authors' section lists 'Min-Chien Tsai'.

圖 9、蔡員口頭論文發表全文，登載於 AGU 網站：

<https://agu.confex.com/agu/fm19/meetingapp.cgi/Paper/573981>

AGU 100 FALL MEETING San Francisco, CA | 9-13 December 2019

Sign In

Home Sign In Search Browse by Day Sections, Tutorial Talks and Town Halls Union, Named Lectures, Centennial Central AGU GO SWIRLS and Tracks eLightning Sessions Co-Organized Co-Sponsored Cross-Listed Scientific Workshops Field Trips Events Index Terms Meeting Resources Pod Reservation Code of Conduct ePoster Technical Support

View Sessions

Select from the AGU Section below to view sessions and abstracts. Sections have created four distinct 'Neighborhoods' to group topic areas of similar interest together in the poster hall. Please find the key here (click a Neighborhood to expand the list).

Neighborhood 1 - Science Nexus

- Near Surface Geophysics (NS)
- Earth and Space Science Informatics (IN)
- Nonlinear Geophysics (NG)
- Natural Hazards (NH)
- Education (ED)
- GeoHealth (GH)
- Public Affairs (PA)

Neighborhood 2 - Earth Interior

- Study of Earth's Deep Interior (DI)
- Mineral and Rock Physics (MR)
- Volcanology, Geochemistry, and Petrology (V)
- Tectonophysics (T)
- Seismology (S)
- Geodesy (G)
- Geomagnetism and Paleomagnetism (GP)

Neighborhood 3 - Earth Covering

- Global Environmental Change (GC)
- Cryosphere (C)
- Paleoceanography and Paleoclimatology (PP)
- Ocean Sciences (OS)
- Hydrology (H)
- Earth and Planetary Surface Processes (EP)
- Biogeosciences (B)
- Atmospheric Sciences (A)

Neighborhood 4 - Beyond Earth

- Atmospheric and Space Electricity (AE)
- SPA-Aeronomy (SA)
- SPA-Magnetospheric Physics (SM)
- SPA-Solar and Heliospheric Physics (SH)
- Planetary Sciences (P)

圖 10、2019 年美國地球物理聯合會各子題項目摘要彙整。(網址：<https://agu.confex.com/agu/fm19/meetingapp.cgi/ModuleProgramBook/0>)

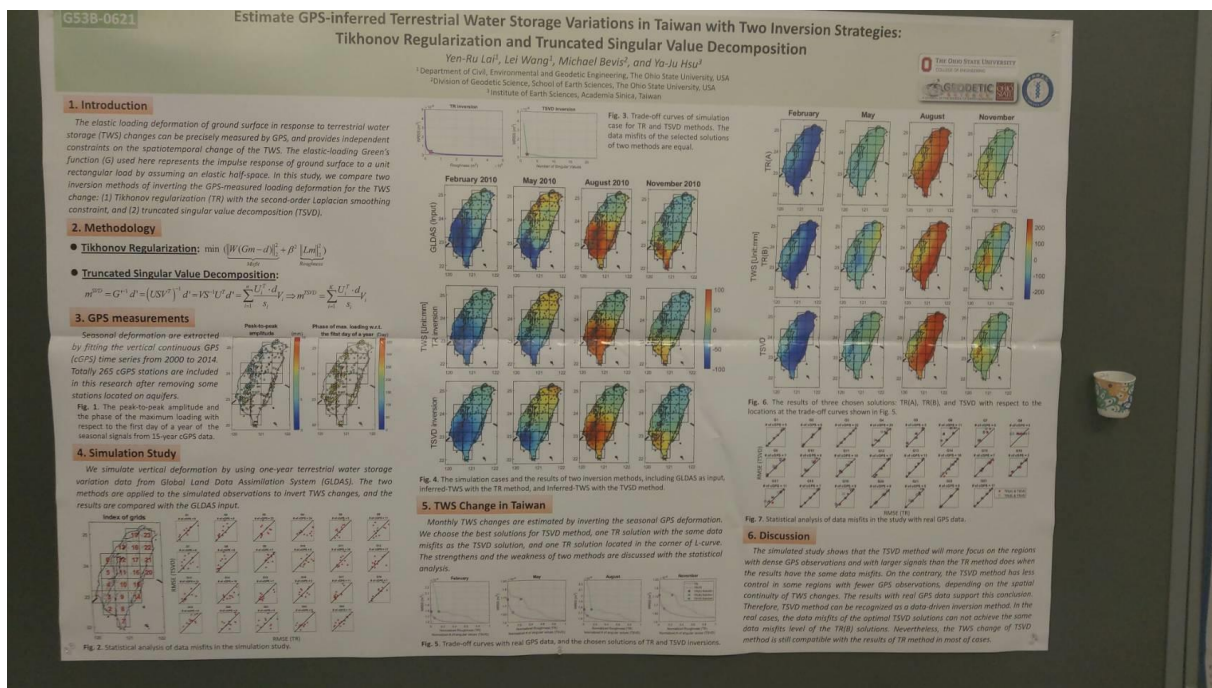


圖 11、Ohio State University 博士生 Yen-Ru Lai 的會議海報。

Integrating Groundwater Into TWS Change Estimates and Crustal Stress Change in California

Grace Carlson¹, Manooch Shirzaei¹, Susanna Werth^{1,2}, Chandrakanta Ojha¹, and Guang Zhai^{1,3}

¹School of Earth and Space Exploration, Arizona State University, ²School of Geographical Sciences and Urban Planning, Arizona State University, ³Department of Earth and Planetary Science, University of California, Berkeley

Goal: To achieve accurate and multi-resolution TWS estimates in regions with large, dynamic aquifer systems by incorporating poroelastic and elastic deformation processes and calculate associated crustal stress changes

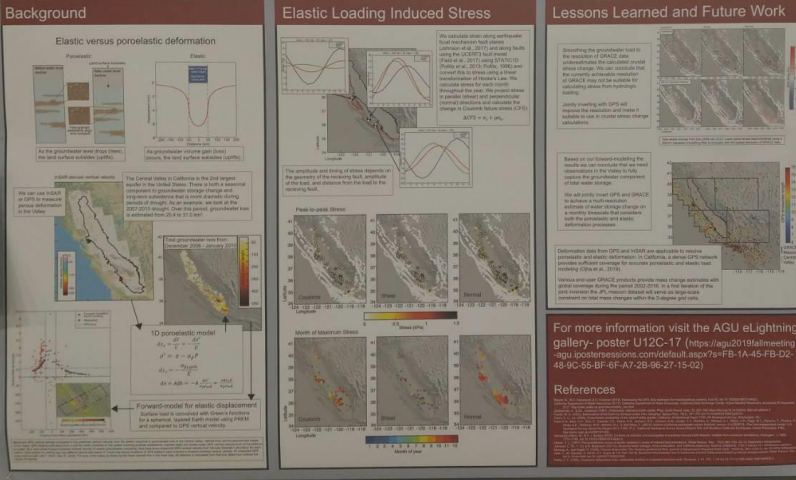


圖 12、Arizona State University Mr.Grace Carlson 的會議海報。

Contribution of present-day processes into GPS vertical rates in a seismogenic region of Pacific basin

Anna Klos¹, Jürgen Kusche¹, Bernd Uebbing¹, Janusz Bogusz²

Contact e-mail: anna.klos@wal.edu.pl

¹Wrocław University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geodesy, Wrocław, Poland

²University of Bonn, Institute of Geodesy and Geoinformation, Bonn, Germany

AGU 100 FALL MEETING San Francisco, CA | 9-13 December 2019

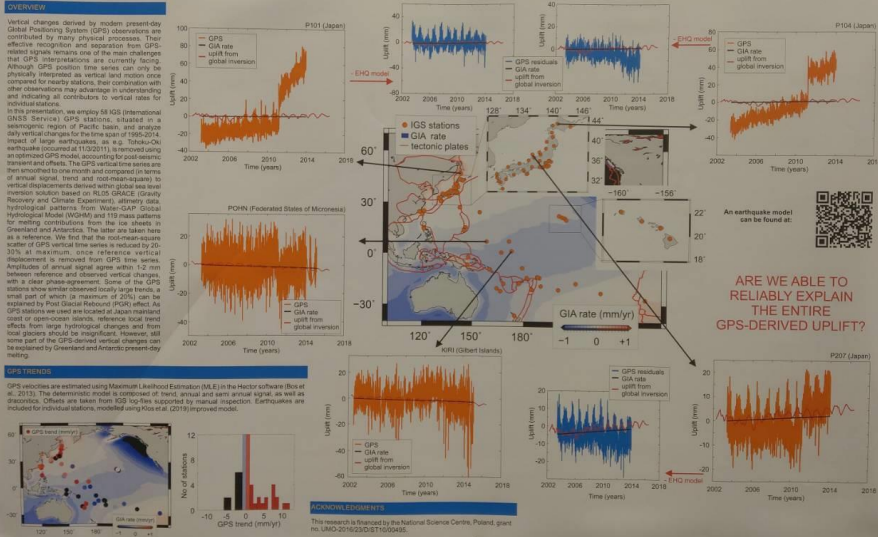


圖 13、波蘭 Ms. Anna Klos 的會議海報。

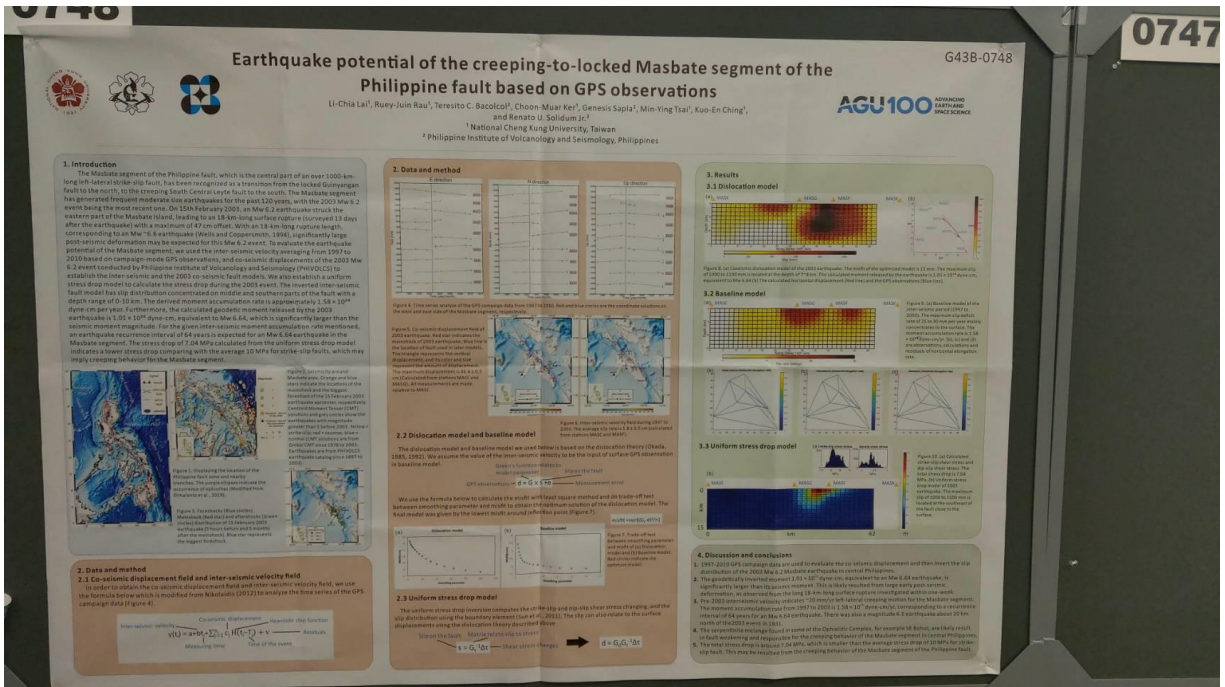


圖 14、國立成功大學饒瑞鈞教授團隊 Li-Chia Lai 的會議海報

三、心得與建議

AGU 研討會是國際上規模最大的地球物理研討會，其中包含眾多主題，討論的議題也十分廣泛，每次參加美國地球物理聯合會，都可以感受到國際上地球科學的蓬勃發展，充滿新的科學議題和展望。AGU 研討會除了透過口頭報告和海報展覽做學術交流外，最引人注目是內容多樣的展覽中心，近年來在展覽中心招募學生的學校和研究單位愈來愈多，包括東亞的中國大陸、韓國與日本的研究單位都在吸引各國人才。臺灣過去幾年都在展覽中心由地球科學集刊(TAO)設立攤位，並舉辦「臺灣之夜」的活動，增加能見度以促進國內外學者的交流與合作，但力道似乎有些不足。此次欣見國立臺灣大學也在展覽中心設立攤位，吸引人潮，是一個好的開始，建議將來有更多的研究單位、廠商及政府部門能加入，爭取更多國際交流的機會。

目前政府鼓勵新南向研究，中央氣象局在 GPS 觀測上已累積大量的經驗，建議未來可以鼓勵同仁往新南向國家的研究案，加上常有淘汰的 GPS 儀器移交臺灣地震中心(TEC)處理，國內很多研究團隊也利用這批儀器在國外架站開展合作研究，如成功大學的饒端鈞老師研究團隊。因此建議中央氣象局可以有更積極的作為，主動攜手國內研究團隊，開展新南向國家研究，增加中央氣象局的國際影響力。

附錄：蔡員口頭發表之摘要全文內容(英文版)

Assessment of Seismic Hazards after Mw 7.5 Palu Earthquake, Indonesia by Coulomb Stress Transfer

We first use SAR satellite data to map the coseismic deformation for the 2018 Mw=7.5 strike-slip earthquake of 28 September 2018 in Palu, Sulawesi, Indonesia. The seismogenic fault is a left-lateral strike-slip event along the Palu-Koro fault at shallow depth that occurred within the interior of the Molucca Sea microplate, which is part of the Sunda plate. We use D-InSAR technique with ALOS-2 descending orbit radar images to characterize coseismic and deformation pattern induced by Palu earthquake. We also plan to use with sub-pixel correlation from Sentinel-2 and Planet imagery to map the surface rupture area and the coseismic offsets in order to provide the near-field deformation data located in decorrelation zone from the D-InSAR result. Thus we can inverse the distribution of slip on the fault patches. In addition, we also calculate the Coulomb stress transfer for assessing the stress increasing and shadow on the major fault systems, such as the active Poso Fault Zone and Mamuju – Lariang Active Fault Zone. In particular, we will assess the seismic potential by Coulomb stress transfer in Minahasa Active Subduction Zone together with two events with Mw 7.9 and Mw 7.0 happened on 1996/01/01 and 1996/07/22. We try to assess the seismogenic potential in terms of interseismic slip rate, slip rate deficit and coupling ratio for the Palu-Koro fault system in a triple junction of the Sulawesi island.