

出國報告（出國類別：出席國際會議）

赴美參加 2018 年地球物理聯盟 秋季大會心得報告

服務機關：交通部中央氣象局地震測報中心

姓名職稱：蔡旻倩 技士

派赴國家/地區：美國 華盛頓特區

出國期間：民國 107 年 12 月 8 日~12 月 18 日

報告日期：民國 108 年 3 月 11 日

摘要

2018 美國地球物理聯盟 (AGU) 秋季大會 (Fall Meeting), 於 107 年 12 月 10 日至 14 日於美國華盛頓特區 Walter E. Washington 會議中心和周邊酒店舉辦為期 5 日的國際會議。其規模可說是地球科學相關學門中最大型的年度會議。會議內容包含大氣與海洋科學(atmospheric and ocean sciences)、固體地球科學 (solid-earth sciences)、水文學(hydrologic sciences)及太空科學(space sciences)等 4 大主題, 每個領域再各自規劃相關的研討主題, 供參與者以口頭或海報發表方式進行成果發表與交流研討。此會議廣邀各國從事地球科學相關之研究學者, 提供大家發表研究成果與互相交流的機會。中央氣象局地震測報中心蔡旻倩技士參加本次國際研討會, 並發表論文共 2 篇。分別為:

(1) 口頭論文發表: 「Multi-fault Rupture Triggering by the 0206 Mw 6.4 Offshore Hualien Earthquake: Insight of the Geodetic measurements and Numerical Modeling Result」。(2) 海報論文發表: Thermal Gradient Controlled Creeping Behavior of the Central Philippine Fault on Leyte Island Revealed by SAR Interferometry」。參與本次會議, 不僅可於國際間介紹中央氣象局於地震及地球物理相關研究之最新成果, 同時亦可觀摩學習國外學者研究與開發之最新理論與技術, 並藉由與會者間之討論交流, 進一步改進與推廣中央氣象局地震與地球物理相關研究成果。

目 次

一、目的	4
二、過程	8
三、與會心得	19
四、建議	22
附錄一、照片分享	23

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，圖 1）。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 和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 後開始接收 GLONASS 和 Galileo 等多星系統資料，將連續觀測網提升為 GNSS，以提高測量結果之解析度，截至 2017 年底已有 160 個 GNSS 連續觀測站在運作中。

另外，中央氣象局地震觀測網（Central Weather Bureau Seismic Network, CWBSN）在 1991 年後進入細緻化的地震觀測時代，根據 CWBSN 各測站檢測震波之能力，其觀測效能已進入微震觀測程度，擁有相當豐富的地震資料可用於速報、分析或研究。在 GPS 連續觀測網方面，中央氣象局自 2001 年起與中央研究院地球科學研究所合作建立「臺灣 GPS 連續觀測網」，至今有超過 200 個連續觀測站。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近乎 400 站（圖 2），對比其他國家測站密度而言已屬相當高。

測地學的領域中，最近有一項新的技術免費且可以用於地殼形變之偵測等多方面，即為：「持久性散射體合成孔徑雷達」技術。此技術為而遙測學的一種，常用的方法有二，第一為：合成孔徑雷達干涉技術（Interferometry SAR; InSAR），第二為：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(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。報告人於過去一年來都在致力學習此項技術與中央氣象局現有之地球物理資料、地震資料相互配合,將研究成果更為精進。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。

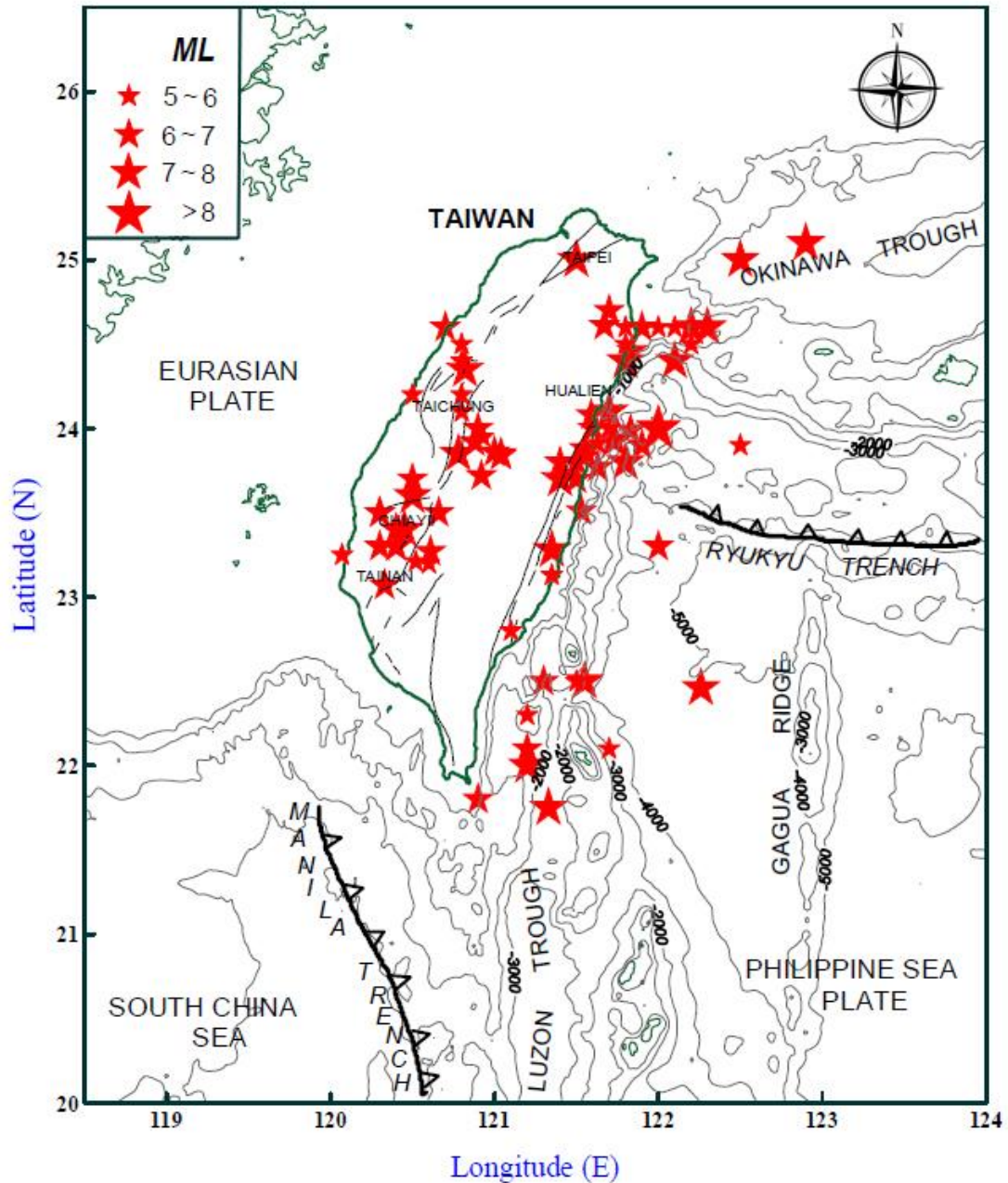


圖 1、二十世紀臺灣地區災害性地震之震央分布圖。圖中紅色星號為地震震央位置，大小分別代表不同規模，圖中可見大部分地震發生在東部與中西部地區（臺中—嘉義—臺南地區），東部地區的地震型態通常為典型隱沒帶地震，深度較深。大部分的淺源地震，還是以臺灣中西部為主。圖中顯示過去一世紀以來臺灣發生過 20 次以上的災害性地震。

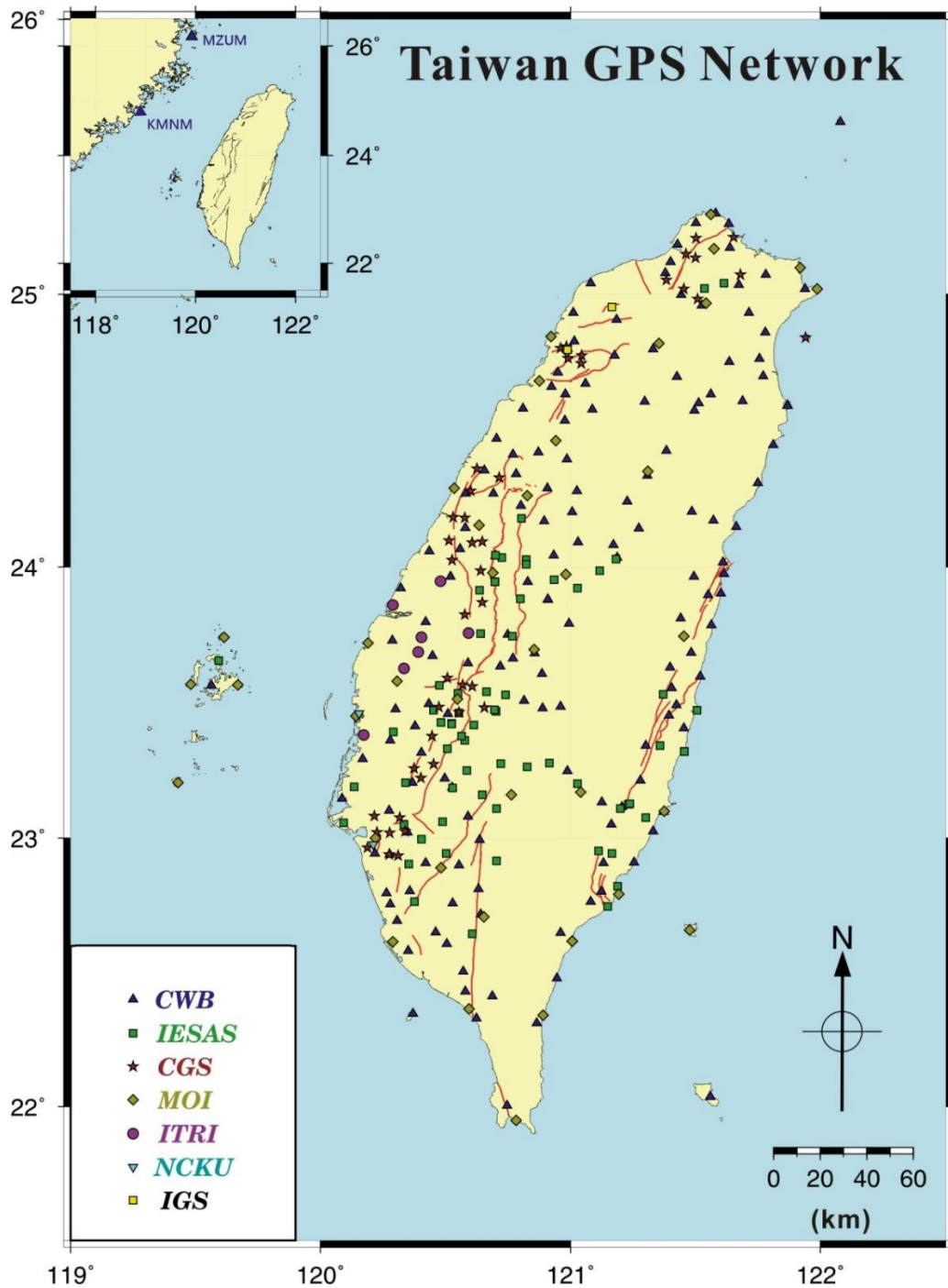


圖 2、臺灣 GPS 連續觀測網測站分佈圖。不同圖形與顏色符號，分別代表不同單位之測站。其中包含交通部中央氣象局(CWB)、中央研究院地球科學研究所(IESAS)、經濟部中央地質調查所(CGS)，內政部國土測繪中心(MOI)，工業技術研究院(IRTU)、國立成功大學(NCKU)，以及 IGS (International GPS Service for Geodynamics) 國際參考站。

二、過程

「歐洲地球科學聯盟（The European Geosciences Union， EGU）」與「美洲地球科學聯合會（American Geophysical Union， AGU）」為全球2大地球科學研究團體，每年均分別有上萬名專家學者參與其舉辦之年度研討會。其中AGU主要目的為以推動、創新與跨領域的組織，致力於地球及環境與太空等科學之發展，為目前美洲最大型的地球科學聯盟。以往此每年12月均於舊金山莫斯康會議中心（Moscone center）舉行之國際性地球物理年會，會議地點分配在西（west）、南（south）、北（north）棟同時進行，2018年美國地球物理聯合會則改在富有歷史與文化氣息的美國華盛頓特區 Walter E. Washington會議中心與周邊酒店舉辦。

2018年恰好為AGU會議第100年舉辦，除例行性的研討會外，亦舉行如百年全會、百年會議、周邊公共活動、AGU-IUGG百年研討會及探討兩性平等在地球科學的研究等相關活動，邀請各相關領域專家學者共同參與。現場盛況空前，共匯集全世界來自113個不同國家，超過24,000位相關研究人員一同參與，其中包含學術界學者、政府部門、廠商等等，目的在共同研究與討論地球、空間科學最新的研究與發展，再細分為大氣與太空電離、近地表地球物理、空間科學、海洋科學、冰凍圈科學、生物地球科學、古海洋與古氣候學、行星科學、環境變遷、地震學、地磁學、礦物與岩石物理、自然災害等22個領域，發表的研究論文超過24,000篇（表1），可說是報告人參加過最多人次的一次大型研討會。本次出國之行程摘要表如下：

日期	地點	工作摘要
107年12月8日	臺北-舊金山	12月8日11:30於臺灣桃園國際機場出發，並於同日抵達舊金山。
107年12月8日	舊金山-華盛頓	8日於紐約搭乘10:50航班，18:56抵達華盛頓。
107年12月9日	美國華盛頓	註冊並參加2018年美國地球物理聯合會秋季大會破冰典禮。
107年12月10日至12月14日	美國華盛頓	參加2018年美國地球物理聯合會秋季大會。
107年12月15日	美國華盛頓	由於長榮航班於當日已無適合之票價返台，故於隔日搭機返臺。
107年12月16日	美國華盛頓-洛杉磯	16日於華盛頓搭乘17:30航班，並於同日20:16抵達洛杉磯。

107年12月16日 至12月18日	洛杉磯-臺北	16日23:05於洛杉磯轉機，18日抵達 臺灣桃園國際機場。
-----------------------	--------	-----------------------------------

每年的AGU在會議前一日下午會及會開始開放註冊，並準備破冰典禮（ICE BREAK），最主要的還是希望大家先在會議開始前，能夠遇見熟識或來自其他國家的學者，增加彼此交流的機會。報告人於週日下午就前往會場辦理註冊登記，並且與日本東京大學Kano助理教授、義大利Fedola火山專科研究員，相約參加破冰典禮，並討論臺灣有關地震或山等自然災害之防災減災等相關應用。

編號	議程名稱	議程名稱(中譯)	發表篇數
A	Atmospheric Sciences	大氣科學	3,442
AE	Atmospheric and Space Electricity	大氣和空間電力	69
B	Biogeosciences	生物地球科學	3,552
C	Cryosphere	冰凍圈	1,394
DI	Study of the Earth's Deep Interior	地心研究	838
ED	Education	教育	494
EP	Earth and Planetary Surface Processes	地球和行星地表變遷	1,890
G	Geodesy	大地測量	1,019
GC	Global Environmental Change	全球環境變化	5,371
GH	GeoHealth	地球健康	959
GP	Geomagnetism, Paleomagnetism and Electromagnetism	地磁學，古地磁學和電磁學	433
H	Hydrology	水文學	3,531
IN	Earth and Space Science Informatics	地球與空間科學信息學	946
MR	Mineral and Rock Physics	礦物和岩石物理	1,049
NG	Nonlinear Geophysics	非線性地球物理學	625
NH	Natural Hazards	自然災害	3,008
NS	Near Surface Geophysics	近地表地球物理學	515
OS	Ocean Sciences	海洋科學	2,459
P	Planetary Sciences	行星科學	1,030
PA	Public Affairs	公共事務	931
PP	Paleoceanography and Paleoclimatology	古海洋學和古氣候學	387
S	Seismology	地震學	2,136
SA	SPA-Aeronomy	SPA-高層大氣物理學	514
SH	SPA-Solar and Heliospheric Physics	SPA-太陽和日光物理學	487
SI	Societal Impacts and Policy Sciences	社會影響和政策科學	2,107
SM	SPA-Magnetospheric Physics	SPA-磁電子物理學	574
T	Tectonophysics	構造物理學	1,365
V	Volcanology, Geochemistry and Petrology	火山學，地球化學和岩石學	1,452
總計			42,577

表1、2018年美國地球物理聯合會各子題項目摘要彙整。

報告人參加此次國際研討會，發表口頭論文與海報論文共2篇，題目如下：

1. 口頭論文：「Multi-fault Rupture Triggering by the 0206 Mw 6.4 Offshore Hualien Earthquake: Insight of the Geodetic measurements and Numerical Modeling Result」。
2. 海報論文：「Thermal Gradient Controlled Creeping Behavior of the Central Philippine Fault on Leyte Island Revealed by SAR Interferometry」。

第1篇論文主要探討發生於2018年2月6日的花蓮近海地震事件；第2篇則是利用PS-InSAR方法探討菲律賓地區有關斷層活動與地熱之間的關連性。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。過去一年中報告人致力於國際合作與推廣中央氣象局成果，因此在本次的會議中，報告人也為2篇論文的共同作者（圖3）。圖4與圖5分別為報告人於本次會議中發表之論文全文，電子全文直接可以在手機或網站上獲得。

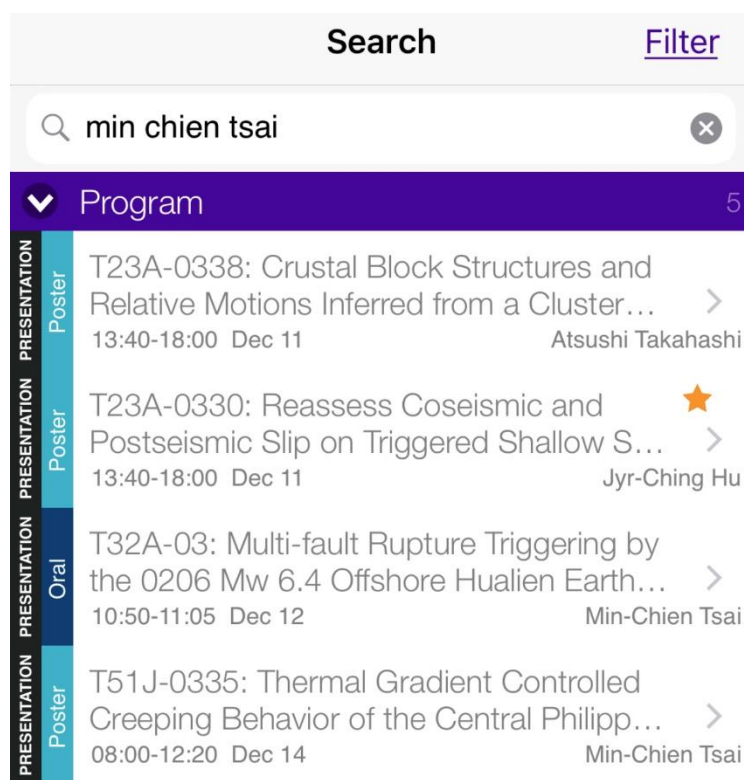


圖3、利用AGU手機APP可以輕鬆找出想要的聆聽的論文與其摘要，此為搜尋結果。

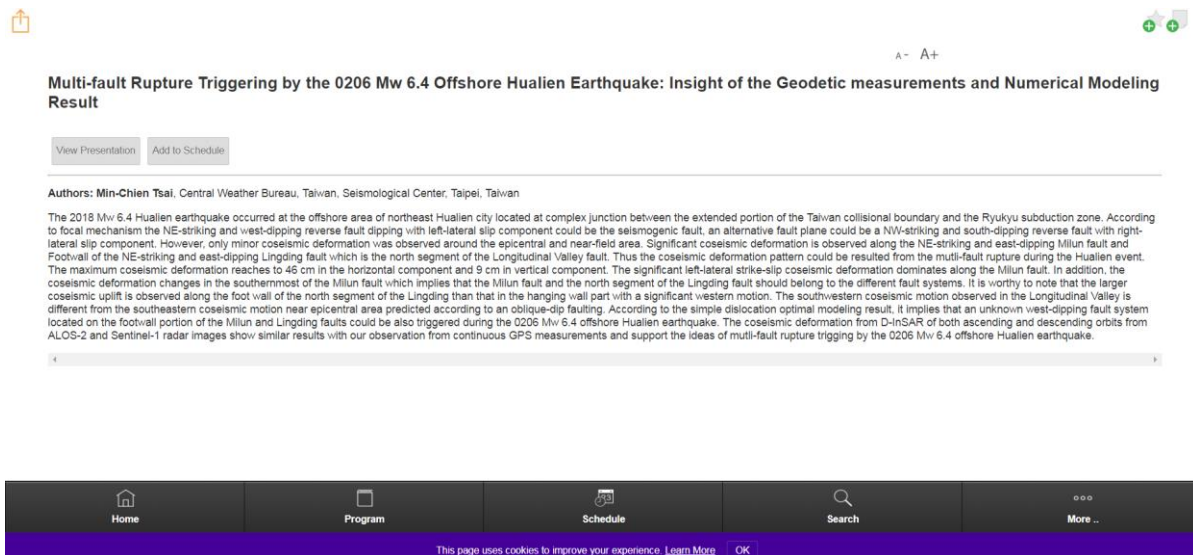


圖 4、報告人口頭論文發表全文，全文可在 AGU 網站尋得。

網址：
<https://ativsoftware.com/appinfo.php?page=Inthtml&project=AGU18&server=eventpilotadmin.com&id=424137>

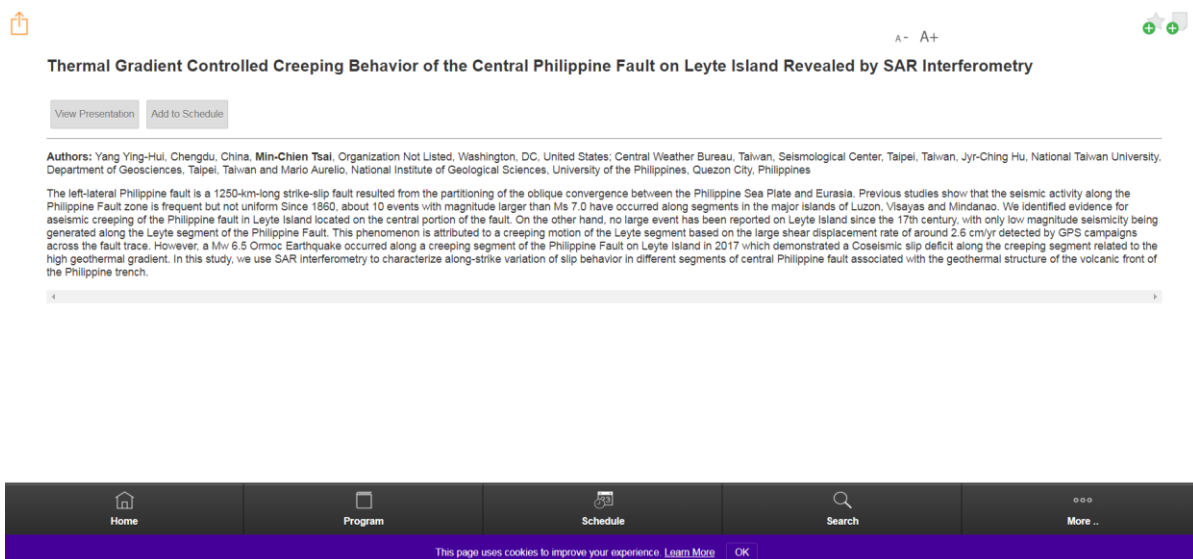


圖 5、報告人海報論文發表全文，全文可在 AGU 網站尋得。

網址：
<https://eventpilotadmin.com/web/page.php?page=Inthtml&project=AGU18&id=425360>

參與本次地球科學聯合大會過程中，學習到許多新的知識，可以運用於中央氣象局業務，內容分述如下：

(一) GPS連續觀測資料解算與分析：

為確保解算成果之正確性，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GPS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。因此，研究中將分析GPS時間序列上的誤差類型以及雜訊特性，建構適合的模型，以期正確估算各項模型參數及其誤差值，進而計算地殼變形量或運動速率。

中央氣象局目前所有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，目前中央氣象局有2套GNSS資料解算系統，一為GAMIT/GLOBK軟體，另一則為2014年引進之GIPSY/OASIS (GPS Inferred Positioning System/ Orbit Analysis and

Simulation Software)。其中，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。而GIPSY/OASIS軟體則採用精密單點定位（Precise point positioning, PPP）技術，利用近年雙頻接收儀器性能的精進，使用精密衛星軌道及多項修正，提升定位精度。2套軟體在解算的功能與結果上各優劣有不同。在GNSS連續觀測方面，目前持續進行資料品質的監控，並嘗試進行GAMIT/GLOBK和GIPSY/OASIS兩套軟體解算結果之時間序列、速度變化以及同震位移的比對，探討造成差異的可能原因並嘗試進行參數修正，確立解算結果之正確性，以期藉由瞭解臺灣地區地殼變動與地震活動間的關連性，找出可能的震前異常，並做為未來各地區地震潛勢評估之依據。

（二）地震觀測資料處理與分析：

地震活動伴隨時間及空間分布變化是地震學研究一個相當重要的議題，研究指出大部分的餘震活動均沿著主震所觸發之破裂帶分布，或者是發生於主震所導致庫倫應力相對增加的區域，特別是地震背景活動最多的地方。從地震資料判定地震活動構造之位置應是直接且合理的途徑，特別是潛存於地殼中的盲斷層，此類活動構造在一般探勘技術上難以充份的調查。因此利用地震資料探索斷層，在深度及大小範圍上有著其他方式無法獲得的優點。藉由精確的地震定位，利用地震分布、震源機制解及應力反演等方式，是有效提供地下活動構造之相關資訊。目前臺灣地區地震網發展完善，除了地震站數目的增加，測網密度與精度也相對提高，更累積了相當豐富的地震資料可供研究使用。長久以來地震學家企圖從地震特性，以及地震發生率等地震研究評估該區之地震潛能，因此許多地震的統計模型、統計理論衍生而出。

例如地震間隔理論（Seismic Gap Hypothesis），每個大地震之間會有一個時間的間隔週期；地震寧靜期（seismic quiescence）也是類似的理論，許多長期地震觀測之研究發現，大地震發生前於震央鄰近區域確實有所謂的地震寧靜期出現。目前臺灣常用的統計模式中有Gutenberg and Richter所提出之a、b值與z值（z值檢定法），常被用來研究地震發震頻率的改變。一般而言，a值與b值應該同時檢視比較，同樣a值較高的情況下，若某地區亦具有較高的b值，則暗示此地區有很多小規模地震發生；反之，若某地區具有較低的b值，則意味此地區不但地震數量多，也較有可能發生大規模的地震。而z值可用來分辨地震頻率的變化，當z值呈現負值時表示該區當時之地震活動度相較於背景地震活動為低，而具有較大之地震潛能。

利用地震紀錄作出臺灣地區b值等值線圖，發現b值的大小和地質分布有極大的

關係，例如：在火山地區有較高的b值，利用不同構造地區之背景地震所計算出的b值可以反應出該地區的地質與構造背景。基本上，b值是否會與空間分布相關與其本身之發震特性有關。挑選臺灣地區1994至1999年集集地震前發生於陸地上或近岸20公里內的地震資料，嘗試瞭解集集地震的地震寧靜期。結果發現在大地震發生前的9個月規模較小的地震明顯減少，b值也大幅遞減。在z值檢定方面，2011年3月11日本東北外海的宮城地震發生前，該地區從1987年起存在一20年的長期z值異常，這些研究都指出地震統計可有效用於潛勢之評估。因此我們的研究將地震活動以統計方法（a值、b值、與z值統計法）估算其活動度，並使用三維速度模型進行地震重定位，求得較高精度之地震活動分布；且使用震源機制解（focal mechanism solution）估計震矩張量總和（moment tensor summation），其值可代表該區平均的大地應力型態。將地震活動度分析結果配合地質調查報告，嘗試找出地震與構造、斷層之間可能的相關性。

（三）臺灣地區的地震帶分區與應用：

臺灣地區主要可分成西部、東部及東北部3個地震帶地震，其成因與地震特性各有不同。其中西部地震帶包括整個臺灣西部地區，主要係因為板塊碰撞前緣的斷層作用而引發地震活動，震源深度較淺，由於人口稠密，因此大地震容易造成災情。而東部地震帶係直接肇因於菲律賓海板塊與歐亞板塊碰撞所造成，地震頻率高，震源深度較淺，有70%的東部地震都是發生在外海地區。最後，東北部地震帶係受沖繩海槽擴張作用影響，多屬深層地震，並伴隨有地熱與火山活動現象。

根據中央氣象局地震測報中心統計結果顯示，臺灣地區每年約發生36,000個以上的地震，根據不同區域的地震特性，所可能導致的災情也不相同。而地震活動伴隨時間及空間分布變化是地震學研究一個相當重要的議題，研究指出大部分的餘震活動均沿著主震所觸發之破裂帶分布，或者是發生於主震所導致庫倫應力相對增加的區域，特別是地震背景活動最多的地方。從地震資料鑑定地震活動構造之位置應是直接且合理的途徑，特別是潛存於地殼中的盲斷層，此類活動構造在一般探勘技術上難以充份的調查。因此利用地震資料探索斷層，在深度及大小範圍上有著其他方式無法獲得的優點，特別是具有巨大破壞力的震源往往發生於上部地殼之底部，深度通常在10公里附近，藉由精確的地震定位，利用地震分布、震源機制解及應力反演等方式，是可以有效提供地下活動構造之相關資訊。

（四）花蓮地區孕震構造機制探討：

2018年花蓮地震，主震發生於2018年2月6日23時50分41.6秒（UTC+8），其震央位於臺灣花蓮縣近海，地震規模為 M_L 6.2、 M_w 6.4，震源深度6.3公里。此次地震是臺灣繼2016年高雄美濃地震後最嚴重的一起地震，而其中主震正好發生在前述地震的兩周年。本次地震災情主要集中在花蓮縣花蓮市，位於該市的統帥大飯店大樓一、二樓倒塌，飯店中一度有17人受困，「雲門翠堤大樓」呈現45度傾斜，遠東百貨花蓮店舊址大樓結構受損有安全疑慮而必須拆除，而位於國盛六街的住宅社區大樓「白金雙星」及「吾居吾宿」低樓層更遭到壓毀。本次地震前後發生了多次芮氏規模5以上之地震，其中最大前震發生於2018年2月4日21時56分40.6秒，震央位於花蓮縣近海，地震規模為 M_L 5.8，震源深度10.6公里。在本次地震震央附近曾發生過多次規模6以上的地震，如在1951年、1966年、1972年、1986年、2002年、2009年、2013年。其中1951年的花東縱谷地震序列最常被拿來與本次地震作比較。1951年縱谷地震系列又稱為1951年花蓮-台東地震系列，由米崙斷層、玉里斷層、池上斷層錯動引起。該地震是一個系列地震，從1951年10月22日至1951年12月5日分別在臺灣東部地區發生，其中最大的兩個地震芮氏規模達7.3，分別在10月22日和11月25日發生。這場地震系列共造成85人死亡。在地震序列發生前，大家對於長達150公里的花東縱谷不甚了解，甚至有學者判定其為盲斷層；直到此次地震發生，及透過後續地質考察及許多方式研究，才將其列為活動斷層。且因為正個地震序列破裂的時間，方式，震源機制解接不相同，因此有了今天整個縱谷斷層不同的地質活動斷層分段。

本次花蓮地震的主震與過去歷史災害地震之發震地點相當接近，皆發生在近岸而非陸上，但在地表的同震位移最非常大。且在主震之後發震一系列規模不小的餘震持續往內陸延伸，因此2018年花蓮地震引起許多地質構造學門上的討論。例如，米崙斷層是否延伸入海，是否為本次地震的發震構造。經事後野外考察，本次地震的確引起許多地表破裂，且相當接近米崙斷層，因此縱說紛紜。國立臺灣大學地質系教授陳文山表示，此次地震落在2、3年前劃的米崙斷層地質敏感區裡面，並認為米崙斷層是有活動過的，因此在活動並不無可能。然而米崙斷層是否真的延伸入海，為本次的主要孕震斷層，還需要更多研究成果方能得知。雖說花蓮地區原本就是板塊正面撞擊的地方，板塊非常破碎，能量累積得相當快，地震活動相對也就頻繁，根據中央氣象局的統計結果顯示，由發震至2月7日中午前，相關餘震已超過130起，根據其發生頻率，轉換成釋放能量，可以預估花蓮地區的孕震潛能。報告人利用GNSS地表同震位移配和地震分布的數值模擬顯果顯示，米崙斷層的確有錯動，但主要來自於主震的誘發，且米崙斷層向南延伸可能還有一未知的孕震構造存在。由此可見，地質知識的瞭解，斷層活動監測，與地

震統計研究為息息相關密不可分。

(五) 持久性散射體合成孔徑雷達干涉 (PS-InSAR) 概述與資料處理：

合成孔徑雷達差分干涉法 (Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar, DInSAR) 為利用2至4幅不同時間、相同區域之InSAR影像去獲得此時間差內目標物的位移。因干涉影像的相位資料包含了變形位移及地形效應，因此藉由相減此兩張InSAR影像消除原始地形效應，便可獲得此時間差內目標物的變形位移變化，DInSAR量測地表位移的相位變化遠大於地形造成的相位差，因此此技術對於測量地表變形具有相當高之敏感度和精度，可獲得公分級的準確度，現今多用於監測同震變形 (例如本次套討之美濃地震同震變形)、火山噴發與地層下陷等地表變形。但臺灣地區由於地形高低起伏及植被的影響，易因雜訊過高而較不易產生良好的干涉圖，對長時間的變遷監測而言，可能無法確保良好正確的成果，因合成孔徑雷達影像品質的好壞受時間基線、空間基線、影像Doppler中心頻率差異以及地形坡度等影響，當雷達影像品質不好時便會失去影像同調性，進而影響結果之精度，因此便改良發展出合成孔徑雷達差分干涉此技術。

本論文發表中所使用之合成孔徑雷達干涉技術(Interferometry Synthetic Aperture Radar, InSAR)為利用衛星繞行軌道的方式，拍攝同一地區不同時間的SAR影像，SAR影像紀錄了振幅及相位之複數資料(Complex Data)，振幅反映回波的強度，與地表坡度及平滑程度有關，相位反應天線和地面目標物的距離、大氣延遲效應及電磁波和地表的交互作用。利用振幅比對可做影像套和，再利用相位資料處理干涉，因距離變化會造成雷達波訊號產生相位差(phase difference)，此相位差會以干涉條紋(fringe)的形式呈現，便可利用相位值的差異來獲取地表三維資訊，並且利用衛星側視的三角幾何條件，以干涉技術(Interferometry)獲得地表高程資料。將結果配合地震與其他地球物理資料可做聯合反演推得可能的孕震構造與發震特性。

三、與會心得

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，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，具有極大潛能發生致災性地震。自二十世紀以來，臺灣曾經發生多次規模大於6的地震，例如1906年梅山地震，1941年中埔地震，1964年白河地震等。尤其是西部麓山帶區域有一系列逆衝斷層，其中1999年9月21日所發生的集集地震，破裂長達100公里之車籠埔斷層亦屬於前述之變形前緣逆衝斷層帶，更是臺灣地區活動地震帶之一。於地質構造學上，前緣逆衝斷層及隱伏逆衝斷層的發育所造成的地殼破裂及地殼變形危害性最大。因此，當有較大地震發生時，連續觀測的GPS資料可以有效的用於震前、同震和震後變形之相關研究，獲知地殼應變累積、能量釋放過程、及震源斷層之力學性質。另外，GPS時間序列的資料中也包含了許多有用的訊息，除了最顯著的板塊運動訊號之外，還有許多可能源自固體潮、季節更替之不同週期的微小變化，或是時間相關的誤差、斷層無震滑移的訊號等。藉由GPS 資料分析座標變動與時間、空間的關係，配合時間序列分析（Time series analysis）及其他相關研究，可掌握臺灣地區地殼變形的時空變化。此外，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（Blind fault），致災潛能最高。

臺灣地震觀測紀錄始於1897年，到目前已超過百年，根據測站數目及儀器設備的規劃，地震觀測可以分為4個時期。第1個為日據時期（1898至1945年），日本人對於地震的重視，開始將地震觀測納氣象觀測站裡，當時全臺僅有15個地震觀測站，偵測能力也不高，僅有規模大於4的地震事件可以被偵測；第2個時期則是二次大戰結束後（1946至1972年），因經濟蕭條地震觀測也隨之衰退，直到1951年花蓮、臺東地區分別發生規模超過7.0的大地震（花東縱谷地震系列），因此在觀測站增設了當時最新型的強震儀。1964年嘉南白河烈震後，我國與美國合作在陽明山鞍部設置了世界標準地震站，也因此使臺灣成為世界地震觀測網（World-Wide Standardized seismographic Network；簡稱WWSSN）的一員；第3個時期為1972~1990年，1972年花蓮瑞穗發生強震，於是當時的國家科學委員會地震研究小組籌備處（今中研院地球科學研究所之前身），開始在全臺建立現代化的地震觀測網－臺灣地區遙記式地震觀測網（Taiwan Telemetered Seismograph Network，TTSN）。TTSN的建置有劃時代的意義，象徵臺灣地區地震觀測正式進入弱震觀測時期，大量蒐錄的地震資料並確認了臺灣地區板塊活動特性，並明確的看出南北兩個隱沒帶的構造形式；最後一個時期則從1991年開始至今，TTSN的

系統和中央氣象局的系統合併加上一些新的測站，形成遍佈臺灣地區的觀測系統—「中央氣象局地震觀測網」(Central Weather Bureau Seismic Network, CWBSN)，傳承了TTSN豐富的地震觀測經驗，從1991年後臺灣進入更細緻化的地震觀測時代，根據CWBSN各測站檢測震波之能力，其觀測效能已進入微震觀測程度。CWBSN於2005年後開始建置的新一代地震觀測網，除著手更新現有即時地震觀測站之外，更新建置了高品質的井下地震儀觀測站，與東部海域海底地震觀測站，大幅提升地震紀錄品質與擴展地震監測範圍，資料豐富可用於地震速報、防災或是研究，且可偵測到的最小地震規模（最小完整地震規模， M_c ）下降至1.5以下。因此，目前中央氣象局擁有非常豐富的地震資料可以用於研究討論中。

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，然而，根據彈性回跳學說，地震為地殼受板塊作用擠壓而不斷的累積能量後快速釋放所造成，因此地殼形變與地震間有確實存在的關聯性。地震活動監測為中央氣象局重要業務之一，擁有豐富的地震資料可供研究。在GNSS連續觀測方面，目前持續進行資料品質的監控，並嘗試進行GAMIT/GLOBK和GIPSY/OASIS兩套軟體解算結果之時間序列、速度變化以及同震位移的比對，探討造成差異的可能原因並嘗試進行參數修正，確立解算結果之正確性，以期藉由瞭解臺灣地區地殼變動與地震活動間的關連性，找出可能的震前異常，並做為未來各地區地震潛勢評估之依據。另外，PS-InSAR是一套近年流行實用度高且免費的技術，但似乎並未在局內廣泛應用，非常可惜。

本次的與會心得可以精簡成下列幾點：

1. 在本次會議中，向與會國際相關領域學者專家介紹了中央氣象局在地球物理的最新成果與未來方向。
2. 中央氣象局之全球衛星定位系統連續觀測網資料之解算、分析，與前兆相關應用之最新成果，於論文發表的過程都獲得充分的展示。
3. 藉由本次的會議參與，聽到的許多精彩的演說，不僅幫助瞭解國際上地球科學發展，尤其在大地測量、地震前兆分析技術的開發以及實際防災應用的情形與效益，可做為未來研究方向規劃之參考。
4. 在與會過程中，遇到與多同事先進，更有許多從事相關的學門的國外專家學者，藉由與國內外學者的討論交流，開啟未來可能合作的契機。

可以有機會參加本次AGU會議，報告人感覺非常榮幸且興奮，為期5天的會議，不只聽到了許多精彩的演講，更獲得機會與各國的專家學者相互交流討論。此外有關於前兆相關研究的演講也令報告人習得良多。除了我們一般常見的電離層、地下水、應變儀、地震活動、或是gamma ray等，真是大開眼界。與會的這幾天，大會安排了許多測地學方面之海報與口頭論文發表，報告人除了聽取來自各國有關大地測量研究的簡報之外，還看了一些有關大地測量的研究海報。藉此機會與有關此領域的各國專家學者互相討論，不僅是藉由討論修正自我研究的內容，還了解到許多各國學者目前正在研究的議題，充分啟發我們研究的靈感，得知我們未來所需努力的方向。另外，報告人也看了許多其他研究領域的海報，吸收到許多其他領域目前正在進行的研究方法，發現這些研究方法是值得效法與學習的。比較可惜的是，報告人在出國前扭傷了腳踝，幾乎都需要拐杖支撐才可行走，所以取得照片較少，無法留下太多紀念。即使如此，參與本次AGU會議真的是收穫豐碩，希望下次還有機會讓個人所負責業務與研究都更進步，更上層樓。

四、建議

參與本次AGU會議，總整後有以下幾點建議，可供中央氣象局未來研究參考之方向。

- (一) 臺灣處於地震、海嘯頻繁侵襲的危險區域，因此就地震監測、海嘯警報與地震預警系統方面之實務經驗與維運技術，未來仍應持續加強國際技術交流，可有效提升我國相關防災知識與技能，進而提昇我國於國際社會地震與海嘯防災領域的地位。
- (二) 就地球物理資料方面，由於目前中央氣象局僅設置 6 座地下水研究井，相較於日本對於地下水與前兆相關之分析研究，中央氣象局仍缺乏豐富的地下水資料。因此，如何新增設置地震地下水觀測站，並學習雜訊濾除的相關技術，是目前有待加強的地方。
- (三) 相較於其他國家，臺灣擁有更高之全球衛星定位系統（GPS）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GPS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。
- (四) 地震活動概況與活動度分析：依地質、地震、與構造等將臺灣劃分成幾個不同的構造區塊，除背景地震活動分析之外，將會針對地震活動度做統計性分析。其中會採用幾個常見的指標（例如：a值、b值與z值）做例行性分析，並進一步分析區域與全區之震源機制解與估計震矩張量總和。
- (五) 地殼變形與地震活動之相關性探討：經時間序列分析後之GPS連續觀測資料，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，作為地震潛能評估之依據。

附圖 1、華盛頓地區的地鐵線系統分布圖。



附圖 2、2018 年 AGU 聯合大會唯一的地點連接出口。照片左邊可以隱約看到與會人潮。

(二) 大會註冊處 (附圖 3)，因為報告人在週日前一天下午就前往註冊，以避免人潮造成腳傷更重。服務人員都非常親切。可以拿到與會吊牌之外，還有一本議程書，與一張小的地圖，不會讓你在華盛頓迷路 (附圖 4)，因為與會人潮眾多，所以每處都設有一個諮詢臺，可以詢問會議地點等相關問題 (附圖 5)。

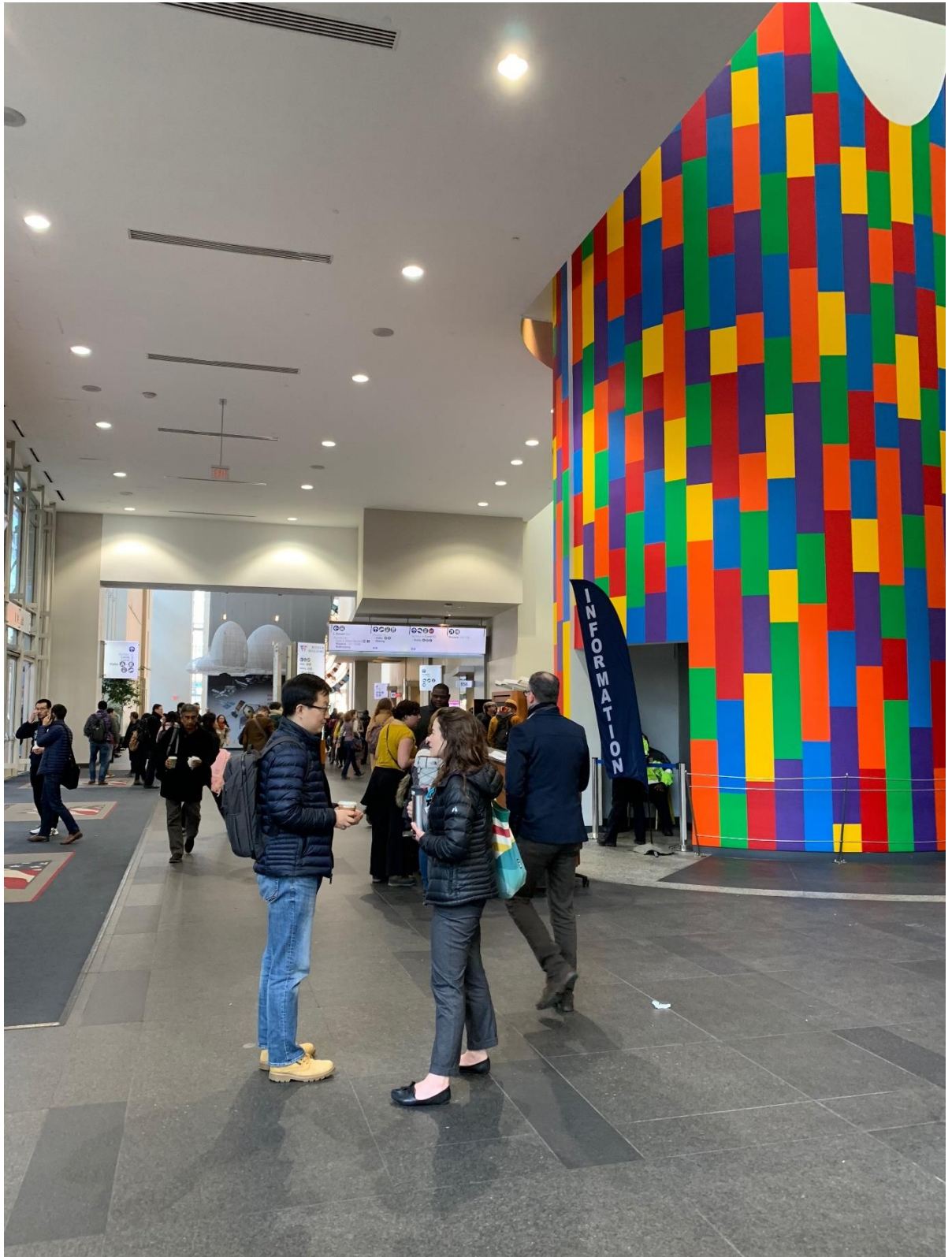


附圖 3、會議報告註冊處。圖中吊牌繩子的顏色代表不同領域，在會議開始前大會將寄發一封電子郵件，裡面有報到掃描條碼，若出國前提前印出並攜帶至會場，只

需掃描條碼就可列印出個人的大會 ID 吊牌，相當便利且科技化，註冊不用排隊太久。



附圖 4、註冊後拿到的議程書、吊牌(沒有吊牌是無法進入會場的，公安控管相當嚴格)，而橘色的小本子其實是折疊過後的會場附近地圖與會議各不同樓層的地圖，沒有這個相當容易迷路。



附圖 5、會議人潮，其中彩色馬賽客裝飾的地區為資訊服務處。整個會場有幾十個服務點，對於像到告人一樣非常容易迷路的人來說，是非常便利且貼心的設計。

(三) 因為聖誕節即將來臨，會場有許多的聖誕裝飾（附圖 6），增添不少節日氣氛，聖誕樹後棉也是一個諮詢處喔。



附圖 6、充滿濃濃聖誕氣氛。帶點奢華感的會場，讓會議感覺不是那麼嚴肅反而多些趣致。會場中很多處都有聖誕裝飾，通常會成為大家集合約定討論交流的地點。

(四) 本來以為這次舉辦在華勝度特區應該不會有太多臺灣學者參加，因為路途真的非常遙遠，在飛機上回程時的時差就快跨過 2 天，但是沒想到還是遇到許多臺灣來的老師、教授、研究員、學生等等。真的是他鄉遇故知，非常窩心(附圖 7)。今年度的海報區，為個人畢生參加多次 AGU 以來最盛大的一次，整個海報區由西向東共有快 5000 組海報論文，受扶梯出口就有四個以上，聲勢浩大(附圖 8)。



附圖 7、途中可以看見許多中研院、臺灣大學與其他大學來的老師與學者。照片攝影在海報區，大家都非常熱切的討論著。



附圖 8、瘋狂爆滿的海報區。照片中攝影的只是一部分。另外還有一大半部，非常壯觀。