

出國報告（出國類別：國際會議）

參加 2017 年美國地球物理聯合會秋季大會

服務機關：交通部中央氣象局

姓名職稱：蔡旻倩技士

派赴國家：美國

出國期間：106 年 12 月 7 日至 18 日

報告日期：107 年 3 月

摘要

美國地球物理聯合會秋季大會是由美國地球物理聯合會（American Geophysical Union, AGU）主辦，此會議原本固定於每年的 12 月於舊金山舉行，但今年改變舉行地點，將此大型會議移至紐奧良舉辦，該市是一個非常富有文化特色的城市。此會議廣邀各國從事地球科學相關之研究學者，供大家發表研究成果與互相交流的機會。該會議的規模可說是地球科學相關學門中，最大型的年度會議。中央氣象局（以下簡稱氣象局）對於地震前兆與地球物理相關研究有卓越的成績，因此該局地震測報中心蔡旻倩技士參加此次國際研討會，並發表口頭論文與海報論文共兩篇如下：（1）口頭論文：「Significant strain accumulation between the deformation front and landward out-of-sequence thrusts in accretionary wedge of SW Taiwan revealed by cGPS and SAR interferometry」。（2）海報論文：「Source model and Coulomb stress change of 2017 Mw 6.5 Philippine (Ormoc) Earthquake revealed by SAR interferometry」。參與本次國際研討會可以幫助瞭解國際上地球科學發展，尤其在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，有助氣象局未來業務規劃之參考。本文將介紹研討會過程及最新研究成果，並提供研討會後心得及建議。

目次

一、目的	4
二、過程	8
三、與會心得	20
四、建議	23
附錄一 參考文獻	24
附錄二 與會點滴及照片	24

一、目的

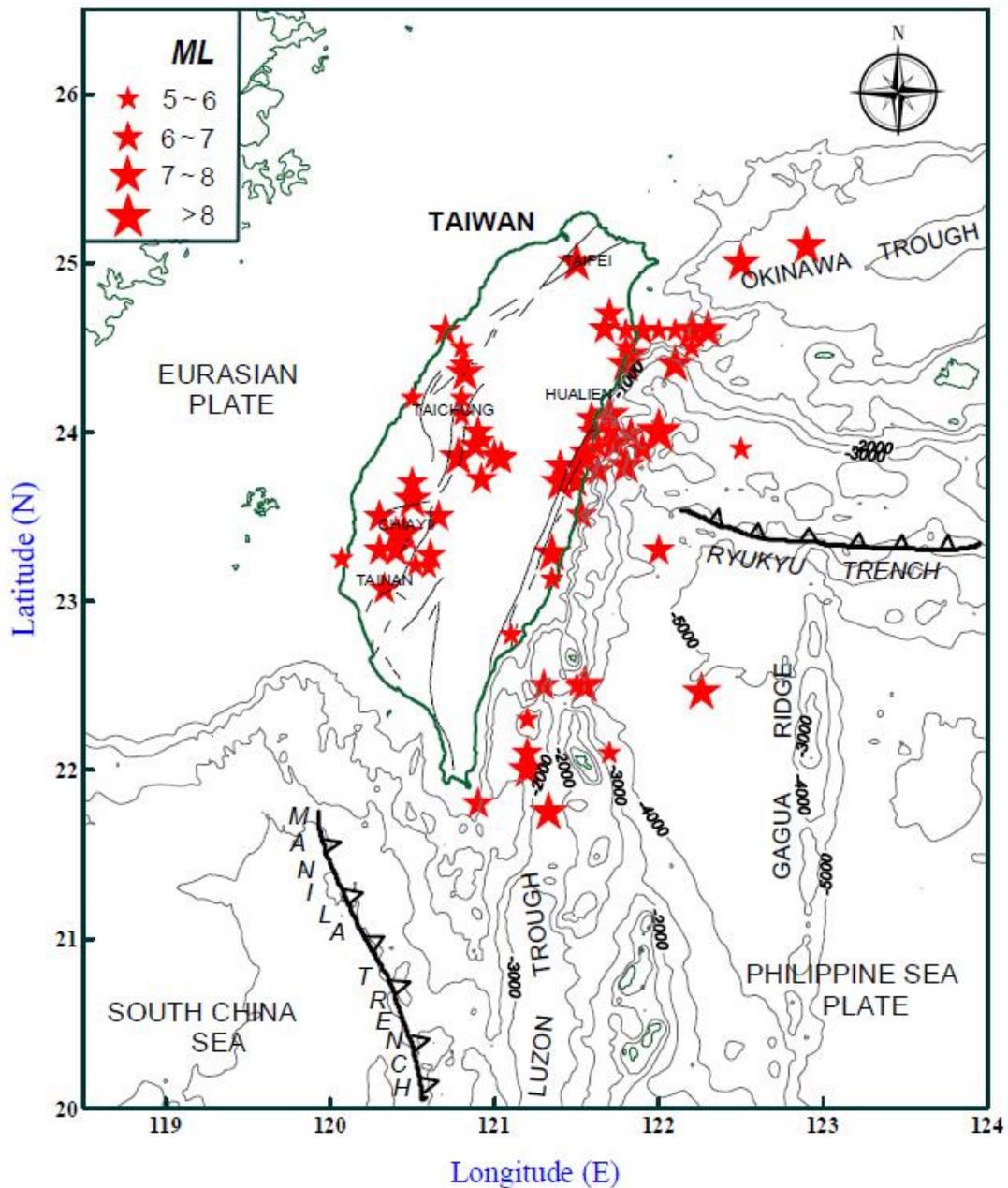
全球衛星定位系統（Global Positioning System, GPS）原是美國海軍於 1973 年為了軍事導航及定位的需要而研發，其發展至今已三十多年。隨著美國 GPS 及俄羅斯 GLONASS 現代化計畫展開與歐盟 Galileo 衛星即將發射，宣告著全球導航衛星系統（Global Navigation Satellite System, GNSS）時代來臨。GPS 使用者在全世界任何時間與地點皆可將位置定到公分級的精度。而定位精度的提升，開發了許多新的應用領域，近年來，全球衛星定位系統已成為地殼變形及地體動力學研究的利器。GPS 衛星大地測量方法，克服了傳統測量方法中測量範圍的限制，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。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，圖一）。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，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 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。

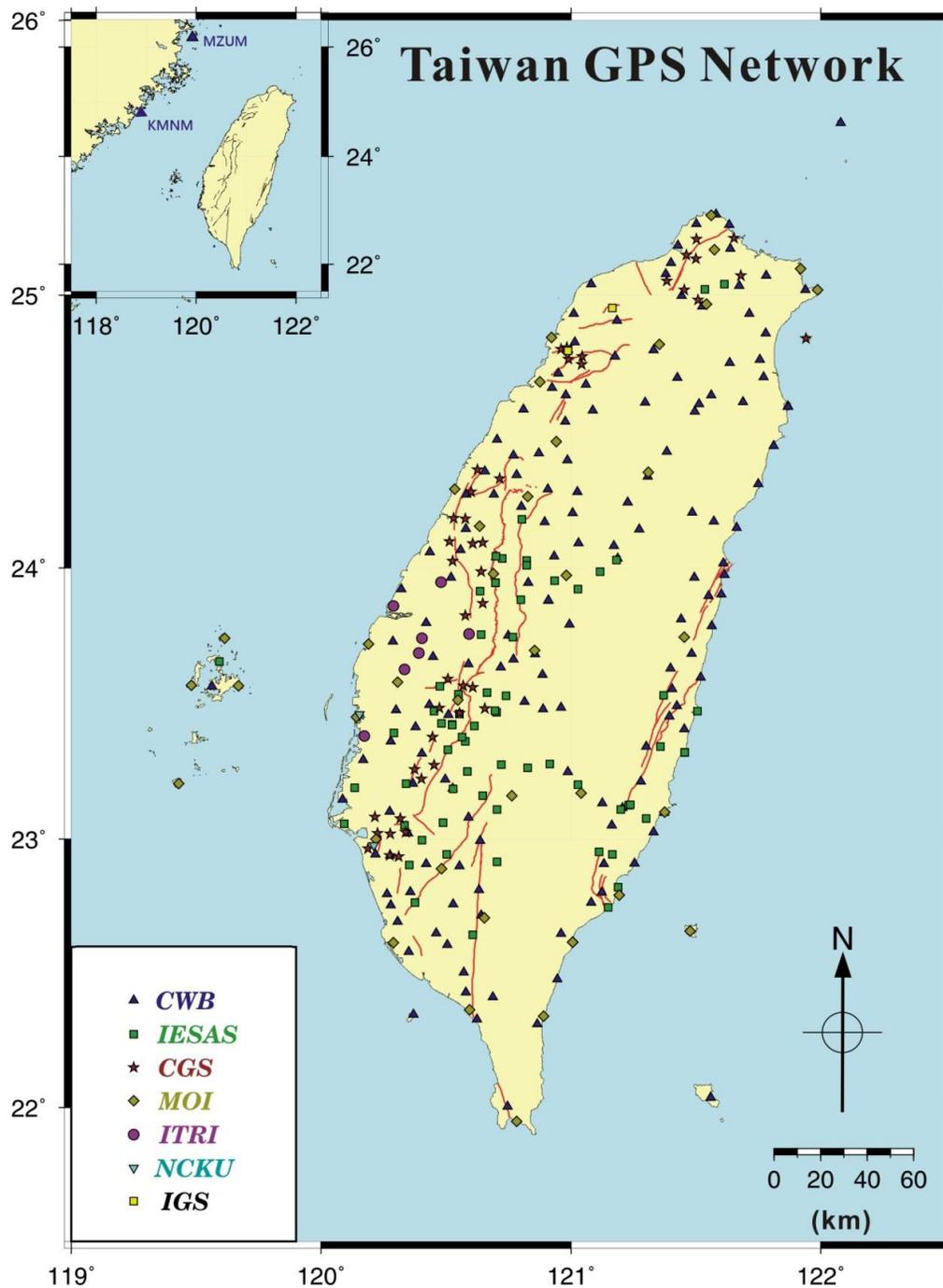
近年來隨著全球衛星定位系統相關應用的技術日趨成熟，世界各國亦投入資金發展各自的導航系統，包含俄羅斯的 GLONASS、歐洲的 Galileo、日本的 QZSS 和中國大陸北斗衛星系統 Beidou 等，現已發展成多星軌道之 GNSS。氣象局自 1994 年開始設置永久性的 GPS 連續觀測站，而在 1999 年集集地震發生後，有感於地殼變形監測之重要性與測站密度之不足，中央氣象局更配合科技部「地震及活斷層研究」跨部會整合計畫，逐年擴建 GPS 連續觀測網，並於 2012 年起將測站儀器陸續更新成 Trimble NetR9 後，開始接收 GLONASS 和 Galileo 等多星系統資料，將連續觀測網提升為 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（圖二），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。



圖一、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。



圖二、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 (ITRI)、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「AGU」為全球兩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月於舊金山莫斯科會議中心（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，2017年AGU研討會改在富有爵士氣息及文化特色的紐奧良國際會議中心舉辦，使會議增添許多趣味性。

本次蔡旻倩技士前往紐奧良參加之2017年AGU秋季大會（Fall Meeting），今年為第49屆，會議日期為12月11日-15日五天，會議包含1,700個議題（sessions），超過22,000篇口頭文章發表及壁報展出，共計超過24,000名各國人士與會。世界各國的科學家和相關廠商都會利用此機會互相交流與學習。本次會議主題計有以下26項幾項：

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. 大地測量(Geodesy)。
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) ◦

蔡旻倩技士出國與會行程表如下：

日期	地點	工作摘要
106 年 12 月 7 日	桃園-美國路易斯安那州紐奧良市	12 月 7 日於臺灣桃園國際機場出發，當日上午在美國紐約轉機後抵達美國路易斯安那州紐奧良，並搭乘交通工具至市中心旅館。
106 年 12 月 8 日至 12 月 10 日	美國路易斯安那州紐奧良市	私人行程並整理與準備論文發表。
106 年 12 月 11 日至 12 月 15 日	美國路易斯安那州紐奧良市	參加 2017 年美國地球物理聯合會秋季大會，並發表口頭論文與海報論文共兩篇如下：(1) 口頭論文：「Significant strain accumulation between the deformation front and landward out-of-sequence thrusts in accretionary wedge of SW Taiwan revealed by cGPS and SAR interferometry」。(2) 海報論文：「Source model and Coulomb stress change of 2017 Mw 6.5 Philippine (Ormoc) Earthquake revealed by SAR nterferometry」。
106 年 12 月 16 日至 12 月 18 日	美國路易斯安那州紐奧良市-桃園	12 月 16 日於紐奧良市中心出發，搭乘飛機至紐約甘迺迪國際機場轉機，再搭乘長榮航空航班 BR31 返國。 於 12 月 18 日早上抵達臺灣桃園國際機場。

AGU研討會為相當大型會議，由於需要控制論文發表量，並考慮議程的長短，因此每位與會者依大會規定只可以發表一篇論文，蔡技士在海報論文發表非第一作者，為報告者（presenter），因此有機會發表兩篇論文。茲將蔡技士發表之內容（海報）與摘要（口頭）

置於圖三、四如下：

2017/8/1 Submission Completed

Your abstract has been submitted for the 2017 AGU Fall Meeting. You will receive an email confirmation.

Click [HERE](#) to print this page now.

This page indicates that you have completed your abstract submission and an email confirmation will be sent to you.

If you do not receive an email confirmation, please contact agu@confex.com to ensure your abstract was submitted and to have a confirmation email sent to you.

This confirmation does not guarantee that your abstract was accepted and only confirms that your abstract will be submitted for consideration by the Program Committee.

In this system, there is no 'Draft' option. Once the abstract is submitted, you may review, edit or withdraw your abstract until the deadline of **2 August 2017 23:59 EDT/03:59 +1 GMT**.

Do not withdraw a paid abstract submission if edits are needed or to begin a new submission. You may make any edits to your abstract until the submission deadline.

Abstract fees are nonrefundable.

Once submitted, your abstract will need to be withdrawn if you no longer wish to have it considered by the Program Committee.

Significant strain accumulation between the deformation front and landward out-of-sequence thrusts in accretionary wedge of SW Taiwan revealed by cGPS and SAR interferometry

Min-Chien Tsai, Central Weather Bureau, Taiwan, Seismological Center, Taipei, Taiwan

Abstract Text:

High strain accumulation across the fold-and-thrust belt in Southwestern Taiwan are revealed by the Continuous GPS (cGPS) and SAR interferometry. This high strain is generally accommodated by the major active structures in fold-and-thrust belt of western Foothills in SW Taiwan connected to the accretionary wedge in the incipient arc-continent collision zone. The active structures across the high strain accumulation include the deformation front around the Tainan Tableland, the Hochiali, Hsiaokangshan, Fangshan and Chishan faults. Among these active structures, the deformation pattern revealed from cGPS and SAR interferometry suggest that the Fangshan transfer fault may be a left-lateral fault zone with thrust component accommodating the westward differential motion of thrust sheets on both side of the fault. In addition, the Chishan fault connected to the splay fault bordering the lower-slope and upper-slope of the accretionary wedge which could be the major seismogenic fault and an out-of-sequence thrust fault in SW Taiwan. The big earthquakes resulted from the reactivation of out-of-sequence thrusts have been observed along the Nankai accretionary wedge, thus the assessment of the major seismogenic structures by strain accumulation between the frontal décollement and out-of-sequence thrusts is a crucial topic. According to the background seismicity, the low seismicity and mid-crust to mantle events are observed inland and the lower- and upper- slope domain offshore SW Taiwan, which rheologically implies the upper crust of the accretionary wedge is more or less aseismic. This result may suggest that the excess fluid pressure from the accretionary wedge not only has significantly weakened the prism materials as well as major fault zone, but also makes the accretionary wedge landward extension, which is why the low seismicity is observed in SW Taiwan area.

Key words: Continuous GPS, SAR interferometry, strain rate, out-of-sequence thrust.

圖三、蔡技士口頭發表之摘要內容。

參與本次地球科學聯合大會過程中，藉由口頭發表及海報張貼論文，與各國相關領域人員交流討論，學習到許多新的知識，可以運用於氣象局業務，以下就蔡技士發表之2篇論文分項摘要說明其研究內容如下：

(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，蔡技士於執行之科技部計畫中將分析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。

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，目前氣象局有兩套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（圖五、圖六），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。兩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，是可以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 (1944)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。Wu and Chiao (2006)挑選臺灣地區1994~1999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。因此蔡技士之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) 地殼應變率之估算：

原始的估算方法有可能會造成不正確或錯誤的訊息，若將方法加以改進提出新的應變估算模式，將可得到更佳的结果。條件為，必須使用以下四個約制，分述如下：(a) 使用泰森多邊形(Voronoi cell)來劃分每個測站所代表的面積範圍，並依據面積大小給予適當的權重。(b) 使用內插速度場之梯度計算應變率。(c) 每次估算所使用的D值(特徵長度)不同，D值必須使內插點得到良好包圍並具有4個以上的觀測站，且包圍測站所組成的多邊形面積最小。(d) 於沒有測站的地區速度場可能發生不合理之變化，所以需要再平滑化最後的速度場。泰森多邊形是由連接兩鄰點直線的垂直平分線組成的連續多邊形，按照最鄰近原則劃分平面，所以此多邊形估算所得之面積會與測站密度相關，用來權重可

以反應測站密度這項因子。內插速度場之梯度進行估算則可以加強測站之間的關連性，降低速度場突變的影響。當內插點位於邊界，有可能造成所選取之D值很大，此時可變更其最大範圍避免強行內插而產生不合理的結果。在無觀測站處最後所做的平滑化，其原則為使用與內插點第三接近之測點間距，以內插點為中心，圍出邊長為此距離之正方形，搜尋落在正方形內之所有格點，此些格點之速度平均值即為內插點（正方形中心點）的速度。此方法在GPS連續觀測站站密度高但分布不均的臺灣西南部，估算結果將較為精確，也可看到更細微的地殼變形或前兆相關訊號。

（四）基線變化分析：

基線泛指測站與測站兩兩相對所得到長度變化，蔡技士之研究將選定臺灣西南部地區40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，因此未來如用於氣象局作業中，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。另外，基線的變化分析來自於原始資料，而應變率的估算則來自處理過且經過許多修正之速度場估算而得，若兩者結果一致且可相互配合，則可能得到應變在大地震來臨前於時間域或空間域的異常，進而找出高孕震潛能地區。

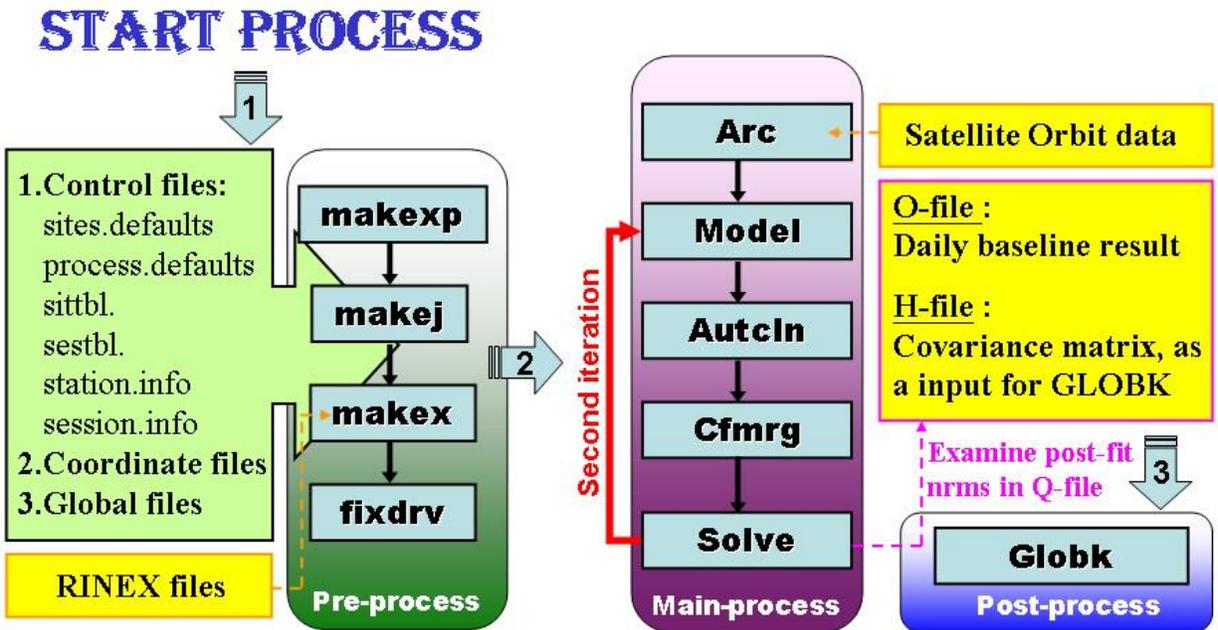
（五）地殼變形與地震活動之關連性分析：

經過時間序列分析修正後的GPS速度場，可以計算與分析地表應變特性，或是做跨斷層的速度剖面分析，配合地震活動之分布，有助於觀測站址的選擇及地震危害度分析。跨斷層之速度剖面分析，有助於瞭解斷層現今的活動形式，而在非活斷層地區若有明顯速度不連續或梯度變化，暗示著該處可能為一個能量累積之邊界。

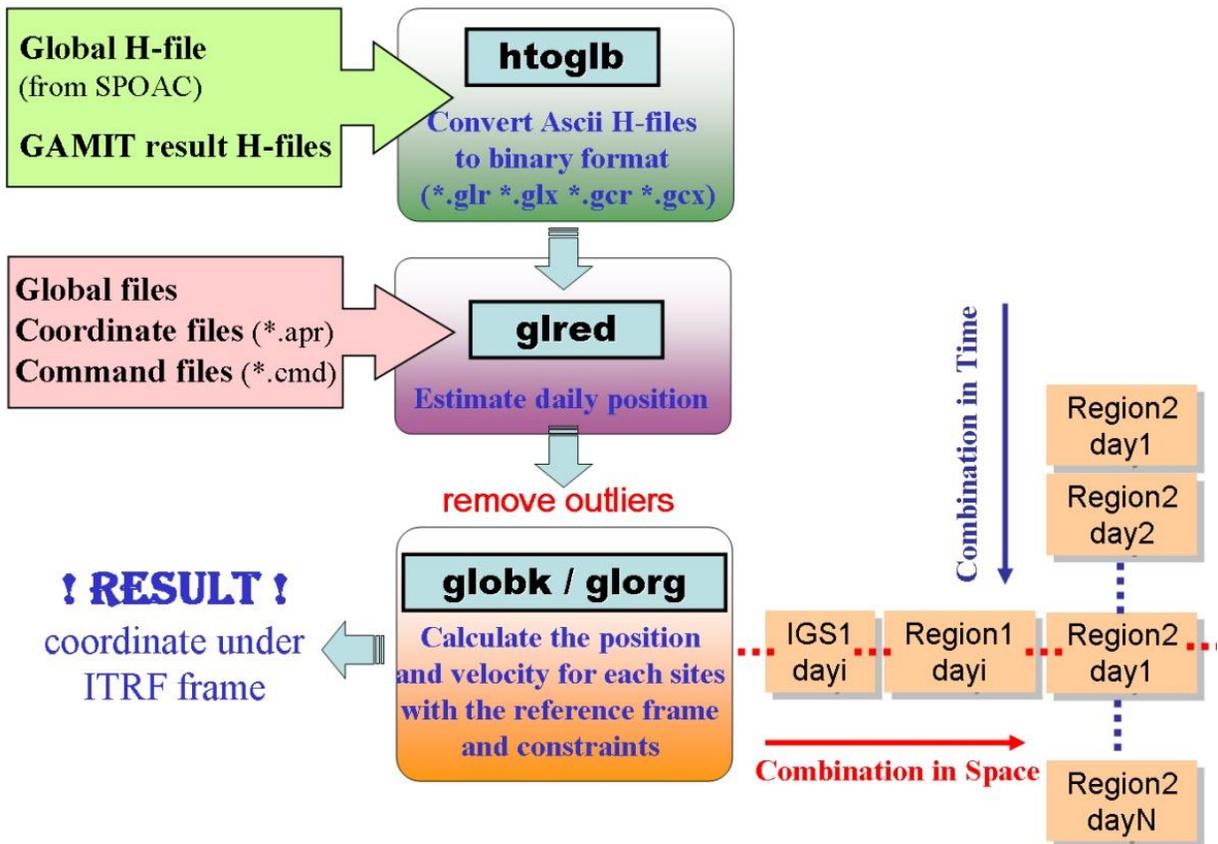
應變估計可以了解應變率於空間中變化情形與斷層活動、板塊運動之間的關係，也可與地震震矩張量總和估計結果互做比對。震源機制所反應的是地殼應力與構造環境的綜合效應，當大地應力克服了地層破裂強度而產生斷層錯動時，其現象可簡單劃分為二，一

為地層強度太弱，一為地殼應力太大，而此兩種現象所產生之震源機制結果不同。當地層構造為均質強度時，震源錯動會沿著最大剪應力方向產生，而地層構造強度不均時，震源錯動則會沿著原先斷層中的脆弱帶發生移動，因此震源機制解可用於推求大地應力的方向。而地殼應變率則同時反映出地震與無震（aseismic）兩者的貢獻，地表之應變率和速度之梯度、地下之斷層幾何密切相關，例如：間震期斷層的滑移愈接近地表，或傾角愈陡，在地表較窄的區域即可觀測到明顯之速度變化，進而得到較大之應變率。因此，兩者相互比較可有效瞭解之區域構造中因地震與非地震所影響之平均應變量，若配合時間變化作分析，更可瞭解應力型態轉變與構造之間的關連性，進而評估該區之地震潛能。

另前述地震活動分析結果，若配合地質構造概況，或進一步使用不同地殼變形模式逆推，將有助於瞭解對臺灣不同地區之可能構造形式或分析斷層活動度，進一步評估該區之地震潛能，作為提供地震危害度分析之重要依據。



圖五、 GAMIT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。



圖六、GLOBK解算流程圖，包含前資料轉換（htoglb）、計算每日解（glred）與合併解算（globk / glorg）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。

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。

中央氣象局地震觀測網在1991年後進入細緻化的地震觀測時代，觀測效能已進入微震觀測程度。尤其於2005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，大幅提升了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、更或是研究，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。發生於2016年高雄地區的美濃地震，就是一個相當好的例子。該區的地殼變形速度極快約50~55 mm/yr，但卻極少有地震，在過去的前人研究都認為是一個不易孕震的區域，然卻發生了大樓倒塌的事件並導致100多人的死亡，因此美濃地震在蔡技士之研究期末報告書中，將會被詳細的探討。希望能藉由正確估計震前、間震與同震之地殼變形並將其應用於地震活動分析中，找出臺灣各區的構造形式與可能的高孕震潛能地區，於未來更可應用於前兆觀測與探討。

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。在此會議中對於上述方面，的確獲得許多資訊並體會到學習是無邊無盡的一條路。若將本次的與會心得可以精簡成四點，可以簡述如下：

- (一) 在本次會議中，成功介紹蔡技士主持之研究計畫在地球物理的最新成果與未來方向。
- (二) 上述計畫的重點：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，透過論文發表的過程都獲得充分的展示。
- (三) 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，可作為計畫未來研究方向規劃之參考。
- (四) 在與會過程中，遇到我國研究先進，及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。其中最值得的就是GIPSY的使用者會議參與。

GIPSY會議的參與是來自我所發表論文之session chair推薦，其為於美國太空總署，噴射推進實驗室（JPL）工作的Mr. Arugs.，在測地學界有相當的名氣。GIPSY使用者會議是一個另外在晚上夜間舉辦，於小型會議室非常輕鬆愉快但卻又討論的深入的一個會議。主要的與會者都是GIPSY的使用者。GIPSY為精密單點定位的軟體，算是GNSS目前解算軟體中的潮流，解算速度飛快，但因是近年才釋出的軟體，所以還有許多需要瞭解的地方，並且解算的策略與技巧更需要熟練與熟知。因此參加此會議真的獲益良多！在討論過程中，可以發現使用者不拘限於GNSS資料的解算，有許多是對於電離層、或是對流層、天氣、大氣等相關研究之使用者，可見其用途廣泛！但最值得還是認識了許多JPL的工作人員，

更學習到新版軟的優點。

為期五天的會議，不只聽到了許多精彩的TALK，更獲得機會與各國的專家學者相互交流討論。其中最讓我感興趣的是有關於地震前兆相關研究的SESSION。地震前兆是一門相當困難的研究，但卻是所有地球科學家最想達成的目標，例如氣象可以預報，地震可以預警（目前無論是中央氣象局或是臺灣大學吳逸民教授都做得非常好），但地震是否可以「預測」呢？這個SESSION也讓我巧遇中央大學的劉正彥教授，聆聽了他精彩的演講，在他的TALK結束後，之前有些電離層相關的問題，也都經過討論得到解答。更大的收穫是劉老師門下的一位學生，李奕德博士，目前正於中央氣象局臺灣南區氣象中心進行有關太空天氣的研究，之後我們也透過劉正彥老師的介紹邀請其前來中央氣象局地震中心作教育訓練，加強同仁對電離層的基本概念，或是電離層前兆的觀測、計算，以及可能的機制，獲益良多。

此外有關於前兆相關研究的TALK也令我習得良多。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，最有趣的是生物與動物行為與地震前兆相關之統計研究。大開眼界！整個TALK分析不同動物對於地震即將來臨之前可能會有的行為，其中最對地震前兆最敏感的動物是魚，最不敏感的是牛。真的非常有趣！

另外，與會的這幾天，大會安排了許多 Geodesy 方面的 poster 與 oral 的討論，本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己研究的內容，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，本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。因此本次會議真的是收穫豐碩！希望下次還有機會能參加，讓自己的研究計畫更進步，更上層樓。

四、建議

參與本次大會，總整獲得之創新資訊與心得後有以下幾點建議，可供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，唯獨地下水的研究井只有六座，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) 高精度GPS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。然而，臺灣目前雖有高密度的GPS連續觀測記錄站，但卻缺乏統合且正確的成果平台。因此於蔡技士主持之研究計畫中，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（如：中央氣象局之GDMS，地球物理資料管理系統），方便相關研究人員使用。
- (五) 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。
- (六) 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。

附錄一 參考文獻

Gutenberg, R. and C.F. Richter, Frequency of earthquakes in California, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 34, 185-188, 1944.

Wu, Y. M., and Chiao, L. Y., Seismic quiescence before the 1999 Chi-Chi, Taiwan Mw7.6 earthquake, *Bull. Seismic. Soc. Am.*, 96, 321-327, 2006.

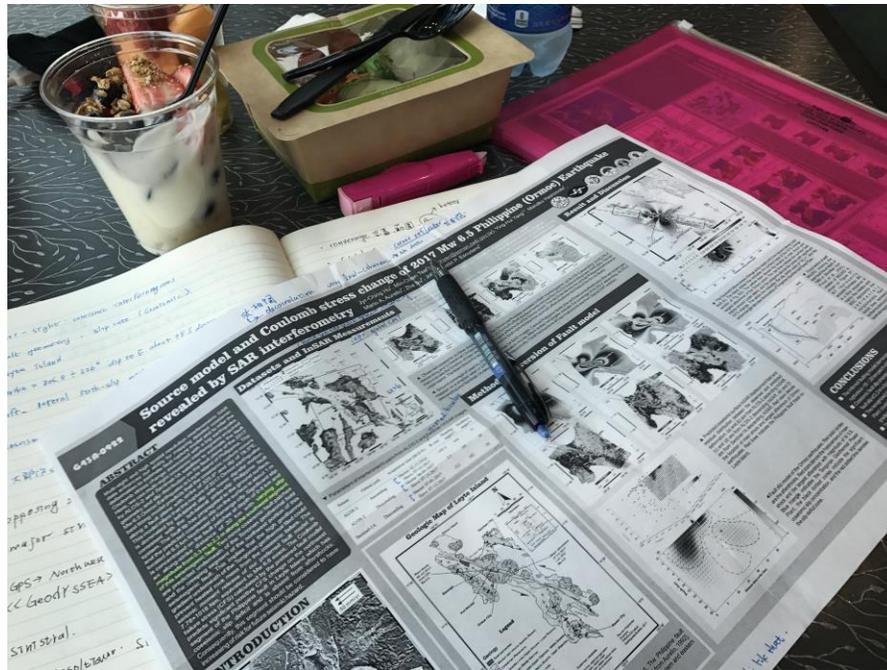
附錄二 與會點滴及照片

(一) 會議舉辦場地（附圖一）



附圖一、紐奧良國際會議中心，因為適逢聖誕假期即將來臨，會議中心也張燈結彩。

(二) 每次的 AGU 在會議前一日(即 12 月 10 日)下午會開始開放註冊，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，能夠遇見熟識的學者，或來自其他國家的學者，增加彼此交流的機會。蔡旻倩技士因私人因素於會議前 12 月 8 日及抵達紐奧良，但因為有兩個報告，蔡技士於會議開始前還是認真的準備論文的發表(如附圖二、三)，並在 10 日前往參與破冰典禮。

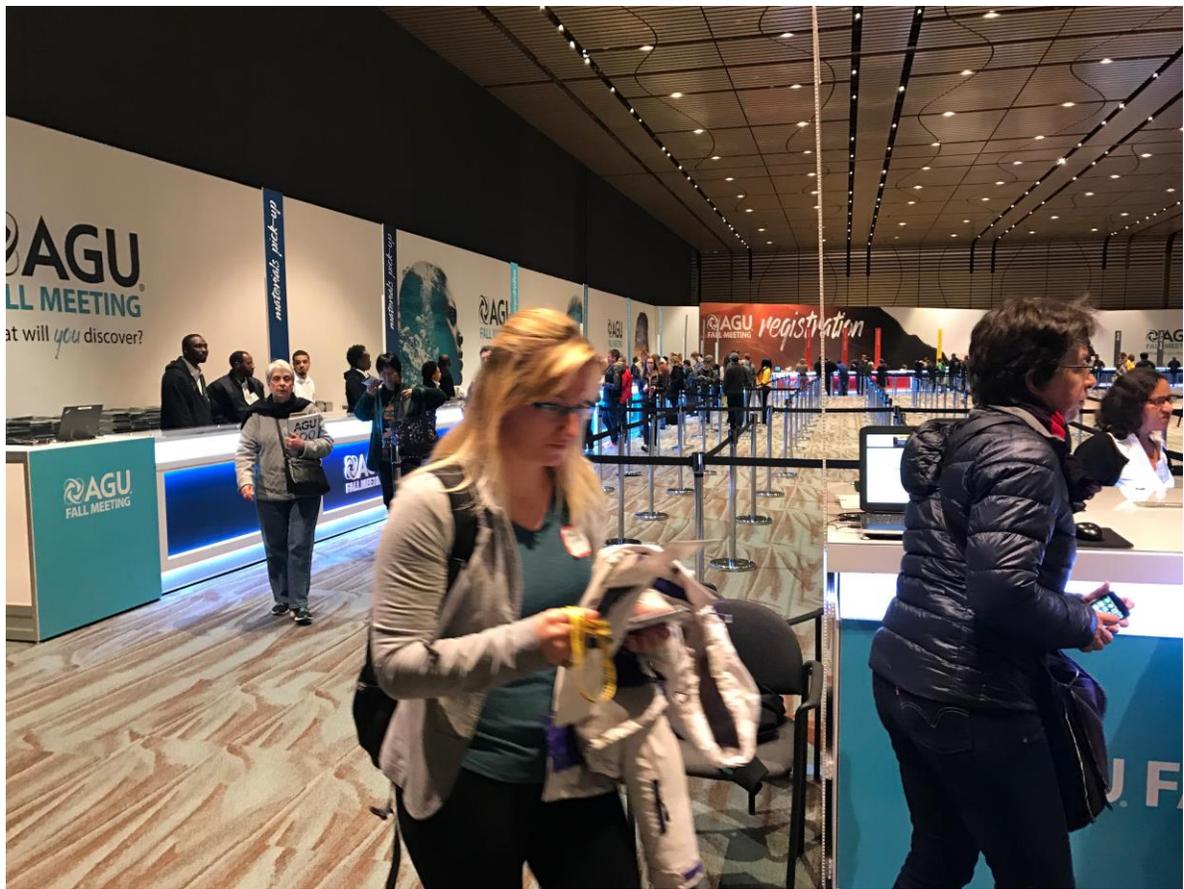


附圖二、紐奧良國際會議中心，一邊吃午餐，一邊論文發表相關工作。



附圖三、海報發表的前一晚，把海報攤在房間地上，不停重複的做預講。

(三) 蔡技士於 10 日即提前前往註冊大會會場與會，附圖四為大會註冊場地，由長長的圍欄不難發現前來與會的人一定相當多，而此時會議尚未開始，已經有許多人前往註冊，更加可以想像隔日（星期一，12 月 11 日）會議正式開始時可能的盛況。本次註冊名牌以往不同之處在於利用不同的名牌吊帶區分自己所擅長得的區域（附圖五）。因為大會透過手機 APP 提供會議資訊，不僅遵守了綠能的機制（以前都需要拿一本非常厚重的議程表），也增強了許多功能，可以事先將特定喜好或特定等相關訊息都利用 APP 程式做成行事曆，並鎖定在手機中，時間到之前還會有提醒功能，且每一位講者（或是海報發表講者）的摘要，也都全部可以利用 APP 讀取，甚至做筆記，是非常值得氣象局未來若有機會舉辦大型研討會參考的一個方向。紐奧良市爵士樂與法國風並行的都市，因此在破冰典禮上（附圖六）有請來爵士樂手（附圖七），為會議增加許多文化色彩，也推銷了當地特色，相當值得效仿。



附圖四、AGU秋季大會註冊會場。



附圖五、不同領域的名牌吊帶區分出不同專長領域，每個顏色都有大項分類，蔡技士因發表的論文與測地學（GEODESY）和天然災害（NATURAL HAZARDS）相關，所以有兩條吊牌，相當有趣。



附圖六、破冰典禮舉行的地方，只是大會會場的入口，就如此龐大。

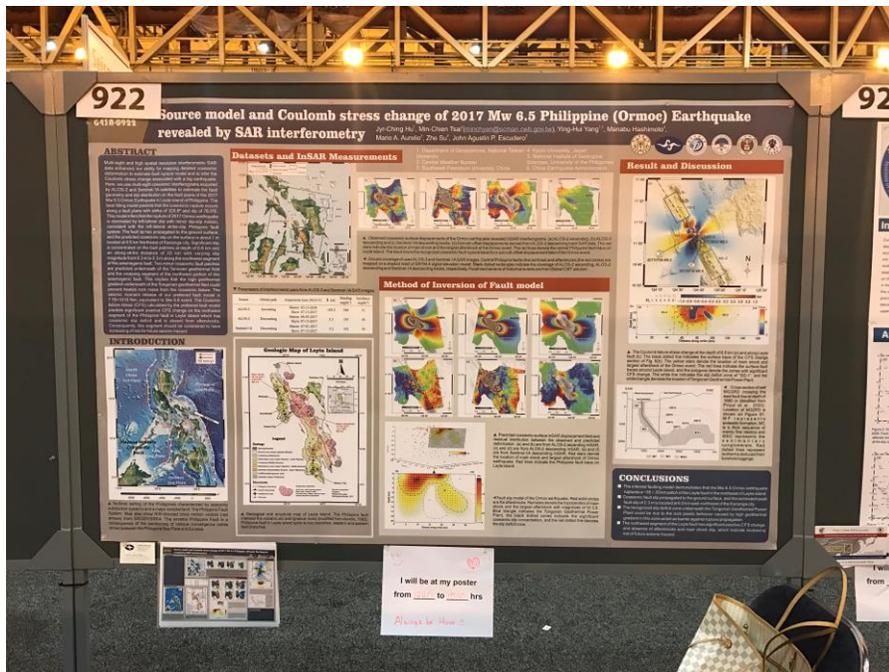


附圖七、破冰典禮上的爵士樂團，就如氣象局用於生活一樣，會議也可以行銷當地文化。

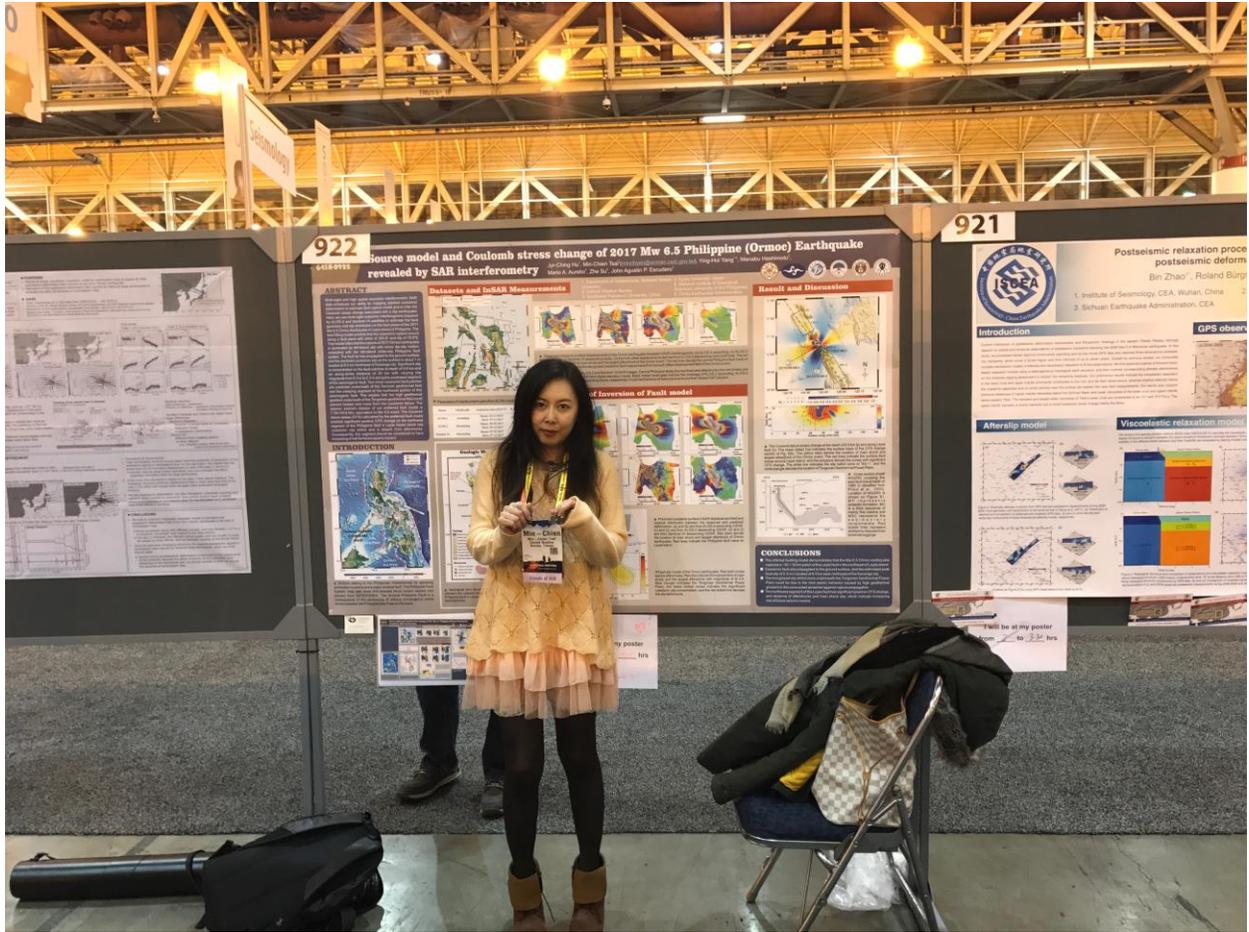
(四) 論文口頭發表及海報發表（附圖八、九、十）



附圖八、蔡技士進行口頭發表。



附圖九、蔡技士進行海報發表。

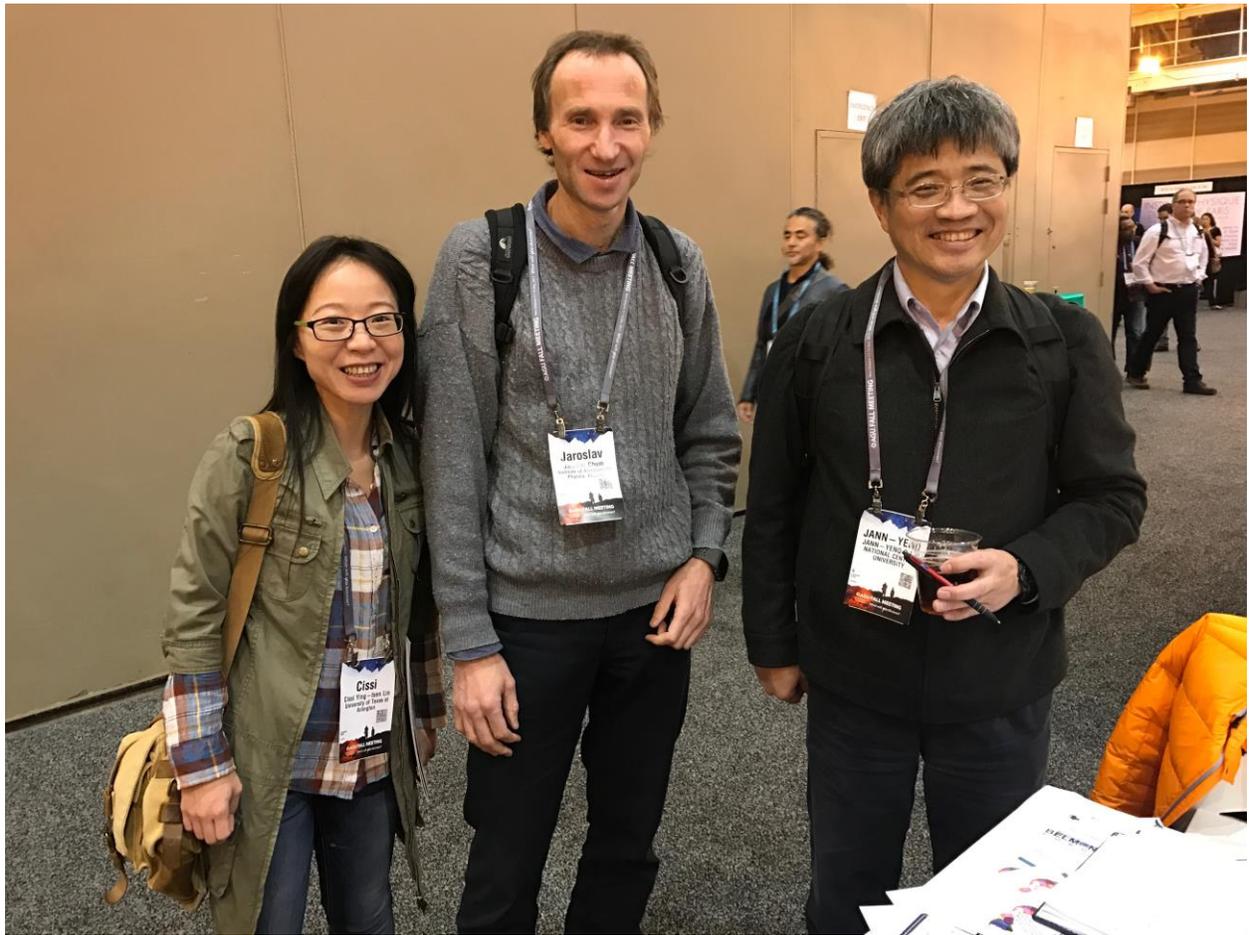


附圖十、蔡技士於海報論文發表會場暖身開始使準備，一場海報發表需要站一下午，蔡技士並特別提供中央氣象局名片方便後續連絡，並製作小張的海報單張方便有興趣的人可以拿去閱讀。

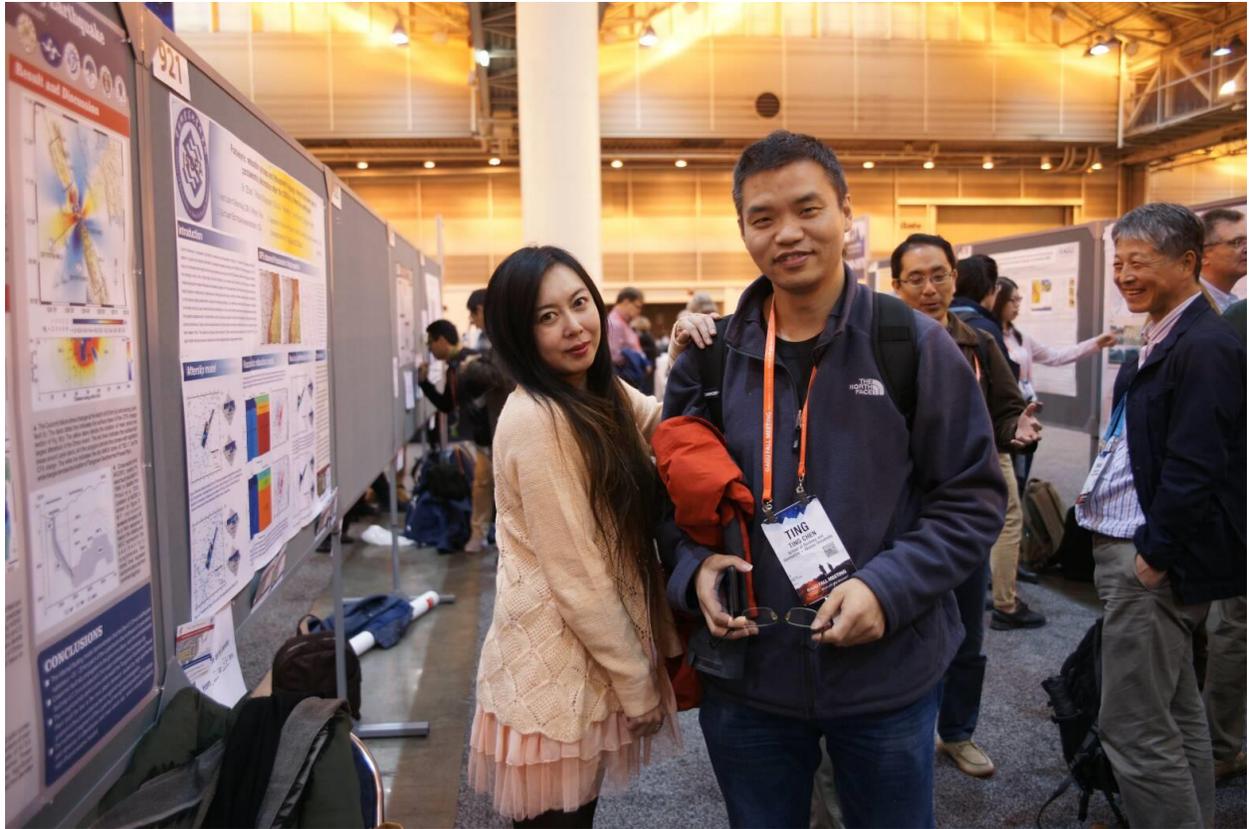
(五) 與會人員合影（附圖十一、十二、十三）



附圖十一、第一天註冊會場巧遇臺灣大學胡植慶教授（圖左）與義大利WASOSKI教授（圖右），分別為測地學與自然災害學門的專家。該會場為註冊會場的門口，門口即為破冰典禮的場地，播放現場爵士樂。相當有情調。

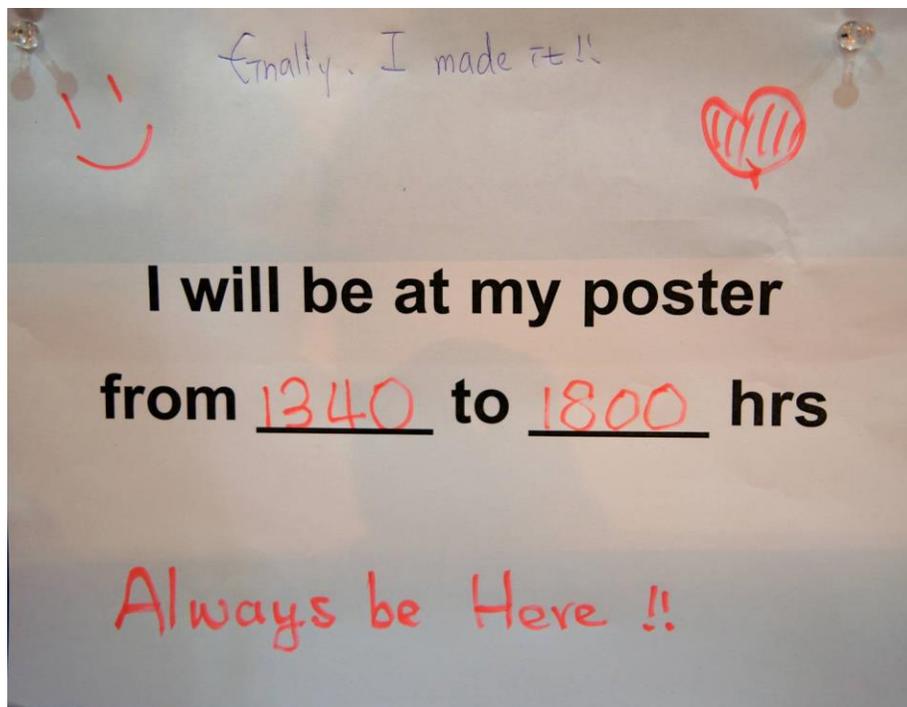


附圖十二、在AGU秋季大會展場攤位巧遇中央大學研究電離層前兆之劉正彥教授（圖右）與其友人（圖左二位）。大家可以看到吊牌的帶子顏色不一樣表示大家的專長領域不同。



附圖十三、於海報區巧遇陳廷教授，為中國武漢大學非常有名的測地學家，向其請教許多。

(六) 從開始到結束 (附圖十四)



附圖十四、以此圖代表完美的的總結，從拿註冊名牌開始到會議結束，學習甚狂，收穫豐碩！