

出國報告（出國類別：會議及考察）

出席

「2016 年歐洲地球科學聯會」

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：奧地利

出國期間：民國 105 年 4 月 15 日至 4 月 24 日

報告日期：民國 105 年 6 月 20 日

摘要

臺灣位屬歐亞板塊與菲律賓海板塊交界的板塊碰撞帶，相對於歐亞板塊，菲律賓海板塊每年約以 8 公分的速度向西北推擠歐亞板塊，是世界上最活躍的地震帶之一。依據中央氣象局（以下簡稱氣象局）地震測報中心最新統計結果，臺灣每年約會發生 35,000 次以上的地震，且地殼變形快速，實為科學研究的天然教室。歐洲地球科學聯合會（European Geosciences Union General Assembly）為地球科學研究學界之年度大會，由歐洲地球物理協會（The European Geosciences Union，EGU）每年在歐洲奧地利首都維也納舉辦，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。

透過參與本次會議，不僅可於國際間介紹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。參加本次國際研討會，職並發表論文兩篇，分別為：

- (1) The analysis of GPS crustal deformation, seismicity, and strain rate in October 2013 Ruisui, Taiwan Earthquake.
- (2) The study of characteristic of Longitude Valley Fault derived from the dense continuous GPS array, southeastern Taiwan.

上述兩篇論文皆使用氣象局建置之 157 個高精度全球衛星定位系統（Global Position System, GPS）連續觀測站，與經濟部中央地質調查所，內政部國土測繪中等之交換資料資料，加以分析模擬後，探討臺灣地區之地殼形變與地震間可能的關連性。藉由會議間之討論交流，後續將進一步精進氣象局地殼形變相關研究並提升資料之解算能力與技術，幫助了解地震發生過程中的地殼應變移轉變化情形，並可應用於活動斷層之監測，增加未來地震預警之效率或地震預測的可能性。

目 錄

摘要	2
目錄	3
一、目的	4
二、過程	5
三、研究項目與重點	24
四、心得	39
五、建議	41

一、目的

歐洲地球科學聯盟（European Geosciences Union，EGU）係歐洲地區地球科學學門的最大國際學術組織。其所舉辦之國際研討會每年吸引全球地球科學領域超過萬名專家學者與會，觀摩與發表研究成果，為地球科學界發表研究成果及心得交流討論的重要會議。本次參加 2016 歐洲科學聯合大會主要發表氣象局研究之成果，同時藉由參與會議的機會，獲取新知及技術交流。會後攜回相關領域於展場所展示的相關成果資訊，作為增益中央氣象局（以下簡稱氣象局）相關業務計畫執行之參考，並吸取國外相關領域之研發經驗，提升臺灣的研發能量，進而獲取最佳的研究與分析成果。因此，此次前往奧地利參與 2016 地球科學聯合會共有 4 大重點：

- (一) 介紹氣象局於地殼形變與地震等相關研究之最新進展與成果。
- (二) 介紹氣象局在地震與地球物理之前兆分析技術的最新發展與未來方向。
- (三) 透過本次國際與會機會，可觀摩學習國內外學者研究與開發之交流最新之地震前兆觀測、海嘯觀測與預警技術，以達成防震減災之目標。
- (四) 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，作為氣象局未來業務規劃之參考。
- (五) 藉由與國內外學者的討論交流，開啟未來可能合作的契機。

本次會議蔡員針對近年氣象局地殼變形監測解算成果分析、地震前兆與地震之關連性做探討並發表論文 2 篇：

- (1) The analysis of GPS crustal deformation, seismicity, and strain rate in October 2013 Ruisui, Taiwan Earthquake.
- (2) The study of characteristic of Longitude Valley Fault derived from the dense continuous GPS array, southeastern Taiwan.

二、過程

本次前往奧地利所參加之「2016 歐洲地球科學聯合會」，每年大致於春末夏初時期於其首都維也納舉行，除了歐洲各國地球科學專家學者參加外，同時也會吸引全球各地地球科學領域的專家一同與會，每年吸引超過萬名的地球科學家前往觀摩與發表研究成果，為地球科學界發表研究成果及心得交流討論的重要會議。

本（105）年度之研討會自 4 月 17 日～4 月 22 日在奧地利維也納中心（Austria Center Vienna, AVC）舉行，來自全球 106 個國家超過萬名的科學家以口頭或壁報方式發表約 1 萬 4 千餘篇科學論文，包含多數主要地球科學研究領域（如：大氣科學 Atmospheric Sciences、生物地質學 Biogeosciences、氣候變遷 Climate: Past, Present, Future、冰凍圈科學 Cryospheric Sciences、能源,資源與環境 Energy, Resources & the Environment、空間科學資訊 Earth & Space Science Informatics、大地測量 Geodesy，如本次的地殼形變相關研究即為測地學的一種、地球動力學 Geodynamics、地質科學儀器分析及資料系統 Geosciences Instrumentation & Data Systems、地形 Geomorphology、地球化學,礦物學,岩石和火山 Geochemistry, Mineralogy, Petrology & Volcanology、水文科學 Hydrological Sciences、同位素儀器在地質科學上的分析及應用 Isotopes in Geosciences: Instrumentation and Applications、磁學,古地磁,岩石物理與岩土 Magnetism, Palaeomagnetism, Rock Physics & Geomaterials、自然災害 Natural Hazards、地球物理非線性研究 Nonlinear Processes in Geophysics、海洋科學 Ocean Sciences、行星與太陽系科學 Planetary & Solar System Sciences、地震學 Seismology、地層學,沉積學及古生物學 Stratigraphy, Sedimentology & Palaeontology、土壤系統科學 Soil System Sciences、太陽地球科學 Solar-Terrestrial Sciences、大地構造與構造地質學 Tectonics & Structural Geology），其中再細分成近 600 個精采的科學議題、大師級的主題演講及簡短課程等，加上各種科學獎章的頒獎典禮及問題辯證，讓整個大會精采豐富，目不暇給。

本次與會所發表之 2 篇論文分投稿於 2 個不同子題（session）下，以海報（壁報）形式發表，如下所列：

- (1) 地殼變形、地震活動與大地應變之分析：以 2013 年 10 月臺灣瑞穗地震為例 (The analysis of GPS crustal deformation, seismicity, and strain rate in October 2013 Ruisui, Taiwan Earthquake)。其子題代碼為「TS4.1/GD8.10/NH4.15/SM6.5」，子題名稱為地震活動、間震期與其長期形變行為 (The Interplay between Earthquakes, the Seismic Cycle and Long-term Deformation)。
- (2) 利用高密度 GPS 連續觀測記錄網分析臺灣東南部縱谷斷層之特性 (The study of characteristics of Longitude Valley Fault derived from the dense continuous GPS array, southeastern Taiwan)，其子題代碼為「TS4.2/NH4.16/SM3.8」，子題名稱活動斷層與地震週期 (Active Faults and the Earthquake Cycle)。

在為期 10 天的行程中，因路途遙遠且時差原因，又該會議結束時間已晚，扣除第一日~第二日 (4 月 15 日~16 日) 與最後二日 (4 月 23 日~24 日) 分別用於抵達與返臺之交通行程上 (開會地點位於奧地利維也納與臺灣相距甚遙，包含轉機時間，飛行時程約需 19 個小時)，其餘 6 個工作天皆用於會議參與、科技交流，與論文發表。其行程表概述如下：

日期	地點與簡要說明
105 年 4 月 15 日~16 日 (星期五~星期六)	4 月 15 日於臺灣桃園國際機場出發，於 4 月 16 日下午抵達奧地利維也納機場，轉搭機場快線 (City Airport Train, CAT) 至市中心，換乘地鐵至旅館。
105 年 4 月 17 日~22 日 (星期日~星期五)	參加 2016 年歐洲地球科學聯會。並發表論文兩篇，分別為：(1)「The analysis of GPS crustal deformation, seismicity, and strain rate in October 2013 Ruisui, Taiwan Earthquake」，(2)「The study of characteristic of Longitude Valley Fault derived from the dense continuous GPS array, southeastern Taiwan」。
105 年 4 月 23 日~24 日 (星期六~星期日)	4 月 23 日中午於維也納市中心出發，搭乘地鐵與機場快線至奧地利維也納機場，於下午起飛返國。於 4 月 24 日下午抵達臺灣桃園國際機場。

詳細與會過程與論文發表紀錄如下：

4/15(五)~4/16(六)

• 搭乘阿聯酋航空（因本國籍航空公司班機客位已售完，因此申請搭乘外國籍航空公司航班前往，如下圖）EK367 班機於 4/15（五）晚上 23：30 出發，飛往阿拉伯聯合大公國之杜拜機場轉機，到達時間為該地時間早上 4/16（六）5：05。候機約四小時候，於 4/16（六）轉搭同航空公司之 EK127 班機飛往奧地利維也納機場，於當地時間下午 13：05 抵達。相關入境手續辦理完成後，搭乘維也納機場快線（City Airport Train，CAT）至市中心，換乘地鐵至旅館辦理住宿手續。電子機票截圖如下：



阿聯酋航空電子機票截圖（訂位代號：PZTA8S）

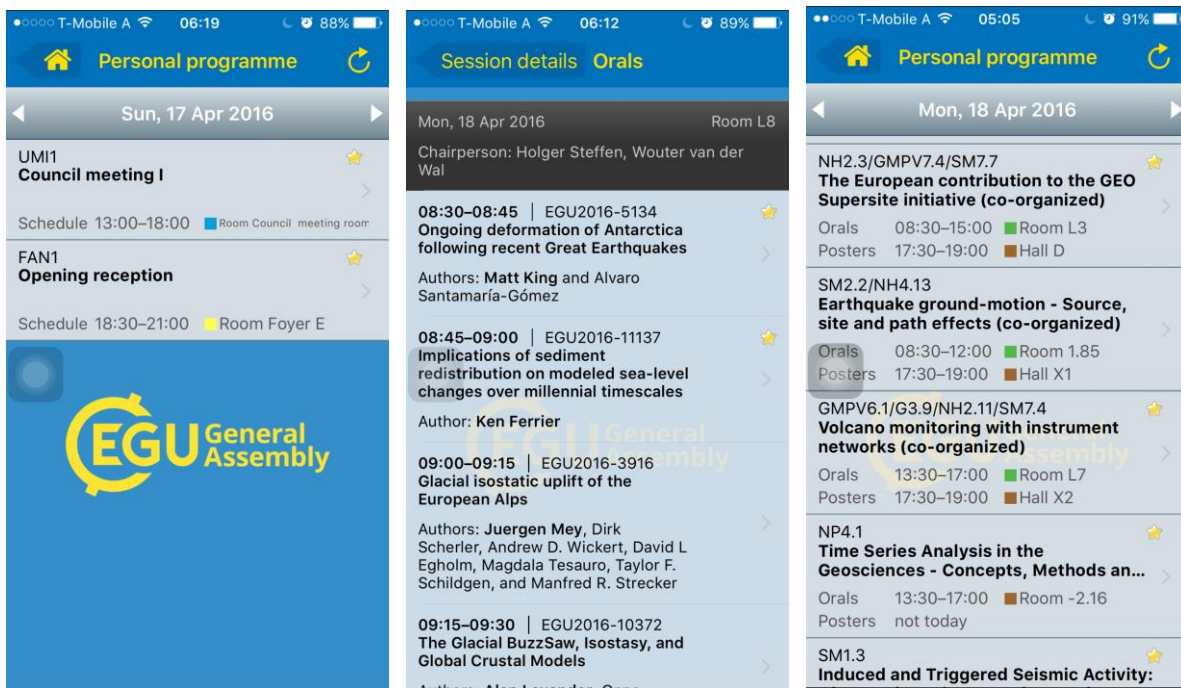


去程電子機票截圖

4/17 (日) ~4/22 (五)

- 2016 年歐洲地球科學聯會參與和論文發表。

如前述本會之議題眾多，所以在行前或議程中都可先使用其 APP 搜尋每日想要參與聽講的子題，並設定鬧鐘提醒或加入行事曆，非常方便。

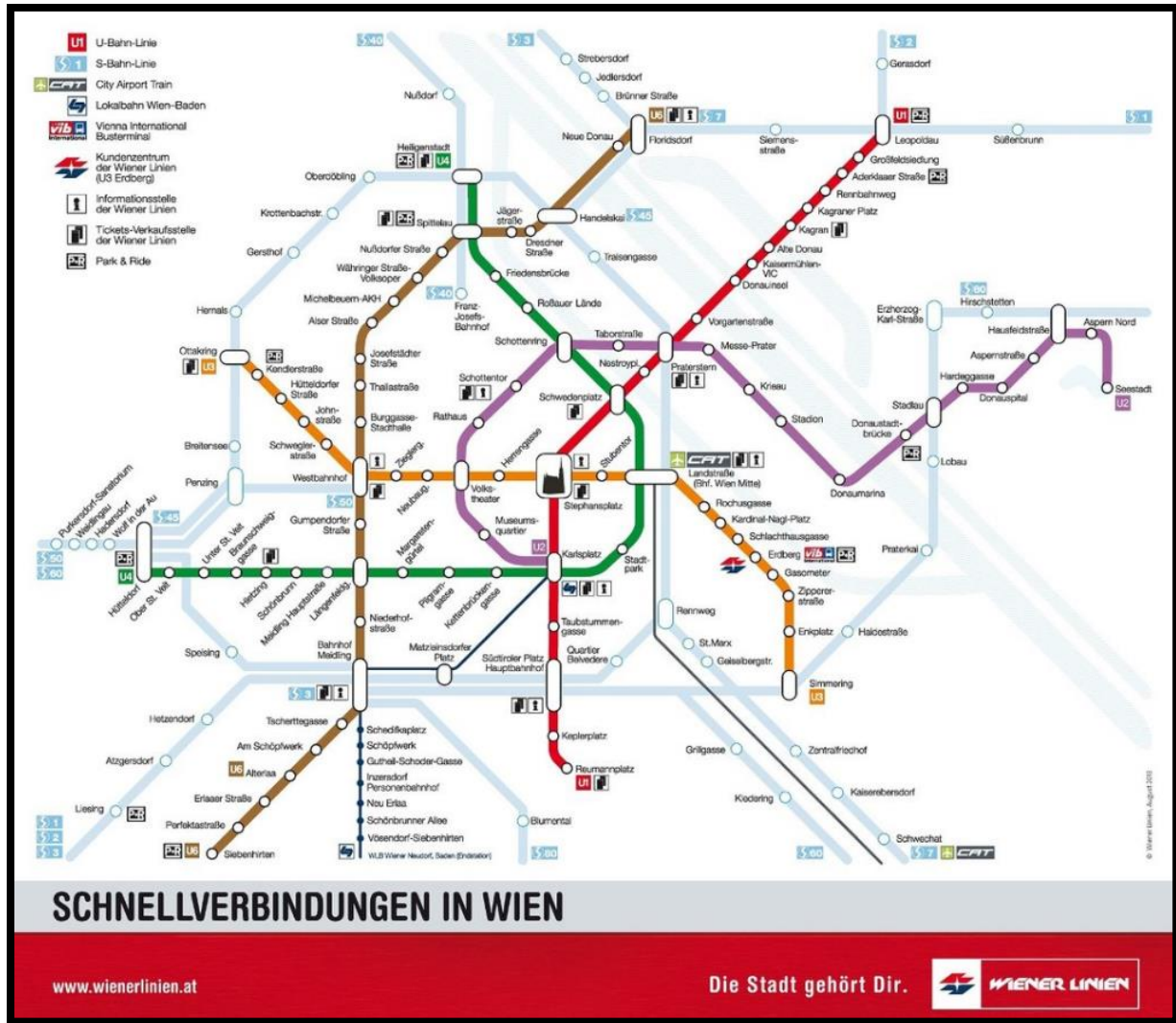


上圖為 EGU 2016 的 APP 畫面，圖中可見一些選單，每個選單都有子題與日期可以選擇，每個子題下面都有該子題之所有演講題目，點入甚至還有作者資訊，與摘要內容。這種 APP 在大型會議非常常見，但在國內的大型會議卻甚為少見，如此的科技應用是我們可以見習的地方。

(1) 第一日：4/17 (日)

註冊、市區導覽與迎賓大會。

此類大型會議通常參與人數眾多且來自各個不同國家，對於交通住宿和與會地點難免生疏，因此會議之首日通常設計為註冊、市區導覽並有迎賓大會 (ICE BREAK)。本次會議舉辦地點為奧地利維也納中心 (ACV)，是維也納相當有名的商務會議中心，幾乎每年的 EGU 都在此舉辦；且交通便利，搭乘市區地鐵即可到達。



上圖為維也納市區地鐵圖。基本上註冊費用會包含內區（U1-U7 地鐵線）之 5 日地鐵票，方便與會交通。維也納地鐵在出口都是沒有守衛也幾乎無須刷卡進入，可以說是非常相信人性本善的國家。但有時還是會有驗票員突然出現於地鐵站的出入口，或是直接出現在地鐵中執行驗票。維也納地鐵本身的票價並不貴（例如週票，可以使用 7 日，大約 14 歐元，在此 7 日內所有地鐵線都可以任意搭乘），但是若被查到無票搭乘，罰款則貴到嚇人。雖說維也納地鐵發達，還有巴士、公車、機場快線等等，交通便利但也稍微複雜，對外來學者，於買票時使用的售票機，有時不易辨別清楚正片需要購買的票價，所以常會發生意外。本次與會再從機場出發到住宿地點的圖中，就剛好遇到驗票員，有一群同是參加 EGU 2016 會議的學生，就因為買錯票而被罰款每人 70 歐元。奧地利的母語是德語，因此地圖或是測站名稱都是德語呈現。



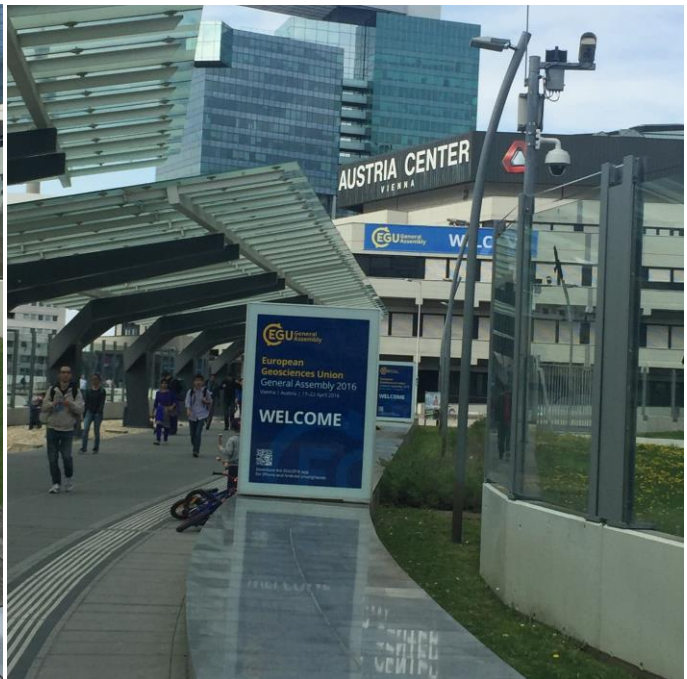
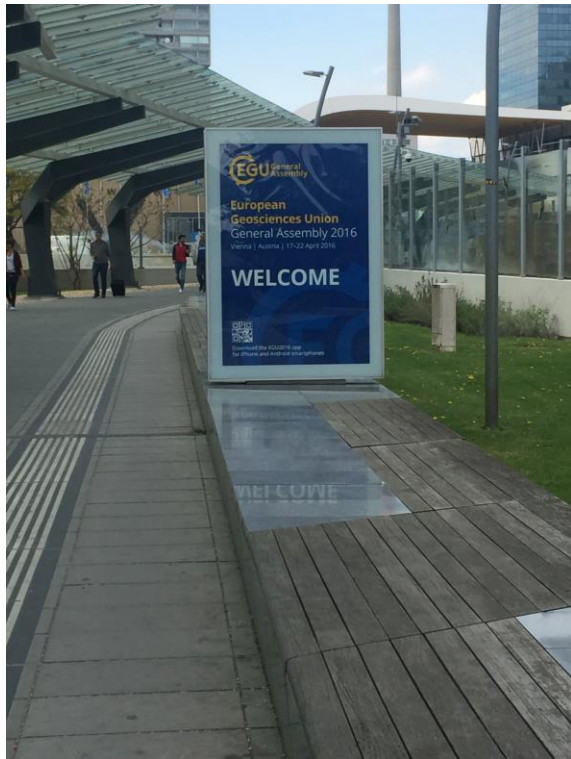
上圖為本次會議開會地點 AVC 最鄰近之地鐵站，實際上翻譯過來就是維也納中心站，出了地鐵站走路約 7-8 分鐘即可達到會場。在首日於地鐵站中，仍可見許多的 EGU 海報，其中包含了會議交通資訊，與其說是會議路標或交通指南，其實廣告效益極大，一般人看見了也會引發興趣，實為氣象局在舉辦大型會議時可以參考的一項。



地鐵站中的 EGU 交通指南，此張照片是拍攝於本次會議住宿飯店附近之地鐵站中，可見如此之導引分布之廣。不難發現在這張海報上所使用的是英文，除了方便來自外國學者可以輕鬆找到會議地點，也達到會議與組織之宣傳效果。(左圖)



出了地鐵站，就可以看到非常大的 EGU 標誌，告知前往會場或是註冊的方向。拾階而上，再走一段小路即可抵達會場。有趣的是，通往會議中心的階梯，貼滿了大紅色的指示標誌，搭配了 EGU 的傳統顏色（藍色），相互映稱，使人有種歐式的美感。因此在踏上台階前往註冊時，腳步也不經意的輕快了起來。上圖左為出地鐵站後的廣場，遠遠及可見貼於台街上大紅色之會議中心指引方向。上圖右可以看見 EGU 2016 會議的旗幟在風中飄揚。



上階梯之後通往會議中心的小徑，別有一番風味。一路上可見許多關於會議的直立大型看板，路旁的木質高階其實可以當座位使用，在會議中午休憩時刻，可常見許多學者坐在此處用餐交流，不僅美觀，兼具學術交流用途。小路的盡頭即為會議舉辦地點 ACV，是棟別具特色美麗的建築物。





建築物（會場）近拍。此棟為主要的會議舉辦地點，大部分都是展場、短暫課程、演講或是口頭論文發表的地點（上圖左）。臨側還有另一棟建築，則是用來註冊與壁報發表展示區塊（上圖右）。今日最主要的行程還是註冊，並預先熟悉會場地形，最重要的是自身的



論文發表地點，可預先進入參觀。註冊時間在會場外標示的非常清楚，第一日（4/17）中午 12 點過後即可接受註冊申請。有趣的是第一日的註冊時間到晚上八點（左圖），與其他日都不同，主要是為了配合晚上 6 點舉辦之迎賓大會（ICE BREAK）。迎賓大會最主要的目的是讓來自各國的專家學者可以藉由一個簡單的餐會互相交流，也藉機認識研究相關領域的他國學者，氣氛輕鬆愉快，收穫甚豐。



註冊大樓內觀。雖為會議之第一日，已見不少專家學者到現場報到了（上圖）。



註冊的過程其實非常簡單，只需要準備好註冊時所發與的會員卡（確實有從歐洲寄來臺灣），上面有會員編號，向會場工作人員告知會員編號並輸入，即完成報到手續。如果沒有帶著會員卡，也可印出註冊完成時所收到的電子郵件，裡面也有會員編號（ID）的相關資訊。最差的情況是，若都忘記了，那護照也是可以用於註冊的（左圖）。基本上會有超過 20 個註冊櫃臺為與會人員服務，因此註冊的速度相當快。



為我服務的註冊小姐（上圖左），她手中拿的藍色卡片就是我的會員卡（ID），註冊完成後可以拿到紙本的大會議程與名牌（上圖右）。

名牌是非常重要的，除了先前提過它反面就是維也納地鐵的五日票之外，大會進行期間，若要進入會場，都需要名牌辨識。大會的任何出入口皆有警衛看管，出示名牌方可進入會場。經過了一番週折，我終於註冊完成了，未來的五日我都得靠這張名牌了！

(2) 第二日～第五日：4/18 (一)～4/22 (五)

參與「2016 歐洲地球科學聯會」與論文發表。

第二天迫不及待的前往會場，來自各國的專家學者，滿滿的人群非常令人震撼。在這短短的五日中，我不僅聽了許多與個人研究業務相關的演講，更去聽了與氣象局業務相關的演講，雖說非屬於自己專長的領域，但是也略有收穫。在壁報區更是有趣，相較於每個講者只有短短 15 分鐘的論文發表時間，壁報展示時間非常長，可與作者討論的時間相對的多，學習到的東西更加豐碩，因此壁報區一直是我開會時的最愛。當然不意外的，在會場會遇到同樣來自臺灣的朋友、同事或老師，當下會有一種他鄉遇故知，倍感親切的感覺。每年的歐洲地球科學聯會都會有一個主題，今年的主題是『ACTIVE PLANET』，活躍的星球，其實就是指著我們的地球，因此本次的主題中有許多都是太空相關的議題。雖說這並非是我的專長，但也前往聽講了幾場非常有趣太空相關議題，還可訓練英文能力。另外屬於專長區域（GPS、大地測量、地殼形變、地震前兆、GPS 資料解算）或氣象局業務相關（不同的預警系統、全球氣候變遷、地震定位自動化等等）的子題在短短的五天中，一併聽齊收穫豐碩。



一進會場就會見到的大看板，主要是為了凸顯今年會議主題『ACTIVE PLANET』（上圖左），議程開始的第一天，難得遇到維也納下雨，飄著渺渺細雨仍可見與會人數眾多，連在會場外都不例外，可見此會於地球科學學門之重要性（上圖右）。

一如前述，海報區一直是我的最愛，所以在無相關興趣的子題演講可聽時，海報區為最佳選擇。在海報區可以遇見來自各國不同專長的學者，其中我還遇見了曾經予國立臺灣大學吳逸民教授所指導之一個外國學生，利用臺灣的資料，來做地震震度之反演，結果相當成功。該研究中有部分原始資料甚是來自氣象局，因此當我說明我的來處，兩人相談甚歡，且瞭解到氣象局資料在國際上運用之重要性。另外還有其他海報像是地震預警，也就是氣象局地震測報中心目前正在推動的一個項目。雖說臺灣在過去的歷史紀錄上，只有19世紀曾經有過一次災害性的海嘯事件發生於基隆，但是對於海嘯的威脅仍不容小覷。地震預警系統不只可以運用於陸地上所發生的地震，也可用於發生於海底的地震，因此與海嘯預警就連上了關係。目前全世界各國的地震預警方法有許多種，高頻的GPS資料（如：50 Hz）甚至可以拿來當作位移型地震儀所使用，若可以即時解算，且解算結果良好精度甚高，用於地震預警並無不可，更可以增加地震站的密度。



會場入口。由於與會人員太多，所以幾乎遮住了警衛，但仍可隱約看到管制線。（上圖）



會議中心與會場導引（上圖）。在會場的每處，柱面上或是走道上處處可見如此的會場導引。由於此會議題甚廣，所以會議中心也相當廣大。基本上可以分為五個樓層（左圖），分別用不同的顏色標示，這些顏色通常子題的編號相對應，當查詢到想要聽的子題之後，即可找到其對應的樓層。每個樓層對會議廳的標示也相當清楚，所以要找到演講廳非常方便且不困難。而海報區域也是以相同的區塊呈現，例如 Poster A 很清楚就被標示在紅色樓層，也就是 2 樓，每個樓層之相關資訊非常清楚。看到如此妥善的安排，就會讓我思考若氣象局未來也有機會召開類似會議，此實為值得倣效之處。更或是局慶的動線樓層安排，也可借鏡。



每個樓層除了海報或是演講聽之外，也都有提供付費餐飲，方便與會人員用餐。另一貼心之處就是「海報列印」的服務，若是不想帶著長長的海報筒，可直接付費在會場列印。



他鄉與故知。
左圖與右圖
分別為目前
於國家地震
工程研究中
心擔任研究
員林哲明學
長，與前述
所提到之吳
逸民教授指
導過的學生。

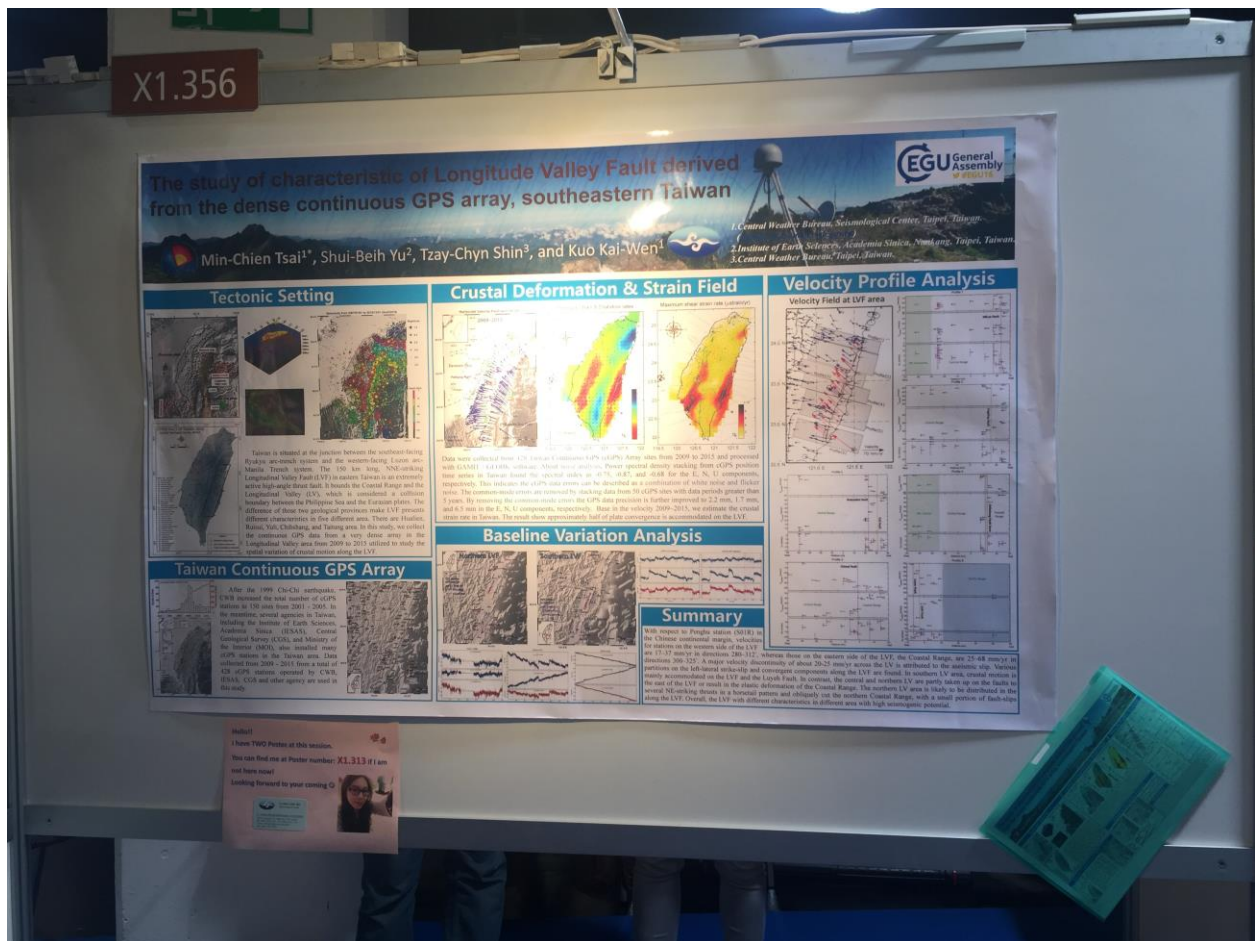


從二樓俯照一樓大廳的展場與人群。來自世界各國的廠商，展示相關的新型科技或是出版品，也是個非常值得花時間的地方。

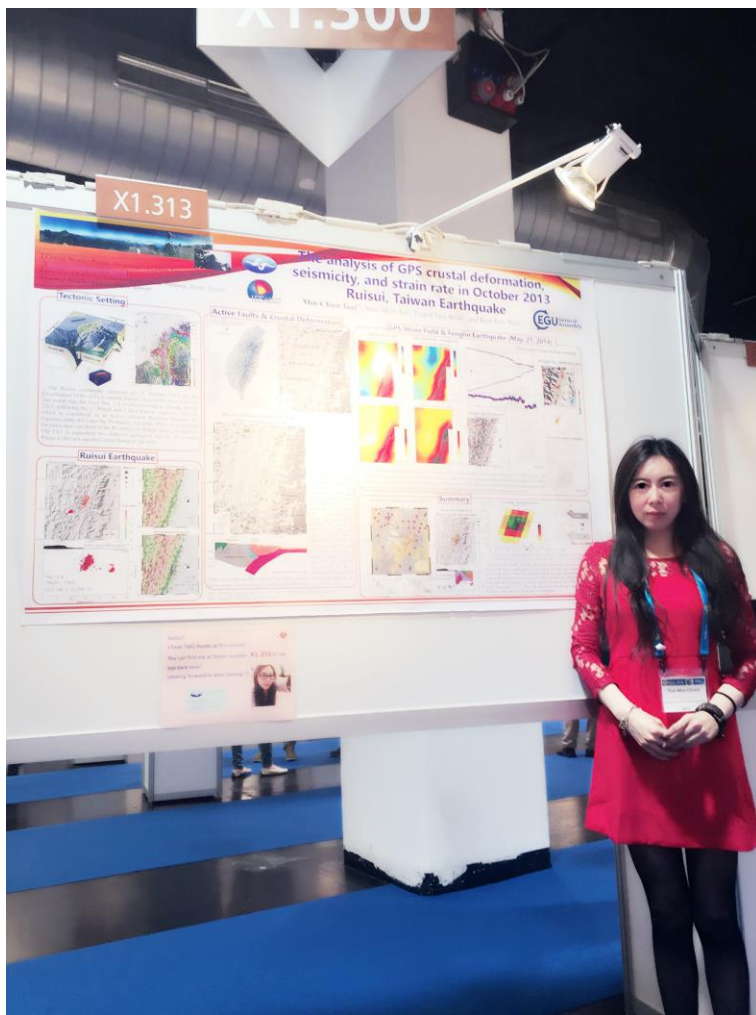
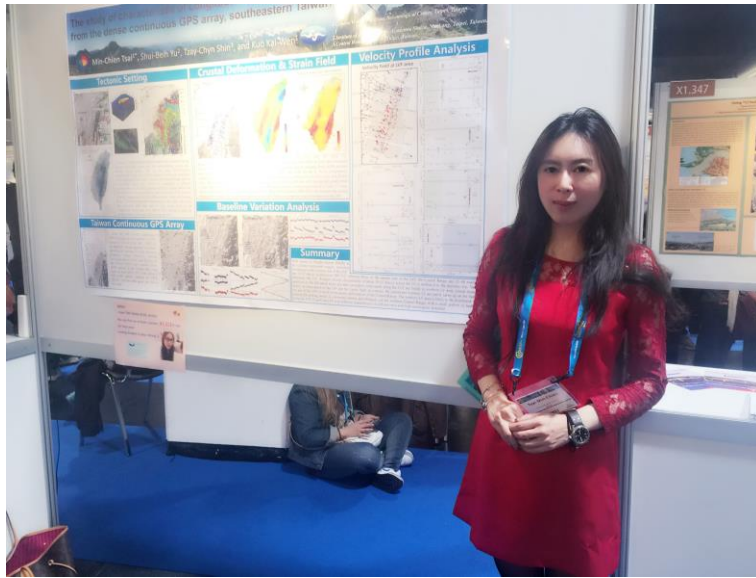


每個演講聽外面，都會標示出該日該聽的所有講題與時間，不同樓層使用不同顏色標示，上面的數字則與子題有關。

這次的會議我共發表論文兩篇，也投稿於不同子題。初衷是來自於如此盛大的國際會議，若能多點機會與做相關研究的學者交流，定能增長見識並豐富自我研究之不足。投稿時兩篇論文我分別選擇了口頭發表與壁報發表。但口頭發表的機會通常很難爭取，尤其是較為熱門的子題。因此這次與會的小狀況就是我的論文發表皆被排為「壁報發表」，且雖然當初投稿子題不同，但是發表時間卻相同，所以發表當日（4月21日）就只能急忙的兩邊跑。不過也因此，我特地在我的壁報下印製說明文字，告知有興趣想要討論的學者們，可以到另外一張壁報區找到我。另外，也將海報映製成小版的 A4 大小，方便他人取用瞭解海報的相關內容，或更進一步在未來有合作的可能。



吾人所發表之海報之一。主要是利用連續的 GPS 觀測網，分析其資料結果並探討長達 150 公里的「縱谷斷層」特性。海報下粉色的標誌用於告知有興趣的聽者可以到另一張海報區找我，且我把氣象局名片貼上，趁機提高氣象局於地震方面的知名度。右側綠色小夾則裝滿迷你小海報，方便需要或有興趣的人取用。



當然在發表過後，也不能忘記與自己的海報留念合影一番。上圖的海報為縱谷斷層特性分析相關，而下圖海報則以 2013 年 10 月所發生的瑞穗地震為主題，對該區進行構造探討。

4/23(六)~4/24(日)

• (返程) 結束了五天的會議，一樣選擇了機場快線 (CAT) 前往維也納國際機場。搭乘阿聯酋航空 EK128 班機於當地時間 4 月 23 日下午 15:15 起飛，至杜阿拉伯聯合大公國之杜拜機場轉機。在候機約五小時後，再轉乘相同航空之 EK366 班機於該區時間 4 月 24 日清晨 4:35 出發返臺，並於臺灣時間 4 月 24 日下午 16:50 抵達桃園國際機場，返家並結束 10 天的會議行程。其電子機票行程截圖如下：

The screenshot displays two flight legs from an electronic ticket. The first leg, 'Leg 3 of 4', is from Vienna (VIE) to Dubai (DXB) on flight EK128. It shows a departure at 15:15 on 23 Apr 16 and an arrival at 22:45 on the same day. The second leg, 'Leg 4 of 4', is from Dubai (DXB) to Taipei (TPE) on flight EK366. It shows a departure at 04:35 on 24 Apr 16 and an arrival at 16:50 on the same day. Both flights are in Economy Class Saver. The arrival time 16:50 is highlighted in yellow. The screenshot also includes details like check-in times, status (Confirmed), and baggage allowance (30Kgs).

→ Departing » From Vienna, Austria

Leg 3 of 4 | Vienna (VIE) to Dubai Intl (DXB)

Flight EK128	Check-in opens 23 Apr 16	Departure 23 Apr 16 15:15	→	VIENNA Departing VIE, Vienna International Airport Terminal 3
Economy Class Saver	12:15		→	
Seat	Status Confirmed	Arrival 23 Apr 16 22:45	→	DUBAI Arriving DXB, Dubai International Airport Terminal 3

Coupon validity: not before 23 Apr 16 / not after 23 Apr 16 Baggage 30Kgs

Leg 4 of 4 | Dubai Intl (DXB) to Taipei (TPE)

Flight EK366	Check-in opens 24 Apr 16	Departure 24 Apr 16 04:35	→	DUBAI Departing DXB, Dubai International Airport Terminal 3
Economy Class Saver	01:35		→	
Seat	Status Confirmed	Arrival 24 Apr 16 16:50	→	TAIPEI Arriving TPE, Taiwan Taoyuan International Airport Terminal 1

Coupon validity: not before 24 Apr 16 / not after 24 Apr 16 Baggage 30Kgs

三、研究項目與重點

此次前往奧地利維也納參與「2016 歐洲地球科學聯會」會議有 3 大重點：

- (一) 發表氣象局有關地殼形變相關之研究成果。
- (二) 瞭解地震前兆與地球物理資料觀測方法之最新趨勢。
- (三) 交流海嘯警報預警技術。

第一項是最為重要的，後有詳述。而第二項與第三項，則是抱持著學習的心態，希望能夠獲得更多更新的知識，因此後述我將倒序撰寫，將最專長的地殼變形放在最後一項。

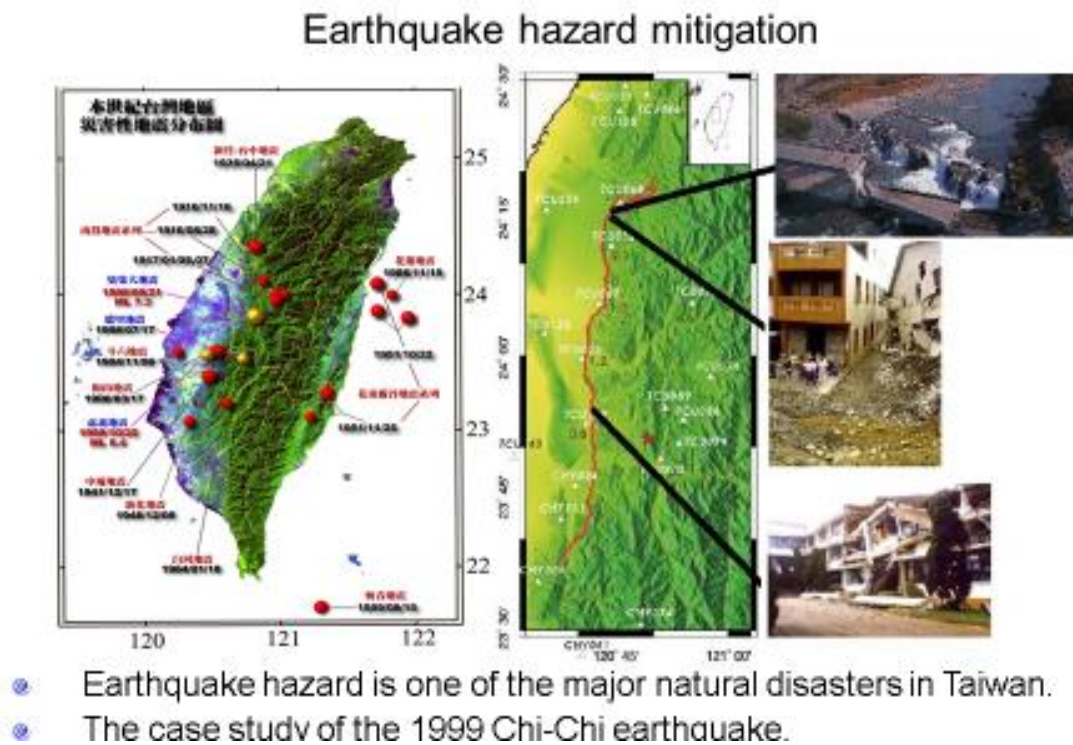
A. 海嘯警報預警技術

臺灣是地震頻繁的國家，因此地震監測有相當的重要性。臺灣目前的地監測技術已經成熟，由地震發布時效與精確度皆可得知相同訊息。尤其是於宜蘭頭城外海所布設的海底電纜地震觀測站，增加了地震觀測的有效涵蓋區域，大幅提升臺灣地區東部外海的地震定位精度。

臺灣於 1999 年發生的 921 集集地震目前成為日本地震防災與研究的重點。集集地震造成車籠埔斷層將近 100 公里長的破裂，劇烈的地殼變形造成了兩、三千人死亡。臺灣當初於 102 秒內就達到地震發布，此發布速度一直是過去幾年來日本追求的目標，也就是在地震發布上的快速時效。快速且精確的地震發布用於防災是相當重要的一環，當大地震來臨時，快速的將地震訊息傳送給防救災單位，可以有效的減少災損與傷亡，而這也是目前氣象局地震中心推動「地震預警」的基本概念。同樣的目前許多其他國家也正在推動地震預警，與臺灣相同，利用地震波速的差異，可在破壞性地震波來臨之前先發出地震消息與警告，讓人民與防救災單位有時間作緊急應變措施，像是日本國土範圍大的國家，這種方法更具效果，因為盲帶（即鄰近震央區域）的範圍是固定的，離震央越遠的地方越有時間做應變措施。然而每個國家所使用的地震預警模式、參數、儀器等皆不盡相同。

在其中一場演講中，美國知名大學還使用高頻 GPS 資料輔佐地震站，補貼其空白區，增加了地震預警的時效，這樣的研究成果，與臺灣是息息相關的。氣象局目前有 157 個

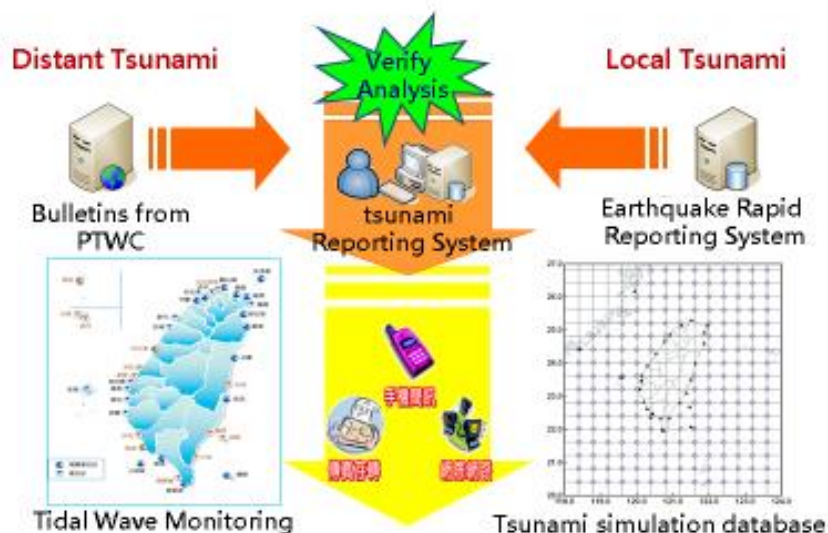
GPS 連續觀測記錄戰，且經兩年的汰舊換新，目前皆是最精密的高精度且可接收「多星系統」的儀器，同時也連續紀錄高頻的資料（分別有 1 Hz 與 50 Hz），唯獨目前在高頻資料解算方面，即時處理的資料精度並不高，若地震不大，實在無法作為地震預警使用。因此吾人也去聽了許多有關於多星系統資料解算等相關的演講，獲益良多。尤其是歐洲的伽利略衛星系統，他們不使用我們傳統常見的解算軟體（例如氣象局目前是使用 GAMIT\GLOBK 與 GIPSY 兩套軟體作為解算），他們使用自行研發之高精度單點定位軟體，並將所有不同國家的衛星系統皆用於解算（目前氣象局只使用美國的 GPS 衛星系統作為解算），大幅提昇了近即時高頻資料的解算結果，實為值得仿效之處。下圖一臺灣地區過去災害性地震分布圖（包含集集地震與車籠埔斷層的破裂情況）。



圖一、臺灣地區過去災害性地震分布圖（包含集集地震與車籠埔斷層的破裂情況）。

另外值得探討的是海嘯威脅，以臺灣而言沖繩海槽具有非常大的地震潛能。歷史上在該區發生的大型地震所引發的海嘯會直接影響臺灣，對人民的生命資產造成危害。在本次國際會議中有諸多報告都對沖繩海槽地區有相當的議題探討，例如如何用 KGPS 監測海底地殼的變形行為，或是地震與其引發的海嘯災害模擬，這些研究對日本與臺灣都是相當有助益的。氣象局目前對於海嘯發布業務與流程已經發展成熟（圖二），除了遠地地震有參考太平洋海嘯中心（PTWC）的資料之外，對於發生於臺灣地區近海的大規模地震與其可能引發的海嘯危害，氣象局也有發展出特有的海嘯評估模型。尤其是 2011 年日本經歷過 311 地震，其海嘯所帶來的災害與應變的經驗，都是值得我們做為借鏡的地方。本次會議中有許多演講，也與海嘯預警息息相關，其中海纜是不可或缺的好幫手。有許多講者都是來自日本，以 311 的經驗做出更新且解析度更高的海嘯預警模型，大幅降低海嘯侵襲可能造成的災損。因此氣象局若能將海嘯預警模型的解析度提高，對於近海、淺層有海嘯威脅之大地震能夠達到更高的減災效果。

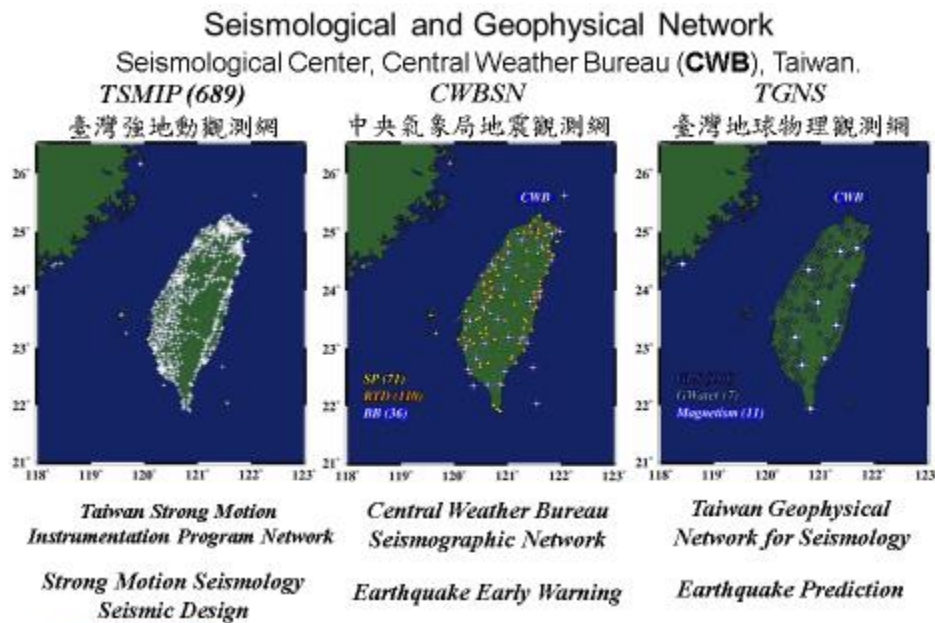
Procedure of Tsunami Information Releasing



圖二、氣象局目前之海嘯發布業務與流程。

B. 地震前兆與地球物理資料觀測方法之最新趨勢

地球物理資料與前兆觀測息息相關，雖說目前仍無地震預測的方法，但藉由地球物理資料觀測地震前兆卻是有可能的。以氣象局目前有的地球物理觀測資料，可細分為：GPS 連續觀測資料、地震地下水觀測、磁力觀測、電離層監測、應變儀觀測、地潮相關性觀測等等。這些也同是目前各國用於地震前兆觀測的重點項目。下圖三為臺灣地區目前氣象局所有之地震與地球物理資料觀測網。其各有不同的用途，可用於強震監測、地震發布與前兆觀測。

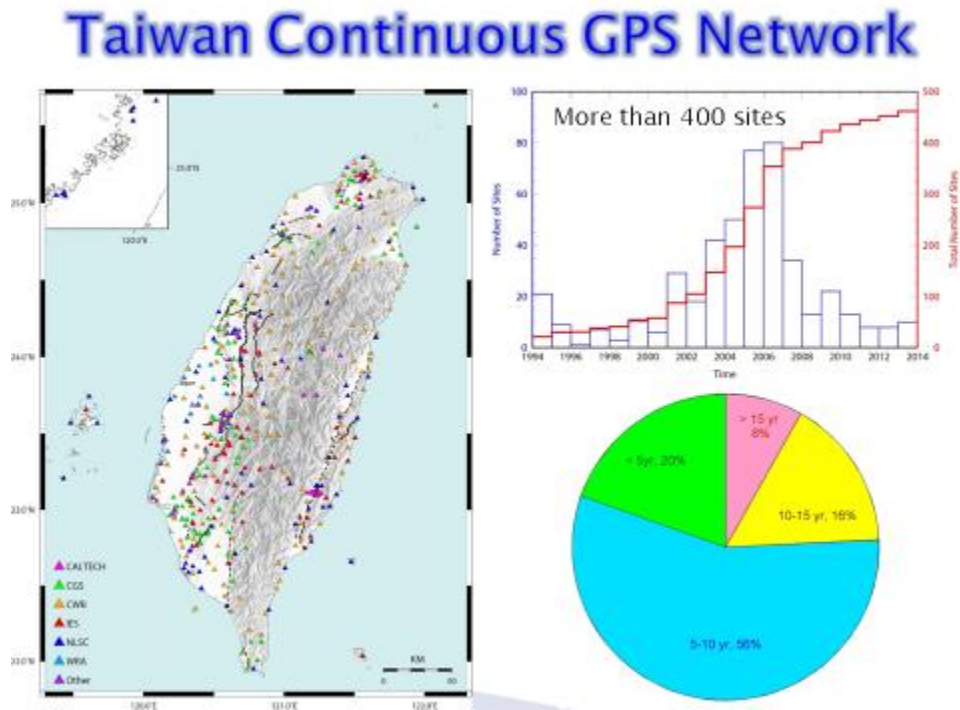


圖三、臺灣地區目前氣象局所有之地震與地球物理資料觀測網。

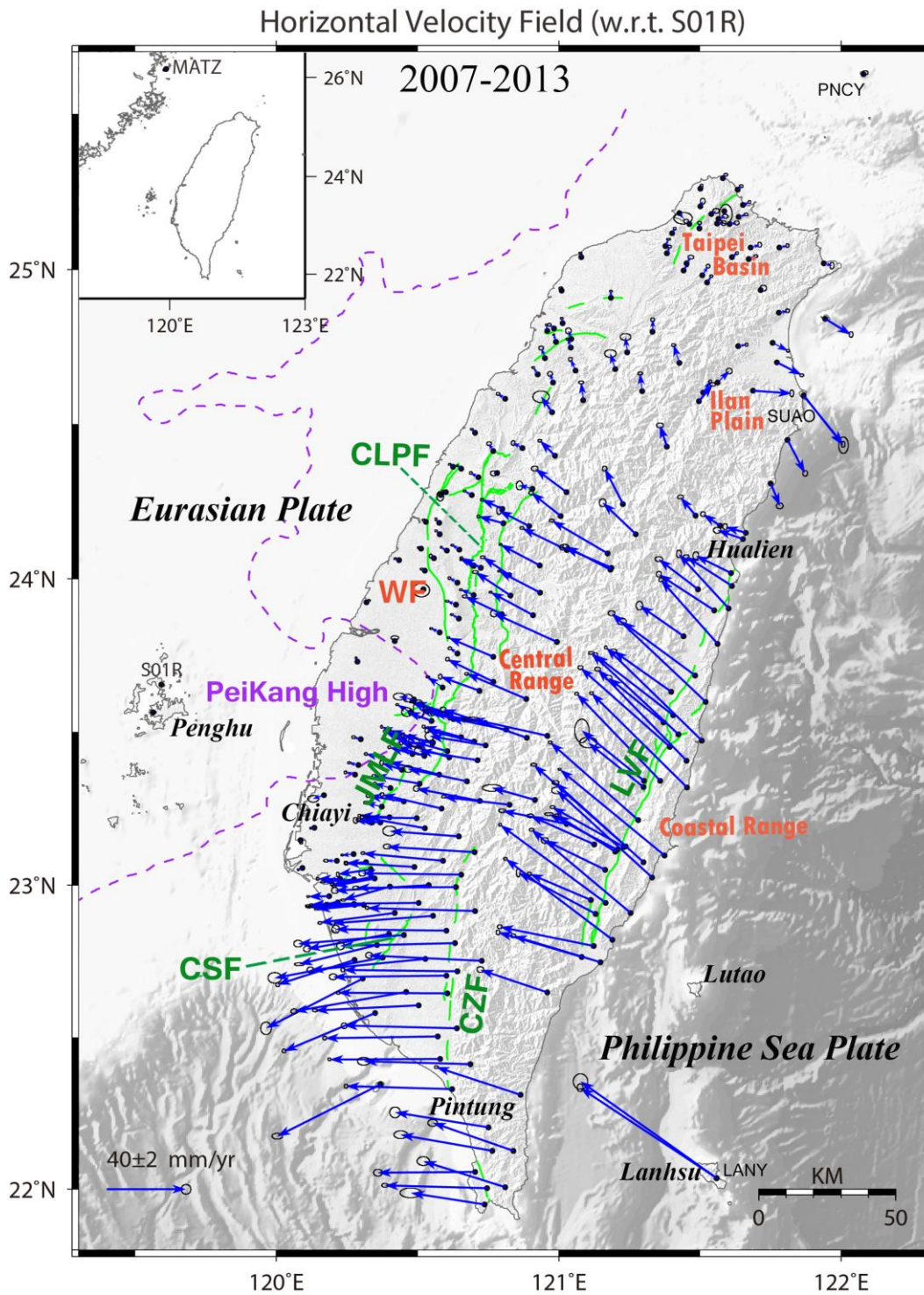
在本次的研討會中，許多國家的學者也對於 GPS 連續觀測、地震地下水觀測、電離層觀測與應變儀觀測提出了相當的研究成果。不容置疑的是，臺灣地區的快速地殼變動，尤其是位於臺灣東部的縱谷斷層，與複雜的地體構造，頻繁的地震活動，對於前兆研究而言，臺灣實為全球學者皆相當有興趣的地區。尤其是發生在 2 月 6 日的美濃地震，氣象局的 GPS 連續觀測資料，在基線長變化分析結果顯示有明顯的前兆。而電離層觀測方面，也在地震前一天出現了高度的正異常。與會過程中，吾人將這些經驗與他國學者分享交流，得到許多更新的想法，若電離層觀測可從每日改為每小時即有結果，對於臨震前兆將大有助益。

C. 氣象局有關地殼形變相關之研究成果

臺灣的 GPS 連續觀測記錄站密度之高可列於全球前幾名（圖四），只目前為止，考慮氣象局之 157 個連續觀測記錄站與其他單位交換所得的資料，整體而言超過 500 站。又臺灣地區實屬地震與地殼活動活躍的地區，菲律賓海板塊每年約以 8 公分的速度向西北西方推擠歐亞板塊，這樣的結果可以非常輕易的由地殼變動速度場結果觀測而得（圖五）。地殼變動速度場來自於觀測資料解算後，模型逆推後的解。如何達到高精度的觀測與正確的速度場結果，都對地震前兆相關研究有重大影響。地殼變形活動代表的是無震的能量釋放結果，例如高雄屏東地區有相當大的變形量，但卻有較低的地震活動度，應與該地區的地質條件有關。若能將地殼變動觀測資料加以分析，並配合地震活動度比較討論，會有相當的機會找到地震前兆，進而達到地震預測的最終目標。



圖四、臺灣的 GPS 連續觀測記錄站分布圖與站數增長圖。



圖五、台灣地區相對於澎湖白沙站 (S01R) 之水平速度場。

本次與會共發表論文兩篇，此兩篇論文主要都是以高精度的 GPS 解算成果為主，針對縱谷斷層的特性，與發生於縱谷斷層北段的瑞穗地震，做整合性的探討，並進一步瞭解其孕震之潛能。

- (1) 地殼變形、地震活動與大地應變之分析：以 2013 年 10 月臺灣瑞穗地震為例 (The analysis of GPS crustal deformation, seismicity, and strain rate in October 2013 Ruisui, Taiwan Earthquake)。

民國 102 年 10 月 31 日 20 時 2 分在花蓮縣瑞穗鄉發生芮氏規模 6.4 大地震，震央位於北緯 23.57 度、東經 121.35 度，深度 15.0 公里，震央位置位於花蓮縣萬榮鄉，依據氣象局地震報告資料顯示，最大震度區域為花蓮縣西林震度達 7 級，後續造成的有感餘震一週內高達到 57 次。根據氣象局與中央研究院地球科學所解算出的斷層面解（震源機制解）結果來看，引發地震的斷層為北北東走向西傾斜約 45° - 59° ，帶有左移分量的逆斷層，其位態與鄰近地區現階段已調查的活動斷層位態皆不相符，可能屬於一未出露地表且未被觀察到的掩覆斷層（或稱盲斷層，此指常被拿出來討論之「中央山脈斷層」）。而 GPS 連續觀測資料結果顯示，最大水平與垂直位移量皆在光復鄉大興村、大豐村一帶，水平位移量約 6.2 公分，方向朝西偏南。在半年之後（2014 年 5 月 21 日），相距 25 公里處，又發生另一起規模較小的鳳林地震（震源位置： 121.43250° E, 23.73500° N，震源深度 16.45 公里，地震規模: $M_L = 5.99$ ）。兩起地震發生的位置接近，震源機制解也相似，且震源機制解顯示其發震構造應為一項西傾斜之背衝斷層，因此本論文最終想要探討的目的是，發震構造是否就是目前討論極為熱烈的中央山脈斷層。

鳳林地震發生的位置，在 2013/10/31 瑞穗地震 ($M_L = 6.4$) 北方。若探討該區的背景地震活動，以鳳林地震的發生位置為圓心，搜尋半徑 5 公里內的地震活動。鳳林地震前，局部區域（半徑 5 公里）即有明顯的地震活動，而地震活躍的起始時間正是 2013 年 10 月的瑞穗地震發生之時。實際上瑞穗地震發生後，在其北側有許多的地震活動。這暗示地震破裂，有可能是自南往北延伸，因此瑞穗主震震源以北的地區，地震叢集。雖然這些叢集的地震，與瑞穗地震有空間上的偏離。但由於瑞穗地震夠規模大 ($M_L = 6.4$)，其破裂面的長度可能達 10~30 公里。因此，這些位在主震以北的叢集地震，可以將其連結為瑞穗地震破

裂產生的餘震活動。

2014 年的鳳林地震正好就落在前述叢集的地震群中，推測應該是瑞穗地震的餘震活動。鳳林地震前，瑞穗地震後，此地區的地震活動（瑞穗地震的餘震）即十分活躍。顯見鳳林地震非一般個別發生的地震，很有可能即是瑞穗地震的餘震。另一方面，配合鳳林地震及其後局部地區的地震活動來看，也暗示著鳳林地震的破裂型態與瑞穗地震十分相似。整理 2014/05/21 至 2014/10/31 間的地震目錄，繪製地震分布與剖面圖，可以發現這些地震有明顯的朝西傾的分布。這個特性與瑞穗地震的主震震源機制十分相近。而瑞穗地震與鳳林地震相距在 25 公里以內，換而言之，這兩個地震很有可能是由相同構造的活動所造成的。

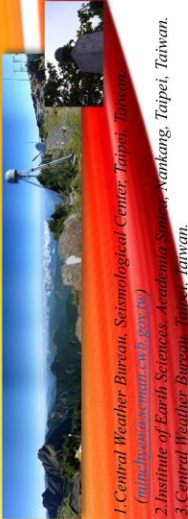
利用高精度 GPS 觀測資料解算結果，我們可以推估該地區之同震位移量與背景地殼變形速度場量值，鳳林地震由於規模較小且震源深度較深，所以同震位移量並不如瑞穗地震明顯。利用速度場量值，使用泰森多邊形估算不同測站密度並加以權重，即可得到該區之地殼應變場。結果顯示，在瑞穗地震發生之前，該區就以已經有明顯的應力累積，倘若只估算瑞穗地震發生後至鳳林地震發生前（2013/11/01～2014/05/20）此段時間之應變場，可發現有應力重新累積的狀況，且位置偏北，與地震觀測的結果相符。利用二維半彈性空間模型與同震位移、餘震分布資料，進行簡單的同震模型逆推，得到的最佳結果是一長 30 公里，寬 30 公里，傾角 49 度且向西傾斜的背衝斷層，其斷層面上最大的滑移量約為 17 公分，但卻未破裂到地表，只破裂至地表下深度 5 公里處。

綜觀地震活動、GPS 連續觀測資料分析結果、GPS 資料應變場結果、GPS 同震模型結果、氣象局之震源機制解等等，我們相信中央山脈斷層的確存在，且是一個背衝斷層。本研究之壁報圖檔與英文論文摘要列於後續兩頁（圖六與圖七）。

The analysis of GPS crustal deformation, seismicity, and strain rate in October 2013

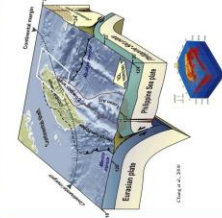
Ruisui, Taiwan Earthquake

Min-Chien Tsai^{1*}, Shui-Beih Yu², Tzay-Chyn Shin³, and Kuo Kat-Wen¹



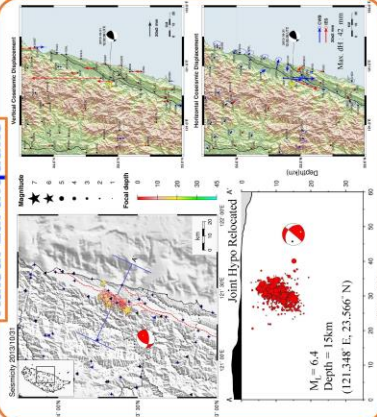
1. Central Weather Bureau, Seismological Center, Taipei, Taiwan (min-chien@cmr.cwb.gov.tw)
2. Institute of Earth Sciences, Academia Sinia, Nankang, Taipei, Taiwan.
3. Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan.

Tectonic Setting

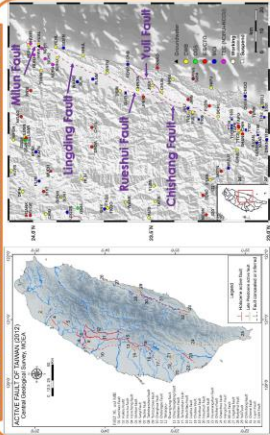


The Ruisui earthquake occurred on 31 October 2013 on the Longitudinal Valley (LV) in eastern Taiwan, close to the town of Ruisui. The event was the third $M_w \geq 6$ event occurring in Taiwan, during 2013, following the 27 March and 2 June Nantou sequence. The LV, which is considered as an active collision boundary between the Eurasian plate (EU) and the Philippine Sea plate (PSP), is accounting for more than one third of the 82 mm/yr of oblique plate convergence. The LVF is separating two different geological regions: the Coastal Range to the east and the Central Range to the west.

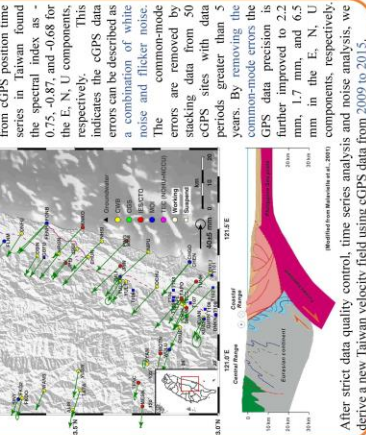
Ruisui Earthquake



Active Faults & Crustal Deformation



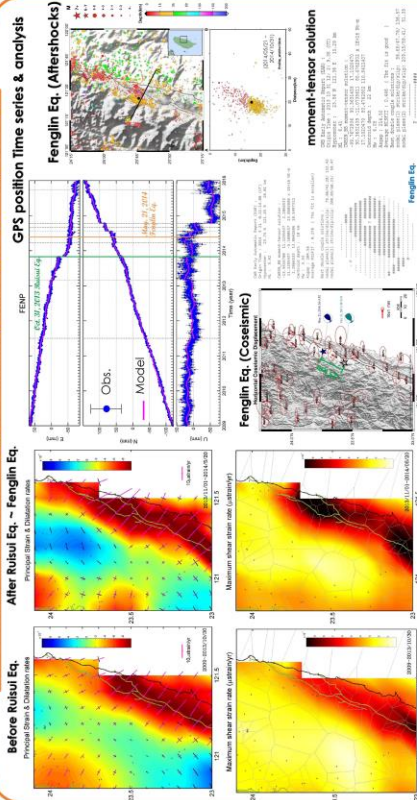
Data were collected from 428 Taiwan Continuous GPS (cGPS) Array sites from 2009 to 2015 and processed with GAMIT/GLOBK software. About noise analysis, Power spectral density stacking series in Taiwan found the spectral index as -0.75, -0.87, and -0.68 for the E, N, U components, respectively. This indicates the cGPS data errors can be described as random or white noise and flicker noise. The common-mode errors are removed by stacking data from 50 cGPS sites with data periods greater than 5 years. By removing the common-mode errors the GPS data precision is further improved to 2.2 mm, 1.7 mm, and 6.5 mm in the E, N, U components, respectively.



After strict data quality control, time series analysis and noise analysis, we derive a new Taiwan velocity field using cGPS data from 2009 to 2015.

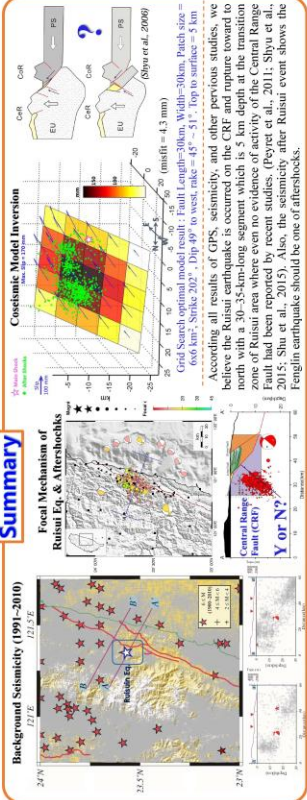
See Atmos Ocean Sci Lett 24, No. 5, 527-536, October 2015
DOI: 10.3817/AOS.2015.05.21.011

GPS Strain Field & Fenglin Earthquake (May 21, 2014)



The Fenglin earthquake occurred on 21 May 2014, which is only 25km away from the 2013 Ruisui Eq. The moment-tensor solution derived from inversion of CWBSSN BB waveforms show almost same pattern of those two events. The two different time interval results of strain field also present the strain accumulated again with the similar way with Ruisui event and present large shear-stress before Fenglin earthquake occurred.

Summary



According all results of GPS, seismicity, and other previous studies, we believe the Ruisui earthquake is occurred on the CRF and rupture toward to north with a 30-35-km-long segment which is 5 km depth at the transition zone. Fault had been studied by recent studies (Payat et al., 2011; Shu et al., 2015; Shu et al., 2015). Also, the seismicity after Ruisui event shows the Fenglin earthquake should be one of aftershocks.

圖六、本次與會論文發表之海報圖檔。

The analysis of GPS crustal deformation, seismicity, and strain rate in October 2013 Ruisui, Taiwan Earthquake

Tsai Min-Chien (1), Yu Shui-Beih (2), Shin Tzay-Chyn (3), and Kuo Kai-Wen (4)

(1) Central Weather Bureau, Seismological Center, Taipei, Taiwan, Republic Of China (minchyen@scman.cwb.gov.tw), (2) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Nankang, Taipei, Taiwan, Republic Of China, (3) Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan, Republic Of China, (4) Central Weather Bureau, Seismological Center, Taipei, Taiwan, Republic Of China

The Ruisui earthquake occurred on 31 October 2013 on the Longitudinal Valley (LV) in eastern Taiwan, close to the town of Ruisui. The event was the third $M_w \geq 6$ event occurring in Taiwan, during 2013, following the 27 March and 2 June Nantou sequence. The LV, which is considered as an active collision boundary between the Eurasian plate (EU) and the Philippine Sea plate (PSP), is accounting for more than one third of the 82 mm/yr of oblique plate convergence. The LVF is separating two different geological regions: the Coastal Range to the east and the Central Range to the west. The deformation along the LV is mostly accommodated by two large structures: the Longitudinal Valley fault (LVF) and the Central Range fault (CRF). According to the previous research results of geology, GPS, and other geophysical data, the 60° east-dipping LVF, which represents the main active structure of the LV, is characterized by high rates of oblique slip on its southern segment and by primary left-lateral strike-slip on its northern segment. The CRF, dipping 50° – 60° westward underneath the eastern flank of the Central Range, is associated with the fast uplift of the Central Range.

The Ruisui earthquake is believed to rupture a 30–35-km-long segment of this northeast-southwest trending CRF with a primary thrust mechanism, in agreement with the tectonic stress regime in this region. However, the existence of the CRF has long been debated since its introduction. The earthquake report of the Central Weather Bureau (CWB) of Taiwan indicated an epicenter located at a depth of about 15 km at the position (121.348° E, 23.566° N). Source parameters inferred from GPS data inversion and seismic waveform inversion were reported soon after its occurrence. Both indicate a thrust-fault mechanism with a strike, dip, and rake angles varying from about 200° to 209° , 45° to 59° , and 42° to 50° , respectively, and with a moment magnitude of about 6.2.

This shock occurred near a dense Continuous GPS network, a groundwater station specially designed for observation of seismic precursor signals. Most of all, the shock is located in the area with very active seismicity and fast crustal deformation. Furthermore, the quality of Central Weather Bureau Seismic Network (CWBSN) seismic data has been significantly improved and reached micro-earthquake level. Therefore, we have plenty data to do the case research for this earthquake event. To try to understand the possible seismogenic mechanism and tectonic structure. We also try to search for any pre-seismic signal and assess the capability of very short-term prediction in the area during the earthquake.

圖七、本次與會論文發表之摘要圖檔。

(2) 利用高密度 GPS 連續觀測記錄網分析臺灣東南部縱谷斷層之特性 (The study of characteristics of Longitude Valley Fault derived from the dense continuous GPS array, southeastern Taiwan)。

六百萬年以來，菲律賓海板塊與歐亞板塊的碰撞在歐亞大陸邊緣形成隆起的造山帶，鄰近臺灣的板塊邊界構造有東側的琉球海溝與東南側的馬尼拉海溝，兩海溝之間又以縱谷斷層 (Longitudinal Valley fault) 為界，連接這兩個隱沒帶。縱谷斷層除了是連接兩個隱沒帶的轉型斷層之外，也是弧陸碰撞帶的邊界斷層。從地震震源分佈推測碰撞帶的板塊邊界的地殼構造似乎呈現菲律賓海板塊 (海岸山脈) 逆衝到歐亞大陸 (中央山脈) 之上。縱谷斷層出露地表位置，北從花蓮溪口南經台東市，全長約 150 公里。徐鐵良等人完成海岸山脈地質調查，首次指出此邊界斷層為向西的逆衝斷層，由於大部分斷層跡被沖積層覆蓋，很難訂定斷層確實位置。但是局部露頭顯示屬於菲律賓海板塊的海岸山脈沿著斷層逆衝在中央山脈之上，徐鐵良稱此斷層為台東縱谷斷層。另外，徐鐵良研究海岸山脈與縱谷的河階與海階地形認為南段海岸山脈的抬升速率較快，雖未言明縱谷斷層應具有斷層區段的差異，但已經暗示南北側的斷層具有不同的活動性。至於縱谷斷層活動特性為何？根據前人的研究結果，例如大地測量結果，以及利用海階定年等研究之後，對於縱谷斷層的活動性才有逐步的探討。國立臺灣大學陳文山教授等人根據更新世地層中古地磁的變動，以及全新世海階與大地測量資料的分析，認為更新世以來奇美斷層兩側地塊變動與奇美斷層的演化有密切關係。之後，各種研究對於縱谷斷層的區段更有了詳細討論，中央研究院李建成研究員針對池上斷層的潛移特性與活動速率的詳細敘述，余水倍研究員與郭隆晨技師解算於 2001 年的 GPS 觀測資料分析各區段斷層的活動速率。基於上述各種研究結果，經濟部中央地質調查所張徽正與林啟文等人將縱谷斷層分為幾個區段斷層，米崙斷層、玉里斷層、池上斷層與利吉斷層，但對於各區段斷層邊界與斷層活動特性並沒有明確定義。

由於歷經數百萬年的斜向弧陸碰撞作用，造成現今全段縱谷斷層的活動特性並非全然相同，從利吉層的鱗片狀片理上的擦痕顯示早期屬於走向滑移斷層作用，後期則以逆衝作用為主，隨著構造作用的演化，斷層 (池上斷層) 特性也隨著改變。縱谷斷層、美國聖

安地列斯斷層 (San Andreas fault) 以及土耳其的安納托利亞斷層 (Anatolian fault) 同屬於板塊邊界斷層，雖然斷層性質不同，但是這些板塊邊界斷層的每年平均滑移量都非常大，而且百年來都具有規模 $M > 7$ 的大地震，斷層活動週期也非常短。聖安地列斯斷層與安納托利亞斷層長達 2000 公里，依據歷史地震斷層位置與斷層特性的差異，都劃分了數個斷層區段。雖然，縱谷斷層長度僅有這兩條斷層的十分之一，但是 1951 年的兩次地震在不同區段產生地表破裂，顯示縱谷斷層在不同區段可能具有不同的活動性。

本研究利用近期較新之 GPS 高精度解算資料結果，估算該區之背景速度場與大地應變場，並利用速度剖面分析，將縱谷斷層的不同分段釐清。根據觀測結果，跨過縱谷斷層每年約有 2 公分的速度不連續，且大地應變場的演算也提出相同的結果。菲律賓海板塊碰撞歐亞板塊每年約以 8 公分的速度向西北前進，經過縱谷斷層，約有 49% 的應變的累積在這長達 150 公里的邊界斷層上。若速度剖面中可以看到若有明顯的速度梯度變化出現，表示該區斷層是呈現「鎖定」(Locking) 的狀態，較容易孕震。相反的，若速度剖面出現的直接明顯不連續 (GAP)，則表示此斷層可能呈現潛移 (Creeping) 的狀態，較不容易孕震，因為能量都利用緩慢的變形而消耗掉了。因此在本研究我們總共使用了六個不同的速度剖面，這些剖面顯示 150 公里長的縱谷斷層在每個區段都有不同的特性。其中最值得提及的是池上斷層，每年約有 2 公分的潛移量。但這是否就代表池上斷層並無危險性？答案是否定的。過去 1951 年花東縱谷系列地震與 2003 年的成功地震都告訴我們，池上斷層仍然有孕震的潛能。在較淺部的地方潛移，而深部仍顯現鎖定狀態。這也就是為何該區所發生的地震，通常深度都較深。

總而言之，從古地震的同震變形行為以及 GPS 資料推估的震間 (inter-seismic periods) 變形特性，我們可將長達 150 公里的縱谷斷層劃分為四個斷層區段，由北而南為嶺頂斷層、瑞穗斷層、池上斷層與利吉斷層。各區段斷層特性，嶺頂斷層為左向的走向滑移斷層，瑞穗斷層、池上斷層與利吉斷層則屬於朝西北西向的逆衝斷層。根據 GPS 觀測資料分析，瑞穗斷層上盤 (海岸山脈) 地表的位移向量場呈現向西遞減，震間遞減速率的差值 (interseismic slip rate deficit) 為 23.6 mm/yr (方位角 294°)，此差值相當於在斷層尖端的長期同震變形速率，為 21.6-27.7 mm/y，顯示瑞穗斷層的淺部斷層帶在震間呈現鎖定狀態

(lock)，推測鎖定深度約在 8-12 公里。斷層尖端變形只有在大地震發生同時才產生變形，從古地震研究顯示過去 700 年之間各大地震所產生的垂直變動量約 0.65 至 3.4 公尺。池上斷層呈現快速的震間變形，斷層尖端的水平潛移速率約 26.4 mm/yr (方位角 285°)，而斷層上盤區域幾乎沒有變形，顯然海岸山脈地塊的震間地表變形都集中在斷層尖端，且呈現潛移狀態。從震間變形與 2003 年成功地震的同震變形，推測池上斷層在約 20 公里深度以上的斷層面具潛移作用，較深部斷層則處於鎖定狀態。但具潛移的池上斷層還是會發生大地震，如同 1951 年與 2003 年地震，震源都發生在較深處 (約 20 公里以下)，而同震的地表變形量都較小。

本研究之壁報圖檔與英文論文摘要列於後續兩頁 (圖八與圖九)。

The study of characteristic of Longitude Valley Fault derived from the dense continuous GPS array, southeastern Taiwan

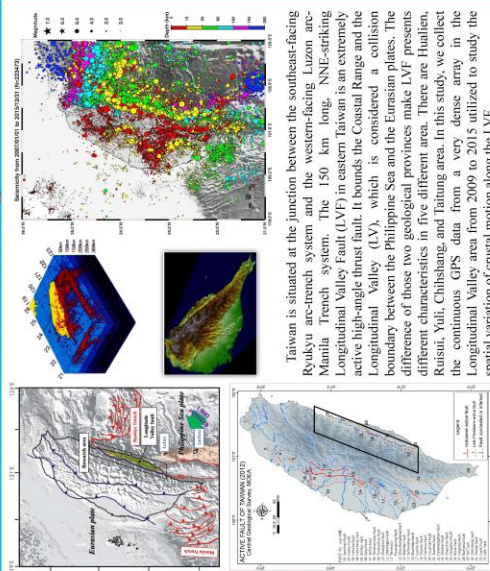


1. Central Weather Bureau, Seismological Center, Taipei, Taiwan.
 2. Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Nankang, Taipei, Taiwan.
 3. Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan.

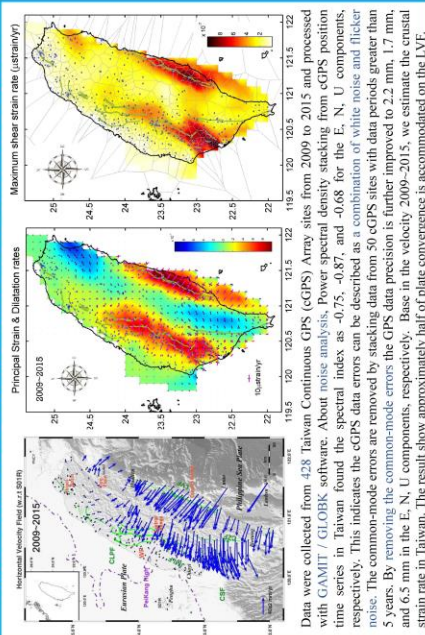


Min-Chien Tsai^{1*}, Shui-Beih Yu², Tzay-Chyn Shin³, and Kuo Kai-Wen¹

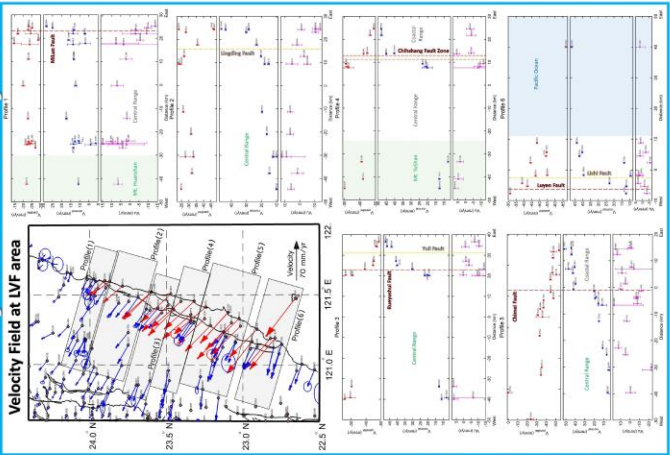
Tectonic Setting



Crustal Deformation & Strain Field

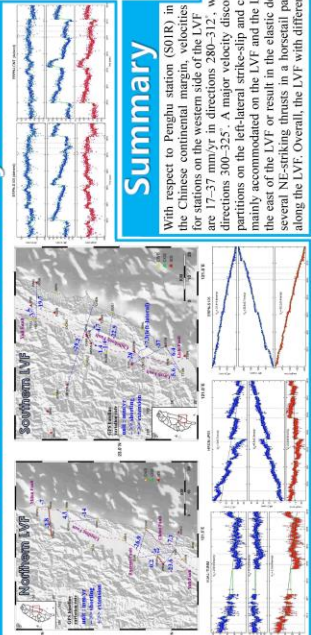


Velocity Profile Analysis



those on the eastern side of the LVF; the Coastal Range, are 25-68 mm/yr in directions 300-325°. A major velocity discontinuity of about 20-25 mm/yr across the LVF is attributed to the aseismic slip. Various partitions on the left-lateral strike-slip and convergent components along the LVF are found. In southern LV area, crustal motion is mainly accommodated on the LVF and the Luyeh Fault. In contrast, the central and northern LV area is partly taken up on the faults to the east of the LVF or result in the elastic deformation of the Coastal Range. The northern LV area is likely to be distributed in the several NE-striking thrusts in a horse-tail pattern and obliquely cut the northern Coastal Range, with a small portion of fault-slips along the LVF. Overall, the LVF with different characteristics in different area with high seismicogenic potential.

Baseline Variation Analysis



Summary

With respect to Penghu station (SDIR) in the Chinese continental margin, velocities are 17-37 mm/yr in directions 280-312°, whereas those on the eastern side of the LVF; the Coastal Range, are 25-68 mm/yr in directions 300-325°. A major velocity discontinuity of about 20-25 mm/yr across the LVF is attributed to the aseismic slip. Various partitions on the left-lateral strike-slip and convergent components along the LVF are found. In southern LV area, crustal motion is mainly accommodated on the LVF and the Luyeh Fault. In contrast, the central and northern LV area is partly taken up on the faults to the east of the LVF or result in the elastic deformation of the Coastal Range. The northern LV area is likely to be distributed in the several NE-striking thrusts in a horse-tail pattern and obliquely cut the northern Coastal Range, with a small portion of fault-slips along the LVF. Overall, the LVF with different characteristics in different area with high seismicogenic potential.

Taiwan Continuous GPS Array



圖八、本次與會論文發表之海報圖檔。

The study of characteristics of Longitude Valley Fault derived from the dense continuous GPS array, southeastern Taiwan

Tsai Min-Chien (1), Shin Tzay-Chyn (2), Yu Shui-Beih (3), and Kuo Kai-Wen (4)

(1) Central Weather Bureau, Seismological Center, Taipei, Taiwan, Republic Of China (minchyen@scman.cwb.gov.tw), (2) Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan, Republic Of China, (3) Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Nankang, Taipei, Taiwan, Republic Of China, (4) Central Weather Bureau, Seismological Center, Taipei, Taiwan, Republic Of China

Taiwan is situated at the junction between the southeast-facing Ryukyu arc-trench system and the western-facing Luzon arc-Manila Trench system. The 150 km long, NNE-striking Longitudinal Valley Fault (LVF) in eastern Taiwan is an extremely active high-angle thrust fault. It bounds the Coastal Range and the Longitudinal Valley, which is considered a collision boundary between the Philippine Sea and the Eurasian plates. The Central Range is quite different geology structure from the Coastal Range. The Central Range is composed of the pre-Tertiary metamorphic basement and weakly metamorphosed Cenozoic argillite-slate series. The Coastal Range consist of Neogene andesitic volcanic units and associated turbidite sediments. The difference of those two geological provinces make LVF presents different characteristics in five different area. There are Hualien, Ruisui, Yuli, Chihshang, and Taitung area. In this study, we collect the continuous GPS data from a very dense array in the Longitudinal Valley area from 2009 to 2015 utilized to study the spatial variation of crustal motion along the LVF. With respect to Penghu station (S01R) in the Chinese continental margin, velocities for stations on the western side of the LVF (Longitudinal Valley and eastern Central Range) are 17–37 mm/yr in directions 280–312°, whereas those on the eastern side of the LVF, the Coastal Range, are 25–68 mm/yr in directions 300–325°. A major velocity discontinuity of about 20–25 mm/yr across the Longitudinal Valley is attributed to the aseismic slip along the LVF as revealed by trilateration data previously. The south of Fengping area, the velocity of Coastal Range is 30–40 mm/yr in 315–332° relative to the Central Range, while the near-fault motions are about 13–33 mm/yr in 309–336°. Various partitions on the left-lateral strike-slip and convergent components along the LVF are found. In the southern Longitudinal Valley crustal motion is mainly accommodated on the LVF and the Luyeh Fault. In contrast, those in the central and northern Longitudinal Valley are partly taken up on the faults to the east of the LVF or result in the elastic deformation of the Coastal Range. The crustal deformation in the northern Longitudinal Valley area is likely to be distributed in the several NE-striking thrusts in a horsetail pattern and obliquely cut the northern Coastal Range, with a small portion of fault-slips along the LVF. Overall, the LVF with different characteristics in different area, the velocity discontinuity suggest us the high strain accumulate here with high seismogenic potential.

圖九、本次與會論文發表摘要圖檔。

四、心得

臺灣位處環太平洋地震帶，地震頻繁、快速的地殼變形、火山活動與海嘯侵襲，任何一項都有可能造成巨大的災損或傷亡。因此，如何做到地震海嘯的防災減災，更或是進一步的地震預報（或說地震預測），都是地震學家目前一直努力的目標。相較於日本，目前中央氣象局有自己發展完善的作業系統，例如地震速報系統、強震即時預警系統，對於臺灣地區地震活動可以快速地發布資訊與預警，應用於防震減災；而地球物理觀測系統，有豐富的觀測資料，用於前兆研究可說相當適合。

本次參加 2016 歐洲地球科學聯會，與多位國際相關研究學者交流研究心得，包含中美日多位在地球物理資料分析、地震水文觀測、火山監測、重力觀測應用於火山監測、地震速報與預警、地震前兆、地殼變形與模型分析等研究領域上有多年豐富經驗之專家學者，獲益匪淺。對於目前世界各地於氣象局業務需求層面上所需之分析技術、新趨潮流等等，尤其是慢地震與地震前兆的研究也有更新的體驗與認識。

尤其是在 GNSS 衛星大地測量對於「多星系統」軌道誤差方面的修正與資料處理，更是獲益良多！在過去我們只使用 GPS 衛星系統，隨著資料處理技術越趨成熟，美國 GPS 及俄羅斯 GLONASS 現代化計畫展開與歐盟 Galileo 衛星發射，宣告著 GNSS 時代來臨，多數衛星測量儀器廠商已投入全力在開發多頻多系統接收儀，如 Trimble NetR9 GNSS（目前氣象局 157 個連續 GPS 觀測站皆是此款高級儀器），TOPCON NET G3、LEICA GRX 1200+、JAVAD GNSS 等型號儀器均已宣稱具備 72 頻道(含)以上，可同時接收 12 顆(含)以上 GPS、GLONASS 及 Galileo 衛星資料，並可接收 GPS L2C、L5 資料，對於未來 Galileo 運作後衛星訊號功能僅需昇級擴充等功能。這些精密儀器配合第三頻率，靜態測量時水平精度可達 $5\text{ mm} \pm 0.5\text{ ppm}$ ，垂直精度達 $10\text{ mm} \pm 1\text{ ppm}$ ，動態測量時水平精度可達 $10\text{ mm} \pm 1\text{ ppm}$ ，垂直精度達 $20\text{ mm} \pm 1\text{ ppm}$ 。因此，現今與未來任何一個 GPS 使用者，在全世界任何時間、任何地點皆可以將位置定到公分級以下的範圍。於地球科學的領域中，GPS 則可以用來監測地殼及板塊變動的情形。連續記錄式的 GPS，除了可以提供精密的座標外，更可藉由分析座標變動與時間、空間的關係，瞭解監測地區之地體構造；並且可以更進一步的分析各地區應變之時空變化及其累積，有助於瞭解地下潛在能量的累積情形，亦或是對斷層活動

做監測。如今 GPS 資料分析與處理技術及模式已臻完善，精度也越加提昇，根據以往臺灣地區的測量結果顯示，目前水平精度已經可達 1~3 mm，利用高密度之 GPS 觀測網（站距約 10~15 km），由於基線較短不易受到系統誤差的影響，可以達到非常高的座標精度，對於短期之地殼變形監控或是異常的斷層活動可達到偵測的效果。本次會議認識了非常多傑出的科學家或研究學者，不僅交流了新穎的研究成果，透過進一步的討論，發現有許多可以合作研究的機會。

還有地震的定位與發布，與地震資料庫的完善，日方有一套相當完整的作法，藉由統計數據與分析圖表，可以看出過去地震的精度與我們對於歷史地震重定位需要加強的地方。但另一方面，日方也對臺灣一直以來的系統升級和定位精度之提升稱讚不已。而在歷史地震為何重要，是因為過去的地震活動，可以幫助我們瞭解大地震週期之外，更可用於構造活動之探討。因此本次看到日方對臺灣地區歷史地震的悉心研究，除了感覺其重要性外，也同時感受到臺灣發震構造的迷人之處，所以國外學者爭相研究。

雖說臺灣所處的位置較少受到海嘯侵襲，海嘯事件的發報並不如地震頻繁，但卻不能低估其威脅。但依據學者分析以及歷史資料顯示，臺灣東部海域或是南部之馬尼拉海溝，或是東北部的沖繩海槽地區，均可能發生足以引發海嘯的大規模地震，對於海嘯相關的研究運用仍有不少發展空間。目前說來由於海嘯事件並不頻繁，所以經驗上較為不足，但是經過本次會議獲得許多新的資訊與方法，若將其應用於相關作業流程與災害應變方面，將會大幅減低海嘯威脅可能造成之災損。

最後，所有地震研究的最終目標：地震預測，也是本次會議中的熱門話題。氣象局不僅擁有豐富的地球物理資料，更善於地殼變形觀測資料之解算與模擬。透過許多交流，激盪出許多火花與未來共同研究的可能，對於前兆觀測如此艱難的任務，似乎又更多了信心。總而言之，此次的國際會議是相當難得且有趣的機會，除了國際與學術的交流外，有許多我們可以借鏡參考的地方，讓我看到科學運用在生活中有無限的可能與變化，並在心中燃起更多熱忱，希望未來我會將這股熱忱用於 GPS 地殼形變相關研究、地震發布、預警，甚至地震預報上。

五、建議

臺灣處於地震、海嘯頻繁侵襲的危險區域，本次與會得到許多豐碩的知識與成果，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，若未來有技術交流的機會，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。

地震發生之機制至今仍未能釐清，可靠的地震前兆因子亦尚未獲學界肯定。但是地震預測若能成功，則對地震防災減災之社會效益貢獻極大，故美、日等先進國家至今仍戮力以赴。美國自 1999 年開始規劃並從 2004 年開始推動執行的「北美西部板塊邊界觀測（PBO）計畫」即是以慎密佈置大量高精度的儀器分別觀測涵蓋不同頻率之各種變形，期能解開地震形成之謎，並篩選可靠之地震前兆。利用井下應變儀觀測站儀器以三分量井下應變儀為主，並搭配井下微震儀、水位計、井下寬頻地震儀與 GPS 連續觀測站，藉由長期連續的觀測，可對斷層活動潛勢有更深入的了解，進而得知可能之孕震潛能。

雖說此仍為相當具研究性質的工作，但對社會經濟的影響也是相當地重大。氣象局在地殼形變的研究與相關儀器維護等進展已經位列世界先驅，尤其是高密度的連續觀測網，可謂全世界排行前 10 名中。就是因為有如此多的資料可以分析，所以在未來更我期許自己會有更多成果。反之，仍有許多需要補足之處。以地震地下水觀測研究而言，目前臺灣地震地下水的研究井只有六座，相較於最鄰近我們的國家---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。

無論如何，能有機會參加本次 2016 歐洲地球科學聯會實為幸事一樁。每年大會都會吸引全球超過萬名的地球科學家前往觀摩與發表研究成果，他們以口頭或壁報方式發表超過 1 萬篇以上的科學論文，包含地球科學各個領域和學門，其中細分近 600 個精采的科學議題、大師級的主題演講及簡短課程，精彩無比！參與此會可以快速吸取國外相關領域之研發經驗，提升臺灣研發能量，得到最佳的研究與分析成果，故值得政府機關派員參加此會議，瞭解地球科學界最新研發趨勢與動態。建議氣象局未來還能有機會派員參加此大會。