

出國報告（出國類別：移地研究）

赴日本千葉大學
進行短期移地交流心得報告

服務機關：交通部中央氣象局
姓名職稱：蔡旻倩技士
派赴國家/地區：日本千葉縣
出國期間：107年5月19日至28日
報告日期：107年8月9日

摘要

臺灣位於環太平洋地震帶，菲律賓海板塊和歐亞板塊交界上，地震活動頻繁且地殼形變快速，根據中央氣象局（以下簡稱本局）近年來對於地殼形變的研究成果顯示，菲律賓海板塊以每年平均 82 mm 朝西北碰撞歐亞板塊，相就於其他國家形變相當劇烈。本局發展地震預警與地震前兆等相關工作及研究由來已久，尤其是在前兆與地殼形變等地球物理相關研究方面已具有不錯的成績。近年臺灣地區地震災頻繁，如 2016 年的美濃地震與 2018 年的花蓮外海地震皆造成大樓倒塌及人員傷亡之災損，因此瞭解地質相關地體構造以及延伸到地質地震災害科技發展相當重要。日本與臺灣同位於環太平洋地震帶，常受震災威脅，因本次短期移地交流，蔡技士將前往日本千葉大學交流各種最新之地震防災與地球物理資料應用於地震前兆觀測技術。

本次的移地研究地點日本的千葉大學，但整體而言蔡員除了在千葉大學作研究與業務交流外，也應邀參加日本所舉辦的國際研討會與許多國際交流工作會議，將新學到的技術加以應用後發表論文共 3 篇，將所瞭解國際上地球科學發展之最新趨勢，合併本局相關之地震預警、地震前兆分析等技術開發，甚至是防災相關等重點研究，展現國際化的成果。此行利用他國經驗，通過短期交流評估臺灣在實際防災應用的情形與效益，有助本局未來業務規劃之參考。本文將介紹於千葉大學短期交流之過程，並提供研討會後心得及建議。

目次

一、目的	4
二、過程	7
三、短期交流和與會心得	23
四、建議	25
附錄一、交流點滴及照片	26

一、目的

地震活動的分析往往可作為地質構造活動的解釋參考，臺灣的地震活動觀測始自十九世紀，開始科學化的地震觀測，歷經數次觀測技術與設備的改善，臺灣地區的地震觀測持續地躍進。近十多年來臺灣地區的地震觀測設備進入全面數位化的時代，測站品質大幅提升並加密，使得地震活動記錄更加的詳細。臺灣地震活動頻繁，近百年來所發生的災害性地震超過 10 次（圖 1），例如：1904 年的斗六地震、1906 年梅山地震、1927 年之新營地震、1941 年中埔地震、1964 年白河地震、1991 年佳里地震、1998 瑞里地震、1999 年之集集地震與嘉義地震及 2010 年甲仙地震等。大多嚴重的地震災害皆源於斷層在地表所造成的錯動，斷層可視為活動的地震構造，與地震活動關係密切，同時地震資料直接提供了有利證據以判定地震活動構造（活動斷層）之位置，至於潛存於地殼中的盲斷層（blind fault）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（深度約在 10 公里附近），如果藉由精確的地震定位，能有效提供地下活動構造之相關資訊。

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，其發展至今已有 30 多年。隨著美國 GPS 及俄羅斯 GLONASS(Global Navigation Satellite System) 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。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。

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。整體而言，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），對比其他國家而言我國測站密度相當高。因此，如何有效地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、天然災害防治、地震前兆訊號偵測、斷層活動度分析，且藉由短期移地研究之討論交流，以期進一步改進與推廣本局相關研究成果，為此次訪問的主要目標。

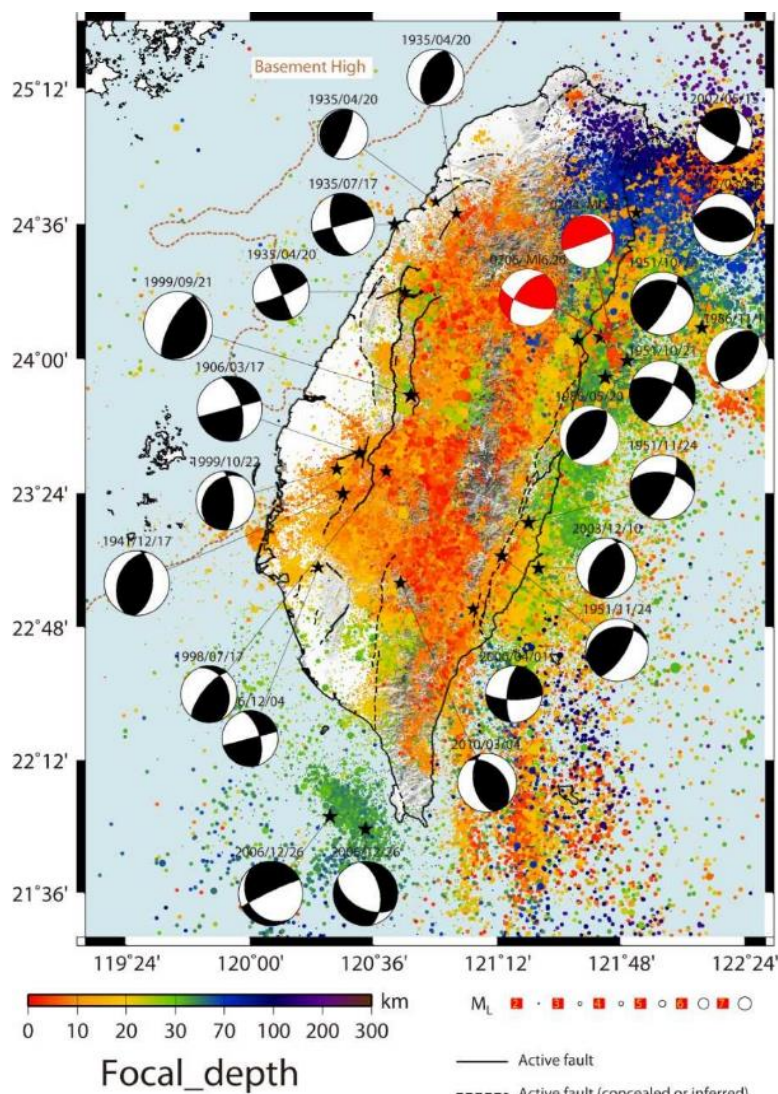


圖 1、二十世紀臺灣地區災害性地震之震央分布圖。圖中紅色星號為地震震央位置，大小分別代表不同規模，圖中可見大部分地震發生在東部與中西部地區（臺中—嘉義—臺南地區），東部地區的地震型態通常為典型隱沒帶地震，深度較深。大部分的淺源地震，還是以臺灣中西部為主。圖中顯示過去一世紀以來臺灣發生過 20 次以上的災害性地震。

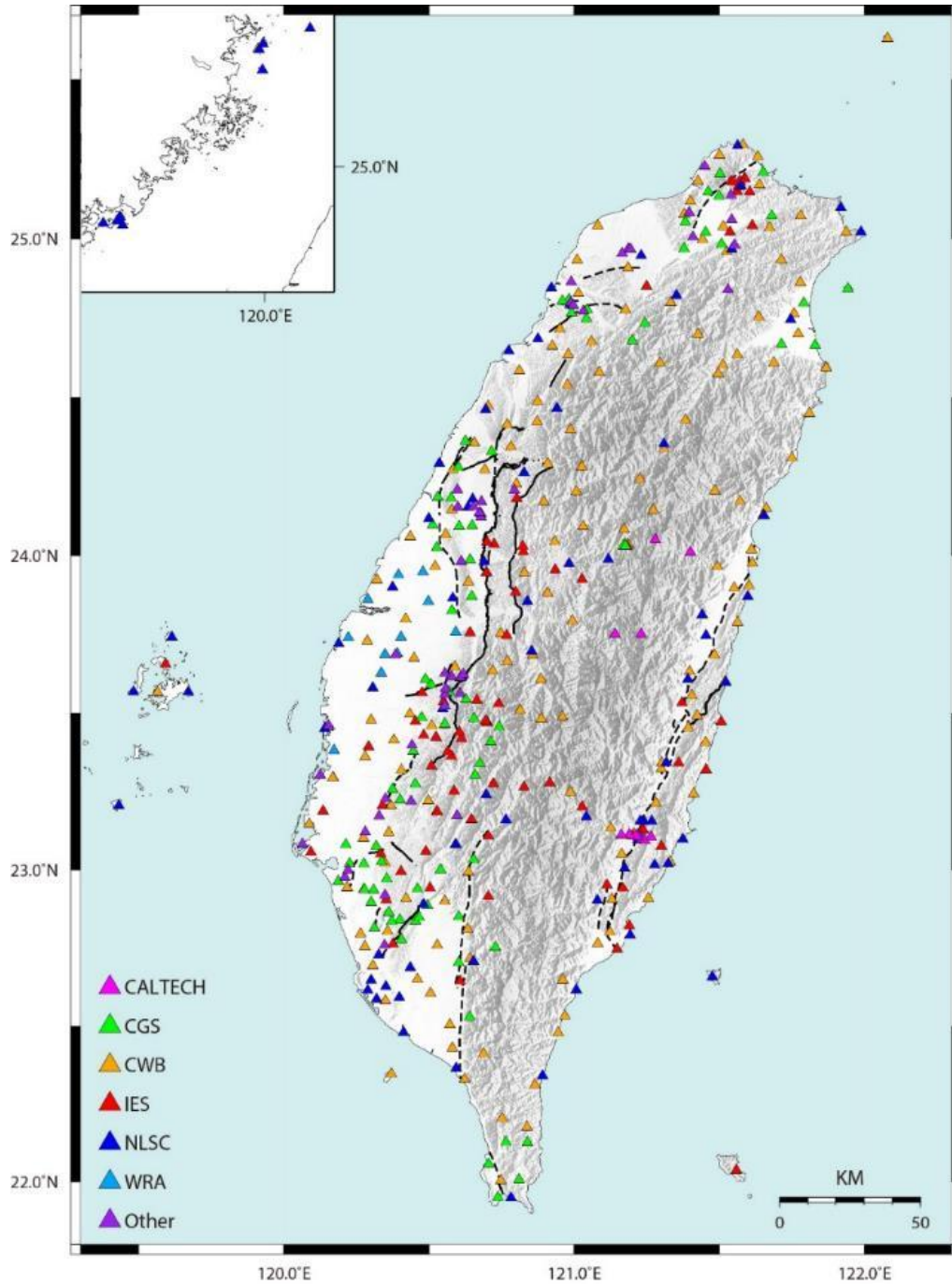


圖 2、臺灣 GPS 連續觀測網測站分布圖。不同圖形與顏色符號，分別代表不同單位之測站。其中包含交通部中央氣象局（CWB）、中央研究院地球科學研究所（IESAS）、經濟部地質調查所（CGS），內政部國土測繪中心（MOI），工業技術研究院（IRTI）、國立成功大學（NCKU），以及 IGS（International GPS Service）。

二、過程

臺灣位於環太平洋地震帶，菲律賓海板塊和歐亞板塊交界上，地震活動頻繁且地殼形變快速，根據中央氣象局（以下簡稱本局）近年來對於地殼形變的研究成果顯示，菲律賓海板塊以每年平均 82 mm 朝西北碰撞歐亞板塊（圖 3），相較於其他國家形變相當劇烈。本局發展地震預警與地震前兆等相關工作及研究由來已久，尤其是在前兆與地殼形變等地球物理相關研究方面已具有不錯的成績。近年臺灣地區地震災頻繁，如 2016 年的美濃地震（圖 3）與 2018 年的花蓮外海地震皆造成大樓倒塌及人員傷亡之災損。地震監測與前兆觀測為本局重點業務之一，本次的移地研究地點日本的千葉大學，但蔡員除了在千葉大學作研究與業務交流外，也應邀參加日本所舉辦的國際研討會與許多國際交流工作會議，結合新學到的技術加以應用後發表論文共 3 篇，將所瞭解國際上地球科學發展之最新趨勢，合併本局相關之地震預警、地震前兆分析等技術開發，甚至是防災相關等重點研究，展現國際化的成果。以下為蔡員本次日本千葉進行短期移地交流之行程摘要表：

日期	地點	工作摘要
107年5月19日	桃園-日本成田機場	由桃園國際中正機場搭乘飛機赴日本，並於機場轉乘巴士前往千葉大學。
107年5月20日至5月27日	日本千葉	短期研究與技術交流
107年5月28日	日本成田機場-桃園	由千葉大學搭乘巴士至日本成田機場，搭機返回臺灣。

千葉大學是日本一所相當優秀之國立大學，位於千葉縣千葉市。本部地址是千葉市稻毛區彌生町 1-33。日文中簡稱：千葉大，其他 3 個校區分別為於：亥鼻、松戶、柏之葉。本次蔡員所參訪交流為千葉大學本部，在新千葉站旁邊，搭乘地鐵相當方便。依據 2017 年本的報導，日本國公立大學前期考試結果顯示，從報考人數上來看，千葉大學已經連續兩年力壓東京大學、大阪大學等名校，蟬聯首位。

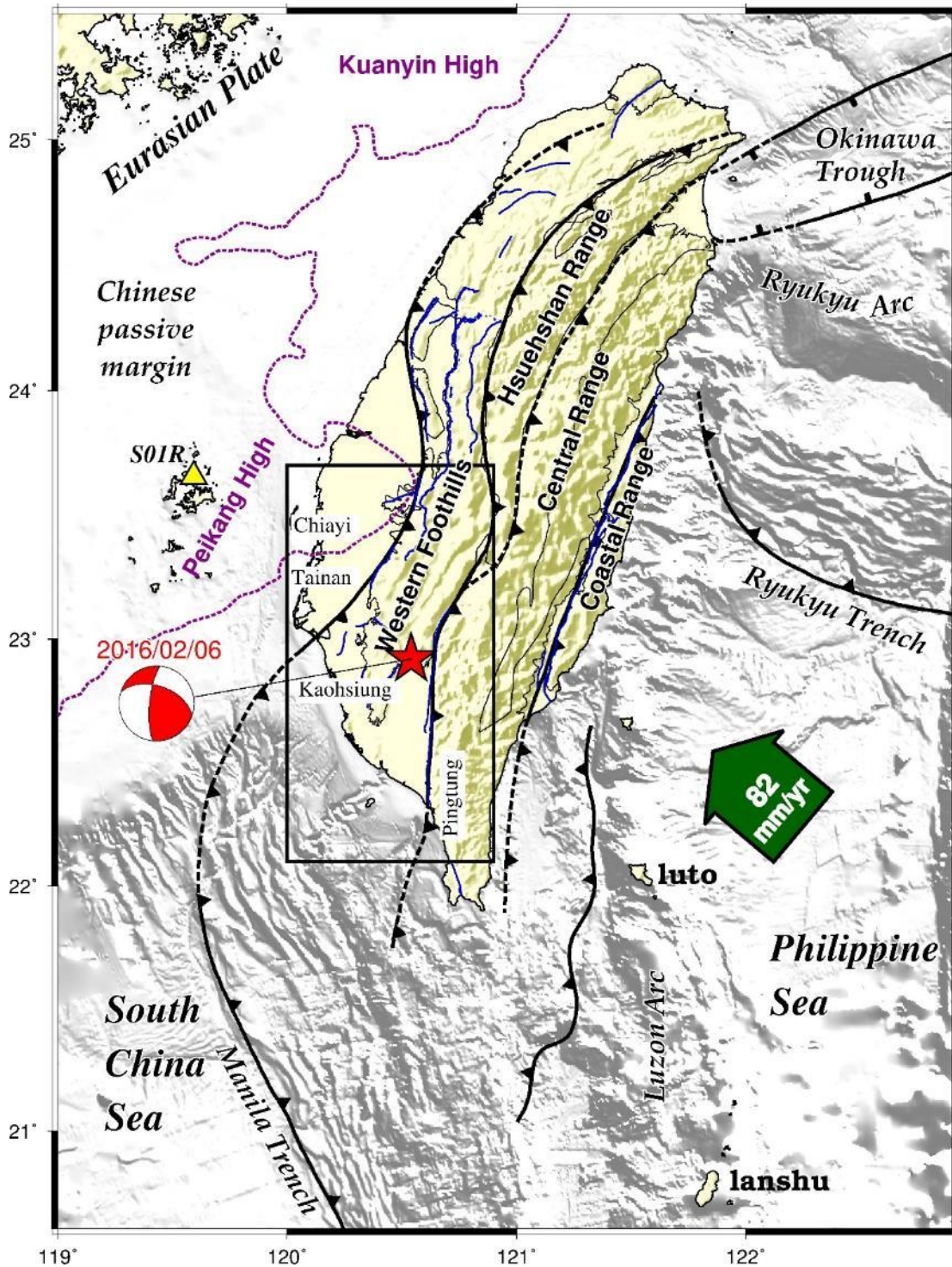


圖 3、臺灣地體構造圖。臺灣位於環太平洋地震帶，菲律賓海板塊和歐亞板塊交界上，菲律賓海板塊以每年平均 82 mm 朝西北碰撞歐亞板塊（綠色箭頭），近年臺灣地區地震災頻繁，黑色框內星號為 2016 年的美濃地震之震央與震源機制解。

千葉大學成立於1949年，統一了幾所地區前國立大學和學校，例如千葉醫學院和千葉師範學校。該校共有教員2,572人，本科學生11,000人與研究生3,528人。該校讓學生能以充分發揮的空間，在培養他們的創造力，並能做出成熟和明智的判斷，追求卓越的目標使千葉大學成為日本領先的學術研究中心之一。本次邀請蔡員參訪者為任教於千葉大學地球科學所之服部克己（Katsumi Hattori）教授，服部教授為國際知名教授，地震前兆為其專長，手下實驗室學生相當多，學識淵博。服部教授也遵循著千葉大學的教學方式，在交流過程中，讓蔡員學習到新的知識。於蔡員至日本千葉大學前，服部教授已先安排兩個課題，希望蔡員能先做準備。此二課題分別為：

- (1) 臺灣的地體構造分區簡介。
- (2) 以近期所發生之地震事件為例，說明本局地球物理觀測資料所觀測到的前兆現象。

在課題2中，蔡員選擇近兩年來最有名的2016年的美濃地震與2018年的花蓮地震為研究重點。在蔡員於千葉大學交流研習的時間中，5月20日～24日適逢日本地區所舉辦的「日本科學聯盟大會」，性質有點類似於臺灣每年都會舉辦的「地球物理年會」或「地質年會」，主要由日本地區的專家學者、教授、學生與會，發表近期地球科學相關的研究，以達成學術交流的目的。該會議原本都是日本人參加，但近年來想邁向國際化，因此也開放外國人參加。尤其是從去年起，該會議與美國地球科學聯盟（AGU）合併舉辦，更是將該會議進一步推向國際化，因此該會議會有不同語言的session，有的是全日文，有的是全英文，相當有趣。

服部教授於該會議也組織了一個地震前兆相關session，因此在5月20日與24日這兩日，服部教授帶整個實驗室及前往移地交流的蔡員與會。從千葉大學搭乘地鐵前往會場並不遠，約40分鐘內即可到達會場，當日即可往返，相當便利。這兩日蔡員共口頭發表兩篇論文，第1篇與花蓮地震相關，主要說明臺灣花蓮地區的孕震構造與本局的研究成果，為服部教授給予課題「交作業」的概念。第2篇經過4日在千葉大學學習、交流與討論後，加入新學成之初步成果，於服部教授所主持之session發表。2篇口頭發表論文題目分述如下，其摘要分別為圖4與圖5：

- (1) Multiple-fault triggering induced by the February 2018 Mw 6.4 offshore Hualien earthquake, Taiwan: insights from geodetic measurements ◦
- (2) Preliminary study of anomalous pre-seismic baseline variations from the continuous GPS observations in Taiwan ◦

題目1主要在說明臺灣地區各分區的地震概況與可能之孕震構造，配合過去的地震事件，以今年2月的花蓮地震為主題，並探討1951年花東縱谷地震序列的相關研究。題目2則是以美濃地震為例，使用基線異常與其他地球物理資料所觀測之相關變化，探討使用地球物理資料分析與觀測地震前兆之潛能。

在本次研習的最後3天，服部教授舉辦小型的國際前兆交流研習會，邀請到許多知名的地震學家與統計學家，除了使用地球物理觀測資料之外，將地震學與統計學的概念合併，給予了許多前兆相關主題演講，節節精彩。與其說是交流研習會，更像是在聽一群大師上課，中間的休息時間，則是由學生、博士後研究員或是年輕學者以海報發表的方式，與諸位專家進行討論，收穫真的非常豐碩！在服部教授的要求下，蔡員亦有1篇海報發表論文，內容包括本局在地震前兆觀測方面的資料來源、分析方式與成果。題目為：Using the CWB geophysical data to study pre-seismic anomalous signals preceding large earthquakes in Taiwan，摘要內容如圖6。

Multiple-fault triggering induced by the February 2018 Mw 6.4 offshore Hualien earthquake, Taiwan: insights from geodetic measurements

*MIN-CHIEN TSAI¹

1. Seismological center, Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan (R.O.C)

The Mw 6.4 earthquake occurred on February 6th, 2018 in the offshore area of Hualien city. This area is located at a complex junction between the extended portion of the Longitudinal Valley, the active fault system in the north part of the Coastal Ranges and the Ryukyu forearc system. The focal mechanism of main shock demonstrates a NE-trending reverse fault dipping to the west with left-lateral strike-slip component responsible for the coseismic deformation observed in the epicentral area. However, a larger coseismic deformation is observed both in the hanging wall and the foot wall of the east-dipping Meilun and Lingding faults (up to 46 cm in the horizontal and 9 cm in vertical coseismic deformations). The left-lateral strike-slip coseismic deformation is predominant along the Meilun fault. In addition, the coseismic deformation changes in the southernmost part of the Meilun fault, which implies that the Meilun fault and the north segment of the Lingding fault should belong to the different fault systems. It is worthy to note that a larger coseismic uplift is observed along the foot wall of the north segment of the Lingding than in the hanging wall part which shows a significant western motion. The southwestern coseismic motion observed in the Longitudinal Valley is different from the southeastern coseismic motion near the epicentral area predicted according to an oblique-dip faulting. This implies that an unknown fault system located near the foot wall portion of the Meilun and Lingding faults could also have been triggered during the 2018 Mw 6.4 offshore Hualien earthquake. The coseismic deformation from D-InSAR of both ascending and descending orbits from ALOS-2 and Sentinel-1 radar images show similar results to those obtained from our continuous GPS measurements and support the idea of multiple-fault ruptures during the 2018 Hualien earthquake.

Keywords: GPS, In-SAR, Multiple-fault triggering

圖4、蔡員於5月20日發表之論文摘要全文。

Preliminary study of anomalous pre-seismic baseline variations from the continuous GPS observations in Taiwan

*MIN-CHIEN TSAI¹

1. Seismological Center, Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan (R.O.C)

Taiwan is situated in an active tectonic region characterized by an on-going collision between the Luzon arc and Chinese continental margin. The rapid crustal deformation and frequent earthquakes imply the large seismogenic potential in the Taiwan area. In the recent decades, the Global Positioning System (GPS) has become an efficient tool for studying active tectonics and geodynamics. After the 1999 Chi-Chi earthquake ($M_w = 7.6$) more than 150 new continuous GPS (cGPS) stations have been established in Taiwan. Since 1994 these cGPS stations have been operated by various agencies, including the Central Weather Bureau (CWB), Institute of Earth Sciences, Academia Sinica (IESAS), Central Geological Survey (CGS) and the Ministry of the Interior (MOI). A dense network comprised of more than 500 cGPS stations currently monitors the Taiwan area. In this study, we present some suspected precursor signals obtained from cGPS observations. Using baseline variations of high-quality continuous GPS data, we characterize the possible pre-seismic precursor signal of the two recent earthquakes in Taiwan. A significant decrease in extension rate was observed about 5 months before the $M_L = 6.4$ Rueisuei earthquake (31 October 2013), occurred near the Longitudinal Fault in the eastern Taiwan. A significant increase in soil-gas concentrations was also recorded 2 months before the Rueisuei earthquake. Furthermore, the pre-seismic baseline variation of cGPS was observed in 8 baselines near the epicenter of the M_w 6.4 Meinong earthquake (6 February 2016) in the fold-and-thrust belt of SW Taiwan. In this case, we found clearly anomalous signal in the time series of 8 baselines with length variations showing that the deformation rate slowed down and decreased to near zero before the Meinong earthquake. The duration of the anomalies varied from about 9 months to 2 years in relation to the location of the baseline. The duration time of the anomalies shows obvious correlation with the distances between the baseline location and the epicenter. The dilatancy-diffusion model suggested that the pre-slip strain anomaly can be observed in the following three major stages: elastic strain buildup (stage I), dilatancy dominant (stage II) and influx water dominant (stage III). Seismic slip may nucleate on fault patches due to the frictional drops with increasing slip or sliding speed, and earthquake may occur on along-strike or downdip extension while aseismic deformation rates accelerate. However, according to the dilatancy-diffusion model, the observed baseline length rate variation anomalies seem to show a "slow-down" of deformation rate and probably resulted from the closure of preexisting cracks before the nucleation of the Meinong earthquake. Therefore, we can assess the seismic potential or possible precursor signal by this method.

Keywords: GPS, Pre-seismic anomalous, baseline variation

圖5、蔡員於5月24日發表之論文摘要全文。

Using the CWB geophysical data to study pre-seismic anomalous signals preceding large earthquakes in Taiwan

Min-Chien Tsai^{1*}, Yu-Ting Huang¹, Bo-Kuan Li¹, Shih-Han Chien¹, Fang-Ju Wu¹

1. Seismological Center, Central Weather Bureau, Taiwan.
(minchyen@scman.cwb.gov.tw)

The Central Weather Bureau (CWB) build the Taiwan Geophysical Observation Network for monitoring the possible earthquake precursor signals. We analyze groundwater, earth tide and magnetic field data, and the data from the continuous GPS (cGPS) network. Wherein, we can use GPS data to calculate the total ionosphere electron content (TEC), or analyze baseline variations using high-quality cGPS data. In this study, we use the CWB geophysical monitoring data in an attempt to characterize the possible pre-seismic precursor signals of large earthquakes, which occurred in the past few years in Taiwan. For instance, the stress caused by the formation of regional geomagnetic field changes before the occurrence of many large earthquakes. The CWB had set up 12 stations to monitor variations of local geomagnetic total intensity field in Taiwan. The Ultra-Low Frequency (ULF) Analysis could be applied to investigate earthquakes, which is done using cross correlation values between the earthquake-related (0.01 – 0.1Hz) and relatively low (0.001 – 0.01Hz) frequency bands. When the correlation coefficient value stays low for several days, it may be related to the earthquake precursors. Furthermore, numerous studies indicated the possibility of a relationship between the ionosphere TEC short-term disturbances and large earthquakes. The Global Navigation Satellite System (GNSS) is integrated lots of Satellite System of different countries. The GPS and Beidou satellite system from United States and China are both included. The new TEC calculation technique of CWB provides now better spatial resolution because of the new Beidou satellite system of China. We use Global Ionosphere Map (GIM) to analyze the relationship between TEC anomaly variation and earthquakes ($M_L > 6$, depth < 30 km) occurred in Taiwan from 2000 to 2016. We recognize 15 events that show the TEC anomaly about 1-3 days before an earthquake. The pre-seismic baseline variation identified through cGPS data can also provide us some possible precursor signals although these tend to be long-term (months or years) signals. In this study, we attempt to exploit all the pre-seismic anomalous observations to propose a simple model, which can help us to detect precursor signals of large earthquakes.

Key words: cGPS, GNSS, ULF, TEC, precursor, Central Weather Bureau.

圖6、蔡員海報發表之論文摘要全文。

於日本千葉約10天的短期交流過程中，學習到許多新的知識，可以運用於本局業務，內容分述如下：

（一）臺灣地區的地震帶分區與應用：

臺灣地區主要可分成3個地震帶地震，分為：西部地震帶、東部地震帶及東北部地震帶。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。

根據本局地震測報中心統計結果顯示，台灣地區每年約發生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分地調查。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、震源機制及應力反演等方式，可以有效提供地下活動構造之相關資訊。

（二）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年及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、玉里斷層及池上斷層錯動引起。該地震是一個系列地震，從1951年10月22日至1951年12月5日分別在台灣東部地區發生，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，且因為這個地震序列破裂的時間、方式及震源機制皆不相同，因此有了今天整個縱谷斷層不同的地質活動斷層分段。

本此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，因此眾說紛紜。國立臺灣大學地質系教授陳文山表示，此次地震落在兩、三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，因此再活動並不無可能。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，根據本局的統計結果顯示統計至2月7日中午前，相關餘震已超過130起（圖7），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。蔡員利用GNSS地表同震位移配合地震分布的數值模擬結果顯示，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（目前此研究已代表本局投稿SCI科學性文章）。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、密不可分的。

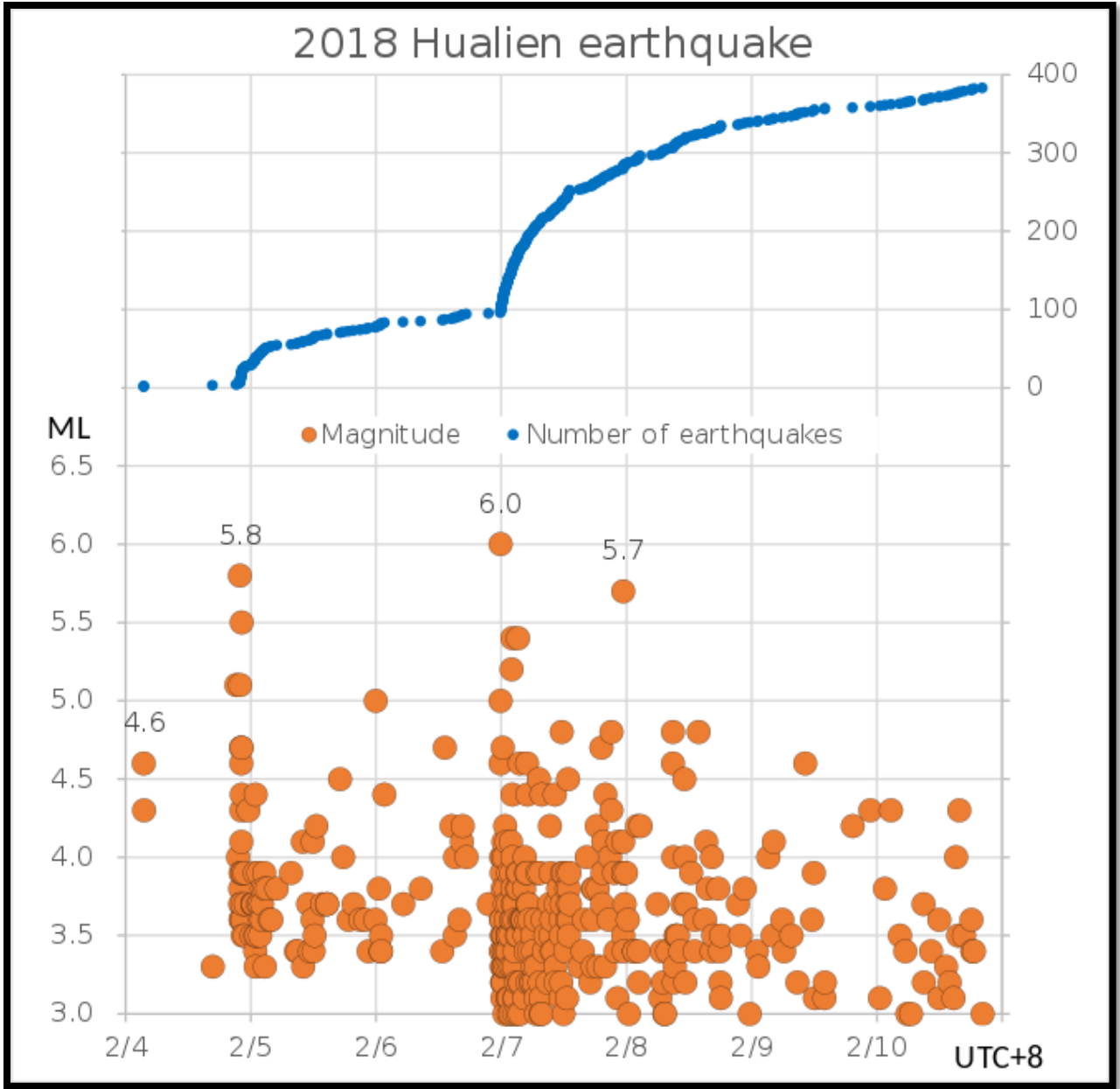


圖 7、2018 年花蓮地震序列規模與時間分布圖。

(三) 地震統計學應用於地震前兆之研究：

長久以來地震學家企圖從地震特性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），該理論認為每個大地震之間會有1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。目前台灣常用的統計模式中有兩個數值，b值與z值，常被用來研究地震發震頻率的改變。b值最早是由Gutenberg and Richter（1944）所提出，可用來表示地震規模與地震頻率之相關性，反應地下地質和構造的不同，或地震週期之相關研究。其估計公式為：

$$\log N = a - bM$$

其中，b 為估計所得之斜率，N是地震累積數目，M為地震規模。b值為線性擬合所得，反應樣本空間內、地震數量於各種規模的分配情形，所以當計算樣本太少時，結果會較為不可靠而不具代表性。計算所得a值和b值即代表該特定地區的地震活動特性，其中a值為M等於零之地震個數的對數，暗示此特定地區的地震頻繁程度；至於b值則代表此地區大規模與小規模地震之間的比例，b值愈低表示規模大的地震相較於規模小的地震佔有較高的比例。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值是一種統計分析指標（或說z值檢定法），假設兩群數有相同的變異度，卻有不同的平均值分布，則兩群數的平均差會隨著兩真值平均差呈現接近正規化分布。而z 值檢定法可分辨此兩群數否為相同的一群數，因此。z 值可用來分辨地震頻率的變化。我們將z定義為：

$$z = \frac{R_1 - R_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

R1跟R2分別代表取樣時間t1和t2中地震平均發生率（rate）， σ_1 與 σ_2 分別為t1和t2地震發生率之標準偏差（standard deviation），n1與n2則為t1和t2的計算樣本數（也就是地震數目）。假設t2為背景地震活動度，當z值呈現負值時表示該區當時（t1）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。

前人利用地震紀錄作出台灣地區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。另外，知名日本學者Imoto教授對日本地區規模大於6的地震做空間和時間上的探討，在大地震發生前鄰近區域東西南北4個方向上，不會每個方向都b值變小，以日本1984年Tottori（日本鳥取縣）地震規模6.2的地震為例，震央南方和東方在大地震前b值的變化就不明顯，只於北方於震前有b值變小的情形。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。前人研究發生在1992年的Landers（M = 7.5）和Big Bear（M = 6.5）的兩個地震事件，發現Landers地震寧靜期在大地震發生前的1.8年，而在大地震發生前0.5年結束，z值曲線在大地震發生前1.8年開始迅速變大，在0.5年前迅速下降，而地震頻率減少約75~100%。此結果指出當大地震發生時剪應力達到最大，所以b值隨時間的變化曲線會在這時達到相對的較低值，這與伴隨著大地震的發生b值變小的結果相呼應。收集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。最近更有研究指出，在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（Katsumata, 2011），這些研究都指出地震統計可有效用於潛勢之評估。

（四）GNSS地殼形變觀測震前基線異常變化：

基線泛指測站與測站兩兩相對所得到的長度變化，考慮美濃地震的發生，臺灣西南部可能是1個相當有潛能的地區。因此，於該區選定40條以上跨斷層的基線作時空分析之研究（圖8、圖9）。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。Savage and Prescott 於1973年提出下列的方程式來估算基線精度：

$$\sigma_L = \sqrt{a^2 + b^2 \cdot L^2}$$

其中 σ_L 為基線之標準差， L 為基線之長度變化， a 和 b 則是由多條基線估算得來之誤差常數。結果發現垂直向的精度非常差，因此只採用水平分量（東西與南北分量）做基線分析。基線分析之估算可用下列式子表示，其中誤差則使用誤差傳播定律估計。

$$L = \sqrt{(D_{E1} - D_{E2})^2 + (D_{N1} - D_{N2})^2}$$

$$Std(L) = \sqrt{Std(D_E)^2 + Std(D_N)^2}$$

其中， L 表示測站 D_1 與測站 D_2 在東西（E）與南北（N）方向上長度變化之總和，而 $Std(L)$ 則表示 L 之誤差。當基線逾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），為負值時則表示縮短或壓縮（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，則可能得到應變率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。

（四）地球物理觀測資料整合用於地震前兆預報：

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。以本局目前有的地球物理觀測資料，可細分為：GPS/GNSS 連續觀測資料、地震地下水觀測、磁力觀測及電離層監測等等，這些亦是日本地球物理觀測資料的重點項目。以 GNSS 而言，地震發生主要成因為地殼受板塊作用擠壓而不斷地累積能量後快速釋放所造成，在過程中往往造成地殼或多或少的變形，有鑑於此，運用衛星定位科技以連續觀測記錄方式量測站址之高程及水平位移，長期監測活斷層與地殼微小變化之大地衛星測量，是目前學界認為對推測淺層大地震發生，最有可能成功的方法之一，本局自 1993 年起開始設置永久性的衛星定位監測站，目前已完成超過 160 站。利用解算出之地表座標在時間上的變化，即可推求地表速度場，進而運用地表應變特性與

斷層之活動性即可反映斷層活動特徵，故分析重複觀測之速度場及水準高程資料，可協助判定活斷層的位置與活動特性。

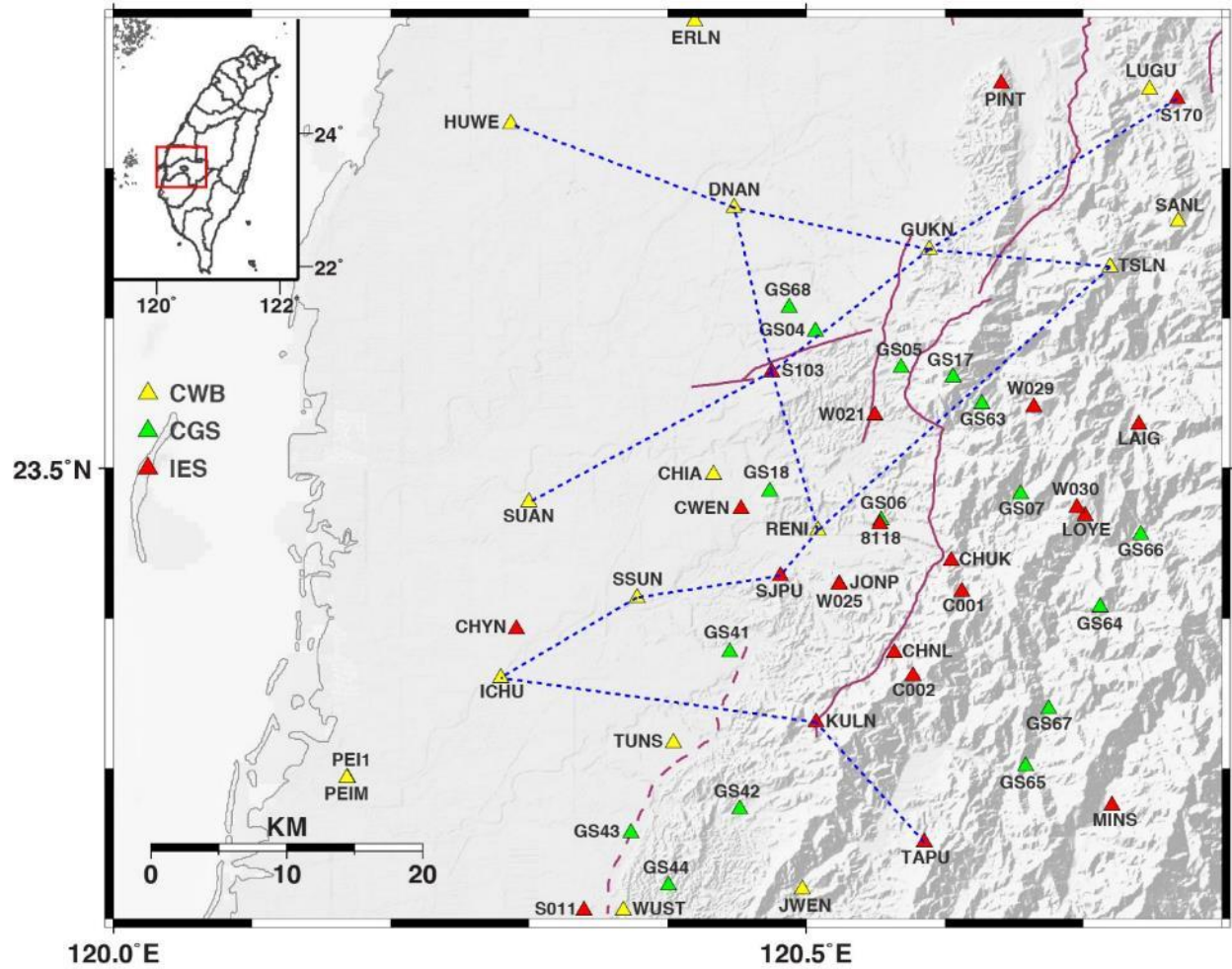


圖 8、嘉南地區基線分布圖。不同顏色符號代表不同單位之 GNSS 連續觀測站，藍色虛線則是本文中選定分析之基線位置。

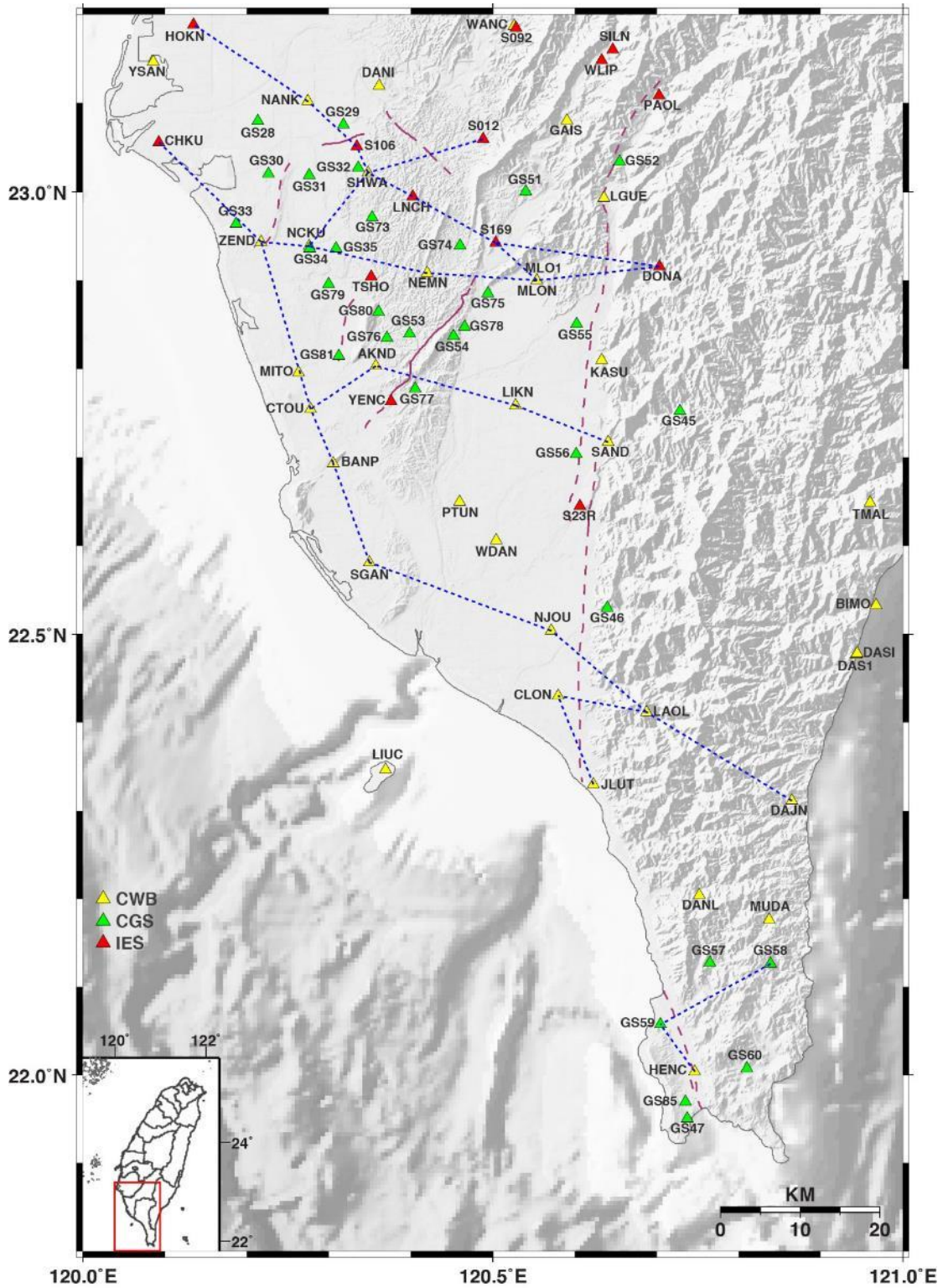


圖 9、高屏地區基線分布圖。不同顏色符號代表不同單位之 GNSS 連續觀測站，藍色虛線則是本文中選定分析之基線位置。

影響地下水水位變化的因素包含構造及非構造因素（地潮、大氣壓力、降雨與人為補注）等影響，非構造因素可經由理論或觀測值推算扣除，而剩餘的構造因素則是因大地構造應力產生岩體體積的應變，進而造成地下水位之變化，因此利用地下水位之觀測將有助於地震前兆之掌握。本局目前採用日本所發展的 Baytap-G 模式扣除地潮、大氣壓力影響，並搭配雨量站之即時雨量觀測資料進行地下水位分析，期望能將非構造因素排除後，對於地震或震前所產生之應變，做更有效的掌握。

地球磁場強度的變化可分為地球內部主磁場的長期變化與地磁場的短期變化兩種。一般認為地震的前兆可能隱藏於區域地質特性的變化之中，因此透過地磁場的資料分析或許可找到一些地震前兆相關的特徵，而本局目前透過磁力擾動分析（DST）與超低頻分析（ULF）來檢視磁力與地震間之關聯性，前項分析方法是將磁力觀測值與國際磁力擾動指數進行比對，後項則取出測站本身背景頻段與地震相關頻段進行分析，其分析結果皆可透過相關係數值來表示，並每日繪製出當日之分析結果，以利地震前兆偵測的研判。

在 GNSS 之廣泛應用下，研究發現大地震發生前電離層之全電子含量（Total Electron Content, TEC）會有異常變化。因此利用本局 GNSS 觀測站記錄資料來計算 TEC，建立判別異常之參考、檢視異常與大地震發生之相關性，並發展統計模型以搜尋和監測臺灣地區地震前兆 TEC 之時空異常前兆。

根據上述觀測結果，在美濃地震發生前，地震發生頻率變得異常低，GNSS 基線有 8 條出現長週期性的變化異常，而電離層則出現短中期的正異常，地下水位資料也可看出些許異常變化。因此，若能綜整上述方法相互配合，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，作為提供地震前兆分析與危害度分析之重要依據。

三、短期交流和與會心得

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個時期為日據時代之1898~1945年，日本人對於地震非常重視，開始將地震觀測納入氣象觀測站裡，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（1946~1972），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），觀測所因此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，於是國家科學及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的系統和本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年後台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。本局於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，大幅提升地震記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，目前我們擁有非常豐富的地震資料可以用於地震速報、防災或是研究。

另外，本局擁有豐富的地球物理相關資料，相較於臺灣其他單位，GNSS連續觀測站為全臺之最，有160個觀測站，且分布均勻，對於地球科學研究相當有助益。GNSS連續觀測的資料可以有效地用於震前、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。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（Blind fault），致災潛能最高。若能藉由正確地估計震前、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，地震預警和地震防災。

在本次交流中，原本預期可以獲得的應該是地球物理相關的資訊較多，但本次交流研討後發現，地震與地球物理之間的關係絕對是密不可分，互相配合研究方為地震前兆研究的最佳方法。短短的10日內，蔡員共發表了3篇論文，並獲得許多地震前兆相關的新技術，到底如何才能將這些在交流過程中獲得到寶貴的訊息，加以充實完整地運用，且在研究、資料應用、後續附加價值之間之得到一個平衡點，只能誠惶誠恐盡力而之。

本次交流心得，感覺最深即是「學習，是無邊無盡的一條路」。茲將本次的交流心得簡述如下：

1. 與千葉大學交流地殼形變、地震監測之最新技術，並介紹本局在地震監測、速報、預警與地球物理的最新成果與未來方向。
2. 介紹本局之全球衛星定位系統連續觀測網資料之解算、分析，與前兆相關應用於防災相關之研究成果。
3. 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與實際防災應用的情形及效益，作為本局未來業務規劃之參考。
4. 透過學習與交流，精進目前本局所有地球物理資料可用於前兆之最新方法。
5. 交流及汲取前兆研究應用於天然災害之防災科技，應用於本局未來相關地震與前兆關連性研究工作上。並藉由與國內外學者的討論交流，開啟未來可能合作的契機。

四、建議

參與本次短期交流，綜整後有以下幾點建議，可供本局未來研究參考之方向。

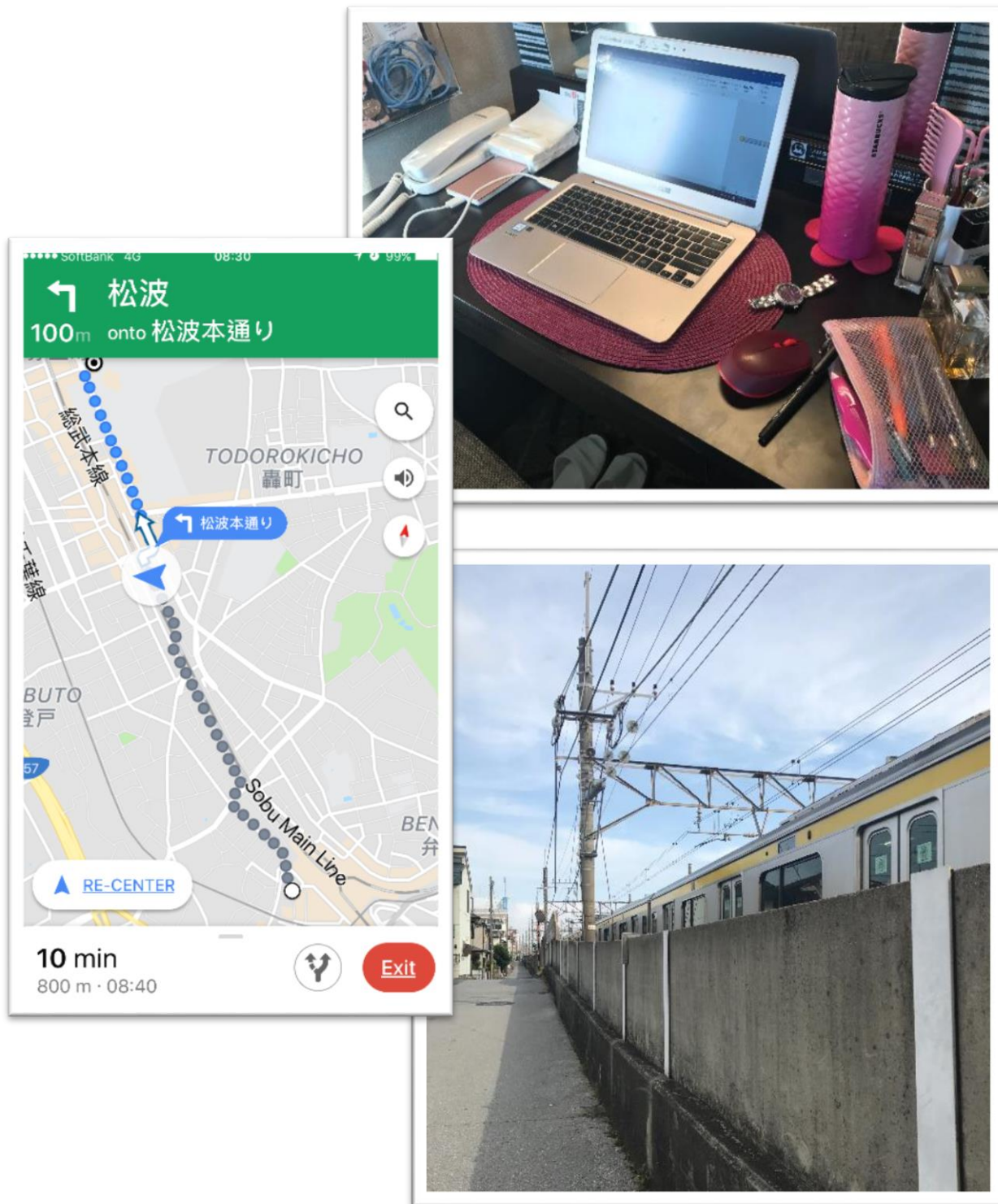
- (一) 臺灣與日本同處環太平洋地震帶，時之地震監測與地震預警系統方面之實務經驗與維運技術已經相當成熟，若未來可以持續加強兩方國際技術交流，可有效提升我國相關防災知識與技能，進而提升我國於國際社會中防災領域的地位。
- (二) 本次的短期交流蔡員在出發前就已被安排研究課題，可見日本人對於學術或科技交流之用心。本局常請國外知名學者來訪，但對於顧問來前的相關準備卻不盡充實，顧問一事反流於形式，建議本局應有效利用國外顧問來訪的機會，確實精進相關研究。
- (三) 就地球物理資料方面，我們缺乏研究分析之人才。本局擁有豐富且龐大的地球物理資料庫，奈何原始資料的維護與測站維運就已經消耗許多人力資源，無法將寶貴的資料作進一步的分析、做更妥善的利用，相當可惜，如何重新分配人力資源，或是化繁為簡以增加多餘的人力資源可用作研究之用，是本局地震測報中心目前亟需加強的地方。
- (四) 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，因此著力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，可互相激盪出更多研究模式。
- (五) 地震統計學在地震前兆研究方面有不可或缺的重要性，在日本相當風行，有許多研究與統計方法。反觀本局擁有最豐富且精密的地震資料庫，卻沒有好好運用，因課務需求將地球物理觀測資料與地震分析分成兩部分。地殼中的能量釋放有兩種，一種是以地震（seismic）形式，一種則以無震滑移（aseismic）形式，兩種皆會造成破壞災損（例如：臺灣中寮隧道每年有約4公分的無震抬升錯移，造成該隧道扭曲變形，相當危險）。若能將兩者結合有效運用在地震前兆監測方面，將會為地震預測更向前邁進一步。而如何整合，則是本局目前需思考的方向。

附錄一、交流點滴與照片

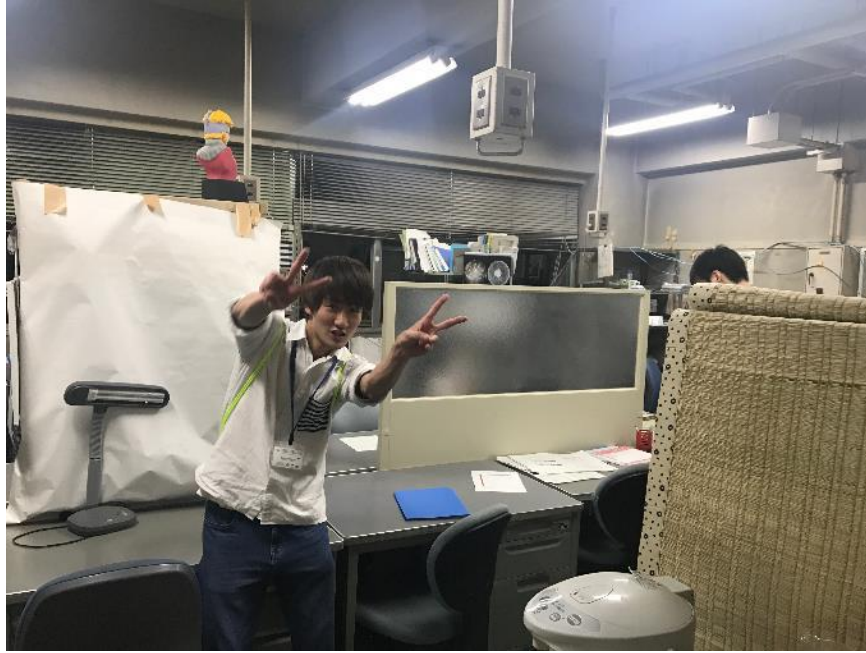
(一) 本次前往交流的千葉大學校園面積很大，但是附近沒有旅館。該校靠近新千葉站，南邊校門最近（附圖1）。因此蔡員住宿於千葉站，每天沿者鐵路走20分鐘就抵達（附圖2）。日本人做事非常認真，天色都晚了才離開研究室，不過大家一起打拼研究的感覺真的很好（附圖3）。



附圖1、天天都要經過的千葉大學南門，在新千葉站附近，一出車站過馬路就到了。



附圖2、日本的旅館很乾淨，但桌子都很小，所以回去後每天桌子都亂七八糟被研究相關的東西淹沒，但是住宿地點離千葉大學只有1站的距離，每天走路燈運動也瘦了1公斤。早晨風景秀麗，到實驗室就會很開心。



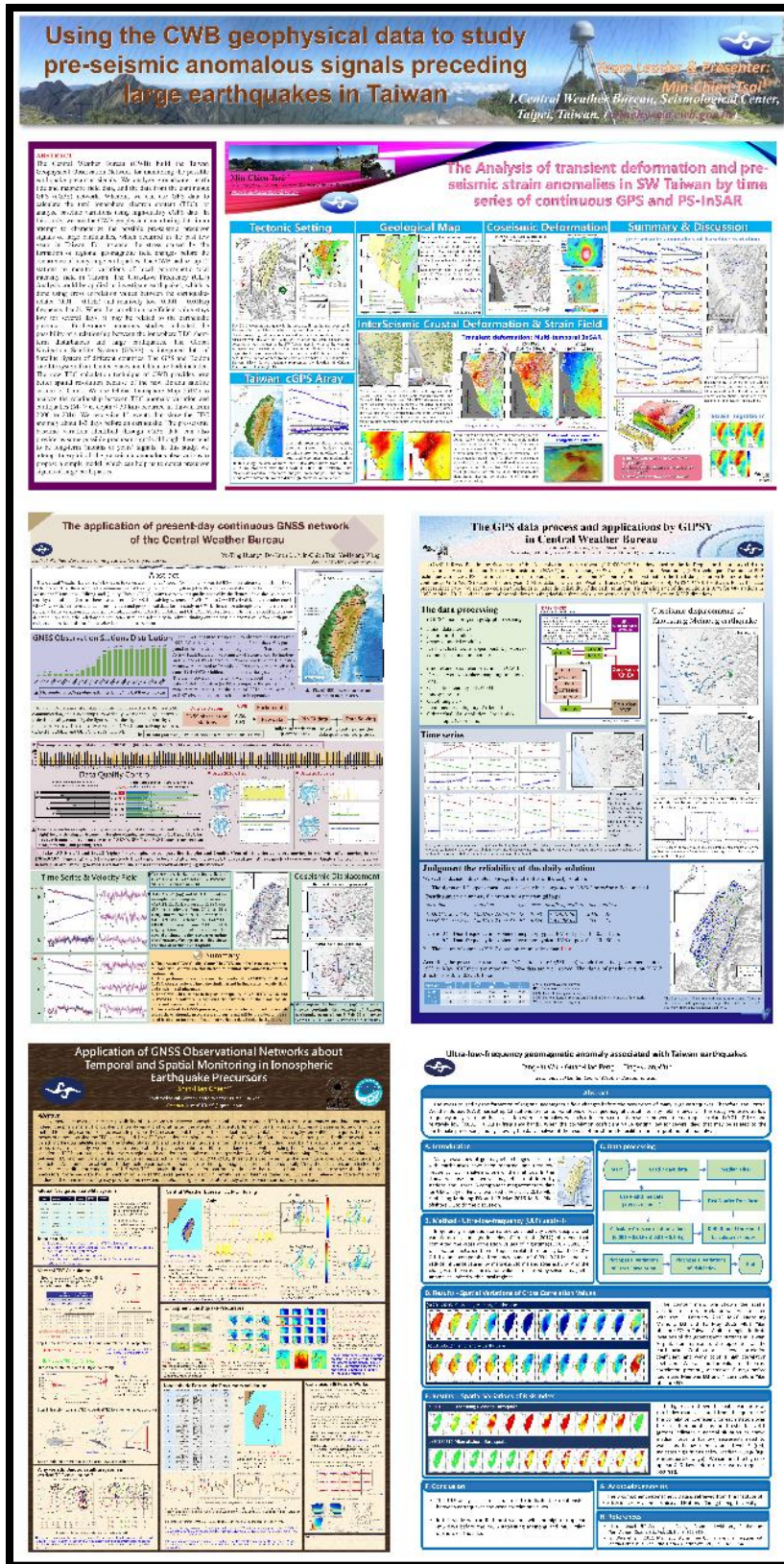
附圖3、我的好伙伴。博士生、碩士生，大學生都有，還有助理。大家坐在同一個實驗室中，即使一起研究到很晚，還是很開心。

(二) 研討會大集合！除了平時待在實驗室裡交流學習新技術外，這次一共還發表了3篇論文，感覺被訓練的非常扎實，其中有2篇是參加JpGU，是服部教授自行幫我報名的「功課」（時間如附圖4），最後一篇是指定代表作（附圖5），算是這一場移地交流的報告成果，這張海報我還讓它搭飛機回臺灣了。服部老師安排了1場為期3天的研習會（附圖6），眾星雲集，還遇到認識的教授（附圖7），他鄉遇故知感覺很好啊！

301A			
1st day 5/20 Sun.			
9:00	10:45	13:45	15:30
AM1	AM2	PM1	PM
EE S-1123 [Geodynamics of East Asia] CP: SHIUEI Tzu, TAOYU, CHIAO 09:00-09:15 Key Japanese Contributions to the Geodynamic Processes of East Asia region *KIMURA Gaku	EE S-1123 [Geodynamics of East Asia] CP: WU Jiajun, OKADA Kiyoshi 10:45-11:00 Geologic structural is an mirror of the tectonic plate. For the tectonic plate, the role of the plate motion were studied in East Asia in the Pleistocene. *DYKANI Timothy R, KIVITUA Cavin, WU Jiajun	EF S-1121 [Do plumes exist?] CP: MASUDA Tetsuro 11:45-11:55 A plate model for distributed magmatism in the oceanic island arcs. *HORIYAMA Hiroaki, H. UOZUMI, YAMAZAKI Shiro, et al.	EE S-C656 [New Earthquakes in East Asia] CP: ZHANG Dapeng, GUOYU, LIU Liang 15:30-15:45 Three-dimensional electrical structure of the Geoligong shear zone. *HUANG Qinghua, XU Tao, CHEN Xiaohu, et al.

5th day 5/24 Thu.			
9:00	10:45	13:45	15:30
AM1	AM2	PM1	PM
EE M-5503 [pre-earthquake processes] CP: GUOXIAN Dong, LIU Jian-Yong 09:00-09:15 MIS03-01 The 3D China Seismic Electromagnetic Satellite Mission *SHEN Nianhui	EE M-5503 [pre-earthquake processes] CP: HATTORI Kazuo, HUANG Qinghua 10:45-11:00 MIS03-02 Multi-disciplinary observations of pre-earthquake processes in support of earthquake prediction studies *KUDOHYUN Dhanang, PULINETS Sergey, HATTORI Kazuo, et al.	EE S-5511 [Earthquake prediction and forecast] CP: MATSUO Masaru, KUSUDA Yuki 13:45-14:00 SSS13-01 Soil Gas Monitoring for Earthquake Precursor in Taiwan *WALLA Vivok, KUMAR Arvind, FU Ching-Chou, et al.	EE S-5511 [Earthquake prediction and forecast] CP: MATSUO Masaru, KUSUDA Yuki 15:30-15:45 SSS13-02 Deformation behavior of an upper plate in its flexing expected from a fault zone model *YAMAMOTO Kiyoshiko

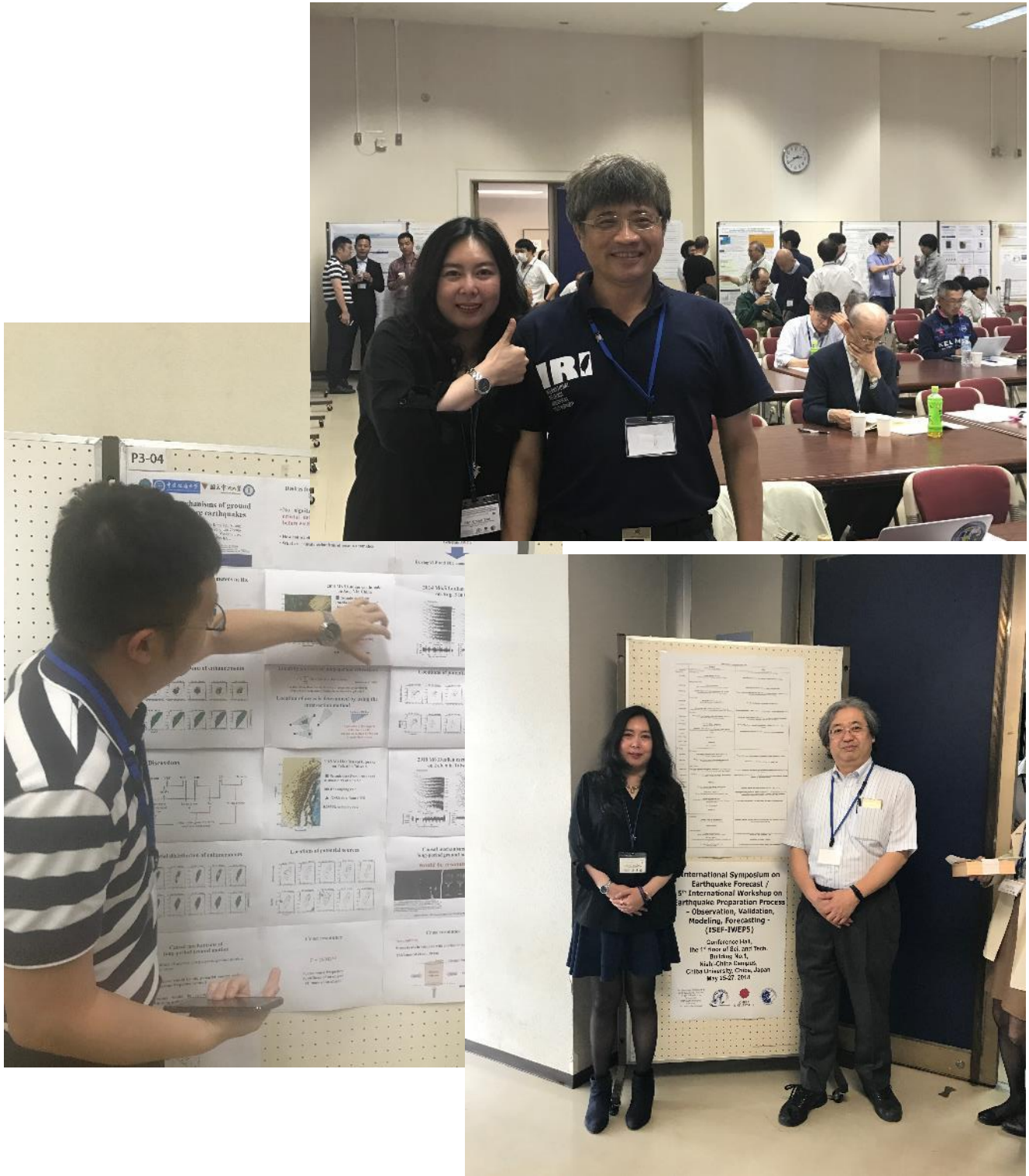
附圖4、有找到我在這兩個演講廳發表論文的時段跟名字嗎？因為廳內不准拍照（畢竟是研究成果有的都未發表），所以只能拍拍門口的日程表了。



附圖5、海報發表。為了讓大家看清楚點直接用海報檔案。



附圖6、為期3日的研討會，各國人都有，英文授課，旁邊有海報板，等終場休息時大家就繼續論海報。每天早上準時八點半開始，六點結束。因為還包括討論時間，不同一般亞洲人，我發現來自USGS美國地質調查所，或是澳洲飛過半個地球的教授，還義大利的地質學家，美西的南加大知名教授，都很愛發問，幸好我也沒落人後。看來愛說話，也是可以腦力激盪瞭解更多！



附圖7、他鄉遇故知。左圖為陳界宏教授（正在講解，偷拍一張），右圖上是劉正彥老師（電離層研究的知名學者），右圖下為我和服部老師。

(三) 最後的一點小心得，小感恩。我對日本的鐵道系統非常不熟悉，到機場時，去乘搭的是巴士，在機場花了1小時才找對買票口。回程決定來個大冒險，使用我還可以的日文，順利搭上了通往成田機場的成田快線，從千葉站搭乘到機場不到50分鐘，但是卻只花了670元日幣。對我來說本次短期移地研究是1次非常特別的體驗，從小到大我從來沒有為了觀光而來到日本，每次前往日本都是因為國際研討會、邀請演講或是學術交流等。所以通常都會有人互相幫忙或是專人接應，我對整個東京複雜的地鐵線路系統全然無知。所以真的感覺很幸運，幸好自己會說一點日文，也聽得懂些，一路上都很順利平安。唯一美中不足的是，我從來日本第4天開始牙痛（可是之前去中國移地研究後馬上又接著到日本千葉大學進行移地研究的行程真的是太累了），到最後是整個右半邊的頭，上下排牙齒，脖子，肩膀，全部都很痛。每天都靠強效止痛藥度過，即使在飯店寫文章時我右邊的頭還抽痛著。所以想做好研究，真的要有強壯的身體才可以啊！不過很感激氣象局提供我這麼好的機會，真的收穫很多，有些也已經開始應用於研究。一言以蔽之～謝謝氣象局讓我學習成長，工作越來越棒！