

# 台灣現有地震前兆評估與未來研究規劃

## Evaluation and Plan on Earthquake Precursors in Taiwan

主管單位：中央氣象局  
葉義雄  
中央研究院地球科學研究所

### 摘要

地震預測一直是國際地球科學界長久以來之重要目標，雖然目前還未有非常成功之具體成績，但過去多年的努力，也有不少地震前兆之觀測與分析研究成果，很值得地震學界作進一步的深入探討。本文將針對最近幾年，國內地球科學界有關地震前兆之相關研究，評估及驗證每一項可能地震前兆之相關結果。希望從這些結果，歸納出較為可信之方法，以訂定未來台灣地震預測之中、長期研究方向。

### Abstract

Earthquake prediction is one of the main goals in the seismological research in the world. Some valuable observations and results about the earthquake precursors have been obtained in the past decades, even though they are not really promising for predicting earthquake yet. In this report we will evaluate all results on the earthquake prediction in Taiwan during the past ten years and then make a suggestion for the future direction on the study of the earthquake prediction.

### 引言

地震並非隨處都發生，而是集中在三個主要地帶，分別稱為環太平洋地震帶、歐亞地震帶及中洋脊地震帶。全世界約有百分之八十的地震發生於環太平洋地震帶上，台灣即處於此最大且最活躍的地震帶上。根據過去的資料，台灣地區曾遭受許多次大地震的侵襲，並造成嚴重生命與財產的損失。自十八世紀以來，平均每十年左右便會有一次災害性的大地震發生，其中更有 15 次地震的災害極為慘重，如 1906 年的梅山地震及 1935 年的新竹苗栗烈震等。梅山地震共有 1,258 人喪生，而新竹苗栗烈震更奪走了 3,276 條人命。台灣的災害性地震主要均發生在西部地區，發生於 1999 年 9 月 21 日凌晨芮氏規模 7.3 的集集大地震，想必大家都有所體驗且餘悸猶存。921 大地震帶給台灣有史以來最大的浩劫。此地震及其餘震造成超過 2444 人的死亡及 8700 多人的輕重傷，超過 10000 間的房子全倒或半倒，使得十萬多人無家可歸，並且有許多棟公共建築物損毀。災區的範圍很大，北至台北，南達嘉義，可說是台灣有史以來損失最嚴重、災區範圍最廣的一次天然災害。民眾在經歷一次又一次的大地震之後不免要問：「如此強大的能量釋放，難道事前真的一點徵兆都沒有？」；「難道地震不能和天氣一樣預測嗎？」。至目

前為止，全世界尚無能力預測地震。有些學者認為地震是無法預測的，有些學者則認為地震預測是可能的。現今仍無法做到地震預測，乃是因為我們尚未完全了解地震本身的特性及其破裂過程。

在台灣，未來大地震的再度來襲，可以說是無法避免的。地震發生的主要原因，是由於地層受到大地應力作用，開始變形，累積能量，直到地層無法承受而斷裂，將累積的能量在一瞬間釋放出來，造成振動，即所謂的地震。地震預測就是希望在地震醞釀過程中，找出相關的蛛絲馬跡。經過科學家多年的努力，在學理上及實驗室裡已充分了解有那些前兆現象。但這些徵兆均甚微量，因此在實際觀測上，很難分辨出它們是否真正屬於地震前兆，還是由其他因素所造成的雜訊。這種不確定性，使地震預測不易有所突破。加上各地之地質結構與特性，具有相當的複雜性，使其可能發生的前兆迥然不同。例如，根據過去的資料，有些地區地震前，呈現明顯的前奏曲-前震，但有的則如暴風雨前的寧靜，無前震現象。這說明地震預測具有相當強烈的地區性，就算先進的美國與日本，成功地完成地震預測，也不能全盤輸入應用於台灣。當然在台灣地區亦是如此，適用於花蓮的預測方法，不見得適合嘉南。地震預測是相當複雜與艱難的工作，需要長期的耐心與毅力去進行。然而，地震預測一直是國際間一項重要的努力目標。過去數十年間，先進國家均投入很多的人力與經費，從事該項工作。雖然已獲得相當的成果，但距離預測之目標，還有一段很長的路要走。

## 台灣地區之地震預測研究

國內從事地震預測相關研究的單位，雖不算多但也有不少，包括中央研究院地球科學研究所、中央氣象局、中央大學、中正大學、台灣大學、成功大學、中央地質調查所、水利署等。主要的工作，偏向地震發生後，努力去尋找前兆與動因，累積資料，並整理與分析。這是地震後的前兆探討，尚未進展到地震前的預測。

### 1. 地震學之地震前兆研究

探討大地震前地震之時間系列與空間分佈變化是常被採用的方法。葉等（2004）曾對台灣東部地區做過分析，結果顯示：1)、台灣東部除了宜蘭地區，在較大地震前略顯示有前震（這個現象在 1983 年的宜蘭太平山地震亦顯現出來），其他則無或出現較平靜的態勢。這表示地質與地體結構的差異，可能會表現出不同的前震特性；2)、多數區域均發現有群震，尤其在花蓮地區非常顯著，可是並未有較大地震伴隨發生。這是很有趣的現象，似乎隱含在台灣東部地區，群震的發生，並不會有較大的地震伴隨。如確實，遇有群震則不用擔心有大地震。蕭等（2006）研究花蓮地區之較大規模地震週期約為 4-5 年，小規模地震則常有短時間內密集發震之群震現象，其中秀林至吉安地區之指標地震群可視為較大規模有感地震之前兆現象，尤其震央愈靠近花蓮市附近之有感地震，前兆現象似較明顯。林（2004a, 2004b）分析台東成功地區的地震活動、震源機制特性及斷層系統，說明此區過去十二年來，在六次較大地震前，有前震發生。目前也監

測台灣北部的大屯火山微地動觀測 (Lin et al, 2005a, 2005b; Konstantinos et al., 2006) 。林 (2006) 分析過去 15 年發生在台灣地區 161 個地震規模  $\geq 5$  以上之地震，其中有 10 個地震有規模  $\geq 4$  之前震，顯示有前震的地震常發生在不均勻地殼上，尤其在歐亞板塊及菲律賓板塊邊界。惟要做為預測使用，還須長期工作人員進一步的探討。Chen et al. (2004) 分析 1999 年嘉義地震序列之剪力波分裂特性，顯示震前、震時與震後有不同的分裂特性。剪力波的分裂特性研究，經常被用來探討地震前兆。他們認為此項研究要能有助於地震預測，需要判定出下列四項：quiet zone、flip event、decrease of delay time before mainshock 及 recovery。黃等 (2006) 利用橫跨台灣島高密度地震儀陣列，觀測所獲得之 S 波分裂特性，也可在進一步研究，應用於地震前兆。中大團隊 (Tsai et al., 2004) 分析 1999 年 921 集集大地震前後之 P 波走時殘餘值，發現有明顯的差異，值得進一步的探討。王等 (2005) 於地球物理年會，發表以複合 3D 有限差分法模擬逆斷層的自然破裂，並傳遞至周圍走向滑移斷層，而產生誘發破裂。這種逆斷層破裂與相鄰斷層之交互作用，尚在理論模擬階段。溫等 (2006) 研究再現週期為 200 年之梅山斷層發生機率模型，未來 30 年發生相當於 1906 年規模 7.1 之梅山地震可能性為 15.9%，若地震遲未發生，則未來 50 年內之發生之機率為 27.7%。Wu and Chiao (2006); Wu and Chen (2007); Wu (2007) 研究 1999 年集集大地震及 2003 年台東成功地震前之地震震率及 b 值，均發現有明顯的變化，被視可能的前兆現象。

## 2. 活動斷層古地震研究

利用明溝挖掘的方式，探討活動斷層古地震發生之時間系列，在台灣已有多次經驗，惟進展有限。直到 1999 年 921 集集大地震後，國科會及相關單位投入大量的經費與人力，近年來有相當不錯的成果顯示出來。例如，台灣大學主導的團隊發現，引發 921 大地震的車籠埔斷層，在過去 3000 年以來，共發生過七次大地震，最近六次的發生時間間隔約 200-700 年，其長期斷層滑移速率約為 7 公厘/年。這活動斷層之活動資料，對長期之地震預測深具意義。他們亦推測下次車籠埔斷層的大地震，將在西元 2500 年發生，其規模為 7.2-7.3。顏等 (2005) 於花東縱谷斷層中段之古地震研究，推估其地震周期大約為 200 年。為了要更進一步了解斷層的行為，使用全球定位測量衛星資料，分析瑞穗和池上斷層的水平的變形，發現兩個斷層變形不相同，同時推估瑞穗斷層地震周期大約為 170-210 年 (陳等, 2006)。

## 3. 地殼變形研究

台灣利用 GPS 觀測，進行地殼變形研究已多年。目前台灣的 GPS 連續觀測網約有 200 個測站 (Yu and Tsai, 2004; 余等, 2006)，加上跨斷層之觀測站，為數不少。目前的觀測結果顯示，每次較大地震時，均發現有同震現象，但還未發現有震前之地殼變形，亦即利用 GPS 觀測地震之地殼變形前兆是否可行，尚待加強探討。中央研究院地球科學研究所在台灣東部設立井下應變儀，以加強地殼變形研究 (劉, 2006)，目前尚未有突

破性的發現。中央大學團隊利用衛星雷達干涉，量測彰化縣員林地區的地表變形行為，發現在 921 地震前後，彰化員林下陷速率發生明顯的變化。大約在大地震發生前數個月，地層下陷的速率就有增加的情況，速度比平常大約增加兩倍；而大地震發生後的差分干涉結果更顯示，在地震後僅僅大約一個月的時間內，員林地區地表至少下陷了 0.5~1 公分。研究顯示，歷史性的地表變形，依然可以藉由調閱衛星影像，用差分干涉法測量出來 (Tsai et al., 2006)。

#### 4. 重力與地磁之地震前兆研究

大地震前呈現重力與地磁之變化，在世界各地經常被觀測到，在台灣也不例外，譬如 1986 年發生於花蓮的地震，被觀測到有重力的變化；及 1999 年 921 集集大地震與 1022 嘉義地震，被觀測到有地磁的變化。這些前兆雖都是事後分析的結果，但還是值得注意，並做進一步的探討。目前增加多條跨斷層的重力觀測剖面及設立 11 個地磁場連續觀測站於台灣本島及金門區域，並在嘉南地震帶且靠近梅山斷層附近設立一個磁通量磁力觀測站 (顏等, 2004, 2006; Chen et al., 2004)，期望對重力與地磁之地震前兆研究有所進展。陳等 (2005) 分析台灣磁力日變化，發現地震發生前 1.5 個月，開始有明顯的變化，一直持續到地震發生後 1.5 個月。這種磁力異常，以規模 5.0 的地震為例，影響的範圍大約為 50 公里。此結論尚有探討的空間。

#### 5. 電磁之地震前兆研究

地震前常有地光、地鳴等現象，充分說明地震前地殼所蓄積之能量，會以電與磁的方式釋放出來，實驗室裡也証實有此可能。那麼電與磁又會造成什麼效應呢？是否會影響地表外的電離層呢？世界上有許多相關學者也注意到這些問題。中央大學的研究團隊，於 921 地震後開始從事相關之觀測研究 (Tsai et al., 2004; Liu et al., 2004)。目前之結果顯示，規模 5.0 以上之地震前五天，發現有電離層異常。研究電離層異常偏離量與地震規模、震央距離及震源深度之關係，發現偏離量變化會隨著地震規模的增加而增加，而卻隨著震央距離的增加而減少，至於偏離量與震源深度的關係則不明顯。經統計結果顯示，地震規模 5.0 以上五天前發生電離層離異常的機會為 74.1%，且地震的規模愈大出現異常之機會也愈大。另外，電離層異常出現後發生地震的機會為 53.3%。電離層的離子總數在地震前有受影響，其數目大約在 5 天前有減少的現象 (Tsai et al., 2006; Liu et al., 2006a)。Liu et al. (2006b, 2006c) 也發現在 2004 年 12 月 26 日發生的印尼 Sumatra 地震前，有前兆出現，同時也呈現同震現象。然而這些成果，尚不足以做為地震預測之用。概無法明確由電離層的離子總數之變化，推估將發生之地震的時間、規模及地點，尤其是地點是相當的困難。不過，目前之成果值得鼓勵。

## 6. 地震地下水化學研究

地震前地層受應力作用，地下水或流體之組成成份，因而會有改變，造成所謂的異常現象，也就是地震前兆。此項研究，在台灣 20 年前，即開始以取溫泉水樣，分析其氬氣含量變化，來探討其與地震活動的相關性。然由於相關設施不易符合需求，加上溫泉水對儀器的腐蝕力大，故很難有具體成果。921 集集大地震後，這項研究，在中央地質調查所的資助下，台灣大學的研究團隊積極展開工作。Song et al. (2005) 觀測多處溫泉水，探討因地震引起的水化學變化，並評估其可行的地點，做為長期性的觀測。其後台大團隊設置了較進步的觀測設施，並得到許多基礎性的成果。例如，發現溫泉水中之  $\text{CH}_4/\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$  and  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  的比值在地震前後會有變化（楊等, 2006），這種異常現象，甚至規模 3 以下的地震都有反應，似過於靈敏，很難應用於地震預測上。故其研究之策略需做調整，預測具有災害性之地震，才有意義。

## 7. 地震地下水位研究

地震前地層受應力作用，地下水水位產生異常變化常被觀測出來。雖然如此，其觀測分析需考量的因素甚多。例如，水井位置的選擇、水井深度的考慮等。Chia et al. (2007) 在台灣曾多次觀測到水井水位的同震變化，921 集集大地震時，在車籠埔斷層附近的水井也觀測到同震變化。921 集集大地震後，水利署與成功大學合作，利用水利署的水井，來觀測水位變化，以探討其與地震活動的相關性（經濟部水利署，2002）。目前觀測到多次的同震水位變化，及數次可疑之臨震水位變化。這項研究還須努力。廖與郭（2005）分析花蓮氣象站地下水位觀測井之觀測資料，結果顯示其地下水位變化與潮汐變化相位一致，並未看到與地震的關連。

2003 年 12 月 10 日於台東成功發生芮氏規模 6.6 之地震，在全台灣 103 口觀測井觀測到同震地下水位變化，從中約略可以推測出震後大地應力在地下淺處的重新調整狀況（王等, 2006）。這些發生同震反應的觀測井多位於西南部嘉南平原、屏東平原地區。分佈於屏東平原近山區之井，多為同震下降，近海則多為同震上升；分佈在嘉南平原上的水位變化則較無明顯的分佈規律。地震發生當時台灣東部沒有地下水位觀測井，因此無法進一步探討可能的地震前兆。另外觀察發現地下水位變化與地表加速度的相關性頗低。集東井站的水位紀錄提供了地震引發地下水位在不同深度的分佈狀況，可作為進一步探討當地水文地質特性的依據。

由上述水井水位變化與地震相關性的觀測資料，顯示有多次同震記錄，但地震前之變化均甚存疑，說明此項前兆觀測尚待努力。

## 結語

過去所蒐集與彙整台灣地區有關地震預測之研究，包括有地震學之地震前兆研究、活動斷層古地震研究、地殼變形研究、重力與地磁之地震前兆研究、電磁之地震前兆研

究、地震地下水化學研究及地震地下水位研究等七大類。根據目前分析的結果，綜述如后：地震學之地震前兆研究項目主要包括有大地震前地震之時間系列與空間分佈變化、地震序列之剪力波分裂特性及大地震前後之 P 波走時殘餘值等，這些有相當不錯的成果，也是台灣最有基礎的學門，自當扮演重要的角色。利用明溝挖掘的方式，探討活動斷層古地震發生之時間系列，近年來有相當不錯的成果，這斷層之活動資料，對長期之地震預測深具意義，值得大力推動。台灣利用 GPS 觀測，進行地殼變形研究已多年。目前的觀測結果顯示，每次較大地震時，均發現有同震現象，但還未發現有震前之地殼變形，亦即利用 GPS 觀測地震之地殼變形前兆是否可行，尚待加強探討。大地震前重力與地磁之變化，在台灣雖有被觀測到，值得注意，但須做進一步的探討。在電磁之地震前兆研究方面，目前之結果顯示，規模 5.0 以上之地震前五天，發現有電離層異常。然而這些成果，尚不足以做為地震預測之用。概無法明確由電離層的之變化，推估將發生之地震的時間、規模及地點，尤其是地點是相當的困難。不過，目前之成果值得鼓勵。地震前地下水化學成份被觀測到異常現象，這種異常，甚至規模 3 以下的地震都有反應，似過於靈敏，很難應用於地震預測上。故其研究之策略需做調整，預測具有災害性之地震，才有意義。地下水位目前觀測到多次的同震變化，及數次可疑之臨震變化，這項研究還須努力。

最近，日本名古屋大學 Koshun Yamaoka (2007) 教授對日本地震預測研究做一回顧。日本歷經 130 年的地震研究與 40 年的地震預測研究，雖有很大的進展，但對地震前兆之成果還是十分欠缺。日本建立全國性高密度的觀測網 Hi-net (High Sensitivity Seismograph Network)與 GEONET (GPS Earth Observation Network System)，10 年來提供了高品質的資料，使他們根據 asperity hypothesis，成功的建立發生在板塊邊界的地震之物理模式，對未來預測板塊邊界之地震，有相當大的幫助。這地區是日本主要災害性地震的所在，因此這個成果是值得鼓舞的，也是值得我們學習的。然發生在日本島內陸地地震的物理模式，則尚待努力。

## 誌謝

本研究由中央氣象局、國家科學委員會及中央研究院資助，特予以感謝。

## 參考文獻

- 王正誠、謝秋霽、葉義雄、黃柏壽 (2005) 逆斷層破裂與相鄰斷層之交互作用，九十四年度地球物理年會論文摘要集。
- 陳界宏、劉正彥、顏宏元 (2005) 地震所引發的磁力日變化異常，九十四年度地球物理年會論文摘要集。
- 葉義雄、姚秀寬、郭鎧紋、陳國昌、簡文峰、邱太乙 (2004) 台灣東部地區地震活動時空變化之探討，兩岸強地動觀測暨地震測報研討會論文集，43-59，中國地球物理學會編印。
- 顏一勤等 (2005) 花東縱谷斷層中段之古地震研究，九十四年度地球物理年會論文摘要

集。

顏宏元、陳界宏、謝獻祥、廖政賢、洪煜琄 (2004) 利用重力、磁力變化研究地震前兆現象，兩岸強地動觀測暨地震測報研討會論文集，123-125，中國地球物理學會編印。

廖政賢、郭陳澔 (2005) 花蓮地下井水位變動與潮汐之關聯性，九十四年度地球物理年會論文摘要集。

顏宏元、陳界宏、謝獻祥、廖政賢、洪煜琄 (2004) 利用重力、磁力變化研究地震前兆現象，兩岸強地動觀測暨地震測報研討會論文集，123-125，中國地球物理學會編印。

經濟部水利署 (2002) 地震前後地下水水位異常變化之研究(2/5)計畫成果報告書，共299頁。

Chen, C.H., J.Y. Liu, H.Y. Yen, X. Zeng and Y.H. Yeh (2004) Changes of geomagnetic total field and occurrences of earthquakes in Taiwan. *Terr. Atm. Ocean.*, 15(3), 361-370.

Chen, C.H., X.F. Zheng and T.L. Teng (2004) Variations of shear-wave splitting study on seismic data associated with 1999 Chia-Yi earthquake, Taiwan. 兩岸強地動觀測暨地震測報研討會論文集，165-171，中國地球物理學會編印。

Chia, Y.P. (2007) Implications of coseismic groundwater level changes in Taiwan. Proceeding of 6<sup>th</sup> Taiwan-Japan international workshop on hydrological and geochemical research for earthquake prediction, Sept. 26-27, 2007, Nat'l Cheng-Kung Univ., Tainan, Taiwan, 25.

Jung, T.K., J.Y. Liu, H.F. Tsai, B.S. Huang, C.H. Lin, S.B. Yu and Y.H. Yeh (2006) Ionospheric disturbances triggered by the Mw 7.6 earthquake off the coast of El Salvador on 13 January 2001. *Terr. Atm. Ocean.*, Vol. 17, No. 2, 345-353.

Lin, C.H. (2004a) Foreshocks as a precursor in eastern Taiwan. 兩岸強地動觀測暨地震測報研討會論文集，63-65，中國地球物理學會編印。

Lin, C. H. (2004b) Repeated foreshock sequences in the thrust faulting environment of eastern Taiwan. *Geophysical Research Letters*, Vol. 31, No 13, L13601.

Lin, C.H. K. I. Konstantinou, W.T. Liang, H.C. Pu, Y.M. Lin, S.H. You and Y.P. Huang (2005a) Preliminary analysis of tectonic earthquakes and volcanoseismic signals recorded at the Tatun volcanic group, northern Taiwan. *Geophysical Research Letters*, Vol. 32, No.10, L10313.

Lin, C.H. K. I. Konstantinou, H.C. Pu, C.C. Hsu, Y.M. Lin, S.H. You and Y.P. Huang (2005b) Preliminary results of seismic monitoring at Tatun volcanic area of northern Taiwan. *Terr. Atm. Ocean.*, Vol. 16, No. 3, 563-577.

Konstantinos, K. I., C.H. Lin and W.T. Liang (2006) Seismicity characteristics of a potentially active Quarternary volcano: the Tatun Volcano Group, northern Taiwan. *J. Volcanol. and Geothermal Res.*, Volgeo-.206.09.009. (SCI) .

Lin, C.H., L.W. Hsu, M.Y. Ho, T.C. Shin, K.J. Chen and Y.H. Yeh (2007) Low-frequency submarine volcanic swarms at the southwestern end of the Okinawa Trough. *Geophysical Research Letters*, 34, L06310, doi:10.1029/2006GL029207.

Liu, J.Y., Y.I. Chen, H.K. Jhuang and Y.H. Lin (2004) Ionospheric foF2 and TEC anomalous days associated with  $M \geq 5.0$  earthquakes in Taiwan during 1997-1999. *Terr. Atm. Ocean.*, 15(3), 371-383.

Liu, J.Y., Y.I. Chen, Y.J. Chuo and C.S. Chen (2006a) A statistical investigation of

- preearthquake ionospheric anomaly. *J. Geophysical Research*, 111, A05304, doi:10.1029/2005JA011333.
- Liu, J.Y., Y.B. Tsai, S.W. Chen, C.P. Lee, Y.C. Chen, H.Y. Yen, W.Y. Chang and C. Liu (2006b) Giant ionospheric disturbances excited by the M9.3 Sumatra earthquake of 26 December 2004. *Geophysical Research Letters*, 33, L02103, doi:10.1029/2005GL023963.
- Liu, J.Y., Y.B. Tsai, K.F. Ma, Y.I. Chen, H.F. Tsai, C.H. Lin, M. Kamogawa, and C.P. Lee (2006c) Ionospheric GPS total electron content (TEC) disturbances triggered by the 26 December 2004 Indian Ocean tsunami. *Journal OF Geophysical Research*, 111, A05303, doi:10.1029/2005JA011200.
- Song, S.R., Y.L. Chen, C.M. Liu, W.Y. Liu, H.F. Chen, Y.J. Liu, L.W. Kuo, T.F. Yang, C.H. Chen, T.K. Liu and M. Lee (2005) Hydrochemical Changes in Spring Waters in Taiwan: Implications for Evaluating Sites for Earthquake Precursory Monitoring. *Terr. Atm. Ocean.*, 16, 4, 745-762.
- Tsai, Y.B., J.Y. Liu, K.F. Ma, H.Y. Yen, K.S. Chen, Y.I. Chen and C.P. Lee (2004) Preliminary results of the iSTEP program on integrated search for Taiwan earthquake precursors. *Terr. Atm. Ocean.*, 15(3), 545-562.
- Wu, Y.M. (2007) Seismicity changes before the 1999 Chi-chi Mw 7.6 and 2003 Chengkung Mw 6.8 earthquakes. *Proceeding of 6<sup>th</sup> Taiwan-Japan international workshop on hydrological and geochemical research for earthquake prediction*, Sept. 26-27, 2007, Nat'l Cheng-Kung Univ., Tainan, Taiwan, 13.
- Wu, Y.M. and L.Y. Chiao (2006) Seismic Quiescence before the 1999 Chi-Chi, Taiwan, Mw 7.6 Earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 96, 321-327.
- Wu, Y.M. and C.C. Chen (2007) Seismic reversal pattern for the 1999 Chi-Chi, Taiwan, Mw 7.6 Earthquake. *Tectonophysics*, 429, 125-132.
- Yamaoka, K (2007) Overview and recent progress in earthquake prediction research in Japan. *Proceeding of 6<sup>th</sup> Taiwan-Japan international workshop on hydrological and geochemical research for earthquake prediction*, Sept. 26-27, 2007, Nat'l Cheng-Kung Univ., Tainan, Taiwan, 1-2.
- Yu, S.B. and C.S. Tsai (2004) A dense continuous GPS array for monitoring crustal deformation in Taiwan. *兩岸強地動觀測暨地震測報研討會論文集*, 87-95, 中國地球物理學會編印。