

# 台灣地區地震預測實驗園區之規劃與評估 (II)

葉義雄 姚秀寬  
中央研究院地球科學研究所

辛在勤 林柏佑  
中央氣象局地震測報中心

## 摘 要

建立地震預測實驗園區是目前世界上地震預測研究極為主要的策略，本研究即期望能在台灣地區設置此園區，以達到地震預測的目標。目前我們正積極地蒐集與彙整過去台灣地區有關地震預測研究之相關文獻（主要包括地震、地殼變形、重力、地磁、地下水位、電磁場、水化學、活斷層調查...等等之地震前兆觀測與分析）；世界地震預測研究方面先進國家（如日本、美國、中國大陸、俄羅斯、義大利、希臘等）之經驗；及台灣地區之地震特性。綜合上述資料，分析整理並規劃台灣地區地震預測實驗園區，其中包括園區之選取及其對應之實驗項目與實施方法。園區的規劃有不同的方式，經由評估，以確定何者最適合於台灣地區，做為後續建立的準則。本計畫預定進行三年，本文就目前的工作做進度報告。

This project is mainly to plan and evaluate the experimental park of earthquake prediction in the Taiwan area, based on the earthquake precursor studies in Taiwan and other countries in the world in the past, and the earthquake characteristics of Taiwan. The contents will include the selection of the park locations and their corresponding experimental item(s) and procedures for the references of setting up suitable experimental park(s) in the future. This is a three-year project. Here we present its progress report.

## 引 言

世界上的地震並非隨處都發生，而是集中在少數的地帶上，這是數十年來地震觀測的重大發現。尤其自 1960 年代世界標準地震觀測網設立以來，世界地震發生的位置和範圍便更明確的顯現出來。由世界地震分佈，可以看出世界上有三個主要地震帶，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。發生於 1999 年的 921 集集大地震，想必大家都有所體驗且餘悸猶存。在台灣，未來大地震的再度來襲，可以說是無法避免的。

每次大地震後，世人在驚愕之餘，總會聯想到，如果地震可以事先預測，人們便有機會適時採取防震措施，以減少生命傷亡和財產損失，也因為能有心裡準備與防範，而減輕地震時的意外與驚慌失措。因此，地球科學家一直期望有一天能成功的預測地震，以造福社會。

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。世界上地震預測研究最先進的國家首推日本、美國及中國大陸，均投入很多的人力與經費，從事該項工作；俄羅斯、義大利、希臘及台灣也積極地從事這方面的工作。雖然已獲得相當的進展，也有成功的例子，如1975年遼寧省的海城地震，確實非常令人引以為傲，減低無數生命與財產的損失。但次年的唐山地震卻毫無任何預警，災情慘重。嚴格來說，成功的預測，是能確知即將來臨的地震發生的時間、地點及規模大小。以目前的成果來看，距離預測之目標，還有一段路要走。

建立地震預測實驗園區是目前世界上地震預測研究極為主要的策略。本計畫將蒐集與彙整過去台灣地區有關地震預測研究之相關文獻及世界地震預測研究方面先進國家（如日本、美國、中國大陸等）之經驗，配合台灣地區之地震特性，來分析並規劃台灣地區地震預測實驗園區，其中包括園區之選取及其對應之實驗項目與實施方法。園區的規劃，有不同的方式，經由評估，以確定何者最適合於台灣地區，做為後續建立的準則。期望未來對地震預測工作會有很大的進展並有所突破。不僅在學術上有相當重要的價值，有一天能成功的預測地震，將可以減少生命傷亡和財產損失，對重大工程與經濟建設，亦可提供直接的貢獻，造福社會。

## 資料蒐集與彙整

目前我們所蒐集的資料包括有國內及國外部份，國外部份之主要資料為專書及期刊文獻，如附錄一所示。其中全球地震衛星系統（Global Earthquake Satellite System， GESS）是美國地震預測方面推動的新興計畫，主要是利用衛星進行地球表面變形的觀測，以探討地震前可能的地殼變形徵兆，進行地震預測。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、中央大學、中正大學、台灣大學、成功大學、中央氣象局、中央地質調查所、水利署等。有的以單打獨鬥的方式進行，有的則採取單位間合作的方式。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。國內的資料對本計劃較具參考價值，茲將目前彙整後的一些初步看法，分述於後。

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。林（2004）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。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。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。
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。
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)；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。

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提升台灣地區的地磁觀測網（顏等，2004；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，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。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，分析其氫氣含量變化，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，設置了較進步的觀測設施，並得到許多基礎性的成果。例如，分析到地震前有異常現象，甚至規模 3 以下的地震都有反應。然這些成果，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。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。

## 參考文獻：

- 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. TAO, 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。
- Lin, C.H. (2004) 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。
- 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. TAO, 15(3), 371-383.
- 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. TAO, 15(3), 545-562.
- 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。
- 王正誠、謝秋霖、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、洪煜琚 (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、郭陳浩 (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。
- 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。

## 附錄一：國外參考資料

- (1) Earthquake Prediction by K. Mogi, 1985.
- (2) Current Research in Earthquake Prediction, Edited by T. Rikitake, 1981.
- (3) Practical Approaches to Earthquake Prediction and Warning, Edited by Kisslinger and Rikitake, 1985.
- (4) Earthquake Prediction by Zongjin et al., 1990.
- (5) Earthquake Prediction by Gokhberg et al., 1995.
- (6) 地震預報引論，張國民、傅征祥、桂燮泰等編著，大陸科學出版社，2001。
- (7) 地震預知研究之新展開，長尾年恭著，日本近未來社，2001。
- (8) Geophys J. Int., Special section-Assessment of schemes for Earthquake Prediction, 1997.
- (9) Global Earthquake Satellite System, NASA, 2003。