

## 序

人類社會發展的歷史可以說是一部人類與自然協調、適應和鬥爭的歷史。颱風與地震是臺灣常見自然現象，隨著經濟的發展，人口集中於大都會區，這些常見自然現象就變成了主要的天然災害，而且損失越來越嚴重。本局職司颱風與地震消息的發布，為防救災單位以及臺灣民眾提供重要的訊息。

民國 75 年 11 月 15 日，花蓮發生規模 6.8 的地震，除了蘇花公路以及橫貫公路全線中斷外，遠離震央的中和華陽市場倒塌，更造成 13 人死亡，45 人受傷，房屋毀損共計 70 棟。當時，本局的地震觀測業務是由測政組之下的地球物理科負責。經由此次地震災害的慘痛經驗，本局認為有必要加強地震觀測作業，增加人員與觀測設備，並將地球物理科提升為中心，於是開始著手規劃成立地震測報中心。民國 77 年 12 月 7 日，亞美尼亞發生規模 6.9 的地震，死亡人數高達 2 萬 5 千人，舉世震驚。當時擔任行政院長的俞國華先生深感災害性地震對於人民的生命財產的威脅性，因此同意本局所規劃的地震觀測計畫，民國 78 年 8 月 1 日地震測報中心正式成立。

地震測報中心在成立之初即預期地震觀測的未來發展，為將來可能發生的大地震預先做準備，除了加強地震觀測網的建置外，另執行「強地動觀測計畫」，在臺灣都會區廣布強震儀，加強強地動的觀測。前述計畫不僅為工程耐震設計規範提供重要的修訂依據，也為「強震速報系統」奠定良好的發展基礎。民國 88 年 9 月 21 日發生集集地震，造成重大傷亡與財物損失，當時本局的強震速報系統在 102 秒內自動完成地震測報作業，此一速報成果備受國際重視與肯定。

此後本局持續改進地震測報系統效能並發展「強震即時警報系統」，預計在 98 年底時將地震測報時間縮短至 30 秒以下，對於距離

震央較遠之都會區，在破壞性震波到達前，爭取一、二十秒之地震預警時間，對於降低地震災害損失將會有很大的幫助。此系統雖然尚在建置中，但為適應防救災需求，已將速報訊息透由手機簡訊傳遞至防救災相關單位及負責人，提高應變效率。未來將與國家災害防救科技中心合作，開發其應用系統，例如軌道運輸、瓦斯、電力、核能、金融、高科技產業、校園等單位之地震緊急應變措施。

目前「強地動觀測計畫」即將進入第 4 期，展望地震測報的未來發展，如何使地震測報業務多元化及多功能是最主要的趨勢。在多元化方面，考慮地震預測在地震防災上的重要性，利用高科技產品的寬頻地震儀，更仔細記錄地震破裂過程中的訊息，配合全球衛星定位系統長期觀測分析之地殼變動情況，將可提供地震觀測研究最佳的參考資料。另外多功能的地震觀測方面，使地震速報變成一般的作業型態，有利於地震活動的分析及彙整，提供地震活動的最新狀況，同時再配合地震預警之功能，將可強化地震測報在地震防災上的功能。

交通部中央氣象局局長



謹識

# 目 次

壹、前 言 .....	1
貳、組織編制與職掌 .....	3
參、各觀測系統發展史 .....	5
一、建置過程 .....	5
二、中央氣象局地震觀測網 .....	8
三、臺灣強地動觀測網 .....	20
四、臺灣地球物理觀測網 .....	24
五、未來工作規劃 .....	33
肆、臺灣地區地震活動特性探討 .....	85
一、全區概述 .....	85
二、全區地震活動時空分布與特性 .....	85
三、全區背景地震活動特性 .....	89
四、分區研究 .....	91
五、討論與展望 .....	113
伍、地球物理資料分析與應用 .....	191
一、地震前兆觀測彙整 .....	191
二、花蓮地區 GPS 時間序列變化與地震之關聯性初探 .....	197
陸、資訊服務－地球物理資料管理系統 .....	223
一、系統發展過程 .....	223
二、系統架構 .....	225
三、作業流程 .....	225
四、成果 .....	226
柒、地震中心相關研究與成果 .....	230
捌、活動剪影 .....	233
玖、地震測報中心 20 年大事紀要 .....	242
拾、結 語 .....	247
參考文獻 .....	248
附錄 .....	254

## 表 目

表 3-1、不同觀測階段之各項地震統計資料.....	36
表 3-2、中央氣象局地震速報系統成功測報之災害性地震資料表.....	36
表 3-3、寬頻地震波形資料截取區分.....	37
表 3-4、中央氣象局購買的各型強震儀三個分量的方位與極性表.....	37
表 3-5、各年度所收錄的強地動紀錄數目表.....	38
表 3-6、2002 年 3 月 31 日花蓮外海地震同震變形位移量統計表.....	39
表 3-7、2003 年 12 月 10 日臺東成功地震同震變形位移量統計表.....	39
表 3-8、2006 年 12 月 26 日恆春地震同震變形位移量統計表.....	40
表 3-9、彰化斷層長期及短期不同基線的速度整理表.....	40
表 4-1、臺灣地區的地震活動特性參數表.....	116
表 4-2、臺北分區內之地震震源參數.....	116
表 4-3、1990 年至 2008 年嘉南地區 18 個規模大於 6 以上地震，備 註欄中提到的斗六地震、梅山地震、中埔地震、新化地震 及白河地震等 5 個地震均收錄於「臺灣十大災害地震圖集」.....	117
表 4-4、臺東分區的地震活動特性參數表.....	117
表 4-5、1900~2008 花蓮地區災害性地震整理（摘錄自中央氣象局網 站）.....	118
表 5-1、花蓮站地震前異常水位紀錄.....	200
表 5-2、花蓮站水位異常與地震關聯性統計.....	200
表 5-3、花蓮 GPS 站周圍 50 km 以內，深度小於 70 km， $M_L \geq 5$ 地 震資料表.....	201
表 5-4、2006~2009 年 5~9 月份及 10~4 月份水平速度場.....	202
表 6-1、GDMS 各觀測系統使用空間統計表.....	228

## 圖 目

圖 2-1、地震測報中心編制架構圖.....	4
圖 3-1、中央氣象局地震觀測網測站分布圖.....	41
圖 3-2、SDP 及 ICP 地震測報系統架構之示意圖.....	42
圖 3-3、NSDP 地震測報系統架構之示意圖.....	43
圖 3-4、(a) 1991~2008 地震震央分布圖 (共 336,053 個地震)。 (b) 1991~2008 規模大於 3 之三維地震震源分布圖 (共 36,716 個地震).....	44
圖 3-5、(a) 地震規模-累計個數分布圖。(b) CWBSN 的觀測效能，等值線為可觀測到的最小完整規模.....	45
圖 3-6、1991~2008 年共 2,243 個由短週期地震紀錄分析所獲之 P 波初動解之分布圖.....	46
圖 3-7、臺灣地區 20 世紀以來災害性地震之震央分布圖；圖中標示編號之實心星形為地震速報系統成功測報之地震，地震編號資訊請參考表 3-2.....	47
圖 3-8、中央氣象局地震速報系統之系統架構圖.....	48
圖 3-9、中央氣象局有感地震速報作業流程圖.....	49
圖 3-10、2006 年 4 月 1 日規模 6.2 臺東地震之發布過程歷時圖.....	50
圖 3-11、2001 年至 2008 年子網自動定位與人工定位之比較圖.....	51
圖 3-12、2001 年至 2008 年子網計算規模與人工計算規模之比較圖.....	52
圖 3-13、2001 年至 2008 年子網反應時間統計圖.....	52
圖 3-14、2006 年 4 月 1 日臺東地震預警成效示意圖.....	53
圖 3-15、中央氣象局海嘯警報發布作業流程圖.....	54
圖 3-16、自 1996 年至 2007 年，BATS 寬頻地震網在 Local 區域截取地震波形資料之地震分布圖.....	55
圖 3-17、自 1996 年至 2007 年，BATS 寬頻地震網在 Range1 及 Range2 區域截取地震波形資料之地震分布圖.....	56
圖 3-18、2004 年至 2008 年中央氣象局共求得 676 個 CMT 震源機制解.....	57
圖 3-19、臺灣強地動觀測網測站分布圖.....	58
圖 3-20、自由場強震站站房基座 (上、中圖) 及玻璃纖維保護蓋 (下圖) 尺寸示意圖.....	59
圖 3-21、2006 年 12 月 26 日恆春地震自由場強震站 (站碼 KAU 082) 收錄紀錄波形時間歷時圖 (左圖為第 1 個地震，右圖為第 2 個地震).....	60
圖 3-22、依據 2006 年 12 月 26 日恆春地震自由場強震資料所繪製之震度等值圖.....	61
圖 3-23、1999 年 Mw 規模 7.6 之集集地震，TSMIP 測站代碼 TCU 052 東西向紀錄之原始資料與基線修正後之時間歷時波形 (由上到下分別為加速度、速度及位移紀錄)；修正後得	

到測站有向西 357.7 公分的位移，相距 2.7 公里之 GPS 測站則量測到向西 342.3 公分的位移。圖中 T1、T2、T3 時間表示修正時間點位置.....	62
圖 3-24、設於臺東高商的結構物強震站安裝感應器位置示意圖.....	63
圖 3-25、臺東高商各頻道所收錄 2006 年 12 月 26 日恆春地震第 1 個地震的波形時間歷時圖.....	64
圖 3-26、臺東高商各頻道所收錄 2006 年 12 月 26 日恆春地震第 2 個地震的波形時間歷時圖.....	65
圖 3-27、臺灣地球物理觀測網測站分布圖.....	66
圖 3-28、臺灣地區 2004 至 2008 年平均水平絕對速度場圖.....	67
圖 3-29、臺灣地區 2004 至 2008 年平均垂直絕對速度場圖.....	68
圖 3-30、臺灣地區 2008 年平均水平絕對速度場圖.....	69
圖 3-31、臺灣地區 2008 年平均水平應變場圖.....	70
圖 3-32、臺灣地區四個區域剖面的位置圖.....	71
圖 3-33、宜蘭區域速度剖面結果(2008 年絕對速度)，深色虛線表示牛鬥斷層之構造線，淺色虛線表示 2005 年 3 月 6 日的宜蘭雙震的餘震線性分布.....	72
圖 3-34、2005 年 3 月 6 日宜蘭雙震的餘震分布（星形表示主震）.....	72
圖 3-35、中部區域速度剖面結果（2008 年相對速度）.....	73
圖 3-36、高屏區域速度剖面結果（2008 年相對速度）.....	73
圖 3-37、花東區域速度剖面結果（2008 年相對速度）.....	74
圖 3-38、蘇澳站（SUAO）的時間序列圖（直線表示花蓮外海地震）.....	74
圖 3-39、2002 年 3 月 31 日花蓮外海地震水平向同震變形分布圖.....	75
圖 3-40、成功站（CHEN）的時間序列圖（直線表示臺東成功地震）.....	75
圖 3-41、2003 年 12 月 10 日臺東成功地震水平向同震變形分布圖.....	76
圖 3-42、恆春站（HENC）的時間序列圖（直線表示恆春地震）.....	76
圖 3-43、2006 年 12 月 26 日恆春地震水平向同震變形分布圖.....	77
圖 3-44、彰化斷層周遭 GPS 測站分布圖（粉紅色虛線段表示所選長期基線）.....	78
圖 3-45、鹿港站（LUKN）-彰師大站（CHUA）的時間序列圖.....	78
圖 3-46、埔心站（PUSN）-八卦山站（PAKU）的時間序列圖.....	79
圖 3-47、彰化斷層周遭 GPS 測站分布圖（粉紅色虛線段表示所選短期基線）.....	79
圖 3-48、2006 年 4 月 1 日 $M_L6.23$ 臺東地震在赤山站之同震階變紀錄.....	80
圖 3-49、2004 年 12 月 26 日 $M_w9.1$ 印尼蘇門達臘島地震在那菘站及花蓮站之表面波同震紀錄.....	80
圖 3-50、花蓮站地震地下水觀測井地震前水位異常紀錄（粗黑線：花蓮站地下水位，細黑線：花蓮站預測天文潮）.....	81
圖 3-51、山區強震站位置分布圖.....	82
圖 3-52、中央氣象局井下地震儀觀測站與東部海域海底地震儀觀測	

站位置圖.....	83
圖 3-53、中央氣象局地磁觀測網測站分布圖.....	84
圖 4-1、臺灣地區地震活動七分區邊界圖.....	119
圖 4-2、(a) 臺灣地區 1991~2008 年之地震震央分布圖 (b) 臺灣地區 1994~2008 年規模大於 3 地震之震源分布圖.....	120
圖 4-3、臺灣地區 1994~2008 年之地震累計個數等值圖以及規模 $\geq 6.0$ 之地震震央分布圖.....	121
圖 4-4、臺灣地區 1900 至 2008 年之 (a) 地震個數統計圖、(b) 年累積規模暨累積能量統計圖，粗線為累積能量值，以對數表示、方形標記為年累積規模值.....	122
圖 4-5、臺灣地區 1991 至 2008 年之地震個數、規模與 b 值之時序統計圖.....	123
圖 4-6、(a) 臺灣地區 1994 至 2008 年之 b 值等值圖 (b) 臺灣地區 1994 至 2008 年背景地震活動之 b 值等值圖.....	123
圖 4-7、臺灣地區 1991 至 2008 年 CWBSN 觀測能力下限的規模等值圖.....	124
圖 4-8、1994~2005 年臺灣地區地震分布圖 (a) 篩選前、(b) 篩選後.....	124
圖 4-9、1994~2005 年臺灣地區背景地震活動特性，每張圖上排與下排分別表示深度 $\leq 40$ 公里與 $>40$ 公里地震活動，網格尺度與移動間距：(a) $0.2^\circ$ 、(b) $0.1^\circ$ 以及 (c) $0.05^\circ$ .....	125
圖 4-10、1994~2005 年臺灣地區地震活動 a 值等值圖與 b 值影像圖分析結果，每個網格點搜尋分析半徑 20 公里 (a) 完整地震活動，深度 $\leq 40$ 公里之地震，(b) 完整地震活動，全部深度範圍之地震 (c) 背景地震活動，深度 $\leq 40$ 公里之地震 (d) 背景地震活動，全部深度範圍之地震.....	126
圖 4-11、臺北分區 1900 至 2008 年地震震央分布圖.....	127
圖 4-12、臺北分區 1900 至 2008 年淺源地震 (深度 $< 40$ km) 震央分布圖.....	127
圖 4-13、臺北分區 1900 至 2008 年淺源地震 (深度 $< 40$ km) 累積規模分布圖.....	128
圖 4-14、臺北分區 1994 至 2008 年地震震央分布圖.....	128
圖 4-15、臺北分區 1994 至 2008 年淺源地震 (深度 $< 40$ km) 震央分布圖.....	129
圖 4-16、臺北分區 1994 至 2008 年淺源地震 (深度 $< 40$ km) 累積規模分布圖.....	129
圖 4-17、臺北分區之地震震源機制解及分布位置圖.....	130
圖 4-18、臺北分區 1900 至 2008 年地震時序統計圖.....	130
圖 4-19、臺北分區 1900 至 2008 年淺源地震 (深度 $< 40$ km) 時序統計圖.....	131
圖 4-20、臺北分區 1994 至 2008 年地震時序統計圖 (虛線為集集地震	

的時間) .....	131
圖 4-21、臺北分區 1994 至 2008 年淺源地震 (深度 < 40 km) 時序 統計圖 (虛線為集集地震的時間) .....	132
圖 4-22、臺中分區 1994 年~2008 年地震活動每月地震個數統計圖 .....	132
圖 4-23、臺中分區 1994 年~2008 年地震活動每年與每月地震個數 統計圖 .....	133
圖 4-24、左圖為臺中分區 1901 年~2008 年地震規模與個數統計圖， 右圖為各規模區段地震個數百分比，顯示臺中分區地震有 91%集中在規模 3 以下 .....	133
圖 4-25、臺中分區 1901 年~2008 年地震深度剖面圖及統計圖，顯 示臺中分區之地震深度有 86%發生在 20 公里範圍內 .....	134
圖 4-26、臺中分區 1901 年~2008 年地震分布圖 .....	135
圖 4-27、臺中分區時序統計圖。1901 年~2008 年較大規模 ( $M_L \geq$ 5.5) 及災害性地震個數統計 .....	135
圖 4-28、臺中分區災害地震分布圖 (1901-2008) .....	136
圖 4-29、1935 年新竹-臺中地震等震度圖 .....	136
圖 4-30、1999 年 9 月 21 日集集地震報告 .....	137
圖 4-31、1999 年 9 月 21 日集集地震等震度圖 .....	137
圖 4-32、1999 年 9 月 21 日集集地震震源區名間測站及日月潭測站 收到超過 1G 之加速度紀錄 .....	138
圖 4-33、1999 年 9 月 21 日集集地震震源區強震資料 .....	138
圖 4-34、2000 年 5 月 17 日臺中德基地震報告 .....	139
圖 4-35、2000 年 5 月 17 日臺中德基地震等震度圖 .....	139
圖 4-36、2000 年 5 月 17 日臺中德基地震主震發生之前後地震分布 情形 .....	140
圖 4-37、2000 年 5 月 17 日臺中德基地震主震發生之前後地震每日 統計 .....	140
圖 4-38、2000 年 6 月 11 日南投地震報告 .....	141
圖 4-39、2000 年 6 月 11 日南投地震等震度圖 .....	141
圖 4-40、2000 年 6 月 11 日南投地震主震發生之前後地震分布情形 .....	142
圖 4-41、2000 年 6 月 11 日南投地震主震發生之前後地震每日統計 .....	142
圖 4-42、上圖為 1994 年至 2008 年嘉南分區月地震個數分布，中圖 為 1994 年至 2008 年月規模大於 3 之地震個數分布，下圖 為 1994 年至 2008 年月累計規模分布 .....	143
圖 4-43、1994 年至 2008 年嘉南分區月地震分布 .....	143
圖 4-44、1994 年至 2008 年嘉南分區 a 值與 b 值分布 .....	144
圖 4-45、1990 年至 2008 年嘉南分區地震活動分布圖 .....	144
圖 4-46、斗六地震全臺震度分布 (圖片來源：臺灣十大災害地震 圖集) .....	145
圖 4-47、梅山地震全臺震度分布 (圖片來源：臺灣十大災害地震 圖集) .....	145

圖 4-48、中埔地震全臺震度分布（圖片來源：臺灣十大災害地震圖集） .....	146
圖 4-49、新化地震全臺震度分布及震源機制解（圖片來源：臺灣十大災害地震圖集） .....	146
圖 4-50、白河地震全臺震度分布及震源機制解（圖片來源：臺灣十大災害地震圖集） .....	147
圖 4-51、嘉義瑞里地震全臺震度分布及震源機制解.....	147
圖 4-52、嘉義瑞里地震餘震持續時間.....	148
圖 4-53、嘉義地震全臺震度分布及震源機制解.....	148
圖 4-54、嘉義地震全臺震度分布及震源機制解.....	149
圖 4-55、嘉義地震餘震持續時間.....	149
圖 4-56、高屏分區從 1994 年 1 月至 2008 年 12 月每月地震個數統計圖 .....	150
圖 4-57、高屏分區從 1994 年 1 月至 2008 年 12 月每月累積規模統計圖 .....	150
圖 4-58、高屏分區 1994 年 1 月至 2008 年 12 月每月地震規模大於 3 之個數統計圖.....	151
圖 4-59、1900~2008 高屏分區地震分布圖 .....	151
圖 4-60、以利稻和桃源中心點（120.896, 23.174）為原點，搜尋從 2000 年 9 月至 2008 年 12 月，在半徑 30 公里內芮氏規模大於 4.0 的地震，可以找到 5 組群集現象.....	152
圖 4-61、民國 89 年 7 月 29 日嘉義阿里山東南方地震之正式報告.....	152
圖 4-62、民國 89 年 7 月 29 日嘉義阿里山東南方地震之等震度圖.....	153
圖 4-63、民國 89 年 7 月 29 日嘉義阿里山東南方地震之餘震個數 vs.時間長條圖 .....	153
圖 4-64、民國 89 年 7 月 29 日嘉義阿里山東南方地震之餘震規模 vs.個數長條圖 .....	154
圖 4-65、民國 95 年 12 月 26 日恆春地震第一起地震之正式報告.....	154
圖 4-66、民國 95 年 12 月 26 日恆春地震第一起地震之等震度圖.....	155
圖 4-67、民國 95 年 12 月 26 日恆春地震第二起地震之正式報告.....	155
圖 4-68、民國 95 年 12 月 26 日恆春地震第二起地震之等震度圖.....	156
圖 4-69、民國 95 年 12 月 26 日恆春地震之斷層面解.....	156
圖 4-70、民國 95 年 12 月 26 日恆春地震後 4 個月內餘震分布圖.....	157
圖 4-71、民國 95 年 12 月 26 日恆春地震之餘震個數 vs.時間長條圖 .....	157
圖 4-72、民國 95 年 12 月 26 日恆春地震及其餘震規模 vs.個數長條圖.....	158
圖 4-73、臺東分區 1903 年 7 月~2008 年 12 月每月時序統計圖 .....	158
圖 4-74、臺東分區 1994 年~2008 年每日時序統計圖 .....	159
圖 4-75、臺東分區 1994 年~2008 年間不同規模區段之時序統計圖。上圖為規模 4.0 以上的月個數統計值；下圖為小於規模 4.0	

	的月個數統計值.....	160
圖 4-76、	臺東分區不同觀測時期之地震個數累計等值圖及規模 6.0 以上之震央分布圖。圖 (a) 為 1903~2008 年；圖 (b) 為 1994~2008 年；圖 (c) 為 1903~1993 年，但扣掉特殊地震序列後的背景地震活動 (林祖慰等, 2008)；圖 (d) 之時間為 1994~2008 年，但扣掉特殊地震序列後的背景地震活動 (林祖慰等, 2008)。由各圖的比較可清晰見到地震在空間分布上的特性：活動度最高處在成功附近，其次即使發生規模 6.0 以上的地震也不一定會引發明顯的餘震 .....	161
圖 4-77、	臺東分區不同觀測時期之地震震央分布及剖面圖。圖 (a) 為 1903~2008 年；圖 (b) 為 1994~2008 年；圖 (c) 為 1903~1993 年，但扣掉特殊地震序列後的背景地震活動 (林祖慰等, 2008)；圖 (d) 為 1994~2008 年，但扣掉特殊地震序列後的背景地震活動 (林祖慰等, 2008)。綜合南北向及東西向剖面示意圖顯示：隱沒帶約從北緯 23° (約成功站附近) 漸漸往東南方向深入，並似乎在地表下約 150~200 公里附近有一介面。另外從 (c)、(d) 圖的比較可見到，1994 年之後收錄到較多的深震.....	162
圖 4-78、	臺東分區三組具災害與特殊性地震序列之主震震央分布及其初動機制解圖，附表為對應之震源參數.....	163
圖 4-79、	1996 年 9 月 6 日蘭嶼地震之地震報告.....	164
圖 4-80、	1996 年 9 月蘭嶼地震序列之地震個數與規模對應關係統計分析圖。資料搜尋範圍為東經 121.0°~121.8°、北緯 21.5°~22.7°，震源深度小於 50 公里者 .....	164
圖 4-81、	1996 年 9 月 6 日蘭嶼地震發生後 1 週內之餘震分布圖及主震初動解圖。資料搜尋範圍為東經 121.0°~121.8°、北緯 21.5°~22.7°，震源深度小於 50 公里者。由東西向剖面可見地震序列大致上是沿著一個約呈南北走向且向東傾斜的破裂面發生 (星星為主震震央) .....	165
圖 4-82、	2003 年 12 月 10 日臺東成功地震之正式報告.....	165
圖 4-83、	2003 年 12 月 10 日臺東成功地震之等震度圖與震源機制解 .....	166
圖 4-84、	2003 年 12 月 10 日臺東成功地震序列之地震個數與規模對應關係統計分析圖。資料搜尋範圍為東經 121.0°~121.6°、北緯 22.7°~23.3°。從不同時間段的比較可看出，規模 5.0 以上較大規模的餘震皆集中於一週內發生；主震發生後半年內小規模地震的活動度仍相當頻繁.....	166
圖 4-85、	2003 年 12 月 10 日臺東成功地震發生後 1 週內之餘震分布剖面圖及主震和規模 5.0 以上餘震的初動解圖。資料搜尋範圍為東經 121.0°~121.6°、北緯 22.7°~23.3°。由剖面圖分析可見地震序列大致發生在沿著北北東走向且向東南傾斜的破裂面上 ...	167
圖 4-86、	2006 年 4 月 1 日臺東地震之正式報告.....	168

圖 4-87、2006 年 4 月 1 日臺東地震之等震度圖.....	168
圖 4-88、2006 年 4 月 1 日臺東地震序列之地震個數與規模對應關係統計分析圖。資料搜尋範圍為東經 120.8°~121.4°、北緯 22.5°~23.3°。從不同時間段的比較可看出，無規模 5.0 左右的餘震發生，中小規模的餘震活動約在一個月後已大幅減少.....	169
圖 4-89、2006 年 4 月 16 日臺東地震之正式報告.....	169
圖 4-90、2006 年 4 月 16 日臺東地震之等震度圖.....	170
圖 4-91、2006 年 4 月 1 日臺東地震發生後 1 個月內之餘震分布及深度剖面圖，以及 1 日和 16 日兩個規模 6.0 以上地震的初動解圖（星星為震央位置）.....	170
圖 4-92、1906~2008 年花蓮分區每月地震個數與最大規模時序統計圖.....	171
圖 4-93、1973~2008 年花蓮分區每月地震個數與最大規模時序統計圖.....	171
圖 4-94、花蓮分區之 a 值與 b 值分布情形.....	172
圖 4-95、花蓮 A 區及花蓮 B 區規模 5.5 以上地震之空間分布圖，上圖為深度小於 30 公里之地震，下圖為深度大於 30 公里之地震.....	173
圖 4-96、1986 年 5 月 20 日規模 6.5 有感地震。上圖為群震之空間分布，下圖為群震與主震之時序關係.....	174
圖 4-97、1995 年 2 月 23 日規模 5.77 有感地震。上圖為群震之空間分布，下圖為群震與主震之時序關係.....	175
圖 4-98、1995 年 12 月 19 日規模 5.8 有感地震。上圖為群震之空間分布，下圖為群震與主震之時序關係.....	176
圖 4-99、2000 年 9 月 10 日規模 6.2 有感地震。上圖為群震之空間分布，下圖為群震與主震之時序關係.....	177
圖 4-100、2005 年 4 月 30 日規模 5.62 有感地震。上圖為群震之空間分布，下圖為群震與主震之時序關係.....	178
圖 4-101、1983~1986 花蓮 B 區規模 5.5 以上地震震央位置，圖中之標示為發震順序，右表為發震日期及規模.....	179
圖 4-102、1994~1996 花蓮 B 區規模 5.5 以上地震震央位置，圖中之標示為發震順序，右表為發震日期及規模.....	179
圖 4-103、2001~2002 花蓮 B 區規模 5.5 以上地震震央位置，圖中之標示為發震順序，右表為發震日期及規模.....	180
圖 4-104、2004~2006 花蓮 B 區規模 5.5 以上地震震央位置，圖中之標示為發震順序，右表為發震日期及規模.....	180
圖 4-105、1986 年 11 月 15 日凌晨 5 時 20 分花蓮地震，上圖為震央位置及 CWB 之震源機制解，下圖為中和華陽市場之震災照片.....	181
圖 4-106、1994 年 6 月 5 日上午 9 時 9 分南澳地震，上圖為震央位	

	置及 CWB 之震源機制解，下圖為 6 月～8 月所有餘震之震央分布圖.....	182
圖 4-107、	2002 年 3 月 31 日下午 2 時 52 分花蓮外海地震，上圖為地震報告圖，下圖為全島等震度圖及 CWB 震源機制解.....	183
圖 4-108、	1980 年～2008 年花蓮 A 區每日地震個數與最大規模統計圖，由圖可見本區域較大規模地震發生之週期約 4～5 年.....	184
圖 4-109、	臺灣地形圖（摘自國家海洋科學研究中心）.....	184
圖 4-110、	1900 至 2008 年規模 6 以上強震之震央分布圖，圓圈與星號分別表示規模 6 與 7 以上之地震。（a）震源深度>40 km 之深震。（b）震源深度≤40 km 之淺震.....	185
圖 4-111、	1994 至 2008 年規模 5.9 以上強震之震央分布圖，圓圈與星號分別表示規模 5.9 與 6.5 以上之地震。（a）震源深度>40 km 之深震。（b）震源深度≤40 km 之淺震.....	185
圖 4-112、	1994 至 2008 年地震震央與地震規模之個數分布圖。（a）深震、（b）淺震。上圖為震央分布圖，下圖為規模之個數分布圖。地震規模之個數分布分為正方形之間隔個數與圓形之累積個數，實心圓與空心圓分別表示使用與未使用的資料點。地震規模與對應累積個數之對數值，在最小完整規模 $M_c$ 與規模 5 之間，明顯呈現良好的線性關係。深震與淺震之 $M_c$ 分別為 2.8 與 2.0，b 值分別為 0.84 與 1.06，顯示深震的大地震發生比率較高，淺震的小地震發生比率較高.....	186
圖 4-113、	2008 年地震規模之個數分布圖。（a）深震、（b）淺震。上圖為震央分布圖，下圖為規模之個數分布圖。深震與淺震之 $M_c$ 分別為 2.9 與 2.1，b 值分別為 0.90 與 1.01，顯示深震的大地震發生比率較高，淺震的小地震發生比率較高。比較 2008 該年與 1994 至 2008 年之 $M_c$ 和 b 值結果，顯示整體的地震活動特徵大約相似.....	187
圖 4-114、	1994 至 2008 年地震個數等值圖。（a）深震。（b）淺震。等值圖係以經緯度各 0.2 度為網格大小，地震個數已正規化為 30 天之個數。深震與淺震的地震個數高值區主要皆分布在沖繩海槽構造區域.....	188
圖 4-115、	1994 至 2008 年累積規模等值圖。（a）深震、（b）淺震。深震高值區在基隆外海與宜蘭外海，淺震高值區在宜蘭平原與近海之沖繩海槽構造區域.....	188
圖 4-116、	1994 至 2008 年地震累積規模等值圖（上圖）與個數（下圖）之時間分布。（a）深震、（b）淺震。深震高值區在基隆外海與宜蘭外海，淺震高值區在宜蘭平原與近海之沖繩海槽構造區域.....	189
圖 4-117、	1994 至 2008 年主震（星號）震源機制及其 30 天內餘震	

	(圓圈) 分布圖。(a) 1994 年規模 6.5 南澳地震，左移斷層震源機制。(b) 1995 年規模 6.5 牛鬥地震，走向滑移斷層震源機制。(c) 2002 年規模 6.2 宜蘭地震，正斷層震源機制。(d) 2005 年規模 5.9 宜蘭雙震，正斷層與左移斷層震源機制.....	190
圖 5-1、	(a) 背景地震觀測資料之 b 值分析，黑點為個數累積值，紅線為其迴歸值，藍色三角點為規模區段個數值。(b) 淺層背景地震觀測資料 a (等值線) 和 b (顏色) 值之空間上之分析，符號表 1930 年後規模大於 6 之地震.....	203
圖 5-2、	深淺背景地震觀測資料之月平均地震個數、月平均累計規模與平均地震深度在區域之分布.....	204
圖 5-3、	1983 至 2007 年之淺層 (小於 40 公里) 地震資料，以月為單位，統計不同規模區段之地震個數及計算最大規模 (綠色星號)、累積規模 (黑色星號) 之月歷時圖.....	205
圖 5-4、	1935 至 2007 年之淺層 (小於 40 公里) 地震資料，以月為單位，統計最大規模 (綠色星號)、累積規模 (黑色星號) 之月歷時圖.....	206
圖 5-5、	中央氣象局地震測報中心地震地下水即時觀測井站位置.....	207
圖 5-6、	2006 年 4 月 1 日 $M_L6.23$ 臺東地震赤山站 (CHI) 之同震階變紀錄.....	207
圖 5-7、	花蓮站震前水位異常變化型態三分類：水位突升型、水位突降型、引潮力影響型 (粗黑線：花蓮站地下水位，細黑線：花蓮站預測天文潮) .....	208
圖 5-8、	花蓮站地震前水位有異常變化之 21 次地震分布圖。.....	208
圖 5-9、	2004 年 12 月 26 日 08:58 (TST) $M_w 9.1$ 印尼蘇門達臘島地震，那菽站 (NAB) 及花蓮站 (HWA) 兩站的同震水位變化.....	209
圖 5-10、	1999 年至 2004 年相對於澎湖之 GPS 變形平均速度場 (相對於澎湖) .....	210
圖 5-11 (a)、	2004 年臺灣 GPS 水平速度場分布 .....	211
圖 5-11 (b)、	2005 年臺灣 GPS 水平速度場分布 .....	212
圖 5-11 (c)、	2006 年臺灣 GPS 水平速度場分布 .....	213
圖 5-11 (d)、	2007 年臺灣 GPS 水平速度場分布 .....	214
圖 5-11 (e)、	以上各圖為 2004 年至 2007 年之 GPS 絕對變形年平均速度場，各圖所代表之意義如圖內說明。.....	214
圖 5-12、	為花蓮 GPS 在三維空間之觀測結果及其與附近地震之關係 (黑線條)，緯度上之變化似乎預先反應該地在 2000 年 7 月初及 9 月初兩個規模大於 5.5 之地震.....	216
圖 5-13、	臺灣地區數值地形圖 (白色框線為花蓮分區) .....	217
圖 5-14、	2004~2008 年花蓮地區水平速度場圖 .....	218
圖 5-15、	2000 年 1 月 1 日~2009 年 7 月 4 日花蓮 HUAL 站時間序	

列，圖中黑色線條為地震資料（地震搜尋條件為距花蓮站 50 km 內， $M_L \geq 5$ ，深度小於 70 km 的地震） .....	218
圖 5-16、2000 年~2009 年 7 月 4 日花蓮地區 GPS 時間序列 EW 向 （remove linear，每站縱軸為 -2 ~ +2 cm） .....	219
圖 5-17、2000 年~2009 年 7 月 4 日花蓮地區 GPS 時間序列 NS 向 （remove linear，每站縱軸為 -2 ~ +2 cm） .....	219
圖 5-18、2006 年~2009 年 7 月 4 日花蓮東富（左圖）以及鶴岡（右 圖）時間序列（remove linear，每站縱軸為 -2 ~ +2 cm） .....	220
圖 5-19、年週期變化測站分布圖（虛線為地質分區界線）。（圖中 有標示站名的為有年週期變化現象的測站） .....	220
圖 5-20、花蓮自 2000 年起每兩年區段東西向時間序列（縱軸為 -2 ~ +2 cm）（地震搜尋條件為距花蓮站 50 km 內， $M_L \geq 5$ ， 深度小於 70 km 的地震） .....	221
圖 5-21、2000~2008 年花蓮時間序列東西向（灰色區間為每年 4 至 8 月） .....	221
圖 5-22、2000 年~2009 年 7 月 4 日花蓮 GPS 站周圍 50 km 以內， 深度 70 km 以內， $M_L \geq 5$ 地震分布圖 .....	222
圖 5-23、比較 5~9 月平均速度場與 10~4 月平均速度場。（2006 年 5 月~2009 年 4 月共 3 年資料平均） .....	222
圖 6-1、GDMS 系統開發工作時程圖 .....	228
圖 6-2、GDMS 系統架構圖 .....	229
圖 6-3、GDMS 年度資料量統計圖 .....	229
圖 7-1、歷年委託研究計畫篇數統計圖 .....	232
圖 7-2、委託研究計畫分類統計圖 .....	232

## 壹、前 言

自 1897 年第一套格雷·米爾恩式 (Gray Milne) 地震儀安裝在臺北時候所開始，中央氣象局就被賦予觀測臺灣地區地震的使命。迄今，中央氣象局已經執行此使命超過百年。在這漫長的歲月中，臺灣地區的地震觀測歷史隨著地震儀的更新、電腦與通信的發展而演變。在地震觀測方面，從民國 61 年之前的強震觀測進入之後的全臺灣地區的微震與強震觀測；在地震資料收集方面，從研究地震用的資料收集擴大至全臺灣地區耐震工程用的資料收集；在減災規劃方面，能夠即時發布強震資訊，縮短政府緊急應變的時間；在觀測強震前兆現象方面，建立了全球衛星定位系統觀測網、地下水位變化觀測、電離層電子濃度變化觀測以及地磁場觀測。在這些演變的過程中，中央氣象局地震測報中心的誕生與茁壯扮演著最重要的角色，推動臺灣地區的地震觀測科技進入了現代化的時代，與世界潮流並駕齊驅。

中央氣象局地震測報中心在民國 78 年 8 月 1 日成立，至今已滿 20 年。在這期間，地震測報中心分期執行「加強地震測報建立地震觀測網」及「強地動觀測」的長程計畫，陸續完成與地震有關的現代化觀測網及其應用系統。地震觀測網包括中央氣象局地震觀測網、臺灣強地動觀測網以及臺灣地球物理觀測網等 3 個主要的地震觀測網。以這些跨全島分布的觀測網為基礎，地震測報中心現階段發展完成多項地震資料蒐集、分析、發布與服務的應用系統，包括短週期地震儀觀測系統、地震速報系統、寬頻地震儀觀測系統、自由場強震站、結構物觀測陣列、全球衛星定位系統、地震地下水觀測系統以及地球物理資料管理系統等。擁有這些現代化的即時觀測設備，地震測報中心的主要任務為：

- 一、監測臺灣地區地震活動
- 二、發布有感地震報告與海嘯警報
- 三、執行強地動觀測計畫
- 四、研究各種地震前兆現象
- 五、提供地震資訊服務與地震防護宣導

自 1994 年以來，平均每年觀測到發生在臺灣地區的地震約有 15,000 ~ 18,000 個。目前，對於發生於島內或近海區域的淺層有感地震，地震測報中心平均在地震發生後 1 分鐘內即可初步掌握震源位置、地震規模及各地震度，並且在地震發生後 3 至 5 分鐘內，透過網路迅速的對外發布完整的地震

消息。

本專刊分篇敘述局長的話、組織編制與職掌、各觀測系統發展史、臺灣地區地震活動特性探討、地球物理資料分析與應用、地球物理資料管理系統、地震中心相關研究與成果、活動剪影、20 年大事紀要以及結語。本專刊的內容表達地震測報中心蓬勃發展的歷程與當前的任務，樹立了中央氣象局為國人肩負地震觀測使命的里程碑。

## 貳、組織編制與職掌

鑑於地震對全體國民生命財產有極大之威脅，因而加強臺灣地區地震活動測報工作，藉以有效降低地震所帶來的危害，為本中心成立目的暨同仁所肩負之使命，主要任務為：監測臺灣地區地震活動、發布有感地震報告與海嘯警報、執行強地動觀測計畫、研究各種地震前兆現象及提供地震資訊服務與地震防護宣導。

本中心編制（圖 2-1）置主任一人、副主任二人、技正、課長及職員共計員額 40 人，並設有地震監測課、資料處理課、系統維護課、地球物理課、資料應用課、企劃考評課及業務管理課，由各課課長帶領所屬成員分別執行各項地震業務，分述如下：

### 一、地震監測課

1. 有感地震報告與海嘯警報發布
2. 地震測報系統建置、管理與維護
3. 地震海嘯守視值班業務規劃、聯繫與督導
4. 地震測報業務於防災之應用

### 二、資料處理課

1. 地震資料處理與備份
2. 地震活動分析與統計
3. 地震季報編印與出版

### 三、系統維護課

1. 地震儀器之採購、管理與維護
2. 地震站房之建置、管理與維護
3. 地震資料通信線路之申請、管理與維護

### 四、地球物理課

1. 地球物理儀器之採購、管理與維護
2. 地球物理站房之建置、管理與維護
3. 地球物理資料通信線路之申請、管理與維護
4. 地震前兆觀測分析

### 五、資料應用課

1. 地球物理資料管理系統及資料服務展示系統之建置、管理與維護
2. 為民服務業務之規劃與執行

3.地震資料申請業務之規劃與執行

六、企劃考評課

- 1.地震測報業務之規劃與考評
- 2.委託研究計畫之執行
- 3.顧問及諮詢委員會議相關事項
- 4.概算編列及出國計畫事項
- 5.國際及兩岸地震科技交流事項
- 6.地震問題答詢及題庫管理

七、業務管理課

- 1.一般行政業務及公文處理
- 2.地震業務之行政支援
- 3.檔案與財產管理

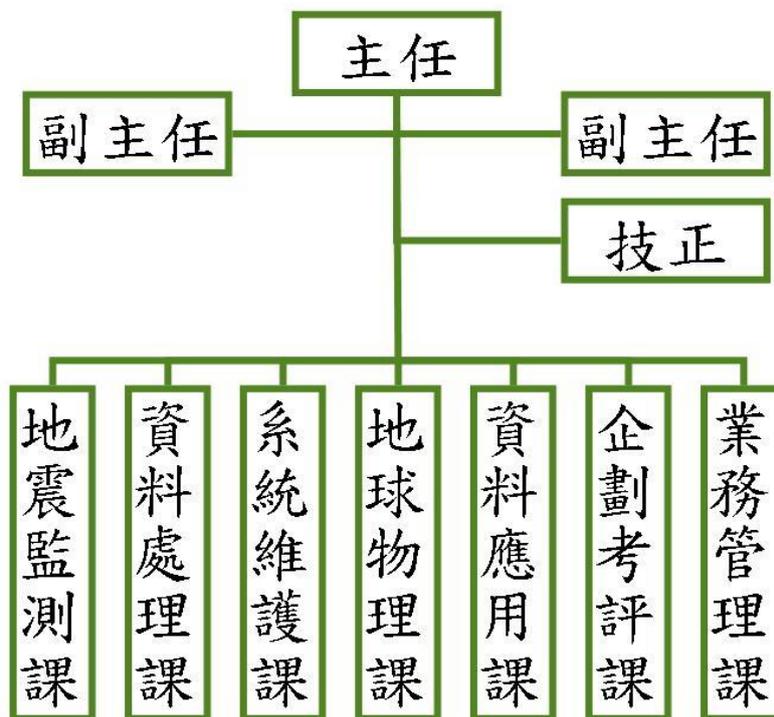


圖 2-1、地震測報中心編制架構圖。

## 參、各觀測系統發展史

臺灣地處於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊相互碰撞的樞紐點上，是典型板塊碰撞下所產生之大陸邊緣島嶼，每年平均發生的地震約 15,000～18,000 個。根據以往歷史的記載，臺灣近百年來曾經發生多次災害性大地震，造成大量人員傷亡以及財產損失，例如 1906 年梅山地震、1935 年新竹-臺中地震、1941 年中埔地震、1951 年花東縱谷地震、1964 年白河地震、1986 年花蓮地震以及令人印象深刻的 1999 年集集地震等，而這麼多災害性地震的重複發生，再再顯示臺灣這個島嶼實仍為地殼活動非常劇烈的一個區域，而且隨著經濟建設的迅速發展，各大都會區人口密度不斷提高，高樓大廈林立，更是大幅增加地震對於人民生命財產的威脅，因此生活在地震威脅如此嚴重的環境下，地震科技在災害防治上的應用益顯重要。

地震測報是臺灣整體地震災害防治工作中重要的一環，尤其在集集地震發生期間，對於有感地震的嚴密監測、地震資訊的快速傳遞，以及落實地震情報在防災上的運用，皆顯示其能夠在地震減災上發揮一定的功效。地震測報工作的進行必須透過地震觀測儀器的廣泛設置，以便在地震發生時能夠忠實記錄各地的振動訊息，同時地震學的研究與應用也需要仰賴地震觀測網所蒐集之資料來加以分析與驗證。廣義之地震觀測網除了包括可以直接記錄地動訊號的各類型地震儀外，其他地震相關之研究或作業的觀測網，例如研究地震前兆現象的全球衛星定位系統與地下水位監測系統也可以涵蓋在內。為能將臺灣目前的地震觀測網做一個完整的介紹，本節將首先概述近年來臺灣幾個重要的觀測網建置計畫，然後介紹中央氣象局目前所有作業的地震觀測網，最後並介紹觀測網的未來規劃。

### 一、建置過程

臺灣地區以儀器觀測及記錄地震已有百年以上的歷史。1897 年設置於臺北測候所的第一部地震儀，稱之為格雷·米爾恩式地震儀。早期的地震儀均屬機械式地震儀，並且持續使用了一段相當長的時間（1900~1972）。機械式地震儀受限於類比記錄方式以及震波低放大倍率，再加上觀測地點僅限於數個氣象觀測所，致使對地震的觀測能力與調查工作大多只能針對有感地震或災害地震。許多微震及弱震的資料因此遺漏，因此很難從觀測資料上判斷大地震之前是否有前震發生。

臺灣的地震觀測歷史有幾次重大變革，主要以更新儀器、加密觀測地

點為變革內容。值得一提，數次變革工作皆在發生嚴重的災害地震之後才開始推動。例如，民國 24 年（1935 年）新竹-臺中地震（臺灣有史以來傷亡最慘重的災害地震）之後，在新竹、宜蘭、大武及成功等觀測所增設了地震觀測設備。民國 40 年（1951 年）花蓮、臺東地區分別發生規模 7 的大地震，觀測所因此增設了當時新型的強震儀。民國 53 年（1964 年）嘉南白河地震後，與美國合作在陽明山鞍部設置了世界標準地震站，也因此使我國成為世界地震觀測網的一員，同時也引進電磁式地震儀的使用。民國 61 年（1972 年）花蓮瑞穗發生強震，是年中央研究院成立地球科學研究所籌備處（今中研院地球科學研究所之前身），並由該單位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 Seismic Network, TTSN）。此地震網之建置有其劃時代的意義，臺灣地震觀測正式進入弱震觀測時期，大量蒐錄的地震資料對於臺灣地區的板塊構造模式有了更進一步地認知。民國 75 年（1986 年）花蓮地區接連發生災害地震，11 月中旬的一次淺層地震甚至造成遠在百公里外的中和華陽市場倒塌。政府開始積極推動地震防災業務，加強氣象局地震業務組織編制，成立地震測報中心，並規劃執行一系列完整、前瞻的連續性地震觀測網建置計畫，透過國際合作與國人自行研發，強化地震觀測的軟、硬體設備，在地震測報機能上長足進展。

中央氣象局自民國 78 年（1989 年）起首先執行「加強地震測報建立地震觀測網計畫」，以嚴密監測臺灣地區的地震活動。該計畫主要為中央氣象局地震觀測網（Central Weather Bureau Seismographic Network, CWBSN）的擴建，將中央研究院地球科學研究所 TTSN 的 25 個地震站合併，並增加 31 個測站，使測站數由原有的 19 個增加至 75 個（至民國 98 年（2009 年）8 月止為 71 個）。並將原系統全面更新為即時監測系統，在每一個測站裝設三分量之地震儀，並以點對點之數據專線將訊號傳回中心站記錄，使地震的掌握更加迅速確實。

另外，考慮嘉南地區的地震威脅及配合國科會嘉南防災計畫，中央氣象局與中央研究院、中正大學合作建立包含 8 個即時地震監測站的嘉南區域性地震網，以嚴密監視嘉南地區三條活動斷層（梅山、觸口、新化）的活動狀況。該區域性地震網並與中央氣象局地震監測網連線，使地震監測業務不僅涵蓋了整體性，並兼顧高潛能地區地震活動。

為綜合發展地震觀測、速報、預測科技，將成果應用於地震防災工作，以有效降低地震災害損失，中央氣象局自民國 80 年（1991 年）開始執行強地動觀測計畫（Taiwan Strong Motion Instrumentation Program, TSMIP），以六年為一期之中程計畫進度，逐步朝有效降低地震災害損失之目標邁進（辛在勤，1993）。

「強地動觀測第一期計畫」主要致力於觀測設施硬體建置，建立都會區的臺灣強地動觀測網，以蒐集各都會區地層、土壤及結構物之強震資料。此計畫於民國 80 年（1991 年）7 月起開始執行，截至目前為止，總共設立了 689 個自由場強震站及 61 座的結構物監測系統，而其所蒐集的強震資料，不僅為工程界耐震設計規範最重要的參數外，同時亦提供救災單位搶救方案的重要依據。

第一期計畫結束後，氣象局繼續於民國 87 年（1998 年）進行「強地動觀測第二期計畫—建置地震速報系統」，此計畫主要為強化地震救災功能所設計，挑選數十個臺灣強地動觀測網測站，將其訊號藉由數據專線即時傳回中央氣象局位於臺北的資料處理中心，組成強地動即時觀測網（real-time strong-motion monitoring network），以發展地震速報系統，大幅縮短臺灣地區有感地震的測報時間。

中央氣象局自民國 93 年（2004 年）度開始執行「強地動觀測第三期計畫—發展強震即時警報系統」，主要目的為再次提升測報效益，經由地震速報減災構想，將地震測報技術運用於可行的地震預警防災作業上。該計畫預計在現有地震速報作業時間 1 分鐘的基礎下，逐年縮減 5 至 10 秒，並在民國 98 年（2009 年）第三期計畫完成時，將其測報速度縮短至 30 秒內，在破壞性震波到達前，對距離震央較遠之都會區爭取一、二十秒之地震預警時間。

集集地震發生以後，國科會為進一步強化國內地震科學研究及地震災害的防治，自民國 89 年（2000 年）起推動「地震及活斷層研究」的跨部會重大科技計畫，其中中央氣象局配合該計畫的執行，主要負責建置現代化的地震監測系統，包括與中央研究院、國立中央大學合作建置寬頻地震儀觀測系統與全球衛星定位系統，以及與經濟部水利署合作建置地震地下水觀測系統等。

經由十幾年來幾個重要地震觀測網建置計畫的陸續執行，臺灣現階段

擁有高密度、現代化且多元化的地震觀測網。若以地震觀測業務的功能性加以區分，主要分為中央氣象局地震觀測網（Central Weather Bureau Seismographic Network, CWBSN）、臺灣強地動觀測網（Taiwan Strong Motion Instrumentation Program network, TSMIP network）以及臺灣地球物理觀測網（Taiwan Geophysical Network for Seismology, TGNS）等 3 個跨全島的地震觀測網。

## 二、中央氣象局地震觀測網

中央氣象局地震觀測網（圖 3-1）主要負責臺灣地區地震活動的觀測，因該觀測網為即時地震觀測網，地震儀所記錄到各地振動的訊息，可以透過傳輸線路即時傳回臺北資料處理中心站處理，因此其紀錄除了可以提供地震學的研究與應用外，也是災害應變單位在地震救災上重要的依據。目前在中央氣象局地震觀測網的架構下，依照地震儀類型的不同，建置完成 3 種不同類型的地震測報系統，包括短週期地震儀觀測系統（Short-period Seismographic System）、地震速報系統（Earthquake Rapid Reporting System）以及寬頻地震儀觀測系統（Broadband Seismographic System），其功能及系統架構分別介紹如下：

### （一）短週期地震儀觀測系統

短週期地震儀為速度型地震儀，其收錄到的地震紀錄為測站當地因地震所產生振動的振動速度值。此類型地震儀為靈敏性極高的觀測儀器，可以記錄到極弱小的地盤振動，一般無法被人感覺到的無感地震亦可被短週期地震儀所監測，因此所收錄到的地震紀錄鉅細靡遺，非常適合學術上地震學各種研究、地震活動觀測及最終目標的地震預測的研究。雖然短週期地震儀擁有靈敏的地震監測能力，但由於儀器本身設計原理的限制，大地震所產生的劇烈振動常常會使儀器的紀錄過大而產生失真，反而無法真實反應出各地的振動情形，因此此類型地震儀並不適用於防救災方面的應用。

#### 1、系統架構

中央氣象局目前總共設有 71 個短週期地震儀觀測站（圖 3-1），訊號解析度為 12 位元，其系統架構之演進主要分為 3 個階段：

#### （1）SDP 即時定位系統（1991~2005）

從 1990 年底起開始運作，其運作軟體稱為 SDP 即時定位系

統，其作業方式為各地方站的地震儀信號經過數位化後，由數據機（Modem）以每秒 4800 Bits 的速率經數據專線傳回臺北，該信號再經過中心站的數據機之後，將可得到原來地震儀之數位化信號。上述之數位化信號將進入數位接收機（Digital Receiver）內，而數位接收機首先會輸入來自時間系統（TG-120）的 BCD 時間碼，此 BCD 碼經處理後將附加在地震信號上，以便即時定位使用。數位接收機將已附加時間之地震信號先置入長度為五秒之緩衝器內，直到緩衝器滿了，才將緩衝器內之資料經過中繼器傳到 DEC VAX6520 及 VAX4400（備援系統）伺服器，SDP 軟體會自動偵測來自數位接收機之資料是否為地震事件，若判定是地震則會自動定位、同時將地震信號寫入電腦硬碟，並將結果列印在印表機上。各地方站的數位化地震儀信號進入數位接收機後，除一方面進入 VAX6520 及 VAX4400 作地震事件偵測外，另一方面則進入數位類比轉換器，將信號還原成地震儀所產生之原始類比信號，此信號會接到信號分配器（Patch Panel）上，透過信號插銷線分別插在信號分配器及熱感式記錄器（Multi-Channel Recorder）之輸入端，則該地震儀之信號將重現在熱感式記錄器上。

本作業系統自 1993 年 11 月以後，地震資料的蒐錄方式同時採用傳統的系統自動觸發偵測方式以及連續記錄數位資料的方式進行，此一軟體更新彌補了以往微震不易為系統自動偵測而遺漏的缺憾。在 1994-1998 年之間的地震觀測，因使用連續數位方式記錄資料，使得所蒐錄的地震個數大幅增加，平均每年的觀測資料約 16,000 個地震，大約增為軟體更新前的 3 倍。

## （2）ICP 即時定位系統（1999~2008）

1999 年 4 月引入 Teledyne 生產個人電腦級之地震監測系統（Intelligent Communication Processing System, ICP），簡稱 ICP 系統。ICP 系統是以 Windows/NT 為作業平台的地震監測系統，其功能具有地震訊號即時顯示及兼具觸發及連續兩種記錄方式。有四台 Windows/NT 電腦分別連接四組 24 Ports 之數位控制器（Multiport Controller），進而接收及處理野外傳回之數位訊號，本系統主要用作線路校驗及備援系統。圖 3-2 為 SDP 及 ICP 即時定位

系統架構之示意圖。

### (3) NSDP 即時定位系統 (2003~)

此為由地震測報中心同仁於 2002 年 3 月自行研發完成之新地震監測系統 (吳逸民, 2002), 硬體設備包括三組數位控制器及 4 部工業級個人電腦; 利用國內科技公司出產之數位控制器, 擴充第 1 部個人電腦之通訊埠, 由自行開發的接收程式, 將 S13 訊號及部分 A900A 強震儀所傳回之數位資料加以蒐集。第 1 部個人電腦以每 5 秒為一個單位將訊號記錄成一個檔案, 由第 2 部個人電腦進行訊號判讀, 經判斷有地震觸發時段的訊號會結合觸發前後的訊號, 將完整的紀錄寫入檔案送到第 3 部個人電腦供後續處理 (如波形展示) 及第 4 部電腦供地震定位等處理。其中, 第 2 部個人電腦除了觸發記錄外, 並提供兩套連續記錄, 分別寫入至指定目錄; 第 4 部電腦則用來進行波形檢視及地震定位等離線處理作業。本作業系統亦具有觸發及連續記錄兩種方式。經測試運作穩定後, 再另外建立一套相同系統 (NS13) 以為備援, 並於 2003 年 1 月正式啟用成為目前主要的作業系統。圖 3-3 即為新地震測報系統 NSDP 即時定位系統架構之示意圖。

原 SDP 即時定位系統, 由於系統運作已達 15 年之久, 在儀器設備老舊、維護不易之下, 於 2005 年 10 月正式停止作業。由於 VAX 時期受限於硬碟容量小且貴, 容量常捉襟見肘、不敷使用, 而新系統以 PC 為主要作業界面, 硬碟容量較之以往已不可同日而語, 故連續紀錄之取樣率由每秒 50 點改為每秒 100 點, 此一軟、硬體設備上的進步使得所能蒐錄的地震個數又再提升, 平均每年的觀測資料 (約 18,000 個), 約為 1994~1998 年的 1.13 倍, 尤其在規模小於 2 的地震個數上, 比 1994~1998 年平均每年的觀測量增加約 60%。

## 2、觀測成果

速度型即時地震監測網近年已經蒐錄大量而豐富的地震資料, 對於監測斷層活動或大地震前的異常活動, 提供非常重要的參考依據。其成果簡介如下:

### (1) 完整的地震觀測資料

隨著地震觀測技術的改良，自地震測報中心成立以來，中央氣象局已蒐錄超過 33 萬起地震資料（圖 3-4(a)震央分布圖）。由地震活動在空間上的分布型態顯示（圖 3-4(b)），臺灣東北部明顯呈現向北隱沒的傾斜地震帶（最深可達近 300 公里），臺灣南部也隱約呈現向東隱沒之傾斜地震帶，而臺灣西部則主要為集中於斷層構造區附近之淺層地震帶，民國 88 年因為集集地震引發眾多餘震，觀測數量更超過 45,000 個。依現行觀測方式，即使是規模小於 2 之地震亦可被精確地記錄到（陳燕玲，2006），這些微震訊息對於監測斷層活動或大地震之前的異常活動均極具應用價值。而豐富的地震資料，大大縮短研究所需累積資料之時日，從而加速臺灣地區地震相關研究之發展，諸如地體構造、地震活動度、震源特性、場址效應等。

表 3-1 為不同觀測階段之各項地震統計資料。由表 3-1 可發現，在機械式觀測年代（1900~1972）之地震觀測以較大有感或災害地震為主（每年約 40 個），個數少且能觀測到的最小完整規模也相對較大（4.7）；進入網連化觀測階段（1973~1990）的地震觀測數目大幅增加（每年約 5,000 個，為之前的 120 倍以上），能觀測到的最小完整規模也相對降低至 2.4；而進入現代化觀測且連續式記錄階段（1994~2008）的地震觀測數目較之前一階段更是大幅增加（每年約 15,000~18,000 個，為之前的 3 倍以上），能觀測到的最小完整規模更相對降低至 2.0（圖 3-5(a)），島內更可降低至 1.5（圖 3-5(b)）；以數位資料量累積速度而言（地震事件之波形紀錄每年約 30G，而原始連續紀錄每年則約 1.5T），更是可觀。臺灣的地震觀測可說正式進入微震觀測時代。

## （2）豐富的地震震源機制資料

早期傳統 P 波初動解（first motion solution），僅根據測站 P 波初達極性（polarity）之象限分布以推求震源機制解，而完整的波形紀錄則包含波相到時（arrival time）與振幅（amplitude），近年為善用所有地震波所傳達之訊息（即應用完整的波形紀錄），故有許多方法之發展，例如質心震矩張量 CMT（centroid moment tensor）逆推、地震矩張量逆推（moment tensor inversion）、波

形分析法（waveform analysis）等逆推震源機制的方法。雖然以上方法應用完整的波形紀錄，可推得較精確的震源機制解，但由於資料處理費時，故傳統 P 波初動解基於可迅速求解的優點，至今仍被廣為使用，且已累積大量的初動解地震震源機制資料。

本局目前所收集的震源機制解資料庫包含中央氣象局 P 波初動解、CMT 解、學者研究發表、中研院地球所 BATS CMT、Global CMT，其中 1991~2008 年由短週期地震紀錄分析所獲之 P 波初動解共 2,243 個（位置分布如圖 3-6）。

### （3）在學術領域方面之成果

本局強地動觀測計畫長期於蒐集高品質、完整、數量龐大的地震觀測資料，已誘使多方國外學者參考引用參加研究，同時開創了國內學者競相研究之動力，除了造就高級研究人才的培育環境，提升我國地震學術研究能力之外，增加國際合作機會，同時大大提高了我國國際學術研究地位。附帶的，國際知名學者對於我本土觀測資料競相爭取，並以多樣化的分析研究，提供了成果相互驗證機會，對臺灣地震環境的瞭解程度，能更加深入，最大受益者終將回歸本土。

### （4）在科技技術層面之成果

地震測報技術的進展，主要結合了地震學理以及科技硬體設備的不斷研究與創新。科技技術與產品應「需求」而發展，在本局規劃思考地震作業需要情況下，將逐漸影響科技產業的成長，例如地震速報系統之建置，提升了地震觀測設備之地震儀與通訊服務項目。未來本局實施強震即時警報作業，有了觸發防震措施之訊號機制，將牽連帶動自動化防震系統之科技產品問世，相關資訊科技又將令人耳目一新。

### （5）綜合社會影響方面

多震的自然環境為臺灣民眾之日常生活增添了些許無奈，政府若無適當的因應作為，相較他國進步狀況，此種心情可能更加沉重。本局希望能藉由防震宣導讓民眾瞭解，雖然地震可能造成嚴重破壞，但災害並非全然不可避免。也藉由測報技術的發展，提供高科技產業有地震防災、減災方案可以思考運用。未來將持續努力於地

震前兆研究，以降低地震現象對社會的負面衝擊，並有助於提高經濟投資信心。

## (二) 地震速報系統

地震速報系統為中央氣象局發布有感地震報的核心系統，近年來成功應用於臺灣地區幾個災害性大地震的測報，例如 1998 年 7 月 17 日嘉義瑞里地震、1999 年 9 月 21 日集集地震、1999 年 10 月 22 日嘉義地震、2002 年 3 月 31 日花蓮外海地震、2003 年 12 月 10 日臺東成功地震、2006 年 4 月 1 日臺東地震以及 2006 年 12 月 26 日恆春地震等（表 3-2，圖 3-7），迅速提供防救災單位地震參數及強地動資訊，有效降低地震所造成的衝擊。

### 1、系統架構

地震速報系統之系統架構主要分為 4 個部分，包括強震儀、資料傳輸線路、資料處理中心以及消息發布途徑（圖 3-8）：

#### (1) 強震儀

負責地動訊號蒐集，具 16 位元的解析度，即有 96dB 的動態記錄範圍，最大地動加速度範圍為正負 2G。該強震儀不同於一般觸發型強震儀，更具有即時傳輸數位資料功能，除了可以用來擔任即時觀測儀器外，對於地震訊號的掌握也更為完整。由於遵行政府採購法規，地震測報中心於歷年的採購符合上述規格的強震儀多達 5 種不同廠牌，但為求資料型態一致化，主要使用美國 GeoTech 公司所生產的 A900A 加速度型地震儀。目前由該型式強震儀組成即時強地動觀測網，在臺灣本島及離島地區總共建置有 109 個測站（圖 3-1），同時可依實際需求適時增減測站，並調整使用之測站，以強化有感地震之偵測能力。

#### (2) 資料傳輸線路

資料傳輸線路使用中華電信公司的數據專線，所有強震儀三軸向、取樣率（sampling rate）每秒 50 點的地動訊號經過數據機後，24 小時連續傳回至資料處理中心。整個傳輸線路架構在設計時，除了考量將所有訊號傳回到臺北中心站處理，形成一個完整的全區網外，針對高地震危險度區域，並安排區域子網的裝設，由於子網設計的用意主要為特定區域地震的偵測，因此使用的測站可以大幅減

少，有效縮短地震處理的時間，而達到區域速報預警的功能，同時其定位結果也可與全區網結果互為備援使用。由於子網的功能需求，因此資料傳輸的方式有兩種，一種是訊號直接由野外的測站傳回臺北氣象局內的中心站，另外一種則是訊號會先集中至附近的氣象站，然後再透過 T1 專線，將匯集至區域中心的訊號一起傳回臺北中心站處理，以此種方式傳輸訊號的測站包括臺灣本島南部地區的測站，其訊號會先傳到位於臺南市的南區氣象中心，以及花蓮地區的訊號會先傳到花蓮氣象站，然後分別透過兩條 T1 專線傳回到臺北。除了數據專線以外，中央氣象局目前也藉由局屬的 Frame-Relay 網路，利用 TCP/IP 的協定將訊號傳回中心站，此訊號傳輸環境並同時配備有衛星通訊線路的備援。

### (3) 資料處理中心

中心站訊號處理方面，目前有兩套並行的作業系統，一為觸發記錄方式 (trigger mode)，此系統為完全自動作業，當地動訊號達觸發標準，系統會自動進行定位工作，並將地震位置、規模大小等定位結果及各地震度以圖文方式列印，以提供中央氣象局有感地震發布使用；由於系統採用了自動定位的技術，因此可以有效減少作業處理的時間，一般而言，可於觸發檔案結束記錄後數秒內得到自動定位結果，時間約為地震發震後 1 分鐘。第二套作業系統則採連續記錄方式 (continuous mode)，將每分鐘之地動訊號存成一個一個連續的檔案，以提供測報人員使用人工方式處理，而其用途主要為地震報告的確認以及資料的備份。資料處理中心除了在臺北的中央氣象局本部外，在臺南的南區氣象中心以及花蓮氣象站也同時設置有兩個區域的子中心，而其定位結果可互為備援使用。

### (4) 消息發布途徑

地震消息內容包括地震發生時間、震央位置、震源深度、地震規模、各地震度等基本參數，以及藉由這些參數的推估，在防救災上一些重要的參考資訊。有鑑於網際網路使用的普遍性，地震情報的傳遞以網路為主要的傳播媒介，並隨著近年來通訊科技的發展，開發不同新的傳遞途徑；目前已上線使用的發布管道包括電子郵件、全球資訊網站、電話語音、行動電話簡訊、群組傳真以及公共

電視跑馬燈等。

## 2、觀測成果

地震測報中心在地震速報系統的架構下，發展與防災業務息息相關之地震測報作業，包括有感地震發布作業（蕭乃祺等，2005）、地震即時警報作業（蕭乃祺等，2008）以及海嘯警報發布作業（蕭乃祺等，2006）等；其中地震即時警報作業目前尚在實驗階段，待測試完成後，即會正式上線作業：

### （1）有感地震發布作業

臺灣地區現階段有感地震的發布作業程序規劃如圖 3-9 所示。

當臺灣島內或近海區域發生有感地震時，系統會被觸發並進行自動地震定位，產生地震的初步報告，依據目前的設定，當初步計算的地震規模大於 4.5 時，系統會透過行動電話、呼叫器以及電子郵件等方式，將初步地震的訊息傳遞給防災單位人員以及氣象局同仁參考，而其主要目的為相關人員之緊急動員。同時測報人員會立即檢視所有系統得到的自動報告，包括區域子中心等備援系統所傳送過來的結果，以確認地震參數以及各地震度資料的可信度，並在完成適度修正後，迅速透過網際網路、行動電話簡訊、電話語音以及傳真存轉等多重管道，將正式的地震報告傳送給所有相關單位及社會大眾。若在地震發生後，系統沒有產生自動報告，或是自動結果誤差太大，無法用於發布的狀況時，測報人員則必須以人工的方式進行地震定位，並在完成定位工作後，對外發布地震消息。目前地震速報系統針對發生於島內或近海區域的淺層有感地震，在正常運轉下，平均在地震發生後 60 秒內即可初步掌握各地震度、震央位置及地震規模，並在地震發生後 3 至 5 分鐘內迅速的對外發布完整的地震消息，但若必須藉由人工定位結果發布地震消息時，則整個發布的時間則可能需要花費到 10 分鐘以上。

圖 3-10 為實際地震的發布歷時圖，以 2006 年 4 月 1 日臺東地震為例，該地震發生在臺東市地震站東偏南方 25.6 公里，震源深度 7.2 公里，地震規模 6.2，最大震度為臺東市 6 級。根據當時地震的發布時程，在地震發生後 69 秒系統自動獲得地震的初步結果，內容包括震源參數以及各地震度資料，並在 72 秒時透過行動電話簡

訊傳遞至防災單位及氣象局相關人員；同時值勤人員立即檢視自動報告的結果，並在地震發生後 4 分 17 秒完成資料的確認，開始透過行動電話簡訊、資訊網頁以及電話語音的方式對外發布地震消息，並透過專線傳送給防災以及交通運輸等重要單位，最後在 4 分 46 秒進行公共電視跑馬燈的播放以及群組傳真的作業，完成整個地震的發布作業。

## (2) 地震即時警報作業（測試階段）

地震測報中心利用虛擬區域子網的模式，從 2001 年開始進行臺灣地區地震即時警報成效的測試。其預警成效主要由自動地震定位、地震規模計算以及地震反應時間來評估。有關自動地震定位的表現（圖 3-11），對於發生在島內的地震，自動地震定位的結果與中央氣象局地震目錄中人工地震定位的結果非常吻合；發生在板塊邊緣的地震則出現系統性由東南外海往西北陸地偏移的趨勢，此現象與利用三維速度構造定位的結果非常類似；其中震央位置的平均偏差為  $5.46 \pm 6.41$  公里，震源深度平均偏差則是  $4.66 \pm 4.73$  公里。有關地震規模的比較（圖 3-12），子網計算的規模與人工地震定位計算的規模平均偏差為  $0.23 \pm 0.20$ ；在速報預警的考量下，已可達到防災的要求，不過針對外海大規模的地震，則會出現規模低估的情形。地震反應時間平均為  $18.7 \pm 3.9$  秒（圖 3-13），對於距離震央約 60 公里以外的地區已經有預警的能力，對於 100 公里以外的地區則可提供 10 秒以上的預警時間；至於 60 公里以內的預警空白區，雖然子網模式無法提供預警，地震訊息的快速發布對於預警空白區仍有速報救災的意義與功能。

由於區域子網的運作模式在日後將實際應用於臺灣之地震測報作業，因此綜合上述區域預警模式運作的表現，不管在震源位置的決定或是地震規模的計算，都已達到實用之階段。同樣以實際 2006 年 4 月 1 日規模 6.2 的臺東地震為例（圖 3-14），根據區域子網自動定位的結果，子網在地震發生後 21 秒獲得地震震源的資訊，規模為 5.9，震央位置與人工定位的結果相差 7.8 公里，震源深度則相差 6.4 公里，與人工定位的結果相當接近；預警效益方面，對於距離震央 70 公里以外的地區開始擁有預警時間，地點包括高雄、

臺南以及嘉義等都會區，而對於可以提供警報的範圍，部分地區的最大震度可以達到 4 級，至於距離震央位置 70 公里以內、振動最為劇烈的地區，區域子網的模式則無法提供地震預警的訊息。

### (3) 海嘯警報發布作業

臺灣地區海嘯警報的發布由中央氣象局負責，為了防範海嘯的侵襲，地震測報中心在環太平洋地區發生大地震後，可以迅速取得太平洋海嘯警報中心的海嘯警報，並在研判確定其對於臺灣地區的影響後，透過管道迅速將海嘯警訊發送到各相關岸巡、災害防救主管機構及大眾傳播媒體（圖 3-15）。以 2003 年 9 月 26 日日本北海道規模 8.1 的地震為例，地震發生在該日臺北時間清晨 3 點 50 分，太平洋海嘯中心於 4 時 29 分發布第一報海嘯電報，電報中發布海嘯警報，將日本、俄羅斯列為海嘯警告區域，同時也將包括臺灣、關島、菲律賓等地區列為海嘯注意名單，並預估海嘯波浪將於臺北時間早上 8 點 14 分到達臺灣。地震測報中心收到此海嘯警報後，隨即回覆太平洋海嘯中心，並依該地震的位置及深度初步研判應不致造成海底地表破裂，發生大型海嘯之機會並不大，但仍嚴密注意海嘯發展情形。清晨 5 時 13 分中央氣象局收到第 2 報海嘯電報，報告中臺灣仍維持於海嘯注意名單中。隨後太平洋海嘯中心根據實際海嘯發展情形，評估應無海嘯侵襲機會，因此於 6 時 16 分發布第三報海嘯電報，解除太平洋沿岸及所有島嶼之海嘯警報。此次大地震雖未對臺灣造成任何影響，但也看出太平洋海嘯警報中心警報對於臺灣地區防範遠地海嘯之功能。

如果海嘯是發生在臺灣附近海域，只靠太平洋海嘯警報中心的預警系統，在時間上會來不及做疏散與撤離的動作，因此地震測報中心將近海地震所引起海嘯的警報作業與地震速報系統相結合，藉由地震速報系統迅速有效的地震偵測能力，並配合海嘯走時數值模擬結果，適時針對近海海嘯發出警報通知。根據作業流程（圖 3-15），當地震速報系統偵測到臺灣附近海域發生規模大於 7.0 的淺層地震時，除了會將地震的資訊透過現有的發布管道對外發布地震報告外，並同時會自動將資訊傳送至海嘯發布界面發布警報。發布過程中會查詢預先建置完成的海嘯到時資料庫，以提供海嘯波浪

到達各地區的預估時間，然後迅速透過行動電話簡訊、電子郵件以及傳真等管道發布警報。警報發布後，則隨時檢視中央氣象局即時之潮位資料，在確認海嘯波浪對於臺灣地區已不會造成威脅後，適時發布海嘯警報解除。

### (三) 寬頻地震儀觀測系統

寬頻地震儀為目前世界最新進的地震觀測儀器，擁有記錄頻寬較寬廣及感應器較靈敏的特性，能夠確實記錄到較寬頻段之完整地震波，對於地震定位及規模計算方面，能夠彌補傳統短週期及加速度型紀錄內涵之不足，同時亦可以藉其靈敏特性提供遠地地震之紀錄，甚至遠地的人為造成之爆炸性震源同樣可偵測到；另一方面，藉由寬頻地震儀所記錄到完整斷層面破裂過程之地震波形紀錄，對於臺灣及鄰近地區大地構造與地震活動關聯性的研究，提供了非常珍貴的資料。

#### 1、系統架構

中央氣象局目前設置寬頻地震儀的測站有 33 站（圖 3-1），儀器的解析度為 24 位元，所收錄之資料透過 Frame-Relay 網路專線將資料傳臺北處理中心，取樣率每秒 100 點。由於寬頻地感應儀器非常敏感，對溫度及氣壓等變化均會影響記錄品質，因此地震儀特別安裝於往地下開挖的涵洞裡頭，再強化隔熱防水，以減少雜訊干擾，確保訊號品質。外站儀器部分主要由地震感應器（Sensor）、數位轉換器（Digitizer）、儲存裝置（DCM，除了資料儲存功能外，並將 RS232 訊號轉成 TCP/IP 或 UDP 介面，連結於 Frame Relay 網路）及 GPS 模組所組成，各測站所收錄之即時的地震訊號資料，透過中華電信的傳輸數據網路專線設備（Frame Relay），以 UDP 傳輸方式將訊號帶回中央氣象局地震測報中心之記錄系統進行處理。

訊號接收運用美國地質調查所（USGS）所發展之 Earthworm 系統，進行原始訊號資料分析，即時的地震事件觸發、地震參數求取、觸發事件的波形擷取、資料庫即時存取及資料交換等工作的動作也同時進行。作業模式主要分為 Automatic Earthworm 和 Interactive Earthworm 兩部分，前者為自動地震觸發以及相關參數求取、而後結合資料庫做儲存動作；後者則是除了建構在網際網路透過與資料庫結合展示前者所計算之結果外，也提供了警報系統機制。透過

Earthworm 系統間之資料交換功能，同時與中央研究院地球科學研究所進行即時地震訊號交換，不僅達到資料合作交流，並且有異地備援之功用。

## 2、觀測成果

由於寬頻地震儀可記錄波動的頻率範圍較為寬廣，以及其感應器較靈敏之特性，能夠記錄到內涵豐富並優質的地震波形，有效彌補加速度型與傳統窄頻式速度型地震儀記錄震波訊息之不足，進而提升地震定位與規模計算的精準度。基於上述優點，在中研院地科所及中央氣象局地震測報中心努力之下逐漸展現成果，目前主要成果如下：

### (1) 建立寬頻地震資料庫

寬廣頻率範圍及高靈敏之感應器，讓寬頻地震儀收錄到的資料中不僅僅只有地震訊號，其他人為或是天然環境背景雜訊，如核爆、人工炸測、慢地震 (Slow earthquake)、地層微動 (Tremor)、地潮 (Earth tide) 等訊號，均有可能被收錄，進而被使用及分析。因此，寬頻地震資料之儲存分為連續資料及地震事件資料儲存。各測站以天為單位，以連續之 miniseed 格式儲存，並搜尋中央氣象局地震測報中心及美國地質調查所每月偵測之地震，依地震震央距遠近及地震規模大小，區分為四個區域 (Local, Range1, Range2, Range3)，截取不同時間長度 sac 格式之地震波形，表 3-3 為地震事件區分之規範標準。

圖 3-16 展示自 1996 年至 2008 年，BATS 寬頻地震網在 Local 區域截取地震波形資料之地震分布圖；圖 3-17 為自 1996 年至 2008 年，BATS 寬頻地震網在 Range1 及 Range2 區域截取地震波形資料之地震分布圖。目前本局所屬所有寬頻地震資料均可透過中央氣象局地球物理資料管理系統 (Geophysical Database Management System, GDMS, <http://gdms.cwb.gov.tw>)，提供學術界研究所需之下載；至於中研院地科所所屬之寬頻地震資料則由該所 BATS 資料中心提供 (<http://bats.earth.sinica.edu.tw/Data/index.html>)。

### (2) 以地震波形逆推震源機制解

藉由分析斷層面破裂過程之完整地震波形紀錄，以地震波形逆推地震震源機制解，希望震源機制之發震模式有助於瞭解地震之發

震構造與地震活動關聯度，更有助於瞭解臺灣及鄰近地區大地構造與地震活動。尤其傳統以地震初達波上下振動極性所繪製之震源初動解，受到地震觀測網測站所在方位角分布的影響，對於外海地震無法有效且均勻覆蓋下，震源機制解之準確性一直存有疑問。因此，本局以寬頻地震波形逆推震源機制解，不僅對臺灣本島之地震特性能正確及有效掌握，外海地震亦然。

本局修改自中央研究院地球科學研究所發展之中央地震矩張量法（Centroid Moment Tensor, CMT, Kao & Jian, 2001），以地震波形逆推震源機制解，藉由完整斷層面破裂過程之地震波形紀錄，得到地震斷層面解（Fault plane solution）。自 2004 至 2008 年在臺灣地區藉由寬頻地震資料，以中央地震矩張量法逆推及分析臺灣地區中大型地震（ $M_L \geq 4.0$ ）震源機制解共完成 676 個震源機制解（如圖 3-18 所示）。並將有感地震之震源機制解以近即時（near real time）方式透過網頁展示（<http://cwbsnbb.cwb.gov.tw>），此網頁中也收集臺灣地區其他相關地震震源機制解，建立臺灣地區震源機制解資料庫，除了提供地球科學界即時瞭解地震震源特性及地震發震構造，並提供工程界模擬地表地動值分布特性，對於國、高中教師地球科學教學也有其相當助益。

### 三、臺灣強地動觀測網

由於臺灣地區地質環境非常複雜，同一地區內之不同地點，往往具有不同的強地動特性，影響所及，結構物的地震反應也不相同，且為有效劃分出高震災潛能區域，強地動資料扮演非常重要之角色。因此為加強臺灣地區之強地動觀測，提升該相關領域之研究工作，以達到減輕地震災害的目的，中央氣象局設置了臺灣強地動觀測網，包括自由場強震站（Free-field Strong-motion Station）及結構物觀測陣列（Strong-motion Building Array）。截至目前為止，自由場強震站總共為 689 個，結構物監測系統則是 61 座（圖 3-19）。

#### （一）自由場強震站

##### 1、系統架構

自由場強震站大部份設置於人口集中的都會區、斷層附近及各種不同地質環境之自由場，每一座自由場強震站配有強震儀一套，後因

地震速報技術發展需要，陸續增加小型全球衛星定位系統、通訊設備、地震震度警報器等。各站均採獨立作業模式，地震儀內之 CPU 依原先設定之觸發門檻（Threshold），採觸發模式紀錄地震，目前大部分測站的觸發門檻多為 3.92gal，同時加設 20 秒及 15 秒的前置（pre-event）及後置（post-event）時間，以求完整記錄地震前後的微小震動、P 波或尾波。自由場強震站所使用的儀器，係依據政府採購法相關規定辦理，歷經多年採購，本局自由場強震儀器由最早期的 12 位元儀器（型號 A800 強震儀），逐漸提升解析度至 16 位元儀器（型號 A900、A900A、IDS3602、IDS3602A 等強震儀）、18 位元（型號 ETNA、K2 強震儀），近期更提升解析度至 24 位元儀器（型號 CV574C、CV575C、SMART24A 強震儀），同時加入即時資料輸出功能及網路 IP 連線功能；由強震儀器採購史可一窺強震儀器進展全貌。表 3-4 為強地動觀測計畫中所曾採購、使用過的儀器種類、分量及極性列表。

自由場測站勘選條件必須遠離建築物、人為震動源及避免地下空洞處，同時為求資料穩定性，測站用電及用地取得能長期穩定也是勘站原則，都會區的國民中小學成為優先考慮設站地點，同時為配合國內各項重大公共建設推展、重要交通設施地震監測及斷層活動監測，自由場站也將核能電廠、水庫、鐵路沿線、斷層附近及國軍營區列入設站標的。每個自由場強震測站佔地約 1 平方公尺，上覆玻璃纖維材質的儀器保護蓋保護安裝的強震儀，使用 110 伏特的市電，自由場強震站測站站房示意圖如圖 3-20。

有關自由場強震站站房測站建站後相關之資料收集、檢視及儀器維護、故障處理、儀器汰舊換新，乃至於站房維護、電源補助費撥付工作等均由地震測報中心統籌辦理，其中資料收集部分早期由地震測報中心同仁親自前往測站收集，每 4 個月收集 1 次，但因強地動觀測網基本雛型建立後，接踵而來的地震速報及地震預警工作需要投入更多人力，因此此一工作委託中央研究院地球科學研究所、中央大學地球物理研究所及中正大學地震研究所等地球科學相關學術單位定期前往各站辦理資料收集工作，藉由此一委託工作，也加強本局與臺灣地區地震研究單位的緊密合作關係。收錄資料彙整後，經過檢視、判

別後，建立索引檔，存放至資料庫，編撰強震年報，方便日後查詢及資料提供使用。

## 2、觀測成果

由於密集的地震監測網建立，不僅加強地震活動監測工作，為數眾多的高品質強震資料，可提供政府機關、學術界、工程界作為地震學研究及耐震標準修訂參考，同時因為密集之地震網建立，於集集地震主震及其後續餘震發揮極大之觀測功能，所記錄之近震資料更是彌足珍貴，對於瞭解臺灣地區地震特性有極大幫助，同時提升我國地震觀測技術水準。內政部建築研究所於民國 88 年 12 月公布修正臺灣地區建築物耐震分區標準，依震區水平加速度係數劃分為地震甲區及地震乙區，即是參考分析本局所蒐錄全臺強地動資料後所做之決議，為我國的工程耐震水準立下新的里程碑，而依據觀測資料規範耐震設計，亦具體實現建置強地動觀測設備的預期目的之一。

應用這些資料，可以得到各測站 PGA 值及震度等值圖，例如由圖 3-21、圖 3-22 為 2006 年 12 月 26 日恆春地震在 KAU082 測站紀錄及震度等值圖，進而瞭解該次地震影響範圍；或是透過修正(Wu and Wu, 2007；吳健富，2005) 得到永久位移，例如圖 3-23 為 1999 年 9 月 21 日集集地震在 KAU052 測站紀錄經由修正後得到因地震所造成的永久位移，與鄰近的 GPS 觀測值近似，代表如修正方法正確，可以由強震資料回復測站當地的永久位移。

另外由收錄集集地震主震強震資料所繪製的震度等值圖發現，民國 88 年以前的震度階在地表最大加速度值 (PGA) 超越 250gal 均設為 6 級震度，依此標準並不能忠實反映災情，因此依據臺灣強地動觀測網收錄資料，增設 7 級震度，精確提供震災損害分布地區，這有助有限救災人力及物力的分配及投入，符合臺灣地區強地動觀測網原先預期目標。

為便利使用者查詢、申購使用為數可觀的強震資料，除逐年編印強震年報，表列各個地震事件各站收錄之最大地表加速度值及波形資料外，同時本中心亦建置地球物理資料管理系統，以標準之資料格式存放強震資料，提供線上查詢及下載作業，普及化強震資料之應用，表 3-5 為 1991 至 2007 年各年度資料蒐錄情況。

另外對於災害性地震也製作 ASCII 資料光碟，同時放置於本局網頁供各界免費索取或下載使用，現已完成之資料光碟及 ASCII 資料計有 1999 年 9 月 21 日、1999 年 10 月 22 日及 2002 年 3 月 31 日等 3 個災害性地震之自由場及結構物紀錄，經過資料處理後，提供資料光碟 (Lee et. al., 2001; Wu et. al., 2004; Wu et. al., 2007)；另外 2006 年 4 月 1 日、2006 年 12 月 26 日地震則在本局局屬網頁提供各站自由場資料 3 軸向最大地表加速度值 (PGA) 供各界下載使用或是以期刊論文方式呈現資料，例如整理分析 2006 年 12 月 26 日強震資料發表學術論文 (Wu et. al., 2008)。應用前述列表強震資料所完成之博碩士論文為數眾多，足見本局強地動觀測網除提供強震資訊做為防救災之用外，對於國內地震研究人才之貢獻良多。

## (二) 結構物觀測陣列

近年來由於人口增加，高樓、橋梁林立，結構物耐震能力評估及設計工作日形重要，因此中央氣象局於不同地質區及不同結構物中安裝結構物強震監測系統，以記錄相關資料，提供學術界、工程界研究，據以訂定安全、經濟且適合臺灣地區使用的建築結構及橋梁之耐震設計規範。結構物站址的選址工作是由各大學相關系所教授及中央氣象局工作人員合力完成，選址的標準主要是依據結構物本身的振動周期 (亦即考慮結構物之結構材料及高度因素) 及所在地盤類別，並加上其它非結構因素如結構物之功能 (例如學校、醫院、通信設施) 來決定是否列入儀器安裝對象，如此將可涵蓋不同功能、特性之結構物。目前將結構物站址依其振動周期分為低層建築物 (振動周期 $<0.5$ " )、中高層建築物 (振動周期 $=0.5$ " $\sim$  $1.5$ " ) 及超高層建築物 (振動周期 $>1.5$ " )，而依其所在地盤將其區分為軟弱地盤、中等地盤及堅實地盤等 3 類。

### 1、系統架構

每座結構物強震站由感應器、電纜及中央集錄系統 3 部份組成。使用的感應器經由公開採購，曾經使用或是目前仍使用中的型號為：SV355、SV555、AS2000、SC319 (以上為日本東京測振公司產品)、FBA-11、FBA-23、EpiSenseor ES-T、EpiSenseor ES-U (以上為美國 Kinematics 公司產品)、SSA-120、SSA-320 (以上為美國 TERRA 公司產品)，結構物強震站之紀錄系統 (中央集錄系統) 則由早期由

雙套工業級電腦組成，兩台工業級電腦互為備援，其中一台工業級電腦附有倍率調整功能，能夠調整增益訊號倍率為 1 倍、10 倍及 100 倍，可供地震工程相關研究結構體之震動使用，而且不影響該結構物強震站的例行地震監測作業。這種以 PC BASE 發展的監測系統，極易受到測站環境溫度、濕度及灰塵影響觀測，且電腦工業進步快速，以 DOS 作業系統為主的監測模式面臨升級 windows 的需求，因此在 2004 年起，中央氣象局編列預算，逐年更新結構物強震站的中央集錄系統為網路型 EMBEDDED 系統，這種硬體系統較能承受不良測站環境的影響，所得紀錄定時備份至當地的另一台工業級電腦，達成資料備援效果；由於 windows 作業系統提供網路功能，因此平時可以連線至中央集錄系統及工業級電腦查看監測現況，即時處理測站問題，在大地震發生後，可以迅速連線取回該站資料，進行分析及研判，大幅提升測站妥善率及儀器成功記錄的機率，記錄主機更新作業將逐年辦理。結構物強震站收錄資料彙整後，經過檢視、判別後，建立索引檔，存放至資料庫，編撰強震年報，方便日後查詢及資料提供使用。

每一套結構物監測系統包含數十個裝置於各樓層的力平衡式加速度感應器 (Force-Balance Accelerometer, FBA)，及一個設置於當地的記錄系統，以儲存各感應器所收錄到之紀錄。記錄系統所記錄的資料可以透過網路或是人工收集的方式獲取，然後經過檢視將強震紀錄與地震參數比對後，放入資料庫。

## 2、觀測成果

圖 3-24 為中央氣象局設於臺東高商的結構物強震站感應器安裝位置圖，圖 3-25、圖 3-26 為 2006 年 12 月 26 日恆春地震該站各感應器所收錄波形時間歷時圖。由這些資料分析案例可知因強地動觀測網設置所得資料其應用程度相當廣泛。

## 四、臺灣地球物理觀測網

中央氣象局地震測報中心為監測並蒐集臺灣地區地殼活動資料，自 1993 年起逐年設置全球衛星定位系統 (Global Positioning System, GPS) 觀測站，至 2005 年底止已完成 150 座測站之建置，除了可以量測伴隨大地震出現的顯著地表位移之外，其所蒐集之地震前、後地殼微小變形資料，亦有助於地殼運動及地震潛勢的瞭解。地殼受應力作用蓄積能量而引

發地震，故地震發生前地殼可能會產生微小變形，因此運用衛星定位科技，以連續記錄方式量測地殼活動，可作為觀測地震前兆的一種方法。

1999年9月21日凌晨1點47分發生之集集地震，於車籠埔斷層附近之地下水位觀測井皆觀測到明顯的同震水位變化，且地震前車籠埔斷層附近超過50口井的地下水位出現明顯升降改變的變化。世界上一些大地震發生前也曾觀測到水位異常變化，推斷應是地震前岩體受應力作用而產生微小裂隙，導致孔隙率與滲透率改變，進而產生地下水位變化，因此地下水之水位變化可反應出岩體應變。故觀測地下水位的變化亦有助於地震前兆現象的掌握。

本中心為積極進行地震前兆研究，整合包括全球衛星定位系統及地震地下水觀測系統成為臺灣地球物理觀測網（Taiwan Geophysical Network for Seismology, TGNS）（圖 3-27），視需要選擇合適地點增設測站，以兼顧觀測及地震相關研究的需求，未來更將納入如地磁觀測等其他地震前兆觀測系統，使得臺灣地球物理觀測網更趨完整，期望能充分掌握大地的脈動，以保障人民生命財產的安全。

#### （一）全球衛星定位系統

依據板塊構造學說，地球內部應力變化會對於外表地殼形變有所影響，進而造成地表位移速度的改變，所以地表上任何一點不正常的移動變化，都有可能代表著該區域應力的累積或釋放。利用全球衛星定位系統監測地表的運動是一種相當準確且有效的方法，密集的 GPS 測量可以觀察地殼形變運動與地震發生的相關性，估算當前的斷層滑移率，並與地層平均滑移率的紀錄進行比較，推算斷層的地震潛勢，獲得震前、同震及震後的地殼變形特性，以便更瞭解地震的震源機制與地殼應變能量的累積及釋放，進而評估斷層活動性對地震災害之影響。

##### 1、系統架構

目前中央氣象局全球衛星定位系統在臺灣地區共設置 150 站（圖 3-27），GPS 觀測網之系統架構可以分成 3 部分，包括 GPS 接收儀器、資料傳輸線路以及中心資料接收：

##### （1）GPS 接收儀器

GPS 接收儀器部分包含了衛星接收儀、天線盤及氣象儀器，早期的衛星接收儀如 AOA SNR8000，只能收取雙頻 4 至 8 個 channel

資料，也就是只能記錄 4 至 8 顆衛星的資料而已，隨著時代的演進，2001 年採購的 LEICA RS500 已經擴充至雙頻 12 channel，至 2006 年採購的 Trimble NetRS 儀器還附加網路功能，可直接連上 ADSL 線路，隨時隨地無須接收系統即可直接連上接收儀觀察衛星資料並下載資料，對於觀測業務有相當大的助益，而氣象儀的裝設更可以修正載波訊號傳遞之對流層遲滯，同時亦可將觀測之溫度、相對濕度及氣壓等氣象資料傳回，這對本局氣象觀測也有莫大助益。

## (2) 資料傳輸線路

GPS 系統資料傳輸的方式相當多樣化，除一般的市話撥接傳輸、ADSL 傳輸之外，尚有行動電話 GSM 撥接、3G 行動上網等傳輸方式，如此多的傳輸方式最主要是由於本局 GPS 站有部分是設置在人煙稀少的地方，而這些區域根本沒有電話跟網路線路，只能仰賴無線傳輸如 GSM 撥接、3G 行動上網等方式。目前大部分的測站都具備兩種傳輸線路，以確保當其中一條線路故障時，仍可以由另外一條線路將資料即時傳回。

## (3) 中心資料接收

依據不同的接收儀器種類，中心資料接收系統也不盡相同，譬如 LEICA RS500 所使用的接收系統是 CRNet，此系統固定每 2 小時會以市話撥接連結外站，將最新的觀測資料抓取回來；而 Trimble5700 則有一部份是由 GPSNET 軟體接收，另一部份則是由 rfile 程式連線接收，同樣也設定固定時間進行接收作業；而 TrimbleNetRS 接收儀可以直接自網路連上儀器抓取資料。各系統傳回的資料都會匯集至本局工作站一併儲存備份，以方便進行接下來的資料解算。

## 2、觀測成果

### (1) 臺灣地區地表變形的趨勢

#### A. 臺灣地區速度場分析

觀察 2004 年至 2008 年的平均水平絕對速度場部分（圖 3-28），較大的水平地表位移速度發生在宜蘭地區、花東地區及高屏地區。宜蘭地區最大水平速度為 6.3 cm/yr，方位角為 132.17°，發生在蘇澳站（SUAO）；而花東地區最大水平速度為

4.12 cm/yr，方位角為  $225.88^\circ$ ，發生在卑南站（PEIN）；高屏地區最大水平速度為 4.93 cm/yr，發生在小琉球站（LIUC），方位角為  $212.76^\circ$ 。整體而言，臺灣北部的速度場呈現東南向，且速度量值變化不大；臺灣西部的速度場呈現東南向，且愈往中央山脈，其速度量值愈小；臺灣西南部的速度場呈現由東南向轉西南向的變化，此速度方向的轉折顯示西南部的脫逸構造（Ching, 2007）；臺灣東部的速度場呈現西北向，且由花東縱谷東邊至縱谷西邊，速度量值明顯變小。

觀察 2004 年至 2008 年的平均垂直絕對速度場部分（圖 3-29），較大的地表抬升速度發生在臺東及中央山脈地區，臺東地區最大抬升速度為 1.52 cm/yr，發生在興隆站（SINL）；而中央山脈地區最大抬升速度為 1.27 cm/yr，發生在梅峰站（MFEN），地表抬升乃受到歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊的擠壓所致。較大的地表下降速度發生在花蓮及雲林地區，花蓮地區最大下降速度為 1.83 cm/yr，發生在大興站（DSIN）；而雲林地區最大下降速度為 -4.59 cm/yr，發生在芳苑站（FUNY），雲林地區地表下降速度如此迅速，推測應受當地長期超抽地下水所致。

## B. 臺灣地區速度剖面分析

綜合中央氣象局、中央地質調查所及中研院地球科學研究所的 2008 年 GPS 觀測資料，我們可以得到臺灣地區 2008 年的水平速度場圖（圖 3-30）及水平應變場圖（圖 3-31），接著我們分析臺灣地區四個區域的速度剖面（圖 3-32），以探討各區域的地表變形特性，此四個速度剖面分別為宜蘭、中部、高屏及花東剖面。為分析方便，宜蘭區域採用絕對水平速度場，而其他三個區域採用相對水平速度場，各區域的地表變形特性簡單敘述如下：

### (A) 宜蘭區域速度剖面

絕對水平速度場從西北向東南逐漸遞增，顯現區域處於拉張狀態，與本區域處於弧後拉張區域相符合（圖 3-33）。由於此區域在中央地質調查所公告的臺灣活斷層分布圖（2000 年版）中並無斷層，因此我們以牛鬥斷層及 2005 年 3 月 6 日的宜蘭雙震的餘震線性分布（圖 3-34）做為此區的構造線。

### (B) 中部區域速度剖面

由西向東愈靠近中央山脈，則相對水平的速度量值愈大，顯示區域正處於應力壓縮狀態（圖 3-35）。

### (C) 高屏區域速度剖面

相對水平速度的方向由西向東呈現順時針旋轉，且愈接近西北濱海的速度有減小的趨勢。潮州斷層兩側水平速度並沒有明顯的差異，而旗山斷層兩側速度明顯不相同，兩側速度的差異表示著斷層處於壓縮且呈現右移錯動（圖 3-36）。

### (D) 花東區域速度剖面

花東縱谷處於歐亞大陸及菲律賓海板塊的交界，縱谷兩側速度有很明顯差異，此區域的相對水平速度方向，由北往南有逆時針旋轉的趨勢。鹿野及利吉斷層是花東區域南邊明顯的界線，兩側速度場表現形式不同（圖 3-37）。

## (2) 臺灣地區地表變形與地震的關係

本局在集集地震後開始密集地建置 GPS 觀測站，因此在集集地震後，我們對於地表的同震變形（co-seismic deformation）擁有大量的 GPS 觀測紀錄。至今有三個地震發生較大的地表同震變形，此三個地震分別為 2002 年 3 月 31 日的花蓮外海地震、2003 年 12 月 10 日的臺東成功地震及 2006 年 12 月 26 日的恆春地震，分別敘述如下：

### A. 花蓮外海地震

2002 年 3 月 31 日的花蓮外海地震，其震央在花蓮外海，芮氏規模（ $M_L$ ）為 6.8，深度為 13.81 公里。有 15 個 GPS 測站觀測到較明顯的同震變形量（表 3-6），其中離震央最近的測站為蘇澳站（SUAO），它與地震震源的距離約為 63.33 公里。蘇澳站的最大同震位移量在東西方向為 6.51 公分；在南北方向為 -8.93 公分；在垂直方向為 -1.84 公分，從其時間序列上可見到明顯的同震變形（圖 3-38）。分析水平向的同震變形位移量及其方位角，在蘇澳站的最大水平向同震變形位移量為 11.05 公分，而方位角為  $143.92^\circ$ 。蘇澳站以北的測站，其同震變形為東南方向，方位角介於  $126.26^\circ$  至  $173.52^\circ$  之間；而在環山站（HNSN）以南

的測站，其同震變形為西北方向，方位角介於  $280.81^{\circ}$  至  $357.69^{\circ}$  之間（圖 3-39）。

#### B. 臺東成功地震

2003 年 12 月 10 日的臺東成功地震，其震央在臺東成功的沿岸處，芮氏規模 ( $M_L$ ) 為 6.42，深度為 17.73 公里。有 6 個 GPS 測站觀測到較明顯的同震變形（表 3-7），其中離震央最接近的測站為成功站（CHEN），它與地震震源的距離約為 18.26 公里。成功站的最大同震位移量在東西方向為 13.04 公分；在南北方向為 12.20 公分；在垂直方向為 20.28 公分，從其時間序列上可見到明顯的同震變形（圖 3-40）。分析水平向的同震變形位移量及其方位角，在成功站的最大水平向同震變形位移量為 17.86 公分，而方位角為  $46.89^{\circ}$ （圖 3-41）。

#### C. 恆春地震

2006 年 12 月 26 日的恆春地震有兩個主震，其震央皆在屏東恆春的外海，第一個地震的芮氏規模 ( $M_L$ ) 為 6.96，深度為 44.11 公里；第二個地震的芮氏規模 ( $M_L$ ) 為 6.99，深度為 50.22 公里。有 14 個 GPS 測站觀測到較明顯的同震變形量（表 3-8），其中離震央最接近的測站為恆春站（HENC），它與地震震源的距離約為 62.06 公里（以第二個地震計算）。恆春站的最大同震位移量在東西方向為 -7.26 公分；在南北方向為 0.09 公分；在垂直方向為 -6.58 公分，從其時間序列上可見到明顯的同震變形（圖 3-42）。分析水平向的同震變形位移量及其方位角，在恆春站的最大水平向同震變形位移量為 7.26 公分，而方位角為  $270.70^{\circ}$ （圖 3-43）。

### (3) 臺灣地區活斷層兩側的地表變形監測

結合中央氣象局、中央地質調查所及中研院地球科學所的 GPS 測站資料，我們可以對臺灣地區活斷層兩側的地表變形作較有效地監測。理論上，當我們已知一個長期的斷層兩側地表變形速度，則此長期的速度值即可以做為斷層兩側地表變形速度的背景值。此背景值即可與短期的斷層兩側地表變形速度來做比較，一旦兩者之間出現較大的差異，則可將其視為一個異常現象，此異常有可能是大

地震發生的徵兆。在此以彰化斷層為例，說明斷層兩側地表變形監測的成果。

#### A. 彰化斷層兩側地表變形的長期趨勢

彰化斷層目前為一存疑性的逆移盲斷層，地表沒有斷層露頭證據，其在地表上的位置仍具不確定性。彰化斷層介於烏溪至濁水溪之間，總長約為 32 公里，可依地形特徵分為三段，分別為彰化-花壇段、花壇-員林段及員林-二水段。由於在彰化斷層周圍的測站中，只有鹿港站（LUKN）、彰師大站（CHUA）、埔心站（PUSN）及八卦山站（PAKU）有較長期的觀測資料，所以我們選擇 LUKN-CHUA 及 PUSN-PAKU 的二條基線（圖 3-44）來觀察斷層兩側地表的長期變形趨勢，分析時間從 2003 年至 2008 年，總共 6 年。

由 LUKN-CHUA 的時間序列可發現（圖 3-45），在東西方向鹿港站相對於彰師大站往西移動的速度不明顯，每年只有約 0.04 公分；在南北方向鹿港站相對於彰師大站往南移動，每年約 0.17 公分；而在垂直方向鹿港站相對於彰師大站往下降，每年約 0.24 公分。

由 PUSN-PAKU 的時間序列可發現（圖 3-46），在東西方向埔心站相對於八卦山站往東移動，每年約 0.42 公分；在南北方向埔心站相對於八卦山站往北移動的速度不明顯，每年只有約 0.03 公分；而在垂直方向埔心站相對於八卦山站往下降，每年約 1.36 公分。

綜合而論，LUKN-CHUA 基線橫跨的是彰化斷層的北段，結果顯示斷層北段左移較逆衝的現象明顯；而 PUSN-PAKU 基線橫跨的是彰化斷層的中南段，結果顯示斷層中南段的逆衝現象明顯，斷層中南段的活動跡象較北段活躍。

#### B. 彰化斷層兩側地表變形的短期趨勢

在斷層北段我們選擇 GS21-GS22、LUKN-CHUA 的二條基線（圖 3-47），而在斷層中南段我們選擇 GS24-GS25、PUSN-PAKU 及 GS27-GS26 的三條基線來觀察斷層兩側地表 2008 年的短期變形趨勢。

由 GS21-GS22 的時間序列可發現，在東西方向 GS21 站相對於 GS22 站往東移動，每年約 0.27 公分；在南北方向 GS21 站相對於 GS22 站往南移動，每年約 0.19 公分；而在垂直方向 GS21 站相對於 GS22 站往上升，每年約 0.07 公分。

由 LUKN-CHUA 的時間序列可發現，在東西方向鹿港站相對於彰師大站往東移動，每年約 0.01 公分；在南北方向鹿港站相對於彰師大站往南移動，每年約 0.19 公分；而在垂直方向鹿港站相對於彰師大站往上升，每年約 0.51 公分。

由 GS24-GS25 的時間序列可發現，在東西方向 GS24 站相對於 GS25 站往東移動，每年約 0.34 公分；在南北方向 GS24 站相對於 GS25 站往南移動，每年約 0.14 公分；而在垂直方向 GS24 站相對於 GS25 站往上升，每年約 0.01 公分。

由 PUSN-PAKU 的時間序列可發現，在東西方向埔心站相對於八卦山站往東移動，每年約 0.15 公分；在南北方向埔心站相對於八卦山站往南移動，每年約 0.05 公分；而在垂直方向埔心站相對於八卦山站往下降，每年約 0.11 公分。

由 GS27-GS26 的時間序列可發現，在東西方向 GS27 站相對於 GS26 站往東移動，每年約 0.27 公分；在南北方向 GS27 站相對於 GS26 站往南移動，每年約 0.05 公分；而在垂直方向 GS27 站相對於 GS26 站往上升，每年約 0.32 公分。

比較彰化斷層兩側地表變形的長期及短期速度（表 3-9），LUKN-CHUA 基線及 GS27-GS26 基線在垂直向的速度變化較大，其長期速度在垂直向分別為-0.24 cm/yr 及-1.36 cm/yr，而在短期分別為 0.51 cm/yr 及 0.32 cm/yr。彰化斷層在短期的垂直向速度變化較大是否代表什麼意義，仍須更進一步的觀察及追蹤。

## （二）地震地下水觀測站

世界上一些大地震發生前後曾觀測到水位異常變化，因此推斷地下水之水位變化可反應出岩體應變。地下水變化之理論以地震前岩體因受應力作用而產生微小裂隙，導致孔隙率與滲透率改變，進而產生地下水位變化，因此觀測地下水位的變化將有助於地震前兆現象的掌握。

### 1、系統架構

中央氣象局現階段監測地下水位即時變化的測站有 6 個站（圖 3-27），各測站水位資料皆以 1HZ 的取樣率即時傳回至臺北中心站。為修正並排除地下水位受降雨、大氣壓力因素影響導致的水位變動，系統會同時接收氣象局所屬雨量站之即時雨量觀測資料，並於觀測井增設氣壓儀傳回即時氣壓資料。各項接收資料彙整後，以網頁即時展示供中心人員即時監測水位變化。

由於影響地下水水位變化的因素很多，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，非構造因素如人為補注影響可選擇適當的觀測井避免，而較明顯的地潮、大氣壓力與降雨等因素的變化，則需經由理論與觀測值推算所扣除，剩餘與地震有關的構造因素則是因大地構造應力產生岩體體積的應變使孔隙水壓變化，進而反應在含水層地下水位的變動。目前資料處理的方向為針對各測站接收的紀錄資料做非構造因素影響量之分析，期望能將非構造因素排除後，對地下水水位因地震所產生之應變模式做更有效的掌握。

## 2、觀測成果

### （1）臺灣地區地下水水位變化之長期趨勢

由各測站建站迄今累積的資料分析其水位變化幅度，花蓮站水位日變化幅度約為 $\pm 4\text{cm}$ ，長期月變化幅度約呈 $\pm 10\text{cm}$ 之震盪趨勢，通常在密集降雨 1-3 天後才會有明顯的地下水位上升的趨勢。壯圍站水位日變化幅度約為 $\pm 1\text{cm}$ ，長期月變化幅度約呈 $\pm 15\text{cm}$ 之震盪趨勢，短期趨勢受降雨影響大，當降雨量少，水位下降速度快。那菝站水位日變化幅度約為 $\pm 1.5\text{cm}$ ，長期月變化約呈 15cm 之上升趨勢，水位長期趨勢為上升且水位變化相當穩定。六甲站水位日變化幅度約為 $\pm 1\text{cm}$ ，長期月變化約呈 5cm 之上升趨勢，水位變化相當穩定，長期趨勢與那菝站類似，但上升幅度較那菝站緩慢。東和站水位日變化幅度約為 $\pm 2\text{cm}$ ，長期月變化依季節性約呈 100~200cm 之上升或下降趨勢，由於近地下水補注區，水位受到季節性趨勢影響大。赤山站水位日變化幅度約為 $\pm 1\text{cm}$ ，長期月變化依季節性約呈 100cm 之上升或下降趨勢，離地下水補注區近，受到季節性趨勢影響，變化趨勢以乾季、濕季呈現兩極端的水位持續下降

與上升趨勢。

## (2) 臺灣地區地下水水位變化與地震之關係

### A. 同震水位變化

各測站自開始觀測到 2008 年已累積豐富的同震紀錄，亦有多次同震造成的地下水水位明顯階變。以 2006 年 4 月 1 日 18:02 (TST) 臺東地區  $M_L$  規模 6.23 的地震為例，最靠近震央的赤山站的水位階變約為 6 公分，其他測站亦可收到清楚的同震水位變化 (圖 3-48)。分析水位階變初步可歸納出臺灣地區發生規模大於 6 的地震則至少有一站可以觀察到水位階變。

2004 年 12 月 26 日 08:58 (TST) 發生於印尼蘇門達臘島  $M_w$  規模 9.1 的地震，那菝站及花蓮站兩站均可記錄到表面波造成非常明顯的水位變化 (圖 3-49)。

### B. 異常水位變化

花蓮站因距離海岸近，因此地下水水位資料受潮汐影響很大，潮汐日變化及每月大、小潮的變化相當明顯。在排除降雨與人為抽水影響後分析其水位變化，除豐富的同震紀錄外，截至 2008 年在地震前觀測到水位明顯異常變化之紀錄達 21 次。

將震前水位異常變化型態初步分成上升型、下降型與引潮力影響型 (圖 3-50)。分析水位異常開始至地震發生的時間，最短只有 1 小時，最長則約達 5 天。

然而花蓮站所收到的紀錄裡，仍可觀測到 19 次水位異常卻無地震發生的情形。因此仍需長期監測累積更多水位異常的紀錄與地震資料，以期進一步分析水位變化與地震前兆之關聯性。

## 五、未來工作規劃

### (一) 升級 CWBSN 儀器設備

中央氣象局地震觀測網的建置時間已經超過 10 年以上，在評估系統實際運作的狀況，以及參考近年來地震儀器設備以及資料傳輸技術更新的情形，計畫升級目前的地震觀測系統。根據規劃，在儀器方面，計畫把地震儀全面汰換成現階段全世界普遍使用的 24 位元地震儀，將地動訊號的動態記錄範圍提高至 144dB。在傳輸線路使用方面，考量目前網路通訊線路的普及性，通訊費用也較為低廉，因此計畫把數據專線傳

輸的方式全面更改為 Frame-Relay 的方式，並把取樣率調高為每秒 100 點，增加即時地動訊號頻寬的分析範圍。資料的整合也是未來將要面臨的挑戰，由於目前觀測網各類型的儀器是經過數年的時間陸續建置完成，所以在資料分析時產生資料整合的問題，未來在更新儀器及傳輸方式時，必須將資料整合的工作也一併考慮進去。

## （二）建置山區自由場強震站

基於地震防災目的需求，強地動觀測計畫設站標的多集中在人口密集的都會區，由於臺灣地區孕震構造複雜，為滿足地震學門研究需要，提供國土資源規劃參考，本局著手規劃山區強震站的建立，依序分期建置北部、中部以及南部山區之強震站，這些山區強震站必要時可提升為即時站，以監測山崩、土石流之地動狀態，發展多功能觀測效益。臺灣山麓占全島面積三分之二以上，山區強震網的建立，可使強震觀測資料於平面分布上更趨於理想化，特別有助於山脈地體構造、震波傳遞研究，同時增加強震即時監測網機動調整能力。截至 2008 年底已完成 57 座山區強震站之建立（圖 3-51），累計收錄超過 60 個地震事件，360 餘筆山區強震紀錄。

## （三）井下地震儀觀測站

地震測報中心將持續推展強地動觀測計畫，主要在建置「新一代地震觀測系統」，將現代化的地震觀測儀器裝設在地表下 300 公尺深或接近岩盤之位置。此一作為可有效降低地震訊號之背景雜訊，提供高品質的地震紀錄，對於地震測報作業參數的計算有相當大的助益，例如應用於地震初達波之研究，快速推估地震規模，對於強震即時警報作業，提供極具價值之資訊；另外對地震的研究，包括震源破裂、震波傳遞及場址效應，亦可提供很好的資料。2008 年本局已於淡水、頭城、宜蘭、南山、南澳及花蓮建置 6 個井下地震儀觀測站（圖 3-52），每站安裝儀器包括井下寬頻地震儀、井下強震儀與地表強震儀，共計 9 頻道地震訊號，由中華電信網路專線傳回臺北地震測報中心。往後並以此為規範，逐年擴建，建置功能齊全之地震觀測站。

## （四）臺灣東部海域海底地震儀觀測站

中央氣象局同時規劃在臺灣東部海域裝置電纜式海底地震儀（圖 3-52），由於臺灣的地震將近 70% 是分布在海域，現有的陸上地震站

尚不足以提供有效的監測，因此在臺灣東部海域設置海底地震儀，可將地震涵蓋在地震網內，縮小測站分布最大空區夾角，使得海域和近岸的地震定位問題可以改善，同時也能縮短海域地震測報的時間。

#### (五) 地磁觀測站

為使臺灣地球物理觀測網更臻完善，未來本局之地球物理觀測將納入地磁觀測的部分。進行大地磁力的觀測除可擷取更加完備的地球物理資料，以瞭解整個臺灣地區的地下構造，更可觀測地震發生前後的地磁場擾動現象，尋找大地震發生與地磁場異常的關聯性。

目前中央氣象局已在臺灣地區整合完成 11 個地磁觀測站（圖 3-53），包括選定為參考基準站的金門站及其它 10 個地震活動度較高之地區。各觀測站皆安裝精度為 0.1 nT 的全磁場強度磁力儀，儀器取樣率為每秒一個觀測值，並透過 ADSL 即時將資料傳回局內後，彙整在地磁資料庫中。透過訊號傳輸技術之改進，磁力觀測已進入到即時監測的階段，未來地震中心將分析此寶貴的地磁資料，尋找大地震發生與地磁場異常的關聯性，並探討其可能的物理機制。

表 3-1、不同觀測階段之各項地震統計資料。

不同觀測階段	地震個數	最大規模	最小完整規模	數位資料量
1900-1972 (機械式觀測)	3,029	8	4.7	~257KB
1973-1990 (網連化觀測)	91,786	7	2.4	~66MB
1991-2008 (現代化觀測)	336,057	7.3	2.0	~474GB
1991-1993 (觸發式記錄)	14,898	5.89	2.7	~17GB
1994-2008 (連續式記錄)	321,157	7.3	2.0	~458GB
2004- (原始連續紀錄)				一年約 1.5T

表 3-2、中央氣象局地震速報系統成功測報之災害性地震資料表。

編號	地震時間	緯度 (°N)	經度 (°E)	深度 (Km)	規模	災害統計*					自動 測報 秒數
						人員 死亡	人員 失蹤	人員 受傷	房屋 全倒	房屋 半倒	
1	1998/07/17 12:51:15	23.50	120.66	2.8	6.2	5	0	28	18	165	70
2	1999/09/21 01:47:15	23.85	120.82	8.0	7.3	2415	29	11305	51711	53768	102
3	1999/10/22 10:18:56	23.52	120.42	16.6	6.4	0	0	262	7	62	67
4	2000/05/17 11:25:46	24.19	121.10	9.7	5.6	3	0	8	0	0	65
5	2000/06/11 02:23:29	23.90	121.11	16.2	6.7	2	0	40	0	0	76
6	2001/06/14 10:35:25	24.42	121.93	17.3	6.3	0	0	3	0	0	94
7	2002/03/31 14:52:50	24.14	122.19	13.8	6.8	5	0	269	6	0	103
8	2003/12/10 12:38:13	23.07	121.40	17.7	6.4	0	0	15	0	0	81
9	2004/05/01 15:56:11	24.08	121.53	21.6	5.3	2	0	1	0	0	62
10	2006/04/01 18:02:19	22.88	121.08	7.2	6.2	0	0	37	14	7	69
11	2006/12/26 20:26:21	21.69	120.56	44.1	7.0	2	0	42	3	4	89

\*：資料源自內政部消防署網站。

表 3-3、寬頻地震波形資料截取區分。

區分	最小規模	震央距	截取地震波長
<b>Local</b>	$4.0 \leq M$	Dist. < 10°	6 min. -o- 10min.
<b>Range1</b>	$5.0 \leq M$	$10^\circ \leq \text{Dist.} < 40^\circ$	6 min. -o- 60min.
<b>Range2</b>	$5.5 \leq M$	$40^\circ \leq \text{Dist.} < 150^\circ$	o- 90min.
<b>Range3</b>	$5.5 \leq M$	$150^\circ \leq \text{Dist.} \leq 180^\circ$	o- 120min.

震央距參考點 (Reference point) : 121°E、23.5°N

o : 發震時間 (origin time)

表 3-4、中央氣象局購買的各型強震儀三個分量的方位與極性表。

TYPE	COMPONENT			POLARITY		
	CH1	CH2	CH3	V	N	E
<b>A800</b>	V	NS	EW	UP	UP	UP
<b>A900</b>	V	NS	EW	UP	UP	UP
<b>A900A</b>	V	NS	EW	UP	UP	UP
<b>IDS-3602</b>	V	NS	EW	UP	UP	DOWN
<b>IDS-3602A</b>	V	NS	EW	UP	UP	DOWN
<b>K2</b>	NS	V	EW	UP	DOWN	DOWN
<b>ENTA</b>	NS	V	EW	UP	UP	UP
<b>CV574C</b>	V	NS	EW	UP	UP	UP
<b>CV575C</b>	V	NS	EW	UP	UP	UP
<b>SMART24A</b>	V	NS	EW	UP	UP	UP

表 3-5、各年度所收錄的強地動紀錄數目表。

年份	結構物強震資料	自由場強震資料
1991	0	1,455
1992	4	1,715
1993	110	3,449
1994	673	10,914
1995	1,341	15,413
1996	817	9,069
1997	343	7,757
1998	393	9,371
1999	2,461	63,766
2000	1,664	25,443
2001	359	14,346
2002	644	22,199
2003	653	18,400
2004	759	15,327
2005	1,307	18,905
2006	580	13,858
2007	650	5,187
Total	12,758	258,609

表 3-6、2002 年 3 月 31 日花蓮外海地震同震變形位移量統計表。

Sta	E(cm)	N(cm)	U(cm)	Horizon(cm)	Azi(degree)
SUAO	6.51	-8.93	-1.84	11.05	143.92
PEPU	-0.49	0.33	-0.03	0.59	303.93
HUAL	-0.31	0.88	-0.87	0.93	340.53
TUNM	-0.29	0.41	-0.05	0.50	324.84
ILAN	0.33	-2.93	0.70	2.95	173.52
SLIN	-0.03	0.62	-0.65	0.62	357.69
HNSN	-0.22	0.04	0.19	0.22	280.81
HUAN	-0.14	0.20	0.38	0.24	326.18
THAI	0.58	-0.42	-0.27	0.72	126.26
FIVE	0.88	-2.81	-0.17	2.94	162.68
BANC	0.29	-1.58	0.22	1.60	169.54
PLAN	0.32	-0.37	0.02	0.49	138.93
KSHI	0.61	-0.68	-0.13	0.91	138.16
HSIN	0.41	-0.47	-0.47	0.62	138.67
SFON	0.41	-0.49	-0.18	0.64	140.24

表 3-7、2003 年 12 月 10 日臺東成功地震同震變形位移量統計表。

Sta	E(cm)	N(cm)	U(cm)	Horizon(cm)	Azi(degree)
CHEN	13.04	12.20	20.28	17.86	46.89
YULI	0.66	1.17	-1.22	1.34	29.54
LONT	-0.33	-1.51	2.76	1.55	192.22
TTUN	-1.82	-3.01	0.07	3.51	211.12
YUSN	1.19	-1.33	1.48	1.78	138.27
GAIS	3.80	-1.37	0.20	4.04	109.81

表 3-8、2006 年 12 月 26 日恆春地震同震變形位移量統計表。

Sta	E(cm)	N(cm)	U(cm)	Horizon(cm)	Azi(degree)
HENC	-7.26	0.09	-6.58	7.26	270.70
LIUC	-1.34	-3.86	-1.21	4.09	199.15
JLUT	-1.30	0.16	-0.38	1.31	277.05
CLON	0.24	-0.14	0.13	0.27	120.96
NJOU	-0.60	0.73	-0.49	0.94	320.93
DAJN	-0.94	0.85	-1.04	1.26	312.21
SGAN	0.14	-0.49	0.31	0.50	164.48
PTUN	-0.68	0.89	0.42	1.12	322.60
SAND	0.33	0.79	0.87	0.86	22.79
LIKN	-0.28	0.98	0.44	1.02	344.06
CTOU	-0.25	0.41	0.09	0.48	329.26
AKND	0.19	0.40	0.47	0.44	25.35
MITO	-0.93	0.97	-0.43	1.34	316.09
NEMN	-0.11	0.50	-0.23	0.51	347.87

表 3-9、彰化斷層長期及短期不同基線的速度整理表。

2003 年至 2008 年的速度(cm/yr)					
	彰化斷層北段		彰化斷層中南段		
	LUKN-CHUA		PUSN-PAKU		
E-W	-0.17		0.03		
N-S	-0.04		0.42		
U-D	-0.24		-1.36		
2008 年的速度(cm/yr)					
	GS21-GS22	LUKN-CHUA	GS24-GS25	PUSN-PAKU	GS27-GS26
E-W	-0.19	-0.19	-0.14	-0.05	-0.05
N-S	0.27	0.01	0.34	0.15	0.27
U-D	0.07	0.51	0.01	-0.11	0.32

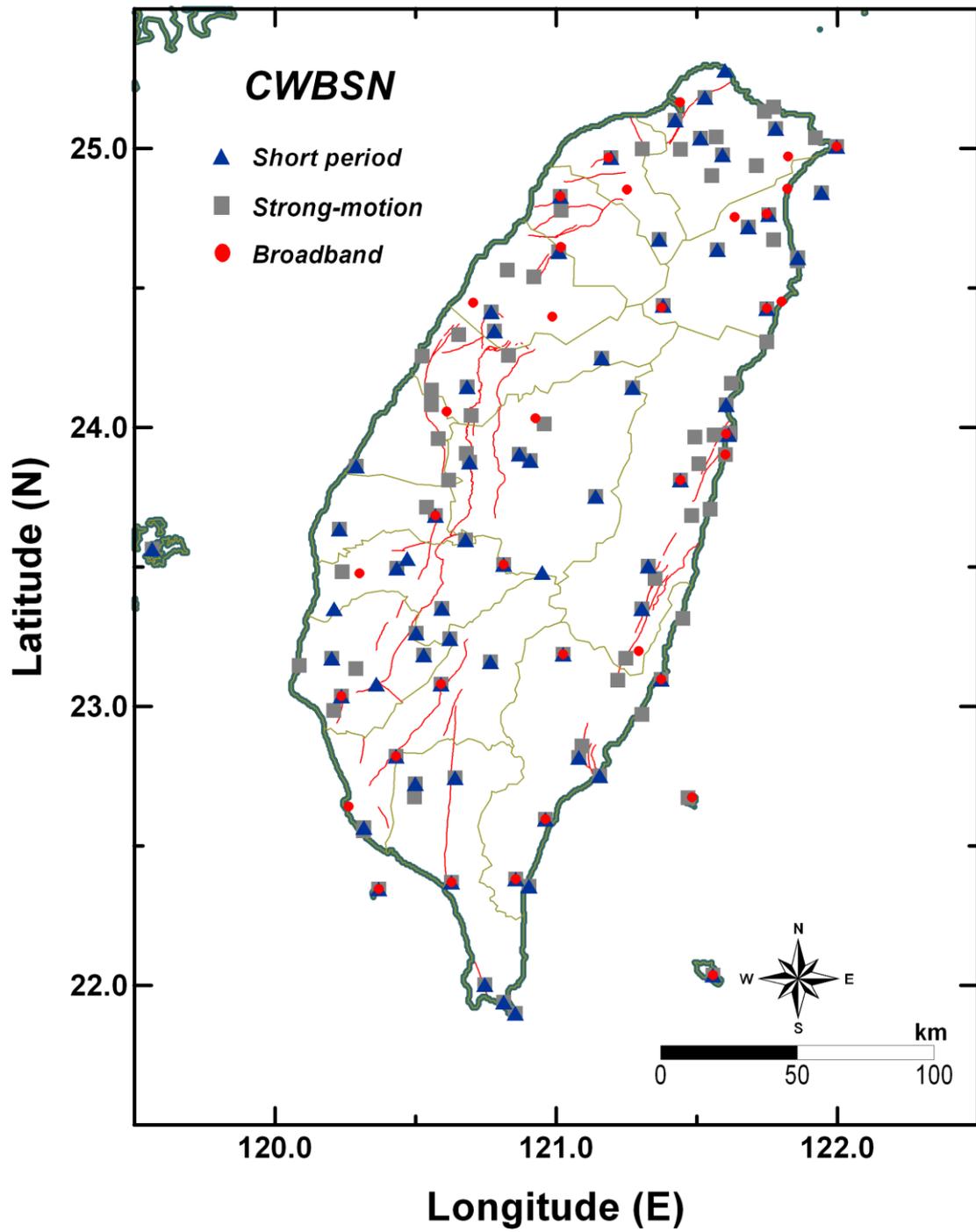


圖 3-1、中央氣象局地震觀測網測站分布圖。

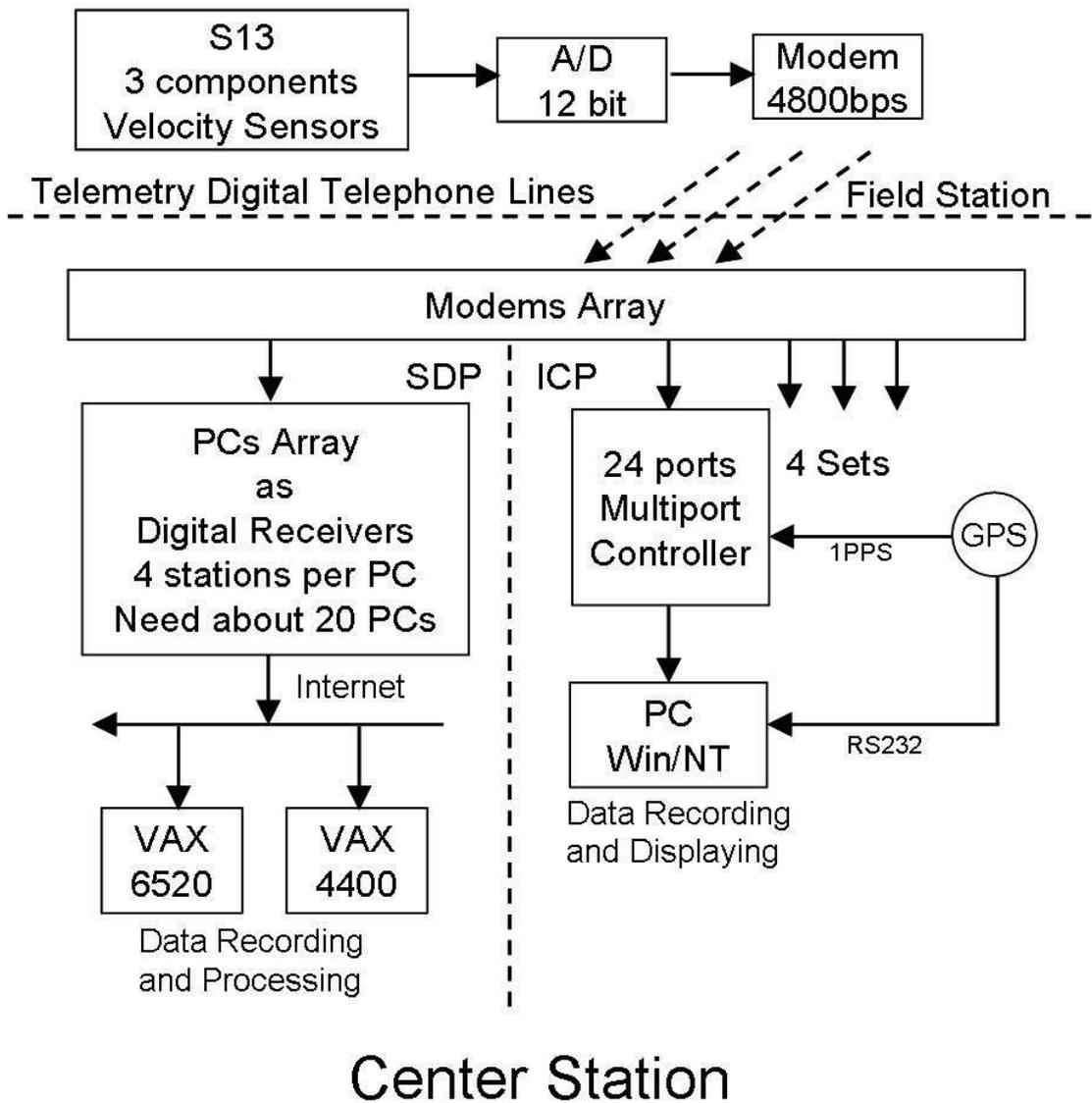


圖 3-2、SDP 及 ICP 地震測報系統架構之示意圖。

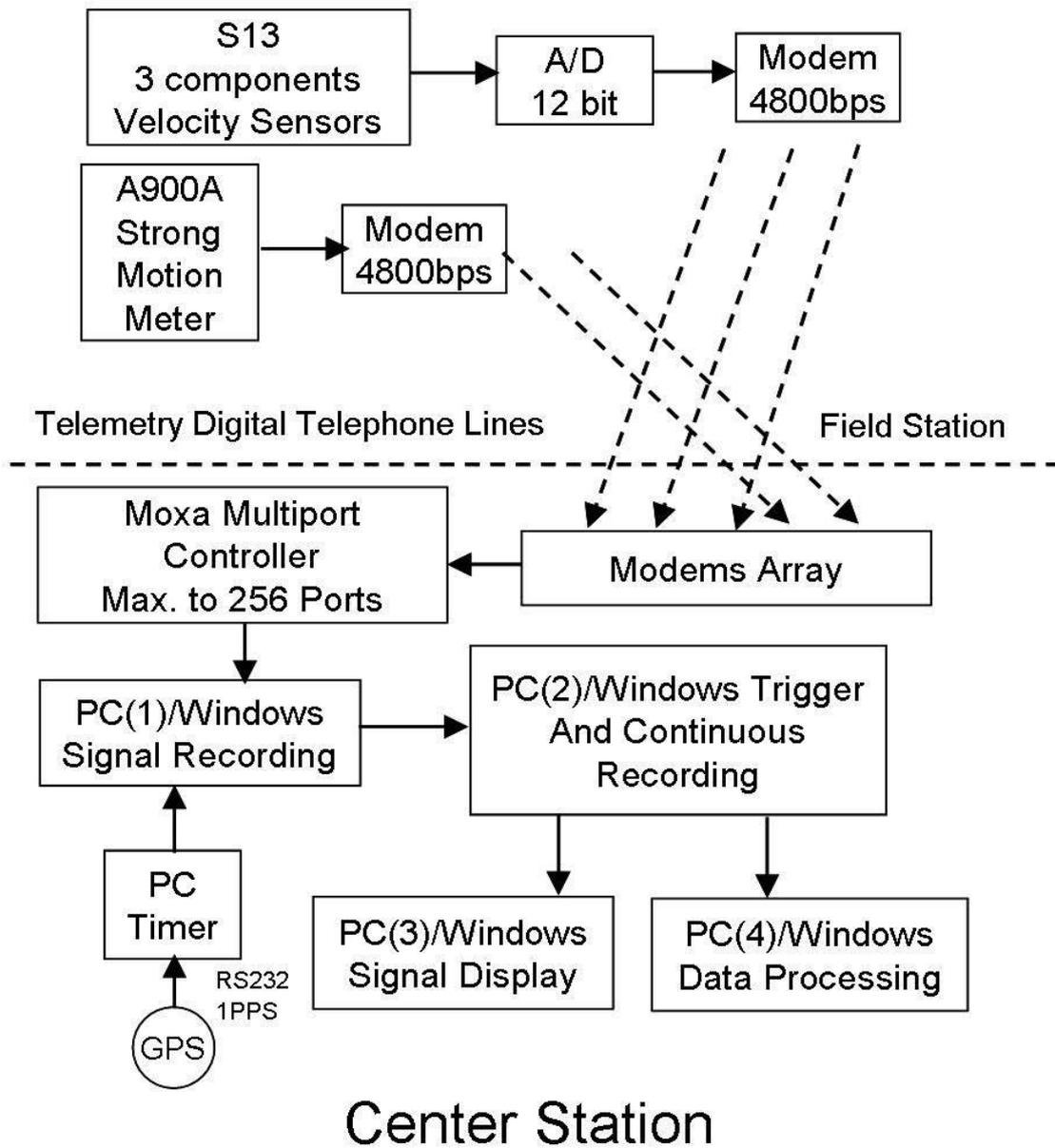
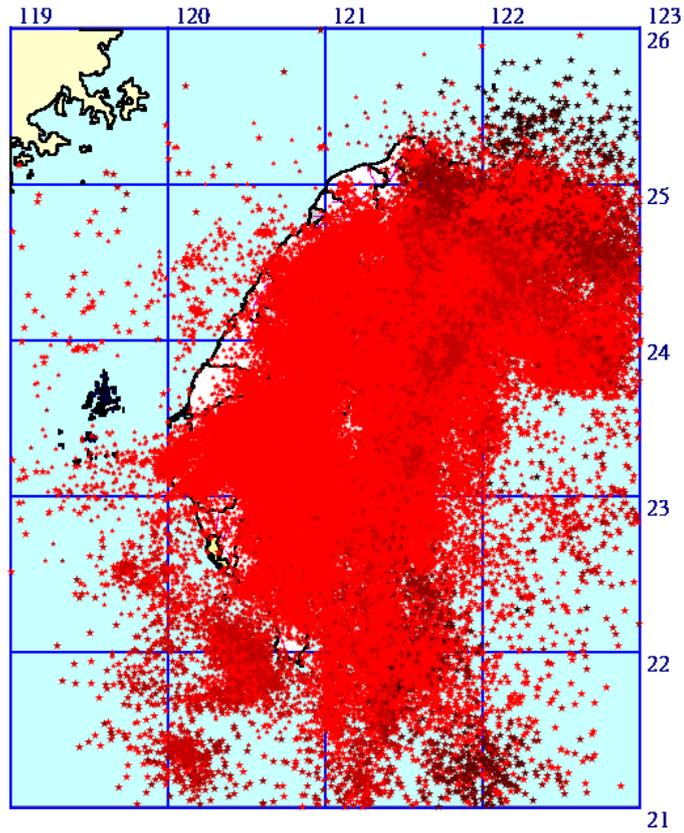
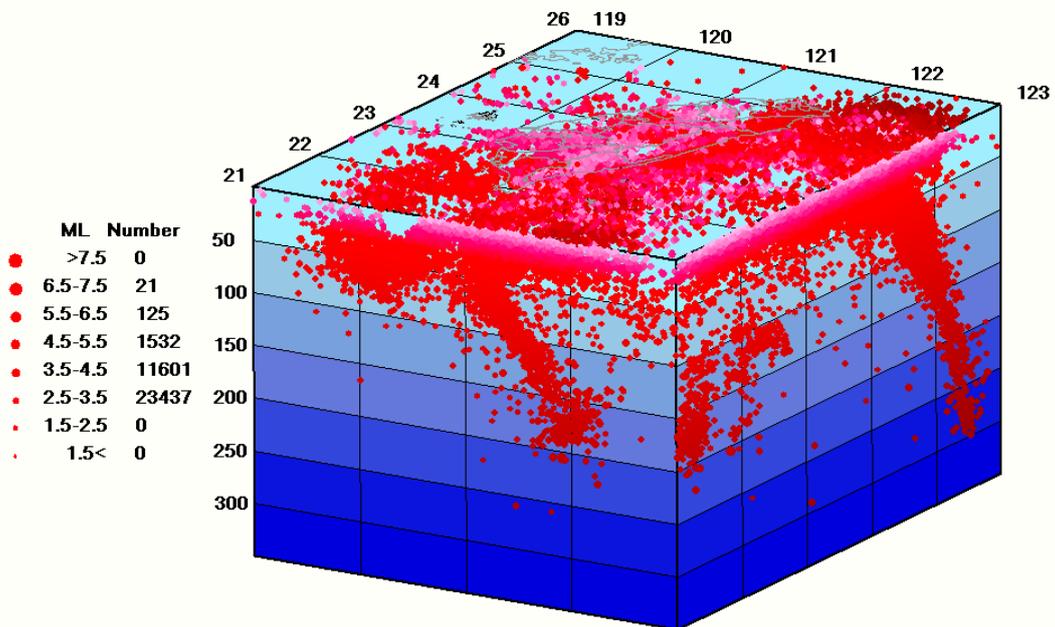


圖 3-3、NSDP 地震測報系統架構之示意圖。

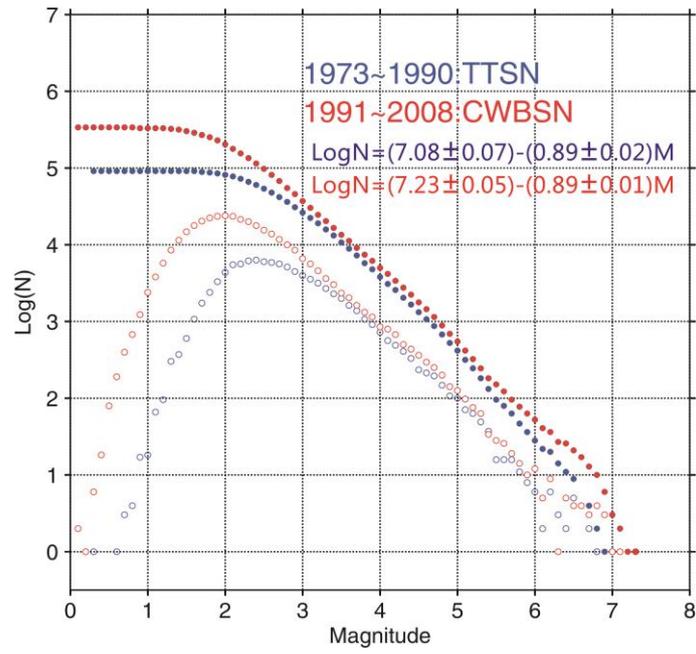


(a)

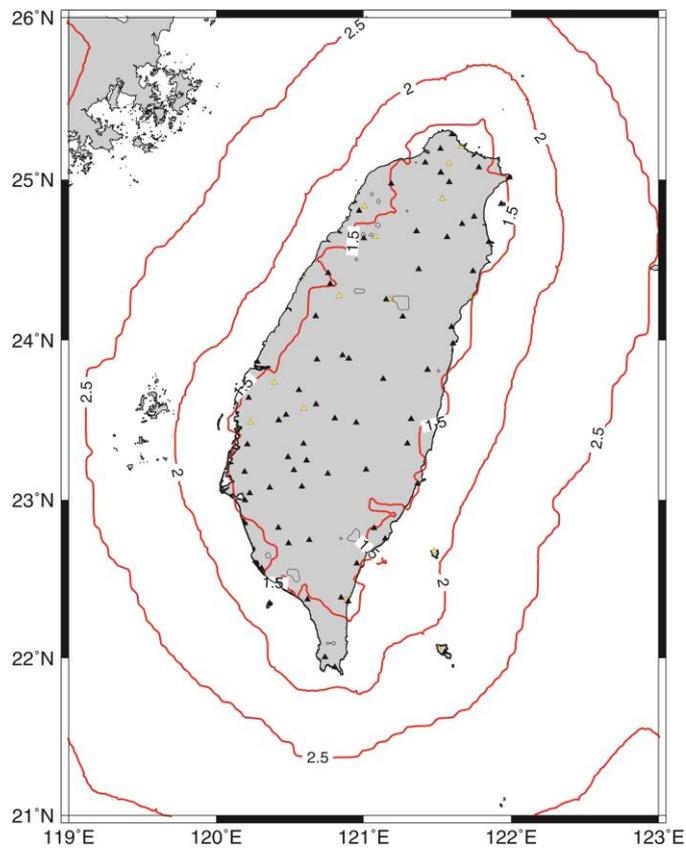


(b)

圖 3-4、(a) 1991~2008 地震震央分布圖 (共 336,053 個地震)。(b) 1991~2008 規模大於 3 之三維地震震源分布圖(共 36,716 個地震)。



(a)



(b)

圖 3-5、(a) 地震規模-累計個數分布圖。(b) CWBSN 的觀測效能，等值線為可觀測到的最小完整規模。

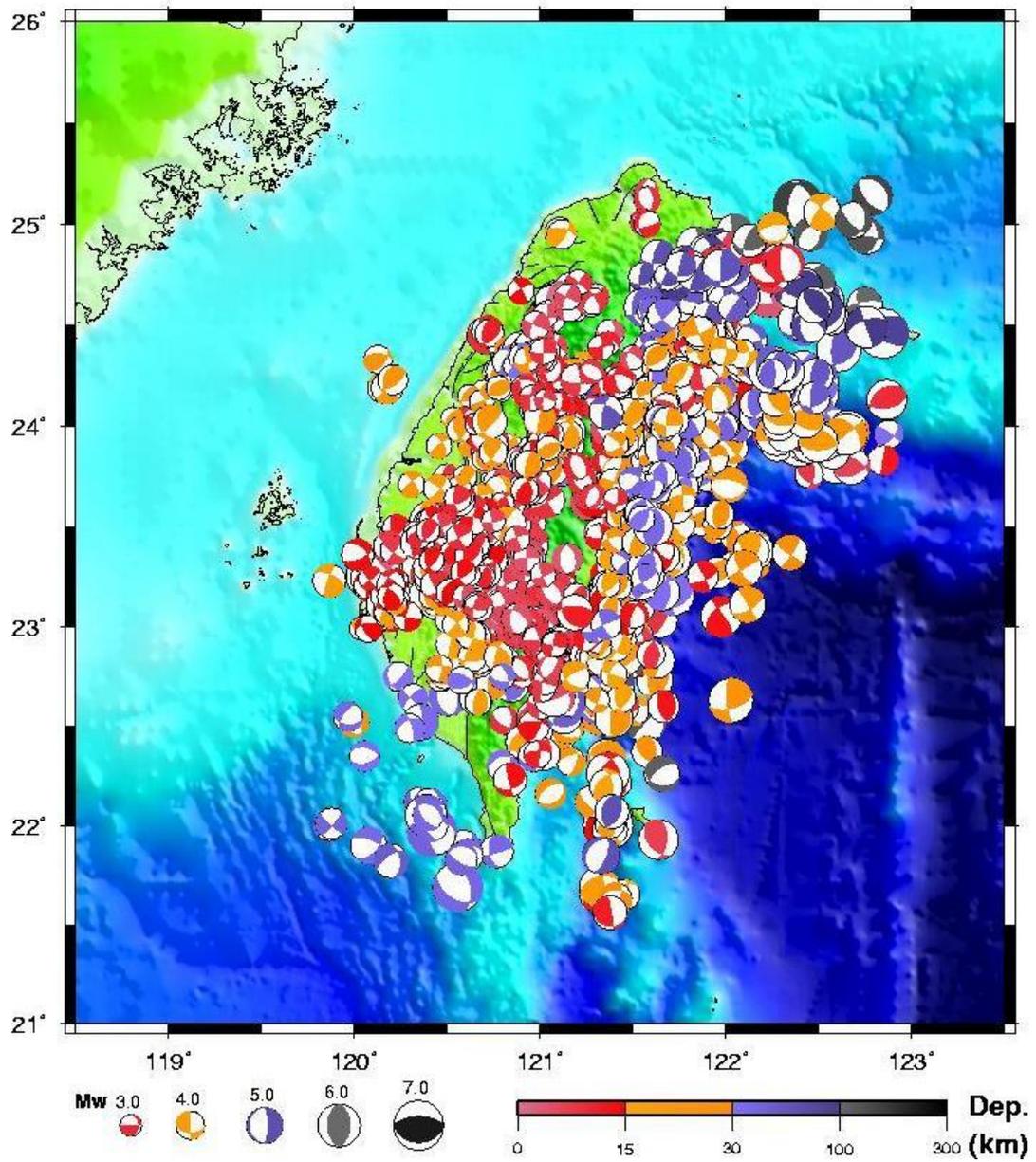


圖 3-6、1991~2008 年共 2,243 個由短週期地震紀錄分析所獲之 P 波初動解之分布圖。

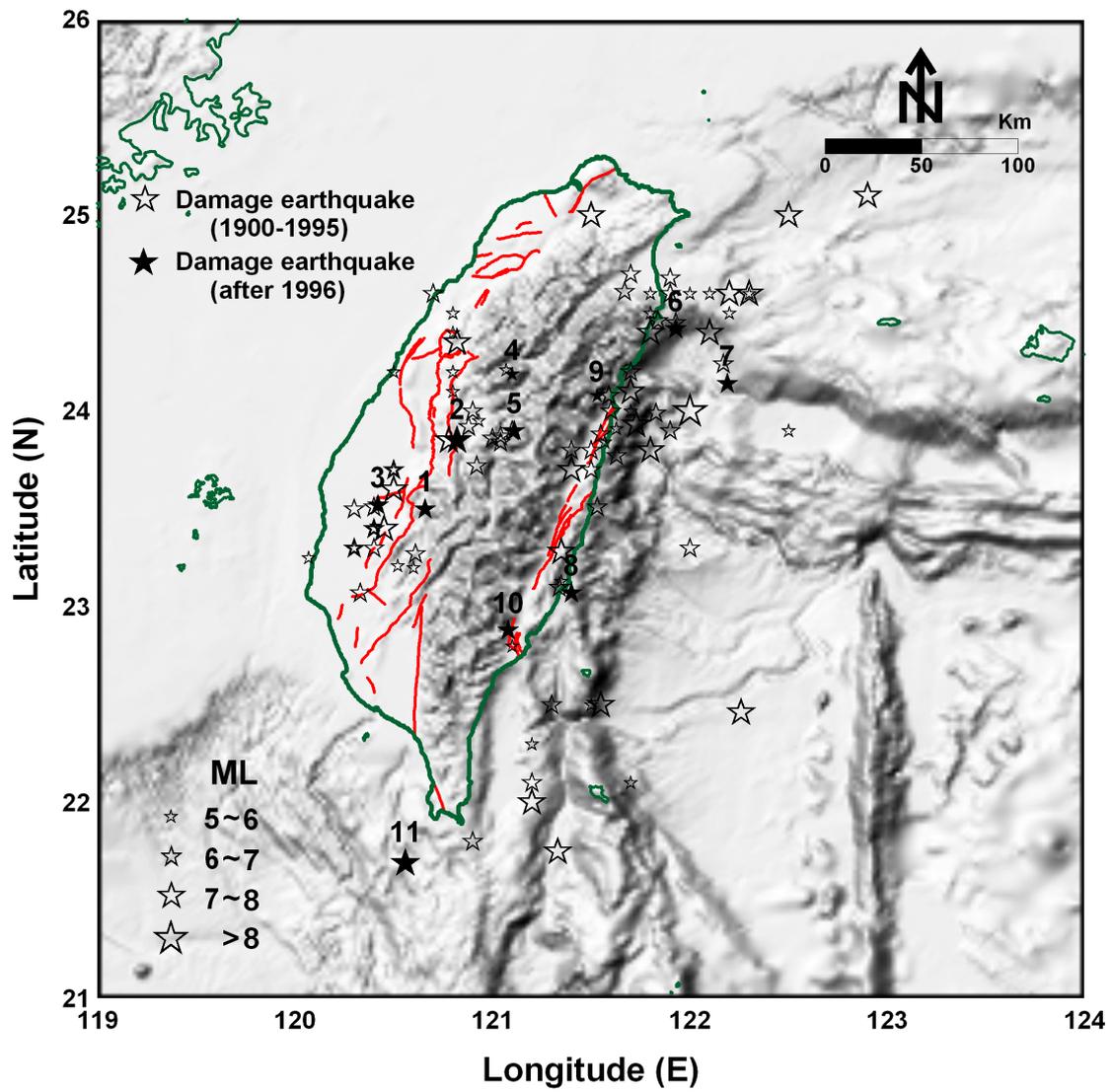


圖 3-7、臺灣地區 20 世紀以來災害性地震之震央分布圖；圖中標示編號之實心星形為地震速報系統成功測報之地震，地震編號資訊請參考表 3-2。

# Field Stations

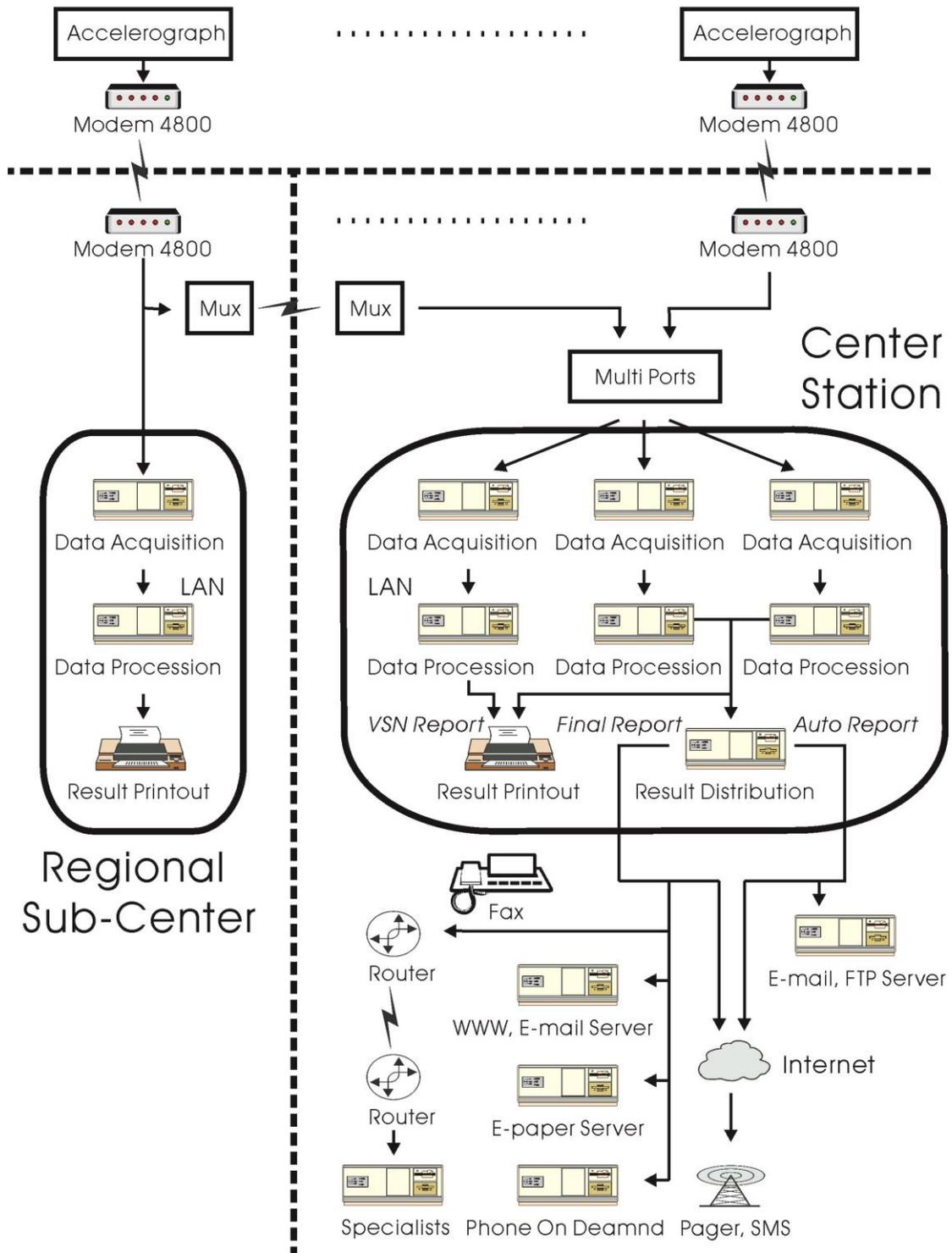


圖 3-8、中央氣象局地震速報系統之系統架構圖。

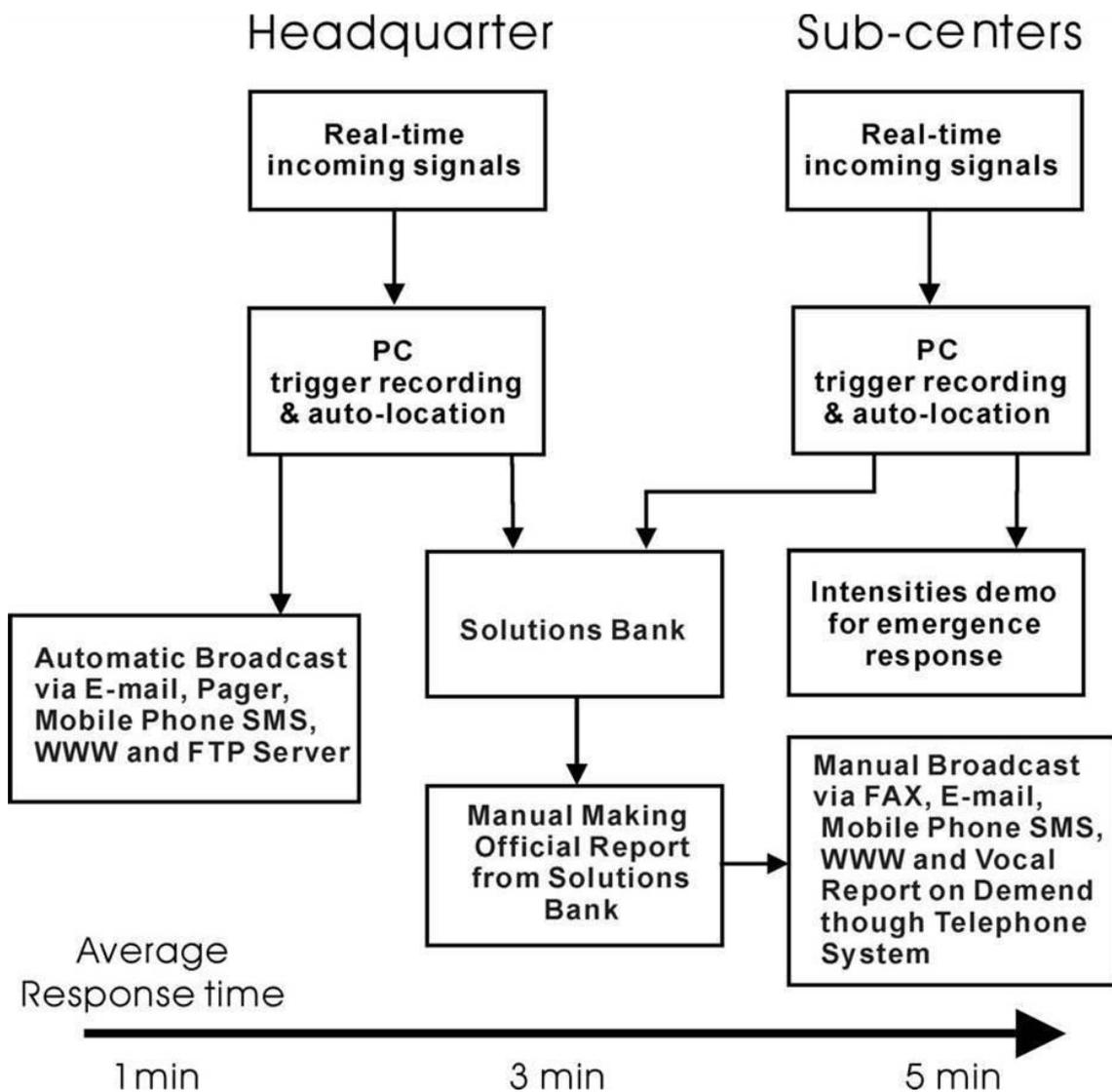


圖 3-9、中央氣象局有感地震速報作業流程圖。



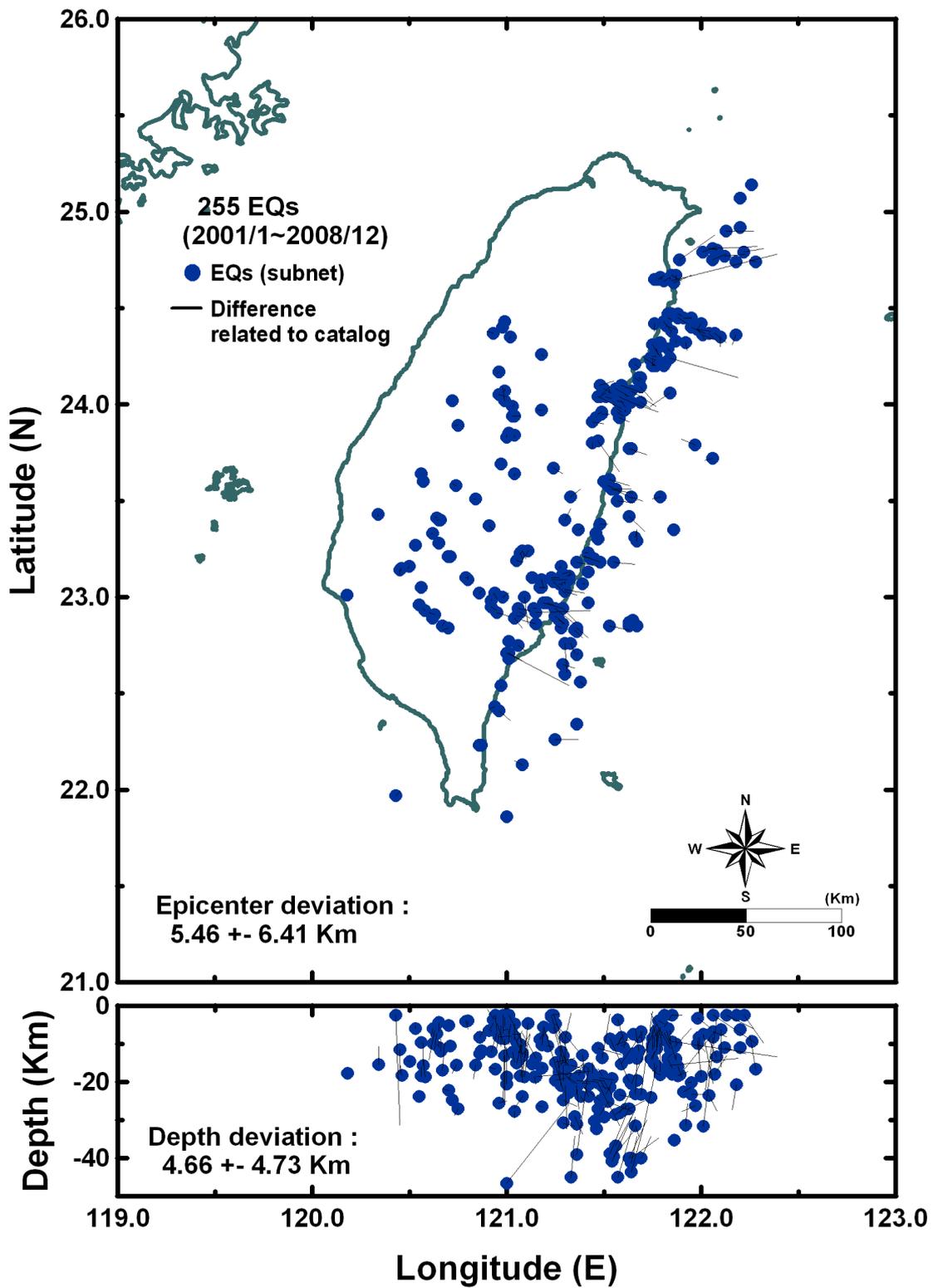


圖 3-11、2001 年至 2008 年子網自動定位與人工定位之比較圖。

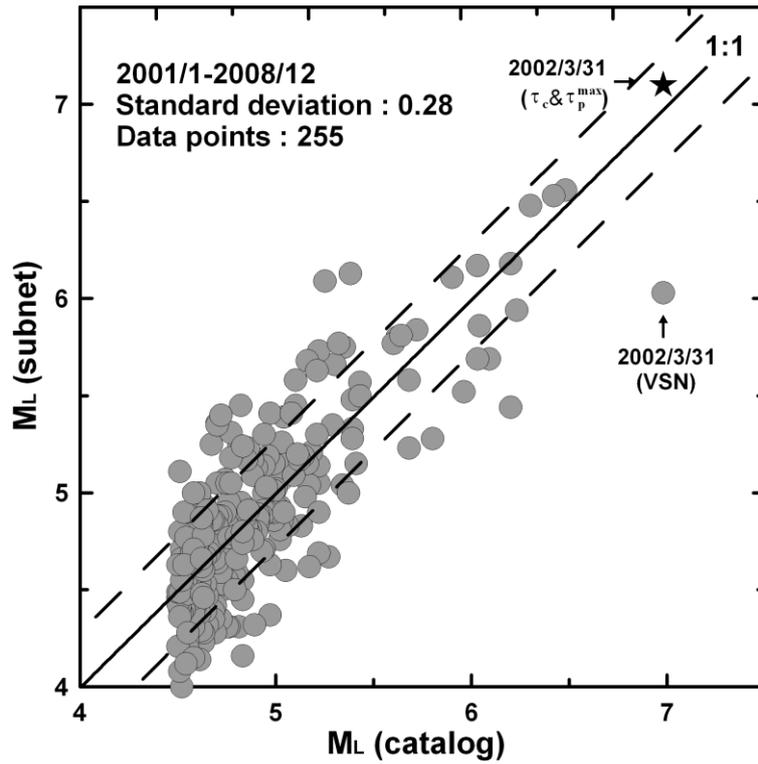


圖 3-12、2001 年至 2008 年子網計算規模與人工計算規模之比較圖。

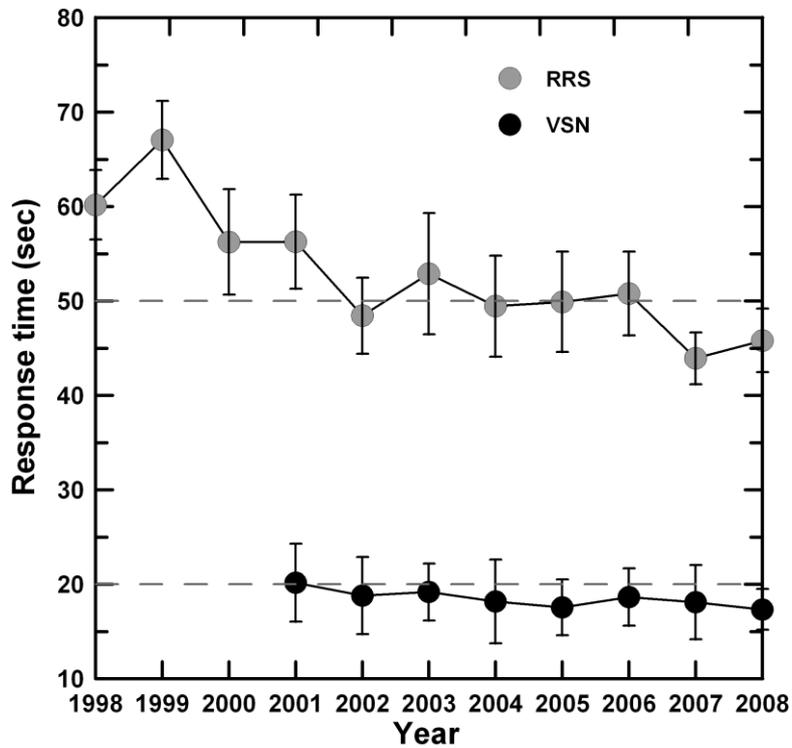


圖 3-13、2001 年至 2008 年子網反應時間統計圖。

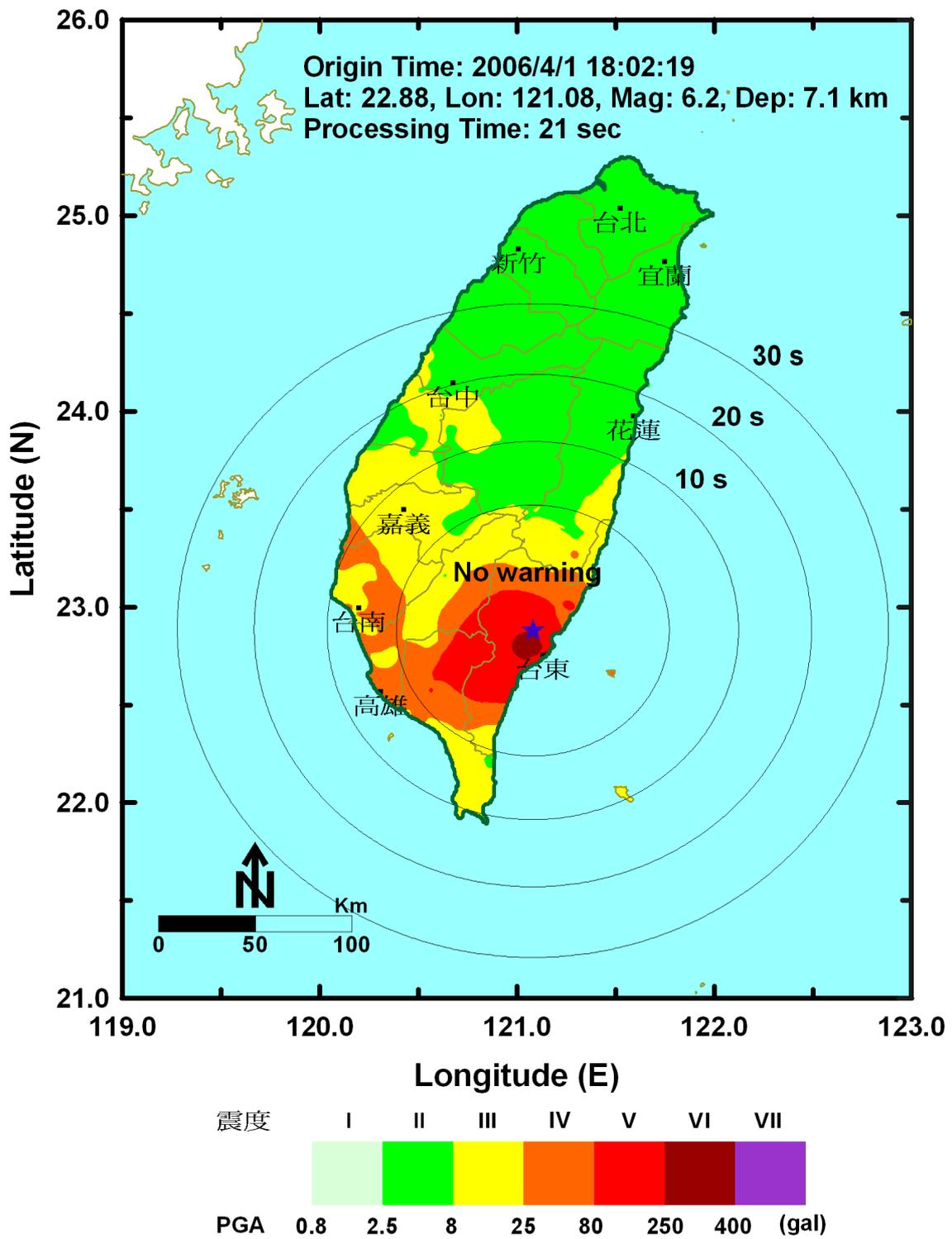
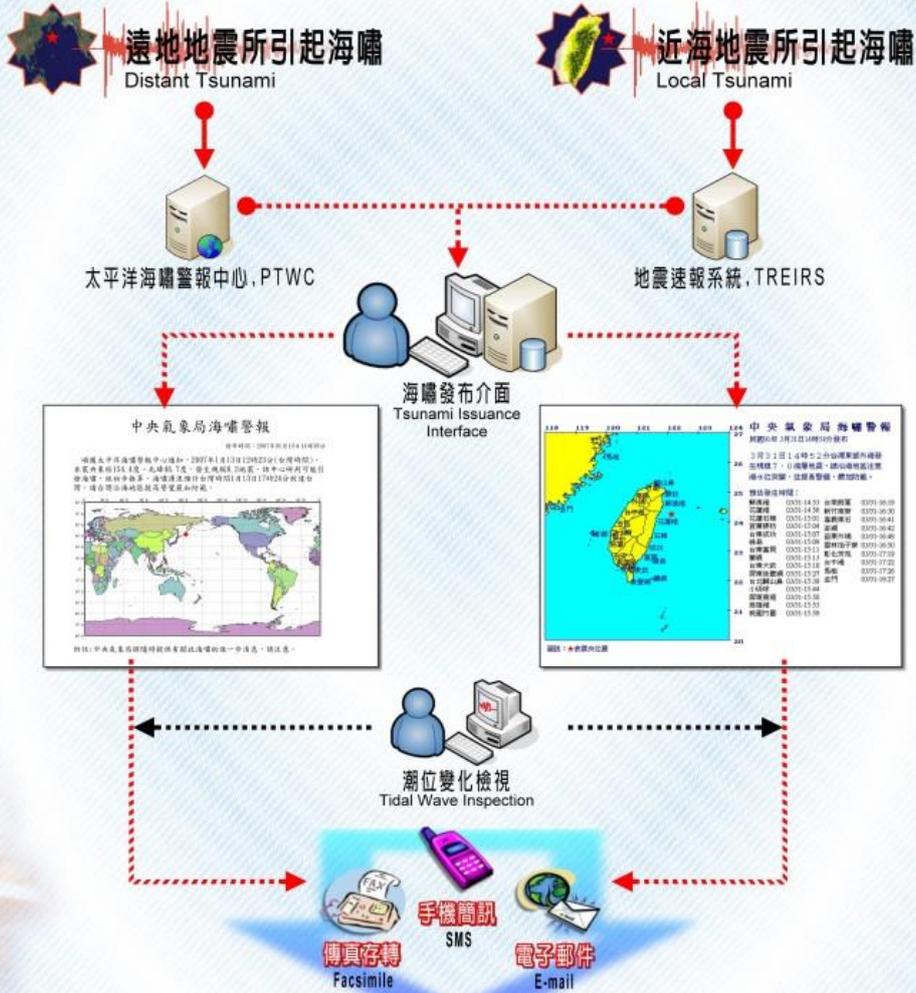


圖 3-14、2006 年 4 月 1 日臺東地震預警成效示意圖。



# 海嘯警報發布流程

Procedure of Tsunami Warning Issuance



- 防(救災)單位  
Emergency management departments
- 交通運輸單位  
Transportation agencies
- 新聞媒體  
The news media
- 工程作業單位  
Engineering agencies
- 政府相關機構  
The related authorities
- 學術研究單位  
Seismological research institutes
- 一般民衆  
The general public
- 能源單位(電廠)  
Power plants

<http://www.cwb.gov.tw>

圖 3-15、中央氣象局海嘯警報發布作業流程圖。

**Local earthquake activity**  
5764 events during 1996/03/01 to 2007/12/31

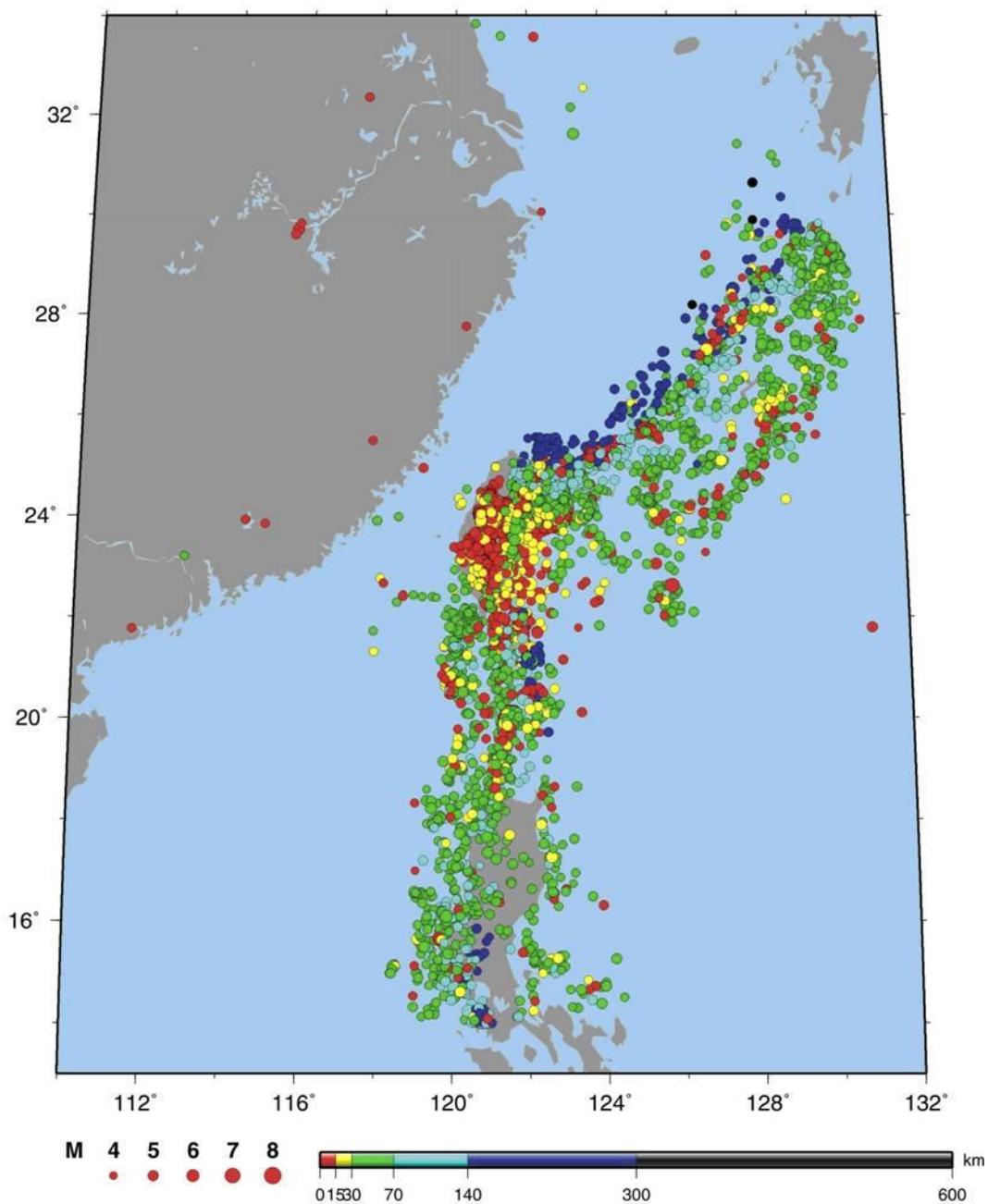


圖 3-16、自 1996 年至 2007 年，BATS 寬頻地震網在 Local 區域截取地震波形資料之地震分布圖。

## World-wide earthquake activity

10452 events during 1996/03/02 to 2007/12/31

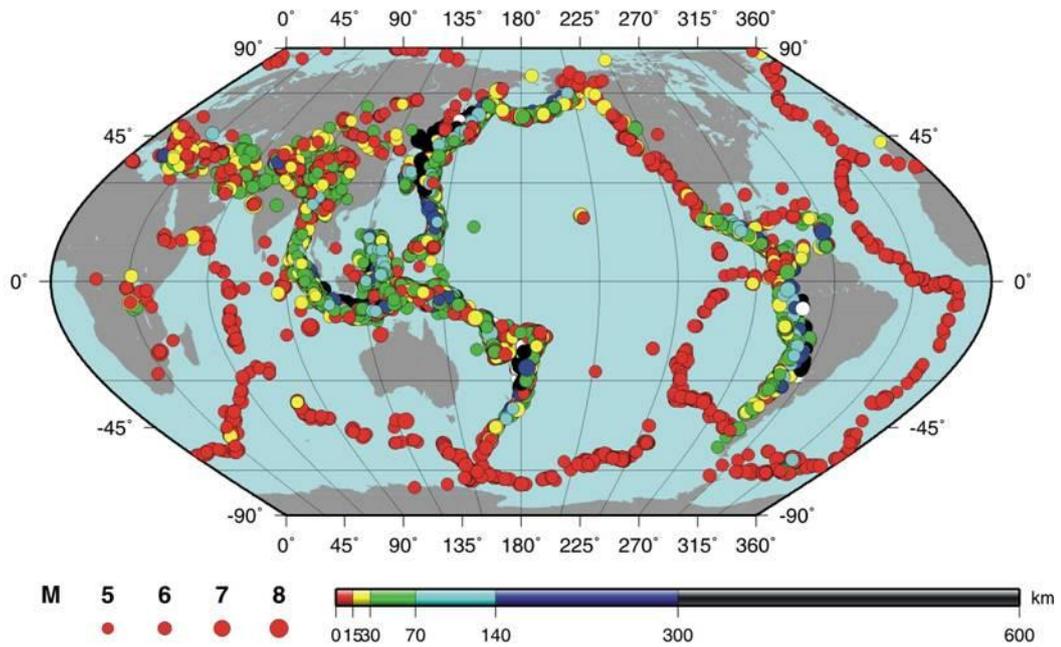


圖 3-17、自 1996 年至 2007 年，BATS 寬頻地震網在 Range1 及 Range2 區域截取地震波形資料之地震分布圖。

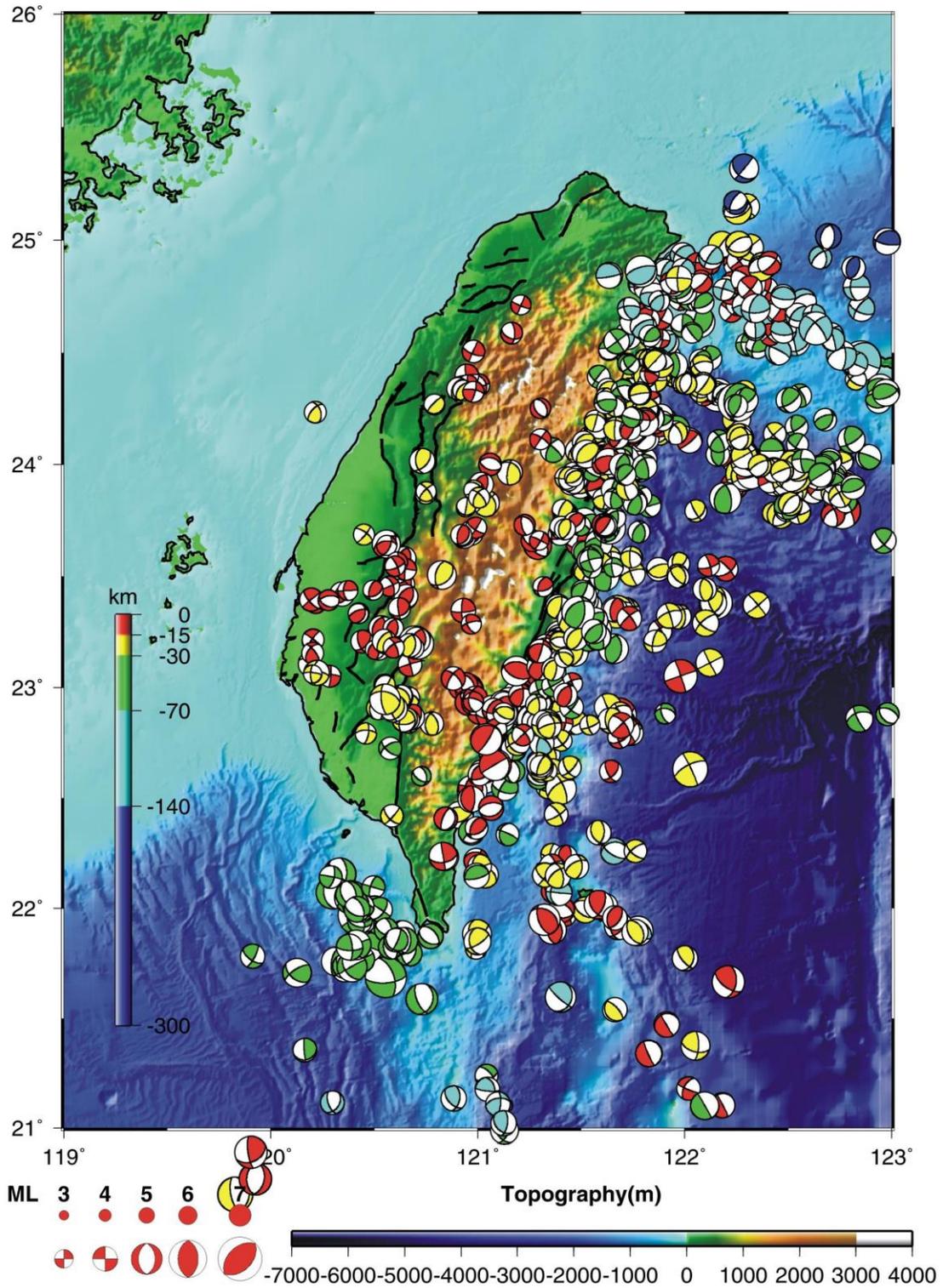


圖 3-18、2004 年至 2008 年中央氣象局共求得 676 個 CMT 震源機制解。

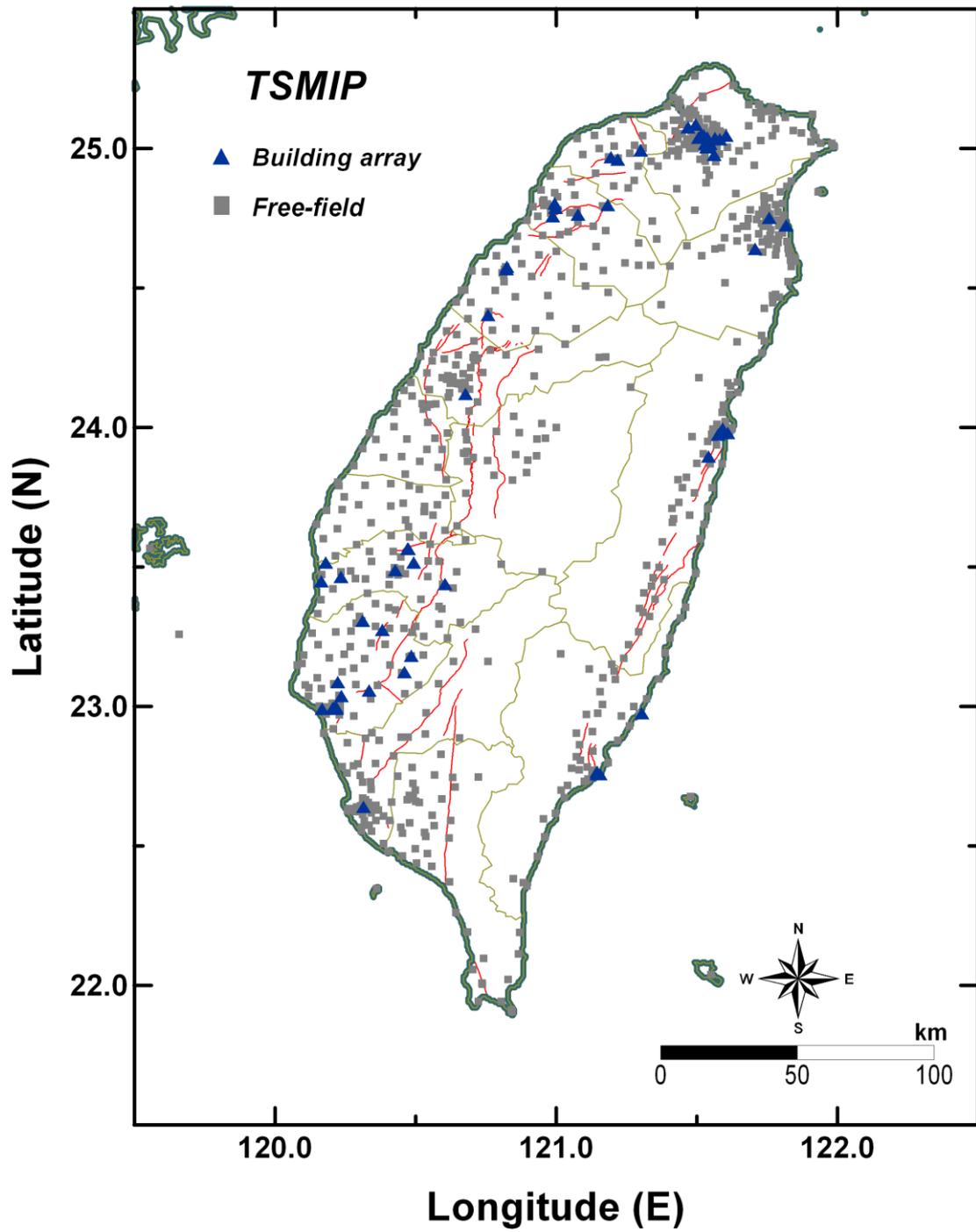


圖 3-19、臺灣強地動觀測網測站分布圖。

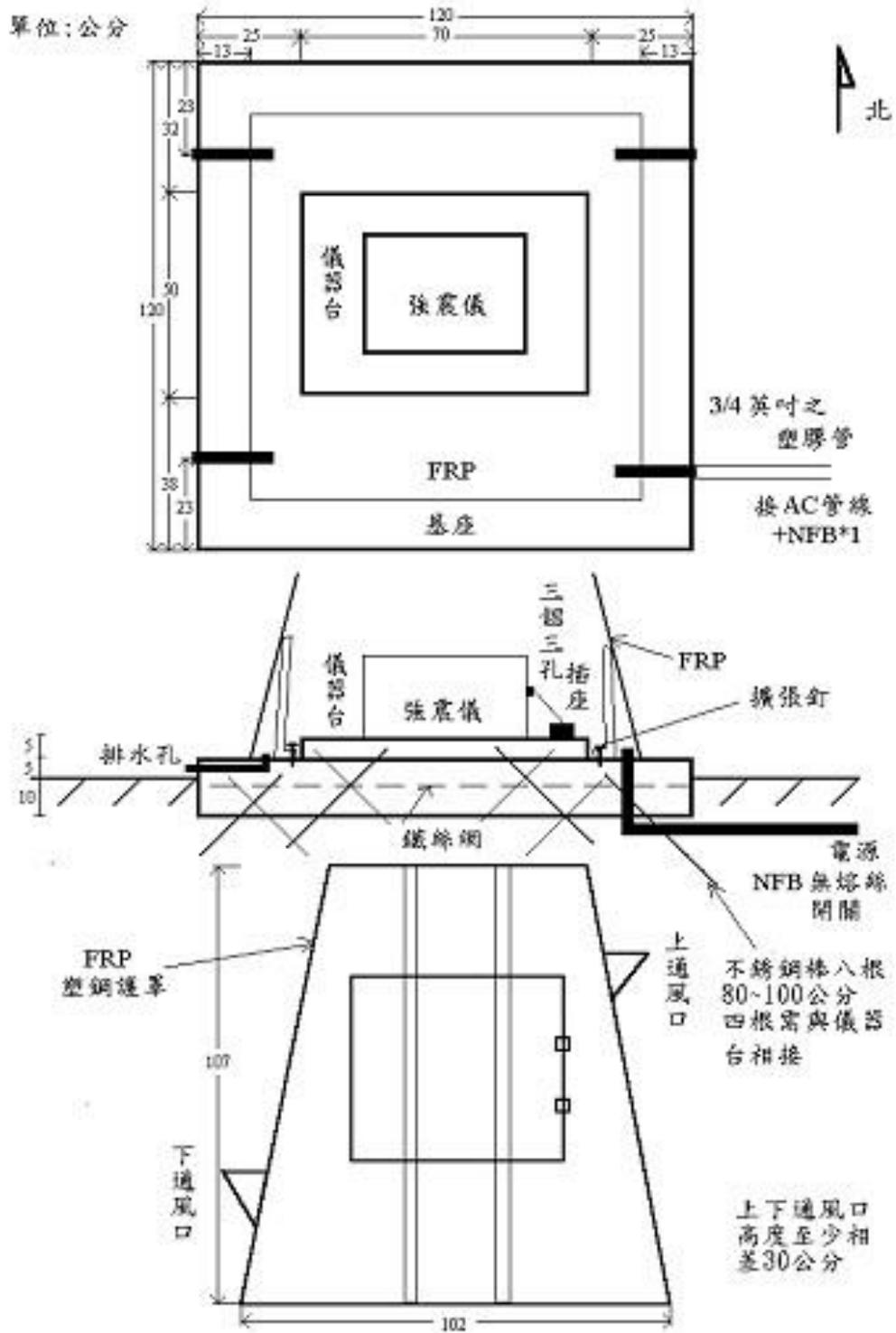


圖 3-20、自由場強震站站房基座（上、中圖）及玻璃纖維保護蓋（下圖）尺寸示意圖。

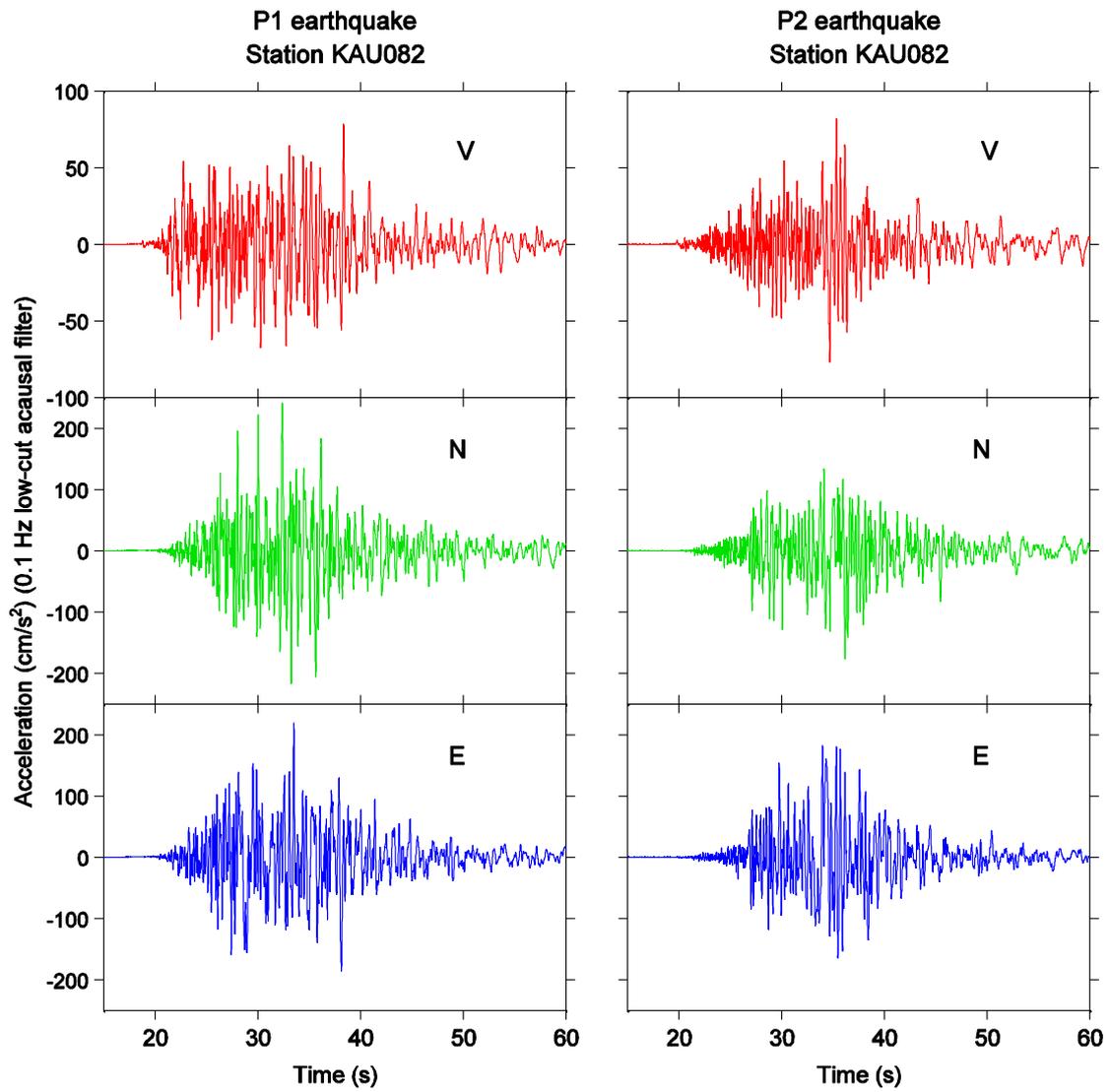


圖 3-21、2006 年 12 月 26 日恆春地震自由場強震站（站碼 KAU082）收錄紀錄波形時間歷時圖（左圖為第 1 個地震，右圖為第 2 個地震）。

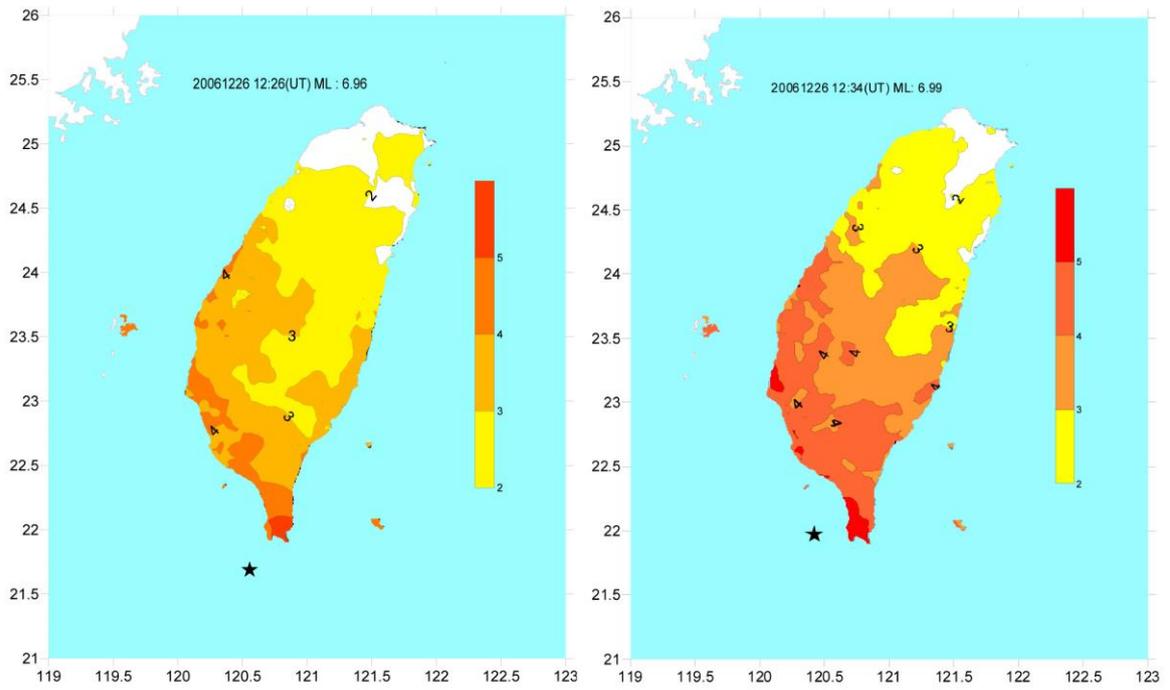


圖 3-22、依據 2006 年 12 月 26 日恆春地震自由場強震資料所繪製之震度等值圖。

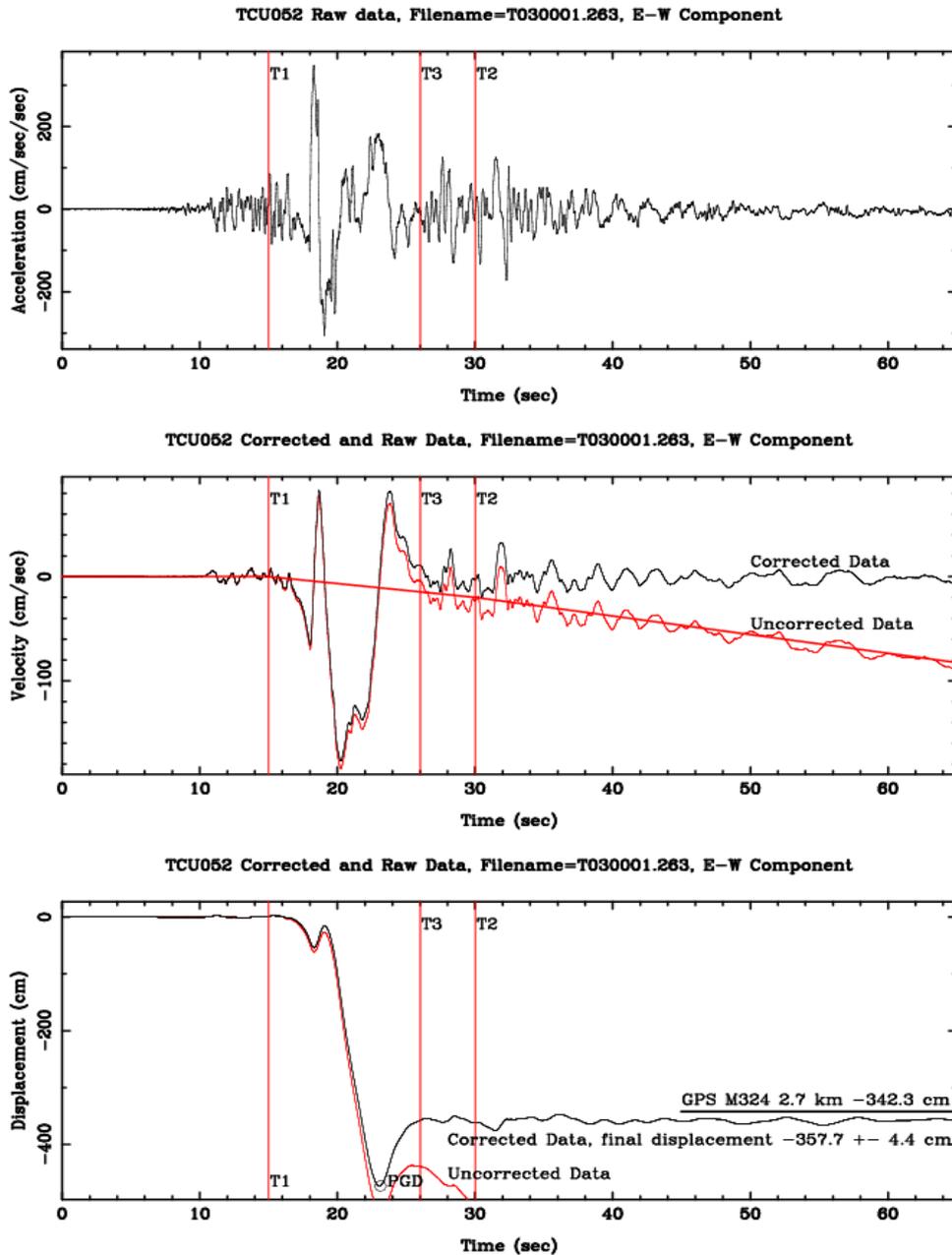


圖 3-23、1999 年 Mw 規模 7.6 之集集地震，TSMIP 測站代碼 TCU052 東西向紀錄之原始資料與基線修正後之時間歷時波形（由上到下分別為加速度、速度及位移紀錄）；修正後得到測站有向西 357.7 公分的位移，相距 2.7 公里之 GPS 測站則量測到向西 342.3 公分的位移。圖中 T1、T2、T3 時間表示修正時間點位置。

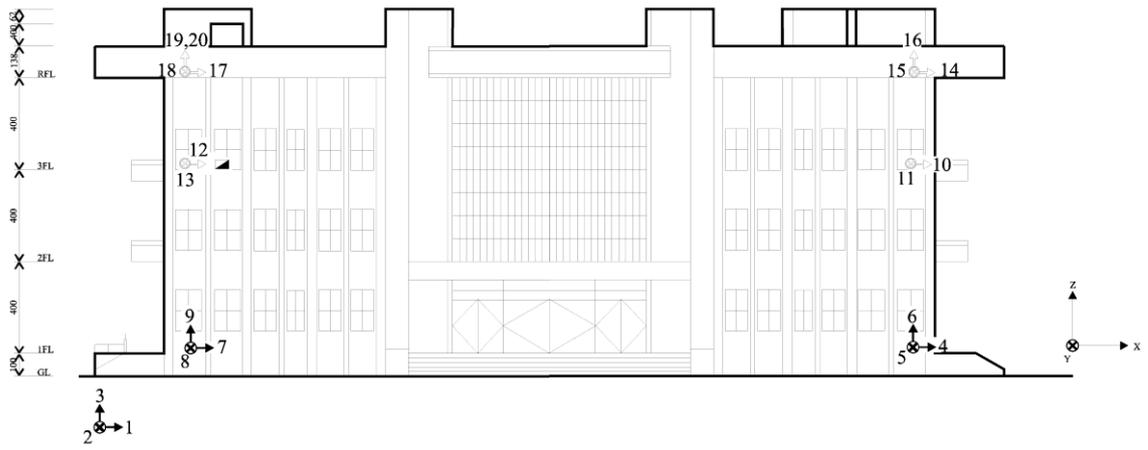


圖 3-24、設於臺東高商的結構物強震站安裝感應器位置示意圖。

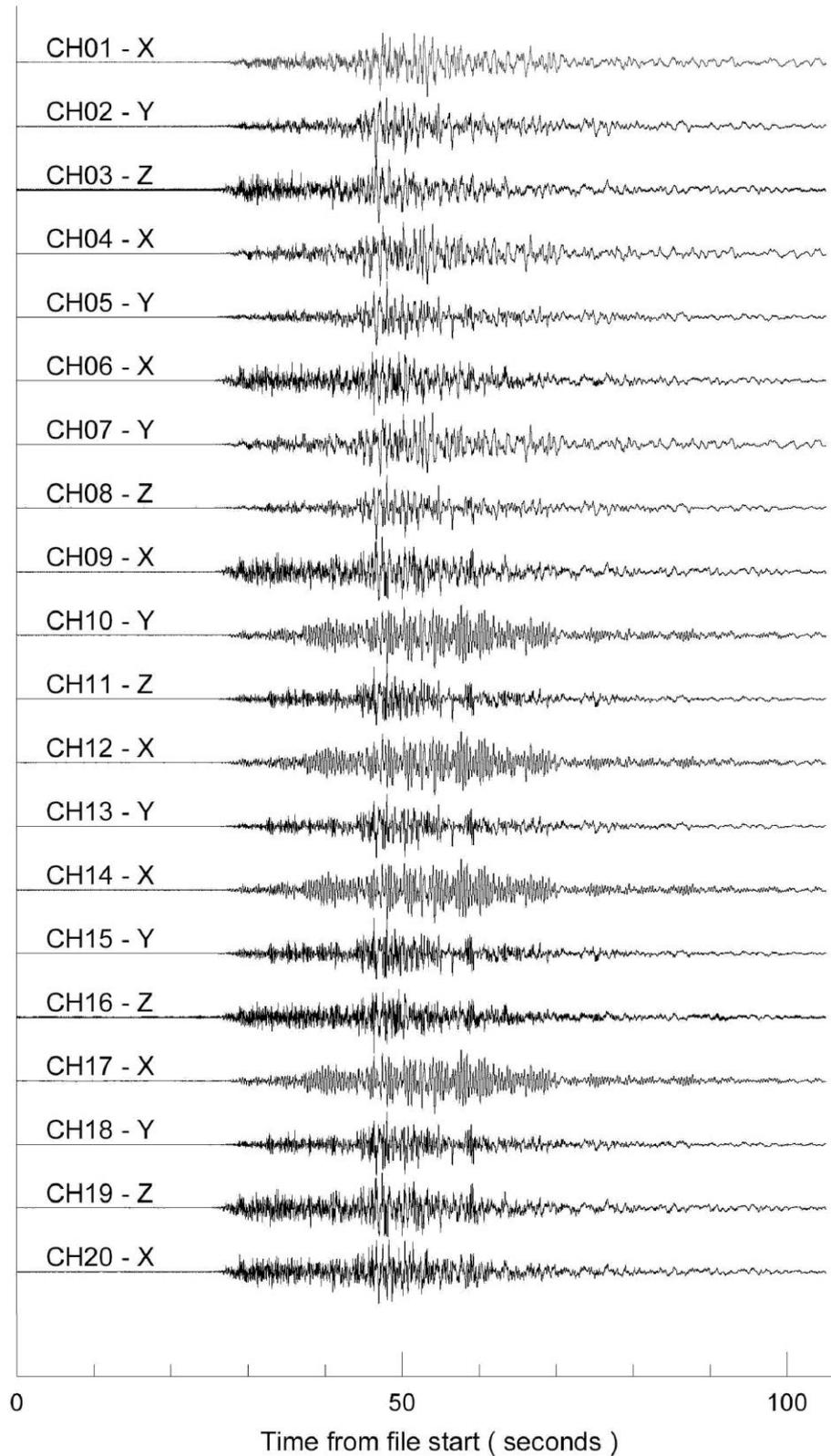


圖 3-25、臺東高商各頻道所收錄 2006 年 12 月 26 日恆春地震第 1 個地震的波形時間歷時圖。

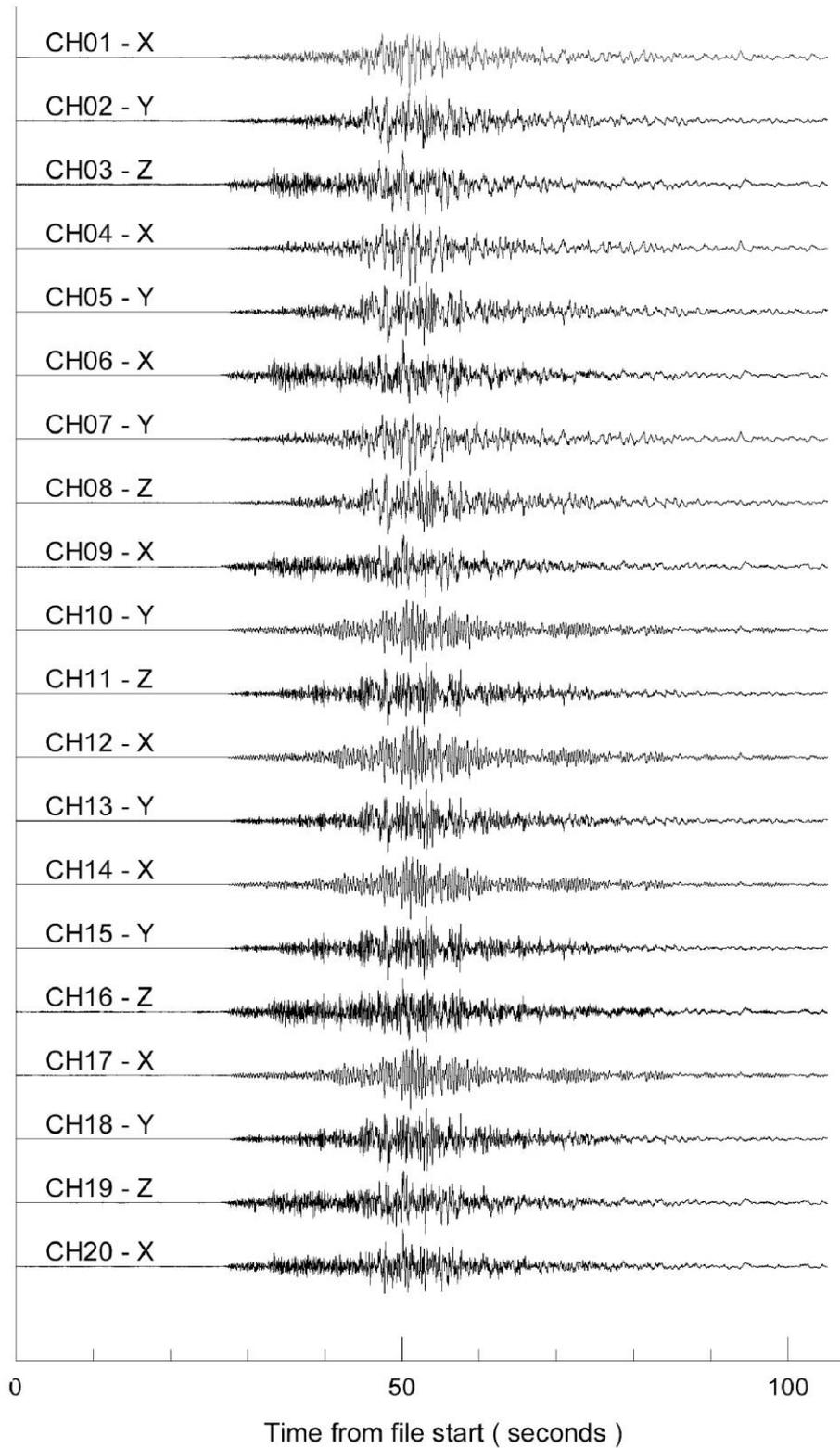


圖 3-26、臺東高商各頻道所收錄 2006 年 12 月 26 日恆春地震第二個地震的波形時間歷時圖。

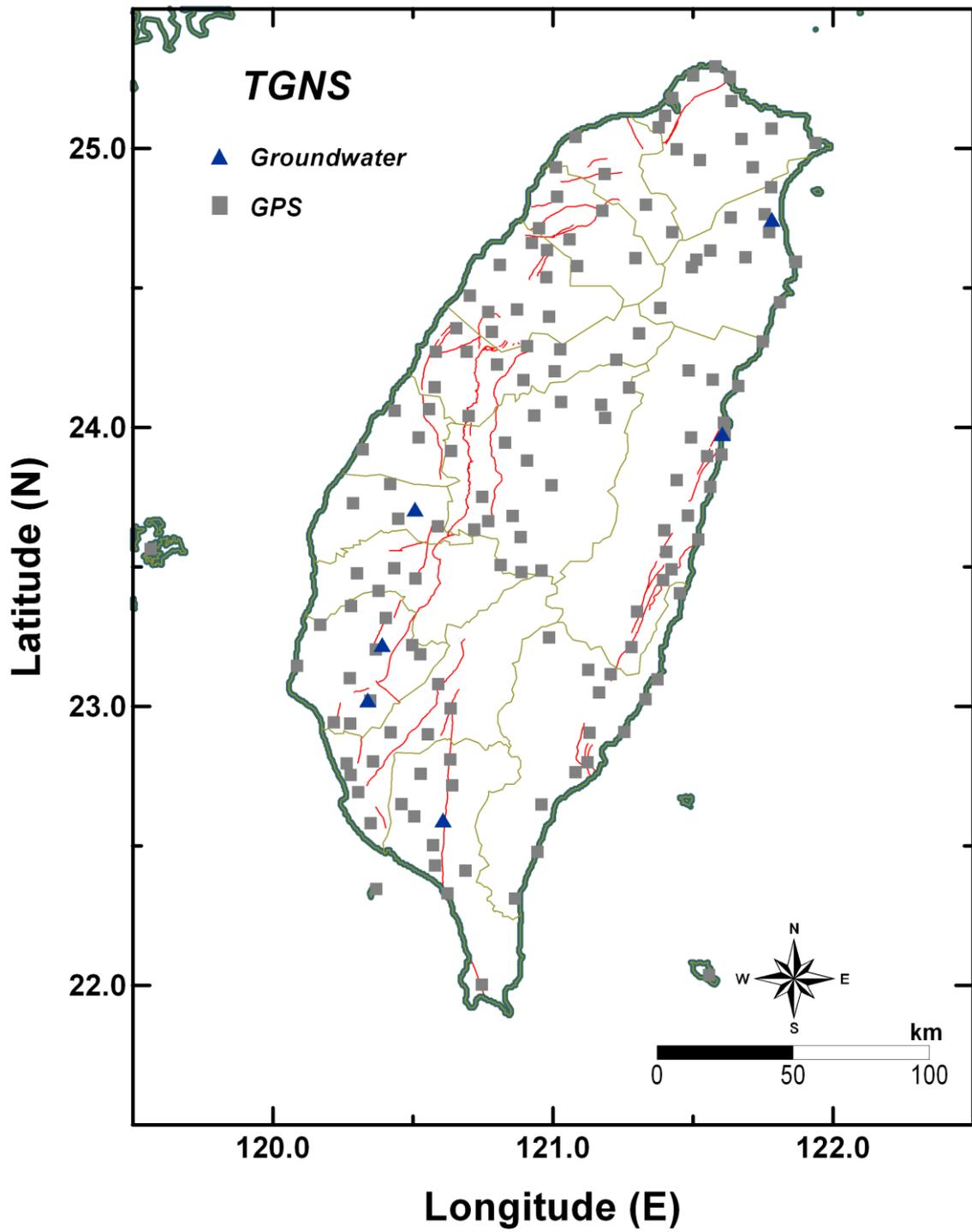


圖 3-27、臺灣地球物理觀測網測站分布圖。

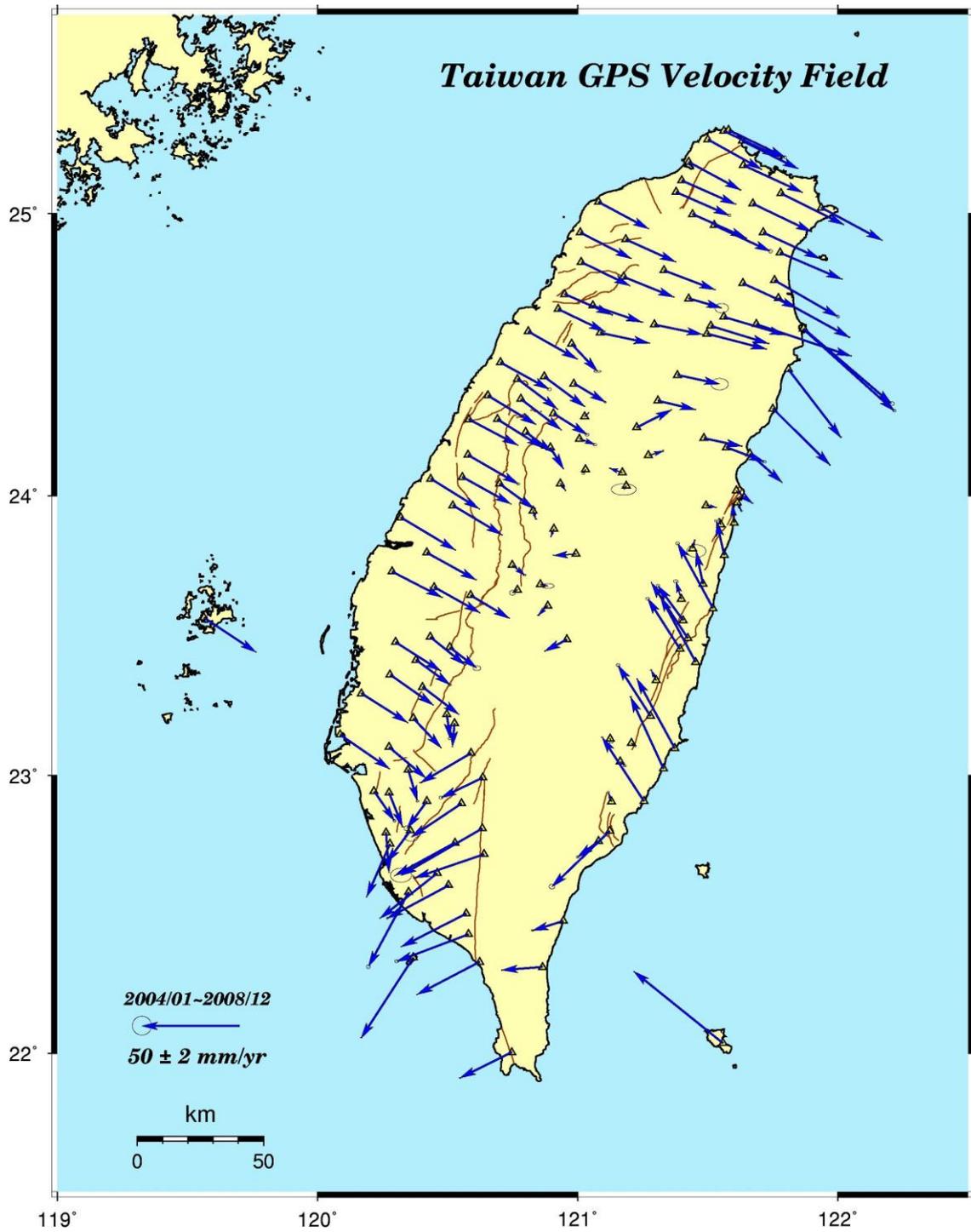


圖 3-28、臺灣地區 2004 至 2008 年平均水平絕對速度場圖。

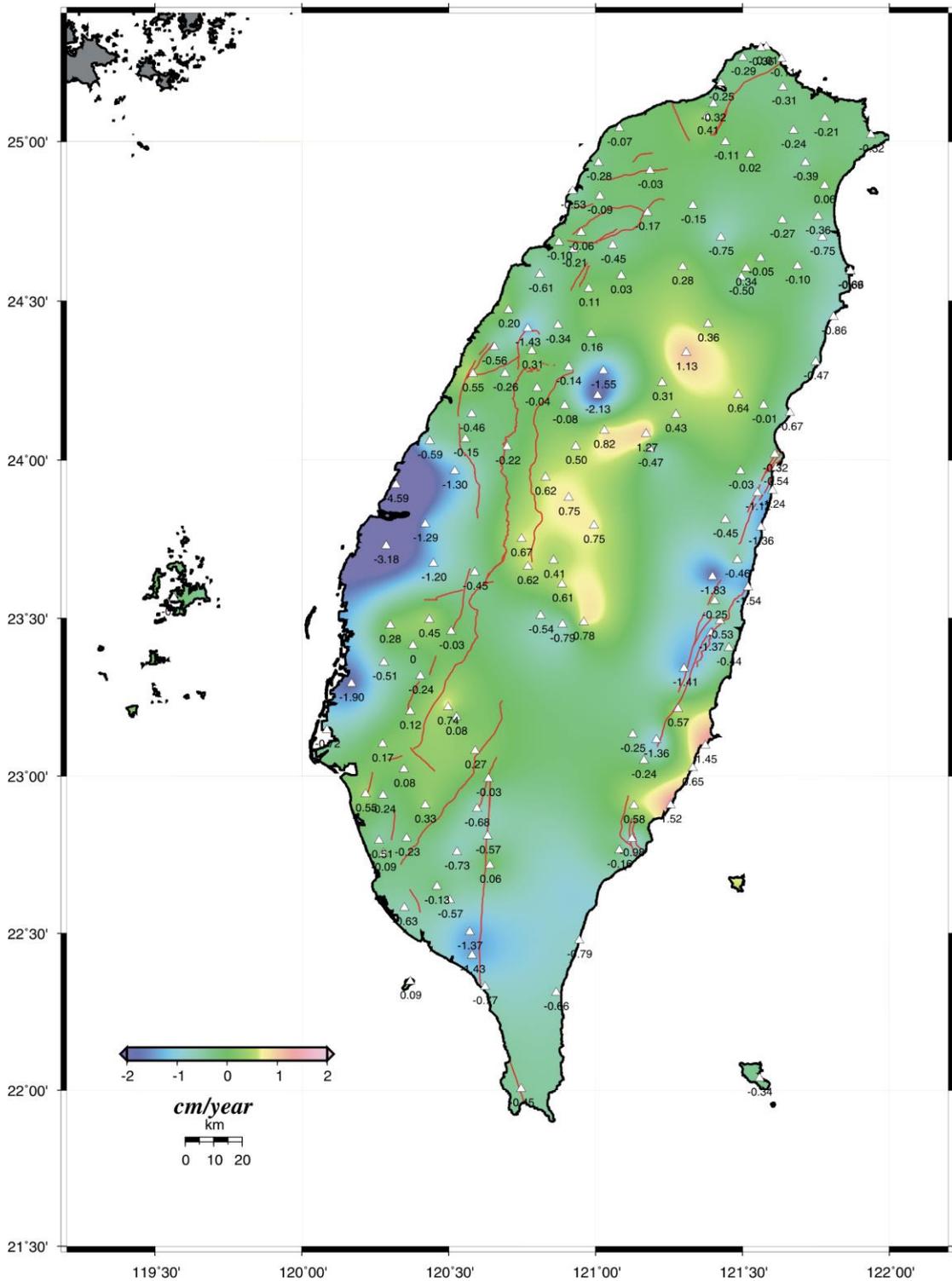


圖 3-29、臺灣地區 2004 至 2008 年平均垂直絕對速度場圖。

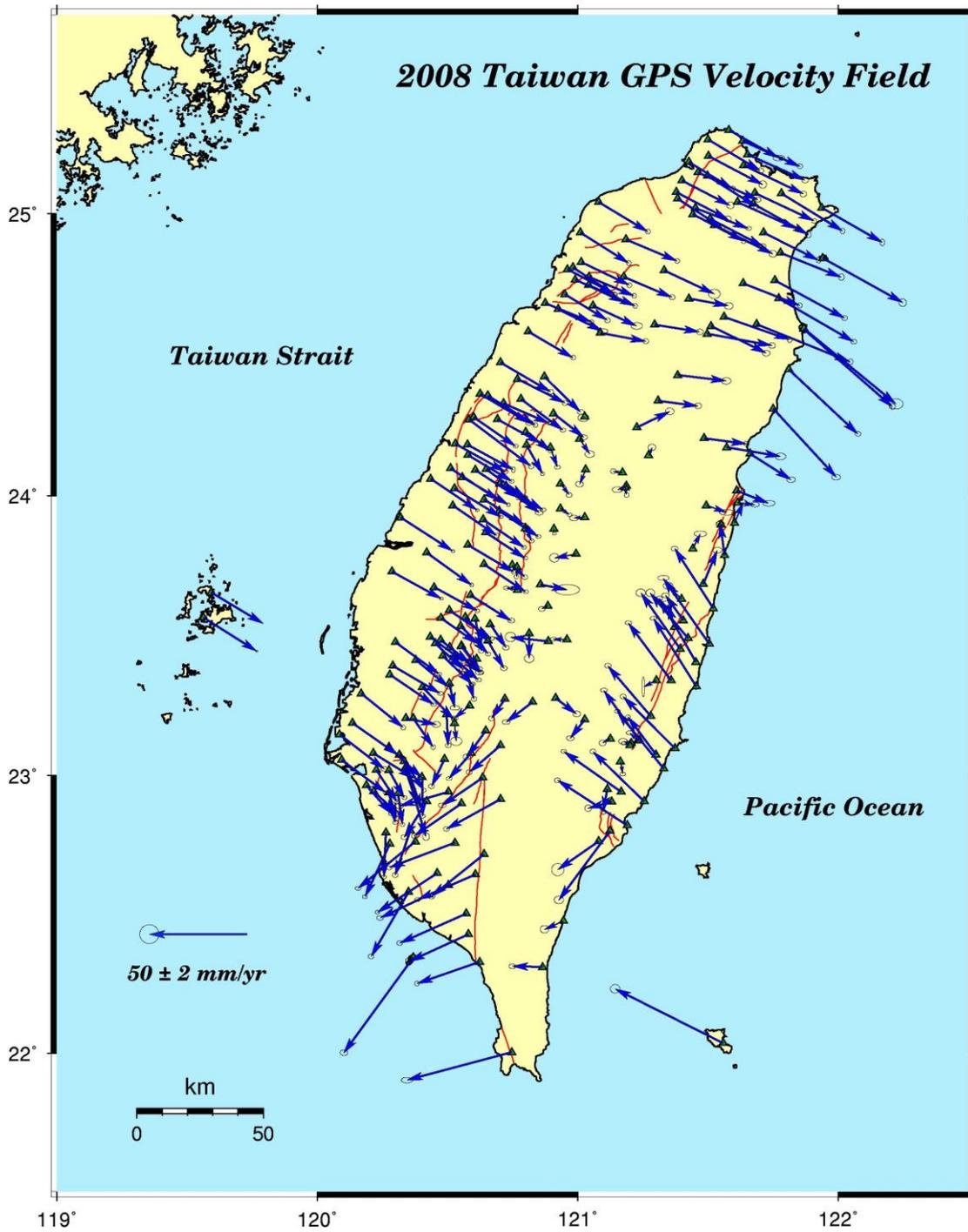


圖 3-30、臺灣地區 2008 年平均水平絕對速度場圖。

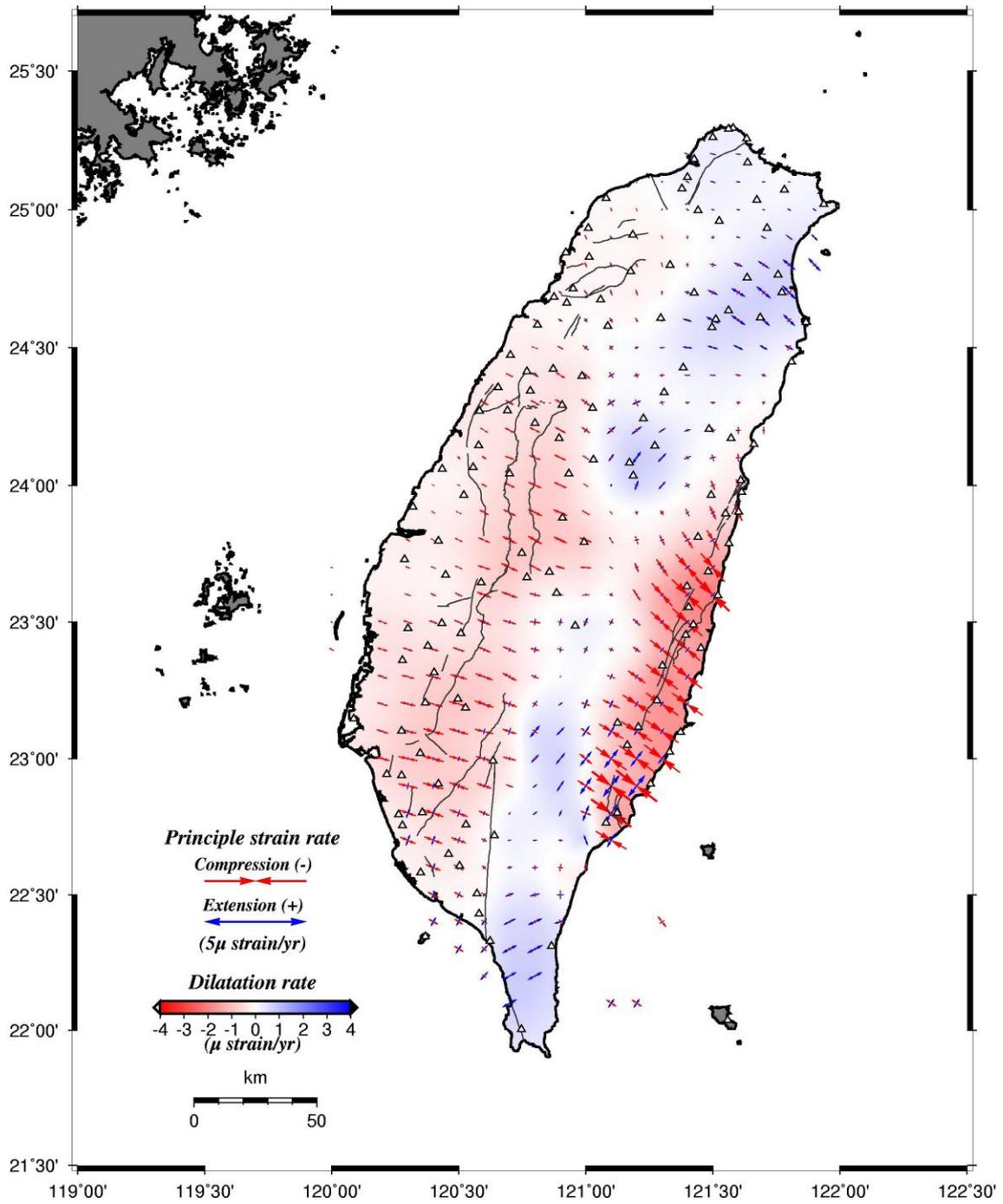


圖 3-31、臺灣地區 2008 年平均水平應變場圖。

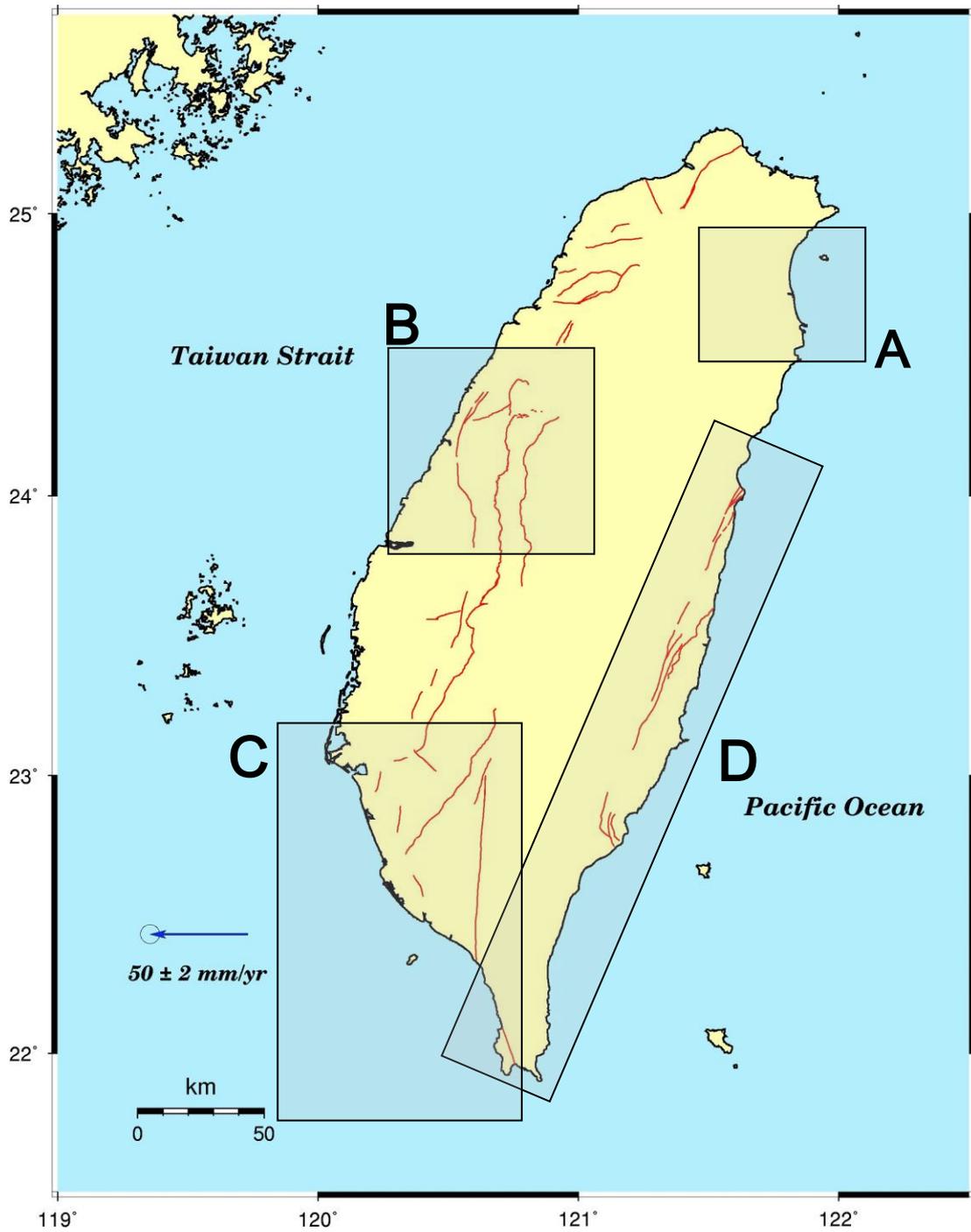


圖 3-32、臺灣地區四個區域剖面的位置圖。

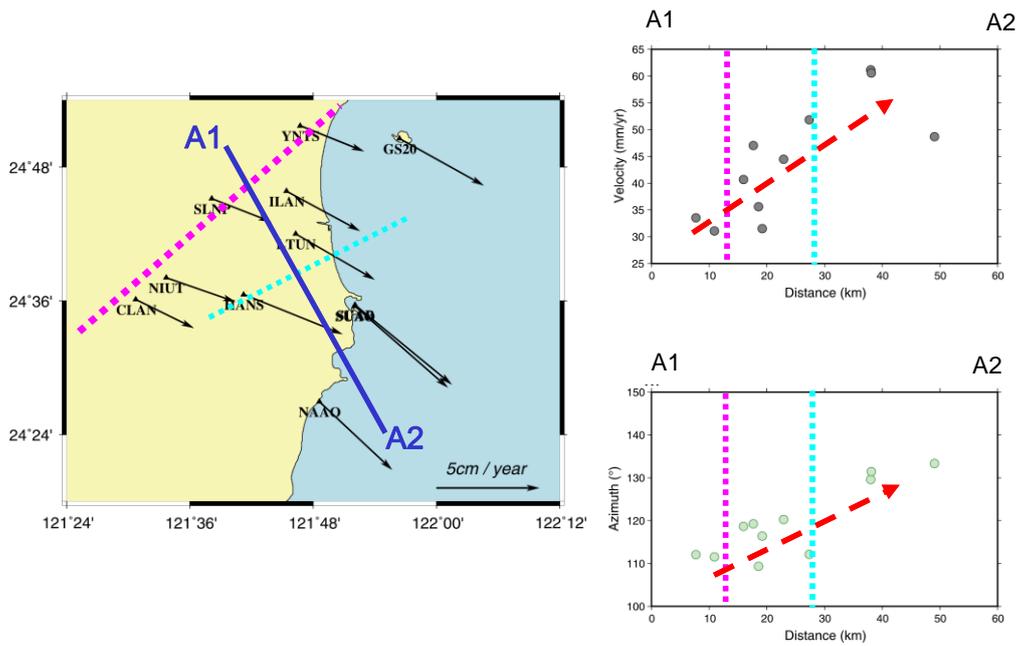


圖 3-33、宜蘭區域速度剖面結果(2008 年絕對速度)，深色虛線表示牛鬥斷層之構造線，淺色虛線表示 2005 年 3 月 6 日的宜蘭雙震的餘震線性分布。

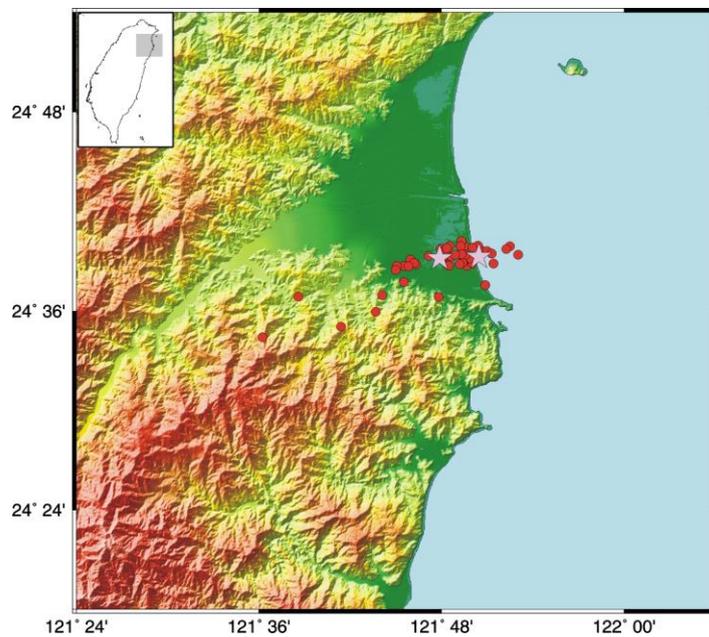


圖 3-34、2005 年 3 月 6 日宜蘭雙震的餘震分布（星形表示主震）。

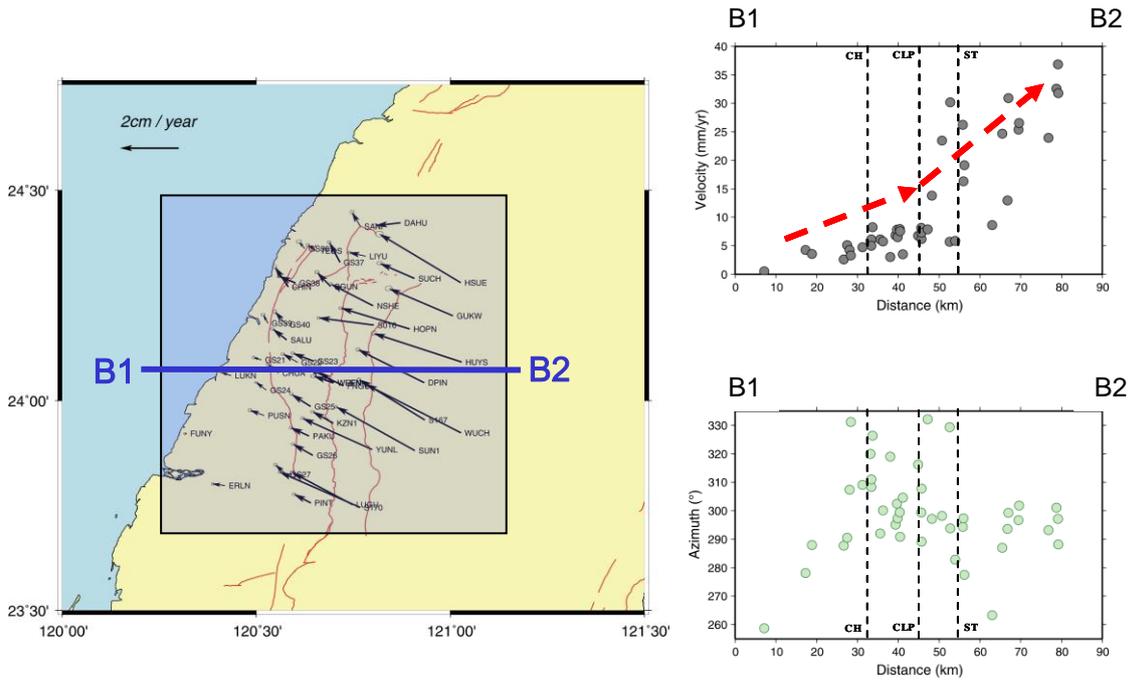


圖 3-35、中部區域速度剖面結果（2008 年相對速度）。

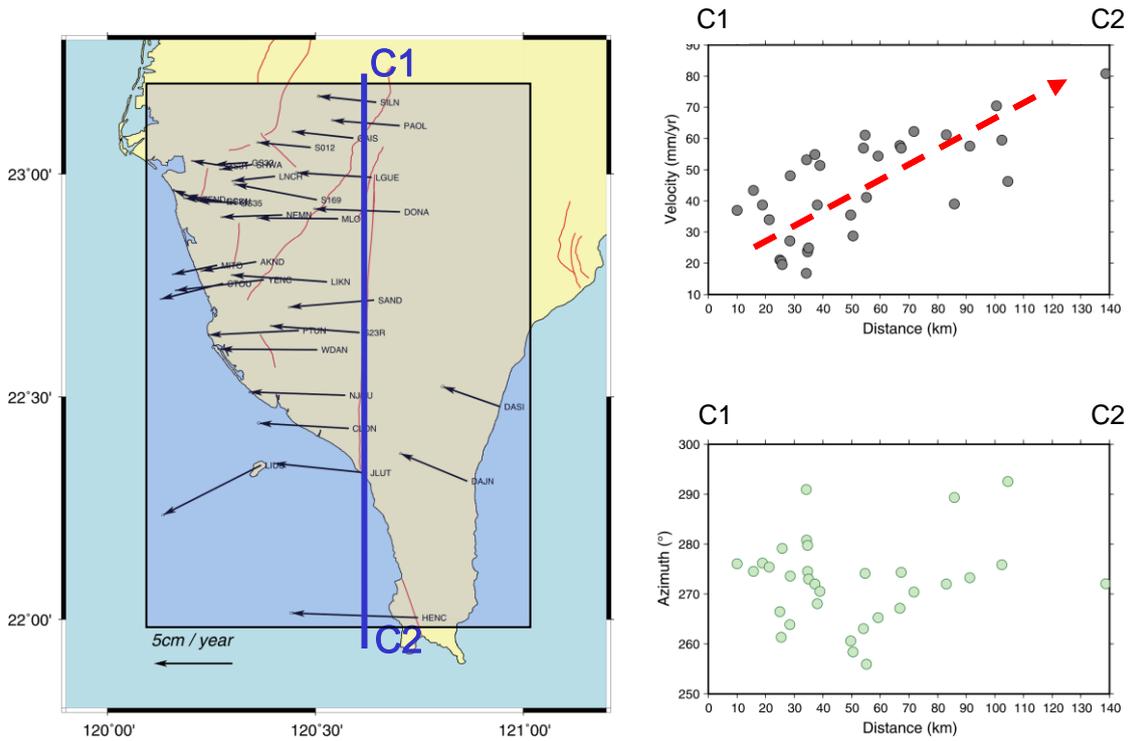


圖 3-36、高屏區域速度剖面結果（2008 年相對速度）。

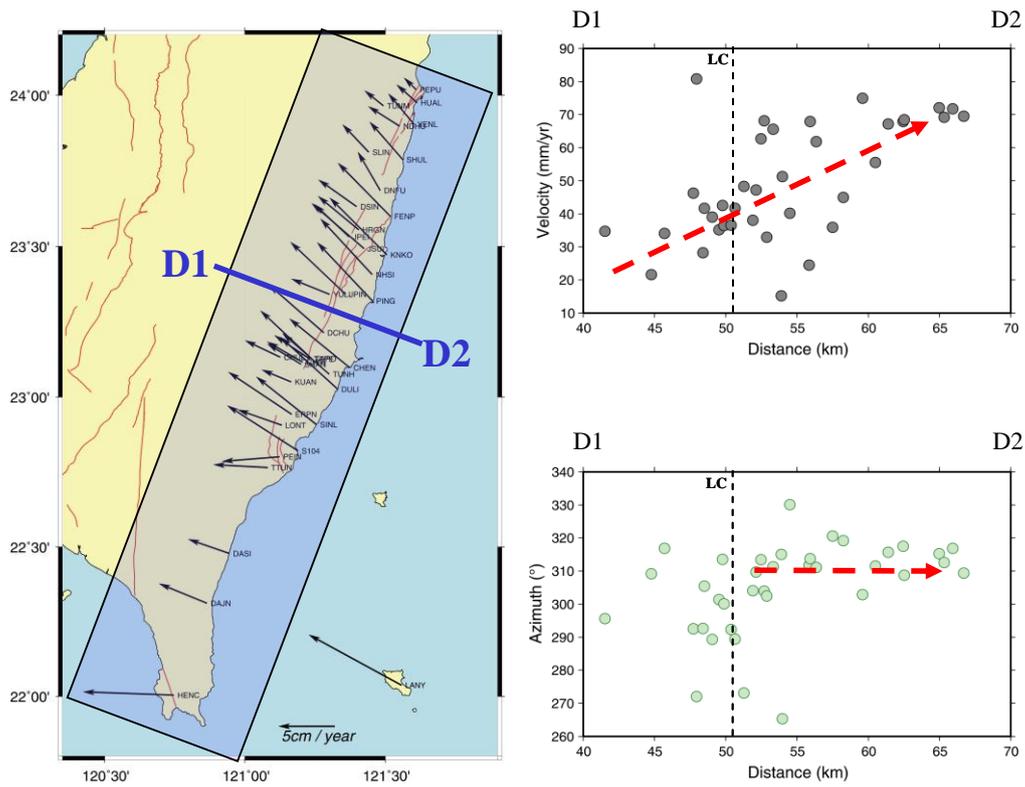


圖 3-37、花東區域速度剖面結果（2008 年相對速度）。

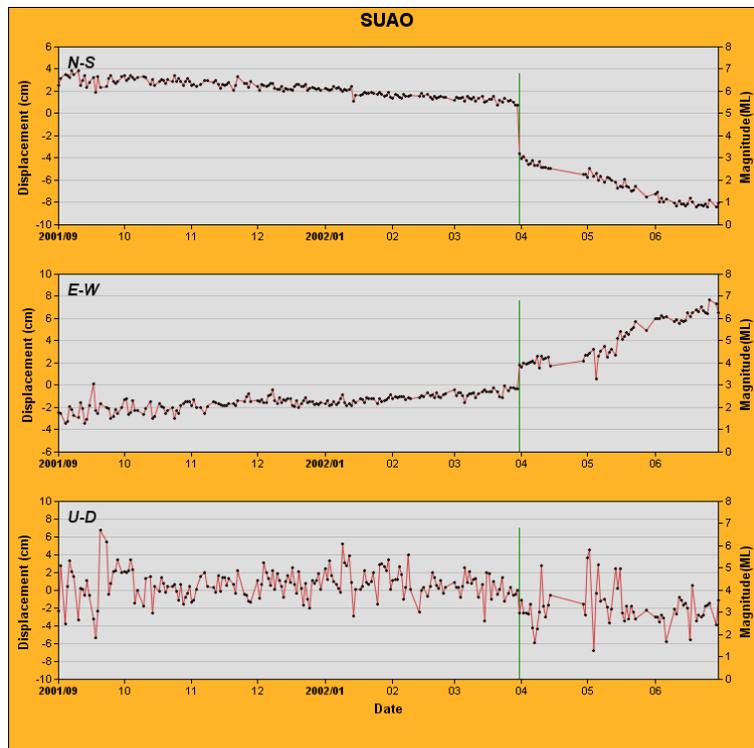


圖 3-38、蘇澳站（SUAO）的時間序列圖（直線表示花蓮外海地震）。

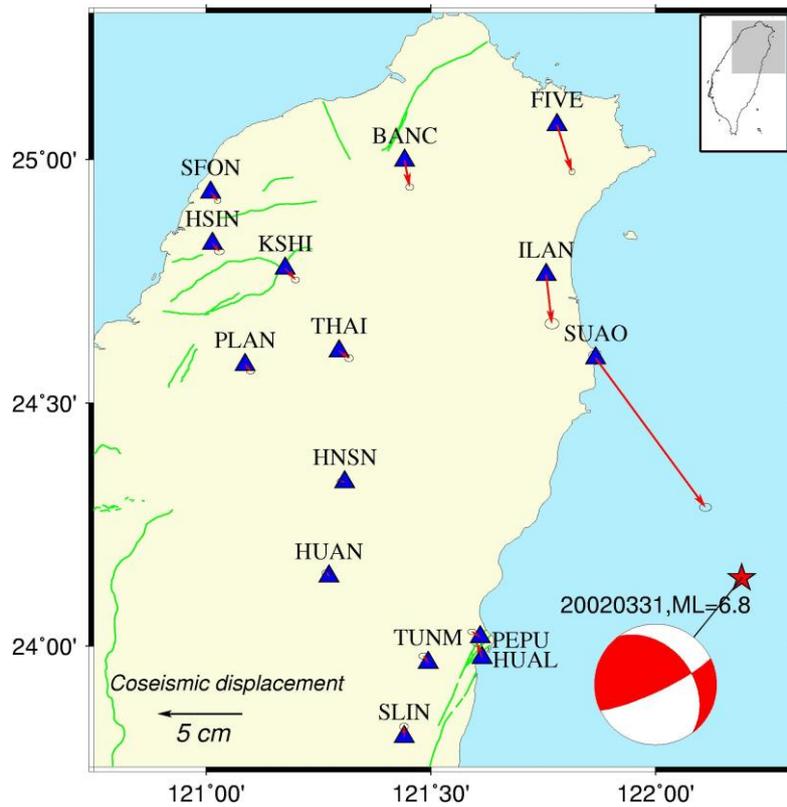


圖 3-39、2002 年 3 月 31 日花蓮外海地震水平向同震變形分布圖。

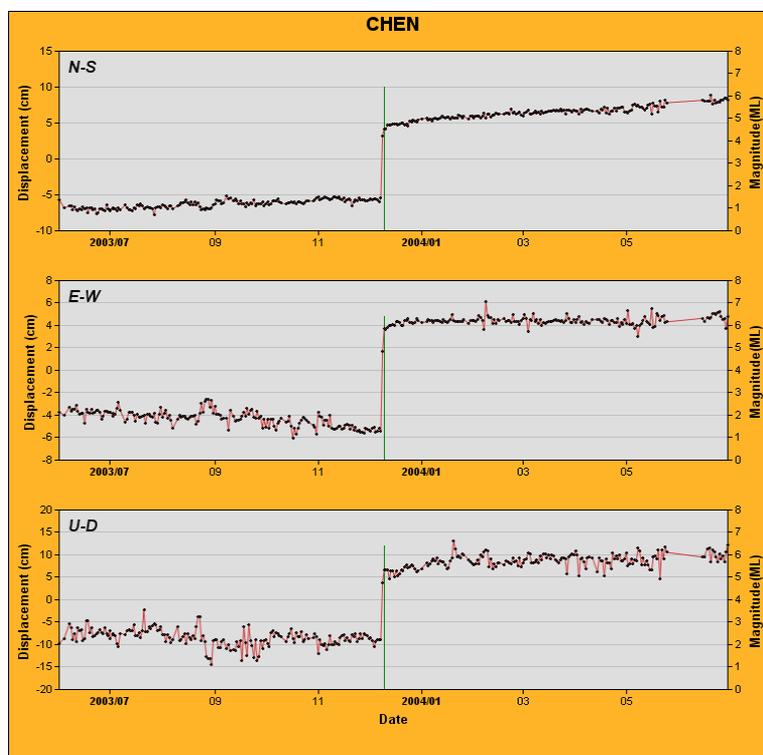


圖 3-40、成功站 (CHEN) 的時間序列圖 (直線表示臺東成功地震)。

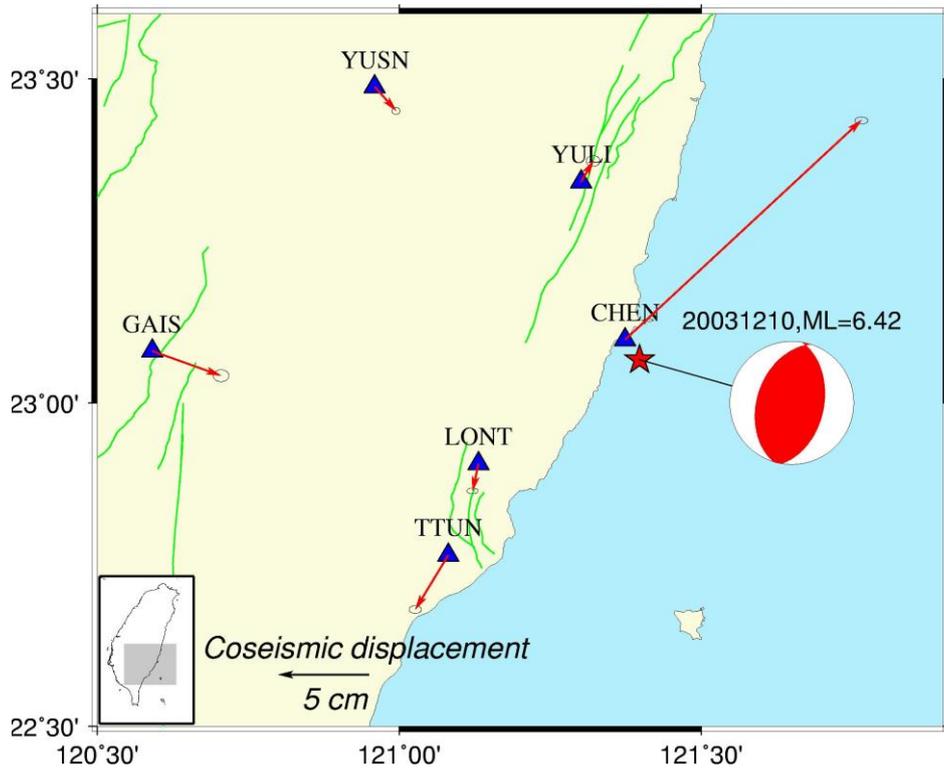


圖 3-41、2003 年 12 月 10 日臺東成功地震水平向同震變形分布圖。

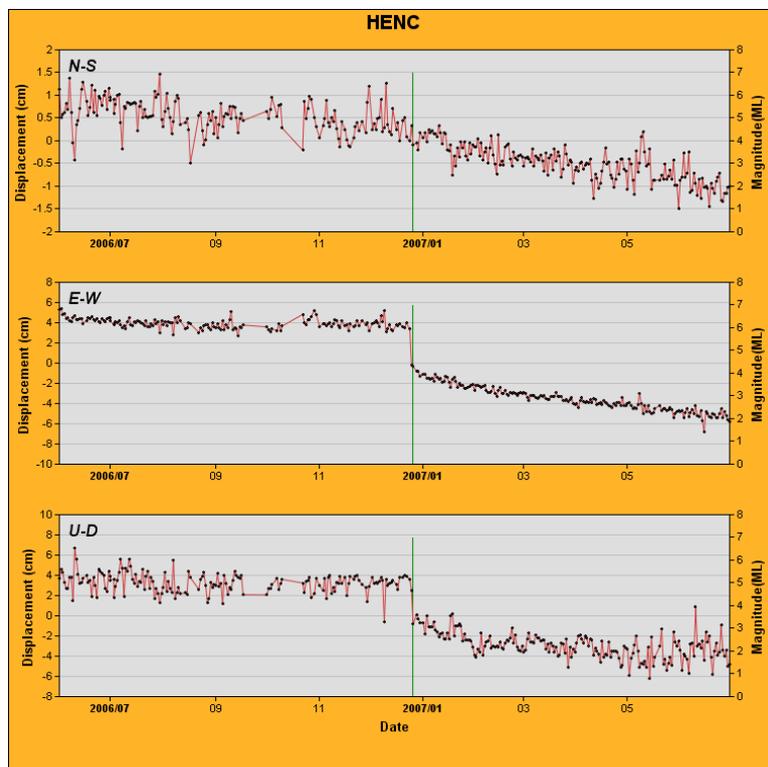


圖 3-42、恆春站 (HENC) 的時間序列圖 (直線表示恆春地震)。

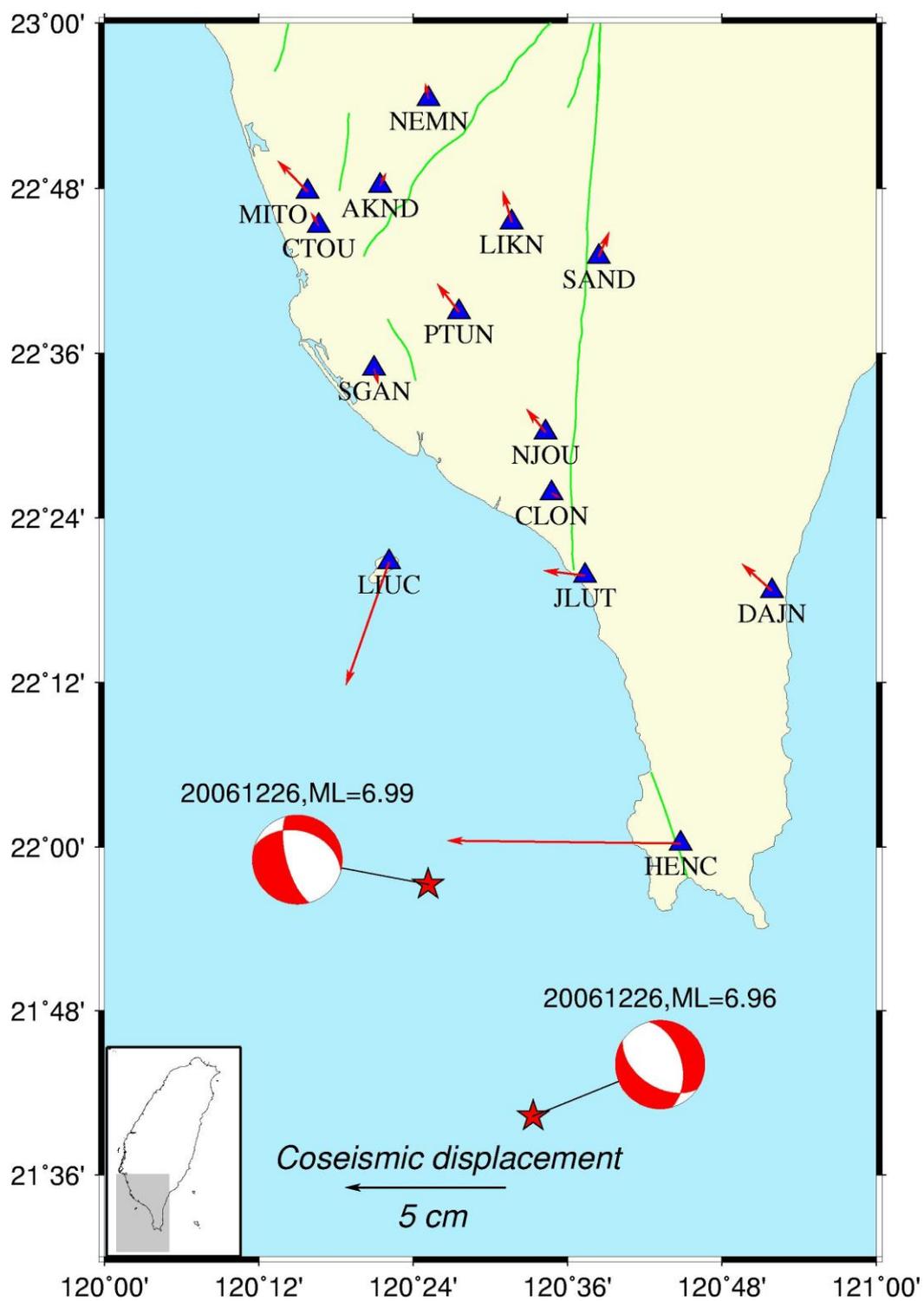


圖 3-43、2006 年 12 月 26 日恆春地震水平向同震變形分布圖。

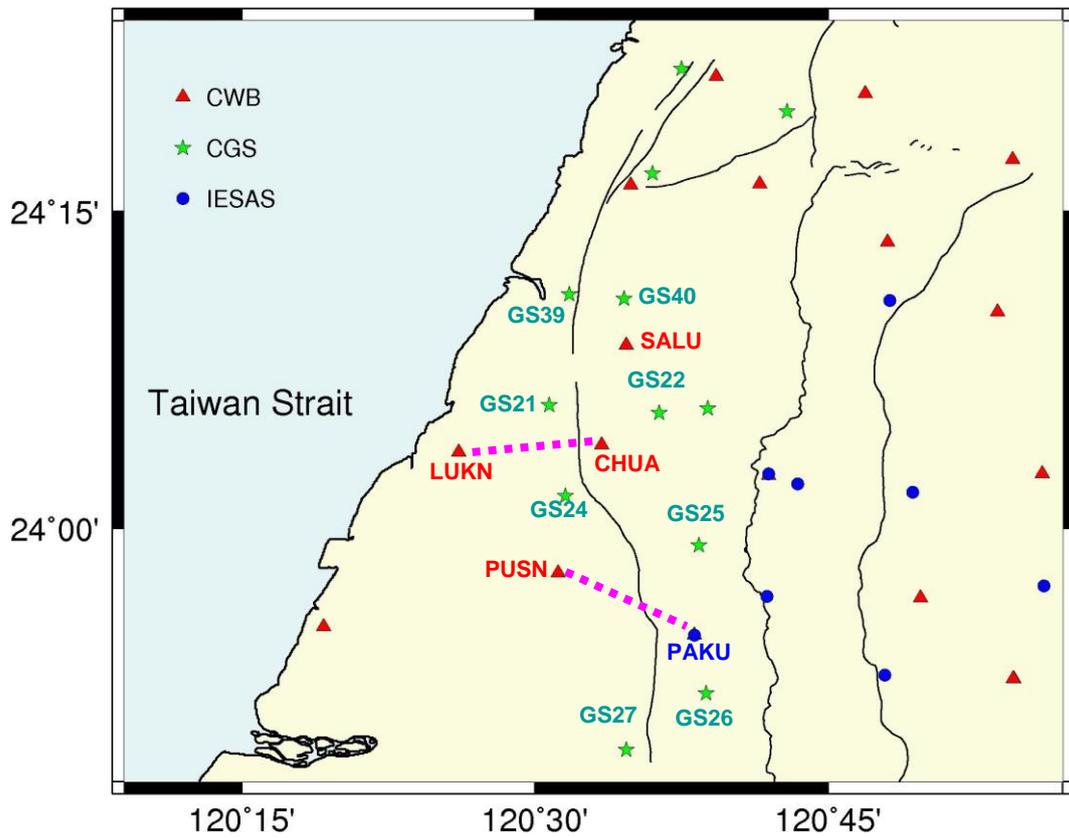


圖 3-44、彰化斷層周遭 GPS 測站分布圖(粉紅色虛線段表示所選長期基線)。

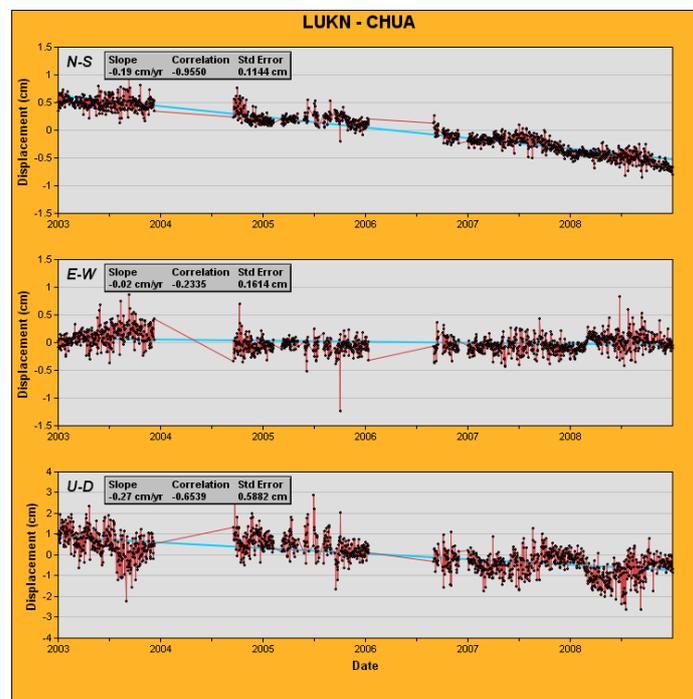


圖 3-45、鹿港站 (LUKN) -彰師大站 (CHUA) 的時間序列圖。

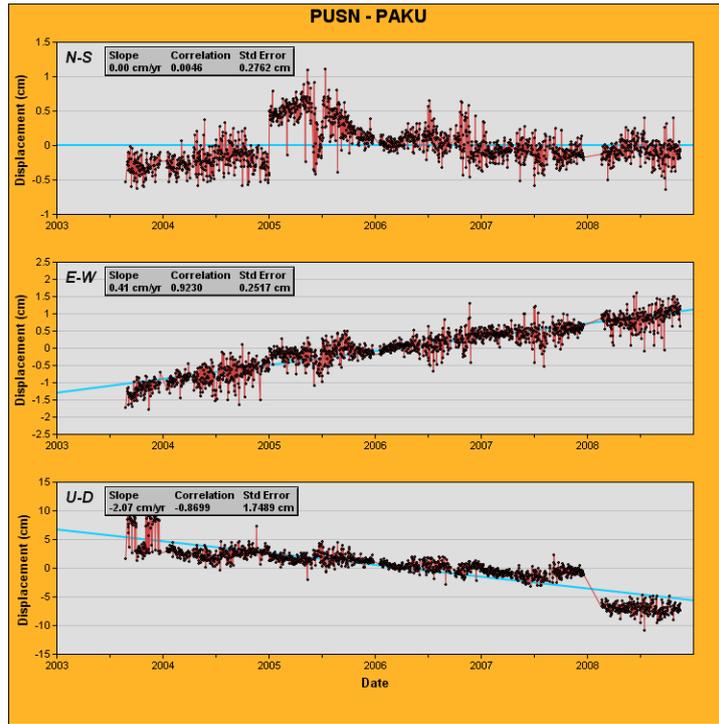


圖 3-46、埔心站 (PUSN) -八卦山站 (PAKU) 的時間序列圖。

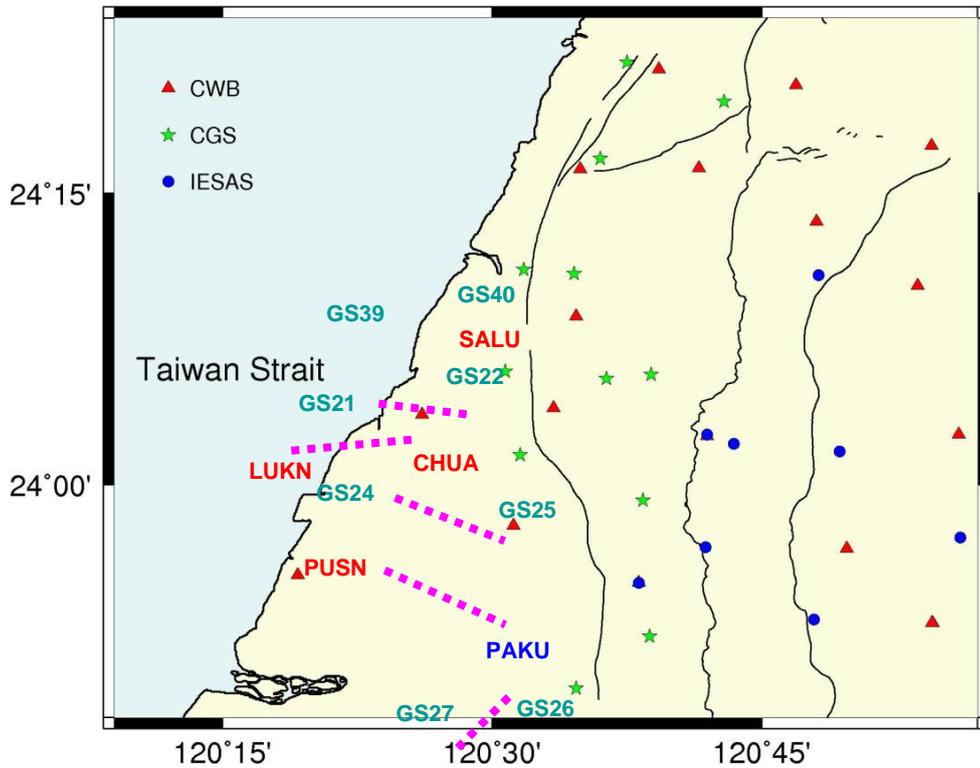


圖 3-47、彰化斷層周遭 GPS 測站分布圖 (粉紅色虛線段表示所選短期基線)。

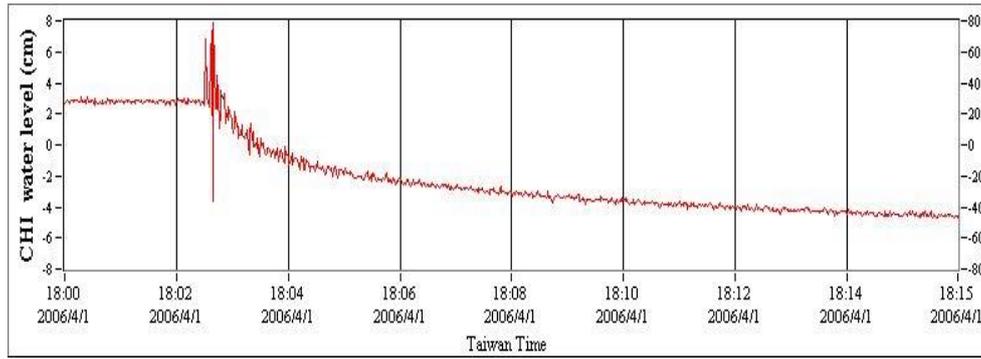


圖 3-48、2006 年 4 月 1 日  $M_L6.23$  臺東地震在赤山站之同震階變紀錄。

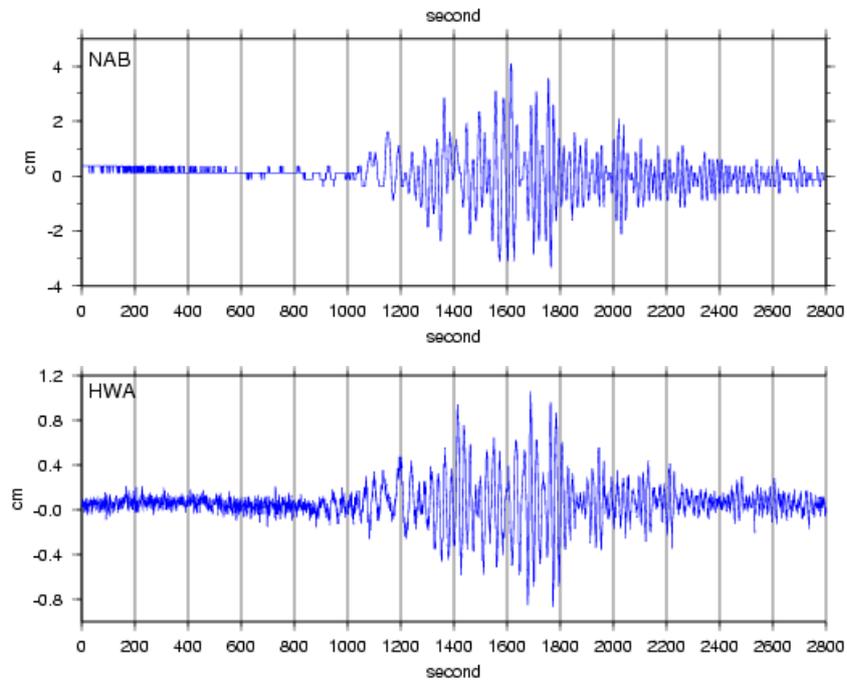


圖 3-49、2004 年 12 月 26 日  $M_w9.1$  印尼蘇門達臘島地震在那菽站及花蓮站之表面波同震紀錄。

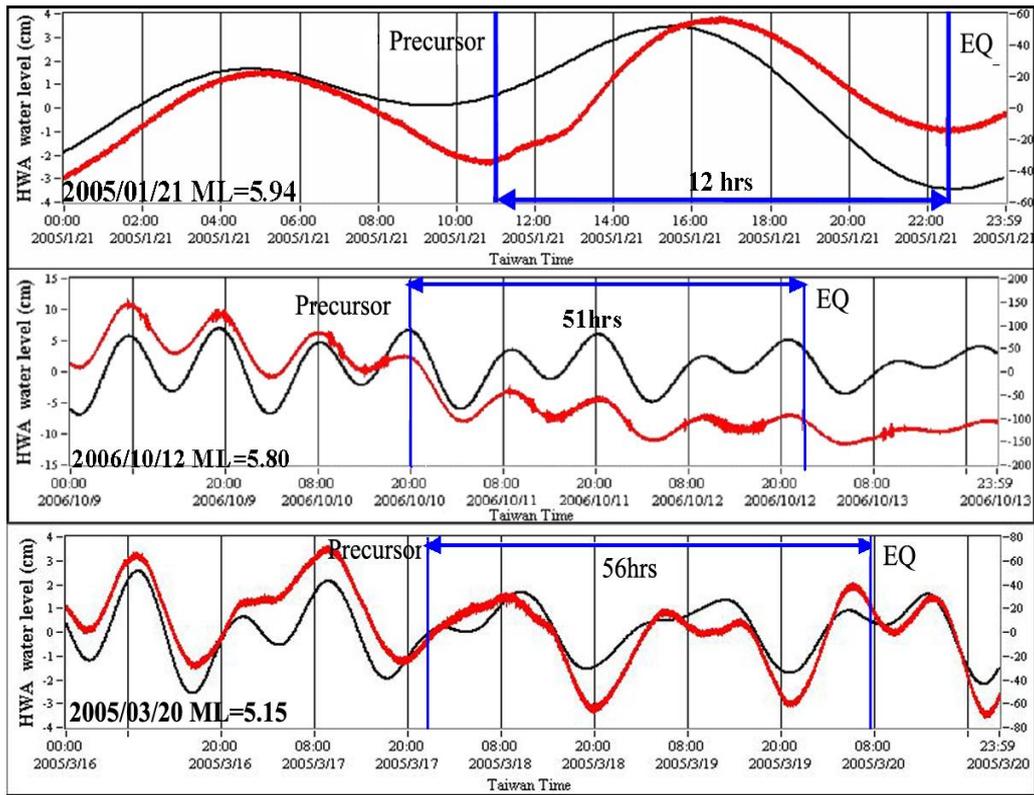


圖 3-50、花蓮站地震地下水觀測井地震前水位異常紀錄（粗黑線：花蓮站地下水水位，細黑線：花蓮站預測天文潮）。

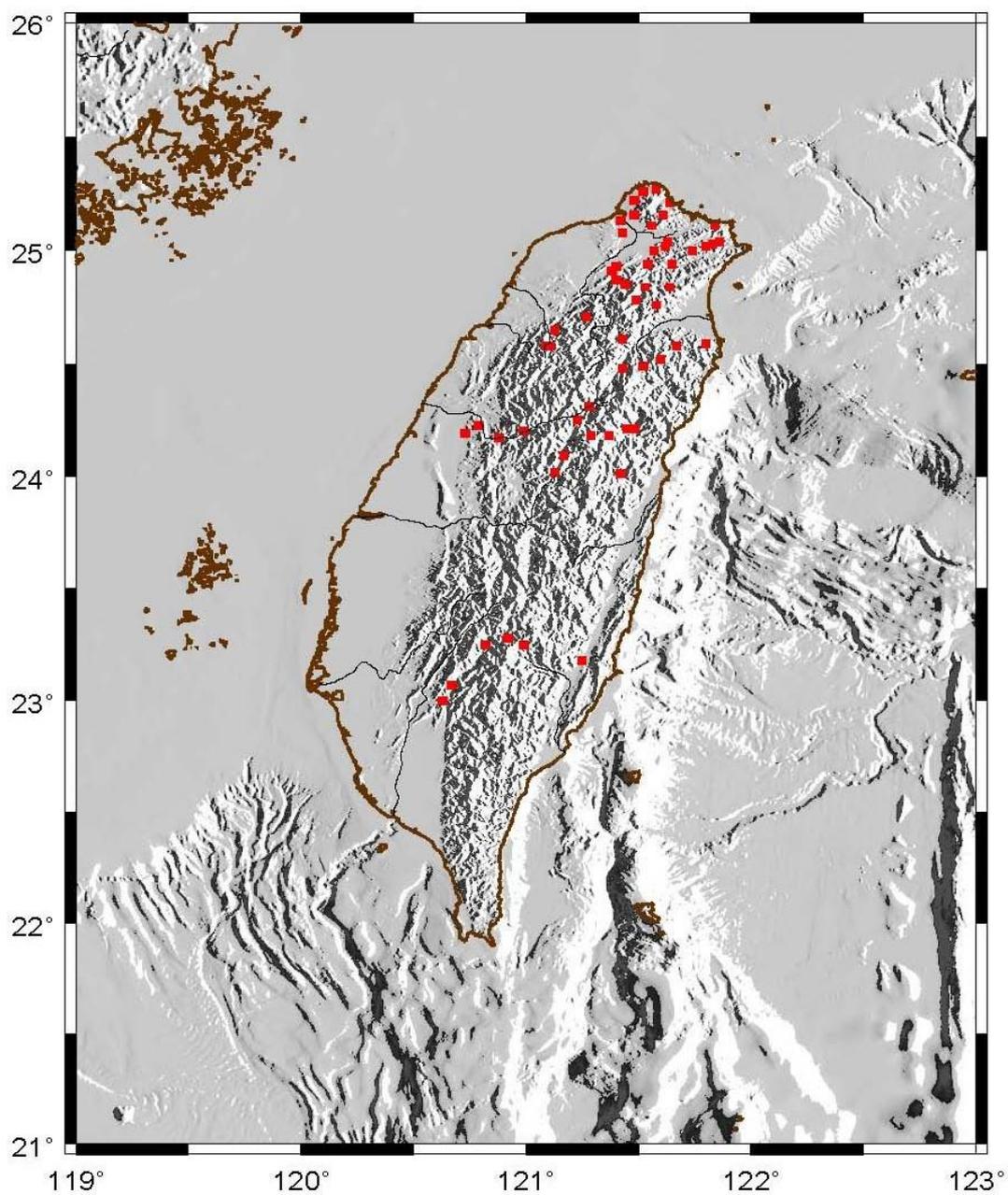


圖 3-51、山區強震站位置分布圖。

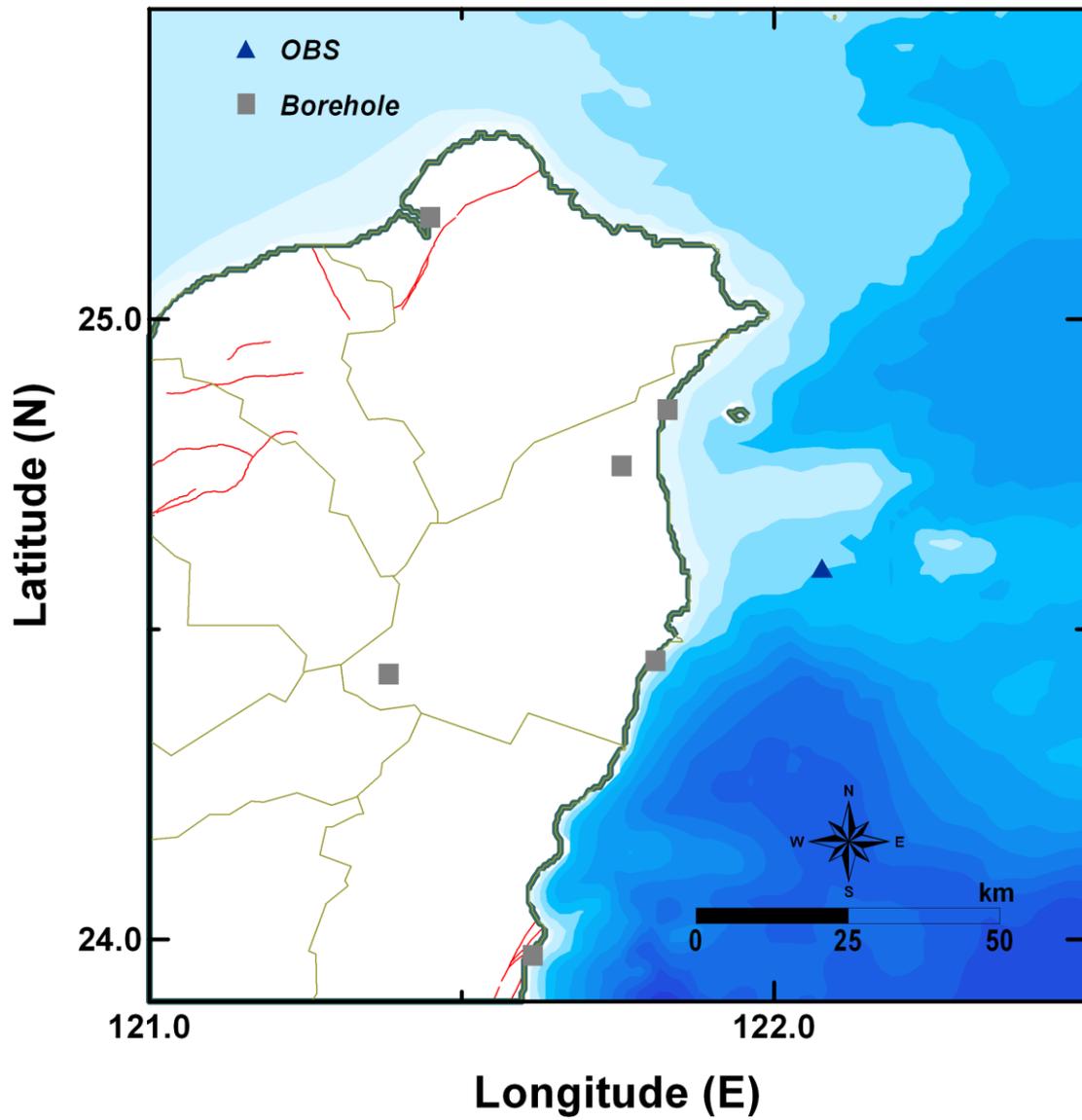


圖 3-52、中央氣象局井下地震儀觀測站與東部海域海底地震儀觀測站位置圖。

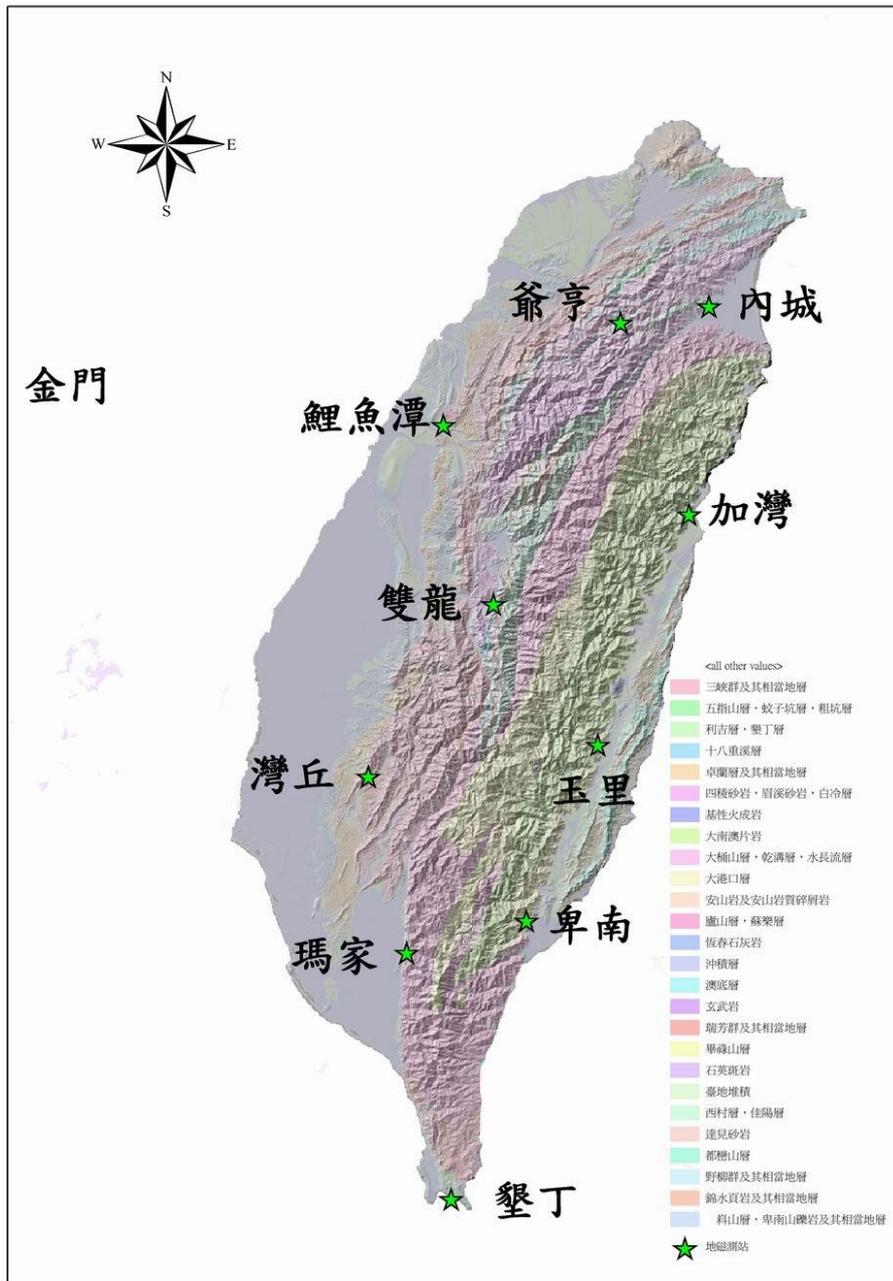


圖 3-53、中央氣象局地磁觀測網測站分布圖。

## 肆、臺灣地區地震活動特性探討

### 一、全區概述

全世界有超過 70% 以上的地震發生於環太平洋地震帶，而臺灣更處於其歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊相互碰撞之樞紐點上，屬於典型板塊碰撞所產生之大陸邊緣島嶼，每年約有 15,000~18,000 個大大小小的地震在此發生。根據地質學家的研究推斷，菲律賓海板塊約在六、七百萬年前開始向歐亞大陸板塊擠壓，臺灣島遂得以誕生並成長，此造陸運動迄今仍在持續進行，也持續引發頻繁的地震活動。由於菲律賓海板塊向西北方向前進時，與歐亞大陸板塊之碰撞作用，造成呂宋島弧對臺灣所造成的強大擠壓變形。

菲律賓海板塊相對於歐亞大陸板塊之板塊運動約每年 7~8 公分，由東南向西北方向移動。基於板塊擠壓架構，一般咸信臺灣地區現今之大地應力，主要為臺灣東南部呂宋島弧之西北斜撞力，其次為臺灣東北部沖繩海槽之擴張力，而臺灣西部則可能兼受重力高區之反阻力，因此造就臺灣地區之典型地震活動型態；臺灣東部地震頻繁，且呈現向北隱沒的傾斜地震帶，臺灣南部也隱約呈現向東隱沒之傾斜地震帶，其原因為歐亞大陸板塊向東隱沒至菲律賓海板塊之下；至於臺灣西部之震源分布，則主要為集中於斷層構造區附近之淺層地震。

臺灣的地震活躍帶大致可分為東北部、東部及西部 3 個地震帶。西部地震帶自臺北南方經臺中、嘉義至臺南，寬度約 80 公里，其特色為震源深度淺（約 10 餘公里）、地震個數較少但餘震較頻繁，影響範圍較廣，造成災情較重。東部地震帶北起宜蘭東北海底向南南西延伸，經過花蓮、成功到臺東，遙指呂宋島，寬度約 130 公里，其特色為地震個數多且震源較西部地震帶為深。東北部地震帶由琉球群島向西南延伸，經花蓮、宜蘭至蘭陽溪上游附近，屬淺層震源活動帶。此三大地震帶的形成機制均與板塊構造息息相關，且各地震帶內的地震活動有其不同的活動特性及發震形態，於本文中將再細分為臺北、臺中、嘉南、高屏、臺東、花蓮及宜蘭等 7 分區（7 分區之邊界參見圖 4-1），各自探討相關地震活動特性。

### 二、全區地震活動時空分布與特性

臺灣自 1897 年開始設置第一套地震觀測站，並於 1900 年起即有記錄地震觀測資料，迄今地震觀測紀錄已逾百年，目前所蒐集的觀測資料更

已超過 40 萬筆地震。以下就臺灣地區（即東經 119 至 123 度、北緯 21 至 26 度之間的矩形範圍）之地震活動在時間與空間上的分布特性進行統計分析，藉以提供今後地震活動趨勢及地震災害評估與防範之研究依據。

首先從空間分布的角度來看，參見圖 4-2 (a) 及 (b)，臺灣地區自 1900 至 2008 百年來，規模大於 4 以上的地震計有 11,659 個，其中 1991 至 2008 年之 18 年間就占了約 4 成 (4,809 個)，震源深度最深接近 300 公里。由地震活動在空間上的震源分布可以發現，臺灣地區震源深度較深的地震大部分都是在臺灣東北部發生，且臺灣東部在大約北緯 24 度開始，震源分布明顯呈現向北隱沒的傾斜地震帶，而在該地區地震深度小於 20-30 公里之地震則形成帶狀向東北延伸至琉球群島附近，原稱琉臺地震帶，由於位於臺灣東北部又稱東北部地震帶；另外在臺灣南部約東經 121 度附近也隱約呈現向東隱沒之傾斜地震帶，但是在此地區所發生的地震偏少，所呈現的隱沒作用也比較模糊；至於臺灣西部之震源分布，則主要為集中於斷層構造區附近之淺層地震。整體而言，除在臺灣西部的北港與觀音重力高區以及在臺灣東部花東縱谷中段西側的地震偏少以外，整個臺灣地區之地震活動都非常頻繁。而由近年地震活動的分布型態可以發現，目前的板塊作用方式與以往之長期觀測結果大致相同，同時也可說明目前臺灣地震網的監測品質已大為提升，僅由短期觀測資料就可以觀察到以往長期觀測資料才可以看到的構造活動特性。

圖 4-3 為 1994 至 2008 年地震個數之等值圖及規模大於 6 之震央分布，其中等值線高區可視為地震活動度較高的區域，分別位於宜蘭至花蓮、大茅埔-雙冬斷層北端與南端，以及臺東成功一帶；至於震央分布，主要仍以東部海域為主，由南澳向東南延伸至南澳海盆似有一帶狀地震分布，而在臺灣西部規模大於 6 之震央分布則主要以集集地震之主震及其餘震為主。

接著在地震活動的時序統計上，圖 4-4 (a) 為臺灣地區 1900 至 2008 年之地震個數統計圖。由百年來的地震個數統計圖顯示，在 1900 至 1972 年之間的初期地震觀測，因為地震儀器較為簡陋、地震站的設置數量亦少，以及相關硬體設備不夠精良，所以只能記錄到地震規模大於 4 以上的地震資料，平均每年的觀測資料只有 41 個地震。在 1973 至 1993 年之間的地震觀測，由於地震觀測網陸續建立與改善，平均每年的觀測資料已增

加到約 5,000 個地震。此外，中央氣象局地震網自 1993 年 11 月以後，由於地震資料的蒐錄方式，同時採用傳統的系統自動偵測方式以及連續記錄數位資料的方式進行，此一軟體更新彌補了以往微震不易為系統自動偵測而遺漏的缺憾，其對於強震與微震間相關性之探討，則提供了豐富資料。在 1994 至 2008 年間的地震觀測，因使用連續數位方式記錄資料，使得所蒐錄的地震個數大幅增加，平均每年的觀測資料約 18,000 個地震，大約提升為軟、硬體更新前的 3 倍以上。

圖 4-4 (b) 為年累積規模及累積能量統計圖。由百年來的地震累積能量與累積地震規模分布圖顯示，臺灣地區的地震活動一直都非常頻繁，地震規模大於 7 以上的地震有 36 個，平均每年的累積地震規模約為 7。在 1905 至 1925 年間有多次大規模的地震活動，其中包括 1906 年規模 7.1 的嘉義梅山地震，因此其累積地震規模大於平均值。在 1925 至 1950 年間只有少數幾次大規模的地震活動，其中包括 1935 年規模 7.1 的新竹-臺中地震與 1941 年規模 7.2 的嘉義中埔地震，因此其累積地震規模小於平均值。至於 1950 至 1972 年間大規模的地震活動又變得較為活躍，1973 年以後地震活動再度略顯平靜，直到近幾年才又有較大規模的地震活動。

古登堡 (Gutenberg) 與黎克特 (Richter) 於 1944 年研究加州地震再現頻率曾提出的關係式  $\log N = a - bM$ ，爾後該關係式經過改良演變，目前較為普遍的應用計算，是將某個特定地區，其規模大於等於  $M$  以上的累計地震個數定義為  $N$ ，經過適當的條件限制，計算所得  $a$  值和  $b$  值即為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。

徐明同 (1979) 引用宮村 (Miyamura) 的研究指出， $b$  值在大陸內地與穩定臺地周圍可動帶約為 0.4~0.7，環太平洋、阿爾卑斯及喜馬拉雅山脈為 0.7~1.0，海嶺、沿海溝地帶及島弧地帶則為 1.0~1.8。過去曾有多位學者 (Hsu, 1971; Tsai, 1981; Wang, 1988; Cheng and Yeh, 1989)

針對臺灣地區不同時期的全區進行  $b$  值研究，所得結果均介於 0.8~1.2 的範圍之間。另外，也有學者針對特定區域或時期進行研究，例如王錦華、謝昭輝、詹軍威與李白華（1990）利用東臺灣 1973-1987 年臺灣遙記式地震觀測網的觀測資料計算花蓮瑞穗（Juisui）的  $b$  值為 1.25，辛在勤與張建興（1992）、張建興與辛在勤（1994）分別研究 1992 年與 1993 年的臺灣整年地震所得到的  $b$  值為 0.99 與 1.08，辛在勤、張建興與江嘉豪（1994）針對 1973-1993 嘉義臺南地區分析所得  $b$  值為 0.93 等等。

表 4-1 列舉不同時期臺灣地區的地震活動特性參數如  $a$  值、 $b$  值及最小完整規模  $M_c$  之變化情形。其中長期觀測資料（1900 至 2008 年）計算得到的  $b$  值為 0.74，比短期觀測資料（1994 至 2008 年）所得  $b$  值 0.91 小很多。圖 4-5 為 1991 至 2008 年地震個數、規模及  $b$  值之時序統計圖。由圖 4-5 可以看到  $b$  值隨著時間變化的情形，在集集地震發生前確實記錄到  $b$  值有明顯下降現象，而 2007 年以來則略為偏高。

圖 4-6（a）是根據短期觀測資料所求得的  $b$  值等值圖，從空間的角度分析，臺灣地區的  $b$  值大概介於 0.7~1.3，大部份區域約在 1.0 左右，中部地區、嘉義高雄交界、花東地區、花蓮外海以及龜山島一帶  $b$  值較低，臺北、桃竹以及屏東沿海一帶是  $b$  值高區。若再與圖 4-6（b）短期背景地震活動之  $b$  值等值圖相較，則最大的差異在中部地區（即集集地震活動最密集的地區），明顯可看出背景地震活動的  $b$  值較高。

另外  $a$  值則代表了某段時間內某區域的活動度， $a$  值愈大表示活動度愈高，由表 4-1 可知長期觀測資料的  $a$  值為 7.04，與背景活動計算的值 7.08 相近，意味著背景活動資料相當程度代表了臺灣地區長期的活動度，因此短期觀測資料的  $a$  值 7.21 可視為臺灣地區近期處於較高的活動度下。

至於本地震監測網可偵測到的最小完整規模  $M_c$ ，根據陳燕玲（2006）的研究指出，在機械式觀測年代（1900 至 1972 年）之地震觀測主要以較大有感或災害地震為主，個數少且能觀測到的最小完整規模為 4.7，相較後續階段而言偏高；爾後進入網連化觀測階段（1973 至 1990 年）的地震觀測數目大幅增加，每年約 5000 個，為之前的 120 倍以上，此時能觀測到的最小完整規模降低至 2.4；而進入現代化觀測且連續式記錄階段（1994 至 2008 年）的地震觀測數目較之前一階段更是大幅增加，每年約 15,000 ~ 18,000 個，為之前的 3 倍以上，能觀測到的最小完整規模更相對降低至

2.0，島內更可降低至 1.5（圖 4-7），比前一時期的 2.4 改進許多。圖 4-7 為中央氣象局地震觀測網觀測能力下限的規模等值圖，可清楚呈現該地震網於臺灣周遭地區整體的偵測能力。

### 三、全區背景地震活動特性

根據歷史記錄，臺灣近百年曾經發生多次災害性的地震，例如 1906 年梅山地震、1935 年新竹-臺中地震、1951 年花東縱谷地震、1964 年白河地震、1986 年花蓮地震以及造成重大傷亡的 1999 年南投集集大地震等。這些中大規模地震不斷發生，顯示臺灣明顯屬於全球地殼活動相當劇烈的特殊區域，處於如此受到地震威脅的環境之下，地震前兆的研究工作也就格外重要。

地震活動度的異常分析，被視為地震前兆現象研究中極為重要的課題。惟所謂異常乃一相對性的指標，意指對於一個具有地震活動的地區，其應可找出代表背景活動度的地震活動，透過分析與比較，如能發現趨勢改變與某些重大事件有關，即可視為可能之前兆現象。背景活動度可由歷史觀測資料歸納彙整，其最主要的控制關鍵在於地震資料庫的累計觀測紀錄時間與資料完整性。背景地震活動之分析，必須濾除過去重大事件及其可能影響。有鑑於大地震發生之後，往往伴隨大量的餘震活動，若不將大地震序列自基本背景地震活動中抽離，而以全部的地震活動進行分析，則所得到的結果屬於整體平均效應，難以作為地震前兆研究的判斷標的。

林祖慰等人（2008）曾針對中央氣象局由 1994 到 2005 年間共計 12 年地震觀測資料，進行大規模地震序列的篩選過程，其篩選條件包括當月的地震總個數是否超過 3000 個以上、當月地震規模 2 以上的地震個數是否超過 1500 個、當月總累計規模是否超過 7 等 3 項，只要符合其中一個條件，當月全臺地震資料即予以刪除。經篩選後，原本 12 年共計 144 個月份的資料，被刪減為 129 個月份，地震觀測資料由 268,296 筆減少為 185,193 筆（如圖 4-8 所示），此時的觀測資料即為背景地震活動資料庫。

針對前述資料庫，利用網格化分析技術，選取適當的網格展距大小與移動間距，即可依序計算各子網格的月平均背景地震活動參數，包括月平均地震個數、月平均累計規模與平均地震深度等數值（參見圖 4-9），這些參數即為各子網格本身的背景特性，亦即無大地震序列發生的情況下，該地區例行性的表現結果。另外，在分析地震活動常用的 a、b 值研究方

面，依據每個子網格周圍 20 公里半徑、子網格間距  $0.1^\circ$ 、分析樣本數至少 100 個地震以上以及回歸分析時擬合度須達 90% 以上等條件進行計算，所得 a 值等值圖與 b 值影像圖結果如圖 4-10 所示。參考圖 4-9 與圖 4-10，考慮臺灣地區的地殼厚度，以深度 40 公里為界，可將背景地震分成淺部與深部兩組資料分析研究，歸納全臺背景地震活動特性如下：

- (一) 以月平均地震個數來看，對淺部地震而言，背景活動大致集中於下列地區：苗栗大湖到南投埔里，嘉義梅山，高雄桃源、屏東三地門與臺東延平之間，臺東成功向南延伸到臺東海槽，宜蘭南澳到花蓮壽豐之間，還有龜山島向東部外海延伸等地區。至於深部地震，背景活動則幾乎集中在臺北新店、花蓮鹽寮與與那國島（龜山島東南沖繩海槽邊緣）之間三角形地區，另外有相當零星的活動分布於臺灣東南部呂宋島弧以及恆春西南外海等地。
- (二) 關於月平均累計規模方面，大致表現與月平均地震個數相似，但淺部地震在臺灣東部沿著琉球島弧前盆地（和平海盆、南澳海盆、東南澳海盆）以半月形向南突出往東東南方向延伸，以及臺灣東南部沿著呂宋島弧向南南東方向延伸等兩大系統，均呈現月平均累計規模較月平均地震個數明顯的現象，顯示該兩大系統的地震雖發生個數少但規模皆較大的特性。而發生於琉球島弧下方的深部地震亦有個數少但規模大的相同特性。
- (三) 以平均地震深度來看，全臺淺部地震平均深度多在 15 公里範圍內，平均深度在 25-40 公里之間的地區包括宜蘭南澳、花蓮壽豐到臺東成功外海、高屏西南部向外海延伸、以及北港高區等。對深部地震而言，由圖 4-9 (a)、(b)、(c) 三者的右下圖均顯示，臺灣東部外海兩大板塊隱沒系統，包括北緯  $24^\circ$  以北菲律賓海板塊向北隱沒，以及北緯  $24^\circ$  以南歐亞大陸板塊向東隱沒涵蓋全部深源地震之發生，且震源深度分布可達近 300 公里深。
- (四) 圖 4-10 (a) 與 (b) 兩者代表 1994-2005 年臺灣地區未經篩選過濾之完整地震活動，分別計算深度 0~40 公里以及 0~500 公里兩組資料；而 (c) 與 (d) 則採用經過過濾篩選後的背景地震活動，分別計算深度 0~40 公里以及 0~500 公里兩組資料。完整與背景地震活動分別計算全臺 0~500 公里地震的 b 值大小為 0.80 與 0.87。主要特性分

述如下：

- 1、對於完整地震活動而言，花蓮東部外海局部地區與南投縣中心區域有相當明顯的  $b$  值低區。但同樣位置對應於背景地震活動來看，南投縣中心區域的低區即隱而不見，顯示其應為大地震序列（例如集集地震）活動觸發較多中大規模地震所導致的現象。
- 2、就背景地震活動來說， $b$  值偏低現象集中於兩個地區，一在嘉義阿里山、臺南楠西與高雄三民、甲仙、內門之間；另一地區則在由花蓮市往南經臺東成功、東河到臺東市的近岸至外海地區，這兩個地區在完整地震活動分析中亦可清楚辨識，意味著中大規模地震與小地震的比率，不因是否有大地震序列發生而明顯改變。
- 3、由完整或者背景地震活動均可看出，在北臺灣包括桃園、新竹、苗栗與宜蘭等區域  $b$  值皆偏大；另外，屏東市南邊與蘭嶼南方也有  $b$  值偏大的情形，這些可能意味著地體構造可能較不均勻，或者很少發生中大規模地震。
- 4、在臺北盆地東南邊、宜蘭南澳與龜山島東部外海之間，深部地震計入與否對於  $b$  值影響較大，若加入深部地震則整體  $b$  值大小會降低，這主要與深部地震通常規模較大有關。

#### 四、分區研究

中央氣象局地震觀測網(CWBSN)於 1991 至 2008 年共 18 年之間，總計已收錄近 34 萬筆地震定位資料，透過此一龐大之地震觀測資料庫，應可將臺灣地區劃分為數個分區，個別分析研究其地震活動特性。考慮地震活動度、地形與地體構造以及行政區域等因素，本局將全臺灣劃分為臺北、臺中、嘉南、高屏、臺東、花蓮及宜蘭等 7 個分區。接著，將針對區域概述、地震活動時空分布與災害地震回顧等項目，依序探討分析相關特性，期能更清楚掌握臺灣地區地震脈動之全貌。

##### (一) 臺北分區

###### 1、區域概述

臺北分區於地理位置上隸屬臺灣的最北端，範圍涵蓋臺北盆地、臺北盆地周遭及附近火山岩區，東邊則與菲律賓海板塊下插至歐亞大陸板塊底下的隱沒帶相鄰。臺北盆地為一構造盆地，面積約 243 平方公里，形似三角形，以關渡、樹林和南港為三個頂點，大屯火山群和

觀音火山分峙北方和西北方，西側有林口臺地，東南方則圍著沉積岩構成的丘陵和山地（徐美玲，2008）。附近火山岩區則包括大屯火山群、基隆火山群、觀音山火山、草嶺山，以及北部外海四個島嶼：彭佳嶼、花瓶嶼、棉花嶼和基隆嶼。

本區地體構造主要受到琉球島弧張裂作用及隱沒帶岩漿庫作用的影響，其中大屯火山的形成約在 80 萬年前到 20 萬年前左右，成因為張裂作用造成正斷層裂縫，致使岩漿上升冒出。至於基隆火山群的形成約在 120 萬年前左右，是由菲律賓海板塊向北隱沒至歐亞大陸板塊底下，所造就之琉球火山島弧往西延伸的一部分。而觀音山火山在約 50 萬年前開始噴發，並分別於 40 萬與 30 萬年前各再有大規模噴發，最後在 20 萬年前左右結束火山活動。另外，彭佳嶼約形成於 160~210 萬年前，主要是由出露之熔岩流冷卻造成。而基隆嶼的火成岩為約在 100 萬年前左右，由岩漿淺層侵入所形成的岩株（宋聖榮，2006），應與基隆火山群生成時期相當。整體而言，以大屯火山群的分布面積最大，地震活動也相對較為頻繁。

根據中央地質調查所的斷層分類標準，本區共計有 1 條第二類活動斷層，即位於臺北盆地西緣的山腳斷層；另有 2 條尚待考證的斷層，分別為金山斷層與南崁斷層。

## 2、時空分布與特性

本區地震活動度明顯較其它分區為低，多集中於基隆外海、大屯火山與烏來山區，西半部呈現零星分布。地震震源深度則深淺皆有，在臺北盆地及大屯火山區的地震較淺，而東南部靠近隱沒帶的地震則較深。

從長期觀測（1900~2008 年）資料分析，本區地震大致包括三個群聚區域，分別為基隆外海、大屯火山、烏來山區（參考圖 4-11）。由震源深度剖面隱約可見以深度 40 公里為界，分為深、淺兩群地震。深震通常為規模較大的地震，主要由菲律賓海板塊向北隱沒至歐亞大陸板塊底下所引起，向東延伸至宜蘭地區仍可清楚觀察到與此隱沒帶構造有關之中深源地震。參考圖 4-12，震源深度小於 40 公里之地震分布可更明顯看出群聚現象，除前述三個群聚區域之外，在臺北市南邊還有一小群地震聚集，其震源深度約在 10 至 20 公里之間。圖 4-13

為淺層地震累積規模分布圖，同樣顯示主要地震能量釋放仍以前述三區為主。

另從短期觀測（1994~2008年）資料分析，地震群聚主要出現於大屯火山以及烏來山區，基隆外海較不明顯（參考圖 4-14）。此外，規模大於 4.0 的地震皆為深震，其深度範圍從 60 至 200 公里不等。參考圖 4-15，篩選深度小於 40 公里的淺層地震進行分析，本區於大屯火山及烏來山區的地震群聚現象更為明顯，其震源深度集中於 20 公里以內，大多為規模 1.0 至 3.0 間的微小地震。圖 4-16 為地震深度小於 40 公里的淺層地震之累積規模分布圖，由於無較大規模地震之發生，分布曲線圖較為平滑，主要地震能量釋放是以大屯火山、烏來山區等地區為主，部分集中在臺北文山區與新店市交界附近。

表 4-2 所列為本區歷年分析所得 12 個地震之震源參數解與發震時間、經緯度、深度與規模等參數，其對應震源機制解與分布位置如圖 4-17 所示。當中深度較深的 5 個中深源地震，震源機制解幾乎皆為逆衝斷層型式，主要由菲律賓海板塊向北隱沒至菲律賓海板塊下方所引起；至於其他 7 個淺源地震則皆為正斷層型式，主要受到琉球島弧張裂作用西移而連帶引發產生。

在地震活動的時序統計方面，從長期觀測資料來看（如圖 4-18），本區在 1909 年 4 月曾發生芮氏規模 7.3，深度 80 公里的大地震，除此之外並無規模 7.0 以上的地震發生，若以深度小於 40 公里的淺源地震（參見圖 4-19），本區在 1988 年 7 月曾在大屯火山區發生芮氏規模 5.3，深度 5.31 公里的地震，至於 1940 年以前雖然也有數個規模超過 5 以上的地震，但臺灣地震觀測要到 1973 年遙記式地震觀測網成立後所得到的震源深度才較為準確，而 1973 年前的震源深度則有待驗證。另從短期觀測資料來看（如圖 4-20），本區唯一芮氏規模超過 5 的地震發生於 1996 年 1 月，其芮氏規模與深度分別為 5.11 與 66.86 公里。整體而言，本區月平均地震個數為 11.5 個，而集集地震前的月平均地震個數較集集地震後多，此現象對於淺源地震尤其明顯（如圖 4-21）。

### 3、災害與特殊地震回顧概述

由歷史文獻記載可大致歸納數例曾發生於臺北分區的災害性地

震：

- (1) 1694 年曾在臺北盆地內發生規模 7 的大地震，造成海水由關渡侵入，淹沒盆地的西北部，形成歷史上的「康熙臺北湖」。
- (2) 1867 年臺灣北部地震，基隆港海水向外海流出，港內海底露出，瞬間巨浪捲進，造成重大災害。淡水也有地裂引發海嘯，數百人被淹死。
- (3) 1909 年在臺北盆地發生規模 7.3 的深層地震（深 80 公里），造成 60 人死傷，1172 棟房屋損毀。

## （二）臺中分區

### 1、區域概述

臺中分區於地理位置上隸屬於臺灣西北部與中部，範圍涵蓋桃園、新竹、苗栗、臺中、南投與彰化北邊等地區，地體構造上橫跨濱海、平原、丘陵與麓山帶，為歐亞大陸板塊的一部份。本區受到歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊之碰撞推擠的影響，斷層分布相當密集，且多為逆衝斷層，地震活動以淺源地震為主，因人口分布密集，歷史上曾發生過幾次嚴重的災害地震，如 1916~1917 年的南投地震系列、1935 年的新竹-臺中地震等。

根據中央地質調查所的斷層分類標準，本區共計有 4 條第一類活動斷層，包括獅潭斷層、神桌山斷層、屯子腳斷層與車籠埔斷層；另有多條第二類活動斷層與存疑性活動斷層，例如新城斷層、三義斷層、大茅埔-雙冬斷層、雙連坡斷層與彰化斷層等。

### 2、時空分布與特性

參考圖 4-22，本區在地震活動的時序統計上，若以 1999 年 9 月 21 日集集地震為界，於大地震發生之前本區每月平均地震個數僅約 85 個，但大地震發生之後至 2008 年止每月平均地震個數則為 221 個，兩者有非常明顯的差別。而從每年及每月個數統計圖（如圖 4-23），更可明顯發現 1999 年以前每年地震個數約為 1 千個左右，但 1999 年已暴增至 20248 筆地震，至 2008 年尚有 1482 筆地震，顯示因受到集集地震餘震影響，本區整體地震活動度較過去增加許多，而至 2008 年底每月地震個數已有逐漸遞減接近集集地震發生之背景形態。Wu and Chiao（2006）曾針對集集地震發生前（1999 年

1 月至 1999 年 9 月) 之全臺灣規模大於 2 之地震個數進行時序統計分析，其結果顯示主震發生前持續數個月每月地震個數都有明顯偏低趨勢。

從長期觀測 (1901~2008 年) 資料分析，本區地震個數與規模及深度分布如圖 4-24，顯示本區地震活動有 91% 集中在規模 3 以下，即多數為微小地震；至於在地震深度剖面與統計方面，則有 86% 的地震震源位在淺層 20 公里範圍內 (如圖 4-25)。從空間分布的角度而言，本區地震活動密集區主要位於通霄-埔里地震帶，成西北-東南走向之線形分布，地震規模小而且淺，應與板塊碰撞前緣的斷層作用有關。另外，位於彰化-員林一帶之北港高區與桃園西側之觀音高區，在地質條件上因受基盤高區影響，屬於地震活動稀少的區域 (圖 4-26)，可能是因為這些地區地底下地溫梯度較同深度之其他地區高，岩石剛性較弱，變得比較具有塑性，不容易累積地震變形能量於岩石之中，因此就不易引發地震 (王乾盈，1997)。

### 3、災害與特殊地震回顧概述

根據臺灣地區自 1901 年迄今臺中分區規模大於 5.5 之地震時序圖 (圖 4-27) 顯示，本區災害性地震發生之頻率並不如嘉南分區高。但由災害性地震發生的位置顯示 (圖 4-28)，本區較大地震多發生在島內陸地且深度都淺，再加上臺中分區為人口稠密區，使得近百年來臺灣本島災情最慘重的兩次地震 (1935 新竹-臺中地震、1999 集集地震)，都給臺中分區帶來嚴重災情。

其中 1935 年 4 月 21 日 6 時 2 分新竹-臺中地震，震央位於北港高區北端，大安溪中游流域發生芮氏規模 7.1 的強烈災害地震，有感區域幾乎遍布全島，更遠達福州、廈門地區 (如圖 4-29)。

至於 1999 年 9 月 21 日的集集地震則為島內 20 世紀以來最大的地震，芮氏規模高達 7.29，造成大量的建築物損壞及人員傷亡。另外 2000 年 5 月 17 日臺中德基地震，芮氏規模 5.3，屬於集集地震之餘震，造成 3 死 8 傷，中橫公路也因此中斷，災情頗為嚴重。2000 年 6 月 11 日南投地震，芮氏規模 6.7，亦屬於集集地震之餘震，造成 2 死 36 傷，中橫公路、埔霧公路因落石坍方而阻斷。以下分別就這三個地震的時空特性略加描述：

- (1) 集集地震序列：1999 年 9 月 21 日 1 時 47 分在南投集集附近發生芮氏規模 7.29 的強烈地震，震源深度 8 公里，地震報告如圖 4-30。主震震源機制初動解為走向  $5^\circ$ 、傾角  $34^\circ$ 、滑移角  $65^\circ$ （辛在勤等，2000），屬於逆衝附帶左移分量之斷層破裂型態，由車籠埔斷層及大茅埔-雙冬斷層所引發，造成長約 100 公里之地表破裂帶。因斷層面解係反應震源受力破裂情形，集集主震及日月潭附近之餘震都表現出逆衝斷層之型態，而在車籠埔斷層以西及中央山脈東翼有一些正斷層出現，代表受主震逆斷層壓力作用後，於這些區域釋放壓力，並顯現出張力型態。此次地震為臺灣陸地近百年來規模最大的地震，本局自由場強地動觀測網在全臺各測站都收到相當完整的加速度紀錄，由此繪製之等震度圖（如圖 4-31）可顯示震度六級以上的範圍相當大，故造成死亡人數多達 2,415 人，受傷人數達 11,305 人，房屋全毀 51,711 棟，毀損 53,768 棟。參考圖 4-32，由本局自由場強地動觀測站甚至收到 1G 以上的地動加速度峰值（PGA），實際勘查災區發現斷層破裂造成地表破裂之水平變位最大達 7 公尺，而垂直最大變位達 4 公尺，全臺各地均可感受到其威力（如圖 4-33），甚至臺北盆地部份地區也因地形效應達震度五級，而造成大樓倒塌。主震之後餘震不斷持續時間 1 年以上，規模大於 5 的餘震，總計 47 個，規模 6 以上的餘震有 9 個，主震後整個餘震範圍超過 100 公里，餘震分布幾乎佔據超過半個臺灣範圍。
- (2) 臺中德基地震序列：2000 年 5 月 17 日 11 時 25 分在臺中德基附近發生芮氏規模 5.6 的顯著地震，震源深度 9.7 公里，地震報告如圖 4-34，最大震度臺中德基達 4 級，震度 3 級以上的區域範圍不大，臺中、南投地區可感受到較明顯搖晃，其等震度圖分布如圖 4-35。該地震屬於集集地震之餘震序列，震源機制解為走向  $275^\circ$ 、傾角  $70^\circ$ 、滑移角  $166^\circ$ ，屬於走向滑移斷層。由主震發生之前後地震分布情形（圖 4-36）及前後 7 天每日個數統計（圖 4-37），顯示主震發生前 7 天，震央附近的地震多發生在震央右側，主震後餘震則填滿震央左側之空白區域。而主震前每日地震個數約 20 個，主震發生後 2 天每日地震個數超過 100 個，第 3

天每日地震個數已在 50 個以下並逐漸遞減，第 7 天地震個數已接近主震前之平均個數。

- (3) 南投地震序列：2000 年 6 月 11 日 2 時 23 分在南投日月潭附近發生芮氏規模 6.7 的強烈地震，震源深度 16.2 公里，地震報告如圖 4-38，最大震度南投名間達 6 級，震度 5 級的範圍也很廣，幾乎全臺都有 3 級以上震度，因此全臺都感受到不同程度搖晃，其等震度圖分布如圖 4-39。該地震亦屬於集集地震之餘震序列，震源機制解為走向  $16^\circ$ 、傾角  $38^\circ$ 、滑移角  $88^\circ$ ，屬於逆衝斷層。由主震發生之前後地震分布情形（圖 4-40）及前後 7 天每日個數統計（圖 4-41），顯示主震發生前 7 天，震央周圍幾乎沒有地震分布，但主震後餘震快速填滿周圍空白區域。而主震前每日地震個數約 20 個，主震發生當天每日地震個數為 329 個，第 2 天每日地震個數降為 224 個，第 3 天個數已在 100 個以下並逐漸遞減，顯示此次地震雖在前 2 天造成大量餘震，但 2 天後每日餘震個數已快速遞減。

### （三）嘉南分區

#### 1、區域概述

嘉南分區於地理位置上隸屬於臺灣西南部的上半部，範圍涵蓋彰化南邊、雲林、嘉義與臺南等地區，地體構造上橫跨濱海、平原、丘陵與麓山帶。受到歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊的碰撞擠壓作用，西部麓山帶由一連串緊密不對稱的褶皺和逆衝斷層所組成，亦在本區造就許多南北走向的逆衝斷層。

根據中央地質調查所的斷層分類標準，本區共計有 4 條第一類活動斷層，包括東西走向的梅山斷層與新化斷層，以及南北走向的大尖山斷層與觸口斷層；另有多條存疑性活動斷層，例如九芎坑斷層、木屐寮斷層、六甲斷層、左鎮斷層和後甲里斷層等，這些斷層多半皆為南北走向之形態。

以地質情況而言，本區之地層分布主要為全新世-更新世之沖積層、階地堆積層、六雙層、古亭坑層、卓蘭層與桂竹林層等，而斷層線由東往西主要切過六雙層、階地堆積層與沖積層等，岩性由砂及粘土所構成，層次大致上無較大的變化且斷層兩側的岩性差異很小。

## 2、時空分布與特性

參考圖 4-42，從短期觀測（1994~2008 年）資料分析地震活動之時間序列，自 1994 年以來共發生 4 個規模大於 6 以上地震，每月平均地震個數為 175 個，累計平均每月累計規模為 4.19，規模大於 3 以上之每月平均地震個數為 5.89 個。由圖 4-43 之分布圖可看出，地震活動多集中在陸地，西部外海地震數量較少；陸地上除北港高區地震數目明顯稀少之外，其餘地區均有相當密集之地震活動。本區震源深度幾乎集中於 40 公里以內，屬於板塊內（intra-plate）的淺層地震。

臺灣中西部的地震活動分布主要受到北港高區基盤的影響（Wang and Shin, 1998；Wang et al., 2000）。本區計算所得 b 值相較於南北其他分區為低，推測其原因亦應與北港高區有關，因其阻擋造成往西北方向推擠的板塊作用力於西部麓山帶長期累積應力所導致。本區自 1994 年至 2008 年間的 a 值與 b 值分布圖如圖 4-44 所示，由圖中可歸納三點結果：

- (1) 圖中 A 子區具有較高 a 值與 b 值，顯示該子區為應力作用較強烈且易釋放能量的破裂帶，因此地震活動量密集但多為小地震。
- (2) 圖中 B 子區及 C 子區具有較低 a 值及 b 值，顯示這兩個子區為應力作用較強烈但不易釋放能量的破裂帶，因此地震活動量少但多為規模較大地震。
- (3) 整個嘉南分區的研究顯示，a 值變化介於 3.5~5 範圍之間，而 b 值則介於 0.6~1.2 範圍之間，顯示本區地質構造相對複雜且差異較大。

## 3、災害與特殊地震回顧概述

嘉南分區於 1900 年至 2008 年共發生 18 個規模大於 6 以上之地震（參見表 4-3、圖 4-45），其中斗六地震、梅山地震、中埔地震、新化地震及白河地震等 5 個地震均收錄於「臺灣十大災害地震圖集」（1999）。較著名的地震災害如下：

- (1) 斗六地震：1904 年 11 月 6 日凌晨 4 時 25 分，嘉義、雲林地區發生芮氏規模 6.1 的災害性地震，臺灣全島均有感（參見圖 4-46）。
- (2) 梅山地震：1906 年 3 月 17 日晨 6 時 43 分，嘉義廳打貓支廳（嘉義縣民雄鄉）與梅仔坑支廳（嘉義縣梅山鄉）附近發生芮氏地震

規模 7.1 的強烈災害地震。震央位於北緯 23.550 度、東經 120.450 度，震源深度 6 公里，臺灣全島及澎湖感受震度均為輕震（震度 II 級）以上（參見圖 4-47）。

- (3) 中埔地震：1941 年 12 月 17 日凌晨 3 時 19 分，嘉義中埔附近發生芮氏規模 7.1 的強烈地震。震央位於北緯 23.400 度、東經 120.475 度，震源深度 12 公里，除臺灣島北端一隅及基隆感受之震度為震度 II 級之外，包括澎湖島均有震度 III 級以上（參見圖 4-48）。
- (4) 新化地震：1946 年 12 月 5 日晨 6 時 47 分，臺南市東北方之新化與那菝林附近發生芮氏規模 6.1 的災害地震。震央位於北緯 23.07 度、東經 120.33 度，震源深度 5 公里。根據震源機制解與新化斷層位置研判，此地震由右移之走向滑移斷層所引發（參見圖 4-49）。
- (5) 白河地震：1964 年 1 月 18 日 20 時 4 分，嘉南地區發生芮氏規模 6.1 的災害地震。震央位於北緯 23.2 度，東經 120.6 度，震源深度 18 公里。根據震源機制解，此地震之成因是由接近南北向的逆衝斷層所引起（參見圖 4-50）。
- (6) 嘉義瑞里地震：1998 年 7 月 17 日 12 時 51 分，嘉南地區發生芮氏地震規模 6.2 的災害地震。參見圖 4-51，震央位於北緯 23.5 度、東經 120.66 度，震源深度 2.8 公里。根據震源機制解，此地震之成因是由東北-西南走向的逆衝斷層所引起，餘震活動持續約 2.5 個月（參考圖 4-52）。
- (7) 嘉義地震：1999 年 10 月 22 日 10 時 18 分，嘉南地區發生芮氏規模 6.4 的災害地震。參考圖 4-53，震央位於北緯 23.52 度、東經 120.42 度，震源深度 16.6 公里。根據震源機制解，此地震應由逆衝斷層所引起。稍後，同一日 11 時 10 分，嘉南地區再發生一起芮氏規模 6.0 的災害地震。參考圖 4-54，震央位於北緯 23.52 度、東經 120.42 度，震源深度 16.7 公里。根據震源機制解與餘震分布研判（張建興，2004），此地震應由右移之走向滑移斷層所引起。餘震活動持續約 3.5 個月（如圖 4-55）。

#### (四) 高屏分區

## 1、區域概述

高屏分區於地理位置上隸屬於臺灣西南部的下半部，範圍涵蓋高雄、屏東以及臺東左側中央山脈範圍等地區。本區於地體構造上介於兩種狀態轉變的特殊地帶，北邊區域承受歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊相互碰撞擠壓，屬於應力壓縮的狀態，而南邊區域則位於歐亞大陸板塊向東隱沒至菲律賓海板塊底下的隱沒帶，呈現應力拉張的狀態，可能是因為北邊壓縮與南邊拉張的關係，導致本區地體構造有向西南逃脫的現象。

根據中央地質調查所的斷層分類標準，本區共計有 1 條第二類活動斷層，即高雄縣境內的六龜斷層，呈北北東走向，由北邊的竹角坑經六龜至燒炭坑，長約 17 公里，性質主為左移斷層，斷面部分鉛直或呈高角度西傾，此斷層附近區域亦是本區主要地震活動較活躍區。另有 1 條存疑性活動斷層，即全長約 70 公里的旗山斷層，位態大致呈東北走向，傾角向東的逆斷層，由 GPS 資料可以發現斷層兩側有明顯的逆衝及右移現象，但是在此區域多為小規模地震。另有數條尚待考證的斷層，包括南北向的潮州斷層，以及小崗山、鳳山與恆春斷層等。

旗山斷層與潮州斷層為本區兩條最主要的構造線，可依此將本區劃分成三部分，分別是旗山斷層西北邊的西部麓山帶、旗山斷層與潮州斷層之間的沖積平原區、以及潮州斷層東邊的中央山脈區域。

## 2、時空分布與特性

中央氣象局自從 1994 年開始連續記錄觀測至今，本區共計發生 3 個芮氏規模大於 6 之地震，規模介於 5~6 之間的有 24 個，扣除大地震所帶來的餘震序列，平均每個月發生 166 個地震(參考圖 4-56)，平均累積規模為 4.51 (如圖 4-57)，最小完整規模為 1.7。若範圍縮小至規模大於 3 以上的地震，則平均每個月有 10 個(如圖 4-58)。整體而言，本區相較於其他各分區為地震活動比較平靜的區域。

從長期觀測資料分析可知(如圖 4-59)，從 1900 年以來本區規模大於 6 的地震個數僅有 6 個，其中 4 個發生於屏東外海，1 個發生於潮州斷層北段，另 1 個則發生於阿里山東南方。

高屏分區主要可以分成三個地震活動區加以討論：

- (1) 利稻桃源區域：從 1994 年到集集地震發生以前，環繞在臺東利稻與高雄桃源之間發生的地震一直是高屏分區主要的地震活動，但是一個地震序列最多不超過 500 個地震，自從集集地震發生之後，此區的地震活動異常增多。參考圖 4-60，當 2001 年 6 月 19 日利稻東方發生一起規模 5.41 的地震之後，當日累積達 176 個餘震，合計大於最小完整規模的餘震共 647 個；接著在同年 12 月 10 日於利稻南方發生規模 4.63 的地震，其餘震大於  $M_c$  的有 154 個；隔了大約 4 個月後，在 2002 年 3 月 1 日於桃源東南方發生規模 4.59 的地震，並夾帶超過  $M_c$  的地震共 129 個；另外，在 2003 年 12 月 10 日臺東成功規模 6.4 的地震發生後隔月，於利稻南方又發生規模 5.15 的地震，其餘震大於  $M_c$  共計 489 個，由於這個地震序列的時空分布和臺東成功地震很接近，因此被視為臺東成功地震的餘震；在 2008 年 3 月 5 日凌晨，正當臺灣大地動力學國際合作研究計畫（TAIwan Integrated GEodynamics Research，簡稱 TAIGER）如火如荼的進行炸測之際，在桃源西北方發生規模 5.22 的天然地震來攪局，後續亦帶來數百個的餘震。
- (2) 潮州斷層區域：在高屏分區的島內地震活動中，本區為次要的活動區，位置大約在三地門地震測站附近，即潮州斷層的中段，平均每月會有數十次的地震在此發生，有時候也會有規模大於 4 的地震，並伴隨餘震發生。
- (3) 屏東外海區域：屏東西南方主要地體構造，為歐亞大陸板塊於南中國海海盆處，沿著馬尼拉海溝隱沒至菲律賓海板塊底下，並因此形成呂宋島弧。在此區域亦常有規模大於 3 的地震發生，最令人印象深刻的地震當屬 2006 年 12 月 26 日恆春地震，除人員財產損傷之外，更因位居西太平洋樞紐之國際通訊海纜中斷而重創東南亞地區網際網路。

### 3、災害與特殊地震回顧概述

高屏分區於 1994 年之後只發生過 3 個規模超過 6 的地震，第 1 個是 2000 年發生於阿里山東南方的地震，另 2 個則為 2006 年恆春地震，其中恆春地震造成了 2 人死亡。分述如下：

- (1) 阿里山南方地震：2000 年 7 月 29 日凌晨在阿里山東南方發生一起規模 6.1 的地震，深度僅 7.4 公里，圖 4-61 與圖 4-62 為正式報告與等震度圖。這起地震是高屏分區近百年來於陸上唯一規模大於 6 的地震，幸好當時並未造成任何的傷亡，其餘震大約持續數月後即平靜下來（如圖 4-63），而從其規模區段與個數分布圖來看（如圖 4-64），大部份的餘震分布在規模 1.4 至 2.0 之間。
- (2) 恆春地震：在 2005 年 10 月中旬，於東經 119 度，北緯約 21 度處曾經在數日內密集發生了約 60 個地震，其中最大規模為 4.85，爾後一年之內，屏東外海地震活動似乎有較為頻繁之趨勢。在 2006 年 12 月 26 日晚間 8 點 26 分，屏東西南方發生了規模 6.96 的地震，正式報告與等震度圖分別如圖 4-65 與圖 4-66。經過 8 分鐘之後，在前起地震之西北方又發生另一起規模 6.99 的地震，圖 4-67 與圖 4-68 為正式報告與等震度圖。當時共造成 2 人死亡以及財物損失，而位於岸邊的潮位站則記錄到將近 40 公分的水位變化。根據中央氣象局寬頻地震網經震波逆推後所得到的震源機制解推斷，這兩起地震分別為正斷層與走向滑移斷層（參考圖 4-69）。圖 4-70 為主震發生後 4 個月個別的餘震分布，很明顯可以看出餘震幾乎都圍繞著主震周圍發生，且分布相當密集。若從時間分布來看（如圖 4-71），從主震發生後到月底短短數日之間，累積的餘震接近上千次，直到 2008 年底仍持續不斷有餘震發生，這些餘震的規模分布多落於規模 2.2 至 3.0 範圍之間（參考圖 4-72）。

## （五）臺東分區

### 1、區域概述

臺東分區於地理位置上隸屬於臺灣東部，為臺灣三大地震帶之東部地震帶南段，範圍涵蓋臺東中央山脈右側與花蓮縣瑞穗鄉以南等地區。地體構造上北部為花東縱谷區中南段；中、南部為歐亞大陸板塊向東隱沒至菲律賓海板塊之隱沒帶南端，包括呂宋島弧、臺東海槽、花東海脊和南縱海槽；西部為中央山脈南段；東部則為花東海盆與加瓜海脊。本區同時兼具有構造上的轉折、弧陸碰撞與海槽活動等特性，震源深度深淺都有，尤其是在成功與臺東之間是構造上樞紐，地

震活動最頻繁，機制上也最複雜。

根據中央地質調查所的斷層分類標準，本區共計有 3 條第一類活動斷層，位於花東縱谷區中段，包含有玉里斷層、池上斷層及奇美斷層，為 1951 年縱谷地震系列發震所在位置。另有 2 條第二類活動斷層，位於花東縱谷區南段，包含有鹿野斷層及利吉斷層，2006 年 4 月 1 日臺東地震序列即發生於此。

## 2、時空分布與特性

從長期觀測（1903~2008 年）資料分析本區之地震活動特性發現（參考圖 4-73），自 1910 年起大約每隔 20 年即會發生規模 7.0 以上之大地震，最近一次為 1996 年 9 月 5 日蘭嶼地震。若統計規模 6.0 以上的地震發生率，自 1903 年算起至 2008 年共 105 年內計有 59 個，平均每兩年即發生一次。參考圖 4-74，若從近期觀測（1994~2008 年）資料分析，扣除特殊地震序列後之每日平均個數為 7 個。

針對近期（1994~2008 年）的時序統計分析，臺東分區主要有三個地震序列：1996 年 9 月 5 日蘭嶼地震、2003 年 12 月 10 日臺東成功地震與 2006 年 4 月 1 日臺東地震。其中蘭嶼地震序列的主震規模最大為 7.07，而臺東成功地震序列的總地震月個數最多超過 4000 個。從日個數統計圖來看，在臺東成功地震主震發生前並無明顯前震活動增加的現象。相反地，蘭嶼地震之後到臺東成功地震發生之前約有 4 年多的時間（1998 年 6 月至 2003 年 3 月），臺東分區反而是處於較低活動度的情況，若從不同規模區段的月個數統計方式來分析，則發現主要減少的是規模 2 點多的地震（參見圖 4-75）。

自 2003 年 12 月 10 日臺東成功地震序列發生之後，本區相較於背景活動而言，地震活動度相對活躍，大約每間隔 2 年即發生一群明顯之地震活動，其中最大地震的規模介於 5.11 到 6.23 範圍之間。但參考過去的歷史紀錄，本區也曾有規模超過 6.0 的地震發生之後一、二週內並未有明顯餘震活動的紀錄，此乃本區特色之一。

從空間分布的角度來看（參見圖 4-76），長期以來規模 6.0 以上的地震多發生於弧陸碰撞地區以及臺東海槽一帶，至於中小規模地震的發生位置也與前者相近，尤其是成功附近以及成功至臺東之間是本區地震發生密度最高的地方。另外從深度剖面分析（參見圖 4-77），

在成功以北地區即花東縱谷區中南段之地震活動大致上震源深度都小於 60 公里，在成功以南逐漸有隱沒帶較深層的地震出現，且愈往東南方向震源深度愈深。由圖 4-77 (c) 與圖 4-77 (d) 兩者相比較可看出，1994 年之後明顯收錄到許多東南部震源深度在 150~200 公里間之地震，這可能是因為地震網的偵測能力提升所致。

整體而言，臺東成功附近是本區地震活動度最高的區域，發震機制因位置關係所以較複雜。臺東在地理位置上與花蓮分別位處於花東縱谷區之南北端，除地形與地質上都有相似的複雜度外，在 GPS 的絕對速度場向量上也有類似的轉折現象。此外本區隱沒帶較深層的地震活動在 2006 年 12 月 26 日恆春地震發生之後約有 1 年的時間變得較活躍，但其數量仍少於東北部隱沒帶的地震產量。

關於臺東分區的地震活動特性參數如 a 值、b 值及最小完整規模  $M_c$  之變化列如表 4-4。從不同時期的比較來看，長期觀測（1903~2008）資料所得 a 值、b 值分別為 6.17 與 0.68，而短期觀測（1994~2008）資料所得 a 值、b 值分別為 6.40 與 0.87，兩者結果之差異可能是因為 1903 至 1994 年之間曾發生多個較大規模地震所導致。至於本區可偵測到的最小完整規模  $M_c$  為 2.1，比 TTSN 時期的 2.7 下降許多，顯示偵測能力明顯提升。

### 3、災害與特殊地震回顧概述

自 1994 年以來本區曾造成災害發生的地震，計有 2003 年 12 月 10 日臺東成功地震序列以及 2006 年 4 月 1 日臺東地震序列。另外 1996 年 9 月 5 日蘭嶼地震序列因主震規模達 7.07，為本區近期以來最大的地震且帶來大量的餘震，亦具有其代表的特殊性。以下分別就這三個地震序列的時空特性略加描述，圖 4-78 為震央位置及震源機制解。

(1) 蘭嶼地震序列：1996 年 9 月 6 日早上 7 時 42 分於蘭嶼附近發生了規模 7.1 之顯著地震，震源深度 14.8 公里，正式報告如圖 4-79，全臺各地均有感受震度，所幸只造成蘭嶼當地部分道路受損，臺灣本島並無災情傳出。參考圖 4-74 之時序分析資料顯示，主震發生前並無明顯的前震現象（許麗文與何美儀，1998），而餘震的發生主要集中在一週之內，大約二至三個月後地震活動度

回復到背景值。從個數與規模對應圖中（如圖 4-80），也可看出主要較大能量的釋放都集中在一週之內。在空間分布方面（如圖 4-81），根據主震發生後一週內餘震分布資料，於東西剖面大致呈現向東傾斜且傾角約 30 度左右的趨勢，但南北剖面趨勢不明顯。總計規模 5.0 以上的餘震共有 4 個，都發生在主震發生後 12 小時之內。

- (2) 臺東成功地震序列：2003 年 12 月 10 日於臺東成功附近發生了一規模 6.4、震源深度 17.7 公里之顯著地震，正式報告與等震度圖分別如圖 4-82 與圖 4-83 所示，全臺各地均屬有感震度，根據消防署提供的資料大約有 15 人受傷。臺東成功地震序列是本區自 1994 年以來餘震數量最多的一個序列地震，單日餘震個數曾超過上千個（如圖 4-74），規模 5.0 以上之餘震約在一週~一個月內發生（如圖 4-84），主要餘震持續了近半年，之後附近地區的活動度仍相當活躍。在空間分布方面（如圖 4-85），根據主震發生後一週內餘震資料顯示，其分布略呈北北東走向，深度剖面則往東南方向傾斜，幾個 5.0 以上之餘震發生在東半部，其他中小規模的餘震則大部份集中在陸地上。
- (3) 臺東地震序列：2006 年 4 月 1 日於臺東附近發生了一規模 6.2、震源深度 7.2 公里之顯著地震（正式報告與等震度如圖 4-86 與圖 4-87），震央位置接近鹿野斷層，根據消防署統計資料顯示有部分建物受損，其中以臺東縣消防局受損最嚴重。相較本島其他淺層地震而言，該地震所引發的餘震數量不算多，雖單日的餘震個數曾超過 300 個，但衰減速度很快不到一週即降到日個數約二、三十個，較特殊的現象是並未引發規模大於 5 的餘震（如圖 4-88）。爾後直到 4 月 16 日，又在臺東外海近岸處再發生一個規模 6.0、震源深度 17.9 公里的顯著地震（正式報告與等震度如圖 4-89 與圖 4-90）。這兩個地震的震源機制很不一樣，後者也未傳出災害，但同樣有帶來稍明顯的餘震活動，且在三、四天後活動度回歸平時。根據空間分布分析兩個地震的活動型態（如圖 4-91），從南北向與東西向深度剖面上較難看出破裂面趨勢。但推測前者應與斷層活動有關，後者則為弧陸碰撞的結果。

## (六) 花蓮分區

### 1、區域概述

花蓮分區位於臺灣東部地震帶北段與東北地震帶之交界區域，範圍涵蓋中央山脈東側由宜蘭縣南澳鄉以南至花蓮縣瑞穗鄉以北範圍等地區，其空間範圍約為北緯 23.55 度至 24.55 度，東經 121.1 度至 123 度之範圍。在地理構造上，本區北部為蘭陽平原至中央山脈北段；西部為中央山脈東側；南部為花東縱谷及海岸山脈北段；東部為太平洋，包括沖繩海槽、琉球島弧、和平海盆及南澳海盆等。本區位於歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊之碰撞擠壓交界處，地體構造相當複雜，一方面菲律賓海板塊沿著琉球海溝隱沒到歐亞大陸板塊底下形成琉球島弧，另一方面菲律賓海板塊則沿著馬尼拉海溝俯衝到歐亞大陸板塊之上並形成呂宋島弧，因此本區地震活動的頻率、數量及規模均可說是全臺灣最活躍的區域。

花蓮地區不僅小地震活躍，歷史上也曾有數次發震於花蓮地區之有感地震造成震災損失，如 1986 年 11 月規模 6.7 之有感地震，造成臺北縣中和地區之建築倒塌；1990 年 12 月規模 6.5 與 6.7 之有感地震，造成中橫、蘇花公路坍方，多處房屋龜裂；1995 年 2 月規模 5.8 之有感地震，造成中橫公路落石擊中遊覽車等等，因此花蓮地區之地震活動一向是中央氣象局地震監測之重點區域。除例行地震活動觀測與分析之外，花蓮地區的 GPS 大地形變、地下水位變化、地磁等等不同地球物理資料的觀測，也是花蓮分區的重要課題，期能透過各種不同類型的資料觀測與整合分析，能夠對花蓮分區之地震活動特性得到更詳盡的瞭解，進而嘗試解析地震前兆現象與其他相關訊息。

根據中央地質調查所的斷層分類標準，本區共計有 1 條第一類活動斷層，即米崙斷層，位於花東縱谷北端、米崙台地西側邊界，北起七星潭海岸，南至花蓮市美崙山西南側，向南延伸漸不明顯。最近的一次歷史地震為 1951 年的花蓮外海地震，造成米崙台地地表破裂。另有 1 條為第二類活動斷層，即月眉斷層，並無較確切的斷層露頭證據佐證，僅有地形上的證據。主斷層線推測位在海岸山脈西緣與花東縱谷交界上，斷層兩側的地塊作相對的位移，亦有學者稱之為縱谷斷層。

## 2、時空分布與特性

由地震活動的時序統計（參見圖 4-92）可見，花蓮分區發生較大規模的地震頻率相當頻繁，在 1970 年以前即有多次規模 7 以上的災害性地震，最大一次發生在 1920 年 6 月 5 日，地震規模 8，震央約在花蓮東方近海，而由 1973 年現代化觀測儀器開始之後的統計資料（參見圖 4-93）來看，每月約有接近 600 個地震，幾乎佔臺灣地區整體地震個數的 40~50%，1994 年 6 月 5 日規模 6.5 南澳地震發生後，甚至帶來單月超過 4000 個的餘震活動，由此可見花蓮分區地震活動之活躍。

花蓮分區的地震活動特性參數  $a$  值、 $b$  值之空間分布如圖 4-94，圖中可見  $a$  值高區即代表地震數量較多的區域，集中在南澳一帶，不僅是本區地震數量較多的區域，甚至可說是整個臺灣地區地震活動數量最高的區域。至於  $b$  值有 2 個低區，約在花蓮市附近與近海一帶，以及東部外海部份，可視為較可能發生中大型有感地震之區域，與後述本區 2 子分區大致相符。另外，本區可偵測之最小完整規模  $M_c$  為 2.0，比臺灣遙記式地震觀測網（TTSN）時期降低許多，期待未來觀測儀器及測報技術日益精進，能有效觀測規模更小之地震，以降低最小完整規模數值。

由於花蓮分區的範圍廣大，若僅做概括性的統計分析容易將不同區域與構造特性的地震活動予以混淆。有鑑於此，於本文中將花蓮分區細區分為 2 個子區，包括花蓮 A 區，為空間範圍（東經 121.45 度、北緯 24.55 度）、（東經 121.1 度、北緯 23.55 度）、（東經 122.5 度，北緯 23.55 度）之三角形區域內的地震，主要是希望將宜蘭南澳之地震活動加以區隔，並著重於靠近花蓮地區陸地附近之地震；花蓮 B 區，空間範圍約為由蘭陽平原向東南方延伸出去之斜長條狀區域，主要目的用於分析因大型地體構造互動所引發之地震。花蓮 A 區及花蓮 B 區之地震特性完全不同，但均常有各種深度之規模 5.5 以上中大型地震發生（如圖 4-95），2 區分述如下：

### （1）花蓮 A 區

本區域之地震活動經常以群震之方式出現，亦即於短時間（數日~1、2 周）之內密集出現規模不大之地震群，大多數群震之後不

一定會伴隨發生規模較大之有感地震。但根據觀測經驗，若在秀林至吉安之間發生密集地震群之後，經常隨之發生較大規模之有感地震，目前觀測到的案例與現象如下：

- A. 1986/04/09 於秀林至吉安地區發生密集群震，持續約 5~6 日，之後地震活動歸於平靜，1 個月後發生 1986/05/20 規模 6.5、5.76 之有感地震（參見圖 4-96）。
- B. 1995/01/03 於秀林至吉安地區發生密集群震，持續約 1 周，之後地震活動恢復正常，02/20 該地區又出現一群小地震，隨即發生 1995/02/23 規模 5.77 之有感地震（參見圖 4-97）。
- C. 1995/11/04 於秀林至吉安地區發生密集群震，持續約 2 周，個數超過 300 筆，之後地震活動歸於平靜，1 個月後發生 1995/12/18  $M_L$  5.8 之有感地震（參見圖 4-98）。
- D. 2000 年由於集集地震剛發生不久，臺灣地區之地震活動多與集集地震所帶來之後續影響有關，2000/07/13 規模 5.7 有感地震發生後在太魯閣東方發生群震，持續約 3 周，08/07 開始於太魯閣至和平之間發生群震，持續約 3 周，08/26~08/29 則於秀林至吉安地區開始發生群震。之後即在 2000/09/10 發生規模 6.2 之有感地震（參見圖 4-99）。
- E. 於 2005 年 1 月開始和平一帶及秀林至吉安地區均有地震活動增多之現象，2005/04/04 開始於秀林至吉安地區發生密集群震持續約 2 周，之後和平一帶發生密集地震，秀林至吉安地區亦持續有小地震發生，隨即於 2005/04/30 發生規模 5.62 之有感地震（參見圖 4-100）。

由前述觀測之案例可知，秀林至吉安一帶之群震可視為後續較大規模有感地震之前兆指標地震群，指標地震群與有感主震之時間間隔約 1~1.5 個月，且有感主震之震央多靠近花蓮市附近。但亦曾有發生群震之後並未伴隨中大型有感主震的案例，因此無法完全依此直接推估後續將有中大型有感地震發生，但指標地震群之出現仍可作為花蓮地區地震前兆之重要參考。

## (2) 花蓮 B 區

本區域之地震活動特性與 A 區不同，中大型地震之分布呈現西

北東南走向之帶狀分布，與地體構造關聯較高，由於 B 區中大型地震多位於外海，屬於臺灣地震觀測網網外區域，因此較難觀測規模較小之地震序列，但可由規模 5.5 以上、震源深度 30 公里內之中大型地震位置變化，觀測到震央隨時間而有由外海→陸地、陸地→外海遷移之特性，目前觀測到的案例與現象如下：

A.1983~1986 年：首先 1983 年至 1984 年 3 月為止，發生多起規模 5.5 以上地震，震央集中在 B 區東南部份；1984 年 5 月 20 日南澳東部發生規模 5.64 地震；1984 年 11 月 4 日規模 5.6 及 1985 年 1 月 13 日震央回到 B 區東南部份；1985 年 6 月 12 日規模 6.09 及 9 月 20 日規模 5.9，震央靠近宜蘭外海；1986 年 2 月 27 日規模 5.6 震央遷移到 B 區東南區域；最後 1986 年 7 月 30 日於宜蘭陸地發生規模 6.2 強震（參見圖 4-101）。

B.1994~1996 年：1994 年 3 月 17 日於 B 區東南發生規模 5.65 地震；1994 年 5 月 23~24 日同樣於 B 區東南連續發生多起規模 5.5~6.6 之地震；1994 年 6 月 5 日近岸發生規模 6.5 地震（南澳地震），隨之帶來大量餘震；1995 年 4 月 3 日規模 5.88 地震震央遷移至 B 區東南；1995 年 7 月 14 日規模 5.8 地震震央又回到接近陸地附近；最後 1996 年 3 月與 8 月發生多起規模 5.64~6.4 地震，震央位於 B 區東南（參見圖 4-102）。

C.2001~2002 年：2001 年 6 月 14 日於南澳近海發生規模 6.3 地震；12 月 18 日於 B 區東南發生規模 6.7 地震；2002 年 3 月 31 日於 B 區中段發生規模 6.8 強震（花蓮外海地震）；4 月 28 日在接近東經 123 度附近發生規模 5.54 地震；5 月 15 日震央遷移至宜蘭近海規模 6.2；之後 5 月 28 日及 7 月 11 日在東南部份發生規模 6.2 及 5.79 之地震（參見圖 4-103）。這一系列之地震規模都相當大，臺灣本島幾乎都有明顯震度，甚至形成震災。

D. 2004~2006 年：首先 2004 年 11 月 8 日在 B 區東南發生規模 6.58 及 5.5 地震；之後震央逐漸向宜蘭陸地遷移：2004 年 11 月 11 日於 B 區中段發生規模 6.09 地震，2005 年 3 月 5 日於宜蘭附近發生規模 5.9 及 5.96 之雙震；2005 年 9 月 6 日規模

6 震央遷移至 B 區東南部份；隔年 2006 年 7 月 28 日及 10 月 12 日分別發生規模 6 及 5.8 之地震，震央仍位於 B 區東南部份（參見圖 4-104）。

### 3、災害與特殊地震回顧概述

花蓮地區原本即是地震活躍的區域，歷史上曾發生多次災害性地震，由本局彙整之災害性地震表列可見（參見表 4-5）。自 1973 年臺灣遙記式地震觀測網開始觀測迄今，主要的災害地震包括 1986 年 11 月 15 日花蓮地震、1994 年 6 月 5 日南澳地震及 2002 年 3 月 31 日花蓮外海地震等三個地震，分述如下：

- (1) 花蓮地震：1986 年 11 月 15 日凌晨 5 時 20 分於花蓮市東方 22 公里海域發生芮氏規模 6.8、震源深度 15 公里之地震（參見圖 4-105），震央位置東經 121.8 度、北緯 24 度，臺灣全島有感震度 2 級以上，共 15 人死亡、62 人輕重傷，房屋全倒 35 戶、半倒 32 戶、至少有 200 餘戶以上的建築物受損。震央位置在花蓮，但由於震波能量傳遞至臺北地區後，因盆地之放大效應造成臺北地區之嚴重災損，甚至中和地區市場倒塌、人員傷亡嚴重。
- (2) 南澳地震：1994 年 6 月 5 日上午 9 時 9 分於宜蘭南澳發生芮氏規模 6.5、震源深度 5.3 公里之地震（參見圖 4-106），震央位置東經 121.8 度、北緯 24.4 度，本次地震造成 1 人死亡、1 棟建築毀損。雖然震災損失並非太大，但由於本次地震震央位置接近本島陸地，帶來數量驚人的餘震，系統觀測到的餘震個數甚至單月超過 4000 多筆紀錄。
- (3) 花蓮外海地震：2002 年 3 月 31 日下午 2 時 52 分於宜蘭南澳地震站東偏南 55 公里海域發生芮氏規模 6.8、震源深度 13.8 公里之地震（參考圖 4-107），震央位置東經 122.19 度、北緯 24.14 度，全島有感震度 2 級以上，宜蘭花蓮地區震度甚至達 5 級。本次地震造成 5 人死亡、6 棟建築物毀損、中橫公路落石、蘇花公路坍方等災情。

由前述分析可知，花蓮地震具有發生中大型地震潛勢之地區包括花蓮市區與鄰近近岸附近（花蓮 A 區）、由宜蘭陸地向東南延伸之構造區域（花蓮 B 區）、以及宜蘭南澳地區，而其中對於本島較具威脅

之災害性地震，仍以近陸地區為主要的觀測重點。參考圖 4-108，由花蓮 A 區之自 1980 年至 2008 年每日地震與最大規模做統計圖表可見，花蓮地區近岸之中大型地震發生約以 4~5 年為週期，但自 2002 年至 2008 年期間，本區發生之中大型地震週期拉長、數量偏少、且未曾發生規模 6 以上之強震，是否代表本區已蓄積相當之能量？接下來發生大規模地震之機率是否提高？這些都將是未來花蓮分區地震觀測之重點。期盼能藉由結合 GPS、地下水、地磁、電離層等其他地球物理觀測資訊，對花蓮地區地震之前兆與特性，得到更深切的瞭解。

## (七) 宜蘭分區

### 1、區域概述

宜蘭分區於地理位置上隸屬於臺灣東北部，範圍涵蓋臺北縣貢寮鄉三貂角至宜蘭縣南澳鄉以北範圍、東北外海等地區。宜蘭地區之地震活動主要與琉球海溝 (Ryukyu Trench)、琉球島弧 (Ryukyu Island Arc) 以及沖繩海槽 (Okinawa Trough) 之板塊隱沒構造有關 (參考圖 4-109)。琉球弧溝系統之板塊隱沒構造，前緣為琉球海溝，緊接為安山岩噴發造成之琉球島弧，島弧後方的弧後擴張為沖繩海槽。沖繩海槽為張裂作用造成，有許多海底火山，一般認為，臺灣東北部之宜蘭平原是沖繩海槽進入臺灣的部份，龜山島為其進入臺灣前噴發的火山島。約於三、四百萬年前，沖繩海槽可能在現今臺北市北方登陸，造成觀音火山及大屯火山，南移後再次爆發造成基隆火山 (造成金瓜石金礦)，目前已移到宜蘭外海。宜蘭地區尚無明確之斷層，地震活動主要與板塊構造有關。

### 2、時空分布與特性

宜蘭地區由 1900 至 2008 年長期觀測資料之規模 6 以上強震震央分布 (如圖 4-110) 顯示，震源深度大於 40 公里之深震震央位置的涵蓋範圍較為散亂，規模 7 以上之深震包括 1910 年規模 7.8、1947 年規模 7.2、1959 年規模 7.5、2004 年規模 7.1 等 4 個；震源深度小於或等於 40 公里之淺震震央位置分布則集中在宜蘭內陸與近海區域，即沖繩海槽構造區，規模 7 以上淺震包括 1917 年規模 7.7 與 7.2、1922 年規模 7.6 與 7.2 等 2 組雙震。

另由 1994 至 2008 年短期觀測資料之規模 5.9 以上強震震央分布

(如圖 4-111) 顯示，深震震央位置的範圍仍較為散亂，規模 6.5 以上深震包括 2002 年規模 6.8 與 2004 年規模 7.1 等 2 個；淺震震央位置分布則集中在宜蘭平原內，規模 5.9 以上淺震有 1995 年規模 6.5、2002 年規模 6.2，以及 2005 年 2 個規模 5.9 雙震。

由 1994 至 2008 年地震震央與地震規模之個數分布圖 (如圖 4-112) 顯示，深震震央位置較為散亂，幾乎涵蓋整個宜蘭地區；淺震震央位置則集中在沖繩海槽構造帶上。地震規模之個數分布 (earthquake magnitude distribution) 分為正方形之間隔 (interval) 個數與圓形之累積 (cumulative) 個數，實心圓與空心圓分別表示使用與未使用的資料點。地震規模與對應累積個數之對數值，在最小完整規模  $M_c$  與規模 5 之間，明顯呈現良好的線性關係。深震與淺震之  $M_c$  分別為 2.8 與 2.0， $b$  值分別為 0.84 與 1.06，顯示深震的大地震比率較高，淺震的小地震比率較高。由 2008 年地震規模之個數分布圖 (圖 4-113) 結果顯示，深震與淺震之  $M_c$  分別為 2.9 與 2.1， $b$  值分別為 0.90 與 1.01，顯示深震的大地震比率較高，淺震的小地震比率較高。比較 2008 該年與 1994 至 2008 年之  $M_c$  和  $b$  值結果，顯示整體的地震活動特徵大約相似。

圖 4-114 為 1994 至 2008 年地震個數等值圖。等值圖係以經緯度各 0.2 度為網格大小，地震個數已正規化 (normalize) 為 30 天之個數。深震與淺震的地震個數高值區主要皆分布在沖繩海槽構造區域。圖 4-115 則為 1994 至 2008 年累積規模等值圖，深震高值區在基隆外海與宜蘭外海，與板塊隱沒作用有關；淺震高值區則在宜蘭平原與近海，與沖繩海槽構造區域有關。

圖 4-116 為 1994 至 2008 年地震累積規模 (上圖) 與個數 (下圖) 之時間分布。規模 2.8 以上之深震個數只有在 1995 年具有異常高值 (受到 1995 年規模 6.5 牛鬥地震觸發餘震)，在其他時間之地震個數皆無明顯變化；規模 2.0 以上之淺震個數異常高值出現在 1994 年、2002 年與 2005 年，主要因為 1994 年規模 6.5 南澳地震、2002 年規模 6.2 宜蘭地震以及 2005 年規模 5.9 宜蘭雙震觸發大量餘震所引起。

### 3、災害與特殊地震回顧概述

1994 至 2008 年災害與特殊地震共有 4 個，主震震源機制及其 30 天內餘震分布如圖 4-117，其中有 3 個震源深度小於 10 公里，另一個震源深度為 40 公里，因震源深度較淺而觸發大量餘震，簡述如下：

- (1) 南澳地震：1994 年規模 6.5、深度 5 公里南澳地震之震源機制為走向滑移斷層，比對震源機制與餘震分布（東西向的分布趨勢），其斷層面應為東西走向之節面，故應為左移斷層。主震後觸發大量餘震，餘震分布主要集中在主震周圍，並以東西向之分布趨勢為主。
- (2) 牛鬥地震：1995 年規模 6.5、深度 40 公里牛鬥地震之震源機制為走向滑移斷層，比對震源機制與餘震分布，無法明確識別那一個節面為斷層面。由於震源深度較深，雖亦明顯觸發餘震，惟餘震數量明顯比 1994 年規模 6.5 深度 5 公里南澳強震少很多，分布也較不集中。
- (3) 宜蘭地震：明顯受到 2002 年 3 月規模 6.8 的花蓮外海地震所觸發，在 2002 年 5 月規模 6.2、深度 9 公里宜蘭地震發生後，觸發大量餘震，餘震範圍涵蓋很廣，沿臺灣海岸線，呈南北向帶狀分布，由花蓮到龜山島附近綿延約 100 公里。震源機制為正斷層（normal fault），比對震源機制與餘震分布，無法明確識別斷層面。
- (4) 宜蘭雙震：2005 年 3 月 5 日僅約相隔 1 分鐘，即發生 2 個規模 5.9、深度約 6 公里的宜蘭雙震。第一個規模 5.9、深度 6 公里地震震源機制為正斷層，其震源機制與 2002 年 5 月規模 6.2、深度 9 公里宜蘭地震之震源機制非常類似。第二個規模 5.9、深度 7 公里地震震源機制為走向滑移斷層，其震源機制與 1994 年規模 6.5、深度 5 公里南澳地震之震源機制非常類似，東西向的餘震分布趨勢亦與東西向的左移斷層機制吻合。

## 五、討論與展望

鑑於集集地震對於臺灣地區所造成的重大傷害，臺灣地區的地震觀測除延續目前既有觀測方式之外，並積極推動多項地震觀測儀器建置與更新任務。首先為寬頻地震觀測網的建置，寬頻地震儀為目前世界上最為進步

的地震觀測儀器，可提供研究地震及活斷層更為理想的資料，因此中央氣象局近幾年內將逐步的更新配備有寬頻地震儀的地震觀測站，以完成新一代的地震觀測與研究。其次是設置全球衛星定位系統，以連續監測臺灣地區地震前後的地殼變形，目前中央氣象局已在臺灣地區設置 150 個全球衛星定位系統的永久站，嚴密監測臺灣各地的地殼變動。最後則是建置地震即時警報系統，此系統建立的觀念主要是運用電磁波傳遞的速度遠快於地震波，因此在地震波尚未侵襲大都會區前，能將震源區發生地震的訊息及時的散發出去，將對地震減災上有很大的幫助，而此系統的建置目前也是臺灣地區地震觀測未來發展的一個很重要目標。

另外，中央氣象局目前正持續致力於提升地震測報之能力，以強化地震活動監測效益，為了達到減災與防災之目的，並訂定中期與長期計畫目標。中期計畫目標係就加強強震速報系統、運輸設施之強震監測系統、加速強震資料整合服務與推廣應用以及規劃地震預警系統而制定。長期計畫則規劃地震預警系統之建置及發展地震預測技術等目標。

展望地震測報的未來發展，如何使地震測報業務多元化及多功能是最主要的趨勢，在多元化方面，考慮地震預測在地震防災上的重要性，利用高科技產品的寬頻地震儀，更仔細記錄地震破裂過程中的訊息，配合長期觀測分析之地殼變動情況，將可提供地震觀測研究最佳的參考資料，因此整合測站有各種不同頻寬的地震觀測，是使地震觀測具有多功能的必要條件。多功能的地震觀測，使地震速報變成一般的作業型態，有利於地震活動的分析及彙整，提供地震活動的最新狀況，配合地震預警功能將可發揮地震測報在地震防災上的功能，並加速推動地震預測之研究使臺灣的地震相關研究躋身於國際水準之中。

以地震科學觀點而言，地震預報技術迄今尚未成熟，然根據分析全球過去發生災害性地震的特性，發現有些大地震在發生前可能會有一些異常地震活動與地球物理現象，如地殼變形、電離層濃度變化等，因此中央氣象局目前正與國內外地震學者專家合作，從事與地震有關異常現象之研究。本局並設有「災害性地震應變委員會」，主要成員為國內地震學者專家，若發現有異常之地震前兆，即邀集委員就地震異常現象作研判，如經確定有可能發生災害性地震時，即採取相關之應變措施。天命無常，人類利用智慧與科技研究自然之外，更應謀求與自然和諧共處之道；臺灣地區

雖地震頻仍，但若能注重建築防震，地震防護知識宣導，認識地震並進而瞭解地震，必可大幅減少災害，重歸大地之母的懷抱。

表 4-1、臺灣地區的地震活動特性參數表。

觀測時期	時間	a 值	b 值	M <sub>c</sub> 最小完整規模
長期 (約 109 年)	1900~2008	7.04	0.74	2.1
近期 (15 年)	1994~2008	7.21	0.91	2.0
背景活動 (15 年) *	1994~2008	7.08	0.91	2.0
TTSN 時期 (18 年)	1973~1990	6.90	0.85	2.4
CWBSN 時期(18 年)	1991~2008	7.26	0.91	2.0

\*背景活動 (林祖慰等, 2008)

表 4-2、臺北分區內之地震震源參數。

編號	發震日期 時間 (TST)	經度°	緯度°	深度 (Km)	芮氏 規模 M <sub>L</sub>	走向 Strike	傾角 Dip	滑移角 Slip	來源 (註)
1	1986/12/11 07:55:22.19	121.6763	25.0300	98.56	5.23	303.0	25.0	28.0	Harvard
2	1988/07/03 13:20:39.24	121.5680	25.1577	5.31	5.30	135.0	52.0	-90.0	CWB
3	1994/04/20 07:56:17.41	121.5658	25.1440	7.36	3.44	35.0	45.0	-65.0	CWB
4	1995/07/31 02:00:52.96	121.5823	25.1655	5.23	3.05	45.0	50.0	-70.0	CWB
5	1997/06/25 00:37:12.89	121.5798	25.1197	8.55	3.70	0.0	55.0	-70.0	CWB
6	2002/08/20 21:31:13.17	121.5892	24.7638	63.75	4.24	175.0	48.0	40.0	CWB
7	2002/10/07 14:00:46.56	121.5643	24.7420	78.49	4.10	185.0	68.0	45.0	CWB
8	2004/10/23 22:04:27.51	121.5638	25.0133	9.49	3.73	275.0	33.0	-105.0	CWB
9	2005/10/06 00:16:35.14	121.6360	24.8437	73.35	4.84	321.8	18.5	150.9	CCMT
10	2005/10/06 00:16:35.14	121.6360	24.8437	73.35	4.84	85.0	55.0	150.0	CWB
11	2005/12/05 18:15:29.98	121.5757	25.0033	10.68	3.68	75.0	75.0	-60.0	CWB
12	2008/02/14 12:13:46.69	121.6212	24.8173	9.37	3.36	40.0	45.0	-90.0	CWB

註：Harvard：全球中央地震矩張量解 (The Global CMT Project)、CWB：中央氣象局 P 波初動解 (First motion solution)、CCMT：中央氣象局中央地震矩張量解 (Centroid Moment Tensor solution)

表 4-3、1990 年至 2008 年嘉南地區 18 個規模大於 6 以上地震，備註欄中提到的斗六地震、梅山地震、中埔地震、新化地震及白河地震等 5 個地震均收錄於「臺灣十大災害地震圖集」。

編號	發震時間	規模	深度	備註
01	1904/04/24	6.1	0	
02	1904/11/05	6.1	0	斗六地震
03	1906/03/16	7.1	15	梅山地震
04	1906/04/13	6.4	20	
05	1927/08/24	6.5	20	
06	1930/12/08	6.3	20	
07	1930/12/21	6.1	10	
08	1930/12/21	6.0	10	
09	1930/12/22	6.1	10	
10	1930/12/22	6.2	10	
11	1941/12/16	7.1	15	中埔地震
12	1941/12/17	6.2	10	
13	1946/12/04	6.1	5	新化地震
14	1964/01/18	6.1	18	白河地震
15	1998/07/17	6.2	2.8	瑞里地震
16	1999/09/20	6.6	8	
17	1999/10/22	6.4	16	嘉義地震
18	1999/10/22	6.0	16	嘉義地震

表 4-4、臺東分區的地震活動特性參數表。

觀測時期	時間	a 值	b 值	Mc 最小完整規模
長期(約 105 年)	1903~2008	6.17	0.68	2.1
近期(15 年)	1994~2008	6.40	0.87	2.1
背景活動(15 年)	1994~2008	6.30	0.88	2.1
TTSN 時期(18 年)	1973~1990	5.85	0.73	2.7
CWBSN 時期(18 年)	1991~2008	6.43	0.86	2.1

\*背景活動（林祖慰等，2008）

表 4-5、1900~2008 花蓮地區災害性地震整理(摘錄自中央氣象局網站)。

年	月	日	緯度	經度	地 點	震深 源度	規 模	人口 死亡	房屋 全毀	備註
1908	1	11	23.7	121.4	花蓮萬榮附近	10	7.3	2	3	璞石閣附近有地裂及崖崩。
1909	11	21	24.4	121.8	大南澳附近	20	7.3		14	
1920	6	5	24	122	花蓮東方近海	20	8.3	5	273	
1951	10	22	23.9	121.7	花蓮東南東15km	4	7.3	68		花東縱谷地震系列。 山崩地裂,鐵路彎曲下沉。
1951	10	22	24.1	121.7	花蓮東北東30km	1	7.1			花東縱谷地震系列。
1957	2	24	23.8	121.8	花蓮	30	7.3	11	44	山崩。
1963	2	13	24.4	122.1	宜蘭東南方50公里	47	7.3	3 <sup>†</sup>	6 <sup>†</sup>	蘇花公路坍方一處,橫貫公路山崩。
1966	3	13	24.2	122.7	花蓮外海	42	7.8	4 <sup>†</sup>	24 <sup>†</sup>	
1982	1	23	24	121.6	花蓮東南12公里	3	6.5	1		宜蘭太平山坍方,道路龜裂。
1986	5	20	24.1	121.6	花蓮北偏西15公里	16	6.2	1*		蘇花及橫貫公路坍方,北迴鐵路鐵軌變位。
1986	11	15	24	121.8	花蓮東偏南10公里	15	6.8	13*	37*	花蓮地震。蘇花及橫貫公路全線中斷,北迴鐵路鐵軌扭曲。中和華陽市場2/3房屋倒塌。
1990	12	13	23.9	121.5	花蓮南方10公里	3	6.5	2*	3*	中橫,蘇花公路坍方,多處房屋龜裂。
1990	12	14	23.9	121.8	花蓮東南方30公里	1	6.7			
1994	6	5	24.4	121.8	宜蘭南方34.8公里	5.3	6.5	1*	1*	南澳地震。蘇花公路坍方,房屋25毀損,1死2傷,中橫公路中斷,南方澳道路龜裂。
1995	2	23	24.2	121.7	花蓮北偏東26公里	21.7	5.8	2*		中橫公路落石擊中遊覽車。
2002	3	31	24.2	122.1	花蓮秀林地震站東方44.3公里	9.6	6.8	5*	6*	331花蓮烈震。中橫公路落石、蘇花公路坍方。
2004	5	1	24.1	122	花蓮新城地震站西方7.4公里	17.8	5.8	2*		中橫公路落石

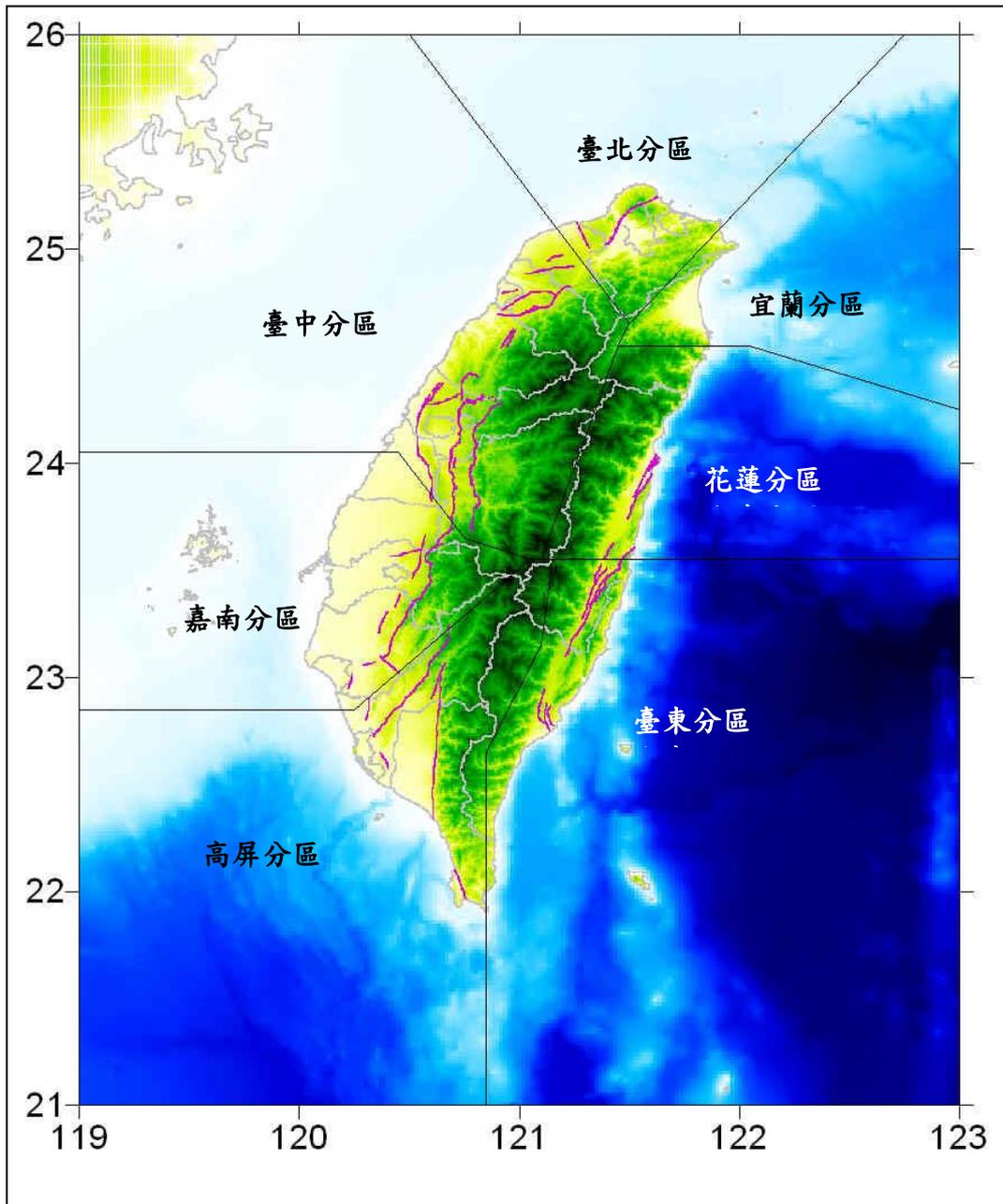


圖 4-1、臺灣地區地震活動七分區邊界圖。

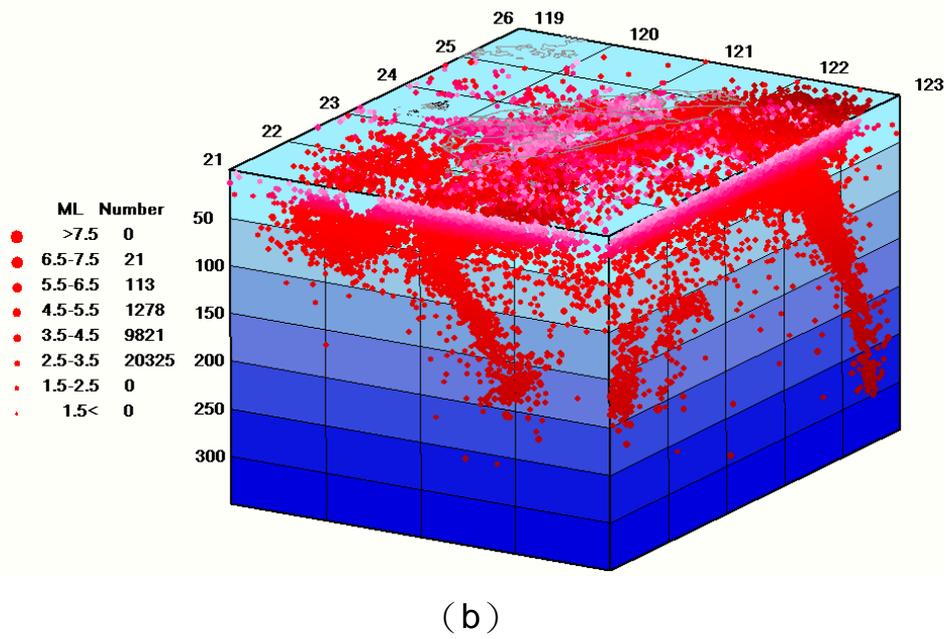
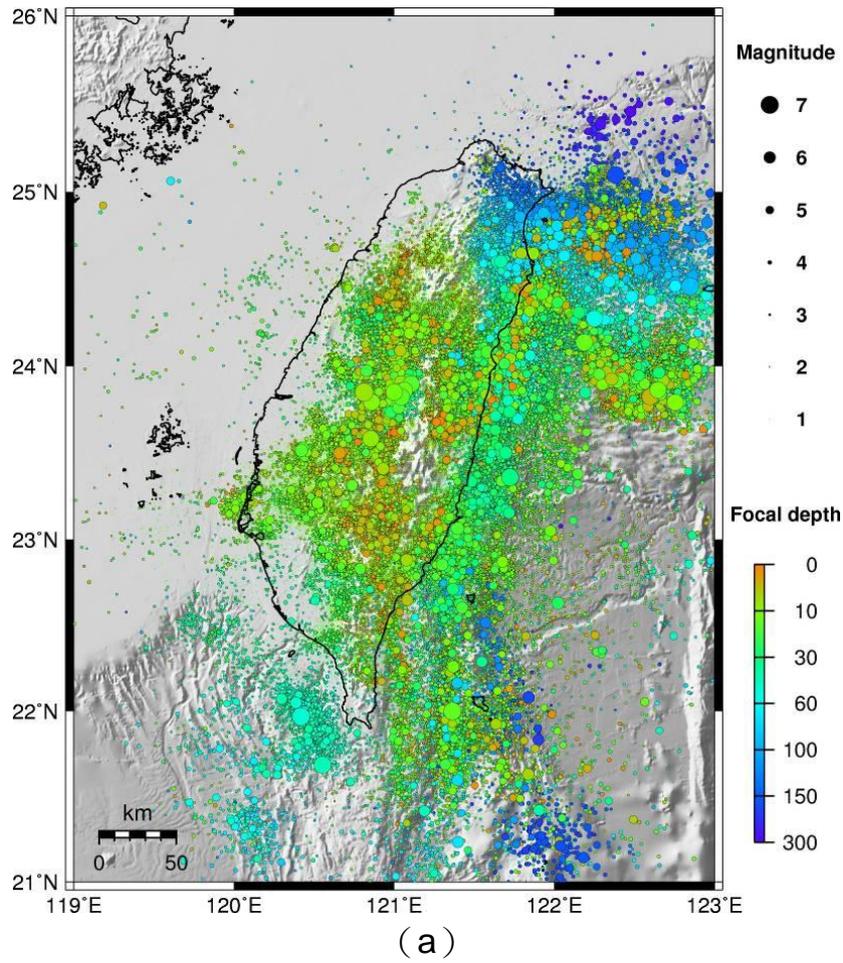


圖 4-2、(a) 臺灣地區 1991~2008 年之地震震央分布圖 (b) 臺灣地區 1994~2008 年規模大於 3 地震之震源分布圖。

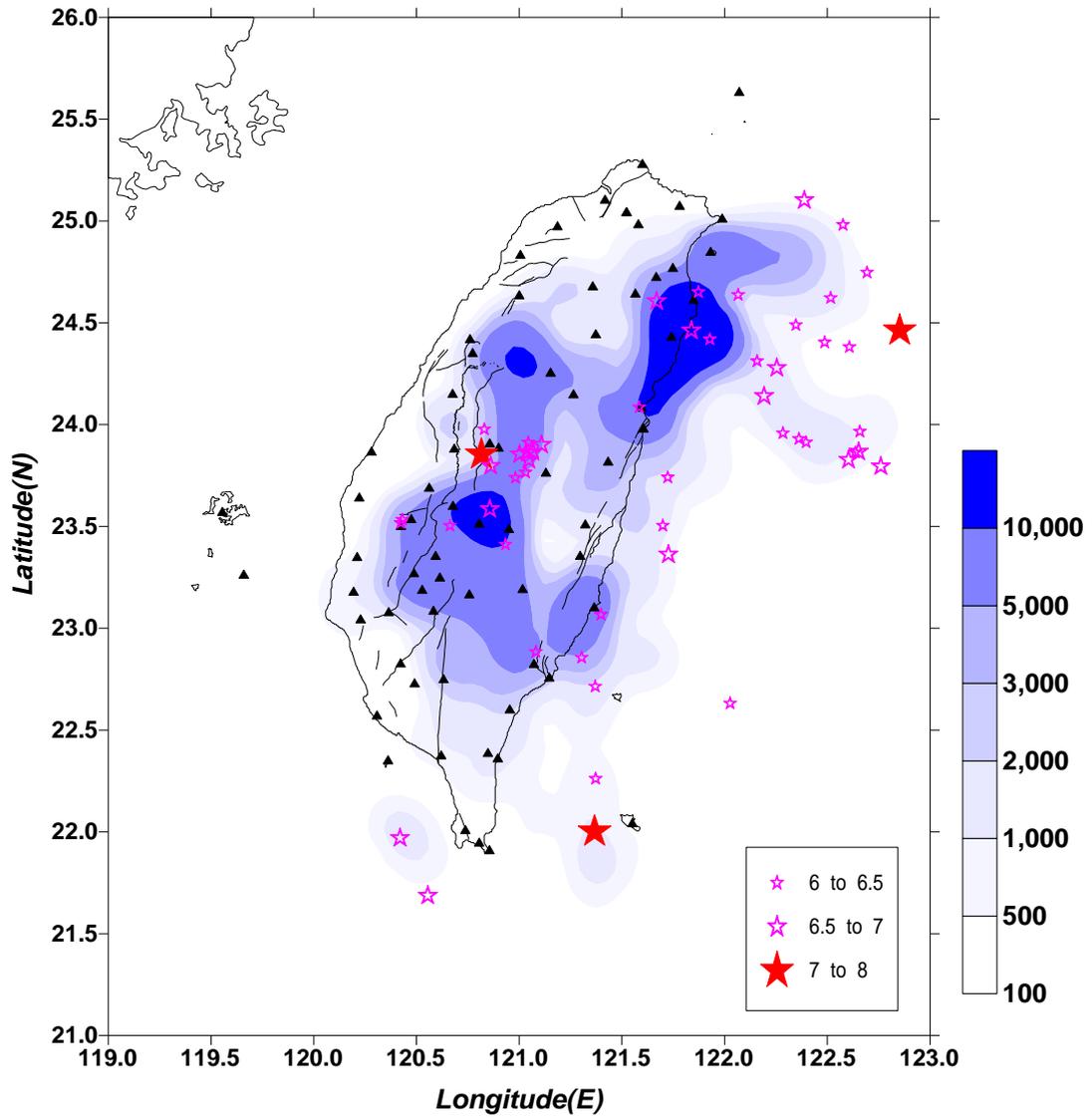
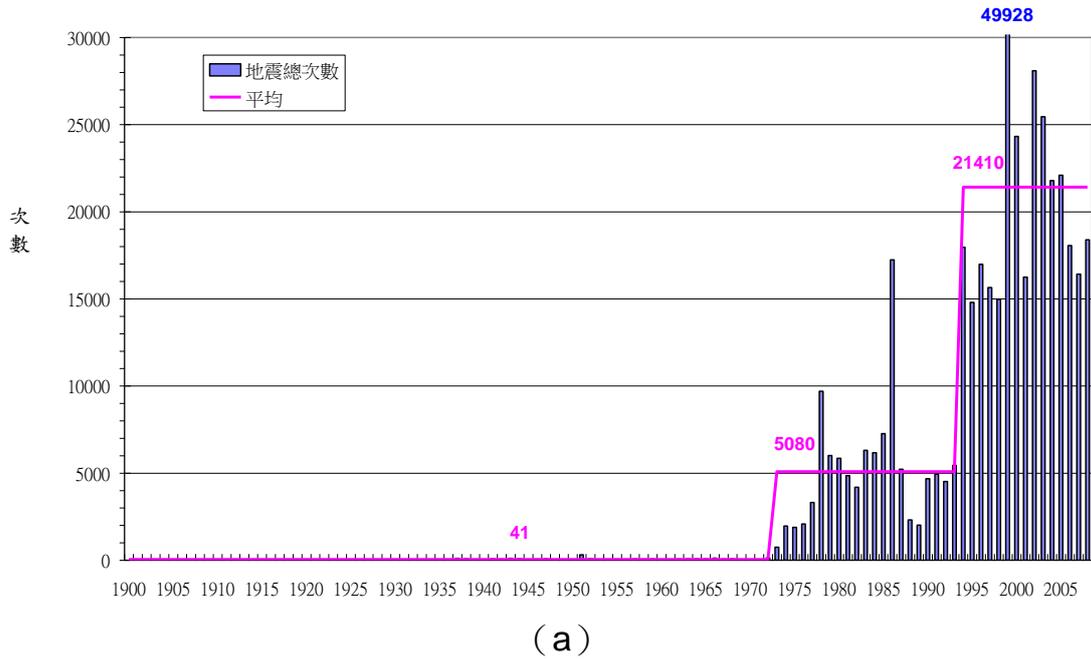


圖 4-3、臺灣地區 1994~2008 年之地震累計個數等值圖以及規模  $\geq 6.0$  之地震震央分布圖。

1900-2008地震年次數統計圖



1900-2008年累積規模暨累積能量統計圖

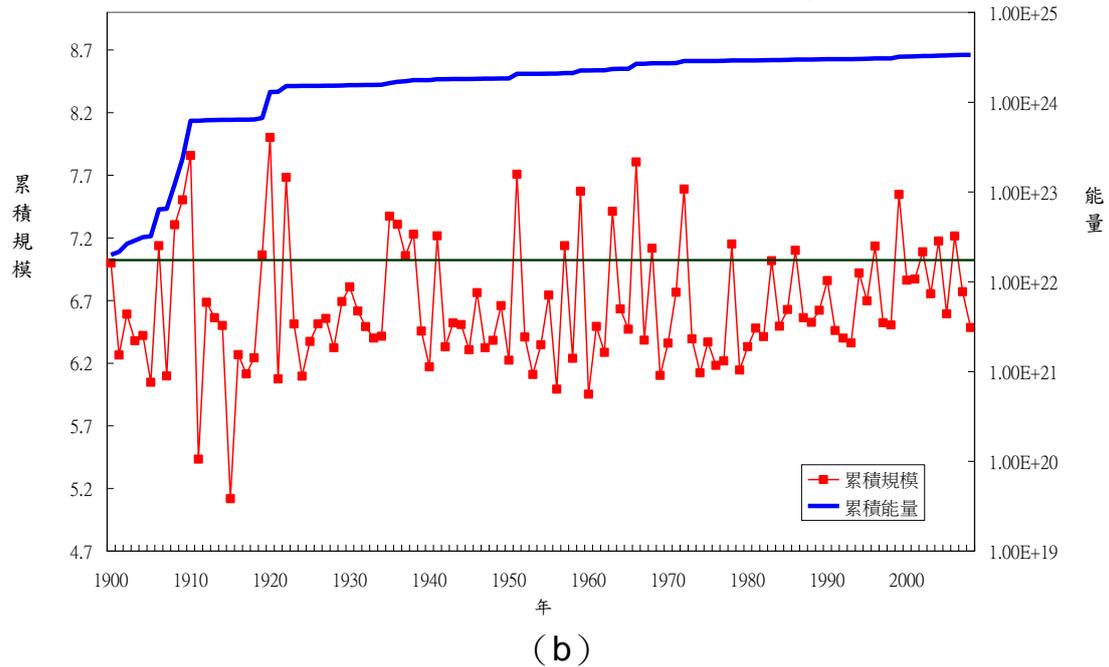


圖 4-4、臺灣地區 1900 至 2008 年之 (a) 地震個數統計圖、(b) 年累積規模暨累積能量統計圖，粗線為累積能量值，以對數表示、方形標記為年累積規模值。

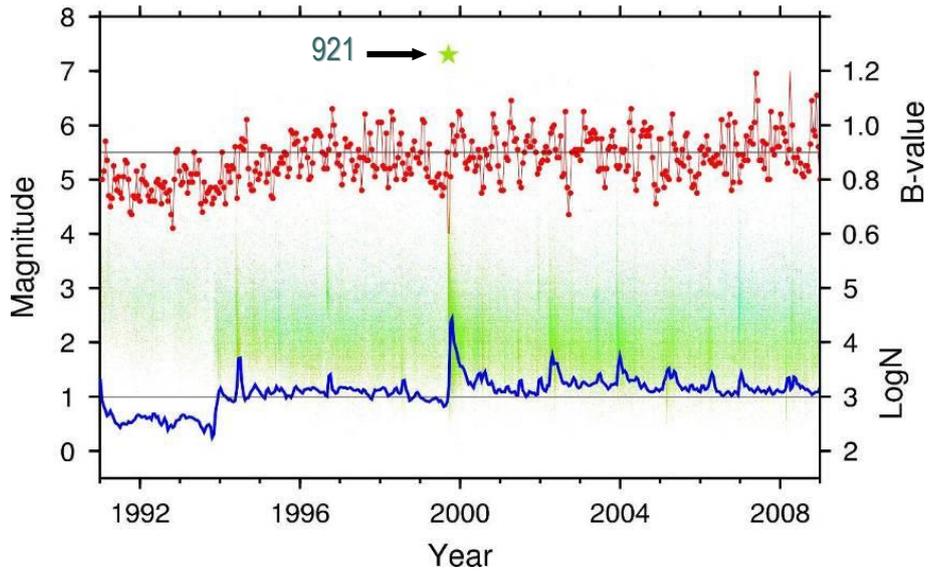


圖 4-5、臺灣地區 1991 至 2008 年之地震個數、規模與 b 值之時序統計圖。

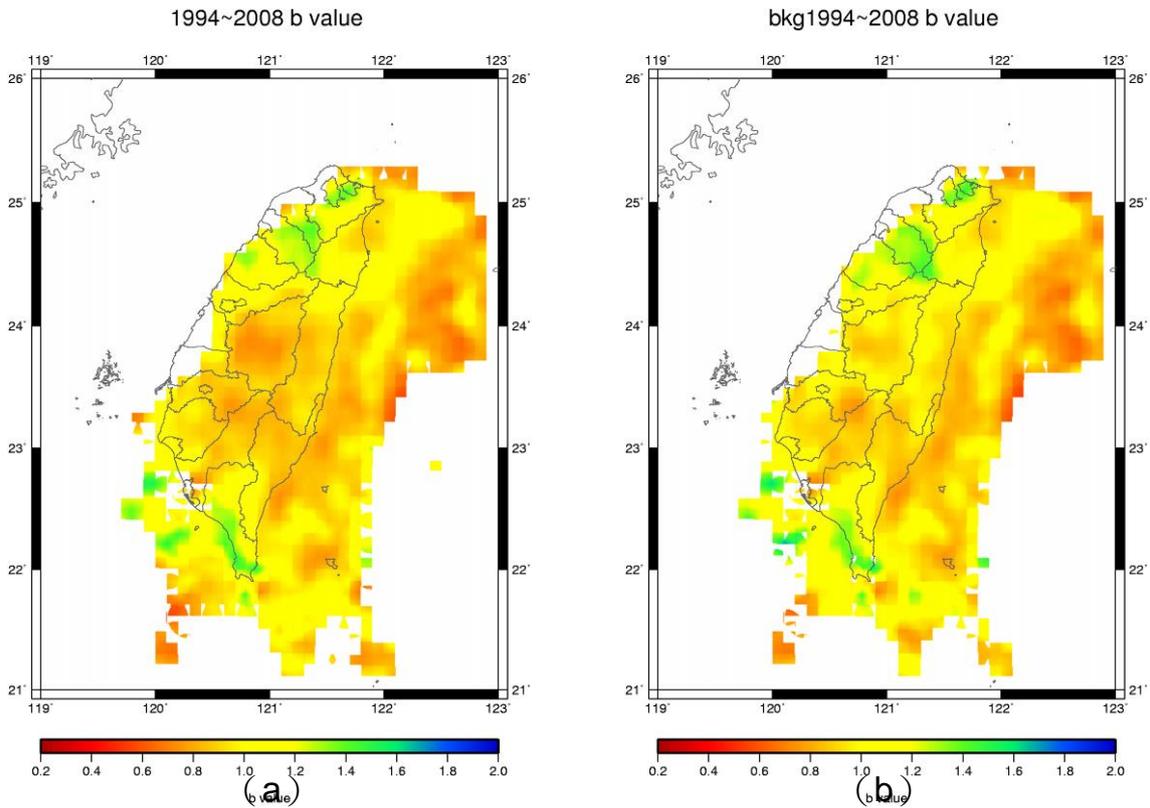


圖 4-6、(a) 臺灣地區 1994 至 2008 年之 b 值等值圖 (b) 臺灣地區 1994 至 2008 年背景地震活動之 b 值等值圖。

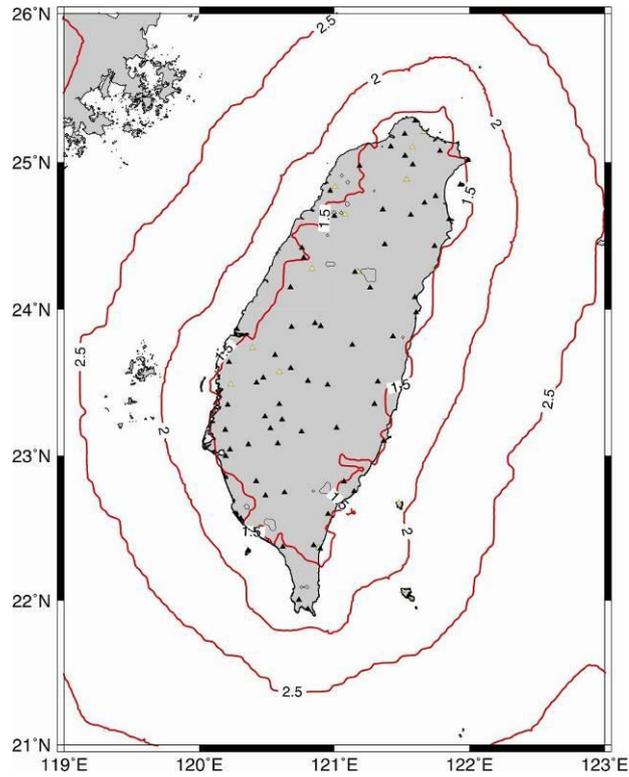


圖 4-7、臺灣地區 1991 至 2008 年 CWBSN 觀測能力下限的規模等值圖。

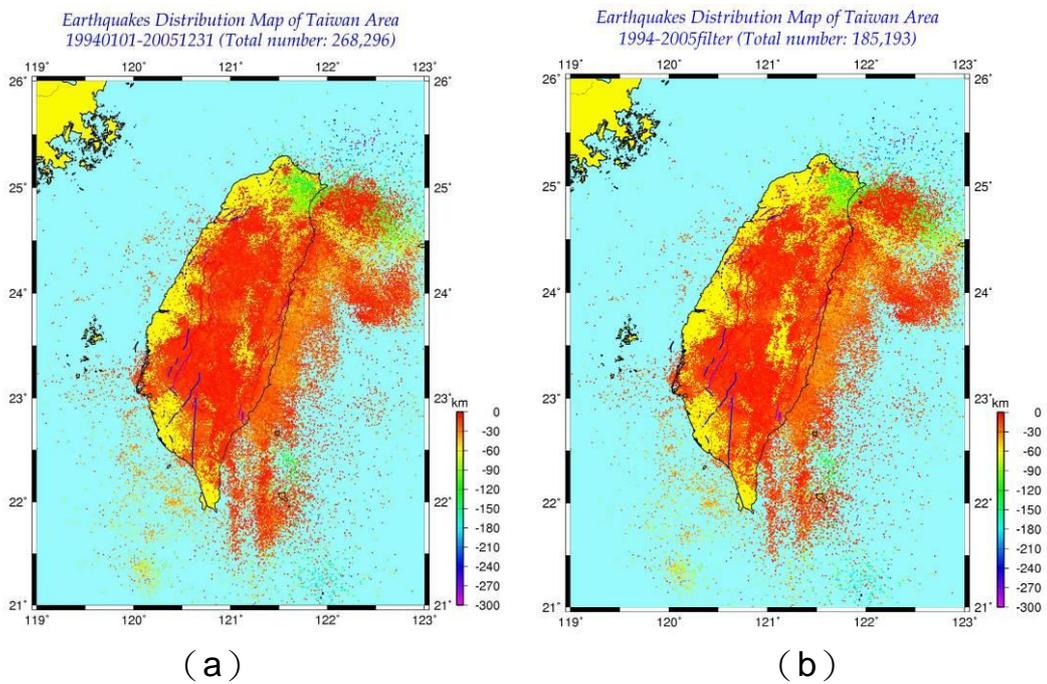


圖 4-8、1994~2005 年臺灣地區地震分布圖 (a) 篩選前、(b) 篩選後。

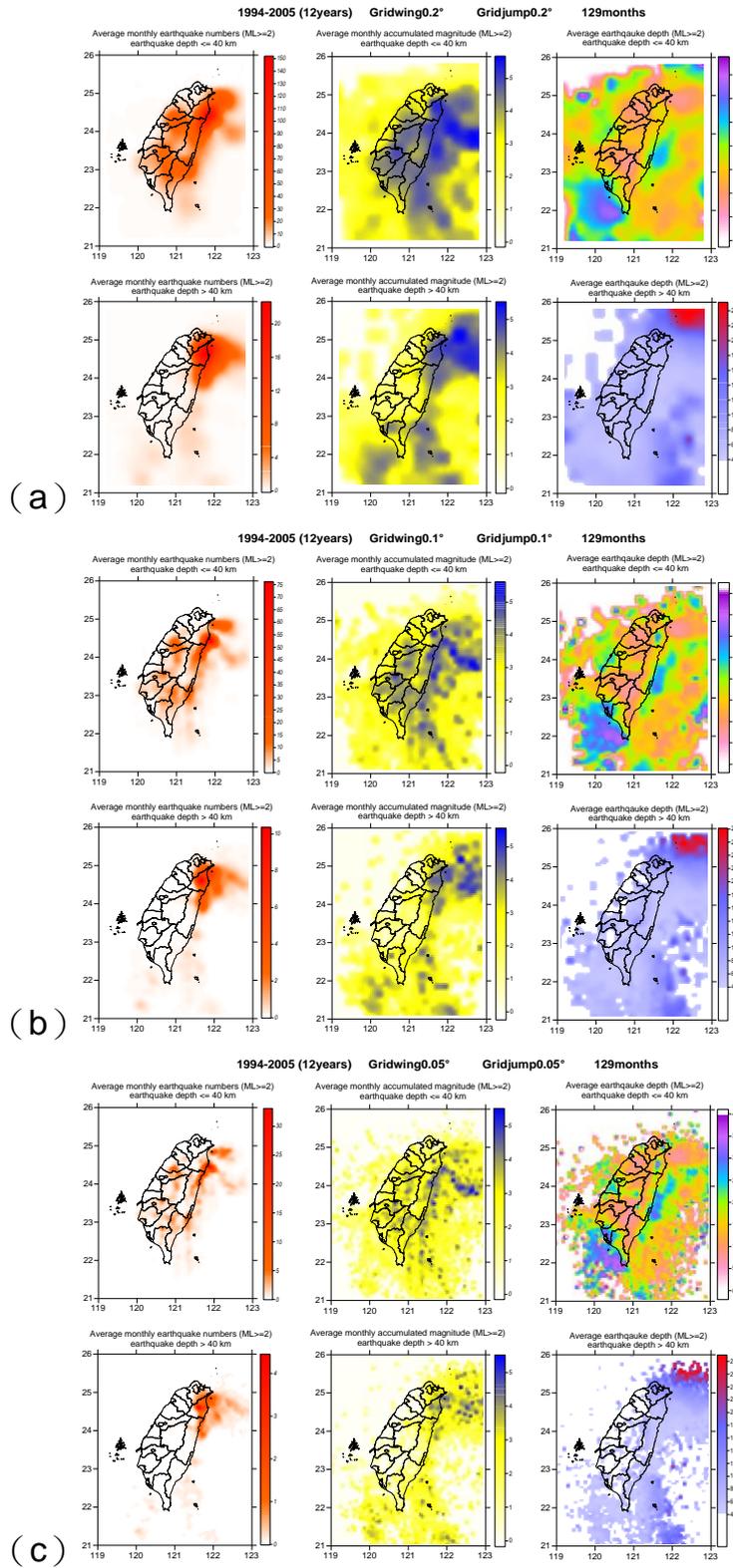
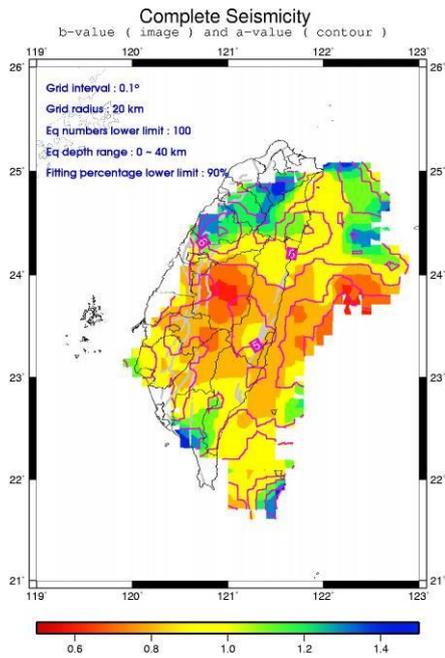
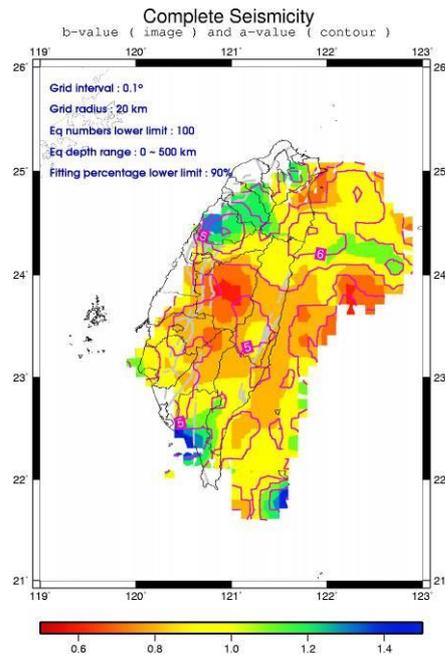


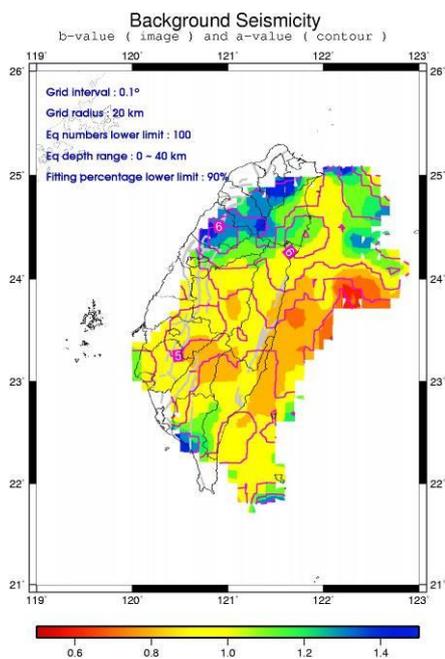
圖 4-9、1994~2005 年臺灣地區背景地震活動特性，每張圖上排與下排分別表示深度  $\leq 40$  公里與  $> 40$  公里地震活動，網格尺度與移動間距：(a)  $0.2^\circ$ 、(b)  $0.1^\circ$  以及 (c)  $0.05^\circ$ 。



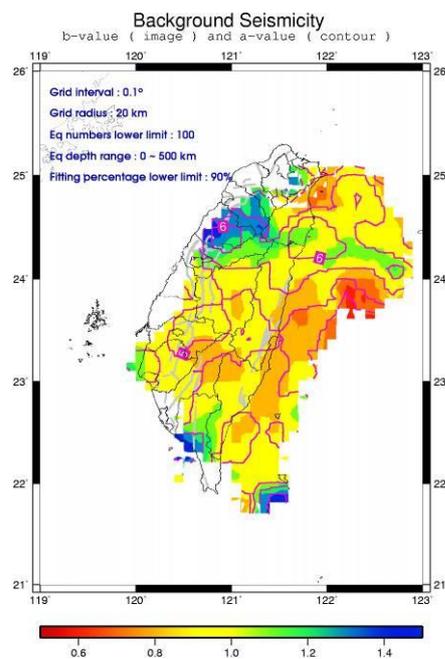
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 4-10、1994~2005 年臺灣地區地震活動 a 值等值圖與 b 值影像圖分析結果，每個網格點搜尋分析半徑 20 公里 (a) 完整地震活動，深度  $\leq 40$  公里之地震，(b) 完整地震活動，全部深度範圍之地震 (c) 背景地震活動，深度  $\leq 40$  公里之地震 (d) 背景地震活動，全部深度範圍之地震。

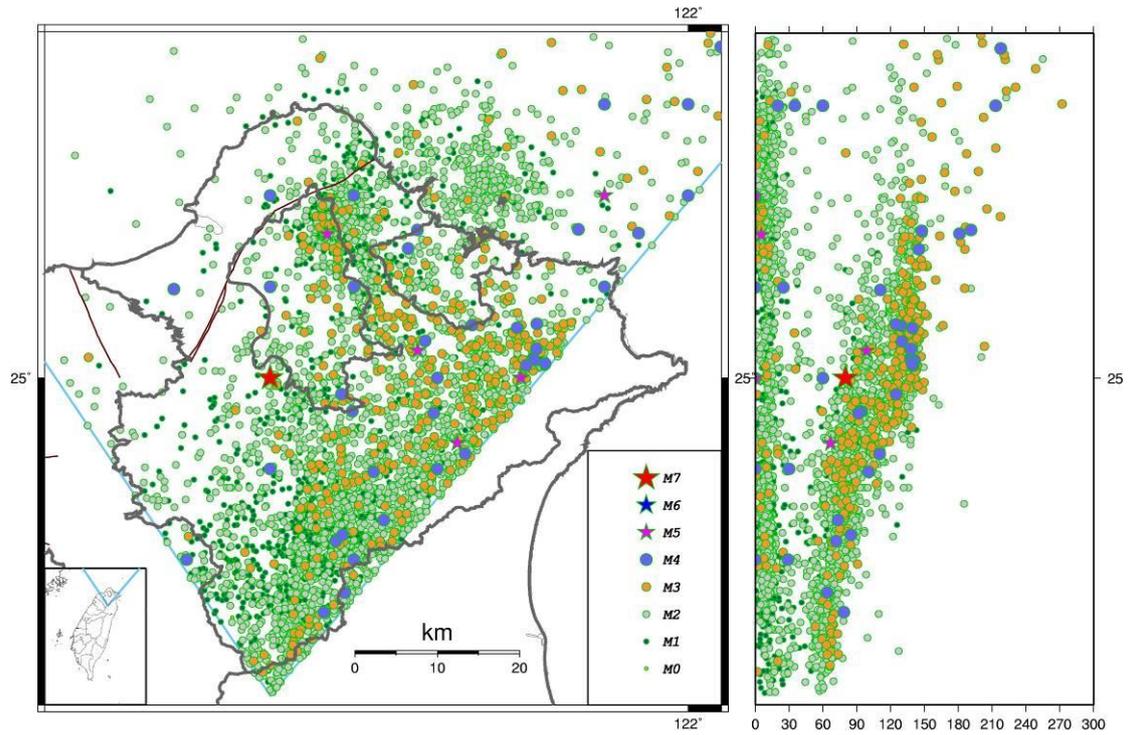


圖 4-11、臺北分區 1900 至 2008 年地震震央分布圖。

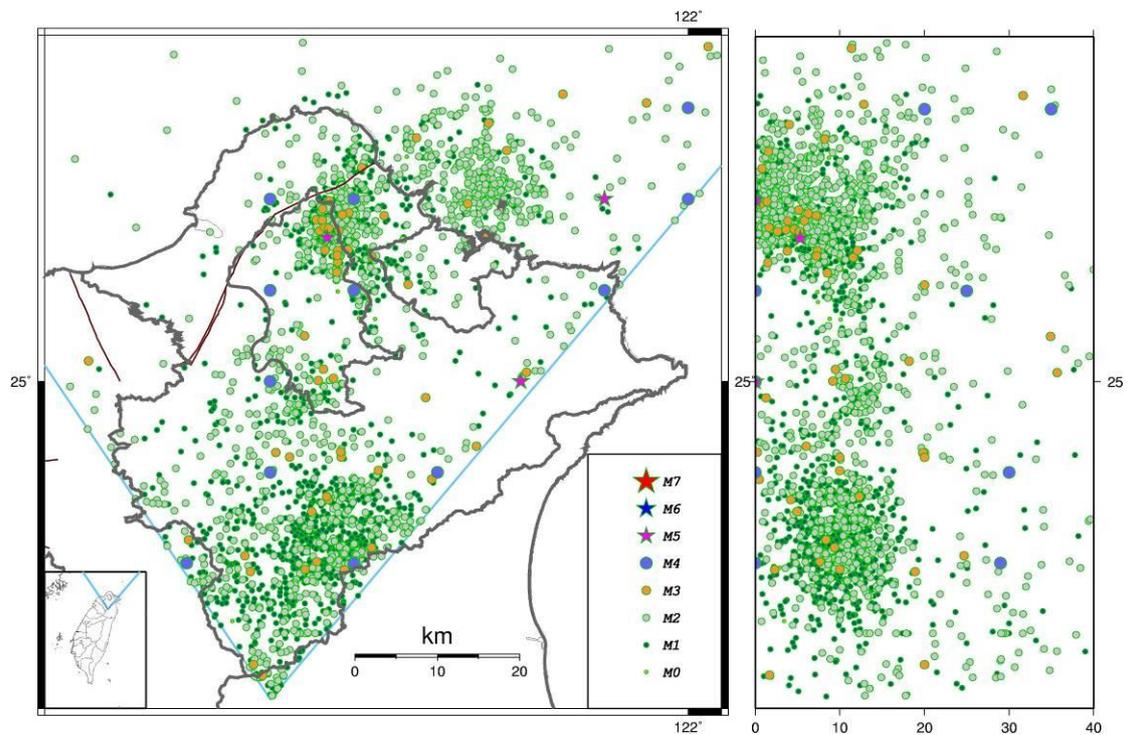


圖 4-12、臺北分區 1900 至 2008 年淺源地震（深度 < 40 km）震央分布圖。

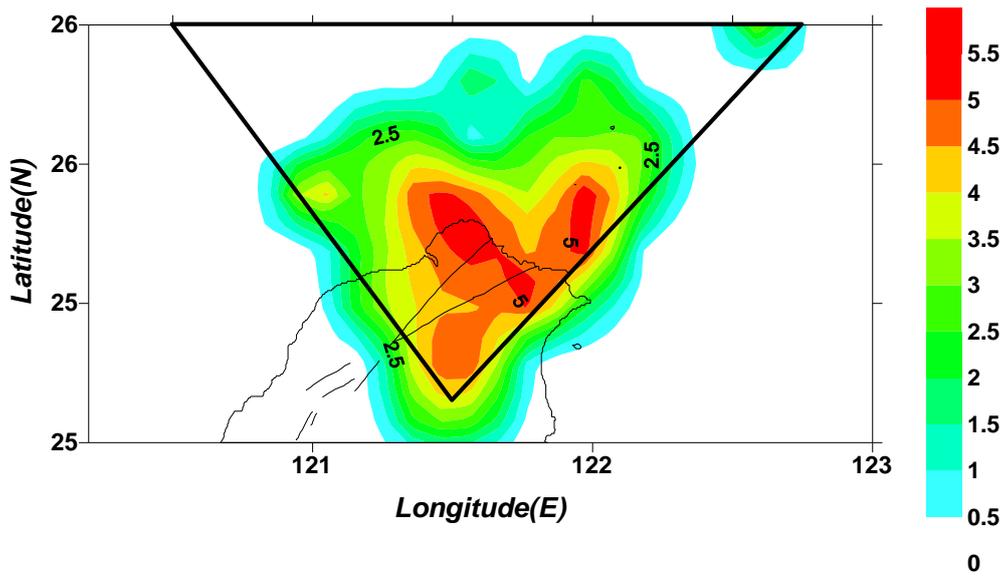


圖 4-13、臺北分區 1900 至 2008 年淺源地震（深度 < 40 km）累積規模分布圖。

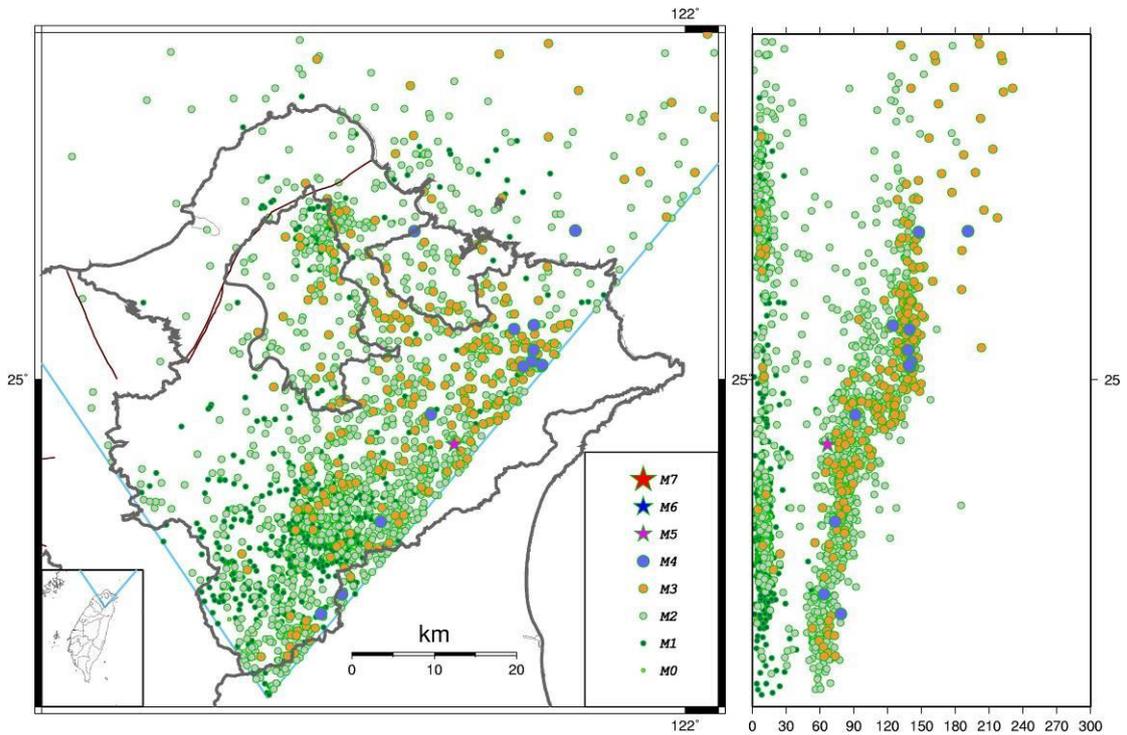


圖 4-14、臺北分區 1994 至 2008 年地震震央分布圖。

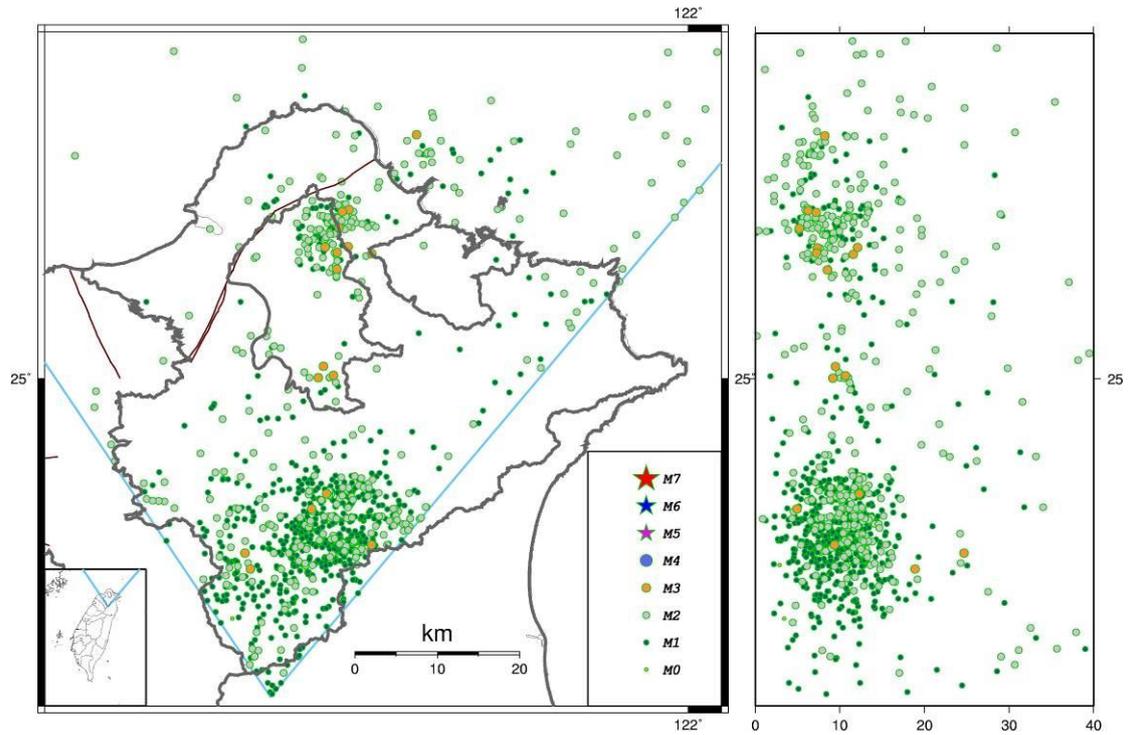


圖 4-15、臺北分區 1994 至 2008 年淺源地震（深度 < 40 km）震央分布圖。

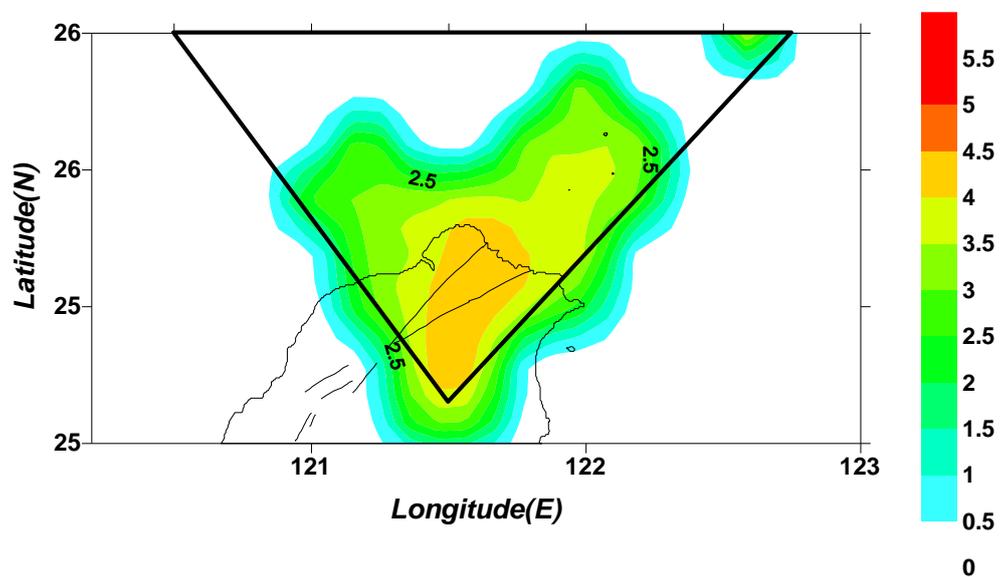


圖 4-16、臺北分區 1994 至 2008 年淺源地震（深度 < 40 km）累積規模分布圖。

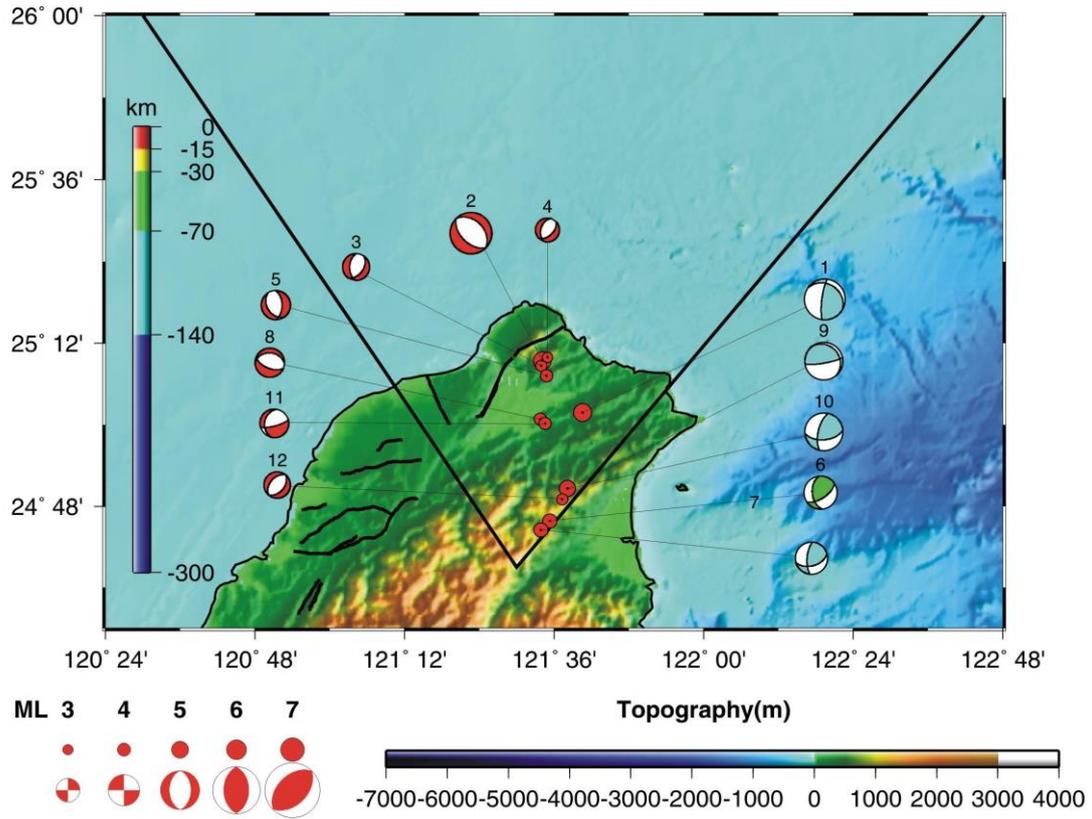


圖 4-17、臺北分區之地震震源機制解及分布位置圖。

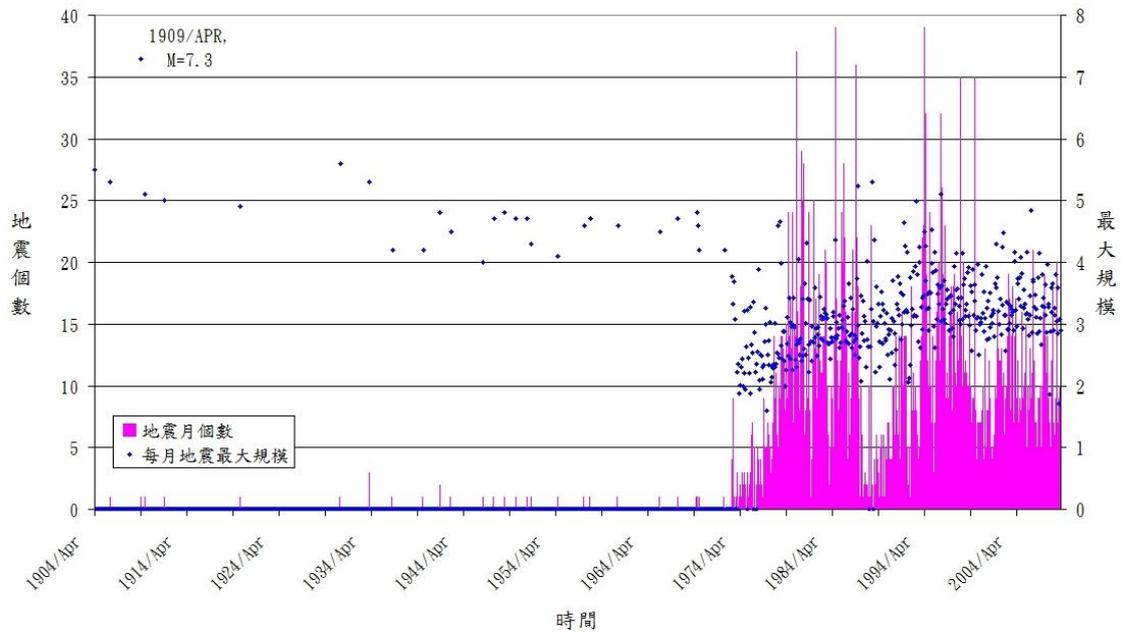


圖 4-18、臺北分區 1900 至 2008 年地震時序統計圖。

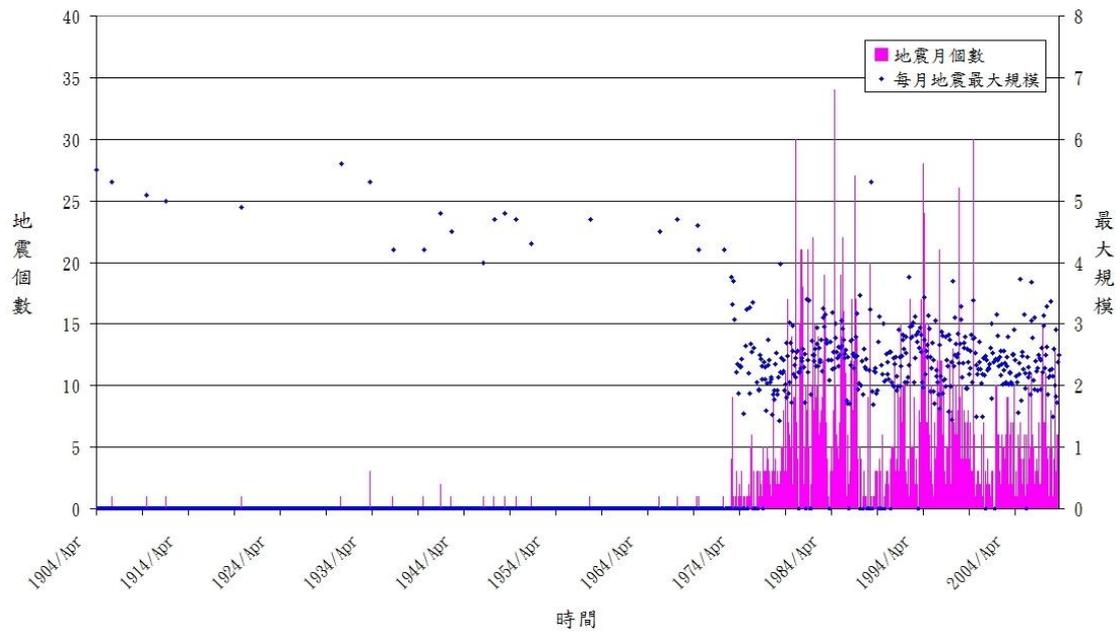


圖 4-19、臺北分區 1900 至 2008 年淺源地震（深度 < 40 km）時序統計圖。

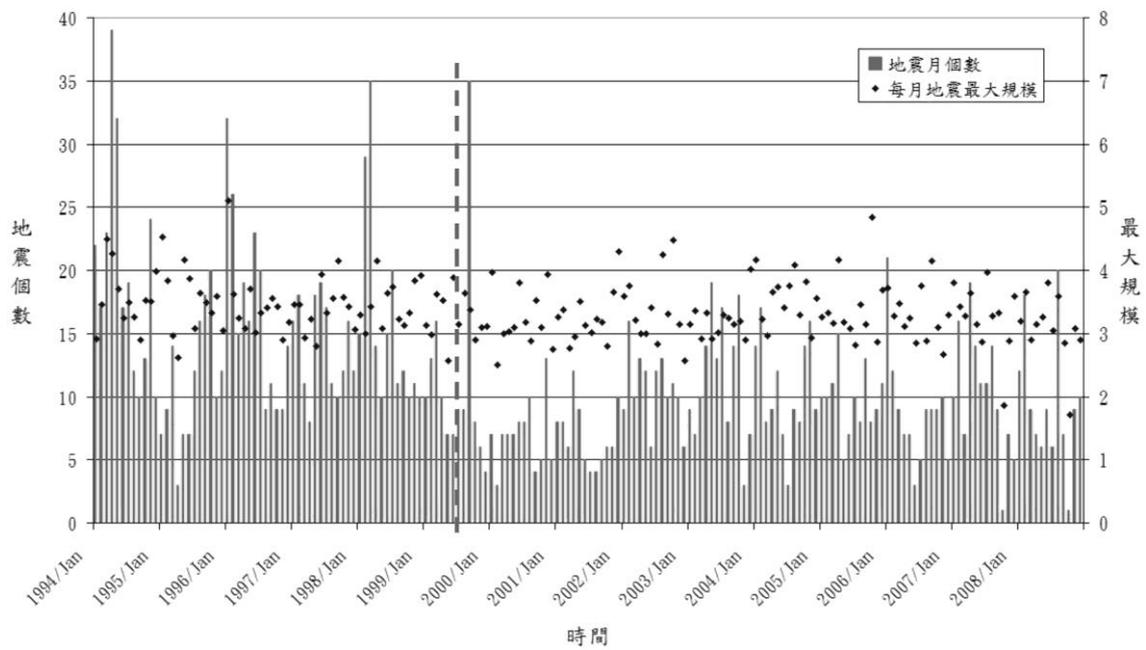


圖 4-20、臺北分區 1994 至 2008 年地震時序統計圖（虛線為集集地震的時間）。

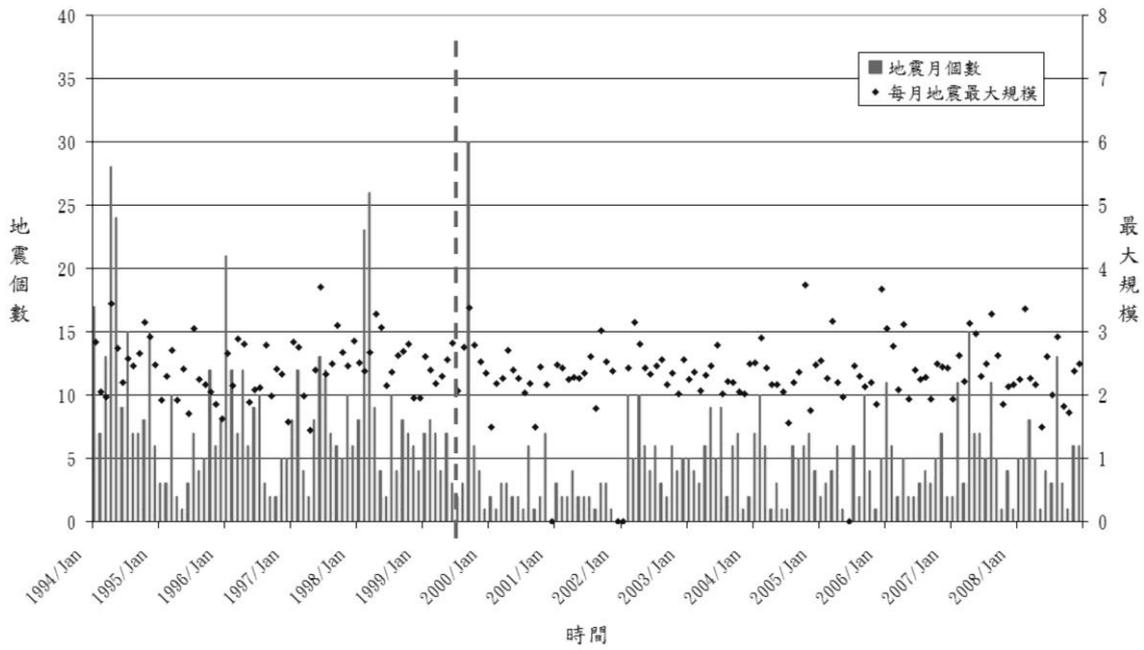


圖 4-21、臺北分區 1994 至 2008 年淺源地震（深度 < 40 km）時序統計圖（虛線為集集地震的時間）。

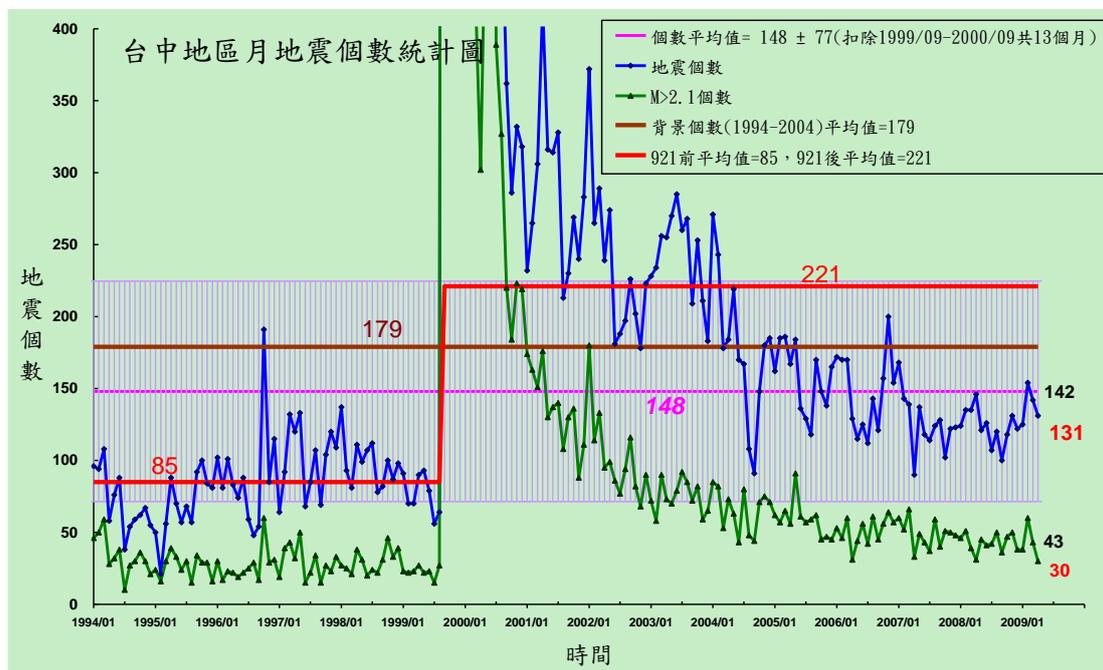


圖 4-22、臺中分區 1994 年~2008 年地震活動每月地震個數統計圖。

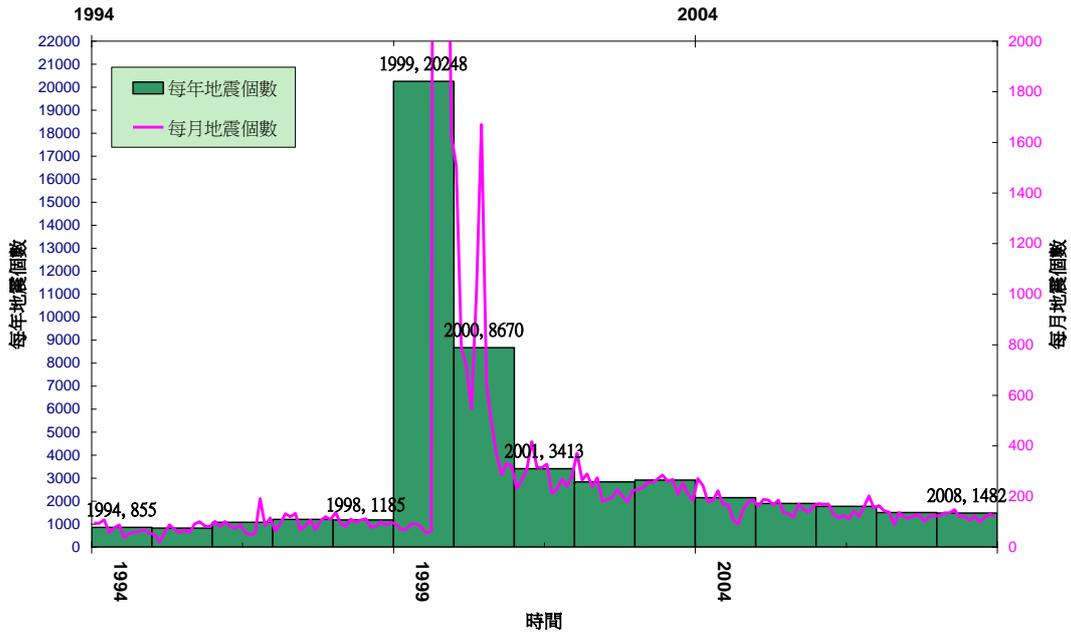


圖 4-23、臺中分區 1994 年~2008 年地震活動每年與每月地震個數統計圖。

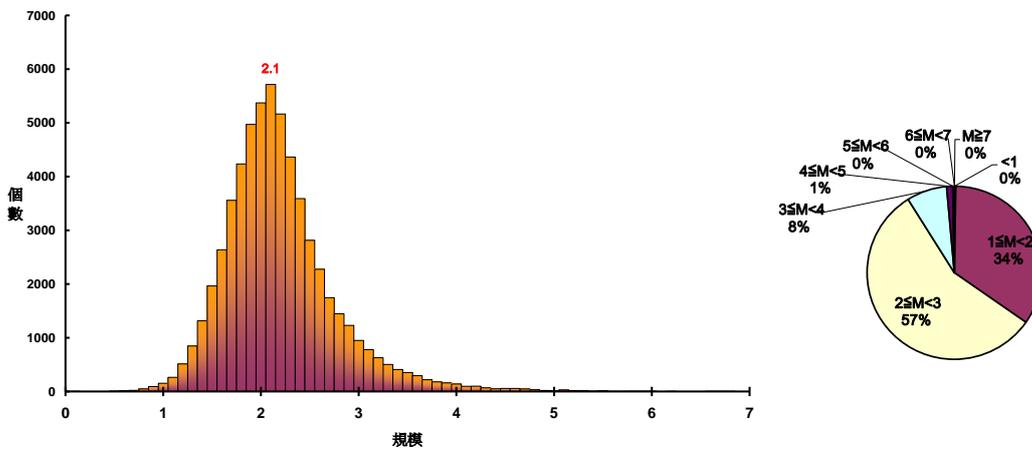


圖 4-24、左圖為臺中分區 1901 年~2008 年地震規模與個數統計圖，右圖為各規模區段地震個數百分比，顯示臺中分區地震有 91% 集中在規模 3 以下。

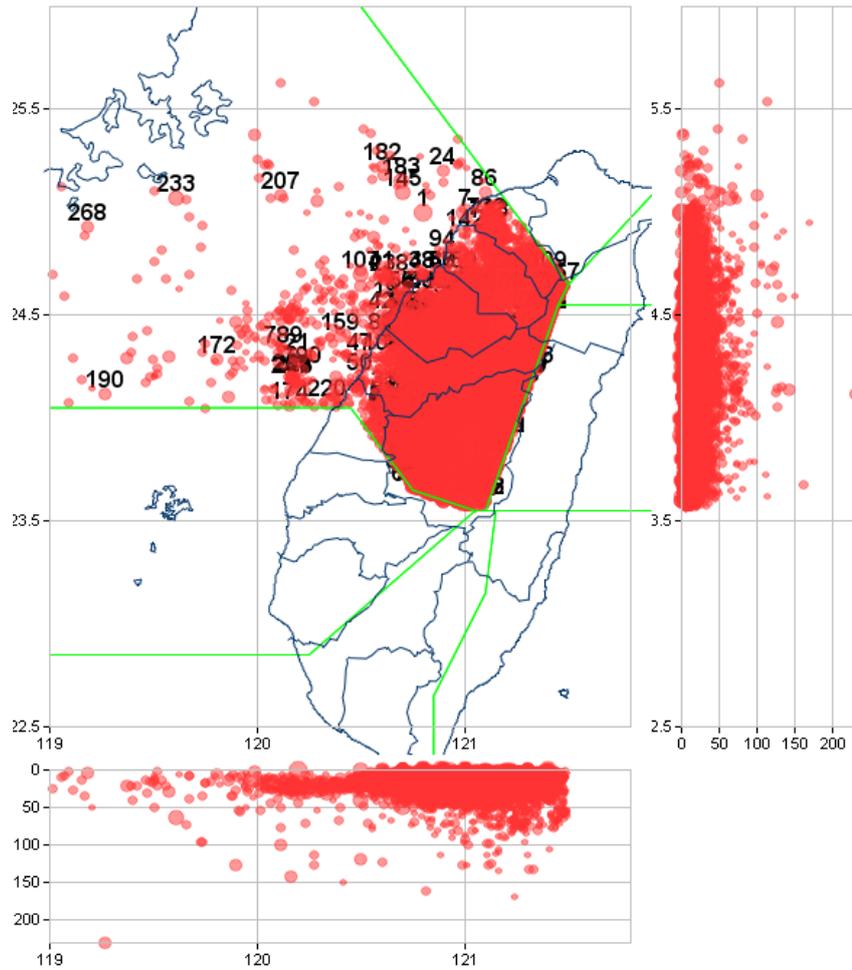


圖 4-25、臺中分區 1901 年~2008 年地震深度剖面圖及統計圖，顯示臺中分區之地震深度有 86% 發生在 20 公里範圍內。

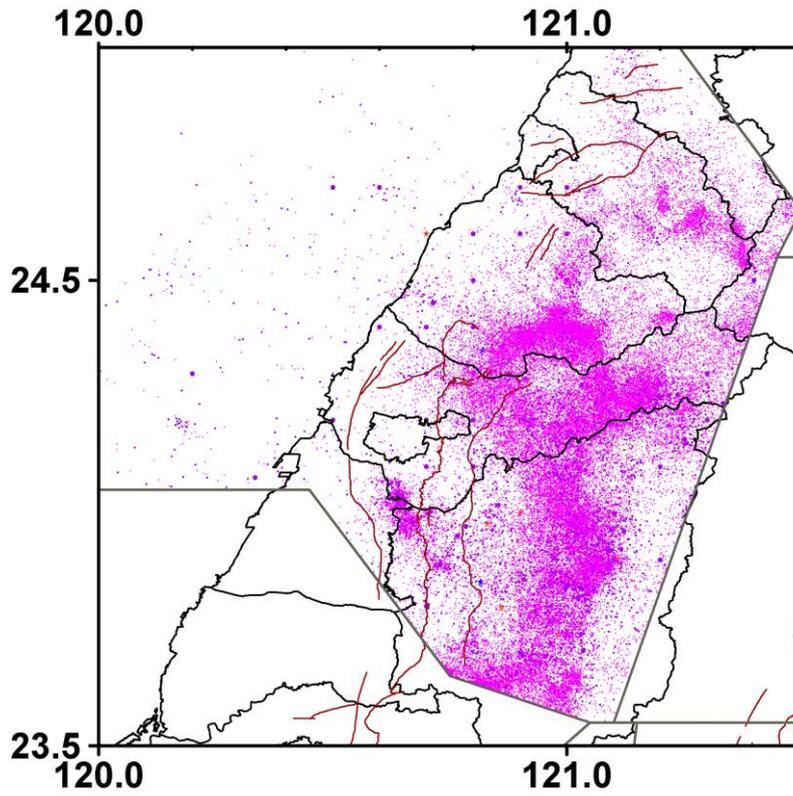


圖 4-26、臺中分區 1901 年~2008 年地震分布圖。

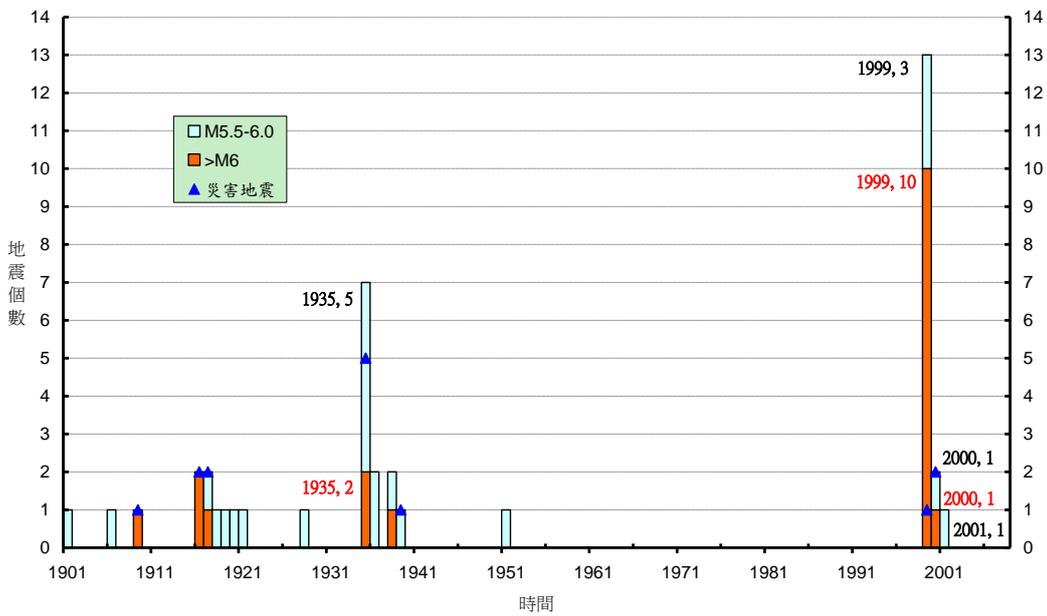


圖 4-27、臺中分區時序統計圖。1901 年~2008 年較大規模 ( $M_L \geq 5.5$ ) 及災害性地震個數統計。

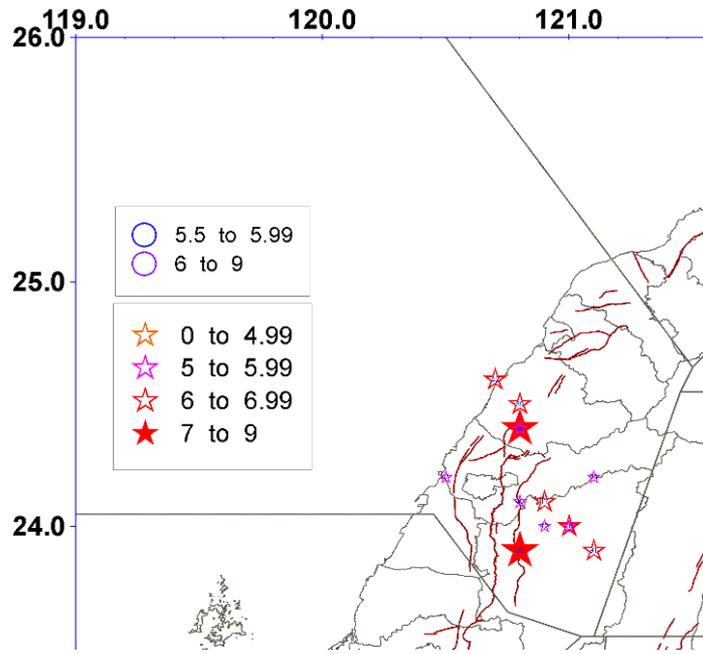


圖 4-28、臺中分區災害地震分布圖（1901-2008）。

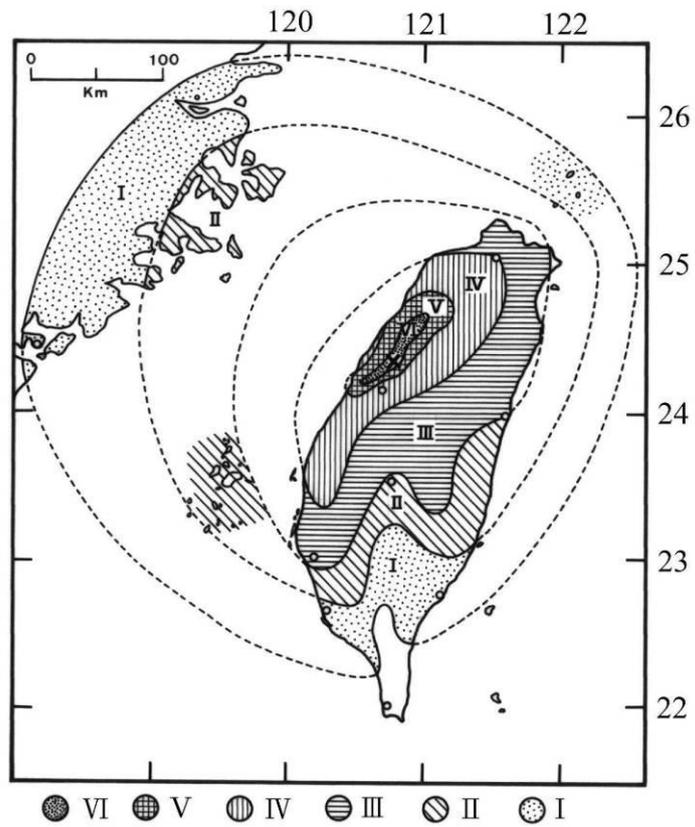


圖 4-29、1935 年新竹-臺中地震等震度圖。

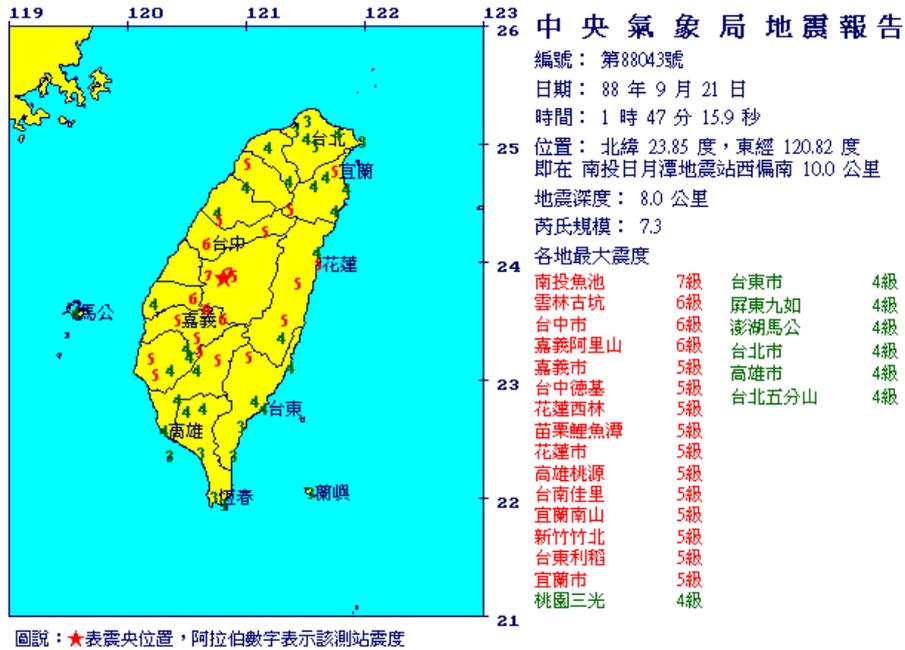


圖 4-30、1999 年 9 月 21 日集集地震報告。

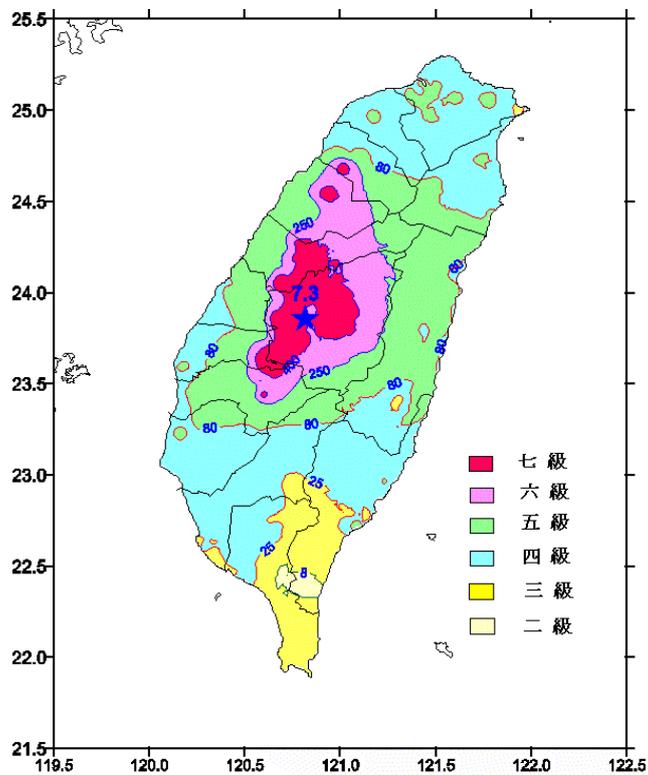


圖 4-31、1999 年 9 月 21 日集集地震等震度圖。

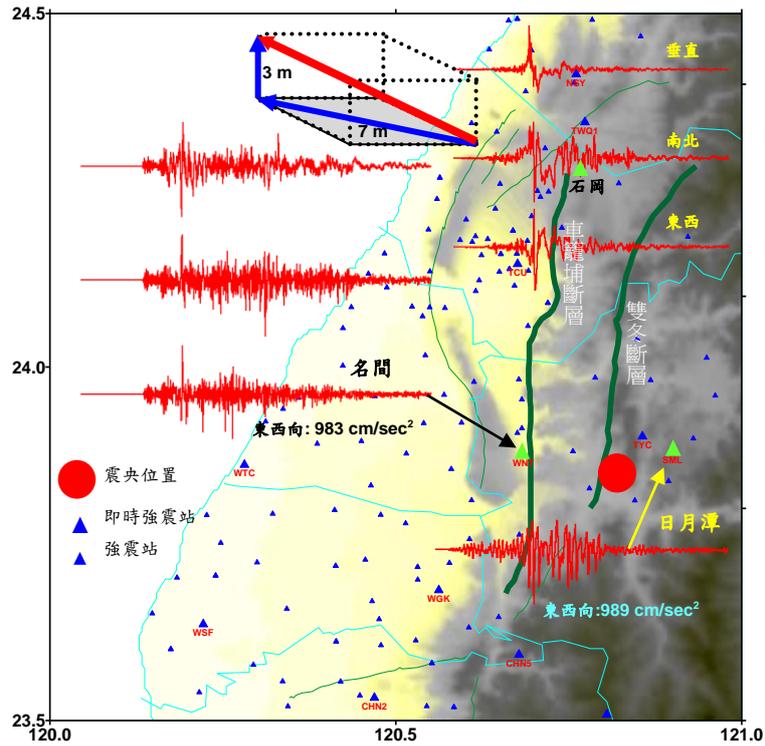


圖 4-32、1999 年 9 月 21 日集集地震震源區名間測站及日月潭測站收到超過 1G 之加速度紀錄。

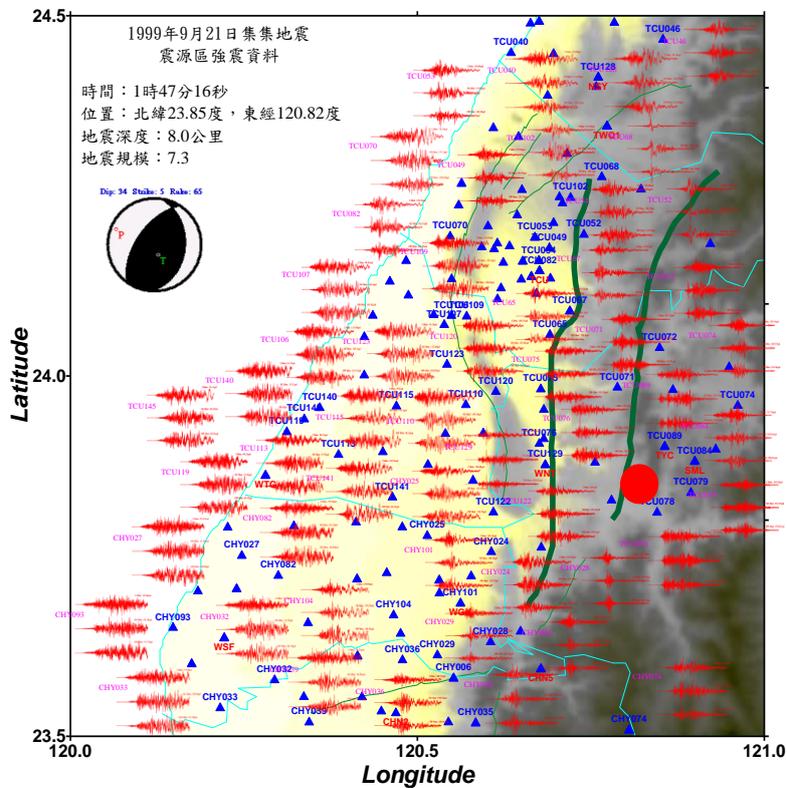


圖 4-33、1999 年 9 月 21 日集集地震震源區強震資料。

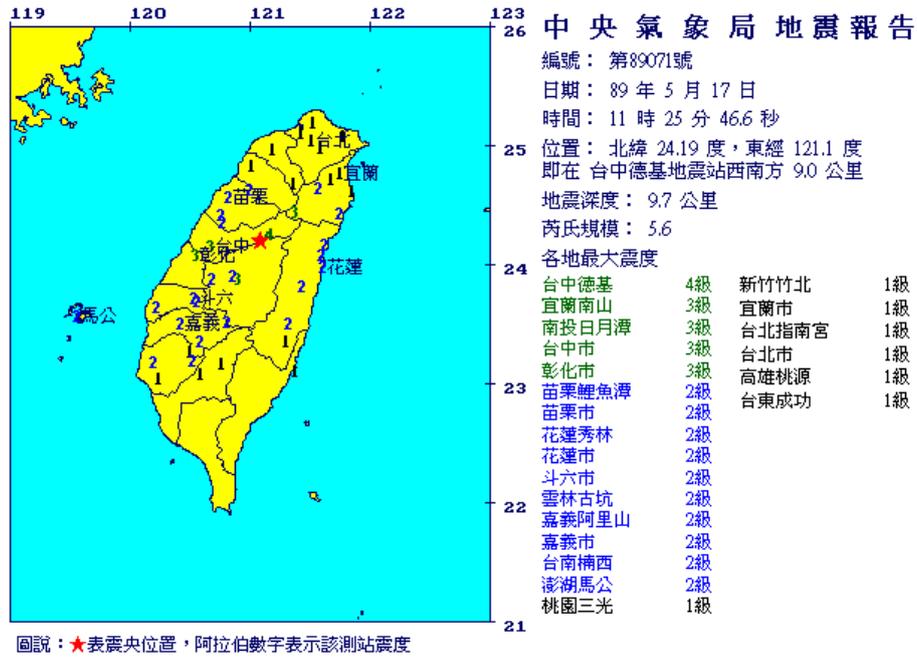


圖 4-34、2000 年 5 月 17 日臺中德基地震報告。

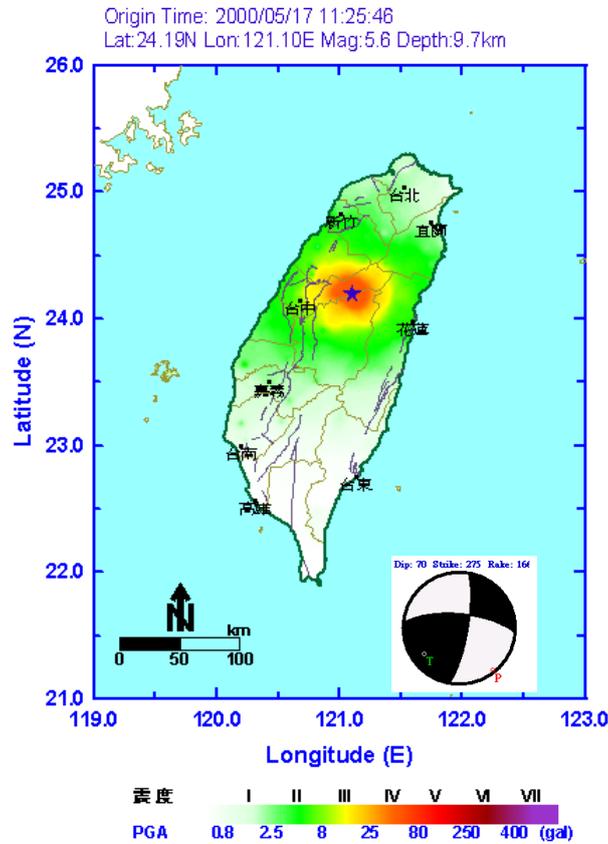


圖 4-35、2000 年 5 月 17 日臺中德基地震等震度圖。

2000/05/17 11:25 ML5.59 D9.74

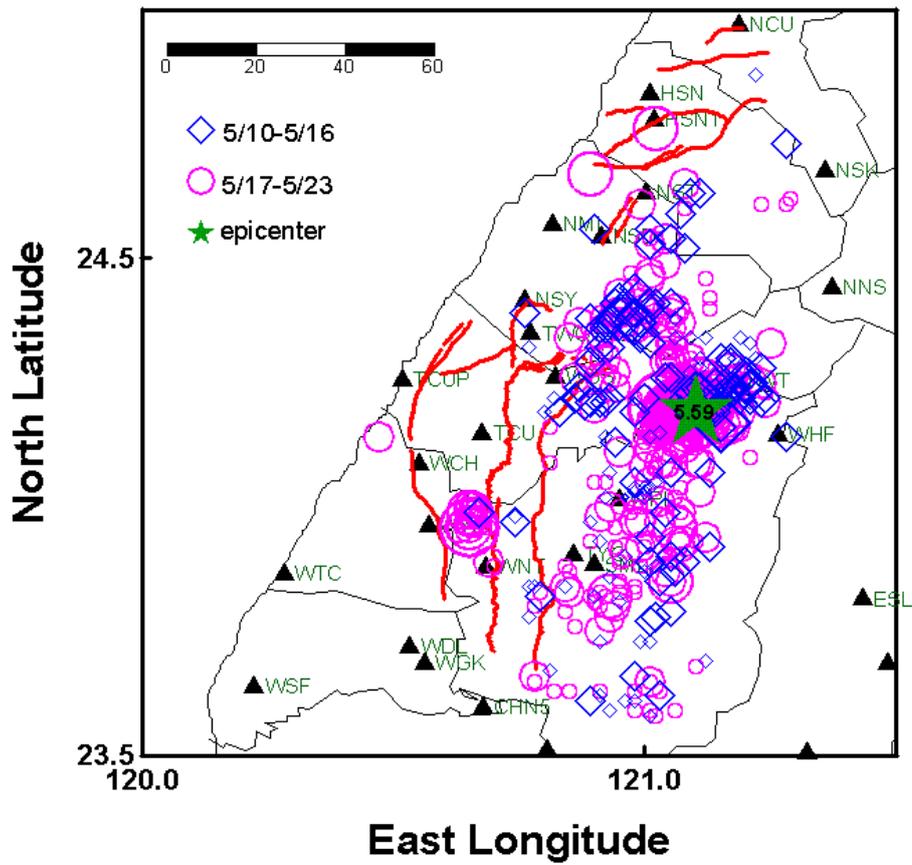


圖 4-36、2000 年 5 月 17 日臺中德基地震主震發生之前後地震分布情形。

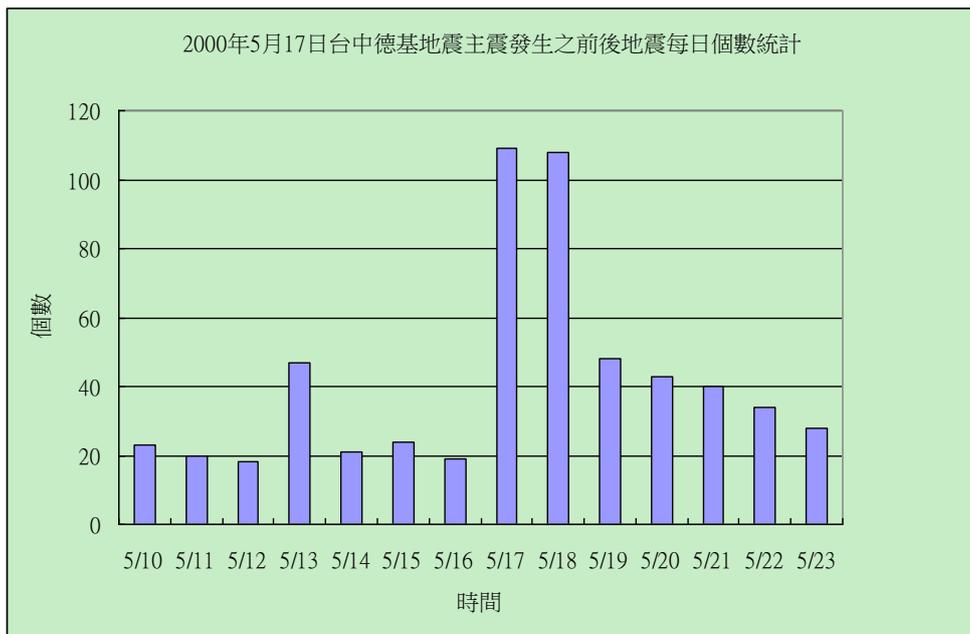


圖 4-37、2000 年 5 月 17 日臺中德基地震主震發生之前後地震每日統計。

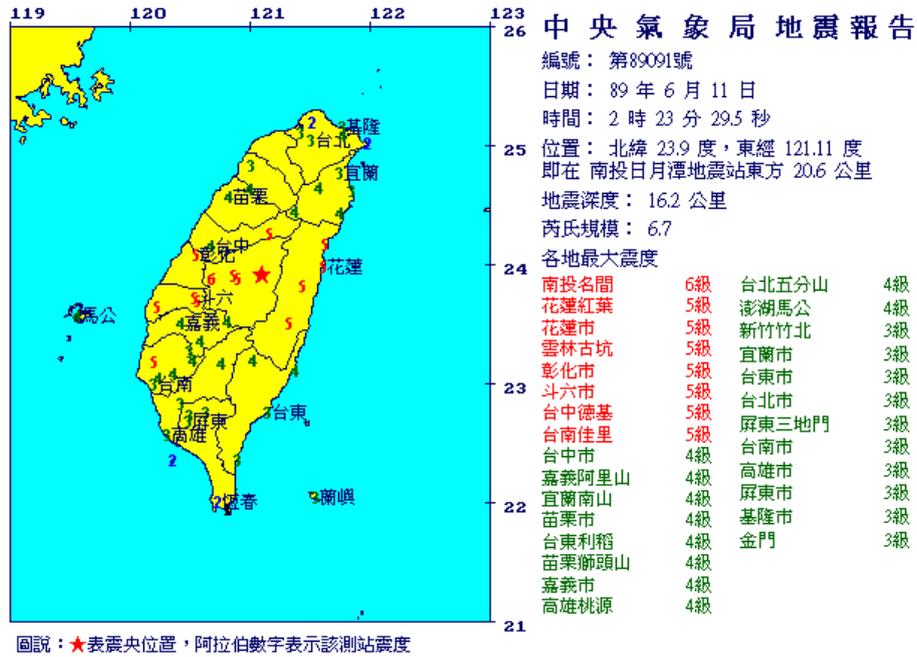


圖 4-38、2000 年 6 月 11 日南投地震報告。

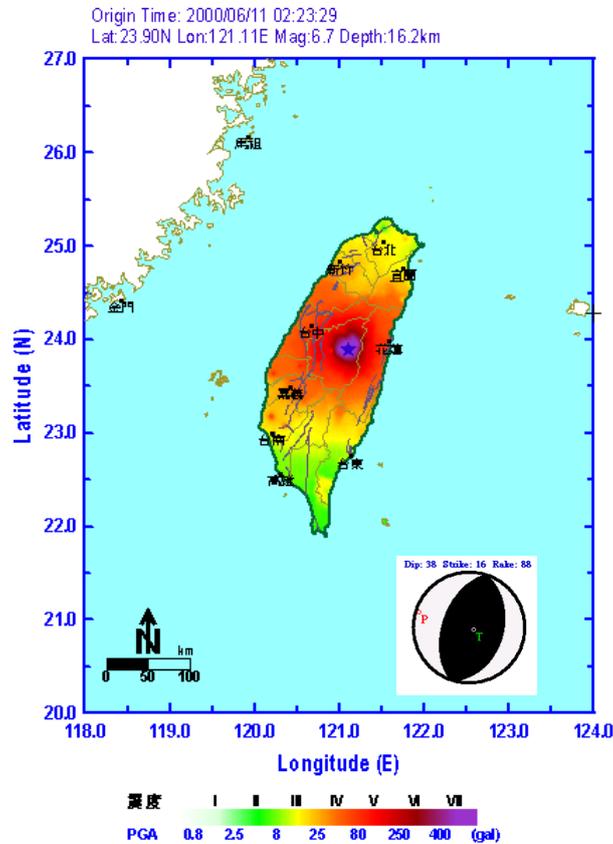


圖 4-39、2000 年 6 月 11 日南投地震等震度圖。

2000/06/11 02:23 ML6.70 D16.21

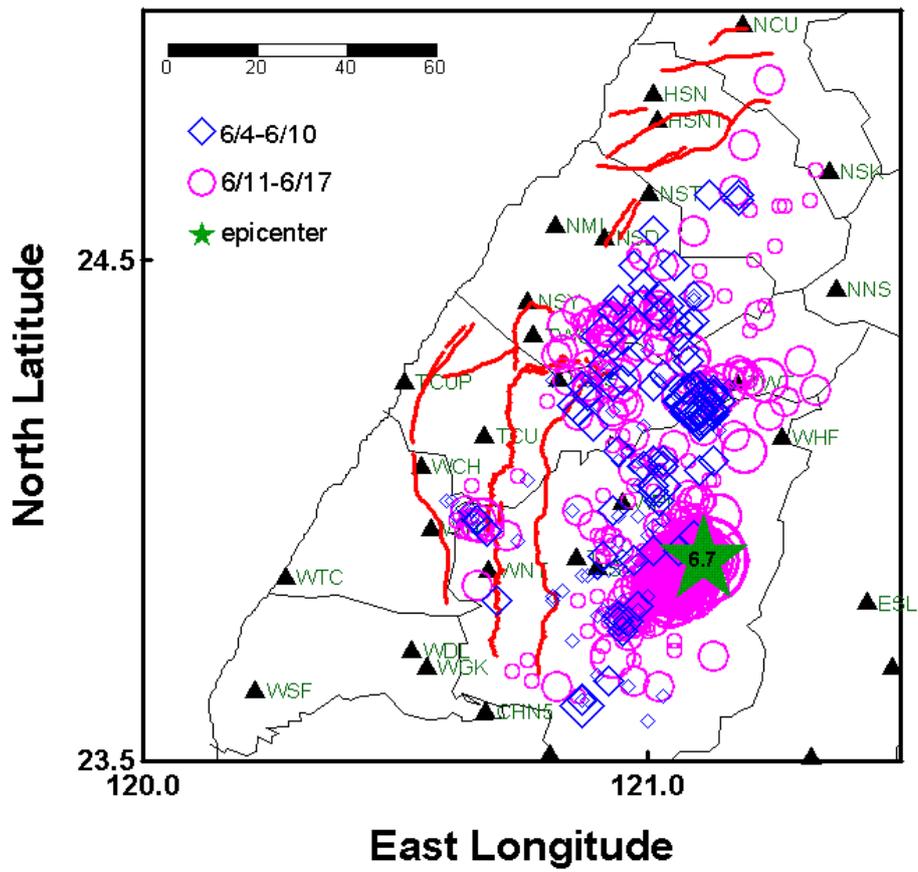


圖 4-40、2000 年 6 月 11 日南投地震主震發生之前後地震分布情形。

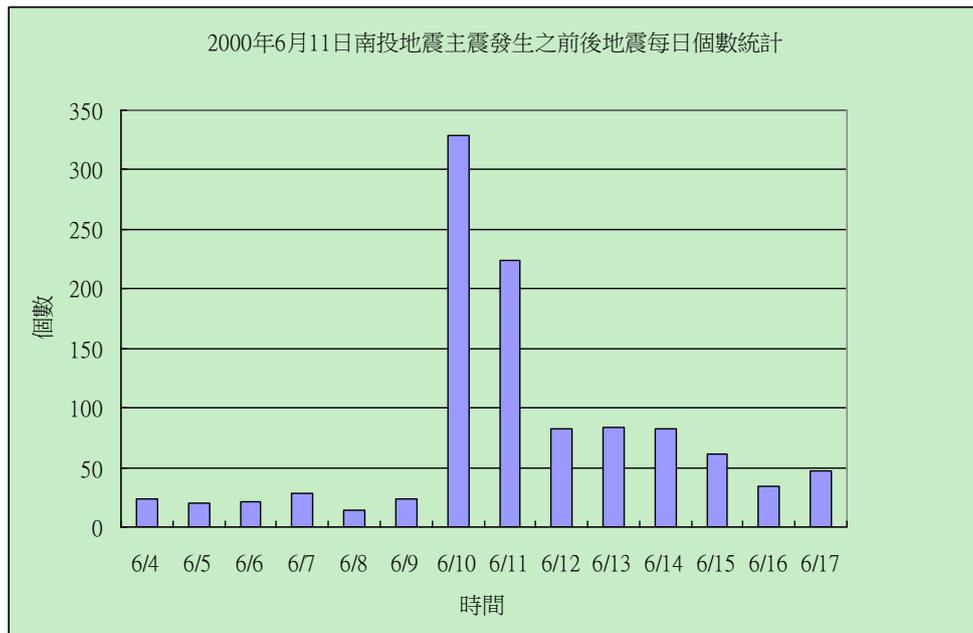


圖 4-41、2000 年 6 月 11 日南投地震主震發生之前後地震每日統計。

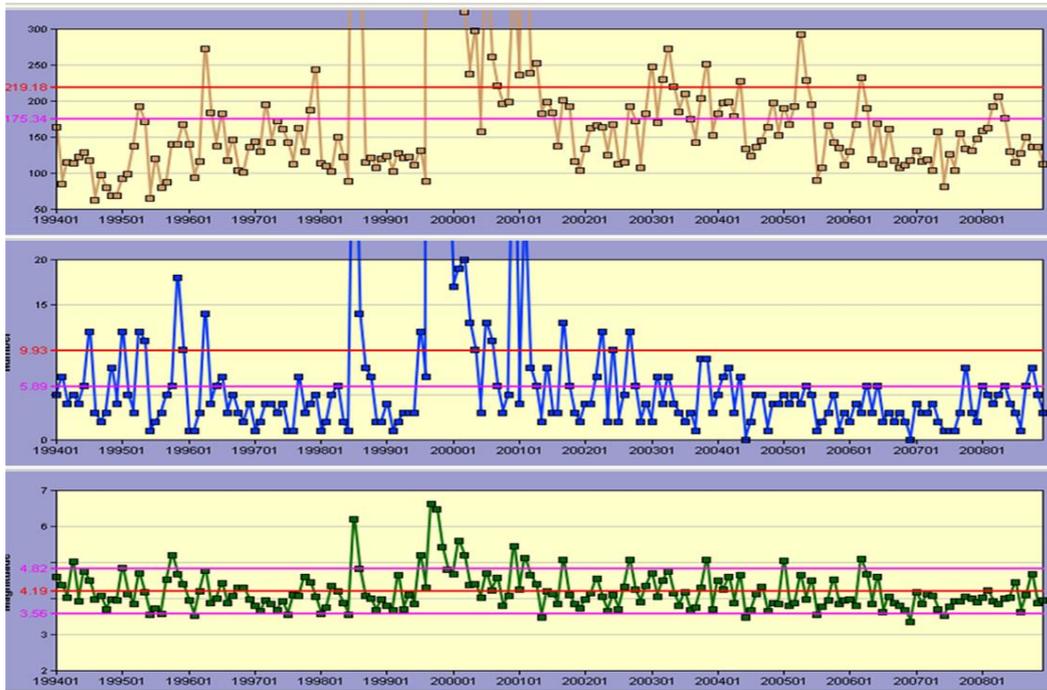


圖 4-42、上圖為 1994 年至 2008 年嘉南分區月地震個數分布，中圖為 1994 年至 2008 年月規模大於 3 之地震個數分布，下圖為 1994 年至 2008 年月累計規模分布。

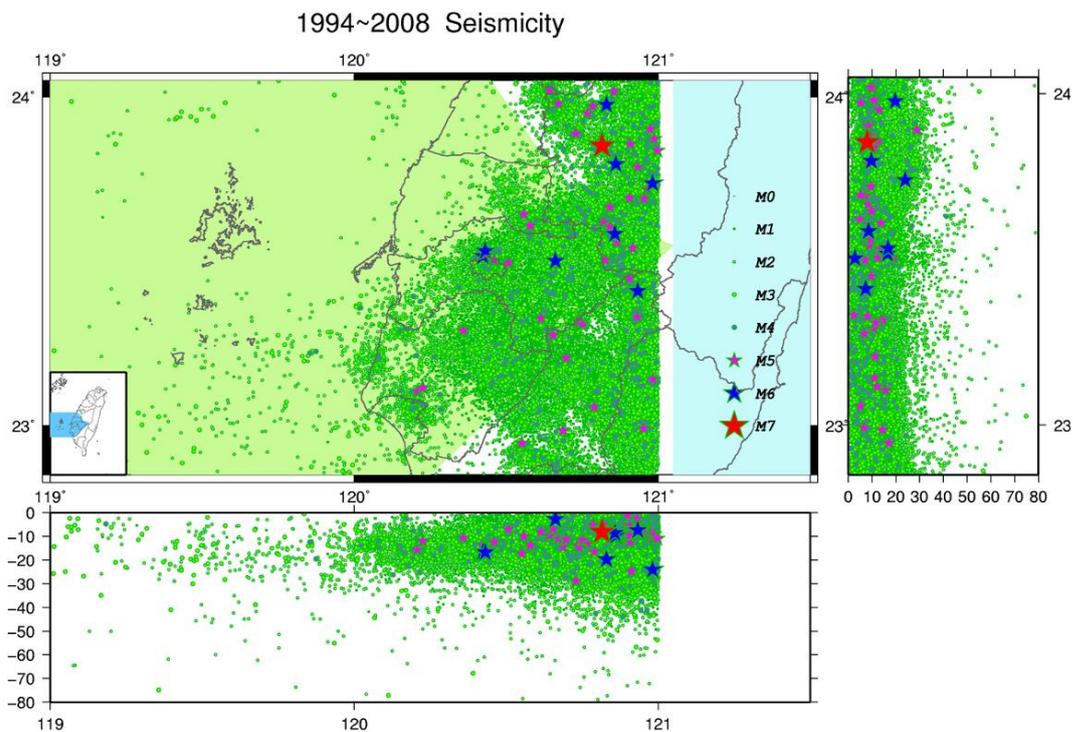


圖 4-43、1994 年至 2008 年嘉南分區月地震分布。

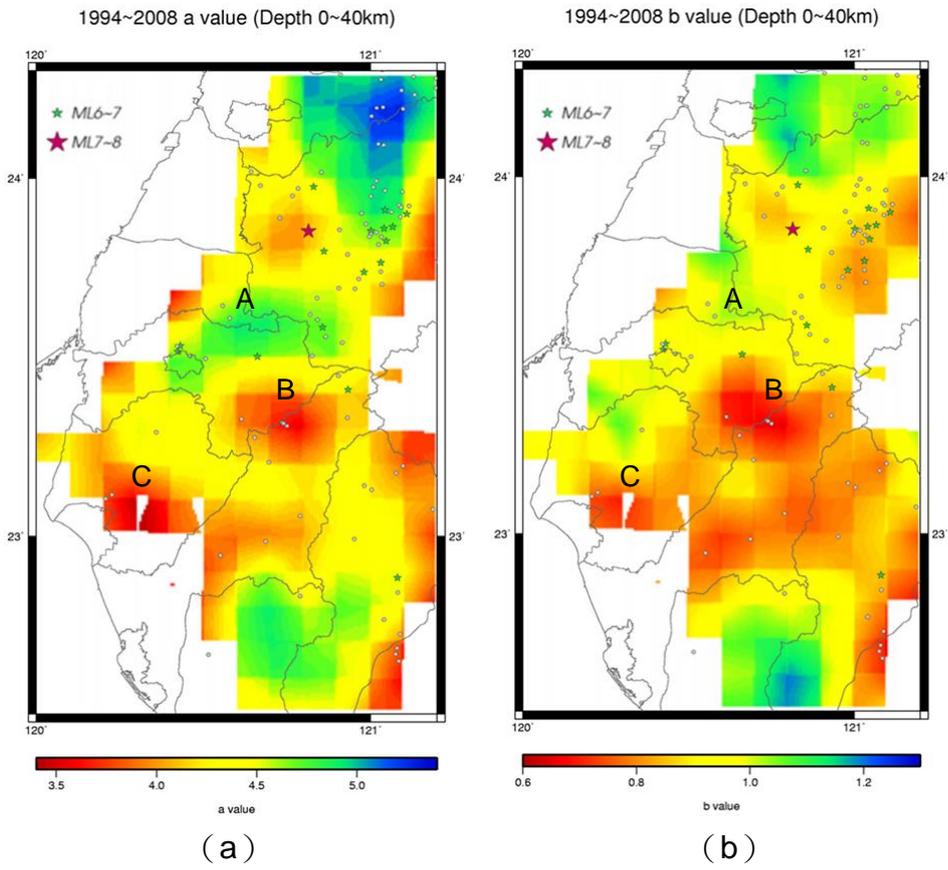


圖 4-44、1994 年至 2008 年嘉南分區 a 值與 b 值分布。

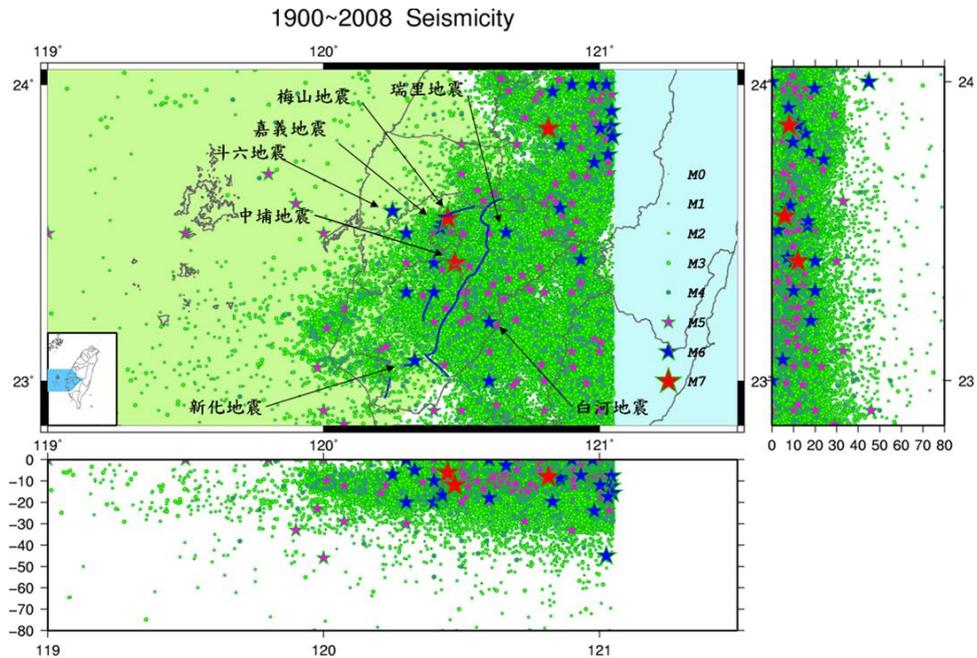


圖 4-45、1990 年至 2008 年嘉南分區地震活動分布圖。



圖 4-46、斗六地震全臺震度分布（圖片來源：臺灣十大災害地震圖集）。

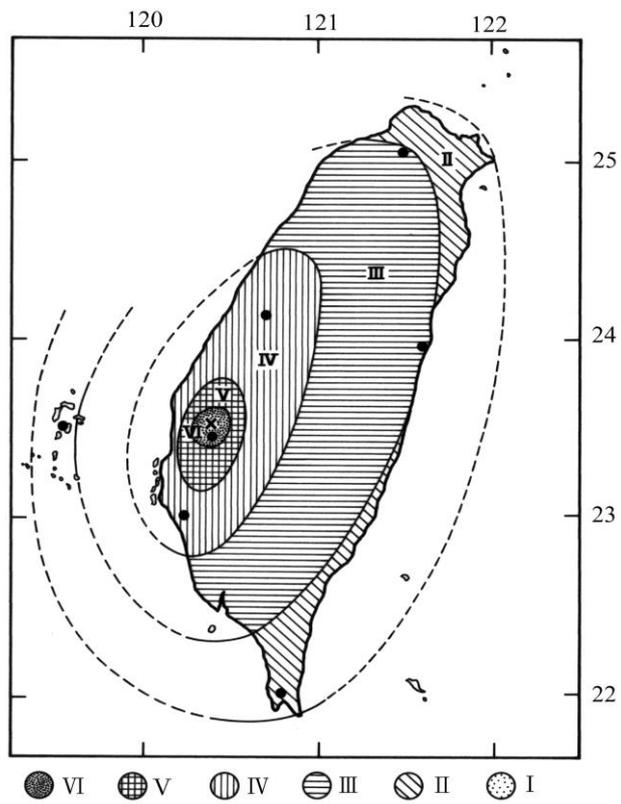


圖 4-47、梅山地震全臺震度分布（圖片來源：臺灣十大災害地震圖集）。

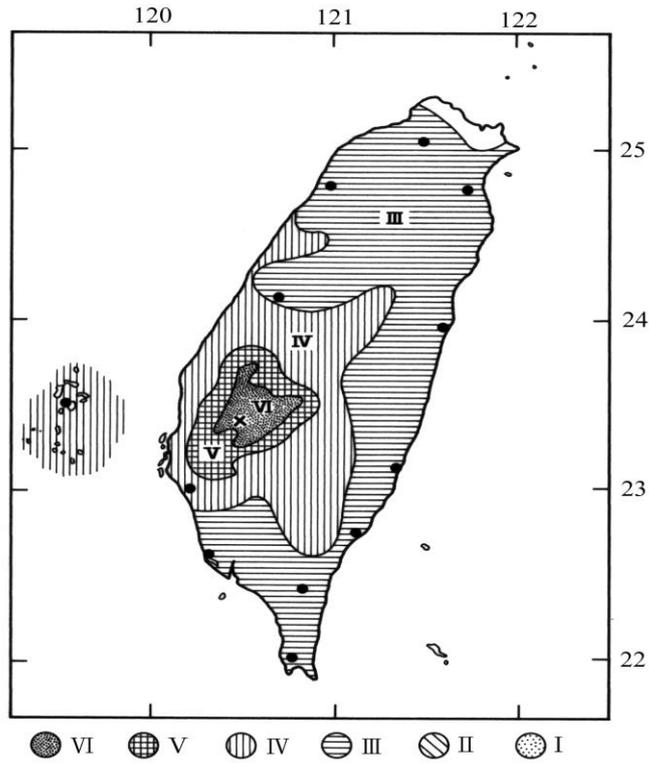


圖 4-48、中埔地震全臺震度分布（圖片來源：臺灣十大災害地震圖集）。

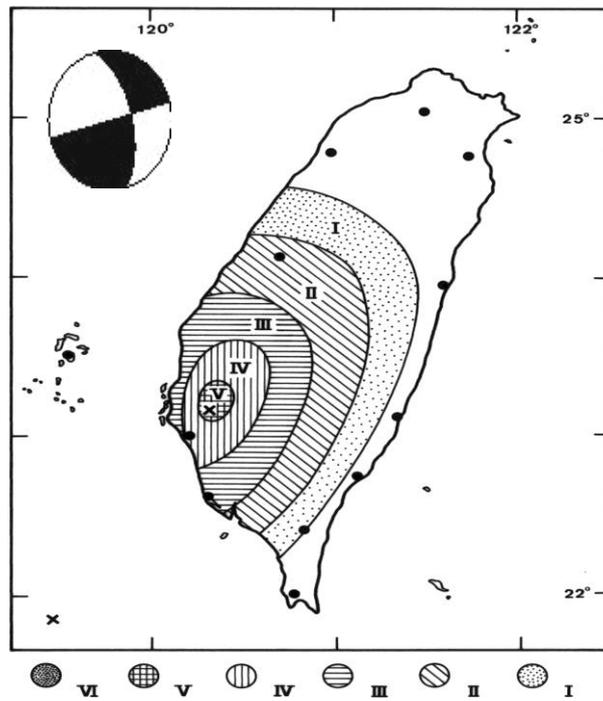


圖 4-49、新化地震全臺震度分布及震源機制解（圖片來源：臺灣十大災害地震圖集）。

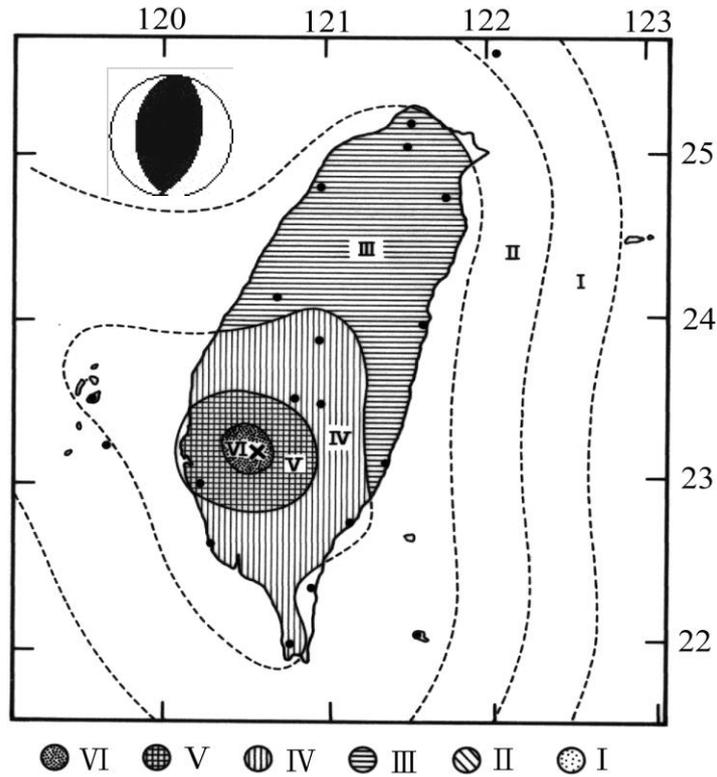


圖 4-50、白河地震全臺震度分布及震源機制解（圖片來源：臺灣十大災害地震圖集）。

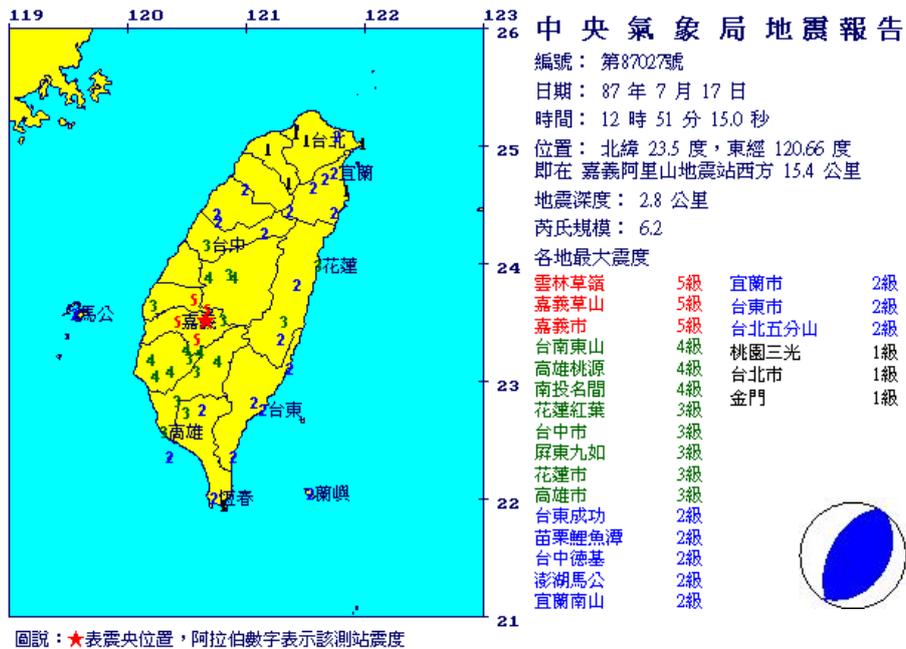


圖 4-51、嘉義瑞里地震全臺震度分布及震源機制解。

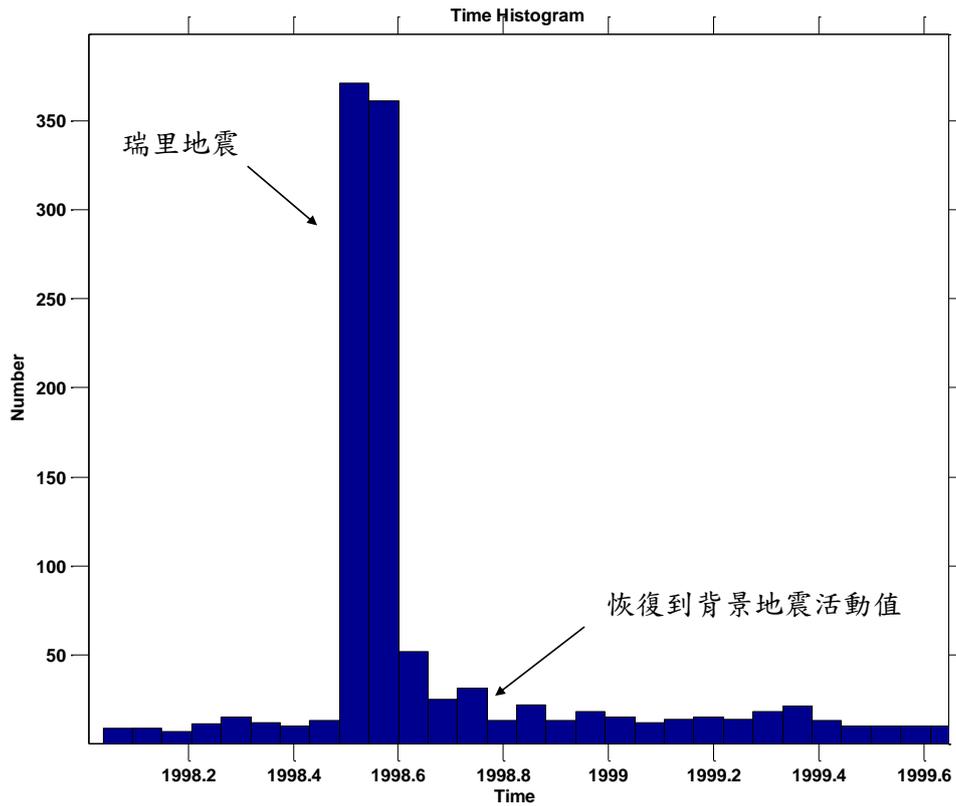


圖 4-52、嘉義瑞里地震餘震持續時間。

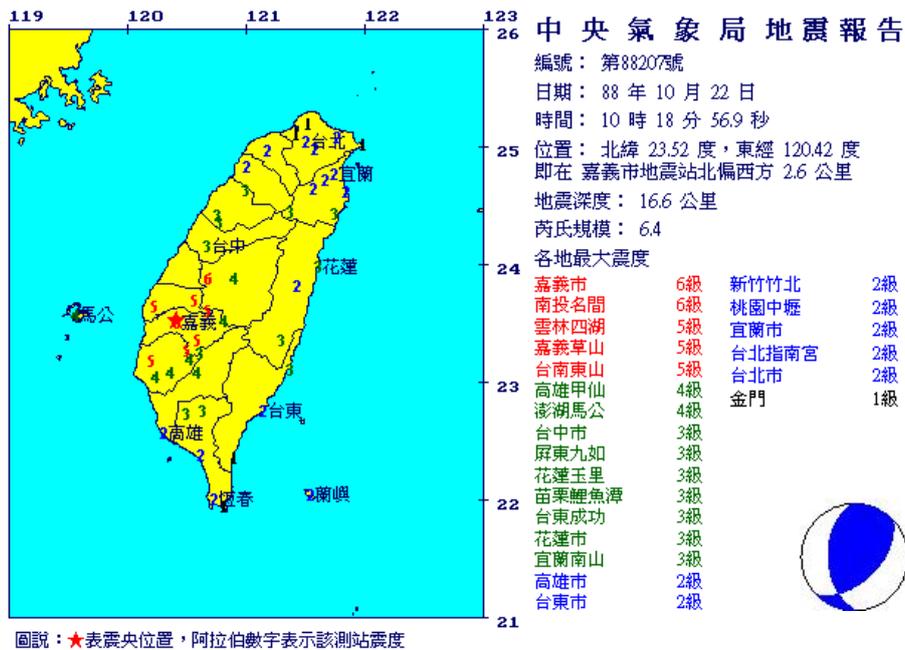


圖 4-53、嘉義地震全臺震度分布及震源機制解。

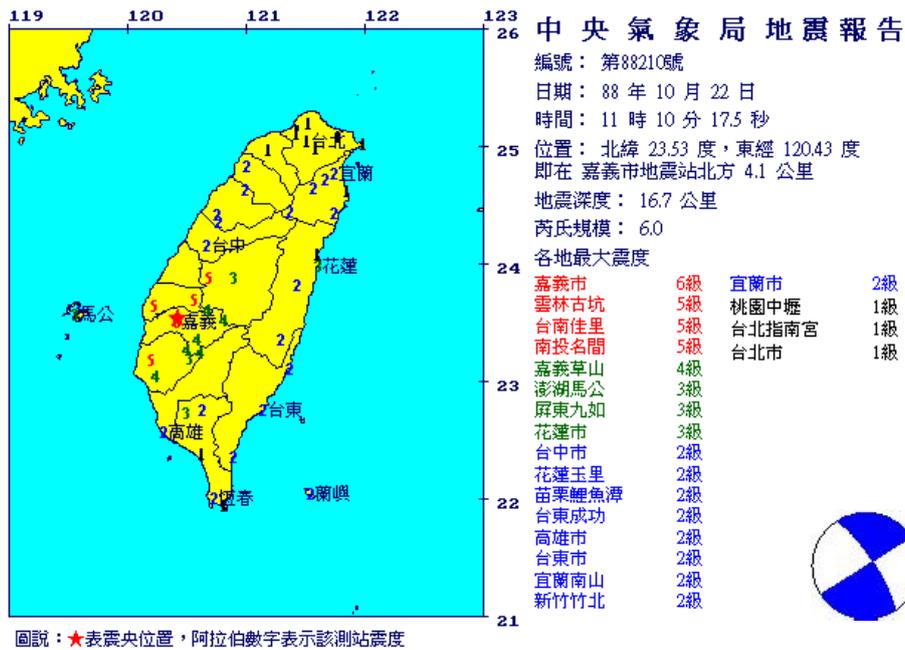


圖 4-54、嘉義地震全臺震度分布及震源機制解。

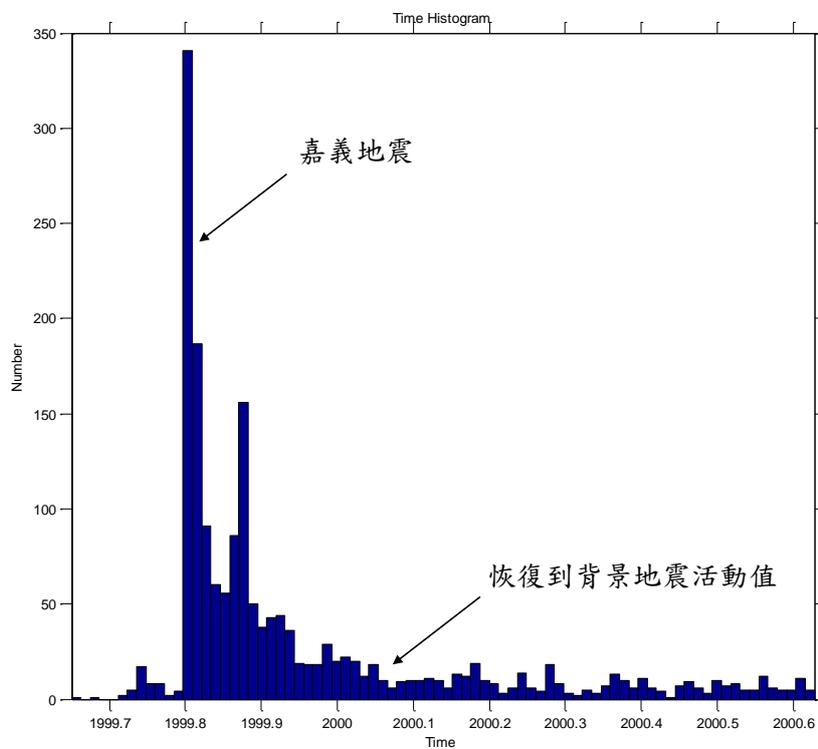


圖 4-55、嘉義地震餘震持續時間。

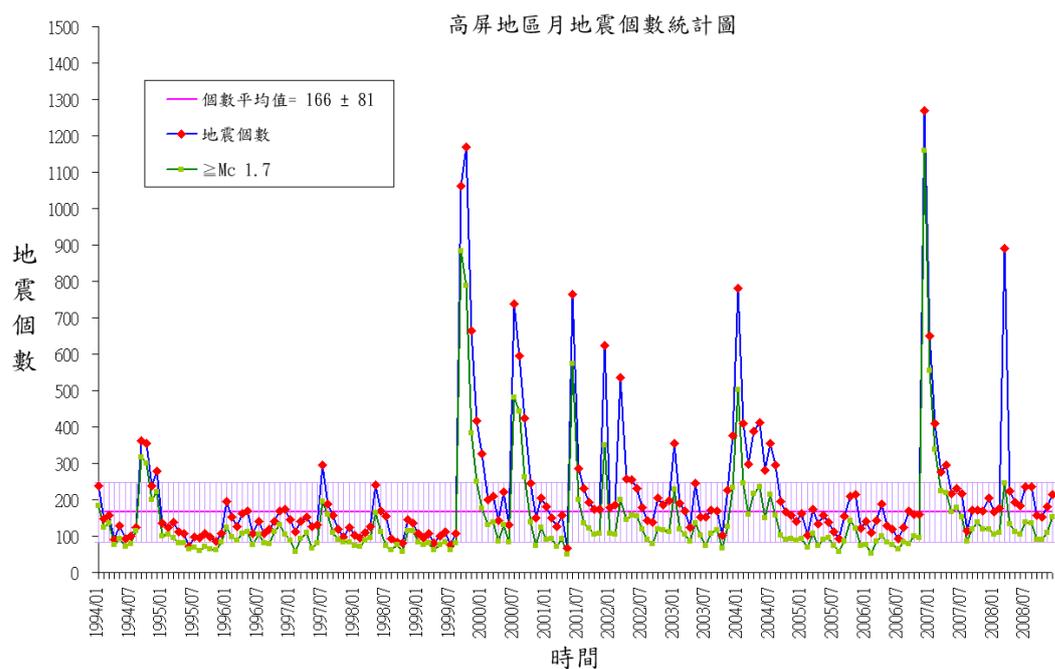


圖 4-56、高屏分區從 1994 年 1 月至 2008 年 12 月每月地震個數統計圖。

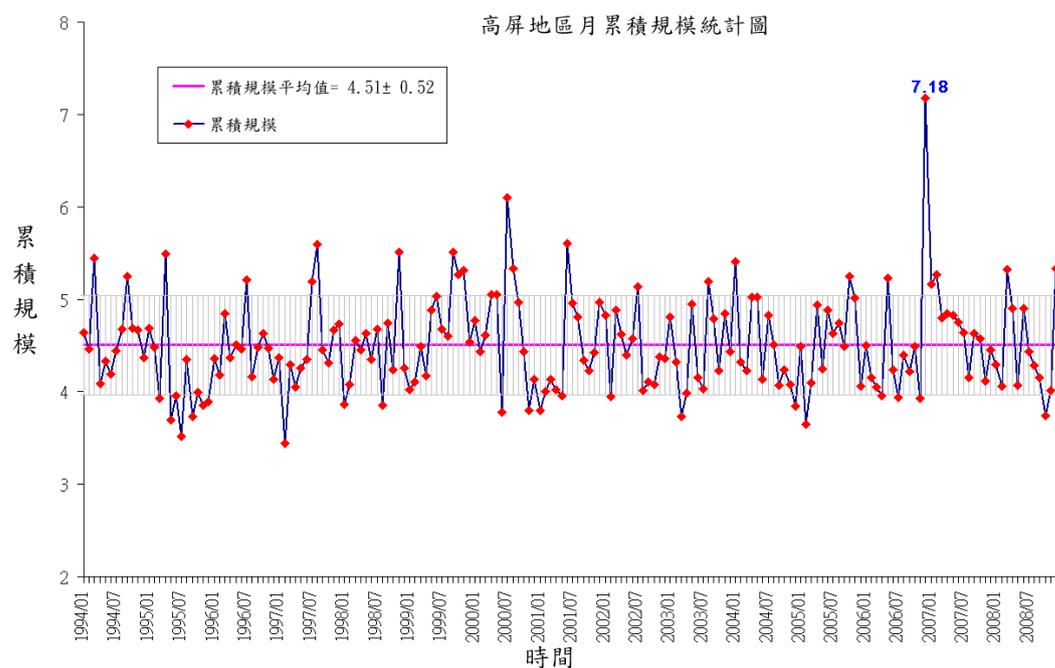


圖 4-57、高屏分區從 1994 年 1 月至 2008 年 12 月每月累積規模統計圖。

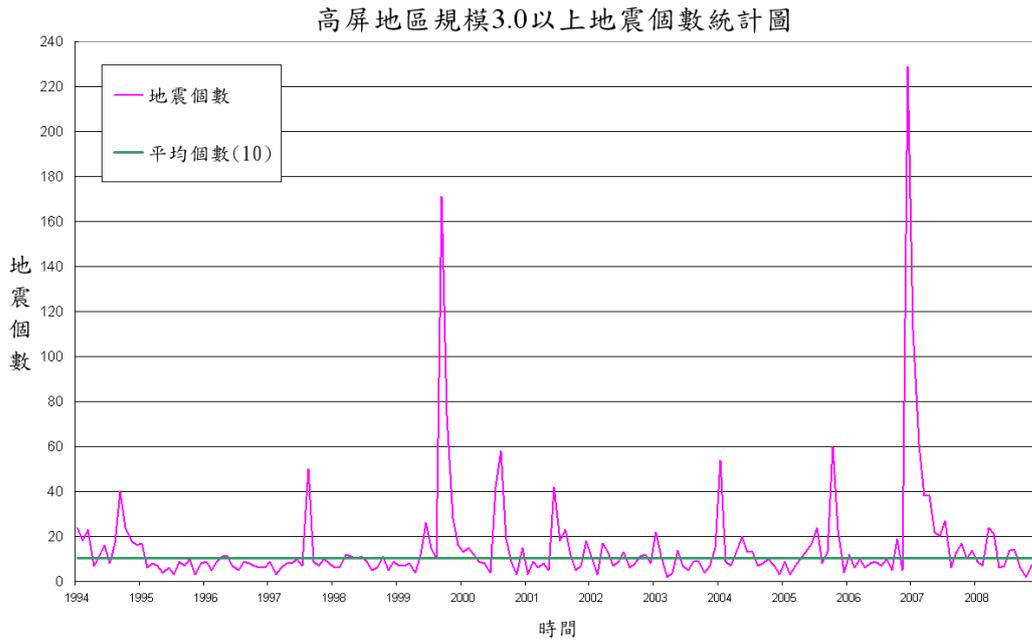


圖 4-58、高屏分區 1994 年 1 月至 2008 年 12 月每月地震規模大於 3 之個數統計圖。

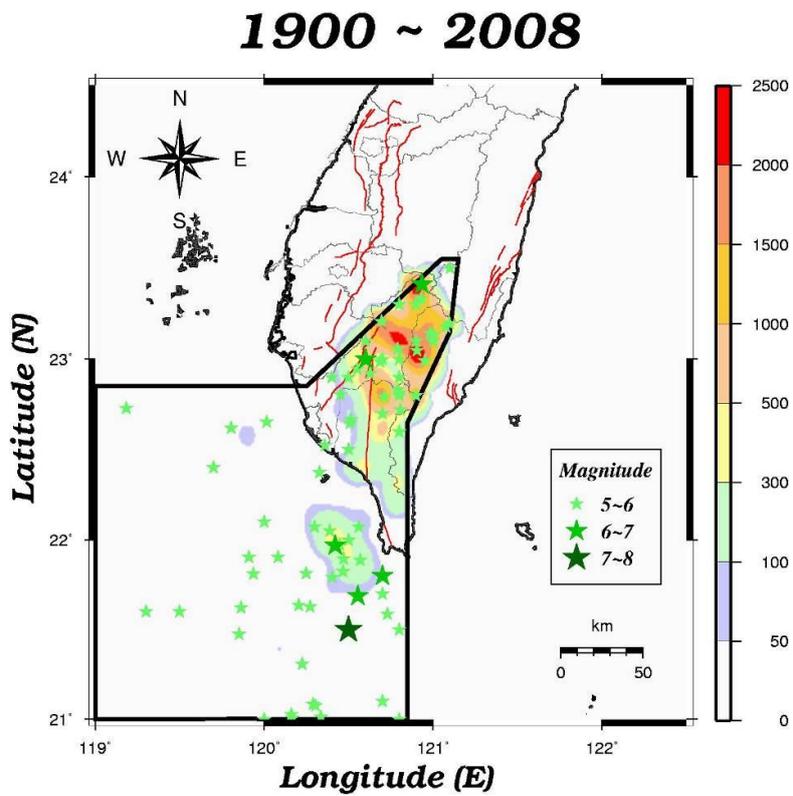


圖 4-59、1900~2008 高屏分區地震分布圖。

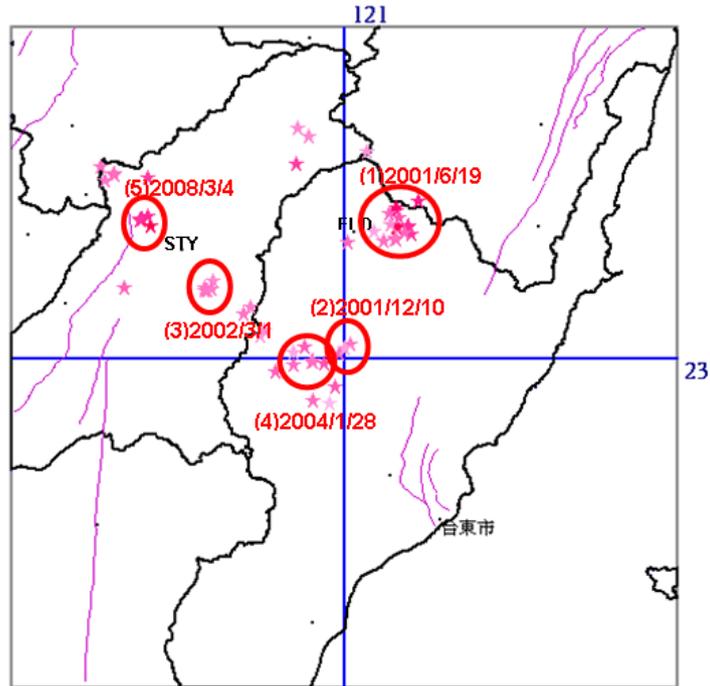


圖 4-60、以利稻和桃源中心點（120.896, 23.174）為原點，搜尋從 2000 年 9 月至 2008 年 12 月，在半徑 30 公里內芮氏規模大於 4.0 的地震，可以找到 5 組群集現象。

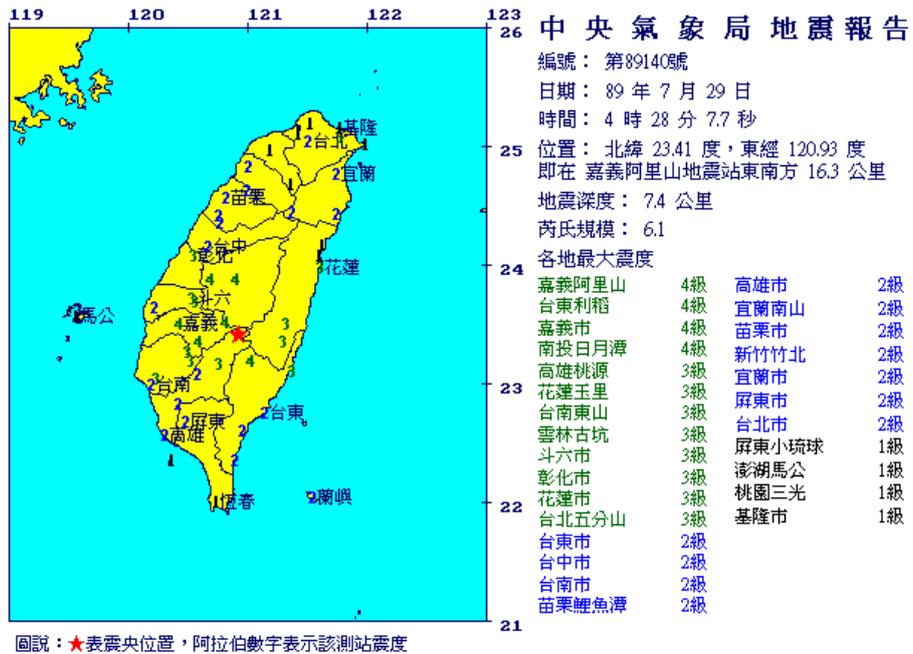


圖 4-61、民國 89 年 7 月 29 日嘉義阿里山東南方地震之正式報告。

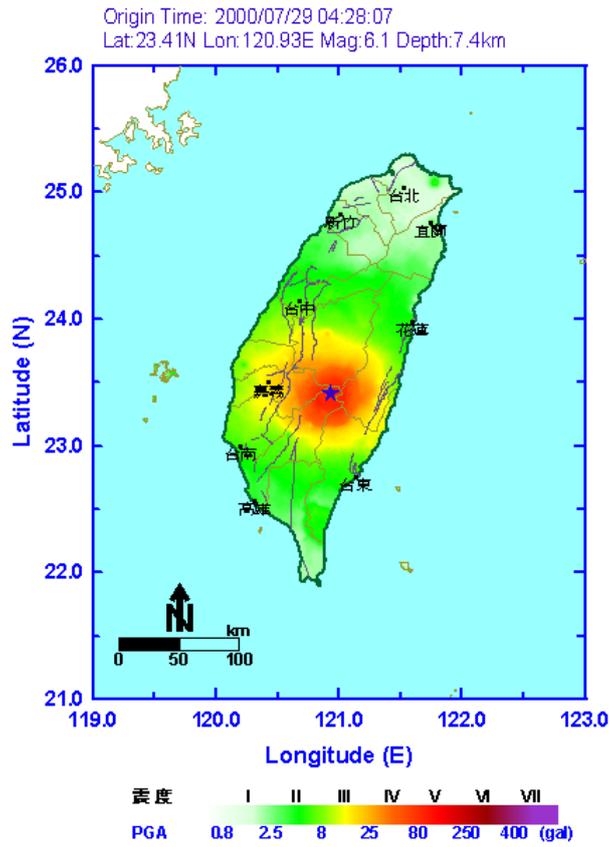


圖 4-62、民國 89 年 7 月 29 日嘉義阿里山東南方地震之等震度圖。

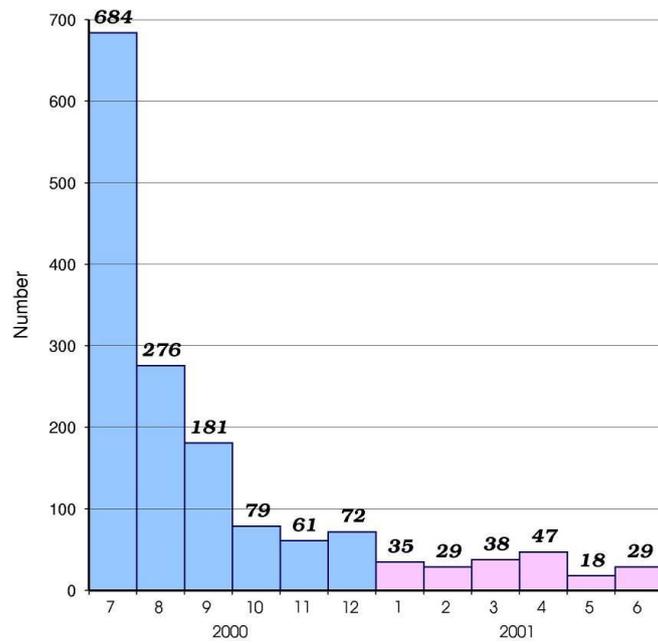


圖 4-63、民國 89 年 7 月 29 日嘉義阿里山東南方地震之餘震個數 vs.時間長條圖。

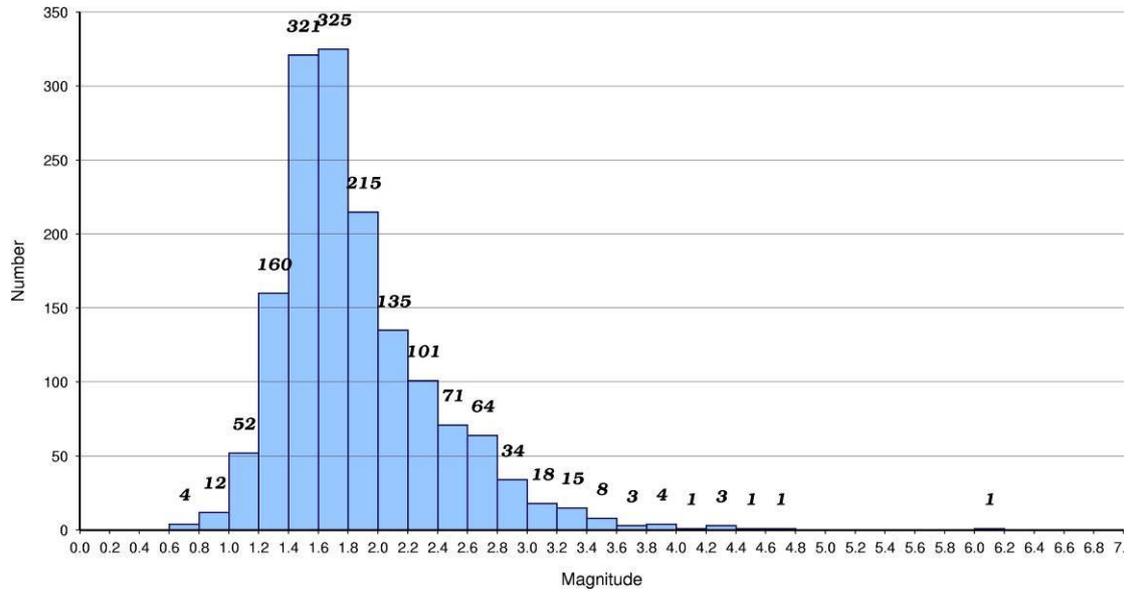


圖 4-64、民國 89 年 7 月 29 日嘉義阿里山東南方地震之餘震規模 vs.個數長條圖。

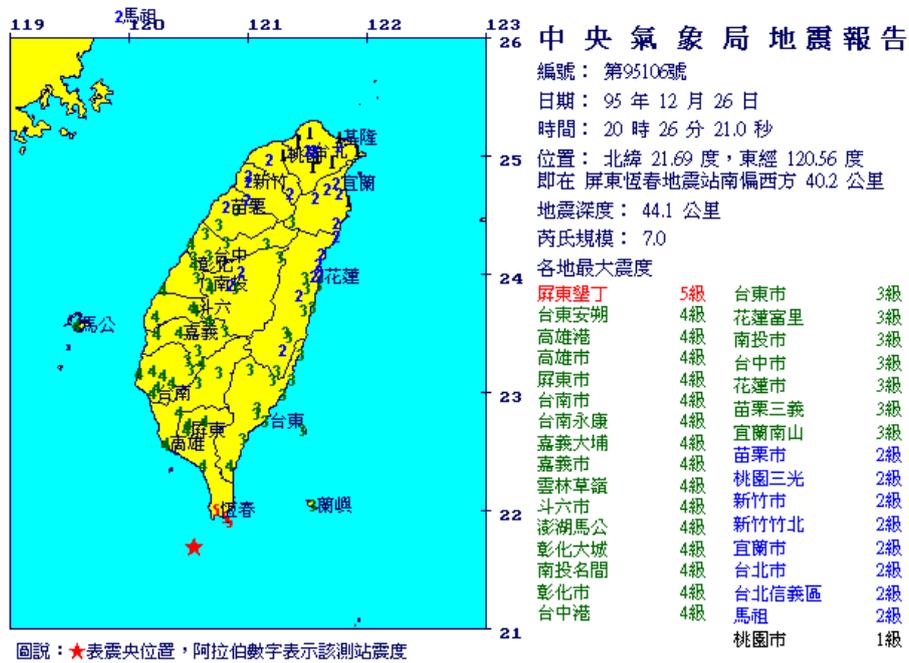


圖 4-65、民國 95 年 12 月 26 日恆春地震第一起地震之正式報告。

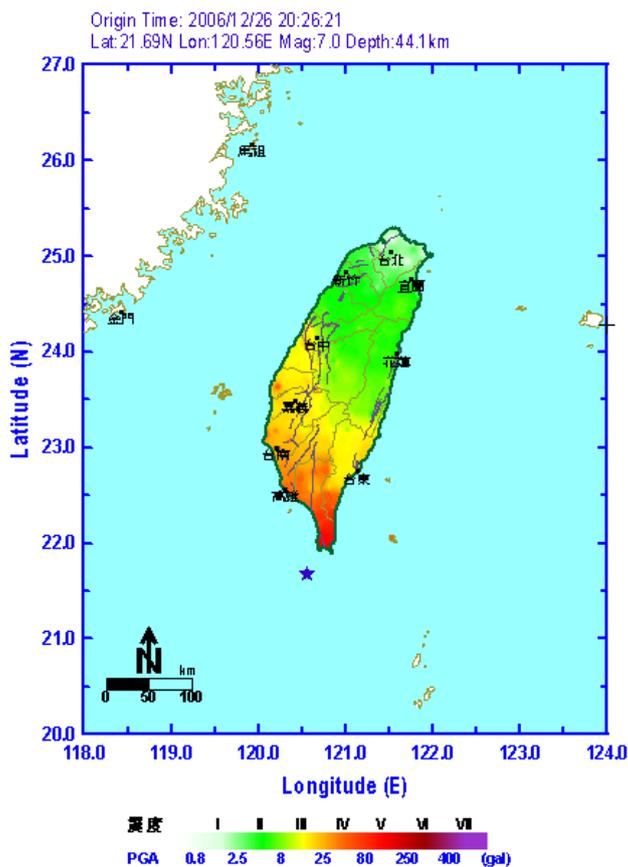


圖 4-66、民國 95 年 12 月 26 日恆春地震第一起地震之等震度圖。

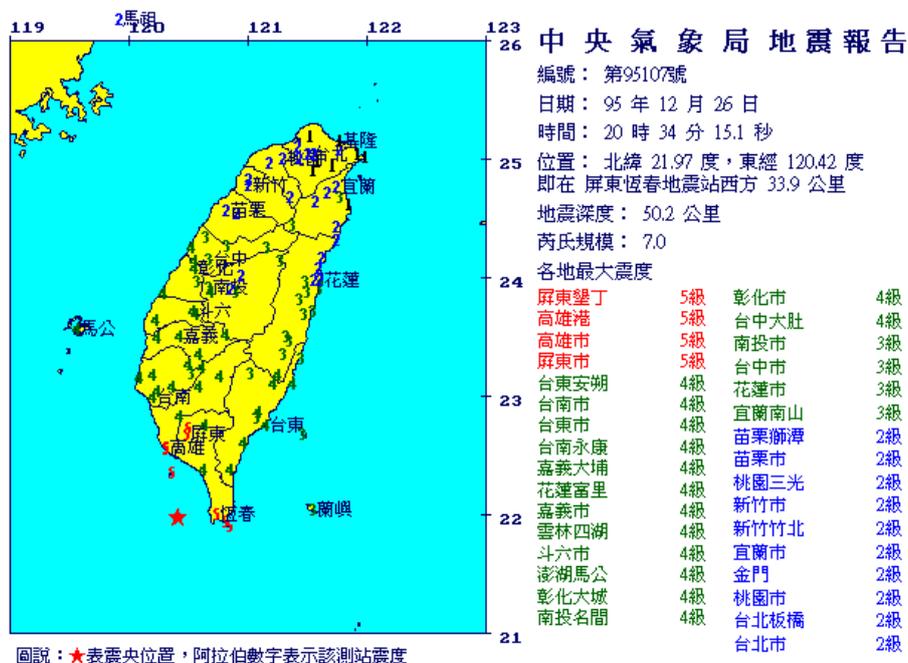


圖 4-67、民國 95 年 12 月 26 日恆春地震第二起地震之正式報告。

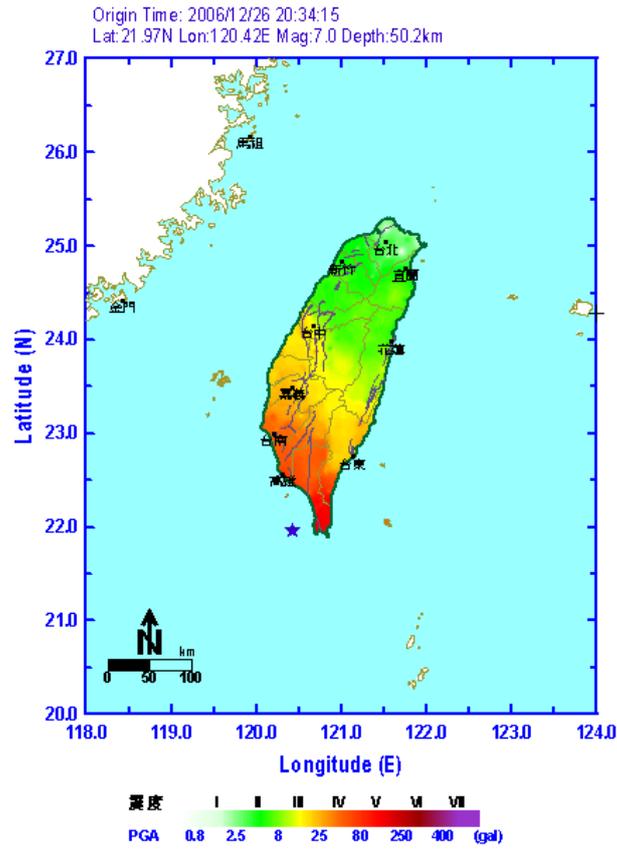


圖 4-68、民國 95 年 12 月 26 日恆春地震第二起地震之等震度圖。

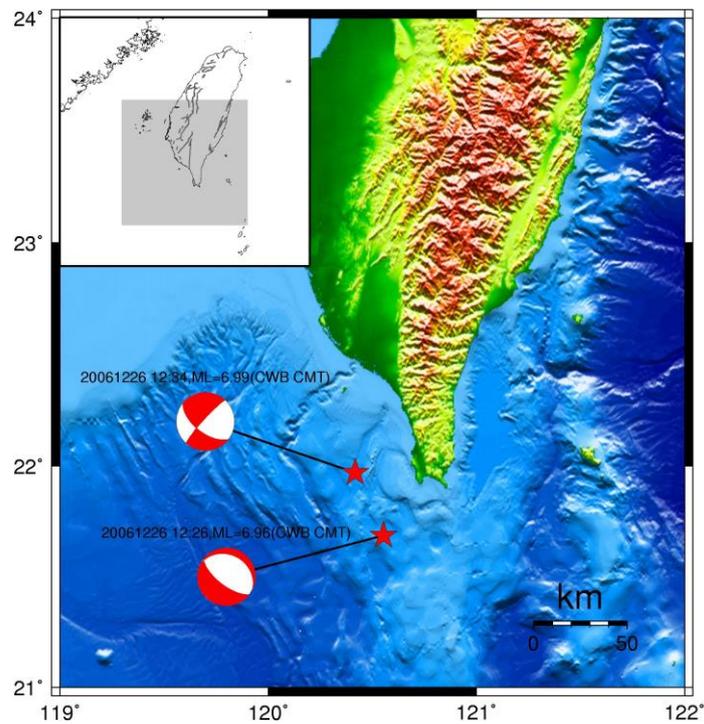


圖 4-69、民國 95 年 12 月 26 日恆春地震之斷層面解。

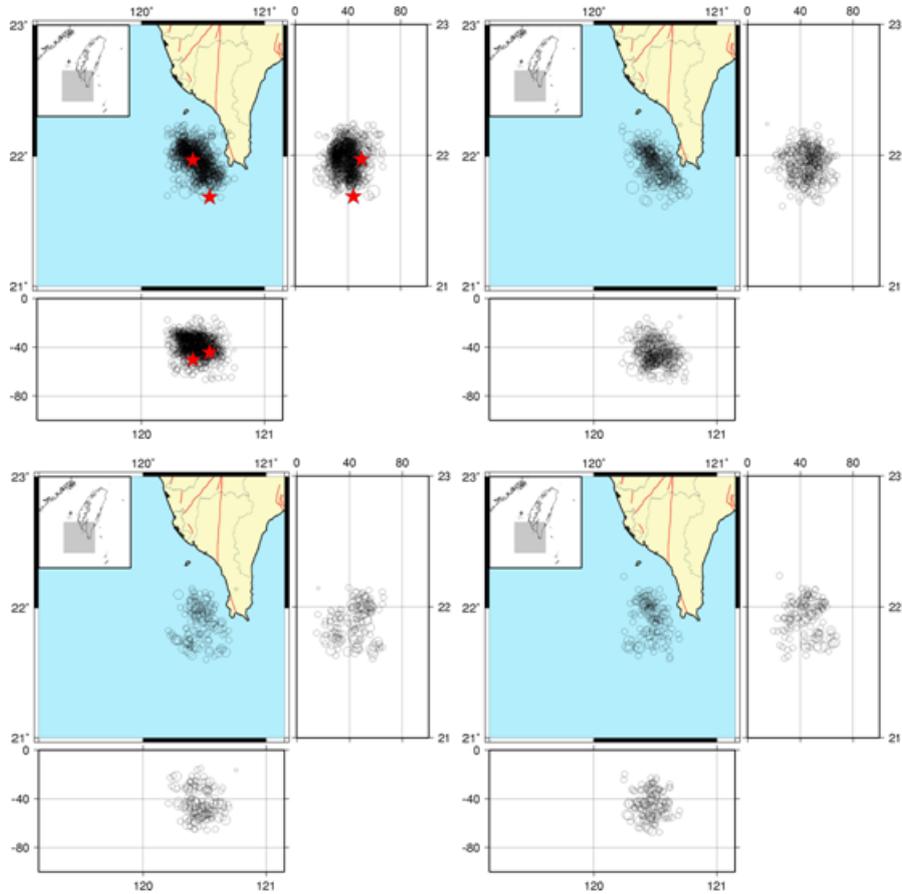


圖 4-70、民國 95 年 12 月 26 日恆春地震後 4 個月內餘震分布圖。

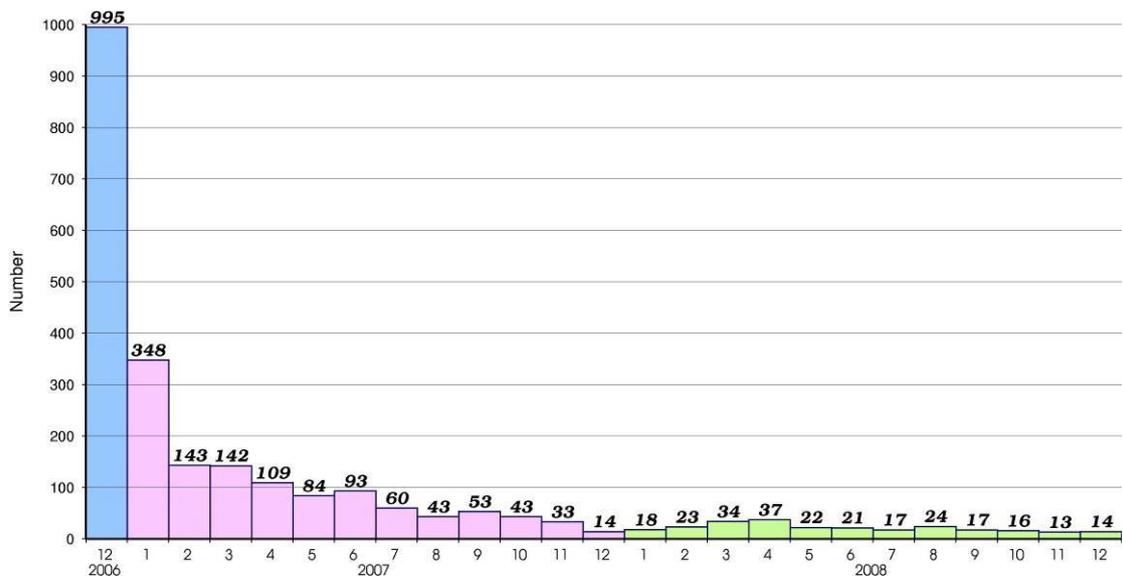


圖 4-71、民國 95 年 12 月 26 日恆春地震之餘震個數 vs.時間長條圖。

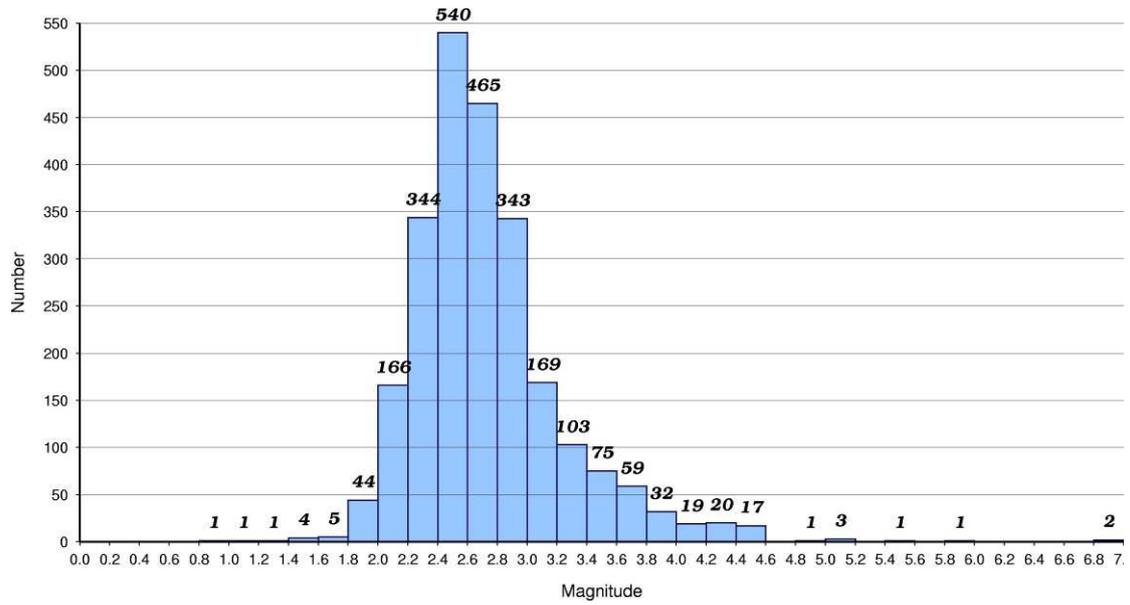


圖 4-72、民國 95 年 12 月 26 日恆春地震及其餘震規模 vs.個數長條圖。

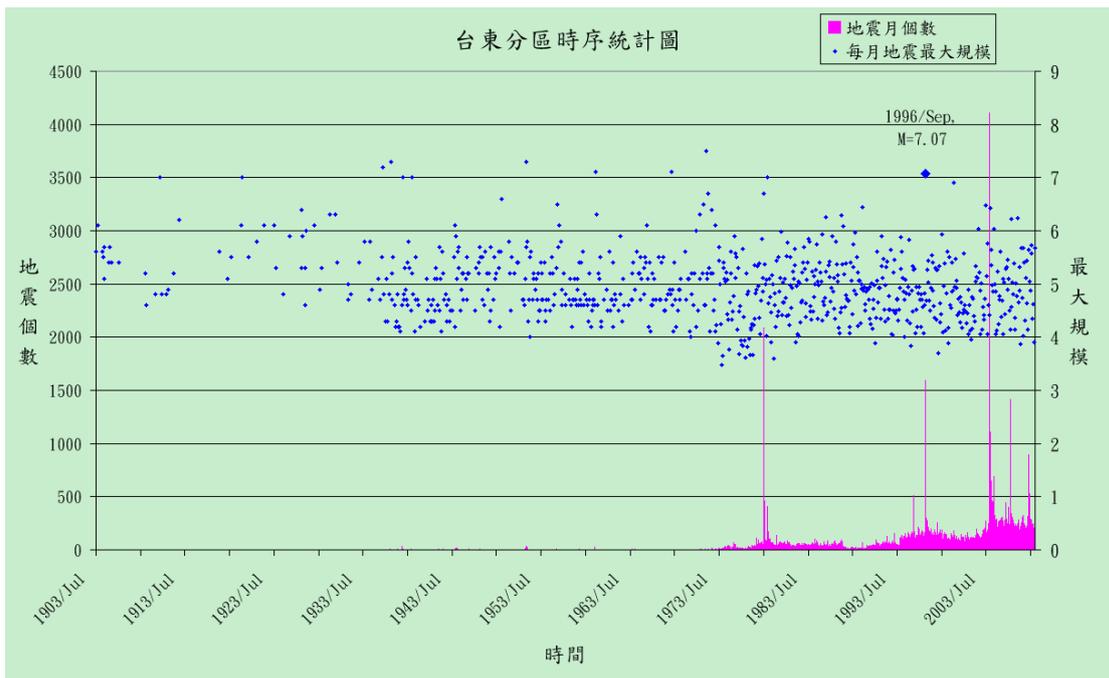


圖 4-73、臺東分區 1903 年 7 月~2008 年 12 月每月時序統計圖。

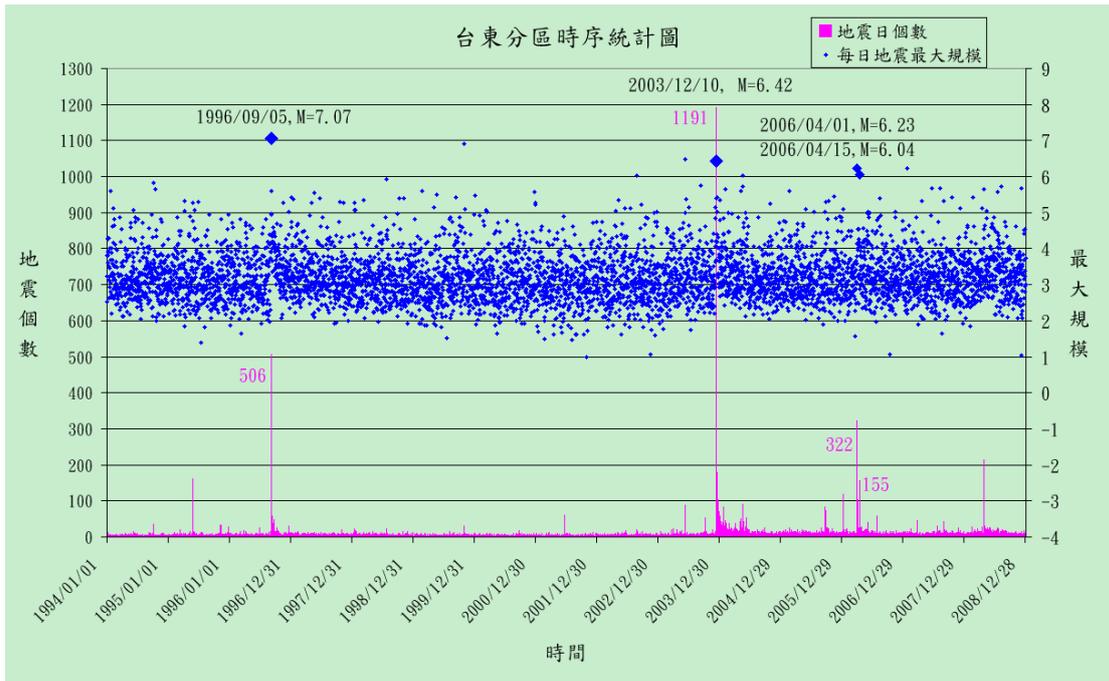
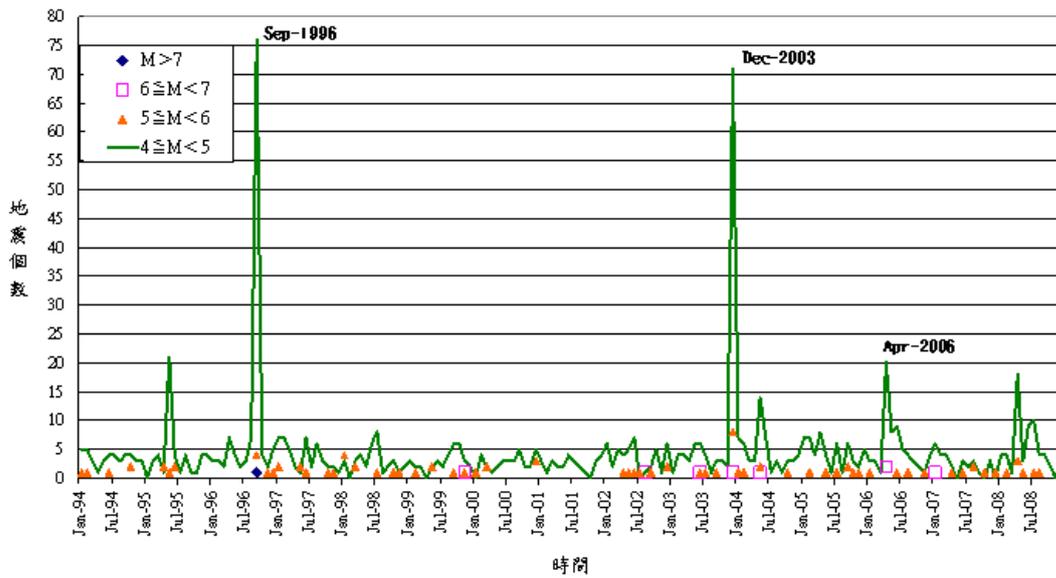


圖 4-74、臺東分區 1994 年~2008 年每日時序統計圖。

台東分區規模區段分析圖



台東分區規模區段分析圖

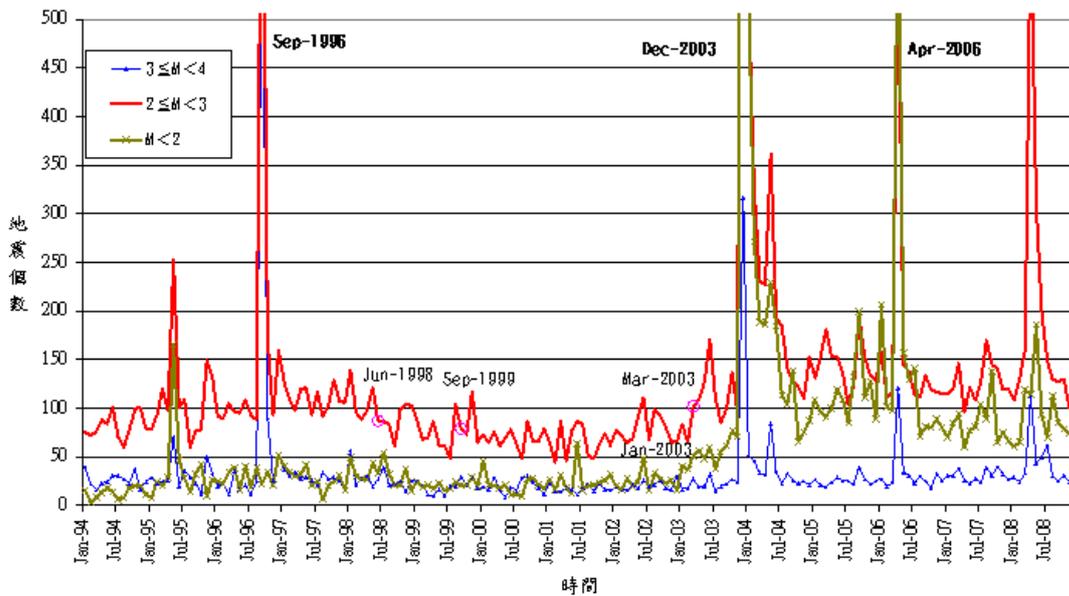


圖 4-75、臺東分區 1994 年~2008 年間不同規模區段之時序統計圖。上圖為規模 4.0 以上的月個數統計值；下圖為小於規模 4.0 的月個數統計值。

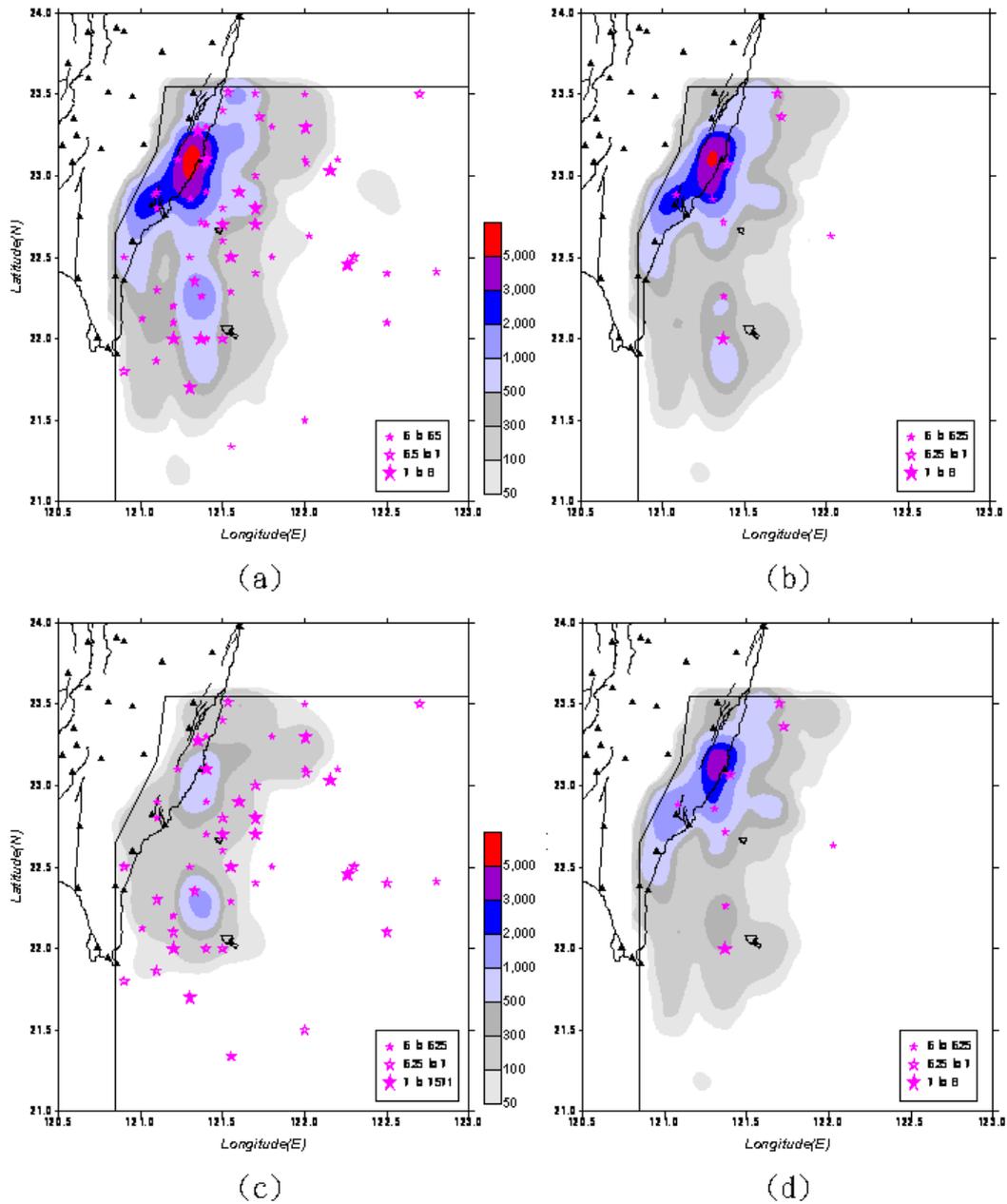


圖 4-76、臺東分區不同觀測時期之地震個數累計等值圖及規模 6.0 以上之震央分布圖。圖 (a) 為 1903~2008 年；圖 (b) 為 1994~2008 年；圖 (c) 為 1903~1993 年，但扣掉特殊地震序列後的背景地震活動（林祖慰等，2008）；圖 (d) 之時間為 1994~2008 年，但扣掉特殊地震序列後的背景地震活動（林祖慰等，2008）。由各圖的比較可清晰見到地震在空間分布上的特性：活動度最高處在成功附近，其次即使發生規模 6.0 以上的地震也不一定會引發明顯的餘震。

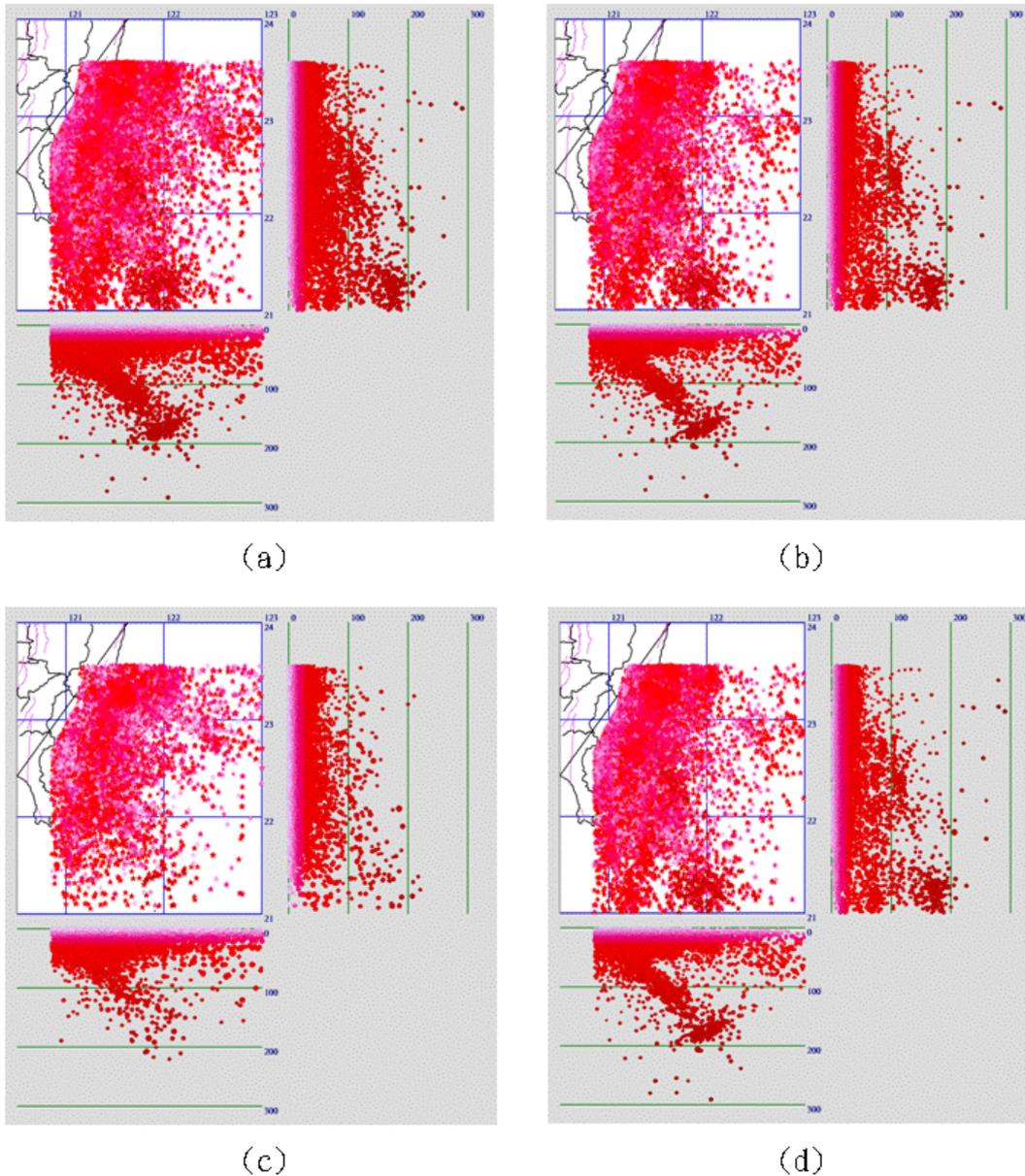
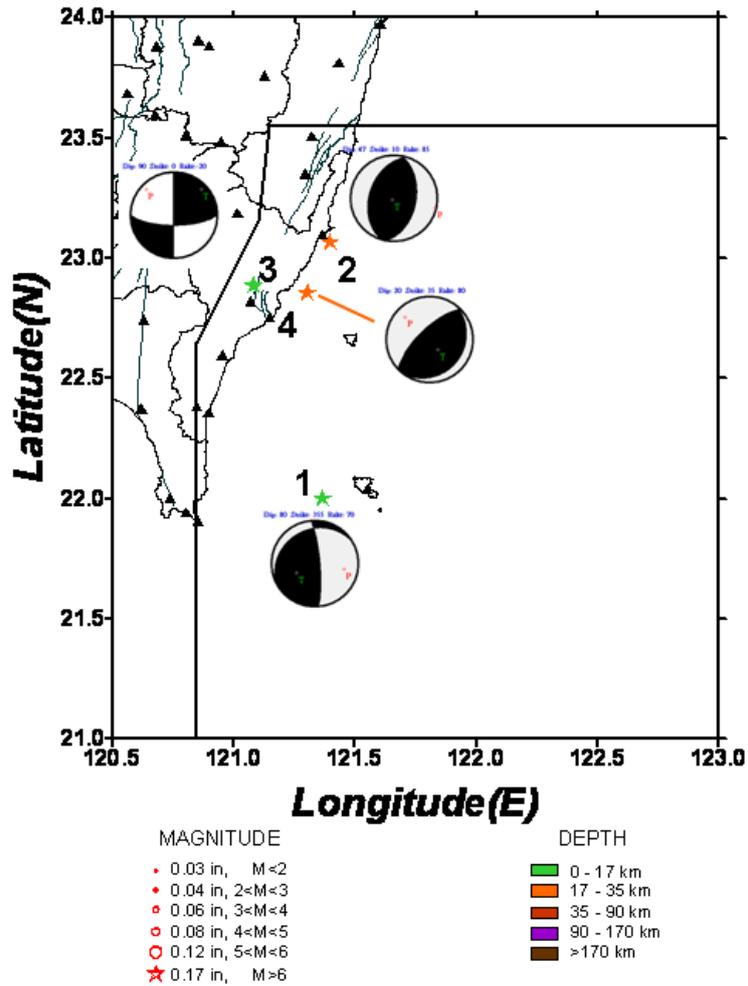


圖 4-77、臺東分區不同觀測時期之地震震央分布及剖面圖。圖 (a) 為 1903~2008 年；圖 (b) 為 1994~2008 年；圖 (c) 為 1903~1993 年，但扣掉特殊地震序列後的背景地震活動 (林祖慰等, 2008)；圖 (d) 為 1994~2008 年，但扣掉特殊地震序列後的背景地震活動 (林祖慰等, 2008)。綜合南北向及東西向剖面示意圖顯示：隱沒帶約從北緯  $23^{\circ}$  (約成功站附近) 漸漸往東南方向深入，並似乎在地表下約 150~200 公里附近有一介面。另外從 (c)、(d) 圖的比較可見到，1994 年之後收錄到較多的深震。



時間(UT)	東經	北緯	規模	深度	震源機制解					
					初動解			CWB/CNT解		
					傾角	走向	滑移角	傾角	走向	滑移角
1996/09/05 23:42	121.37	22.00	7.07	14.76	80	335	70			
2003/12/10 04:38	121.40	23.07	6.42	17.73	47	10	85			
2006/04/01 10:02	121.08	22.88	6.23	7.20	90	0	-20	58.9	194	30.2
2006/04/15 22:40	121.30	22.86	6.04	17.90	20	35	80	46.7	215	116.4

圖 4-78、臺東分區三組具災害與特殊性地震序列之主震震央分布及其初動機制解圖，附表為對應之震源參數。

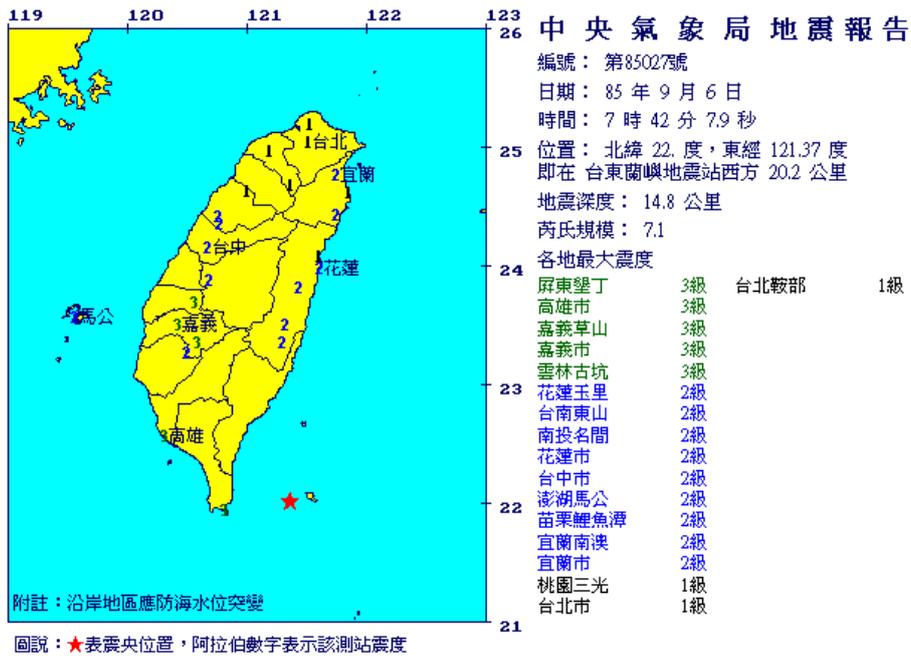


圖 4-79、1996 年 9 月 6 日蘭嶼地震之地震報告。

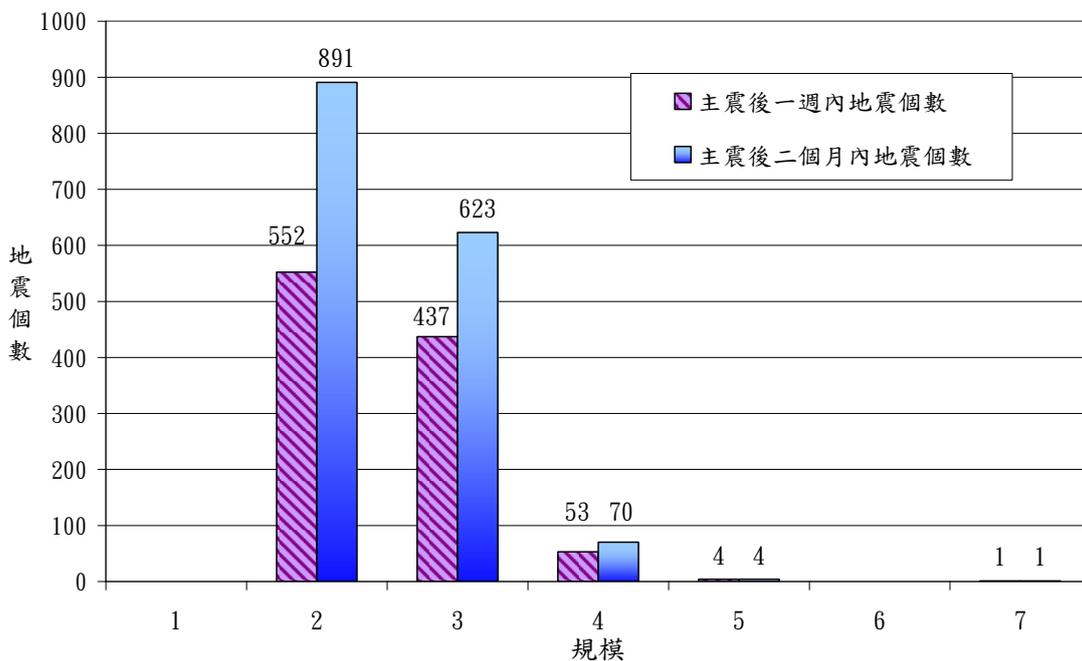


圖 4-80、1996 年 9 月蘭嶼地震序列之地震個數與規模對應關係統計分析圖。資料搜尋範圍為東經 121.0°~121.8°、北緯 21.5°~22.7°，震源深度小於 50 公里者。

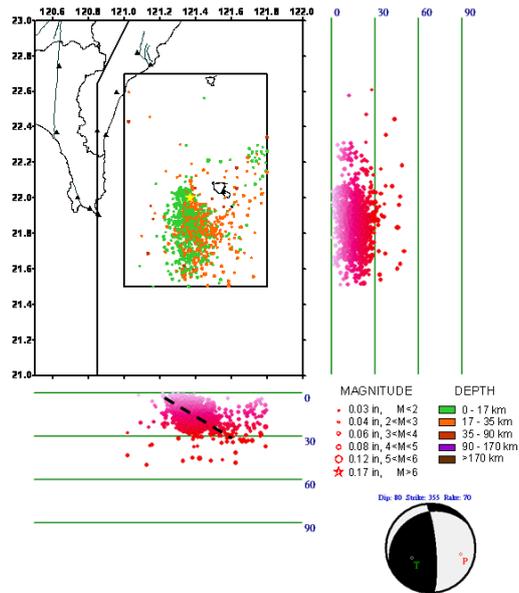


圖 4-81、1996 年 9 月 6 日蘭嶼地震發生後 1 週內之餘震分布圖及主震初動解圖。資料搜尋範圍為東經 121.0°~121.8°、北緯 21.5°~22.7°，震源深度小於 50 公里者。由東西向剖面可見地震序列大致上是沿著一個約呈南北走向且向東傾斜的破裂面發生(星星為主震震央)。

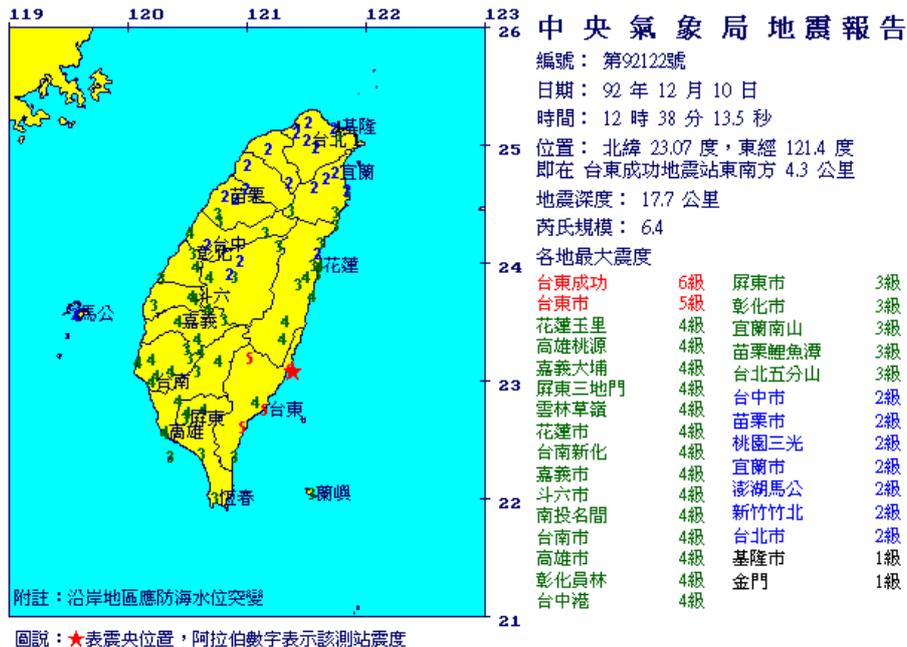


圖 4-82、2003 年 12 月 10 日臺東成功地震之正式報告。

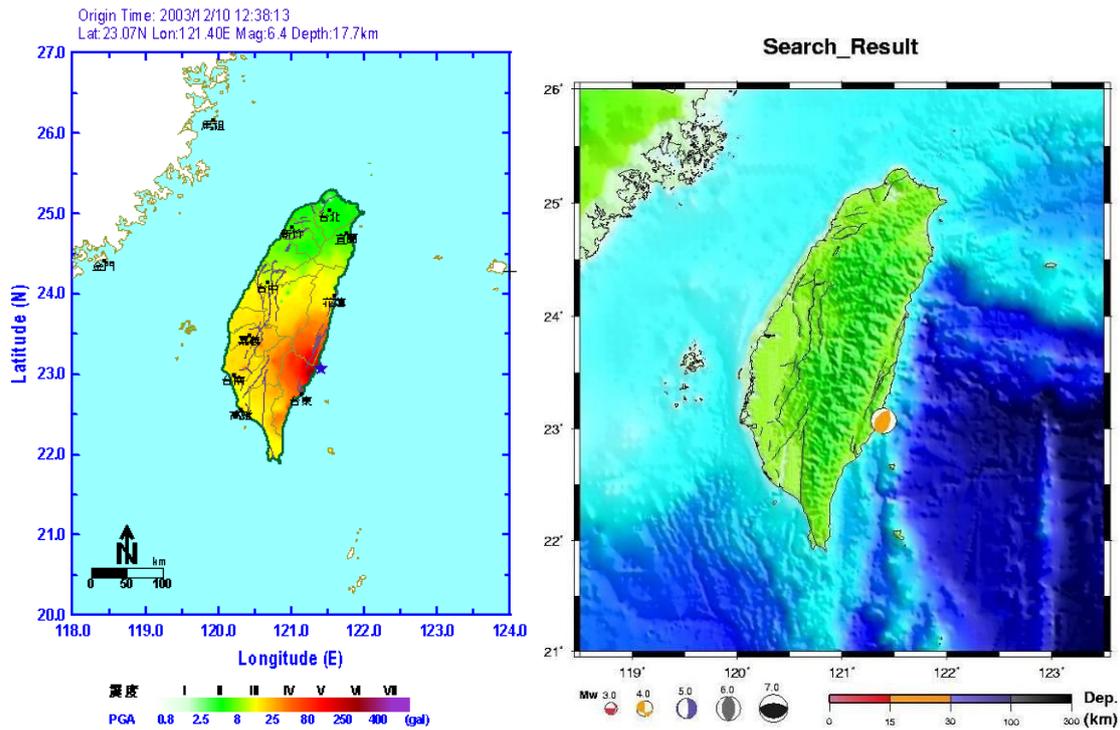


圖 4-83、2003 年 12 月 10 日臺東成功地震之等震度圖與震源機制解。

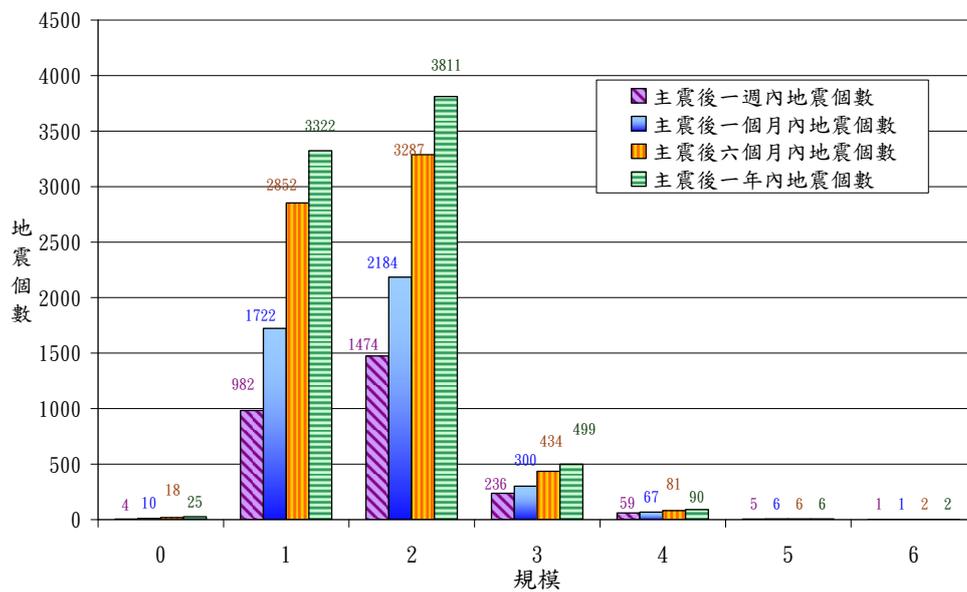
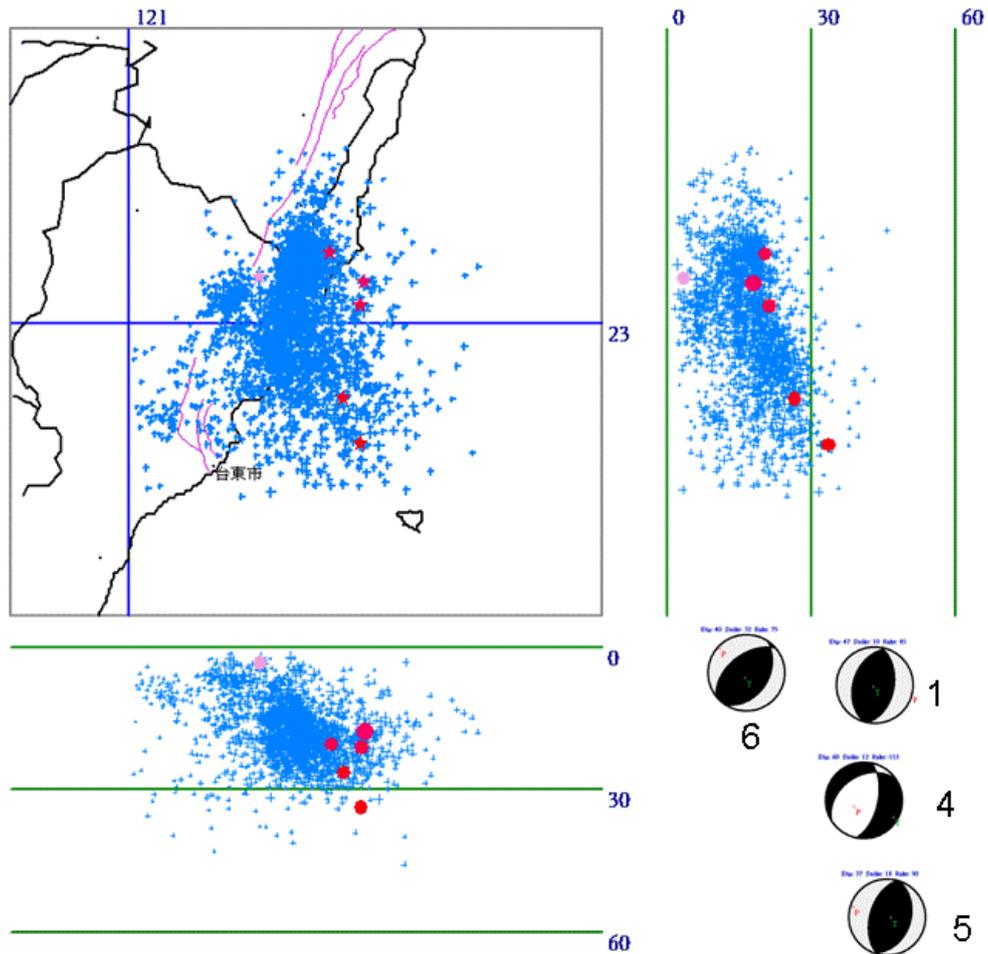


圖 4-84、2003 年 12 月 10 日臺東成功地震序列之地震個數與規模對應關係統計分析圖。資料搜尋範圍為東經 121.0°~121.6°、北緯 22.7°~23.3°。從不同時間段的比較可看出，規模 5.0 以上較大規模的餘震皆集中於一週內發生；主震發生後半年內小規模地震的活動度仍相當頻繁。



	時間(UT)	東經	北緯	規模	深度	震源機制解					
						初動解			CWB/CIT解		
						傾角	走向	滑移角	傾角	走向	滑移角
1	2003/12/10 04:38	121.40	23.07	6.42	17.73	47	10	85			
2	2003/12/10 04:39	121.39	23.03	5.41	21.12						
3	2003/12/10 05:20	121.22	23.07	5.22	3.39						
4	2003/12/10 08:46	121.36	22.87	5.18	26.35	60	12	-115			
5	2003/12/11 00:01	121.39	22.79	5.39	33.58	37	18	92			
6	2003/12/16 13:56	121.34	23.12	5.02	20.27	40	32	75			

圖 4-85、2003 年 12 月 10 日臺東成功地震發生後 1 週內之餘震分布剖面圖及主震和規模 5.0 以上餘震的初動解圖。資料搜尋範圍為東經 121.0°~121.6°、北緯 22.7°~23.3°。由剖面圖分析可見地震序列大致發生在沿著北北東走向且向東南傾斜的破裂面上。

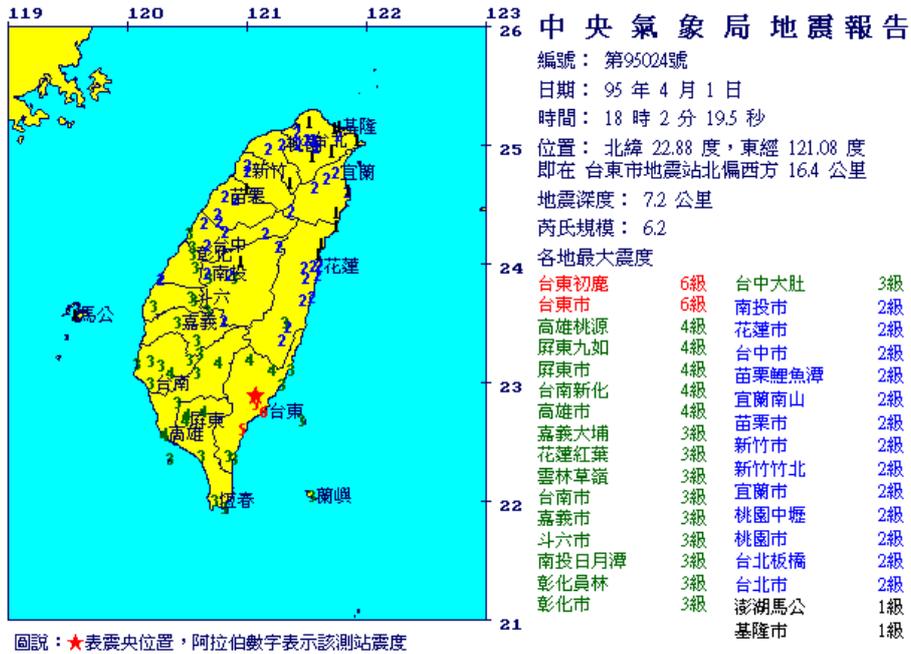


圖 4-86、2006 年 4 月 1 日臺東地震之正式報告。

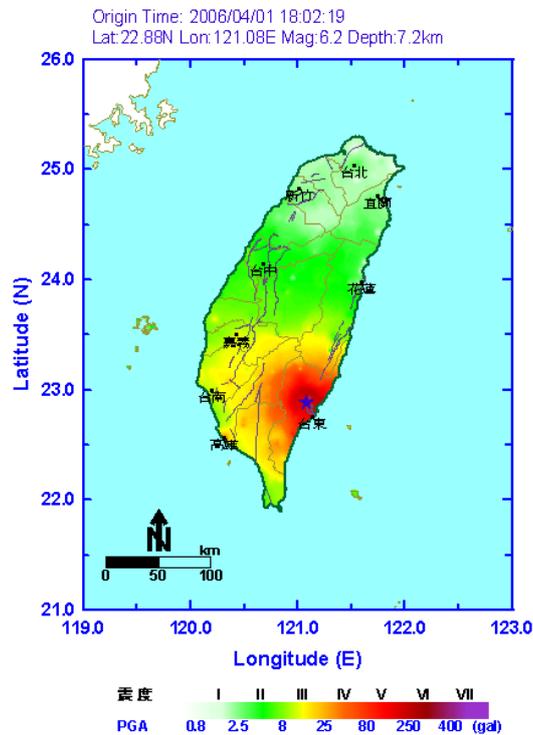


圖 4-87、2006 年 4 月 1 日臺東地震之等震度圖。

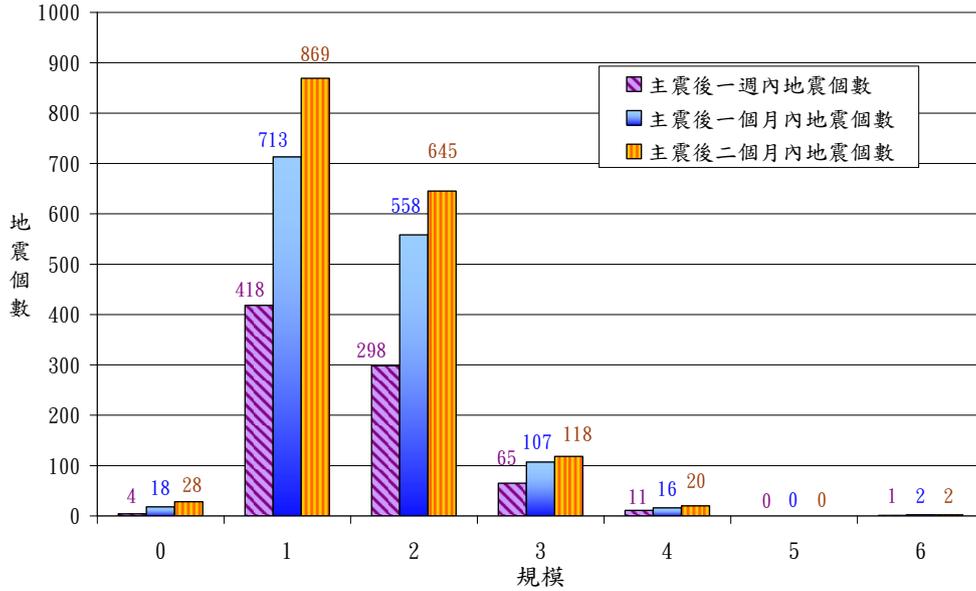


圖 4-88、2006 年 4 月 1 日臺東地震序列之地震個數與規模對應關係統計分析圖。資料搜尋範圍為東經 120.8°~121.4°、北緯 22.5°~23.3°。從不同時間段的比較可看出，無規模 5.0 左右的餘震發生，中小規模的餘震活動約在一個月後已大幅減少。

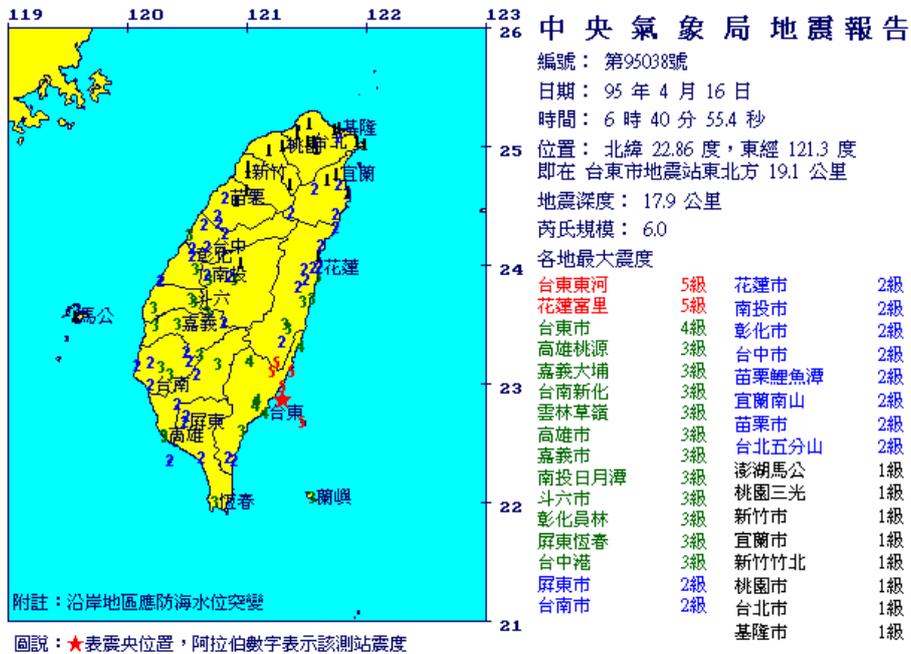


圖 4-89、2006 年 4 月 16 日臺東地震之正式報告。

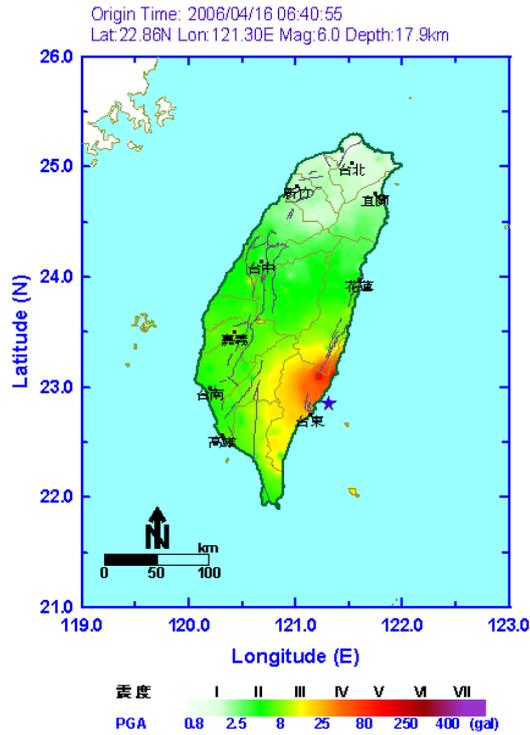


圖 4-90、2006 年 4 月 16 日臺東地震之等震度圖。

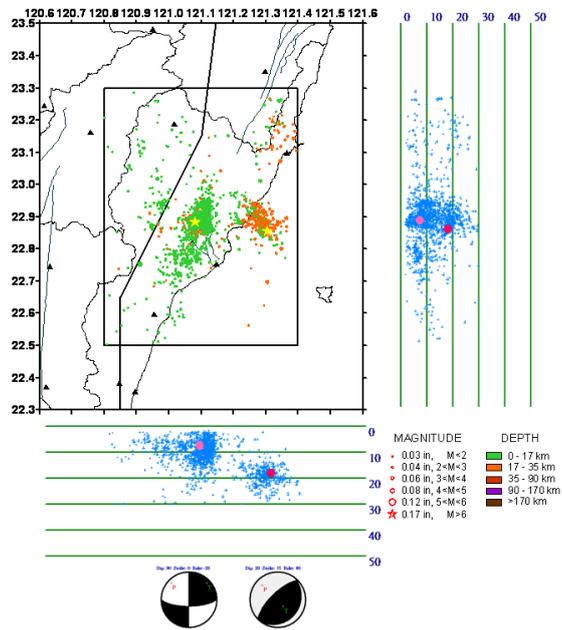


圖 4-91、2006 年 4 月 1 日臺東地震發生後 1 個月內之餘震分布及深度剖面圖，以及 1 日和 16 日兩個規模 6.0 以上地震的初動解圖（星星為震央位置）。

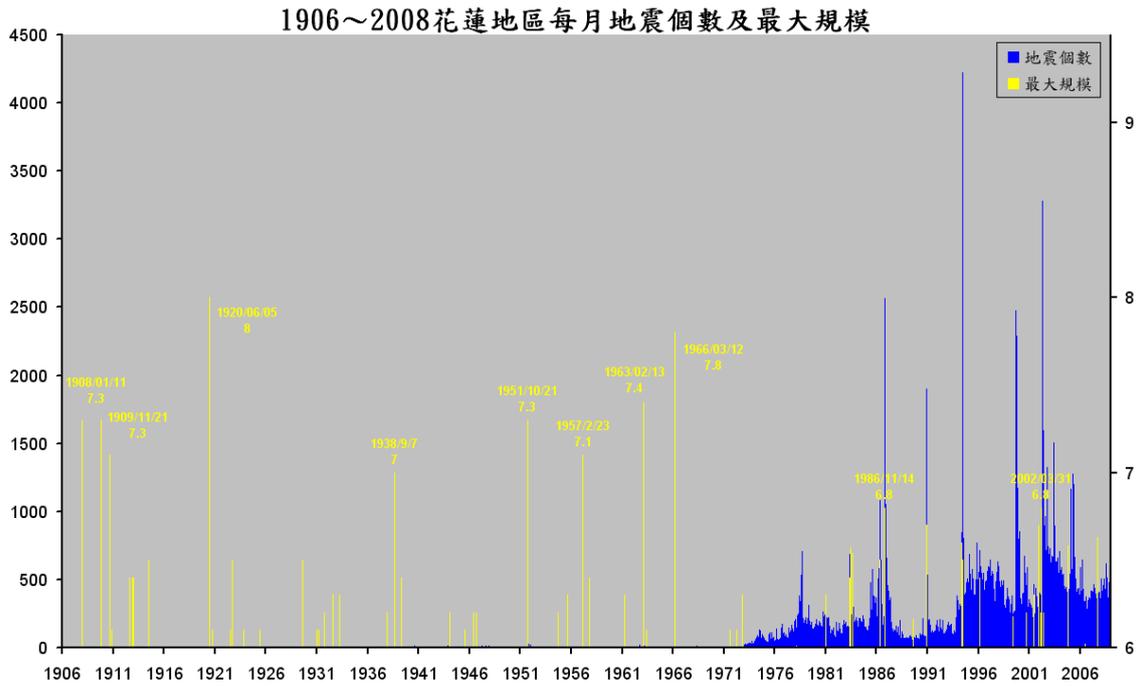


圖 4-92、1906~2008 年花蓮分區每月地震個數與最大規模時序統計圖。

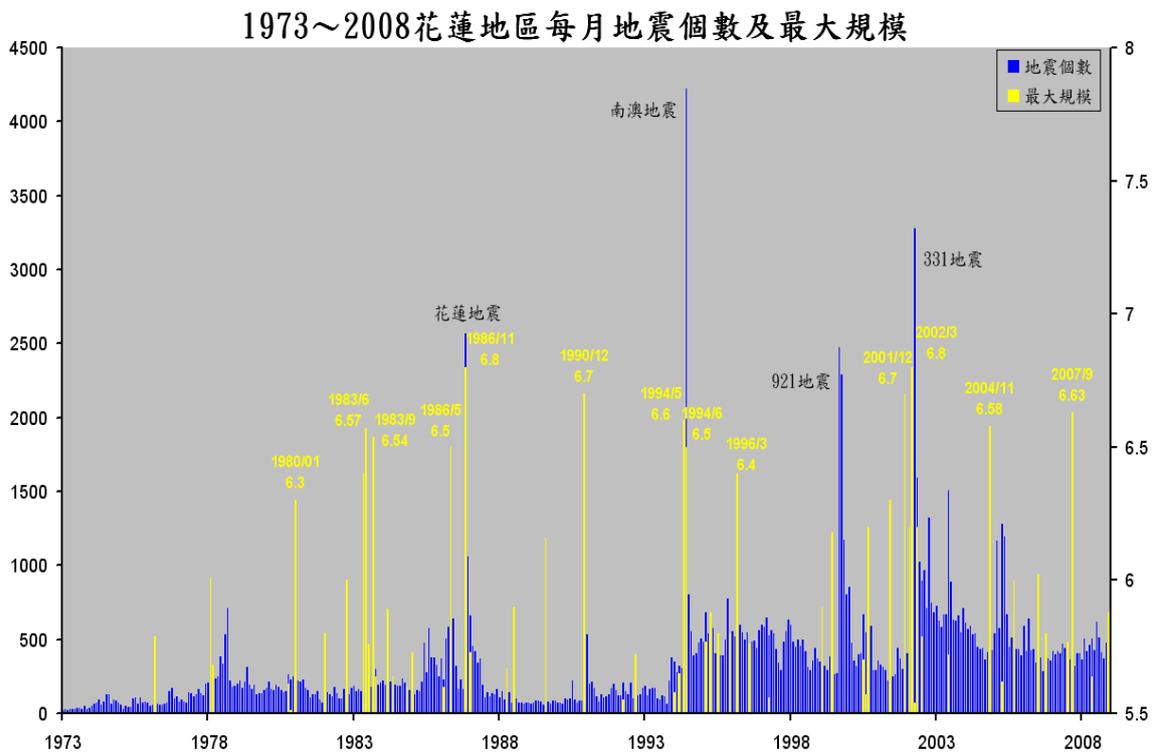
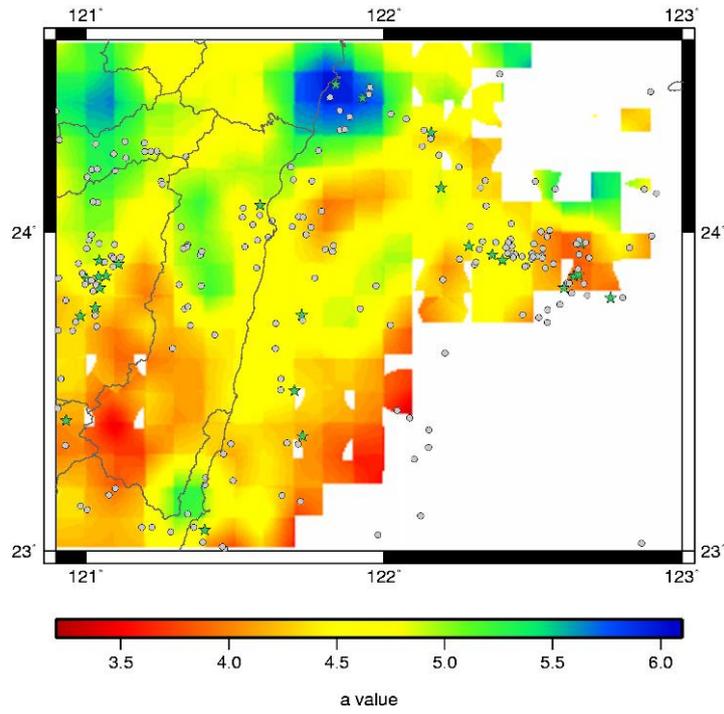


圖 4-93、1973~2008 年花蓮分區每月地震個數與最大規模時序統計圖。

1994~2008 a value (Depth 0~40km)



1994~2008 b value (Depth 0~40km)

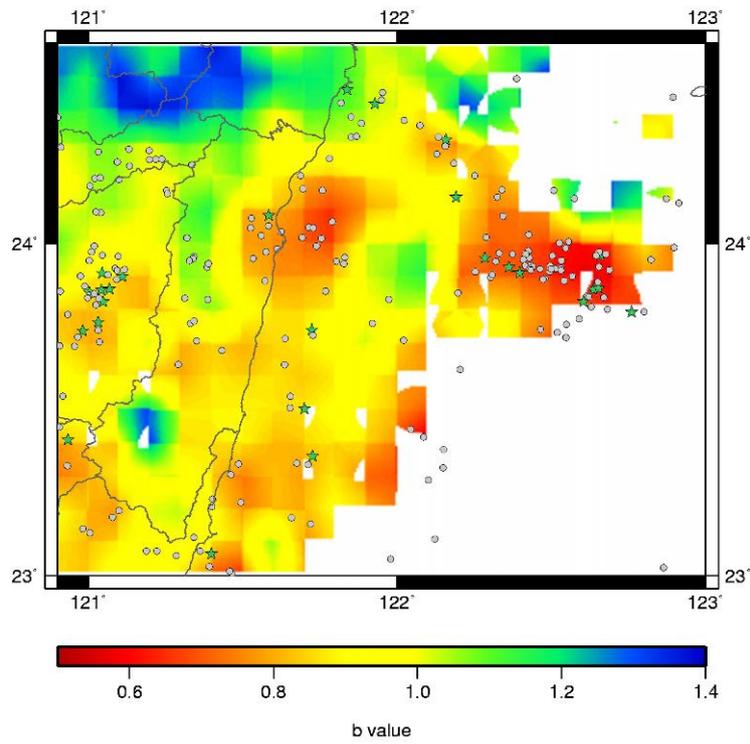


圖 4-94、花蓮分區之 a 值與 b 值分布情形。

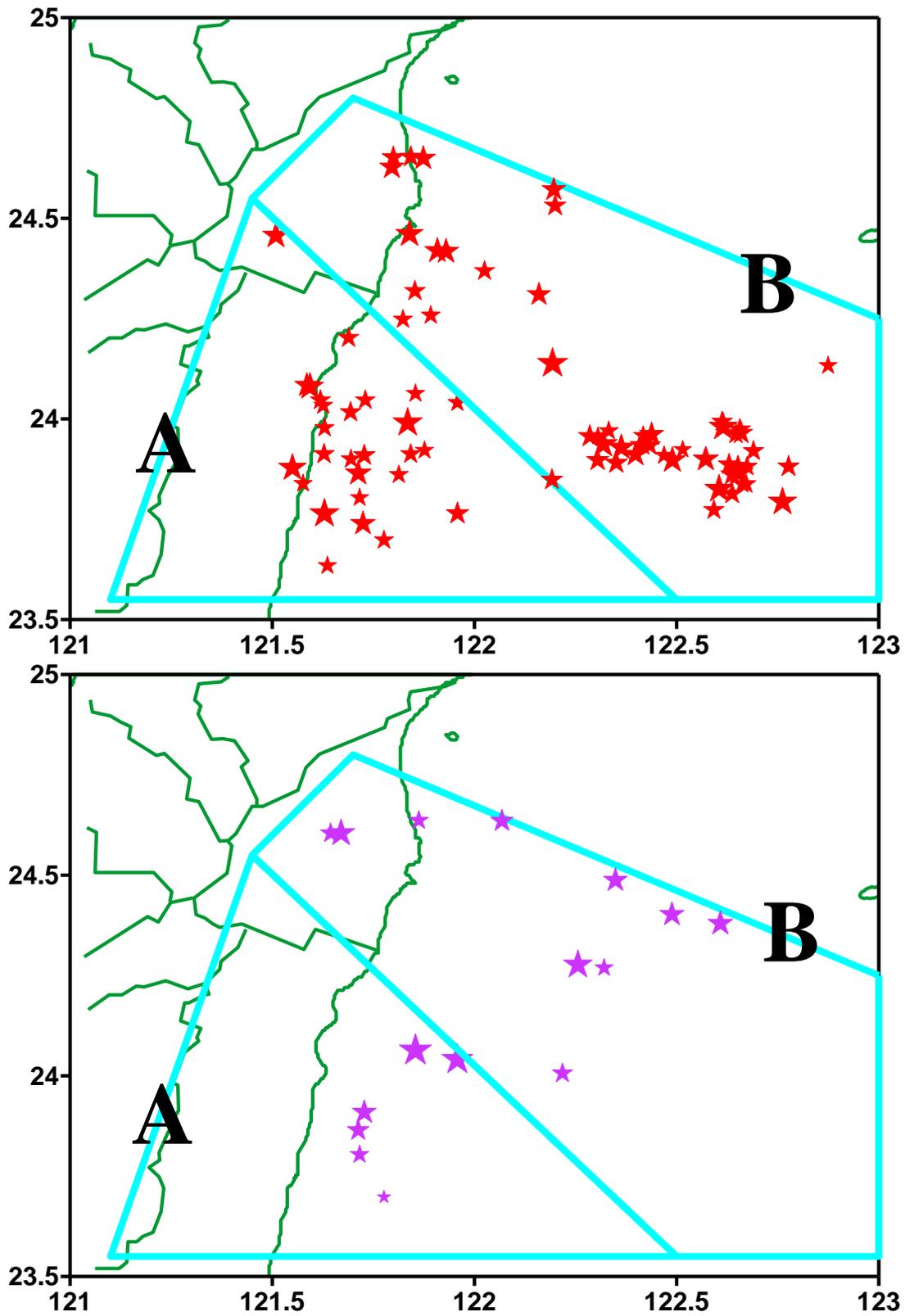


圖 4-95、花蓮 A 區及花蓮 B 區規模 5.5 以上地震之空間分布圖，上圖為深度小於 30 公里之地震，下圖為深度大於 30 公里之地震。

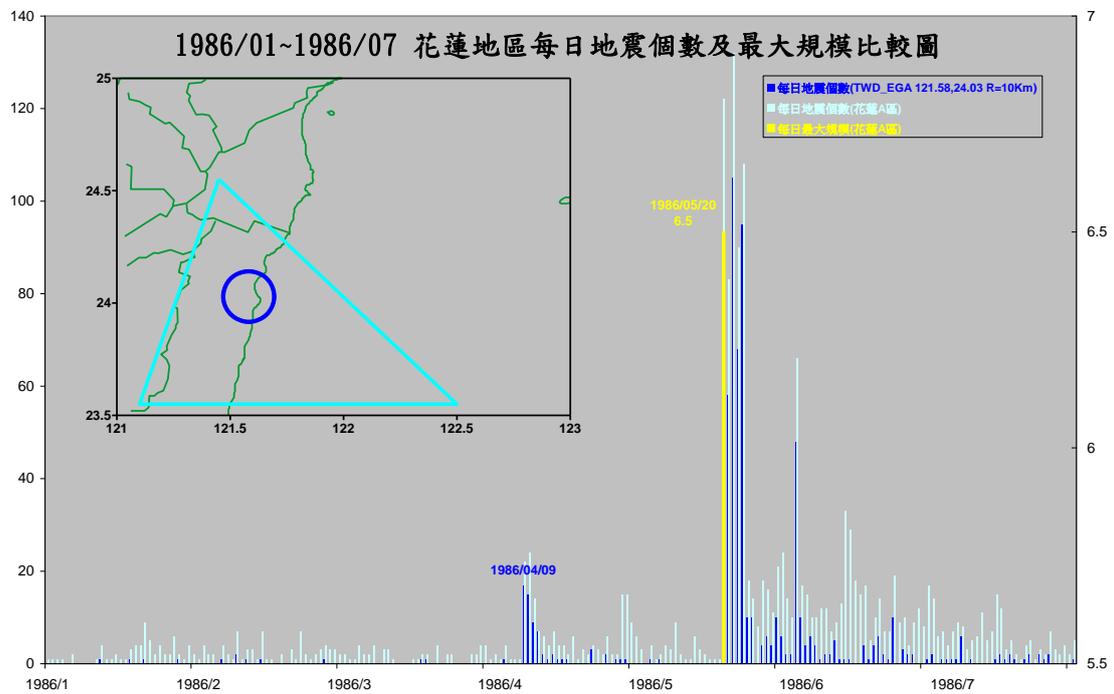
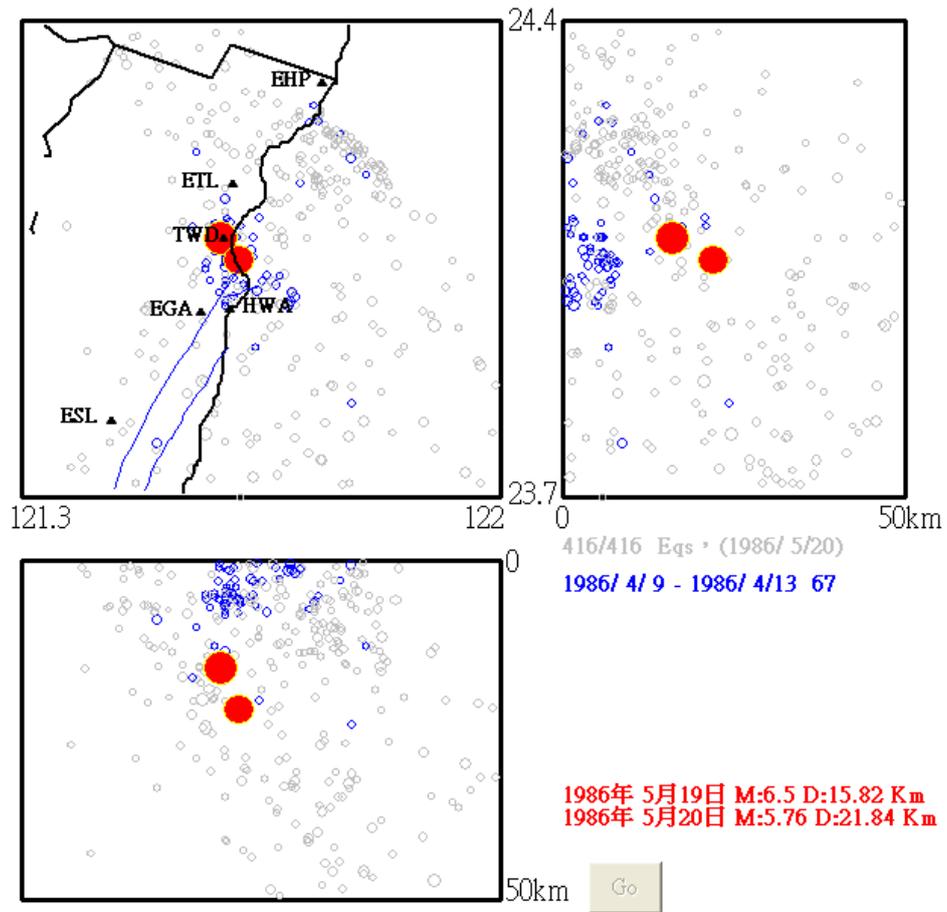


圖 4-96、1986 年 5 月 20 日規模 6.5 有感地震。上圖為群震之空間分布，  
下圖為群震與主震之時序關係。

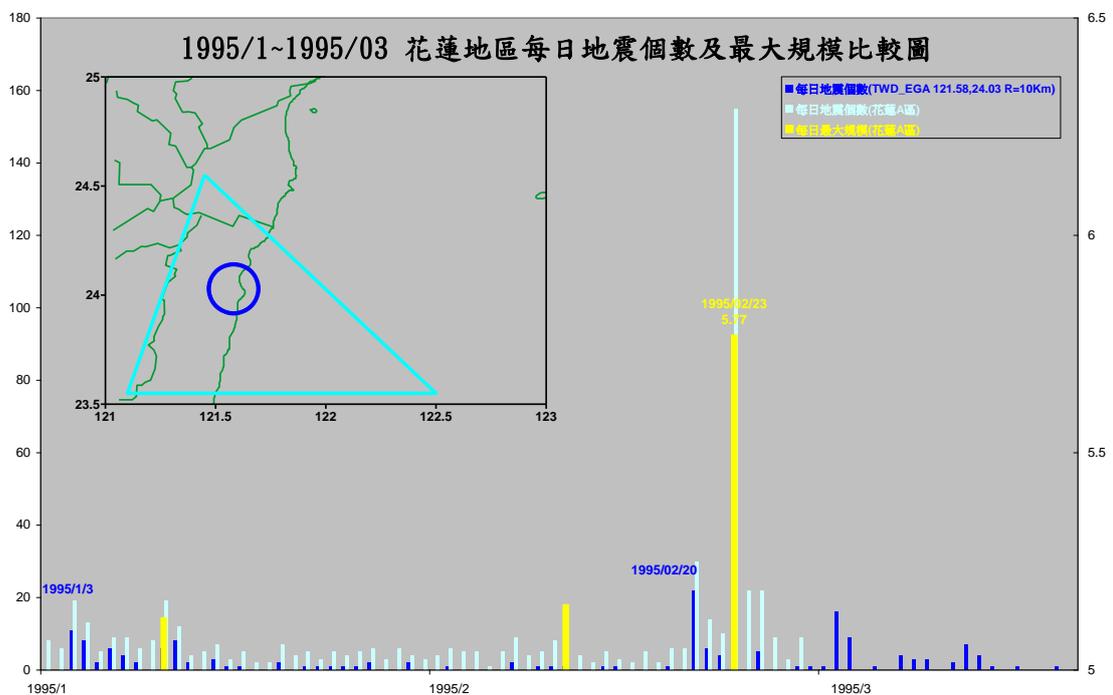
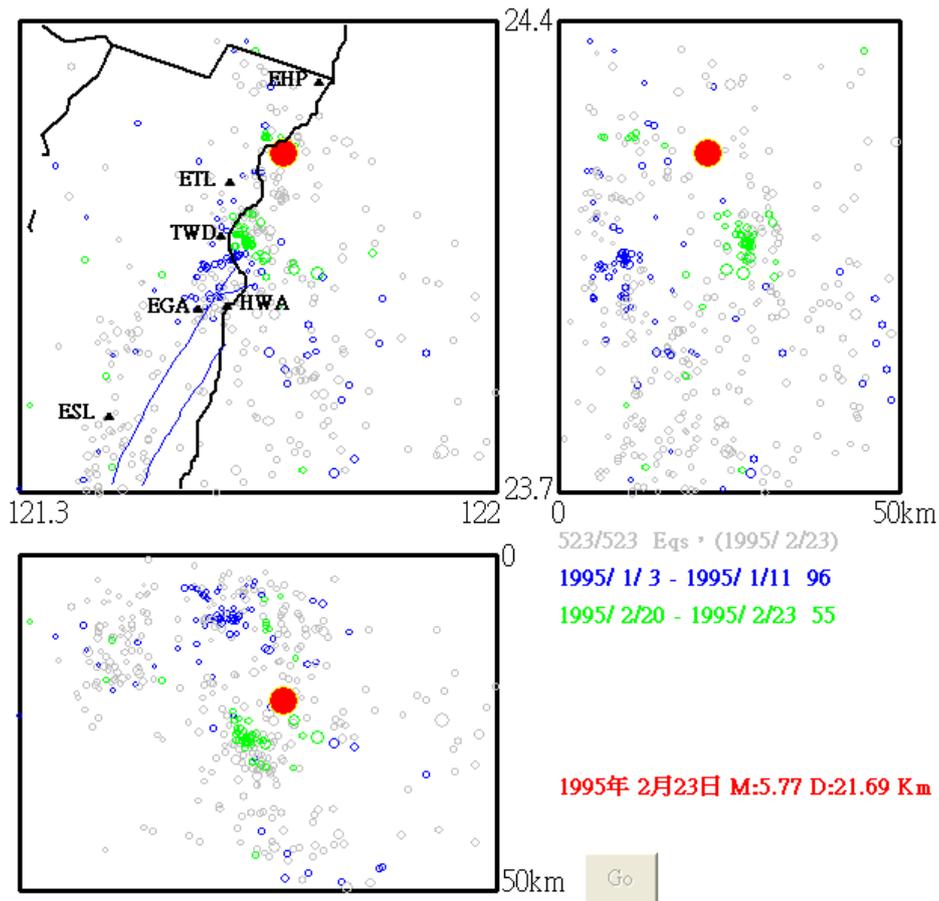


圖 4-97、1995 年 2 月 23 日規模 5.77 有感地震。上圖為群震之空間分布，  
 下圖為群震與主震之時序關係。

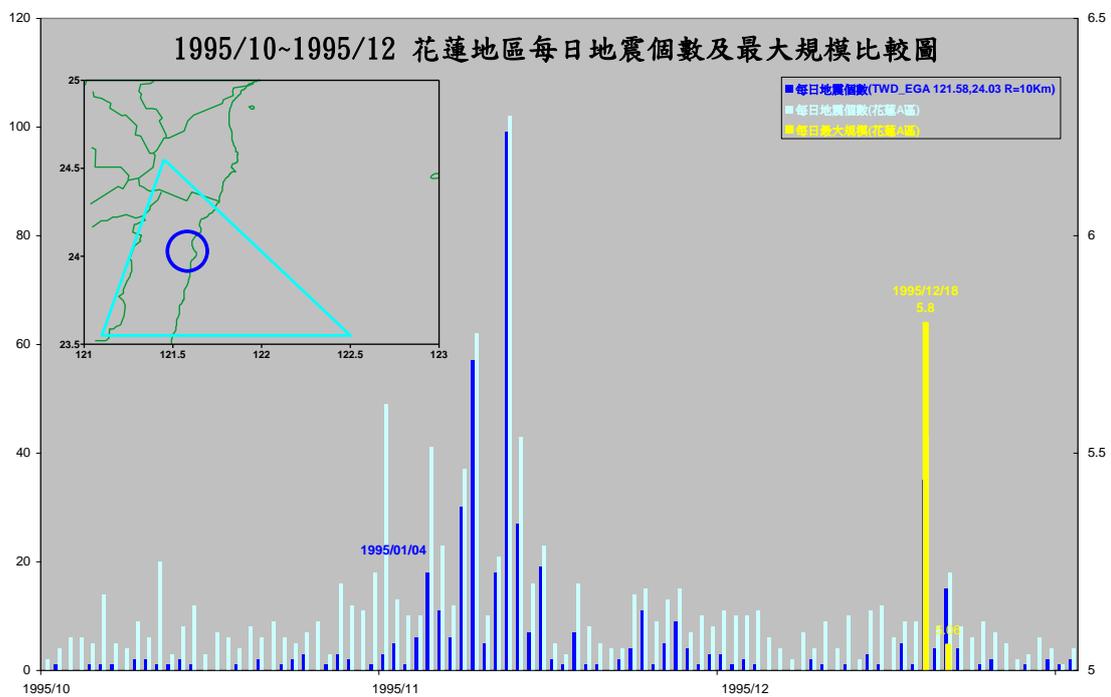
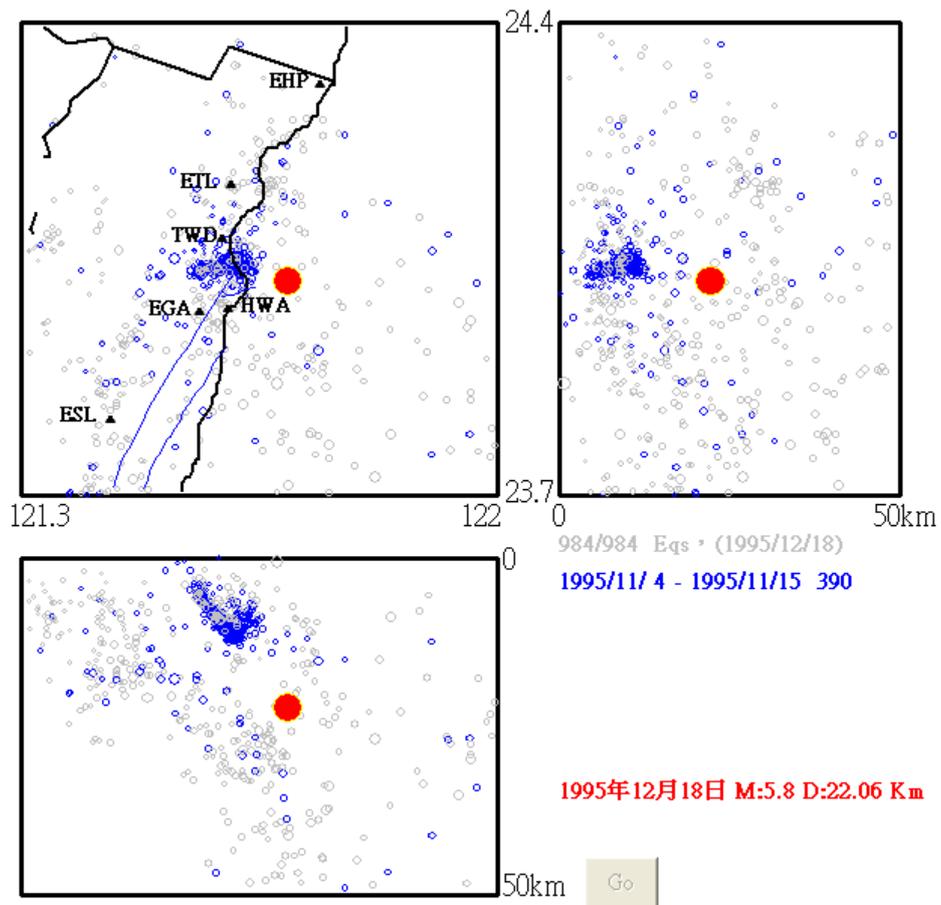


圖 4-98、1995 年 12 月 19 日規模 5.8 有感地震。上圖為群震之空間分布，  
下圖為群震與主震之時序關係。

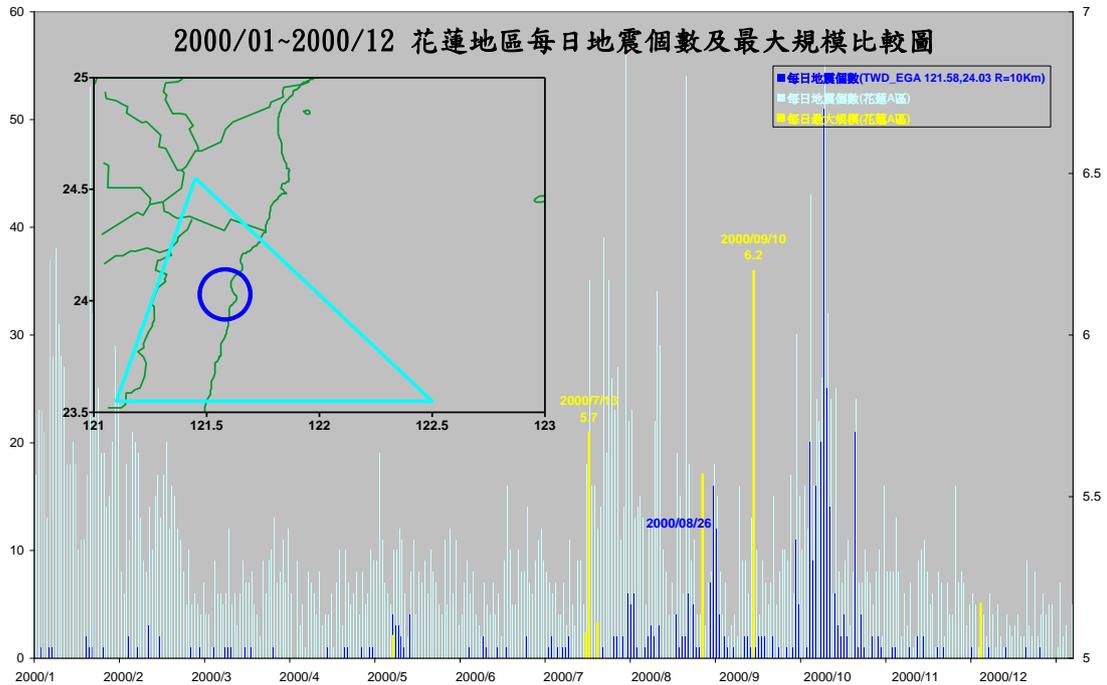
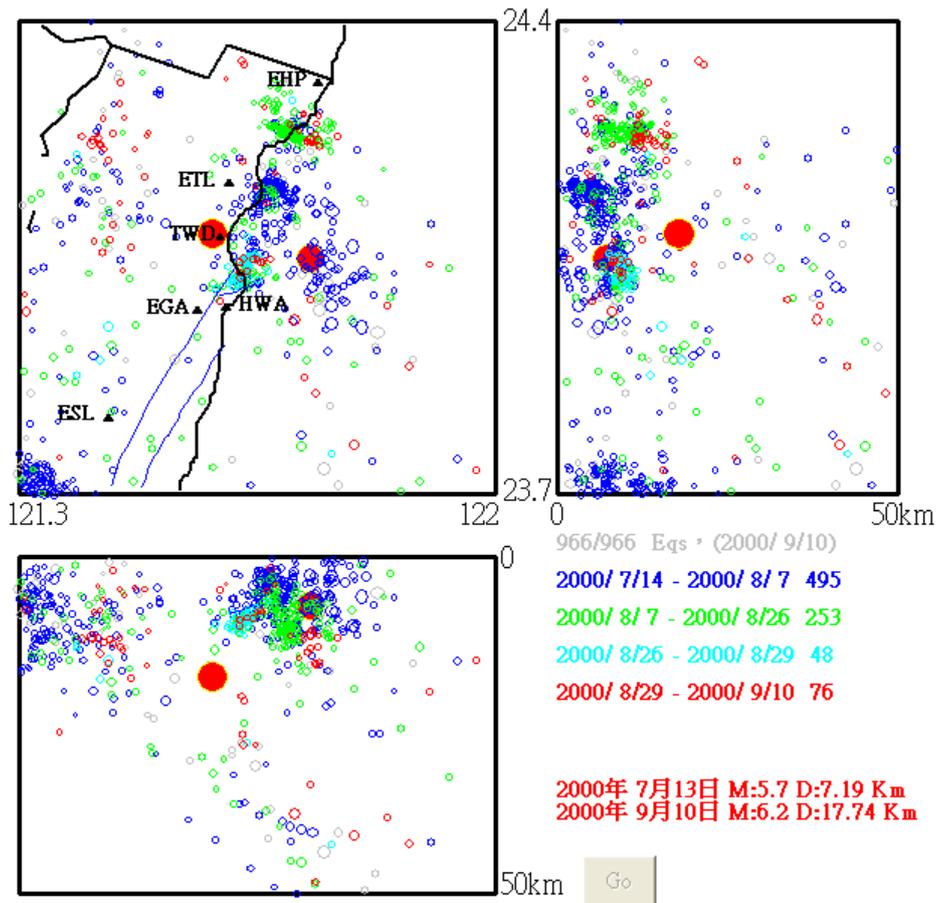


圖 4-99、2000 年 9 月 10 日規模 6.2 有感地震。上圖為群震之空間分布，  
下圖為群震與主震之時序關係。

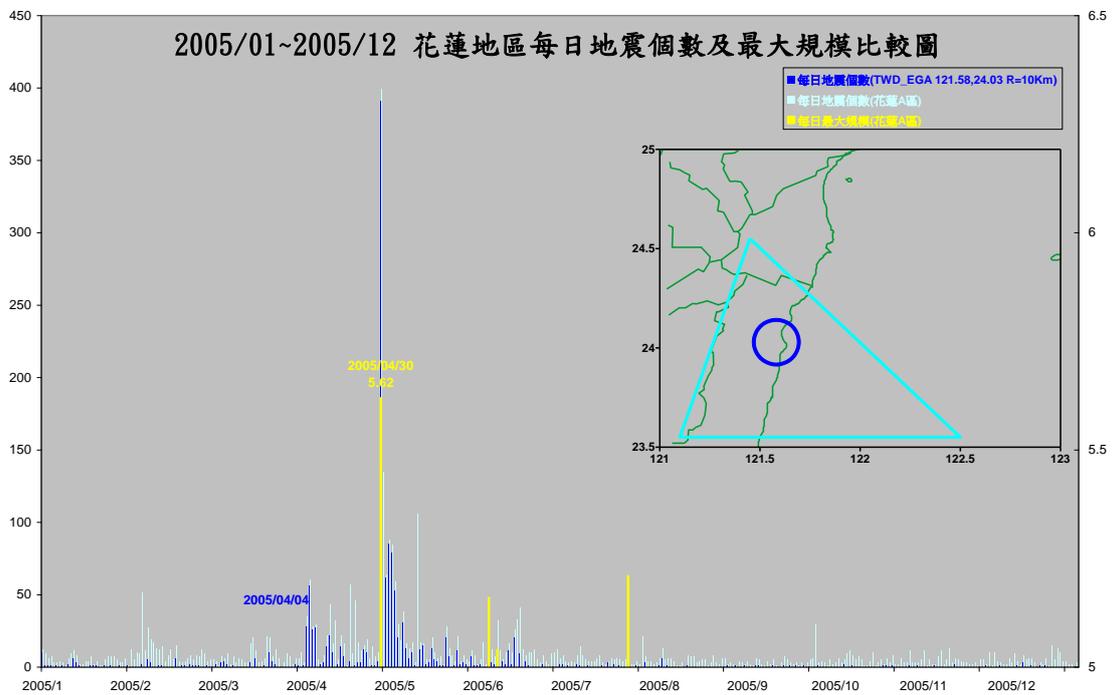
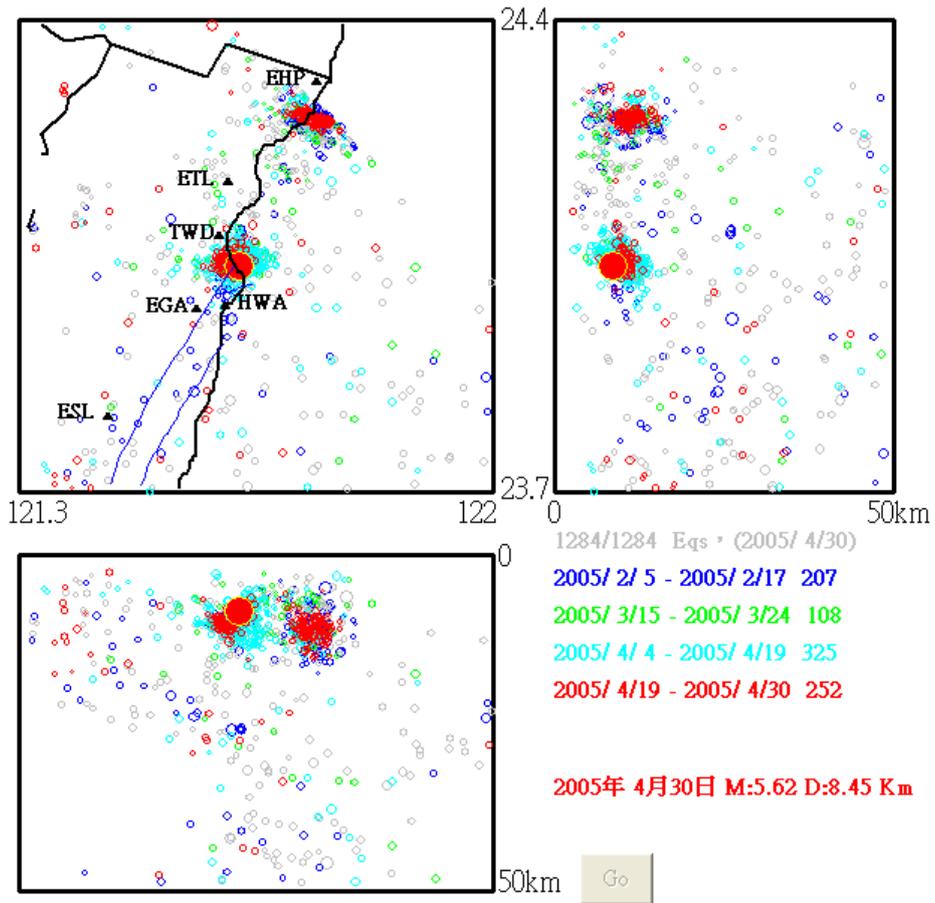


圖 4-100、2005 年 4 月 30 日規模 5.62 有感地震。上圖為群震之空間分布，  
下圖為群震與主震之時序關係。

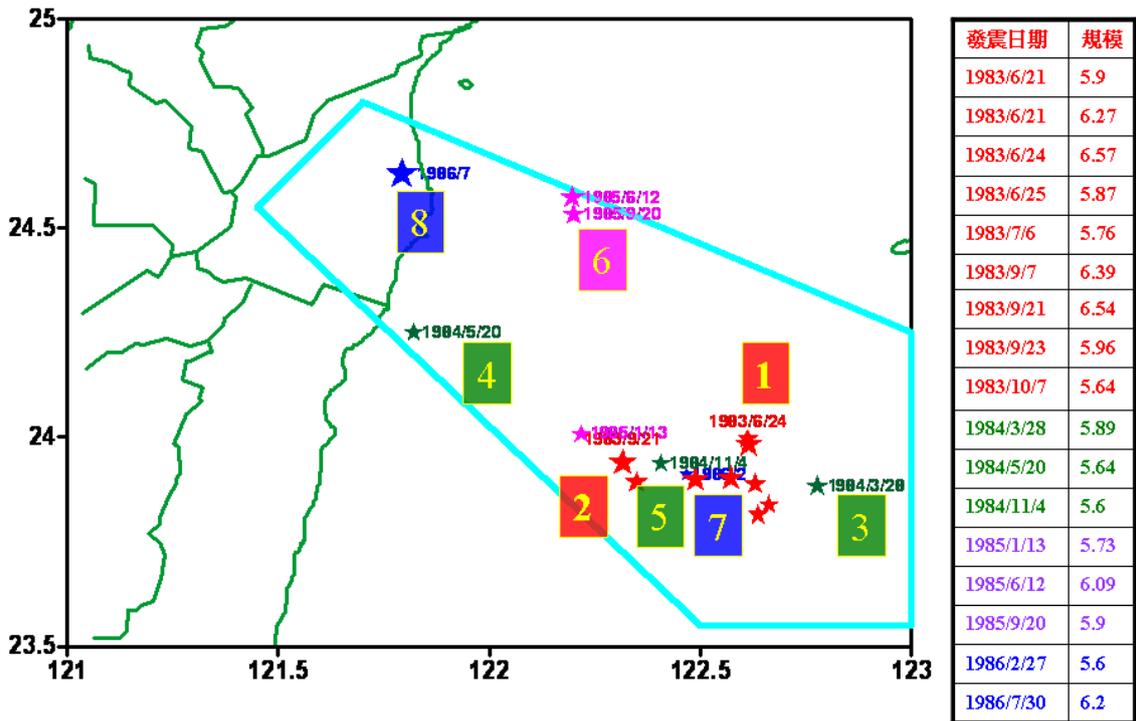


圖 4-101、1983~1986 花蓮 B 區規模 5.5 以上地震震央位置，圖中之標示為發震順序，右表為發震日期及規模。

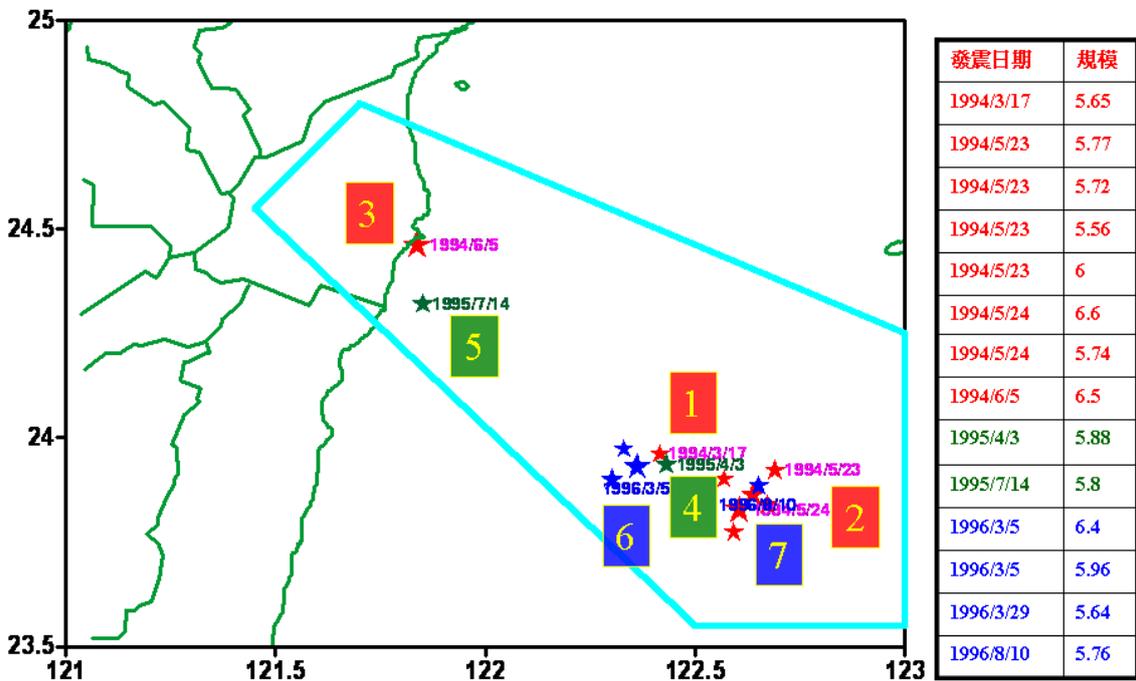


圖 4-102、1994~1996 花蓮 B 區規模 5.5 以上地震震央位置，圖中之標示為發震順序，右表為發震日期及規模。

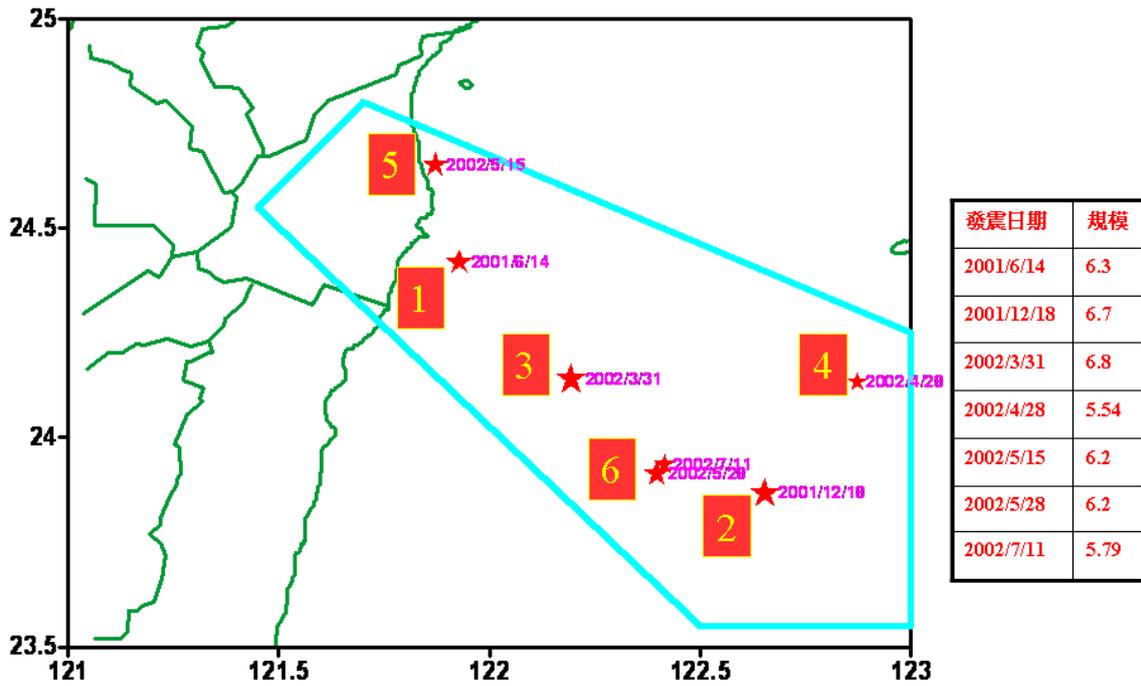


圖 4-103、2001~2002 花蓮 B 區規模 5.5 以上地震震央位置，圖中之標示為發震順序，右表為發震日期及規模。

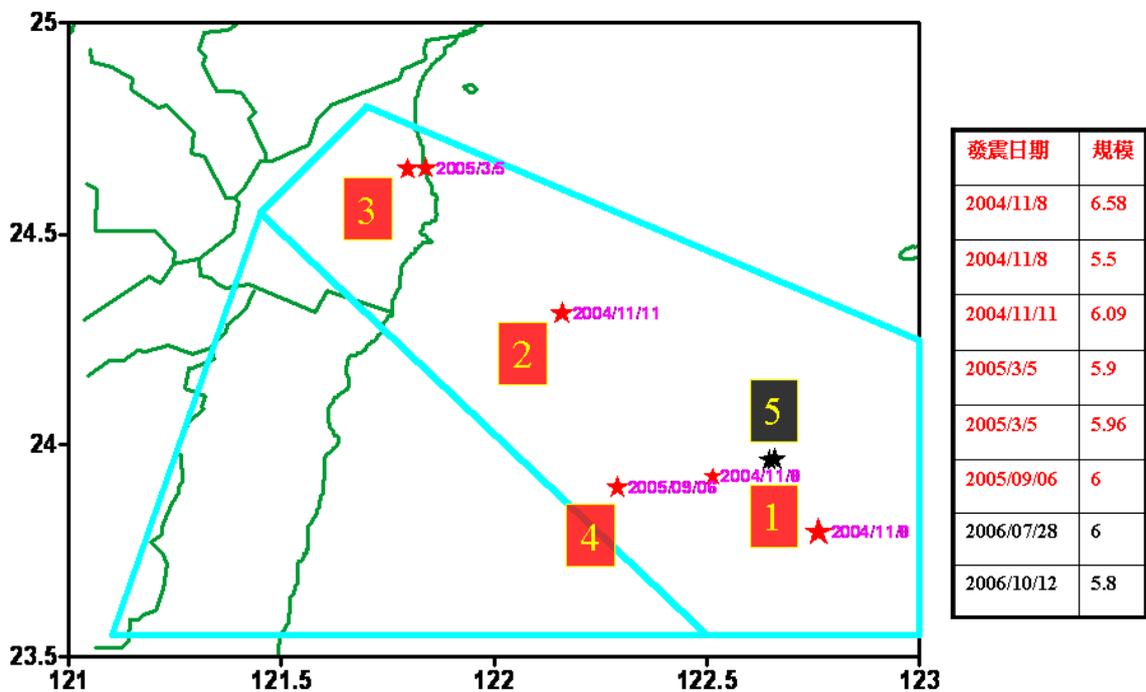


圖 4-104、2004~2006 花蓮 B 區規模 5.5 以上地震震央位置，圖中之標示為發震順序，右表為發震日期及規模。

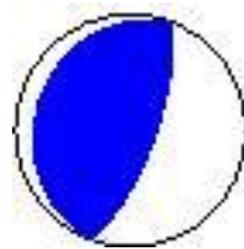
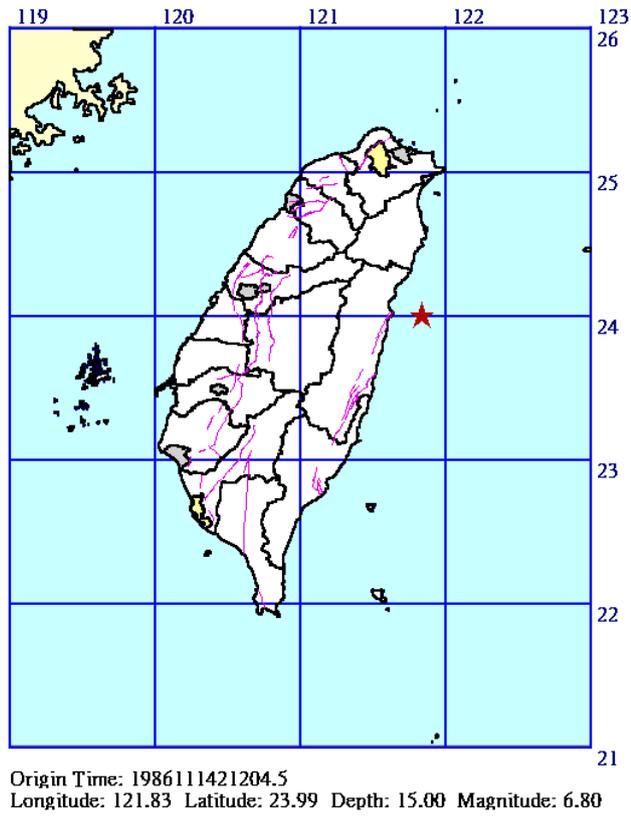


圖 4-105、1986 年 11 月 15 日凌晨 5 時 20 分花蓮地震，上圖為震央位置及 CWB 之震源機制解，下圖為中和華陽市場之震災照片。

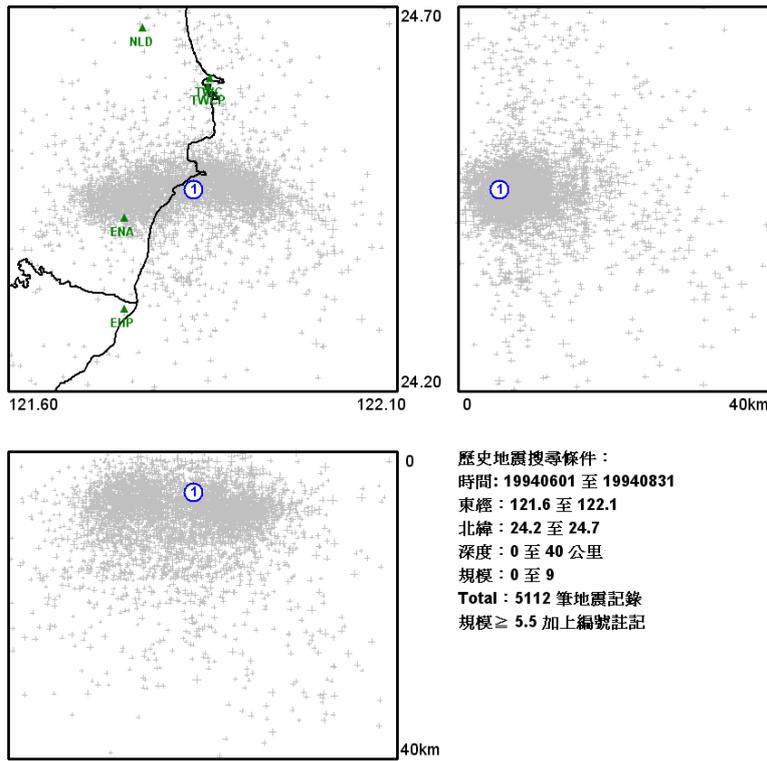
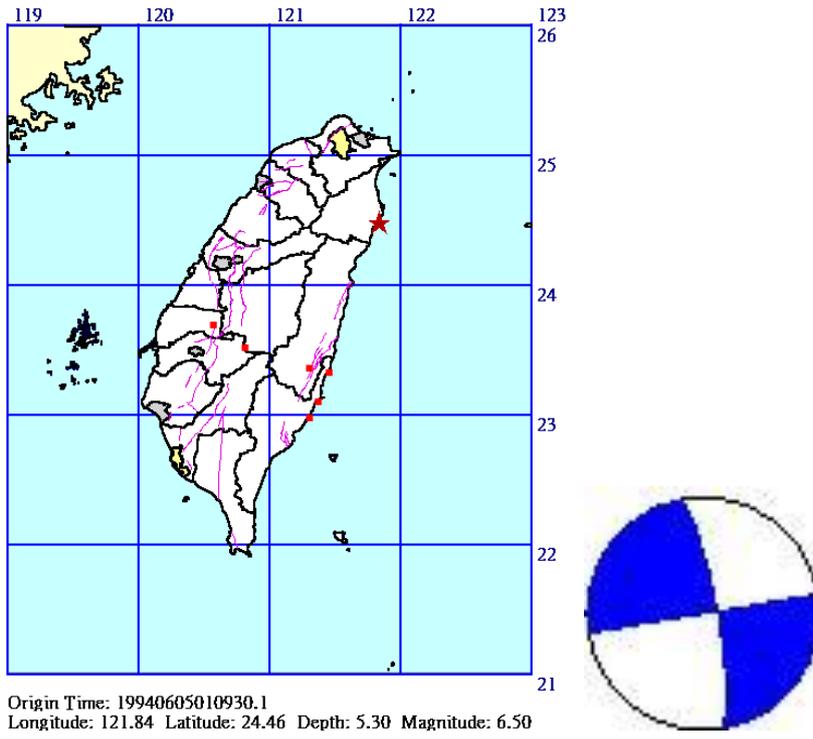


圖 4-106、1994 年 6 月 5 日上午 9 時 9 分南澳地震，上圖為震央位置及 CWB 之震源機制解，下圖為 6 月~8 月所有餘震之震央分布圖。

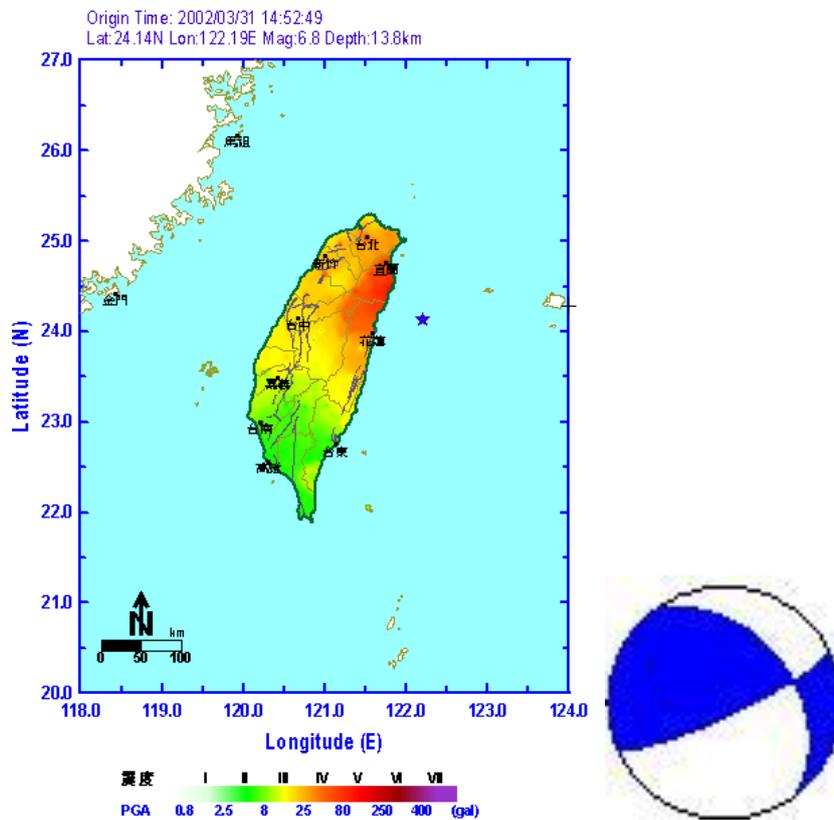
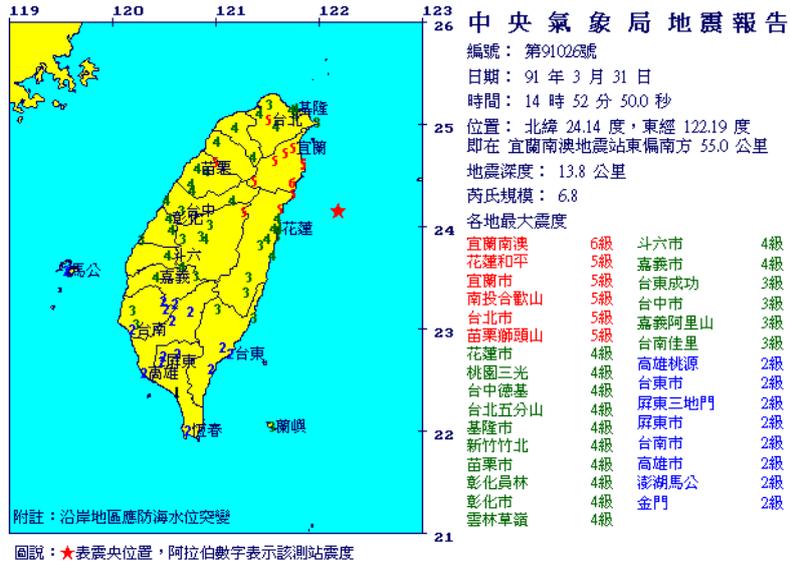


圖 4-107、2002 年 3 月 31 日下午 2 時 52 分花蓮外海地震，上圖為地震報告圖，下圖為全島等震度圖及 CWB 震源機制解。

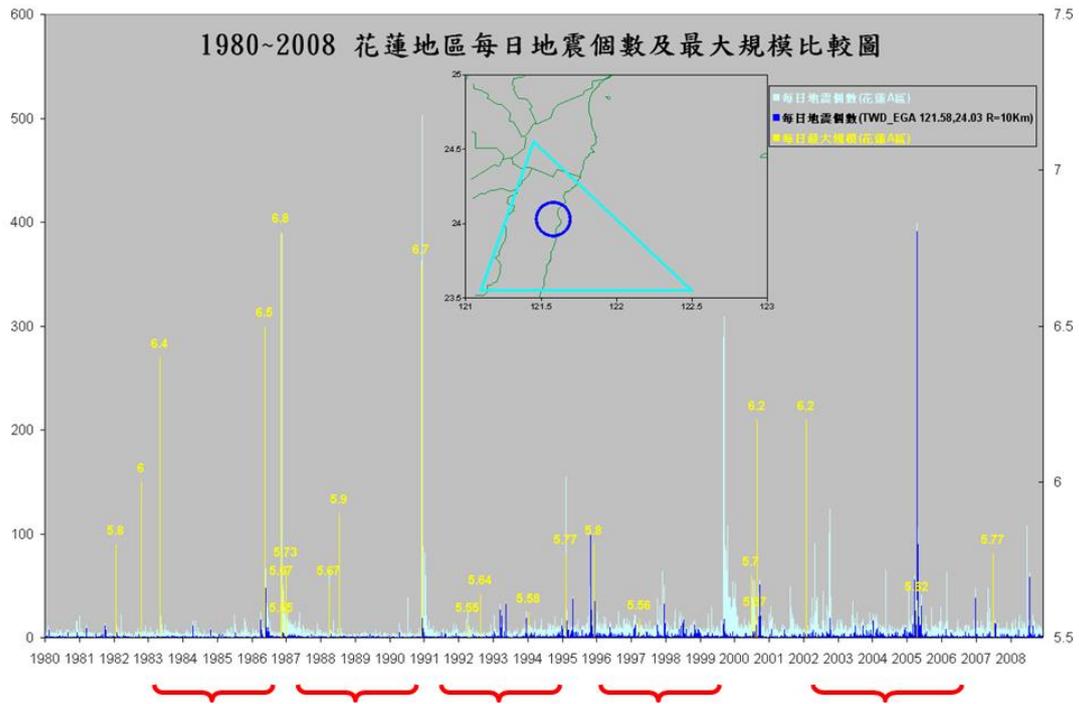


圖 4-108、1980 年~2008 年花蓮 A 區每日地震個數與最大規模統計圖，由圖可見本區域較大規模地震發生之週期約 4~5 年。

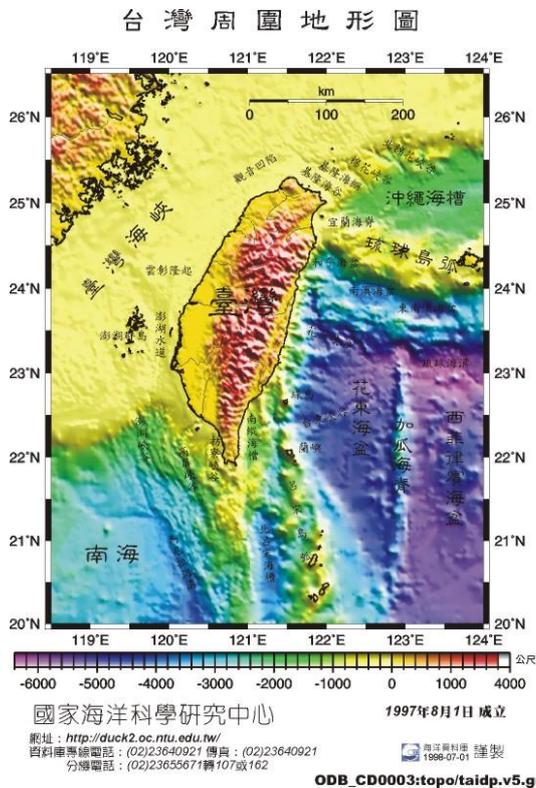


圖 4-109、臺灣地形圖（摘自國家海洋科學研究中心）。

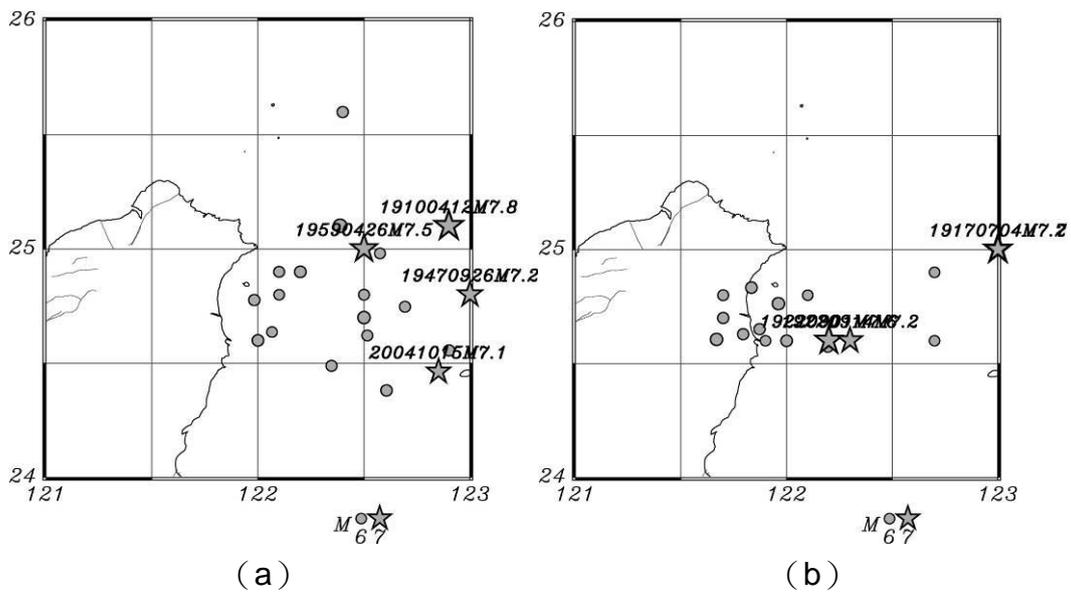


圖 4-110、1900 至 2008 年規模 6 以上強震之震央分布圖，圓圈與星號分別表示規模 6 與 7 以上之地震。(a) 震源深度 > 40 km 之深震。(b) 震源深度 ≤ 40 km 之淺震。

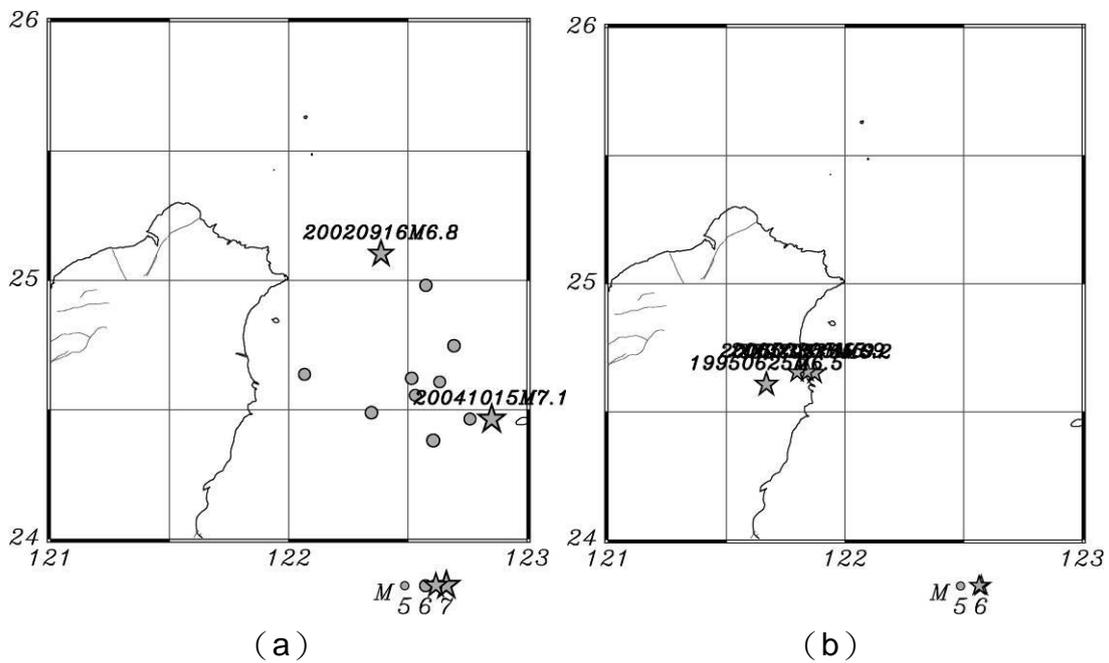


圖 4-111、1994 至 2008 年規模 5.9 以上強震之震央分布圖，圓圈與星號分別表示規模 5.9 與 6.5 以上之地震。(a) 震源深度 > 40 km 之深震。(b) 震源深度 ≤ 40 km 之淺震。

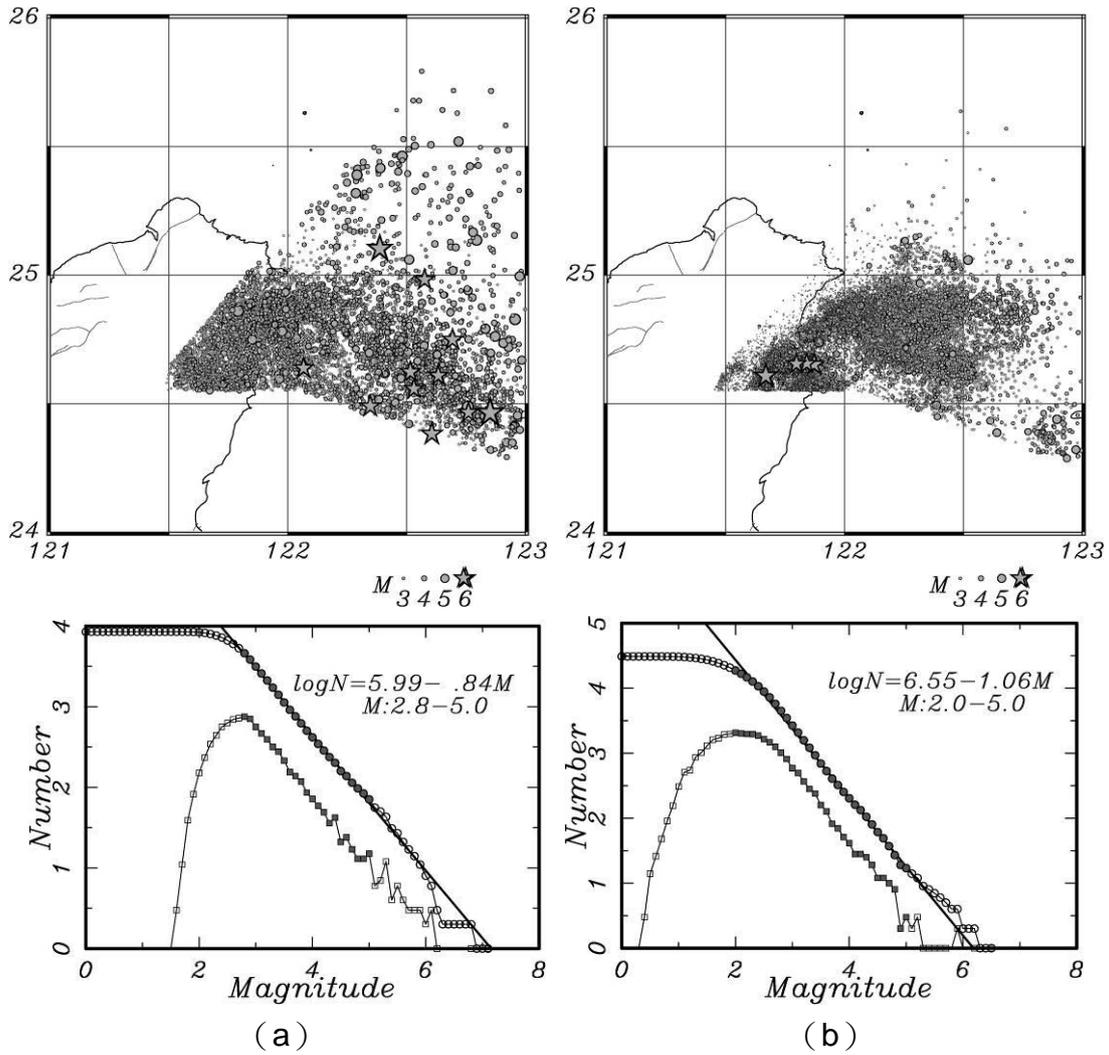


圖 4-112、1994 至 2008 年地震震央與地震規模之個數分布圖。(a) 深震、(b) 淺震。上圖為震央分布圖，下圖為規模之個數分布圖。地震規模之個數分布分為正方形之間隔個數與圓形之累積個數，實心圓與空心圓分別表示使用與未使用的資料點。地震規模與對應累積個數之對數值，在最小完整規模  $M_c$  與規模 5 之間，明顯呈現良好的線性關係。深震與淺震之  $M_c$  分別為 2.8 與 2.0， $b$  值分別為 0.84 與 1.06，顯示深震的大地震發生比率較高，淺震的小地震發生比率較高。

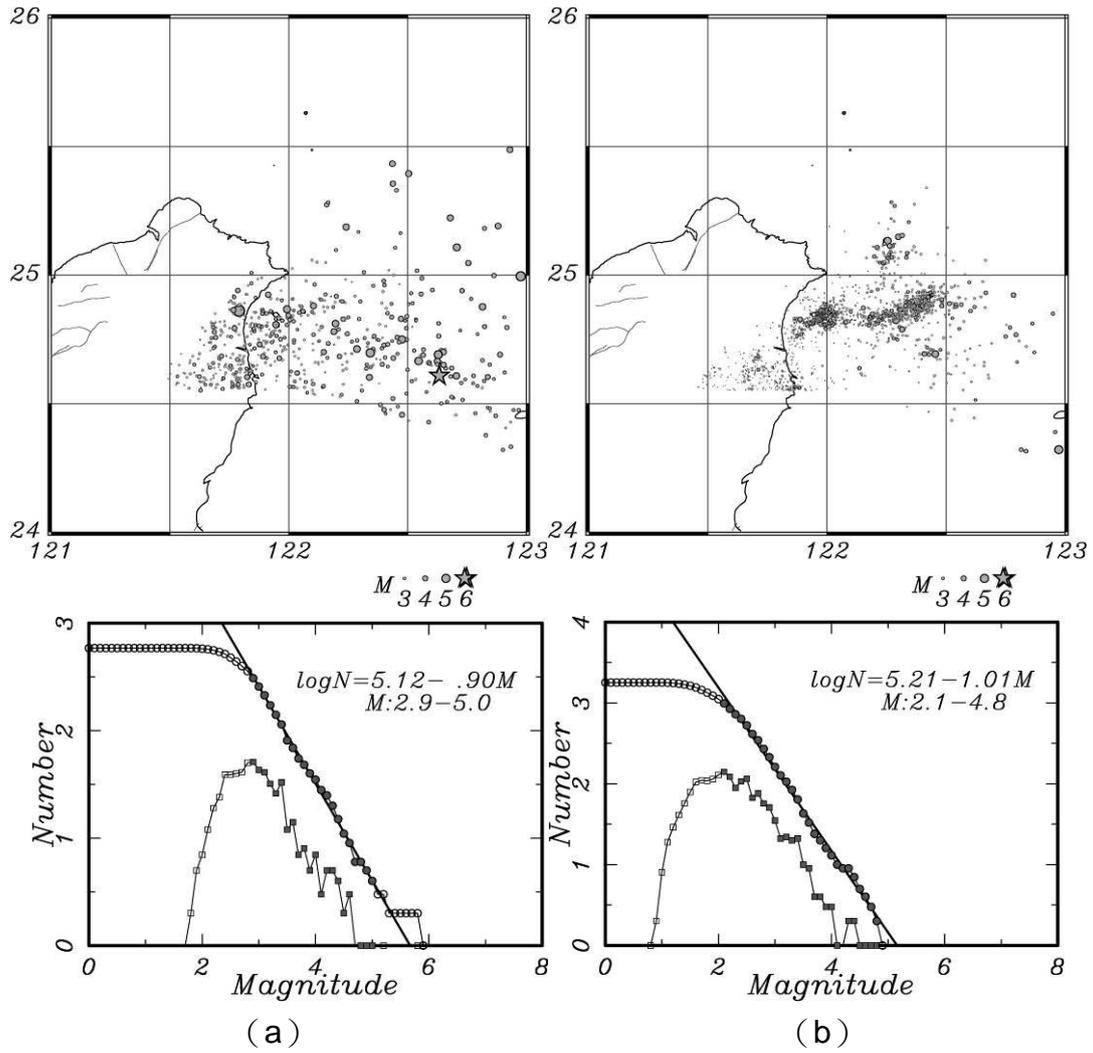


圖 4-113、2008 年地震規模之個數分布圖。(a) 深震、(b) 淺震。上圖為震央分布圖，下圖為規模之個數分布圖。深震與淺震之  $M_c$  分別為 2.9 與 2.1， $b$  值分別為 0.90 與 1.01，顯示深震的大地震發生比率較高，淺震的小地震發生比率較高。比較 2008 該年與 1994 至 2008 年之  $M_c$  和  $b$  值結果，顯示整體的地震活動特徵大約相似。

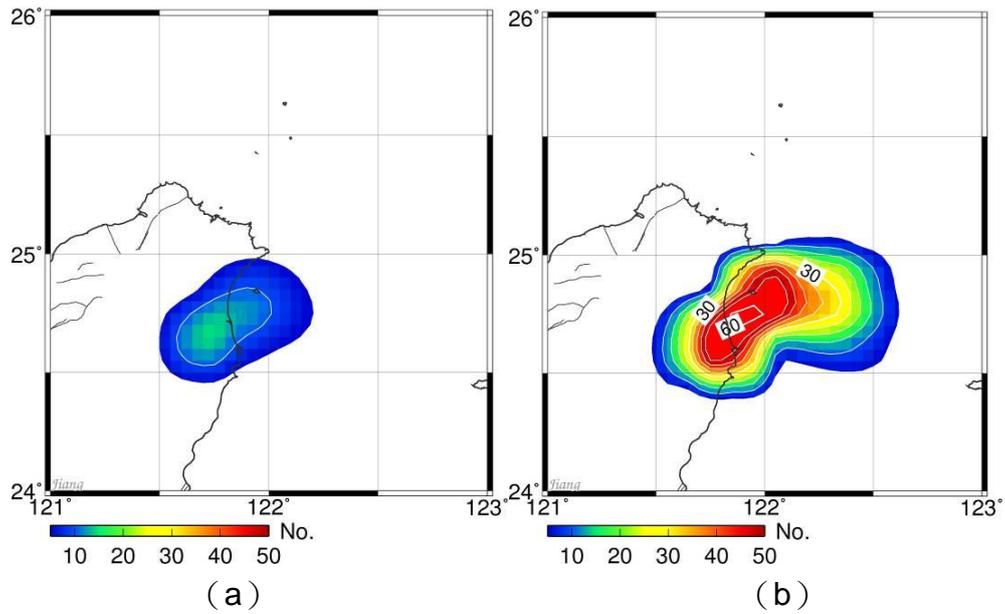


圖 4-114、1994 至 2008 年地震個數等值圖。(a) 深震。(b) 淺震。等值圖係以經緯度各 0.2 度為網格大小，地震個數已正規化為 30 天之個數。深震與淺震的地震個數高值區主要皆分布在沖繩海槽構造區域。

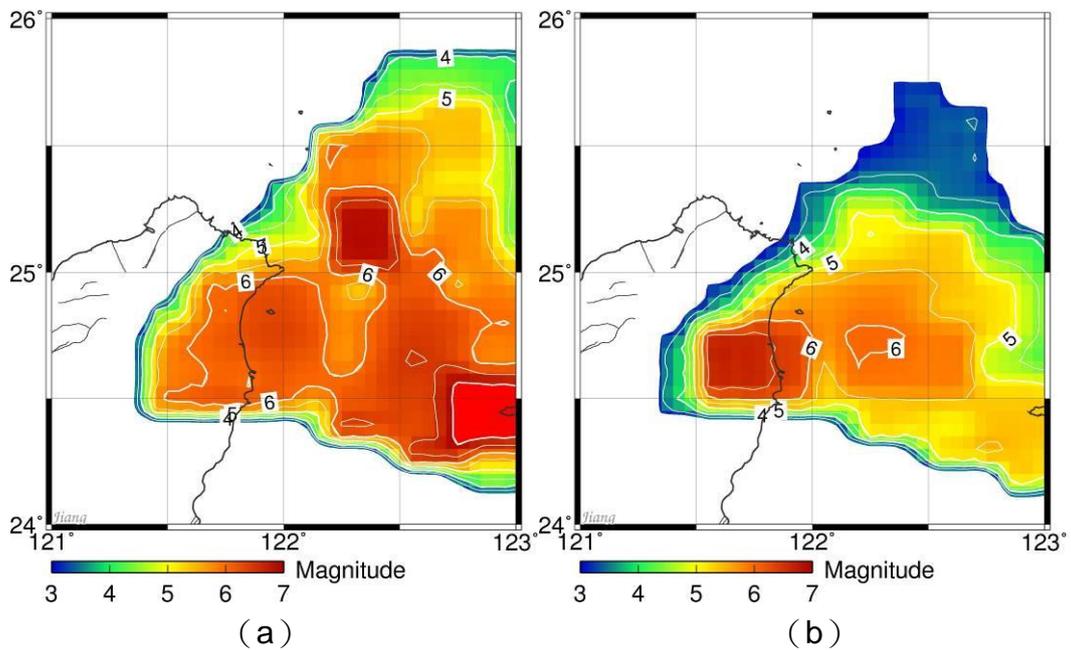


圖 4-115、1994 至 2008 年累積規模等值圖。(a) 深震、(b) 淺震。深震高值區在基隆外海與宜蘭外海，淺震高值區在宜蘭平原與近海之沖繩海槽構造區域。

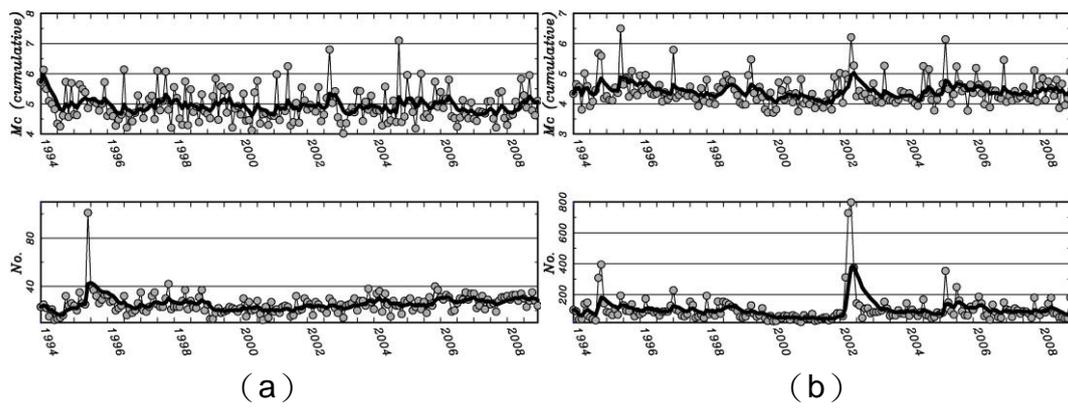


圖 4-116、1994 至 2008 年地震累積規模等值圖（上圖）與個數（下圖）之時間分布。（a）深震、（b）淺震。深震高值區在基隆外海與宜蘭外海，淺震高值區在宜蘭平原與近海之沖繩海槽構造區域。

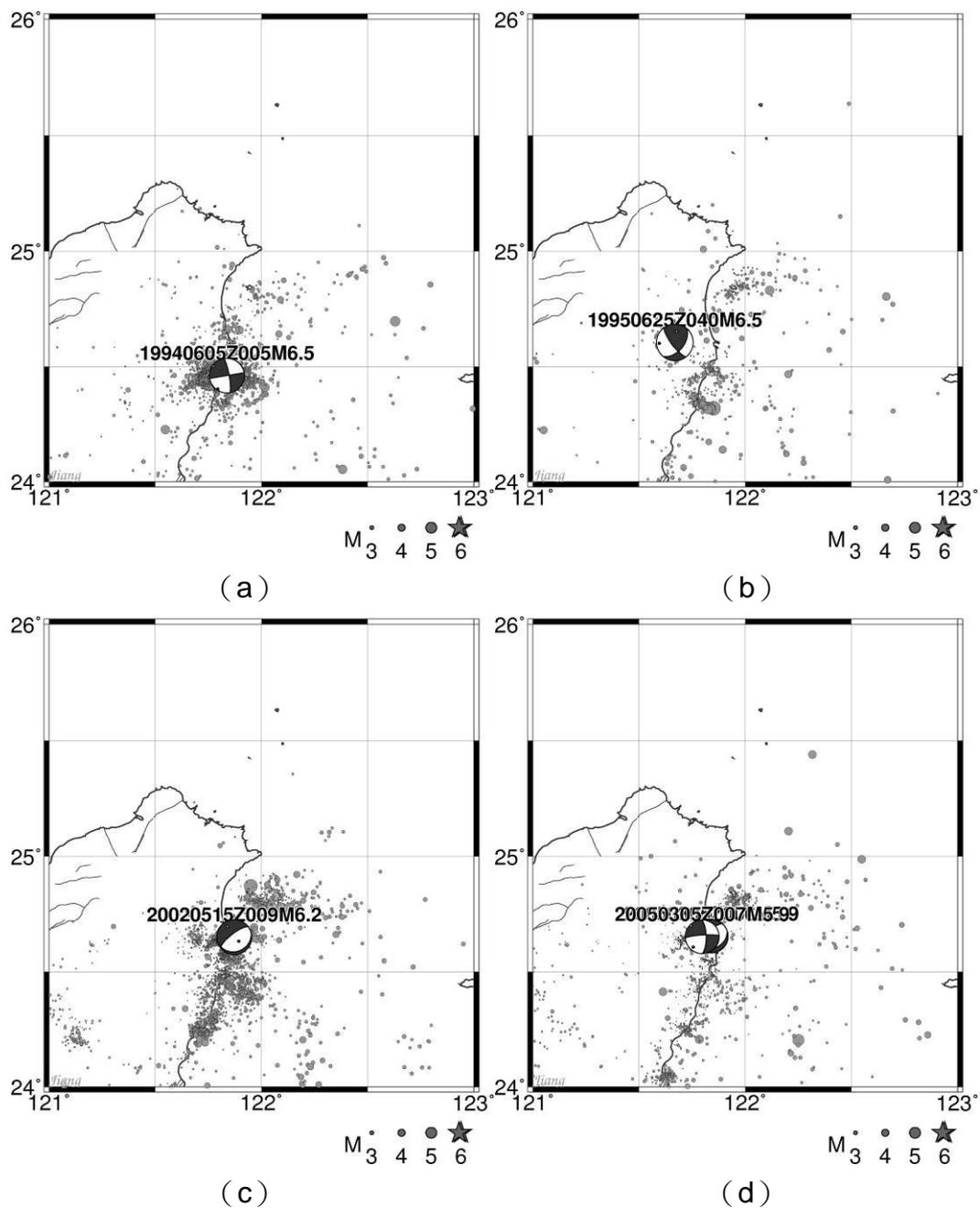


圖 4-117、1994 至 2008 年主震（星號）震源機制及其 30 天內餘震（圓圈）分布圖。(a) 1994 年規模 6.5 南澳地震，左移斷層震源機制。(b) 1995 年規模 6.5 牛鬥地震，走向滑移斷層震源機制。(c) 2002 年規模 6.2 宜蘭地震，正斷層震源機制。(d) 2005 年規模 5.9 宜蘭雙震，正斷層與左移斷層震源機制。

## 伍、地球物理資料分析與應用

### 一、地震前兆觀測彙整

地層錯動引發地震，錯動前地層會受壓擠甚或形變，這些現象是地震前兆最主要的來源。而前兆現象也可能反應在地震活動、地下水、地殼形變、地磁、重力…等不同地球物理或地球化學觀測資料上，端視區域地質構造及組成之物質成分不同而有不同的呈現方式，因此地震前兆現象的觀測，宜有完整的歷史相關資料分析做為基礎，找出最可能的地震前兆呈現方式，用以做為重點式之觀測。但一般而言，在可能有前兆現象地區做深入探討時發現，前兆呈現方式非常複雜且未必有重複性，因此儘可能全面性或綜合性的進行相關現象之觀測，為不得已之必要措施，如果能綜觀所有觀測資料進行交互比對，亦將有助於經驗及成果之累積。下列為本節之重點：

- (一) 臺灣地震背景活動分析及地震活動監測及分析。
- (二) 地下水井水位變化與地震活動之關係。
- (三) GPS 連續觀測、地殼應變監測與地震前兆之關係。
- (四) GPS 資料計算電離層 TEC 與地震前兆之關係。

所有觀測成果將依此方式逐年彙整與累積，做為臺灣地震前兆研究之參考資料。

#### (一) 臺灣地震背景活動分析及地震活動監測及分析

##### 1、處理流程

地震活動度的異常分析，被視為地震前兆現象研究中極為重要的課題。惟所謂的異常是一個相對性的指標，意指對於一個具有地震活動的地區，應可找出代表背景活動度的地震活動，透過分析與比較，如能發現趨勢改變與某些重大事件有關，即可視為可能之前兆現象。背景活動度可由過去累積之地震資料歸納彙整，但這種方式與地震資料庫的觀測時間長度以及完整性有直接的關聯性。綜觀臺灣地區過去12年，各地陸續有災害性或較大地震發生，其形態與歷史資料形態顯為雷同，應為嘗試背景地震活動分析工作的良好契機。

背景地震基本上可視為因應力累積引發之例行性地震活動，如觀測時期或資料時間夠長，應力累積至釋放其週期性應可觀測，因此地

震序列中之餘震序列係因主震應力釋放後之應力再平衡作用，則須被排除。至於時間間隔，本研究以一個月為分析樣本，針對中央氣象局於1994至2005年間共計12年地震觀測資料，進行地震序列的篩選過程。過濾條件包括三項：

- (1) 當月的地震總個數超過3000個以上；
- (2) 當月規模大（等）於2以上的地震個數超過1500個；
- (3) 當月總累計規模大（等）於7。

符合上述三個條件任一者，則當月全區地震資料予以剔除！經此步驟，原本12年共計144個月份的資料，被刪減為129個月份，地震觀測資料由268,296筆減少為185,193筆，此觀測資料為進行後續平均背景地震活動分析的基礎。

## 2、結果討論

圖5-1(a)為背景地震觀測資料全區之b值分析，藍色三角型為各個規模之地震發生個數，可做為與往後資料比較之參考。為能兼顧資料樣本數、完整性與後續研究的契合性，利用網格化的分析方式，將臺灣地區（北緯21°~26°、東經119°~123°）切割成大小面積相等的正方形區塊進行計算，每個網格為中心點上下左右各0.1°，每次移動間距0.1°，依序計算每個子網格的月平均背景地震活動參數，包括b和a值（圖5-1(b)），圖中符號表示為1930年後規模大於6之地震。依相同的網格化分析方式，圖5-2繪出月平均地震個數、月平均累計規模與平均地震深度等數值之等值圖，並將每個子網格的地震以深度40公里為界分別計算，這些參數可視為是各個子網格本身的背景地震之活動特性。

中央氣象局自1994年起進行即時資料之連續記錄，進而以離線方式分析所記錄資料，大幅提升解析本地區地震發生及活動之完整性，除了地震數增加外，最小可分析之地震規模亦降至約1.8-2.0。本研究分析1983至2007年之淺層（小於40公里）地震資料，以月為單位，統計不同規模區段之地震個數及計算最大規模（綠色星號）、累積規模（黑色星號）之月歷時圖（見圖5-3），初步分析可知（1）、1999/09/21及2002/03/31兩大地震發生前數月之地震發生數明顯減少，尤其是小規模之地震。（2）、以地震規模6.5為準，綜析1983

至 2007 年間地震活動，1994 至 2005 年為一地震活動之活躍期，其前 1988 至 1994 年則為相對之平靜期，延續相同分析至 1935 年如圖 5-4，活躍及平靜期是重複發生的，平均而言，活躍期之時間長度約為  $10 \pm 2$  年，平靜期之時間長度約為  $5 \pm 1$  年。

## (二) 地下水井水位變化與地震活動之關係

### 1、地震地下水系統觀測網

中央氣象局在配合行政院國家科學委員會「地震及活斷層研究」的跨部會重大科技計畫下，與經濟部水利署所負責之「地震發生前後地下水位異常之研究」計畫合作地下水位變化與地震前兆相關性之研究。自 2004 年 3 月開始透過 T1 專線將花蓮氣象站地下水觀測井的水位資料即時傳回氣象局，再藉由地下水位接收及即時展示程式可對水位資料做即時的判斷與異常偵測。並於 2005 年 1 月陸續設置宜蘭縣壯圍、臺南縣那菝與臺南縣六甲等 3 口地下水即時觀測井，2006 年 1 月增設雲林縣東和及屏東縣赤山 2 口地下水即時觀測井，至 2006 年底已完成 6 口地震地下水觀測井之建置（圖 5-5）。

各測站水位資料皆以 1HZ 的採樣率即時傳回至地震測報中心，此外為修正並排除地下水位受降雨、大氣壓力因素影響導致的水位變動，同時接收氣象局所屬雨量站之即時雨量觀測資料，並於觀測井增設氣壓儀傳回即時氣壓資料。就目前所記錄之地下水水位資料，對於地震同震變形、遠震表面波皆有十分良好的紀錄，顯示地下水位觀測井封閉性佳對於地殼的應變反應靈敏。目前資料處理的方向為針對各測站接收的紀錄資料作非構造因素影響量之分析，期望能將非構造因素排除後，對因為地震或地震前所產生之應變，做更有效的掌握。

### 2、異常研判

#### (1) 異常水位變化：

目前初步可將異常水位變化分為二種類型，第一類水位有異常變化且有地震發生、第二類水位有異常變化但無地震發生。若測站觀測到水位有異常變化時，持續觀測數小時至數日後是否附近有地震發生，若發生地震且測站震度達到 1 級以上則歸為第一類，若無地震發生或附近有地震但測站無震度則歸類為第二類。

#### (2) 同震水位變化：

各測站目前已有累積十分豐富的同震紀錄，其中同震造成的水位階變紀錄達15個。以2006年4月1日18：02臺東地區 $M_L$ 規模6.23的地震為例，最靠近震央的赤山站(CHI)的水位階變約為6公分（圖5-6），其他測站亦可收到清楚的同震水位變化。分析這15次水位階變初步可歸納出臺灣地區發生規模大於6的地震則至少有一站可以觀察到水位階變。

### 3、結果討論

花蓮站因距離海岸近，因此地下水水位資料受潮汐影響很大，潮汐日變化及每月大、小潮的變化相當明顯。在排除降雨與人為抽水影響後分析其水位變化，除豐富的同震紀錄外，初步可將花蓮站地震前水位異常變化型態分成水位突升型（Up）、水位突降型（Down）與引潮力影響型（Neap）（圖5-7）。分析水位異常開始至地震發生的時間，最短則只有1小時，最長達約5天，地震之篩選以測站震度達到1級以上之地震為主。綜析在地震前觀測到水位明顯異常變化之紀錄達21次如表5-1，地震分布圖如圖5-8，花蓮站水位異常與地震關聯性統計結果如表5-2（截至2008年6月為止）。然而花蓮站所收到的紀錄裡，仍可觀測到19次水位異常卻無地震發生的情形。因此仍需長期監測以累積更多水位異常的紀錄與地震資料，期進一步分析水位變化與地震前兆之關聯性。另外，2004年12月26日08：58（TST）發生於印尼蘇門達臘島 $M_w$  9.1的地震，那菽站（NAB）及花蓮站（HWA）兩站均可記錄到表面波造成非常明顯的水位變化（圖5-9）。

### （三）GPS 連續觀測、地殼應變監測與地震前兆之關係

#### 1、處理流程

GPS研究地表形變係利用GPS高精度的相位觀測來監視點位的移動或點與點之間的相對運動。由於地殼變動的精度要求相當的高，一般而言，公分級的變動已可引起觀測者的注意，因此，從點位選擇、埋設、資料蒐集、處理與最後的資料展現與解釋，都要求的非常嚴謹，並且要考慮整個地球非均勻性的轉動與轉動軸的傾斜、轉速的變化等因素。在氣象局的GPS資料處理系統是由電腦透過網路每天蒐集測站的資料，再加上臺灣附近世界網的資料以及全球網所算出來的衛星精密軌道，來計算各測站之間的相對位置。由於現有的GPS連續觀測站

已有上百站，我們分作四個子網，利用美國麻省理工學院所發展出來的GAMIT軟體做資料處理，求解包含各測站的座標，並儲存求解過程中觀測方程式的方差協方差矩陣，以便各測站間做進一步整合。在整合各個子網時，我們利用MIT發展的GLOBK程式，加上世界GPS資料處理中心處理世界網時所儲存的觀測方差協方差矩陣，做整體座標的解算，以將臺灣各測站的座標約制在世界座標上，並減小因大區域觀測所可能帶來的尺度與方向旋轉的問題。GLOBK除了可以將每天的資料做整合，還可以將多天，甚至一年或多年的資料做整體性的結合。在整合時，一般都假設正常的測站之移動速度是長期穩定的，因此，除非有地震活動或其他的異常地體構造變化，每一站應該都可以同時解算精確座標與速度。

## 2、地表形變速度場

臺灣地區地殼形變速度場分析，剔除集集地震之永久變形，1999年至2004年相對於澎湖之GPS變形平均速度場如圖5-10。如能以其為基礎，分別分析各觀測點在時間域內之變化及其與大地震之關聯，並長時間歸納之，將可能找出地殼形變之可能地震前兆現象。

中央氣象局於集集地震後負責臺灣地區全球衛星定位觀測網之建置，歷時5年共設立150個GPS固定站，以即時資料傳輸方式送回臺北處理，圖5-11(a)~(d)各圖為2004年至2007年之GPS絕對變形年平均速度場，剔除大地震之永久變形，最後將分年結果彙整於同一張圖（圖5-11 (e)），藉以分析其年變化是否與地震活動有關。本分析將長時間累積，以與其他相關研究比對。

## 3、地表形變與地震活動

圖5-12為花蓮GPS在三維空間之觀測結果及其與附近地震之關係（黑線條），緯度上之變化似乎預先反應該地在2000年7月初及9月初兩個規模大於5.5之地震。

### （四）GPS 資料計算電離層 TEC 與地震前兆之關係

#### 1、處理流程

以GPS資料計算電離層總電子量（Total Electron Content）理論敘述如下：電離層中存在著相當多的帶電粒子，對電磁波而言電離層為一種頻散介質（dispersive medium），即折射係數（refraction index）

和真空折射係數不同，因此電磁波在電離層中傳播和帶電粒子產生交互作用後，傳播速度就和真空中的傳播速度不同，傳播時間也隨之改變。同樣的情形也會出現在GPS的雙頻電磁波(L1&L2)，因此藉由電磁波傳播時間的改變，即可推知電離層中的電子數目。

地震前影響電離層的可能原因如下：

- (1) 地表微細變化常會引起大氣極低頻振動，並顯現於距地表80公里左右之電離層電子濃度變化中。
- (2) 地殼會大量釋放出各種氣體而擴散於大氣中，並且進入電離層，而引起電子濃度之變化。
- (3) 地殼擠壓或微小振動，會引起地電場及地磁場的變化，產生的電磁場變化又會進一步感應大氣及電離層中之帶電粒子而引起異常。
- (4) 在地震的孕育時期，由於板塊之間的擠壓若地殼產生微裂縫時，會於地殼上產生活躍的正電子洞 (mobile positive holes)。這些正電子洞會向外擴散流出至地球表面在地表處形成一極大的電場。

## 2、異常研判

- (1) 當天計算所得電子濃度低於最近16天統計指標下界，判定為異常。
- (2) 取當天電離層電子較活躍的時間自上午10時至下午6時，共8小時計算所得電子濃度資料與下界比較，因計算後之電子濃度資料為每15分鐘1筆，所以8小時資料共計32筆逐一比較，若有19筆以上低於下界，為60%異常；若有9筆以上低於下界，為30%異常。
- (3) 結合地磁觀測資料 (Disturbed Storm Time)，排除磁暴因素對電離層電子濃度的影響。
- (4) 與規模5.0以上地震比對驗證。

## 3、結果討論

- (1) 中央大學太空所劉正彥教授等人研究自1994年以來的資料顯示地震規模5.0以上5天前發生電離層前兆的機會為74%，且地震的規模愈大出現前兆之機會也愈大。另外，電離層前兆後5天內出現地震的機會為53%。
- (2) 本研究2004年7月1日~2008年6月30日這4年中共計有110個規模

大於5.0的地震，其中有83個地震發生前5天內電離層有異常情形，機率為75% (83/110)。

(3) 2004年7月1日~2008年6月30日這4年期間電離層TEC共出現220次異常，異常發生後5天內，其中101個有地震發生，扣除23個受磁暴影響及6個受颱風影響，異常後地震發生機率近53% (101/191)。

## 二、花蓮地區 GPS 時間序列變化與地震之關聯性初探

本區位於板塊劇烈碰撞的區域，碰撞的形式大致由北向南分成三類型，北段在臺灣花蓮外海區域是由菲律賓海板塊隱沒至歐亞大陸板塊之下，中段在花東縱谷區域是兩板塊劇烈碰撞擠壓，南段則是由歐亞大陸板塊隱沒至菲律賓海板塊下，這三段不同碰撞的類型造成臺灣特有的地體構造及地形(圖 5-13)。而花蓮地區正好位處於北段以及中段碰撞類型轉換的區域，區域內地震發生的頻率亦是臺灣地區較高的區域，不僅小地震發生頻繁，歷史上更曾發生數次災害性大地震，本局先前曾針對花蓮地區，訂定秀林至吉安之間為指標地震區探討地震前兆現象(蕭文啟等,2006)，本研究將分析、探討花蓮地區部份具有相似年週期變化測站的 GPS 時間序列資料，並將此現象與地震發生是否有關聯性進行分析。

### (一) 花蓮地區 GPS 水平速度場

本研究使用時間序列是 GPS 觀測資料經 Bern42 軟體解算所得，並將 2004 至 2008 年 GPS 時間序列資料，去除年週期、半年週期、同震位移及儀器更換等等非構造成因素造成之影響，獲得花蓮地區長時間穩定的水平速度場圖(圖 5-14)。此地區的水平速度場大致可分成三區：

#### 1、北區：

共有南澳(NAAO)、和平(HUAP)、崇德(CHNT)、西寶(SPAO)以及布洛灣(BLOW)等5個站，位移方向是SE向至ESE方向，移動速率約有2.0~5.0cm/yr。

#### 2、南區：

共有水璉(SHUL)、東富(DNFU)、豐濱(FENP)、大興(DSIN)以及鶴岡(HRGN)等5個站，位移方向是NW向至NNW方向，年移動速率除了大興位於花東縱谷斷層西側量值較小外，其餘測站約有1.5~5.0cm/yr。

### 3、中區：

共有北埔（PEPU）、花蓮（HUAL）、東管處（YENL）、銅門（TUNM）、東華大學（NDHU）以及西林（SLIN）等 6 個站，移動速率都是小於 0.5cm/yr，位移量相當小，位移方向則是比較沒有一致性。

整體速度場看起來，似乎是以花蓮市區為圓心，呈現一個順時鐘旋轉現象，此現象應與此區域位處歐亞、菲律賓兩板塊碰撞由北段轉換至中段，進而衍生應力應變方向變化有關。

#### （二）花蓮地區 GPS 時間序列變化

觀察花蓮站（HUAL）2000 年至今的時間序列（圖 5-15），可以發現在 EW 向有很明顯年週期性的變化趨勢存在，試著比對花蓮區域其他 GPS 測站（圖 5-16），結果顯示北區的 HUAP、BLOW、CHNT，中區的 PEPU、YENL，南區的 DNFU、HRGN 同樣在 EW 向有明顯的年週期性變化，並且變化的時間點各測站都是近似的。

比對的過程中發現在 NS 向（圖 5-17），中區的 NDHU，南區的 SHUL、DNFU、DSIN 以及 HRGN 也有年週期性變化現象，但在北區則是較無法明顯觀察到此現象。另外，所有測站中只有 DNFU 及 HRGN，在 NS、EW 向都有明顯的年週期變化，再仔細觀察兩站時間序列（圖 5-18），可以發現 NS、EW 向變化的時間點是近似的。

圖 5-19 為花蓮地區年週期性變化測站分布圖，EW 向年週期變化測站約分布在北區及中區之鄰海測站，以及南區花東縱谷斷層東側的 DNFU、HRGN；而 NS 向年週期變化測站則是分布集中在 DNFU 以南，花東縱谷斷層兩側周圍。是否由於兩板塊碰撞有應力集中、鬆弛的年週期變化，才造成此區域數站 GPS 時間序列資料有如此變化，需要其他相關研究加以驗證。

#### （三）花蓮 GPS 年週期變化與地震活動關聯性

假設花蓮區域真的有板塊碰撞應力集中、鬆弛的年週期變化，那是否當應力集中至一定程度會導致地震發生，而地震發生之後釋放能量，接著應力就會進入鬆弛階段。

觀察花蓮站（HUAL）GPS 時間序列（圖 5-15），除了 EW 向自 2000 年至今都有明顯的週期性變化外，NS 向在 2000~2002 年亦是

週期性變化，但自 2003 年起就比較觀察不出週期變化現象，因此接下來只針對 EW 向變化做討論。

觀察 2000 年至今 EW 向時間序列，大致可以推估約在每年 5 月到 9 月期間花蓮站是向東移動，每年 10 月至隔年 4 月則是改向西移動（圖 5-20），並搜尋花蓮站周圍 50 km 內深度小於 70 km 以上規模  $M_L \geq 5$  的地震活動，結果發現約有 8 成機率  $M_L \geq 5$  地震發生在每年 4 到 8 月期間，而此時段也是花蓮站在 EW 向由西向轉換成東向之時間點（圖 5-21），地震詳細資料如表 5-3 所示，從空間分布來看這些地震活動（圖 5-22），地震分布大約位於花蓮市西北邊區域，及在東部外海呈線性分布。

試著再將一年的速度場依 5~9 月份以及 10~4 月份分開比較，由於時間區段誤差量會增大，因此將 2006~2009 年共 3 年資料來平均以降誤差量，3 年解算速度場資料如表 5-4 所示。圖 5-23 水平速度場比較圖可以發現在花蓮（HUAL）以北區域，5~9 月間速度較大；相反的南邊區域則是 10~4 月份速度較大，全部測站中只有 FENP 站 5~9 月間與 10~4 月間的速度幾乎相等，而 HUAL、PEPU、DNFU 等 3 站變化角度極大，幾乎快達到 180 度反轉。

#### （四）討論

- 1、花蓮地區水平速度場似乎是以花蓮市區為圓心，呈現一個順時鐘旋轉現象，此現象應與本區域北邊有歐亞大陸板塊向東南位移、南邊有菲律賓海板塊向西北擠壓，兩股力量拉鋸所造成的。
- 2、花蓮地區 GPS 時間序列中，許多測站皆有年週期變化情形，是否表示著兩板塊間碰撞應力變化有集中、鬆弛的年週期變化，值得再深入探討。
- 3、觀察花蓮站（HUAL）GPS 時間序列，發現有 8 成  $M_L \geq 5$  的地震活動會發生在每年 4~8 月期間，也就是花蓮站（HUAL）位移正由向西轉為向東時間點，是否表示著應力向西集中累積導致地震發生，而地震釋放能量後應力即轉而向東進入較鬆弛階段。
- 4、將一年的速度場依 5~9 月份以及 10~4 月份分開比較，結果顯示 5~9 月間花蓮市以北區域位移速度較大，10~4 月則反而是以南區域位移速度大。

表 5-1、花蓮站地震前異常水位紀錄。

序號	地震日期	地震時間	規模	經度	緯度	深度	震央距	前兆發生日	前兆 (小時)	異常 型態
1	2004/02/09	15:13:49	3.96	121.76	23.99	33.17	17.56	2004/02/09	1	Up
2	2004/05/01	15:56:11	5.25	121.53	24.08	21.55	13.88	2004/04/27	103	Neap
3	2004/07/06	15:32:02	5.22	122.27	24.90	5.96	125.77	2004/07/06	8	Down
4	2004/07/09	19:19:28	4.52	121.50	23.90	19.58	14.62	2004/07/09	10	Down
5	2004/07/14	20:04:30	3.32	121.54	24.11	19.31	16.06	2004/07/14	2	Down
6	2004/10/28	10:05:31	4.19	121.71	23.89	39.55	15.72	2004/10/27	23	Up
7	2005/01/21	22:28:21	5.94	122.53	24.56	92.12	121.25	2005/01/21	12	Up
8	2005/02/19	04:18:18	5.23	121.67	23.34	15.28	71.05	2005/02/17	36	Neap
9	2005/03/20	07:26:26	5.15	122.25	24.20	19.54	76.02	2005/03/18	56	Neap
10	2005/05/30	06:17:21	5.01	121.66	23.17	32.39	89.23	2005/05/26	94	Up
11	2005/06/30	23:56:57	3.9	121.89	24.06	28.13	32.75	2005/06/30	16	Up
12	2005/07/26	21:37:04	5.21	121.60	24.16	56.65	20.77	2005/07/25	32	Up
13	2005/09/27	02:50:20	5.29	121.40	23.23	21.34	85.7	2005/09/26	12	Down
14	2006/04/24	08:03:48	4.21	121.67	24.01	44.48	8.75	2006/04/21	70	Up
15	2006/10/12	22:46:29	5.8	122.65	23.96	25.26	115.5	2006/10/10	51	Down
16	2007/02/05	17:17:46	4.28	122.16	24.11	42.62	63.82	2007/02/04	5	Up
17	2007/02/22	14:46:54	4.4	121.40	23.69	9.83	38.94	2007/02/20	53	Up
18	2007/07/17	07:42:52	4.95	121.55	23.57	32.66	45.36	2007/07/15	42	Up
19	2007/07/23	21:40:02	5.77	121.64	23.72	38.63	28.88	2007/07/19	110	Down
20	2008/03/01	00:58:05	5.09	122.53	24.00	26.14	102.37	2008/02/28	35	Neap
21	2008/06/02	00:59:23	5.83	121.79	24.86	92.31	100.51	2008/05/28	113	Neap

表 5-2、花蓮站水位異常與地震關聯性統計。

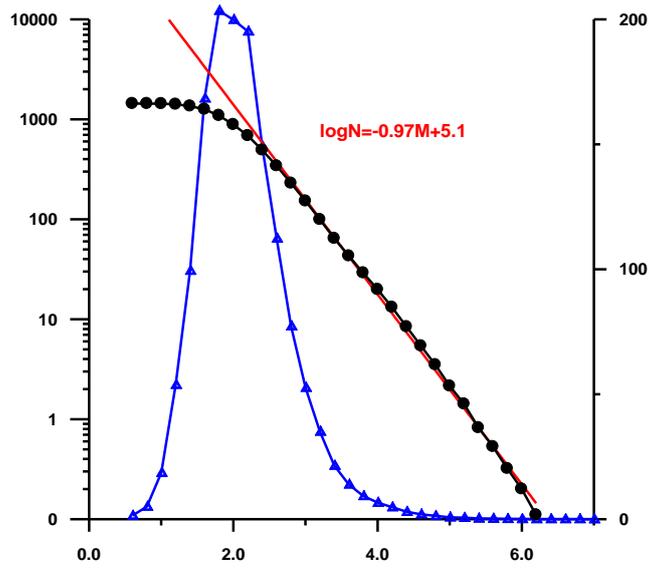
	第一類	第二類	可能前兆機率
2004	6	3	67%
2005	7	7	50%
2006	2	6	25%
2007	4	3	57%
2008(1~6月)	2	0	100%
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>19</b>	<b>53%</b>

表 5-3、花蓮 GPS 站周圍 50 km 以內，深度小於 70 km， $M_L \geq 5$  地震資料表。

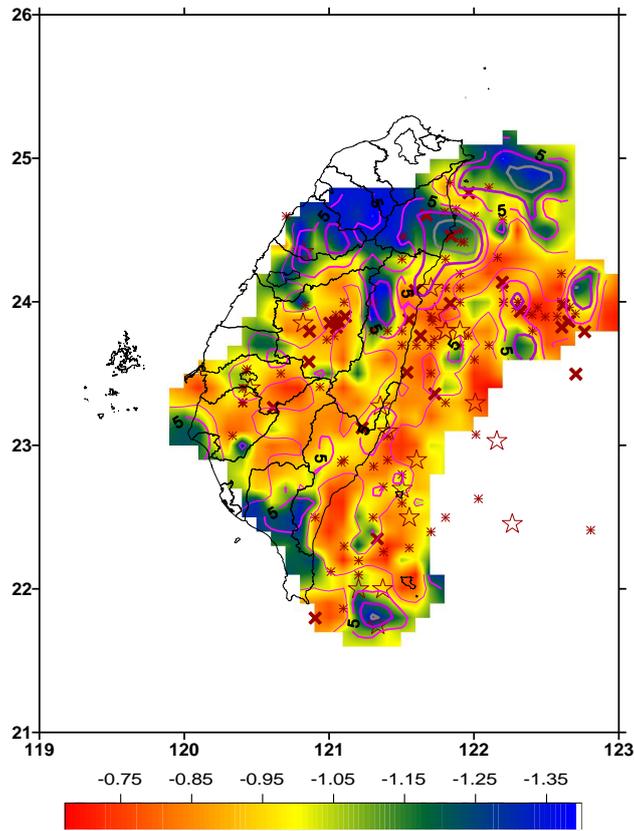
時間	規模	經度	緯度	深度
20000506	5.07	121.5603	24.0235	26.97
20000713	5.08	121.8268	23.9397	5.34
20000714	5.70	121.7283	24.0483	7.19
20000714	5.12	121.8032	23.9470	5.95
20000717	5.11	121.7898	24.0665	10.26
20000823	5.57	121.6347	23.6360	27.48
20000910	6.20	121.5838	24.0853	17.74
20001129	5.17	121.7682	23.8573	15.27
20010709	5.13	121.7685	24.0110	43.39
20020212	6.20	121.7227	23.7407	29.98
20020403	5.27	121.8682	24.3222	12.87
20030616	5.38	121.6538	23.5425	28.26
20030803	5.29	121.6520	24.2125	57.67
20030806	5.06	121.5748	23.9763	10.29
20040501	5.25	121.5282	24.0758	21.55
20040602	5.17	121.2897	23.6373	14.65
20050201	5.14	121.7795	24.2558	5.74
20050430	5.62	121.6245	24.0352	8.45
20050607	5.16	121.7383	23.9933	2.09
20050610	5.04	121.7542	24.0157	1.52
20050618	5.00	121.5332	23.9547	2.18
20050726	5.21	121.6027	24.1640	56.65
20060428	5.21	121.6107	23.9853	9.78
20070723	5.77	121.6357	23.7162	38.63
20080801	5.08	121.5255	24.0478	21.09
20090103	5.10	121.7332	24.1535	7.46
20090417	5.33	121.6815	23.9170	43.43
20090628	5.26	121.7533	24.1823	12.88

表 5-4、2006~2009 年 5~9 月份及 10~4 月份水平速度場。

EW 向	200605	200705	200805	平均 速度 (cm/yr)	NS 向	200605	200705	200805	平均 速度 (cm/yr)
	200609	200709	200809			200609	200709	200809	
BLOW	2.84	3.61	2.74	3.06	BLOW	-0.41	-0.4	-1.04	-0.62
CHNT	2.93	2.3	2.02	2.42	CHNT	-1.81	-1.26	-1.65	-1.57
DNFU	-----	2.17	1.07	1.62	DNFU	-----	2.06	1.28	1.67
DSIN	-1.74	-0.57	-0.99	-1.10	DSIN	0.48	-0.71	0.61	0.13
FENP	-2.78	-2	-2.4	-2.39	FENP	2.82	2.94	3.15	2.97
HRGN	-----	-0.34	-0.26	-0.30	HRGN	-----	0.98	0.96	0.97
HUAL	1.43	0.59	0.92	0.98	HUAL	0.17	-0.86	-0.63	-0.44
HUAP	3.33	3.75	-----	3.54	HUAP	-1.75	-3.66	-----	-2.71
NAAO	4.22	3.49	3.77	3.83	NAAO	-2.51	-3.24	-1.65	-2.47
NDHU	-----	-0.27	-0.25	-0.26	NDHU	-----	-0.46	-0.4	-0.43
PEPU	1.54	3.85	1.23	2.21	PEPU	-0.21	-0.8	-0.65	-0.55
SHUL	-0.26	0.01	0.52	0.09	SHUL	1.5	1.55	0.87	1.31
SLIN	0.1	2.18	0.23	0.84	SLIN	0.11	0.53	-0.74	-0.03
SPAO	0.27	3.4	2.21	1.96	SPAO	0.34	-0.06	-0.49	-0.07
TUNM	-----	3.36	0.5	1.93	TUNM	-----	-0.54	-0.86	-0.70
YENL	0.56	0.92	0.26	0.58	YENL	1	0.86	0.73	0.86
EW 向	200610	200710	200810	平均 速度 (cm/yr)	NS 向	200610	200710	200810	平均 速度 (cm/yr)
	200704	200804	200904			200704	200804	200904	
BLOW	-----	0.33	0.59	0.46	BLOW	-----	-0.71	-1.05	-0.88
CHNT	-----	0.52	0.63	0.58	CHNT	-----	-0.95	-1.05	-1.00
DNFU	-----	-3.1	-3.43	-3.27	DNFU	-----	1.4	0.74	1.07
DSIN	-----	-0.65	0.01	-0.32	DSIN	-----	0.63	0.33	0.48
FENP	-----	-2.49	-2.13	-2.31	FENP	-----	3.38	3.03	3.21
HRGN	2.19	-2.45	-2.3	-0.85	HRGN	2.66	2.19	1.91	2.25
HUAL	1.26	-1.73	-1.58	-0.68	HUAL	0.37	0.41	0.17	0.32
HUAP	1.46	1.34	1.52	1.44	HUAP	2.91	-2.14	-2.76	-0.66
NAAO	2.93	1.89	3.2	2.67	NAAO	3.2	-1.95	-3.18	-0.64
NDHU	0.49	-0.63	-0.53	-0.22	NDHU	0.96	0.95	0.85	0.92
PEPU	-----	-0.54	-0.59	-0.57	PEPU	-----	-0.21	-0.53	-0.37
SHUL	0.63	-0.99	-0.66	-0.34	SHUL	2.12	1.73	1.5	1.78
SLIN	-----	0.08	0.28	0.18	SLIN	-----	0.72	0.53	0.63
SPAO	1.31	1.06	1.34	1.24	SPAO	0.31	-0.37	-0.67	-0.24
TUNM	-----	0.33	0.1	0.22	TUNM	-----	0.36	0.24	0.30
YENL	0.95	-1.16	-1.05	-0.42	YENL	1.49	1.69	1.44	1.54



(a)



(b)

圖 5-1、(a) 背景地震觀測資料之  $b$  值分析，黑點為個數累積值，紅線為其迴歸值，藍色三角點為規模區段個數值。(b) 淺層背景地震觀測資料  $a$  (等值線) 和  $b$  (顏色) 值之空間上之分析，符號表 1930 年後規模大於 6 之地震。

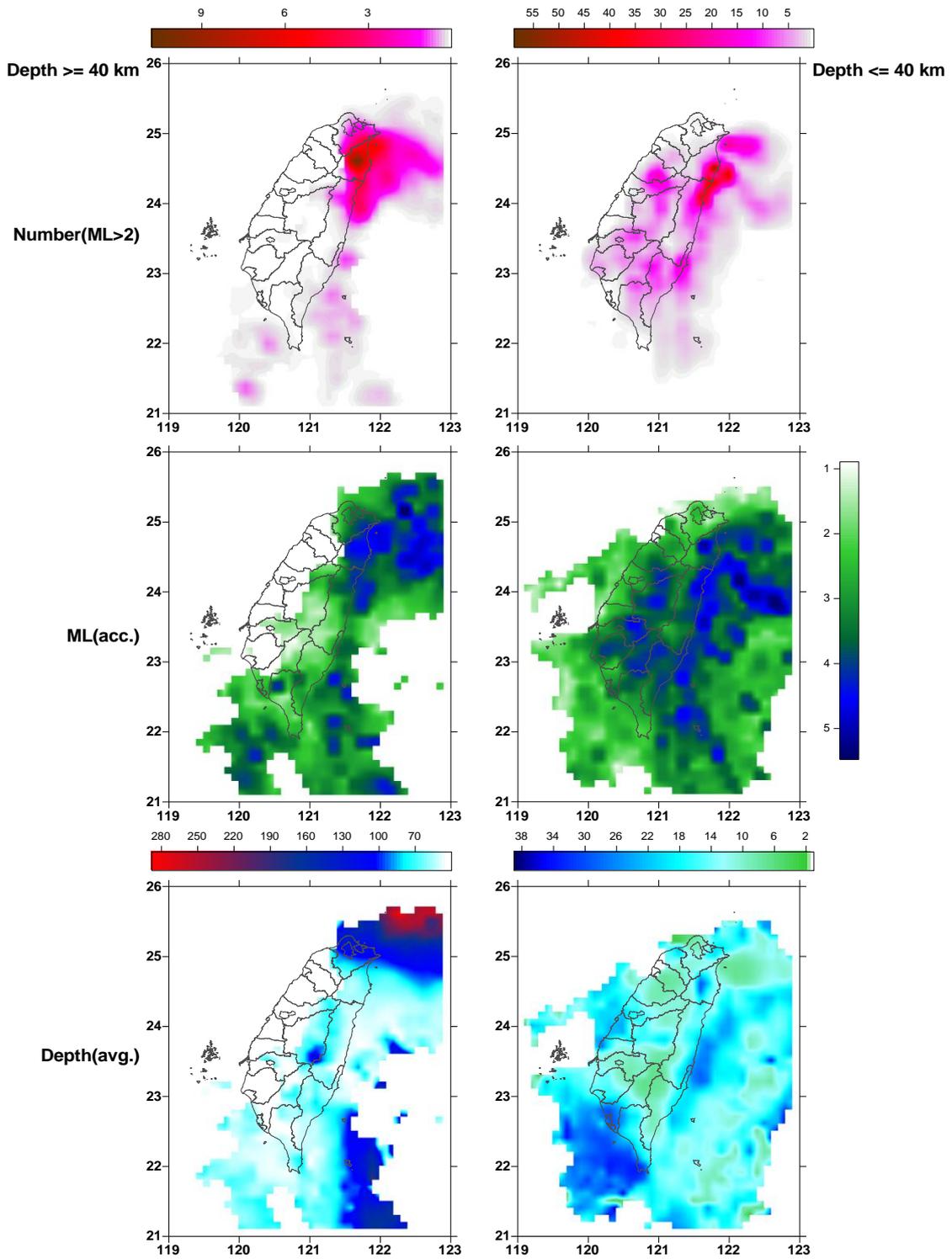


圖 5-2、深淺背景地震觀測資料之月平均地震個數、月平均累計規模與平均地震深度在區域之分布。

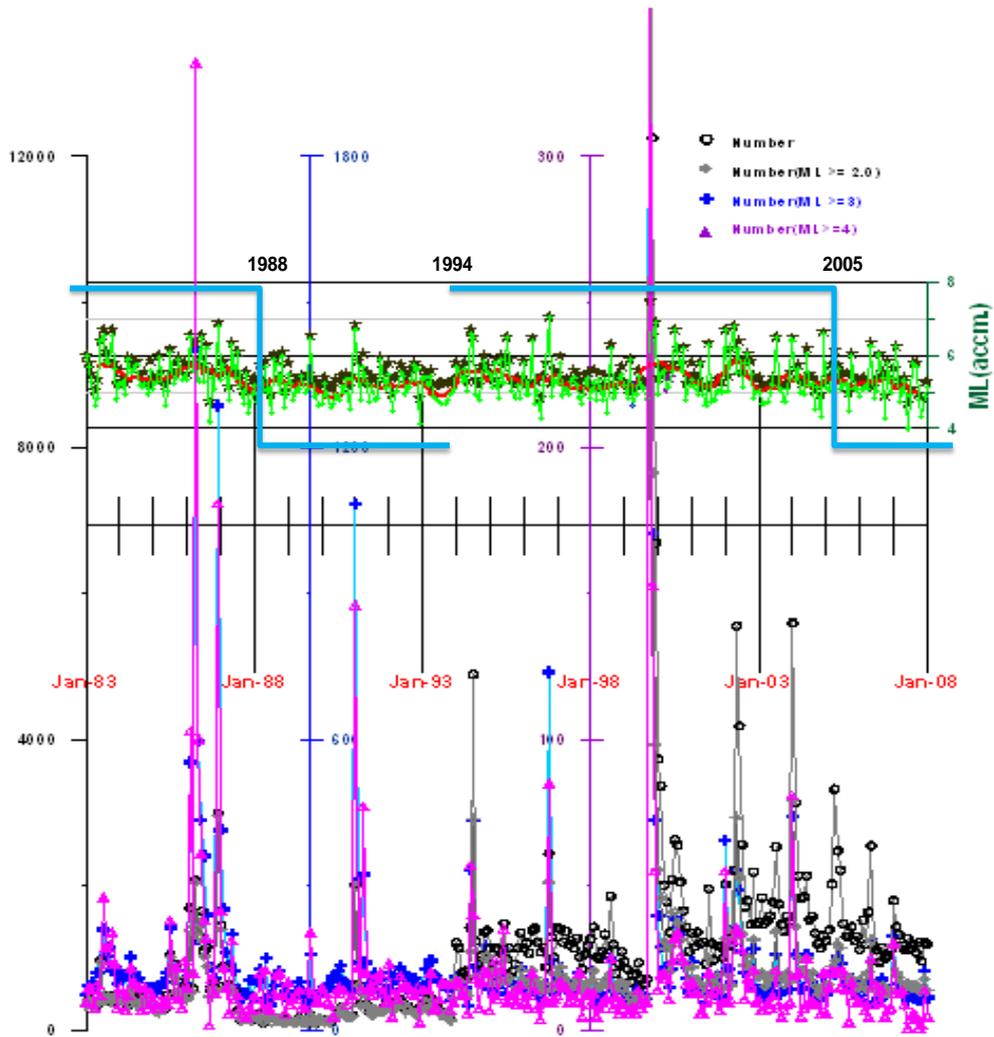


圖 5-3、1983 至 2007 年之淺層（小於 40 公里）地震資料，以月為單位，統計不同規模區段之地震個數及計算最大規模（綠色星號）、累積規模（黑色星號）之月歷時圖。

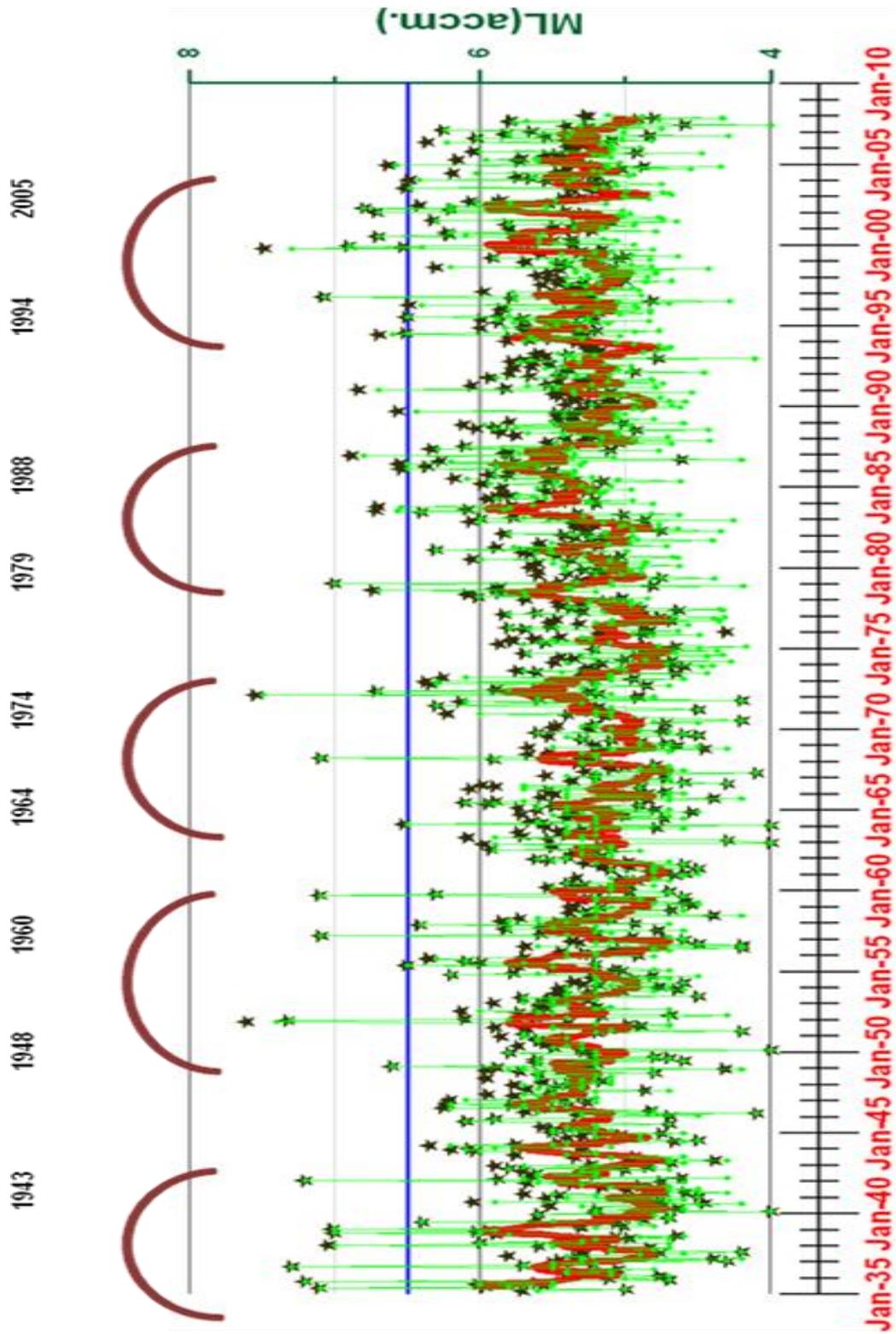


圖 5-4、1935 至 2007 年之淺層（小於 40 公里）地震資料，以月為單位，統計最大規模（綠色星號）、累積規模（黑色星號）之月歷時圖。

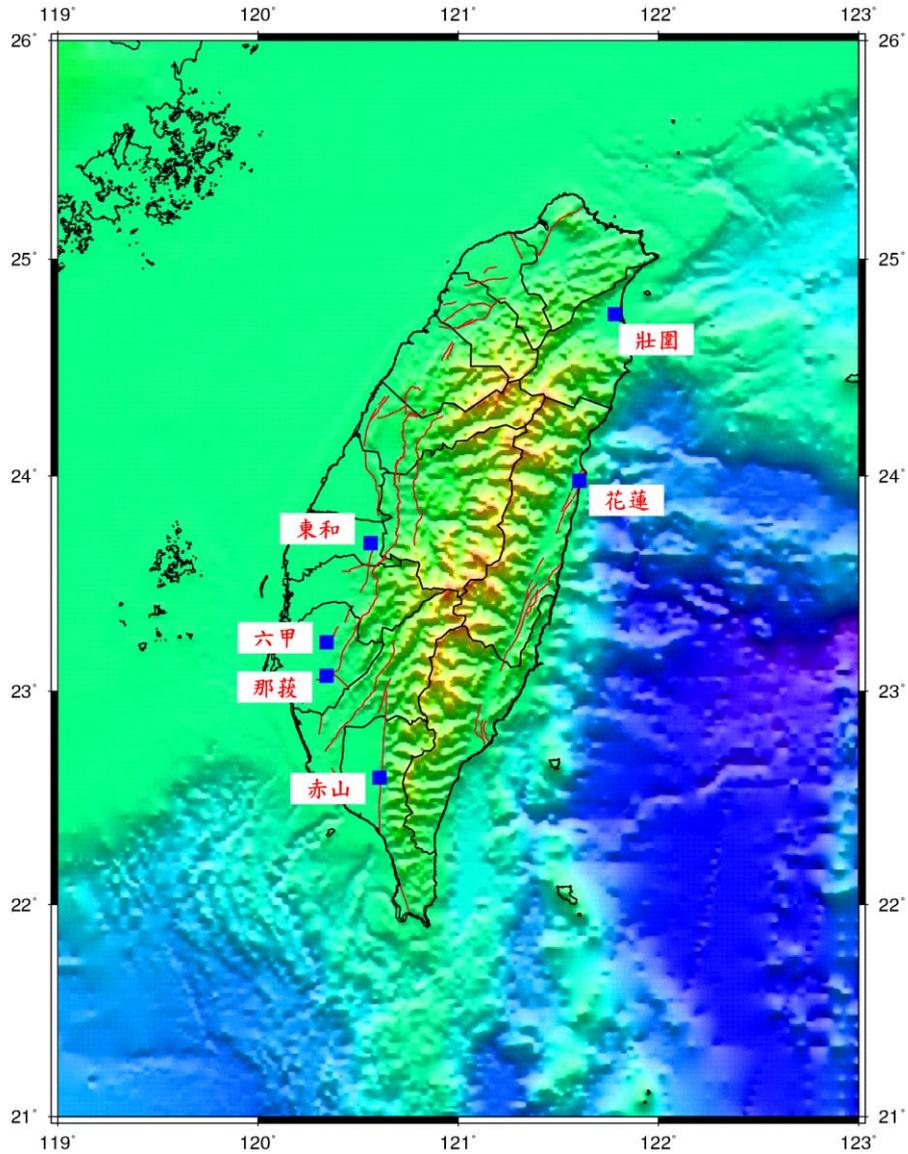


圖 5-5、中央氣象局地震測報中心地震地下水即時觀測井站位置。

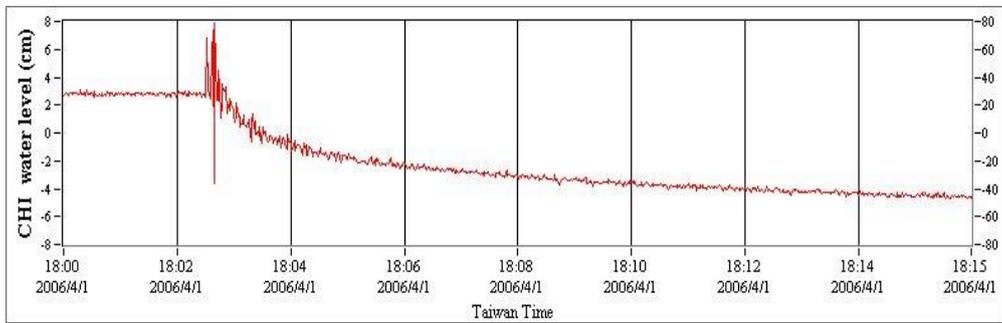
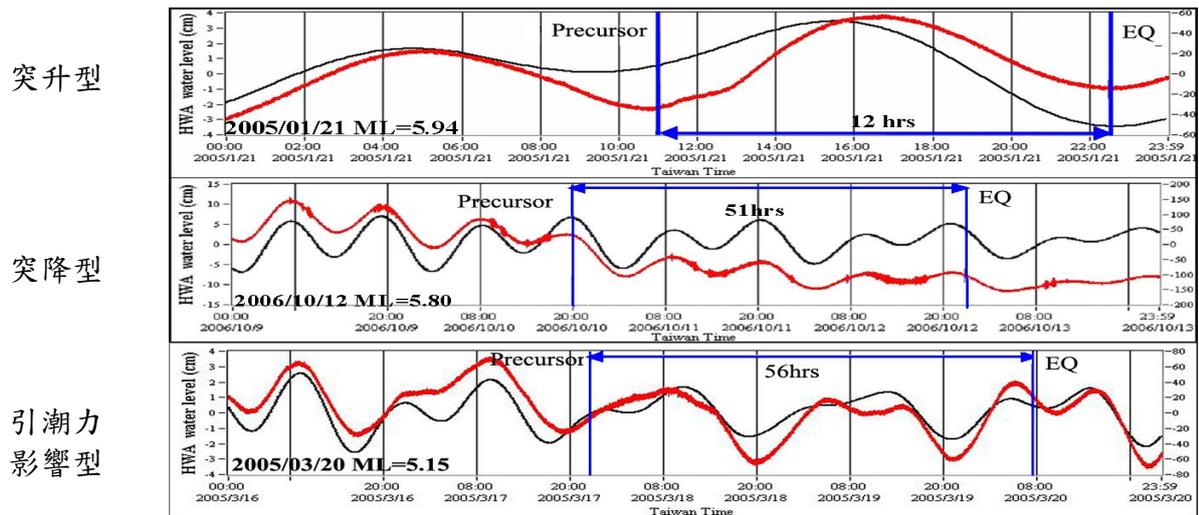


圖 5-6、2006 年 4 月 1 日  $M_L6.23$  臺東地震赤山站 (CHI) 之同震階變紀錄。



突升型

突降型

引潮力  
影響型

圖 5-7、花蓮站震前水位異常變化型態三分類：水位突升型、水位突降型、引潮力影響型（粗黑線：花蓮站地下水位，細黑線：花蓮站預測天文潮）。

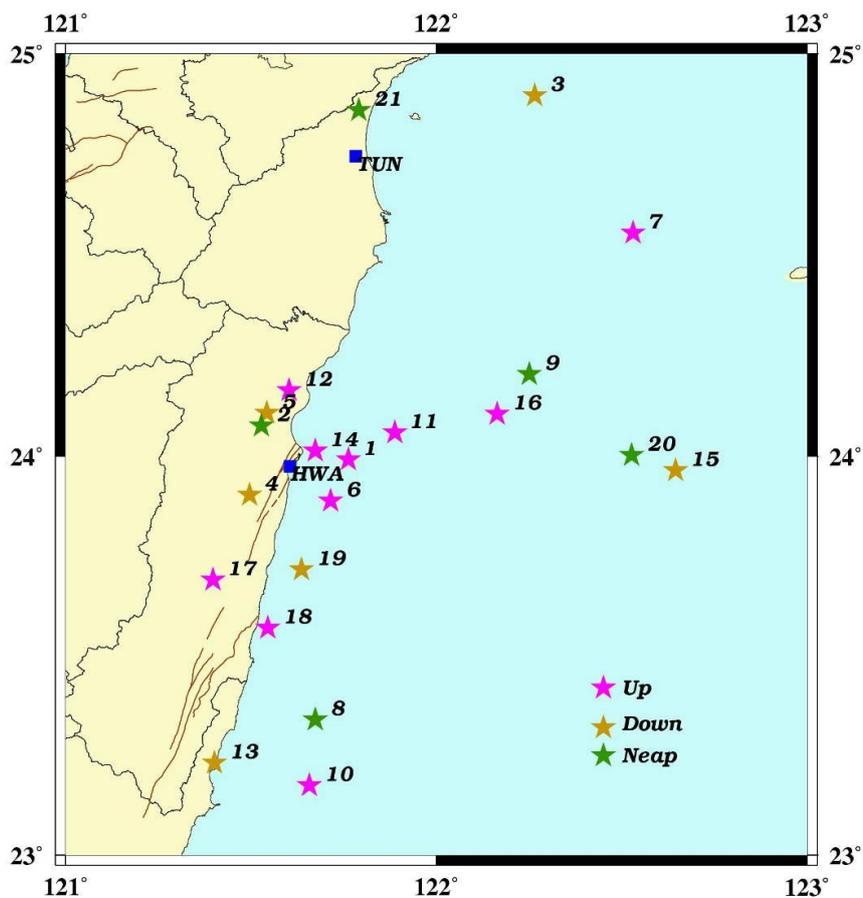


圖 5-8、花蓮站地震前水位有異常變化之 21 次地震分布圖。

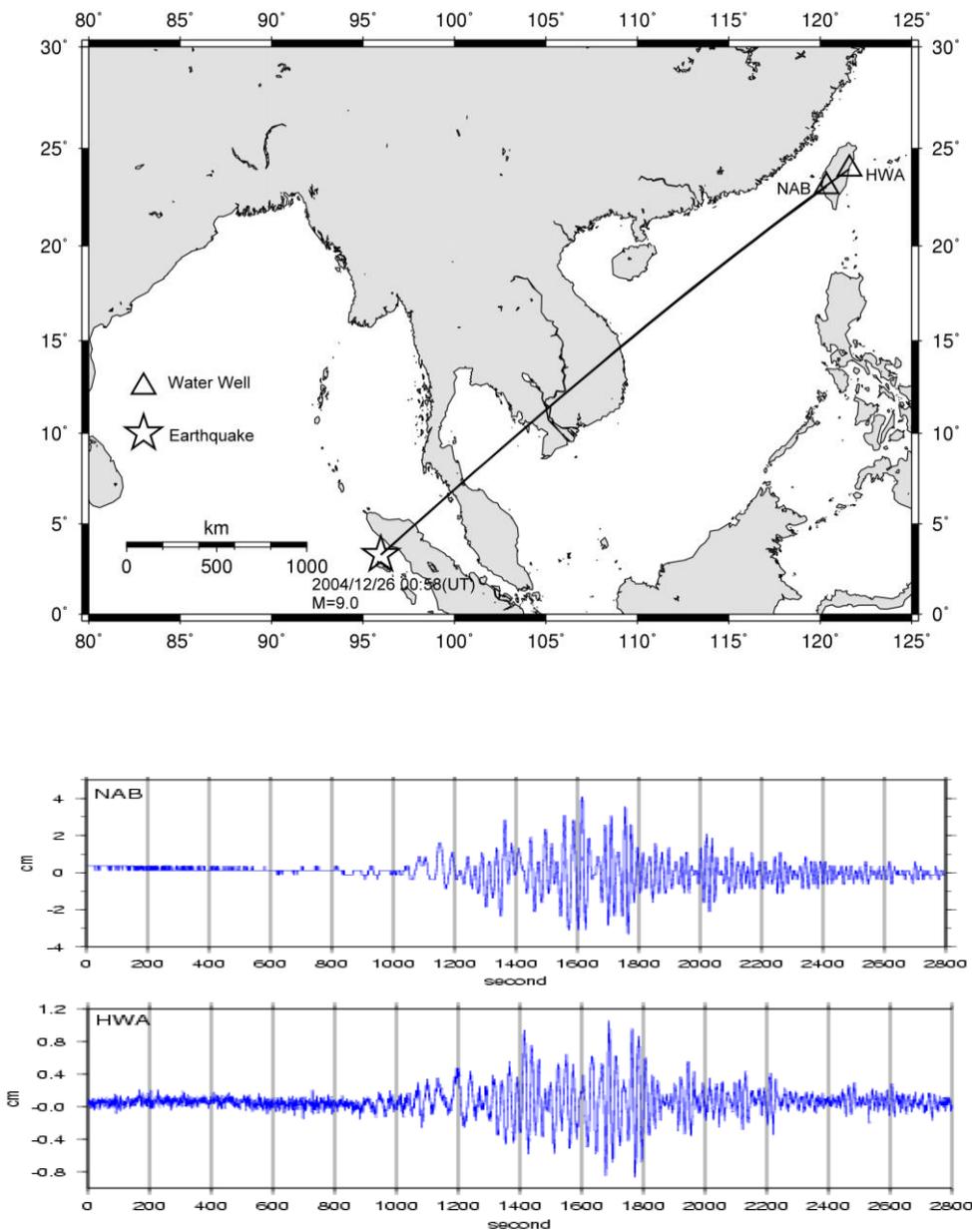


圖 5-9、2004 年 12 月 26 日 08:58 (TST) Mw 9.1 印尼蘇門達臘島地震，  
那菽站 (NAB) 及花蓮站 (HWA) 兩站的同震水位變化。

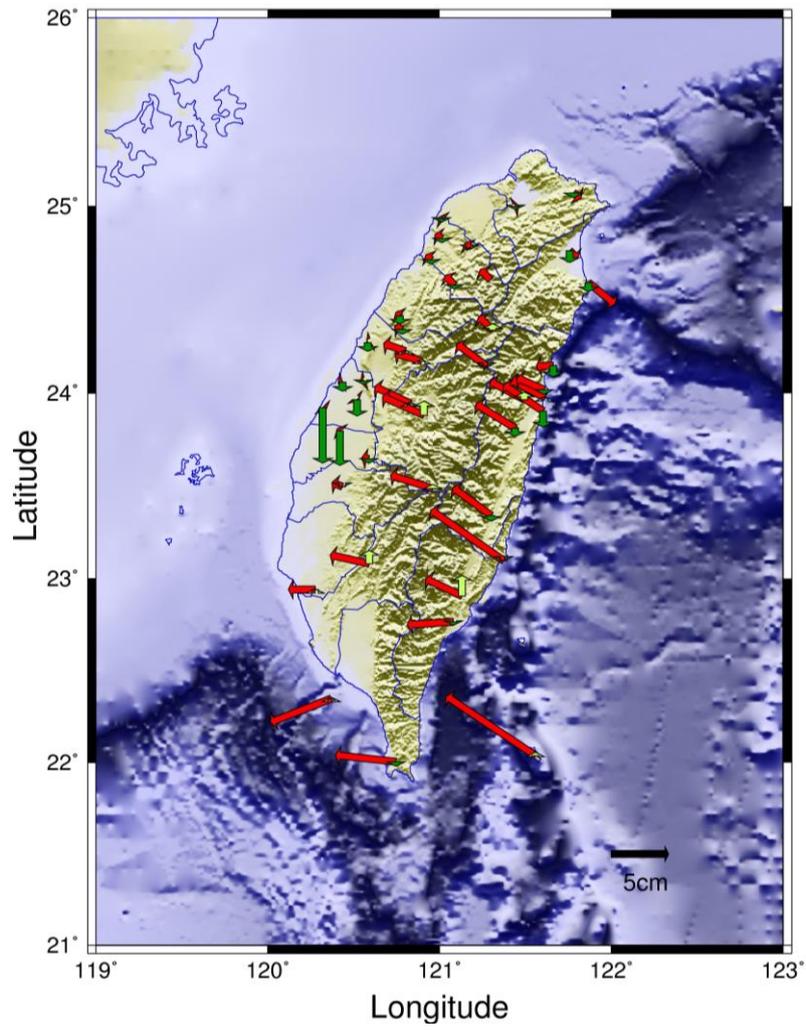


圖 5-10、1999 年至 2004 年相對於澎湖之 GPS 變形平均速度場（相對於澎湖）。

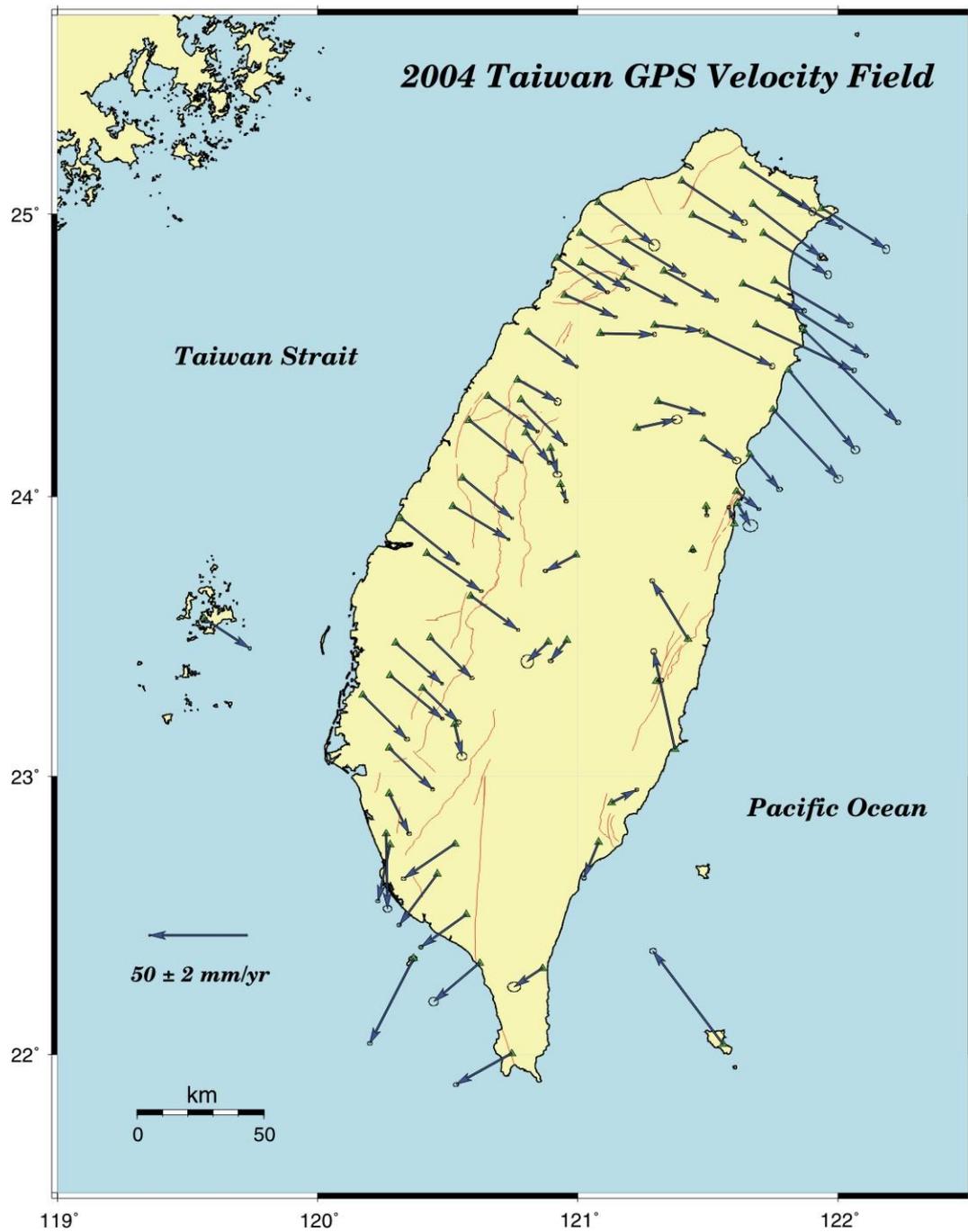


圖 5-11 (a) 、2004 年臺灣 GPS 水平速度場分布。

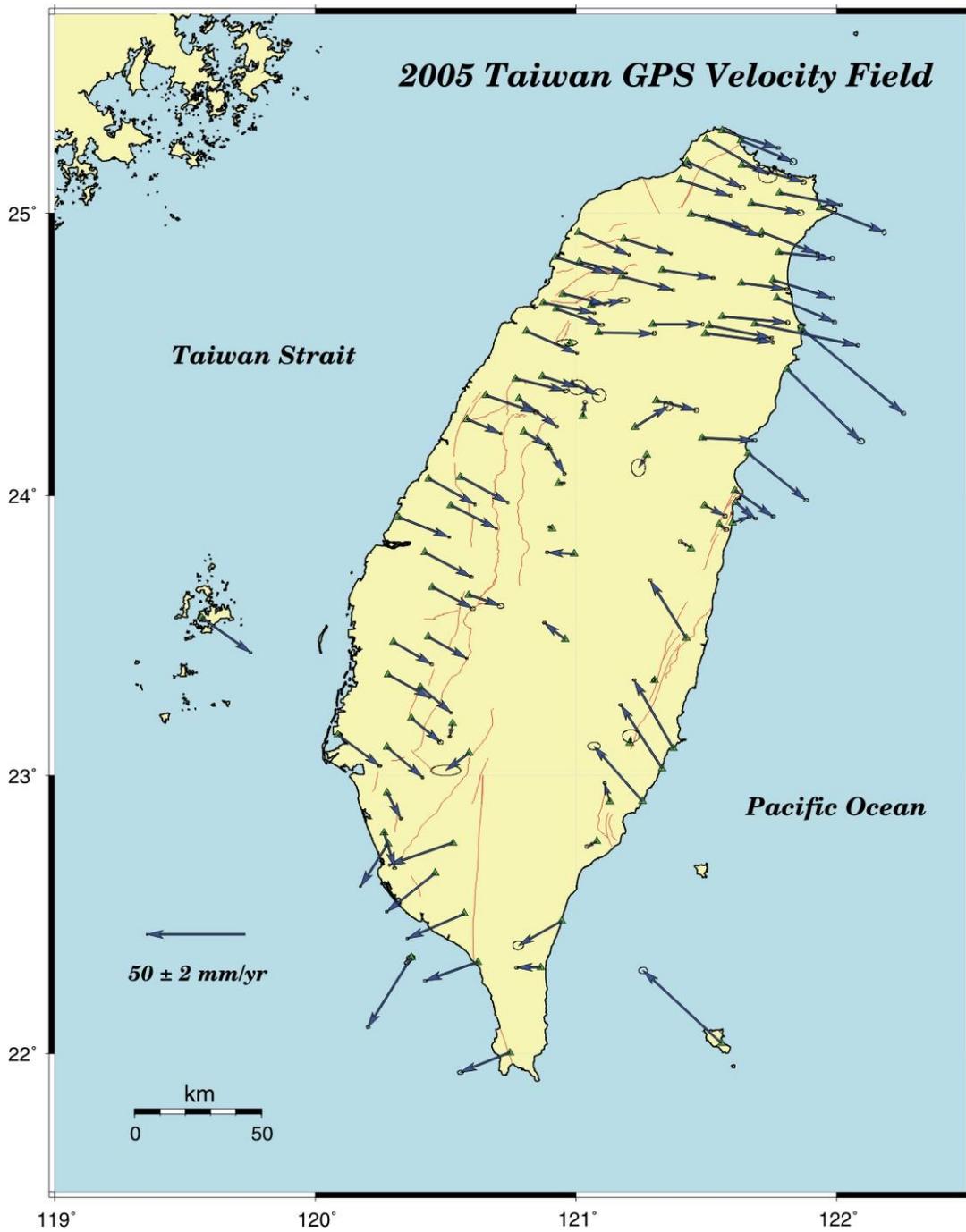


圖 5-11 (b)、2005 年臺灣 GPS 水平速度場分布。

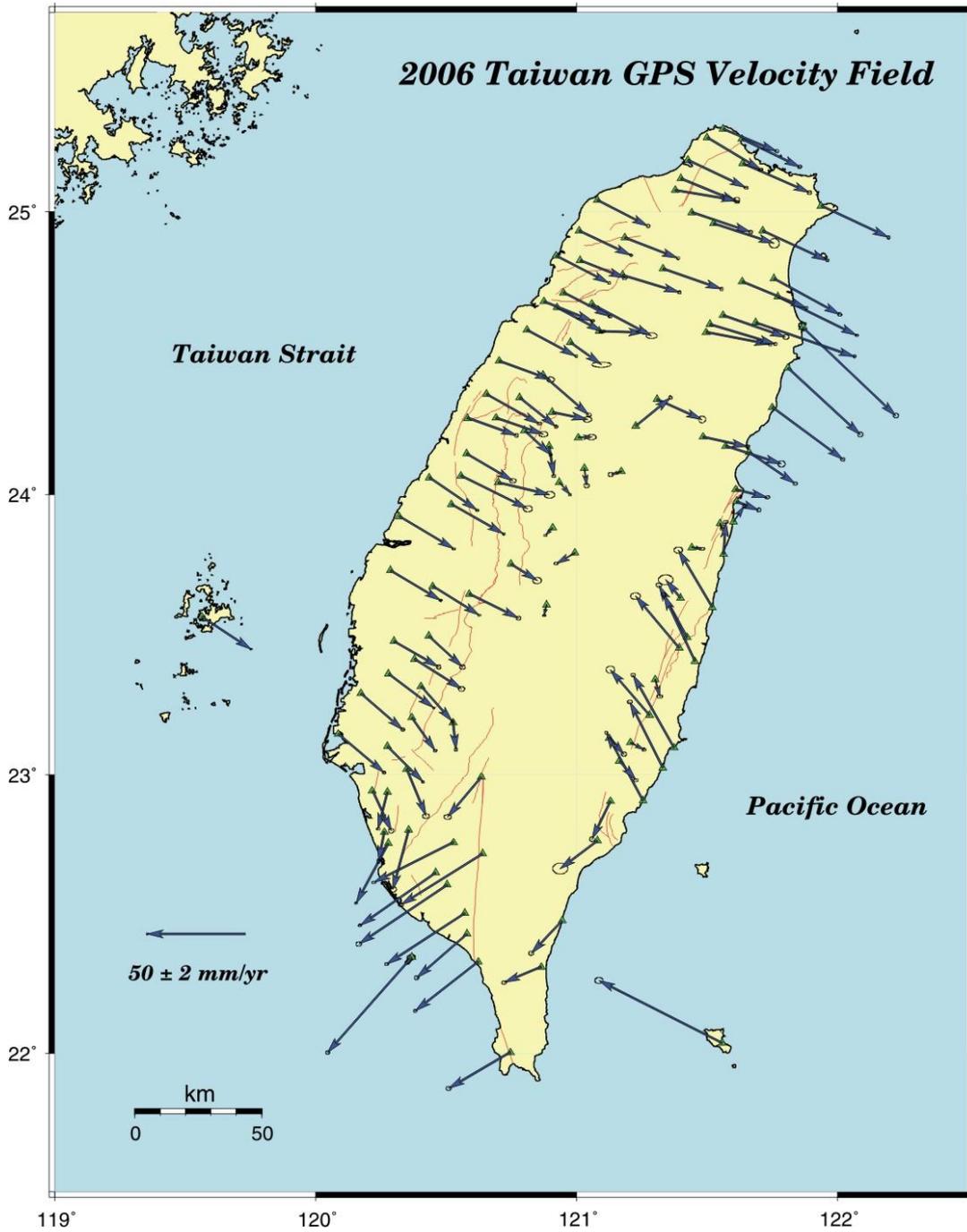


圖 5-11 (c)、2006 年臺灣 GPS 水平速度場分布。

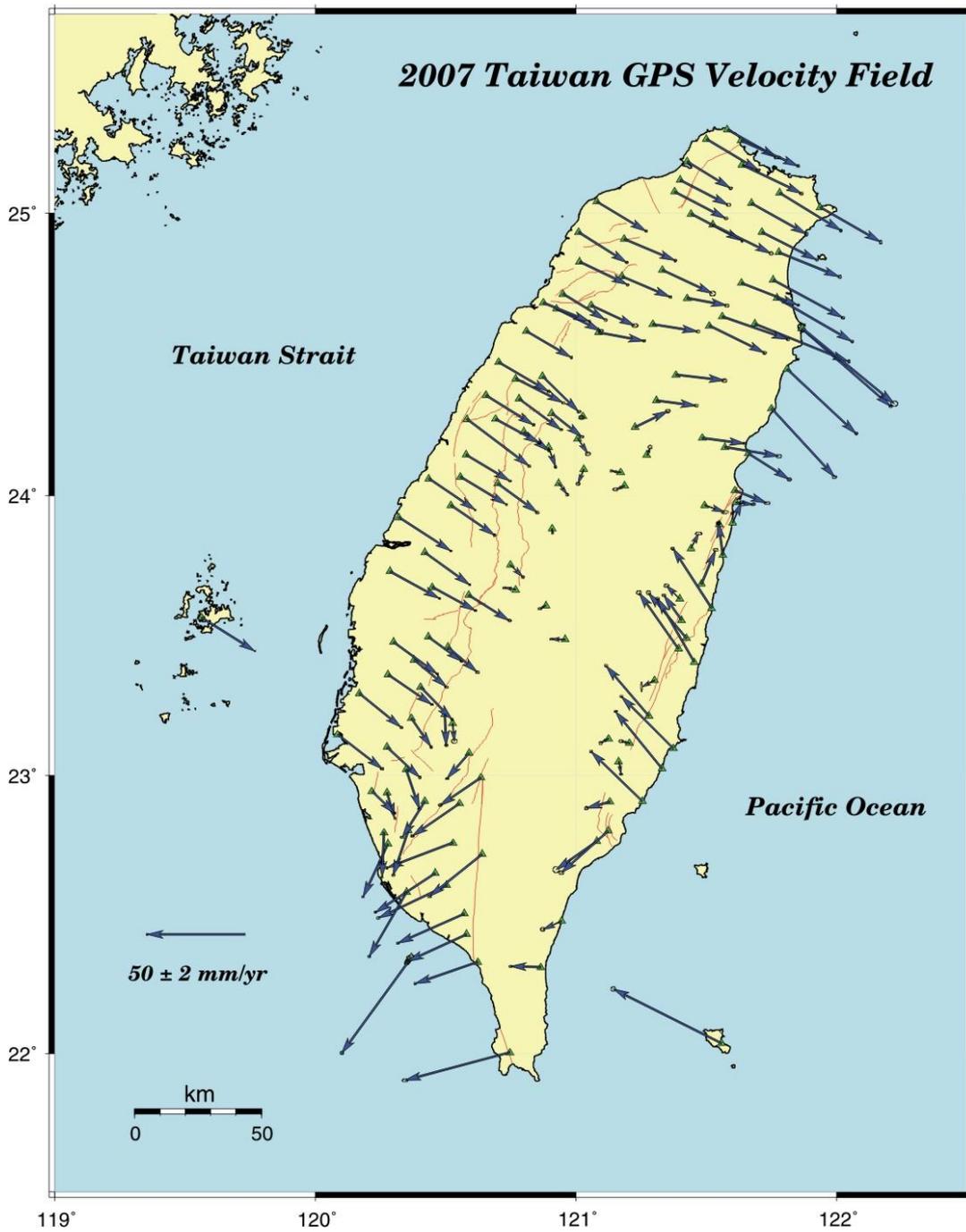


圖 5-11 (d)、2007 年臺灣 GPS 水平速度場分布。

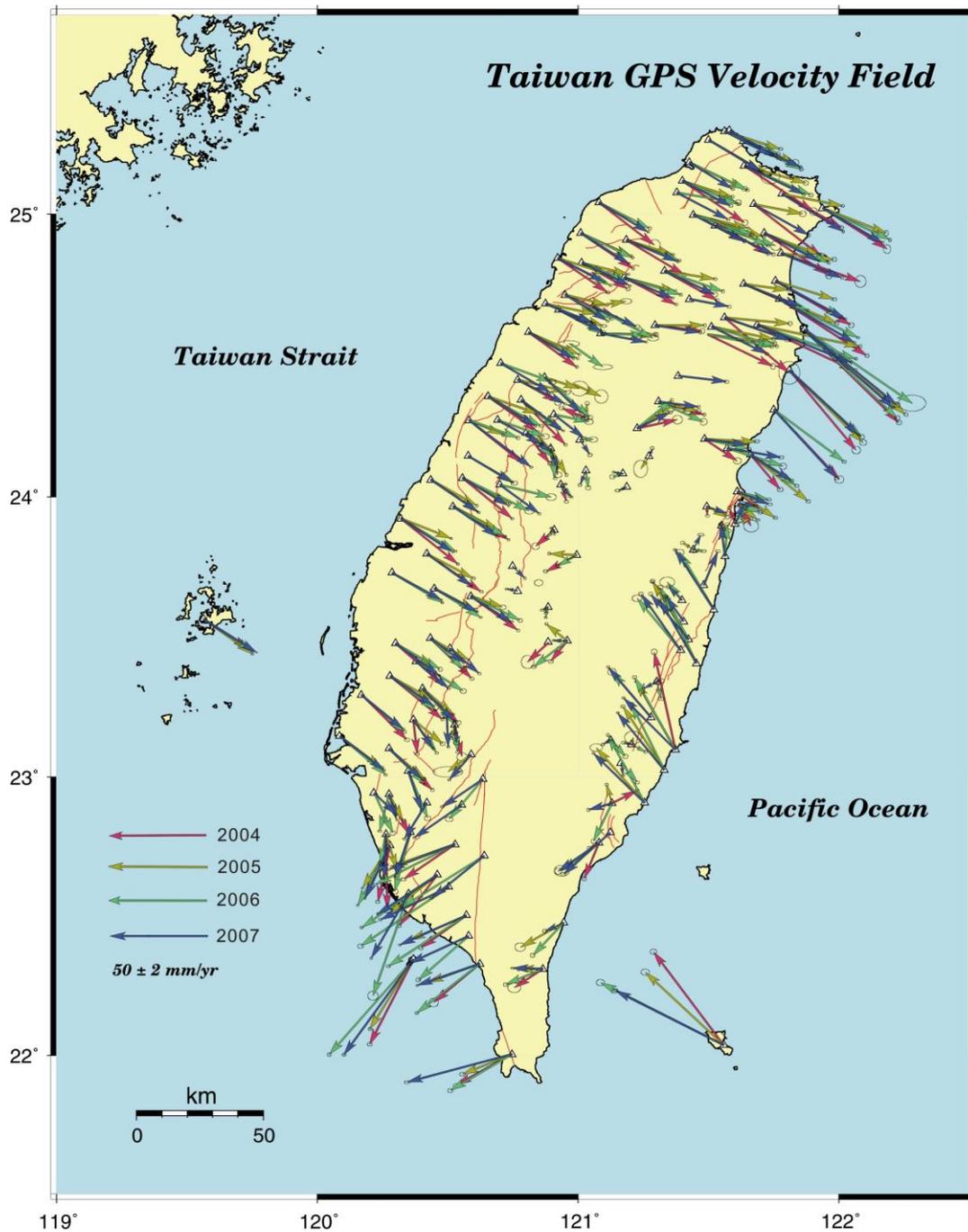


圖 5-11 (e)、以上各圖為 2004 年至 2007 年之 GPS 近絕對變形年平均速度場，各圖所代表之意義如圖內說明。

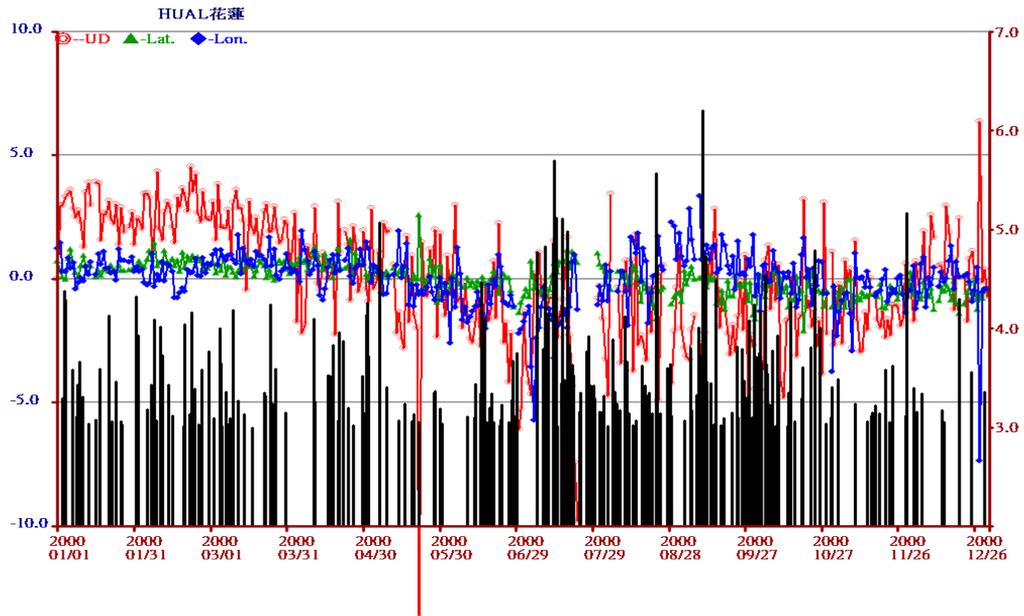


圖 5-12、為花蓮 GPS 在三維空間之觀測結果及其與附近地震之關係（黑線條），緯度上之變化似乎預先反應該地在 2000 年 7 月初及 9 月初兩個規模大於 5.5 之地震。

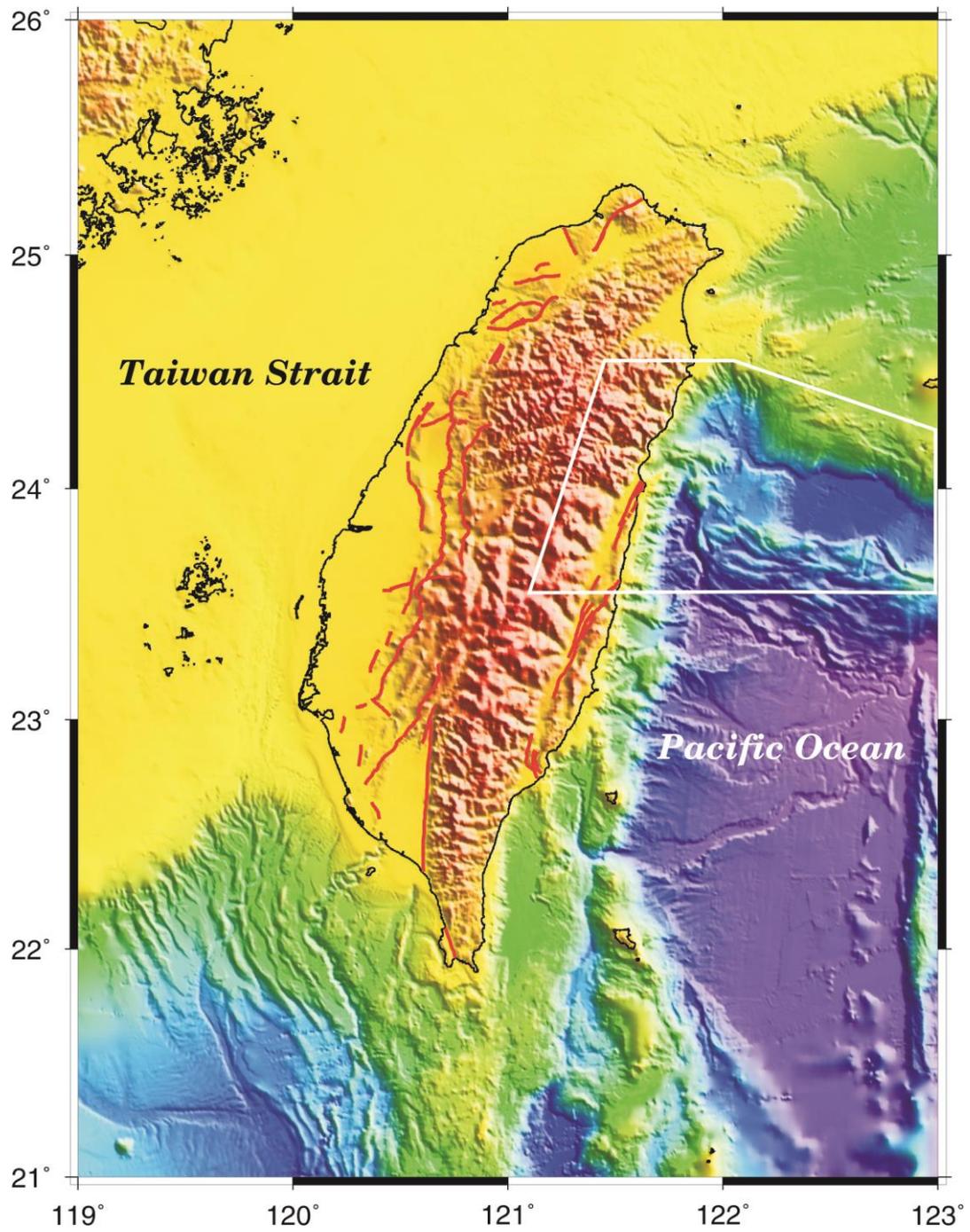


圖 5-13、臺灣地區數值地形圖（白色框線為花蓮分區）。

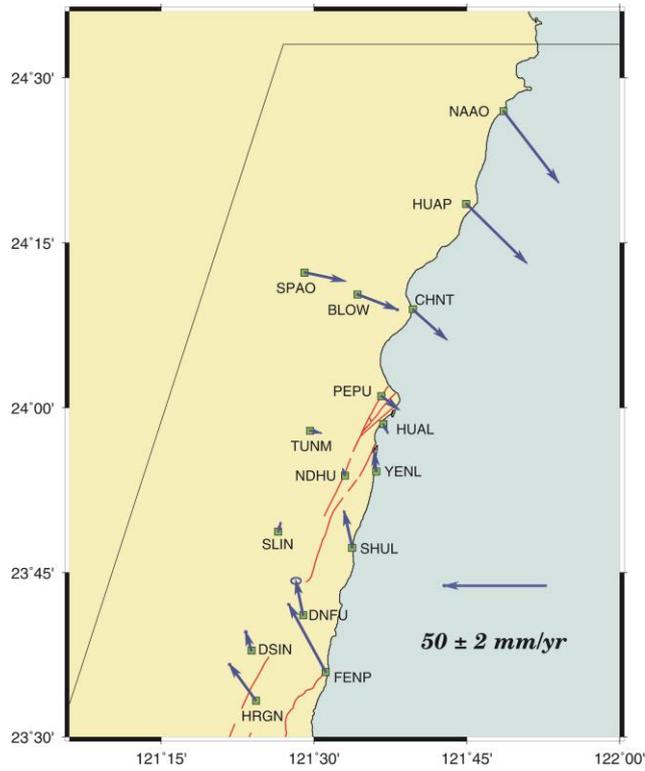


圖 5-14、2004~2008 年花蓮地區水平速度場圖。

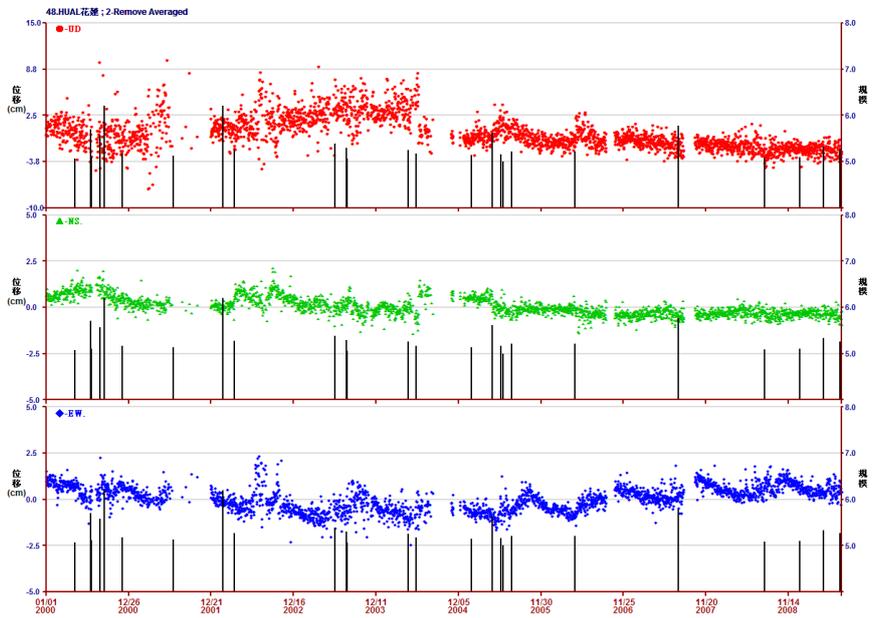


圖 5-15、2000 年 1 月 1 日~2009 年 7 月 4 日花蓮 HUAL 站時間序列，圖中黑色線條為地震資料（地震搜尋條件為距花蓮站 50 km 內， $M_L \geq 5$ ，深度小於 70 km 的地震）。

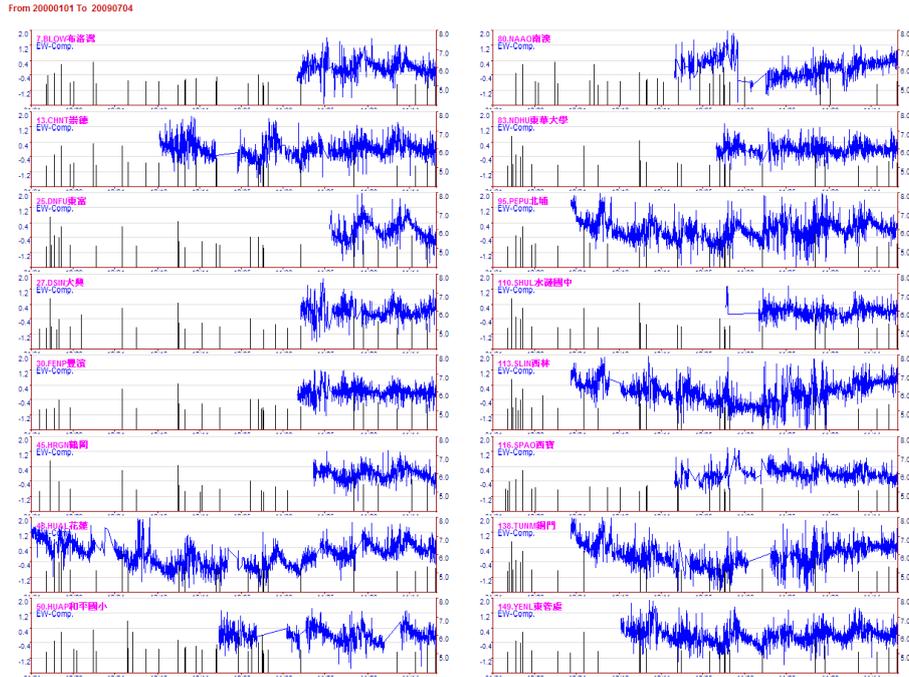


圖 5-16、2000 年~2009 年 7 月 4 日花蓮地區 GPS 時間序列 EW 向(remove linear，每站縱軸為 -2 ~ +2 cm)。

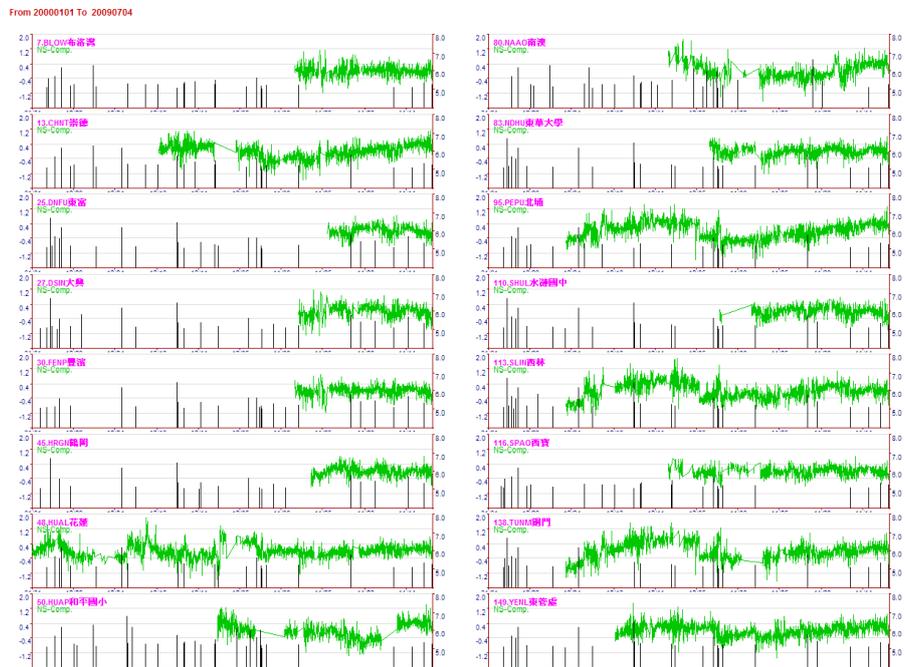


圖 5-17、2000 年~2009 年 7 月 4 日花蓮地區 GPS 時間序列 NS 向(remove linear，每站縱軸為 -2 ~ +2 cm)。

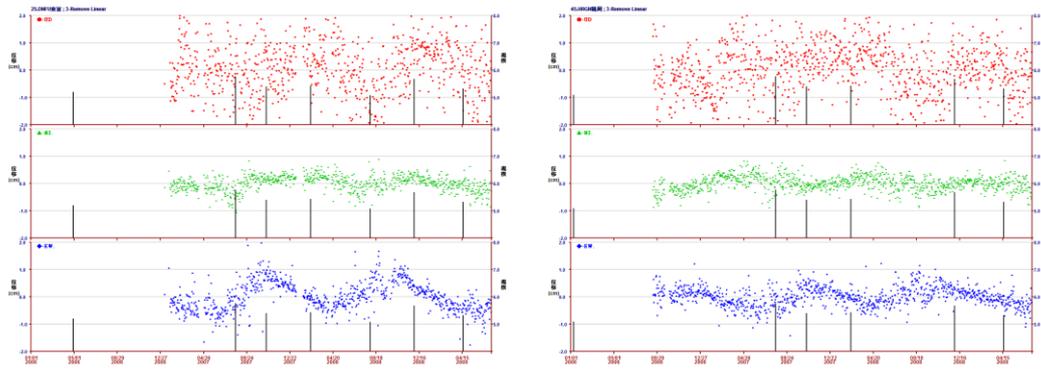


圖 5-18、2006 年~2009 年 7 月 4 日花蓮東富（左圖）以及鶴岡（右圖）時間序列（remove linear，每站縱軸為 -2 ~ +2 cm）。

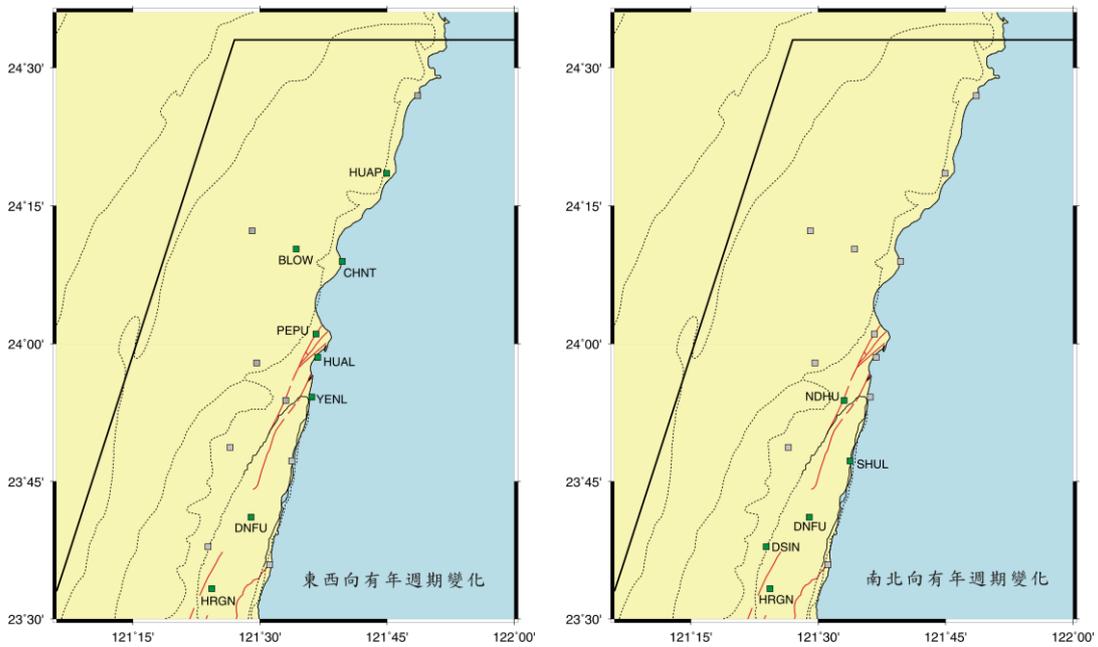


圖 5-19、年週期變化測站分布圖（虛線為地質分區界線）。（圖中有標示站名的為有年週期變化現象的測站）。

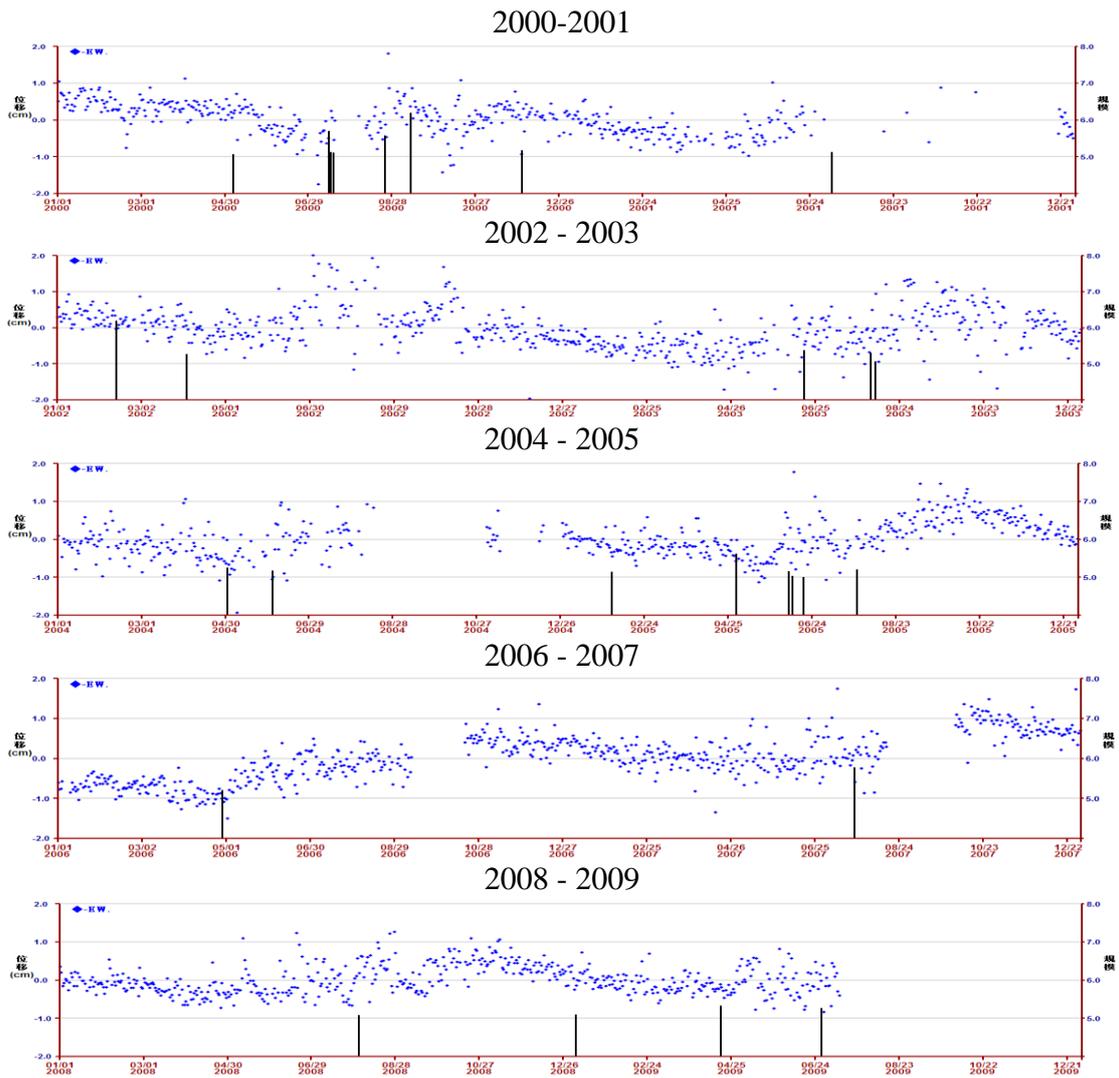


圖 5-20、花蓮自 2000 年起每兩年區段東西向時間序列(縱軸為 -2 ~ +2 cm)  
 (地震搜尋條件為距花蓮站 50 km 內,  $M_L \geq 5$ , 深度小於 70 km 的地震)。

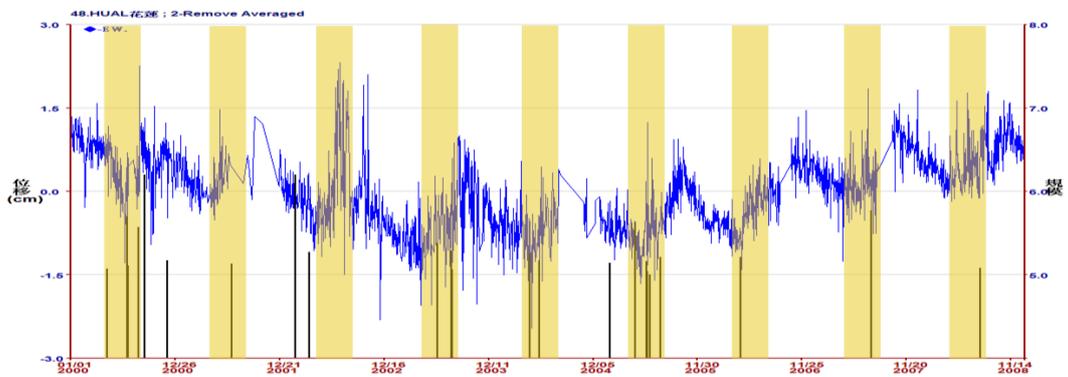


圖 5-21、2000~2008 年花蓮時間序列東西向(灰色區間為每年 4 至 8 月)。

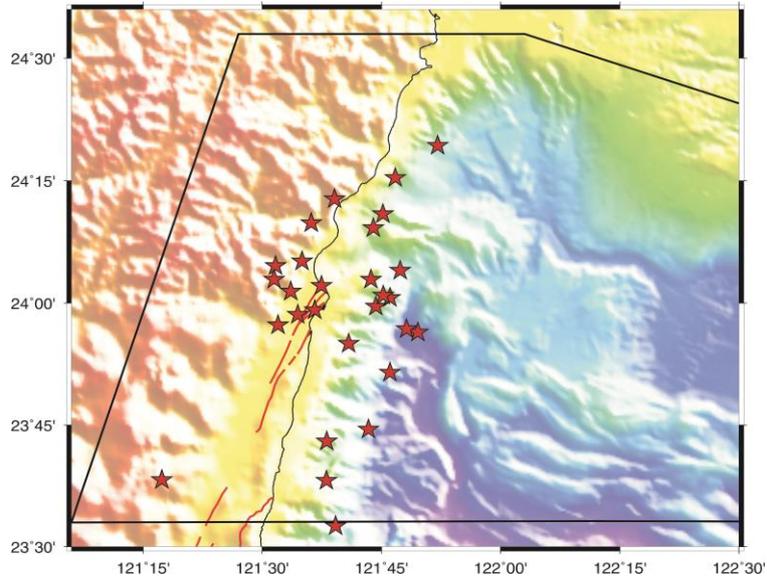


圖 5-22、2000 年~2009 年 7 月 4 日花蓮 GPS 站周圍 50 km 以內，深度 70 km 以內， $M_L \geq 5$  地震分布圖。

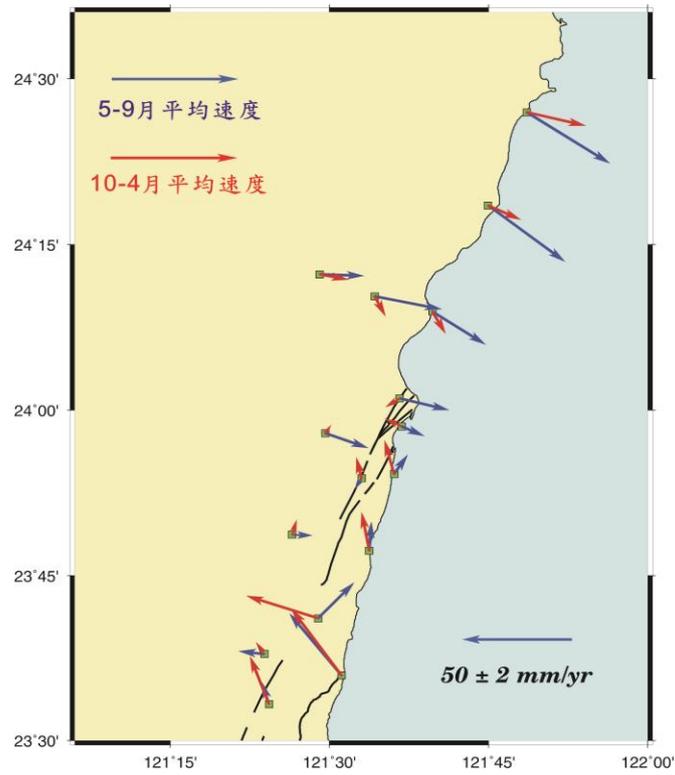


圖 5-23、比較 5~9 月平均速度場與 10~4 月平均速度場。(2006 年 5 月~2009 年 4 月共 3 年資料平均)。

## 陸、資訊服務—地球物理資料管理系統

中央氣象局地震測報中心鑑於資訊現代化與整合歷年來監測之地震相關資料，於 2005 年起規劃一綜合性地球物理(科學)相關資料之服務網站，以提供地球物理相關資料之查詢與申請服務。系統設立初期稱之為「地球科學資料管理中心(GDMC)」，在 2006 年正式命名為「地球物理資料管理系統」(Geophysical Database Management System, 簡稱 GDMS)，並於 2008 年 8 月 1 日正式上線服務。

GDMS 系統建立之前，地震中心並無統一集中管理資料的平台，各系統的資料統合及備份由各系統自行建置，資料並無一致的資料庫結構，在管理及運用上實有困難，有鑑於此，整合管理之作業平台有其存在的必要性，為確保上述資料之完整及單一性，因而設置了地球物理資料管理系統。資料庫內容主要包括各觀測網之測站相關資料與各項觀測之原始紀錄。

由於地震相關觀測均為長期觀測作業，所記錄的原始資料量相當龐大，為因應資料量後續成長以及易於擷選等問題，設置之資料儲存系統兼具容量擴充與伺服功能。除了地震活動資料外，也包含 GPS 地殼形變觀測資料、地下水位資料(由水利署連線提供)等。

### 一、系統發展過程

GDMS 之初期評估與規劃目標如下：

- (一) 將地震中心各類觀測資料，進行資料庫結構化。
- (二) 各系統觀測資料以往並無統一窗口進行備援及備份，未來將透過 GDMS 進行各觀測資料之備援及備份。
- (三) 建立各觀測資料即時資料庫化功能，如地下水、GPS 等資料，需建立即時傳輸之模式，以便即時將地震資料資料庫化。
- (四) 建立統整性之地球物理資料管理系統，進行地震資料庫之統合，包含對外之網站介面，可供分析查詢及即時波形展示等功能。

進而整合之系統包括，短週期地震儀觀測系統 (Short-period Seismographic System)、寬頻地震儀觀測系統 (Broadband Seismographic System)、自由場強震站 (Free-field Strong-motion Station)、結構物觀測陣列 (Strong-motion Building Array)、全球衛星定位系統 (Global Positioning System) 及地震地下水觀測系統 (Groundwater Observation System) 等 6 項。

GDMS 開發工作時程如圖 6-1。於 2005 年，首先針對軟硬體及 3 個系統之資料結構進行規劃，建置之初由於資料量並不大，使用空間不多及預算考量，初步規劃出以光纖架構（SAN）為基礎之儲存架構，對於未來儲存媒體之擴充有較大的彈性。為尋找合適之資料庫軟體，在比較 MySQL、MS SQL 及 Oracle 三種常用之資料庫服務性能後，採用小巧且穩定性高之 MySQL 管理資料庫。本中心之觀測資料可分為地震事件資料及連續資料二大類型，透過各子系統，經由網路儲存在 GDMS 磁碟空間中，配合 2 台伺服器分別提供資料庫存取及網頁服務，使用者可於入口網站查詢 GDMS 裡的地震資料。

延續 2005 年的開發與應用，於 2006 年時，本中心再針對其它 3 個系統進行開發和建置，以期望所有系統皆能資料庫化及統一查詢介面。為擴充儲存空間，本中心採購 IBM DS4800 Storage Manager 大型儲存設備，擴充建置光纖架構（SAN）儲存空間，其中第一期先購買大約 8T 的空間，供存放觀測資料之用。硬體方面為保持 GDMS 能正常運作，在主要控制器及電源等方面，採用互為備援之模式，以避免機器發生問題導致資料異常存取之情形。

本系統在 2007 年擴充 IBM DS4800 Storage 之磁碟空間到達約 32T，其中 15T 為光纖（Fibre Channel, FC）硬碟，為即時資料（庫）存放硬碟區，另 16T 為 SATA 硬碟，存放連續資料及一些年代較久之歷史地震資料。另外，網頁的改版及建置，最終的查詢介面與功能亦慢慢訂出了雛型。在入口網頁方面，設計開發使用者下載清單功能（線上申請資料），方便使用者在查詢資料後，可簡便的申請本中心之地震資料；為便捷局外使用者下載資料，系統規劃使用者單筆下載、整合查詢等網頁功能改版及更新；為處理一般民眾申購資料，開發局內下載功能供資料服務窗口索引並整理資料，加速本局為民服務之效率。此外，本系統亦開始著手進行各系統各波形展示系統之開發，包含短週期地震儀觀測系統、寬頻地震儀觀測系統、自由場強震站、結構物觀測陣列 4 個系統。

隨著觀測資料逐漸累積，資料（庫）日益龐大，妥善保存便成為永續發展最大的課題，因此於 2008 年，本中心購入 IBM TS3500 磁帶櫃系統，定時儲存備份 GDMS 磁碟之觀測資料，確保觀測資料之可用性與可得性。入口網頁部份，統整 4 種地震觀測網系統之地震事件查詢功能，讓使用者

能更方便、更有效率地搜尋有需要的地震資料；部份系統之波形展示功能亦正式上線，使用者能更直觀地獲知地震之振動情形。GDMS 網頁服務亦於 2008 年 8 月份上線對外服務，網址為 <http://gdms.cwb.gov.tw>。

## 二、系統架構

目前 GDMS 系統由 5 台伺服器主機架構而成，包含網頁伺服器、資料庫伺服器、磁碟檔案分享伺服器 2 台及 1 台備份伺服器，透過光纖通道交換器架構為 SAN 環境。這 5 台伺服器主機上的資料接透過本機端之 Symantec BESR 備份軟體自動備份製作成影像檔，存放在 GDMS 磁碟陣列中，每周進行完全備份。

觀測資料部份由 IBM DS4800 磁碟管理主機管理，透過 PolyServe 掛載於 2 台檔案分享伺服器主機上，各硬碟配置均採用 RAID5 模式保護，每一硬碟櫃並配有熱抽取硬碟備援使用，以避免磁碟損壞造成之資料流失。備份方面由備份主機上之 Veritas NetBackup 備份軟體定期呼叫檔案分享伺服器之客戶端進行備份，每月做完全備份、每周做差異備份。

目前 GDMS 磁碟空間規劃如下，第一線 FC 硬碟共約 15T，為線上資料存取用，第二線 SATA 硬碟共約 16T，做為連續資料存取用。另外，如連續資料超過某時間以上資料，即存入磁帶櫃離線備份，待需要時再將資料自磁帶取出，以永久保存本中心之觀測資料。系統架構如圖 6-2。

## 三、作業流程

GDMS 系統作業流程如下：

### (一) 局內資料處理流程：

GDMS 系統接收各觀測系統彙整之資料後，透過程式將特定系統之觀測資料轉為一致之（文字）格式，部份系統預置波形圖檔，加快網站客戶端使用者瀏覽之速率。

資料庫轉檔程式定時監控各觀測系統之索引紀錄，自動轉換測站與資料之索引為統一格式並存放在 MySQL 資料庫中。觀測資料透過網頁介面及資料庫伺服器依不同觀測系統及資料特性發布於網站上供使用者快速查詢。

當使用者申請帳號或委託下載資料，網站伺服器會自動發送 E-mail 通知系統管理員，以快速處理使用者需求。管理員亦可透過網站之簡易

統計功能監控 GDMS 系統狀態。另外，系統藉著備份軟體定時排程備份 GDMS 磁碟內之觀測資料，維持線上資料之完整性與可得性，資料庫及網頁程式檔亦定時以映像檔備份保存之。

## (二) 瀏覽網頁服務流程：

國內地震研究相關人員，可於 GDMS 網站線上申請加入會員，經審核後，即享有查詢與下載地震資料之權限。

會員登入後，如需查詢某筆或多筆地震資料，可透過瀏覽器輸入搜尋條件至網頁介面，系統即會連線至資料庫存取各觀測系統之資料索引，並由 GDMS 磁碟中取得檔案之相對應路徑，會員即可進行線上單筆資料下載、檢視波形、資料統計、或委託下載等服務。

會員確認委託下載清單並送出後，GDMS 系統管理員即利用程式挑選會員選取之資料並儲存至暫存區域，爾後，將資料燒錄成光碟或存放於會員所提供之磁碟媒體，再郵寄至使用者登錄於本網站之聯絡地址。

本網站資料及處理費用由本中心向國科會所提之專題計畫支出，會員無須額外支付任何費用，但取得之資料，僅限應用於教育與學術研究，不得再以有償無償方式移轉。發表之研究成果，請務必加註資料來源，並上傳本網站存參，本中心將定期提報國科會，並依成果審核會員資格之續留，故請會員審慎資料之下載與申請。

## 四、成果

經由地震測報中心之努力，GDMS 系統已於 2008 年底大致完成，目前在本系統中已經儲存有短週期地震儀觀測系統、地震速報系統 (Earthquake Rapid Reporting System)、寬頻地震儀觀測系統、自由場強震站、結構物觀測陣列、全球衛星定位系統、地震地下水觀測系統及地磁力觀測系統等 8 大類資料，共約有 12.5TB (表 6-1、圖 6-3) 的資料量。

透過 GDMS 系統，觀測資料已完成集中化處理，地震相關資料亦已實際上線提供局內外使用者線上查詢下載。自 2008 年起與國科會轄下之臺灣地震科學中心 (Taiwan Earthquake Center, TEC) 合作，以會員的方式提供地震資料服務。本局之觀測資料是地球科學領域基礎研究不可或缺的重要資源，藉由資料整合與開發網路型態之資料服務系統，更有利於學術研究的進展。

未來本系統目標著重於提升資訊內涵，改善、強化系統應用措施，增

益資料單元間之整合功能介面，並拓展資訊服務項目，以期達到地震資訊服務的基本政策。

經由 GDMS 之磁碟陣列儲存系統，本中心能對未來 3 年以上之地震相關資料，進行整合性儲存及備份。透過磁帶櫃備份系統進行備份，本中心亦能將歷史地震資料做較長時間之保存，以供相關學者查詢及資料下載使用。經由上述 3 個系統，入口網頁查詢下載系統，磁碟陣列儲存系統，及磁帶櫃備份系統，GDMS 已能實際在本中心發揮最大之功效，並提供從事地震研究之專業人士，便捷之資料搜尋平台。

地球物理資料管理系統 (GDMS) 在本局辛局長的積極催生之下，於 2005 年發展至今，系統已臻成熟，感謝所有曾經參與開發之相關人員給予程式交流及討論，簡化許多作業之繁瑣流程並提供便捷之作業介面。GDMS 是建立在本中心大量觀測資料的基礎上，感謝所有及曾經在地震測報中心服務的同仁，秉持對資料品質良好的控管及孜孜不倦的努力，得以建置及提供專業之服務。未來希望在各位先進及使用者不吝提供寶貴的意見下，使本系統功能更強健及穩定。

表 6-1、GDMS 各觀測系統使用空間統計表。

系統		資料時間	資料量 (TB)
Short Period	Event	1974~2009	0.46
	Continuous	2003~2009	7.78
Broad Band	Event	1996~2009	1.22
	Continuous	1996~2009	2.72
Free Field	Event	1991~2009	0.06
Building Array	Event	1992~2009	0.05
GPS	Continuous	1994~2009	0.17
GW	Continuous	2004~2009	0.04
RTD	Event	1995~2009	0.01
Magnetism	Continuous	2007~2009	0.02
合計			12.52

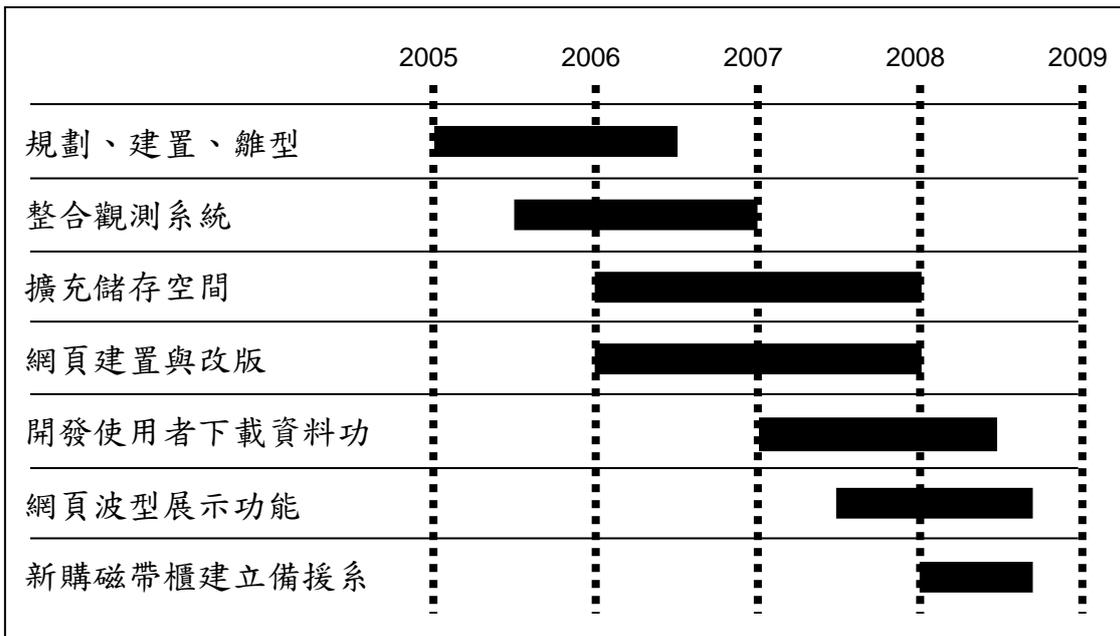


圖 6-1、GDMS 系統開發工作時程圖。

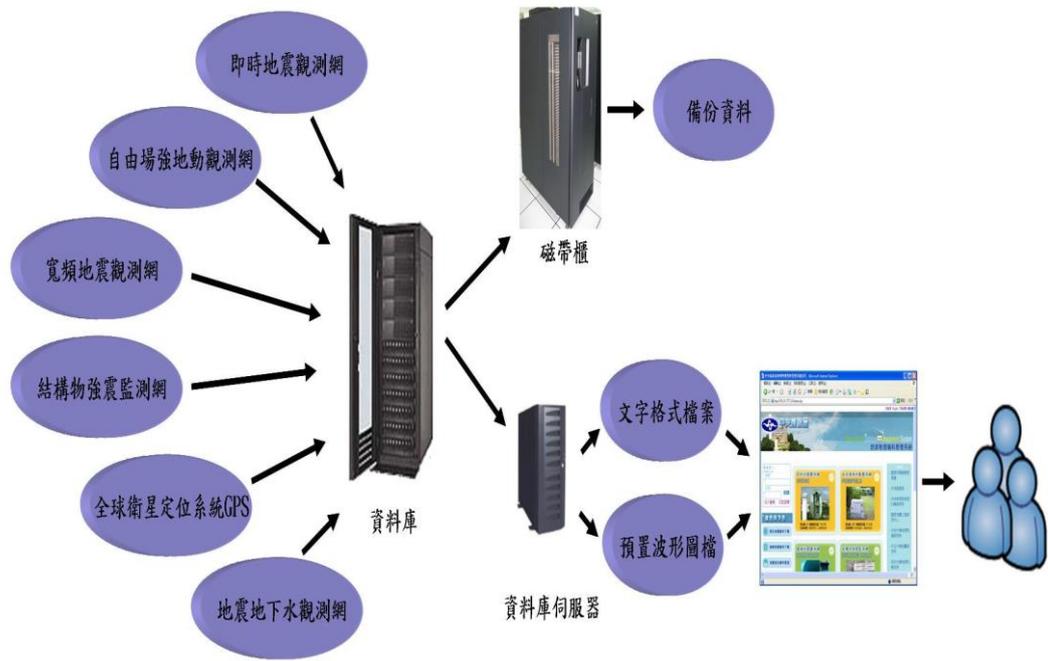


圖 6-2、GDMS 系統架構圖。

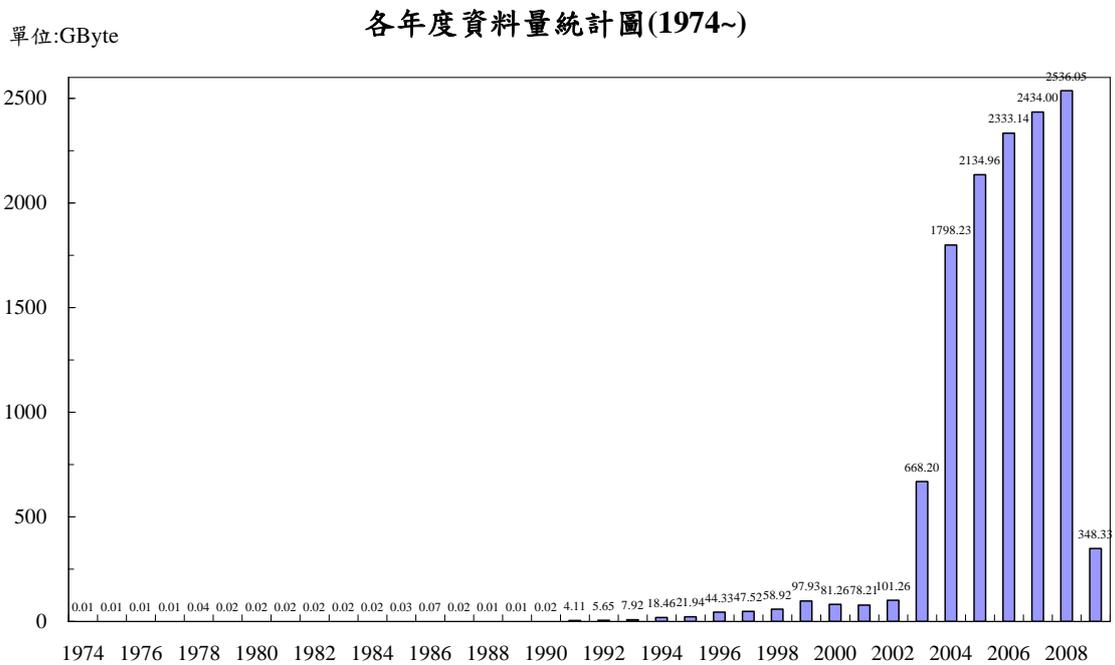


圖 6-3、GDMS 年度資料量統計圖。

## 柒、地震中心相關研究與成果

本局地震測報中心自民國 78 年成立之後，積極發展測報業務，持續建置各種地震及地球物理觀測站，由於業務繁重，缺乏人力從事業務相關的研發工作，因此透過委託研究計畫，委請國內外地球物理及地震工程等相關學術單位，協助辦理地震測報相關的研究計畫將近 20 年(圖 7-1)，並鼓勵同仁參與計畫之執行。

行政院國家科學委員會自民國 86 年起推動防災國家型科技計畫，在計畫執行期間，本中心配合辦理多項研究項目，該計畫在 95 年底時結束。國家災害防救科技中心為凝聚研發能量及統籌運作機制，因此推動「強化災害防救科技研發與落實運作方案」，執行期間自民國 96 年起至 99 年止，本中心亦持續配合辦理相關地震防災研發課題，共同推動防災減災的研究工作。目前進行之研發課題有下列 3 項：

### (一) 地震活動監測技術之強化

本中心為配合國家建設，自民國 81 年起積極推動強地動觀測計畫。由於臺灣地處歐亞大陸板塊和菲律賓海板塊交接之處，地震發生不斷，建立一個優良的強地動觀測網來監測地震活動並收集各類型地震資料，不僅可以提供國家建設之依據，亦可為全世界強震研究建立一個完整的資料庫。

本項課題之重點在於地震活動監測作業技術之強化，透過委託研究計畫協助本中心規劃與建置臺灣山區強地動觀測網（預定設置 60 座以上的山區自由場強震站），對山區與都會區（目前有 689 座自由場強震站）的強地動觀測網實施定期經常性之儀器檢測及資料收集，評估各測站的強震監測效能，提供本中心做為測站調整之依據，以強化地震活動監測作業。同時分析所收錄資料，以提升對地震機制的瞭解。

### (二) 地震前兆監測體制之強化

本項課題係透過委託研究計畫從事地震前兆相關研究工作：

- 1、廣泛收集世界地震預測研究之現況資訊。
- 2、對臺灣地區過去之地震活動情形與地震發生之關聯性作深入之歸納與探討，包括微小地震、餘震等現象，此研究對本中心平日的地震監測工作有極大的幫助。
- 3、分析大地測量的觀測資料，期能對地殼形變與大地震之發生有更進

一步的瞭解。

4、針對地下水位的變動進行分析解釋。

5、研究重力、磁力場在地震發生前後的變化方式。

在整合相關監測資料之後，建立通報發布機制，擴大前兆異常現象之探討，以提升地震前兆監測判定機制。

### (三) 地震速報及預警系統之強化與應用

本項課題係藉由委託研究計畫從事速報系統相關研究工作：

1、強震即時警報系統軟硬體之發展：繼續設計並實驗，以增進地震數據傳輸品質與效率。

2、研究並調查美國(尤其是南加州)、日本有關強震即時警報之進展、新突破，並適時向本中心提交報告與建議。

3、研究各種有效的傳遞管道，將強震消息傳達至政府及民間防救災相關單位。

4、分析強震及弱震現有資料，或分析實際之即時資料，以求增加臺灣地殼資料及各都會區對強震場址反應之資訊。

在綜合上述研究成果後，完成提升地震測報作業能力，以縮短通報時效，使相關單位能提高緊急應變時效，減輕地震災害所帶來的傷害。

本中心除配合國家災害防救科技中心執行地震防災相關的研究計畫外，對於地震及海嘯等相關應用研究也持續辦理中(圖 7-2)。多年來委託研究計畫的執行成果豐碩，對於地震測報業務的提升貢獻良多，相關資料簡要臚列於後(詳附錄)。研究成果報告由本中心彙整出版地震技術報告彙編，分送國內各主要圖書館與地球物理相關系所圖書館存放，電子檔並公布於中央氣象局網站提供民眾參考與研究，提升國內學術研究水準。

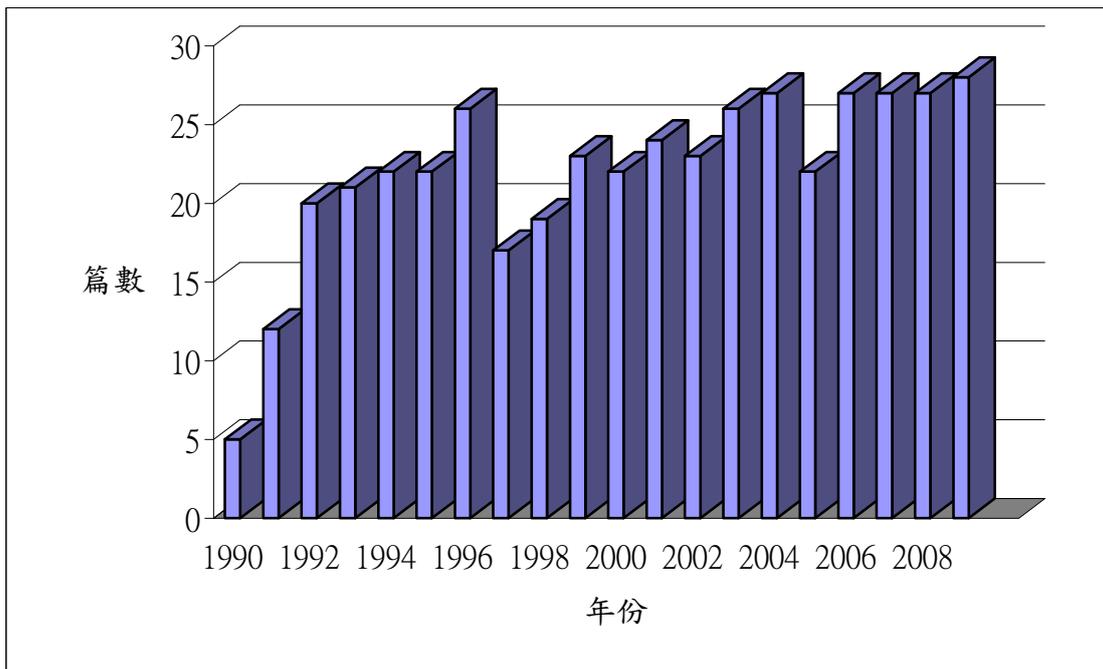


圖 7-1、歷年委託研究計畫篇數統計圖

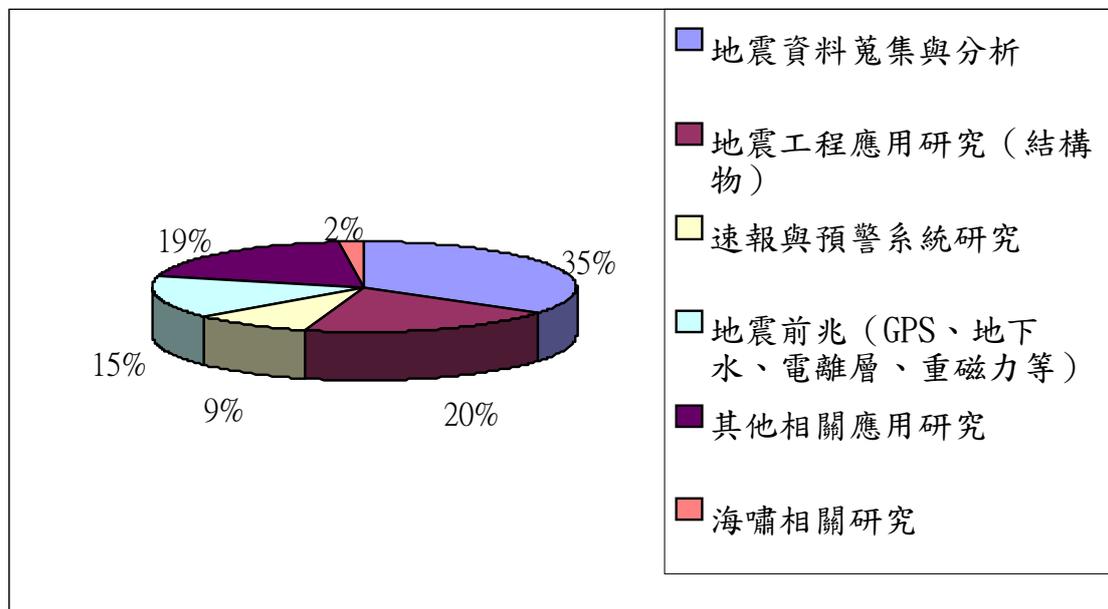


圖 7-2、委託研究計畫分類統計圖

捌、活動剪影

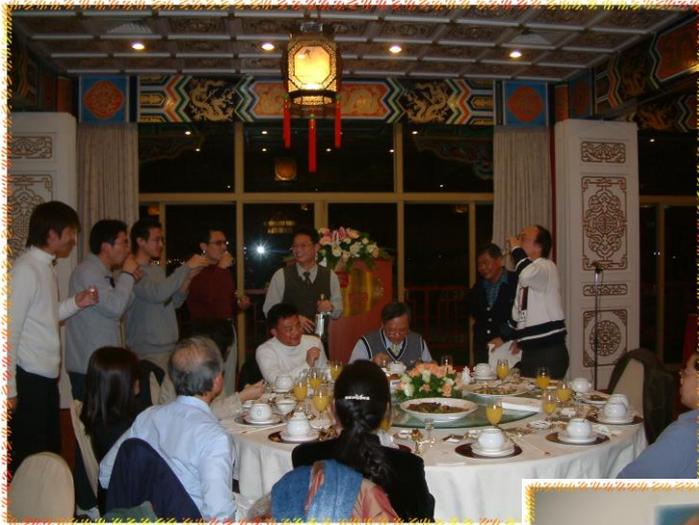
研討會與會議



# 研討會與會議



中心同樂



參訪與宣導教育



參訪與宣導教育



同仁的喜悅與榮耀



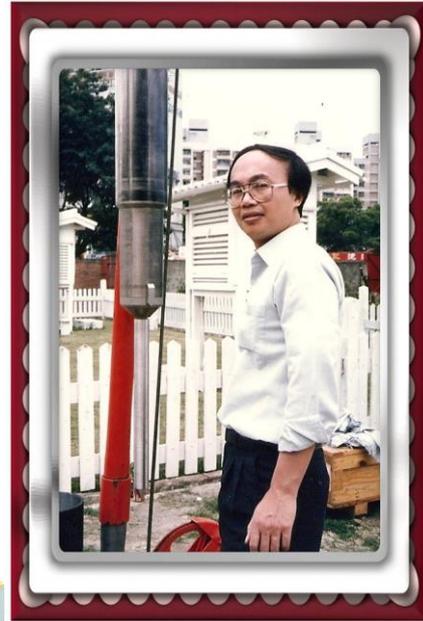
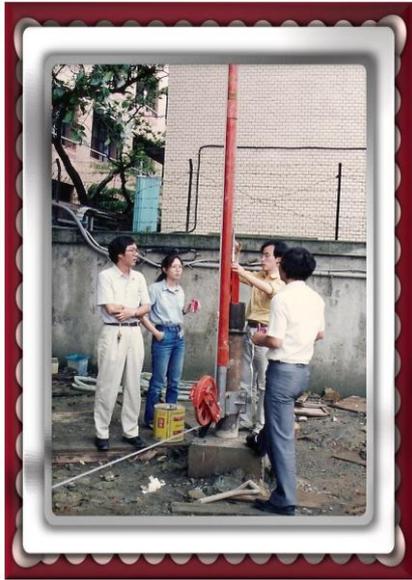
同仁的喜悅與榮耀



# 教育訓練



# 建站



## 玖、地震測報中心 20 年大事紀要

1989 年 7 月 1 日中央氣象局地震測報中心成立。

1989 年增建大城、四湖、佳里、甲仙、九如、牛鬥、南澳、西林、紅葉、獅頭山十處地震觀測站。

1990 年◎與 TTSN 之 25 站連線。

◎ VAX-6520 地震定位與資料處理系統 (SDP) 啟用。

◎增建三光、南投、丹大、古坑、大埔、桃源、春日、和中、竹北、合歡山、三地門、龜山島十二處地震觀測站。

◎ 12 月 13 日花蓮強震 (M6.5)，蘇花公路坍方。

◎ 12 月 14 日花蓮強震 (M6.7)，多處房屋龜裂。

1991 年◎合併 TTSN 25 站。

◎本局除將中研院地科所的 25 個地震站合併，並增加 31 個測站，使測站數由原有的 19 個增加至 75 個外，並全面更新系統為即時監測系統。

◎ 7 月起，配合六年國建，積極執行強地動觀測計畫 (TSMIP) 該計畫有下列四項主要工作：

1、六百部自由場強震儀及包含 400×3 個數位頻道之結構物強震儀陣列資料蒐集系統之安裝及維護，並經常性地進行儀器檢校，以確保所有輸出資料之品質。

2、中央氣象局地震資料服務系統之運作，包括資料建檔及資料服務。

3、資助強地動觀測之相關研究工作，以落實各項地震觀測資料之社會效益。

4、發展地震速報系統。

◎ 3 月 12 日佳里地震 (M5.7)。

1992 年◎改 TTSN 各站為三軸向。

◎與中研院、中正大學地震所合作，在嘉南地區建立八個即時地震監測站。

◎開始執行強地動觀測計畫。

◎ 12 月 16 日大埔地震 (M5.9)。

1993 年◎開始建立 GPS 觀測網。

- ◎改臺中、嘉義、高雄、恆春、花蓮為深井站。
  - ◎增建臺北、永康深井站。
  - ◎ 9 月 30 日國聖 (TWZ) 廢站。
  - ◎ 11 月初，震波連續記錄啟用。
- 1994 年◎資料服務系統完成上線。
- ◎ Plan A 區域地震速報網成立。
  - ◎ 12 月底地震速報系統正式開始啟用。
  - ◎ 6 月 5 日南澳強震 (M6.2) 蘇花公路坍方中橫公路中斷、南方澳道路龜裂。
- 1995 年◎ Plan B 地震速報監測網成立。
- ◎建東吉、小琉球地震觀測站。
  - ◎ 6 月 25 日牛鬥強震 (M6.5) 三峽白雞山莊數棟房屋滑落坡谷。
- 1996 年◎ 7 月 31 日烏來 (TWU) 廢站。
- ◎ 9 月 6 日蘭嶼強震 (M7.1)。
- 1997 年◎執行強地動觀測第二期計畫。
- ◎增建五分山、南山地震觀測站。
  - ◎ 9 月 30 日土庫 (CHN6) 廢站。
- 1998 年◎增建利稻、嘉蘭、安朔地震觀測站。
- ◎ 7 月 17 日嘉義瑞里地震 (M6.2) 瑞里飯店嚴重受損，阿里山鐵路公路坍方，嘉南地區多處房屋毀損。
- 1999 年◎ 4 月 10 日臺南 S13 站廢站 (蓋南區氣象中心)。
- ◎ 4 月 26 日新 S13 地震資料接收系統 (ICP) 啟用。
  - ◎ 9 月 21 日二十世紀臺灣島內最大強震 (M7.3)，車籠埔斷層活動，錯動長達八十公里，災情嚴重。
  - ◎ 集集地震是近代臺灣地區災害地震之代表案例，當時建置中的地震速報離型系統，於地震發生後彙整全臺各地自動傳回之資料，於 102 秒後對外發布地震報告，此一速報成果備受國際重視與肯定。
- 2000 年◎ 5 月 17 日德基地震，集集餘震 (M5.6)。
- ◎ 6 月 11 日月潭地震，集集餘震 (M6.7)。
  - ◎ 7 月 29 日玉山地震 (M6.1)，集集餘震，無災害。

◎ 9 月 10 日花蓮太魯閣地震 (M6.2)。

2001 年◎開始建置寬頻地震觀測網-設置龍潭 (11/20)、安朔、小琉球、旗山、永康、西林、古坑、綠島、利稻等 9 站。

◎ 6 月 1 日 S13 德基站遷站。

◎ 6 月 13 日宜蘭蘇澳外海地震 (M6.25)。

◎ 6 月 14 日宜蘭南澳近海地震 (M6.3)。

◎ 11 月 1 日 S13 六腳站 (CHN7) 廢站。

◎ 12 月 18 日花蓮秀林外海地震 (M6.7)。

◎ 12 月 29 日 S13 龜山島站復站。

2002 年◎增建寬頻地震站-雙連埤、六腳、嘉蘭、成功、甲仙、大坪頂、阿里山、壽山、春日、鹽寮、松安等 11 站，並於安朔、旗山、西林、綠島、利稻、雙連埤、成功、阿里山、春日、松安等站設置強震感應器。

◎ 2 月 12 日花蓮地震 (M6.2)。

◎ 3 月 31 日花蓮外海地震 (M6.8)，造成 5 死 280 傷。

◎ 5 月 15 日蘇澳地震 (M6.2)，1 死；5 月 29 日花蓮外海地震 (M6.2)，皆為 331 餘震。

◎ 8 月 29 日蘭嶼地震 (M6.0)。

◎ 9 月 16 日三貂角外海深震 (M6.8，深度 175.7 公里)。

2003 年◎ 1 月 1 日啟用 NSDP 系統，由吳逸民研發的新一代個人電腦級速度型即時地震資料蒐集系統 (含 70 個 S13 站+16 個 RTD 強震站)。

◎ 4 月 1 日 S13 速度型地震網有感地震定位加入寬頻網 23 站 (共 109 站)。

◎寬頻網接收國立中央大學先前所設置的 6 套儀器、5 個測站-獅頭山、南澳、坪頂國小、八卦山、富里。增建寬頻地震站-東沙站。

◎ 6 月 10 日花蓮紅葉地震 (M6.48)。

◎ 12 月 10 日臺東成功地震 (M6.42)，15 人受傷。

2004 年◎執行民國 93 年度至 98 年度之「強地動觀測第 3 期計畫—發展強震即時警報系統」。

◎增建寬頻地震站 4 站-NASB 南沙、TWBB 三貂角、PCYB 彭佳嶼、TIPB 泰平分校。

◎ 5 月 1 日，花蓮地震 (M5.3)，中橫公路落石，2 人死亡。

◎ 5 月 19 日，臺東-綠島間地震 (M6.03)。

◎ 10 月 15 日 12:08，宜蘭蘇澳東方 101.8 公里地震 (M7.1)，與那國島附近，深度 91 公里。

◎ 11 月 8 日 23:54，花蓮東方 118.5 公里地震 (M6.58)，深度 10 公里。

◎ 11 月 11 日 10:16，南澳東南方 43.4 公里地震 (M6.09)，深度 27.26 公里。

◎ 12 月 14 日，增建墾丁雷達 S13+RTD 地震觀測站 (SEB)。

2005 年◎增建 GPS 站 33 座，總數達 150 座。

◎與日本交換地震資料-3 站-與那國島 YOJ、宮古島西仲宗根 JMJ、沖繩國頭 JOW，5 月 31 日完成雙方互送資料測試。

◎增建寬頻地震站 1 站- NCUB 中大。

◎ 3 月 6 日 03:06，蘇澳西北方 5.5 公里，深度 6.4 公里，雙震 (M5.96)，3 傷。

◎ 4 月 15 日，NSDP 系統加 RTD 4 站 (ESF 壽豐、EHP 和平、EGC 磯崎、LDU 綠島)。

◎ 4 月 30 日 22:48，花蓮秀林東南方 5.5 公里，深度 8.5 公里，M5.6。

◎ 6 月 2 日 00:20，蘇澳東方 21.2 公里，深度 64.8 公里，M6.0。

◎ 9 月 6 日 09:16，花蓮東方 68.2 公里，深度 16.76 公里，M6.0。

◎ 10 月 15 日 23:51，彭佳嶼東北方 204.3 公里，深度 190.85 公里，深而有感的遠震，M7.02。

◎ 10 月 20 日，SDP 系統正式除役。

2006 年◎新一代 Smart24 強震儀+S13- 6 channel 接收系統測試中。

◎ 6 月 1 日將日本 3 站加入 S13 有感地震定位。

◎增建寬頻地震站 1 站-LAYB 蘭嶼。

◎ 4 月 1 日 18:02，臺東市地震站西北方 16.4 公里，M6.23，深度 7.2 公里，37 傷，部分建物受損。

◎ 4 月 16 日 06:40，臺東市地震站東北方 19.1 公里，M6.02，深度 17.9 公里。

◎ 12 月 26 日 20:26，恆春西南 40.2 公里，M6.96，深度 44.11 公里。

◎ 12 月 26 日 20:34，恆春西方 33.9 公里，M6.99，深度 50.22 公里，造成 2 死，42 傷，3 民房倒塌，12 起火警。

2007 年◎開始執行「臺灣東部海域電纜式海底地震儀及海洋物理觀測系統建置計畫」，第一年先加強東部陸上觀測（選 6 站-頭城、南山、花蓮、宜蘭、淡水、南澳設井下強震儀、寬頻地震儀，地下水站、GPS 及地表強震儀），加強東部海嘯觀測系統。

◎寬頻八卦山站停止運作。

◎增設井下寬頻地震儀 3 站-新竹、永康、成功

◎測試新一代即時地震觀測系統 SMART24A,ie. RTD 格式輸出 +S13+GPS TIME. — 8 站連網測試中。

◎ 4 月 2 日 11:03，日本 JMJ 站原 2 水平向由位移型改為速度型 SENSOR。

◎ 9 月 7 日 01:51，南澳東南方 53.8 公里，M6.63，深度 54.01 公里，部分建物受損（羅東寺廟牌樓倒塌），隱沒帶地震。

◎ 11 月 26 日，寬頻系統併入資料處理課。

2008 年◎增設寬頻新竹地表站 1 站。

◎陽明山火山觀測網（原中研院地球所林正洪設置）。

◎測試新一代即時地震觀測系統 SMART24A,ie. RTD 格式輸出 +S13+GPS TIME. — 40 站連網測試中。

◎ 8 月 1 日，地球物理資料管理系統（GDMS）開始上線服務。

## 拾、結 語

地震既是天然科學資源也是災害，天然地震波訊號將地球內部構造的訊息傳遞至地表，可用以探索地球奧秘，是研究地球科學的重要資源，惟地震波動亦常造成重大災害。臺灣位於環太平洋地震帶上，由於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊的碰撞作用，地震非常頻繁。就任務導向而言，本局任務著重於發展地震監測技術，快速推求地震定位、震源機制、地震矩張量、震度預估與速度構造等重要地震參數，建置地震速報系統，即時傳遞警訊，以落實地震防災工作。藉由地震前的防震宣導、地震時的即時警報與地震後的災情評估，進行地震防災工作。

回顧中央氣象局地震測報中心在 78 年 8 月 1 日成立後迄今 20 年，採階段性執行各項地震防災計畫，成果豐碩，簡述如下：自 78 年起陸續建置 71 站的短週期地震儀觀測系統，以精確定位地震；81 年起執行強地動觀測第 1 期計畫，在臺灣都會區建置 689 個自由場強震站與 61 座結構物監測陣列，以規範耐震設計；82 年起陸續建置 150 站的全球衛星定位系統觀測網，以監測地殼形變；87 年起執行強地動觀測第 2 期計畫-建置地震速報系統，以速報強震消息；90 年起建置 33 站的寬頻地震儀觀測系統，以解析震源機制；93 年起執行強地動觀測第 3 期計畫-發展強震即時警報系統，以即時警報有感地震資訊；96 年起執行臺灣東部海域電纜式海底地震儀及海洋物理觀測系統建置計畫，以即時監測海域地震與海嘯。另於 93 年起建置 6 處地下水水位變化觀測站，95 年起建置 11 處地磁場觀測站，97 年起建置 7 處井下應變觀測站，以探索地震前兆現象。

展望未來，為落實防災工作，除持續改良技術以提升地震監測、強震速報之效能以外，亦將致力於地震活動潛能之歸納、地震前兆之分析與地震預測技術之研發工作，以實現理想造福群眾。

## 參考文獻

- Bakun, W. H., and Lindh, A. G., 1985. The Parkfield, California, earthquake prediction experiment, *Science*, 229: 619-624.
- Barrier, E., and J. Angelier, 1986. Active collision in eastern Taiwan : the Coastal Range, *Tectonophysis*, 125, 39-72.
- Cheng, S. N. and Yeh, Y. T., 1989. Catalogue of Earthquakes in Taiwan from 1604 to 1988, Open-File Rept., Inst. Earth Sci., Acad. Sin., 255pp. (in Chinese)
- Ching, K. E., R. J. Rau, J. C. Lee, and J. C. Hu, 2007. Contemporary deformation of tectonic escape in SW Taiwan from GPS observations, 1995–2005, *Earth and Planetary Science Letters*, 262, 601–619.
- Chiu, J. M., M. J. Huang, W. H. K. Lee, C. C. Liu, S. T. Mau, T. C. Shin, T. L. Teng, Y. B. Tsai, F. T. Wu, C. H. Yeh, and Y. T. Yeh, 1993. Report of Technical Evaluations of Free-Field Accelerographs and Strong-Motion Structure Array Systems.
- Gutenberg, R. and C. F. Richter, 1944. Frequency of earthquakes in California, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 34, 185-188.
- Ho, C. S., 1986. A synthesis of the geologic evolution of Taiwan. *Tectonophysics*, 125, 1-16.
- Hsu, M. T., 1971. Sismicity of Taiwan and some related problems, *Bull. Intl. Inst. Seism. Earthquake Eng.*, 8. 41-160.
- Huang B. S., C. C. Liu, C. R. Lin, C. F. Wu, and W. H. K. Lee, 2006. Measuring mid- and near-field rotational ground motions in Taiwan. A poster presented at the 2006 Fall AGU Meeting, San Francisco.
- Kao, H., and P. R. Jian, 2001. Seismogenic patterns in the Taiwan region: Insights from source parameter inversion of BATS data, *Tectonophysics*, 333, 179-198.
- Lee, W. H. K., B. S. Huang, C. A. Langston, C. J. Lin, C. C. Liu, T. C. Shin, T. L. Teng, and C. F. Wu. 2009. Review : Progress in Rotational ground-motion observations from explosions and local earthquakes in

- Taiwan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 99, Special Issue on Rotational Seismology and Engineering Applications. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 99, No. 2B, 958-967.
- Lee, W. H. K., K. S. Liu, T. C. Shin, T. L. Teng, and C. F. Wu, 1993. Data Acquisition and Processing for Strong-Motion Array Systems, Symposium on Taiwan Strong Motion Instrumentation Program, 13-19.
- Lee, W. H. K., T. C. Shin, K. W. Kuo, K. C. Chen, and C. F. Wu, 2001. CWB free-field strong-motion data from the 21 September Chi-Chi, Taiwan, earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, 1370-1376.
- Lee, W. H. K., T. C. Shin, K. W. Kuo, K. C. Chen, and C. F. Wu, 2001. CWB Free-Field Strong-Motion Data from the 921 Chi-Chi Earthquake: Processed Acceleration Files on CD-ROM, Strong-Motion Data Series CD-001, Seismological Observation Center, Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan.
- Lee, W. H. K., T. C. Shin, K. W. Kuo, K. C. Chen and C. F. Wu, 2001. Data files from 'CWB free-field strong motion data from the 21 September Chi Chi, Taiwan, earthquake', *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, 1390.
- Liu, K. S., T. C. Shin and Y. B. Tsai, 1999. A free-filed strong motion network in Taiwan: TSMIP, *TAO*, Vol. 10, No.2, 31-50.
- Shin, T. C., 1993. Progress summary of the Taiwan Strong Motion Instrumentation Program, Symposium on the Taiwan Strong Motion Instrumentation Program. 1-10. (in Chinese)
- Shin, T. C., 1993. The Calculation of Local Magnitude from the Simulated Wood-Anderson Seismograms of the Short-Period Seismograms in the Taiwan area. *TAO*, Vol. 4. 155-170.
- Suppe, J., 1984. Kinematics of arc-continent collision, flipping of subduction, and back-arc spreading near Taiwan, *Mem. Geol. Soc. China*, 4, 67-90.
- Teng, L.-S., 1990. Geotectonic evolution of late Cenozoic arc-continent

- collision in Taiwan, *Tectonophysics*, 183, 57-76.
- Tsai, Y.-B., 1986. Seismotectonics of Taiwan, *Tectonophysics*, 125, 17-37.
- Tsai, Y. B., Liaw, Z. S. and Lee, T. Q., 1981. A statistical study of the Taiwan Telemetered Seismographic Network data during 1973-1979, *Bull. Inst. Earth Sci., Acad. Sin.*, 1, 1-22.
- Wang, C. Y., C. H. Chang, and H. Y. Yen, 2000. An interpretation of the 1999 Chi-Chi earthquake in Taiwan based on the thin-skinned thrust model. *TAO, Vol. 11*, 609-623.
- Wang, C. Y., and T. C. Shin, 1998. Illustrating 100 years of Taiwan seismicity. *TAO, Vol. 9*, 589-614.
- Wang, J. H., 1988. b-values of shallow earthquakes in Taiwan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 78, 1243-1254.
- Wu, C. F., K. S. Liu, C. Y. Lin, H. W. Wu, C. L. Huang, T. C. Shin, W. H. K. Lee and K. W. Kuo, 2004. Acceleration Data of the "921 Chi-Chi" and the "1022 Chiayi" Earthquakes Recorded by the CWB Strong-Motion Monitoring Arrays. CWB Building Arrays Preliminary Data Series: PCD-001
- Wu, C. F., William H. K. Lee, David M. Boore, 2008. Strong-Motion Data from the Pingtung Earthquake Doublet of December 26, 2006, Taiwan. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, Vol. 19, No. 6, 595-639.
- Wu, C. F., William H. K. Lee and Huey-Chu Huang, 2008. Array Deployment to Observe Rotational and Translational Ground Motions along the Meishan Fault, Taiwan: A Progress Report. Bulletin of the Seismological Society of America. 99. Special Issue on Rotational Seismology and Engineering Applications, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 99, No. 2B, 1468-1474.
- Wu, C. F., H. W. Wu, C. L. Kao, S. C. Su, K. S. Liu, J. Y. Lin, T. C. Shin, W. H. K. Lee, and K. W. Kuo, 2007. Acceleration Data of the "331 Hualien" Earthquake Recorded by the CWB Strong-Motion Monitoring Arrays in Buildings and Bridges. CWB Building Arrays Preliminary

Data Series: PCD-002

Wu, Y. M., and C. F. Wu, 2007. Approximate recovery of coseismic deformation from Taiwan strong-motion records *J. Seismology* 11:159–170.

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

Yeh, T. Y., C. C. Liu, and J. H. Wang, 1989. Seismic Networks in Taiwan, *Proc. Natl. Sci. Council.* 13, 1. 23-31.

王乾盈，1997：臺灣地震觀測，地球科學園地，創刊號，地球科學文教基金會。

王錦華、謝昭輝、詹軍威、李白華，1990：瑞穗地區之地震定位探討研究，中央氣象局氣象學報，36，197-208 頁。

辛在勤，1992：中央氣象局地震監測網資料對臺灣地震活動的研究。中央氣象局氣象學報，38，23-48 頁。

辛在勤，現代版的候風地動儀，科學發展2002年2月，350期，32-37 頁。

辛在勤，1996：1994 年南澳地震序列的探討，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告（NSC 85-2111-M-052-011）。

辛在勤、張建興，1992：1992 年地震回顧，中央氣象局氣象學報，38，218-232 頁。

辛在勤，1993：臺灣地區強地動觀測計畫。臺灣地區強地動觀測計畫研討會論文摘要集，1-10 頁。

辛在勤、張建興、江嘉豪，1994：1991 年 3 月佳里地震序列的研究，中央氣象局氣象學報，40，17-36 頁。

辛在勤、張建興、陳國誠，2000：由集集餘震資料探討滑脫面之運動，集集地震研究系列研討會（二）「地震活動及地殼變形」論文集，1-7 頁。

宋聖榮，2006：臺灣的火山，臺灣地理百科，77，遠足文化，205 頁。

吳逸民，2002：個人電腦級速度型即時地震資料蒐集系統之建立，中央氣象局研究發展專題，91 年度研究報告第CWB91-1A-12號。

吳逸民、吳健富、劉坤松，1995：IDS-3602 強震儀在臺灣的作業情況及資

- 料蒐集品質之改善，三聯技術雜誌第三十六期，64-71頁。
- 吳逸民、劉坤松、吳健富，1995：IDS-3602強震儀觸發機制之研究，中央氣象局研究發展專題，84年度研究報告第CWB84-1A-12號。
- 吳健富，2005：地震引起之地變動及其衰減之估算，國立中央大學地球物理研究所博士論文，臺灣中壢，216頁。
- 吳健富、陳宏昌、劉坤松、歐國斌，1993：中央氣象局結構物強震監測系統安裝進度與運作維護問題，臺灣地區強地動觀測計畫研討會，22-27頁。
- 吳健富、鄧大量、辛在勤，1994：中央氣象局強地動觀測計畫-結構物系統及明禮國小之資料分析，中央氣象局氣象學報，39，151-164頁。
- 林祖慰、陳達毅、辛在勤，2008：臺灣地區背景地震活動分析與應用，中央氣象局氣象學報，47，1-13頁。
- 徐明同，1979：地震學，黎明文化事業股份有限公司出版，388頁。
- 徐美玲，2008：臺灣的地形，臺灣地理百科，95，遠足文化，191頁。
- 許麗文、何美儀，1998：臺灣地區近年來具災害潛能之地震序列時空分布特性探討，中央氣象局研究發展專題，87年度研究報告第CWB87-1A-07號。
- 陳燕玲，2006：藉由推求最小完整規模及分析其時空分布特徵以評估中央氣象局地震觀測網之觀測效能，中央氣象局研究發展專題，95年度研究報告第CWB95-1A-13號。
- 林柏佑，2007：與日本交換地震資料系統之建置及效能評估，中央氣象局研究發展專題，96年度研究報告第CWB96-1A-10號。
- 張建興、辛在勤，1994：1993年地震回顧，中央氣象局氣象學報，39，202-217頁。
- 張建興，2004：高密度地震資料分析及其用於臺灣中部及東部孕震構造之研究，國立中央大學地球物理研究所博士論文，臺灣中壢，156頁。
- 鄭世楠、葉永田、徐明同、辛在勤，1999：臺灣十大災害地震圖集，中央氣象局、中央研究院地球科學研究所。
- 劉坤松，1994：結構物強震系統，科儀新知第十六卷第三期，46-52頁。
- 劉坤松、辛在勤、李泮鑑、蔡義本，1993：中央氣象局強地動觀測計畫-基本自由場強震儀比較分析，中央氣象局氣象學報，39，132-150頁。

- 劉坤松、林昭儀、黃正耀、張先霖，1999：由 921 集集大地震之結構物強震實測紀錄探討大樓高層震度的放大效應，集集大地震特輯，55-60 頁。
- 劉坤松、陳宏昌，1993：中央氣象局自由場強地動觀測網之儀器安裝進度與運作維護問題，臺灣地區強地動觀測計畫研討會，54-55 頁。
- 井下應變儀資料處理模式之建立，2007：中央氣象局地震技術報告彙編，48，253-266 頁。
- 蕭乃祺、吳逸民、辛在勤，2005：台灣地區地震速報系統之發展，中央氣象局氣象學報，45，1-15 頁。
- 蕭乃祺、陳致宏、陳伯飛、辛在勤，2006：台灣地區海嘯警報發布作業現況，中央氣象局氣象學報，46，31-44 頁。
- 蕭乃祺、辛在勤、蕭文啟、吳逸民，2008：地震速報區域子網在地震預警上之應用，中央氣象局氣象學報，47，15-27 頁。
- 蕭文啟、辛在勤、蕭乃祺、林祖慰，2006：花蓮地區地震活動前兆觀測之初探，兩岸都會區防震與地震前兆研討會論文集，21-24 頁，2006 年 10 月 12-13 日，中華民國台北萬里。
- 交通部中央氣象局，2005。地震百問，交通部中央氣象局編印，77 頁。
- 交通部中央氣象局網頁：<http://www.cwb.gov.tw>
- 經濟部中央地質調查所網頁：<http://www.moeacgs.gov.tw>

## 附錄：委託研究計畫年度編號、名稱及分類

### 一、地震資料蒐集與分析

- MOTC-CWB-79-E-011 瑞穗地區的地震活動，王錦華
- MOTC-CWB-79-E-021 例行地震定位之改進研究，葉義雄
- MOTC-CWB-79-E-031 使用震波波形研究地震震源機制，余貴坤
- MOTC-CWB-79-E-041 台灣東部玉里-瑞穗地區之地震成因探討，王正松
- MOTC-CWB-80-E-032 台北盆地強地動觀測網之規劃，溫國樑
- MOTC-CWB-80-E-052 地震定位準確性探討與改進(I)，葉義雄
- MOTC-CWB-80-E-072 使用三向量記錄研究震源機制，王乾盈
- MOTC-CWB-80-E-112 台灣東部地震區域之地動研究-波相識別，謝秋霽
- MOTC-CWB-81-E-023-1 台北盆地強地動觀測網，溫國樑
- MOTC-CWB-81-E-073-1 花蓮地區地震分布和成因探討，王正松
- MOTC-CWB-81-E-093-1 利用初達 P 波及 S 波之極性推求震源機制及區域應力狀況(I)，李錫堤
- MOTC-CWB-81-E-113-1 臺灣中南部井下地震儀附近之微地動調查，王乾盈
- MOTC-CWB-81-E-163-1 地震定位準確性探討與改進(II)，葉義雄
- MOTC-CWB-82-E-024-1 台北都會區之地表強地動觀測，溫國樑
- MOTC-CWB-82-E-054-1 地震動共振之研究，邱宏智
- MOTC-CWB-82-E-064-1 1990 年 12 月 13 日花蓮地震及其餘震時空分布特性和成因探討，王正松
- MOTC-CWB-82-E-114-1 以反射震測法調查井下地震儀附近之地層構造(II)，王乾盈
- MOTC-CWB-82-E-124-1 嘉南地區地震與強地動觀測，葉義雄
- MOTC-CWB-82-E-154-1 雲嘉南地震之場址效應，歐國斌
- MOTC-CWB-83-E-058-1 近測站地形影響強震記錄之分析研究，黃柏壽
- MOTC-CWB-83-E-068-1 台灣地區震源參數分析，蔡主權
- MOTC-CWB-83-E-098-1 台灣地區地震監測網之評估，葉義雄
- MOTC-CWB-83-E-108-1 1991 至 1993 年台灣地區地震分布型態之研究，王正松
- MOTC-CWB-83-E-118-1 台灣地震特性的評估與分析，馬國鳳
- MOTC-CWB-83-E-158-2 台灣區災害地震的前震特徵研究，余貴坤
- MOTC-CWB-83-E-168-2 雲嘉南地區強地動觀測網，歐國斌
- MOTC-CWB-83-E-178-2 中部地區自由場強震儀檢測及資料收集，王乾盈
- MOTC-CWB-83-E-188-2 台北盆地之場址效應分析，溫國樑
- MOTC-CWB-83-E-228-2 小區域地震測震網震源參數的求取，陳朝輝
- MOTC-CWB-84-E-0311 中部地區自由場強震儀檢測及資料收集(二)，王乾盈
- MOTC-CWB-84-E-0411 臺灣西南地區強地動觀測網(84 年度)，歐國斌
- MOTC-CWB-84-E-0511 花、東、屏地區自由場強震儀檢測及資料蒐集，劉忠智
- MOTC-CWB-84-E-0711 花蓮地區的地震特性研究，余貴坤
- MOTC-CWB-84-E-0811 嘉南地區之場址效應分析，溫國樑
- MOTC-CWB-84-E-0911 地震震源對震區劃分之影響，蔡主權
- MOTC-CWB-84-E-1011 從記錄收取及資料處理改進強震記錄之品質，邱宏智
- MOTC-CWB-84-E-1411 台灣地區數個地震目錄的地震定位與規模之評估(三)，葉永田
- MOTC-CWB-84-E-1511 臺灣地區能量規模之研究(二)，黃柏壽
- MOTC-CWB-84-E-1612 台灣地區強地動觀測網計劃地震資料之應用研究，羅俊雄
- MOTC-CWB-85-E-0214 中部地區自由場強震儀檢測及資料收集(84-85)，王乾盈

- MOTC-CWB-85-E-0314 臺灣西南地區強地動觀測網(85 年度)，歐國斌
- MOTC-CWB-85-E-0414 花東屏地區強震儀器檢測及資料蒐集，劉忠智
- MOTC-CWB-85-E-0514 臺灣地區大地震的前震及餘震特徵研究(一)嘉義—臺南地區，余貴坤
- MOTC-CWB-85-E-0614 台灣地區歷史地震之重新定位，葉永田
- MOTC-CWB-85-E-0814 台北盆地振動主頻與振幅之變化，溫國樑
- MOTC-CWB-85-E-0914 臺灣地區短週期地震站之測站走時殘值分析研究，黃柏壽
- MOTC-CWB-86-E-0218 台北、宜蘭地區自由場強震儀檢測及資料收集，溫國樑
- MOTC-CWB-86-E-0318 中部地區自由場強震儀檢測及資料收集(85-86)，王乾盈
- MOTC-CWB-86-E-0418 臺灣西南地區強地動觀測網(86 年度)，歐國斌
- MOTC-CWB-86-E-0518 花東屏地區強震儀檢測及資料蒐集(86 年度)，劉忠智
- MOTC-CWB-86-E-0618 臺灣地區大地震的前震及餘震特徵研究(II) 宜蘭—花蓮地區，余貴坤
- MOTC-CWB-86-E-0718 歷史地震之強震資料處理與分析，葉永田
- MOTC-CWB-86-E-0818 由連線強震資料訂定即時規模，馬國鳳
- MOTC-CWB-86-E-0918 利用寬頻波形資料近即時逆推臺灣地區震源參數，高弘
- MOTC-CWB-86-E-1319 嘉南地區地震再現期與規模之相關性分析(八十五年委託研究計畫成果報告)，洪李陵
- MOTC-CWB-86-E-1419 臺灣地區建築物高度與基本震動周期之相關性研究，洪李陵
- MOTC-CWB-86-E-1519 利用強震儀收錄資料探討校舍耐震特性--法規意外扭力矩規定以及地震反應影響參數檢討，張嘉祥
- MOTC-CWB-86-E-1619 建立裝設強震儀陣列之結構物基本資料(四)(含台北市中央百世大樓地震資料分析)，葉超雄
- MOTC-CWB-86-E-1719 頭前溪橋地震資料分析，唐治平
- MOTC-CWB-87-E-0221 台北、宜蘭地區自由場強震儀暨結構物地震監測系統檢測及資料收集，溫國樑
- MOTC-CWB-87-E-0321 中部地區自由場強震儀暨結構物地震監測系統檢測及資料收集(86-87)，王乾盈
- MOTC-CWB-87-E-0421 臺灣西南地區強地動觀測網(87 年度)，歐國斌
- MOTC-CWB-87-E-0521 花東屏地區強震儀檢測及資料收集(87 年度)，劉忠智
- MOTC-CWB-87-E-1021 台灣地區大地震的前震及餘震特徵研究(III)苗栗-台中及台東地區，余貴坤
- MOTC-CWB-87-E-1121 日據時期嘉南地區歷史地震資料之重新整理與分析-台灣地區十大災害地震圖集，葉永田
- MOTC-CWB-87-E-1221 使用即時強震波形資料反演地震源參數，高弘
- MOTC-CWB-88-E-0224 台北、宜蘭地區自由場強震儀暨結構物監測系統檢測及資料收集，溫國樑
- MOTC-CWB-88-E-0324 中部地區自由場強震儀暨結構物地震監測系統檢測及資料收集(87-88)，王乾盈
- MOTC-CWB-88-E-0424 臺灣西南地區強地動觀測網(88 年度)，歐國斌
- MOTC-CWB-88-E-0524 花東屏地區強震儀檢測與及資料蒐集(88 年度)，劉忠智
- MOTC-CWB-88-E-0624 以台灣寬頻地震網及強震波形資料合併反演地震震源參數，高弘
- MOTC-CWB-88-E-2025 自由場強震資料之工程應用，蔡義本
- MOTC-CWB-89-E-0127 台北、宜蘭地區自由場強震儀暨結構物監測系統檢測及資料收集，溫國樑

- MOTC-CWB-89-E-0227 中部地區自由場強震儀暨結構物地震監測系統檢測及資料收集(88-89)，王乾盈
- MOTC-CWB-89-E-0327 台灣西南地區強地動觀測網(89 年度)，歐國斌
- MOTC-CWB-89-E-0427 花東屏地區強震儀檢測及資料蒐集(89 年度)，劉忠智
- MOTC-CWB-89-E-0727 由細部速度構造之分析探討其對及時震源分析之影響，馬國鳳
- MOTC-CWB-89-E-1727 地震預測研究現況資訊蒐集與地磁場之地震前兆分析(II)，葉義雄
- MOTC-CWB-89-E-1927 台灣地區大地震發生前後之地震物理特性研究(II)，林正洪
- MOTC-CWB-90-E-0130 台北、宜蘭地區自由場強震儀檢測及資料收集，陳國誠
- MOTC-CWB-90-E-0230 中部地區自由場強震儀檢測及資料收集，王乾盈
- MOTC-CWB-90-E-0330 西南部地區自由場強震儀檢測及資料收集，歐國斌
- MOTC-CWB-90-E-0430 花、東、屏地區自由場強震儀檢測及資料收集，劉忠智
- MOTC-CWB-90-E-1730 近年來台灣地區災害地震報告之整理與編撰，鍾仁光
- MOTC-CWB-90-E-2030 台灣地區大地震發生前後之地震物理特性研究(III)，林正洪
- MOTC-CWB-91-E-0133 台北、宜蘭地區自由場強震儀檢測及資料收集，陳國誠
- MOTC-CWB-91-E-0233 中部地區自由場強震儀檢測及資料收集，王乾盈
- MOTC-CWB-91-E-0333 西南部地區自由場強震儀檢測及資料收集，歐國斌
- MOTC-CWB-91-E-0433 花、東、屏地區自由場強震儀檢測及資料收集，劉忠智
- MOTC-CWB-91-E-0733 台灣地區寬頻地震站之接收函數分析，高 弘
- MOTC-CWB-91-E-0833 利用台灣區域寬頻地震網資料推求地區能量規模(一)，黃柏壽
- MOTC-CWB-91-E-0933 細部有限震源分析以達迅速地振動評估－即時地震網分布之影響，馬國鳳
- MOTC-CWB-91-E-1733 台灣地區地震活動時空變化(I)，葉義雄
- MOTC-CWB-91-E-1833 台灣地區地震物理特性研究(I)，林正洪
- MOTC-CWB-91-E-2333 利用強地動資料研究剪波分裂特性與地震活動的關係(I)，陳朝輝
- MOTC-CWB-92-E-0136 台北、宜蘭地區自由場強震儀檢測及資料收集，陳國誠
- MOTC-CWB-92-E-0236 中部地區自由場強震儀檢測及資料收集，王乾盈
- MOTC-CWB-92-E-0336 西南部地區自由場強震儀檢測及資料收集，歐國斌
- MOTC-CWB-92-E-0436 花、東、屏地區自由場強震儀檢測及資料收集，劉忠智
- MOTC-CWB-92-E-0736 利用台灣區域寬頻地震網資料推求地區能量規模(II)，黃柏壽
- MOTC-CWB-92-E-0836 快速地震錯動分布分析－以西南區域為例，馬國鳳
- MOTC-CWB-92-E-1536 台灣地區地震活動時空變化(II)，葉義雄
- MOTC-CWB-92-E-1636 台灣地區地震物理特性研究(II)，林正洪
- MOTC-CWB-92-E-2036 利用強地動資料研究剪波分裂特性與地震活動的關係(II)，陳朝輝
- MOTC-CWB-93-E-0139 台北、宜蘭地區自由場強震儀檢測及資料收集，陳國誠
- MOTC-CWB-93-E-0239 中部地區自由場強震儀檢測及資料收集，王乾盈
- MOTC-CWB-93-E-0339 西南部地區自由場強震儀檢測及資料收集，歐國斌
- MOTC-CWB-93-E-0439 花、東、屏地區自由場強震儀檢測及資料收集，劉忠智
- MOTC-CWB-93-E-0739 強餘震統計預估模式之探討，林正洪
- MOTC-CWB-93-E-0939 台灣地區強地動場址效應之研究，溫國樑
- MOTC-CWB-93-E-1039 台灣地區強地動分布評估，陳朝輝
- MOTC-CWB-93-E-1139 台灣地區寬頻地震站之雜訊來源特性分析，黃柏壽
- MOTC-CWB-94-E-0142 台北、宜蘭地區自由場強震儀檢測及資料收集，陳國誠
- MOTC-CWB-94-E-0242 中部地區自由場強震儀檢測及資料收集，王乾盈

- MOTC-CWB-94-E-0342 西南部地區自由場強震儀檢測及資料收集，歐國斌
- MOTC-CWB-94-E-0442 花、東、屏地區自由場強震儀檢測及資料收集，劉忠智
- MOTC-CWB-94-E-0642 強餘震統計預估模式之探討(II)，林正洪
- MOTC-CWB-94-E-0742 大地震後應力轉移與其餘震關係之探討(II)，馬國鳳
- MOTC-CWB-94-E-0842 台灣地區強地動測站異常場址效應之研究，溫國樑
- MOTC-CWB-94-E-0942 台灣地區強地動分布評估(II)，陳朝輝
- MOTC-CWB-94-E-1042 台灣地區寬頻地震站之雜訊來源特性分析(II)，黃柏壽
- MOTC-CWB-95-E-0145 台北、宜蘭地區自由場強震儀檢測及資料收集，陳國誠
- MOTC-CWB-95-E-0245 中部地區自由場強震儀檢測及資料收集，王乾盈
- MOTC-CWB-95-E-0345 西南部地區自由場強震儀檢測及資料收集，歐國斌
- MOTC-CWB-95-E-0445 花、東、屏地區自由場強震儀檢測及資料收集，劉忠智
- MOTC-CWB-95-E-0545 台灣山區強震觀測網之規劃、建置及資料收集分析，黃柏壽
- MOTC-CWB-95-E-0745 強餘震統計預估模式之探討(III)，林正洪
- MOTC-CWB-95-E-0845 大地震後應力轉移與其餘震關係之探討(III)，馬國鳳
- MOTC-CWB-95-E-0945 台灣地區強地動測站異常場址效應之研究(II)，溫國樑
- MOTC-CWB-95-E-1045 台灣地區強地動分布評估(III)，陳朝輝
- MOTC-CWB-95-E-1245 強地動觀測站場址因子之估算—以宜蘭地區為例，黃柏壽
- MOTC-CWB-96-E-01 自由場強震網資料收集及分析—北部地區，陳國誠
- MOTC-CWB-96-E-02 自由場強震網資料收集及分析—中部地區，王乾盈
- MOTC-CWB-96-E-03 自由場強震網資料收集及分析—西南地區，歐國斌
- MOTC-CWB-96-E-04 自由場強震網資料收集及分析—東部地區，劉忠智
- MOTC-CWB-96-E-05 台灣山區自由場強震網測站建置及資料收集分析，黃柏壽
- MOTC-CWB-96-E-08 台灣地區場址效應微分區之研究與應用，溫國樑
- MOTC-CWB-96-E-09 自由場測站強地動參數之預估與修正，黃柏壽、鍾仁光
- MOTC-CWB-97-E-01 自由場強震網資料收集及分析—北部地區(II)，陳國誠
- MOTC-CWB-97-E-02 自由場強震網資料收集及分析—中部地區(II)，王乾盈
- MOTC-CWB-97-E-03 自由場強震網資料收集及分析—西南地區(II)，歐國斌
- MOTC-CWB-97-E-04 自由場強震網資料收集及分析—東部地區(II)，劉忠智
- MOTC-CWB-97-E-05 台灣山區自由場強震網測站建置及資料收集分析(II)，黃柏壽
- MOTC-CWB-97-E-08 台灣地區場址效應微分區之研究與應用(II)，溫國樑
- MOTC-CWB-97-E-09 自由場測站強地動參數之預估與修正(II)，黃柏壽
- MOTC-CWB-98-E-01 自由場強震網資料收集及分析—北部地區(III)，陳國誠
- MOTC-CWB-98-E-02 自由場強震網資料收集及分析—中部地區(III)，王乾盈
- MOTC-CWB-98-E-03 自由場強震網資料收集及分析—西南地區(III)，歐國斌
- MOTC-CWB-98-E-04 自由場強震網資料收集及分析—東部地區(III)，劉忠智
- MOTC-CWB-98-E-05 台灣山區自由場強震網測站建置及資料收集分析(III)，黃柏壽
- MOTC-CWB-98-E-08 台灣地區場址效應微分區之研究與應用(III)，溫國樑
- MOTC-CWB-98-E-09 自由場測站強地動參數之預估與修正(III)，黃柏壽
- MOTC-CWB-98-E-24 彙整分析台灣地區地震活動度，陳朝輝

## 二、地震工程應用研究(結構物)

- MOTC-CWB-81-E-043-1 結構體強震資料擷取系統之設計，劉忠智
- MOTC-CWB-81-E-193-2 台南都會區抗震設計震譜之研擬，張嘉祥

- MOTC-CWB-81-E-203-2 新竹都會區強地動觀測網的規劃及資料庫，倪至寬
- MOTC-CWB-82-E-044-1 結構體強震資料擷取系統之設計(II)，劉忠智
- MOTC-CWB-82-E-174-2 從建築物動態特性及預估地震反應探討強震儀合理裝設位置，張嘉祥
- MOTC-CWB-82-E-184-2 建築物安裝強震儀位置之研究及應用，姚昭智
- MOTC-CWB-82-E-194-2 台南都會區考慮強地動地盤反應之耐震設計研究，蔡錦松
- MOTC-CWB-82-E-204-2 臺灣地區地震危害度分析-程式建立，羅俊雄
- MOTC-CWB-83-E-078-1 建築物陣列數據採記器之抗震能力，姚昭智
- MOTC-CWB-83-E-088-1 結構物強震儀陣列裝設位置之探討與結構系統識別，林其璋
- MOTC-CWB-83-E-138-2 建立裝設強震儀陣列之結構物基本資料(一)，葉超雄
- MOTC-CWB-84-E-0611 建立裝設強震儀陣列之結構物基本資料(二)，葉超雄
- MOTC-CWB-84-E-1712 扭轉耦合結構之系統識別，林其璋
- MOTC-CWB-84-E-1812 類神經網路在結構系統鑑別上之研究，鄭復平
- MOTC-CWB-84-E-1912 高架地板動力特性之研究，姚昭智
- MOTC-CWB-84-E-2112 從實際震害以及地震反應探討校舍結構耐震規劃問題，張嘉祥
- MOTC-CWB-84-E-2212 成功大學行政大樓耐震性能探討，許茂雄
- MOTC-CWB-85-E-1315 建築結構同時承受三方向地表加速度之耐震診斷，許茂雄
- MOTC-CWB-85-E-1415 利用強震儀收錄地震反應探討建築物扭力及地震力豎向分布，張嘉祥
- MOTC-CWB-85-E-1515 台南大世紀大樓土壤-結構互制分析，蔡錦松
- MOTC-CWB-85-E-1615 建立裝設強震儀陣列之結構物基本資料(三)(含台北市中央百世大樓地震資料分析)，葉超雄
- MOTC-CWB-85-E-1715 結構物強震網地震資料系統識別-樓房及橋梁地震反應，羅俊雄
- MOTC-CWB-85-E-1815 非線性結構碰撞之研究，鄭 繫
- MOTC-CWB-85-E-1915 牛欄河二號橋地震資料分析，唐治平
- MOTC-CWB-85-E-2016 花蓮市慈濟醫院(I)與慈濟醫院(II)強震資料分析，許茂雄
- MOTC-CWB-85-E-2116 花蓮明禮國小暨苗栗三義橋成國小之強震資料分析，張嘉祥
- MOTC-CWB-85-E-2216 省立朴子醫院與台南市大世紀大樓強震資料分析，蔡錦松
- MOTC-CWB-85-E-2316 中央氣象局新建大樓結構物強震監測系統裝設計畫，葉超雄
- MOTC-CWB-85-E-2416 1996年6月25日地震新光人壽大樓強震記錄，羅俊雄
- MOTC-CWB-85-E-2516 1996年6月25日地震台北市政府強震記錄，羅俊雄
- MOTC-CWB-85-E-2616 省立台南和新營醫院強震資料分析，洪李陵
- MOTC-CWB-86-E-1119 樓房強震儀陣列系統震後自動分析，羅俊雄
- MOTC-CWB-86-E-1219 依建築物地震記錄探討現行設備結構耐震規範，林其璋
- MOTC-CWB-87-E-1422 建築物地震反應系統識別(動力特性初步分析)，羅俊雄
- MOTC-CWB-87-E-1522 利用強震收錄資料檢討現行建築耐震設計規範，林其璋
- MOTC-CWB-87-E-1622 以強震資料檢討非結構物設計規範，姚昭智
- MOTC-CWB-87-E-1722 重陽橋地震資料分析，唐治平
- MOTC-CWB-87-E-1822 強地動資料檢索系統，呂紹偉
- MOTC-CWB-87-E-1922 活斷層附近設計地震力檢討與其學校建築耐震補強，許茂雄
- MOTC-CWB-88-E-1724 利用全球衛星定位系統資料探討地殼變形與地震活動的相關性，劉啟清
- MOTC-CWB-88-E-1825 橋樑強震資料之工程應用—總計畫(子計畫一：應用類神經網路之系統識別)，羅俊雄
- MOTC-CWB-88-E-18-225 橋樑強震資料之工程應用(子計畫二：宜蘭縣兩座橋樑結構模型之建立與耐震評估)，羅俊雄-2、卜君平

- MOTC-CWB-88-E-18-325 橋樑強震資料之工程應用(子計畫三：利用橋梁地震反應資料檢討橋梁耐震設計規範)，羅俊雄-3、唐治平
- MOTC-CWB-88-E-1925 建築物強震資料之工程應用(I)，林其璋
- MOTC-CWB-88-E-2125 中央氣象局橋樑觀測資料之工程分析，羅俊雄
- MOTC-CWB-90-E-1031 建築結構強震資料在工程上之應用，許茂雄
- MOTC-CWB-90-E-1131 評估橋樑地震反應資料之快速分析軟體建置，羅俊雄
- MOTC-CWB-90-E-1231 應用類神經網路於橋樑實測地震反應之模態識別，黃炯憲
- MOTC-CWB-90-E-1331 橋樑地震反應之最佳預測，卜君平
- MOTC-CWB-90-E-2430 台灣地區結構物地震監測系統檢測及資料收集，蔡克銓
- MOTC-CWB-91-E-0533 台灣地區結構物地震監測系統檢測及資料收集，蔡克銓
- MOTC-CWB-91-E-1034 建築結構強震資料在工程上之應用，許茂雄
- MOTC-CWB-91-E-1134 小波轉換法於橋樑結構地震反應系統識別之應用，羅俊雄
- MOTC-CWB-91-E-1234 應用小波神經網路於橋樑實測地震反應之損壞偵測，洪士林
- MOTC-CWB-91-E-1334 應用類神經網路於橋樑系統識別及最佳化預測之研究，卜君平
- MOTC-CWB-92-E-0536 台灣地區結構物地震監測系統檢測及資料收集，蔡克銓
- MOTC-CWB-92-E-10-137 建築結構強震資料在工程上之應用(子計畫一：自時域信號變化探討結構損壞特性)，許茂雄-1、姚昭智
- MOTC-CWB-92-E-10-237 建築結構強震資料在工程上之應用(子計畫二：建築物基本振動週期與損壞程度相關性研究)，許茂雄-2、洪李陵
- MOTC-CWB-92-E-10-337 建築結構強震資料在工程上之應用(子計畫三：實尺寸建築結構震災即時損害程度指數之選定與驗證)，許茂雄-3、朱世禹
- MOTC-CWB-92-E-10-437 建築結構強震資料在工程上之應用(子計畫四：依強震記錄探討建築物動態特性及損害評估(I))，許茂雄-4、林其璋
- MOTC-CWB-92-E-11-137 中央氣象局橋樑地震反應資料之系統識別(子計畫一：即時監測系統及結構物健康診斷分析)，羅俊雄-1、羅俊雄
- MOTC-CWB-92-E-11-237 中央氣象局橋樑地震反應資料之系統識別(子計畫二：利用小波包識別橋樑動態特性)，羅俊雄-2、黃炯憲
- MOTC-CWB-92-E-11-337 中央氣象局橋樑地震反應資料之系統識別(子計畫三：隔震橋梁系統識別與類神經網路之應用)，羅俊雄-3、卜君平
- MOTC-CWB-93-E-0539 台灣地區結構物地震監測系統檢測及資料收集，蔡克銓
- MOTC-CWB-93-E-12-140 建築物在強震時之反應預估模式研究(子計畫一：利用強震歷時記錄評估結構損壞指標之研究)，許茂雄\_1、姚昭智
- MOTC-CWB-93-E-12-240 建築物在強震時之反應預估模式研究(子計畫二：建築物基本振動週期應用於損壞評估之研究)，許茂雄\_2、洪李陵
- MOTC-CWB-93-E-12-340 建築物在強震時之反應預估模式研究(子計畫三：建築物即時動態反應模擬器之應用)，許茂雄\_3、朱世禹
- MOTC-CWB-93-E-12-440 建築物在強震時之反應預估模式研究(子計畫四：依強震記錄探討建築物及地盤動態特性)，許茂雄\_4、林其璋
- MOTC-CWB-93-E-1340 橋樑在強震時之反應預估模式研究，羅俊雄
- MOTC-CWB-94-E-1243 建築物在強震時之反應預估模式研究(II)，姚昭智
- MOTC-CWB-94-E-1343 橋樑在強震時之反應預估模式研究(II)，羅俊雄
- MOTC-CWB-94-E-1443 台灣地區結構物強震監測資料庫與查詢系統建置，謝尚賢
- MOTC-CWB-95-E-1346 建築結構強震資料在房屋損壞診斷工程上之應用，姚昭智

- MOTC-CWB-95-E-1446 橋樑在強震時之反應預估模式研究(III)，羅俊雄
- MOTC-CWB-95-E-1546 台灣地區結構物強震監測資料庫與查詢系統建置(II)，謝尚賢
- MOTC-CWB-95-E-1646 依強震資料探討河川沖刷對橋樑結構安全性之影響，蔡仁卓
- MOTC-CWB-96-E-22 台灣地區結構物強震監測系統資料收集及分析，林其璋
- MOTC-CWB-96-E-10 都會區建築物震損快速評估之研究，姚昭智
- MOTC-CWB-96-E-11 智慧型感測器及網路架構在橋樑系統健康診斷及損壞評估之研發，羅俊雄
- MOTC-CWB-96-E-21 結構物強震監測資料庫維護及地球物理資訊系統整合，謝尚賢
- MOTC-CWB-96-E-23 依強震觀測對橋樑結構安全性評估之應用，蔡仁卓
- MOTC-CWB-97-E-12 都會區建築物震損快速評估之研究(II)，姚昭智
- MOTC-CWB-97-E-13 智慧型感測器及網路架構在橋樑系統健康診斷及損壞評估之研發(II)，羅俊雄
- MOTC-CWB-97-E-23 台灣地區結構物強震監測系統資料收集及分析(II)，林其璋
- MOTC-CWB-98-E-12 智慧型感測器及網路架構在橋樑系統健康診斷及損壞評估之研發(III)，羅俊雄
- MOTC-CWB-98-E-13 建立建築物震損圖之研究，姚昭智
- MOTC-CWB-98-E-28 依據台灣地區建築物強震資料之結構工程特性調查分析，林其璋

### 三、速報與預警系統研究

- MOTC-CWB-83-E-027 強震速報系統雛型設計計畫八十三年度報告書，鄧大量
- MOTC-CWB-83-E-208-2 評估強震前段計錄推估地震大小之可行性，邱宏智
- MOTC-CWB-83-E-218-2 台灣地區數個地震目錄的地震定位與規模之評估(II)，葉永田
- MOTC-CWB-84-E-0210 強震速報系統雛型設計計畫八十四年度報告書，鄧大量
- MOTC-CWB-84-E-1211 地震預警系統(區)對臺灣東北部隱沒帶發震構造之規劃，高弘
- MOTC-CWB-85-E-0113 強震速報系統雛型設計計畫八十五年度報告書，鄧大量
- MOTC-CWB-85-E-1214 即時估算地震初達波之主週期與推估地震規模，邱宏智
- MOTC-CWB-86-E-0117 強震速報系統雛型設計計畫八十六年度報告書，鄧大量
- MOTC-CWB-87-E-0120 八十七年度委託研究計畫成果報告-強震速報系統之開發，鄧大量
- MOTC-CWB-87-E-0721 地震速報系統資訊之傳送和其應用效益之評估，秦葆珩
- MOTC-CWB-88-E-0123 強震速報系統之相關研究，鄧大量
- MOTC-CWB-89-E-0526 強震速報系統之相關研究，鄧大量
- MOTC-CWB-89-E-0827 即時強震資料接收系統(I)，廖婉君
- MOTC-CWB-89-E-0928 建築結構強震資料在工程上之應用，許茂雄
- MOTC-CWB-89-E-1028 台灣地區橋樑強震資料在工程上的應用，羅俊雄
- MOTC-CWB-89-E-1128 台北市東西向快速道路橋梁地震資料研究，唐治平
- MOTC-CWB-89-E-1228 宜蘭貓里霧罕橋之系統識別與地震反應評估，卜君平
- MOTC-CWB-89-E-2027 剪波分裂特性於地震預測應用之研究(II)，陳朝輝
- MOTC-CWB-90-E-0529 強震速報系統之相關研究，鄧大量
- MOTC-CWB-90-E-0830 強震站場址修正及起始波型初探其對地震預警之影響，馬國鳳
- MOTC-CWB-90-E-0930 即時強震資料接收系統(II):無線短訊廣播技術研究，廖婉君
- MOTC-CWB-90-E-1830 地震預測研究規劃與台灣地區地震前兆研究，葉義雄
- MOTC-CWB-91-E-0632 強震速報系統之相關研究，鄧大量
- MOTC-CWB-92-E-0635 強震速報系統之相關研究，鄧大量

MOTC-CWB-93-E-0638	強震即時警報系統之相關研究，鄧大量
MOTC-CWB-93-E-1639	加強地震測報資訊內容之分析方法與研究，鍾仁光
MOTC-CWB-93-E-1739	強震預警資訊在醫療體系上的應用，賴飛羆
MOTC-CWB-93-E-1839	台灣地區地震預測實驗園區之規劃與評估，葉義雄
MOTC-CWB-94-E-0541	強震即時警報系統之相關研究(II)，鄧大量
MOTC-CWB-94-E-1542	台灣地區地震預測實驗園區之規劃與評估(II)，葉義雄
MOTC-CWB-95-E-0644	強震即時警報系統及海嘯之相關研究，鄧大量
MOTC-CWB-95-E-1845	台灣地區地震預測實驗園區之規劃與評估(III)，葉義雄
MOTC-CWB-96-E-06	地震速報及預警系統之強化與應用，鄧大量
MOTC-CWB-96-E-12	台灣現有地震前兆評估與未來研究規劃，葉義雄
MOTC-CWB-97-E-06	地震速報及預警系統之強化與應用(II)，鄧大量
MOTC-CWB-97-E-10	地震初達波強震即時警報系統之研發，吳逸民
MOTC-CWB-97-E-14	台灣現有地震前兆評估與未來研究規劃(II)，葉義雄
MOTC-CWB-98-E-06	強震即時警報系統之強化與應用，鄧大量
MOTC-CWB-98-E-10	地震初達波強震即時警報系統之研發(II)，吳逸民
MOTC-CWB-98-E-14	台灣現有地震前兆評估與未來研究規劃(III)，葉義雄

#### 四、地球物理研究 (GPS、地下水、電離層、重磁力等)

MOTC-CWB-79-E-051	由驗潮站記錄研究地震前後地殼的昇降，劉啟清
MOTC-CWB-80-E-012	台北地區活斷層之監測研究(I)，余水倍
MOTC-CWB-80-E-082	深井水位變化與大地震的關連性研究，余貴坤
MOTC-CWB-80-E-092	地層電性變化與地震相關性研究，楊潔豪
MOTC-CWB-80-E-122	台灣東部地震區域之地動研究：光波系統分析，許華杞
MOTC-CWB-81-E-033-1	台北地區活斷層之監測研究(II)，余水倍
MOTC-CWB-81-E-103-1	深井水位變動的影響因子評估，余貴坤
MOTC-CWB-81-E-123-1	地層電性變化與地震之相關性研究(II)，陳平護
MOTC-CWB-81-E-183-1	臺灣東部地震區域地殼移動之研究，許華杞
MOTC-CWB-82-E-034-1	藉 GPS 連續監測研究地形變之地震前兆(I)，余水倍
MOTC-CWB-82-E-094-1	規劃臺灣地區全球定位衛星觀測網，劉啟清
MOTC-CWB-82-E-104-1	深井水位變化與大地震的關連性研究，余貴坤
MOTC-CWB-83-E-038-1	建立台灣地區全球定位衛星網，劉啟清
MOTC-CWB-83-E-048-1	藉 GPS 連續監測研究地形變之地震前兆(II)，余水倍
MOTC-CWB-84-E-1311	建立台灣地區全球定位衛星網之資料處理系統，劉啟清
MOTC-CWB-85-E-0714	台灣 G P S 固定站網之絕對移動及其網內之相對移動之監測(一)，劉啟清
MOTC-CWB-86-E-1018	台灣 GPS 連續觀測站及其速度場，劉啟清
MOTC-CWB-87-E-0821	台灣 GPS 固定站之正常速度場，劉啟清
MOTC-CWB-88-E-1624	利用重力重複測量監測觸口斷層的重力變化(I)，顏宏元
MOTC-CWB-89-E-1827	利用全球衛星定位系統資料探討地殼變形與地震活動的相關性(II)，劉啟清
MOTC-CWB-89-E-2127	利用重力重複測量監測觸口斷層的重力變化(II)，顏宏元
MOTC-CWB-90-E-1930	利用全球衛星定位系統資料探討地殼變形與地震活動的相關性(III)，劉啟清

- MOTC-CWB-90-E-2230 利用重力重複測量監測觸口斷層的重力變化(III)，顏宏元
- MOTC-CWB-90-E-2330 台灣 GPS 密集連續觀測網之規劃與建立，余水倍
- MOTC-CWB-91-E-1933 台灣 GPS 密集連續觀測網之規劃與建立(II)，余水倍
- MOTC-CWB-91-E-2033 GPS 連續觀測網之地殼變動監測：資料品質管制系統之規劃，劉啟清
- MOTC-CWB-91-E-2133 地震前兆觀測－實驗園區規劃，余貴坤
- MOTC-CWB-91-E-2233 利用重力重複測量監測觸口斷層的重力變化(IV)，顏宏元
- MOTC-CWB-92-E-1736 台灣 GPS 密集連續觀測網之規劃與建立(III)，余水倍
- MOTC-CWB-92-E-1836 GPS 連續觀測網之地殼變動監測：資料品質管制系統之規劃(II)，劉啟清
- MOTC-CWB-92-E-1936 利用重力重複測量監測觸口斷層的重力變化(V)，顏宏元
- MOTC-CWB-92-E-2136 地震前兆觀測－地下水水位分析，余貴坤
- MOTC-CWB-93-E-1939 地震前兆觀測－地下水水位分析(II)，余貴坤
- MOTC-CWB-93-E-2039 台灣 GPS 密集連續觀測網之規劃及時間序列分析，余水倍
- MOTC-CWB-93-E-2139 利用 GPS 觀測資料監測地殼變動之穩定性探討，劉啟清
- MOTC-CWB-93-E-2239 GPS 衛星精密軌道計算，何慶雄
- MOTC-CWB-93-E-2339 重力、磁力變化與地震活動關聯性之研究，顏宏元
- MOTC-CWB-94-E-1642 地震前兆觀測－地下水水位分析(III)，余貴坤
- MOTC-CWB-94-E-1742 台灣 GPS 密集連續觀測網之規劃及時間序列分析(II)，余水倍
- MOTC-CWB-94-E-1842 利用 GPS 觀測資料監測地殼變動之穩定性探討(II)，劉啟清
- MOTC-CWB-94-E-1942 應用 GPS 長期分析資料求解歷時觀測紀錄，何慶雄
- MOTC-CWB-94-E-2042 利用 GPS 觀測資料監測地震前電離層全電子含量異常變化，劉正彥
- MOTC-CWB-94-E-2142 重力、磁力變化與地震活動關聯性之研究(II)，顏宏元
- MOTC-CWB-95-E-1945 地震前兆觀測－地下水水位分析(IV)，余貴坤
- MOTC-CWB-95-E-2045 台灣 GPS 連續觀測資料時間序列與應變分析，余水倍
- MOTC-CWB-95-E-2145 井下應變儀與 GPS 地表應變觀測之比較研究，劉啟清
- MOTC-CWB-95-E-2245 應用 GPS 長期分析資料求解歷時觀測紀錄(II)，何慶雄
- MOTC-CWB-95-E-2345 利用 GPS 觀測資料監測地震前電離層全電子含量異常變化(II)，劉正彥
- MOTC-CWB-95-E-2445 重力、磁力變化與地震活動關聯性之研究(III)，顏宏元
- MOTC-CWB-96-E-13 發展除去非構造因素的水位變化技術，余貴坤
- MOTC-CWB-96-E-14 台灣地區地殼形變之時空變化研究，余水倍
- MOTC-CWB-96-E-15 井下應變儀資料處理模式之建立，劉啟清
- MOTC-CWB-96-E-16 GPS 地震監測短期數據計算之強化(I)，何慶雄
- MOTC-CWB-96-E-17 地震前兆之電離層時空監測，劉正彥
- MOTC-CWB-96-E-18 地震前兆監測-重力重複觀測與地磁連續資料分析，顏宏元
- MOTC-CWB-97-E-15 台灣地區地殼形變之時空變化研究(II)，余水倍
- MOTC-CWB-97-E-16 GPS 地震監測短期數據計算之強化(II)，何慶雄
- MOTC-CWB-97-E-17 地震前兆之電離層時空監測(II)，劉正彥
- MOTC-CWB-97-E-18 地震前兆監測－重力重複觀測與地磁連續資料分析(II)，顏宏元
- MOTC-CWB-97-E-21 降雨對地下水水位變化的影響模式研究，余貴坤
- MOTC-CWB-97-E-22 井下應變與地表 GPS 應變之比較研究，劉啟清
- MOTC-CWB-98-E-15 台灣地區地殼形變之時空變化研究(III)，余水倍
- MOTC-CWB-98-E-16 GPS 地震監測短期數據計算之強化(III)，何慶雄
- MOTC-CWB-98-E-17 地震前兆之電離層時空監測(III)，劉正彥
- MOTC-CWB-98-E-18 地震前兆監測－重力重複觀測與地磁連續資料分析(III)，顏宏元

- MOTC-CWB-98-E-21 降雨對地下水水位變化的影響模式研究(II)，余貴坤  
 MOTC-CWB-98-E-22 井下應變與地震危險度之分析研究，劉啟清

## 五、其他地震相關應用研究

- MOTC-CWB-80-E-022 台灣東部 1972 年瑞穗地震之板塊構造成因探討，王正松  
 MOTC-CWB-80-E-042 震度調查的規劃與其表格的設計，邱宏智  
 MOTC-CWB-80-E-062 遙記式地震觀測網系統校正方法之研究，劉忠智  
 MOTC-CWB-80-E-102 斷層對震波影響的物理模型研究，謝昭輝  
 MOTC-CWB-81-E-013-1 短周期表面波的生成與傳遞研究(I)，葉永田  
 MOTC-CWB-81-E-053-1 自由場強震儀之安裝設計(I)，許明光  
 MOTC-CWB-81-E-063-1 使用微地動觀估算地震之場址效應，邱宏智  
 MOTC-CWB-81-E-083-1 地形效應對地震波形影響之物理模型研究，謝昭輝  
 MOTC-CWB-81-E-133-1 以反射震測法調查中南部井下地震儀附近之地層構造，楊榮堃  
 MOTC-CWB-81-E-143-1 利用震測探討中央氣象局佳里、九如以及甲仙等三個測震站站址之淺層速度構造，石瑞銓  
 MOTC-CWB-81-E-153-1 嘉南地區地動衰減律之研究，歐國斌  
 MOTC-CWB-81-E-173-1 利用高斯波束法於嘉南地區地殼速度構造研究，陳朝輝  
 MOTC-CWB-82-E-014-1 臺灣地區數個地震目錄的地震定位與規模之評估(I)，葉永田  
 MOTC-CWB-82-E-074-1 二維破裂帶物理模型對震波傳遞影響之研究，謝昭輝  
 MOTC-CWB-82-E-084-1 臺灣地區能量規模之研究(I)，黃柏壽  
 MOTC-CWB-82-E-134-1 地震觀測站站址下之淺層 S 波速度構造研究，石瑞銓  
 MOTC-CWB-82-E-144-1 P- 及 S- 波自動檢取之改進，謝秋霽  
 MOTC-CWB-82-E-164-1 臺灣嘉南地區地震複合斷層面解逆推之研究，陳朝輝  
 MOTC-CWB-82-E-215 中美地震學及地震測報系統發展計畫地震監測系統整合方案建置計畫執行協定第一號報告書，W.H.K Lee  
 MOTC-CWB-83-E-016 中美地震學及地震測報系統發展計畫地震監測系統整合方案建置計畫執行協定第二號報告書，W.H.K Lee  
 MOTC-CWB-83-E-148-2 場址地震反應最佳分析方法，羅俊雄  
 MOTC-CWB-83-E-198-2 加速度地震計自動校驗系統之設計，劉忠智  
 MOTC-CWB-84-E-019 中美地震學及地震測報系統發展計畫地震監測系統整合方案建置計畫執行協定第三號報告書，W.H.K Lee  
 MOTC-CWB-84-E-2012 地震波衰減研究，蔣偉寧  
 MOTC-CWB-85-E-1014 使用三維速度構造之即時地震定位，高 弘  
 MOTC-CWB-87-E-0621 強震震矩規模之快速求取報告(I)，陳朝輝  
 MOTC-CWB-87-E-1321 建立網際網路上之台灣地震資訊系統，李錫堤  
 MOTC-CWB-88-E-0724 快速決定有限斷層之相關震源參數-斷層長、破裂方向、滑移量分布，馬國鳳  
 MOTC-CWB-88-E-0824 強震震矩規模之快速求取研究(II)，陳朝輝  
 MOTC-CWB-88-E-0924 台灣地區災害地震資料庫在地理資訊系統之建立，葉永田  
 MOTC-CWB-88-E-1024 中央氣象局地震資料應用與服務，余騰鐸  
 MOTC-CWB-88-E-1124 台灣地區強震資料網際網路資料查詢系統之建立，李錫堤  
 MOTC-CWB-88-E-1224 地震預測研究現況資訊蒐集與地磁場之地震前兆分析(I)，葉義雄  
 MOTC-CWB-88-E-1324 觸口斷層活動情形監測(I)—利用水準測量方法，王維豪

- MOTC-CWB-88-E-1424 剪波分裂特性於地震預測應用之研究，陳朝輝
- MOTC-CWB-88-E-1524 台灣地區大地震發生前後之地震物理特性研究，林正洪
- MOTC-CWB-89-E-0627 利用振動方向對發生於台灣周遭地區之地震的即時定位，高 弘
- MOTC-CWB-89-E-1327 地震—地理資訊系統資料庫之規劃與設計(II)，葉永田
- MOTC-CWB-89-E-1427 歷史地震災害資料庫在地理資訊系統之建立，鄭世楠
- MOTC-CWB-89-E-1527 台灣地區地震震源機制資料庫之建立，饒瑞鈞
- MOTC-CWB-89-E-1627 中央氣象局地震資料應用與服務(II)，余騰鐸
- MOTC-CWB-89-E-2227 觸口斷層活動情形監測(II)—利用水準測量方法，王維豪
- MOTC-CWB-90-E-0630 使用類神經網路自動判別寬頻地震資料之波相到時，高 弘
- MOTC-CWB-90-E-0730 台灣地區地殼與上部地函剪力波速度研究，黃柏壽
- MOTC-CWB-90-E-1430 地震—地理資訊系統資料庫之規劃與設計(III)，葉永田
- MOTC-CWB-90-E-1530 1935 年新竹—台中地震災害資料在地理資訊系統之建置，鄭世楠
- MOTC-CWB-90-E-1630 台灣地區大地應力場變化資料庫之建置，饒瑞鈞
- MOTC-CWB-90-E-2130 剪波分裂特性於地震預測之應用研究(III)，陳朝輝
- MOTC-CWB-91-E-1433 地理資訊系統在地震資料庫的應用(I)，葉永田
- MOTC-CWB-91-E-1533 災害地震目錄在 GIS 的建置，鄭世楠
- MOTC-CWB-91-E-1633 災害地震報告在 GIS 上之建置，鍾仁光
- MOTC-CWB-92-E-0936 三維衰減構造在地動峰值之推算，陳光榮
- MOTC-CWB-92-E-1236 地理資訊系統在地震資料庫的應用(II)，葉永田
- MOTC-CWB-92-E-1336 災害地震目錄在 GIS 的建置(II)，鄭世楠
- MOTC-CWB-92-E-1436 建置集集大地震和 1994 南澳地震之地理資訊系統，鍾仁光
- MOTC-CWB-93-E-0839 大地震後應力轉移與其餘震關係之探討，馬國鳳
- MOTC-CWB-93-E-1439 地理資訊系統在地震資料庫的應用(III)，葉永田
- MOTC-CWB-93-E-1539 災害地震目錄在 GIS 的建置(III)，鄭世楠
- MOTC-CWB-93-E-2439 陽明山竹子湖氣象站之地電探勘，陳平護
- MOTC-CWB-94-E-1142 地震資訊即時傳遞方案之規劃，王勝德
- MOTC-CWB-94-E-2242 台灣東部海域海底觀測系統建置評估，許樹坤
- MOTC-CWB-95-E-1145 地震資訊即時傳遞方案之規劃(II)，王勝德
- MOTC-CWB-95-E-1746 台灣西部平原土壤液化潛勢分析與評估，簡顯光
- MOTC-CWB-95-E-2545 台灣東部海域海底電纜觀測系統建置規劃，許樹坤
- MOTC-CWB-95-E-2745 地震資訊服務內容之社會效益評估及改善方案，黃榮村
- MOTC-CWB-96-E-07 強地震與弱地震起始波相探討，馬國鳳
- MOTC-CWB-96-E-19 台灣地區前震時空變化特性，林正洪
- MOTC-CWB-96-E-20 剪波分裂與 P 波頻散衰減研究，陳朝輝
- MOTC-CWB-96-E-25 地震資訊內容與傳播方式之規劃與建置：以一般民眾與易受災之關鍵機構為對象，黃榮村
- MOTC-CWB-96-E-24 依強震資料評估嘉南平原土壤液化之潛勢分析，簡顯光
- MOTC-CWB-96-E-26 台灣東部海域電纜觀測系統建置諮詢研究，許樹坤
- MOTC-CWB-97-E-07 強地震與弱地震起始波相探討(II)，馬國鳳
- MOTC-CWB-97-E-11 地震震源機制即時波形逆推系統之發展—頻率波數法，趙里
- MOTC-CWB-97-E-19 台灣地區前震時空變化特性(II)，林正洪
- MOTC-CWB-97-E-20 剪波分裂與 P 波頻散衰減研究(II)，陳朝輝
- MOTC-CWB-97-E-24 震度分布的震源效應研究，葉永田

- MOTC-CWB-97-E-25 地震社會易損性與有效資訊內容傳播方式之探討：以不同類型民眾與社區為對象，黃榮村
- MOTC-CWB-97-E-27 台灣東部海域電纜觀測系統建置諮詢研究(II)，許樹坤
- MOTC-CWB-98-E-07 強地震與弱地震起始波相探討(III)，馬國鳳
- MOTC-CWB-98-E-11 地震震源機制即時波形逆推系統之發展－頻率波數法(II)，趙里
- MOTC-CWB-98-E-19 台灣地區前震時空變化特性(III)，林正洪
- MOTC-CWB-98-E-20 剪波分裂與 P 波頻散衰減研究(III)，陳朝輝
- MOTC-CWB-98-E-23 震度分布的震源效應研究(II)，葉永田
- MOTC-CWB-98-E-25 海床雜訊及外海地震定位之評估，郭本垣
- MOTC-CWB-98-E-27 海底地震觀測系統諮詢研究，李昭興

## 六、海嘯相關研究

- MOTC-CWB-83-E-128-1 台灣近海地區海嘯數值模擬，許明光
- MOTC-CWB-84-E-1111 臺灣及其鄰近地區之海嘯，許明光
- MOTC-CWB-85-E-1114 臺灣地區近地海嘯地震的危害性評估，馬國鳳
- MOTC-CWB-87-E-0921 台灣沿海海嘯波形計算在觀測作業上之應用研究，馬國鳳
- MOTC-CWB-95-E-2645 我國東北角海嘯警報系統建立之初始研究，李昭興
- MOTC-CWB-96-E-27 台灣西南部海嘯警報系統建立之初始研究，李昭興
- MOTC-CWB-97-E-26 台灣地區海域地震與海嘯發生之關聯性研究，李昭興
- MOTC-CWB-98-E-26 利用單位海嘯模擬來建立台灣海域近海海嘯預警系統，陳伯飛