

# 近年來台灣地區災害地震報告之整理與編撰

鍾仁光

成功大學研究總中心

高苑技術學院防災研究中心

張建興 吳逸民 江嘉豪

中央氣象局地震測報中心

## 摘 要

台北時間 1999 年 9 月 21 日凌晨 1 時 47 分 16 秒（格林威治時間為 9 月 20 日 17 時 47 分 16 秒），台灣中部的南投縣集集鎮附近發生芮氏規模（ $M_L$ ）為 7.3 之強烈地震，中央氣象局將此次地震命名為集集大地震。根據歷史地震記錄，本次地震為近百年來台灣陸地上規模最大的一次，造成嚴重的人民傷亡及財物損失。本計劃從地震觀測、地震活動和地震消息發布的角度整理成一份地震報告，其架構參考日本氣象廳與氣象局早期幾次重大災害地震報告的內容與格式，編撰了集集大地震之地震報告，以提供中央氣象局作為參考。

On 21 September 1999, at 1:47:16 a.m. local time (20 September 17:47:16 UTC), a major earthquake of  $M_L$  7.3 occurred near the town Chi-Chi in central Taiwan. This event was named Chi-Chi earthquake. This is the largest earthquake to occur on the island in the past hundred years and also had caused severe damage. This project complete a report emphasized on the seismic observations, seismicity and the announcement of earthquake information for this earthquakes. This report can be a reference to the CWB staff.

# 集集大地震報告

中華民國八十八年九月二十一日

**Report on Chi-Chi Earthquake of  
September 21, 1999**

鍾仁光 編

中華民國九十年十二月

民國八十八年  
九月二十一日

# 集集大地震報告

Report on Chi-Chi Earthquake of September 21, 1999

## 目 錄

Contents

### 圖與照片 (Figures and Photographs)

1. 地震紀錄 (Seismograms)
2. 地震災害照片 (Photographs of earthquake damage)
3. 特殊地質現象照片 (Photographs of abnormal phenomena)
4. 台灣中部地區行政區域圖 (Map of central Taiwan district)
5. 車籠埔斷層破裂帶分布圖 (Map of Chelungpu fault)
6. 台灣活斷層分布圖 (Map of active faults)
7. 台灣中部區域地質圖 (Geological map of central Taiwan)
8. 台灣地形圖 (Topographic map of Taiwan)
9. 台灣地震帶 (Seismic zone of Taiwan)

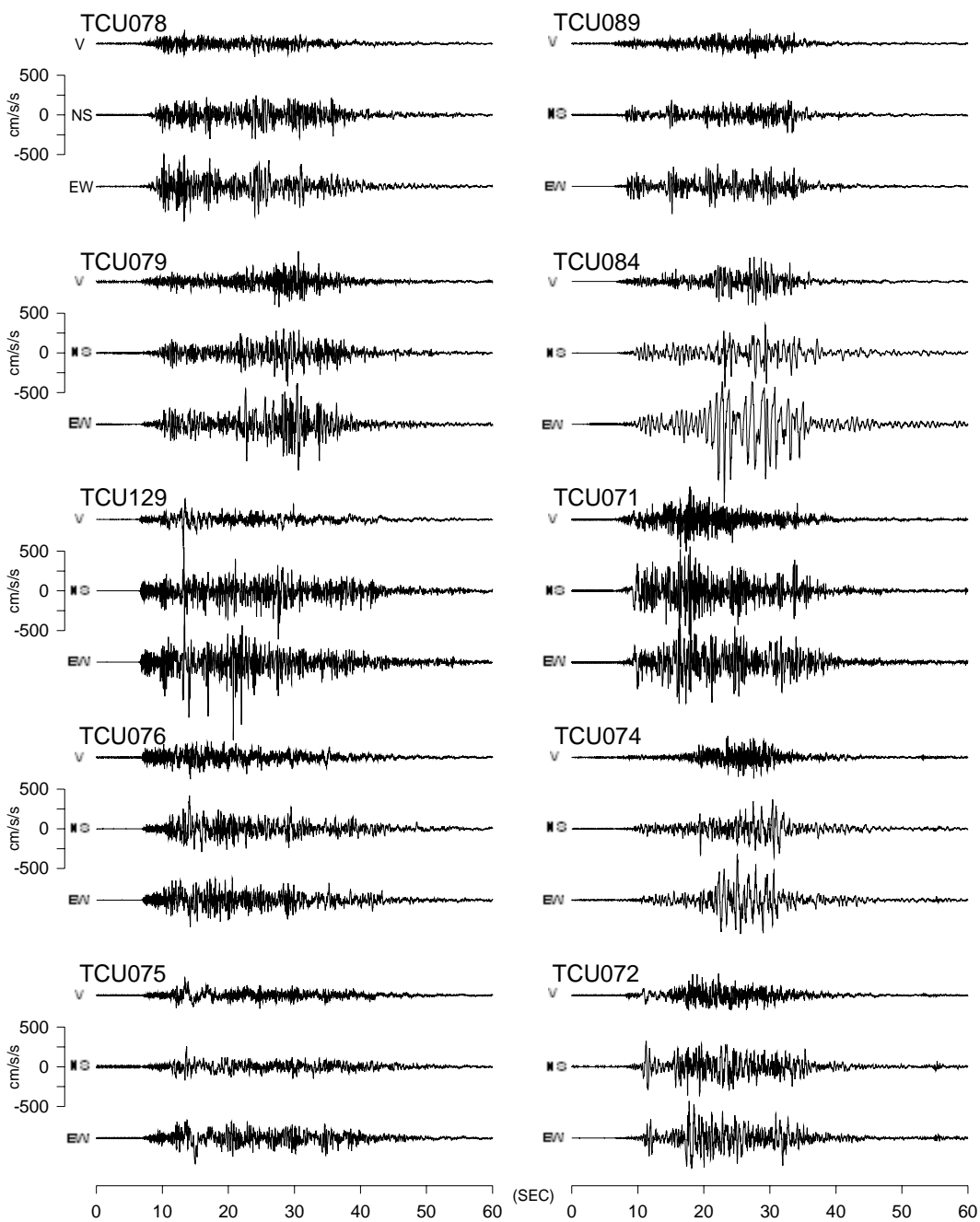
### 本文 (Text)

- 壹、緒言 (Introduction)
- 貳、地震觀測結果 (Results of observations)
- 參、餘震調查分析 (Analysis of aftershocks)
- 肆、地震消息之發布 (Reporting on earthquake information)
- 伍、災害統計資料 (Statistics on the damages)
- 陸、區域地質概況 (General geologic setting)
- 柒、地震伴隨之地質現象 (Accompanying phenomena)
- 捌、結論 (Conclusions)
- 玖、參考文獻 (References)

# 中央氣象局強地動觀測站地震紀錄圖

(震度六級之三分量加速度歷時紀錄)

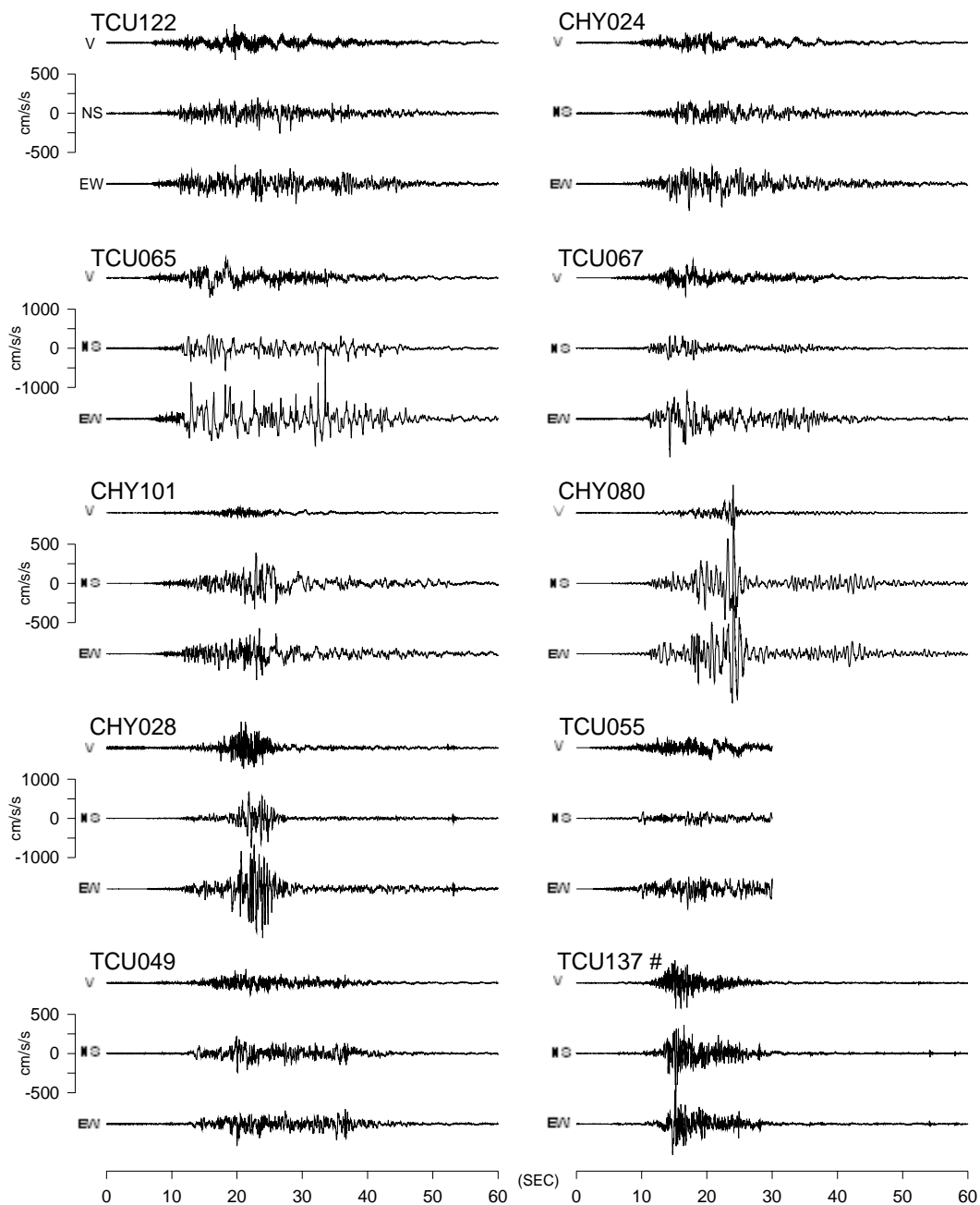
地震儀型號為Teledyne Geotech A900



# 中央氣象局強地動觀測站地震紀錄圖

(震度六級之三分量加速度歷時紀錄)

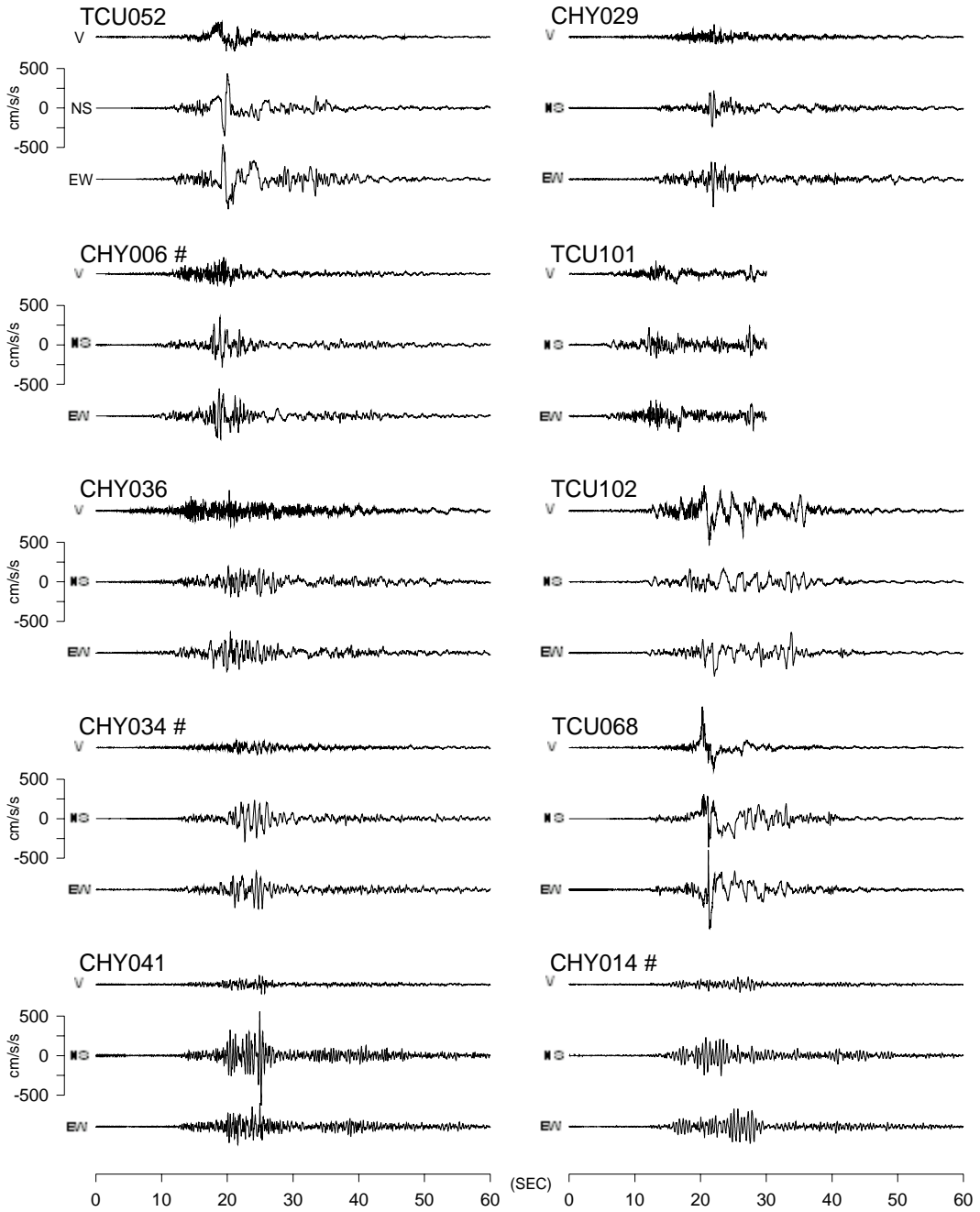
地震儀型號為Teledyne Geotech A900 或Terra Tech IDS-3602(標示#者)



# 中央氣象局強地動觀測站地震紀錄圖

(震度六級之三分量加速度歷時紀錄)

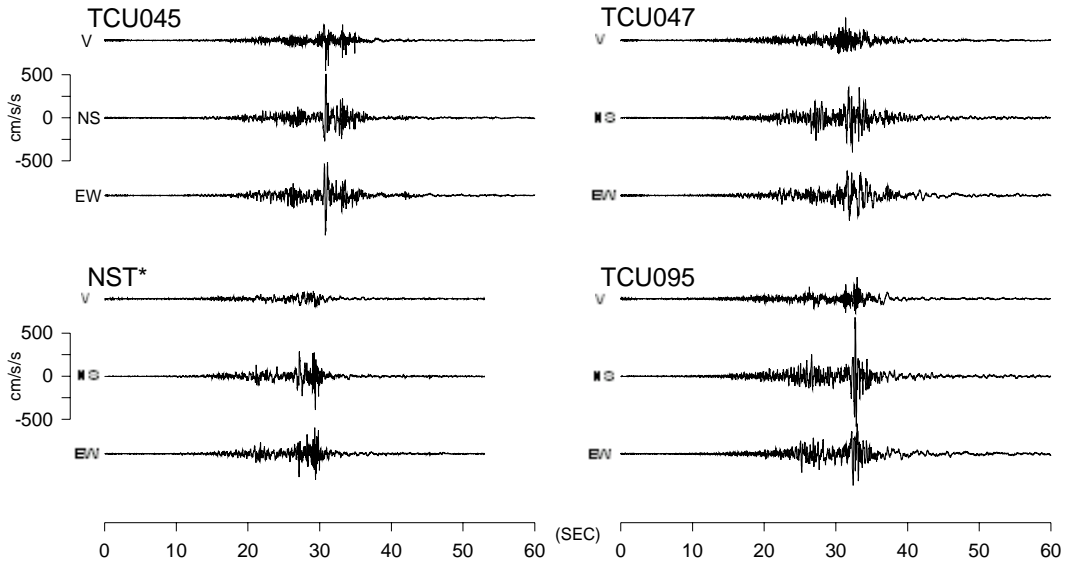
地震儀型號為Teledyne Geotech A900 或Terra Tech IDS-3602(標示#者)



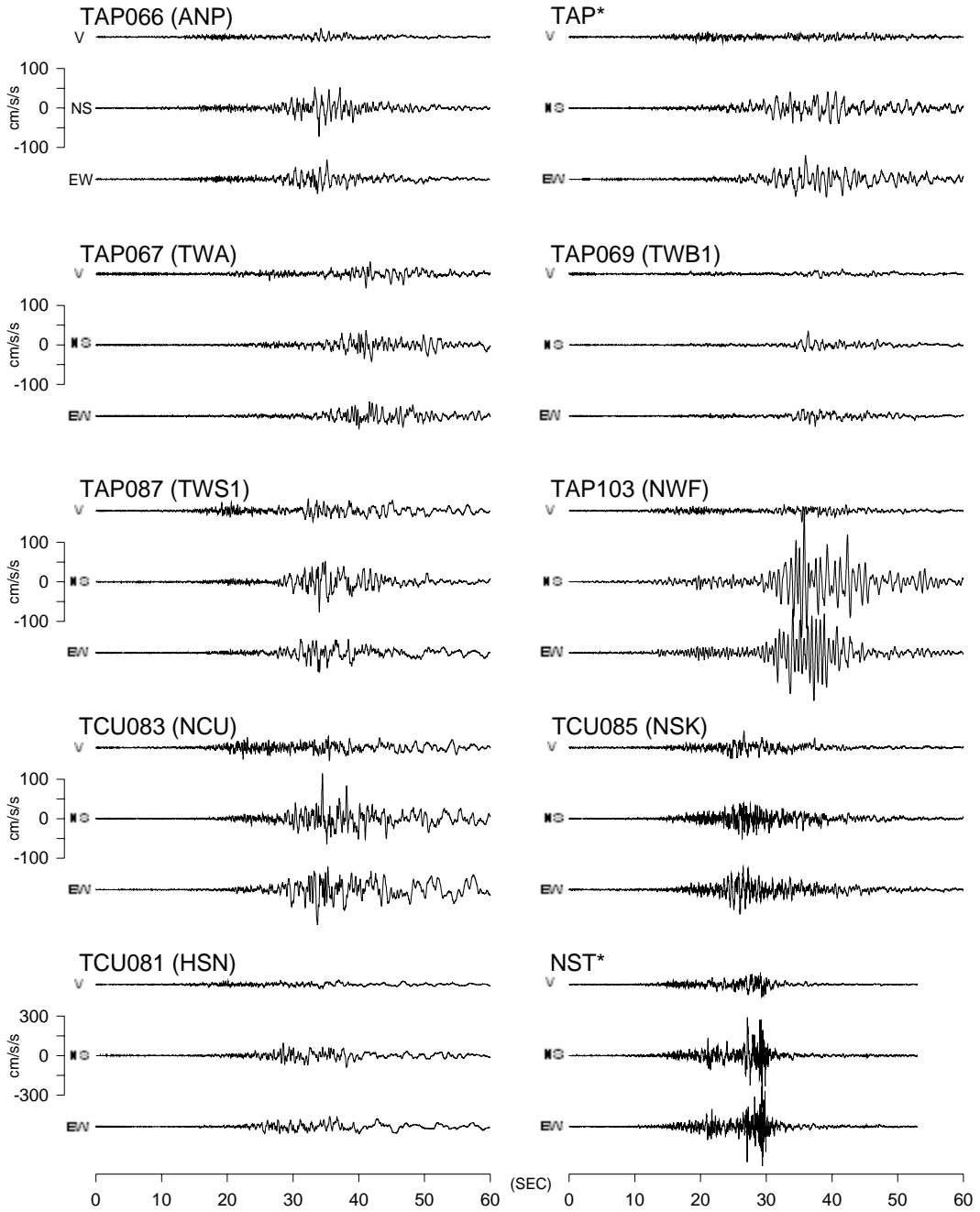
# 中央氣象局強地動觀測站地震紀錄圖

(震度六級之三分量加速度歷時紀錄)

地震儀型號為Teledyne Geotech A900、A800(標示\*者)

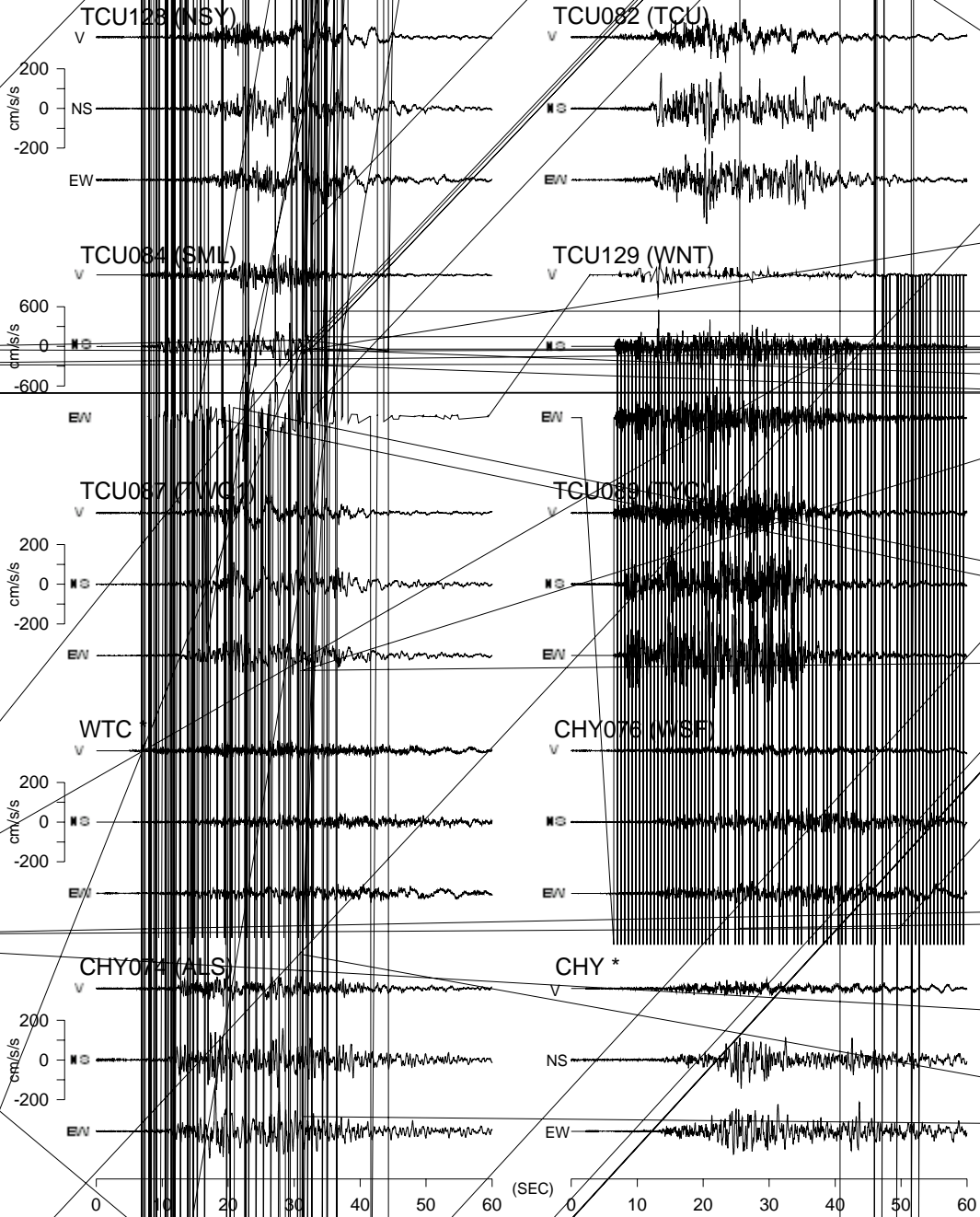


**中央氣象局強地動觀測站地震紀錄圖**  
 (中央氣象局即時地震觀測網之三分量加速度歷時紀錄)  
 地震儀型號為Teledyne Geotech A900、A800(標示\*者)

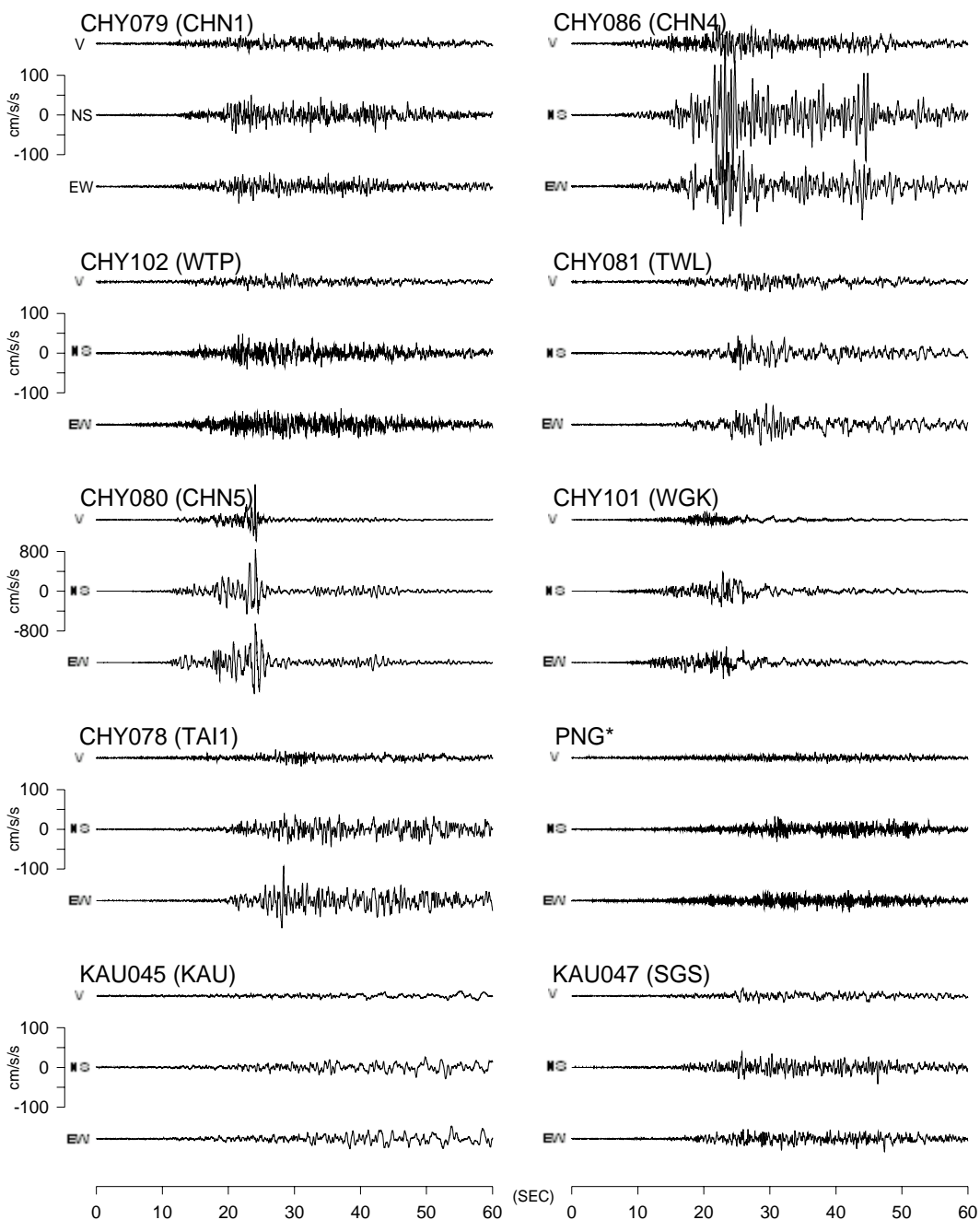


# 中央氣象局強地震觀測站地震紀錄圖

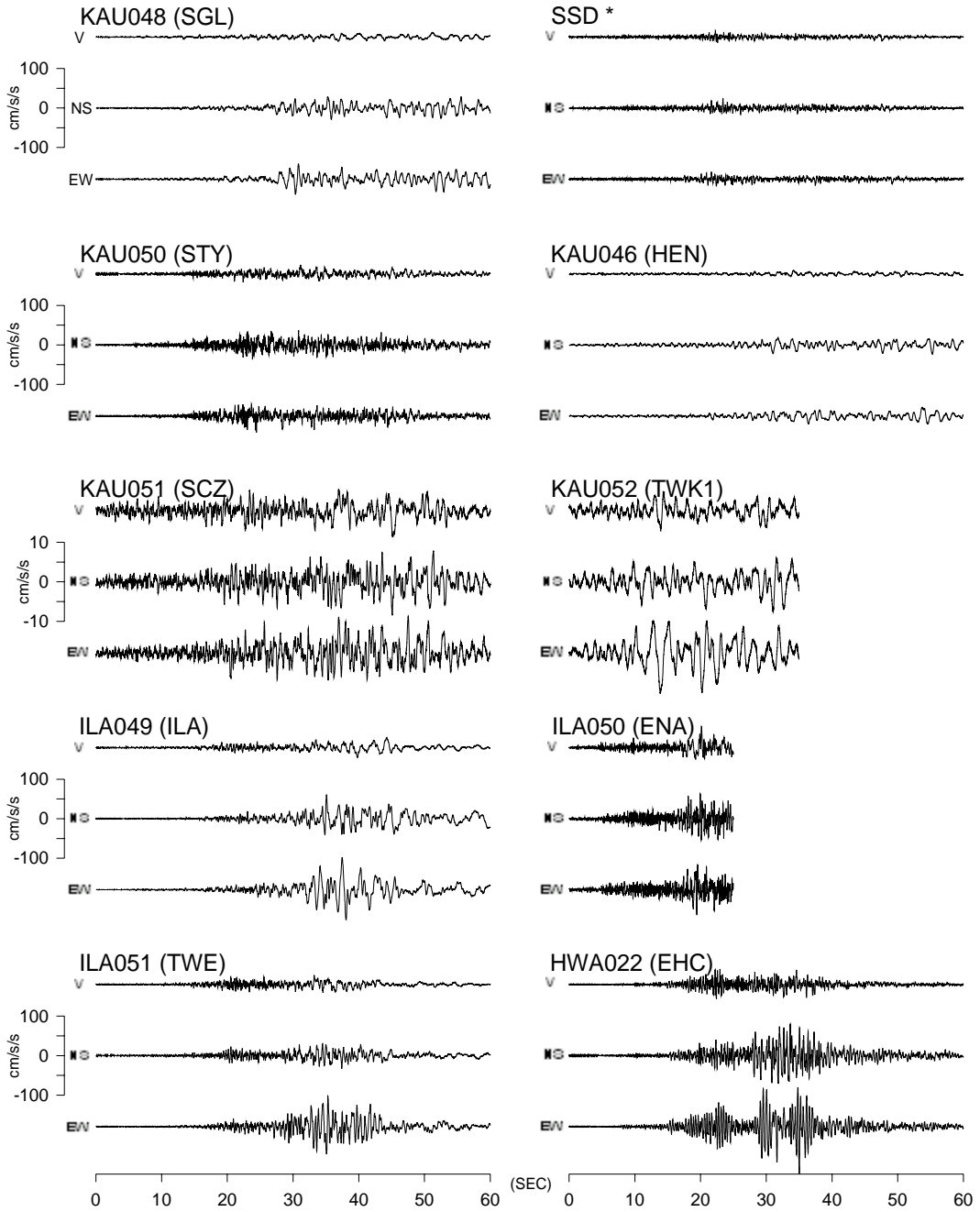
(中央氣象局強地震觀測網之三分量加速度歷時紀錄)  
地震儀型號為 Teledyne Geotech A900、A800(標有\*者)



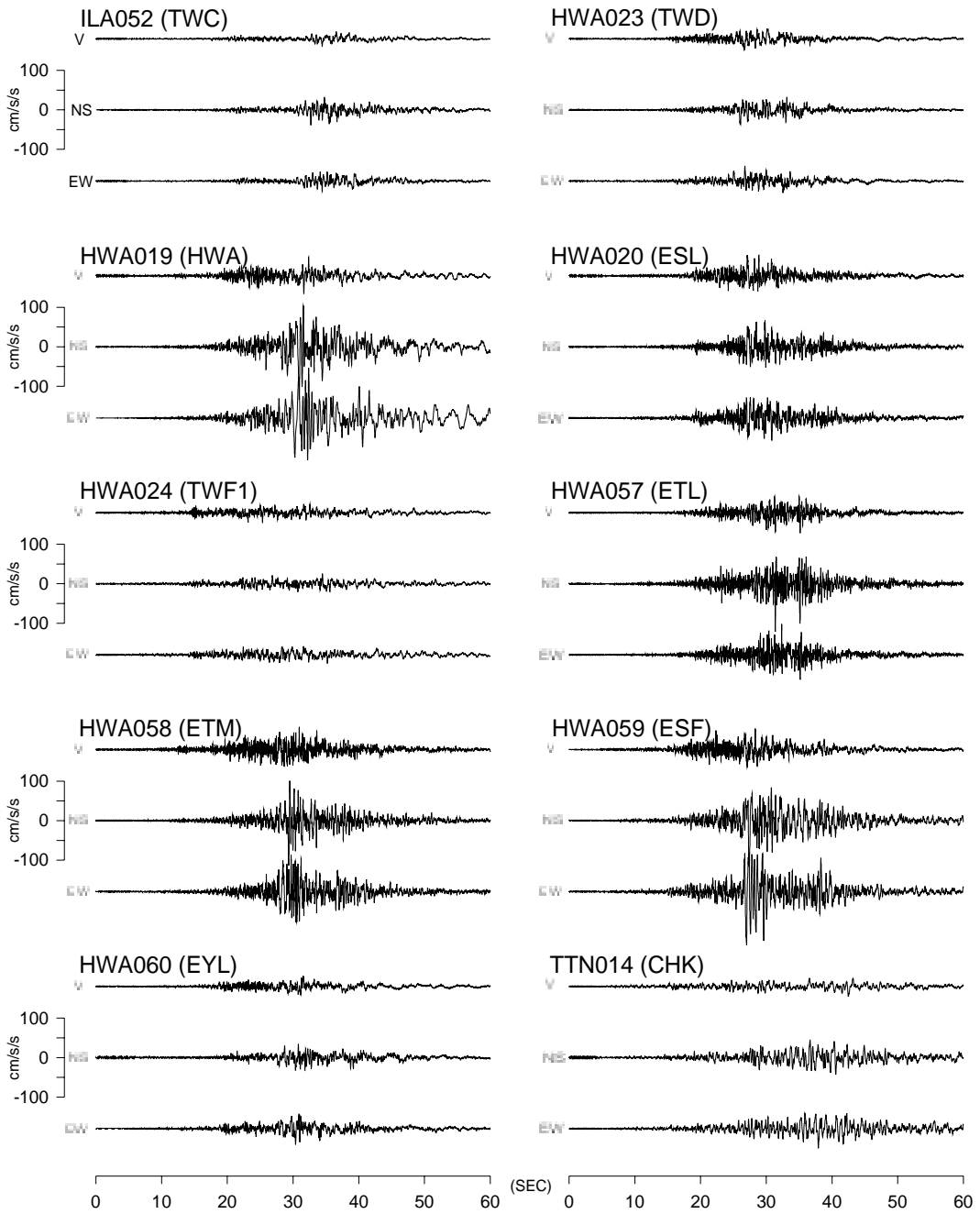
**中央氣象局強地動觀測站地震紀錄圖**  
 (中央氣象局即時地震觀測網之三分量加速度歷時紀錄)  
 地震儀型號為Teledyne Geotech A900、A800(標示\*者)



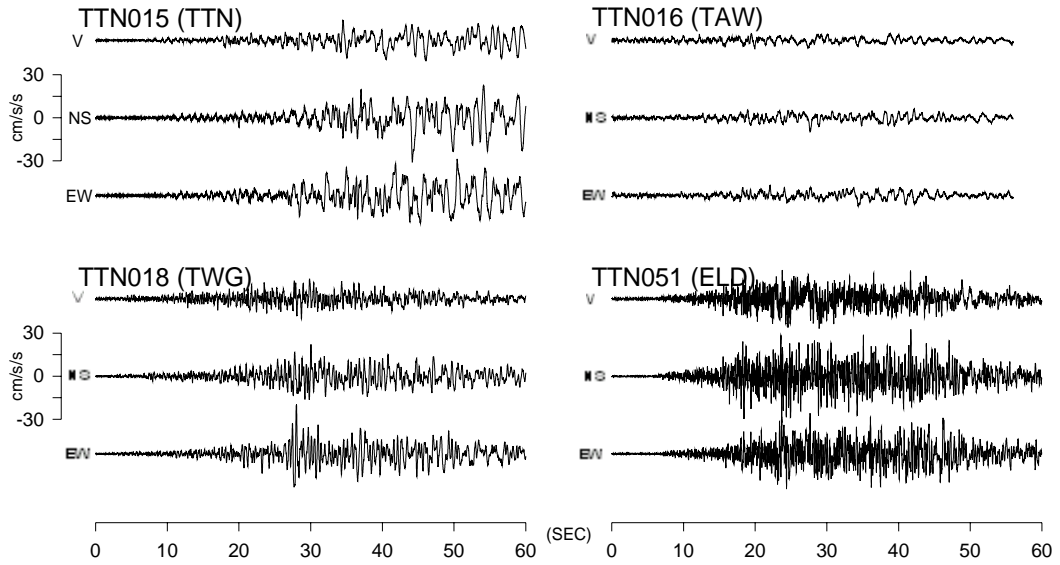
**中央氣象局強地動觀測站地震紀錄圖**  
 (中央氣象局即時地震觀測網之三分量加速度歷時紀錄)  
 地震儀型號為Teledyne Geotech A900、A800(標示\*者)



**中央氣象局強地動觀測站地震紀錄圖**  
 (中央氣象局即時地震觀測網之三分量加速度歷時紀錄)  
 地震儀型號為Teledyne Geotech A900



中央氣象局強地動觀測站地震紀錄圖  
(中央氣象局即時地震觀測網之三分量加速度歷時紀錄)  
地震儀型號為Teledyne Geotech A900



## 地震災害照片



照片 A1、位於大甲溪上的碑豐橋破壞情形。



照片 A2、中台醫專前社區住宅破壞情形。



照片 A3、豐勢路附近某新建社區騎樓破損情形。



照片 A4、石岡水壩北側壩體受損情形。



照片 A5、霧峰鄉光復國中操場跑道隆起。



照片 A6、豐勢路附近稻田隆起現象。

## 地震災害照片



照片 A7、國姓鄉九份二山震後景觀。



照片 A8、九九峰震後景觀與災民帳棚。



照片 A9、霧峰光復國中教室破壞情形。



照片 A10、台中廓子坑路民房破損情形。



照片 A11、中寮鄉衛生所一樓被震垮。



照片 A12、霧峰鄉中正路上一棟建築倒塌現場。

## 地震災害照片



照片 A13、台中市德昌大樓破損情形。



照片 A14、台北松山區東星大樓倒塌現場。

## 特殊地質現象照片



照片 B1、草屯鎮隘寮橋岸道路下陷。



照片 B2、彰化縣伸港鄉的土壤液化現象。



照片 B3、員林鎮員水路土壤液化噴沙現象。

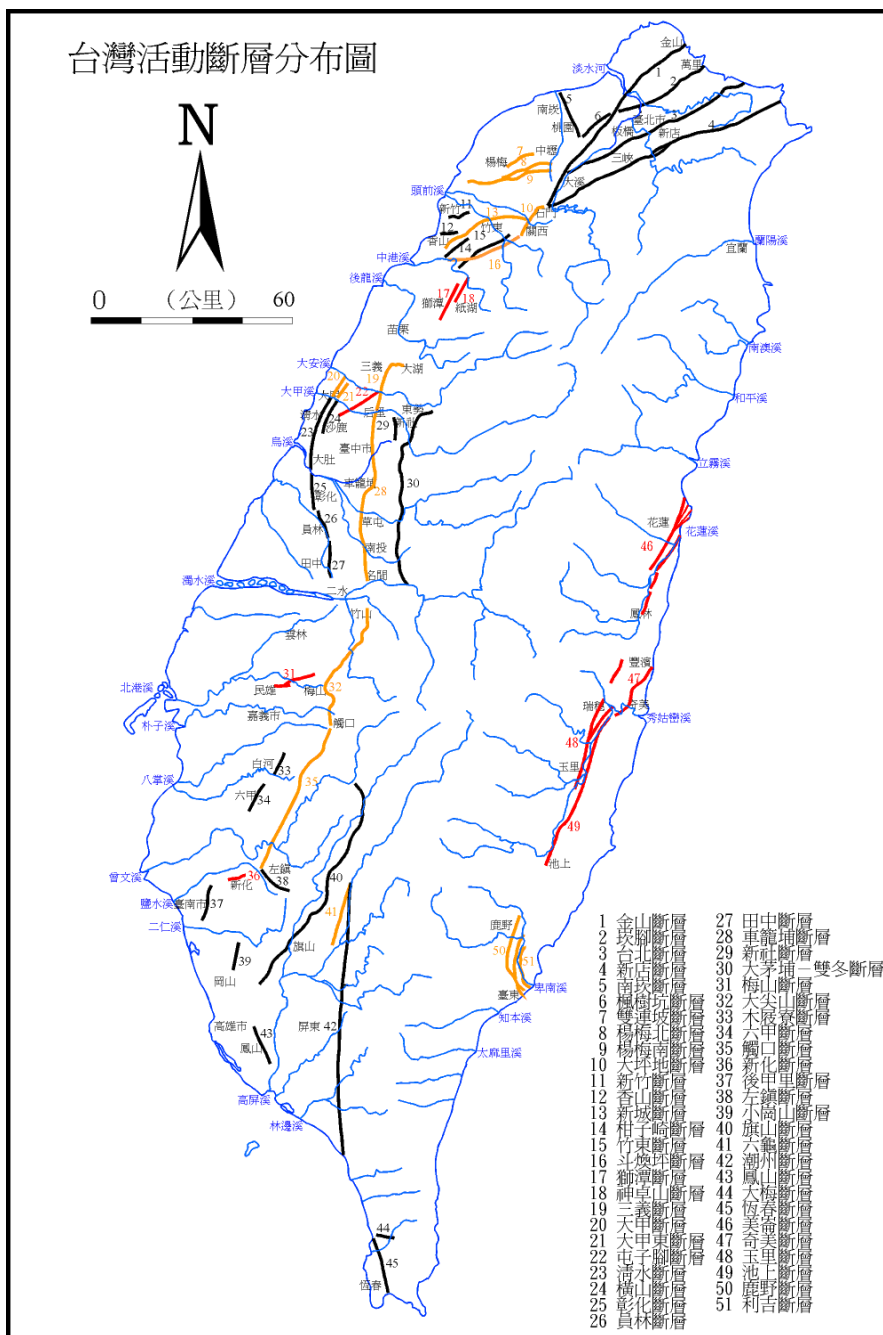


照片 B4、員林鎮員水路水井之噴沙現象。



照片 B5、台中港碼頭因土壤液化而下陷。





台灣活動斷層分布圖。紅色表示第一類活動斷層；橘色，第二類；黑色，存疑性。本圖係依五十萬分之一分布圖縮繪。

經濟部中央地質調查所

圖 A3、台灣活動斷層分布圖。(資料來源：經濟部中央地質調查所)

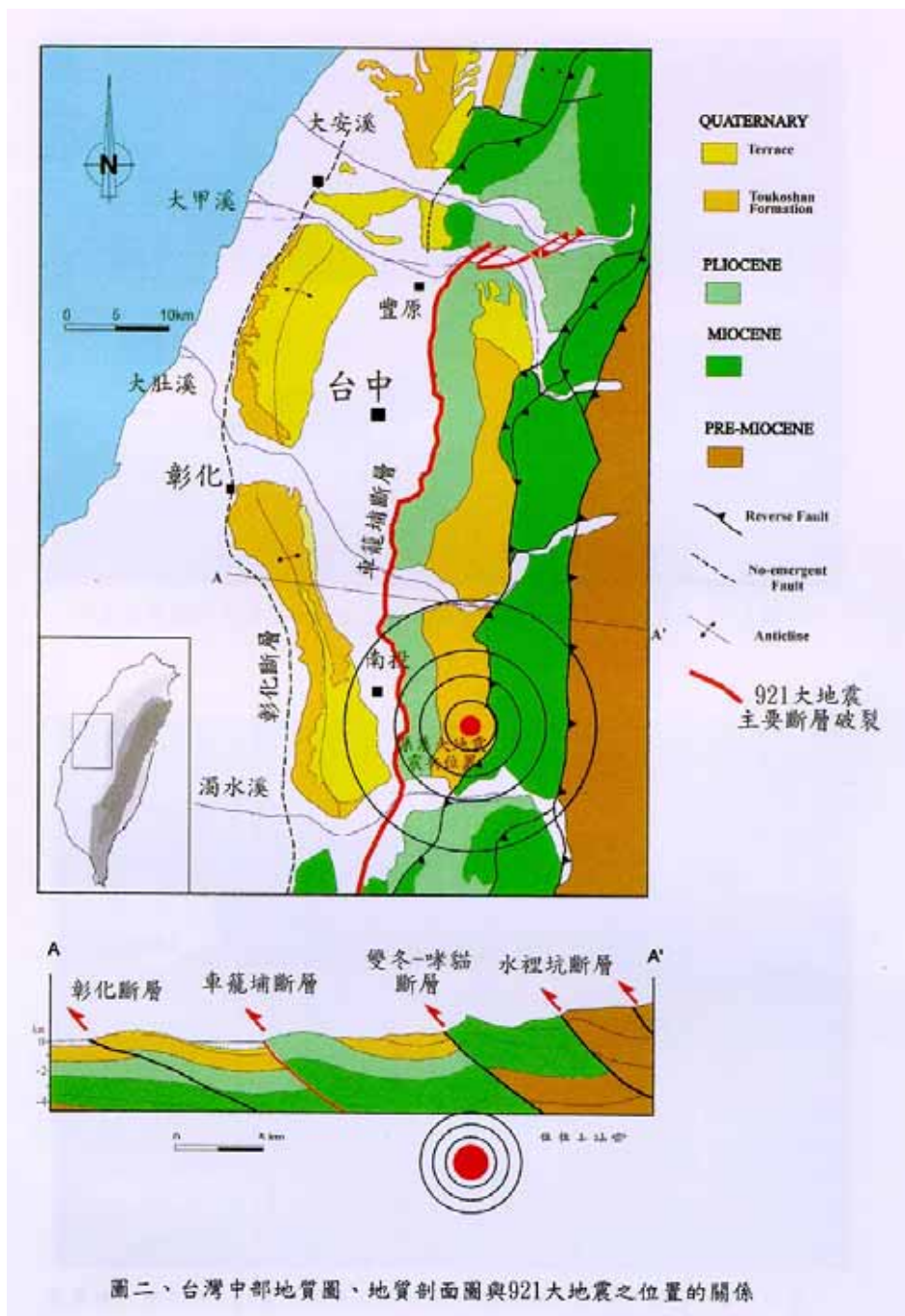


圖 A4、台灣中部區域地質圖與地質剖面圖。(資料來源：李建成等人，1999)

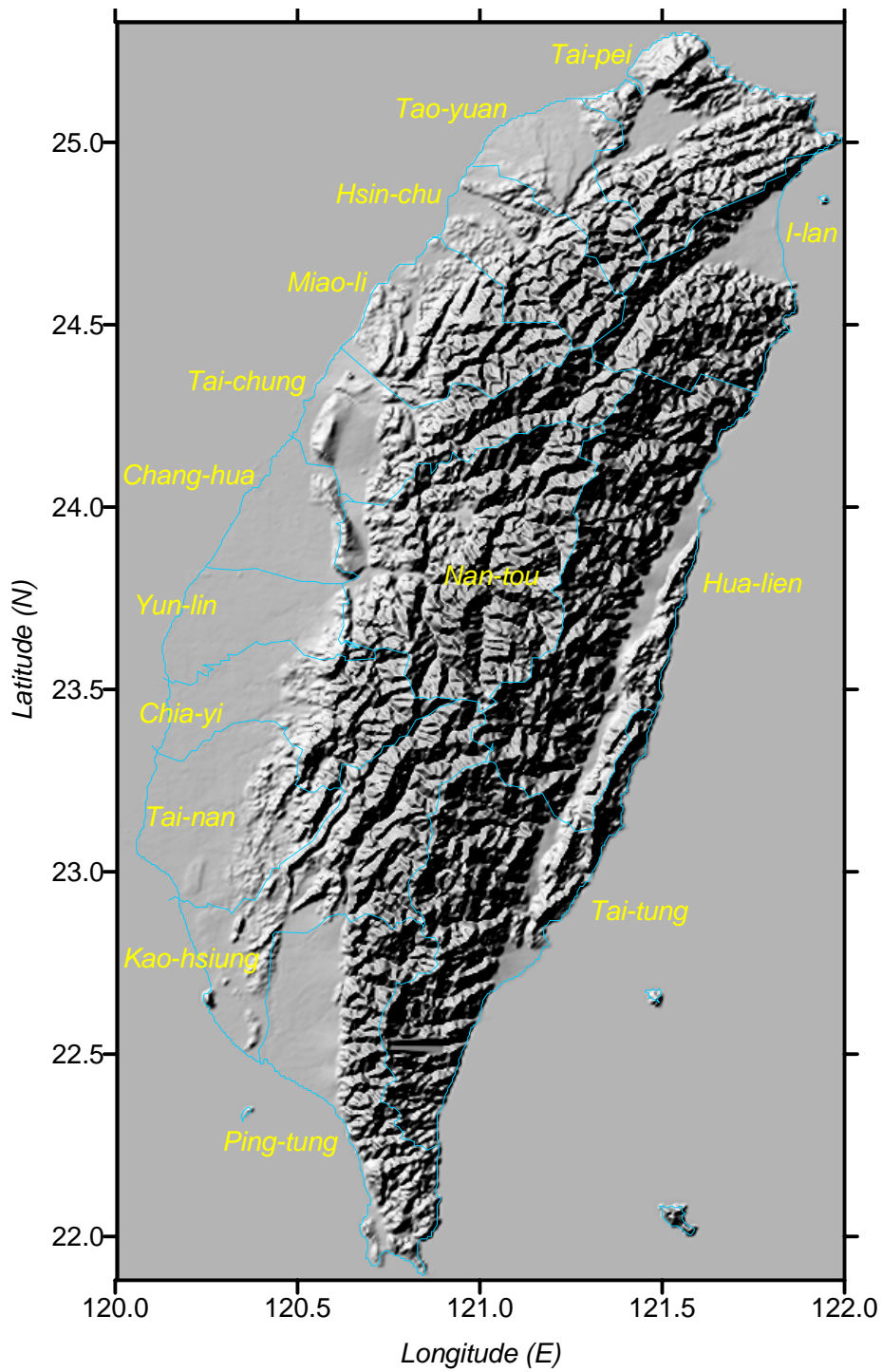


圖 A5、台灣地形圖。(藍色細線為縣界)

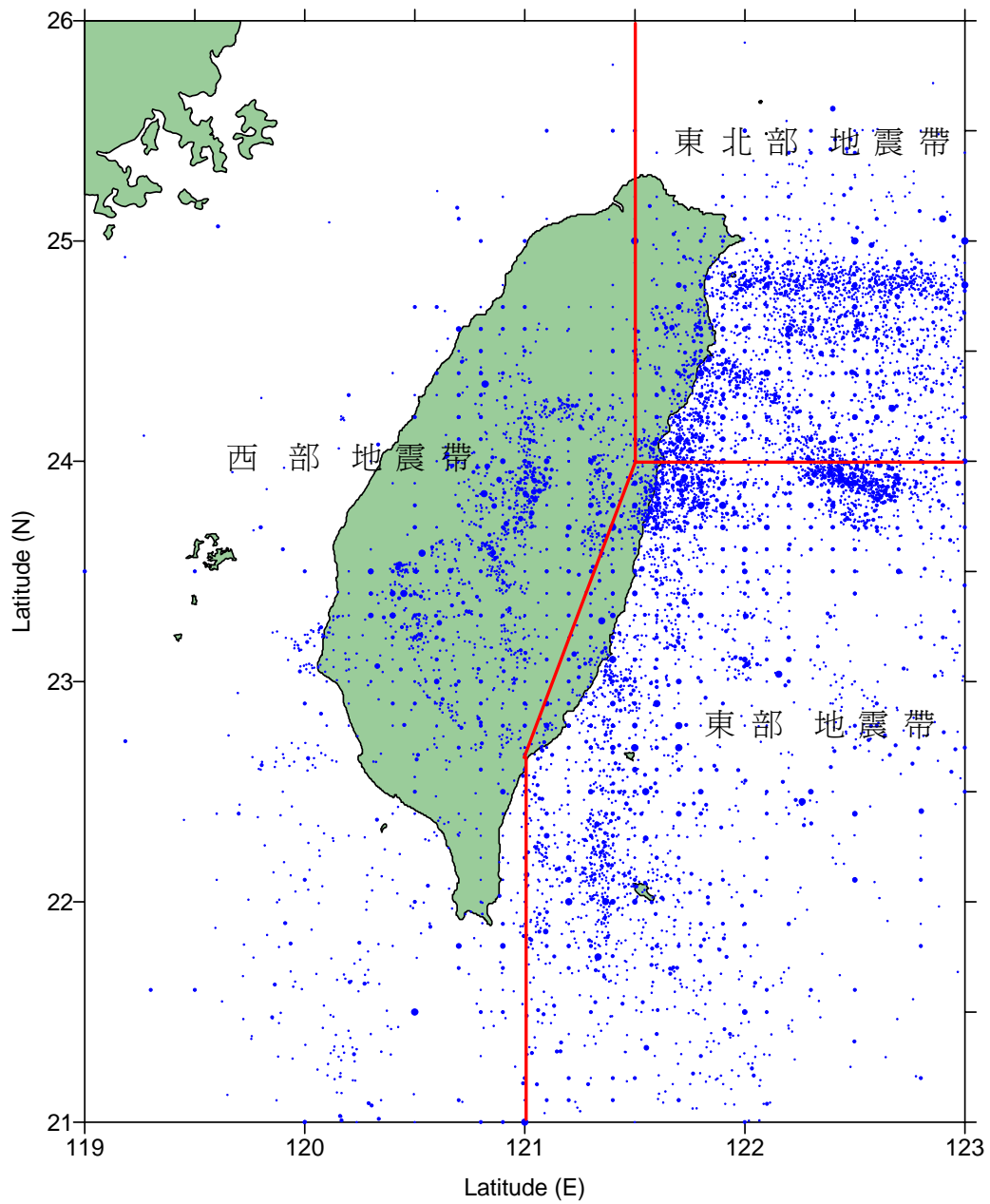


圖 A6、台灣的地震帶分布。圖中的圓點為 1900 年至 1999 年規模大於 4 的地震震央位置。

## 壹、緒言

台北時間 1999 年 9 月 21 日凌晨 1 時 47 分 16 秒（格林威治時間為 9 月 20 日 17 時 47 分 16 秒），台灣中部的南投縣集集鎮附近發生芮氏規模（ $M_L$ ）為 7.3 之強烈地震（ $M_w$  7.6），中央氣象局將此次地震命名為集集大地震。根據歷史地震記錄，本次地震為近百年來台灣陸地上規模最大的一次，造成嚴重的人民傷亡及財物損失。根據內政部消防署公布之地震災害災情統計資料（截至 1999 年 12 月 30 日止），全省各地死亡共計 2,415 人、失蹤 29 人、受傷計 11,305 人、房屋全倒計有 51,711 戶、半倒者有 53,768 戶、20 餘座橋樑嚴重損壞。若以死亡人數當作災害程度的比較基數，此次地震僅次於 1935 年 4 月 21 日新竹—台中烈震（ $M_L=7.1$ ），為台灣地區有地震紀錄以來的第二大災害地震。雖然集集大地震的死亡人數略少於新竹—台中烈震，但是房屋建築的倒塌數量遠遠超過當時，顯示社會背景、房屋構造與家庭人口結構有相當大的差異。綜合各界所估計之財物損失，此次地震約造成新台幣 3,000 億至 5,000 億元間之有形財物損失，災後復原、國家經濟衝擊以及社會層面的無形損失則難以估計。

根據中央氣象局地震測報中心的定位結果指出，震央位置在南投縣集集鎮附近，即北緯 23.86 度、東經 120.82 度，震源深度為 8.0 公里。地震發生後，包括中央地質調查所在內的許多研究單位及機構所各自派出的野外調查結果顯示，地震地表的破裂往南到達南投縣竹山鎮，往北則到苗栗縣卓蘭鎮，沿著車籠埔斷層綿延長達約一百公里。由於地表顯著的錯動，使得竹山、名間、南投、埔里、中寮、國姓、草屯、霧峰、大里、太平、台中、豐原、石岡、東勢等鄉鎮市地區，震度達到六級，造成房屋嚴重的破壞，人員的死傷亦最為慘重。而苗栗縣、台中縣、彰化縣、雲林縣、嘉義縣等部分地區的震度達到五級，台北縣市、桃園縣、新竹縣、宜蘭縣、花蓮縣、台東縣、台南縣、高雄縣等大部分地區的震度為四級，以上地區均傳出程度不一的災情，僅有台灣島最北端的基隆地區以及最南端的屏東縣和恆春半島的震度為兩級，沒有造成明顯災害，有感距離半徑超過三百公里，屬於顯著地震。

## 貳、地震觀測結果

台北時間 1999 年 9 月 21 日凌晨 1 時 47 分左右，中央氣象局的即時地震觀測系統偵測到台灣地區發生大規模地震，位於觀測機房內的熱感式連續波形記錄器上，許多位於全省不同地方的測站信號呈現嚴重剪裁現象，而中部地區絕大部分的測站卻因電源中斷或因強烈震動遭到破壞，導致無法將信號傳送回來。不過值班人員仍利用僅餘的即時測站資料進行地震定位之電腦作業。CWBSN 的測站 P

波初動時間讀值表列於表一，表中的 P 波初動到時殘餘是以修正後的發震時間（1 時 47 分 15.85 秒）與震央位置（北緯 23.85 度、東經 120.82 度、震源深度 8 公里）所計算出來的，而在垂直分量記錄上所讀取之 P 波初動相位緩急度則表現在權重，清晰急促至模糊緩慢之權重值乃由 0 增至 4。

當確定震央位置在南投縣集集鎮附近，隨即在地震發生後 5 分鐘，發布 1999 年編號為第 43 號的有感地震報告，初步定位結果：發震時間為 9 月 21 日 1 時 47 分 12.6 秒、震央位置為北緯 23.85 度、東經 120.78 度、震源深度 1.1 公里、芮氏( $M_L$ )規模為 7.3。並根據震央位置所在命名為集集大地震，為二十世紀台灣陸地規模最大的一次地震，此事件震驚了全球。表二列出二十世紀台灣地區最嚴重災害的地震資料（鄭世楠等人，1999）以及本次地震，而各災害地震的震央位置則顯示於圖一，幾乎都發生在台灣中部至東部地區。集集地震初步的地震報告分別透過電子郵件、傳真存轉、全球資訊網(<http://www.cwb.gov.tw>)等多重管道傳送給全國各地的防救災單位、政府相關部門、專家學者及大眾傳播媒體等單位，並透過局內 166 和 167 氣象錄音服務專線發布此一重大地震消息。不過，在此之前，中央氣象局的地震速報系統於地震發生後 102 秒左右，即早一步自動計算出相關地震參數以及各地震度，該系統之初步定位結果如下：發震時間為 9 月 21 日 1 時 47 分 15.9 秒、震央位置為北緯 23.87 度、東經 120.75 度、震源深度 10.1 公里、芮氏( $M_L$ )規模為 7.3。地震速報系統所獲得之初步地震報告亦透過電子郵件、呼叫器、傳真存轉、全球資訊網等途徑發布，尤其是中央氣象局相關人員、中央及地方消防單位首長等少數配有專用呼叫器的搶救災指揮官員，可以在第一時間獲取地震震央位置、地震規模、九大都會區的最大震度等簡訊。

表一、集集地震主震中央氣象局即時觀測網觀測一覽表

測站代碼	測站名稱	P波初動方向 (+為上,-為下)	P波初動時間		P波到時 殘餘(秒)	P波初動 權重	震央距離 (km)
			分	秒			
SML	日月潭	+	47	18.66	-0.05	0.0	9.3
WNT	名間		47	19.21	-0.29	0.0	13.7
WGK	古坑	+	47	23.06	0.30	0.0	31.6
TCU	台中	+	47	23.57	0.08	0.0	35.8
ALS	阿里山		47	24.04	0.21	0.0	37.7
YUS	玉山		47	24.56	-0.19	0.0	43.0
TWQ1	鯉魚潭	+	47	26.89	-0.01	1.0	55.2
CHY	嘉義	+	47	27.15	0.14	1.0	55.9
NSY	三義	+	47	28.49	0.28	1.0	62.9
WSF	四湖	+	47	27.94	-0.62	3.0	65.0
CHN7	六腳		47	29.49	-0.20	2.0	71.8
TWL	新營	-	47	29.73	-0.13	0.0	72.8

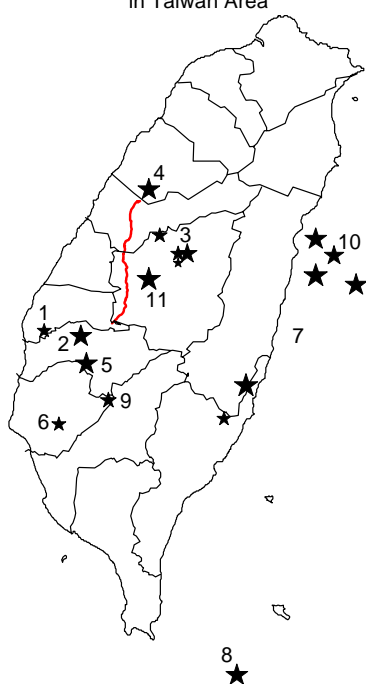
ELD	利稻		47	29.82	-0.58	1.0	76.2
CHN8	義竹	-	47	31.25	-0.24	2.0	83.2
NST	獅頭山		47	32.22	-0.08	2.0	88.4
SCL	佳里	-	47	33.77	-0.04	2.0	98.1
CHK	成功	-	47	35.09	0.93	3.0	100.4
HSN	新竹		47	35.48	0.37	3.0	106.5
TAI1	永康	-	47	35.55	0.21	1.0	108.0
TWG	台東1	-	47	37.16	0.41	1.0	117.1
TWM1	旗山	-	47	38.19	0.88	3.0	120.7
SSD	三地門	-	47	37.67	-0.12	1.0	123.8
TTN	台東	-	47	39.28	1.13	3.0	126.1
SGL	九如	-	47	39.40	0.80	3.0	129.0
NCU	中央大學		47	38.57	-0.12	4.0	129.5
PNG	澎湖	+	47	37.53	-1.54	3.0	132.3
WDG	東吉	-	47	38.36	-1.08	3.0	135.0
ECL	嘉蘭	-	47	40.19	0.12	2.0	139.5
TAP1	台北1		47	40.90	-0.59	3.0	149.9
KAU	高雄		47	41.82	0.14	3.0	151.3
SCZ	春日	-	47	43.47	-0.10	2.0	165.0
TAW	大武	-	47	44.13	0.48	2.0	165.6
WLC	小琉球		47	44.78	0.14	3.0	172.8
HEN	恆春	-	47	48.66	-0.34	3.0	204.5
TWK1	恆春1	-	47	49.41	-0.51	2.0	211.2
LAY	蘭嶼		47	49.18	-1.17	3.0	214.4
KNM	金門		47	51.65	-3.61	4.0	250.1

表二、台灣地區二十世紀重大災害地震一覽表

編號	地震名稱	發震時間 (120°E)	震央位置		震源 深度 (公里)	地震 規模 (M <sub>L</sub> )	人員傷亡		房屋損毀		
			°E	°N			死亡	受傷	全倒	半倒	破損
1	斗六地震	1904/11/06 04:25	120.25	23.58	7	6.1	145	157	611	1,112	2,067
2	梅山地震	1906/03/17 06:43	120.45	23.55	6	7.1	1,275	2,480	8,663	5,888	19,179
3	南投地震系列	1916/08/28 15:27	121.03	24.00	45	6.8	70	306	1,212	1,821	6,588
		1916/11/15 06:31	120.88	24.10	3	6.2					
		1917/01/05 00:55	120.98	24.00	很淺	6.2					
		1917/01/07 02:08	120.98	23.95	很淺	5.5					
4	新竹—台中地震	1935/04/21 06:02	120.82	24.35	5	7.1	3,323	12,549	22,541	14,659	33,020
5	中埔地震	1941/12/17 03:19	120.48	23.40	12	7.1	360	729	7,963	9,042	58,773
6	新化地震	1946/12/05 06:47	120.33	23.07	5	6.1	74	474	1,971	2,084	
7	花東縱谷地震系列	1951/10/22 05:34	121.73	23.88	4	7.3	85	>1,200			
		1951/10/22 11:29	121.73	24.08	1	7.1					
		1951/10/22 13:43	121.95	23.83	18	7.1					
		1951/11/25 02:47	121.23	23.10	16	6.1					
		1951/11/25 02:50	121.35	23.28	36	7.3					

8	恆春地震	1959/08/15 16:57	121.30	21.70	20	7.1	17	68	1,214	1,375	1,131
9	白河地震	1964/01/18 20:04	120.60	23.20	18	6.3	106	650	11,184	26,582	
10	花蓮地震	1986/11/15 05:20	121.83	23.99	15	6.8	15	62	35	32	>200
11	集集大地震	1999/09/21 01:47	120.82	23.86	8	7.3	2,415	11,305	51,711	53,768	

Most Disastrous Earthquakes in 20th Century  
in Taiwan Area



圖一、二十世紀台灣地區重大災害地震之震央分布圖。圖中地震編號參照表二。

主震之後，餘震不斷。截至 10 月 1 日，從熱感式連續波形記錄器的地震圖上可判讀之餘震統計達到一萬餘次，有感餘震達 93 次，其中規模超過 6 的餘震有 9 次。根據資料統計，餘震次數從主震後每小時約 160 次，逐漸以波浪狀方式遞減至 10 月 1 日的每小時約 20 次左右，10 月 10 日之後，每小時餘震次數降至 10 次以下，有感餘震規模亦逐漸減小，呈現一個標準的地震序列。

為主動提供民眾最新地震資訊，中央氣象局於 9 月 21 日上午八時、下午一時、四時、晚上九時分別召開四次記者會，並於 22 日起至 27 日每日上午十時、下午四時、晚上九時每日召開三次記者會，持續呼籲受災地區民眾對於已受損之建築物及維生線包括瓦斯、電線等應立即進行安全檢查，以防餘震來襲時，造成二次災害。地震發生後數天之內，網路上出現數封危言聳聽的信件，內容大致是將有

更大的地震即將發生，此等信件散播的速度極快，使得社會大眾人心惶惶，不知所措，不斷打電話至中央氣象局關切這件事情。中央氣象局立刻於10月2日召開地震災害應變委員會，成員包括局本部高層長官、諮詢委員以及國內知名地震學者，根據數日來的地震資料研判，澄清了更大地震即將發生之謠言，並以聲明稿方式張貼在中央氣象局的網站上，以安定民心。

民國81年至86年，開始推動「強地動觀測計畫」，截至88年度，中央氣象局在全台灣共設置了637個自由場強地動觀測站和56座結構物（包括橋樑及建築物）強震監測系統。平時有感地震發生後，立即至震央區收集強震資料進行分析，並提供學術界及工程界，從事防震工程及耐震規範的研究，可供工程主管單位修訂建築物耐震設計規範的參考。集集主震的發生，總計440個自由場強地動觀測站記錄到地表的加速度歷時紀錄，紀錄長度大多超過90秒鐘，紀錄的取樣率分別有200點/秒（A800、A900）以及250點/秒（IDS-3602），除了A800的12-bit外，其餘儀器具備了16-bit的解析度。

在440個自由場強地動觀測站之中，計有34個測站紀錄的最大地面加速度值（PGA）超過250gal，震度為六級，測站位置見圖二，主要分布在車籠埔斷層沿線兩側、雲林、嘉義、南投、苗栗等縣的部分地區。其中以日月潭氣象站（TCU084）以及位於南投縣名間鄉新街國小內的名間地震測站（TCU129）分別記錄到989.2gal（東西向）和983gal（東西向）之PGA值為最大，這兩個測站的震央距離分別為9公里和13.5公里。詳細的資料參考表三以及圖二，相互對照，其三向量的加速度歷時圖（僅取主要震波之長度約為60秒鐘）則繪於本報告的第一部份。中央氣象局即時測震網（CWBSN）中的54個測站的加速度紀錄資料則參考表四以及圖三，其三向量的加速度歷時圖（長度約為60秒鐘）亦繪於本報告的第一部份。根據440個自由場強地動觀測站的水平分向最大地面加速度分布，可以繪出等震度圖（圖四），可以看出六級震度的區域相當廣大。

主震發生後兩個星期，中央氣象局利用近震央（約40公里以內）地區的11個TSMIP強震記錄之S-P時間差，6個中央氣象局區域地震觀測網記錄之P波和S波到時，套入目前中央氣象局所採用的台灣西部一維地殼速度模型（何美儀，1994），將主震重新定位，求得初始錯動位置為東經120.82度、北緯23.85度，震源深度約為8公里。根據這個重新定位的震源位置與P波初動極向，求得初始錯動的震源機制解為走向北偏東20度、傾角向東30度、滑移角85度。（張建興等，1999）。在陸續蒐集整理出可用的強震及弱震記錄之P波初動資料後，集集主震初始錯動的震源機制解修正為走向北偏東5度、傾角向東34度、滑移角65度，是一個逆衝為主，並帶有左移成分的斷層破裂型態。（辛在勤等，2000）。

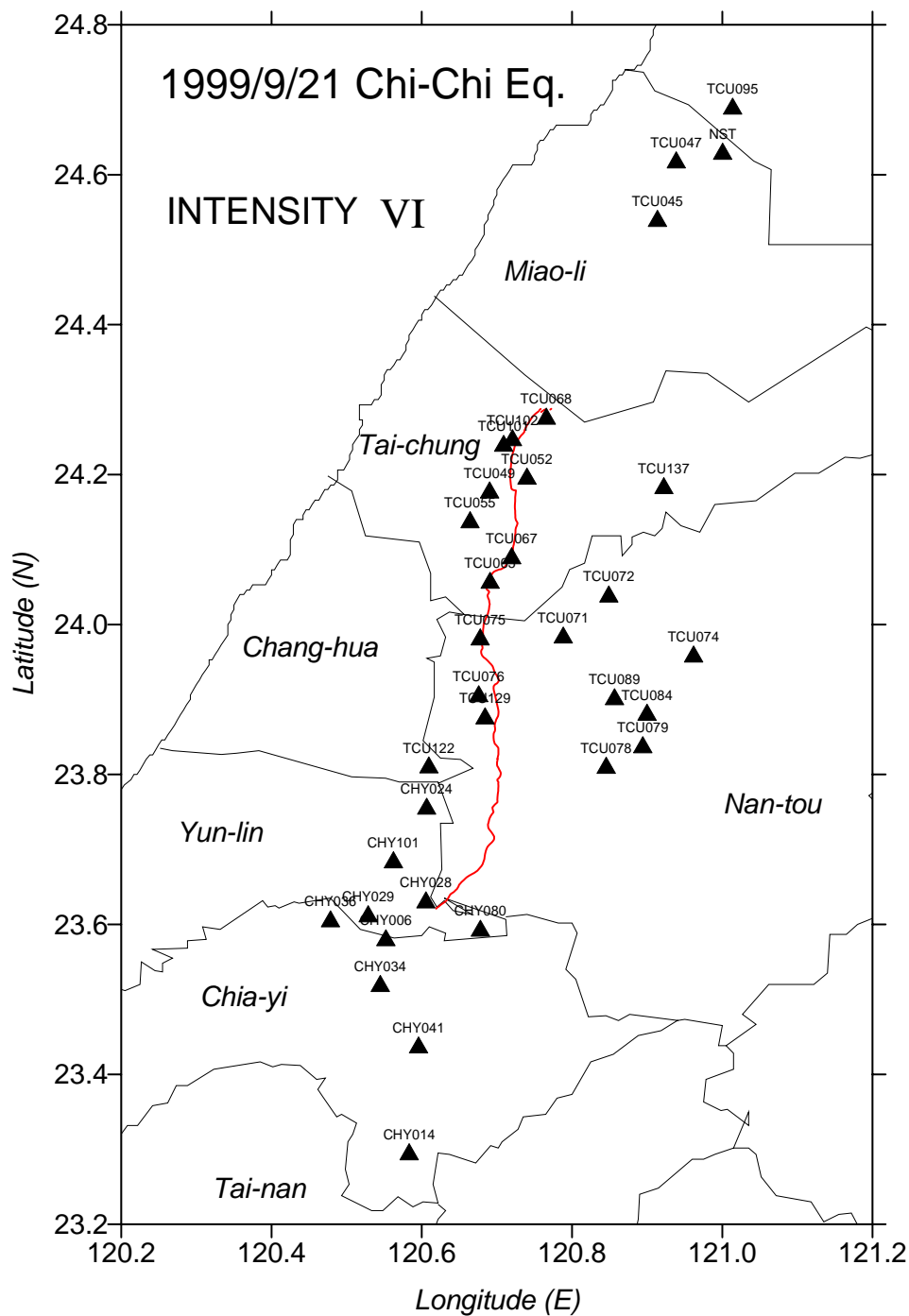
表三、自由場強震站紀錄到震度六級之測站與最大地面加速度一覽表

測站 站碼	測站地名	震度 級	震央距離 (公里)	最大地動加速度 (gal)			測站位置	
				垂直向	南北向	東西向	°E	°N
TCU078	水里國小(南投縣)	6	6.0	171.0	302.5	439.7	120.85	23.81
TCU089	魚池(南投縣, TYC)	6	6.5	190.2	225.3	347.8	120.86	23.90
TCU079	頭社國小(南投縣)	6	8.3	383.8	417.0	579.8	120.89	23.84
TCU084	日月潭氣象站(SML)	6	9.0	311.8	422.8	989.2	120.90	23.88
TCU129	新街國小(南投縣, WNT)	6	13.5	335.0	610.8	983.0	120.68	23.88
TCU071	雙冬國小(南投縣)	6	14.4	415.5	639.0	517.8	120.79	23.99
TCU076	南投國小(南投縣)	6	15.3	275.4	420.0	340.1	120.68	23.91
TCU074	南光國小(南投縣)	6	18.7	270.2	368.4	585.9	120.96	23.96
TCU075	草屯國小(南投縣)	6	19.7	223.9	257.3	325.3	120.68	23.98
TCU072	國姓國小(南投縣)	6	20.5	274.7	370.5	465.3	120.85	24.04
TCU122	二水國小(彰化縣)	6	21.6	236.0	255.6	207.4	120.61	23.81
CHY024	林中國小(雲林縣)	6	24.1	141.4	162.2	276.3	120.61	23.76
TCU065	霧峰國小(台中縣)	6	25.6	257.8	563.2	774.4	120.69	24.06
TCU067	健民國小(台中縣)	6	27.6	230.6	312.7	488.9	120.72	24.09
CHY101	東和國小(雲林縣, WGK)	6	32.1	162.2	390.1	332.7	120.56	23.69
CHY080	草嶺(雲林縣, CHN5)	6	32.2	715.9	841.5	792.4	120.68	23.60
CHY028	山峰國小(雲林縣)	6	32.9	335.5	749.9	624.2	120.61	23.63
TCU055	忠孝國小(台中市)	6	34.7	153.3	208.2	256.9	120.66	24.14
TCU049	僑孝國小(台中市)	6	37.8	178.0	241.9	273.4	120.69	24.18
TCU137	白冷國小(台中縣)	6	37.8	324.4	403.6	521.6	120.92	24.19
TCU052	光正國小(台中市)	6	38.4	194.0	438.7	348.7	120.74	24.20
CHY029	興昌國小(雲林縣)	6	39.8	157.6	233.2	283.0	120.53	23.61
CHY006	梅山國小(嘉義縣)	6	40.7	211.0	351.5	348.0	120.55	23.58
TCU101	豐南國中(豐原市)	6	43.8	164.0	253.6	207.8	120.71	24.24
CHY036	三和國小(嘉義縣)	6	44.2	104.4	199.6	267.0	120.48	23.61
TCU102	豐東國中(豐原市)	6	44.3	173.3	169.0	298.4	120.72	24.25
CHY034	竹崎國小(嘉義縣)	6	46.5	91.1	293.6	243.3	120.54	23.52
TCU068	石岡國小(台中縣)	6	46.7	519.4	361.9	501.6	120.77	24.28
CHY041	黎明國小(嘉義縣)	6	51.6	122.9	630.2	296.9	120.60	23.44
CHY014	大埔國小(嘉義縣)	6	66.6	97.7	254.7	223.9	120.58	23.30
TCU045	獅潭國小(苗栗縣)	6	76.3	353.1	511.7	463.3	120.91	24.54
TCU047	大河國小(苗栗縣)	6	85.3	261.0	399.4	291.7	120.94	24.62
NST	田美國小(新竹縣)	6	87.6	122.0	391.4	305.3	121.00	24.63
TCU095	峨眉國小(新竹縣)	6	94.4	250.8	684.5	366.5	121.01	24.69

表四、中央氣象局即時測震網紀錄之震度與最大地面加速度一覽表

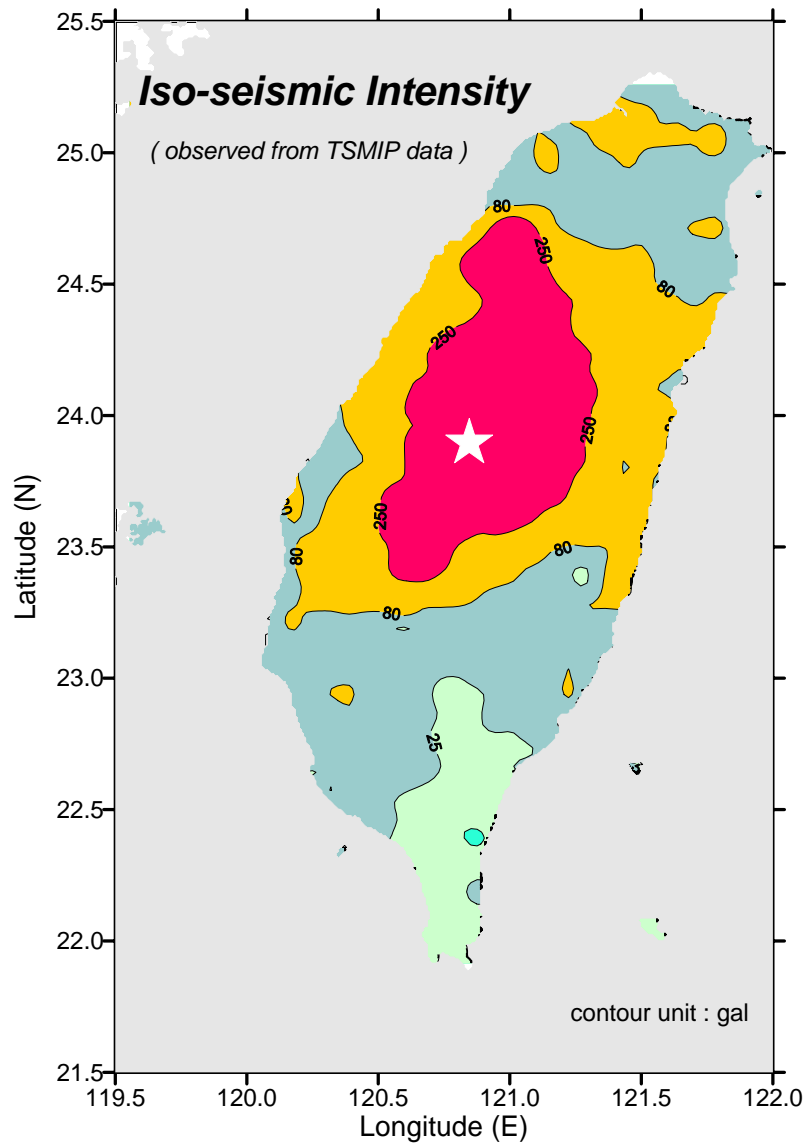
地區	測站 站碼	測站地名	震度 級	震央距離 (公里)	最大地動加速度 (gal)			測站位置	
					垂直向	南北向	東西向	°E	°N
台北 基隆 地區	ANP	鞍部氣象站	4	163.5	21.3	71.2	48.7	121.52	25.19
	TAP	中央氣象局	4	149.1	14.4	41.6	58.9	121.52	25.04
	TWA	指南宮	4	146.5	35.5	42.4	36.5	121.58	24.98
	TWB1	三貂角	4	174.2	12.1	35.4	25.8	121.99	25.01
	TWS1	五股	4	150.5	30.1	76.0	48.4	121.42	25.10
	NWF	五分山雷達站	5	166.2	27.9	172.0	120.8	121.78	25.07





圖二、集集主震震度六級之自由場強震站分布圖。圖中紅色細線為車籠埔斷層之地表破裂。

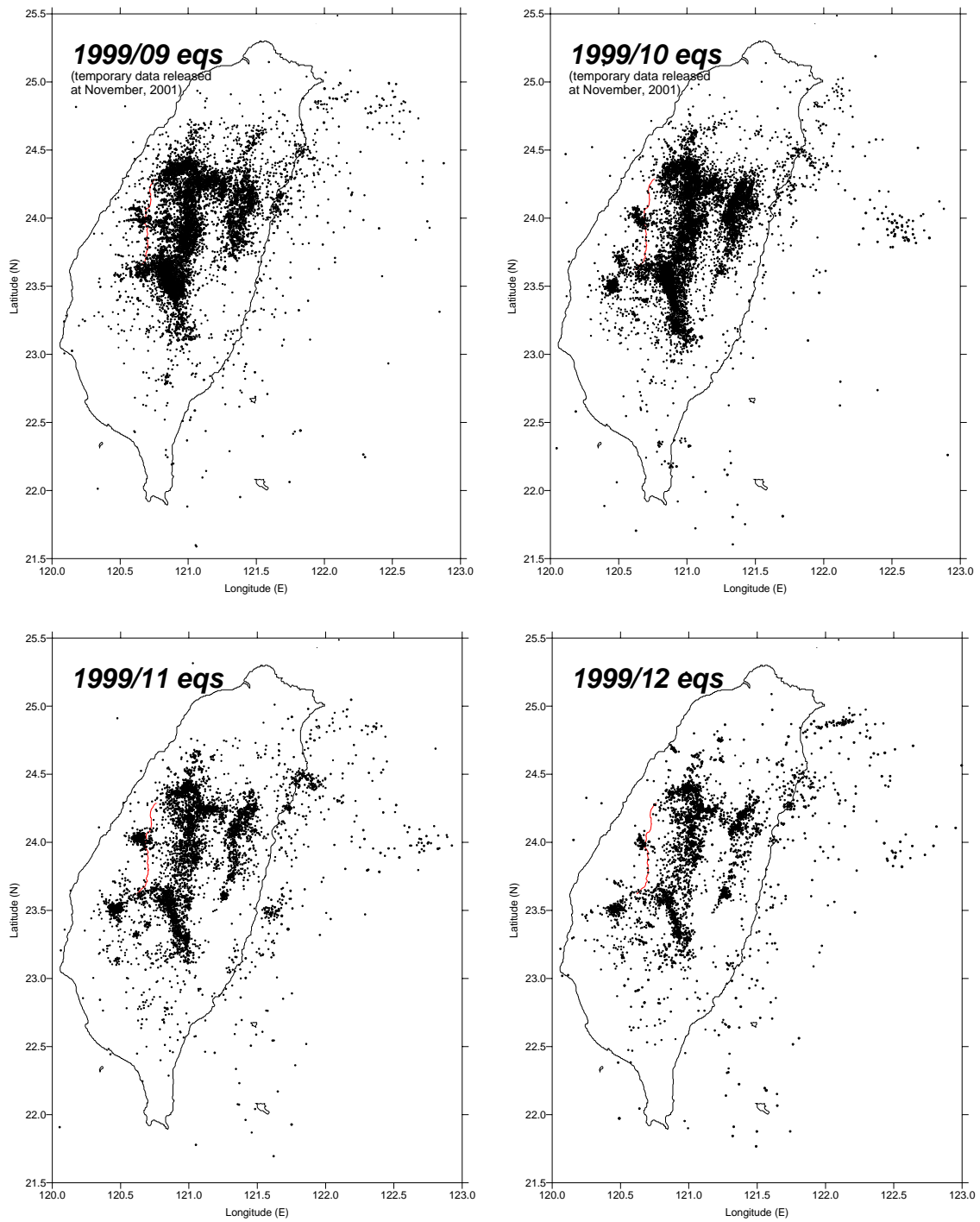




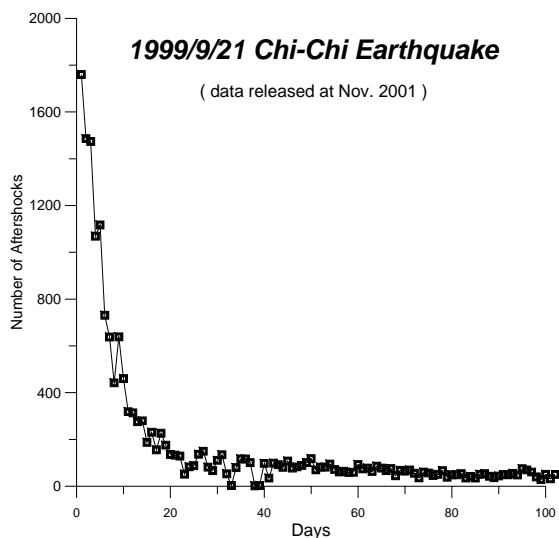
圖四、根據 TSMIP 之 440 個強震站資料所求得之集集地震等震度分布圖。

### 參、餘震調查分析

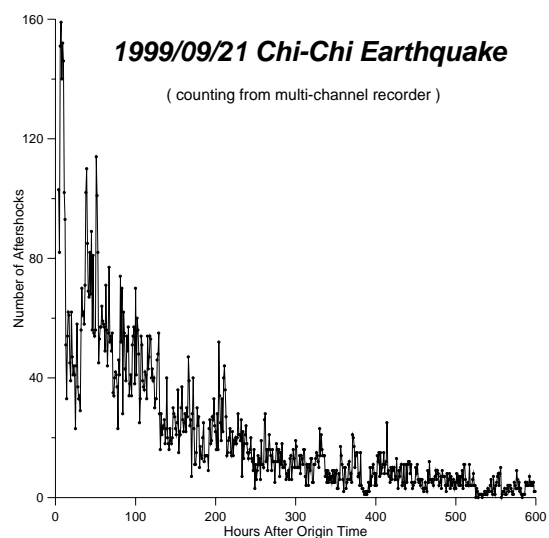
主震發生後之餘震活動極為旺盛，根據中央氣象局截至 2001 年 11 月所處理定位出來的每月地震活動分布圖(圖五)顯示，餘震分布的區域相當廣，大部分集中在車籠埔斷層以東，南北方向從北緯 23.1 度至北緯 24.5 度左右，包含了西部麓山帶以及中央山脈地區。



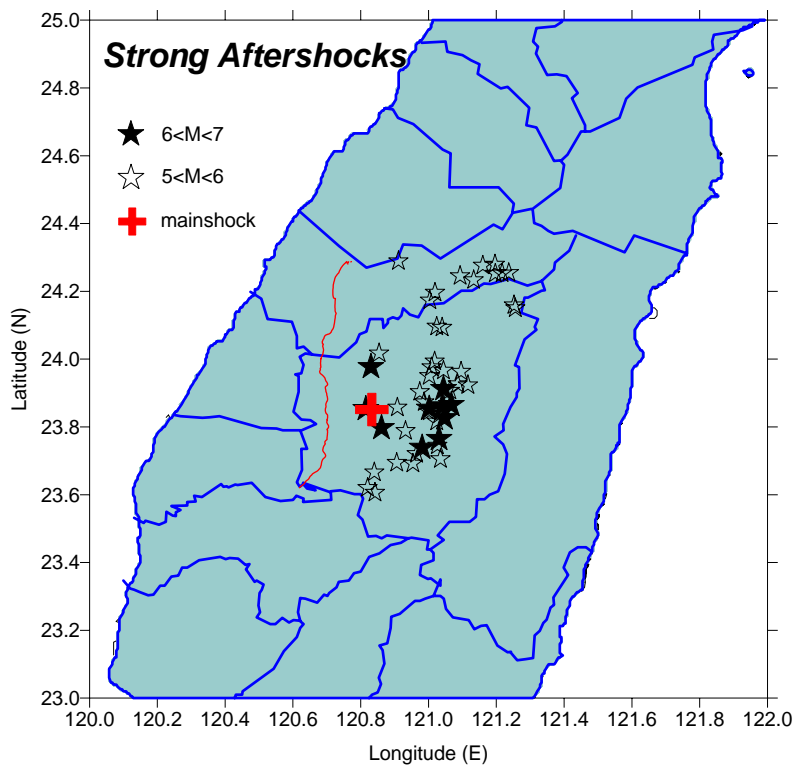
圖五、1999年9月至12月台灣地區地震活動分布。其中9月和10月的地震資料尚有部分未完成，圖中顯示的資料為2001年11月公布的結果。



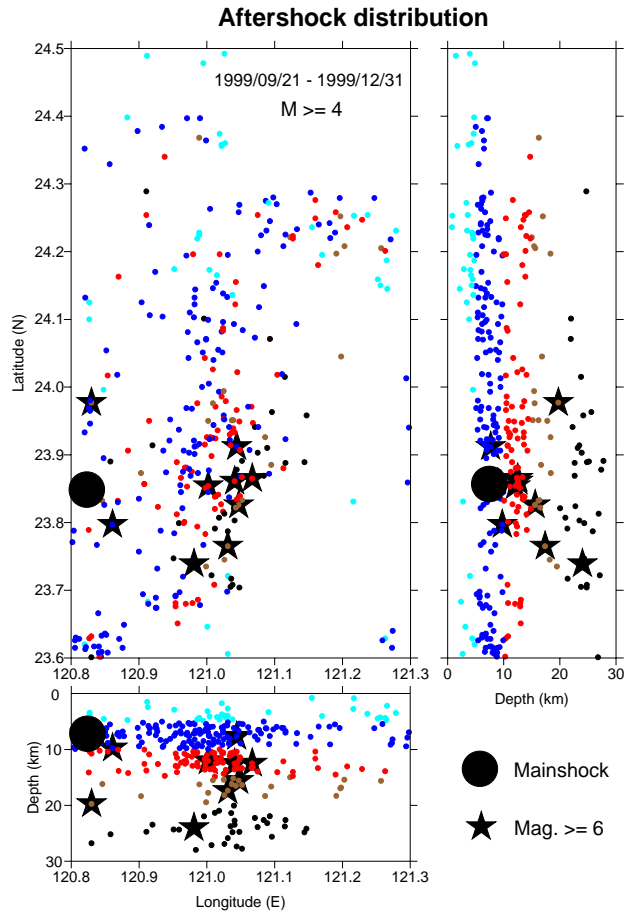
圖六、主震之後一百天之內的每日餘震頻率圖。



圖七、9月21日至10月15日的每小時餘震頻率圖。



圖八、規模大於5的強餘震震央分布圖。



圖九、車籠埔斷層以東主要餘震區的震央分布平面圖與剖面圖。

由於餘震區域甚廣，初步以東經 120.8 度至 121.3 度、北緯 23.6 度至 24.5 度之範圍統計 2001 年 11 月所完成的定位結果篩選，9 月的餘震個數為 4,120 個（未完成），10 月餘震數 4,319 個（未完成），11 月餘震數 2,357 個，12 月餘震數 1,517 個。除此之外，從分布圖上明顯可見，南投縣竹山鎮和鹿谷鄉一帶往台東方向有一長約 60 公里的線狀餘震分布帶，餘震個數顯然比上述的範圍內的餘震為多。而中央山脈東側亦有一個北北東—南南西方向的餘震分布帶，加上尚未完成的定位資料，因此，估計 9 月的最後十天與 11 月應該分別有超過一萬次的餘震發生。從熱感式多波道的連續紀錄紙上，利用值班人員統計的餘震個數可知，每日的餘震頻率（圖六）與每小時的餘震頻率分布（圖七）呈現標準地震序列的遞減模式。尤其在前八天的餘震分時統計圖中可知，其遞減方式呈現波浪式遞減，亦即大約每 50 小時左右即出現餘震增多的現象。

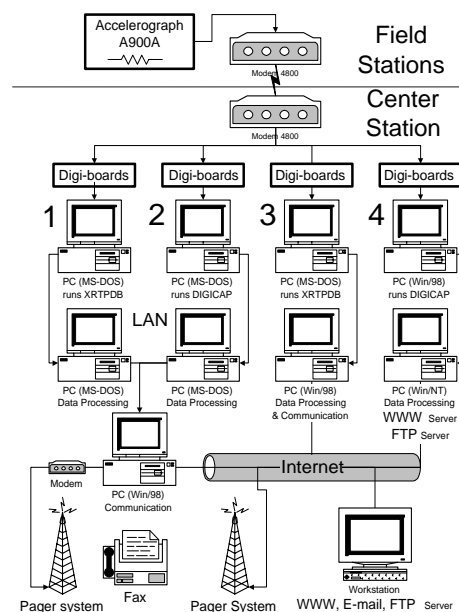
在上述所劃定的餘震範圍內，篩選出規模大於 5 的強餘震，總計有 47 次，其

中有 9 次的規模達到 6 以上，其分布圖顯示於圖八。根據 TSMIP 強震紀錄在主震發生後一個小時內的強烈餘震（規模大於 3.7 者）則有 285 個（張建興等，2001）。從主震後一百天之內，規模大於 4 的強餘震空間分布（圖九）可知，在震央區的餘震深度約在 10 公里附近，往北有逐漸變淺的趨勢，而埔里以東地區的餘震深度可達 20 至 30 公里，這現象與張建興等人(2001)利用一小時內強餘震的分析結果相似，顯示了整個餘震序列的特性。

## 肆、地震消息之發布

主震發生後，中央氣象局的地震速報系統(Taiwan Rapid Earthquake Information Release System, RTD)發揮了預期功能，於發震時間後約 102 秒內自動完成地震參數的計算，此項地震科學界的一大躍進，獲得世界各國一致的肯定。

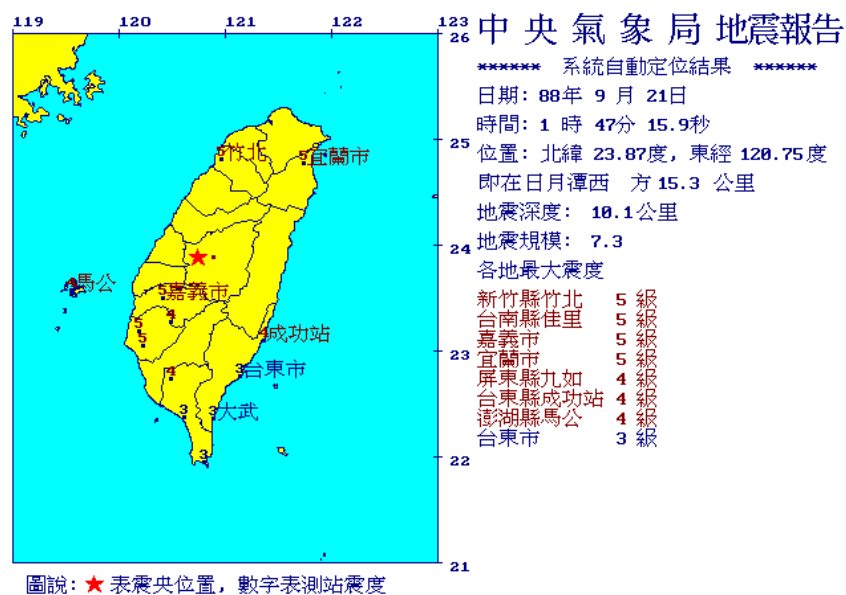
地震速報系統是由美國地質調查所的李紘鑑資深研究員與美國南加州大學的鄧大量教授所倡議建立的，於 1994 年 12 月底正式建置完成並啟用。其基本架構見圖十所示，是由分布於全省 61 個即時的強震觀測站所組成的測報網，測站的儀器使用 Teledyne Geotech A900A 三分量加速度型地震儀，信號取樣率為 50 點/秒，解析度為 16-bit，紀錄範圍為 -2g 至 +2g。



圖十、中央氣象局地震速報系統架構示意圖。(取自 Wu, et. al., 2000)

主震發生後 102 秒，地震速報系統已計算出初步震源位置與地震規模，發震時間為 1 時 47 分 15.9 秒，震央位置為北緯 23.87 度、東經 120.75 度，震源深度為 10.1 公里，規模 7.25 (吳逸民等, 1999)。此結果與後來利用更完整資料所定位的結果相當接近，並且在主震發生約 2 分鐘後，即透過全球資訊網 (<http://deca.cwb.gov.tw>) (圖十一)、電子郵件 (圖十二)、呼叫器系統等多重管道發布地震消息，對象以中央與地方防救災單位、相關政府單位的長官、本局的地震諮詢委員以及國內外地震學者專家。由於自動處理所費的時間在數分鐘之內完成，因此消息的傳遞可以搶在國內通訊負荷量因地震發生，民眾大量使用造成嚴重忙線的情形發生之前即時送出。而初步的震度資料與定位結果在印表機列印出書面報告後，隨即由值班人員以傳真存轉一對多的方式傳遞到各地防救災消防單位、政府相關單位以及新聞媒體。

由於集集地震在震央區造成強烈的地面振動，造成局部地區因南電北送的主要幹線受破壞導致大規模停電的現象，通訊的電話專用線路亦有受損的情形，地震速報觀測網在第一時間無法接收地震信號，造成台灣中部地區如台中、花蓮和台北的資料空白區 (圖十二中的斜線部分)，不過系統仍然可以依據震央區外圍觀測站的資料進行定位工作。地震速報系統透過不同管道傳遞消息的效能與相關資訊則整理成表五所示。



圖十一、地震速報系統的自動定位結果。(取自 Wu, et. al., 2000)



圖十二、地震速報系統自動定位結果以及震度分布圖以電子郵件方式發布的格式。(取自 Wu, et. al., 2000)

表五、地震速報系統主震消息發布管道一覽表

地震消息 傳送途徑	首件訊息傳出 距發震時間	傳送每位用 戶的時間	傳送對象 數	系統設定使 用對象	傳送資料 內容	備註
電子郵件	約 2 分鐘	數十秒至數分 鐘(依線路傳 輸速率而定)	數十人	國內外少數 地震學家、台 電、核能發電 廠、重要水 庫、國科會	初步地震參 數、初步震 度分布圖	
呼叫器	約 2 分鐘	約 20 秒	約 40 人	中央氣象局 相關人員、中 央及地方消 防單位首長	20 碼簡訊	傳送順序自 動依照距離 震央近者之 縣市為優先
全球資訊網	約 2 分鐘	依傳輸線路而 定	不限	不限	初步地震報 告圖	
傳真存轉	3 至 5 分鐘	數十秒(依電 信局通話品質 及其他因素而 定)	247 個用戶 (其中 106 個用戶無法 傳達)	中央氣象局 所屬氣象 站、中央及地 方消防單 位、各媒體、 政府相關單 位、學術研究 單位	初步震度報 告	由值班人員 將列印之報 告手動送進 傳真機自動 傳送所有用 戶。

(整理自 Wu, et. al., 2000)

## 伍、災害統計資料

根據內政部消防署統計至 1999 年 12 月 30 日的災害資料（表六）可知，集集地震造成的房屋建築損毀以南投縣和台中縣（市）最為嚴重，兩縣市內房屋全倒與半倒的總戶數佔了全省損壞戶數的 95%，全倒與半倒的戶數約略相等。其次為苗栗縣、彰化縣、雲林縣和台北縣，約佔 4%。對照車籠埔斷層的分布（圖 A1 和圖 A2）與等震度分布圖（圖四），一般建築物的損壞程度與車籠埔斷層沿線和大茅埔—雙冬斷層沿線最為嚴重，數量的比例也最高，尤其是接近斷層的上盤地區。根據張嘉祥和蘇妍文（2001）的調查研究顯示，地面加速度達到 200gal 以上（對應震度約 5 級），土塼造的房屋即可能發生嚴重破壞，當地面加速度達到 300gal 以上（對應震度約 6 級），較老舊的磚造房屋即可能發生嚴重破壞。由於地震是發生在凌晨時分，因此，罹難的原因多屬於因房屋建築倒塌而被埋困。

表六、九二一集集大地震各縣市災情統計表

（統計至民國 88 年 12 月 30 日 08:00 止）

	死亡人數	失蹤人數	受傷人數	房屋全倒戶數	房屋半倒戶數	救出人數	被埋困人數	道路搶通脫困人數
台北市	73		316	164		149	0	0
台北縣	39	7	145	221	690	192		0
桃園縣	3	0	84	1	2	0	0	0
新竹市	2	0	4			0	0	0
新竹縣	0	0	4	6	13	0	0	0
苗栗縣	6	0	196	619	570	34	0	0
台中市	113	0	1,112	2,711	3,709	155		0
台中縣	1,175	8	6,190	18,608	18,452	1,402	0	1,992
南投縣	891	10	2,421	28,217	28,974	2,144	22	912
彰化縣	29	0	387	574	766	286		0
雲林縣	81	0	422	532	498	628	0	454
嘉義市	0	0	11	24	1	14		0
嘉義縣	2	4	5	31	90	0	0	1,327
台南縣	1	0	1	3	3	0		0
宜蘭縣	0	0	7			0	0	0
<b>合 計</b>	<b>2,415</b>	<b>29</b>	<b>11,305</b>	<b>51,711</b>	<b>53,768</b>	<b>5,004</b>	<b>22</b>	<b>4,685</b>

（資料來源：內政部消防署）

## 陸、區域地質概況

台灣中西部地區之地質分區為西部麓山帶和西部濱海平原，西部麓山帶是由一系列起伏的山丘和山嶺所構成，又分為靠近中央山脈的內麓山帶以及包含西部台地的外麓山帶，平均海拔低於一千公尺，並且向西逐漸降低，南北方向的延伸超過三百公里，東西方向亦有三十至四十公里的寬度。西部麓山帶原先是由一個第三紀次等地槽的沈積環境，歷時很長的時間堆積淺海碎屑物，根據有孔蟲化石以及超微化石的研究指出，最早的沈積作用可能始於漸新世晚期（黃廷章，1979），並且持續進行到更新世晚期。最大的沈積厚度約有八千公尺，岩層大都以頁岩、粉砂岩、砂岩所組成。經過更新世的造山運動，造成許多緊密且不對稱的褶皺、低角度逆斷層以及覆瓦狀的斷層體系。在台灣中部地區的主要逆衝斷層由西向東依序為彰化（大甲）斷層、車籠埔斷層以及大茅埔—雙冬斷層。

車籠埔斷層大致沿著台中盆地的東緣與豐原、南投兩丘陵的交界處伸展，亦即構造複雜的內麓山帶和褶皺平緩的外麓山帶間的界限。斷層全長約八十公里，自豐原至竹山之間大致呈南北走向，北接三義斷層，南連觸口斷層，斷層面向東的傾角在 15 至 40 度之間，愈接近地表之傾角愈大。集集大地震發生之前，竹子坑西南方約一公里處可發現斷層的露頭，呈現剪碎斷裂與褶皺現象的錦水頁岩向西逆衝至呈水平層態的河階礫石層之上（何信昌與陳勉銘，1997），歸納許多地質與地震的證據後，被歸類為第二類活動斷層，屬於第四紀的斷層。地震發生後，斷層破裂造成明顯的地表變形，經過的行政區域由北而南依序有苗栗縣卓蘭鎮、台中縣東勢鎮、石岡鄉、豐原市、潭子鄉、台中市北屯區、台中縣太平市、大里市、霧峰鄉、南投縣草屯鎮、南投市、名間鄉、竹山鎮等十三個鄉鎮市區。詳細的露頭位置與影像可參閱經濟部中央地質調查所編印的「九二一地震地質調查報告」一書。此次車籠埔斷層的斷裂大部分仍沿著舊有的斷跡，但豐原以北則產生新的破裂，而且向東折轉約七十度至卓蘭和內灣一帶，並且產生幾條分支，其中之一即通過大甲溪上的石岡水壩。三義斷層在三義附近亦有向東折轉的情形，可能是受到出磺坑構造的阻擋（Tang, 1969）。二者都具有相似的構造斷片，顯示都處於相同的大地構造環境之下。

雙冬斷層長約五十五公里，為豐原、南投兩丘陵的東界，位於車籠埔斷層東側約十公里，北由東勢起南至集集大山，呈南北走向，斷層面向東傾斜 35 至 45 度之間。斷層東側上盤岩層由漸新世至中新世的砂岩和頁岩組成，西側下盤則以上新世至更新世之卓蘭層和頭嵙山層所構成，但由於斷層過去的活動時代不明確，而被歸類為存疑性活動斷層。此次地震發生後，雖然雙冬斷層本身並未發現如車籠埔斷層之明顯錯移量，不過沿線多處發現噴砂、噴泥現象，而斷層兩側地

區的受災程度相當嚴重。

## 柒、地震伴隨之地質現象

### 山崩：

本次大地震引發位於南投縣國姓鄉南港村長石巷的九份二山大規模的山崩，崩塌區約在雙冬斷層東側六公里處，原屬於大岸山向斜的西翼，是由樟湖坑頁岩之厚層頁岩夾砂岩所組成的順向坡，向東傾斜約 24 度。受到強地動作用致使原海拔高度 500 公尺至 1,000 公尺左右、面積達 75 公頃、深度約 30 至 50 公尺的順向坡岩體沿著層理面高速向下滑動，平均的滑衝距離達到一公里，之後，傾瀉而下的岩塊及岩屑土石受到石門峽谷的阻擋而堆積，形成深達 175 公尺的天然土石壩，並堵塞澀仔溪和韭菜窩溪形成堰塞湖。崩塌地區原有二十餘戶住家全遭掩埋。(黃鑑水等，1999)。

本次大地震亦引發位於雲林縣境內草嶺村西側的草嶺山大規模的山崩，崩塌區範圍北起草嶺山東西向約三公里長的稜線，南至兩公里外的清水溪，坍塌土方估計達一億二千萬立方公尺。此次山崩的土石塊來自原稱春秋斷崖上方的岩體，是由厚層的泥質砂岩，間夾頁岩和粉砂岩的卓蘭層所構成的順向坡，屬於草嶺背斜的西翼，傾斜角度約 14 度。地震的強大震動使原本就處於不穩定地質弱面上的岩層傾瀉而下，大量土石堆積在清水溪河床上，形成天然土石壩，再度阻斷清水溪河水而成堰塞湖，又稱新草嶺潭。根據過去歷史記載，草嶺地區已數次發生大規模的山崩，誘發的原因包括地震、颱風和豪雨，亦經過數次潰堤，因此，此次地震再度造成堰塞湖後，相關單位亦隨時監測土石壩和潭水水位的變化。(何信昌等，1999)。

### 土壤液化：

集集地震發生所伴隨之土壤液化現象相當普遍，致使地表層下陷或傾斜，而下層飽和含水的土壤會沿著上層的裂隙或已有的孔道噴出，形成噴沙現象，在地表面上造成泥火山的特殊地質現象。經調查，土壤液化的區域大致分布在車籠埔斷層附近以及中部沿海地區。地點包括南投市至名間鄉台 3 號公路以東至山麓邊緣地表隆起之西側、貓羅溪沿岸、草屯鎮隘寮溪沿岸、斗南鎮部分地區、彰化縣的員林鎮、社頭鄉和大村鄉等地、太平鄉部分地區、霧峰鄉光復國小附近、台中港 1-4 號碼頭、彰化沿海的彰濱工業區和伸港鄉大肚溪河口堤防等地區。可參考照片 B1-B5。

## 捌、結論

九二一集集大地震造成台灣地區在第二次世界大戰以來最嚴重的災害，雖然台灣各地的房屋建築較之過去的農業時代，已有相當大的改進，耐震能力有所提升。不過，跨越苗栗縣、台中縣以及南投縣、長達約一百公里的車籠埔斷層在這次地震中出現巨量的錯動，其沿線附近以及錯動上盤的廣大地區的地震動程度達到六級，甚至出現  $1g$  以上的地動加速度峰值，實屬罕見。由於強烈的地動，震度六級的中部地區以及因盆地效應產生震度五級的台北盆地局部地區有部分建築遭到嚴重破壞，中部地區的九份二山和草嶺山出現大規模山崩，全省總計造成 2,415 人死亡、超過萬人受傷、超過十萬戶建築物毀損。從建築物種類的破壞比率可知，各級學校以及具騎樓的透天樓房受損嚴重，這個問題需要工程界以及建築界深入探討，並提出解決之道。所幸地震發生在半夜，大大降低了可能因為數眾多的學校上課期間發生倒塌造成的學生罹難人數。

地震發生後，中央氣象局上從謝信良局長、辛在勤副局長以及各級長官，下至所有同仁，均發揮了最大的團結精神，順利地在往後的數天，甚至數個月幾乎全力投入地震守視觀測、地震消息發布、地震分析研判的各項工作，並獲得政府以及各界一致的讚賞。尤其是，中央氣象局具備前瞻性的研發規劃，在集集地震發生前兩年，完成了世界上最高密度的強地動觀測網，使這次地震的真實地動完全被紀錄下來，龐大且高品質的地震紀錄資料已經散佈到全世界的地震學家以及工程學家手上，地震的行為特性以及對於耐震設計的反省、檢討已經陸陸續續發表在世界各著名期刊上，這對於往後人類在地震學的瞭解上具有多方面的意義。

中央氣象局的地震速報系統在這次地震中扮演極為出色的角色，在短短一百秒左右便相當程度準確地發布地震消息至災害搶救單位，這種強大的功能，既使如美國、日本等高科技國家的地震觀測系統亦難望其項背。雖然如此，該系統仍有稍許瑕疵，就是遇上強烈震動的測站之通信設備可能遭到破壞，而無法傳達地震資料，這個問題已經著手研究改進之道，並且朝向地震預警的構想努力，以期望大幅度降低震災的可能性。

## 玖、參考文獻

- 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。
- 吳逸民、辛在勤、蕭乃祺、陳承俊、江嘉豪、鍾仁光，1999：地震速報系統於集集大震中之自動測報。集集大地震特輯，61-67 頁。

- 李建成、安朔葉、朱傲祖、胡植慶、詹瑜璋，1999：921 大地震地表斷層破裂特性：斷層幾何型態與運動學分析。集集大地震特輯，149-153 頁。
- 何信昌、陳勉銘，1997：臺中圖幅測製。經濟部中央地質調查所八十六年年報。
- 何信昌、黃健政、黃鑑水，1999：九二一地震地質調查報告。經濟部中央地質調查所，315 頁。
- 何美儀，1994：台灣西部地區三維速度構造。國立中央大學地球物理研究所碩士論文。
- 張建興、吳逸民、辛在勤、王乾盈、蕭乃祺，1999：集集大震初始破裂之探討。集集大地震特輯，1-6 頁。
- 張建興、辛在勤、王乾盈，2001：接續 921 主震之強餘震探討。第四屆海峽兩岸地震科技研討會暨台灣地區強地動觀測研討會（四）論文集，29-33 頁。
- 張嘉祥、蘇妍文，2001：集集地震砌體造歷史建築物災損經驗。第四屆海峽兩岸地震科技研討會暨台灣地區強地動觀測研討會（四）論文集，99-105 頁。
- 張徽正主編，1999：九二一地震地質調查報告。經濟部中央地質調查所，315 頁。
- 張徽正、林啟文、陳勉銘、盧詩丁，1998：臺灣活動斷層概論：五十萬分之一臺灣活動斷層分布圖說明書。經濟部中央地質調查所特刊第十號，103 頁。
- 黃廷章，1979：臺灣漸新世/中新世之界線。中國地質學會專刊，第三號，103-123 頁。
- 黃鑑水、陳勉銘、曹恕中、許銘義，1999：九二一地震地質調查報告。經濟部中央地質調查所，315 頁。
- 鄭世楠、葉永田、徐明同、辛在勤，1999：台灣十大災害地震圖集。中央氣象局和中央研究院地球科學研究所，290 頁。
- Lee, W. H. K., D. M. Tottingham, and J. O. Ellis, 1989: Design and implementation of a PC-based seismic data acquisition, processing and analysis system. IASPEI Software Library, vol. 1, 21-46, Seism. Soc. Am., El Cerrito, CA.
- Lee, W. H. K., 1993: A project implementation plan for an advanced earthquake monitoring system. Research Report of Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan, R.O.C., No. 444; Also as U.S. Geological Survey Open-File Report 94-004, 89 pp.
- Tang, C. H., 1969 : Photogeologic interpretation of the Miaoli area, Taiwan, with special reference to its geologic structures. *Proc. Geol. Soc. China*, no. 12, 11-19.
- Wu, Y. M., W. H. K. Lee, C. C. Chen, T. C. Shin, T. L. Teng and Y. B. Tsai, 2000: Performance of the Taiwan Rapid Earthquake Information Release System (RTD) during the 1999 Chi-Chi (Taiwan) earthquake. *Seismo. Res. Let.*, 71, 338-343.
- Yagi, Y. and M. Kikuchi, 1999 : Spatiotemporal distribution of source rupture process for Taiwan earthquake (Ms=7.6). Posted at Web site of <http://www.eic.eri.utokyo.ac.jp/yuji/tai.html>.

