

## 第二章 車籠埔斷層附近地質與 921 集集地震成因

臺灣地區在 88 年 09 月 21 日凌晨 01 點 47 分 12.6 秒 (格林威治時間 20 日 17 時 47 分 12.6 秒) 於南投縣集集附近發生強烈地震。震央在北緯 23.87 度、東經 120.75 度，即位於日月潭西方 12.5 公里處，震源深度約 7 至 10 公里，地震規模達  $ML=7.3$  (CWB) 或  $M_w=7.6-7.7$  (USGS)。集集地震為中部地區車籠埔斷層錯動(北自大甲溪南至濁水溪)所引發之內陸淺層地震，斷層地表破裂在主斷層長約 83 公里，東北延段長約 22 公里，全長約 105 公里，如圖 1.1 所示。車籠埔斷層為一逆衝斷層，其斷層面以約 25 度至 35 度之低角度向東傾斜。此次烈震造成地表斷層最大垂直錯動量達 11 公尺、最大水平錯動量達 10 公尺以上，平均錯動量約 4 公尺，破壞力相當大。斷層線上從大安溪北岸由北而南，包括卓蘭(、東勢)、石崗、豐原、大坑、太平、霧峰、草屯、中興新村、名間、竹山、桶頭及緊鄰車籠埔斷層線地區的結構物幾乎均遭受嚴重破壞。除在震央(斷層)附近的南投縣、台中縣市、造成極大災害，甚至遠在震央 150 公里外的台北地區亦有不小震災發生。因此次集集烈震造成房屋嚴重受損或倒塌者近 2 萬幢，死亡人數超過 2300 人，8 仟多人受傷。

### 2.1 地震成因---台灣地區地體構造與板塊作用

在地體構造上，台灣正位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的複雜界面，是屬於西太平洋板塊東緣菲律賓海板塊中一系列島弧群島之一。台灣島的東北及東南海域各有一板塊隱沒帶(subduction zone)。在台灣花蓮東方約從北緯 24 度開始，菲律賓海板塊以大約 45 度的角度往北隱沒至歐亞大陸板塊之下；在東南方從東經 121 度附近則是中國南海海洋板塊(歐亞大陸板塊)隱沒至菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊互相作用所產生的島弧之下。而在台灣島上則是菲律賓海板塊之島弧仰衝至歐亞大陸板塊之上，板塊界限由菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊之間約五十度向東南傾斜的花東縱谷逆衝斷層所構成。台灣即因由此所構成之造山運動而隆起形成。

臺灣西部麓山帶的一般地質構造特徵，由東而西分別為雙冬-哮貓斷層、三義-車籠埔斷層、及後龍-彰化斷層；每個斷層伴隨有背斜褶皺構造(上盤)及向斜褶皺構造(下盤)。地層的分佈基本上是越向西地層年代越來越年輕，顯示逆衝斷層作用基本上是由東向西逐漸遷移發展。台灣西部前緣

斷層帶，呈現蜿蜒彎曲的形狀，原因可能是由於各段斷層不等時不等量的逆衝位移所形成，前緣斷層帶表示台灣造山作用至今之變形範圍，與活斷層作用亦有非常密切的關連。

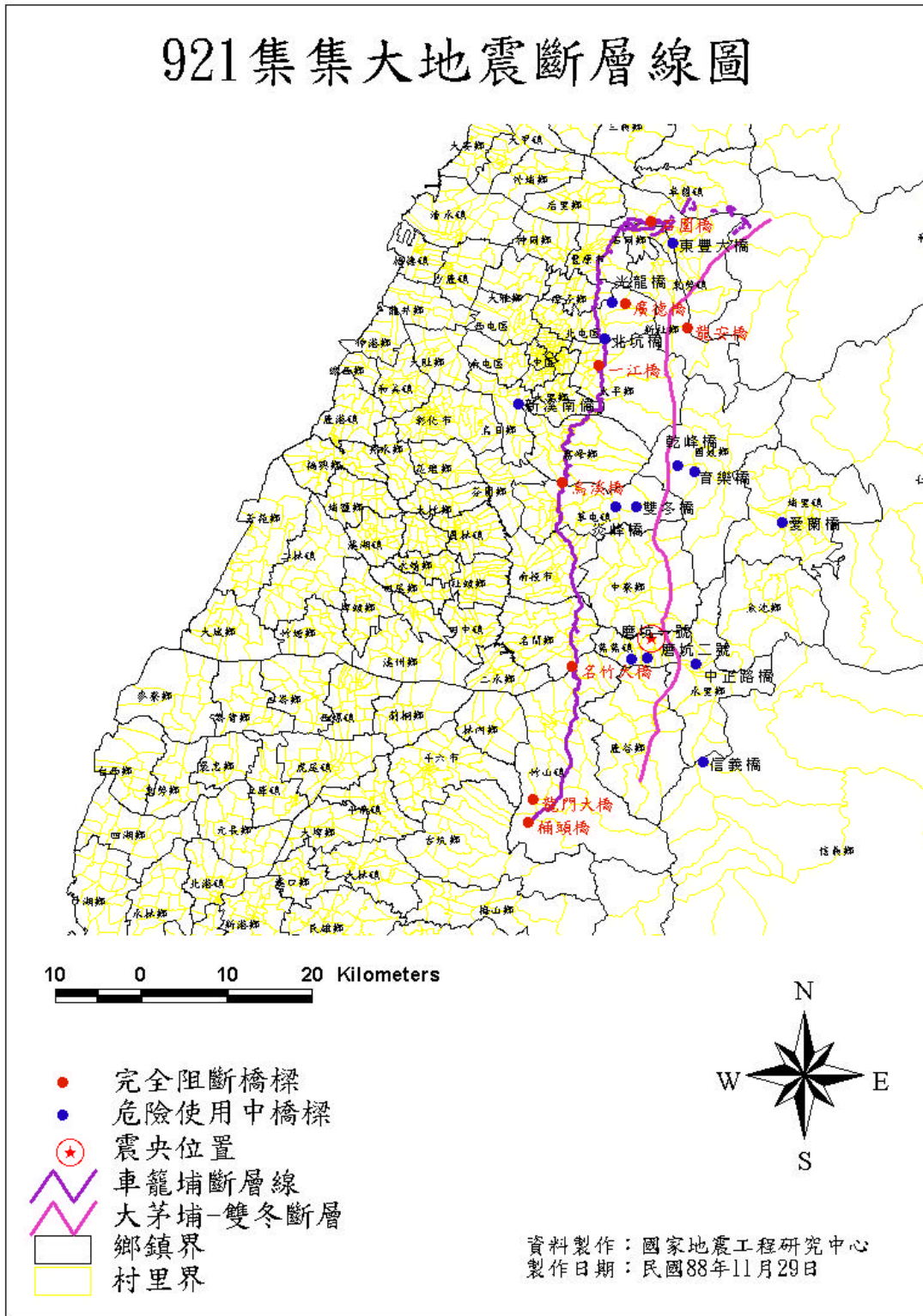


圖 1.1：集集地震震央與車籠埔斷層位置關係圖

從板塊的旋轉軸位置及角速度的估算，許多地震學者分別估算全球各板塊之間的相對位移量，而估算出屬於菲律賓海板塊的呂宋島弧仍以平均每年約 7-8 公分的速率由東南向西北(北 130 度東)方向推擠歐亞大陸板塊如圖 1.2 所示。而在台灣沿花東縱谷形成碰撞帶，從地震資料的研究可知，大多數地震均發生於此碰撞帶上圖 1.2。此一板塊推擠壓力除了造成台灣附近海域海底高程劇烈變化(圖 1.2 繪出海底等高線，線上數字為海底高程)，也造成臺灣本島地下岩層變形，而由東向西產生一系列之皺褶與斷層，在臺灣西部地區形成之逆衝斷層其走向大致呈南北向且與海岸山脈平行。如前所述，由地質構造的觀點來看，這一系列逆衝斷層是由東往西發展的，其斷層面均向東傾斜，斷層位置越靠西邊其向東傾斜之角度越低(圖 1.3)。因此未來台灣仍有可能發生如集集烈震般的毀滅性地震，為能在下一次烈震來臨時降低震災，必須完整收集並應用此次地震資料，進行相關研究，以檢討改進我國的相關耐震設計規範。

本次地震主要成因是臺灣西部麓山帶系列逆衝斷層長期受呂宋島弧推擠，蓄積大量能量，而由車籠埔斷層發生錯動所造成，斷層東側(上盤)上升數公尺，地震規模及影響範圍均比日本阪神地震及美國北嶺地震大。因屬逆衝斷層，東側上盤地區地震力格外激烈，由中央氣象局名間地震站測得最大水平地表加速度高達 1g 為日本阪神地震 0.8g 之 1.2 倍，主要強震延時更高達 25 秒，其頻率內函分佈也很廣，因此其破壞性也強。

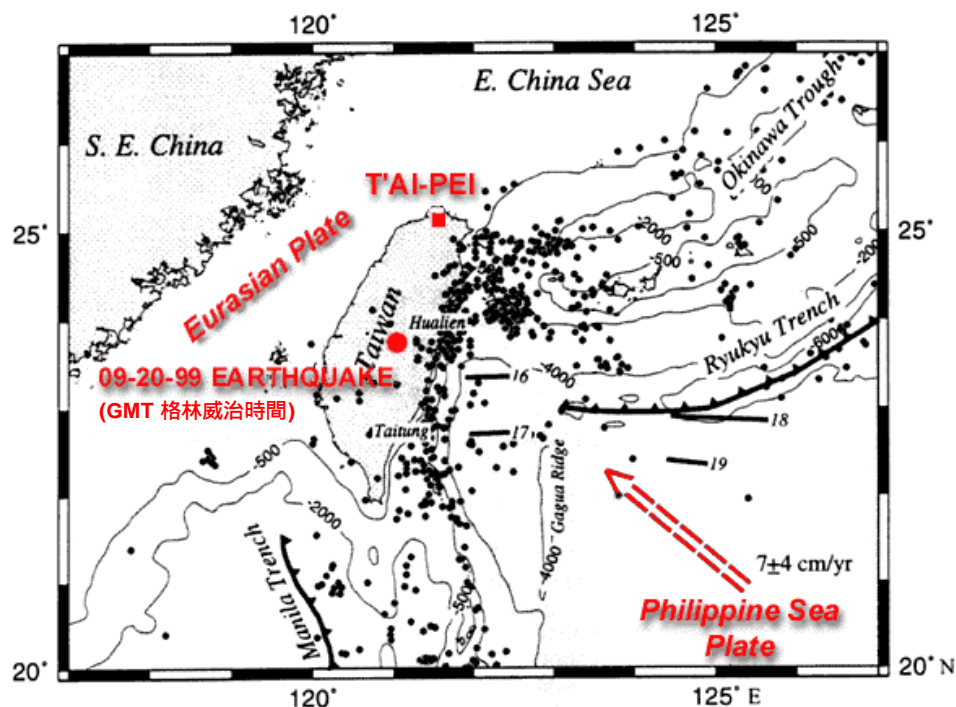


圖 1.2：集集地震震央與台灣地區板塊地體構造位置關係

(Kao, H., Shen, S. and Ma, K.-F., 1998)

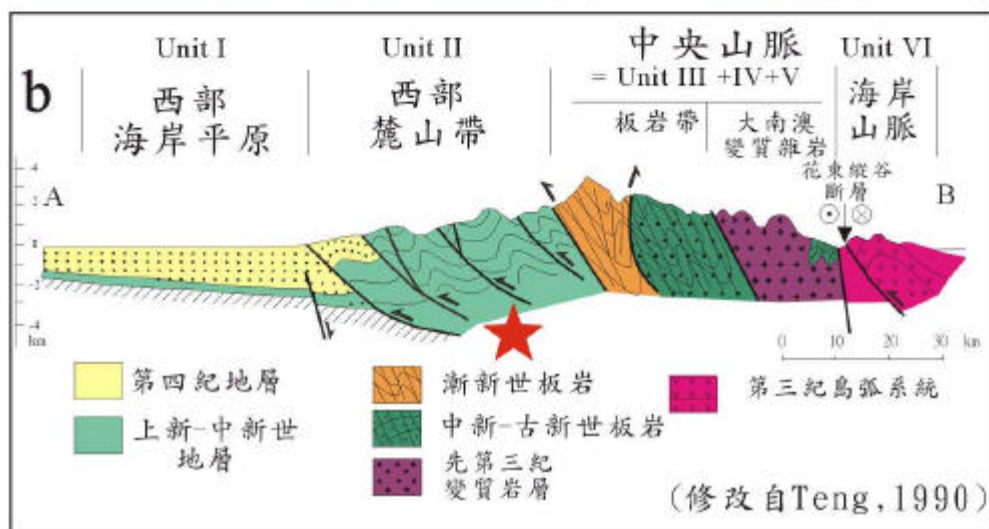
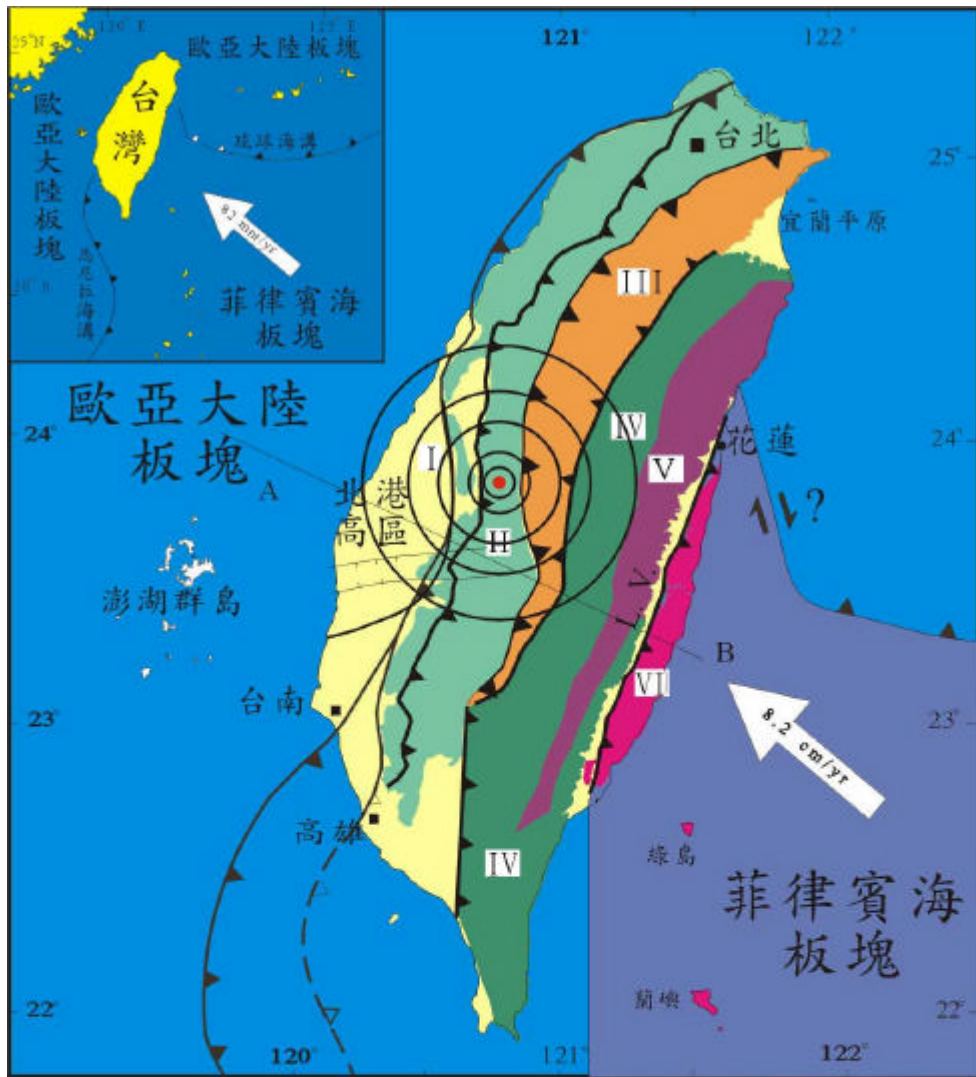


圖 1.3:台灣地區板塊地體構造與皺褶及斷層示意圖  
(中央研究院地球科學研究所,修改自 Lee,1994 及 Teng, 1990)

## 2.2 土耳其伊茲米特地震與集集地震之比較

今年 8 月 17 日在土耳其西北部的伊茲米特 (Izmit) 附近發生規模  $M_w=7.4$  的強烈地震。據土耳其官方統計死亡人數達 1 萬 7 仟人以上，受傷人數超過 2 萬 7 仟人。地震發生於當地時間凌晨 3 點 01 分(00:01:09.8, UTC) 震央位於伊茲米特市東南方約 11 公里處 (北緯 40.702 度, 東經 29.987 度)、震源深度約 17 公里, 屬於 North Anatolian Fault Zone (NAF) 斷層帶西側 (圖 1.4), 為內陸型淺層地震。NAF 斷層帶為極活躍之斷層, 此斷層同一分段(Segment)之地震再現期約為  $450\pm 220$  年。圖 1.4 將 NAF 斷層帶自 1939 年至今發生之強震序列資料, 包括震央、規模與餘震分布範圍詳細標出。此斷層於歷次地震中, 各分段延著斷層帶逐斷裂之現象極為明顯。許多土耳其及美國的地震專家在伊茲米特地震發生均預測(評估), 會在 NAF 斷層帶西側會發生規模 8.0 左右之強烈地震, 因此, 伊茲米特地震並不特別令人意外。

伊茲米特地震引起 NAF 斷層帶西側之地表斷裂長達 125 公里, 斷裂帶西端之地表水平錯動量約 250 公分, 東端則達 100 公分, 均為右移走向斷層錯動。在震央以東約 42 公里的 SAKARAY 測站 (堅硬地盤, Adapazari 市附近) 記錄到最大水平地表加速度(PGA) 值 407 gal, 垂直向 PGA 值 259

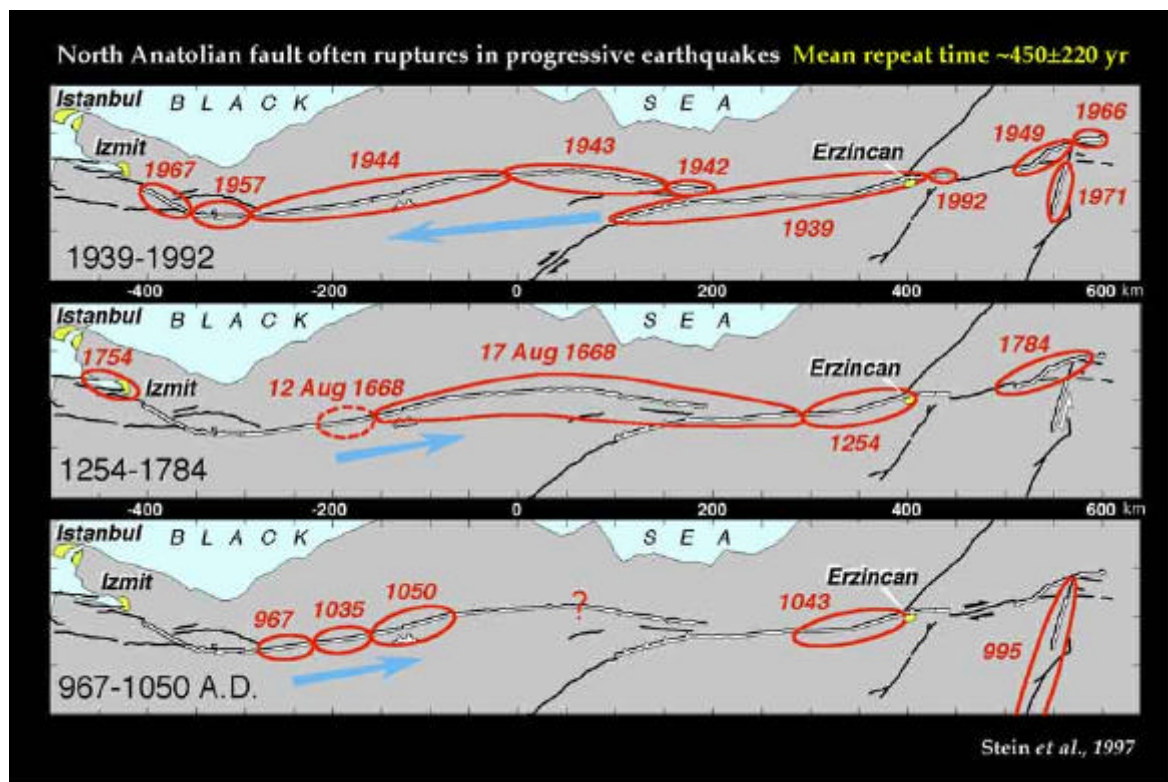


圖 1.4: 土耳其北安娜突利亞斷層分段逐次斷裂序列示意圖  
(Stein, Barka, and Dieterich, 1998)

gal。震央附近的 YARIMCA 測站則測得水平向 PGA 值 322，垂直向 PGA 值 241 gal。與地震規模比較，這樣的震度遠小於預期值，可能原因為能量釋放速率較慢。其水平向反應譜，在結構週期 0.25—1.4 秒之間阻尼比 5% 之加速度反應譜值放大倍率約為 2.5 倍，有極多之高頻含量。對 10 樓以下多隔間牆之 RC 住宅不利<sup>[1.5]</sup>。

隨後於 11 月 12 日當地下午 7 點在伊茲米特地震震央以東 110 公里處又再度發生規模  $M_w=7.2$  之地震，再度造成許多人員傷亡。而引起國人高度關切，擔心此次車籠埔斷層發生錯動是否會如土耳其北安娜突利亞斷層一樣，發生分段逐次斷裂現象而往南接續嘉南地區的觸口斷層，引發嘉南地區另一大規模地震；或往北延伸接續竹苗地區的神桌山斷層或獅潭斷層引發竹苗地區大規模地震。

### 2.2.1 車籠埔斷層往南北繼續開裂或短期內復發之可能性極低

土耳其北安娜突利亞斷層是由歐亞大陸板塊與安娜突利亞板塊 (anatolia plate) 交界面相對水平移動所造成之右移斷層，總長度超過 1500 公里。斷層特性極為明朗，而在伊茲米特地震發生後之詳細調查即已發現在伊茲米特東方仍有一段斷層未完成斷裂，亦即伊茲米特地震與 1967 年之地震間仍有一段斷層未完成斷裂而繼續積蓄能量。因此在伊茲米特地震詳細現地調查後地震地質專家即提出警告，認為在該未完成斷裂之地區將很快會再發生大規模地震，此即 11 月 12 日發生規模  $M_w=7.2$  之地震。

而車籠埔斷層在此次地震發現其斷層由南往北，在過了豐原之後轉往東北方向，經石崗之後更轉往東向，顯見其地質構造與竹苗一帶不同，此一觀點符合 1.1 節對台灣在地體構造上正位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的複雜交界面之描述。因此，10 月 7、8 兩日發生於新竹地區(可能與神桌山斷層或獅潭斷層有關)規模 5 左右之兩次地震，應與車籠埔斷層無關。10 月 22 日上午 10 時 19 分在嘉義市又發生規模 6.4 地震，亦引起民眾極大恐慌，而有人認為是車籠埔斷層往南接續嘉南地區的觸口斷層，可能引發嘉南地區另一大規模地震。但大多數地震地質學者認為雖然無法排除集集地震與嘉義地震之可能關連性，但由地震與地質(地體構造)來看，二者之大地應力場不同，應屬於不同(獨立)之地震帶。

從斷層結構以及集集地震與嘉義地震餘震分佈情況判斷，本次地震車籠埔斷層向南、向北延伸的機會不大。而由地震能量累積理論，本次集集

地震及餘震已將中部地區大地應變能量釋放，必須有長期累積才可能累積足夠能量以引發另一大規模地震。另一方面，由中央地質調查所之調查<sup>[R1.3]</sup>發現車籠埔斷層上次發生錯動是在 159 年前(西元 1840 年，道光 20 年)，其規模遠小於本次集集烈震。因此，短期內車籠埔斷層再度發生錯動的機率極低。

## 2.3 地震前之異常現象---地下水位變化

集集地震後，地震是否可能預測在民間與學界皆引起廣泛討論。有許多關於天空、動物、昆蟲之異常現象的報導，其中最值得注意的是極具科學性的地下水位異常變化研究。由集集地震前地下水位異常變化情況<sup>[R1.1]</sup>，發現在地震前 1-2 時，於車籠埔斷層附近許多地下水觀測井均有水位異常變化之記錄，最大水位變化達上升 7 公尺或下降 11 公尺。顯示地下水位異常變化與地震有著密切關係，雖未必能做為長期地震預測，但有潛力配合其他地震研究結果做為臨震預警用，臨震預警將可大量減少人員損傷與震災損失，值得再深入研究。

## 2.4 檢討與建議

1. 車籠埔斷層線之禁限建---集集地震後，車籠埔斷層錯動造成地表破裂達 105 公里以上，斷層線上結構幾乎都遭受相當嚴重毀損。斷層沿線兩側是否比照美國加州之做法，依車籠埔斷層線兩側各 15 公尺採用嚴格限建措施，斷層線附近結構加強耐震設計要求(詳第三章)，則有必要加以考慮。
2. 臨震預警研究---調查顯示地下水位異常變化與地震有著密切關係建議加強深入研究。
3. 台灣地區活動斷層之全面調查---此次車籠埔斷層之錯動引發集集地震，使得全國震驚亦突顯我們對環境認識仍有待加強，必須全面進行活動斷層調查，以確定斷層位置及其地震特性，才能在下一次地震來之前有最好的準備以減低災害。
4. 車籠埔斷層進一步研究與監測系統建立---雖然調查顯示車籠埔斷層向南、向北延伸的機會不大，且短期內再度發生錯動的機率極低。但由大區域地體構造看，車籠埔斷層及台灣地區其他斷層均屬歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的複雜交界面之系統，仍然須要更深入調

查研究，以確定其特性。建議在車籠埔斷層及其他第一類斷層設立 GPS 觀測系統以長期監測分析地表應力及應變之變化，了解地震現象。

## 2.5 參考文獻

- [1.1] 國家地震工程研究中心，1999，“集集地震震災調查地質組工作報告”，(召集人黃奇瑜等)
- [1.2] Kao, H., Shen, S. and Ma, K-F., 1998, “Transition from oblique subduction to collision: Earthquakes in the southernmost Ryukyu arc-Taiwan region, ” J. Geophysical Research 103, 7211-7229.
- [1.3] 中央研究院地球科學研究所網站，<http://www.sinica.edu.tw/>
- [1.4] R.S. Stein, A.A. Barka, and J.H. Dieterich, “Progressive Failure on The North Anatolian Fault Since 1939 by Earthquake Stress Triggering, ” 1998
- [1.5] 國家地震工程研究中心簡訊，1999，“震驚全球---土耳其大地震”，31 期，pp.5-6