

# 車籠埔斷層的古地震事件與地質的意義

陳文山

台灣大學地質科學系

## 引言

921集集大地震在1999年9月21日凌晨1時47分襲擊中部地區，地震的芮氏規模達到7.3，是百年來發生在台灣地區最大的地震，傷亡極為慘重，根據統計有2,539人死亡與失蹤，受傷人數約有12,000人，房屋全毀51,753戶，半倒54,406戶。921集集大地震釋放的能量，相當於46顆廣島原子彈的能量。921集集大地震發生後一個月內陸續發生一萬次以上的餘震，有五次餘震規模大於6，並再次造成嚴重的災害。

本次地震引發的地表斷層長度相當長，從苗栗卓蘭到雲林古坑地區，全長約100公里，是阪神地震（芮氏規模7.2）所產生地震斷層的兩倍。地表斷層將位在石岡斷層、車籠埔斷層與大尖山斷層以東的地塊抬升數十公分至將近10公尺（約有三層樓層的高度），並且向西水平移動了數公尺。921集集大地震的震央是位於集集附近，地表斷層經過許多城鎮，有卓蘭、石崗、豐原、太平、大里、霧峰、草屯、中興新村、名間、竹山等。由於地表斷層錯動區域的人口密度極高，因此造成建築物的嚴重破壞以及人員的重大傷亡。

921集集大地震的發生並非偶然，而是數百萬年以來台灣島的宿命。台灣是因為板塊擠壓而形成的島嶼，只要擠壓力量還存在，地殼就會不斷地變形，形成斷層與褶皺，地震也會不斷地發生。從100年以來台灣島上發生規模7.0以上的地震有12次，就可以清楚地了解到台灣地區大地震發生率是如此的頻繁，假若再以台灣地區的高人口密度來看，台灣更是歸為全球地震災害最危險的區域之一。

雖然921集集大地震為台灣帶來極大的災害，如果可以藉此機會讓全國民眾了解台灣島的地質環境，認識地震的本質，體會大自然力量的可畏，找出與這塊土地的共處方式，或許可以算是921集集大地震為我們帶來的正面回應。

## 一、台灣島的形成

約在600萬年前，菲律賓海板塊開始與歐亞大陸板塊發生碰撞，此時位於菲律賓海板塊上的海岸山脈就好像「推土機」一樣地把歐亞大陸地底的岩層向上向前推擠，因而隆起堆高形成了「台灣島」。菲律賓海板塊持續推擠之下，台灣島的面積與高度不斷地成長擴大，造就了台灣島今日的模樣，台灣的地質學家特地以「蓬萊造山運動」稱呼這次重大的地質變動事件。

台灣地區因為板塊的擠壓造成地殼的壓縮變形，在地表形成一系列的逆斷層並將地殼

隆起。300萬年以來，中部地區的地殼持續隆起，造就了陡峭的山脈與峽谷地形。當地殼抬升時也會將河床隆起，形成了高出河床的平地，位在現今河床兩側高起的古老河床（河階）就是地殼隆起的證據。921集集大地震就是將斷層東側的高山隆起，也將河階抬得更高，台中縣新社鄉以及南投縣草屯鎮有最典型的河階地形發育，這都是地球變動過程中地殼隆起的最佳證明。

## 二、地震

板塊碰撞時造成地殼的擠壓，使得原本靜靜躺在海底的水平岩層產生斷裂、褶皺並且被抬昇隆起成為山脈。現今台灣島中段與南段正是歐亞板塊受到菲律賓海板塊擠壓力量最大的地區，也因此台灣島的最高峰都是位在中段的中央山脈地區，如玉山、雪山。板塊互相擠壓時地殼會累積大量的能量，同時使得地殼的岩層產生變形，並且將能量蓄積在地殼中伺機而出，當岩層無法承受力量時，就會產生破裂並釋放累積的能量，大部分能量以地震波的型式釋放出來，形成地殼劇烈的震動，這就是所謂的「地震」。台灣島因位在板塊相互擠壓帶上，每年平均都會發生數十次以上的有感地震，這就是地殼活動最佳的證明。每年台灣所發生的地震有75%是位在東部地區，而這些地震活動大都與花東縱谷斷層的活動有密切的關係；其餘約10-20%的地震發生在西部地區，他們都與逆斷層的作用有密切的關係。這些還在活動的斷層稱為活動斷層。

## 三、活動斷層

台灣島是地球上幾處正在造山地區之一，數百萬年來因為板塊的擠壓，地殼受到產生強烈的變形，因而台灣島上形成許許多多活動的斷層與褶皺構造。目前還在活動的斷層稱為「活動斷層」，地球上絕大部分的地震是根源於活動斷層。

中央地質調查所考量台灣地區的地質環境背景，將活動斷層定義為：晚期更新世（距今約十萬年）以來曾經活動過，未來也可能再度活動的斷層。地質學家經過數十年的研究，目前認定台灣島上存在的「活動斷層」共有42條，大多集中在中部以及東部的花東縱谷。

台灣島上最重要以及最長的活動斷層分布於東部的花東縱谷中，這裡是菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊的分界線，地質學家稱為板塊邊界，因為兩個板塊相互移動的方向不同，所以在板塊邊界形成一條在台灣島上綿延200公里的斷層。這條斷層至今還在劇烈的活動，每年3/4的地震是與花東縱谷斷層的活動有關。

花東縱谷斷層是台灣島上最長也是最活躍的斷層，曾在1951年的花蓮與台東大地震產生地表斷裂，最大垂直落差約有1.2公尺。2002年3月31日發生芮氏6.8的大地震，造成遠在100公里之外的台北產生十餘人的傷亡與房屋倒塌，這次地震就發生在花蓮的東方約40公里的海底，震源深度約10公里。

中部地區主要的逆斷層有「雙冬斷層」、「車籠埔斷層」與「彰化斷層」，這些都是讓臺灣中部抬升形成山脈的重要斷層。921 集集大地震就是最近一次車籠埔斷層活動的產物。上次的大地震是在 1935 年，發生於新竹 - 台中地區稱為中部大地震，傷亡較 921 集集地震更為慘重；地表形成屯子腳斷層與紙湖斷層。這些大地震都是發生在活動斷層上並且造成地表的破裂，過去數百年的歷史記載也發生無數次的災害性地震並造成重大的傷亡。

#### 四、台灣大地震的歷史記錄

從台灣歷史上的災害地震資料來看，最早的地震記載始於 17 世紀（1602 年），當時並無任何儀器觀測，只根據人身感覺來做描述。僅從歷史文獻中來認定地震是由那一條斷層活動所引發是相當的困難，但也並非完全無法可解。假如從近百年以來台灣島的地震災害特性作為參考，或許可以此來探討 19 世紀之前的地震規模與震央區的可能位置，進一步還可以推測可能與那一條活動斷層的活動有關。1896 年台灣首度設立地震觀測站，利用地震計可以明確指出地震的大小與震央位置。

從歷史記錄來看台灣地區的大地震（規模大於 7.0），他們具有兩種共同的特性：一是受震的範圍非常大，可以涵蓋到福建地區；另一特性是發生餘震的時間很長，可長達一年以上。目前從文獻上所記載的資料彙整列表如下，地震儀共記錄六次地震規模大於 7.0 的地震；1896 之前的大地震僅能推測出下列幾次可能地震規模大於 7.0（表一）。

#### 五、地震產生的地質現象

地震發生時地表產生強烈的震動，造成震時即時災害與震後的二次災害如海嘯、土壤液化與山崩等效應，尤其規模較大的地震還會產生範圍非常廣大的地裂與山崩；一般而言，規模在 6.0 以上的地震才會造成明顯的地表斷裂與規模 5.0 以上會產生大範圍的山崩，因而造成全面性的災害。921 集集大地震造成的地表斷層長度非常長，沿著原來就已存在的石岡斷層、車籠埔斷層與大尖山斷層錯動，上盤岩層的抬升量甚至達到三個樓層以上高度。

地震時最常見的地質現象有山崩、地裂、堰塞湖、土壤液化等，除了造成自然景觀的巨大改變之外，同時也會造成人為結構物的毀損。921 集集大地震發生時，地表斷層大致沿著台中盆地東緣與山麓交接處活動，沿線造成劇烈的地表變形，形成一道 80 公里明顯的斷層崖，上盤抬升的高度差有 0.2 至 9 公尺。從地質角度來看，可根據三個不同性質的地質構造區來說明各分區的災害形式。

（1）地震斷層帶：地震斷層主要的災害型式為地表的撕裂，921 地震斷層沿著許多人口密集的城鎮，如卓蘭、石岡、豐原、太平、大里、霧峰、草屯、中興新村、南投市、名間、竹山等。這道近 100 公里的地表破裂，經過城鎮時造成建築物的毀損以及大量人員的傷亡。斷層行經處呈現無堅不摧、無物不毀的情景，鐵路扭曲、石岡壩體與粗大的橋都

表一、地震規模大於或相當於 7.0 的歷史地震

西元 年 月 日	震災地區 (震央位置?)	影響範圍 (中國地區)	震 害
1711 年 10 月 22 日	台南、嘉義	漳州、泉州	屋毀
1792 年 8 月 2 日 9 日	嘉義、彰化、 台中		嘉義縣：屋毀 15045，死 252，傷 432。 彰化營：屋毀 10408，死 358，傷 349。
1811 年 3 月 18 日	宜蘭	莆田	宜蘭：屋毀 41，死 21，傷 16。
1815 年 10 月 13 日 14 日	桃園、新竹	福州、福鼎	嘉義縣：城牆坍塌，死 2。斗六：死 16， 傷 5。彰化縣：死 2，傷 1。新竹：死 8。 桃園：死 85。
1848 年 12 月 3 日	彰化、鹿港	福州、泉州	全毀 13993，死 1030。
1862 年 6 月 5 日 6 日 7 日	嘉義 (5 日) 台南 (6、7 日)	金門、同安	地裂，噴泥 (嘉義，5 日) 死 >1000，地裂，噴砂 (玉井，6 日) 台南：死 300，傷 >1000，曾文溪地陷 (7 日)
1906 年 3 月 17 日	嘉義、斗六、 鹽水港 (規 模 7.1)，梅山 斷層	福州、泉州、 廈門	全毀 6769，死 1258，傷 2358。斷層， 地陷，噴砂。
1909 年 4 月 15 日	台北 (規模 7.3)		台北及新竹：全毀 122，死 9，傷 51。
1935 年 4 月 21 日	新竹、臺中 (規模 7.1) 屯子腳斷層， 獅潭斷層	浙江嘉興、福 州、福清、莆 田、廣州	死 3276，傷 12053。斷層，地陷，山崩， 噴砂。
1941 年 12 月 17 日	嘉義 (規模 7.1)	福州、仙游、 潮州	死 358，傷 733。地裂，山崩，噴砂。
1951 年 10 月 22 日 11 月 25 日	花蓮 (規模 7.3，7.1) 臺東 (規模 7.1) 米崙斷層，玉 里斷層，池上 斷層	未整理	死 68，傷 856。斷層，地陷，山崩，噴 砂。 屋毀 1016，死 17，傷 326。斷層，山崩， 噴砂，地陷。
1999 年 9 月 21 日	集集 (規模 7.3) 石岡-車籠埔- 大尖山斷層	未整理	死 2405，傷 10718 (1999.10.21 為止資 料)。斷層，地陷，地裂，山崩，噴砂， 地鳴。

因斷層而被截斷，如此堅固的建築物都無法抵抗大自然的摧殘。我們應可從如此景象清楚地了解到大自然力量是人是無法抵抗。從斷層帶之上的建築物全數被毀壞，也可以理解到「人定勝天」只是一個神話故事，因此慎重考慮建築物的防震能力，避開斷層帶才是防震的首要之道。

(2) 山麓區：斷層上盤屬於西部麓山帶與雪山山脈，地震發生時常會造成順向坡岩層的坍滑與崩移，這個地區人口集中在數個鄉鎮，如東勢、新社、石岡、埔里、集集、中寮、國姓、水里等，以及零星分布在山區的部落。當地震發生劇烈震動時，地表的土壤與鬆動的岩層會被震落或發生坍滑，尤其山麓帶一些岩盤裸露區域的地質結構是屬於順向坡地形或地形陡峭的坡地，當受到強烈的震動時經常造成順向坡岩層的坍滑與崩移，陡峭崖壁則會發生岩落現象。地震之後的衛星影像或航空照片可以看出，中央山脈與西部麓山帶的山區已處處露出傷疤，大規模的山崩使得岩層裸露，最明顯的例子是草嶺與九份二山的山體沿順向坡坍滑之後形成的岩屑湧浪流，大量崩落的土石還堵塞河流形成「堰塞湖」。而台中縣烏溪河畔的九九峰因為是由礫岩構成的陡峭山體，地表不易形成土壤，本來就只有淺根性的植物生長，地震發生時震落山體表面風化的岩石與表覆的土壤，同時也震落原本覆蓋的淺根性植被，山體因而形成童山濯濯的景象。

地震發生同時，上盤地區建築物也同樣遭到了全面性的破壞，中寮鄉有90%的房屋傾毀，東勢與埔里也有類似的情形。這種全面性的破壞與地質因素有密切的關係，包括地震波在堅硬岩層中行進的加速度較快、震波方向與建築物的方位關係、地表變形等等因素，都會造成區域性建築物的重大破壞。

(3) 沖積平原區：斷層下盤屬於台中盆地沖積平原，平原底下是鬆軟的礫石與砂泥層，土壤液化讓地表產生下陷及裂縫。這地區包括了許多人口密集的城鎮，如豐原、潭子、台中市、太平、大里、霧峰、草屯、中興新村、南投市、名間、竹山、員林市與彰化市。從地質構造的特性來看，斷層的下盤是屬於前陸盆地的構造環境（如台中盆地），盆地中堆積了數百公尺厚的疏鬆沉積層。地震時，沉積層受到強大的震盪作用，沉積物瞬時失去凝聚力，使得地下的沉積層產生流動的現象，形成液化現象。由於地底沉積層的流動造成地表不均勻的下陷而呈現凹凸不平的地面，因而造成建築物下陷、傾斜、倒塌的現象。地下沉積物產生液化時，會使得地下水壓增高造成地下水夾帶泥沙沿著裂隙噴出地表，產生「噴砂」與「噴泥」現象。霧峰一帶原本是屬於湖泊環境，地下有厚層的砂泥堆積，因此在921集集大地震時有多處房屋因為土壤液化導致建築物的地基不均勻下陷而傾倒。員林地區與接近海岸地區的台中港也因地底疏鬆的沖積層產生液化現象，造成區域性的地表變形與噴砂的現象。

處在底下有厚層疏鬆沖積層的區域還會有一種造成破壞更為劇烈的現象，當地震波傳達進入疏鬆沉積層時，與地盤的固有週期相近的地震波會在不斷反射之中增強好幾倍，地震波的震動幅度因此變大，再加上和建築物的共振，造成建築物產生大幅度的震動因而造成強大的破壞。在都市開發的過程中，土地的利用達到極限，原本湖泊或河川的沉積地層

就比較不利於建物的防震力，許多建物的基地還可能是人工填土而成，形成的地盤更難抵抗地震的撼動，這在都市開發的計劃中不可不慎！

## 六、古地震研究

至今雖然還是無法預測地震，但是地質學家還是希望能夠達到這個目標。為了能逐步了解地震發生的原因以及預測地震在何時會發生？目前最好的方法之一就是從研究古地震著手：從歷史的地震記錄或以槽溝挖掘斷層的方式來探究地震發生的頻率以及地震的特性。古地震研究的最終目的還是在預測地震發生的時間、地點與規模大小，讓人們能及時離開地震的危險區域，達到安家保命的目標。

從事古地震研究首先要尋找古地震斷層的遺址，挖開長寬約十餘公尺，深約 4-8 公尺的槽溝，找到斷層面之後，詳細記錄地下地層狀況。研究古地震的另一項重要目的就是要找出古地震發生的次數，這要從地下岩層曾被幾次的斷層所截斷，再將被截切的岩層中採取可以定年的材料來測定年代，如此就可以確定古代地震發生的年代了，以此了解該活動斷層再次活動的週期，並預測下一次地震可能發生的時間。當然目前「地震預測」(包含地震發生的地點、時間以及規模)都還在初步研究階段，依照目前研究的進度以及方法，地質學家認為未來 50 年間還是無法真正達到地震預測的目標。

車籠埔斷層的古地震研究工作已經進行了二年，初步的研究成果顯示車籠埔斷層上一次活動發生的時間大約在400-200年前。若追溯中部地區歷史地震的文獻記錄，也發現在西元1792年與1948年台中-南投地區曾分別發生規模可能大於7的大地震，這兩次地震造成的傷亡人數都達到千人以上。這個結果再次提醒我們車籠埔斷層的再活動週期可能非常的短。當然目前的研究結果還是非常初步，未來地質學家還會繼續針對全臺數十條活動斷層進行調查研究，期待未來陸續得到的研究結果能提供國土永續經營規劃的參考。