

九二一集集大地震之自然成因與地變

石瑞銓

— 九二一集集大地震之自然成因與地變 —

目次

摘要

一、前言

二、地震的成因

三、臺灣的地震活動與集集大地震的成因

四、集集大地震造成之地變與破壞

五、結語

摘要

一九九九年九月二十一日凌晨一點四十七分，台灣人民經歷了自先民開台以來最大的一次地震。地震的震央位於北緯二十三度四十九分，東經一百二十度五十一分，約在南投的集集與中寮一帶，震源深度約八公里。大地震發生時約四十五秒鐘的劇烈地動造成了非常大的破壞，頓使台灣中部成為人間煉獄，而受地震災害影響的範圍甚至遍及了全島。依據中央防災中心截至一九九九年十二月二十四日為止的統計，此次大地震中共有兩千四百七十人死亡，一萬零二人受傷，三十九人失蹤，以及三十四人受困；房屋建築損壞的部分則共有五萬一千七百四十一棟倒塌，包括全倒的兩萬七千一

百一十五棟以及半倒的兩萬四千六百二十六棟，其它還有二十餘座主要橋樑嚴重受損，估計財物損失約達新台幣三千七百多億。

集集大地震發生的主要原因是，位於台灣中部之山麓與平原交接地帶的車籠埔斷層再度活動，激烈的斷層作用將車籠埔斷層帶以東的地塊逆衝到斷層帶以西的土地上，再加上地震波強大的地震力，因而造成非常大的破壞以及非常激烈的地變。車籠埔斷層是一條已知的老斷層，之前即被認定為具危險性的活動斷層，但之前的資料並無法直接證實它於過去的一萬年內曾經活動過，而且也無法預測它何時會再度活動。很不幸的，車籠埔斷層於九月二十一日時再度活動，不到一分鐘的時間便即奪走了兩千多條人命，造成許多家庭支離破碎，及無數的財產損失。

九二一集集大地震造成的災難震驚了全世界，而大地震所改變的地形與地貌規模之大也是世所罕見，台灣地區包括苗栗以南、嘉義以北的中部地區，自西海岸至東海岸地殼都產生顯著的變形。集集大地震造成的地形與地貌之改變以斷層的逆衝隆起為首要，經調查斷層出露到地表的破裂分佈，車籠埔斷層由南部的桶頭一帶開始，往北經過竹山、名間、南投、草屯、霧峰、太平、大坑、潭子、豐原至石崗一帶，然後往東及東北延伸至新社、東勢及苗栗的卓蘭一帶，總長

約一百零五公里，隆起的高差平均約三到五公尺，最高約達十公尺。除了斷層的逆衝隆起外，集集大地震尚造成山區的山崩地滑以及土壤的液化等地變。劇烈的地變加上地震波帶來強烈的地震力，集集大地震所造成的災害大致可以劃分為五類：第一類為斷層沿線的破壞，如桶頭經竹山往北至石崗，再往新社、東勢及卓蘭一帶；第二類為山崩及落石造成的破壞，如草嶺、九份二山、草屯九九峰以及中橫公路等山區；第三類則為土壤液化以及噴沙造成的破壞，如台中港以及霧峰、大肚溪口、員林、社頭及南投貓羅溪沿岸等地；第四類是震央區附近如中寮、集集以及埔里一帶經強烈地動造成的破壞；第五類則為位於軟弱地層上或人為施工不良而造成的破壞，如台北、員林以及斗六等。

這次大地震所展現的強大威力再度說明了台灣是一個年輕而活躍的島嶼，隨時可能會發生地震。大地震除了會對建築物造成直接的破壞外，通常還會引發大型的火災及瘟疫等嚴重的二次災害；很幸運地，這類型的嚴重災害並沒有於集集大地震後接續發生，此外，原本會於大地震後撲向台灣的丹恩颱風也幸運地轉向。雖然單恩颱風也不幸的在金門造成極大的破壞，但台灣人民也幸運地在慘痛的地震災難中躲過了另一場浩劫。但是，大地震所衍生的許多自然問題仍亟待處理，例如多處因大地震所造成的山崩地滑，因為地質狀況仍然很不穩定，在未來的雨季及颱風季裡仍有不可預測的危險性。

以今日的科技水準，人類在未來可見的一段時間內仍然不可能預測地震。人們無法知道地震會在什麼時候、什麼地點發生，也不知道將會發生多大的地震。台灣位於環太平洋

地震帶上，隨時可能有另一波的大地震來襲，台灣人民應該從九二一集集大震的史實裡記取慘痛的教訓，並且學習與大自然融合相處，我們及後代的子孫才可能繼續地在這塊土地上安居樂業。

一、前言

根據全球性的統計資料顯示，世界上平均每年會發生一百次芮氏地震規模六以上的大地震，其中規模大於七以上的強烈地震也會有二十次。亦即，平均每三天左右地球上某處便可能會有一次大地震發生。幸運的話，大地震發生在深海底下或人煙稀少的地區，而不幸的時候，地震在人口稠密地區所帶來的激烈地動會極速的破壞房屋、建築物、道路以及其它維生管線，使人類生命及財產遭受嚴重損害。縱觀全球各地，每年均有許多生命財產受虐於地震災害的威脅。以一九七六年為例，該年二月瓜地馬拉發生了強烈地震，共有兩萬三千人喪生；同年五月，義大利發生了使九百人喪生的大地震；六月時伊朗地震又造成了六千人死亡；七月時中國大陸唐山再發生強烈地震，使得二十五萬人遇害；八月時菲律賓的大地震又有兩千人死亡；當年的十一月，土耳其又發生大地震並再造成四千人喪生。在一九七六年一年內便大約有三十萬人口死於地震災害，財產損失更難計其數。日本位於歐亞大陸板塊、太平洋板塊以及菲律賓海板塊的交接處，也常常遭受強烈地震的侵襲，一九二三年的關東大地震共有超過十四萬四千人喪生；而一九九五年的阪神大地震也不幸的奪走了六千餘條人命，並造成了約一千億美金的財產損失。

集集大地震發生之前，過去的歷史資料以及由近代的觀

測資料便已顯示，台灣自十八世紀以來平均約十年左右便會發生一次災害性的大地震，其中更有十五次地震造成的極為慘重災害。在上述的災害性地震中，最嚴重的數一九零六年的梅山地震及一九三五年的新竹苗栗烈震。梅山地震共有一千兩百五十八人喪生，而新竹苗栗烈震更奪走了三千兩百七十六條人命。加上集集大地震兩千多位的死亡人數，累計本世紀以來，台灣地區因為大地震所造成的死亡人口已經超過七千七百人、受傷者超過兩萬人、房屋全倒者超過五萬棟、損壞超過十三萬四千棟，而其它如交通、工業及農業等財產方面的損失尚不在此列，損失之慘重可見一般。

自古以來地球上某些地區的人們便一直感受到地震的威脅，但是因為不瞭解地震發生的原因而常將地震成因神話，例如台灣人會說地震是因為地牛的翻身而來，而日本人則說地震是因海底下的大鯰魚活動所造成，美洲印地安人則將地震歸因於地底下活動的大烏龜，而蒙古人則認為是地底下有一隻會造成地震的大青蛙，印尼附近的西利伯群島人則說地底下有一隻大豬，地震是因為這隻豬扭動而造成的。上述的傳說係起因於人類對地震的無知，但也流傳了非常長的一段時間。隨著科學的演進，地震相關的研究才越趨成熟，但人類對地震的成因也是直到二十世紀初才終於有了真正的認識，才瞭解地震與地球內部構造的關係。

二、地震的成因

十九世紀中葉，人類已經察覺到地震災害往往集中於某些特定的區域，如中國大陸、台灣、日本以及美洲西岸等地，但仍無法瞭解地震真正的成因。科學家在那時也觀測到，

地震的災害往往會集中於狹長的地帶，並從而推測每次的地震必有其一定的發源地。直到二十世紀初，美國約翰霍普金斯大學的哈利瑞德教授提出了地震的斷層理論，人類對地震的成因才有了真正的瞭解。一九一零年哈利瑞德經由觀察一九零六年，美國加州舊金山大地震時，聖安德列斯斷層廣泛的斷裂作用與大地測量的資料，推論這些地表的斷裂並不僅止於地球的表層而已，並提出了非常出名的地震的斷層理論，即彈性回跳理論。什麼是彈性回跳理論呢？該理論認為地底下的岩石是一種像彈簧般的彈性體，可以被壓縮而變形。

岩石被壓縮時本身也會以變形的型態而將能量儲存在岩石內；一旦長期儲存在岩石內的能量超過了岩石本身能夠負荷的強度，岩石便會斷裂，而在這個斷裂兩側的岩塊也會在很短的時間內彈回到原來未變形的狀態並將能量釋放出。這情形就像我們折斷竹竿時一般，竹竿在被折斷前會先彎曲與變形，並將能量儲存在竹竿內，當儲存的能量超過竹竿的強度時，竹竿便會折斷並且彈回到原來的直線狀態。岩石被擠壓變形而後斷裂，並使兩側岩體互相滑移的現象便稱為斷層作用，而斷裂的地方被稱為斷層。斷層在地底下是一個面，稱斷層面，斷層作用一旦開始，斷層面會急速地破裂擴展並且在很短的時間內將所儲存的能量以熱和地震波的形式往四面八方傳播。當地震波往四面八方傳播時會帶動地盤隨之振動，形成了人們所感覺到的地震。斷層於地底下最開始斷裂的地方被稱為震源，而將震源垂直投影到地面上所對應的那一點則被稱為震央。

因為斷層作用而引發的地震又稱為構造型地震，全世界有百分之九十五的地震都屬於構造型的地震，其餘的百分之

五則可能是因爲火山爆發、岩漿活動、地下核爆、地殼塌陷、或隕石撞擊而造成，屬於非構造型的地震。非構造型地震的數量不僅較少，所引起的震動也不會十分強烈，所造成的災害也會相對較低。地震本身所釋放之能量的大小稱之爲地震規模，是一九三五年由地震學家芮氏所提出的概念，故也常稱爲芮氏規模。目前全球所觀測到最大的地震，爲芮氏規模八點九的地震。規模六的地震所釋放的能量約相當於一顆投擲在廣島的原子彈所釋放的能量。由於儀器記錄值解算對應的關係，規模相差一倍則能量相差約三十二倍，例如規模七的地震所釋放的能量約三十二倍大於規模六的地震所釋放的能量，即約三十二顆投擲在廣島的原子彈所釋放的能量。同一個的地震，位於不同地區的人會感覺到不一樣的地動程度，各個地方不同的地動程度則被稱爲震度。地震發生時，人們所感受到的地動大小除了與地震本身所釋放的能量大小有關外，並且和人們所在的位置與震源之間的距離有關。一般而言，距離震源越遠所感受到的地動程度也會越小。在尚未使用地震儀的年代，震度是依人的感覺以及建築物的損壞程度來決定，非常地主觀。目前，地震的震度皆客觀地以地震儀器依當地地表所記錄到的地表最大加速度值來表示。震度的大小不是造成地震災害的唯一因數，震動時間的長短也會影響災害的程度，震動的時間越長造成的災害也會越大。

地震並不是均勻地散亂在全球各地發生，而是集中在發生在少數幾個被稱爲地震帶的區域。自從一九六零年，全球的標準測震網設置以來，全球各地的地震活動已能很準確地被觀測，因而全球的地震帶分佈及範圍也能夠更明確的界定。圖一即爲全球的地震震央分佈圖。圖一中土黃色區域爲地球

的五大洲，而青灰色區域則爲海洋所覆蓋的範圍。圖一中紅點代表全球所觀測到的地震發生的位置。由圖一中紅點的分佈，我們可以清楚地看出全球的地震主要發生在環太平洋沿岸地帶、歐亞大陸和海洋的中洋脊一帶，呈帶狀分佈。這些會發生地震的區域便稱爲地震帶，而地震帶的分佈與成因和地球本身內部的構造有直接的關係。要探討全球的地震分佈的原因我們便需要先瞭解地球內部的構造。

地球是一個接近於球狀的橢圓體，半徑約有六千四百公里，它的內部構造由外而內主要可以分爲地殼、地函與地核等三層。地震雖然會帶來大災害，但地震波會穿透地球並傳播到世界各地，也是被用來研究地球內部構造最有用的工具。經由地震學的研究，人們已經可以知道地殼的平均厚度僅約三十公里。地殼尚可分爲大陸性地殼及海洋性地殼，大陸性地殼平均約有六十公里厚，而海洋性地殼則僅約五到十公里厚。地殼底下有一層非常厚的構造，稱爲地函，約兩千七百公里厚，它可被視爲是由高熱而具黏稠性的岩漿所組成。地函地下的構造則被稱爲地核。地核包含了外地核及內地核，外地核約有一千八百公里厚，是由液態的電漿所組成，而內地核則是一個非常巨大的鐵結晶。地球的內部構造就好像煮得半熟的雞蛋一般，外表是一層硬硬的蛋殼，蛋殼底下是黏稠狀的蛋白，再往內則爲液態狀的蛋黃。如果將這個雞蛋輕敲，使蛋殼裂成塊狀，它的形狀就更像地球了。地殼本身並不是一個完整的殼，如同上述龜裂的蛋殼一般，地殼是由塊狀的地塊一塊塊的拼湊而成的，而這些塊狀的地塊則被稱爲板塊。全世界主要的板塊有七個，包括：太平洋板塊、歐

圖一、全球之地震震央分佈圖



亞大陸板塊、美洲板塊、非洲板塊、印度板塊、澳洲板塊以及南極大陸板塊等。如果再加上如菲律賓海板塊等幾個較小的板塊，全球較顯著的板塊便約有十餘塊。圖一的全球地震分佈圖中，由震央連成的紅色線型所環繞的一塊塊地塊便是各個不同的板塊。地殼上的各個板塊彼此間緊緊地靠在一起，並且漂浮在黏稠性而高熱的地函上面。

地球是一個活行星，內部尚未完全冷卻而存在大量的熱能活動。地殼下黏稠狀且非常高溫的地函物質會由於深度不同產生的溫度變化而產生對流，下部地函較高溫的物質因密度減小而往上升，而上部地函較低溫的物質則會因密度較大而往下流，這種不斷進行的對流作用帶動了浮在地函上面的板塊相對移動，產生了擠、壓、拉、扭等的作用力，並以能量的形式累積在板塊與板塊的交界。累積在板塊之間的作用力如果超越了板塊之間的磨擦力上限，板塊就會在交界處錯動，並將能量以地震波的形態往四面八方釋放傳播，地震波經過時再帶動地殼震動而形成地震。板塊運動的原因使得地球上主要的地震活動大都集中在板塊的交接處，並且在世界上形成了環太平洋地震帶、歐亞地震帶和中洋脊地震帶等三條主要的地震帶。

環太平洋地震帶是全球三個地震帶中最大的一個，包括了環太平洋四周的大陸邊緣及島弧。環太平洋地震帶東起自南美洲西岸的智利，經秘魯、哥倫比亞北上至中美洲尼加拉瓜等國家，再繼續沿著北美洲西岸向北延伸至阿拉斯加南部，再向西越過阿留申群島和千島群島而至日本，再繼續南下經過台灣，菲律賓而至新幾內亞，之後轉東通過斐濟而至東加群島，又轉南以迄紐西蘭。全世界約有百分之八十的地震

發生於環太平洋地震帶上。歐亞地震帶則包括了歐亞兩大洲的南緣地帶，西起自葡萄牙經直布羅陀往東通過地中海各國，再經土耳其、伊朗、巴基斯坦、以及喜馬拉雅山區，而到達中國的四川、西康和雲南山區，再轉南經過緬甸及印尼群島，最後和環太平洋地震帶於新幾內亞島附近會合。全世界約有百分之十五的地震會發生於歐亞地震帶上。中洋脊地震帶則包含了位於太平洋、大西洋、印度洋和北極海中長度達數萬公里的海洋大山脈，中洋脊地震帶的寬度很窄，地震次數也不多，約佔全球地震數目的百分之五而已，但中洋脊地震帶在全球性的地震發生原因上卻具有很重要的地質意義。

一九六零年代中期，由於科學家對地球磁場研究的突破性進展而建立了海床擴張學說。該學說認為，在地殼底下的地函部份，其內部上昇的熱流會將上部地函頂部的物質熔融並由中洋脊湧出，這些湧出的熔融物質凝固後便成為形成海洋地殼上部的岩石（玄武岩）。當湧出的新地殼堆到一個高度後便會因重力的關係而向中洋脊兩側崩塌進而推擠，海洋地殼便會因此而由中洋脊向二旁擴張，這便是海床擴張學說。地球在冷卻的過程中，最初僅在南北各形成一塊大陸性陸塊，經由海洋擴張的過程而分裂成幾個大陸板塊，然後持續漂移到現在各個大陸性板塊的位置。海床擴張學說建立之後，科學家們再根據地震的震源分佈及其它特性，並配合了地磁學等詳細資料，進一步提出了板塊構造學說，說明地球的外殼係由數個大的板塊所組成，每個板塊均漂浮於高溫且可塑性較高的地函之上，恰似冰山漂浮於海洋上一般，板塊因地函內軟流圈之流動而受牽動漂移。由於地函內部的對流作用帶動著海洋地殼往中洋脊兩側擴張，使海洋地殼撞擊到大

陸性地殼而形成了山脈、海溝及島弧等現在的大地形貌。板塊的撞擊活動並且因而形成了環太平洋及歐亞大陸等兩個地震帶。然而，板塊間並不是以猛烈的速度撞擊，而是以緩慢而穩定的速度靠緊。

地震的震央呈狹長帶狀的分佈，而震源深度的分佈也極具規則性。目前已知的地震，最深的震源深度約達七百公里。若依震源的深度將地震分類，地震可分為淺層地震、中層地震及深層地震等三類。淺層地震的震源深度由零至七十公里、中層地震的震源深度七十至三百公里，而深層地震的震源深度則由三百至七百公里。地球上大多數的地震屬於淺層地震，震源深度在七十公里以內。中層地震和深層地震的發生次數不僅不多而且分佈的區域僅限於環太平洋地震帶和歐亞地震帶上的小部分地區；在中洋脊地震帶上則完全沒有中層地震和深層地震。

地球上的地震主要是因為斷層作用而成，因此，會再活動的斷層是地震及地質學家最為重視的地質構造。當我們描述一條斷層為活動斷層時，常會以一個近期錯動的時間來當基準，並強調它未來再現或再活動的可能性，例如從數百年以來、或數萬年以來、或數十萬年以來皆有，大致依目的及所規範的對象而定。一般工程上常將約一萬年以來發生錯動或會再度活動之斷層定義為活動斷層。國際原子能委員會為了制定核能電廠的選址標準，認為只要符合下列任何一項或一項以上標準的斷層，即應被視為可能活動的斷層：第一個條件是該斷層在以往三萬五千年內曾經有過一次接近地表的錯移；第二個條件是該斷層在以往五十萬年內曾多次接近地表之斷層活動；第三個條件則是與上述標準認定的活動斷

層有構造上的關聯，並且能被推測為可能會發生錯移之斷層；第四個條件是該斷層有緩慢位移之證據，但不一定會產生有感地震的斷層；第五個條件則是在地形上有地表斷裂、扭曲及地形特徵的錯移現象等證據的斷層。因為各個國家所處的地體構造環境不同、遭遇自然災害的程度不同，因此，對於活動斷層之認定並無全球所共同接受之標準。即便如此，將過去十萬年以來曾經發生錯移的斷層界定為活動斷層皆可為大多數的科學家所接受。確認斷層是否是活動斷層的方法主要係運用地質與地形的理論與技術、遙測資料，以及地震、地球物理、水文地質、地球化學、考古學與歷史等資料來比對。例如：分析年輕地形或地質特徵與堆積物的錯移；分析年輕沉積物的組成或厚度的變化；分析地震資料及其它古地震研究資料等；分析大地測量所記錄的近期位移；或分析由歷史或考古資料所得的人為或自然結構物的錯移資料等。地形特徵因為在短時間內即可產生變化，雖然較具爭議性卻也是最簡便的斷層判斷方式，有些斷層由地表的分析較困難進行，仍須作進一步的利用地球物理方法進行地下構造的探勘方能予以確認。

三、臺灣的地震活動與集集大地震的成因

臺灣位於環太平洋地震帶上，太平洋板塊西側的小板塊，菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊在臺灣東部的花東縱谷交接。經由全球衛星定位系統進行的地殼變形研究，中央研究院地球科學研究所根據一九九二年至一九九八年七次觀測資料的估算，位於菲律賓海板塊上的綠島和蘭嶼每年均以八點二

公分的速度朝西北方的澎湖靠近。由於菲律賓海板塊每年以穩定的速度向西北移動，它的北端在花蓮、宜蘭外海一帶隱沒至歐亞大陸底下，而西側則直接撞擊歐亞大陸板塊，造成了台灣地區每年平均約兩百次的有感地震，並且大部份集中在台灣的東部。根據現代化儀器所觀測到的地震資料顯示，台灣地區之地震分佈，由台灣東部之蘭嶼以北經台東、花蓮以迄宜蘭的陸上及近海地區，淺層地震非常頻繁，其中尤以花蓮至宜蘭一段之地震活動最為活躍。當菲律賓海板塊衝撞歐亞大陸板塊時，撞擊的力量也會傳遞到台灣西部並造成地殼變形，當地殼變形超過西部地殼的強度時，地殼便會在台灣西部最脆弱的地方裂開、產生斷層，進而將地震能量往四面八方傳播。由於推擠的力量來至東邊，台灣島上主要的斷層構造為南北走向的逆衝斷層，斷層東側的地殼會逐漸向西及向上推擠，最後錯動而衝到斷層西側的地殼上面。越靠近中央山脈的逆衝斷層是較早期地殼活動遺留的痕跡，而越年輕的斷層則會陸續地往台灣的西陸發展。因為能量持續穩定的累積，雖然板塊的交接處是在臺灣的東部，台灣西部也常有地震發生並常常帶來大災害。在台灣本島的地震活動以雪山山脈、阿里山山脈、西部的嘉南平原以及中苗地區較為活躍。一般而言，震源深度較深之地震大多發生在台灣東北部的陸上及海域地下，有些則發生在台灣東南方海域地下。台灣西部工商較發達、人口較稠密，地震發生的地點又靠近人類居住的地方，大災害就更容易發生。

台灣地區位於環太平洋地震帶中的一段，若仔細區別地震的特性再加上板塊構造的理論，台灣地區尚可劃分為三個地震帶，即東北部地震帶、東部地震帶以及西部地震帶。東

北部地震帶包括了北緯二十四度以北，東經一百二十一度以東的地區。這個地震帶的地震依其震源深度可分為兩類，第一類是接近地面二十公里以內的淺層地震，第二類則由北緯二十四度漸向北傾斜加深的地震帶，又稱班氏地震帶，它是海洋板塊往大陸板塊隱沒的證據，為菲律賓海板塊隱沒於台灣北部及琉球群島底下而造成。

東部地震帶包括了北緯二十四度以南，台東縱谷東側以及台東至鵝鑾鼻海岸以東之地區。此帶地震之震源深度大都在五十公里以內，可能是因為菲律賓海板塊不停地向西北方向移動，被台灣島阻擋而使其西部邊緣地帶受到激烈應力作用所引起。此地震帶位於台灣東南海域地區有深度大於五十公里之地震發生，這些地震的成因由於資料不是十分充足尚無法具體推斷，較可能是歐亞大陸板塊向東隱沒到菲律賓海板塊下所引起。

西部地震帶包括了東經一百二十一度以及台東縱谷以西的台灣本島及其西南海附近的海域地區。本地震帶之地震震源深度於北緯二十三度以北地區都在三十五公里以內的地殼中，其中以深度在二十公里以內的地震佔大多數。因為此地區大都是淺層地震，在過去即曾有多次地震有斷層出露於地面。這一地區之地震主要是台灣地殼受到菲律賓海板塊從東方不停擠壓所引發的效應。在本地震帶位於緯度二十三度以南的區域，有些地震之震源深度大於三十五公里，極有可能是與本地區歐亞大陸板塊向東隱沒到菲律賓海板塊下之作用相關。台灣三個地震帶都有淺層地震，淺層地震對地表之破壞比較集中且較嚴重，由防災的觀點非常值得注意。

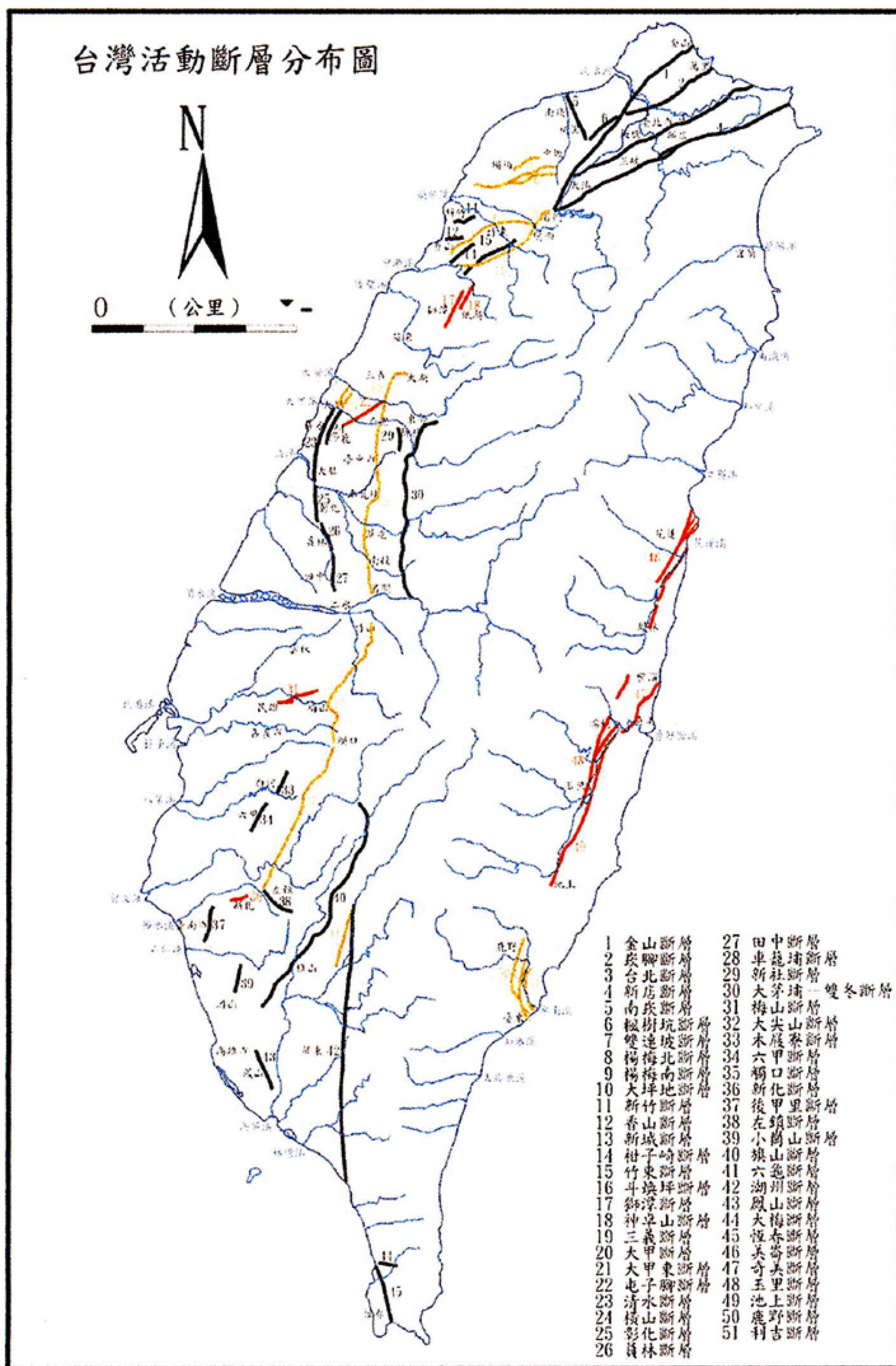
斷層在台灣的地層裡到處可見，自古以來每一次的地殼

變動所引發地震而伴生的斷層便會在地層裡留下痕跡。斷層告訴我們地震發生的歷史，然而遍佈各地的斷層並非全然都很恐怖，可怕的是那些會再度活動的斷層。參照歷史文獻以及觀測的資料顯示，臺灣地區曾多次地震發生時伴隨山崩、噴砂、地鳴、地下水噴出等現象，並有多次大地震造成地震斷層：如一九零六年於嘉義縣之梅山地震，梅山、民雄至大連坑一帶有斷層出露地表；一九三五年新竹、台中烈震產生了獅潭與屯子腳斷層；一九四六年於台南新化附近之地震伴生了新化斷層，自那拔林延伸至鹽行；一九五一年於花蓮東南東方十五公里處米崙斷層再度活動，自花蓮港延伸至壽豐東北附近；一九五一年於台東北方三十公里處的地震伴生了玉里地震斷層，自瑞穗北方延伸至富里以南，全長約四十三公里。一九七二年花蓮瑞穗東北東方四公里處之瑞穗強震，則伴生了瑞穗地震斷層。然而也並非每次地震後斷層都會出露到地表，例如一九六四年之白河地震、一九九八年之瑞里地震以及一九九九年十月二十二日之嘉義地震，上述地震後均未在地表發現斷層出露，那些未出露到地表的斷層我們會稱之為盲斷層。瞭解斷層的分佈及特性可以幫助我們減低地震的威脅性，例如建築物可以適度的避開斷層，而建築物的耐震力也知道應加強設計。

我國由經濟部中央地質調查所蒐集相關文獻的調查資料，編繪了比例尺五十萬分之一的臺灣地區活動斷層分布圖（見圖二）及說明書，分述五十一條活動斷層與存疑性活動斷層（張徽正等，一九九八）。該說明書依據斷層活動時代分類之方法，將臺灣地區的活動斷層大致分為兩類：一、有直接證據顯示在過去一萬年以來曾經活動過的斷層為第一類活

動斷層（如圖二中之紅色斷層）；二、僅有直接證據顯示斷層在過去十萬年以來曾經活動過者則為第二類活動斷層（如圖二中之黃色斷層）。除了第一類與第二類的活動斷層外，其餘目前仍然存疑而無法明確界定的斷層則暫列為存疑性活動斷層（如圖二中之黑色斷層），並待進一步的調查與歸類。活動斷層調查並不是一件很簡單的工作，它牽涉到地理、地形、地質及地球物理等相關知識，需要許多人力、時間及經費來進行；縱然調查的技術允許，斷層也並不是很容易的可以被發現，例如台灣山區因為許多地方人力無法到達而無法調查或在平原區域因地表被沖積地層覆蓋而無法直接觀測等，這些都會影響到斷層的偵測。目前該說明書主要是以整編其他相關資料為主，因為有許多斷層的確位置與性質仍然不能清楚的界定，現階段中央地質調查所僅將該活動斷層分佈圖繪製於五十萬分之一的地圖上，它可以讓人們知道斷層大致的位置與走向，但仍無法確知知道所有斷層於地表的實際位置。台灣地區已完成或即將進行不少的重大工程建設，針對各個工程設計所需，比較精密及較大比例尺的斷層調查已有分別進行，但這些資料大都為小區域性的調查且分屬於不同單位。目前中央地質調查所正在進行進一步的斷層調查工作，準備能將斷層位置繪製在兩萬五千分之一的地形圖上，以期公佈更精準的斷層的位置、類型及特性。

由台灣的地體構造分析、地表的地質調查，以及中油公司對於地下深部構造的震波測勘資料顯示，縱貫台灣西部平原跟丘陵間有一條大斷層存在，在中部的這一段稱為車籠埔斷層，往南的一段稱為大尖山斷層，再往南則稱為觸口斷層。大約在距今六、七百萬年前，菲律賓海板塊開始碰撞歐亞



臺灣活動斷層分布圖。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。

圖二、經濟部地質調查所五十萬分之一臺灣活動斷層分佈圖

大陸板塊，由於擠壓、摺皺、隆起等作用而造就了台灣今日高山綿延的地形架構，隨著歐亞大陸板塊以及菲律賓海板塊的不斷擠壓，過去的兩百萬年以來，位於麓山帶的斷層作用持續的進行並且漸次往西移動，車籠埔斷層便是這一系列斷層中的一條。台灣島大部分的地區受到不等量的擠壓作用，地殼縮短現象在新竹以南的台灣西部平原區及麓山帶都非常顯著，例如地殼縮短率在中部地區約每年兩公分，而至西南部地區更高達每年四公分。雖然沒有直接證據顯示車籠埔斷層曾於過去的一萬年內有活動的歷史，但由地質資料可以確知車籠埔斷層於最近的十萬年來曾經活動過。十萬年在地質年代上僅是一個很小的單位，因此，車籠埔斷層的活動性也從不曾被忽略過，而集集大地震之前它被列為第二類的活動斷層，大地震後車籠埔斷層將被改列為第一類活動斷層。

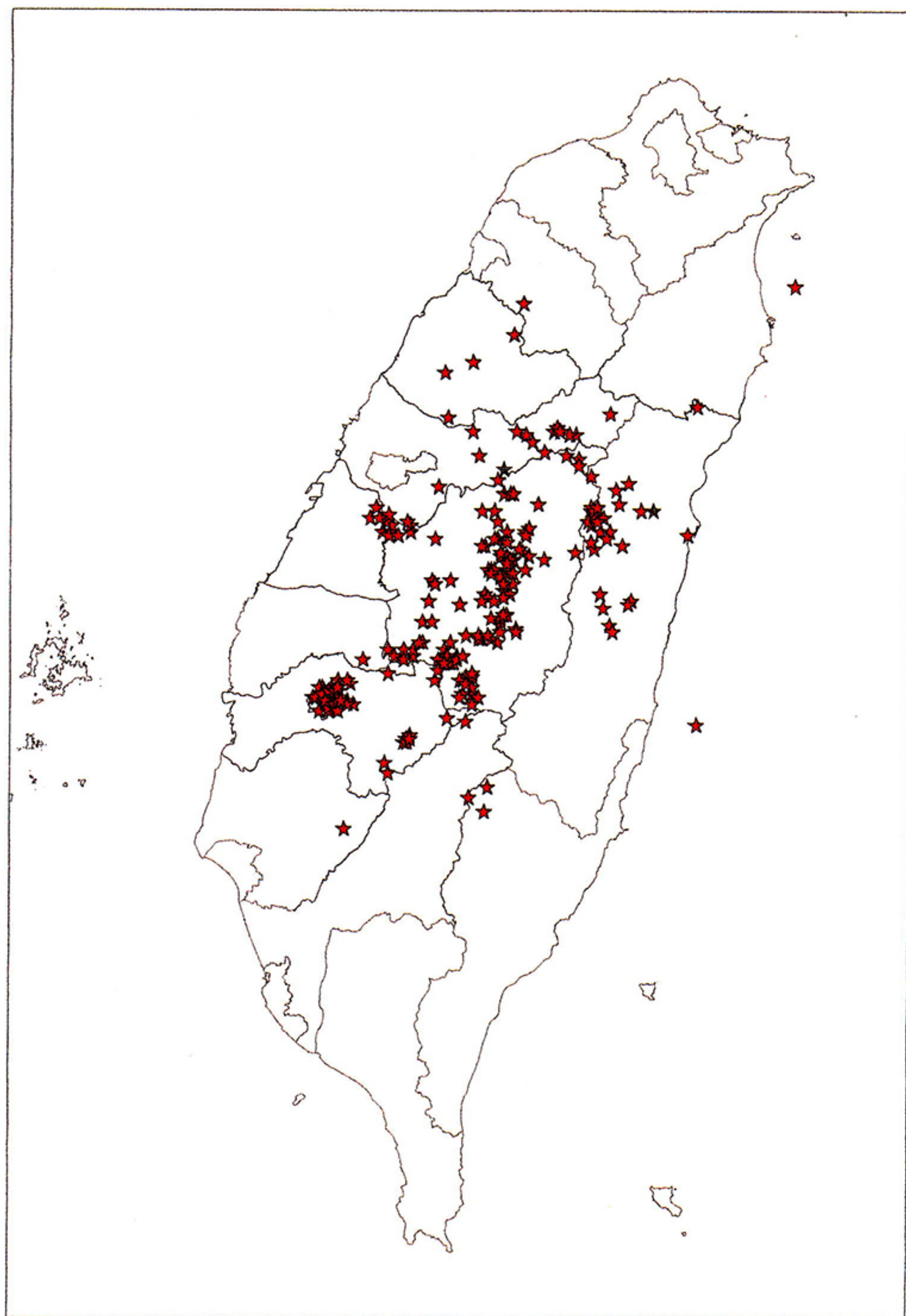
四、集集大地震造成之地變與破壞

因為地殼不斷的變動與抬昇，台灣地區擁有東南亞各國中最高的山脈，其中並有一百多座高山海拔超過三千公尺。九二一集集大地震是大自然同樣的力量再一次展現的結果。由於來自東南方，持續的累積的能量已超過台灣中部地殼能夠忍受的強度，車籠埔斷層便再一次地被撕裂，並將斷層東邊的土地往西逆衝到斷層西邊的土地上，在沿斷層線產生了平均約三至五公尺左右的落差，最高的落差更達約十公尺，並在許多地方造成山崩與土壤液化等地變及非常嚴重的破壞。集集大地震發生的時間是一九九九年九月二十一日凌晨一點四十七分十五秒，地震的規模達到芮氏規模七點三，震央的位置位於北緯二十三度四十九分，東經一百二十度五十一

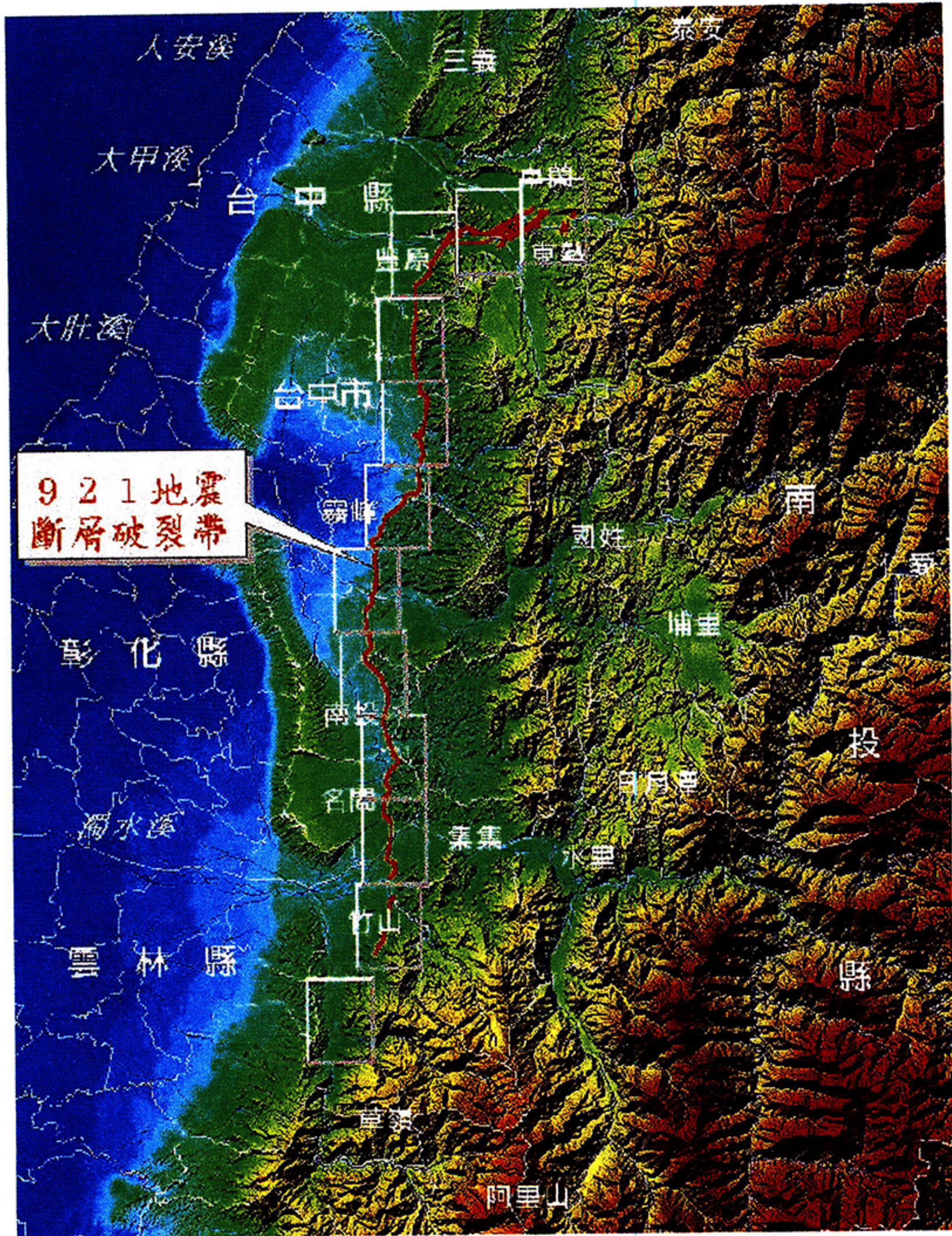
分，震源深度約八公里。大地震持續了約四十五秒左右才停止。集集地震主震發生後的幾天內，有感及無感餘震約每三十秒便發生一次，之後降為每分鐘一次而漸次遞減。統計自集集大地震發生後至當年十一月底前，規模大於四的餘震多達兩百五十次以上，其中甚至有九次規模大於六的餘震，地震所影響的範圍高達一萬平方公里。圖三為九二一集集大地震發生以後至十一月底前，規模四以上的地震之震央分佈的情形。由圖三可以看出餘震的分佈非常廣泛，幾乎涵蓋了半個台灣。集集大地震主震所產生的地震力非常大，許多地方的震度都超過了六級，而最大的水平加速度於南投名間與日月潭地區甚至都超過了一個重力加速度值。

經調查車籠埔斷層於此次地震出露到地表的破裂位置，南邊由南投、雲林以及嘉義交界附近的桶頭一帶開始，往北經過竹山、名間、南投、草屯、霧峰、太平、大坑、潭子、豐原至石崗一帶，然後往東及東北延伸至新社、東勢及苗栗的卓蘭一帶，總長約一百零五公里。圖四為集集大地震後車籠埔斷層於地表的破裂分佈圖，圖中紅線即為新的車籠埔斷層出露至地表的分佈區域。由於車籠埔斷層於此次大地震中的活動面很長，斷層由南往北破裂、延伸並夾帶著非常大的地震力往四面八方傳播，總計大地震延續的時間約四十五秒，其中包含非常致命的二十五秒極激烈搖晃，使得地震災害遍佈全台。

中央研究院地球科學研究所研究員黃柏壽博士，利用中央氣象局於全島設置的四百多部強地動觀測儀所收集到之強地動資料，重建了地震發生當時的地動時空分佈，分析地震時車籠埔斷層沿線周邊的地表地動之情形。其結果清楚地顯



圖三、集集大地震至十一月底前，規模四以上之餘震分佈圖。



圖四、集集大地震後之車籠埔斷層之地表破裂分佈圖。
(經濟部中央地質調查所)

示，九二一集集大地震所造成的斷層破裂及能量釋放過程，在大地震發生後的前十幾秒內地震所釋放的能量較小並且侷限在震央附近的區域；等大地震發生後約二十秒左右，地殼累積的能量開始大規模的釋放，斷層也由南往北連續破裂，並延續到大地震發生後約四十五秒左右時才停止。這次大地震釋放的能量主要集中在車籠埔斷層的北端，這也說明了台中縣的石岡、新社以及東勢一帶，雖然位置遠離震央但災情仍然非常慘重。在此次大地震中，地震波傳播到各地的所花的時間以及在各所引起的地殼振動大小，受到了地下構造以及與震央距離不同的雙重複雜變化影響，除了在靠近震央的區域外，於彰化及雲林等地也有明顯的軟弱地層放大效應現象出現，當地的地震力都比所預期的為高。台北地區則受到了盆地放大效應的影響，震波有被集中放大的現象，值得注意的是，台北地區是在大地震開始後約七十秒左右才感受到強烈地搖撼。由於強烈的地震力以及斷層作用，加上台灣山區容易山崩、西部平原容易土壤液化的地質特性，以及部份地區軟弱地層的震波放大效應等，九二一集集大地震終於造成了舉世震驚的大災難。

地震發生時最直接的破壞便是因地面劇烈震動而摧毀我們所居住的房屋及建築物。劇烈的震動亦可能破壞土壤強度或使建築物底下的基礎物質液化而造成建築物傾斜、全倒或損壞。建築物若是位於大地震伴生的斷層帶上，建築物本身也會因斷層本身大規模的地表位移而將其摧毀；因此，除了加強建築物的耐震度外更應將建築物遠離已知的活動斷層帶。根據中央研究院地球科學研究所與中央地質調查所，於集集大地震後，觀測車籠埔斷層以及彰化斷層的活動情形發現

，集集大地震所造成的地殼變形範圍非常廣大，包括苗栗以南、嘉義以北的中部地區，自西海岸至東海岸都有顯著的地殼位移出現。經比較地震前與地震後的觀測結果，並計算各測點相對於金門的同震位移量發現，車籠埔斷層東側土地的水平位移量達一點二至七點一公尺，呈西北至西北北走向由南向北遞增；而斷層西側以及豐原至東勢一帶北側的地區則有零點一至一點一公尺，朝東南至東南東方向的水平位移，車籠埔斷層的東側較西側抬昇有二點二至四點五公尺的垂直位移。然而，距離車籠埔斷層線以東十五公里往東的區域，地殼則由抬昇轉為下陷，因此在台灣地理座標的起算點，埔里的虎子山，發現有朝西北方二點三公尺的水平位移，以及零點六公尺的下陷量。在車籠埔斷層西側的土地於地震後大都下陷，其中尤以斷層線附近的三十公分下陷量最大。斷層沿線因斷層作用造成的巨大地表位移加上強烈的地震力而造成非常重大的災害。

地震也可能引發大規模的山崩或海嘯。據統計，山區山崩及落石造成的破壞共約有一千八百餘處，其中以草嶺、九份二山、九九峰以及中橫公路等地最為嚴重。在海邊，隨地震而引發的海嘯可能比地震本身帶來更劇烈的破壞。一九五八年於阿拉斯加所發生的地震，山崩引發大量的沙石泥土灌入海灣而掀起六十公尺高的巨浪。根據史籍的記載，一八六七年於基隆外海發生的地震曾產生地裂與引發海嘯且造成數百人喪生。集集大地震因為是在陸地發生，所以沒有海嘯出現。地震時水壩亦可能因為水庫中大量水體的劇烈震動、強烈的地動或山崩而被破壞，所引發的洪水可能對水庫下游居民帶來比地震本身更直接的傷害。集集大地震發生後，台中

的石岡水壩發生潰壩，水庫流失的大水所幸經由大甲溪的宣洩而未傷害到下游的居民，而地震時首當其衝的日月潭及德基水庫也幸而無恙，沒有在台灣中部造成進一步的災難。

土壤液化也是一種可能發生的地震災害。由於地層內疏鬆的飽和砂土於地震時受到大量外來的壓力，使得砂層內的砂粒因被擠壓而緊密地靠在一起且體積縮小，這種現象使得砂層內的水無法順利地排出而產生額外的水壓力。若累積增加的水壓力超過土壤強度，則土壤抗剪強度便會完全消失而呈現液態，這情形將使土壤失去支撐其上建築物的強度，造成建築物急速沉陷或傾斜。一九零六年的梅山地震於民雄以西至新港之間所造成的地表大量噴砂即為土壤液化所形成的一種現象。九二一集集大地震後土壤液化造成的破壞則以台中港以及霧峰、大肚溪口、員林、社頭及南投貓羅溪沿岸等地最為嚴重，而十月二十二日嘉義大震後八掌溪河床也有土壤液化及噴沙現象。土壤液化及噴沙的現象通常是於地震後出現，並不是大地震的前兆。

集集大地震所改變地形地貌除了斷層的逆衝隆起外，山區的山崩地滑以及西部地區土壤的液化也非常嚴重。除了地變外，因為強大的地震力以及各個地區地下構造的差異，集集大地震尚於廣大的區域因強烈的地動造成的破壞，其中尤以中寮、集集以及埔里等地最為嚴重，並發生因軟弱地層引起或施工不良的破壞個案，如在台北、員林以及斗六等地的建物倒塌等。

劇烈的地變加上地震波帶來強烈的地震力，集集大地震所造成的災害大致可以劃分為五類：第一類為斷層沿線的破壞，如桶頭經竹山往北至石崗，再往新社、東勢及卓蘭一帶

；第二類為山崩及落石造成的破壞，如草嶺、九份二山、草屯九九峰以及中橫公路等山區；第三類則為土壤液化以及噴沙造成的破壞，如台中港以及霧峰、大肚溪口、員林、社頭及南投貓羅溪沿岸等地；第四類是震央區附近如中寮、集集以及埔里一帶經強烈地動造成的破壞；第五類則為位於軟弱地層上或人為施工不良而造成的破壞，如台北、員林以及斗六等。以下則針對各項破壞加以說明：

（一）車籠埔斷層沿線之地變及破壞

經調查集集大地震發生後車籠埔斷層出露到地表的破裂位置，它與中央地質調查所原先所公布的斷層位置基本上一致，主要的區別是集集大地震後車籠埔斷層的北段在大甲溪至大安溪一帶即停止向北前進，轉而向東方及東北方發展，造成石岡、新社、東勢及卓蘭一帶的斷層整個呈帶狀分佈，複雜的斷層構造也在此區形成極大的破壞。於斷層的北段複雜的斷層系統中，其中一段由豐原至東勢間的豐勢路往東北向切過，於斷層東南邊抬昇了三公尺以上，並持續往東北延伸切過大甲溪。照片一為豐勢路北邊，大甲溪上的埤豐大橋受到斷層切割而斷落的情形，斷層切過橋樑後仍繼續往東北邊延伸，且在大甲溪上河床的岩盤造成一處約五公尺高的瀑布。往東北向發展的斷層也切過了石岡水壩，造成了供應大台中飲用水最主要來源的石岡水壩潰壩。照片二即為石岡水壩受到斷層作用而在北邊壩址潰壩的情形。照片中右方（即南邊）的水壩壩體及其前後方大片出露的土地，係地震後整片被抬昇而造的結果。這次地震中能量釋放主要集中在斷層的北端，石岡、新社以及東勢一帶雖然遠離震央但因斷層作

用強烈以及地震力集中以致災情非常慘重。

車籠埔斷層由豐原往南至南投竹山一帶，不若北段的複雜但斷層的出露還是受地形及地表地質控制，蜿蜒地往北延伸，時而出露於山邊或在平原區出現，部份地區斷層呈清楚的帶狀分佈，部分靠山邊地區的斷層則非常難以辨認。受制於斷層逆衝作用的影響，本次地震中斷層東側的破壞很嚴重，而斷層西側的破壞則比較輕微。照片三為斷層在名竹大橋南側出露切過農田的情形，照片中可見到茶園因斷層作用而抬昇變形，在這一帶斷層帶的寬度可達十公尺以上。

照片四為車籠埔斷層南段，於接近南投、雲林與嘉義交接處的桶頭橋北邊出現的斷層現象。這一帶的斷層作用主要以走向滑移的型態為主含較少量的逆衝分量，不像如斷層的中、北段一般以逆衝型態為主。照片四中可以見到茶園受到右移斷層活動的痕跡，照片上方的茶樹因土地往右邊移動，使得原來成一直排的茶樹因而往右邊移動。過了桶頭橋往南沒多遠處仍猶可追蹤到斷層在地表破裂的痕跡，但再持續往南後斷層便隱沒在山林中而不知去向。集集大地震時力量的主要的來源是由東南往西北向推進，因而北邊的斷層作用很猛烈但在南端則較平淡的消失。

斷層出露到地表時會受地形及地表地質等控制而有不同的表現。斷層在地表常以斷層帶狀的型態出現，而不只是單純的斷層線，更不會只是一條直線。斷層可能會在某些地方隱沒在地表下而消失不見，或切進山區而與原來的地形混雜，以致無法區別。同一條斷層，不同次地震而出露的露頭不一定會出現在同一位置，對照九二一集集地震發生前與發生後的車籠埔斷層出露於地表的破裂位置也發現，這次地震後

斷層出露的位置並不全然會和上一次地震斷層的露頭重疊。

(二) 山區的山崩與破壞

集集大地震除了在平原區域產生極大的破壞外，大型山崩與落石也在中部山區造成了非常嚴重的破壞。台灣地區因地質年代年輕，並且地表風化嚴重，平常在山區便常會因天雨地震而造成落石或山崩，集集大地震後，強烈的地震力於全台造成了多達一千八百餘處的山崩，估計總面積達三千五百餘公頃。中橫公路谷關至德基間約長三十公里的路段，損壞非常嚴重，一大段的路基流失而修復期間則難以預期，另有多處山區的道路也被嚴重地破壞。

除了山區道路的破壞外，大型山崩也在多處形成，或造成堰塞湖，其中以草嶺以及九份二山最為嚴重。照片五為草嶺地區山崩的空拍照片，照片中可見到大量的土石沿著順向坡滑下的結果。滑落的土石造成了清水溪溪谷中長達五公里左右的土石壩，壩的寬度由一百多公尺至一千多公尺寬不等，壩的深度達五、六百公尺深，積水長達五公里，估計崩落的土方約達一億三千萬立方公尺之多，有多戶的民家不幸遭到活埋。照片中水域即為新形成的草嶺潭。草嶺之外，南投的九份二山也是另一處非常大型的崩山區域。九份二山也是順向坡造成的山崩，大地震後大量的土石隨著順向坡下滑約兩公里，崩塌的區域至少在四平方公里以上，當地也有不少民家慘遭活埋。照片六為九份二山山崩的一景，崩塌後地表的土石非常鬆軟，遠處山壁青灰色的岩壁有岩層下滑清楚的擦痕，由照片中也可看出有兩階岩層下滑的痕跡。

南投縣草屯至埔里路邊的火燄山，或稱九九峰，也在這

次的大地震中產生了極大的地形變化。由堅實的頭嵙山礫岩層所組成的火燄山，早期因為風化作用，使得表層的礫岩層變得鬆軟而可以植栽，形成了一大片翠綠的山景。地震後表層鬆軟的風化層因為受到強烈的地震力搖晃而剝落，植物跟著掉落，而露出了底部未經風化的土黃色礫岩層，成為另一番的景象。照片七即為久久峰於大地震後形成的新風貌。除了上述區域之外，地震後尚造成了多處大型的山崩，如台中太平的一江橋東方虎子山的大山崩，或苗栗卓蘭風坑的山區等。上述的山崩區域都是未來可能發生二次災害的區域，在今後的雨季及颱風季節裡都可能發生進一步的大型災害。集集大地震後原本有丹恩颱風可能侵襲台灣，所幸颱風最後沒有登陸，否則集集大地震的災情將不只現在的數目。雖然如此，這些區域都必須是當地居民在未來最需要警戒及注意的地方。

(三) 土壤液化及破壞

台灣西部沖積地層的頂部常有鬆砂層的存在，地下水位又高，地震來臨時，地層內疏鬆的飽和砂土於地震時因受到大量外來的壓力，砂層內的砂粒會因被擠壓而緊密地靠緊且體積縮小，這種現象使得砂層內的水無法順利地排出而產生額外的水壓力，若累積增加的水壓力超過土壤強度，則土壤抗剪強度便會完全消失而呈現液態，這情形將使土壤失去支撐其上建築物的強度，造成建築物急速沉陷或傾斜。集集大地震後西部平原地區因受到強震地殼持續的影響，劇烈的震動破壞了土壤強度或使建築物底下的基礎物質液化而造成建築物傾斜、全倒或損壞，這現象以台中縣之霧峰、太平以及

大肚溪口南岸，彰化縣之員林及社頭以及南投之貓羅溪沿岸一帶最為嚴重，許多的房屋因而傾斜、全倒或損壞。厚層的噴沙雖然沒有造成民宅倒塌，卻嚴重的破壞了建物的內部，而因土壤液化而造成的房屋下陷，使得路面變得比房屋的地板還高。土壤液化現象往西至台中港亦可發現，照片八為台中港部份區域受到土壤液化作用形成小陷陷，然後再受海水刮洗後出現的大陷陷。集集地震後，土壤液化及噴沙的現象往南至嘉義梅山一帶也都還有發生。

(四) 強烈地震力造成的破壞

集集大地震所釋放的能量非常的大，於地表所引起的加速度值也很可觀，根據中央氣象局的強地動觀測網所收集到的資料顯示，全省有相當大部份的地區其最大加速度值都超過零點二五個重力加速度值以上，在氣象局的震度表上均屬於震度六級。最大的地表水平加速度值於南投名間與日月潭地區甚至超過了一個重力加速度值。強烈的地面劇烈震動便足以摧毀房屋及建築物，經由巨大的地震力與長時間震動相乘效應的影響，造成許多的建物無法承受而倒塌或破壞。其中以震央區的破壞的範圍最為廣大，尤以集集、中寮以及埔里等地最為嚴重。集集線鐵路也受到極大的破壞，照片九中的集集線鐵路，鐵軌因為受到橫向地震力激烈的作用而扭曲變形，幸好火車在當時並未行經該地而造成進一步的災害。圖十則為霧峰林家花園於大地震破壞後的空照圖。當地許多建築物因無法承受強烈的地震力而倒塌，附近倒塌的民房因已清除而成為空地。



照片一、大甲溪上的埤豐大橋受到斷層切割而斷落，斷層切過橋樑後仍繼續往東北邊延伸，且在大甲溪上河床的岩盤造成一處約五公尺高的瀑布。



照片二、石岡水壩受到斷層作用而在北邊壩址造成潰壩，照片中右方（即南邊）的水壩壩體及其前後方大片出露的土地，係地震後整片被抬昇而造成的結果。



照片三、車籠埔斷層在名竹大橋南側切過當地的農田，造成茶園因斷層作用而抬昇變形，在這一帶斷層帶的寬度可達十公尺以上。



照片四、斷層南段，於桶頭橋北邊之茶園受到斷層右移的作用，照片上方的茶樹因土地往右邊移動，使得原來成一直排的茶樹因而往右邊移動。這一帶的斷層作用主要以走向滑移的型態為主，僅含少量的逆衝現象，不若在斷層的中、北段以逆衝型態為主。



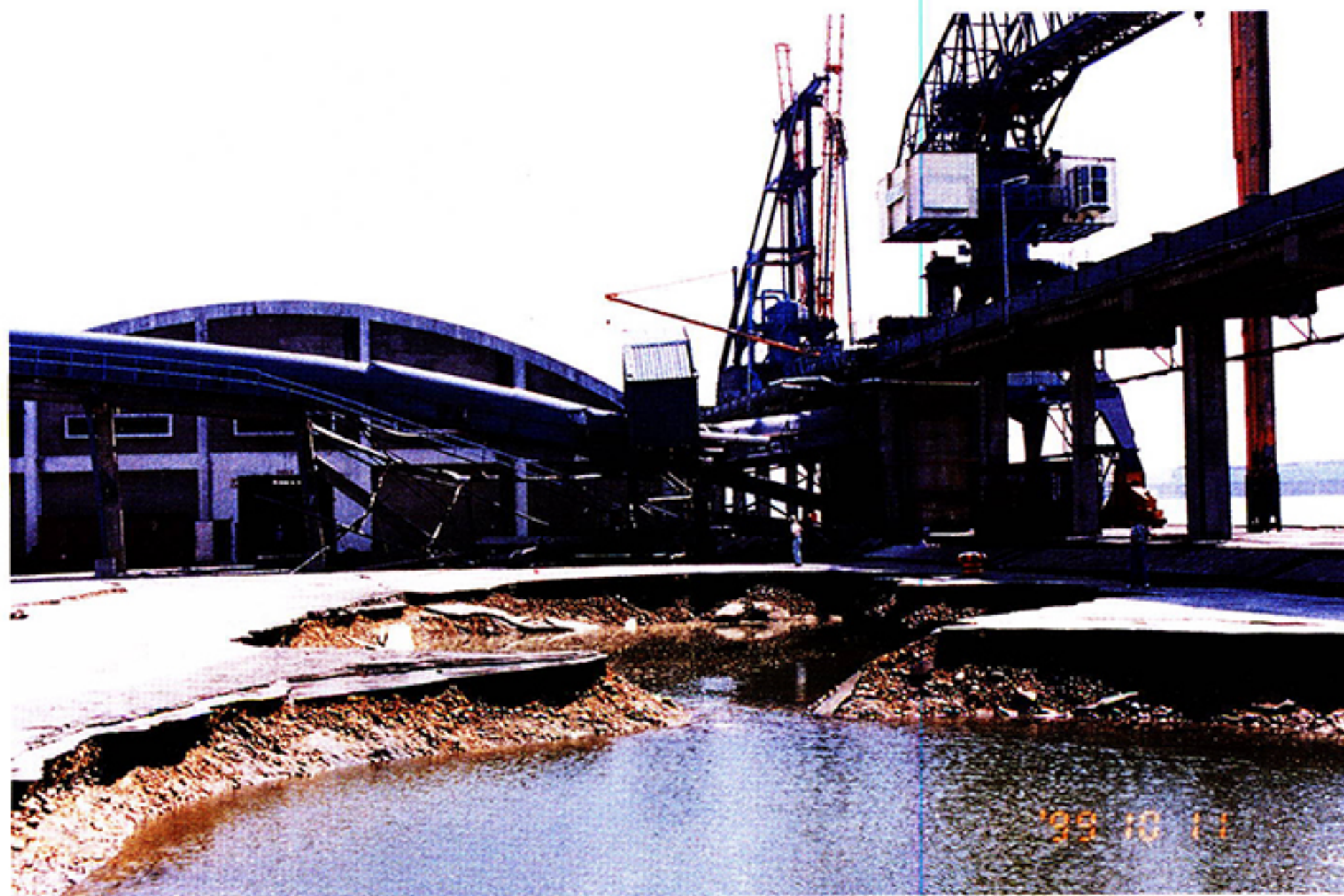
照片五、草嶺地區山崩的空拍照片，照片中可見到大量的土石沿著順向坡滑下的結果。滑落的土石造成了清水溪溪谷中長達五公里左右的土石壩，壩的寬度由一百多公尺至一千多公尺寬不等，壩的深度達五、六百公尺深，積水長達五公里，估計崩落的土方約達一億三千萬立方公尺之多。照片中水域即為新形成的草嶺潭。



照片六、九份二山山崩的一景，崩塌後地表的土石非常鬆軟，遠處山壁青灰色的岩壁有岩層下滑清楚的擦痕。



照片七、草屯至埔里間的火燄山，或稱九九峰，於大地震後形成的新風貌。由堅實的頭寮山礫岩層所組成的火燄山，早期因為風化作用，使得表層的礫岩層變得鬆軟而可以植栽，形成了一大片翠綠的山景。地震後表層鬆軟的風化層剝落，而露出了底部未經風化的土黃色礫岩層。



照片八、臺中港部份區域受到土壤液化作用形成小蹋陷，然後再受海水刮洗後出現的大蹋陷。



照片九、集集線鐵路於集集大地震中也受到極大的破壞，因為受到橫向地震力激烈的作用而造成鐵軌扭曲變形。



照片十、霧峰林家花園於大地震時因無法承受強烈的地震力而嚴重破壞。

(五) 軟弱地層及其他的破壞

集集大地震後各地的地動強度於斷層的東側與西側有明顯的不同。斷層的上盤一般而言最大的地表加速度到達零點四個重力加速度值以上，而斷層西側則大部份在零點二以下。整體而言，集集大地震後位在斷層下盤上，即斷層西側的，建築物所遭受的破壞均較斷層上盤上，即斷層東側的，破壞為小。然而，各地仍有災情及房屋倒塌的情形傳出，除了部份是因軟弱地層造成的震波放大效應之地質因素外，也有一部份是因為施工不良引起。這類房屋倒塌的災情主要以台北市、新莊、員林、斗六以及嘉義為主。彰化、雲林等地在這次地震中也有明顯的軟弱地層放大效應現象出現，在當地所量測到的地震力比之前預期的高，而台北地區則是受到了盆地放大效應的影響，震波有被集中而放大的現象，也造成了嚴重的破壞。

五、結 語

集集大地震是有記錄以來，在台灣本島所發生最大的一次地震，依據中央防災中心截至一九九九年十二月二十四日為止的統計，集集大地震中計有兩千四百七十人死亡，一萬零二人受傷，三十九人失蹤，以及三十四人受困；房屋建築部分則共有五萬一千七百四十一棟倒塌，其中包括全倒的兩萬七千一百一十五棟以及半倒的兩萬四千六百二十六棟，並有二十餘座橋樑嚴重受損，估計財物損失達新台幣三千七百多億。因為現代化建築物的耐震能力比以前好，因此相較於二十世紀發生在台灣的其他地震，它所造成的傷亡人數並未

多於一九三五年發生於台中、新竹與苗栗一帶的大地震，但仍然造成了許多生命財產的損失。比較今年八月間土耳其大地震所造成的傷亡，土耳其地震所釋放的能量不及集集大地震，但傷亡人數卻為集集大地震的十倍以上。推究其原因，仍然是以房屋的耐震能力為主。加強房子的耐震設計及負責任的施工，仍然是以後減低地震災害的首要。

九二一集集大地震所造成的災難震驚了全世界，地震改變的地形與地貌其規模之大也是世所罕見，台灣中部地區都有顯著的地殼變形發生。集集大地震改變的地形與地貌主要以斷層的逆衝隆起為主，由桶頭一帶往北經過竹山、名間、南投、草屯、霧峰、太平、大坑、潭子、豐原至石崗一帶，然後往東及東北至新社、東勢及苗栗的卓蘭一帶，總長約一百零五公里。進一步更詳細的調查台灣活動斷層的分佈也是減低未來地震災害的另一項重點。

除了斷層的逆衝隆起外，集集大地震尚造成山區的山崩地滑以及西部平原大片土地土壤的液化。集集大地震造成的災害大致可劃分為五類：第一類為桶頭經竹山往北至石崗一帶，再往東及東北至新社、東勢及卓蘭一帶斷層沿線的破壞；第二類為草嶺、九份二山以及中橫公路等地山區之山崩及落石造成的破壞；第三類則為如台中港以及霧峰、大肚溪口、員林、社頭及南投貓羅溪沿岸等地經土壤液化以及噴沙造成的破壞；第四類是震央區附近中寮、集集以及埔里一帶經強烈地動造成的破壞；第五類為台北、員林以及斗六等地位於軟弱地層上或人為施工不良而造成的破壞。

地震時除了可能帶來上述直接或間接的災害外，火災為最嚴重、最可能發生的二次災害。地震時劇烈的地動會直接

破壞如水管、瓦斯管及電線等維生線，外洩的瓦斯若碰上電線走火或其它燃燒的火苗便很容易引起火災，由於地震後交通及通信會中斷或極度混亂，加上大部份的水管已被震裂而缺水，火災會在無法搶救的情形下造成不可收拾的大災害。一九零六年舊金山大地震所引發的大火，易燃的建材加上狹窄的巷道使得火舌整整燒了三天，將已飽受地震蹂躪的舊金山帶進另一場更恐怖的浩劫。一九二三年的日本關東大地震，當時的強風助長了已不可收拾的火勢，最後在該地區帶來了超過十四萬四千人喪生的大災害。一九九四年洛杉磯大地震時當地共引發了一百餘起的火災並造成大災難。一九九五年日本阪神大地震所引發之熊熊大火亦於大阪、神戶一帶帶來不可收拾的局面。在台灣，一九六四年的白河地震，當時的嘉義市市中心區便被慌亂中所引發的大火燃燒了三個小時以上，將當時的嘉義市精華區燒成廢墟。很幸運地，九二一集集大地震後並未發生大火延燒的慘劇，南投酒廠的火警由於位於封閉型隔離的範圍，災害並未往外延燒而釀成更大的災害。

防災教育也是未來減低地震災害非常重要的一項工作。若要減低地震時火災可能帶來的大災害，平時各個家庭、學校、醫院、工廠以及其它公共場所便需有正確的防火訓練，同時也需有配備齊全的防火及消防設施，當然，平時便就需要有合宜的防火規範來相配合。舊金山於一九零六年大地震的大火中得到慘痛的教訓，由慘痛代價中得到的經驗，使得舊金山於一九八九年再度發生大地震時便有效地在短時間內便控制了火勢，是落實地震防災工作的一次非常成功的例子。台灣地區人口越來越稠密而且居住的環境相當集中，加強

百姓的防火意識與消防演練將是我們減低地震二度災害的第一課題。

依全球性的統計資料來看，一九九九年的地震次數並沒有比其他年份多，也沒有其他較異常的現象出現，這次大地震所展現的威力再度說明了台灣是一個活的島嶼，隨時有地震的可能。以今日的科技水準，在未來可見的一段時間內，地震仍然不可能預測，人們無法知道地震將會在什麼時候，在哪裡發生，也不知道將會發生多大的地震。台灣位於環太平洋地震帶上，隨時可能有另一波地震來襲，台灣人民應該從九二一集集大震的史實裡記取慘痛的教訓，並且學習與大自然融合相處，如此我們及後代的子孫才可能繼續在這塊土地上安居樂業。

【參考文獻】

張徽正，林啓文，陳勉銘，盧詩丁，一九九八，台灣活動斷層概論五十萬分之一台灣活動斷層分佈圖說明書，經濟部中央地質調查所特刊。

作者簡介

姓名：石瑞銓

現職：國立中正大學地震研究所、應用地球物理研究所副教授
學歷：美國德州萊斯大學地質暨地球物理學博士

臺灣大學海洋研究所碩士

中央大學地球物理系學士

研究專長：地下構造探勘、斷層調查、地震災害與防護