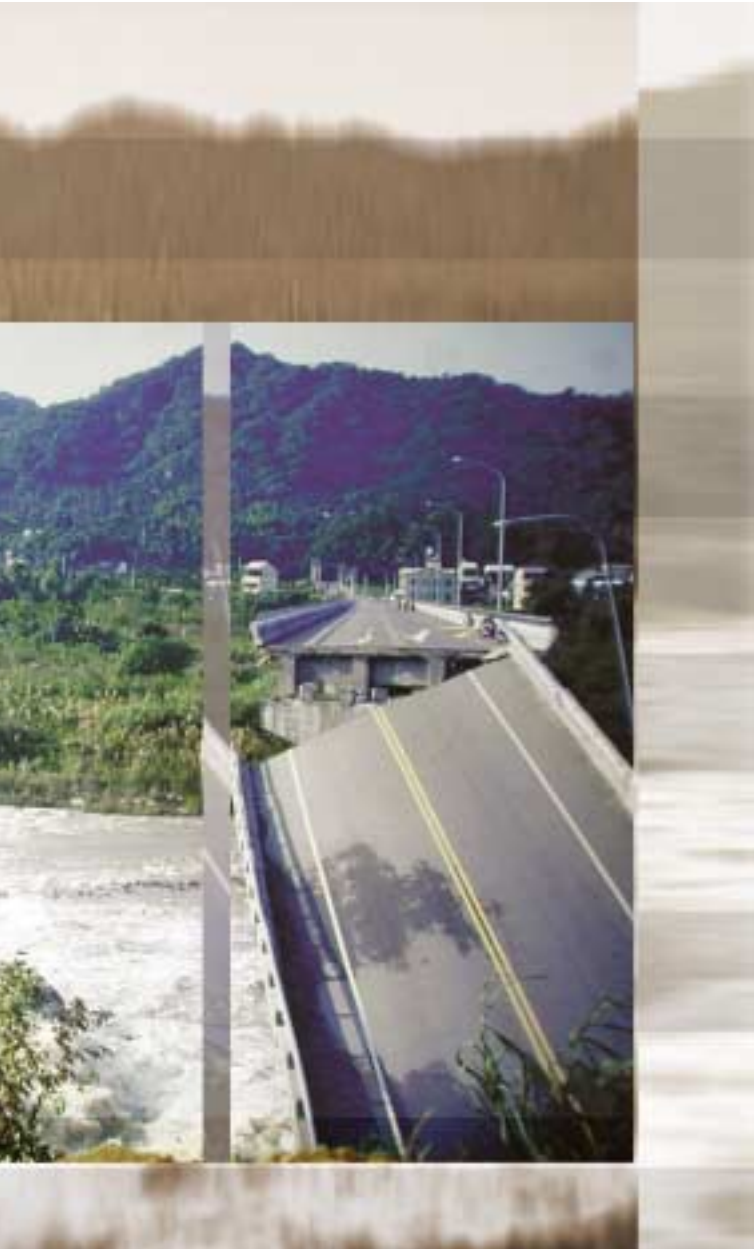




板塊間看台灣地震

對居住在台灣的人而言，地震不僅是天災，更是夢魘。
面對時而翻滾的地牛，我們不能只是擔心受怕，或祈求神明保佑，
應該從板塊運動的科學理論中，找尋到地震的來源，並謀求對策。

鄧屬予



「九二一大地震來襲時，不少南投人驚嚇過度躺在地上，哀嚎呼叫，以為世界末日來臨，不及逃生而葬身家園瓦礫堆中。」

「集集大地震後，民眾生存在恐懼之中。由於餘震不斷，許多民眾不敢回家睡覺。連日來坊間又傳出大甲媽祖發爐：有一波波的大地震將繼續發生。繪聲繪影中還要民眾利用艾草等物品驅邪。由於傳言遍及全省，引發恐慌，」

—摘自民國八十八年九月二十五日中國時報

世紀末的集集大地震給台灣帶來慘痛的災難，不但奪走了兩千多人的生命，也摧毀了許多人的事業和財產。除了有形的損失之外，還有難以估計的精神傷害。每個人在驚嚇之餘，內心都蒙上了一層陰影，時時惦念著「地震還會不會來？」。

會的！從地質學的觀點來看，地震是岩盤破碎時所產生的震動，是地球生命力的自然表現。台灣位於活動的板塊邊界上，是島弧和大陸碰撞的焦點，碰撞所產生的巨大壓力，不但推擠出一道高聳的山脈，也壓得岩盤不斷地破裂，地震因而隨之發生。在過去二十多年中，台灣每年有近千次的有感地震，5級以上的地震年年發生。在集集大地震後的一年內，有感地震更高達三千次以上，其中6級以上超過十次。這些旺盛的地震活動，充分顯示台灣的造山運動仍十分活躍，岩盤還持續破裂。我們身處如此動盪的地質環境中，想要地震不發生是不可能的，只有心平氣和地接受大自然的安排，勇敢去面對它。

「要面對它，就要了解它」。雖然台灣的地震頻繁，但震央並非無所不在，它的分布和規模有脈絡可循，我們可以從板塊的構造和運動方式，配合地震和地質資料來加以探索。

板塊構造

台灣位於兩個板塊的交界上。東南方有菲律賓海板塊，西北方則是歐亞板塊。這兩個板塊的邊界從北方的琉球海溝劃過台灣，向南延伸到馬尼拉海溝。

從一千五百萬年前開始，菲律賓海板塊就不斷地朝西北方向移動，如今仍以每年7-8公分的速度，向著歐亞板塊邁進。在台灣的東北方，菲律賓海板塊的西緣沿著琉球海溝俯衝到歐亞板塊之下，形成一道向西北傾斜的隱沒帶。在台灣南方，板塊的隱沒方向相反，歐亞板塊向東隱沒到菲律賓海板塊之下。這兩套隱沒帶的上方發展出琉球和呂宋兩個島弧系統，分別延伸入台灣，在台灣北部交會。

由於菲律賓海板塊的比重在3.3-3.7之間，比地球深部地函的比重（3.3）高，因此，當菲律賓海板塊隱沒入地函時，就像一片鋼板沉入泥水中，沒有任何困



斷橋及瀑布 引發九二一集集大地震的車籠埔斷層，穿過豐原和東勢之間的大甲溪。地震發生時，斷層的上盤向西衝到左方的下盤之上，抬出了一道5公尺高的斷崖，形成一條瀑布，斷層旁的埤豐橋則隨之震落。

難。但歐亞板塊不同，在中國大陸和緣海地區，它的上部蓋了一層大陸地殼，比重在2.7左右，比地函輕上許多。因此，當中國大陸向東隱沒到呂宋島弧之下時，板塊上部的大陸地殼就像一片木板插進泥水裡，受到浮力的阻礙而無法深入。這時大陸地殼就會被堆疊在隱沒帶的上方，一部分被擠壓抬升成台灣的中央山脈，另一部分墊在呂宋島弧北段的下方，把島弧抬升成台灣的海岸山脈。這種山脈的形成過程，就好像呂宋島弧撞進了中國大陸邊緣，因此，常被稱為「弧陸碰撞」。

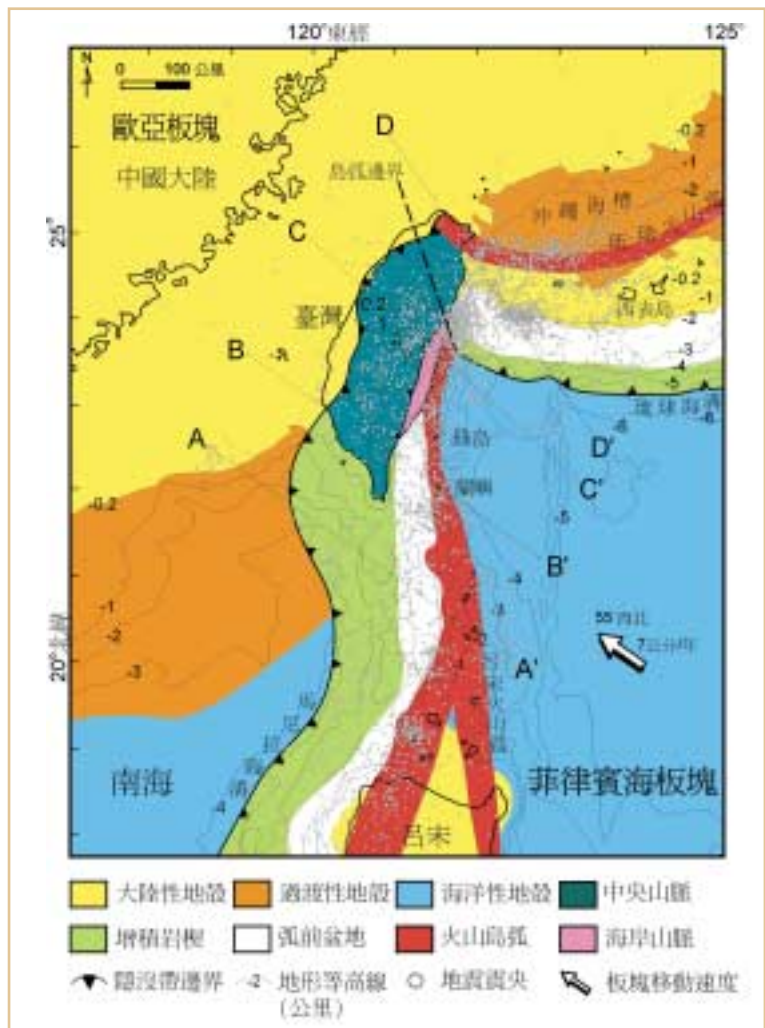
弧陸碰撞並非今日才有，早在五百萬年前就已開始。由於呂宋島弧大抵呈南北走向，而大陸邊緣則沿東北-西南方向延伸，因此，呂宋島弧是北端先撞上大陸邊緣，而後碰撞作用再由北向南傳遞。如今在台灣中部和南部，呂宋島弧仍在推擠大陸邊緣；但在台灣東北部，板塊的隱沒方向已經反轉，碰撞造山運動停止，琉球島弧的火山和隱沒作用已然浮現。

地震活動

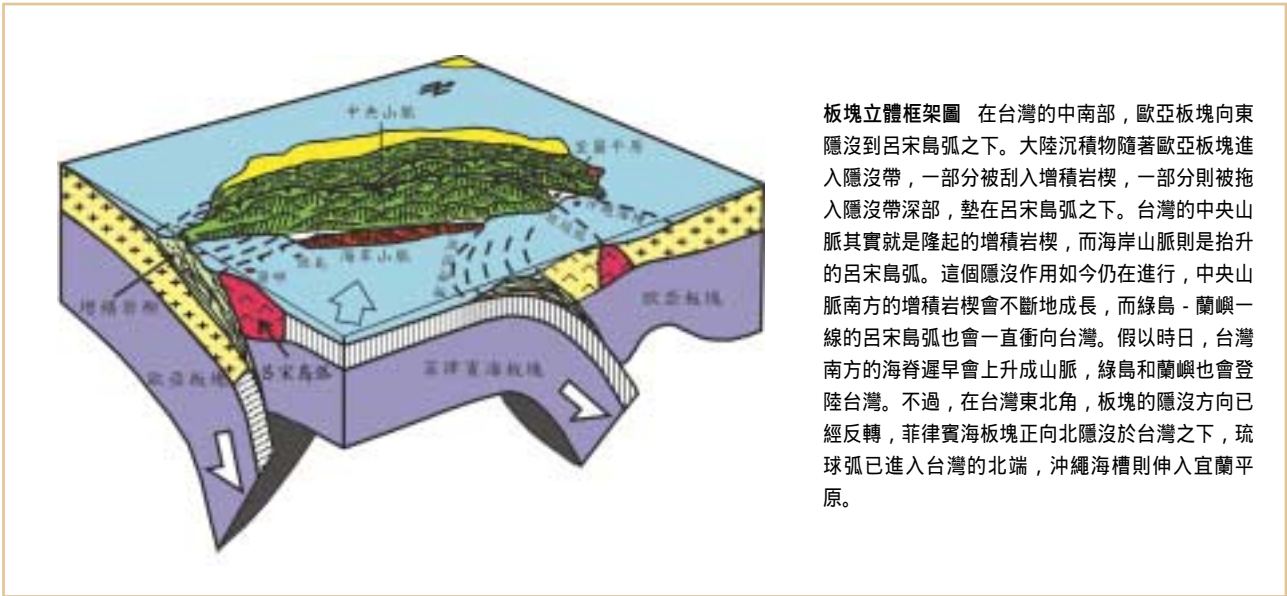
台灣地區的地震活動和板塊的邊界有密切的關聯，這一點，我們可以從地震的

分布狀況看出。在遠離板塊邊界的地區，如菲律賓海板塊和歐亞板塊內部，地震活動非常少；但在板塊的邊界附近，就有密集的地震。這些地震顯然和板塊的隱沒與碰撞有關，它們的特性可以分別從琉球島弧、呂宋島弧和台灣碰撞帶三區來了解。

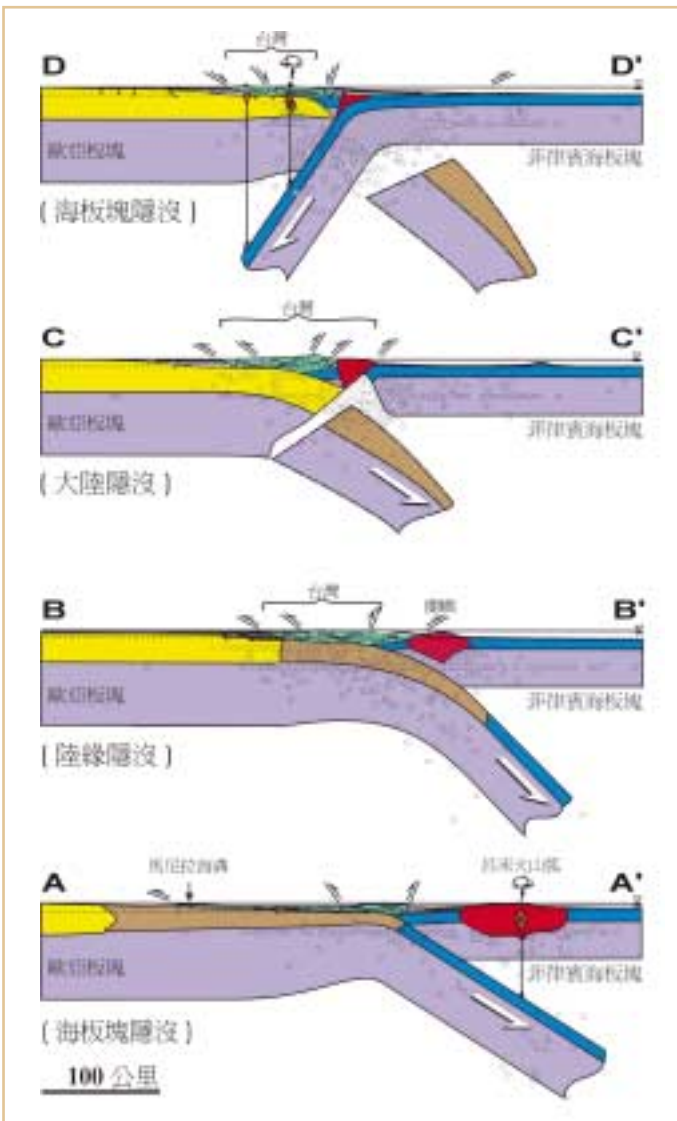
在琉球島弧地區，菲律賓海板塊正向北隱沒。順著向北下插的板塊，有一系列的地震活動從地表延伸到300公里深處，形成一明顯的班尼奧夫帶。這條地震帶向西伸進台灣，潛伏在台灣東北角的下方（板塊隱沒和地震分布圖的D-D'剖面）。在隱沒帶的上方，歐亞板塊內也有不少淺層地震活動。這些地震多來自弧



大地構造和地震分布圖 台灣位於歐亞板塊和菲律賓海板塊的邊界上，是呂宋島弧和中國大陸碰撞所產生的山脈。在台灣東北方，菲律賓海板塊向北隱沒到琉球島弧下方；在台灣南方，則是歐亞板塊向東隱沒到呂宋島弧之下。地震隨板塊的隱沒和碰撞作用而生，集中在琉球-台灣-呂宋地區的板塊邊界上。



板塊立體框架圖 在台灣的中南部，歐亞板塊向東隱沒到呂宋島弧之下。大陸沉積物隨著歐亞板塊進入隱沒帶，一部分被刮入增積岩楔，一部分則被拖入隱沒帶深部，墊在呂宋島弧之下。台灣的中央山脈其實就是隆起的增積岩楔，而海岸山脈則是抬升的呂宋島弧。這個隱沒作用如今仍在進行，中央山脈南方的增積岩楔會不斷地成長，而綠島 - 蘭嶼一線的呂宋島弧也會一直衝向台灣。假以時日，台灣南方的海脊遲早會上升成山脈，綠島和蘭嶼也會登陸台灣。不過，在台灣東北角，板塊的隱沒方向已經反轉，菲律賓海板塊正向北隱沒於台灣之下，琉球弧已進入台灣的北端，沖繩海槽則伸入宜蘭平原。



前地區的板塊摩擦，或者和弧後地區的沖繩海槽擴張有關，震源深度多小於50公里。

在呂宋島弧地區，歐亞板塊正向東隱沒。順著下插板塊也有一條向東傾斜的地震帶，從地表延伸到250公里深處 (A - A' 剖面)。這條地震帶從呂宋島向北延伸，潛伏在綠島、蘭嶼和台灣南端之下 (B - B' 剖面)。在隱沒帶的上方，菲律賓海板塊內也有許多淺層地震，反應板塊受到擠壓而破碎，震源深度多小於40公里。

在台灣，尤其是中南部，呂宋島弧正劇烈地衝撞大陸邊緣。碰撞的橫向壓力把台灣的岩盤擠得支離破碎，造成密集的地震 (C - C' 剖面)。在台灣東面的菲律賓海板塊也受到碰撞擠壓而破裂，產生不少地震。這些地震震源大多分布在板塊的中上部，深度多小於50公里。至於在地函深處，由於碰撞作用的阻礙，歐亞板塊似乎難以繼續向下隱沒，板塊下部甚至可能斷離。因此，伴隨隱沒板塊的班尼奧夫帶在這地區完全消失，全區沒有深部地震。

板塊隱沒和地震分布圖 在台灣南方，地震活動隨著隱沒的歐亞板塊排列，形成一向東傾斜的地震帶 (A - A')。這一地震帶可向北延伸到台灣南部 (B - B')，但在台灣中部則消失不見 (C - C')。在台灣東北部，隱沒作用反轉，地震活動隨著向北傾斜的菲律賓海板塊排列。

隱沒作用

地球是一個外冷內熱的物體，雖然表面的溫度不高，但內部大多在攝氏一千度以上。岩石在這種高溫狀態之下，即使不熔融，也變得相當柔軟，類似又黏又稠的液體，可以緩慢地流動。不過地表的岩層由於溫度較低，質地比較堅硬，形成一層厚約100公里的「岩石圈」，蓋在軟弱的「軟流圈」上，岩石圈會隨著地函的環流而不斷移動，並分裂成若干獨立的塊體，稱之為「板塊」。在兩個板塊接壤處，倘若一個板塊向另一板塊下方俯衝時，就形成「隱沒作用」。

由於海洋板塊的比重較大，因此當海洋板塊向下俯衝時，隱沒作用可以持續不斷。如果大陸板塊俯衝時，就會因比重太低而無法下沉，這時隱沒作用就會停止，地表則發生造山運動。在台灣東北方的琉球地區和南方的呂宋一帶，都有海洋板塊下衝的隱沒作用，但在台灣島，則因中國大陸的下衝而發生造山運動（參見「板塊立體框架圖」）。

當板塊進入隱沒帶時，會因彎折而下沉，形成一深邃的海溝。沉積物隨著板塊不斷地被拖入隱沒帶，就像礦場中的輸送帶，不停地把礦石載進工廠。一部分的沉積物會被刮起，堆積在海溝的內壁，形

成「增積岩楔」；一部分則被帶入隱沒帶深部，在高溫高壓的環境中變質。隱沒板塊同時將水帶入地函深部，促使「軟流圈」產生部分熔融，生成岩漿，當岩漿上升到地表噴發時，就形成火山島弧。因此，在隱沒帶的上方，通常會依序出現一套構造地形單元，包括了火山弧、弧前盆地、增積岩楔和海溝，組合成「島弧系統」。有些島弧的後方會出現一個張裂盆地，稱作「弧後盆地」。

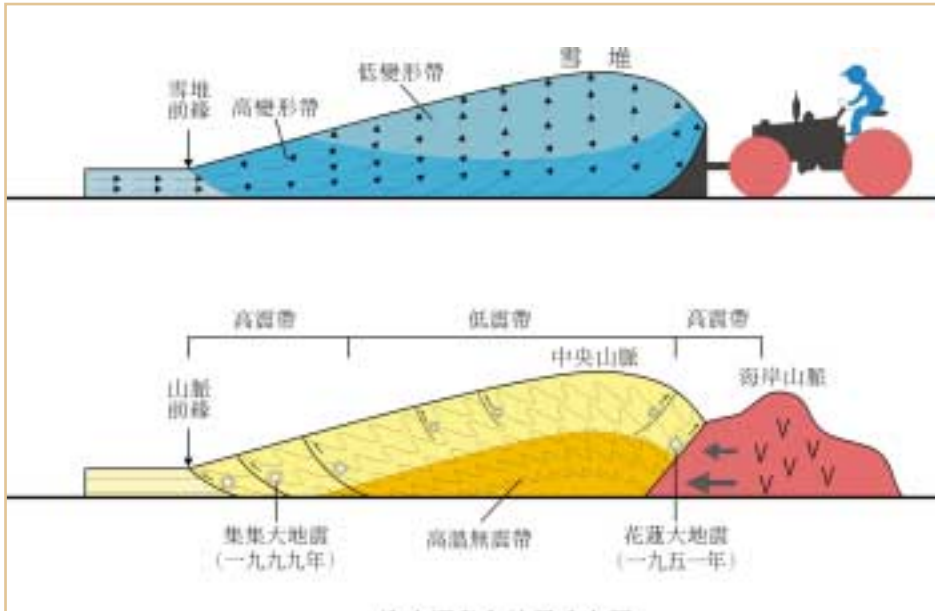
在台灣南方，歐亞板塊向東南隱沒到菲律賓海板塊之下。隱沒帶上方發展出呂宋島弧系統，有一條完整的火山弧從呂宋島向北延伸，經過蘭嶼和綠島，銜接到台灣東部的海岸山脈。島弧前端的馬尼拉海溝也可從呂宋島的西方向北延伸，連接到中央山脈的西緣，海溝東緣的增積岩楔則銜接中央山脈。呂宋地區的弧前盆地可以向北追蹤到台灣的東南外海，再向北，就因碰撞作用而沒入海岸山脈中。

在台灣東北方，菲律賓海板塊向西北隱沒到歐亞板塊之下，隱沒帶上方形成琉球島弧系統。有一條明顯的火山弧，從琉球延伸進台灣北部，火山弧的北方有一弧後盆地（沖繩海槽），向西連接到台灣的宜蘭平原。島弧南緣有琉球海溝

和增積岩楔，向西可延伸到台灣島的東岸。

隱沒帶是一個板塊變形劇烈的地方，也是地震頻繁的地區。就下衝板塊而言，板塊在海溝附近會因彎折而破裂；進入隱沒帶10到60公里的深處，板塊頂部的岩層會受到板塊間的摩擦而破碎；當下插到30-80公里深度時，板塊的組成礦物會因受壓而產生相變（如石墨變成鑽石），使岩層的體積縮小，因而造成斷裂。這些岩層破裂的過程中往往會產生地震。由於這些地震大體上順著下衝板塊排列，因此，常形成一傾斜的地震帶，從地表延伸到地函深處，稱之為「班尼奧夫帶」。在琉球島弧和呂宋島弧的下方，都有明顯的班尼奧夫帶。

受到俯衝板塊進退的影響，隱沒帶上方的板塊也會隨之破裂，產生地震。如果下衝板塊向前推進，就會擠壓上覆板塊；如果下衝板塊向後回捲，則會拉著上覆板塊退卻，使上覆板塊張裂，產生弧後盆地。呂宋島弧就是位於被推擠的板塊之上，弧前弧後地區都有岩層受壓所產生的地震。琉球島弧是在被拉張的板塊上，除了弧前有些擠壓破壞外，絕大部分地區都在張裂。

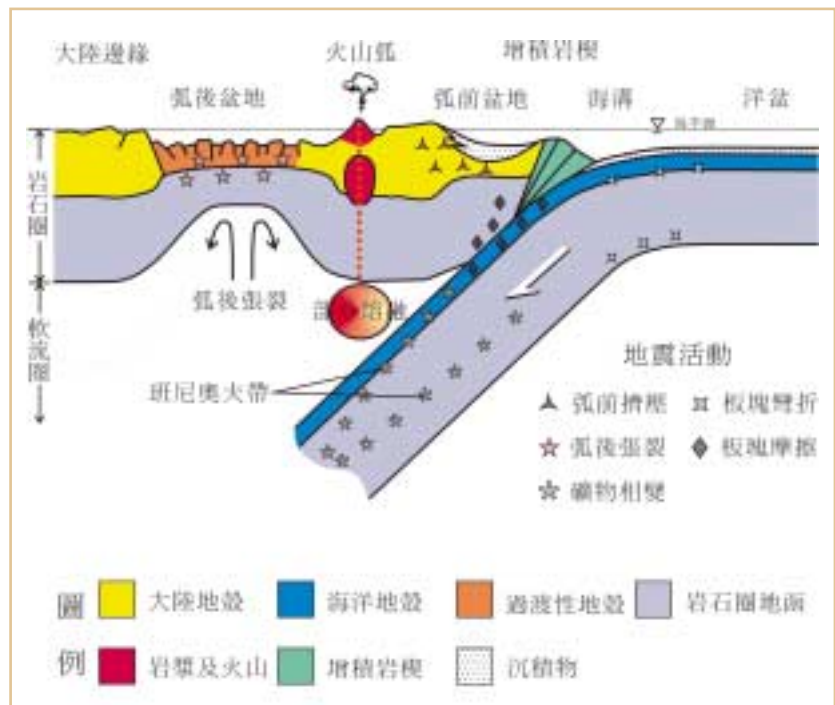


造山運動和地震分布圖 台灣的碰撞造山運動好比推土機堆雪，海岸山脈就像是推土機，中央山脈則是雪堆，當推土機推著雪堆向前行時，雪堆前緣、底部和後背的變形最強烈（上圖）。中央山脈也是如此（下圖）。不過山脈底部的溫度過高，岩層只會彎折，而不會破裂。因此山脈的兩側地震較多，山脈的中央反而地震少。

對居住在台灣島上的人而言，琉球和呂宋地區的地震雖然不少，但由於距離較遠，影響有限；發生在台灣島上的地震，則直接衝擊到我們的生活環境，不可不慎。從上述的板塊構造分析中，我們了解台灣除了東北角和最南端外，地震活動都和弧陸碰撞有關。弧陸碰撞好比推土機堆雪，海岸山脈可視為推土機，中央山脈則是雪堆，當推土機向前推進時，雪會不斷地從前方插入雪堆，墊在雪堆底部，因此雪堆的前端和底部變形得非常劇烈。相對而言，雪堆內部的變形反而不大，只是不斷地被墊高。不過在雪堆的後背和堆土機之間，則因摩擦而產生變形。

台灣岩盤的變形狀況就像一個雪堆，特別集中在中央山脈的前端、後背和底部。通常，變形大的地方岩層最容易破碎，地震也最

多。我們從過去一百多年來的地震紀錄中可以發現，中央山脈兩側的地震的確特別多，尤其是大地震。例如，一九九九年的集集大地震發生在山脈的西前端，一九五一年的花蓮大地震出現在山脈的東後背。而另一方面，中央山脈本身並沒有很多的地震，似乎不太符合堆土機堆雪所做的推測。這種差異是因為山脈受到地熱的影響，愈往深部溫度愈高，通常在地底15公里以下的區域，溫度多已升高到攝氏三百度以上，這時岩層就像燒紅的鋼鐵一般，容易彎折，但不會斷裂。因此，山脈深部的岩層即使有強烈的變形，也不會發



隱沒帶的構造和地震分布 當板塊向下隱沒時，上覆板塊會形成弧島系統，包括弧後盆地、火山弧、弧前盆地、增積岩楔和海溝。下插板塊則會引發一系列的地震活動，順著隱沒板塊排列，形成「班尼奧夫帶」。

碰撞演化

早在一千萬年以前，台灣島並不存在，台灣地區是一片淺海，位於中國大陸邊緣上。當時，菲律賓海板塊遠在台灣東南方的大洋中，不斷朝北北西方向移動，一方面向北隱沒到中國大陸邊緣之下，另一方面向西仰衝到南海之上。隨著菲律賓海板塊不斷向北北西移動，呂宋島弧也逐漸地靠近大陸邊緣。島弧的北端在一千萬年前左右，開始衝上大陸邊緣，揭開了弧陸碰撞的序幕。

從一千萬到五百萬年前之間，呂宋島弧逐步擠進大陸邊緣。當大陸邊緣被拖入隱沒帶時，大量的陸緣沉積物在海溝被刮起，塞進增積岩楔中，使得增積岩楔愈長愈大。

到了五百萬年前，呂宋島弧的北端衝上了大陸邊緣，並且把增積岩楔推出了海面，形成一座小島。當時島的位置在現今琉球的西表島

附近，島上並沒有高山，只有一些丘陵，不過，已經形成碰撞山脈的雛型。

菲律賓海板塊在五百萬年前轉向，開始朝西北方向移動。呂宋島弧因而更加速衝上大陸邊緣，並推著碰撞山脈向西遷移。

在三百萬年前左右，碰撞山脈已上升成高山，規模和現在的中央山脈相當。隨著呂宋島弧持續地衝撞，山脈不斷地向西加寬、向南延伸，終於發展成今日的中央山脈。

在碰撞的後期，呂宋島弧的北段也被擠壓抬升，貼附在中央山脈的東側，形成海岸山脈。

當碰撞運動向西南遷移時，琉球島弧向下北隱沒的菲律賓海板塊隨之西進，插入碰撞山脈北端的下方，造成隱沒作用的反轉。隨著隱沒的反轉，隱沒帶上方的山脈出現琉球島弧的火山作用，而山脈失去

了碰撞的支撐則開始垮塌下沉，山脈的中央擴張成一裂谷盆地。

如今弧陸碰撞運動仍在運行，並不斷地向南傳遞（參見「板塊立體框架圖」）。在台灣의 東南外海，呂宋島弧北端的綠島和蘭嶼正朝向中國大陸挺進。在台灣的中南部，碰撞山脈仍在成長，但在台灣的東北部，隱沒作用已經反轉，碰撞運動停止，原本碰撞所抬升的山脈正在垮塌；山脈的中央分裂成宜蘭平原，並不斷地擴張。

這一系列從碰撞反轉到隱沒的作用，到目前為止並沒有停息的跡象。假以時日，綠島和蘭嶼遲早會登陸台灣，碰撞山脈還會繼續向西遷移、向南延伸。在另一方面，台灣東北部的山脈會不斷地垮塌下陷，直到沉入海底；宜蘭平原也可能持續地張裂，最後發展成沖繩海槽一般寬廣而深邃的海盆。

生地震，只有山脈表層的岩盤會稍微破裂，產生一些零星的地震。

在隱沒和碰撞作用的主導下，台灣的地震應運而生。這些作用起源於板塊運動，在過去已經進行了五百萬年，目前仍在進行。只要板塊的運動方式不變，隱沒和碰撞作用持續進行，地震就會不斷發生。這股強大的動力來自於地球內部，不是我們人類微弱的科技力量所能阻擋。我們面對大自然的安排，既不能改

變也無法逃避，只有無奈地接受。然而，是否我們就全然束手無策，只能把希望託付神明？

七十五年二月四日，中國東北遼寧省的海城發生一場規模7.3的大地震。地震震垮當地90%的建築物，摧毀了鄰近許多鄉鎮，不過並沒有為三百萬居民帶來嚴重的損傷。一年後，同樣規模的地震襲擊河北省的唐山，不但把唐山市夷為平地，而且造成六十五萬人死亡，五十萬人受傷。何以威力相當的地震，有如此不同的傷亡？原因在於海城地震發生之前，科學家準

確地掌握到地震的前兆，適時做了人員的疏散，而唐山地震並沒有預警疏散。

當九二一集集大地震發生時，台中近郊的車籠埔斷層突然滑動。斷層東面的岩盤向西衝到斷層西面的岩盤之上，在短短一分鐘之間，沿著斷層形成一條100公里長的斷崖。斷崖上的建築物首當其衝，直接被斷層錯移1到8公尺，造成嚴重的損壞。爾後，地震波向四周擴散，在斷層東面的岩盤上引發了強烈的震動，造成嚴重的災情，但斷層西面的岩盤震動較小，災情也相對較輕。

這個慘痛的經驗告訴我們：即使在同一地震的影響下，不同地區的災情也不相同。倘使我們事先了解車籠埔斷層的特性，避免把重要的建築物蓋在斷層線和東面的岩盤上，或許地震的損害就可減輕許多。很可惜地，我們對台灣的地震雖然有概括性的了解，但對地震何時何地發生並不能確切的掌握。我們可以推測地震斷層大概出現的地方，但對個別斷層的活動性質和產生地震的潛力認識不夠。在未來，如何去指認地震斷層的位置，評估地震的潛能，乃至於預測地震發生的時間、地點及影響範圍，是我們需要努力方向。

深度閱讀資料

劉聰桂、陳文山（1999），變臉的大地，龍騰文化事業公司出版，台北。

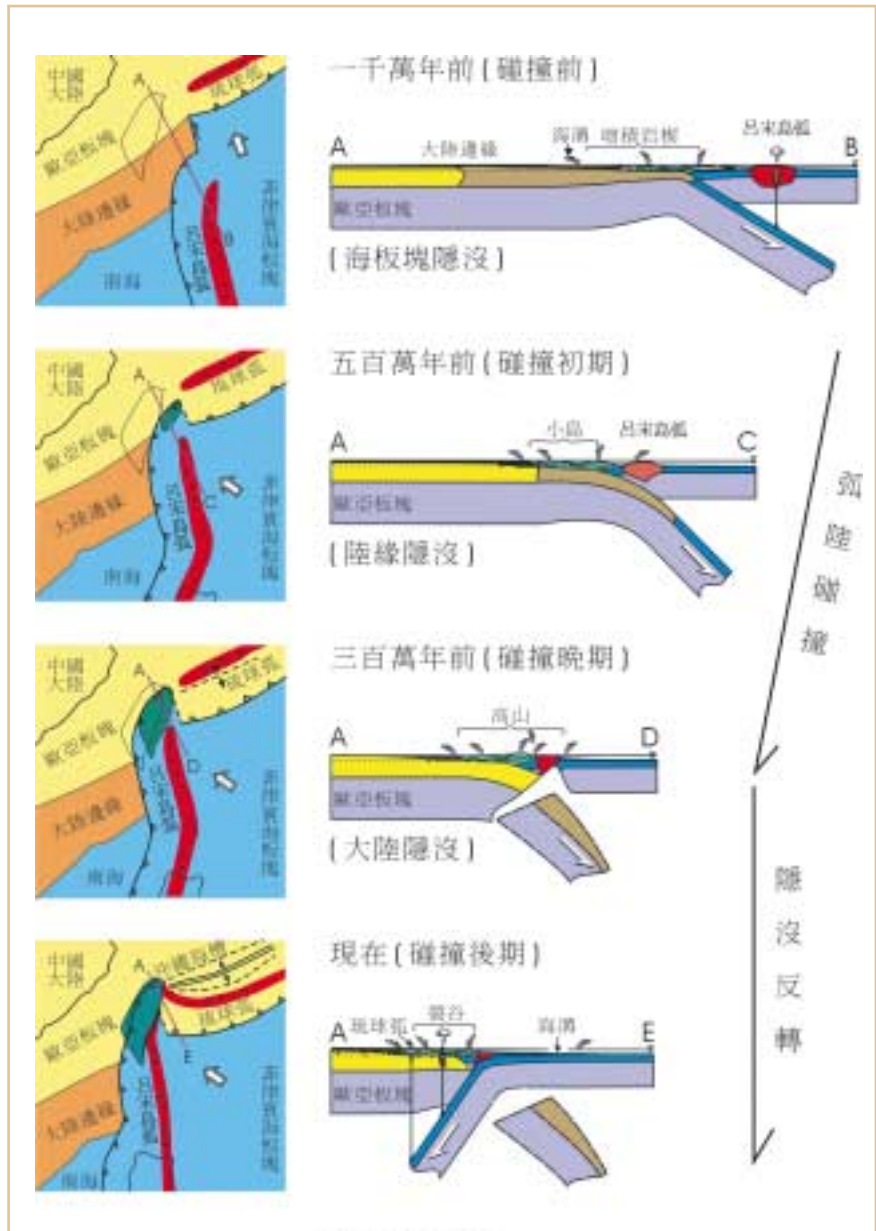
經濟部中央地質調查所（2000），九二一集集大地震專

輯，中央地質調查所專刊第十二號，台北。

鄧屬予（2002），台灣新生代大地構造：二十世紀台灣地球科學之回顧，第一冊，頁1-57中國地質學會，台北。

鄧屬予

台灣大學地質科學系



弧陸碰撞演化圖 呂宋島弧大約從一千萬年前開始碰上中國大陸邊緣，並逐步把大陸邊緣擠壓成台灣的中央山脈。由於呂宋島弧呈南北走向，而大陸邊緣則沿東北 - 西南延伸，因此碰撞由北端展開，爾後逐漸向南傳遞。我們從台灣東北角的演化過程，就可以了解整個碰撞造山運動的歷史。（左為古大地構造平面圖，右為對應之板塊剖面圖）。