

2006 年地震回顧

陳燕玲 江準熙 辛在勤

中央氣象局地震測報中心

摘 要

回顧 2006 年地震，淺震主要發生在台東與宜蘭地區，深震集中在台灣東北部與南部之板塊隱沒構造區，淺震與深震之最小完整規模分別為 2.0 與 2.6， b 值分別為 0.95 與 0.91，小地震比率比以往偏高。由人工爆炸震源之地震定位分析顯示，震央測報誤差約 5 公里，台灣東部與西部之地體速度分別比平均速度模型偏快與偏慢。震源機制分為 67 個(45%)逆斷層、56 個(38%)走向滑移斷層，以及 26 個(17%)正斷層，顯示以受到壓縮應力為主。

分析 2006 年 3 組強雙震：呂宋島弧構造線上之 4 月規模 6.2 與 6.0 台東雙震、琉球島弧構造線上之 7 月規模 6.0 與 10 月規模 5.8 花蓮外海雙震，以及馬尼拉海溝構造線上之 12 月規模 6.9 恆春雙震。2006 年台東雙震震源區受到 2003 年 12 月 10 日發生規模 6.4 的強震（逆斷層震源機制）所觸發，期間曾數次觸發相似震源機制的強震與大量餘震。花蓮外海雙震震源區在強震後並未觀測大量餘震。恆春雙震震源區在雙震後，觸發大量餘震，形成一個密集的地震群，第一個強震（正斷層震源機制）震央位於地震群的最南邊，第二個強震（走向滑移斷層震源機制）震央位於地震群的中央。正斷層走向 330 度、傾角 58 度的節面，是與餘震空間分布較為吻合的斷層面。

關鍵字：雙震、震源機制

一、前言

2006 年共發生 5 個規模大於 6 以上的強震，分別為 4 月 1 日和 14 日台東雙震、7 月 28 日花蓮外海強震，以及 12 月 26 日恆春雙震，皆因台灣之板塊構造的應力作用所造成（圖 1）。在台灣東北部，菲律賓海板塊向北隱沒至歐亞大陸板塊之下，造成琉球海溝(Ryukyu Trench)、琉球島弧(Ryukyu Arc)與沖繩海槽(Okinawa Trough)之板塊隱沒構造。在台灣南部，歐亞大陸板塊則向東隱沒至菲律賓海板塊之下，造成馬尼拉海溝(Manila Trench)與呂宋島弧(Luzon Arc)之板塊隱沒構造。

台灣位於環太平洋地震帶上，由於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊之板塊運動，地震非常

頻繁。菲律賓海板塊每年約以 7 公分速率，由東南向西北方向，與歐亞大陸板塊斜向碰撞(Seno, 1977)，活躍地進行板塊碰撞擠壓作用，形成隆起的中央山脈和引發地震。台灣的造山運動被視為典型的弧陸碰撞結果(Biq, 1972)，菲律賓海板塊前緣之呂宋島弧對台灣強力擠壓作用，造成了陡峭崎嶇的台東縱谷與急速抬升的中央山脈、以及分布廣泛之活動斷層與褶皺構造(Suppe and Jamson, 1979; Ho, 1988)。

在台灣東北部與南部分別具有由南向北與由西向東的板塊隱沒地震帶(Angelier, 1986)。在台灣東北部，菲律賓海板塊向北隱沒至歐亞大陸板塊之下，造成琉球海溝(Ryukyu Trench)、琉球島弧(Ryukyu Arc)與沖繩海槽(Okinawa Trough)之板塊隱沒構造。琉球海溝系統之板塊

隱沒構造，前緣為琉球海溝，緊接為安山岩噴發造成之琉球島弧，島弧後方為裂谷盆地與弧後擴張之沖繩海槽，向西延伸至宜蘭平原。沖繩海槽為張裂作用造成，有許多海底火山，一般認為，台灣東北部之宜蘭平原是沖繩海槽進入台灣的部份，龜山島為其進入台灣前噴發的火山島。約於三、四百萬年前，沖繩海槽可能在現今台北市北方登陸，造成觀音火山及大屯火山，南移後再次爆發造成基隆火山（有金瓜石金礦），目前已移到宜蘭外海。宜蘭地區尚無明確之斷層，地震活動主要與板塊構造有關。在台灣南部，歐亞大陸板塊則向東隱沒至菲律賓海板塊之下，造成馬尼拉海溝(Manila Trench)與呂宋島弧(Luzon Arc)之板塊隱沒構造。地殼上部的岩層被壓縮抬升成中央山脈和西部麓山帶，呂宋島弧則被抬升為海岸山脈 (Angelier, 1986)。同時進行的板塊碰撞及隱沒作用，引發台灣頻繁的地震活動。

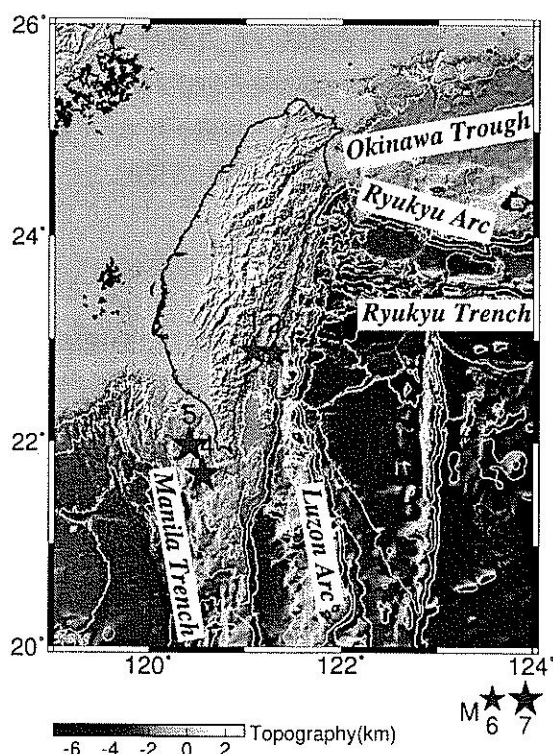


圖 1、2006 年規模 6 以上強震與台灣之板塊構造。

Fig 1. 2006 strong earthquakes with magnitude above 6 and plate tectonics in Taiwan.

由 1994 至 2006 年規模 6 以上強震之時空分布（圖 2）顯示，淺源強震（震源深度小於或等於 30 公里）大都較密集的在相近的時間與空間上群集發生，主要分布在台灣中部（以 1999 年集集大地震期間為主）、東部與東南部，呈現東南-西北方向的強震遷移(migration)特徵大致符合呂宋島弧與歐亞大陸板塊之斜向碰撞的板塊運動型態。深源強震（震源深度大於 30 公里）在時間上沒有群集發生的特性，空間上則集中在台灣東北部與南部，皆與板塊隱沒作用有關。

中央氣象局地震觀測網(Central Weather Bureau Seismic Network, CWBSN)目前共 71 個地震站，負責台灣之地震觀測（圖 3）。自 1993 年 11 月以後，由於地震資料的蒐錄方式，同時採用傳統的系統自動偵測方式以及連續記錄數位資料的方式進行，彌補了以往微震不易為系統自動偵測而遺漏的缺憾，其對於強震與弱震間相關性之探討，則提供了豐富資料。此外，由於 CWBSN 測站密度高，提高了 P 波初動解之震源機制(Focal Mechanism) (Herrmann, 1975; Aki, 2002)分析品質。2006 年共觀測到 18,059 個地震，地震規模(芮氏規模)範圍介於 0.4 到 6.9 之間，震源深度最深達 285 公里。2006 年地震活動最劇烈的時期是在 4 月台東雙震與 12 月恆春雙震期間。最大的地震為 12 月 26 日於恆春外海所發生規模 6.9 的大地震，全年的地震累積規模為 7.21。有 5 個規模大於 6 的強震（星號），分別為 4 月 1 日和 14 日台東雙震、7 月 28 日花蓮外海強震，以及 12 月 26 日恆春雙震。由地震活動在空間上的震源分布特性可以發現，台灣地區震源深度較深的地震在台灣東北部發生，且台灣東部在大約北緯 24 度附近，震源分布明顯呈現向北隱沒的傾斜地震帶，而台灣南部在約東經 121 度附近也隱約呈現向東隱沒之傾斜地震帶。台灣西部之震源分布，則主要為集中於斷層構造區附近之淺層地震。

一般的地震活動係以前震-主震-餘震(foreshock-mainshock-aftershock)的地震序列(earthquake sequence)(Kao and Chen, 2000)為主，其次為無明顯主震之群震(swarm)，然群震

通常以規模 5.0 以下為主，就地震週期 (earthquake cycle) 理論 (Savage and Prescott, 1978; Kagan and Jackson, 1999 ; Stein and Wyssession, 2003; Johnson and Segall, 2004; Perfettini et al., 2005) 而言，一個孕震構造要能週期性重複產生強主震，必須有足夠的時間以

累積足夠的能量或應力。惟孕震構造在產生地震後，構造強度會有變化，在不同時空會具有不同的可負載應力 (loadable stress)，且有時會因鄰近地震的觸發而提前產生，因此，週期性重複產生強主震的規模也會變動。

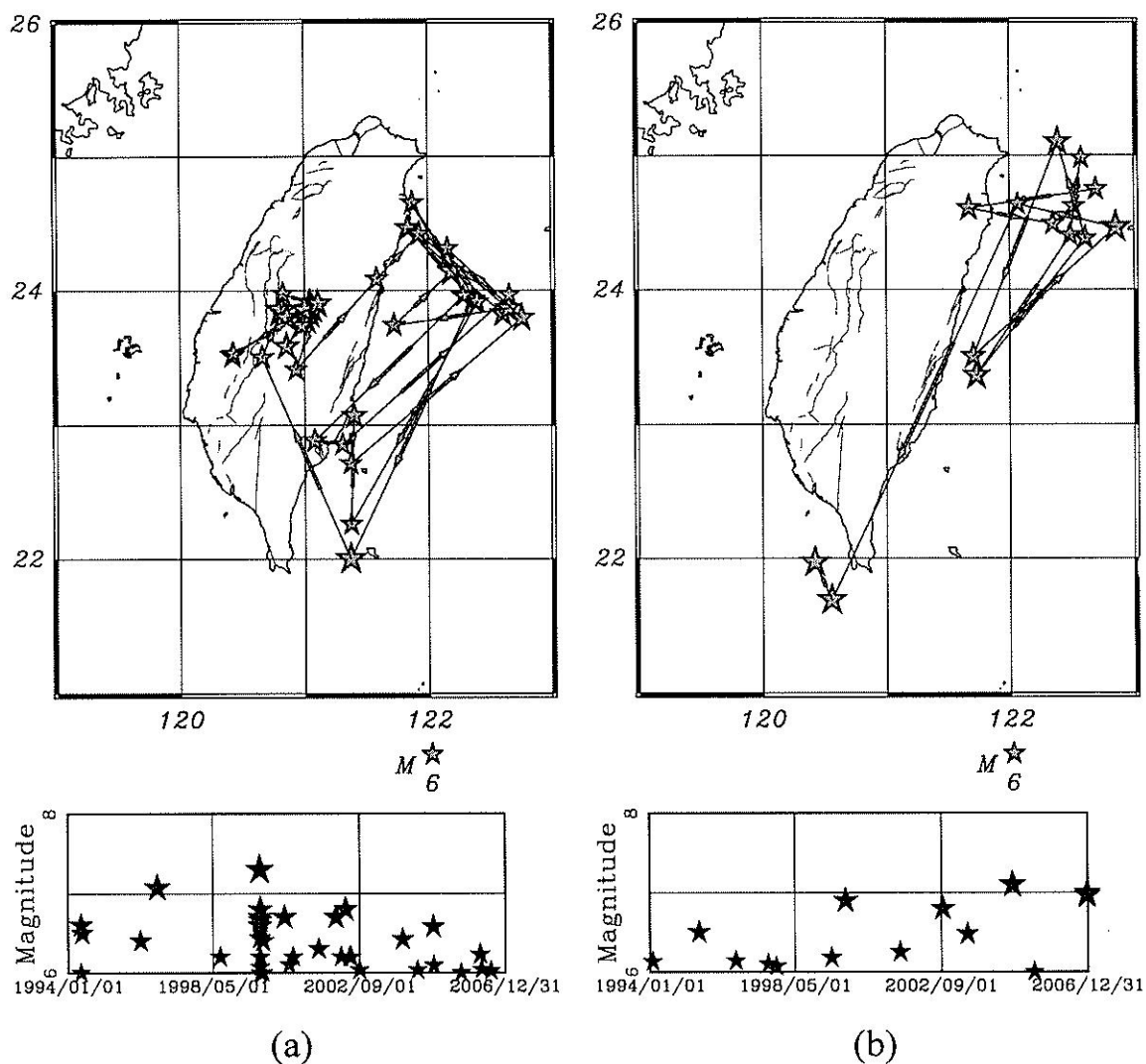
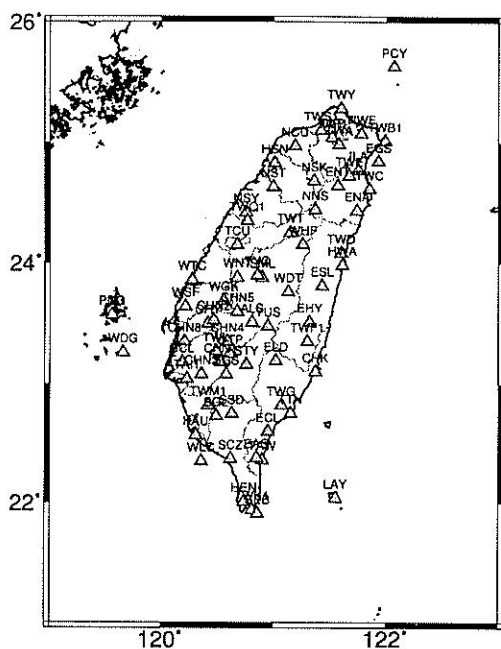
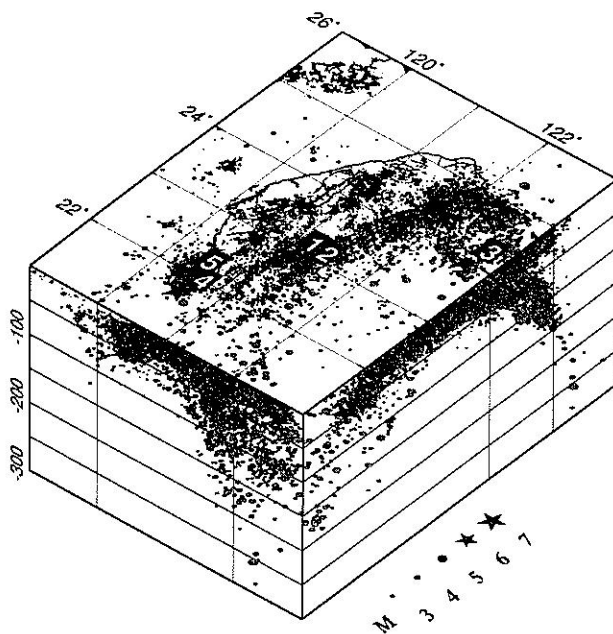


圖 2、1994 至 2006 年規模 6 以上強震之時空分布圖。(a)震源深度 $Z \leq 30\text{km}$ 之淺震。(b)震源深度 $Z > 30\text{km}$ 之深震。

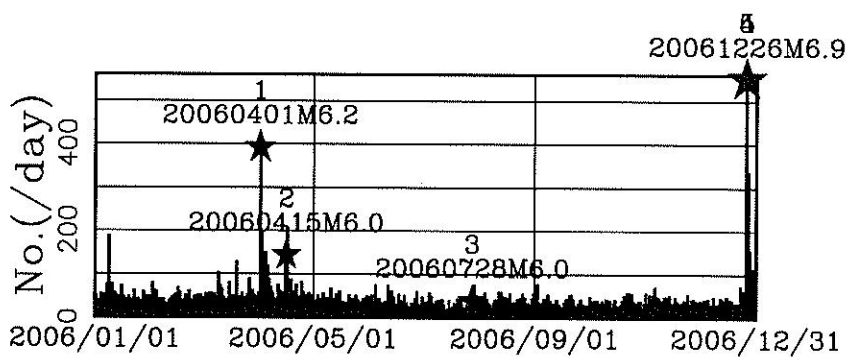
Fig 2. The spatial and temporal distribution of 1994-2006 strong earthquakes with magnitude above 6. (a) The shallow strong earthquakes with depth below 30 km. (b) The deep strong earthquakes with depth above 30 km.



(a)



(b)



(c)

圖 3·2006 年地震之空間與時間分布特徵。(a)中央氣象局地震觀測網(Central Weather Bureau Seismic Network, CWBSN)。(b)地震(圓圈)與規模大於 6(星號)之震源空間分布圖。(c)每日地震個數分布圖。

Fig 3. The characteristics of spatial and temporal distribution of 2006 earthquakes. (a) The Central Weather Bureau Seismic Network (CWBSN). (b) The spatial distribution of seismicity (circle) and strong earthquakes with magnitude above 6(star). (c) The temporal distribution of daily earthquake number.

我們發現 2006 年的強震並非以前震-主震-餘震的地震序列為主，而幾乎是以強雙震(strong earthquake doublet)(Kagan and Jackson, 1999)的特徵為主，包括 4 月台東雙震與 12 月恆春雙震，以及較不明顯的 7 月與 10 月花蓮外海強震。通常要累積一個規模約 6.0 強震的等效(equivalent)應力約需數年的時間，強震如僅間隔數月，不足時間以累積超載(overload)的應力，並非下一個地震週期，故應屬於雙震。在歷史地震中雖亦有強雙震的紀錄，例如 2005 年 3 月宜蘭雙震，但是未曾如 2006 年般，主要以雙震方式發生強震。強雙震的發生條件，必須在相近的震源區具有 2 個可承載高應力的孕震構造，當應力超載時再於相近的時間觸發，這樣的孕震構造通常都在較淺(深度約小於 30 公里)的地殼中，且屬於板塊間(inter-plate)地震，惟 2006 年恆春雙震震源深度約 50 公里，是發生於南部隱沒帶的板塊內部(intra-plate)地震。

為探討 2006 年地震在時間與空間上的分布特徵、強震特性，以及大地應力概況，本研究回顧與分析中央氣象局地震觀測網在 2006 年所蒐錄及處理的 18,059 個地震，並使用 P 波初動資料求得 149 個震源機制解，以分析大地應力型態(Jackson and McKenzie, 1988; Jost and Herrmann, 1989)。在地震回顧方面，使用地震規模之個數分布，進行最小完整規模與 b 值分析；使用地震個數與累積規模等值分析，以探討地震在空間上分布特徵；使用 2006 年 10 月 18 日人工爆炸震源之地震定位分析，以校驗地震網觀測誤差與效能；使用震源機制分析 2006 年之大地應力型態。在強震分析方面，主要探討 3 組強雙震，分別為 4 月 1 日和 14 日台東雙震、7 月 28 日花蓮外海雙震，以及 12 月 26 日恆春雙震之強震特性。

二、地震回顧

(一) 最小完整規模與 b 值分析

地震規模之個數分布(earthquake magnitude distribution)符合 Gutenberg-Richter 線性關係 $\log N = a - bM$ ，是傳統常用的地震模型(Gutenberg and Richter, 1954; Wang, 1988)，其中 N 為地震

個數， M 為地震規模，透過線性迴歸後可得到 a 、 b 參數值，常用以探討地震活動特性。 a 值在物理意義上代表區域內地震活動頻率之劇烈程度，在數學公式上則為地震個數對數值軸的截距值，代表規模大於 0 以上之地震個數。 b 值代表區域內大、小地震個數之比例， b 值偏小與偏大，分別表示大地震個數的比例偏大與偏小。其物理意義在於就一個發震構造(seismogenic structure)而言，若在整個構造內地震的發生是均勻的，大地震關連到較大的構造範圍，小地震關連到較小的構造範圍，當大地震發生後，為等量涵蓋對應的構造範圍，應發生大量的小地震，在理想模型下， b 值會等於 1。由實際觀測資料的分析發現， b 值大都小於 1，其原因可能是大地震所對應的構造範圍，小地震不一定都能涵蓋到，或者是較小的地震通常較難以完全觀測到，而使得小地震個數偏少。

在線性迴歸之資料處理中，對於地震個數之使用分為間隔(interval)與累積(cumulative)個數 2 種方式。間隔地震個數是指將規模以間隔(例如 0.1 規模)方式分割成特定規模間隔，然後統計落於每個規模間隔範圍內之地震個數；累積地震個數則是直接將規模大於或等於特定規模的地震個數累積。在地震規模之個數分布分析圖(圖 4)之淺震的分析中，由間隔個數的規模分布可以看到小於規模 2.0 以下，小地震的分布就明顯偏離了規模之個數分布直線趨勢。從圖中可以看出以間隔個數方式可較清楚的分辨地震個數的分布趨勢，在規模大於 2 以上，地震個數很合理的與規模成反比，但是在規模小於 2 以下，地震個數反而變少了，這是受限於較小規模的地震，通常因其震波輻射能量較小而無法傳遞較遠，故僅有較少的地震觀測站可以接收到明顯紀錄，因此，地震觀測網通常有一個完整偵測的規模下限，稱為最小完整規模(completeness magnitude, M_c)，在線性迴歸時，應該避免包含低於完整規模的地震個數資料。對於較大規模雖然並無理論上的完整偵測上限，但一般在線性迴歸時，如果當線性關係明顯不偶合或資料中斷，則通常也會設一上限規模。地震規模在 5.0 以上的地震則明顯

呈現不規則的分布形態，其原因可能是在地震活動週期上的時間取樣不足所造成，換言之，如果地震觀測資料所涵蓋的時間夠長，則較大地震也應該符合此一線性關係。爲了得到較穩定的線性迴歸分析，應採用較完整的地震規模範圍，圖中實心圓與空心圓分別表示使用與未使用的資料點。以往在進行 b 值分析時採用的地震規模範圍，通常以大於完整規模爲規模下限，而規模上限的採用則較無一定的規範。採用完整觀測的地震規模範圍，包括規模下限與

上限以進行 b 值線性迴歸分析，可以得到偏差較小且較穩定的線性迴歸分析結果。雖然間隔個數可較清楚的分辨地震個數的分布趨勢，但是資料點所呈現的線性型態並不良好，尤其在地震規模較大時更爲明顯，故在實際的線性迴歸運算與資料展示通常都是採用累積地震個數的方式。累積地震個數的方式相當於將間隔地震個數資料進行累加，這種方式就像作積分運算一樣，可以降低高頻雜訊，將資料曲線平滑化。

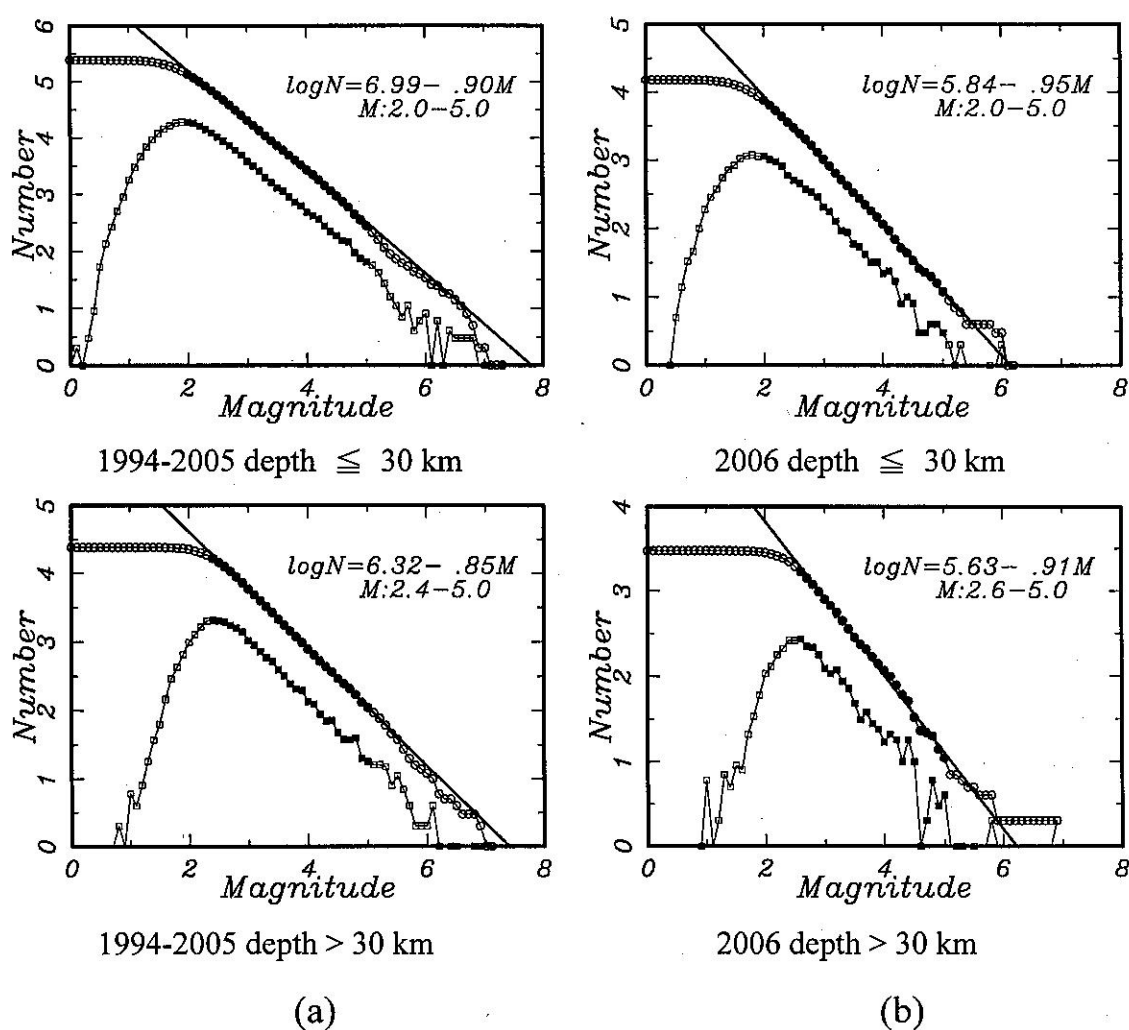


圖 4、淺震與深震地震規模之個數分布。(a)1994 至 2005 年。(b) 2006 年。

Fig 4. The analyses of earthquake size distribution by interval (square) and cumulative (circle) number.
(a) 1994-2005. (b) 2006.

1994 至 2005 年淺震與深震地震規模之個數分布分析如圖 4(a)，淺震（震源深度小於或等於 30 公里）與深震（震源深度大於 30 公里）之 M_C 分別為 2.0 與 2.4， b 值分別為 0.9 與 0.85。圖 4(b) 為 2006 年淺震與深震地震規模之個數分布分析圖，淺震與深震之 M_C 分別為 2.0 與 2.6， b 值分別為 0.95 與 0.91。淺震最小完整規模為 2.0，顯示中央氣象局地震觀測網在規模 2.0 以上的觀測效能，目前已趨於穩定且完整。相對而言，2006 年淺震與深震之 b 值都略高於 1994 至 2005 年，顯示 2006 年的小地震比率偏高。

(二) 地震個數等值圖分析

2006 年淺震與深震之地震個數等值分析如圖 5，等值圖係以經緯度各 0.2 度為網格大小，地震個數已正規化(normalize)為 30 天之個數。

淺震（圖 5a）的地震個數高值區主要分布在台灣本島與東部近海地區，最高值位於台東地區與宜蘭地區。台東地區高值係因 2006 年台東強震（星號）所致，宜蘭地區雖無強震但有密集微震。深震（圖 5b）的地震個數高值集中在台灣東北部與南部，則因板塊隱沒作用所致。地震個數等值圖顯示地震活動以台灣東部與東北部(北緯 23.5 至 25 度,東經 121 至 122 度)蘇澳、花蓮、花蓮外海和台東地區最為頻繁，等值線大致亦呈東北向的狹長帶狀分布趨勢；台灣西部則以嘉南地區之斷層構造區較為頻繁。圖中可觀察出地震個數值較高之地區，有些是因為發生強震而觸發大量餘震，例如台東和恆春外海等明顯地震序列，有些是因為平常地震活動就非常頻繁，如宜蘭、花蓮地區。

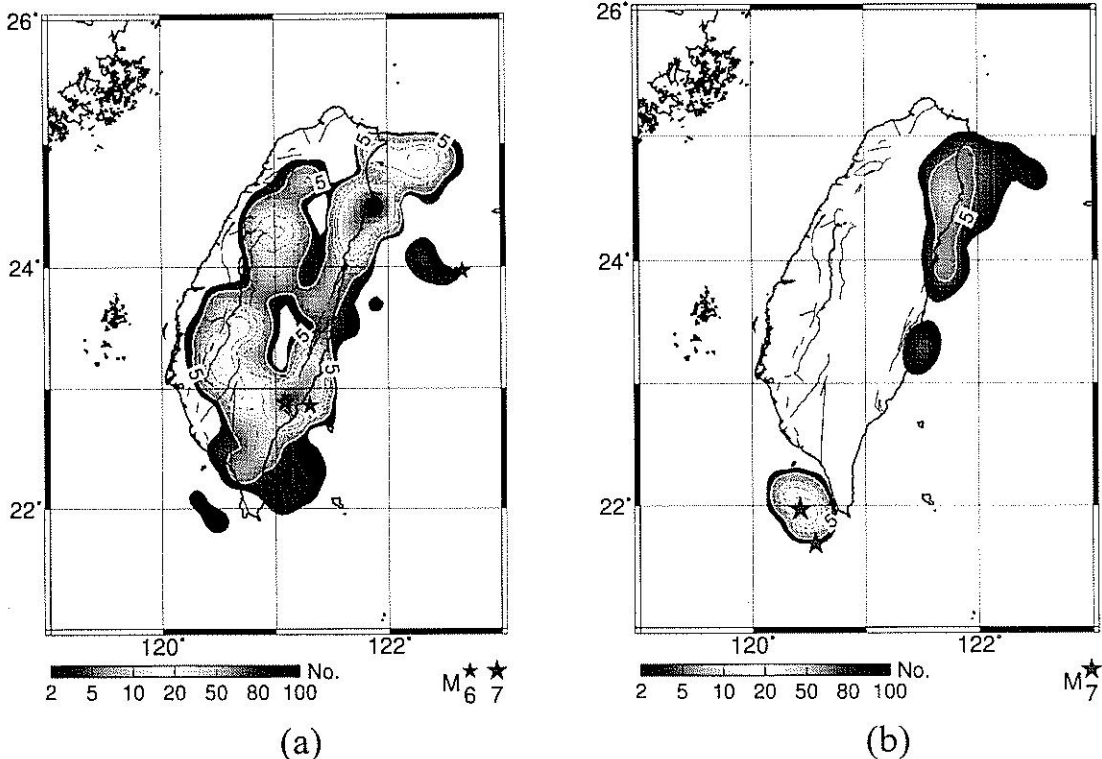


圖 5、2006 年淺震與深震之地震個數等值分析。(a)淺震。(b)深震。等值圖係以經緯度各 0.2 度為網格大小，地震個數已正規化(normalize)為 30 天之個數。

Fig 5. The spatial contour analyses of earthquake number in 2006. (a) The shallow earthquakes. (b) The deep earthquakes. The grid of contour is 0.2 by 0.2 degree, and the earthquake number was normalized in 30 days.

(三) 地震累積規模等值圖分析

地震規模與釋放能量之關係的經驗公式為 $\text{Log}E = 11.8 + 1.5M$ (Gutenberg and Richter, 1956; Kanamori and Anderson, 1975; Wang, 1992), 其中 M 為地震規模, E 為地震的釋放能量。由於地震釋放能量很大, 有時會以原子彈等級的能量作為比擬聯想, 如以 1945 年第二次世界大戰期間美國在日本廣島所投擲的原子彈 (約相當於 15000 噸黃色炸藥的威力) 為比較標準, 規模 8.2 的大地震相當於 1,000 顆原子彈的能量; 規模 6.2 的強震相當於 1 顆原子彈的能量; 規模每增加 0.2, 能量約增為 2 倍。

由於地震釋放能量的量值太大, 不便於分析, 故為分析台灣各震源構造區之地震釋放能量情形, 本研究採累積規模 (Cumulative

Magnitude) 以代表累積的地震釋放能量, 其目的是將累積能量 (Cumulative energy) 的數值正規化為規模的尺度, 以方便分析地震特性。地震累積規模的計算方式, 是先藉由地震規模與能量關係的經驗公式, 將規模轉換成對應的能量值, 累積其能量總和, 再藉由此相同的經驗公式, 將累積能量轉換成對應的累積規模。此一累積方式的結果, 舉例而言, 是累積約 32 個規模 5.0 的地震, 相當於 1 個規模 6.0 的地震。

2006 年淺震與深震之累積規模等值分析如圖 6, 等值圖係以經緯度各 0.2 度為網格大小。淺震 (圖 6a) 的累積規模 3 以上等值分布涵蓋台灣本島與東部外海, 最高值位於花蓮外海與台東地區, 與 2006 年強震 (星號) 發生位置相近。2006 年於台灣東北部宜蘭外海雖無強震,

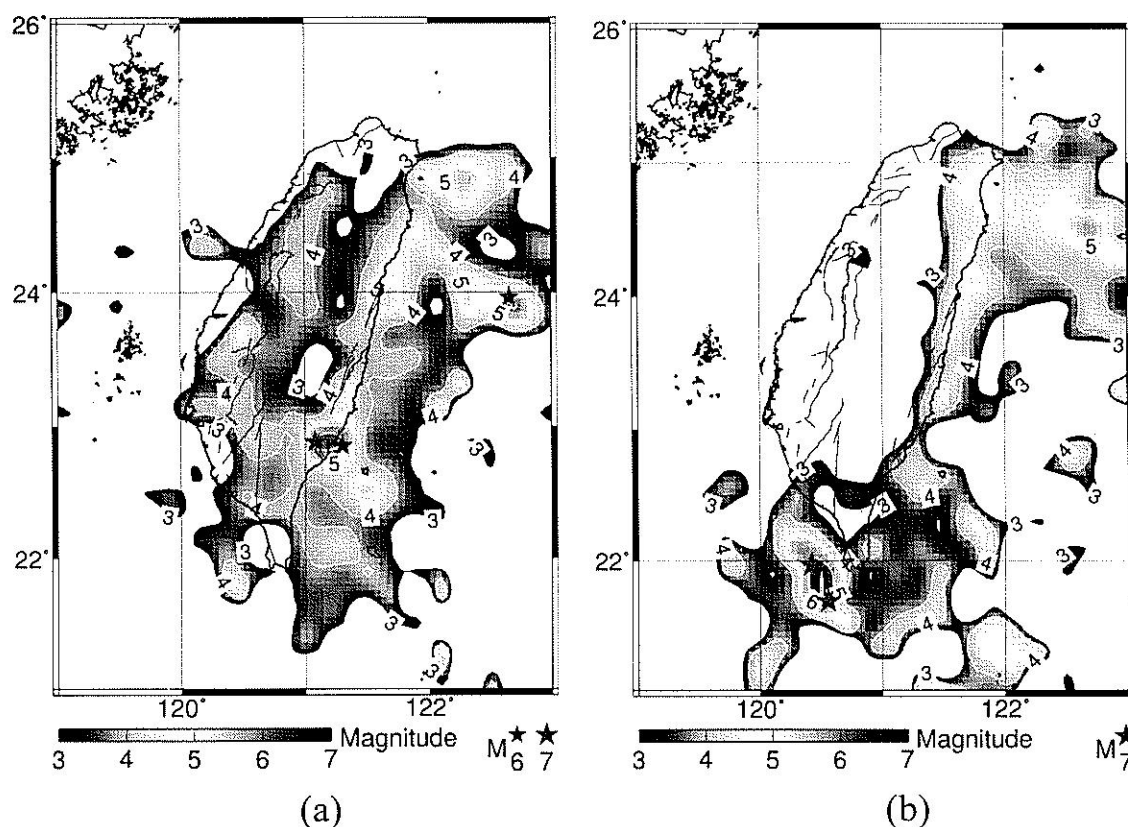


圖 6、2006 年淺震與深震之累積規模等值分析。(a)淺震。(b)深震。

Fig 6. The spatial contour analyses of cumulative magnitude in 2006. (a) The shallow earthquakes. (b) The deep earthquakes.

但因兼受板塊隱沒與板塊擴張應力作用，不定時密集發生地震，故亦為等值高區。從地震累積規模等值圖可以發現，台灣主要的地震活動大都發生在台灣東部，主要是因為直接受到板塊碰撞和隱沒作用，所以表現出的累積規模遠大於台灣西部，等值圖的區域高區主要分布在蘇澳、宜蘭、花蓮、花蓮外海、台東和蘭嶼地區，等值圖高區大致呈現東北方向的狹長帶狀分布趨勢，台灣西部則以嘉南地區之斷層構造區為局部高區。由於統計時以能量加權比以地震個數或規模加權的影響大很多，而且台灣東部所發生的地震規模一般都比台灣西部還大，因此，地震累積規模等值圖比地震震源分布更加突顯台灣東部之地震活動的活躍性。深震(圖6b)的累積規模3以上等值主要分布在台灣東部與南部，最高值位於南部恆春強震震源區域，等值線呈西北-東南方向的分布趨勢，東北部宜蘭外海高值區則係因板塊隱沒作用所致。

(四) 2006 年 10 月 18 日人工爆炸震源之地震定位分析

由美國與台灣學者合作推動之台灣整合型地球動力學研究 (TAIwan Integrated GEodynamics Research, TAIGER) 計畫，於國際時間 2006 年 10 月 18 日 17 時 1 分整，以 500 公斤炸藥產生人工震源。該計畫係為更精細的解析台灣之地體構造，掌握更確實的震源資訊，兼具學術研究與加強地震防災用途。2006 年 10 月 18 日人工爆炸震源之地震定位結果如圖 7，中央研究院(BATS)與中央氣象局地震測報之震央位置，距離實際人工爆炸震源之震央測報誤差約 5 公里，測得地震規模為 2.1。爆炸震源附近之 SML 與 TYC 地震站，波形紀錄明顯顯示 P 波初動方向為上動波相。

天然地震震源是以兼具張力(tension)與壓力(compression)之雙力偶(double couple)方式輻射地震波，人工爆炸震源則是以全張力(tension)之偶極(dipole)方式輻射震波。地震觀測網所有地震站記錄 2006 年 10 月 18 日人工爆炸震源之觀測波形資料如圖 8。理論上，以炸藥產生之人工震源，地震站 P 波初動方向應該都是上動

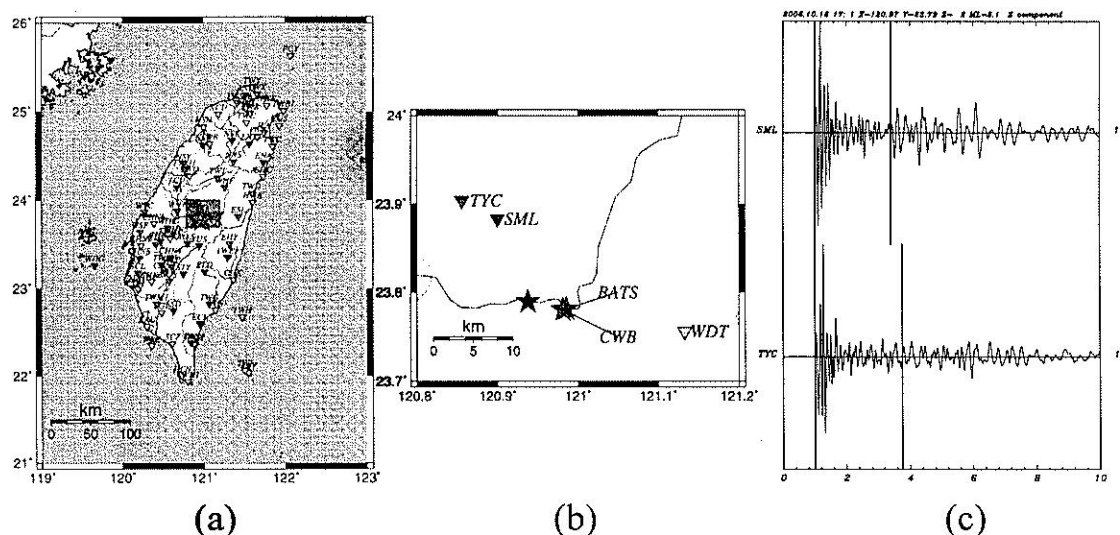


圖 7、2006 年 10 月 18 日人工爆炸震源之地震定位結果。(a)人工爆炸震源位置與中央氣象局地震觀測網。(b)中央研究院(BATS)與中央氣象局(CWB)地震測報之震央位置。(c)爆炸震源附近之 SML 與 TYC 地震站波形紀錄。

Fig 7. The earthquake location of artificial explosion source in October 18, 2006. (a) The real location of artificial explosion source and CWBSN. (b) The earthquake locations of BATS and CWBSN. (c) The seismograms in SML and TYC station.

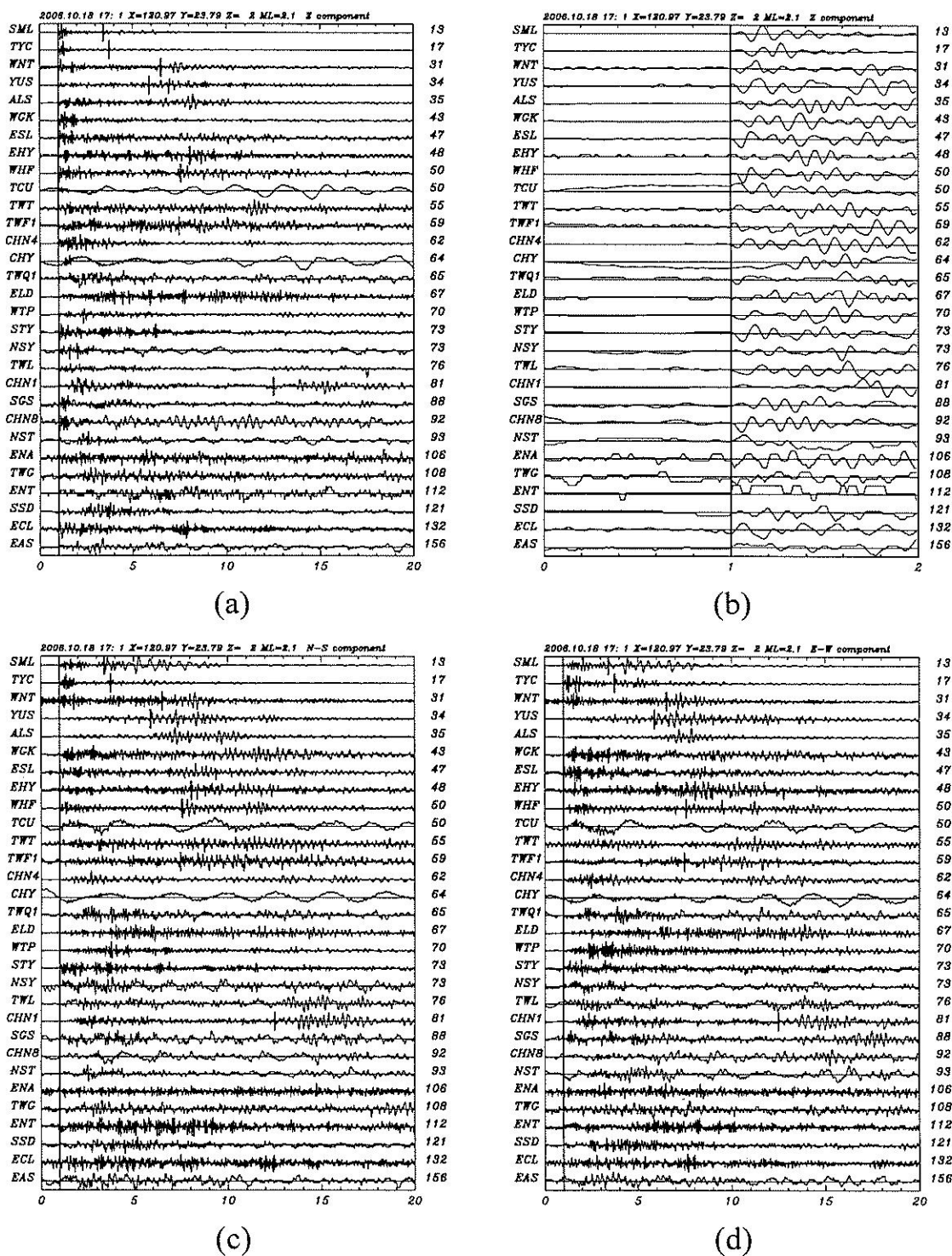


圖 8、2006 年 10 月 18 日人工爆炸震源地震站觀測波形紀錄資料。(a)垂直向。(b)P 波波相前後 1 秒垂直向。(c)南北向。(d)東西向。

Fig 8. The observed seismograms of artificial explosion source in October 18, 2006. (a,b) Vertical component. (c) North-south component. (d) West-east component.

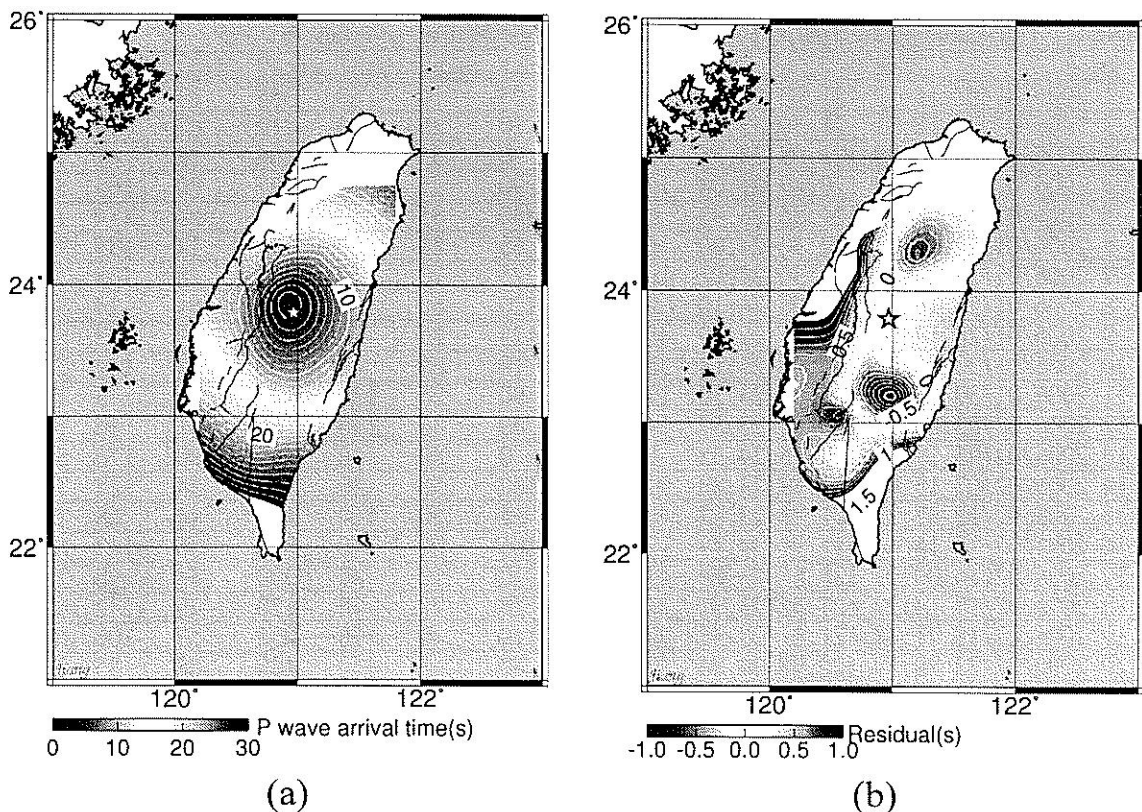


圖 9、地震站觀測 2006 年 10 月 18 日人工爆炸震源之 P 波走時與殘值分析。(a) P 波走時等值圖。
(b) P 波觀測殘值等值圖。

Fig 9. The P travel time and residual analyses of artificial explosion source in October 18, 2006. (a) The P travel time contour. (b) The P residual contour.

波相，但由實際觀測資料發現，部分測站卻是下動的波相，造成的原因尚且不明，如果是儀器問題則須改善，如果觀測確定無誤，則是一個值得深入研究的特殊現象。地震站觀測 2006 年 10 月 18 日人工爆炸震源之 P 波走時與殘值分析如圖 9，台灣地體構造複雜，具有急劇的側向速度變化，地震定位時係使用僅考慮垂直向變化的一維地體速度模型，忽略側向變化，實際觀測的 P 波走時並非純粹的同心圓，震央位置接近但非準確落在 P 波走時等值曲線的中心。台灣東部與西部之地震站 P 波觀測殘值(residual)分別以負數與正數為主，表示其地體速度分別比平均速度快與慢，台灣中部在經度約 121 度、緯度約 23.2 與 24.2 度出現 2 個負數

等值高區，亦是一個值得深入探討的問題。

(五) 震源機制

震源機制(focal mechanism)是根據地表測站所觀測之地震波形紀錄以推測震源破裂型態，係用以表示地震的斷層錯動與應力型態，斷層錯動型態分為正(normal)斷層、逆(thrust)斷層與走向滑移(strike-slip)斷層，走向滑移斷層(平移斷層)又分為左移(left lateral)與右移(right lateral)斷層。

本研究使用中央氣象局地震網 P 波初動資料求得 149 個震源機制解，其震源參數資料列於表一。傳統 P 波初動解因為只使用 P 波初動極性方向(上動或下動)，在完成地震定位後即可迅速求解的優點，所以至今仍被廣為使用，並

表一、2006 年 149 個震源機制解之震源參數表

Table 1. The source parameters of 149 earthquake focal mechanism solutions in 2006

No	Time	x	y	z	ML	strk1	dip1	rake1	strk2	dip2	rake2	type
1	2006/01/07 11:52	121.98	24.61	66	4.46	105	10	-160	355	87	-81	N
2	2006/01/08 17:01	121.39	23.21	22	5.09	10	25	70	212	67	99	T
3	2006/01/09 10:39	121.78	24.55	68	4.18	90	55	140	206	58	42	T
4	2006/01/09 19:44	120.49	23.04	17	3.68	290	75	10	197	80	165	S
5	2006/01/14 02:41	121.56	23.93	6	3.39	340	35	50	206	64	114	T
6	2006/01/22 07:07	122.30	24.00	16	4.93	65	80	80	290	14	135	T
7	2006/01/23 04:18	122.30	24.01	19	4.87	75	70	70	302	28	133	T
8	2006/01/26 16:50	121.08	24.10	9	3.48	120	60	-150	14	64	-34	S
9	2006/01/28 14:02	121.31	22.59	40	4.36	125	25	-60	273	69	-103	N
10	2006/01/30 01:42	121.65	24.14	35	4.14	10	65	40	260	54	149	T
11	2006/01/30 05:49	121.83	24.30	12	4.09	90	25	130	227	71	73	T
12	2006/02/03 03:12	120.97	23.87	14	3.39	40	30	140	166	71	66	T
13	2006/02/05 17:04	120.95	24.35	8	3.95	0	80	-10	92	80	-170	S
14	2006/02/07 15:41	121.79	24.80	91	4.78	180	50	50	53	54	127	T
15	2006/02/12 07:11	121.78	23.87	44	3.94	15	50	110	165	44	68	T
16	2006/02/15 16:16	121.91	24.49	12	3.74	105	60	-40	218	56	-143	N
17	2006/02/16 00:27	121.65	23.84	43	3.85	110	10	40	340	84	98	T
18	2006/02/18 14:22	121.45	23.91	22	4.31	25	75	-70	150	25	-142	N
19	2006/02/18 21:48	121.41	23.43	27	3.71	110	40	-70	265	53	-106	N
20	2006/02/23 20:19	120.98	24.05	27	4.56	80	5	160	190	88	85	T
21	2006/02/24 01:55	122.22	24.77	11	5.16	90	25	-100	281	65	-85	N
22	2006/02/24 17:02	121.71	23.99	31	4.09	305	70	0	215	90	160	S
23	2006/02/24 21:39	121.94	24.42	28	4.33	160	55	90	340	35	90	T
24	2006/02/25 00:38	121.93	24.42	28	4.12	150	35	60	5	60	109	T
25	2006/03/05 17:38	120.53	23.37	12	3.45	230	45	140	351	63	53	T
26	2006/03/06 23:40	121.01	24.34	9	3.72	100	65	-130	343	46	-36	N
27	2006/03/09 04:07	120.56	23.64	10	5.07	10	65	40	260	54	149	T
28	2006/03/10 23:18	121.34	23.26	13	3.50	160	65	-130	43	46	-36	N
29	2006/03/13 05:55	122.07	24.34	28	4.57	185	80	-160	91	70	-11	S
30	2006/03/17 21:16	121.80	24.62	62	4.13	105	80	140	203	51	13	S
31	2006/03/19 01:48	120.78	24.18	25	3.49	5	45	70	212	48	109	T
32	2006/03/28 08:56	121.77	24.23	11	4.58	15	25	70	217	67	99	T
33	2006/03/29 17:30	121.90	24.47	10	4.21	20	70	160	117	71	21	S
34	2006/04/01 10:02	121.08	22.88	8	5.99	0	90	-20	90	70	-180	S
35	2006/04/01 10:40	121.11	22.87	9	4.79	65	70	130	177	44	30	T
36	2006/04/01 11:10	121.08	22.87	5	3.26	95	70	150	196	62	23	S
37	2006/04/01 11:53	121.11	22.88	7	4.13	50	35	120	195	60	71	T
38	2006/04/01 11:58	121.07	22.80	5	3.87	300	80	-130	198	41	-15	N
39	2006/04/01 12:56	121.11	22.87	10	4.19	80	65	160	179	72	26	S
40	2006/04/01 14:14	121.11	22.88	9	3.61	165	85	10	74	80	175	S
41	2006/04/01 14:36	121.08	22.89	9	3.61	75	40	110	230	53	74	T
42	2006/04/01 16:56	121.11	22.89	7	3.67	85	80	-160	351	70	-11	S
43	2006/04/01 20:38	121.11	22.90	7	3.94	55	50	130	182	54	53	T
44	2006/04/02 05:43	121.11	22.86	8	3.31	50	30	120	196	64	74	T
45	2006/04/02 06:31	121.11	22.87	7	3.56	50	30	120	196	64	74	T
46	2006/04/02 10:23	121.91	24.55	38	4.15	100	35	50	326	64	114	T
47	2006/04/04 05:39	121.11	22.89	8	4.54	35	35	100	203	56	83	T
48	2006/04/04 06:48	121.12	22.93	8	4.50	100	50	150	210	67	44	T
49	2006/04/04 06:59	121.12	22.88	9	4.48	45	30	120	191	64	74	T
50	2006/04/04 12:49	121.10	22.87	8	4.45	170	60	50	49	48	138	T

type: T-thrust fault; S-strike-slip fault; N-normal fault.

表一、(續)

Table 1. (continue)

No	Time	x	y	z	ML	strk1	dip1	rake1	strk2	dip2	rake2	type
51	2006/04/04 19:30	122.76	24.49	101	5.80	340	90	-150	250	60	0	S
52	2006/04/05 01:02	121.12	22.89	9	3.94	35	30	130	171	67	70	T
53	2006/04/05 03:35	121.12	22.93	8	4.02	115	55	160	217	74	37	S
54	2006/04/11 01:34	120.47	23.51	7	3.43	160	85	20	68	70	175	S
55	2006/04/12 01:42	121.35	22.71	34	4.54	220	75	-160	125	71	-16	S
56	2006/04/15 22:40	121.30	22.86	18	6.04	35	20	80	226	70	94	T
57	2006/04/16 20:13	121.07	22.79	6	3.75	300	80	-140	202	51	-13	S
58	2006/04/18 01:26	120.34	23.42	11	4.63	185	60	70	41	36	121	T
59	2006/04/18 12:33	121.28	22.85	16	3.80	60	50	140	178	61	48	T
60	2006/04/19 21:52	121.29	22.84	17	3.94	30	30	70	233	62	101	T
61	2006/04/24 00:03	121.67	24.02	44	4.21	25	45	80	219	46	100	T
62	2006/04/27 00:31	121.54	23.99	12	3.84	55	45	110	208	48	71	T
63	2006/04/28 09:05	121.61	23.99	10	5.20	25	70	10	292	81	160	S
64	2006/05/02 18:56	120.58	23.66	10	3.66	180	75	20	85	71	164	S
65	2006/05/06 04:47	121.30	22.63	28	4.18	65	60	-170	330	81	-30	S
66	2006/05/12 12:35	121.06	22.76	7	4.04	95	65	140	205	54	31	T
67	2006/05/13 07:40	121.02	22.62	7	4.25	280	90	170	10	80	0	S
68	2006/05/16 00:03	121.66	23.93	40	3.70	180	50	90	0	40	90	T
69	2006/05/16 01:39	121.67	24.07	8	4.45	35	45	0	305	90	135	S
70	2006/05/24 20:52	121.08	22.90	9	4.25	355	85	-10	86	80	-175	S
71	2006/06/01 02:26	121.05	22.77	8	4.37	100	50	-170	4	82	-40	S
72	2006/06/02 08:41	121.97	24.41	35	4.23	80	50	20	337	75	138	S
73	2006/06/02 16:31	121.05	22.76	7	3.52	105	85	170	196	80	5	S
74	2006/06/03 02:59	121.66	24.24	19	3.96	50	50	100	215	41	78	T
75	2006/06/03 08:45	120.99	22.36	11	3.92	5	90	50	275	40	180	S
76	2006/06/03 14:04	120.29	23.05	15	3.86	100	85	-10	191	80	-175	S
77	2006/06/04 01:27	120.29	23.05	15	4.09	100	85	-10	191	80	-175	S
78	2006/06/04 09:06	121.26	22.86	14	4.93	60	50	170	156	82	40	S
79	2006/06/04 16:06	121.27	22.85	16	3.86	25	30	70	228	62	101	T
80	2006/06/11 08:57	120.44	23.21	9	4.22	150	80	40	52	51	167	S
81	2006/06/12 16:14	121.64	22.25	121	4.99	100	35	-50	234	64	-114	N
82	2006/06/13 03:42	120.98	24.51	7	3.93	205	70	0	115	90	160	S
83	2006/06/15 09:52	121.01	22.61	8	4.13	105	75	-180	15	90	-15	S
84	2006/06/16 21:33	120.31	22.49	31	4.07	345	75	-130	238	42	-23	N
85	2006/06/23 11:14	121.08	22.91	11	3.82	100	65	160	199	72	26	S
86	2006/06/23 13:46	121.09	22.91	11	3.81	105	70	160	202	71	21	S
87	2006/07/02 18:48	121.73	23.98	3	4.16	125	35	-30	240	73	-121	N
88	2006/07/03 21:03	121.53	23.53	32	3.80	0	85	60	261	30	170	T
89	2006/07/17 08:42	121.89	23.97	27	3.92	170	55	-50	294	51	-133	N
90	2006/07/21 20:56	121.49	24.34	6	3.46	190	50	-30	300	67	-136	N
91	2006/07/25 22:25	121.46	23.01	15	3.59	340	90	40	250	50	180	S
92	2006/07/28 07:40	122.63	23.98	21	5.98	55	65	10	321	81	155	S
93	2006/07/29 14:58	121.36	23.21	19	3.99	45	65	110	184	32	54	T
94	2006/07/30 15:37	120.13	24.34	27	4.06	40	50	50	273	54	127	T
95	2006/08/03 21:21	120.52	23.17	15	3.99	30	45	90	210	45	90	T
96	2006/08/04 17:51	121.81	24.11	10	3.91	100	60	160	200	73	32	S
97	2006/08/04 23:21	121.70	23.94	21	3.65	10	65	60	244	38	137	T
98	2006/08/05 13:55	120.71	24.04	11	3.24	320	70	-140	214	53	-25	S
99	2006/08/05 15:27	120.92	24.20	10	3.76	155	70	-60	276	36	-144	N
100	2006/08/10 12:25	121.54	23.22	40	4.87	20	50	100	185	41	78	T

表一、(續)

Table 1. (continue)

No	Time	x	y	z	ML	strk1	dip1	rake1	strk2	dip2	rake2	type
101	2006/08/11 23:51	121.40	22.54	24	5.36	25	15	110	184	76	85	T
102	2006/08/12 18:15	120.52	22.91	16	4.19	10	90	-100	280	10	0	N
103	2006/08/14 18:02	121.77	24.28	12	4.19	310	80	-160	216	70	-11	S
104	2006/08/14 18:10	121.77	24.27	12	3.51	80	50	120	218	48	59	T
105	2006/08/16 05:47	121.77	24.28	12	4.32	210	60	10	115	81	150	S
106	2006/08/18 15:08	121.35	23.15	17	3.23	55	55	120	190	45	54	T
107	2006/08/20 10:44	120.60	23.75	22	3.28	60	55	130	184	51	47	T
108	2006/08/26 01:51	121.40	23.74	19	3.71	195	85	-60	294	30	-170	N
109	2006/08/27 19:12	121.74	24.67	102	4.28	70	65	-80	227	27	-110	N
110	2006/08/28 02:52	120.99	23.72	6	3.82	300	75	10	207	80	165	S
111	2006/09/10 05:34	120.65	22.83	14	4.11	85	60	130	206	48	42	T
112	2006/09/15 20:54	121.57	24.15	21	4.14	150	50	-10	246	82	-140	S
113	2006/09/19 13:00	121.21	24.71	9	3.66	220	85	0	130	90	175	S
114	2006/09/27 06:13	120.48	23.67	9	3.74	260	75	-170	167	80	-15	S
115	2006/09/30 06:49	122.45	24.50	87	4.92	175	45	-40	296	63	-127	N
116	2006/10/01 06:36	121.64	24.01	24	4.94	20	20	30	262	80	107	T
117	2006/10/08 11:42	121.42	23.78	29	4.28	20	85	-90	200	5	-90	N
118	2006/10/09 00:44	121.63	24.02	25	4.30	0	60	50	239	48	138	T
119	2006/10/09 22:01	121.16	24.59	7	3.98	295	80	-150	199	61	-12	S
120	2006/10/12 14:46	122.65	23.96	28	5.76	50	90	40	320	50	180	S
121	2006/10/21 20:34	121.70	24.01	31	3.84	70	55	150	178	66	39	S
122	2006/11/01 13:34	121.22	23.73	11	3.97	140	45	-80	306	46	-100	N
123	2006/11/06 15:31	121.96	24.16	32	4.49	295	60	-120	164	41	-49	N
124	2006/11/06 17:15	121.94	24.43	28	4.26	5	45	80	199	46	100	T
125	2006/11/06 18:39	120.21	24.24	25	4.22	55	60	110	199	36	59	T
126	2006/11/12 02:40	121.57	23.90	42	4.58	195	70	-150	94	62	-23	S
127	2006/11/13 22:29	122.31	23.39	31	4.86	125	80	10	33	80	170	S
128	2006/11/16 01:50	122.09	23.14	23	4.99	60	65	-180	330	90	-25	S
129	2006/11/21 12:11	121.57	23.54	39	3.94	15	55	80	212	36	104	T
130	2006/11/26 19:46	121.67	24.04	48	4.59	10	65	85	202	25	101	T
131	2006/12/01 06:23	121.94	23.57	28	4.11	20	40	100	187	51	82	T
132	2006/12/01 21:42	121.42	22.65	16	4.04	40	50	130	167	54	53	T
133	2006/12/05 22:36	121.70	24.25	33	4.88	330	15	-120	181	77	-82	N
134	2006/12/06 01:36	121.74	23.84	43	4.52	345	35	60	200	60	109	T
135	2006/12/14 11:10	122.07	24.88	6	4.79	185	50	-120	47	48	-59	N
136	2006/12/17 12:53	121.34	22.80	36	3.83	315	85	60	216	30	170	T
137	2006/12/17 13:42	121.48	23.94	19	4.40	55	40	150	169	71	54	T
138	2006/12/18 12:02	121.07	22.79	6	3.66	200	50	-5	293	86	-140	S
139	2006/12/18 13:52	121.38	23.22	22	3.75	35	50	100	200	41	78	T
140	2006/12/18 14:32	121.52	24.07	23	3.81	30	30	80	222	61	96	T
141	2006/12/19 20:44	122.32	24.82	14	4.93	195	45	-20	299	76	-133	N
142	2006/12/23 17:28	122.32	24.81	10	5.38	325	25	-120	177	69	-77	N
143	2006/12/23 21:51	121.06	22.83	11	4.00	95	80	150	191	61	12	S
144	2006/12/24 09:43	121.20	23.80	10	3.84	165	55	-80	328	36	-104	N
145	2006/12/24 12:19	121.26	22.95	21	3.70	0	60	-150	254	64	-34	S
146	2006/12/26 08:20	121.38	23.36	16	4.50	15	60	80	214	31	107	T
147	2006/12/27 02:30	120.38	22.04	48	5.80	55	90	170	145	80	0	S
148	2006/12/30 22:21	121.74	23.57	32	4.12	20	85	0	290	90	175	S
149	2006/12/31 01:36	121.49	23.53	27	3.82	5	70	50	253	44	150	T

且由於台灣地震網測站密度大，對於 P 波初動資料在象限分布上具有很好的約束。在 P 波初動極性方向的波形檢視資料處理時，經常會因為雜訊太大而不易判斷，為了避免污染品質，故本研究僅選用各個測站 P 波初動極性非常明確的資料。由於受限於測站分布的問題，為了確保 P 波初動資料對於震源機制解的品質具有良好的約束，本研究所求得的震源機制解之震央分布大都集中在台灣島內，且以台灣東部居多，台灣西部則大都位於嘉南之斷層構造區，部分發生在台灣東部外海所求得的震源機制解，其品質因測站分布問題而比較台灣島內稍差，由於這些珍貴的資料對於提供外海構造活動之研究有很大的幫助，故本研究亦綜列之，以資參考。

2006 年 P 波初動之震源機制與震央分布圖如圖 10，震源機制可分為逆斷層、走向滑移斷層與正斷層三種類別。2006 年 149 個震源機制

中，顯示地震震源係以 67 個(45%)壓縮應力型態之逆斷層為主，其次為 56 個(38%)走向滑移斷層，最少的是 26 個(17%)擴張應力型態之正斷層，且主要分布在台灣東北部與南部之板塊隱沒構造區域。由震源機制顯示，2006 年台灣地區之構造活動主要受到菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊的碰撞擠壓作用所主導。台灣東部在北緯 24 度以北，因菲律賓海板塊西北斜向碰撞與向北隱沒作用，以及沖繩海槽的擴張作用，故其構造活動較為複雜，其震源機制包含逆斷層、正斷層與走向滑移斷層。台灣東部(東經 121 度以東)在北緯 24 度以南，主要以逆斷層為主，且最大壓縮應力方向(P 軸方向)亦與菲律賓海板塊西北斜向碰撞的作用方向相符。在台灣西部(東經 121 度以西)則主要以逆斷層與走向滑移斷層為主，且大都與斷層構造的分布形態吻合。

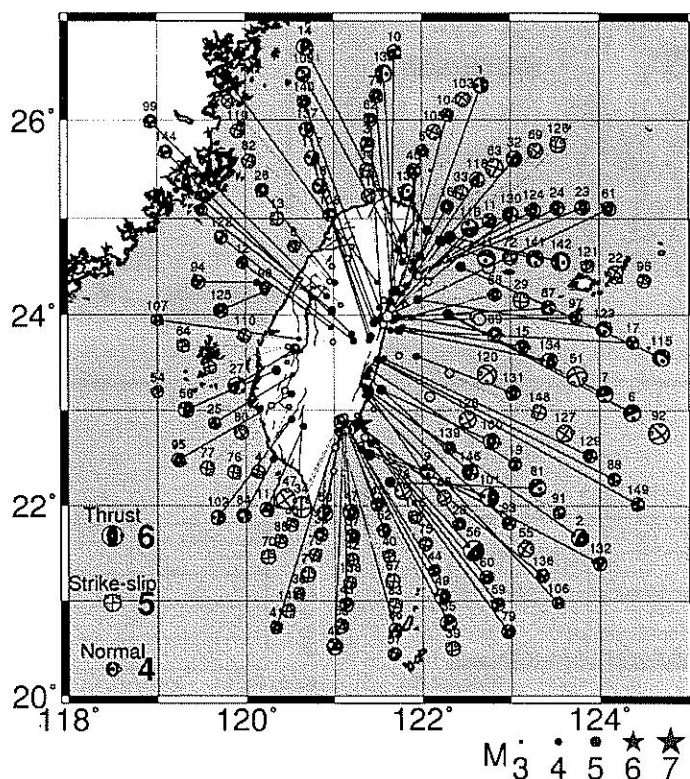


圖 10、2006 年 P 波初動之震源機制與震央分布圖。

Fig 10. The focal mechanisms of P first motion solution and distribution in 2006.

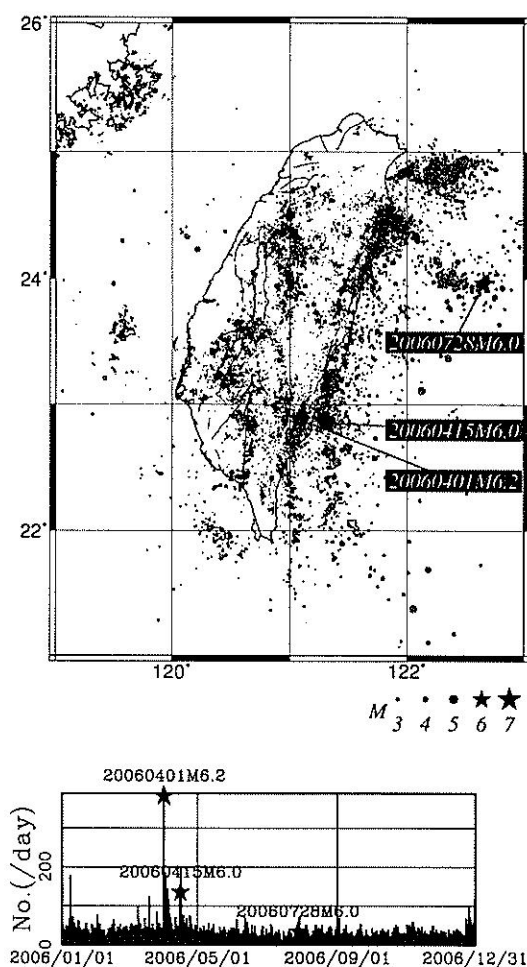
三、強震分析

2006 年共發生 5 個規模大於 6 以上的強震（圖 11），分別為 4 月 1 日和 14 日台東雙震、7 月 28 日花蓮外海強震，以及 12 月 26 日恆春雙震，強震地動加速度 (Peak Ground Acceleration, PGA) 及其與餘震時空分布特徵分析如下：

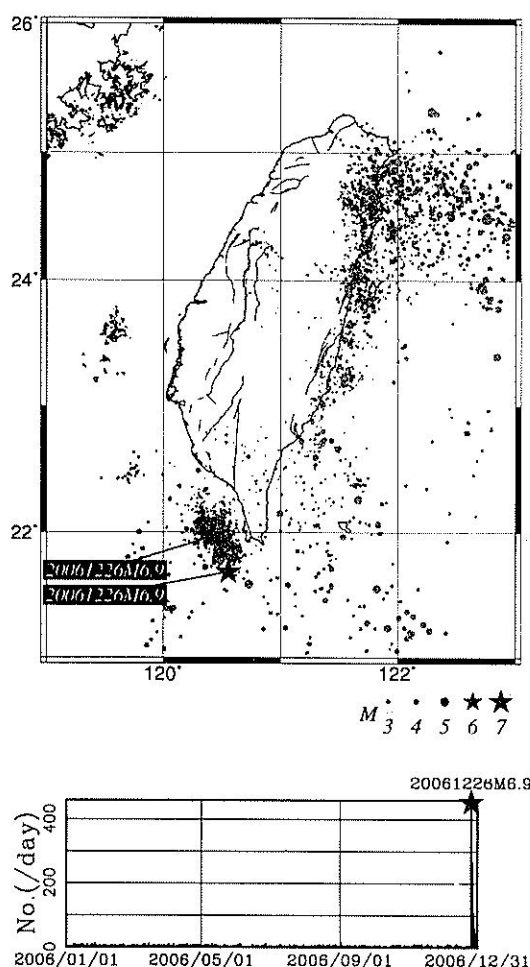
（一）2006 年淺源與深源強震之時空分布分析

2006 年淺源與深源地震之時空分布特徵分析如圖 11。圖 11a 為淺源地震與強震之震央空

間與時間分布，淺源地震集中在台灣東北部、東南部與西部斷層區。2006 年於台灣東北部雖無強震，但因兼受板塊隱沒之聚合應力與沖繩海槽之擴張應力作用，仍有密集的地震發生。台東地區則因 4 月台東雙震在相近的時空內密集觸發大量餘震。圖 11b 為深源地震與強震之震央空間與時間分布，台灣東北部因持續受板塊隱沒之應力作用，於 2006 年依然不斷有深源地震發生，南部地區除持續受板塊隱沒應力作用外，更因 12 月恆春雙震在相近的時空內密集觸發大量餘震。



(a)



(b)

圖 11、2006 年地震之時空分布特徵。(a)淺源地震。(b)深源地震。

Fig 11. The 2006 earthquakes characteristics of spatiotemporal distribution. (a) The shallow earthquakes. (b) The deep earthquakes.

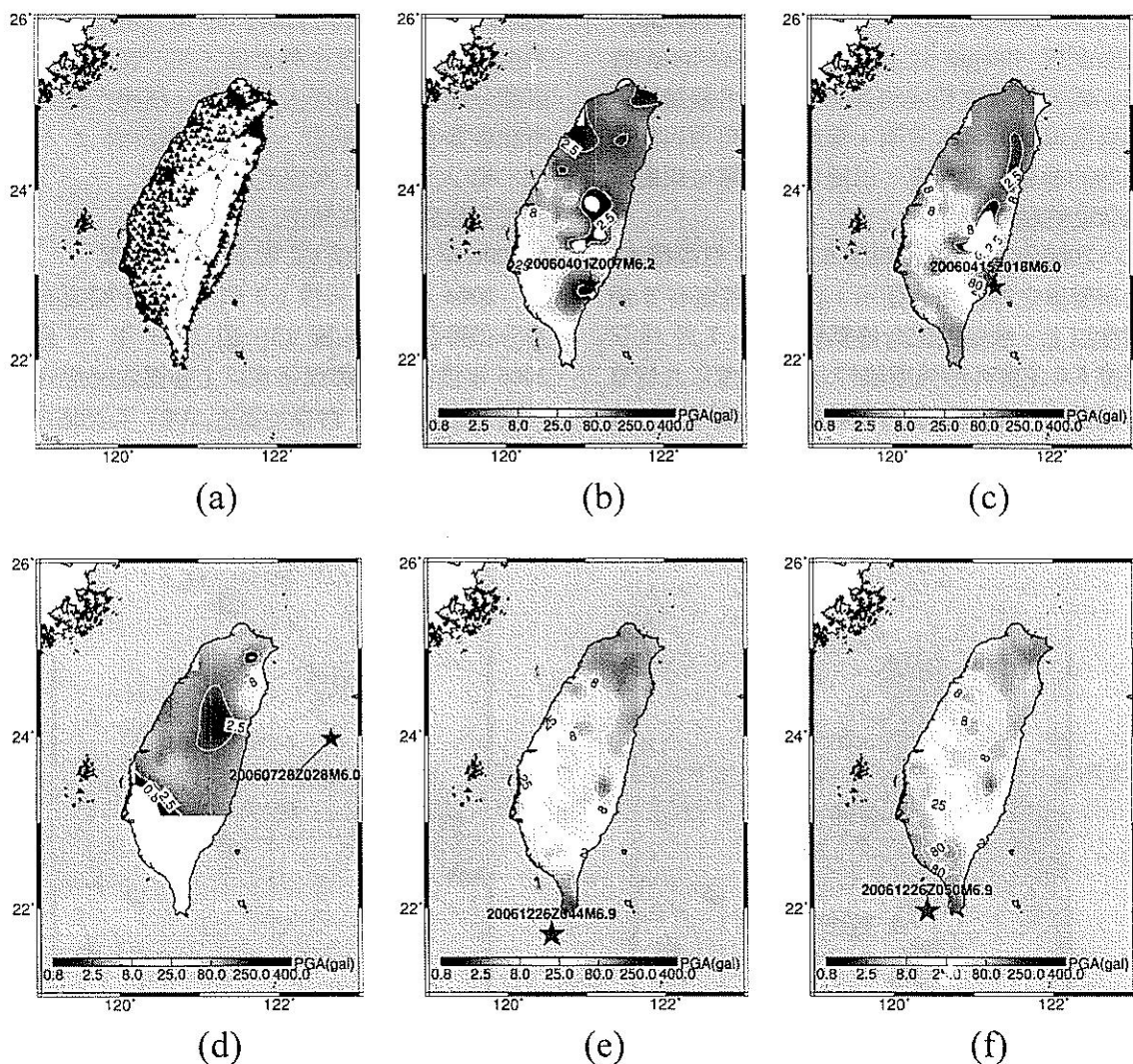


圖 12、2006 年規模 6 以上強震之地動加速度等值圖。(a)中央氣象局強地動觀測網(Taiwan Strong-Motion Instrumentation Program, TSMIP)。(b-f)規模 6 以上強震之地動加速度等值圖。
Fig 12. The contours of peak ground acceleration (PGA) of strong earthquakes in 2006. (a) The TSMIP network. (b-f) The PGA contours of strong earthquakes.

(二) 強震地動加速度等值分析

2006 年規模 6 以上強震之地動加速度等值分析如圖 12。本研究繪製地動加速度等值圖係使用中央氣象局強地動觀測網(Taiwan Strong-Motion Instrumentation Program, TSMIP)的資料，中央氣象局強地動觀測網目前共 688 個強震站，負責台灣之強地動觀測，提供防震設計規範的改進依據。地動加速度資料係採南

北向與東西向水平分量的平均值，等值區則根據台灣目前所使用的震度階。震度是用以估算危害程度的地震參數，係根據在各地測站設置的強震儀所記錄的地動加速度值(單位為 gal，即 cm/sec^2)換算而得。目前中央氣象局震度階分為 8 個等級，即 0 級(無感，0.8 gal 以下)、1 級(微震，0.8-2.5 gal)、2 級(輕震，2.5-8 gal)、3 級(弱震，8-25 gal)、4 級(中震，25-80 gal)、5

級(強震, 80-250 gal)、6 級(烈震, 250-400 gal)、7 級(劇震, 400 gal 以上)等震度圖(iso-intensity map)為相同震度連成的等值曲線, 各級震度之等震度線構成等震度圖。等震度圖可用以評估各地的地震災害程度, 以提供救災單位規劃緊急救助的順序。

2006 年 4 月 1 日規模 6.2 與 14 日規模 6.0 台東雙震之等震度圖顯示, 在近震源區有 5 級震度以上, 故造成部分建築物毀損。7 月 28 日規模 6.0 花蓮外海強震雖於北緯 23 度以北皆有有感震度, 但因距離台灣較遠, 震度不大, 故

並無災情。12 月 26 日規模 6.9 恆春雙震不但有感震度的範圍涵蓋台灣全島, 並於震央附近造成部分建築物毀損與人員傷亡。根據行政院災害防救委員會的統計, 恆春雙震造成 2 人死亡、42 人受傷、3 間民宅倒塌。

(三) 強震與餘震時空分布分析

1. 2006 年 4 月規模 6.2 與 6.0 台東雙震

2006 年 4 月規模 6.2 與 6.0 台東雙震之時空分布特徵分析如圖 13, 由 2003 年 12 月至 2006 年淺源地震與規模 6 以上強震之時空分布(圖 13a)顯示, 台東地區在 2003 年以前的地

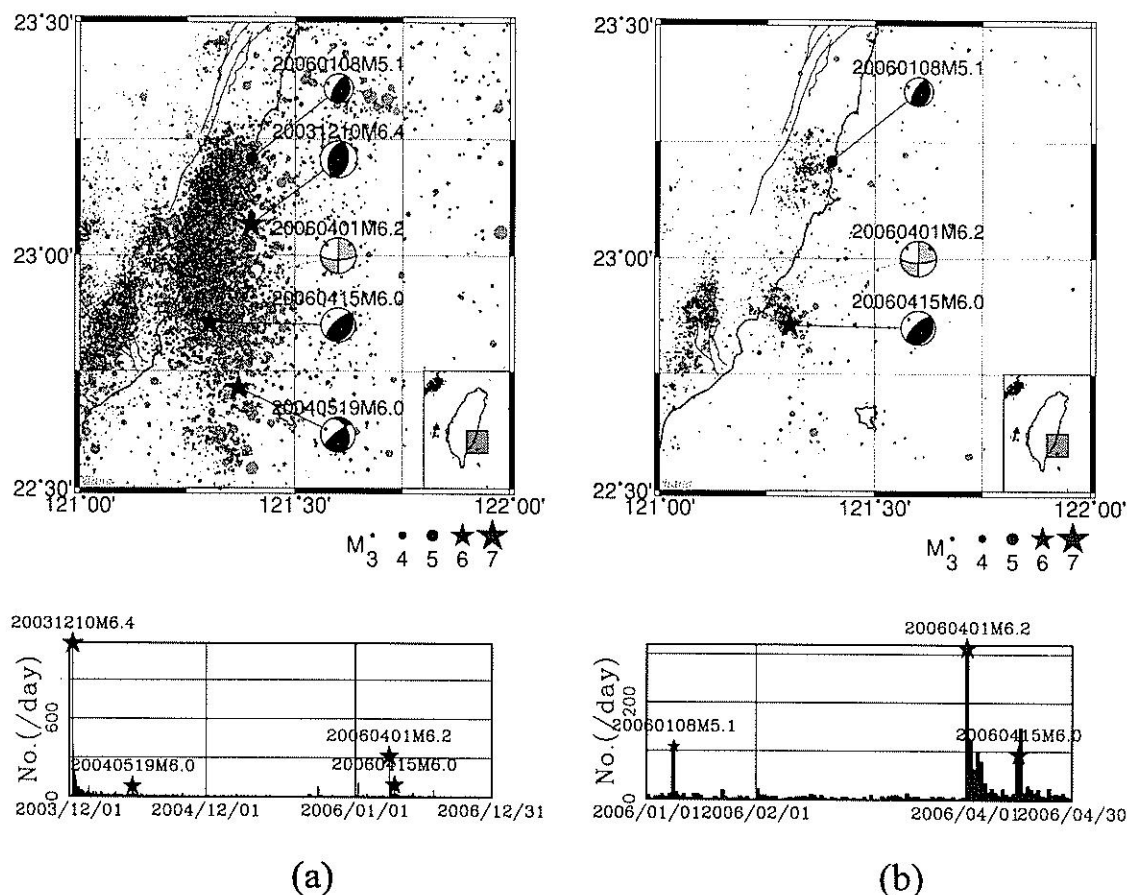


圖 13、2006 年台東雙震震源區淺震地震序列之時空分布特徵分析。(a)2003 年 12 月至 2006 年地震序列。(b)2006 年地震序列。

Fig 13. The spatiotemporal distribution characteristics of shallow earthquake sequence in source area of 2006 Taitung earthquake doublet. (a) The earthquakes from December, 2003 to 2006. (b) The earthquakes in 2006.

震活動並不活躍，但於 2003 年 12 月 10 日發生規模 6.4 的台東強震（震源機制為逆斷層）後，當天即已觸發逾 1100 個地震，數月後仍觸發大量餘震，並於 2004 年 5 月 19 日觸發規模 6.0 強震（震源機制為逆斷層）。

2006 年淺源地震(圓圈)與規模 5 以上強震(星號)之時空分布如圖 13b，2006 年 1 月 8 日發生規模 5.1 的台東強震，其震央位置與 2003 年規模 6.4 台東強震非常接近，震源機制（逆斷層）也非常相似，並亦明顯觸發餘震，2006 年 4 月雙震發生後更觸發大量餘震。2006 年 4 月 1 日規模 6.2 的台東強震其震源機制為走向滑移斷層機制，如果與既存的斷層構造線相比對，應為呈南北走向的左移斷層，其地震活動亦明顯呈現南北方向的分布，與震源機制及斷層構造皆相符，其地震成因應該是因為斷層作用所造成。2006 年 4 月 15 日規模 6.0 的台東市東方近海強震其震源機制為逆衝斷層機制，由於震源位置位於近海，並無斷層構造線可以比對，雖然本次地震亦引發大量的餘震活動，但其地震活動並無明顯的分布特徵，由地震最大壓應力方向與板塊移動方向相符的特徵來看，這種典型的逆衝震源機制成因，應該是因為板塊運動弧陸碰撞作用所造成。

2. 2006 年 7 月規模 6.0 與 10 月規模 5.8 花蓮外海雙震

2006 年花蓮外海強震之時空分布特徵分析如圖 14a，圖中標示 2006 年花蓮外海淺源地震(圓圈)與規模 5 以上強震(星號)之時空分布。2006 年 7 月 28 日規模 6 與 10 月 12 日規模 5.8 的花蓮外海強震，震源位置與規模皆相當，惟時間間隔逾 2 個月，根據地震週期理論，亦屬雙震。強震後並未觀測大量餘震，可能是地震震源特性，亦可能因為距離較遠，地震網不易完整觀測所致。

就地震週期理論而言，2006 年 7 月 28 日規模 6.0 的花蓮外海強震，於相近時空內並無更大規模的地震，故很明顯的可視為地震序列中的主震，換言之，規模 6.0 相當於該震源區在該時段內可負載應力之等效規模。通常要累積一個規模約 6.0 強震的等效應力約需數年的

時間，因此 10 月 12 日規模 5.8 強震僅間隔 2 個多月，不足時間以累積超載的應力，並非下一個地震週期，故應屬於雙震。

3. 2006 年 12 月規模 6.9 恆春雙震

2006 年 12 月 26 日格林威治國際時間 (Greenwich Mean Time, GMT) 12 時 26 分於恆春外海發生震源深度 44 公里規模 6.9 的強震，緊接著在 8 分鐘後（12 時 34 分）再次發生震源深度 50 公里規模 6.9 的強震。根據行政院災害防救委員會的統計，恆春雙震造成 2 人死亡、42 人受傷、3 間民宅倒塌。2006 年恆春雙震之時空分布特徵分析如圖 14b。由 2006 年恆春雙震震源區之地震時空分布圖顯示，震源區在強震發生前非常平靜，12 月恆春雙震發生後，在相近的時空內很密集的觸發了大量餘震，形成一個密集的地震群。第二個強震的震央位置大約位於地震群的中央，惟第一個強震的震央位置位於地震群的最南邊，就地震時序而言，恆春外海的地震群，是自東南向西北方向，由第一個主震開始觸發地震群。

恆春雙震是近 40 年以來，在台灣西南部外海所發生的最大地震，目前對於引發此雙震的發震構造、斷層及板塊構造的特徵，仍存在許多的爭議。在台灣東北部的板塊隱沒構造，可以由地震活動之空間分布很清楚的界定，大約由北緯 24 度開始向北隱沒，且有足夠的地震資料可以辨識不同位置隱沒的角度；然而在台灣南部的板塊隱沒構造，只能隱約由模糊的地震活動之空間分布呈現隱沒特徵，但是對於隱沒細節，則無足夠的地震活動可以辨識。台灣北部的板塊隱沒邊界是與琉球海溝相連接，而台灣南部的板塊隱沒邊界則是與馬尼拉海溝相連接。但是對於馬尼拉海溝向北延伸，究竟是連接到海岸山脈的構造線，或者是西部構造前緣，一直以來都是具有爭議性的議題。恆春雙震的震源位置非常特殊，可以提供許多地體構造與防災研究，例如台灣南部的隱沒特徵、斷層錯動機制、發震構造、評估馬尼拉海溝沿線引發海嘯的潛能，此外，本次雙震的震源深度分別在 44 與 50 公里，或許可藉以探討上部地函在地體動力模擬之黏彈性質。

以下根據 2006 年 12 月 26 日恆春雙震震源機制與餘震分析，探討恆春雙震在發震構造上所顯現的特徵（圖 15）。哈佛大學公布之恆春雙震震源機制，於 12 時 26 分發生第一個規模 6.9 強震為走向 330 度、傾角 58 度、滑移角 -92 度之正斷層；於 12 時 34 分發生第二個規模 6.9 強震為走向 151 度、傾角 55 度、滑移角 4 度之走向滑移斷層。本研究分析 2006 年 12 月 26 日雙震後至 2007 年 1 月 15 日期間之餘震，由平面圖與剖面圖比對震源機制斷層面，其中剖面

圖是以垂直地震活動分布趨勢之主軸方向（亦與海底地形構造線相符）而定。從平面圖（圖 15a）與剖面圖（圖 15b）比對恆春雙震之下半球（lower-hemisphere）與側半球（back-hemisphere）震源機制與餘震震央分布顯示，正斷層走向 330 度、傾角 58 度的節面，是與餘震空間分布較為吻合的斷層面。惟在平面圖上，走向滑移斷層是以走向 151 度的節面與餘震震央分布較為吻合，但在剖面圖上，並無與餘震分布吻合的斷層面。

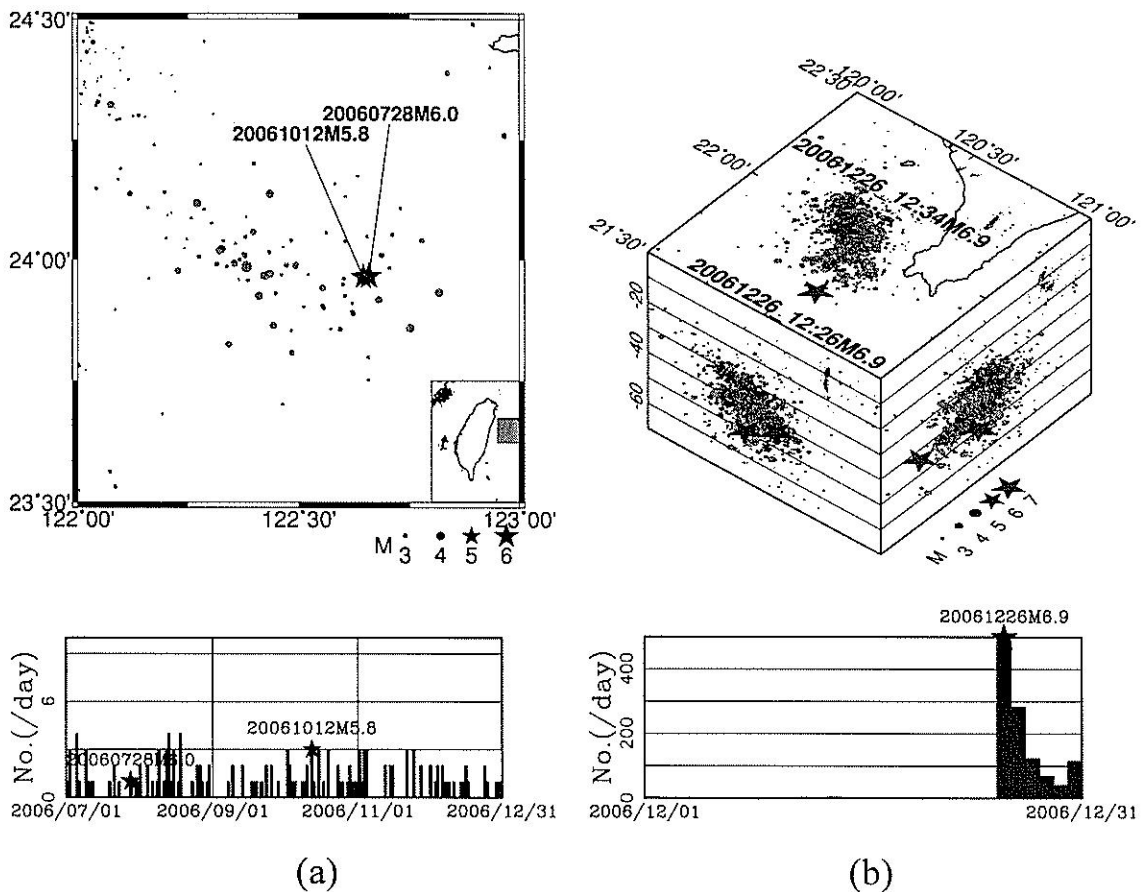


圖 14、2006 年花蓮外海強震與恆春雙震地震序列之時空分布特徵分析。(a)花蓮外海地震序列。(b)恆春地震序列。

Fig 14. The spatiotemporal distribution characteristics of earthquake sequence of 2006 Hualien and Hengchung earthquake doublet. (a) Hualien. (b) Hengchung.

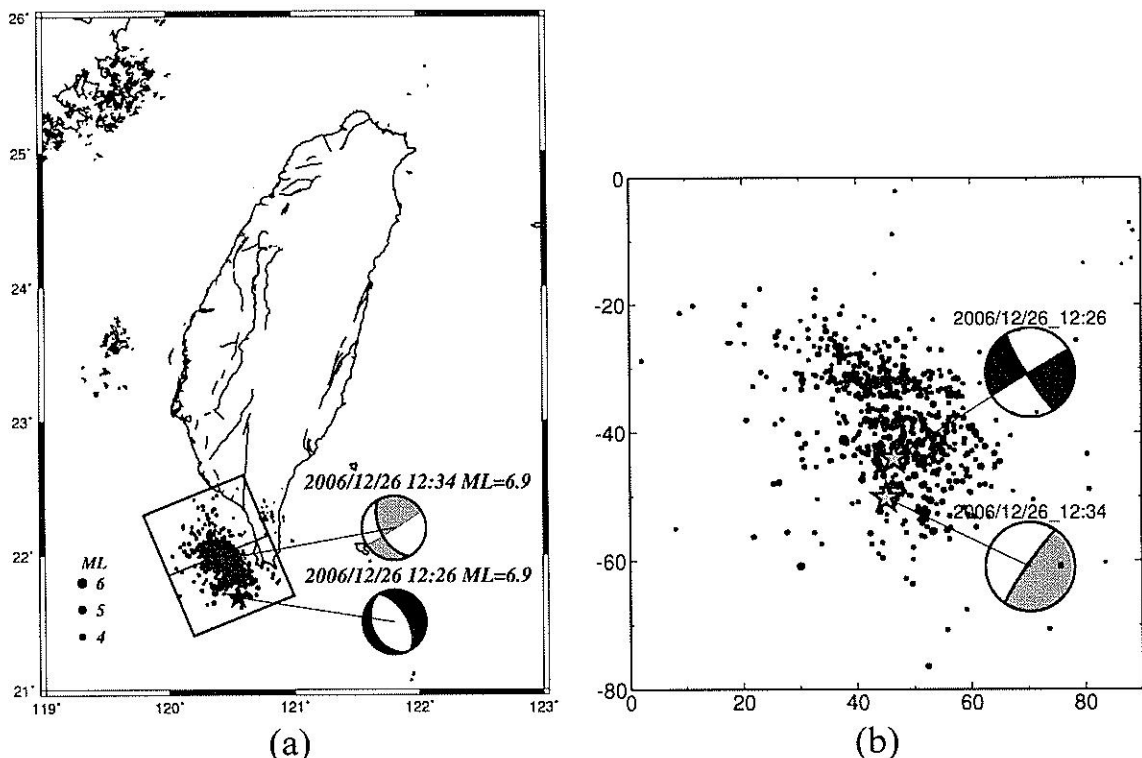


圖 15、2006 年 12 月 26 日恆春雙震震源機制與餘震分析。(a)下半球震源機制與餘震震央分布。(b)側半球震源機制與餘震剖面分布。

Fig 15. The focal mechanisms and aftershock distribution of 2006 Hengchung earthquake doublet. (a) The map view of lower-hemisphere focal mechanisms and aftershock distribution. (b) The profile view of back-hemisphere focal mechanisms and aftershock distribution.

四、結論與討論

就 2006 年整體之地震活動分析而言，地震規模之個數分布分析顯示，淺震與深震之最小完整規模分別為 2.0 與 2.6， b 值分別為 0.95 與 0.91。相對而言，2006 年淺震與深震之 b 值都略高於 1994 至 2005 年，顯示 2006 年的小地震比率偏高。地震個數等值圖分析顯示，淺震的地震個數高值區主要位於台東與宜蘭地區。深震的地震個數高值集中在台灣東北部與南部，係因板塊隱沒作用所致。地震個數值較高之地區，有些是因為發生強震而觸發大量餘震，例如台東和恆春外海等明顯地震序列，有些地區雖無強震但平常就具有頻繁的地震活動，如宜

蘭、花蓮地區。地震累積規模等值圖分析顯示，淺震高值位於花蓮外海與台東地區，與強震發生位置相近；深震高值位於南部恆春雙震震源區域與東北部宜蘭外海。

由 2006 年 10 月 18 日人工爆炸震源之地震定位分析顯示，震央測報誤差約 5 公里，測得地震規模為 2.1，爆炸震源附近之 SML 與 TYC 地震站，波形紀錄明顯顯示 P 波初動方向為上動波相。地震站之 P 波走時與殘值分析顯示，實際觀測的 P 波走時並非與一維地體速度模型吻合的同心圓，台灣東部與西部之地體速度分別比平均速度偏快與偏慢。

本研究共求得 149 個 P 波初動解之震源機制，其中包含 67 個(45%)逆斷層、56 個(38%)

走向滑移斷層，以及 26 個(17%)正斷層，由震源機制以逆斷層為主顯示，2006 年台灣主要受到壓縮應力為主。在台灣東北部，因兼受板塊碰撞、隱沒，以及海槽的擴張作用，故包含逆斷層、正斷層與走向滑移斷層；台灣東南部以逆斷層為主，最大壓縮應力方向與菲律賓海板塊運動作用方向一致。台灣西部以逆斷層與走向滑移斷層為主，與斷層構造吻合。

分析 2006 年的強震，主要可分為 3 組雙震，分別為位於呂宋島弧構造線上之 4 月規模 6.2 與 6.0 台東雙震、琉球島弧構造線上之 7 月規模 6.0 與 10 月規模 5.8 花蓮外海雙震，以及馬尼拉海溝構造線上之 12 月規模 6.9 恆春雙震。

2006 年 4 月規模 6.2 與 6.0 台東雙震震源區在 2003 年以前的地震活動並不活躍，但於 2003 年 12 月 10 日發生規模 6.4 的台東強震(逆斷層震源機制)後，數度觸發相同震源機制的強震與大量餘震。2006 年 7 月規模 6.0 與 10 月規模 5.8 花蓮外海雙震之震源位置與規模皆相當，惟間隔時間長逾 2 個月。震源區在強震後並未觀測大量餘震，或因地震震源特性，或因地震網無法完整觀測遠震所致。

2006 年 12 月 26 日規模 6.9 恆春雙震震源區在雙震發生前非常平靜，雙震發生後，密集觸發餘震，形成一個的地震群，第一個強震(正斷層震源機制)震央位於地震群的最南邊，第二個強震(走向滑移斷層震源機制)震央位於地震群的中央。正斷層走向 330 度、傾角 58 度的節面，是與餘震空間分布較為吻合的斷層面。第一個主震為正斷層震源機制隱喻此地震可能是隱沒的歐亞大陸板塊，受到板內應力(intraplate stresses)的作用所造成。在板塊聚合作用的構造環境下，地殼淺層主要受到壓力變形，並不適合造成大規模的正斷層震源機制。正斷層震源機制通常發生於隱沒板塊的淺部，由於隱沒板塊在高角度沈降前的彎曲作用，於彎曲板塊頂部受到張力作用所造成。第二個地震為走向滑移斷層，可能是呈東北走向之右移斷層，或呈西北走向之左移斷層(此與海底地形構造線較為相符)。關於此走向滑移斷層機

制的成因，目前尚無足夠的資料可以佐證是受到板塊聚合之淺層變形作用、隱沒板塊之深層變形作用，抑或是隱沒的歐亞大陸板塊，受到板內應力的作用所造成。

五、參考文獻

- 辛在勤，1996。1994 年南澳地震序列的探討，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告(NSC 85-2111-M-052-011)。
- 辛在勤，張建興，1992。1992 年地震回顧，氣象學報第三十八卷第三期。
- 徐明同，1979 年。地震學，黎明文化事業股份有限公司出版。
- 張建興，辛在勤，1994。1993 年地震回顧，氣象學報第三十九卷第三期。
- Aki, K., and P. G. Richards, 2002. Quantitative Seismology, 2nd ed., University Science Books, Sausalito, California, 37-62 pp.
- Angelier, J., 1986. Preface. Geodynamics of the Eurasia-Philippine Sea plate boundary. Spec. Issue. Tectonophysics, 125, IX-X.
- Biq, C., 1972. Dual-trench structure in the Taiwan-Luzon region, Proc. Geol. Soc. China., 15, 65-75.
- Gutenberg, B. and C.F. Richter, 1954. Seismicity of the Earth and Associated Phenomena, Second Ed., Princeton University Press, NJ, 310 pp.
- Gutenberg, B. and C. F. Richter, 1956. Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration (second paper), Bull. Seism. Soc. Am. 46, 105-143.
- Herrmann, R. B., 1975. A student's guide to the use of P and S wave data for focal mechanism determination. Earthquake notes, 46,P.29-39.
- Ho, C. S., 1988. An introduction to the geology of Taiwan: Explanatory text of the geologic map of Taiwan, 192 pp., Min. of Econ. Aff., Taipei, Taiwan, Republic of China.
- Jackon, J., and D. Mckenzie, 1988. The

- relationship between plate motions and seismic moment tensors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East, *Geophys. J.*, 93, P.45-73.
- Johnson, K.M., and P. Segall, 2004. Viscoelastic earthquake cycle models with deep stress-driven creep along the San Andreas fault system: *Journal of Geophysical Research*, v. 109, B10403, doi: 10.1029/2004JB003096.
- Jost, M. L., and R. B. Herrmann, 1989. A student's guide to and review of moment tensors, *Seismol. Res. Lett.*, 60, P.37-57.
- Kanamori, H. and D. L. Anderson, 1975. Theoretical basis of some empirical relations in seismology, *Bull. Seis. Soc. Am.*, 65, 1073-1095.
- Kao, H., and W.-P. Chen, 2000. The Chi-Chi earthquake sequence: Active out-of sequence thrust faulting in Taiwan, *Science*, 288, 2346-2349.
- Kagan, Y. Y. and D. D. Jackson, 1999. Worldwide doublets of large shallow earthquakes, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 89, 1147-1155.
- Perfettini, H., J.-P. Avouac, and J.-C. Ruegg, 2005. Geodetic displacements and aftershocks following the 2001 $M_w = 8.4$ Peru earthquake: Implications for the mechanics of the earthquake cycle along subduction zones. *J. Geophys. Res.*, 110, B09404.
- Savage, J.C., and W.H. Prescott, 1978. Asthenosphere readjustment and the earthquake cycle: *J. Geophys. Res.*, 83, 3369-3376, doi: 10.1029/JB083iB07p03369.
- Seno, T., 1977. The instantaneous rotation vector of the Philippine Sea plate relative to the Eurasian plate, *Tectonophysics*, 42, P.209-226.
- Stein, S. and M. Wyssession, 2003. An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure, 194-200.
- Suppe, J., and J. Jamson, 1979. Fault-bend origin of frontal folds of the western Taiwan fold-and-thrust belt, *Petro. Geol. Taiwan*, 16, 1-18.
- Wang, J., 1988. b value of shallow earthquakes in Taiwan. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 78, 1243-1254.
- Wang, J.H., 1992. Magnitude scales and their relations for Taiwan earthquakes : A review. *TAO*. Vol.3, No.4, 449-468.

A Review of 2006 Earthquakes in Taiwan

Yen-Ling Chen Juen-Shi Jiang Tzay-Chyn Shin
Seismological Center, Central Weather Bureau

Abstract

In review of 2006 earthquakes of Taiwan, the shallow earthquakes mainly occurred in Taitung and Yilan areas, while the deep earthquakes were concentrated in northeastern and southern Taiwan correlated with plate subduction structure. The minimum magnitude of completeness is 2.0 and 2.6, the b value is 0.95 and 0.91 for shallow and deep earthquakes, it indicates that ratio of small magnitudes is larger than before. According to the explosive source test, the error of seismic monitoring is about 5 km, and the real velocity structure is higher in eastern and lower in western Taiwan than by existed model. The focal mechanisms can be classified into 67 (45%) thrust fault, 56 (38%) strike-slip fault, and 26 (17%) normal fault, the dominant thrust faulting is a reflection of the regional crustal stress regimes.

As to the analyses of 3 strong earthquake doublets in 2006: Taitung magnitude 6.2 earthquake doublet in Luzon Arc, Hualien magnitude 6.0 earthquake doublet in Ryukyu Arc, and Hengchun magnitude 6.9 earthquake doublet in Manila trench, the seismogenic area of Taitung magnitude 6.2 earthquake doublet was triggered by the magnitude 6.4 strong earthquake on December 10, 2003 with thrust faulting focal mechanism. The seismogenic area of Hualien magnitude 6.0 earthquake doublet did not trigger a large number of aftershocks. The seismogenic area of Hengchun magnitude 6.9 earthquake doublet has triggered a large number of aftershocks, and formed a cluster. The first mainshock with normal faulting focal mechanism is located on the southern tip of cluster, and the second mainshock with strike-slip faulting focal mechanism is located in the center of the cluster. The nodal plane of normal faulting focal mechanism with strike 330 degree and dip 55 degree is correlated to the pattern of clustered aftershocks.

Key words: earthquake doublet, focal mechanism