

2009年11月5日南投名間地震($M_L=6.2$)之震波特性研究

葉玉蓮 鄧伊婷 紀毓哲 陳朝輝
國立中正大學地震研究所

摘要

台灣位於環太平洋地震帶上，因歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊碰撞擠壓的影響，地震活動十分頻繁，歷年來發生於內陸的大地震皆造成民眾生命財產重大的損失，因此大地震的預警自然也成為地震研究的重要目標。2009年11月5日於南投名間地區發生深度24公里，規模6.2的地震，震央與921集集大地震非常接近。因此本研究的主要目的為利用剪波分裂與P波的頻散衰減特性來瞭解此地震的震波特性。所分析的資料為中央氣象局設置的地震網(CWBSN)所記錄的高品質地震記錄，我們針對南投名間地震臨近的五個測站，於地震前後共14個月進行剪波分裂與P波的頻散衰減特性分析。對於剪波分裂分析部分，我們以波形交叉比對的方法，分析兩個水平向的剪波之極化角度與快慢波的延遲時間在震前與震後的變化情形，我們發現在南投名間地震臨震前，延遲時間有明顯的下降情形，且極化角度也有偏轉的現象。關於P波的頻散特性分析部分，我們選取P波第一週期的波列訊號以多重濾波法濾波分析後得到群速延遲時間-頻率譜，再根據線性彈性鬆弛模型理論結合基因演算法計算出最佳頻散衰減因子 Q_p 。藉由比對地震前後各測站 Q_p 值隨時間與測站方位變化的情形，可瞭解 Q_p 值異常與地震發生的關係。由結果顯示剪波分裂與P波的頻散衰減，對於區域裂隙密度變化具有高敏感性，可作為震源區應力場改變的時間指標，更可成為中短期地震預警的重要參數。

關鍵字：南投名間地震、剪波分裂、P波頻散衰減、延遲時間、極化角度、 Q_p

一、前言

近年來，在台灣、日本、中國大陸及印尼等地區，皆因為大地震的發生造成生命財產重大的損失。台灣地區由於板塊擠壓，地震活動頻繁。因此對於大地震預警工作在人口密集的中部及西南部地區為一重要的課題，因此地震前兆的研究在地震預警的工作上將扮演重要的角色。發生於2009年11月5日的南投名間地震（規模=6.2，深度=24公里），在震央附近及其鄰近地區，造成不少的災情。由於此地震是1999年9月21日南投集集地震以來附近地區規模最大的地震，且震央位置亦與南投集集地震相當接近，因此本研究將從兩方面來分析南投名間地震的震波特性：(1)剪波分裂及(2)P波頻散特性，藉此研究南投名間地震發生前後在震源區的物理狀態的變化，以做為強震來臨前地震預警的參考。

過去有許多研究將剪波分裂的研究應用在地震前兆的觀察，Gao and Crampin (2006) 便藉由非均勻性的研究，持續監測水島地區的應力變化，並且利用規模小於2的地震，成功預測一個規模大於5地震；此外，也有對於規模較大的地

震發生前後，針對其非均勻性結果做分析。Tadokoro et al. (2002) 的研究指出，斷層附近之快剪波極化方向會平行於斷層走向，因此提出斷層癒合 (fault healing) 的觀點，當大地震發生後的瞬間，由於斷層帶受到主震的斷層剪切應力的影響，而其周圍會產生新的裂隙，並沿著斷層帶平行於斷層走向，而地震後的一段時間，則會回復至大地震發生前的型態。而Chao & Peng (2009) 則對於集集地震發生後延遲時間上升的現象提出物理上的解釋，他們提出當規模較大的地震發生，會使得原本密合的裂隙因強地動的關係而突然被打開，導致近地表層的裂隙密度突然增加現象。

另一方面由實驗結果顯示(李亞林等, 1998)：波速與震波衰減因子隨介質中的孔隙度和滲透率的變化有關。劉希強等(2005)與翁啓廷(2007)應用P波頻散衰減特性於強震前兆之應用中，均發現 Q_p 殘值於強震前有異常上升後下降之趨勢，顯示 Q_p 殘值能反應地震前後區域應力狀態，介質累積應力時受壓密作用導致裂隙較密，密度亦較高造成 Q_p 殘值便會越來越高；當應力累積至一定程度時，介質因擠壓造成裂隙密度增加，因此 Q_p 殘值於強震前即產生變低之變化；

應力在持續累積至足以觸發地震時便會發震，因此於地震發生前可觀察到 Q_p 殘值累積到異常高值並下降之趨勢。因此本研究可以對大地震發生前後的地殼的應力狀態，可作為地震預警的時間指標。

二、資料分析與方法

2.1 剪波分裂

我們利用中央氣象局地震觀測網 (Central Weather Bureau Seismic Network, CWBSN) 從 2009 年 1 月至 2010 年 2 月之短週期地震資料進行分析；主要的資料篩選條件為：地震規模 ≥ 3 、震央距 \leq 地震深度。由於規模太大的地震可能存在餘震，使得後到的地震波干擾前面的波相，因此限制所選取地震規模 ≥ 3 ；並且為了降低 S 波波相被 P 波波相所轉換為 S 波波相干擾，因此亦限制震央距 \leq 地震深度，且選取的地震深度為 30 公里內。本研究中，我們主要分析 TYC、SML、CHN5、WGK 及 WNT 五個測站。圖 1 為 TYC 測站經資料篩選後，從 2009 年 1 月至 2010 年 2 月的地震震央分佈，共 178 筆資料進行解析。SML 測站以 63 筆資料進行解析；CHN5 測站則以 231 筆資料進行解析；WGK 測站共有 67 筆資料；WNT 測站則有 132 筆資料。為了除去潮汐效應，我們先將速度記錄波形積分為位移記錄並作基線修正。由過去頻譜分析 (陳, 2006) 可知，台灣地區剪力波能量大致集中在 2-6Hz，因此以此作為帶通濾波的範圍。本研究使用梁文宗 (1990) 之波形交叉比對的方法 (waveform cross-correlation)，當相關係數最大時，即可求的兩水平量 S 波的延遲時間與極化角度。

2.2 P 波頻散衰減

本研究亦使用中央氣象局即時地震觀測網之短週期地震資料。本研究挑選圖中距震央最近且資料品質較佳的四個測站：CHN5、TYC、WGK 及 WNT (圖 3.3、表 3.1)，使用每個測站 2009 年 1 月至 2010 年 2 月的速度型地震儀之垂直分量資料。由於規模較大地震角頻率越低，為使角頻率大於所研究之頻段範圍，故僅採用規模 ≥ 3 之地震。另為防止高頻能量因距離較遠而嚴重衰減，故挑選以測站為中心，震央距 ≤ 30 公里，震源深度 ≤ 30 公里範圍內適合擷取直達 P 波完整第一個波形之地震資料。圖 2 為本研究區域內測站 CHN5 位置及所分析地震資料的震央位置，其中黑線為斷層，三角形為測站位置，黃色星形為名間地區 2009 年 11 月 5 日規模 6.2 地震之震央位置。分析步驟如下：(1) 重定 P 及 S 波到十 (2) 採用牛頓多項式插值法與高斯帶通濾波法，對原始記錄進行重採樣，以提高原始記錄頻率之解析度。本研究使用的中央氣象局即時地震觀測網資料之採樣率為每秒 100 個點，透過

牛頓多項式插值法重新採樣並以高斯帶通濾波法濾波後將採樣率提升至每秒 1000 個點，(3) 截取直達 P 波之第一個波形編號，(4) 將擷取之直達 P 波第一個波形編號以多重濾波法進行分析，本研究經測試發現將分析帶通頻率範圍設定在 3 到 15 之間可得較佳之結果。(5) 利用基因演算法反演可以得到最佳頻率-時間譜，並且可以得到最佳頻散衰減因子 Q_p 。最後將這些分析後所得到的 Q 值統計，並取平均值，得出每個測站附近區域頻散衰減因子對於時間的變化。

三、結果

3.1 剪波分裂

圖 3-1 與 3-2 為各測站所得之延遲時間與快剪波極化角度分佈情形，顯示震前、震時與震後具不同的特性，可得以下之結論：

(1) WNT 及 WGK 測站而言，在地震前，皆能觀測到快剪波極化角度與區域應力軸方向平行的現象，大致符合 EDA 理論。

(2) 在名間地震時期，WNT、WGK、TYC 及 SML 測站皆可以觀測到快剪波極化角度與名間地震最大壓應力軸 (P 軸) 平行的現象，顯示這期間的極化角度受主震強地動的影響。

(3) 由於 CHN5 測站距離震央較遠，無論是在地震前或地震後皆呈現相當明顯的南北走勢，其原因在於受地形、地質構造走勢，影響近地表層裂隙方向。另一方面，TYC 及 SML 測站雖然其經緯度位置相近，但兩高程相差 500 公尺，且受到區域性的層理、結晶或者已存在的斷層構造影響導致差異。

(4) 在各測站中除了距離震央較遠的 CHN5 測站外，皆顯示震後較震前延遲時間明顯增加的情形。另外並於臨震前可觀察到在延遲時間有下降後上升的趨勢，其中，平原區域的 WNT 及 WGK 測站，可明顯觀察到於臨震前四個月延遲時間變化的現象。

(5) 本研究於地震後時期所得結果就快剪波極化角度方面，除了未受名間地震影響的 CHN5 測站外，皆可以觀察到快剪波極化角度回復到地震前的狀態；而延遲時間方面，在名間地震後迴歸線走勢皆呈現下降的現象，顯示出，由名間地震後強地動的影響下所產生的裂隙逐漸閉合。

3.2 P 波頻散衰減

圖 4 為各測站於地震發生前後 Q_p 殘值隨時間的變化情形。我們發現各測站於地震發生前 Q_p 殘值變化之一致現象。主要的結果如下：

(1) Q_p 殘值對裂隙密度之變化相當敏感，可做為觀察區域應力改變狀態之指標。

(2) Q_p 殘值與地震波線穿越之介質有關，不同方位之地震波

線穿越不同值介質造成不同之 Q_p 殘值變化趨勢，因此將不同方位之 Q_p 殘值分開展示較能凸顯各方位之變化特徵。

- (3) 於強震約 2 個月前，鄰近測站之 Q_p 殘值皆可觀察到變化至異常高值後下降之變化趨勢，該現象可作為強震將發生之警訊。
- (4) 統計各測站 Q_p 殘值產生明顯異常之方位後，重疊之區域可做為將可能發生強震之區域判斷，以達到較佳之災害預防。
- (5) 若能增加地震測站之密度，則各測站 Q_p 殘值產生明顯異常之方位重疊之區域與涵蓋之範圍將更佳，對於將發生地震之時間和區域將能得到較佳的評估。

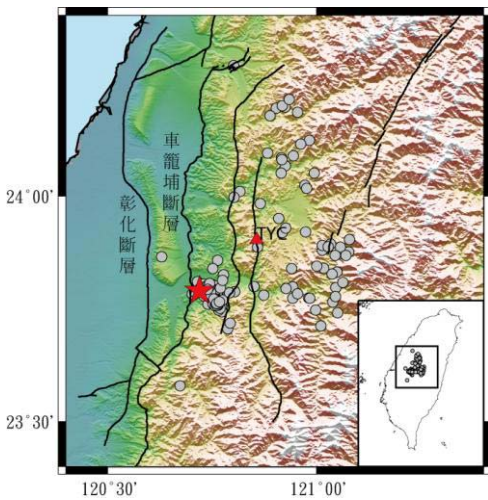


圖 1: TYC 測站 2009 年 1 月至 2010 年 2 月所挑選出 178 筆地震資料分佈圖，其中，三角形表示測站；圓圈表示餘震位置；星號則代表主震位置。

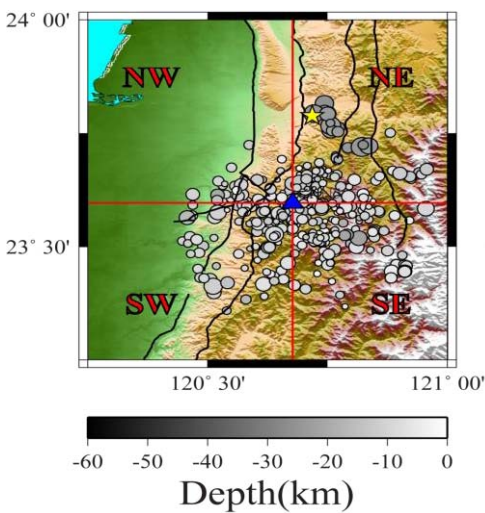


圖 2: CHN5 站為中心將資料以四個方位分別分析。

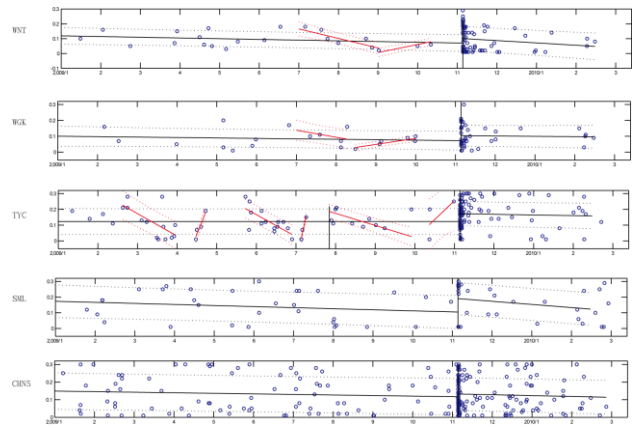


圖 3-1: 各測站延遲時間分布圖，黑色線段為針對名間地震前後所得的迴歸線，紅色線段則為地震前下降後上升的迴歸線。

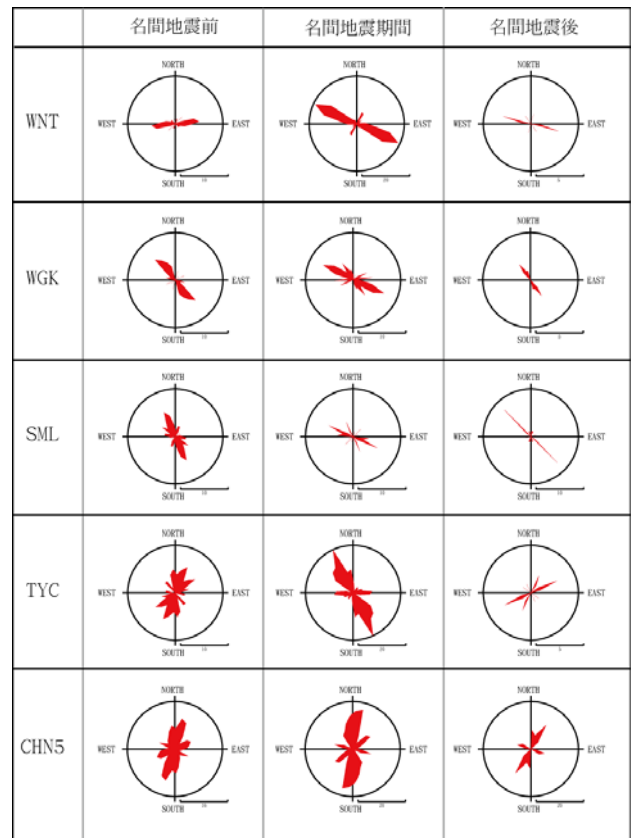


圖 3-2: 各測站極化角度在震前、震時與震後的變化。

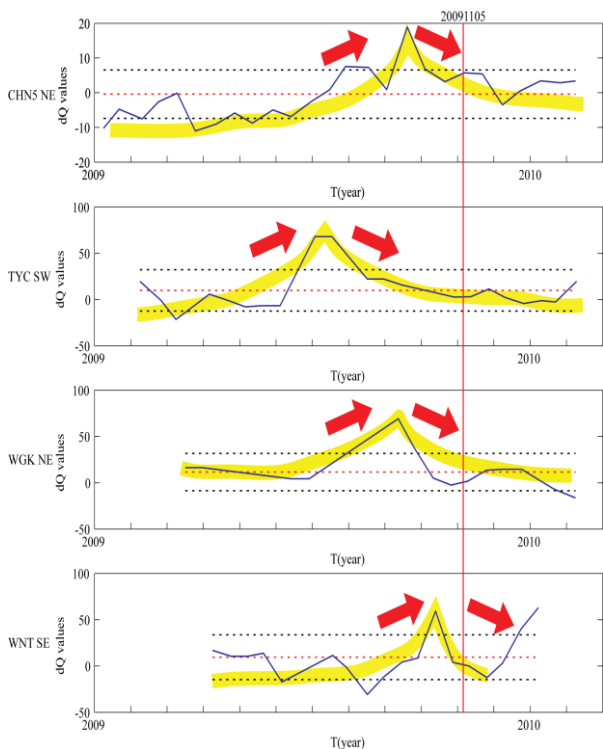


圖 4: 各測站於地震發生前 Q 殘值變化之一致現象，紅色虛線為平均，黑色虛線為正負一個標準差，紅色實線為 1105 名間地震發生時間，黃色粗線與紅色箭頭為前兆特徵之趨勢。

四、參考資料

Chao, K. and Z. G. Peng (2009). Temporal changes of seismic velocity and anisotropy in the shallow crust induced by the 1999 October 22 M6.4 Chia-Yi, Taiwan earthquake. *Geophys. J. Int.* 179, 1800–1816.

Gao, Y. and S. Crampin (2006). A stress-forecast earthquake (with Hindsight), where migration of source earthquakes causes anomalies in shear-wave polarization, *Tectonophysics*, 426, 253–262.

Tadokoro, K. and M. Ando (2002) Evidence for rapid fault healing derived from temporal changes in S wave splitting, *Geophys. Res. Lett.*, 29, 4pp.6.

陳美瑜 (2006)，利用地震剪切波分離性質探討台灣西部變形前緣地殼變形機制，國立台灣海洋大學應用地球科學研究所碩士論文。

李亞林、謝贊鵬、賀振華、單鈺銘、劉樹根 (1998)，岩石孔隙流體對縱橫波速度影響的實驗研究及意義，*礦物岩石*，18，188–191。

翁啓挺 (2007)，P 波頻數衰減特性於強震前兆之應用，碩士

論文，國立中正大學地震研究所。

劉希強、孫慶文、李紅、石玉燕、季愛東、王峰吉(2005)，1999 年遼寧岫岩 5.4 級地震前後 P 波衰減特徵，*地震學報*，27，477–487。

梁文宗 (1990)，利用地震 S 波分離作用探討台灣北部地殼之非均勻性，國立台灣大學海洋研究所碩士論文