

格式 1
(封面)

交通部中央氣象局
委託研究計畫期末成果報告

彙整分析台灣地區地震活動度年度報告(IV)

計畫類別：氣象 海象 地震

計畫編號：MOTC-CWB-101-E-12

執行期間： 101 年 1 月 1 日至 101 年 12 月 31 日

計畫主持人：陳朝輝、張文彥

執行機構：中正大學地震所

本成果報告包括以下應繳交之附件(或附錄)：

赴國外出差或研習心得報告 1 份

赴大陸地區出差或研習心得報告 1 份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各 1 份

中華民國 101 年 11 月 23 日

格式 2

政府研究計畫期末報告摘要資料表

計畫中文名稱	彙整分析台灣地區地震活動度年度報告(IV)		
計畫編號	MOTC-CWB-101-E-12		
主管機關	交通部中央氣象局		
執行機構	中正大學地震所		
年度	101	執行期間	101/01/01-101/12/31
本期經費 (單位：千元)	350(千元)		
執行進度	預定 (%)	實際 (%)	比較 (%)
	100%	100%	0
經費支用	預定(千元)	實際(千元)	支用率 (%)
	350	35 0	100
研究人員	計畫主持人	協同主持人	研究助理
	陳朝輝	張文彥	葉玉蓮
報告頁數		使用語言	中文
中英文關鍵詞			
研究目的	<p>(簡述研究計畫之目的及意義，約 300 字。)</p> <p>灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊碰撞帶，地震活動非常頻繁，而隨著經濟建設的迅速發展，各大都會區人口密度不斷提高，高樓大廈林立，大幅增加了地震災害的潛在危險。為使社會大眾對台灣地區的地震活動度及其相關研究的認識，及對地震研究及地震教育的重視，本計畫擬每年出版年度報告書。報告書中將著重於整合與分析各研究單位對台灣地區震源分佈及地震活動度的相關研究成果與發現，以期對台灣的地震活動有全盤性的瞭解。另一方面地震前兆現象的研究對於地震預警是非常重要的工作之一，因此我們在此報告中，也將我們研究地震前兆研究及其結果列為重要項目。地震前兆研究主要包括 P 波衰減因子及剪波分裂的研究現況與結果</p>		
研究成果	<p>(說明研究之具體成果，約 800~1000 字，並附一張圖說明。)</p> <p>本報告為 2011/11 至 2012/10 的地震活動度初步的彙整工作，目前分為地震活動度的分析、各構造區能量分佈、大地應力分析及地震前兆研究等領域。我們可看出台灣在的地震活動集中於台灣東部碰撞帶上，且規模大於 5 以上的地震也大多發生於</p>		

	<p>此；台灣西部的地震活動較多的區域位於嘉義構造區及台中構造區，但是地震多為中至小規模且震源深度淺，花東及琉球構造區。由各構造區之每月能量圖，其地震發生次數較其他構造區頻繁。我們發現在嘉義構造區在 2012 年的 3-7 月份雖發生地震次數較多、因地震規模較小，所以在嘉義構造區的各個月分的總能量並無太大變化；高屏構造區相較於嘉義地區，除 2-3 月及 10 月地震較頻繁之外，並在二月總能量較他月份為高之外，其他月分屬較安靜期，並無異常現象。新竹-苗栗-台中構造區除在 6 月有較多地震發生，並無異常現象。台北構造區除在 2012/04 發生地震次數較多，但規模不大，因此能量並無異常。台灣東部的構造區，除大部分的地震發生在琉球與花東構造區外，在 2012/06 花東構造區有較多地震發生，但從能量的分布來看並無異常現象；綠島-蘭嶼構造區在 2012 的-2、6 及 9 月地震較多，但 6 月較其他月分有較高能量。宜蘭及琉球構造區之每月地震能量並無異常現象。</p> <p>。在地震前兆的研究方面，也有顯著的成果，從不同的研究方式，如剪波分裂及 P 波衰減因子均發現在地震發生前有明顯異常的現象發生，值得再繼續的探討與持續性的觀測。</p>
<p>具體落實應用情形</p>	<p>(說明成果之價值與貢獻、技術移轉、應用推廣等情形，約 300 字。)</p> <p>整合台灣地區的地震活動度及其相關研究的結果，對地震前兆研究的認識，期能促使大眾對地震教育的重視。</p>
<p>計畫變更說明</p>	<p>(若有)</p>
<p>落後原因</p>	<p>(若有)</p>
<p>檢討與建議 (變更或落後之因應對策)</p>	

(以下接全文報告)

各構造區每月地震能量

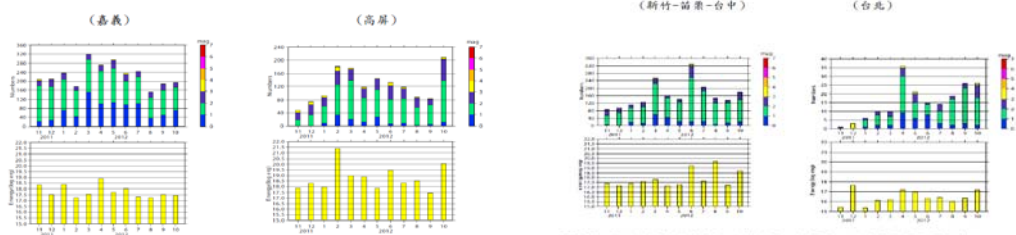


圖 3-1: 嘉義高屏與高屏構造區之地震數目統計與地震能量分佈

圖 3-2: 新竹-苗栗-台中與台北構造區之地震數目統計與地震能量分佈。

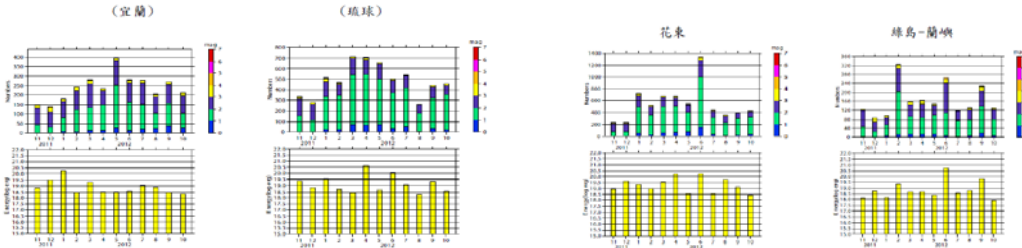


圖 3-3: 宜蘭與琉球構造區之地震數目統計與地震能量分佈。

圖 3-4: 花東與綠島-蘭嶼構造區之地震數目統計與地震能量分佈。

剪波分裂研究

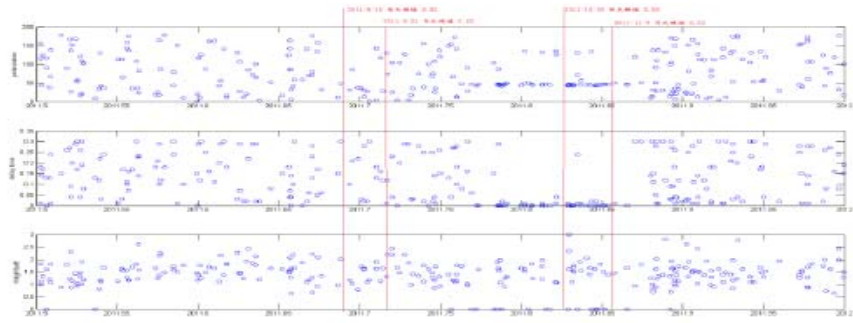


圖 6-1: CHN5 測站 2011 年 7 月至 2011 年 12 月之剪波分裂特性隨時間之變化。

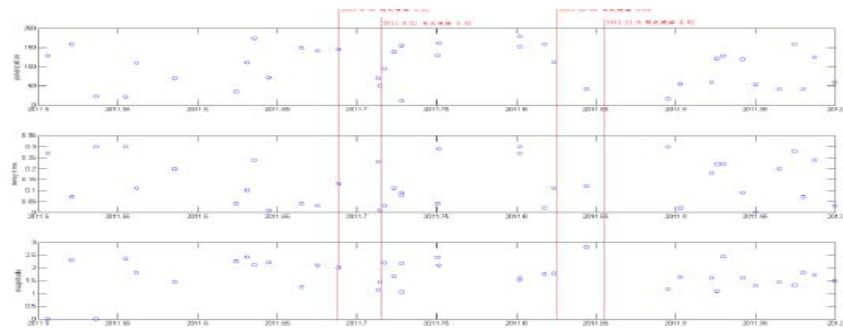


圖 6-3: WGK 測站 2007 年 7 月至 2011 年 12 月之剪波分裂特性隨時間之變化。

彙整分析台灣地區地震活動度年度報告(IV)

期末報告

陳朝輝⁽¹⁾、張文彥⁽²⁾

(1) 國立中正大學地震研究所

(2) 國家科學委員會

壹、前言

台灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊碰撞帶，地震活動非常頻繁，而隨著經濟建設的迅速發展，各大都會區人口密度不斷提高，高樓大廈林立，大幅增加了地震災害的潛在危險。為使社會大眾對台灣地區的地震活動度及其相關研究的認識，及對地震研究及地震教育的重視，本計畫擬每年出版年度報告書。報告書中將著重於整合與分析各研究單位對台灣地區震源分佈及地震活動度的相關研究成果與發現。以期對台灣的地震活動有全盤性的瞭解。

另一方面，近幾年來中央氣象局及許多研究單位，在台灣地區已建置上百個 GPS 連續觀測站，其主要目的用以監測台灣地區的地殼變動與斷層活動。經由 GPS 資料的分析，可以瞭解地殼變動的速率及造成地殼變動的原因。地震前兆現象的研究對於地震預警是非常重要的工作之一，因此我們在此報告中，也將彙集在台灣地區進行有關地震前兆研究及其結果。其中包括 P 波衰減因子及剪波分裂的等研究現況與結果。

貳、彙整結果

(I) 2011/11-2012/10 年台灣地區地震活動度分析

根據 Bruce et al. (2005) 所提出的概念，台灣的造山運動可分成將台灣地區分兩個主要的活動變形型態，在臺灣西部主要的變形是褶皺與逆衝斷層系統，在台灣東部的主要活動除了北部菲律賓海板塊與歐亞板塊的碰撞外，另一則為南部的琉球島弧與台灣南部的擠壓碰撞，造成往南的造山運動。根據許多觀測顯示，台灣地區的是變形型態是沿南北走向的型態，因此造就台灣地區東西部可分為不同的構造區。因此台灣東部可分為宜蘭(A)、綠島—蘭嶼(H)、花東(G)、琉球(F)等構造區；而台灣西部依其構造特性可分為高屏、嘉義、新竹—苗栗—台中及台北等構造區，各分區的位置顯示於圖 1。圖 1-1 與圖 1-2 為台灣地區在 2011/01-2011/12 及 2011/11-2012/10 由中央氣象局所定出的地震活動分布情形，圖中不同顏色表示不同的規模。由圖 1 可看出台灣在 2011/11-2012/10 期間的地震活動仍集中於台灣東部碰撞帶上，且規模大於 5 以上的地震也大多發生於此。且在高屏構造區及新竹—苗栗—台中有規模大於 5 發生於內陸的地震發生。台灣西部的地震活動較多的區域位於嘉義構造區及新竹—苗栗—台中構造區，但是地震多為中至小規模且震源深度淺。在台北都會區的地震活動相較於其它構造區，並不活躍。

圖 2 為規模大於 5.5 的地震之震源機制解，由結果可知在西南部的構造區的震源機制為逆衝伴隨右移的斷層型式，可能與脫逸構造有關：發生於花東地區的地震大多為逆衝及逆衝型式伴隨走向滑移的分量，此現象與菲律賓海板的斜碰撞有關。

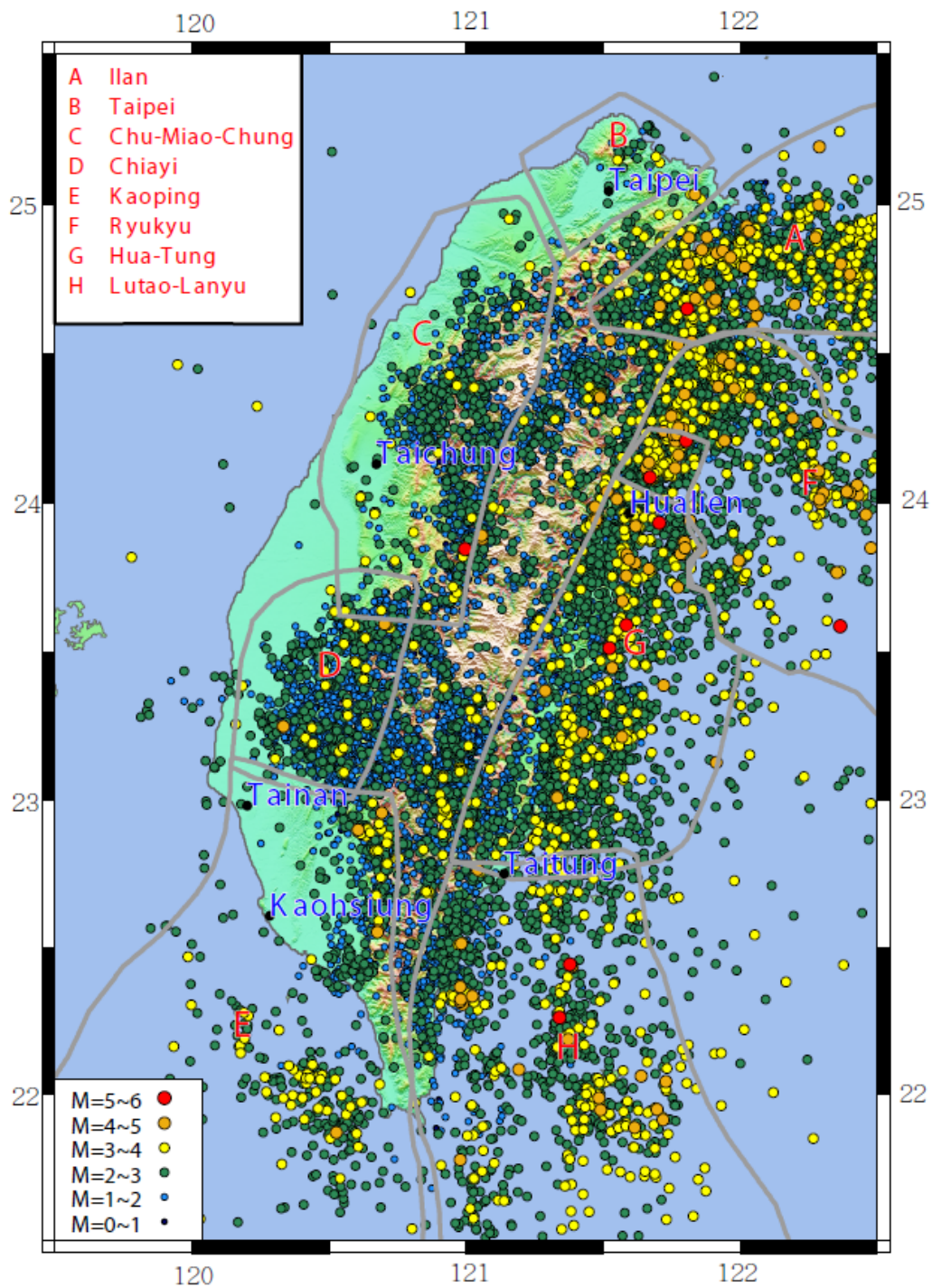


圖 1-1:2011/01-2011/12 由中央氣局所定出的地震之震央分佈。

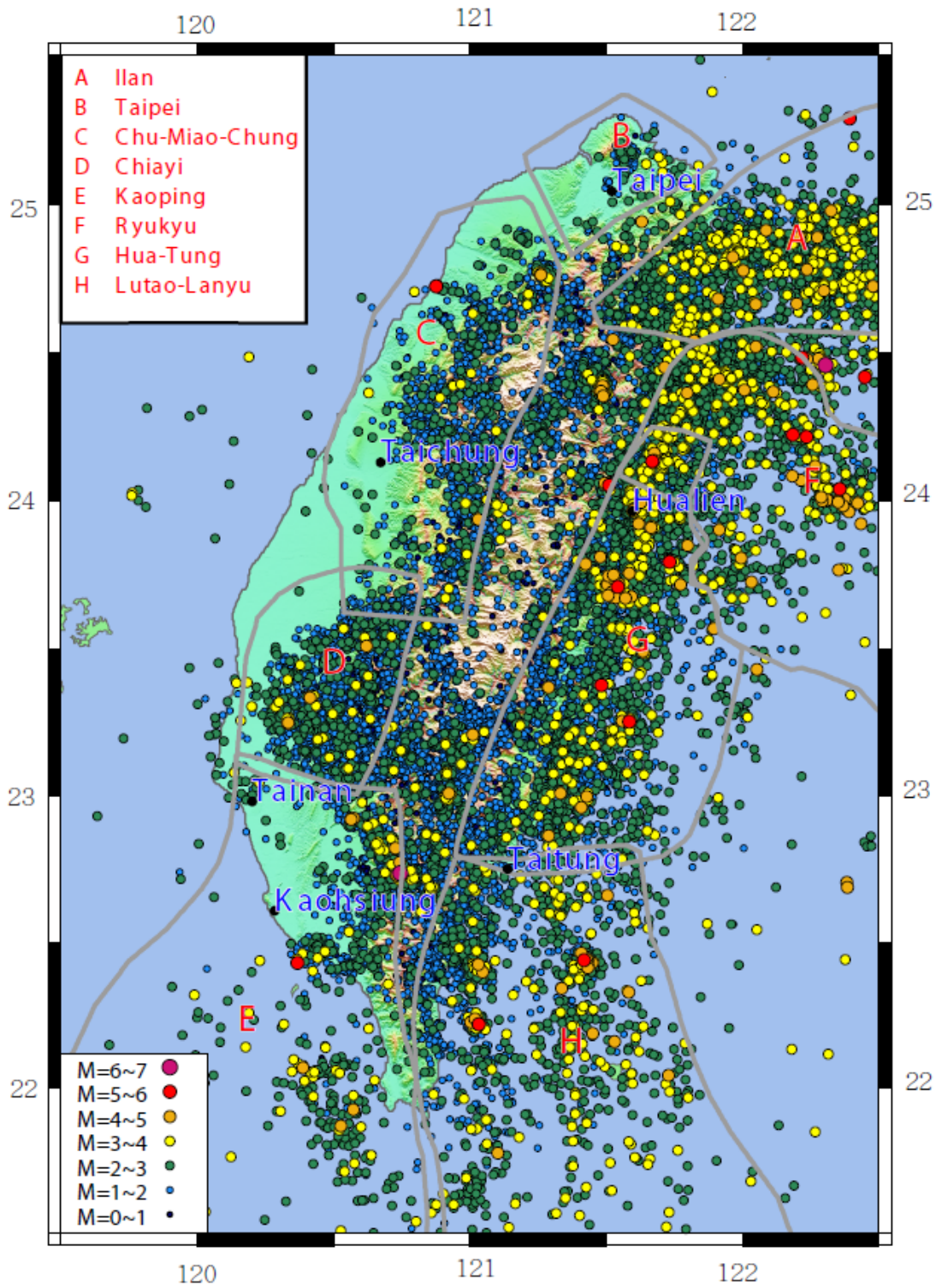


圖 1-2: 2011/11-2011/10 由中央氣局所定出的地震之震央分佈。

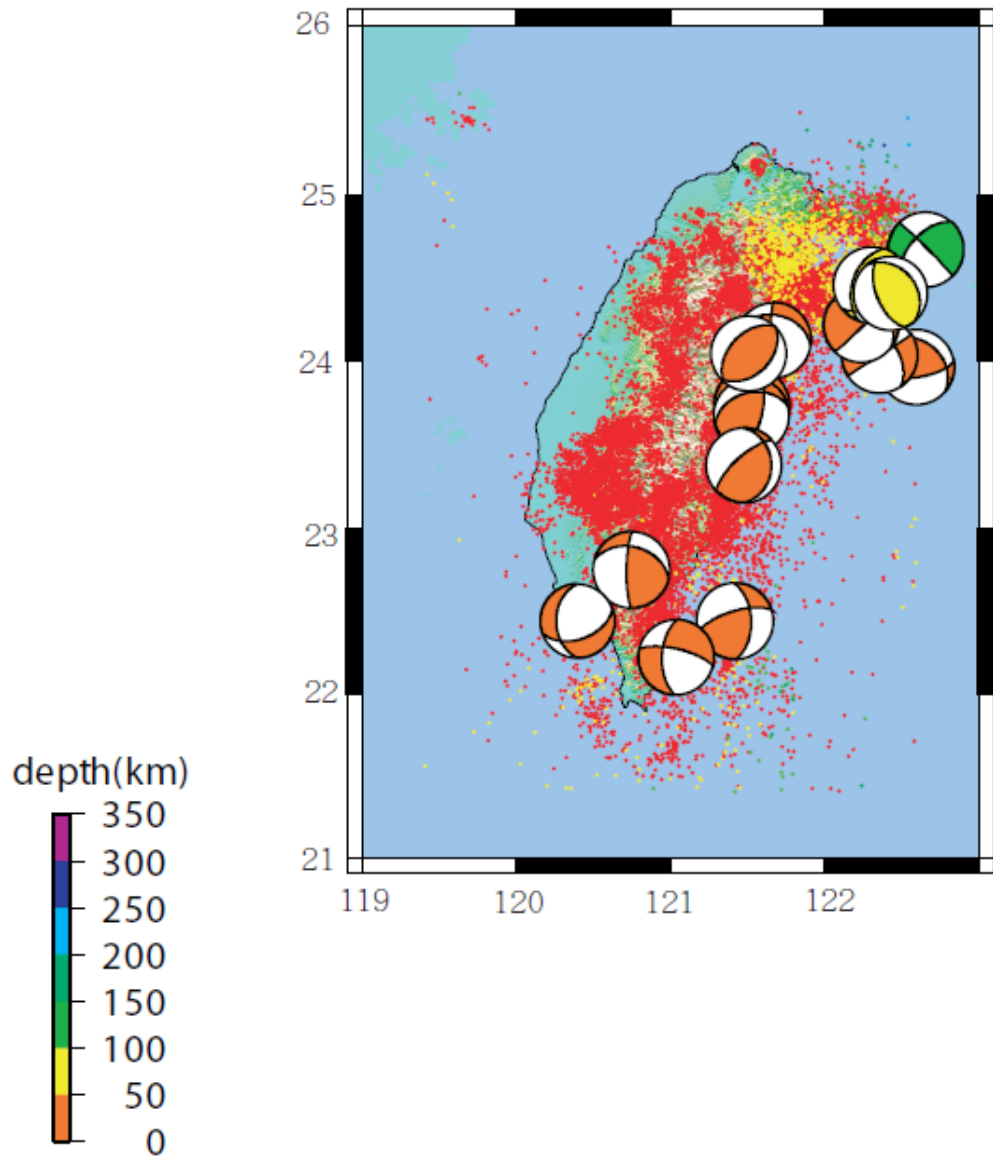


圖 2: 規模大於 5.5 的地震之震源機制解，不同顏色表不同之震源深度範圍。

(二)各構造區地震數目統計與地震能量分佈

依各個地質構造分區，我們根據所得到的地震規模與能量的轉換公式：

$$\log E = 1.44 + 12.44M_L$$

，計算各分區每月的能量隨時間的變化。圖 3-1 至圖 3-4 分別為嘉義、高屏、新竹-台中-苗栗、台北、宜蘭、花東、琉球及綠島-蘭嶼各構造區在 2011/11-2012/10 之間的地震發生的個數的統計與能量圖。以花東及琉球構造區，其地震發生次數較其他構造區頻繁。且由各構造區之每月能量圖，我們發現在嘉義構造區在 2012 年的 3-7 月份雖發生地震次數較多、因地震規模較小，所以在嘉義構造區的各個月分的總能量並無太大變化；高屏構造區相較於嘉義地區，除 2-3 月及 10 月地震較頻繁之外，並在二月總能量較他月份為高之外，其他月分屬較安靜期，並無異常現象。新竹-苗栗-台中構造區除在 6 月有較多地震發生，並無異常現象。台北構造區除在 2012/04 發生地震次數較多，但規模不大，因此能量並無異常。台灣東部的構造區，除大部分的地震發生在琉球與花東構造區外，在 2012/06 花東構造區有較多地震發生，但從能量的分布來看並無異常現象；綠島-蘭嶼構造區在 2012 的 2、6 及 9 月地震較多，但 6 月較其他月分有較高能量。宜蘭及琉球構造區之每月地震能量並無異常現象。

(嘉義)

(高屏)

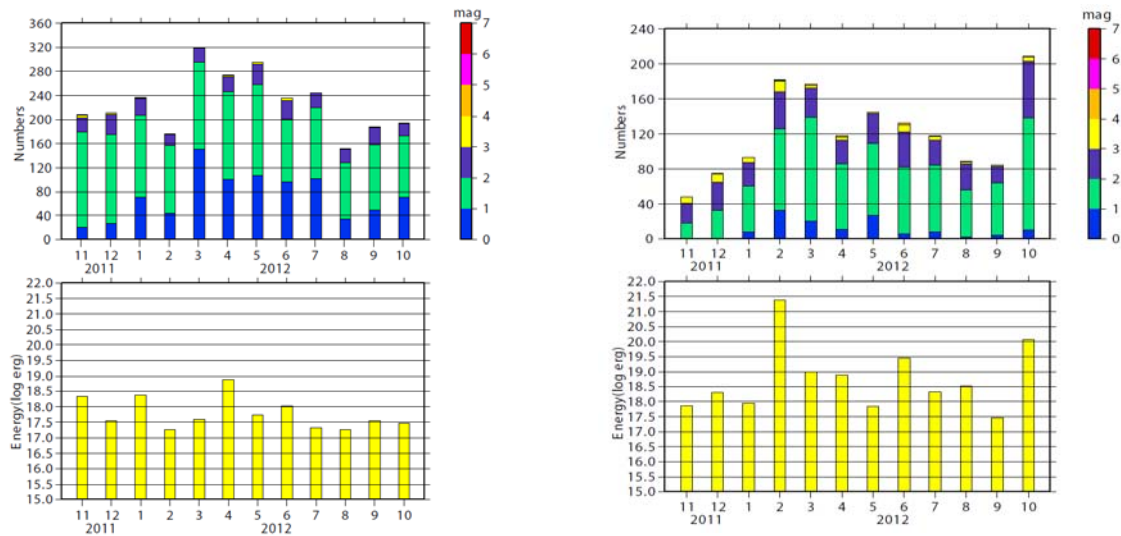
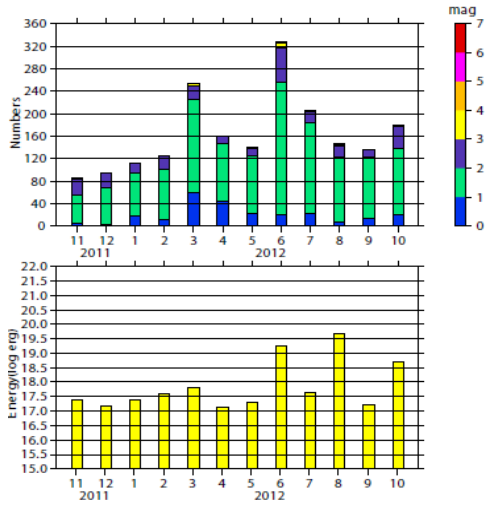


圖 3-1：嘉義高屏與高屏構造區之地震數目統計與地震能量分佈

(新竹-苗栗-台中)



(台北)

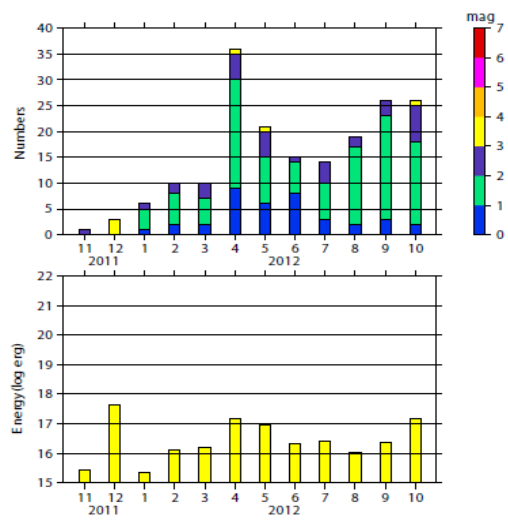
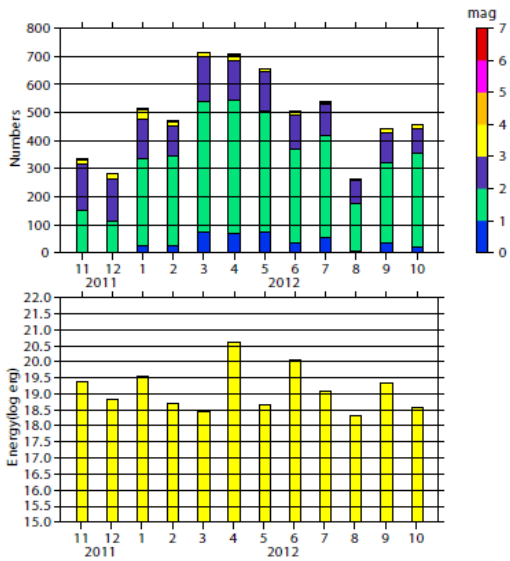


圖 3-2: 新竹-苗栗-台中與台北構造區之地震數目統計與地震能量分佈。

(宜蘭)



(琉球)

圖 3-3: 宜蘭與琉球構造區之地震數目統計與地震能量分佈。

花東

綠

島-蘭嶼

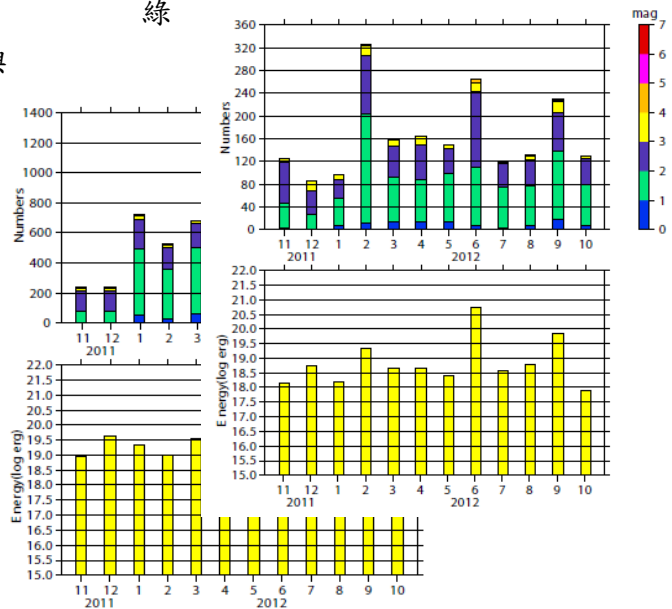
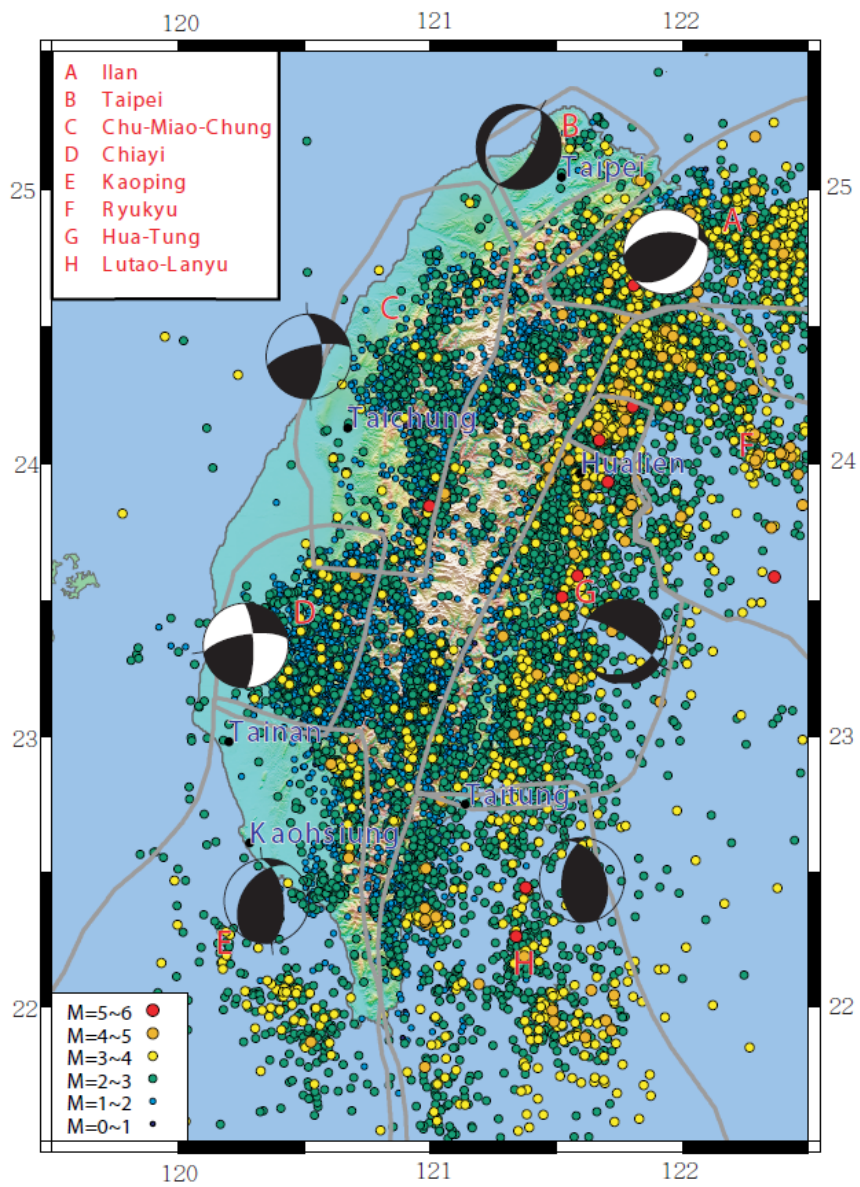


圖 3-4: 花東與綠島-蘭嶼構造區之地震數目統計與地震能量分佈。

(三)大地應力分析

我們採用由 Robinson & McGinty(2000)所提出的方法，將所有發生於各構造分區的地震的上下動資料一同反演，同並加入庫倫應力變化(Coulumb failure stress change)準則來求取最可能之斷層面。故對地區性構造的解釋非常有助益。更值得一提的，此法對所求得之解，以再取樣的統計分析(Michael, 1987)求得 95 %可信範圍，使我們對大地應力方向的解釋更有把握。我們選取發生於各構造區的地震進行反演。各構造區所得的大地應力方向如圖 4-2 所示；圖 4-1 為利用 2010/07-2011/06 的資料所反演的大地應力方向，在比較兩個不同時間所得的大地應力方向，發現有趣現象，即在嘉義構造區，利用 2011/01-2011/12 資料所得的為右移的斷層型態，而利用 2010/07-2011/06 的資料所得的機制為逆衝斷層與左移的型式，此差異現象須進一步探討與檢驗。在台北構造區在利用 2011/01-2011/12 的資料所反演的為正斷層型態，應與沖繩海潮擴張有關。其他構造區兩組資料所得結果上階段所得結果差異較大：如在台中-苗栗-新竹構造區為逆衝斷層的型式，但在 2011/11-2012/10 所得結果為證斷層型式。而在高屏構造區亦從走向滑移斷層的型式變為政斷層型態。台灣東部的花東構造區為逆衝震兼左移的震源機制且大地應力方向為西北方向，與板塊擠壓方向一致；宜蘭構造區為正斷層震源機制且大地應力方向與沖繩海槽方向一致；蘭嶼-綠島構造區亦為逆衝震源機制。



圖

4-1: 2011/01-2011/12 各構造分區的大地應力方向。

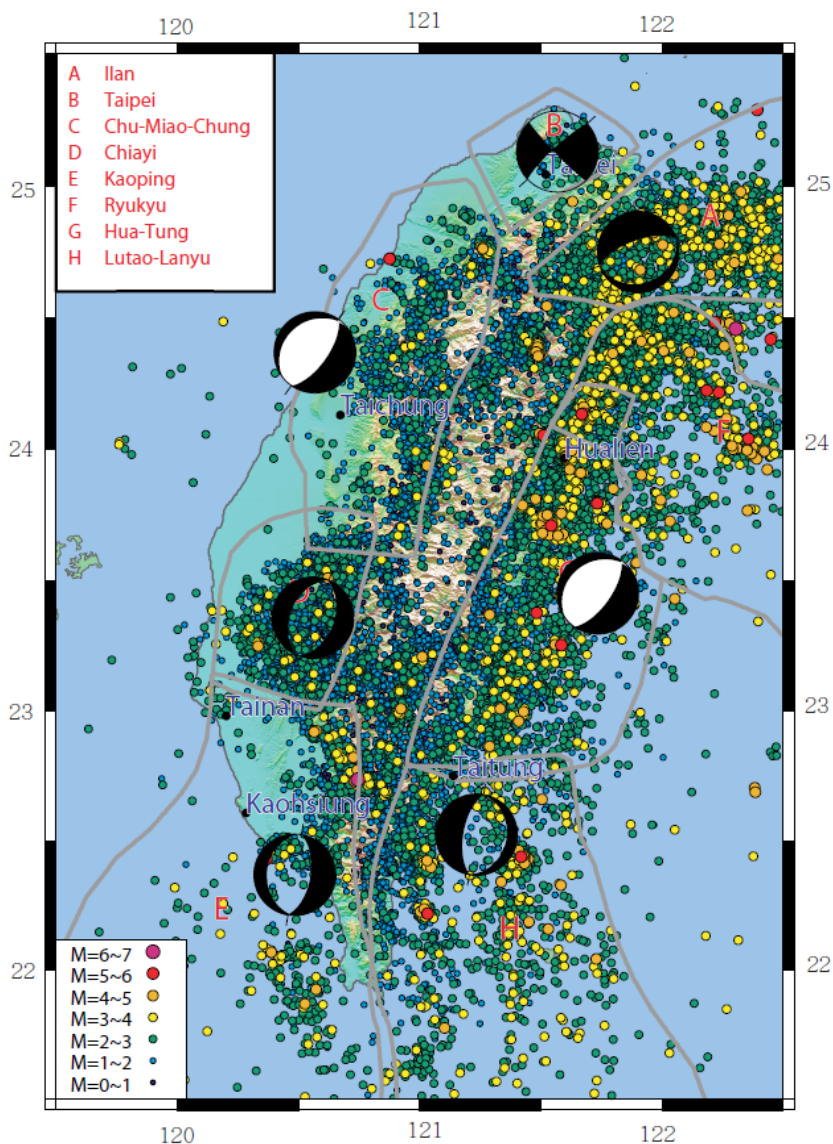


圖 4-2: 2011/11-2012/10 各構造分區的大地應力方向。

(II) 地震前兆研究

(一)、前言

當前的地震預報，正是在成因不甚清楚的情況下，根據對地震活動的歷史資料、地質構造分析，以及地震發生前出現的種種異常現象，於某些假設條件下進行的。有關地震前兆的訊息，都包含著相當程度的不確定性。另一方面的問題是地震前兆的複雜性，它表現在空間分布上的不均勻性，異常型態上的多樣性，不同地區的差異性，異常與地震關係的不確定性等，使得地震的前兆異常與地震之間具有非常複雜的關係。除了具前兆異常有地震、無前兆異常無地震外，往往還

出現有異常無地震和無異常有地震的情況。不同地區、不同類型，乃至不同時期發生的地震，其前兆異常的種類、數量、形態、幅度、時間過程、空間展布等往往有相當大的差別。由於人們對地震前兆的複雜性和產生這種複雜性的物理機制缺乏認識，所以即使在震前發現了部分異常現象，也難以據此做出完全準確的預報。

近年來台灣、日本、美國、土耳其與印度等地都遭受到強震的侵襲，例如發生於 03/11/2011 規模 9.0 的宮城地震所引起的海嘯，造成人員重大死傷，與經濟的損失等嚴重災情。由於台灣位於環太平洋地震帶上，受到歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的碰撞擠壓的影響，地震活動十分頻仍，致使歷年來地震在台灣造成重大的災害損失，除了 1999 年的 921 集集大地震與 1022 嘉義地震造成兩千多人傷亡與經濟上的損失外，1906 年梅山地震、1935 年台中新竹地震、1941 年中埔地震、1946 年新化地震、1964 年白河地震、1986 年花蓮地震與 1998 年的瑞里地震皆造成民眾生命財產上重大的損失（鄭世楠等人，1998）。此外由於台灣經濟高度成長，各項建設持續進行，而大部分的建築物結構物的位置都集中在地質較鬆軟的平原及盆地上，也因此我們還是希望可以從某些地震活動特性的研究中找出些許地震發生的前兆特性，希望藉由本研究中歸納出一些地震前兆的特徵關係，使之用於地震發生的預警上。本期計畫地震前兆的研究仍然延續前三年的工作，持續進行 P 波頻散衰減研究與剪波分裂研究。此階段研究將利用 P 波頻散衰減探討發生於 2006 年的台東地震(ML=6.2)的前兆現象，剪波分裂研究將致力於嘉南地區的地震前兆的監測工作。P 波頻散衰減方法及剪波分裂方法如下所述。

P波頻散衰減研究

本研究所使用的方法包括Morlet小波多重濾波法(Morlet wavelet multiple-filter method)，連續鬆弛模型理論(Continuous relaxation model)(Liu et al,1976)，與基因演算法(Genetic algorithm method)，其中為了提高訊號比，以得到較佳頻率解析度，使用牛頓多項式插值法(Newton polynomial interpolation method)與高斯濾波(Gauss filter method)。

基於上述之理論，本研究方法如下：

- (1) 使用牛頓多項式插值法與高斯濾波對訊號進行重採樣，增加訊號點數。
- (2) 利用 Morlet 小波多重濾波法(Morlet wavelet multiple-filter method)分析直達 P 波第一週期訊號，得到群速延遲時間頻率譜。
- (3) 根據線性鬆弛模型理論結合基因演算法反演出最佳群速延遲時間-頻率譜，並求出最佳頻散衰減因子 Q_p 。
- (4) 藉由統計頻散衰減因子 Q_p 值隨時間變化關係，探討強震前後其值之變化特徵。

剪波分裂研究

剪力波在行經非均向介質時，會分裂成快波及慢波，根據此特性，我們利用交叉比對〈cross-correlation〉的方法來求得快波與慢波的時間差〈time-delays〉及快波的極化角度〈polarization〉，意即當兩個水平分量的剪力波交叉比對係數〈cross-correlation coefficient〉達到最大值時，及為我們所欲求得的時間差及極化方向，本研究所用的剪力波時間視窗〈time-window〉為一個週期或一個半週期的長度。在進行完上述步驟後，可進而研究時間差及極化方向隨時間變化的情形，此地震前兆的研究可作為大地震發生前的時間指標。

(二)、資料選取與處理

(2.1)剪波分裂資料選取

現階段的研究乃使用中央氣象局在嘉南地區的即時觀測網之地震資料；圖5為現階段所分析的5個測站分佈及發生於鄰近區域規模大於3.0的地震的震央位置，其中藍色三角形為測站位置，紅色星號表震央位置。從中央氣象局即時觀測網之地震資料中，選擇2011/07-2011/12月期間之地震資料品質良好的測站，並挑選出震央距 \leq 震源深度， $M_L \leq 3.0$ 之地震事件，將三分量的波形積分成位移，並施以1-10HZ之帶通濾波，截取一個週期的訊號進行分析。

Ssplit的分析方法：假設剪波分裂為兩個相位，而在彼此間存在的時間差為延遲時間。Ssplit計算相關函數，估算延遲時間與極化角度，以求得在水平向上振幅最大的震波圖。資料處理所需的時間窗格為一或一個半剪波的波長；而極化方向由北方以逆時針方向旋轉。我們估計極化角與延遲時間的誤差區間在5%內。極化角的準確性在12度的範圍內，延遲時間最大的誤差原因為採樣區間，其為0.01或0.02秒（採樣頻率為100或50次/秒）。

(2.2) P 波頻散衰減的資料選取

我們挑選測站之垂直分量 P 波波形資料。其中為了確保直達 P 波訊號不受其他波相干擾，以利我們精確挑選出直達 P 波第一週期訊號，且讓高頻能量不因距離過遠而衰減，能精確量測 Q_p 值，故挑選範圍為以測站為中心，震央距 < 30 公里、震源深度 < 25 公里之地震；且因為大地震有較高的低頻能量，不適合用來測量頻散衰減，且大地震會因斷層錯動量大，增加了訊號之複雜度，因此地震的選取規模設定在 $M_L \leq 3.0$ 之地震。且每個測站以天為單位，原則上一天挑選一筆最佳的地震資料（無雜訊干擾、第一週期完整等）來進行分析。

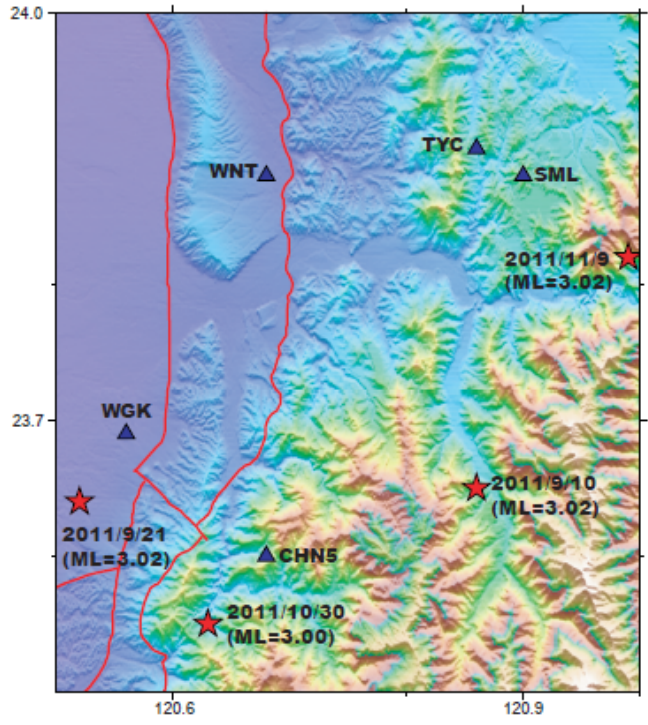


圖 5: 2011/07-2011/12 發生於監測區域規模大於 3 之震央位置與所用於分析嘉南地區剪波分裂的測站分佈。

(三)、分析結果

(3.1)嘉南地區剪波分裂研究結果

目前階段我們已分析 2011/07-2011/12 月份的資料，圖 6 為所分析的 5 個測站的剪波分裂結果及規模大於 3 之地震的發震時間位置，圖 7 為各測站的玫瑰圖，因資料量不足，造成快坡方向並不明顯。研究結果發現 CHN5 測站，有發現快慢波的時間差在 2011/11/09(ML=3.02)南投地震發生前有明顯下降的情形之外，其他測站的前兆現象並不明顯，另外快波極方向亦不明顯，因此接續工作將繼續分析後續資料及其他測站。

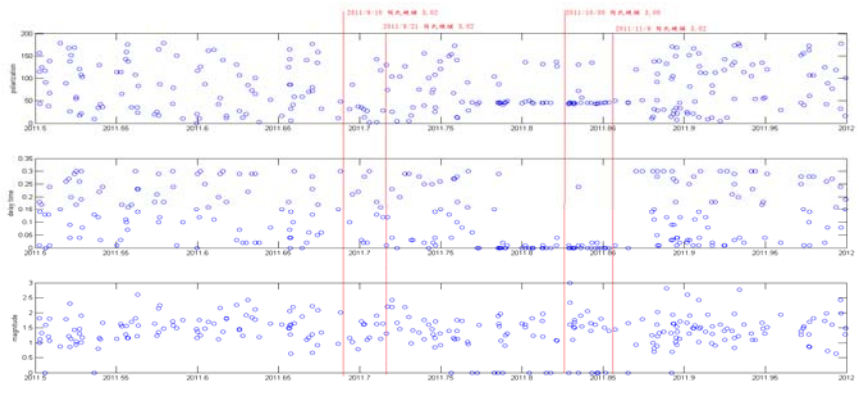


圖 6-1: CHN5 測站 2011 年 7 月至 2011 年 12 月之剪波分裂特性隨時間之變

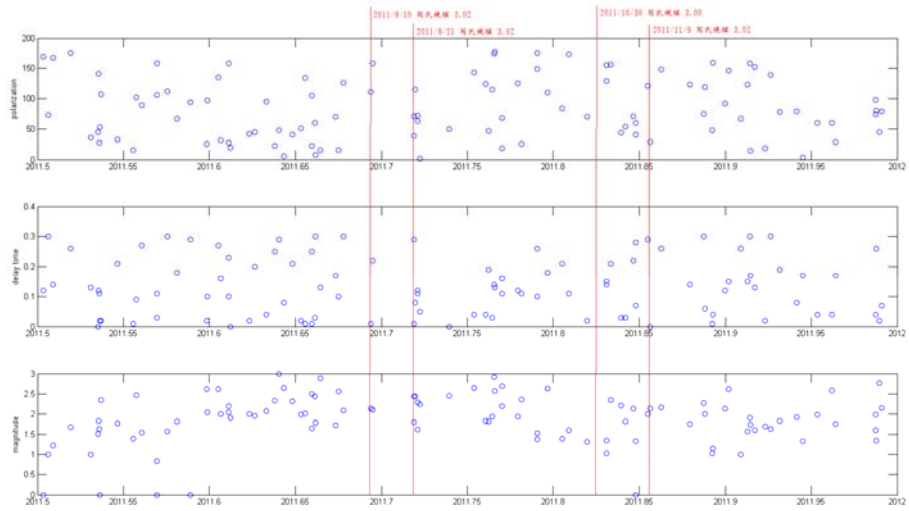


圖 6-2: TYC 測站 2011 年 07 月至 2011 年 12 月之剪波分裂特性隨時間之變化。

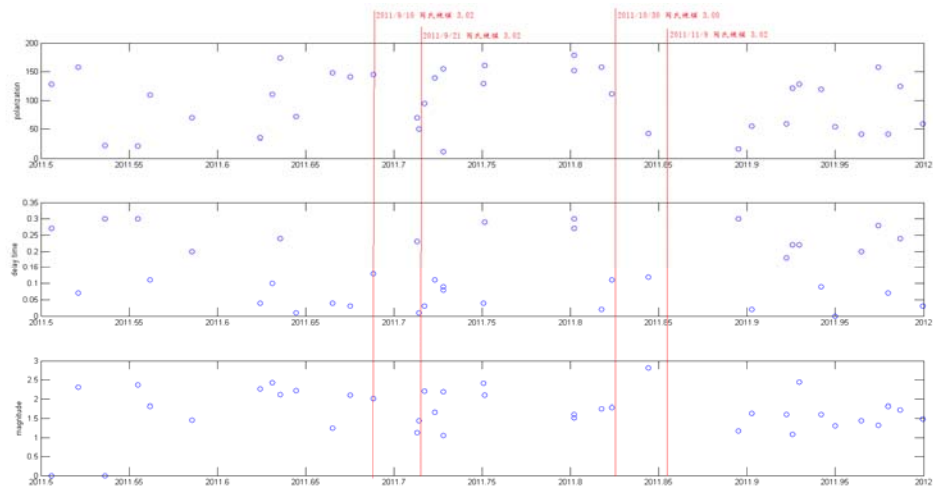


圖 6-3: WGK 測站 2007 年 7 月至 2011 年 12 月之剪波分裂特性隨時間之變化。

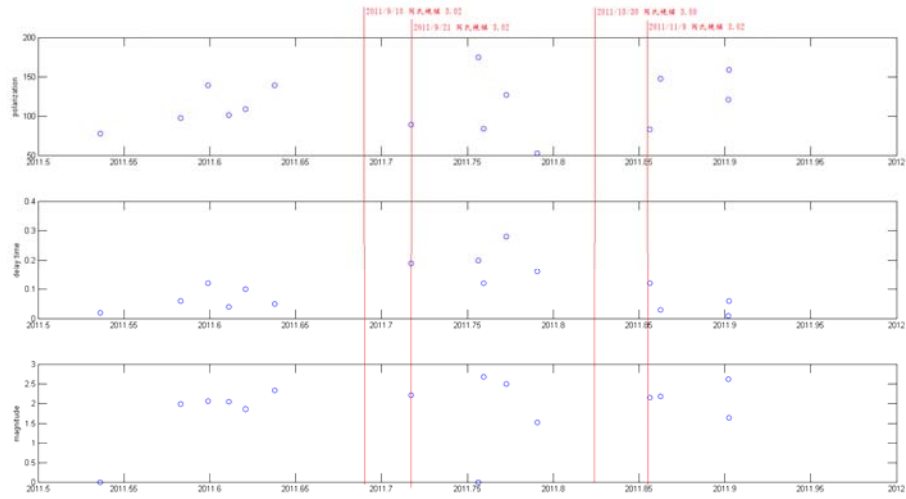


圖 6-4: SML 測站 2011 年 07 月至 2011 年 12 月之剪波分裂特性隨時間之變化。

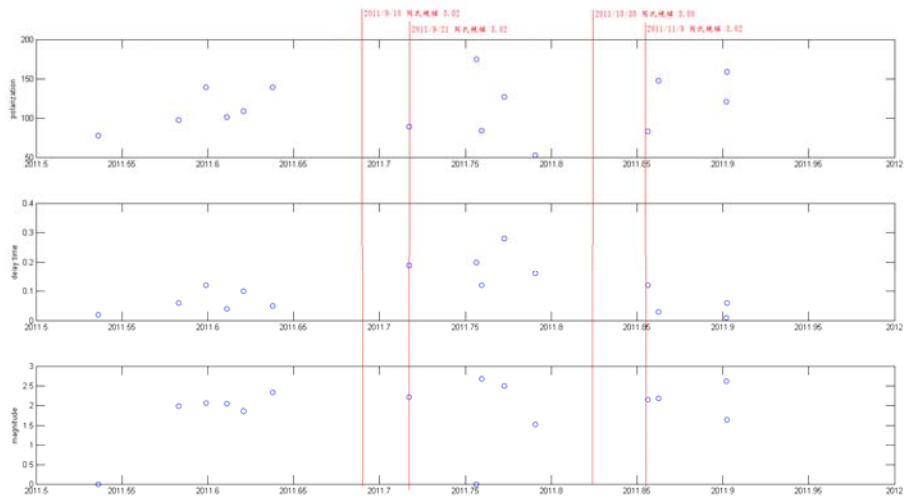


圖 6-5: WNT 測站 2011 年 07 月至 2011 年 12 月之剪波分裂特性隨時間之變化。

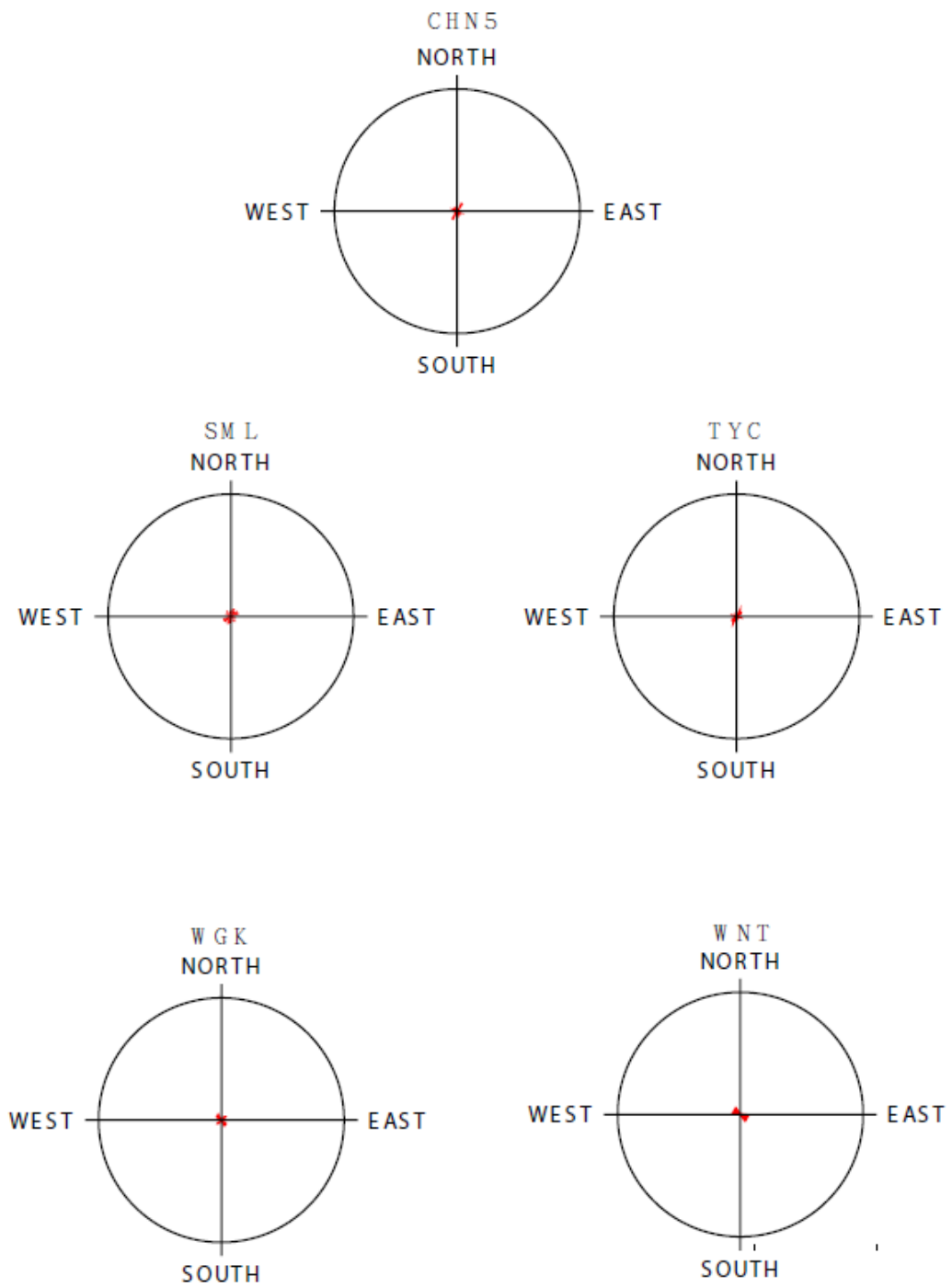
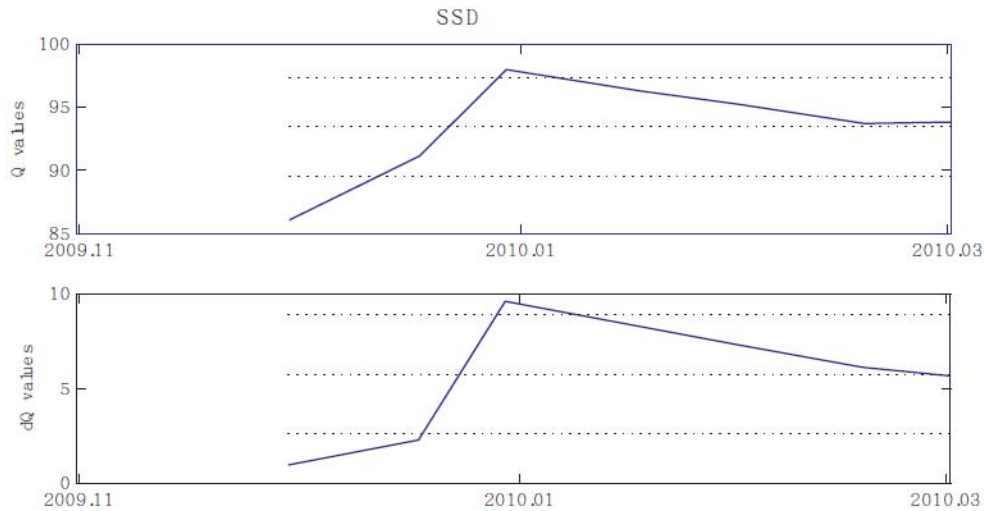


圖7:各測站的玫瑰圖。

(3.2) Qp衰減研究

本階段工作因資料處理速度不如預期，且其他測站網的P波資料品質較差，無法進行嘉南地區的Qp衰減分析及即時監測。將探討改進方法，下圖為針對2009/11/05南投名間地震所分析資料品質較好的SSD 測站的P波頻散衰減研究的結果。



(IV)觸口斷層淺層地震構造研究

目前另一項工作是利用地震雜訊之交叉比對方法來得到兩測站間的格林函數(Green's function)；兩測站間的格林函數以表面波的型態展現，本研究的主要目的是透過所得的表面波的頻散資料來探討觸口斷層淺層地殼速度構造。圖8為中正大學在2004年所佈的寬頻地震站分佈圖，共11個測站。首先將各測站每一天的垂直分量紀錄去除儀器響應，帶通濾波，並將各測站經 one-bit normalization 之後，經由交叉比對得到兩測站間的格林函數(圖10)；將各配對測站之格林函數疊加，進而分析所得到的雷利波(Rayleigh wave)頻散曲線，利用 Hertman(1996)所發展的軟體:Programs in Seismology 所發展的逆推方法得到一維速度構造。圖9為根據 Benson et al (2007)的資料處理流程。圖11為波形交叉比對的例子。所得到的格林函數結果經由 Hertman (1996)所發展的程式的分析可得到不同測站與測站間的頻散曲線，透過一維速度構造反演，我們發現觸口斷層以東在深度1與2公里之間存在一明顯的低速帶，此低速帶可能與區域擠壓應力所造成的破碎帶有關。在觸口斷層以西的地區其低速帶在較深部的區域(圖12-2)。且由波形交叉比對發現在 positive component 的振幅與 negative component 的振幅不同，顯示地震雜訊的來源亦具有方向性。

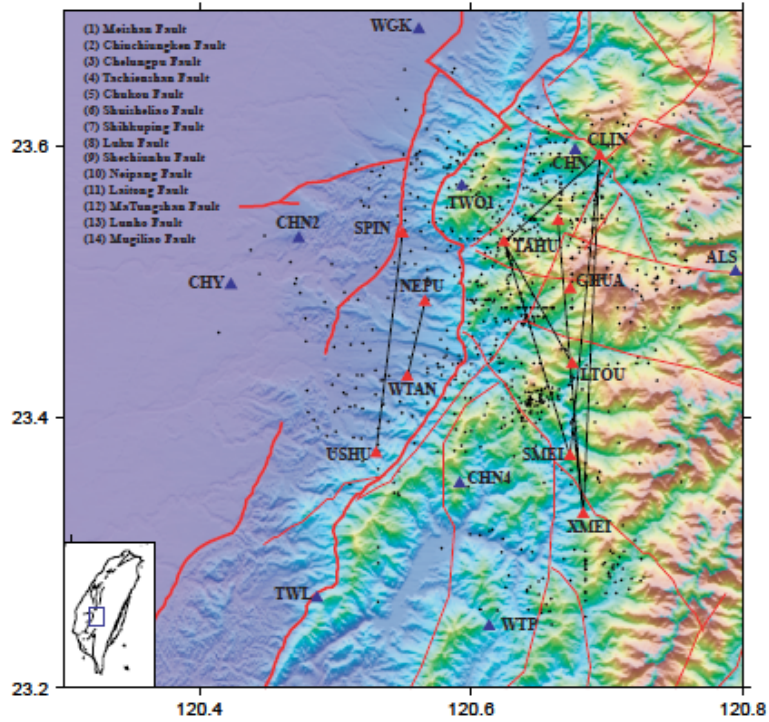


圖 8: 中正大學寬頻地震站(紅色三角形)及 CWBSN(藍色三角形)分佈圖。

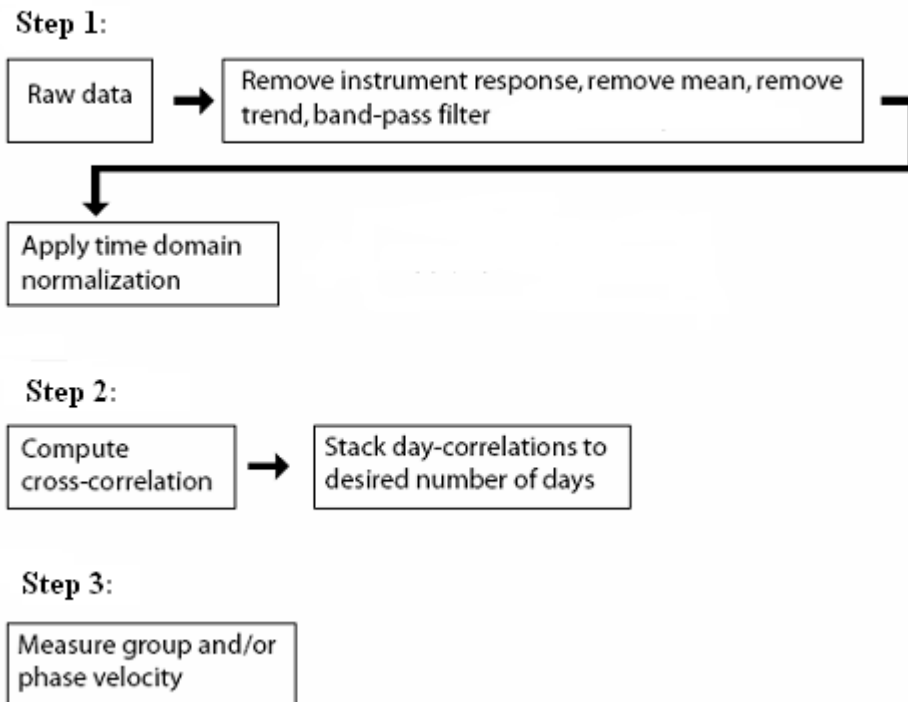


圖 9: 資料處理流程。

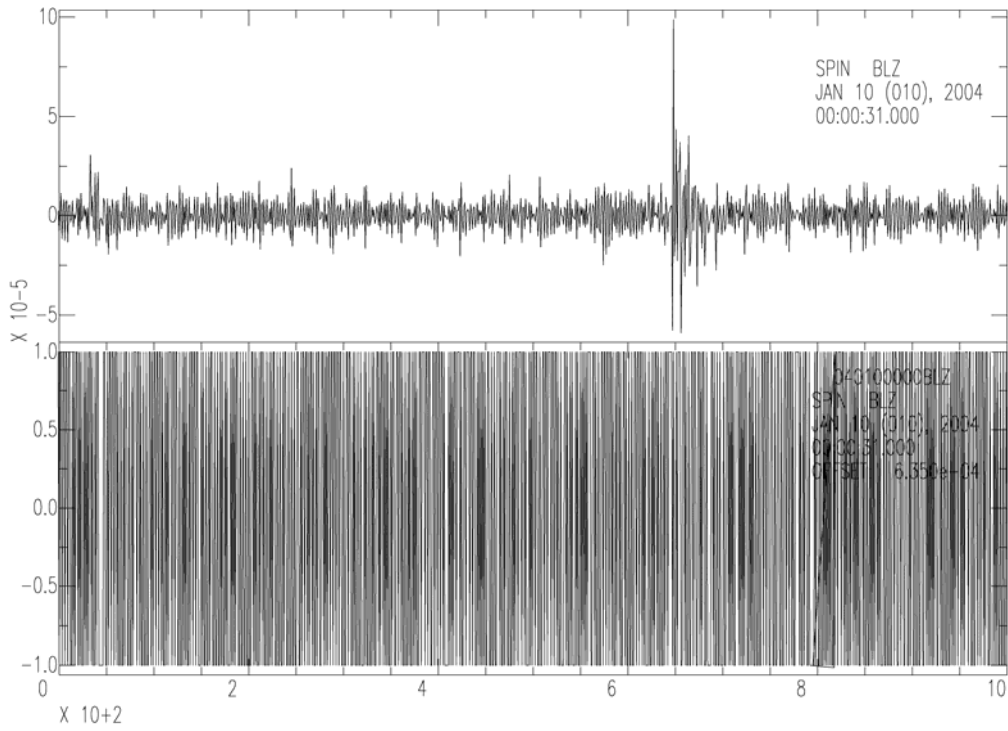


圖 10: one-bit normalization。

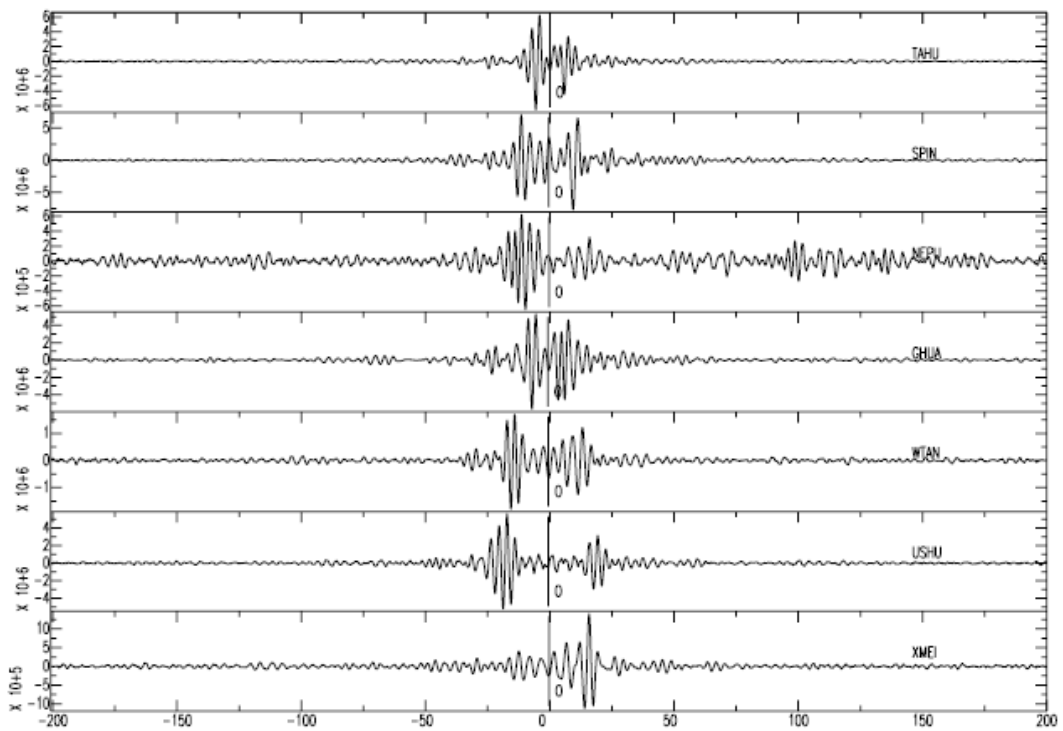


圖 11: CLIN 測站與其他測站交叉比對的結果，所得的格林函數為 Rayleigh 波。

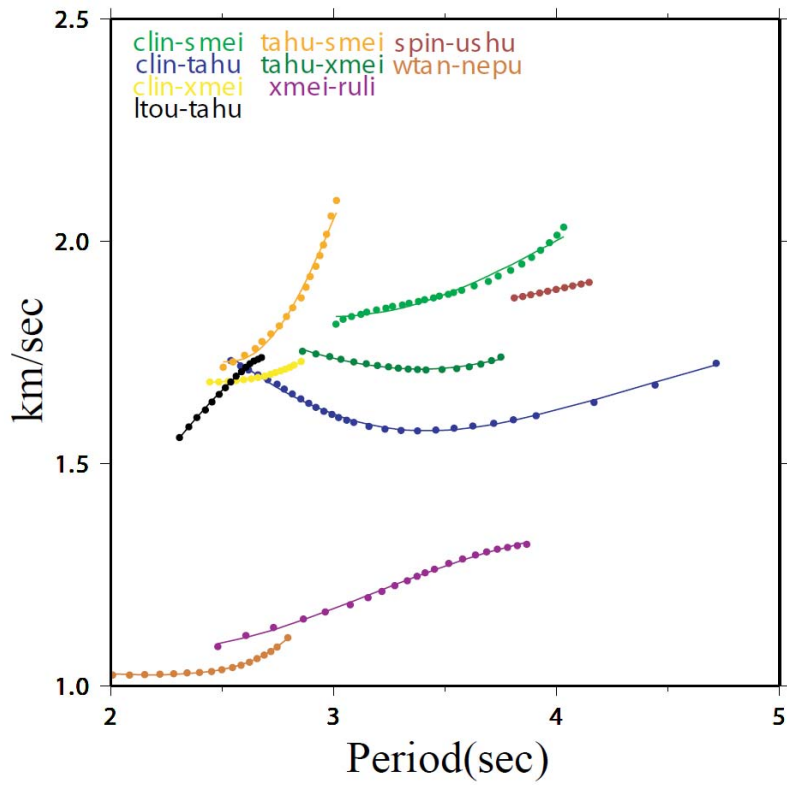


圖 12-1: 不同測站與測站間經波形交叉比對所得的頻散曲線。

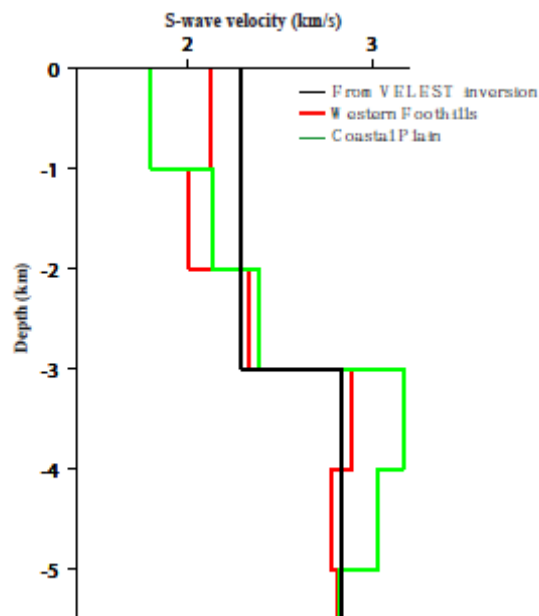


圖 12-2: 觸口斷層東部(紅色線)與西部(綠色線)S-wave 速度構造; 黑色線為起始速度模型。

(IV) 綜和討論

本報告為 2011/11 至 2012/10 的地震活動度初步的彙整工作，目前分為地震活動度的分析、各構造區能量分佈、大地應力分析及地震前兆研究等領域。我們可看出台灣在的地震活動集中於台灣東部碰撞帶上，且規模大於 5 以上的地震也大多發生於此；台灣西部的地震活動較多的區域位於嘉義構造區及台中構造區，但是地震多為中至小規模且震源深度淺。由大地應力分析 2011/11-2012/1 月資料，結果在台灣各構造區之最佳震源機制解均為為正斷層型式，與前次階段所得結果不同，原因值得探討。前次階段在地震前兆的研究方面，也有顯著的成果，從不同的研究方式，如剪波分裂、P 波衰減因子、均發現在較大地震發生前，例如發生於 2009/11/05 的名間地震有明顯異常的現象發生，如延遲時間下降與 Q_p 殘值上升；本階段計畫是利用剪波分裂進行嘉南地區地震前兆監測，其中以 CHN5 測站對發生於發現快慢波的時間差在 2011/11/09 (ML=3.02) 南投地震發生前有明顯上升及下降的情形之外，其他測站的前兆現象並不明顯，所分析的測站以 WGK、WNT 測站資料較少。對於嘉南地區的地震前兆觀測，在未來目標將結合剪波分裂與 Q_p 衰檢方法，做到即時的監測，以期確實做為地震預警的參考指標。

(五) 參考文獻

- Bensen, G.D., M.H. Ritzwoller, M.P. Barmin, A.L. Levshin, F. Lin, M.P. Moschetti, N.M. Shapiro, and Y. Yang (2007), Processing seismic ambient noise data to obtain reliable broad-band surface wave dispersion measurements, *Geophys. J. Int.*, 169, 1239-1260.
- Hertman, R. (1996) *Computer Programs in Seismology*.
- Lay, T. and T. Wallace (1995) *Modern global seismology*, pp521, Academic Press.
- Robinson, R. and McGinty, P. (1999), The enigma of the Arthur's pass new Zealand earthquake 2: The aftershock distribution and its relation to the regional and induced stress field, *J. G. R.*, 105, 16139-16150.
- Waldhauser, F., and Ellsworth, W. L. (2000), A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the Northern Hayward Fault, California, *BSSA*, 90, 1353-1368.