

# 2018 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

- 作品編號** 180006
- 參展科別** 地球與環境科學
- 作品名稱** 利用都卜勒效應探討美濃地震的破裂方向性
- 得獎獎項** 大會獎：一等獎  
美國 ISEF 正選代表
- 就讀學校** 臺北市立建國高級中學
- 指導教師** 李文禮
- 作者姓名** 黃申昌
- 關鍵詞** 美濃地震、都卜勒效應、破裂方向性

## 作者簡介



我是黃申昌，現在就讀建國高中三年級。上了高中後因為一次偶然的機緣，讓我喜歡上地球科學，也激勵我往這個方向發展。在學校的專題研究正要開始時，發生了美濃地震，讓我選擇了地震作為我的研究方向。能夠來到國際科展，我要感謝我的老師一直和我討論研究的進度與方向，我的家人給我的支持，還有大會給我這個機會讓我參加這次科學盛宴。希望參加這次國際科展能讓我收穫滿滿。

## 摘要

本研究使用一規模較小的地震做為參考地震並得出其頻譜，將測站測得的美濃地震頻譜與之比較得出頻譜比，消除場址效應等非震源效應產生的影響，以探究美濃地震的破裂方向性。就每一對對震央方位角相差 180 度的地震而言，如果兩測站收到的頻譜比差距愈大，就表示地震的破裂方向越可能是該對測站的方向。

本研究的研究結果顯示測站距離對測站測得的頻譜比影響可忽略，且該方法用於尋找地震的破裂方向性確實可行。本研究得出美濃地震的破裂方向約在 300 到 320 度（即西偏北 30~50 度），且隨時間無明顯變化，與其他研究得出的結果相符。

## Abstract

This research is to examine the directivity of 2016 M6.6 Meinong Earthquake by comparing spectrums of different directions from the epicenter. To eliminate the interference from effects other than source effect, such as site effect, this research uses a smaller earthquake as a reference event, getting spectrum ratios by dividing spectrums of Meinong Earthquake by spectrums of reference event. When the earthquake's rupture direction is towards a station, the spectrum ratio recorded by the station will deviate to higher frequency due to Doppler effect. For any station pair whose two stations are in the opposite direction from the epicenter, the more the two spectrum ratios differ, the more likely the earthquake's rupture direction is at that of the station pair. This research also compares the spectrum ratios of different distances from the epicenter to check if distance affects spectrum ratio.

This research shows that spectrum ratios from different stations are not affected by their distance from the epicenter, and that the method above is practicable for finding an earthquake's rupture direction. This research concludes that the rupture direction of Meinong Earthquake is approximately  $300^{\circ}\sim 320^{\circ}$  (i.e.  $N60^{\circ}E \sim N40^{\circ}E$ ) with little changes during rupture, which agrees with other research.

# 壹、前言

## 一、研究動機

2016 年小年夜的美濃地震（圖一）造成了許多損失，尤其是維冠大樓倒塌的意外造成一百多人死亡更是令人惋惜。然而這次震央地點是在高雄美濃，災情最慘重的地方卻是在台南，也引起了我的興趣。

經過了初步的查詢，我發現造成台南災情慘重的原因有很多，撇開工程因素不談，就有如場址效應、震源附近地質、破裂方向性等自然因素<sup>〔三〕</sup>。因為破裂方向性比較少人研究，因此我打算就破裂方向性的角度來探討。

## 二、研究目的

- （一）探討距離及頻譜差異的關係。
- （二）探討美濃地震在不同方向造成的頻譜差異。
- （三）藉由美濃地震在不同方向造成的頻譜差異，探討美濃地震的破裂方向性。
- （四）探討美濃地震的破裂方向隨時間的變化。

## 三、研究背景

在地震發生的過程中，如果破裂的部分沿著其中一邊特別顯著，那這個地震會被視為具方向性。

都卜勒效應是當波源移動時，在波源移動方向測到波的頻率的改變。當震源沿著斷層面其中一邊破裂，在其破裂方向上的測站就會收到比較高頻的波形訊號，而在破裂方向對面的測站就會收到比較低頻的波形訊號。

G. Calderoni 及其團隊<sup>〔五〕</sup>曾在義大利研究一系列地震的破裂方向性，他們藉由比對不同方位角測站接收到的頻譜差異，來推測個別地震破裂方向性的明顯程度。該研究開發了一個「破裂方向性指標」，針對一系列的地震進行研究，從中挑出規模小、破裂方向性不明顯的地震作為參考地震，並以該地震為標準，濾除場址效應、儀器效應等的影響以探討各地震的破裂方向性。本研究擷取了其頻譜比的概念，並試著將其推廣成可以推出地震大約的破裂方向。推廣的方式如下：

如果有一個地震，其四周有許多測站，如果地震沒有破裂方向性，且不考慮震源因

素以外的效應，則四周的測站會接收到相同的頻譜。如果地震有破裂方向性，假設是西向東，則在西邊的測站接收到的頻譜就會往低頻偏移、在東邊的測站會接收到的頻譜往高頻偏移、而南、北邊的測站會收到相似的頻譜。因此，只要比對兩個對震央方位角相差 180 度的測站的頻譜，如果頻譜的差距越大，地震的破裂方向性就越有可能是那個方向。

然而頻譜可能包含了路徑效應、場址效應等的影響，因此需要參考地震來去除這些效應，原理如下：

地震測站接收到的地震波形，在時域上可視為：

$$U(t) = S(t) * E(t) * A(t) * I(t)$$

其中， $U(t)$ 為測站接收到的訊號， $S(t)$ 為震源效應， $E(t)$ 為路徑效應， $A(t)$ 為場址效應， $I(t)$ 為儀器效應。

對波形做傅立葉分析，得到其在頻域上的表現為：

$$U(w) = S(w) \times E(w) \times A(w) \times I(w)$$

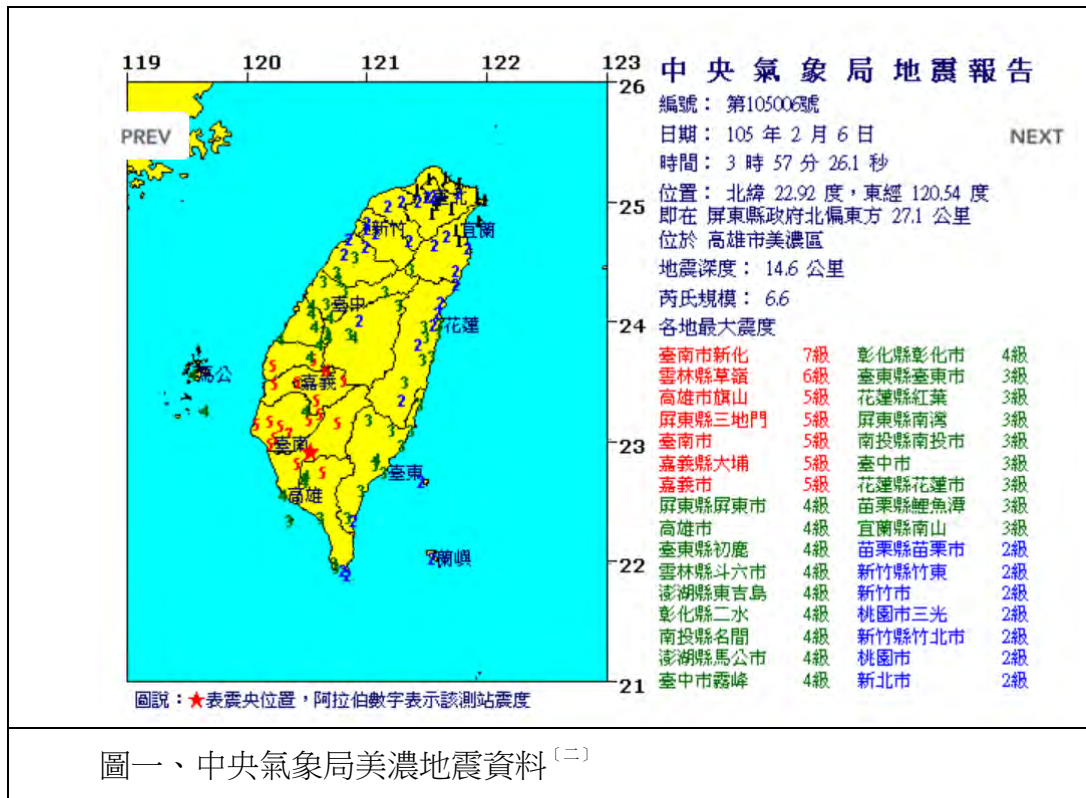
原先在時域上的摺積，到了頻域上就成了乘積。

當我們有兩組來自相同測站，紀錄震源位置相近地震的資料，將其相除後，由於使用的是相同的儀器、而且是在相同的地點，因此儀器及場址效應都可去除，又由於兩地震震源位置相近，所以路徑效應亦可去除，因此便可藉由此動作，得出震源效應的差異。

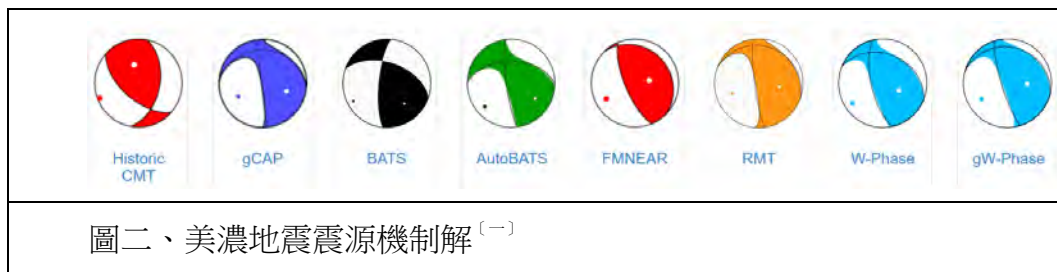
一般而言，美濃地震及參考地震的震央應愈接近愈好，方能有效消除路徑效應造成的影響；又參考地震的規模應愈小愈好，才能將其近似為點事件而不會造成太大誤差，但其規模又不能小到使儀器測不出其波形。

本研究使用的地震有：

美濃地震（圖一、圖二）：2016-02-06 03:57:26 M6.6



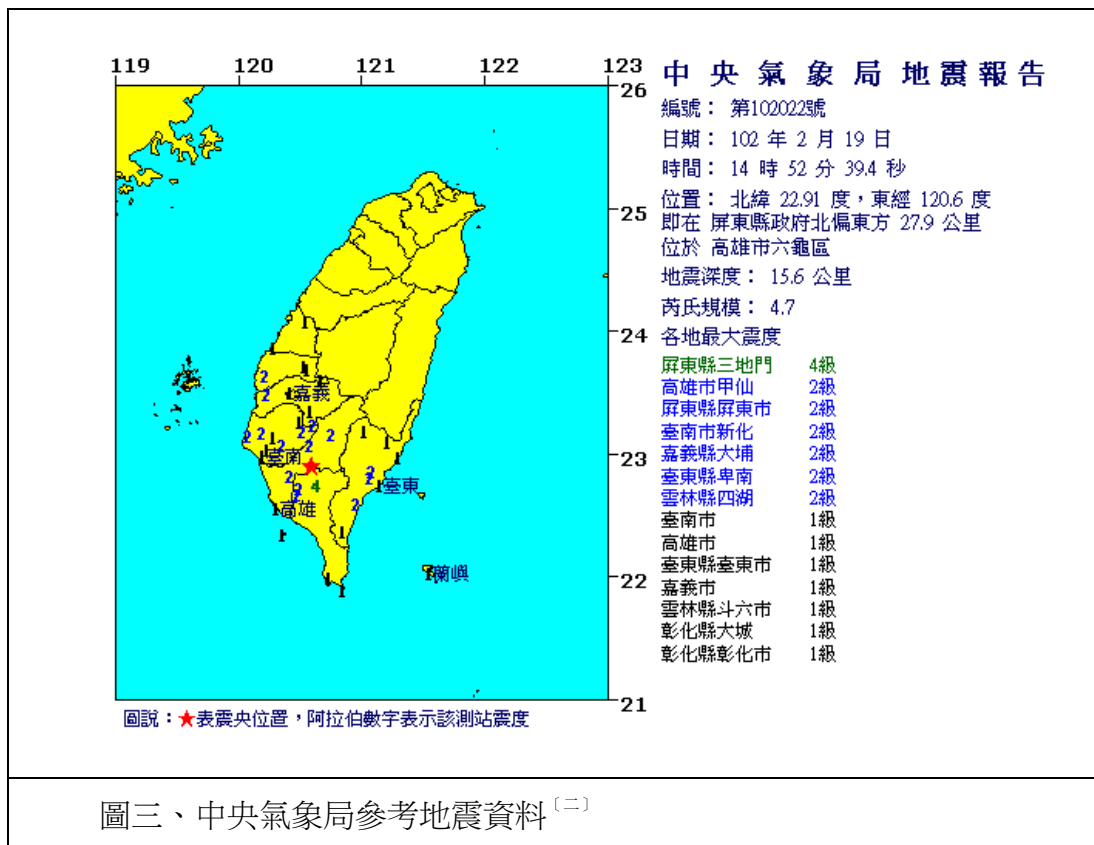
圖一、中央氣象局美濃地震資料<sup>(二)</sup>



圖二、美濃地震震源機制解<sup>(一)</sup>

由各種不同震源機制解（圖二）顯示，美濃地震的破裂面方向約為西偏北15度。

參考地震（圖三、圖四）：2013-02-19 14:52:39 M4.7



圖三、中央氣象局參考地震資料<sup>(二)</sup>

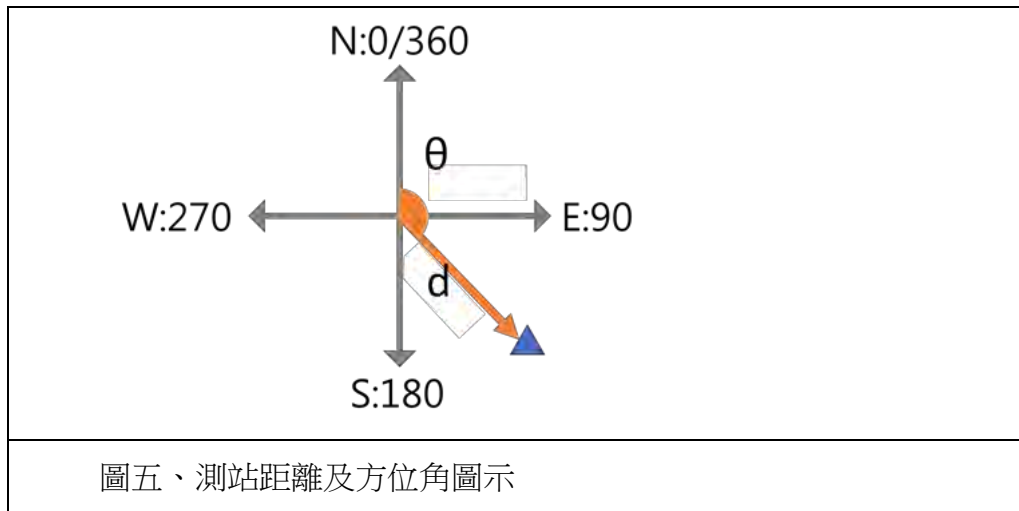


圖四、參考地震震源機制解<sup>(一)</sup>

名詞解釋：

參考地震：為消除頻譜中場址效應等的影響，找一個震央位置與美濃地震震央相近，規模比美濃地震小，並不具破裂方向性的地震做為參考地震。

測站距離 (d)、方位角 ( $\theta$ )：如圖五，測站距離指的是測站距離地震震央的直線距離；而方位角指的是測站相對於地震震央的方向，以正北為 0 或 360、正東為 90、正南為 180、正西為 270。



頻譜：波形強度隨頻率的變化。

頻譜比：將同一測站收到的美濃地震頻譜與參考地震頻譜相除所得到的比值。和頻譜相比，頻譜比更能反映出一個地震的震源效應，因為場址效應等其他效應會在相除的過程中被去除。在本研究中，只要是展現頻譜比的圖，其橫軸均為取對數後的頻率，縱軸均為該頻率上美濃地震相對於參考地震的強度，一樣經過取對數處理。

#### 四、研究設備與器材

本研究使用中研院的 P-alert 地震波形資料庫<sup>[四]</sup>為波形資料來源。此資料庫收錄從 2011 年起的地震資料，使用的地震儀是微晶電地震儀，因此對微小震動及頻率在 8Hz 以上或 1Hz 以下的地震波不敏感。本研究使用 Octave（版本：4.0.3）做數據分析。Octave 是一個與 Matlab 相近的免費數值分析軟體，具備分析特殊地震波形檔案的功能，亦能輸入程式碼使電腦執行指令。

## 貳、研究方法

### 一、參考地震的選定

（一）在資料庫中尋找震央距離美濃地震震央小於 10 公里的地震。

（二）在（一）挑出的地震中，選出規模介於 4.0~5.0 之間的地震。如果地震規模小於 4.0，測站將會接收不到參考地震的波形；如果地震規模大於 5.0，該地震可能有自己的破裂方向性。

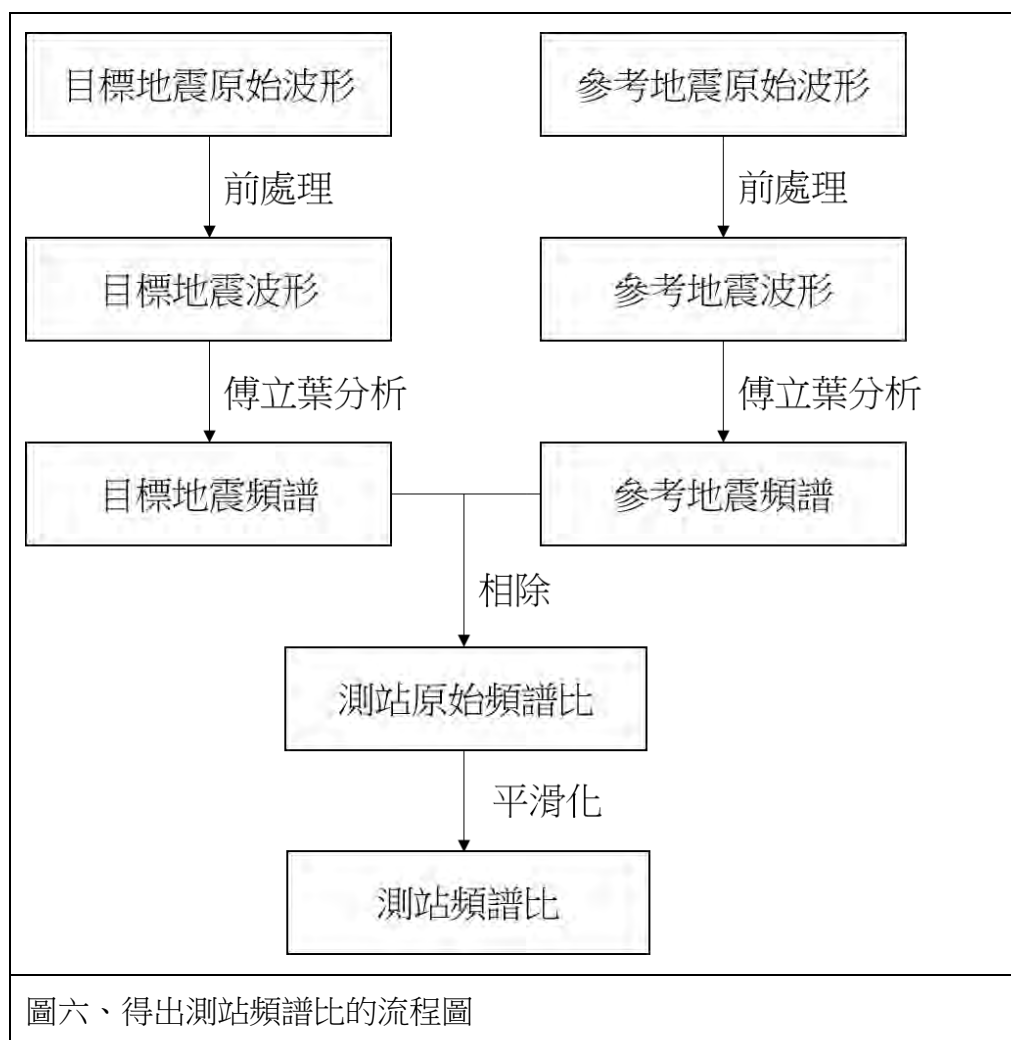
（三）在（二）挑出的地震中，選出震源機制解與美濃地震接近的地震。

經過了這三個步驟，本研究挑出了一個地震作為參考地震：2013-02-19 14:52:39 M4.7。



## 二、得出測站的頻譜比

- (一) 從線上資料庫下載該測站測到美濃地震及參考地震的原始波形資料。
- (二) 分別將美濃地震及參考地震的原始波形資料進行前處理，去除雜訊干擾。
- (三) 對前處理完的美濃地震及參考地震波形進行傅立葉分析，得出該兩地震的頻譜。
- (四) 將美濃地震的頻譜除以參考地震的頻譜，得出兩地震在該測站上的原始頻譜比。
- (五) 將測站上的原始頻譜比平滑化，得出測站頻譜比。



圖六、得出測站頻譜比的流程圖

## 三、比較頻譜比之間的差距

- (一) 將欲比較的兩個頻譜比畫在同一張圖內，其中橫軸是頻率的對數值、縱軸是美濃地震與參考地震的相對強度的對數值，如圖七，不同的頻譜比以不同的顏色

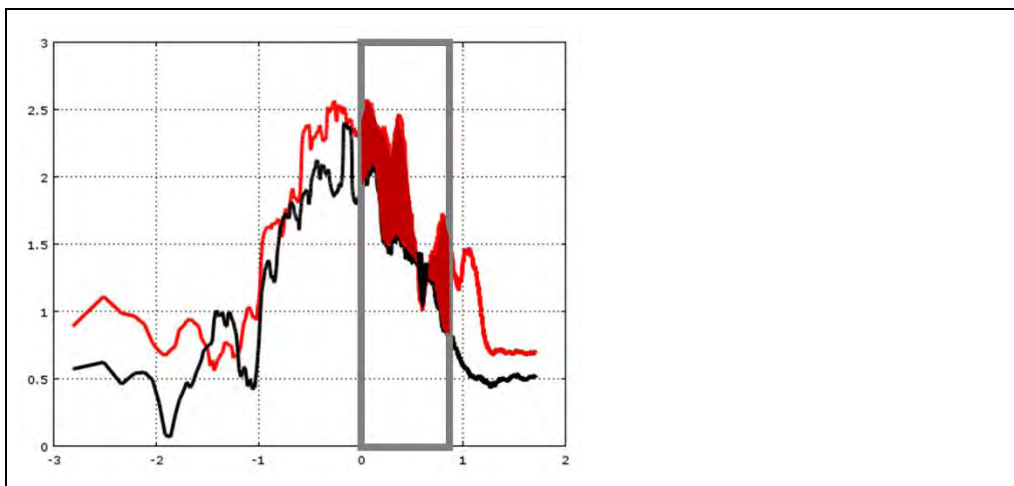
標示以利辨識。

(二) 選出 1~8 Hz (相當於圖中橫軸的 0~0.9) 做為比較的範圍，本研究因要研究較高頻的地震波，因此以 1 Hz 作為選取頻率的下界，又 P-alert 對 8 Hz 以上的地震波不敏感，因此以 8 Hz 作為選取頻率的上界。

(三) 計算出比較範圍內紅色線高過黑色線的面積 (圖中紅色區塊) 及黑色線高過紅色線的面積 (圖中黑色區塊)。

(四) 將紅色區塊的面積減去黑色區塊的面積，即得到頻譜比差距的指標。

這個指標反映了兩頻譜比之間的差異，指標愈大則頻譜比間差異愈大，若兩測站方位角相差接近 180 度則可表示破裂方向性愈明顯。



圖七、比較頻譜比之間的差距示意圖

#### 四、探討距離及頻譜差異的關係

(一) 挑選數對方位角相近 (< 5 度)，但離震央距離相差很遠的測站。

(二) 對每一對方位角相近的測站，計算其頻譜比差距的指標。

若頻譜比差距的指標很小，則表示距離對頻譜比的差異影響不顯著，之後選取測站時就可以忽略其距離，而專注在其方位角上。

#### 五、探討美濃地震在不同方向造成的頻譜差異

(一) 挑選四群測站，其測站的方位角分別在美濃地震斷層走向的兩側及垂直美濃地震斷層走向的兩側。

- (二) 計算出各個測站的頻譜比。
- (三) 將每一群測站的頻譜比做平均。
- (四) 比較四群測站的平均頻譜比。

若美濃地震沒有破裂方向性或其效應不顯著，則四群測站的平均頻譜比會十分接近；反之若美濃地震有破裂方向性，則美濃地震斷層走向兩側的平均頻譜比會有顯著的差距，而頻譜比較高的那一側即為美濃地震的破裂方向。

## 六、探討美濃地震的破裂方向

- (一) 挑選數對方位角相差  $180 (\pm 5)$  度的測站。
- (二) 計算每一對測站頻譜比差距的指標。

若該對測站的頻譜比差距越大，就表示美濃地震的破裂方向更有可能是該方向。

## 七、探討美濃地震破裂方向隨時間的改變

- (一) 對每個測站測得的波形，以 S 波到時為起點，擷取 3 秒鐘的波形。若擷取的波形過短，一次分析的點太少，頻譜的準確性會降低；若擷取的波形過長，考慮到美濃地震主破裂時間僅 7 秒 (Jian, Hung, Meng, & Sun, 2016)，時間解析度會不足。
- (二) 計算每一個測站擷取波形的頻譜比。
- (三) 計算每一對方位角相差  $180 (\pm 5)$  度的測站頻譜比差距的指標。
- (四) 將擷取的時間範圍延後 0.5 秒，重複 (一) ~ (三)。

若在某個方向上觀測到較高的頻譜比差距的指標，就表示在擷取的時間範圍內美濃地震的破裂方向更有可能是那個方向。當得知不同時間範圍美濃地震可能的破裂方向後，就能得知美濃地震破裂方向隨時間的改變。

# 參、研究成果與討論

## 一、研究成果

### (一) 探討距離及頻譜差異的關係

1. 選定測站：如表一所示，本部分選取了三對測站，每對測站的方位角差不超過 0.5 度，並且在美濃地震及參考地震的最大加速度值均大於 0.8。每一對測站中，距離震央較近的測站（及其收到的資料）以黑色表示，距離震央較遠的測站（及其收到的資料）以紅色表

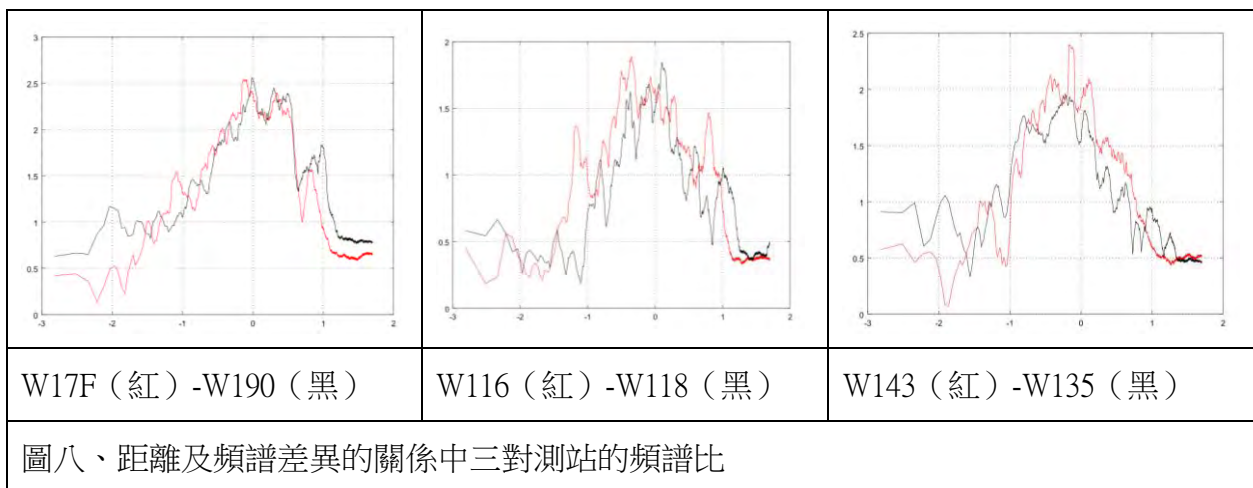
示。

表一、距離及頻譜差異的關係使用的測站列表，圖中黃色有星型標記的是美濃地震震央，綠色有星型標記的是參考地震震央。

測站名稱	$\theta$	d
W17F	7.32	126 km
W190	7.69	61 km
W116	94.51	71 km
W118	94.19	54 km
W143	168.24	105 km
W135	168.02	30 km

2. 比較同一對兩測站間的頻譜比。因為本研究要測量的是較高頻的訊號，本研究考慮的是 1Hz 以上的訊號，又本研究使用的地震儀對 8Hz 以上的波不敏感，因此比較的範圍是 1Hz~8Hz，亦即圖上橫軸的 0~0.9。本研究採用比較範圍內紅線在黑線上方的面積減去黑線在紅線上方的面積作為頻譜比差距的指標。

三對測站的頻譜比如下圖所示：



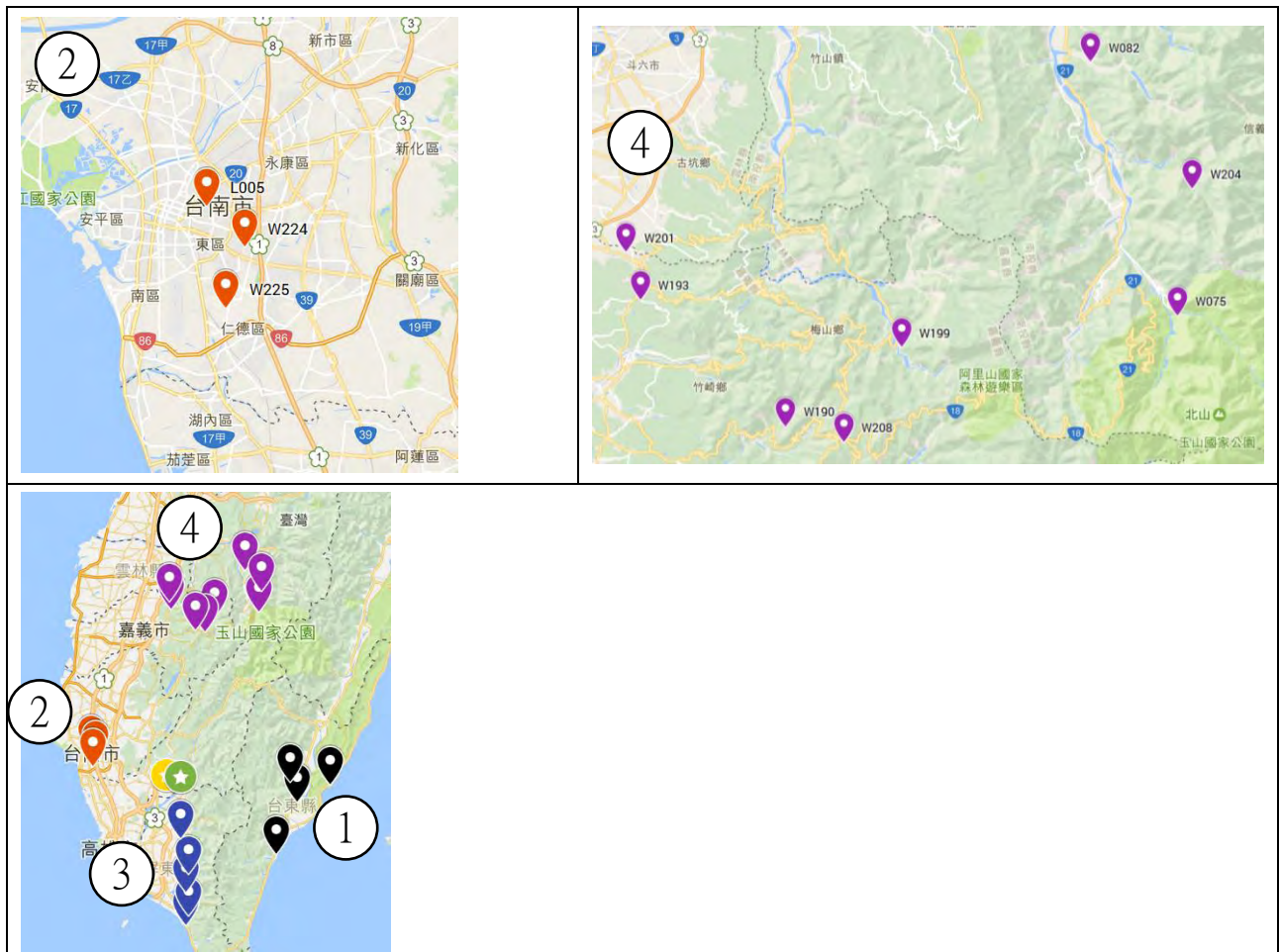
編號	d	編號	d	指標
W17F	126 km	W190	61 km	-0.09271
W116	71 km	W118	54 km	0.15171
W143	105 km	W104	30 km	0.26399

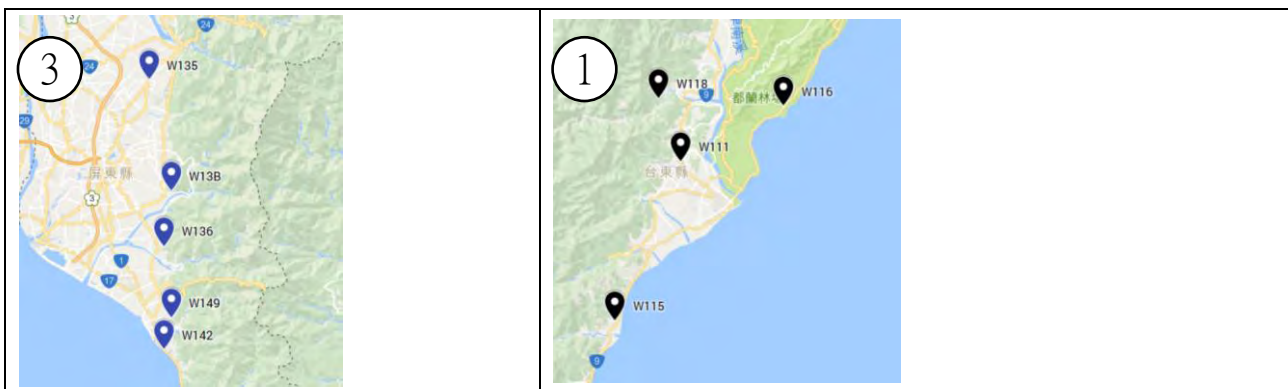
測出來的指標是負的，就意味著黑線在紅線上方的面積比紅線在黑線上方的面積大。

由表二可看出，當兩測站的方位角相近，而距離不同時，其之間的指標差異不會超過 0.3，相較之下若兩測站的方位角差了 180 度，其指標最高可達到接近 1.5，且有許多測站對的指標在 0.5 以上，因此距離造成的差異並不會對地震破裂方向的判定造成影響。

## (二) 探討美濃地震在不同方向造成的頻譜差異

1. 選定測站：如圖九及表三所示，本部分選取了四群測站，分別位於美濃地震的東、西、南、北方，每個測站在美濃地震及參考地震的最大加速度值均大於 0.8。在這四群測站中，位於震央東、西、南、北側的測站（及其收到的資料）分別以黑色、紅色、藍色、桃色表示。





圖九、美濃地震在不同方向造成的頻譜差異使用的測站地圖

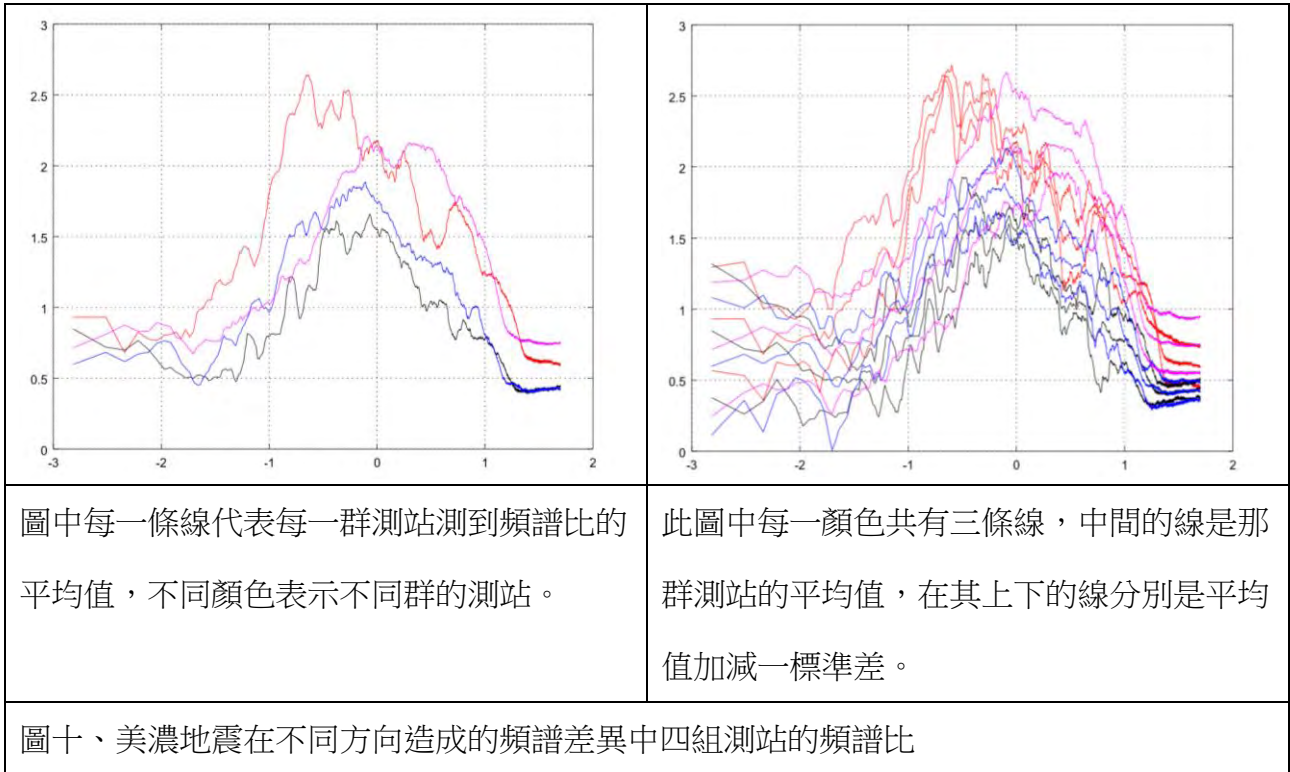
表三、測站列表

測站群	測站編號	座標	d	$\theta$
1	W115	(22.61°N, 121.00°E)	59 km	126.22
	W111	(22.81°N, 121.09°E)	58 km	103.35
	W116	(22.88°N, 121.23°E)	71 km	94.51
	W118	(22.89°N, 121.06°E)	54 km	94.19
2	L005	(23.00°N, 120.22°E)	34 km	282.62
	W224	(22.98°N, 120.24°E)	31 km	280.74
	W225	(22.95°N, 120.23°E)	32 km	273.19
3	W142	(22.33°N, 120.62°E)	67 km	172.83
	W149	(22.37°N, 120.63°E)	63 km	171.80
	W136	(22.46°N, 120.62°E)	52 km	170.68
	W13B	(22.53°N, 120.63°E)	45 km	168.56
	W135	(22.67°N, 120.60°E)	30 km	168.02
4	W075	(23.55°N, 120.93°E)	80 km	29.48
	W082	(23.71°N, 120.87°E)	93 km	21.32
	W199	(23.53°N, 120.74°E)	69 km	17.06
	W208	(23.47°N, 120.70°E)	62 km	15.46



	W204	(23.63°N, 120.94°E)	52 km	14.63
	W190	(23.48°N, 120.66°E)	61 km	7.69
	W193	(23.56°N, 120.56°E)	70 km	1.20
	W201	(23.59°N, 120.55°E)	73 km	0.93

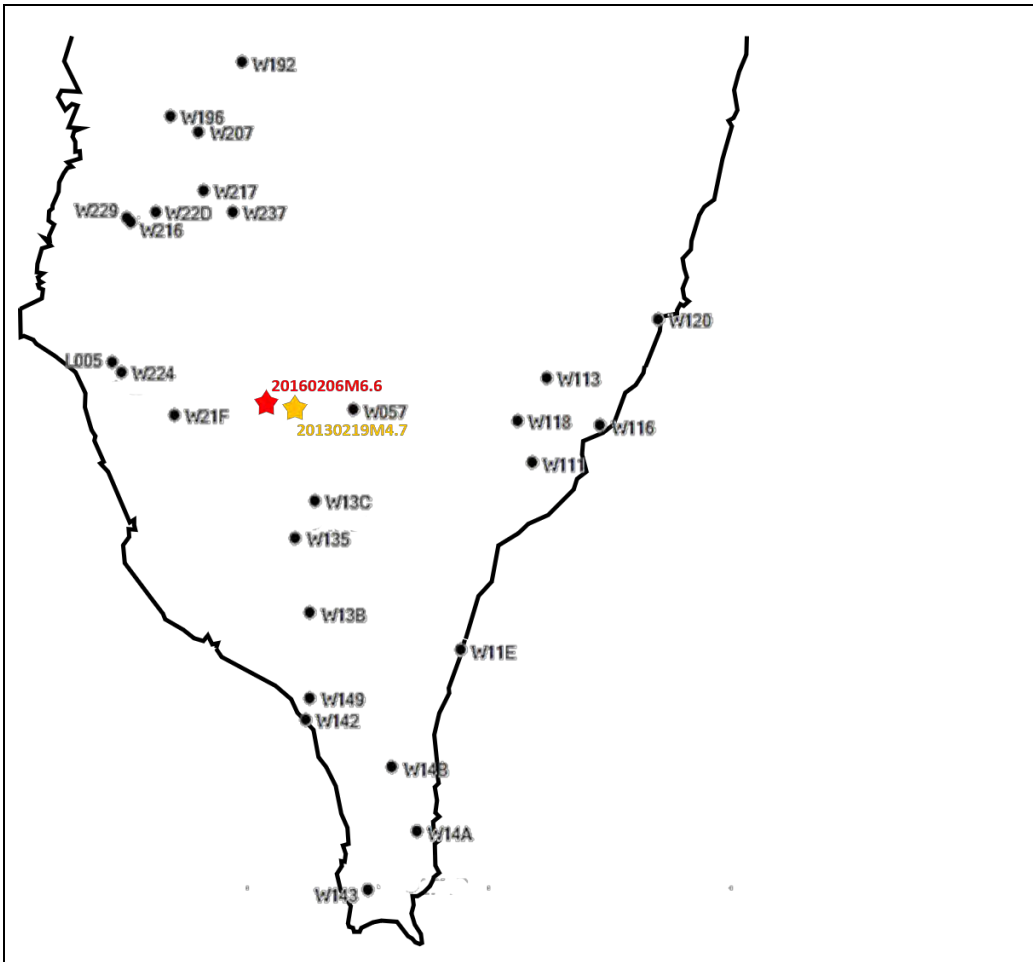
2. 計算出各測站的頻譜比後，將同一群測站的頻譜比做平均，即可得到震央東、西、南、北側的頻譜比，如下圖所示：



從圖十可看出，頻譜比的大小為桃>紅>藍>黑。紅、藍、黑的部分符合都卜勒效應的預期，亦可推知地震是由東向西破裂，然而桃色的頻譜比大於紅色是需要再加以解釋的地方。

### (三) 討論美濃地震的破裂方向

1. 選定測站：如圖十一和表四所示，本研究挑出了 26 個測站，並挑出了 23 對方位角相差  $180 (\pm 5)$  度的測站。這些測站在美濃地震及參考地震的最大加速度值均大於 0.8 gal。



圖十一、探討美濃地震的破裂方向使用的測站地圖

表四、測站列表

測站編號	座標	d	$\theta$
W192	(23.56°N, 120.49°E)	70 km	355.12
W237	(23.28°N, 120.47°E)	40 km	349.17
W207	(23.43°N, 120.40°E)	57 km	344.92
W217	(23.32°N, 120.41°E)	46 km	342.44
W196	(23.46°N, 120.34°E)	62 km	339.82
W216	(23.26°N, 120.26°E)	40 km	334.79
W22D	(23.28°N, 120.31°E)	45 km	328.73
W229	(23.27°N, 120.25°E)	48 km	321.2
L005	(23.00°N, 120.22°E)	34 km	282.62



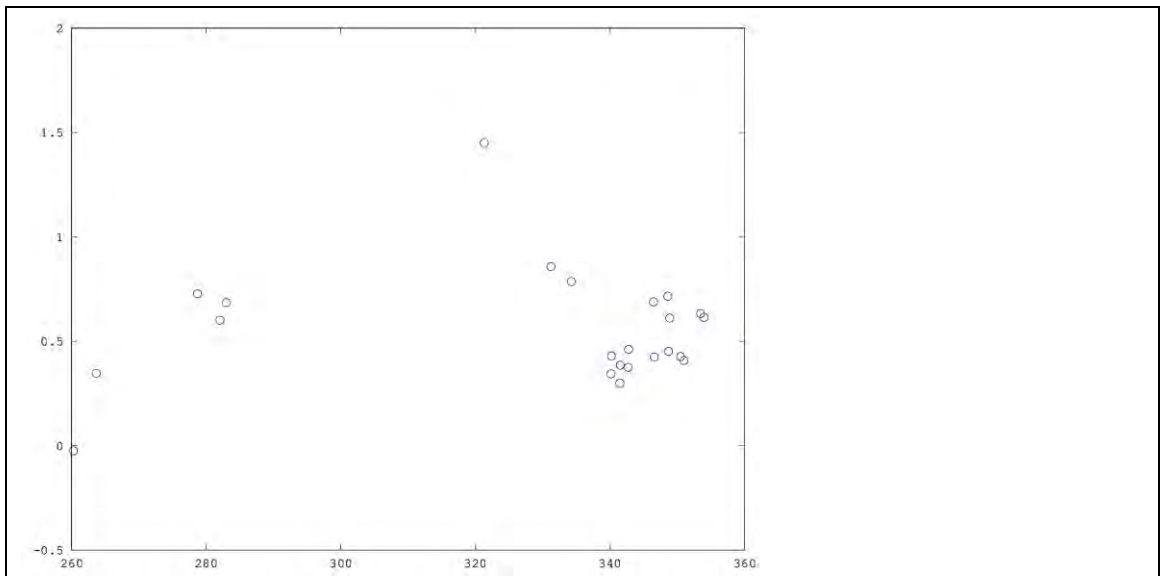
W224	(22.98°N, 120.24°E)	31 km	280.74
W21F	(22.90°N, 120.35°E)	19 km	261.64
W142	(22.33°N, 120.62°E)	67 km	172.83
W149	(22.37°N, 120.63°E)	63 km	171.8
W13B	(22.53°N, 120.63°E)	45 km	168.56
W143	(22.01°N, 120.75°E)	105 km	168.24
W135	(22.67°N, 120.60°E)	30 km	168.02
W14B	(22.24°N, 120.80°E)	82 km	160.59
W14A	(22.12°N, 120.85°E)	95 km	160.48
W13C	(22.74°N, 120.64°E)	23 km	153.73
W11E	(22.46°N, 120.94°E)	66 km	141.43
W111	(22.81°N, 121.09°E)	58 km	103.35
W057	(22.91°N, 120.72°E)	18 km	96.69
W116	(22.88°N, 121.23°E)	71 km	94.51
W118	(22.89°N, 121.06°E)	54 km	94.19
W113	(22.97°N, 121.12°E)	59 km	85.69
W120	(23.08°N, 121.35°E)	85 km	78.93

2. 計算出各測站的頻譜比後，比較每一對測站的頻譜比。

23 對測站測得的指標如下表及下圖所示：

表五、本研究使用的測站對及其得出的指標			
測站編號（西）	測站編號（東）	測站對方位角	指標
W192	W142	353.98	0.61427
W192	W149	353.46	0.63300
W237	W142	351.00	0.40796

W237	W149	350.49	0.42669
W237	W13B	348.87	0.61083
W237	W143	348.71	0.45177
W237	W135	348.60	0.71576
W207	W143	346.58	0.42447
W207	W135	346.47	0.68846
W207	W14B	342.76	0.46102
W207	W14A	342.70	0.37495
W217	W14B	341.52	0.38539
W217	W14A	341.46	0.29931
W196	W14B	340.21	0.42990
W196	W14A	340.15	0.34383
W216	W13C	334.26	0.78548
W22D	W13C	331.23	0.85748
W229	W11E	321.32	1.44870
L005	W111	282.99	0.68489
W224	W111	282.05	0.60059
W224	W057	278.72	0.72687
W21F	W113	263.67	0.34643
W21F	W120	260.29	-0.02509

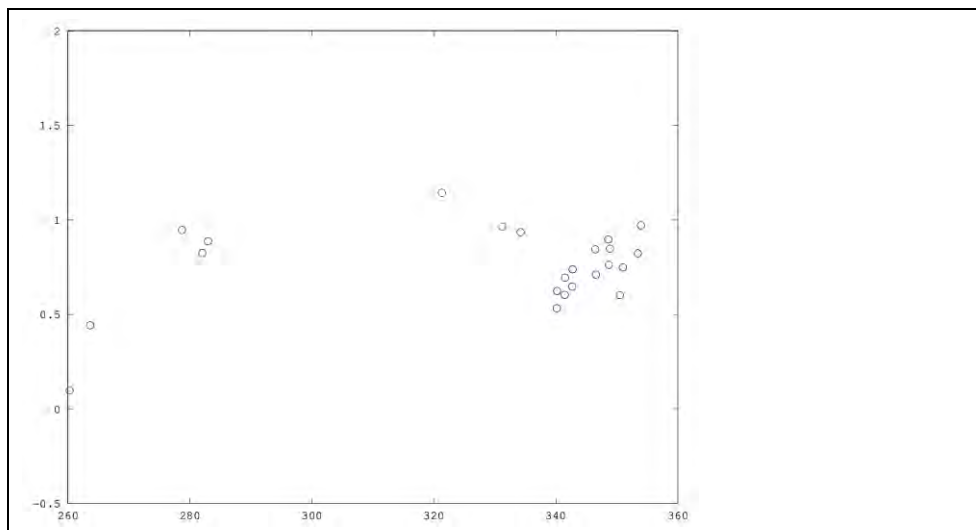


圖十二、美濃地震的破裂方向性與頻譜比間的面積差。橫軸是測站對中位於西北方的測站的方位角，縱軸是該測站對測得的頻譜比面積差。

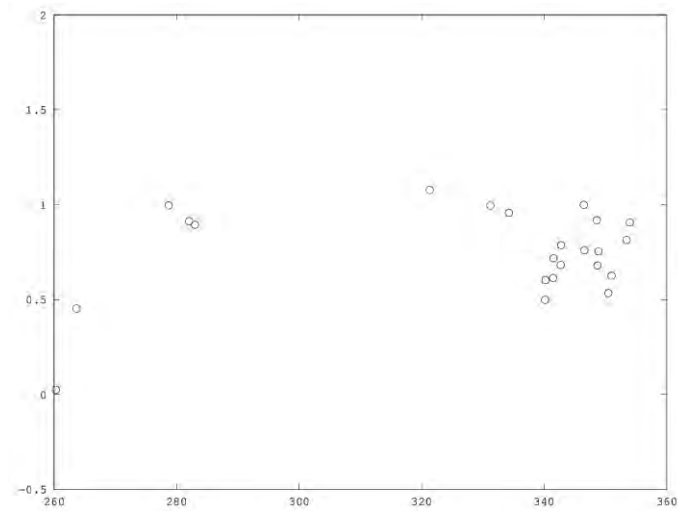
由圖十二可看出指標在 320 度上特別大，相較之下在接近 360 度的地方並沒有特別高的指標，意味著美濃地震的破裂方向應接近 320 度。

#### (四) 探討美濃地震破裂方向隨時間的改變

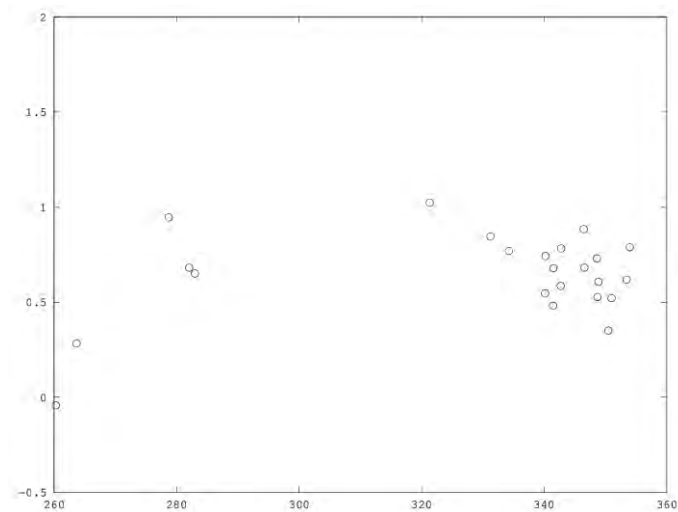
1. 選定測站：此部分選定的測站與測站對與上一部分（探討美濃地震的破裂方向）相同。
2. 對每個測站擷取出欲分析的時間範圍後，計算出各測站的頻譜比並比較每一對測站的頻譜比。此部分將波形由 S 波到時起擷取 3 秒鐘，之後每次將擷取的範圍延後 0.5 秒，直到擷取的範圍為 6~9 秒。每對測站在不同時間範圍下測到的指標如下圖所示：



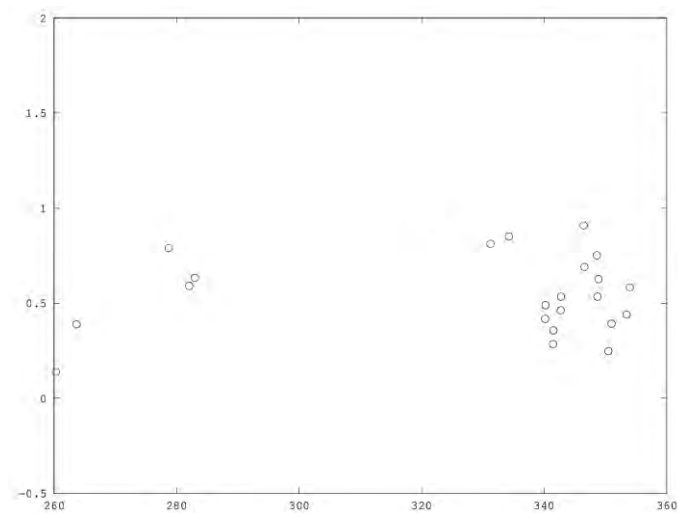
a) 擷取範圍：S波到時～S波抵達後3秒



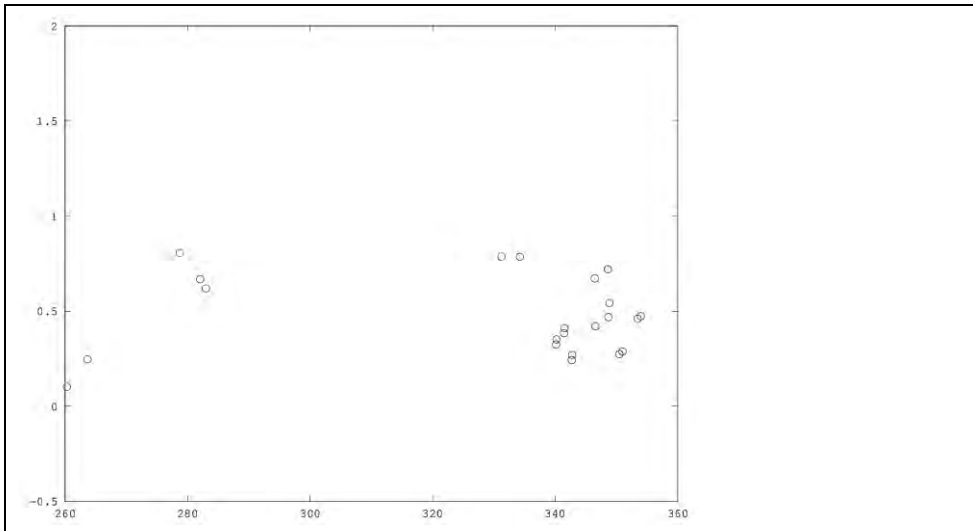
b) 擷取範圍：S波抵達後0.5秒～S波抵達後3.5秒



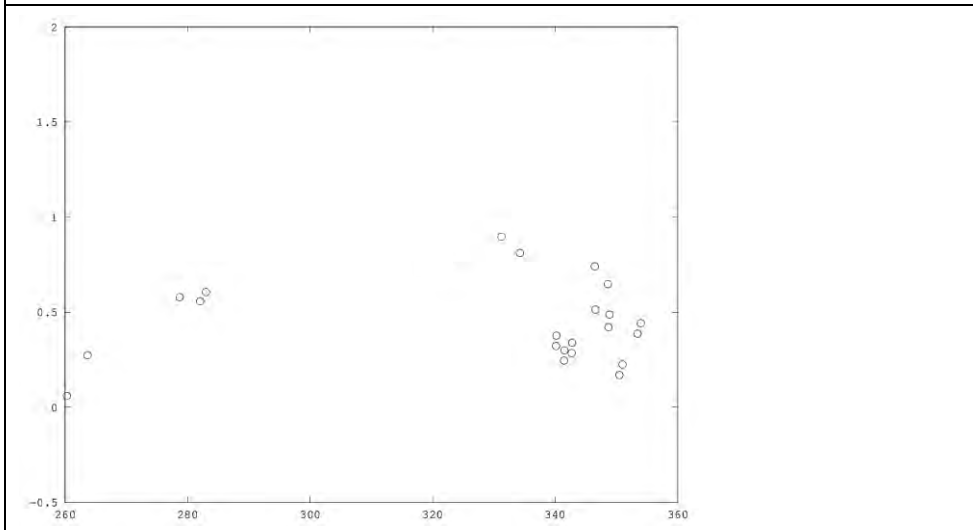
c) 擷取範圍：S波抵達後1秒～S波抵達後4秒



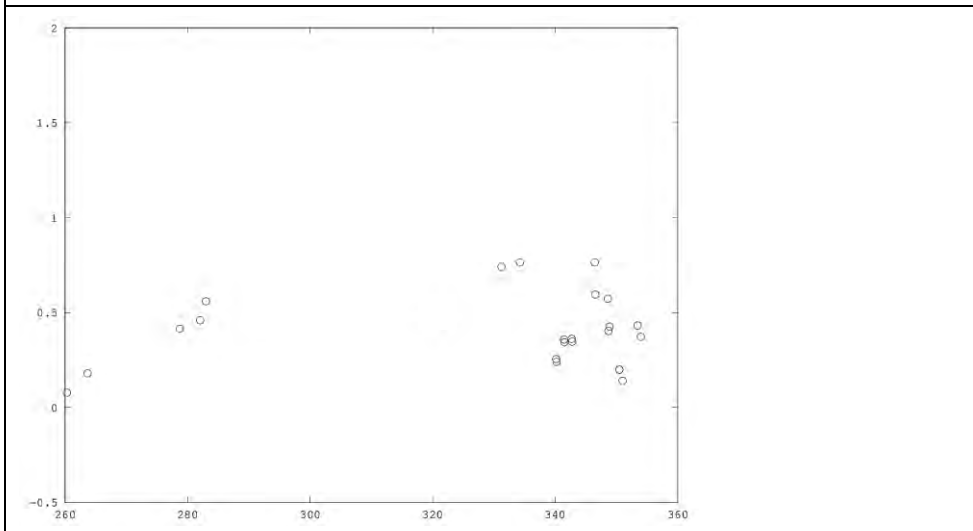
d) 擷取範圍：S波抵達後1.5秒～S波抵達後4.5秒



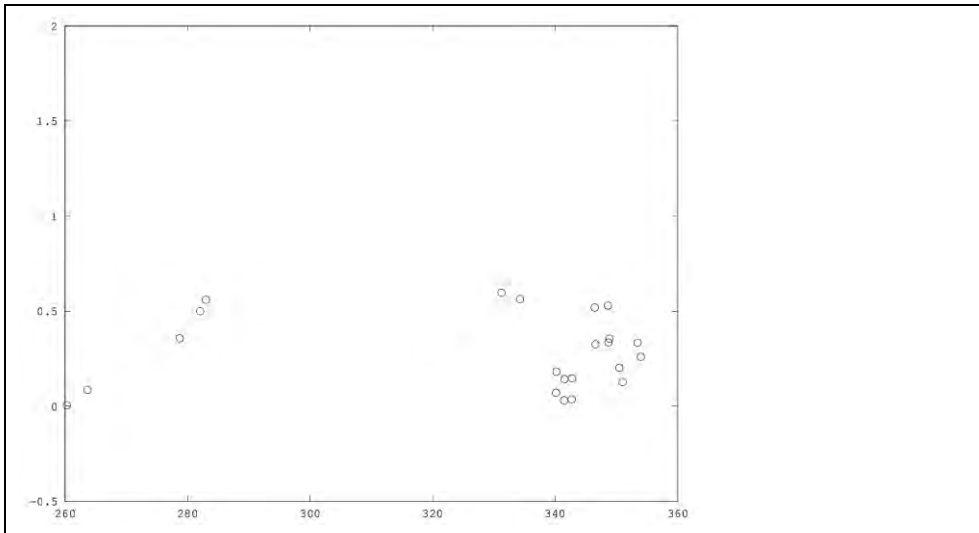
e) 擷取範圍：S 波抵達後 2 秒～S 波抵達後 5 秒



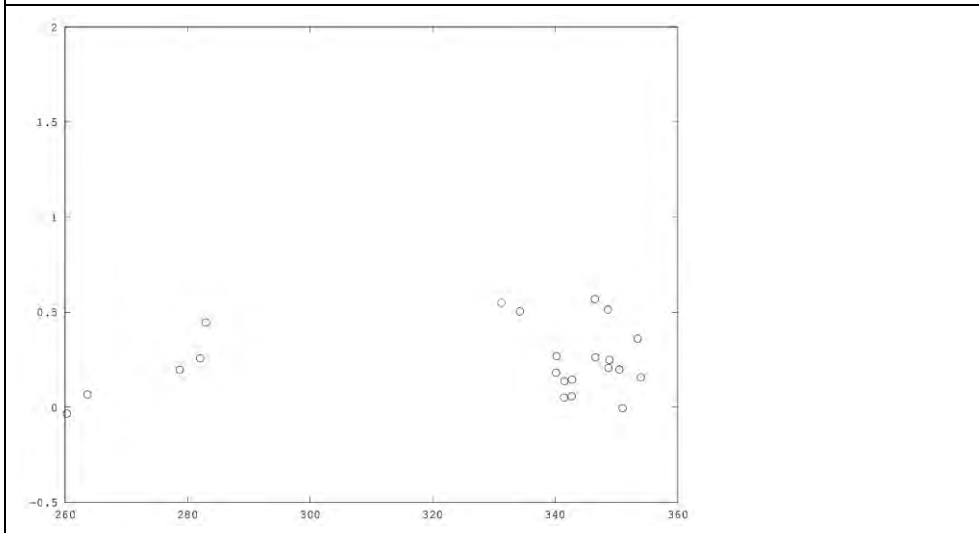
f) 擷取範圍：S 波抵達後 2.5 秒～S 波抵達後 5.5 秒



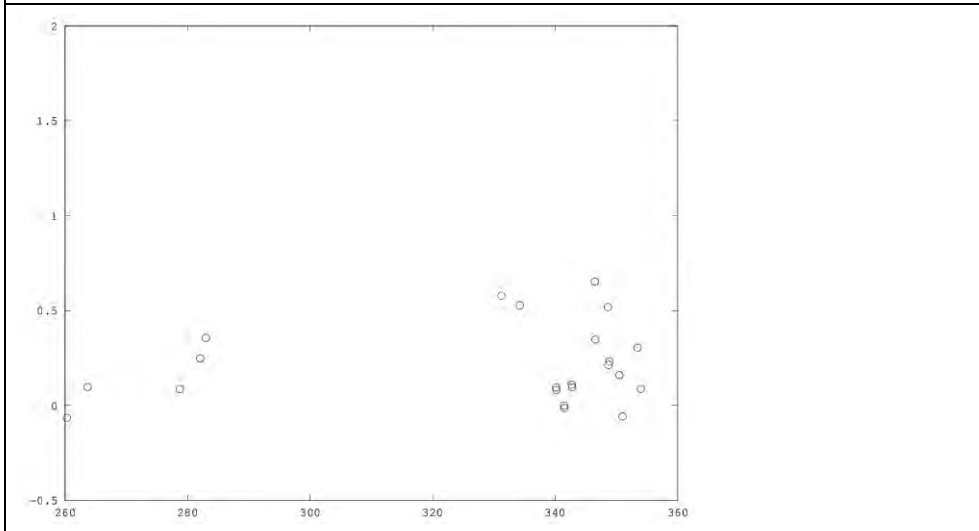
g) 擷取範圍：S 波抵達後 3 秒～S 波抵達後 6 秒



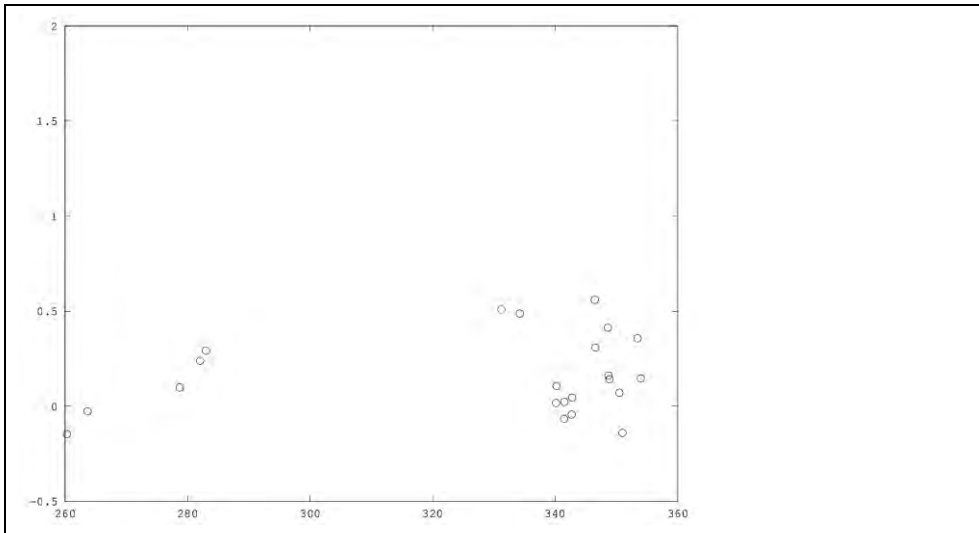
h) 擷取範圍：S波抵達後 3.5 秒～S波抵達後 6.5 秒



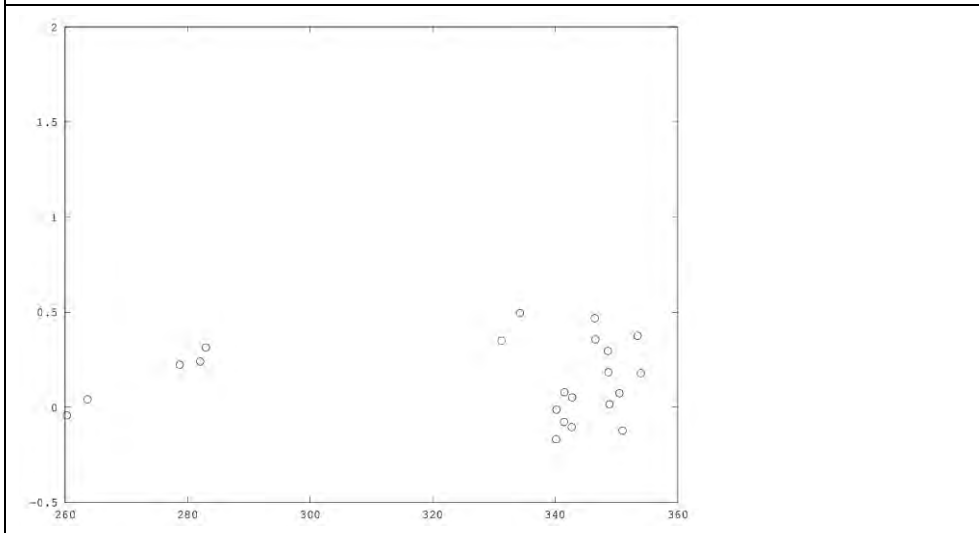
i) 擷取範圍：S波抵達後 4 秒～S波抵達後 7 秒



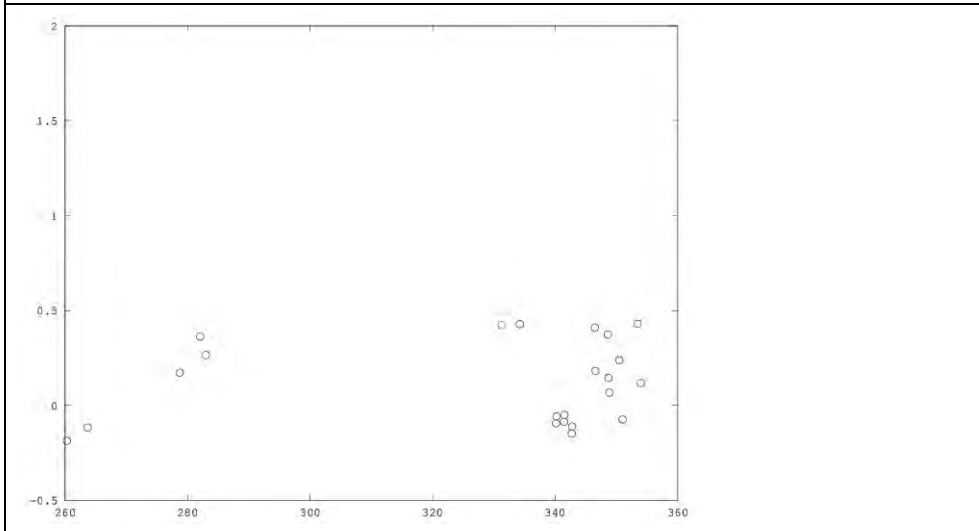
j) 擷取範圍：S波抵達後 4.5 秒～S波抵達後 7.5 秒



k) 擷取範圍：S 波抵達後 5 秒~S 波抵達後 8 秒



l) 擷取範圍：S 波抵達後 5.5 秒~S 波抵達後 8.5 秒



m) 擷取範圍：S 波抵達後 6 秒~S 波抵達後 9 秒

圖十三、美濃地震隨時間各個測站對測得的指標。

由圖十三可看出，在地震剛開始破裂時（圖(a)~(c)），各測站對的指標有一個明顯的趨勢，即方位角愈接近 300~320 度的測站對頻譜比愈高。之後各個測站對測得的頻譜比均隨著時間下降，到了約 6 秒後（圖(j)）各測站對的指標已下降至近乎為零，表示美濃地震的方向性隨時間變得不明顯，應為破裂速度隨時間漸緩所致。由以上線索可知美濃地震的破裂方向隨時間並沒有明顯的變化，都是在約 300~320 度。

## 二、討論

### （一）為何此研究以 S 波進行分析？

因為不同測站的 P - S 波到時差不同，若以 P 波進行分析，擷取波形訊號時不容易掌握 S 波何時會被截取到，增加分析的複雜度。另外，因為本研究波形資料來源使用的地震儀不甚靈敏，參考地震的 P 波震幅太小，不易與雜訊進行分辨，而 S 波的振幅夠大，因此較容易抓出到達時間，分析的結果也較不會被雜訊干擾。

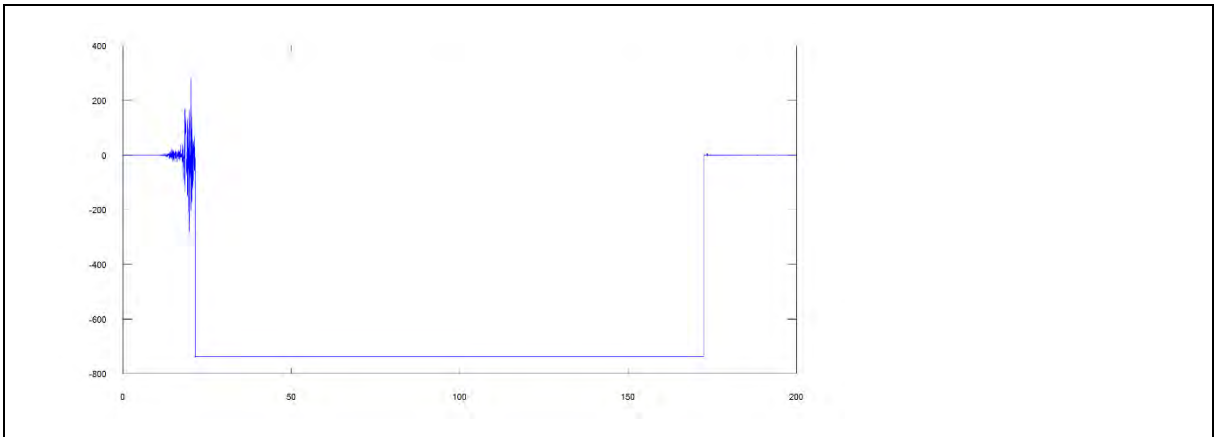
### （二）美濃地震是否為雙主震？

由一、(三) 及一、(四) 的結果，破裂方向無明顯變化，無法得知美濃地震為單一破裂或有兩個破裂事件。由林彥宇等人的研究（2018），美濃地震的兩次破裂其破裂型態相當接近，而且第二次破裂產生的波形較為低頻，因此以本研究的方法無法看出美濃地震有兩次破裂的現象。

### （三）為何方位角在 320 度的點在後期消失了？

因為地震儀出了問題，W229 測站測得的波形在 S 波抵達後約 4 秒的波形無法取得，因此進行分析時只能就 S 波抵達後前 4 秒的波形進行分析。



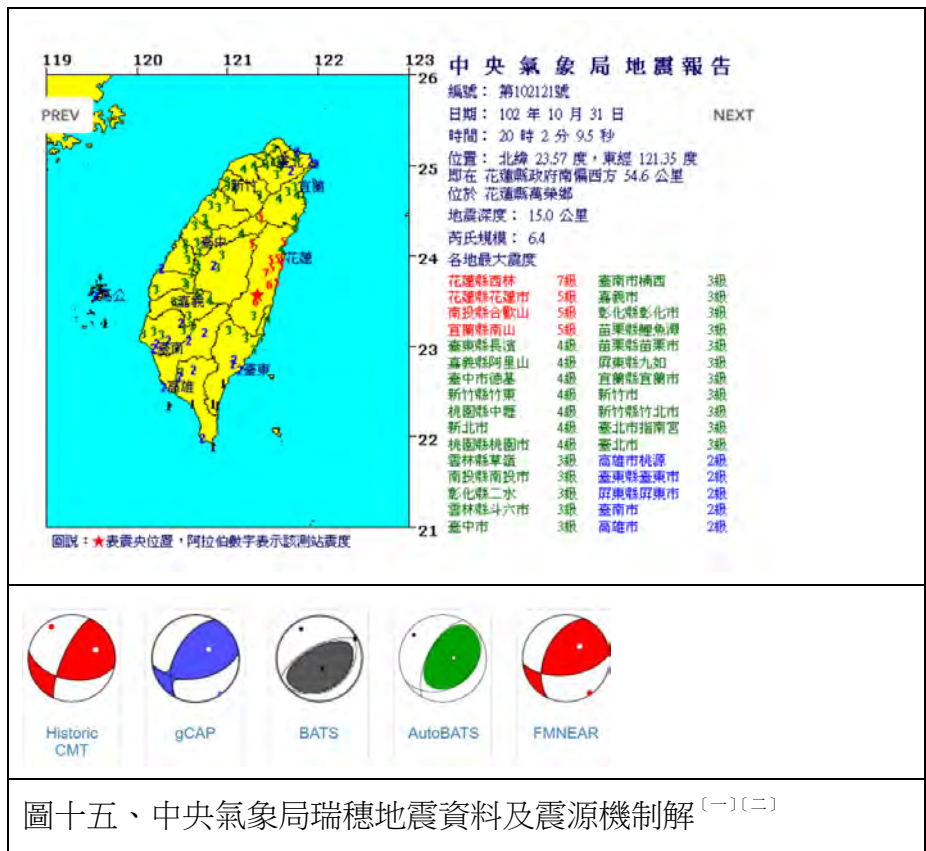


圖十四、W229 測站測得的波形（東－西向，未經任何處理）

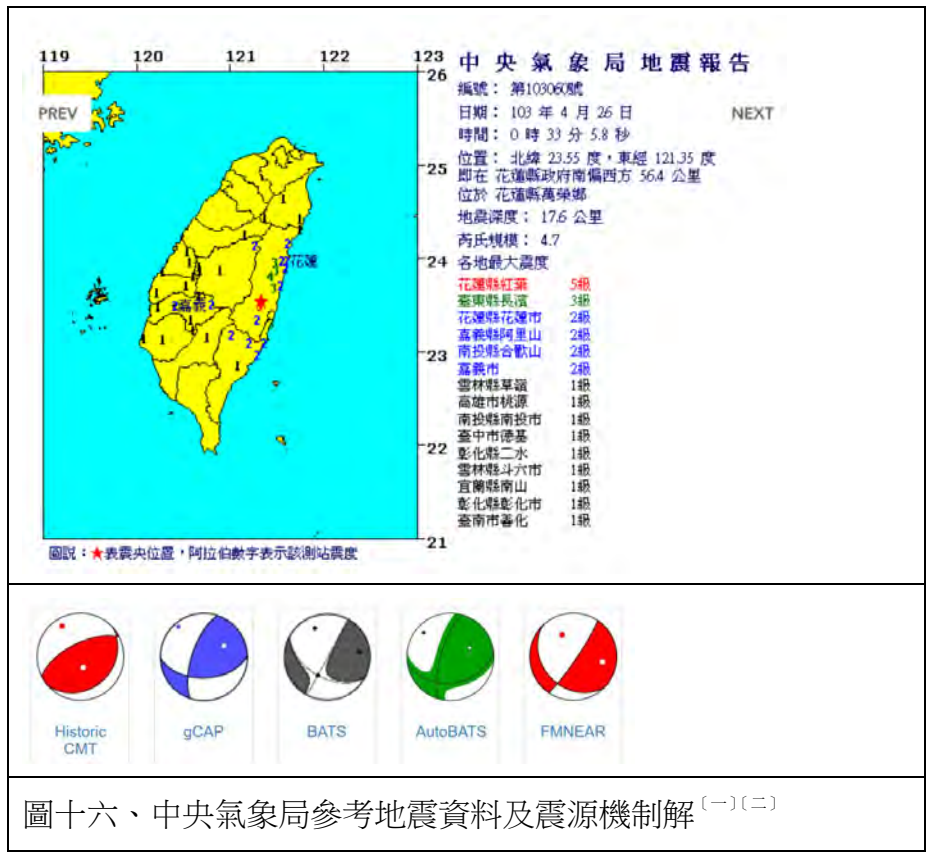
（四）此研究方法能否應用於其他地震？

除了美濃地震之外，此研究方法亦有用於探討 2013 年瑞穗地震的破裂方向性，茲將結果列於下：

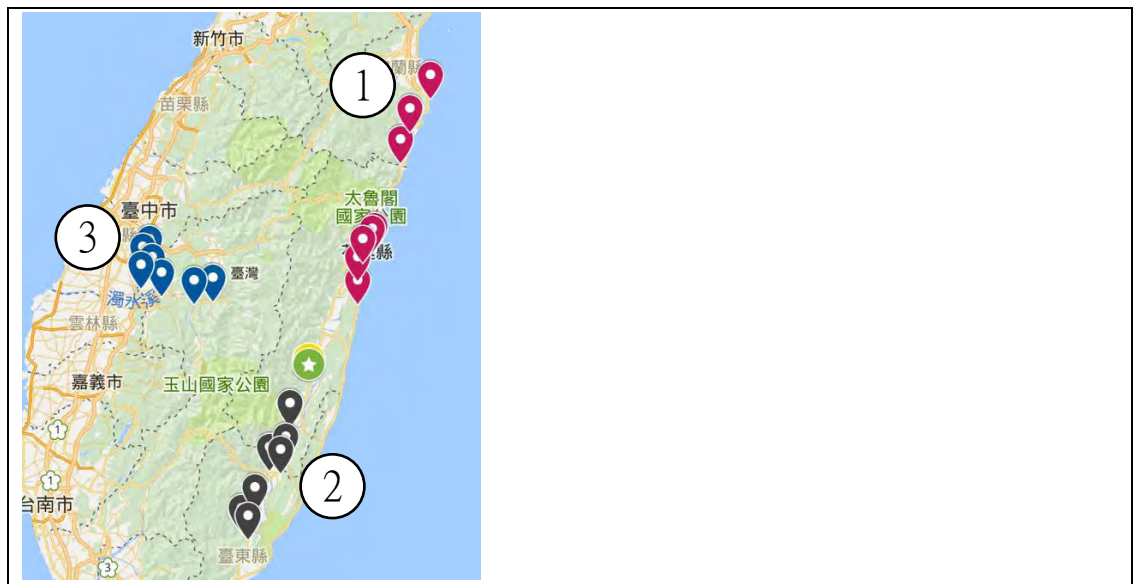
1. 地震基本資料



圖十五、中央氣象局瑞穗地震資料及震源機制解<sup>(一)(二)</sup>



2. 探討瑞穗地震在不同方向造成的頻譜差異

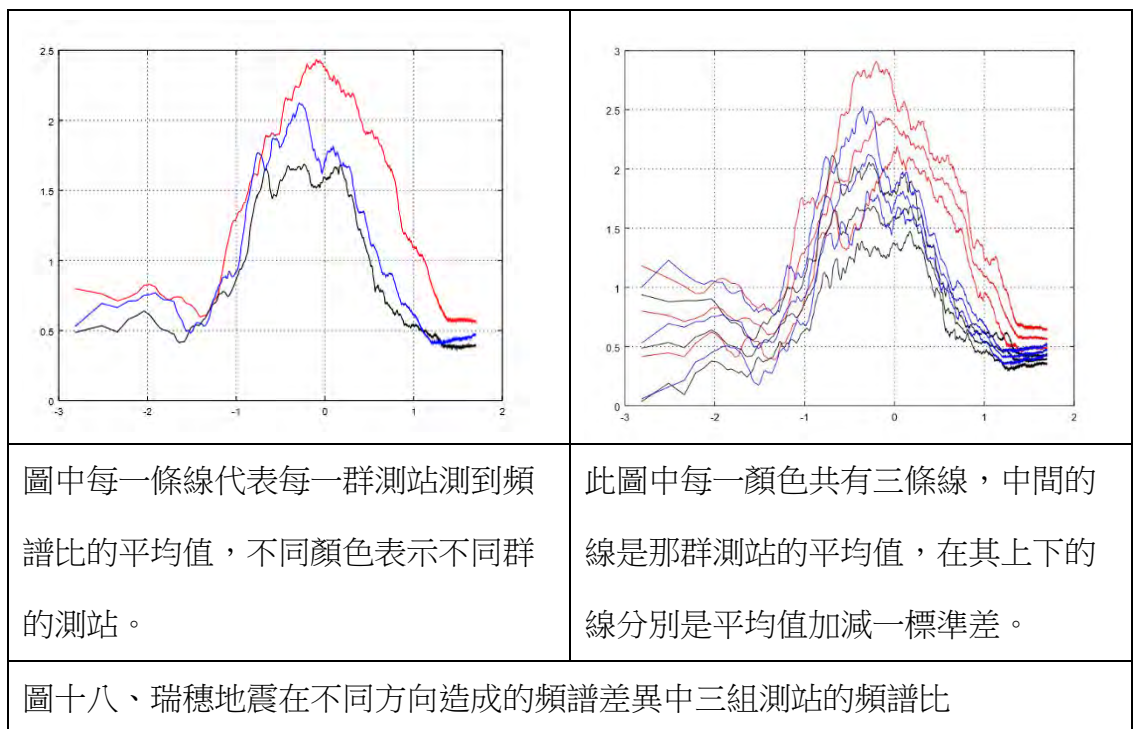




表六、測站列表

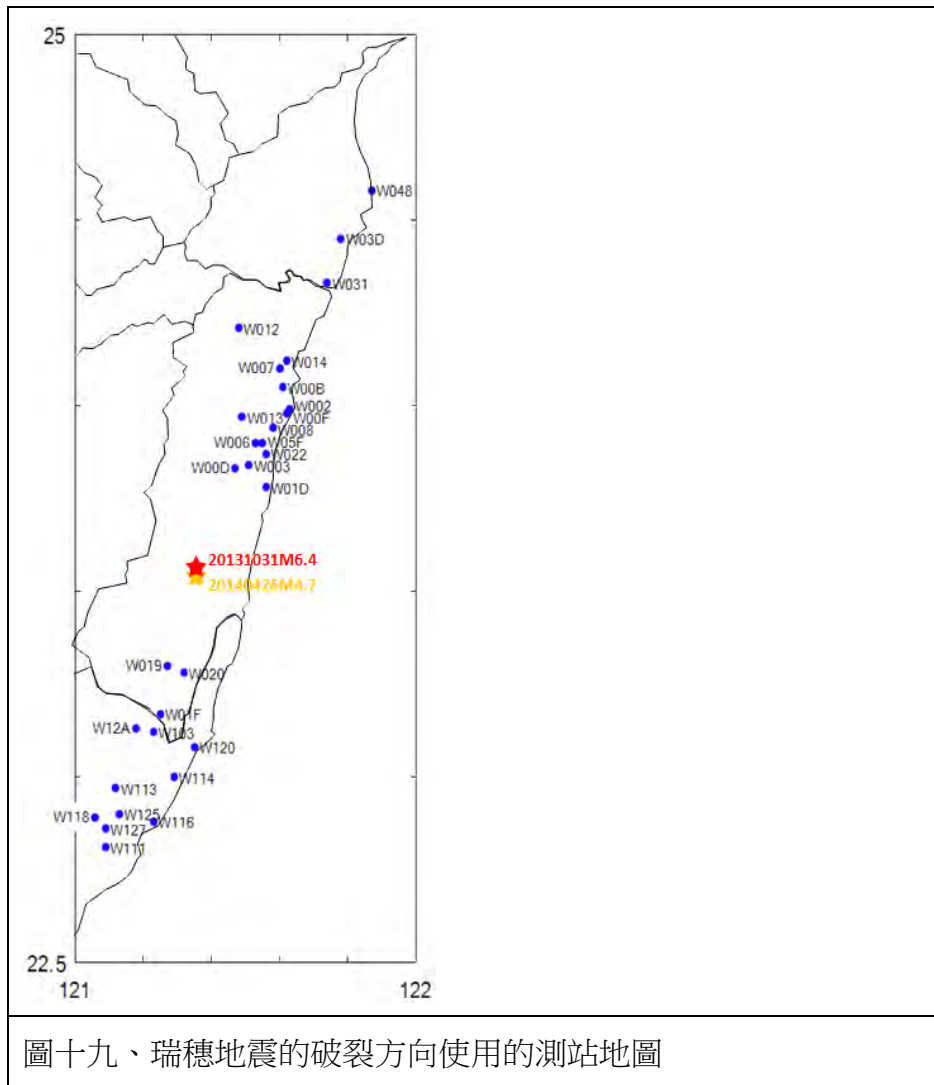
測站群	測站編號	座標	d	$\theta$
1	W01D	(23.78°N, 121.56°E)	30 km	29.75
	W002	(23.99°N, 121.63°E)	53 km	23.71
	W00F	(23.98°N, 121.62°E)	51 km	22.89
	W048	(24.58°N, 121.87°E)	123 km	21.69
	W022	(23.87°N, 121.56°E)	38 km	21.61
	W008	(23.94°N, 121.58°E)	46 km	20.69
	W031	(24.33°N, 121.74°E)	92 km	20.61
	W03D	(24.45°N, 121.78°E)	106 km	20.08
2	W019	(23.3°N, 121.27°E)	32 km	209.03

	W12A	(23.13°N, 121.18°E)	53 km	208.28
	W118	(22.89°N, 121.06°E)	81 km	206.72
	W113	(22.97°N, 121.12°E)	71 km	205.8
	W127	(22.86°N, 121.09°E)	83 km	203.8
	W01F	(23.17°N, 121.25°E)	45 km	202.82
	W103	(23.12°N, 121.23°E)	51 km	202.59
3	W097	(23.94°N, 120.67°E)	88 km	299.62
	W078	(23.79°N, 120.94°E)	56 km	299.14
	W08C	(23.91°N, 120.64°E)	89 km	296.44
	W08A	(23.87°N, 120.68°E)	84 km	295.2
	W07B	(23.78°N, 120.86°E)	62 km	294.77
	W08E	(23.81°N, 120.72°E)	77 km	292.09
	W095	(23.84°N, 120.63°E)	87 km	292.02



由圖十八可看出，頻譜比大小為紅 > 藍 > 黑，顯示出瑞穗地震是由南往北破裂。

### 3. 討論瑞穗地震的破裂方向



圖十九、瑞穗地震的破裂方向使用的測站地圖

表七、測站列表

測站編號	座標	d	$\theta$
W019	(23.30°N ,121.27°E)	32 km	209.03
W12A	(23.13°N ,121.18°E)	53 km	208.28
W118	(22.89°N ,121.06°E)	81 km	206.72
W113	(22.97°N ,121.12°E)	71 km	205.8
W127	(22.86°N ,121.09°E)	83 km	203.8
W01F	(23.17°N ,121.25°E)	45 km	202.82
W103	(23.12°N ,121.23°E)	51 km	202.59
W111	(22.81°N ,121.09°E)	89 km	202.2

W125	(22.90°N ,121.13°E)	78 km	202.19
W020	(23.28°N ,121.32°E)	32 km	198.35
W116	(22.88°N ,121.23°E)	77 km	194.84
W114	(23.00°N ,121.29°E)	63 km	192.75
W120	(23.08°N ,121.35°E)	53 km	187.48
W01D	(23.78°N ,121.56°E)	30 km	29.75
W002	(23.99°N ,121.63°E)	53 km	23.71
W00F	(23.98°N ,121.62°E)	51 km	22.89
W048	(24.58°N ,121.87°E)	123 km	21.69
W022	(23.87°N ,121.56°E)	38 km	21.61
W008	(23.94°N ,121.58°E)	46 km	20.69
W031	(24.33°N ,121.74°E)	92 km	20.61
W03D	(24.45°N ,121.78°E)	106 km	20.08
W00B	(24.05°N ,121.61°E)	59 km	18.98
W10F	(23.90°N ,121.55°E)	40 km	18.83
W014	(24.12°N ,121.62°E)	66 km	18.3
W007	(24.10°N ,121.60°E)	64 km	16.99
W006	(23.90°N ,121.53°E)	41 km	16.14
W003	(23.84°N ,121.51°E)	34 km	15.43
W00D	(23.83°N ,121.47°E)	32 km	9.97
W013	(23.97°N ,121.49°E)	47 km	9.36
W012	(24.21°N ,121.48°E)	73 km	5.03

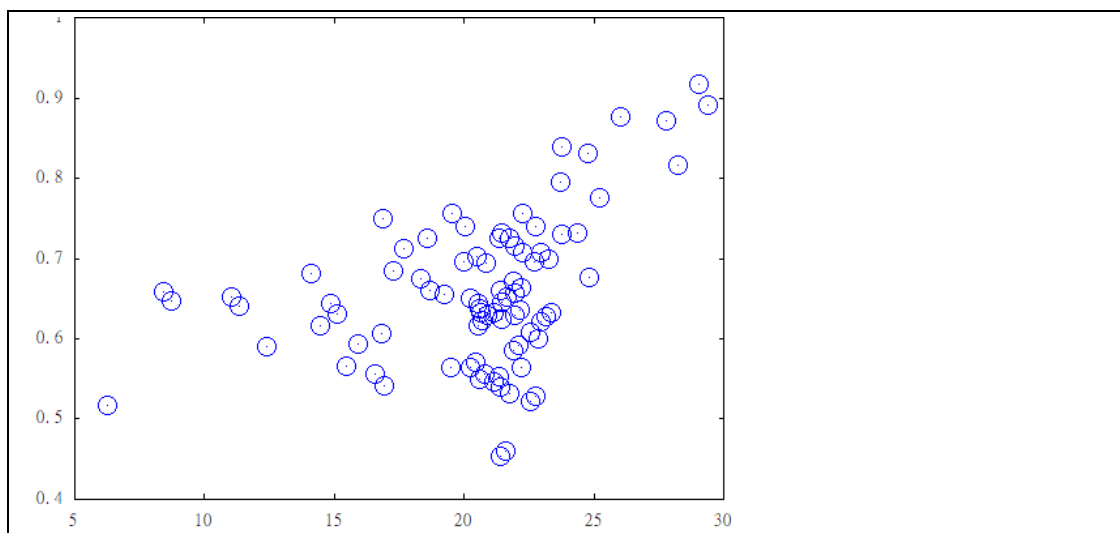
表八、本研究使用的測站對（分成兩欄以節省空間）

測站 (北)	測站 (南)	測站對方位 角	測站 (北)	測站 (南)	測站對方位 角
-----------	-----------	------------	-----------	-----------	------------

W01D	W019	29.39	W031	W125	21.40
W01D	W12A	29.02	W031	W020	19.48
W01D	W118	28.24	W03D	W127	21.94
W01D	W113	27.78	W03D	W01F	21.45
W002	W12A	26.00	W03D	W103	21.34
W002	W118	25.22	W03D	W111	21.14
W002	W113	24.76	W03D	W125	21.14
W002	W127	23.76	W03D	W020	19.22
W002	W01F	23.27	W00B	W127	21.39
W002	W103	23.15	W00B	W01F	20.90
W002	W111	22.96	W00B	W103	20.79
W002	W125	22.95	W00B	W111	20.59
W00F	W118	24.81	W00B	W125	20.59
W00F	W113	24.35	W00B	W020	18.67
W00F	W127	23.35	W10F	W127	21.32
W00F	W01F	22.86	W10F	W01F	20.83
W00F	W103	22.74	W10F	W103	20.71
W00F	W111	22.55	W10F	W111	20.52
W00F	W125	22.54	W10F	W125	20.51
W00F	W020	20.62	W10F	W020	18.59
W048	W113	23.75	W00B	W116	16.91
W048	W127	22.75	W10F	W116	16.84
W048	W01F	22.26	W014	W01F	20.56
W048	W103	22.14	W014	W103	20.45
W048	W111	21.95	W014	W111	20.25

W048	W125	21.94	W014	W125	20.25
W048	W020	20.02	W014	W020	18.33
W022	W113	23.71	W014	W116	16.57
W022	W127	22.71	W007	W020	17.67
W022	W01F	22.22	W007	W116	15.92
W022	W103	22.10	W007	W114	14.87
W022	W111	21.91	W006	W020	17.25
W022	W125	21.90	W006	W116	15.49
W022	W020	19.98	W006	W114	14.45
W008	W127	22.25	W003	W020	16.89
W008	W01F	21.76	W003	W116	15.14
W008	W103	21.64	W003	W114	14.09
W008	W111	21.45	W00D	W116	12.41
W008	W125	21.44	W00D	W114	11.36
W008	W020	19.52	W00D	W120	8.72
W031	W127	22.21	W013	W114	11.06
W031	W01F	21.72	W013	W120	8.42
W031	W103	21.60	W012	W120	6.26
W031	W111	21.41			





圖二十、瑞穗地震的破裂方向性與頻譜比之間的面積差。橫軸是測站對中位於北方的測站的方位角，縱軸是該測站對測得的頻譜比面積差。

由圖二十可看出，瑞穗地震的破裂方向大約位於  $30^\circ$  或更偏東的方向，與震源機制解的推測相符，然而瑞穗地震震央瀕臨東海岸，其東側幾無測站，故確切的方向無法得知。

#### (五) 此研究方法和現有方法的優缺點比較

##### 1. 此研究方法與震源機制解的比較

震源機制解是將各個測站測得的 P 波初動方向投影在一圓盤上，藉此獲得兩個可能的面，惟不知哪個面才是地震真正的破裂面，也不知道地震是否有破裂方向性。震源機制解不需要參考地震即可計算，而此研究方法使用上雖然比震源機制解繁雜，可是能確定地震的破裂面，並得出地震是否有破裂方向性，因此在決定地震的破裂方向性上，此研究方法是比震源機制解適合的。

##### 2. 此研究方法與 G. Calderoni 方法的比較

G. Calderoni 的方法為針對一特定斷層系統，在其兩端各選取一群測站，再比較那兩群測站平均頻譜比的強度，即可得知該斷層系統上地震的破裂方向性及強度。然而，此方法雖然能得知地震是否有破裂方向性，卻無法得知地震確切的破裂方向，因此只適用於破裂方向已知的斷層系統。本研究方法因為是將各個位於不同方向的測站分別做比較，因此可以獲得較為準確的破裂方向，然而震央四周需要都有測站才能確定該地震的破裂方向。

## （六）此研究方法的原創性及貢獻

使用頻譜比研究地震的行為尚屬非常新的做法，而本研究不僅使用了頻譜比測量地震的破裂方向性，更推廣此方法使其可用於推斷地震的破裂方向，進而解除了「使用頻譜比的作法需要在已知破裂型態的斷層」的限制。而且因為臺灣有密集的地震觀測網，使此方法使用上更加適合。當我們有了更多的資料，我們就可以研究更多地震的破裂型態，希望可以找出臺灣地震的活動規律。

## 肆、結論

綜合以上的分析與討論，本研究的結論如下：

- 一、測站距離對測站測得之頻譜比的影響不大，表示此研究方法在實際使用上是可行的。
- 二、採用頻譜比的方法衡量地震的破裂方向是行得通的，只是震央周圍需要有足夠的測站蒐集資料。
- 三、美濃地震的破裂方向約在 300 度~320 度，且隨時間無明顯變化，與簡珮如等人（2016）做的研究成果相符。

## 伍、參考資料

- 一、台灣地區地震科學資訊系統（2014）·中央研究院地球科學研究所·上網日期：2017年2月12日·取自 <http://thesis.earth.sinica.edu.tw/Alllist.php>
- 二、地震活動彙整·交通部中央氣象局·上網日期：2017年2月12日·取自 [http://www.cwb.gov.tw/V7/earthquake/rtd\\_eq.htm](http://www.cwb.gov.tw/V7/earthquake/rtd_eq.htm)
- 三、楊之瑜（2016年2月6日）·台南為何搖晃時間較長？主因是「場址效應」、餘震將持續1~2個月·關鍵評論網·上網日期：2017年2月12日·取自 <https://www.thenewslens.com/article/35998>
- 四、P Alert Event Catalog（2013）·中央研究院地球科學研究所·上網日期：2017年2月12日·取自 <http://palert.earth.sinica.edu.tw/db/>
- 五、G. Calderoni, A. Rovelli, Y. Ben-Zion & R. Di Giovambattista. (2015). Along-strike rupture directivity of earthquakes of the 2009 L' Aquila, central Italy, seismic sequence. Geophysical

Journal International, 203, 399-415.

- 六、 Jian, P.-R., S.-H. Hung, L. Meng, and D. Sun (2017), Rupture characteristics of the 2016 Meinong earthquake revealed by the back projection and directivity analysis of teleseismic broadband waveforms, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 3545 – 3553, doi:10.1002/2017GL072552.
- 七、 Lin, Y.-Y., T.-Y. Yeh, K.-F. Ma, T.-R. A. Song, S.-J. Lee, B.-S. Huang, & Y.-M. Wu. (2018). *Bulletin of the Seismological Society of America*, doi: 10.1785/0120170169

## 附錄

茲將本研究使用的程式原始碼（使用軟體為 GNU Octave，版本 4.0.3，裝有 MatSAC 擴充）列於下，均由作者在研究期間自己寫出：

### 一、定義的函數

#### （一）平滑化

```
function a = smooth(data,span)
for i = 1:sizeof(data)/8
    if(i*span<=sizeof(data)/8)
        a(i) = mean(data(round(i/span):round(i*span)));
    else
        a(i) = mean(data(round(i/span):sizeof(data)/8));
    endif
endfor
endfunction
```

#### （二）得出測站的頻譜比

```
function [logratio,ff] = logrsr(tarew,tarns,refew,refns,taper)
#匯入地震波資料
[tte,datate,ete] = fget_sac(tarew);
[ttn,datatn,etn] = fget_sac(tarns);
[tre,datare,ere] = fget_sac(refew);
[trn,datarn,ern] = fget_sac(refns);
#濾除雜訊：清除過於微小的資料
if (taper==1)
    for i = 11:sizeof(datate)/8-10
        if max(abs(datate(i-10:i+10)))<0.2
            datate(i-10:i+10)=0;
        endif
        if abs(datate(i))>500
            datate(i)=0;
        endif
    endfor
    for i = 11:sizeof(datatn)/8-10
        if max(abs(datatn(i-10:i+10)))<0.2
            datatn(i-10:i+10)=0;
        endif
        if abs(datatn(i))>500
            datatn(i)=0;
        endif
    endfor
endfunction
```

```

endfor
for i = 11:sizeof(datate)/8-10
    if max(abs(datate(i-10:i+10)))<0.2
        datate(i-10:i+10)=0;
    endif
    if abs(datate(i))>500
        datate(i)=0;
    endif
endfor
for i = 11:sizeof(datarn)/8-10
    if max(abs(datarn(i-10:i+10)))<0.2
        datarn(i-10:i+10)=0;
    endif
    if abs(datarn(i))>500
        datarn(i)=0;
    endif
endfor
endif
#將波形做平均值校正後做傅立葉分析
datate .-= mean(datate);
datatn .-= mean(datatn);
datate .-= mean(datate);
datarn .-= mean(datarn);
[mxte,phte,ffte] = sacfft(datate,tte);
[mxtn,phtn,fftn] = sacfft(datatn,ttn);
[mxre,phre,ffre] = sacfft(datate,tte);
[mxrn,phrn,ffrn] = sacfft(datarn,trn);
#將美濃地震及參考地震的頻譜相除
for i = 1:sizeof(mxte)/8
    mxt(i) = sqrt(mxte(i)*mxtn(i));
    mxr(i) = sqrt(mxre(i)*mxrn(i));
    rawratio(i) = mxt(i)/mxr(i);
endfor
#平滑化
logratio = log10(smooth(rawratio,1.1));
ff = ffte;
endfunction

```

(三) 比較頻譜比之間的差距

```
function areatotal = dirarea(up,dn,timeaxis,start,endp)
```

```

areatotal = 0;
for i = 1:sizeof(up)/8
    if (timeaxis(i)>start&&timeaxis(i)<endp)
        areatotal += (up(i)-dn(i))*(timeaxis(i+1)-timeaxis(i));
    endif
endfor
endfunction

```

## 二、分析地震波用的程式碼

### (一) 探討距離及頻譜差異的關係

```
load freqllog
```

```
#匯入地震波資料並計算出其頻譜比
```

```
[l17fr,f17ff] = logrsr("W17F.HLE.TW--.2016020519572700.00.SAC","W17F.HLN.TW.-
-.2016020519572700.00.SAC","W17F.HLE.TW.-
-.2013021906524000.00.SAC","W17F.HLN.TW--.2013021906524000.00.SAC",1);
```

```
[l190r,f190f] = logrsr("W190.HLE.TW--.2016020519572700.00.SAC","W190.HLN.TW.-
-.2016020519572700.00.SAC","W190.HLE.TW.-
-.2013021906524000.00.SAC","W190.HLN.TW--.2013021906524000.00.SAC",1);
```

```
[l143r,f143f] = logrsr("W143.HLE.TW--.2016020519572700.00.SAC","W143.HLN.TW.-
-.2016020519572700.00.SAC","W143.HLE.TW.-
-.2013021906524000.00.SAC","W143.HLN.TW--.2013021906524000.00.SAC",1);
```

```
[l135r,f135f] = logrsr("W135.HLE.TW--.2016020519572700.00.SAC","W135.HLN.TW.-
-.2016020519572700.00.SAC","W135.HLE.TW.-
-.2013021906524000.00.SAC","W135.HLN.TW--.2013021906524000.00.SAC",1);
```

```
[l116r,f116f] = logrsr("W116.HLE.TW--.2016020519572700.00.SAC","W116.HLN.TW.-
-.2016020519572700.00.SAC","W116.HLE.TW.-
-.2013021906524000.00.SAC","W116.HLN.TW--.2013021906524000.00.SAC",1);
```

```
[l118r,f118f] = logrsr("W118.HLE.TW--.2016020519572700.00.SAC","W118.HLN.TW.-
-.2016020519572700.00.SAC","W118.HLE.TW.-
-.2013021906524000.00.SAC","W118.HLN.TW--.2013021906524000.00.SAC",1);
```

```
#計算測站對頻譜比的差距
```

```
a17f190 = dirarea(l17fr,l190r,llf,0,0.9)
```

```
a143135 = dirarea(l143r,l135r,llf,0,0.9)
```

```
a116118 = dirarea(l116r,l118r,llf,0,0.9)
```

```
#作圖
```

```
figure(1);
```

```
plot(llf,l17fr,"r",llf,l190r,"k");
```

```

figure(2);
plot(l1f,l143r,"r",l1f,l135r,"k");
figure(3);
plot(l1f,l116r,"r",l1f,l118r,"k");

```

(二) 探討美濃地震在不同方向造成的頻譜差異

```
load freqllog
```

```
#匯入地震波資料並計算出其頻譜比
```

```

[l115r,f115f] = logrsr("W115.HLE.TW--.2016020519572700.00.SAC","W115.HLN.TW-
-.2016020519572700.00.SAC","W115.HLE.TW-
-.2013021906524000.00.SAC","W115.HLN.TW--.2013021906524000.00.SAC",1);
[l111r,f111f] = logrsr("W111.HLE.TW--.2016020519572700.00.SAC","W111.HLN.TW-
-.2016020519572700.00.SAC","W111.HLE.TW-
-.2013021906524000.00.SAC","W111.HLN.TW--.2013021906524000.00.SAC",1);
#匯入其他地震波資料的程式碼省略

```

```
#計算每一群測站的平均頻譜比
```

```

for i = 1:32769
seavg(i) = mean([l115r(i),l111r(i),l116r(i),l118r(i)]);
sestd(i) = std([l115r(i),l111r(i),l116r(i),l118r(i)]);
nwavg(i) = mean([l005r(i),l224r(i),l225r(i)]);
nwstd(i) = std([l005r(i),l224r(i),l225r(i)]);
swavg(i) = mean([l142r(i),l149r(i),l136r(i),l13br(i),l135r(i)]);
swstd(i) = std([l142r(i),l149r(i),l136r(i),l13br(i),l135r(i)]);
neavg(i) = mean([l075r(i),l082r(i),l199r(i),l208r(i),l204r(i),l190r(i),l193r(i),l201r(i)]);
nestd(i) = std([l075r(i),l082r(i),l199r(i),l208r(i),l204r(i),l190r(i),l193r(i),l201r(i)]);
endfor

```

```
#作圖
```

```

plot(l1f,nwavg,"r",l1f,seavg,"k",l1f,swavg,"b",l1f,neavg,"m");
figure(2);
plot(l1f,nwavg,"r",l1f,nwavg+nwstd,"r",l1f,nwavg-
nwstd,"r",l1f,seavg,"k",l1f,seavg+sestd,"k",l1f,seavg-
sestd,"k",l1f,swavg,"b",l1f,swavg+swstd,"b",l1f,swavg-
swstd,"b",l1f,neavg,"m",l1f,neavg+nestd,"m",l1f,neavg-nestd,"m");

```

(三) 討論美濃地震的破裂方向

```
load freqllog
```

```
#匯入地震波資料並計算出其頻譜比
```

```
[l192r,f192f] = logrsr("W192.HLE.TW--.2016020519572700.00.SAC","W192.HLN.TW-
-.2016020519572700.00.SAC","W192.HLE.TW-
-.2013021906524000.00.SAC","W192.HLN.TW--.2013021906524000.00.SAC",1);
[l237r,f237f] = logrsr("W237.HLE.TW--.2016020519572700.00.SAC","W237.HLN.TW-
-.2016020519572700.00.SAC","W237.HLE.TW-
-.2013021906524000.00.SAC","W237.HLN.TW--.2013021906524000.00.SAC",1);
#匯入其他地震波資料的程式碼省略
```

```
#計算不同測站對的指標
```

```
iW192W142r = dirarea(lW192r,lW142r,llfs,0,0.9); ii(1) = iW192W142r; azimuth(1) =
353.98 ;
```

```
iW192W149r = dirarea(lW192r,lW149r,llfs,0,0.9); ii(2) = iW192W149r; azimuth(2) =
353.46 ;
```

```
#計算其他測站對指標的程式碼省略
```

```
#作圖
```

```
plot(azimuth,ii);
```

### 三、分析地震破裂方向隨時間變化的程式碼

#### (一) 抓出 S 波到時

```
function s_time = find_waves_tar(t,data)
for i = 11:sizeof(data)/8-10
if max(abs(data(i-10:i+10)))<0.13
data(i-10:i+10)=0;
endif
if abs(data(i))>500
data(i)=0;
endif
endfor
startpoint = 0;
for i = 1:sizeof(data)
if median(abs(data(i:i+50)))>0 && data(i) != 0
if t(i) >= 0
startpoint = i;
break
endif
endif
endfor
s_time = 0;
```



```

maxpoint = 1;
for j = startpoint:sizeof(data)/8
    if j+300 <= sizeof(data)/8
        if abs(data(j)) > 2*max(abs(data(startpoint:startpoint+650)))
            s_time = t(j);
            break
        endif
    endif
    if abs(data(j)) > abs(data(maxpoint))
        maxpoint = j;
    endif
endfor
if s_time == 0
    s_time = t(maxpoint-50);
endif
endfunction

```

(二) 截取要分析的時間範圍

```

function [cutdata,cuttime] = simplecut(t,data,starttime,endtime)
#濾除雜訊：清除過於微小的資料
for i = 11:sizeof(data)/8-10
    if max(abs(data(i-10:i+10)))<0.13
        data(i-10:i+10)=0;
    endif
    if abs(data(i))>500
        data(i)=0;
    endif
endfor
#擷取資料
count = 0;
cutdata = [];
cuttime = [];
for i = 1:sizeof(data)/8
    if t(i) >= starttime
        if t(i) < endtime
            count += 1;
            cutdata(count) = data(i);
            cuttime(count) = t(i)-starttime;
        endif
    endif
endfor

```

```
endfor
```

```
endfunction
```

(三) 擷取波形並計算頻譜比

```
function [logratio,ff] = logsrcut_s_wave_tarfast(tarew,tarns,refew,refns,startcut,endcut)
```

```
#匯入地震波資料
```

```
[ntte,ndatate,ete] = fget_sac(tarew);
```

```
[nttn,ndatatn,etn] = fget_sac(tarns);
```

```
[ntre,ndatare,ere] = fget_sac(refew);
```

```
[ntrn,ndatarn,ern] = fget_sac(refns);
```

```
#抓出地震波的 S 波到時
```

```
ste = find_waves_tar(ntte,ndatate);
```

```
stn = find_waves_tar(nttn,ndatatn);
```

```
sre = find_waves_tar(ntre,ndatare);
```

```
srn = find_waves_tar(ntrn,ndatarn);
```

```
#擷取波形
```

```
[datate,tte] = simplecutfast(ntte,ndatate,ste+startcut,ste+endcut);
```

```
[datatn,ttn] = simplecutfast(nttn,ndatatn,stn+startcut,stn+endcut);
```

```
[datare,tre] = simplecutfast(ntre,ndatare,sre+startcut,sre+endcut);
```

```
[datarn,trn] = simplecutfast(ntrn,ndatarn,srn+startcut,srn+endcut);
```

```
#將波形做平均值校正後做傅立葉分析
```

```
datate .-= mean(datate);
```

```
datatn .-= mean(datatn);
```

```
datare .-= mean(datare);
```

```
datarn .-= mean(datarn);
```

```
[mxte,phte,ffte] = sacfft(datate,tte);
```

```
[mxtn,phtn,fftn] = sacfft(datatn,ttn);
```

```
[mxre,phre,ffre] = sacfft(datare,tre);
```

```
[mxrn,phrn,ffrn] = sacfft(datarn,trn);
```

```
#將美濃地震及參考地震的頻譜相除
```

```
mxt = sqrt(mxte.*mxtn);
```

```
mxr = sqrt(mxre.*mxrn);
```

```
mxr(mxr==0) = mean(mxr);
```

```
rawratio = mxt ./ mxr;
```

```
#平滑化
```

```
logratio = log10(smooth(rawratio,1.1));
```

```
ff = ffte;
```

```
endfunction
```

(四) 計算每個測站對指標隨時間的變化

```
for i = 0:12
```

```

#匯入地震波資料並計算出其頻譜比
[IW192r,fW192f] = logsrcut_s_wave_tarfast("W192.HLE.TW-
-.2016020519572700.00.SAC", "W192.HLN.TW-
-.2016020519572700.00.SAC", "W192.HLE.TW-
-.2013021906524000.00.SAC", "W192.HLN.TW-
-.2013021906524000.00.SAC",0.5*i,3+0.5*i);
[IW237r,fW237f] = logsrcut_s_wave_tarfast("W237.HLE.TW-
-.2016020519572700.00.SAC", "W237.HLN.TW-
-.2016020519572700.00.SAC", "W237.HLE.TW-
-.2013021906524000.00.SAC", "W237.HLN.TW-
-.2013021906524000.00.SAC",0.5*i,3+0.5*i);
#匯入其他地震波資料的程式碼省略

#計算不同測站對的指標
iW192W142r = dirarea(IW192r,IW142r,llfs,0,0.9); ii(1) = iW192W142r; azimuth(1) =
353.98 ;
iW192W149r = dirarea(IW192r,IW149r,llfs,0,0.9); ii(2) = iW192W149r; azimuth(2) =
353.46 ;
#計算其他測站對指標的程式碼省略

#繪圖並匯出圖片
figure(i+1);
plot(azimuth, ii, "linestyle", "none", "marker" , "o");
axis([260,360,-0.5,2])
print("-dpng",["tarcuttime ",num2str(0.5*i)," to ",num2str(0.5*i+3),".png"])

endfor

```

## 【評語】 180006

1. 這是很有趣的研究，方法有創意，對所研究之物理現象有清晰的了解。
2. 實驗步驟說明完整，過程嚴謹可行。所得結果明確也值得繼續深入。
3. 對結果圖表之解釋薄弱，不容易簡單的看出結果。此部分宜加強說明。
4. 討論的部分未能充分發揮，宜輔以地質構造幫忙解釋。
5. 單討論美濃地震已足夠。其他地震之討論非屬必要，也破壞文章的流暢完整。