

國立中央大學

統計研究所
碩士論文

台灣強震寧靜之探討

指導教授：陳玉英博士

研究生：蔡季樺

中華民國九十二年六月



國立中央大學圖書館 碩博士論文授權書

(91年5月最新修正版)

本授權書所授權之論文全文與電子檔，為本人於國立中央大學，撰寫之碩/博士學位論文。(以下請擇一勾選)

()同意 (立即開放)

()同意 (一年後開放)，原因是：_____

()同意 (二年後開放)，原因是：_____

()不同意，原因是：_____

以非專屬、無償授權國立中央大學圖書館與國家圖書館，基於推動讀者間「資源共享 互惠合作」之理念，於回饋社會與學術研究之目的，得不限地域、時間與次數，以紙本、光碟、網路或其它各種方法收錄、重製、與發行，或再授權他人以各種方法重製與利用。以提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

研究生簽名： 蔡季樺

論文名稱： 台灣強震寧靜之探討

指導教授姓名： 陳玉英 博士

系所： 統計 所 博士 碩士班

學號： 90225006

日期：民國 92 年 6 月 27 日

備註：

1. 本授權書請填寫並親筆簽名後，裝訂於各紙本論文封面後之次頁(全文電子檔內之授權書簽名，可用電腦打字代替)。
2. 請加印一份單張之授權書，填寫並親筆簽名後，於辦理離校時交圖書館(以統一代轉寄給國家圖書館)。
3. 讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印上列論文，應依著作權法相關規定辦理。

摘要

本文針對台灣地區 1998 年至 2002 年 3 月止，震源深度在 40 公里以內，規模 6.0 以上之 10 筆強震，進行前兆式地震寧靜的研究。本文除了探索強震前可能的地震頻率的改變，也研究 b 值的改變。若是強震前有此現象，則進一步探討此一前兆式地震寧靜的發生，可能與地質、地形或是強震規模的關係。

結果發現由地震的規模及領先時間相關。將規模及領先時間分別依各地區，以最小平方法配適迴歸線，西部地區的規模及領先時間呈現負相關，東北地區的規模及領先時間呈現正相關。西部地區的地震屬於陸型地震，較不常發生地震；東北地區的地震屬於海上地震，且東北地區地形為板塊的隱沒帶，屬於地震好發帶。因此，西部地區會持續累積能量，東北地區則是會經常發生小地震而將能量釋放，所以領先時間越長，西部地區會累積規模較大的地震，東北地區則是能量會被從寧靜前兆到強震發生的期間內陸續發生的小地震釋放，所以地震的規模就會較小。

目錄

第一章、緒論.....	1
1.1 研究動機與目的.....	1
1.2 研究資料.....	2
第二章、研究方法.....	4
2.1 完整地震資料判別.....	4
2.2 地震頻率改變之檢定.....	5
2.3 b 值改變之檢定.....	8
第三章、資料分析.....	12
3.1 西部地區.....	12
3.2 東北地區.....	14
3.3 東南地區.....	17
第四章、分析結果綜合整理與討論.....	18
4.1 綜合整理.....	18
4.2 討 論.....	20
第五章、結論.....	22
參考文獻.....	23

表目錄

表一、台灣地區自 1998 年至 2002 年 3 月發生芮氏規模大於 6，震源深度小於 40 公里之 10 個地震參數	3
表二、地震頻率及 b 值改變時間.....	18
表三、前兆式寧靜領先時間(單位:月)及強震規模.....	20

圖目錄

圖一、台灣地區自 1998 年至 2002 年 3 月發生芮氏規模大於 6，震源深度小於 40 公里之 10 個地震的分布圖	24
圖二、台灣地區自 1998 年至 2002 年 3 月發生芮氏規模大於 6，震源深度小於 40 公里之 10 個地震的地震頻率—規模關係	25
圖三、台灣地區自 1998 年至 2002 年 3 月發生芮氏規模大於 6，震源深度小於 40 公里之 10 個地震於地震發生前的規模—時間圖。	26
圖四 兩段(TS)比較的時間分配	5
圖五 圖五 視窗外(WIO)比較的時間分配	6
圖六 移動視窗(MW)比較的時間分配 圖.....	7
圖七 雙移動視窗(TMW)比較的時間分配	8
圖八、地震區(1):1998/7/17，規模 $M = 6.2$ ，西部地區，($23.50^{\circ}N$ ， $120.66^{\circ}E$)，地震頻率 $Z(t)$ 的變化	28
圖九、地震區(1):1998/7/17，規模 $M = 6.2$ ，西部地區，($23.50^{\circ}N$ ， $120.66^{\circ}E$)，標準化 b 值 $Z_b(t)$ 及 b 值改變機率 $Sign(1-P)$	29
圖十、地震區(2): 1999/9/20，規模 $M = 7.3$ ，西部地區，($23.85^{\circ}N$ ， $120.82^{\circ}E$)，地震頻率 $Z(t)$ 的變化	30
圖十一、地震區(2): 1999/9/20，規模 $M = 7.3$ ，西部地區，($23.85^{\circ}N$ ， $120.82^{\circ}E$)，標準化 b 值 $Z_b(t)$ 及 b 值改變機率 $Sign(1-P)$	31
圖十二、地震區(4): 2000/6/10，規模 $M = 6.7$ ，西部地區，($23.90^{\circ}N$ ， $121.11^{\circ}E$)，地震頻率 $Z(t)$ 的變化	32
圖十三、地震區(4): 2000/6/10，規模 $M = 6.7$ ，西部地區，($23.90^{\circ}N$ ， $121.11^{\circ}E$)，標準化 b 值 $Z_b(t)$ 及 b 值改變機率 $Sign(1-P)$	33
圖十四、地震區(5): 2000/7/28，規模 $M = 6.1$ ，西部地區，($23.41^{\circ}N$ ， $120.93^{\circ}E$)，地震頻率 $Z(t)$ 的變化	34
圖十五、地震區(5): 2000/7/28，規模 $M = 6.1$ ，西部地區，($23.41^{\circ}N$ ， $120.93^{\circ}E$)，標準化 b 值 $Z_b(t)$ 及 b 值改變機率 $Sign(1-P)$	35
圖十六、地震區(6): 2000/9/10，規模 $M = 6.2$ ，東北地區，($24.09^{\circ}N$ ， $121.58^{\circ}E$)，地震頻率 $Z(t)$ 的變化	36
圖十七、地震區(6): 2000/9/10，規模 $M = 6.2$ ，東北地區，($24.09^{\circ}N$ ， $121.58^{\circ}E$)，標準化 b 值 $Z_b(t)$ 及 b 值改變機率 $Sign(1-P)$	37
圖十八、地震區(7): 2001/6/14，規模 $M = 6.3$ ，東北地區，($24.42^{\circ}N$ ， $121.93^{\circ}E$)，地震頻率 $Z(t)$ 的變化	38
圖十九、地震區(7): 2001/6/14，規模 $M = 6.3$ ，東北地區，($24.42^{\circ}N$ ， $121.93^{\circ}E$)，標準化 b 值 $Z_b(t)$ 及 b 值改變機率 $Sign(1-P)$	39
圖二十、地震區(8): 2001/12/18，規模 $M = 6.7$ ，東北地區，($23.87^{\circ}N$ ， $122.65^{\circ}E$)，地震頻率 $Z(t)$ 的變化	40

圖二十一、地震區(8): 2001/12/18 , 規模 $M = 6.7$, 東北地區 ,($23.87^{\circ}N$, $122.65^{\circ}E$), 標準化 b 值 $Z_b(t)$ 及 b 值改變機率 $\text{Sign}(1-P)$	41
圖二十二、地震區(9): 2002/2/12 , 規模 $M = 6.2$, 東北地區 ,($23.74^{\circ}N$, $121.72^{\circ}E$), 地震頻率 $Z(t)$ 的變化	42
圖二十三、地震區(9): 2002/2/12 , 規模 $M = 6.2$, 東北地區 ,($23.74^{\circ}N$, $121.72^{\circ}E$), 標準化 b 值 $Z_b(t)$ 及 b 值改變機率 $\text{Sign}(1-P)$	43
圖二十四、地震區(10): 2002/3/31 , 規模 $M = 6.8$, 東北地區 ,($24.14^{\circ}N$, $122.19^{\circ}E$), 地震頻率 $Z(t)$ 的變化	44
圖二十五、地震區(10): 2002/3/31 , 規模 $M = 6.8$, 東北地區 ,($24.14^{\circ}N$, $122.19^{\circ}E$), 標準化 b 值 $Z_b(t)$ 及 b 值改變機率 $\text{Sign}(1-P)$	45
圖二十六、地震區(3): 1999/11/1 , 規模 $M = 6.9$, 東南地區 ,($23.36^{\circ}N$, $121.73^{\circ}E$), 地震頻率 $Z(t)$ 的變化	46
圖二十七、地震區(3): 1999/11/1 , 規模 $M = 6.9$, 東南地區 ,($23.36^{\circ}N$, $121.73^{\circ}E$), 地震頻率 $Z(t)$ 的變化標準化 b 值 $Z_b(t)$ 及 b 值改變機率 $\text{Sign}(1-P)$	47
圖二十八、地震寧靜前兆的領先時間	48

第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

台灣位處於環太平洋地震帶上，由於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊在此交接，地震活動相當頻繁，經常造成生命財產重大的損失。地震的發生舊時認為是地牛翻身，事實上，大部分的地震是由於地球板塊活動而引起的。

長久以來，地震帶給人們的威脅，不僅是在地貌、建築上的破壞；還有人們心中無形的陰影。遺憾的是，對於地震，人們至今仍束手無策，僅能加強防震工程的研究，或是震災營救的訓練。至目前為止，科學家尚無法預測地震。雖然有人相信動物在震前會有異常表現，可藉以預測地震，但是卻未經數據統計證實。從 70 年代初期開始，美國、蘇俄、日本及中國的科學家們都急於尋找地震前兆。在研究的過程中，各種探測技術，例如觀測地殼變動、地磁及地電流的變化、地下水位及水質的變化等方法紛紛被提出。但是相關的地震前兆研究仍在進行之中，至今並無整合前兆訊息進行地震預測的文獻（Geller et al., 1997; Wyss et al., 1997）。

除上述與地震目錄無關的可能地震前兆之外，也有地震學家企圖自地震的發生頻率及相關地震特性尋求可能的地震前兆（Simpson & Richards, 1981）。延續空間上地震溝（seismic gap）的概念，在時間上亦有地震寧靜（seismic quiescence）的想法。地震溝究竟是未來地震發生的可能地區或是地震不可能發生的地區，尚有爭議。相同的，

地震區的強震發生前是否具有頻率下降的寧靜出現，亦尚未有定論。美日地震學家 (Habermann, 1980; Ohtake et al., 1981; Wyss & Habermann, 1988; Wyss & Wiemer, 1994) 探索某些強震之前是否具有地震寧靜，結果發現地震寧靜確實出現在未來強震震央附近，但是有些所謂的地震寧靜區卻無地震發生。此外，Wyss & Wiemer (1997) 發現較小的 b 值 (Gutenberg & Richter, 1954) 的區域，可能是未來強震發生的可能地區。綜言之，上述皆為回顧式 (retrospective) 研究，採用的統計方法是檢定地震前兩期資料地震發生率或 b 值的差異。

雖然美日學者曾探索該國地震寧靜的現象，台灣卻缺乏這方面的研究。因此，本文擬針對 1996 年至 2002 年 3 月止，震源深度在 40 公里以內，規模 6.0 以上強震，進行前兆式地震寧靜的研究。本文除了探索強震前可能的地震發生率的改變，也研究 b 值的改變。若是強震前有此現象，則將進一步研究，此一前兆式地震寧靜的發生，可能與地質、地形或是強震規模的關係。

1.2 研究資料

根據台灣地形及地質結構，將台灣分為三個不同地震區域 (圖一)，包括 (1) 西部地區(W)，(2) 東北地區(NE)，及 (3) 東南地區(SE) (Tsai et al., 1977)。再根據中央氣象局紀錄 1998 年 1 月 1 日到 2002 年 3 月 31 日的台灣地震目錄，得知在上述三個區域中發生規模大於 6，且震源深度小於 40 公里之地震計有 10 筆，其中西部地區

有 4 筆，東北地區有 5 筆，東南地區則有 1 筆。這些地震依發生時間順序標上序號列於表一，並以菱形註記其震央於圖一。

表一、台灣地區自 1998 年至 2002 年 3 月發生芮氏規模大於 6，震源深度小於 40 公里之 10 個地震參數。

	年	月	日	時	分	秒	緯度	經度	深度	芮氏規模
1	1998	7	17	4	51	14.96	23.5	120.66	2.8	6.2
2	1999	9	20	17	47	15.85	23.85	120.82	8	7.3
3	1999	11	1	17	53	2.25	23.36	121.73	31.33	6.9
4	2000	6	10	18	23	29.45	23.9	121.11	16.21	6.7
5	2000	7	28	20	28	7.72	23.41	120.93	7.35	6.1
6	2000	9	10	8	54	46.53	24.09	121.58	17.74	6.2
7	2001	6	14	2	35	25.78	24.42	121.93	17.29	6.3
8	2001	12	18	4	3	0.75	23.87	122.65	12	6.7
9	2002	2	12	3	27	25	23.74	121.72	29.98	6.2
10	2002	3	31	6	52	49.95	24.14	122.19	13.81	6.8

本文將分區進行前兆式地震寧靜的研究，惟研究中的地震資料必須完整記錄。經過規模—頻率關係的檢驗，獲得各區完整記錄的原始資料。本文就完整記錄的原始資料進行強震前地震寧靜的研究。

第二章 研究方法

2.1 完整地震資料判別

Gutenberg & Richter (1954) 提出地震規模大於或等於 M 的地震個數， $N(M)$ ，與 M 滿足下述關係：

$$\log N(M) = a - bM \quad (2.1)$$

其中 a 、 b 為常數。在此規模—頻率關係之下，若地震目錄完整記錄時， $\log N(M)$ 與 M 將呈現直線關係。因此，檢驗各區地震的規模—頻率關係，不呈線性關係的最大規模即為完整地震目錄的規模下限。

經由規模—頻率關係，發現西部地區完整地震目錄的規模下限為 2.0 (圖二(a))；東北地區完整地震目錄的規模下限為 3.0 (圖二(b))；東南地區完整地震目錄的規模下限為 3.0 (圖二(c))。選取以 10 筆強震震央為中心，向外擴展一個 40 公里×40 公里的矩形區域。在各地震區內，自 1994 年 1 月 1 日起至各強震發生時間之前所發生的完整地震筆數為 622，590，192，4644，3554，892，1079，554，393 及 412。各地震之時間—規模圖可以看出地震發生時間及地震規模的情形 (圖三)。

2.2 地震發生率改變之檢定

兩段比較

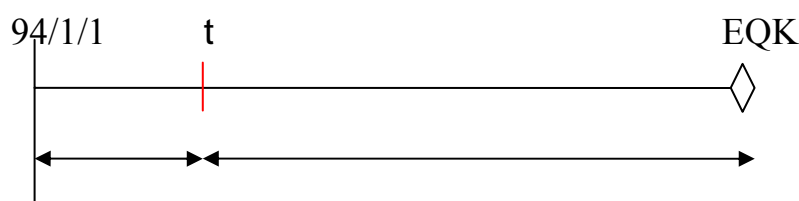
假設強震前以時間 t 為界，將全期分成二個時段，各具 n_1 及 n_2 個月。令 $R_{1i}, i = 1, \dots, n_1$ 及 $R_{2j}, j = 1, \dots, n_2$ 為此二時段每月地震發生次數。再令 R_1 為 n_1 個月的平均地震發生率， R_2 為 n_2 個月的平均地震發生率。則比較 n_1 個月與 n_2 個月的地震發生率改變之檢定統計量為

$$z(t) = (R_2 - R_1) / (\sigma_1^2 / n_1 + \sigma_2^2 / n_2)^{1/2} \quad (2.2)$$

其中 σ_1^2 和 σ_2^2 分別是 n_1 個月及 n_2 個月地震發生率的變異數，亦即

$$\sigma_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (R_{1i} - R_1)^2}{(n_1 - 1)}$$
$$\sigma_2^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_2} (R_{2j} - R_2)^2}{(n_2 - 1)}$$

此一檢定稱為兩段 (Two-segment, TS) 比較 (Habermann, 1981) (圖四)。如果 $z(t)$ 明顯下降，則表示時間 t 之後的地震發生率低於時間 t 之前的地震發生率。若此下降變化顯著，則判斷為地震寧靜，在此，依兩倍標準差作為顯著下降的標準，值約為 2 (兩倍標準差為 1.96)。



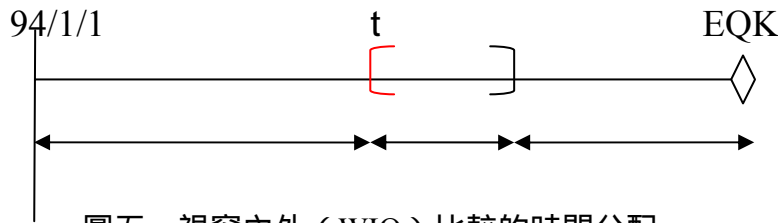
圖四、兩段 (TS) 比較的時間分配。

視窗內外比較

為避免視窗背景的重合，本文建議視窗內外（Window in & out, WIO）的比較（圖五）。若視窗內外的月數為 n_w 及 $n_{\bar{w}}$ ，其平均地震發生率為 R_w 及 $R_{\bar{w}}$ ，則 WIO 的檢定統計量為

$$z(t) = (R_w - R_{\bar{w}}) / (\sigma_w^2 / n_w + \sigma_{\bar{w}}^2 / n_{\bar{w}})^{1/2} \quad (2.3)$$

其中 σ_w^2 及 $\sigma_{\bar{w}}^2$ 為視窗內外地震月發生次數的變異數。如果 $z(t)$ 顯著下降，則表示以時間 t 開始的一個視窗內地震與視窗外之地震比較，視窗內地震發生率顯著降低，即為地震寧靜。

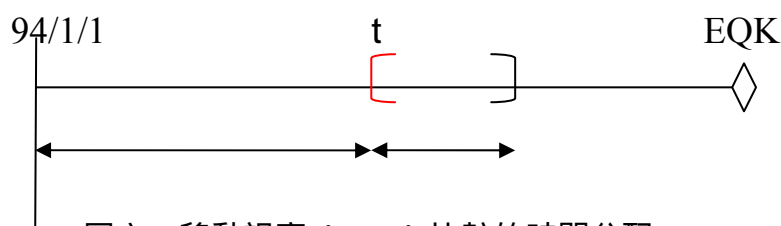


移動視窗比較

以上所述的兩段比較及視窗內外比較，均是已知強震發生之時間，就此強震震央附近尋找地震發生前可能的地震寧靜，屬於回顧式的方法。為進行前瞻性（prospective）研究，本文建議比較視窗內及視窗前的兩段期間，此種方法稱為移動視窗（Moving window, MW）比較（圖六），其統計量為

$$z(t) = (R_w - R_{bw}) / (\sigma_w^2 / n_w + \sigma_{bw}^2 / n_{bw})^{1/2} \quad (2.4)$$

其中 R_w 和 R_{bw} 分別是視窗內及視窗前的平均月地震發生率， n_w 和 n_{bw} 為視窗內及視窗前的月數， σ_w^2 和 σ_{bw}^2 則為視窗內及視窗前月地震發生次數的變異數。如果 $z(t)$ 明顯下降，則表示以 t 為起點的一個視窗時期的地震相對於發生在此視窗以前的地震，其地震發生率明顯降低，若此下降變化顯著，則宣稱視窗內具有顯著的地震寧靜。



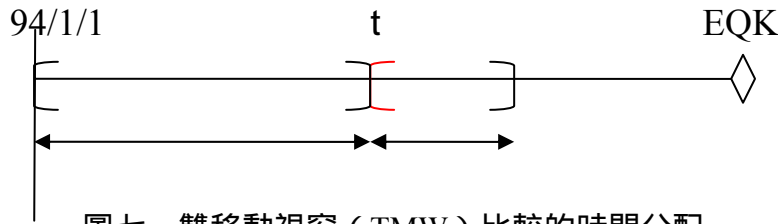
圖六、移動視窗 (MW) 比較的時間分配。

雙移動視窗比較

比較視窗內及視窗前的一段視窗，兩段視窗包含的時間都是固定，並會隨時間改變而改變，此種方法稱為雙移動視窗 (Two moving window, TMW) 比較 (圖七)，其統計量為

$$z(t) = (R_w - R_{bw}) / (\sigma_w^2 / n_w + \sigma_{bw}^2 / n_{bw})^{1/2} \quad (2.5)$$

其中 R_w 和 R_{bw} 分別是視窗內及視窗前的一段視窗之平均月地震發生率， n_w 和 n_{bw} 為視窗內及視窗前的的一段視窗之月數， σ_w^2 和 σ_{bw}^2 則為視窗內及視窗前的一段視窗之月地震發生次數的變異數。如果 $z(t)$ 明顯下降，則表示以 t 為起點的一個視窗時期的地震相對於發生在此視窗以前的一段視窗之地震，其地震發生率明顯降低，若此下降變化顯著，則宣稱視窗內具有顯著的地震寧靜。



圖七、雙移動視窗 (TMW) 比較的時間分配。

2.3 b 值改變之檢定

地震頻率—規模關係 (Gutenberg & Richter, 1994) 中的 b 值反應的是小規模地震相對於大規模地震的頻率，因此，b 值也代表小規模地震與大規模地震的相對風險。除 2.2 節所述的視窗背景比較，本文考慮利用兩段比較，視窗內外比較及移動視窗比較進行 b 值改變的檢定。

兩段比較

假設強震前以時間 t 為界將全期分成前後兩段，各具 n_1 及 n_2 個地震。令 b_1 及 b_2 分別為前段及後段時期的 b 值， $M_{1i}, i = 1, \dots, n_1$ 和 $M_{2j}, j = 1, \dots, n_2$ 分別為前段及後段時期的地震之規模，再令 M_1 為 n_1 個地震中的最小規模， M_2 為 n_2 個地震中的最小規模。則 b 值改變的檢定統計量為

$$zb(t) = (b_2 - b_1) / (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{1/2} \quad (2.6)$$

$$\text{其中 } b_1 = \frac{n_1}{\log(10) \times \sum_{i=1}^{n_1} (M_{1i} - M_1)}, \quad b_2 = \frac{n_2}{\log(10) \times \sum_{j=1}^{n_2} (M_{2j} - M_2)},$$

σ_1^2 和 σ_2^2 則分別是前段時期及後段時期 b 值的變異數，亦即

$$\sigma_1^2 = \left(2.3 \times b_1 \times \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (M_{1i} - M_1)^2}{n_1(n_1 - 1)} \right)^2$$

$$\sigma_2^2 = \left(2.3 \times b_2 \times \frac{\sum_{j=1}^{n_2} (M_{2j} - M_2)^2}{n_2(n_2 - 1)} \right)^2$$

此一檢定稱為兩段 (Two-segment, TS) 比較。至於 b 值改變的顯著性，計算 b_1 與 b_2 相同的機率 P 值 (Utsu, 1992)

$$P = \exp(-dA/2 - 2) \quad (2.7)$$

其中

$$dA = -2(n_1 + n_2) \ln(n_1 + n_2) + 2n_1 \ln(n_2 b_1 / b_2 + n_1) + 2n_2 \ln(n_1 b_2 / b_1 + n_2) - 2$$

因此，(1-P) 即為 b_1 與 b_2 不同的機率。當 $b_1 < b_2$ 時，後期發生小規模地震之風險比前期大，令 $\text{Sign}(1-P) = (1-P)$ ；當 $b_1 \geq b_2$ 時，後期發生小規模地震之風險比前期小，令 $\text{Sign}(1-P) = -(1-P)$ 。如此，可以藉由 $\text{Sign}(1-P)$ 衡量 b 值改變的顯著性。若 $\text{Sign}(1-P)$ 大於 0.95 或小於 -0.95 皆代表 b 值的顯著改變 (顯著水準 0.05 之下)。當 $\text{Sign}(1-P)$ 自顯著正數急降為

顯著負數，代表後期小規模地震風險急遽下降，則未來強震可能發生於此一地震區，故判斷為地震寧靜的結束或是地震規模風險增加時期。

視窗內外比較

以時間 t 開始一段時期為視窗，若視窗內外的 b 值分別為 b_w 及 $b_{\bar{w}}$ ，則視窗內外比較 (WIO) 的檢定統計量為

$$zb(t) = (b_{\bar{w}} - b_w) / (\sigma_w^2 + \sigma_{\bar{w}}^2)^{1/2} \quad (2.8)$$

其中 σ_w^2 及 $\sigma_{\bar{w}}^2$ 為視窗內外 b 值的變異數。如果 $Zb(t)$ 的 $\text{Sign}(1-P)$ 明顯下降，則表示以時間 t 開始的一段視窗內的 b_w 與視窗之外的 $b_{\bar{w}}$ 不相同，並且相對於視窗外，視窗內的小規模地震的相對風險顯著降低。

移動視窗比較

前瞻性的移動視窗 (Moving window, MW) 比較之統計量為

$$zb(t) = (b_{b_w} - b_w) / (\sigma_w^2 + \sigma_{b_w}^2)^{1/2} \quad (2.9)$$

其中 b_w 和 b_{b_w} 分別是視窗內及視窗前的 b 值， σ_w^2 和 $\sigma_{b_w}^2$ 則為視窗內及視窗前 b 值的變異數。如果 $Zb(t)$ 的 $\text{Sign}(1-P)$ 顯著下降，則表示以時間 t 開始的一段視窗內的 b_w 與此視窗之前的顯著不同，並且相對於視窗之前，視窗之內的大規模地震風險相對顯著上升。所以， b 值的移動

視窗比較顯示此一視窗內已具有顯著訊息，指出該地震區未來將發生強震。

雙移動視窗比較

雙移動視窗 (Two moving window, TMW) 比較之統計量為

$$zb(t) = (b_{bw} - b_w) / (\sigma_w^2 + \sigma_{bw}^2)^{1/2} \quad (2.9)$$

其中 b_w 和 b_{bw} 分別是視窗內及視窗前的一段視窗之 b 值， σ_w^2 和 σ_{bw}^2 則為視窗內及視窗前的一段視窗之 b 值的變異數。如果 Zb(t) 的 Sign(1-P) 顯著下降，則表示以時間 t 開始的一段視窗內的 b_w 與此視窗之前一段視窗的 b_{bw} 顯著不同，並且相對於視窗之前的一段視窗，視窗之內的大規模地震風險相對顯著上升。所以，b 值的雙移動視窗比較顯示此一視窗內已具有顯著訊息，指出該地震區未來將發生強震。

第三章 資料分析

本章將依不同地區，分別討論 10 個地震區的地震頻率及 b 值的改變。所採用的資料為第二章 2.1 所述，檢定方法則為第二章 2.2 及 2.3 介紹的兩段比較，內外視窗比較，移動視窗比較及雙移動視窗比較。本章所採用視窗期間為 6 個月，視窗與視窗前的時間間隔至少 3 年，而雙移動視窗中，前段視窗期間固定為 3 年。

3.1 西部地區

地震區(1)：1998/7/17，(23.50°N, 120.66°E)，規模 M = 6.2

地震頻率的兩段比較，內外視窗比較，移動視窗比較及雙移動視窗比較（圖八），都是在 97/2 有顯著下降，發現地震寧靜，時間相距主震約 1 年 5 個月。b 值的變化雖然沒有到達顯著（圖九），但仍可看出在某些時間點有比較明顯的變化。兩段比較顯示，以 97/9 為界的兩段期間，後期 b 值明顯變小，移動視窗比較則顯示，以 97/9 開始的一段視窗，視窗內 b 值相較於視窗之前 b 值明顯變小。時間相距主震約 10 個月

地震區(2)：1999/9/20，(23.85°N, 120.82°E)，規模 M = 7.3

地震頻率的兩段比較、視窗內外及移動視窗比較均在 98/11 有顯著下降，發現地震寧靜，時間距主震約為 10 個月。三種視窗比較法之地震頻率在 98/2 都有顯著下降，發現地震寧靜，時間距主震約為 1 年 7 個月（圖十）。b 值的變化雖然沒有到達顯著（圖十一），但仍可看出在某些時間點有比較明顯的變化。兩段比較顯示，以 98/5 為界的兩段期間，後期 b 值明顯變小，時間相距主震約 1 年 4 個月；視窗內外及雙移動比較均顯示，97/11 開始的一段視窗內之 b 值，有明顯變小，時間相距主震約 1 年 10 個月；移動視窗比較則顯示，98/4 開始的一段視窗內之 b 值，相較於視窗前之 b 值有明顯變小，時間相距主震約 1 年 5 個月。

地震區(4)：2000/6/10，(23.90°N, 121.11°E)，規模 M = 6.7

地震頻率的兩段比較、視窗內外比較均沒有顯著下降。移動視窗及雙移動視窗比較在 97/6 及 98/5 有顯著下降，發現地震寧靜，時間距主震分別約為 3 年及 2 年 1 個月（圖十二）。b 值的變化在兩段比較及視窗內外沒有到達顯著，移動視窗及雙移動視窗比較則在 99/4 有顯著下降（圖十三），顯示 99/4 開始的一段視窗內之 b 值，有明顯變小，時間相距主震約 1 年 2 個月。

地震區(5)：2000/7/28，(23.41°N, 120.93°E)，規模 M = 6.1

地震頻率的兩段比較、視窗內外比較均沒有顯著下降。移動視窗及雙移動視窗比較在 98/11 有顯著下降，發現地震寧靜，時間距主震分別約為 1 年 8 個月（圖十四）。b 值的變化在兩段比較及視窗內外沒有到達顯著，移動視窗及雙移動視窗比較則在 99/4 有顯著下降（圖十五），顯示 99/4 開始的一段視窗內之 b 值，有明顯變小，時間相距主震約 1 年 3 個月。

3.2 東北地區

地震區(6)：2000/9/10，(24.09°N, 121.58°E)，規模 M = 6.2

地震頻率的兩段比較沒有顯著下降。三種視窗比較法都顯示地震頻率在 98/1 有顯著下降，發現地震寧靜，時間距主震約為 2 年 8 個月。其中視窗內外比較並顯示地震頻率在 99/2 亦有顯著下降，時間距主震約為 1 年 7 個月（圖十六）。b 值的變化雖然沒有到達顯著（圖十七），但仍可看出在某些時間點有比較明顯的變化。移動視窗比較顯示，00/2 開始的一段視窗內之 b 值較視窗前之 b 值明顯變小，時間相距主震約 7 個月；雙視窗比較顯示，98/3 開始的一段視窗內之 b 值，有明顯變小，時間相距主震約 2 年 6 個月。

地震區(7)：2001/6/14，(24.42°N, 121.93°E)，規模 M = 6.3

地震頻率僅於雙移動視窗比較有顯著的變化(圖十八)，但在移動視窗及視窗內外比較也有比較明顯的變化。雙移動視窗比較顯示地震頻率在 97/8 及 99/4 有顯著下降，發現地震寧靜，時間距主震為 4 年 4 個月及 2 年 8 個月。移動視窗及視窗內外比較顯示地震頻率在 99/4 及 00/1 有明顯下降，時間距主震為 2 年 8 個月及 1 年 11 個月。b 值卻在所有比較方法都沒有到達顯著或明顯的變化(圖十九)。

地震區(8)、2001/12/18，(23.87°N, 122.65°E)，規模 M = 6.7

地震頻率的四種比較方法都顯示在 01/4 有顯著的變化(圖二十)，發現地震寧靜，時間距主震為 8 個月。b 值在所有比較方法都沒有到達顯著的變化(圖二十一)，但仍可看出在某些時間點有比較大的變化。兩段比較顯示 b 值在 99/10 有明顯下降，時間距主震約 2 年 2 個月；移動視窗比較顯示 b 值在 99/6 及 00/4 有明顯下降，時間距主震約為 2 年 6 個月及 1 年 9 個月。

地震區(9)：2002/2/12，(23.74°N, 121.72°E)，規模 M = 6.2

地震頻率的四種比較方法都顯示在 99/9 有顯著的變化（圖二十二），發現地震寧靜，時間距主震為 2 年 5 個月；其中，三種視窗比較方法均顯示在 01/2 亦有顯著下降，時間距主震為 1 年。b 值的變化僅在移動視窗比較到達顯著（圖二十三），但仍可看出在某些時間點有比較大的變化。移動視窗比較顯示 b 值在 00/6 有顯著下降，時間距主震為 1 年 8 個月；兩段比較顯示 b 值在 99/6 有明顯變化，時間距主震為 2 年 8 個月；視窗內外及雙移動視窗比較均顯示 b 值在 00/2 有明顯變化，時間距主震為 2 年。

地震區(10)：2002/3/31，(24.14°N, 122.19°E)，規模 M = 6.8

地震頻率的兩段比較及視窗內外比較顯示地震頻率在 98/7 有顯著下降，時間距主震為 3 年 8 個月；其中，三種視窗比較顯示地震頻率均在 00/7 顯著下降，發現地震寧靜，時間距主震為 1 年 8 個月；移動視窗及視窗內外比較並顯示在 99/3 時，地震頻率有顯著下降，時間距主震約 3 年（圖二十四）。b 值在所有比較方法都沒有到達顯著的變化（圖二十五），但仍可看出在某些時間點有比較大的變化。移動視窗比較顯示 b 值在 99/12 有明顯下降，時間距主震為 2 年 3 個月；視窗內外比較顯示 b 值在 01/3 有明顯下降，時間距主震為 1 年；雙移動視窗比較顯示 b 值在 00/5 有明顯下降，時間距主震為 1 年 10 個月。

3.3 東南地區

地震區(3) : 1999/11/1 , (23.36°N , 121.73°E) , 規模 M = 6.9

地震頻率的四種比較方法都顯示在 99/2 有顯著的變化 (圖二十六) , 發現地震寧靜 , 時間距主震為 9 個月 ; 其中 , 三種視窗比較方法均顯示在 97/10 亦有顯著下降 , 時間距主震為 2 年 1 個月。b 值在所有比較方法都沒有到達顯著的變化 (圖二十七) , 但仍可看出在某些時間點有比較大的變化。兩段比較顯示 b 值在 99/3 有顯著下降 , 時間距主震為 8 個月 ; 移動視窗比較顯示 b 值在 97/9 及 99/3 有顯著下降 , 時間距主震為 2 年 2 個月及 8 個月 ; 雙移動視窗比較顯示 b 值在 97/11 及 98/8 有明顯變化 , 時間距主震為 2 年及 1 年 3 個月。

第四章 分析結果綜合整理與討論

4.1 綜合整理

個別看過 10 個地震的圖形之後，將結果以表格表示之，依強震

發生時間前後順序表示（表二）。

表二、地震頻率及 b 值改變時間

方法 地震區	地震頻率				b 值			
	TS	WIO	MW	TMW	TS	WIO	MW	TMW
1998/7/17, M = 6.2 西部地區 (23.50°N, 120.66°E)	97/2*	97/2*	97/2*	97/2*	NA (97/9)	NA (97/9)	NA (97/9)	NA (97/9)
1999/9/20, M = 6.3 西部地區 (23.85°N, 120.82°E)	98/11	98/2* 98/11	98/2* 98/11	98/2*	NA (98/2)	NA (98/4)	NA (97/11)	NA (97/11)
1999/11/1, M = 6.9 東南地區 (23.36°N, 121.73°E)	NA (99/2)	NA (97/10*) (99/2)	NA (97/10*) (99/2)	NA (97/10*) (99/2)	NA (99/3)	NA	NA (97/9) (99/3)	NA (97/11) (98/8)
2000/6/10, M = 6.7 西部地區 (23.90°N, 121.11°E)	NA	NA	97/6 98/5*	97/6 98/5*	NA	NA	99/4	99/4
2000/7/28, M = 6.1 西部地區 (23.41°N, 120.93°E)	NA	NA	98/11*	98/11*	NA	NA	99/4	99/4
2000/9/10, M = 6.2 東北地區 (24.09°N, 121.58°E)	NA	98/1* 99/2	98/1*	98/1*	NA	NA	NA (00/2)	NA (98/3)
2001/6/14, M = 6.2 東北地區 (24.42°N, 121.93°E)	NA	NA (99/4) (00/1*)	NA (99/4) (00/1*)	97/8 99/4	NA	NA	NA	NA (99/2)

地震區	方法	地震頻率				b 值			
		TS	WIO	MW	TMW	TS	WIO	MW	TMW
2001/12/18, M = 6.7 東北地區 (23.87°N, 122.65°E)		01/4*	01/4*	01/4*	01/4*	NA (99/10)	NA	NA (99/6 (00/4)	NA
2002/2/12, M = 6.2 東北地區 (23.74°N, 121.72°E)		99/9*	99/9* 01/2	99/9* 01/2	99/9* 01/2	NA (99/6)	NA (00/2)	00/6	NA (00/2)
2002/3/31, M = 6.8 東北地區 (24.14°N, 122.19°E)		98/7	99/3 00/7*	99/3 00/7*	98/7 00/7*	NA	NA (01/3)	NA (99/12)	NA (00/5)

(NA : 地震頻率或 b 值沒有顯著改變, (): 變化未達顯著, 但為明顯變化, * : 寧靜前兆時間。)

對於 10 個強震的地震頻率，分別由兩段比較，視窗內外，移動視窗及雙移動視窗比較所得到的地震寧靜時間，有時候會得到變化時間一致的結果，依此可以判斷地震寧靜的可能發生時間。地震頻率與 b 值的變化時間比較，若 b 值發生顯著或明顯下降的時間，在地震頻率發生顯著或明顯下降的時間之後，且在 b 值下降時，地震頻率已經開始活躍，則表示在地震發生率降低之後，發生大規模地震的風險增加了，地震發生率又逐漸活躍，此時就有可能是發生大地震的前兆。因此依照地震頻率與 b 值的顯著或明顯下降的時間關係，來判斷地震寧靜前兆，得到 10 個強震的寧靜前兆時間。

4.2 討論

根據地震頻率及 b 值的變化時間可以找到地震寧靜前兆的時間，並得到各地震的領先時間（表三）。

表三、前兆式寧靜領先時間(單位:月)及強震規模

地震	東北地區				
	00/09/10 M=6.2	01/06/14 M=6.3	01/12/18 M=6.7	02/02/12 M=6.2	02/03/31 M=6.8
寧靜前兆的時間	98/1	00/1	01/4	99/9	00/7
領先時間	32	17	8	29	20

地震	西部地區				東南地區
	98/07/17 M=6.2	99/09/20 M=7.3	00/06/10 M=6.7	00/07/28 M=6.1	99/11/01 M=6.9
寧靜前兆的時間	97/2	98/2	98/5	98/11	97/10
領先時間	17	19	25	20	34

(NA:沒有找到顯著或明顯下降的值，所以沒有領先時間。)

地震的規模及領先時間之間似乎有相關，且依地震發生地區有不同的情形，因此依不同地區分別將規模及領先時間，以最小平方法配適迴歸線(圖二十八)。西部地區的規模及領先時間呈現負相關，較大規模的地震，其領先時間會較短；東北地區的規模及領先時間呈現正相關，較大規模的地震，其領先時間會較長。西部地區的地震屬於陸型地震，較不常發生地震；東北地區的地震屬於海上地震，且東北地區地形為板塊的隱沒帶，屬於地震好發帶。因此，西部地區會持續累積能量，直到大地震發生，領先時間越長，累積的能量越大，地震規

模越大；東北地區則是會經常發生小地震而將能量釋放，所以領先時間越長，能量會被從寧靜前兆到強震發生的期間內陸續發生的小地震釋放，所以地震的規模就會較小。因此西部地區的領先時間與地震規模會呈負相關，而東北地區的領先時間與地震規模會呈正相關。

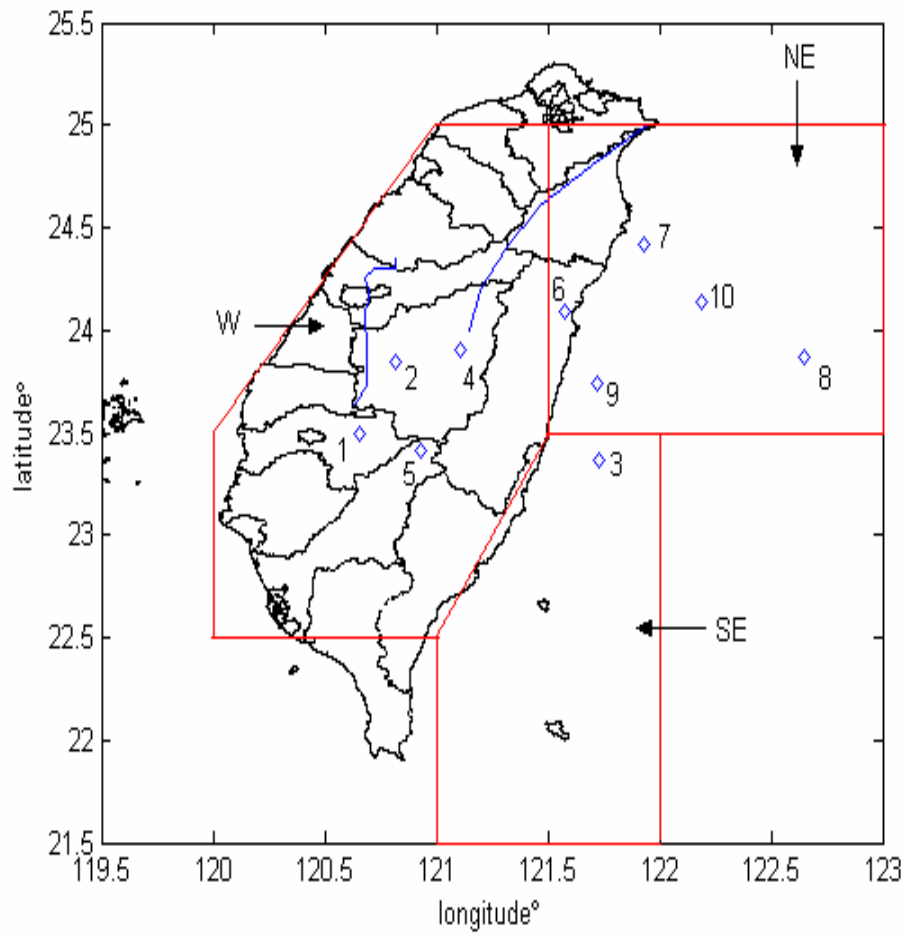
第五章 結論

對於 10 個強震地震頻率或 b 值，分別由兩段比較，視窗內外，移動視窗及雙移動視窗比較加以分析。依照地震頻率與 b 值的顯著或明顯下降的時間關係，判斷地震寧靜前兆，得到 10 個強震的寧靜前兆時間。地震的規模及領先時間之間依地震發生地區有不同的相關，因此依不同地區分別將規模及領先時間，以最小平方法配適迴歸線。西部地區的規模及領先時間呈現負相關，東北地區的規模及領先時間呈現正相關。

西部地區的地震屬於陸型地震，較不常發生地震；東北地區的地震屬於海上地震，且東北地區地形為板塊的隱沒帶，屬於地震好發帶。因此，西部地區會持續累積能量，直到大地震發生，領先時間越長，累積的能量越大，地震規模越大；東北地區則是會經常發生小地震而將能量釋放，所以領先時間越長，能量會被從寧靜前兆到強震發生的期間內陸續發生的小地震釋放，所以地震的規模就會較小。

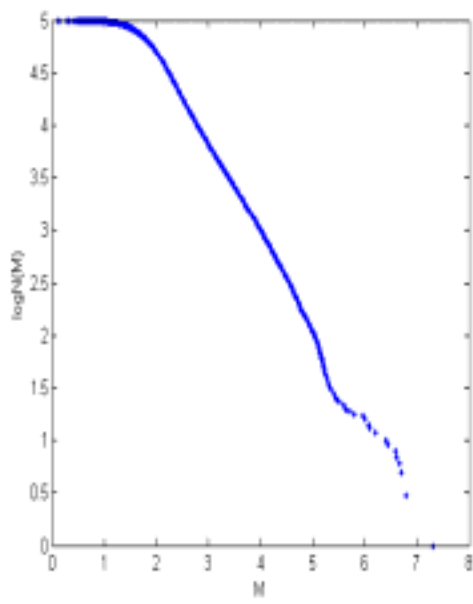
參考文獻

1. Utsu, T., On seismicity, (1992), in *Report of the Joint Research Institute for Statistical Mathematics*, 34, pp. 137-157, Inst. For Stat. Math., Tokyo, 137-157.
2. Geller R. J., Jackson, D. D ., Kagan, Y. Y., and Mulargia, F., (1977), Geoscience - Earthquakes Cannot Be Predicted, *Science*, Vol. 275, Iss. 5306, pp. 1616-1617
3. Wyss, M., (1991), *Evaluation of purposed earthquake precursors*. American Geophysical Union, Washington, DC.
4. Wyss, M., and Habermann, R. E., (1988), Precursory seismic quiescence, *Pure and Applied. Geophysics*, Vol 126, pp. 319-332.
5. Habermann, R. E., (1981), Precursory seismicity patterns: stalking the mature seismic gap, in *Earthquake Prediction, Maurice Ewing Series 4*, American Geophysical Union, Washington, D. C., 2924.
6. Wyss, M., Wiemer, S., (1994), Seismic Quiescence Before the Landers (M=7.5) and Big Bear (M=6.5) 1992 Earthquakes, *Bulletin of the seismological society of America*, Vol. 84, Iss. 3, pp. 900-916.
7. Simpson, D. W., and P. G. Richards., (1981), in *Earthquake Prediction : An International Review*, American Geophysical Union, Washington, D. C.
8. Wyss, M., Wiemer, S., (1997), Mapping Active Magma Chambers by B-Value Beneath the Off-Ito Volcano, Japan, *Journal of Geophysical research-solid earth*, Vol 102, Iss B9, pp 20413-20422.
9. Gutenberg , B., and C. F. Richter, (1954), *Seismicity of the Earth*, 2nd ed., Princeton University, Princeton, New Jersey

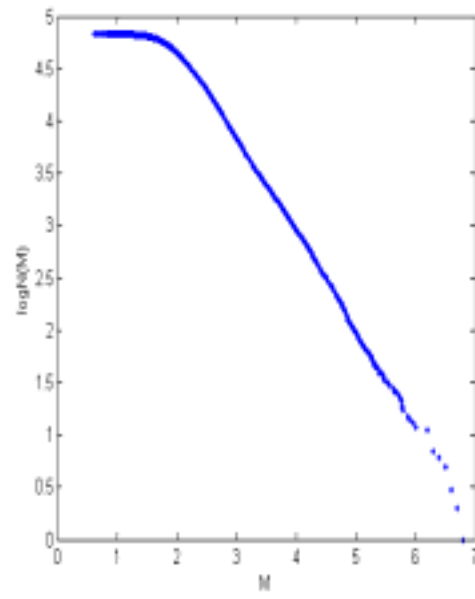


圖一、台灣地區自 1998 年至 2002 年 3 月發生芮氏規模大於 6，震源深度小於 40 公里之 10 個地震的分布圖。

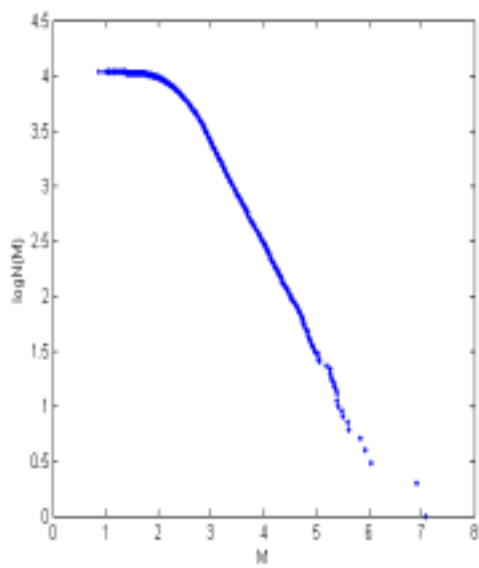
(a) 西部地區



(b) 東北地區

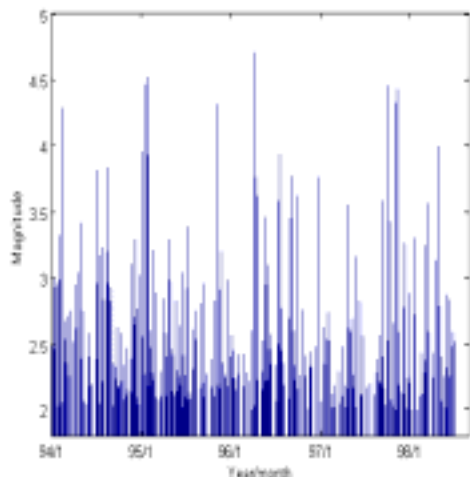


(c) 東南地區

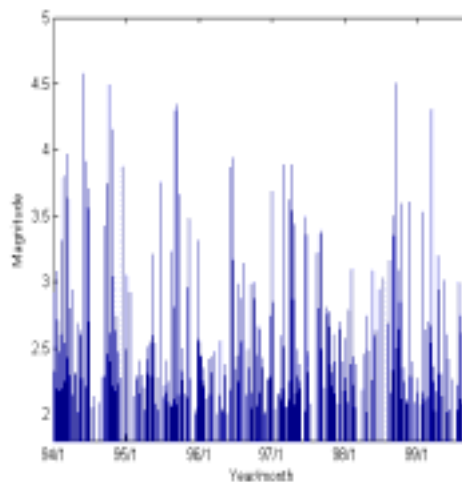


圖二、台灣地區自 1998 年至 2002 年 3 月發生芮氏規模大於 6，震源深度小於 40 公里之 10 個地震的地震頻率—規模關係。

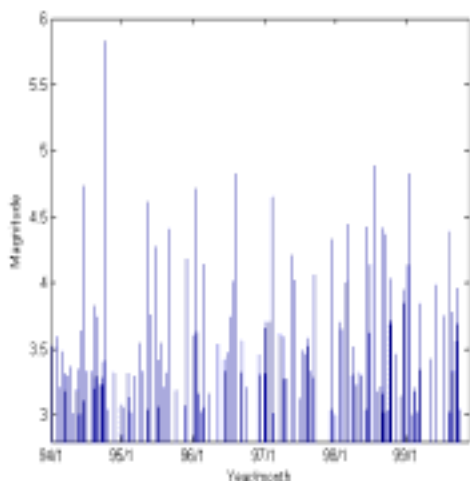
(a) 1998/7/17, $M = 6.2$, 西部區域,
(23.50°N , 120.66°E)



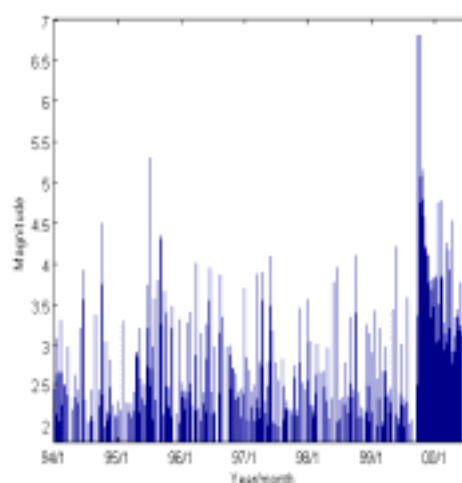
(b) 1999/9/20, $M = 7.3$, 西部區域,
(23.85°N , 120.82°E)



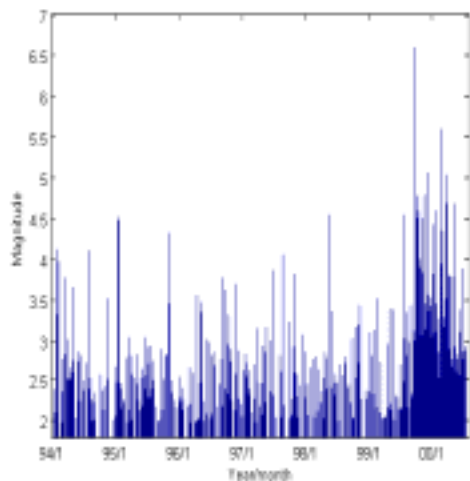
(c) 1999/11/1, $M = 6.9$, 東南區域,
(23.36°N , 121.73°E)



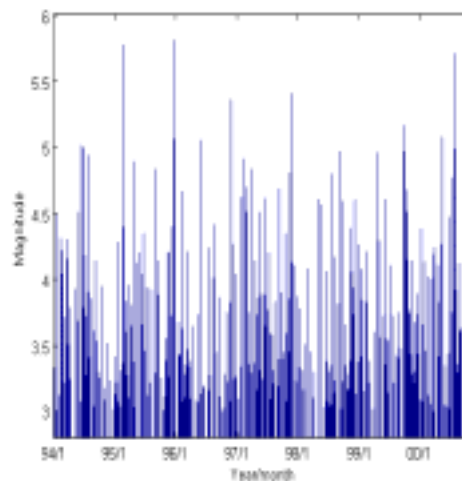
(d) 2000/6/10, $M = 6.7$, 西部區域,
(23.90°N , 121.11°E)



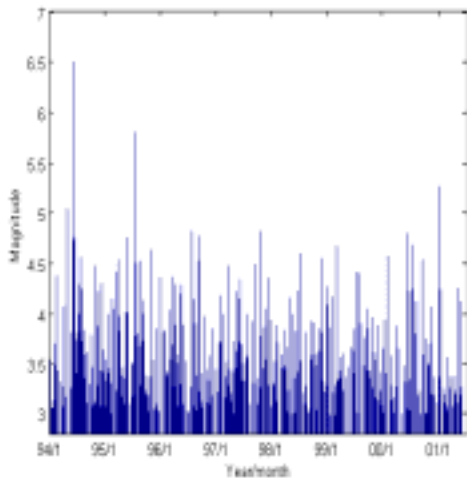
(e) 2000/7/28, $M = 6.1$, 西部區域,
(23.41°N , 120.93°E)



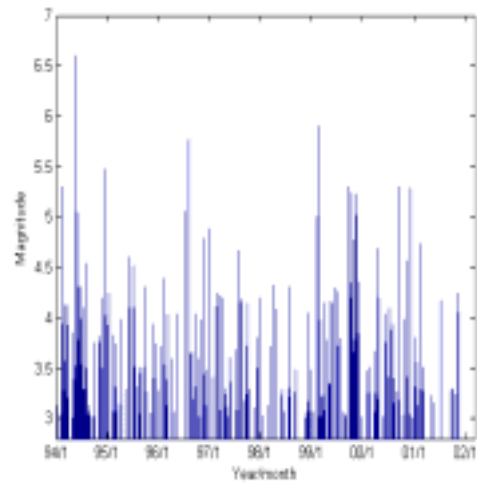
(f) 2000/9/10, $M = 6.2$, 東北區域,
(24.09°N , 121.58°E)



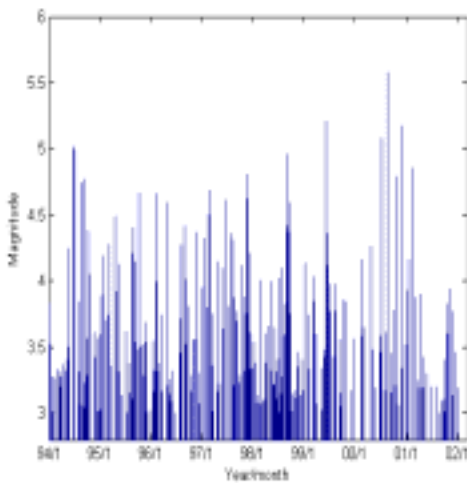
(g) 2001/6/14, $M = 6.3$, 東北區域,
($24.42^{\circ}\text{N}, 121.93^{\circ}\text{E}$)



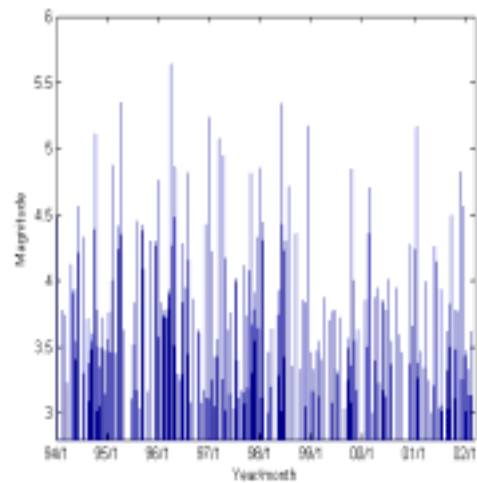
(h) 2001/12/18, $M = 6.7$, 東北區域,
($23.87^{\circ}\text{N}, 122.65^{\circ}\text{E}$)



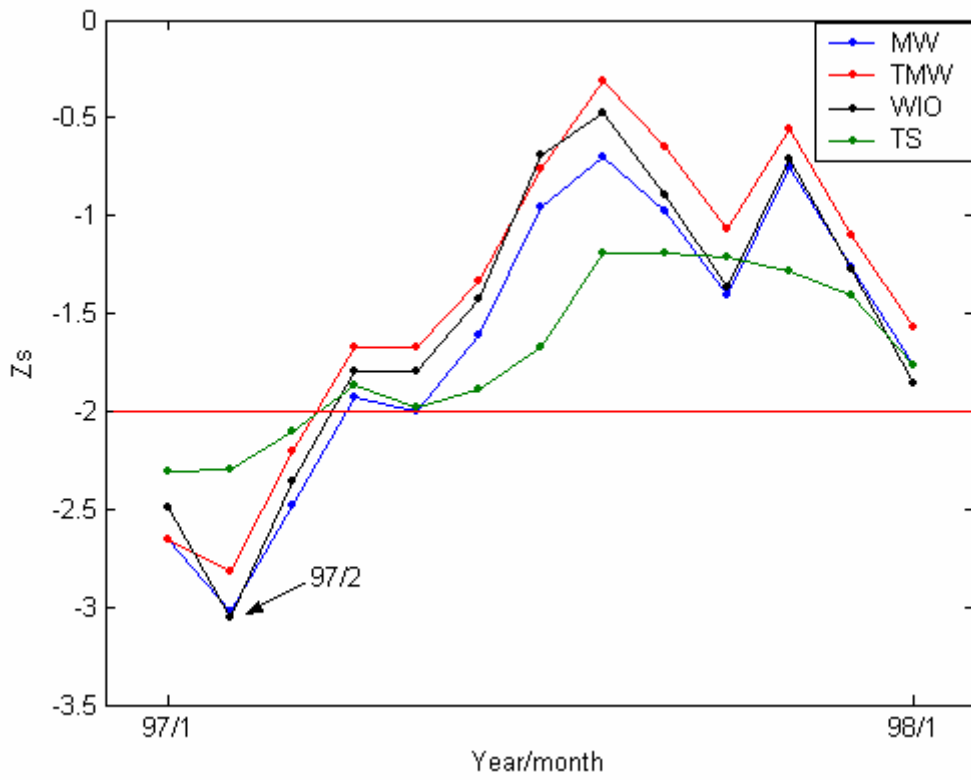
(i) 2002/2/12, $M = 6.2$, 東北區域,
($23.74^{\circ}\text{N}, 121.72^{\circ}\text{E}$)



(j) 2002/3/31, $M = 6.8$, 東北區域,
($24.14^{\circ}\text{N}, 122.19^{\circ}\text{E}$)

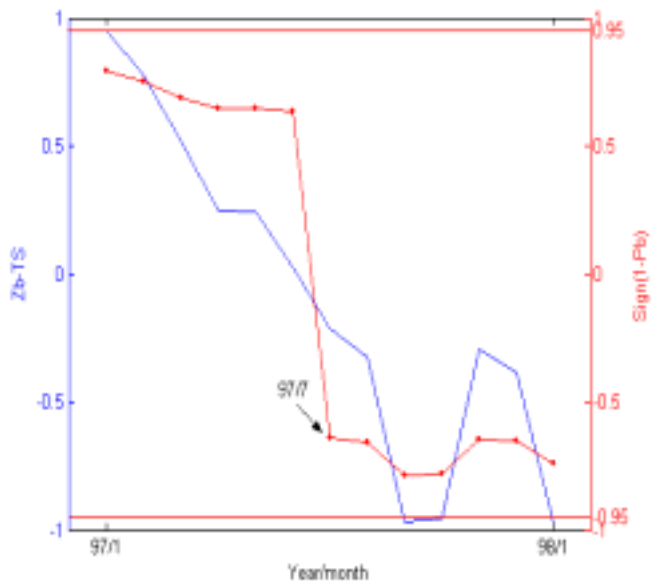


圖三、台灣地區自 1998 年至 2002 年 3 月發生芮氏規模大於 6，震源深度小於 40 公里之 10 個地震於地震發生前的規模—時間圖。

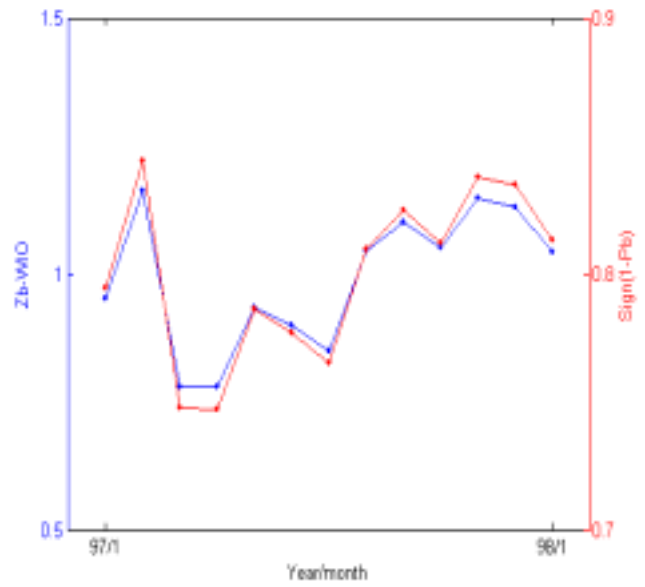


圖八、地震區(1):1998/7/17, 規模 $M = 6.2$, 西部地區, (23.50°N , 120.66°E), 地震頻率 $Z(t)$ 的變化。

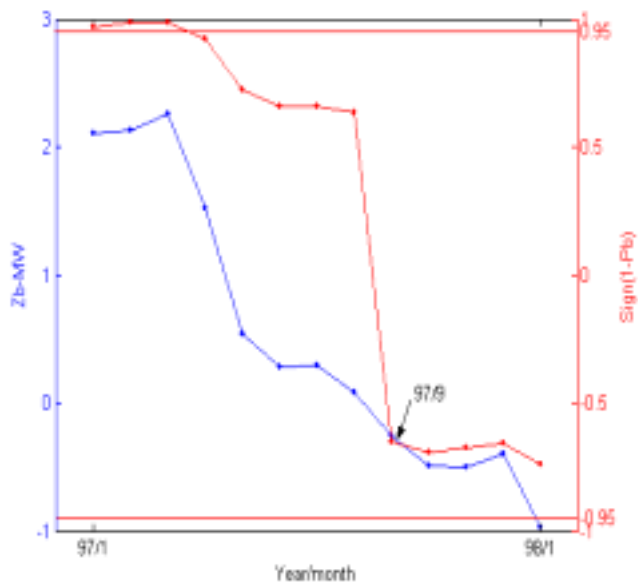
(a) 兩段比較



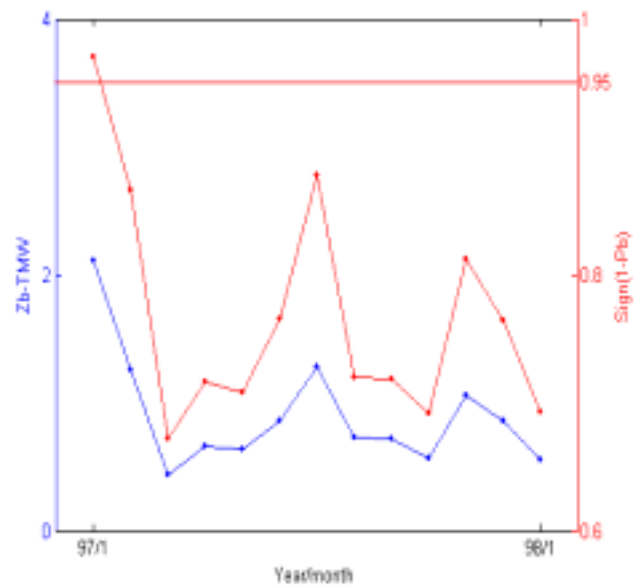
(b) 內外視窗比較



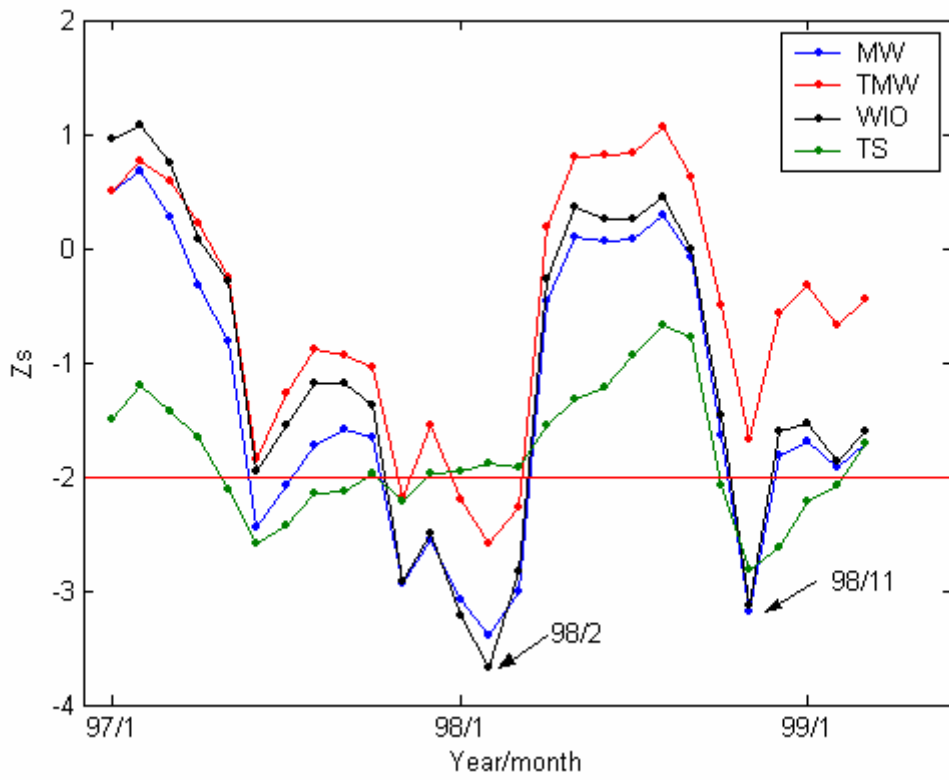
(c) 移動視窗比較



(d) 雙移動視窗比較

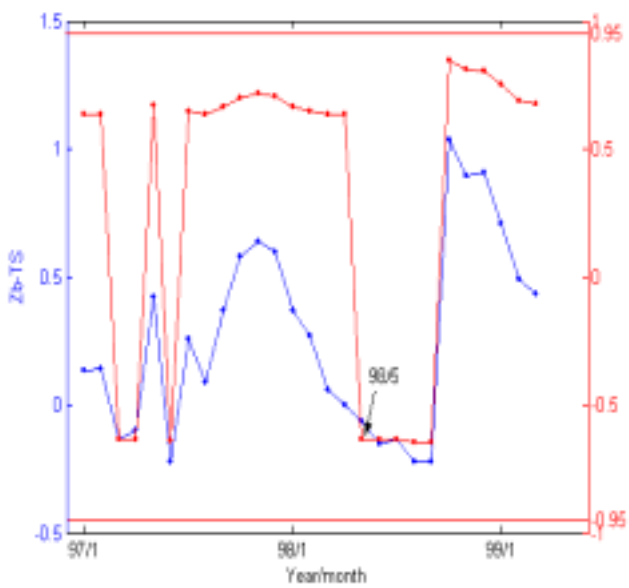


圖九、地震區(1):1998/7/17, 規模 $M = 6.2$, 西部地區, ($23.50^{\circ}N$, $120.66^{\circ}E$), 標準化 b 值 $Zb(t)$ (-)及 b 值改變機率 $Sign(1-P)$ (-).

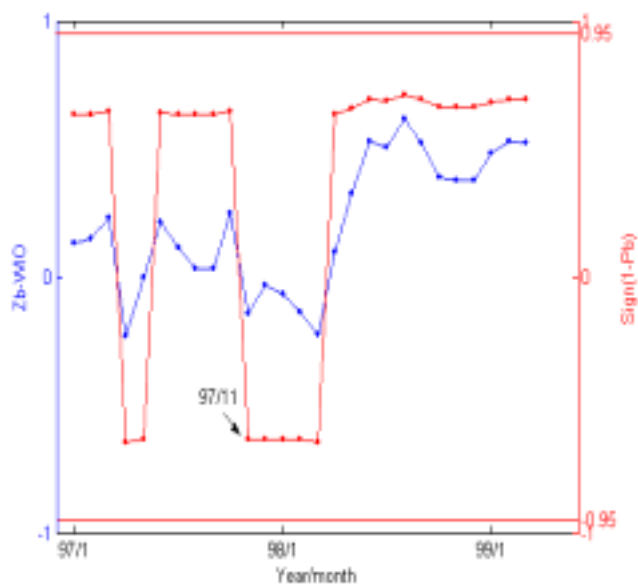


圖十、地震區(2): 1999/9/20, 規模 $M = 7.3$, 西部地區, (23.85°N , 120.82°E), 地震頻率 $Z(t)$ 的變化。

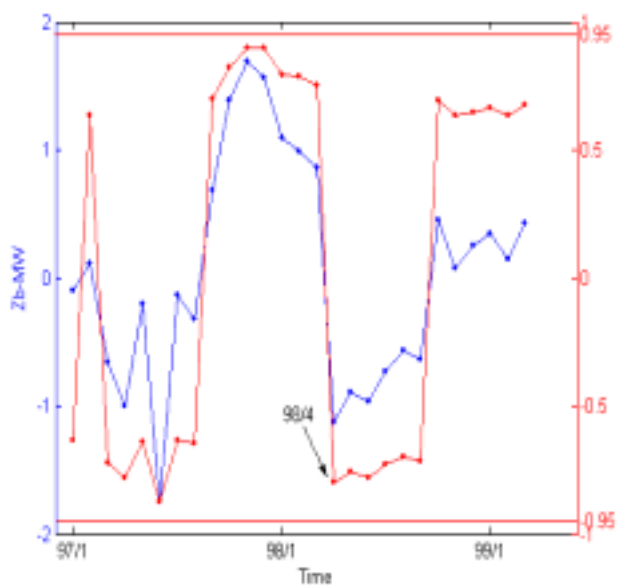
(a) 兩段比較



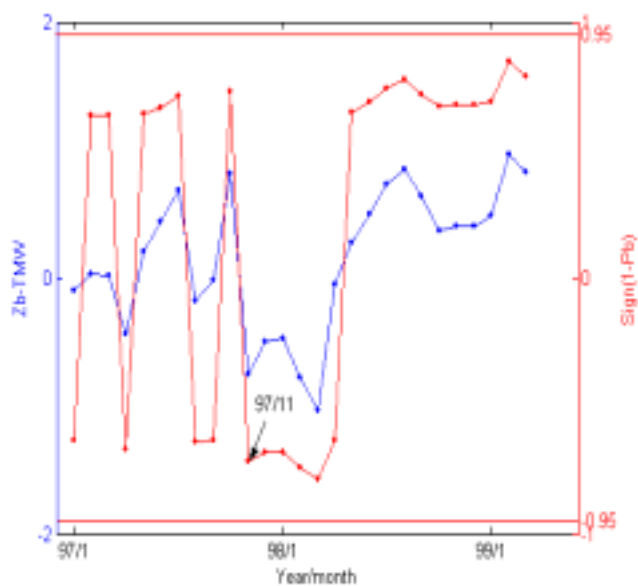
(b) 內外視窗比較



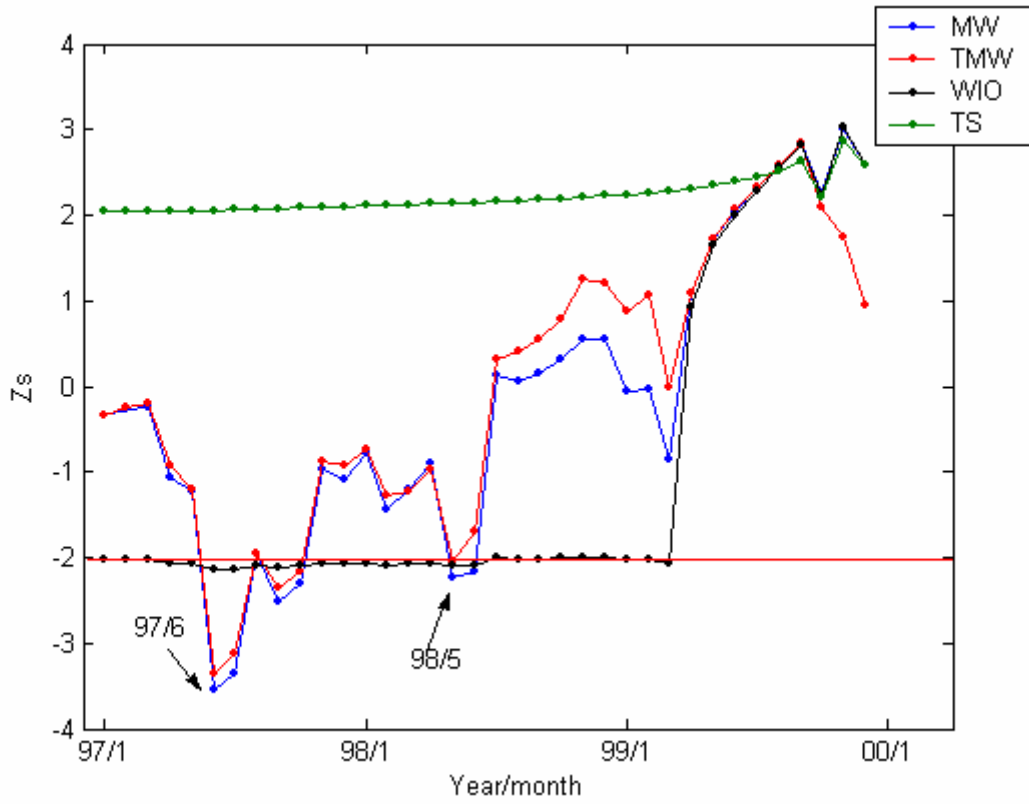
(c) 移動視窗比較



(d) 雙移動視窗比較

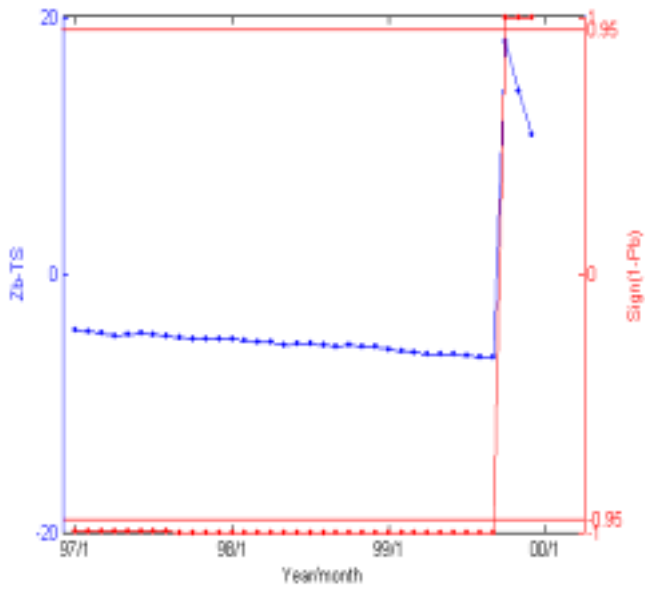


圖十一、地震區(2): 1999/9/20, 規模 $M = 7.3$, 西部地區, ($23.85^{\circ}N$, $120.82^{\circ}E$), 標準化 b 值 $Z_b(t)$ (—) 及 b 值改變機率 $Sign(1-P)$ (—)。

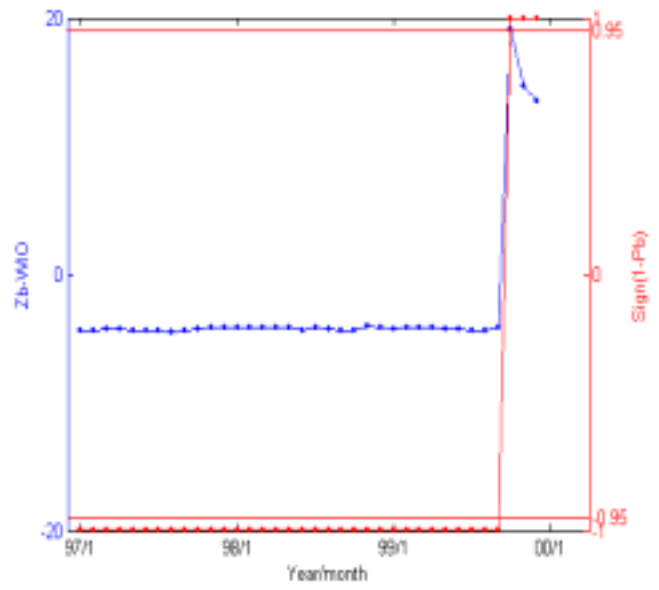


圖十二、地震區(4): 2000/6/10, 規模 $M = 6.7$, 西部地區, (23.90°N , 121.11°E), 地震頻率 $Z(t)$ 的變化。

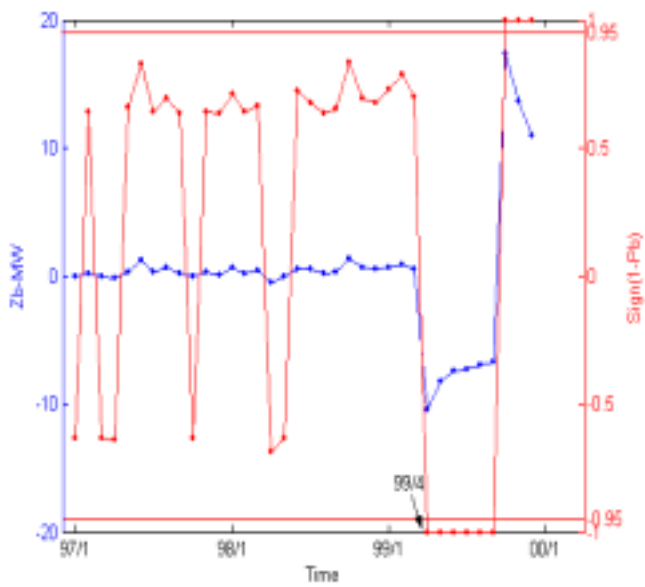
(a) 兩段比較



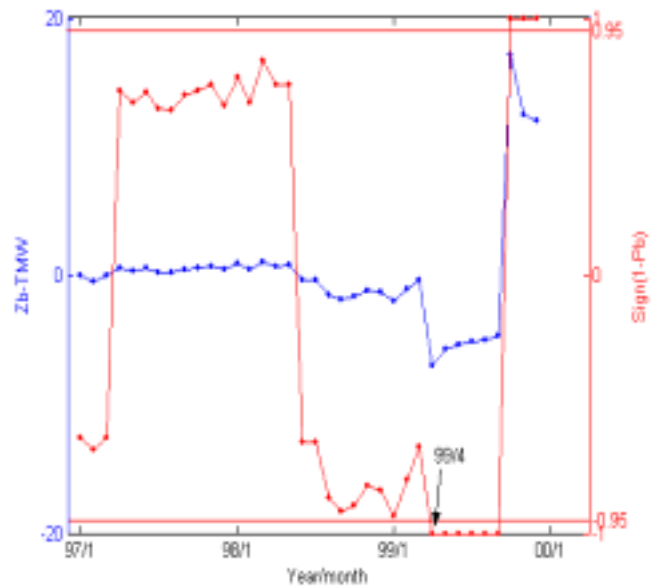
(b) 內外視窗比較



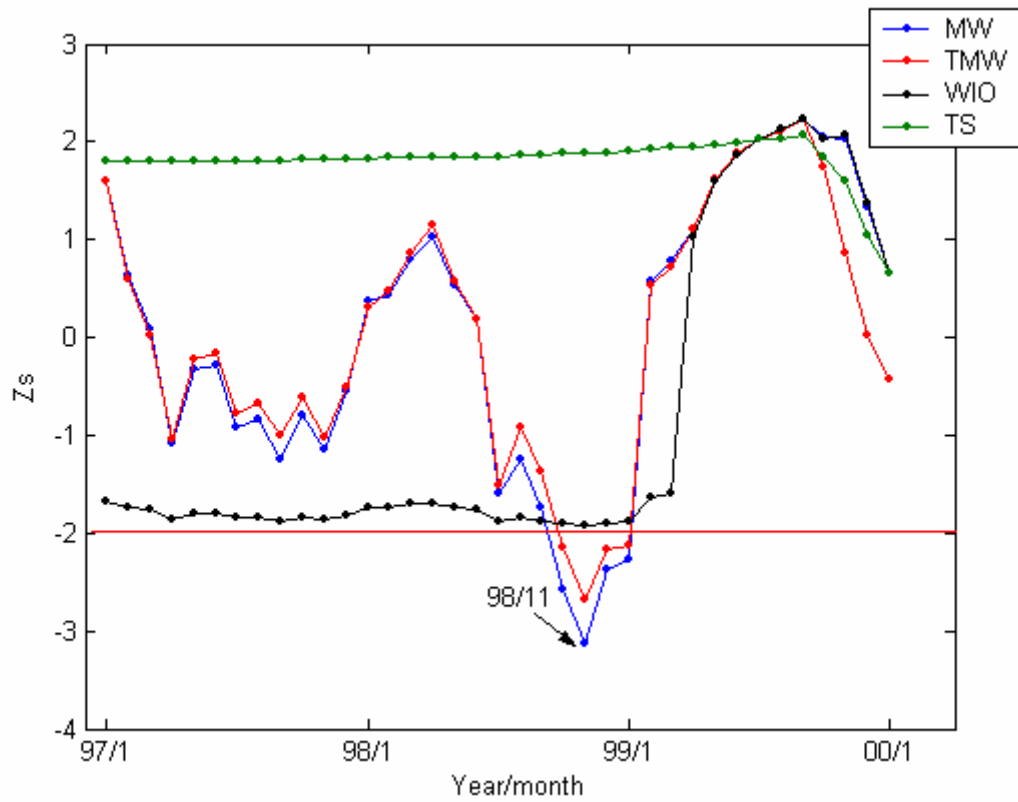
(c) 移動視窗比較



(d) 雙移動視窗比較

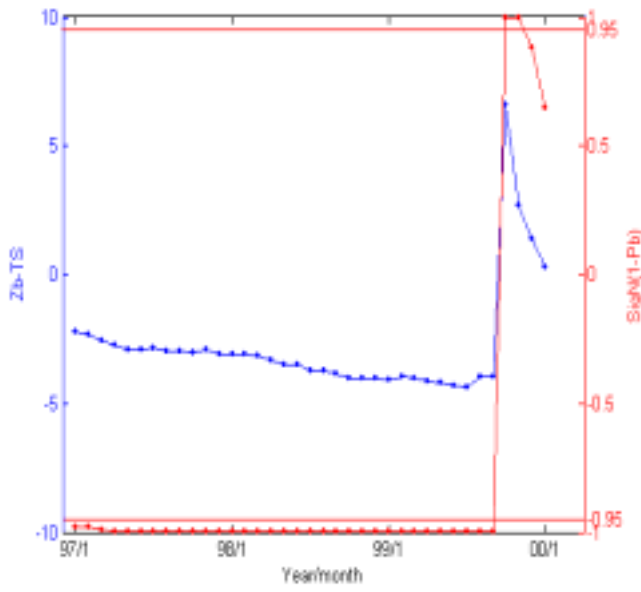


圖十三、地震區(4): 2000/6/10, 規模 $M = 6.7$, 西部地區, ($23.90^{\circ}N$, $121.11^{\circ}E$), 標準化 b 值 $Z_b(t)$ (—) 及 b 值改變機率 $Sign(1-P)$ (—)。

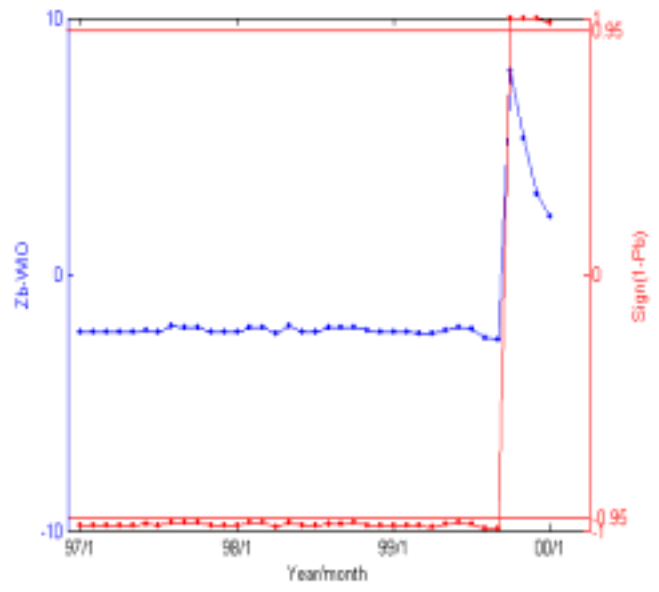


圖十四、地震區(5): 2000/7/28, 規模 $M = 6.1$, 西部地區, (23.41°N , 120.93°E), 地震頻率 $Z(t)$ 的變化。

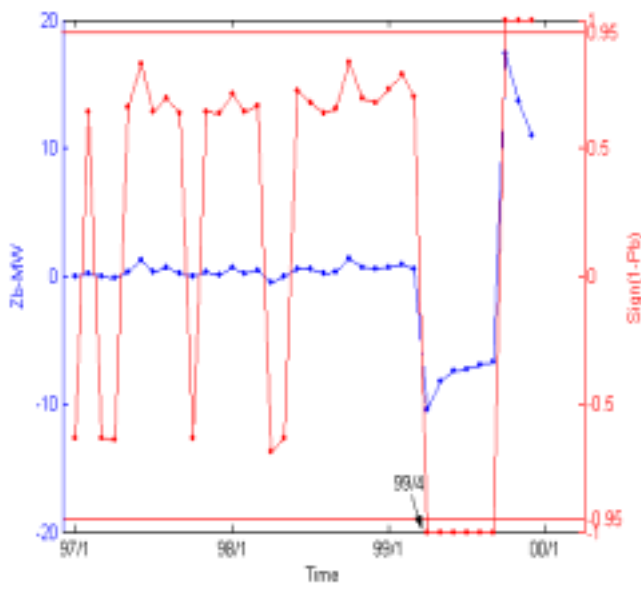
(a) 兩段比較



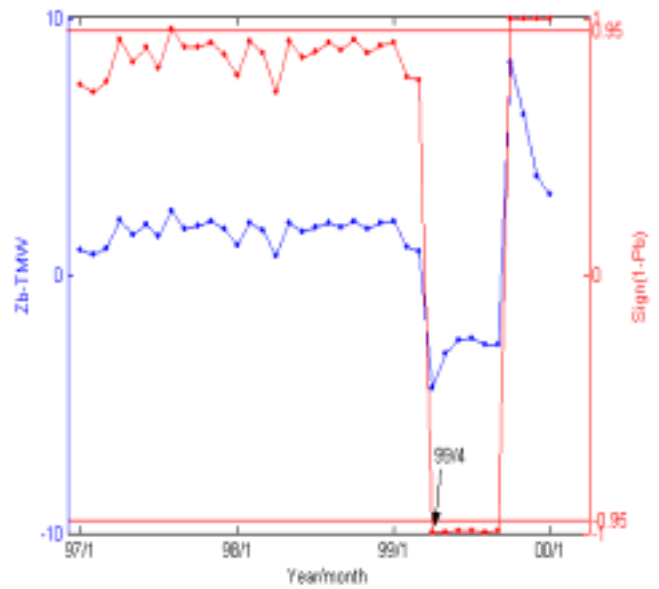
(b) 內外視窗比較



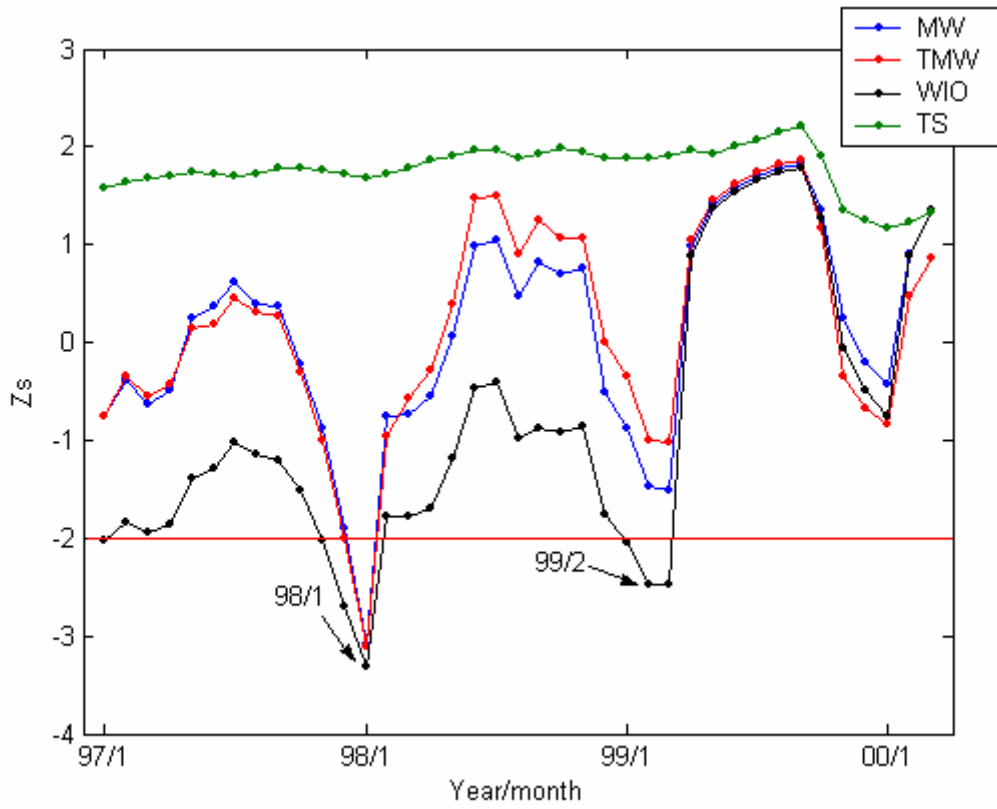
(c) 移動視窗比較



(d) 雙移動視窗比較

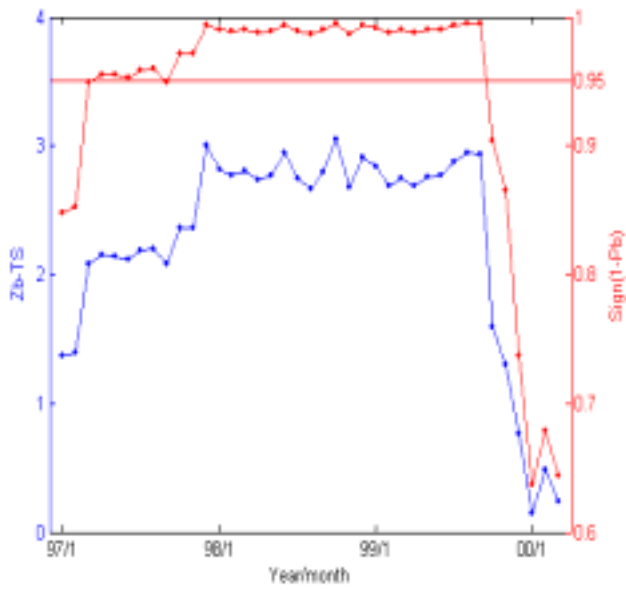


圖十五、地震區(5): 2000/7/28, 規模 $M = 6.1$, 西部地區, ($23.41^{\circ}N$, $120.93^{\circ}E$), 標準化 b 值 $Z_b(t)$ (—)及 b 值改變機率 $Sign(1-P)$ (—)。

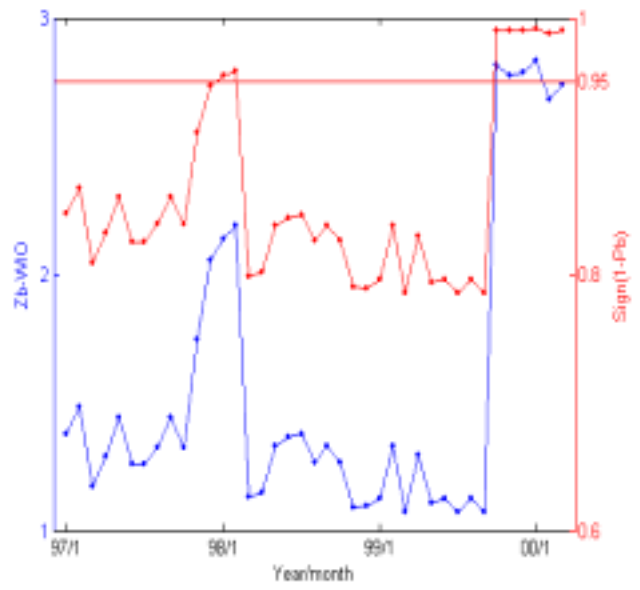


圖十六、地震區(6): 2000/9/10, 規模 $M = 6.2$, 東北地區, (24.09°N , 121.58°E), 地震頻率 $Z(t)$ 的變化。

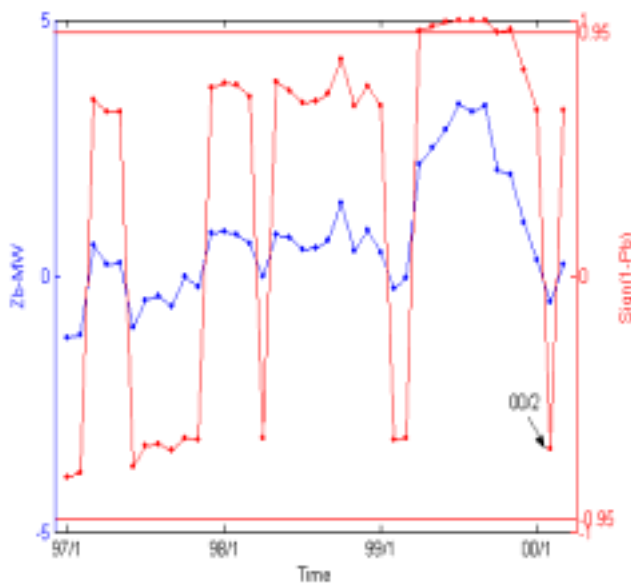
(a) 兩段比較



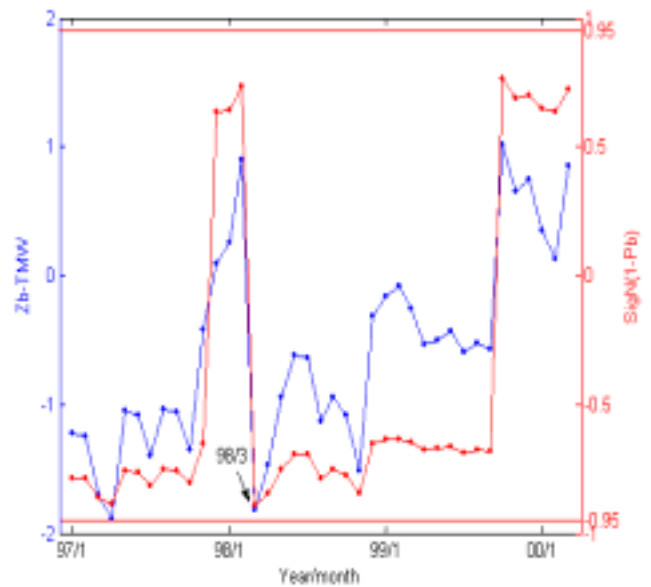
(b) 內外視窗比較



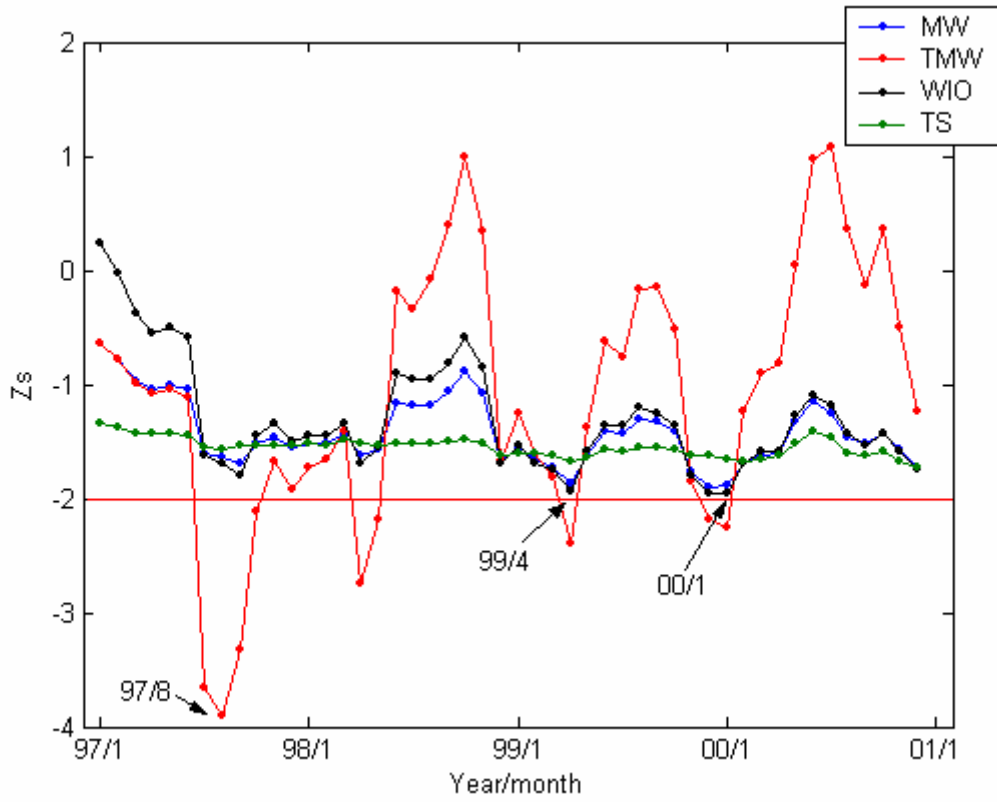
(c) 移動視窗比較



(d) 雙移動視窗比較

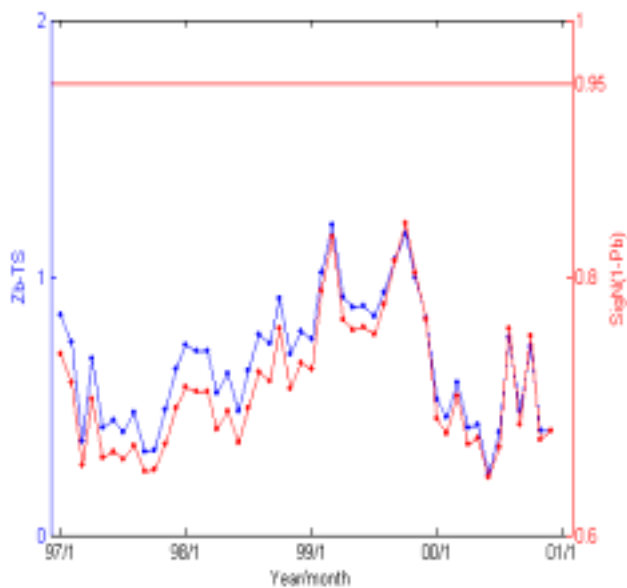


圖十七、地震區(6): 2000/9/10, 規模 $M = 6.2$, 東北地區, ($24.09^{\circ}N$, $121.58^{\circ}E$), 標準化 b 值 $Z_b(t)$ (—) 及 b 值改變機率 $\text{Sign}(1-P)$ (—)。

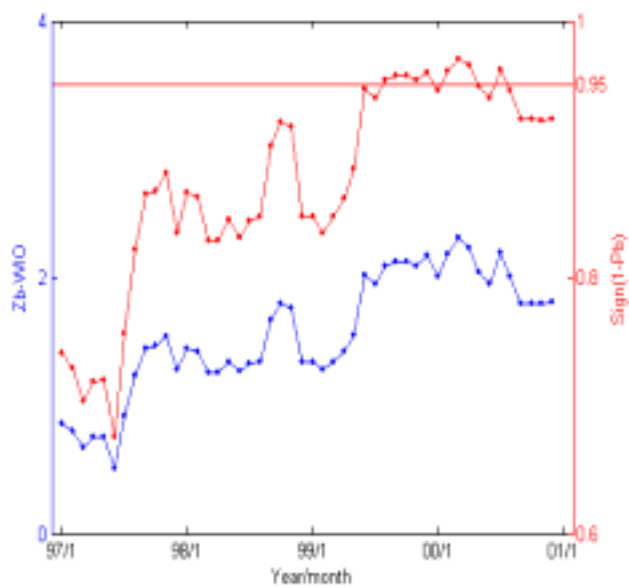


圖十八、地震區(7): 2001/6/14, 規模 $M = 6.3$, 東北地區, (24.42°N , 121.93°E), 地震頻率 $Z(t)$ 的變化。

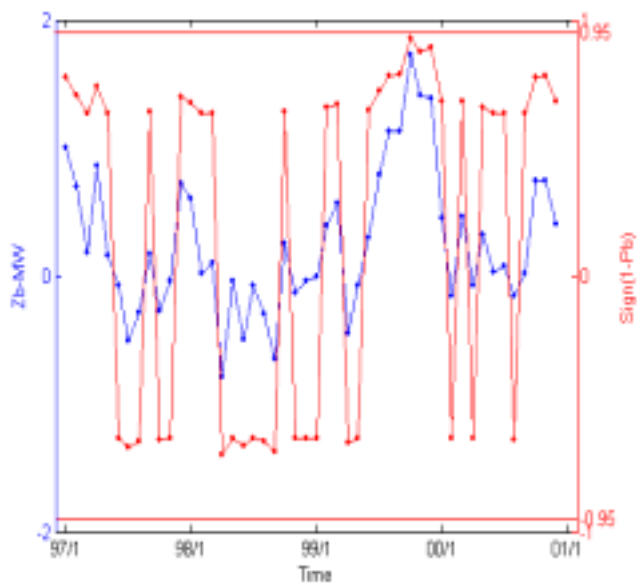
(a) 兩段比較



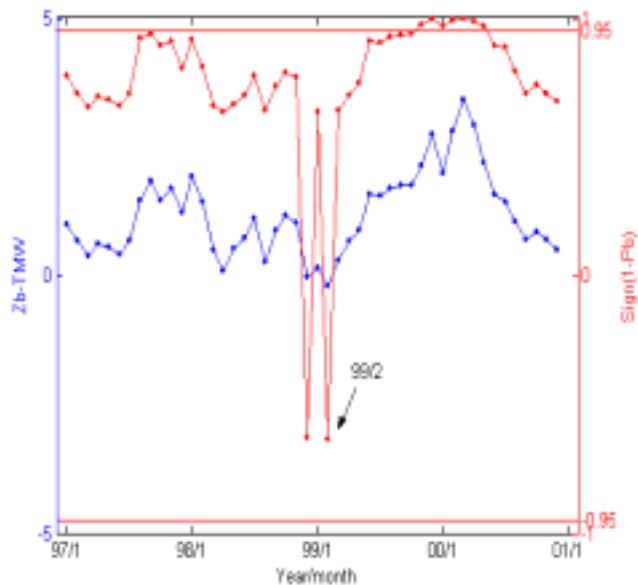
(b) 內外視窗比較



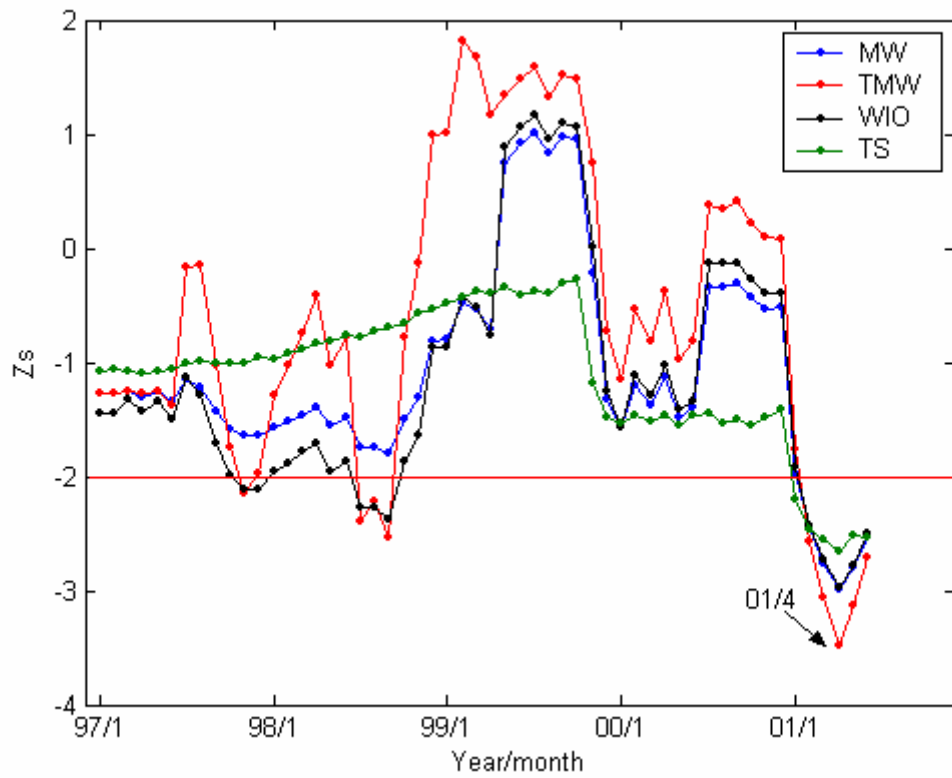
(c) 移動視窗比較



(d) 雙移動視窗比較

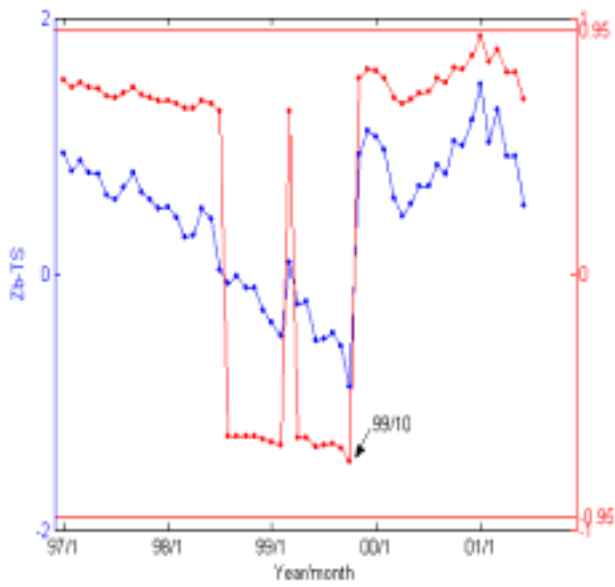


圖十九、地震區(7): 2001/6/14, 規模 $M = 6.3$, 東北地區, ($24.42^{\circ}N$, $121.93^{\circ}E$), 標準化 b 值 $Z_b(t)$ (—)及 b 值改變機率 $Sign(1-P)$ (—)。

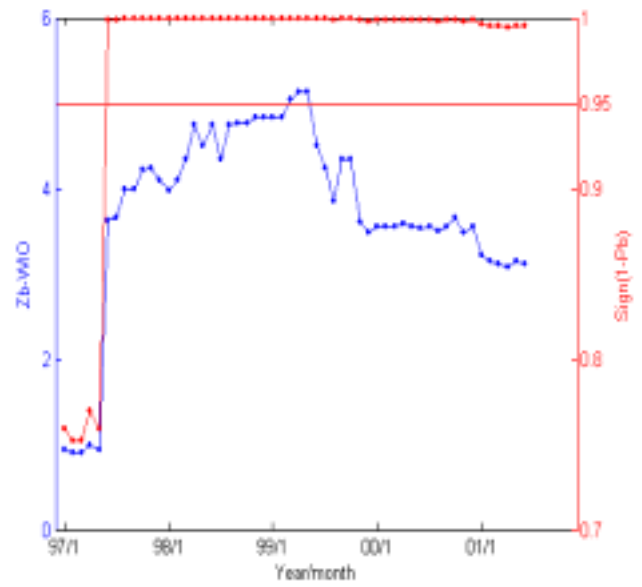


圖二十、地震區(8): 2001/12/18, 規模 $M = 6.7$, 東北地區, ($23.87^{\circ}N$, $122.65^{\circ}E$), 地震頻率 $Z(t)$ 的變化。

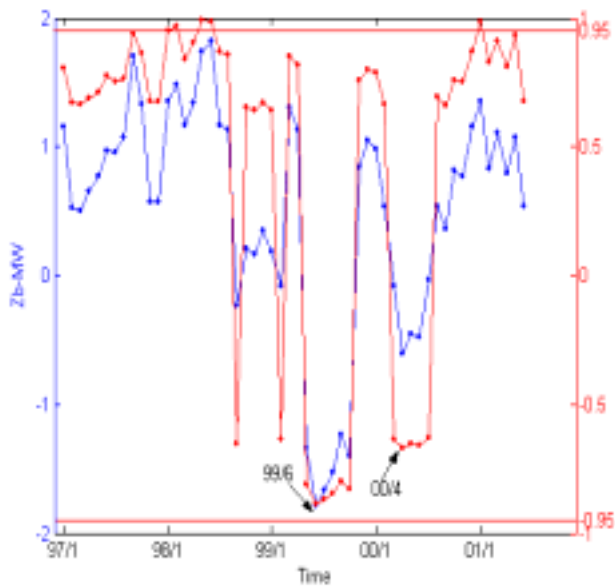
(a) 兩段比較



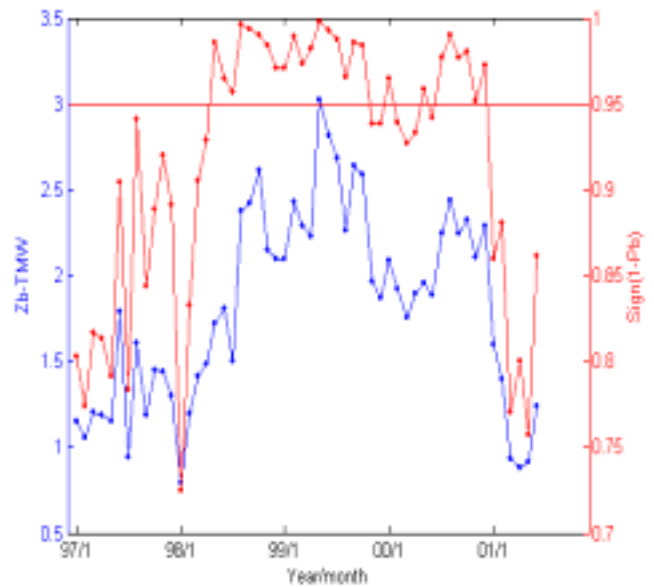
(b) 內外視窗比較



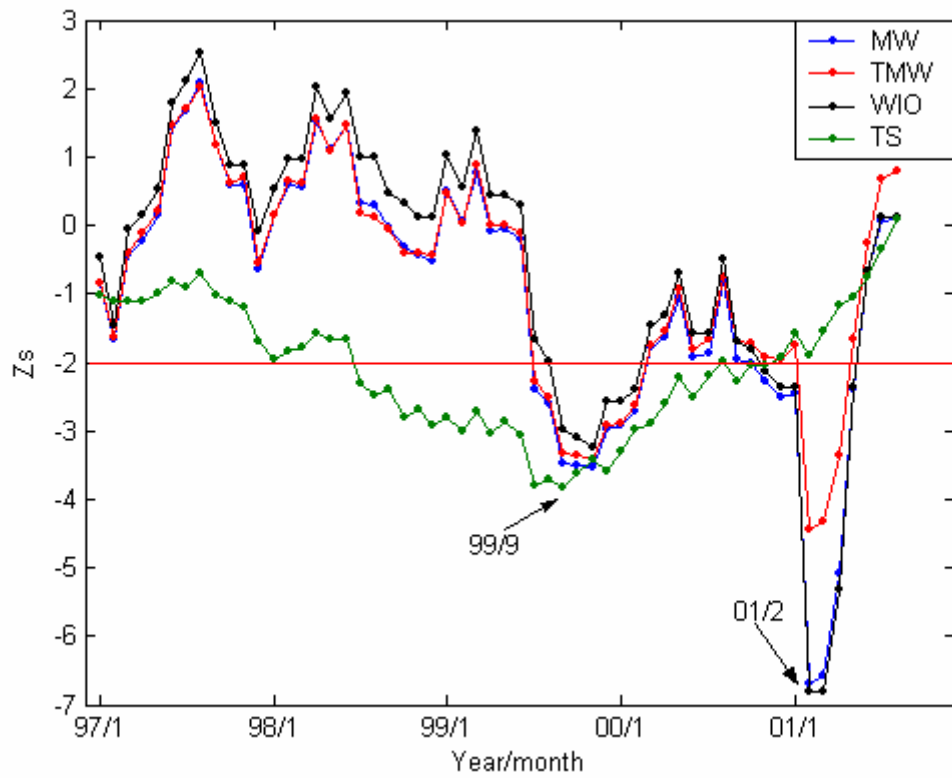
(c) 移動視窗比較



(d) 雙移動視窗比較

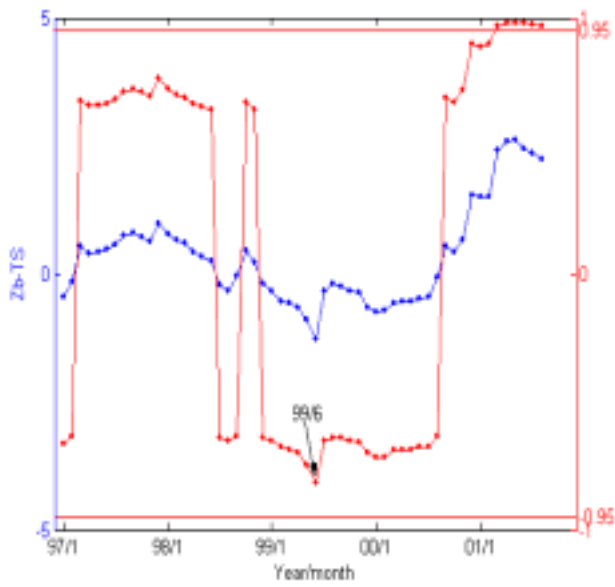


圖二十一、地震區(8): 2001/12/18, 規模 $M = 6.7$, 東北地區, ($23.87^{\circ}N$, $122.65^{\circ}E$), 標準化 b 值 $Zb(t)$ (—) 及 b 值改變機率 $Sign(1-P)$ (—)。

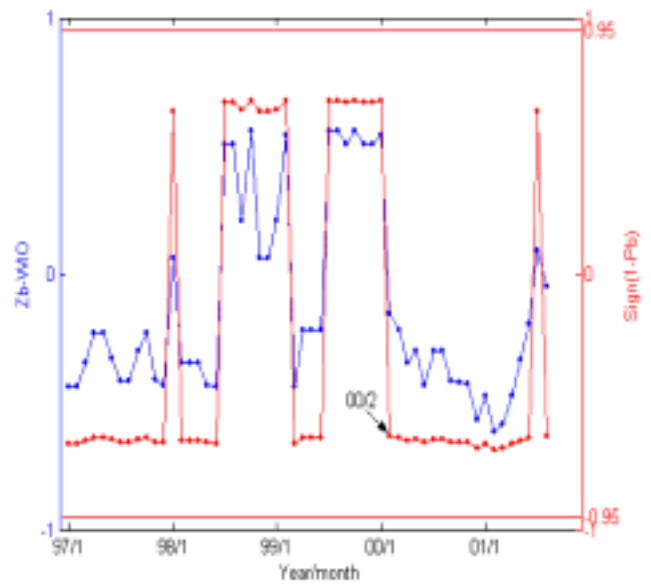


圖二十二、地震區(9): 2002/2/12, 規模 $M = 6.2$, 東北地區, (23.74°N , 121.72°E), 地震頻率 $Z(t)$ 的變化。

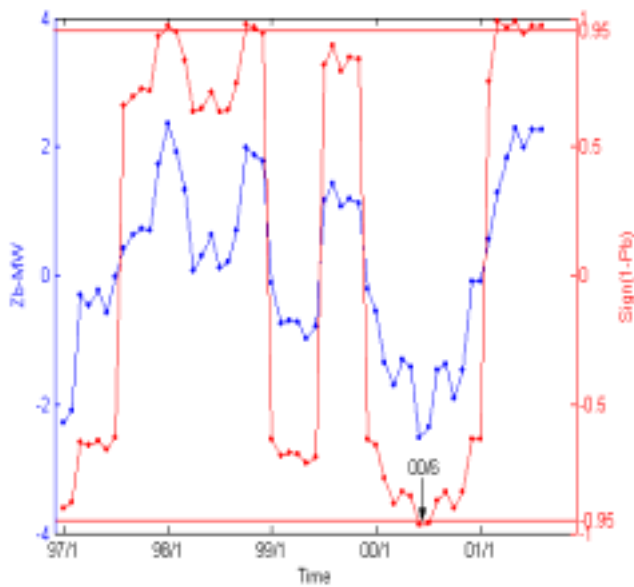
(a) 兩段比較



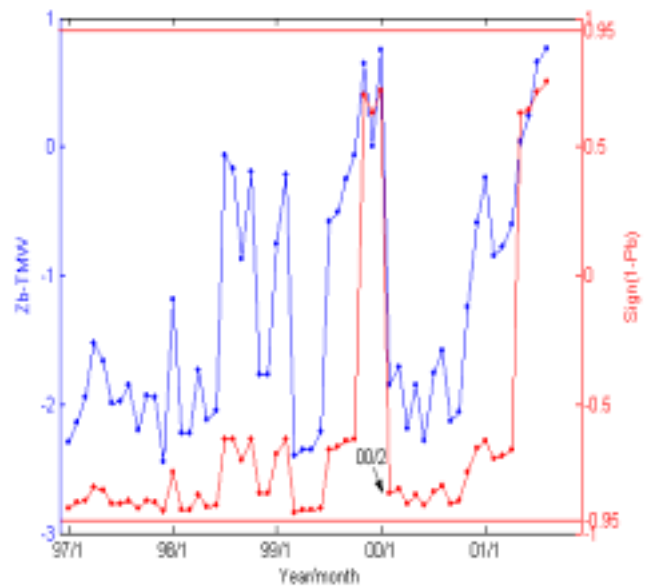
(b) 內外視窗比較



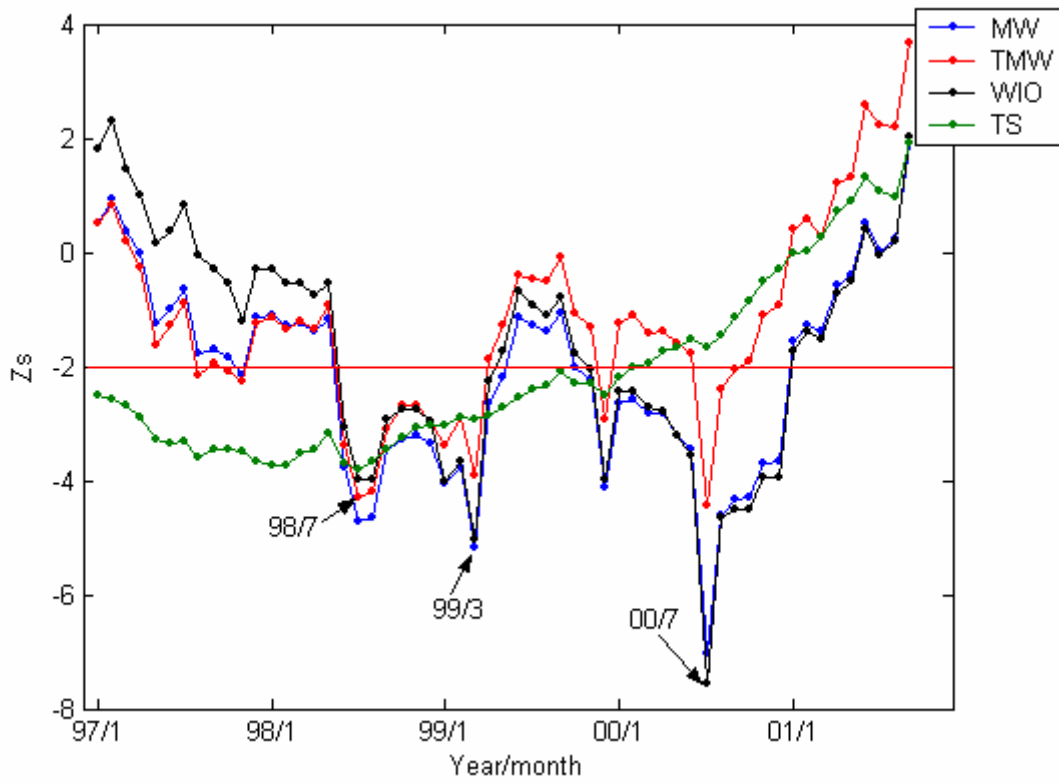
(c) 移動視窗比較



(d) 雙移動視窗比較

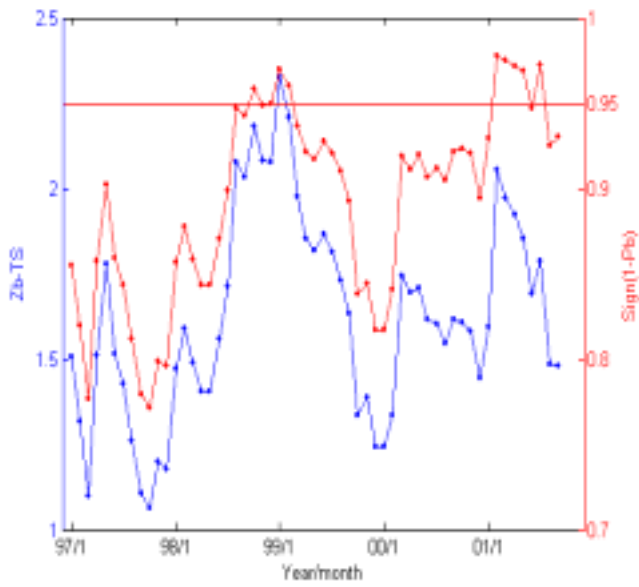


圖二十三、地震區(9): 2002/2/12, 規模 $M = 6.2$, 東北地區, ($23.74^{\circ}N$, $121.72^{\circ}E$), 標準化 b 值 $Zb(t)$ (—) 及 b 值改變機率 $Sign(1-P)$ (—)。

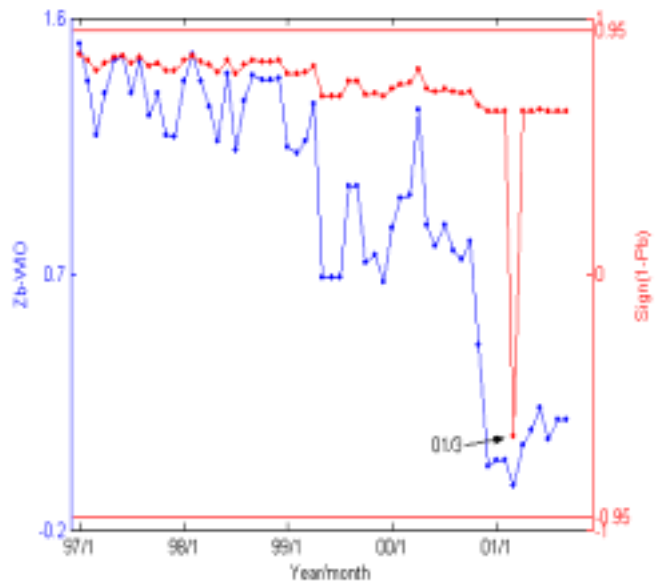


圖二十四、地震區(10): 2002/3/31, 規模 $M = 6.8$, 東北地區, ($24.14^{\circ}N, 122.19^{\circ}E$), 地震頻率 $Z(t)$ 的變化。

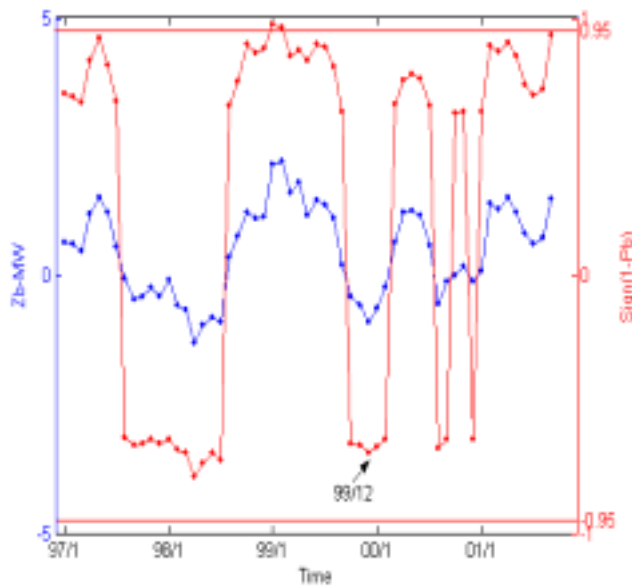
(a) 兩段比較



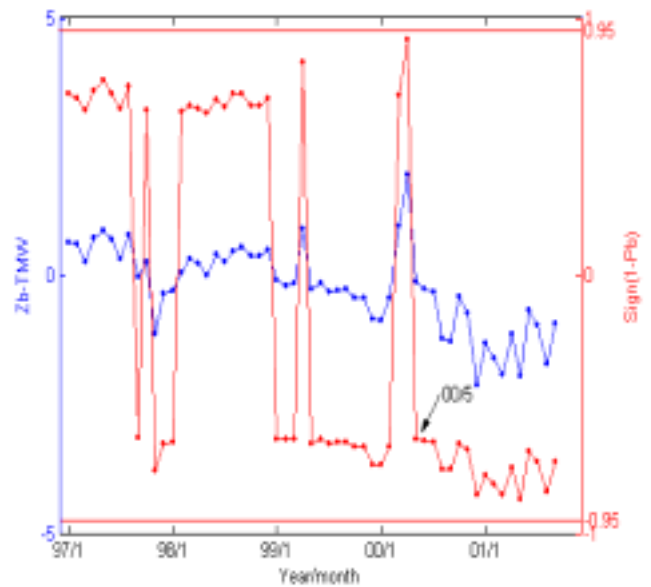
(b) 內外視窗比較



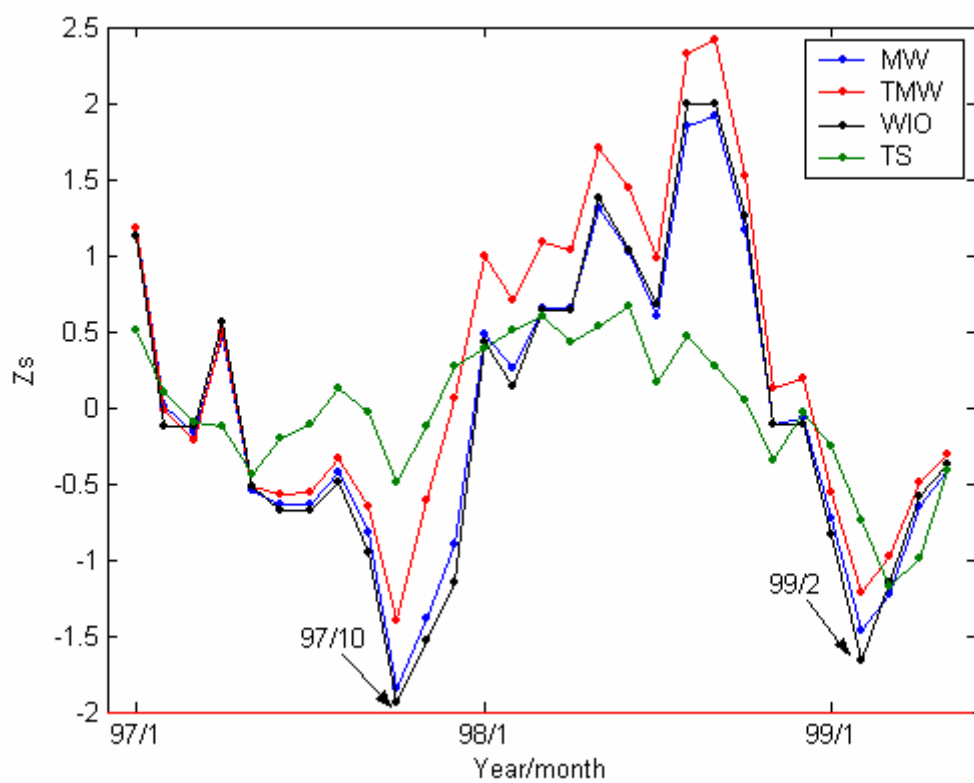
(c) 移動視窗比較



(d) 雙移動視窗比較

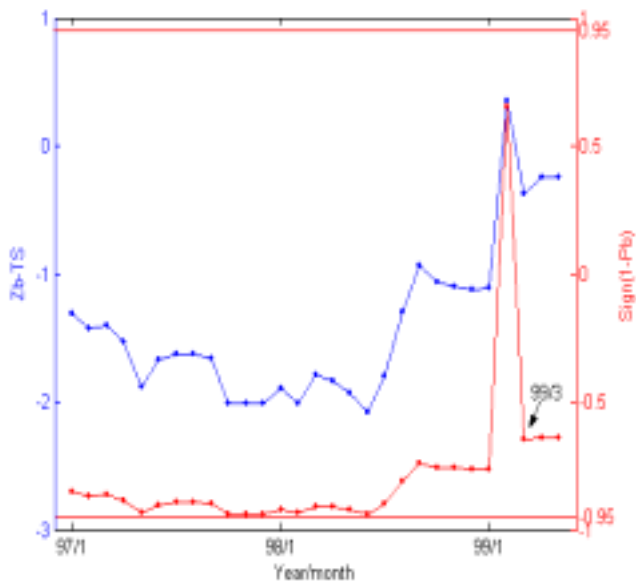


圖二十五、地震區(10): 2002/3/31, 規模 $M = 6.8$, 東北地區, ($24.14^{\circ}N$, $122.19^{\circ}E$), 標準化 b 值 $Zb(t)$ (—) 及 b 值改變機率 $Sign(1-P)$ (—)。

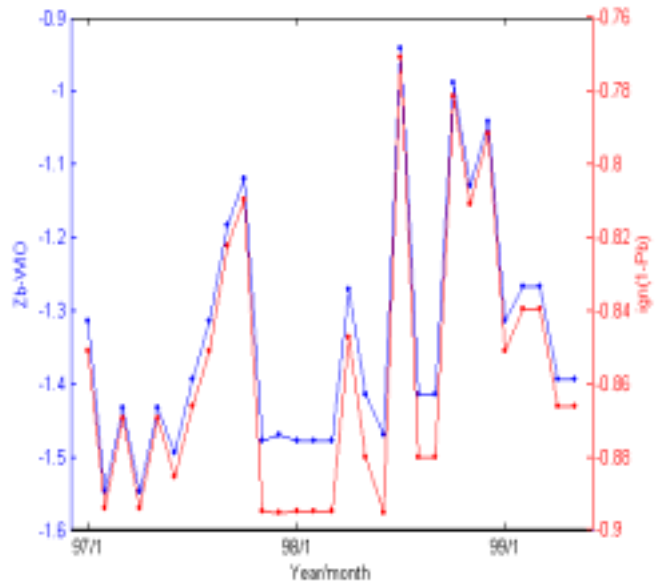


圖二十六、地震區(3): 1999/11/1, 規模 $M = 6.9$, 東南地區, ($23.36^{\circ}N$, $121.73^{\circ}E$), 地震頻率 $Z(t)$ 的變化。

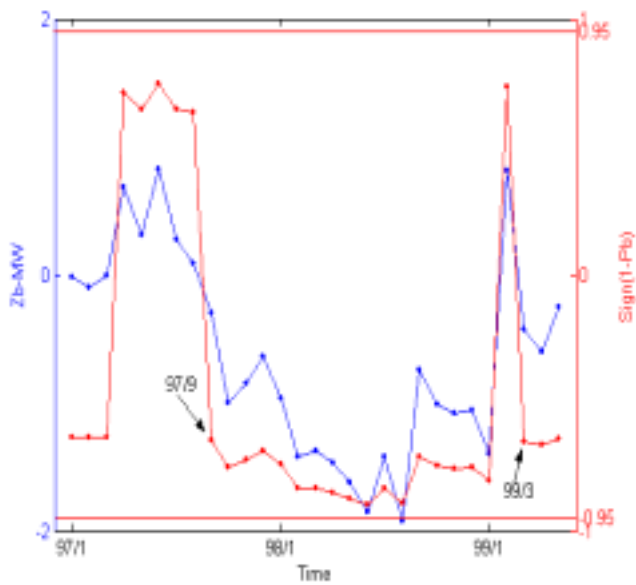
(a) 兩段比較



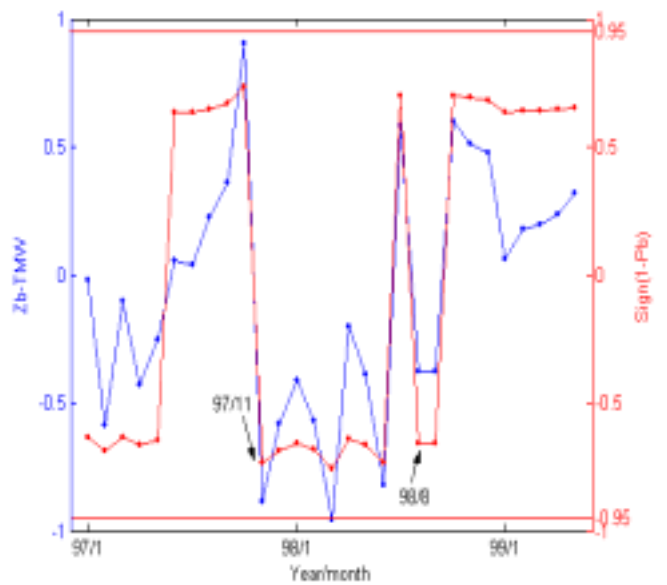
(b) 內外視窗比較



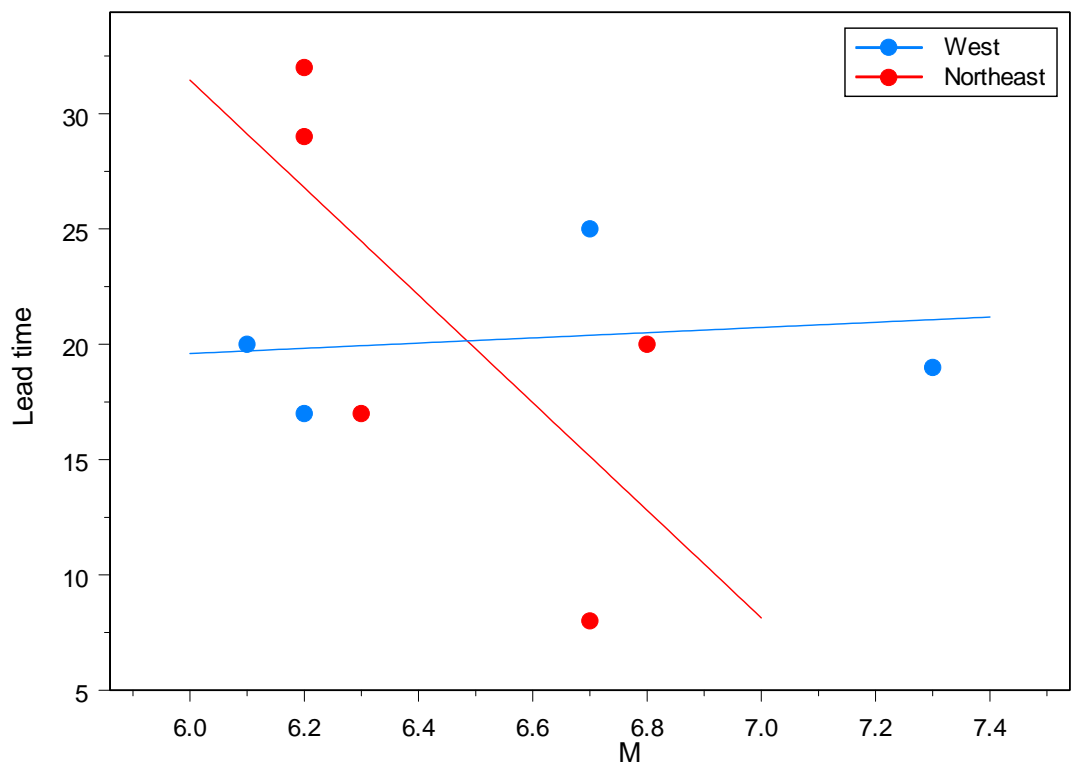
(c) 移動視窗比較



(d) 雙移動視窗比較



圖二十七、地震區(3): 1999/11/1, 規模 $M = 6.9$, 東南地區, ($23.36^{\circ}N$, $121.73^{\circ}E$), 標準化 b 值 $Zb(t)$ (—) 及 b 值改變機率 $Sign(1-P)$ (—)。



圖二十八、地震寧靜前兆的領先時間。