

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 地球科學科

佳作

040507

利用地震規模頻率分佈特性分析大地震發生之
趨勢

學校名稱：臺北市立第一女子高級中學

作者： 高二 謝旻珈	指導老師： 金若蘭
---------------	--------------

關鍵詞：地震預報、b 值

利用地震規模頻率分布特性分析大地震發生之趨勢

摘要

目前仍無法準確預測地震，不過在地震發生前，主震附近有中地震活化、整體地震活動下降及地震規模頻率分布特性(b 值)降低的現象。在規模大於 6.0 的地震中，低 b 值處會顯示出震央的大約位置，而震央處 b 值占背景值比例則會在大地震發生前一年下降。本研究便利用分析 b 值檢驗上述理論是否正確，並進一步利用更多地震檢驗能否以此方法預報地震的時間與位置。並期待未來能做為地震預測研究之參考。

本研究分析台灣 1994 年至 2010 年所發生七個規模大於 6.0 之地震 b 值圖樣，發現台灣東部地震震央附近低 b 值區隨時間接近大地震，有縮小、接近震央和 b 值降低現象，推判為大地震發生位置之前兆。而此七個地震 b 值占背景值比例趨勢中，有六個在大地震發生前一年有降低趨勢，符合文獻中(Wu 等人, 2006, 2008)認為大地震前 b 值會減少的理論。此外，b 值趨勢降低之處中有約 71%確實在隔年有大地震發生，由此推測可查看 b 值趨勢觀察大地震是否發生，如有下降現象，推判隔年有大地震發生的機率較高。

壹、研究動機

最近世界上發生了許多造成嚴重災害的大地震，例如智利、海地、汶川等地，其中海地地震更是造成其全國 5%的人傷亡，非常的嚴重。同樣的，我們身處的台灣也是個地震頻仍的地區，引發我思考：雖然現在人類尚未能發展成熟的地震預報，但是否可以根據過去大地震發生前的徵兆，對未來較可能發生地震的區域進行預警，以減少大地震造成的災害呢？從文獻資料中發現，有地震學家主張b值和地震發生位置及時間似乎有關聯，於是我也想朝這方面嘗試看看。

根據文獻資料，在地震發生前，主震附近含有中地震活化、整體地震活動度下降，也就是 b 值降低的現象，並且低 b 值處能夠顯現出大地震之位置與時間(Wu 等人, 2006 & 2008)。我希望能透過分析台灣歷年地震的資料，歸納出大地震發生前 b 值特有的變化，並且驗證前人的實驗結果及推斷是否正確，以期未來我們可以更準確的預知地震將要發生的時間與地點。

貳、研究目的

- 一、以台灣地區 b 值的圖樣檢驗大地震發生前震央附近的 b 值是否和大地震發生的位置相關，並進一步藉由不同分析時窗檢驗此方法是否可行，且提供統計證據。
- 二、以台灣地區不同區域 b 值占背景值比例的趨勢驗證大地震發生前一年 b 值是否有下降現象，並進一步檢驗下降的處之隔年是否皆有地震發生，以確認方

法之可行性，並提供統計證據。

參、研究設備及器材

- 一、電腦
- 二、台灣自 1994 年至 2009 年地震資料

肆、研究過程或方法

- 一、分析地震之 b 值

地震規模與其發生頻率的關係式為：

$$\log_{10}N = a - bM$$

其中 M 為地震規模， N 為發生規模大於等於 M 的地震次數， a 和 b 為常數。而 b 值就是這條直線關係的斜率絕對值，通常和平均規模(m)成負相關 (如圖 1)，也就是規模較小的地震次數較多，規模較大的地震次數較少。當 b 值降低(如圖 1 中黑線變為較平緩的綠線)，代表著中規模的地震次數變多。而因為地震平均釋放的能量是一定的，所以當中規模的地震次數變多，即代表著地震的總次數減少。本研究主要就是根據 b 值的表現進行分析。

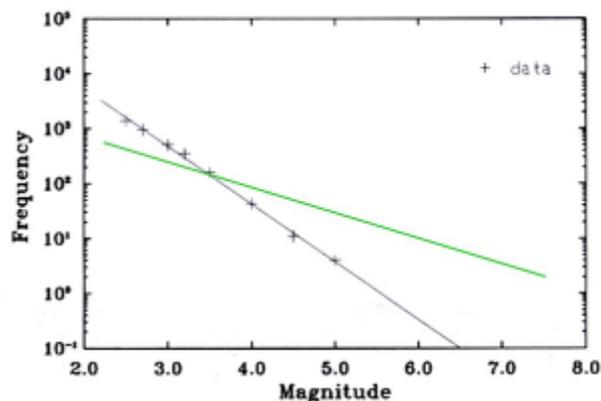


圖 1 1990 年 1 月 1 日到 1999 年 9 月 20 日中部地區地震規模和地震次數的關係圖(改自黃聰哲,2010)。橫軸為地震規模，縱軸為發生頻率。”+”符號為觀測資料，黑色直線為迴歸直線，綠色直線則代表比黑色直線 b 值小的關係線。從圖中可知地震規模和發生頻率成負相關，規模較小的地震次數較多，規模較大的地震次數較少。當 b 值降低(也就是黑線變為較平緩的綠線)，代表著中規模的地震次數變多。

- 二、地震次數與 b 值和災害性地震的關係

所謂『災害性地震』，通常指的是規模 6.0 以上的地震。前人有許多研究是希望能夠根據 b 值在大地震前後的改變與異常，作為日後預測地震的參考。

在陳建志和吳逸民(2008)的研究中發現，越接近一個災害性地震所發生的時間，中規模(地震規模 $M=4.0$)的地震發生越頻繁，即代表著 b 值越低。

Wu 等人的研究(2006, 2008)中，分別在 1999 年的集集地震和 2003 年的成

功地震發生前 9 個月和一年左右，地震發生率也有顯著降低現象(如圖 2)，其中集集地震前的地震次數更是低於一個標準差(如圖 3)。

而 b 值雖然沒有顯著的差別或是時間界線，大致上仍在地震次數降低的時間範圍內有降低趨勢。原因是大地震前，台灣大部分地區的 b 值呈現上升現象，而大地震震央附近則是下降，推測可能是因為震央附近破裂區活化，中型地震增加。(如圖 2)

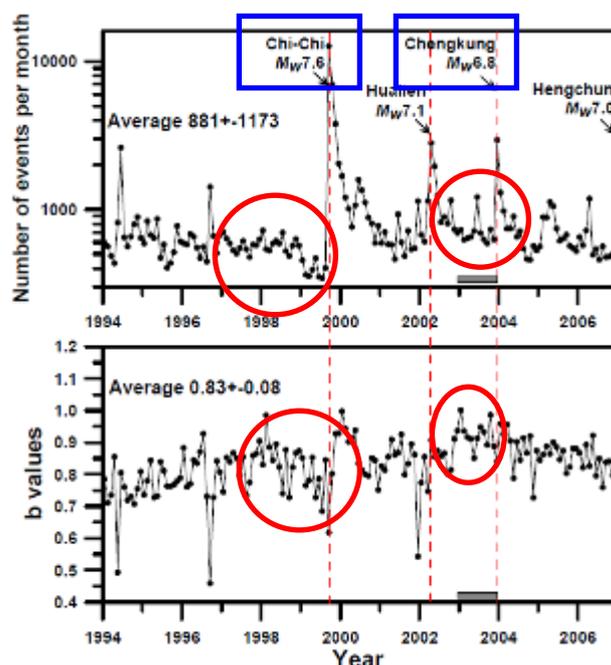


圖 2 台灣地區 1994 年至 2006 年規模大於 2 的每月地震次數和 b 值平均。分別在 1999 年的集集地震發生前 9 個月和 2003 年的成功地震發生前一年左右，地震發生率有顯著降低現象。(引自 Wu, 2008)

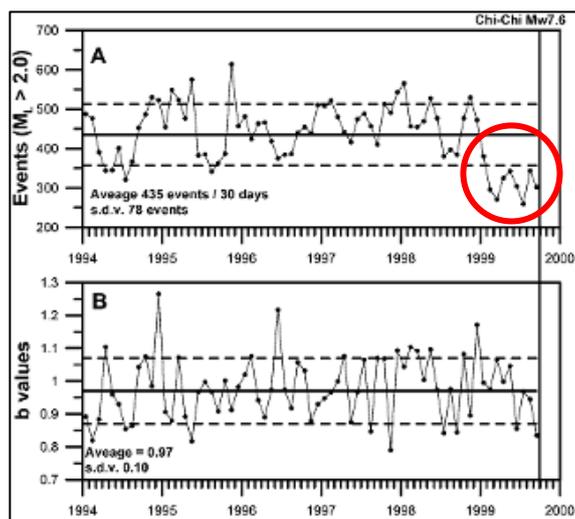


圖 3 (A)規模 2.0 以上地震的月平均次數。平均每月發生 435 次地震，標準差為 78 次。由圖中可看出集集地震發生前九個月地震次數低於一個標準差；(B)月平均 b 值變化。平均 b 值為 0.97，標準差為 0.10；實線表最小方均，兩條虛線表

一個標準差的範圍。(引自Wu, 2006)

更進一步的，Wu(2010)也發現，由 b 值分布色階圖中(如圖 4、圖 5)可以看出，由 1994 年至 2009 年的五個規模大於 6.0 地震中，出現了震央附近 b 值較低的情形，並期望能以此作為預報地震位置的工具。

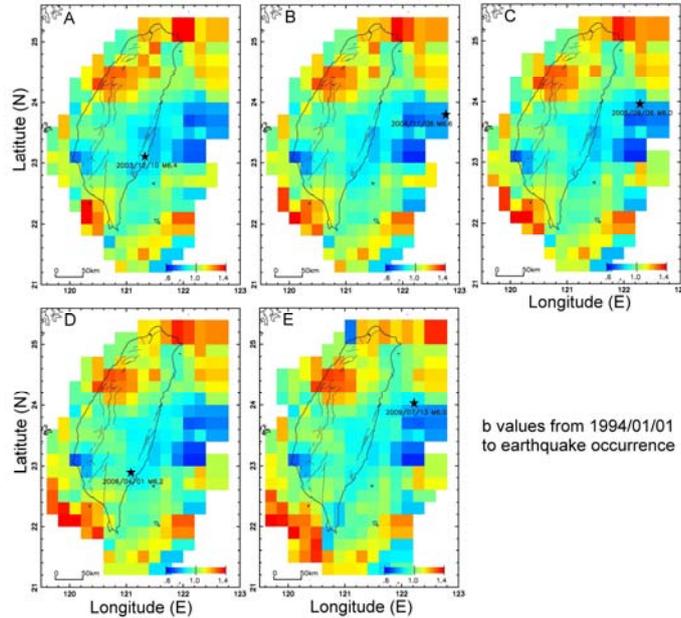


圖 4 自 1994 年至 2009 年五個研究中地震之 b 值估計值分佈。圖中顏色越接近紅色表示 b 值越高，越接近深藍色表示 b 值越低(引自 Wu, 2010)

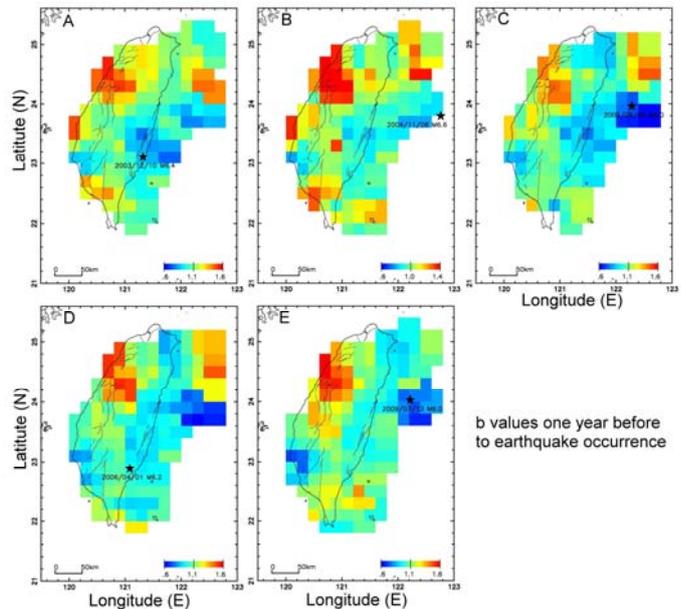


圖 5 五個研究中地震發生前一年之 b 值估計值分佈。圖中顏色越接近紅色表示 b 值越高，越接近深藍色表示 b 值越低(引自 Wu, 2010)

而由震央位置 b 值占背景值比例趨勢圖中(如圖 6)，則發現在這五個大地震中，有四個地震在地震發生前一年，b 值占背景值的比例有下降現象，推測可以此預報地震可能發生時間。

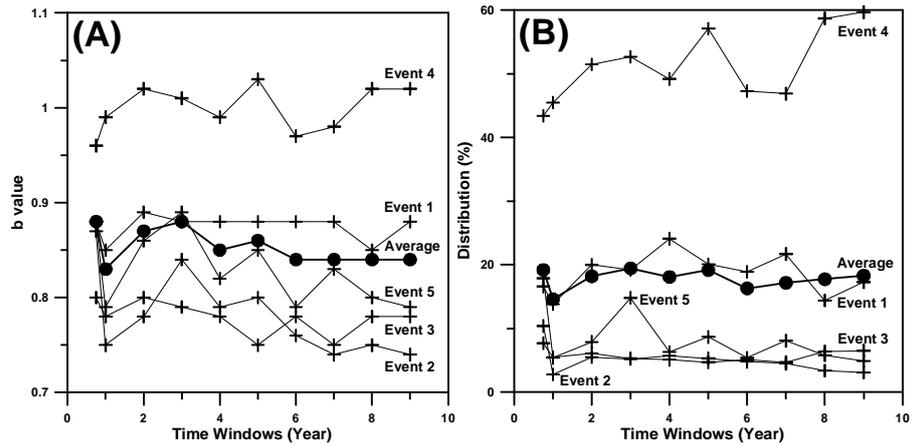


圖 6 (a)五個研究中地震震央附近地區 b 值和(b)占背景值比例趨勢。(引自 Wu, 2010)

而本研究正是藉由探討 b 值的變化，希望能以台灣地區的地震資料，提供統計上的證據，以驗證上述的推斷是否正確。

三、資料來源

本研究地震資料來自中央氣象局地震資料網 (CWBSN, Central Weather Bureau Seismic Network)，全台灣地區共有 71 個測站，在約 400 公里 x 550 公里的範圍內，一年大約有 18000 份地震資料。(見圖 7)

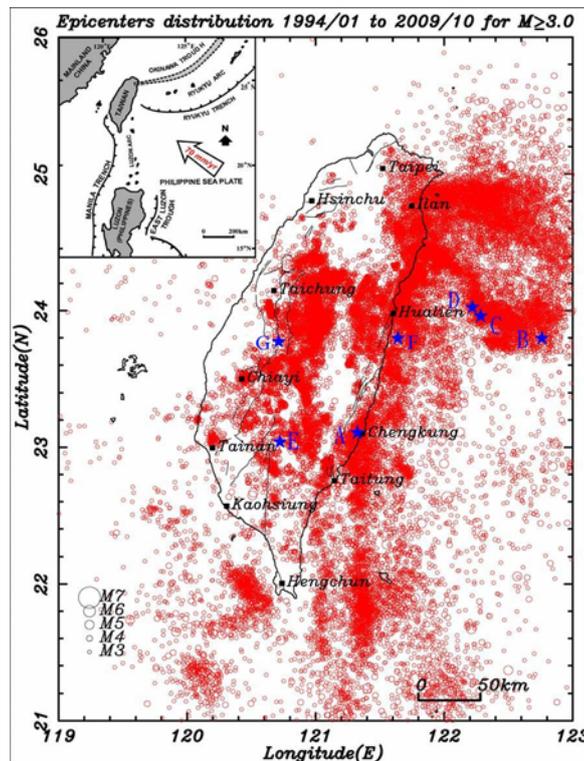


圖 7 台灣地區 1994 年至 2009 年規模 ≥ 3.0 的地震震央分布圖。七顆藍星星為本研究的地震震央。黑線為斷層帶。左上方小圖為台灣附近地區板塊構造圖。(引自 Wu, 2010)

四、初始資料設定

(一)選定本研究所使用的地震樣本：以 1994 年 1 月 1 日至 2010 年 2 月 28 日間，刪除被判定為餘震之地震，並且選用規模大於 6.0 的地震，全部共有七個，做為本次研究樣本。(參見表一)

(二)輸入所要分析的災害性地震日期、位置、深度和規模、最小收集規模(所收集地震的最小規模)、顯示單位經緯度(輸出圖時所看到的方格大小)、b 值平均圓半徑(以某地為圓心，計算圓內 b 值平均以畫圖)、收集深度範圍、背景資料起迄日期(自 1994 年 1 月 1 日的資料至所欲分析地震個案發生前一天的資料)、分析時窗的起迄日期(分析時窗指的是所採用資料的時間範圍)、輸出檔案名稱等基本資料。

(三)本研究所使用之地震樣本代號與基本資料如表一(不同於文獻中之地震編號)

編號	地震日期	深度(公里)	規模
A	2003/12/10	16	6.4
B	2004/11/08	10	6.6
C	2005/09/06	17	6.0
D	2009/07/13	18	6.0
E	2010/03/04	23	6.4
F	2009/12/19	44	6.9
G	2009/11/05	10	6.1

五、地震位置的預測

畫出台灣地區各單位經緯度方格的 b 值平均(包含背景資料的 b 值、分析時窗的 b 值、分析時窗和背景資料的 b 值差和單位經緯度可以收集到的最小地震規模)，以色階顯示特性。

(一) 觀測背景資料及主震前一年之 b 值圖樣

1. 於初始資料設定檔內輸入規模大於 6.0 地震的資料(詳見肆-五)。此部分研究的分析時窗一律採用地震發生前一年的地震資料作為分析範圍。
2. 利用程式寫出包含所要地震資料的資料檔
3. 利用程式畫出背景資料的 b 值、分析時窗的 b 值、分析時窗和背景資料的 b 值差和單位經緯度可以收集到的最小地震規模

(二) 觀測不同分析時窗之 b 值圖樣

1. 於初始資料設定檔內輸入規模大於 6.0 地震的資料(詳見肆-五)。此處的

分析時窗是採用累積年份的資料。例如三年的分析時窗，是採用地震發生前三年的地震資料；五年的分析時窗，則是採用地震發生前五年的地震資料。

2. 利用程式寫出包含所要地震資料的資料檔
3. 利用程式畫出背景資料的 b 值、分析時窗的 b 值、分析時窗和背景資料的 b 值差和單位經緯度可以收集到的最小地震規模
4. 設定不同時間長度的時窗，重複步驟 1.到 3.
5. 重複步驟1.到4.直到完成七個規模大於6.0的地震

六、地震時間的預測

(一) 觀測 b 值位於背景值的比例趨勢

觀察歷年 b 值(時窗為一年)趨勢占背景資料的比例，以找出未來要推判大地震是否發生時，所用的時間點。

1. 於初始資料設定檔內輸入規模大於 6.0 地震的資料，此處的分析時窗都以單一年份為範圍，例如地震前四年的時窗，指的就是地震發生前的第四年該年的地震資料。
2. 利用程式寫出包含所要地震資料的資料檔
3. 將分析時窗為地震前第一年的 txt.檔資料輸入 Excel
4. 去除無效資料
5. 找出發生大地震經緯度的平均 b 值
6. 算出發生大地震經緯度平均 b 值占有所有背景資料的比例
7. 將分析時窗為地震發生前第二年的資料檔資料輸入 Excel
8. 重複步驟 1.到 6.直到分析時窗為十年(註：地震 A 因資料不足分析時窗最高為九年)
9. 畫出不同累積年份的折線圖
10. 重複步驟 1.到 9.直到完成七個規模大於 6.0 的地震

(二) 檢驗 b 值趨勢中，下降處是否皆有地震發生

1. 確認前一步驟結果中，b 值趨勢下降大於 20%的地區以及年份
2. 將 b 值下降年份的次年地震資料輸入 Excel
3. 檢驗下降年份的次年該一地區(40 公里 x 40 公里範圍)是否有規模大

伍、研究結果

一、地震位置的預報

(一) 觀測背景資料及主震前一年之 b 值圖樣

觀察七個規模 6.0 以上的地震發現，震央附近的背景資料(1994 年 1 月 1 日至主震前一天) 平均 b 值及此地震前一年平均 b 值有比較低的趨勢。其中地震 A、B、C、D、F 震央附近的 b 值屬於接近最低的深藍色階段，地震 E 震央附近為淺藍色區域，而地震 G 則為淺綠色。(請見圖 8、圖 9)

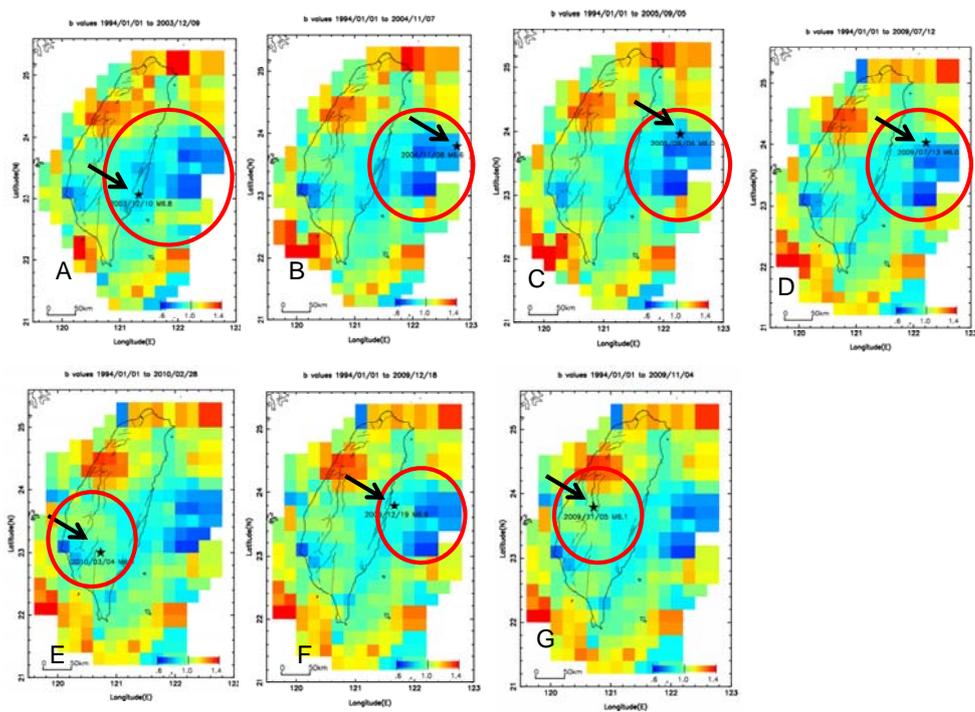


圖 8 七個規模大於 6.0 地震(各地震編號請詳見表一)背景平均 b 值，第一列由左至右為地震 A 到 D，第二列為地震 E 到 G。地震 A、B、C、D、F 震央附近的 b 值屬於接近最低的深藍色階段，地震 E 震央附近的 b 值屬於淺藍色階段，而地震 G 附近的 b 值則為淺綠色。

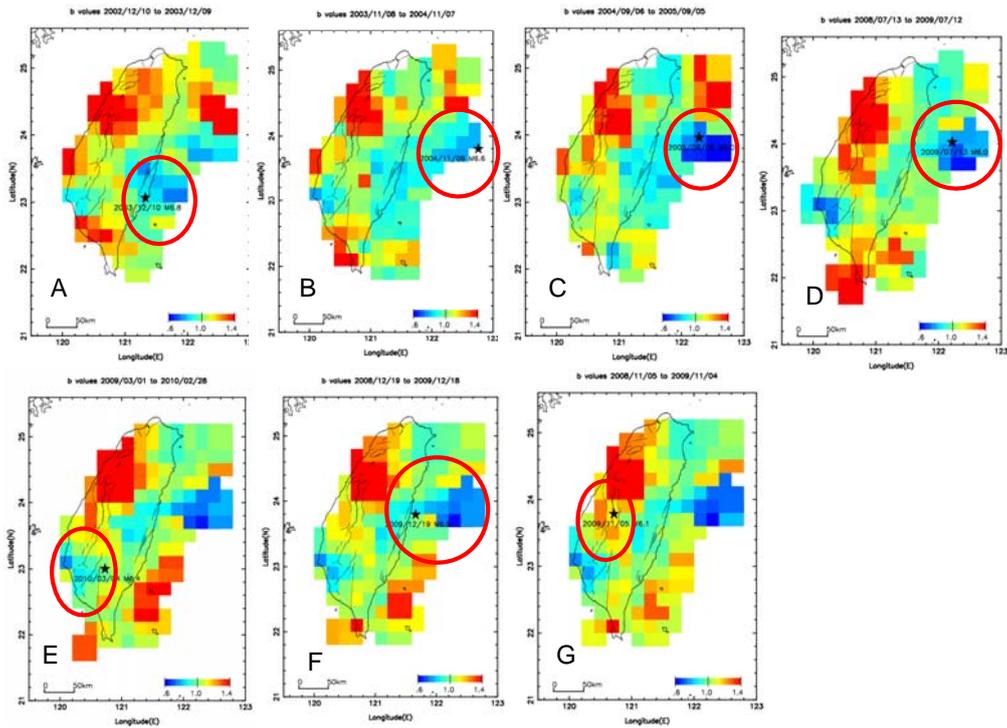


圖 9 七個規模大於 6.0 地震(各地震編號請詳見表一)前一年平均 b 值，第一列由左至右為地震 A 到 D，第二列為地震 E 到 G。地震 A、B、C、D、F 震央附近的 b 值接近最低的深藍色階段，地震 E 震央附近的 b 值屬於淺藍、淺綠色階段，地震 G 震央附近的 b 值為橘黃色。

(二) 觀測不同分析時窗之 b 值圖樣

分別以一至十年為分析時窗觀察七個規模 6.0 以上地震，發現其中五個地震的震源附近 b 值有範圍由大到小、藍色由淺到深且靠近震央的現象。

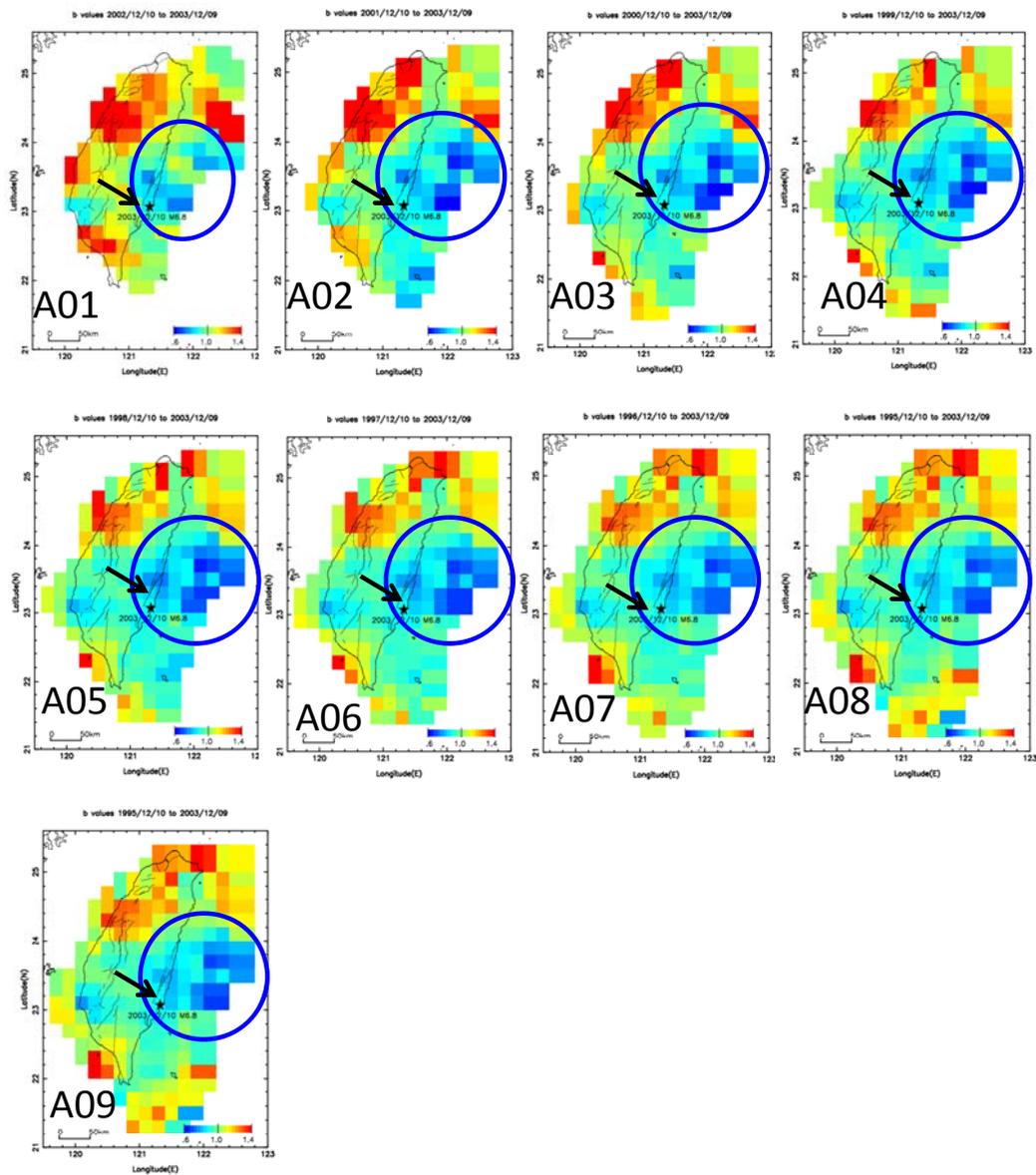


圖 10 不同分析時窗之地震 A 圖樣。由左上(A01)至右下(A09)分別為時窗一年至九年。

觀察地震 A 的各分析時窗，發現越接近地震時間，深藍色區域由外海往震央位置移動，且有範圍越來越小的趨勢。(如圖 10)

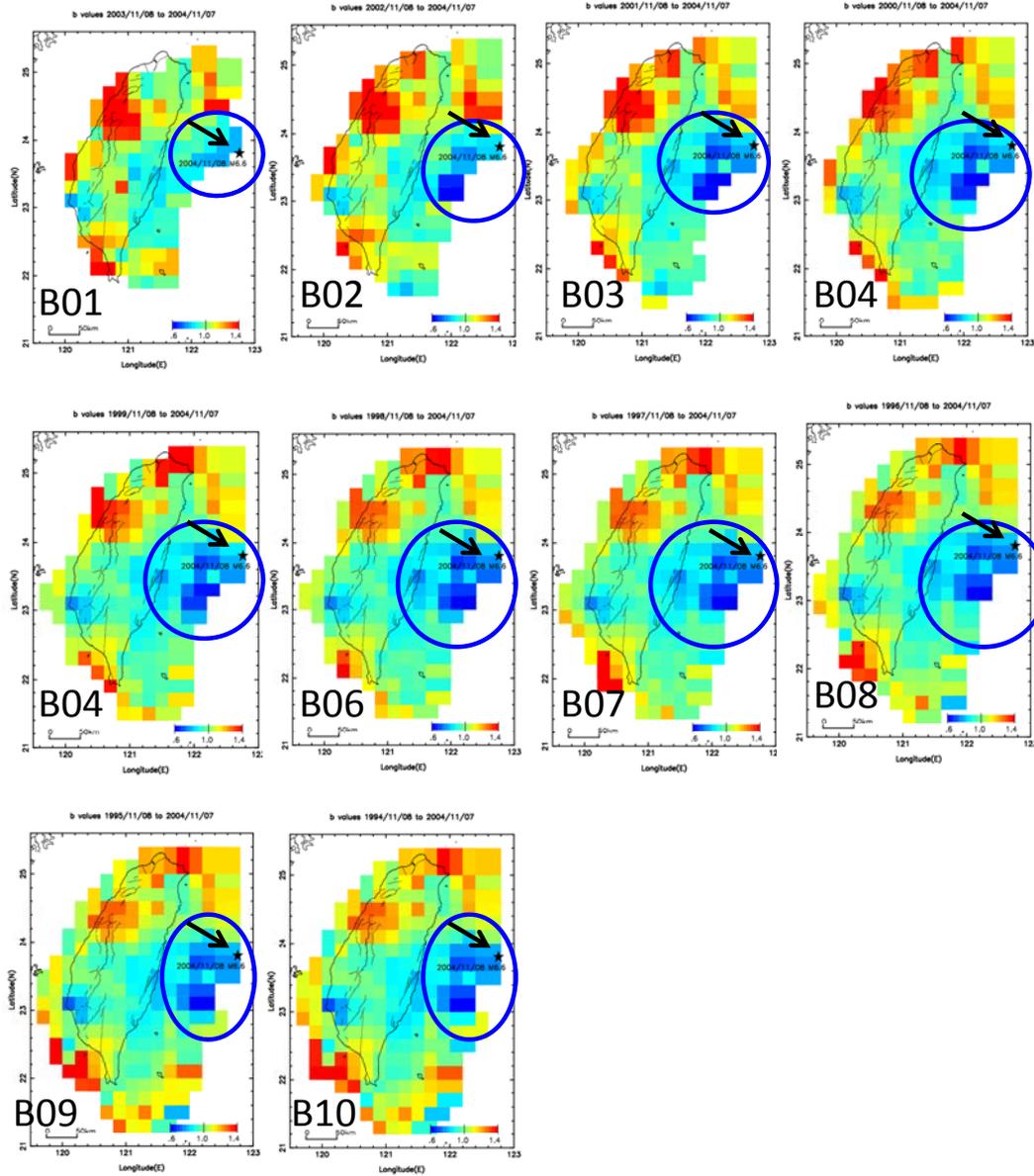


圖 11 不同分析時窗之地震 B 圖樣。由左上(B01)至右下(B09)分別為時窗一至十年。

觀察地震 B 的各分析時窗，發現越接近地震時間，震央附近深藍色範圍有接近、加深且越來越小的趨勢，然而 B01 雖範圍縮小顏色卻較淺。(如圖 11)

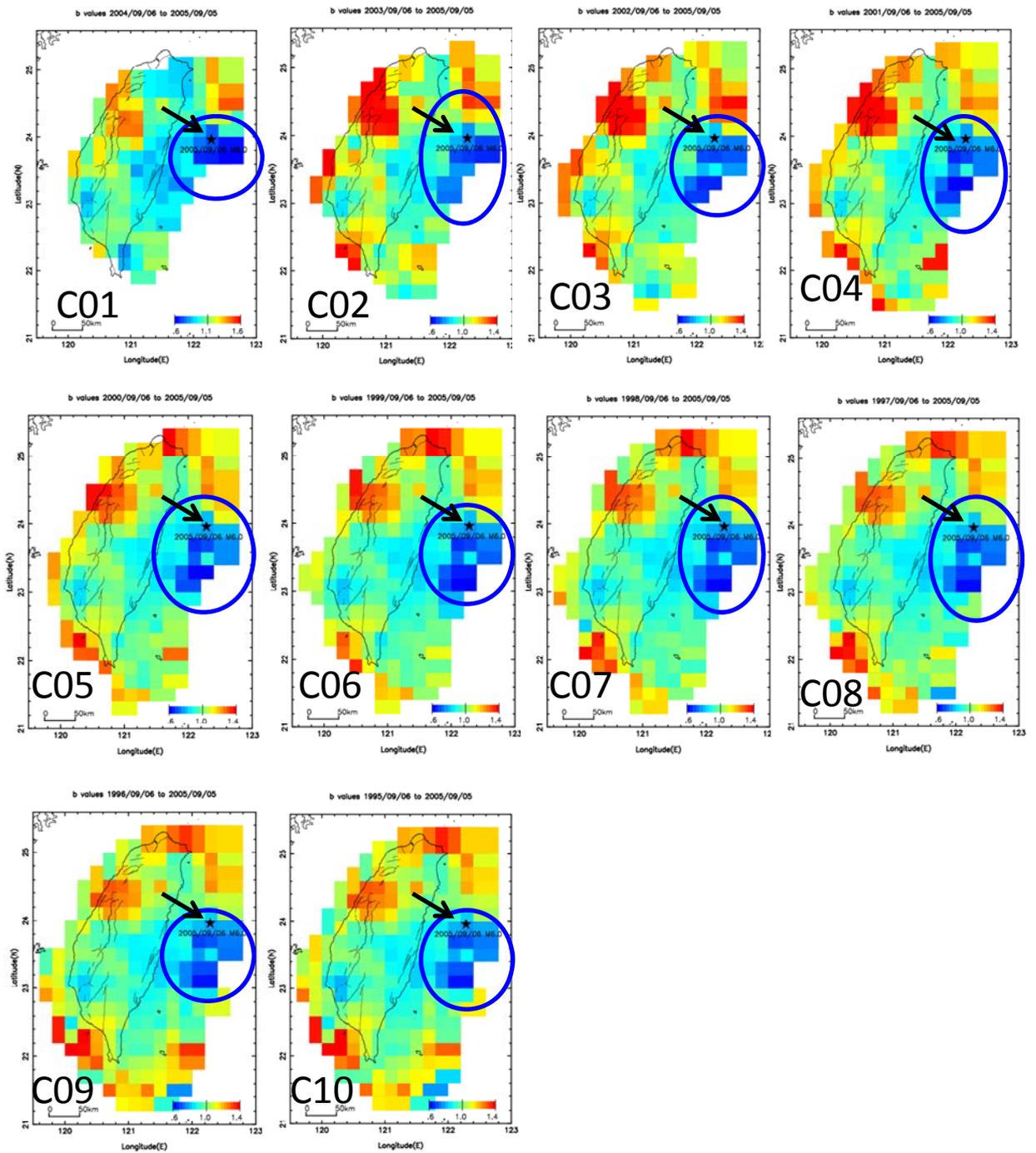


圖 12 不同分析時窗之地震 C 圖樣。由左上(C01)至右下(C09)分別為時窗一至十年。

觀察地震 C 的各分析時窗，發現越接近地震時間，震央附近藍色漸深，且有範圍越來越小並接近震央的趨勢。(如圖 12)

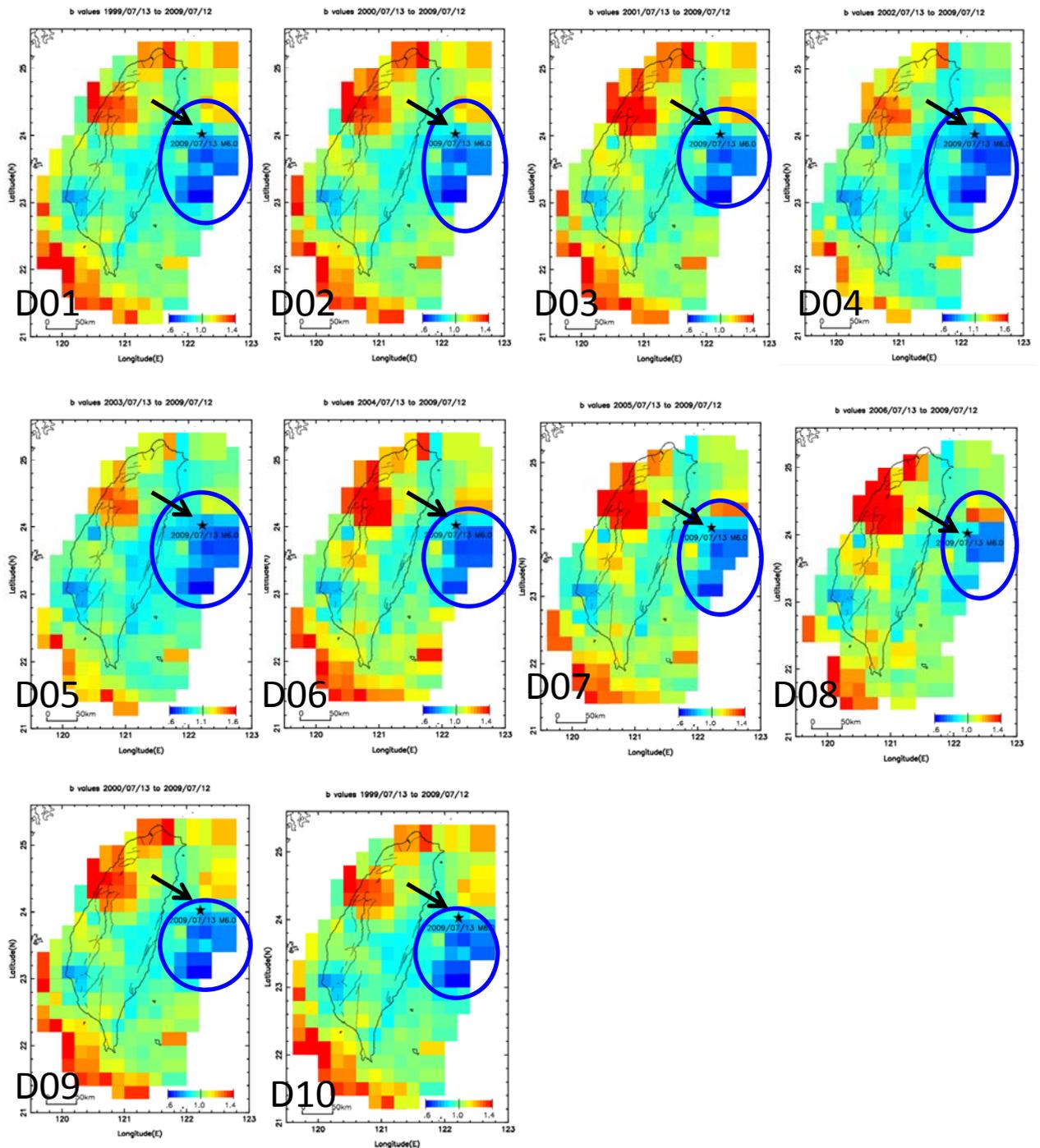


圖 13 不同分析時窗之地震 D 圖樣。由左上(D01)至右下(D09)分別為時窗一至十年。

觀察地震 D 的各分析時窗，發現分析時窗為五年以下的圖，震央附近藍色有較深情形，但是沒有接近震央或是範圍減小等現象。(如圖 13)

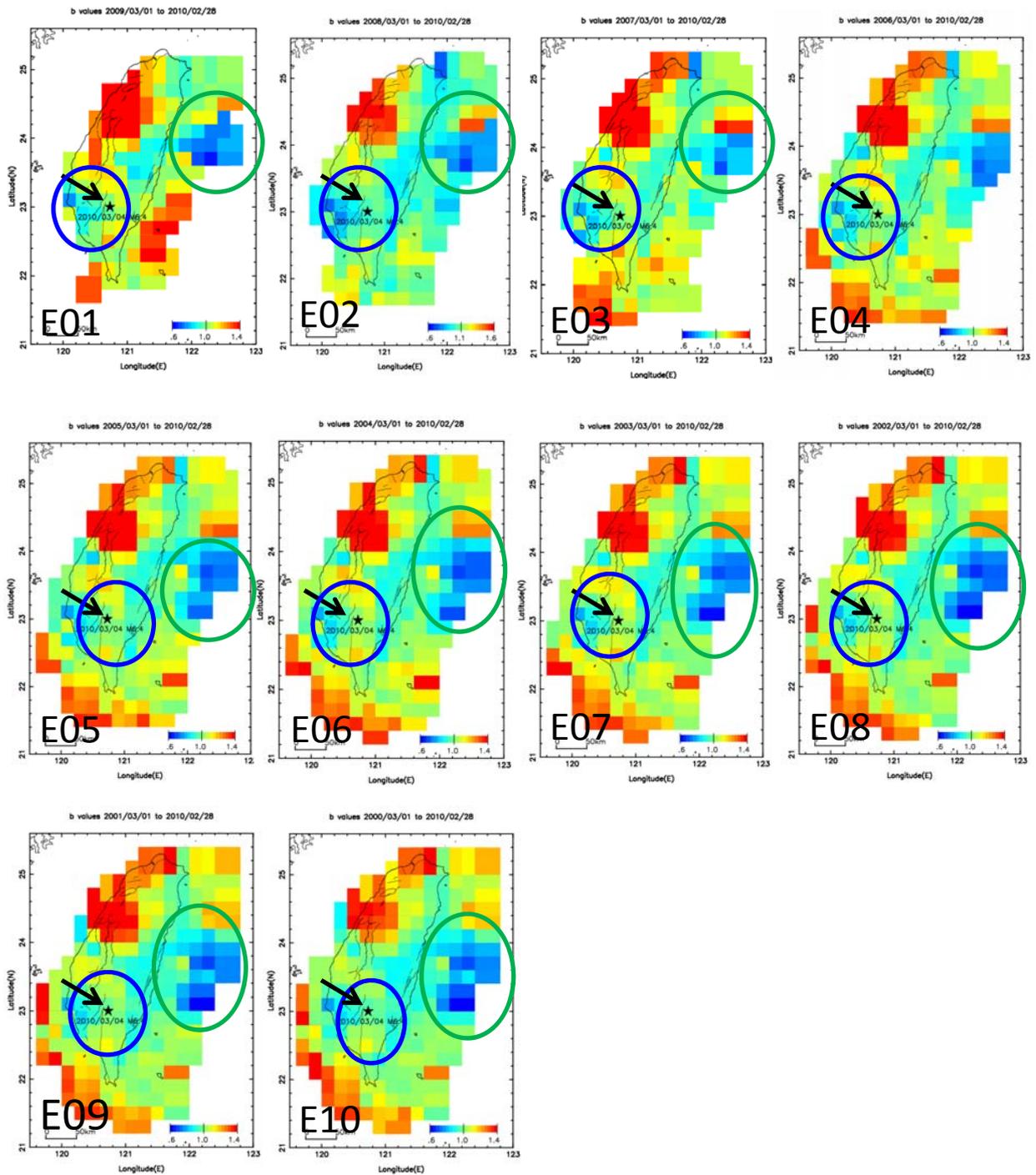


圖 14 不同分析時窗之地震 E 圖樣。由左上至右下分別為時窗一至十年。

觀察地震 E 的各分析時窗，發現藍色區域範圍相較於其他地震，形成較明顯的獨立區塊，另外，震央附近藍色有較深情形，但是最明顯的深藍色區域卻反而有遠離現象。(如圖 14)

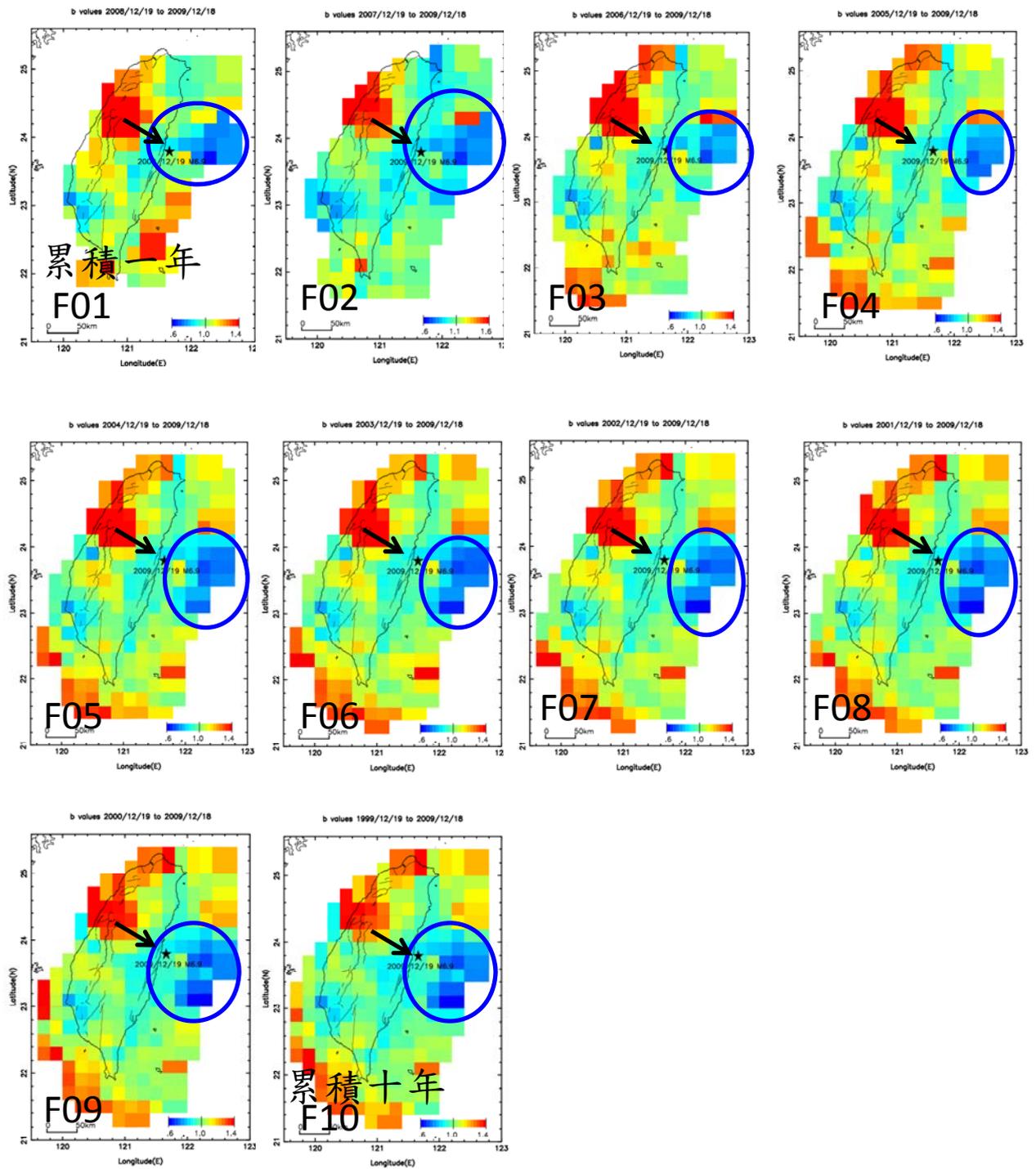


圖 15 不同分析時窗之地震 F 圖樣。由左上至右下分別為時窗一至十年。

觀察地震 F 的各個分析時窗，發現越接近地震時間，震央附近藍色漸深，且有範圍越來越小並接近震央的趨勢。(如圖 15)

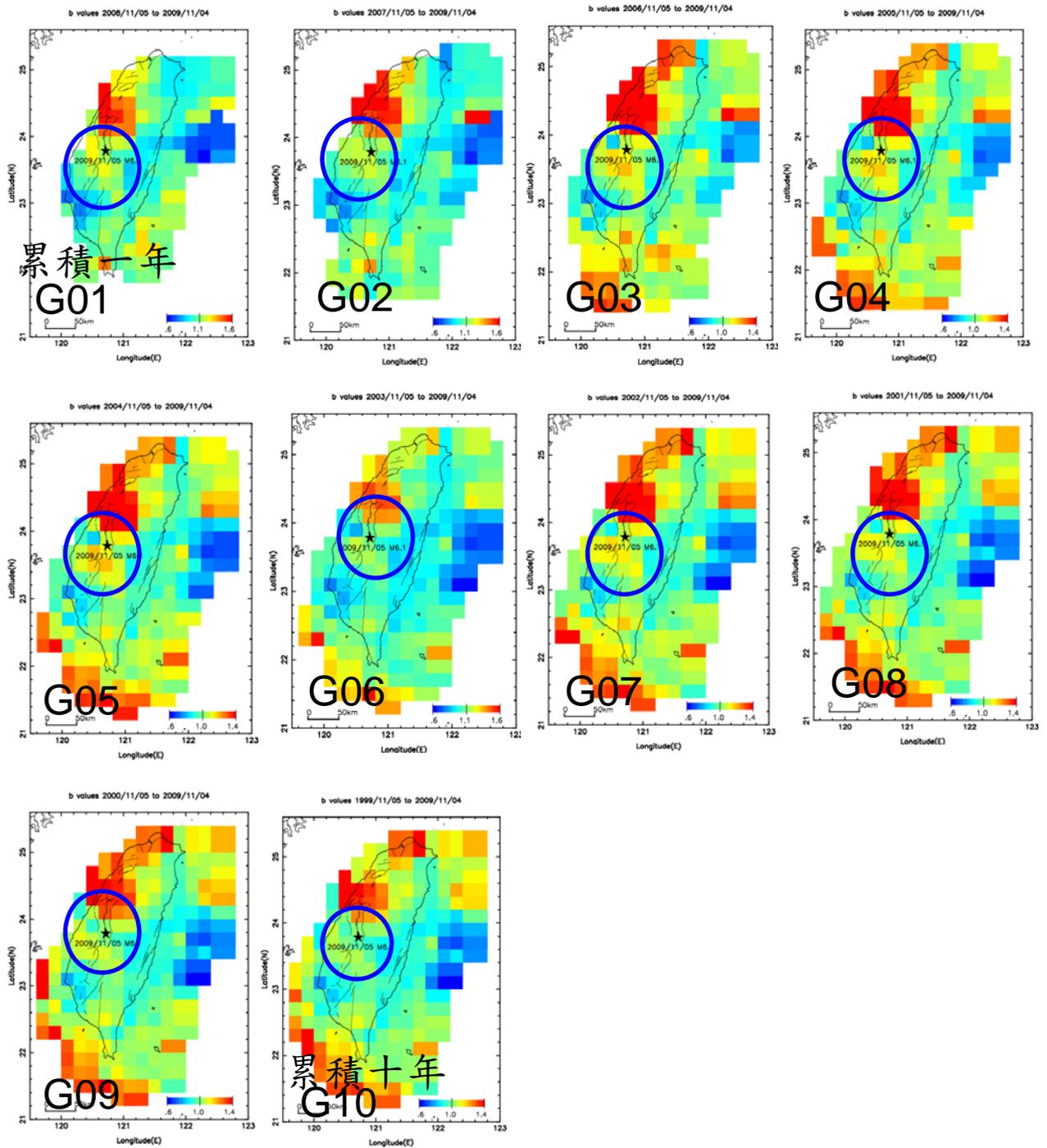


圖 16 不同分析時窗之地震 G 圖樣。由左上至右下分別為時窗一至十年。

觀察地震 G 的各個分析時窗，發現震央附近的 b 值並不是最低的區域。從累積時窗十年到七年，震央附近 b 值有上升趨勢，累積六年時突然下降，五年到三年又上升，兩年下降一年卻又微微上升。而最低 b 值區則有下降現象。(如圖 16)

二、地震時間的預報

(一) 觀測 b 值位於背景值的比例趨勢

觀察七個規模大於 6.0 的地震 b 值位於背景值的比例趨勢，發現其中六個地震(A、B、C、D、F、G)的比例皆在地震發生前一年有下降的現象。(請見圖 17)

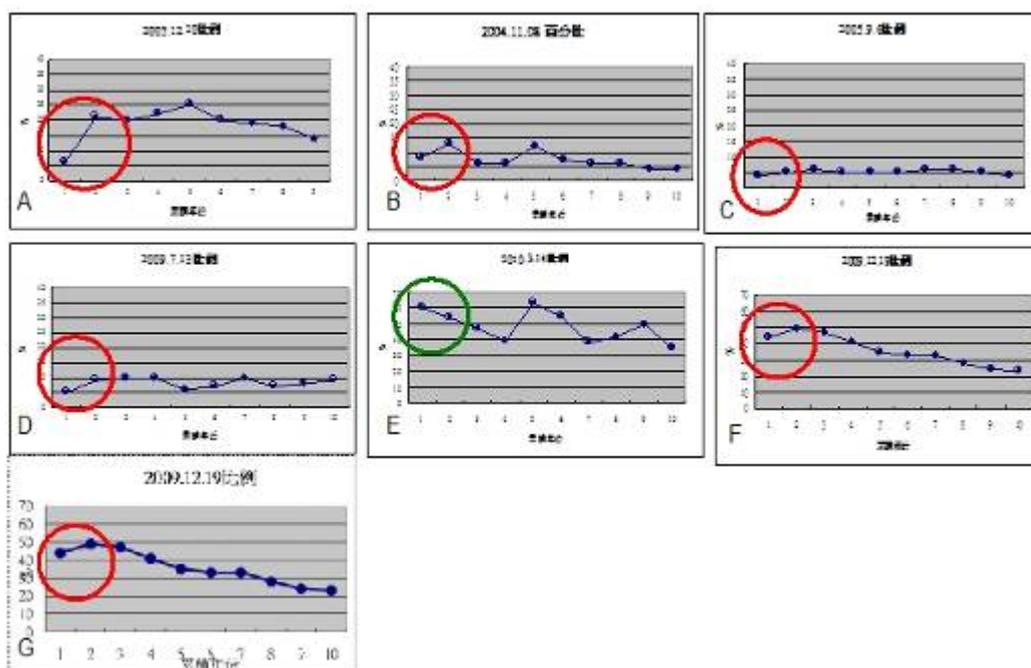


圖 17 七個規模大於 6.0 的地震 b 值位於背景值的比例，第一列由左至右為地震 A 到 C，第二列為地震 D 到 F，第三列為地震 G。其中地震 A、B、C、D、F、G 六個地震(紅色圈處)的比例皆在地震發生前一年有下降的現象。

(二) 檢驗 b 值趨勢中，下降處是否皆有地震發生

觀察代表台灣中部、南部、東部的南投、嘉義；花蓮和發生甲仙地震的高雄四地區自 1994 年至 2009 年 b 值占背景值比例趨勢。七個一年之內 b 值下降大於 20% 之處，實際上共有五個後來的確發生規模大於五以上的地震。(如圖 18)

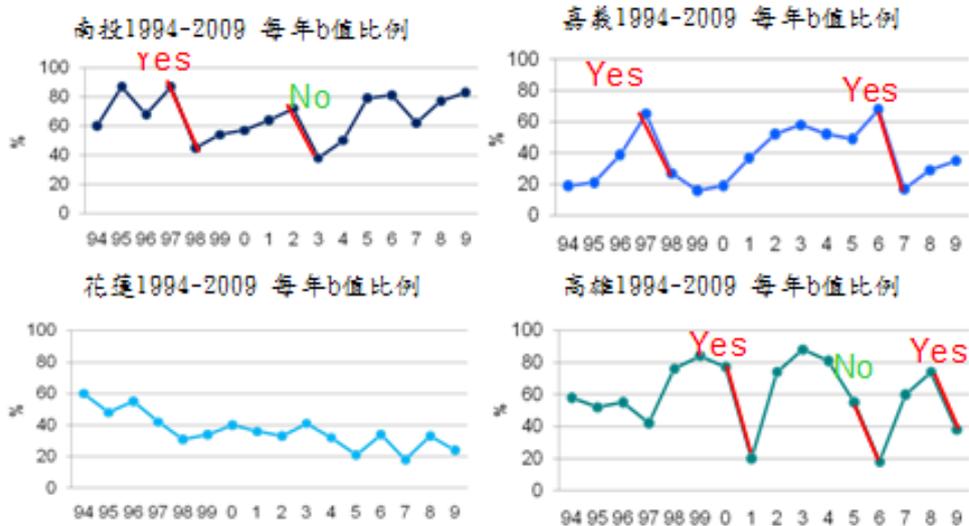


圖 18 代表台灣中部、南部、東部的南投、嘉義；花蓮和發生甲仙地震的高雄四地區自 1994 年至 2009 年 b 值占背景值比例趨勢。圖中有七處於一年內下降大於 20% (紅色線段)，而下降處的隔年確實有地震發生之處共有五處 (標示紅色 Yes)。

陸、討論

一、地震位置的預報

(一) 觀測背景資料及主震前一年之 b 值圖樣

觀察七個規模大於 6.0 地震背景平均 b 值 (如圖 8) 和七個規模大於 6.0 地震前一年平均 b 值 (如圖 9)，發現五個震央位於台灣東部地震震央附近的 b 值皆屬於接近最低的深藍色，歸納出台灣東部大地震發生前，震央附近 b 值會有下降現象，並且可由此看出地震可能發生的大約位置。

(二) 觀測不同分析時窗之 b 值圖樣

1. 地震 A 的藍色區域隨分析時窗減少而縮小，並且由海外至陸地越來越接近震央，推判震央位置和低 b 值的範圍縮小、位置接近震央有關。
2. 地震 B 的藍色區域隨分析時窗減少有縮小並接近震央的現象，但也可能是由於更往東邊地震資料不足而造成誤差。
3. 地震 C 的藍色區域隨分析時窗減少明顯縮小且接近震央，震央附近有漸深現象，推判震央位置和低 b 值的範圍縮小和持續降低有關。
4. 地震 D 在分析時窗為五年以下的圖，震央附近藍色有較深情形，但改變不大。
5. 地震 E 中 (也就是高雄甲仙地震)，震央附近藍色有較深情形，但是圖中最明顯的深藍色區域卻反而有遠離現象。
6. 地震 F 中，震央附近藍色漸深，且有範圍越來越小並接近震央的趨勢。

推判震央位置和低 b 值的範圍縮小和持續降低有關。

7. 地震 F 中，震央附近的 b 值並不是最低的區域。從累積時窗十年到七年，震央附近 b 值有上升趨勢，累積六年時突然下降，五年到三年又上升，兩年下降一年卻又微微上升。而最低 b 值區則有下降現象。

觀察七個規模大於 6.0 地震之不同分析時窗，發現五個台灣東部的地震隨著分析時窗縮短，有四個地震(A、B、C、F)的低 b 值區域(藍色)範圍有縮小現象，三個地震(A、B、F)的低 b 值區域越來越接近震央，三個地震(C、D、F)的低 b 值區之 b 值越來越低。推判台灣東部大地震前，低 b 值區會有縮小、接近震央且持續降低等現象。推測未來若要觀察大地震發生位置，可持續查看 b 值分布圖樣。

二、地震時間的預報

(一) 觀測背景資料及主震前一年之 b 值圖樣

觀察七個規模大於 6.0 的地震 b 值位於背景值的比例(請見圖 17)，發現六個地震的比例皆在地震發生前一年有下降的現象。符合文獻中 Wu 等人的研究 (2006, 2008) 提到的大地震前地震次數及 b 值會減少的理論，並且推測未來若要觀察大地震是否發生，可查看 b 值趨勢，若有下降現象，可推判隔年會有大地震發生。

(二) 檢驗 b 值趨勢中，下降處是否皆有地震發生

檢驗代表台灣中部、南部、東部的南投、嘉義、花蓮以及發生甲仙地震的高雄四個地區 b 值占背景值比例趨勢，發現 b 值趨勢在一年之內有下降大於 20% 之七處中，有五個時間點實際上隔年真的有大地震發生，也就是大於百分之五十的機率。這個結論讓我們推判未來能夠朝著此方向，對於地震時間的預測有更深入的研究，對於大地震之預報，也許可於大地震前一年知曉，但尚待進一步確認。我們希望此方法能夠成爲未來預測地震的參考工具之一。

柒、結論

- 一、本研究藉由監測特定區域 b 值降低與否和變化趨勢，驗證前人研究結果以提供統計數據。並期望未來能以此方法推判接下來數年間可能發生大地震的位置與未來一年是否會發生地震。
- 二、根據研究結果，利用 b 值分布圖樣及其變化，值得做爲預報未來大地震可能會發生之大概區域之研究。
- 三、若持續監測 b 值占背景值之比例趨勢，可作爲未來預報大地震可能發生時間之重要參考指標。

四、未來展望

- (一) 進一步檢驗更多東部及非東部地震之 b 值分布趨勢，以確認理論是否正確。

(二) 觀測 b 值趨勢之檢驗部分，希望能以不同的下降幅度、地區以及時窗來檢驗此方法是否可行。

捌、參考資料及其他

- 黃聰哲(2002)。台灣地區 1999 年集集地震前十年之地震活動
- 陳建志、吳逸民(2008)。集集地震前異常地震活動現象之回顧。
- Kuo Chen, H., Wu, Y. M., Chen, Y. G., and Chen, R. Y. (2007), 2003 Mw6.8 Chengkung earthquake and its related seismogenic structures.
- Max Wyss and Ragnar Stefansson (2006), Nucleation Points of Recent Mainshocks in Southern Iceland, Mapped by b-Values.
- Stefan Wiemer, Stephen R. McNutt and Max Wyss (1998), Temporal and three-dimensional spatial analyses of the frequency – magnitude distribution near Long Valley Caldera, California.
- Wu Y-M and Chiao L-Y (2006) , Seismic Quiescence before the 1999 Chi-Chi, Taiwan, Mw 7.6 Earthquake.
- Yih-Min Wu, Ting-Li Lin, and Chien-Chih Chen (2010), Epicenters of recently shallow M6 earthquakes in eastern Taiwan, mapped by b-values
- Wu, Y. M., Y. G. Chen, T. C. Shin, H. Kuo Chen, C. S. Hou, C. H. Chang, C. F. Wu and T. L. Teng (2006), Coseismic versus interseismic ground deformations, fault rupture inversion and segmentation revealed by 2003 Mw 6.8 Chengkung earthquake in eastern Taiwan.
- Wu Y-M, Chen C-C, Li Zhao and Chang C-H (2008), Seismicity characteristics before the 2003 Chengkung, Taiwan, earthquake.

【評語】 040507

資料講示極為清楚，邏輯分明，處理的問題具有高的學術性，而且著眼在重要的實用性（地震的前兆現象），尤其就台灣而言，有很好的持續發展的空間，作者將來亦有成為優秀地科學家的潛力。