

# 地震趨勢分析法在台灣地區的應用

鄭魁香

(台灣高苑技術學院土木工程系地震與震害預測研究室, 高雄)

**摘要：**本文在北緯 21~26 度，東經 119~123 度內，依據板塊運動、地體構造界線、活動斷層分析和強震震央分佈等四個因素，繪製台灣地區的地震地體構造區分圖；將台灣地區分成東西兩個地震區；E1~E4、W1~W4 等共八個地震帶。根據（一）強震幕式分析（二）地震活動性水平分析；（三）地震頻次與缺震異常分析和（四）空區與條帶分析等四個地震趨勢分析步驟，分析 2001 年和 2002 年台灣地區的中強地震趨勢。實際地震結果表明，這種地震趨勢分析方法在台灣地區有非常好的應用效果。

**關鍵詞：**地震趨勢分析；地震活動性

## 0 引言

本文是台灣地震學界第一篇有關地震趨勢分析方面的研究報告。文中地震趨勢分析的步驟與強震幕式分析方法均係作者之創意。加上與其他已有地震活動性分析方法的聯合運用，經過實際的檢驗後，這種基於地震時空活動特性的地震趨勢分析法，在台灣地區一年尺度的地震預測上是可以廣泛地應用。

本文依據台灣地區菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊（含南中國海板塊）的板塊聚合隱沒、區域地體構造的界線、強震震央分佈與活斷層分析等因素，將台灣東西兩個地震區共分成八個地震帶。根據（一）強震幕式分析（二）地震活動性水平分析（三）地震頻次與缺震異常分析和（四）空區與條帶分析等四個先後地震趨勢分析步驟，分析 2001 年和 2002 年台灣地區的中強地震趨勢。

2001 年是台灣地區百年來第六個地震活躍期的結束期（閉幕）。2002 年起台灣地區即進入第六個平靜期，會持續到 2016 年左右共 15 年之久；15 年中規模 7.0 以上的強震最多發生一次，N-t 圖的年平均強震頻度則降為 0.06 次/年。2001 年潛在地震危險區在東部的宜蘭外海 E1 地震帶與花蓮外海 E2 地震帶。震源區共有三個：一個在北緯 24.3~24.8，東經 122.0~122.3，地震規模為六級左右；另一個在北緯 24.2~24.9，東經 122.5~122.7，地震規模亦為六級左右。第三個震源區在北緯 23.0~24.0，東經 122.0~122.4，為一七級左右地震規

模的震源區<sup>[1]</sup>。

實際地震活動顯示，除 2001 年南端的震源區規模大小有明顯誤差外，其餘兩個北端震源區的震央位置與規模則都在分析範圍內；初步看來這種地震趨勢分析方法在台灣地區是可以應用的。

2002 年台灣地區地震活動潛勢東部地震區仍高於西部地震區，西部地震區地震活動水平則與 2001 年相近。其潛在地震危險區在東部地震區東北方的宜蘭外海 E1 地震帶與花蓮外海 E2 地震帶的北方震源區。震源區共有兩個：一個在北緯 24.7~25.3，東經 122.2~122.9，地震規模為五級左右；且極可能為中源深度地震（ $\approx 100$  km），對台灣地區不會有任何震害影響。另一個震源區在北緯 24.0~24.7，東經 122.0~122.4，震央較有可能在北緯 24.5，東經 122.4 附近（蘇澳與南澳外海），規模則為六級。此震源區有兩個可能的震源深度，若為極淺層地震（ $\approx 10$  km），則會對台北盆地有震害的影響；若為淺層地震（ $\approx 50$  km），則對台灣地區沒有任何震害影響<sup>[6]</sup>。

實際地震結果顯示，2002 年 1 至 10 月 2 月 2 日規模 5.4 的地震、3 月 31 日規模 6.8、5 月 15 日規模 6.2、5 月 29 日規模 6.2、7 月 11 日規模 5.9、8 月 26 日規模 5.5、9 月 1 日規模 6.0 和 9 月 16 日規模 6.8 的地震等，已先後將此兩震源區孕育的地震能量大致釋放完畢。震央位置與地震強度都在趨勢分析的預測範圍內。331 的極淺層地震（10.2km）並對北部台北盆地造成 5 死 247 傷的震害損失，亦與分析結果相同。2002 年地震趨勢分析的結果再次驗證這種分析步驟在台灣地區確屬可行。

## 1 2001 至 2002 年台灣地區地震趨勢分析

### 1.1 強震幕式分析

主要根據灰色預測理論與 N-t 圖斜率變化判據的綜合分析，台灣地區和大陸及鄰區地震規模 7.0 以上之強震幕式分析的結果如表 1 所示<sup>[5]</sup>。

表 1 台灣地區強震幕式分析表 (鄭魁香, 2001)

地震活躍期	強震幕式	台灣地區 年份(震級)	地震活躍期	強震幕式	大陸及鄰區 年份(震級)
一 1900-1910	開幕	1900 (7.0)	1897-1912	中間峰值	1902 (8.3)
	中間峰值	1906 (7.0)			
		1908 (7.3)			
		1909 (7.3)			
	閉幕	1909 (7.3)			
		1910 (7.8)			
1910 (7.0)					
二 1935-1938	中間峰值	1910 (7.1)	1920-1937	中間峰值	1911 (8.4) 1912 (8.0)
		1935 (7.1)			
		1935 (7.2)			
三 1947-1951	閉幕	1936 (7.3)	1946(1947)-195 9(1955)	中間峰值	1920 (8.0) 1934 (8.3)
		1937 (7.0)			
		1938 (7.0)			
四 1957-1959	閉幕	1938 (7.0)	1965(1966)-197 6	閉幕	1937 (7.5)
		1938 (7.0)			
		1947 (7.2)			
五 1963-1968	中間峰值	?	1988-2001	中間峰值	1947 (7.7)
		1951 (7.3)			
		1951 (7.1)			
六 1996-2001	閉幕	1951 (7.1)	1996-2001	閉幕	1950 (8.6) 1951 (8.0)
		1951 (7.1)			
		1951 (7.3)			
七 1996-2001	閉幕	1957 (7.1)	1996-2001	閉幕	1955 (7.5) 1957 (8.3)
		?			
		1959 (7.5)			
八 1996-2001	閉幕	1959 (7.1)	1996-2001	閉幕	1965 (7.6) 1966 (7.2)
		1963 (7.4)			
		1966 (7.8)			
九 1996-2001	閉幕	1968 (7.1)	1996-2001	閉幕	1970 (7.0) 1973 (7.7)
		1996 (7.1)			
		1999 (7.3)			
十 1996-2001	閉幕	*2001 (6.7)	1996-2001	閉幕	1976 (7.0) 1988 (7.6) 1990 (7.0) 1991 (7.6) 1992 (7.5)
		*2002 (6.8)			
十一 1996-2001	閉幕		1996-2001	閉幕	1994 (7.3) 1997 (7.5)
十二 1996-2001	閉幕		1996-2001	閉幕	2001 (8.1) ( 7.5)

由強震幕式分析的結果顯示，2002 年台灣地區即進入百年以來的第六個平靜期，其持續時間約為 15 年左右（2002~2016 年），15 年中規模 7.0 以上的強震最多發生一次，其 N-t 圖的年平均強震次數則降為 0.06 次/年。2002 年台灣地區會發生 7.0 以上強震的可能性很低。但對此結論不利的因素仍然有三：

- (1) 2001 年 11 月 14 日大陸昆崙山口西發生 M8.1 的強震，可能結束了大陸地區自 1988 年以來的第五個活躍期。依據前四個活躍期台灣地區平均滯後大陸地區 1~2 年才閉幕來看，2002 年台灣地區仍有可能會發生規模 7.0 以上的閉幕震。

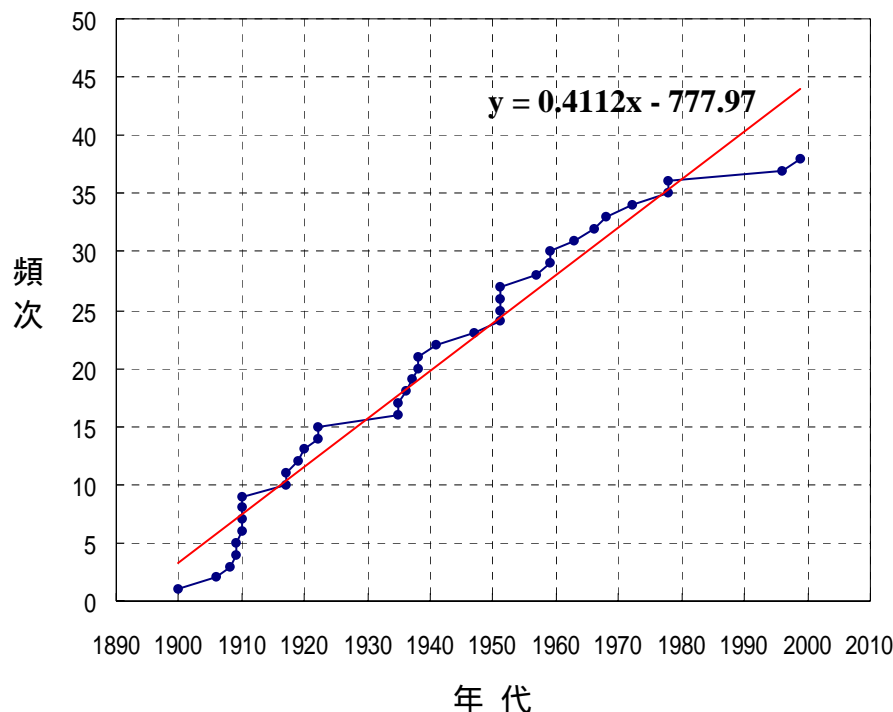


圖 1 台灣地區百年來的七級強震頻次圖

- (2) 由上圖依據上個世紀台灣地區規模 7.0 以上的強震頻次迴歸，其方程式為：

$$y = 0.4112x - 777.97$$

式中

$y$ ：強震頻次

$x$ ：紀元年代

我們把  $x = 2002$  代入，可得  $y = 7.2524$ 。但第六個活躍期迄今只發生過兩次規模為 7.0 以上的強震（1996（7.1），1999（7.3）），顯然強震頻次不足，仍然有缺震現象。此點亦對 2002 年開始了第六個平靜期的結論不利。

- (3) 2001 年台灣地區最大地震規模僅為 M6.7，尚不及強震幕式分析規模 7.0 的基本要求。

依據 2002 年 1 至 10 月的實際地震來看, 3 月 31 日規模 6.8 的地震, 和 2001 年最大規模 6.7 的兩次地震能量綜合來看, 已近於一個七級地震 (幕式分析的門檻) 的能量。因此, 台灣地區第六個活躍期很可能是到 2002 年的 3 月 31 日才正式的結束。

## 1.2 地震活動性水平分析

依據表 2 2000 年與 2001 年地震活動性分析對照表來看, 2002 年的地震活動性水平趨勢應仍較年平均頻次為低, 2002 年為相對平靜期應屬無誤。

表 2 2000 至 2001 年地震活動性分析表

頻次規模	年平均	2000 年	2001 年
M6.0 以上	2 (29 年統計)	3	4
M5.0~M5.9	28 (29 年統計)	34	14
M4.0~M4.9	230	285	225
M3.0~M3.9	1800	2021	1630
合計	2060	2343	1873

## 1.3 地震頻次與缺震異常分析

### 1.3.1 地震頻次異常分析

我們將台灣地區各地震帶規模 4.0 以上的平均年頻次比值與 2000 年及 2001 年的年頻次比值對照如表 3 所示。

表 3 台灣地區各地震帶 2000 年至 2001 年與平均年頻次比值對照表

各地震帶年頻次比	平均年頻次	2000 年	2001 年
E : W	6.91 : 1	1.56 : 1	2.83 : 1
E1 : E2 : E3 : E4	1.9 : 2.6 : 3.4 : 1	1.2 : 1.72 : 5.1 : 1	1.13 : 1.8 : 4.9 : 1
W1 : W2 : W3 : W4	1 : 3.9 : 3.7 : 2.6	1 : 16.4 : 6.4 : 1.6	0 : 2.88 : 2 : 1

2000 年 E : W 頻次比偏低乃因東部地震區活動性低且西部地震區活動性高的雙重影響。2001 年則因集集餘震序列的頻次持續降低, 使得西部地震區地震活動性降低, 相對的東部地震區地震活動性偏高, 基本維持持平現象。

東部 E1 地震帶年頻次偏低且連續二年持續下降，地震潛勢最高。E2 地震帶 2001 年雖有補回，但仍與平均年頻次有差距，地震潛勢仍高。E3 地震帶 2002 年地震活動性還會持續降低。

西部地震區 W1 與 W2 地震帶 2002 年大致會維持在 2001 年的偏低活動水平，W3 與 W4 地震帶則可能持平亦可能略為增高。

2000 年與 2001 年各地震帶的頻次表則如表 4 所示

表 4 2000 年與 2001 年台灣地區各地震帶頻次統計表

各地震帶 頻次規模	E1	E2	E3	E4	W1	W2	W3	W4	合計
M6.0 以上	3/0	1/0	0/2	0/0	0/0	0/1	0/0	0/0	4/3
M5.0~M5.9	5/10	3/7	3/4	0/2	0/0	2/6	1/4	0/1	14/34
M4.0~M4.9	60/55	54/26	53/82	16/22	0/2	21/73	13/18	8/7	225/285
M3.0~M3.9	611/478	277/128	332/603	119/109	14/12	147/514	82/137	48/40	1630/2021

註：上方數字表 2001 年頻次 / 下方數字表 2000 年頻次

由上表各地震帶的活動性來看，規模 6.0 以上的地震集中在東部 E1 與 E2 地震帶應與閉幕震有關。規模 5.0 以上的地震集中在 E1、E2 與 W2 和 W3 地震帶。規模 4.0 以上的地震，則主要集中在 E3 和 W2 與 W3 地震帶，這與歷年各地震帶頻次的比率基本符合。顯然，從各地震帶活動性比率來看，除了閉幕震的影響外，2001 年基本上是正常的。

由六級地震活動性頻次偏高，2001 年是處於活躍期。五級頻次偏低，四級三級頻次亦偏低，也充分反映上半年 613、614 與 1218(M6.7) 即可能為閉幕震先行的事實。2002 年各級頻次持續偏低已進入平靜期的現象亦將清楚呈現。

### 1.3.2 缺震異常分析

本文分析上述頻次異常的 E1、E2 與 W3、W4 的缺震情形，可得到表 5 的結果。

表 5 缺震異常分析表

最大地震規模	2000 年	2001 年	結論
$E1_{\max} = 6.2$	$E1_{2000} = 5.7$	$E1_{2001} = 4.8$	缺震嚴重
$E2_{\max} = 7.0$	$E2_{2000} = 5.6$	$E2_{2001} = 6.3$	仍屬缺震
$W3_{\max} = 6.6$	$W3_{2000} = 5.6$	$W3_{2001} = 5.0$	缺震嚴重
$W4_{\max} = 5.8$	$W4_{2000} = 5.0$	$W4_{2001} = 4.8$	缺震

缺震異常分析結果顯示：東部 E1 地震帶缺震最為嚴重，E2 仍屬缺震，均須以 2002 年的地震活動性補回。西部地震區的 W3 與 W4 地震帶均屬缺震，且以 W3 顯出更有補回的趨勢。

綜合上述頻次與缺震異常分析，E1、W3 和 W4 在 2002 年的地震活動潛勢相對於 2001 年均可能會增高。

#### 1.4 E1 與 E2 地震帶條帶分析與空區掃描 (北緯 22.5~26, 東經 121.7~123.0) <sup>[2]</sup>

2000 年 E1 與 E2 地震帶共出現三個第二類的四級地震空區，其位置如圖 5 所示。

2001 年 E1 與 E2 地震帶亦出現一個 M4.0 以上的條帶如圖 3 所示。未來有可能會發生規模 6.0 左右的強震在兩條帶的交會處 (北緯 24.5, 東經 122.37)，即在南澳外海，與 2001 年 614 地震之震央相近。

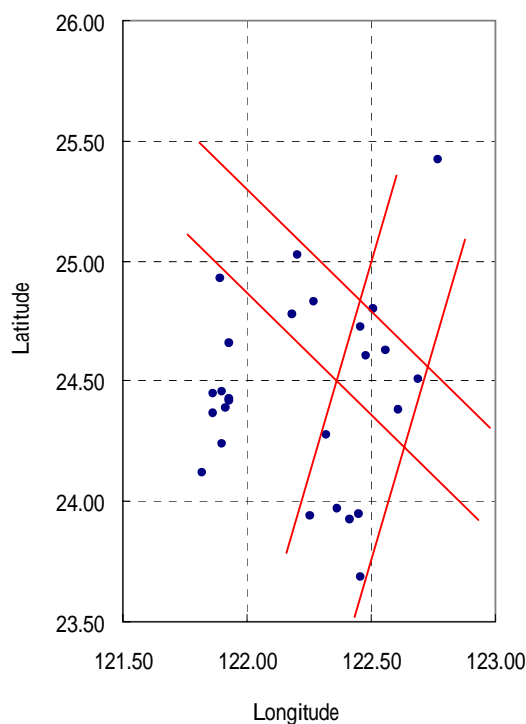


圖 2 2001 年 E1、E2 地震帶 M4.0 條帶圖

另外，2001 年 E1 與 E2 地震帶各出現一個三級和四級的地震空區，如圖 3 與圖 4 所示。

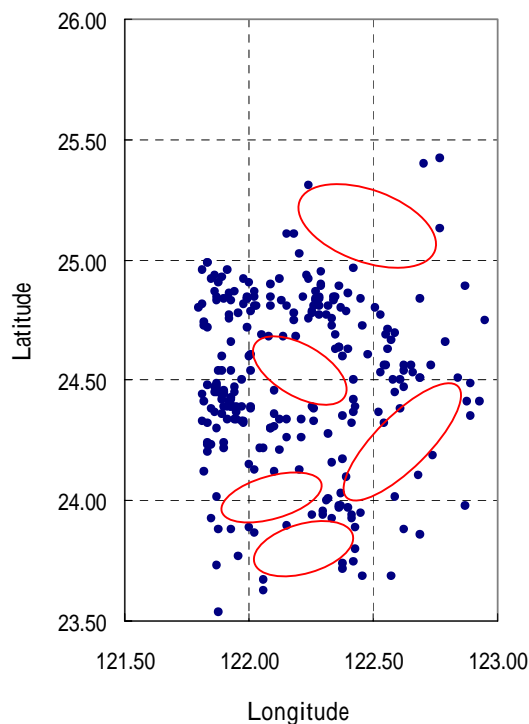


圖 3 2001 年 E1、E2 地震帶 M3.0 空區圖

此三級空區孕震範圍為北緯 24.7~25.3，東經 122.2~122.9，面積近 2500 km<sup>2</sup>，孕震規模為 M5~6 左右，震源深度則可能超過 100 km。

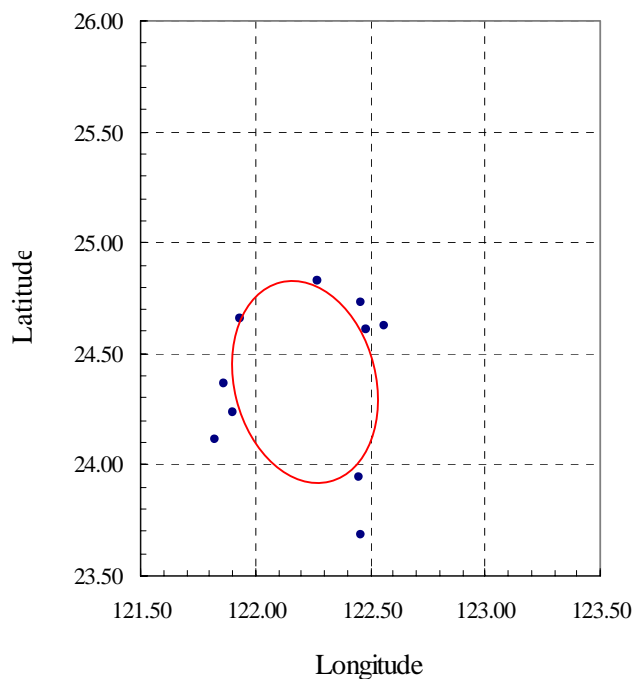


圖 4 2001 年 E1、E2 地震帶 M4.0 空區圖



此四級空區孕震範圍為北緯 24.0~24.7，東經 122.0~122.4，面積超過 3500km<sup>2</sup>，為一 M6~7 左右的震源區。潛在震央若發生在空區北緣，則震源深度可能在 10 km 極淺層內或在 50 km 外的淺層較深處。

## 2 2001 年至 2002 年 10 月台灣地區地震活動概況

2001 年台灣地區東西兩個地震區八個地震帶，不同震級的地震頻次與最大規模地震分佈如下所示：

表 6 2001 年台灣地區地震頻次表

各地震帶 規模頻次	E1	E2	E3	E4	W1	W2	W3	W4	合計
M6.0 以上	(Max=6.3) 3	(Max=6.2) 1	0	0	0	0	0	0	4
M5.0~M5.9	5	3	(Max=5.4) 3	0	0	(Max=5.8) 2	(Max=5.0) 1	0	14
M4.0~M4.9	60	54	53	(Max=4.9) 16	0	21	13	(Max=4.8) 8	225
M3.0~M3.9	611	297	332	119	(Max=3.9) 14	147	82	48	1630
合計	679	335	388	135	14	170	96	56	1873

年度最大規模地震（研究範圍外 12 月 18 日的地震未計入）M6.3 分別在 6 月 13 日與 6 月 14 日發生在 E1 地震帶。6 月 14 日發生在南澳外海的地震因震源深度僅 17.3km，曾給台北市帶來五級的震度。另外兩次六級地震 2 月 17 日 M6.0 和 11 月 24 日 M6.2 則均發生在 E2 地震帶。對照 2001 年 W2 地震帶（北緯 23.70~24.70，東經 119.50~121.20）僅發生規模 4.0 以上地震 23 次，最大規模僅 M5.8 而已。顯然集集餘震序列第二年的規模與頻次均下降不少。

2001 年台灣東部地震區的 E1 和 E2 地震帶，在發生規模 6.0 至 7.0 的閉幕震後，即趨向結束台灣地區百年來的第六個活躍期，而進入第六個平靜期。由 2001 年全年 18 次規模 5.0 以上的中強震，僅有六次發生在七月以後可初步看出趨向閉幕震的現象。

2001 年台灣東部地區三個潛在震源區的實際地震對照情形如圖 5 所示。613、614 與 1026 三次地震均發生在此三個孕震區的左側外緣上。613 與 614 的規模均完全正確（M6~7），但 1026 震級偏低（趨勢分析為 M7.0 左右，但 1026 僅發生 M5.2），評估 E2 地震帶仍有很高的強震潛勢，值得特別注意。

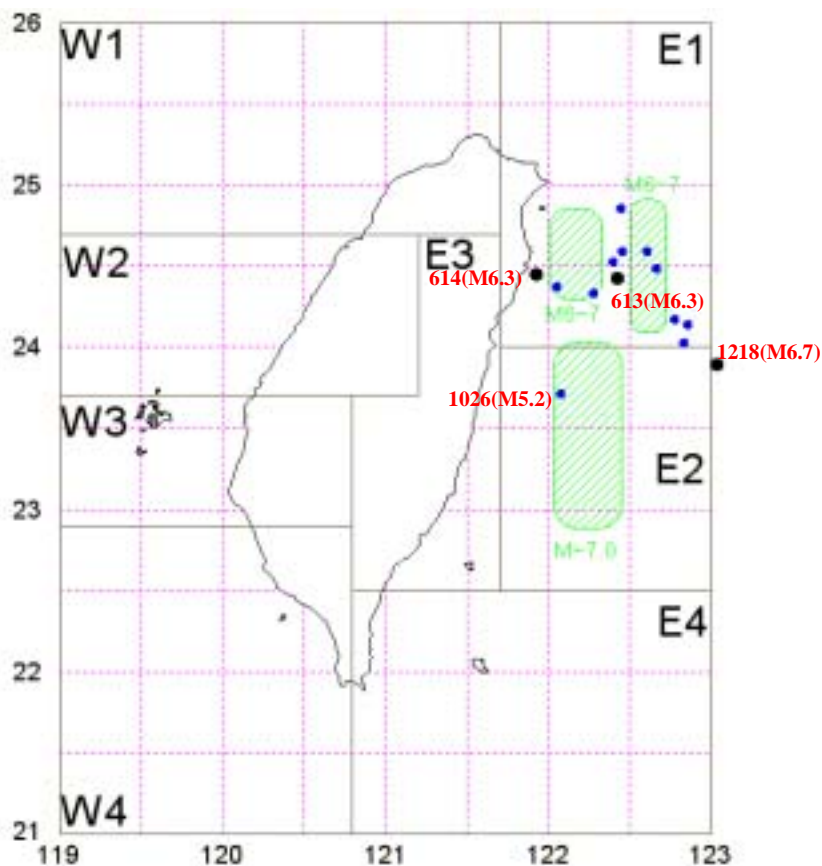


圖 5 2001 年台灣地區潛在震源區分佈與實際地震對照圖

基於集集強震群序列地震特徵所發展出的地震追蹤預測方法<sup>[4]</sup>，E1、E2 孕震區（北緯 24~25，東經 121.80~123.0）的叢集性地震活動頻次，在一至六月的確呈現出活躍 震前平靜與強震的發展趨勢（叢集地震數為：2 次（一月）3 次（二月）5 次（三月）1 次（四月）1 次（五月），六月隨即發生 613 與 614 的六級強震）。613 的信號震出現在 418（M4.0），與 613 同在四級空區之右側。614 的信號震出現在 527（M4.1），與 614 則同在空區的左側。527 信號震一發生，此四級空區即封閉發展完成，613 與 614 的強震即先後在此空區左右近下緣處發生，如下圖所示。

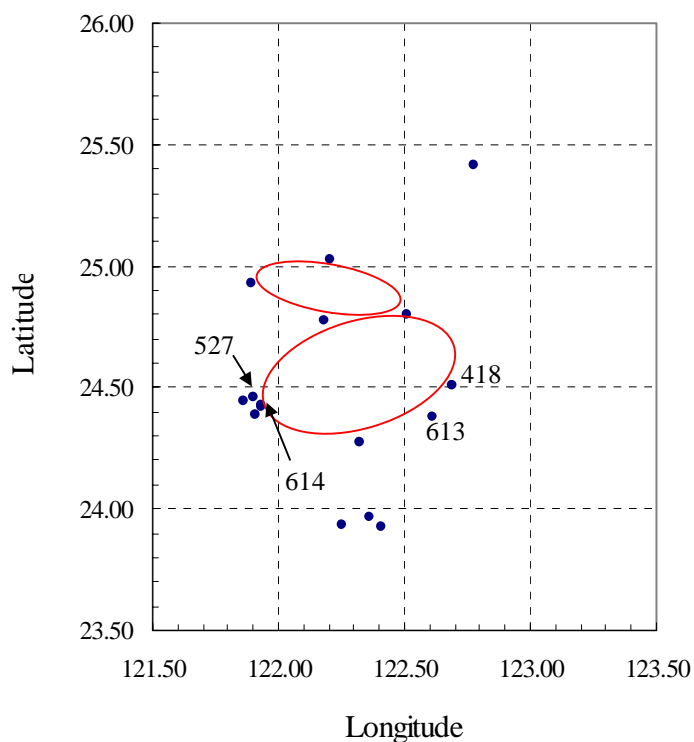


圖 6 613、614 強震之信號震與四級空區示意圖

2002 年 1 至 10 月 E1 地震帶的地震能量基本上均已釋放完畢。2 月 2 日規模 5.4 的地震（趨勢分析為 M5~6）發生在宜蘭外海孕震區的南側外緣，震源深度為 93.6 公里（趨勢分析為 100 公里）。9 月 16 日規模 6.8 的地震則發生在此孕震的西側，1 月 15 日規模 5.0 的地震發生在花蓮外海孕震區的北側邊緣，331 規模 6.8 的地震與 529 規模 6.2 的地震發生位置亦均與趨勢分析結果相同。7 月 11 日規模 5.9、8 月 26 日規模 5.5 與 9 月 1 日規模 5.6 的地震則發生在此孕震區的南側邊緣，9 月 1 日另一規模 6.0 的地震發生在東南外側，其位置對照圖如圖 7 所示。

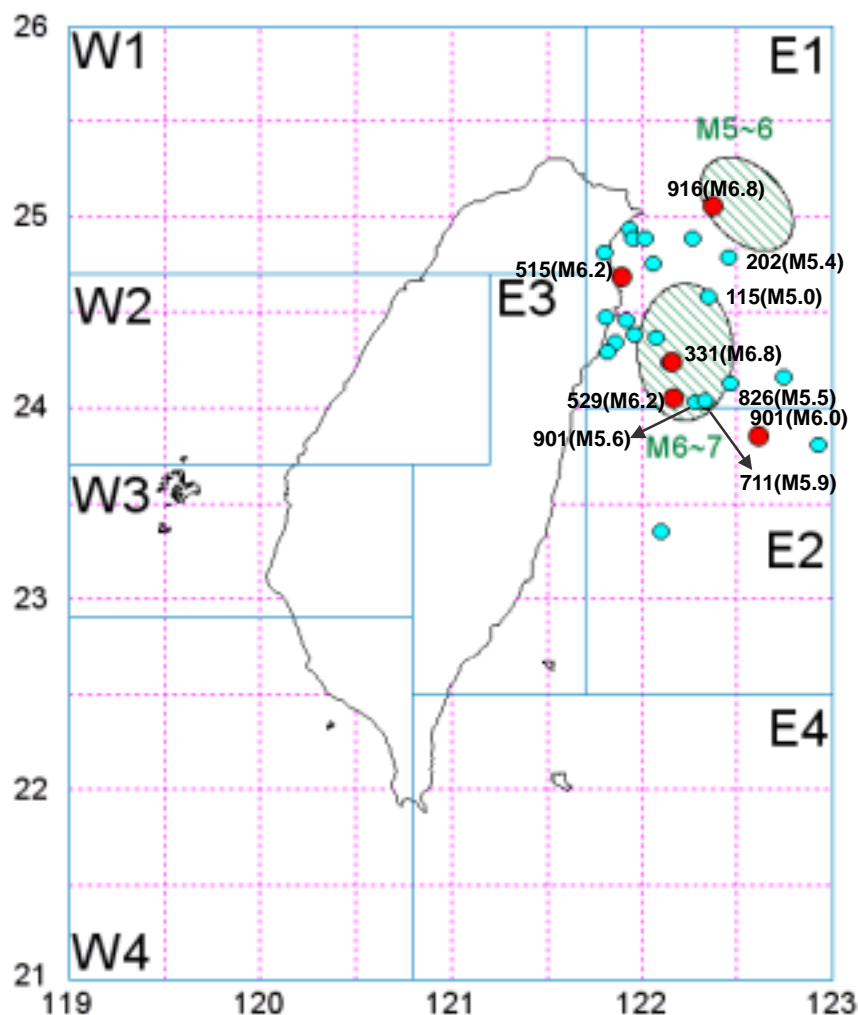


圖 7 2002 年台灣地區潛在震源分佈與 1 至 10 月實際地震對照圖

### 3 結論

2001 年台灣地區結束了台灣百年以來的第六個地震活躍期，此第六個活躍期開幕震為 1996 年，閉幕震則為 2001 年（2002 年 3 月 31 日的 M6.8 地震亦包含在內）。2001 年台灣地區六級地震活動性在歷年平均活動水平以上，較 2000 年為高。東部地區的地震活動性比西部地區為高，而東部地區又以 E1 與 E2 地震帶的活動性為最強。

2002 年（4 月）台灣地區進入百年以來的第六個平靜期，此平靜期將持續 15 年左右（2002~2016 年）。平靜期中，地震頻次與規模均會降低至年平均水平以下。2002 年台灣地區的地震活動性西部仍比東部為低，西部各地震帶均在偏低的活動水平與 2001 年相近，只有 W3 與 W4 地震帶有可能比 2001 年稍微增高。東部地震區的地震活動性仍以 E1 為主，兩個潛在孕震區的規模分別在 M5~6 與 M6~7 左右。

## 參考文獻

- [1] 鄭魁香,趙汝仁. 2001. 2001 年台灣地區地震趨勢分析. 2001 年台灣地區地震趨勢分析論壇論文集, 41~52.
- [2] 鄭魁香. 2001. 由台灣地區地震活動性的空區特性評估 2001 年的強勢活動. 2001 年台灣地區地震趨勢分析論壇論文集, 37~40.
- [3] 鄭魁香,陳泰安,吳宜澤,翁士雁. 2002. 台灣區地震類型分析. 2002 年全國災害危機處理學術研討會論文集, 2-157~2-168.
- [4] 鄭魁香,趙汝仁. 2001. 基於集集強震群序列地震特徵的地震追蹤預測. 地學前緣 Vol.9 No.2, 493~498.
- [5] 鄭魁香,趙汝仁. 2001. 2002 年有關地震強震幕式分析的灰預測. 2001 年灰色系統理論與應用學術研討會論文集, B8~B11.
- [6] 鄭魁香. 2002. 2002 年台灣地區地震趨勢分析. 2002 年台灣地區地震趨勢分析論壇論文集. 14~27.
- [7] 中國地震局分析預報中心. 1999. 2000 年度中國地震趨勢預測研究. 北京: 地震出版社, 11~12, 242~243.

## 誌謝

本文分析所用地震目錄均取自台灣中央氣象局，特表謝意。