

臺灣地區地震潛勢評估之研究(II)

Estimation of the Earthquake Occurrence Probabilities in Taiwan

主管單位：交通部中央氣象局

溫國樑¹

吳子修²

陳俊德¹

黃雋彥¹

Wen, Kuo-Liang

Wu, Tzu-Hsiu

Chen, Chun-Te

Huang, Jyun-Yan

¹ 國立中央大學地球科學系

² 國家災害防救科技中心

摘要

臺灣位於歐亞板塊及菲律賓海板塊間的弧陸碰撞帶上，由於板塊間的碰撞擠壓作用，使得臺灣地震活動相當頻繁，在 1999 年 9 月 21 日集集地震後，使得國內各界對於地震預測相關研究產生高度重視，但由於對地震發生機制還未徹底了解，導致地震準確預測之研究困難度極高，因此在進行地震預測研究同時，各界也試著以地震發生機率作為未來地震防災規劃參考。本研究將地震分為區域震源及斷層震源兩部分，並以統計方式分別計算臺灣區域震源及斷層震源的發生機率。在區域震源方面，藉由中央氣象局之地震目錄，並假設地震的發生遵循柏松過程，且對地震目錄去除各主震之餘震，並藉由震源分區，將某特定地區內的地震做統計分析，並考慮地震之靜待期，找出地震再現週期，建立地震發生機率模型，並計算在未來 10 年至 50 年內可能發生機率。在斷層震源方面，藉由中央地質調查所的第一類活動斷層資料，建立各斷層之發生機率模型，並計算活動斷層未來的發生機率。最後，本研究以最大地表加速度衰減模式做為強地動的評估模式，並採用兩階段的預估步驟，第一階段使用簡文郁（2001）不考慮場址因素的參考的衰減模式來進行最大地表加速度的預測。第二階段採用張毓文（2002）的建議，進行場址特性的修正，以求得較佳的最大地表加速度的預測。本計畫的研究結果，將可以提供防救災相關單位進行規劃地震災害防治工作時做為參考。

關鍵詞：區域震源、斷層震源、強地動分佈圖

Abstract

Taiwan located on an arc and continent collision zone, which is between the boundary of Eurasian plate and Philippine Sea plate. And the seismicity rate is very high in Taiwan region. Especially, after a disaster earthquake on September 21st, 1999, the earthquake prediction subject became popular. But there were still some difficult problem; due to earthquake occurred mechanism was not clear enough for us. To take it over, calculating the probabilities of potential earthquake turn into an important issue for

disaster reduction. So statistic methods were used to analyze the probabilities of potential earthquakes. The results can provide for long-term seismic hazard estimation. In this study, we separated the earthquake source into regional and fault sources. For regional sources, the earthquake catalog from Central Weather Bureau will divide into several source regions. And all the earthquakes will follow the Poisson process was assumed. After removing the aftershock sequence, recurrence periods for each source region will be calculated. And the results can construct the earthquake occurrence probability model, which including ten to fifty years probabilities. For fault sources, we refer to the active fault parameters investigated by the Central Geological Survey, MOEA, set up the earthquake probability model, and calculated the probabilities of fault. Finally, we used two step methods to predict the best results of PGA shakemap. The main factors that affect the attenuation relationship are the existence of site effects. It is believed that the systematic bias mainly comes from the site effects. Therefore, it is necessary to take account of the site effects in applying the attenuation relationship of PGA, and the results in estimation of seismic hazard will be improved. The results of this study can be provided as a reference for disaster reduction project in government organizations.

Keywords : Regional Source, Fault Source, Shake Map

一、前言

地震精準預測研究的困難度與挑戰性相當高，各界也嘗試以數學機率的觀點進行地震潛勢預測，以機率來顯示地震災害潛勢，並做為地震防災規劃之參考。例如，日本地震調查委員會（2002）制作「綜觀全國地震預測地圖」，其針對日本98條主要活動斷層中的37條及20個海溝地帶評估可能之地震規模與發生率，其分佈提供該國國土規劃與地震防災規劃之參考。而美國地質調查所（USGS, 2003）也完成加州地區的地震潛勢圖，調查加州地區的地震發生率，對都會區地震防災有重要之參考價值。而國內學者（溫國樑等, 2005）研究臺灣地區的地震發生機率及強地動模擬，許京穎（2008）與詹皓凱（2008）亦進行相關研究。本計畫第一年主要採用中央氣象局建置之地震目錄，計算臺灣區域震源之未來10-50年的可能發生機率。計畫第二年（今年度）針對中央地質調查所公布的第一類活動斷層參數，調查臺灣活動斷層的未來的發生機率。最後，並以最大地表加速度衰減模式做為強地動的評估模式，並以大臺北示範區為例，說明如何推估大臺北地區可能潛在震源及其強地動分佈圖。研究成果將可以用來瞭解臺灣地區的地震潛勢威脅，並可以提供在規劃地震防災時做為參考。

二、斷層震源發生機率

活動斷層一旦發生錯動，可能造成地盤的位移，或導致山崩，土壤液化，甚至對結構物造成嚴重的破壞。尤其近年來，國內工程建設的規模越來越大，居住密集的程度也日益集中，若發生斷層地震，所造成的損失將更嚴重。因此，對於地震防災，活動斷層研究的重要性顯得格外重要。

2.1 斷層發生機率分析模式

本計畫以數學統計的方式建立斷層震源發生機率分析模式（如圖1），計算活動斷層未來的發生機率。對於模式參數及處理步驟，詳細說明如下：

(1) 蒐集斷層資料

中央地質調查所將臺灣地區活動斷層依據距今曾經發生錯動的時間分為第一類、第二類及存疑性活動斷層。第一類活動斷層為全新世（距今10,000年內）以來曾經發生錯移之斷層。本計畫採用中央地質調查所2010年發佈之臺灣活動斷層資料。

(2) 第一類活動斷層參數

由於目前國內關於活動斷層方面之研究成果，仍缺乏完整的相關資料。因此本計畫採用中央地質調查所的第一類活動斷層中，其中參數（如斷層再現週期、最大地震規模、上次錯動時間等）比較完整的斷層，進行計算活動斷層未來的發生機率。

(3) 劃定斷層系統

由過去地震紀錄發現，數條斷層可能彼此互相關聯，如1935年的新竹—臺中烈震，造成獅潭、神卓山、屯子腳斷層同時錯移，其震央位於這些斷層之間，又可由

沉積層的位態發現斷層於地底可能互相連接而成為盲斷層，有待中央地質調查所邀請學者專家討論是否將構造具相關性的數條斷層合併，視為同一斷層系統。

(4) 假設再現週期之變異性

本計畫對於斷層的規模將根據歷史紀錄或斷層地質調查來決定，並考慮再現週期之變異性有0.5變化區間，進行計算第一類活動斷層未來發生機率。

(5) 建立地震發生機率模型

所謂地震發生機率，意指在未來某段時間內發生下一次地震的難易程度。根據應力累積的觀念，認為大地震發生後應力累積時間會增長，因此前一次地震發生後，下一次災害性地震發生的機率會隨著時間增長而增加，因此以條件機率模型來計算未來地震發生機率：

$$P(T_p | E_m, T_e) = 1 - \frac{1 - P(T_e + T_p | E_m)}{1 - P(T_e | E_m)} \quad (1)$$

考慮到地震事件的再現週期及已發生的等待時間 (T_e)，將 $P(T | E_m)$ 定義為考慮大於等於地震規模 E_m 的機率密度函數，而 T_e 則為上次地震發生時間至今的靜待時間 (Elapse Time)，因此在未來 T_p 年內發生地震規模大於等於 E_m 之發生機率為

$P(T_p | E_m, T_e)$ ，各參數相關的關係以圖2說明之。

2.2 斷層震源發生機率之評估

本計畫由斷層之再現週期可建立發生機率模型，分別採用指數分佈、韋伯分佈、對數常態分佈、伽瑪分佈等，並考慮各規模地震之靜待期，以圖2的方式將機率密度函數以面積比例計算，便可計算斷層在未來的可能發生機率。本計畫採用中央地質調查所的部份第一類活動斷層中，其中參數 (如斷層再現週期、斷層最大地震規模、斷層上次錯動時間等) 比較完整的斷層 (如表1)，並考慮再現週期之變異性 COV 有 0.5 變化區間，進行計算第一類活動斷層未來發生機率。表2為第一類活動斷層在未來30年的發生機率。

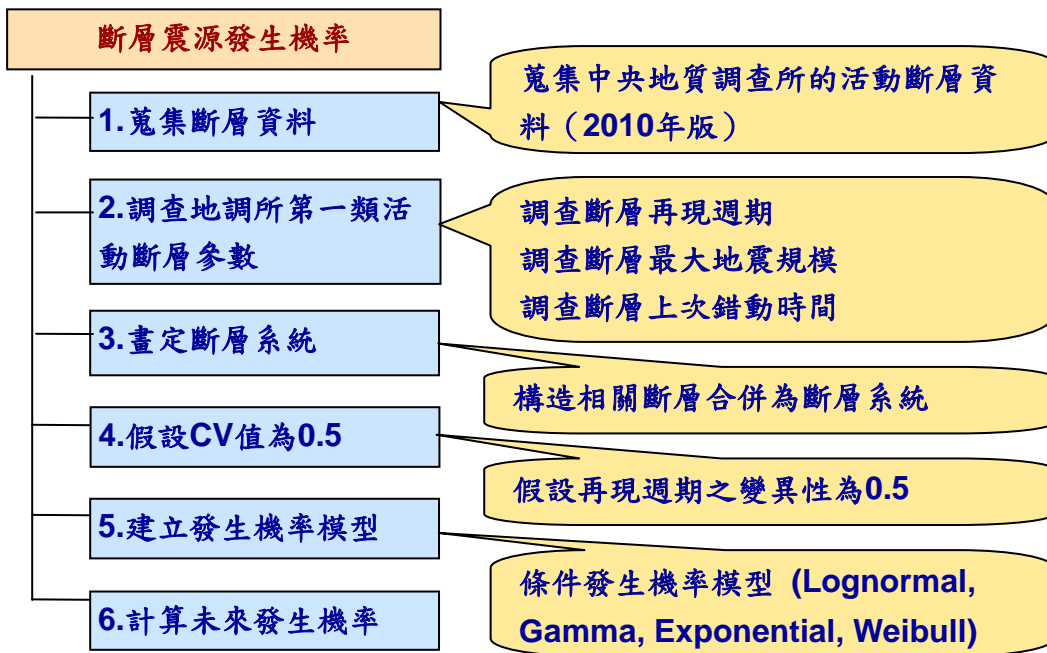


圖 1 斷層震源的發生機率分析模式

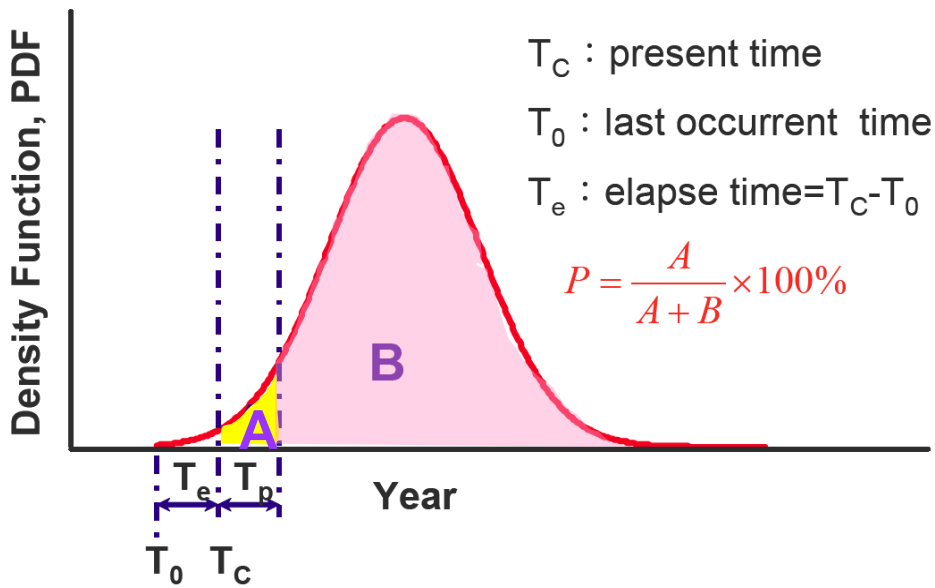


圖2 未來發生機率計算模型

表1.中央地質調查所第一類活動斷層（部份參數比較完整的斷層）

斷層	分類	長度(km)	再現週期 (year)	最近一次 活動(year)	等待時間 (year)	最大規模
新城	一	29	2000	<300	300	(6.8)
屯子腳	一	14	141	1935	77	7.1 (6.4)
車籠埔	一	38(北),38(南)	200~700	1999	13	7.3 (7.3)
大茅埔-雙冬	一	69	2894	1999	13	(7.2)
梅山	一	15	162	1906	106	7.1 (6.4)
新化	一	6	188	1946	66	6.1 (6.0)
瑞穗	一	24	170~210	1951	61	(6.8)
玉里	一	23	170~210	1951	61	7.3 (6.7)
池上	一	64	50~125	2003	9	6.6 (7.2)

表2.中央地質調查所第一類活動斷層(假設COV=0.5)在未來30年發生機率

COV=0.5	Lognormal	Exponential	Gamma	Weibull
新城斷層	0.01	1.48	0.13	0.53
屯子腳斷層	25.33	19.16	22.26	19.79
車籠埔斷層*	0.12 ~0.00	13.92 ~4.19	1.14 ~0.01	4.74 ~0.54
大茅埔-雙冬斷層	0.00	1.03	0.00	0.04
梅山斷層	25.81	16.90	22.49	19.14
新化斷層	9.61	14.74	10.19	11.40
瑞穗斷層*	11.50 ~5.43	16.17 ~13.31	11.82 ~6.98	12.86 ~9.07
玉里斷層*	11.50 ~5.43	16.17 ~13.31	11.82 ~6.98	12.86 ~9.07
池上斷層*	38.57 ~1.28	45.11 ~21.33	37.56 ~3.78	38.61 ~9.35

註：*是表中有些斷層的再現週期是落在一區間內，因此分別有兩個對應的發生機率。

三、加速度衰減模式之強地動預估

一般的衰減模式多是使用震源形態、距離以及測站場址等參數，由於臺灣目前對於測站場址並沒有完整的分類，本計畫參考張毓文（2002）、詹皓凱（2008）兩階段的計算步驟。第一階段使用簡文郁（2001）不考慮場址因素的參考的衰減模式來進行最大地表加速度的預測，得到各測站初步的預測值。第二階段利用各測站的實際地震觀測值與第一階段參考的衰減模式所算得到的預測值，進行回歸分析，而得到各測站本身對於參考的衰減模式之場址特性的修正函數。最後將第一階段計算的結果進行場址特性的修正計算，以求得較佳的最大地表加速度的預測。

3.1 參考的最大地表加速度衰減模式

本計畫第一階段的計算，使用簡文郁（2001）不考慮場址因素的衰減模式來進行最大地表加速度的預測。簡文郁利用 Campbell（1981）所提出的衰減模式進行回歸分析：

$$y = PGA(g) = f(M, R) = C_1 e^{C_2 M} [R + C_4 \exp(C_5 M)]^{-C_3} \quad (2)$$

其中PGA：地表最大加速度值，M：芮氏規模，R：距離，C₁~C₅：衰減模式之係數。對式（2）進行回歸分析地震測站紀錄資料，求出衰減模式之C₁~C₅係數（表3），得到第一階段參考的衰減模式。

3.2 場址特性的修正函數

臺灣的測站大部分都位於都會區內，而都會區大多都為沖積層或盆地地形，這類地形當地震波傳遞至此時，會產生震波放大現象。因此這些沖積層或盆地地形，在做地震災害潛勢分析時必須考慮到場址放大效應之影響。所以本計畫利用第一階段所得到的衰減模式預測結果跟測站實測值兩者做回歸分析，用回歸分析所得到的係數為修正函數，做為第二階段修正測站的場址特性。分別對各測站使用上述之方法，建立起各測站實測值與參考衰減模式預估值之間的線性關性式，得到各測站之場址特性修正函數，此關係式定義如下：

$$\ln(PGA_{obs})_s = C_0 + C_1 \times \ln(Y_{att})_s \dots \dots \dots (3)$$

其中PGA_{obs}為測站所收到實際觀測值，Y_{att}為測站利用參考之衰減模式的預測值。使用最小平方法回歸分析來得到測站之場址修正函數C₀、C₁值。

3.3 兩階段的強地動預估方法

衰減公式代表在不同規模的地震下地表地動值隨距離產生的衰減關係式。而影響衰減公式的主要參數為規模、距離跟場址係數，利用這些參數建立的衰減公式可以預測各測站的地表地動值。因此只要指定某一震源位置與特定地震規模，將可以推估各地的強地動情形。例如，圖3為過去災害地震觀測與第一階段、第二階段最大地表加速度預測值之比較，可以發現經場址特性函數修正後，將可以求得較佳的最大地表加速度的預測值。

表 3. 簡文郁（2001）衰減模式係數與誤差之標準偏差分析結果

Case	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	σ _{lnErr}
PGA	0.00369	1.75377	2.05644	0.12220	0.78315	0.7564
Sas	0.00974	1.73484	2.08572	0.11365	0.80032	0.7468
Sal	0.00279	1.77305	2.04190	0.11542	0.77139	0.8560

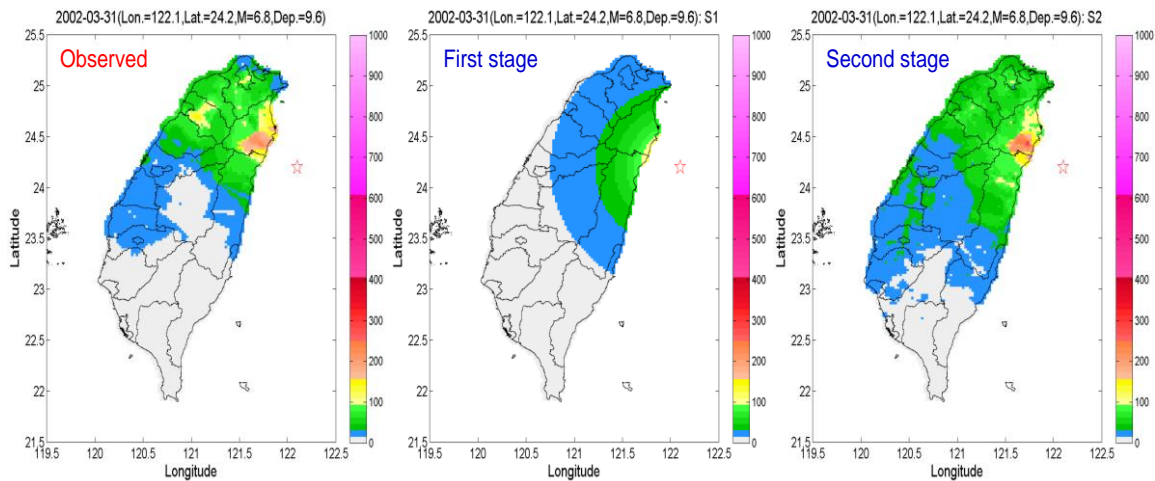


圖3. 地震測站紀錄與第一階段、第二階段最大地表加速度預測值之比較 (a)地震測站紀錄 (b)第一階段最大地表加速度預測值 (c)第二階段最大地表加速度預測值

四、大臺北示範區的強地動預估

本研究以大臺北地區為例，說明強地動預估的分析流程。首先以決定大臺北地區的可能潛在震源。其次，利用加速度衰減模式進行強地動預估，由前人的研究得知沖積層或盆地地形會產生震波放大現象，由於臺灣的都會區大多都為沖積層或盆地地形，分析時必須考慮到場址放大效應之影響。因此本研究採用前面兩階段的強地動預估步驟，以求得較佳地表加速度的預測值。

4.1 大臺北地區的可能潛在震源

本計畫首先調查大臺北地區的歷史災害地震、中央地調所的活動斷層調查以及臺灣區域震源的未來發生機率（圖4），以探討大臺北地區的可能潛在震源。

(1) 大臺北地區的歷史災害地震

本計畫首先蒐集整理以往臺灣的歷史文獻及歷年地震觀測記錄（表4），探討大臺北地區以往的歷史災害震源。

(2) 臺灣區域震源的未來發生機率

本計畫參考許京穎（2008）的研究以及國家災害防救科技中心的臺灣區域震源發生機率潛勢圖，探討大臺北地區未來的潛在震源。

(3) 中央地質調查所的活動斷層調查

在規劃地震災害防治工作時，應設定各種可能潛在震源，以便得到合理的災損評估結果，所以在探討大臺北地區的可能潛在震源時，亦考慮活動斷層之因素。

綜合以上大臺北地區的歷史災害地震、中央地調所的活動斷層調查以及臺灣區域震源的未來發生機率的調查，大臺北地區的潛在震源，可能有以下類型：

- (1) 遠距離的點震源（淺源地震）：
如1986/11/15規模6.8的花蓮外海地震造成中和華陽市場倒塌。
如2002/3/31規模6.8的花蓮外海地震造成101大樓吊車倒塌。
- (2) 直下型的點震源（深源地震）：
如1909/4/15規模7.3及深度80 km的臺北地震。
- (3) 遠距離的斷層震源：
如1999/9/21規模7.3的集集地震造成房屋倒塌及人員傷亡。
如1935年的新竹—臺中烈震，獅潭、神卓山、屯子腳斷層同時錯移。
- (4) 直下型的斷層震源：
如山腳斷層在未來如果發生錯動。

5.2 大臺北地區之強地動預估

本計畫依據大臺北地區的可能潛在震源，並考慮大臺北都會區大多為沖積層或盆地地形，分析時必須考慮到場址放大效應之影響，因此本計畫採用前面所介紹的二階段的強地動預估方法，進行推估大臺北地區的最大地表加速度值的分佈圖，部份成果如圖5所示。

表4. 大臺北地區的歷史災害地震

事件	發震時間	震災地區	北緯	東經	規模	深度 (km)	備註： 資料來源：氣象局網站
1	1694/4~5	臺北地區	25.0	121.5	7.0	-	地陷、形成康熙臺北湖
2	1811/3/17	嘉義以北地區	23.8	121.8	7.5	-	人死21、傷6、房倒41
3	1815/7/11	臺北、宜蘭	24.7	121.8	6.5	-	龍山寺傾倒
4	1815/10/13	嘉義以北地區	24.0	121.7	7.7	-	人死113、傷2、房倒243
5	1865/11/6	臺北、基隆	24.9	121.6	6.0	-	壽山巖崩壞、死亡頗多。
6	1867/12/18	臺北、基隆、新竹	25.3	121.7	7.0	-	海嘯、地裂、人死數百。
7	1909/4/15	臺北附近	25.0	121.5	7.3	80	9人死亡
8	1920/6/5	全臺	24.0	122.0	8.3	20	5人死亡
9	1935/4/21	新竹、臺中烈震	24.4	120.8	7.1	5	3276人死亡
10	1986/5/20	花蓮、臺北	24.1	121.6	6.2	16	1人死亡
11	1986/11/15	花蓮、臺北	24.0	121.8	6.8	15	中和華陽市場倒塌
12	1999/9/21	南投、臺中	23.9	120.8	7.3	8	東星大樓、博士的家倒塌
13	2002/3/31	花蓮、臺北	24.2	122.1	6.8	9.6	101大樓吊車倒塌

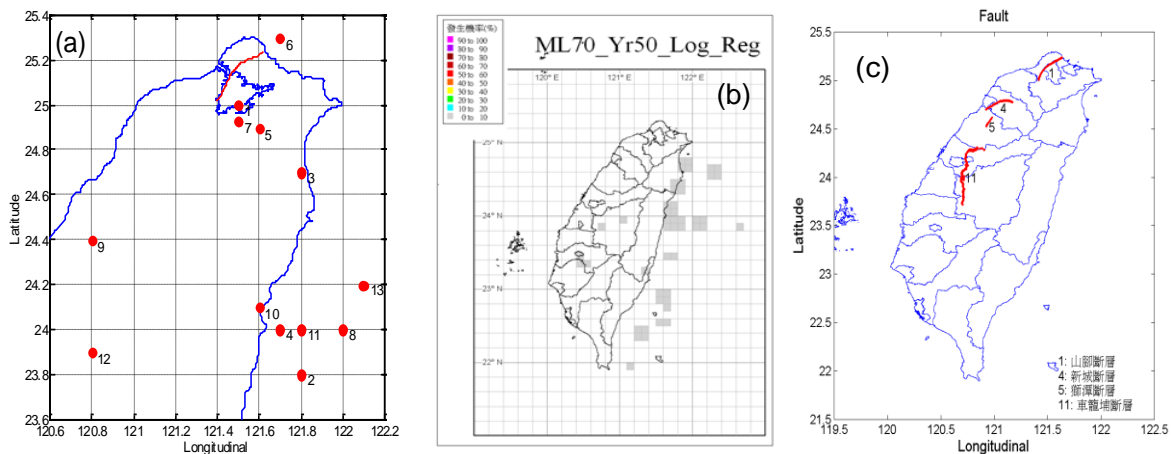


圖4. 大臺北地區可能潛在震源的來源 (a)歷史災害地震分布 (b)區域震源的未來發生機率分布(c)活動斷層分布

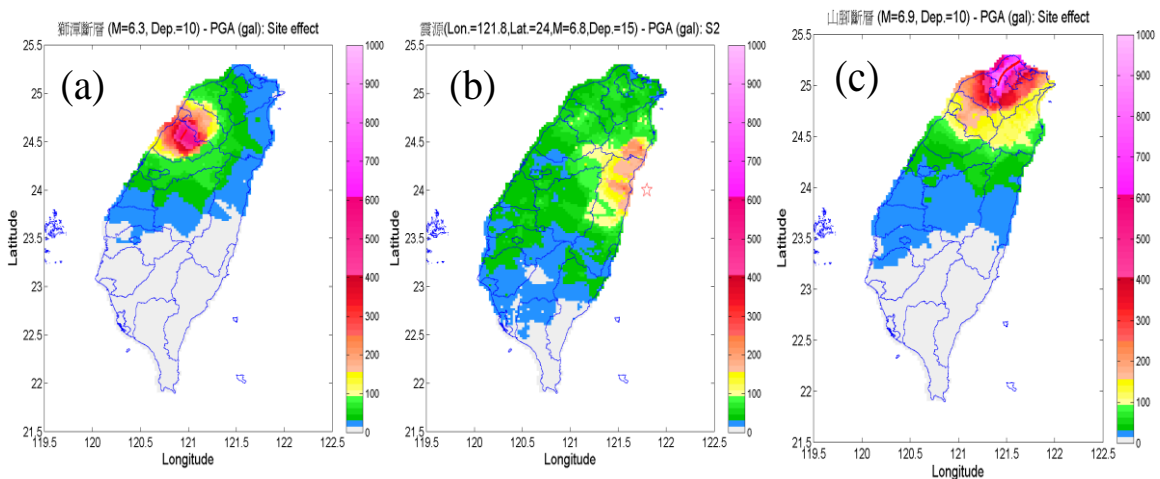


圖5.大臺北地區各類型可能潛在震源的境況模擬Shakemap (a)遠距離斷層震源 (b)遠距離點震源 (c)直下型斷層震源

五、結論與建議

本計畫首先針對中央地質調查所第一類活動斷層，篩選部份斷層參數比較完整的斷層，計算未來發生機率。其次，採用兩階段的最大地表加速度的預測方法，第一階段採用不考慮場址因素的衰減模式進行最大地表加速度的預測，得到初步預測值。第二階段利用場址函數進行修正計算，以求得較佳的最大地表加速度預測值。最後，本計畫以大臺北地區為例，說明強地動預估的分析流程。首先調查大臺北地區以往的歷史災害地震記錄、中央地調所的活動斷層參數以及臺灣區域震源未來發生機率，決定大臺北地區的可能潛在震源。其次依據可能潛在震源，並採用兩階段的強地動預估方法，進行推估最大地表加速度值分佈圖。本研究所建立的強地動預估分析流程，可以提供防救災單位在規劃地震災害防治工作時做為參考。

參考文獻

1. 簡文郁(2001),「考慮特徵地震與場址效應的地震危害度分析」,國家地震工程研究中心報告,NCREE-01-036。
2. 張毓文(2002),「場址特性分析及最大加速度衰減模式校正」,國立中央大學碩士論文。
3. 溫國樑、簡文郁、張毓文(2005),「最具潛勢及歷史災害地震之強地動模擬」,國家地震工程研究中心報告,NCREE-05-032。
4. 許京穎(2008),「臺灣潛勢地震之發生機率評估」,國立中央大學碩士論文。
5. 詹皓凱(2008),「加速度地動潛勢預估」,國立中央大學碩士論文。
6. 日本地震調查委員會(2002),「綜觀全國地震預測地圖」,日文。
7. Campbell, K. W (1981) Near-source Attenuation of Peak Horizontal Acceleration. Bull. Seism. Soc. Am., 71, pp.2039-2070.
8. USGS (2003) Earthquake Probabilities in the San Francisco Bay Region: 2002–2031. U.S. Geological Survey Open-File Report 03-214.