

都會區大規模地震應變與減災研究

Study of Strategy for The Hazard Response & Mitigation of Large-Scale Earthquake in Urban Areas

主管單位：國家災害防救科技中心

吳子修

吳秉儒

黃明偉

Wu, Tzu-Hsiu

Wu, Bing-Ru

Huang, Ming-Wey

張芝苓

劉淑燕

Chang, Chi-Ling

Liu, Sheu-Yien

國家災害防救科技中心地震災害防治組

摘要

本研究主要考慮都會區特有問題，研提都會區大規模震災應變與防治對策，以提高都會區地震災害防治之效能。主要研究內容大致可分成以下三個部分：1. 地震災害防治強化地區之指定機制—先建立潛勢地震發生模型及分析方法，進一步以示範區為例，評估該示範區之潛勢地震未來可能的發生機率；2. 強震即時警報系統之研發推動—蒐集國內外強震即時警報系統相關文獻與參考資料，並進行臺日雙邊強震即時警報系統交流，學習日本研發推動之經驗與關鍵技術；3. 地震防救災資訊系統之建置—針對臺灣環境與社會發展特性，需要蒐集相關防救災資訊並進一步探討大規模地震災害防治工作推動方式以研提都會區大規模震災應變之機制。

關鍵詞：大規模地震、強化地區、強震即時警報系統、地震防救災資訊系統

Abstract

This study is mainly focused on the specific issues addressing the strategies of response and mitigation for the purpose of improving the efficiency of earthquake disaster reduction in the metropolitan area. Three parts will be addressed in this study as follows: 1. The procedure of assessment on the priority region for the seismic hazard mitigation—consisting of the probability of potential earthquakes, the assessment of seismic magnitude, and the evaluation of induced damages and losses; 2. The application and promotion strategy of the earthquakes early warning (EEW) system on the earthquake disaster reduction—collecting the references associated with the EEW system, and learn the experience and key technology from Japan; 3. Establish the information system for the seismic hazard mitigation—integrating the information and the characteristic of society development in Taiwan, and further investigate the way to promote the strategies of hazard response and mitigation.

Keywords : Large-Scale Earthquake, priority region, earthquakes early warning, information system for hazard mitigation

一、前言

近年來隨著都市化，人口及產業紛向都市集中，超高層大廈與地下街的大量興建，複雜而規模龐大之建築物櫛比鱗次，都會區一旦發生大規模的災害性地震，其所造成的人命、財產損失勢必比以往更為嚴重。目前都會區地震災害防治工作缺乏整體規劃，因此本計畫考慮都會區特有問題，研提都會區大規模地震應變與減災對策，以提高都會區地震災害防治之效能。

目前我國災害防救法僅針對地震災害研擬應考慮辦理事項，對於有發生大規模地震之虞以及可能造成極大損害的區域，並未詳實考慮可能發生規模與衝擊以及有效的地震防災對策與作為。受限於有限的時間及資源，在規劃大規模地震災害防治工作時，應優先考慮政治、經濟重要區域及地震潛勢較高區域，以減少因可能發生之大規模地震而導致嚴重之災損，因此必須將該區域指定為「地震災害防治強化地區」(以下簡稱「強化地區」)；有了指定強化地區後，必須利用「地震災害境況模擬」方法，評估各強化地區可能的災損；最後再依據災損評估之結果，分別提出各強化地區應有的「地震減災對策」。

本計畫之推動，除了結合本中心各組進行整合運用目前既有災害防救科技研發成果，也將邀請有關單位、人員進行跨領域合作或交流，共同探討災害的減輕對策，以達成大規模震災都會區防救災工作之總體目標。本計畫為因應上述總體目標之達成，於96年度具體完成之計畫目標如下：

1.地震災害防治強化地區之指定機制

- ✓ 調查臺灣地區一般性區域震源、活動斷層之潛勢地震
- ✓ 建立潛勢地震發生機率模型的分析方法
- ✓ 震度預測(ShakeMap)

2.強震即時警報系統之研發推動

- ✓ 臺日雙邊強震即時警報系統雙邊交流
- ✓ 強震即時警報系統推動策略之研擬

3.地震防救災資訊系統之建置

- ✓ 完成梅山地震資料庫及展示系統之建置
- ✓ 建立地震防救災資訊相關資料庫及展示系統架構
- ✓ 辦理地震應變教育訓練課程
- ✓ 召開中央災害應變中心地震災害應變分析研判組小組會議

二、地震災害防治強化地區之指定機制

一般而言，造成地表錯動或破裂的活動斷層地震所呈現出地震規模與再現期可視為可預期的現象，而被稱為『特徵地震 (Characteristic Earthquake)』，而除活動斷層破裂至地表所引發之地震外，區域震源型態乃包括規模較大但深度較深或規模小之地震，使得地層斷裂面隱於地下無法延伸至地表，亦即一般所稱的盲斷層，所有

不屬於活動斷層的震源均可歸類為區域震源 (Regional source)。本研究主要流程如圖 1-1 所示，本研究所使用之背景資料主要分為區域震源及第一類活動斷層。區域震源來自於中央氣象局歷年記錄臺灣所發生地震之地震資料目錄，資料來源為 1900 年至 2004 年 7 月所發生之地震，約 104 年的地震紀錄。地震包含規模 6.0 以上、深度為 50 公里內之淺源地震。而活動斷層之斷層參數，則蒐集自經濟部中央地質調查所在 2002 年後所建立的活動斷層資料庫相關內容。本研究藉由各項地震參數建立代表區域地震及活動斷層之地震特性的機率模型，計算潛勢地震在未來 10、20、30、40、50 年後可能的發生機率。

2.1 潛勢地震發生機率模型

本研究進行最大潛勢地震之決定，以歷史地震紀錄 (曾發生之最大地震規模) 為主要範疇及根據累積能量法所計算出之上限規模，取較合適的地震規模決定之。而活動斷層之特徵地震則除古地震調查成果外，再加入由斷層長度評估出之地震規模大小同時做參考，以決定斷層特徵地震大小。

發生機率的計算方法採用條件機率分佈模型，考慮到地震事件的再現週期及已發生的等待時間 (T_e)。將 $P(T_e | E_m)$ 定義為考慮大於等於地震規模 E_m 的回歸週期 T_e 所建立的機率密度函數，而 T_e 則為上次地震發生時間自今的靜待時間，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 $P(T_e + T_p | E_m)$ ，各參數相關的關係以圖 1-2 說明之。故未來發生規模 E_m 的機率為

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

2.2 潛勢地震之發生機率—區域震源

本研究在區域震源部分，根據地體構造及歷史地震紀錄之分佈，共分為七個區域，震源分佈區域位置如圖 3 所示。由圖中顯示地震活動的空間分佈並不均勻，東北部震央分佈最為密集，東南部次之，而整個西部地區最為安靜。東部外海板塊構造共分為 5 個震源區，臺灣本島之中、西部則取 2 個區域。本研究所使用區域之地震目錄，採用一般工程上認為會有重大災害之地震規模皆在 6.0 以上，且震源深度為 50 公里以內的淺源地震。

不同區域最大潛勢地震之決定，由於目前地震觀測時間僅百年，對於再現期較長的大地震可能會遺漏，而造成累積能量法評估最大規模時會過於低估之疑慮，所以本研究考慮各區域的最大潛勢地震時，採同時考慮歷史紀錄及上限規模，取較合適的地震規模決定之。針對不同區域，各規模的再現週期 (T_r) 除以 G-R law 關係的回歸結果進行推估外，本研究同時根據各規模實際觀測資料進行再現期的統計。決定潛勢地震及再現週期後，可以進行計算其可能之未來發生機率，未來 10、20、30、40 及 50 年分析成果列於表 1。

2.3 潛勢地震之發生機率—活動斷層

本研究在特徵地震部分，根據中央地調所公布的臺灣活動斷層，本研究進行地

震活動的機率分佈模型建立，針對 13 條第一類活動斷層。其中包括於 2003 年由第二類斷層升級為第一類活動斷層的新城斷層。針對目前 13 條第一類活動斷層，本研究依照其分佈位置及經調查後之關聯性進行分類，主要分為 8 個斷層系統。8 個活動斷層系統分佈位置如圖 4 所示

特徵地震發生機率模型中，特徵地震規模及再現期之假設為主要參數。經由槽溝開挖等結果，除已知該斷層上次錯動的時間外，對於斷層特徵地震規模大小，則參考歷史地震紀錄、斷層破裂形式、斷層長度等活動參數決定。本研究假設各活動斷層參數則採參考溫國樑、簡文郁及張毓文（NCREE-05-032 報告），綜合(1)歷史地震之發生時間及規模；(2)斷層長度所推算之規模；及(3)國內學者相關研究成果等，三種參考資料進行特徵地震及再現週期之假設。決定潛勢地震及再現週期後，可以計算各斷層特徵地震的未來 10、20、30、40、50 年後之發生機率，結果如表 2 所示。

2.4 震度預測(ShakeMap)

從歷年來多起大地震所造成之災害分布來看，顯示出震央附近並非一定為災害最嚴重之地區，如 1986 年 11 月 15 日在花蓮外海的地震及 1999 年 921 地震，距離震央超過 100 公里的臺北盆地同樣有不小災情，2002 年 331 花蓮地震又同樣造成不小的災情。這種情形的發生，皆因局部地盤效應所導致震災規模加大之結果。此時若能正確掌握各地區的地盤特性，則當地震發生時，即時進行震度預測，對緊急救災反映提供即時的災情評估，應可有效降低災情。

地震潛勢預測模型（張毓文，2002；2004）乃藉由臺灣地區堅硬地盤衰減律考慮各強震測站本身之場址特性所建立之震度預測模型，配合發生之地震規模及位置進行各地震度預測，預測模型如下式：

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

$$\ln(Y_e) = C_0 + C_1 \times \ln(Y) \quad (3)$$

其中，Y 為各類地表震度值由式(1.2)計算得到，M 為芮氏規模，R 為距離， $C_1 \sim C_5$ 分別為堅硬地盤衰減律係數，各類震度係數如表 3 所列。由式(1.2)所得到的預測值，引入各測站的場址放大係數 C_0 、 C_1 ，則 Y_e 為各測站震度預測值。藉由此震度預測值即可建立潛勢地震之 ShakeMap。臺灣為一地盤特性極為複雜之地區，此地震震度預測模型藉由測站豐富的地震紀錄分析臺灣測站的地盤特性，最後的震度分佈能有效掌握區域性的場址效應，提供緊急救災之應用（如圖 5 所示），達到減災之目的。

三、強震即時警報系統之研發推動

今年度主要工作為蒐集國內外強震即時警報系統相關資料，掌握臺灣目前關於強震即時警報系統的既有技術與應用現況，研擬推動機制與策略，並推動國際技術交流，工作重點說明如下：

- ✓ 研擬推動機制與策略：蒐集國內外強震即時警報系統之相關文獻與參考資料，提出初步推動構想（詳見圖 6）。並邀請中央氣象局、國家地震工程研究中心等相關單位召開工作協商會議，提供意見訂定推動目標，研擬推動機制與策略

- ✓ 推動國際技術交流：日本即時警報系統已達實際應用階段，其研發技術與推動經驗值得參考。經由臺日雙邊強震即時警報系統技術交流研討會之舉辦（詳見圖 7），從推動體制、技術研發、推廣應用等方面進行交流探討，學習日本研發推動強震即時警報系統之經驗與關鍵技術。
- ✓ 國內相關單位需求初步調查：強震即時警報系統的研發推動需考慮使用者的需求，針對不同的使用者如防救災單位、重要設施、高科技業、一般民眾等，提供不同的警報資訊內容與精度。經由臺日研討會之舉辦，對相關單位之參加者進行問卷調查（詳見圖 8），初步了解相關單位對警報資訊之認知與需求。

四、地震防救災資訊系統之建置

建置地震災害資訊系統展示平臺為本計畫主要目標，將蒐集之資訊建立於地理資訊系統(GIS)上，於地震災害發生時，可運用此系統進行災害潛勢分析，以達到降低地震災害損失之目的。基本資料主要可以分為三類：第一類為基本資料圖層，包含行政區界、重要建築物（水利設施）、重要醫療設施、交通系統、地震地質資料（臺灣地質圖、數值地形圖、地質敏感區與歷史災害地震文獻資料）；第二類為災損評估結果與支援需求推估；第三類為災情資訊之彙整。由於該系統之資訊需逐年建構，所以本年度所著手建置完成之工作有基本圖層之建置，如行政區界、重要建築物、重要醫療設施、地震地質資料與完成梅山地震資料庫，此外也建立地震資訊展示平臺（圖 9）。本系統於今年中央災害防救委員會舉辦之「國家防災日」地震災害狀況推演（圖 10）實際發揮功用，確實提供簡報所需內容。

為加強餘震引起災害之評估，本計畫也進行最大規模餘震與餘震數之評估分析，其分析模型為 Omori (1894)針對餘震數目在主震發生後隨時間成指數的衰減（圖 3-3）。此外，Båth (1965)利用餘震也是依循 G-R law (Gutenberg and Richter, 1954)特性，也提出主震規模與最大餘震規模之尺度關係式，即特定地區主震與最大規模餘震為一常數（圖 11）。

此外，為使本中心同仁對大規模震災應變有更進一步的瞭解，本年度共計辦理四場地震應變教育訓練課程，過程圓滿順利。

五、結果分析與討論

1.地震災害防治強化地區之指定機制

本研究建立潛勢地震發生機率的分析方法，將可以提供各區域地震未來可能發生機率，在未來指定臺灣地震災害防治強化地區時，可以作為較客觀、可靠的參考依據。然而決定潛勢地震，主要根據斷層調查資料及臺灣發生過的歷史地震紀錄，其資料來源的確定性是影響分析結果的重要來源之一。綜觀國內活動斷層方面之研究成果，在地震與活動斷層之關聯性、斷層活動度、定年資料、斷層長度、再現週期與古地震研究等方面，仍缺乏相關資料。因此建議籌組諮詢小組，協調整合各部會意見，進行選定強化地區相關研究之審議。

2.強震即時警報系統之研發推動

強震即時警報系統目前上游地震定位技術已和日本、美國等先進國家之科技水準相當，但尚待協調整合國內相關單位之資源與資料，凝聚共識並建立推動體制，

致力於警報內涵與精度之提升，相關通訊傳輸與接收產品之開發，推動落實應用至地震防救災工作實務上。

3.地震防救災資訊系統之建置

建置地震災害資訊系統展示平臺，蒐集相關地震資訊並建立於地理資訊系統(GIS)中，期於地震災害發生時，可以運用此系統進行災害潛勢之分析，以達到降低地震災害損失之目的。本系統於96年中央災害防救委員會舉辦之「國家防災日」地震災害狀況推演實際發揮功用，提供簡報所需內容。並辦理四場地震應變教育訓練課程，以提高中心同仁對大規模震災應變過程之體認。地震防救災資訊系統基本資料及圖層需要定期更新維護，以建立完善的地震防救災資訊系統之網路查詢展示系統，以提高大規模地震災害應變時之作業效能。

參考文獻

1. 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，Ncree-05-032。
2. 張毓文、王治國、簡文郁、溫國樑、羅俊雄(2002)。早期地震災害潛勢評估，第九屆臺灣地區地球物理研討會論文集，14-23。
3. 張毓文、簡文郁、王治國(2004)。強地動預測經驗模式與地震動微分區，中華民國第七屆結構，中華民國第七屆結構工程研討會論文集，275-276。
4. Omori, F., 1894. On the after-shocks of earthquakes. *J. Coll. Sci, Imp. Univ.*, Tokyo, 7, 111-200.
5. Båth, M. (1965), Lateral inhomogeneities in the upper mantle, *Tectonophysics*, 2, 483-514.
6. Gutenberg, B., and C. F. Richter(1954), Seismicity of the Earth and Associated Phenomenon, 2nd ed., *Princeton Univ. Press*, Princeton, N. J.

表 1 各區域最大可能地震規模在不同 Tp 年下之發生機率(%)

Zone	ML	10 year	20 year	30 year	40 year	50 year
1	7.1	9.352	17.908	25.733	32.839	39.261
2	7.4	0.49	1.132	1.928	2.879	3.982
3	7.3	0.095	0.277	0.573	0.993	1.567
4	7.0	0.612	1.464	2.574	3.941	5.551
5	6.9	22.520	41.024	55.714	67.033	75.588
6	7.2	0.003	0.032	0.127	0.325	0.651
7	7.0	0.791	1.833	3.126	4.653	6.390

表 2 本研究所建立之斷層系統在不同 Tp 年下之發生機率(%)

編號	斷層名稱	Mu	10 year	20 year	30 year	40 year	50 year
1	新城斷層	6.8	0.212	0.449	0.715	1.010	1.335
2	獅潭斷層	6.9	0.312	0.846	1.661	2.804	4.299
	神卓山斷層						
	屯子腳斷層						
3	車籠埔斷層	7.1	0.000	0.000	0.001	0.010	0.046
4	梅山斷層	6.8	9.618	19.066	28.144	36.654	44.479
5	大尖山斷層	7.0	2.328	4.792	7.392	10.105	12.908
	觸口斷層						
6	新化斷層	6.5	1.003	2.651	5.023	8.111	11.843
7	米崙斷層	7.0	4.789	11.126	18.578	26.613	34.761
8	奇美斷層	7.0	0.277	0.838	1.793	3.218	5.152
	玉里斷層						
	池上斷層						

表 3 全臺 S1 強震測站回歸之 Campbell's 衰減律係數與標準偏差

Att. Form	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	$\sigma_{\ln Err}$
PGA	0.00284	1.73306	2.06392	0.09994	0.77185	0.7815
Sas	0.00789	1.72533	2.04885	0.11989	0.78501	0.7201
Sa1	0.00266	1.77305	2.0419	0.11542	0.77139	0.7018

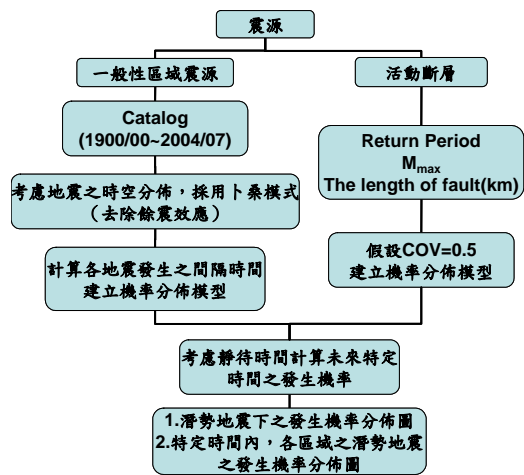


圖 1 本研究之流程圖

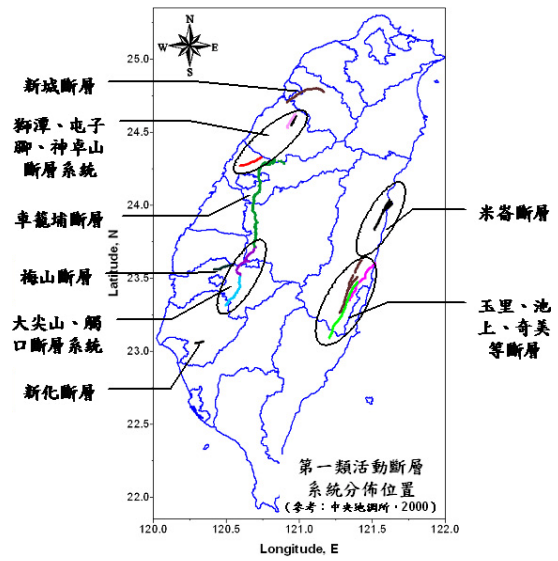


圖 4 本研究區域活動斷層系統分佈

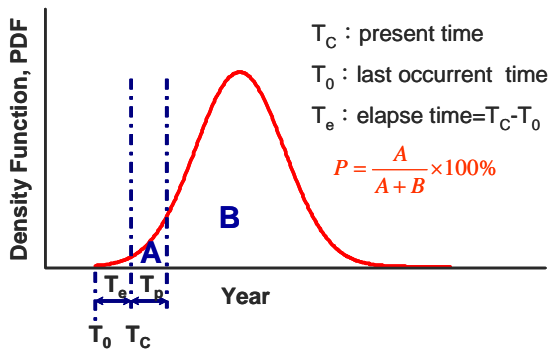


圖 2 地震發生機率計算模型

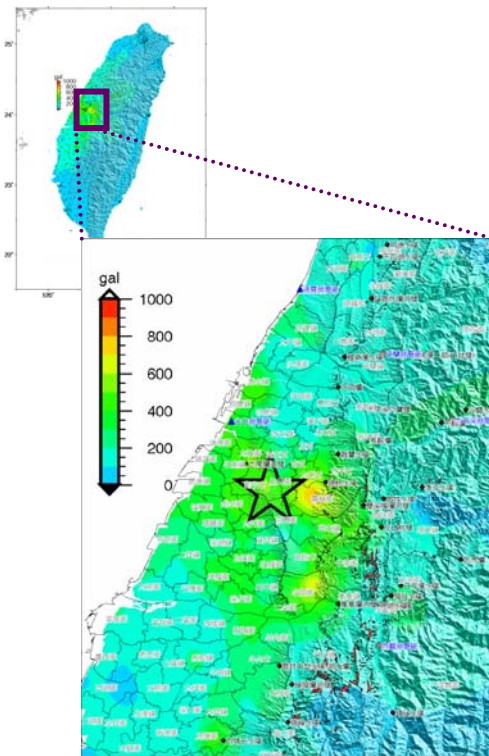


圖 5 PGA 分佈圖、重要建築物與落石敏感區

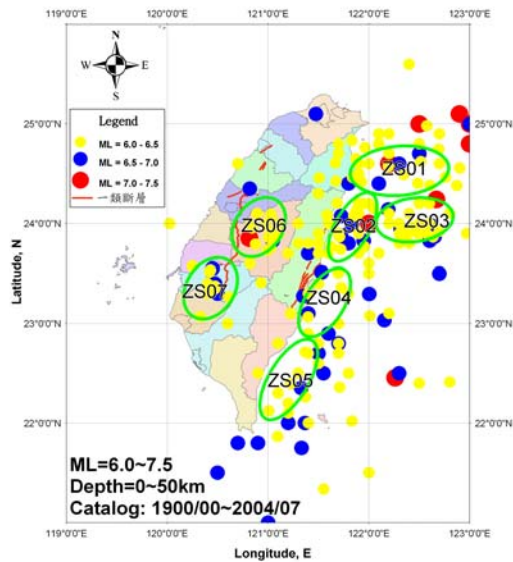


圖 3 本研究區域震源地震特性分析區域

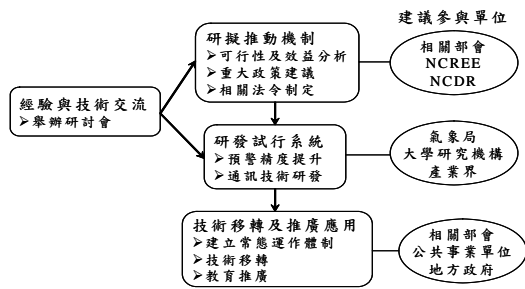


圖 6 強震即時警報系統推動初步構想

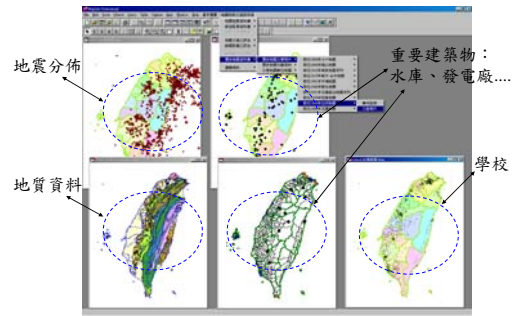


圖 9 地震資訊展示平臺



圖 7 臺日雙邊強震即時警報系統技術交流研討會



圖 10 「國家防災日」地震災害狀況推演（照片提供：災防會）

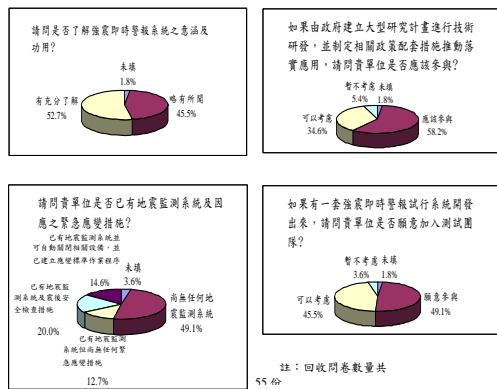


圖 8 臺日雙邊強震即時警報系統技術交流研討會問卷調查結果

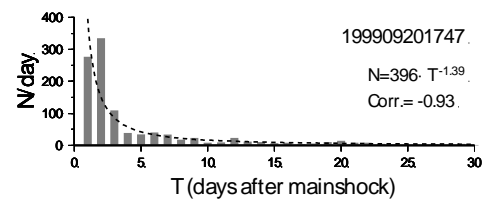


圖 11 餘震數目隨時間成指數的衰減

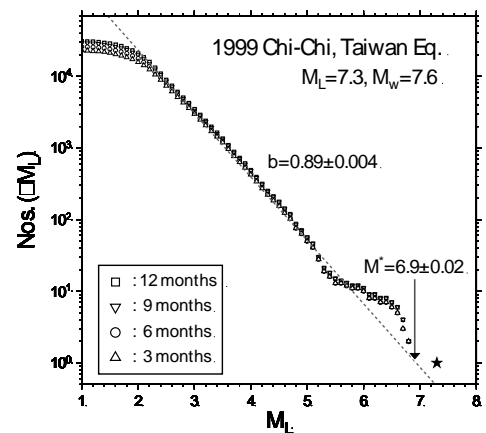


圖 12 主震規模與最大餘震規模之尺度關係式