

台灣地區地震矩與近震規模關係之探討

江嘉豪 辛在勤

中央氣象局地震測報中心

摘要

本研究選取台灣地區1992年4月至1994年2月間769個地震以及96筆強震資料，地震規模介於1.28到5.8，震源深度小於35公里，且每一筆地震資料都包含至少3個以上的測站可供分析。並利用Lg波頻譜分析的方法，挑取垂直分量之低頻水平振幅值及截角頻率，計算地震的地震矩值，以探討地震矩和近震規模之關係。

資料處理結果顯示，短週期紀錄與強震資料處理結果相近，因此二者可合併分析而不致有太大的誤差，同時地震矩與近震規模之關係呈良好的線性趨勢：

$$\log Mo = (1.21 \pm 0.022)ML + (16.74 \pm 1.17)$$

另外，引用PDE資料以補充較大規模（ $ML > 5.0$ ）地震數量的不足，經規模的修正與轉換後，顯示地震矩與近震規模間的關係可以兩個線性公式代表：

$$\log Mo = 1.21ML + 16.72 \pm 1.86 \quad 1.28 \leq ML \leq 5.23$$

$$\log Mo = 1.75ML + 14.00 \pm 1.99 \quad 5.23 \leq ML \leq 6.82$$

而以1994年6月5日南澳地震（ $ML=6.2$ ）的強震資料驗證本研究結果，則顯示該地震所求出的地震矩與本研究結果十分吻合。

關鍵字：地震矩、近震規模。

一、前言

台灣地區位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊交接處，地震活動頻繁，平均每個月有近千次地震發生。為了探討地震活動的特性，除了高密度、高精度地震站的設置，以偵測地震活動外，當然就是藉高品質的地震紀錄以深入瞭解如地震規模、地震矩、截角頻率等震源參數及彼此間的關係。

台灣地區的Lg波特性和，根據王和余(1989)、辛(1989)等以中央氣象局地震觀測網的數位化地震資料，求得Lg波的Q值約在100至200之間；而辛(1989)利用理論合成震波，探討Lg波之輻射型態效應(radiation pattern)，結果顯示Lg波群之輻射型態比體波(P和S)的輻射型態更接近圓形。綜合而言，

Lg波群的振幅方程式內忽略輻射型態的效應，應不會造成太大的誤差。同時，就定量的觀點而言，水平分量Lg波的振幅約為垂直分量的三倍（Shin, 1993），當地震較大時，垂直分量的訊號較不易發生飽和（saturation）現象。因此，本研究即以垂直分量Lg波為研究對象，分析其頻譜特性。假設Aki（1967） ω -square震源模式且符合Brune(1970, 1971)圓形震源破裂模型，推算觀測頻譜的截角頻率與低頻水平值，並採Herrmann and Kijko(1983)地震矩計算公式以求得地震矩值，利用迴歸分析探討臺灣地區地震矩與近震規模間之關係。

二、短週期地震資料分析

本研究使用之地震資料均蒐集自中央氣象局

地震測報中心資料庫，選取自1992年4月至1994年2月間發生在台灣及其附近區域（東經119-123度，北緯21-26度）範圍內，共計769個地震。地

震規模介於1.28到5.8之間，震源深度小於35公里且每一筆地震資料都包含至少3個以上的測站可供分析。圖一為769個地震之震央位置圖。

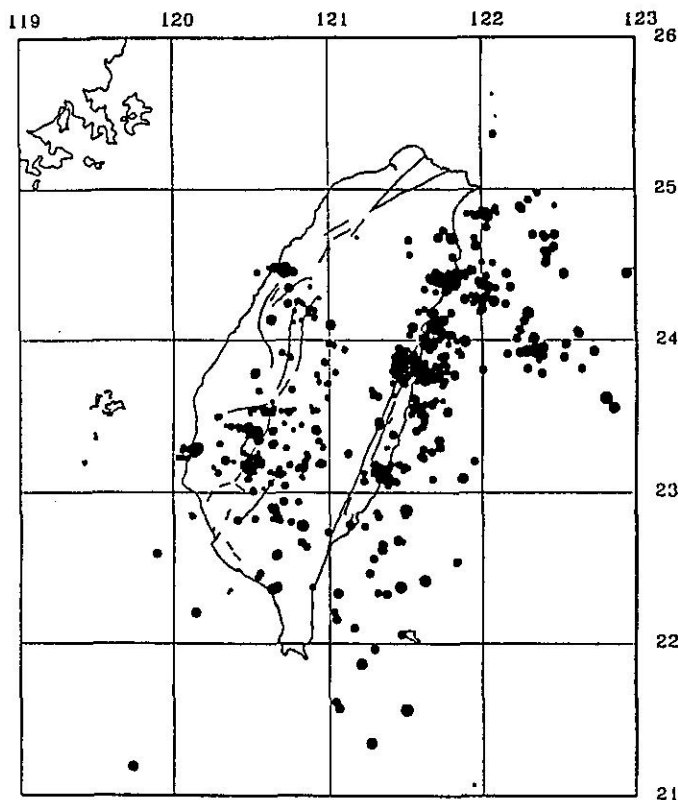


圖 1. 短週期地震資料分析所選用769個地震之震央分佈圖。

由於本研究所量取之數值為低頻振幅頻譜，因此儀器的放大效應至為重要，而地震中心每年對各測站儀器皆固定作定期校驗，使此次分析在去除儀器效應得更為準確。儀器校驗工作通常以兩種方式進行，首先利用固定電流法（fixed current）—即輸入固定頻率（1Hz）的電流驅動感應器內的重錘，校驗地震儀的反應曲線。另一則直接將小砝碼置於重錘上，俟其平衡後瞬間將砝碼抽離（Weight lifting）使重錘自由震盪，以檢測地震儀的反應曲線。因此，地震儀的定期維護與檢定，使地震紀錄得以維持一定水準以上的品質。圖二表示同一地震不同測站之短週期地震紀錄（圖上方），與其時間視窗（長度約40秒）內

訊號，經傅氏轉換、儀器修正及震波衰減效應（ $Q(f) = 200f^{0.8}$ ）修正後之頻譜圖（圖下方），測站名稱列於頻譜圖左下角，而頻譜圖中粗黑線代表 ω^{-2} 震源模型，藉以比對頻譜而挑出低頻水平振幅L和截角頻率（箭頭所示），二者的數值亦同時列於頻譜圖上方。

本研究處理769個臺灣及其附近地區的地震資料之結果繪於圖三，其中（a）圖為地震矩(M_0)與近震規模(ML)的關係圖，（b）圖則表示出地震矩與截角頻率(f_c)的關係。二圖中之直線係利用線性迴歸方式求得如下：

$$(a). \log M_0 = (1.21 \pm 0.027)ML + (16.74 \pm 1.08)$$

$$(b). \log M_0 = (-4.76 \pm 0.22)\log f_c + (21.94 \pm 1.21)$$

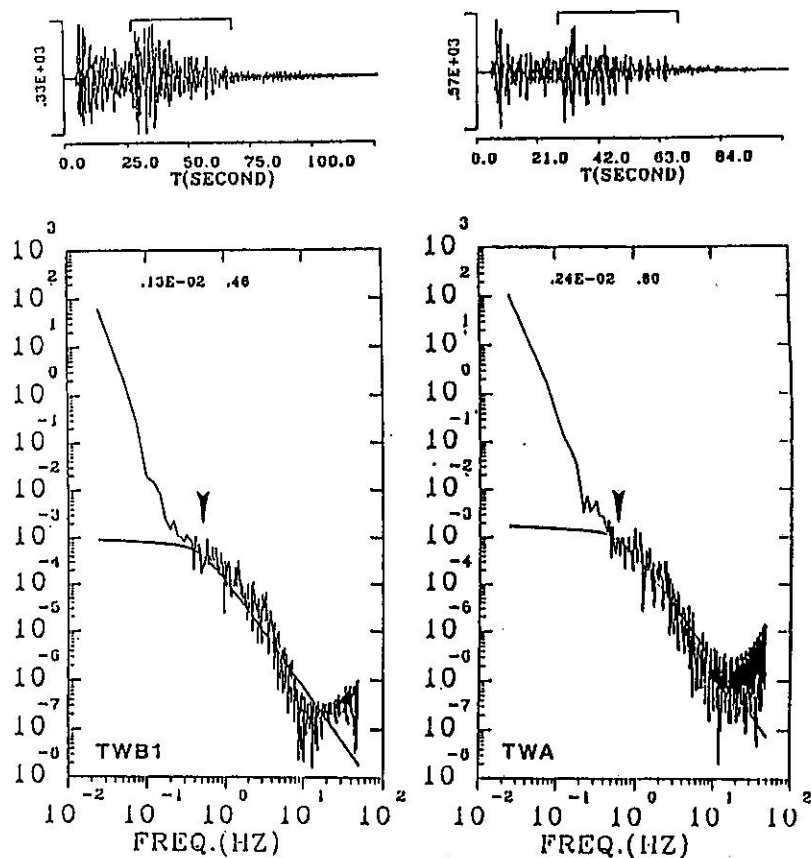


圖 2. 同一地震不同測站垂直分量紀錄之頻譜分析示意圖，圖上方為時間域地震紀錄及所挑選之時間視窗，下方則為其位移頻譜，箭頭所示處指截角頻率(f_c)，圖中兩數值分別為低頻水準振幅(cm)及截角頻率(Hz)。

由此二圖顯示 M_0 和 M_L 及 f_c 之間乃呈現一線性關係，但規模大於5.0的地震資料卻明顯偏少，主要因為過去兩年來規模大於5.0的地震數偏少，且短週期地震儀器有相對較大的放大作用，致使較大規模地震容易造成大量測站接收到的記錄產生飽和的現象，而使得可供分析的資料減少，因此該線性關係在規模較大處仍可能存爭議。

三、測站效應分析

震波傳遞過程中可能受波傳路徑、震央距離、乃至於測站地質效應的影響，而使由頻譜分析所估算的地震矩值產生誤差。如果考慮測站的站址效應，則對任一地震而言，測站(sta)接收

到該地震的記錄經前述之頻譜分析方法所計算出的地震矩對數值可表為 $\log M_{oi}(sta)$ ，而該地震之地震矩對數值則為所有接收站之平均，即 $\log \bar{M}_{oi}$ 。因此測站的地震矩殘差(residual)可視為測站效應和波徑之綜合結果，表示成：

$$r_i(M_0, sta) = \log \bar{M}_{oi} - \log M_{oi}(sta)$$

而由任一測站所收錄到的 N 個地震資料中，分析地震矩殘差隨著每一個地震的震央距離或方位角之變化趨勢，如果殘差隨方位角及震央距離有明顯之變化趨勢時，可歸類於殘差與波徑有關係，否則可視此殘差乃係由場址效應造成。

分析結果發現，各測站之地震矩殘差平均值雖然有“+”(測站計算結果小於地震之地震矩

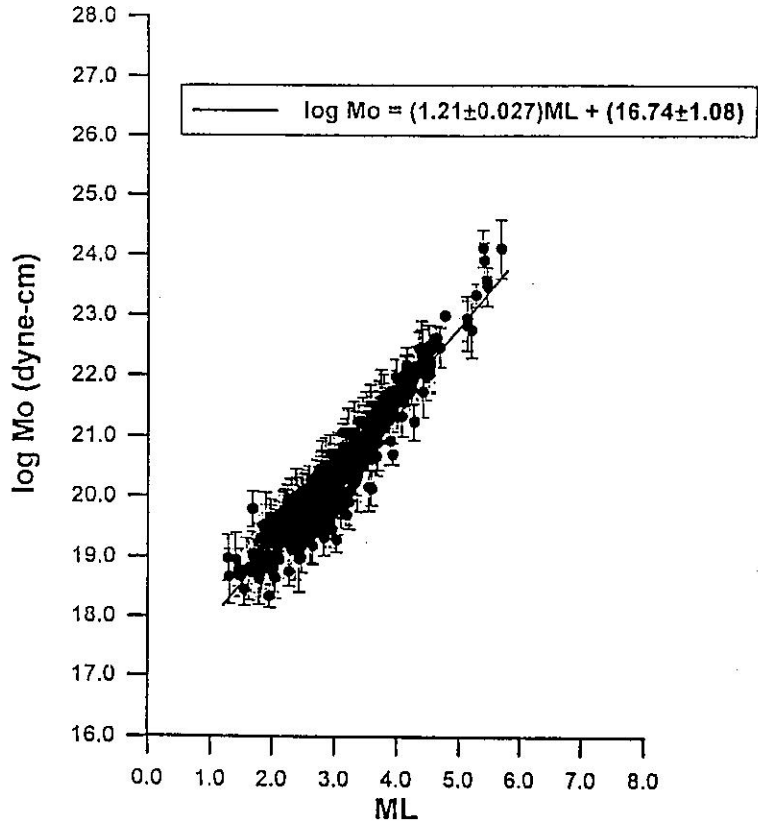


圖 3.(a) 769組短週期地震資料分析之地震矩與近震規模關係圖，圖中直線為線性迴歸結果。

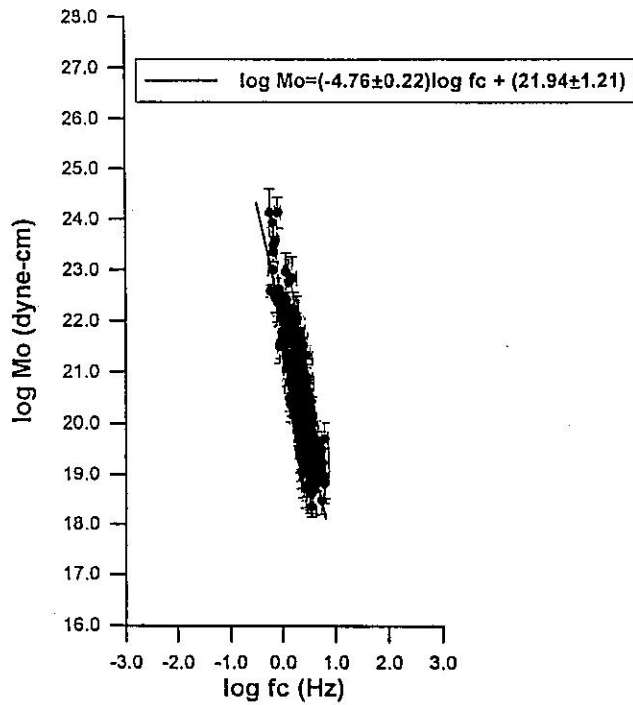


圖 3.(b) 769組短週期地震資料分析之地震矩與截角頻率關係圖，圖中直線為線性迴歸結果。

值)、有“-”(測站計算結果大於地震之地震矩值),但是其地震矩殘差並不隨震央距或方位角有明顯變化趨勢,因此各測站所計算之地震矩,其誤差應可歸因於測站站址的地質效應(江,1994)。而由每一測站所收錄到的N個地震資料可計算出該測站之地震矩殘差平均值為

$$\bar{r}(Mo,sta) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i(Mo,sta)$$

代表此測站估算地震矩時之平均誤差。

圖四為所有測站之殘差平均值與地震個數之關係圖,圖中橫軸表示該測站所記錄的地震個數(N),縱軸為地震矩殘差平均值 $\bar{r}(Mo,sta)$,圖上所有的資料點顯示呈常態分佈(normal distribution),其平均值等於0.0364,以直線表之;而虛線則代表標準偏差量(standard deviation),分佈於標準偏差內的測站以符號“⊕”

表示,大於標準偏差者以實心圓點表示,並標出測站名稱,而小於標準偏差者則以空心圓點代表,同樣亦標出測站名稱。比對劉(1992)的表一,可發現空心圓點所代表的測站之站址所在,幾乎都位於台灣地區的沖積平原上,深厚的沉積層可能造成震波的放大效應,致使所計算出之地震矩值偏大(地震矩殘差平均值為負)。

考慮各測站站址效應的影響,將各測站之地震矩殘差平均值代入修正,重新計算各地震之地震矩值,可發現各資料點更集中呈線性關係,同樣再以線性迴歸方法得到 Mo v.s. ML 如下

$$\log Mo = (1.22 \pm 0.024)ML + (16.73 \pm 1.19)$$

四、強震資料處理

短週期地震儀器由於其功能在於偵測地震,因此有相對較大之放大作用,致使地震規模較大

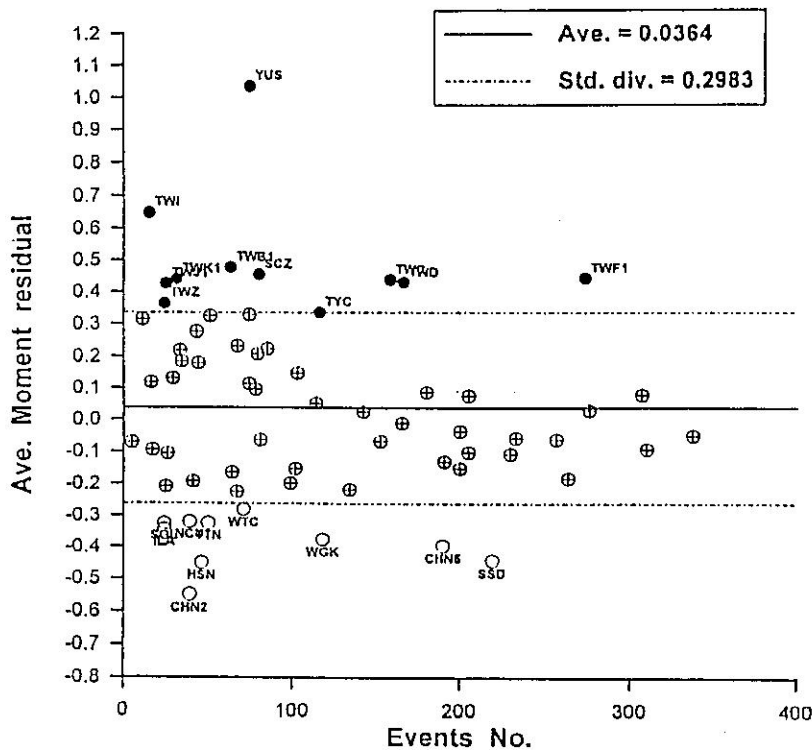


圖 4. 測站之地震矩殘差平均值分佈圖,橫軸為測站所記錄之地震個數,直線表所有測站值之平均,虛線則為其標準偏差量。

時易造成測站記錄產生飽和現象，而強震儀因有較高的解析度、較大的動態記錄範圍，正可彌補短週期儀器的缺憾，而強震資料對於較小地震則由於該儀器屬於啟動方式 (trigger mode)，可用資料可能較少。由於中央氣象局所使用之強震儀計有16bit之A900、IDS-3602和SSA-16，其動態記錄範圍均為96dB，以及12bit之A800強震儀（動態記錄範圍72dB）共四類型。劉等（1994）分析安裝於花蓮測站四種強震儀之資料，顯示四種儀器所記錄的地震資料不僅在時間域上的波形十分接近，同時在頻率域之頻譜方面，在頻率範圍1.0至50Hz之間各類型強震儀的強震紀錄之頻譜相當吻合，當PGA值較大時其吻合性的頻率會向低延伸至0.3Hz左右。而由於強震紀錄長度均小於一般短週期速度型地震紀錄，為了增加取樣點數，特以全波形強震資料進行頻譜分析（江，1994）。

另外，本研究篩選53個地震，震源深度均小於35公里，每一個地震同時為地震觀測網 (TaiSciN)及強地動觀測網所接收，且對同一個地震而言，至少有三站以上的短週期地震紀錄與三個以上的強震資料可供分析，以計算其地震矩等震源參數，俾進行比對。圖五表示兩組資料在地震矩與近震規模關係的比對結果。空心圓代表短週期地震紀錄的計算結果；實心三角形 (▲) 則係強震紀錄分析結果，直線 (I) 表示其誤差範圍。兩組資料的分佈情形相當接近。因此，本研究加入96組強震資料，圖六表示其震央分佈圖，震源深度同樣小於35公里，每一組強震資料包含三個以上的強震紀錄，而儀器的種類則包含了前述四種強震儀型態。至於資料處理的方法與步驟，除了採強震資料的全波形紀錄轉換成位移頻譜，以決定合理的截角頻率和低頻水準值外，餘

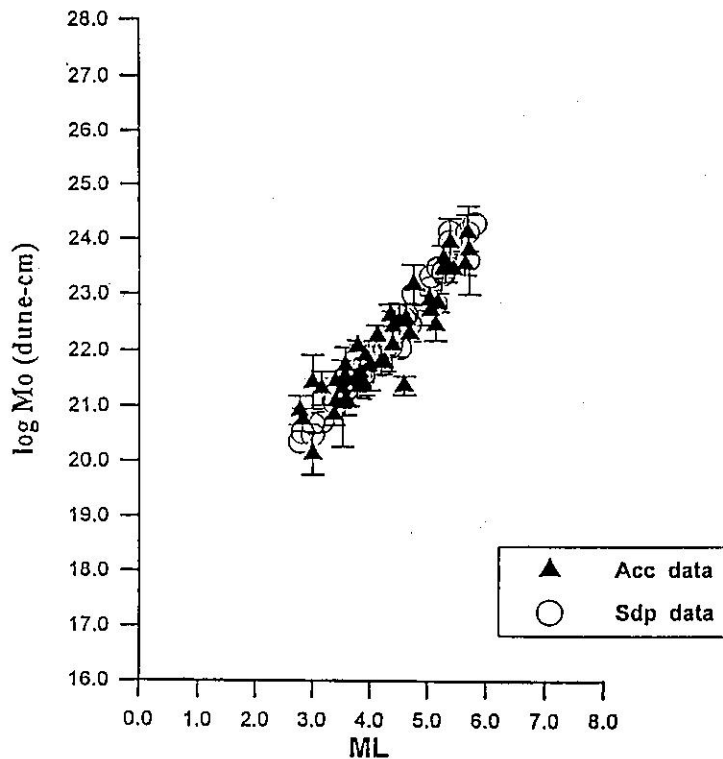


圖 5. 比較短週期地震紀錄與強震資料分析結果之地震矩與近震規模關係圖，圖中○為短週期地震紀錄處理結果，▲為強震資料處理結果，I為其誤差量。

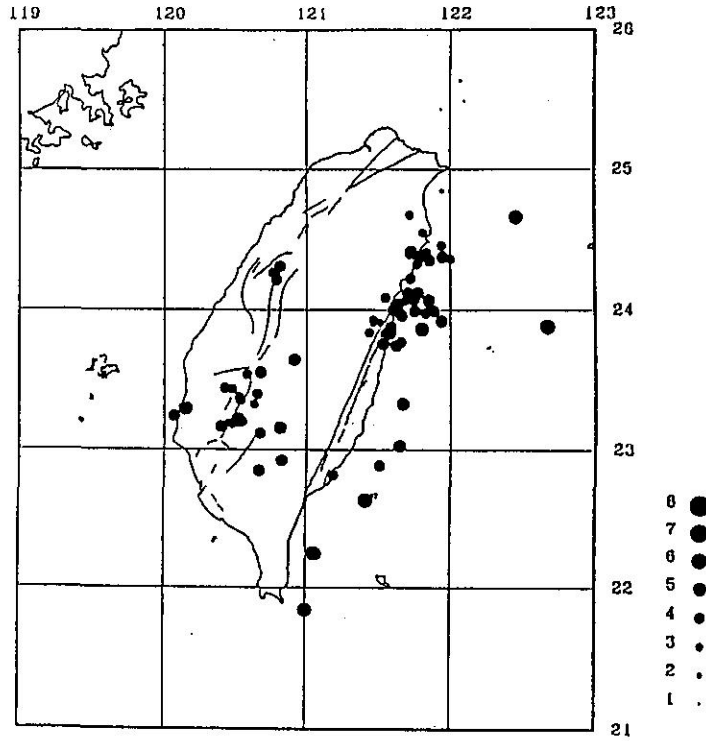


圖 6. 96筆強震資料之地震震央分佈圖。

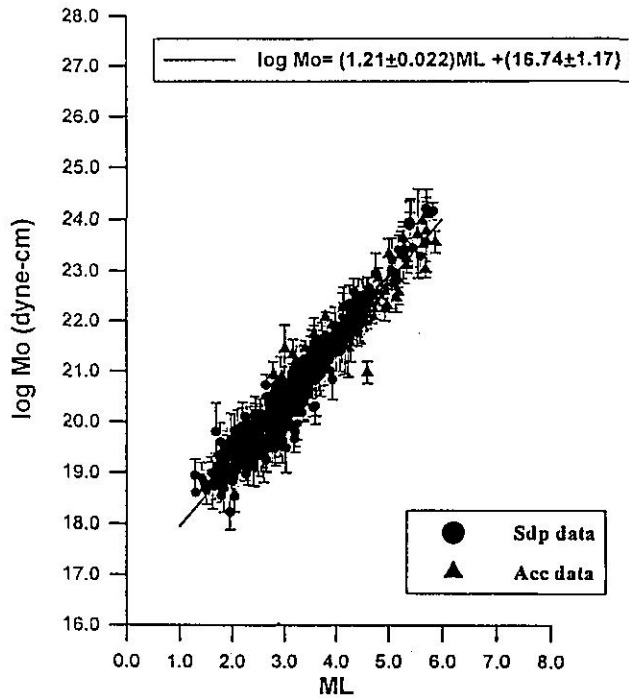


圖 7. 合併短週期地震記錄與強震資料分析結果之地震矩與近震規模關係圖，圖中●為769組短週期地震記錄處理結果，▲為96筆強震資料處理結果，直線為線性迴歸結果。

皆和短週期資料處理雷同。因此，合併769筆短週期地震紀錄和96筆強震紀錄的結果繪於圖七，直線則為其線性迴歸的結果：

$$\log M_0 = (1.21 \pm 0.022)ML + (16.74 \pm 1.17)$$

五、討論與結論

由於過去兩年來發生在台灣地區的較大地震 ($ML > 5.0$) 數量並不多，使得本研究在探討地震矩與近震規模之關係時，無法向較大地震規模方向延展，而使規模較大處之結果有相對較大的可議空間。

為了補充規模較大之地震資料，以期擴展地震矩與近震規模關係式的適用範圍，本研究挑選自1973年至1992年PDE目錄中，震央位置落在本研究範圍（東經119-123度，北緯21-26度）內，且震源深度小於35公里的地震共82個，每一筆地震資料均登錄有體波規模與地震矩值，圖八表示這些地震的震央分佈情形。依據葉等(1993)體波規模與近震規模換算公式：

$$mb = -0.879 + 1.111ML \pm 0.300$$

$$ML = 0.791 + 0.900mb \pm 0.270$$

將PDE地震資料的體波規模轉換成近震規模，並把規模與地震矩關係繪於圖九(a)，圖中空心圓點代表本研究所用之短週期地震紀錄與強震資料合併處理的結果，空心正方形則表示經規模轉換後的PDE資料點，橫軸為近震規模，縱軸係地震矩的對數值。很明顯的，二組資料中有些許資料點重疊在一起，同時更表現出兩種不同型態的線性趨勢(linear trend)，似乎暗示大小地震間的震源特性模式有所差異，不能僅以單一線性公式來涵蓋。

Nuttli(1983b)在研究板塊中(Mid-plate)及板塊邊緣(plate-margin)二類型地震之規模與頻譜尺度關係中指出，板塊邊緣地震之體波規模的觀測值需加上0.4個單位值，以符合頻譜的尺度定律(spectral scaling law)，其原因乃由於1秒週期的遙測P波(teleseismic p-wave)振幅被震央底下的軟流圈(Asthenosphere)大量吸收，而使振幅低估了約

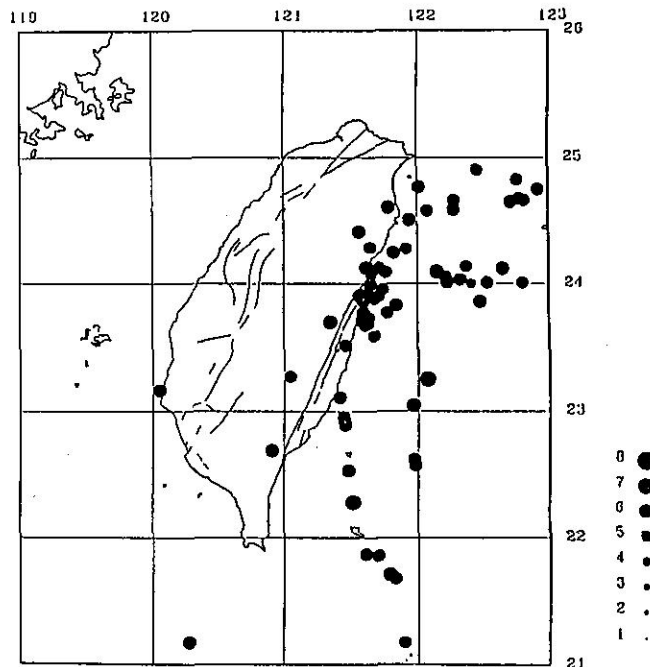


圖 8. 82筆PDE地震資料之震央分佈圖。

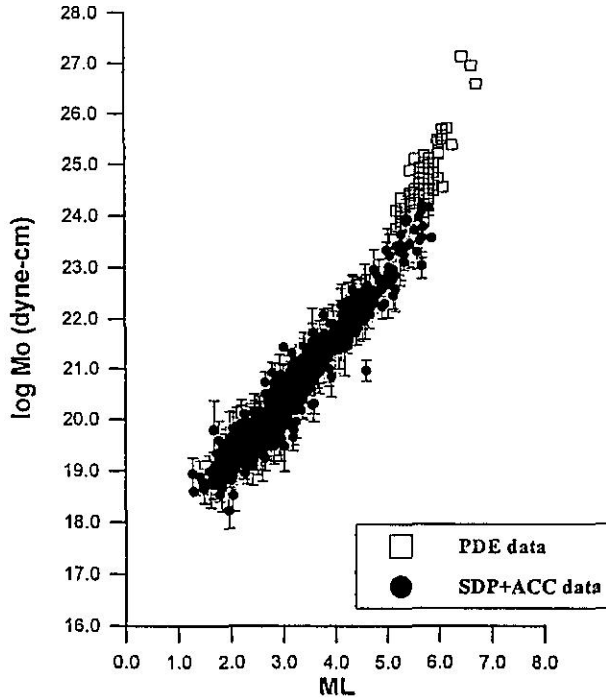


圖 9.(a) 本研究加入PDE地震資料後之地震矩與近震規模關係圖，●為本研究之處理結果，□為PDE資料，且其體波規模值經轉成近震規模值。

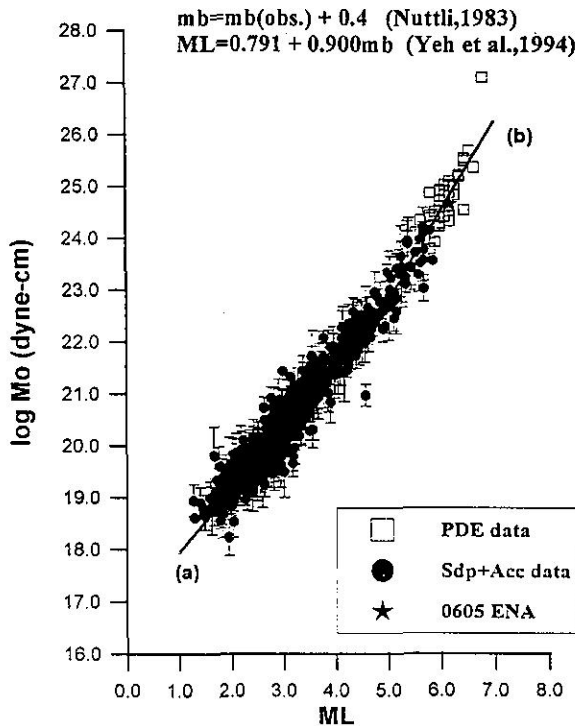


圖 9.(b) 合併PDE資料之地震矩與近震規模關係圖，●為本研究之處理結果，□為北緯22.3-25度間的PDE資料，其體波規模值經(+0.4)修正後並轉換成近震規模值，直線(a)、(b)分別代表大小地震不同的線性關係式。★為南澳地震資料處理結果。

0.4個單位值。因此本研究自PDE中挑選的地震資料應在體波規模部分做(+0.4)的修正，並重新挑選出震央分佈於北緯23.5-25度之間54個地震，以更符合板塊邊緣地震的定義。而經過體波規模修正和轉換成近震規模後的PDE資料，重新繪於地震矩與近震規模關係圖中(圖九(b))，和本研究的結果行再行比對，發現二組資料點銜接地十分契合，且較大地震明顯呈現另一線性趨勢。因此合併PDE資料與本研究結果一起進行線性迴歸分析，而得到(a)、(b)兩組線性迴歸公式

$$(a). \log Mo = 1.21ML + 16.72 \pm 1.86 \quad 1.28 \leq ML \leq 5.23$$

$$(b). \log Mo = 1.75ML + 14.00 \pm 1.99 \quad 5.23 \leq ML \leq 6.82$$

圖九(b)中亦繪出此二組線性迴歸公式，並以直線(a)、(b)分別代表之。

本研究共分析769個地震與96筆強震資料，並延用PDE地震目錄補充較大地震資料之不足，以探討台灣地區地震矩與近震規模之關係，可得下列幾點結論：

1. 地震矩殘差分析結果顯示，中央氣象局地震監測網各測站之地震紀錄在估算地震矩時所形成的誤差，應與震央距離或方位角的變化無關，可直接歸因於站址所在之地質效應使然。尤其位於沉積平原上的測站，其所收錄之震波紀錄可能受深厚沉積層的放大作用，因而使其計算出之地震矩值偏大。

2. 比較強震紀錄與短週期地震紀錄分別經頻譜分析後的結果，顯示二者之間無論從位移頻譜上挑選出的截角頻率，或者推算而得之地震矩值都可以彼此吻合，兩種型態的地震紀錄可以合併分析而不致於造成太大的誤差。因此，台灣地區地震矩與近震規模之關係可表示為：

$$\log Mo = (1.21 \pm 0.022)ML + (16.74 \pm 1.17) \\ 1.28 \leq ML \leq 5.88$$

3. 由於發生在台灣地區的較大地震($ML > 5.0$)數量並不多，使得本研究在估算台灣地區的震源特性模式時的結果不臻完善，因此引用PDE資料以補充較大規模地震數量的不足，經過規模的修

正與換算之後，顯示地震矩與近震規模間的關係難以單一線性公式代表，故考慮改成：

$$(a). \log Mo = 1.21ML + 16.72 \pm 1.86 \quad 1.28 \leq ML \leq 5.23$$

$$(b). \log Mo = 1.75ML + 14.00 \pm 1.99 \quad 5.23 \leq ML \leq 6.82$$

4. 分析1994年6月5日南澳地震($ML=6.2$)，中央氣象局強震觀測網所收錄的強震資料，以計算該地震之地震矩和截角頻率，其結果顯示地震矩與近震規模間的關係與本研究結果非常吻合。圖九(b)中符號★代表南澳地震。

六、參考文獻

- Aki, K., 1967. Scaling law of seismic spectrum, *J. Geophys. Res.*, 72, 1217-1231.
- Brune, J. N., 1970. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 75, 4997-5009.
- Brune, J. N., 1971. Correction, *J. Geophys. Res.*, 76, 5002.
- Herrmann, R. B., and Kijko, A., 1983. Modeling some empirical Lg relations, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 73, 157-162.
- Nuttli, O. W., 1983b. Empirical magnitude and spectral scaling relations for mid-plate and plate-margin earthquakes, *Tectonophysics*, 93, 207-223.
- Shin, T. C., 1993. The Calculation of local magnitude from the simulated Wood-Anderson seismograms of the short-period seismograms in Taiwan area, *TAO*, 4, 155-170.
- 王乾盈和余貴坤, 1989. 台灣地區之P波與Lg波特性比較研究，行政院國家科學委員會防災科技研究報告，第74-70號。
- 江嘉豪, 1994. 台灣地區地震震源尺度模式之探討，國立中央大學地球物理研究所碩士論文。
- 辛在勤, 1989. 台灣地區Lg波的特性分析，氣象學報，第35卷，第3期，171-184。
- 葉永田、鄭世楠、李靜、辛在勤和陳承俊, 1993. 台灣地區數個地震目錄的地震定位與規模的評估(1)，中央氣象局地震測報中心技術報告彙編，第4-1卷，1-23。

劉坤松，1992. 強震震動歷時與震源參數、測站位址相關性之研究，中央氣象局專題研究報告，第 CW81-1A-11 號。

劉坤松、辛在勤、李泓鑑和蔡義本，1994. 中央氣象局「強地動觀測計畫」—基本自由場強震儀比較分析，付印中。

Mo v. s. ML RELATIONSHIP IN THE TAIWAN AREA

Chia-Hao Chiang

Tzay-Chyn Shin

Seismology Center, Central Weather Bureau

ABSTRACT

The Lg spectral analysis from short-period and strong motion records of 865 earthquakes occurred in the Taiwan area are used to study the relationship of seismic moment and local magnitude. Basing on the ω^{-2} model and the circular crack model, the long-period level and corner frequency of Lg amplitude spectrum are picked to determine the corner frequency (f_c) and seismic moment (M_0) of individual earthquake. The relationship of seismic moment and local magnitude is

$$\log M_0 = (1.21 \pm 0.022)ML + (16.74 \pm 1.17)$$

in the magnitude range of 1.28 to 5.88.

Adding seismic moments of 54 earthquakes listed in the PDE catalog to the results in this study, the relationship of M_0 v. s. ML becomes

$$\log M_0 = 1.21ML \pm 16.72 \pm 1.86 \quad 1.28 \leq ML \leq 5.23$$

$$\log M_0 = 1.75ML \pm 14.00 \pm 1.99 \quad 5.23 \leq ML \leq 6.82$$

Key words : seismic moment , local magnitude (M_L)