

台灣地區地震發生潛能的探討

辛在勤 呂佩玲

中央氣象局地震中心

摘 要

地下岩石無法承受外來應力的累積後，即破裂、錯動而發生地震，隨即又開始累積下一次地震的能量，如此循環性的動作，說明地震一再發生的原因，也因此地震學者計算某特定區域其歷史上地震釋放能量的趨勢，將有助於瞭解該地區所囤積地震能量的狀態。本研究將台灣地區依各種不同地質特性及歷史上地震分布情形分成九個小區域分別探討自1935年至1988年間地震能量釋放的趨勢，發現在台灣地區從嘉南地區向東到台東縱谷區已累積相當大的地震能量，屬於地震發生機率較高之區域，而中西部即新竹—台中烈震區，屬於遠變型區域，且地震再發生的週期較長，以現有之資料雖無法得到較確定之結論，但因該地區從1935年新竹—台中烈震後並無明顯的能量釋放，因而也將其列入高危險區，另外，花蓮地區是兩板塊碰撞處，地震發生頻繁是正常現象，亦不可掉以輕心。從本研究分析中發現台灣南端、高雄、屏東至蘭嶼是短期內較穩定的地區。

由於地下岩石並非完全均勻的物質，因此在能量累積的過程中區域內較脆弱地區會有局部且較小的能量釋放，所以針對地震規模計算其地震的發生次數即b值的研究，可瞭解地區的地震發生特性。本研究以現有55年的地震資料分區探討b值，發現台灣地區平均b值為1.18，按b值分數屬地質的幼年期，在分區研究裏中央山脈和嘉南地區的b值最大，約為1.3~1.4，蘭嶼地區b值最小約為1.05，台灣地區等b值曲線的分布與王(1989)之結果大致吻合。

關鍵詞：臺灣地區地震潛能。

一、緒 言

地震的發生是地下岩層承受不了累積的應力，發生破裂或錯動，並隨即將累積的能量以地震波的形式向四面八方傳遞，地震波到達地表，地震儀器偵測接收紀錄後，即為地震紀錄圖。根據紀錄圖可計算地震規模等地震參數，地震規模是一個相對的數值，用以描述地震的大小，因此地震規模通常與地震所釋放的能量有直接的關係。

假設地震發生的地方以一個點震源形式釋放能量，則規模與能量之關係可表為(bath, 1971):

$$\log E = 5.8 + 2.4 m_b \quad m_b: \text{體波規模} \quad (1)$$

$$\log E = 11.8 + 1.5 M_L \quad M_L: \text{芮氏規模} \quad (2)$$

由公式(2)可知每增加一個 M_L 單位，所釋放之能量

增大約30倍。

依據上述地震能量累積，釋放的觀念，如某一地區的應力系統是封閉時，亦即該地區的應力來源是固定，且其能量只在該地區釋放，則該地區以岩層變形累積能量，到達相當程度後發生地震而釋放能量之後，又開始累積下一次地震的能量。如此則形成一個週而復始的週期性動作，因此由過去的地震計算其能量釋放隨時間的變化時，必形成一梯狀增加的曲線稱為能量曲線。此曲線亦侷限於兩條與時間成線性增加的直線內，一條在上是為上限曲線，另一條在下則為下限曲線。簡單地說，大地震發生後，能量曲線必在上限曲線附近，隨即會有一段時間無較大能量釋放，即能量曲線走平一直到快觸及下限曲線時(地區能量累積快達上限)則暗示可

能發生另一大地震。根據能量累積作地震預測的統計方式，即依此方法進行分析。

地震釋放所累積能量的現象，依各地區地質條件，及地體活動情形而異，但基本上不同規模地震發生的次數與地震規模極略成反比的現象，亦即大規模地震發生的次數遠比小規模地震發生的次數少，Gutenberg 和 Richter (1958) 綜合分析全世界歷史上的地震（地震規模在 3.0 至 3.9）得一地震次數與規模的經驗式：

$$\log N = a - bM \quad (3)$$

N：在一時間區段（T）內，地震規模在 $M \pm \Delta M$ 內之累積次數。

M：地震規模。

a 和 b 為兩個常數，a 依觀測年數和所考慮之面積大小而定，b 則為大規模地震次數和小規模次數之比率，與地體活動度有關，反映該地區地震活動特性，亦與地質年代有關。在地質幼年期者，b 值較大，1.8~1.0，例如在海洋中的裂線沿海溝地帶及島孤地帶。在地質壯年期者，b 值次之，1.0~0.7，例如在部分環太平洋，阿爾卑斯及喜馬拉雅山脈。在地質老年期者，b 值最小，0.7~0.4，例如在大陸內，較穩定台地週圍的地震地區，及舊褶曲山地。

由公式(3)利用線性迴歸方式求取各地區的 a，b 值，可提供該地區地震活動特性。例如用 10 年的地震資料所求得 a 和 b 分別為 7.0 和 1.0 則可推算出該地區 10 年區間內發生規模約為 6.0 的地震次數為 10 次，亦即平均每年可能發生一次規模為 6 的地震，此方法是另一種地震預測的物理統計模式。

針對台灣地區能量累積及釋放特性，大小地震發生比率與地震活動度之特性，本研究以上述兩種物理統計模式分別探討，期能對台灣地區地震活動特性作較深入之瞭解。

二、資料分析與分區討論

1. 資料分析

台灣位於環太平洋地震帶上，地震活動頻繁，因此地震資料亦相當豐富，唯歷史地震資料欠缺儀器觀測的準確性，僅依零星片段的文字敘述，無法作定量的統計分析。西元 1898 年中央氣象局始有

倍率低，且測站分布稀疏的地震資料，至 1935 年新竹—台中烈震後，為了加強地震觀測，陸續增加地震測站，地震紀錄品質相對提高。1973 年中央研究院地球科學研究所建立環島遙記式地震觀測網（TTSN），由於使用較新式地震儀器，地震偵測能力提高，地震資料亦趨完整。中央氣象局於 1982 年亦完成遙記式地震觀測網（CWBSN），地震資料的蒐集進入了新的紀元。

綜合而論，1935 年至 1973 年間的地震資料以中央氣象局地震網之資料為主，但由於所使用地震儀大部分為傳統機械式且倍率不大，僅規模較大的地震資料較為完整。在該段時間內，地震規模以下列方式計算：

(1) 利用最大水平振幅(A)（單位 Micron）：

$$M_H = \log A + 1.09 \log \Delta + 0.50$$

Δ ：為震央距離以公里為單位。

(2) 利用有感半徑 r（單位公里）：

$$M_H = -3.0 + 3.8 \log r$$

(3) 利用中央氣象局震度分布，由震度—震央距離曲線求震央距離 100 公里處的震度（ M_K ）：

$$M_H = 4.85 + 0.5 M_K$$

由以上三種方法求得之規模，一般以徐氏規模稱呼。

在 1973 年以後，TTSN 利用類比記錄所量算的地震總振動歷時（D 秒），計算振動歷時規模 M_D ，

$$M_D = 0.87 + 2.00 \log D + 0.0035 \Delta$$

歐與葉（1983），葉與徐（1985）利用數值模擬與台北伍德安德森地震記錄比對求得 M_L （芮氏規模）與 M_D 之關係如下：

$$M_L = 1.04 + 0.94 M_D \pm 0.28$$

鄭與葉（1989）為統一台灣地區不同年段內因使用儀器不同所得規模之差異，利用最小平方方法求出 M_H 和 M_L 之轉換公式如下：

$$M_L = 1.42 + 0.80 M_H \pm 0.27$$

並彙編台灣地區的地震目錄。

本研究為進行台灣地區地震活動之物理統計模式分析，採用鄭與葉（1989）之地震目錄，僅截取 1935 年至 1988 年地震規模（ M_L ）大於 4，區域範圍在北緯 21° 至 26°，東經 119° 至 123°，並以分區來探討各區地震活動特性。

2.地體特性分析

台灣東部地區位處歐亞大陸板塊與菲律賓海洋板塊之碰撞處，該地區地震活動度高，實乃意料中事，但在台灣西部時有大地震的發生，如果仔細檢視地震的分布，配合地震發生的頻率與地質特性，可知台灣可分成數區，在各區內地震活動度皆不同，因此分區探討在台灣地區有其必要性。

王（1988）針對台灣地區b值作詳細的剖析，他將台灣地區以20'×20'劃分成不同的小區，並分別求出b值，並以b值作等值圖發現：

- (1)b值基本上以NNE—SSW走向，陸上b值大於海上。
- (2)在穩沒區前端b值較小。
- (3)在大屯與基隆兩火山群地區b值較大。
- (4)b值與布蓋重力異常值有密切關連。

在該文的分析中可能會因分區的方法不同而有不同的結果，況且分區太小時，某些小區的地震次數會很少則公式(3)的迴歸分析結果變得較不可靠，將影響結果的解釋。基於此因素，本研究配合地質，地體特性將台灣分成九個區域，其解釋如下（圖一）：

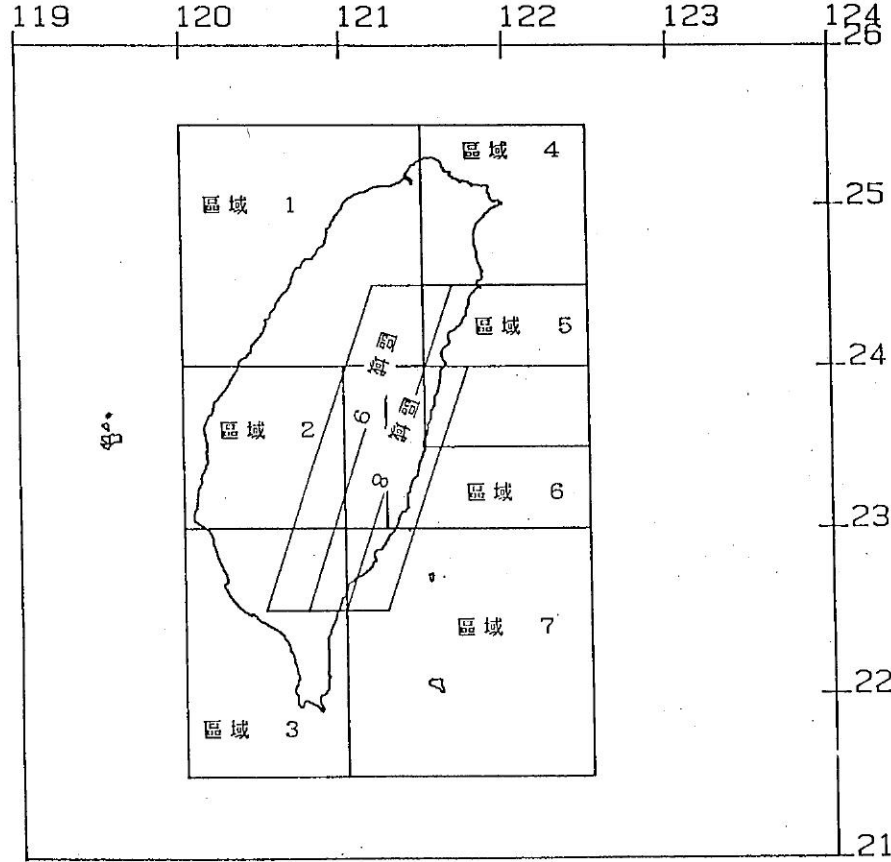


圖 1：分區圖

	北 緯	東 經	特 性
區域 1	24-25.5	120-121	新竹—台中烈震區
區域 2	23-24	120-121	嘉南地區含梅山，觸口斷層
區域 3	21.5-23	120-121	台灣南端，有潮州斷層，包含南端向東的隱沒區。
區域 4	24.5-25.5	121.5-122.5	東部隱沒帶的前端，含沖繩海溝。
區域 5	23.5-24.5	121.5-122.5	板塊碰撞區。
區域 6	23-24	121.26-122.5	菲律賓海板塊碰撞末端
區域 7	21.5-23	121-122.5	南部隱沒區
區域 8	22.5-24	120.77-121.26	台東縱谷區
區域 9	22.5-24.5	120.5-121.19	中央山脈區
		-121.68-121	

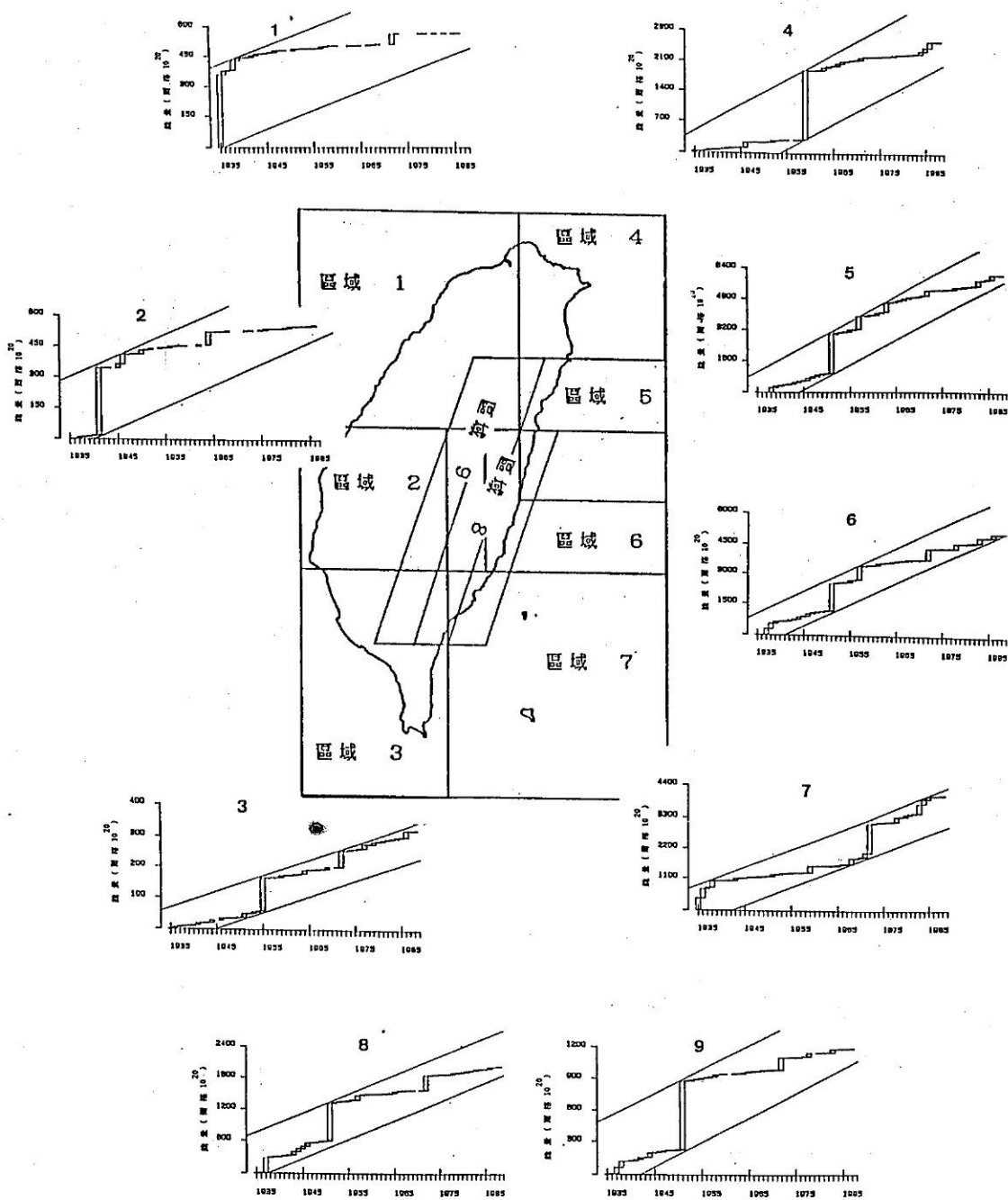


圖 2：分區地震能量釋放趨勢

三、結果與討論

1. 地震能量累積與釋放分析

本分析係以公式(2)為主，採用鄭與葉(1989)地震目錄中各分區在1935-1988年間地震規模(M_L)大於5者為主要資料來源，地震規模5者所釋放能量為地震規模4者之32倍，亦即一個規模5者可抵32個規模4者。一個規模6者可抵約1000個規模4者，因此欲檢視地震釋放能量的趨勢，採用規模大於5者，應足為代表。

地震能量之釋放以年為單位，各分區之走勢繪製於圖二，在各走勢圖中，依各地區過去釋放能量之上界與下界，劃出兩條平行的線性曲線，當為上限曲線與下限曲線，地震能量釋放走勢則在此兩平行線內進行，茲就各分區之地震能量釋放趨勢，討論其地震發生潛能如下：

區域1：此區域主要在1935年有新竹-台中烈震($M_L=7.1$)及其餘震，之後僅有零星數個地震規模在5~6的地震發生，因此能量曲線在1935

年有遽升後即緩步走平至1972年始有稍明顯的能量釋放，依此能量曲線，上限與下限曲線的繪製非常困難，明顯的上、下界只有一個，可靠的上、下限曲線須有較長的時間才具可信度，但如假設1972年之地震屬過渡(中間期)的能量釋放則上下曲線見圖二，則預計在1995年之前，皆屬高能量釋放時段。

區域2：此區域主要能量釋放在1941年之白河地震($M=7.1$)及1964年楠西地震($M_L=6.5$)，其能量釋放趨勢屬較長週期性(預估約25年)，從此圖可見其能量累積情形幾達最低點，較大地震($M_L > 6$)之發生率頗高。

區域3：本區域能量釋放曲線很明顯的成階段式，每一階段約在15~20年，而距今最近一次的明顯能量釋放在1985~1986年間，如依所給上、下限之能量曲線，該區域似乎仍在能量累積的狀態。

區域4：本區域於1959年在宜蘭東方之地震($M_L=7.6$)是能量曲線中最明顯的能量釋放，

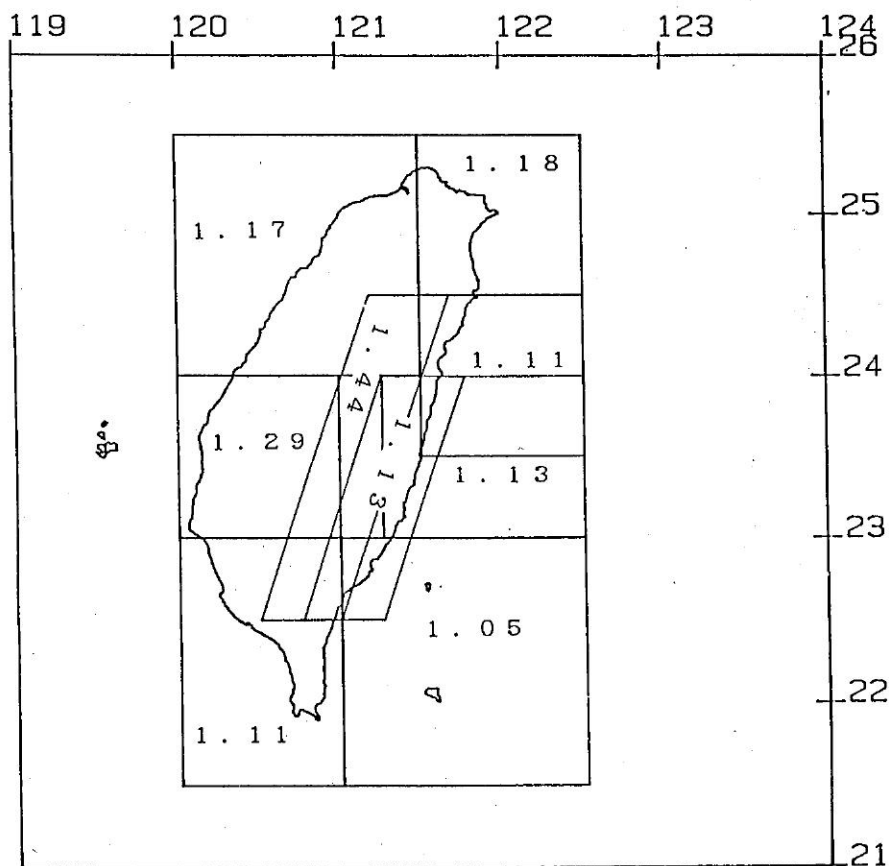


圖3：b值分佈圖

在此之前與之後則屬逐漸累加之趨勢，因此如依上、下限之曲線來判斷，本區屬於能量累積之中後期。

區域5：此區域是兩板塊碰撞處，能量累積釋放最為頻繁，如果根據曲線發現能量曲線已趨近下限曲線，但在1986年兩次花蓮地震後，雖然使能量曲線稍偏離下限曲線，但基本上並未遠離下限曲線，可見縱然經1986年兩次地震，該地區仍屬高可能區。

區域6：顯而易見，此區域能量累積已幾近飽和，尤其能量曲線在數次觸及下限曲線，皆有稍顯著的能量釋放，但總體而言仍在下限曲線附近游走，預期應會有較大量的反彈（大能量釋放）。

區域7：分析此區域能量曲線，可見其剛離上限曲線，應會有一段平靜的地震發生期。

區域8：此區域之能量曲線走勢與區域4者甚為雷同，在1951年大能量釋放前後皆有稍顯著能量釋放，形成中期的能量釋放，但能量累積已漸漸接近下限曲線了。

區域9：此區域之能量曲線則與區域1與2之曲線雷同，雖然資料之時段稍顯不夠長，但經1972年能量釋放後亦已平靜一段時間（約15年），能量曲線已漸趨近下限了。

2. 地震累積次數分析

本分析主要依公式(3)進行，地震規模從4.5開始，以0.5單位往上累進，即 $\Delta M = 0.25$ ，因此本分析中地震規模範圍為4.25至7.75。由於資料從1935至1988年包含兩種不同儀器資料，鄭與葉（1989）發現1939至1972年間， M_L 小於5.3之地震可能有所缺失，因此公式(3)之a和b值分兩個不同資料來源分別計算，第一組為1935年至1988年，另一組為1973年至1988年。

兩組資料分別迴歸分析之結果（a和b）列於圖三，綜合圖三可知在區域2及區域9有較大之b值，而區域7則有相對應較小之b值，其餘各區之b值則落在1.1~1.2之間，如以整個地區而言，其平均值為1.18，依地區分區，可見台灣地區屬地質年代的幼年期。

四、結 論

本研究利用1935年至1988年地震規模大於4.5之資料，將台灣地區依地震分布及地質特性，分別探討地震能量累積與釋放趨勢，期能瞭解至目前為止，台灣各地區能量累積狀態，並計算出各地區的b值，瞭解各地區地震活動的特性。

綜合1935—1988台灣各地區之地震能量釋放趨勢（圖二）可知區域2、區域5和區域6等三個地區能量累積已趨飽和，亦即有較高的地震發生率（圖四），區域4，區域8和區域9則屬中機率地震發生區，而區域3和區域7在台灣之南端，能量釋放曲線甫離上限曲線，意味著暫時進入穩定狀態，而區域1，以其能量釋放趨勢而言，所使用的資料似嫌不夠長，但如以圖中之上下限曲線為準，該區可歸為會機率地震發生區。至於本文所採用地震發生機率，問題的定量討論，則有待數學模式的建立，再作深入探討。

在地震次數累積分析中，b值在各地區的分布見表一，區域2和區域9皆俱較大b值，顯示大規模地震次數與小規模地震次數之比例較大，而區域7之b值最小，暗示次數比率較小，其餘地區之b

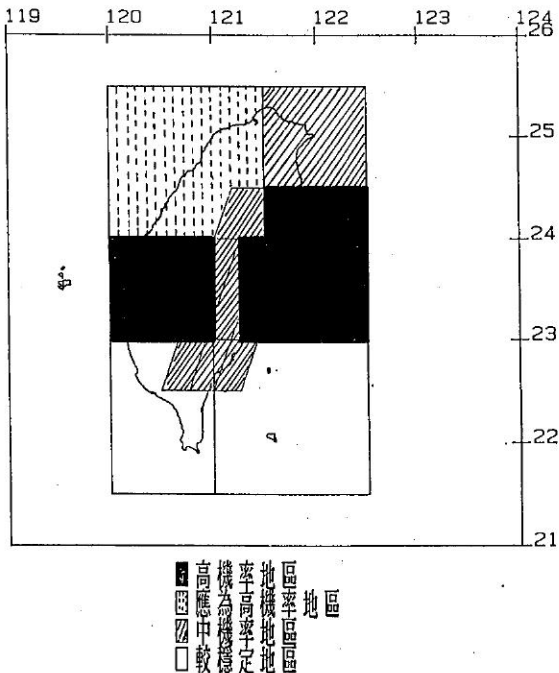


圖4：臺灣地震發生潛能圖

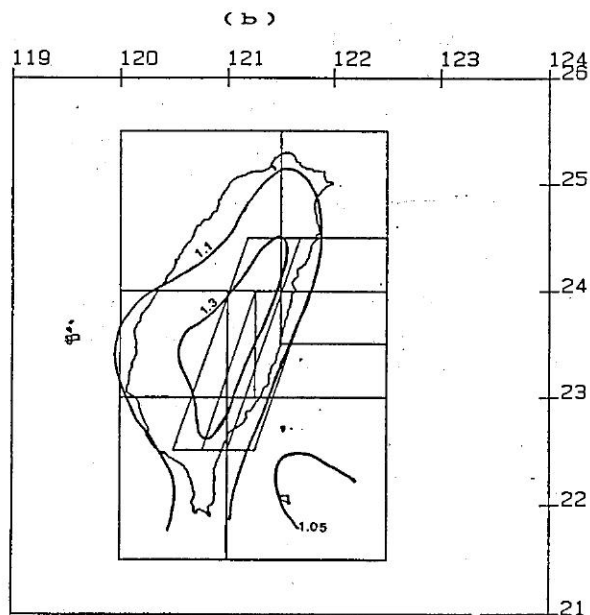
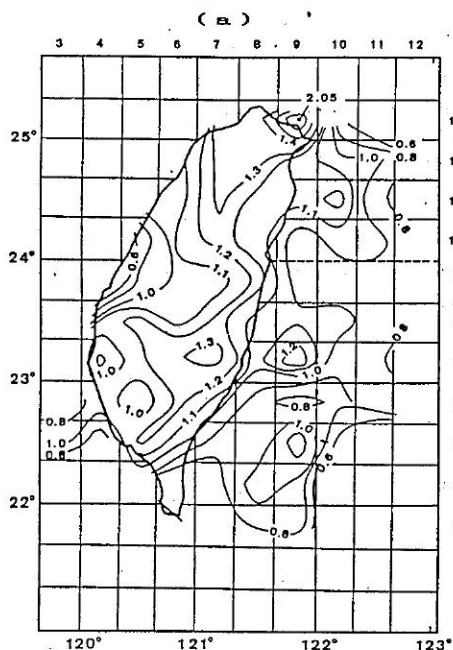


圖 5：等 b 值分佈圖

(a)WANG (1988)

(b)本文

值則平均在 1.1 左右。

以王 (1988) (圖五(a)) 與本研究等 b 值分布圖 (圖五(b)) 作比較發現，最低值地區皆在蘭嶼附近，最高區在中央山脈地區並有延伸向嘉南地區之趨勢，此兩結果甚為吻合，且等 b 值為 1.1 之曲線亦大致雷同，唯王 (1988) 仍有兩低區一在高雄外海，另一在北港外海，此現象是可理解的，因本研究分區並未如此細，且高雄外海有兩次發生群

震的歷史，因此 b 值會較小，而北港外海由於地震發生頻率甚低，迴歸結果應不會理想，另一在台灣北部火山地質區有一超高 b 值區，由於該地區地震頻率低，且發生大地震之次數甚稀，因此本研究認為該區的高 b 值，應與地下熱水活動有關。但綜觀而言，台灣地區之 b 值在 1.18 左右應屬地質的幼年期。

STUDY ON THE EARTHQUAKE POTENTIAL IN THE TAIWAN AREA

Tzay-Chyn Shin

Peih-Lin Leu

Seismological Observation Center
C.W.B.

ABSTRACT

The most common type of earthquake is due to the sudden rock break in response to geological force within the earth. Right after an earthquake, the geological force starts to accumulate for the next earthquake. This fact indicates the peiodic occur-

rence of earthquakes. Based on the cumulative energy released from historical earthquakes, seismologists can realize the situation of earthquake potential. In this study, the Taiwan area is divided into nine different tectonic provinces. Using earthquake data collected from 1935 to 1988, the cumulative energy released trend is analyzed. The areas with high occurrence possibility of earthquake are Chai-Nan, Taitung, Taichung-Hsinchu, and Hualien. On the other hand, Kaoshiung and Lanyu are temporarily stable areas.

In the analysis of the earthquake frequency, the b values of earthquakes are calculated regionally. The mean b -value of 1.18 is categorized as young state of geological processes. The high b values of 1.3 and 1.4 are in the Central Mountain Range and the Chai-Nan area respectively. The smallest b value of 1.05 is at Lanyu.

Key word: Earthquake potential.

中央氣象局氣象學報出版辦法

(七十七年九月十五日氣象學報編輯委員會通過)

- 一、中央氣象局氣象學報社為推動氣象學術之應用研究及技術發展特出版「氣象學報」期刊一種。
- 二、本刊暫定每年出版四次，分別在三、六、九、十二月發行。
- 三、本刊之收稿、交審、複審、退稿、修正、交排、送校等，均由編輯人員備專冊登記，審查人及審查意見不對外公開。審查委員由主編視稿件性質商請各該學科之學者專家擔任。倘兩位委員之審查意見有較大之出入，主編得另請第三者評審之。
- 四、審查通過之稿件、編輯人員應與原作者取得連繫，商討有關付印等事宜。
- 五、論文一經由本刊發表、贈送作者該期氣象學報五本及抽印本五十本，如需增加抽印本，應另付工本費。
- 六、本刊之出版費暫由中央氣象局編列預算支付之。
- 七、本辦法經氣象學報編輯委員會通過後實施，其修改亦同。