

• • • • •

1. 我們先將地震以規模4~4.5, 4.5~5, 5~5.5, 5.5~6, 6~6.5。及6.5以上分級，共分六級。
2. 在每一等級的地震中找其震度與距離的關係分布。如在一規模5的地震中找出震度為4的測站與震央的距離，再統計此地震中震度與距離的分布情形。

3.由上一步驟的結果歸類出規模、震度與距離的關係。並找出與統計結果不符合的測站地點，加以討論其地質、地形的影響。

(二)、規模、震源距離、PGA之關係

1.我們由各次地震的數據看出來，距離震源($R=\sqrt{\text{深度}^2+\text{距震央距離}^2}$)越遠，PGA大致越小，因此我們假定

$$PGA \propto R^{-n}$$

2.我們利用電腦分別畫出每次地震中R與距離的關係

$$\begin{aligned} \text{若 } PGA \propto R^{-n}, \text{ 則 } PGA &= R^{-n} \times K \\ \therefore PGA \times R^n &= K \end{aligned}$$

我們發現當n=1.5時，(附圖一)

3.我們由上式得知， $PGA \cdot R^n = K$ 而這個K係跟地震規模有關，我們便畫出以地震規模為X軸，K為Y軸之關係圖

4.由以上的關係式導出震度與規模的關係。

$$\begin{aligned} \text{若 } PGA \times R^n &= K \\ \therefore \left(\frac{K}{PGA}\right)^{\frac{1}{n}} &= R \\ \text{又 } R &= \sqrt{\text{深度}^2 + \text{距震央距離}(D)^2} \\ \therefore \left(\frac{K}{PGA}\right)^{\frac{1}{n}} &= \sqrt{\text{深度}^2 + D^2} \\ \frac{K}{PGA} &= (\text{深度}^2 + D^2)^{\frac{2}{n}} \\ PGA &= \frac{K}{(\text{深度}^2 + D^2)^{\frac{2}{n}}} \end{aligned}$$

5.接著我們尋找K與規模的關係，我們做出K與地震規模(M)的關係圖，比較一次方程式、二次方程式、對數、指數圖形後取其判定係數(註一)誤差最小者，發現K與地震規模(M)的關係圖約呈一指數圖形。我們以最小平方和法逼近求得其數學式為 $K=0.7041e^{1.5751M}$ (e=2.71828) (圖二)

五、研究結果

(一)、由數學方面分析震度與距離的關係

假設地質均勻的情況下我們由數學式可推算出規模、震度與距離的關係。

$PGA \times R^n = K$ ，則可表示成， $R = \left(\frac{K}{PGA}\right)^{\frac{1}{n}}$

首先設 $R=R'$ ，由氣象局所訂定的震度表中可知在PGA=0.8~2.5時震度為一級；PGA=2.5~8.0時震度為二級…等。我們取每一震度PGA的最小值作為其震度的最遠距離，則可得到下表：

震 度	PGA (gal)	R (km)
1	0.8	1.160397 K'
2	2.5	0.542884 K'
3	8.0	0.250000 K'
4	25.0	0.116961 K'
5	80.0	0.053861 K'
6	250.0	0.025198 K'

(二)、以一規模5.0的地震為例

$$K=0.7041e^{0.701 \times 5} \Rightarrow K=1.866439$$

$$R = K^{\frac{1}{n}} = 151.5919$$

代入上表可求得震度與距離的關係

震 度	距 離
4	17.7303
3	37.8980
2	82.2967
1	175.9068

(三)、將規模3.5～9.0等十二級分別代入，可得結果下表

規 模	震 度	9	8	7	6	5	4	3
9	距 離	25.16	54.63	116.78	253.59	542.05	1177.07	2515.96
規 模	震 度	8	7	6	5	4	3	2
8.5	距 離	32.32	69.08	150.01	320.64	696.28	1488.28	3231.85
規 模	震 度	8	7	6	5	4	3	2
8	距 離	19.12	40.86	88.74	189.67	411.88	880.37	1911.76
規 模	震 度	7	6	5	4	3	2	1
7.5	距 離	24.17	52.49	112.20	243.64	520.77	1130.87	2417.20
規 模	震 度	7	6	5	4	3	2	1
7	距 離	14.30	31.05	66.37	144.12	308.05	668.95	1429.86
規 模	震 度	6	5	4	3	2	1	
6.5	距 離	18.37	39.26	85.25	182.23	395.71	845.82	
規 模	震 度	6	5	4	3	2	1	
6	距 離	10.86	23.22	50.43	107.79	234.08	500.33	
規 模	震 度	5	4	3	2	1		
5.5	距 離	13.74	29.83	63.76	138.46	295.96		
規 模	震 度	5	4	3	2	1		
5	距 離	8.13	17.65	37.72	81.91	175.07		
規 模	震 度	4	3	2	1			
4.5	距 離	10.44	22.31	48.45	103.56			
規 模	震 度	4	3	2	1			
4	距 離	6.17	13.20	28.66	61.26			

規模	震度	3	2	1				
3.5	距離	7.81	16.95	36.24				

(四)、由統計方面分析震度與距離的關係

假設地質均勻的情況下我們認為芮氏規模、距離、震度之間應有一簡單的式子。我們假設震度隨距離25km、50km、100km、200km、400km等逐級下降，但與所得數據比較後不合。我們再假設每降一級，距離差 $R(n^2+1)$ 倍，如1R、3R、8R、18R、35R、61R…，結果越遠誤差越大；最後我們發現在一次地震中的每一震度與距離約呈 $R_m(m-n)=(1.5m)(n^2+2)$ 的關係成長。(m為整數的芮氏規模)(n為一含零的自然數 0,1,2,3,…) (m-n為震度)由於各地地質條件不同，我們的誤差值允許為10%。若芮氏規模為非整數則取整數間的平均值，例芮氏規模5.8震度5範圍→

$$R_{5.8}(5)=R_5(5)+[R_6(5)-R_5(5)]\times 0.8=15+(27-15)\times 0.8=23.6(km)$$

(五)、我們發現在921大地震時7PGA值有達一千以上的地點，而按震度表的排法，則我們可設PGA值250~800為震度六級，800~2500為震度七級，以此類推，則有震度八級與震度九級。

(六)、經歸納後可得下表

規模	震度	9	8	7	6	5	4	3
9	距離	27	40.5	81	148.5	243	364.5	513
規模	震度	8	7	6	5	4	3	2
8.5	距離	32.25	58.5	110.25	187.5	290.25	418.5	572
規模	震度	8	7	6	5	4	3	2
8	距離	24	36	72	132	216	324	456
規模	震度	7	6	5	4	3	2	1
7.5	距離	28.5	51.75	97.5	165.75	256.5	369.75	506
規模	震度	7	6	5	4	3	2	1
7	距離	21	31.5	63	115.5	189	283.5	399
規模	震度	6	5	4	3	2	1	
6.5	距離	24.75	45	84.75	144	222.75	321	
規模	震度	6	5	4	3	2	1	
6	距離	18	27	54	99	162	243	

規模	震度	5	4	3	2	1		
5.5	距離	21	38.25	72	122.25	189		
規模	震度	5	4	3	2	1		
5	距離	15	22.5	45	82.5	135		
規模	震度	4	3	2	1			
4.5	距離	17.25	31.5	59.25	100.5			
規模	震度	4	3	2	1			

4	距離	12	18	36	66			
規模	震度	3	2	1				
3.5	距離	13.5	24.75	46.5				

六、 討論：

(一)、我們從歸納的結果對照地震的數據可發現有幾個地點的測站與我們所歸納的結果不合，乃台灣地區為新興地殼，又在板塊的邊界，構造複雜地質不一且多變，所以某些地區之實際數據便可能不符合理論值。

(二)、由統計的結果可看出，發生在台灣西部地震，相同的距離中，東部地區的震度會比其他地區來的小，應為當地震波通過中央山脈時，能量為高聳之山脈所阻隔，而造成能量驟減，所以東部地區的震度會比其他地區來的小。

(三)、我們可在（圖一）中見其乘積約呈一水平，但有逐漸降低的趨勢，推測其原因應和能源之散失有關。

(四)、在（圖二）中得知其定值K與地震之芮氏規模呈一對數關係，而由參考資料規模的計算中也可看出，規模與能量的對數呈一線性關係，因此我們推測K與能量釋放呈一線性關係。

E（能量）=K+ C (常數)

(五)、在同一次地震中，我們發現台北、嘉義市、永康、佳里、馬公、名間等地區的震度會比預測值要大；而在日月潭、臺中、草山、東山、竹北、阿里山、三義及花東地區等地的震度會比預測值要小。

(六)、根據以上的結果，可推測芮氏規模8以上的地震，其距離與震度之關係。

規模8 → 36公里內建築物毀壞情況如921集集地震

規模9 → 81公里內建築物毀壞情況如921集集地震

七、 結論

(一)、經由中央氣象局收集的大規模地震及其餘震100多次統計結果我們歸納出地震規模及地震震度和距離有一簡單關係式

Rm(m-n)=(1.5m)(n²+2)

m：芮氏規模(取整數)

n：0,1,2,3,⋯.

m-n：震度

若規模為非整數則取整數間的平均值

例芮氏規模6震度6之範圍→R6(6)=(1.5 6)(0²+2)=18

芮氏規模6震度5之範圍→R6(5)=(1.5 6)(1²+2)=27

芮氏規模5震度5之範圍→R5(5)=(1.5 5)(0²+2)=15

芮氏規模5.8震度5之範圍→

$R_{5.8}(5)=R_5(5)+(R_6(5)-R_5(5))\times 0.8=15+(27-15)\times 0.8=23.6(km)$

比較100多次的地震資料與所預測之震度表的關係發現準確率約為七成，但若扣除已知較預測值大或較預測值小的地點後則準確率約為九成。

(二)、除了台北盆地放大效應、名間、佳里、馬公、嘉義市會相對放大震度外，花東地區及台中市、阿里山、東山等地的震度則會縮小，其原因可能為地質條件不同所致。

(三)、利用所推導之震度與距離的關係式可推測芮氏規模8的地震在36公里內及芮氏規模9的地震在81公里內，其建築物毀壞情況如九二一集集地震劇烈，我們當提前防範。

(四)、地震的規模和震度若不考慮地質不同的影響，理論上應該有一個簡單的規則，我們模仿門得列夫對60多個化學元素整理出週期表的精神，及克卜勒對700多顆星球的觀測進而導出克卜勒行星運動三大定律的執著，寫出Rm(m-n)=(1.5m)(n²+2)的公式，期望能對地震規模及震度的研究能有所幫助。

八、 參考資料：

(一)、台灣十大災害圖集 中華民國交通部中央氣象局

(二)、震傷-921大地震 聯合報編輯部編印

(三)、Newton牛頓雜誌197,198,199期 牛頓出版股份有限公司

(四)、大地裂痕 飛虎文化事業股份有限公司

註一

R²稱 coefficient of determination (判定係數)

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{SST - SSE}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

SST：Sum of square total (總變異平方和)

$$SST = \sum (X_i - \bar{X})^2$$

SSR：Sum of square regression (迴歸平方和)

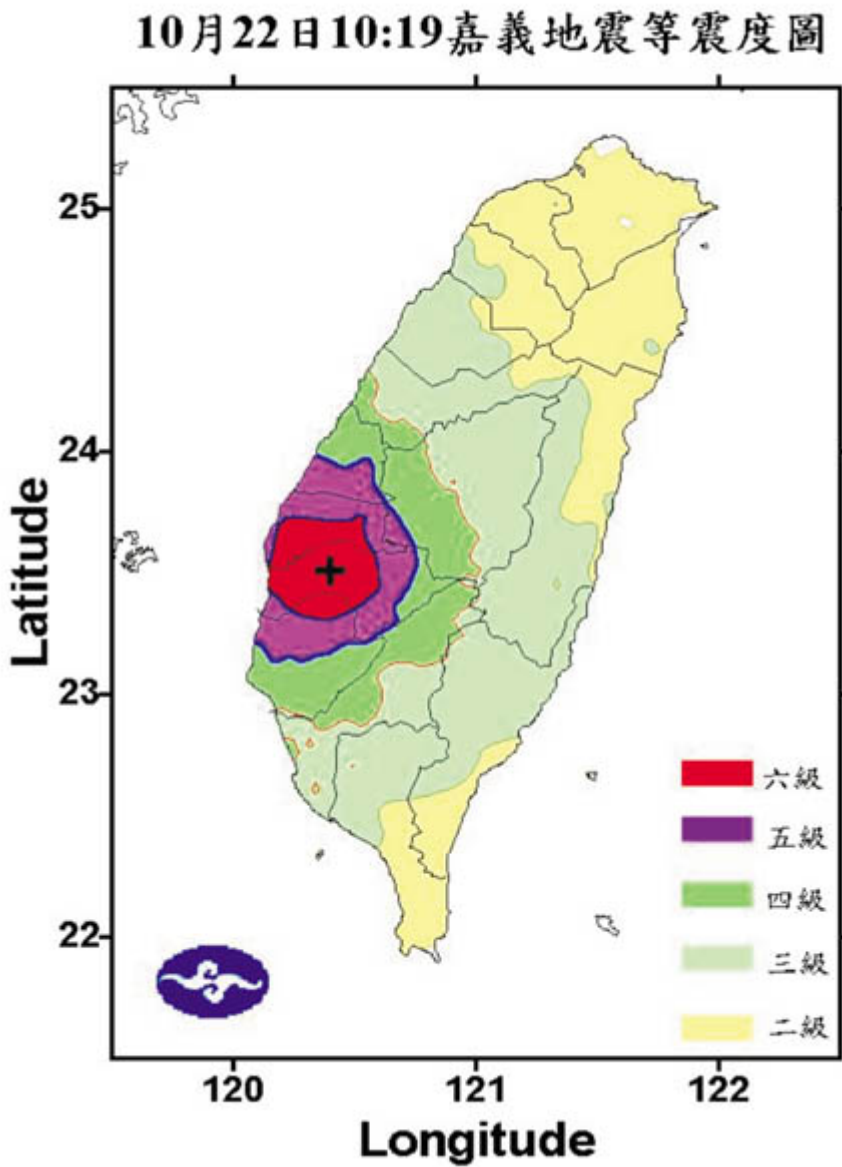
$$SSR = \sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$$

SSE：Sum of square error (誤差平方和)

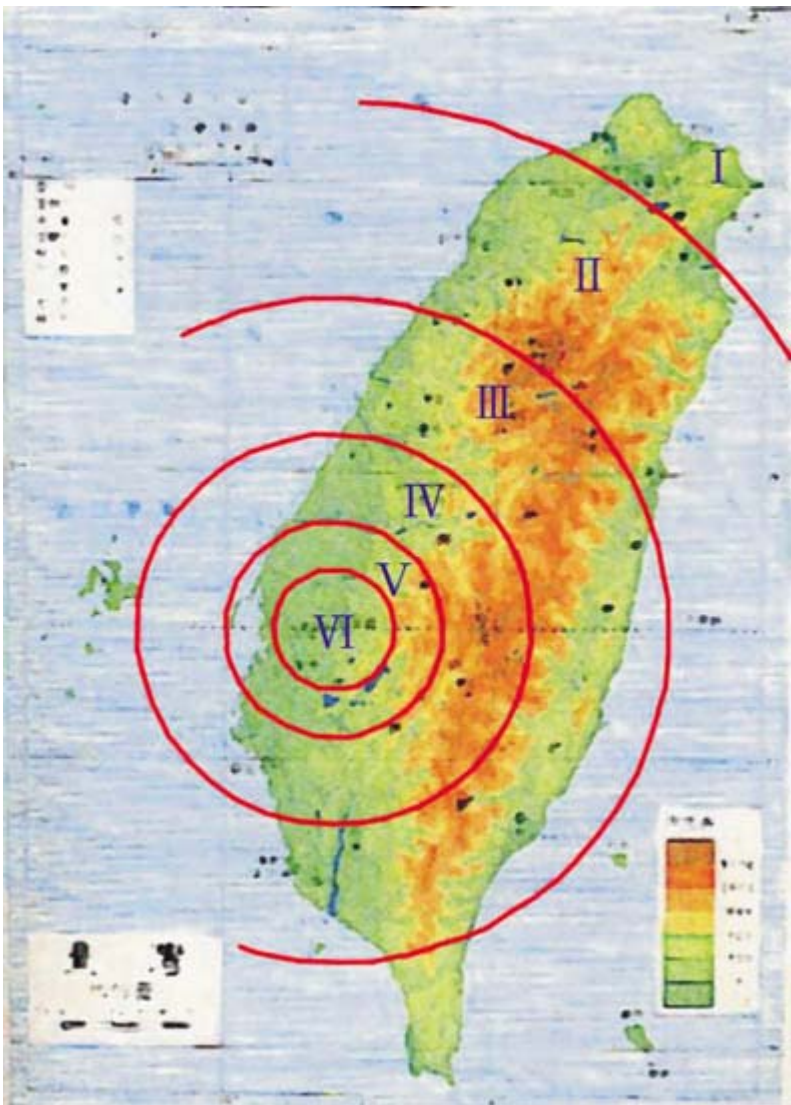
$$SSE = \sum e_i^2$$

評語

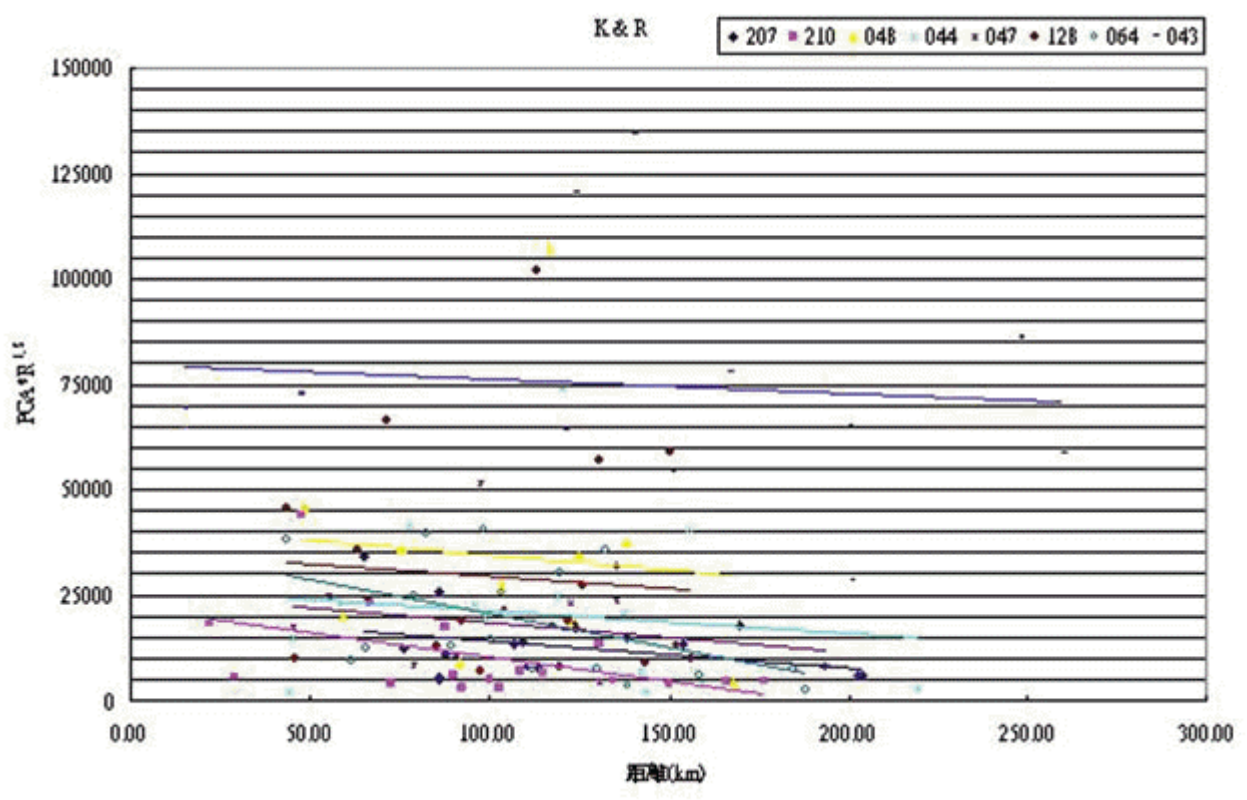
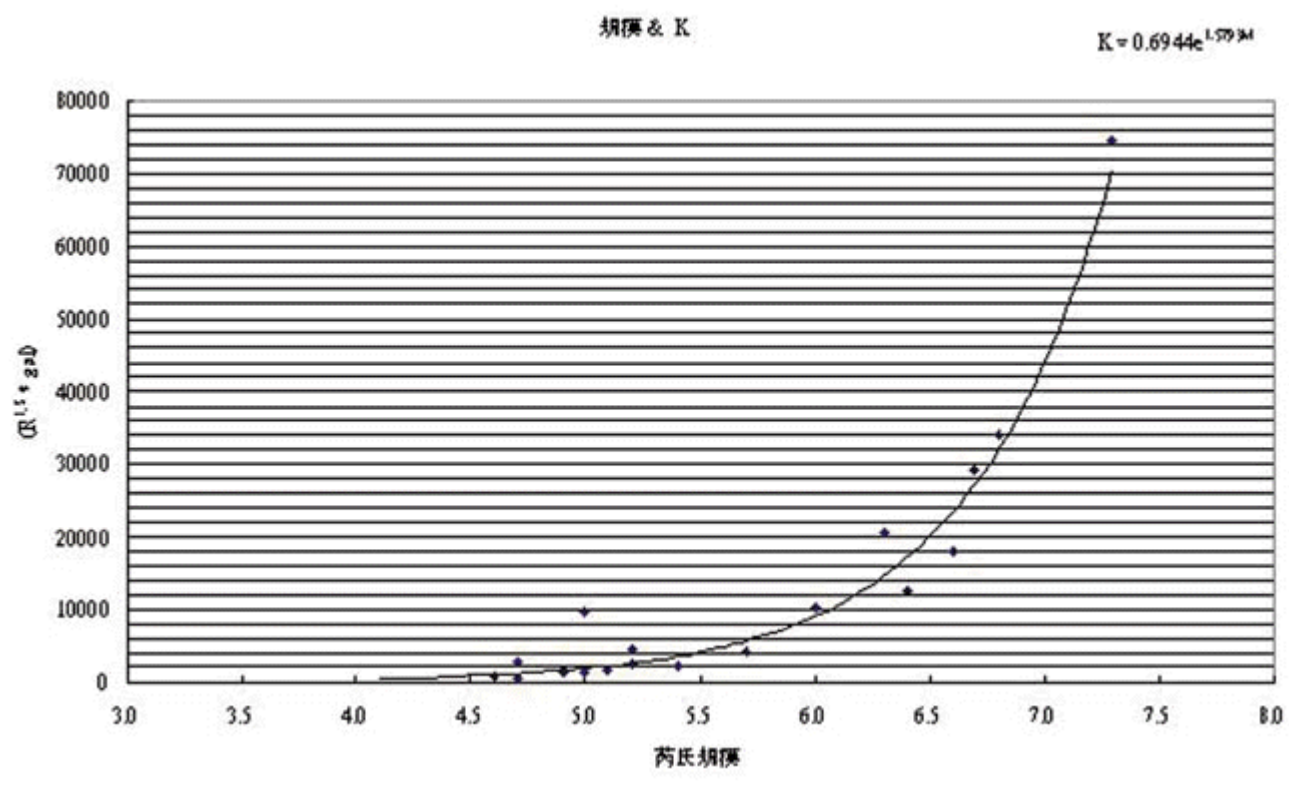
能找出地震規模、震度、PGA與距離的關係，以簡明的公式表示，頗具創意。若能在預測值與觀測值的比較分析上更深入討論則更佳。



這一張是實際發生的等震圖



這一張是我們跟據推導的數據所繪出的等震圖



回到目錄頁../Index.htm