

香港天文台
技術報告(本港傳閱)第75 號

Hong Kong Observatory
Technical Note (Local) No. 75

利用香港天文台三向地震儀測定震中位置
The Use of the Hong Kong Observatory 3-Component
Seismograph For Epicentre Determination

陳敏儀 梁延剛

by

M.Y. Chan & Y.K. Leung

版權所有• 不得翻印

Copyright Reserved

一九九九年八月出版

香港天文台編製

香港九龍彌敦道134A

1. 本刊物的編製和發表，目的是促進資料交流。香港特別行政區政府（包括其僱員及代理人）對於本刊物所載資料的準確性、完整性或效用，概不作出明確或暗示的保證、聲明或陳述；在法律許可的範圍內，對於提供或使用這些資料而可能直接或間接引致任何損失、損壞或傷害（包括死亡），亦不負任何法律承擔或責任（包括疏忽責任）。
2. 未經香港天文台台長同意，不得翻印本刊物任何部分內容。



Published : August 1999

Prepared and published by : Hong Kong Observatory,
134A Nathan Road,
Kowloon,
Hong Kong.

1. This publication is prepared and disseminated in the interest of promoting the exchange of information. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region (including its servants and agents) makes no warranty, statement or representation, express or implied, with respect to the accuracy, completeness, or usefulness of the information contained herein, and in so far as permitted by law, shall not have any legal liability or responsibility (including liability for negligence) for any loss, damage or injury (including death) which may result whether directly or indirectly, from the supply or use of such information.
2. Permission to reproduce any part of this publication should be obtained through the Hong Kong Observatory.

550.34.06(512.317)

內容

	頁數
內容	i
摘要	ii
圖表	iii
1. 引言	1
2. 單台定位法的基本原理	2
3. 計算結果及驗證	10
4. 討論及結語	18
鳴謝	20
參考文獻	20

摘要

在測定地震震中位置的方法中，除了一般常用的多台定位法外，還可利用三向地震儀作單台定位。本文介紹了單台定位這個方法及其基本原理。驗證結果發現以香港天文台三向地震儀的記錄作單台定位在實際應用上是有一定的參考價值。

Abstract

Apart from the "multi-station method" used for determining positions of the epicentre of earthquakes, the use of a 3-component seismograph for epicentre determination by the "single-station method" is also a viable means. This note briefly describes the single-station method and its fundamental principles. Verification results are encouraging and the single-station method is found to be good for reference in practice.

圖表

	頁數
圖 1 震中方位角與震中距定義	2
圖 2 P 波造成的地動位移與震中位置的關係	3
圖 3 香港天文台垂直向地震儀在協調世界時 1997 年 4 月 2 日 19 時錄得之地震圖	5
圖 4 香港天文台垂直向地震儀在協調世界時 1997 年 3 月 26 日 18 時錄得之地震圖	6
圖 5 香港天文台地震儀在協調世界時 1997 年 3 月 26 日 8 時錄得之地震圖	7
圖 6 α_{NEIC} 與 $\alpha_{\text{單台}}$ 之關係	17
圖 7 Δ_{NEIC} 與 $\Delta_{\text{單台}}$ 之關係	17
表 1 α 與三向初動位移的關係	4
表 2 個案資料 (發震時間、地點、深度及震級)	11
表 3 個案的震中距及方位角	12
表 4 天文台三向長週期地震儀的記錄及震中方位角(α)的計算結果	13
表 5 天文台三向長週期地震儀的記錄及震中距(Δ)的計算結果	14
表 6 單台定位法與 NEIC 計算結果的差異	15

1. 引言

香港天文台於 1921 年已開始應用長週期地震儀來觀測遠處發生的地震(林鴻鑒，1980)。作為國際地球物理年計劃的一部份，天文台與美國哥倫比亞大學拉蒙杜赫地質觀測台 (Lamont-Doherty Geological Observatory) 合作，於 1958 年設立了一套可同時測度垂直、東西及南北方向地動位移的三分向長週期地震儀。

長週期地震儀能夠記錄世界各地發生的地震。每當記錄到地震發生，天文台會立刻分析 P 波抵達的時間，並把數據傳送至太平洋海嘯警告中心 (PTWC)，阿拉斯加海嘯警告中心 (ATWC)，日本氣象廳 (JMA) 與美國國家地震情報中心 (NEIC)。該等機關在收集了各地台站的數據後，即會進行震中分析及震級計算，然後把結果發佈至各地地震台。

其實除了像國際性地震中心般利用多台數據作台網定位外，我們亦可利用天文台的三分向地震儀作單台定位(Willmore，1979)。本文旨在探討這個方法在實際應用上的參考價值。

本文共分四節。第一節為引言，介紹寫作此文的目的。第二節簡述單台定位法的基本原理。第三節列出以這個方法計算的結果及其驗證。最後一節則留作討論與結語。

2. 單台定位法的基本原理

震中的位置，可用震中方位角(α)及震中距(Δ)來表示。震中方位角是震中相對於台站的方位，即從正北方順時針方向量度至震中與台站聯線之夾角。震中距則為震中與台站的距離，一般以度數表示^{*}，1 度約等於 111.1 公里(見圖 1)。

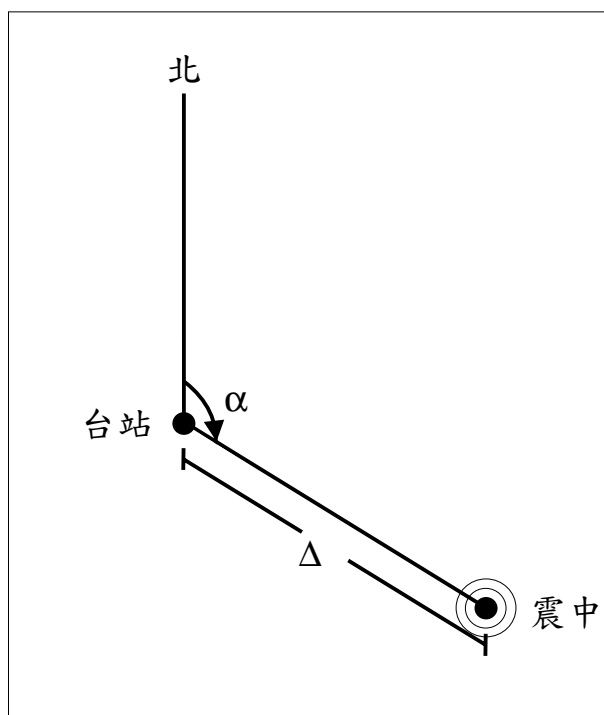


圖 1 震中方位角與震中距的定義

^{*} 在以後的計算，震中距通常以度數為單位

2.1 震中方位角的計算

我們可利用地震 P 波初動造成的位移來計算震中方位角(α) (國家地震局科技監測司, 1995)。地震波中的 P 波是縱波, 它的振動方向與行進面平行。若 P 波抵達台站時, 它造成的垂直位移向量(S_z)向上, 則它的水平位移向量(S_H)會指離震中, 即 S_H 與震中位置向量方向相反, 反之當 S_z 向下時, 則 S_H 會指向震中, 即 S_H 與震中位置向量方向相同(見圖 2)。震中方位角與垂直、東西及南北位移的關係可參考表 1。

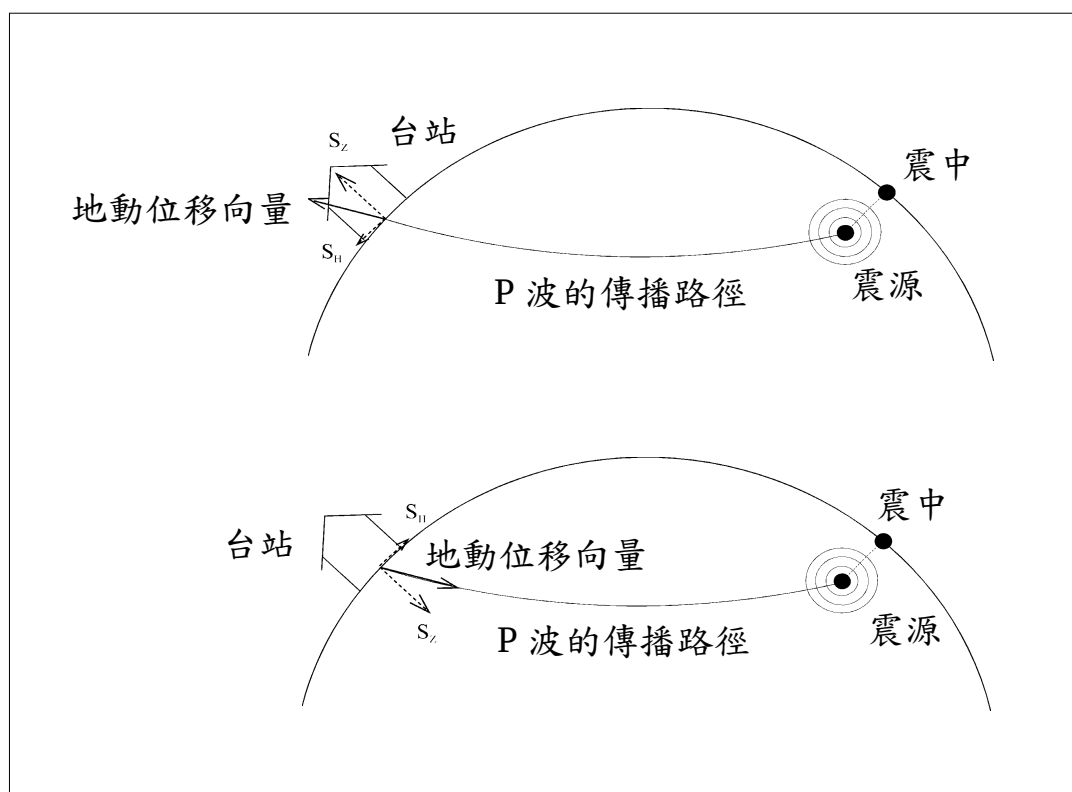


圖 2 P 波造成的地動位移與震中位置的關係

表 1 α 與三向初動位移的關係

垂直向位移	東西向位移	南北向位移	震中方位角(α)
上	東	北	$180^\circ < \alpha < 270^\circ$
下	東	北	$0^\circ < \alpha < 90^\circ$
上	東	南	$270^\circ < \alpha < 360^\circ$
下	東	南	$90^\circ < \alpha < 180^\circ$
上	西	南	$0^\circ < \alpha < 90^\circ$
下	西	南	$180^\circ < \alpha < 270^\circ$
上	西	北	$90^\circ < \alpha < 180^\circ$
下	西	北	$270^\circ < \alpha < 360^\circ$

若 S_E 與 S_N 分別代表東西及南北向地動位移 (S_E : 取東為正值, 西為負值; S_N : 取北為正值, 南為負值), 則

$$\tan \alpha = \frac{S_E}{S_N} \quad \dots\dots\dots (1)$$

假設 A_E 、 A_N 分別為 P 波在地震圖上的東西及南北向的振幅, 而 M_E 、 M_N 分別為東西及南北向地震儀的放大倍數, 則方程式(1)可寫成

$$\tan \alpha = \frac{A_E \cdot M_E}{A_N \cdot M_N}$$

如兩個水平向地震儀的放大函數相等 ($M_E = M_N$), 則上述方程式變成

$$\tan \alpha = \frac{A_E}{A_N} \quad \dots\dots\dots (2)$$

利用表 1 及方程式 (1) 或 (2), 便能計算方位角 α 。

2.2 震中距

每次地震都會產生一系列的地震波。由於不同地震波的傳播速度和路徑有不同，它們抵達台站的時間亦會有分別，我們可藉此差別，利用地震走時表(國家地震局地球物理研究所，1980)查出震中距。

我們要從走時表定出震中距，首先要估計震源深度。強烈的淺震常在地震圖上造成複雜的體波和顯著的面波（見圖 3），反之強烈的深震帶來的體波會較簡單，而面波則很微弱(Willmore，1979)，甚至看不見(見圖 4)。若能判別地震屬淺震，我們可假設其深度為33公里，否則可把深度設定作205公里。

深度決定後，我們須在地震圖上找出一對已知的震相，通常是 P 和 S，然後算出它們的到達時差，再翻查地震深度所屬的走時表，便可讀出走時差所對應的震中距。

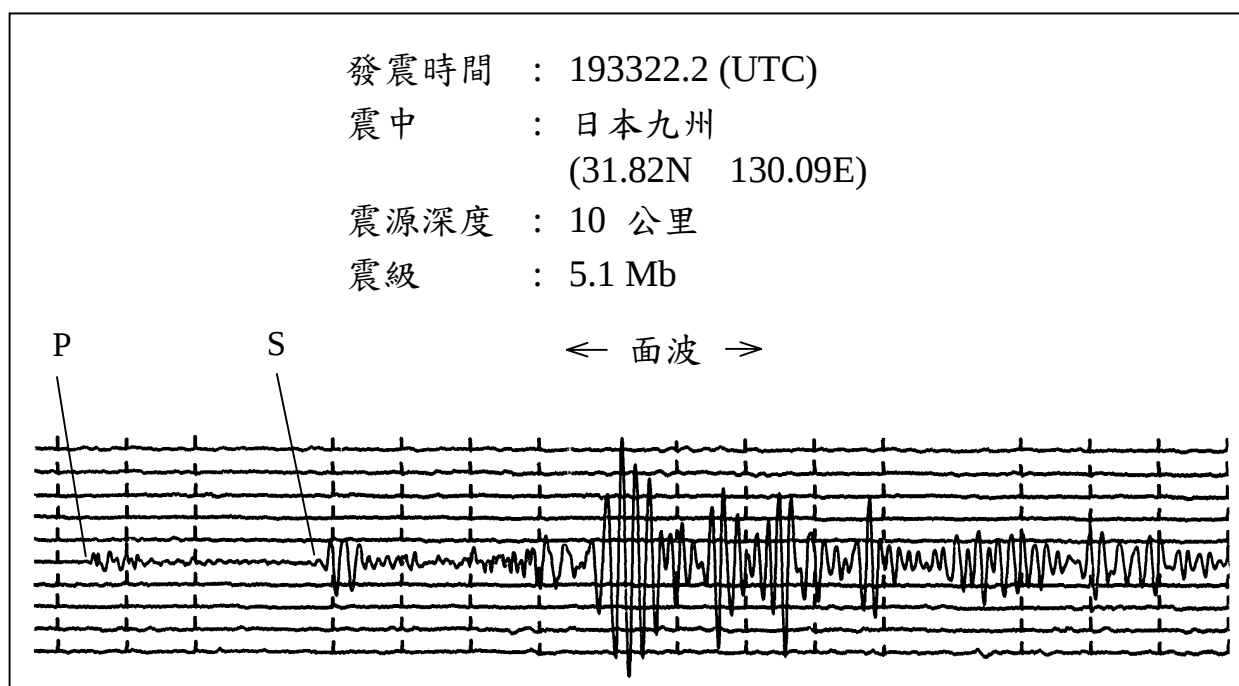


圖 3 香港天文台垂直向地震儀在協調世界時 1997 年 4 月 2 日 19 時錄得之地震圖

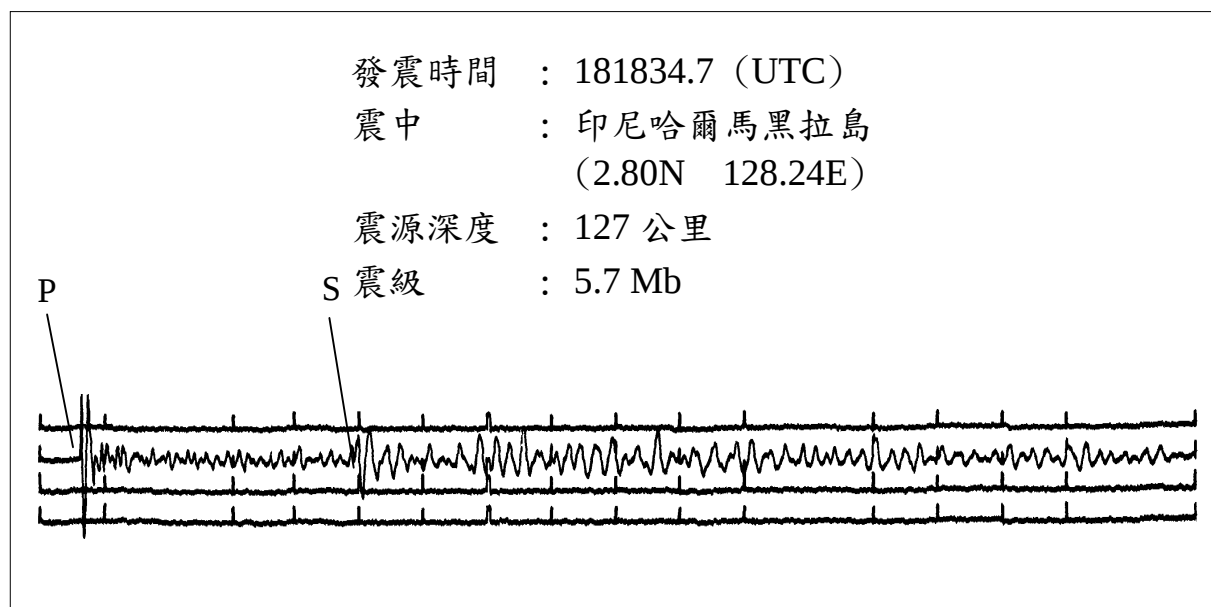


圖 4 香港天文台垂直向地震儀在協調世界時 1997 年 3 月 26 日 18 時錄得之地震圖

2.3 實例

為了進一步說明如何運用三向地震儀的記錄作震中距及方位角的計算，我們做一個計算實例供大家參考。

圖 5 顯示 1997 年 3 月 26 日 8 時 (UTC) 天文台三向地震儀錄得發生在日本九州的地震紀錄。美國國家地震情報中心測定的地震參數如下：

發震時間	: 083147.1 (UTC)
震中	: 31.92N 130.43E
震源深度	: 10 公里
震級	: 5.6 Mb
距離*	: 1922 公里
方位*	: 53°

* 距離及方位均相對香港天文台的位置(東經 114.17° 北緯 22.30°)計算

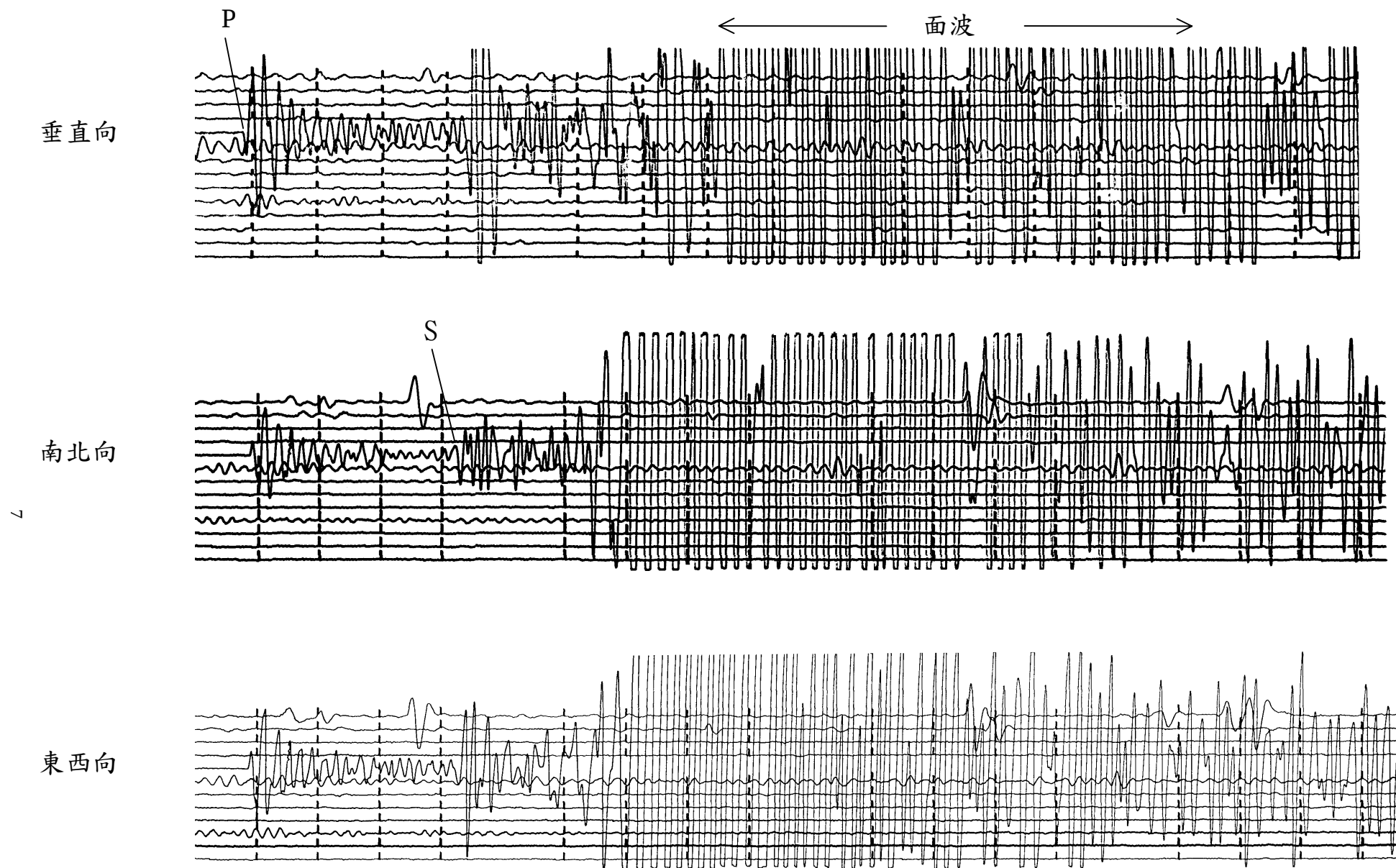
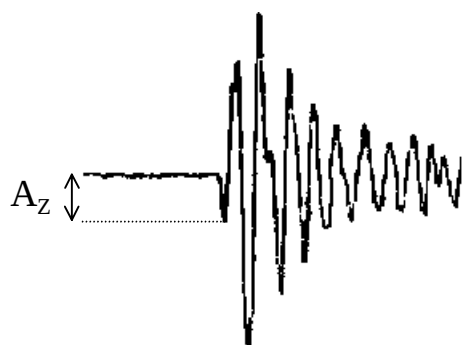
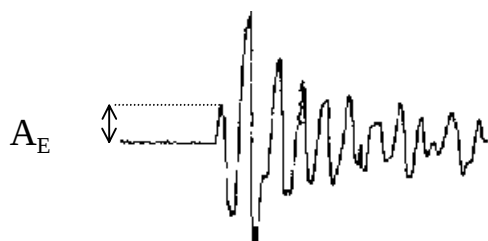


圖 5 香港天文台地震儀在協調世界時 1997 年 3 月 26 日 8 時錄得之地震圖

步驟 1. 記錄垂直振動的方向及量度東西、南北兩個方向的振幅



垂直向地震圖上的振動(A_Z):
向下



東西向地震圖上的振幅(A_E):
+4.2mm



南北向地震圖上的振幅(A_N):
+3.4mm

步驟 2. 計算方位角 (α)

由於東西向及南北向地震儀的放大倍數相同，所以

$$\tan \alpha = \frac{A_E}{A_N}$$

$$\tan \alpha = \frac{+4.2}{+3.4}$$

$$\alpha = \tan^{-1} 1.24$$

根據表 1:

垂直向位移	東西向位移	南北向位移	震中方位角(α)
下	東	北	$0^\circ < \alpha < 90^\circ$

$$\alpha = 51^\circ$$

步驟 3. 估計地震深度

從地震圖可見面波十分顯著，此地震應為淺震，我們假定其深度為 33 公里。

步驟 4. 分析 P 波及 S 波到達時間，並計算它們的差別

P 波到時: 083552 UTC

S 波到時: 083910 UTC

S-P 到時差: 3 分 18 秒

步驟 5. 查看 33 公里深的地震走時表，找出 S-P 對應的震中距 (Δ)

$$\Delta = 18.1^\circ$$

$$d = 2011 \text{ 公里 } (1^\circ = 111.1 \text{ 公里})$$

3. 計算結果及驗證

我們從一九九七年二月至六月間發生的地震，選取了符合以下條件的個案作驗證：

- (i) 香港天文台長週期地震儀能清楚記錄該地震的 P 波及 S 波到時；
- (ii) P 波初動造成的三向地動位移(垂直、東西及南北)均可準確量度；
- (iii) 可從美國國家地震情報中心 (NEIC) 找到有關該地震的地震參數(U. S. Department of the Interior Geological Survey, 1997)。

符合條件的個案總數共十七個，有關的資料列於表 2。

3.1 經緯度與震中距及方位角的轉換

由於 NEIC 所發佈的震中位置均以經緯度表示，我們須首先轉換成震中距及方位角，才容易進行驗證。

經緯度與震中距及方位角可用以下的公式作轉換(Willmore, 1979)，公式裏的 ϕ_s 及 ϕ 分別為台站及震中的緯度，而 λ_s 及 λ 則為台站及震中的經度。

$$\cos \Delta = \sin \phi_s \sin \phi + \cos \phi_s \cos \phi \cos(\lambda - \lambda_s)$$
$$\sin \alpha = \frac{\cos \phi \sin(\lambda - \lambda_s)}{\sin \Delta}$$

根據上述的轉換公式，我們把表 2 的經緯度轉換成震中距及方位角，並於表 3 列出。

表 2 個案資料 (參照 NEIC 提供的地震參數)

個案編號	發震時間 (UTC)	地點	緯度	經度	深度 (公里)	震級 Mb
1	20/2 075458.4	日本北海道	41.86 N	142.74 E	33	5.4
2	16/3 055137.0	日本本州南岸附近	34.85 N	137.45 E	36	5.7
3	17/3 080548.4	巽他海峽	6.61 S	105.51 E	33	5.8
4	26/3 020857.2	亞留申群島	51.28 N	179.53 E	33	6.0
5	26/3 083147.1	日本九州	31.92 N	130.43 E	10	5.6
6	26/3 181834.7	印尼哈爾馬黑拉島	2.80 N	128.24 E	127	5.7
7	5/4 122330.5	新幾內亞東部	6.49 S	147.41 E	69	6.1
8	5/4 203743.1	琉球群島	28.73 N	128.54 E	33	5.4
9	11/4 053442.7	新疆南部	39.53 N	76.94 E	15	5.8
10	22/4 055559.3	印尼蘇門答臘	3.37 S	102.14 E	108	5.6
11	3/5 164602.0	克馬德克群島	31.79 S	179.38 W	108	6.6
12	8/5 025314.7	印度與孟加拉之邊境	24.89 N	92.25 E	35	5.6
13	8/5 132924.6	亞留申群島	51.72 N	170.80 W	33	5.8
14	10/5 075729.7	伊朗北部	33.83 N	59.81 E	10	6.4
15	23/5 175035.4	日本本州南岸附近	34.37 N	137.48 E	11	5.2
16	12/6 120733.6	新幾內亞東部	5.95 S	147.03 E	33	5.7
17	17/6 210340.2	亞留申群島	51.35 N	179.33 W	33	6.4

表 3 個案的震中距及方位角 (參照 NEIC 的資料計算)

個案編號	α 震中方位角* (°)	Δ 震中距* (°)
1	044.0	30.9
2	053.2	23.9
3	197.3	30.1
4	042.4	57.5
5	052.9	17.3
6	143.0	23.8
7	127.6	43.4
8	060.7	14.5
9	307.3	35.9
10	206.1	28.2
11	128.3	83.4
12	281.7	20.2
13	042.0	63.5
14	296.1	48.8
15	054.3	23.7
16	127.4	42.8
17	042.4	58.2

* 震中距及方位角均相對香港天文台的位置計算

3.2 單台定位法的計算結果

天文台長週期地震儀的信號已被數碼化並輸入電腦，因此我們可透過螢光幕進行分析，讀出 P 波和 S 波的到時，並量度出三向的地動位移。

表 4 及表 5 列出分析所得的資料及利用單台定位法求出的結果。

表 4 天文台三向長週期地震儀的記錄及震中方位角(α)的計算結果

個案 編號	P波造成的地動位移 (納米)			震中方位角 ($^{\circ}$) α
	垂直向* (S_Z)	東西向* (S_E)	南北向* (S_N)	
1	+	-22.2	-19.6	048.6
2	-	8.2	8.2	045.0
3	+	20.7	63.2	198.1
4	+	-43.3	-46.2	043.1
5	-	155.4	127.5	050.6
6	+	-85.0	113.4	143.1
7	-	29.2	-17.2	120.5
8	-	35.9	19.4	061.6
9	-	-11.0	7.1	302.8
10	+	14.1	19.0	216.6
11	-	129.1	-110.6	130.6
12	+	65.5	-12.0	280.4
13	+	-10.3	-13.1	038.2
14	+	46.9	-19.4	292.5
15	-	22.6	19.7	048.9
16	+	-25.2	19.9	128.3
17	+	-20.6	-20.7	044.9

* 垂直向：+ 代表向上，- 代表向下
 東西向：+ 代表向東，- 代表向西
 南北向：+ 代表向北，- 代表向南

表 5 天文台三向長週期地震儀的記錄及震中距(Δ)的計算結果

個案 編號	假定深度 (公里)	P 波到時 (時 分 秒)	S 波到時 (時 分 秒)	S - P 走時差 (分 秒)	震中距 (°) Δ
1	33	08 01 15.1	08 06 16.8	5 01.7	31.1
2	33	05 56 51.1	06 01 06.1	4 15.0	24.4
3	33	08 11 59.7	08 17 10.6	5 10.9	32.4
4	33	02 18 46.4	02 26 48.3	8 01.9	58.9
5	33	08 35 52.1	08 39 10.3	3 18.2	18.1
6	205	18 23 37.7	18 27 54.2	4 16.5	26.4
7	33	12 31 30.4	12 37 53.9	6 23.5	43.1
8	33	20 41 08.4	20 43 56.4	2 48.0	15.2
9	33	05 41 44.7	05 47 22.3	5 37.6	36.3
10	33	06 01 46.0	06 06 31.2	4 45.2	28.7
11	205	16 58 19.8	17 08 33.7	10 13.9	85.9
12	33	02 57 49.0	03 01 32.0	3 43.0	20.5
13	33	13 39 54.3	13 48 30.1	8 35.8	64.6
14	33	08 06 17.6	08 13 22.6	7 05.0	49.7
15	33	17 55 51.5	18 00 05.9	4 14.4	24.4
16	33	12 15 31.7	12 21 54.1	6 22.4	42.9
17	33	21 13 34.5	21 21 34.5	8 00.0	58.6

3.3 單台定位法之結果與 NEIC 資料的比較

表 6 顯示單台定位法與 NEIC 計算結果之差別。

表 6 單台定位法與 NEIC 計算結果的差異

個案 編號	單台定位法的結果		NEIC 的結果		誤差		誤差百份比 (%)
	方位角	震中距	方位角	震中距	方位角	震中距	震中距
1	048.6	31.1	044.0	30.9	4.6	0.2	0.6
2	045.0	24.4	053.2	23.9	-8.2	0.5	2.1
3	198.1	32.4	197.3	30.1	0.8	2.3	7.6
4	043.1	58.9	042.4	57.5	0.7	1.4	2.4
5	050.6	18.1	052.9	17.3	-2.3	0.8	4.6
6	143.1	26.4	143.0	23.8	0.1	2.6	10.9
7	120.5	43.1	127.6	43.4	-7.1	-0.3	-0.7
8	061.6	15.2	060.7	14.5	0.9	0.7	4.8
9	302.8	36.3	307.3	35.9	-4.5	0.4	1.1
10	216.6	28.7	206.1	28.2	10.5	0.5	1.8
11	130.6	85.9	128.3	83.4	2.3	2.5	3.0
12	280.4	20.5	281.7	20.2	-1.3	0.3	1.5
13	038.2	64.6	042.0	63.5	-3.8	1.1	1.7
14	292.5	49.7	296.1	48.8	-3.6	0.9	1.8
15	048.9	24.4	054.3	23.7	-5.4	0.7	3.0
16	128.3	42.9	127.4	42.8	0.9	0.1	0.2
17	044.9	58.6	042.4	58.2	2.5	0.4	0.7

從表 6 我們可見單台定位法求出的震中位置與 NEIC 資料之差異甚小。在計算方位角方面，單台定位法的平均誤差為 3.5° ，個案中只有 1 個的誤差在 10° 以外，大部份個案都在 5° 以下。在計算震中距方面，誤差的平均值為 0.92° (即約 100 公里)，誤差百分比平均為 2.8%，最大的誤差百分比是 11%。

我們以上述的資料作圖表，首先以單台定位算出的震中方位角($\alpha_{\text{單台}}$)為 x 軸，以 NEIC 資料計算的方位角(α_{NEIC})為 y 軸，得圖 6。從圖中可見 $\alpha_{\text{單台}}$ 和 α_{NEIC} 呈線性的關係，而數據的分佈亦十分接近直線 $y = x$ 。我們求出 $\alpha_{\text{單台}}$ 與 α_{NEIC} 的關係系數為 0.9988。以線性回歸的方法得出 $\alpha_{\text{單台}}$ 和 α_{NEIC} 之關係如下：

$$\alpha_{\text{NEIC}} = 1.00\alpha_{\text{單台}} + 1.12$$

再以單台定位法推算的震中距($\Delta_{\text{單台}}$)為 x 軸，以 NEIC 資料計算的震中距(Δ_{NEIC})為 y 軸，得圖 7。從圖中可見數據分佈十分接近直線 $y = x$ 。經計算後， $\Delta_{\text{單台}}$ 與 Δ_{NEIC} 的關係系數為 0.9991。以線性回歸的方法計算，得到 $\Delta_{\text{單台}}$ 和 Δ_{NEIC} 有以下之關係：

$$\Delta_{\text{NEIC}} = 0.99\Delta_{\text{單台}} - 0.37$$

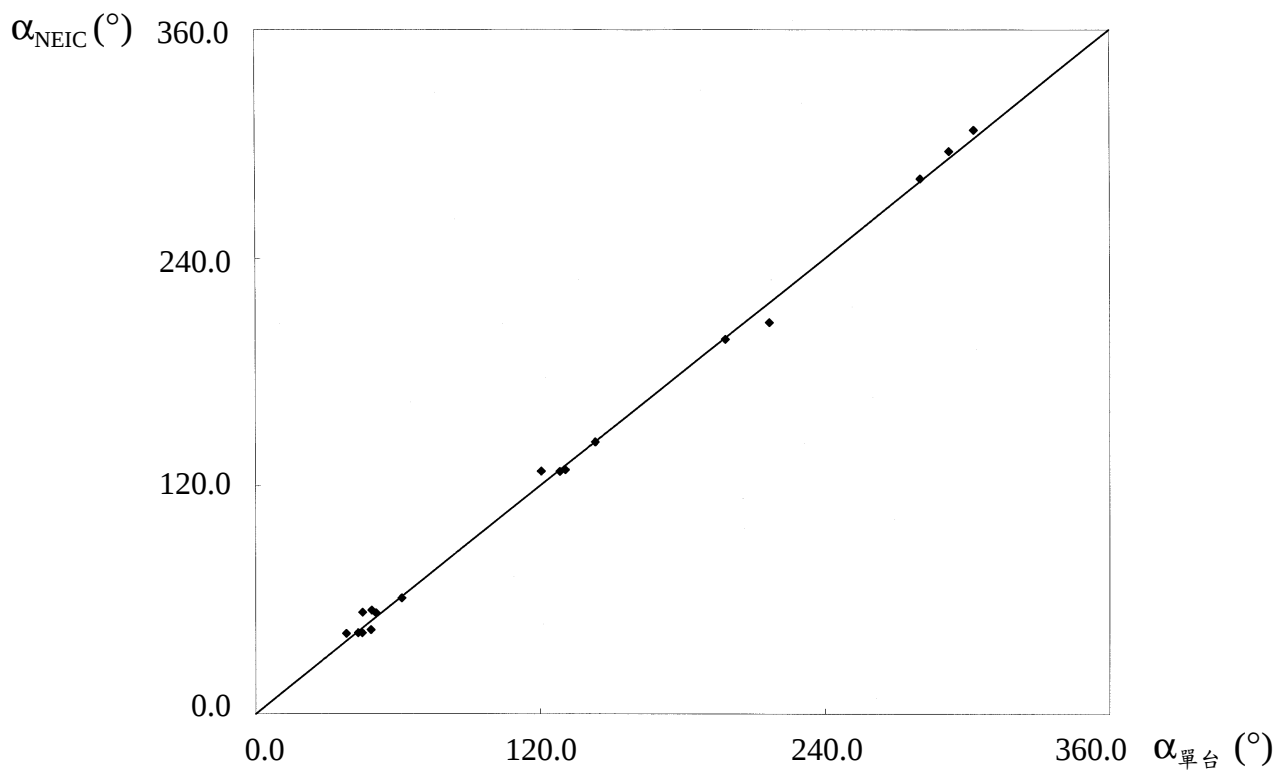


圖 6 α_{NEIC} 與 $\alpha_{\text{單台}}$ 之關係

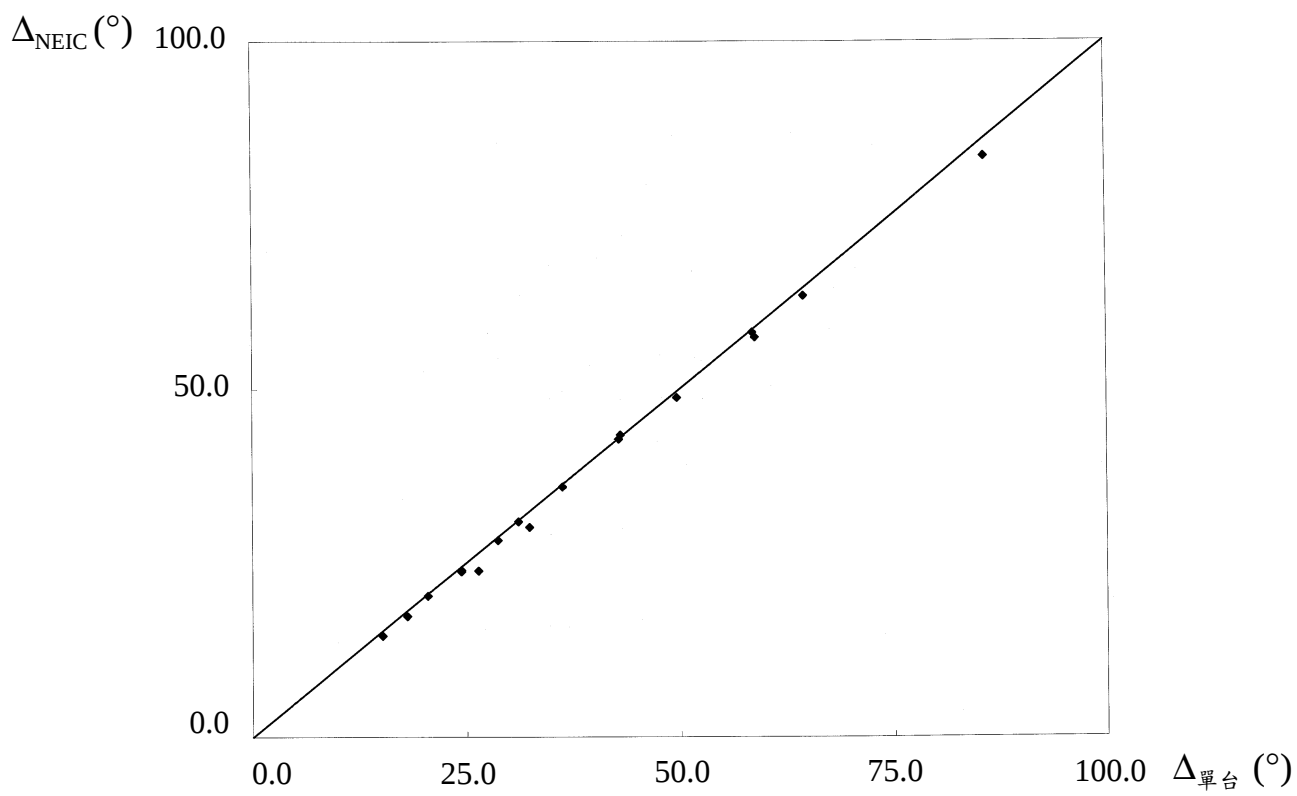


圖 7 Δ_{NEIC} 與 $\Delta_{\text{單台}}$ 之關係

4. 討論及結語

整體來說，單台定位法的計算結果令人滿意。從第三節的驗證，我們看到只有個別個案計算的位置偏離美國國家地震情報中心較遠，餘下個案的定位結果與地震情報中心提供的資料接近。造成計算結果偏離實際位置的原因很多，如地震圖上的線條過粗，不能準確量度出波幅。幸好天文台地震儀錄得的信號已被輸入電腦工作站，我們可透過工作站直接量度地動位移，因此這方面的影響並不嚴重。誤讀震相是另一個引起偏差的原因，通常 P 波到時較易準確讀出，而 S 波到時錯讀的機會則較大。若台站附近的地殼物質分佈不均勻，計算的結果可能會偏離實際的位置很遠(Willmore, 1979)。

在實際運作應用上，單台定位法的優勝之處在於方法簡單，只需天文台地震儀的記錄便能進行定位，因而較其它使用台網定位法的國際地震中心能更快捷地計算震中的位置。在一些緊急的情況下，單台定位法尤為有用。例如有強烈地震於南中國海發生，我們可於短時間內計出震中的大約位置，便可儘早監察海水水位，並作出適當的行動。

當然，單台定位法也有局限之處，不是所有地震都能利用單台定位法來定震中的。我們若要計算震中距，必須能在地震記錄中找到最少一對已知的震相，若只能分析出一個震相到時，便無法計算距離了。另外若三向地震儀的其中一個分向受到噪音干擾，不能清楚記錄地動位移，我們便不能計算震中方位角。有些時候，台站會處於某些重要震相的影區裏，那時地震儀只能記錄到該震相的微弱信號，這樣也會引起計算的困難。例如距震中 103° - 144° 的地方為 P 波的影區(Bath, 1979)，若台站位於這個範圍，

便難以記錄到 P 波的信號，單台定位法亦難以應用。通常震級較大的地震，它們的地震記錄會較清楚，因此單台定位法對強烈的地震較為適用。

總括來說，大部份時候單台定位法所得的震中位置與國際性地震中心的計算相差不遠，而且它能於短時間內定出震中，使地震監測人員能在大地震發生後儘早採取相應的措施，因此單台定位法在實際應用上是有一定的參考價值。

鳴謝

筆者們在完成此文的過程中得到譚焯明博士提供寶貴意見，在此表示謝意。

參考文獻

1. 林鴻鑒. Earthquakes. Royal Observatory Technical Note (Local) No. 28, 1980.
2. P. L. Willmore. Manual of Seismological Observatory Practice. World Data Center A for Solid Earth Geophysics, 1979.
3. 國家地震局科技監測司. 地震技術觀測. 地震出版社，1995.
4. 國家地震局地球物理研究所. 震相走時便查表. 地震出版社，1980.
5. U. S. Department of the Interior Geological Survey. Preliminary Determination of Epicentres, 1997.
6. Markus Bath. Introduction to Seismology. CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek, 1979.