

# 台灣地震速報系統之最適化測站分布

吳逸民

中央氣象局地震測報中心

辛在勤

中央氣象局

蔡義本

國立中央大學地球物理研究所

## 摘要

中央氣象局於 1995 年開始設置強震速報系統 (Teng et al., 1997)，而速報系統測站之設立主要都是沿用現有地震站之場址，由於速報系統是以地震防災功能為主，與一般傳統的地震網功能略有不同，測站分布影響速報系統之效率甚鉅。因此，本文之目的即是要探討速報測站之分布，使台灣地震速報系統能發揮最大的功效。

本文分析現有的測站之覆蓋率、1990 至 1998 年之潛在破壞性地震、設立測站之難易度及考慮設站地點對於地震減低之重要性，探討速報測站之最適化分布，歸納出 8 處應該加強觀測的區域及 6 處可以考慮移除部分測站之區域。若經這樣的調整，將可以使得速報測站分布更適合未來測報作業之要求。

關鍵詞：地震、地震速報系統及潛在破壞性地震。

## 一、前言

台灣地震速報系統之測站分布，主要是設立在中央氣象局地震監測網 (Central Weather Bureau Seismic Network，簡稱 CWBSN) 之測站及對於花蓮地區加強觀測 (圖 1)。目前 CWBSN 之測站是由原中央氣象局測震網 (圖 1 之實心圓所示)、台灣遙記式測震網 (Taiwan Telemetry Seismic Network，簡稱 TTSN) (圖 1 之實心三角形所) 及中正大學 (NCCU)( 圖 1 之實心四方形所示 ) 所屬之測站合併所組成。CWBSN 原有的測站及 TTSN 測站都是屬於台灣全區的地震網，兩者合併除了增加測站之密度外，對於部分地區則有重複及分布不平均的現象。中正大學所屬之測站屬於嘉南地區的局部地震網，對於嘉南地區的密度有相當幅度的增加，當然亦有些重疊的現象。一般的地震網對於地震之觀測為全面性的普測，不管地震規模大小如何都為其觀測之對象。因此，主要考慮測站分布之均勻性、密度、設站之難易度及當地環境之背景雜訊。測站分布越均勻，則對於各地區地震調查之空間取樣越能平均；

而測站的密度越高及當地環境之背景雜訊越低，則越能提升系統之地震偵測功能，也就是能更完整記錄規模較小的地震。然而，地震速報系統功能有別於一般性的地震觀測系統，其觀測的對象主要為潛在破壞性及規模較大的有感地震，而非所有的地震。因此，不能僅僅就測站分布之均勻性及密度兩方面的考量而已，而且當地環境之背景雜訊對設站的影響也較小。速報系統之主要任務就是要對地震能作快速的消息發布。所以，本文分析現有的測站之覆蓋率、1990 至 1998 年之潛在破壞性地震、設立測站之難易度及考慮設站地點對地震減災之重要性，探討速報測站的最適化分布。

## 二、資料及分析

探討測站的分布，現有測站的覆蓋率當然首先要被討論。速報系統觀測的主要目標為潛在破壞性地震於本文必須予以定義及找出。目前測站之建立必須有電力的供應、電訊線路及交通便利等因素，故設站之便利程度也要加以考慮。因此，以下將針對這些項目加以探討：

現有測站之覆蓋率 中央氣象局之地震速報系

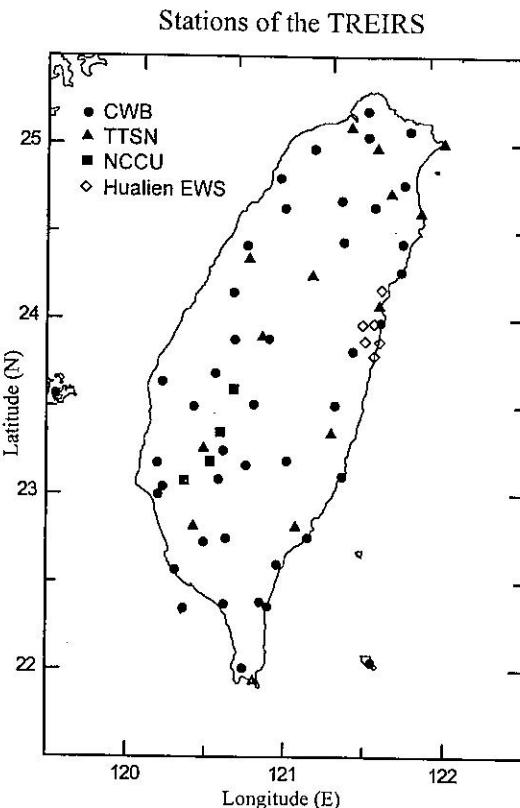


圖 1. 地震速報系統 68 個測站之分布圖。

Figure 1. Station distribution of the Taiwan Rapid Earthquake Information Release System (TREIRS).

統於目前已完成設立了 68 個站（圖 1），花蓮地區為目前速報系統之主要加強觀測區域，因此測站的分布特別密集。而嘉南地區由於現有的地震站較為密集，也是另一個高密度的區域。為了要有效估測站分布，分布的情形須加以量化。依據作者先前的研究 (Wu et al., 1998)，對於速報系統較有幫助的測站為：第一個測站收到初達波後 10 秒地震波所能傳達區域內之測站，而按保守的估計此區域約為半徑 50 公里的範圍，因此本文考慮一個場址對測站距離遞減的加權評分函數，所採用的函數為修改自地質統計常用的二次方程式模型 (Quadratic model; Golden Software, Inc., 1997)，其數學式如下：

$$\text{Cov} = 1 - \left[ 2 \left( \frac{\text{xdis}}{50} \right) - \left( \frac{\text{xdis}}{50} \right)^2 \right]$$

for  $\text{xdis} < 50$  公里

$$= 0$$

for  $\text{xdis} > 50$  公里 .....(1)

上式中 Cov 為測站之覆蓋指數及 xdis 為參考地點離現有測站之距離。圖 2 所示在測站的所在地加樣評分為 1，依距離遞減至 50 公里為 0，依此標準可以將現有測站之覆蓋情形估計出來（圖 3）。

由測站分布之有效覆蓋圖可以明顯的看出，台北、宜蘭、花蓮及嘉南為速報測站覆蓋率較佳的地區，而中央山脈、西部海岸線及花蓮至台東的海岸線附近為覆蓋率較差的區域。而由此圖也可以看出

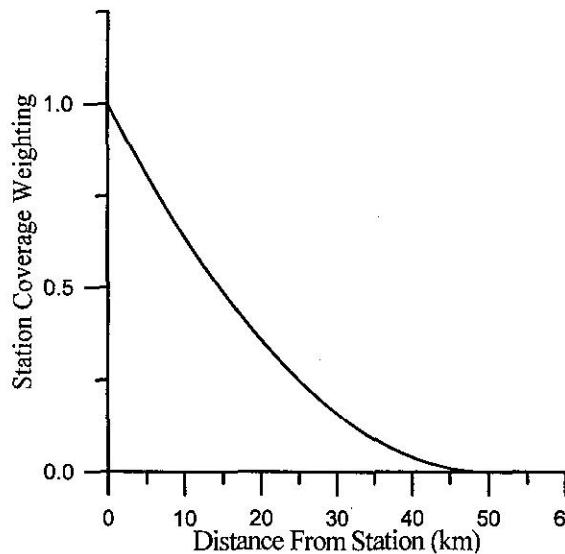


圖 2. 計算測站覆蓋率所用隨測站距離遞減之函數。

Figure 2. Function of station coverage used in this study.

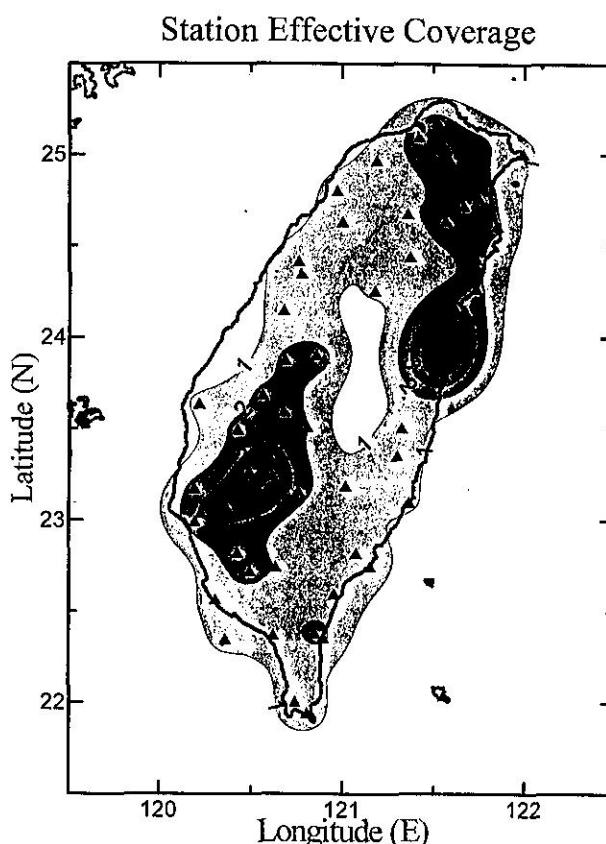


圖 3. 速報測站之覆蓋率分布圖，數值越高表示覆蓋越佳。

Figure 3. Distribution of effective station coverage of the TREIRS calculated in this study.

外島的測站（蘭嶼、澎湖及金門）對速報之偵測作業無法達成聯網的效果。儘管如此，這些外島測站對於提供震度以及地震定位仍有相當大的功能。

**潛在破壞性地震** 地震速報系統主要的觀測對象為破壞性地震，而破壞性地震與地震大小、地震位置及人口分布之情形有關。因此，要評估測站的最適化分布必先要將有破壞性潛能的地震予以定義及找出。破壞性地震與人口的分布有關，在台灣人口超過某一程度就會設立學校，所以學校的分布（圖 4）正可以顯示人口的分布。在本文中就用學校分布的位置為計算破壞性地震之依據。根據 Nakamura (1989) 之研究及台灣震度的定義標準可以歸納出：地震規模大於 5.5 且對於某一地區

造成超過 80gal 的地表最大加速度，才有可能造成地震災害。是故本文將有破壞性潛能的地震稱為潛在破壞性地震，並定義為：規模大於 5.5 且依地動衰減公式（辛在勤，1998）計算在最近的學校造成有超過 80gal 的地表最大加速度之地震。從 1900 年至 1998 年符合此條件的地震有 204 筆（圖 4），這些地震將用以評估測站的最適化分布。

**設站難易程度** 影響觀測站設立的因子有電力、交通及電訊線路等之普及率，然而這些因子與人口的分布有絕對相關性。由上述可假設人口分布是與學校分布（圖 4）成正比，而且本局設立測站的對象也是以學校單位為優先，所以可以將學校視為設站難易程度之簡化因子。本文採用的學校主要

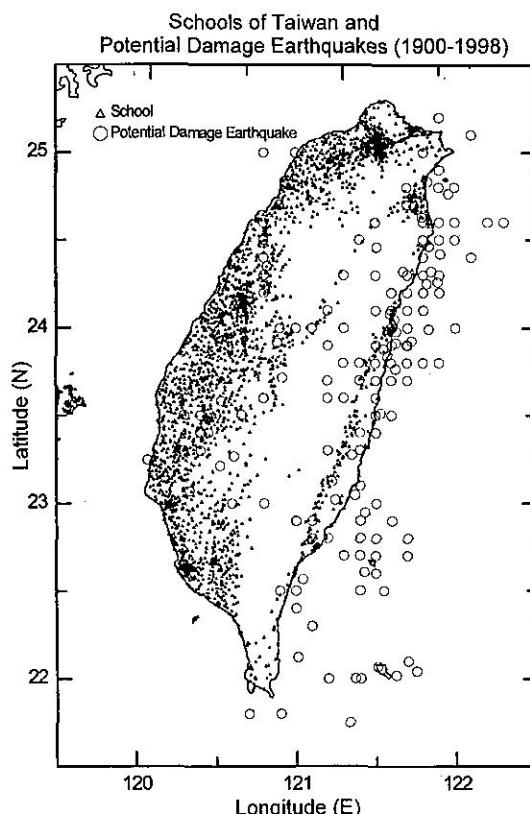


圖 4. 台灣地區學校之分布及本研究所選出 1900 至 1998 年之潛在破壞性地震。

Figure 4. School distribution of Taiwan and potential damage earthquakes were selected in this study from 1900 to 1998.

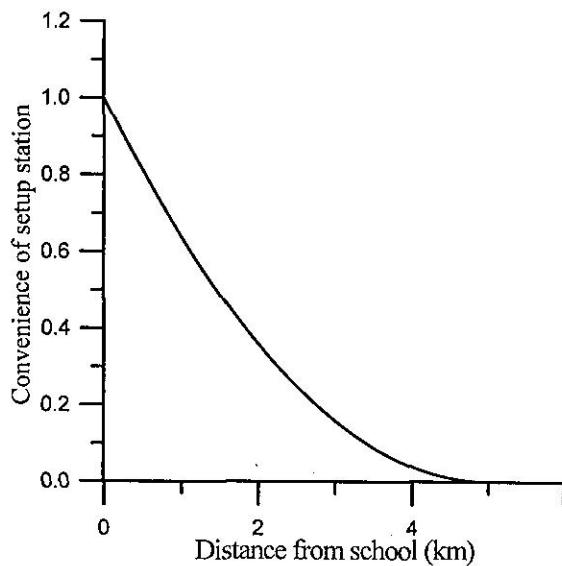


圖 5. 計算設站便利程度所用隨學校距離遞減之函數。

Figure 5. Function of convenience for setup seismic rapid reporting system station used in this study.

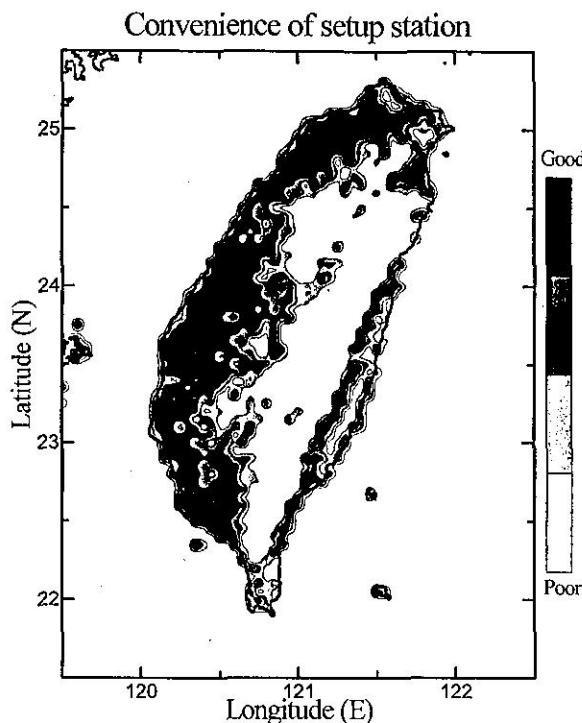


圖 6. 台灣地區設立測站便利程度之分布圖。

Figure 6. Distribution of convenience for setup seismic rapid reporting system station determined in this study.

以國民小學為主，而國民小學之設立主要以村里為單位，村里的幅員約可以 5 公里半徑代表，所以本文考慮測站難易程度為對學校距離遞減之函數如圖 5 所示，在學校的所在地其加權評分為 1，依距離遞減至 5 公里為 0。此函數也是修改自地質統計常用的二次方程式模型，其數學式如下：

$$S_{cov} = 1 - \left[ 2 \left( \frac{sdis}{50} \right) - \left( \frac{sdis}{50} \right)^2 \right]$$

for  $sdis < 50$  公里

$$= 0$$

for  $sdis > 50$  公里 .....(2)

上式中  $S_{cov}$  為設站便利指數及  $sdis$  為參考地點離學校之距離。依此可將台灣地區的設站難易程度圖計算出（圖 6）。由設站難易程度圖之分布可知主要不易設站的位置仍以高山為主，而根據以往的

觀測經驗，即使可以高山地區設立測站其觀測情形仍為不理想。

最適化測站分布之計算：地震速報系統主要的觀測對象為潛在破壞性地震，而目前速報之理想為在地震發生後 10-15 秒就能有效分析及定位並提出初步報告 (Wu et al., 1998；吳逸民等, 1998)，扣除 3-5 秒處理的時間，10 秒的時間 P 波的涵蓋範圍約為震央半徑 50 公里之區域。因此，若要能有效地觀測該地震，半徑 50 公里內需要有足夠的地震站以及良好的測站分布。所以本文在分析最適化之測站分布，考慮每一設站場址對 204 筆潛在破壞性地震作以下的加權計算：

$$\log_{10} \left\{ \sum_{i=1}^{204} \left[ \frac{\text{Gap}_i}{60} + (1 - Nsta_i/8) + (1 - Epdis_i/50) \right] \right\} .....(3)$$

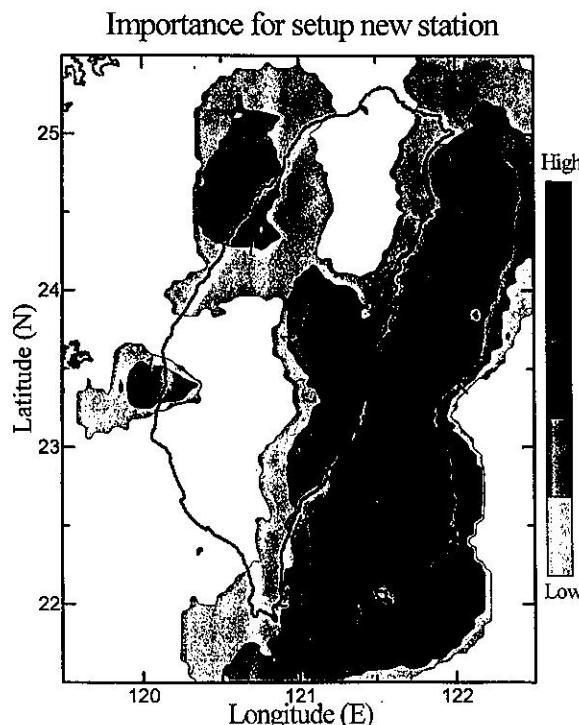


圖 7. 台灣地區增加測站之評分圖（未考慮測站便利程度及現有測站之覆蓋程度），數值越高表示越需要新增測站。

Figure 7. Importance index map for setup new station of seismic rapid reporting system (unconsidering the effect of convenience of setup seismic station and the existing stations' coverage).

$Gap_i$  為於該場址設站對現有測站之分布空餘夾角的改善角度。

$Nsta_i$  為潛在破壞性地震對該場址之震央距離的半徑內，現有的測站數。

$Epdis_i$  為潛在破壞性地震對該場址之震央距離。

此估計準主要的考量要為要設站之場址與潛在破壞性地震之震央距離若在 50 公里內則給予正的分數，超出則給予負的分數。對於潛在破壞性地震，若加入該測站對於 50 公里內測站分布空餘夾角 (GAP; Lee and Lahr, 1975) 有改善則給予正的評分，若否則給予負的分數。潛在破壞性地震對此場址之震央距離的半徑內，現有的測站數若少於 8 個則給予正的分數，超出則為負的分數。所用的方程式中三項因子以線性相加，其考慮為此三項因子所占的權重相當，就目前速報的角度而言，當

災害地震發生後於央央半徑 50 公里內至少有 6 個測站方能做有效的觀測，而此 6 個測站若能平均分佈震央之不同方位角 (GAP 最小)，方能得到最佳之定位結果。先前在考慮測站覆蓋率的計算時，係採用非線性之函數其比較能凸顯覆蓋率高與低之區域，而計算最適化測站分布則採用線性函數，其原因為採用線性函數較能平衡幾個考慮之因子，此為多次嘗試錯誤所得之結果。圖 7 為以此標準所計算的設站評分圖。由此評分圖可知在不考慮設站的便利性的情形下，花蓮市外海約 40 公里處及綠島地區為目前最需要考慮設立測站的地區，其次為整個東部外海、海岸山脈、中央山脈中段、嘉義沿海及苗栗沿海等地區。然而若考慮設站的便利性及現有測站的覆蓋率的情形下，設站的指標則略有不同（圖 8）。圖 8 中深色所示為需要增加測站以加強

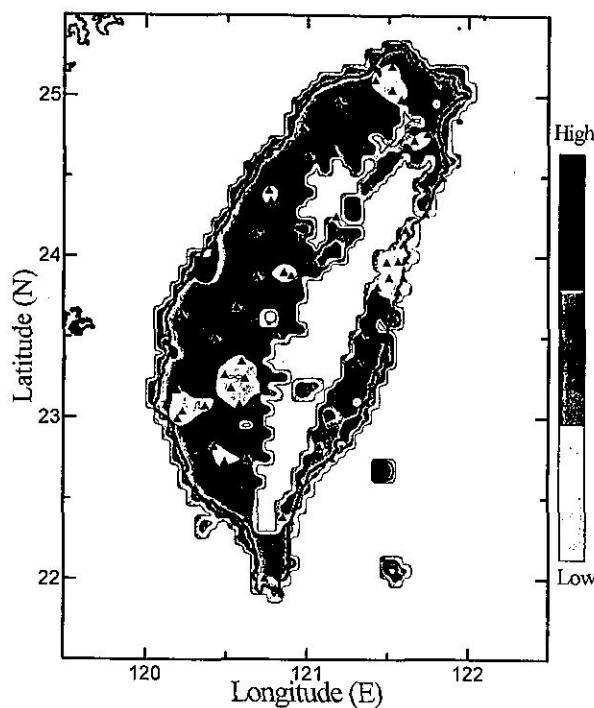


圖 8. 台灣地區增加測站之評分圖（考慮測站便利程度及現有測站之覆蓋程度），數值越高表示越需要新增測站。

Figure 8. Importance index map for setup new station of seismic rapid reporting system (considering the effect of convenience of setup seismic station and the existing stations' coverage).

Increasing & Decreasing station Areas of TREIRS

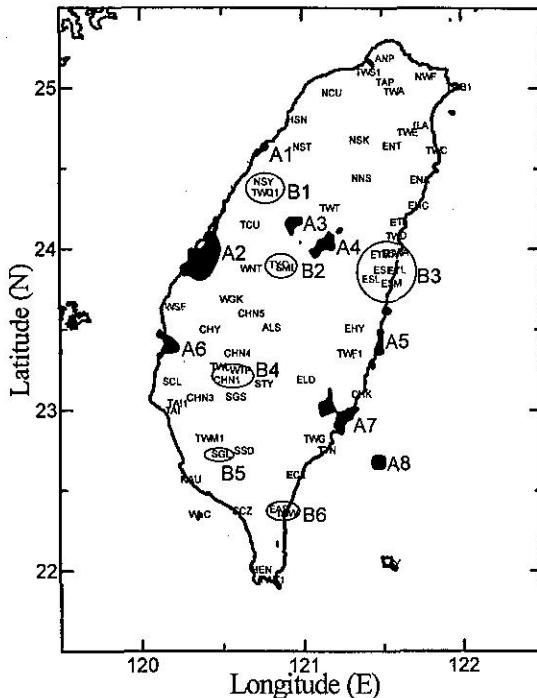


圖 9. 經本文評估後 8 處 ( A1-A8 ) 需要增加測站及 6 處 ( B1-B6 ) 可考慮減少測站之分布圖。

Figure 9. Distribution of eight areas (A1-A8) suggested to increase stations and six areas (B1-B6) to decrease stations.

觀測之區域，淺色區域則為設站困難度高或測站較為密集的區域。比較圖 7 及圖 8 可以知道海域的區域其設站的評分指數都降低至不易設站的等級，然後若要考慮設置海底地震儀，當然花蓮外海為最佳的選址位置。

### 三、討 論

本文分析現有測站之覆蓋率、1900 至 1998 年之潛在破壞性地震及設立測站之難易程度，並且考慮速報測站對於都會區之加強觀測，共歸納出 8 處應該加強觀測的區域，如圖 9 所標示 A1 至 A8。相對的，有 6 處可以考慮移除部分測站的區域，如圖 9 中所標示 B1 至 B6。在 8 處應該加強觀測的區域中，以綠島為第一級要加強的地區，於綠島增設測站不僅能加強東南地區的測震聯網情

形，對於定位品質的改善也有良好的效果 (Wu et al., 1997)。其餘 7 處地區雖不及於綠島地區設立測站急迫，然而從長期的速報規劃而言也是刻不容緩。對於 6 處可以考慮減站的區域主要分布於台灣的中南段。北部的台北市、宜蘭市及南部的臺南市雖然在評估中列為較密集的區域，但基於速報測站於都會區的重要性不列入減站的區域。而這幾個測站增減區域之細述如下：

1.台灣的中段地區可以考慮減站的區域有 3 處（圖 9 中標示 B1-B3 區），要加強觀測的區域有 5 處（圖 9 中標示 B1-B3 區），要加強觀測的區域有 5 處（圖 9 中標示 A1-A5 區）。標示 B1 之區域有三義 (NSY) 及鯉魚潭 (TWQ1) 2 個靠近的測站，此 2 測站可考慮遷移一測站至 A1 或 A3 的區域。標示 A2 的

區域為目前可設站的範圍內速報測站分布較大的空白區。標示 A2 的區域為目前可設站的範圍內速報測站分布較大的空白區，在該區增加測站是必要的，一方面可增加速報測站的覆蓋率，另一方面對於西部沿海一帶震度的觀也有相當大的幫助。對於標示 B2 的區域由於魚池 (TYC) 及日月潭 (SML) 兩個靠近的測站，而評估為要減站的區域，日月潭為氣象局所屬的有人測站易於管理，因此可考慮將魚池測站遷移至 A3 或 A4 的區域。圖 9 中標示 B3 的區域為花蓮速報的加強區，因此，此區為目前速報測站最密的區域，於此區設立如此多的測站，其主要受 1986 年 11 月 14 日規模 6.8 花蓮地震之影響。而目前 B3 圈住的區域中已設立有 7 個測站，從長遠的規劃而言，若能將其中 2 個測站遷移至 A5 之區域，則更能並重花蓮地區網的密集性及速報區域網的全面性，此舉對於花蓮地區的地震定位也有相當大的幫助。

2.台灣南段地區可以考慮減站的區域有 3 處（圖 9 中標示 B4-B6 區）及 3 處（圖 9 中標示 A6-A8 處）需要加強觀測。B4 區之大埔 (WTP) 及楠榔 (CHN1) 兩站和 B5 區的九如站 (SGL) 等 3 站，此 3 站其所在的鄰近有較多的測站，因此可以考慮遷移 1 站至 A6 區及移除另外 2 站。B6 區之大武 (TAW) 及安朔 (EAS) 站，由於過於靠近可考慮移除其中一站，大武站為氣象局所屬有人測站易於管理，因此可將安朔站遷移，將安朔站遷移至 A7 的區域，或是遷移到大武及恆春中間都是不錯的位址。A7 的加強觀測區域可考慮增加 1 站於縱谷側或海岸側，或者於縱谷側及海岸側各設 1 測站。A8 為一加強觀測區域位於綠島，如前所述為目前第一優先考慮設站的地區。

#### 四、結論

速報測站主要是以 CWBSN 為基礎建立測站，CWBSN 之測站主要為結合中央氣象局舊有之地震站及 TTSN 之測站，因此在測站的分布有

其重複性及不均勻性。因此，本文分析現有測站之覆蓋率、設站地點對於地震減災之重要性、1900 至 1998 年之潛在破壞性地震及設立測站之難易程度探討最適化的測站分布。根據本文的分析，歸納出 8 個應該增加測站加強觀測的區域及 6 處可以考慮移除部分測站之區域。速報測站的設立與一般地震觀測站有不同之標準，雖然目前的速報測站是以 CWBSN 為基礎建立，然而若能經適當的調整測站分布，則更能有效從事地震速報之工作。

#### 五、誌謝

感謝中央大學應用地質研究所李錫堤教授提供本文所用之部分數據及地震中心同仁鄭文彬博士和何美儀小姐校訂文字之錯誤。

#### 參考文獻

- 辛在勤，1998：台灣地區地震預警之初探。氣象學報四十二卷第二期，118-134 頁。
- 吳逸民、鍾仁光、陳承俊、辛在勤、蔡義本，1998：以區域強震網從事地震速報之研究—花蓮子網。氣象學報（已接受）。
- Lee, W. H. K. and J. C. Lahr, 1975: HYPO71(REVISED):A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes, U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. 75-311, 114pp.
- Nakamura, Y., 1989: Earthquake alarm system for Japan railways. Japanese Railway Engineering, 109, 1-7.
- Golden Software, Inc., 1997: SURFER for Windows- User's guide (Version 6). Golden Software, Inc., Colorado, U.S.A..
- Teng, T. L., Y. M. Wu, T. C. Shin, Y. B. Tsai, and W. H. K. Lee, 1997: One minute after: strong-motion map, effective epicenter, and effective magnitude. Bull. Seism. Soc. Am., 87, 1209-1219.
- Wu, Y. M., C. C. Chen, T. C. Shin, Y. B. Tsai, W. H. K. Lee, and T. L. Teng, 1997: Taiwan Rapid Earthquake Informa-

- tion Release System, Seism. Res. Lett.,  
68, 931-943.
- Wu, Y. M., T. C. Shin, and Y. B. Tsai,  
1998:Quick and reliable determination  
of magnitude for seismic early warning,  
Bull. Seism. Soc. Am., 88, 1254-1259.

## OPTIMIZATION OF STATION DISTRIBUTION OF THE TAIWAN RAPID EARTHQUAKE INFORMATION RELEASE SYSTEM

Yih-Min Wu  
Seismology Center, Cetnral Weather Bureau, Taipei, Taiwan

Tzay-Chyn Shin  
Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan

Yi-Ben Tsai  
Institute of Geophysics, National Central University, Chung-li, Taiwan

### ABSTRACT

In this study, we investigated the optimization of station deployment of the Taiwan Rapid Earthquake Information Release System (TREIRS) by analyzing the existing station coverage, potential damage earthquake from 1900 to 1998, and easiness of setup seismic rapid reporting station. The results suggested that there are eight areas should add new stations and remove a few stations from six dense coverage areas.

Keywords: Earthquake, Seismic Rapid Reporting System, and Potential Damage Earthquake.