

二十年前的那個地震(三) 地震預警科學進程

文·圖／鍾令和

摘要

藉由落雷預警的新科技，筆者將集集地震之後的地震預警科學進程做一些介紹，並針對目前科學界對地震預測所做的各種研究做一些初步的說明。

關鍵詞：集集地震、地震預警、閃電觀測網

5 月初在南港展館參加了一場有趣的會議－第 22 屆臺北國際安全科技應用博覽會。本來是因爲會中有談及防災議題才去參加的，沒想到收穫出乎我的意料，除了看到很多防災產品（例如：可以保用十年的衛生紙等等），其中最有趣的是有一個日本廠商擺攤推廣落雷預報（圖 1）！利用分布在日本的 31 臺感測器偵測閃電所釋放的電磁波，在發生前就可以準確預測 90% 的落雷地點（位置誤差在 300 公尺以內）。當聽到他們介紹到這裡的時候，讓我有一種錯覺，我是在聽地震預警系統呀……。

預報的原理

由於不是所有的閃電都會對地面造成影響，只有約 10% 會形成落雷，所以大部分的氣象資訊只能提供兩天至數小時之內哪個區域發生閃電的機會比較高（就像是地震學者所做的中長期地震預測）。所以，1970 年代 M.A.Uman 教授發現可以藉由電磁波波形的差異分別出閃電是發生在空中或是會落到地面，由於電磁波會比閃電的尖峰電流值更早被儀器接收到，所以這家廠商可以在被雷擊中的 10^{-9} 秒之前就可以知道它會打在哪裡（圖 2）。類似的原理，地震學家利用地震波中跑得比較快的 P 波將地震位置定出，同時利用 P 波的波形來判定這個地震是小地震還是規模 5 以上的地震事件。唯一不同的是，地震預警的時間比落雷預報長一點，在臺灣地震預警的案例裡有 1~20 秒的預警時間。

地震預警的困境

地震預警中離震央越近的地方可以預警的時間越短（有時甚至沒有），主要是在 P 波與造成主要破壞的 S 波之間的時間差不夠長（圖 3）。P 波波速約 6.5km/s，而 S 波波速約 3.5km/s，也就是地震發生後 10 秒，S 波已經跑 35 公里了，扣除收到 P 波資訊、電腦運算與發布預警的秒數需要 18~20 秒。換句話說，距離震央約 50 公里範圍內的地區是沒有辦法預警的，也就是所謂的無預警區。

地震學家正在努力縮短預警所需的時間，也就能縮小無預警區的範圍。以臺大地質系吳逸民教授研發的系統爲例，最成功的案例是 2013 年南投地震，在距離震央不到 10 公里的法治國小，因預警系統發揮作用而有了 1.65 秒的預警時間。

此外，氣象局也投入了許多的努力，在過去 10 年間開始進行東部外海的海底地震站的布設(媽祖計畫)，針對占全臺 70%地震發生率的東部地區進行預警，透過海底地震儀的架設，可以增加 5~10 秒的預警時間(圖 3)。

地震預測

回過頭來看看落雷預報，它完整的呈現預報所需要的資訊：何時、何地與精準程度，只差落雷的能量大小(規模)。所以地震預測方法要能回答上面這 4 個問題才能稱得上是正確的預測。目前所運用的預測方法很多元，包括有：電離層異常變化(去年常被地震達人拿來討論)、地表電磁波異常、地下水位異常變化、地下水氫氣異常、地震活動性改變(例如：密集發生的小規模前震)、動物異常行爲等等，但目前還沒有可以做爲一致標準的預測基準。

雖然目前科學家還沒有很好的辦法可以預測地震，但是以筆者的觀點來看，這只是我們做的還不夠多，還不夠了解地震的行爲而已，因爲我們手邊只有過去的 10~20 年累積的觀測資料。在 20 年前的集集地震發生的時候，還沒有品質良好的數位相機，手機還是低階的 Nokia 3310。這段期間因數據的累積與運算的精準度提升，使我們對地震的了解已有長足的進步。

換個角度來說，以約 400 年發生一次的 921 集集地震來說，如果我們可以累積數百年時間尺度的相關資料，我很有信心我們應該有機會可以解開這些謎題。

筆者後來在博覽會上跟落雷預報的廠商聊了快半個小時，他們說預報這件事情其實是他們研究出來的副產品，他們的主力商品其實是各種避雷的用品，所以他們其實是爲了瞭解哪裡有市場需求才進行這項研究工作的，沒想到連這最後一點都跟地震預警有類似之處，其重點不在預測何時地震會發生，而是在平日就應該做好所有的地震預防措施。這同時也告訴我們研究工作的價值，常常沒辦法在一開始就很清楚，而是要努力做下去才有可能開花結果，而且新發現常常在一些意想不到的地方。

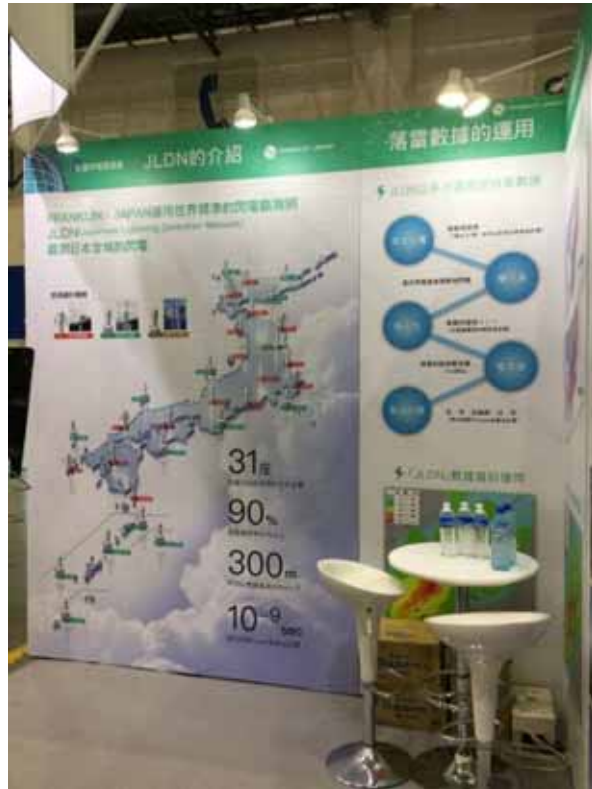


圖 1. 第二屆臺北國際安全科技應用博覽會會場中有關落雷預報的介紹看板

■為了判別對地雷電的波形參數的定義

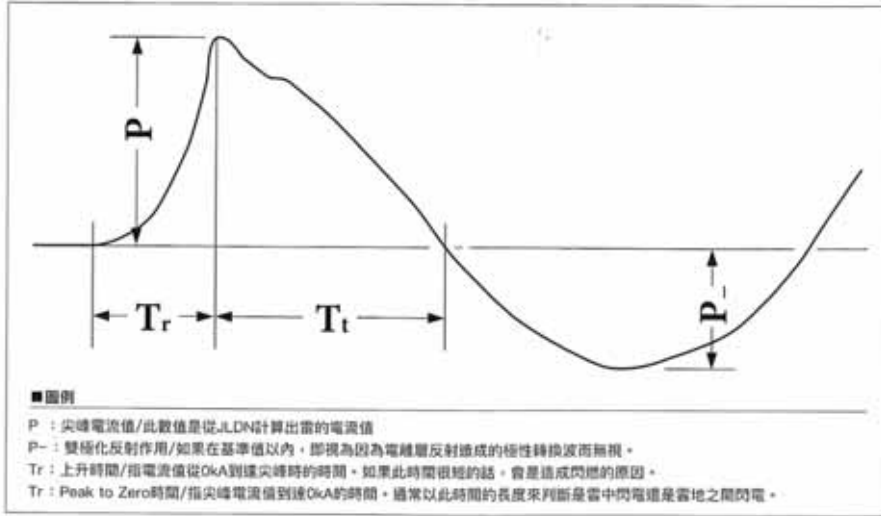


圖 2. 判定是否形成落雷的各項參數(由 FRANKLIN JAPAN 提供)。

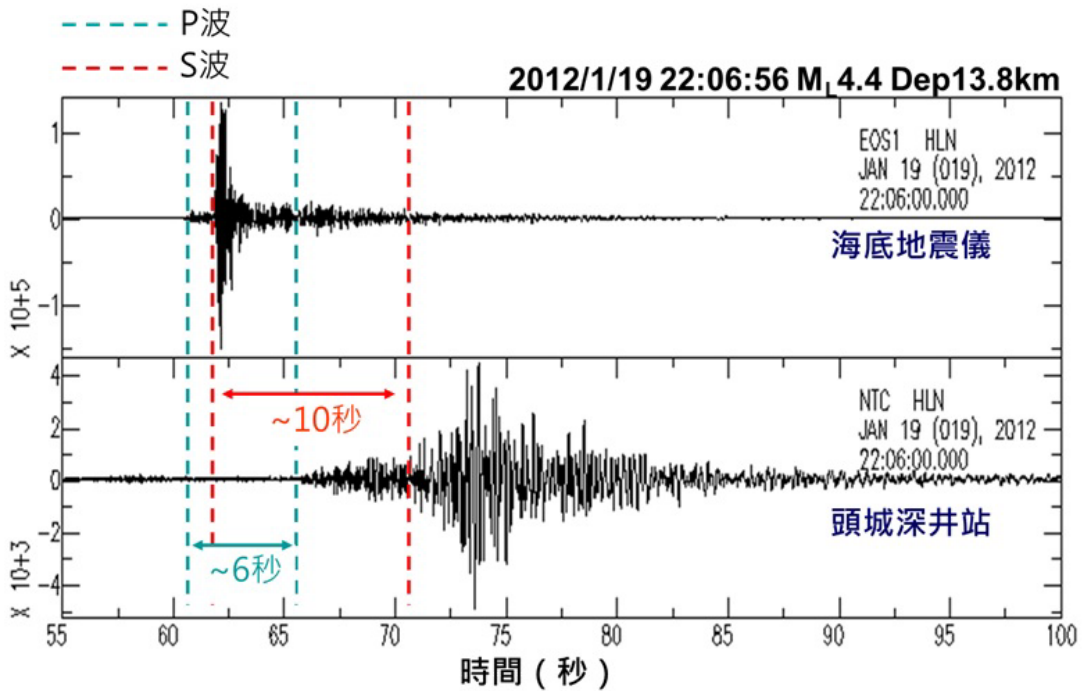


圖 3. 2012 年 1 月 19 日宜蘭外海地震。海底地震儀距離頭城站約 55 公里，距離震央約 10 公里，所以海底地震儀距 P 波到時比頭城站早了 6 秒，圖中也呈現不同地震站所接收到 P 波與 S 波到達的時間差的現象，頭城地震站的最大震度比海底地震儀晚了約 12 秒(資料來源:氣象局)。