

# 臺灣地區 108 年中大型地震震源資訊之快速彙整與提供

## The rapid integration of 2019 large earthquake source information in Taiwan

主管單位：中央氣象局地震測報中心

李憲忠<sup>1</sup>，金臺齡<sup>2</sup>

Shian-Jong Lee, Tai-Lin Chin

<sup>1</sup>中央研究院地球科學研究所

<sup>2</sup>國立臺灣科技大學資訊工程系

### 摘要

臺灣位處於活躍的造山帶，菲律賓海板塊每年以 8.2 公分的速度向歐亞板塊聚合，使得臺灣地區地殼變動劇烈，活動斷層遍布且地震活動頻繁，災害性地震也經常發生。本整合型計畫對 2019 年花蓮規模 6.1 地震事件採用體波震源逆推方法，分析得出震源破裂過程的時間-空間分布，可於地震發生後快速建立震源破裂過程的初步結果，所建立之震源破裂模型亦可對於後續研究提供重要的資訊。

而本計畫也嘗試使用類神經網路技術應用於地震速報中，利用中央氣象局於全臺布署的地震測站，藉由測站收集之資料搭配類神經網路演算法進行各式應用，其中包含利用遞迴式神經網路的即時地震即時預警、定位以及利用深度卷積網路進行的 P 波 S 波標記任務，盼望可以利用類神經網路演算法減少人工資料上的處理以及應用於即時系統上增強準確度。

**關鍵詞:** 2019 花蓮地震、震源破裂過程、地震偵測、地震定位、類神經網路、人工智慧

## **Abstract**

Taiwan is located on an active orogenic belt where the Philippine Sea plate converges toward the Eurasian plate with a speed of 8.2 cm per year. This rapid convergence induced dramatic crustal deformation, very active faults and high seismic activity over the past few years in Taiwan, and brought many earthquake disasters. This integrated plan analyzes the geological and seismotectonic of the seismic source area after the 2019 Hualien earthquake. By performing the body wave source inversion to analyze the time-space distribution of the source rupture process, which can quickly establish the preliminary results of the source rupture process after the earthquake.

This project develops three applications for earthquake detection by neural networks including earthquake detection and localization. For earthquake detection, recurrent neural networks have been used for real-time earthquake detection, while deep convolution neural networks have been used for P and S wave picking. For epicenter localization, an attention layer has been integrated with recurrent neural network for predicting epicenter in the early stage of earthquake occurrence. Extensive simulations were conducted to evaluate the performance of the developed schemes based on the collected earthquake waveforms in Taiwan. From the simulation results, the developed schemes outperform the traditional schemes in terms of time and accuracy.

**Key words:** 2019 Hualien Earthquake, time-space distribution of the source rupture process, Earthquake detection, earthquake localization, Neural network, Artificial intelligent

## 一、中大規模地震震源破裂特性近即時分析

本計畫針對臺灣地區中大規模地震進行震源破裂過程的時間-空間分佈分析。所採用的方法為體波震源逆推法，透過世界地震觀測網的遠震體波資料進行快速震源逆推分析。此方法在進行分析前需要完整的震源參數資訊，包括地震規模、震源位置、震源機制、斷層面解等。目前這些資訊氣象局已於地震發生後快速地做例行公布。因此在現有的資訊架構下，於中大型地震發生後快速建立震源破裂過程的初步結果是可以達到的。

本研究透過世界地震觀測網的遠震體波資料或中央氣象局即時強震網的近場資料，依地震規模大小以不同資料進行震源逆推。2019年4月18日花蓮海域發生規模6.1地震(Mw 6.2)，是該年於臺灣島內第一個芮氏規模大於6的地震。中央氣象局地震報告指出，此地震位於花蓮縣政府西北方約10公里，震源深度18.8公里。各單位所求得之震源機制解相當一致，大致為北北東-南南西走向之斜向逆衝斷層(圖一)。主餘震定位的結果亦呈現北北東-南南西走向分布，符合震源機制解其中的一個斷層面。雖然震央位在花蓮，但整個北臺灣都出現強烈振動，最大震度出現在花蓮縣銅門，震度達到7級；花蓮市區達震度5，臺北亦出現震度4級且長時間的持續搖晃，造成市區內兩棟高樓碰撞與輕微損壞，所幸這次地震沒有造成人員傷亡。為了瞭解這個地震究竟如何發生、破裂過程為何，本研究採用近場地動資料進行震源逆推，研究中採用氣象局之震源位置，並以RMT震源機制解中的南北走向，朝西下傾的斷層面做為斷層模型，以平行化非負最小平方法來進行震源逆推，藉由震源破裂的時間-空間過程來研判此次地震的震源物理特性以及構造上的意義。

以近場地動資料震源逆推的結果指出(圖二)，此地震的破裂範圍約 $10 \times 10 \text{ km}^2$ ，最大錯動量約101.8 cm。震源附近於發震後短時間內0~1秒的滑移量不大，隨後破裂以較快的破裂速度(大於3.0 km/s)朝北發展，約在2.5秒時破裂傳到斷層北邊釋放大量的能量，並形成斷層面上最大的錯動集中區(Asperity)。隨後破裂快速減緩，僅產生零星的小錯動。整個破裂持續時間約7-8秒，一開始的1-2秒能量在震源附近釋放，於2-5秒時破裂主要發生在北邊的Asperity，為此次地震主要的能量釋放，5秒後的能量於北側斷層零星產生並逐漸減緩。前5秒的震源時間函數整體大致呈三角形。由於去年2018年花蓮外海發生過M6.1的強震，造成花蓮地區嚴重人員傷亡與建物損毀，加上臺灣東部1951年曾經連續發生多個規模7的地震，統稱花蓮地震序列。該地震序列的起始位置與這兩次花蓮地震的位置與地質背景均相當類似，後續臺灣東部是否會有更大的地震發生，值得持續觀查與注意。

針對臺灣中大型地震進行震源模式分析，可對發震區的震源破裂特性有更清楚的瞭解，同時所建立之震源破裂模型對於後續之研究，如庫倫應力轉移分析、地震波傳遞模擬與強地動評估等可提供重要的資訊。由長遠目標來看，震源破裂

模型持續、有系統地分析與建立將可幫助地震與地質等基礎研究，亦可於地震防災、減災上做出貢獻。

## 二、神經網路與深度學習在地震偵測上的應用

近幾年來類神經網路在各領域的研究皆有令人驚豔的成果，有許多種類神經網路結構被提出並應用於各種問題上，較常見的結構為卷積神經網路、遞迴神經網路、全連接神經網路，而各結構應用的方面也不同，例如卷積神經網路通常搭配全連接神經網路做分類任務，而遞迴神經網路則常應用於有時序關係的任務中，而本研究將這些不同結構的網路應用於地震偵測與定位問題中。

現有的類神經網路定位方法大多是利用卷積神經網路對地震波形圖學習後做出定位，但這樣的方法並不適用於即時系統中，故提出類神經網路於地震定位之應用，該方法運用遞迴神經網路的技術及注意力層，透過地震發生時各測站收到的 P 波到時及各測站收到 P 波事件的先後順序去判定出震央所在，如此便可以運用在即時系統上，將來可以於即時預警系統中提供更準確的震央位置，而該方法再利用前 10 個測站的資訊中可以達到 4.83 公里的位置誤差即 5.46 公里的深度誤差。

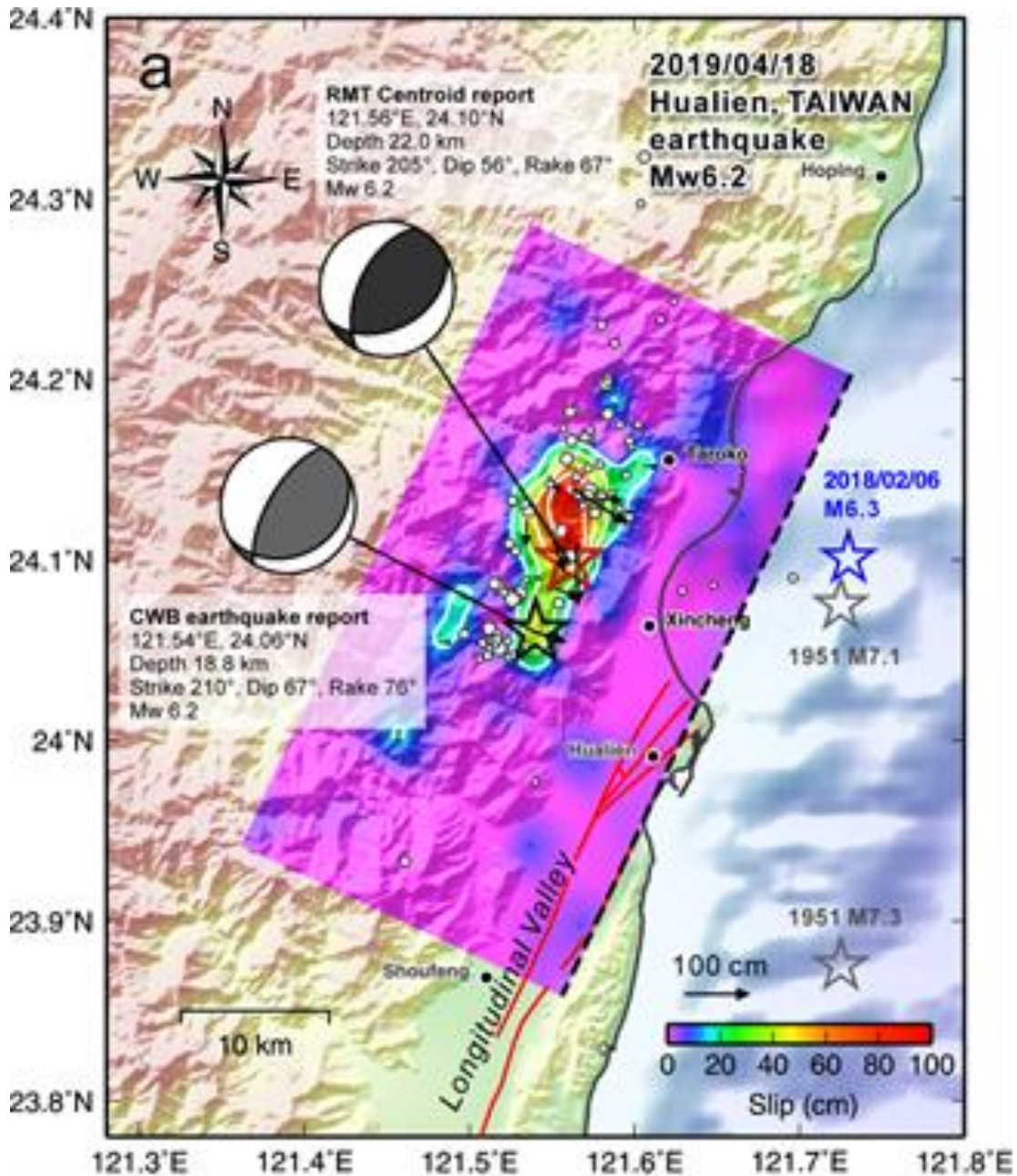
傳統在地震即時預警中的方法是需要往後等待 1~2 秒才能對該點進行判定，這樣的作法使得在 P 波到來時還是需要等待 1~2 秒才能發布警報，這 1~2 秒在分秒必爭的地震預警中相當的重要，因此提出類神經網路於即時地震預警之應用，使用了遞迴神經網路來達成即時 P 波 S 波偵測，因波形具有時序關係，故採用遞迴神經網路，該方法可以於地震的每一個時刻判斷 P 波 S 波機率，相對傳統需要往後取一段時間的做法更具即時性，而該方法最終可以達到 0.149 秒的時間差以及 99.1% 的準確度。

現行紀錄中的 P 波 S 波數據皆由人工辨識，為了減少人工辨識的工作量，提出了深度卷積網路於 P 波 S 波檢測之應用，利用深度卷積網路來找出 P 波 S 波於波形中的位置，主要由深度卷積從波形中學習特徵再由後續層來找出 P 波 S 波位置，目前結果達到 P 波有 0.2 秒左右誤差及 S 波的 0.4 秒誤差。本計畫中應用於定位的應用以 2018 年全年地震事件做為測試資料評估神經網路模型的效果，2018 年全年約 16199 筆事件，在震央位置上的誤差與中央氣象局紀錄的位置平均差距 4.78 公里，深度平均差距 4.56 公里，而在僅使用前 10 個收到 P 波之測站作為預測得到位置平均差距 4.83 公里，深度差距 5.46 公里。而圖三為一範例，採用台北時間 2018/02/13 00:00 之地震紀錄，使用前 10 個收到 P 波之測站定位結果，圖中五邊形為實際震央，星形為本研究所定出之震央，圓形為測站。

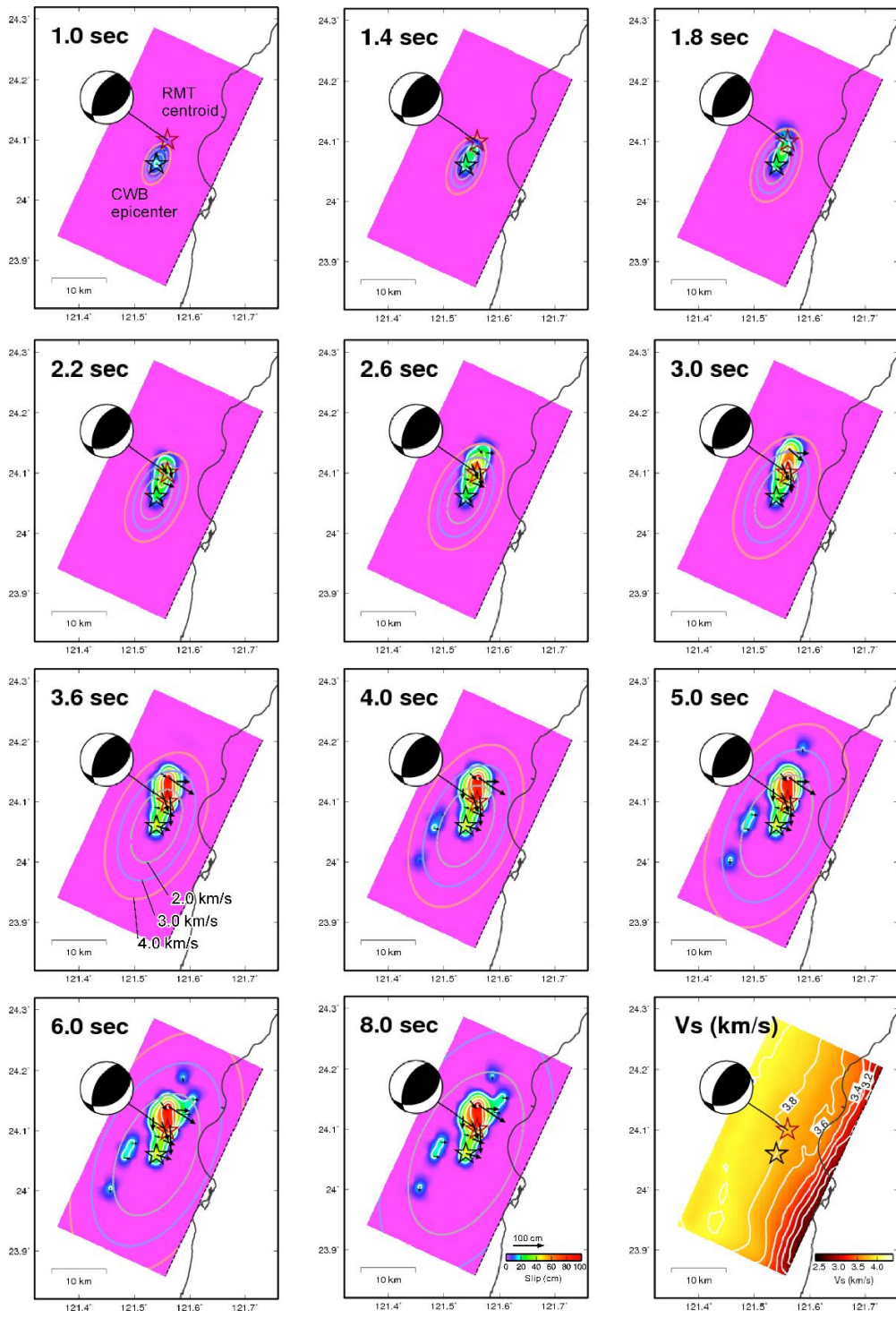
而應用於即時預警的方法在測試中的時間誤差來到 0.149 秒優於傳統的方法 0.195 秒，且評估指標 True Positive Rate(TPR)及 False Positive Rate(FPR)中，TPR 以 0.991 優於傳統的 0.986，以及 FPR 0.018 優於傳統的 0.131。

在應用於 P 波 S 波標記任務的方法目前在 P 波方面可以達到平均 0.16 秒的誤差，S 波方面則是 0.4 秒的誤差。

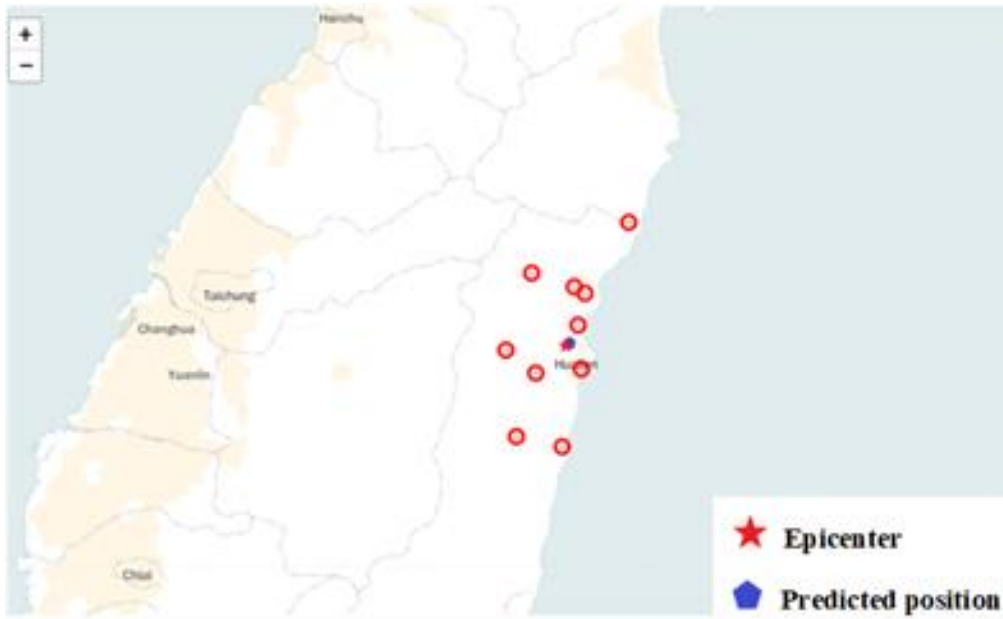
本研究主要提出利用遞迴神經網路即時偵測 P 波、S 波及事件的發生，在評估過程中針對各種因素做評估，結果顯示提出的方法有著不錯的表現，能準確的偵測地震並迴避雜訊影響，且也能準確的判定發生時間，也將提出的方法與 Earthworm 串接，盼將來可以應用到即時系統上於預警中提供準確的偵測結果。



圖一、2019花蓮地震錯動量分佈分析結果。



圖二、2019花蓮地震震源破裂過程的時間-空間分佈。



圖三、採用台北時間2018/02/13 00:00之地震紀錄，使用前10個收到P波之測站定位結果，圖中五邊形為實際震央，星形為本研究所定出之震央，圓形為測站。



圖四、為台北時間 2018/03/19 00:00 之事件、19 為台北時間 2018/08/16 04:40

之事件，而兩圖皆為類神經網路模型輸出之震央位置與實際震央位置示意圖，途中圓形為測站該事件前 10 個收到 P 波的測站，星形為實際震央，五邊形點為類神經網路模型使用前 10 個收到 P 波之測站所預測之震央，在這兩個例子中，可以看到實際震央與預測出的震央距離接近。