

與地震波賽跑， 吳逸民打造無疆界地震預警網

文字／鸞九辰 攝影／汪忠信

一一〇二四年四月三日，花蓮遭逢芮氏規模七·二強震（ $M_w 7.4$ ），臺北民眾因官方系統低估震度而未收到國家級警報，引發廣泛討論；但遍布全臺近八百所學校、捷運及科學園區的P波警報器P-Alert，仍為臺北爭取逾十秒的預警時間。該系統的發明者，正是第二十九屆國家講座主持人獎得主、臺灣大學地質科學系特聘教授吳逸民，他不僅將其推廣至地震高風險國家，更積極培育東南亞及南亞研究生，期盼他們學成歸國後能長期守護當地的地震防護網。

黃金三秒，如何預判一場強震的破壞力？

地震預警之所以可行，關鍵在於地震發生後，最先抵達的是速度快、破壞較小的P波，如同地震的前哨；隨後而來的S波，才是造成劇烈搖晃與傷害的元兇。

「小地震就像小朋友在地上蹦蹦跳跳，節奏快、頻率高，力量卻有限；大地震則像大象跳舞，動作看似緩慢，但每一次落腳的震動沉穩且週期悠長。因此，只要擷取P波抵達後最初

三秒的訊號，即可推估後續的破壞力。」吳逸民以生動比喻揭示大、小地震的差異。

爾後，他與美國加州理工學院地震學泰斗金森博雄（Hiroo Kanamori）合作，將這項發現轉化為可實戰的演算法：結合「地震最大位移振幅」（ P_d ）與「地動特徵週期」（ T_c ），估算S波的破壞強度。

簡單地說， P_d 代表地面一開始被推動得有多遠， T_c 則反映地震的晃動是急促短暫，還是厚重綿長。當科學家把兩者合在一起，便能初步掌握地震的規模與搖晃強度，宛若在風暴來臨前，透過第一陣風的濕度與風速，預測接下來的風雨猛烈程度。

吳逸民透露：「金森教授非常重視研究的實用性。他告訴我，如果研究最後沒有落實至實際應用，效用就不會太大。這句話迄今仍深深影響我。」也因此，吳逸民堅持將P波前三秒理論真正轉化為預警系統，也就是如今已投入實際防災部署的現地型P波警報器P-Alert。

吳逸民

數學及自然科學領域

第二十九屆國家講座主持人獎

臺灣大學理學院副院長暨地質科學系特聘教授

低成本高密度布建，現地型預警成為地震盲區剋星

過去，地震觀測屬於國家級任務，因為一組精密強震儀動輒上百萬元新臺幣，一般機構難以負擔。但吳逸民認為：「防災不能只靠政府。我理想中的地震儀，應該像煙霧警報器或電視機一樣，便宜到每個家庭都買得起。設備一旦普及，防災效果自然浮現！」

為此，他將手機中的「微機電系統」（MEMS）感測技術，即感測元件微小化的晶片技術，轉化為專業級地震觀測設備，開發出成本大幅降低的 P-Alert，並藉此建立高密度的「現地型預警」觀測網。

「現地型預警，與氣象署國家警報採用的區域型預警可互補並形成備援機制，提升整體防災韌性。」吳逸民解釋，區域型預警需彙整多個測站資料，精準度高但耗時長；相較之下，現地型預警可直接利用裝設地點單一測站接收到的 P 波訊號快速判斷，不僅能消弭震央附近常見的預警盲區，每個測站以每秒為單位，自動將觀測參數即時傳至國家災害防救科技中心，並在震後一至兩分鐘畫出詳細地動分布圖，同步推播至社群平臺，確保資訊透明，也有助穩定民心。

這項設計，其實來自九二一地震的慘痛經驗。當時，地震損壞基地臺、供電與遙測系統，大量民眾同時通話更導致線路壅塞，災情與救援需求難以及時傳出，加上缺乏自動化大

量發布機制，地震訊息只能逐一傳送。正因親歷那場資訊中斷的混亂，吳逸民更清楚：「預警不只要快，更要在災難中及時送出。」

蚩蟬撼樹！低成本感測網竟能媲美衛星導航系統

如今，這張高密度「現地型預警」觀測網所匯聚的數據量，經統計修正後能產出極精準且即時的震度分布圖，足以媲美國際上偵測地表位移與變形的全球衛星導航系統（GNSS）。

「傳統地震觀測站分布稀疏，震度圖只能呈現以震央為中心的圓圈；但 P-Alert 成本低、布點極密，可精確勾勒出地震的破裂方向。」吳逸民表示，大地震發生時，震度分布通常呈長條形，譬如○四○三花蓮地震的破裂方向即由南向北，傳統區域型預警卻將震央視為一個點，因而低估北部震度。

為避免規模低估的預警挑戰再次上演，吳逸民提出「累積絕對位移」演算法（CAA），將 P 波抵達後的所有絕對位移值均視為正數並持續累積，與僅擷取 P 波訊號「最高點」的 Pd 技術不同；兩者的差異猶如從一張照片中辨識快跑者的速度（Pd 技術），與觀看一段快跑者跑步影片的區別（CAA），後者能更穩定捕捉地震規模的動態增長，大幅降低預判誤差。

同時，他與其指導的中央氣象署博士生合作，將瑞士蘇黎世聯邦理工學院開發的 FindEr（斷層線震源定位）系統應用於氣象署實戰測試，以「線」震源取代「點」震源，當地震沿斷層破裂時，系統能即時描繪出斷層線走向，從根本解決方向性低估的問題。

從喜馬拉雅山到紐西蘭牧場的臺灣之光

對吳逸民而言，科研成果產品化並將程式原始碼完全開源，是落實防災理想的最短途徑，他認為：「防災不該被專利阻礙，越多人使用，越能擴大救災效益。」秉持這份信念，他帶領團隊將 P-Alert 技術輸出至印度、印尼、希臘、越南、尼泊爾、不丹、菲律賓等地震頻繁的國家，並將當地人才帶回臺灣培養。

每一段的跨國合作都有地震帶來的威脅與擔憂。比如：印度一名曾任政府秘書長的地震學者，因憂慮喜馬拉雅山區強震波及首都德里，邀請吳逸民赴當地開設訓練課程，最終促成 P-Alert 布建於喜馬拉雅山脈，為約三〇〇公里外的德里爭取寶貴預警時間；印尼則在二〇〇四年南亞海嘯後接受多國援助，但十多年後，多數精密設備皆已損壞失效，唯獨當年由中國向臺灣採購再轉贈的 P-Alert 仍穩定運作，因而主動尋求合作；紐西蘭的應用更延伸至乳牛產業。當地曾因地震震

裂供水管線，導致乳牛缺水、影響產乳量，因此在水塔周邊導入 Pallet 系統，一旦發生地震，便可自動關閉閘門保水，降低畜牧業中斷風險。

「許多學者不敢前往條件艱困的南亞或東南亞，但這些地方同樣面臨巨大斷層的威脅。我只是盡科學家應有的本分，將臺灣歷經九二一後發展出的技術分享出去，讓其他國家不必從零開始，」吳逸民道出身為無疆界科學家的使命感。

傳承大師學者的不懈精神，堅持做最有貢獻的事

一九九三年吳逸民進入氣象局，參與臺灣地震預警「B計畫」從無到有；九二一大地震當晚，臺灣的地震速報系統僅耗時一〇二秒便產出震央、規模與全臺震度報告，效率之高震撼全球；這項世界紀錄的背後，就是吳逸民與李泓鑑、蔡義本、鄧大量等大師級前輩攜手打造的全球首套即時強震監測暨訊息發布系統。

「看見這些前輩在工作中無私、熱心且投入的態度，讓我在研究路上更不敢放鬆！」吳逸民回憶起，指導教授蔡義本對研究的執著、李泓鑑博士更是手把手引領他進入強震觀測領域。正因傳承這份不懈精神，九二一當晚即便驚聞老家南投魚池災情慘重，吳逸民仍選擇堅守崗位。

事隔多年，他仍堅定地說：「在國家發生重大災難的時刻，

人沒有餘裕思考太多，只能選擇去做最有幫助、最有貢獻的事。」這份初心，支撐著吳逸民走過三十年的地震預警之路，也使他成為今日全球防災機制不可或缺的重要推手。

