

# 從追風計畫到 AI 預報， 吳俊傑深耕氣象科學三十年

文字 / 鸞九辰 攝影 / 汪忠信

## 五

月底，本是印象中「颱風不該登場」的初夏，舊蜜颱風卻橫掃日本沖繩，讓三萬多戶陷入黑暗、四百個航班停擺。颱風似乎愈來愈不按牌理出牌，這究竟是偶然巧合，

還是大自然發出的警訊？在臺灣大氣科學界，有一個人花了數十年歲月，從親自搭機飛入颱風眼到運用人工智慧，一層層揭開這些謎團，他就是臺灣大學理學院前院長暨大氣科學系講座教授、第二十九屆終身榮譽國家講座主持人吳俊傑。

## 暖化正在改寫颱風規則：變強、北漂且汛期拉長

近年來，許多人都覺得颱風變了！因為一旦登陸，往往就是強度驚人的強颱，行進路徑與生成季節也愈發詭譎，不僅過去被視為二線的日、韓地區現頻頻成為受災中心，颱風旺季更從七月延後至十一、十二月。

「這並非錯覺，而是氣候暖化帶來的影響。科學數據顯示，颱風日趨變強已是非常明確的訊號，但颱風總數變少在統計上仍不足以支持。」吳俊傑表示，團隊運用「高解析降尺度

模式」模擬二十一世紀末最嚴重的溫室氣體排放情境後發現，到了世紀末，最強的前5%颱風，風速將比現在再增加每秒約十五公尺，增幅約兩成。

什麼是「高解析降尺度模式」？科學家在研究全球氣候變遷時，常使用涵蓋整個地球的全球氣候模式，但這類模式的空間解析度較粗，對區域細節的描繪有限；因此，吳俊傑透過「動力降尺度」這項高解析度電腦模擬技術，猶如為視力模糊的氣候模式戴上一副高解析度的眼鏡，把全球模式的結果轉換成更精細的區域氣候資訊，故能清楚分析颱風、強降雨等現象。

只是，風速增幅約兩成很嚴重嗎？吳俊傑解釋：「風壓造成的破壞力，與風速的『三次方』成正比。風速增加兩成，破壞力卻會暴增至一·七倍以上。」這就像一記拳頭的速度只快了一點，但打在牆上的力道卻翻倍，這也說明為何近年有更多颱風都帶來驚人的災情。

颱風的改變不只在強度，路徑的偏移和颱風季的延長同樣



## 吳俊傑

數學及自然科學領域

第二十九屆國家講座主持人獎

臺灣大學理學院前院長暨大氣科學系講座教授

值得警惕。「全球暖化改變大氣環流的型態，讓颱風『北漂』機會明顯增加，也讓海洋的高溫期延長，即使十一、十二月，西北太平洋仍可能為颱風提供生成所需的能量。」他語重心長地表示，這不僅代表中高緯度國家必須正視颱風的威脅，還有可能發生水災的汛期也拉長，防災不能只著重在夏天。

值得注意的是，美國國家海洋暨大氣總署（NOAA）與聯合國世界氣象組織（WMO）皆示警，今年很可能會出現超級聖嬰現象。吳俊傑提醒：「在聖嬰年，颱風生成位置會東移，『加速跑道』因此變長，在抵達臺灣前，颱風有充裕的時間吸飽海洋熱能，有更多機會發展為威力驚人的超級強颱。」

### 凱米颱風的神祕迴圈，源於一場山與風的激烈角力

二〇二四年，凱米颱風重創中南部前夕，竟在花蓮外海畫出一個逆時針迴圈，硬生生延遲登陸時間，使災情遠超预期；許多人視為巧合，但吳俊傑團隊今年發表的論文卻揭開這個謎團。

「這不是巧合，而是颱風與臺灣高山地形激烈角力的結果。」吳俊傑解釋，這個神祕迴圈其實是源於兩個物理機制：起初是「通道效應」，西側的中央山脈與東側的颱風眼牆形成兩道高牆，導致中間形成一條狹窄通道，迫使氣流

加速為強勁的北風把颱風往南推；之後，颱風又遇到「角隅流」，這是另一股繞過臺灣南端的氣流，猶如伸手把颱風往北拉回。

他說：「兩股力量一推一拉，讓颱風中心像陀螺般打轉，快則數小時，慢則六到十二小時。過去，預報員無法理解為何颱風遲遲不登陸？如今掌握機制，便能提前預警登陸時間延後，這對於停班停課決策、機場調度與防汛部署至關重要。」殊不知，這項發現的背後是吳俊傑二十年間發表五篇系列論文的心血結晶。

他還指出，未來若再搭配宜蘭與花蓮的C波段防災降雨雷達，將即時風場資料導入高解析度模式，預報系統便更有把握地提前預測打轉趨勢，為防災爭取寶貴的時間差。

### 主導亞洲第一的追風計畫，磨劍十年的人生精華

若問吳俊傑數十載研究中最自豪的成果，他毫不猶豫地回答：「追風計畫（SOTSTAR）」。「這項二〇〇三年啟動的計畫，是亞洲第一個大型飛機觀測颱風的科研行動，他形容那是自己磨劍十年、四十歲人生最精華的十年。

追風計畫的獨特之處，不僅是真的「飛越颱風」，更在於建立嚴謹的「標靶觀測」理論，透過數學工具與模型，精確找出颱風周邊對路徑預報最敏感的区域，決定飛機該在何處



投下「投落送」（下投式氣象探測儀），蒐集最關鍵的資料。

「驗證結果顯示，加入追風計畫的觀測資料後，可有效降低颱風路徑預報誤差約兩成。」吳俊傑補充，這套標靶觀測獲得美國國家海洋暨大氣總署新一代颱風偵察機採用，並帶動日本、香港陸續啓動類似颱風飛機觀測計畫，讓臺灣成為亞太颱風探測的領頭羊。

颱風計畫於二〇〇八年觀測辛樂克颱風時，曾創下「單一颱風最多飛機同步觀測」的世界紀錄，至今已催生全球超過一百六十篇科學論文，而這項計畫歷經二十年後，又在A I預報浪潮中展現新價值。吳俊傑認為，A I計算速度雖快，卻無法憑空產生數據，模型的訓練必須依賴數十年累積的精確物理觀測與模擬數據，這也是讓A I得以精準預測颱風的基石。

提及A I氣象預報，吳俊傑透露：「麻省理工學院的好友在二〇一三年就提出用A I協助天氣預報，當時我還不以為意。如今，微軟Aurora地球系統基礎模型在一般天氣預測上，準確度已超越全球各大作業預報中心了！」

不過，A I預報常被視為無法解釋的黑盒子。為此，吳俊傑團隊結合機器學習與SHAP (Shapley Additive explanations) 技術，分析「熱帶擾動發展為颱風的關鍵因子」，結果發現二十四小時內的生成預測中，約五公里高空的中層渦度，比傳

統認為的低層渦度更為關鍵。

這項研究更具意義的是引入SHAP數學工具，其源自於博弈論中的沙普利值 (Shapley Value)，用來衡量每個特徵對模型預測的貢獻。想像一場由多名隊員共同贏得的勝利，沙普利值就是公平計算每位隊員在這場勝利中實質貢獻多少價值的方法。

換句話說，當A I預測熱帶擾動有九〇%機率發展成颱風時，SHAP會將海溫、中層渦度、垂直風切等因素，對預測結果的影響拆解成可解釋的貢獻值，幫助科學家辨識哪些因子在推動或抑制這項預測。

### 三十年的追風告白：秉持熱情，堅持努力

從幼時帶著弟弟追風的臺東小男孩，到現今國際頂尖的氣象科學家，吳俊傑回望這段追風旅程，有感而發地說：「科學研究最重要的就是熱情，但熱情很容易因挫折而被澆熄。尤其科學研究往往不是今天做、明天就有結果，所以我的心得就是：秉持熱情，堅持努力。」

對於有志投入大氣科學的年輕人，他予以三項叮嚀：基礎數學與物理的「馬步」要蹲穩，否則無法解釋大氣變化的原理；要學會在挫折中保有好奇心；更要培養A I無法取代的判斷力、同理心與哲學思維，成為跨領域的完備人才。