地表地形監測與科技巡檢技術

鐵路運輸之劇烈天氣監測服務

梁信廣*／交通部中央氣象署 科長

臺灣鐵路運輸系統長期受颱風、豪雨、強風及地震等天然災害影響，近年受極端氣候事件頻率增加之衝擊，鐵道防災與營運韌性面臨更高挑戰。為強化鐵路防災監測與應變能力，交通部中央氣象署與國營臺灣鐵路股份有限公司（下稱臺鐵公司）共同建置「QPEPlus 臺鐵客製化系統」，整合即時氣象監測、降雨警示及防災資訊服務，以支援鐵道營運決策。

系統針對全臺重點監控路段與橋梁建立分級降雨門檻機制，依風險程度發布黃、橙、紅三級警示燈號，協助防災人員即時研判與應變處置。同時，系統亦整合農業部農村發展及水土保持署之土石流與大規模崩塌警戒資訊，以及閃電、強降雨與對流胞等劇烈天氣警示，以提升鐵道沿線災害監測能力。

此外，針對地形陡峭且地面觀測相對不足之蘇花路廊，首次試辦雷達回波門檻監測機制，以補強高風險區域之即時監測能力。未來將持續朝向高解析度監測、即時化預警與 AI 輔助分析技術發展，逐步建構智慧化鐵道氣象防災服務體系，提升鐵路營運安全與災害應變效率。

前言

臺灣鐵路環繞全島，串聯北迴線、縱貫線、南迴線及臺東線，不僅肩負旅客與貨物運輸功能，亦為維持區域發展與民生運輸的重要交通命脈。然而，臺灣地形陡峭、河川短促，加上位處颱風與地震頻繁區域，鐵路運輸長期面臨多種天然災害威脅。

近年全球氣候變遷加劇，極端降雨、強風、高溫及海平面上升等現象日益顯著，使鐵道設施與營運安全面臨更高風險。因此，如何運用高解析度且即時化之氣象監測資訊，提升鐵道防災能力與運輸韌性，已成為重要課題。

颱風與豪雨為影響臺灣鐵路最主要之天然災害。每年夏秋季節，颱風挾帶強風與豪雨侵襲臺灣，常造成電車線受損、路樹傾倒及供電異常；短延時強降雨則可能引發軌道積淹水、道碴流失、路基掏空及號誌設備失效，嚴重時甚至導致鐵路中斷。

* 通訊作者，hsin-kuang.liang@cwa.gov.tw

此外，土石流與邊坡崩塌亦為山區鐵道路段之重要威脅。鐵路沿線若受連續降雨影響，土壤含水量升高，容易發生邊坡滑動與坍方災害，造成軌道掩埋、橋梁受損或隧道出入口阻塞。北迴線蘇花地區及南迴線部分山區，均曾因豪雨引發土石災害而造成交通中斷。

因此，鐵路運輸對於短延時強降雨監測、劇烈天氣預警及高風險區域即時監控之需求日益提高。透過即時掌握累積雨量與降雨發展趨勢，可協助臺鐵公司提前執行慢行、停駛或封閉高風險路段等應變措施，以降低災害衝擊。

劇烈天氣監測系統

中央氣象署（前中央氣象局）自 2000 年代初期開始推動「QPESUMS（Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensors）」系統（如圖 1 上），作為臺灣現代化降雨監測與防災資訊服務的重要基礎。該系統約於 2001 年開始規劃建置，並與美國國家劇烈風暴實驗室（NSSL）合作開發，屬於「劇烈天氣監測與預報系統發展計畫」之重要成果。

QPESUMS 主要目標在於整合多元氣象觀測資料，即時掌握臺灣地區強降雨分布與變化，並提供短延時降雨預報，以支援防洪與防災應用。

系統早期主要整合氣象雷達、地面雨量站、衛星雲圖與地面觀測資料，建立多感測器融合架構。透過雷達回波分析與雨量校正技術，可提升降雨估計精度，特別是在臺灣複雜地形及局部強對流環境下具有重要應用價值。其核心技術之一為動態調整之 Z-R Relationship（雷達反射率與降雨率關係式），以改善傳統雷達降雨估計於山區與強對流環境下之誤差問題。

隨著系統逐步成熟，QPESUMS 功能亦由單純氣象監測擴展至防災應用。2011 年前後，中央氣象署開始將 QPESUMS 發展為跨機關防災決策支援平台（如圖 1 下），除即時降雨監測外，亦整合河川水位、土石流警戒區、道路資訊及流域資料，供水利、交通、公路、水保及地方政府等單位使用。

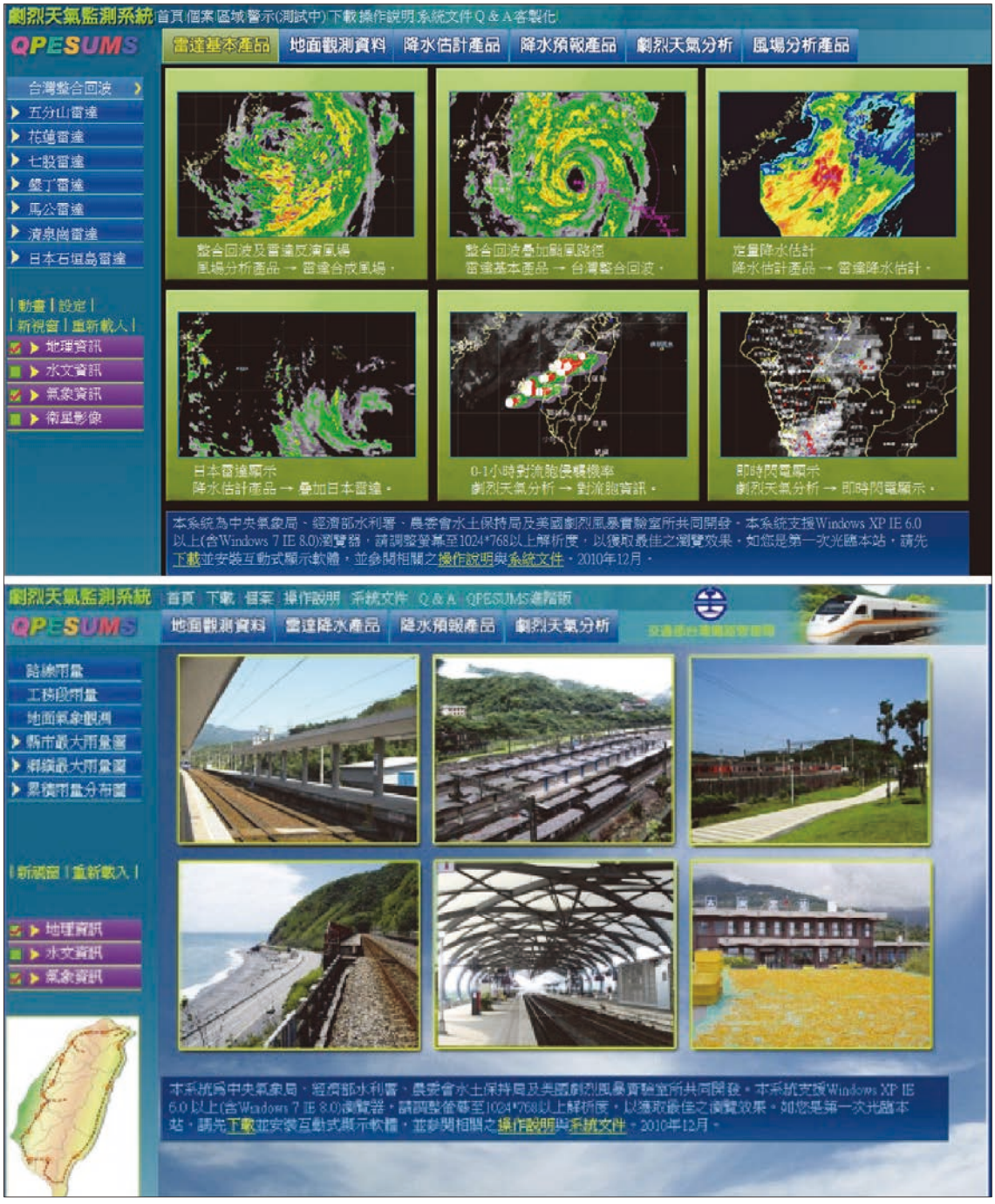

圖 1　上為 QPESUMS 網站，下為臺灣鐵路管理局客製化網頁（2011 年版）。

然而，隨著網頁技術與行動裝置快速演進，原有 QPESUMS 系統架構逐漸面臨瀏覽器相容性、圖台操作性及資料整合能力等限制。因此，中央氣象署於 2017 年後開始規劃新一代顯示服務平台「QPEPlus」。

QPEPlus 可視為 QPESUMS 之延伸與升級版本，並於 2019 年正式上線。系統採用 GIS 地理資訊系統架構，整合雷達回波、降雨觀測、河川水位、土石流潛勢區及交通設施等多元圖資，透過圖層化方式進行空間展示與分析，提升防災資訊判釋效率與決策支援能力。

此外，系統亦提供監控列表功能，結合各防災單位自訂之警戒閾值，將複雜氣象資訊轉譯為黃、橙、紅三級警示燈號與行動值指引（如圖 2）。當監控點達警戒條件時，可即時通知防災與行車人員進行監看、慢行或停駛等應變措施，以確保行車安全。

圖 2　運用防災三燈號提供防災單位進行決策概念模式

鐵道劇烈天氣監測預警服務

中央氣象署與臺鐵公司合作建置 QPEPlus 臺鐵客製化系統，系統主要包含電子地圖與監控服務兩大功能。

電子地圖提供多元氣象資料與警示資訊之圖層化展示，可即時分析劇烈天氣發展與影響範圍；監控服務則以表列方式整合重點監控路段、橋梁、土石流潛勢溪流、劇烈天氣警示及蘇花路廊雷達回波警示等資訊，提供防災應變人員即時監控使用。

此外，於颱風警報期間，系統也提供鐵路沿線 24 小時累積雨量圖及數值模式 1 至 3 日累積雨量預報，計算路線上可能的最大降雨量，供防災人員進行應變，並用以支援行控決策參考。

電子地圖

電子地圖功能可同時顯示整合雷達回波、降雨觀測、閃電等即時氣象資訊，並可疊加鐵道路線、車站或地形等地理資訊，同時也可以疊加客製化警示圖資，快速掌握鐵道沿線或車站之劇烈天氣發展情形，為情資研判與防災決策之圖形化應用平台（如圖 3）。

重點監控路段與橋梁

鐵路容易因颱風、豪雨，受到邊坡崩塌、土石流、落石及洪水沖刷影響。為確保行車安全，臺鐵需將災害風險較高區域列為重點監控路段，並加強雨量、邊坡及路基監測；同時對易受洪水沖刷或結構受損

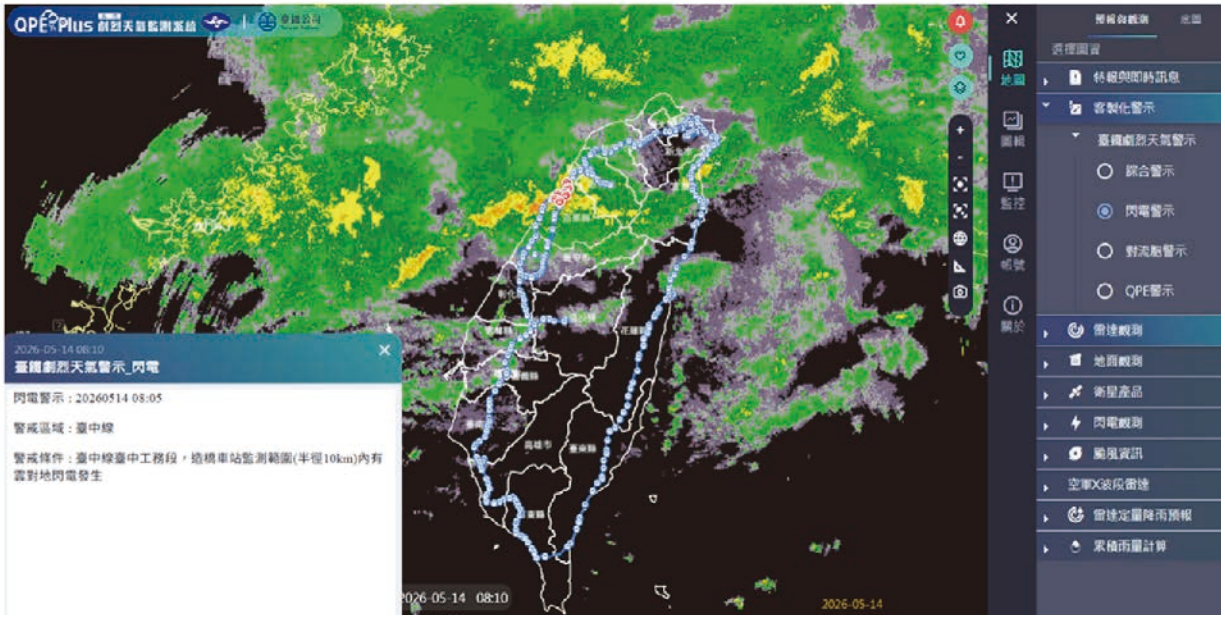

圖 3　QPEPlus 客製化網站電子地圖提供各類氣象圖資疊加、專屬地理資訊圖資及客製化警示資訊。圖中紅色圈顯示臺鐵車站周圍 10 公里內有閃電發生。

的橋梁進行重點監控，掌握水位與橋墩安全狀況。由於列車速度快、煞車距離長，無法即時閃避障礙，因此必須透過監測與預警機制，及早採取慢行或停駛措施，以降低事故風險並保障旅客安全。臺鐵盤點了全臺 99 處重點監控路段及 34 處重點監控橋梁，並依歷史災害經驗、地形特性及設施韌性建立多重降雨門檻值，並定期檢討修正（114 ~ 115 年共修正 7 次）（如圖 4）。

QPEPlus 每 10 分鐘接收最新雨量觀測資料後，自動檢視監控點附近參考雨量站雨量值，當累積降雨量達不同警戒門檻時，分別以黃、橙、紅三級燈號顯示風險程度，應用警戒燈號，建立明確的依循準則，提醒防災人員應處。

此外，系統亦建置歷史燈號查詢功能（如圖 5），目的在於記錄過去各時段發布的警戒燈號狀態，作為防災管理與行車安全的重要依據。透過歷史燈號資料，可分析降雨、水位等環境變化與行車管制之關聯，協助檢討警戒標準是否適當。此外，也能作為災害事件追蹤、事故調查、設備維護及未來防災決策的重要參考。藉由累積歷史資料，可提升預警判斷能力，降低行車風險，並強化鐵路營運安全與應變效率。

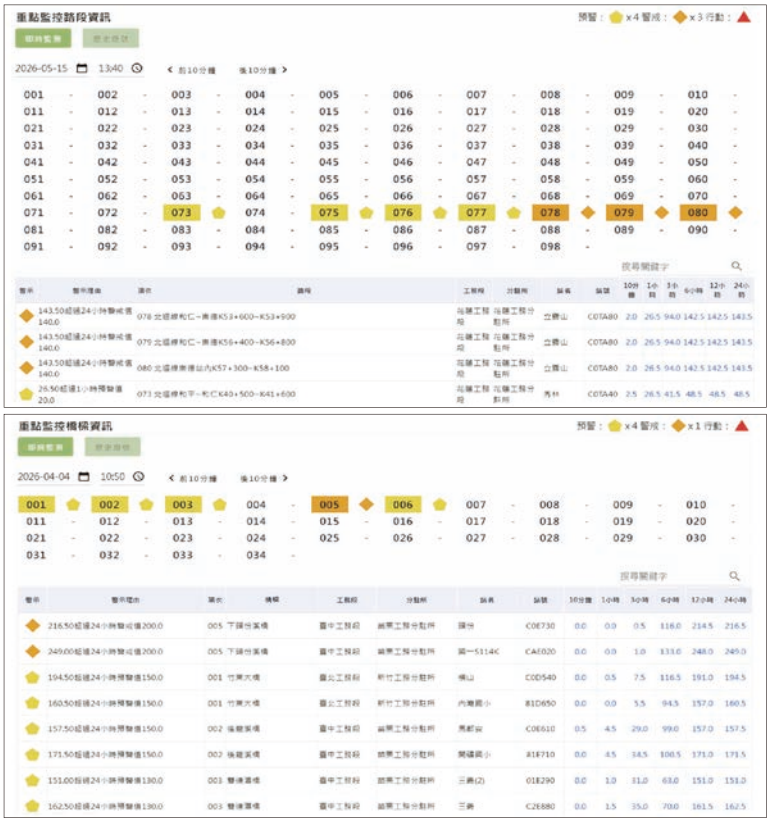

圖 4　QPEPlus 客製化之重點監控路段、橋梁降雨警示。

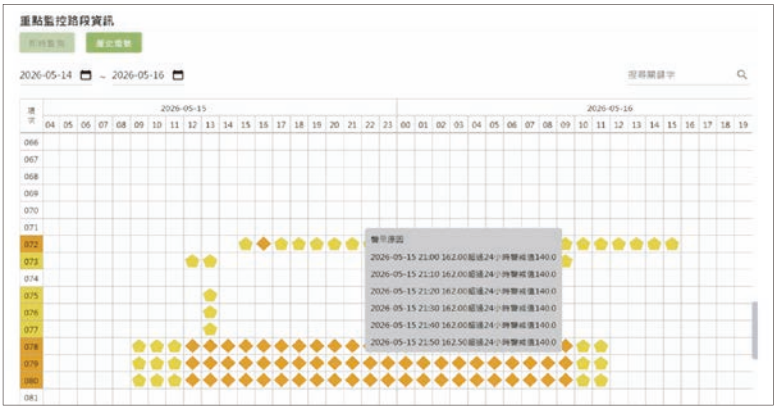

圖 5　重點監控路段、橋樑之歷史燈號。左側為監控點，橫軸為時間序，圖中顯示每 10 分鐘的警示燈號變化。

土石流潛勢溪流監控

土石流警示溪流發布後，代表周邊地區可能因豪雨造成土石流災害，對臺鐵行車安全具有重大影響。若警示溪流鄰近鐵路路線，可能發生土石流侵入軌道、邊坡崩塌、落石或路基流失等情形，危及列車運行安全。土石流警戒資訊可作為防災決策與行車調度的重要依據，提升災害應變效率與旅客安全保障。

QPEPlus 透過跨機關合作，介接農業部農村發展及水土保持署發布之土石流與大規模崩塌紅黃警戒資訊，即時呈現於客製化網頁中，以協助第一線防災人員掌握高風險區域（如圖 6）。

劇烈天氣警示表

對流系統常伴隨短延時強降雨、強陣風及雷擊等劇烈天氣現象，除可能造成鐵道路線積淹水外，亦可能導致供電設備損害、營運中斷及人員安全風險。

因此，系統整合對流胞、強降雨 (雷達降雨估計 40 毫米以上，為大雨等級) 及閃電資訊，建立劇烈天氣警示表，提供車站與防災單位即時掌握劇烈天氣發生情形（如圖 7）。

蘇花路廊雷達回波警示（試辦）

蘇花路廊受限於地形陡峭及地面觀測站分布不足，局部降雨監測存在觀測落差，因此試辦導入雷達回波門檻監測機制，以補強高風險區域之即時劇烈天氣監測能力。

相較於地面雨量站僅能量測固定地點降雨，氣象雷達可大範圍監測降雨位置、強度及移動方向，並即時掌握短延時強降雨、雷雨胞及對流發展情形，對於山區及海岸地區具有較佳監測效益。

目前已於北迴線和仁至崇德站間選取 2 處試辦點，設定直徑 3 公里監控範圍，並以雷達回波 50 dBZ 作為警戒門檻。當監控範圍內 50 dBZ 超過 4 個格點時，即發布紅燈警示，提醒可能有劇烈天氣發生（如圖 8）。

圖 6　鐵道沿線之土石流或大規模崩塌警示即時資訊。

圖 7　臺鐵車站的劇烈天氣警示表，如有劇烈天氣發生，以紅燈警示。

颱風警報期間特定服務

為即時掌握颱風警報期間鐵道沿線降雨情形，系統利用氣象署颱風定量降水預報模式，計算各鐵道路段累積雨量，並於超過警戒值時發布警示資訊（如圖 9）。

未來亦將進一步提供臺鐵車站及重點監控路段 2 日風力預報與 24 小時雨量的單點預報，預計於 2026 年颱風季前完成建置（文章刊登時已完成）。

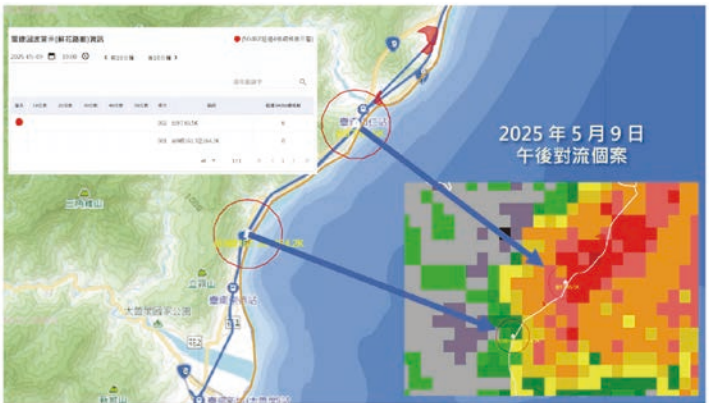

圖 8　蘇花路廊雷達回波警示（試辦）。以 2025 年 5 月 9 日午後對流為例，在和仁站附近出現 6 個回波 50dBZ 的格點，圖左上方的監控表以紅燈警示。

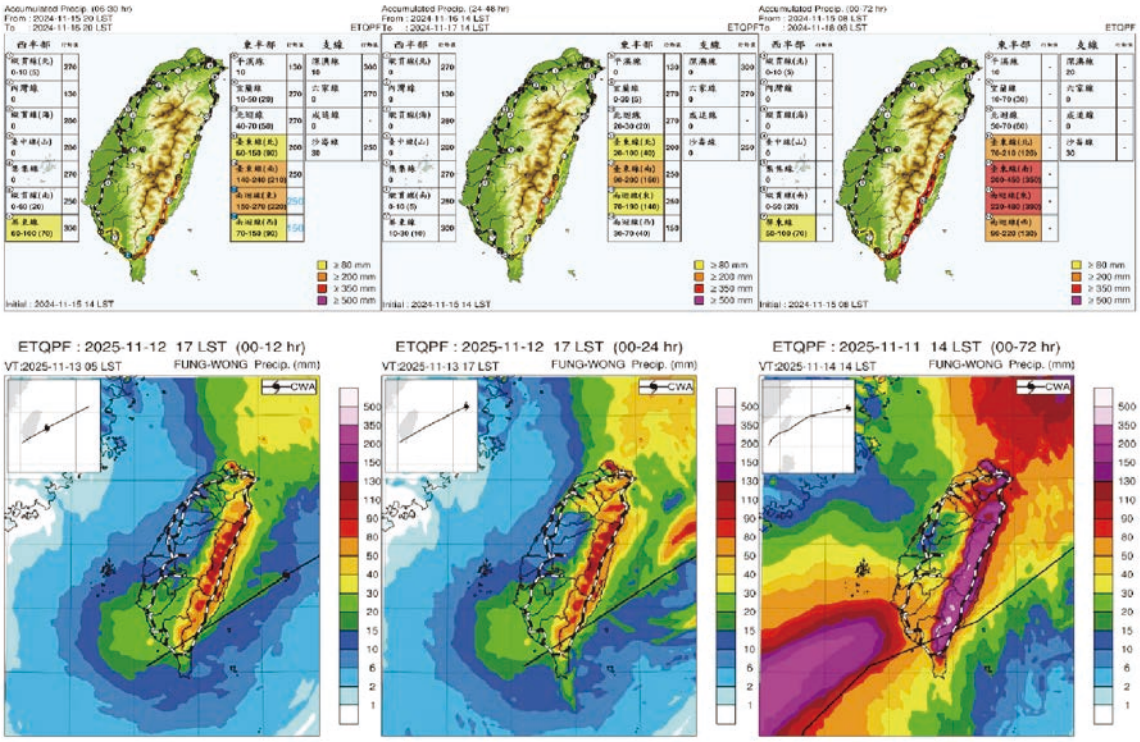

圖 9　上圖為鐵道沿線上的日累積雨量警示，下圖為數值模式雨量預報。

結語

臺鐵公司與中央氣象署基於資源共享與防災合作理念，已於 2025 年簽署合作備忘錄，持續深化鐵道氣象監測與防災應用合作，以提升鐵路系統對地震、颱風、豪雨、強風及其他極端天氣事件之監測與應變能力。

隨著極端天氣事件發生頻率增加，未來雙方將持續推動高解析度監測、即時化預警與 AI 輔助分析技術之應用，逐步建構智慧化鐵道氣象防災服務體系。透過氣象監測、防災資訊整合、即時通報及決策支援機制，可有效提升鐵路營運安全、災害應變效率與整體運輸韌性，確保全島交通系統穩定運作。