

氣象單位降雨預報資料整合與供應

劉承翰 鄭安孺 方裕仁

多采科技有限公司

摘要

水利署為經濟部災害緊急應變小組之水災防救幕僚機關，颱風期間需負責執行「蒐集氣象、水文、蓄水庫現況與水災災情等資訊，經分析研判後適時陳報經濟部災害緊急應變小組，並發布水情通報與洪水預警報」。基於防洪預警與應變作業需要，水利署防災中心致力於建立各氣象單位降雨預報產品接收管道，架設降雨資料管理伺服器，自動化進行降雨預報產品接收與解析，並提供網頁檔案下載（Web Page）和網路服務（Web Service）兩種方式，供水利署各河川局及其他附屬防災單位擷取降雨預報資訊，進行水情預警研判，如洪水預報或淹水預警等，以作為防災應變措施之參考。

各氣象單位所提供的降雨預報產品其學理背景、檔案型態、檔案格式、網格解析度與預報範圍等資訊均不同，為了易於降雨資料的維護、管理及應用，降雨資料管理伺服器對於所納入的降雨預報產品進行資訊統整，主要是對解析後的降雨預報資訊，統一擷取臺灣地區的預報資料，規劃一致性之檔案儲存與命名方式，令不同的降雨預報產品有統一的輸出介面以及相同的資料格式，讓使用者可快速切換使用不同降雨預報產品作為其水理模式的輸入條件，並且可以評估各降雨預報產品的適用性與預報準確度。

各降雨預報產品中，以 QPESUMS 之 0.0125 度降雨網格有最高的解析度，因此資料處理是以 QPESUMS 降雨網格為基準，將各氣象單位降雨預報產品的網格點分別對應至 QPESUMS 的降雨網格點，依網格對應關係輸出各降雨產品在 QPESUMS 網格點上的預報資訊，如此使用者在分析應用時，只需依據 QPESUMS 網格點與其目標區域的對應關係，即可計算得到不同降雨預報產品在其目標區域的平均雨量時間序列。

水利防災需要的是逐時的雨量預報資訊，但氣象局官方降雨預報是提供每 6 小時一筆、解析度為 2.5 公里的網格累積降雨量，資料處理方式是逐網格將官方預報產品的累積雨量與同時段 WRF-WO 降雨預報產品的降累積雨量比對，依比例調整 WRF-WO 逐時預報雨量後輸出，亦即相信 WRF-WO 模式的預報趨勢，但在量質上則相信官方降雨預報結果。目前水利署各河川局及其他附屬防災單位所採用的降雨預報資訊，1-3 小時預報主要是依 QPESUMS，4-12 小時預報以前述修正後的官方降雨預報產品為主，並以 ETQPF、STMAS-WRF、以及其他產品例如 WEPS-PM 等為輔。系統經過兩年的運作測試，證實資料供應穩定正常，為水利防災應用提供極大的助益。

一、前言

近年全球氣候變遷跡象日益顯著，台灣地區降雨型態亦趨極端，於時空分布上均有集中趨勢，如降雨易集中於局部地區，或降雨時間集中於數小時內，使得洪水災害發生之可能性增加。水利署防災中心為落實防洪減災的任務，颱風期間需負責執行「蒐集氣象、水文、蓄水庫現況與水災災情等資訊，其目的是協助防災人員，掌握「颱風動向」、「降雨趨勢」以及可能的「洪峰發生時間」，進而得以研擬水庫運轉、水門與抽水站操作、抽水機調度等防洪減災策略、措施，以及人力安排與支援之參考，並對洪氾淹水潛勢地區發布水情通報與洪水預警報」，期望能在水患發生前，完成撤離民眾等應變措施，降低洪水災害的生命損失。

近年來中央氣象局以數值天氣預報模式以及統計為基礎，陸續研發各種降雨預報產品，可針對不同大氣環境共伴或水汽等條件作其降雨預報，因此，若能在颱風豪雨來臨前，蒐集彙整氣象單位所提供之不同

降雨預報資訊研判分析，於防汛作業上，將為防災人員帶來更多源資訊，增加決策信心。

由於氣象單位所提供的降雨預報產品其學理背景、檔案型態、檔案格式、網格解析度與預報範圍等資訊均不同，如何建立各氣象單位降雨預報產品接收管道，並透過完整標準作業程序與其整合將資料供應予下游附屬防災單位應用，是未來防災工作整合的重要一環。

二、降雨預報產品背景

目前水利署整合降雨預報產品包含：1.劇烈天氣監測系統 QPESUMS 定量降雨觀測與預報、2.WRF 作業區域模式、3.ETQPF 系集颱風定量降雨預報、4. STMAS-WRF 降雨預報、5. WEPS-PM 降雨預報、6. QPF 定量降水預報等六種降雨預報產品(經濟部水利署, 2013, 2014, 2015)，各產品來源均為中央氣象局。以下依序說明各降雨預報產品背景：

1. 劇烈天氣監測系統 (QPESUMS)

劇烈天氣監測系統 (Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensors, 簡稱 QPESUMS) 為由中央氣象局、經濟部水利署、農委會水土保持局及美國劇烈風暴實驗室 (National Severe Storm Laboratory) 所共同開發建置, 整合雷達、衛星、雨量與閃電等觀測資料, 並結合地理資訊, 提供劇烈天氣即時監測資訊、定量降水估計以及短時定量降水預報等產品之平台 (Zhang et al., 2011)。

雷達定量估計降雨的方式是利用資料品管處理後之最低仰角回波, 透過回波與降雨率關係進行估計得到水平網格解析度為 0.0125° 的網格降雨分布, 為得到更接近地面觀測資料的降雨, 使用雨量站即時觀測資料進行降雨量修正。方法是利用雨量站與其上雷達估計降雨網格點上差值, 經過客觀分析, 將各網格點上的估計差值加上原本的雷達降雨估計量, 得到經雨量站修正後雷達降雨估計產品。

2. WRF

WRF (Weather Research and Forecasting model) 是美國集合美國學術界和作業單位人力, 為大氣研究以及作業化預報目的, 所發展之中尺度數值模式。WRF 模式的特點是提供 ARW (Advanced Research WRF) 以及 NMM (Nonhydrostatic Mesoscale Model) 兩組動力核心, 一個資料同化系統, 以及便於平行演算以及系統延伸的軟體架構 (資料來源: <http://wrf-model.org/index.php>)。中央氣象局最先於 2002 年開始試用 ARW-WRF 模式, 後於 2005 年與美國 NCAR (National Center for Atmospheric Research) 合作, 正式引進 WRF 3DVAR 客觀分析和 WRF 模式, 歷經 2 年之測試、改進, 並使其融合於中央氣象局數值天氣預報模式作業環境, 建構一完整之中尺度數值天氣資料同化系統。WRF 資料同化系統於 2007 年正式上線作業, 稱為 CWBWRWF (葉等, 民國 100 年)。中央氣象局對外提供的 CWBWRWF 降水預報共有 W0~W3 四組產品, 其中, 前三組解析度為 5 公里, W3 解析度為 4 公里。2015 年 5 月, 氣象局已將 CWBWRWF 模式解析度提升至 3 公里, 但相關產品目前尚未釋出。

3. WEPS-PM

WEPS-PM 系集天氣研究與預報預測系統-機率配對降雨預報 (WRF Ensemble Prediction System - Probability-Matched Rainfall Forecast) 產品是將 WRF 系集降雨預報產品重組後所得到的一組最佳降雨預報產品。系集 WRF 預報以定率分析為控制模擬 (control run), 於三維變分加入隨機擾動、全球模式加入邊界擾動, 以及於 WRF 模式中給予不同的參數化物理條件, 而得到 20 組不同的預報結果。系集預報產品的降雨分布可能各不相同, 在其中有可能有某幾組預報產品可以近似的預測強降雨中心發生時間和雨量, 但是其預測位置則不一定正確。根據氣象局的經驗, 若將所有系集產品的降雨資料逐時、逐網格取平均後, 可以得到一組在時、空上接近於實際降雨分布的預報資訊, 但是在定量的估計上, 平均預報則會傾向於低估高強度降雨, 而高估低強度降雨, 因此需要調整降雨

估計值。調整的方法, 是於各預報時間點, 首先將所有網格點的平均降雨由大到小排序、編號, 然後將同一時間點的所有系集產品的所有網格點的降雨預報資料也由大到小排序, 假設系集系統中共有 n 個模式, 則將排序後的雨量每 n 個值分為一組, 然後取各組中的中值依網格排編號順序將雨量回填到網格上, 如此得到在定性上以及在定量上均較單一模式為佳的預報產品, 稱之為 WEPS-PM 降雨預報。

4. ETQPF

系集模式颱風定量降水預報法 (Ensemble Typhoon Quantitative Precipitation Forecast, 簡稱 ETQPF) 是使用 WRF 系集模式的雨量預報結果為基準, 搭配一組颱風路徑預報以及颱風相關氣象參數作為篩選條件, 找出模式颱風中心位置在預報路徑附近, 同時模式颱風降水結構與真實颱風相近的個案, 重新組合成一組颱風降雨預報。ETQPF 保留了氣候法中颱風環流與地形降水高度相關的優點, 並使用系集模式資料取代歷史個案, 解決氣候法中個案不足的問題。此外, 因系集模式為準即時預報, 比歷史個案更能掌握即時綜觀天氣條件, 所以此法比一般氣候法更有機會可以處理像共伴效應等颱風與綜觀環境交互作用所產生的降水。

5. STMAS-WRF

STMAS-WRF 降雨預報為應用 WRF (Weather Research Forecast) 天氣研究與預報模式以空間與時間多重尺度分析系統 STMAS (Space and Time Multiscale Analysis System) 之分析場為初始條件, 進行熱啟動演算所模擬得之降雨預報產品。STMAS 系統為新一代的天氣資料同化系統, 其可以整合包括傳統的地面與高空觀測及非傳統資料的飛機、雷達、衛星觀測資料等各項不同尺度觀測資料, 透過連續變分的方式, 在連續多重尺度的網格上, 對資料進行客觀同化分析: 依據觀測網格的天氣特徵, 利用正弦 (SIN) 以及餘弦 (COS) 為基底函數來近似觀測資料函數的觀念, 先將觀測資料分成不同波長, 由長波到短波依序求解, 同時在針對不同的波長作逐次變分時, 透過約束條件, 將不同尺度下的天氣特徵保留下來 (王等, 2015)。STMAS-WRF 將 STMAS 系統的分析場導入 WRF 模式作為模式的初始條件, 由於 STMAS 系統的雲變分技術尚在發展當中, 因此目前 STMAS-WRF 的雲模式是借用 LAPS (Local Analysis and Prediction System) 局部分分析和預報系統的雲分析成果做為 WRF 雲模式的參數化資訊。

6. QPF 定量降水預報

定量降水預報 (Quantitative Precipitation Forecast, 簡稱 QPF) 係中央氣象局於 2005 年 12 月 31 日正式發布之官方預報降雨產品, 近年氣象局定量降水預報作業平台已整合歐洲作業中心 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)、美國國家環境預報中心 (National Centers for Environmental Prediction)、日本氣象廳 (Japan Meteorological Agency)、CWB 區域系集預報 (CWB WEPS) 等系統, 並以此巨量系集資料庫配合不同延時策略及統計

方法產生定量降水預報，搭配圖形化預報編輯系統（Graphic Forecast Editor）產製預報降雨格點圖形及文字產品，供預報員產生各種"主觀"的定量降水預報。

上述各降雨預報產品背景資料詳如表 1，由表 1 可知，各降雨產品提供時程，除了 ETQPF 降雨資料為颱風期間提供，其餘降雨產品提供時程則為每日；預報時間長度以 QPESUMS 最短，僅 3 小時；降雨網格解析度以 QPESUMS 之 0.0125 度有最高之解析度，各降雨產品降雨網格分布如圖 1 所示。

表1 水利署現有降雨預報產品背景資料一覽表

名稱規格	QPESUMS	CWBWRF	ETQPF	STMAS-WRF	WEPS-PM	QPF
資料提供時程	每日	每日	颱風期間	每日	每日	每日
預報頻率	每 10 分鐘	每 6 小時	每 3 小時	每 3 小時	每 6 小時	每約 6 小時
預報時間長度	3 小時	72~84 小時	72 小時	12 小時	72 小時	24 小時
預報資料內容	降雨強度	逐時累積雨量	逐 3 小時累積雨量	逐時累積雨量	降雨強度	逐 6 小時累積雨量
模式成員數	1	4	3	1	1	1
檔案型態	Binary	GRIB1	Binary	Binary	GRIB1	Binary
解析度	0.0125°	5 公里	0.04°	3 公里	5 公里	2.5 公里
檔案取得方式	網路服務	FTP	FTP	網路服務	FTP	網路服務
資料提供單位	衛星中心	預報中心	資訊中心	衛星中心	資訊中心	預報中心

三、資料接收與解析

氣象局各種降雨預報產品供應單位不盡相同，其中 QPESUMS 和 STMAS-WRF 產製單位為衛星中心；ETQPF 和 WEPS-PM 為資訊中心；WRF 和 QPF 為預報中心，為讓降雨預報資料能即時提供水利署防災應用，資料供應方式也有所不同，中央氣象局除提供一台專責伺服器點對點將資料傳輸至水利署，亦提供 FTP 檔案傳輸直接至水利署降雨伺服器，由水利署降雨伺服器進行資料解析及供應防災單位下載應用，資料供應流程如圖 2 所示。

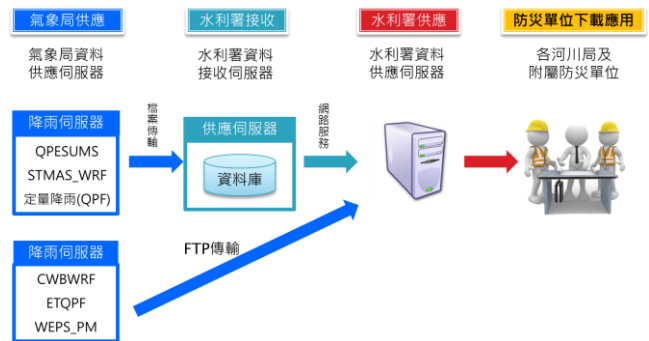


圖2 各降雨預報產品來源與資料取得流程圖

氣象局各單位所提供的降雨預報產品其學理背景、檔案型態、檔案格式、網格解析度與預報範圍等資訊均不同，水利署降雨伺服器中，分別依降雨產品特性獨自建立預報降雨資料接收背景程式，負責定時透過水利署 Web Service 或氣象局 FTP 資料伺服器下載氣象局各單位所提供的降雨預報產品、解碼、並依指定格式將資料輸出、壓縮與儲存。資料接收時間以各降雨預報產品之預報時間頻率為主，以 CWBWRF 為例，每日進行四次即時模擬台灣地區的天氣狀況，提供未來 72~84 小時天氣預報。模式啟動演算時間分別為本地時間 02、08、14 及 20 時（格林威治時間 18、00、08、12 時），演算加上資料處理約需 5~6 小時，因此以 08 時的預報為例，預計最快在 14 時可以得到預報資訊。

為了易於各種降雨資料的維護、管理及應用，降雨資料管理伺服器對於所納入的降雨預報產品進行資訊統整，主要是對解析後的降雨預報資訊，統一擷取臺灣地區的預報資料，規劃一致性之檔案儲存與命名方式，令不同的降雨預報產品有統一的輸出介面以及相同的資料格式，讓使用者可快速切換使用不同降雨預報產品作為其水理模式的輸入條件，並且可以評估各降雨預報產品的適用性與預報準確度。

各降雨預報產品中，以 QPESUMS 之 0.0125 度降雨網格有最高的解析度，因此資料處理是以 QPESUMS 降雨網格為基準，將各氣象單位降雨預報產品的網格點分別對應至 QPESUMS 的降雨網格點，依網格對應關係輸出各降雨產品在 QPESUMS 網格點上的預報資訊，如此使用者在分析應用時，只需依據 QPESUMS 網格點與其目標區域的對應關係，即可計算得到不同降雨預報產品在其目標區域的平均雨量時

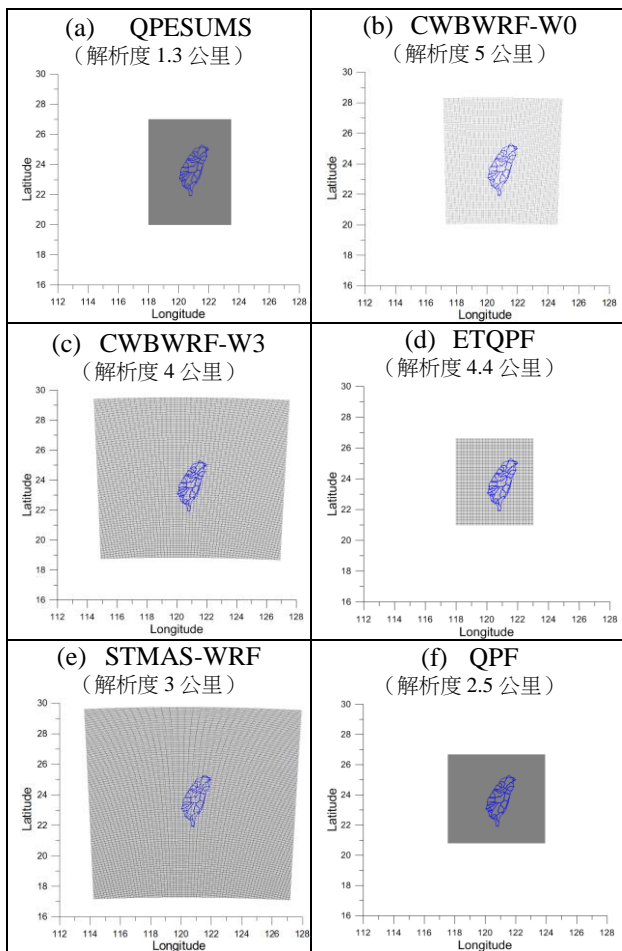


圖1 各降雨預報產品降雨網格分布圖

間序列。網格降雨預報資料的處理原則說明如下：

1. 事前準備工作

首先將各降雨產品依照資料的輸出順序，將網格逐一編號，接著分析 QPESUMS 網格點，找出其中中心坐標是落在臺灣地區範圍內者，共計有 20367 個網格點，如圖 3 所示，由於水利署所注重的是陸地降雨所可能造成的水患災情，為減少傳輸量，因此刪除台灣本島外資料，然後分析各降雨預報產品網格點與這 20367 個 QPESUMS 內陸網格點的對應關係，做法是針對各降雨預報產品，逐一分析 QPESUMS 內陸網格點中心坐標是落在降雨預報產品那個網格點範圍內，紀錄 QPESUMS 內陸網格點與各降雨產品網格點編號的對應關係。

2. 解析降雨資料程序

將降雨預報資料轉成時雨量，然後將降雨資料依照 QPESUMS 網格點與降雨產品網格點的對應關係，輸出 QPESUMS 網格點的降雨資料。資料輸出的方式是一個預報領先時間一個檔案，目的是為了讓使用者可以彈性直接擷取指定時段的降雨預報資料。

3. 檔案命名方式

grid_rain_0000.ttt，其中，”grid”代表其為網格資料；ttt 代表領先時間，ttt = 001, 002,....。

4. 檔案格式：

參考荷蘭 Utrecht 大學地理科學系 (Faculty of Geographical Sciences) 所制定儲存 GIS 資料的 PCRaster 格式，如圖 4 所示。圖 4 是預報降雨分布輸出檔案範例，檔案內容中為 2016 年 6 月 10 日 08 時 STMAS-WRF 未來第 12 小時的降雨預報，即 10 日 20 時的預報結果。

5. 檔案儲存架構

檔案的放置是模式代碼、以及演算時間 (本地時間)，分資料匣儲存。降雨資料伺服器端降雨資料目錄架構，如圖 5 所示。所有的檔案輸出後會壓縮成 ZIP 檔，附屬防災單位可透過網頁檔案下載 (Web Page) 預報資料 ZIP 檔，如圖 5 所示。

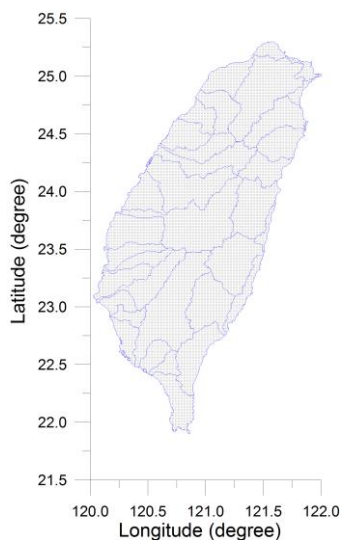
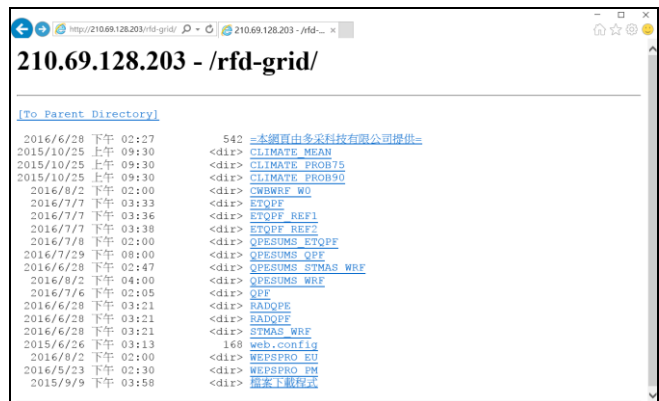


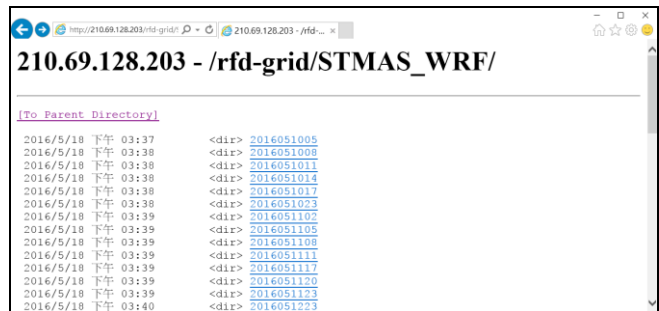
圖 3 臺灣地區範圍內之 QPESUMS 網格點

檔案範例	說明
<pre> 1 氣象局STMAS_WRF模式降雨預報：2016061008預報2016061020 解析度(經緯度)： 0.0125 2 3 4 Longitude 4 Latitude 5 intensity(mm/hr) 6 121.5125 25.2875 0.0 7 121.5375 25.2875 0.0 8 121.5500 25.2875 0.0 9 121.5625 25.2875 0.0 10 121.5750 25.2875 0.0 11 121.5875 25.2875 0.0 12 121.5000 25.2750 0.0 13 121.5125 25.2750 0.0 14 121.5250 25.2750 0.0 15 121.5375 25.2750 0.0 16 121.5500 25.2750 0.0 </pre>	<p>第 1 列：檔案內容說明，含模式名稱，作業時間、預報時間，以及網格解析度</p> <p>第 2 列：說明以下資料欄數</p> <p>第 3 列：說明以下第 1 欄為經度</p> <p>第 4 列：說明以下第 2 欄為緯度</p> <p>第 5 列：說明以下第 3 欄為降雨強度 (mm/hr)</p> <p>第 6 列以後：各網格點資料</p>

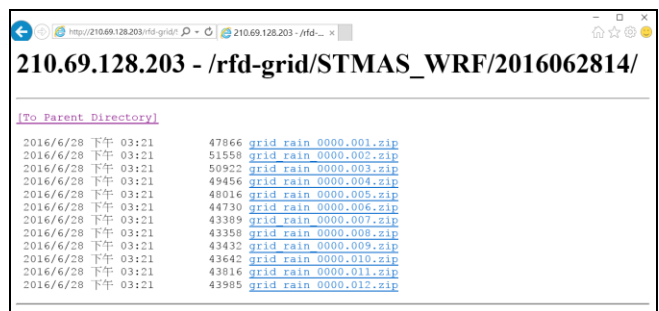
圖4 2016年6月10日08時STMAS-WRF系統預報10日20時全臺降雨分布輸出檔案範例



第一層：以模式代碼分匣



第二層：以時間分匣



第三層：Zip檔案

圖5 網格降雨預報資料下載網頁示意圖

四、資料應用與結論

降雨預報產品的準確度可能因個案而不同，水利局為資料使用及供應者，而非資料開發者，因此在此不評估各種降雨預報產品表現的優劣，只呈現資料解析的成果，圖 6 所示為尼伯特颱風 2016 年 07 月 08 日 08 時 CBWRF·ETQPF·STMAS-WRF·WEPS-PM 及 QPF 時雨量預報與 QPESUMS 觀測結果比較。

水利防災需要的是逐時的雨量預報資訊，但氣象局官方降雨預報是提供每 6 小時一筆、解析度為 2.5 公里的網格累積降雨量，資料處理方式是逐網格將官方預報產品的累積雨量與同時段 WRF-WO 降雨預報產品的降累積雨量比對，依比例調整 WRF-WO 逐時預報雨量後輸出，亦即相信 WRF-WO 模式的預報趨勢，但在量質上則相信官方降雨預報結果。目前水利局各河川局及其他附屬防災單位所採用的降雨預報資訊，1-3 小時預報主要是依 QPESUMS，4-12 小時預報以前述修正後的官方降雨預報產品為主，並以 ETQPF、STMAS-WRF、以及其他產品例如 WEPS-PM 等為輔。系統經過兩年的運作測試，證實資料供應穩定正常，為水利防災應用提供極大的助益。

五、參考文獻

1. 葉天降、馮欽賜、柳再明、陳得松、黃康寧、陳雯美、汪鳳如、洪景山，2012：中央氣象局數值天氣預報作業系統（二）預報模式概況，氣象學報，48卷，4期，69-95。
2. 經濟部水利局，系集降雨預報應用於洪水預報之研究，2013。
3. 經濟部水利局，系集洪水預報系統資訊整合及加值應用，2014。
4. 經濟部水利局，系集洪水預報決策支援服務之研發應用，2015。
5. 荷蘭 Utrecht 大學地理科學系（Faculty of Geographical Sciences）所制定儲存 GIS 資料的 PCRaster 格式說明（<http://pcraster.geo.uu.nl/documentation/pcrman/x761.htm>）。
6. Michalakes, J., S.-H. Chen, J. Dudhia, L. Hart, J. Klemp, J. Middlecoff, W. Skamarock 2001: "Development of a next generation regional weather research and forecast model" in developments in teracomputing. Proceedings of the Ninth ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology. Eds. Walter Zwiefelhofer and Norbert Kreitz. World Scientific, Singapore. 269-276.
7. Zhang, J., K. Howard, C. Langston, S. Vasiloff, B. Kaney, A. Arthur, S. V. Cooten, K. Kelleher, D. Kitzmiller, F. Ding, D.-J. Seo, E. Wells and C. Dempsey, 2011: National mosaic and multi-sensor QPE (NMQ) system. Bull. Amer. Meteor. Soc., 92, 1321 - 1338.

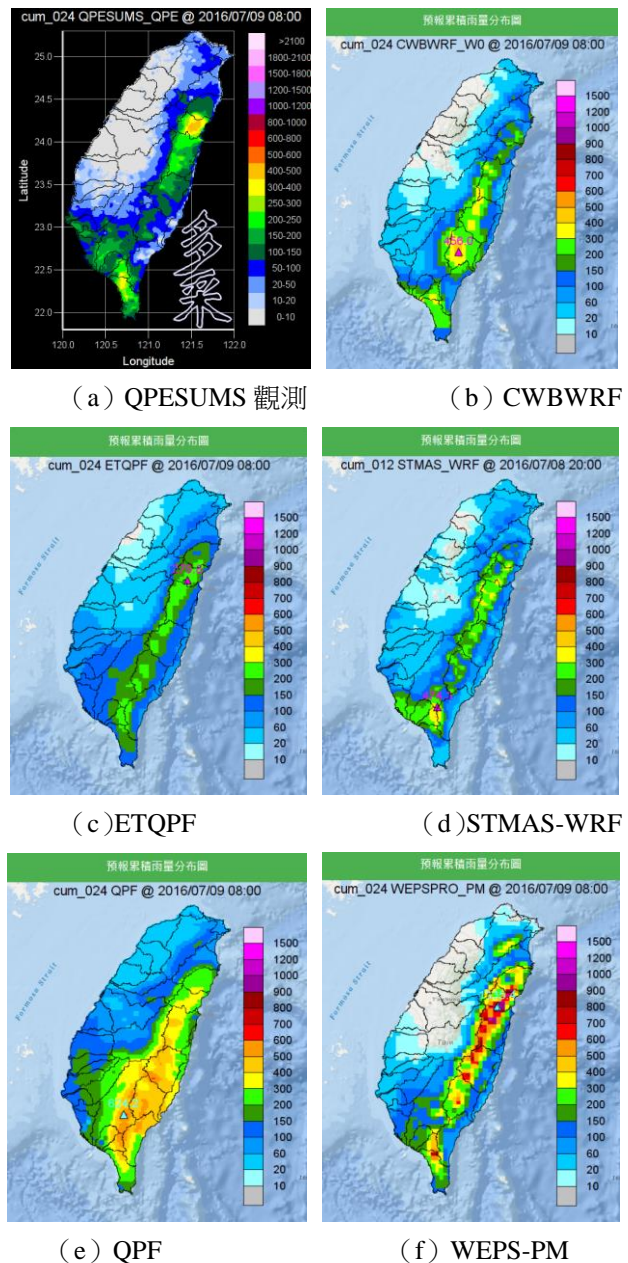


圖 6 各降雨預報產品於尼伯特颱風 2016 年 07 月 08 日 08 時預報未來 24 小時成果展示