

莫拉克颱風後數值模式定量降水預報 之發展與防災應用

洪景山

中央氣象局氣象資訊中心

中央氣象局區域數值天氣預報系統自1989年正式上線作業，2004年起開始評估使用WRF（Weather Research and Forecasting）社群模式作為新一代區域作業模式的可行性，並於2017年底正式上線作業，並稱之為CWB WRF。

2009年莫拉克颱風給臺灣帶來巨大的災情，檢視CWB WRF在莫拉克颱風期間的數值模式預報能力，主要結論為：

- 單一模式預報有很大的改善空間
- 應建立系集預報系統，量化模式預報的不確定性，並開發系集預報加值產品
- 需加強模式研發與下游使用者，尤其是防災應用單位的鍊結，強化模式應用的論述能力以推廣模式的跨域應用

為精進模式預報能力，本局數值天氣預報研發團隊與美國國家大氣研究中心（NCAR）通力合作，結合WRF模式社群研究成果，引進NCAR先進的模式技術，以及本局本地研發能量的投入，近年來本局區域數值模式預報準確度逐年均以約5%的幅度持續進步；模式颱風路徑預報準確度近3年來和歐洲氣象中心、美國等先進國家並駕齊驅；而單一模式颱風路徑預報準確度和本局官方颱風路徑預報相近，此一事實也反映出本局區域預報模式深受局內預報作業之信任與依賴。然而，定量降水預報（Quantitative Precipitation Forecast，QPF）仍是數值天氣預報最大的挑戰之一；大氣中水的相位變化及其與大氣熱力、動力和其他物理過程的交互作用，再加上觀測、模式解析度以及物理參數法的不確定性等，都使得數值模式的定量降水預報充滿不確定性。然而，不幸的是，大氣降水卻是影響我們最重要的天氣因子之一，從民生用水、農作物灌溉、水資源管理與應用，乃至於坍方、土石流、淹水等災害，都和大氣的降水過程有直接的

關連，也因此，提供精準的定量降水預報市政府與社會各界對本局最重要的期待之一。

本局原規劃逐步發展系集預報系統，並預計於2014年上線作業。但在莫拉克颱風之後，整個預報作業與政府防災操作面臨極大的檢討與挑戰，而強調風險管理的預報與防災操作觀念因應而生。為此，本局加強系集預報系統之研發，建立了一套以WRF區域模式為基礎之系集預報系統（WRF Ensemble Prediction System，WEPS，李和洪2011，2014，Li et al. 2019），並提前於2011正式上線作業。本局系集預報系統每天進行4次預報，每次預報共20組模式成員，提供未來4天的預報。系集預報系統之作業型態有別於過往單一模式的作業，無論就科學的研發、預報作業之控管、硬體資源之妥善應用等都需要各部門通力協作方能竟其功

再者，本局進一步利用上述系集預報系統產製的預報資料，針對侵臺颱風發展「系集颱風定量降水預報(ETQPF)」和「系集颱風定量風速預報(ETWIND)」技術與作業之資訊系統。透由資訊系統的協助，整合路徑預報的不確定性，提供颱風侵臺期間臺灣地區的網格定量降水預報與定量風速預報產品。該系統具有人性化的使用介面，以及方便安裝的特性，並可以介接水文或淹水模式，提供不同颱風侵臺情境下的災害風險資訊，並做為防災決策的參考，以達到防災、減災的最終目的。ETQPF/ETWIND不僅提供局內與防災各界颱風侵臺期間的定量降水與定量風速預報產品，此一研發成果在國際研討會或其他交流場合也深受美國、歐洲、日本、中國大陸和東南亞各國之重視，對於提升本局數值天氣預報產品在國際上的能見度也深受肯定。之後進一步發展機率降水與路徑預報、機率擬合預報產品、iTEEN（Integration on Taiwan Extended Ensemble Nowcasting，陳新淦，2016）、混合式定量降水預報產品（BQPF）以及和颱洪中心合作發展群集預報等等。

上述系集預報相關產品對劇烈天氣的定量降水預報具有相當的成效，除提供本局的颱風定量降水預報作業應用之外，更致力於推廣相關產品于各防災單位作為防災減災的決策參考，使用者包括經濟部水利署、經濟部水利署水利防災中心、農委會、農委會水保局、國家災害防救科技中心、營建署、臺北市災害應變中心、台北市翡翠水庫、新北市政府、台南市政府、台灣颱風洪水研究中心等。於此同時，也針對下游防災單位及其協力機構（包括臺灣大學、成功

大學、淡江大學、海洋大學、北科大和相關研究機構、資訊廠商等) 善盡溝通之力，協助其正確使用客觀的預報產品於各防災領域之應用，以期發揮最大之功效。

總體來說，過去中央氣象局致力於提升單一預報的準確度，但是基於諸多因素，單一預報的準確度必有其極限，也因此有必要進一步針對預報的不確定性引進風險的控管機制。系集預報系統的發展正好貼切地回應了預報作業與防災操作上對「不確定性」與「風險控管」的需求。而系集預報產品的研發除了提供預報的不確定性資訊之外，同時也大幅提昇定量降水預報的準確度。在整個數值天氣預報團隊的努力與推廣之下，系集預報的應用翻轉了定量降水預報的傳統框架，而使得臺灣的定量降水預報作業進入了一個全新的領域。

莫拉克颱風是本局區域數值天氣預報發展的重要轉折點。來自作業單位的殷殷期盼以及各級政府單位的強大需求，本局運用有限的資源，積極回應政府與社會各階層的需求，在數值天氣預報的研究、發展與應用推廣取得相當的進展。然而，受到氣候變遷的影響，致災劇烈降水事件更頻繁發生，經由累積大量的雨量，或是短時間內產生大量的降水而導致嚴重的災情，並影響人員生命財產安全、經濟發展及交通等。特別是短延時、強降水系統具有劇烈的降水過程以及系統快速演變的特性，同時又深受複雜地形的影響，因此其可預報度相當有限。宥於有限的可預報度，為了提升對短延時、強降水天氣系統的預報能力，整合當下衛星或雷達等各式觀測資料，以建構快速更新的即時定量降水預報，是提升災害預警能力的重要作為之一。

本局發展以三維變分為基礎的對流尺度資料同化系統已於2016年底正式上線作業，包括建立以資料同化需求為基礎之雷達資料檢定和前處理程序，主要以同化雷達回波與徑向風為主，並介接2公里解析度的預報模式，提供逐時更新的定量降水預報資訊，以供預報與防災參考之用。為更進一步強化對短延時、強降水系統的預報和預警能力，與颱風中心和中央大學合作發展之LETKF系集雷達資料同化系統於2017年上線作業，現正研發混合式三維變分-系集

(3DEnVAR) 雷達資料同化，更新頻率預計更新為30分鐘，水平解析度提升為1公里，同時研發同化雙偏極化雷達觀測變數的技術，以充分發揮臺灣新一代雷達觀測網的優勢。而全面同化台灣地區的觀測系統，包括地基GPS觀測、地面觀測、剖風儀觀測、福衛七號掩星觀測等，以期更有效提升模式的預報能力。

於此同時，本局建立在LETKF系集資料同化系統基礎，進一步發展系集即時預報系統，期能掌握0-12小時之預報不確定性，以完善區域模式預報系統從即時到5天預報之無縫隙預報服務。

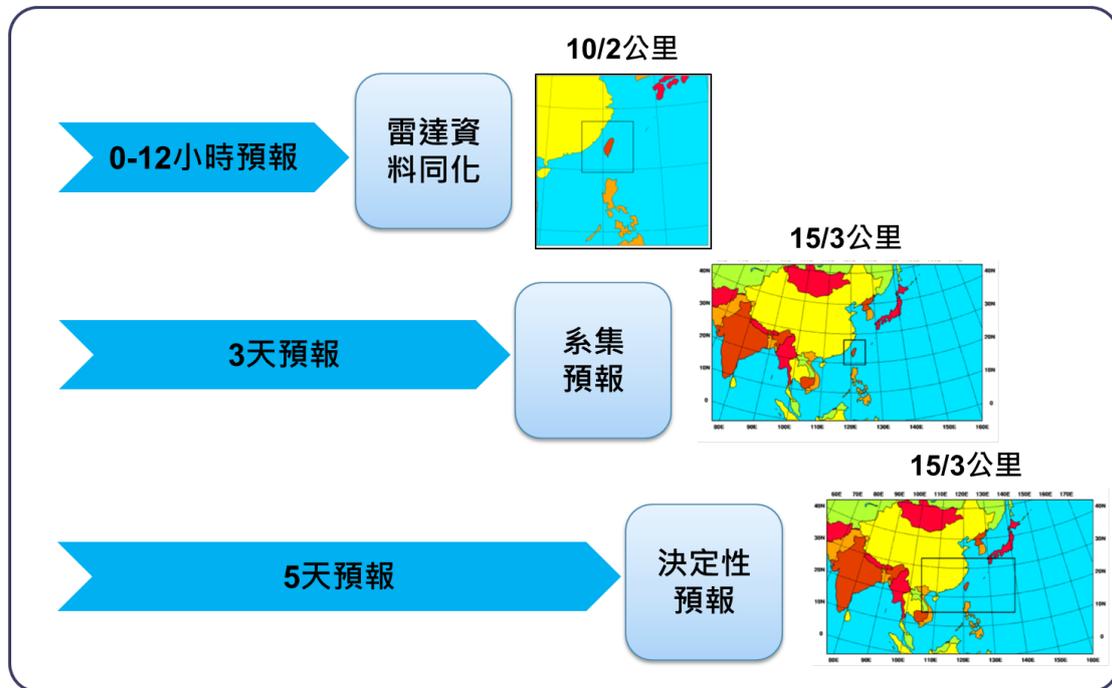


圖1：本局3種區域模式預報系統之積分範圍。

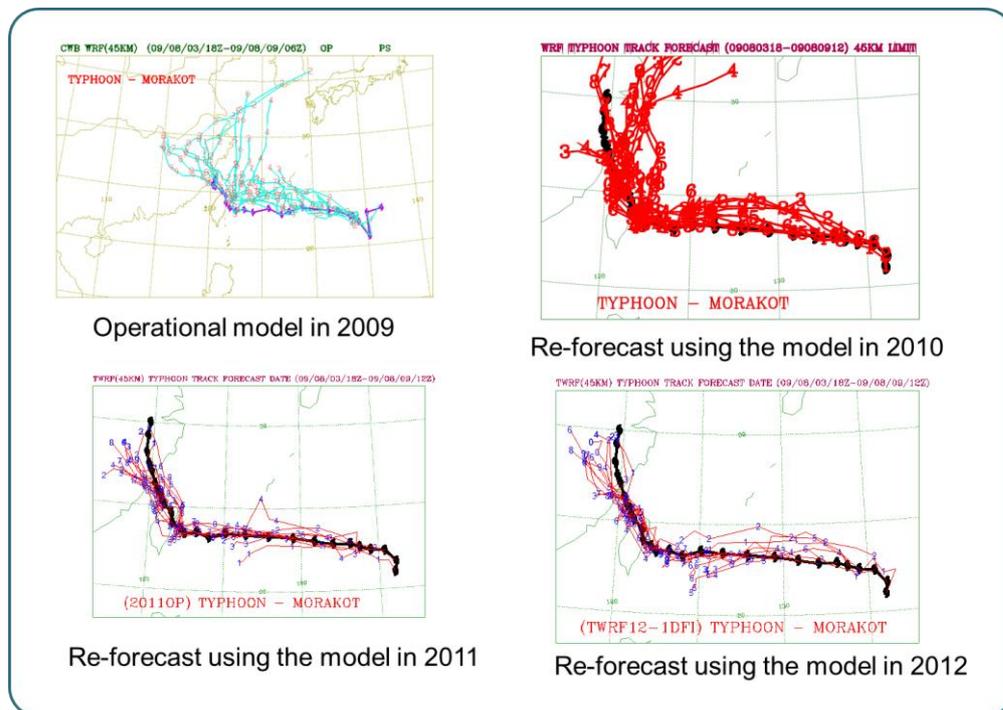


圖2：使用2009至2012年CWB WRF (TWRP) 對莫拉克颱風路徑重預報

(re-forecast) 的預報結果。

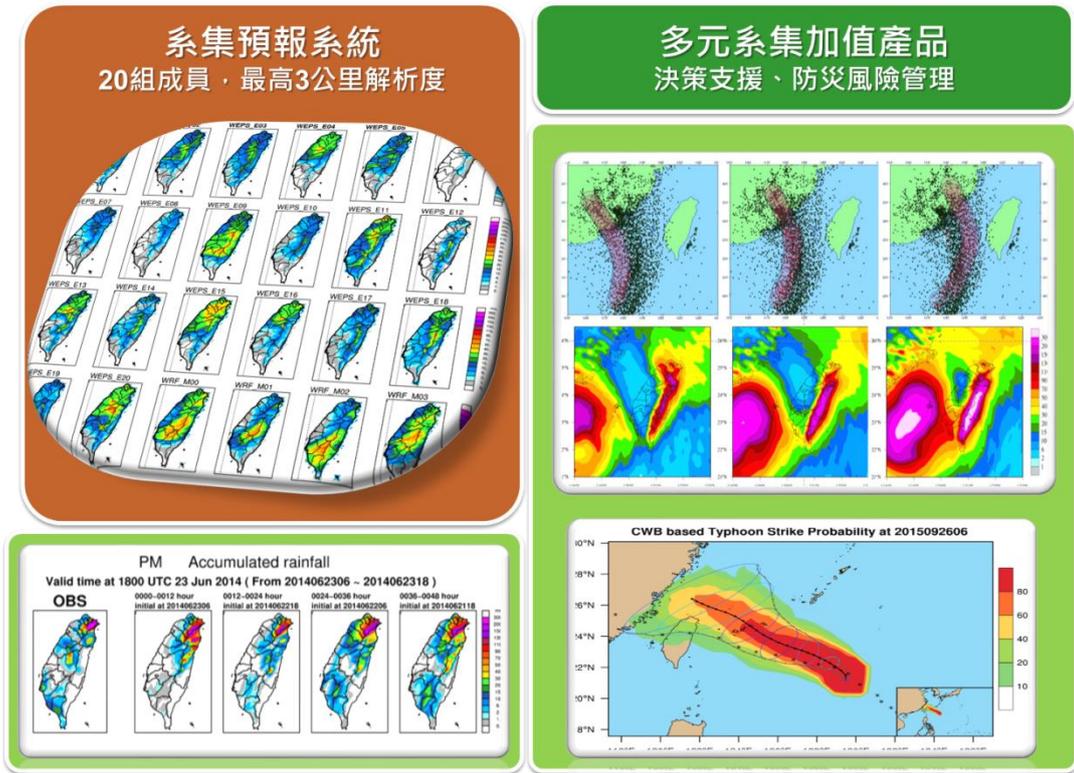


圖 3：系集預報產品範例。

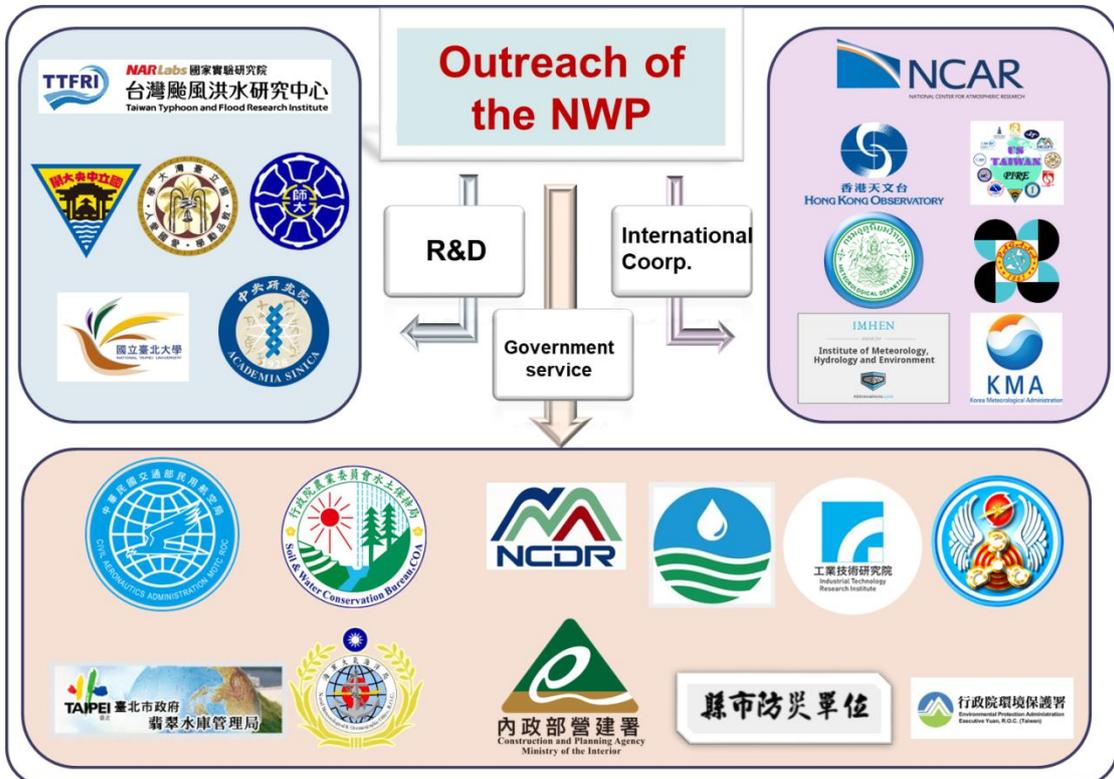


圖 4：區域數值預報模式產品之推廣應用。

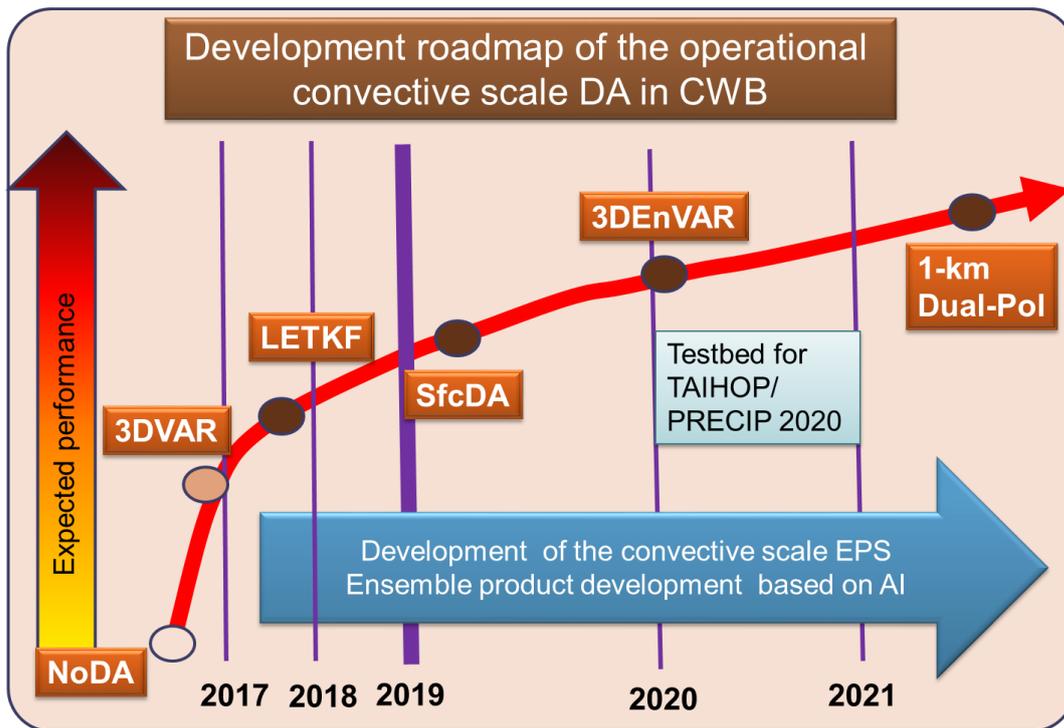


圖 5：本局對流尺度資料同化系統之現況與發展規劃。