

中央氣象局短時天氣分析與預報系統發展概況

丘台光 陳嘉榮

中央氣象局氣象衛星中心

摘要

所謂短時天氣是指未來 0-12 小時發生的天氣變化，又細分為即時(0-2 小時)及極短時(2-12 小時)天氣，有關大雷雨、豪雨，濃霧、寒害、霜害、強風、龍捲風及焚風等劇烈天氣或突變天氣的現象均包含在內。目前本局於“氣象預報作業規範”手冊中，列有“突變天氣作業要點”，說明突變天氣之類別及定義，作業處理之職責劃分，及規範突變天氣之處理程序與應注意事項，然此要點僅為針對突變天氣處理作業流程中之特報發布及應變措施，而無提及對於劇烈及突變天氣現象發生時之監測分析乃至判斷決策過程之技術方法與工具。而由於工商發達，民眾生活水準提高，本局在現階段短時天氣預報中，所提供之降雨機率與定性天氣預報資訊，已無法滿足民眾於安排更細微精確的日常生活與交通旅遊時之需求，故短時天氣分析與預報系統之(簡稱本系統)建置，乃極為必要而迫切。本系統主要目的即為增進本局對一般導致局部劇烈或突變天氣發生之中小尺度天氣系統之即時監測、分析與預報的能力，提供定點或 5 公里*5 公里區域之即時氣象和短時氣象變化之資訊與定量降水估計和定量降水預報。此產品應用的範圍除包括日常生活、交通旅遊，亦為水資源管理、河川防洪與山坡地防救災所需。

短時天氣分析與預報系統包含劇烈天氣監測預報子系統及區域天氣分析預報子系統組成，分別與美國海洋大氣總署預報系統實驗室及國家劇烈風暴實驗室共同合作發展，分階段逐步完成，全程預定八年完成，本文乃介紹該系統建置發展的架構、組成、現在的進度以及未來發展的工作目標及項目，以提供國內學者專家討論，作為本局改進的參考。

一、前言

台灣地處亞熱帶季風氣候區，每年都會遭受颱風、豪雨、乾旱及寒潮等的侵襲而發生氣象災害。據中央氣象局統計，台灣地區近二十年來因氣象災害所造成的直接財物損失，平均每年高達新台幣一百七十億元以上，而間接的損失更是難以估計，對國計民生影響非常大。令人憂心的是，如此龐大的損失數字不但不會隨著國家經濟發展而降低，反而會隨之升高。民國八十九年造成台灣北部淹水的象神颱風；民國九十年潭美颱風在高雄淹水，桃芝颱風在台灣花蓮及中部山區豪雨帶來土石流與洪水，以及納莉颱風淹水重創台北縣市及台灣西部平原。除了工程方法外，減低氣象災害損失的方法，只有竭盡所能地掌握可能發生的氣象災變型態，並且儘早提出預防、減災與避難措施。根據世界氣象組織之評估指出，由準確的預報加上適當之防災避難措施，可以減少 10%至30%的氣象災害損失。建置一整合性作業化預報系統以：提昇本局對臺灣地區劇烈及

災害性天氣所伴隨之降雨量的預報能力。即時(0-2小時)天氣預報輔助系統以都卜勒雷達資料為主要依據，本局與美國劇烈風暴實驗室(National Severe Storm Laboratory; NSSL)合作共同開發適用於臺灣地區之「定量降雨估計及預警系統」，包括兩主要子系統：(1) 警報決策支援系統(Warning Decision Support System; WDSS)；(2)應用多重觀測工具之定量降雨估計與分類技術(Quantitative Precipitation Estimation-Segregation Using Multiple Sensors; QPE-SUMS)；極短時(3-12小時)天氣預報輔助系統則以高解析度數值預報模式產品為主要依據。本局與美國預報系統實驗室(Forecast Systems Laboratory, FSL)合作共同開發適用於臺灣地區之區域分析預報系統(Local Analysis and Prediction System; LAPS)。發展雷達及衛星資料之四維資料同化技術增進高解析度數值預報模式之預報準確度供極短時(3-12小時)「定量降雨估計及預警系統」之用。

二、短時天氣分析與預報系統在中央氣象局之建置

2001年5月NSSL在本局建置一套WDSS利用本局五分山都卜勒雷達資料供預報人員研判及追蹤風暴尺度系統的演化過程。2001年12月NSSL相關人員在本局衛星中心建置完成QPE-SUMS系統。從2002年2月起FSL與本局指派之科學家共同發展LAPS系統之核心技術—MM5模式熱啟動(hot-start)：將雷達回波的雨滴分布資料及衛星觀測的雲頂資料以變分法同化進入MM5模式之初始場以解決模式對雲雨區域預報的spin-up問題，提昇模式在0至12小時預報時間內對觀測時既存風暴系統的預報能力。對此三子系統的內容及功能簡述如下：

(一) 警報決策支援系統 (Warning Decision Support System; WDSS)

美國國家劇烈風暴實驗室(National Severe Storm Laboratory, NSSL)於1990年代初開始依據WSR-88D都卜勒雷達觀測資料，發展WDSS以測試其所發展的數種劇烈天氣偵測技術的實用性，希望能提高對災變天氣的準確性並提供及時的預警(Eilts, 1997)。後來又陸續將RUC模式的近風暴環境(near storm environment, NSE)資料場及閃電資料(以偵知對流旺盛區)加入WDSS。WDSS的子系統包括：

1. 即時資料輸入與資料發布系統

將WSR-88D雷達產品產生器(Radar Products Generator, RPG)之即時產品及雲對地閃電資

料或衛星資料隨時傳入電腦工作站處理。

2. 都卜勒雷達資料鍊之雷達應用技術系統

其中包括殘餘雜波編輯法(clutter-residue editing algorithm, CREMS)、反演風場速度反折錯與多仰角風場顯示法、基本與合成回波顯示系統(可顯示基本反演速度場及其頻譜寬度)、及一能整合閃電、地面觀測、降雨量、衛星觀測與數值預報模式資料的系統。

3. 劇烈風暴分析系統

包含一組NSSL所發展之WSR-88D劇烈天氣偵測與預報技術：(1) 風暴胞辨識與追蹤法、(2) 冰雹偵測法(Hail Detection Algorithm, HDA, Witt 1990, Witt 1995, 圖1)、(3) 中尺度氣旋偵測法(Mesocyclone Detection Algorithm, MDA, Stumpf 1995)、(4) 龍捲風偵測法(Tornado Detection Algorithm, TDA, Vasiloff 1991, Mitchell 1995)、(5) 破壞性下衝流偵測與預報法(Damaging Downburst Prediction and Detection Algorithm, DDPDA)、(6) 近風暴環境法(Near-Storm Environment, NSE, algorithm)、(7) 閃電相關法(Lightning Association Algorithm; LAA)、(8) WSR-88D降雨估計法(Precipitation Algorithms) (9) 封閉弱回波區分辨法(Bounded Weak Echo Region; BWER等)。WDSS的劇烈風暴分析系統對本局預報人員在監視劇烈天氣系統強度之演化過程有相當大之助益。

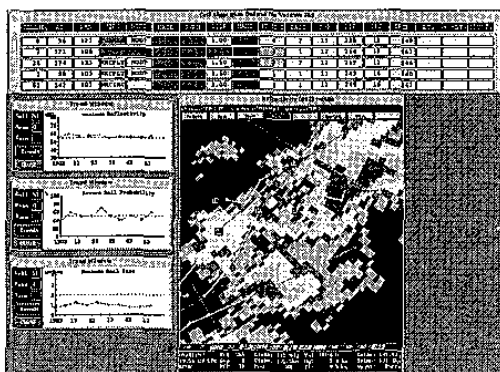


圖1 冰雹偵測法(Hail Detection Algorithm)結果之螢幕輸出。螢幕上方為對流胞強度特性表，左方則為某對流胞內每十分鐘之冰雹強度變化趨勢。

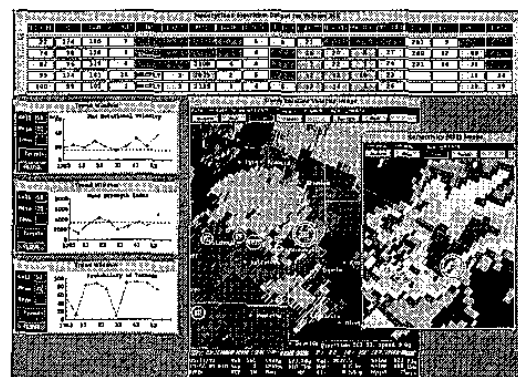


圖2 MDA (中尺度氣旋偵測法) 產品顯示，其中有各個中尺度氣旋輸出表及其不同時間趨勢。

(二) 應用多重觀測工具之定量降雨估計與分類技術 (Quantitative Precipitation Estimation-Segregation Using Multiple Sensors; QPE-SUMS)

QPE-SUMS 技術的設計目的在於：有效利用雷達衛星及雨量計等觀測資料以準確估計降雨型態及降雨率。其所運用之各種資料流程如圖 3 所示。QPE-SUMS 具備之功能：地面及空中雜波去除、多重雷達回波合成(mosaic)之降雨量估計、層狀及對流降雨分類、液態及固態降雨分類、動態式回波降雨率關係等。QPE-SUMS 產品以網頁形式顯示其產品(圖 4)，計有本局所屬四雷達網聯合成回波圖，十

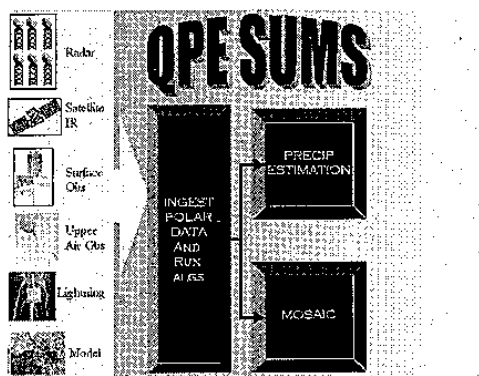


圖 3 QPE-SUMS 輸入之資料種類及其產品產生流程。

(三) 區域分析預報系統 (Local Analysis and Prediction System; LAPS)

發展 LAPS 的目的在於使模式對雲雨區的預報能加速進行 (spin-up)，以改善模式在 0 至 12 小時的定量降雨預報、0 至 6 小時的對流系統預報及短時間的雲區預報。為達成此目的即必須在模式之初始場內作好完整的雲分析 (cloud analysis) 工作。雲分析的主要內容在於將模式大氣之初始場中的固、液及汽態水逼近真實大氣之狀態：利用衛星、雷達、地面及飛機觀測資料定出雲系的三維結構 (圖 5)、利用變分法決定水汽量的三維分布狀態、利用簡單的雲模式反演與大氣水份相關的微物理變數 (諸如：降雨量、可降雨總量、水汽量、液態水總量、雲滴量、雲區覆蓋量、雲冰含量等)。接近真實大氣的模式初始場將有助於改善模

式初期運算對雲雨區的掌握能力，此種運用模式雲分析技術以改善模式初期雲雨預報的準確度，即被稱為模式的熱啟動(hot-start)或溼絕熱初始化(diabatic initialization)。LAPS-MM5 的熱啟動所牽涉到的資料輸入與輸出流程如圖 6 所示。圖 7 則為 MM5 hot-start 對雷馬遜 (Rammassun) 颱風第六小時 (預報有效時間為 2002 年 07 月 03 日 06UTC) 的模擬結果。圖 7 左邊為僅利用傳統觀測資料之初始場(稱為冷啟動 cold-start)的預報結果，圖 7 中間為熱啟動的預報結果；圖 7 右邊則為熱啟動加上颱風渦旋場 (bogussing) 的預報結果。經由溼絕熱初始化過程的處理後，模式能在預報初期即能掌握雲雨區的分布狀態，有效減少 spin-up 所需之時間。此對短期天氣預報將有明顯助益。

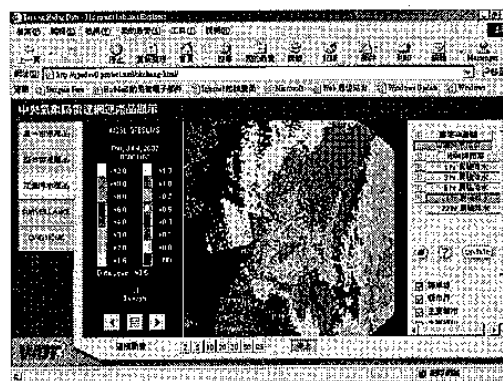


圖 4 QPE-SUMS 產品之網頁顯示畫面。

式初期運算對雲雨區的掌握能力，此種運用模式雲分析技術以改善模式初期雲雨預報的準確度，即被稱為模式的熱啟動(hot-start)或溼絕熱初始化(diabatic initialization)。LAPS-MM5 的熱啟動所牽涉到的資料輸入與輸出流程如圖 6 所示。圖 7 則為 MM5 hot-start 對雷馬遜 (Rammassun) 颱風第六小時 (預報有效時間為 2002 年 07 月 03 日 06UTC) 的模擬結果。圖 7 左邊為僅利用傳統觀測資料之初始場(稱為冷啟動 cold-start)的預報結果，圖 7 中間為熱啟動的預報結果；圖 7 右邊則為熱啟動加上颱風渦旋場 (bogussing) 的預報結果。經由溼絕熱初始化過程的處理後，模式能在預報初期即能掌握雲雨區的分布狀態，有效減少 spin-up 所需之時間。此對短期天氣預報將有明顯助益。

LAPS CLOUD ANALYSIS

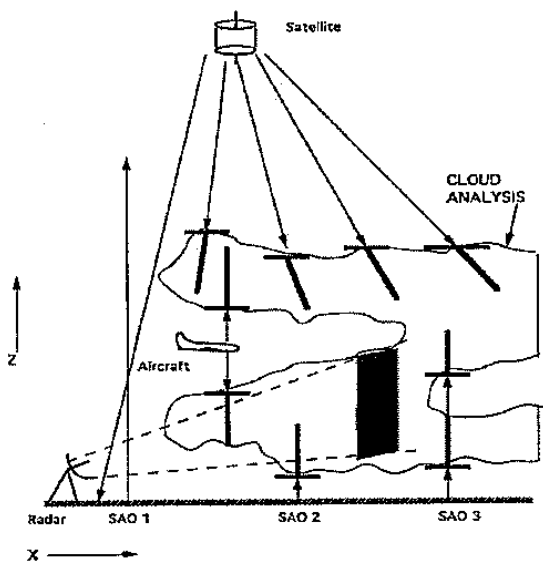


圖5 LAPS雲分析示意圖。利用衛星可見光與紅外線資料、雷達、飛機與地面觀測決定雲系的三維結構。

LAPS II Flow Diagram

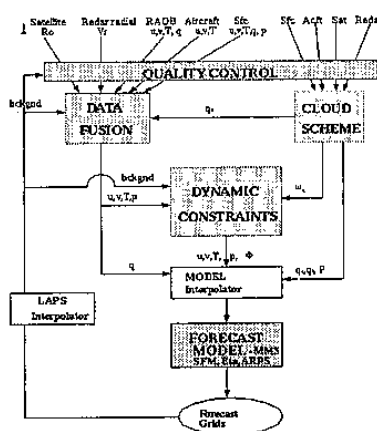


圖6 LAPS-MM5 hot-start 資料輸入、雲分析流程圖

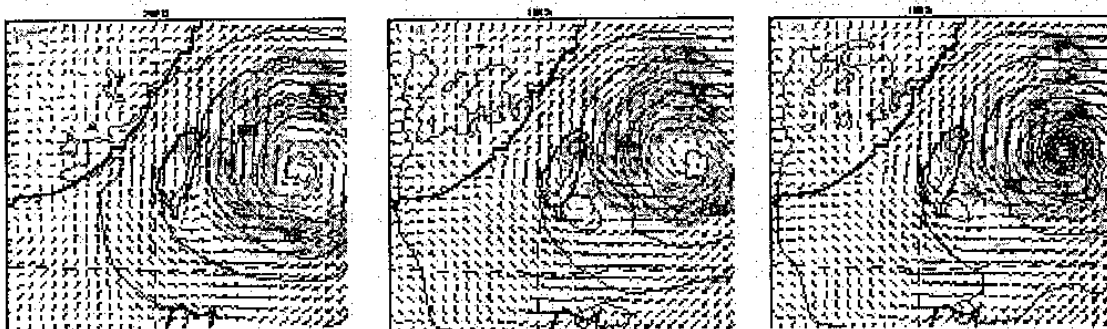


圖7 MM5 hot-start對雷馬遜 (Rammasun) 颱風第六小時 (預報有效時間為2002年07月03日06UTC) 的模擬結果，色階代表相當於3公里高度之雷達回波強度(dbZ)。左圖為僅利用傳統觀測資料之初始場(稱為冷啟動cold-start)的預報結果，中圖為熱啟動的預報結果；右圖則為熱啟動加上颱風渦旋場 (bogussing) 的預報結果。

三、未來發展

本局未來將持續引進及派員參與前述三子系統的更新與改進之工作。在WDSS方面將引進及配合稱為WDSS-Information Integration (WDSS-II) 的第二代WDSS發展工作。WDSS-II將可處理多都卜勒雷達資料，擴大第一代WDSS對劇烈天氣系統所能監測之水平範圍。QPE-SUMS部分，將深入進行空中、地面與海面固定及非固定雜波之去除(資料品管)、定量降雨估計法之即時校驗、發展短時

(0-2小時)定量降雨預報 (1公里 X 1公里)、加入雲對地閃電資料、衛星資料及自動雨量站資料以確認對流與非對流天氣系統所在之地理位置、將由二維進級成為三維的多重雷達回波合成(mosaic)，根據三維之合成格點發展劇烈天氣偵測與追蹤技術、由三維之合成格點回波強度資料提供模式溼絕熱初始化之用、利用自動雨量站資料發展即時修正雷達回波與降雨強度關係式 (dynamic Z-R relationship) 提

高QPE-SUMS定量降雨估計與預報之準確度。FSL和本局參與人員將執行MM5 hot-start後續的技術發展及轉移工作：將LAPS- MM5 hot-start系統建置於本局的Linux-based PC cluster、增加衛星與雷達風場資料在雲分析方面的應用、加入更嚴格的熱力一致性限制以排除不完整或錯誤之初始場資料、加入即時且合理之定量降雨估計與預報之校驗系統、另行利用Weather Research Forecast (WRF)模式的熱啟動系統執行短時預報以與MM5熱啟動系統交互比較，增加預報人員的參考資訊。

四、結語

如前所述，短時天氣分析與預報系統包含劇烈天氣監測預報子系統(WDSS及QPE-SUMS)及區域天氣分析預報子系統(LAPS MM5-hot-start)組成，本局自2002年起分別派員與美國海洋大氣總署預報系統實驗室及國家劇烈風暴實驗室共同合作發展各項子系統，並已有雛型(prototype)系統建置完成並進行即時作業測試中。未來將透過測試及校驗工作改進各子系統對劇烈天氣的定量降雨估計成果，提昇本局對短時劇烈天氣系統分析與預報之能力。此外，本局亦正與美國NOAA所屬之氣象發展實驗室(Meteorological Development Laboratory; MDL) 合作利用地面、探空、閃電、雷達、衛星與數值模式等歷史觀測資料以統計方法(或類神經網路)發展0

至3小時之短時預報系統以增加短時天氣分析與預報作業所需之參考工具。

參考文獻

- Mitchell, E. D., 1995: NSSL Tornado Detection Algorithm Functional Description. Contract report, FY95 Memorandum of Understanding, WSR-88D Operational Support Facility.
- Stumpf, G. J., 1995: NSSL Build 2.0 Mesocyclone Detection Algorithm Functional Description. Contract report, FY95 Memorandum of Understanding, WSR-88D Operational Support Facility.
- Vasiloff, S.V., 1991: The TDWR tornadic vortex signature detection algorithm. Preprints, 4th International Conference on Aviation Weather Systems, Paris, Amer. Meteor. Soc., J43-J48.
- Witt, A., 1990: A hail core aloft detection algorithm. Preprints, 16th Conference on Severe Local Storms, Kananaskis, Amer. Meteor. Soc., 232-235.
- Witt, A., 1995: The NSSL Hail Detection Algorithm: Initial documentation report prepared for the WSR-88D Operational Support Facility, 41 pp.

The Very Short-Range Forecast System in Central Weather Bureau

Paul Tai-Kuang Chiou Chia-Rong Chen

Meteorological Satellite Center/Central Weather Bureau

Abstract

The very short-range forecast system in the Central Weather Bureau (CWB) comprises three sub-systems: (1) Warning Decision Support System (WDSS), (2) Quantitative Precipitation Estimation-Segregation Using Multiple Sensors (QPE-SUMS) and (3) Local Analysis and Prediction System (LAPS) MM5 hot-start. With the WSR-88D data the WDSS, developed by the National Severe Storm Laboratory (NSSL), is able to detect and track the storm-scale systems. Severe storm algorithms to detect hails, tornadoes, bounded weak echo regions, etc. reside in the WDSS. The WDSS is operational in the forecast center of the CWB. The second generation of the WDSS with multiple radar data processing capability is to be installed in the CWB. The QPE-SUMS, designed by the NSSL, is able to make convective/stratiform rainfall estimates based on the mosaic of the Doppler radar network. A prototype of the QPE-SUMS was installed in the CWB. The QPE-SUMS related products are to be on the WINS as one part of the forecaster aids. Some quality control processes of the radar data, which may significantly affect the quality of QPE-SUMS are still under way. The LAPS MM5 hot-start module with advanced cloud analysis scheme is going to be installed in the CWB to improve the first 12-hour model forecast.