

臺灣自動即時預報系統(TANC)之作業現況及未來展望

黃葳芃 唐玉霜 吳佳蓉 陳嘉榮

中央氣象局氣象衛星中心

摘 要

中央氣象局建置之臺灣自動即時預報系統(Taiwan Auto-NowCaster; TANC)係使用模糊邏輯概念針對對流啓始、成長及消散進行即時預報(nowcast)，系統發展的流程為需先針對預報目標訂定預報因子(predictor)代表風暴生成前大氣環境之特徵，給定各預報因子對應之隸屬函數及權重，才可產生對流發生及演變之時間及空間預報訊息。現行作業之 TANC 的預報目標為臺灣暖季(5 至 10 月)之午後雷陣雨，共設定 8 個預報因子，分別來自雷達資料之氣候統計、數值模式預報、地面觀測及雷達資料，輸出場則為未來 60 分鐘對流啓始之可能性(likelihood)預報。

由 2014 及 2015 年暖季(至目前 7 月底)整體之預報結果顯示，TANC 可提供預報午後雷陣雨發生具有參考性之預報指引。例如由 2015 年 6 月 14 日發生於北部及東北部之午後雷陣雨個案預報結果可發現，本系統於事件發生前 20 至 40 分鐘提供正確之預報資訊。未來在 TANC 系統發展方面，將持續強化預報因子及其來源資料(例如增加資料解析度、以高更新頻率之模式預報場取代等方法)以提升其對未來 60 分鐘對流啓始之預報能力。

一、前言

近年來受地球暖化效應之影響，極端降雨事件發生的頻率提高且程度加劇，導致此種現象之對流性天氣系統具有隨著時空尺度變化迅速之特性，可能在短時間內生成、發展及產生降雨等，因此提供未來即時(nowcast)預報的訊息日益重要。目前氣象局具有數種客觀預報指引用以輔助即時預報作業，例如劇烈天氣系統(QPESUMS)已提供以雷達回波資料為依據之雷達回波外延法，可產生未來60分鐘之雷達回波預報及定量降雨預報(QPF)。但其係使用過去及現在回波移動趨勢及現存回波強度進行預報，對於新生成之對流系統或是快速發展與消散之過程並無法掌握，因此於對流系統起始生成階段之參考性低，為此方法之最大限制。

自動即時預報系統(Auto-NowCaster；ANC)為美國大氣研究中心(NCAR)所發展之可提供對流系統啓始、成長及消散預報資訊之即時預報系統，其整合多種即時觀測和模式資料，根據各種對流啓始、發展及消散概念模型(Wilson and Mueller 1993)，透過人為經驗之條件及模糊邏輯等運算技術，可快速提供 60 分鐘

的即時預報產品。此系統可針對不同天氣系統、不同地理特性，利用選擇所需的氣象參數（又稱為預報因子(predictor)）組合進行預報。因此氣象局由 NCAR 引進此系統進行本土化，以嘗試解決對流生成之預報問題。近年來氣象局已針對臺灣之需要發展在地化之預報因子，此本土化之系統稱為臺灣自動即時預報系統(Taiwan Auto-NowCaster; TANC)，現已於氣象局進行即時作業。TANC 之首要預報目標為臺灣地區暖季(5-10 月)之午後雷陣雨，此屬易致災的短延時強降雨現象，為即時預報欲解決之重要問題之一。系統發展初期先以條件較單純之弱綜觀天氣環境下之午後對流為預報目標，之後再逐步解決不同環境條件下對流系統生成及發展的預報問題。

未來本局如能發展準確度高之即時客觀指引，及早提供關於大、豪雨等災害性天氣之發生訊息予民眾及防、救災單位，則可大幅增進氣象資訊於防災之應用效益。

二、方法簡介

自動即時預報系統是利用模糊邏輯(fuzzy logic)的概念來進行即時預報，相對於模糊邏輯為精確邏輯，其概念為事物非真即假、非是即非，就像程式語言中的0與1，僅以二分法來決定。在實際生活之許多現象並非如此，例如描述人類之高矮胖瘦即無法由單一標準界定，因此「沒有絕對的事物」就是模糊邏輯要表達的概念。且模糊理論認為，人類的思考邏輯是模糊的，當在條件和資料不明確時，仍必須下判斷時，這時候就必須引進「可能性」的概念。當此概念應用至即時預報，其意義即在於雖然現階段可使用具有物理基礎之數值模式進行預報，但相對來說需要較長的計算時間，且計算過程會透過許多步驟如尺度分析等進行簡化，導致結果可能會與實際情況有所出入。因此使用模糊邏輯可利用可能性的概念，將人的思考直接數值化，特別是在滿足即時預報具有對時效之高度需求方面，能夠快速得到結果提供預報員參考。

ANC 即應用上述概念針對對流系統生成及發展

進行可能性(likelihood)預報，將導致對流系統發生之氣象參數(稱為預報因子(predictor))其對於事件發生的變化情形，以隸屬函數(membership function)來描述。此隸屬函數之決定可為主觀的，即透過專家之經驗給定，將人為判斷數值化，亦可利用歷史個案資料的統計分析得到(圖 1)，以較客觀方式求取。但必須注意的是，如利用資料統計方式則必須事先選取具有足夠代表性的個案，才能顯現出可用的氣象特徵。如此在求得隸屬函數後，每個資料點都可得到對應的隸屬度，然後再給定各個氣象參數相對應的權重值，將各參數的隸屬度乘以權重，最後相加得到的預報結果，即稱為對流發生的可能性。本系統作業流程概念如圖 2 所示。

現階段氣象局TANC首要之預報目標定為未來60分鐘弱綜觀環境下之午後對流(定義為雷達回波>35 dBz)的生成及發展，現行作業所使用之預報因子、隸屬函數及權重的設定將於下節說明。

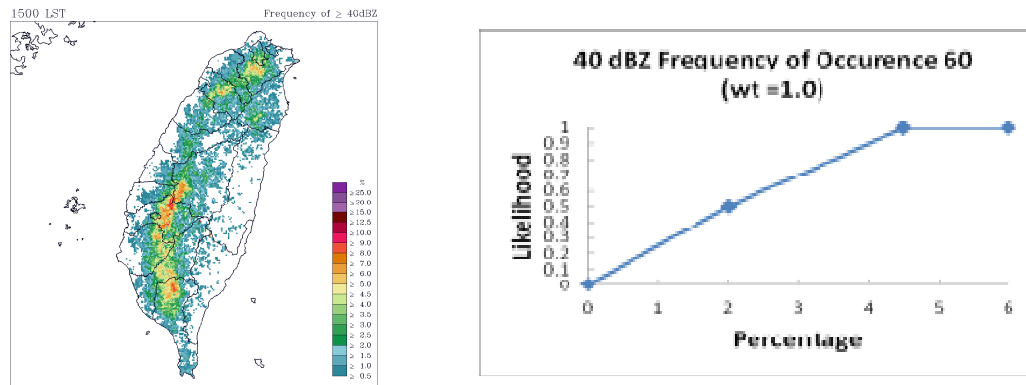


圖 1、左圖為臺灣地區在 15 LST 時大於 40dBz 回波統計頻率，右圖則為其 60 分鐘預報之隸屬函數(林等，2010)。

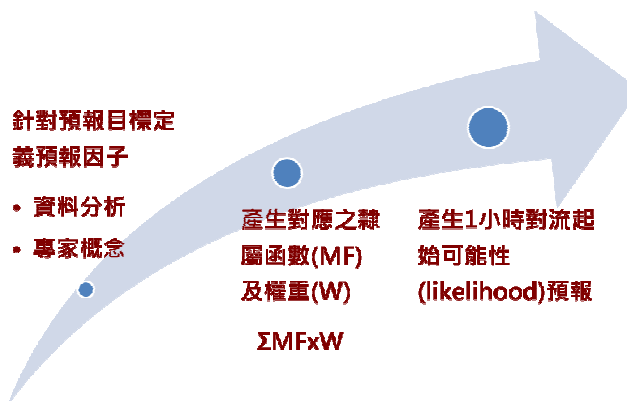


圖 2、自動即時預報系統(ANC)作業流程概念示意圖。

三、現行作業方式及產品說明

目前在 TANC 中共使用 8 個預報因子描述午後雷陣雨之啓始發生條件，以進行未來 60 分鐘之可能性預報（圖 3）。其中 2 個預報因子來自林等(2010)的氣候統計值，主要概念是因為臺灣地區之午後雷陣雨具有一定時間的持續性及地域好發性，故利用 2005-2008 年臺灣本島暖季（5-10 月）弱綜觀環境下，發生午後雷雨之雷達觀測資料（空間解析度為 0.0125° ），統計午後 12-20LST、每隔 10 分鐘大於 40dBz 回波發生頻率(Radar climoFreq)和變化趨勢(Radar climoTrend)。

另1預報因子來自地面風的觀測分析(SurfDiv)，是由地面測站觀測的風向、風速進行分析與計算地面輻散量，有利於找出對流發展的上衝流位置和未來可能發展對流的位置。另3個預報因子來自 WRF 模式預報場，分別為對流可用位能(CAPE)、對流抑制能(CIN)和層化平均濕度(layer averaged humidity；RHavg)，其中 CAPE 值為 900-700 百帕間可用對流位能的最大值，CIN 值為 975-900 百帕間的平均對流抑制能，RHavg 為 850-500 百帕的平均相對濕度，這3個因子主要用以判斷對對流的穩定度與逸入作用影響，找出對流發展的

有利環境。另2個來自即時雷達觀測的延伸產品，其一為對流胞發生啓始位置(RadarCu)，目的是定義發展中的積雲(Roberts and Rutledge 2003)，成長中的積雲定義回波在達到40dBz之前，必須被觀測達至少10-20分鐘(Knight and Miller 1993)，且積雲裡的最大回波必須存在於高度3-6公里間，接下來利用對流胞相關係數比對技術(CTREC)，推得對流胞移動方向和移速，對定義積雲區進行平移，推得下一時刻對流胞的位置。其二為對流啓始位置參數(StormInitLoc)，是利用即時雷達觀測資料計算在二維網格上接近對流胞發生位置的程度，如當兩個以上對流胞建立後，其產生的下衝流，易產生交互作用，激發新的對流；若有對流胞生成、開始發展，鄰近網格對流胞發生的可能性也會提高，故越靠近對流胞中心位置，此參數值越高，表可能性越高(Wilson and Roberts 2006)。

目前臺灣自動即時預報系統每 6 分鐘提供一筆未來 60 分鐘之即時預報產品，空間解析度為 0.01° ，範圍從經度 119° 及緯度 21° 開始，共 400×500 個網格點。產品主要為未來 60 分鐘的對流啓始可能性預報(storm initiation likelihood nowcast)等，以提供即時預報作業參考。

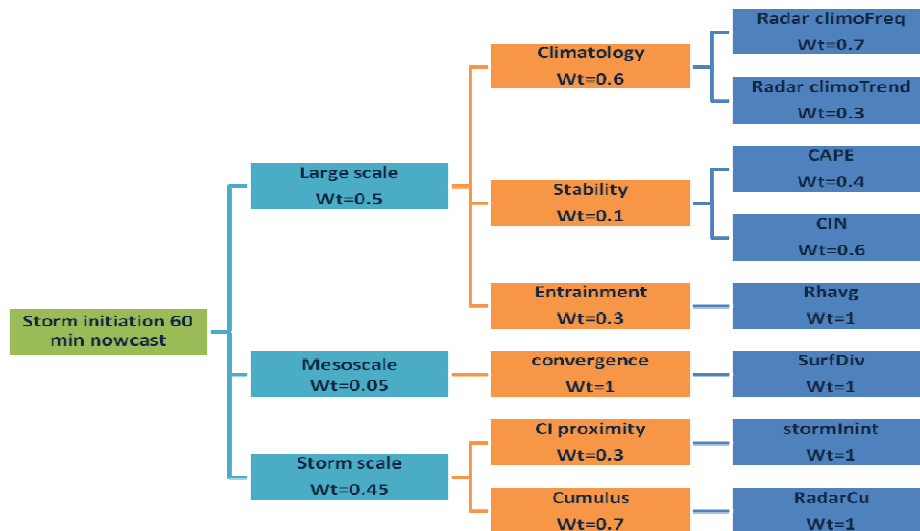


圖 3、60 分鐘午後雷陣雨啓始可能性預報的預報因子及其對應權重。

四、個案預報結果回顧

2015 年 6 月 14 日之午後雷陣雨於短時間內迅速發生，並在臺北部分地區造成淹水。此個案發生之綜觀環境符合本研究目標之弱綜觀午後對流條件。由雷達觀測顯示約自接近中午 12 起於臺北、桃園及宜蘭交界處開始有約達 35 dBz 之對流存在，至 12 時 30 分於臺北南端亦開始有約 35 dBz 之對流發展，之後至下午 2 時 50 分在臺北公館雨量站量測到 10 分鐘 33 毫米之累積雨量，並於下午 3 時 20 分量測到 126.5 毫米之時雨量。

TANC 對此個案之預報結果如圖 4 所示，圖中彩色底色代表 TANC 對回波強度達 35 dBz 之可能性預報，不同色階代表不同可能性值的大小。此圖另疊加的深藍色實線則為該預報時間於實際雷達回波觀測到強度達 35 dBz 之回波位置。如此比對圖 4 各圖中預報之可能性及實際發生之情況可發現，針對臺北、桃園及宜蘭交界處之對流啓始，預報之可能性自 03 UTC (11 LST)即持續顯示有對流發生訊息，但此時之值低約 0.3 (圖 4(a))，如預報作業應用時可能會有信心度不足之問題。之後預報至 04 UTC 報(12 LST) (作業上 13 分鐘後產生)始有更明顯之可能性預報訊息，預報可能性達 0.4(圖 4(c))。至於實際較明顯回波則出現於 04:42 UTC(12:42 LST)(圖 4(b))。

針對臺北地區對流之預報結果則顯示，預報之可能性始於 04:36 UTC(12:36 LST)報開始顯示對流發生訊息，此時值約 0.3(圖 4(e))。之後預報之可能性至 04:48 UTC(12:48 LST)始有更明顯預報訊息，可能性達 0.4(圖 4(f))。至於實際 35 dBz 的回波則出現在 05:24 UTC(13:24 LST) (圖 4(d))。

由上述結果可發現，對於臺北、桃園及宜蘭交界處之對流起始現象，TANC 在 1 小時 39 分前(已扣除系統運算之時間)即顯示可能有對流系統發生之可能性，但此時可能性值低因此會有使用者信心度不足之問題。但若持續觀察之前 0.3 可能性出現的頻率，其存在隨時間持續性高，此種狀況在實際應用時實可增強應用之信心度。至之後預報訊號增加至 0.4 時，為距實際對流發生之 29 分鐘前，此時可提供更具參考性之預報訊息。

至於臺北地區發生之對流現象，TANC 在 34 分鐘前開始顯示可能有對流系統發生之可能性，但同樣可能性之值低。至之後預報訊號增加至 0.4 時，為距實際對流發生之 23 分鐘前，如此短之時間顯示對於此區域之預報難度較高，雖對於對流發生仍有提前預報到，但可據以採取預報或預警的作業時間太短，顯示預報能力仍有改進之空間。

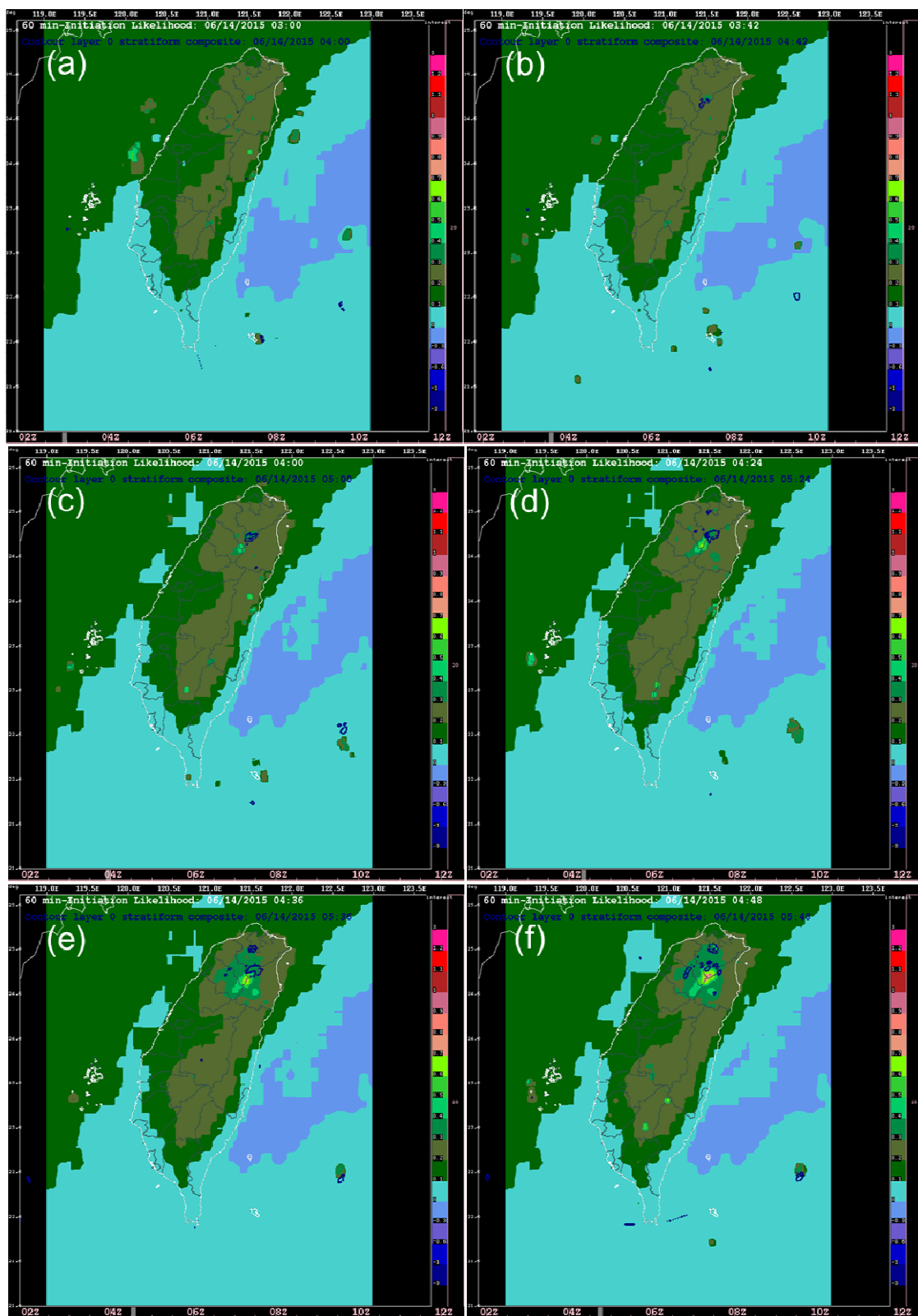


圖 4、TANC 可能性(likelihood)預報與實際觀測比對結果。(圖中第一行之時間為產生預報之初始時間(UTC)；第二行為預報時間(UTC)，以(a)為例其為 0300UTC 對未來 60 分鐘(0400UTC)之預報。

五、結語

自 103 年起至今年 7 月之校驗結果可發現，TANC 對弱綜觀午後對流起始之預報資訊在即時預報作業上已具有初步之可參考性(完整之統計校驗結果將於本研討會之另一篇論文中介紹)。目前此系統預報產品之解析度雖已至 0.01 度，但受限於預報因子之完備性、各輸入預報因子場量於空間及時間解析度之限制，現階段並無法預期 TANC 提供絕對確切之對流起始地點及時間資訊，使用時應保有容許預報時間(約 ± 15 分鐘)及空間緩衝(約 ± 25 公里)的概念。

對於未來系統改進方向，可分為預報技術之提升及計算效能強化兩部分探討，對於前者，將針對各預報因子資料來源進行改進，例如以空間解析度較高之自動觀測之風場資料取代現行僅以人工觀測站之資料，以及利用更高解析度、更高更新頻率之模式預報場取代現行之資料來源。未來更將強化在地化預報因子之完整性，例如將增加動力場之預報因子。至於後者，則將持續改進系統運算的效能，將運算時間由現行 13 分鐘再縮減，以提前產生預報產品，增加即時預報作業之時效。未來亦將擴大預報目標至強綜觀影響(如梅雨鋒面等)之對流系統生成及發展，配合善用各式觀測及分析資料，如閃電及衛星資料等，以完備對各種現象所伴隨之對流系統即時預報。

六、參考文獻

- 林品芳，張保亮，周仲島，2010：弱綜觀環境下台灣午後對流特徵及其客觀預報。大氣科學，77-108。
- 唐玉霜，2014：臺灣自動即時預報系統之研究。中央氣象局研究發展專題。
- Knight, C. A., and L. J. Miller, 1993: First radar echoes from cumulus clouds. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **74**, 179-188.
- Roberts, R.D., and S. Rutledge, 2003: Nowcasting storm initiation and growth using GOES-8 and WSR-88D data. *Wea. and Forecasting*, **18**, 562-584.

Wilson, J. W. and C. K. Mueller, 1993: Nowcasts of thunderstorm initiation and evolution. *Wea. Forecasting*, **8**, 113 - 131.

Wilson, J. W. and R. D. Roberts, 2006: Summary of Convective Storm Initiation and Evolution During IHOP: Observational and Modeling Perspective, *Mon. Wea. Rev.*, **134**, 23-47.