

臺灣自動即時預報系統(TANC)之發展現況

黃葳芃 張惠玲 林允才 吳佳蓉 唐玉霜 汪琮 邱健倫 陳嘉榮

中央氣象局氣象衛星中心

摘 要

中央氣象局之臺灣自動即時預報系統(Taiwan Auto-NowCaster; TANC)是使用模糊邏輯方法針對對流啟始、成長及消散進行即時預報(nowcast)。系統發展時需先針對預報目標訂定預報因子(predictor)以代表風暴生成前大氣環境之特徵，並給定各預報因子對應之隸屬函數及權重，才可產生對流啟始、成長及消散之時間及空間預報訊息。現行作業之 TANC 系統的預報目標為臺灣暖季(5 至 10 月)之午後雷陣雨，共具有 8 個預報因子，分別來自雷達資料之氣候統計、即時之數值模式預報、即時地面觀測及雷達回波資料，輸出場則為未來 60 分鐘對流啟始之可能性(likelihood)預報。

由過去午後雷陣雨個案整體之預報結果顯示，TANC 具有預報午後雷陣雨發生之能力，可提供具有參考性之即時預報指引。為強化產品之應用，在產品顯示方式上，因輸出之可能性(likelihood)產品對於預報作業來說不易直接參考使用，因此根據歷史個案校驗結果決定之最佳可能性門檻值 0.6，產製對流生成區域之預報產品。另亦考量對於午後對流預報在時間及空間上的不確定性，利用空間及時間緩衝窗區的概念重新設計預報產品，以方便即時預報作業參考使用。

關鍵字：臺灣自動即時預報系統(TANC)、即時預報(nowcast)、預報因子(predictor)、午後雷陣雨、可能性(likelihood)

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)以雷達回波外延法，已可產生未來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在回波強度進行預報，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降雨資訊參考性低，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)所發展可提供對流系統啟始、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，根據各種對流啟始、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，以嘗試解決預報對流生成之問題。

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，作為發布大雷雨即時訊息等作業之參考。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。

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」(likelihood)的概念。現階段雖然可使用具有物理基礎之數值模式進行即時預報，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。

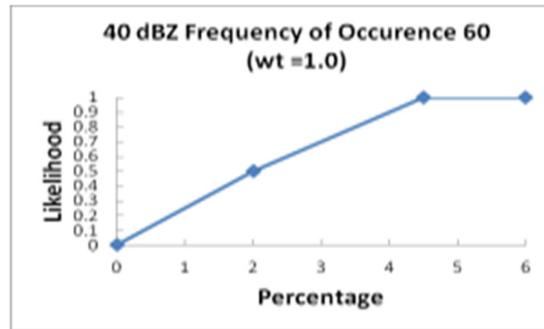
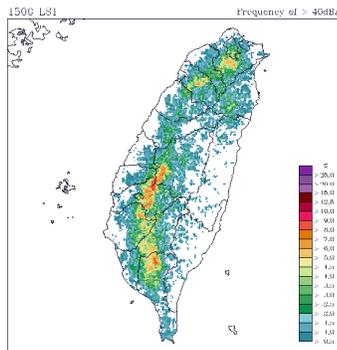


圖 1、左圖為臺灣地區在 15 LST 時大於 40dBz 之回波統計頻率，右圖則為其 60 分鐘預報之隸屬函數（林等，2010）。

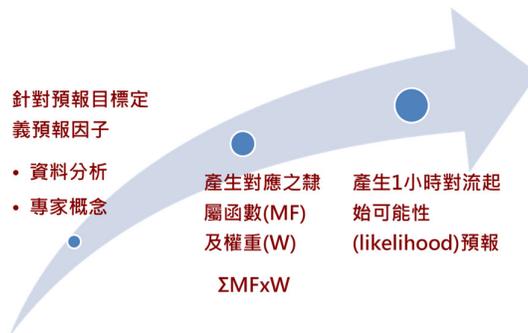


圖 2、自動即時預報系統(ANC)作業流程概念示意圖。

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。

三、現行作業方式

目前在 TANC 中共使用 8 個預報因子描述午後雷陣雨之啟始發生條件，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，其一為對流胞發生啟始位置(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。其二為對流啟始位置參數(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 分鐘的對流啟始可能性預報 (storm initiation likelihood nowcast) 等，以提供即時預報作業參考。

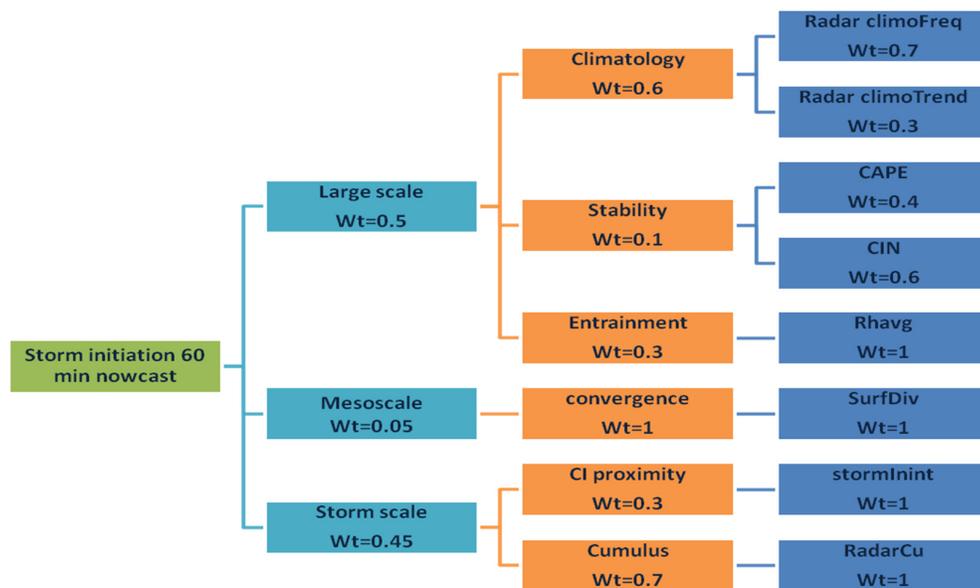


圖 3、60 分鐘午後雷陣雨啟始可能性預報的預報因子及其對應權重。

四、統計校驗結果及預報產品設計

(一) 校驗方法-鬆弛法

由於午後對流啟始預報有很大的不確定性，在實際應用上必須考量所預報之對流可能在時間或空間上有所偏移。因此透過鬆弛法(relaxation method)(Lakshmanan et al. 2012)來評估 TANC 在不同時間與空間緩衝窗區下的預報表現，亦即由原先格點對格點的校驗，放寬為格點對格點周圍 $(2N+1) \times (2N+1)$ 個格點的校驗。

以 $N=1$ (亦即容許東西南北方向上有 1 個格點的空間緩衝區)為例，假定 TANC 預報某格點有對流發生，如是採用點對點的校驗，必須在同一格點觀測到有對流產生才算「命中(hit)」；但如果允許有 1 個格點的空間緩衝，那麼只要在以原格點為中心的 3×3 個格點中，有任一格點觀測到有對流產生就算「命中」，因此允許空間上的緩衝會提高命中次數。同樣的針對錯誤預警(false alarm)部分，原先只要在同一格點觀測到無對流產生就算「錯誤預警」；但允許 1 個格點的空間緩衝，則須滿足 3×3 個格點均無對流產生才算「錯誤預警」，錯誤預警的次數因此會降低。而在漏報(miss)部分，如果觀測場在某校驗格點上有對流產生，原先只要在同一格點預報無對流產生就算「漏報」；但現在必須其周圍 3×3 個格點均預報無對流產生才算「漏報」，因此漏報的次數會降低。凡不屬於以上 3 種狀況者，就歸類在列聯表中的 correct rejection。

(二) 預報表現對機率門檻的敏感度

由於TANC提供的是對流發生的可能性預報，但使用者(如預報員)想知道的是預報可能性數值為多少時，實際之對流就有可能發生?因此進行了下述預報表現對機率門檻的敏感度測試。

圖4是TANC在不同機率門檻下的預報表現，可以發現機率門檻(Pt)介於0.3和0.6間的預兆得分(TS)和誤報率(FAR)並沒有明顯的差異，但偏差(BIAS)和命中率(POD)均隨著Pt的提高而明顯降低。在此情況下，選取最佳的機率門檻就需考量BIAS而非POD。因為只要選擇較低的機率門檻就會有較高的POD，但如此會導致過度預報，而伴隨過多的錯誤預警。從BIAS來看，因為Pt介於0.3和0.5間的BIAS都明顯過大，故應選擇

0.6作為最佳機率門檻；雖然選擇0.6做為Pt還是呈現過度預報 (Bias~2-5)，但提高Pt至0.7時，TANC卻呈現明顯的低報(BIAS < 1)，且TS會明顯降低。

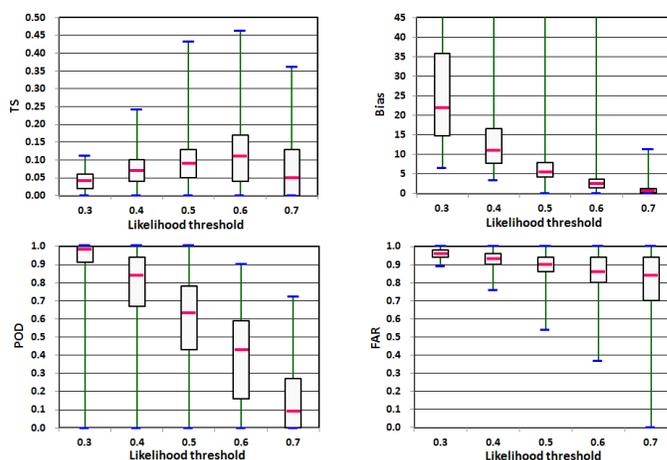


圖 4、TANC 在不同機率門檻下之校驗成績盒圖，包括 TS、Bias、POD 和 FAR。

(三) 校驗得分對空間緩衝窗區的敏感度(S=2N+1)

相較於預報其他對流天氣系統，午後對流預報有很大的不確定性，因此在實際的作業應用上必須考量所預報的對流胞在空間上會有所偏移。因此進行了校驗得分對空間緩衝窗區的敏感度測試。

圖5是TANC以0.6做為機率門檻，在不同空間緩衝窗區下的預報表現。緩衝格點為0代表點對點的校驗結果，緩衝格點為1($N=1$, $S=3$)代表緩衝區是 3×3 格點範圍之校驗結果。結果顯示，當空間窗區延伸至5個格點時，TS、BIAS、KS (Kuiper Score)和公正預兆得分(ETS)大約是0.4、1.7、0.9和0.4，亦即TANC呈現些微過度預報，但有中等的正確性及良好的區辨能力。此外，各校驗成績中位數的95%信心區間非常集中，顯示校驗結果的可信度相當高。

根據以上兩個敏感度測試結果，以使用者的觀點重新設計TANC的預報產品，亦即採用最佳可能性門檻0.6，並允許所預報的對流胞有5個格點(~ 5km)的空間偏移窗區如圖6，桃紅色區域是TANC預報未來1小時的對流發生區域，而藍色區域是允許有5個格點的空間緩衝窗區的狀況下，所預報的對流可能偏移的範圍。

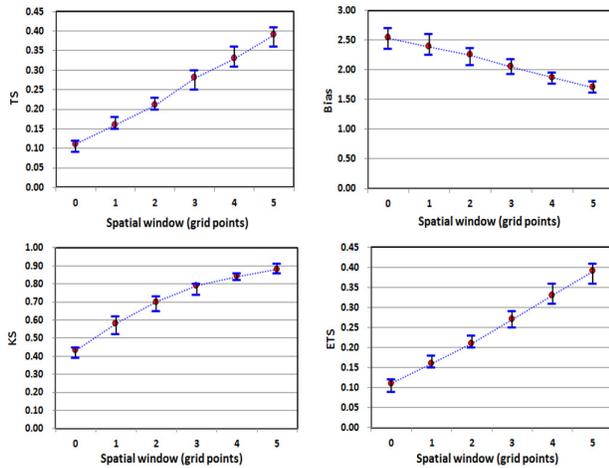


圖 5、TANC 採用 0.6 做為機率門檻，在不同空間窗區下之校驗成績中位數及其 95%信心區間，包括 TS、Bias、KS 和 ETS。

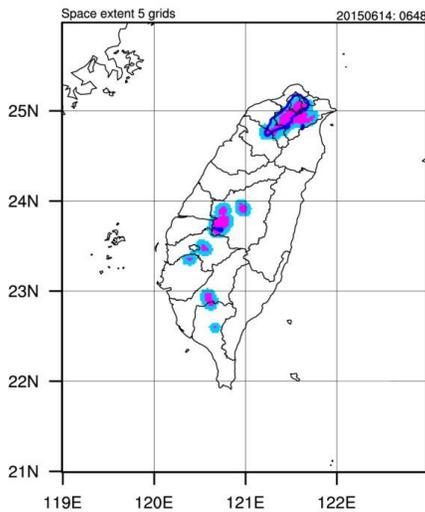


圖6、根據不同空間窗區校驗結果所設計的TANC預報產品。桃紅色區域是TANC預報未來1小時的對流發生區域，而藍色區域是允許有5個格點的空間緩衝窗區的狀況下，所預報的對流可能偏移的範圍。

(四) 校驗得分對時間緩衝窗區的敏感度 (T=2N+1)

除了考量對流胞的預報在空間上有所偏移，同理在預報的時間上也需考量偏移的問題。亦即所提供的雖然是未來1小時午後對流發生的可能性，但所預報的對流胞未必剛好發生在未來1小時那個時間點上，而可能是在某一時間窗區內，因此進行了校驗得分對時間緩衝窗區的敏感度測試。

緩衝時間為30分鐘(N=1, T=3)代表允許對流啟始預報有前後30分鐘的不確定性，亦即TANC預報顯示：未來1小時有對流發生時，代表對流可能發生在未來30~90分鐘內。比方說，目前的時間是下午2:00，TANC提供未來1小時(亦即下午3:00)對流發生的可能性預報，基於考量預報在時間上的不確定性，所預報的對流可能發生在下午2:30~3:30。換句話說，下午1:30~2:30所預報的對流胞都有可能發生在下午3:00。就作業應用而言，目前只有2:00以前的預報可供參考。因此，將時間窗區的結束點設在TANC預報的初始時間，來進行校驗得分對時間緩衝窗區的敏感度測試。

圖7同圖5，但為不同時間緩衝窗區下的預報表現。從結果可以發現，當時間窗區延伸至30分鐘時，TS、BIAS、KS和ETS大約是0.33、1.8、0.8及0.32；亦即TANC呈現些微過度預報，但有中等的正確性以及良好的區辨能力。同樣的，各校驗成績中位數的95%信心區間非常集中，顯示校驗結果的可信度相當高。

同樣的根據(二)和(四)的敏感度測試結果，我們從使用者的觀點重新設計TANC的預報產品，亦即採用最佳可能性門檻0.6，並允許所預報的對流胞有30分鐘的時間偏移窗區如圖8，桃紅色區域是TANC預報未來1小時的對流發生區域，而藍色區域是允許有30分鐘時間空間緩衝窗區的狀況下，所預報的對流可能發生的偏移範圍。

未來將繼續測試同時考量空間和時間窗區的TANC預報表現，以提供使用者更具參考價值之最佳空間和時間窗區組合的預報產品。

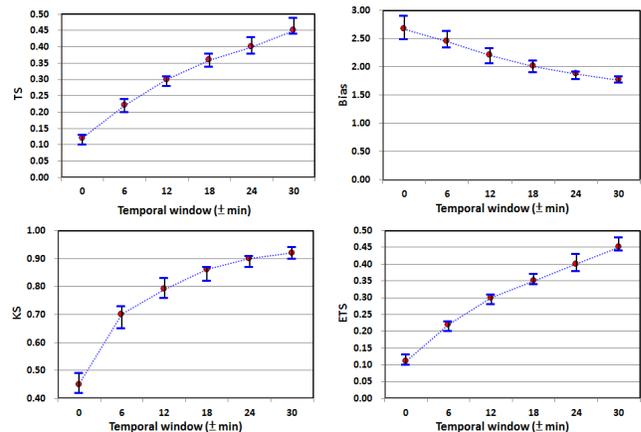


圖 7、TANC 採用 0.6 做為機率門檻，在不同時間窗區下之校驗成績中位數及其 95%信心區間，包括 TS、Bias、KS 和 ETS。

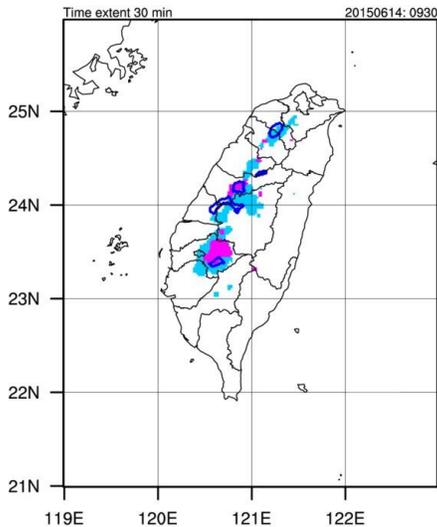


圖8、根據不同時間窗區校驗結果所設計的TANC預報產品。桃紅色區域是TANC預報未來1小時的對流發生區域，而藍色區域是允許有30分鐘的時間緩衝窗區的狀況下，所預報的對流可能偏移的範圍。

五、結語

自校驗結果可發現，TANC 對弱綜觀午後對流啟始之預報資訊在即時預報作業上已具有初步之可參考性。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。為強化產品之應用，考量對於午後對流預報在時間及空間上的不確定性，利用空間及時間緩衝窗區的概念重新設計預報產品，以方便即時預報作業參考使用。

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，目前已使用本局 1 小時預報 1 次之極短時數值預報模式 STMAS-WRF 的資料作為數值模式資料來源進行測試，期能藉由高更新頻率的數值模式預報提供準確度更高之資訊。另已利用過去午後對流歷史個案 STMAS-WRF 之模擬結果，找出新的預報因子如地面垂直速度及 750hPa 水氣輻合場等，未來將會將新的預報因子整合至現行系統並進行平行測試。至於後者，未來則將以美國氣象發展實驗室(Meteorological Development Laboratory；

MDL)修改的 ANC 系統取代現有系統，以改進系統運算的效能，預計可將運算時間再縮減至 10 分鐘以內，藉由提前產生預報產品來增加即時預報作業之時效。

未來長遠目標亦將擴大預報對象至強綜觀影響(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開發預報因子，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。

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。
- Lakshmanan, V., J. Crockett, K. Sperow, M. Ba and L. Xin, 2003: Tuning AutoNowcaster Automatically. *Wea. and Forecasting*, **27**, 1568-1579.
- Knight, C. A., and L. J. Miller, 1993: First radar echoes from cumulus clouds. *Bull. Amer. Meteo. 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.