

臺灣地區對流胞特性分析與路徑預報技術開發

¹ 鍾高陞 ¹ 柯靜吟 ¹ 鄒益豪 ¹ 李采蓉
² 林秉煜 ² 黃椿喜 ² 陳新淦 ² 劉宇其 ² 賈愛玫
¹ 國立中央大學大氣物理所
² 中央氣象局 預報中心

摘要

本研究使用中央氣象局用於預報作業上之對流監測平台系統(System for Convection Analysis and Nowcasting, SCAN)當中以對流胞辨識與追蹤(Storm Cell Identification and Tracking, SCIT)方式所得出的對流胞資料，進行 2015 年~2018 年總共 4 年來 5 月到 8 月之統計分析。由於臺灣主要為東北——西南走向之地形，天氣系統在北部以及南部皆有不同的表現，因此北部採用五分山雷達之觀測資料，南部則以七股雷達資料將臺灣地區分為北部以及南部進行分析探討。

在即時路徑預報上，採用類似颱風路徑潛勢預報(Potential Track Area)的方式將對流胞統計過去誤差後，取前 70%之最大誤差，並將對流胞依照 4 種速度進行區分，不同速度對應至不同誤差範圍。藉由統計路徑誤差的結果界定 0-1 小時內，強對流胞可能侵襲致災的預警範圍，定量提升劇烈天氣之預警能力。進一步利用 2019 年 5~8 月資料進行驗證。

關鍵字：0-1 小時即時預報、對流胞辨識追蹤、誤差特徵統計分析

一、前言

劇烈天氣系統當中，對流風暴所伴隨之強降雨、強風、冰雹以及閃電帶來的嚴重災害可能會造成農業以及工業上的重大損失。臺灣地區主要受鋒面系統、西南氣流、颱風以及午後熱對流等劇烈天氣影響，從防災預警的角度而言，對流胞的研判與追蹤及即時預報十分重要，但在學術研究與實際作業單位當中，此任務仍是極為困難與挑戰的課題(Jung and Lee 2015; Hou and Wang 2017; Kato et al. 2017; Capozzi et al. 2018)。

在觀測上，氣象雷達可提供高時空解析度之資訊(平均 6-7 分鐘一筆三維觀測資料；250 公尺解析度)，因此對對流胞的生成與行進方向具有良好的監測能力。中央氣象局目前所採用之對流監測平台 SCAN 為美國 WDSS 系統之預警決策支援系統，主要由都卜勒雷達觀測及其他相關資訊(如探空、地面觀測、數值模擬)整合而成。其中，針對風暴的偵測辨識及追蹤，採用 SCIT (the Storm Cell Identification and Tracking algorithm, Johnson et al. 1998)系統，來預測對流胞在 0-1 小時之間的發展。

SCIT 系統過去的相關研究如下：1. 張等人(2006)藉由中央氣象局、經濟部水利署及美國劇烈風暴實驗室 NSSL 共同開發之 QPESUMS 系統(Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensors, Zhang et al., 2011; Gourley et al. 2002)，評估颱風與梅雨季事件對流胞在 0-1 小時的外延路徑預報，利用氣象雷達觀測進行 30 與 60

分鐘之路徑誤差分析；2. 張等人(2008)利用 QPESUMS 之最大回波資料，統整 2005-2007 年 5-10 月的所有午後雷陣雨個案，從統計的角度探討對流胞之氣候特徵；3. 蔡(2011)分析 2011 年之龍捲風及其所伴隨之強對流胞個案，其結果顯示利用 SCAN 系統大致能掌握風暴的演變，但在多胞風暴(multi-cell storm)時較易有誤判情形發生。由於 SCAN 監測系統中有許多氣象參數與門檻設定(如回波與風切的門檻強度)皆以發展系統時之北美氣象統計特性為設定依據，因此蔡(2011)亦建議 SCAN 系統當中所提供的參數設定仍須藉由統計分析進行評估及修改，使其更適用於臺灣之環境；4. 鍾等人(2019)利用 2017 年夏季 5 至 8 月的資料進行一系列的對流胞路徑誤差統計分析，並大致了解到對流胞會因區域、月份的不同，出現不一樣的行為和預報誤差特性。

本研究將著重於利用 SCIT 所提供的對流胞資訊以分析台灣夏季對流胞的空間分布與移動特性，並探討對流胞的路徑預報誤差特性於不同天氣型態及地域環境下是否有所差異。此外，根據多年統計結果，初步建構含有機率概念之不同移動速度的對流胞路徑潛勢預報，進行路徑預報不確定性的量化，提供更好的防災預警依據。

二、研究方法

SCIT 為一風暴偵測、辨識及追蹤系統，用於

辨識、描繪特性、路徑追蹤、預測對流胞在三維空間短期的移動(Johnson et al. 1998)。對流胞的辨識會分為三個步驟進行: 首先, 從在雷達波束上辨識出 1D 對流區塊; 接著, 將符合 1D 辨識條件之對流區塊擴展至同一仰角之掃描面上搜尋 2D 對流區塊; 最後, 在 3D 空間完整的體積掃描定義出對流胞。經過以上過程後, 給予對流胞編號以及中心位置。決定對流胞中心後, 會將兩筆連續的體積掃描得到的對流胞進行比對, 當對流胞在不超過掃描時間門檻(20 分鐘)的時間區間內, 判定為同一個對流胞, 產生移動向量。最後, 根據對流胞的定位與移動資訊, 進行 0 到 1 小時之對流胞即時路徑預報。

預報路徑誤差的校驗使用均方根誤差(RMSE)來計算空間上預報和觀測對流胞移動路徑的差異量, 以呈現 0 到 1 小時的預報當中, 對流胞不同階段路徑誤差隨時間的變化, 公式如下:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (F - O)^2}{N}}$$

上式中, F 為預報時間點的對流胞位置, O 為觀測的對流胞位置, N 為所有納入計算的格點數。

此外, 參考中央氣象局自 2003 年起發布的颱風 PTA 路徑潛勢預報法開發對流胞潛勢預報產品, 以呈現對流胞路徑預報的不確定性。方法為依據多年統計資料, 將對流胞依照移動速度區分為 $V \leq 5 \text{ m s}^{-1}$ 、 $5 < V \leq 10 \text{ m s}^{-1}$ 、 $10 < V \leq 15 \text{ m s}^{-1}$ 、 $15 \text{ m s}^{-1} < V$ 四類, 由小到大選取前 70% 資料當中的最大值作為最大可能誤差距離, 並將統計結果整理成對照表(如表 1)。實際執行對流胞路徑預報時, 根據不同移速取得所需預報時間的誤差值, 將所得誤差半徑的圓形範圍繪製在預報路徑圖上, 得到對流胞路徑 70% 的潛勢預報圖。

表 1. 2015 至 2018 年 5~8 月南北雷達四組速度分組前 70% 最大誤差範圍(km), 橫軸為預報時長。

Site	min Spd	Forecast Time (h)					
		10	20	30	40	50	60
RCWF	<=5	3.3	5.7	8.1	10.4	12.7	14.9
	5~10	3.7	6.4	9.2	11.7	14.4	17.2
	10~15	4.1	7.1	9.9	12.7	15.6	18.8
	>15	5.7	10.1	14.6	19.2	23.9	28.6
RCCG	<=5	3.7	6.4	9.0	11.2	13.6	15.9
	5~10	4.1	7.2	10.2	12.9	15.6	18.4
	10~15	4.7	8.1	11.5	14.6	17.8	20.7
	>15	6.5	12.0	17.3	22.5	27.5	33.1

利用可偵測機率(Probability of Detection, POD), 檢驗透過歷史統計資料的預報誤差, 計算對流胞實際位置是否落在路徑預報誤差範圍之內, 在範圍即可得分。故 POD 計算為:

$$POD = \frac{Hit}{Hit + Miss}$$

當所有路徑預報都能包含對流胞位置時, POD 最好的分數為 1, 如預報誤差範圍無法掌握對流胞位置, 則 POD 分數最差為 0。

三、使用資料說明

本期研究使用五分山雷達(RCWF)與七股雷達(RCCG) 2015 年至 2018 年夏季(5 至 8 月) 共 4 年的 SCAN 歷史資料進行統計分析, 並使用 2019 年資料進行校驗。此外, 根據中央氣象局每日發布的天氣報告, 將受到颱風、鋒面等綜觀天氣影響的日期區分為綜觀日(共 161 天)、其餘日期則分為弱綜觀日(共 331 天)。第一部分將著重探討對流胞的統計特徵, 包含於南北不同地域環境下(以七股雷達及五分山雷達進行區分)以及綜觀與弱綜觀不同天氣形態下的情況。第二部分則根據 0 到 1 小時的預報誤差統計結果開發對流胞潛勢預報產品, 並利用不同天氣型態的個案進行校驗。

四、統計結果分析

為了解對流胞的空間分布特性, 首先針對其生成及移動之熱點進行了解, 如圖 1。粉色位置為前 40% 的對流胞發生點, 可發現對流胞生成地點多為山區(圖 1 a, c); 將這些對流胞路徑繪出(圖 1 b, d), 可看出對流胞初生後的移動方向會因地區不同, 南北的對流胞行為有所差異。觀察對流胞的海陸分布情況, 可發現北部海面對流胞佔總體資料量的 68.1%, 略大於南部海面所佔的 60.6%(圖 2 a, b); 但若觀察陸地之對流胞, 可發現其資料量雖較總體少, 但分布之密集程度更大, 熱點主要位於南北山區附近(圖 2 c, d)。

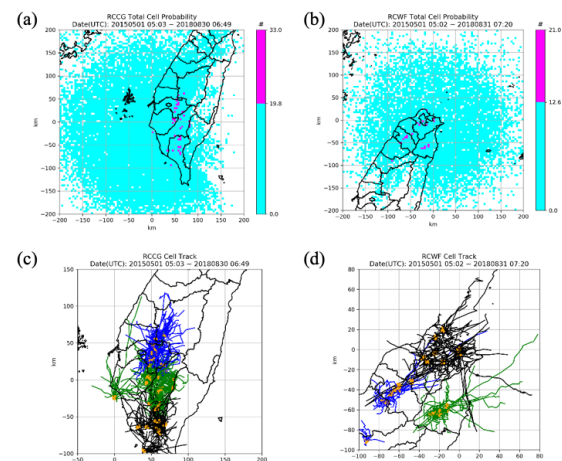


圖 1. 對流胞初生地點發生比例圖(上)與對流胞路徑(下), RCWF(左: a, c), RCCG(右: b, d)。

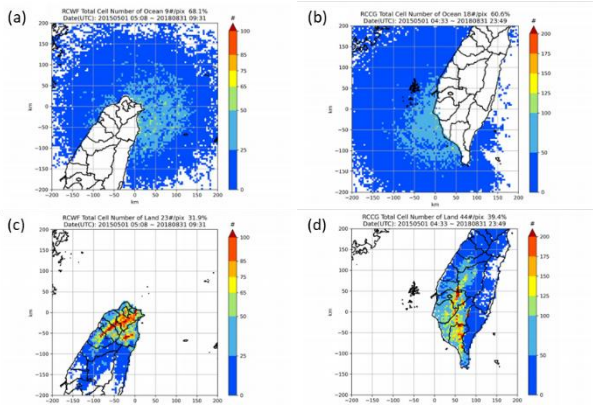


圖 2. 對流胞分布位置數量及佔總體資料之比例與資料密度，上至下依序為海面分布與陸地分布，RCWF(左: a, c)，RCCG(右: b, d)。

進一步探討對流胞於不同空間下的移動特性，首先可發現海面上的對流胞移速皆高於陸地上的移速，海面上約 10 m/s、陸地上約 5 m/s，北部海面略高於南部(圖 3 a, b)。若聚焦於陸地上，可觀察到對流胞於沿海平原地帶之移速較高，而當地形越崎嶇、海拔越高時之移速則越低(圖 3 c, d)。

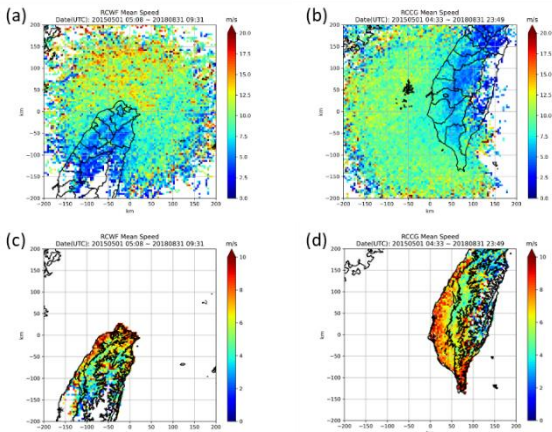


圖 3. 對流胞移速空間分布，上至下依序為海面分布與陸地分布，RCWF(左: a, c)，RCCG(右: b, d)。

透過南北雷達之對流胞最大回波值與速度之統計數量分布情況(圖 4)，可得知這些對流胞在最大回波值上主要以 45~55dBZ 居多，而在速度分布上則較為平均，各速度值皆有一定數量的資料，集中情況較不明顯。此外，觀測到的最大速度位於北部、而最大回波則位於南部。

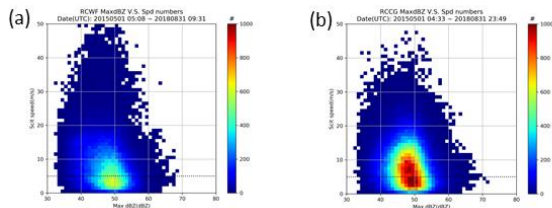


圖 4. 最大回波值(x軸)與速度(y軸)統計數量分布圖，(a) RCWF，(b) RCCG。

根據對流胞之生命期數量分布，當以一小時為單位進行分組時(圖 5 a, b)，各組別之分布趨勢於南北皆為生命期越長之數量越少，整體而言皆以 20~60 分鐘生命期居多；當著眼於 0~2 小時(圖 5 c, d)之分布，可注意到北部之分布情況大抵依舊為生命期長之數量越少、南部則是生命期 30 分鐘之對流胞最多。

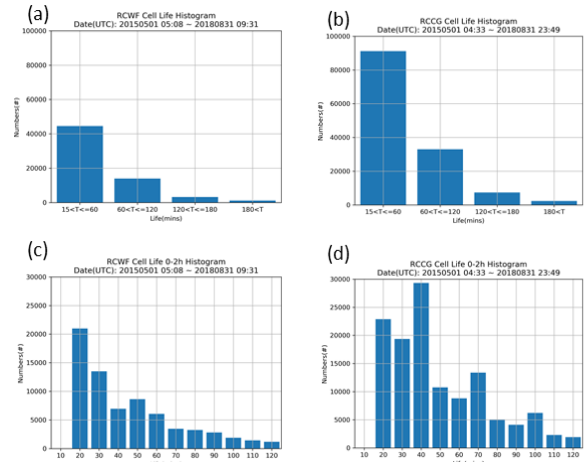


圖 5. 對流胞生命期次數長條圖，上至下依序為所有對流胞以及生命期 0~2 小時之對流胞，RCWF(左: a, c)，RCCG(右: b, d)。

若區分不同天氣系統討論對流胞之移速數量分布情況，如圖 6，可注意到綜觀天氣下之移速分布以 5~10 m/s 居多，弱綜觀日則以 0~5 m/s 為多。此結果可以與圖 3 的結果互相呼應，也就是弱綜觀對應到在陸地局部地區發展之強對流系統，故移動速度比較慢。

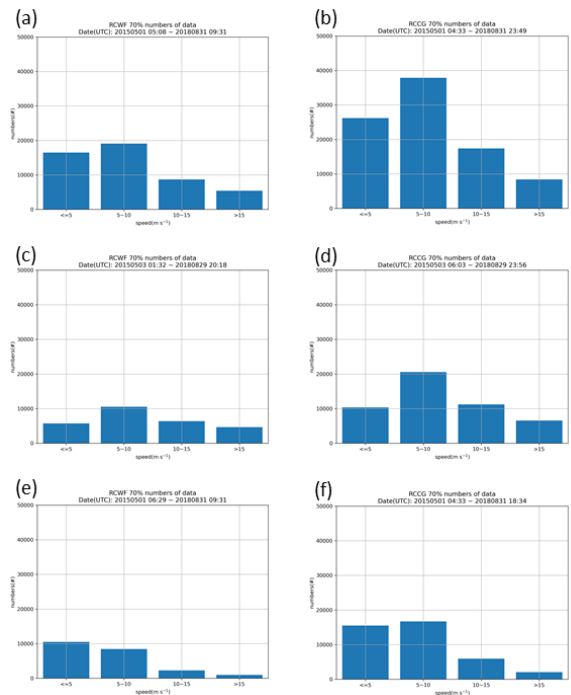


圖 6. 以 4 組速度分組下之各組別次數長條圖，上至下依序為所有日期、綜觀日與弱綜觀日，RCWF(左: a, c, e)，RCCG(右: b, d, f)。

比較平均路徑預報誤差(圖 7)，可發現預報初期差異不大，但在預報一小時後南部之誤差皆高於北部，且綜觀日的誤差會高於弱綜觀日。整體而言，一小時預報平均誤差約在 15km 上下。

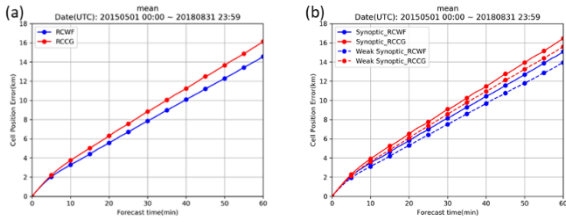


圖 7. 對流胞預報 0~1 小時的預報路徑平均誤差，藍色為 RCWF，紅色為 RCCG。(a)所有日期；(b)綜觀日(實線)與弱綜觀日(虛線)。

透過將速度分為 4 組，進行對流胞 PTA 路徑潛勢預報之開發。根據該分組結果取 70% 資料，可發現最多的數量落在速度 $5 < V \leq 10 \text{ m s}^{-1}$ 這組，且南北雷達皆吻合此情況(圖 5 a, b)。依據速度分組繪製一小時 70% 最大誤差結果，如圖 8。可以注意到當對流胞移動速度越快時，其預報誤差隨預報時長增加的幅度越大，且整體而言 RCCG 之誤差大於 RCWF。將統計結果整理成對照表(表 1)，以此誤差值作為半徑，繪製圓形範圍於預報路徑圖上，得到之對流胞路徑 70% 潛勢預報圖如圖 9。

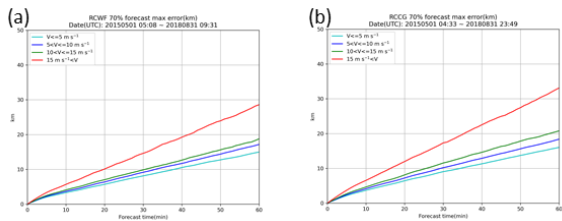


圖 8. 以 4 組速度分組下之對流胞預報一小時前 70% 最大誤差，(a) RCWF，(b) RCCG。

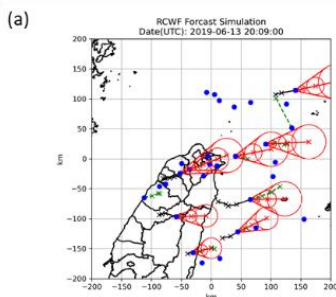


圖 9. 實際 PTA 機率預報示意圖。藍點為當下對流胞位置，綠線為此時間後 1 小時內的移動路徑，黑線為過去 1 小時內的移動路徑，紅線為 0-1 小時誤差範圍，圓圈分別為 10、30、60 分鐘 70% 預報誤差範圍。

依據統計結果初步建構出對流胞 70% 機率預報後，嘗試利用個案測試該產品之表現是否皆可於不同天氣型態下維持一定水準，結果如圖 10。根據 POD

的校驗結果，可得知該產品對於 T.D、低壓壟罩、颱風外圍環流個案在一小時預報期間內具有一定掌握能力，但對於滯留鋒、弱綜觀及冷鋒個案的預報則無法在一小時後維持一定水準，其中尤以滯留鋒個案更為明顯。未來應進一步挑選更多個案進行驗證，以確認此結果是否為單一極端個案所致。

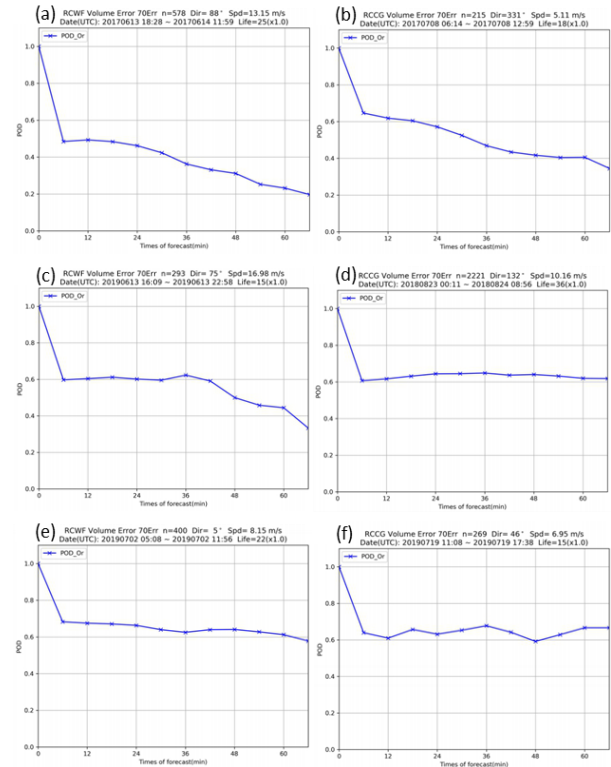


圖 10. 個案之 POD 於一小時預報期間內的變化，左為 RCWF，右為 RCCG。(a)滯留鋒，(b)弱綜觀，(c)冷鋒，(d)T.D，(e)低壓壟罩，(f)颱風外圍環流。

五、結論

本研究主要利用 2015 至 2018 年 5~8 月的 SCIT 資料，進行台灣對流胞於不同天氣型態及地域環境下的統計特性分析，並初步開發對流胞潛勢預報產品。

首先，透過進一步區分南北雷達以及綜觀與弱綜觀天氣，了解到台灣夏季風暴胞的移動特性會主要會受到地形的影響，並且會隨天氣系統發展的地點而有所不同。對流胞於山區附近的分布密度較高，而移速上則以沿海、迎風面區域較高。此外，對流胞在最大回波值上主要以 45~55dBZ 居多，而在速度分布上較為平均，對流胞生命期則以 1 小時以內為主。觀察不同天氣型態下移速的分布狀況，可以發現綜觀日之平均移速明顯高於弱綜觀日，此結果亦可對應於弱綜觀天氣系統的主要發展區域位於對流胞移速較慢的近山地區。比較一小時路徑誤差情況，可以注意到整體而言南部之誤差皆高於北部，而綜觀日之誤差皆高於弱綜觀日。

根據 4 年路徑誤差統計結果初步建構出對流胞

潛勢預報產品後，由 POD 校驗可發現：該產品對大多數對流胞皆有一定掌握能力，但在部分如鋒面以及弱綜觀的個案下表現較差。未來應進行更多個案的測試，了解該產品於不同天氣型態及地域環境下是否會呈現相對應的表現，並探討應如何進行優化。

六、文獻參考

- 張保亮，丘台光，陳嘉榮，張惠玲，王碧霞，2006: QPESUMS 系統對流胞偵測與預報路徑校驗，中央氣象局 2006 年天氣分析與預報研討會
- 張保亮，林品芳，陳嘉榮，2008: 台灣地區午後對流雷達觀測特徵分析，中央氣象局 2008 年天氣分析與預報研討會
- 蔡甫甸，2011: 中央氣象局即時預報發展之探討-只用 SCAN 追蹤分析 2011 年新店龍捲風所伴隨之風暴個案，中央氣象局 2011 年天氣分析與預報研討會
- 鍾高陞、柯靜吟、鄒益豪、林秉煜、陳新淦、劉宇其、賈愛玫，2019: 台灣地區 SCAN 即時預報系統之對流胞路徑誤差統計分析，中央氣象局 2019 年天氣分析與預報研討會
- Capozzi, V., E. Picciotti, V. Mazarella, F. S. Marzano, and G. Budillon, 2018: Fuzzy-logic detection and probability of hail exploiting short-range X-band weather radar. *Atmos Res*, 201, 17-33.
- Eilts, M. D., and Coauthors, 1996: Severe weather warning decision support system. Preprints, 18th Conf. on Severe Local Storms, San Francisco, CA, Amer. Meteor. Soc., 536–540.
- Gourley, J. J., R. A. Maddox, D. W. Burgess, and K. W. Howard, 2002: An exploratory multi-sensor technique for quantitative estimation of stratiform rainfall. *Journal of Hydrometeorology*, 3, 166-180.
- Hou, J. Y., and P. Wang, 2017: Storm Tracking via Tree Structure Representation of Radar Data. *J Atmos Ocean Tech*, 34, 729-747.
- Johnson, J. T., P. L. MacKeen, A. Witt, E. D. Mitchell, G. J. Stumpf, M. D. Eilts, and K. W. Thomas, 1998: The storm cell identification and tracking algorithm: An enhanced WSR-88D algorithm. *Weather and Forecasting*, 13, 263-276.
- Jung, S. H., and G. Lee, 2015: Radar-based cell tracking with fuzzy logic approach. *Meteorol Appl*, 22, 716-730.
- Kato, R., S. Shimizu, K. Shimose, T. Maesaka, K. Iwanami, and H. Nakagaki, 2017: Predictability of meso-gamma-scale, localized, extreme heavy rainfall during the warm season in Japan using high-resolution precipitation nowcasts. *Q J Roy Meteor Soc*, 143, 1406-1420.
- 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. *Bulletin of the American*