

# 中央氣象局即時預報發展之探討

## — 使用 SCAN 追蹤分析 2011 年新店龍捲風所伴隨之風暴個案

蔡甫甸  
氣象預報中心  
中央氣象局

### 摘要

中央氣象局目前與美國合作發展有 SCAN、SAFESEAS、FSI、WarnGen 等包括監測、分析、預報及發布的即時預報工具。其中 SCAN (The System for Convection Analysis and Nowcasting) 主要用於偵測、分析和監測對流系統並提供預報員準確的、及時的、持續性的劇烈天氣導引。本文使用 SCAN 追蹤分析 2011 年 5 月 12 日新店龍捲風所伴隨之超級胞個案，並就中央氣象局即時預報的發展作一探討。

分析結果顯示 5 月 12 日 0340 UTC 新北市三峽南邊有一對流發展，0351 UTC 掃描到 50 dBZ 以上的降水回波)，0356 UTC SCAN 偵測到單胞風暴(Ordinary cell)發展並約以每小時 33 公里的速度向東北移動，歷經成熟到衰減，0431 UTC 分裂成兩個風暴(storm cell))，其中一個運動方向左側的風暴與其後的另一對流合併後再度增強，並於 0441 至 0449 UTC 雷達風場顯示有向上發展到高度 5 公里左右的離向(outbound)風，判斷應有發展出中尺度環流且逐漸朝新店接近，0506UTC 偵測到低層渦旋發展，約在下午 1 點 10 幾分有龍捲風發生的報告。本研究顯示 SCAN 大致能掌握到風暴的演變，但多胞風暴時也會誤判，其提供的資料仍需經研究修改為適合台灣的特性。由於雷達資料品質的問題，SCAN 雜訊仍很多，未來若能配合 FSI (The Four-dimensional Stormcell Investigator) 立體雷達圖的追蹤分析，逐漸建立包括單胞風暴(Ordinary cells)、多胞風暴(multiple cell systems)、超大胞風暴(Super cells)在台灣複雜地形下的概念模型，將有助於中央氣象局即時預報的發展。

關鍵字：SCAN, storm cell ,Super cells

### 一、前言

中央氣象局目前與美國合作發展有 SCAN 、SAFESEAS 、FSI 、WarnGen 等包括監測、分析、預報及發布的即時預報工具，另外與 NCAR 合作發展的自動即時預報系統 (ANC) 著重在 1 小時的風暴初始位置預測。其中 SCAN (The System for Convection Analysis and Nowcasting) 主要用於偵測、分析和監測對流系統並可產生極短期的降雨機率預報以及可在中央氣象局預報中心目前的工作站 WINS 上對劇烈天氣自動產生警告的指引。SCAN 可提供預報員準確的、及時的、持續性的劇烈天氣導引及自動對事件追蹤監測。所以 SCAN 在未來氣象局發展的即時預報將扮演重要角色。

在實際作業上，風暴尺度系統的研判極具困難度，主要依賴氣象雷達所掃描的資料，在時間尺度約 6 至 7 分鐘即有一筆三度空間的資料，20 秒即有單一仰角掃描的資料，在空間尺度低仰角的解析度可達 250 公尺。SCAN 主要有兩部分的功能，一個是風暴的偵測辨識及追蹤的系統 SCIT ( the Storm Cell Identification and Tracking algorithm)，用於辨識、描繪特性、路徑追蹤、預測對流胞在三度空間短期的移動 ( J. T. JOHNSON et al. 1997 )。另一個是 WSR-88D Mesocyclone Detection Algorithm ( G. J. STUMPF et al. 1997 )，所設計用來偵測劇烈風暴顯著旋轉在都卜勒雷達徑向風速顯示的訊號，目前在 SCAN 上的設計為 DMD ( Digital Mesocyclone Detection )。若風暴具有

強烈的、深厚的、旋轉的上升氣流將有很大可能產生龍捲風、大的冰雹 (直徑 2.0-cm)、以及破壞性的風 (Fujita 1963)，美國主要著重在龍捲風的預測，台灣龍捲風稀少，但具中尺度氣旋的對流系統往往生命期較長，且伴隨有劇烈的天氣現象，因此中尺度氣旋的偵測對準確且及時的劇烈天氣即時預報是相當重要的。本文針對 2011 年新店龍捲風所伴隨之超級胞個案作分析，並使用 SCAN 系統偵測追蹤與校驗，最後就即時預報的發展作一探討。

### 二、SCAN 原理及個案介紹

SCIT 進行過程是根據雷達完整掃描後一個徑向緊接一個徑向的降水回波資料，使用 7 個不同的回波值 (REFLECTIVITY: 60, 55, 50, 45, 40, 35, and 30 dBZ)。主要是基於中心辨識及追蹤的技術，可以追蹤個別風暴，並能提供風暴的特性。.追蹤方法首先使用前一個中心的位置，由前一個中心的運動向量或原始設定向量(假如上一次是第一次偵測到風暴)來推估一個初猜值。其次，計算現在掃描到所有的風暴中心與初猜值的距離，如果距離小於某一設定值，就把前一個風暴推估的初猜值儲存起來當作是可能的現在風暴位置，然後所有現在風暴及其推估的可能位置都已決定，如果距離最小，就可作同一風暴的時間序列(圖1)。最後計算至少有兩次掃描已確認的所有風

暴雨的運動向量，運動向量由現在上推至前10個風暴位置的線性最小方差計算而得。

自動渦度偵測首先由都卜勒速度資料尋找氣旋式方位角風切型態，每一個仰角掃描資料以順時針方式由隨方位角增加而增加的徑向速度找出氣旋式風切(北半球)的特性，藉由比較固定範圍內兩個鄰近的速度值開始進行，假如氣旋式風切存在，在範圍內的風切片段將呈現開放的型態，接著持續比較下兩個徑向風，直到偵測不到氣旋式風切為止(圖2)。判斷環流的強弱，須要再比較二度空間及三度空間風切值及厚度等。

$$\text{風切Shear} = |V_{in} - V_{out}| / \text{Distance between } V_{in} \text{ and } V_{out}$$

其中  $V_{in}$  and  $V_{out}$  分別是向雷達及離開雷達的最大速度值 (Zrnic' et al. 1985)

### 三、資料來源

在本研究中所使用綜觀分析資料為 ECMWF 模式 0.5 度；雷達資料為中央氣象局五分山都卜勒雷達 9 個掃瞄仰角包括 0.5 度、1.5 度、2.4 度、3.4 度、4.3 度、6.0 度、10.0 度、14.0 度、19.5 度，其中 0.5 度、1.5 度為 250 公尺解析度，其他仰角為 1 公里解析度；SCAN 中的 CAPE、Helicity 為風暴最接近的氣象局 LAPSWRF 模式網格點資料所計算。

### 四、個案分析與校驗

#### (一) 総觀環境

2011 年 5 月 12 日 0000 UTC 的天氣圖(圖3)顯示地面鋒面接近台灣北部陸地，台灣附近 850 hPa 約 10 至 15 kts 的西南風，850 hPa 的  $\theta_e$  分布圖(圖 4)顯示台灣  $\theta_e$  值約 344 度， $\theta_e$  軸線約在台灣北部海面。衛星雲圖(圖5)顯示中尺度對流系統沿著  $\theta_e$  軸線發展。當時板橋探空的風花圖(圖6)顯示垂直風場 1 至 3 公里為順時針，3 至 6 公里為逆時針。

#### (二) 雷達分析

由於新店龍捲風發生在市區，因此有很多目擊者，並有不同角度的錄影，電視新聞亦多有播報(圖7)，圖8為目擊者看到龍捲風離開時的經緯度(新店中央路與中正路交叉口，約 24.978745 °N, 121.533937 °E)。由雷達的降水回波顯示 5 月 12 日 0340 UTC 新北市三峽南邊有一對流發展，0351 UTC 掃描到 50 dBZ 以上的降水回波(圖 9a)，歷經成熟到衰減，0431 UTC 分裂成兩個風暴(storm cell)(圖 9b、9c)，其中一個運動方向左側的風暴(storm cell)與其後的另一對流合併後再度增強，圖 9d、9e 為 0512 UTC 的降水回波，由 0.5 度仰角可看到鉤狀回波，於 0441 至 0449 UTC 雷達風場顯示有向上發展到高度 5 公里左右的離向(Outbound)風(圖 10a、10b)，判斷應有發展出中尺度環流且逐漸朝新店接近，0506 UTC 偵測到低層渦旋發展，約在下午 1 點 10 幾分有龍捲風發生的報告。圖 11a ~ e 為使用 gr2analyst 軟體所畫的 0512 UTC(下午 1 點 12 分) 龍捲風所在的 3D 雷達

降水回波圖及垂直剖面，顯示低層渦旋上空為微弱回波區，40 dBZ 以上的回波位在其南側，垂直剖面可看到弱回波區(BWER)。

#### (三) SCAN 表現與校驗

SCAN 在 0356 UTC 偵測到單胞風暴(Ordinary cell)發展並約以每小時 33 公里的速度向東北移動，圖 12 顯示 0402 UTC SCAN 偵測到風暴代號 Q3 的移動方向、速度及特性資訊，0426 UTC 為風暴分裂前的情形，0449 UTC 為風暴分裂後風暴代號變更為 Q5 及 Q3 的資訊，基本上風暴的演變大致掌握不錯。

在中尺度環流的偵測方面，則因 DMD 設定為氣旋式環流偵測，此次個案為反氣旋式環流，因此表現並不佳，不過離向(outbound)風大致有偵測到，只是環流方向相反，圖 13 顯示 0518 UTC 龍捲風發生時偵測到的資訊。環流的基底(base)約在 1km，最低可掃描到 300 公尺高度之旋轉風(Vr)約為 19 kts，中尺度渦旋 300 公尺高度的直徑約 2 km，低層風切約為  $18 \text{ m s}^{-1} \text{ km}^{-1}$ 。

### 五、結論與展望

本研究顯示 SCAN 大致能掌握到風暴的演變，但多胞風暴時也會誤判，其提供的資料仍需經研究修改為適合台灣的特性。由於雷達資料品質的問題，SCAN 雜訊仍很多，未來若能配合 FSI (The Four-dimensional Stormcell Investigator) 立體雷達圖的追蹤分析，逐漸建立包括單胞風暴(Ordinary cells)、多胞風暴(multiple cell systems)、超大胞風暴(Super cells)在台灣複雜地形下的概念模型的建立，將有助於中央氣象局即時預報的發展，而即時預報在於能及時發布災害性天氣預警，所有即時預報的工具在講究自動化、效率化時仍需考慮台灣的特性，這仍待後續的努力。

美國的一些反氣旋超大胞風暴伴隨反氣旋龍捲風的研究如 2001 J. P. Monteverdi et al. 其探空型態都不是標準型，本文個案亦是如此，未來將利用數值模擬配合台灣複雜的地形環境作各種測試。

### 參考文獻

- Burgess, 1998: The National Severe Storms Laboratory Mesocyclone Detection Algorithm for the WSR-88D. *Wea. Forecasting*, 13, 304–326.
- Fujita, T., 1963: Analytical mesometeorology: A review. *Severe Local Storms, Meteor. Monogr.*, No. 27, Amer. Meteor. Soc., 77–125.
- Johnson, J. T., P. L. MacKeen, A. Witt, E. D. Mitchell, G. J. Stumpf, M. D. Elts, and K. W. Thomas, 1998: The Storm Cell Identification and Tracking (SCIT) algorithm: An enhanced WSR-88D algorithm. *Wea. Forecasting*, 13, 263–276.
- Monteverdi, J. P., W. Blier, G. J. Stumpf, W. PI and K. Anderson, 2001: First WSR-88D Documentation

of an Anticyclonic Supercell with Anticyclonic Tornadoes: The Sunnyvale–Los Altos, California, Tornadoes of 4 May 1998. Mon. Wea. Rev., 129, 2805–2814.

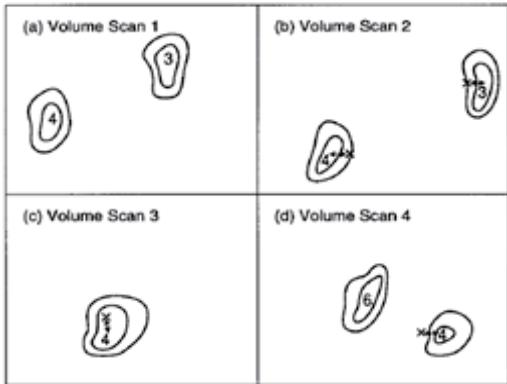
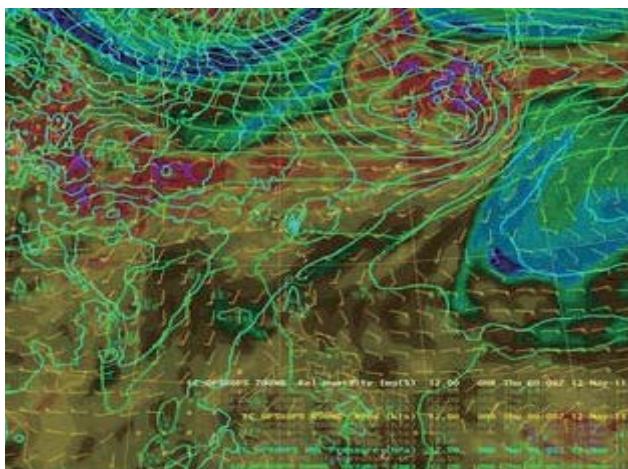


圖 1 隨時間進行的例子。”X”表示現在風暴的初猜位置，短箭頭顯示前一個掃描到的所有風暴位置和其初猜位置的誤差。

圖 3 2011年5月12日0000 UTC 綜觀環境，其中綠色線



條為500 hPa高度場，藍色線條為地面氣壓場，風標為850 hPa風場，影像為700 hPa相對濕度場。

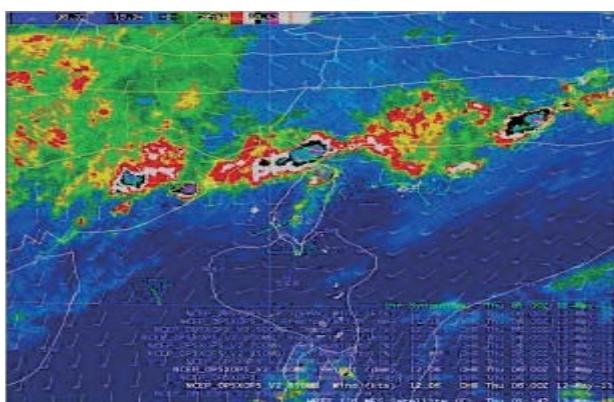


圖 5 5月12日0514 UTC紅外線衛星雲圖。

Zrnic', D. S., D. W. Burgess, and L. D. Hennington, 1985: Automatic detection of mesocyclonic shear with Radar. J. Atmos. Oceanic Technol., 4, 425–438.

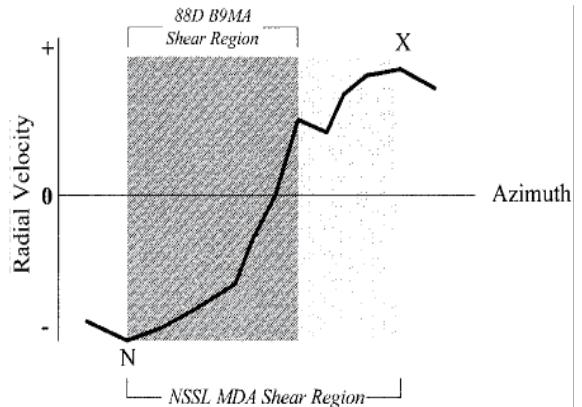


圖 2 方位角風切片段，其中橫坐標為方位角，縱坐標為徑向速度，範圍是固定的；黑色陰影顯示氣旋式風切區域(風速隨方位角增加)，X and N 分別代表風切片段中最大的離開雷達(outbound)和向雷達(inbound)的速度值。

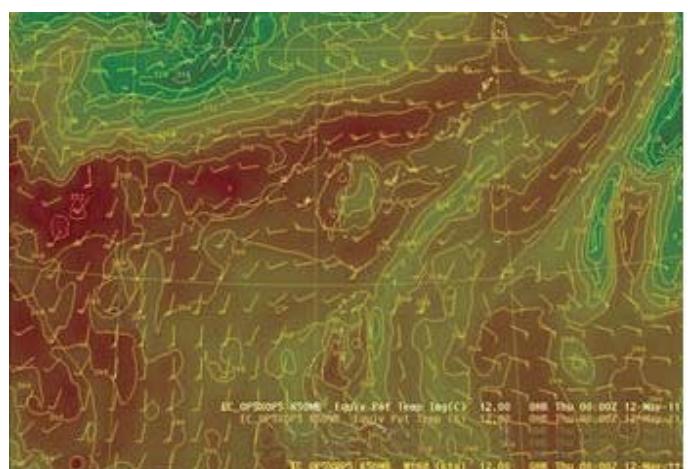


圖 4 850 hPa的 $\theta_e$ 分布圖，其中風標為850 hPa風場，線條及影像為 $\theta_e$ 場。



圖 6 5月12日0000 UTC板橋探空的風花圖。



圖 7 電視播報龍捲風的畫面。



圖 8 目擊者說龍捲風離去時的位置(取自 google earth)。

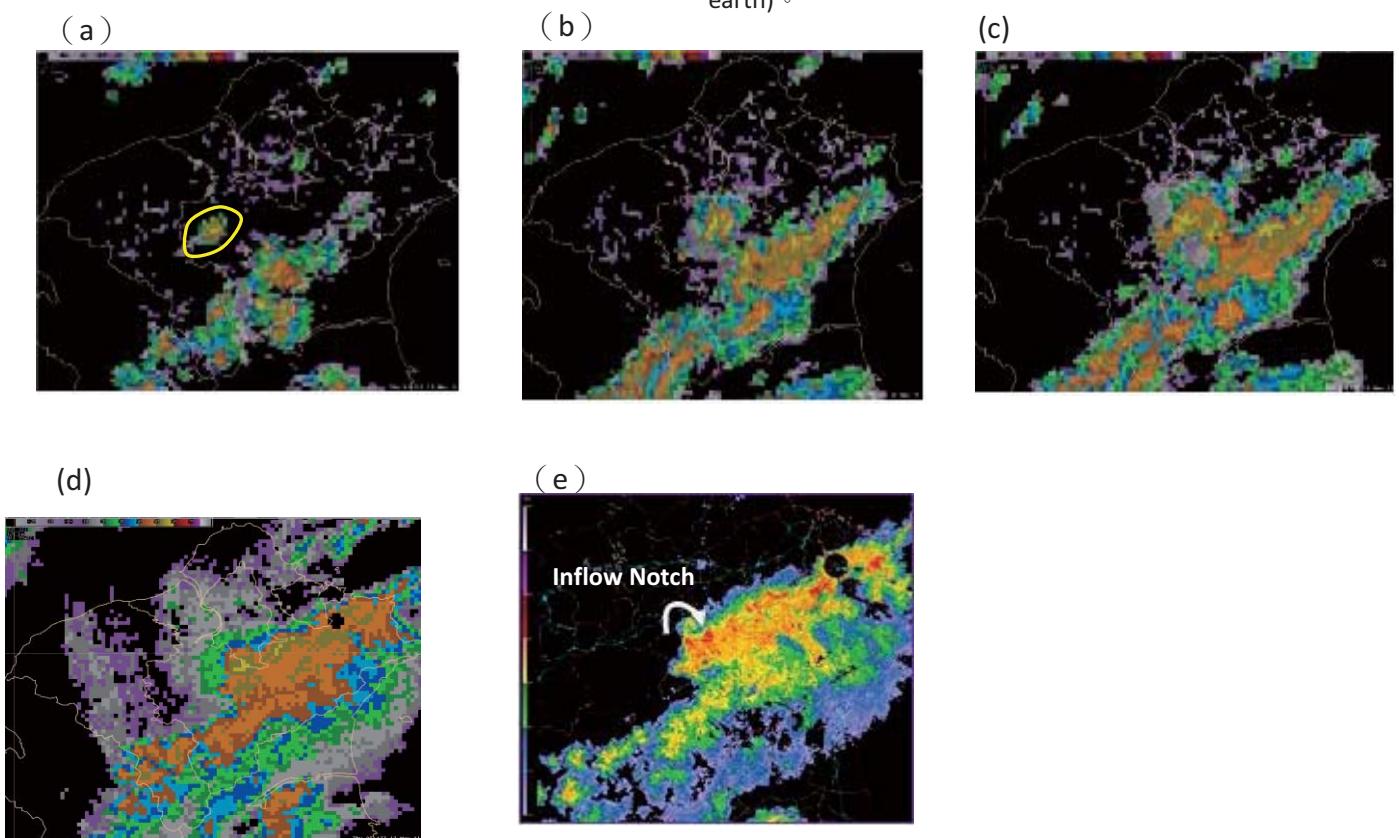


圖 9-2011 年 5 月 12 日雷達回波圖，時間分別：(a) 0351 UTC、(b) 0420 UTC、(c) 0431 UTC、(d) 0512 UTC、(e) 同(d)但為 0.5 度單一仰角回波

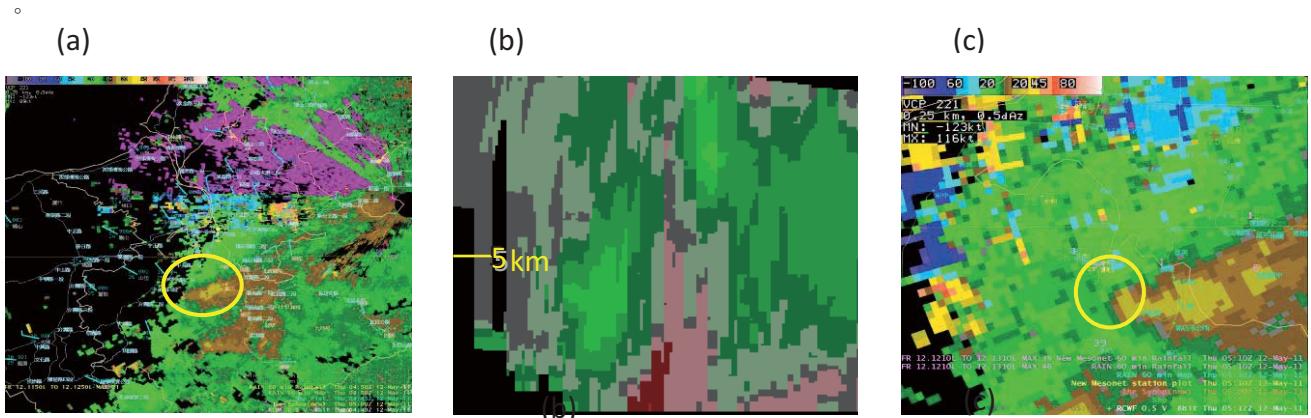


圖 10 2011 年 5 月 12 日雷達風場圖，分別：(a) 0449UTC UTC、(b) 同(a)時間之西北—東南向的剖面、(c) 0512 UTC。

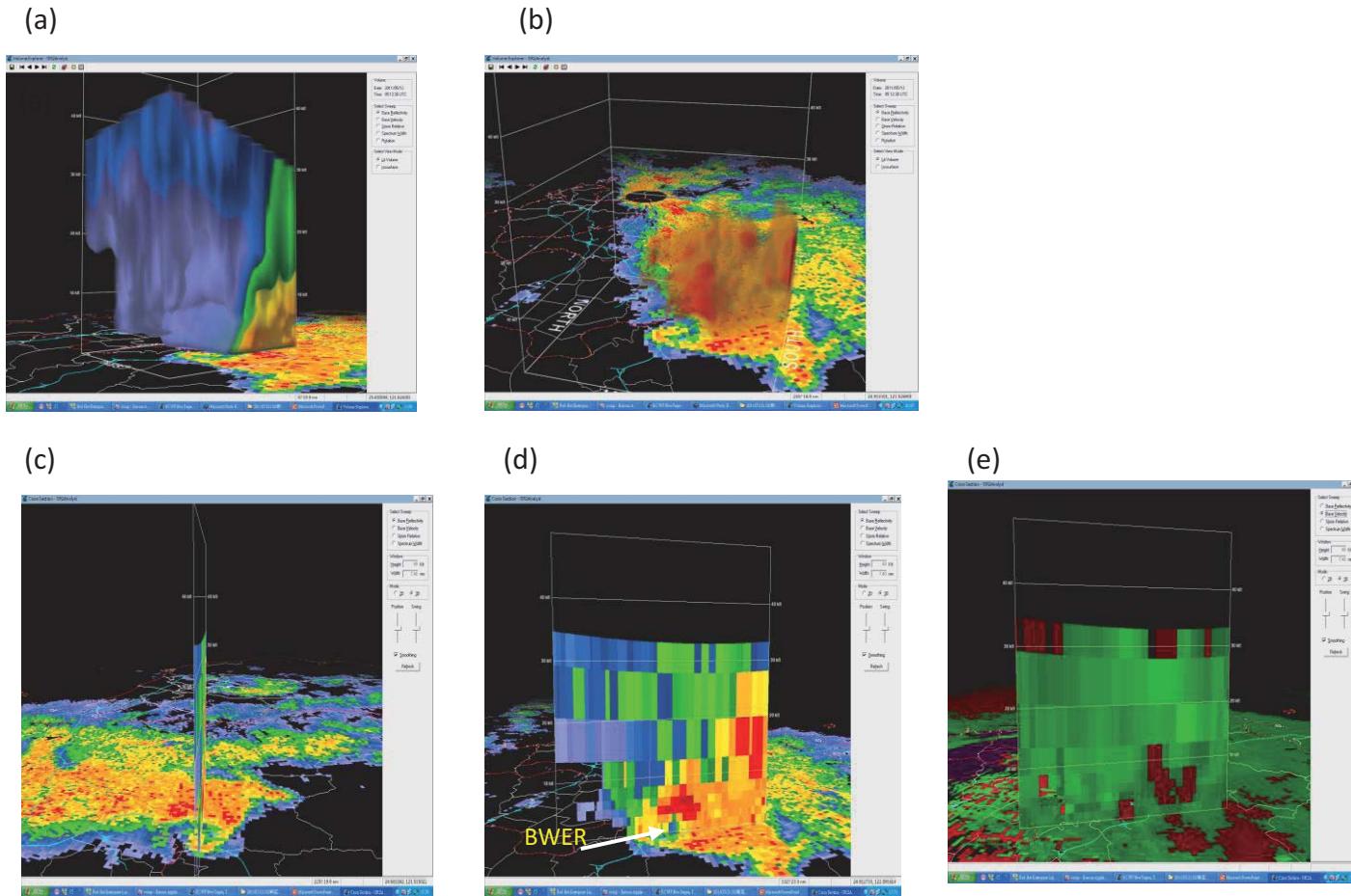
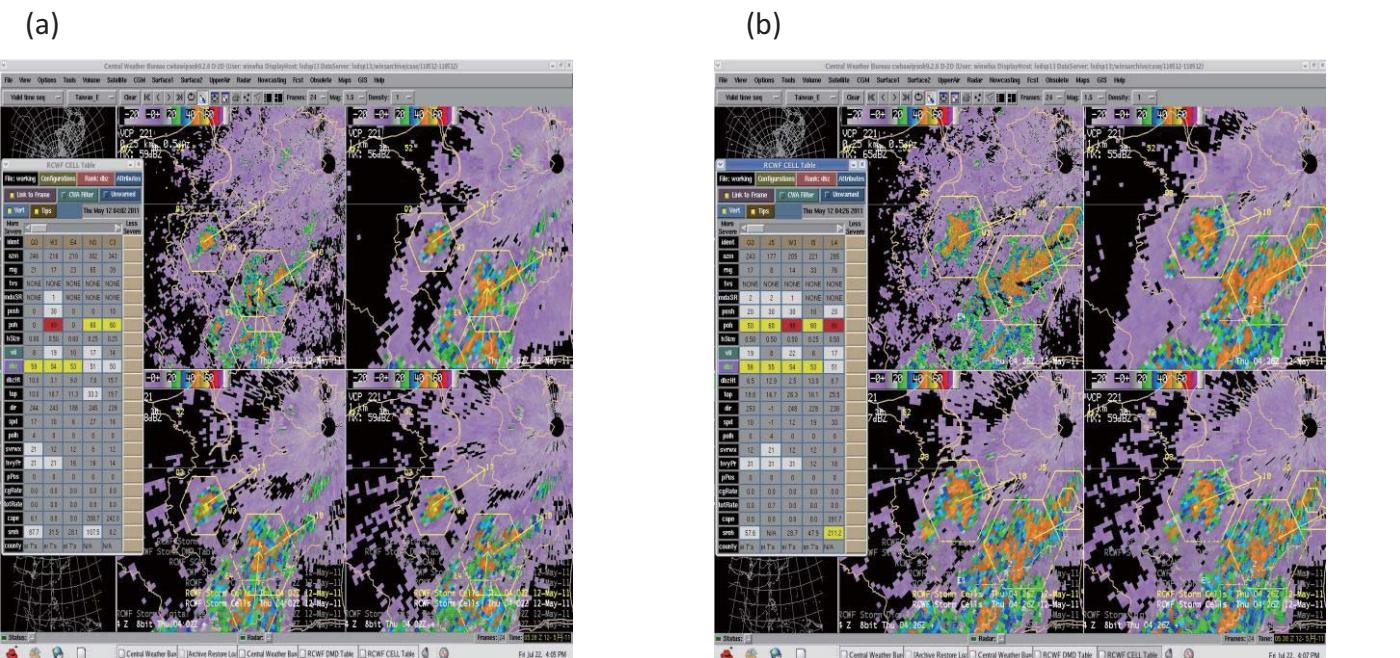


圖 11 2011 年 5 月 12 日 0512 UTC 龍捲風所在的 3D 雷達降水回波圖及垂直剖面，其中(a)整體回波、(b)40dBZ 以上的回波、(c)切剖面的位置、(d)降水回波垂直剖面、(d)風場垂直剖面。



(c)

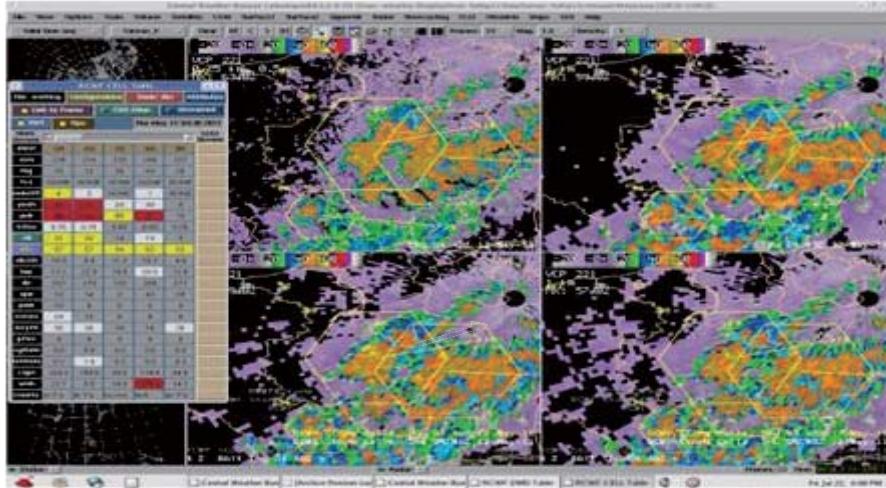


圖 12 SCAN 風暴偵測顯示圖，時間分別為(a)0402 UTC、(b)0426 UTC、(c)0449 UTC。

(b)

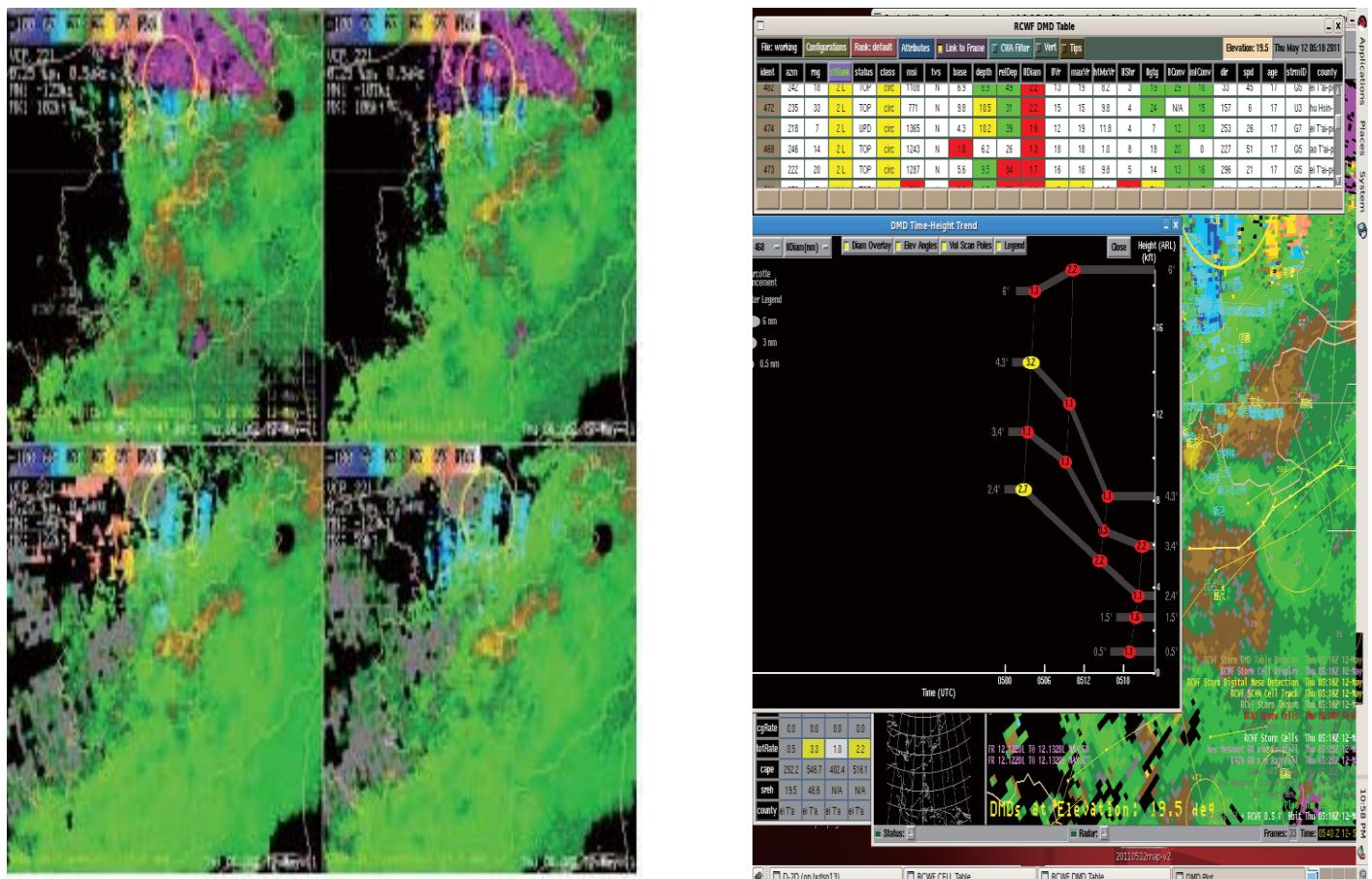


圖 13 SCAN 中尺度環流偵測顯示圖，(a) 0506 UTC 4 個最低仰角的偵測、(b) 0518 UTC 環流偵測及資訊顯示。