

都卜勒與傳統氣象雷達 對異常天氣分析之研究 (一)

郭兆憲 葉文欽
李雲龍 鄭哲聖 徐樂明

摘要

台灣地區處於亞熱帶，春冬季常有鋒面過境，春末夏初梅雨季的豪雨，夏秋間有雷暴雨及颱風侵襲，都卜勒與傳統氣象雷達用於觀測特殊系統，如颱風、龍捲風、雹暴、鋒面、飢線、對流所產生的豪雨、亂流、風切、強風、雷雨等異常天氣，其可提供解析度相當高的降(雷)雨細胞結構，觀測的時間及地點可因發生天氣的情況需要，隨時觀測，予以決定其正確位置、分布的廣狹、強度的大小與回波雲頂高度，分析其立體結構、劇烈程度與移動方向及速度，而這些特殊劇烈的天氣現象對民生經濟及國防有重大影響，實應予以深入研究分析。

本文研究係以台中清泉崗都卜勒WSR-88C與傳統WSR-74C 氣象雷達對經過台灣地區所觀測到的天氣現象，如飢線、鋒面雷雨、大範圍降水、豪雨及對流性氣團雷雨的回波資料，分別以個案，依其生成的降水，雷雨胞的結構及發展，消失的過程，配合台灣地區各測站地面逐時天氣資料、地面及高空天氣圖分析、探空分析、高空資料、衛星雲圖資料、數值預報資料，利用都卜勒氣象雷達的反射率分析雲雨回波的強度(DBZ)，以徑向風場(V)分析其移動方向與速度，回波雲頂高度圖(Echo Tops)分析雲雨回波的不同高度，以垂直累積降水的含量(V.I.L)分析從底層至高層雲雨回波的降水含量多寡，頻譜寬(Spectrum Width)分析雲雨回波內亂流及風切的大小，以垂直風場(V.V.P)分析雲雨回波內從底層至高層的風向、速度、輻散度情況，以垂直橫切剖面(Cross Section)分析雲雨回波內底層至高層的垂直結構，綜合研判其移動速度與坡度、擾動的特性做一完整的系統分析及預報方法，以增進對中小尺度系統存在時，天氣狀況的了解與有效掌握，以作為維護民生經濟，飛航安全之參考使用。

一、前言

欲僅以天氣圖、衛星資料，瞭解天氣型態將產生何種天氣的某些因子，較為困難。由於局部地區及瞬時發展的中小尺度天氣現象，常造成某些災害，並影響到我飛安戰訓與民生經濟。因此應用都卜勒與傳統氣象雷達觀測所得之資料，使我們分析了此鋒面分佈廣狹，強度大小與雲頂高度，是否造成強烈降水或無降水，分析其立體結構，瞭解其劇烈程度是否有大雷雨，明顯的飢線其移動的速度及所產生的強風情況，分析颱風登陸台灣地區期間，前後階段定位颱風中心，分析結構變化，以及副低壓發展，彌補傳統測站時間及空間之不足，幫助我

們對中小尺度天氣系統之瞭解，以做好先期預警工作，實為吾人共同之目標。

由於全球廣泛注意中尺度天氣及災害天氣之預報，氣象雷達的應用愈形重要，都卜勒氣象雷達除保有傳統氣象雷達之功能外，尚可測定徑向風速及中小尺度劇烈天氣現象的垂直剖面分析。都卜勒氣象雷達是目前最新的科技產品，在國內對此研究不多，亦極需切。近年來在國外，利用氣象雷達在觀測鋒面及飢線方面有相當收穫。

Hobbs and Person (1982) 曾應用氣象雷達分析冷鋒降水性質，Gain and Blustein (1982)對從1971至1981年發生在美國南部大平原的飢線系統分

類後，研究不同類別的迴線系統和環境風場、溫度場的關係，Browning (1987)，Fritsch and Rodgers (1982)，提出如何利用雷達回波資料，協助預報員瞭解及預報風暴移動的速度。Doviak and Zrnic (1984)、Dahlstorm (1988)皆著眼於都卜勒氣象雷達的發展與應用。

二、氣象雷達功能與研究處理方法

(一) 氣象雷達功能：

1. 台中清泉崗WSR-74C 傳統氣象雷達於民國66年12月17日架設啟用，並配以雷達資料傳輸電腦，都卜勒氣象雷達 DWSR-88C 於79年9月1日架設，作24小時觀測作業，此雷達涵蓋範圍包括台灣西部、台灣海峽及大陸沿海地區。
2. 氣象雷達是利用電磁波反射原理，探測水滴、大氣粒子的目標物，來偵測雷雨、颱風、迴線、鋒面等之電子儀器(如圖一)，若雷達與目標物有相對之運動，依據都卜勒效應(Doppler Effect)完成探測目標者，則稱為都卜勒雷達(Doppler Radar)，否則稱為傳統性雷達(Tradition Radar)。
3. DWSR-88C都卜勒氣象雷達是由傳統氣象雷達所改良而來，除磁控管、陰極射線管外，其餘完全是由電晶體所組成，故有甚高的可信度及優異的性能，如表一。而其特性如下：

項目	非都卜勒	都卜勒
頻率範圍	5.0-5.65 GHz	5.0-5.65 GHz
接收波長	250 Hz	800/1200 Hz
脈波寬	2 us	0.6-0.9 us
輸出功率	250 kW	250 kW
天線仰角	<0.5 dB	<0.5 dB
天線轉速	360°/5 rpm	360°/5 rpm
天線增益	40 dB	40 dB
波束寬	1.1°	1.1°
仰角	-27 dB 水平面	-27 dB 垂直面
天線極化	水平線性	水平線性
天線仰角	-2° - +30°	-2° - +30°
接收機輸出	對數 >78 dB	線性 100 dB 26-30 dB
雜訊	5 dB	5 dB
動力電壓	>80 dB	>80 dB
可測最低風速	>106 dB	>106 dB
測風範圍	430 KM	120 KM
旋轉速度	2 KM	0.25 - 1 KM
旋轉可測風速	-	+32 m/s
溫度範圍	-20°C - 65°C	-20°C - 65°C

表1：DWSR-88C都卜勒氣象雷達性能表

- (1) 具有都卜勒及傳統回波強度氣象雷達二種的功能，而且可將都卜勒與非都卜勒兩種影像同時顯示，操作方式可手動、自動或電腦定時設定24小時觀測。
- (2) 能夠自行診斷各項功能、機組。
- (3) 可利用電腦程式計算降雨、冰雹、下雪之強度。
- (4) 螢幕顯示器具有下列特性：

可利用搖桿或滑鼠控制畫面使螢幕上可分離顯示不同影像，並可放大、左右與上下移動。

使用者可利用16種顏色來作各項區分判別及可記憶16張影像，以測量回波系統移動及風速資料。

可儲存及顯示不同時間之影像並可選擇開始時間及某時段擷取資料，以24小時為一週期。

地形回波可降至27dBZ，而降雨的強度以6種顏色區分顯示。

速率是由0至32公尺/秒區分為9種，或是由0至16公尺/秒區分為9種，而亂流強度區分為6種。

4. WSR-74C 傳統氣象雷達性能，如表二。其主要功能為平面位置顯示器(Plan position indicator)，能將回波方位距離顯示出來。對流性雲降水(Convective echo)其回波強度大且變化快。而層狀雲降水回波(Stratiform echo)則回波強度小且變化慢，常為形狀不定之廣大回波區。距離高度顯示器(簡稱 RHI)，若回波形狀垂直高瘦，則為對流性降水，而回波所佔的水平距離很大，垂直幅度很小，則為層狀降水。DVIP設備，可以顯示6種不同強度之降水等級。如第三級燈亮，則指示降水為中度，降水量每小時12.7-25.4公厘。雷雨胞回波常掩沒在大片回波中，而將回波強度做適量衰減後，常可使其變的更明顯，確定其位置。

表二：WSR-74C 氣象雷達性能表

波長	5.3 公分
頻率	5600 至 5650 MHz
有效距離	230 公里
最大距離	450 公里
最大輸出電力	250 KW
脈波往復頻率 (PRF)	260 PPS
脈波寬	3.0 μ sec
天線直徑	8 呎
波柱寬	1.65 度(最大)
天線掃描	水平向可 360 度旋轉，仰角由 -1 至 60 度
平面位置顯示器 (PPI)	直徑12吋，亦有100、230、450公里三種掃描範圍
距離高度顯示器 (RHI)	直徑12吋，亦有100、230、450公里三種掃描範圍，最大高度可達 21 公里
A型顯示器	4 X 5 吋之長方形，掃描範圍同 RHI
DVIP設備	可以顯示 6 種平均強度之等值線

5. 傳統氣象雷達觀測，以時間在正點及30分作0度仰角觀測一次，若有回波組織良好個案，則每隔30分鐘在測距240公里範圍內，拍攝雷達電腦回波以仰角0度至0.6度各一張並作地形校正後繪於地形圖紙上，而得回波連續圖，作天氣系統研究。

6. 都卜勒氣象雷達觀測，則以電腦設定數個(0.5 1.0 2.0 3.0 5.0 10 20 30)仰角在240公里範圍內以作三度空間掃描，除立即顯示各仰角回波外，並做各種不同的資料，若遇組織良好個案，則每30分鐘拍攝雲雨回波各一張，即1.5公里及3公里定高平面都卜勒風場(Mean Velocity)與非都卜勒回波強度圖(Reflectivity)、垂直風場分布圖(Velocity Volume Processing V.V.P)、垂直累積雨量圖(VIL)、降雨率圖(Rainfall Rate)、頻譜寬圖(Spectrum Width)、雲頂高圖(Echo Tops)。

(二) 研究處理方法：

1. 氣象雷達觀測所涵蓋範圍包括台灣西部、台灣海峽及大陸東南沿海地區的明顯回波，組織良好的個案，隨時觀測，將各項資料予以拍攝。
2. 將所拍攝之雷達回波照片，經整理以顯著豪雨、迴線、鋒面個案，分別與觀測回波所繪成之回波雲雨區相對照，以分析其分布廣狹，強度

、坡度、速度及所造成天氣現象的劇烈程度。

3. 由回波圖配合各東亞地面天氣圖，高空資料，衛星資料，探空斜溫資料，測站特殊觀測資料，作大尺度天氣圖分析，以驗證氣象雷達回波所代表中尺度系統存在時之大尺度天氣狀況。
4. 由雷達回波之時間序列圖片，定高平面圖CAPPI 以了解異常天氣的生成，發展與消失過程。

5. Volume Scan：乃天線每旋轉一圈變換一次經設定之仰角，如此至完成最後一仰角掃描，其涵蓋範圍係一錐體體積，此類之掃描型態即稱之為Volume Scan 掃描。其天線的掃描均為多層仰角方式，各項的分析資料，如頻譜寬、累積降水含量、垂直剖面等，均可由此獲得。較密集的仰角層數完成之Volume Scan 分析資料亦較精確，但花去太多時間，圖二，為一典型之Volume Scan 示意圖，本例其高度解析為1公里，距離60公里，總高度10公里以下。

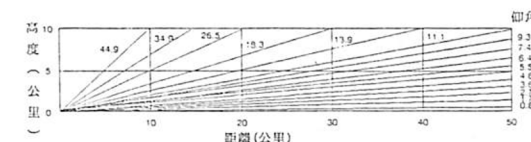


圖2：都卜勒氣象雷達錐體掃描示意圖

已知在60公里處，天線波束寬為1公里(1度波寬之天線)，故圖中右方仰角安排符合天線解析度。若認為近距離的天氣現象比較重要，則觀測時天線仰角之層數增加，以利高層之回波掃描。

6. CAPPI 定高平面圖(Constant Altitude Plane Position Indicator)有非都卜勒反射率圖(Reflectivity) DBZ顯示其回波強度與都卜勒風場圖(Mean Velocity m/s)。如圖三即藉一Volume Scan截取1.5公里高度之水平切面，欲取任何高度可自訂。吹離氣象雷達的徑向風為正值(暖紅色系)，而向氣象雷達接近的徑向風為負值(冷藍色系)，徑向風場與氣象雷達發射

波垂直則為零值(白色)，以各種顏色代表不同等級徑向風速，此種不同等級徑向風速線稱為都卜勒風速線(Isodop)。由回波圖，可藉其色系明顯看出風自西南方吹來，向東北方吹去，以零都卜勒線(白色)通過雷達中心位置分隔。

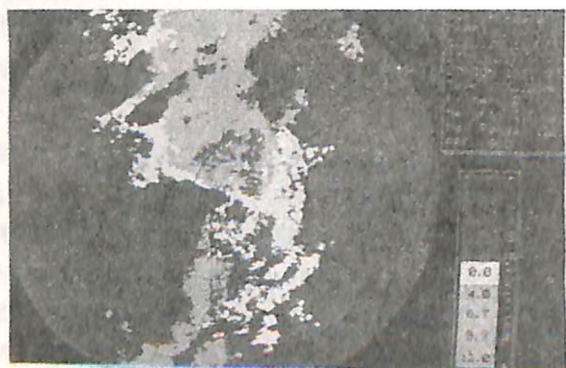


圖3：都卜勒氣象雷達風場圖(V)

7. 利用地面測站所觀測之降雨量，與氣象雷達觀測回波垂直累積降水含量VIL及分析每小時平均降雨率比較，作一研究分析。
8. 垂直累積降水含量VIL(Vertically Integrated Liquid)：為另一個估計劇烈雷暴降水量最好的方式，將估算的底層定在結冰層以上則可藉此測知劇烈雷暴和冰雹，若底層定在地面到結冰層以下則該VIL值可用來預測未來短時間之降水量。如圖四即藉Volume Scan求得該回波柱之垂直累積降水量。

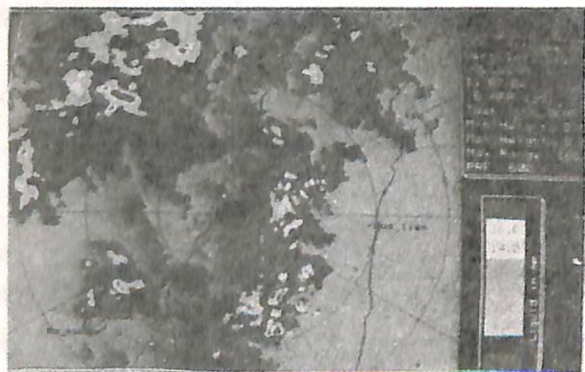


圖4：都卜勒氣象雷達垂直累積雨量(V.I.L)

9. 降雨率(Rainfall Rate)：以掃描所得反射率值利用Z-R(Reflectivity-Rainfall Rate)關係式： $Z=200.0 R$
10. 以都卜勒雷達系統所產生之風切(Shear)產品研判劇烈之天氣現象之產生。該產品用於計算徑向上任意前後兩個BIN間的風速差(如圖五)，以求出水平的輻散度，藉由此水平輻散度的計算，研判出下爆氣流(Microbursts)、陣風鋒面(Gust Fronts)、冷鋒(Cold Fronts)等天氣現象。

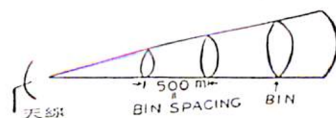


圖5：都卜勒氣象雷達風切示意圖

11. 以測高圖(RHI)及橫切剖面回波區域(Cross Section)分析回波區域任何點上的垂直結構發展及回波上任何點、任何角度切面的剖面結構。
12. 利用回波高度(Echo Tops)圖測知降水回波高度及由垂直累積雨量(VIL)圖得致回波柱之雨量後藉以做為雷暴警告參考標準。
13. 利用頻譜寬(Spectrum Width)圖以分析異常天氣中之亂流及穩定度，其係利用雷達工作設定取樣(Samples)數後，藉此在某一解析角度內之取樣數做Sample間之差異比較而判知穩定度和風切。(如圖六)。雷達回波產生之頻率差FD和目標徑向速度有

$$FD = \frac{2V}{\lambda} \text{ 之關係，進而計算目標之徑向速度。}$$

雷達波有脈波寬(Pulse Width)及波柱寬(Beam Width)，因此以每一個脈波(Pulse)，經反射回來時代表一個脈波體積(Pulse Volume)，而所有目標總合稱作解析體積(Resolution Volume)，其將資料構成一個時間序列

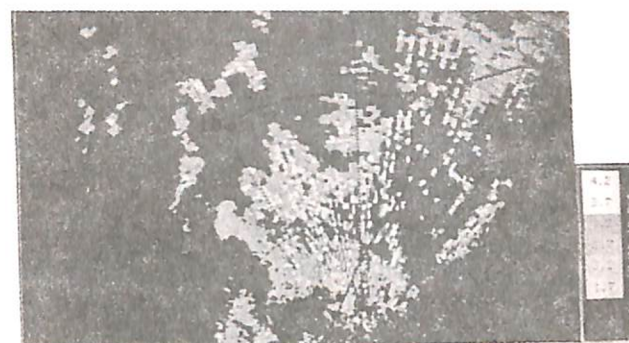


圖6：都卜勒氣象雷達，頻譜寬(Spectrum Width)

，做波譜分析，即可得都卜勒波譜(Doppler Spectrum)，此即回波功率(Receiving Power)

$$Pr = \int_{-\infty}^{\infty} S(V) dV$$

$S(V)$ 即都卜勒波譜。

$$\text{而由雷達方程 } Pr = \frac{c |K|^2 Z}{R^2}$$

求得回波強度Z，再以此求得平均徑向速度V

$$V = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} V S(V) dV}{\int_{-\infty}^{\infty} S(V) dV} \quad \text{及波譜寬 } \sigma_V$$

$$\sigma_V = \frac{2 \cdot \int_{-\infty}^{\infty} (V - V)^2 S(V) dV}{\int_{-\infty}^{\infty} S(V) dV}$$

σ_V 即代表解析體積內各水滴相對運動的情形，其值愈大，表示該體積內各種速度均有。愈小則表示各水滴運動速度趨於一致。Doviak(1978)認為 σ_V^2 來自四種不同的因素，即 $\sigma_V^2 = \sigma_s^2 + \sigma_r^2 + \sigma_d^2 + \sigma_t^2$ 其中 σ_s^2 ：來自風切(shear)
 σ_r^2 ：來自雷達運轉(Antenna Rotation)

σ_d^2 ：來自不同大小水滴的終端速度(Terminal Speed)

σ_t^2 ：來自亂流

14. 速度方位彩色顯示圖(VAD)-Velocity Azimuth Display 都卜勒氣象雷達所偵測到之徑向風速資料，可獲知大氣風場結構，亦可利用VAD法求得實際運動參數，測定不同高度上的水平風速，分析各種天氣系統。VAD法即在水平均勻的降水分佈下，由仰角固定下旋轉天線，此雷達波束作360°方位角掃描，得到平均徑向風速，可以用來決定中尺度對流系統的水平風向、風速和水滴終端速度或風速。一般而言，正值代表遠離雷達，負值代表接近雷達，在VAD中，沿雷達的速度(V_r)與水平風速(V_n)，風向(β_0)，降水粒子的下降速度(V_f)，雷達天線仰角(α)及方位(β)的關係如下：

$$V_r = -V_n \cos \alpha \cos(\beta - \beta_0) - V_f \sin \alpha$$

15. VVP(Velocity Volume Processing) 垂直風場圖，藉以分析在設定所觀測回波範圍內，由地面至高空，異常天氣中之平均風向、風速、及輻散度情況與其標準差值，類似VAD的技術。VAD是以一固定天線仰角，雷達波束，沿各方位角旋轉一圈所得的資料，而VVP可選定不同仰角，如選定12 (0.2 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 4.8 8.0 15.0 30.0 45.0) 個仰角，綜合做成Volume Scan而分析成的不同高度資料，資料較多，可信度較佳，因VVP此技術較VAD為佳。

- (1) VVP演算乃假設風場呈線性的變化，以此計算風向、風速及輻散度隨高度的變化。
- (2) 設定30度、20度、10度、5度四個仰角，便可涵蓋許多高度。
- (3) 最小半徑若選擇在2至5公里，可以除去強烈的地面雜訊，而最大半徑的選擇，必須

選擇最高的仰角掃描。

台灣由於地形的關係，中央山脈由北向南貫穿，以致同一天氣系統通過，可產生不同的天氣現象，此種現象很難以綜觀尺度及衛星雲圖來預測，而氣象雷達能夠很清楚的觀測到雲系發展及移動情形。單一都卜勒氣象雷達已可對各種不同的天氣系統做確切的偵測：

- (1)大範圍降水、(2)鋒面位置、(3)雷暴雨、(4)颱風、(5)熱雷雨、(6) 颶風、(7)亂流、風切、(8)龍捲風、(9) 中尺度低壓。

通常與鋒面相關連的劇烈風速變化，通常容易從彩色風速顯示器(都卜勒風場)上辨認，因此鋒面可以精確的定位，並可以準確的預報出鋒面移動方向與移動速度及鋒面過境的時間與過境後的風速變化，同時自雨滴反射率中應用 $Z=200R$ 之關係中推導出基本降雨率。

台灣地區午後發生對流性氣團雷雨，在都卜勒氣象雷達觀測分析上須予以個別分析，可瞭解雷雨垂直發展結構的變化。

1. 垂直剖面圖CROSS SECTION(X_SECT)：

剖面圖類似距離高度圖 (RHI)，呈現為一水平距離或垂直高度的雷達回波切面，但不是像RHI 之仰角天線掃描方式獲得，而是由PPI的體積掃描(VOLUME SCAN) 獲得。意即觀測人員僅須完成例行之VOLUME SCAN 後，即可方便得到垂直剖面，另X_SECT 與RHI的不同處為， RHI係以雷達為中心固定的延伸面，而X_SECT則可在 PPI上的回波取任意一個位置點、任意角度作橫切。RHI之資料約由100(最大) 個仰角所組成，而X_SECT其解析度則由VOLUME SCAN 中的仰角所限制，一般為10-20 個之間，在三維而言，X_SECT產生極佳的回波高度分佈資料，且其圖形均經地球曲率修正。使用X_SECT有二個方式，一為對已知要予以瞭解的區域作切面，二為先看CAPPI或二維之PPI圖，找出強烈雷暴，予以切面，並適當地參考圖形上之距離，

以方便位置選定。

2. 距離高度圖(RHI)：

係指用來指示暴風雨回波之剖面結構圖，可以確認強烈雷暴及亮帶(BRIGHT BAND) 天氣現象，為極佳的觀測雷暴垂直結構方法，一般言之，將所發現之回波區域，予以安排預定之RHI 掃描，當掃描一開始，天線便會在固定的方位角上，作上下一定角度區間的垂直掃描方式，以獲得一個垂直剖面圖。

三、結 語

(一)梅雨季豪雨系統個案分析：

本軍所使用之氣象雷達是為5 公分雷達，依其性能而言僅能在有發生降水之區域進行偵測與分析，在晴空或非降水區狀態是無法發揮其效能，既無法觀測，是為吾等在應用時所必須瞭解的。

1. 鋒面滯留，當低壓槽抵達台灣附近時，其後面的冷空氣，部份移入台灣地區，使大氣明顯變成對流不穩定，加以低層噴射氣流引進高溫潮濕空氣，旺盛的西南氣流使得低層大氣相對位溫 θ_e ，急遽增加，原來分散的降雨回波，則合併發展，構成中尺度對流雲系，形成鋒面雷雨達每小時10公厘以上的強烈降水，大陸東南沿海的鋒面不斷增強，台灣北部一波又一波的鋒面雲雨帶南下與台灣南部北移的雲雨帶不斷輸入，一次又一次的合併，造成台灣地區大範圍降水，局部地區豪雨，一般言之，最大時雨量常發生於廣大降水回波內的強烈雷雨回波內的強烈雷雨胞回波中，其回波強度值均40DBZ以上。

2. 雲雨帶與地形交互作用時，對流胞的發展特別強烈，而且持續相當長的時間，為台灣地區迎風斜坡面地區帶來相當的雨量，低層西風與西南氣流在雨帶強回波區形成明顯的風切線，鋒面雲雨帶中雷雨胞回波，在進入台灣陸地時，

較在台灣海峽上的強度有顯著增強情況。

3. 都卜勒氣象雷達回波強度值理論上與實際雨量是一致的，但在某一地以定高面1.5公里、3公里...等，或橫切垂直剖面分析所顯示的強度值，譬如有40DBZ，雷達理論上應有11-48 公厘雨量，但測站實際並無如此多的雨量，其原因為此回波並不在此測站上空或雨量並未全部落在測站，否則有40DBZ 強度值，則此測站有大雨量是可以被肯定的。

4. 最大的時降雨量(豪雨)，從氣象雷達顯示，回波強度值愈大的區域，雲雨回波的速度愈大，且從累積降水含量(V.I.L) 與地面測站垂直剖面分析，其強度值愈大，且垂直發展愈高，得知其亦是最大降雨量的區域。

5. 從垂直風場容積處理分析(V.V.P) 顯示，西南氣流旺盛，雲雨回波速度大，低層噴流存在，輻合較大，高層為輻散現象，當鋒面移入台灣地區時，低層為北來風，顯示冷空氣輸入，中層為西風，高層強風軸增大，垂直風切顯著，使台灣地區產生強烈的降水。

(二)鋒面系統個案分析：

1. 鋒面經過台灣地區時，首先受台灣西北部山地之強迫上升，降雨胞有發展趨勢，但其生命史約為3-4 小時，此後台灣山脈切斷東北季風冷空氣的侵襲，鋒面降水回波至台灣中部已衰減消失。有較強烈的鋒面及不穩定條件，則往南部移動。鋒面前雲帶先往南移動後，往往有再往北抬升與鋒面雲系匯合，再往南移動的情況。

2. 由垂直風場剖面圖顯示，冷鋒未移入台灣地區前暖區在1 公里高度左右有一西南強風軸，風速平均在15M/S 以上，當冷鋒到達測站時，在1.5 公里以下高度，風向已逆轉為東北風，風切顯著，顯示冷空氣輸入，而中上層的西南氣流亦隨之減弱。

3. 鋒面位於台灣北部近海時，垂直風場的變化不

定，有顯著垂直風切現象，和變化較大的輻合、輻散，當雲雨帶開始影響台灣地區時，強風軸減弱，風向趨於穩定，導致輻散場的垂直變化小。鋒面雲雨帶回波上有數個雷雨胞，強度值均在40DBZ 以上，且在移動過程中雷雨胞有再分裂的情況。鋒面前緣的低層噴流與台灣地區的豪雨有密切關係，最大風速區前方有帶狀的降水回波。

4. 利用都卜勒徑向上任意兩個BIN 之間的風速差，求出水平輻散度，知得：

(1) 下爆氣流(Microbursts)：回波圖上有一呈圓形的區域，且小於3 公里範圍的輻散區(正值)，其常伴隨有巨大的雷雨胞，在1 至2 分鐘內無風切變為顯著風切的現象，而在10-70DBZ之間皆有可能發生小型下爆氣流，它對進行起飛或降落之飛行機具有嚴重威脅。

(2) 陣風鋒面(Gust Fronts)：圖上有一線狀或弧狀的輻合帶(負值)。

(3) 冷鋒(Cold Fronts)：此和陣風鋒面相似，但範圍較大。

5. 當鋒面位於大陸東南沿海，其雲雨回波經多個個案分析，其移動方有由西向東，往台灣中部地區移動，由西北向東南往台灣西北部地區移動後，往台灣中南部移動。而以前者發生次數較多。

6. 鋒前雲雨帶在大陸沿海產生後，向東或東南移動至台灣地區，受台灣地形的抬升作用，對流加強而降水範圍擴大。

(三)颶風系統個案分析：

台灣地區在春夏交替常受鋒面系統移近時所伴隨之颶風系統影響，因而產生較劇烈天氣現象(如雷雨、豪雨、冰雹...等)。因此以傳統及都卜勒氣象雷達觀測整合研究較明顯的颶風個案，以期瞭解傳統與都卜勒氣象雷達對颶風觀測的差異性及氣象雷達觀測結果，配合天氣

系統校驗影響迴線的移動方向及速度。

1. 由於鋒面雷雨發生的強度相差懸殊，在預報的要求上不僅要判斷是否發生雷雨，還應預報它的風雨等級，而氣象雷達可提供解析度相當高的雷雨胞結構，同時可不受時間限制採行密集守視觀測。因此，若在天氣圖上發現將有鋒面系統接近，以及因氣旋系統所引進的暖濕不穩定氣流時，配合氣象雷達觀測，對其劇烈程度的掌握，必可達到滿意的程度。
2. 氣象雷達對鋒面暖區迴線系統的分析及探討發現，迴線是平行於鋒面前，呈線狀或帶狀排列的多雷雨細胞或超大型雷雨細胞風暴組成。其形成的條件有下列幾項因子：
 - (1) 有暖濕的西南氣流由南海向北傳送。
 - (2) 有低層噴射氣流的存在。
 - (3) 有明顯的對流性不穩定及強烈垂直運動。
3. 清泉崗傳統氣象雷達對陣雨及雷雨在觀測上的區別，是根據 Sansom H.W. 所研究雲雨中是否發生閃電而定，其高度至少達 -20°C 以上，即以馬公探空資料分析所得 -22°C 的高度做為編報雷雨的依據，超過此高度以上則編報為雷雨，未達此高度則為陣雨。經觀測發現：
 - (1) 一陣雨回波可經由一段時間或移動一段距離而發展成為雷雨胞。
 - (2) 對雷雨胞採不同仰角及選定不同DVIP的配合掃描，可預估當雷雨胞移近時的可能降雨量。
 - (3) 對回波的移動方向及移動速度的判斷，可由平面位置顯示器(PPI)，顯示其回波位置，經標示後前次所標示的位置以游標測得位移距離及算出移速度，再測量前後二次位置的移動方向。
 - (4) PPI 所顯示的DVIP強度等級高，但距離高度顯示(RHI)所顯示的回波發展高度不足時，仍有發生雨的情況。若以降水回波發展高度必須達垂直大氣的 -20°C 上來判定

雷雨或陣雨的回波，有失其真實性，因觀測發現，在未達 -20°C 或 -22°C 的降水回波亦產生雷雨，故必須以DBZ值加以配合運用。

4. 都卜勒氣象雷達對迴線系統的觀測：

- (1) 對120公里以外的降水系統無法觀測徑向風速，須先以非都卜勒狀態觀測。
- (2) 在都卜勒狀態，實際風向與雷達徑向交角愈大，所測得都卜勒徑向分風速愈小。
- (3) 對迴線系統的觀測追蹤，可經由都卜勒徑向風場觀測，推動迴線之徑向強風帶的移動變化及方向，判斷迴線的移動方向及移動速度。
- (4) 可經由RHI及垂直橫切剖面分析(Cross Section)的徑向垂直風場掃描，瞭解迴線垂直運動的強度，預判迴線移近時可能出現的下衝氣流的強度。
- (5) 都卜勒氣象雷達觀測，經電腦處理可得到處理後的數據資料，可進行對所觀測的迴線系統結構的再分析。
- (6) 都卜勒氣象雷達觀測平面顯示圖(PPI)，對降水回波強度(dBZ)的解析度高，可確實的掌握天氣系統的移動狀況。

由於台灣所處之地理位置影響，在春夏兩季的天氣系統變化最大且最劇烈，而傳統氣象雷達的觀測雖能達到強度上的掌握及先知快報的功效，但對風變的情形確無能為力。而都卜勒氣象雷達彌補了此項缺憾，但單一都卜勒氣象雷達對風變及亂流的掌握也有其限度，而不論是飛安或民生都受其影響。以本省的地理環境應朝雙都卜勒或多都卜勒氣象雷達的觀測發展，並配合傳統氣象雷達為先鋒的交叉氣象雷達網，必能改善台灣地區對劇烈天氣的預報品質，也更能保障人民的生命財產及飛行的安全。

(四)對流系統個案分析：

1. 從氣象雷達回波顯示，無論大雷雨胞或小雷

雨胞均隱藏有冰雹、亂流、陣風及閃電現象，不能因其範圍小而視為輕微，氣象雷達回波若明亮且回波強度強，其雲頂高度達10公里，則應視為一猛烈雷暴現象。

2. 垂直剖面分析方法，係將雲雨回波從底層至高層垂直橫切顯示其剖面結構，為對雷暴雨的最佳指標。回波強度值愈大，垂直發展愈高，20-30DBZ值可達10公里，40DBZ值達15公里高度，則顯示雷雨愈強烈，形狀呈孤立、窄狹而高聳，而雷雨減弱，回波強度值從地面開始減弱，高空水汽(10DBZ以下)才逐漸消失，氣象雷達掌握雷雨胞發展，極具參考價值。
3. 從氣象雷達頻譜寬分析，數個雷雨胞有不同程度的亂流，而回波強度值愈大之處，則亂流亦愈大。
4. 都卜勒氣象雷達為一極佳之科技產品，對於劇烈天氣，鋒面、迴線、雷(豪)雨、亂流、冰雹等的確切掌握，甚具效能。
5. 當發現某一個地區有雷雨胞等劇烈天氣或航行某一地區，須瞭解當地及航路天氣，則利用都卜勒氣象雷達性能予以定點設定任何高度觀測，以反射率顯示其強度，以風場圖顯示其移動方向與速度，以垂直剖面來剖析其低層至高層垂直結構，以雲頂高度圖顯示不同地區的不同雲頂高度，以頻譜寬來顯示其亂流及風切強度的大小，如此則能真實瞭解而確切掌握惡劣天氣，提高氣象資訊品質。

四、致謝

本研究在國科會專題計畫NSC80-0414-P072-01B 支援下得以完成，並承蒙空軍氣象聯隊前聯隊長劉廣英將軍暨聯隊長俞川心上校，在研究期間指導及空軍清泉崗天氣中心值班氣象官協助氣象雷達觀測資料整理與繪圖，方得以順利完成，特此致謝。

參考文獻：

1. 曲克恭、劉廣英(1980)：應用氣象雷達之DVIP測定台灣豪雨量；NSC-68N-0202-05。
2. 劉廣英、陶家瑞(1980)：鋒面雷雨個案之分析。氣象預報與分析，第84期21-29。
3. 俞川心(1989)：民國七十八年五月二日迴線肆虐台灣南部之分析。
4. 陳泰然(1984)：中尺度氣象學，P41、67、80、84。
5. 劉廣英、俞川心(1986)：影響本省颱風強度變化之分析研究。氣象預報與分析，1-10。
6. 徐天佑(1988)：台灣北部滯留迴線成因之探討分析。氣象預報與分析，114期P38-50。
7. 陳台琦、曾憲瑗(1987)：都卜勒雷達對台灣地區降水系統內部風場研究，第一部份，風場型辨認之模擬。NSC75-0202-M-008-23。
8. Aoyagi, J., (1983)：Wind Measurement by a Doppler Radar, 21st conference on radar meteorology. Amer. Meteor. Soc., 536-541.
9. Brown, R. and T. Wood, (1982)：Single Doppler Velocity Signatures as Indicators of Storm Severity. Processings of the NEXRAD Doppler Radar Sym-Posium Workshop. 164-183.
10. Brown, R. A. and K. C. Crawford, (1972)：Doppler radar evidence of severe storm highreflectivity cores acting as obstacles to airflow. preprints, 15th Radar Meteorology. conf. (Champaign Urbana), Boston. Amer. Meteor. Soc., 16-21.
11. Brown, R. A., D. W. Burgess and K. C. Crawford, (1973)：Twin tornado cyclones within a severe thunderstorm：Single Doppler radar Observations, Weat herwise. 26, 63-69, 71.