

氣象雷達之偵測技術與裝備

林 鞠 情 劉 昭 民

民用航空局台北氣象中心

一、引 言

雷達基本原理在上一世紀即已發現，但在一九二四年以前，此種原理尙未能予以實際應用。一九二四年方利用無線電波以測定電離層之高度。現代雷達約於一九三五年在各國開始發展，其中以英、美兩國為最盛。雷達之首次重要使用，係在第二次世界大戰初期之英倫戰役中。一九四一年初次嘗試於降水觀測；此後由於技藝之日新月異，應用範圍亦日廣。及今雷達已為中範圍天氣觀測所不可或少者。

本文僅就觀測儀器之原理、偵測之技術、資料之應用等試予評介。

二、傳統的地面氣象雷達

氣象雷達之最大功用，為能夠觀測到降水之回波，當波長甚短的無線電波通過降水區時，因水滴、雪花、冰雹等水汽現象產生反射作用，其中一小部份返回雷達接收機，經放大後，乃將信號顯示於雷達幕（SCOPE），呈現一種光亮小片，此即雷達氣象學上所稱之降水回波（ECHOES）。分析回波資料，即可判斷並瞭解各種天氣現象。

雷達發明之先，係使用在軍事上。一九四一年春，一部英國製造的10公分波長，3000 mc/sec 頻率的雷達，在雷達幕上首先顯示出距離海岸外7海里之雷陣雨回波信號，並經氣象人員證實其為降水回波，從此氣象人員確信雷達可用來探測氣象。

一九四三年，美國雷達氣象學家李格達（MYRON GEORGE HERBERT LIGDA）首

先使用氣象雷達觀測劇烈風暴。從此，氣象雷達成為公認的偵測中範圍劇烈風暴之最佳工具。

最初係使用10公分波長的SCR-584型氣象雷達。隨後又有3公分波長的AN/APQ-13型氣象雷達問世；此原係使用於空中飛行與轟炸任務中。其輸出功率甚低，僅約40千瓦，天線直徑約30英寸。一九四四年曾在中緬印邊境設立六座，為世界上最早之氣象雷達觀測網。隨後為世界各地之美軍氣象部隊所廣泛採用。

AN/TPS-10型多用於研究。此為3公分波長之垂直掃描雷達，天線之垂直長度約為3公尺，水平寬度約為1公尺，所產生的垂直波為0.7度，水平波束寬度為2.0度。其回波顯示於RHI（距離高度指示器）上。

一九五一年，美國空軍完成AN/CPS-9型氣象雷達，以取代AN/APQ-13型。此為波長3公分之氣象雷達，具有一直徑為2.4公尺之圓形天線，能作水平和垂直掃描，波束寬度為1度。雷達幕兼具平面位置指示器（PPI）及RHI兩種功能。輸出功率為250千瓦，接收最小信號電力為 10^{-8} 瓦特（參閱附表一），靈敏度甚佳，有時可以偵測到100英里外之小雨。由於富機動性，且價錢比較便宜，所以甚受軍方氣象單位之歡迎。美軍協防台灣時，曾在台中清泉崗基地設置一座同型之氣象雷達。

為了要偵測較大雨滴之劇烈風暴——大雷雨、龍捲風、颱風等，美國氣象局於一九五七年發展一種波長為10.3公分之WSR-57型氣象雷達。因其不僅可以偵測較大雨滴，且其電波能穿越廣布之雲系和雨區，所以最適合於中範圍天氣系統之偵測

表一 主要型式氣象雷達性能比較表

參數	雷達型式	CPS-9	WSR-57	AN/FPS-77	AN/TPQ-11
波段		X	S	C	KA
波長 (cm)		3.2	10.3	5.3	0.86
發射頻率 (mcs)		9317	2700 - 2900	3450	2800
尖峯電力 (kw)		250	500	300	140
脈波來復頻率 (週/秒)		931/186	658/164	324	1000
脈波波長 (微秒)		0.5/5	0.5/4	2	0.5
波束 (波柱寬度)		1°	2°	1.6°	0.25°
波束形式		圓錐形	圓錐形	圓錐形	圓錐形
測距 (海里)		200	250	200	100
最大測距準確度		± 1%	± 0.5%	± 0.5%	± 1%
接收最小信號電力 (瓦)		4.0×10^{-14}	5.0×10^{-14} (CALIBRE) 1.3×10^{-14} (CAPABLE)		1.3×10^{-13}
接收波束 (mc)		2.5×0.25	0.3	0.6	2.5
雜波因數 (dB)		16	8	9.5	16
天線直徑 (英尺)		7.75	12	8	7
反射型式		拋物線體	拋物線體	拋物線體	拋物線體
天線獲益 (dB)		46	38.6	41.2	56
雷達常數		2.3×10^{-10}	0.5×10^{-10}	1×10^{-10}	1×10^{-7}
天線掃描速度 (RPM)		5	4	5	N/A
雷達幕型式		2 PPI, RMI, A/R	PPI, RHI, A/R	PPI, RHI, A/R	A, 紀錄器
雷達幕之大小 (英寸)		7, 7, 5	12, 7, 7	10, 10, 5	5, FAX TAPE
靈敏時間控制		有	有	有	有
重量 (噸)		2	2.5	2	1.5
估計價格 (美元)		175,000	130,000	40,000	27,500
等回波裝置		無	有	有	有

。其天線為直徑 12 英尺之圓碟形，尖峯電力高達 500 千瓦，接收最小信號電力可小至 1.3×10^{-14} 瓦特 (BATTAN L. J. 1965)，遠較他型氣象雷達為低。其他性能參閱表一。

為了改進 WSR-57 型氣象雷達，美國雷森 (RAYTHEON) 電氣公司於一九六四年推出 WSR-64 型氣象雷達。其特色為設有降水定量觀測所需之衰減控制器 (ATTENUATOR)、RHI 等信號強度輪廓指示器 (IEC) 不同裝置。中央氣象局之花蓮、高雄兩雷達站設立時，即係裝置此型氣象雷達。其天線掃描分自動式和人工操縱式兩種；水平旋轉 360 度，俯仰轉動自負 10 度至正 45 度，旋轉率每分鐘 3 轉。

各主要型式之氣象雷達性能比較如表一。

地面氣象雷達在中範圍天氣分析上的功能，約如下述 (湯，1968)：

(一) 不受時間限制——天氣圖僅能明瞭某一特定時間之天氣狀況，地面氣象雷達則可藉連續偵測，以明瞭全盤性之天氣狀況及其隨時間之變化情形。

(二) 彌補了天氣圖之缺點——現用天氣圖上很多無法觀察到的局部天氣情況，可藉地面氣象雷達詳予偵測。

(三) 偵測近海波浪——以地面氣象雷達觀測近海波浪，可供研究海浪與天氣之關係。

(四) 辨別氣團性質——分析雷達之折射情形，可供氣團性質之研究。

地面氣象雷達在中範圍天氣分析中之應用：過去氣象人員所使用之綜觀天氣分析 (SYNOPTIC ANALYSIS)，現已感不敷需要。今日，中範圍 (MESO-SCALE) 天氣分析預報和中範圍氣象學原理，已為氣象人員所接受，並證明其確能提高預報之準確度，而地面氣象雷達則為探測中範圍天氣氣且取良好之工具；在大範圍天氣分析中，許多藉想像與估計之氣旋、鋒面、颱風以及難以想像與估計之雷雨、龍捲風、冰雹等天氣現象之產生、移動、強度等，在氣象雷達幕上不僅一覽無遺，並能隨時掌握住其消長與動態，使其無所遁形。茲將地面

氣象雷達對氣旋鋒面、颱風、雷雨、龍捲風、冰雹等天氣現象觀測之效能，略述如下 (蕭等，1977)。

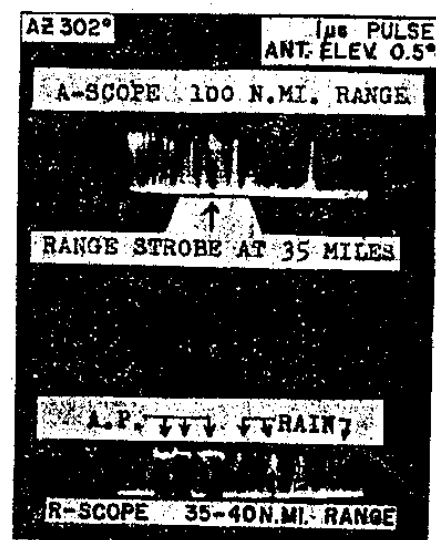
1. 氣旋鋒面：

氣旋鋒面回波在 PPI 幕上呈長條粗線狀，但若鋒面坡度小且移動緩，則呈一條散漫無組織 (有中斷現象) 之回波。在外觀上，兩者都與颱風回波相似，但颱風回波強度較強，移動亦較迅速，所以不至相混淆。

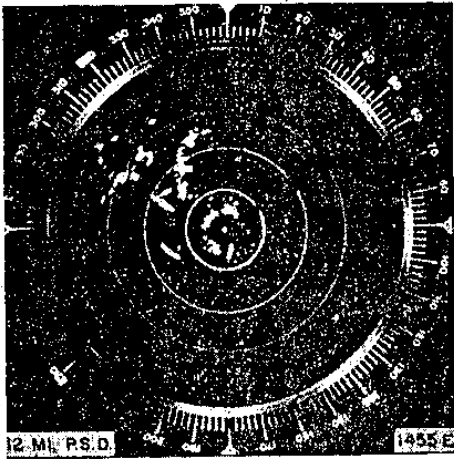
2. 雷雨：

地面氣象雷達對各類雷雨之觀測和預報皆具有實際使用價值。

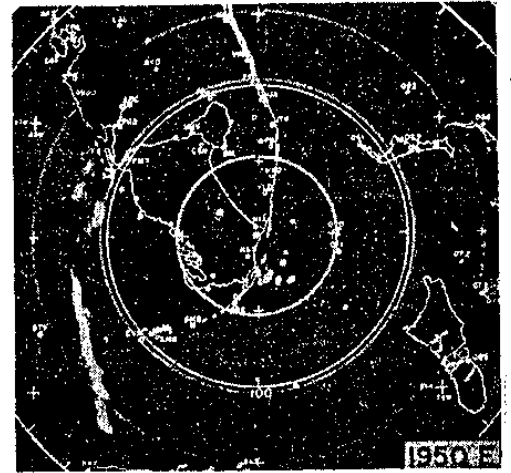
(1) 氣團雷雨：氣團雷雨回波在 A/R 雷達幕上有迅速跳動之現象，其跳動速度極快 (圖一)。直徑 2 英里或以上之氣團雷雨，在 PPI 上即有細胞狀對流性回波出現，多呈孤立散塊狀，但亦有成群出現 (圖二)，其回波強度強，反射率高，回波邊緣清晰，輪廓明顯；當細胞狀對流性回波出現時，在 RHI 上呈高塔狀 (圖三)。在夏季，回波頂超過結冰層以上時，則可判定將有雷雨產生。吾人又可根據細胞狀對流性回波移動之方向和速度，預測雷雨即將發生之時間及地點；根據其增長率和回波頂之高度，以預測雷雨之強度。



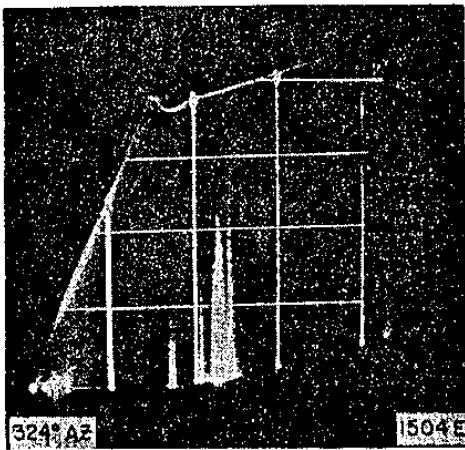
圖一：在 A/R 雷達幕上所看到的雷雨回波。



圖二：在PPI雷達幕上所看到的氣團雷雨回波

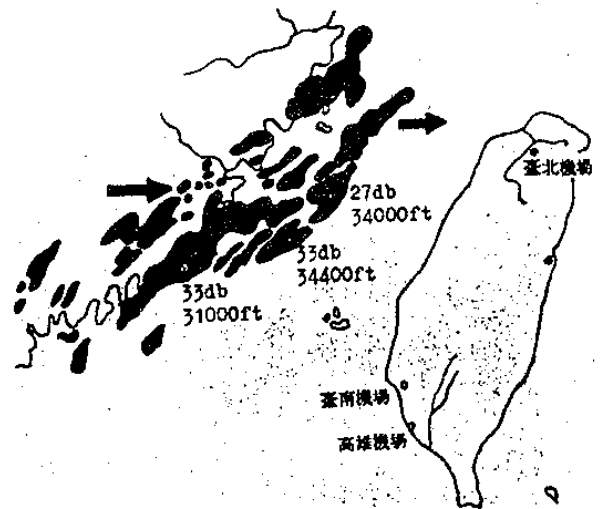


圖四：在PPI雷達幕上所看到的飆線雷雨回波



圖三：在RHI雷達幕上所看到的氣團雷雨回波

(2) 飆線雷雨和鋒面雷雨：飆線雷雨在地面天氣圖上無法看出，但在氣象雷達之PPI上可以判定其出現時間和存在位置。其回波多呈孤立的或成塊的線條狀對流性回波（圖四），亦可包括許多帶狀型回波（圖五），在雷達幕上飆線雷雨之回波頂高度發展非常迅速，首先，它在不斷增長至25,000英尺之高度，又暫時下降減弱；待數分鐘後，另一回波頂將沿著前一回波位置向上升高，達30,000或35,000英尺以上。吾人可在雷達幕上隨時監視其生長和消滅過程，故利用氣象雷達從事飆線雷雨探測，對其發生、持續時間、移動之預測極為有效。

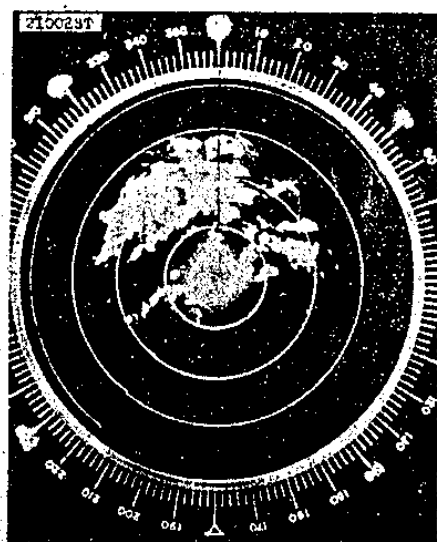


圖五：民國六十二年四月十一日 1200 GMT，高雄雷達站所測得之飆線雷雨回波，飆線全長400公里，正向台灣移動。

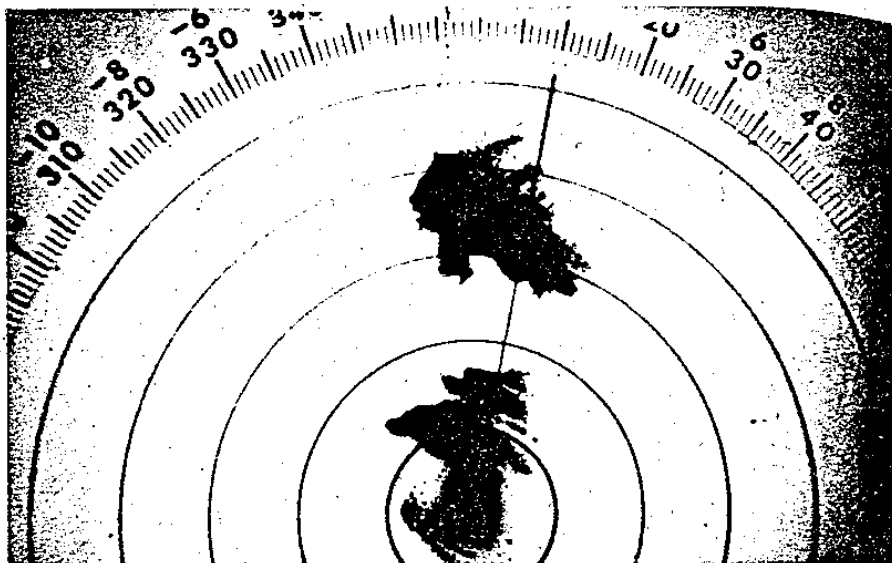
(3) 暖鋒雷雨：暖鋒雷雨常隱藏在層狀雲之中。所以在PPI上，強烈的暖鋒雷雨回波，常包含在較大範圍之微弱至中等程度之穩定降水回波間（圖六），與冷鋒雷雨在PPI上呈現帶狀回波（圖七）者不同。在RHI上，亦曾發現暖鋒雷雨回波頂高度在30,000英尺以上。

3. 龍捲風：

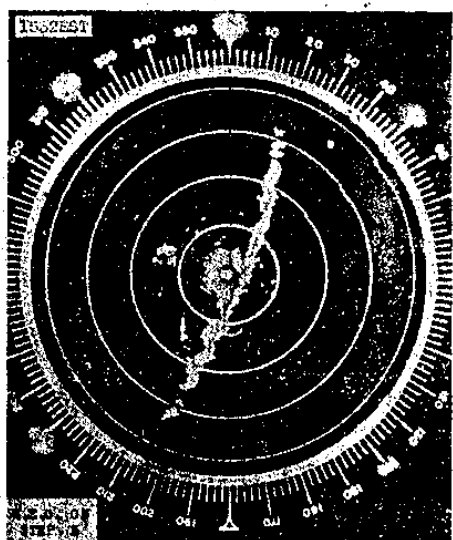
美國伊利諾州水文觀測所（ILLINOIS STATE WATER SURVEY）之STOUT，



圖六：暖鋒雷雨回波



圖八：具有代表性的鉤形回波



圖七：冷鋒雷雨回波

HUFF, HISER 及 BIGLER 等人，自一九五三年利用氣象雷達照相，首次得到龍捲風回波照片以來，龍捲風呈現在 PPI 雷達幕上之回波型態，已經公認其每呈 6 字形或鉤形或手指形。手指形則由雷雨回波之西南象限伸向南方 (BATTAN L. J., 1965)，其直徑 5~8 公里，雲高可達 10 公里 (FUJITA, 1968)。圖八為呈現於 PPI 雷達幕上伴有龍捲風之鉤形回波。

使用傳統氣象雷達偵測龍捲風，仍有其缺點，即在 PPI 上出現 6 字形或鉤形或手指形回波時 (圖八)，一定有龍捲風發生；但是，有時無上述之

回波型出現，却有龍捲風發生 (BATTAN L. J., 1965, 1976; FORBES G.S. 1981)。因之杜卜勒 (DOPPLER) 雷達逐漸起而代之。

4. 雹暴：

雹暴極少發生於台灣，但經常出現於中緯度地區之美國、蘇俄、中國大陸與歐洲。

在 PPI 雷達幕上，其形成過程係先有一回波強度在 50 db 以上之母雲形成，並繼續向外擴展，在母雲回波北方有一小的新單體回波，然後此一小的新單體回波加速發展，最後和母雲回波合併，變成伸直之手指狀回波 (王等, 1980)，雹暴隨即發生。在美國觀測所得之情況也與上述相似，但母雲回波強度在 50 db 以上 (DENNIS A.S. etc; 1970, 1971)。由此可見，傳統之氣象雷達確能事先獲知雹暴之即將發生。

三、空用氣象雷達

早在一九四〇年代，氣象學家已經想到氣象雷達將可裝設在航空器上，成為確保飛行安全最有價值之裝備。

一九四九年，美國航空公司將波長 3 公分之軍用氣象雷達，安裝在飛機上進行一連串的試驗，證明了 PPI 雷達幕上的等回波裝置，確有助於飛行

表二 空用氣象雷達之性能比較表

參數 \ 雷達型式	BENDIX RDR-1D	RCA AVQ-10
波長 (公分)	3.2	5.6
頻率 (mcs)	9375	5400
尖峯電力 (kw)	20	75
脈波來復頻率 (週/秒)	400	400
脈波寬度 (微秒)	2.5	2
雜波因數	10	10
雷達幕型	1-2個 PPI	1-2個 PPI
雷達幕之大小 (英寸)	5	5
天線直徑 (英寸)	22	22
天線掃描速度 (RPM)	15	15
靈敏時間控制	有	有
等回波強度裝置	有	有
波柱寬度	3.8°	7°
波柱型式	圓錐形	圓錐形
測距 (公里)	150	150
重量 (磅)	113	125
價格 (美元)	9100	9600
接收最小信號電力 (瓦)	4×10^{-14}	4×10^{-14}
天線增益	1660	540

人員迴避雷雨中之亂流和冰雹發生區域。但因當時之雷達極為笨重，雷達之價格及維護費用均極昂貴，所以未為航空界所普遍使用。

一九五〇年代，由美國無線電公司所製造，波長 5.5 公分之空用氣象雷達，首先由聯合航空公

司所採用，於是各航空公司群起效尤，紛紛裝設空用氣象雷達。美國聯邦航空總署 (FAA) 且規定在一九六二年以前，所有民航機均須裝置空用氣象雷達，以閃避雷雨等顯著危害天氣。

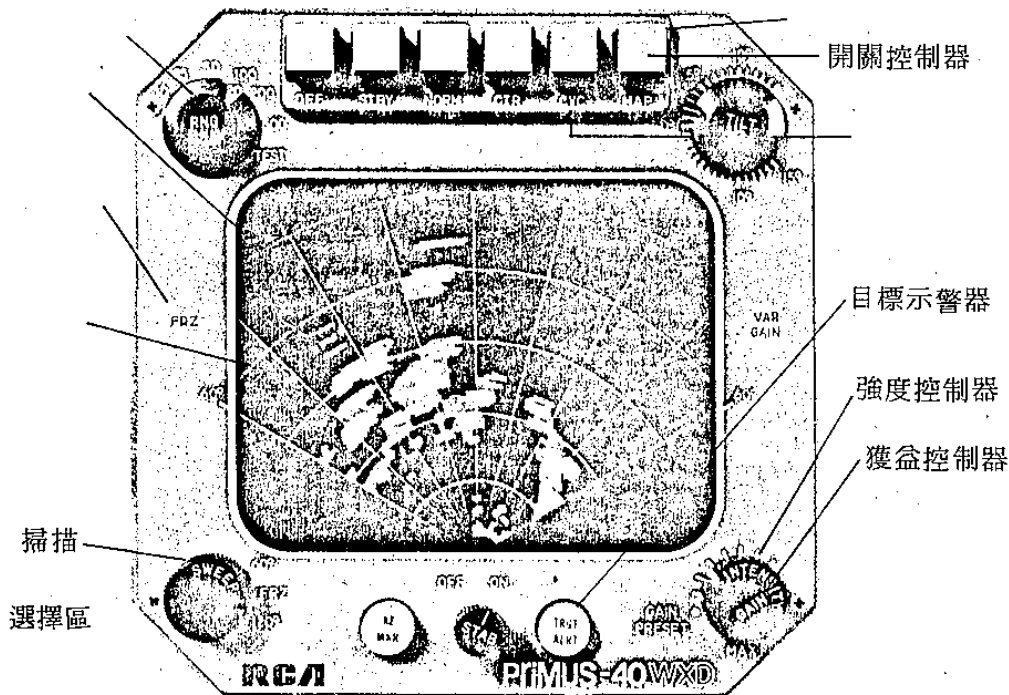
表二為兩種波長不同的空用氣象雷達性能比較表 (HISER H.W. et al, 1959)。

由於當時空用氣象雷達 PPI 雷達幕上之回波，係以明暗方式顯示，航空人員依其明暗判斷雲層的厚薄及雷雨之強度，而明暗並無一定標準，經常造成困擾。空用彩色氣象雷達乃應運而生。

一九七六年六月，美國無線電公司推出 X 波段 PRIMUS-40 WXD 型彩色氣象雷達 (圖九)。此型彩色氣象雷達回波強度，係以三種顏色區分：降水最強亦即航空上最危險區以紅色表示；次強區以黃色表示；降水強度最弱的回波區以綠色表示。此型空用彩色氣象雷達之解像力四倍於當時所使用之其他類型雷達，降水目標區距飛機之距離，降水強度以及有關資料皆以數字顯示於 5 英寸之陰極射線管 (CRT) 上，對凍雨之觀測亦相當靈敏，且有等回波線裝置。測距為 300 海里，惟僅可作 120 度之掃描 (即飛機航行方向左右各 60 度)。此型之雷達系統連同附屬裝置之重量僅 27 磅，價格 24,000 美元；因其輕便價廉且適用，所以在出廠後之半年，即有四十部裝置在民航機上 (FLIGHT OPERATION, 1977)。目前華航新機上亦有此型之空用氣象雷達。

空用氣象雷達以及空用彩色雷達之天線，皆裝設在飛機之鼻端，所以不能作 360 度之平面掃描，至少有 90 度之死角；此外又缺 A/R 及 RHI 雷達幕，不能觀測劇烈風暴之高度，也無法明確分辨雨與冰雹 (HISER H.W. etc., 1959)；駕駛員只能憑 PPI 雷達幕上所顯示之鈎形或指形回波型態或等回波線裝置所測得之豪雨區加以判斷。

鑒於所使用 X 波段空用氣象雷達 (包括彩色氣象雷達) 之缺點，NOAA 之國家大氣研究中心 (NCAR) 科學家乃使用 C 波段的 NCAR CP 3 和 CP 4 型氣象雷達進行試驗，結果證明 C 波段空用氣象雷達具有較寬的波束 (波柱寬度)，比 X 波段



圖九：X波段 PRIMUS-40 WXD型空用彩色氣象雷達

者更適於偵測劇烈對流性風暴的強度和結構，同時也顯示必須加速發展空用杜卜勒雷達，以供民航機所用。

茲將 NCAR CP3 及 CP4 型氣象雷達主要性能列舉如下：

- | | |
|------------|----------------|
| (一) 波長 | 5.5 公分 |
| (二) 發射電力 | 400 kw |
| (三) 天線直徑 | 3.4 公尺 |
| (四) 波柱寬度 | 1.1 度 |
| (五) 天線獲益 | 43.6 db |
| (六) 雜回波因數 | 4 db |
| (七) 脈波來復頻率 | 1250, 1666 週/秒 |
| (八) 脈波寬度 | 1 微秒 |

四、地面彩色氣象雷達

由於傳統的氣象雷達（亦稱第一代氣象雷達）真空管維護困難，雷達回波僅能以黑白色的深淺程度來區分降水強弱；不但分辨困難，不能以數值來表示，並且也不能觀測劇烈風暴內的氣流場情形。所以，一九七〇年以後乃有第二代氣象雷達的崛起。第二代氣象雷達包括彩色化和數值化的氣象雷達以及杜卜勒雷達。茲就彩色化和數值化的氣象雷達

略作介紹。

彩色化和數值化氣象雷達的主要原理，係將雷達觀測資料輸入電子計算機系統中之數值處理裝置內，加以數值化；同時，將回波信號分為六種顏色顯示在螢光幕上。

美國 NCAR 首先於一九七五年宣布彩色氣象雷達發展成功，並正式提供氣象界使用。

一九七六年，美國加州 SANTA MONICA 技術服務公司發展實驗室（TECHNOLOGY SERVICE CORPORATION/DEVELOPMENT LABORATORIES）也發展完成 WRS-10 型 C 波段之彩色地面氣象雷達，並很快地為各機構所採用。

這種新穎的 WRS-10 型係根據 AVQ-10 型 C 波段空用氣象雷達加以改進，其性能比 AVQ-10 型為佳。WRS-10 之測距為 170 英里，可作 360 度旋轉掃描，其頻率波段為 C 波段，故可穿透層雲雨帶，將風暴後部之雲雨目標信號反射回來，即使為小雨，效果亦佳；回波強度和距離以顏色顯示在螢光幕上，讀數容易，圖形之辨識亦清晰。

茲將與傳統氣象雷達相異之結構特點，分述如下：

(一) MODEL WRT-75 A 式氣象雷達電視轉換器——此一特殊裝置係用以代替一般傳統氣象雷達之 PPI 雷達幕，把雷達接收機視頻信號轉變成彩色電視信號，其主要裝置和特性為：

(1) 數字掃描轉換器：電視轉換器可把彩色電視信號按照彩色電視機映像原理映出彩色回波圖形，並以電視機之映像率映出回波圖形，不會發生褪色現象；圖形並可藉數字掃描轉換器變成數字形式加以儲存。

(2) 數字視頻積分器及處理器 (DVIP)：從劇烈風暴雲雨區反射回來之雷達回波信號，係使用數種雷達回波脈波，數字視頻積分器及處理器可擴大視頻之信號範圍，而準確地測定各種降雨強度，並把降雨強度信號轉變成數字，顯示在螢光幕上。

(3) 等值彩色回波裝置 (NTSC)：此裝置直接連接視頻轉換器和數字視頻積分器及處理器，可將來自所連接之轉換器及處理器之雷達回波信號，分成：極輕、輕、中、強、極強、嚴重等六種；以表示六種不同等級之降雨強度，並以不同顏色之等值線區分之。紫色表示風暴已消失，雨勢最小；藍色表示風暴正在衰退，雨勢次小；綠色表示風暴雖正在衰退，但尚有擾動，故雨勢大於藍色者；淡黃色表示有較弱的上升氣流，故雨勢大於綠色者；深黃色表示上升氣流更強，故雨勢更大；紅色表示上升氣流最強，雨勢也最強。

(4) 相位配置扁平電極板天線：其旁波柱可使雷達之靈敏度效率增加，減少天線旋轉率亦可使雷達之實用性和觀測靈敏度增加，兩者均可使回波更清楚，並消除假目標回波。

(5) 雜波消除器：傳統氣象雷達無法區分降水回波與地面雜波；而彩色氣象雷達可藉雜波消除器，自動地分開降水回波和地面雜波信號，進而在螢光幕上消除地面雜波。

(6) RABBIT 痕跡消除器：此設備可將來自附近雷達所傳來之脈波干擾信號，予以清除，使不至呈現於螢光幕上。

(二) EOL-76 型觀測資料儲積裝置——每一降水目標之回波圖形和距離，皆可以數字方式記錄

並儲存在磁帶紀錄系統中，也可利用圖解電子計算機把圖形加以數字化，進而儲積在 EOL-76 型資料儲積裝置中。

WSR-10 型之其他性能 (劉, 1977)：

(1) 天線波束型：5.2 度，30 英寸之扁平電板板，水平極化；

(2) 發射之操作頻率：5400 ± 20 MHz；

(3) 輸出尖峯電力：75 kw；

(4) 使用電力：115 伏特，750 安培，380 ~ 420 赫；

(5) 脈波週期：2 微秒；

(6) 脈波來復頻率：400 脈波/秒；

(7) 掃描比率：約 16 rpm，若附有 TSC/DL 修正器時，則為 8 rpm；

(8) 系統裝置之靈敏度：- 105 db；

(9) 測距：20，50，150，170 海里。

中央氣象局設在花蓮氣象雷達站 WSR-74 S 型之地面彩色雷達，係由美國 EEC 公司所出品，主要裝置與 WSR-10 型類似，同時於該局預報中心內裝設彩色電視顯示器及傳真接收器，使花蓮雷達站所觀測之回波，經由電信電路立即傳送到預報中心。

五、杜卜勒雷達

杜卜勒雷達之觀測原理係應用雷達發射電波頻率和接收電波頻率之差；可以下式表示之 (FRINK D.G. 1947, KERR D.E. 1951)。

$$\Delta f = f_R - f_o = \left(\frac{2V}{C} \right) f_o$$

f_R ：雷達接收電波之頻率

f_o ：雷達發射電波之頻率，為常數

Δf ： f_R 與 f_o 之差

C ：電波之速度，為常數

V ：目標物 (例如雨滴) 向雷達方向 (或離開雷達) 之移動速度

應用上述原理設計之杜卜勒雷達有很多種，以美國為例，美國劇烈風暴實驗室 (NSSL) 即在奧克拉荷馬州諾曼 (NORMAN) 和奧克拉荷馬市西

北方 41.3 公里之西馬龍機場 (CIMARRON AIRPORT)，各裝設 S 波段 10 公分波長之杜卜勒雷達如圖十 (GOFF R.C. et al, 1977)。



圖十：美國 NORMAN NSSL 杜卜勒雷達，天線直徑 30 英尺，波長 10 公分。

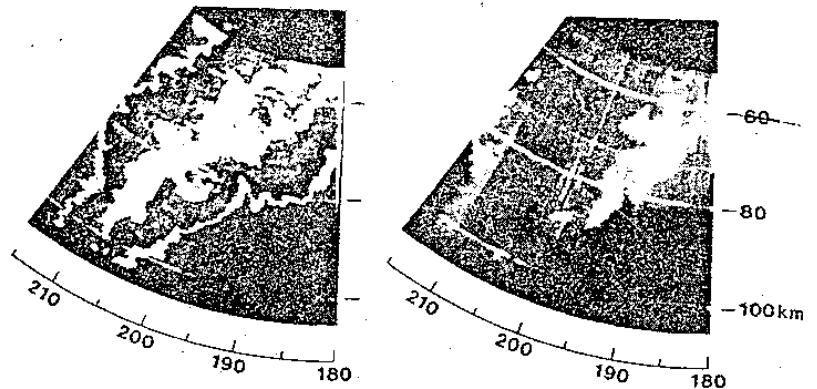
杜卜勒雷達係於一九七一年正式負起偵測劇烈風暴之任務，不但可像傳統氣象雷達得到降水回波，且可憑降水回波偵測風暴中之雨滴和風速變化情形，獲知風暴內強烈風切和亂流區，並能區分出該劇烈風暴是屬於雷雨抑龍捲風。杜卜勒雷達之最大優點乃能在劇烈風暴到來之前 20~30 分鐘，觀測到雲中氣流呈旋轉狀態，而發出劇烈風暴警報，具有傳統式氣象雷達所不及之功能。

由於龍捲風最顯著的特性，具有相當強大的風速，所以杜卜勒雷達極適宜於龍捲風之偵測。杜卜勒雷達雖有多種型式，其偵測龍捲風之效能則相同；以 10 公分波長之杜卜勒雷達為例，可以觀測高達 50 每秒公尺之風速，最大測距可達 75 公里。氣象人員根據所觀測得之高速度渦旋之正確位置，儘快預測龍捲風可能出現之時間與地點。

一九六九年，美國空軍劍橋研究實驗室之阿姆斯壯 (ARMSTRONG G.M.) 和唐納遜 (

DANALDSON R.J.) 兩氏曾經在杜卜勒雷達上發展一種「平面切變指示器」 (PLAN-SHEAR INDICATOR) 用作渦旋之即時指標。雖然杜卜勒雷達並不能顯示風速之正確值，但是所測得之風場圖解，可以在一個雷雨回波內很快定出呈圓形運動之位置。

美國國家劇烈風暴實驗室 (NSSL) 之西爾曼斯 (SIRMANS D.) 及多維雅克 (DOVIK R.J.) 等人曾發展一種即時測定雷達回波強度顯示剖面及杜卜勒速度剖面的技術 (圖十一)。

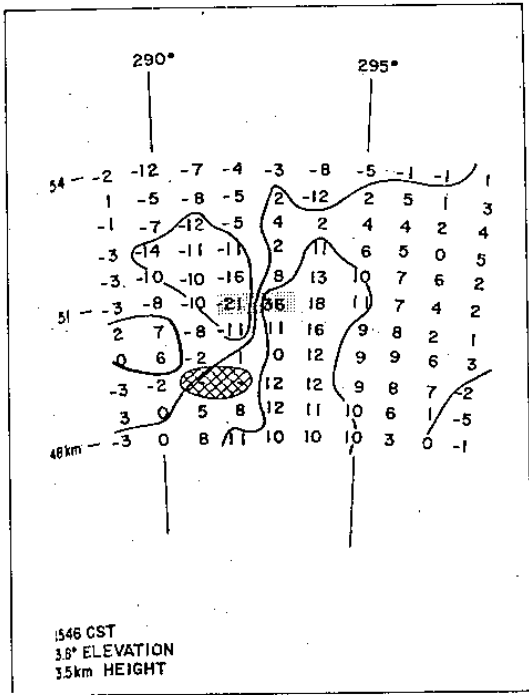


圖十一：每間隔 10 dB 之雷達回波強度剖面圖 (左)，杜卜勒速度從小於 13 mps 到大於 21 mps 時之剖面圖 (右)。

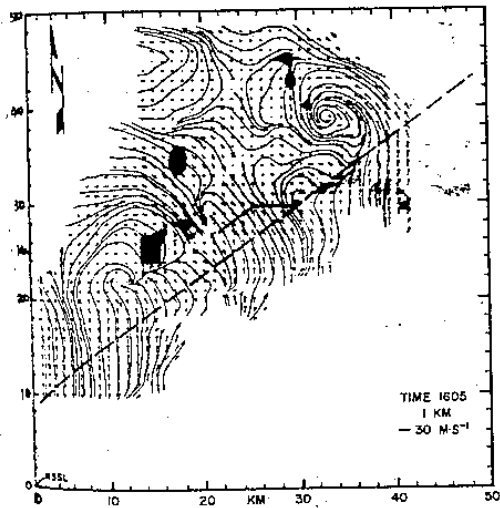
一九七五年，美國 NSSL 之科學家們曾經詳細觀測龍捲風內之杜卜勒風場，發現其內有甚強的風切存在。例如：在 3.5 公里高度上，距離 900 公尺之範圍內，即有從離開雷達的 36 每秒公尺氣流速度到移向雷達的 21 每秒公尺氣流速度之風切 (圖十二)，雷達可於龍捲風抵達地面之前 23~30 分鐘，觀測到位於風暴中層高空強渦旋之此種風切，所以可及時提前發生警報。

賴密特等人曾使用兩個或兩個以上之杜卜勒雷達同時觀測同一個劇烈風暴，可以得到三度空間之氣流型 (圖十三，BATTAN L.J. 1976)。

一九七七年，美國的布蘭德斯 (BRANDES E.A.) 以兩個杜卜勒雷達同時觀測一個強烈雷雨的氣流場，發展一種決定風向量的處理方法，分析的參數包括水平擾動風、垂直速度、水平向輻散、



圖十二：在 3.5 公里高空之杜卜勒速度 (mps) 圖型，正值為離開雷達之氣流運動速度，負值為移向雷達之氣流運動速度，點區為強烈風切區域，同時有龍捲風存在。



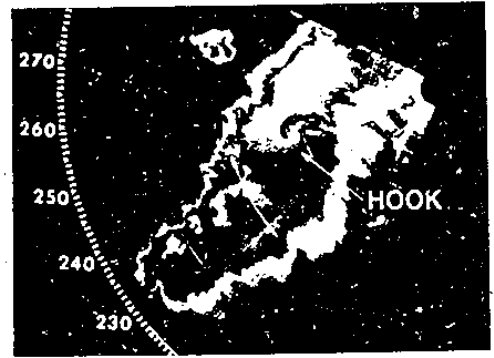
圖十三：使用兩個杜卜勒雷達偵測 1 公里高之一個強烈反氣旋型渦旋時之風場速度，黑色部份代表雷達反射率大於 50 dB 之區域。

垂直渦旋度場等。

以 10 公分波長之 NSSL 杜卜勒雷達觀測伴有龍捲風的雷雨時，可以發現上升氣流主要集中在風暴的南邊，常常沿著受擾動的輻合帶邊界層，排開

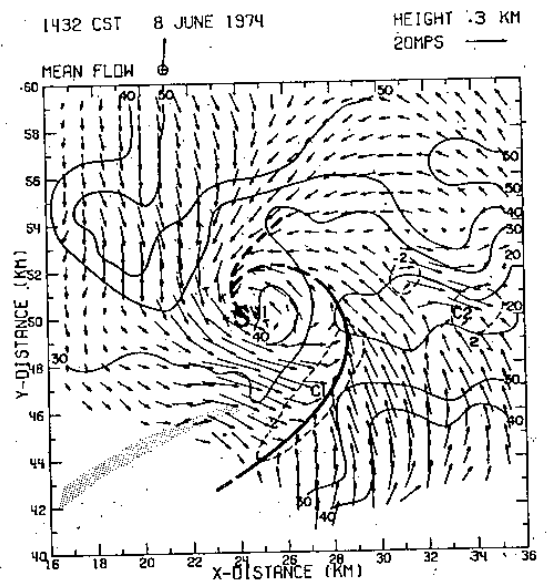
空氣層，向前進入，也集中在風暴之後部象限。當劇烈風暴產生旋轉作用時，杜卜勒雷達首先在 5 公里以下之高度觀測到，然後慢慢向地面降低。

圖十四為架設於諾曼 (NORMAN) 之杜卜勒雷達 PPI 雷達幕上所顯現之鉤狀回波。



圖十四：美國 NORMAN NSSL 杜卜勒雷達之 PPI 雷達幕上所顯現之鉤狀回波。

圖十五係根據杜卜勒雷達所觀測到之風場資料，加以分析之水平擾動場變化情形。圖中細實線代表雷達之反射率 (db)，粗實線即陣風鋒面 (GUST FRONT) 所在處，V 代表渦旋，C 代表產生輻合作用之處，S 代表風切帶 (GOFF R. C. etc, 1977)。所以杜卜勒雷達也可以偵測雷



圖十五：根據杜卜勒雷達所觀測到風場資料加以分析之水平擾亂變化情形。

雨之陣風鋒面的形成過程 (WAKIMOTO R.M., 1982)。

此外，杜卜勒雷達也被用以研究雷雨中之電場性質，因而得知雷達反射率最大的地方，也就是杜卜勒雷達觀測到上升氣流最強的地方，閃電最頻仍的地方 (RUST W.D. etc, 1981)。可見杜卜勒雷達在氣象上的應用正方興未艾。

六、結 語

氣象雷達被氣象人員用以觀測降雨，已有四十年歷史；咸認為氣象雷達乃觀測中範圍氣系統最有效之工具。從黑色影像到現在的彩色影像與數值化，已歷經漫長的路程，但杜卜勒雷達的發展完成，無疑的將成為氣象雷達劃時代的大事。因其具有傳統氣象雷達的功能，又能觀測三度空間氣流場；對鋒面、颱風、雷雨、龍捲風等中範圍天氣系統之探測與研究，實為最理想之利器。

參考文獻

1. Battan L. J. 1965 : Radar Observes the Weather, Chapter two.
2. Raytheon Co. U.S.A., WSR-64M Weather Radar Instruction Books, 1964.
3. 湯捷喜, 1968 : 利用氣象雷達從事中範圍天氣分析及預報之研究, 氣象學報 14 卷 2 期。
4. 蕭華等, 1977 : 氣象雷達在航空上之貢獻, 交通建設, 26 卷 1 期。
5. Fujita T. 1963 : Analytical Mesometeorology, A review : Meteorological monograph (severe local storms), 77-125.
6. Battan L. J. 1976 : Detection of Severe Local Storms, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 57, No. 4, 431-435.
7. Forbes G.S. 1981 : On the Reliability of Echoes as Tornado Indicators, Monthly Weather Review, Vol. 109, No. 7, 1457-1466.
8. 王昂生等, 1980 : 指狀回波之分析。
9. Dennis A.S. et al 1970 : Characteristics of Hailstorms of Western South Dakota, Journal Applied Meteorology, Vol. 8, 556-565.
10. Dennis A.S. et al 1971 : Meteorological Observation Required for Future Weather Modification Programs, 56-58.
11. Hiser H.W., Freseman W.L. 1959 : Radar Meteorology, Chapter 6, 53-59.
12. Flight Operation 1977 : Radar-Turbulence Avoidance Tool, 15-17.
13. Wilson J. et al 1980 : Operation Application of Meteorological Doppler Radar, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol 61, 1154-1168.
14. Hildebrand P.H. et al 1981 : X-band vs C-band Aircraft Radar - The Relation Effects of Beamwidth and Attenuation in Severe Storm Situations, Journal of Applied Meteorology, Vol. 20, No. 11, Nov. 1981 1353-1354, 1358-1361.
15. 劉昭民, 1977 : 地面彩色氣象雷達, 民航月報, 4 卷 11 期。
16. Kink D.G. 1947 : Radar Engineering, McGraw-Hill Book Co., New York, N. Y., 1947, 644-645.
17. Keer D.E. 1951 : Propagation of Short Radio Waves, M.I.T. Radiation Laboratory Series, Vol. 13, McGraw-Hill Book Co., New York, N.Y., 727-729.
18. Goff R.C., Lee J.T., Brandes E.A. 1977 : Gust Front Analytical Study, 8-20.

19. Wakimoto R.M. 1982 : The Life Cycle of Thunderstorm Gust Front as Viewed with Doppler Radar and Rawinsonde Data, 12th Conference on Severe Local Storms, 1982, 409-412.

20. Rust W.D. 1981 : Research on Electrical Properties of Severe Thunderstorms in the Great Plain, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 62, No. 9, Sept. 1981, 1286-1292.

An Introduction of Techniques and Equipment for Weather Rader

Chu-ching Lin Chao-ming Liu
Taipei Meteorological Center, CAA

ABSTRACT

The techniques and equipment of weather radar that have been developed and operated for detection of meso scale weather systems in the past 40 years are briefly introduced. They are (1) weather radar, (2) airborne weather radar, (3) colourful weather radar and, (4) doppler radar. It is more likely that doppler radar will give much hope of successful and reliable detecting meso scale weather systems, since doppler radar is able to detect severe storms and to observe 3 dimensions wind field near the storm and gives 20-30 minutes warning in advance .

