

應用雙偏極化氣象雷達反演過冷水之個案分析

報告人：預報長林育邦上尉

修編人：主任林信奇中校

中 華 民 國 104 年 06 月 27 日

摘要

積冰現象為飛行氣最常遇見之危險天氣之一，發生區域的不規則性導致預報困難，據文獻形成積冰的主因是過冷水附著機體所致，本研究利用過冷水存在於雹暴系統的特性，使用空軍氣象聯隊新建置的 C 波段雙偏極化 (C-Pol) 氣象雷達資料，進行模糊邏輯 (fuzzy logic) 水象粒子的反演，並以 98 年 3 月 6 日 07 時(地方時)馬公冰雹個案及 100 年 4 月 17 日受鋒面影響之台南降雹個案，交叉分析比較觀察台灣地區過冷水分佈異同處。

兩次降雹個案除媒體資料報導，並結合空軍值班同仁提供口述經過，藉由雷達資料反演時，冰雹落點與時間均與實際觀測資料吻合，驗證此反演法的實用性。經比對二個案的過冷水分佈，100 年個案在 6.5km 高度左右，而 98 年個案則出現在 7km 高度，據各別探空資料顯示兩高度的溫度均約為 -15°C 。從另一個角度分析，正在成長的冰水混相粒子 (Rain-Hail mixture) 常存在雹暴結構中強上升運動的位置，其存在最高高度的溫度約 -8°C ，換言之考慮上升運動影響過冷水至少可以存在於 -8°C 的空層。

之後期望取得機載資料驗證本反演法的適切性，若成功可有效降低空軍飛行訓練受積冰影響的風險，以維護飛安。

關鍵字：雙偏極化雷達，模糊邏輯，冰雹，積冰

第一章、前言

過去的傳統氣象雷達僅侷限於水平電場的電磁波輻射；後期發展的雙偏極化氣象雷達以增加一垂直電場的電磁波輻射，藉由估算水平與垂直電磁波經目標物後向散射(back scatter)之能量差異，可以獲得水象粒子的大小、形狀、指向以及熱力相態等資訊，用以反演雨滴數目及粒徑大小關係，提高計算降雨量準確率，若使用模糊邏輯方法，可即時分類空間中降水分布型態，如雨滴、冰晶、雪花、冰雹、過冷水等。

任何飛行危安因子，均是國力的耗損，據統計台灣地區常見的天氣危安因素為亂流及積冰，其中又以積冰對機體性能的威脅最大，列舉：2002 年 12 月的復興航空 GE791 貨機在馬公西南 27 公里處墜海失事，經調查失事原因就是是在飛行過程中遭遇到嚴重積冰(事故區域 18,000 呎高度之溫度為 -9°C)所肇致，積冰形成與過冷水存在息息相關，若能藉由各式天氣圖、儀器觀測、甚至模式預報及早發現過冷水可能分布區域，必能達成及時預警之效。

空軍氣象聯隊基於提升危險天氣預警時效以及改善機場短時天氣預報，於 2008 年 9 月完成清泉崗及馬公二座新一代氣象雷達提升案，自德商 Gematronik 公司引進具有雙偏極化功能之 C 波段都卜勒氣象雷達，為國內氣象作業用雷達開闢下一代氣象雷達應用新紀元，目前與氣象學界、氣象局、水利單位合作，針對劇烈降雨估算與預報、偵測冰雹、大氣中水象粒子之分辨及改善雷達資料的品質等功能發揮最大的貢獻。

2009 年 3 月 5 日 2212UTC (地方時 3 月 6 日晨 0712 時) 馬公冰雹個案，林(2010)[1]使用馬公 C 波段雙偏極化資料反演對流系統內的水相粒子與冰相粒子的空間分布，並與地面降雹區域進行比對，除驗證結果相符，並初步校正台灣地區的隸屬函數，及探討雹暴對流發展雲物理過程；本次 2011 年 4 月 17 日 13 時 UTC (地方時 4 月 17 日 21 時) 台南地區受鋒面雲系影響的雹暴個案，除使用馬

公雷達資料再次驗證反演降雹區域是否與實際吻合，更應用模糊邏輯，反演雹暴發展過程中不可或缺的過冷水區域，並進行分析。

第二章、資料來源與分析方法

本研究主要使用澎湖馬公C波段雙偏極化都卜勒氣象雷達於2009年3月5日2212UTC（地方時3月6日晨0712時）以及2011年4月17日13UTC（地方時4月17日21時）之觀測資料，針對電暴系統造成空軍機場降下冰雹個案進行研究分析，同時驗證水象分類準確性，觀察、分析電暴的發展。在個案觀測期間，雷達每一個波束上的距離單位(gate)為240公尺，掃瞄半徑為160km，掃瞄策略仰角分別為 0.5° 、 1.4° 、 2.4° 、 3.4° 、 4.3° 、 6.0° 、 9.9° 、 14.6° 、 19.5° 、 25° 共10層仰角掃瞄，一次體積掃瞄(volume scan)約需4分33秒完成，掃描策略定為每七分半分鐘執行一次。

雙偏極化雷達主要發射出水平、垂直偏極化方向的電磁波，觀測回波(Reflectivity-ZHH)、差異反射率(Differential reflectivity-ZDR)、差異相位差(Cross-correlation Coefficient- Φ DP)、比差異相位差(Specific differential propagation phase shift-KDP)和相關係數(Differential phase shift- ρ HV)等參數。這些對於水象降水粒子之物理特性：種類、形狀、大小、相態、密度和降落的行為非常敏感。有助於水象降水粒子的判別。資料分析的流程如下（圖2.1）：

（一）驗證KDP雷達相位參數，使用相同的 Φ DP資料，運用兩種不同的方法進行微分運算，一為中央大學作業用方法（紀，2005，[2]），以及RainbowDART套裝軟體內建運算，兩者計算的結果相仿。

（二）針對ZH、ZDR係統偏移進行修正，林(2010)[1]曾利用層狀區下小雨滴趨近於圓形的特性，找出ZDR bias約為0.7 dB以及ZH bias約為0.54，此研究結果協同合約廠商進行硬體調整，目前雷達bias值已趨近於0不需再行修正。

（三）C波段雷達由於波長較短（約5cm），電波經雨區時能量會受到衰減，Bringi et al.(1990)[3]曾提出電磁撥經純水時，ZH、ZDR的衰減能量與KDP參數具線性關係，Testud et al.(2000)[4]鑒於單係數修正法對於弱回波區域常出現過度修正情形，提出指數型修正方法，本個案即採用此方法進行衰減訂正。

（四）濾除非氣象回波資訊，Kessinger, et al. (1999) [5]應用經模糊邏輯(Fuzzy Logic)方法，將回波資料分成地面雜波（指建物或樹木，不移動的非氣象回波）、晴空回波（指鳥、昆蟲，會移動的非氣象回波）及氣象回波三類，使用Rainbow套裝軟體進一步將前兩類濾除，僅留下氣象回波資訊進行分析研究。

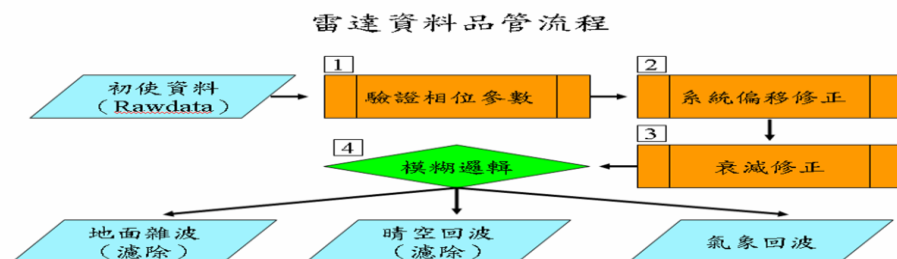


圖2.1 雷達資料品管流程圖。

第三節、模糊邏輯研究方法

Vivekanandan et. al. (1999) [6] 提出模糊邏輯 (Fuzzy logic) 演算規則 (如圖2.2)，此方法是應用「Fuzzy sets」概念，以下介紹「Fuzzy sets」的源起：

Zadeh, L. A. (1965) [7] 教授在美國加州柏克萊大學「資訊與控制」(Information and Control) 學術雜誌上提出的「Fuzzy sets」，文中闡述：有鑑於過去「傳統邏輯 (classical logic)」堅持所有事物 (陳述) 均以二元項表達，但多數的實際情況往往並不是這麼極端，因此二分法不論在自然界或人類思維模式不完美、也不合理，若改由元素對集合的歸屬程度敘述，定量分布在0~1之間，模糊在兩個端點的隸屬區域，將層次顯現出來，這就是「模糊集合」的概念。在實際應用上即是讓程式決策可以更貼近人類行為、思考，深獲當時評價「讓機器變得更聰明」。

Vivekanandan et. al. (1999) [6] 利用雙偏極化雷達能測得各式參數的特性，將此一概念應用在PID，以下是詳細的分類步驟：

1、首先找出參數與水象粒子的隸屬函數 (membership function) 關係：隸屬函數是由「隸屬度 (membership value)」組成，若此水象粒子型態不會出現該種參數反應，「隸屬度」用0表示「不相關」，反之完全符合此水象粒子特性則以「隸屬度」1表示「完全相關」，而0到1之間 (舉例：低相關性時給予「隸屬度」為0.3、半相關性時用0.5表示、高相關性是0.9) 的模糊地帶，數值給定是根據當地水象變化的特性，經實驗、觀測員長期觀察、或由統計而來，也因此每個不同經緯度、不同氣候型態地區的「隸屬函數」都不盡相同，可謂「因地制宜」。

2、接著將各個參數的「隸屬度」與參數「權重」相乘。要知道「權重」如何制定，就必須了解「權重」的控制因素：諸如當地氣候特性、不同型號雙偏極化雷達、地形地貌影響...等。一般而言，依據觀測人員長期使用該雷達的經驗，了解各參數的可信度，而做合理及適當的給定 (舉例：若dBZ參數長期使用發現誤差值偏低，表示參數可信度高給予較高的權重；或ZDR經長期使用發現誤差較高，則給予較低的權重)。

3、兩個不同的控制量 (隸屬度、權重) 相乘後，再將同一種水象型態下各個參數相乘後的值相加，此總合稱為「得分」 (aggregation value)，依「得分」多寡判斷該時段該空間中屬於何種水象型態，「得分」越高表示與該水象型態越相近，換句話說即有很大的機會屬於該類型的水象粒子 (並不是100%)。

綜整以上模糊邏輯法的優點：不但能將所有雷達參數全盤考量進去，同時顧及了當地氣候、雷達特性，達成客觀水象粒子分類的目的，更因運算方式只動用到乘法、加法並無複雜計算，成功的「即時 (real time)」區分出各種水象粒子類型，滿足作業需求。

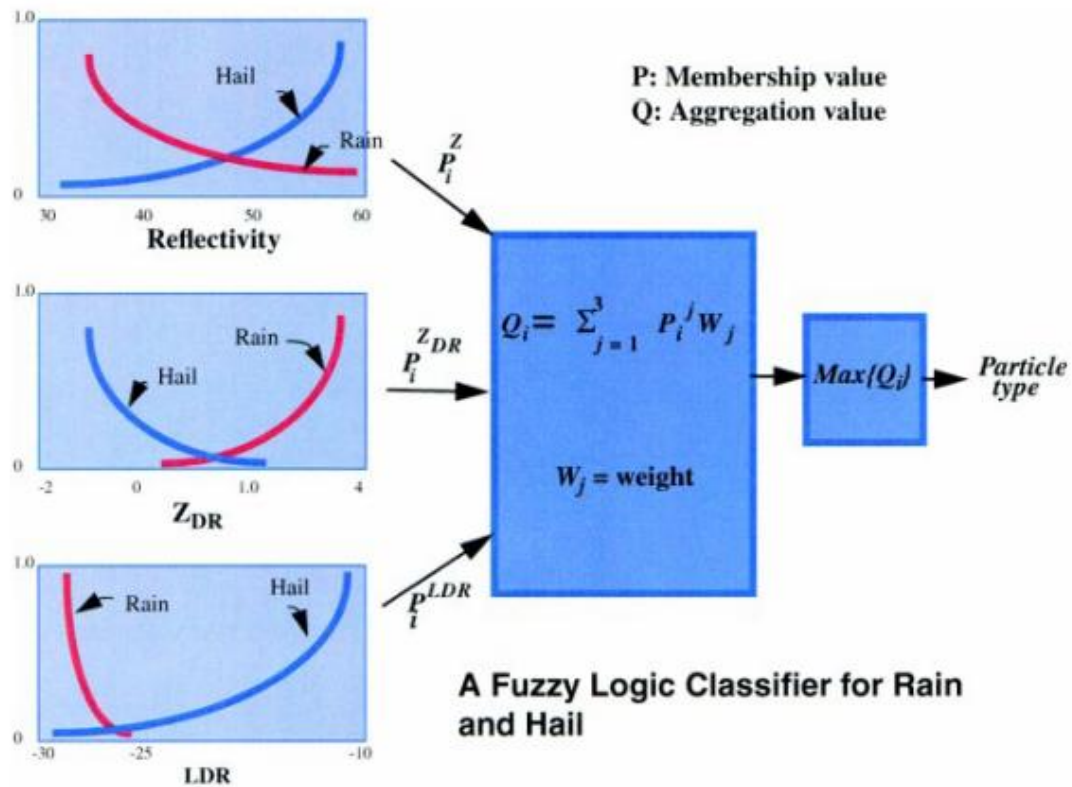


圖2.2 模糊邏輯流程圖。(摘自Vivekanandan et.al., 1999)

藉此模糊邏輯理論，應用在目前空軍現行應用繪圖軟體 Grads 上，設計出具反演水象粒子能力的運算式，在第一步驟隸屬函數關係式如下：

$$\text{隸屬度} = \frac{1}{1 + \left\{ \frac{\text{雷達參數} - a}{b} \right\}^{12}} \quad (3.1 \text{ 式})$$

3.1 式為一高斯函數變化式，用來表現自然分布狀況，其中 a 代表中間數 (median) 而 b 則表示寬度 (wide)，其計算方式用圖 3.1 說明之：

圖 3.1 中以過冷水的 Z_H 為例，過冷水的 a 值為 0.0 而 b 值為 20.0 帶入 3.1 式中繪出的圖形如下方所示，可以看出隸屬度大於 0.5 的範圍介於 +20 到 -20 之間，換言之若假設溫度介於 0 到 -20°C，此時 a 值必須設定為 -10，而 b 值則為 10，此即本研究設計隸屬含數的方式，餘各個水象粒子參數如表 3.1 所示。

第二步驟給予權重係因空軍雷達設施為新建置裝備，各項雷達參數資料已經驗證與理論範圍值吻合此外並經與中央大學雙偏極化雷達互相校驗後誤差甚微 (林，2010)，故除 K_{DP} 參數為微分值給予 0.5 權重，餘參數權重均為 1。

第三步驟經單一參數隸屬度與權重相乘，並將同一水象粒子的四個參數（ Z_H 、 Z_{DR} 、 K_{DP} 、 R_{HV} ）相加後，最後與溫度的隸屬函數相乘，此設計是為防止水象分類誤差過大，最後在單一網格點進行各個水象粒子得分比較，取數值最大者為代表，以上即為本研究模糊邏輯計算處理方法。

過冷水隸屬函數

Parameter		Z_H dBZ	Z_{DR} dB	K_{DP} deg/km	R_{HV}	溫度 °C
Super cool water	a, 中間數	0.0	0.5	0.05	0.99	-10.0
	b, 寬度	20.0	1.0	0.05	0.01	10.0
隸屬函數 = $\frac{1}{1 + (\frac{\text{參數} - a}{b})^{12}}$		-20~20	-0.5~1.5	0~0.1	0.98~1	-20~0

Zh隸屬函數

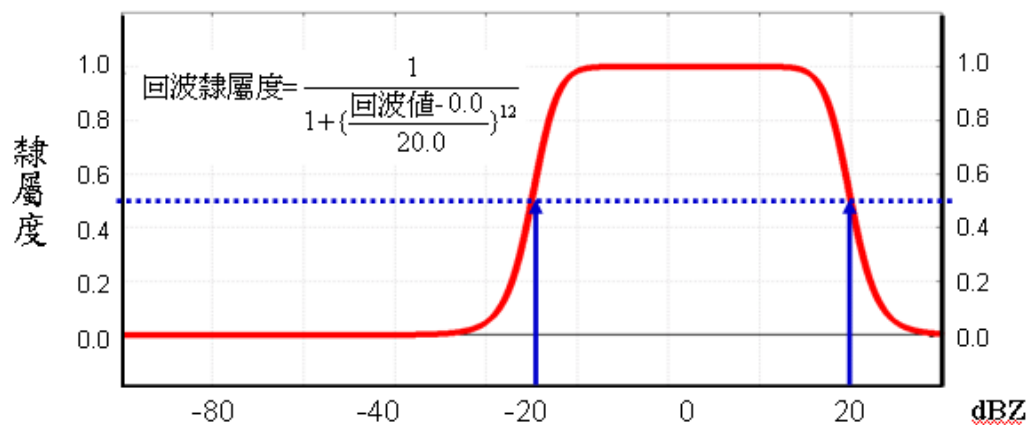


圖 3.1 隸屬函數設計說明，以過冷水為例。

表 3.1 (a) Rainbow 軟體 PID 第二步驟的隸屬範圍 (b) 經修正的 Rainbow 軟體 PID 第二步驟的隸屬範圍。

a

	Drizzle	Rain	Dry LD snow	Dry HD snow	Wet Snow	Dry Graupel	Wet Graupel	Wet Hail, < 2 cm	Wet Hail, > 2 cm	Rain-Hail-Mix
Z_h										
$\langle V \rangle$	17.5	42.5	12.5	12.5	32.5	27.5	40	55	60	62.5
$\sigma(V)$	7.5	17.5	22.5	22.5	12.5	7.5	10	5	5	17.5
Z_{dr}										
$\langle V \rangle$	0.45	2.25	0	0.5	1.75	0.25	0.75	0	-0.25	2.5
$\sigma(V)$	0.25	1.75	0.5	0.5	1.25	0.75	1.25	0.5	0.75	3.5
K_{dp}										
$\langle V \rangle$	0.03	10	0	0.2	0.5	0.5	1.5	0	0.5	10
$\sigma(V)$	0.03	10	1	0.2	0.5	0.5	1.5	1	1.5	10
ρ_{co}										
$\langle V \rangle$	0.985	0.975	0.975	0.975	0.7	0.975	0.975	0.935	0.91	0.95
$\sigma(V)$	0.015	0.025	0.025	0.025	0.2	0.025	0.025	0.015	0.01	0.05
T										
$\langle V \rangle$	10	10	-10	-15	2.5	-10	2.5	2.5	2.5	7.5
$\sigma(V)$	20	20	10	15	2.5	10	17.5	17.5	17.5	17.5

b

水象粒子\雷達參數	Z_H (dBZ)	Z_{DR} (dB)	K_{DP} (deg/km)	ρ_{HV} (%)	溫度
Drizzle	5~25	0.2~0.7	0~0.06	98~99	0~40
Rain	25~60	0.5~4	1~7	98~99	0~40
Weak Snow	-10~20	-0.5~0.5	-1~1	97~99	< 0
Strong Snow	-10~30	0~1	0~0.4	97~99	< 0
Wet Snow	30~40	0.5~3	0~2	85~95	-5~5
Dry Graupel	25~35	-0.5~1	0.7~1.5	94~98	< 0
Wet Graupel	45~55	1.5~4.5	2~4	85~95	-20 ~ 12
Small Hail	50~60	-0.5~0.5	-1~1	92~96	-15 ~ 20
Large Hail	55~65	-1~0.5	-1~2	90~92	-25 ~ 20
Rain-Hail Mixture	55~75	1~6	3~5	80~95	-10 ~ 25

四、個案天氣分析與比較

4.1 馬公個案分析

4.1.1 地面高空天氣圖分析

圖4.1.1為3月6日00 UTC（地方時3月6日08時）之中尺度地面天氣圖，顯示低壓中心位於台灣中部到南部一帶，勢力向西延伸至廣東省一帶，澎湖馬公地區受低壓鋒面影響，且有明顯發展趨勢，在動力上提供底層良好的輻合機制，且低層為風向均偏北風。

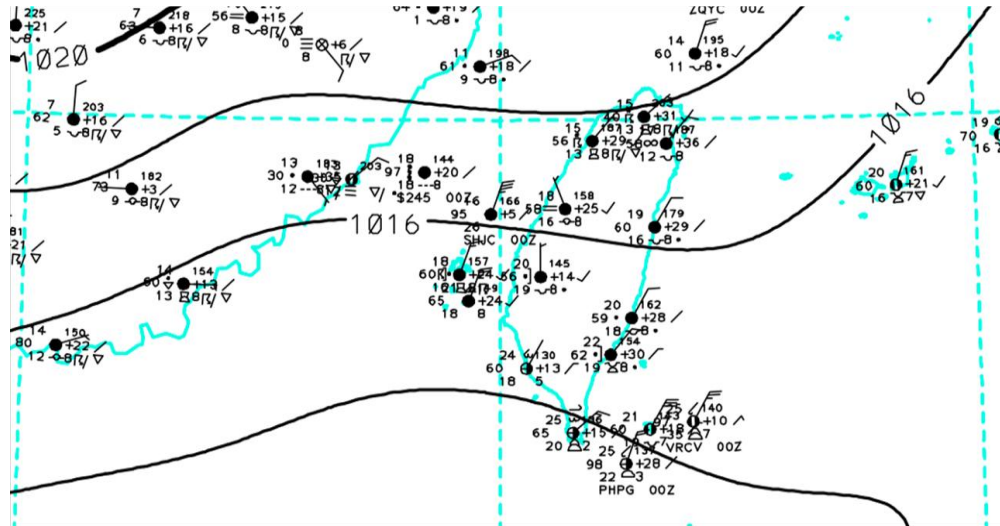


圖4.1.1 3月6日00 UTC地面中尺度分析圖。

850hPa高空分析圖（圖4.1.2）上顯示6日00UTC（地方時6日8時）位於海峽中北部有一明顯氣旋式環流（紅色圓圈處），配合濕度場資料分析是為一底層低壓環流，且位於台邊西線沿海至海峽中線一帶地區風場由低層的偏北風轉變為南風，顯示明顯風切。

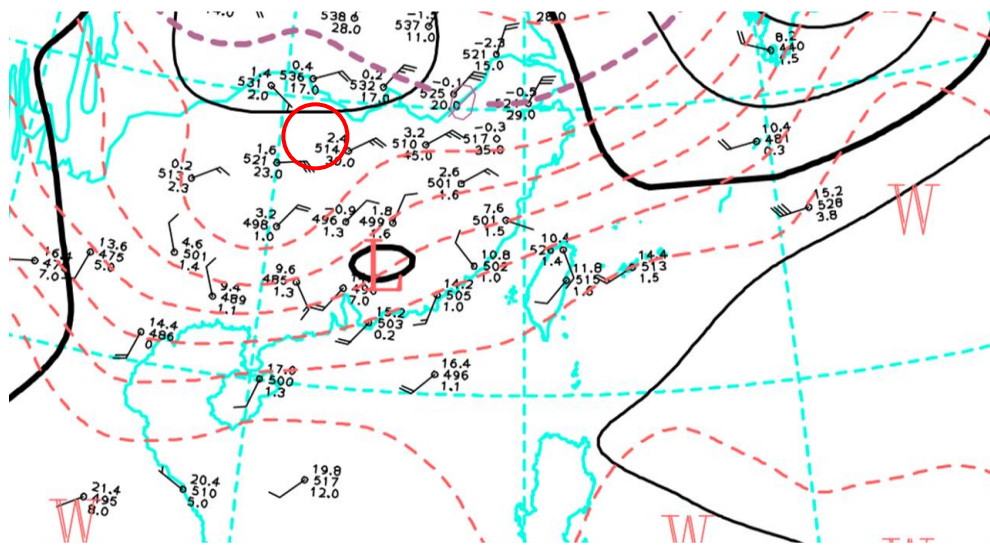


圖4.1.2 資料時間3月6日00 UTC的850hPa高空分析圖。

4.1.2 探空資料分析

由探空圖（圖4.1.3）的溫度露點線分析，600hPa以下溫度露點相近表示溼度較高，且底層900 hPa的逆溫現象屬鋒面逆溫，0℃高度3.8 km，風向由地面的北風至850 hPa轉成西南風，風隨高度逆轉顯示存在冷平流及上下風切不連續面。

同時底層有少量負能區，並無正能區分布，配合偏低的CAPE值34.5表示環境場穩定，熱力場舉升作用微弱，若無動力舉升出現，不易出現劇烈天氣。

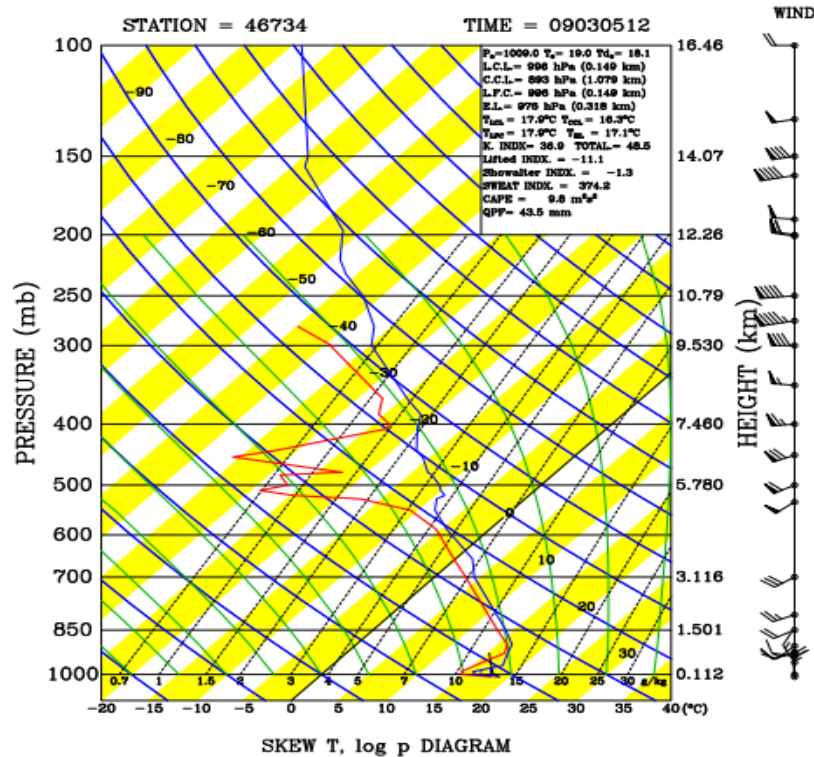


圖4.1.3 馬公探空資料時間3月6日00UTC。

4.1.3 衛星雲圖資料分析

3月6日每小時色調強化衛星雲圖（圖4.1.4）顯示大陸東南沿海一帶存在發展旺盛鋒面對流雲系，藉由連續圖分析此鋒面向東移動，其水平尺度東西方向約達4個經距，南北則約7個緯距，主體以勢力變化可劃分為南北兩塊對流胞，北方勢力由強減弱，南邊對流胞則由弱增強，由地理位置研判對海峽中部一帶地區及澎湖造成劇烈天氣影響。

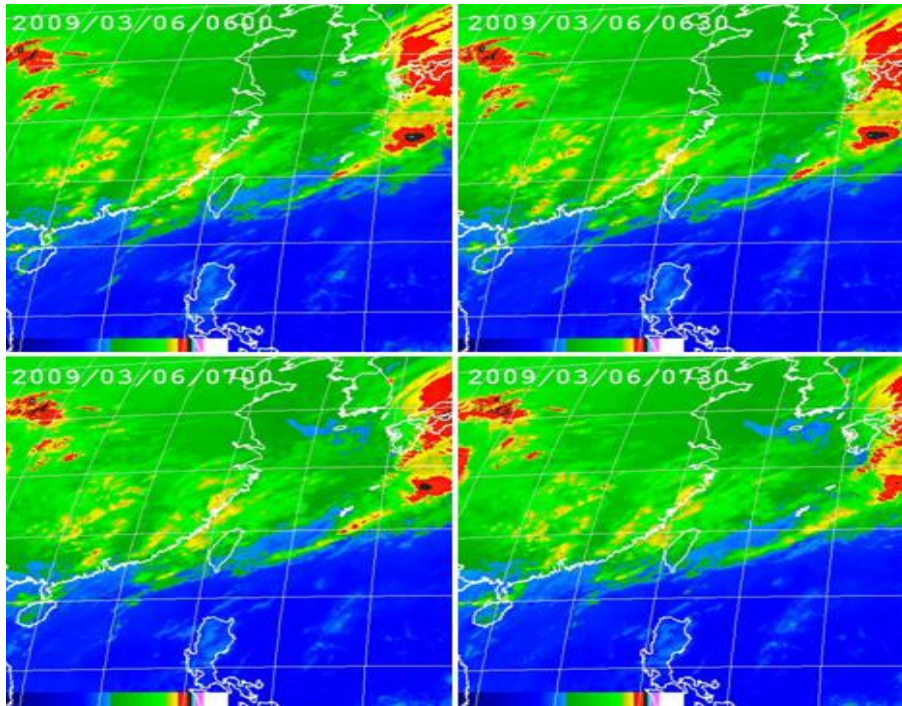


圖4.1.4 3月5日22時30分UTC至23時30分UTC，色調強化彩色衛星雲圖，海峽一帶有明顯鋒面生成東移。

4.1.4 雷達資料分析

馬公雷達回波圖資料時間序列分析（如圖4.1.5）由6日06時52分至6日7時22分四張連續圖，顯示西南海面有一弓狀回波向東北東移入澎湖，且最大回波達60dBZ以上。

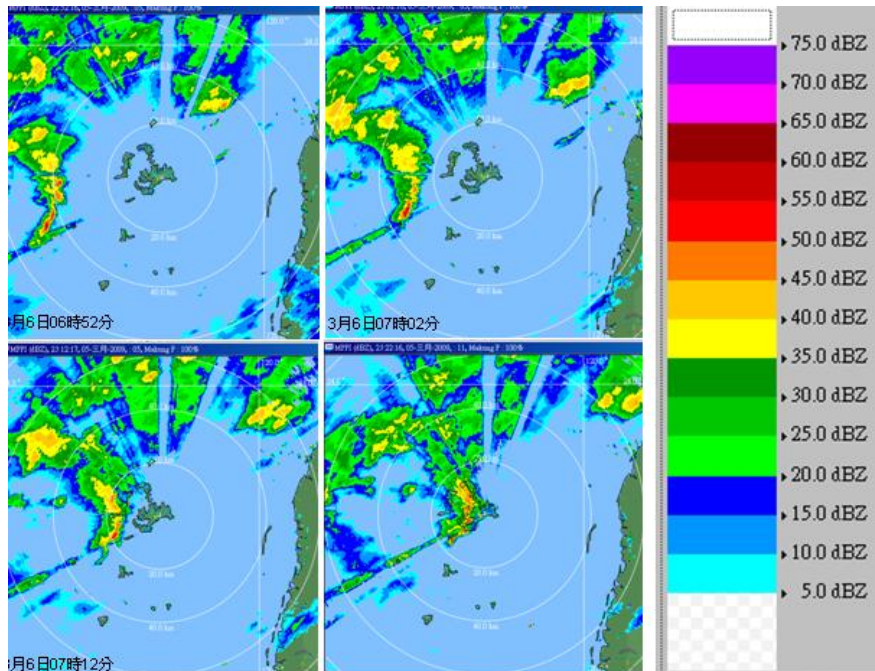


圖4.1.5 地方時3月6日06時52分至07時22分仰角0.5度，連續回波圖。

4.1.5 雷達資料反演水象例子分析

據當地值班人員及報導指出冰雹發生在地方時6日7時20分馬公西南方五德及鎖港里（據報導第一個撿到冰雹的地方），利用雙偏極化雷達0722時水象粒子分類圖(ECLASS:利用模糊邏輯法對雙偏極化雷達觀測參數進行各水象粒子分類)，圖4.1.6所顯示為 0.5° 水象粒子分類圖，位於馬公機場西南方五德及鎖港里（據報導第一個撿到冰雹的位置）處有「Rain-hail mixture(雨-冰雹混合)」訊號發生。

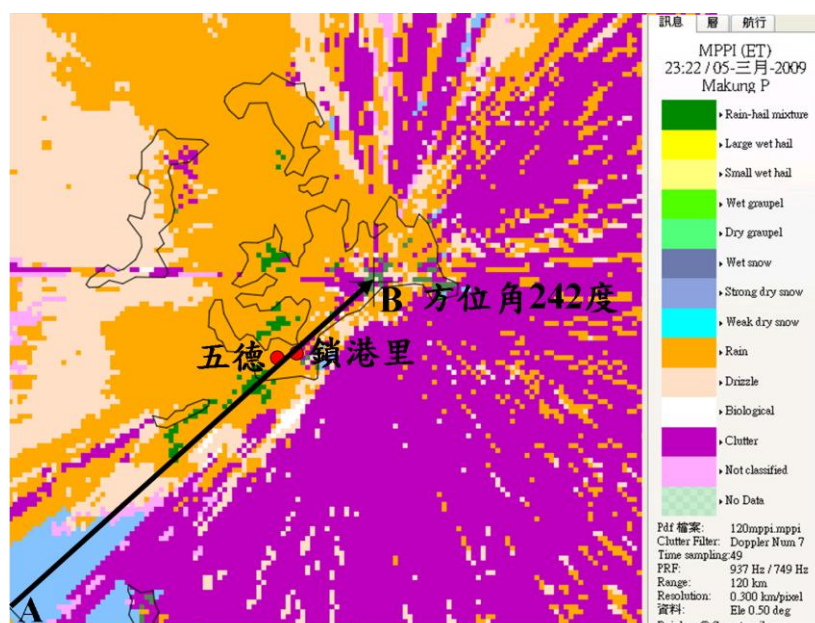


圖4.1.6 仰角 0.5° 水象粒子分類圖。

圖4.1.7針對回波移入時最接近的時間點6日7時22分（地方時）做方位角242度通過五德及鎖港里上空剖面，可以明顯發現垂直分布有出現雨-雹混合訊號（綠色區域）顯示水象粒子分類結果與實際現象互相符合。

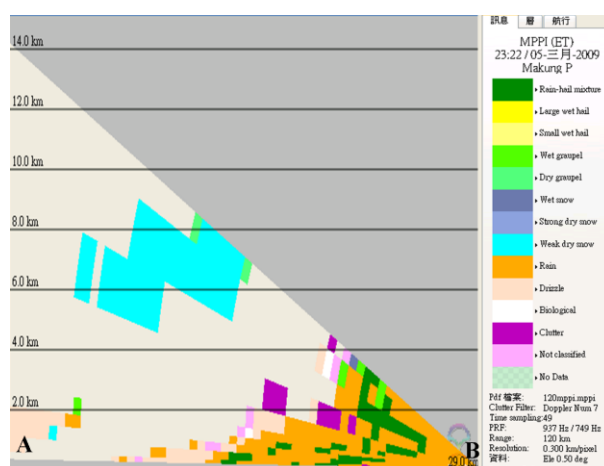


圖4.1.7 地方時3月6日07時22分，水象粒子分類與徑向風場垂直剖面圖。

4.2 台南個案分析

4.2.1 地面高空天氣圖分析

圖4.2.1為4月17日12UTC（地方時4月17日20時）地面天氣圖，顯示低壓中心位於日本南方海域一帶，勢力向西南延伸至廣東省一帶；且位於海峽南部及東沙北部海域（紅色圓圈處，約北緯23°東經114°到118°）風場明顯幅合。

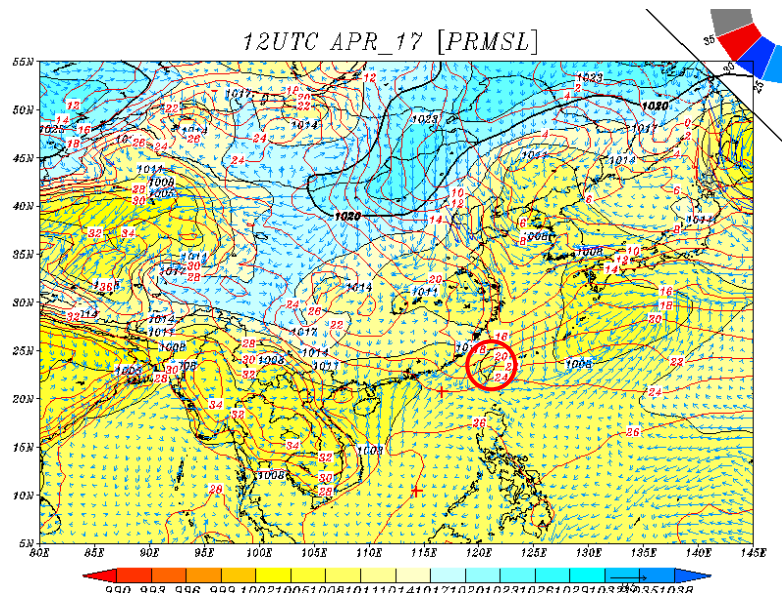


圖4.2.1 資料時間4月17日12UTC地面天氣圖。

850hPa高空分析圖（圖4.2.2）顯示17日12UTC（地方時17日20時）位於海峽南部存在風向不連續面（紅色圓圈處），且溫度梯度相差6°C，配合高相對濕度區域研判此為一低壓帶結構。

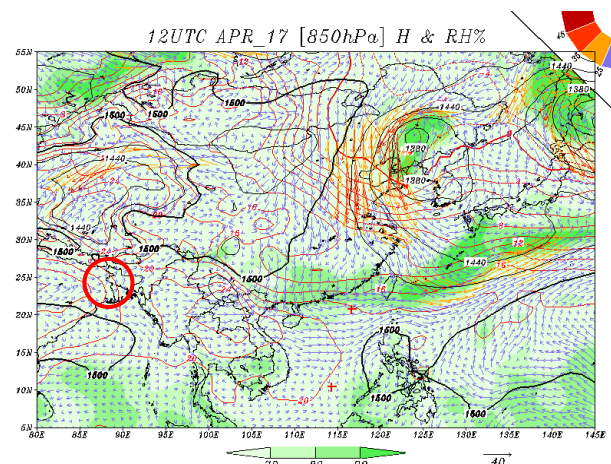


圖4.2.2 資料時間4月17日12UTC的850hPa分析圖。

700hPa高空圖（圖4.2.3）分析風向不連續面範圍為海峽中部至南部（紅色圓圈處），高相對溼度區分布海峽中部以北與850hPa位置相比較顯示斜壓性良好，且溫度梯度相差4°C並存在於高相對濕度區域，綜合底層至高層研判，此為鋒面結構造成海峽中部至南部地區劇烈天氣現象。

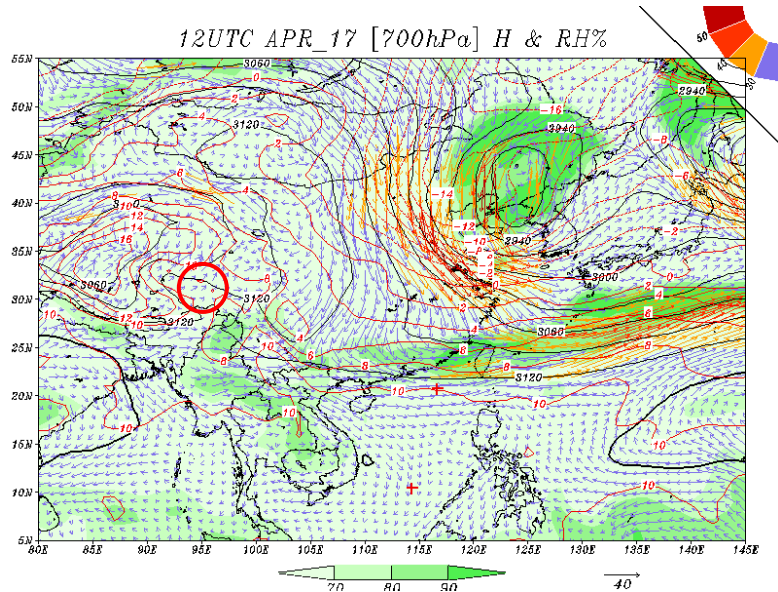


圖4.2.3 資料時間4月17日12UTC的700hPa分析圖。

4.2.2 探空資料分析

由於鋒面系統影響時間為晚上20時，最適合分析的東沙探空因作業因素並無施放，故使用屏東探空資料分析，探空圖（圖4.2.4）顯示 0°C 高度在4.2km，450hPa至850hPa空層溫度露點相近表示溼度較高，正能區位於750hPa以下CAPE值為19，底層並無鋒面逆溫，顯示20時鋒面仍存在於海上僅高層雲系移入。

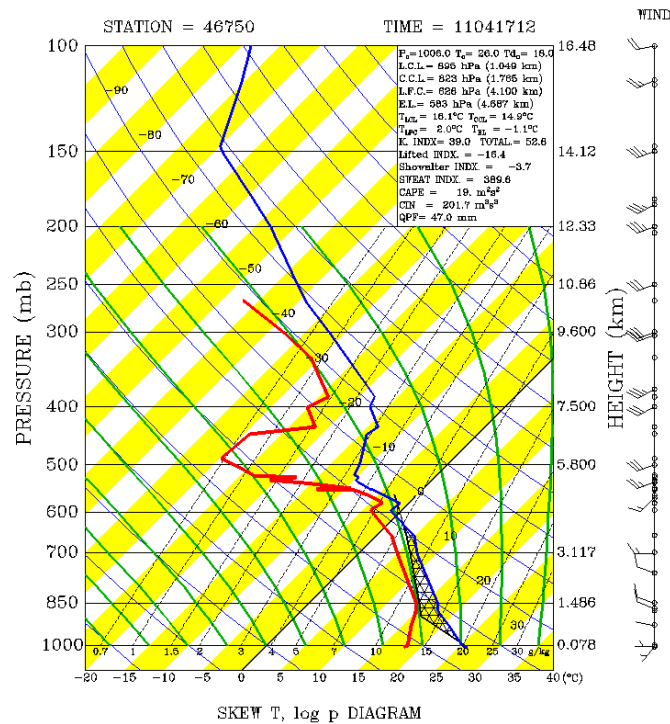


圖4.2.4 屏東探空資料時間4月17日12UTC。

4.2.3 衛星雲圖資料分析

4月17日11時至14時UTC（地方時19時至22時）每小時色調強化衛星雲圖（圖4.2.5），藉由連續雲圖分析顯示大陸東南沿海一帶存在發展旺盛鋒面對流雲系，其水平尺度東西方向約達7個經距，南北則約4個緯距，並持續向東北移動，由地理位置研判對海峽南部一帶及台灣南部地區造成劇烈天氣影響。

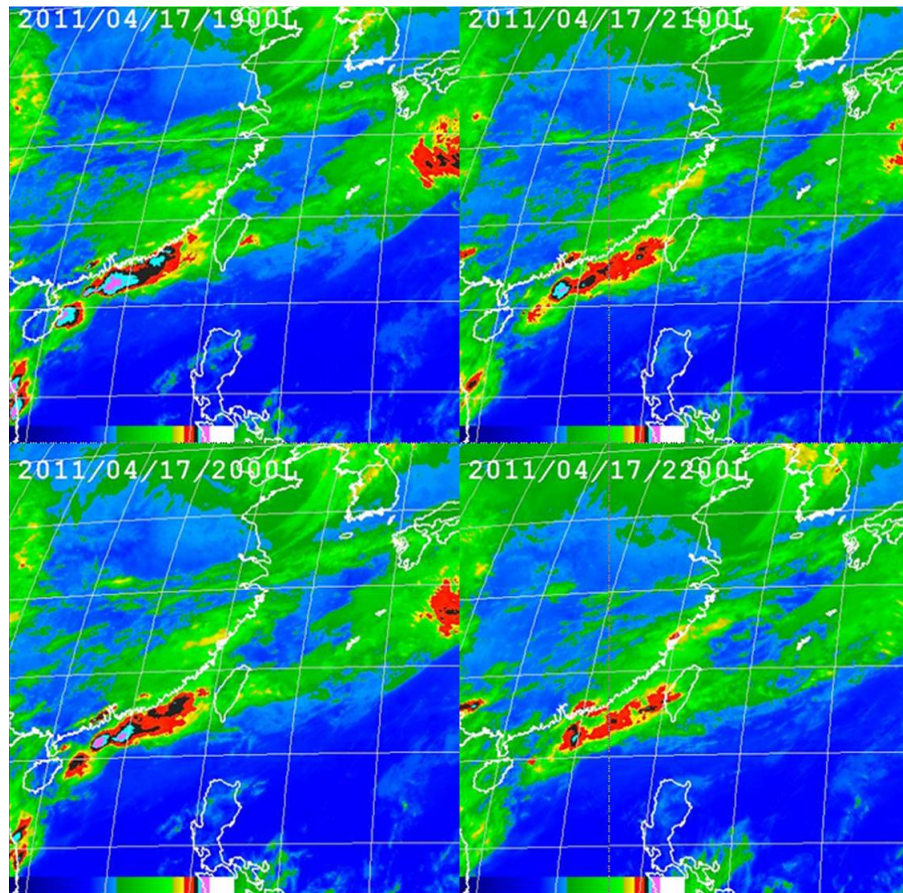


圖4.2.5 資料時間4月17日11時至14時UTC，色調強化彩色衛星雲圖。

4.2.4 雷達資料分析

馬公連續雷達回波圖資料顯示（如圖4.2.6），世界時4月17日13時17分至32分（地方時4月17日21時17分至32分）強對流位於台南市區北面，並以8m/s的速度向東移動，最大回波達55dBZ以上。

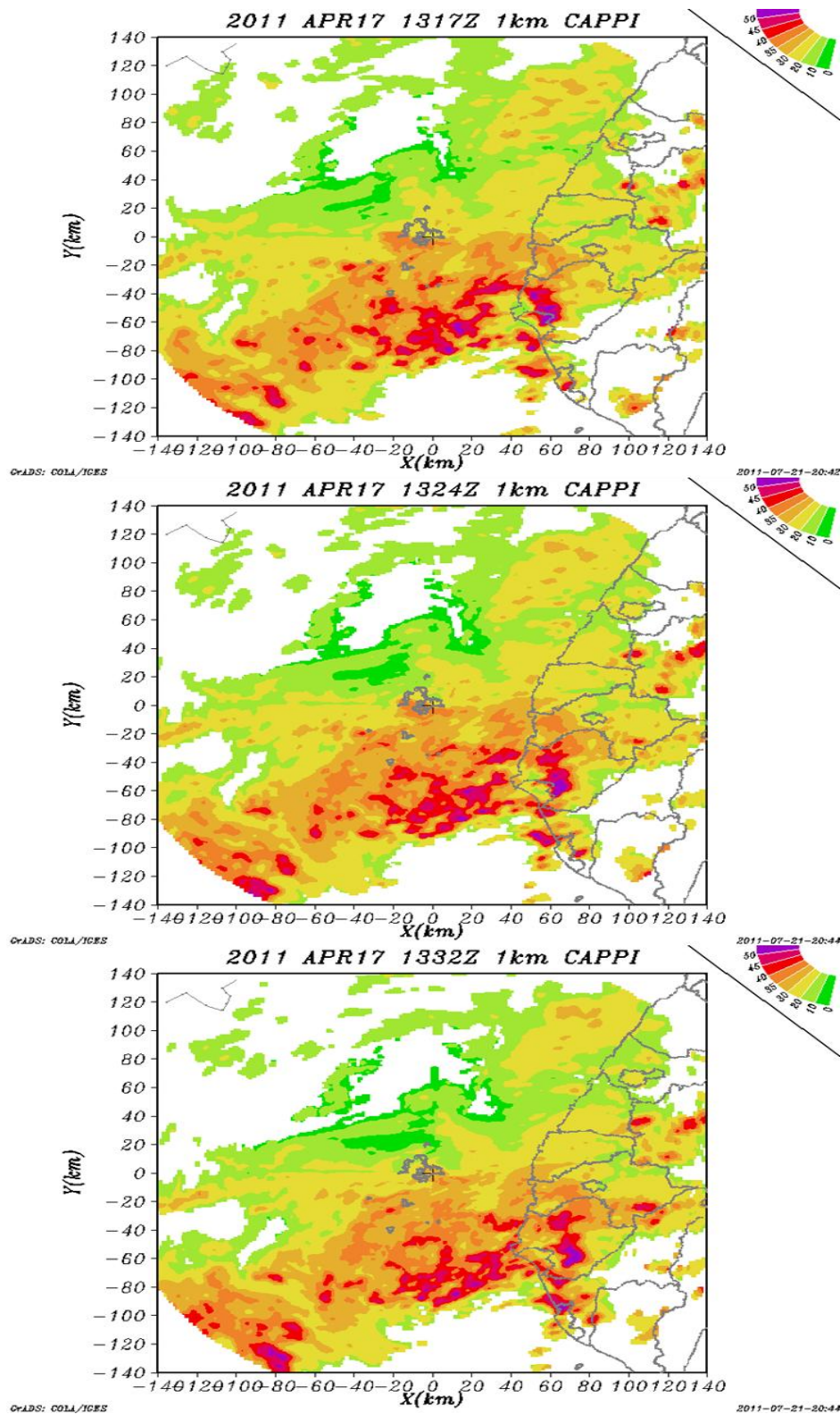


圖4.2.6 世界時4月17日13時17分至32分，高度1km連續回波圖。

據台南機場值班人員及媒體報導指出，4月17日晚間9時由海面移入的強對流具放電現象，冰雹發生地點位於台南市南區安南區，配合馬公雷達掃描策略最接近的時間點是1317UTC（地方時21時17分），強對流位於台南市東北面（圖

4.2.7)，配合水象粒子分佈反演強對流區1km及3km高度具有「Rain-hail mixture（冰水混相）」訊號反應（圖3.7水象粒子分類第0項），藉由地面觀測到冰雹掉落再次驗證本研究使用的隸屬函數適合台灣地區使用，此強對流區的5km及7km高度則有「Hail（冰雹）」分布（圖4.2.7水象粒子分類第8及第9項）。

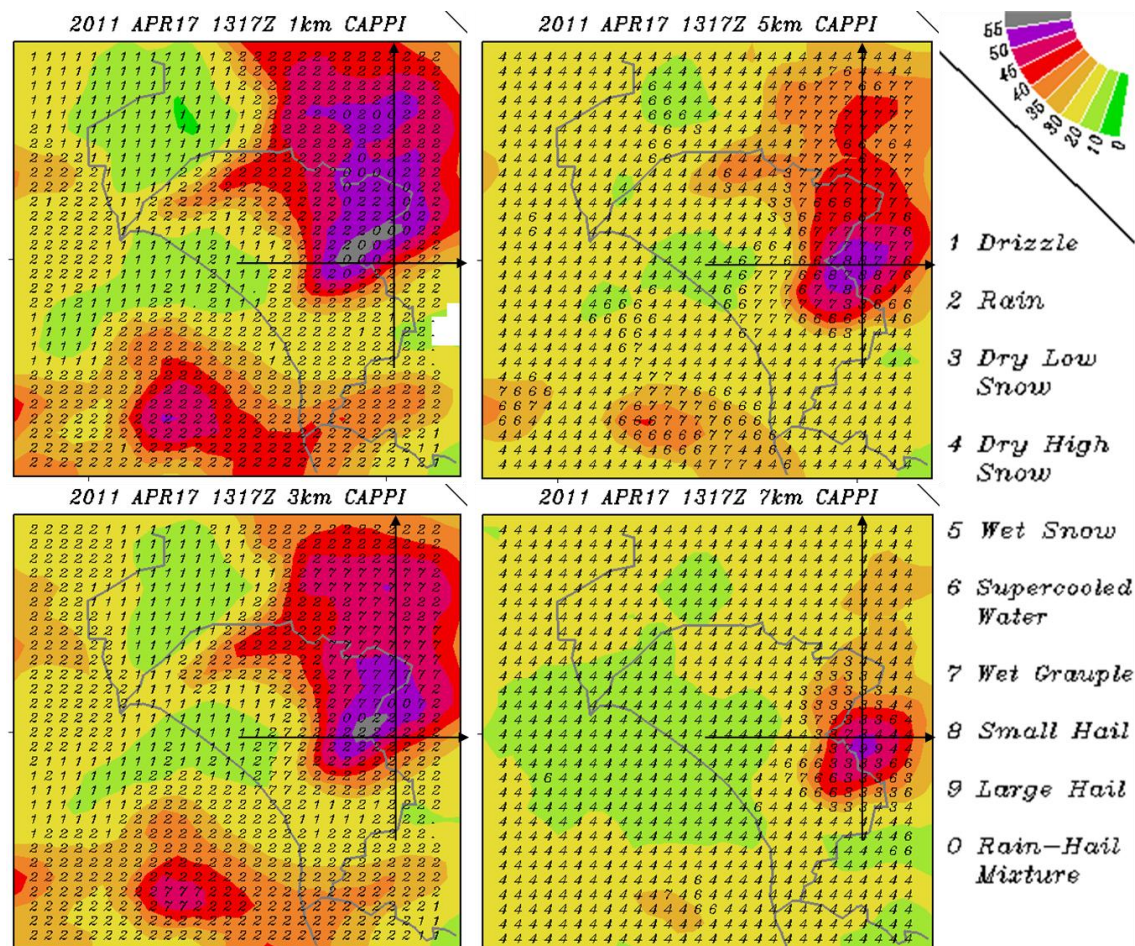


圖4.2.7 馬公雷達資料時間1317UTC（地方時2117時）1、3、5、7km高度CAPPI回波圖。

水象粒子分類第6項為過冷水，其成因為大氣中熱傳導效率低，當溫度低於 0°C 時水不會馬上凍結，依然可以液態水相態存在，參考Keenan. (2003)[5]及NCAR經水象粒子模擬散射實驗得到過冷水的隸屬函數數據，本個案中設定過冷水回波值（ Z_H ）介於 $-20\sim 20\text{dBZ}$ 、差異反射率（ Z_{DR} ）在 $-0.5\sim 1.5\text{dB}$ 之間、比差異相位差（ K_{DP} ）介於 $0\sim 0.1\text{ deg/km}$ 、相關係數（ ρ_{HV} ）需大於0.98以上，而溫度設定存在於 $-20\sim 0^{\circ}\text{C}$ 間，對於電暴系統過冷水是不可或缺的元素，強上升運動造成的冰粒子提供良好凝結核，配合動力場再進入區域使得過冷水得以附著，經乾成長及濕成長過程得以形成冰雹，由5km到7km高度CAPPI水象分類圖（圖4.2.7）發現過冷水存在環繞電暴主體周圍，且過冷水分布位置與低層（1km及3km高度）的冰水混相分布區域大致相符。

4.3 兩個案比較

綜合以上兩個案相同處：電暴系統均形成於海面上、發生位置位於鋒面尾端，接著更進一步比較兩個案的垂直結構，兩個案移動方向均向東移動，因此剖面方向均由西向東，位置分別如圖4.3.1及圖4.3.2所示。

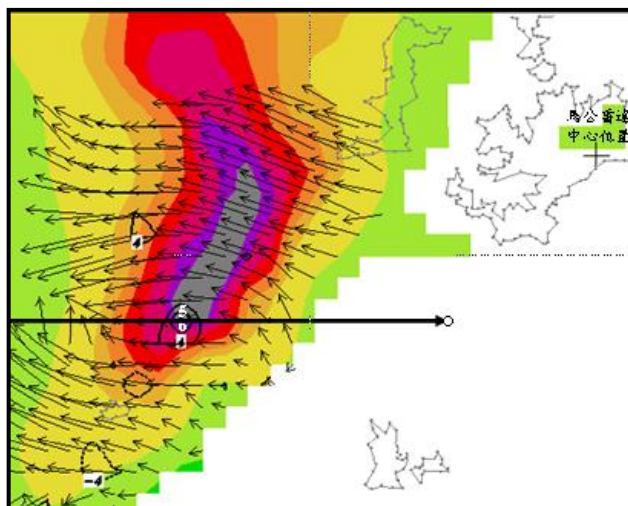


圖4.3.1 2009年3月6日7時02分(地方時)馬公電暴個案剖面位置。

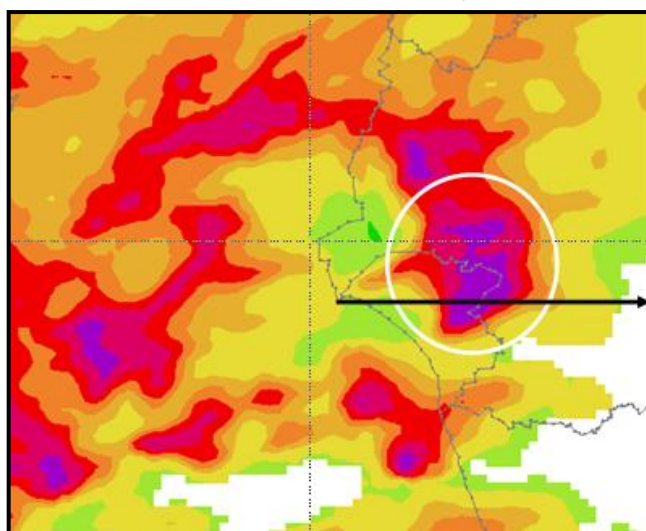


圖4.3.2 2011年4月17日21時17分(地方時)台南個案電暴個案剖面位置。

兩個案剖面如圖4.3.3所示，由水象粒子分類配合回波位置，配合系統移動方向電暴垂直結構均有高層前傾趨勢，且冰水混相分布位置均存在於強回波主體之後，且距主體越遠地面呈現的水相粒子是以雨滴為主；接續針對反演水象粒子處理，僅留下冰雹及過冷水訊號如圖4.3.4，首先比較過冷水出現之最高位置98年個案在6.5km而100年個案則出現在7km高度，經核對探空圖該空層溫度，判讀均為 -15°C ，本個案設定過冷水存在於 $-20\sim 0^{\circ}\text{C}$ 之間（圖3.1），這個巧合植德後續研究參考。另一方面冰雹存在的地方常伴隨強上升氣流，100年個案冰水混相高度可達5km，經探空圖（圖4.2.4）分析溫度約為 -8°C 與98年個案相似，顯示台灣地區考慮動力場強上升氣流可以將水帶至 -8°C 的環境還不至於結冰。

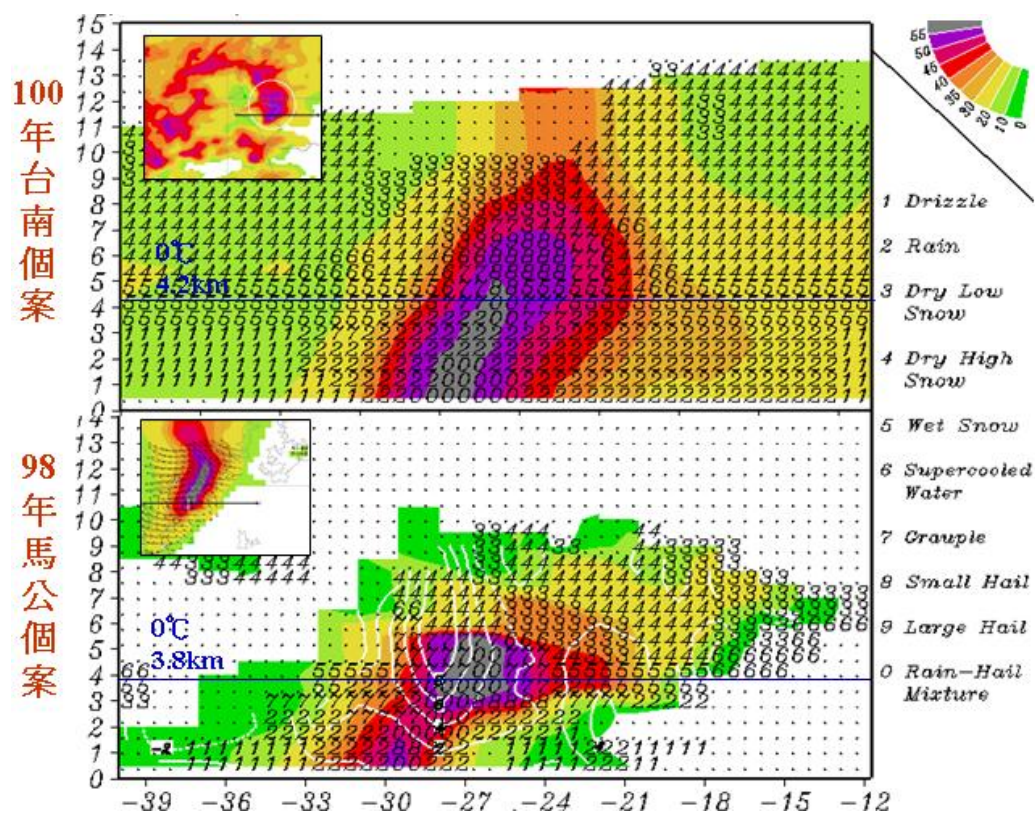


圖4.3.3 兩個案剖面水象粒子反演圖。

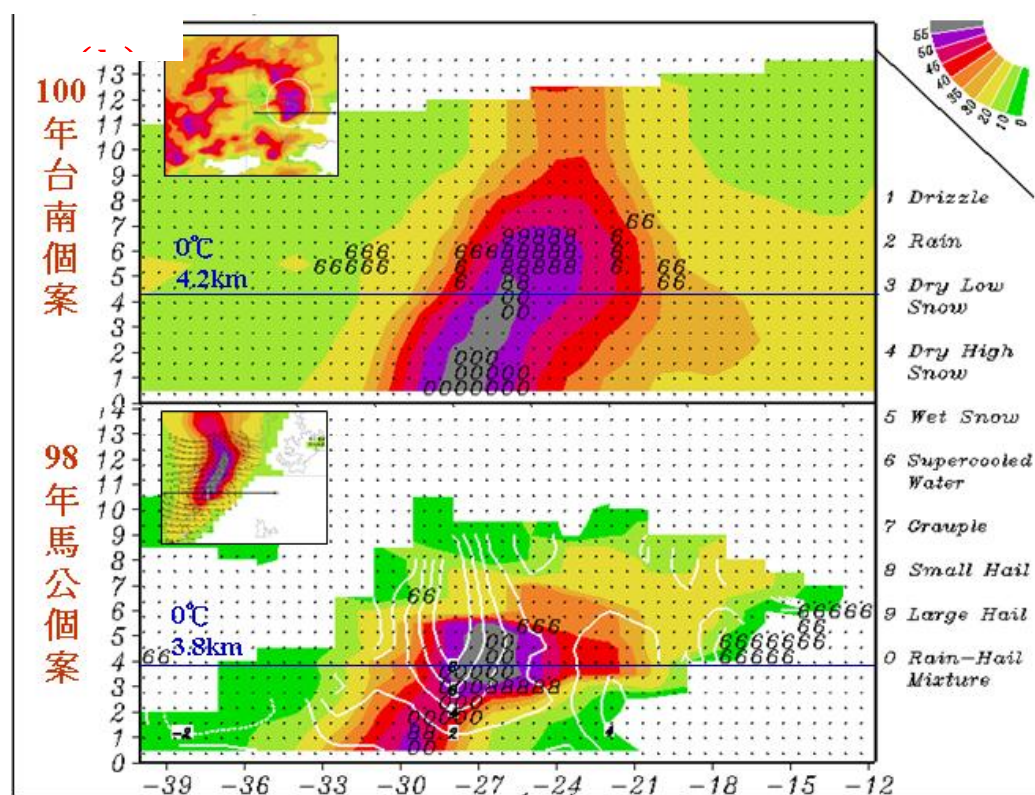


圖4.3.4 兩個案剖面水象粒子反演圖（只留下冰雹及過冷水訊號）。

五、結論及未來展望

Zrnic and Ryzhkov(1999)[8] 認為雙偏極化雷達已經通過兩個重要測試，分別是：偏極化的資訊包含水象粒子特性，以及反演足夠精確度。

經兩次雹暴個案分析，冰水混相及降雨驗證均能與實際相符，可證明台灣地區水相粒子分類的隸屬函數已具雛型：

- (一) 由結構分析：雹暴由底至頂具有向移動方前傾趨勢，是傾斜的結構。
- (二) 比較強回波發展高度：兩次個案強對流發展大於55dBZ高度約介於4~5km之間。
- (三) 水象例子反演結果分析：強回波處是由軟雹、冰雹及雨水構成其中又以冰雹含量較高。
- (四) 兩次個案冰雹均由台灣海峽中南部移入陸地，並非接觸陸地抬升後導致降雹，今後可由海面強烈對流系統著手監測雹暴發展的初始環境。

為建立可靠的觀測積冰方式，利用雹暴個案驗證過冷水存在，經反演過冷水分布後，分析南部地區過冷水可存在空層達 -15°C ，除了反演方法，更期望藉由機載觀測協請飛行員提供相關資料，建立一套屬於台灣地區的隸屬函數參數。

六、文獻參考

- [1] 林育邦，雙偏極化雷達反演雹暴個案水象粒子分布之研究，國防大學理工學院環境及資訊工程學系大氣科學碩士班碩士學位論文，84頁，2010.
- [2] 紀博庭，紀利用中央大學雙偏極化雷達資料反求雨滴粒徑分佈及降雨率方法的研究，國立中央大學大氣物理研究所碩士論文，80頁，2005.
- [3] Bringi, V. N., Chandrasekar, V., Balakrishnan, N., and Zrnica, D. S., "An Examination of propagation effects in rainfall on radar measurements at microwave frequencies," *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 7, pp.829-840, 1990.
- [4] Testud J., E. Le Bouar, E. Obligis, and M. Ali-Mehenni, 2000: The rain profiling algorithm applied to polarimetric weather radar. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 17, 332–356.
- [5] Kessinger, C., S. Ellis, and J. VanAndel, 1999: A Fuzzy Logic Radar Echo Classification Scheme for the WSR-88D, Preprints, 29th International Conference on Radar Meteorology, AMS, Montreal, 12- 16 July 1999, 576-579
- [6] Vivekanandan, J., Zrnica, D. S., Ellis, S. M., Oye, R., Ryzhkov, A. V., and Straka, J., "Cloud Microphysics Retrieval Using S-band Dual-Polarization Radar Measurements," *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 80, pp.381–388, 1999.
- [7] Zadeh L.A. 1965: information and control 3, 338—353. fuzzy sets
- [8] Zrnica, D.S., and A. V. Ryzhkov, 1999: Polarimetry for weather surveillance radars. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 389-406.