

颱風兩帶水象粒子分布特徵研究

楊錫豐、魏志憲

國防大學理工學院環境及資訊工程學系

國防大學理工學院國防科學研究所

摘要

2010年9月9日0000UTC在鵝鑾鼻西南西方約180公里的海面上，一熱帶性低氣壓增強為輕度颱風莫蘭蒂，本研究使用馬公C-波段雙偏極化雷達及七股S-波段都卜勒雷達進行分析，以颱風行經臺灣海峽的海上時段資料做為研究重點，先以反演颱風兩帶上水象粒子分布為主軸，後續將細部探討颱風眼牆上，水象粒子分類 (precipitation identified, 簡稱PID) 與動力、熱力結構之關聯性，以建立颱風兩帶中，垂直結構分布資訊之概念模式。

關鍵字：雙偏極化雷達、颱風兩帶、水象粒子分類

壹、前言

颱風一直以來都是大氣科學研究的重要議題，因為它扮演著維持熱帶地區能量平衡的重要角色，它能讓熱帶地區與高緯度地區進行交換。在過去資訊取得不易，防災能量不足，因而造成人員傷亡。隨著科技日新月異，已可運用各種觀測儀器及氣象圖資，結合數值模式進行強度及路徑模擬，提供預報，對於颱風掌握已有相當的準確性，使得災損得以降低。在國內外針對颱風的研究更是不勝枚舉，從風雲系的分佈、力結構及來源也有一致性的推論，但對於水象粒子(雲微物理)在颱風中的分佈及演進過程還不是很清楚，然而在臺灣地區夏季，有百分之六十左右的降水來自於雲系，我們都知道降水源自於雲系，而雲系又由水象粒子所組成而成，可見研究水象粒子之前，雲系中的水象粒子分布結構乃一重要課題。

所幸空軍氣象聯隊於98年建置C-波段雙偏極化(C-Pol)氣象雷達，林(2010)[1]應用模糊邏輯方法(fuzzy logic)及偏極化雷達參數進行馬公電暴個案分析成效良好，並已初步建制台灣地區的水象粒子個別參數反演適用轉屬函數；魏等(2011)[2]應用此方法反演台南水電及高空過冷水個案相當成功。因此，本研究想藉此方法，進行颱風個案分析，先以未受地形破壞的個案，取得較完整結構資訊，以利瞭解颱風的水象粒子分布情況。2010莫蘭蒂颱風從生成至登陸大陸前，內核區皆未受到地形破壞，並且行經馬公C-波段雷達(S-band)可做雙都普勒合成風場的最佳區域，這個颱風從結構尚未完全發展

熟，幾乎整個過程皆在臺灣海峽上演進，強度變化及移動路徑都讓馬公雙偏極化雷達能觀測到完整的資料，本研究期望能藉此機會，仔細分析颱風兩帶的水象粒子分布初期初步建構颱風內核區的水象粒子，以供未來颱風個案研究之參考，資訊能更加豐富，進而提供校驗以改善相關預報。

一、文獻回顧

在過去研究中，運用雙偏極化雷達執行觀測的研究相當多，除因可獲得都卜勒雷達的所有資料外，還可利用水平垂直比、差異反射率、相關係數、差異相角、差異相位差及線性退極化率等數據，進行水估計及水象粒子分類。

首先從颱風兩帶及風場結構談起，颱風量或較少區且雷達回波顯示空洞處，或者是700hPa等壓面上所見最大風的內圍，位於中心兩側的雲層，風速最大，雲系最廣，隨高度及距颱風中心的徑向距離逐漸減小。林(2012)[3]分析莫蘭蒂颱風(2010)合成雙偏極化雷達，利用雙偏極化雷達合成風場演變，分析颱風發展時，在內核區回波區，沿著颱風以逆時針方向旋轉，回波上游區的垂直運動為上升運動，下游區為下沉運動。

Heymsfield et al.(2001)[4]分析眼牆下沉氣流，在眼牆位置為上升氣流，內側的運動與粒徑變化，有著很重要的影響。

Houze(2010)[6]與Willoughby(1998)[8]說明眼牆區為一種獨特及強烈的動力結構區域，包含兩種不同類型的雲系，一為低層的層雲及/或層積雲水平向外延伸出眼區；另

一為眼牆向外傾斜的對流雲系，說明兩者與風場在熱帶氣旋中之關係。

Willoughby (1988)[10]之北半球熱帶氣旋兩帶分布示意圖，以雷達回波顯示各區強度，並標示出內核區位置，包括新舊眼牆、眼區、主要雨帶及次雨帶分布情形。

而兩帶中的水象粒子分布情況，可參考過去學者的個案研究，以探討、比對本次運用雙偏極化雷達資訊，分類出的莫蘭蒂颱風(2010)兩帶之水象粒子分布合理性及可能性。

Marks and Houze(1987)[11]提供颱風Alicia(1983)徑向剖面(如圖1.2)，其中發現水象粒子的軌跡似乎會先隨次環流上下移動，然再由主環流之切向風場帶離中心，且隨之被帶往愈高，所歷經過程距離愈長，離眼區中心也愈遠。

Black and Hallett (1999)[12]描繪眼牆區降水過程、雲分布，電荷分離的區域，其中提及在成熟的熱帶氣旋中，0°C附近的垂直速度大約5-8ms⁻¹，對流向上延伸至-40°C等溫線，此處溫度適合均質冰核形成。

Houze (1992,2010)[6][13]，分析颱風Norbert (1984)6公里高的中尺度冰粒水平分布(如圖1.3)，其中淺灰色為大粒徑區域，中值粒徑(median diameter)大於1.05mm，眼牆區冰粒型態以軟雹為主，眼牆之外以聚合物為主。

Houze et al. (1992)[13]量測颱風眼牆內0°C~-10°C間的冰微物理特性及其外的層狀雨帶。發現眼牆中大粒徑較可能是軟雹，在外部雨帶的大粒徑主要是聚合物。他們的結論是即便有一些下降速度較慢的軟雹及低密度的聚合物快速平移出眼牆，但軟雹仍不易受到平流而離開眼牆區域。

Willoughby et al. (1985)[15]指出颶風在0°C以下的中高層的位置，液態水含量很低，以冰相為主。

Black and Hallett (1986)[17]觀測三個大西洋颶風位置高於0°C等溫線的粒子類型及分布，過冷水滴、軟雹、柱狀與聚合雪花都有觀測到。發現通常颶風中對流在高於-5°C的位置時，會到處都有結冰情況，且在眼牆對流區會包含軟雹及些許過冷水滴，當上升氣流很強時，甚至會發生在溫度低於-5°C的高度；實驗過程中，發現小粒徑的過冷水到處都可以觀測得到，但不太可能有大量的過冷水存在<-10°C的成熟颶風中，是因為它們都將提供給大量數量的冰粒使用。對流區中過冷水只在>5ms⁻¹的上升氣流被找到，但並非所有上升氣流>5ms⁻¹即包含明顯液態水；而軟雹全在上升氣流且溫度<-2°C的地方找到，而小柱狀體有時在下衝氣流中發現。

Heymsfield et al.(2006)[14]發現對流性的下衝氣流與上升氣流相鄰處特徵，是高濃度顆粒小、柱狀及針狀的冰晶，而層狀區包含雪花(即聚合物)(如圖1.4)。

眼牆低層(圖1.4a處)的大粒子較可能是

雨滴，而它們大小與/或密度會隨高度減小。在眼牆的上衝氣流中接近-40°C高度中(圖1.4b處)，高密度的小晶體由均質的水滴凍結產生。有些聚合與多晶體可能在被輸送至高層(圖1.4c處)過程中會成長。

在眼外區域，粒徑會隨高度及向外減小(圖1.4d處)，並在向下掉落(圖1.4e處)至融解層時粒徑增大。

雨帶中在0°C溫度層至7公里高度處可能包含一些軟雹；聚合物在7km以上高度被發現。

貳、資料來源

本研究颱風個案時間為莫蘭蒂颱風行經台灣西南方時，約為2010年9月9日0900UTC左右，使用馬公C-波段雙偏極化雷達(C-Pol)及七股S-波段都卜勒雷達(S-band)資料。

一、馬公雙偏極化雷達

空軍馬公氣象雷達是C-波段雙偏極化雷達，其地理位置位於23.56°N、119.63°E，標高48公尺，波長5.309cm，掃描策略計有0.5°、1.4°、2.4°、3.4°、4.3°、6.0°、9.9°、14.6°、19.5°、25°等10個仰角，一次完整體積掃描(volume scan)時間約需4分33秒，每七分半鐘執行一次。運用於本研究之觀測參數為ZH(回波)、ZDR(差異反射率)、VR(徑向風)、ρHV(相關係數)、KDP(比差異相位差)及DDP(差異相位差)等。(其餘各項雷達性能諸元如表2.1)

二、七股都卜勒雷達

中央氣象局七股雷達為S-波段都卜勒雷達，其地理位置位於23.15°N、120.08°E，標高38公尺，波長10.578cm。掃描策略計有0.5°、1.4°、2.4°、3.4°、4.3°、6.0°、9.9°、14.6°、19.5°等9個仰角，其與馬公雷達同屬作業用雷達，每七分半鐘執行一次。可獲得之參數為ZH(回波)、VR(徑向風)以及SW(波譜寬)。(其餘各項雷達性能諸元請參見表2.1)

參、研究方法及工具

一、研究方法

颱風的中心定位，本研究採Wood and Brown(1992)[23]的單一雷達的徑向風場方法定位。

以馬公雙偏極化雷達參數進行水象粒子分類(precipitation identified, 簡稱PID)分析，因Zrnich and Ryzhkov(1999)[24]提出雙偏極化雷達已通過兩個重要的測試，(1)偏極化的資訊包含水象粒子特性、(2)反演的精確度足夠。

而水象粒子分類方法採Vivekanandan et.

al. (1999) [25] 所提出的模糊邏輯 (Fuzzy logic) 粒子識別算法, 每個雷達參數與水象粒子有一隸屬函數關係, 所有觀測到的水象粒子可從個別的隸屬函數 (membership function) 中得到一個介於 0 和 1 之間的數值「隸屬度 (membership value)」, 這些數值即圖中的 (P), 分別乘上適當的權重 (W) 並加總, 總合稱為「得分」(aggregation value), 結果得分最高者即 (Max(Q)), 表示此水象粒子判別最可能為該類型粒子。

而本研究的隸屬函數採林 (2010) [1] 雙偏極化雷達反演電暴個案水象粒子分布之研究中, 修正 T. Keenan (2003) [26] 針對澳洲氣象局雷達所制定的各參數門檻範圍, 林 (2010) [1] 將修正後的水象粒子隸屬函數, 運用來與高、中、低層風場合成分析, 其研判上下層風切是造成冰電能夠循環成長的主因, 並透過雙都卜勒雷達之三維風場反演電暴內部結構和 PID 分布, 提供了 2009 年 3 月 6 日電暴個案的動力與雲物理過程。

而降水回波的衰減訂正, 則採 Testud et al. (2000) [21] 所提出的 Z-PHI 法。

二、研究工具

1. SOLOII

使用 NCAR 所發展之 SOLOII 軟體, 進行雷達資料除錯及折錯修正。

2. CEDRIC

利用 NCAR 所發展的 CEDRIC (Custom Editing and Display of Reduced Information in Cartesian space) 對資料做平滑和修補, 並完成雙都卜勒三維風場合成反演。

3. GrADS

以 GrADS (Grid Analysis and Display System) 軟體作為主要繪圖工具。

肆、個案驗證

一、台南 2011 年 4 月 17 日個案驗證

魏等 (2011) 以林 (2010) [1] 2009 年 3 月 6 日 07 時 (地方時) 的馬公冰雹個案與 2011 年 4 月 17 日受鋒面影響之台南降雹個案, 經交叉分析比較觀察台灣地區過冷水分布異同處。

兩個案剖面如圖 4.1(a) 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; 後續針對反演水象粒子處理, 僅留下冰雹及過冷水訊號如圖 4.1(b), 首先比較過冷水出現最高位置 98 年個案在 6.5km 而 100 年個案則現在 7km 高度, 經核對探空圖該空層溫度, 判讀均為 -15°C, 該個案設定過冷水存在於 -20~0°C 之間。從另一個角度分析, 正在

成長的冰水混相粒子 (Rain-Hail mixture) 常存在電暴結構中強上升運動的位置, 100 年個案冰水混相高度可達 5km, 經探空圖分析溫度約為 -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。

兩次個案冰雹均由台灣海峽中南部移入此陸地, 並非接觸陸地抬升後導致降雹, 因此可由海面強烈對流系統著手監測電暴發展的初始環境。

其為建立可靠的觀測積冰方式, 利用電暴個案驗證過冷水存在, 經反演過冷水分布, 分析南部地區過冷水可存在空層達 -15°C。

二、玉山 2011 年 8 月 15 日個案驗證

本研究除參考過去研究個案對於水象粒子反演情況外, 並將此方法運用在 2011 年 8 月 15 日 1400 時左右的玉山電暴個案, 由當天 0600UTC 地面天氣圖顯示, 當天台灣受兩太平洋高壓天氣系統影響, 由馬公及清泉崗雙偏極化雷達 PPI 回波圖及徑向風場圖顯示的午後中部山區有明顯午後對流發生, 在玉山的山一帶有關風場, 並由衛星雲圖等綜合的 RHI (range-height indicator) 圖顯示, 馬公至玉山北峰 (海拔三三五〇公尺) 頂上的玉山觀測站, 上空有冰雹訊號, 此反演與當天觀測實際觀測相符, 故本研究希望將此方法用在觀測颱風上, 進而得到更多颱風的水象粒子資訊, 以供今後研究參考。

伍、莫蘭蒂颱風兩帶水象粒子分析

本研究個案莫蘭蒂颱風, 於 2010 年 9 月 6 日 1200UTC 在馬公東方洋面上形成熱帶擾動, 低氣壓, 2010 年 9 月 9 日 0000UTC 在鵝鑾鼻西南西方約 180 公里的海面上增強為輕度颱風, 且形成颱風後以偏北的方向移動(移動路徑如圖 5.1), 由於本個案行經馬公及七區雷達的最佳合成風場區域, 加上在通過此區域時, 主體結構並未受到地形破壞, 因此想藉此個案, 運用雙偏極化雷達觀測參數, 分析颱風兩帶的水象粒子結構。

1. 綜觀環境場分析
林 (2012) [1] 由分析圖各層分析, 太平洋高壓勢力明顯是影響莫蘭蒂颱風移動路徑的關鍵因素, 由衛星雲圖 (如圖 5.2) 可以看出颱風眼有趨於明顯的情況, 雲系也變得更好。由中央氣象局發出的警報單及林 (2012) [3] 研究分析, 莫蘭蒂強度約等於薩菲爾-辛普森第一級, 颱風強度並不強, 颱風初期, 中心的眼區仍可發現零星雲系存在, 眼牆回波結構仍不對稱, 中心切向旋轉的風速不大, 使得下

稍顯不足。

2. 雷達整合回波圖

觀察逐時雷達整合回波圖 (如圖 5.3) 發現, 9 月 9 日 0000UTC 時的兩帶回波主要集中北、東及南象限, 在西至西南是相對乾淨無回波處, 隨著颱風逐漸北移, 回波旋轉的情況更為顯著, 至 0300UTC 時, 在鵝鑾鼻西方約 180 公里的海面上, 可以清楚看見颱風眼的形成, 回波仍然是以西至南象限最少, 於 0500UTC 時, 颱風眼牆完整建立, 然而在 0700 至 1000UTC 時段中, 整合雷達回波圖可以明顯看到眼牆及其外圍之螺旋雨帶仍在調整, 與 Willoughby (1988) [10] 之北半球的熱帶氣旋兩帶分布相似, 自 1100UTC 開始, 眼牆之降水回波明顯增強, 其鄰近的部份雨帶有被併入眼牆的情況, 其後至颱風中心登陸大陸前, 兩帶分布趨於完整, 從 1400UTC 圖更可分析出主要雨帶、次雨帶及整條的情況, 可見, 莫蘭蒂颱風強度不強, 整體兩帶發展良好。

3. 由 PPI 的水象粒子分布圖分析

分析時間從 0000UTC (即莫蘭蒂颱風增強為輕度颱風開始) 至 1654UTC, 分析資料為馬公雙偏極化雷達觀測資料, 使用之仰角計有 0.5°、1.4°, 圖中同心圓間距為 20 公里, 共 8 個間距, 最遠距離為 160 公里, 方位角間距為 30°, 共有 12 個間距, 合計為 360°。

由 0.5° 仰角的 PPI 水象粒子分布圖 (圖 5.4) 分析後發現, 水象粒子以雨滴及毛雨為主, 從 0839 至 1147UTC 時的時間演變可看出, 颱風南面的結構逐漸成形, 兩滴與毛雨分布逐漸變得更加密集, 可見其雲系變得更加繁實, 莫蘭蒂颱風的螺旋雨帶漸趨明顯, 1117 至 1147UTC 期間, 在距離馬公雷達站 80 至 100 公里, 方位角 240 至 270 的區塊及 1602 至 1624UTC 期間, 距離 100 至 120 公里, 方位角 300° 附近, 有冰雹的水象粒子訊號出現並隨系統之眼牆移動, 而在 1654UTC 時在眼牆外圍有軟電訊號出現, 圖中此仰角的垂直高度皆在 3 公里以下, 分析後主要粒子以液態為主, 偶有較大的冰雹或濕軟雹會掉入此高度以下。

由 1.4° 仰角的 PPI 水象粒分布圖 (圖 5.5) 分析後發現, 距離約在 130 至 160 公里之間, 即位置高於 4.2 公里 (約馬公探空資料約 5°C) 的地方, 水象粒子開始有冰水相混合的粒子出現, 可見愈接近融解層, 即 5 公里左右高度 (0°C 處), 會開始有水相轉為冰相的粒子產生, 冰粒的數量也會愈來愈多, 而粒子分布自眼牆 0°C 處向上及向外逐漸變小, 可見凜化作用 (riming) 在 0°C~5°C 之間的作用相當明顯, 造成大量的次成核冰粒 (secondary ice particles), 0854UTC 在馬公雷達站西南方約 100 至 140 公里處, 有濕軟電訊號產生, 並且隨著颱風北移, 而分布於眼牆區域附近為主, 1109 至 1132UTC 期間, 在距馬公雷達站

西南方約 90 公里的眼牆處, 有小冰雹與大冰雹訊號; 自 1202 至 1602UTC 時, 眼牆區的眼牆及軟電的訊號明顯減少, 即使出現也都是眼牆外圍或外圍雨帶上, 而且非常零星; 1609 至 1617UTC 眼牆區才又有明顯的冰雹及軟電訊號, 可見冰雹此類較大的固態冰粒, 不易在眼牆上發現, 低層的水相形態顯然都是液態為主, 只有在雲微物理較不穩定時, 才會出現冰雹現象。

4. 馬公雙偏極化雷達資料細部分析

本研究主要為分析颱風兩帶中的水象粒子分布, 因此一個完整未被地形破壞的颱風內核區 (如圖 1.4 虛線圓形區域) 資料就顯得非常珍貴, 此區域範圍很廣, 其中包含了眼牆眼、眼牆、主要雨帶及次雨帶。而初步分析莫蘭蒂颱風在海上發展的情況, 其內核區 (inner core) 約半徑 100 公里, 眼牆約在 20~40 公里之間, 而主要雨帶約在 40~100 公里處, 後續將選取雙都卜勒雷達可合成風場範圍之雷達時間資料, 將 2 維及 3 維風場合成 PID 資訊呈現, 以分析颱風兩帶中之水象粒子分布與風場之關聯性。

首先由回波場分析眼牆區強度變化情況, 從 0839-0954UTC 期間資料發現, 此時颱風南北回波仍極不對稱, 北強南弱, 但南面回波整體結構隨著北移, 有逐漸增強的趨勢, 而處於仍在發展階段的颱風眼牆, 垂直各層的最大回波值, 雖時強時弱, 但隨時間變化趨勢仍為增強 (圖 5.6), 而在 ≥35dBZ 及 ≥45dBZ 的回波面積變化折線與眼牆區 3 公里高度最大回波值變化折線 (圖 5.7) 中, 表現情況大致相同, ≥35dBZ 面積折線 (圖 5.7 黑實線) 與 ≥45dBZ 面積折線 (圖 5.7 黑虛線), 自 0839UTC 開始, 兩者面積皆逐漸擴大, 雖在 0902UTC 明顯減小, 但至 0954UTC 的強回波面積顯示為增加; 而眼牆區域 3 公里高度最大回波值隨時間變化折線 (圖 5.7 紅實線) 所顯示情況一致, 可見當颱風發展尚未成熟前, 眼牆區回波在面積與極大值仍持續不斷調整, 期間上下起伏, 但在達到成熟期之前, 整體眼牆變化趨勢為向上。

從 3 公里及 5.5 公里等高度水象粒子分布 (圖 5.8、5.9) 可知, 颱風內核區中, 低層水象粒子以液態為主, 偶有局部區域會出現固態水象粒子, 但數量並不多, 這與莫蘭蒂颱風的強度可能有關; 在馬公當天 06、12UTC 探空資料顯示, 0°C 高度約在 5 公里左右, 而莫蘭蒂在 <0°C 位置的水象粒子, 以過冷水與固態水象粒子為主, 接近融解層 (0°C) 區域, 會有冰、水相混合的情況, 因此常有濕雲、濕軟雹的粒子出現。

馬公雷達與七股雷達可做雙都合成風場的最佳區域, 從馬公雷達雙偏極化 PID 圖 (圖 5.8) 與回波分布比對發現, 低層強回波區的水象粒子以雨滴為主, 偶會夾雜著冰、軟電訊號, 回波較弱區域則以毛雨為主。而從 9 月

9日0600UTC及1200UTC的馬公探空觀測資料得知0°C高度約在5公里左右,Black and Hallett (1986, 1999) [5]指出0°C等溫度線以上高度以冰粒、凍滴和雹為主,0°C等溫度線以下高度以雨滴為主,且颶風在<5°C的位置時,會有到處結冰的情況;從5.5公里(圖5.9)的等合成圖中發現,水象粒子以過冷水及雪粒為主,液態水相逐漸減少。

陸、結論與未來研究方向

本研究利用模糊邏輯理論將颶風雲帶上之水象粒子反演,發現0°C空層,為水象粒子結構的轉變區,此層附近冰水態混合,以上為固態的冰,以下為液態的水,而在內核區內,以眼牆對流相對較其他區域強,回波也較為劇烈,雲系也較為厚實,出現冰雹的情況較明顯。

當有明顯冰雹出現時,同一個地方附近的前一個時間點(約相差7.5分鐘),有大於40dBZ的強回波出現,而在後面1-2個時間點的冰雹會明顯減少,可見冰雹在颶風雨帶中的成長與消散,大小變化及位置移動是相當快速的。

因此,未來研究方向將置於眼牆細部變化,反演水平及垂直動量結構,並與文獻比較分類出之各項水象粒子分布異同,或加入熱力條件與反演颶風內部溫度分布,以分析水象粒子及其相應的改變在颶風發展過程中所扮演的角色,進而提供更多元、更接近真實的颶風資料,以供未來颶風相關研究與預報之參考與使用。

柒、參考文獻

- [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", 國防大學理工學院大氣科學研究所碩士論文, 第18-23頁, 2010。
- [2] 魏志憲, "應用雙偏極化氣象雷達反演過冷水之個案分析", 國科會結案報告, 24頁, 2011。
- [3] 林昱德, "莫蘭蒂颱風(2010)內核區之特徵與演變", 國防大學理工學院大氣科學研究所碩士論文, 第65頁, 2012。
- [4] Heymsfield, G. M., Halverson, J. B. J., Tian, Simpson, L., and Bui, T. P., "ER-2 doppler radar investigations of the eyewall of hurricane Bonnie during the Convection and Moisture Experiment-3," *J. of App. Met.*, Vol.40, pp. 1310-1330, 2001.
- [6] Robert A. Houze Jr., "Review-Clouds in Tropical Cyclones," *Monthly Weather Review*, Vol.138, 293-344, 2010.
- [7] Wallace, J. M., and P. V. Hobbs, 2006: *Atmospheric Science: An Introductory Survey*, 2nd ed. Academic Press, 483 pp.
- [8] Willoughby, H. E., 1998: Tropical Cyclone

- Eye Thermodynamics. *Mon. Wea. Rev.*, 126, 3053-3067.
- [10] Willoughby, H. E., 1988: The dynamics of the Tropical Hurricane Core. *Aust. Meteor. Mag.*, 36, 183-191.
 - [11] Marks, F. D., Jr., and R. A. Houze Jr., 1987: Inner-core Structure of Hurricane Alicia from Airborne Doppler-Radar Observations. *J. Atmos. Sci.*, 44, 1296-1317.
 - [12] Black, R. A., and J. Hallett, 1986: Observations of the Distribution of Ice in Hurricanes. *J. Atmos. Sci.*, 43, 802-822.
 - [13] Houze, R. A., Jr., F. D. Marks, and R. A. Black, 1992: Dual-aircraft Investigation of the Inner Core of Hurricane Norbert. Part II: Mesoscale Distribution of Ice Particles. *J. Atmos. Sci.*, 49, 943-962.
 - [14] Heymsfield, A. J., Bansemir A., Durden, S. L., Herman R. L., and Bui T. P., "Ice Microphysics Observations in Hurricane Humberto: Comparison with Non-Hurricane-Generated Ice Cloud Layers" *J. Atmos. Sci.*, Vol.63, pp.288-308, 2006
 - [15] Willoughby, H. E., D. P. Jorgensen, R. A. Black, and S. L. Rosenthal, 1985: Project STORMFURY: A Scientific Chronicle 1962-1983. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 66, 505-514.
 - [16] Black, R. A., and J. Hallett, 1999: Electrification of the Hurricane. *J. Atmos. Sci.*, 56, 2004-2028.
 - [17] Seliga, T. A., and Bringi, V. N., "Potential Use of Radar Differential Reflectivity for Measuring Precipitation." *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 15, No. 1, pp.69-76, 1976.
 - [18] 呂崇華, "雙偏極化雷達資料分析梅雨鋒面雨滴粒徑分佈的物理特性", 國立中央大學大氣物理研究所碩士論文, 112頁, 2006。
 - [19] 紀博庭, "雨滴粒徑分布模擬—雙偏極化雷達驗證", 國立中央大學大氣物理研究所碩士論文, 第80頁, 2005。
 - [20] Testud, J., Bouar, E. Le, Obligis, E., and Ali-Mehenni, M., "The Rain Profiling Algorithm Applied to Polarimetric Weather Radar," *J. Atmos. Oceanic Tech.*, Vol. 17, pp. 332-350, 2000.
 - [21] Bringi, V. N. and Chandrasekar, V., "Polarimetric Doppler Weather radar," Chap. 7, pp. 492, 2001.
 - [22] Wood, V. T. and Brown, R. A. "Effects of Radar Proximity on Single-Doppler Velocity Signatures of Axisymmetric Rotation and Divergence," *Mon. Wea. Rev.*, Vol.120, pp. 3269-3293, 1992.
 - [23] Zrnicek, D.S., and A. V. Ryzhkov, 1999: Polarimetry for Weather Surveillance Radars. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 389-406.
 - [24] Vivekanandan, J., Zrnicek, 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.
 - [25] Keenan, T., "Hydrometeor Classification with a C-band Polarimetric Radar," *Australian Meteorology Magazine*, Vol. 52, No. 1, pp. 23-31, 2003. [2] Zeink, R., and Class, F., "A Segmentation Algorithm for Connected Word Recognition Based on Estimation Principles," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, Vol. ASSP-31, pp. 818-827, 1983.

A study of Characterization of Hydrometeor classification on the distribution of rainband in Typhoon

Chih-Hsien Wei¹ and Hsi-Feng Yang²

¹School of Defense Science,

CCIT, National Defense University

²Department of Environmental Information and Engineering,
CCIT, National Defense University

Abstract

The Typhoon Meranti(2010) developed from a tropical depression into a tropical storm over the ocean at the west-southwest about 180 km away from Oluanpi at 0000UTC, September 9 2010. This study implements Ma-kung C-band dual-polarization radar and Chi-ku S-band Doppler radar to analyze the characteristics of hydrometeor classification of rainband embedded within the typhoon. The research primarily focuses on the retrieval of hydrometeor particles in typhoon rainband while typhoon Meranti was passing through the Taiwan Strait. The discussion for the detailed relationship between precipitation identified(PID), kinematic and thermodynamic structure will be introduced. The next step of the research anticipates to establish the conceptual model with the hydrometeor partical of vertical structure of rainband in typhoon.

Keywords: Dual-polarization radar, typhoon rainband, PID