

颱風雨帶水象粒子分布特徵研究

楊錫豐¹、魏志憲²

¹ 國防大學理工學院環境及資訊工程學系

² 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，先以反演颱風雨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，以建立颱風雨帶中，垂直結構分布資訊之概念模式。

關鍵字：雙偏極化雷達、颱風雨帶、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，因為它扮演著維持大氣熱量和動量平衡的重要角色，它能讓熱帶地區的能量與科技較高緯度地區進行交換。在過去資訊及科技較不普及的年代，對於颱風資訊的取得，防災減災不易，防災能量不足，因而每遭侵襲外，更受到嚴重破壞，除經濟、財產損失外，造成人員傷亡。而隨著科技日新月異，分析已可運用各種觀測儀器及氣象圖，結合數值模擬進行強度及路徑模擬，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，已有清楚的概念模式，從形成到消散的熱力機制、動力結構及來源地也有一致性的推論，但對於水象粒子(雲微物理)在颱風中的分布情況及演化過程還不是很清楚，然而在臺灣地區的夏季，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合而成，可見研究颱風降水特性之前，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雹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，適用隸屬函數；魏等，2011[2]應用此方法反演台灣南冰雹及高空過冷水個案相當成功。因此，本研究想藉由此方法，進行颱風個案分析，先以未受地形破壞之個案，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，C波段雙偏極化雷達(C-Pol)及七股S波段都卜勒雷達(S-band)可做雙都卜勒合成風場的最佳區域，這個颱風從結構尚未完整至發展成

熟，幾乎整個過程皆在台灣海峽上演進，雷達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，本研究期望能藉構建水象粒子分類，仔細分析颱風雨帶的水象粒子分類，期能初步建構颱風內核區的水象粒子分類，以供未來颱風個案研究之參考，讓觀風資訊能更加豐富，進而提供校驗以改善颱風的相關預報。

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，還可利用水平及垂直直差、相位差、線性率等數據，進行降水量估計。

首先從颱風眼牆及風場結構談起，颱風量或一個風降處。由於颱風中心附近，或者地處於實質最減小核都卜勒合成風場的強區，當上升強區較少區，而雷達回波顯示空洞處，或是在外部雨帶的大粒徑是聚合物。他們的結論是即便有一些下降速度較慢的軟電及低密度的聚合物快速平移出眼牆，但軟電仍不易受到平流而離開眼牆區域。

Heymsfield et al.(2001)[4]分析颱風下沉氣流，形成次環流。這對於水象粒子與粒徑變化，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層，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]之北半球的熱帶氣旋雨帶分布示意圖，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。

而雨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)雨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，離颱風中心也愈遠。

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電為主，眼牆之外以聚合物為主。

Houze et al.(1992)[13]量測颱風眼牆內 $0^{\circ}\text{C} \sim -10^{\circ}\text{C}$ 間的冰微物理特性及其外的層狀雨帶。發現眼牆中較大粒徑較可能是軟電，在外部雨帶的大粒徑是聚合物。他們的結論是即使有一些下降速度較慢的軟電及低密度的聚合物快速平移出眼牆，但軟電仍不易受到平流而離開眼牆區域。

Willoughby et al.(1985)[15]指出颱風在 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]觀測三個大型颱風位置高於 0°C 等溫線的粒子類型及分布，過冷水波、軟電、柱狀與聚合雪花都有觀測到。發現通常颱風中對流在高於 -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電及些許過冷水滴，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，發現小粒徑的過冷液到處都可以觀測得到，但不太可能會有大量過冷水存在 $<-10^{\circ}\text{C}$ 的成熟颱風中，是因為它們都將提供給廣大數量的冰粒使用。對流區中過冷水只在 $>5\text{ms}^{-1}$ 的上衝氣流被找到，但並非所有上衝氣流 $>5\text{ms}^{-1}$ 即包含明顯液水；而軟電全在上升氣流且溫度 $<-2^{\circ}\text{C}$ 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衝氣流相鄰處特徵，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電；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 $23.56^{\circ}\text{N}, 119.63^{\circ}\text{E}$ ，標高48公尺，波長 5.309cm ，掃瞄策略計有 $0.5^{\circ}, 1.4^{\circ}, 2.4^{\circ}, 3.4^{\circ}, 4.3^{\circ}, 6.0^{\circ}, 9.9^{\circ}, 14.6^{\circ}, 19.5^{\circ}, 25^{\circ}$ 等10個仰角，一次完整體積掃瞄(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 ΦDP (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 $23.15^{\circ}\text{N}, 120.08^{\circ}\text{E}$ ，標高38公尺，波長 10.578cm 。掃描策略計有 $0.5^{\circ}, 1.4^{\circ}, 2.4^{\circ}, 3.4^{\circ}, 4.3^{\circ}, 6.0^{\circ}, 9.9^{\circ}, 14.6^{\circ}, 19.5^{\circ}$ 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Zrnic and Ryzhkov(1999)[24]提出雙偏極化雷達已通過兩個重要的測試，(1)雙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.

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 $<5^{\circ}\text{C}$ 的位置時，會有到處結冰的情況；從5.5公里(圖5.9)的等高合成圖中發現，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，出現冰電的情況較明顯。

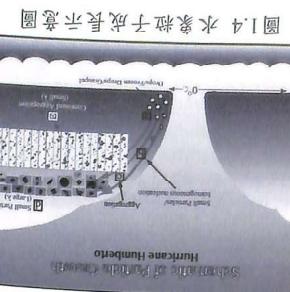
當有明顯冰電出現時，同一個地方附近的前一個時間點(約相差7.5分鐘)，有大於40dBZ的強回波出現，而在後面1-2個時間點的冰電會明顯減少，可見冰電在颶風雲帶中的成長與消散，大小變化及位置移動是相當快速的。

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態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] 林晃德，“莫蘭蒂颶風(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 Appl. Met.*, Vol.40, pp. 1310-1330, 2001.
- [5] Robert A. Houze Jr., “Review-Clouds in Tropical Cyclones,” *Monthly Weather Review*, Vol.138, 293-344, 2010.
- [6] Wallace, J. M., and P. V. Hobbs, 2006: *Atmospheric Science: An Introductory Survey*. 2nd ed. Academic Press, 483 pp.
- [7] Willoughby, H. E., 1998: Tropical Cyclone Eye Thermodynamics. *Mon. Wea. Rev.*, 126, 3053-3067.
- [8] Willoughby, H. E., 1988: The dynamics of the Tropical Hurricane Core. *Aust. Meteor. Mag.*, 36, 183-191.
- [9] 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.
- [10] Black, R. A., and J. Hallett, 1986: Observations of the Distribution of Ice in Hurricanes. *J. Atmos. Sci.*, 43, 802-822.
- [11] 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.
- [12] Heymsfield, A. J., Bansemer 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
- [13] 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.
- [14] Black, R. A., and J. Hallett, 1999: Electrification of the Hurricane. *J. Atmos. Sci.*, 56, 2004-2028.
- [15] Seliga, T. A., and Bringi, V. N., “Potential Use of Radar Differential Reflectivity Measurements at Orthogonal Polarizations for Measuring Precipitation.” *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 15, No. 1, pp.69-76, 1976.
- [16] 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。
- [17] 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。
- [18] 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.
- [19] Bringi, V. N., and Chandrasekar, V., “Polarimetric Doppler Weather radar,” New York, Cambridge University Press, Chap. 7, pp. 492, 2001.
- [20] Wood, V. T. and Brown, R. A. “Effects of Radar Proximity on Single-Doppler

- [21] Velocity Signatures of Axisymmetric Rotation and Divergence, “ *Mon. Wea. Rev.*, Vol.120, pp. 3269-3293, 1992.
- [22] Zrnic, D.S., and A. V. Ryzhkov, 1999: Polarimetry for Weather Surveillance Radars. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 389-406.
- [23] Vivekanandan, J., Zrnic, 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.
- [24] Keenan, T., “Hydrometeor Classification with a C-band Polarimetric Radar,” *Australian Meteorology Magazine*, Vol. 52, No. 1, pp. 23-31, 2003. [2] Zeiinki, 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.



水滴水平分布图

图1.3 飓风Nobert (1984) 6公里高的中尺度

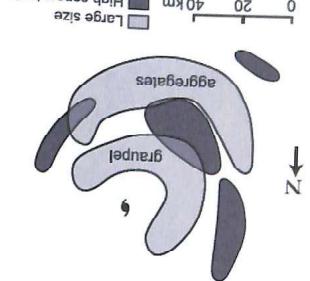
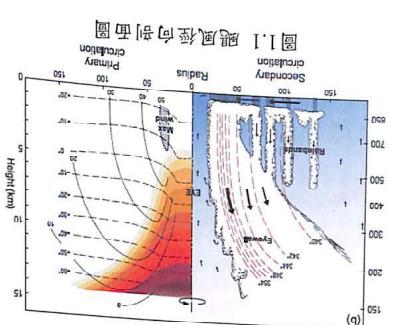
图1.2 飓风Alilia(1983)雨带中，
a.风场直剖面图 b.降水切面图

图1.1 飓风眼壁向剖面图

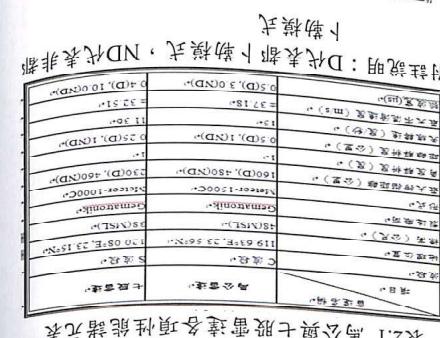


表2.1 高空风切变雷暴天气预报性能指标元素

第214期

102年03月

气象数据

气象数据

第214期

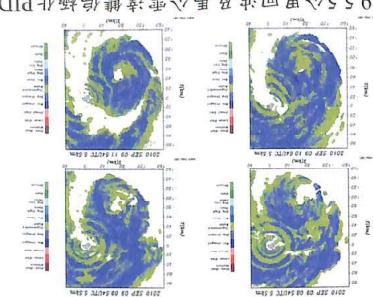
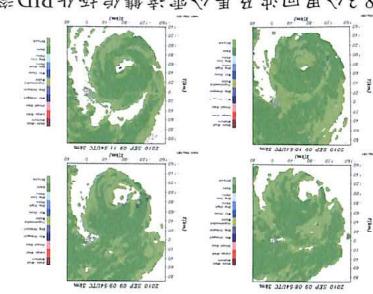
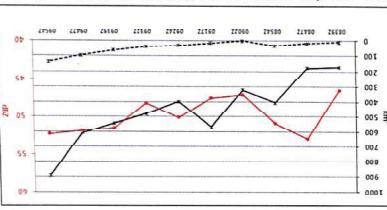
图5.9 5公里回波及雷公山递增梯级化PPI
综合成图图5.8 3公里回波及雷公山递增梯级化PPI
综合成图图5.7 雷电3DBZ及45DBZ反射率3km最大回
波值随时间变化折线图

图5.6 雷电最大回波随时间高发带化图

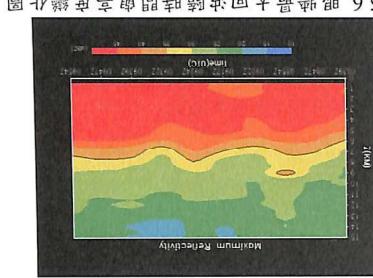


图5.5 2010年9月9日14 PPI水滴粒子分布圆

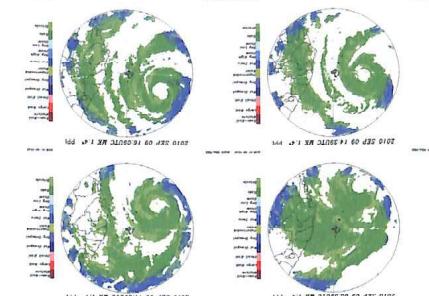


图5.4 2010年9月9日0.5 PPI水滴粒子分布圆

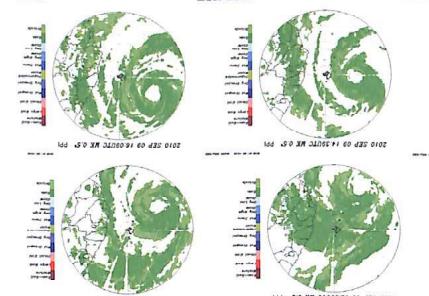


图5.3 2010年9月9日雷速整合回波图

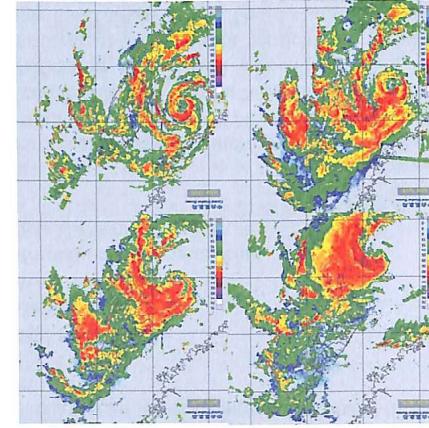


图5.2 2010年9月9日红外微弱星云圆

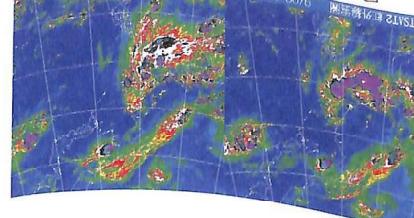
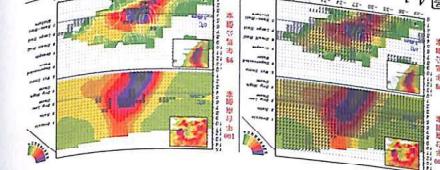


图5.1 美丽带圆路徑圖

图4.1 高强度回波粒子反演圆(a)水滴粒
子分带剖面回波位置、(b)只留下降冰
粒子水机制器图4.0 2010年9月9日雷达回波
及闪电水机制器

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 Oluampi 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 particle of vertical structure of rainband in typhoon.

Keywords: Dual-polarization radar, typhoon rainband, PID