

蓄蜜颱風雨滴粒徑特性及雙偏極化雷達參數垂直結構特徵研究

洪榮川¹、張偉裕²、郭漱冷¹、陳台琦²、魏志憲¹

¹國防大學理工學院環境資訊及工程學系

²國立中央大學大氣物理研究所

摘要

本研究使用中央大學4台撞擊式雨滴譜儀及C-Band雙偏極化雷達觀測資料分析2008年蓄蜜颱風侵台期間，對流與層狀降雨系統之雨滴粒徑分佈(DSD, Drop Size Distribution)特徵及垂直結構發展與伴隨微物理過程。經研究發現，雨滴譜儀觀測雨滴粒徑分佈 D_m-N_w 散佈中在層狀降雨方面， N_w 值隨著 D_m 值增大而減小情形；在對流降雨方面，約30%落在海洋型對流系統範圍中，6%落在大陸型對流系統範圍中，64%落在介於海洋型對流與大陸型對流系統範圍之間，其結果顯示多數分佈落在介於海洋型與大陸型對流系統範圍之間，另外使用偏極化雷達參數反演海上及陸上均得到類似的結果。使用偏極化雷達CFAD(CFAD, contoured frequency by altitude diagrams)圖來探討南港雨滴譜儀觀測降雨率同樣約 20 mm hr^{-1} 狀態下，不同型態降雨系統之雨滴粒徑分佈的差異，結果顯示類似於海洋型對流系統之小粒徑雨滴的個數較多，但對流垂直結構發展相對較淺；而類似於大陸型對流系統則擁有較多大粒徑的雨滴，且對流垂直結構發展相對較深。另外分析相同回波下降雨率介於 $70\text{--}90 \text{ mm hr}^{-1}$ 明顯不同時，探討降雨系統中雨滴粒徑分佈的差異，結果顯示降雨率在 90 mm hr^{-1} 的降雨系統相較於降雨率在 70 mm hr^{-1} 的降雨系統擁有較多中粒徑的雨滴個數，且對流垂直結構發展強度較強及高度較深的強降水特徵表現。

關鍵字：雨滴粒徑分佈(DSD)、C-Band雙偏極化雷達、CFAD。

一、前言

1.1 動機

過去國內學者使用雨滴譜儀觀測資料或是反演偏極化雷達觀測資料來探討不同降雨系統中雨滴粒徑分佈差異時，尚無同時使用兩者儀器觀測資料來針對所選定的個案進行共同分析研究。因此選擇2008年蓄蜜颱風作為本研究之個案分析的考量原因為中央大學於2005年底將氣象雷達升級成CPOL線性雙偏極化雷達以來，2008年蓄蜜颱風為台灣北部地面雨量站觀測到最多累積降雨量的颱風，且蓄蜜颱風侵襲北台灣期間，中大偏極化雷達與所屬雨滴譜儀正好同時擁有觀測資料可做為後續分析研究。

1.2 文獻回顧

Brandes et al. (2003) [1]針對Gamma型態雨滴粒徑分佈，利用一個特定關係式來約束 μ 、 A 之間的變化，搭配偏極化雷達之 Z_H 、 Z_{DR} 觀測參數，即可獲得 N_0 、 μ 、 A 三個主要控制雨滴粒徑分佈的參數。

Bringi et al. (2003) [2]統計雨滴粒徑分佈的特性時，將降雨系統區分為層狀與對流降水系統，研究發現在層狀降雨方面，雨滴平均粒徑大小反比於雨滴個數。接著依降雨地區等特性再把對流降雨系統歸類為大陸型和海洋型對流系統兩類，其中海洋型對流系統

之雨滴粒徑分佈的特徵為集中在較高濃度之小雨滴粒徑，大陸型對流系統之雨滴粒徑分佈的特徵為較低濃度之大雨滴粒徑，且雨滴粒徑分佈情形相對比較廣泛。

Chang et al. (2009) [3]統計2001至2005年侵台颱風期間光學式雨滴譜儀觀測資料，發現對流降水型態分佈集中介於大陸型對流及海洋型對流系統之間，不過由CPOL雙偏極化雷達反演2006年桑美颱風雨滴粒徑分佈，對流性降水卻是比較集中在海洋型對流系統。

Yuter and Houze (1995) [4]首先提出利用欲選定一個空間體積範圍雷達回波的觀測資料，設計出回波隨高度變化之等值線頻率分布圖(CFAD)，提出利用雷達觀測資料之 Z_H 、 Z_{DR} 參數，以及雙雷達合成風場資料，使用CFAD方法來探討層狀、對流性降雨系統中垂直結構與動力機制。

1.3 目的

利用雨滴譜儀觀測資料統計出個案期間降雨系統中雨滴粒徑分佈情況，與偏極化雷達反演於陸地上觀測資料，來分析比較兩者之間雨滴粒徑分佈情形。進一步由偏極化雷達反演於海上觀測資料之雨滴粒徑分佈，以歸納出個案期間雨滴粒徑分佈的特性。

利用偏極化雷達CFAD圖之各項偏極化參數來分析不同降雨系統中垂直結構發展，以探究降雨系統在經歷不同微物理過程而產生雨滴粒徑分佈的差異。

二、資料來源及個案簡介

2.1 儀器觀測

2008年9月28日0000 UTC至29日1600 UTC個案期間使用中大、南港、翡翠和霞雲站4台撞擊式雨滴譜儀(JWD, Joss-Waldvogel type Disdrometer)觀測資料，進行降雨系統中雨滴粒徑分佈之特性分析。使用南港雨滴譜儀觀測資料作為中大偏極化雷達反演雨滴粒徑分佈驗證的依據，個案期間以南港雨滴譜儀收集到累積雨量為最多，高達300 mm。

另外個案期間中大偏極化雷達每一個波束上的距離解析度(gate)單位為250 m，掃瞄半徑為150 km，掃瞄仰角分別為0.5°、1.0°、2.0°、3.0°、4.5°、6.0°、7.5°，共7層仰角掃瞄，個案前半段期間完成一次體積掃瞄(volume scan)約需4分30秒時間解析度，後半段由於掃描策略更改成雙脈衝重複頻率(Dual Pulse Repetition Frequency)，因此完成一次體積掃瞄約需7分30秒時間解析度，中大偏極化雷達與四台撞擊式雨滴譜儀站之相關位置如圖(1)。

2.2 個案介紹

2008年中型強烈颱風薔蜜(Jangmi)，於9月24日在關島西方海面一帶生成，約於28日0740 UTC時登陸於宜蘭縣南澳附近，28日0900 UTC時薔蜜颱風減弱為中度颱風並略向南偏移呈現打轉現象，1500 UTC時朝北北西方向移動，並於2020 UTC在桃園一帶出海，29日0000 UTC減弱為輕度颱風並轉向北北東移動遠離台灣，薔蜜颱風侵台路徑如圖(2)。

2.3 偏極化雷達資料品質處理

在使用各偏極化雷達參數之前必須先完成觀測誤差的修正以及品質管制(Quality Control)的流程。本研究沿用紀(2005) [5]品質處理方法，其中包括非氣象訊號的濾除、 Ψ_{DP} 的折疊與平滑處理、電磁波能量的衰減及 Z_H 、 Z_{DR} 系統本身偏移修正(system bias)。

在 Z_H 、 Z_{DR} 系統偏移量修正方面是與南港雨滴譜儀觀測 Z_H 、 Z_{DR} 值作校驗，結果顯示當偏極化雷達之 Z_H 系統偏移量為-2.86 dBZ， Z_{DR} 系統偏移量為-0.4 dB時，與南港雨滴譜儀整體差異量為最小(圖(3))。因此在個案期間分析天氣系統之前，需將全部雷達觀測之 Z_H 值加上2.86 dBZ， Z_{DR} 值加上0.4 dB後方能使用，這也符合後續使用偏極化雷達觀測資料在反演雨滴粒徑分佈之前，必須先與雨滴譜儀校驗 Z_H 、 Z_{DR} 值。

三、分析結果

3.1 N_w 與 D_m 散佈情形

圖(4)為4台撞擊式雨滴譜儀於薔蜜颱風期間觀測到雨滴個數取對數($\log_{10}N_w$)與 D_m 散佈關係圖，圖中紅色方框以及黑色方框分別為Bringi (2003) [2]所定義海洋型以及大陸型對流降雨系統分佈範圍。分析 D_m - N_w 值散佈情形，若以簡單區分本研究降雨率大於10 mm hr⁻¹為對流性降雨系統，降雨率小於10 mm hr⁻¹為層狀性降雨系統，可將圖(4)資料拆開成如圖5(a)(層狀降雨系統)及圖5(b)(對流降雨系統)。由圖5(a)得知 D_m - N_w 散佈情形與Bringi (2003) [2]結果相似，即 N_w 值隨著 D_m 值增大而減小，這可能表示在層狀降水的微物理過程中有較大的雪片融化時造成較大的 D_m 值以及較小的 N_w 值；另外較小如冰粒子融化造成較小的 D_m 值以及較大的 N_w 值。

在對流降雨方面(圖5(b))，經統計得知約30%落在海洋型對流系統範圍中；約6%落在大陸型對流系統範圍中；約64%落在介於海洋型對流與大陸型對流系統範圍之間，從上述結果顯示對流降雨中較大比例分佈於介在海洋型與大陸型對流系統範圍之間，而沒有完全單一集中在海洋型或是大陸型對流系統範圍內。

進一步探討對流降雨系統，若隨著降雨率持續遞增時(圖6)，觀測資料點則更集中落在介於海洋型與大陸型對流系統範圍之間，此結果與Chang et al. (2009) [3]提出由光學式雨滴譜儀統計5年13個颱風資料中，對流降雨系統 D_m - N_w 散佈情形相似。

選取圖7(a)偏極化雷達觀測方框範圍來反演陸上雨滴粒徑分佈，其結果如圖7(b)所示，灰階顏色表示 D_m - N_w 散佈百分比，若顏色越屬深灰色則代表所含百分比越大，由圖7(b)發現 D_m - N_w 較大比例分佈介在海洋型與大陸型對流系統範圍之間，其結果與雨滴譜儀觀測結果相似。另外選取圖8(a)偏極化雷達觀測方框範圍來反演海上雨滴粒徑分佈，其結果如圖8(b)所示，由圖8(b)得知 D_m - N_w 較大比例分佈仍介在海洋型與大陸型對流系統範圍之間。

3.2 降雨率20 mm hr⁻¹狀態下雨滴粒徑分佈差異

選取一組南港雨滴譜儀觀測降雨率約20 mm hr⁻¹資料並以南港雨滴譜儀為中心10×10公里當做CFAD取樣範圍，來探討降雨系統中雨滴粒徑分佈與垂直結構發展相對關係。

圖9(a)為南港雨滴譜儀觀測之 D_m - N_w 散佈圖，圖中紅(A)、藍、粉紅(B)點的降雨率皆約20 mm hr⁻¹雨滴粒徑分佈，圖9(b)為(a)紅、藍、粉紅點對應雨滴粒徑分佈的情形。分析圖9(b)中A、B兩點資料，發現A點擁有較多小雨滴個數但大雨滴相對較少；B點則小雨滴個數較少但大雨滴較多，由上述結果得知A點資料之雨滴粒徑分佈的特性與海洋型對流系統的特徵相似；B點資料之雨滴粒徑分佈特性與大陸型對流系統的特徵相似。接著利用偏極化雷達CFAD圖針對A、B兩點對流垂直結構發展來探討造成兩點雨滴粒

徑分佈差異的原因。選取偏極化雷達CFAD圖觀測時間為接近欲探討兩滴譜儀之觀測時間。

圖9(a)A點兩滴粒徑分佈之觀測時間對應南港上空CFAD圖(圖(10))，分析圖(10)發現 Z_H 平均線在高度從0.75公里的35 dBZ到6公里遞減至10 dBZ，顯示對流垂直強度隨高度增加而迅速減弱； Z_{DR} 平均線在高度從4至2.5公里數值接近於0，高度從2.5至0.75公里數值輕微增加，且由底層至高層數值均不超過1，顯示對流結構以小粒徑雨滴為主； K_{DP} 平均線數值由底層至高層數值均不超過0.5，高度從0.75到4公里數值小於0.2，表示高度在4公里以下無明顯降雨； ρ_{hv} 平均線數值從高度0.75至3.5公里緩慢減小，但高度在3.5公里以上時數值迅速降低，表示對流發展不高。綜合上述由圖10雷達CFAD圖之各項偏極化參數特徵顯示A點觀測時間之對流垂直結構發展高度較淺。

圖9(a)B點兩滴粒徑分佈之觀測時間對應南港上空CFAD圖(圖(11))，分析圖(11)發現 Z_H 平均線從高度0.75公里為40 dBZ到6公里僅遞減至30 dBZ，顯示整層對流結構發展均強； Z_{DR} 平均線從高層至底層數值緩慢增加，且數值均大於0.5； K_{DP} 平均線高度從0.75到4公里數值明顯增加，表示高度在4公里以下有明顯降雨情形，由 Z_{DR} 與 K_{DP} 特徵得知對流結構以大雨滴為主； ρ_{hv} 平均線在高度從0.75至4公里數值大於0.95，高度從3.5公里以上數值緩慢減小，由底層至高層 ρ_{hv} 平均線數值均大於0.94，表示對流發展高度超過6.5公里。綜合上述由圖(11)雷達CFAD圖特徵說明南港兩滴譜儀觀測到B點兩滴粒徑分佈時，上空對流垂直結構屬於強且深之對流降雨系統。

分析A、B兩點對流垂直結構發現，A點兩滴粒徑分佈之觀測時間在南港上空垂直結構中，各項特徵類似於海洋型對流降雨系統，為對流發展強度弱與垂直結構較淺，擁有較多數量小雨滴；B點兩滴粒徑分佈之各項特徵則類似大陸型對流降雨系統，為對流發展強度強與垂直結構深，擁有較多中至大雨滴。

大陸型對流降雨系統由於垂直發展高度較高，使得雨滴擁有較多的時間可以待在上升氣流中，能經歷更多的碰撞與合併過程，因此垂直結構存在較大的兩滴粒徑分佈。

3.3 相同回波狀態下降雨率70~90 mm hr⁻¹之兩滴粒徑分佈差異

選取圖12(b)中C點為50.3 dBZ、D點為49.7 dBZ，探討兩者反射率數值相似情況下，為何降雨率差異很大(C點、D點降雨率分別為92、69 mm hr⁻¹)。分析圖12(a)發現C點在小雨滴與大粒徑兩滴個數方面略比D點少些，但在中粒徑兩滴個數方面略比D點多些，接著使用偏極化雷達CFAD圖來加以分析探討。

圖(12)C點兩滴粒徑分佈之觀測時間對應南港上空CFAD圖(圖(13))，由圖(13)中發現 Z_H 平均線最大

數值達到45 dBZ，高度到4公里還有30 dBZ，顯示對流結構發展強度強； Z_{DR} 平均線最大數值超過1，且 Z_{DR} 平均線從底層至高層數值均大於0.5； K_{DP} 平均線在6公里以下平均線最大數值超過1.75，由 Z_{DR} 與 K_{DP} 顯示對流結構存在大雨滴與降雨明顯； ρ_{hv} 平均線從底層至高層數值緩慢減小，且平均線數值均超過0.9，表示對流發展高度高。

圖(12)D點兩滴粒徑分佈之觀測時間對應南港上空CFAD圖(圖(14))，由圖(14)中發現 Z_H 平均線最大數值未達到35 dBZ，到6公里已減少至5 dBZ以下，顯示對流結構強度不強； Z_{DR} 平均線在5.5公里以下數值均未超過1，且 Z_{DR} 平均線從3至4.5公里之間數值幾乎為0； K_{DP} 平均線在4公里以下平均線最大數值僅超過0.5； ρ_{hv} 平均線在4公里以上數值已經低於0.9。

分析C、D兩點對流垂直結構發現，C點在兩滴粒徑分佈方面比D點除了擁有較多中粒徑的兩滴個數之外，分佈在整個對流系統中，C點對流垂直結構發展強度較強以及高度較深且有強降水的特徵表現，因此造成南港兩滴譜儀分別觀測到C、D兩點時，兩者反射率雖相似但降雨率差值竟大於20 mm hr⁻¹以上。

四、結論與未來工作

4.1 結論

本研究藉由中大偏極化雷達以及所屬4台撞擊式兩滴譜儀觀測資料於2008年薈蜜颱風期間，探討對流降雨系統中兩滴粒徑分佈情況。在分析過程中兩滴譜儀觀測到不同兩滴粒徑分佈差異時，可以利用偏極化雷達CFAD圖之各項偏極化參數來加以探討是否受到垂直結構發展不同所致。

個案期間偏極化雷達與地面南港兩滴譜儀做觀測參數值校驗，完成之後再進行反演海上及陸地上兩滴粒徑分佈。從分析結果得知，偏極化雷達經過與地面兩滴譜儀做參數校驗後，能有效反演降雨系統中大空間範圍兩滴粒徑分佈的情形，此舉可以改善地面兩滴譜儀僅能觀測固定位置、單一地點之觀測，將有助於後續我們對於不同颱風個案或者是任何季節、任何對流、層狀降雨系統之兩滴粒徑分佈與降雨特性分析，若能確切掌握不同對流系統中兩滴粒徑分佈的特徵，則能大大改善現行降雨估計之準確度。

4.2 未來工作

對於薈蜜颱風期間不同降雨系統之間的兩滴粒徑分佈與垂直發展結構差異已有初步瞭解，希望未來能結合利用雙雷達合成之三維風場來進一步探討對流、層狀降雨系統中動力結構與微物理機制，以及降雨系統中兩滴粒徑分佈的收支情況。

希望未來能繼續嘗試使用撞擊式、光學式兩滴譜儀觀測資料來分析不同颱風個案降雨系統中兩滴粒徑分佈，利用中大以及國軍所屬馬公與清泉崗之偏極

化雷達觀測資料來反演雨滴粒徑情況，期能歸納統計出屬於台灣地區之颱風期間降雨系統中獨特的雨滴粒徑分佈。

參考文獻

- [1]Brandes, E. A., Zhang, G., and Vivekanandan, J., "An evaluation of a drop distribution based polarimetric radar rainfall estimator," *J. Appl. Meteor.*, Vol. 42, pp. 652-660, 2003.
- [2]Bringi, V. N., Chandrasekar, V., Hubbert, J., Gorgucci, E., Randeu, W. L., and Scoenhuber, M., "Raindrop size distribution in different climate regimes from disdrometer and dual-polarized radar analysis," *J. Atmos. Sci.*, Vol. 60 pp. 354-365, 2003.
- [3]Chang, W. Y., Wang, C. T. C., and Lin, P. L., "Characteristics of the Raindrop Size Distribution and Drop Shape Relation in Typhoon Systems in the Western Pacific from the 2D Video Disdrometer and NCU C-Band Polarimetric Radar," *J. Atmos. Oceanic Technol.*, Vol 26, pp. 1973-1993, 2009.
- [4]Yuter, S. E., and Houze Jr, R. A., "Three-Dimensional Kinematic and Microphysical Evolution of Florida Cumulonimbus. Part II: Frequency Distributions of Vertical Velocity, Reflectivity, and Differential Reflectivity," *Mon. Wea. Rev.*, Vol 123, pp 1941-1963, 1995.
- [5]紀博庭，"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"，碩士論文，國立中央大學大氣物理研究所，70頁，2005。

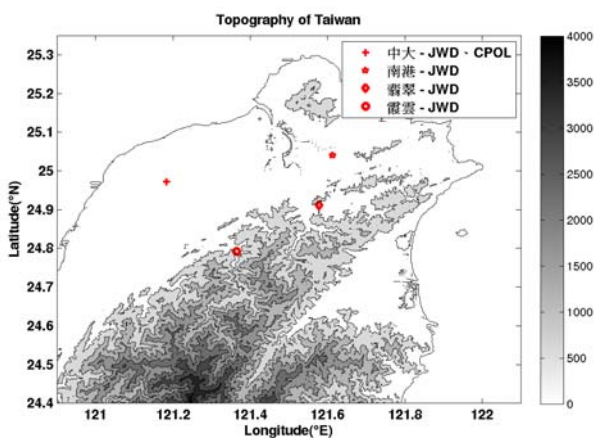


圖1 中大雷達及中大、南港、翡翠、霞雲四台撞擊式雨滴譜儀相關位置圖，灰階部分表示地形高度，單位為公尺。

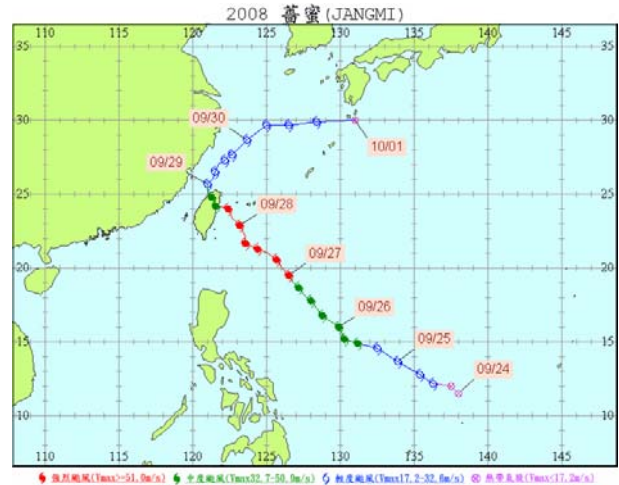


圖2 2008年薔蜜颱風侵台路徑圖（資料來源：中央氣象局）。

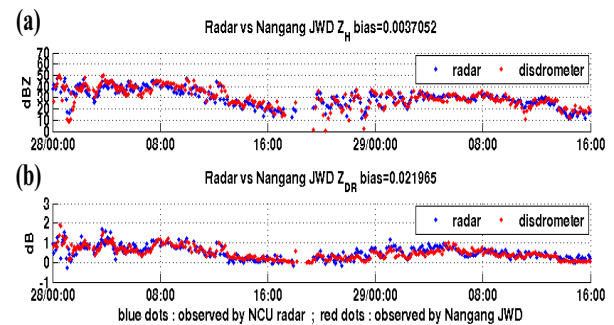


圖3 中大偏極化雷達（藍點）與南港雨滴譜儀（紅點）觀測 Z_H 、 Z_{DR} 差異統計圖，橫軸表示時間序列(UTC)。(a)縱軸表示dBZ值，(b)縱軸表示dB值，兩者 Z_H 平均差異為0.0037052； Z_{DR} 平均差異為0.021965。

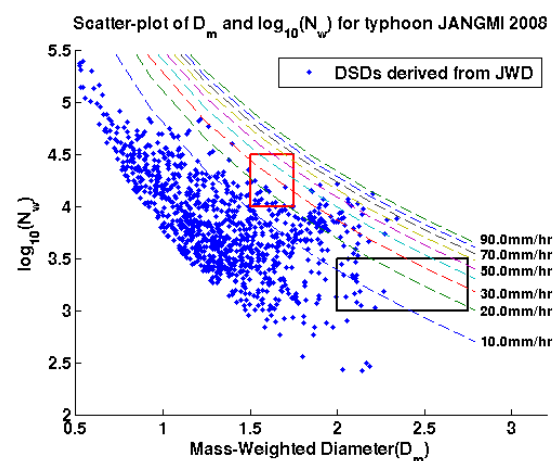


圖4 雨滴個數取對數($\log_{10}N_w$)與 D_m 散佈關係圖，橫軸表示 D_m 值，縱軸表示 $\log_{10}N_w$ 值，紅（黑）色方框表示海洋（大陸）型對流降雨系統，虛線表示降雨率，間隔為 10 mm hr^{-1} 。

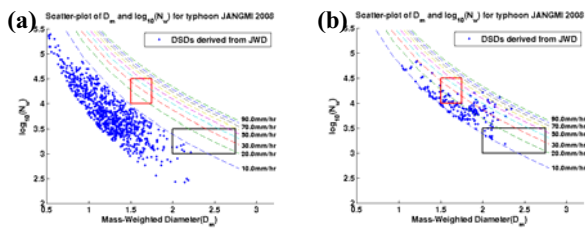


圖5 同圖4，(a)層狀降雨系統散佈圖，(b)對流降雨系統散佈圖。

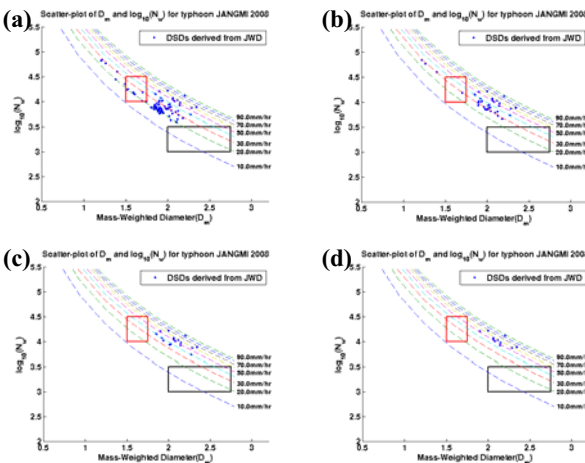


圖6 同圖4，(a)-(d)隨降雨率遞增 D_m-N_w 散佈關係圖，遞增量間隔為 10 mm hr^{-1} 。

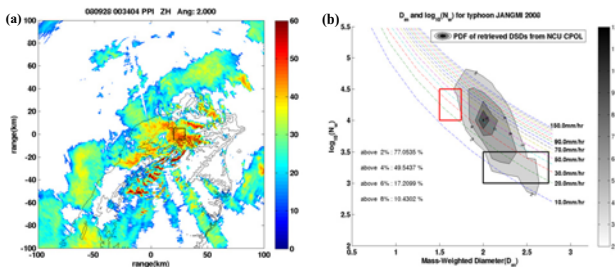


圖7 (a)2008年9月28日0034 UTC雷達 2.0° 仰角PPI回波圖，黑色方框為反演DSD範圍；(b)機率密度分佈圖(PDF)，為(a)方框範圍反演結果，灰階部分代表分佈百分比。

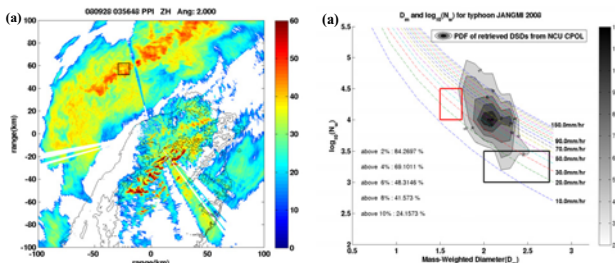


圖8 同圖7，觀測資料時間為2008年9月28日0356 UTC。

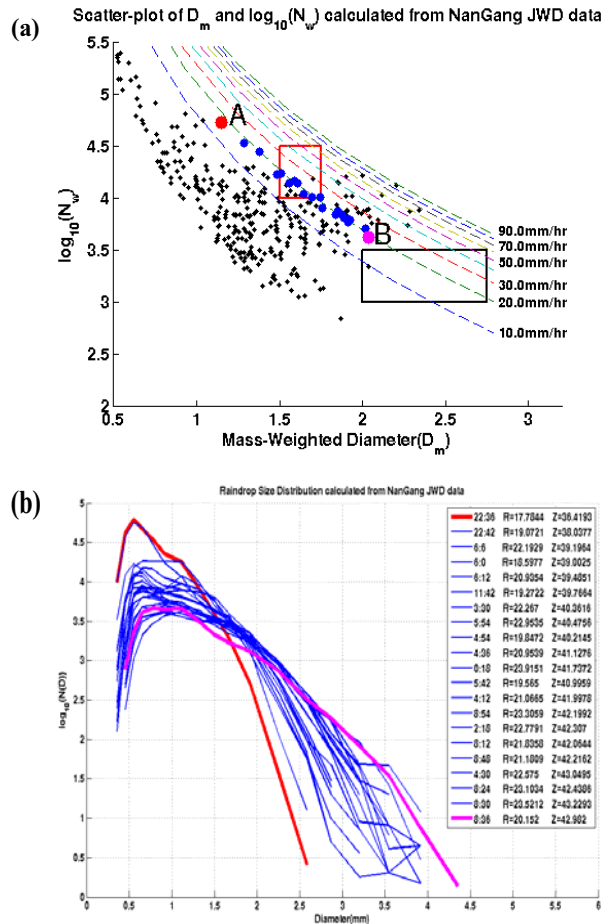


圖9 (a)南港雨滴譜儀觀測之 D_m-N_w 佈關係圖，紅(A)、藍、粉紅(B)點為降雨率接近 20 mm hr^{-1} ；(b)為(a)紅(A)、藍、粉紅點(B)對應雨滴粒徑分佈圖，觀測資料時間、降雨率(R)與反射率(Z)如(b)右邊方框內所示。

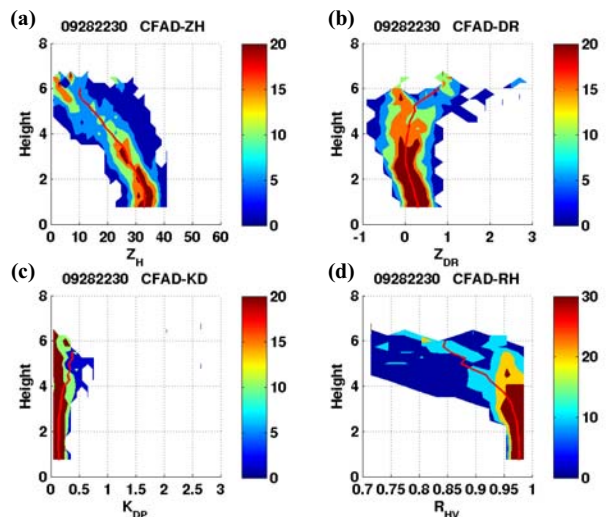


圖10 『A點』南港上空 10×10 公里CFAD圖，(a)-(d)分別為 Z_H 、 Z_{DR} 、 K_{DP} 、RH(相關係數)圖，橫軸表示各參數值，縱軸表示高度，紅線為高

度參數值平均線，資料時間為2008年9月28日
2230 UTC。

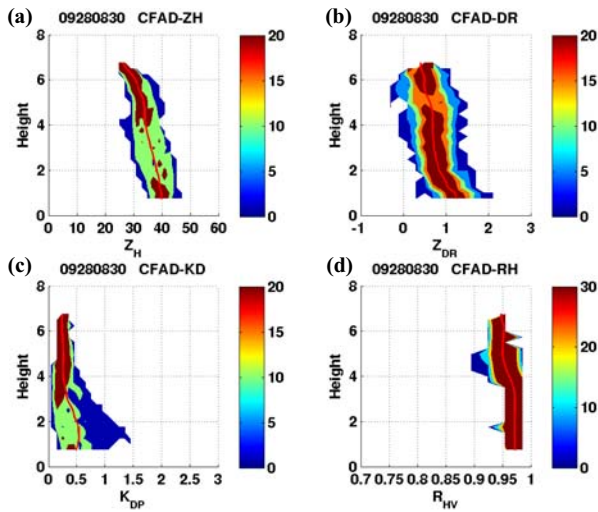


圖11 同圖10，『B點』觀測資料時間為2008年9月
28日0830 UTC。

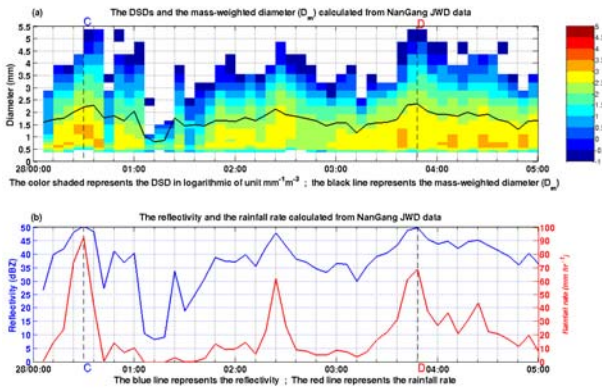


圖12 (a)為南港雨滴譜儀觀測雨滴粒徑分佈之時間
序列圖，縱軸表示雨滴等效體積直徑；色階部
份表示 $N(D)(\text{mm}^{-1}\text{m}^{-3})$ 值取對數(\log_{10})，黑色實
線表示 D_m (mm)值。(b)為南港雨滴譜儀觀測資
料計算降雨率及反射率之時間序列圖，藍線為
反射率(dBZ)，紅線為降雨率(mm hr^{-1})，左邊
縱軸表示反射率，右邊縱軸表示降雨率。(a)、
(b)橫軸表示時間序列(UTC)。

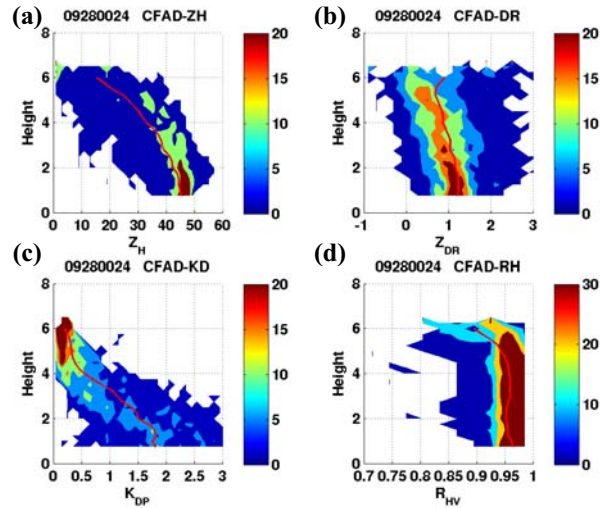


圖13 同圖10，『C點』觀測資料時間為2008年9月
28日0024 UTC。

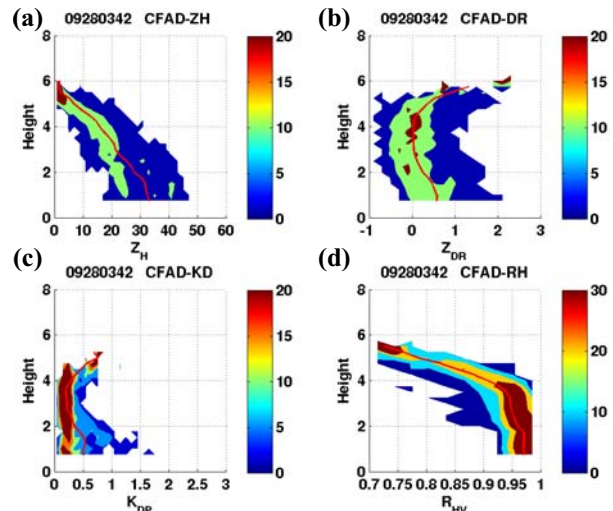


圖14 同圖10，『D點』觀測資料時間為2008年9月
28日0342 UTC。