

2009年台灣梅雨季南北部不同地點 雨滴粒徑分佈特性之比較研究

蔣育真 林沛練

中央大學大氣物理所

摘要

本研究探討 2009 年 6 月 3 日至 6 月 14 日之降雨特性，利用撞擊式雨滴譜儀，在五個不同的地方（台灣北部：中央、霞雲；南部：斗六、嘉義、阿里山），觀測梅雨季期間雨滴粒徑分佈特性。觀測結果顯示，在降雨率較大時 JWD 在小雨滴部分容易低估，因此利用 Dead Time Correction 對所有站的觀測資料在降雨率大於 20mm/hr 時進行修正，修正後改善了小雨滴低估的現象。

雨滴粒徑分佈結果顯示：不管在降雨率為多少時，阿里山站小雨滴明顯多於其它站。霞雲站則是在降雨率大於 5mm/hr 以後小雨滴會比其它站少；大雨滴部分則是不管在哪一種降雨率都偏多。斗六、嘉義站則是在降雨率小於 5mm/hr 時小雨滴會較其他站少。這些結果顯示在雨滴粒徑分佈上，台灣南北部並沒有一致的差別而是每個地點有不一樣的特性。另外探討 Gamma DSD 中的參數，斜率參數(Λ)及形狀參數(μ)良好的關係，而截距參數(N_0)會受到 μ 的影響，因此將其標準化得到標準化截距參數(N_{w0})，探討均質粒徑與 N_{w0} 的關係並與前人研究比較，結果顯示不管在哪一站層狀性降水大致與前人研究一致，但對流性降水比較接近海洋性對流降水的特性。

最後利用在相同回波值下比較站與站的各參數之間的差異，結果顯示，在區分降水形態的降雨率約在 37.5dBZ；而斜率參數大致上每個站趨勢相似，唯有霞雲站在較大的回波值下與其他站不同；而在相同回波下粒徑在阿里山站皆小於其他站。

關鍵字：雨滴粒徑分佈（Drop Size Distribution，簡稱RSD或DSD）

一、前言

台灣位處於太平洋西側、歐亞大陸東側的熱帶與副熱帶季風地區，受到東亞季風影響顯著，而春夏季節轉換時，梅雨鋒面常常帶來豪大雨，再加上台灣地形陡峭，容易造成水災、土石流等災害，因此若能準確預估降水對防災會有很大的幫助。而不同的地區、不同的降水形態，都有可能造成雨滴粒徑分佈特性的不同，而雨滴粒徑分佈可得知許多訊息，包含降雨率、回波值、液態水含量等降雨積分參數，也影響到降水的估計，因此探討不同地區、不同降水形態的雨滴粒徑分佈特性就顯得很重要。

2009 年梅雨季，原本放置於北部地區的撞擊式雨滴譜儀其中幾台遷移至台灣南部地區，因此這段期間台灣南、北部地區皆有雨滴譜儀在進行觀測。陳(2009)已初步對台灣南、北地區的雨滴粒徑分佈特性做比較。本篇研究將使用同一時期的梅雨季實驗資料，更深入的探討台灣南、北部地區 5 個不同地點的雨滴粒徑分佈特性，並且利用 Tokay et al. (2008)在相同回波值比較降雨積分參數的變化，針對此期間不同地點的

特性做比較。

二、資料處理方法

本篇的雨滴粒徑分佈採用Ulbrich(1983)提出的Gamma分佈來表示，如公式(1)，

$$N(D) = N_0 D^\mu \exp(-\Lambda D) \quad (1)$$

其中 N_0 ($m^{-3}mm^{-\mu}$) 為截距參數，可表示雨滴數量、 μ 為形狀參數，可表示小雨滴的分佈情形、 Λ 為斜率參數，可表示中、大雨滴的分佈情形。各參數計算方法使用Kozu and Nakamura (1991)提出的方式，計算方式如下，

$$N_x = \int_0^{\infty} N(D) D^x dD \quad (2)$$

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} x^{x-1} e^{-x} dx = \frac{\Gamma(x)}{\Lambda^x} \quad (3)$$

首先將式(1)、(3)帶入式(2)可得式(4)，

$$N_x = N_0 \frac{\Gamma(x+\mu+1)}{\Lambda^{x+\mu+1}} \quad (4)$$

$$G = \frac{N_0^2}{N_x^2 M_x} \quad (5)$$

再分別將公式(2)的 k 帶入3、4、6，得 M_3 、 M_4 、 M_6 ，而 N_0 、 μ 、 Λ 可表示為公式(6)、(7)、(8)，

$$N_0 = \frac{M_3^{3+\mu}}{\Gamma(\mu+3)} \quad (6)$$

$$\mu = \frac{11G - 9 + (G(G+6))^{1/2}}{2(1-G)} \quad (7)$$

$$\Lambda = \frac{(\mu+4)M_3}{M_4} = \frac{(\mu+4)}{D_m} \quad (8)$$

(8)是中的 D_m 計算方式，如公式(9)。

$$D_m = \frac{M_4}{M_3} = \frac{\int_0^\infty N(D)D^4 dD}{\int_0^\infty N(D)D^3 dD} \quad (9)$$

接著由於 N_0 會受到 μ 值影響，因此在比較上必須在相同的 μ 值下才有意義。為了使 N_0 不受 μ 影響，使用Testud et al. (2001)將 N_0 標準化成 N_w ($\text{mm}^{-1}\text{m}^{-3}$)，此參數與 N_0 有相同的意義卻不受 μ 的影響，計算方式如下，

$$LWC = \frac{\rho_w}{\rho_a} \int_0^\infty N(D)D^3 dD \quad (10)$$

先求出液態水含量(10)式及均質粒徑(9)式，其 ρ_w (gcm^{-3})為液態水密度，再將(1)式改寫成(11)式，

$$N(D) = N_w f(\mu) \left(\frac{D}{D_m}\right)^\mu \exp\left[-(4+\mu)\frac{D}{D_m}\right] \quad (11)$$

其中 $f(\mu) = \frac{6}{4^\mu} \frac{(4+\mu)^{4+\mu}}{\Gamma(4+\mu)}$ 為無因次參數、推倒後得標準化截距參數(12)式。

$$N_w = \frac{4^\mu}{\rho_w} \left(\frac{LWC}{D_m^3}\right) \quad (12)$$

由於撞擊式雨滴普儀(JWD)在降水事件較大時，容易低估小雨滴數量，因此本篇採用Joss and Waldvogel (1993)提出的dead time correction的方式對資料先進行修正在分析，如公式(13)。

$$N_i^* = N_i \exp\left\{\frac{0.022}{T} \sum_{D_k=0.022 D_i}^{D_{max}} N_k \times \log\left[\frac{D_k}{(0.022 D_i - 0.022)}\right]\right\} \quad (13)$$

其中 N_i^* 為修正後雨滴個數， i 為第 i 類雨滴粒徑； N_i 為觀測原始的雨滴個數； D_k 為雨滴粒徑， k 為第 k 類雨滴粒徑，修正方法主要是利用後半段雨滴向前修正小雨滴觀測的缺值。

由於層狀性降水及對流性降水的垂直結構及形成原因都不同，因此在進行比較的同時還會將不同的降水形態區分開來再做比較，本篇以降雨率10mm/hr區分降水形態，大於10mm/hr為對流性降水、小於10mm/hr則為層狀性降水。

三、JWD資料校驗

本次實驗將解析度較高的光學式雨滴普儀(2DVD)以及撞擊式雨滴普儀(JWD)同時置放於嘉義站，由於其它地點使用的儀器皆為JWD，因此使用此次實驗資料前會先以嘉義

站較高解析度的2DVD做為基準，校正JWD的觀測資料，這是因為JWD在降雨事件較大時容易有低估小雨滴的情形發生，而為了使誤差來源減為最小，因此會先將所有站JWD的資料依照同樣方式進行修正。圖(1)為原始JWD觀測資料與2DVD所觀測到的雨滴粒徑分佈圖，由圖可看到JWD在小雨滴低了估許多，因此利用公式(13)對其資料進行修正，測試在不同降雨率以上進行修正對其結果有何差別，如圖(2)，可以看到在降雨率大於10mm/hr進行修正會有過度修正的情形；而在降雨率大於40mm/hr進行修正則會有修正後還是低估的情形，因此考慮使用降雨率大於20mm/hr或是降雨率大於30mm/hr時進行修正，為了得到在大於哪一個值降雨率修正結果會比較好，因此比較JWD修正後雨滴濃度與2DVD的結果，發現在大於20mm/hr會比較類似2DVD的結果，因此在後續校正JWD的資料上都是以降雨率大於20mm/hr進行dead time correction。

四、雨滴粒徑分佈及參數特性

圖(3)為台灣南、北部地區不同地點的雨滴粒徑分佈圖，由此圖可明顯看到阿里山站在小雨滴部分比其它站觀測到的數量還多；而大雨滴部分則是霞雲站觀測到的大雨滴比其它站多，而在小雨滴部分還可發現中央及霞雲是相似的、斗六及嘉義也是相似的。接著圖(4)則是區分不同的降水形態的雨滴粒徑分佈圖，在層狀性降水中的小雨滴阿里山站數量較多，霞雲則是可觀測到較大的雨滴；對流性降水中則是霞雲小雨滴少於其它站很多並且有較多的大雨滴。為了確定上述特性是否為降雨率不同所造成的結果，將降雨率R(mm/hr)區分成 $0.1 < R < 1$ 、 $1 \leq R < 2$ 、 $2 \leq R < 5$ 、 $5 \leq R < 10$ 、 $10 \leq R < 15$ 、 $15 \leq R < 20$ 、 $20 \leq R < 30$ 、 $30 \leq R < 40$ 、 $40 \leq R < 50$ 、 $R \leq 50$ 這10種種類，還是可以在不同降雨率看到阿里山小雨滴多、霞雲大雨滴多及大於5mm/hr以後小雨滴少的情形，因此就整體雨滴粒徑分佈特性上，台灣南、北部並無明顯規律差別，而是在不同地點有不同的特性。

表(1)為各個參數所有資料出現最多次的值，首先先探討Gamma DSD的參數，進行不同地區的比較。表(1)第二欄形狀參數 μ 值可看到在阿里山站小於其它站很多，代表此站大部分的降雨有小雨滴多的特性存在；而霞雲站此值較大，就表示此站大部分降雨屬於小雨滴偏少。表(1)第三欄斜率參數 Λ 值則是霞雲站略大於其他地區，表示霞雲地區大部分降雨的時候大雨滴會相對於其他地區較少或是整體而言雨滴分佈範圍較狹窄但是雨滴數量都較多。但是如果單單只看數值，其實很難去討論雨滴粒徑分佈的情形，況且就算降雨率一樣， μ 、 Λ 還是很容易因為不同的雨滴種類所組合成的數量而影響到其數值。還有一個Gamma DSD的參數 N_0 ，但是由於此值會受 μ 影響，要探討它必須在相同的 μ 值下才有意義，因此將此值標準化得標準化截距參數 N_w ，如表(1)第五欄，則可明顯看到阿里山站的雨滴數量多於其它站很多，表示在此站的下雨應該是屬於雨滴數量很多的特性。由於降水形態的不同有可能影響其參數數值的大小，因此將降水形

態區分開來，如表(2)、表(3)，分別為層狀性降水及對流性降水的各個參數眾數值，可以看到在層狀性降水時， μ 值幾乎都會比對流性降水著值還要小，這是由於當降雨較大時小雨滴觀測到的數量會較少，由雨滴粒徑分佈可明顯看到此現象。對流性降水的 Λ 值在霞雲及阿里山會有比較大的值，但是其實在整體的 Λ 值出現頻率分佈上對流性降水中的 Λ 值是不比層狀性降水 Λ 值的佈範圍廣，這是由於層狀性降水可能為小雨滴多大、中雨滴少的類型或是可觀測到較大雨滴的類型；而對流性降水通常都是所有雨滴都較多。標準化截距參數 N_w ，不管在哪一站都是在對流性降水會大於層狀性降水，而從表也可看到在嘉義、阿里山站此值會比其他地點的值來的大一些，推測嘉義站可能是因為位於西南氣流迎風區域所造成。在雨滴粒徑方面則是可以看到阿里山站的雨滴比其它站明顯小一些。

圖(5)為使用Bringi et al.(2003)的分類方式標上此次實驗的五站結果，可以看到在層狀性降水大致與前人研究擬合的線位置差不多，尤其又與TOGA COARE及Graz Austria；而對流性降水則比較接近大陸性對流及海洋性對流的中間在略為偏向海洋性對流一點點。

前面以用降雨率區分比較了不同降雨積分餐數的差異，最後用回波值區分探討在相同回波值下不同地點降雨積分參數上的差異。圖(6)為五個站回波值與不同降雨積分參數變化圖，從圖(6)(a)可以知道在本篇用來區分層狀對流性降水的降雨率10mm/hr所對應到的回波值約37.5dBZ與Houze et al.(1982)、Tokay et al.(1996)提出的38、40dBZ差不多；(b)、(c)分別是形狀、斜率參數，可以看到在回波值較大時霞雲站較其它站不同，是因為在小雨滴及大雨滴的觀測上霞雲站與其它站差異較大的原因；(d)標準化截距參數則是在回波值小的地方所有站此值都較其他回波值大一些，而趨勢上則是中央、霞雲、阿里山較相似；最後(e)均質粒徑則是不管在什麼回波值下阿里山站會小於其它站。

五、結論

校驗撞擊式雨滴譜儀觀測上小雨滴的缺失，進行dead time correction時機在降雨率大於20mm/hr的時候較好，不會修正後還是低估太多或是過度修正小雨滴。

2009年SoWMEX實驗期間，整體來看台灣南、北部雨滴粒徑分佈特性並沒有明顯規律，而是在不同地點有不同的特性。雨滴粒徑分佈在阿里山站的小雨滴濃度部分都會比其它站來的多一些；而霞雲站則是在大雨滴部分會較其他多或是可觀測到較大的雨滴。

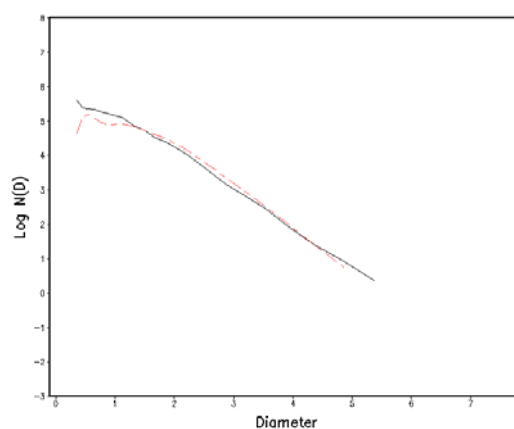
形狀參數及斜率參數則是由於阿里山及霞雲站在觀測小、大雨滴濃度上與其它站差異較大，因此此參數在不管是區分降雨率或是相同回波值下的比較上也會與其它站有比較大的差別；標準化截距參

數(雨滴數量)眾數值在阿里站、嘉義站會偏大，推測有可能為嘉義站位於西南氣流迎風區域所造成，並且在相同回波值下中央、霞雲及阿里山有類似的趨勢。均質粒徑在對流性降水皆大與層狀性降水，而阿里山站的均質粒徑眾數值都小於其它站。探討標準化截距參數及均質粒徑的關係，發現在層狀性降水5站皆與Bringi et al.(2003)擬合出的線接近；而對流性降水則是位於海洋性及大陸性對流中間略偏海洋性對流一些。

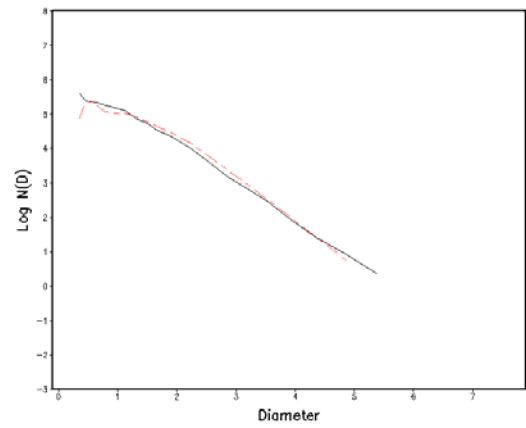
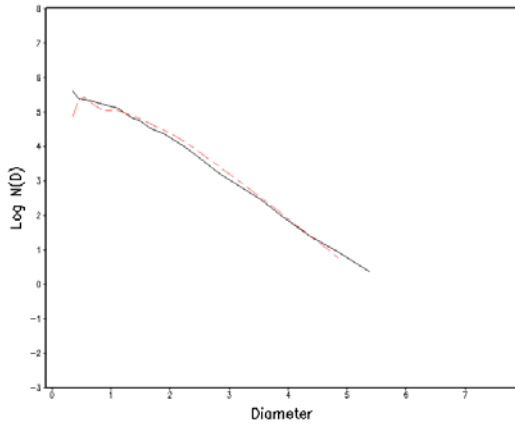
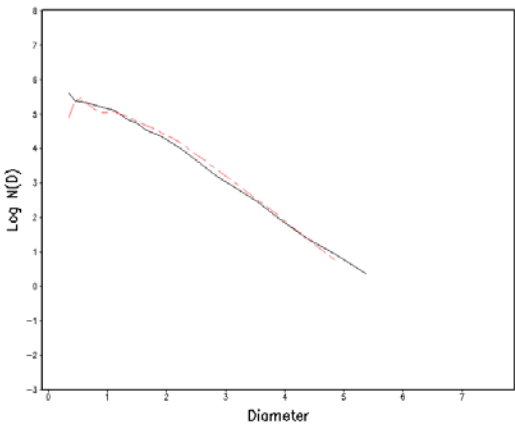
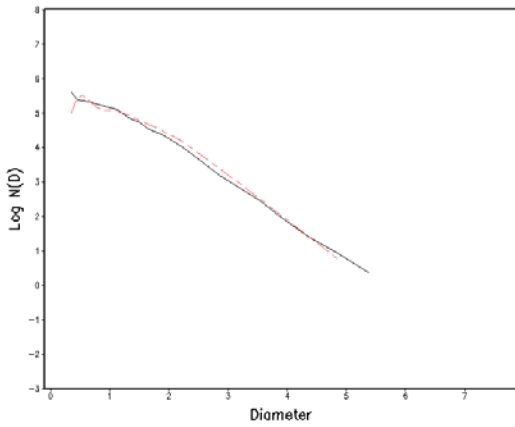
參考文獻

- 毛又玉，2007：台灣北部地區層狀與對流降水的雨滴粒徑分佈特性，國立中央大學碩士論文，101頁。
- 陳奕如，2009：SoWMEX 實驗期間雨滴粒徑分佈特性之研究，國立中央大學碩士論文，99頁。
- Bringi, V. N., V. Chandrasekar, J. Hubbert, E. Gorgucci, W. L. Randeu, and M. Schoenhuber, 2003: Raindrop size distribution in different climatic regime from disdrometer and dual-polarized radar analysis. *J. Atmos. Sic.*, **60**, 354-365.
- Kozu, T., and K. Nakamura, 1991: Rainfall parameter estimation from dual-radar measurements combining reflectivity profile and path-integrated attenuation. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **8**, 259-270.
- Testud J., S. Qury, R. A. Black, P. Amayenc, and X. Dou, 2001: The concept of "Normalized" distribution to describe raindrop spectra: A tool for cloud physics and cloud remote sensing. *J. Appl. Meteor.*, **40**, 1118-1140.
- Tokay A., P. G. Bashor, E. Habib, and T. Kasparis, 2008: Raindrop Size Distribution Measurements in Tropical Cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, **136**, 1669-1685.
- Ulbrich, C. W., 1983: Natural variations in the analytical form of the raindrop size distribution. *J. Climate Appl. Meteor.* **22**, 1764-1775.

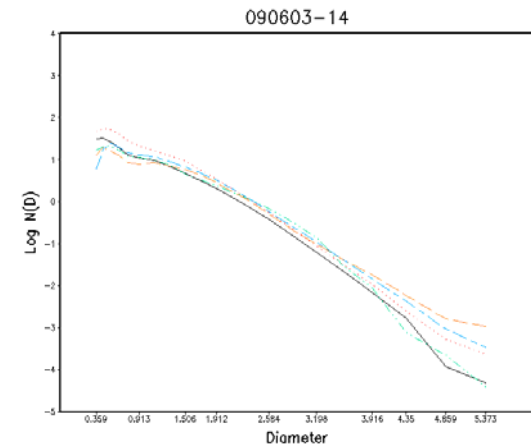
圖：



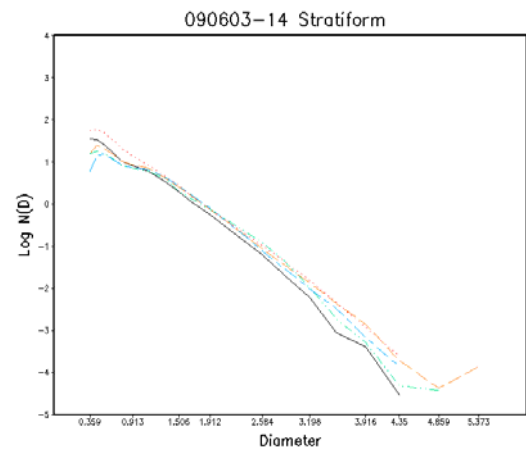
圖(1) 2009年6月4日雨滴粒徑分佈。橫軸為雨滴粒徑、縱軸為雨滴濃度，實線為2DVD觀測資料、虛線為JWD觀測資料。



圖(2) 2009年6月4日雨滴粒徑分佈。(a)降雨率大於10mm/hr修正 (b) 降雨率大於20mm/hr修正 (c) 降雨率大於30mm/hr修正 (d) 降雨率大於40mm/hr修正。橫軸為雨滴粒徑、縱軸為雨滴濃度，實線為2DVD觀測資料、虛線為JWD修正後資料。



圖(3) 雨滴粒徑分佈。橫軸為雨滴粒徑、縱軸為雨滴濃度，實線：中央、長虛線：霞雲、長點點虛線：斗六、長短虛線：嘉義、點線：阿里山。



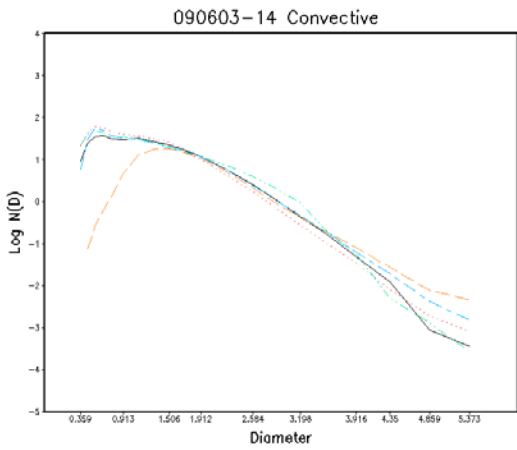
(a)

(b)

(c)

(d)

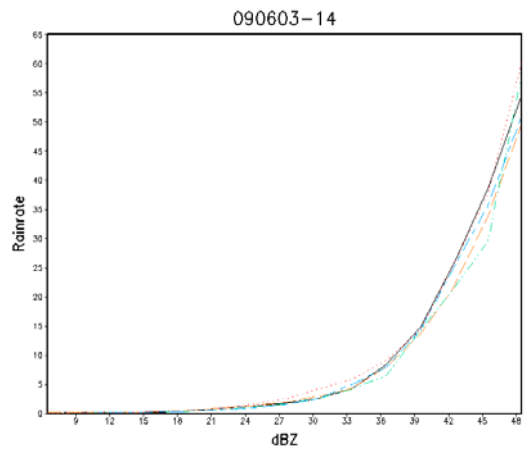
(a)



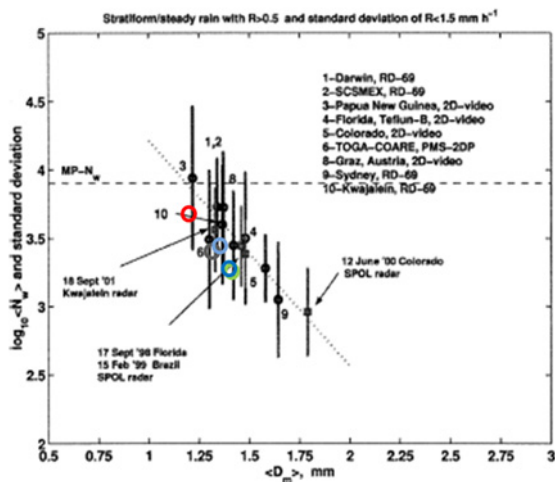
(b)

圖(4) (a)層狀性降水 (b)對流性降水 雨滴粒徑分佈。橫軸為雨滴粒徑、縱軸為雨滴濃度，實線：中央、長虛線：霞雲、長點點虛線：斗六、長短虛線：嘉義、點線：阿里山。

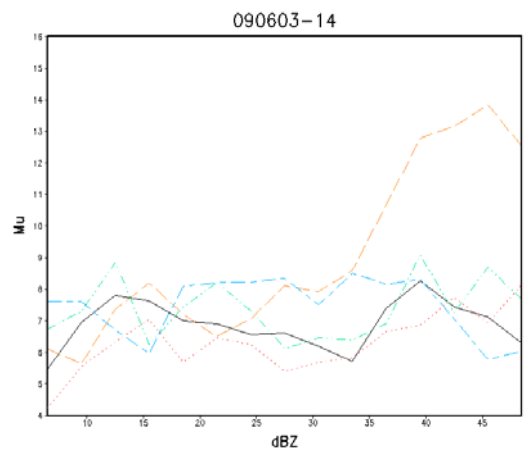
色實點為Bringi et al.(2003)的資料，彩色空心點為本次實驗不同5站的資料。



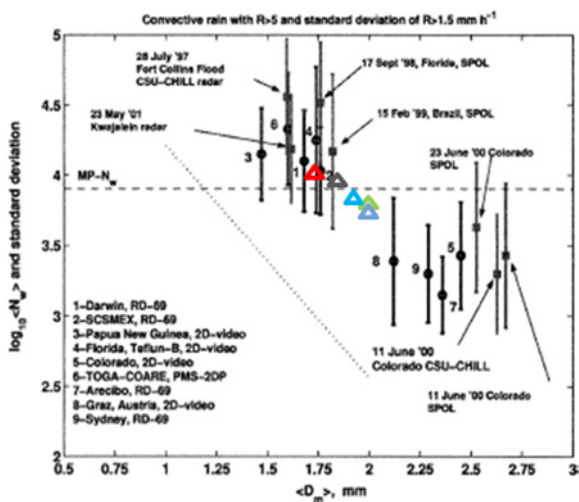
(a)



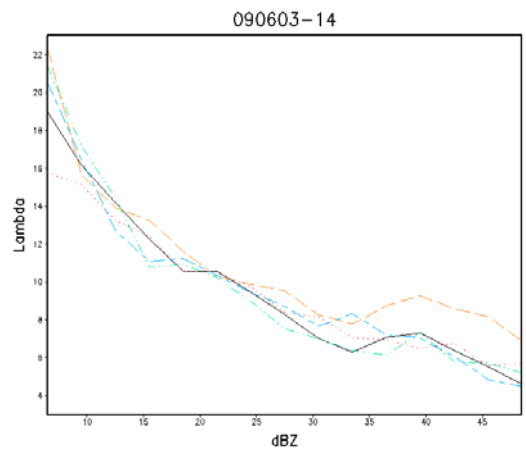
(a)



(b)

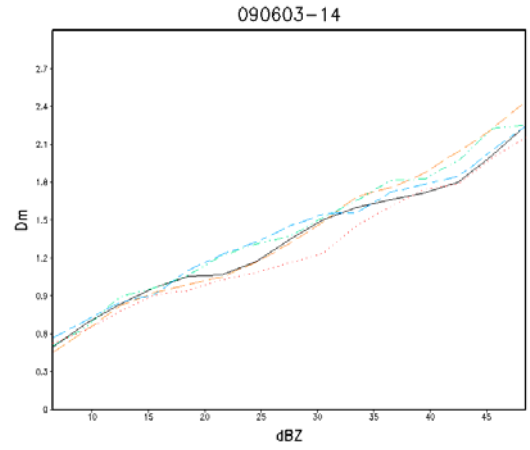
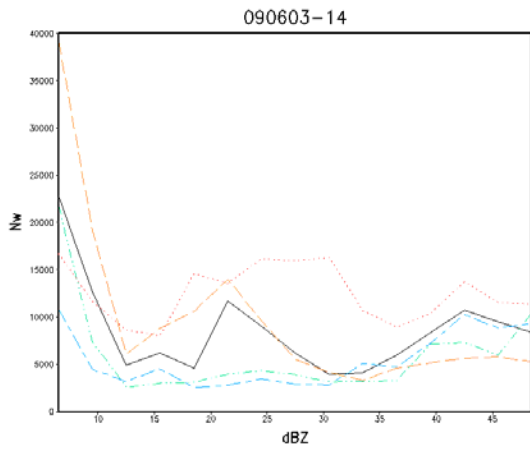


(b)



(c)

圖(5) (a)層狀性降水 (b)對流性降水。橫軸為均質粒徑、縱軸為Log(標準化截距參數)，圖中黑



(d) 圖(6) 各站回波值與各參數變化圖。橫軸為回波值、縱軸分別為(a)降雨率 (b)形狀參數 (c)斜率參數 (d)標準化截距參數 (e)均質粒徑。

表：

參數 (單位)	μ	Λ (mm^{-1})	N_w (mm^{-1}m^3)	D_m (mm)
NCU	7.05	5.25	1412.5	1.62
Hsiayun	7.50	8.25	6456.5	1.47
Douliu	5.70	6.00	1479.1	1.50
Chiayi	6.30	6.00	3715.4	1.56
Alishan	3.45	5.85	12882.5	1.47

表(1) 2009年6月3日至14日5個地點各參數眾數值。

參數 (單位)	μ	Λ (mm^{-1})	N_w (mm^{-1}m^3)	D_m (mm)
NCU	4.95	5.25	1412.5	1.62
Hsiayun	7.50	6.53	1318.3	1.26
Douliu	4.95	6.00	1412.5	1.50
Chiayi	6.30	6.00	1513.6	1.38
Alishan	3.15	5.85	2290.9	0.84

表(2) 2009年6月3日至14日5個地點層狀性降水各參數眾數值。

參數 (單位)	μ	Λ (mm^{-1})	N_w (mm^{-1}m^3)	D_m (mm)
NCU	7.35	5.25	9120.1	2.10
Hsiayun	9.75	4.85	7161.4	1.79
Douliu	5.55	5.58	7161.4	2.19
Chiayi	5.33	5.55	12022.6	1.77
Alishan	7.50	5.40	12882.5	1.65

表(3) 2009年6月3日至14日5個地點對流性降水各參數眾數值。