

# SoWMEX 實驗期間雨滴粒徑分佈特性之研究

陳奕如 林沛練  
中央大學大氣物理所

## 摘要

本研究針對2008年5月16日至6月30日台灣南部地區之降水事件，利用不同方法來區分降水型態並進行雨滴粒徑分佈特性討論。平均而言，對流降水雨滴濃度較層狀降水大了一個數量級，對流降水之雨滴粒徑分佈能夠延伸至較大粒徑的部份。平均而言，雨滴粒徑分佈參數斜率參數 $\Lambda$ 、標準化截距參數 $N_c$ 、平均粒徑 $D_m$ 、液態水含量LWC、回波強度dBZ皆是在對流降水時會大於層狀降水，而形狀參數 $\mu$ 則是對流降水時小於層狀降水。但是利用 $N_c - R$ 關係式的區分方法，則形狀參數 $\mu$ 的部份會與其他分類方法相反，即在對流降水時 $\mu$ 值會大於層狀降水。對照Bringi et. al (2003) 之 $D_m - N_w$ 的關係，台灣南部地區層狀降水之分佈特性與各氣候區統計結果相似，但是對流降水則比較接近海洋性對流降水的特性，此結果與台灣北部地區雨滴分佈特性差異不大。各雨滴粒徑分佈參數統計結果與過去台灣北部地區其特異差異不大。

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

## 一、前言

台灣地區地處副熱帶，為亞洲地區最顯著之季風區，春夏之際的梅雨鋒面常引發豪雨，而伴隨豪雨而生的水患、土砂災害更是影響民生社會。因此若能準確預估降水，勢必能對防災減災有助益。雨滴粒徑分佈可得知許多訊息，包含能見度、液態水含量、降雨率、降雨動能與沖蝕及回波強度等，常使用方法為利用雷達回波強度與降水的關係來估計降水，然而空間上雨滴粒徑分佈的變化性太大，同一回波值所對應的降雨率範圍很廣，因此為提升降雨估計的品質，了解雨滴粒徑分佈特性應有一定的幫助。

2008年SoWMEX/TiMREX大型實驗計畫於台灣南部地區執行，因此以往放置於北部地區之各雨滴譜儀也因計畫而遷移至南部。因此，本篇研究將探討台灣南部地區之雨滴粒徑分佈特性，同時使用不同方法來區分不同降水型態，並與毛(2007)結果比較，探討相同季節下是否會因地域不同、以及區別降水型態方法的不同，而使得雨滴粒徑分佈特性有所差異。

## 二、研究方法

雨滴粒徑分佈通 (DSD) 常以一個 Gamma 分佈來表示，如 (1) 式：

$$N(D) = N_c D^{-\Lambda} \exp(-\Lambda D) \quad (1)$$

其中 $N_c$  ( $\text{mm}^{-3} \cdot \text{m}^{-3}$ ) 為 DSD 之截距參數，可表示雨滴濃度總數， $\mu$  為分佈的形狀參數，可用來描述中小雨滴的分佈情況， $\Lambda$  ( $\text{mm}^{-1}$ ) 是斜率參數，主要描述中大雨滴的分佈情況。其中各參數計算方式依 Kozu and Nakamura (1991) 所提出方法計算：

將雨滴粒徑分佈 $N(D)$ 擬合到Gamma分佈，

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

$$\Gamma(v) = \int_0^{\infty} x^{v-1} D^{-x} dx = \frac{\Gamma(v)}{\lambda^v} \quad (3)$$

將 (1) 式、(3) 式代入 (2) 式，可將 (2) 式改寫成 (4) 式)

$$M_x = N_c \frac{\Gamma(x-m+1)}{\Lambda^{x-m+1}} \quad (4)$$

將 (4) 式之係數分別代入3、4、6則可以為 $M_3$ 、 $M_4$ 、 $M_6$ ，而DSD三參數 $N_c$ 、 $\mu$ 、 $\Lambda$ 表示如 (6) 式)~(8) 式)。

$$G = \frac{M_3^2}{M_2^2 M_4} \quad (5)$$

$$\mu = \frac{1+G-3-[G(G-2)]^{1/2}}{2(1-G)} \quad (6)$$

$$\Lambda = \frac{(4-4\mu)M_3}{M_4} = \frac{(4-4\mu)}{D_m} \quad (7)$$

$$N_c = \frac{\lambda^{m+4} M_3}{\Gamma(\mu+4)} \quad (8)$$

由於 $N_c$ 會受到 $\mu$ 值的影響，故若要比較 $N_c$ 變化，必須是在固定 $\mu$ 的情況下而論。為了能客觀的使用“ $N_c$ ”此參數，Testud et al. (2001) 提出標準化 $N_c$  ( $N_w$ ) 的概念，即找出一個與 $N_c$ 具相同意義，但不會受到形狀參數 $\mu$ 值控制的參數。

首先求出液態水含量 (LWC, (9) 式) 以及平均粒徑 $D_m$  (10) 式)：

$$LWC = \frac{\pi \rho_w}{6} \int_0^{\infty} N(D) D^3 dD \quad (9)$$

$$D_m = M_3 / M_4 \quad (10)$$

其中  $\rho_w$  為液態水密度 ( $\rho_w = 1 \text{ gcm}^{-3}$ )。將 (1 式) 改寫成 (11 式)，其中  $f(\mu)$  為無因次參數 (12 式)，推導後得到標準化後的截距參數  $N_w$  (13 式)，

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

$$f(\mu) = \frac{6(4-\mu)^{4-\mu}}{4^4 \Gamma(\mu+4)} \quad (12)$$

$$N_w = \frac{4^4}{\pi \rho_w} \left(\frac{LWC}{D_m^4}\right) \quad (13)$$

### 三、不同區別降雨型態之方法

本篇使用六種分類降雨型態方法來討論雨滴粒徑分佈，分別如下：

- (a) Tokay and Short (1996) 以  $N_0 - R$  關係式 (14 式) 區分不同降水型態，當降雨率  $R$  及截距參數  $N_0$  高於關係式時為對流降水，低於關係式則為層狀降水。

$$N_0 = 4 \times 10^9 R^{-2.3} \quad (14)$$

- (b) Bringi et al. (2003) 以降雨率標準差區別不同降水型態，以五筆降雨率的標準差若大於 1.5 mm/hr，且降雨率大於 5 mm/hr 時，定義為對流降水，而標準差小於 1.5 mm/hr 且降雨率大於 0.5 mm/hr 時，定義為層狀降水。
- (c) Testud et al. (2001) 使用機載之雨滴譜儀觀測，一分鐘為一個觀測點，若其觀測前後五點 (即十分鐘) 之降雨率皆小於 10 mm/hr 則可定義為層狀降水。
- (d) 以降雨率 10 mm/hr 為門檻值，大於門檻值則為對流降水，小於則為層狀降水。
- (e) 以降雨率 15 mm/hr 為門檻值，大於門檻值則為對流降水，小於則為層狀降水。
- (f) 以降雨率 20 mm/hr 為門檻值，大於門檻值則為對流降水，小於則為層狀降水。

### 四、雨滴粒徑分佈及其參數特性

以廣興 2DVD 區分不同降水型態之雨滴粒徑分佈如 (圖 1 (a) ~ (f))，其中實線為層狀降水，虛線為對流降水。降雨率標準差 (圖 1-b) 與十分鐘內降雨率不大於 10 mm/hr (圖 1-c, Testud et al. (2001)) 以及以降雨率門檻值為 10 mm/hr (圖 1-d) 為門檻值之雨滴粒徑分佈分類結果相似，對流降水之粒徑分佈較層狀降水廣且數量較大，平均而言，對流降水雨滴濃度較層狀降水大了一個數量級，另外，對流降水之雨滴粒徑能夠延伸至較大粒徑佈的部份；以  $N_0 - R$  關

係式區分的結果與以降雨率門檻值為 15 mm/hr 分類結果較相近，兩種降水型態之雨滴濃度差異量縮減為 0.5 個數量級，層狀降水雨滴粒徑分佈範圍會較上述三種方法分類結果來的廣，但  $N_0 - R$  關係式區分對流降水在大雨滴部份會有減少的趨勢，而層狀降水在大雨滴會有增加的趨勢，與其他結果較不相同但是在兩降水型態於粒徑分佈上都能有較廣的分佈。以降雨率門檻值 20 mm/hr 分類為對流降水之結果，其對流降水之粒徑範圍與層狀降水相同，對流降水的大雨滴數量會高於層狀降水，平均小雨滴數量低於層狀降水。仔細來看，分類為對流降水時，在較小粒徑 (小於 0.5 mm) 之雨滴濃度會高於層狀降水，而小粒徑 (0.5 mm~1.0 mm) 之雨滴濃度急劇減少，而小於層狀降水之雨滴濃度，而 JWD1 因為在大雨時會因觀測限制所以無法反應此結果。若以降雨率 20 mm/hr 區別降水型態，層狀降水與對流降水的在雨滴粒徑分佈上主要差異與校驗時相同，於粒徑 2.0 mm 為分界，粒徑小於 2.0 mm 之雨滴濃度，在層狀降水會高於對流降水；粒徑大於 2.0 mm 之雨滴濃度，在對流降水會高於層狀降水。

表 1 至表 6 分別為實驗期間廣興 2DVD 不分類及區分不同降水型態之總降雨量、截距參數  $N_0$ 、標準化截

距參數  $N_w$ 、平均粒徑  $D_m$ 、液態水含量 LWC 及回波因

子 Z 之平均值。不同的分類方法其總降雨量、截距參數  $N_0$ 、標準化截距參數  $N_w$ 、平均粒徑  $D_m$ 、中值粒徑

$D_0$ 、液態水含量 LWC 及回波因子 Z 各數值在於對流降

水情況時會大於層狀降水，而形狀參數  $\mu$  及、斜率參數  $\Lambda$  及方面則是相反的情況，表示：當對流降水時其降水量大、雨滴數量多且雨滴粒徑分佈範圍較大，有較多大粒徑的雨滴出現。但是在  $N_0 - R$  分類方法其形

狀參數  $\mu$  變化情形與其他分類方法不同。以  $N_0 - R$  關

係式分類結果 (表 1) 與毛 (2007) 台灣北部地區層狀、對流降水雨滴粒徑分佈特性比較 (表 7)，台灣北部地區其層狀降水及對流降水的發生比例約 1 : 1 (2586 : 2624，一分鐘一筆資料)，而本研究約為 7 : 3 (5556 : 2027，一分鐘一筆資料)，差異來源可能為毛 (2007) 挑選個案條件為每日降雨大於 50 mm/hr 之大雨個案，本研究為整個實驗區間，因此層狀降水的發生時間較多。其他 DSD 參數部份，與毛 (2007) 研究結果比較，基本上各參數變化趨勢相同，即形狀參數  $\mu$ 、斜率參數  $\Lambda$ 、截距參數  $N_0$ 、標準化截距參數

$N_w$  及平均粒徑  $D_m$  皆是在對流降水時會大於層狀降水。

Bringi et al. (2003) 使用標準化之截距參數  $N_w$  與平均粒徑  $D_m$  分析不同氣候區不同降雨型態特性(圖 2, 黑點), 圖 2-a 為不同氣候區層狀降水之  $D_m$ - $\log(N_w)$  分佈約界於 1.25~1.75 (mm) 及 3~4 ( $m^{-1}mm^{-1}$ ) 之間; 圖 2-b 為不同氣候區對流降水之分佈情況, 對流降水又可分為大陸性對流降水及海洋性對流降水, 大陸性對流降水之  $D_m$ - $\log(N_w)$  分佈約界於 2.0~2.75 (mm) 及 3~4 ( $m^{-1}mm^{-1}$ ) 之間, 而海洋性對流降水之分佈界於 1.5~1.8 (mm) 及 4~4.5 ( $m^{-1}mm^{-1}$ ) 之間, 表示對流性降水會較大陸性降水雨滴個數來的多但粒徑較小, 其中與台灣地區相關之 SCSMEX 實驗之分析結果是落於海洋性對流之分類區域。簡(2006)、毛(2007)皆分析過台灣北部地區雨滴譜資料, 認為台灣北部地區之層狀降雨之  $D_m$ - $\log(N_w)$  分佈與 Bringi et al. (2003) 各氣候區分析結果一致, 在對流降雨方面則是屬於海洋性對流降水, 但略為偏向大陸性對流降水一些。圖 2 之彩色點為 SoWMEX 實驗期間  $D_m$ - $\log(N_w)$  散佈圖, 圖 2-a 綠色點為層狀降水, 圖 2-b 紅色點為對流降水。與 Bringi et al. (2003) 之比較結果, 在層狀降水方面, 綠色 + 號為 SoWMEX 實驗統計平均值(對照表 1 至表 6), 在不同分類方法之結果差異不大, 但若使用  $N_2 - R$  分類方法會較其他方法之統計平均值略大一些, 而本次實驗層狀降水分佈與過去實驗 SCSMEX、TOGA-COARE 類似, 但略大於 TOGA-COARE、略小於 SCSMEX 之統計值, 並也落在層狀降水統計曲線上; 圖 2-b 為對流降水之情況, 紅色 + 號為各分類方法之  $D_m$  及  $\log(N_w)$  平均值, 由左而右分別為  $N_2 - R$  分類方法、十分鐘降雨率、降雨率標準差、降雨率門檻 10 mm/hr、15 mm/hr 以及 20 mm/hr。比較六種分類方法之統計結果並不會因為分類方法差異而有太大差異, 六種方法結果顯示南部地區對流降水是屬於海洋性對流降水, 相較於毛(2007)台灣北部地區的統計結果略為大了一些(見表 7), 但基本上都是屬於海洋性對流降水。

## 五、 結論

將 SoWMEX 實驗期間, 廣興二維雨滴譜儀(2DVD) 雨滴譜儀使用六種區別不同降水型態之分類方法, 進行雨滴粒徑分佈分析。普遍來說六種分類結果的 Gamma DSD 參數變化呈一致性, 斜率參數  $\Lambda$ 、標準化截距參數  $N_w$ 、平均粒徑  $D_m$ 、中值粒徑  $D_2$ 、液態水含量 LWC、回波強度 dBZ 及總降雨量 RA 皆是在對流降水降水時會大於層狀降水, 在發生次數上及形狀參數  $\mu$  則是層狀降水大於對流降水, 但若使用  $N_2 - R$  關係

式, 在形狀參數  $\mu$  的部份則會與其他分類方法相反, 即在對流降水時其  $\mu$  值會大於層狀降水之  $\mu$  值。因此, 使用不同方法在參數統計上仍有一些差異。

南部地區平均粒徑( $D_m$ )與標準化截距參數( $N_w$ )散佈圖,  $D_m$ 與 $N_w$ 呈反比之狀況, 與 Bringi et al. (2003) 統計結果相比, 南部地區兩分析結果層狀降水之  $D_m - N_w$  分佈與各氣候區相似, 也與台灣地區相關之過去實驗 SCSMEX 與 TOGA-COARE 吻合, 但略大於 TOGA-COARE, 略小於 SCSMEX 之統計值; 對流降水之情況, 廣興站之  $D_m - N_w$  分佈落於海洋性對流之分類。與台灣北部地區相比則是, 南部地區之  $D_m - N_w$  會略大於北部地區一些, 但基本上皆是分類為對流性降水。

六、 未來展望

本研究僅針對實驗期間的統計分析與二個案較細緻地探討雨滴粒徑分佈特性, 未來應進行不同天氣系統的 DSD 參數討論。與台灣北部 DSD 參數比較僅是以數字來探討, 未來會將資料重新處理, 讓所有資料基準點相同再進行比較。

## 參考文獻

- 毛又玉, 2007: 台灣北部地區層狀與對流降水雨滴粒徑分佈特性, 國立中央大學碩士論文, 101 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. Sci.*, **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., and D. A. Short, 1996: Evidence from tropical raindrop spectra of the origin of rain from stratiform versus convective clouds. *J. Appl. Meteor.*, **35**, 355-371.
- Ulbrich, C. W, 1983: Natural variations in the analytical form of the raindrop size distribution. *J. Climate Appl. Meteor.*, **22**, 1764-1775.

圖表說明:

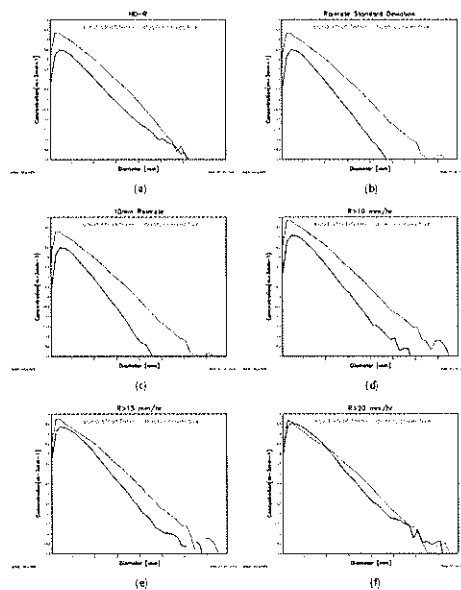
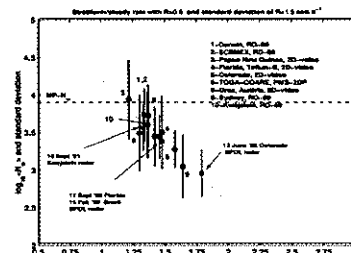
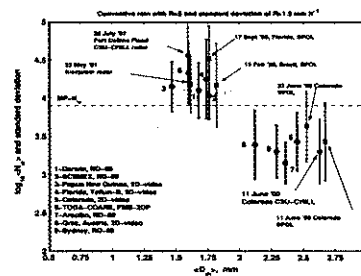


圖 1、廣興站 2DVD 依不同方法區分層狀降水與對流降水之雨滴粒徑分佈。實線為層狀降水，虛線為對流降水。(a) 降雨率小於 1mm/hr；(b) 降雨率界於 1mm/hr、5mm/hr 之間；(c) 降雨率界於 5mm/hr、10mm/hr 之間；(d) 降雨率界於 10mm/hr、15mm/hr 之間；(e) 降雨率界於 15mm/hr、20mm/hr 之間；(f) 降雨率大於 20mm/hr。



(a)



(b)

圖 2、 $D_m - \text{Log}_{10}(N_w)$  散佈圖，(a) 層狀降水；(b) 對流降水。橫軸為平均粒徑  $D_m$ ，縱軸為取對數之標準化截距參數  $\text{Log}_{10}(N_w)$ 。綠色+號為各區別降水型態方法之平均值。

(接下頁)

$N_0 - R$	RA	$\mu$	$\Lambda$	$N_c$	$N_w$	$D_m$	LWC	dBZ	N
	(mm)								
層狀降水(S)	269.63	6.56	8.31	9.01	3456	1.39	0.156	27.7	5556
對流降水(C)	708.21	7.12	7.99	9.38	13270	1.56	1.055	38.0	2027

表 1 實驗期間不同降水型態下之各參數平均值依 Tokay et. al (1996) N0-R 方法。

降雨率標準差	RA	$\mu$	$\Lambda$	$N_c$	$N_w$	$D_m$	LWC	dBZ	N
層狀降水(S)	207.47	8.77	11.64	略	4745	1.27	0.127	25.38	5619
對流降水(C)	749.30	5.18	5.70	略	11474	1.73	1.124	40.52	1981

表 2 不同降水型態下之各參數平均值依 Bringi et. al (2003) 降雨率標準差方法。

十點降雨率不 大於 10mm/hr	RA (mm)	$\mu$	$\Lambda$	$N_c$	$N_w$	$D_m$	LWC	dBZ	N
層狀降水(S)	190.11	8.92	11.78	略	4882	1.26	0.120	25.3	5523
對流降水(C)	794.14	5.63	6.40	略	10553	1.66	0.922	38.4	2580

表 3 不同降水型態下之各參數平均值依 Testud et. al (2001) 降雨率標準差方法。

以降雨率 10 mm/hr 為門檻	RA (mm)	$\mu$	$\Lambda$	$N_c$	$N_w$	$D_m$	LWC	dBZ	N
層狀降水(S)	291.17	8.73	11.35	略	5528	1.29	0.147	26.28	6903
對流降水(C)	695.66	4.57	4.99	略	11740	1.80	1.377	42.44	1480

表 4 不同降水型態下之各參數平均值依降雨率 10mm/hr 為門檻值方法，大於 10mm/hr 則為對流降水。

以降雨率 15 mm/hr 為門檻	RA (mm)	$\mu$	$\Lambda$	$N_c$	$N_w$	$D_m$	LWC	dBZ	N
層狀降水(S)	381.04	8.54	11.04	略	5810	1.31	0.177	27.01	7344
對流降水(C)	605.79	4.08	4.47	略	12383	1.88	1.685	44.13	1039

表 5 不同降水型態下之各參數平均值依降雨率 15mm/hr 為門檻值方法，大於 10mm/hr 則為對流降水。

以降雨率 20 mm/hr 為門檻	RA (mm)	$\mu$	$\Lambda$	$N_c$	$N_w$	$D_m$	LWC	dBZ	N
層狀降水(S)	456.65	8.45	10.86	略	5957	1.33	0.201	27.48	7609
對流降水(C)	529.17	3.49	4.00	略	13180	1.93	1.961	45.33	774

表 6 不同降水型態下之各參數平均值依降雨率 20mm/hr 為門檻值方法，大於 10mm/hr 則為對流降水。

NCU_2DVD	$N_0$	$N_w$	$D_m$	$\mu$	$\Lambda$
Stratiform (2586)					
Modal value	4.65	3.605	1.275	5.05	6.15
Average value	8.59	3.615	1.356	6.02	7.898
Convective (2624)					
Modal value	5.55	3.995	1.335	5.05	6.45
Average value	9.025	4.079	1.483	7.383	8.333

表 7 毛 (2007) 表 3.1，中央站 2DVD 層狀、對流降水的資料筆數及各參數平均值、眾數。 $N_0$  單位為：

$m^{-3}mm^{-1}h^{-1}$ ； $N_w$  單位為： $m^{-3}mm^{-1}$ ； $D_m$ 、 $D_0$  單位為： $mm$ ；LWC 單位為： $gm^{-3}$ ； $\Lambda$  單位為  $mm^{-1}$ 。