

## 熱帯各地における雨滴粒径分布特性の比較

古津年章<sup>1</sup>, 下舞豊志<sup>1</sup>, K. K. Reddy<sup>2</sup>, 森修一<sup>2</sup>, A. R. Jain<sup>3</sup>, J. T. Ong<sup>4</sup>, C. L. Wilson<sup>5</sup>

1 島根大学, 2 地球観測フロンティア研究システム, 3 National MST Radar Facility, India, 4 Nanyang Technological University, Singapore, 5 Rutherford Appleton Laboratory, U.K.

### 1. 研究目的と概要

雨滴粒径分布(DSD)は、雲微物理過程と熱力学的過程の両方が複合した帰結として地上(降水中)に現れる。そのため DSD は単に降雨強度だけで決まるものではなく、降水システムの成り立ち、その他様々な要因に左右され、DSD 特性を“ユニバーサル”にモデル化することは極めて難しい問題である。DSD はレーダーにより降水強度( $R$ )を推定する場合にも重要な情報であり、 $Z-R$  関係に直接反映されるため、レーダー気象学の当初からの継続・未解決課題でもある。反面 DSD は、降水特性の様々な情報を含有しているので、何らかの形で降水特性と DSD 特性の関連性が明らかにされれば、レーダーリモートセンシングへの寄与のみならず、雲微物理過程や降水システムの特性の重要な情報ともなり得る。そのため、コトタバンにおいても地球観測フロンティア研究システムによって、2001 年から雨滴計(ディストロメータ)が設置・運用されており、2003 年 3 月には EAR サイトにビデオディストロメータが設置される予定である。ここでは、TRMM 観測の地上検証用として収集されたディストロメータも含め、熱帯を中心とした世界各地の DSD 特性を比較することにより、DSD の地域依存性、季節変化などについて再度整理する。更にビデオディストロメータ観測を始めるための予備研究としての立場で、海洋大陸域と世界各地および海洋大陸内(コトタバンとシンガポール)の DSD 特性の比較を行う。

### 2. 使用したディストロメータデータ

本研究で使用したディストロメータ(全て Joss 型ディストロメータ)の位置を、TRMM の 5 年間の観測結果から得られた日平均降水量気候値(NASA, 2002)と合わせて図 1 に示す。またそれらの観測期間、今回のデータ処理パラメータを表 1 に示す。場所によって、データ収集期間に大きな差があるが、いずれも統計的に使用可能として比較に用いている。

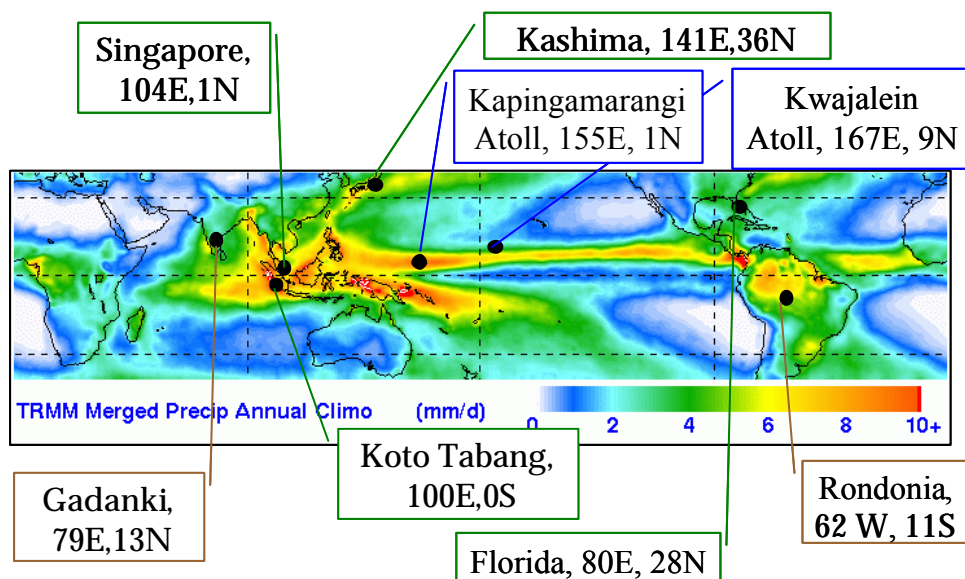


図 1. 比較に用いたディストロメータデータの設置位置と TRMM 降水量気候値。

表 1. 比較に用いたディストロメータデータの観測期間および今回の処理パラメータ .

Location	Period	Location	Period	Proc. parameter	Description
Gadanki	'97/09 - '99/12	Kapingamarangi	'92/07 - '93/02	Integration time	3 minutes
Singapore	'94/10 - '98/12 *1	Kwajalein	'98/07-08	Min. numb. counts	200
Koto Tabang	'01/08 - '02/04	Florida	'98/07-09	Range of rain rate	+/- 1 dB
Kashima	'79/05 - '81/07	Rondonia	'99/01-02		

\*1 '94/10-12, '97/1-4, '97/10- '98/12

### 3. 南インドおよびシンガポールにおける DSD 季節変化

南インドGadanki に設置されたディストロメータ観測から、南西(SW)モンスーン期 (概ね 5~10 月) および北東 (NE) モンスーン期 (概ね 11~4 月, ただしGadanki では 1~4 月にほとんど降水はない) に、極めて顕著な DSD 特性の違いがあることが見出された。その結果の例を、 $Z_e$ - $R$  関係および  $Z$ - $R$  関係の係数  $a, b$  の季節変化として図 2 および図 3 に示す (Reddy *et al.*, 2000; Kozu *et al.*, 2001; Kozu *et al.*, 2002)。図 3 には、月平均地上気温変化も併せて示してあるが、 $Z$ - $R$  関係 ( $Z = 10^a R^b$ ) の係数  $a$  の季節変化とよい相関があることがわかる。SW モンスーン時期には NE モンスーン時期に比べて対流活動が活発であり、また層状性に対する対流性降雨の割合も多いことがわかっている (Reddy *et al.* 2000)。この結果は活発な対流活動が大粒径の雨滴を生じる原因となっていることを示唆している。またこの季節では層状性降雨も NE モンスーン時期に比べて全般に雨滴が大きい。

一方シンガポールでは、南インドと同様、SW および NE モンスーン時期に分かれるが、一年を通して高温、多雨である。シンガポールにおける  $Z$ - $R$  関係の季節変化 (図 4) も、その解釈と矛盾せず、シンガポールにおいて雨滴粒径分布の季節変化が少ないことを示している。

他の熱帯域や中緯度における DSD の季節変化とも比較に興味を持たれるが、例えば鹿

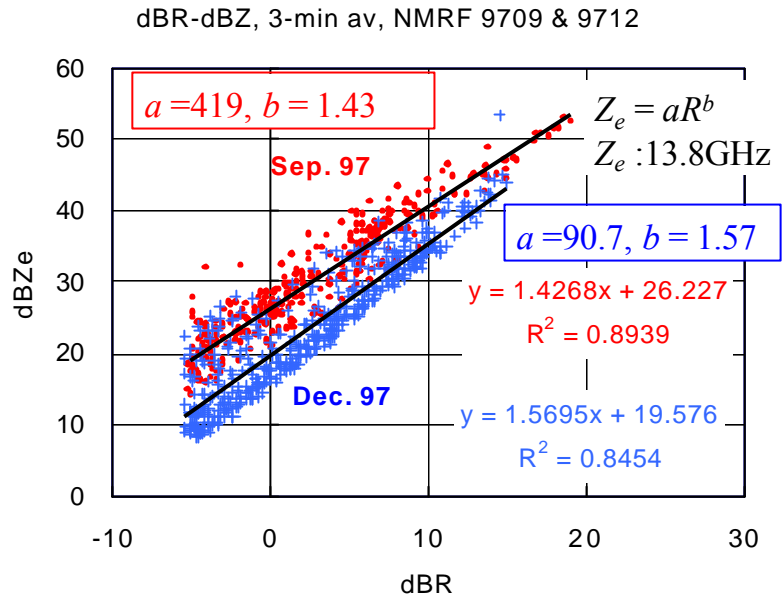


図 2. Gadanki における  $Z_e$ - $R$  関係の季節変化 .

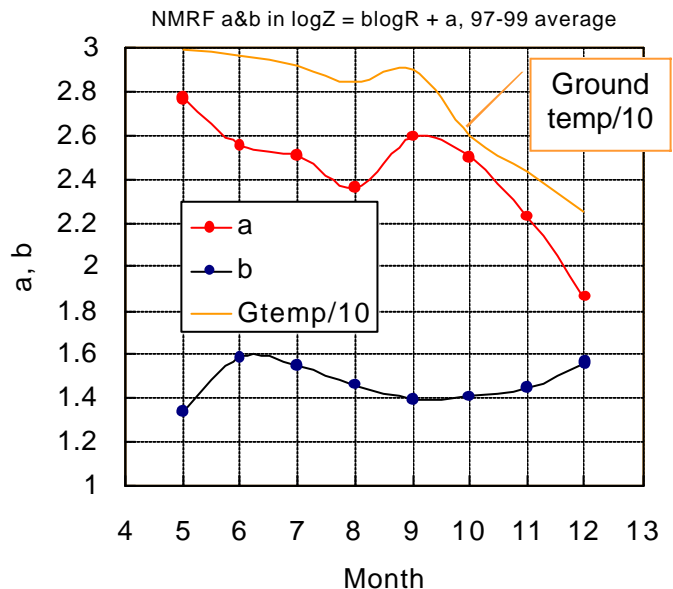


図 3. Gadanki における  $Z$ - $R$  関係係数の季節変化と地上気温 .

嶋ディストロメータデータの解析では,冬季に若干大粒径の雨滴が多くなる結果が示されており(Kozu, 1991),その原因を検討する必要がある。(概略特性については後述.)

4.各地の DSD の比較

世界各地の DSD 比較の第 1 段階として,ここでは 1mm/h (ほとんど層状性降雨),10mm/h (層状性,対流性混在),30mm/h (ほとんど対流性降雨)について,図 5(a)~(c)に示す. Joss 型ディストロメータは,1mm 以下の粒径での精度劣化が指摘されているので,ここでは 1mm 以上の粒径について検討する.

1mm/h では,各地の DSD に大きな差はみられず,Marshall-Palmer (MP)分布とも比較的良好一致している.しかし前述のように Gadanki では既に SW モンスーンと NE モンスーン時期で差が現れている.10mm/h ~ 30 mm/h と降雨強度が増加するに伴い,地域性が明確になる.すなわち,一般に海洋性 (Kapingamarangi, Kwajalein)および Gadanki NE モンスーンでは大粒径の雨滴が少ないこと,および中緯度 (鹿嶋)では,10mm/h では比較的海洋性に近いが,30mm/h では「大陸性」に近いことである.鹿嶋の DSD は上述の季節変化をみるため,4~10月,11~3月に分けているが,10~30mm/h ではやや冬季に大粒径の雨滴が多いことがわかる.

上記の「大陸性」の定義は大まかなものであり,海岸に近くてもその地域の気候や季節によっては,大陸内部に似た特性の降雨にもなり得る.また当然逆の場合も考えられ,ここで示した DSD 統計の成因を明らかにするには,更に詳細に季節毎,あるいは各降雨イベントについての解析が必要である.また,Kwajalein, Florida, Rondonia などはフィールド実験時(数ヶ月)のデータであり,更に長期のデータを用いた統計での比較が望ましい.

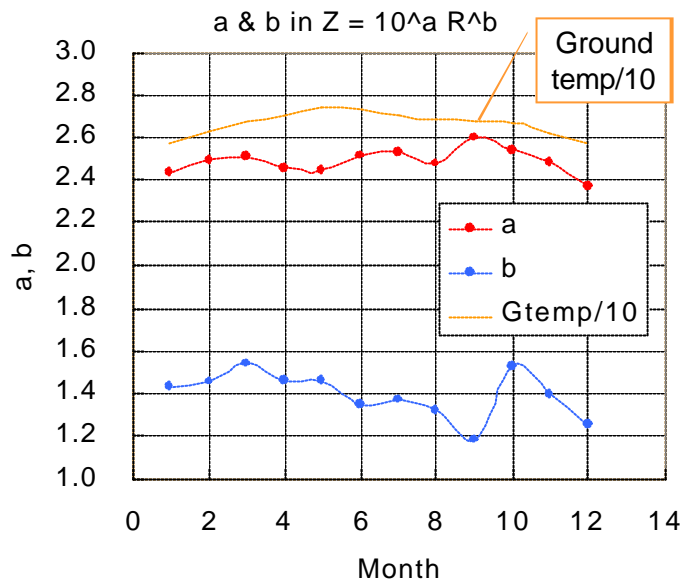
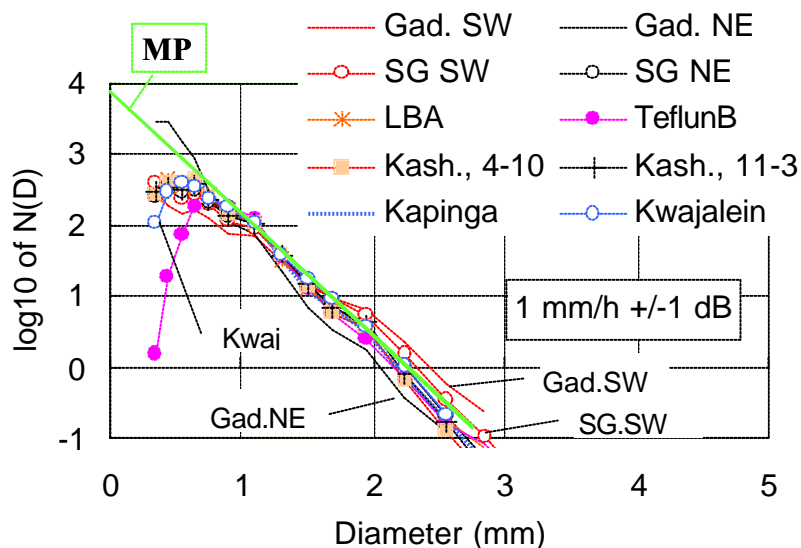


図 4 . シンガポールにおける Z-R 関係係数の季節変化 .

図 5 (a)



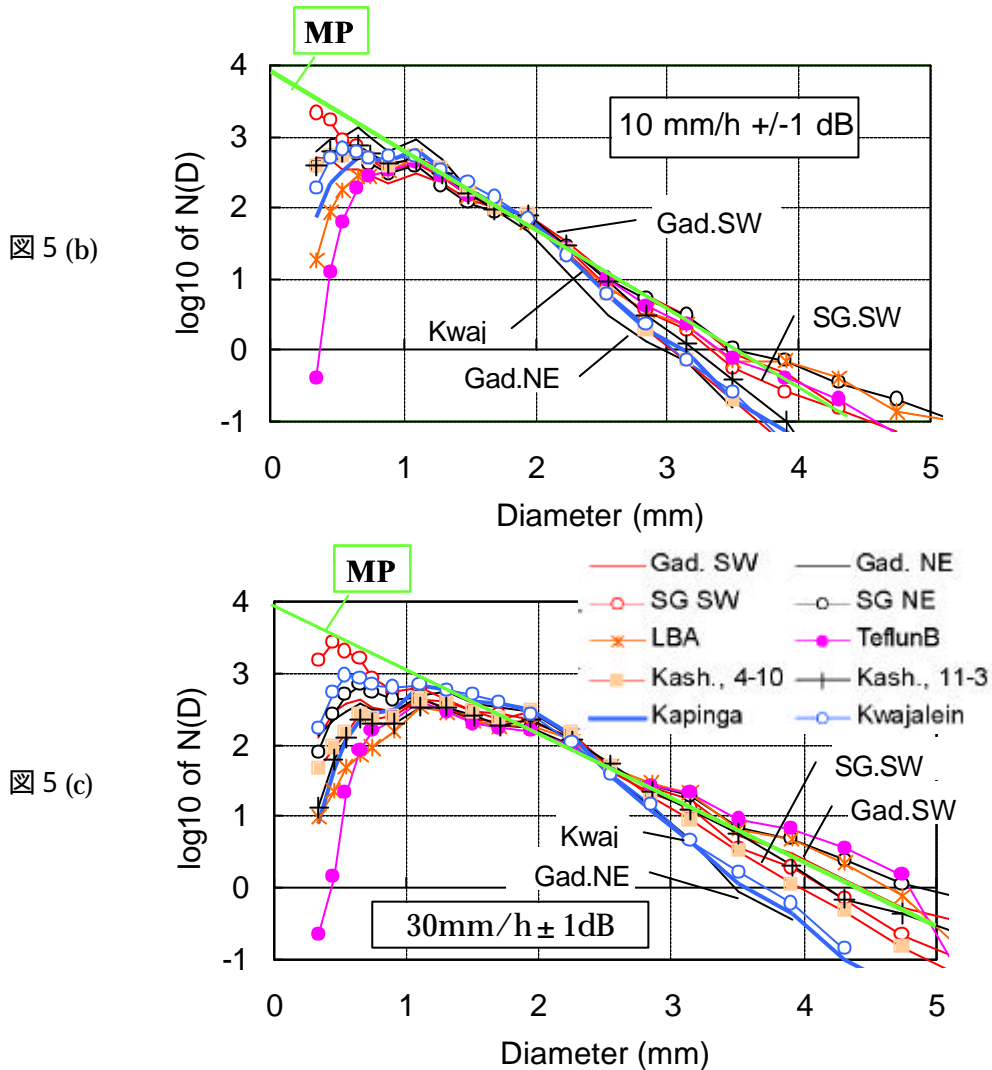


図5 . 世界各地における 1mm/h(a) , 10mm/h(b) , 30mm/h(c) の平均粒径分布 .  
LBA : Rondonia, TeflunB : Florida, Kash : 鹿嶋 , SG : Singapore .

## 5 . シンガポールとコトタバンの雨滴粒径分布比較

海洋大陸内においてDSDに地域性がどの程度みられるかを調べるため、観測期間は異なるが、シンガポールとコトタバンのDSDを 1 mm/hから100mm/hまでの 6 段階の降雨強度で比較を行った .その結果を図6に示す .

1mm以下の小雨滴を除けば、全般に両者の一致度は高いと云える .ただし、(i) 3 ~ 30mm/hの中程度の降雨強度において、大粒径部で、若干の差が見られる、(ii) 1 ~ 2 mmの雨滴直径では、コトタバンのDSDはシンガポールに比べてやや小さくなる傾向がある .

このような差異が、両地域の降雨微物理過程あるいは降雨システムのものであるのか、統計的な誤差によるものかはまだ明確ではない .今後、DSDの季節変化、日周変化などの詳細解析が必要と思われる .

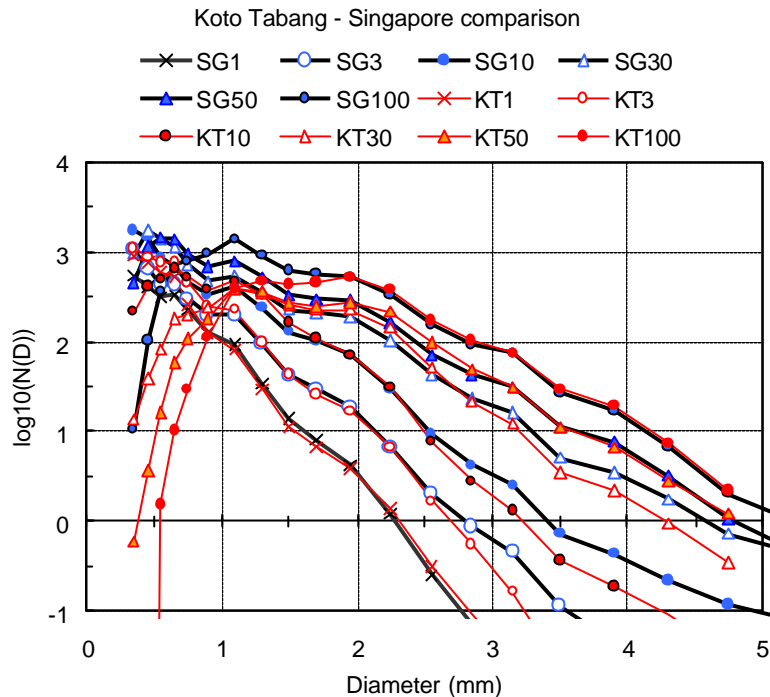


図 6 . シンガポールとコトタバンにおける雨滴粒径分布の比較  
( 1. 3. 10. 30. 50. 100mm/h ± 1dB 内の雨滴粒径分布を平均 )

## 6 . まとめ

インドとシンガポール, およびコトタバンを中心に, 世界各地の雨滴粒径分布比較を行った . その結果, モンスーンに伴い, 雨滴粒径分布が顕著な季節変化を生じる地域とそうでない地域が存在すること, 海洋性と大陸性雨滴粒径分布に系統的な差異が認められること, 海洋大陸内でもある程度の系統的な差異が認められること, などの地域性が明らかになった . 本調査は, 熱帯域の降雨特性をそれらの微物理過程の特徴を含めて解析する基礎情報となるものと考える .

## 謝辞

本研究の一部は, TRMM降雨レーダアルゴリズム改良に関わる研究として, 宇宙開発事業団からの支援を受けて行った . またKapingamarangi データはNASA/GSFCのDr. Ali Tokayから, Florida, Kwajalein, RondoniaのディストロメータデータはNASA/GSFCのTRMM Officeから提供された .

## 文献

- Kozu, 1991: Estimation of raindrop size distribution from spaceborne radar measurement, Dr.E Dissertation, Kyoto University.
- Kozu, T., K.K. Reddy, A.R. Jain, T. Shimomai and K. Ichikawa, 2001: Seasonal variation of raindrop size distribution in south India obtained from disdrometer measurements supported by wind-profiler measurements. 30th Int'l Conf. on Radar Meteorol., 7A.6, Munich, Germany, July.
- Kozu, T., J.T. Ong, C.L. Wilson, K.K. Reddy, A.R. Jain, G. Viswanathan, T. Iguchi, T. Katsumata: Precipitation Measurements in Singapore and South India For TRMM Ground Validation and TRMM PR Algorithm Improvements, TRMM International Science Conference, 22-29 July 2002 Honolulu, Hawaii.
- Reddy, K.K., T. Kozu, Y. Ohno, A.R. Jain, 2000: Winds and precipitation measurements at Gadanki, India, for TRMM validation and algorithm tuning. 2nd International Workshop on Radar and Lidar Remote Sensing Technology in Asia, Comm. Res. Lab., Tokyo, Japan, Oct. 13.