

# EAR と MRR を用いた風と BB の関係の検討

永田哲規・下舞豊志(島根大学大学院)・橋口浩之(京大 RISH)

## はじめに

レーダで降雨観測をする際、融解層周辺ではしばしばブライトバンド現象が観測される。このブライトバンド現象はレーダによる降水の定量観測に誤差を生じさせる。ブライトバンドは層状性降雨で発生するとされているが対流の混ざった雨でも弱いブライトバンドが発生することが分かっている。ブライトバンドの強さは粒子の密度や直径、融解の過程、凝集やライミング等の関係により複雑に変化し、ブライトバンドの強さ $\Delta Z$ を考慮することで対流がない場合に降雨強度推定の改善ができることも分かっている<sup>[1]</sup>。また、上空の鉛直乱流を仮定することで弱い降水において粒子融解モデルでよい一致が得られることが過去の研究<sup>[2]</sup>で示された。これらの事から上空の風を考慮することはブライトバンド研究において重要であると考えられる。

## 使用機器・データ

### Micro Rain Radar(以下 MRR)

MRR は周波数 24.1GHz で FMCW 方式の小型ドップラーレーダであり、鉛直ドップラー速度に対応する等価レーダ反射因子のスペクトルが測定できる。この鉛直プロファイルから Bright Band(以下 BB)を観測する。データの時間分解能は 1 分、高度分解能は 150m で 150~4500m(AGL)の高度のデータを用いた。今回研究に用いたデータは 2012 年 2 月 2 日 0 時~6 時にインドネシアのコトタバンで観測されたデータを使用した。

### 赤道大気レーダ(以下 EAR)

EAR は周波数 47MHz で中層、超高層、下層大気を観測できる大型レーダであり、高度 2~20km(ASL)対流圏の風を観測することができる。この風の観測データと BB のパラメータの関係を調べる。鉛直風を探すために EAR 観測データベースの公開データ(時間:10 分毎、高度:150m 毎)を使用し、さらに詳しく調べるために生データを使用した。今回用いたデータは MRR が BB を観測した時間と同時刻のデータとした。

### Parsivel

Parsivel は地上に落下してくる雨滴粒子の DSD と降水強度を観測する装置であり、インドネシアのコトタバンの降水強度の実観測をするために用いている。データの時間分解能は 1 分で、降水観測分解能は 0.001mm/h のデータを使用している。今回用いたデータは MRR が BB を観測した時間と同時刻のデータとした。

## ブライトバンド(BB)

過去の研究では、ブライトバンドを特徴付けるパラメータとしてブライトバンドの強さ  $\Delta Z_e$ <sup>[1]</sup> が用いられてきた。落下粒子が大きい時  $\Delta Z_e$  は大きくなり、小さい時  $\Delta Z_e$  は小さくなる傾向が過去の研究<sup>[1]</sup> で確認されている。また、 $\Delta Z_e$  は雪粒子の密度に反比例することも過去の研究<sup>[3]</sup> で分かった。

図1にブライトバンドを特徴付けるパラメータについて示す。

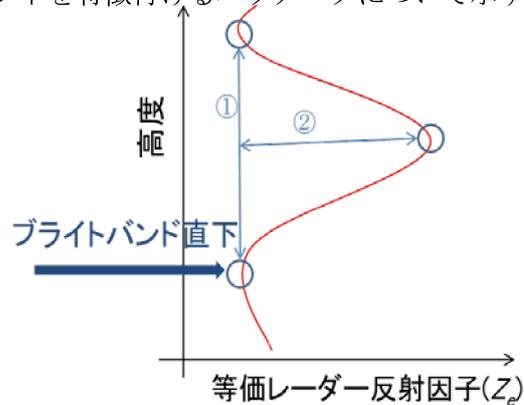


図1 BBを特徴付けるパラメータ

雪粒子が落下し融解する過程で粒子からのエコーは大きく変化し融解中に等価レーダ反射因子  $Z_e$  は最大となる。この最大値をBBピーク、雪が完全に融解したと考えられるBBの下側の境界をBB直下、それらの差を  $\Delta Z_e$  とする。今回はBBの境界の定義として過去の研究<sup>[4]</sup> を参考に  $Z_e$  の鉛直プロファイルの曲率が最大の位置をBBの境界とした。

図1の①がBBの上側の境界から下側の境界までの距離(BB幅)②がBBの強さ( $\Delta Z_e$ )を示す。

MRRによりBBが観測された2012年2月2日0時~6時の  $Z_e$  の高度プロファイルを示す。

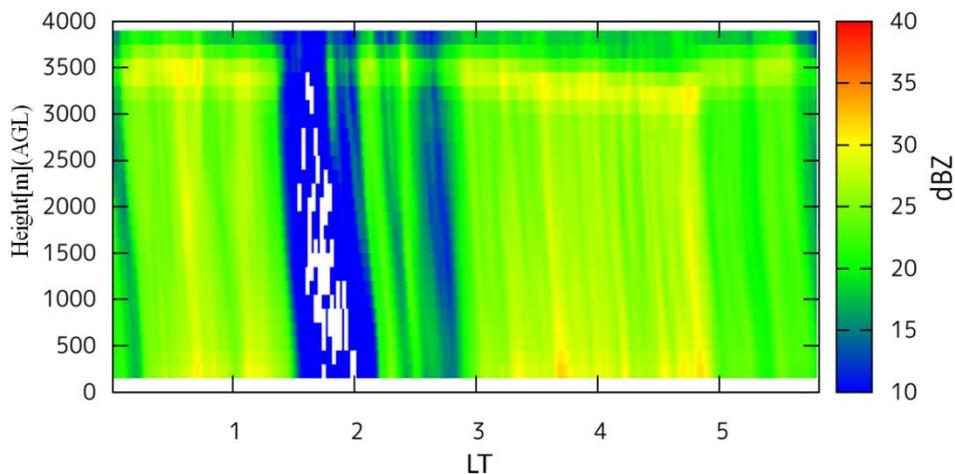


図2 MRRにより2012年2月2日0時~6時に観測されたBB

1時半~2時の時間ではBBは確認できないが、それ以外の時間では長時間に渡って3500m高度付近でBBが確認できる。

MRR によって観測された BB 直下と BB ピークの  $Z_e$  の時間変化を図 3 に示す。また、同時に Parsivel によって観測された降水強度の時間変化を図 4 に示す。

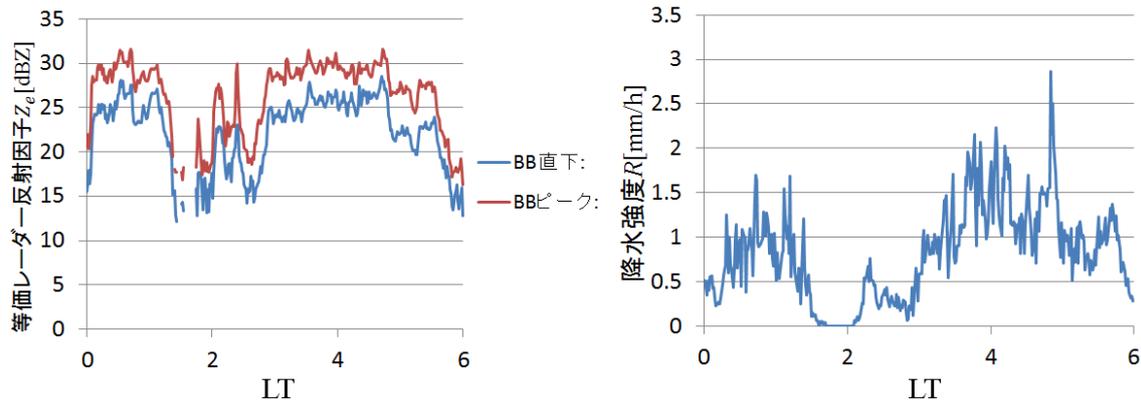


図3 BB 直下とピークの  $Z_e$  の時間変化(MRR) 図4 地上における降水強度の時間変化(Parsivel)

図 2 で BB が確認できない 1 時半～2 時頃では地上での降水も 0mm/h であることが分かる。落下時間を考慮し、10 分の時間差で Parsivel によって観測された降水強度と 2 点での  $Z_e$  の相関を調べると、BB 直下の  $Z_e$  と Parsivel で観測された降水強度の間には 0.78 の相関があり、BB ピークとの間には 0.75 の相関があった。 $Z_e$  は鉛直風に影響されないため、完全に雨滴となっている BB 直下では特に良い相関が得られた。

MRR によって観測された地上付近と BB 直下の降水強度の時間変化を図 5 に示す。

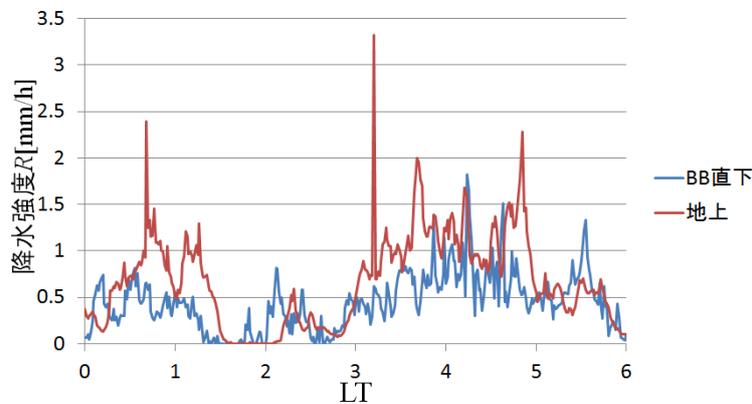


図 5 BB 直下と地上付近での降水強度の時間変化(MRR)

Parsivel で観測された降水強度と MRR で観測された降水強度の相関は地上で 0.82、BB 直下で 0.70 となり、 $Z_e$  の場合よりも相関は低くなった。

MRR による降水強度推定は鉛直風の影響を受けるため、この差の要因の一つに鉛直風が関わっていると考えられる。

鉛直風の影響を調べるために、2012年2月2日0時~6時にEARで観測された鉛直風の高度プロファイルを図6に示す。

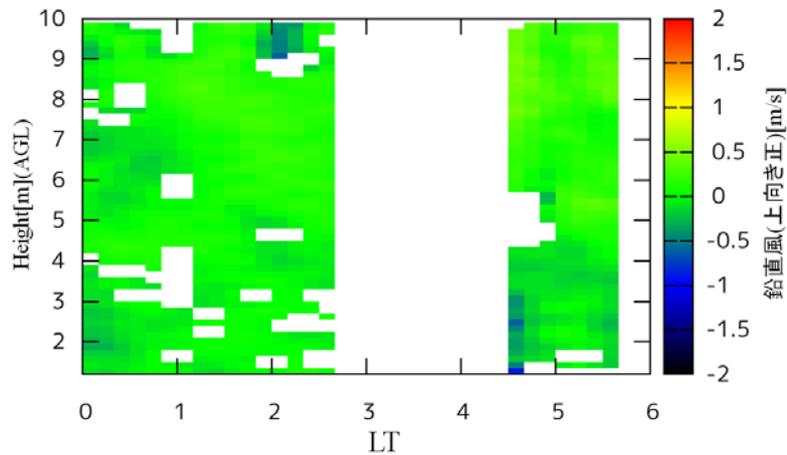


図6 EARによって2012年2月2日に観測された鉛直風の高度プロファイル(10分平均)

$Z_e$ と降水強度の関係を乱す要因の一つとして考えられる鉛直風を調べると、欠損値は多いが4時半頃にBB高度から下向きの風が観測されていることが分かる。

この鉛直風がフィッティングのミスによるものであるかを確認するために4時31分にBB直下の高度3080n(AGL)でEARによって観測されたドップラースペクトルを図7に示す。

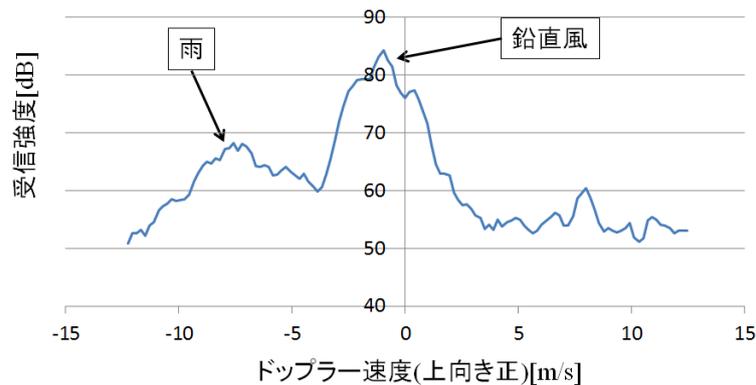


図7 2012年2月2日4時31分に高度(AGL)3080mで観測されたドップラースペクトル(EAR)

4時31分の鉛直風を調べてみると、実際に鉛直風が観測されていることが分かる。また、この前後の時間も同様に調べたところ、この鉛直風は高度(ASL)3600m~4100m付近で確認でき、4時20分~40分の20分間発生していることが分かった。

これより上の高度では雪が融解して速度変化していく過程が確認できた。よって、この高度では雪はすでに融解し終わっており、鉛直風には雪のスペクトルは混ざっていないと考えられる。

2012年2月2日4時10分~35分にMRRによりBB直下で観測された雨滴のドップラースペクトルを図8に示す。

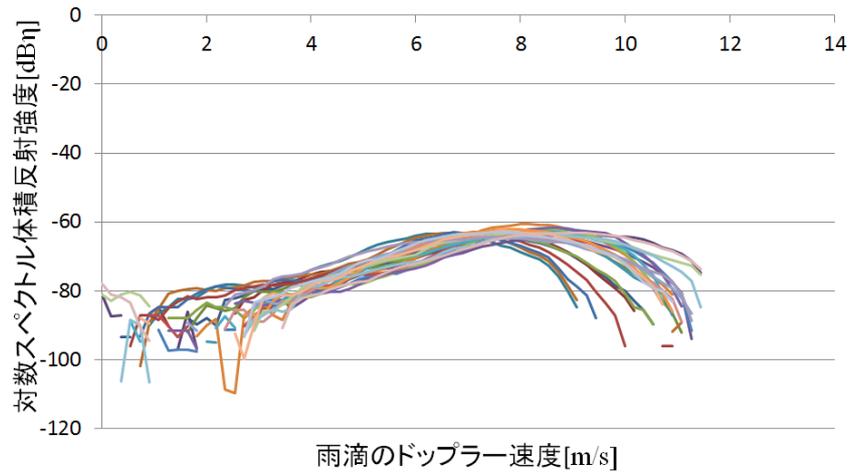


図8 4時10分~35分にBB直下で観測された雨滴のドップラースペクトル(MRR)

鉛直風が観測されなかった時間を除いて、鉛直風が観測された時間では全てのデータで10m/sを超えるドップラーエコーが観測された。10m/sを超える雨滴は計算上直径5mmを超える。しかし、0~3mm/h以下の降水イベントで直径5mmを超える雨滴が長時間観測されるとは考えづらいため、これは鉛直風の影響であると考えられる。

2012年2月2日0時~6時にMRRによって観測されたBBの強さ $\Delta Z_e$ の時間変化とヒストグラムを図9に示す。

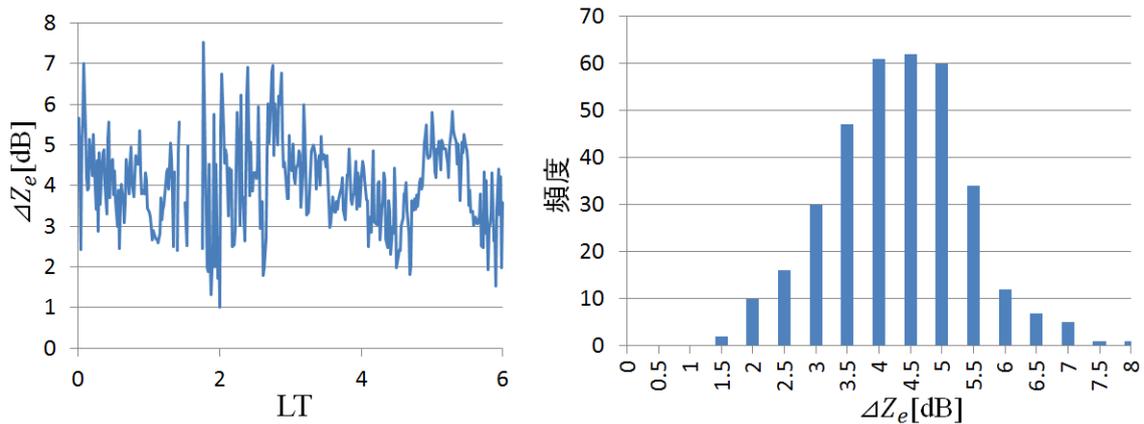


図9 MRRにより観測されたBBの強さ $\Delta Z_e$ の時間変化とヒストグラム

ドップラー速度が大きい理由として凝集や大きい雪片の融解が理由として考えられる。しかし、どちらの場合でも $\Delta Z_e$ が大きくなるのが過去の研究<sup>[5]</sup>から分かっており、4時20分~40分の間は $\Delta Z_e$ は平均よりも低くなっているため大きな雪片や雨滴の影響ではないと考えられる。これらの結果から、実際にBB高度から下向きの風が発生している可能性が高いと考えられる。

#### 結論・まとめ

MRRで観測されたBB直下のパラメータと Parsivelで観測された降水強度の相関を調べた結果、どちらの場合でもいい相関が得られたがRとの相関は $Z_e$ との相関より低くなった。 $Z_e$ は鉛直風の影響を受けないがRは影響を受ける。そのため、鉛直風の影響を調べるためにEARで観測された鉛直風を調べると4時半頃に下向きの風が観測されていることが分かった。EARで観測されたBB高度のドップラーспекトルでは下向きの風が明瞭に確認でき、MRRで観測されたBB直下の雨滴のドップラーспекトルでは10m/sを超えるドップラーспекトルが長時間観測されていた。

それらの結果から、実際にBB高度から下向きの風が発生している可能性が高いと考えられる。

#### 課題・今後

鉛直風がBB高度から発生して数百m下方まで降水観測に影響を与える可能性が示唆されたため、この鉛直風を考慮して降水強度の推定を行う必要がある。

鉛直風の発生条件を調べたい。しかし、鉛直風の発生は稀であり2010年~2012年のデータで明瞭に鉛直風が発生しているのは今回用いたデータのみだった。

鉛直風の発生条件を調べるためにもデータを収集する必要がある。

#### 参考文献

- [1] A. Huggel, W. Schmid, and A. Waldvogel, 1996: Raindrop Size Distributions and the Radar Bright Band. *J. Appl. Meteor.*, 35, 1688–1701.
- [2] Tomoki KOSHIDA, Shin MIYAZAKI, Daisuke KOMORI, Masahiro KOIKE, Shinjiro KANAE, and Taikan OKI, 2009: Estimation of the vertical profile of precipitation particles under melting condition by combining the observation of 1-D Doppler radar and melting calculation model. *水工学論文集* 53.367-372.
- [3] Wim Klaassen, 1988: Radar Observations and Simulation of the Melting Layer of Precipitation. *J. Atmos. Sci.*, 45, 3741–3753.
- [4] Frederic Fabry and Isztar Zawadzki, 1995: Long-Term Radar Observations of the Melting Layer of Precipitation and Their Interpretation. *J. Atmos. Sci.*, 52, 838–851.
- [5] Ronald E. Stewart, John D. Marwitz and John C. Pace, 1984: Characteristics through the melting Layer of Stratiform Clouds. *J. Atmos. Sci.*, 41, 3227–3237.