

MRR 観測から得られた BB(Bright Band)パラメータの特徴について

永田哲規・下舞豊志(島根大)・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 ΔZ_e 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^[1]。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^[2]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 2009 年 6 月~12 月の間に京都大学生存圏研究所信楽 MU 観測所で観測されたデータで、BB が観測された 14 日のデータのうち MRR の観測限界高度 4500m に BB の全体像が入る 8 日分のデータとした。

MU Radar(以下 MUR)

MUR は周波数 46.5MHz で中層、超高層、下層大気を観測できる大型レーダーであり、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。データは MU レーダ観測データベースの公開データ(時間:10 分毎、高度:150m 毎)を使用した。今回用いたデータは MRR が BB を観測した日に MUR が運転されていた 2009 年 11 月 11 日のデータとした。

ブライトバンド(BB)

今回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 ΔZ_e ^[1]を用いた。落下粒子が大きい時 ΔZ_e は大きくなり、小さい時 ΔZ_e は大きくなる傾向が過去の研究^[1]で確認されている。また、 ΔZ_e は雪粒子の密度に反比例することも過去の研究^[3]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。

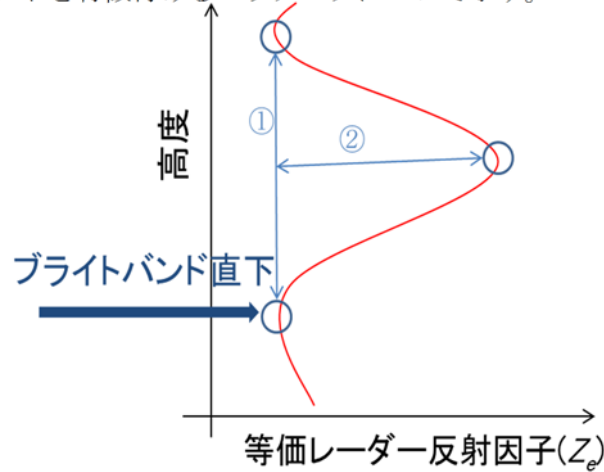


図1 BB を特徴付けるパラメータ

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 ΔZ_e とする。今回は BB の境界の定義として過去の研究⁴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(ΔZ_e)を示す。観測結果

MRR により観測された 2009 年 6 月～12 月の BB 直下の Z_e と BB ピークの Z_e の関係と ΔZ_e の頻度を図2に示す。

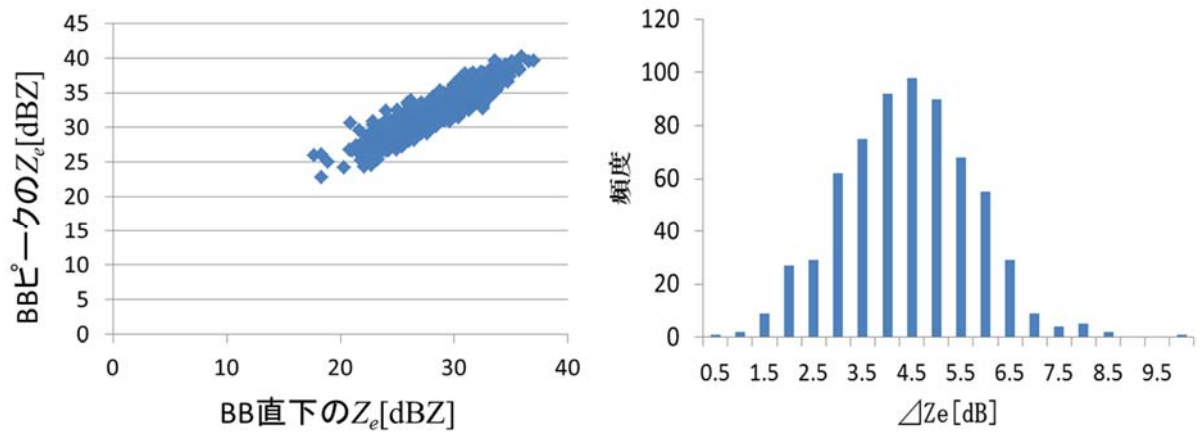


図2 MRR で観測された BB ピークの Z_e と BB 直下の Z_e 関係および ΔZ_e の頻度

MRR で観測された全データを見ると ΔZ_e は 5dB を平均として大きく変化することが分かった。また、BB 直下の Z_e の大小にかかわらず ΔZ_e は平均 ± 4 dB 程度の値となった。

MRR と MUR により BB の同時観測ができた 2009 年 11 月 11 日の観測データを示す。
MRR により観測された BB を図 3 に示す。

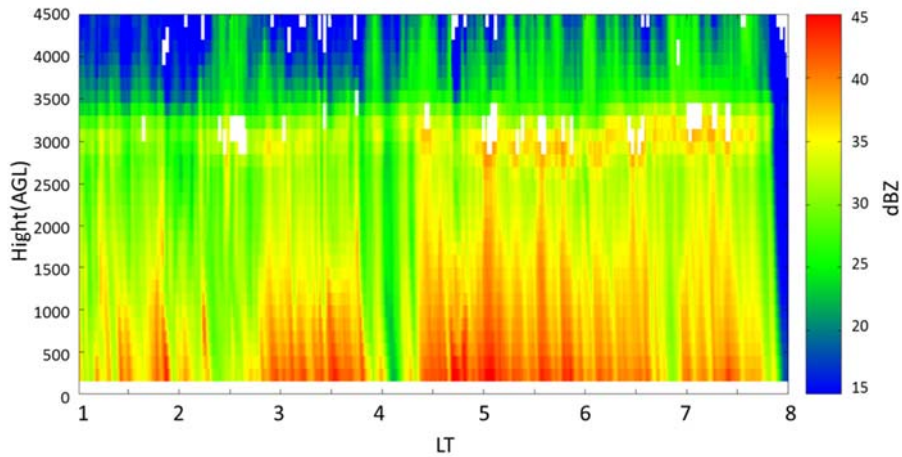


図 3 MRR により 2009 年 11 月 11 日 1~8 時に観測された BB

4 時半以降からハッキリと BB が観測されていることが図から分かる。データでは 4 時より前でも BB は確認できるが図ではハッキリとは見えなくなっている。

同日同時刻に MUR により観測された上空の風を図 4 に示す。

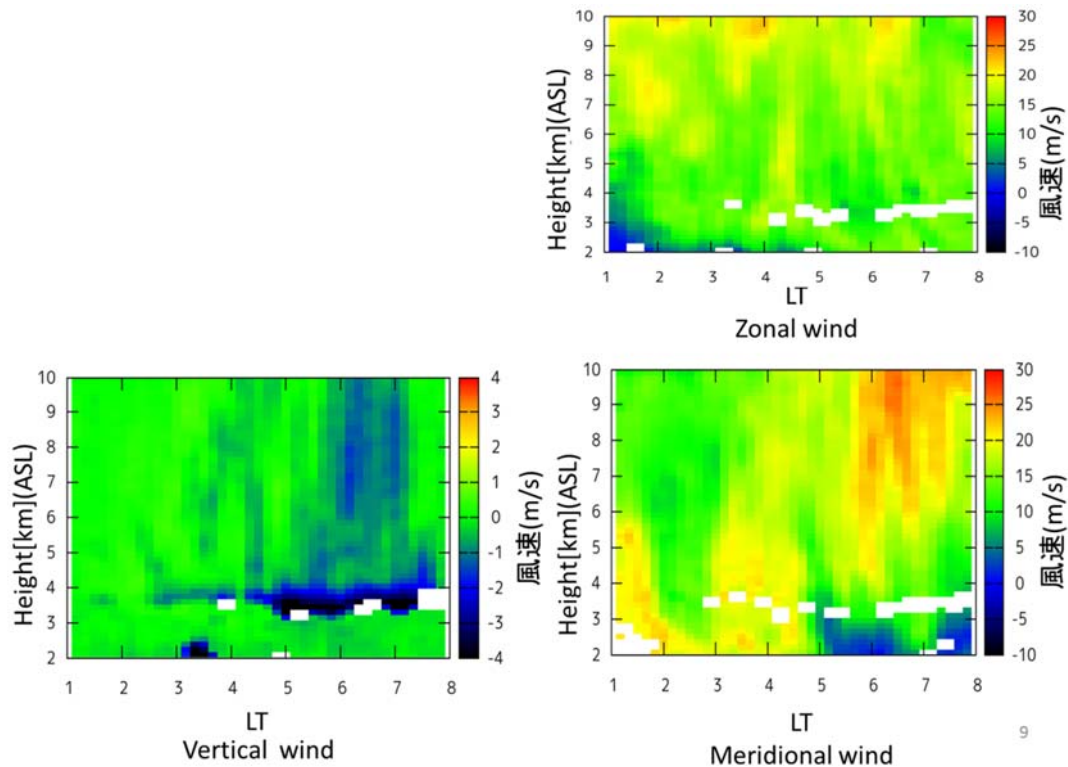


図 4 MUR により 2009 年 11 月 11 日 1~8 時に観測された上空の風

BBが発生している間にも上空の風は大きく変化していることが図から分かる。また、5時以降にMURで下降気流が観測されていることが分かる。これはMURがBBスペクトルの影響を受けた事によるものか本当に下降気流が発生しているのかについてはまだ分かっていないが今回は下降気流が発生しているものとする。下降気流が発生している場合、雪が融解する時に周囲から熱を奪うことが原因として考えられる。

今回MURにより得られた風向きの変化を図5に示す。

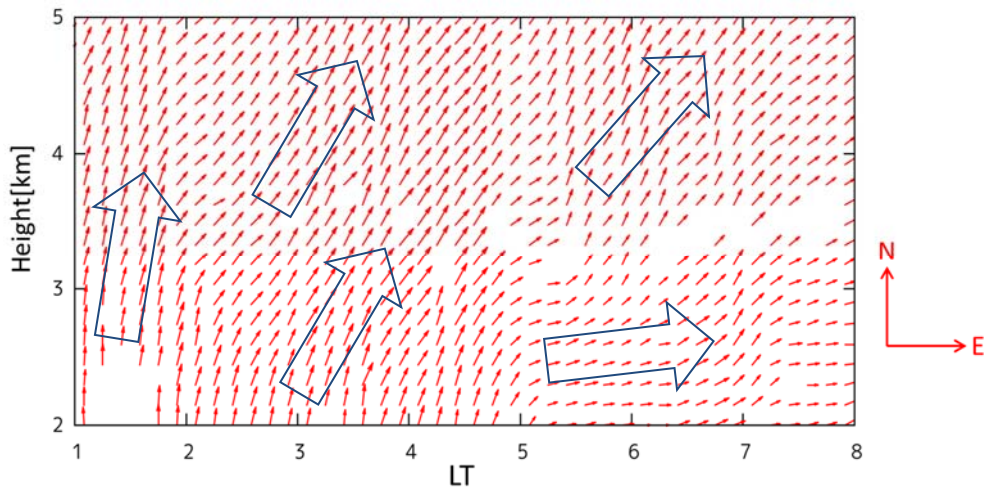


図5 2~5kmの高度の風の方角の時間変化

BBより上の高度では風の向きは1~8時の間にほとんど変化していないがMURで下降気流が観測された5時以降にBBより下での風向きが大きく異なっていることが分かる。しかし、ここではBBの高度での風の性質自体は変化していないと考える。

水平風の強さがBBに及ぼす影響を調べる。図6にBBのある高度の水平風の強さの時間経過と ΔZ_e の時間経過を示す。

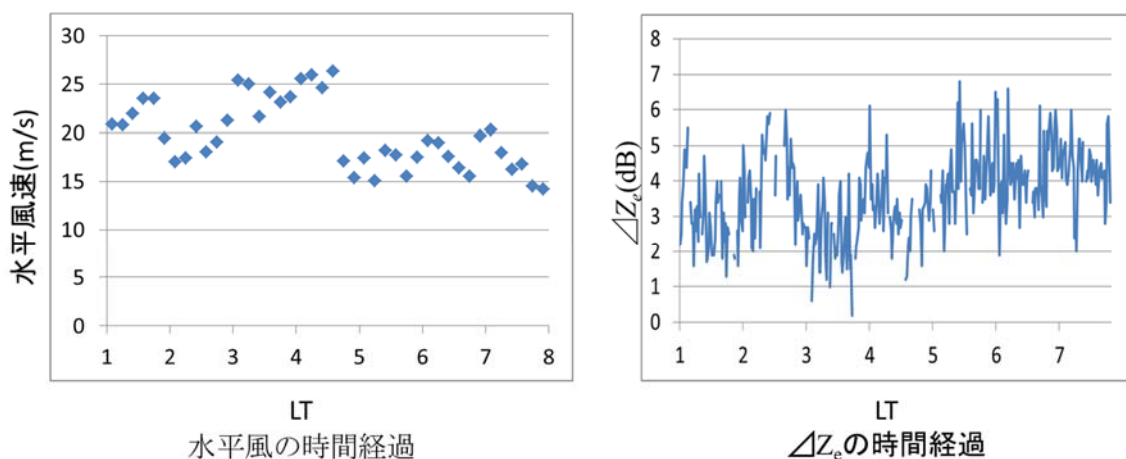


図6 BB高度の水平風と ΔZ_e の時間経過

また、MRRにより得られた ΔZ_e をMURと同じ10分平均にしたものとMURにより得られた水平風の風速の関係を図7に示す。

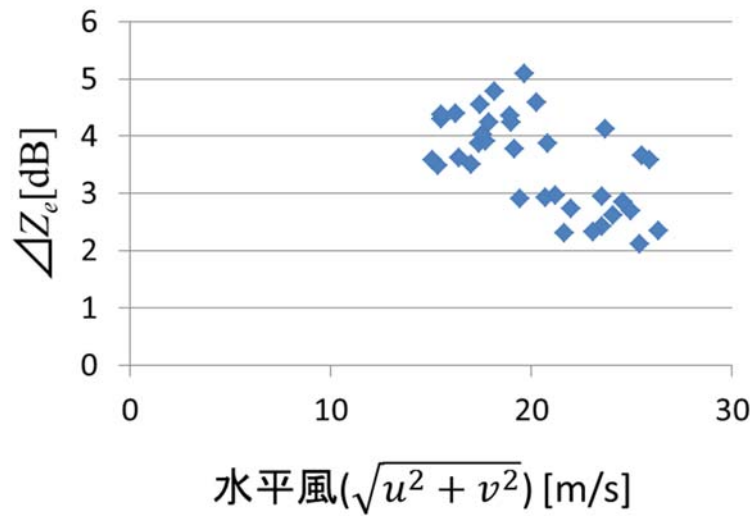


図7 水平風速と ΔZ_e の関係

図7の相関係数は-0.62となり、水平風速が大きくなるほど ΔZ_e は小さくなる傾向が見られた。これは水平風が強いことによる空気の循環で雪の融解熱が流されて融解を促進し、結果的に体積中に存在する融解中の雪片が減ることが原因の一つとして考えられる。

図4の鉛直風で5時以降に強い下降気流が観測されたことからMRRにより観測されたBB直下の平均ドップラー速度の10分平均の時間経過を図8に示す。

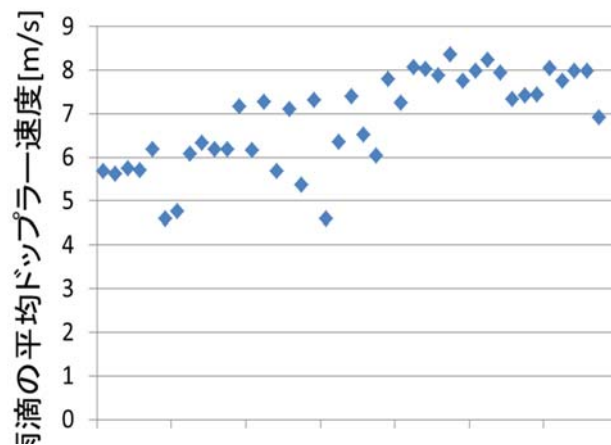


図8 MRRで観測されたBB直下の平均ドップラー速度の時間経過

3~4時で短時間に平均ドップラー速度が大きく変化している理由は、今回用いたBB直下の定義ではまだ完全に融解していなかった事が原因であった。

図から 5 時以降の平均ドップラー速度 7~8m/s となりとても速くなっていることが分かる。これが下降気流の影響であるとする MRR のような鉛直風を考慮していないドップラーレーダでは DSD の推定にも大きな影響を及ぼすことが予想される。

結論・まとめ

MRR と MUR による観測で上空の水平風が強い時 ΔZ_e は小さくなり、水平風が弱い時 ΔZ_e は大きくなる傾向が見られた。また、水平風が弱くなった時に MUR により強い下降気流が観測され、下降気流が観測されている間 BB 直下の平均ドップラー速度は 7~8m/s となり下降気流が観測されない場合と比べて大きくなる傾向が見られた。これが下降気流の影響であるならドップラーレーダによる DSD 推定に大きな影響を及ぼすため BB の研究には上空の風を考慮する必要があることが分かる。

課題・今後

現在は観測データベースの値を用いているため実際にスペクトルを見て風が生じているか確かめる必要がある。また、今回のデータは一例でありデータをさらに増やす必要がある。BB は風の影響を受けることが示唆されたので今後 MUR と MRR を用いて鉛直風を考慮して MRR での過大評価を校正し、実際に ΔZ_e が大きい時と小さい時で DSD がどうなるかを調べる。

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.