

第Ⅱ部門

雲レーダを利用した積乱雲発生初期の構造に関する研究

京都大学工学部地球工学科 学生員 ○新保 友啓
 京都大学防災研究所 正会員 中北 英一
 京都大学大学院工学研究科 学生員 佐藤 悠人

京都大学防災研究所 正会員 山口 弘誠
 名古屋大学宇宙地球環境研究所 坪木 和久
 名古屋大学宇宙地球環境研究所 大東 忠保

1. 研究の背景及び目的

昨今の都市域で多く発生している急激に発達する積乱雲が局所的に集中豪雨をもたらし急出水やアンダーパスや地下空間の浸水などが発生し人的被害や経済的な被害をもたらしている。こうした災害を軽減するために積乱雲の早期探知に関する研究がすすめられ、X バンドレーダを用いた早期探知システムが開発され実用化され始めている¹⁾。一方でさらに早期での探知を目指して雲レーダを利用して雨粒ができる前の雲粒の塊を探知する研究が進められている。雲レーダのひとつである Ka バンドレーダでは X バンドレーダよりも 15 分から 25 分程度早くファーストエコーを捉えることができ、発達前の反射強度の急激な増加が発達の指標となりうることが示されている。²⁾³⁾ これらの研究は発達を早い段階で探知しレーダ反射因子の特徴を捉えたものである。そこで、本研究では積乱雲発達初期の雲の内部の特徴をさらに明らかにすることを目的として積乱雲の早期探知能力の検証や反射強度による解析に加えて、ドップラー風速を利用して雲粒子の解析を行った。現業用気象レーダで雨粒を捕らえる前に雲レーダにより積乱雲発達の危険性を評価する可能性を見出すものであり、本研究の成果が次世代のゲリラ豪雨早期探知の足がかりとなると期待される。

2. 解析に用いたデータと手法

本研究では、名古屋大学 Ka バンド雲レーダ（以下 Ka バンドレーダと記す）のデータを使用する。Ka バンドレーダが名古屋大学に設置されていた 2015 年 8 月のデータを用いた。Ka バンドレーダは現業の X バンドレーダに比べ波長が短く感度が高いため雨粒が生成される前の雲を捉えることが可能である。10 分毎に繰り返されるボリュームスキャンによって立体的な情報を得ることができる。Ka バンドレーダの探知性能の比較を行うために名古屋圏の 3 台の X バンド MP レーダを利用した。複数のレーダを用いて立体観測を行うことによって空間的に密な観測を可能としている。解析事例の抽出には X バンド MP レーダから得た地上降雨データを用い目視で確認し、解析事例を 7 個抽出し発生初期の積乱雲を捉えたものについてさらに詳細な解析を行った。抽出条件は、「突如出現し、地上で 0.1mm 以上の降雨が確認されてから 30 分以内に 50mm 以上の降雨をもたらした」積乱雲である。

3. 解析の結果、考察

①初探知高度と LCL の比較：Ka バンドレーダの早期探知性能を評価するために X バンド MP レーダでゲリラ豪雨のタマゴを最初に探知した時刻と Ka バンドレーダでゲリラ豪雨のタマゴを最初に探知した時刻の比較を行った。検証を行った 7 事例において Ka バンドレーダが平均で 15 分程度早くゲリラ豪雨のタマゴの発生を捉えていることが確認された。またゲリラ豪雨のタマゴを探知した高度について、地上の気温と湿度の観測値から算出した LCL（持ち上げ凝結高度）との比較を行い、LCL より数百m上でファーストエコーを探知していることが分かった。

積雲発生初期では LCL 付近で常に上昇流が発生しており凝結により新たな粒子が生成されているため小さな粒径の粒子が多く存在している。その雲粒子が上昇流により持ち上げられ雲上部に達すると併合作用が強く働くため粒子が衝突を繰り返しながら粒径が大きく成長する。Ka バンドレーダで観測できることができる粒子の粒径は約 40 μ m である。

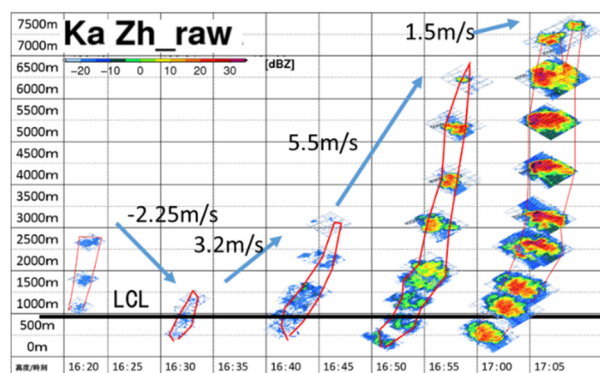


図 3.1 Ka バンドレーダで観測したエコーの鉛直分布

ので、LCL 付近の小さな粒径の粒子は $40\mu\text{m}$ 以下の粒子が多く Ka バンドレーダで捉えることができないが、雲上部に存在する $40\mu\text{m}$ より大きな粒径の粒子は観測することができたのだと考えられる。Ka バンドレーダで観測される高度と LCL の対応を理論的に確認できたことは、今後の観測の走査方法の最適化につながることを期待される。

②渦度解析：X バンドレーダで観測される雨粒が生成されて以降の段階の積乱雲については、発達する積乱雲は渦度を持つことに加え渦度が鉛直に連なった渦管の存在が確認されている。この渦度が Ka バンドレーダで観測することができる雲粒のみが存在する発達段階で渦度が確認されるのかについて解析した。まず、対流雲の特徴を表す Ka バンドレーダで観測した渦度の値について検討を行った。このとき Ka バンドレーダで観測した高分解能の特徴を残しつつ、空間的に高周波のノイズを除去するために、225m 四方の領域で単純移動平均を行った。渦度が層状雲には見られない対流雲のみに見られる特徴であるという前提のもと層状雲と対流雲それぞれの渦度の頻度分布を作成し対流性の特徴を示す渦度の値を決定した。図 3.2 にそのとき用いた 0 から累積した渦度の頻度分布関数を示す。層状雲で渦度 $0.012/\text{s}$ 以上を有する割合は 1%以下であるのに対して対流雲では渦度が $0.012/\text{s}$ 以上の割合は 6%である。 $0.02/\text{s}$ を対流雲の特徴を示す渦度の基準値として定めそれ以上の値を持つ場合に渦度が高いものと定義し以後の解析を行った。次に、試験利用が始まっている局地豪雨危険性判定システム¹⁾を参考に X バンドレーダで観測される渦度の探知時刻と Ka バンドレーダで渦度が探知される時刻の比較を行った。7 事例中 5 事例で X バンドレーダよりも早く高い渦度が確認された。その中でも 2 事例については 10 分以上早く渦度を探知することができており、早期危険性予測へ向けた可能性を示したものと考えられる。一方であまり早く探知できなかった 2 事例については渦度の値が得られた時刻自体が早くないために早期探知できなかったと考えられる。これにはドップラー風速のデータ処理のノイズ除去の段階で多くのエコーが削られてしまっていることが原因であると考えられ、今後データ処理に関する改善が必要である。また、X バンドレーダで確認されている渦管構造についても図 3.2 のような事例も確認できている。

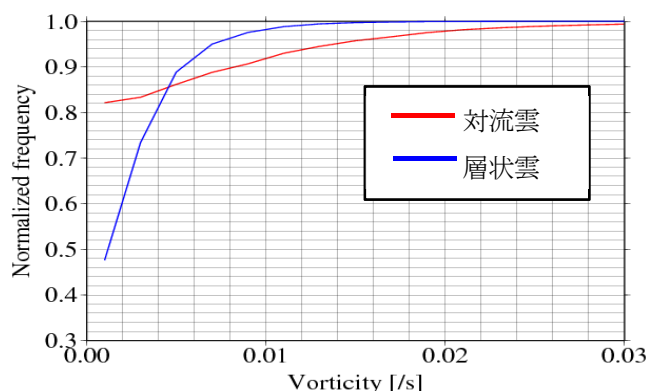


図 3.2 渦度累積頻度分布の比較

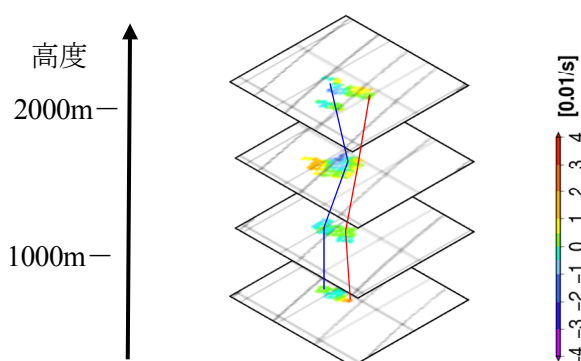


図 3.3 Ka バンドレーダで観測された渦度鉛直分布

③鉛直発達に関して：10 分ごとの立体観測データを利用しエコートップの高度の変化を追跡したところ、X バンドレーダで初観測される時間帯にエコー頂が大きく成長することが確認された。また、エコー頂が上昇下降を繰り返しながら発達したものが確認されたことより、分解能が高いため積乱雲の一部構造のタレットを観測している可能性が示された。

④偏波パラメータの解析：積乱雲の中心部で ρ_{hv} が低い値となることが確認された。 3mm 以上の粒径の粒子に対してもミー散乱が発生するためにこのような結果になったと考えられる。今後解析を進め発表時に紹介する。

5. まとめ

Ka バンドレーダを用いて X バンドレーダよりも早く雲を探知できることを他事例においても確認できた。さらに、LCL と初探知高度との比較を通して関係性を確認しそのメカニズムを解明した。また、発達に関係が深い渦度について解析を進め Ka バンドレーダで観測される雲粒のみの段階でも高い渦度が確認され、危険性予測への可能性が示された。

参考文献：1) 片山勝之ほか：局地的豪雨探知システムの開発，河川技術論文集，第 21 巻，pp.401-406, 2015.

2) Sakurai, N. et al.: Case study of mesoscale convective echo behavior associated with cumulonimbus development observed by Ka-band Doppler radar in the Kanto Region, Japan, SOLA, 8, pp.107-110, 2012.

3) 疋田丈晴：静止気象衛星と Ka バンド雲レーダを用いた夏季孤立積乱雲の早期検出，修士論文，名古屋大学大学院環境学研究科，2016.