

1. 序論

2008年7月兵庫県都賀川において、豪雨による突然の出水で約50名が流され、5名の尊い命が奪われるという水難事故が発生した。親水空間としての役割を果たしていた都賀川が、わずか10分足らずで悲惨な事故現場となった。このような事故が2度と起こらぬよう、1分1秒でも早い注意喚起を行い、川辺にいる人々を避難させる必要がある。故に、ゲリラ豪雨の予測技術の確立、高精度化がより一層急務であると言える。

2. 早期探知と危険性予測

中北ら(2009)は、地上での豪雨が起る前に上空でのみ確認できるレーダエコーを「ゲリラ豪雨のタマゴ」と呼び、早期探知情報として利用すべきと提案を行った。また、中北ら(2014)は渦度を用いる危険性予測手法を拡張させ、危険地域予測システムを構築した。このシステムは既に国土交通省で採用され、試験運用がなされている。図1は渦度がタマゴ探知から何分後に検出されているか、タマゴ探知から何分後に地上で最大降雨強度に至るかという統計情報を表している。中北ら(2014)の手法に従い、事例を追加した。全ての発達事例に高い渦度が検出され、35個の発達事例中33個でタマゴ探知時刻から5分以内に高い渦度が検出された。この統計より渦度が危険性予測に有効な指標であることがわかる。しかし、なぜ、どのようにして渦度の大きい積乱雲が発達するのか、そのメカニズムについては未だに明らかでない点が多い。本研究では、危険性予測手法の理論的な裏付けを行うため、積乱雲発生・発達過程におけるメカニズムを明らかにすることを目的として定め、渦度の空間分布解析を行い、メカニズムについて新たな知見を得た。

3. 解析手法

本研究では、中北ら(2014)の研究と同様に、「突如出現し、地上で0.1mm/h以上の降雨強度が確認されてから30分以内に50mm/h以上の降雨強度をもたらした」積乱雲という条件でゲリラ豪雨の抽出を行った。本研究では、実際に積乱雲が持つ数値の分布を詳細に解析するため、各レーダデータを合成した出力、鉛直方向の補間を行わず、各レーダ毎のPPIスキャンデータをそれぞれ平面に投影して可視化した。反射強度、ドップラー風速、渦度を可視化し、解析に用いた。解析図の一例を図2に示す。レーダは近畿圏の4台のXバンドMPレーダを用いた。レーダサイトを中心とした高度の等値線と、1km×1kmメッシュ線を設け、タマゴとレーダサイトの位置関係を明確にした。4.では、解析により得られた結果について述べる。

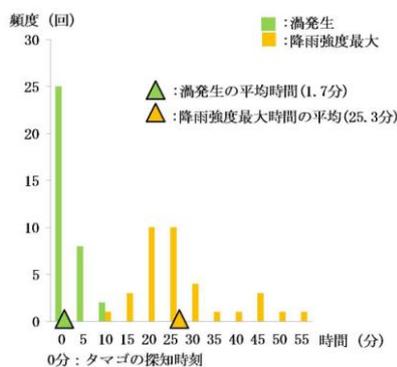


図1 タマゴ探知時刻からの時間の頻度分布

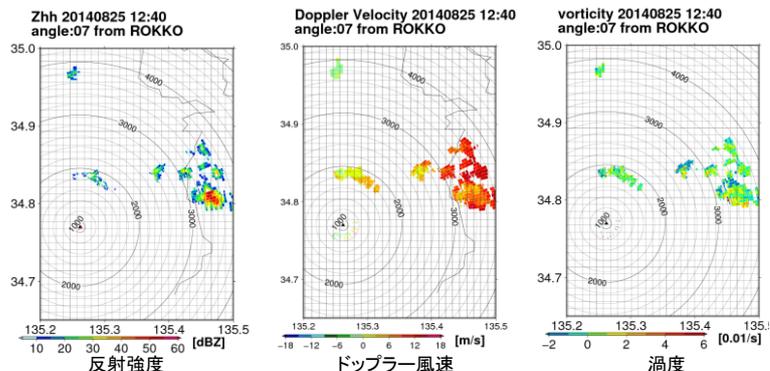


図2 解析に用いた図の一例。左から反射強度、ドップラー風速、渦度

4. タマゴの発生・発達過程における渦解析

2013, 2014 年の 8 月でタマゴを 17 事例抽出し、タマゴ発見時の渦度解析を行った。タマゴ内部の全渦度の頻度分布をとったところ図 3 のように正の渦度が負の渦度と比較して卓越していた。また、8 事例について渦度の高度分布解析を行った。事例毎に発達にかかる時間が異なることから、同じ 5 分 10 分でも事例毎にステージが異なると考え、タマゴ発見時刻と地上での降雨強度 50mm/h 到達時刻の間隔を用いて時間を正規化し、各事例毎にステージを定めた。図 4 にステージ毎の渦度の高度分布を示す。これより、ステージ 1 からステージ 2 にかけて、大きい渦度の高度が上昇し、ステージ 1 からステージ 5 にかけて、徐々に渦度の高度が上昇している様子を確認することができた。最後に、タマゴ発達過程の渦管解析を行った。8 事例全てで正負両方の渦管を確認することができた。また、8 事例中 6 事例で渦管が成長している様子を、8 事例中 6 事例で正負の渦管が対になって存在している様子を確認できた。その一例について図 5 に示す。黒線が積乱雲、赤線が正の渦度が鉛直につながった正の渦管、青線が負の渦管を表している。この事例については、フェーズドアレイレーダ (PAR) を用いて、より時空間的に細かい解析を行ったので、結果を図 6 に示す。時間、高度別に PPI スキャンデータを整理し直し、PAR で新たに得られた正の渦管の成長過程を緑線で示す。

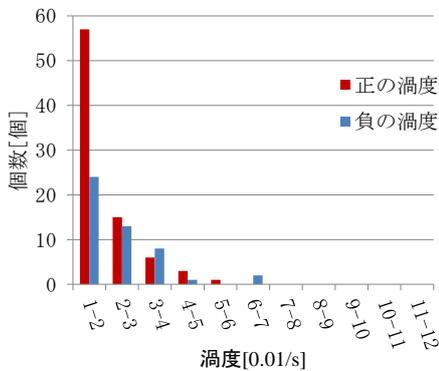


図 3 タマゴ内部の渦度の頻度分布

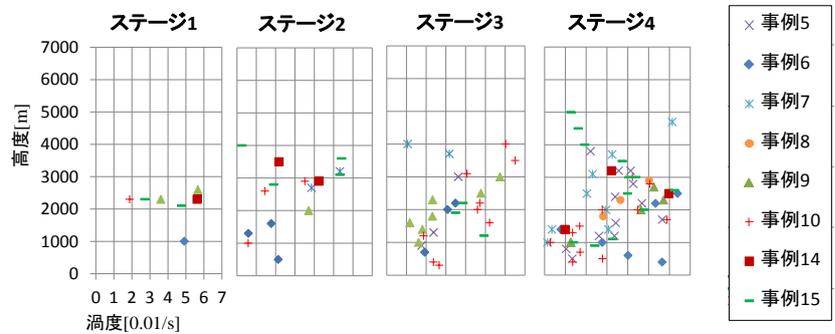


図 4 ステージ別の正の渦度の高度分布

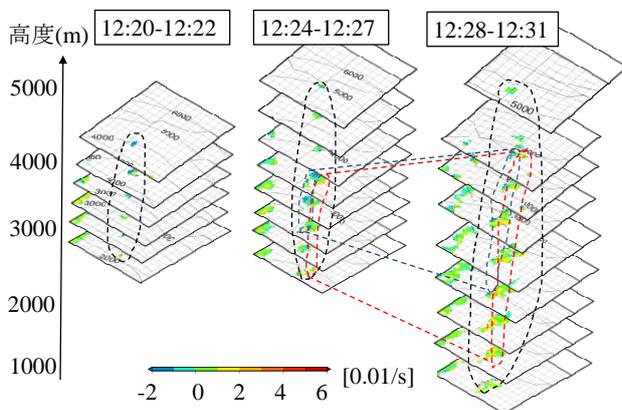


図 5 対で見られた正負の渦管の成長過程

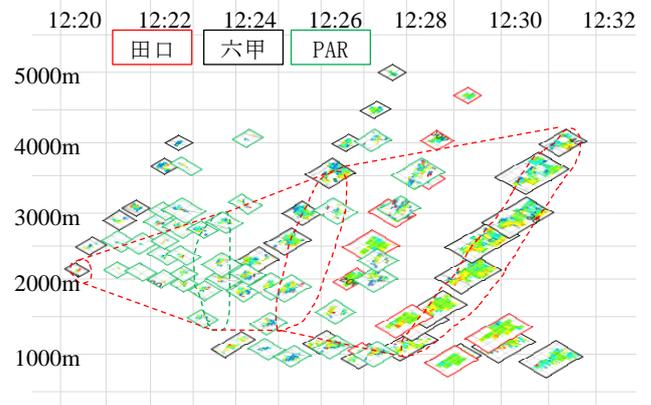


図 6 PAR を用いた渦管解析

5. 結論

タマゴは正の渦度が支配的であり、これにより正の渦度が降水粒子を形成する時の上昇流に対応すると考えられる。また、渦度の高度分布が上昇していたことも、上昇流の存在を示唆していると考えられる。そして、渦管の成長は、よりスケールの大きいスーパーセルの特徴と一致していた (Cotton et al. (2010))。

(参考文献)

中北英一ほか：ゲリラ豪雨の早期探知・予報システムの開発, 河川技術論文集, 第 20 巻, 355-360, 2014. 6.

中北英一ほか：レーダー情報を用いたゲリラ豪雨の卵の解析, 京都大学防災研究所年報, 第 52 号 B, 547-562, 2009.

Cotton et al., *Storm and cloud dynamics*. Vol. 99. Academic press, 2010.