

ゲリラ豪雨のタマゴにおける鉛直渦管形成の解析

京都大学防災研究所 正会員 中北 英一
 京都大学工学研究科 学生会員 ○佐藤 悠人
 京都大学防災研究所 正会員 山口 弘誠

1. 研究背景と目的

2008年神戸市都賀川で豪雨による突然の出水により5名の方がなくなるという悲惨な事故が起こった。出水事故は極めて小さな時空間スケールを持つ局地的豪雨によりもたらされ、このような人命に関わる局地的豪雨は特にゲリラ豪雨と表現される。河川付近にいる人々をゲリラ豪雨から安全に避難させるため、わずか数分でも早い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。中北ら¹⁾はゲリラ豪雨に発達するタマゴ内部に高い渦度が見られることを発見し、渦度がゲリラ豪雨の危険性予測に極めて有効な指標であることを示しゲリラ豪雨の予報システムを開発した。しかしなぜ高い渦度を持つ積乱雲が発達するかというメカニズムについては未だに明らかでない点が多く、メカニズムの解明が重要である。従って本研究ではタマゴ発生・発達時におけるメカニズム解明のために積乱雲初期のふるまいを詳細に解析し、新たな知見を得ることを目的とした。

2. タマゴ内部の渦管構造

スーパーセルに発達する積乱雲に関する研究(例えばCotton²⁾)では発達過程初期の渦管構造が図1のように説明されている。図1に示すスーパーセル発達過程初期の渦管構造は流体力学の理論から明らかになっている。まず鉛直シアーにより水平方向に軸を持つ渦管が発生し(図1(a))、これが上昇流によって立ち上げられることでペアの鉛直渦管が形成される(図1(b))。中北ら³⁾は必ずしもスーパーセルに発達するとは限らない積乱雲にも同様に見られるのではないかと考え渦度の分布構造に着目し解析を行った。その結果ゲリラ豪雨のタマゴが渦管構造を持っていることを発見し、これはスーパーセル発達過程初期に見られる渦管構造と一致していることを示した。これによりスーパーセル初期の渦管の発達を表現する流体力学の理論を用いて上昇流の位置を推定できると考えられる。そこで本研究では観測されたレーダー反射因子差 Z_{DR} を用いて上昇流の位置を推定し、理論から導かれる上昇流の位置と一致するか検証を行った。解析には中北ら³⁾の手法と同様に近畿圏のXバンドMPレーダーを用い、レーダー観測により得られたドップラー風速から近似的に渦度を算出した。その際CAPPIデータを作成するのではなくPPIスキャンデータを平面に投影し可視化を行い鉛直方向の補間や座標変換による誤差が生じないようにした。解析に用いた図の一例を図2に示す。

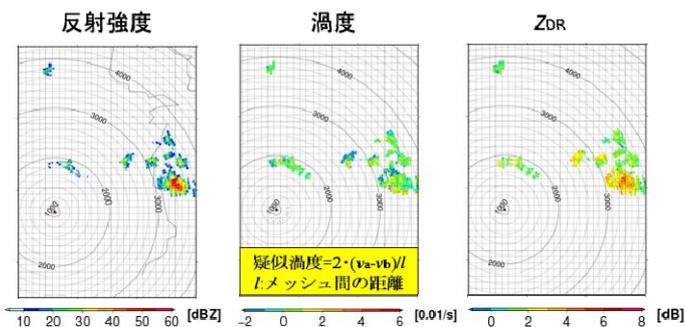
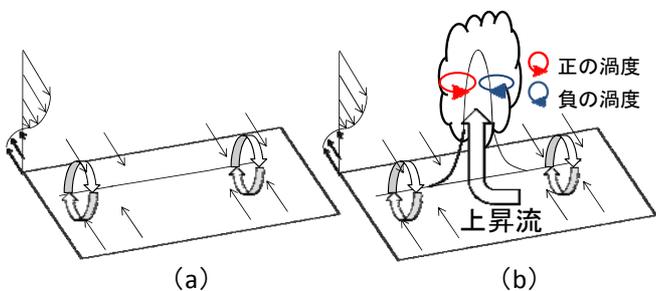


図1 スーパーセルをもたらす積乱雲初期の渦管発達過程

図2 解析に用いた図の一例。左から反射強度、渦度、 Z_{DR} を表している。

キーワード ゲリラ豪雨, 渦度, 渦管, High Z_{DR} Column, Dual Doppler 手法

連絡先 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所 TEL0774-38-4264

3. タマゴ内部の上昇流解析

本研究では融解層以上で Z_{DR} が 2 [dB]以上の部分に着目し解析を行った. 図3に1事例についての解析結果を示す. ドップラー風速から本事例では上空ほど西風が強く, 図3 aに示すような水平渦管が形成されていると考えられる. 鉛直方向の渦度方程式 $d\xi/dt = \xi \cdot \partial w / \partial x + \eta \cdot \partial w / \partial y + \xi \cdot \partial w / \partial z$ からこの水平渦管が上昇流によって立ち上げられると図3 aのように上昇流の右側(この事例では南側)に正の渦度, 左側(北側)に負の渦度を持った鉛直渦管が形成され, 最も強い上昇流の両脇で正負の渦度が確認されることがわかる. ξ は x 軸方向の渦度, η は y 軸方向の渦度, w は z 軸方向の速度を表しており, 本事例では右辺は第2項以外は0であると考えられる. この事例の渦度の観測値に着目すると図3 bのようになっていた. ペアの鉛直渦管が観測され, 南側で正の渦度, 北側で負の渦度が確認できた. これは先ほど述べた上昇流と渦度の位置関係と一致していた. これによりゲリラ豪雨事例の鉛直渦管の形成される位置が流体力学の理論に従うという結果を得た. 次に上昇流の位置の検証を行った. 上述したように, 鉛直渦度方程式から上昇流の両脇で正負の渦度が形成されることがわかっている. このような上昇流がゲリラ豪雨の事例で確認できるか Z_{DR} を用いて検証した. 図3 cにこの事例の Z_{DR} を示す. 融解層以上の Z_{DR} に注目したところ, High Z_{DR} Column が確認された. これにより本事例に上昇流が存在しているということがわかり, High Z_{DR} Column の位置と理論から推定される上昇流の位置を比較したところ, 上昇流と渦度が対応していると考えられるという結果を得た. しかし下層に雨粒がなければ上昇流があっても High Z_{DR} Column が見られないこと, 強い上昇流の位置を正確に知ることができないことからより詳細な上昇流解析を行うためには実際に鉛直風速を算出する必要がある. そこで清水ら⁴⁾の Dual Doppler 手法を3台のレーダーに適用し鉛直風速を算出した(図3 d). ペアの渦管の間には周囲と比較しても強い上昇流が存在しており, Z_{DR} による上昇流部推定の結果と矛盾しないことがわかった.

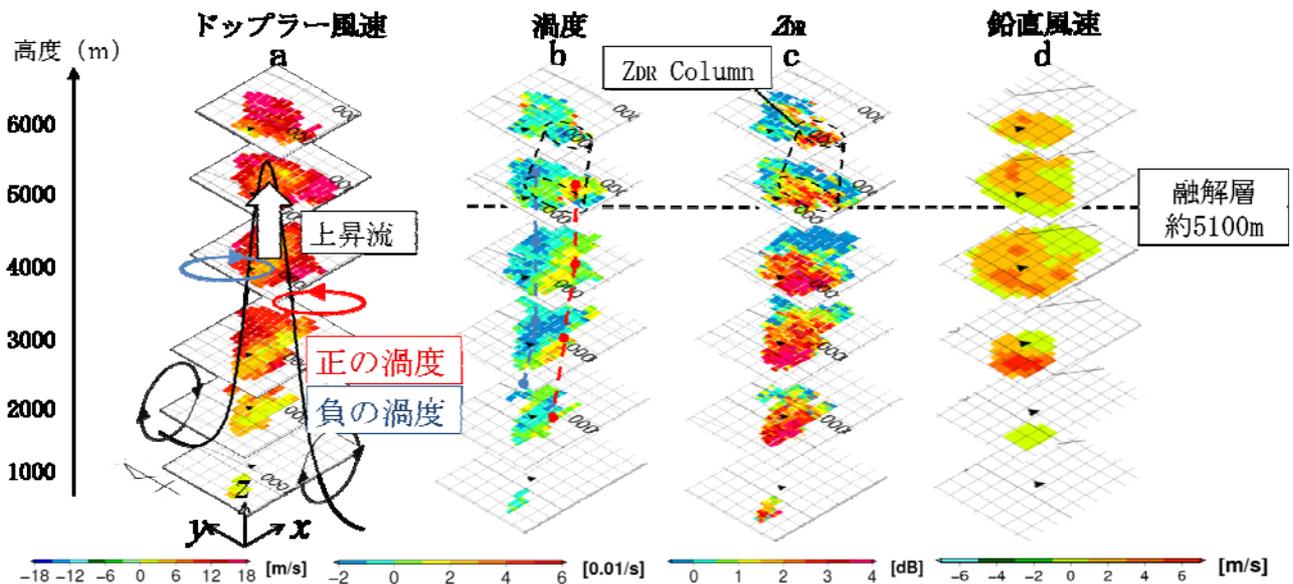


図3 本事例の17:36-17:40における田口レーダーからの観測図. 左からドップラー風速 a, 渦度 b, Z_{DR} c, 鉛直風速 d を表している. b, c に High Z_{DR} Column が見られた部分を点線で表現している.

参考文献

- 1) 中北英一ほか(2013) ドップラー風速を用いたゲリラ豪雨のタマゴの危険性予知に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), 69.4, pp.325-330.
- 2) Cotton et al. (2010) *Storm and cloud dynamics*, Vol.99, Academic press, pp.358-363.
- 3) 中北英一ほか(2015)ゲリラ豪雨のタマゴ生成時における渦管構造の基礎的解析 (出版予定), 土木学会論文集 B1 (水工学), 71.
- 4) 清水慎吾, 前坂剛(2007) 三次元風速場の推定のための変分法を用いた複数台ドップラーレーダーデータの解析手法, 防災科学技術研究所研究報告, 70, pp.1-8.