

ゲリラ豪雨をもたらす積乱雲初期における鉛直渦管形成の解析

Analysis of Vertical Vortex Tubes Formulation at the Initial Stage of Cumulonimbus Cloud Causing Guerrilla-Heavy Rainfall

中北英一・○佐藤悠人・山口弘誠

Eiichi NAKAKITA, ○Hiroto SATO, Kosei YAMAGUCHI

In Japan, the frequency of Guerrilla-heavy rainfall is increasing, so it is quite important to predict the risk of heavy rainfall even within a few minutes. Nakakita et al. discovered the large vertical vorticity inside the baby cell aloft is useful to predict the Guerrilla-heavy rainfall, and also discovered the baby cells have vortex tubes which are similar to ones inside the initial cumulonimbus clouds of supercells. From this results, we considered that the vortex tubes inside the baby cells support fluid dynamics. This paper shows that the strongest updraft exists between positive vorticity and negative vorticity inside one sample cell using high Z_{DR} column (106 words).

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。この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た。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導かれており、本研究で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。中北ら³⁾は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た。本研究では観測された 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。

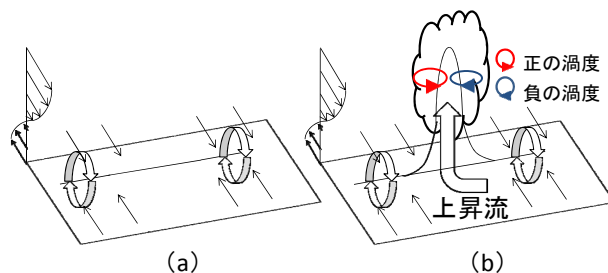


図 1 (a) 水平風の鉛直シアーにより水平方向に軸を持つ渦管が形成される。(b) 上昇流があると水平渦管が持ち上げられて上昇流の両脇に正負の渦度を持ったペアの鉛直渦管が形成される。

本研究では渦度の分布構造を詳細に解析する必要があるため、中北ら³⁾の手法と同様に国土交通省によって運用されている近畿圏の X バンド MP レーダーによって得られたドップラー風速から疑似渦度を算出し、PPI スキャンデータを平面に投影し可視化を行った。反射強度、 Z_{DR} についても同様に可視化を行った。解析に用いた図の一例を図 2 に示す。

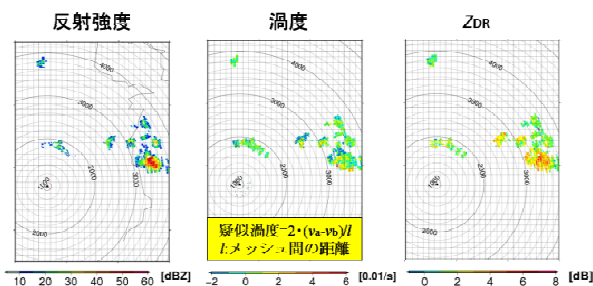


図2 解析に用いた図の一例

3. Z_{DR} を用いた上昇流の推定

融解層より高い領域での High Z_{DR} Column は上昇流の存在を示唆しているということがわかっており、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が形成されていると考えられる。鉛直方向の渦度方程式(a)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 b 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（上昇流）を表しており、この事例では右边は第 2 項以外は 0 である。

$$\frac{d\xi}{dt} = \xi \cdot \frac{\partial w}{\partial x} + \eta \cdot \frac{\partial w}{\partial y} + \zeta \cdot \frac{\partial w}{\partial z} \quad (a)$$

この事例の渦度の観測値に着目すると図 3 c のようになっていた。ペアー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て、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 d 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。

参考文献

- 1) 中北英一，西脇隆太，山邊洋之，山口弘誠：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.325-330，2013.
- 2) Cotton, William R., George Bryan, and Susan C. : Storm and cloud dynamics, Vol. 99, Academic press, pp.358-363, 2010.
- 3) 中北英一，佐藤悠人，西脇隆太，山口弘誠：ゲリラ豪雨危険性予知手法の高精度化に向けた積乱雲生成時の渦管構造の解析，京都大学防災研究所年報，第 58 号 B，pp. 221-231，2015.

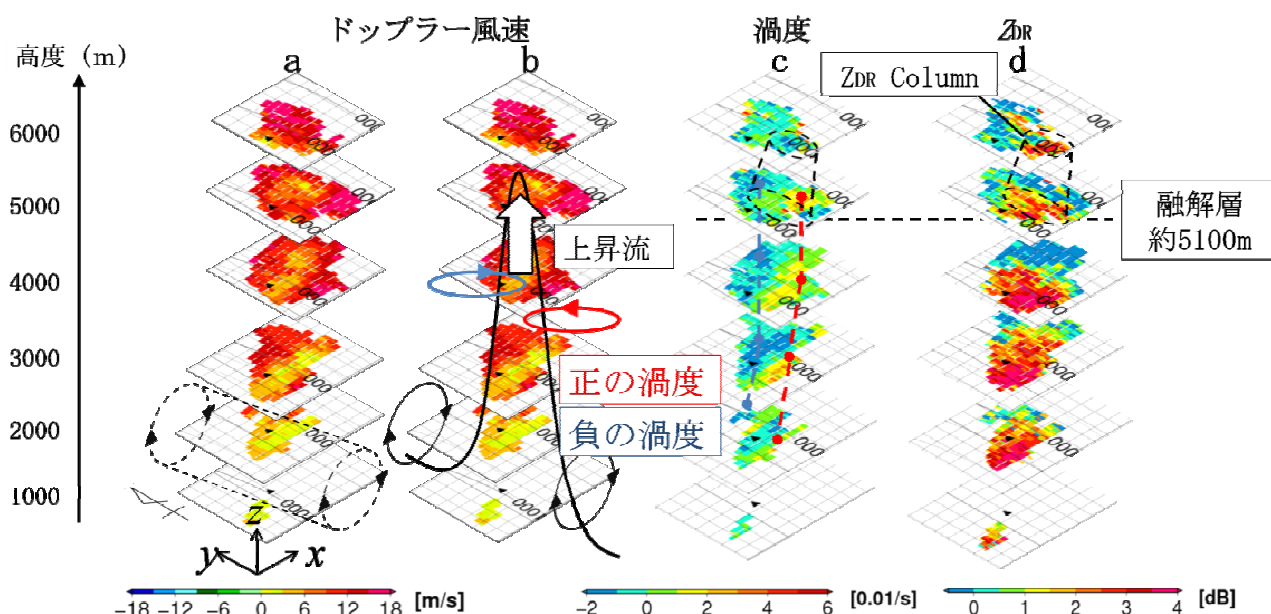


図3 本事例の 17:36-17:40 における田口レーダーからの観測図。左からドップラー風速 a, b ,渦度 c, Z_{DR} d を表している。c, d に High Z_{DR} Column が見られた部分を点線で表現している。

