

ライフサイクル概念に基づいた豪雨システムにおける渦管挙動の解析 Analysis of Vortex Tube Behavior in Heavy Rainfall Systems Based on Life Cycle

○前川智寧・中北英一

○Tomoyasu MAEKAWA, Eiichi NAKAKITA

Guerrilla heavy rainfalls have frequently occurred in Japan. For reducing the damages, it is necessary to predict the risk of GHR. KIM et al.(2022) showed that Life stage identification ,which we can get in a real time, can help us to predict the risk of GHR. However, we have not provided an explanation as to why the Life cycle concept is good for prediction. In this research, we analyzed the "vortex tubes" that is considered to be important in the development of cumulonimbus clouds and examined how the behavior of vortex tubes differs depending on the final maximum ground rainfall intensity and Life stages (104 words).

1. はじめに

1.1 研究背景とゲリラ豪雨に関する既往研究

近年，日本では都市域を中心として，単独積乱雲による局地的集中豪雨であるゲリラ豪雨が問題となっている．ゲリラ災害による災害から人命を守るため，ゲリラ豪雨に関する研究が多数なされてきた．中北ら¹⁾は，レーダ観測によって推定される渦度という物理的指標を用いて，積乱雲が最終的に豪雨をもたらすかどうかを予め定性的に判定できることを示した．さらに，中北ら²⁾は必ずしもスーパーセルに発達するとは限らないゲリラ豪雨をもたらす積乱雲にも，スーパーセル発達過程初期における渦管構造と同様の正負の渦管ペアが見られることを確認し，ゲリラ豪雨における渦度の重要性を示した．

一方で強く成長した積乱雲がどれほどの地上降雨をもたらすのかという，定量的な予測に関する研究もすすめられてきた．Kim and Nakakita³⁾は，定量的予測を積乱雲探知からの経過時間に沿って段階的に行うことの有用性を示した．さらに，Kimら⁵⁾はより高精度な予測として，単なる積乱雲探知からの経過時間に沿った予測式ではなく，発達段階そのものに沿った予測式の作成を提案した．発達段階は，図1に示すように，増田と中北⁵⁾が積乱雲の発達段階を4つのライフステージによって定義し，偏波レーダ観測値から粒子判別を行い，その粒子判別結果からライフステージを判定する手法を開発している．Kimら⁴⁾は，このライフステージ判別情報が危険性予測において有用であることを示した．

1.2 本研究の目的

Kim⁴⁾らは，ゲリラ豪雨の定量的危険性を行う際に，予測を行う時点の積乱雲のライフステージ判別情報が，予測にとって有益な情報であることを確認した．しかし，なぜライフサイクル概念を考慮した予測が良いのかということに対して，積乱雲の発達構造に基づいた説明を与えることはできていない．そこで本研究では，予測において特に重要だと考えられる渦度について，地上最大降雨強度や積乱雲のライフステージによってどのような違いが見られるのかを検証する．

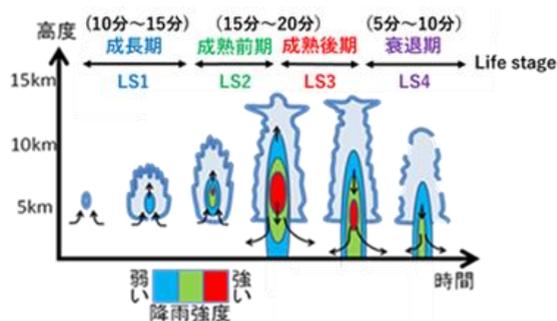


図1 積乱雲のライフステージ.

2. 渦管の描画方法

渦度は水平 1 km，鉛直 500mのメッシュごとに得られる．マルチドップラー解析で推定した三次元風速場を用い，隣り合うメッシュとの水平風速との差分によって計算される．本研究では，DioVISTA を用いて渦度の等値面を三次元的に描画した．また，渦管構造を可視化するために正負ともに絶対値 0.002/s 以上を描画の対象とした．

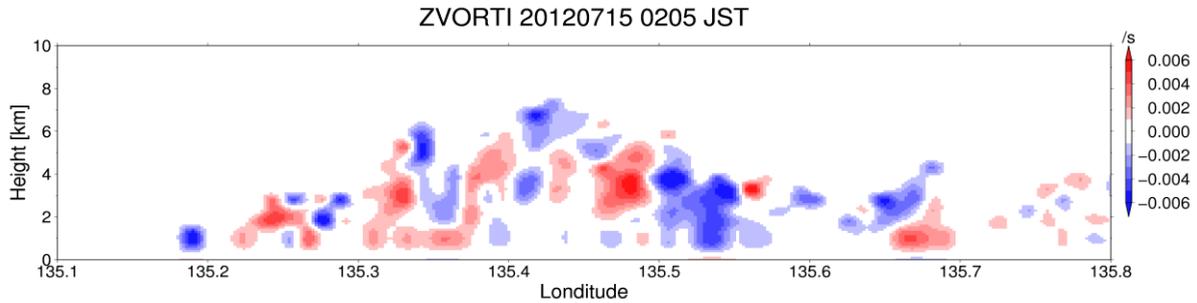


図3 亀岡豪雨における渦度の鉛直断面図 (2012年7月5日2時5分).

3. ゲリラ豪雨事例における渦管の解析

本研究では, Kim⁴⁾らのゲリラ豪事例を用いて, 地上最大降雨強度や積乱雲のライフステージによって渦管にどのような違いが見られるのかを検証した. 具体的には, 図2のように渦管と雨域の時間変化及びライフステージの進行を追跡した. なお, 図2は紙面の都合上, 積乱雲探知後最初の20分までの追跡結果を示している.

全事例の渦管を追跡した結果次のことが分かった. まず, 60mm/hr程度と比較的地上最大降雨強度が小さい事例では, 積乱雲の発生から消滅まで, 雨域の広さに対して渦管が非常に小さいものとなった. 一方, 地上最大降雨強度が80mm/hr以上の事例では, 雨域の広さとほぼ同じ大きさの正負の渦管ペアが見られ, 積乱雲の発達における渦管の重要性が確認された. しかしながら, 地上最大降雨強度が100mm/hrを超える2事例では, 成熟前期や成長期の後半以降では雨域と同じ大きさの渦管が見られるものの, それ以前の成長期の段階では60mm/hr程度の事例と同様に雨域に対して非常に小さな渦管しか見られなかった. これは, 地上最大降雨強度が100mm/hrを超える場合には, 積乱雲の成長期ではかえって渦度が小さくある必要を示唆しており, 渦度指標を用いた定量的な危険性予測を考える上で重要な課題であると考えている.

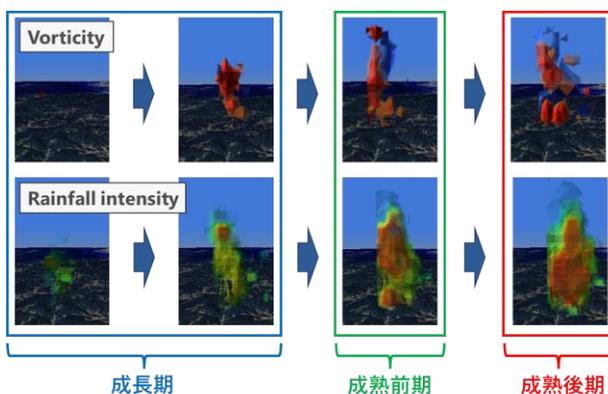


図2 2013年8月6日の事例の渦管と降雨強度の立体構造の時間変化.

4. 亀岡豪雨における渦管構造

マルチセルである線状対流系においても渦管が重要な役割を果たしているのではないかと考え, 線状対流系の事例についても渦管の描画を行った.

図3は2012年7月5日の亀岡豪雨における渦度の鉛直断面図である. マルチセルでは渦管のペアが複数存在しており, 三次元描画では渦管構造の把握が難しく, 二次元断面図を作成した. なお, 断面は降水帯の中央を進行方向に沿う形で設定してある. 亀岡豪雨の各時刻におけるこのような断面図から, 線状対流系でも渦管の正負のペアが見られることが分かった. また, 特に渦管の大きさや渦度の絶対値そのものが大きい場合には, それに呼応するようにそのペアとなる渦管の大きさや渦度の絶対値も大きくなっていることが見られた. 亀岡豪雨の事例についても時間追跡的な解析を進め, 線状対流系における渦管の役割についても今後の研究対象としていきたい.

参考文献

1. 中北英一ら (2014) : 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, pp.355-360.
2. 中北ら (2016) : 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, 土木学会論文集(水工学), 第72巻4号, I_199-I_204.
3. Kim, H. Y. and Nakakita, E. (2021) : Advances in the quantitative risk prediction for improving the accuracy on the guerrilla heavy rainfall, Journal of Japan Society of Civil Engineers, B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 77, No. 2, I_1321-I_1326.
4. KIM Hwayeon, 前川 智寧, 中北 英一 (2022) : ゲリラ豪雨の定量的リスク予測に向けたライフサイクル概念の利用可能性の検討, 土木学会論文集 B1(水工学), 第78巻2号, I_331-I_336.
5. 増田・中北 (2014) : Xバンド偏波レーダを用いた降水セルのライフステージ判別手法の開発, 土木学会論文集(水工学), 第70巻4号, I_493