

線状対流系のライフステージモデル提案に向けた
マルチドップラー解析を用いた渦管及び上昇流域の挙動解析
Analysis of Vortex Tubes and Updraft Behavior by using Multiple Doppler Analysis
for Proposing a Life-Stage Model of Linear Convective Systems

○前川智寧・中北英一

○Tomoyasu MAEKAWA, Eiichi NAKAKITA

In recent years, disasters caused by linear convective systems have become increasingly severe in Japan. Linear convective systems are composed of cumulonimbus clouds that are organized in lines and behave as a single "system". Therefore, the process of organization of cumulonimbus clouds can be considered as the life stages of the linear convective system as a system. The purpose of this study is to track individual cumulonimbus clouds in a system and investigate changes in the three-dimensional wind velocity field as the internal structure of the system during the process of cumulonimbus cloud organization, and to capture the state of organization. (106 words).

1. はじめに

1.1 研究背景

近年、線状対流系による豪雨災害が日本で頻発している。線状対流系とは、連続的に発生する積乱雲が列を成して組織化し、長時間にわたって同じ場所に停滞することで作り出される線状の強い雨域のことで、河川の氾濫や土砂災害といった深刻な災害を引き起こす。図1に示す2012年7月15日の京都市、亀岡市の大雨（亀岡豪雨）では、半壊を含む約300棟の住家被害や、冠水と道路崩壊を合わせた計29か所の道路被害、その他11件の土砂崩れなどの被害がもたらされた¹⁾。

1.2 線状対流系におけるライフステージ概念

線状対流系による豪雨は、長時間にわたって同じ場所に強い雨をもたらすことにより甚大な被害をもたらす。そのため、線状対流系が発生したときに、その線状対流系が現在よりも発達するのか、また発達する場合はいつピークを迎え、いつ発達を終えて豪雨が終わるのかといったことが分かれば、それは防災上の観点から非常に有益な情報となる。これを単独積乱雲による豪雨であるゲリラ豪雨に対して可能にしたのが、増田・中北²⁾のライフステージである。増田と中北²⁾は積乱雲の発達段階を概念的に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って、その粒子判別結果からライフステージをリアルタイムに判定する手法を開発した。さらに、

Kimら³⁾は、このライフステージ判別情報がゲリラ豪雨の定量的な危険性予測において有用であることを示した。もし、線状対流系についても同様にライフステージを現在時刻から判定できれば、それは防災上有益な情報となると言える。

1.3 本研究の目的

線状対流系は、列をなした積乱雲が組織化し、一つの“系”として振る舞うことで成り立つ。したがって、積乱雲同士の組織化の過程や達成度、その持続性を考えることが、すなわちシステムとしての線状対流“系”のライフステージを考えることにつながる。本研究では、線状対流系内の積乱雲を個別で追跡し、積乱雲同士が組織化する過

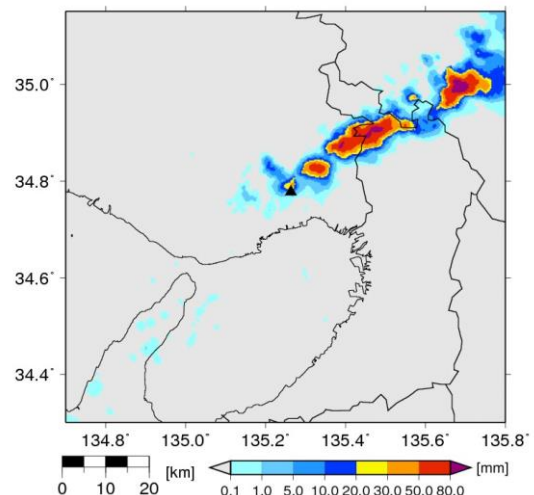


図1 7月15日2時における地上降雨強度。



図2 渦度(左)と反射強度(右)の三次元描画結果 (亀岡豪雨, 2012年7月15日02時00分)
左は赤が正の渦度で, 青が負の渦度を表す。

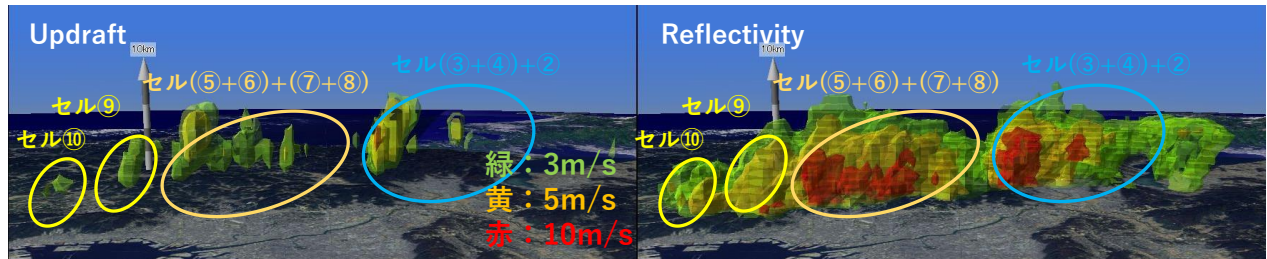


図3 上昇流(左)と反射強度(右)の三次元描画結果 (亀岡豪雨, 2012年7月15日02時00分)

程で, 系の内部構造としての三次元風速場の変化を調べ, 組織化の様子を捉えることを目的とする。

2. 渦管及び上昇流の推定と描画

積乱雲の成長において特に重要だと考えられている渦度と上昇流に着目して, その時間変化を追跡する。三次元風速場はマルチドップラー解析で推定し, 渦度は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。なお, 解析事例としては図1に示す亀岡豪雨を用いた。

3. 亀岡豪雨における渦管挙動の解析

積乱雲が発生し始める0時ごろから, 反射強度と渦管を時間追跡していき, 積乱雲の結合や結合後にどのような変化を辿るかを確認した。結果, まず結合直後に, 高い頻度で反射強度の強い領域が大きくなり, エコーの高さが高くなることが見られた。それと同時に, 値の大きさと空間的な広がり大きさともに渦管が成長する様子が見られた。特に, 渦管は異なるセルだった積乱雲を超えて, 渦管が連続する様子が確認され, 渦管の併合のようなものが見られた。また, 積乱雲の結合が進み, 一つの集団となった後も集団内での渦管の成長が見られた。図3に示すように, 左の上流側の集団(セル⑤⑥⑦⑧で形成)よりも, 右側の下流側にあるより古い集団(セル②③④で形成)内の方がより強い渦管が見られるのが分かる。この差は反射強度の強さの違い以上に顕著であり, 積乱雲群が結合して集団となった後の組織化の進行度表す指標の一つとなる可能性が考えられる。

各時刻について, 反射強度の値が40dBZ台及び50dBZ以上の格子における渦度の平均値を求めたところ, 1時台から5時台にかけて明確な上昇傾向が見られ, 定量的にも渦度の強化が確認された。

4. 亀岡豪雨における上昇流挙動の解析

渦管と同様に上昇流についても時間的な追跡を行った。結果, 積乱雲が結合した直後に, 強い上昇流が発生することが分かった。また, 結合して集団となった後も, 図4に示すように集団内の下流側で大きな上昇流域が見られ続けた。積乱雲は上昇流によって発生し発達することから, この上昇流域の存在が, 積乱雲が結合し集団となった後に, その集団を維持させ続けることに寄与していると考えられる。また, この上昇流域の存在が渦管を強化し続け, 図3のような結果が見られた可能性が考えられる。今後の課題としては, 収束についても同様の解析を行い, 渦度, 収束, 上昇流の3つの関係性から, 渦度が上昇流域の存在に寄与する可能性についても検討したい。

参考文献

1. 京都府:平成24年 災害の記録。
2. 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。
3. 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。