

大規模降雨の発生位置と空間伝播の統計的性質

佐々木真*、荒川弘之**、杉田 暁***、伊藤公孝***

*九州大学、**島根大学、***中部大学

1. はじめに

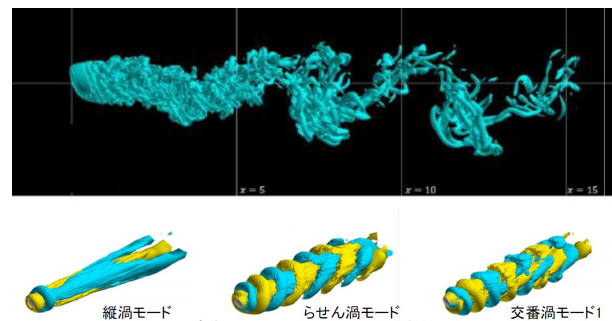
降雨はしばしば集中豪雨や台風等をもたらす生活に重大な影響を与える。特に、集中豪雨では多くの場合、線状降水帯と呼ばれるメソスケール構造を生み出し（図 1）、バックビルディング現象を引き起こし、断続的に大規模な降雨をもたらす。このような空間的に局在し・突発的に駆動される降雨構造の数値予測は十分ではないため、観測データから降雨構造の時空間構造の特徴を抽出し、現象の理解、ひいては防災に役立てることが必要である。本研究では、気象観測データにデータ駆動科学的手法を適用することで、突発的な大規模降雨に対してその特徴的な時空間特性を抽出し、地形との関連について調べた。



図 1: 九州地方で観測された線状降水帯の例

2. 方法

対象とした大規模降雨に関するデータには、気象庁・一般財団法人気象業務支援センターから配信を受け、共同利用に供している「高解像度降雨ノウキャスト」のデータを用いた。2019年8月29日の九州地方のデータを対象とした。解析手法には、教師なし機械学習の一種である動的モード分解 (DMD) を採用した[1]。DMDでは、指数関数的に成長・減衰するような非定常データについて、観測データのみに基づいて、データの基底を得ることが出来る。近年、流体力学などの非定常変化を伴う現象に適用され、その有用性から急速に進展している方法である（図 2）。その概略を示す。DMDでは、システムの非線形的な時間発展

図 2: DMD 法の適用例：
大気圏突入カプセル周りの非定常流れの分解[2]

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, t; \boldsymbol{\mu}) \quad \Rightarrow \quad \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x}$$

を線形演算子 \mathbf{A} で置き換え、データ \mathbf{X} とその時間変化のみから演算子 \mathbf{A} を逆算しようとするものである。この方法を用いると、システムの発展に重要な空間構造（固有ベクトル）とその時間変化（複素固有値）を同時に得ることができる。本研究では、システムデータ \mathbf{X} に高解像度降雨ノウキャストの観測データである降雨の 2 次元断面の時間発展を選び、その特徴的構造を抽出した。

3. 結果

2019年8月29日の九州地方の降雨の時間発展を図 3 に示す。長崎半島の西側で成長を始めた降雨構造が東方向に伝播しながら有明海を渡った後に線状の構造に変化している様子がわかる。この線状構造に成長する過程を理解すべく、図示した時間帯全域の時空間データに DMD 法を適用した。

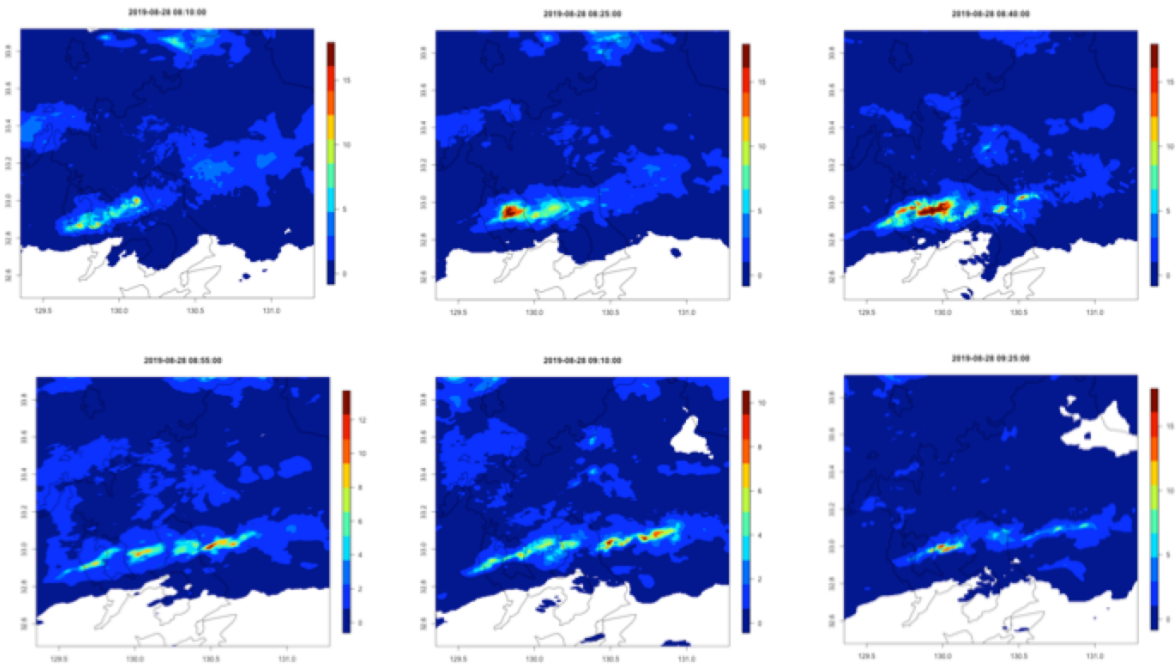


図 3： 2019 年 8 月 29 日の九州地方の降雨時間発展（右上より左へ、全 1 時間 25 分間の様子）

DMD 法を適用すると、固有値・固有ベクトルに加え、各固有ベクトルに対応した特異値が得られる。以降では、各モードの特異値を示し、固有値（周波数および成長率）、固有関数（DMD モード、空間構造を示す）について述べる。

まず、各固有ベクトルに対応する特異値について上位 14 モードを図 4（左）に示す。各特異値は指数関数的に減少することから、少数のモードでの打ち切りが可能であることがわかる。ここで、図には共役モードの特異値は共役モード間で同様となるため、共役モードは除外して示している。それぞれの DMD モードに対応する複素固有周波数は図 4（右）に示している。成長率は実部、周波数は虚部に対応する。図のように、上位 5 つの DMD モードは成長率が正であり、成長モードであることがわかる。これらの DMD モードが降雨の成長に寄与している可能性がある。また、成長率の大きさは特徴的には 1 時間程度の時定数を持つことがわかる。

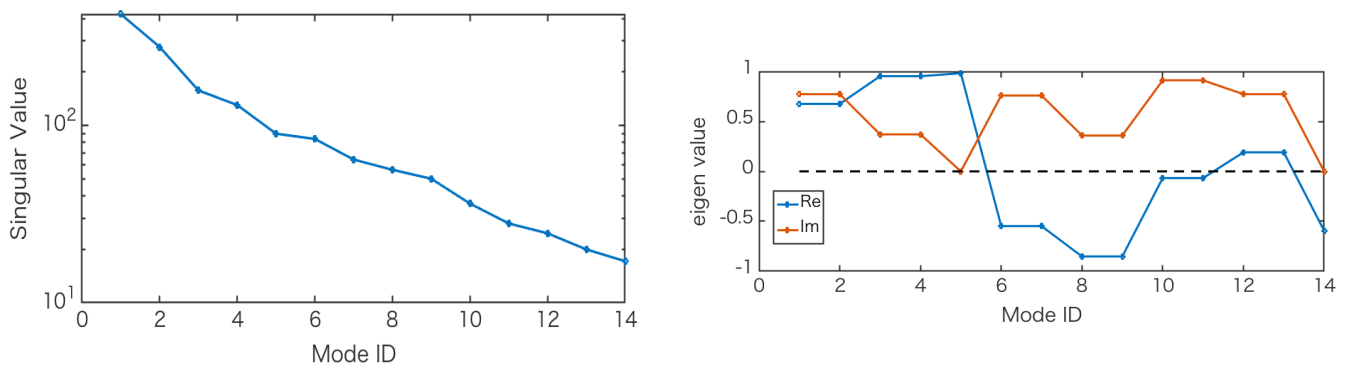
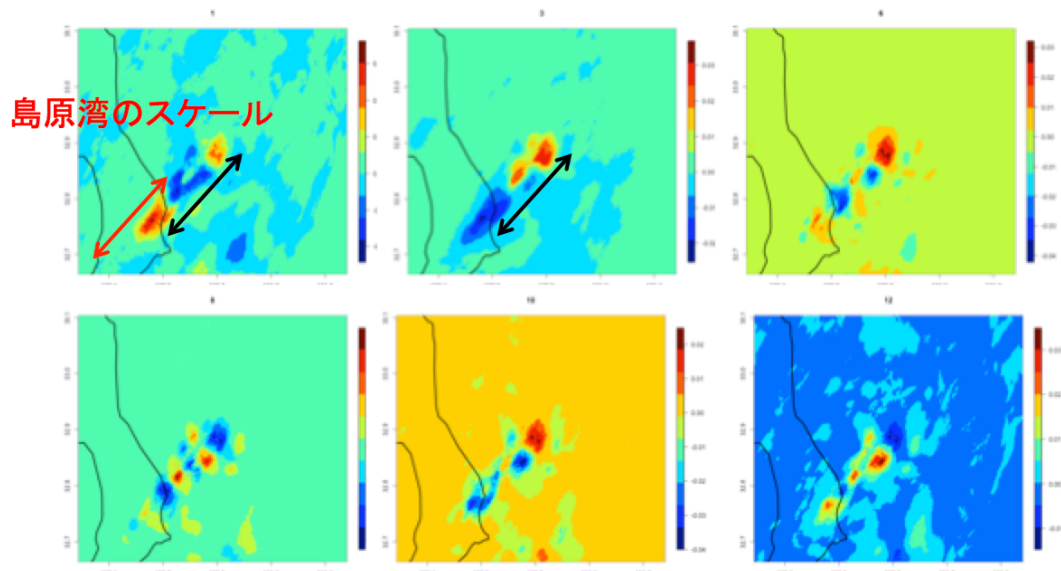


図 4： 各 DMD モードの特異値（左）。各 DMD モードの複素固有周波数（右）。

次に、空間構造に対応する DMD モードを図 5 に示す。ここでは、モード 1 の特異値（最大特異値）の 30% 程度のところで打ち切り、上位 6 モードについてその構造を示している。得られた DMD モードの構造をみると、伝播方向の構造の空間スケールに島原湾程度のスケールが現れていることが分かる。さらに、島原湾スケールだけでなく、その高調波スケールも見えており、非線形な構造をしていることが分かる。降雨構造に島原湾スケールが見えていることから、降雨は島原湾を通過時に海洋から湿気を得て成長している可能性がある。この結果は、大規模降雨の空間構造に特徴的な地形スケールが現れる可能性を示唆している。今後、様々な地域で同様の解析を行い、統計を増やすことが必要である。



共役モード・平均モード以外を示している

図 5: DMD モードの例。重要モードから上位 6 モードを表示

5. まとめ

本研究では、2019 年 8 月 29 日九州地方の降雨について、高解像度降雨ナウキャストの観測データを用い、DMD 法を適用することで降雨発達時の時空間構造解析を行った。DMD モードの特異値はモード番号とともに指数関数的に減少することから、少数自由度における展開が可能であることがわかった。さらに、降雨成長に対応した DMD モードには、島原湾スケールおよびその高調波成分が現れることがわかった。この結果は、降雨構造に地形効果が見える可能性があることを示唆している。今後、様々な地域で同様の解析を行い、統計を増やすことで、降雨構造と地形の関係を精度よく理解し、防災に役立てることが重要である。

6. 謝辞

本研究は中部大学問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究 IDEAS201931 の助成を受けたものです。

参考文献・データ

1. M. Sasaki, et. Plasma Phys. Control. Fusion, 61, 112001 (2019).
2. <https://www.vinas.com/seihin/fbasis/jirei.html>