

線状対流系における3次元降水強度分布のマルチフラクタル解析
 Multifractal Analysis of Three Dimensional Rainrate Structure
 in Linear Mesoscale Convective Systems

○大野哲之・山口弘誠・中北英一

○ Akiyuki ONO, Kosei YAMAGUCHI, Eiichi NAKAKITA

Linear Mesoscale Convective Systems have often occurred and caused severe disasters in Japan. Characterizing spatio-temporal features of the self-organization of convection systems is one of the significant problems in the prediction and prevention of heavy rainfall disasters. The three-dimensional rainrate dataset during the Northern Kyushu heavy rainfall event in July 2017 was obtained from X-band radar observation to conduct multifractal analysis. Generalized dimension (D_q) spectrums which indicate the degree of spatial bias for the value of rainrate showed multifractal distribution in the developing stage of rainfall systems. While in the quasi-stationary stage, D_q spectrums show that the strong rainfall area has a distribution close to monofractal. It suggests that stationary convection systems are represented as a spatial homogeneous structure in terms of rainrate and are closely connected with cloud physics such as cold rain process and water vapor flux (139 words).

1. はじめに

帯状の局所的な降水域が長時間持続する線状対流系の発生過程の理解、およびその予測は、河川の氾濫や土砂災害に対する防災上重要な課題である。自己組織化された積乱雲群は風速場や降水粒子の分布等の観点から時空間的なパターンを形成することが予想されるが、特に量的な分布に対するパターン解析において、フラクタルの概念を拡張したマルチフラクタルは有効な手法と考えられる。実際台風を対象としたマルチフラクタル解析から、レーダ観測と数値実験における高度5 kmの降水強度分布は、高度1~2 kmのそれに比べて比較的良い対応関係を持つことが報告されている[1]。しかし、線状対流系の降水強度の3次元分布をマルチフラクタル解析の対象とした研究自体が少ない上に降水強度分布の時間発展に着目されてこなかった。そこで本研究では線状対流系の降水強度の3次元分布についてマルチフラクタル解析を行い、積乱雲の自己組織化前後の相違点についてマルチフラクタルの観点から議論する。

2. 解析手法

マルチフラクタル解析では、解析領域をサイズ ε のピクセルに分割し、ゼロでない値を持つ各ピクセルにおける確率値 $P_i(\varepsilon)$ を算出する。確率値 $P_i(\varepsilon)$ の $(q-1)$ 次モーメントである分配関数

$Z_q(\varepsilon)$ 、および一般化次元 D_q をそれぞれ式(1)、(2)のように定義する。

$$Z_q(\varepsilon) \equiv \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} \{P_i(\varepsilon)\}^q \quad (1)$$

$$D_q \equiv \frac{1}{q-1} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln Z_q(\varepsilon)}{\ln \varepsilon} \quad (2)$$

ここで、 $N(\varepsilon)$ はゼロでない値を持つピクセルの総数である。パラメータ q を小さい方から大きい方へ変化させることで、分配関数 $Z_q(\varepsilon)$ に寄与する確率値 $P_i(\varepsilon)$ の部分をチューニングすることが可能である。ピクセルサイズ ε を変えながら分配関数 $Z_q(\varepsilon)$ を評価し、そのスケーリング指数を近似的に算出することで一般化次元 D_q を計算することができる。解析対象の分布のうちパラメータ q でチューニングされた部分が空間的に均等に分布するか否かで分配関数 $Z_q(\varepsilon)$ の値は変化するため、確率値(降水強度)によって空間的な偏り度合いに差が小さい場合、一般化次元 D_q のスペクトルは一定に近い値(モノフラクタル)を示す。一方で空間的な偏り度合いの差が大きい場合、 D_q スペクトルは曲線(マルチフラクタル)を示す[2]。

解析事例は2017年7月九州北部豪雨とし、国土交通省管轄のXバンド偏波レーダで推定された降水強度を基に、5分毎に解像度250 mのCAPPIを作成した。図1の黄色線で示した線状対流系の周

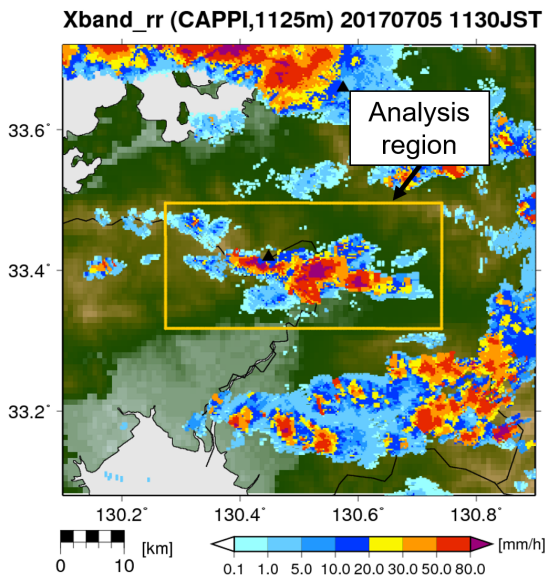


図 1: X バンドレーダ観測の CAPPI と解析領域.

圏を解析領域に設定し、降水強度の 3 次元分布に対するマルチフラクタル解析を行った。

3. 解析結果

以下では 1100~1130JST を線状対流系の「発達期」、1135~1205JST を「準停滞期」と呼称することにする。発達期における CAPPI では弱い雨雲が衰退しながら東進し、代わりに帯状の降水域が発達し始める様子が確認された。図 2(a) に発達期における D_q スペクトルを示す。降水強度が相対的に大きい領域のスケール性を示す $q > 0$ の領域では、直線ないしは緩やかな曲線が示されていた。衰退期の雨雲が分布する時間帯 (1100~1110JST) では時間によって多少のゆらぎはあるものの、一般化次元 D_q は約 2.5 で一定であった。上空で帯状の降水域が形成され始めた 1115JST 以降は時間ごとのスペクトルの変化が大きくなり、強雨域が拡大した 1130JST には一般化次元 D_q が約 2.65~2.70 程度の値を取るようになった。一方で、降水強度が相対的に小さい領域のスケール性を示す $q < 0$ の領域では一般化次元 D_q が急激に変化する様子が示されたものの、降水強度の最小値の設定、降雨減衰の影響等が含まれるため定量的な議論は今後の課題とする。

図 2(b) に準停滞期における D_q スペクトルを示す。準停滞期における CAPPI では活発な雨雲が持続的に発生していた様子が確認された。強雨域のスケール性を示す $q > 0$ の領域における D_q スペクトルは、発達期と対照的に時間ごとのスペクトルの変化がほとんどなく、一般化次元 D_q も約 2.8 程度でほぼ一定の値を取ることが示された。

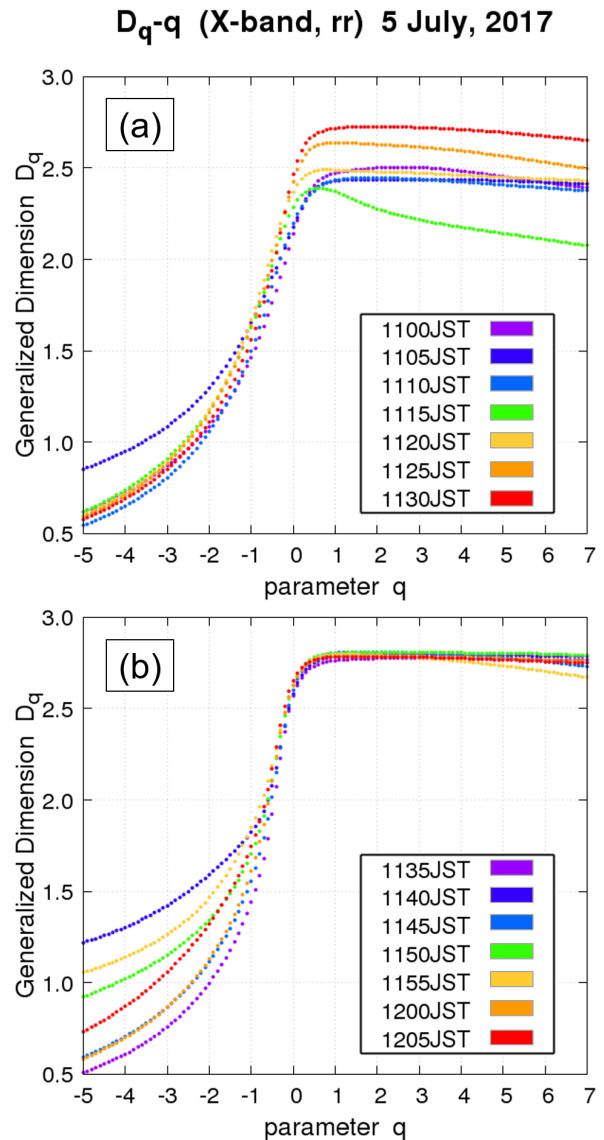


図 2: 5 分毎の CAPPI に基づく 3 次元降水強度分布の一般化次元 (D_q) スペクトル ((a) 発達期, (b) 準停滞期).

4. まとめ

線状対流系発生時の X バンド偏波レーダ観測を用いて、3 次元降水強度分布を対象としたマルチフラクタル解析を行った。線状対流系における自己組織化の過程は降水強度が空間的により均質なモノフラクタル的分布へ変化するという特徴を有すること、そしてこうした特徴が見られる要因として、冷たい雨等の降水過程や風速場、水蒸気フラックス等との関連性があることが示唆された。

参考文献

- [1] J. LEE et al., Multifractal Analysis of Rainfall-Rate Datasets Obtained by Radar and Numerical Model: The Case Study of Typhoon Bolaven (2012), *J.Appl.Meteor.Climatol.*, 2020.
- [2] 松下貢, フラクタルの物理 (II) -応用編-, 裳華房, 2004.