

鉄道等の通信用アンテナの電界の乱れの WTMM 法に基づく Multi-Fractal 解析 による降雨検知の試み

東京大学 正会員 ○水谷 司
三菱電機(株) 猪又 賢治
三菱電機(株) 辻田 亘
東京大学 フェロー 藤野 陽三

1. 研究背景と目的

近年頻発し、水災害などの原因となっている局地的豪雨を既存の気象観測システムのみで捉えることはその観測分解能の限界により困難である。著者らは日本国内の新幹線の軌道や高速道路の沿線に既に設置されているケーブル状の通信用アンテナである漏洩同軸ケーブル (Leaky Coaxial Cable : LCX) の周りの電界が降雨により乱れる現象に着目し、降雨を検知することを近年試みている¹⁾。これが実現すれば約 10m 間隔でケーブル上の降雨をモニタリングできると考えられるが、一般的な LCX の通信用の周波数 (VHF~UHF) 帯域の電波の降雨による変動は極めて小さく、また都市部においては高レベルの雑音が電波に付加されるため、電界の乱れから直接降雨を検知することは不可能であった。そのため、さまざまな信号処理、特に時間周波数解析による降雨時の電界の乱れの周波数特性の変化などを評価することにより、30mm/h 以上の豪雨 (気象庁定義で「激しい雨」) についてはほぼ確実に検知することが可能となったが²⁾、それ以下の強度の降雨については検知が困難であった。本研究では、今まで試みてきた信号処理手法とは視点を変え、降雨強度の時間変動にマルチフラクタル性があることを利用して、LCX の電界の乱れの Multi-Fractal 解析により降雨を検知することを試みる。

2. WTMM 法に基づく Multi-Fractal 解析

フラクタルとは自己相似性をもつ関数 (波形・図形) のことであり、複数の自己相似性が入り混じっている関数の場合にはマルチフラクタルという。フラクタル関数は特異性 (高次微分を含めた関数の不連続性) をもち、その特異性の分布から理論上マルチフラクタル性を求めることが可能である。特異性分布は図-1 に示すような上に凸の放物線状の“特異性スペクトル”によって知ることができ、横軸は特異性強度 α を示すため放物線の幅が広いほどよりマルチフラクタル性が強く、逆に狭いほどマルチフラクタル性が弱い、すなわちモノフラクタルに近いといえる。特異性スペクトルは WTMM (Wavelet Transform Modulus Maxima) 法²⁾により関数各点での特異性強度を推定し求めることができる。

3. 電界の乱れの Multi-Fractal 解析による降雨検知

図 2(a), (b) は 2010/09/23 の 00:00 から 19:00 までに計測された LCX の電界の乱れと降雨強度の時系列それぞれ示しており、前述の通り雑音により降雨と電界の乱れとの間に相関性が見られない。そこで(a)のデータを 15 分間ごとに分解し、それぞれのデータ区間について WTMM 法を適用し、マルチフラクタル解析を行う。先ほどの図-1 は実は図-2(a) のハイライト部分の特異性スペクトルを計算した結果であり、横軸に示す特異性強度 α は広がりをもっていることから、図-2(a) のハイライト部分はマルチフラクタル性を有することがわかる。ここで、マルチフラクタル性を定量的に評価する指標として、絶対値 $|\alpha_{\max} - \alpha_{\min}|$ を用いる。 $|\alpha_{\max} - \alpha_{\min}|$ が 0 となれば、単一の特異性強度をもつためにモノフラクタルであり、 $|\alpha_{\max} - \alpha_{\min}|$ が 0 より大きい値をとれば、特異性強度は広がりをもちマルチフラクタルであると解釈できる。 $|\alpha_{\max} - \alpha_{\min}|$ が大きいほど特異性強度 α の取り得る範囲が広く、より信号のマルチフラクタル性が大きいと考えられる。マルチフラクタル性が大きいとは、物理的にはさまざまな大きさの雨滴によりさまざまなタイプの不連続点すなわち特異性が発生していると解釈できると考えられる。

キーワード WTMM 法, Multi-Fractal 解析, 鉄道等の通信用アンテナ (LCX), 降雨検知, 電界の乱れ,
連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学本郷キャンパス工学部 1 号館 TEL 03-5841-6099

以上と同じ手順で、図-2(a)の信号の15分間ごとのデータの $|\alpha_{\max} - \alpha_{\min}|$ を計算した結果を図-2(c)に示す。図-2(c)から、 $|\alpha_{\max} - \alpha_{\min}| = 0.55$ に閾値を設定すれば、 $q_2 \sim q_5$ において閾値以上のマルチフラクタル性があることが確認でき、マルチフラクタル性から降雨を検知できる可能性があることがわかる。しかも、 q_5 が示すように、およそ10mm/hから20mm/h程度の降雨でもマルチフラクタル性が閾値を超えている部分があり、冒頭で述べた通り従来の信号処理手法では検出できないような降雨についても信号のマルチフラクタル性を評価することによって、検出できる可能性があると考えられる。以上のことは、前述の降雨強度

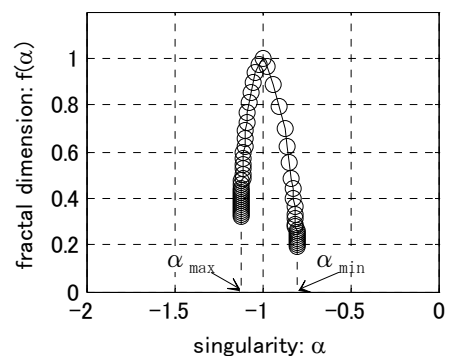


図-1: 特異性スペクトルの例

の時間変動にはマルチフラクタル性があるため、それがLCXの電界の乱れにも現れたことによると考えられる。ただし、図-2(c)から無降雨時においても前述の閾値以下ではあるがマルチフラクタル性があることが確認できる。これは、本実験で計測された雑音にある程度のマルチフラクタル性が存在していたためであると考えられる。図-2(c)より降雨検知のための閾値は雑音のマルチフラクタル性に依存するため、LCXを敷設している場所の雑音の時間・位置特性を把握しておく必要があると考えられる。

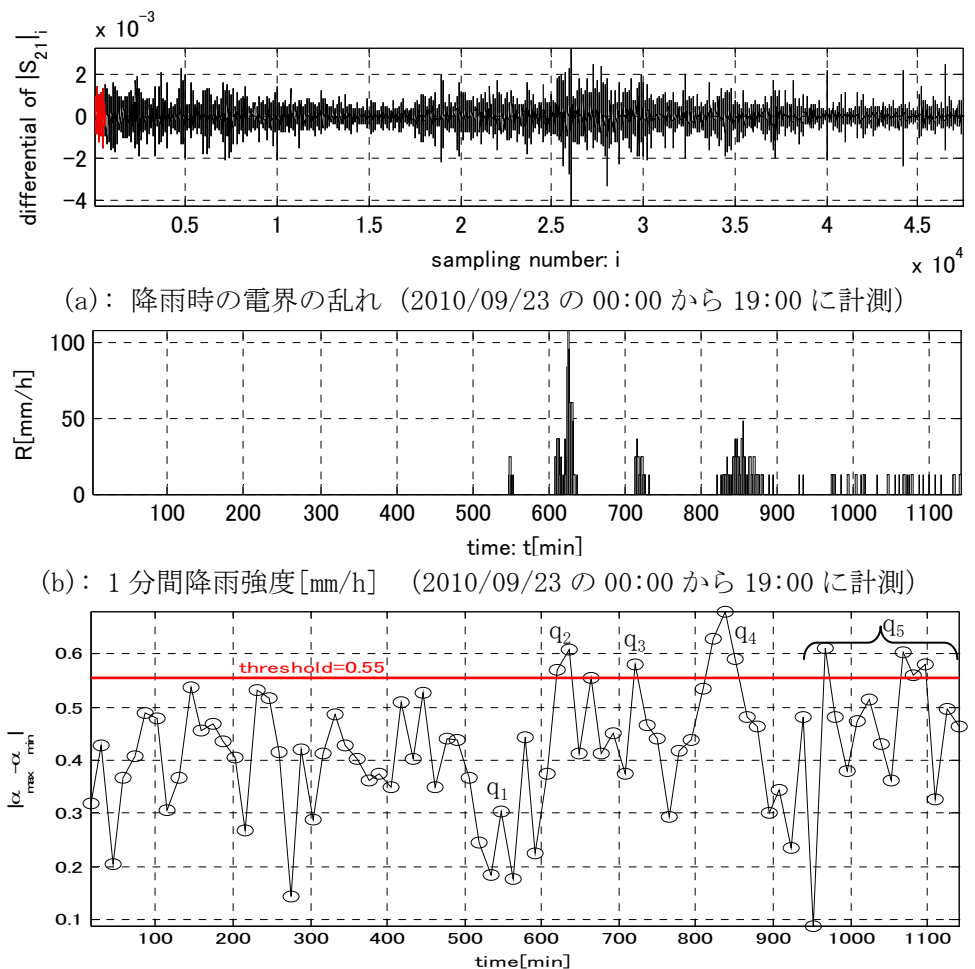
4. 結論

鉄道等の軌道に沿って設置されているケーブル状の通信用アンテナ(LCX)の高雑音下での電界の乱れから降雨を検

知するため、電界の乱れデータのWTMM法に基づくMulti-Fractal解析を行った。15分間ごとにデータを分割し、それぞれについてマルチフラクタル性を評価した結果、降雨が発生している区間のマルチフラクタル性が無降雨時のそれに比べて強くなる傾向があることを確認した。今後さまざまな場所で計測を行い、降雨による電界の乱れのマルチフラクタル性を分析し、その特性を把握できれば日本国内のLCXネットワークを使って地上雨量から豪雨を広範囲にモニタリングできる可能性があると考えられる。

参考文献

- 1) Mizutani T. *et al.* "Leaky Coaxial Cable Usage for Monitoring Real-Time Heavy Rain," Proceedings of 5th World Conference on Structural Control and Monitoring. Tokyo. Jul. 201; pp.1-7, 2010.
- 2) 水谷司ほか, "漏洩同軸ケーブルの電界の乱れからのマルチフラクタル解析による降雨検知の試み," 水文水資源学会誌, Vol.26(5), 2013. (accepted)



(c): (a)の15分間ごとのマルチフラクタル性を評価した結果

図-2: 計測データとそのMulti-Fractal解析結果