

見通し外 VHF 伝搬と気象現象・地震との関係及び自然 VHF の受信

米内口直之(電通大) 増田茂(東北インテリジェント通信(株)) 伊田裕一 安田好広 早川正士(電通大)

概要

地震に伴って発生する電磁放射は数多くの報告されている。本研究では自然 VHF 雑音のマルチフラクタル解析を通じて地震の前兆的 VHF 電磁放射の確認及び地震の地球物理的発生機構の解明に迫った。

その結果、2005 年 8 月 16 日 11 時 46 分に起きた宮城県沖地震の 3~5 日前より VHF 雑音にはマルチフラクタル性が見られ、その傾向は震度が大きく活断層に近い観測点に顕著に表れた。これは地震の前に地殻で起きている非線形プロセス（自己組織化現象）を表しているものと考えられる。

1. 研究背景と目的

地震に伴う電磁気現象は近年地震の短期予知として有望であると考えられている。地震に呼応した自然 VHF 放射は高周波であるため元来観測されないとされてきた。しかし Eftaxias らによると地震の前には VHF 雑音のフラクタル性が見られると報告している。

そこで、本研究では既に解析実績のあるマルチフラクタル解析によって、地震の影響によって形成される VHF 雑音のマルチフラクタル化の確認及び解析ツールの有効性と依存性の有無の確認を目的とする。

2. 観測システム

アンテナはディスコーンアンテナを使用し観測を行った。観測システムの構成図を図 1 に示す。

観測点は宮城県国見地区、大六天地区、栗原地区にて観測を行い、解析対象とした地震との位置関係は図 2 のようになる。解析時間とサンプリング時間は 7 月 28 日から 8 月 16 日までが 100sec になり、8 月 18 日から 9 月 6 日までが 72sec である。

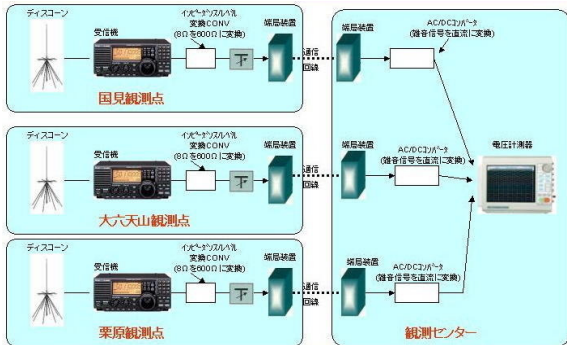


図 1：観測システム図

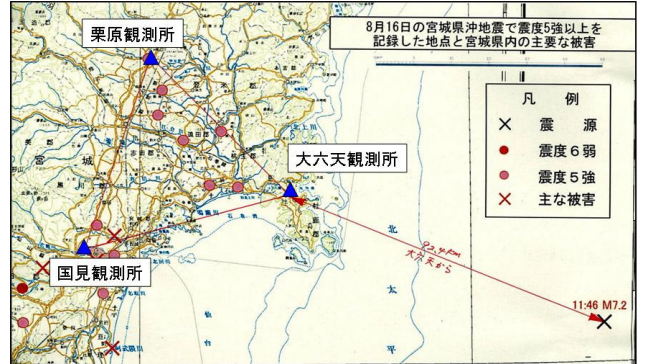


図 2：観測点と地震との位置関係

3. 解析方法

解析方法は非線形プロセスの解析で既に効果が上がっているマルチフラクタル解析を使用する。本研究ではその解析の中で主に信号処理で使用されている WTMM(Wavelet Transform Modulus Maxima) と MF DFA(Multi Fractal Detrended Fractuation Analysis)の 2つの解析を使用する。両者が異なる方法であるのは分配関数までのプロセスにある。WTMM の特徴はウェーブレット変換によってそれぞれのスケールでの極値を積分するのに対し、MF DFA はトレンドを除去し偏差のスケールリングに注目した方法である。それぞれの計算アルゴリズムは以下の通りである。

A) WTMM

本解析で使用するマザーウェーブレットは Morlet を選択し 1024point の時間スケールで式 1 を使用しウェーブレット係数を算出した。

$$wf(s,b) = \frac{1}{s} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \psi^* \left(\frac{x-b}{s} \right) dx \quad \text{式 1}$$

次に、式 2 の式を使用する。この時の q 次のモーメントは $-10 \leq q \leq 10$ とした。

$$Z(q,s) = \sum_n |Wf(u_n,s)|^q \quad \text{式 2}$$

そして、この分配関数 $Z(q,s)$ は式 3 のようにスケールされることが分かっている。

$$Z(q,s) \approx S^{\tau(q)} \quad \text{式 3}$$

この時得られる $\tau(q)$ を式 4 のルジャンドル変換を行うことで特異スペクトル $f(\alpha)$ が得られ、この特徴からマルチフラクタルの特徴を得る。

$$\alpha = \tau'(q) \text{ and } f(\alpha) = q\alpha - \tau(q) \text{ 式 4}$$

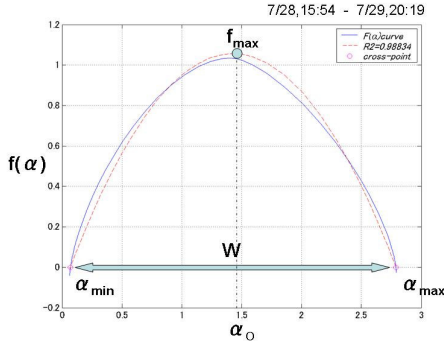


図 3 : 特異スペクトル $f(\alpha)$

B) MFDEFA

本解析では 1024point を 1つの時間枠とし、その中でさらに 10point から 100point に 1point 毎変化させたときのスケールリングの様子、つまりマルチフラクタル性を確認する。まず解析対象とする時系列データを式 5 のように

$$Y(i) \equiv \sum_{k=1}^i [x_k - \langle x \rangle] \text{ 式 5}$$

変換させ、次式にて 10point(s=10)から 100point(s=100)までのスケールリングを行う。

$$F^2(s, \nu) = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \{Y[(\nu-1)s+i] - y_\nu(i)\}^2 \dots (i)$$

$$F^2(s, \nu) \equiv \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \{Y[N - (\nu - N_s)s + i] - y_\nu(i)\}^2 \dots (ii)$$

$$(i) : \nu = 1, \dots, N_s \quad (ii) : \nu = N_s + 1, \dots, 2N_s \text{ 式 6}$$

式 6 で得られた $F^2(s, \nu)$ は次式の q 次のモーメントで計算される。このときの q は $-10 \leq q \leq 10$ とした。

$$F_q(s) \equiv \left\{ \frac{1}{2N_s} \sum_{\nu=1}^{2N_s} [F^2(s, \nu)]^{q/2} \right\}^{1/q} \text{ 式 7}$$

式 7 で得られた $F_q(s)$ は式 8 のようにスケールされ、式 9 を通し $\tau(q)$ に変換後、式 4 を使用し特異スペクトル $f(\alpha)$ を算出した。

$$F_q(s) \approx s^{h(q)} \text{ 式 8} \quad \tau(q) = qh(q) - 1 \text{ 式 9}$$

4. 解析結果

図 4 に WTMM によって得られた特異スペクトルの W , α_{\min} , α_{\max} , F_{\max} , δ を示す。この図より地震の発生する 3~5 日程前よりの W 上昇と δ の上昇が見られることから、VFH 雑音におけるマルチフラクタル性があることが分かる。この傾向は MFDEFA の結果でも同様であることから、解析ツールによる依存性はないことが分かった。」

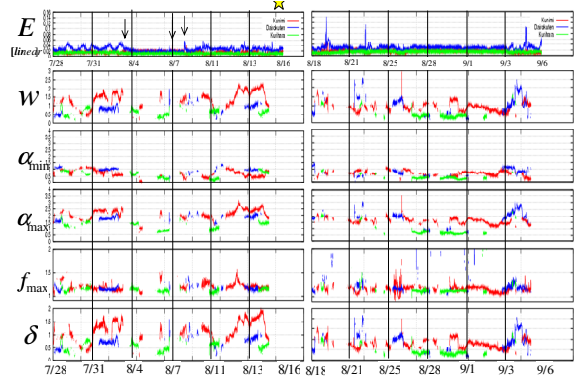


図 4 : WTMM により得られた特異スペクトル

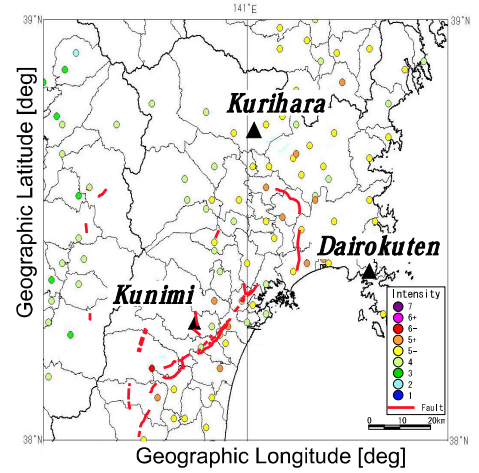


図 5 : 観測点と震度及び断層の位置関係

5. 考察

地震の前に先行して表れるマルチフラクタル性は、主に国見観測所で得られたデータに見られた。国見地区は震度が大きく活断層の長町-利府断層が存在する事実から、この地理的要因が高いと思われる。すなわち、地震の前に地殻では自己組織化現象が起こり、その現象に伴ってラドン等の Geochemical な物質が空中へ散布されたことによる間接的な現象が、電磁雑音として観測されたと思われる。

参考文献

1. Jan W. Kntelhardt, Stephan A. Zschiegner, Eva Koscielny-Bunde, Armin Bunde, Shlomo Havlin, and H. Eugene Stanley, Multifractal Detrended Fluctuation Analysis of Nonstationary Time Series, Physica A, Volume 316, Issues 1-4, 15 December 2002, Pages 87-114
2. P.G.Kapiris, K.A.Eftaxias, and T.L.Chelidz, Electromagnetic Signature of Prefrature Criticality in Heterogeneous Media, Physical Review Letters, Vol92, Num6, 2004.
3. Bogdan Enescu, Kiyoshi Ito and Zbigniew R.Struzik, Wavelet-based multiscale resolution analysis of real and simulated time-series of earthquakes, Geophys. J. Int., 2006, 164, 63-74.