



地震に伴うVHF放射の フラクタル解析

○米内口直之(電通大)

増田茂(東北インテリジェント通信)

伊田裕一 安田好広 早川正士(電通大)



背景

近年地震予知は、従来の地殻変動観測とは異なる新しい電磁気手法による短期的な予知が有望であるという報告がなされている

分類

自然放射
(地圏からの直接放射)

- DC
- ULF
- VLF/LF
- HF
- VHF

既存電波伝搬異常
(異常伝搬の検出)

- VLF/LF
- HF
- VHF
- UHF/SHF (GPS)

背景

不均質媒質に圧力がかかるとき、最終的な破壊（地震）が起こるまでの過程は、微小破壊(micro cracks)による核生成や合成によって特徴付けられる。さらに、VLFからVHFまでの幅広い周波数において発生するEM emission、Acoustic emissionは共に微小破壊(micro cracks)によるものと考えられ、それは破壊の前兆として考えることができる。

背景

Power-Law

時系列のEm emission の大きさ $A(t_i)$ が周波数のべき乗則(フラクタル的)に従うとすれば

$$S(f) = \alpha f^{-\beta}$$

α : power of the spectral components

β : scaling exponent

と表される

- Ex)
- Fully developed turbulence
 - Financial time series
 - Load of network traffic
 - Human heart electrocardiogram

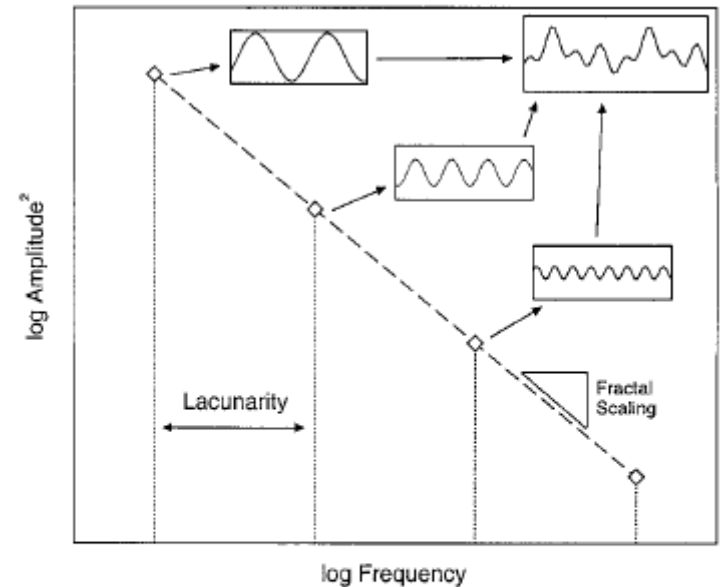


Figure 1. Spectral representation of pattern and scale. Each diamond represents a spectral component of the landscape. In fractal landscapes, amplitude decreases as a power-law function of the frequency. The log-transformed slope of the relationship is related to the roughness or fractal dimension of the surface. The change in frequency between successive spectral additions is related to the lacunarity of the surface.

背景



(a) Histograms of probability distribution of the correlation coefficient r and exponent calculated on 1024 measurements segments for three consecutive time intervals (blue frames) marked in (b). Insets show the percentage of segments with $r > 0.94$. (b) The time series of the 41 MHz field strength [4]. The star indicates the time of the earthquake occurrence. (c) The probability distribution of the exponent and the percentage of segments with $r > 0.98$ for 3 consecutive subintervals (purple frames) of 6 h duration each as marked in (b).



目的

地殻内での非線形プロセスの解析には、フラクタル解析が有効であることを我々は示している。

(Ida et al, Nonlinear Processes in Geophysics, 2006)

観測したVHF帯雑音データに対しフラクタル解析を用いて地殻内での非線形プロセス(自己組織化過程 (Self-organized criticality))の定量的評価を与える。さらに、複数の解析方法を試み、解析結果の妥当性を確かめる。

フラクタル

- **Mono-fractal**
 - self-similar fractal
 - self-affine fractal
- **Multi fractal**

マルチフラクタルとは、フラクタルの理論を一般化したもので、「ある構造を小領域に分割したとき、それぞれの小領域のフラクタル次元が異なる構造」である。また、マルチフラクタルは特異性スペクトルによって特徴付けられる

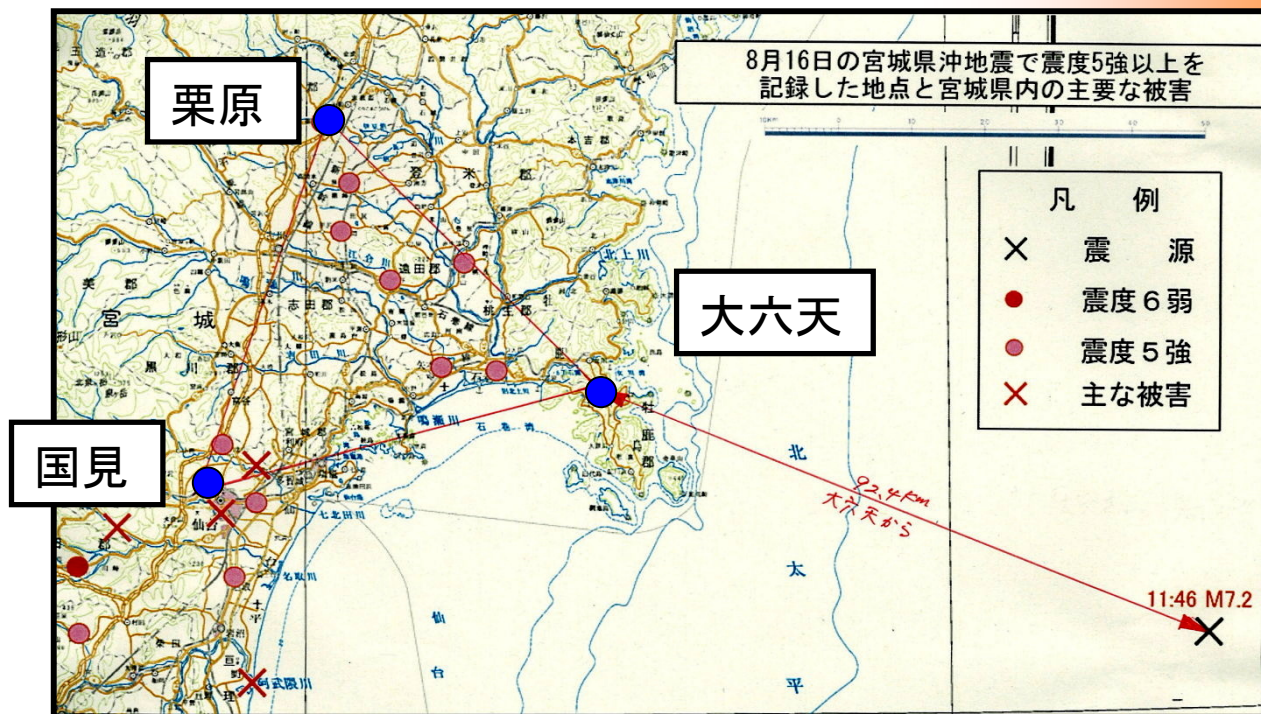


解析方法

- DFA (Detrended Fluctuation Analysis)
 - MF-DFA (Multi Fractal Detrended Fluctuation Analysis)
 - **Standard MF-DFA**
 - **Extended MF-DFA (maxima MF-DFA)**
- **WTMM (Wavelet Transform Modulus Maxima)**
- MWD (Mean Walker Distance)
- Higuchi Method
- Box-Counting method
- **Power-Law with Wavelet-Transform**

観測点・解析データ

- 宮城県
 - 国見
 - 大六天
 - 栗原
 - 石巻
 - 塩釜
 - 岩沼
 - 気仙沼



- Data
 - Time Series : 2005/7/28 15:33:13 – 2005/8/16 18:55:47
 - Earth earthquake : **2005/8/16 11:46:26** , **M7.2** , **Depth 42km**

観測機器・概要

- 周波数
49.5MHz
- アンテナ
ディスコーンアンテナ
- サンプルング
100sec , 72sec



- アンテナ: D130 / 第一電波工業㈱
- ディスコアンテナ⇒25~1300MHzまでの広帯域設計

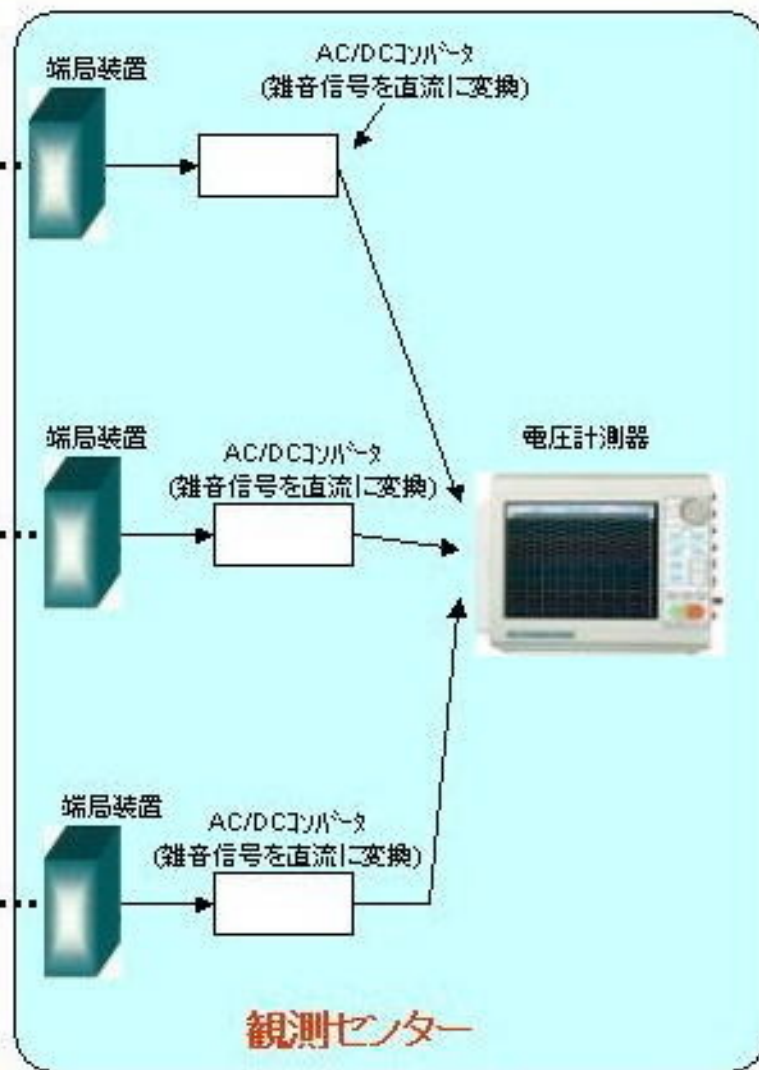


- 受信機: IC-R75 / アイコム㈱
- 感度 (AM) ⇒ 10dB SINで0dB μ 以下
- 選択度 (AM) ⇒ 6.0kHz以上 / -6dB, 20kHz以下 / -50dB



- 記録計: オムニエースⅢ (RA2300) / NEC製
- 40GB (HD) に長時間記録 ⇒ DC2v, 72s サンプルング (7200s/div), 約550万 day
- LAN, USBポート標準装備

観測システム



Multi Fractal Detrended Fluctuation Analysis

- **Step1**

$$Y(i) \equiv \sum_{k=1}^i [x_k - \bar{x}] \quad i = 1, \dots, N.$$

- **Step2**

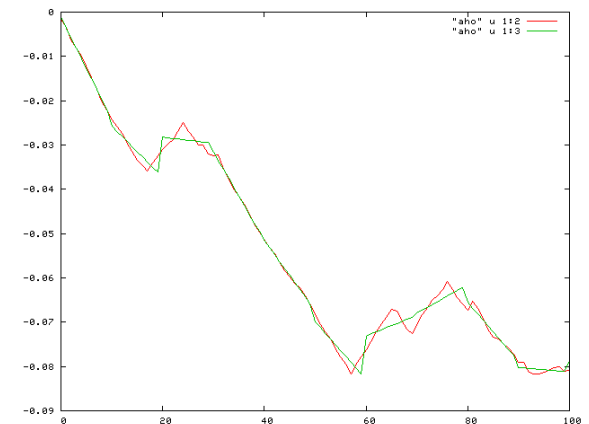
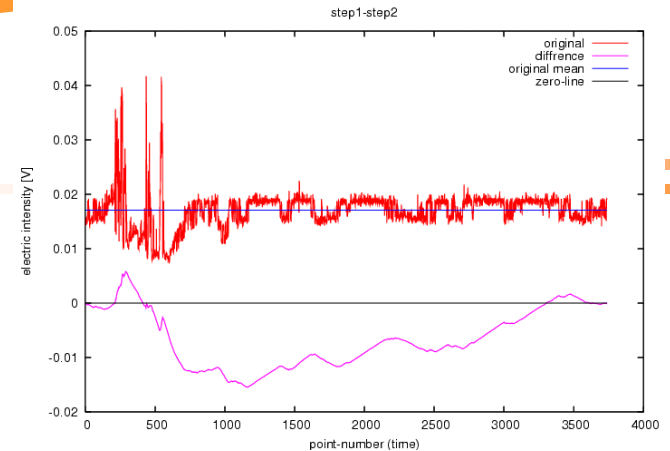
Divide the profile $Y(i)$ into $N_s = \text{int}(N/s)$ non-overlapping segments of equal length s .

- **Step3**

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

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

$$\mu = Ns + 1, \dots, 2Ns$$

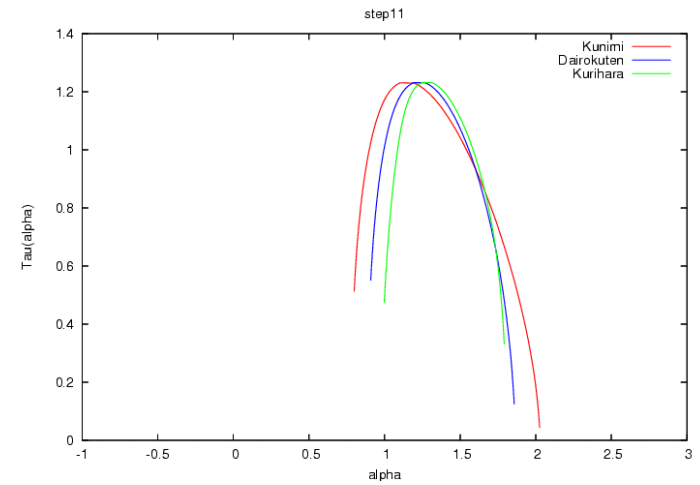
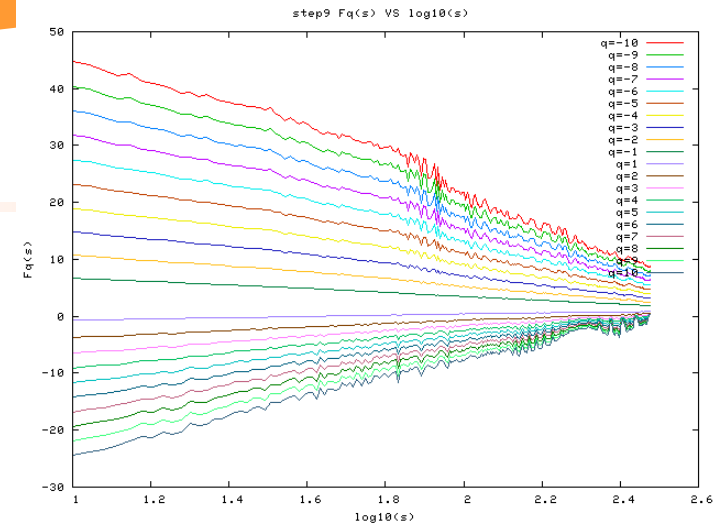


Multi Fractal Detrended Fluctuation Analysis

- Step4
Average over all segments to obtain the qth order fluctuation function

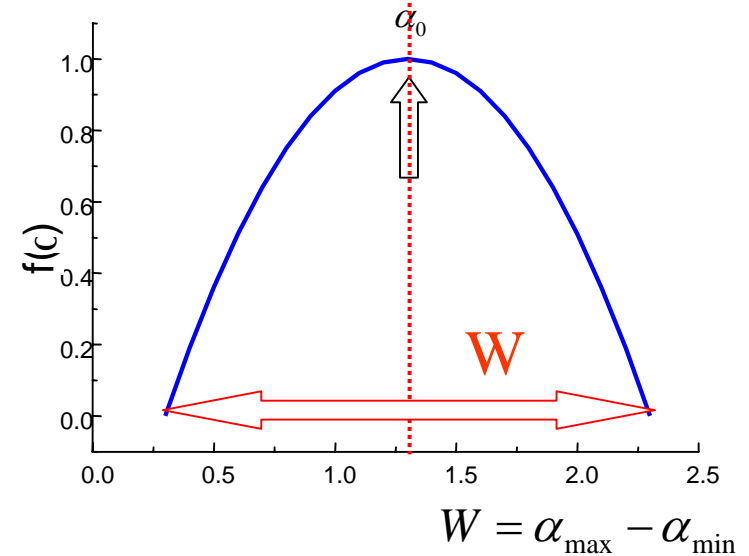
$$\sum_{F^2(s, \nu-1) < F^2(s, \nu) \leq F^2(s, \nu+1)} [F^2(s, \nu)]^{q/2} \approx s^{\tau(q)} \rightarrow f(\alpha) = q\alpha - \tau(q)$$

- Step5
Determine the scaling behavior of the fluctuation functions by analyzing log-log plots $Fq(s)$ versus s for each value of q .



Multi Fractal Detrended Fluctuation Analysis

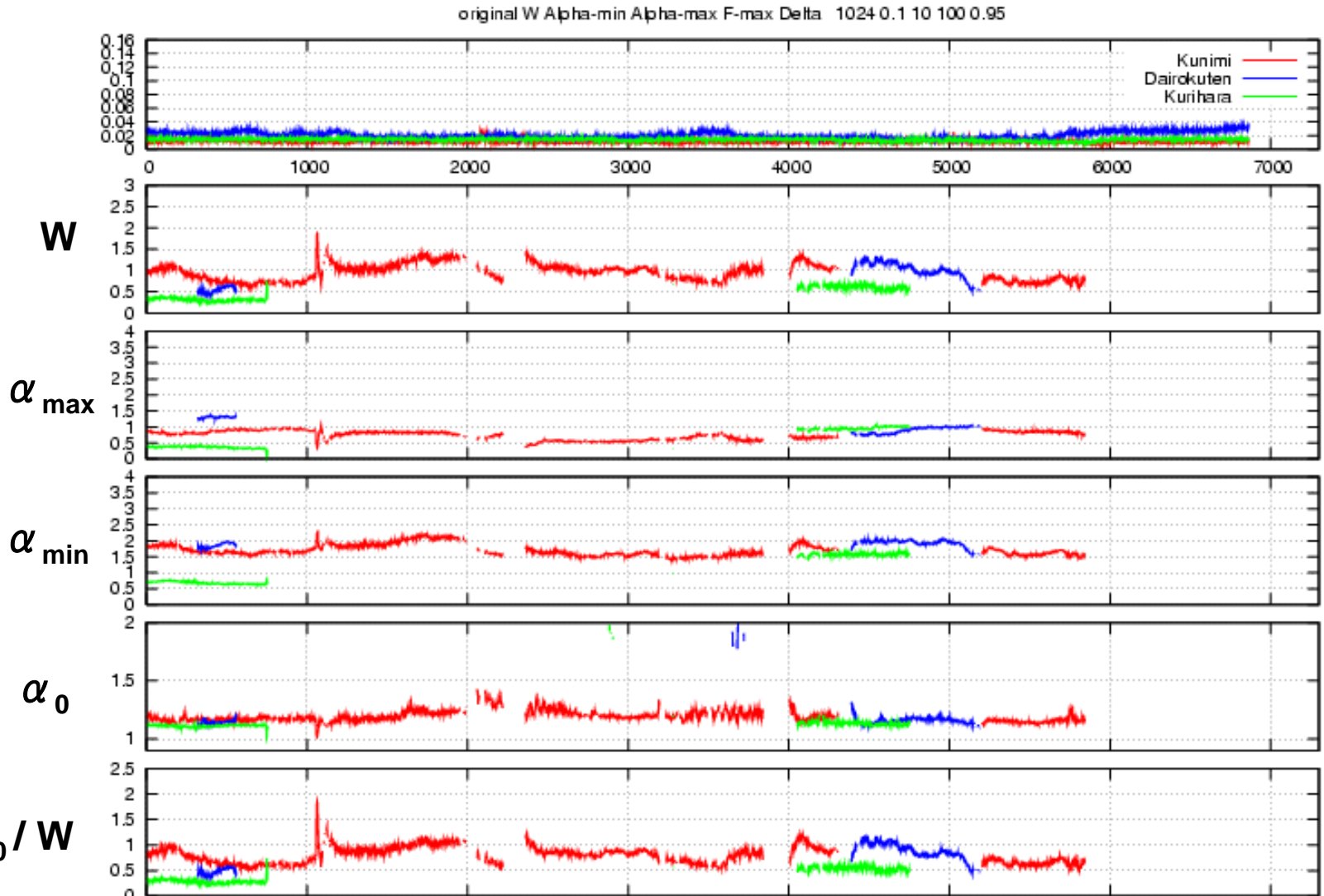
- Multi-fractal



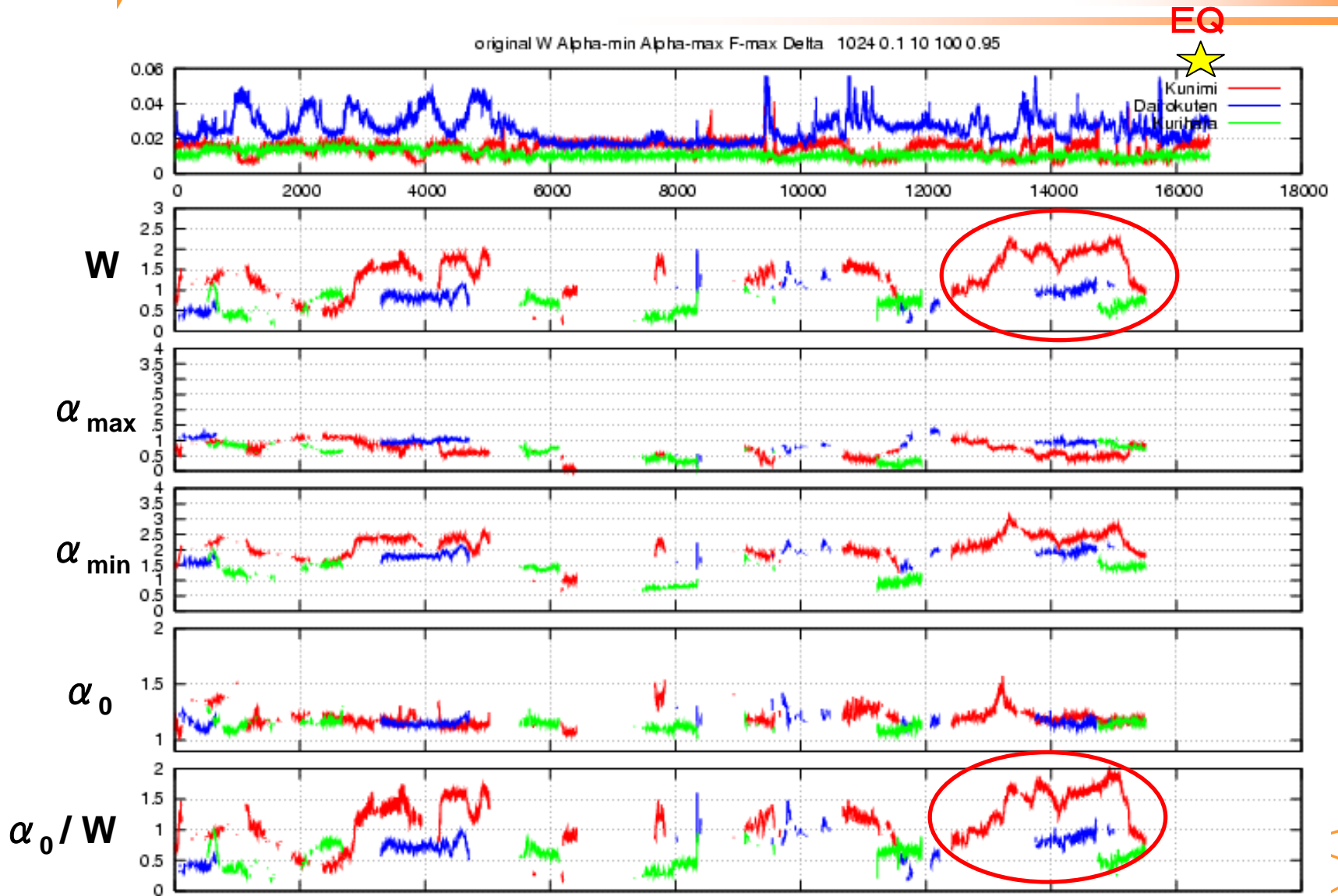
α_0 $\left\{ \begin{array}{l} \text{low} \rightarrow \text{the system "loses fine structure", it seems more regular} \\ \text{high} \rightarrow \text{the system appears more "complex"} \end{array} \right.$

$W \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{the wider the range of possible fractal exponents,} \\ \text{the "richer" the process in structure} \end{array} \right.$

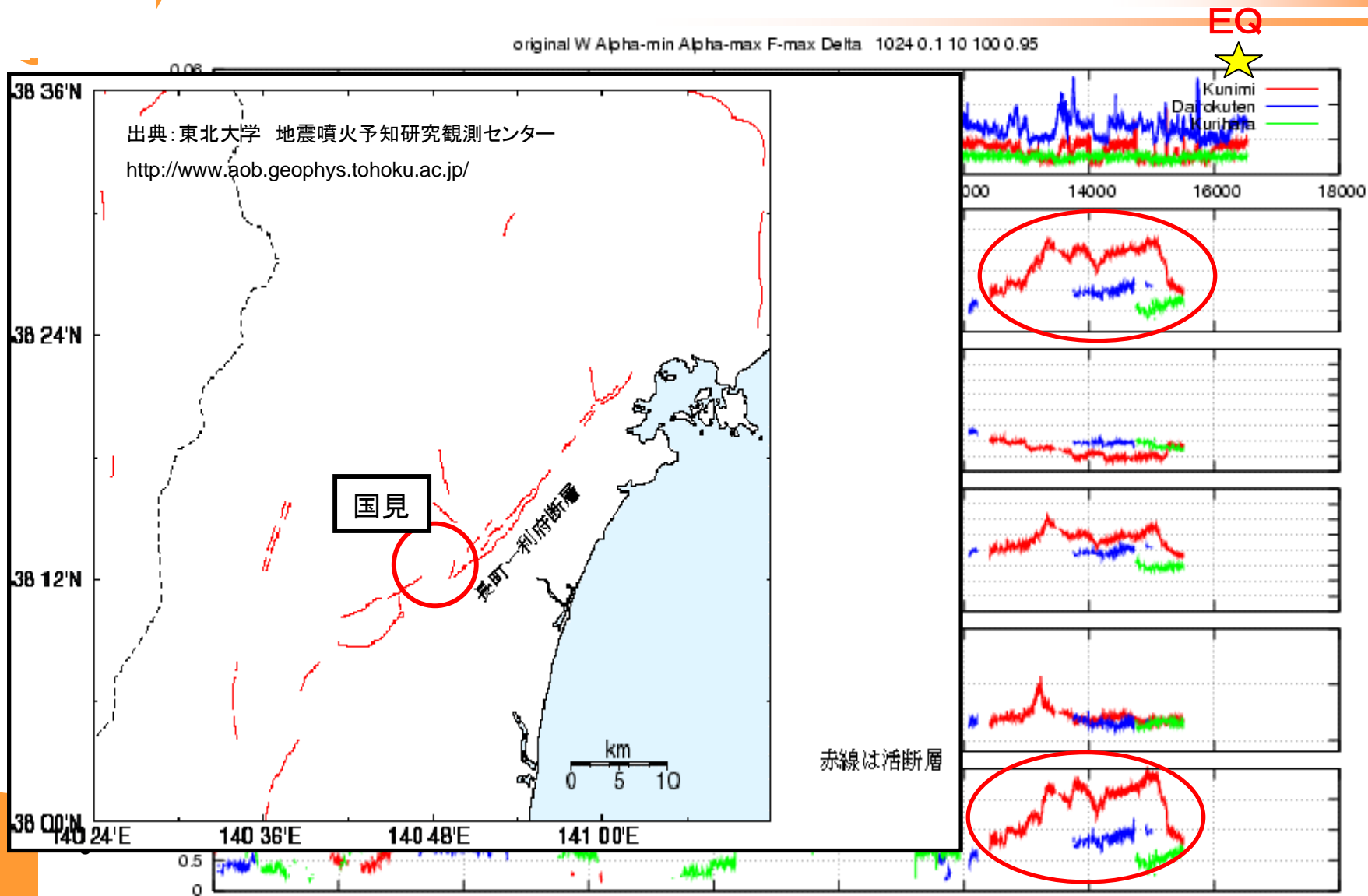
Multi Fractal Detrended Fluctuation Analysis



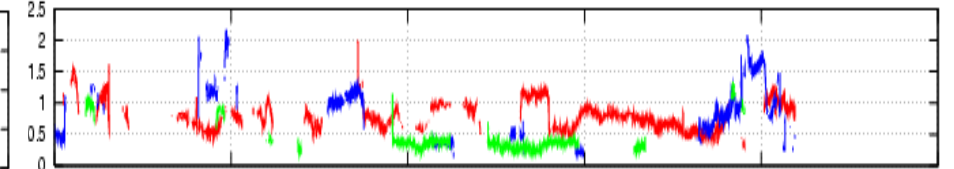
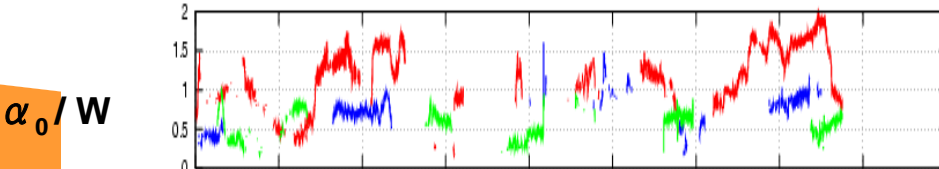
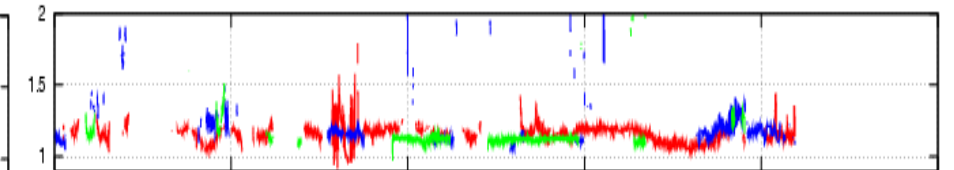
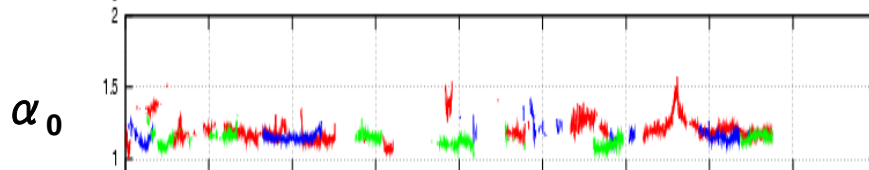
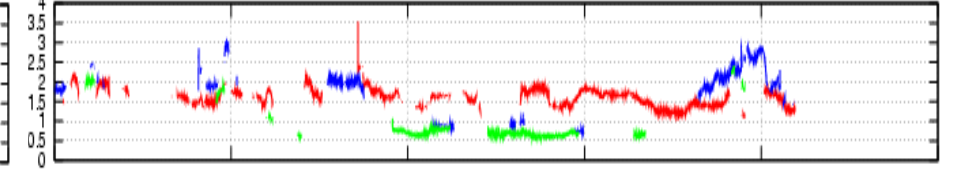
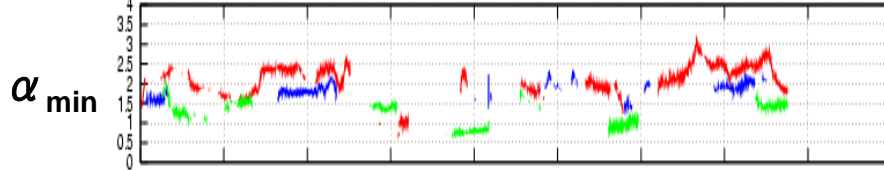
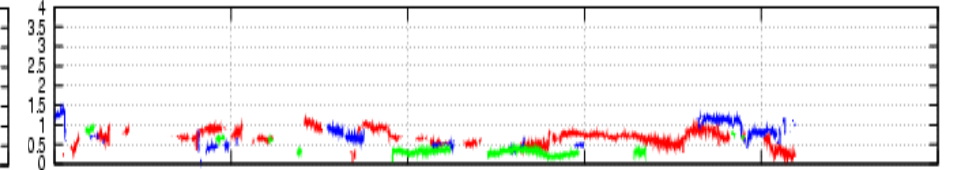
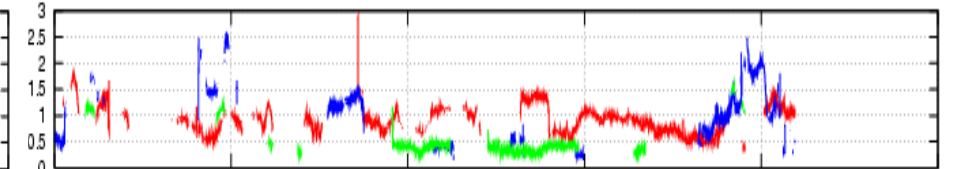
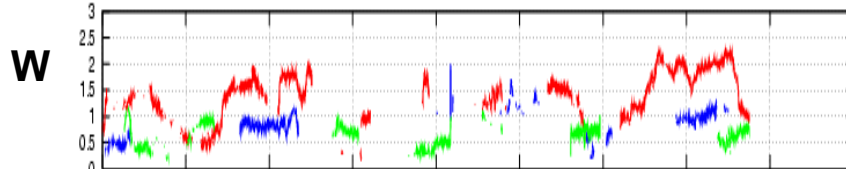
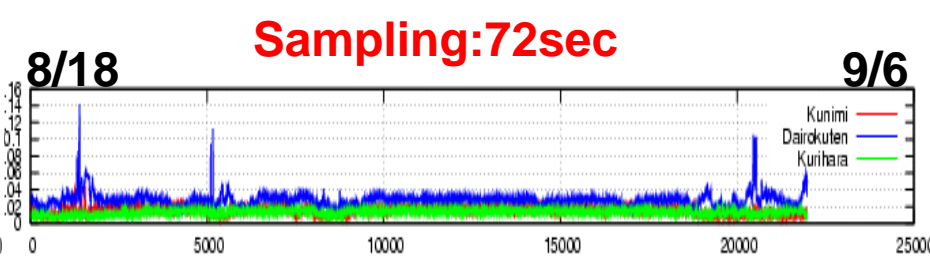
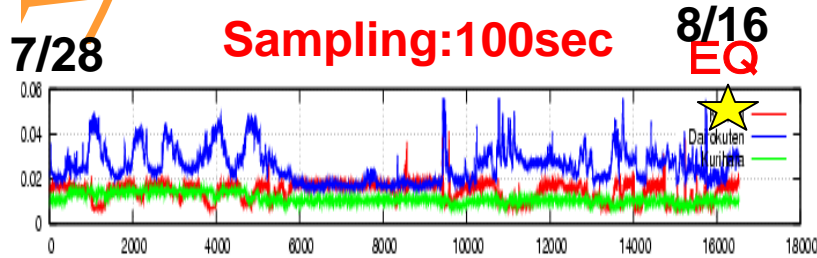
Multi Fractal Detrended Fluctuation Analysis



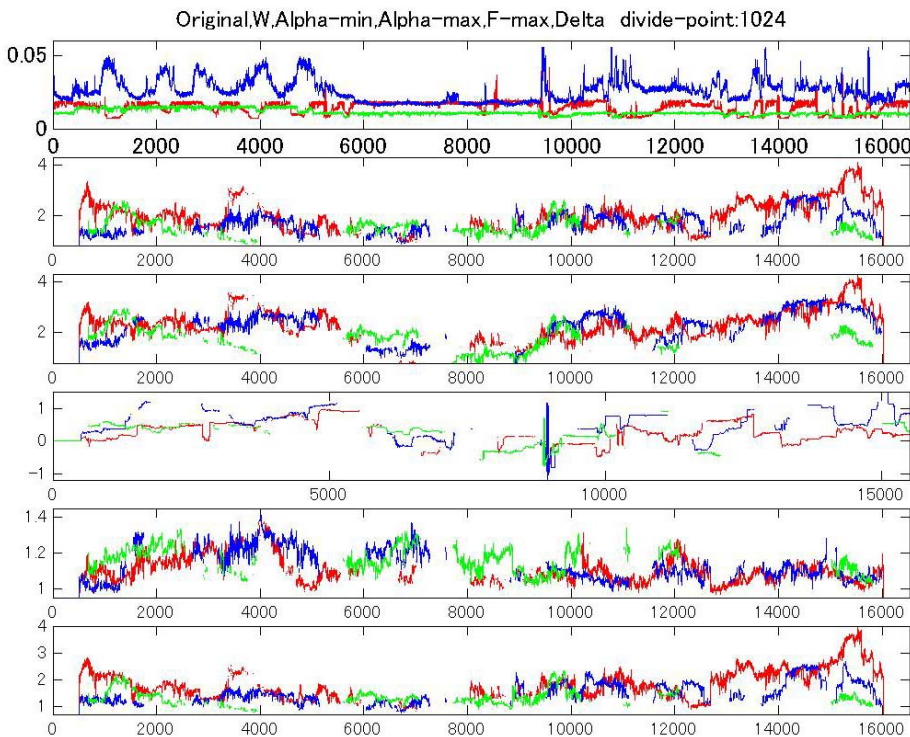
Multi Fractal Detrended Fluctuation Analysis



Multi Fractal Detrended Fluctuation Analysis



Wavelet Transform Modulus Maxima Multi Fractal Detrended Fluctuation Analysis

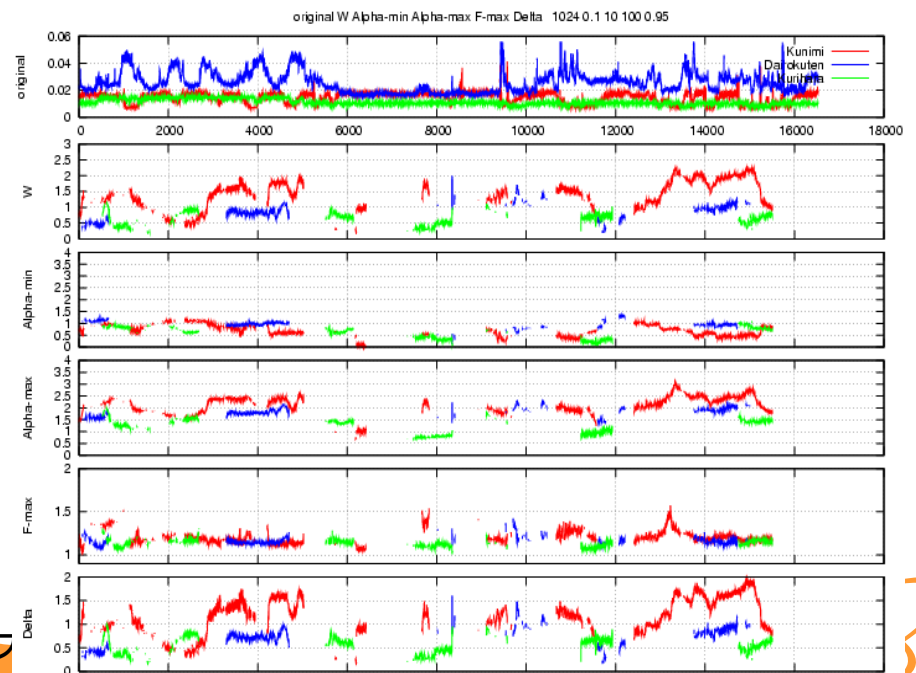


WTMM

2種類の解析方法より

同様な結果が得られた

MFDFA



まとめ・考察

Mono-fractal

- Power-Law with wavelet-transformの結果からは地震の前に明瞭なパラメータ(β 、 r)の上昇等は見られない。

考察

サンプリングによる影響と考えられる。

※K.A.Eftaxias et al.は1Hzサンプリング

Multi-fractal

- WTMMの結果より地震の前に**W**とDelta(= α_0/W : non-uniformity factor)は地震の**3~5日前より上昇**が見られた。

考察

波形の情報がより**複雑**になる。

- MFDFAの結果もWTMMと同様な結果が得られた。

考察

計算アルゴリズムが異なるToolの**依存性**はない。

- 震度が高い箇所(国見)において顕著な**W**、**Delta**の**上昇**が見られた。

考察

地盤、地質等、断層の影響？

地殻内での自己組織化現象が間接的に観測データに現れている？