

地震に伴う VHF 放射のフラクタル的特性の解明

米内口直之¹, 増田茂², 伊田裕一¹, 早川正士¹

1:電気通信大学 電子工学科 2:東北インテリジェント通信

1 研究背景と目的

地震に伴う電磁気現象は様々な周波数帯で観測されている。その中でも、我々は地圏内の非線型ダイナミクスに注目し、解析を行った。

フラクタル解析に代表される様な非線型ダイナミクスに注目し解析する方法として、地電流をナチュラルタイム解析する方法、ULF 帯磁場データをフラクタル解析する方法、VHF 帯自然放射をフラクタル解析する方法などが挙げられる。その中で、我々は VHF 帯自然放射に注目し解析を行った。

解析に用いた VHF 帯自然放射に関して、地震との関連性がいくつか報告されている。しかし、これらのデータには、人工雑音、雷などの様々な放射源からの電磁波が混在しているにもかかわらず、従来の報告では地震直前の強度変化にのみ注目したものがほとんどであった。そのため、VHF 帯自然放射データから、地震に関連した変動を取り出すには、信号分別をする必要があった。

そこで、VHF 帯自然放射データをフラクタル解析することにより信号分別を試みた。フラクタル解析とは、データのカオス・フラクタル特性に注目した方法で、一見ランダムに見えるデータにおいて規則性を見つける方法である。人工雑音や雷による変動と地震に関連した変動とはフラクタル的特性が異なることを想定し、解析を行った。

本論文の目的は、平常時の VHF 帯自然電磁放射のフラクタル的特性を明らかにし、地震の直前のフラクタル的特性と比較することで、地震前の地圏の自己組織化現象 (SOC : Self Organized Criticality) との関連を推察することである。

2 観測データ及び地震の諸元

図1に解析対象とした地震の震央位置を示した。解析対象とした地震は、2005年8月16日に宮城県沖で発生した Mw7.2 深さ 42km の地震である。また、図1に観測点の位置を示した。解析には栗原・大六天・国見の3観測点のデータを用いた。観測周波数は、49.5MHz であり、地震の前後約半月のデータを解析に用いた。解析に用いたデータは 2005年7月28日から2005年8月16日は100秒サンプリング、地震を挟んで2005年8月18日から2005年9月6日までは72秒サンプリングで観測された。

また、図1に地震の震度及び断層の位置を示した。これを見ると、国見観測点の近傍で最大震度である震度6弱が観測されていることが分かる。また、断層の位置を見ると、これも国見観測点の近傍に存在していることが分かる。よって、国見観測点が特に地震による様々な影響を受けやすい場所であるということが想定される。

3. フラクタル解析

3.1. フラクタルとは

フラクタルとは、約30年前に Mandelbrot によって創り出された概念である。フラクタルには、大きく分けて自己相似性、微分不可能、特徴的な長さが無い、

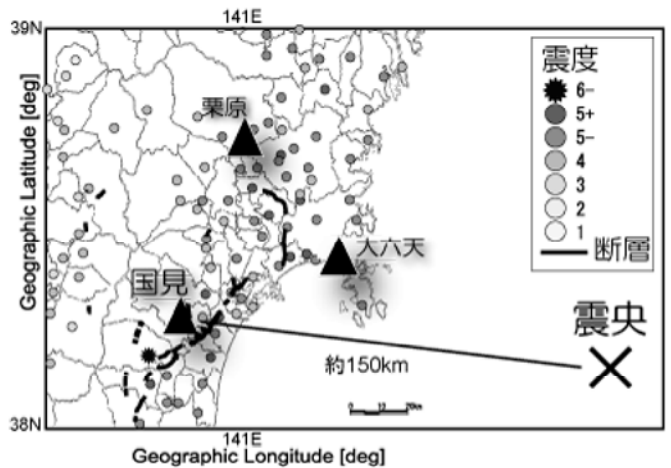


図1 地震の震央位置と観測点及び震度・断層の位置

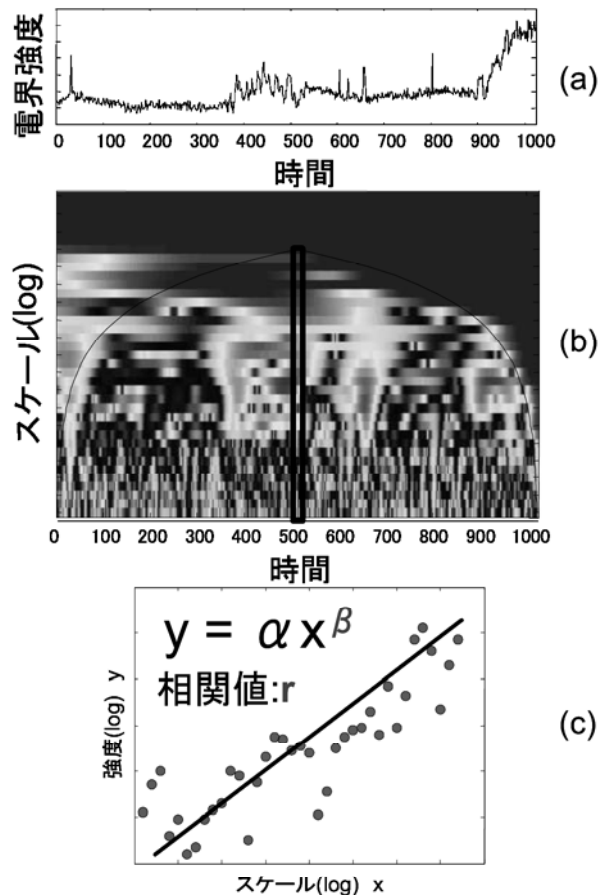


図2 ウェーブレット変換によるモノフラクタル解析の手順

非整数の次元を持つといった特徴がある。これらの特徴を持った波形及び図形を解析し、定量化する方法として、マルチフラクタル解析及びモノフラクタル解析がある。今回は、ウェーブレット変換を用いたモノフラクタル解析を用いて解析を行った。

3.2. ウェーブレット変換を用いたモノフラクタル解析方法

図2にウェーブレット変換を用いたモノフラクタル解析の手順を示した。(a)は解析時系列を示しており、(a)をウェーブレット変換すると、ウェーブレット変換の結果である(b)が得られる。この(b)の時系列の中心部分を取り出したのが(c)である。このデータを

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

で累乗回帰した。ただし、 $S(f)$ はウェーブレット変換後の値であり、 f は周波数である。解析結果には傾き β と回帰の度合いを示す相関値 r を解析に用いた。

3.3. β の値の解釈

β には値によって以下のような意味合いを持つ。

- $2 < \beta < 3$: Persistent (継続的)と言われ、過去で下降していれば、未来も下降する傾向を持つ。ポジティブフィードバックにより、破壊へ至る。自己組織化現象が発生していることを示す。
- $\beta \approx 2$: ランダムでブラウン運動を示しており、未来の状態が過去の状態に依存しない。
- $1 < \beta < 2$: Antipersistent (反継続的)と言われ、過去で下降していれば、未来は上昇する傾向を示す。ネガティブフィードバックにより、状態を一定に保つ。

上記で示したように、 β の値によって解析対象としたものが、どのような状態にあるのかを推察することが出来る。今回、SOC 現象である地震に関連した現象を対象としたので、地震の前には信号が Persistent になると推測される。

4. モノフラクタル解析結果

図3に国見観測点で観測された VHF 帯自然放射データのモノフラクタル解析結果を示す。この結果からは、地震に伴う異常は見受けられない。また、 β は概ね 2 以下となっている。他の観測点に於いても同様な傾向を示している。

そこで、 β を 2.5 以上 r が 0.97 以上の場合に限り値を表示したのが図4である。これを見ると、地震の直前に、国見観測点に於いて β が 2.5 以上のポイ

ント数が顕著に増加していることが分かる。それと同時に、相関値 r が 0.97 以上のポイント数も増加している。よって、VHF 帯自然放射データに Persistent 信号が地震前に顕著に増加したことが示された。

5. 結果及び考察

VHF 帯自然電磁放射をフラクタル解析した結果、各観測点とも β は概ね 2 以下の傾向を示した。これは、SOC とは無関係である変動を示している。このことより、VHF 帯自然放射は主に自己組織化現象を持たない現象(人工雑音等)の影響を受けている可能性がある。

また、地震直前に国見観測点に於いて、 β が 2.5 以上のポイント数が増加した。また、それと同時に、 r が 0.97 以上の数も増加していた。これにより、この変動は、VHF 帯自然放射データの継続性の増加を意味しており、SOC との関係性が示唆される。よって、SOC 現象である地震とこれらの変動が関係がある可能性がある。これらのことをふまえると、通常時には VHF 帯自然放射データは SOC ではない現象でほとんど占められ、 β は 2 以下の傾向が強くなる。そして、地震の前などで VHF 帯自然放射データが SOC 現象の影響を受けると、 β が高い成分が含まれるようになることが予測される。

また、国見観測点にのみ異常が観測されたことにより、地震直前のこれらの変動は、大規模に発生したものではなく、局地的な現象である可能性が高い。この原因として、国見観測点付近に存在する断層が関係しているのではないかと、推測される。

参考文献

1 Eftaxias, K., P. Kaperis, E. Dologlou, J. Kapanas, N. Bogris, G. Antonopoulos, A. Peratzakis, and V. Hadjicontis, EM anomaly before the Kozani earthquake: A study of their behavior through laboratory experiments, Geophys. Res. Lett., 29, 1228, doi:10.1029/2001GL013786, 2002.

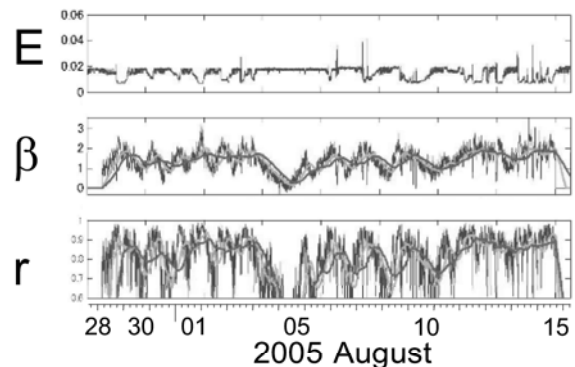


図3 国見観測点におけるモノフラクタル解析結果(電界強度, β , r)

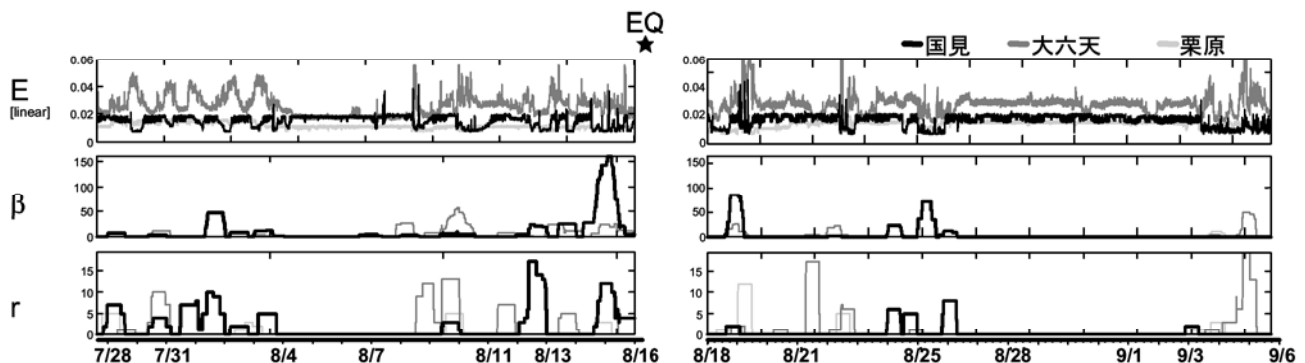


図4 3観測点におけるモノフラクタル解析結果(電界強度, $\beta > 2.5$ の数, $r > 0.97$ の数)