

時系列地殻変動と地震発生との関係

(株) 復建技術コンサルタント 正会員 荘司 雄一

1. はじめに

「応力が岩盤の強度近くまで高まり、部分的な破壊が開始している状態をとらえる必要がある。地震前兆とは、このような地下の状態を反映するシグナルである。シグナルが前兆であることを定量的に説明する物理的・化学的なモデルのあることが望ましいが、仮にそのようなモデルがなくても、前兆と地震発生との関係について十分な経験を積むことができれば、帰納法的なアプローチによる予知は可能である」¹⁾。

筆者はこれまでに GEONET²⁾ 時系列データの中から、地震前の共通の事象を見つけ出し、地震発生との関係を調査してきた。言わば逆解析を実施してきた。その結果、複数の観測点で、同じ日に特徴的な“変化点 (MAICE)” が検出できること、“変化点 (MAICE)” と地震発生との相関性が極めて高いことが知れた。とりわけ、M5 を超える地震では、明瞭に検出できることが確認された。予測問題を考えるとき、“変化点 (MAICE) (日)” と“地震発生 (日)” との関係が重要なファクターとなる。本稿では、その関係について若干考察したので報告する。

2. 局所定常 AR モデル 解析例

時系列データにおける変化点を検出するために、局所定常 AR モデル (locally stationary AR model), AIC (Akaike's information criterion)³⁾ を、GEONET の時系列データに適用した。GEONET における日々の座標値 F3 解から、局所座標における前日に対する変動量 (差分 $\Delta y_n = y_n - y_{n-1}$), dE (EW 方向), を算定し、解析を行った。対象とした地震は、2019 年 5 月 10 日、日向灘の地震 (M6.3) である。

図 1 に、宮崎県日向 (940094) と、愛媛県愛南 (041133) の結果を図 2 示す。上段は、dE (EW 方向) 時系列データ、下段は、縦軸に AIC、横軸に時系列データ番号を示し、2018 年 5 月 1 日から 2019 年 4 月 10 日までをプロットしてある。また、同図には MAICE (Minimum AIC Estimation) を検出した日付を付してある。

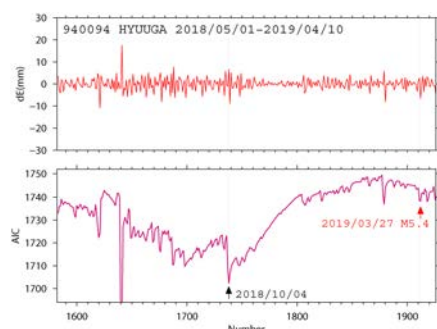


図 1 宮崎県日向 (940094)

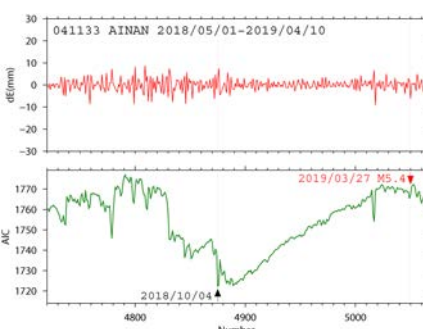


図 2 愛媛県愛南 (041133)

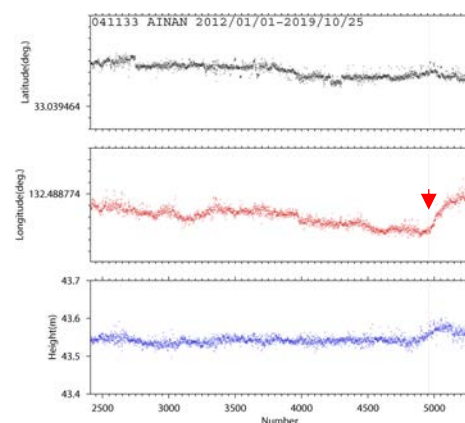


図 3 愛媛県愛南 (041133)

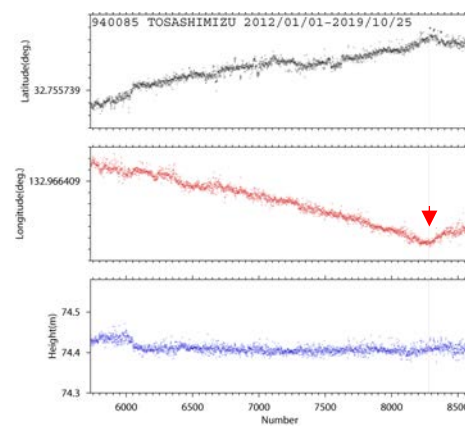


図 4 高知県土佐清水 (940085)

図 3 には、愛媛県愛南 (041133) における緯度、経度、標高を示した。2012 年 1 月 1 日から 2019 年 10 月 25 日までをプロットしてある。中段の経度を見ると、それまでの西方への地殻変位が 2018 年 12 月 26 日頃 (赤矢印) から急に東方へ反転している様子が見てとれる。図 4 に示した高知県土佐清水 (940085) でも同様の傾向が見られ、この地域の複雑な地殻変動は大変興味深い。このように、“変化点 (MAICE) (日)” だけではなく、地殻変動そのものの変化もまた地下の状態を反映するシグナルだと考えられる。

キーワード 時系列, 地殻変動, GEONET

連絡先 〒980-0012 仙台市青葉区錦町 1 丁目 10 番 11 号 (株) 復建技術コンサルタント E-mail: syouji@sendai.fgc.co.jp

“変化点（MAICE）（日）”は、2018年10月4日で、その後の2018年12月26日頃に西方から東方へ反転し、2019年3月27日にM5.4、2019年5月10日にM6.3を含む複数の地震が日向灘で起きた。

3. 時系列地殻変動（MAICE）と地震発生との関係

地震発生との相関性が極めて高い“変化点（MAICE）”が検出できることが知れたが、なぜMAICEが検出されるのかは、未だよくわかっていない。すなわち、シグナルが前兆であることを定量的に説明できる何らかのモデルは未知である。定量的に説明できるモデルのヒントになればと思い、“地震発生間隔”（“変化点（MAICE）（日）”～“地震発生日（日）”）を調べた。

複数の観測点で、同じ日に検出された“変化点（MAICE）（日）”から、地震発生間隔を算定し、図5にプロットした。縦軸に“地震発生間隔”，横軸にマグニチュード（M）をとり、M5を超える代表的な地震についてプロットした。プレート境界地震を赤丸で、内陸地震を青四角でプロットしてある。プレート境界地震、内陸地震ともに、“地震発生間隔”と、マグニチュード（M）に何らかの規則性が認められない。マグニチュード（M）が大きくなると、“地震発生間隔”が、やや長くなる傾向が見られるが、マグニチュード（M）に対して強い依存性は確認できない。

図5には“地震発生間隔”3ヶ月～10ヶ月のラインを示してある。“地震発生間隔”と、マグニチュード（M）との関係は不規則であるものの、概ね“地震発生間隔”3ヶ月～10ヶ月の範囲内にプロットされていることが確認できる。“変化点（MAICE）（日）”が検出されれば、その後3ヶ月～10ヶ月の範囲内に地震が発生する確率が極めて高いことがわかる。3ヶ月～10ヶ月の範囲であれば地震発生の信頼性が高く、地震中期予報（3ヶ月～10ヶ月）としての有効性が知れた。

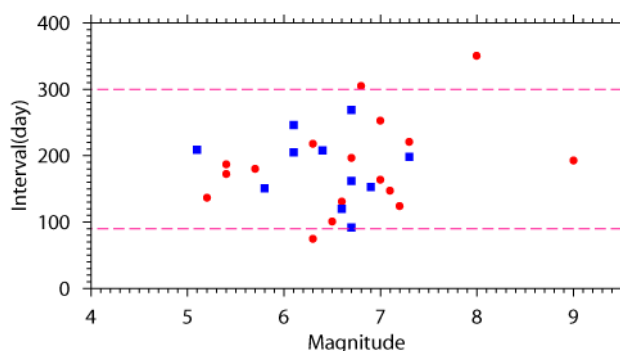


図5 “地震発生間隔”と、マグニチュード（M）との関係

4. むすび

これまでに局所定常ARモデル解析によって、“変化点（MAICE）（日）”の検出を試みてきた。その結果、次のことが結論付けられる。

- ① あらためて“変化点（MAICE）”と地震発生との相関性は極めて高い。
- ② “地震発生間隔”とマグニチュード（M）には、依存性が認められない。
- ③ 地震中期予報（3ヶ月～10ヶ月）としての有効性が認められる。

“地震発生間隔”に何らかの規則性が認められない理由として、地震発生には二つの重要なプロセスが複雑に関与していることが挙げられる。①ひずみの増加、蓄積プロセス、②断層の強度低下プロセスである。

浅い内陸地震の発生モデルとして fault-valve model⁴⁾がある。既存断層に地殻流体が浸透しシールされる→断層の強度が徐々に低下する→地震が発生しシールは破壊される。そのあと、また同様のサイクルに入るという考え方である。また、プレート境界にける大きなひずみの蓄積もこのモデルで説明できる⁵⁾との指摘もある。

それらを考え合わせると、ある断層において、ひずみの増加、蓄積プロセスと、強度低下プロセスが同時に起こっていて、それがひずみ集中帯の実体ではないだろうか、と思われる。

参考文献

- 1) 鷲谷 威：地震の予知・予測とその不確実性，オペレーションズ・リサーチ，Vol.57，pp.545-550，2012。
- 2) 国土地理院測地観測センター：電子基準点1,200点の全国整備について，国土地理院時報，第103集，pp.1-51，2004。
- 3) Ozaki, T. and Tong, H. : On the fitting of non-stationary autoregressive models in time series analysis, *Proceedings of the 8-th Hawaii International Conference on System Science*, pp.224-226, 1975.
- 4) Sibson, R.H. : Rupture nucleation on unfavorably oriented faults, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80, pp.1580-1604, 1990.
- 5) 八木勇治：地震波形から見た震源像，パリティ，Vol.26 No.11, pp.28-33, 2011。