

A new algorithm for the detection of seismic quiescence:  
introduction of the RTM algorithm, a modified RTL algorithm.

地震静穏期の検出のための新しいアルゴリズム：  
RTM法アルゴリズム（RTL法アルゴリズムの改良版）の紹介。



長尾年恭、竹内宏明 中村健児

東海大学 海洋研究所・地震予知研究センター,静岡、日本。

**2011年3月4日**

# 地震静穏期の検出のための新しいアルゴリズム： RTM法アルゴリズム（RTL法アルゴリズムの改良版）の紹介。

長尾年恭、竹内宏明、中村健児  
東海大学 海洋研究所・地震予知研究センター, 静岡

## < 概要 >

大きな地震の前に地震静穏期現象のいくつかのレポートがあります。

RTL法アルゴリズムは、大きな地震が起こる前に地震活動度パターンが変わるときに検証されてきた、地震の大きさ、発生間隔と場所を考慮した加重係数の統計的 手法です。

しかし、我々は元来のRTL法アルゴリズムでは 距離の比重が大きすぎると考えます。

本論文では、RTM法アルゴリズムと名付けた 改良型 RTL法アルゴリズムを紹介し、テストケースとして日本(すなわち、1995 (Mjma 7.3) 年の兵庫県南部地震、2007 (Mjma 6.9) 年の能登半島地震と 2008 (Mjma 7.2) 年の岩手-宮城内陸地震)で、それを3つの大きな地震で検証した。(Mjma=気象庁マグネチュード)

このアルゴリズムが加重係数を特徴づけるためにいくつかのパラメータを使うので、このテストのためのマルチパラメータセットを準備ができていなければなりません。

テストの結果は、RTM法アルゴリズムが地震静穏期現象の検出することに、RTL法アルゴリズムより感度がいいことが分かりました。

本論文は、RTM法アルゴリズムを使用して地震静穏期現象を観測するのに 一連の将来の分析において、最初の一步となるものと思われます。

今のところ、RTM法アルゴリズムで使われる全体の検証されたパラメータは、経験的に選ばれました。将来の分析では、我々はその中に“最適化の”パラメータ(例えばCFSの関係)の物理的な意味を考慮しなければなりません。

キーワード: 地震活動度、地震静穏期、RTM法、RTL法、前兆 / 前触れ。

## << 序論 >>

Z-Value (ウィースとハーバーマン(1988)) や ETAS (例えば、緒方、2006) を含む将来の地震活動を診断するためのいくつかの方法や M8 (Keilis-BorokとKossobokov(1990))、RTP (Shebalin ほか、2004) や Hotspot (横木ほか、2002) などの大地震を予測するいくつかの方法が現在存在します。

更に、観測地域内またはその周辺で大地震が発生する前に減少する地震活動の多くの報告がある。(例えば、茂木、1979; ウィースほか、1981; Kisslinger(1988); ウィースとハーバーマン(1988); ウィーマーとウィース(1994))。

この現象は後に地震静穏期現象と呼ばれ、地震予測に役に立つ情報を提供すると期待されています。

上記のレポートの多くでは、著者は地震静穏期と活性期が同時に発生したとしばしば主張します。

松村(2005)はまた、地殻応力の再配分で同時に発生するとして、これらの現象をモデル化しています。そして、その結果 正味の静穏期がありました。

地震静穏期の発生を見つけるために、SobolevとTyupkin(1997、1999)は、RTL法アルゴリズムと呼ばれている加重係数方法を提案しました。

このRTL法アルゴリズムの基本的な仮説は、この方法は、各イベントの前は調査対象のメインイベントに何らかの影響を持っていることです。そして、下の計算式によって説明されるように、この影響で加重係数が変化します。時間(時刻)  $t$  における位置  $(x, y, z)$  で地震活動の状態を表すことになっているRTLの値は、非3次元の因子の積である:  $R(x, y, z, t)$ 、 $T(x, y, z, t)$  と  $L(x, y, z, t)$ 。

各ファクター(係数)は、右の様に定義されます:

ここでは、 $r_i$  は、位置と  $i$  番目の地震の震源間の距離です。  $r_0$  は特性距離です、

$R_{tr}$  は、 $(x, y, z)$  が計算期間における  $R(x, y, z)$  の動向です。

$t_i$  は、 $i$  番目の地震の発生時間です。

$t_0$  は時間スパンの特徴である、

$T_{tr}$  は  $(x, y, z)$  の計算期間中の  $T(x, y, z)$  の動向です。

$l_i$  は  $i$  番目の地震のマグニチュードの  $M_i$  との関係から得られた  $i$  番目の地震の震源のキロメートルの次元 (= 断層長さ) です。:  $\log l_i = 0.5M_i - 1.8$  (Kasahara, 1981、そして、 $L_{tr}$  は、 $(x, y, z)$  が計算期間における  $L$  の動向  $(x, y, z)$  である。

$$R(x, y, z, t) = \left[ \sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{r_i}{r_0}\right) \right] - R_{tr}(x, y, z), \quad (1)$$

$$T(x, y, z, t) = \left[ \sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{t-t_i}{t_0}\right) \right] - T_{tr}(x, y, z), \quad (2)$$

$$L(x, y, z, t) = \left[ \sum_{i=1}^n \left(\frac{l_i}{r_i}\right) \right] - L_{tr}(x, y, z), \quad (3)$$

整数nは、次の条件を満たす地震イベントの数です。

ここで、 $M_{\min}$ はクラスター分離後に地震のカタログの完全性を保証するカットオフ大きさです。、そして、 $R_{\max}$ と $T_{\max}$ はそれぞれカットオフ距離と時間間隔です。

過去には、ほとんどすべての研究では、 $k_r$ と $k_t$ の値は2を採用してきた。

$$M_i \geq M_{\min}, \quad (4)$$

$$r_i \leq R_{\max} = k_r r_0, \quad (5)$$

$$t - t_i \leq T_{\max} = k_t t_0, \quad (6)$$

実際に使用されてきた3つのファクターは(R、T、およびL)、それぞれ標準偏差、 $\sigma_R$ 、 $\sigma_T$ 、と $\sigma_L$ 、によって標準化した後のファクターです。したがって、計算されたRTLの値は標準偏差( $\sigma = \sigma_R \sigma_T \sigma_L$ )の単位になります。RTL手法の詳細な数学的および統計的な説明は Huang黄(2006)の論文で十分に裏付けられています。

負の値が地震静穏期を示す一方、RTLの正の値は、地震の活性期を示している。

●Huang黄ら(2001)は、RTL値が1995年に兵庫県南部地震の震源地(= $M_{JMA}$  7.3、いわゆる1995年の阪神大震災地震の前に6ヶ月程度の間)で約-10~-7であることを示した。ここで、 $M_{JMA}$ は日本の気象庁(JMA))で定義される地震の大きさです。

●Huang黄と長尾(2002)は 2000年鳥取地震( $M_{JMA}$  7.3, Japan)の震源付近で明確な空間的、時間的な地震静穏期パターンを示した。

●Huang黄(2008)は、最近RTL法アルゴリズムを2008年のWenchuan(文川)四川大地震( $M_S$  8.0、中国)に適用しました。

●Wyssら(2004)は、サハリンでの二つの大きな地震にZ値とRTL法アルゴリズムの両方を適用し、二つの方法がほぼ同じ結果をもたらすと結論付け、強く観測された前兆的静穏化の異常は、確固たるもので現実的であることを示唆している。

(1) 及び(3)の計算式に示すように、 $r_i$ は、RとLの両方を計算するために使用されます。

$r_i$ のこの二重の出現は、RTL法アルゴリズムの元来のコンセプトに反すると思われる。例えば 空間と時間の等価重要性。



このような状況を改善するために、我々は、RTL法アルゴリズムを改良し、第4章で日本の三つの地震にこの新しいアルゴリズム (RTM法アルゴリズム) を適用し検証した。

RTL法とRTM法の両方のアルゴリズムは、すなわち調整可能なパラメータの数々(すなわち、 $T_0$ 、 $T_{max}$ 、 $R_0$ 、 $R_{max}$ 、その他など)が含まれています。過去には、パラメータの最適なセットは、振り帰ってみれば試行錯誤法によって選ばれた。地震静穏期の現象は、常に大規模な地震になるとは限りません。時々、何も起こりませんでした。この目的ためには、我々は地震静穏期現象の性質の十分な理解を得る目的で、マルチパラメーターの調査テスト(10以上のパラメータのセット)を実施した。

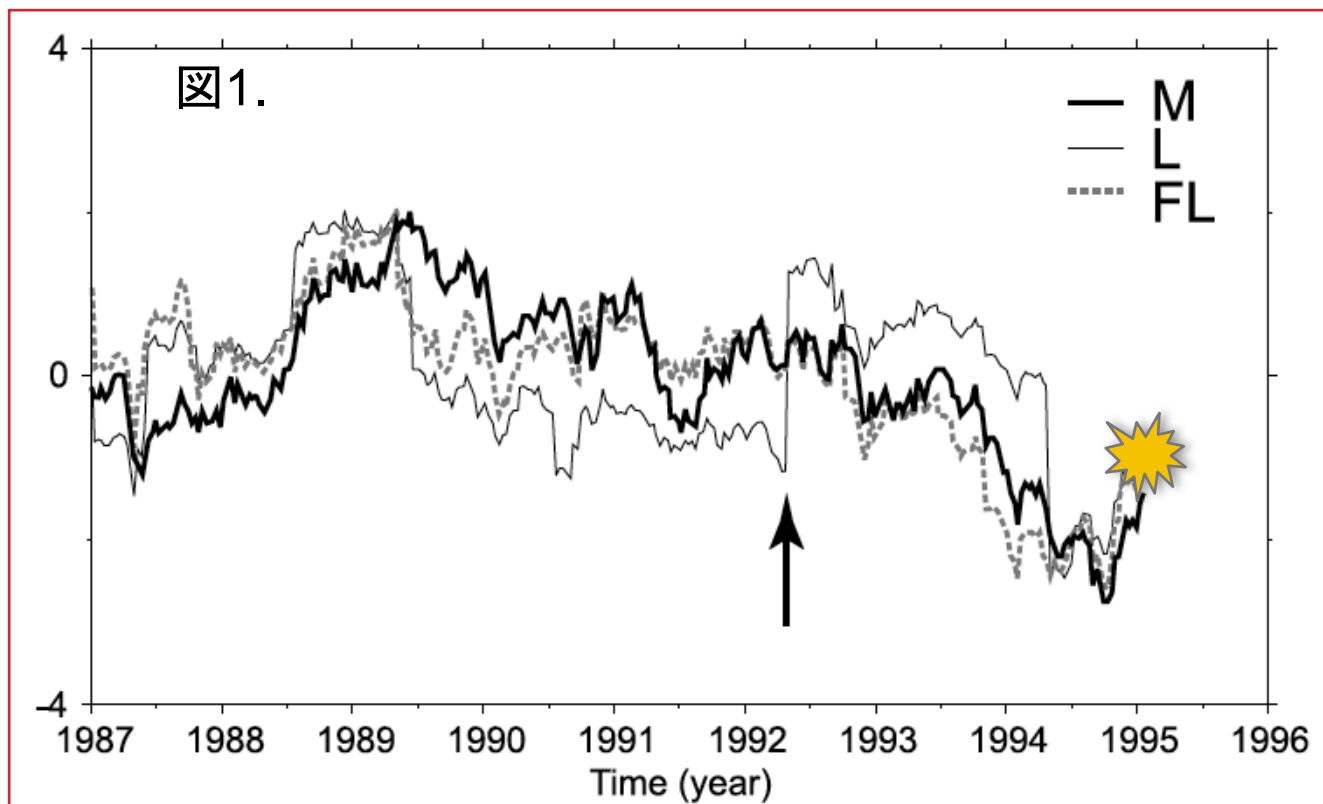


図1の矢印は、1992年4月にファクターLの急激な変化を示した。  
太い線は M 細い線はL、点線はMのファクターを、それぞれ示します。