

12 - 6 地震活動静穏化に基づく予測能力評価

An evaluation of earthquake predictability based on analysis of seismic quiescence

吉川澄夫（気象研究所客員研究員）

YOSHIKAWA, Sumio, Guest Researcher of Meteorological Research Institute

1. はじめに

大地震に先行する地震活動静穏化に関する報告は約半世紀前¹⁾²⁾から近年³⁾まで非常に多く、事前予測⁴⁾⁵⁾の例もありながら、現在も地震予測手法の確立には至っていない。それには地震発生前の静穏化現象が単なるゆらぎや見かけの現象ではないかという議論が現在もあることや、たとえば2011年東北地方太平洋沖地震の前の静穏化は幾人かの研究者により発生場所や開始時期が報告されているが、それらは互いに異なっており確定的なものがないというような漠然性があることも理由となろう⁶⁾。さらに事前に予測を行う場合においても静穏化域から将来の震源域と地震の規模を推定する手法が使われることが多いが、その妥当性についても確認がなされていない。これらの問題は大きく言えば静穏化現象の実態解明が進んでいないことに原因が尽きると考えられる。実態を解明するためには、静穏化現象と地震の震源域、規模、発生場所ならびに発生時期との因果関係を正しく評価することが必要となるが、可能な限り多くの地震について複数の研究者や研究機関が相互に比較検討を行い検証していく必要があるのではなかろうか。

筆者は関係機関と共同で、近年開発された地震活動静穏化・活発化解析手法（eMAP、後述）を用い大地震に先行した静穏化現象の検出と定量化を試みている⁷⁾。本稿は、これまでの結果を見直すと共に追加した事例⁸⁾を併せ検討を行うことにより静穏化に基づく地震発生予測の可能性を検討したものであるが、あくまでも1つの手法に依る結果であることを念頭にお読み頂きたい。

2. 方法

調査には気象庁震源カタログ（1983年～2011年）を使用した。対象はマグニチュード7クラス（M6.7以上）以上の震度5弱以上を観測した地震イベントとし、震源の深さ200km以浅のものを選んだ。ただし続発性の地震や島嶼部付近の地震などは上の条件に合うものでも除外した。この結果調査対象の地震イベントは全部で26個になった。

eMAPの手法⁹⁾¹⁰⁾は、対象期間の全ての地震の震源を中心する円を設定し、個々の円内において基準期間と評価期間の地震の発生率を比較していくものである。この方法によれば地震発生率の高いところでは少しずつずつ評価する一方、基準期間の地震発生率の低いところではポアソン過程の条件が成立した円内でのみ評価することから、等間隔に評価するよりも地域の地震活動に見合った評価ができる。この調査では基準期間のポアソン分布に照し合せ、評価期間の地震発生率が低い（高い）場合、出現確率1%以下の領域を静穏化域（活発化域）とした。

検出される静穏化域の大きさは一般に、1) 下限マグニチュード、2) 探索円の半径、3) 基準期間と評価期間、4) デクラスターの仕方（継続する地震の相対距離と時間差の設定）により異なる。そこで1)と2)のパラメータの影響を評価するため、ある矩形範囲で一定期間に発生した地震のマグニチュードを減じることによって作成した人工的な静穏化域に対してeMAPを適用し、同域の大きさの推定精度を確認した。この結果推定誤差30%以下となる下限マグニチュードと探索円の半径を定めることができた。3) 基準期間と評価期間は事例ごとに静穏化が鮮明に見られるかを確認

しつつ試行錯誤的に最適値を決めた。4) デクラスターについては色々なパラメータを試行し、全 26 事例において適切な結果を与える値（相対距離 10km, 時間差 7 日間）を使用した。

3. 静穏域の検出

調査の結果、全 26 個の地震イベントの内 15 個について発生前の静穏化が検出された。検出率は約 57%ということになる。検出例の多くの場合静穏化域の周囲に活発化域が接する‘ドーナツパターン’²⁾もしくはその一部が見られた。一方で 1995 年兵庫県南部地震の例（第 1 図）では、静穏化域と破壊開始点が大きく離れているため因果関係が成り立つかどうか疑問がもたれた。そこで 15 個の検出例において相対震源距離（破壊開始点から静穏化域中心までの距離）と静穏化域の大きさ（長径）との関係を調べたところ、相対震源距離が静穏化域の大きさに比例する傾向があることが明らかになった（第 2a 図）。この結果によると、兵庫県南部地震の場合の相対震源距離は小さいとは言えないが 15 個の検出例全体としてばらつきの範囲に収まると見られる。

相対震源距離と静穏化域の大きさとの間に見られる比例関係は地震イベントと静穏化現象との因果関係の存在を示すものであり、これらの静穏化現象が見かけのものや一過性のゆらぎであるという可能性は極めて低いと思われる。一方で静穏化域がそのまま将来の震源域になるという予想は正しくなく、静穏化域から地震発生場所を推定する際は静穏化域の周辺域という曖昧なものになることは避けられない。震源域と静穏化域は一部重複することがあっても、完全に合致する、もしくは一方が他方を包含することがないことから、静穏化域が将来の震源域全体の形状を決定づけるものではないようである。

4. 地震発生予測への適用とその限界

静穏化現象の定量的性質を示すため同域の大きさ（長径）を地震規模に対してプロットしたのが第 2b 図である。この図では全てのデータがほぼ回帰直線の近傍に分布しており、静穏化域の大きさは地震規模に関するスケーリング則に従うと見ることができる。第 2c 図には先行期間の地震規模に関するスケーリング則を示す。第 2a - c 図に示す関係がいずれも確かであれば、静穏化に基づき将来起こりうる地震の発生場所、規模および発生時期について一定の誤差範囲で推定可能ということになる。すなわち 1) 発生場所は静穏化域の周辺に、2) 地震規模は同域の大きさ（長径）から、3) 発生時期は同現象の先行期間から、順次推定される。今のところ検出例が 15 個に留まることから結論を確かなものにするには事例を増やす必要があるが、中期的な地震発生予測の可能性を示すものといえる。

一方、地震発生予測を行う上での問題点は少なからずあるが、ここでは以下の 3 つをあげる。

1) 地震発生前に静穏化が検出されない事例が存在する（全 26 個の内 11 個、全体の約 43%）。これらの事例が出現する主な原因として、基準期間の地震発生率が低すぎ‘静穏化’が起こりえないこと、基準期間の時系列がポアソン過程と見なすことができず評価が不可能になること、海域にあって地震検知能力が低く静穏化を検出しにくいこと、地震前に近隣で大地震が起きると余震活動の減衰の影響と静穏化との区別ができなくなること、などがある。地震観測網の海域への拡大や新たな解析手法によって今後改善される余地があるのではないかと考えられる。

2) 静穏化の出現が地震と無関係の場合がある。パラメータの設定によって静穏化の検出率が異なることから現段階では地震と無関係な静穏化現象全体の正確な把握が難しい。静穏化が検出された全ての場合に対して地震の発生を想定し、監視を行うという方法も考えられるが、実態調査と対

策は今後の課題である。

3) 先行期間の推定誤差が大きい。第 2c 図において、回帰直線を中心とするデータのばらつきが対数正規分布に従うとすれば標準偏差は 0.61 となる。直線スケールでは標準偏差が 0.25 倍から 4.07 倍となる。地震規模が小さければ推定時間幅は狭く、それが大きくなると推定時間幅が拡大することになる。

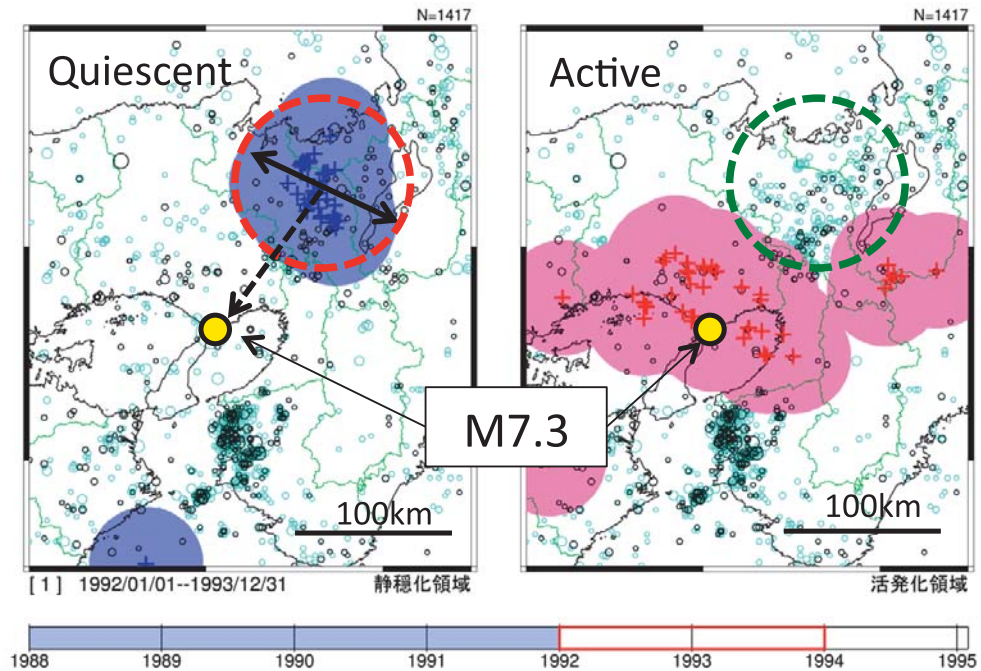
5. さいごに

地震活動の静穏化に基づく地震予測において発生場所と時期の正確な推定が難しいことを上に述べたが、若干の改善方法があることを付け加える。Ohtake et al.⁹⁾に示されるように静穏化が検出された地域とその周辺で前震活動を監視する方法は予測に有効と考えられる。実際、静穏化検出事例において、本震から半径約 100km 以内、発生直前約 1 ヶ月以内に平常時より有意に多くの地震活動が見られたもの、いわば狭義の前震活動を調査したところ約半数が該当することが判明した。静穏化の検出と併せて前震活動の検出が地震発生予測をいっそう確実なものにする可能性がある。

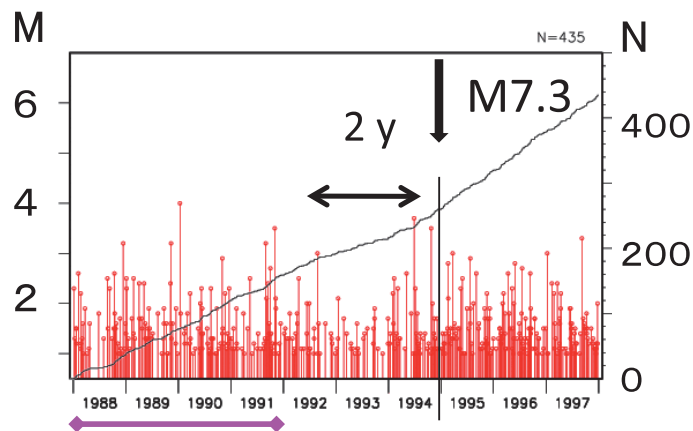
参 考 文 献

- 1) 井上宇胤,1965,新潟地震前における震央付近および隣接地域の地震活動について, 駿震時報, 29, 139-144.
- 2) Mogi, K,1969, Some features of Recent seismic activity in and near Japan(2), Bull, Earthq. Res. Inst.,47,395-417.
- 3) 大竹政和, 1998: 地震発生 of 長期的予測における地震空白域と地震活動静穏化現象の意義, 地震 2, 50 別冊, 83-99.
- 4) 宇津徳治,1972,北海道周辺における大地震の活動と根室南方沖地震について, 予知連会報,7, 7-13.
- 5) Ohtake M.,T.Matsumoto and G.V.LATHAM,1977,Seismicity gap near Oaxaca, southern Mexico as a probable precursor to a large earthquake, Pure Appl, Geophys.,115,375-385.
- 6) 気象研究所,2013,2011 年東北地方太平洋沖地震前に見られた前兆的現象, 予知連会報,90, 503-508.
- 7) 気象研究所・気象庁・神奈川県温泉地学研究所,2011,客観的手法による地震活動静穏化の検出, 予知連会報,85,1-3.
- 8) 吉川澄夫・林元直樹・明田川保, 2014, 地震活動の静穏化現象の時間的・空間的安定性 (第 4 報) 静穏化領域と本震震源位置との関係, 日本地球惑星科学連合 2014 大会, SSS25-06.
- 9) 明田川保・伊藤秀美,2008,静穏化・活発化の定量的評価への取り組み－地震活動評価のための静穏化・活発化検出プログラムの開発－, 駿震時報,71,93-102.
- 10) 林元直樹・明田川保,2010,静穏化・活発化の定量的評価への取り組み (その 2)－静穏化・活発化検出ツール (Seisqa) の開発－, 駿震時報,73,185-194.

a)

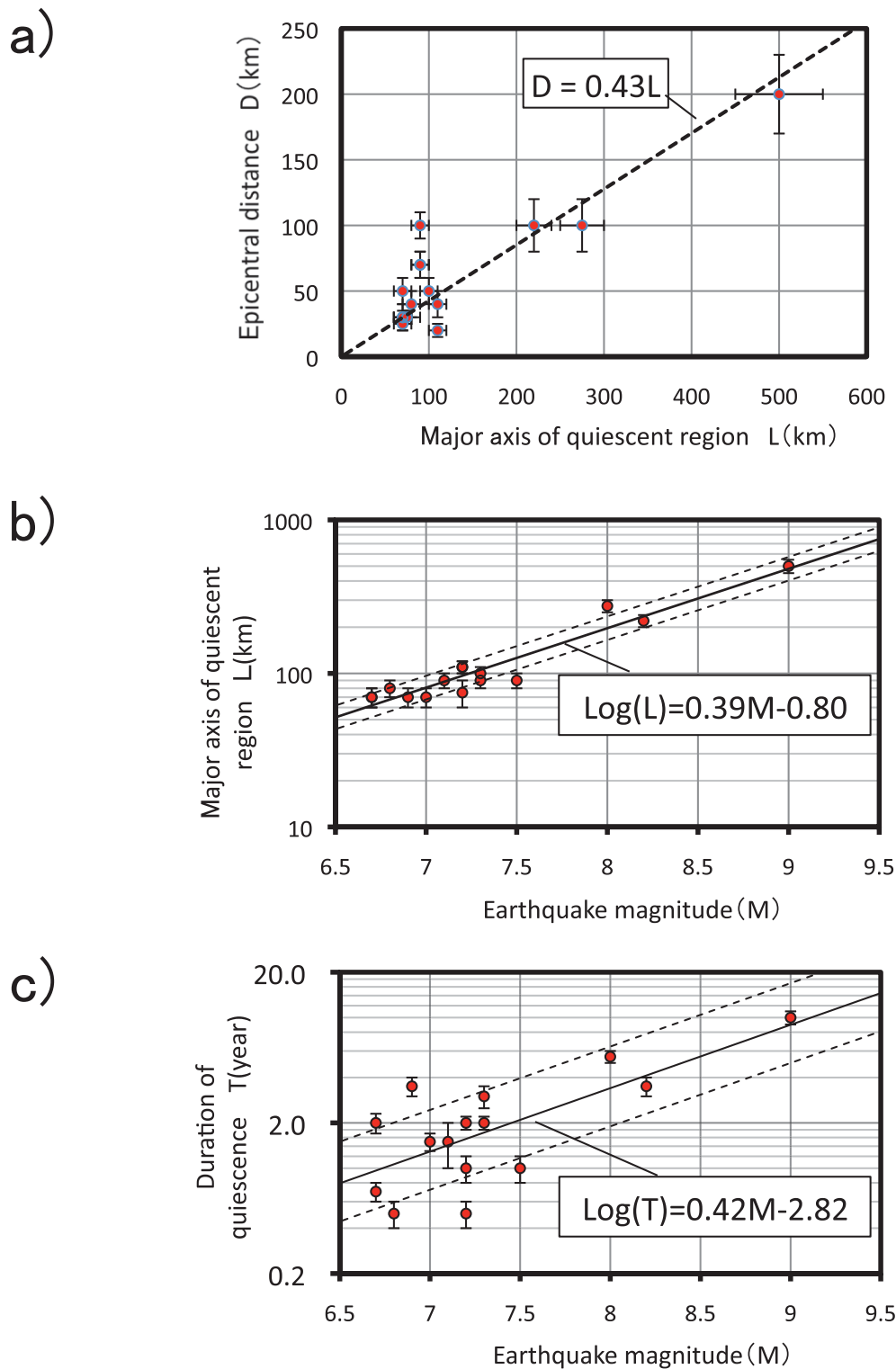


b)



第1図 1995年兵庫県南部地震に先行する地震活動静穏化と活発化現象. a) 静穏化域(左)と活発化域(右). M下限=2.0, 探索円半径=30km, 基準期間:1988年-1991年, 評価期間:1992年-1993年. 静穏化域の外枠(破線の円形領域)は活発化域に接する. 本震の震源(破壊開始点)は静穏化域の中心から100kmほど離れている. b) 静穏化域内(破線で示す円内)の地震活動のMT図. 静穏化は1992年後半から1994年前半にかけて起きていたことが分かる.

Fig.1 Seismic quiescence and activation prior to the 1995 Hyogo-ken-nanbu earthquake. a) Map view of the quiescent(left) and active(right) regions, respectively. The lowest magnitude equals to 2.0, the radius of each circle for searching seismic activity equals to 30km. The reference period of seismicity is 1988 to 1991 and the evaluation period is 1992 to 1993. The outer circle of quiescent region touches the outer rim of the active region. The epicenter of the main shock (point of rupture initiation) is about 100km from the center of quiescent region. b) The M-T diagram of seismic activity for quiescent region surrounded by intermittent circle. The seismic quiescence appeared from 1992 until mid-1994.



第2図 a) 静穏化域の長径 L (km) と相対震源距離 D (km) との関係, b) 静穏化域の長径 L (km)に関する地震規模依存性, 回帰直線からの標準偏差は0.18, c) 静穏化現象の先行期間 T (年)に関する地震規模依存性 (半対数), 回帰直線からの標準偏差は0.61.

Fig.2 a) Relationship between the epicentral distance D (km) from the center of quiescent region and the major axis of quiescent region L (km). b) Scaling law of the size (the major axis) of quiescent region L (km) with respect to the earthquake magnitude. The standard deviation from the regression line is 0.18. c) Scaling law of the duration of seismic quiescence T (year) with respect to the earthquake magnitude. The standard deviation from the regression line is 0.61.