

## 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—

Efforts for Quantitative Evaluation of Seismic Quiescence and Activation

明田川 保<sup>1</sup>・伊藤 秀美<sup>2</sup>

Tamotsu AKETAGAWA<sup>1</sup> and Hidemi M. ITO<sup>2</sup>

(Received September 27, 2007; Accepted October 30, 2007)

#### 1 はじめに

気象審議会の「21世紀における気象業務のあり方について(答申)」による提言に基づき、気象庁地震予知情報課では地震活動の定量的な評価手法の確立等、地震活動評価向上のための取り組みを進めている。その一環として地震予知情報課は、地震回数多寡をレベル化する、いわゆる地震活動指数(塚越、石垣、2003)などを用いた地震活動評価プログラムを開発し、地震予知情報課、各管区气象台、および沖縄气象台における全国的な準ルーチンの監視をはじめた(この業務の成果は、例えば鎌谷・他(2007)に紹介されている)。これにより、活断層の付近など注目すべき領域の地震活動状況が定期的に更新され、連続的にモニターすることが可能になった。ただし、この業務プログラムはあらかじめ監視領域を設定しなければならず、日々の地震活動データを用いて今まさに異常が現れている領域を検出することはできない。

今回我々は、地震活動の時系列データを用いて静穏化または活発化している領域を検出できるプログラムを開発し、X Window System を用いた地震検索・地震活動解析プログラム(REASA)(明田川、伊藤、弘瀬、2007)に搭載した。本稿ではそのプログラムの概要と解析結果例を示し、気象庁における今後の地震活動評価の高度化に向けた展望について述べる。

本稿の構成は以下のとおりである。まず、第2節

で静穏化・活発化領域の検出方法について、その概要を述べる。第3節ではプログラムの概要を述べ、第4節に具体的な使用例を示す。最後に第5節で本プログラムを用いた定量的地震活動評価へ向けた今後の展望についてまとめる。

#### 2 静穏化・活発化領域の検出方法の概要

静穏化・活発化領域の検出方法を述べる前に、今回我々が用いた静穏化・活発化の判定方法について述べておく。原理は前出の地震活動指数と同じである。まず、地震活動データをデクラスタ処理することによって、余震や群発的な群を成す活動を取り除き、バックグラウンド的活動を取り出す。このとき、ある領域の時系列データが発生率 $\nu$ のポアソン過程とみなせるならば、ある期間 $\Delta t$ において発生する事象の度数(地震回数) $n$ は期待値 $\nu \Delta t$ のポアソン分布に従う。この性質を利用すれば、その領域の期間 $\Delta t$ において発生した地震回数以下(あるいは以上)となる確率をポアソン分布から見積もることができる。そして、その確率がある閾値以下となる地震回数の少なさ(多さ)であるときに静穏化(活発化)と見なす。

静穏化または活発化している地域を面的に調査するツールとしては、zmap が良く知られている(Wiemer and Wyss, 1994)。zmap はあらかじめ領域の中心となる格子点を与え、各格子点を中心として指定した半径の円領域の活動を調べる。zmap はその領

<sup>1</sup> 地震火山部地震予知情報課, Earthquake Prediction Information Division, Seismological and Volcanological Department

<sup>2</sup> 沖縄气象台, Okinawa Meteorological Observatory

域内の地震回数が一定量に達しない場合、半径を広げることでデータを確保する。この方法は地震の少ない領域では、格子点から離れた活動の影響を受け、見かけ上の静穏化や活発化を示すことがあるので注意が必要である。一方、松村（2007）は、想定東海地震の固着域におけるアスペリティの位置を推定するために、固着域内の静穏化域、活発化域の空間パターンを調べた。松村の方法は、デクラスタ処理した震源データセットを用いて基準となる期間の地震発生率の空間分布を求め、評価期間の発生率との比率に応じて領域を色分けするものである。

今回我々が用いた方法は、zmap のように格子点を与えたり、松村の方法のようにあらかじめ領域を定義するのではなく、実際に発生したある一定規模以上の地震の震央位置を中心として次々に円または楕円領域を作り、前述のポアソン分布を利用した判定方法を各領域に適用してゆくものである。我々の方法は、結果的にサイズシフトの高いところでは少しずつ小さくした領域を多数作ることになり、単純な格子よりも地震活動に見合った領域を作成できる可能性が高まる。また、領域内の静穏化・活発化の判定を、単純な比率ではなくポアソン分布に基づいて行うので、サイズシフトの低いところでも地震発生率に応じた解析ができる。このように、我々の方法は普段の地震活動を強く意識している点に特色がある。領域形状に楕円を使えるようにしたのも同様な観点から、活断層に沿った活動など特定の走向をもった地震活動に対応するためである。楕円を利用する場合は扁平率を与えることができ、通常はひとつの中心位置につき長径方向を 16 方位に従い 8 パターン回転させて調査する。特定の活断層を意識して長径走向を固定することも可能である。

### 3 プログラムの概要

今回開発したプログラムを REASA に搭載したことは述べたが、それは 2 つのメニューからなる。ひとつはローカルな地震活動の時系列データを用いて評価期間の地震回数の出現確率を計算するプログラム、もうひとつは広域な地震活動の時系列データから静穏化、活発化の領域を検出するプログラムである。前者は、扱う地震データが既に特定の範囲から切り出されたものである場合に、その地震活動の静穏化・活発化の度合いを調べる。領域の検出には直

接関係ないが、その処理の基礎となるものである。後者は前者を応用して面的な情報を出すもので、今回紹介するメインのプログラムである。

第 1 図に REASA から本プログラムを起動するときのメニューを示す。今回搭載した、「静穏化、活発化の確率」と「静穏化、活発化領域の検出」の 2 メニューを利用するには、処理の性質上、REASA であらかじめデクラスタ処理を行っておくことが必須である。以下、2 メニューについて順に概要を説明する。

#### 3.1 「静穏化、活発化の確率」処理

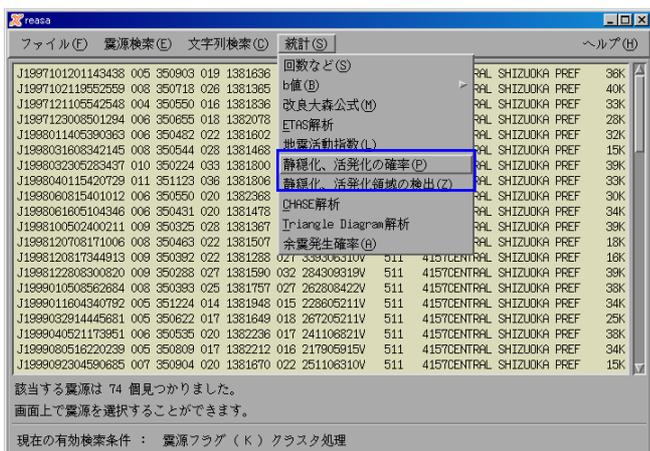
第 1 図に示したメニューから「静穏化、活発化の確率」を選択すると第 2 図のダイアログが開く。ダイアログ内の階段状の折れ線は地震回数積算グラフである。また、縦棒は地震の時系列で、その長さは M の大きさに比例する。設定が必要なパラメータは平常時の地震活動を代表させる基準期間、すなわち発生率  $\nu$  を算出する期間と、地震活動（地震発生回数）の異常度を調べるための評価期間である。静穏化と活発化のどちらの出現確率を計算するのかはオプションメニューで選択できる。

基準期間と評価期間は、テキストフィールド内に直接入力できるが、「マウスをドラッグして範囲指定」ボタンをオンにすれば、ダイアログ内の図中でマウスをドラッグした範囲の期間が自動入力される。第 2 図はその機能を使った例で、マウスをドラッグした範囲が図中に直線で描画されている。この直線はマウスの動きによって自由に伸縮回転するラバーバンドとして描かれ、常に起点と終点を確認しながら設定できる。この直線は期間設定に適用されるのみで、その傾きに特に意味はないが、ここでは変化を見やすいように積算回数グラフの傾きに合わせるように引いた。

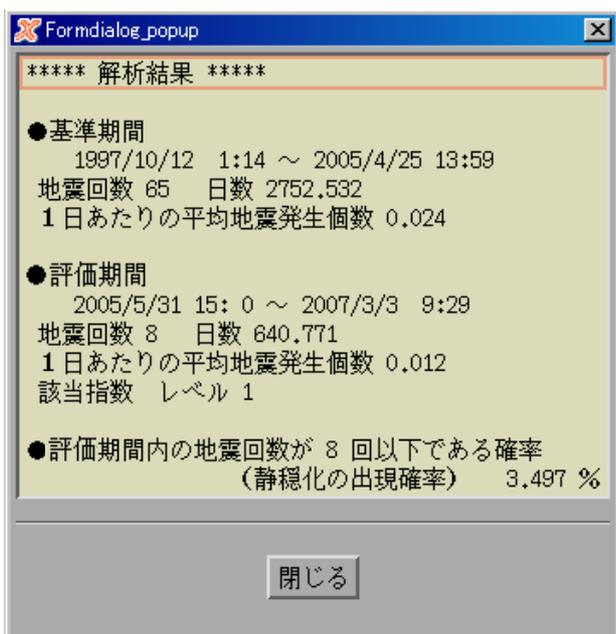
パラメータ設定後に「計算」ボタンを押せば解析結果がポップアップする（第 3 図）。第 3 図の最下段に示されているのが評価期間における地震回数の出現確率である。この確率が小さいほどポアソン分布の裾野部分の現象、すなわち稀な地震回数の減少または増加を表す。

#### 3.2 「静穏化、活発化領域の検出」処理

前節の「静穏化、活発化の確率」処理を面的に応

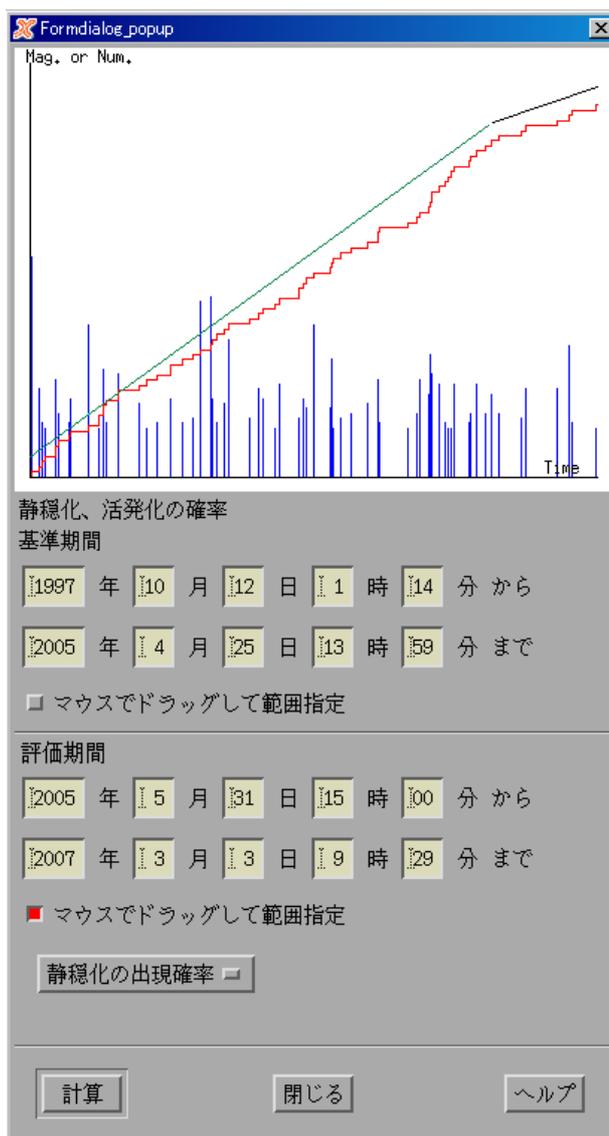


第1図 処理を起動するためのメニュー  
四角で囲んだメニューが新たに加わった。



第3図 「静穏化、活発化の確率」処理結果

用したのが「静穏化、活発化領域の検出」処理である。やや横道に外れるが、処理の概要を説明する前に REASA で面的処理結果を表示する工夫について述べておく。第1図をみればわかるように、REASA は震源をテキストでリスト表示するプログラムで、地図表示ができない。つまり、面的処理の表示には向かない。そこで、地震活動を調査する領域の中心を地震の震央位置とし、静穏化または活発化が検出された場合は、当該地震リストを選択状態にする(白



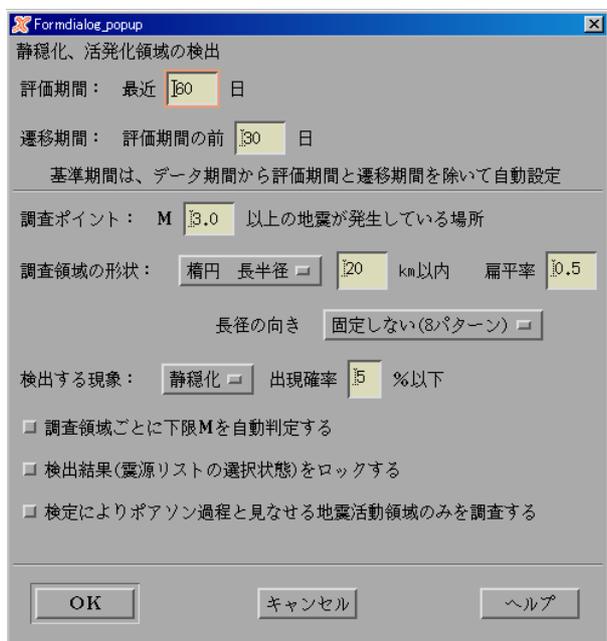
第2図 「静穏化、活発化の確率」処理のパラメータ設定ダイアログ

黒反転させて表示する) ことでこれを解決した。震央位置を領域の中心とすることは、前述のとおりサイスミシティを意識した解析を行えるという別のメリットがあるが、同時に、領域をその中心位置で代表させてテキスト表示する工夫でもある。

第1図に示したメニューから当該処理を選択すると、第4図で示したパラメータ設定ダイアログがポップアップする。解析に必要なパラメータは評価期間、遷移期間、基準期間、調査ポイント、領域の形

状、静穏化・活発化を判定するための確率値の閾値などである。静穏化・活発化は様々な時空間スケールで現れるので、その検出には自由度の高い時間・空間的処理ができるよう工夫した。具体的には、解析から除外する遷移期間の設定や、領域を楕円とした場合の扁平率の設定、16 方位にしたがって長径の向きを 8 パタン回転させることなどである。なお、調査ポイント（領域の中心）は、基準期間、遷移期間、および評価期間における設定した M 以上の地震の震央位置すべてが対象となる。各パラメータの詳細を表 1 にまとめ、処理の概念を第 5 図に示した<sup>3</sup>。

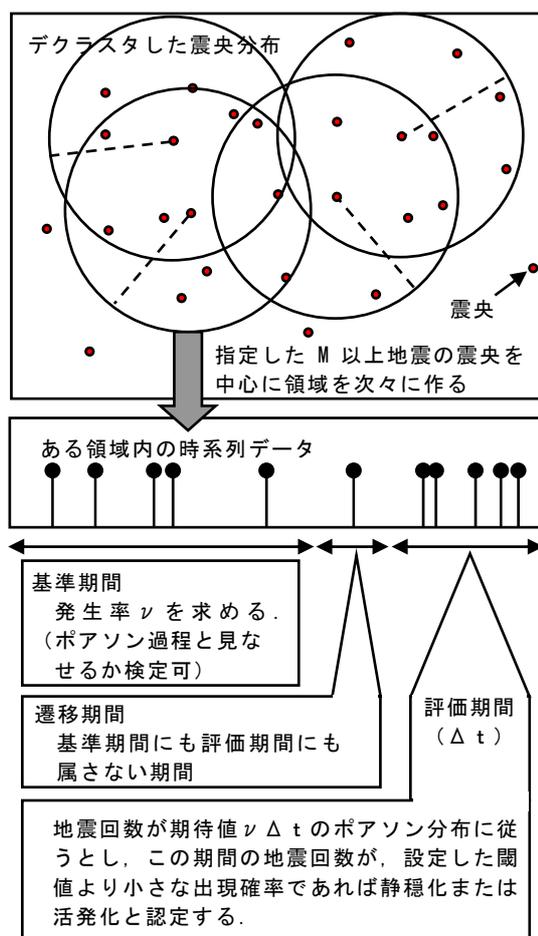
パラメータ設定ダイアログの下部にある 3 つのボタンについては以下に説明する。通常、処理には震源リストのマグニチュード（以下 M と記す）0.0 以上のすべてのデータを使う。したがって、あらかじめ M 下限値が適切に選ばれている震源リストであれば問題はない。しかし、M の下限が考慮されていないデータを用いている場合や、明らかに場所によって捕捉されている M の下限が異なる可能性が考えられるとき、「調査領域ごとに下限 M を自動判定する」ボタンをオンにする。これをオンにすれば領域ごとに M 度数分布を調べ、グーテンベルク・リヒターの関係をおおむね満たす下限値を自動設定する。



第 4 図 「静穏化、活発化領域の検出」処理のパラメータ設定ダイアログ

表 1 「静穏化、活発化領域の検出」処理のパラメーター一覧

設定パラメータ	設定範囲等	備考
評価期間	1日～9999日まで	期間は震源リストの最後のデータの日付から遡って設定。
遷移期間	0日～9999日まで	基準期間にも評価期間にも入らない部分を設定。0日でも可。
基準期間	自動設定	震源リストの先頭地震の日付から、遷移期間と評価期間を除いて自動的に設定。
調査ポイント	Mで指定	震源リストの指定したM以上の震央位置を領域の中心とする。
調査領域の形状	円または楕円	円または楕円を選択し、半径(長半径)を設定。楕円の場合は扁平率を設定でき、長径の向きを回転させて調査するか、特定の方向に固定するかを選択できる。
抽出する現象	静穏化または活発化 0～99%まで	ポアソン分布による出現確率である。通常は小さな値を入れて異常を検出。



第 5 図 「静穏化、活発化領域の検出」処理の概念（円領域を選択したときの例）

<sup>3</sup> その後の改修により、評価期間および基準期間を任意に設定することも可能となっている。

「検出結果（震源リストの選択状態）をロックする」ボタンをオンにすると、解析結果をうっかりクリアすることを防ぐことができる。静穏化または活発化が検出され選択表示（白黒反転表示）となった震源リストの状態は、通常は他の震源リストを新たにクリックすることでクリアされるが、このボタンをオンにしておけばその状態がロックされる。

「検定によりポアソン過程とみなせる地震活動領域のみを調査する」ボタンをオンにすると、各領域について基準期間のデータ時系列をコロモゴロフ・スミルノフ検定（日本数学会編，1985）によりポアソン過程と見なせるか否か、すなわち「ポアソン過程である」という帰無仮説が有意水準 5% で棄却されないかを判定し、検定をクリアした領域のみが調査される。これは基準期間にデクラスタ処理で取りきれなかった本震－余震系列などが含まれ、見かけ上の静穏化が検出された領域を除外する場合などに役立つ。

第 6 図に静穏化の調査結果例を示す。先頭にある選択状態（白黒反転）の震源リストの震央位置が、静穏化が検出された領域の中心である。震源リストの下のメッセージ欄には検出された領域（の中心）の個数と現在リストの先頭にある領域の M 下限が示される。なお、他の選択状態リストに次々とジャンプする機能があり、第 6 図にはその機能のメニュー一部分を表示した状態を示した。



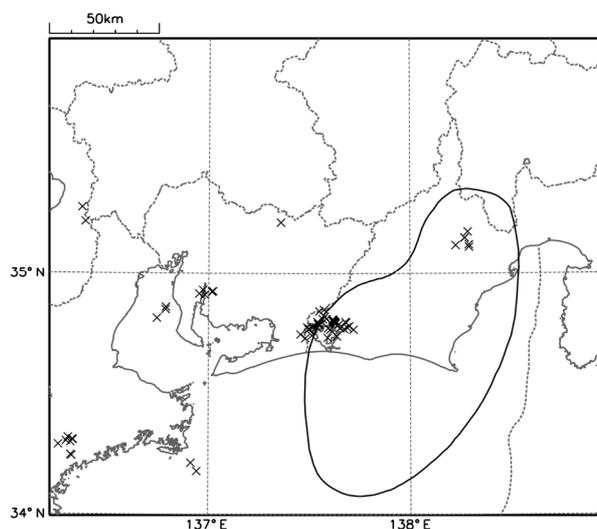
第 6 図 「静穏化，活発化領域の検出」処理結果

## 4 処理結果例

### 4.1 静穏化の検出例

REASA には震源リストをファイル出力する機能があり、白黒反転している選択状態の地震のみを出力することもできる。この機能を利用し、例えば静穏化領域の中心として示された震源をファイルに出力して震源表示プログラム hypdsp（横山，1997）で表示すれば、静穏化がどこで起こっているかを簡単に確認できる。以下に具体的な例をいくつか紹介する。

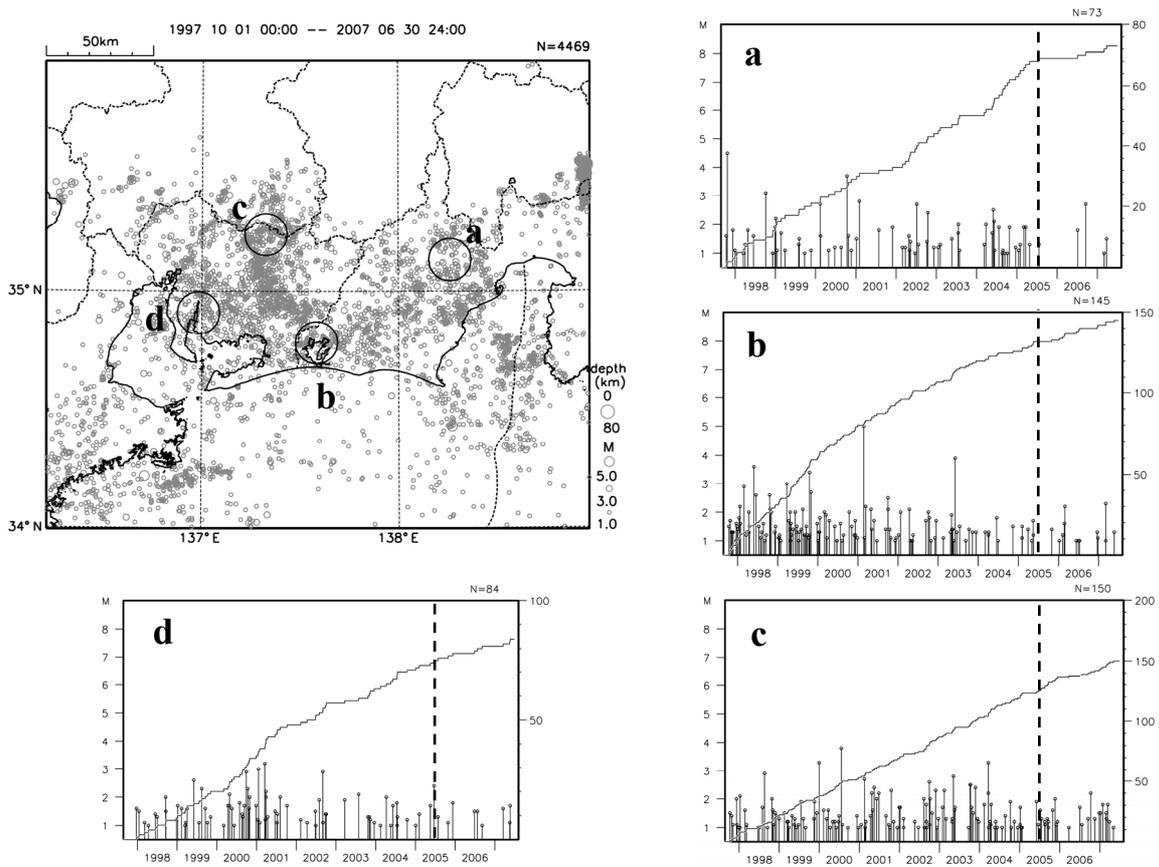
第 7 図は、東海地域のフィリピン海プレート内で発生した M1.0 以上の地震データを用いて静穏化を検出した結果である。データは 1997 年 10 月から 2007 年 6 月までの気象庁一元化震源<sup>4</sup>（以下、一元化震源）で、検出したのは 2005 年 7 月から 2007 年 6 月の 2 年間の活動が静穏化している領域である。調査領域は半径 10km の円とし、静穏化の出現確率を 1% 以下とした。調査領域の中心は M1.5 以上の震央位置としたので、サイスマシティの高い地域で静穏化が検出された場合は多くの地震がプロットされる。プロットは同じ場所に数多くあることよりも、広がりを持っているかどうかにも注目すべきである。



第 7 図 静穏化の検出例

フィリピン海プレートの地震活動（M 下限 1.0）に関する 2005 年 7 月から 2007 年 6 月までの 2 年間の静穏化検出結果。なすび型の領域は東海地震の想定震源域である。

<sup>4</sup> 気象庁では地震防災対策特別措置法の趣旨に沿って、1997 年 10 月より（独）防災科学技術研究所や大学等関係機関から地震観測データの提供を受け、文部科学省と協力してこれを整理し公表している。



第 8 図 第 7 図で検出された静穏化域付近における実際の地震活動の状況  
データはフィリピン海プレートの地震のみを分離し、デクラスタ処理してある。

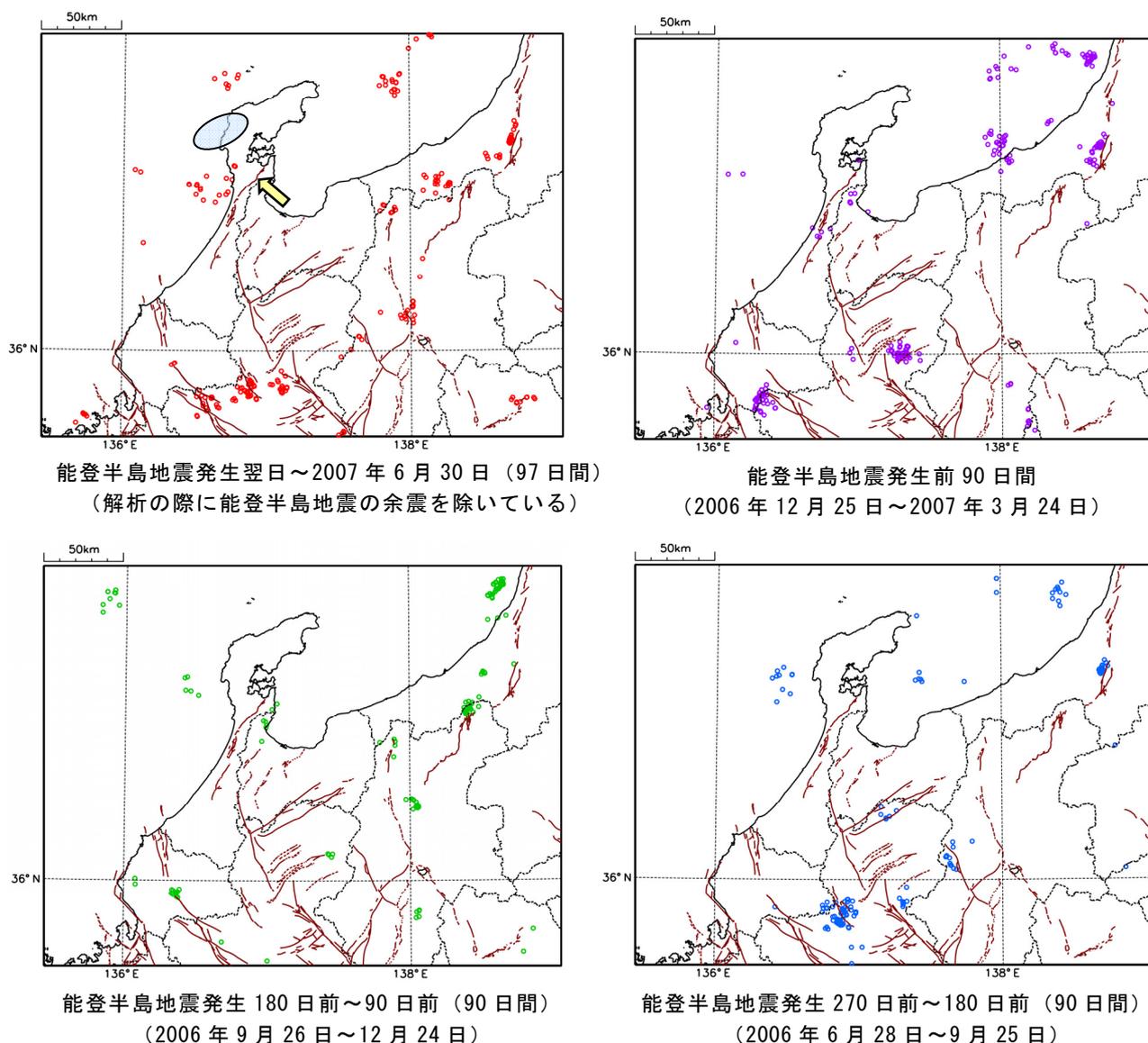
第 8 図に静穏化が検出された領域付近の地震の時系列と地震回数積算を示す。破線より右側が評価期間、左側が基準期間であるが、いずれも評価期間に地震活動レートの低下が認められる。

第 8 図に示したような静穏化が次に発生する規模の大きな地震の前兆である可能性は経験的にはきわめて低い、その一方で、大きな地震の前に震源域付近やその周辺において地震活動が静穏化したという報告は過去に数多くあり、目新しいところでは 2003 年に発生した十勝沖地震の前の静穏化がある（たとえば、勝俣，2005）。また、吉田（1995）や片尾（2002）は、丹波山地で定常的に発生している微小地震活動が、兵庫県南部地震の前に静穏化していたことを示した。したがって、ほとんどが前兆でないとしても、現在、どのような地域で地震活動が静穏化しているのかを知っておくことは重要である。そこに我々観測者の目が注がれ、普通なら見過ごさ

れてしまうような変化にも気がつく可能性が高くなるからである。第 7、第 8 図に示したような処理を地道に続けていけば、大きな地震の発生前の活動変化をキャッチするきっかけになるかも知れない。

#### 4.2 活発化の検出例

次に、活発化についての例を示す。第 9 図は 2007 年 3 月 25 日に発生した能登半島地震の前後における浅い地震の活発化領域の検出結果である。左上が能登半島地震発生翌日から 2007 年 6 月 30 日までの 97 日間において活発化を示した領域（の中心）である。データは 1997 年 10 月以降の一元化震源を用いた。M の下限は 1.0 で、震源の深さは 25km 以浅、検出したのは半径 10km の円領域における出現確率 5% 以下の活発化である。なお、能登半島地震の余震活動は、デクラスタ処理でとりきれず、周辺領域の結果に影響を与えるので、ここではあらかじめ取り

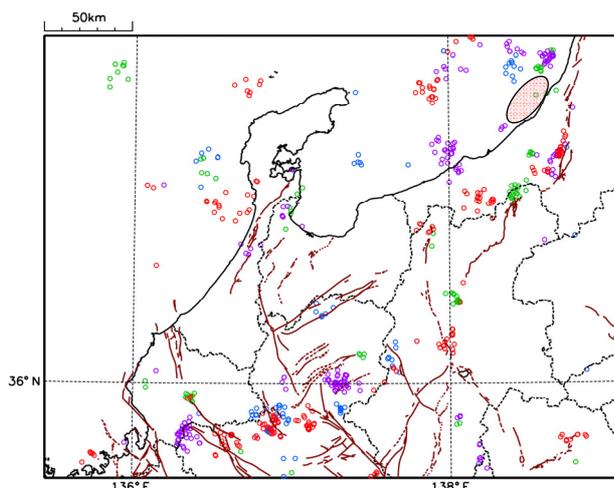


第9図 2007年3月25日に発生した能登半島地震前後における活発化領域の推移

活発化の検出をした期間はそれぞれの図に示した90日（発生後のみ97日）間で、出現確率は5%以下である。基準期間は1997年10月以降から評価期間先頭日の前日までである。左上図には能登半島地震の震源域と邑知潟断層帯のトレースの位置（矢印）を示した。

除いた。その他残りの3図は、それぞれ能登半島地震発生前日から90日前まで、90日から180日前まで、180日から270日前までの各90日間における活発化領域の検出状況である。能登半島地震発生前の状況を見ると、能登半島の西側海域や邑知潟（おうちがた）断層帯に沿う領域に活発化領域が検出されている。また、地震発生後には震源域の南北に活発化領域が見られるが、邑知潟断層帯などの活断層付近には活発化領域が見られなくなる。

第10図は、第9図に示したマップを重ねたものである。活発化領域同士はあまり重ならず、隣接部に飛び火したり複数の活発化領域の間を埋めたりしているようにも見えるのは興味深い。過去の地震について同様の処理を行い、ある程度のパタン化ができれば、活発化領域の時間的な推移を追いかけることで次に活発化しそうなところを予測できるかもしれない。なお、第9図の解析に用いたデータの最後の日（2007年6月30日）からさらに16日が経過した



第 10 図 第 9 図に示した 4 つの期間の活発化領域の重ね合わせ

2007 年 7 月 16 日に発生した新潟県中越沖地震の震源域をハッチした楕円で示す。

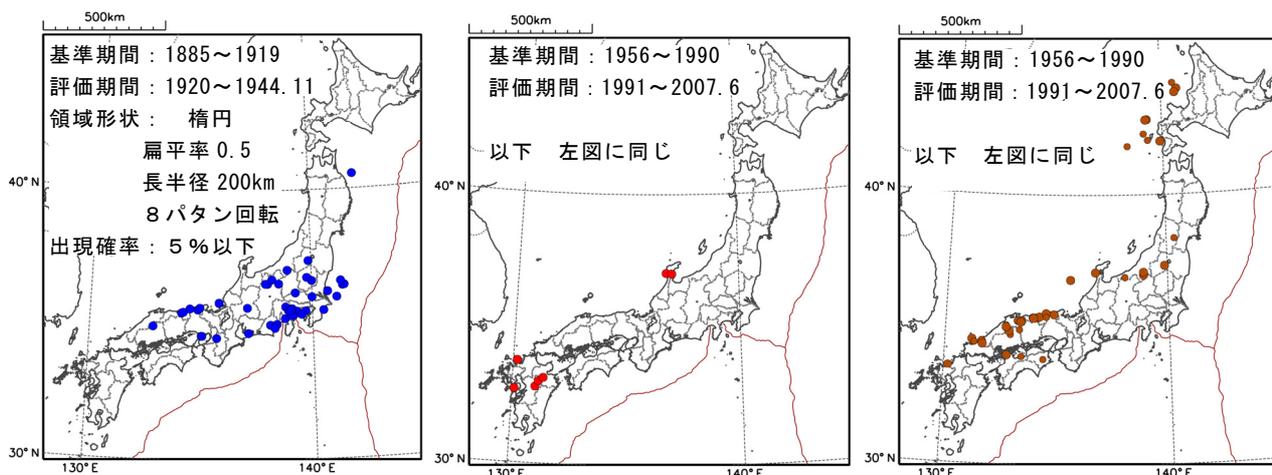
2007 年 7 月 16 日に新潟県中越沖地震が発生した(図中に震源域を書き加えた). 本震-余震活動域の周辺には、発生前に活発化が検知されており、ドーナツパターンのような形状を呈しているようにも見える。

### 4.3 活発化の検出例(2)

最後に、規模の大きな地震のみを使った調査例を示す。南海トラフ沿いで発生するプレート境界型の大地震に関連して、その前後で西日本の地震活動が活発化するとされている(例えば、宇津, 1974, 堀・尾池, 1979 など)。南海トラフの地震の長期評

価(地震調査委員会, 2001)によれば、プレート境界の大地震は平均 110 年程度で繰り返し発生しており、次の大地震までは時間予測モデルによって前回の地震後 90 年程度と予測されている。宇津によれば大地震の前約 50 年間は活発化するもので、1946 年から 60 年経った現在はすでに活発化のサイクルに入っていることになる。

これを踏まえて、昭和の東南海・南海地震前に陸の地殻内で発生した M6.0 以上の地震活動と、同じく 2007 年 6 月現在の M6.0 以上および M5.5 以上の地震活動の状況を解析し、比較したのが第 11 図である。地殻内の地震の分離は REASA で行った。発生頻度の低い規模の大きな地震活動を解析する場合、わずかでも余震を含んでしまうとその影響が強く出て、みかけの活発化を示す可能性がある。ここではそれを避けるため、陸域の地震で M6.0 以上の余震が最も遅く発生(24 日後)した 1927 年北丹後地震の余震を除去できるデクラスタパラメータ ( $\Delta r = 25\text{km}$ ,  $\Delta t = 30$  日)を設定した。3 つ並んだうちの左図は昭和の東南海地震直前までの M6.0 以上の地震の活発化の検出結果である。関東地方を中心に広域な活発化を示しているが、これは評価期間中の 1923 年 9 月 1 日に発生した関東地震の広範囲に及ぶ余震活動を震源の分離およびデクラスタ処理で取りきれなかった影響である。領域の大きさが長半径 200km と大きいため、中部地方に中心を持つ活発化もこの余震の影響を受けたものである可能性が高い。一方、近畿地方には、京都府、大阪府、兵庫県、鳥取県付近



第 11 図 陸の地殻内で発生した M6.0 以上(左, 中図), および M5.5 以上(右図)の地震の活発化領域(の中心位置)の分布

データは 1885 年から 1923 年 7 月までは宇津のカatalog, それ以降は気象庁カatalogである。

を中心とした活発化が示されているが、これらを中心とした領域は、中国・四国地方から中部地方にかかる程度で、関東までは及ばない。すなわち、近畿地方に検出されている活発化は関東地震の余震を取り込んだ結果によるものではなく、南海トラフにおける大地震発生前にこの地方の地震活動が活発化したことを示している。

中図は2007年6月現在の状況である。基準期間は南海地震発生後10年を経て影響が小さくなったと考えられる1956年から左図と同じく35年間の1990年までとした。評価期間は1991年から2007年6月までである。結果は、西日本には活発化が検出されなかった。右図は中図と同様の期間をM5.5以上で見た場合である。M5.5以上の余震はさらに長期にわたる可能性があるのでデクラスタパラメータの $\Delta t$ を60日とした。Mの下限を下げると、西日本以外の陸域には活発化領域があまり検出されないのに対し、中国地方を中心に西日本の活発化領域が顕在化する。

上の例は頻度の低い事象を扱っているのでその統計的有意性を論じるのは難しい。しかし、西日本の活動は昭和の東南海・南海地震の前に比べれば活発化の度合いがまだ小さいが、やや規模の大きな地震が確かに増えていることをデータは示している。今後M6.0以上の地震について、活発化領域が近畿・中国・四国地方に増えていくとすれば、単なる印象からでなく、データから客観的に活発化を提示できるであろう。我々の方法はポアソン過程を前提としているため、このような頻度の低い現象についてもポアソン分布を用いた客観的評価が可能である。

## 5 今後に向けて

我々の最終的な目標は、過去に発生したある規模以上の地震の発生前の時系列データにどのような条件でどの程度静穏化や活発化が見られたのか、また、地域的な特徴はあるのかなど、過去データに関する調査結果をまとめ、それに基づいて現在起こっている静穏化あるいは活発化についての定量的(または、それに近い)評価を行うことである。しかしながら、過去データの時系列が不均質であるという大きな壁があり、これをまとめるのは容易でない。中規模以上の地震の時系列を用いた中・長期的な活動の変化についてはある程度有効な調査が可能かもしれないが、微小地震データを用いた短期的な活動変化と地

震発生の関係については、一元化震源とそれ以前のデータとを同列に扱うことは困難である。

このように、過去事例との比較検討による地震活動の評価は難しい課題であるが、日本全国の地震活動の監視を担当している気象庁としては、何よりもまず地震活動の変化を見落とさないことが肝要だろう。第8図に示したような静穏化は、単に地震データを眺めるだけではなかなか捉えることが難しく、これまではたまたま発見するか、何らかの活動があった後に気づくケースが多かったのは事実である。また、領域の取り方も個々のケースで様々で、客観的な評価をすることが難しかった。活発化については日々の地震活動を監視していればある程度わかるが、バックグラウンドにあるポアソンの活動の変化については、やはり静穏化と同様見つけるのはそれほど簡単ではない。

今回開発したプログラムは、さまざまなパラメータを与えて地震活動を客観的に評価できるだけでなく、日本全国の静穏化や活発化現象を共通基準でシステムチェックに検出することを可能とした。これらは震源データさえあれば単一のソフトウェア(REASA)によって非常に簡単な操作で行える。また、REASAは、4.3節で示した例のように陸の地殻内の地震や海洋プレートの地震の分離など、震源データに対する様々な加工を同時に行えるので、地震の性質による多角的できめ細かい静穏化・活発化の評価が手軽にできる。これは気象庁の地震活動監視能力を大きく前進させるものであろう。さらに、デクラスタ処理のほか、b値の推定やETASモデル、改良大森公式のあてはめなど地震学における基本的な統計処理を簡便かつ一元的にできるREASAで処理が可能になることは、すなわち、気象庁の地震活動評価能力の向上にも直結する。

1997年10月から始まった一元化処理によって気象庁の震源カタログは、それ以前に比べて格段に検知能力が向上し、かつ、たいへん均質なものになった。我々は、一元化震源に今回開発したプログラムを適用して、よりきめこまかな地震活動の監視に役立てるとともに、将来的な定量的評価のために地震活動の変化に関する基礎データを蓄積していきたいと考えている。

## 謝辞

匿名の査読者の方には、本稿改善に有益な数々のご助言をいただきました。記して感謝します。

## 文献

- 明田川保・伊藤秀美・弘瀬冬樹 (2007) : X Window System を用いた地震検索・地震活動解析プログラム (REASA) の開発, 験震時報, 70, 51-66.
- 宇津徳治 (1974) : 南海トラフ沿いの大地震と西日本の破壊的地震の関係, 地震予知連絡会会報, 12, 120-122.
- 片尾浩 (2002) : 丹波山地の地震活動, 月刊地球号外, 38, 42-49.
- 勝俣啓 (2005) : 2003 年十勝沖地震に先行した地震活動の静穏化, 月刊地球号外, 49, 66-71.
- 鎌谷紀子・林元直樹・舟崎淳・内藤宏人・神林幸夫・竹内新・山本博二 (2007) : 注目すべき地震活動領域はどこか? - 全国の地震活動評価 -, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集, S148-008.
- 地震調査委員会 (2001) : 南海トラフの地震の長期評価, 26pp.
- 塚越利光・石垣祐三 (2003) : 東海地域の地震活動レベルの評価, 月刊地球号外, 41, 101-109.
- 日本数学会編 (1985) : 数学辞典, 第 3 版, 岩波書店, 1339.
- 堀高峰・尾池和夫 (2002) : 西南日本の地震活動期と静穏期, 月刊地球号外, 38, 13-19.
- 松村正三 (2007) : 東海地震のアスペリティの推定 (東海地域の地震活動変化: その 4), 地震 2, 59, 271-284.
- 横山博文 (1997) : X ウィンドウシステムを用いた地震活動解析プログラム, 験震時報, 60, 37-51.
- 吉田明夫 (1995) : 丹波と丹波西方域及び和歌山付近の地震活動の相関と兵庫県南部地震, 地学雑誌, 104, 801-808.
- Wiemer, S., and M. Wyss (1994) : Seismic quiescence before the Lander (M=7.5) and big Bear (M=6.5) earthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., 84, 900-916.