

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 29 日現在

機関番号：82102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25887052

研究課題名(和文) 高感度連続地動記録解析に基づく前震活動モニタリング

研究課題名(英文) Monitoring of microearthquakes and foreshocks through applying the Matched Filter technique to continuous seismograms of Hi-net

研究代表者

澤崎 郁 (Sawazaki, Kaoru)

独立行政法人防災科学技術研究所・観測・予測研究領域 地震・火山防災研究ユニット・特別研究員

研究者番号：30707170

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、Matched Filter法をHi-netの連続地動記録に適用することにより、従来の震源決定法では得られなかった微小な内陸地震(おおむねM1以下)の検出を行った。その結果、2000年10月から2014年6月までの期間中に、テンプレート地震を含めて約380万個の微小地震を検出した。さらに、この微小地震活動が活発化する時期とM6.5以上の内陸地震発生との関係を調べたが、本震発生直前の期間以外にも微小地震活動が活発化する事例があり、微小地震活動の活発化がそのまま大地震発生の前兆となるわけではないことが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：Applying the Matched Filter technique to Hi-net continuous seismogram record, I detected microearthquakes (magnitude smaller than 1) which had not been detected through the conventional earthquake relocation method. About 3.8 million events were detected during the time period from October 2000 to June 2014. I examined a relationship between the activity of the microearthquakes and the occurrence of several large inland earthquakes. I concluded that the activation of microearthquakes is not necessarily followed by a large earthquake, which implies that prediction of large earthquake from its micro-foreshock activity is still difficult.

研究分野：地震学

キーワード：Matched Filter法 Hi-net 前震

1. 研究開始当初の背景

近年、1999年 Izmit 地震(トルコ)や 2008年岩手・宮城内陸地震の発生直前に、本震の破壊開始点近傍で波形が非常に似る相似地震活動が群発的に生じたことが報告されている (Bouchon et al., 2011; Doi and Kawakata, 2012)。相似地震の発生間隔は周囲の応力蓄積速度を反映するため、群発的地震活動の発生域では応力が急激に蓄積され、大地震発生の準備が進行している可能性がある。この群発的地震活動を検知することで、大地震発生の予兆をとらえられることが期待される。

上述の相似地震のほとんどはマグニチュード(M)が1を下回るごく小さいものである。しかし、現在の国内の地震観測網では、Mが1を下回る地震の震源決定はいまだ困難である。その主な理由は、通常の震源決定法ではP波の到来時刻を入力データとして使用するため、位置(緯度、経度、深さ)と発生時刻の4次元の未知量を持つ震源を決めるには最低4点の観測点が必要であるが、微小な地震では4点以上で観測されないものが多いためである。近年、既知の震源を持つ地震波形記録との相互相関処理に基づき未知の地震を検出する、Matched Filter 法が地震学でも普及し、微小な地震の検出に用いられてきている。この手法では、少なくとも1つの観測点でS/Nの高い波形記録が得られれば、テンプレート地震と同じ場所で起こった地震を検出できるため、従来の手法よりもより小さい地震を多く検出できる。

2. 研究の目的

前震活動のほとんどがM1以下の微小な地震によるものとすれば、Matched Filter 法を高密度の連続地動記録に適用して微小地震を検出し、その活動状況を解析することにより、大地震の前兆となる前震活動について新たな知見を得られることが期待される。本研究では、Matched Filter 法を防災科学技術研究所のHi-net連続地動記録に適用し、微小地震活動のデータベースを構築する。さらに、微小地震の発生状況と大地震の発生状況との関係を調べ、「大地震の直前には必ず群発的地震活動が伴う」か、「群発的地震活動が起これば必ず大地震が起こる」かを検証することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) テンプレート地震選出

気象庁一元化処理震源リストの中から、M2

以下、震源深さ20km以浅、最寄りのHi-net観測点までの震央距離10km、最寄りのHi-net観測点における上下動記録(3-30Hz帯域のバンドパスフィルタ適用済み。以下波形記録にはすべてこのフィルタを適用)の、P波到達前2秒間に対する到達後2秒間の平均振幅比が10以上となる地震を選出する。震央距離および震源深さの条件より、今回解析対象とする地震は地殻内地震に限定される。2000年10月から2014年6月までの期間において、上記の条件を満たすテンプレート地震は305053個選出された。1個の地震につき、最寄りのHi-net観測点で記録された上下動波形のみをテンプレート波形として使用する。

(2) 微小地震検出およびデータベース作成
各テンプレート波形について、2000年10月から2014年6月までのHi-net連続上下動記録(連続波形)との相互相関係数を、1サンプリング間隔(0.01s)ずつずらしながら計算する。相関計算に用いるテンプレート波形の時間窓は、まず、P波到達時刻からの2秒間を設定する。この時間窓で連続波形との相関係数が0.7を超えた場合のみ、時間窓をP波到達時刻からの5秒間に設定し直し、同様に相関計算を行う。5秒間時間窓においても相関係数が0.7を超えた場合、それを記録した時刻においてテンプレート地震と同じ場所で地震が発生したとみなす。

なお、テンプレート波形の数、連続波形の長さ共に膨大であるため、計算時間を短縮する必要がある。そこで、相関計算を行う前に、連続波形における2秒時間窓の最大振幅が、その直前2秒間の平均振幅の5倍未満である場合、相関計算をスキップする処理を行う。この処理により、振幅の小さい地震(S/Nが悪く相関係数が低いと考えられる)は「見逃す」可能性があるが、相関係数の高い地震についてはこの手法でも検出可能である。

検出した地震は0.7以上の相関係数を持つテンプレート波形を複数持つ場合もある。その場合は、最も相関係数が高くなるテンプレート地震の震源をその検出地震の震源と同じとみなす。検出した地震の発生時刻、震源位置、最大振幅をまとめ、データベースを作成する。

(3) 大地震発生との関係

最後に、日本国内で同期中に発生したM6.5以上の地殻内地震3個について、破壊開始点からの最寄りのHi-net観測点で検出した微小地震の活動が、本震前に活発化したか

否かを調べる。

4. 研究成果

(1) 検出地震の特徴

検出した微小地震の数は、2000年10月から2014年6月までの期間中に3773202個であった。これは用いたテンプレート地震の数の約12倍である。図1に検出した地震の数(赤)と、用いたテンプレート地震の数(黒)の推移を示す。期間の始めはHi-netの観測点数が少なく、したがってテンプレート地震数も検出地震数も少なめである。2008年6月までの期間中、双方とも漸増しているのは、観測網の整備の充実によるものであり、地震活動自体が全国的に活発化したことを示すものではない。時折テンプレート地震数、検出地震数とも大きく増える時期がみられるが、これは大きな内陸地震の発生に伴う余震活動や、群発地震の発生によるものである。

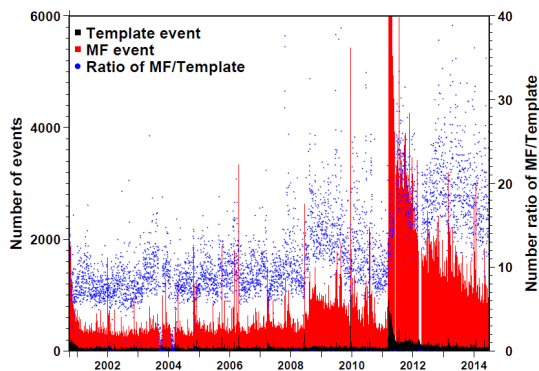


図1：(赤)Matched Filter法により検出された地震数、および(黒)使用したテンプレート地震数の推移。(青)テンプレート地震数に対するMatched Filter法による検出地震数の比。

2011年3月には東北地方太平洋沖地震(以下東北地震)が発生し、それに伴い内陸部でも地震活動が広く誘発されたため、それ以前よりもはるかに多くの微小地震を検出している。その後検出数は徐々に減ってはいるものの、2014年6月の時点でも検出数は2011年3月以前の2倍以上の水準を保っている。地震観測網の拡充だけではこの顕著な検出数の増加は考えにくく、東北地震以後の地震活動の活発化が現在も続いていることを示す。

検出地震数をテンプレート地震数で割った「検出効率」は、2008年6月の岩手・宮城内陸地震前にはおおむね8から10程度の値である。岩手・宮城内陸地震の後には、震源に極めて近い一関西観測点(コード名

N.ICWH)で多くの地震を検出した(同観測点のみで約17万個)ため、検出効率が上昇している。さらに2011年3月の東北地震後は大規模な地震活動が引き起こされ、検出効率は20程度の水準を保ち続けている。大地震の直後は多くの地震による波が重なり合うため、P波検知に基づく通常の震源決定法が適用しにくい。一方、波形全体を用いるMatched Filter法ではその制約が比較的少なくなる。そのため、検出効率が上がったと考えられる。

なお、検出したイベントの中には電気的なノイズや人工的な振動源に起因するものも含まれる。これらを自然地震と区別するために、複数の成分を用いる、電気的なノイズを除去するフィルタを用いるなどの措置を今後行う予定である。

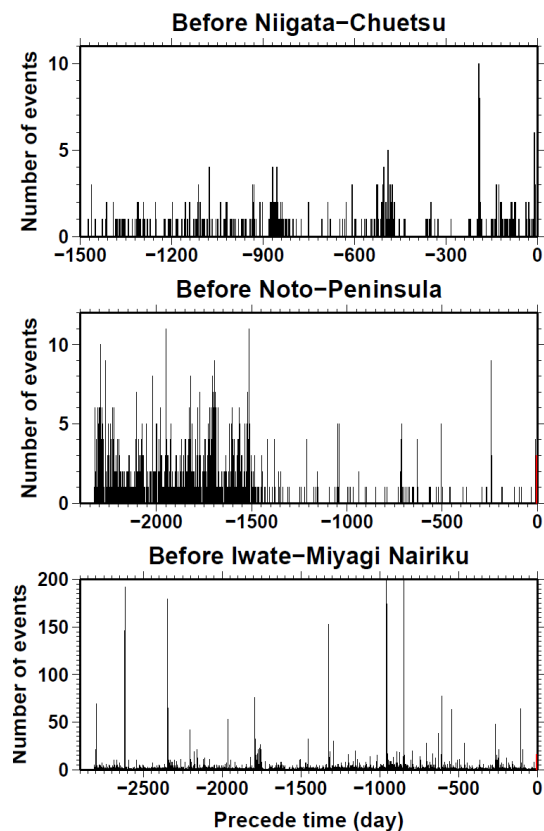


図2：上から、2004年新潟県中越地震(最寄観測点コード名N.YNTH)、2007年能登半島地震(同N.TGIH)、2008年岩手・宮城内陸地震(同N.ICWH)に先立つ微小地震発生数の推移。本震の1日前以内に生じた地震数を赤線で示す。能登半島地震の1500日前以前に検出数が多いが、この中には昼間のみが発生し最大振幅もほぼ一定の値をとる波形が多いため、人工的な振動源によるものが多く含まれると考えられる。

(2) 大地震前の地震活動の特徴

次に、2004年新潟県中越地震(M6.8)、2007年能登半島地震(M6.9)、2008年岩手・宮城内陸地震(M7.2)について、2000年から本震発生直前までに破壊開始点付近で検出された微小地震数の推移を図2に示す。能登半島地震と岩手・宮城内陸地震については、Doi and Kawakata (2012, 2013)で報告されているように、本震発生の1日前以内に微小地震活動が生じている(図2赤線)。しかし、同程度以上の微小地震活動はそれ以外の時期にも頻繁に生じており、顕著な微小地震活動が生じたとしても必ずしも大地震の発生につながるわけではないことが分かる。また、新潟県中越地震の1日前には微小地震は検出されなかった。この地震の場合、破壊開始点から最寄りのHi-net観測点までの距離が比較的遠いため、Matched Filter法でも検出できないような微小地震が生じていた可能性は残る。しかし、少なくともMatched Filter法で検出できる程度の規模の地震については、大地震の直前に必ずしも活発化が生じるわけではないことが分かる。

(3) 主な成果と今後の展望

本研究では、微小地震活動の活発化が生じたときに必ずしも大地震につながるわけではないこと、また、大地震の直前に必ずしも微小地震活動の活発化が生じるわけではないことを、Matched Filter法を用いて検出した微小地震活動の解析により明らかにした。しかし、Matched Filter法でも検出できないく微少な地震が大地震の直前に必ず生じる可能性は、依然として残る。今後はそのようなごく微少な地震を検出するため、観測網のさらなる高密度化と解析方法の改良が望まれる。

今回検出した微小地震の数は、これまでに同じ地域で検出されていた地震数の10倍以上である。この莫大な微小地震データは、地震活動解析のみならず、余震の震源の広がり方や地震波速度変化の検出などにも用いることができると期待される。この微小地震データベースを簡便に使用できるように、さらに整備を進める必要がある。

<引用文献>

- Bouchon, M., H. Karabulut, M. Aktar, S. Özalaybey, J. Schmittbuhl, and M.-P. Bouin, Extended nucleation of the 1999 Mw 7.6 Izmit earthquake, *Science*, 331, 877-880, 2011.
- Doi, I., and H. Kawakata, A non-accelerating

foreshock sequence followed by a short period of quiescence for a large inland earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L11308, 2012.

Doi, I., and H. Kawakata, Spatio-temporal occurrence patterns among the foreshocks preceding the 2007 Noto Hanto earthquake, *Earth Planets Space.*, 65, 1053-1058, 2013.

5. 主な発表論文等

[学会発表](計1件)

澤崎 郁、Matched Filter法に基づく微小地震データベース構築、東京大学地震研究所研究集会「海陸広域観測網がとらえる波動現象と地球内部不均質構造」

6. 研究組織

(1) 研究代表者

澤崎 郁 (SAWAZAKI, Kaoru)

国立研究開発法人 防災科学技術研究所
観測・予測研究領域 地震・火山防災研究
ユニット 特別研究員

研究者番号：30707170