

平成25年度共同利用実施報告書(研究実績報告書)
(一般共同研究)

1. 課題番号または共同利用コード 2013-G-13

2. 研究課題名 (データベース化のため英訳を加えてください。)

和文：西南日本における超低周波地震の自動モニタリング手法の開発および比較

英文：Automatic monitoring for very low-frequency earthquakes in southwest Japan

3. 研究代表者所属・氏名 須田 直樹

(地震研究所担当教員名) 鶴岡 弘

4. 参加者の詳細 (研究代表者を含む。必要に応じ行を追加すること)

氏名	所属・職名	参加内容
須田直樹	広島大学・教授	研究全体の遂行

5. 研究計画の概要 (申請書に記載した「研究計画」を800字以内でご記入ください。変更がある場合、変更内容が分かるように記載してください。)

本研究は、現在申請者によって開発しつつある西南日本における超低周波地震(VLF)に特化した自動モニタリング手法を、Tsuruoka et al. (2009)の GRiD MT 法と比較することによって、より適切な手法として確立することを目的とするものである。

西南日本で発生するスロー地震のなかで、深部超低周波地震(VLF)に関してはその他のスロー地震と比べて先行研究が少ない(Ito et al. 2007, 2009; Takeo et al. 2010)。申請者は、これまでに VLF 検出に特化した新しい自動モニタリング手法の開発を行ってきた(2012年連合大会 SCG63-P06; 2012年地震学会 P2-02)。その手法では、従来とは異なり VLF をプレート境界面上の逆断層イベントと予め仮定して検出を行う。現在、数値実験や実データの解析によりその有効性を確認しつつあるが、まだ十分とは言えない。

そこで、リアルタイムモーメントテンソル解析法として確立されている Tsuruoka et al. (2009)の GRiD MT 法と本手法の並行解析を行い、結果を比較することで VLF 検出における両手法の得失を明らかにし、本手法の改良を図る。具体的には、Takeo et al. (2010)で解析された 2008年11月10日～18日に紀伊半島で発生した活動について Hi-net 高感度加速度計記録を解析する。そして、その結果を GRiD MT 法の結果と比較し、本手法の改善すべき点について検討する。本研究により VLF の自動モニタリング手法が確立されることで、VLF と同時発生するその他のスロー地震との定量的関係が従来よりも高い精度で明らかになることが期待される。

6. 研究成果の概要 (図を含めて1頁で記入してください。)

キーワード (3~5 程度) : 超低周波地震, 微動, グリッド MT

本研究で開発中の超低周波地震(VLF)の検出法はグリッドベースの手法であるが, VLF をプレート境界面上で発生すると仮定している点, また震源メカニズムとしてプレート境界面形状とプレート運動にもとづき予め決定したものを用いる点に特徴がある。プレート境界面上の震源グリッドの間隔は水平方向に 10 km, 深さ方向には < 8 km である。検出は 1 秒間隔で行い, 観測波形と理論波形の相互相関が大きくなる仮想震源について地震モーメントと Variance Reduction (VR) を計算し, VR と波形振幅についての一定の条件を満たした場合を VLF の検出とみなす。

本研究では Takeo et al. (2010) と同じ VLF 活動について解析し, その結果を比較した。解析期間は 2008 年 11 月 10~18 日, 解析地域は紀伊半島である。データは Hi-net の 36 観測点における高感度加速度計による水平動二成分記録である。図 1 に震源グリッドと観測点の分布を示す。解析の際には加速度記録を速度記録に変換して周期 20-50 秒のバンドパスフィルターをかけたものを用いる。図 2 に VR のしきい値が 20 の場合の検出結果を地図上の棒グラフと時空間分布として示す。棒グラフはその仮想震源で検出された VLF の累積数を, 赤点と黒点はそれぞれ VLF と ATMOS (Suda et al. 2009) で検出された微動を表す。活動は VLF・微動ともに伊勢湾南部で始まり東西に移動したが, VLF が志摩半島の付け根辺りで移動を終えたのに対して, 微動は熊野辺りまで移動して活発に活動した。この活動自体興味深い, 以下では Takeo et al. (2010) との比較について述べる。

本検出法では VR=20 を標準的な検出基準として用いており, 累積検出数は 210 個であった。一方 Takeo et al. (2010) では VR=30 としており, 累積検出数は 110 個であった。そこで, 本検出法で VR=30 として解析した結果を Takeo et al. (2010) の結果と比較した (図 3)。本研究の結果を棒グラフと赤丸で, Takeo et al. (2010) の結果を黒丸で示してある。Takeo et al. (2010) では GRiD MT 法の結果に対してブーツストラップ法で震源を摂動させているので, 震源はグリッドに固定されていない。両者ともに同様の結果を示しているが, 本検出法による累積検出数は 84 個と VR=20 の場合の半分以下になった。この理由としては, 水平方向のグリッド間隔の違いが考えられる。グリッド間隔は本研究では 10 km なのに対して Takeo et al. (2010) では 5 km となっている。本検出法では VLF の波長からグリッド間隔を 10 km で十分と考えた。しかし, 図 3 の時空間分布に示されているように, 本検出法のグリッドの間に Takeo et al. (2010) では多くのイベントが検出されており, VR のしきい値との兼ね合いでイベントの取りこぼしがあったと考えられる。本研究の結果からグリッド間隔は 5 km が望ましいことが分かった。

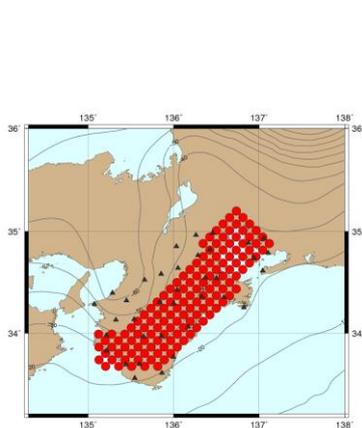


図 1

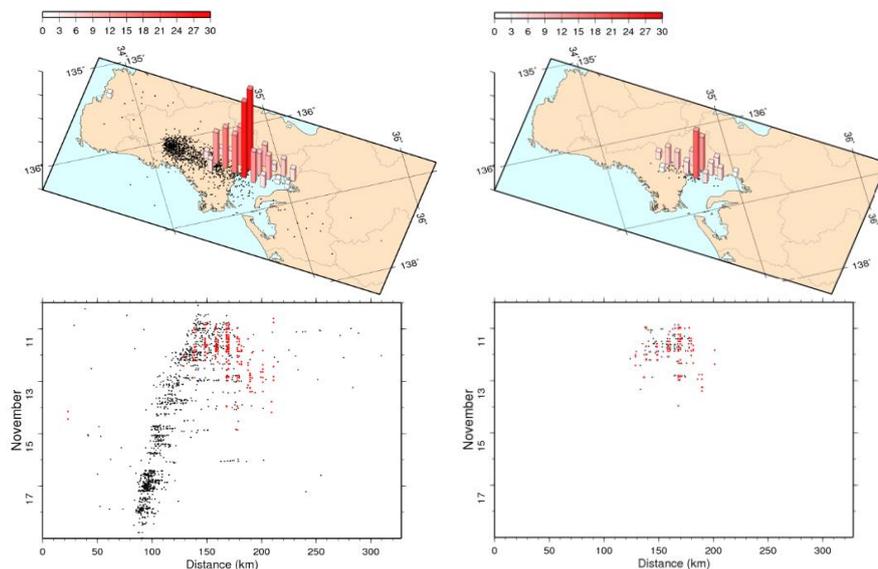


図 2

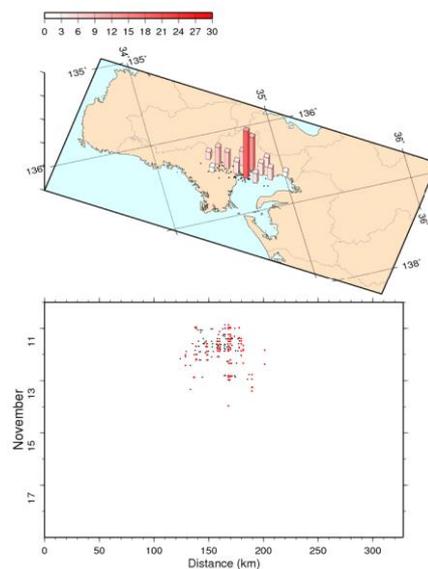


図 3

7. 研究実績（論文タイトル、雑誌・学会・セミナー等の名称、謝辞への記載の有無）

学会発表：

仁里太郎・須田直樹・松澤孝紀，西南日本において検出した超低周波地震のブートストラップ検定法を用いた検討，[SCG62-P05](#)，日本地球惑星連合 2013 年大会

仁里太郎・須田直樹・松澤孝紀，深部超低周波地震と非火山性微動の活動様式の比較，A31-09，日本地震学会 2013 年秋季大会

深部超低周波地震と非火山性微動の活動様式の比較

#仁里太郎・須田直樹（広島大・院理）・松澤孝紀（防災科研）

Comparison of activities between deep very low-frequency earthquakes and non-volcanic tremors

#Taro Nizato, Naoki Suda (Hiroshima Univ.), Takanori Matsuzawa (NIED)

1. はじめに

西南日本では、短期的スロースリップイベントに付随して深部非火山性微動（微動）や超低周波地震（VLF）が発生している。先行研究では、VLFのメカニズムがフィリピン海プレート上部境界面のジオメトリーや、プレート運動方向と調和的であることが明らかにされている(Ito et al. 2007, 2009; Takeo et al. 2010)。我々はこれまでに、VLFの検出に特化した手法を開発した。この手法を用いることにより、これまでより多くのイベントの検出が期待できる。今回、この解析結果を用い、VLFの活動様式や、微動との関連性などについて検討した。

2. 手法

本手法では、Hi-net 傾斜計データから得られる観測波形と、仮想的な VLF の理論波形について、相互相関および Variance Reduction (VR) を計算し検出を行う。理論波形は、フィリピン海プレート上部境界面のジオメトリーやプレートの運動方向から VLF のメカニズムを仮定して計算する。VLF の検出は、この VR を検定統計量とする数値的な統計的検定法で行う。ここでの帰無仮説は「得られた VR はランダムなノイズをフィッティングした結果である」となる。「得られた VR がランダムなノイズから偶然得られる確率」である p 値は、以下のように求められる。

$$p = \#\{VR^* > VR_{obs}\} / N$$

ここで VR^* は帰無仮説のもとで得られる検定統計量、 VR_{obs} は実際に観測された検定統計量、 N はシミュレーションの回数、 $\#$ はカッコ内の条件を満たしたシミュレーション数である。 VR^* は観測波形から周波数領域でのブートストラップ法により作成した複製波形を観測波形と同様に解析することで求める。

上述の手順を観測波形に対して 1 秒間隔で行い、p 値の時系列を求める。本研究では、p 値が 4 秒以上連続して有意水準（ここでは $1/N$ ）を下回った場合に帰無仮説を棄却し、VLF が検出されたとする。偽のイベント検出の排除方法については発表の際に示す。

3. 結果・議論

2007 年 3 月 10 日から 20 日までの四国周辺の Hi-net 傾斜計データを解析した。この期間において、本手法では 200 個を超える VLF を検出した。これらの VLF の震源は、微動の震源とよく似た位置に決定された。

図に、四国西部における VLF と微動の 0.1 日ごとの検出個数、積算の検出個数を示した。微動の情報は、広島大学の低周波微動自動モニタリングシステム (Suda et al., 2009) によって決定したものをを使用した。微動に比べ、VLF は時間的に集中して発生する傾向があることがわかった。このような傾向は解析した他の活動でも示されている。発表では VLF の規模別頻度分布や VLF と微動の規模の関係などについても示す。

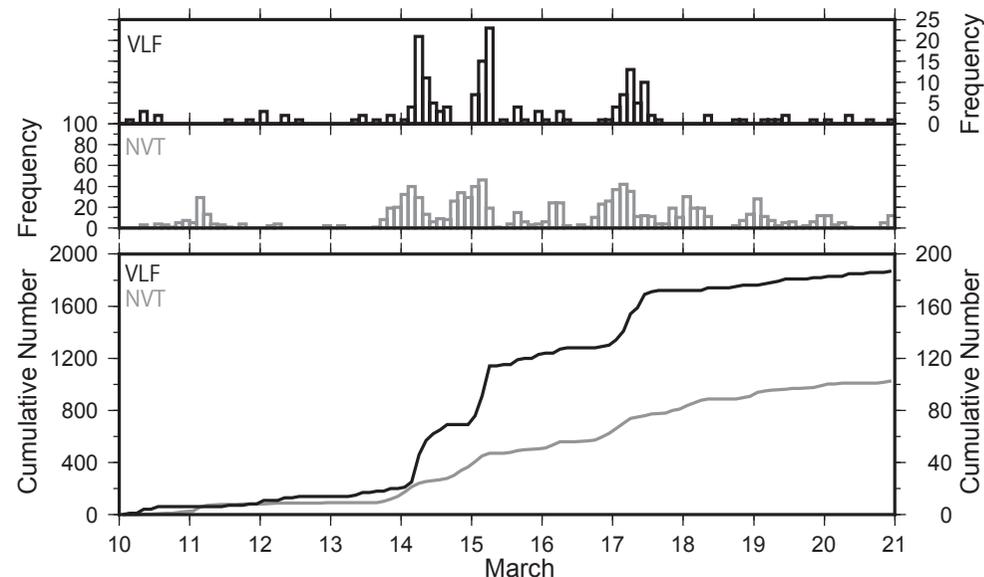


図. 四国西部における VLF と微動の 0.1 日ごとの検出個数（上）、および積算検出個数（下）。VLF は右側、微動は左側の数値に対応。