

機関番号：15401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20540412

研究課題名（和文）豊後水道地域における低周波微動と超低周波地震の同時自動モニタリング

研究課題名（英文）Simultaneous automatic monitoring of deep non-volcanic tremor and very low-frequency earthquake in the Bungo Channel region, southwest Japan

研究代表者

須田 直樹（SUDA NAOKI）

広島大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：10222069

研究成果の概要（和文）：

西南日本におけるスロー地震発生域の最西端にあたる豊後水道地域における深部非火山性微動と超低周波地震の活動およびそれらの関連性を調べるために、既設の日振島（愛媛県宇和島市）広帯域地震観測点の地震計測システムの改良と鶴御崎（大分県佐伯市）広帯域地震観測点の新規設置を行った。その結果、同地域では深部非火山性微動の約85%に超低周波地震が付随して発生しており、それらの震源域は共通であることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：

To investigate activity of deep non-volcanic tremor and very low-frequency earthquake in the Bungo Channel region, the westernmost part of slow-earthquake region in southwest Japan, we modified the data-logging system of broadband seismic station in Hiburijima Island (Uwajima City, Ehime Prefecture), and also installed a new broadband seismic station in Tsurumisaki Peninsula (Saiki City, Oita Prefecture). From analyses of the data from those stations, it has been shown that about 85 % of non-volcanic tremors are associated with very low-frequency earthquakes, and they share the common source region.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：地震学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：深部非火山性微動，超低周波地震，スロー地震，豊後水道，広帯域地震計

1. 研究開始当初の背景

豊後水道地域は、深部非火山性微動の発生域の最西端にあたる。この地域では、長期的および短期的スロースリップイベントが観測されており、それらと同期して微動活動が活発化する現象が報告されている。また最近では、周期20秒程度の地震波が卓越する超低周波地震が低周波微動に付随して起きるこ

とが見えられ、この地域でも観測されている。これらの地震は、通常の地震とは異なったスケール則に従う「スロー地震」に分類され、発生の関連性が注目されている。また、これらのスロー地震は沈み込むフィリピン海プレート境界面上の浅部に位置する海溝型巨大地震の発生域の深部に位置しており、両者の発生の関連性が注目されている。

このように、豊後水道地域はスロー地震の発生メカニズム解明において重要な観測地域であるが、これまで地震および地殻変動の定常観測点は存在せず、観測の空白域になっていた。ここでは微動活動の活動間隔はおよそ2ヶ月程度と活発であり、長期的 SSE も6-7年おきに起きると予想されている。しかし、微動と超低周波地震をターゲットにした豊後水道地域での広帯域地震計による観測は研究代表者以外にはほとんど行われていなかった。

2. 研究の目的

西南日本で発生しているスロー地震の活動域の最西端である豊後水道地域において、広帯域地震計による深部非火山性微動と超低周波地震の観測を行う。日振島に既設の広帯域地震観測点についてはデータ収録システムを置き換え、九州側の鶴御崎に新たに広帯域地震観測点を設置して、同地域における低周波微動と超低周波地震の活動を自動モニタリングし、それらの発生の関連性を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 日振島（愛媛県宇和島市）広帯域地震観測点の改良：

現在、日振島には STS-2 型広帯域地震計が設置されているが、データ収録装置は海洋研究開発機構より借用した QUANTERRA Q330 を用いている。これは WIN 形式ではなく MiniSEED 形式でデータが収録されるので、これまではそのままでは後述する微動自動モニタリングシステム ATMOS でのオンライン解析に用いることはできなかった。そこで、(2)の鶴御崎に設置する予定のものと同じデータ収録装置に交換する。日振島観測点は ISDN 回線でインターネットに接続しているため、これによって WIN 形式での広帯域地震記録がリアルタイムで取得可能になる。

また、現在地震計は島内のコンクリート製急傾斜施設上面にステンレス製の断熱防水カバーをかけて設置してあるが、気温変化の影響と考えられる長周期ノイズが顕著である。既に3年間観測してきたこれまでの経験を生かし、現在のカバーを改良する。また、コンクリートが太陽光で暖められることによる膨張収縮が原因と考えられる超長周期ノイズが記録に見られるので、アルミコーティングしたシート等で広範囲にコンクリートを覆い、これを低減させる。

(2) 鶴御崎（大分県佐伯市）広帯域地震観測点の設置：

これまでに研究代表者は、リアルタイム地震波形データを解析して自動的に低周波微動の検出と震源の決定を行う「微動自動モニタリングシステム(ATMOS)」を開発した。これ

は、JGN2/SINET3 の L2 サービスを利用したリアルタイム地震波形データ集配信ネットワーク JDXnet のデータを解析し、微動の検出と震源決定を行い、描画した結果を WEB で公開するシステムである。これによって、これまで手作業で行われていた低周波微動の解析が自動化され、低周波微動の活動をリアルタイムでモニタリングできるようになった。

日振島のデータを含めた解析結果を、東海・紀伊半島・四国東部地域と比較すると、微動の検出感度が低く、震源の決定精度も悪い。これは、豊後水道地域の九州側の3観測点のノイズレベルが高いことに原因がある。そこで、九州の豊後水道沿岸地域を調査し、地震計設置に適した場所を探索した結果、ノイズレベルが低く、電源が確保できる場所として、大分県佐伯市の鶴御崎ミュージアムパークを広帯域地震計の設置候補地として選定した。ここは、九州の最東端であり、西南日本のスロー地震発生域のほぼ最南西端にあたる。ここへの設置によって、豊後水道の活動域の西半分を日振島観測点と挟む形となり、ノイズレベルの低さと相俟って自動検出での検出感度と震源決定精度の向上が期待できる。地震計として STS-2 型広帯域地震計を、データ収録装置としてデータマーク LS-7000XT を設置する。

(3) 微動自動モニタリングシステム (ATMOS) への日振島・鶴御崎データのデータの導入：

上記の2つの臨時観測点をオンラインで広島大学と結び、リアルタイムでデータを取得して、JDXnet から配信されているデータと同化し、豊後水道地域で発生する深部非火山性微動の活動を自動的にモニタリングする。これによって、東海・紀伊半島・四国での活動と同等の精度でのモニタリングが可能になり、低周波微動活動の時空間的な変動を詳細に明らかにできる。

具体的には、JDXnet で配信されている他機関の豊後水道周辺の地震計データに加えて、上記2観測点のデータを、広島大学の微動自動モニタリングシステム(ATMOS)のソフトウェアを用いて解析し、深部非火山性微動の検出と震源決定を行う。震源が決定された場合は、波形から Reduced Displacement (RD) を計算するようにソフトウェアを変更する。RD は地震モーメントレートに比例する量であり、それを時間で積算した値は微動のモーメント解放量に比例する。各観測点について変位エンベロープ振幅の2分間平均を求めて、そこから上位・下位10%のデータを除き、観測点平均として2分ごとのRD値を求める。そして豊後水道地域をグリッドに分け、各セルごとにRD値を積算して「積算RDマップ」を自動作成する。

また、広帯域地震計記録を用いるので、微動に伴って発生する超低周波地震のシグナ

ルも記録されている。本研究では、微動自動モニタリングシステム ATMOS を拡張し、超低周波地震の自動モーメントテンソル決定を行い、同時自動モニタリングを可能にする。

4. 研究成果

(1) 日振島高遺体域地震観測点の改良とデータの自動モニタリングシステム ATMOS への導入：

データ収録装置の置き換え (QUANTERRA Q330 からデータマーク LS7000-XT へ) を行った。これによって、WIN 形式でのデータ転送が可能になったので、JDXnet で配信されている他機関のデータと広島大学内で同化し、自動モニタリングシステム ATMOS でのリアルタイムオンライン解析が可能になった。

(2) 鶴御崎広帯域地震観測点の設置：

大分県佐伯市鶴御崎ミュージアムパーク内の展望ブリッジ準備室に STS-2 型広帯域地震計を設置して、携帯電話を利用したデータ取得システムを構築した。しかし、設置後数カ月が経過した時点で設置施設の漏電により頻繁に電源が遮断されるトラブルが発生し、安定した観測が不可能になった。そのため、平成 20 年度末にいったん撤収し、平成 21 年度に付近の他の施設に設置し直すこととした。

設置場所を検討した結果、安定した商用 AC 電源が利用できることから、同パーク入口の現在閉鎖されている休憩所内への設置が適当と判断し、再設置した。地震計は STS-2 型広帯域地震計を、データ収録装置はデータマーク LS-7000XT を設置した。予算の関係上当該年度ではデータ通信システムを設置することはできなかった。平成 22 年度に、DOCOMO の FOMA データ通信を用いた通信システムを新たに設置した。このシステムは、データ通信端末 L-05A (LG 社製) とルーター XR-430 (センチュリーシステムズ社製) を使用している。WIN データを UDP でリアルタイム送信すると、おそらく DOCOMO の連続通信制限によりしばしば回線が切断されてしまう。そこで、UDP によるリアルタイム送信に加えて、広島大学から 1 時間に 1 回 WIN データを FTP でまとめてダウンロードしている。これまで四国側に比べて九州側の豊後水道周辺の観測点ではノイズレベルが高かったが、これによって九州側についてもノイズレベルの低いデータがリアルタイムに入手可能になった。

(3) 豊後水道地域での深部非火山性微動活動の詳細：

自動作成された積算 RD マップを検討した結果、日振島の南西側と北東側に、積算 RD の 2 つの極大が存在していることが分かった。これらは深部非火山性微動によるモーメント解放が特に大きい領域であり、ここではそ

れらをそれぞれ「南西アスペリティ」「北東アスペリティ」と呼ぶ。全活動期の積算では、北東アスペリティよりも南西アスペリティでの活動の方が卓越しており、この地域の微動活動の中心が南西アスペリティである事が分かった。

一方、各活動期の積算 RD マップにおいては、殆どの場合でどちらか一方での活動が卓越していた。どちらが卓越するかは、深部非火山性微動の発生様式によって以下の法則があった：

- ・豊後水道地域のみで活動する場合…南西アスペリティでの活動が卓越
- ・四国西部の活動と連動して活動する場合…卓越アスペリティは北東と南西の両方の場合が存在

また、1 つの活動期中に 2 つのアスペリティが活動する場合、微動源の移動方向にも以下のような一定の傾向が見られた：

- ・南西アスペリティが卓越する活動期…北東アスペリティへと向かう方向
- ・北東アスペリティが卓越する活動期…南西アスペリティへと向かう方向

以上のように、豊後水道における深部非火山性微動の基本的な活動様式は、南西アスペリティ付近で最も活発で、微動源は南西から北東へ移動するものであった。卓越アスペリティと活動の移動方向の関係は、微動源は歪エネルギーが高い領域から低い領域へと移動することを示唆している。南西アスペリティと北東アスペリティの存在は、日振島付近の地下にこれらを隔てる何らかの構造的境界がある事を示している。北東アスペリティ中心の微動活動が四国西部と常に連動しているのは、北東部の微動クラスターと四国西部のクラスターが強くカップリングしているためであると考えられる。

(4) 超低周波地震の自動モニタリング：

当初は自動モニタリングシステム ATMOS を拡張して超低周波地震の自動モーメントテンソル決定を行う予定であった。しかし、周期 20-50 秒の帯域における水平動記録のノイズが予想以上に大きく、2 観測点のみの広帯域データでは自動モーメントテンソル決定は不可能であることが分かった。

そこで、自動検出・震源決定は深部非火山性微動についてのみ行い、微動に伴って超低周波地震起源と考えられる長周期シグナルがどの程度付随しているかを自動的に調べるソフトウェアをシステムに導入した。その結果、RMS 振幅が 50nm/s を超える深部非火山性微動の波形振幅の極大の 85% に、超低周波地震起源と考えられる長周期シグナルが付随して現れることが分かった。また、大振幅の長周期シグナルを伴う微動は、深部非火山性微動の活動度の高い地域である「南西アスペリティ」で主に起こっていることが分かつ

た。これは、大きい超低周波地震は深部非火山性微動の活動度の高い領域で起こっていることを示していると考えられ、深部非火山性微動と超低周波地震の発生プロセスの解明に重要な情報を与える。

今後は、広帯域地震観測点をもう1点設置し、3観測点の広帯域データを用いて当初の予定である超低周波地震の自動モーメントテンソル決定を行いたい。新たな観測点の候補地として、鶴御崎の北にある四浦半島（大分県津久見市）の四浦小中学校を検討しており、既に関係者の了承を得ている段階である。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計2件）

1. Suda, N., R. Nakata, and T. Kusumi, An automatic monitoring system for nonvolcanic tremors in southwest Japan, Journal of Geophysical Research, 査読あり, 2009, doi:10.1029/2008JB006060
2. Nakata, R., N. Suda, and H. Tsuruoka, Non-volcanic tremor resulting from the combined effect of Earth tides and slow slip events, Nature Geoscience, 査読あり, 1, 2008, doi:10.1038/ngeo288

〔学会発表〕（計11件）

1. 須田直樹・松本紘幸, 西南日本における深部非火山性微動と遠地大地震による表面波の同期現象について（その1）, 日本地震学会2010年秋季大会, 2010年10月27-29日, 広島
2. Hanakawa, Y. and N. Suda, Time variation in amplitude-frequency distribution of deep non-volcanic tremors in the Bungo Channel region, southwest Japan. AGU Fall Meeting, Dec. 14-18, 2009, San Francisco, USA
3. Nakata, R., N. Suda, T. Hori, and S. Tanaka, Spatial and temporal stress change due to short-term slow slip events inferred from observations of deep non-volcanic tremors in western Shikoku, southwest Japan. AGU Fall Meeting, Dec. 14-18, 2009, San Francisco, USA
4. 石原靖・須田直樹・中田令子・久保篤規・川谷和夫・川勝均, 深部低周波微動発生域での広帯域アレ地震観測低周波微動に伴う VLF イベントの活動度, 日本地震学会2009年秋季大会, 2009年10月21-23日, 京都
5. 中田令子・須田直樹・堀高峰・田中佐千子, 四国西部における低周波微動活動を

用いた短期的スロスリップイベントによる応力変化の推定, 日本地震学会2009年秋季大会, 2009年10月21-23日, 京都

6. 花川元美・須田直樹, 豊後水道地域における深部非火山性微動の振幅度数分布の時間変動, 日本地震学会2009年秋季大会, 2009年10月21-23日, 京都
7. 須田直樹・石原靖・久保篤規・山田朗・川勝均, 南海道 NECESSArray による四国東部における深部非火山性微動・超低周波地震の観測, 日本地球惑星科学連合2009年大会, 2009年5月16-21日, 千葉
8. 中田令子・須田直樹・鶴岡弘, 深部非火山性微動のクラスターと速度状態依存摩擦則のパラメータ, 日本地球惑星科学連合2009年大会, 2009年5月16-21日, 千葉
9. 花川元美・須田直樹, 豊後水道地域における微動アスペリテイ, 日本地球惑星科学連合2009年大会, 2009年5月16-21日, 千葉
10. 田ノ上芽衣子・中田令子・須田直樹・鶴岡弘, 豊後水道における長期的 SSE 発生期間の低周波微動活動, 日本地球惑星科学連合2008年大会, 2008年5月25-30日, 千葉
11. 中田令子・須田直樹・鶴岡弘, 深部低周波微動の発生と地球潮汐との相関, 日本地球惑星科学連合2008年大会, 2008年5月25-30日, 千葉

〔その他〕

ホームページ等

「低周波微動自動モニタリングシステム」
<http://tremor.geol.sci.hiroshima-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

須田 直樹 (SUDA NAOKI)

広島大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：10222069

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：