

論文内容の要旨

論文題目： The unified approach toward various low-frequency oscillation phenomena including non-volcanic deep low-frequency tremor: characteristics among time, size and frequency

~~{深部低周波微動と種々の低周波振動現象に対する統一的アプローチ：時間的、空間的、及び周波数に関する性質}~~

氏名 中村 祥

近年、種々の低周波振動現象が発見されているが、その端緒となったのは、Obara (2002) によって西南日本で発見された、深部低周波微動である。深部低周波微動(DLFT) は同規模の通常の地震と比較して低周波に卓越する現象で、この現象を理解することは沈み込み帯の物理過程を知るうえで非常に重要である。しかし、その信号は微弱で、初動も不明瞭であり、その物理メカニズムについては未だ解明されていない。また、震源の位置や周波数構造といった幾つかの基本的性質についても不確かな部分が存在する。一方、深部低周波微動の発見以降、それ以外にも、長期的/短期的スロースリップ、紀伊半島南東沖付加体における超低周波地震(VLFE)、沈み込み帯深部延長で発生する VLFE、深部低周波微動中に見られる孤立的な低周波地震(LFE)といった地震発生域外で起きている様々な低周波振動現象が発見されてきている。例えば、これらの低周波振動現象の間に共通のスケーリング則が成立することが Ide et al. (2007) によって提唱されており、このことは多くの低周波振動現象が共通の物理メカニズムによって発生している可能性を示唆する。

本研究では、深部低周波微動の発生メカニズムを解明し、沈み込み帯遷移領域における物理過程を明らかにすることを目的とする。本論文においては、そのために深部低周波微動の基本的な性質に関するより精細な理解と、これまでに発見された複数の低周波振動現象を同一の手法を用いて解析、分類することで、深部低周波微動に固有の性質を

見出すことを主眼とする。

2006年7月-12月に東海地域で名古屋大学と共同で行ったLFTのアレイ観測の結果を解析し、DLFTのスローネスおよび到来方向を推定した。微動記録に対し、相互相関を用いたスラントスタックを行うことで連続的に発生している微動の短いスケールの時間変化を得ることに成功した(図1)。その結果、本解析期間中の活発期においては、震源の移動は基本的にプレートの走向に平行な方向で、その移動は一定でなく時速約40kmの移動と、ほぼ同じ位置での発生とを繰り返す様子が観測された。時速40kmという移動速度は、これまでに知られていた10km/dayの長時間スケールの震源移動速度と比べて速い。また、深部低周波微動は、連続的に発生する微動であるため、初動は不明瞭で微動の開始終了をはっきりとは定義することは困難である。そこで、アレイ記録のエンベロープデータから、観測点毎のバックグラウンドのレベル(しきい値)を見積もり、複数観測点でエンベロープがしきい値を超えてから下回るまでを微動の継続時間としてカウントした。その際、エンベロープのスペクトルにおいてピークが50秒以上にのみ存在することから、10秒でローパスフィルタリングした波形を用いた。これによって見積もられた継続時間の間の各アレイ観測点でのエンベロープ振幅積分(の平均)を、プレート内地震を用いて補正し、微動の大きさの指標とした。以下、この値をEAIと呼ぶ。その結果(図2)、検出された微動の43%と多くが継続時間45秒前後を持ち、かつその継続時間においては他の継続時間と比較してエンベロープ振幅積分の値が広い範囲にわたることが示された。この特徴的継続時間の存在は、DLFTのメカニズムを示すうえで重要な性質である。さらに、アレイでスタックしたスペクトルおよび平均散逸スペクトルの結果から、東海地域のDLFTにおいては周波数およそ1.7Hzにピークを持つことが確認された。上述の情報から、EAI値から地震モーメントへの変換を行い、深部低周波微動の単位面積あたりのモーメント解放量を推定した。その結果、1日の活動でおよそ 7.5×10^5 (N m/m²)という結果が得られた。これは、すべり量にすると 3×10^5 (m/day)という結果であり、この量はフィリピン海プレートの沈み込み速度と比較して小さい。これは、深部低周波微動活動のみではプレートの沈み込みによる歪の全てを解放することはできないことを意味する。

四国西部における深部低周波微動活動に対して、同様の周波数解析を行った結果、0.5Hz刻みでピークが存在する特徴的な周波数構造が見られた。この結果は東海地域における結果とは異なるものである。しかし、最大強度を持つピークは1.8-2Hzと推定され、このピーク周波数は東海地域のものとはほぼ同じ周波数である。さらに、四国西部の記録においてエンベロープのスペクトルを計算した結果、東海地域と非常に良く似たエンベロープスペクトルの形状が得られ、本地域においても、DLFTは特徴的な継続時

間としておよそ 45-50 秒を持つ可能性が示された。(図 3)

深部低周波微動と比較することでその特徴的性質を得るため、我々は異なる 2 つの低周波振動現象について同様の方法による解析を行った。横ずれ断層である San Andreas Fault (SAF) において、2005 年に DLFT と良く似た性質を持つ低周波微動が発見された。この現象についてもアレイによる震源決定および周波数解析を行った。その結果、震央の位置は従来の研究とほぼ同じ領域に決定され、これまではっきりとは分からなかった震源の深さは 30km 付近に精度良く決定された。また、スローネス解析により、微動の見かけ速度は約 4-5km/sec と推定された。波形は 1-5Hz が卓越するスペクトル構造であるが、スペクトルの最大ピークが深部低周波微動の場合よりもより高周波側 (~4Hz) 前後にあり、深部低周波微動波形よりも高周波側にもスペクトル強度が存在する。明瞭な特徴的ピークは見られなかった。その継続時間は 30 秒~120 秒前後であり、EAI 値は東海 DLFT よりもやや小規模である(図 2)。

2004 年に発生した紀伊半島南東地震の余震観測の際に設置された海底地震計(OBS)の記録中に、長周期の波形が確認された。地震計が 4.5Hz 計であるため精査は難しいが、卓越周波数はおおよそ 1-6Hz と深部低周波微動と共通の帯域であり、継続時間も長いことから、深部低周波微動との関連性が示唆される。エンベロープ相関法によって決定された震源は、トラフ軸に垂直な方向に分布する。また、震源分布は Ito and Obara (2006) によって決定された超低周波地震の震源にほぼ平行で、相補的な位置に広がる。この結果から、この微動が超低周波地震とは別の現象であることが示された。また、震源が相補的に分布することは、この地域における物性の違いによる応力解放様式の違いを意味し、トラフ近傍の物理過程を考えるうえで非常に重要な結果である。さらに、震源の頻度分布からは、24 時間の周期性が見られる。

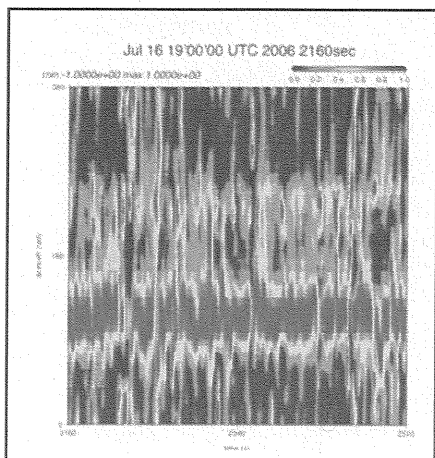


図 1: 2006 年 7 月 16 日 19 時における鳳来アレイに対する解析で得られた azimuth の時間変化。横軸は時間、縦軸はスローネスを固定した際の azimuth の変化。ただし、ここで azimuth はスローネスベクトルの向きそのものを表す。

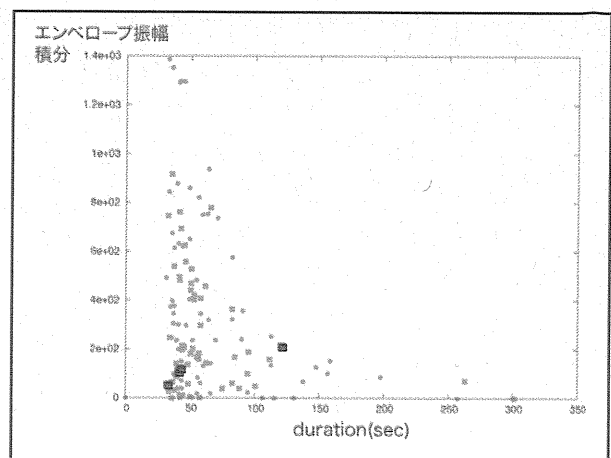


図 2: 微動の継続時間およびエンベロープ振幅積分値。青色の点は 2006 年の活発化した時期における東海地域深部低周波微動、赤色の点は SAF の低周波微動。

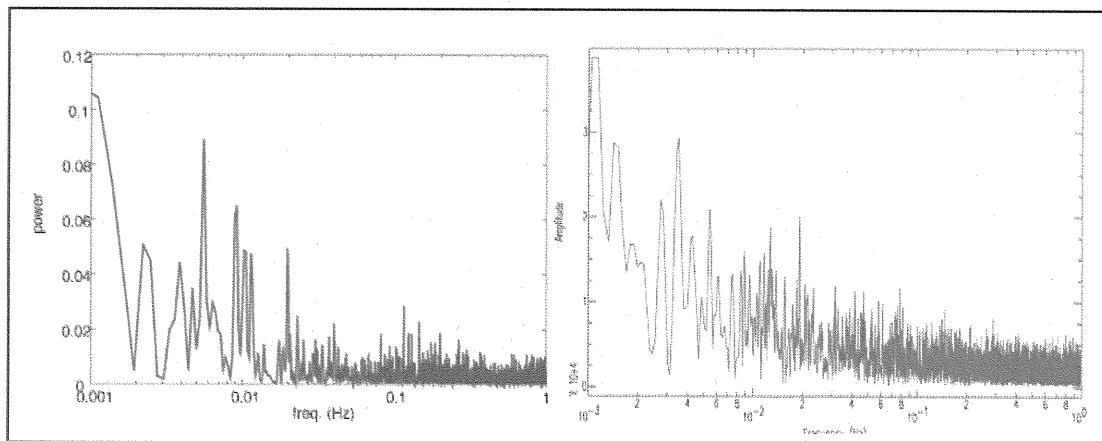


図 3: 東海地域(左図) および四国西部(右図)における微動記録のエンベロープスペクトル。両スペクトル共に 0.02Hz(50 秒)近傍にピークを持つ良く似た構造をしている。