

平成21年 5月20日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19740275
 研究課題名 (和文) 遠地トリガリングを利用した深部低周波微動のメカニズム解明と震源域の物理状態の推定
 研究課題名 (英文) Clarification of source mechanism of deep low-frequency tremor and estimation of its physical states by using earthquake remote triggering
 研究代表者
 宮澤 理稔 (MIYAZAWA MASATOSHI)
 京都大学・防災研究所・准教授
 研究者番号：80402931

研究成果の概要：西南日本のプレートの沈み込み帯で発生する深部低周波微動が、2003年十勝沖地震、2004年スマトラアンダマン地震、2008年四川・汶川地震等による地震波によって誘発される現象を解明し、深さ約30-40kmにおけるプレート境界の物理状態を明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	500,000	0	500,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,000,000	150,000	1,150,000

研究分野：数物系科学

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：地震現象、深部低周波微動、動的トリガリング

1. 研究開始当初の背景

21世紀の地震学の大発見の一つに、西南日本のプレート境界付近において発生する深部低周波地震・微動がある。これまで非地震性と考えられてきた深さ約30-40kmで発生し、 $M < 1$ という小さい規模の割には低周波(1-10 Hz)に卓越する波を輻射するなど、これまで地震発生域で観測してきた地震とは特徴が異なる。この発見には防災科学技術研究所によるS/Nのきわめて良好な高感度地震観測網Hi-netの貢献が大きかった。西南日本以外には北米カスケードの沈み込み帯で見つかった。プレート境界のスロースリップイベントと連結して発生している等、プレート運動との関連も注目されている。し

かしその発見が新しく、観測波形の特徴上震源決定精度も高いとは言えず、発生メカニズムすら明らかにされていなかった。また発生域のプレート浅部延長は、M=8クラスの巨大地震が発生する領域である。従って深部低周波地震・微動の解明とその周辺の物理状態を推定することは、将来懸念されているプレート境界の巨大地震発生の予測向上に貢献し、その研究意義は大きいと考えられてきている。

一方、最近地震学で注目されている別の現象に、動的(あるいは遠地)トリガリングがある。遠地で発生した規模の大きな地震から放射された地震波の伝播に伴うひずみ・応力変化によって、全く別の場所で地震が誘発さ

れるという現象である。その可能性は二十年以上前から指摘されていたが、観測例の乏しさ故に殆どの地震学者から疑問視されていた。近年の観測網の充実に伴い、誘発現象として科学的に認識されるようになってきた。しかし未だ現象論や極度に理想化したモデルを脱却できず、実際に地震がどのように誘発されるのかという過程や、誘発に必要なひずみ・応力の閾値が存在するか否かなど、不明瞭な点が多々あった。

これら「深部低周波微動」と「動的トリガリング」は地震学において広く注目されることで研究対象領域となり、発展性が大いに期待されていた。そのような状況下で、「深部低周波微動」が「動的トリガリング」を受けている観測例が発見されており、その過程の解明に臨むことは、地震学において新領域を開拓することに他ならなかった。

2. 研究の目的

西日本で発見されている深部低周波地震

をモニターしその特徴を調べ、現代の地震学で補え切れていない本イベントの発生メカニズムの解明の糸口を掴む。特に深部低周波地震・微動が遠地地震波によって動的トリガーされることを利用して、その発生メカニズムを調べる。更に非地震性・地震性すべりの遷移領域であるところの微動発生域付近の物理状態を推定する。これはプレート境界地震の下限延長の状態を調べることに他ならず、同領域で発生するスロースリップイベントと併せて、浅部延長部のプレート境界（巨大）地震の発生予測に貢献すると考えられる。

3. 研究の方法

深部低周波微動は、巨大地震から放射された震幅の比較的大きな表面波の通過によって、誘発されている。そのなかでも、2003年十勝沖地震(Mw=8.1)、2004年スマトラアンダマン地震(Mw=9.2)、2008年四川・汶川地震(Mw=7.9)による場合が顕著であった。また表面波の通過に調和して、微動は周期的に震幅

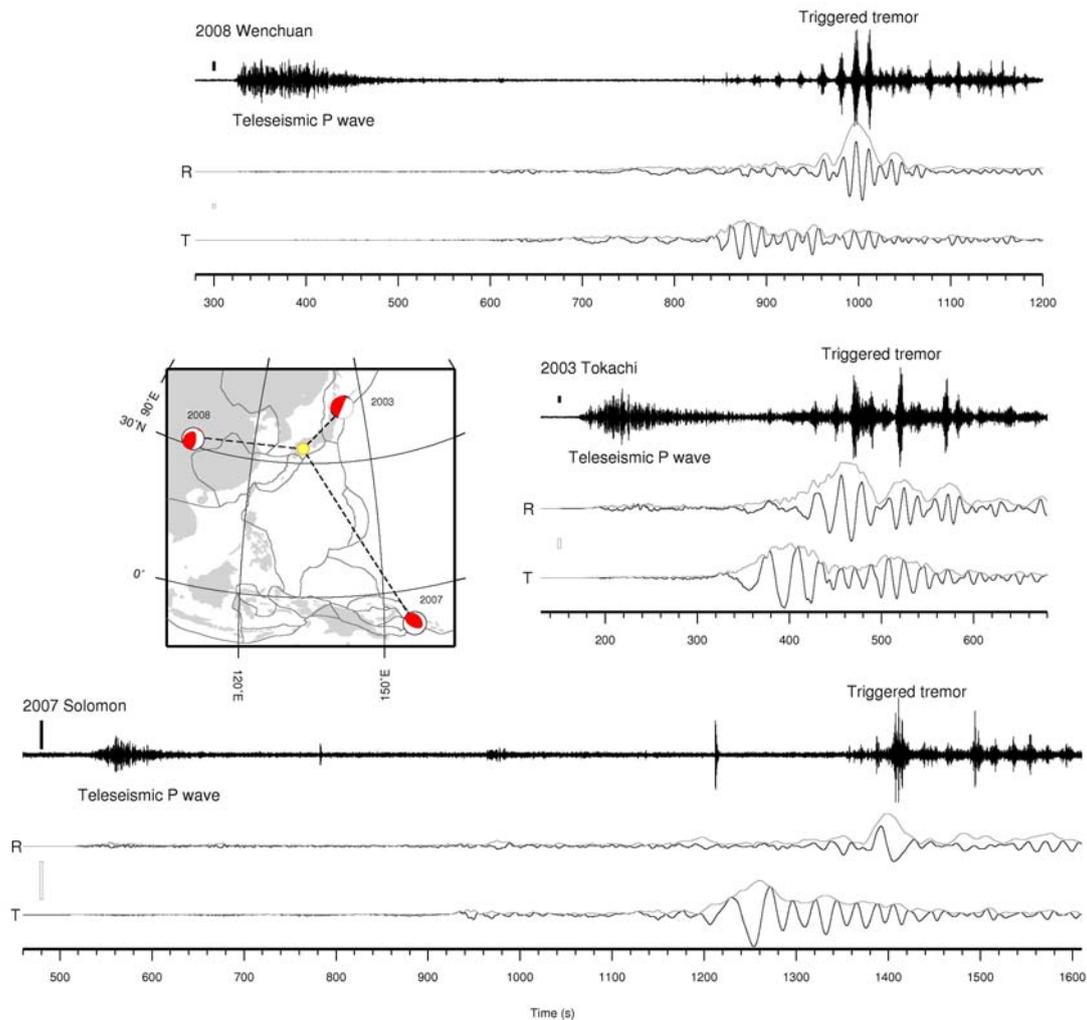


図1. 西南日本で観測された深部低周波微動の誘発例。2003年十勝沖地震(Mw=8.1)、2007年ソロモン諸島地震(Mw=8.1)、2008年四川・汶川地震(Mw=7.9)の場合。

を変えて発生している。そこで、実際に表面波の通過によってどのようなひずみや応力が震源域に働き、微動が発生しているかを調べた。このためには微動の震源を求める必要がある。通常微動からはS波のみしか明瞭に観測されず、震源決定精度は良くない。そこで double-difference 法を用いて精度良く分布形状を求めた。更に地表で観測された表面波の記録から、表面波の通過に伴う地下でのひずみ変化を求めるために、両者を結ぶカーネルを理論的に導出した。このカーネルを介することで、より直接的に観測された表面波記録から、地下でのひずみテンソルを計算することが可能となった。一連の解析を行うにあたって、防災科学技術研究所により提供されている Hi-net 高感度地震観測網の地震波形記録を用いることで、微弱なシグナルの解析を高 S/N の条件下で行った。

4. 研究成果

(1) いくつかの微動の誘発例から、微動は規模の大きな地震によって励起された、周期 15-30 秒程度の Rayleigh 波と呼ばれる地震波の進行方向に粒子軌跡を描く表面波によって、誘発されやすいことが分かった。図 1 は 2003 年十勝沖地震、2007 年ソロモン諸島地震、2008 年四川・汶川地震を四国西部で観測した地震波形を示している。それぞれの地震において、一番上が短周期成分 (2-16 Hz)、下二つが長周期 (0.01-1 Hz) の水平 2 成分の波形であり、横軸の時間軸は地震発生時をゼロとしている。短周期の波形は長周期の波形に比べ振幅を約 10000 倍拡大して表示している。長周期の波形において、後続の振幅の大きい波群が表面波と呼ばれる地震波で、上の radial 成分に主として含まれるのが Rayleigh 波、下の transverse 成分に含まれるのが Love 波と呼ばれている。短周期成分には、表面波の到達にあわせて周期的にパルス状の波が見える。通常表面波にはこの帯域の成分は殆ど含まれないことから、表面波によって局所的に誘発されたイベントであるといえる。これらの震源は深部低周波地震の発生域と重なり、深さ約 30-40 km に分布していた。また波形の特徴とあわせて、これらは深部低周波微動であると同定された。なお波形の最初に見える紡錘形のシグナルはそれぞれの遠地地震の P 波である。微動のシグナルはプレート境界で発生する地震と同様にプレートの沈み込み方向に振れていることから、メカニズムもこれと同様であると推定された。微動はプレート境界付近で発生する地震と同じメカニズムを持った低周波地震が、連続的に起きている現象であると考えられる。しかし微動を発生させやすいこの方向に応力を働かせる Love 波に対応した顕著な誘発は確認されなかった。遠地地震の方位

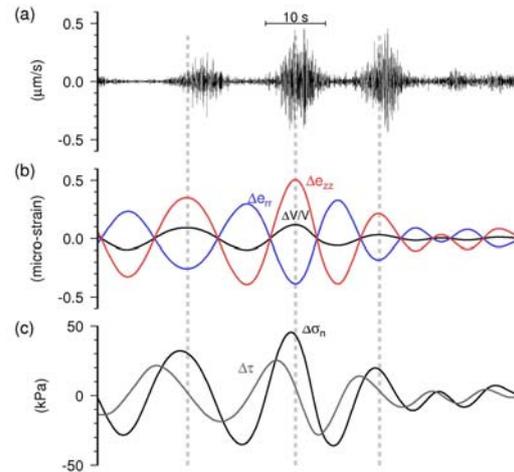


図 2. (a) 誘発された微動, (b) 震源域でのひずみ変化, (c) 震源域での応力変化 (プレート運動を促進する方向を正としている). 2008 年四川・汶川地震の場合.

角によらず Rayleigh 波で誘発されることから、Love 波では再現できない法線応力の減少や体積ひずみ変化に伴う流体の移動が微動の発生に大きく関わっていることが地震学的に示された。なお流体は、他の研究からも示唆されているように、沈み込むスラブから脱水したことにより存在すると考えられる。

(2) 地表で観測された波形から理論的に導出したカーネルを介して、震源域でのひずみ変化を直接計算した。例として図 2 に 2008 年四川・汶川地震に伴うひずみ・応力変化を示す。誘発された微動の波形 (a) を、微動の震源付近でのひずみ変化 (b) および応力変化 (c) と比較している。応力を求める際にはプレート境界面を断層面として計算を行っている。なお (a)-(c) がそれぞれ比較できるように時間軸を補正している。ただし震源決定精度の誤差により、数秒程度のずれはあると考えられる。微動の振幅が大きくなるのは、鉛直膨張・水平短縮を伴う体積ひずみ増加、および断層面上にかかる法線応力の減少の時である。一方微動の振幅が小さくなるのは垂直短縮・水平膨張を伴う体積ひずみ減少の時、及び法線応力の増加の時である。クーロン破壊応力変化を考えると、微動の発生は定性的に合理性がある。しかし剪断応力変化に対して微動の誘発が敏感でないことから、流体が微動の発生により重要な役割を果たしていると考えられる。

次にひずみ・応力の変化に対する微動の振幅の変化を定量的に比較した。これに対してすべり速度・状態依存摩擦構成則に基づき、 $A\sigma$ 値を求めると、 ~ 10 kPa という値を得た。これは仮に A の値を 10^{-3} と仮定しても、(法線)

応力 σ が10 MPa程度であることを意味し、実際微動が発生している深さ30–40 km辺りで考えられている1 GPaというリソスタティックな法線応力の値に比べて遙かに小さい。これは流体の存在による間隙水圧が大きく、断層面上での法線応力を押し下げているかもしれないことを意味し、やはり微動の発生に流体が強く関与していることを示している。

(3) 表面波によって同様の微動の誘発が観測されている北米カスケードの沈み込み帯の場合と比較して、地域による相違を調べた。同地域で観測される微動は、主にLove波による、プレートの沈み込みを促進させる力によって誘発されていることが、他の研究から確認されている。クーロン破壊応力変化を計算することで、どのような摩擦係数を取る場合、最も微動との相関が良くなるかを3つの地震の場合について計算した(図3)。その結果、西南日本では摩擦係数が大きく、カスケードの沈み込み帯では摩擦係数が小さい方が、相関が良くなることが分かった。摩擦係数の違いは微動の発生に関係する流体の分布の違いがあり、西南日本ではパッチ状に分布し、カスケードではそれに比べて十分に飽和した状態で存在していると考えられる。つまりカスケードの沈み込み帯では表面波伝播に伴う剪断応力の変化により直ちにプレート境界で微動が発生するのに対して、西南日本では断層面にほぼ接して存在していた流体が時間遅れなく拡散流入するというステップを踏んだ上で、微動が発生していると考えられる。ただしどちらの場所も波形の特徴が似ていることから、摩擦係数の違いは主として破壊の開始に寄与することであり、破壊開始後のメカニズムや物理状態は同等であると考えられる。

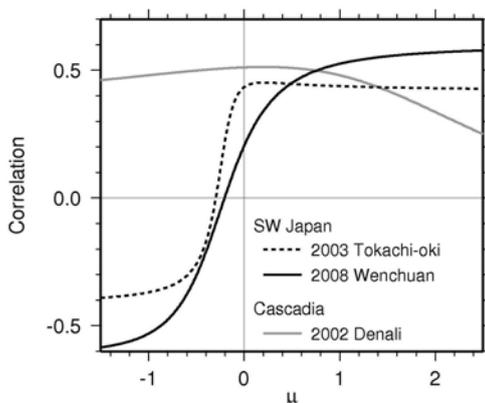


図3. 見かけ摩擦係数 μ に対する、誘発された微動と震源でのクーロン破壊応力変化の相関

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

(1) Masatoshi Miyazawa, Emily E. Brodsky, Jim Mori: Learning from dynamic triggering of deep low-frequency tremor in subduction zones, *Earth Planets and Space*, **60**, e17–e20, 2009. (査読有)

(2) Masatoshi Miyazawa and Emily E. Brodsky: Deep low-frequency tremor that correlates with passing surface waves, *Journal of Geophysical Research*, **113**, B01307, 2008. (査読有)

〔学会発表〕(計4件)

(1) Masatoshi Miyazawa, Emily E. Brodsky, and Jim Mori: What can we learn from dynamic triggering of low-frequency earthquakes?, *Eos Trans. AGU*, **89**(53), Fall Meet. Suppl., Abstract U33A-0015, Dec 17, 2008.

(2) 宮澤理稔: 深部低周波微動の動的トリガリング, 第7回アジア国際地震連合総会・2008年日本地震学会秋季大会合同大会, A12-01, 2008年11月24日. (招待講演)

(3) 宮澤理稔, Emily E. Brodsky: 巨大地震の表面波に相関して発生する深部低周波微動, 日本地震学会秋季大会, P2-022, 仙台, 2007年10月25日.

(4) Masatoshi Miyazawa: Deep low-frequency earthquakes in western Japan remotely triggered by Rayleigh waves from great earthquakes, *Seismological Society of America 2007 annual meeting*, Hawaii, USA, Apr 12, 2007. (INVITED)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮澤 理稔 (MIYAZAWA MASATOSHI)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号: 80402931