

1 2 - 5 西南日本と Cascadia における短期的スロースリップとそれに同期する現象 Short-term slow slip and accompanying phenomena in southwest Japan and Cascadia

防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

西南日本で検出された長期的スロースリップや短期的スロースリップは、固着域深部のプレート境界面遷移帯付近で発生する時定数の異なるすべり現象である。長期的スロースリップは5~10年間隔で発生し、半年から5年程度継続する非常にゆっくりとしたすべりで、浜名湖周辺¹⁾や豊後水道^{2,3)}において国土地理院GPS観測網GEONET等によって検出されているが、短期的スロースリップ⁴⁾の継続期間は2日から5日程度と短く、西南日本に広く分布する深部低周波微動⁵⁾の活発化に同期して発生する現象で、傾斜計や歪計⁶⁾によって検出されている。

短期的スロースリップは、プレート境界面付近における逆断層すべりであり、西南日本の深部低周波微動発生帯の何箇所かで確認されているが、その活動の時系列は周期性と移動・連動性で特徴付けられる。四国西部⁴⁾、紀伊半島中北部^{7,8)}、愛知県内⁸⁾の地域では、約半年周期で短期的スロースリップおよび活発な深部低周波微動が発生する。さらに、その活動期間中、沈み込むプレート形状の走向に平行に、深部低周波微動源は時間とともに移動する。その移動速度は1日に約10kmであり、どの地域でもほぼ同様である。深部低周波微動の移動に伴って、短期的スロースリップ発生域も移動しており、微動の移動は「すべり破壊」域の拡大を表していると考えられる。このような深部低周波微動・短期的スロースリップの移動の方向、移動の範囲はエピソード毎に異なり、例えば、四国西部では2001年から2002年の2年間計4回のエピソードについては移動方向が交互に変化し、その後も移動様式もunilateralであったりbilateralであったり様々であるが、移動の起点は3箇所程度である(第1図)。一方、紀伊半島北部では、約半年周期で繰り返される微動活動のほとんどの場合、北北東から南南西に移動する(第2図)。また、紀伊半島側での活動が活発化するほぼ同時期に愛知県側でも微動活動が活発化していたが、伊勢湾を挟んだ両側での活動の関連性は特に明瞭ではなかった。しかし、2006年1月、紀伊半島中部で発生した活動が徐々に北上した後、伊勢湾内を連続的に移動し、愛知県側に達した⁹⁾(第3図)。これらの深部低周波微動活動の時空間分布から、短期的スロースリップ震源域は、微動の帯に沿っていくつかのセグメントに分けられ(第4図)、それぞれのセグメントは固有の再来周期を有する。このようなセグメントに分割される原因のひとつとしては、プレート形状の不均質性が挙げられる。例えば、伊勢湾直下では深部低周波微動活動は非活発であり、愛知県側と三重県側の活動を分断しているが、この地域ではフィリピン海プレートが尾根状構造を形成しており、その幾何学的不均質性がセグメント化に影響を与えていると考えられる。また、紀伊半島側で発生する深部低周波微動のほとんどが伊勢湾側を起点とすることは、プレートの幾何学的不均質性が、破壊起点を特徴づけているのかもしれない。しかし、2006年1月の活動については通常の活動様式とは異なり、南から破壊が伝播したためにプレートの尾根を乗り越え、隣接する愛知県側のセグメントに連動した。なお、周期性については必ずしも一定ではなく、前後に2カ月程度揺らぐこともある。また、2003年後半に豊後水道で発生した長期的スロースリップの発生期間中およびその後については、四国西部での短期的スロースリップが3ヶ月間隔で4回ほど発生しており、長期的スロースリップによって短期的スロースリップが加速したことを示して

いる¹⁰⁾が、2004年12月以降は再び半年周期の活動に戻った。

短期的スロースリップや深部低周波微動は、西南日本以外では北米大陸 Cascadia 地方でも検出されている¹¹⁾ (第5図)。カナダと米国国境付近の北部 Cascadia は、短期的スロースリップが世界で初めて発見された¹²⁾場所であるが、これらの現象は沈み込むプレート境界付近の深さ約 30km において 14~16 ヶ月周期で発生し¹³⁾、1日数 km で移動する性質を有している。移動の開始位置や方向は概ね決まっており、プレートの屈曲部からスロースリップが始まる場合が多い。この地域はさらに、再来周期が等しく発生時期が異なる 3つのセグメントに分けられる。北部 Cascadia に隣接する Oregon では現象の再来周期が約 19 ヶ月、さらにその隣の北部 California では再来周期が 11 ヶ月である。このように、Cascadia では、全長約 1200km の範囲で短期的スロースリップや深部低周波微動が発生し、再来周期から大きく 3つのセグメントグループに分かれるが、時空間的特徴からさらに 100~200km 長の 7つ以上のセグメントに分かれている(第6図)。Cascadia では GPS によって短期的スロースリップが検出されているのに対し、西南日本での短期的スロースリップは GPS では検出不可能で、傾斜計・歪計によってのみ検出されていることは、西南日本における個々のスロースリップの規模が小さいことを示している。実際に、推定されたモーメントマグニチュードは西南日本では 6.0 前後であるのに対して Cascadia では 6.5~6.9 であり、セグメントサイズが短期的スロースリップの規模を規定していると考えられる。

ところで、西南日本において、短期的スロースリップや深部低周波微動に同期して、さらに新たな低周波のイベントが発生していることが最近明らかになった。これは、周期約 20 秒に卓越する長周期地震動を励起するイベントであり (第7図)、「深部超低周波地震」と呼ばれる¹⁴⁾。セントロイドモーメントテンソル解析によると、この深部超低周波地震の震源は深部低周波微動源とほぼ一致し、深さ 30~40km で震源メカニズム解は低角逆断層であることから、プレート境界において発生した逆断層すべりによる地震であると考えられる (第8図)。また、深部超低周波地震は短期的スロースリップや深部低周波微動の移動と共にその発生位置が移動しており (第9図)、これらの現象はそれぞれ強い関連性を持って発生している。つまり、短期的スロースリップは、プレート境界遷移領域深部における非地震性の固着すべりであり、深部超低周波地震は、そのすべり面上に点在したやや固着度の強いパッチが周囲の短期的スロースリップによって応力蓄積した後に破壊することによって、低周波の地震波が励起されると考えられる。さらに、短期的スロースリップや深部超低周波地震の発生によって、間隙流耐圧が変化し、微小クラック破壊が連鎖的に発生する現象が深部低周波微動であると考えられる。

このように、プレート境界遷移領域深部では、半年などの短い再来周期で短期的スロースリップ、及びそれに伴って深部超低周波地震や深部低周波微動が発生し、その浅部では長期的スロースリップが、さらにその浅部では巨大地震のアスペリティが存在するなど、プレート境界は様々な活動特性を有するすべり現象によって塗り分けられていることが明らかになってきた (第10図)。

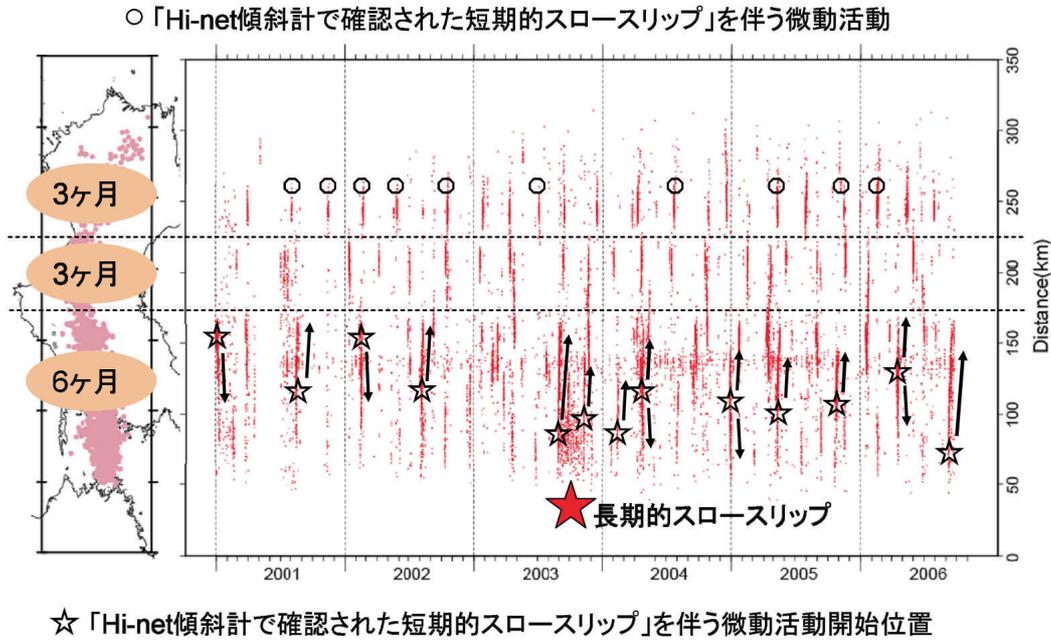
参 考 文 献

- 1) Ozawa, S., M. Murakami, M. Kaidzu, T. Tada, T. Sagiya, Y. Hatanaka, H. Yarai, and T. Nishimura, 2002, Detection and monitoring of ongoing aseismic slip in the Tokai region, central Japan, *Science*, 298, 1009-1012.
- 2) Hirose, H., K. Hirahara, F. Kimata, N. Fujii and S. Miyazaki, 1999, A slow thrust slip event following the two 1996 Hyuganada earthquakes beneath the Byngo Channel, southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 26,

3237-3240.

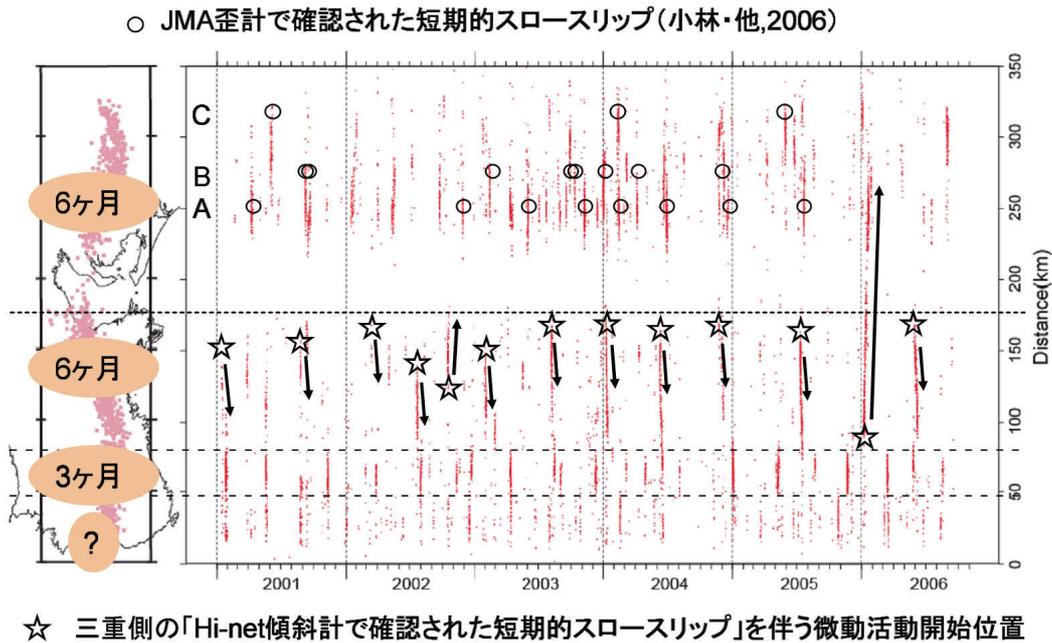
- 3) Ozawa, S., Y. Hatanaka, M. Kaidzu, M. Murakami, T. Imakiire, and Y. Ishigaki, 2004, Aseismic slip and low-frequency earthquakes in the Bungo channel, southwestern Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 31(7), doi:10.1029/2003GL019381.
- 4) Obara, K., Hirose, H., Yamamizu, F., Kasahara, K., 2004. Episodic slow slip events accompanied with non-volcanic tremors in southwest Japan subduction zone, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L23602, doi:10.1029/2004GL020848
- 5) Obara, K., 2002. Nonvolcanic deep tremor associated with subduction in southwest Japan, *Science*, 296, 1679-1681.
- 6) 小林昭夫・山本剛晴・中村浩二・木村一洋, 歪計により観測された東海地域の短期的スロースリップ (1984年~2005年), 2006, *地震*, 59, 19-27.
- 7) Obara, K., Hirose, H., 2006. Non-volcanic deep low-frequency tremors accompanying slow slips in the southwest Japan subduction zone, *Tectonophysics*, 417, 33-51.
- 8) Hirose, H., and K. Obara, 2006, Short-term slow slip and correlated tremor episodes in the Tokai region, central Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L17311, doi:10.1029/2006GL026579.
- 9) 関根秀太郎・小原一成, 東海地域における深部低周波微動と短期的スロースリップ活動の連続的な移動 (2006年1月), 2006, *予知連会報*, 76, 407-412.
- 10) Hirose, H., and K. Obara, 2005, Repeating short- and long-term slow slip events with deep tremor activity around the Bungo channel region, southwest Japan, *Earth Planets and Space*, 57, 961-972.
- 11) Rogers, G. and H. Dragert, 2003, Episodic tremor and slip on the Cascadia subduction zone: The chatter of silent slip, *Science*, 300, 1942-1943.
- 12) Dragert, H., K. Wang and T. S. James, 2001, A silent slip event on the deeper Cascadia subduction interface, *Science*, 292, 1525-1528.
- 13) Miller, M.M., Melbourne, T., Johnson, D. J., and Sumner, W.Q., 2002. Periodic slow earthquakes from the Cascadia subduction zone, *Science*, 295, pp.2423.
- 14) Ito Y, K. Obara, K. Shiomi, S. Sekine and H. Hirose, 2006, Slow Earthquakes Coincident with Episodic Tremors and Slow Slip Events, *Science*, 10.1126/science.1134454.

四国における微動活動時系列

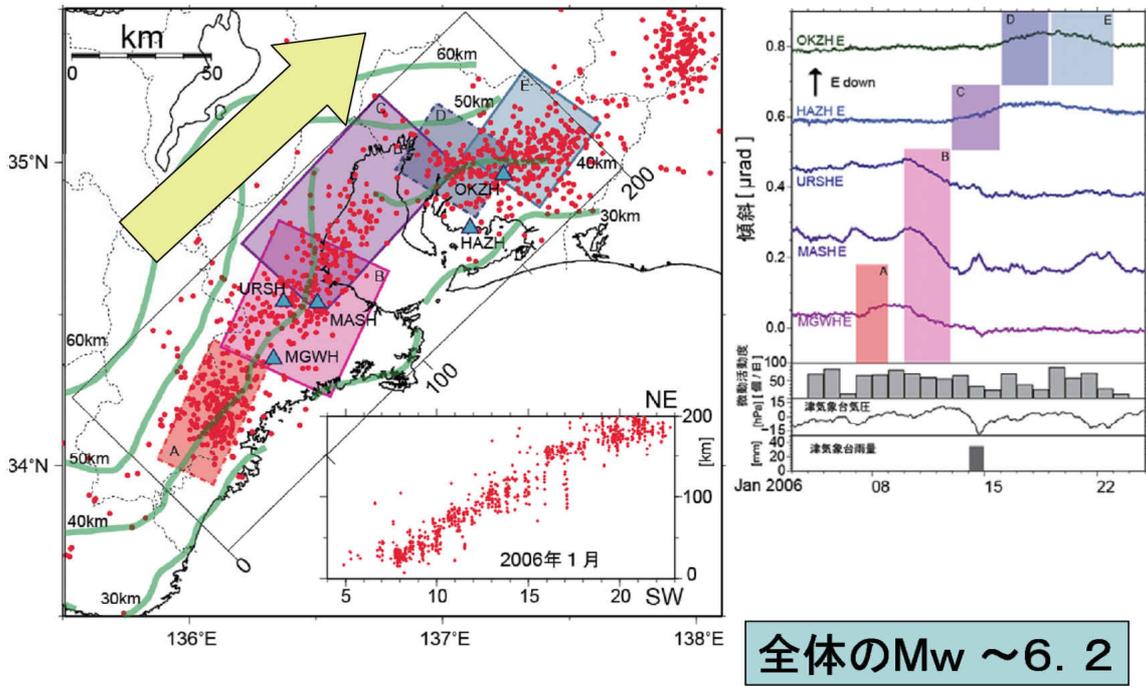


第1図 四国における微動活動の時空間分布.
Fig.1 Space-time distribution of deep low-frequency tremor in Shikoku.

東海・紀伊半島における微動活動時系列

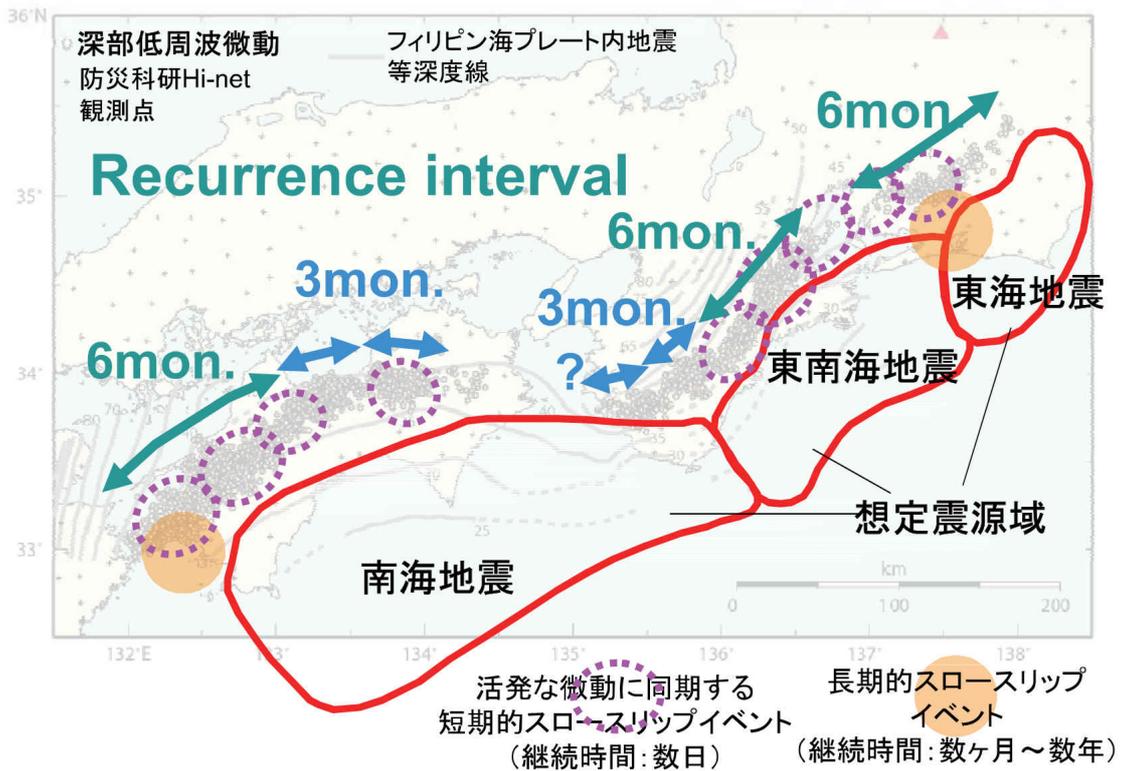


第2図 東海地域における微動活動の時空間分布.
Fig.2 Space-time distribution of deep low-frequency tremor in Tokai.



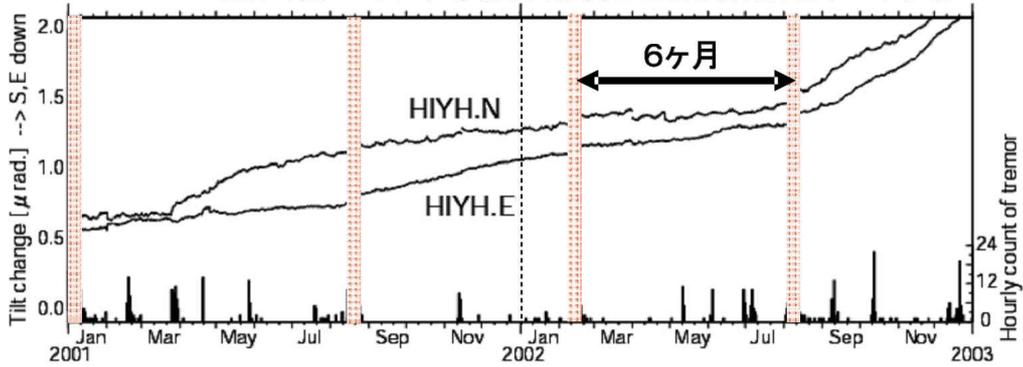
第3図 2006年1月に東海地域発生した短期的スロースリップと深部低周波微動活動
 Fig.3 Migration of short-term slow slip and deep low-frequency tremor activities in Tokai area on January 2006.

深部低周波微動発生領域セグメント分布

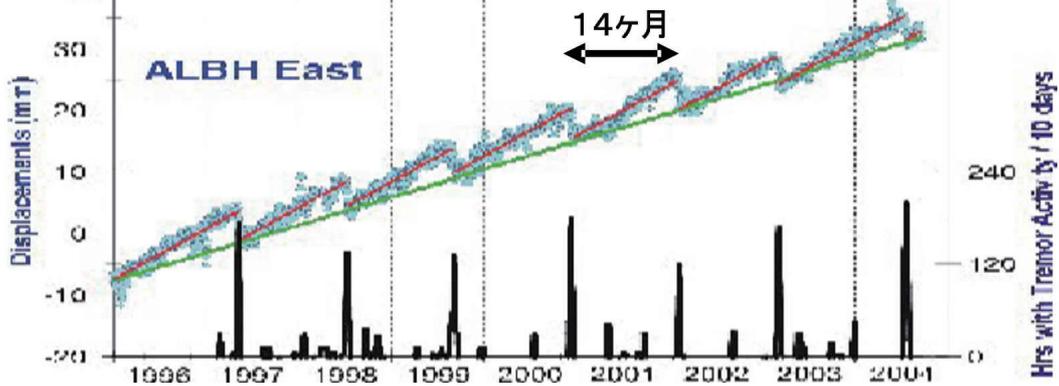


第4図 西南日本の深部低周波微動活動領域セグメント構造
 Fig.4 Segmentation of belt-like distribution of tremors in southwest Japan

四国西部における傾斜変化と微動活動(2年間)



北米カスケード地方におけるGPS変位と微動活動(9年間)



第5図 西南日本と Cascadia における短期的スロースリップの観測例
 Fig.5 Crustal movement by short-term slow slip in southwest Japan and Cascadia margin

Segmentation of ETS zone by recurrence interval

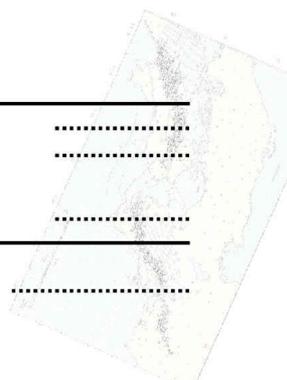
西南日本

Cascadia

6ヶ月

3ヶ月

6ヶ月



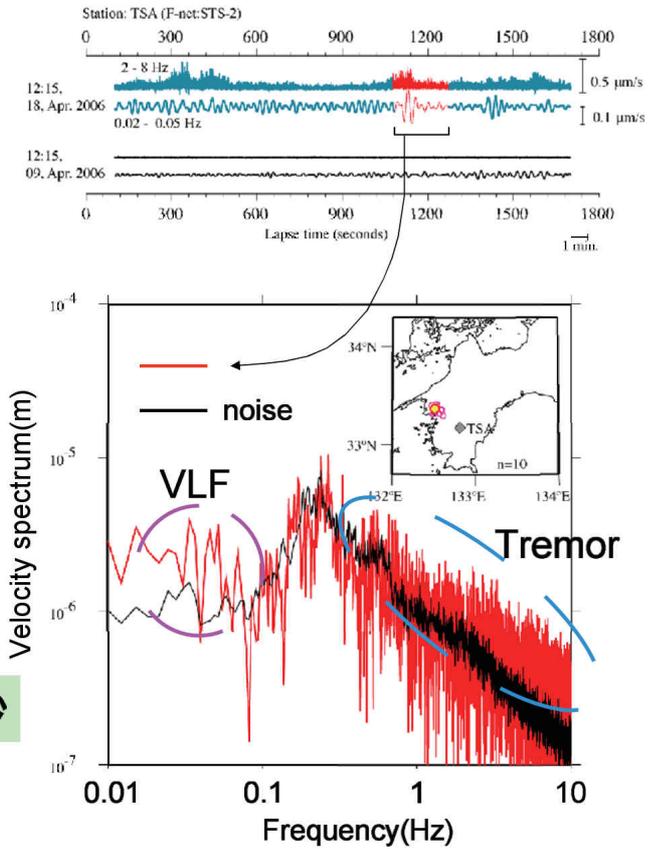
14ヶ月

19ヶ月

11ヶ月

第6図 西南日本と Cascadia におけるセグメント分布の比較
 Fig.6 Comparison of segmentation structure in southwest Japan and Cascadia

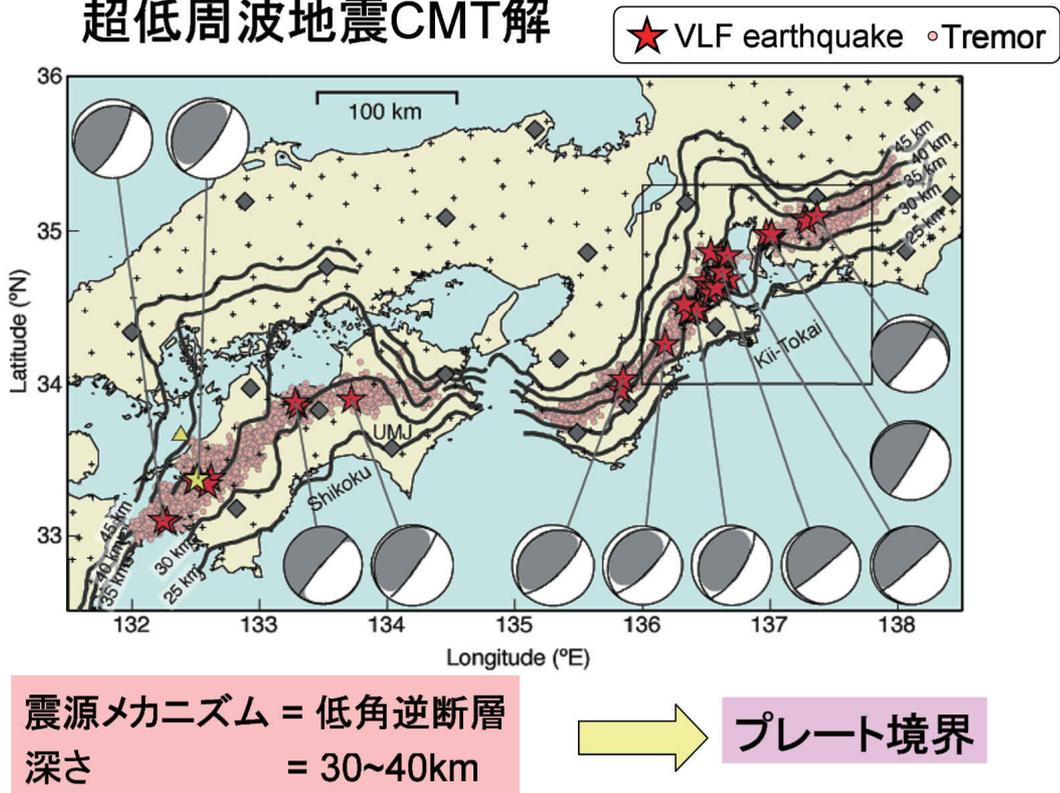
超低周波地震の スペクトル



卓越周期 = 20 秒

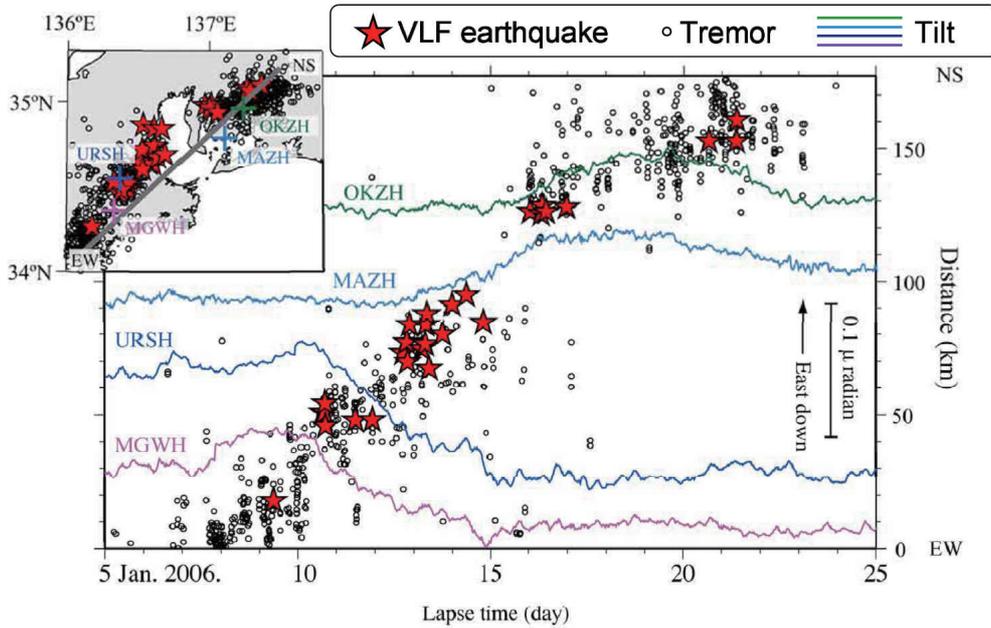
第7図 深部超低周波地震のスペクトル例
Fig.7 Spectra of deep very low frequency earthquake

超低周波地震CMT解



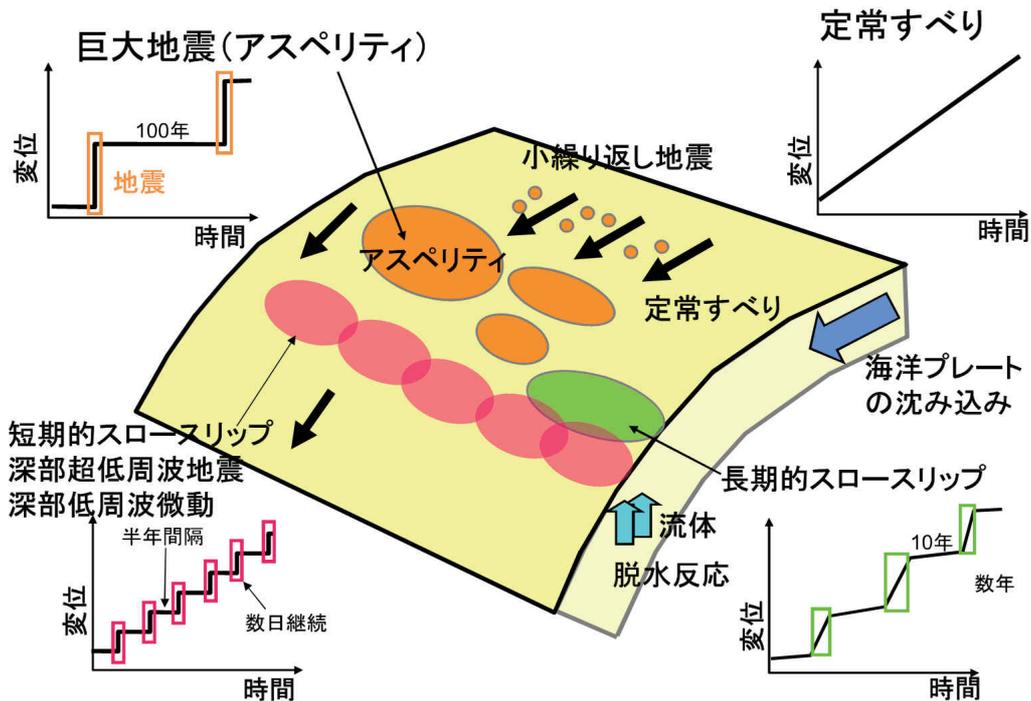
第8図 深部超低周波地震のCMT解分布
Fig.8 Centroid moment tensor solution of deep very low frequency earthquakes

微動・スロースリップに伴う深部超低周波地震 2006年1月(三重-愛知)



第9図 2006年1月東海地域における深部超低周波地震の時空間分布。
Fig.9 Time sequence of deep very low frequency earthquake activity in the episode of January 2006, Tokai area

プレート境界での「すべり」現象と活動サイクル



第10図 プレート境界におけるすべりの多様性
Fig.10 Schematic view of the various slip phenomena on the subducting plate interface