

## 9 - 2 深部低周波微動とスロースリップイベント Deep low-frequency tremors and slow slip events

小原一成・廣瀬仁（防災科学技術研究所）

Kazushige Obara and Hitoshi Hirose

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

### 1. はじめに

西南日本の沈み込み帯で発生する深部低周波微動は、フィリピン海プレートの走向と平行な帯状の領域内に分布する<sup>1)</sup>が、必ずしも帯状領域内で一様に分布するのではなく、いくつかの集中発生域が存在する<sup>2)</sup>。そのうち、四国西部周辺では活発な深部低周波微動活動に同期して短期的なスロースリップイベントが発生していることが既に明らかにされた<sup>3)</sup>が、他地域においても同様の現象が発見された。

### 2. 豊後水道・四国西部

豊後水道から四国西部地域（第1図のA領域）では、2001～2002年の2年間で計4回、約半年間隔で活動規模の大きな微動が発生しているが、それに同期してスロースリップイベントも発生し、近傍の防災科研Hi-net観測点HIYH（愛媛県日吉）に併設された高感度加速度計水平動成分（傾斜計）に、ステップ的变化として検出されている（第2図）。傾斜ステップは微動の活動とほぼ同様に一週間程度の時定数を有するが、HIYHにおける傾斜変化の仕方は微動の移動と密接に関係しており<sup>3)</sup>（第3図）、スロースリップ源も微動と同様に移動していることが示唆される。2003年8月末～9月はじめには豊後水道から北東方向への移動を伴う活発な微動及び短期的スロースリップイベントが発生したが、ちょうどこのころから、微動は断続的に約3ヶ月間程度継続し、さらに時定数の長いスロースリップイベントも同期して発生した<sup>3,4)</sup>。この長期的スロースリップイベントが継続していた11月中旬には、8月末と同様の、豊後水道から北東方向への移動を伴う微動と短期的スロースリップイベントが再び発生し、その後は約3ヶ月周期で2004年2月中旬及び4月末に同様の活動が発生している（第2、3図）。

### 3. 紀伊半島北部

紀伊半島北部（第1図のB領域）では活発な微動活動は何度も観測されているが、その中のいくつかの微動活動に同期してステップ的な傾斜変化が近傍の防災科研Hi-net観測点MASH（三重県松坂）において検出された（第4図）。このような、傾斜変化を伴う微動は約半年周期で発生している。これらのステップ的な傾斜変化は2～4日程度の時定数を示し、MASHにおける傾斜方向は常に西下がりあるいは北西下がりである（第5図）。

この傾斜変化はMASH以外では2、3観測点でしか検出されておらず、断層モデルを推定することは困難ではあるが、四国西部地域、あるいは北米大陸カスケード地方<sup>5)</sup>で発生している短期的スロースリップイベント

と同様の現象が発生しているものと考えられる。

### 3. 東海地方

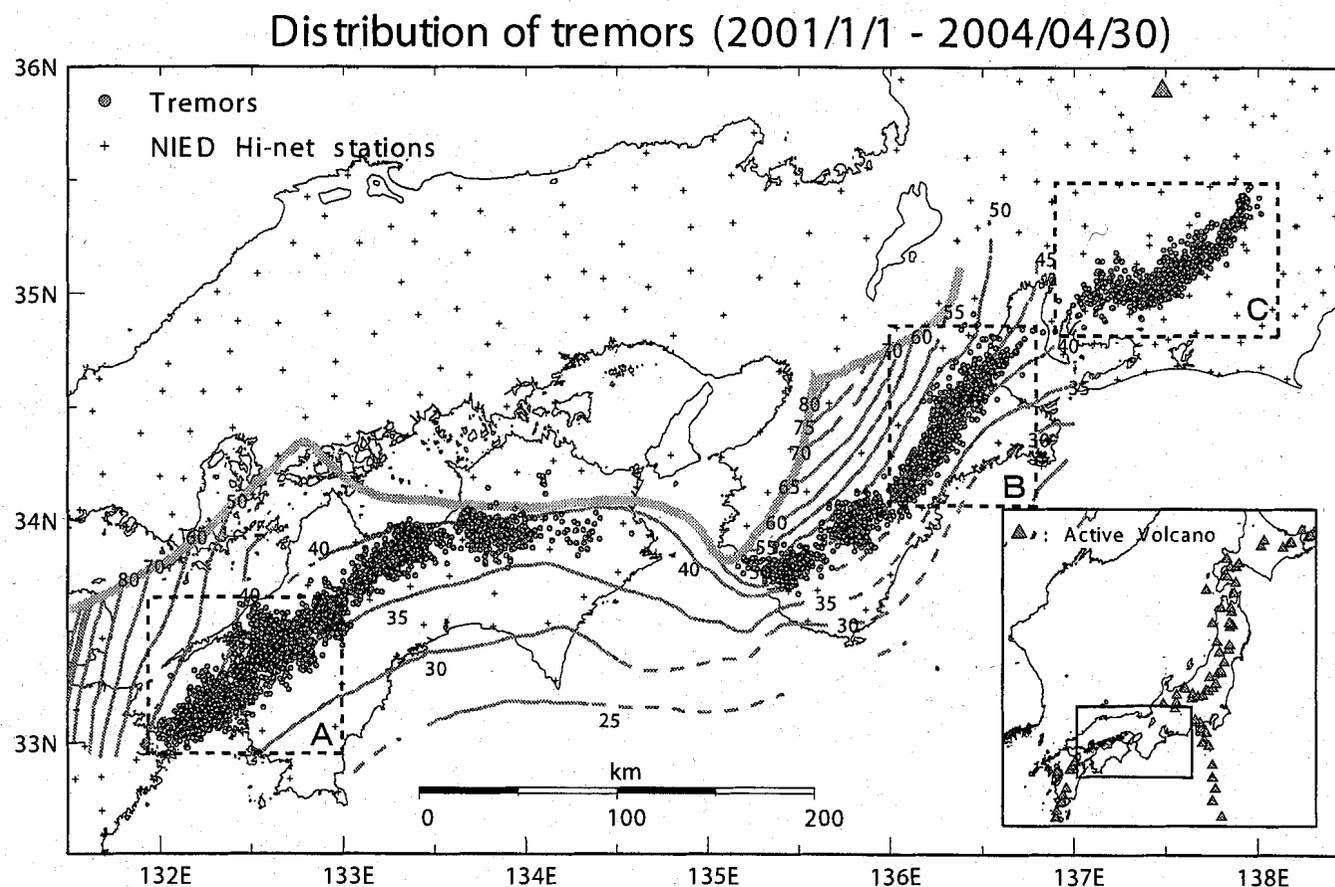
東海地方(第1図のC領域)では、頻繁にバースト的微小活動が発生している、特に周期性は見られない(図6)。また、当該地域では2000年以降スロースリップが進行中である<sup>9)</sup>が、微小発生域周囲の観測点では四国西部等で見られたような時定数の短い傾斜変化は検出されておらず、プレート境界における摩擦特性の違いが、スロースリップの時定数に影響を及ぼしている可能性が考えられる。

### 謝 辞

国土地理院のGPS観測データを使用させていただきました。記して感謝いたします。

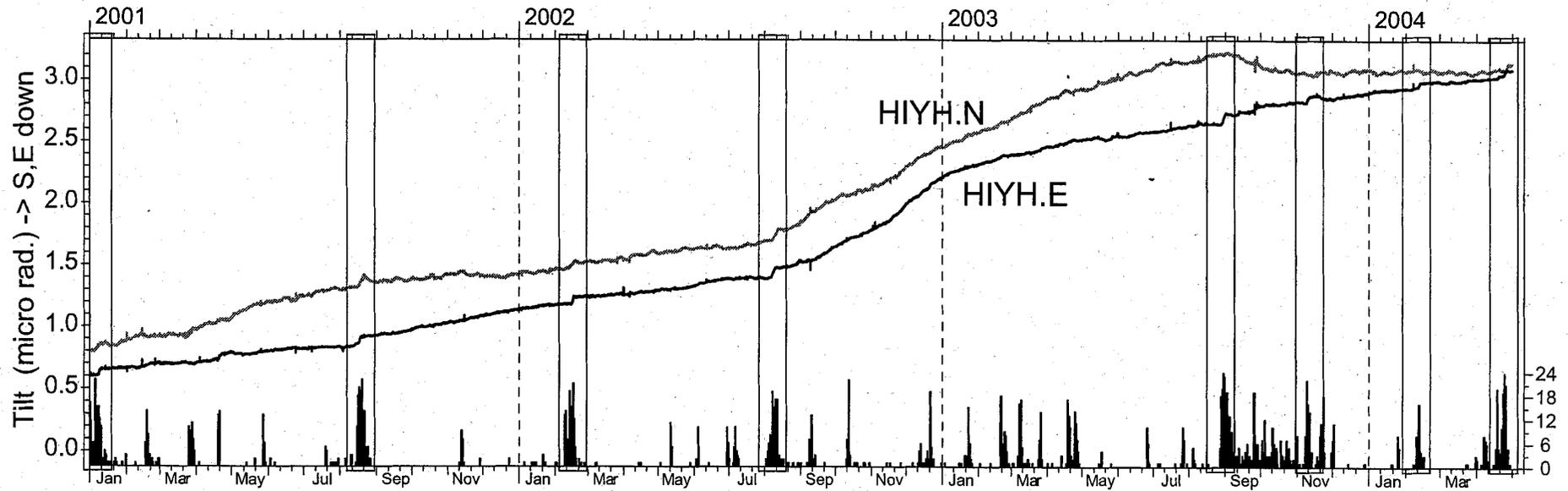
### 参考文献

- 1) Obara, K., Nonvolcanic deep tremor associated with subduction in southwest Japan, *Science*, 296, 1679-1681, 2002.
- 2) 小原一成, 西南日本の沈み込み帯で発生する深部低周波微小動の特徴, *地震予知連絡会報*, 70, 524-532, 2003
- 3) 小原一成・廣瀬仁, 豊後水道付近のスロースリップイベントと深部低周波微小動, *地震予知連絡会報*, 71, 671-679, 2004
- 4) 国土地理院, 中国・四国・九州地方の地殻変動, *地震予知連絡会報*, 71, 680-694, 2004.
- 5) GRogers and H.Dragert, Episodic tremor and slip on the Cascadia subduction zone: The chatter of silent slip, *Science*, 300, 1942-1943, 2003.
- 6) S.Ozawa, M.Murakami, M.Kaidzu, T.Tada, T.Sagiya, Y.Hatanaka, H.Yarai, T.Nishimura, Detection and monitoring of ongoing aseismic slip In the Tokai region, central Japan, *Science*, 298, 1009-1012, 2002.
- 7) 中村正夫・渡辺晃・許斐直・木村昌三・三浦勝美, 西南日本外帯における地殻下地震の活動特性, *京都大学防災研究所年報*, 40 B-1, 1-20, 1997.
- 8) Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe, M. Ishiguro, A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion, *Geophys. J. Int.*, 104, 507-516, 1991.



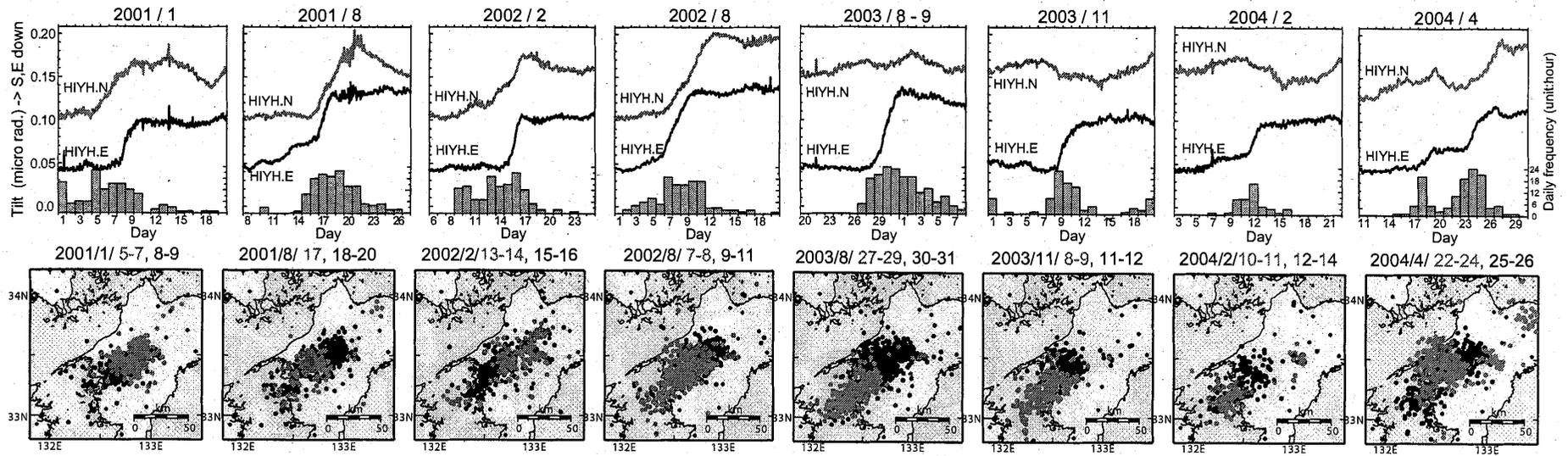
第1図 西南日本で発生した深部低周波微動の震央分布. 3つの領域 (A,B,C) について時系列を図2～6に示す.  
背景の等深線は、フィリピン海プレート内で発生する地震の平均的な深さを示したものである<sup>7)</sup>.

Fig.1 Spatial distribution of deep low-frequency tremor along the strike of the subducting Philippine Sea plate in the southwest Japan. Time sequence of the tremor activity for the three regions A, B and C are shown in the Fig.2 – Fig.6. Background contours indicate the depth distribution of the intra-slab seismicity<sup>7)</sup>.



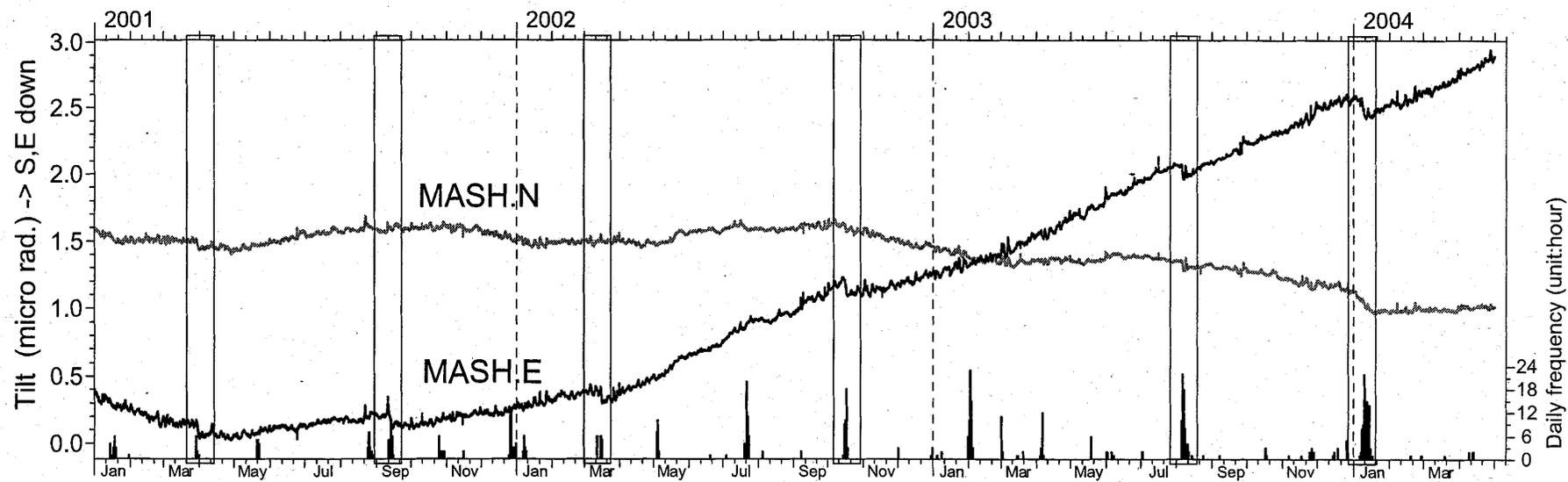
第2図 豊後水道・四国西部地域における深部低周波微動の活動度と愛媛県日吉（HIYH）での傾斜変化。傾斜記録にはBaytap-G<sup>8)</sup>による潮汐補正が施されている。第1図の領域A内で発生した微動について1時間単位で計測した日別回数を下に示す。この地域は帯状に分布する微動活動域の中でも最も活発な場所であるが、数日間以上継続するような規模の大きい微動は2001年及び2002年については約半年周期で発生し、それに同期してステップ的な傾斜変化が観測されている。2003年以降は約3ヶ月周期でステップ的傾斜変化が微動に同期して観測されている。

Fig.2 Time sequence of the tremor activity around the Bungo Channel and western Shikoku and the tilt change observed at HIYH, Ehime prefecture. The tilt data are corrected with removing the tidal component using Baytap-G<sup>8)</sup>. The number of the tremor counted with a unit of 1 hour estimated in the square A shown in Fig.1 is plotted at the bottom. This area is the most active part in the belt-like tremor zone. The active stage of tremor with duration longer than a few days is appeared periodically every 6 months during 2 years of 2001 and 2002 accompanied with the step-like tilt change. After 2003, the step-like tilt change coincident with the major tremor activity occurred with an interval of about 3 months.



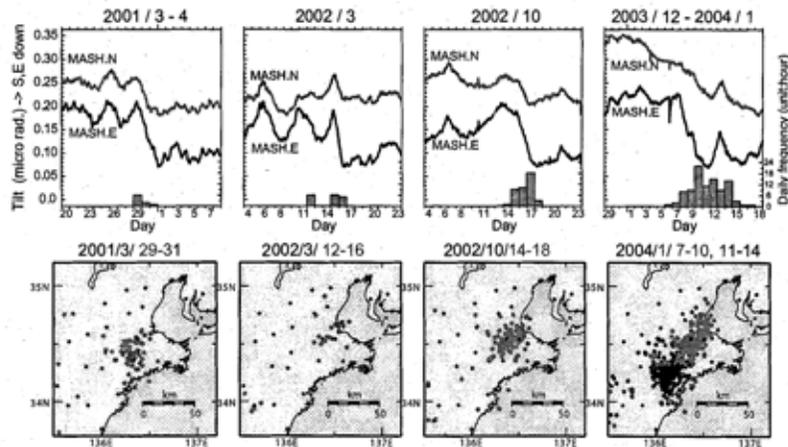
第3図 (上)各活動期における第2図の時間軸拡大図(2週間)。(下)微動源震央分布の時間変化.エンベロープ相関法によって1分毎に震源決定された微動源について、精度の良いもののみをプロットしている。活動期の前半を灰色、後半を黒で示す。2001年1月及び2002年2月には、微動は最初北東側で活発化し、その後南西方向の豊後水道側に移動したが、2001,2002年8月には、それとは逆に豊後水道側から北東方向に微動が移動した。HIYHにおける傾斜変化は微動の移動と非常に調和的で、微動が北東側で活発なときにはNS成分のみ、微動が南西側で活発化するときにはNS,EW両成分で傾斜変化が現れ、スロースリップ源も微動と共に移動することが予想される。2003年8月以降、約3ヶ月周期で計4回の活動が認められるが、微動は常に豊後水道側から北東方向に移動し、傾斜変化も東下がりを示す。

Fig.3 (Top panels): Expanded view of the tremor activity and the tilt change for each episode shown in Fig.2. (Bottom panels): Epicentral distribution of the tremor. The epicenters located with a good resolution by the envelope correlation method with every one minute are plotted. Gray and solid symbols indicate the epicenter for the first half and for the latter half in each episode, respectively. The tremor started from the northeast part of the tremor zone in 2001 January and 2002 February, then the tremor activity migrated to the southwest direction. On the other hand, the tremor migrated from around the Bungo channel to the northeast part in 2001 August, and 2002 August. The observed tilt change is very consistent with the migration of the tremor. After 2003 August, 4 episodes with a time interval of about 3 months are always characterized by tremor migrating from Bungo channels to northeast part and east down tilting.



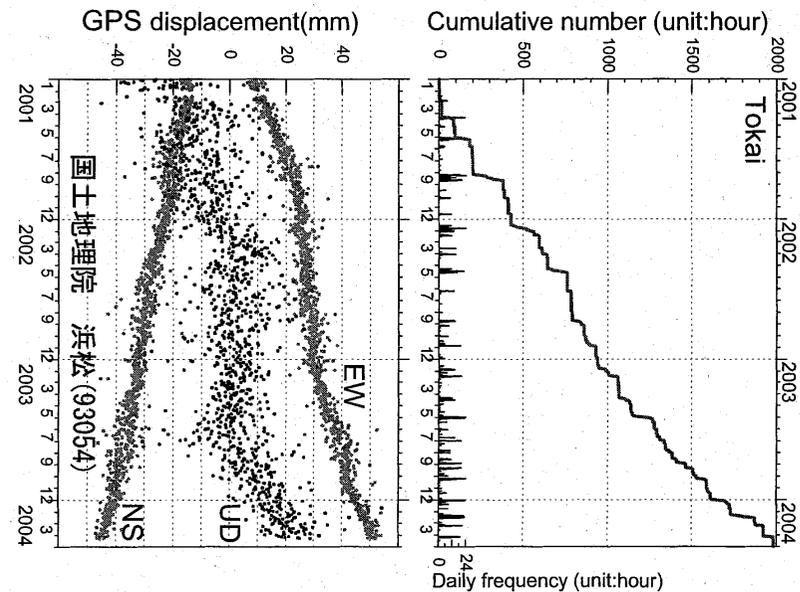
第4図 紀伊半島北部における深部低周波微動の活動度と三重県松坂(MASH)での傾斜変化.第1図の領域B内で発生した微動について1時間単位で計測した日別回数を下に示す.活発な微動活動は何度か観測されているが、その中でいくつかの微動活動に同期してステップ的な傾斜変化が観測されており、傾斜変化を伴う微動は約6ヶ月間隔で発生している.

Fig.4 Time sequence of the tremor activity around the northern part of Kii peninsula and the tilt change observed at MASH, Mie prefecture. The number of the tremor counted with a unit of 1 hour estimated in the square B shown in Fig.1 is plotted at the bottom. There are many activities of tremors and step-like tilt changes are recognized coincident with some tremor activities. The coupled phenomena occur with a time interval of about 6 months.



第5図 (上)各活動期における第4図の時間軸拡大図(2週間)、(下)微動源震央分布の時間変化. プロットの仕方は第3図と同様である. 微動の発生に同期して2~4日程度の時定数を持つ傾斜変化が観測され、短期的なスロースリップが微動に同期して発生しているものと考えられる. 2004年1月には、微動は北東から南西方向に移動した.

Fig.5 (Top panels): Expanded view of the tremor activity and the tilt change for each episode shown in Fig.4. (Bottom panels): Migration of epicentral distribution of the tremor plotted as same way as in Fig.3. The observed tilt change has a time constant with a period from 2 to 4 days consistent with the tremor activity. The tremor activity in 2004 January migrated from northeast to southwest.



第6図 (上) 東海地方で発生する深部低周波微動活動の時系列. 同地域に発生した微動の有無を1時間単位で計測し、1日毎の計測数及び2001年2月以降の積算回数を示す. 東海地方では微動はしばしば活発化するが、四国西部やカスケードで見られるような周期性はとくには見られない. また、活動の推移はほぼ定常的である.

(下) 同一期間における国土地理院浜松 GPS の変動量.

Fig.6 (Top) Time sequence of the tremor activity in Tokai area. The number of the tremor counted with a unit of 1 hour estimated from the envelope traces in the square C shown in Fig.1 is plotted at the bottom. The red line indicates the cumulative number of the tremor. In this area, there is no periodicity in the tremor activity as shown in western Shikoku or Cascadia subduction zone.

(Bottom) GPS displacement measured at station Hamamatsu, GSI for the same time period of the top panel.