

12 - 24 ひずみ計多点展開の効果と地震計鉛直アレイによる微動検出 Detection of episodic slow slips and low-frequency tremors on the plate boundary by multi-component strain meter network and vertical array of seismometers

産業技術総合研究所
Geological Survey of Japan, AIST

1. はじめに

東南海・南海地震予測のために、産業技術総合研究所は、2006年度から四国～紀伊半島周辺に地下水等総合観測網を整備してきた¹⁾(第1, 2図)。2010年11月時点で新たな観測点の数は14点となっている(第1図)。本稿では、この新規観測点に設置されたボアホール型多成分歪計による短期的ゆっくり滑りの検知能力と防災科研のHi-net傾斜計によるそれを比較し、統合して解析した場合による検知能力向上について述べる。また、第2図に示すように、新規観測点では、地震計が鉛直アレイの形になっているので、それによって深部低周波微動の検知能力が向上するとともに微動のメカニズム解も推定できることを示す。

2. 短期的ゆっくり滑りの検知能力の評価

南海トラフ～駿河トラフのプレート境界面²⁾の上に、長さ50km×幅30kmの矩形の断層面を、経緯度方向に0.1度ずつずらして置く。断層の上盤の下盤に対する滑り方向はプレートの沈み込み方向と反対方向(N125度E)として、任意の3つの観測点で歪または傾斜の閾値を越える最小の滑り量を計算してそれを検知能力とする。産総研の歪計については、実際の観測値からBAYTAP-Gのプログラム³⁾で潮汐・気圧の寄与を除去したものの24時間階差を計算し、その標準偏差の4倍(10～20 nstrain, nstrain=10⁻⁹)を個々の観測点の閾値とした。Hi-net傾斜計については、産総研で設置している同タイプの傾斜計のノイズレベルや防災科研の報告を参考にして、全観測点で一律に25nrad (nrad=10⁻⁹ラジアン)とした。一般に歪計の方が傾斜計に比べて感度が良い。

結果を第3図に示す。産総研歪観測点だけによる解析では、観測点が集まっている所では高感度だが、観測点が少ないのでその検出感度の分布にはムラがある(第3a図)。他方、防災科研のHi-net観測点の傾斜計だけによる解析では、観測点密度が高いので均質ではあるが、産総研の歪観測点の近傍に比べると検知能力が落ちる(第3b図)。両者を併せて解析すると、高感度でムラのない短期的ゆっくり滑りの検出が期待できることがわかる(第3c図)。

3. 地震計鉛直アレイによる深部低周波微動検出

地震計を鉛直方向に並べることによって、深部からの信号を高精度に検出できる。第4図aの上側は、2008年11月4日の午前1時～2時のN5観測点における4Hz～8Hzのバンドパスフィルターをかけた速度波形である。この中で、従来微動決定に用いられているエンベロープ相関法⁴⁾で求まる微動は3つのみであるが、それ以外の時間においても微動と思われる信号が来ているように見える。鉛直アレイの波形データにセンブリンス解析を適用した結果を第4図aの下側に示す。ここで縦軸は波の伝搬する速度を表し、鉛直アレイの下方から波がやってくる場合がプラス、上方からやってくる場合がマイナスの値になる。センブリンス解析の結果をみると、下方から2km/s前

後の速度（この付近のS波速度）でシグナルが来ていることがわかる。この60分の間、ほぼ継続して深部低周波微動が発生していることがわかる。同様な波形が、2008年11月25日の11時～12時にも認められるが（第4図b）、センブランス解析の結果を見ると地表からの人工ノイズであることがわかる。

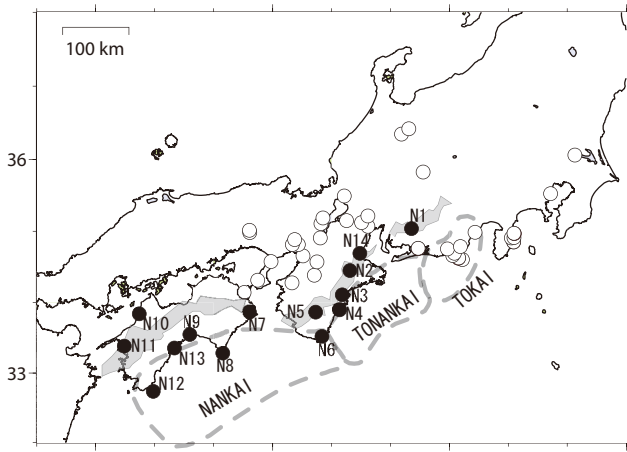
このようにして、継続して微動が発生していることが確認できれば、それをスタッキングすることによって、十分な精度でS波の振動方向を調べることができる。S波の振動方向はメカニズム解に依存しているため、複数観測点の振動方向を使うことで深部低周波微動のメカニズム解を推定することができる。ただし、振動方向には180度の曖昧性があるため、2つの節面は決定できるがP軸とT軸の方向を区別することはできないという制約がある。2010年5月24日～28日の紀伊半島における一連の微動活動で求めたメカニズム解を第5図に示す。ここでは便宜上、P軸のPlunge角は水平面に近く、方位角はプレートの沈み込み方向に近いと仮定した場合の解をプロットしている。全体として逆断層型が多いが、南西部の活動では横ずれ成分を持つものがいくつか認められる。また、Ito et al. (2009)⁵⁾による深部超低周波地震のメカニズム解に比べると、逆断層でも高角のものが多いように見える。

4. まとめ

産総研では、Hi-net観測データとのデータ共有を前提とした共同研究を防災科研と今年度から開始した。今年度中に共有システムを完成させ、解析ツールの共有や共同開発を行ない、短期的ゆっくりに滑りや深部低周波微動検出の客観化・自動化を進めてプレート境界のモニタリング精度向上を図る予定である。

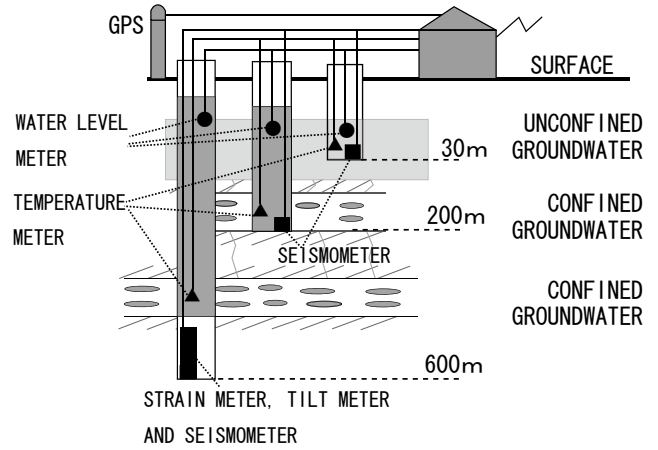
参 考 文 献

- 1) 小泉尚嗣・高橋誠・松本則夫・佐藤努・大谷竜・北川有一・板場智史・梅田康弘・武田直人 (2009), 地下水等総合観測による東海・東南海・南海地震予測, 地質ニュース, 663, 29-34, 2009.
- 2) Hirose, F., J. Nakajima and A. Hasegawa (2008), Three-dimensional seismic velocity structure and configuration of the Philippine Sea slab in southwestern Japan estimated by double-difference tomography, *J. Geophys. Res.*, 113, doi:10.1029/2007JB005274.
- 3) Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe, and M. Ishiguro (1991), A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion, *Geophys. J. Int.*, 104, 507-516.
- 4) Obara, K. (2002), Nonvolcanic deep tremor associated with subduction in southwest Japan. *Science* 296, 1679-1681.
- 5) Ito, Y., K. Obara, T. Matsuzawa, and T. Maeda (2009), Very low frequency earthquakes related to small asperities on the plate boundary interface at the locked to aseismic transition, *J. Geophys. Res.*, 114, B00A13, doi:10.1029/2008JB006036.



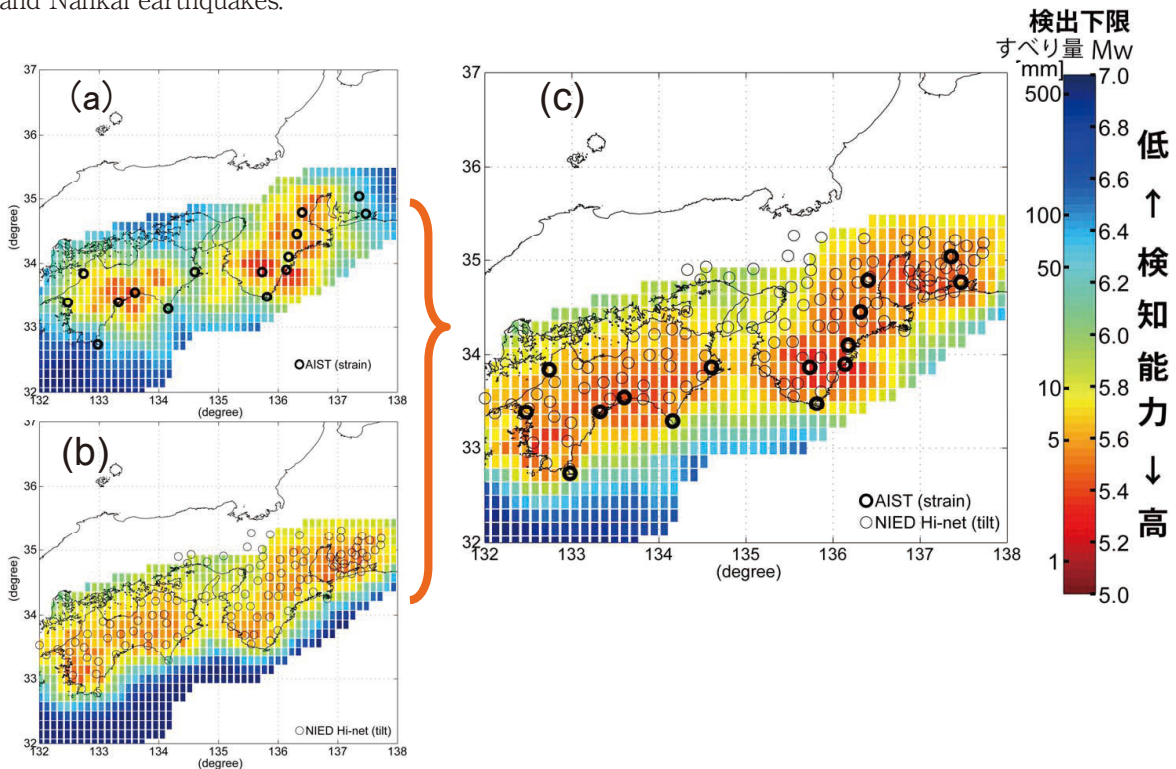
第1図 産総研の地下水等観測網 (○: 2005年以前に観測を開始した観測点, ●: 2006年以降の新規観測点N1-N14). 四国~紀伊半島~愛知県内陸部の灰色の領域は, 短期的ゆっくり滑りおよび深部低周波微動が定常的に発生していると考えられる地域. 破線は, 東から東海・東南海・南海地震の想定震源域を示す.

Fig. 1 Distribution of integrated groundwater observatories of Geological Survey of Japan, AIST (○: Old observatories where observation started before 2005, ●N1-N14: New observatories where the observation started after 2006). The shadow zones show the areas where non-volcanic deep tremors occur. The broken lines show the anticipated source regions of the Tokai, Tonankai and Nankai earthquakes.



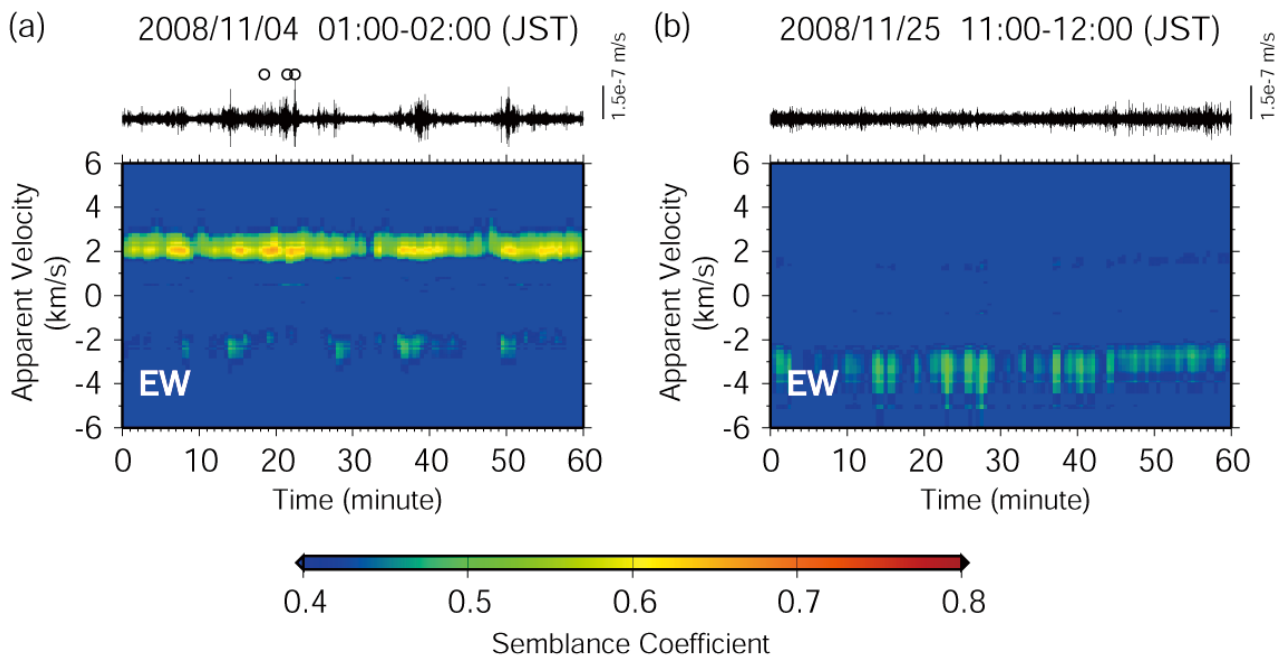
第2図 新規地下水等総合観測点 (N1-N14) における典型的な観測システム. 200 mの所に歪計を置いている点もある.

Fig. 2 Typical observation system at the new observatories (N1-N14). At Some of them, the strain meter is positioned not at a depth of 600m but at 200m.



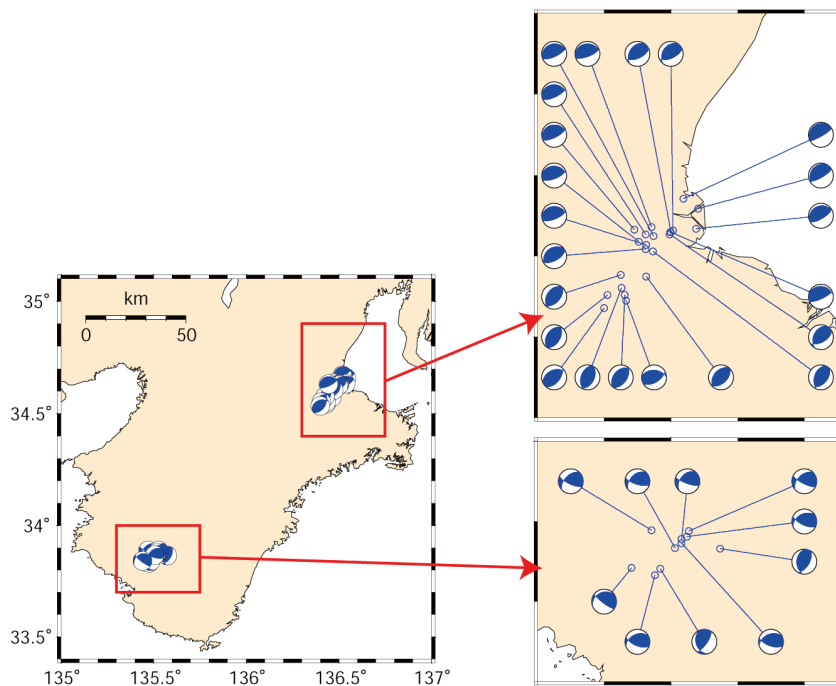
第3図 短期的ゆっくり滑りの検知能力.
a: 産総研歪観測点による検知能力
b: 防災科研の Hi-net 観測点の傾斜計による検知能力
c: 産総研歪観測点と防災科研 Hi-net 観測点の傾斜計による検知能力.

Fig. 3 Expected detectability of episodic slow slips.
a: Detectability by strain meters of Geological Survey of Japan, AIST.
b: Detectability by tilt meters of the Hi-net of National Research Institute for earth science and disaster prevention.
c: Detectability by the strain meters and the tilt meters.



第4図 観測点 N5 における地震計鉛直アレイによるセンブルンス解析結果。上側が地震波形で、波形の上の○はエンベロープ相関法により決定された微動 S 波の理論走時に対応している。下側に、仮定した見掛け速度に対するセンブルンス値を示す。鉛直アレイの下方から波がやってくる場合がプラス、上方からやってくる場合がマイナスの値の時にセンブルンス値が大きくなる。
 a : 深部低周波微動活動の時間帯 (2008 年 11 月 4 日の 1 時~2 時) における結果。
 b : 人工ノイズが見られる時間帯 (2008 年 11 月 25 日の 11 時~12 時) の結果。

Fig. 4 Semblance analysis of the vertical array of seismometers at N5. Each plot shows continuous waveforms and semblance values at assumed apparent velocity. Circles above the waveforms correspond to the theoretical S-wave arrival time of non-volcanic deep tremor determined by envelope correlation method. Positive and negative apparent velocity show upward and downward incident signals, respectively.
 a : Result of semblance analysis for non volcanic tremor activity during the period from one o'clock to two o'clock on November 4, 2008.
 b : Result of semblance analysis for artificial noise during the period from eleven o'clock to twelve o'clock on November 25, 2008.



第5図 2010年5月24日~28日の紀伊半島における微動活動で求めた深部超低周波微動のメカニズム解
 Fig. 5 Estimated focal mechanism solutions of non-volcanic deep tremor in the Kii Peninsula during the period from May 24 to May 28 in 2010.