

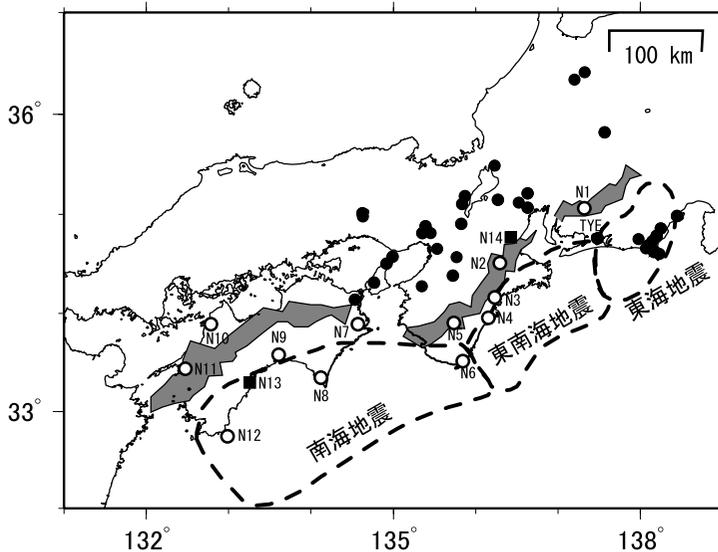
地殻歪観測による短期的ゆっくり滑りのモニタリング

北川 有一¹⁾・板場 智史¹⁾・武田 直人¹⁾・小泉 尚嗣¹⁾

1. はじめに

近年, 防災科学技術研究所の高感度地震観測網 (Hi-net) 等の観測網整備によって, 通常地震とは異なる振動が地震計に記録されていることが明らかになってきました。西日本のプレート境界の深部領域で発生する振動はその一つです。この振動は深部低周波微動と呼ばれていて, 長野県南部から豊後水道までのプレート境界付近 (深さ30km前後) で帯状に発生していることが知られています (例えば, 小原, 2002)。この深部低周波微動は, 通常地震よりも, 微弱で長く継続する振動現象であり, 卓越周波数が低い (ゆっくりとした振動成分が多い) という特徴を持っています。深部低周波微動の活動継続時間は, 短い場合には数日間以内ですが, 時には場所を移動しながら数週間も続く場合があります。深部低周波微

動活動は, 豊後水道・愛媛県西部・三重県中部では非常に活発ですが, 紀伊水道や伊勢湾ではほとんど発生しないなど, 地域毎の違いが見られます (第1図)。また, 深部低周波微動活動に同期して地殻変動が生じていることがHi-netに併設されている傾斜計等で明らかになってきました (例えば, Obara *et al.*, 2004)。観測された地殻変動は, 微動活動域付近のプレート境界で, 沈み込み方向にゆっくりした滑りが生じたことで説明できることが分かりました。このように数日程度の期間で発生するゆっくり滑りは, 短期的ゆっくり滑りと呼ばれています。一つの短期的ゆっくり滑りは数日程度ですが, それが場所を変えながら次々と滑って全体の活動期間が数週間に及ぶ場合もあります。短期的ゆっくり滑りは微動活動に伴って発見されてきましたが, 長野県南部から豊後水道までの全ての地域で同じように発見されたわけではありま

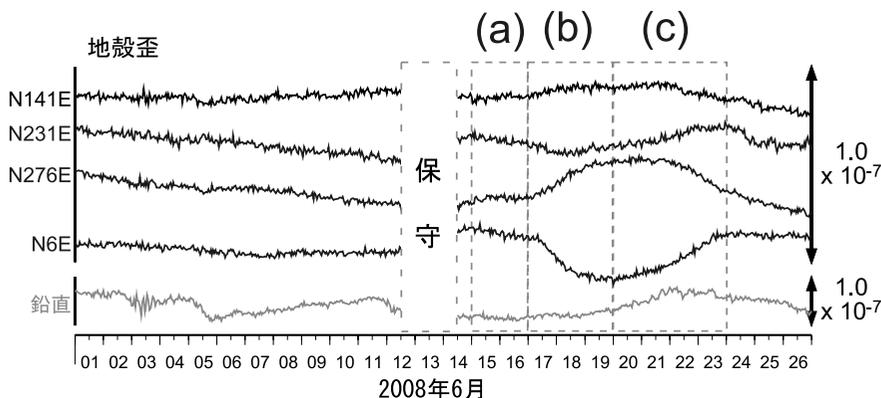


第1図

産総研の地下水等総合観測網。破線で囲まれた領域は東海・東南海・南海地震の想定震源域を示します。●: 2005年以前に作られた観測点, ○ (N1-N12): 2006年以降に作られた観測点, ■ (N13-N14): 現在整備を行っている観測点。灰色の領域は, 短期的ゆっくり滑り及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。N1: TYS, N2: ITA, N3: MYM, N4: ICU, N5: HGM, N6: KST。

1) 産総研 活断層・地震研究センター

キーワード: 南海地震, 東南海地震, プレート境界, ゆっくり滑り, 短期的ゆっくり滑り, 深部低周波微動, 地殻変動, 地殻歪



第2図 2008年6月のICUでの地殻歪観測結果. 潮汐解析プログラムBAYTAP-G (Tamura *et al.*, 1991)を使用し、潮汐成分と気圧応答成分とトレンド成分を除去しています. 6月12日午後～14日午前は保守作業により欠測. (a), (b), (c)は変化が見られた期間で、第3図に対応します. N141E等の語句は歪(伸縮)の向きを示しています. N141Eとは、水平方向に真北から時計回りに141度の方角(ほぼ南東方向)の歪を意味します. 鉛直とは、上下方向の歪を意味します.

せん. 愛媛県東部・和歌山県中部・奈良県南部・長野県南部の地域では、微動活動が発生する一方で、顕著な傾斜変化はほとんど観測されていませんでした.

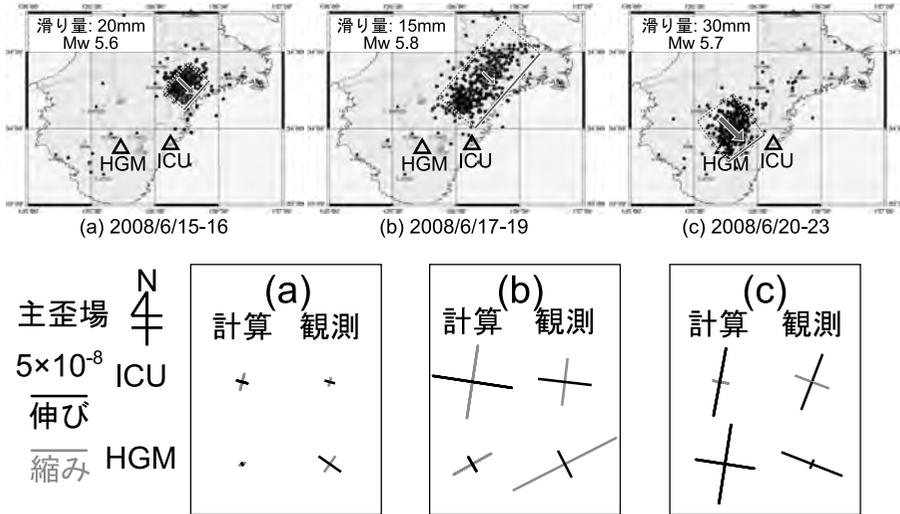
産業技術総合研究所(産総研)は、2005年には東海及び近畿地方周辺に約40点からなる地震予測研究のための地下水等総合観測網を持っていました. 2006年から東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測点整備に着手し、2008年度末には愛知県・紀伊半島・四国の12地点で新規に観測点を完成させました. 現在は、更に2地点で新規に観測点を整備しているところです(第1図, 小泉ほか, 2009: 本特集号). 新規観測点では、それぞれ深さの異なる3つの井戸(典型的には、600m, 200m, 30m程度の深度)を持っています. それらの井戸に観測機器を設置して、地下水・地殻変動(歪・傾斜)・地震の観測を行っています. 地表にGPSを置いているところもあります(表紙参照). 私たちは、これらの観測点での地殻歪観測データを使用して、プレート境界における短期的ゆっくり滑りの検出を行っています. その結果、傾斜データでは検出されなかった奈良県南部において、短期的ゆっくり滑りが捉えられる等の成果が挙がってきています (Itaba *et al.*, 2009). 本報告では、紀伊半島で発生する短期的ゆっくり滑りの特徴、及び2009年2月に愛知県で発生した短期的ゆっくり滑りと深部低周波微動の関連性について紹介します.

2. 紀伊半島で発生する短期的ゆっくり滑りの特徴

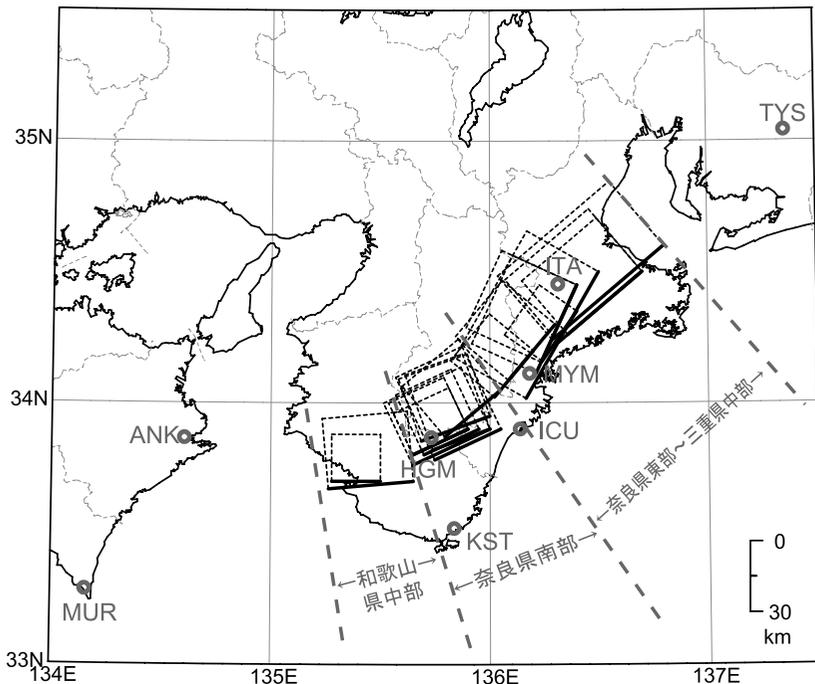
紀伊半島には新規観測点が5地点作られました(第1図のN2-N6:それぞれ下記のITA, MYM, ICU, HGM, KSTに対応します). 2007年7月から2009年5月までの間に、顕著な深部低周波微動活動が10回発生しました. これらの微動活動に同期して、新規観測点で地殻歪変化を検出しました. 第2図は2008年6月に発生した微動活動に同期したICUでの地殻歪観測結果です. 観測された地殻歪変化は、短期的ゆっくり滑りが発生したことで概ね説明することができました(第3図, Itaba *et al.*, 2009). 紀伊半島において見つかった短期的ゆっくり滑りは、その発生領域が和歌山県中部、奈良県南部、奈良県東部～三重県中部の3地域に区分できることが分かりました(第4図). 和歌山県中部は、他の2地域に比べて、発生頻度が少ない傾向が見られます. 発生様式については、一つの地域で発生して終息する単発型、ある地域で発生した後に別の地域に移動しながら連続的に発生する連動型があります. また、遠地で起きた大地震の地震波に励起されて発生した事例も見つかっています.

3. 2009年2月に愛知県で発生した短期的ゆっくり滑りと深部低周波微動の関連性

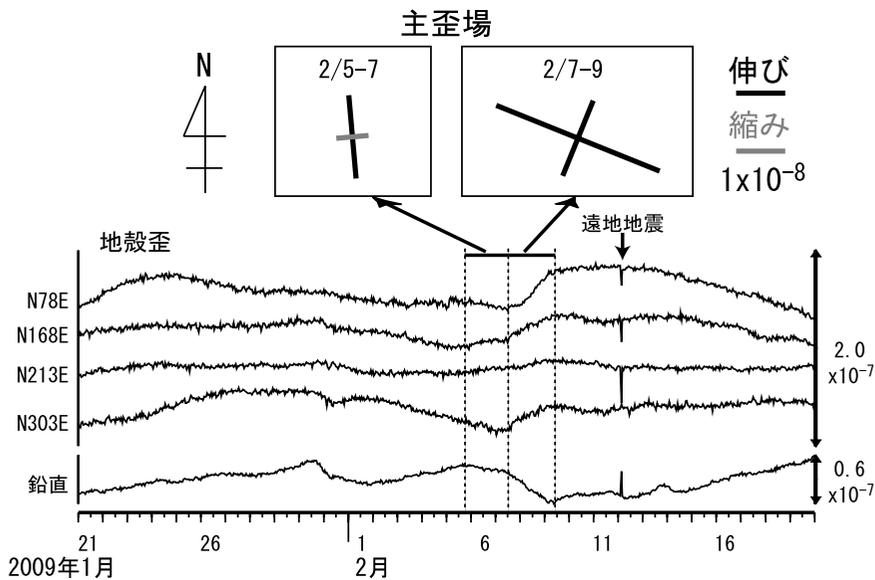
愛知県には、従来からの観測点(第1図のTYE)に



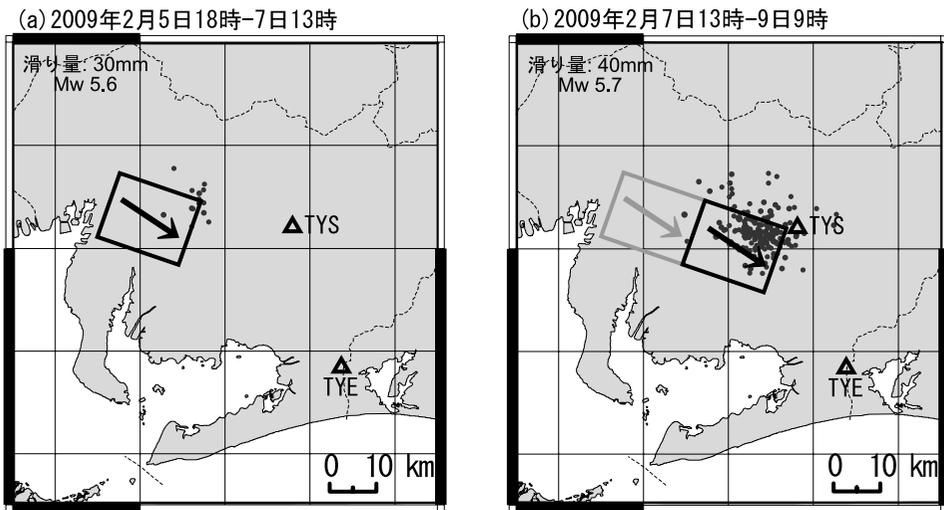
第3図 短期的ゆっくり滑りの滑りモデルと深部低周波微動との位置関係(上段)と観測から求めた主歪場と滑りモデルから計算した主歪場との比較(下段). 主歪場は地殻歪を表示する方法の一つで, 最も伸びた方向とその大きさ及び最も縮んだ方向と大きさとして, 地殻歪を表現しています. (a) 2008年6月15-16日. (b) 6月17-19日. (c) 6月20-23日. 短期的ゆっくり滑りの滑りモデルパラメータについては, 弘瀬ほか(2007)のプレート形状モデルを参考にしました. 滑りモデルから主歪場を計算するにあたっては, Okada(1992)の計算コードとMICAP-G(内藤・吉川, 1999)を使用しました. 深部低周波微動の震央分布図としては, 広島大学(2006)の低周波微動自動モニタリングシステム(ATMOS)による結果を使用しました.



第4図 紀伊半島で2007年6月~2009年5月に検出した短期的ゆっくり滑りの滑りモデル.



第5図 2009年1-2月のTYSでの地殻歪観測結果(下段)と観測から求めた主歪場(上段)。潮汐解析プログラムBAYTAP-G (Tamura *et al.*, 1991)を使用し、潮汐成分と気圧応答成分とトレンド成分を除去しています。「N78E」や「鉛直」等の語句の意味は第2図と同じです。



第6図 短期的ゆっくり滑りの滑りモデルと深部低周波微動との位置関係。aの黒い実線で囲んだ長方形と矢印が2009年2月5日～7日の歪変化を説明する短期的ゆっくり滑りのモデルを示し、bの黒い実線で囲んだ長方形と矢印が2月7日～9日の歪変化を説明するモデルを示します。bの灰色の長方形と矢印はaのモデルと同じです。矢印は断層の上側の地盤(上盤)の滑る方向を示します。短期的ゆっくり滑りのモデルについては、小林ほか(2006)のType-Aモデルを参考にしました。深部低周波微動としては、気象庁一元化震源リストの低周波地震を使用しました。

加えて、新規観測点が1地点(第1図のN1: TYS)作られました。2009年2月に愛知県で深部低周波微動が活発化し、TYEとTYSで地殻歪変化が観測されました。第5図は2009年1-2月のTYSでの地殻歪観測

結果です。2月5-9日にTYSでは地殻歪変化が観測されましたが、主歪場は、期間の前半(2月5-7日)が南北方向に伸び、東西方向に縮みだったのに対して、後半(2月7-9日)は水平方向には全面的に伸びでし

た。期間の前半と後半で特徴が異なっていましたので、期間の前半と後半で分けて、短期的ゆっくり滑りの滑りモデルを推定しました(第6図)。短期的ゆっくり滑りと深部低周波微動は、その発生域の一部を共有しながら、東に移動したことが分かりました。ただし、ゆっくり滑りの領域と深部低周波微動の領域は必ずしも重なりません。また、今回の事例では、TYSの地殻歪変化の始まりが観測された深部低周波微動活動よりも少しだけ早かったことが分かりました。これは短期的ゆっくり滑りが深部低周波微動に先行して発生している可能性を示しています。

4. おわりに

新規観測点が完成し、観測データが揃ってきたため、短期的ゆっくり滑りの発生状況が詳しく分かるようになってきました。その結果、微動活動域での短期的ゆっくり滑りだけではなく、(微動が発生していない)隣接する地域でも同時に短期的ゆっくり滑りが発生していた可能性(北川ほか, 2009)や深部低周波微動の発生より数日以上前に短期的ゆっくり滑りが発生していた可能性(板場ほか, 2009)を示唆する事例も見つかりつつあります。深部低周波微動と短期的ゆっくり滑りは相互に強い関連性を持って発生していると考えられていますが、第6図のように、観測された深部低周波微動と短期的ゆっくり滑りの発生場所と発生期間が一致しない場合もあることが分かりました。

西日本のプレート境界では、100-200年毎に東南海地震・南海地震という巨大地震が繰り返し発生しています。東南海地震・南海地震の震源域は、通常、固着して動いていないと考えられています。一方、震源域よりも深部側では深部低周波微動と短期的ゆっくり滑りが繰り返し発生しているので、間欠的にプレート境界で滑りが発生していることを意味します。この滑りが震源域にどのような応力変化をもたらし、巨大地震発生にどう関わっているのかが気になるところです。その理解のためには、詳細な観測と解析を更に進める一方、プレート境界深部には、どのような温度・圧力・応力が作用しているのかを知り、深部低周波微動と短期的ゆっくり滑りの物理モデルを作成することが必要であると考えています。こういった

取り組みは、巨大地震の発生メカニズム解明とその予測に繋がると期待しています。

謝辞: 観測点の新規構築及び維持管理には、国・地元自治体・地元住民・民間企業・産総研の多くの関係者に協力を頂いています。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 弘瀬冬樹・中島淳一・長谷川 昭(2007): Double-Difference Tomography法による西南日本の3次元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状の推定, *地震2*, **60**, 1-20.
- 広島大学(2006): 低周波微動自動モニタリングシステム(ATMOS). <http://tremor.geol.sci.hiroshima-u.ac.jp/>
- Itaba, S., Koizumi, N., Matsumoto, N. and Ohtani, R. (2009): Continuous Observation of Groundwater and Crustal Deformation for Forecasting Tonankai and Nankai Earthquakes in Japan, *Pure Appl. Geophys.*, 印刷中.
- 板場智史・小泉尚嗣・高橋 誠・松本則夫・佐藤 努・大谷 竜・北川有一(2009): 深部低周波微動活動前後の歪変化, *日本地球惑星科学連合2009年大会*, S156-P012.
- 北川有一・板場智史・小泉尚嗣・松本則夫(2009): 2008年11月に発生した三重県〜伊勢湾での深部低周波地震活動と愛知県内の産総研観測点での地殻歪変化, *日本地球惑星科学連合2009年大会*, S156-P013.
- 小林昭夫・山本剛靖・中村浩二・木村一洋(2006): 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(1984~2005年), *地震2*, **59**, 19-27.
- 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・重松紀生・桑原保人・佐藤隆司・今西和俊・木口 努・関 陽児・塚本 斉・山口和雄・加野直巳・住田達哉・風早康平・高橋正明・高橋 浩・森川徳敏・角井朝昭・下司信夫・中島 隆・中江 訓・大坪 誠・及川輝樹・干野 真(2009): 東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測点整備について, *地質ニュース本特集号*.
- 内藤宏人・吉川澄夫(1999): 地殻変動解析支援プログラムMICAP-Gの開発, *地震2*, **52**, 101-103.
- 小原一成(2002): 西南日本で発見された地殻底部低周波微動-Hinetにおける観測結果-, *地震予知連絡会会報*, **67**, 422-428.
- Obara, K., Hirose, H., Yamamizu, F. and Kasahara, K. (2004): Episodic slow slip events accompanied by non-volcanic tremors in southwest Japan subduction zone, *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L23602, doi: 10.1029/2004GL020848.
- Okada, Y. (1992): Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **82**, 1018-1040.
- Tamura, Y., Sato, T., Ooe, M. and Ishiguro, M. (1991): A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion, *Geophys. J. Int.*, **104**, 507-516.

KITAGAWA Yuichi, ITABA Satoshi, TAKEDA Naoto and KOIZUMI Naoji (2009): Monitoring of short-term slow slip events by crustal strain observations.

<受付: 2009年8月10日>