

# 新規地下水等総合観測網による短期的 ゆっくり滑りの検出能力の事前評価

大谷 竜<sup>1)</sup>・板場 智史<sup>1)</sup>・北川 有一<sup>1)</sup>・佐藤 努<sup>2)</sup>  
松本 則夫<sup>1)</sup>・高橋 誠<sup>1)</sup>・小泉 尚嗣<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

産総研では短期的ゆっくり滑りを検出することを一つの目的として、2006年度から愛知県・紀伊半島から四国にかけての広域に、新しい地下水等総合観測点の整備を開始し、2009年7月現在12点が稼働しています。本観測網は、各観測点に深さの異なる3本の観測井戸を掘削して水位・水温の測定を行うとともに、全観測点に多成分ボアホール歪計という、非常に高精度で地殻の歪(ひずみ:地面の伸縮)の連続観測ができる機器を設置しています。短期的ゆっくり滑りに伴う地殻変動の検出には、こうした歪計と地下水による観測が役に立ちます。

本稿では、以下に説明する仮想的な短期的ゆっくり滑りが発生したとして、本観測網でどのくらい小さい短期的ゆっくり滑りの検出能力があるかを計算しました。これは本観測網ができる前に事前評価として行ったものです。詳しい内容については、大谷ほか(2009)を参照していただくとして、本稿ではその概要と得られた結果の意味するところについて述べてゆきます。

## 2. 方法

短期的ゆっくり滑りの検出精度を求めるため、以下のようなことを行いました。今、沈み込むフィリピン海プレートの上面を、12km×10kmの小さなパッチ(長方形の面)をつなぐ形で近似し、その内のある一つのパッチが滑ったと考えます。その際に生じるある観測点での歪の変化は、半無限均質弾性体を仮定することで、弾性体の変形理論を使って計算できます。ここで、その観測点でのノイズレベル(通常時の歪変化の

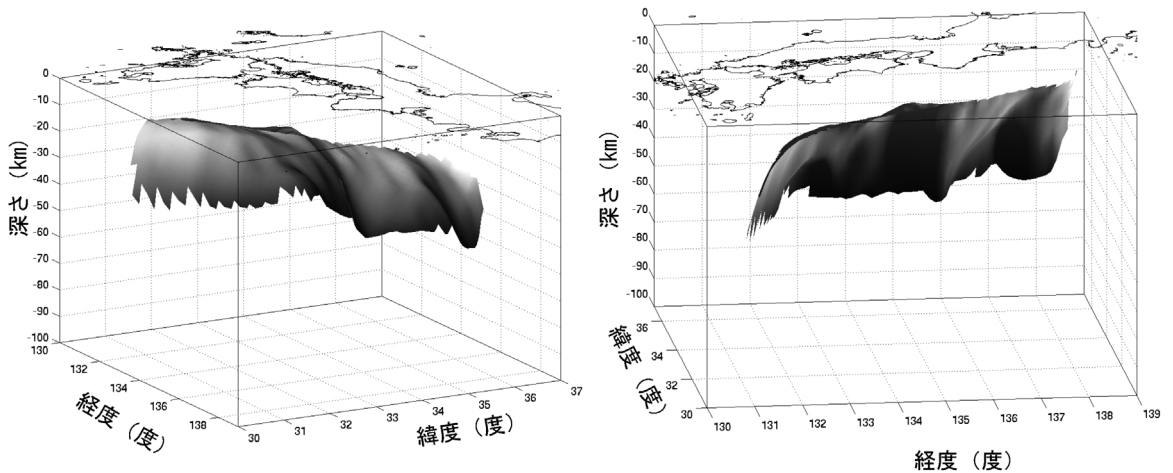
幅)が分かれば、どの程度小さな規模までの短期的ゆっくり滑りが検出できるのかが分かります。

さて、それではこの作業を、今考えたパッチの隣のパッチについても行ってみましょう。また更にその隣のパッチについても行いましょう。そうすると、この観測点で検出できる、各パッチでの最小の短期的ゆっくり滑りの大きさの空間分布を計算することができます。最後に、この作業を全ての観測点について行って、各パッチで計算される短期的ゆっくり滑りの内、一番小さいものだけを取り出して図を作れば、これは本観測網で検出できる短期的ゆっくり滑りの検出能力の分布になります。本観測網から遠くで短期的ゆっくり滑りが発生すれば、本観測網で観測できる歪は相対的に小さいものになりますから、大きな短期的ゆっくり滑りでなければ検出は困難になります。反対に、観測網のすぐ近くで短期的ゆっくり滑りが発生すれば、小さい短期的ゆっくり滑りでも検出は可能です。どの程度小さな短期的ゆっくり滑りが歪変化で検出できるかは、その観測点におけるノイズレベル(=観測精度)で決まります。

短期的ゆっくり滑りの発生場所は、沈み込むフィリピン海プレート面上で、1944年東南海地震・1946年南海地震の震源域及びその深部延長部分として設定しました(第1図)。プレート面の等深線のデータとしては、弘瀬ほか(2007)のものを使用しました。また、ゆっくり滑りの継続時間については、実際に観測されている短期的ゆっくり滑りを参考にして1-3日としました。滑りの向きについては沈み込むプレートの方向と逆方向(N120°E)に設定しました。ここで重要なのは、観測のノイズレベルをどのように設定するかです。継続時間を1-3日程度とすると、こうした時間帯では、松本・北川(2005)による、東海地方の観測点におけ

1) 産総研 活断層・地震研究センター  
2) 産総研 地質情報研究部門

キーワード: 短期的ゆっくり滑り, 歪計, 地下水等総合観測網, 事前評価



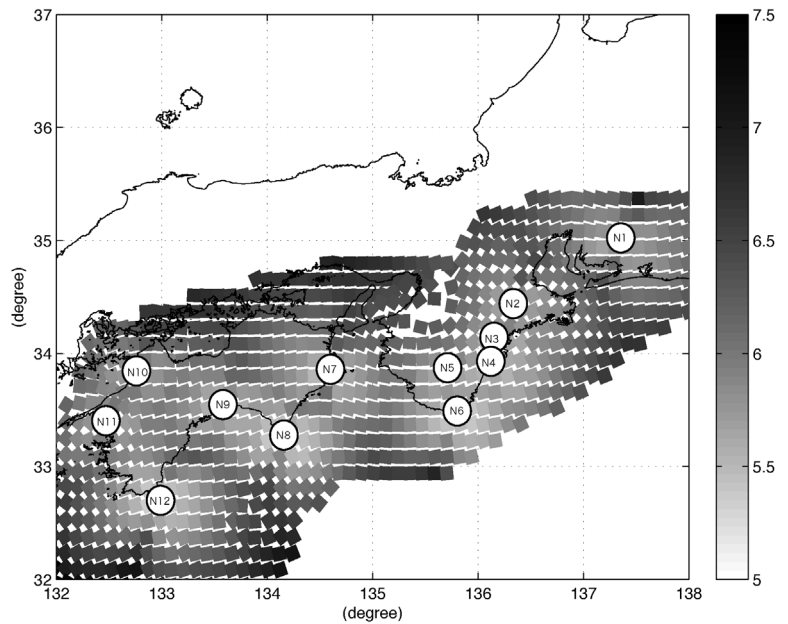
第1図 短期的ゆっくり滑りの発生する場所として想定したフィリピン海プレート上面(プレート境界)を3次元的に見たもの。(左)南東方向の斜め下から見た図。(右)南南西方向の斜め下から見た図。

る歪計や地下水位のノイズレベルの調査結果があります。その結果を使って、地下水位変化から求められる体積歪(体積の伸縮)については  $4 \times 10^{-8}$ 、線歪(ある一方向の伸縮)については  $2 \times 10^{-8}$  をノイズレベルとしました。

### 3. 結果と考察

一言で歪<sup>ひずみ</sup>と言っても、地下水や歪計のデータから求められる体積歪、歪計データのみから求められる面積歪(面積の伸縮)や線歪等、様々な表現の仕方があります。ここでは、一番検出精度がよい線歪に着目した場合のゆっくり滑りの検知能力を、以下に見ていくことにします。

第2図に「線歪」で見た場合の、本観測網による短期的ゆっくり滑り(モーメントマグニチュード  $M_w$  で表現)の検出下限値の空間分布を示します。また第2図をカラー表示したものを口絵5に示しました。まず分かるのは、太平洋沿岸、特に足摺岬、室戸岬、潮岬のように太平洋側の岬の先端に位置する観測点付近では、検出能力



第2図 線歪で見た場合の、モーメントマグニチュードで表現した、検出可能な短期的ゆっくり滑りの大きさの下限の分布。短期的ゆっくり滑りの時定数を1日、短期的ゆっくり滑りが発生する領域を12km×10kmの長方形として、短期的ゆっくり滑りの方向(北から時計回り)が、フィリピン海プレートの沈み込む方向(N300° E)と逆方向(N120° E)になるようにしました。口絵5も参照して下さい。

が高い(より小さな短期的ゆっくり滑りが検出できる)ことです。これは、太平洋に突き出た岬の先端のような観測点下では、プレート上面までの深さが相対的

に浅いために、沈み込むプレート上で発生する、より小さな短期的ゆっくり滑りを検出しやすいことを反映しているためです。

全体的に見て、四国～紀伊半島～愛知県の沿岸にかけて、本観測網内の広域的な範囲で、Mw6.5程度までの短期的ゆっくり滑りを、検出できることが分かります。特に、上で述べた岬の突端に位置するような観測点では、Mw6.0以下の小さな滑りまで検出できることが分かります。

四国～紀伊半島～愛知県の沿岸域直下のプレート境界では、上記で仮定した時定数1日・長さ10km程度の時空間スケールだけでなく、様々な時空間スケールを持つ多様なゆっくり滑りが発生しています。そこで、これらの現象を実際の観測によって検出することで、本稿で用いた事前評価手法の妥当性を、詳しく検証できるはずですが、

まず、時定数にして1～3日程度の検出能力の評価に関しては、愛知県で発生している短期的ゆっくり滑りをを用いた検証が有効でしょう。愛知県では、気象庁の体積歪計や多成分ボアホール歪計等により、時定数1日～7日程度の短期的ゆっくり滑りがしばしば発生していることが分かっています。小林ほか(2006)の解析によれば、フィリピン海プレート上の、幅約10～20km四方程度の複数の領域で滑りが発生していると推定されており、一回あたりの滑りによるモーメントマグニチュードは5.5～5.9です。これは時定数、空間的な広がりともに、本稿で想定したものと似ており、こうした特性を持つゆっくり滑りを、本観測網がどの程度の精度で検出できるかが最初の検証実験となるでしょう。実際こうした点も考慮して、本観測網ではこの愛知県の活動域の真上に観測点を設置しています(口絵5や第2図のN1)。結果として想定された通りに、N1観測点の歪計データでゆっくり滑りが検出されています(北川ほか, 2009)。

もう少し長い時定数を持つ短期的ゆっくり滑りの検出能力は、四国の西部及び三重県中部において定期的に発生している、時定数にして数日程度の短期的ゆっくり滑りの検出を通じて検証が可能です。これらの短期的ゆっくり滑りはおおよそ半年ごとに発生していることが、防災科学技術研究所の高感度地震観測網(Hi-net)に併設された傾斜計によって明らかになってきました(Hirose and Obara, 2005 ; Hirose and Obara, 2006 ; 小原, 2007等)。この観測データの解析

から求められた結果によれば、いずれも沈み込むプレート上での滑りとして説明でき、滑りの広がりには、活動イベントによって異なりますが、一辺が20～70kmの長方形で、モーメントマグニチュードはMw6程度の大きさになります(小原, 2007)。このような短期的ゆっくり滑りが発生した時、四国西部や三重県中部の観測点で、どの程度の精度で観測できるかが、10日程度の時定数を有するゆっくり滑り検出能力の実証の一つの方法となるでしょう。本特集号の北川ほか(2009)で示されているように、すでに三重県中部の短期的ゆっくり滑りについては検出に成功していますが、四国西部についてはこれからです。

以上に加えて、この地域で興味深いのは、四国西部、三重県中部とも、短期的ゆっくり滑りが隣接地域へ伝搬していく様子が時折観測されることです。本観測網が構築される前の2006年1月に防災科学技術研究所等で観測された現象では、1週間程度の時定数を持つ滑りが、隣接する北東側の地域へ移動していき、奈良県・三重県境から始まった現象は、伊勢湾を越えて愛知県にまで3週間ほどかけて移動していきました(小原, 2007)。こうした現象は、大地震発生の前に起きると言われているゆっくり滑りの発生→滑りの伝搬と拡大(→主破壊の発生)といった大地震発生直前の過程を想起させられるものであるため、リアルタイムでこうした現象が検出できるかどうかといった点を調べることも大切です。それは、来るべき東南海・南海地震の発生の短期予測において、本観測網の有効性を評価する上で重要なポイントとなるでしょう。

更に時定数の長いゆっくり滑りは、豊後水道において、時定数にして数ヶ月～1年にも及ぶものが1997年、2003年と繰り返し発生しているのが、GPSにより見つかっています。このようなゆっくり滑りは、前述した短期的ゆっくり滑りに対して長期的ゆっくり滑り、もしくはゆっくり地震と呼ばれています(Hirose *et al.*, 1999 ; Ozawa *et al.*, 2004等)。こうした長期的ゆっくり滑りの検出が、時定数の長い現象に対する本観測網の性能評価の対象となります。豊後水道の長期的ゆっくり滑りは滑り面積も広く(60km×60km程度)、Mwも6.6-7.2程度に達します。このような現象が、今後発生すれば、時定数の長い現象の検出における本観測網の能力を把握することができるでしょう。豊後水道の長期的ゆっくり滑りは、1997年、2003年と発

生しているのに、検証の機会がまもなくやってくるかもしれません。ただし、2001年から始まった東海地方での同様な長期的ゆっくり滑りは、気象庁の既存の歪計によって検出するのは困難でした(吉川, 2003)。それは、歪計は数ヶ月以上の時定数の現象については、ノイズレベルが一般に高いからで、それらを低減するための新たな観測手法や解析方法の開発も今後、同時に行っていく必要があります。

#### 4. まとめ

このように、本観測網のデータから、事前に期待されていたような短期的ゆっくり滑りがいくつか検出され始めてきています。逆にこうした実際のデータから、ここで紹介したような事前評価がどの程度適切だったのかも分かってくるでしょう。こうした研究を行うことで、事前評価手法を向上させ、今後同様な観測網を整備する際の参考になることが期待されます。今後の更なるデータの蓄積が待たれます。

**謝辞:** 気象研究所弘瀬冬樹氏には論文中のプレート等深線データを提供いただきました。記して感謝の意を表します。

#### 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.  
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 Bungo Channel, southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 3237-3240.

- 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 Space*, 57, 961-972.  
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.  
北川有一・板場智史・武田直人・小泉尚嗣(2009): 地殻歪観測による短期的ゆっくり滑りのモニタリング, 地質ニュース, No.662, 55-59.  
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.  
松本則夫・北川有一(2005): 想定東海地震震源域付近の観測井における地下水位の歪感度とノイズレベル, 測地学会誌, 51, 131-145.  
小原一成(2007): 深部低周波微動に動機する短期的スロースリップイベントの検出-防災科研Hi-net傾斜観測による成果-, 測地学会誌, 53, 25-34.  
大谷 竜・板場智史・北川有一・佐藤 努・松本則夫・高橋 誠・小泉尚嗣(2009): 産総研地下水等総合観測網による東南海・南海地震の仮想的プレスリップの検出能力の評価, 地質調査研究報告, 61(印刷中).  
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, L07609, doi: 10.1029/2003GL019381.  
吉川澄夫(2003): 歪変化に見られる東海スロースリップの影響, 月刊地球号外, 41, 35-41.

OHTANI Ryu, ITABA Satoshi, KITAGAWA Yuichi, SATO Tsutomu, MATSUMOTO Norio, TAKAHASHI Makoto and KOIZUMI Naoji (2009): Appraisal of the detectivity of short-term slow slip using the integrated groundwater observation stations of the Geological Survey of Japan, AIST.

<受付: 2009年8月10日>