

## (2) 防災科学技術研究所による観測

### 1. はじめに

南海トラフに沿って発生するさまざまなスロー地震や防災科学技術研究所（以下、防災科研という）におけるモニタリングについては、既に第 2 部第 3 章 3. (3) で紹介した。それらに加えて本節では、他の地域も含めた全国的なモニタリングについて紹介する。定常的に資料提供を行っている全国的なモニタリングとしては、高感度地震観測網 Hi-net に併設の高感度加速度計によるマルチアレイ解析が挙げられる<sup>1)</sup>。この解析は、周期 20 秒から 50 秒において効率よく表面波を励起するような浅部超低周波地震の検出に適している。これによって、十勝沖や日向灘では、紀伊半島沖や四国沖と比べて比較的高い頻度で浅部超低周波地震活動が起きていることが報告されてきた。

一方で、より規模が小さなイベントや表面波の励起が弱い深部超低周波地震の検出などはこの解析方法では困難である。このような活動の検出については、目視でのイベント検出とそれをプレートイベントとした Matched filter 解析が有効な場合がある。東北地方太平洋沖の超低周波地震<sup>2)</sup>はこのような解析によって検出された活動の一つである。また、比較的少ない観測点数の広帯域地震観測網 (F-net) の記録での解析も可能であることから、Matched filter 解析は日向灘以南における超低周波地震のモニタリングにも有効である<sup>3)</sup>。

以上のように高感度加速度計や広帯域速度計によって検出される超低周波地震のみならず、防災科研ではスロースリップイベントのモニタリングも行っている<sup>4) 5) 6)</sup>。南海トラフ沿いを除く他の地域では、房総半島沖において群発地震活動を伴うスロースリップイベントが繰り返し発生しており、最近 10 年間では 3 回のイベントを検出された。以下では、これらについて紹介する。

### 2. マルチアレイ解析による浅部超低周波地震のモニタリング

防災科研では、Hi-net に併設された高感度加速度計の記録をフィルター処理（通過帯域 0.02-0.05Hz）した後アレイ解析することによって、主として超低周波地震の検出とその震央推定を行い、その結果を 2008 年より資料提供してきた。より具体的には、半径 50km 程度の地震計アレイを全国の 110 箇所に構成し、それぞれのアレイについてセンブル解析を行うことによってコヒーレントな波群を検出するとともに、局所的な平面波入射を仮定して波群到来方向を推定する。その後、同時時間帯における各アレイでの波群到来方向を説明するような震央位置を推定する。この段階では、遠地や近地で発生する通常地震や気象、海象現象に伴う震動源も含

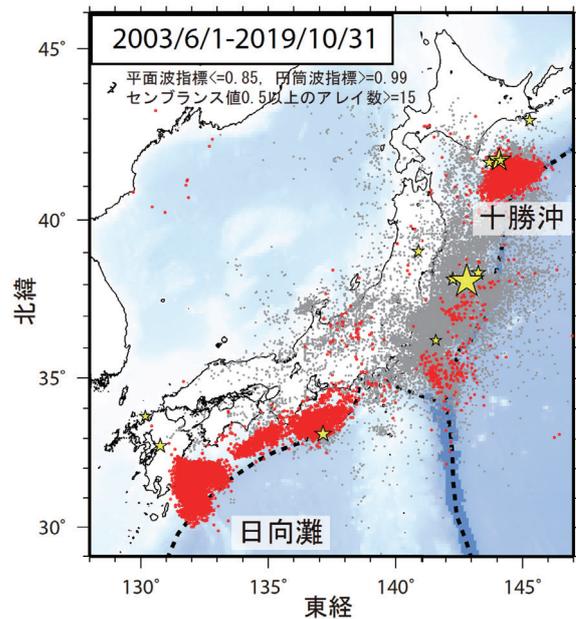


図 1 アレイ解析によるイベントの分布。検出イベントを赤色の点、防災科研 Hi-net による震源リストとの照合によって通常地震として除去されたイベントを灰色の点でそれぞれ示す。期間内に発生した M7 以上の地震の震央を黄色星印で併せて示す（ただし、2011 年 3 月 11 日以降の東日本は東北地方太平洋沖地震の本震のみ図示）。

まれるため、これらを取り除いて残ったイベントを検出イベントと定義している<sup>1)</sup>。このようにして認定された検出イベントはその多くが超低周波地震であるが、取り除くことができなかった誤認イベントも含まれる。特に、房総半島沖の三重会合点付近や南海トラフ・南西諸島海溝会合部などが遠地や近地の地震の地震波を散乱する二次波源として振る舞い、それらが誤認イベントとして検出されることもある。このような誤認の克服も将来的な課題ではあるが頻度は比較的低く、継続期間が数日間を超えるような超低周波地震活動の検出には大きな問題はない。

防災科研では、上記の様な解析を 2003 年 6 月の記録に遡って行うとともに、最新の記録については準リアルタイムでの解析を行ってきた（図 1, 図 2）。その結果、既に 3. 3 において報告の四国沖や紀伊半島沖以上に、十勝沖や日向灘では高い頻度で超低周波地震の活動が発生していることが明らかになっている（図 2）。このうち十勝沖では平成 15 年（2003 年）十勝沖地震の発生後に超低周波地震活動が活発化し、その後は経過時間とともに順調に頻度が減じた<sup>1)</sup>。そして、2017 年以降は概ね年に 1 度程度となっている（図 2）。

日向灘においても年に 1 度以上の頻度で活動が検出されてきた。このうち、2003 年、2010 年、および 2015 年

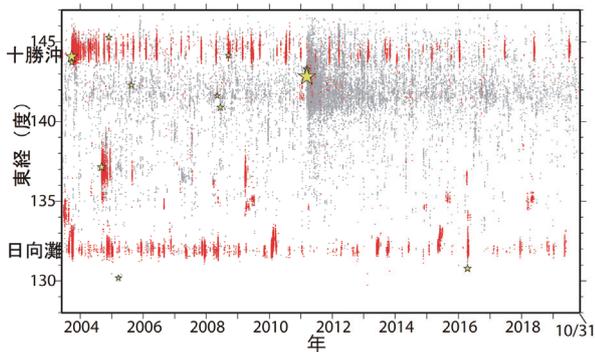


図2 アレイ解析によるイベントの時空間分布. シンボルは図1に同じ.

の活動においては、足摺岬の南方沖に達するような広域に亘る活動が捉えられた。少なくとも 2003 年と 2010 年は豊後水道における長期的スロースリップとの対応<sup>7)</sup>が指摘されており、海陸プレート間におけるより広域的なすべりの理解のためにも継続的なモニタリングが重要といえる。一方で、日向灘はこのアレイ解析における観測網の縁辺部に位置しており、観測点カバレッジが良くない。このために精度良い位置推定や南西諸島海溝へと続く活動のモニタリングは困難であり、少ない観測点数の F-net 記録などからも超低周波地震活動のマイグレーションが捉えられている Matched filter 解析<sup>3)</sup>のルーチン化も期待される。

### 3. 東北地方太平洋沖のスロー地震

東北地方太平洋沖における超低周波地震活動は、Matsuzawa et al. (2015)<sup>2)</sup>により初めて報告された(図3)。これらのイベントは、波形が比較的明瞭な場合でも Mw3.4 ~ 3.6 と規模が小さく、上述のアレイ解析からは、十分に検出することは難しい。このため防災科研では、F-net のデータを利用した、Matched filter 解析によって検出・位置決定を行っている。

図3に示すように、超低周波地震は日本海溝沿いに大きく分けて3つの領域でクラスター状に分布している。2011年東北地方太平洋沖地震発生後は、同地震のすべり域の南北端に位置する日本海溝南部と北部側で活動が活発化した一方、中部の領域では活動が検出されていない。こうした活発化は、地震すべりにおける応力の再分配により、周囲のゆっくりすべりが誘発されたことによる可能性が考えられる。

一方、最近の進展として、2016年8月から順次運用を開始した日本海溝海底地震津波観測網(S-net)の地震計記録からは、十勝沖から房総沖にかけての広い領域で低周波微動が発生していることが明らかとなった(Tanaka et al., 2019<sup>8)</sup>; Nishikawa et al., 2019<sup>9)</sup>)。低周波微動は超低周波地震と同期して発生しており、これらス

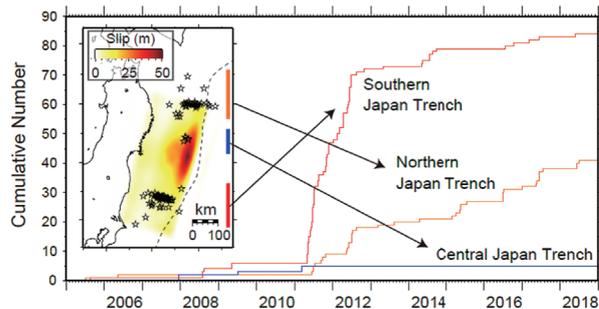


図3 東北地方太平洋沖で発生した超低周波地震のクラスター毎の積算個数変化. Matsuzawa et al. (2015)<sup>2)</sup>, Nishikawa et al. (2019)<sup>9)</sup>の結果に、2018年12月までの暫定解析結果を加えたものを示す。橙線、青線、赤線はそれぞれ日本海溝北部(岩手沖)、中部(大すべり域付近)、南部(福島・茨城沖)のクラスターでの活動に対応する。図内の地図には、超低周波地震の震央を星印で示し、Suzuki et al. (2011)<sup>10)</sup>による2011年東北地方太平洋沖地震のすべり量分布を色で示す。

ロー地震と大地震のすべり域が相補的に分布していることが明らかとなった。このようなモニタリングのルーチン化も将来的な課題の一つと言える。

### 4. 房総半島沖のスロー地震

関東地方ではフィリピン海プレートが沈み込み、このプレートと陸側プレートの境界では、1923年関東地震やスロー地震などの現象が発生する。房総半島沖では、Hi-netに併設された高感度加速度計(傾斜計)により、スロー地震による地殻変動が2002、2007、2011、2014、2018年に捉えられている。房総半島沖スロー地震は、それ自体では地震波を放出しないが、最大M4-5程度の地震を含む群発地震活動を伴うという特徴がある。また、Hi-net以前の関東東海地震観測網による観測によって、1983、1990、1996年にも類似した活動がとらえられてきた。すなわち、過去40年間に2-7年間隔で繰り返してきたことが明らかとなっている(図4)。

房総半島沖スロー地震の活動域は1923年関東地震や

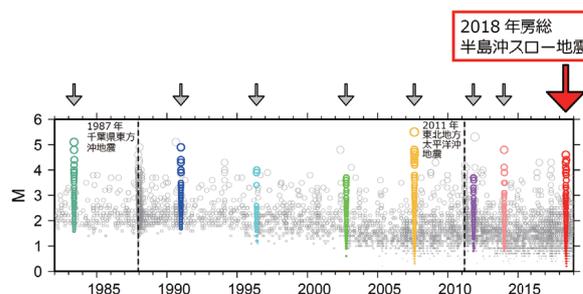


図4 房総半島沖の地震の発生時系列。房総半島沖スロー地震を矢印で、スロー地震に伴う地震を色付きシンボルで示す。

その最大余震等の巨大地震震源域に近接しており、その活動を把握することは、応力蓄積状況を理解するうえで重要である。このため、防災科研では予知連等への資料提供を行うとともに、関係機関と連携して、房総半島沖スロー地震に関する情報を発信してきた<sup>4)5)6)</sup>。

2018年に発生した房総半島沖スロー地震においては、6月3日頃より傾斜変動がはじまり、傾斜変化は約1.0  $\mu$  radに達した(図5)。このような傾斜変化データを説

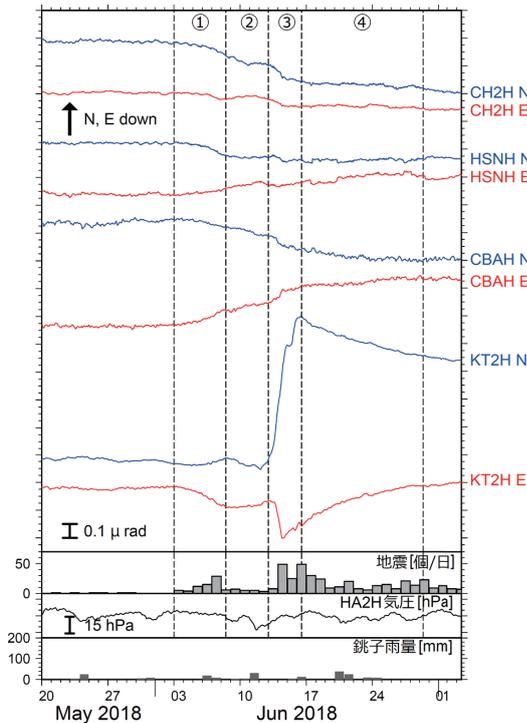


図5 2018年房総半島沖スロー地震に伴う傾斜時系列。BAYTAP-G<sup>11)</sup>により潮汐・気圧応答成分を除去し、地震時のステップおよび直線トレンドを補正した。房総半島沖の地震活動度、気圧・雨量をあわせて示す。

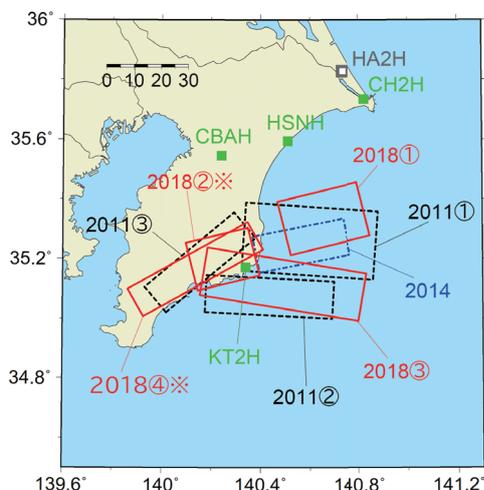


図6 傾斜変化データから推定した最近10年間における房総半島沖スロー地震の断層モデル。2018年については、①～④は図5に示す各期間の変動源それぞれ示す。②および④については、推定精度が低いいため参考として示す。

明する断層モデルの推定が可能である。その結果(図6)によると、過去10年間のいずれのスロー地震についても房総半島沖のほぼ同じ場所ですべりを繰り返しているものとみられる<sup>4)5)6)</sup>。

また、房総半島沖スロー地震の再来間隔に着目すると、2011年のイベントまでは約4年2ヶ月、2014年のイベントまでは約2年3ヶ月、2018年のイベントまでは約4年5ヶ月であった。2011年のイベントまでの再来間隔はそれ以前の標準的な再来間隔とくらべて短く、これは直前に発生した東北地方太平洋沖地震およびその余効すべりによる応力増加の影響が考えられる<sup>12)</sup>。2014年のイベントまでの再来期間はさらに短かったが、このイベントの規模は小さく、そのために発生が早まった可能性がある。2018年は、2014年より再来間隔が長く、規模もふくめて東北地方太平洋沖地震以前に近い。これらのことは、東北地方太平洋沖地震から時間が経過することで、房総半島沖スロー地震の活動が、東北地方太平洋沖地震以前の状態に戻りつつあることを示している可能性がある。今後の推移を明らかにするため、引き続き観測を継続する必要がある。

(浅野 陽一・松澤 孝紀・木村 尚紀)

#### 参考文献

- 1) Asano, Y., Obara, K., Ito, Y., 2008. Spatiotemporal distribution of very-low frequency earthquakes in Tokachi-oki near the junction of the Kuril and Japan trenches revealed by using array signal processing. *Earth Planets Space*, 60, 871-875.
- 2) Matsuzawa, T., Y. Asano, and Y. Obara, K., 2015. Very low frequency earthquakes off the Pacific coast of Tohoku, Japan. *Geophys. Res. Lett.*, 42, 4318-4325, doi:10.1002/2015GL063959.
- 3) Asano, Y., K. Obara, T. Matsuzawa, H. Hirose, and Y. Ito, 2015. Possible shallow slow slip events in Hyuga-nada, Nankai subduction zone, inferred from migration of very low frequency earthquakes. *Geophys. Res. Lett.*, 42, doi:10.1002/2014GL062165.
- 4) 防災科学技術研究所, 2012. 房総半島沖スロースリップイベント(2011年10-11月). 地震予知連絡会会報, 87, 185-190.
- 5) 防災科学技術研究所, 2014. 2014年1月房総半島沖スロースリップイベント. 地震予知連絡会会報, 92, 108-116.
- 6) 防災科学技術研究所, 2019. 房総半島沖スロースリップイベント(2018年6月). 地震予知連絡会会報, 101, 168-171.

- 7) Hirose, H., Y. Asano, K. Obara, T. Kimura, T. Matsuzawa, S. Tanaka, and T. Maeda, 2010. Slow earthquakes liked along dip in the Nankai subduction zone. *Science*, 330, 1502.
- 8) Tanaka, S., T. Matsuzawa, and Y. Asano, 2019. Shallow low-frequency tremor in the northern Japan Trench subduction zone. *Geophys. Res. Lett.*, 46, 5217-5224, doi:10.1029/2019GL082817.
- 9) Nishikawa, T., T. Matsuzawa, K. Ohta, N. Uchida, T. Nishimura, and S. Ide, 2019. The slow earthquake spectrum in the Japan Trench illuminated by the S-net seafloor observatories. *Science*, 365, 808-813, doi:10.1126/science.aax5618.
- 10) Suzuki, W., S. Aoi, H. Sekiguchi, and T. Kunugi, 2011. Rupture process of the 2011 Tohoku-Oki mega-thrust earthquake (M9.0) inverted from strong-motion data. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L00G16, doi:10.1029/2011GL049136.
- 11) Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe, M. Ishiguro, 1991. A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion, *Geophys. J. Int.*, 104, 507-516.
- 12) Hirose, H., H. Kimura, B. Enescu, and S. Aoi, 2012. Recurrent slow slip event likely hastened by the 2011 Tohoku earthquake. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 109, 15157-15161.