

4-3 房総半島沖スロースリップイベント (2011年10-11月)

The Slow Slip Event off the Boso Peninsula (October – November, 2011)

防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

2011年10月から11月にかけて、房総半島沖で群発地震の活動があり、スロースリップイベント (SSE) によると見られる傾斜変動が観測された。房総半島沖では5-7年間隔で群発地震を伴うSSEが繰り返し発生することが知られており、前回の2007年8月の活動においては、防災科研の高感度加速度計¹⁾や国土地理院のGEONET²⁾においてSSEによる地殻変動が観測され、SSEに同期して相似地震活動³⁾も検出された。以下に、今回の活動の概要について報告する。

房総半島沖SSEに伴う群発地震は、およそ50km四方の範囲で発生した(第1図)。主な地震の防災科研Hi-netおよびAQUA (Accurate and QUick Analysis System for Source Parameters)⁴⁾による発震機構解は、フィリピン海プレートと日本島弧との相対運動方向⁵⁾に調和的な低角逆断層型が卓越する(第1図)。防災科研による相似地震自動処理システム³⁾により、群発地震の中に相似地震も検出された。

活動の時間変化を見るため、第1図a-bおよびc-d方向に投影した時空間分布、勝浦東観測点(KT2H)における傾斜記録、および相似地震から推定した平均積算すべりを示す(第2図)。傾斜変動には傾斜方向の明瞭な変化が見られたことから、傾斜方向の変化により(A)~(C)の3期間に区分した。これを見ると、期間(A)ではa付近で地震が発生しはじめ、期間(B)に入った10月27日昼頃からb方向へ地震発生域が拡大する様子が見られる。c-d方向で見ると、はじめc-dの中央付近で地震が発生しはじめ、そこから両方向へ活動域が拡大した。期間(B)になってからは、主にd側で地震が発生している。

房総SSEに伴う群発地震の詳細分布を決定した。震源決定はDouble Difference⁶⁾法を用い、波形相関による相対走時差データも用いた。得られた結果を第3図に示す。鉛直断面を見ると、再決定震源はほぼ水平に分布する。発震機構解および相似地震の発生に加えて、ほぼ水平な震源分布より、群発地震はフィリピン海プレート上面で発生したと考えられる。

これらの群発地震に伴う傾斜記録を第4図に示す。地震活動が増加した10月25日頃(期間(A))から、房総半島南東部を中心とする領域でSSEによると思われる傾斜変化が現れ始めた。最も大きな傾斜変化を観測した勝浦東(KT2H)観測点では、最初の2日半に、ほぼ西向きに傾き下がる約0.3 μ radの傾斜変化が見られた。10月27日頃からは地殻変動の傾向が変化し、KT2Hでは北向きとなり、それからの3日間で約1 μ rad傾斜した(期間(B))。10月30日以降は傾斜変化の速度に鈍化が見られ、KT2Hではそれ以降11月5日までに、ほぼ東向きに傾き下がる約0.4 μ radの傾斜変化が観測された(期間(C))。このような傾斜変化の時間推移は前回2007年8月のイベント時1)と同様だが、傾斜変化量を比較すると、特にKT2Hにおいて(A)および(B)に相当する期間で約1.4倍と大きくなっている。

上記のような傾斜地殻変動の時間変動を考慮し、期間(A)、(B)、(C)それぞれについて、この傾斜記録に基づき、矩形断層7)を仮定した断層モデルを推定した。その際、すべり方向はN145E⁵⁾に固定した。その結果を第5図に示す。まず期間(A)では房総半島東方沖を中心とするすべりモデルが推定された。この期間のMwは6.2である。期間(B)ではすべり域の中心が南西に移動した。

この期間の M_w は 6.3 と推定された。さらに期間 (C) では、房総半島南部にすべり域が移動した。地殻変動自体は小さくなり、推定された M_w は 5.9 となった。SSE の規模を全期間で通算すると M_w 6.5 となった。ただし利用できる観測データが限られるため、特に断層の深さの決定精度が悪く、それが M_w の見積もりにも影響していると考えられる。

傾斜記録より推定された断層モデルおよび群発地震活動を比較した。期間 (A) では、房総半島東方沖を中心とするすべりモデル近傍の a 側かつ c-d の中間付近で地震が発生した。それらの地震と重なる位置もしくはやや南が SSE のすべり域と考えられる。期間 (B) に入るとすべり域の中心が南西に移動するに伴い、群発地震の発生域も b, d 側に移動した。期間 (C) では房総半島南部に推定されたすべり域に対応して b, d 付近で地震が発生している。以上のように群発地震の発生域と房総 SSE のすべり域の間には良い対応が見られた。次に、相似地震より求めた平均積算すべりを見ると、主に期間 (A) および (B) にすべりの増加が見られ、期間 (C) でややすべった後、大きなすべりは推定されていない。これより相似地震は房総 SSE の主要部分で発生したと言える。

房総 SSE は 5-7 年間隔で繰り返してきたことから、今回の活動と過去 29 年間の活動を比較した。房総半島沖の地震による M-T 図 (第 6 図) に、房総 SSE の発生時期を赤矢印で示し、房総 SSE の再来間隔をあわせて記した。2007 年房総 SSE まで、房総 SSE は 5-7 年間隔で繰り返してきたが、2011 年はこれまでで最も短い 4 年 2 ヶ月で再来した。この間には、緑矢印で示した時期に東北地方太平洋沖地震が発生しており関連が示唆される。過去 6 回の房総 SSE 毎の震央分布を重ねて示すと第 7 図のようになる。いずれの場合も群発地震は房総半島沖で発生しており、活動域はほぼ重なる。これは、房総 SSE が毎回房総沖のほぼ同じ場所で発生しており、それによって、毎回地震が誘発されるとすると良く説明できる。しかし、よく見ると活動域にはわずかな違いが見られ、房総 SSE のすべり過程が毎回わずかに異なる可能性がある。房総 SSE のすべり過程および発生間隔が変化する要因の調査が必要である。

謝辞： 気象庁のホームページで公開されている気象台等の気象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。

(木村尚紀・廣瀬仁)

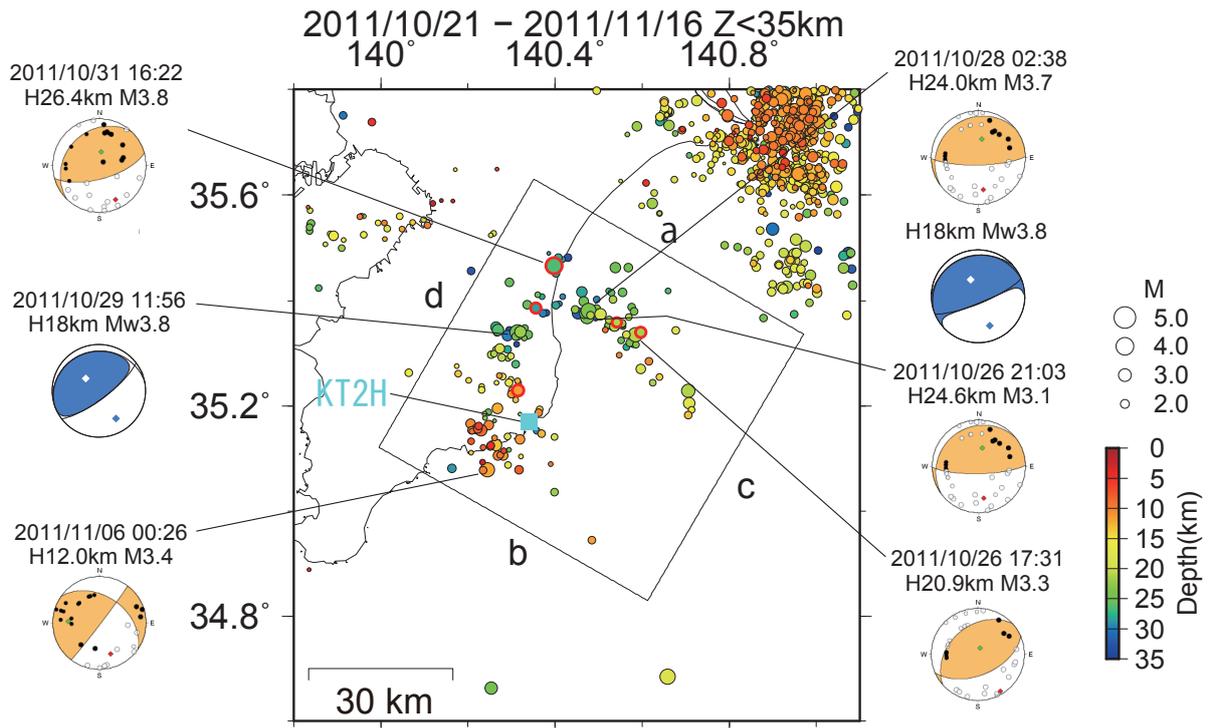
Hisanori Kimura and Hitoshi Hirose

参 考 文 献

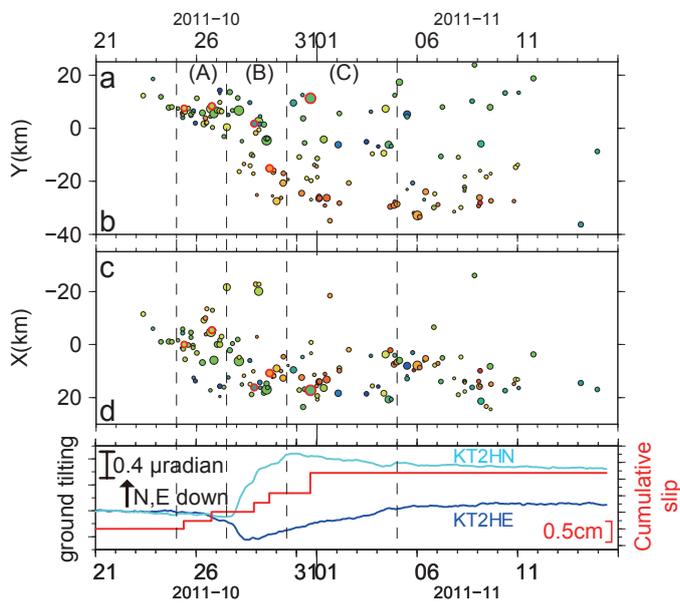
- 1) 防災科学技術研究所, 2007 年 8 月に発生した房総沖スロースリップと群発地震活動, 連絡会報, 79, 123-127, 2008.
- 2) Ozawa, S., H. Suito, and M. Tobita, Occurrence of quasi-periodic slow-slip off the east coast of the Boso peninsula, Central Japan, Earth Planets Space, 59, 1241-1245, 2007.
- 3) 木村尚紀: 関東地方の相似地震, 地震予知連絡会会報, 83, 596-608, 2010.
- 4) 松村 稔・伊藤善宏・木村尚紀・小原一成・関口渉次・堀 貞喜・笠原敬司: 高精度即時震源パラメータ解析システム (AQUA) の開発, 地震 2, 59, 167-184, 2006.
- 5) Seno, T., S. Stein, A. E. Gripp, A Model for the Motion of the Philippine Sea Plate Consistent With NUVEL-1 and Geological Data, J. Geophys. Res., 98 (B10), 17941-17948, 1993.
- 6) Waldhauser, F. and Ellsworth, W. L.: A Double-Difference Earthquake Location Algorithm: Method and

Application to the Northern Hayward Fault, California, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 1353-1368, 2000.

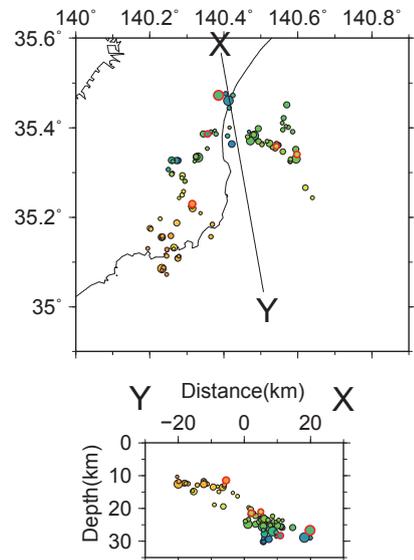
- 7) Okada, Y., Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 82, 1018-1040, 1992.
- 8) Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe, M. Ishiguro, A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion, *Geophys. J. Int.*, 104, 507-516, 1991.



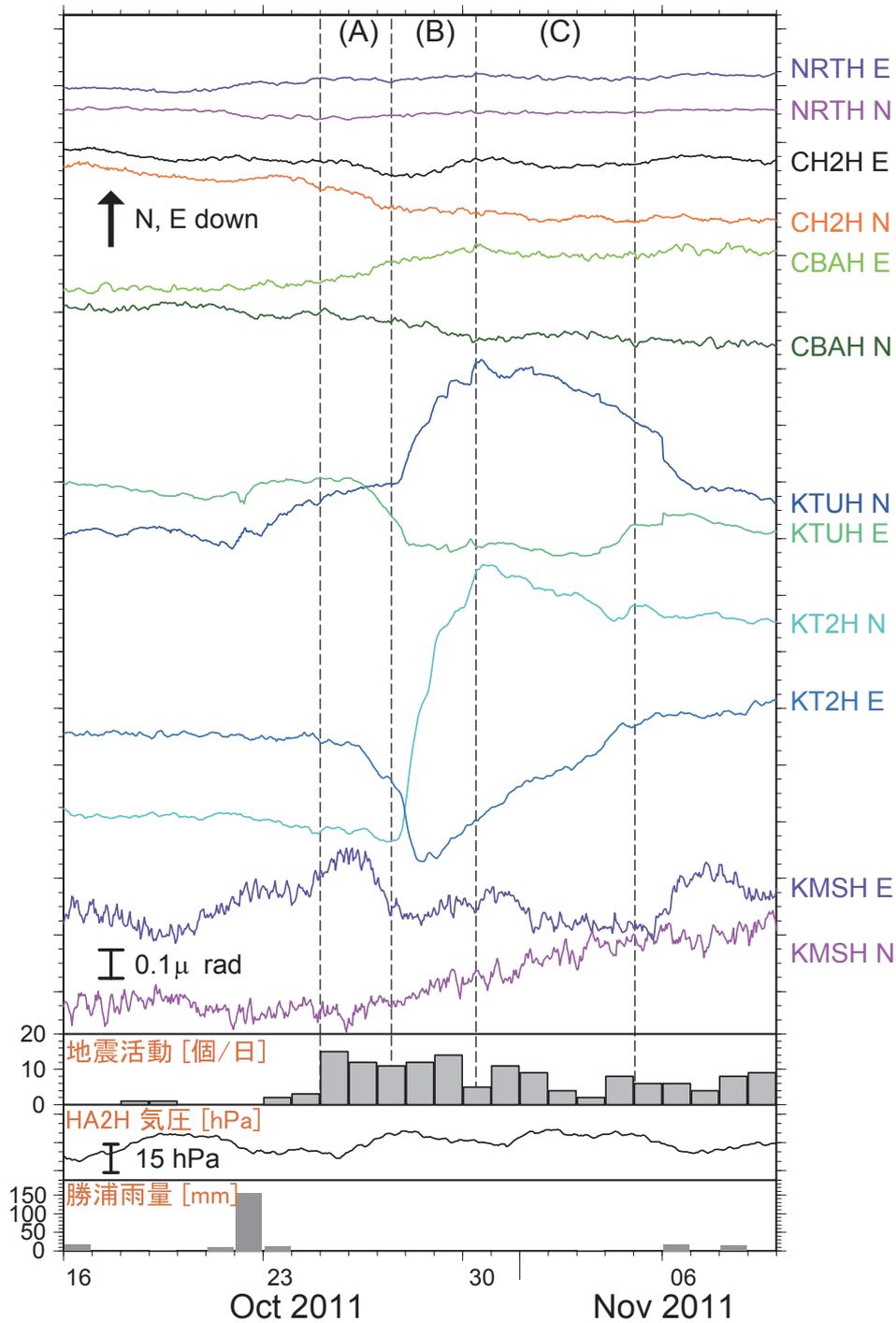
第1図 房総半島沖スロースリップイベント (SSE) に伴う群発地震活動の震央分布. 相似地震を赤縁丸で示す. 主要地震の防災科研 Hi-net および AQUA4) による震源機構解, および勝浦東 (KT2H) 観測点の位置をあわせて示す.
 Fig. 1 The epicentral distribution associated with the Slow Slip Event (SSE) off the Boso Peninsula. Repeating earthquake is shown by a symbol with red lines. Focal mechanisms determined by NIED Hi-net and AQUA4) are shown for major earthquakes. The KT2H station is also shown.



第2図 第1図 'a-b' および 'c-d' に投影した時空間分布. KT2H 観測点における傾斜記録および相似地震から推定した平均積算すべりをあわせて示す.
 Fig. 2 Space time plots projected along lines 'a-b' and 'c-d' in Fig. 1. Time series of tiltmeter records at KT2H and averaged cumulative slip history estimated from repeating earthquakes are also shown.

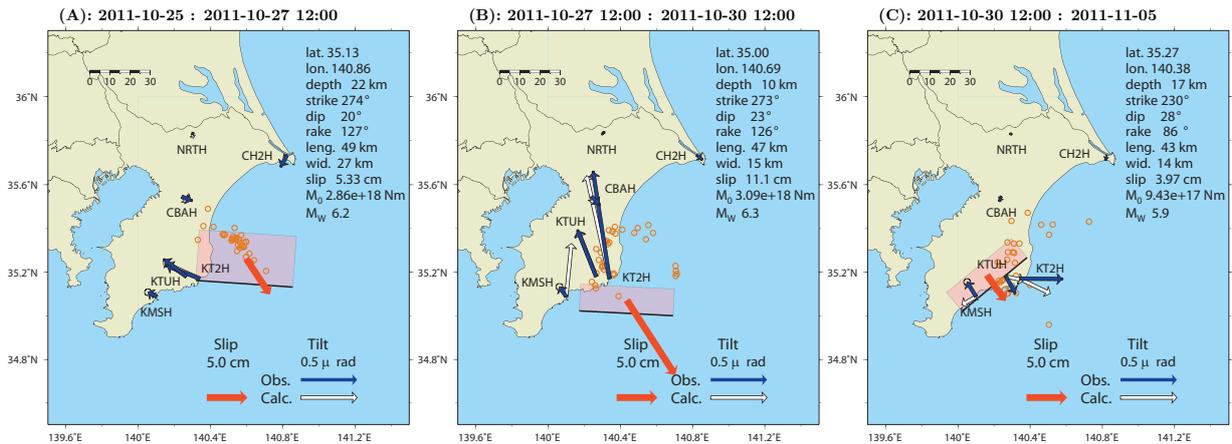


第3図 群発地震の詳細分布. 震央分布および 'X-Y' に沿った鉛直断面 (縦横比は 1:1) を示す. 震源決定は波形相関を用いた DD 法 (6) による (一部自動読み取り結果を含む).
 Fig. 3 Detailed distribution of earthquake swarms. The epicentral distribution and the cross section along a line 'X-Y' are shown. Vertical and horizontal scales in the cross section are the same. Hypocenters were determined by Double Difference method (6) by incorporating waveform correlation (automatically picked data are partially included).

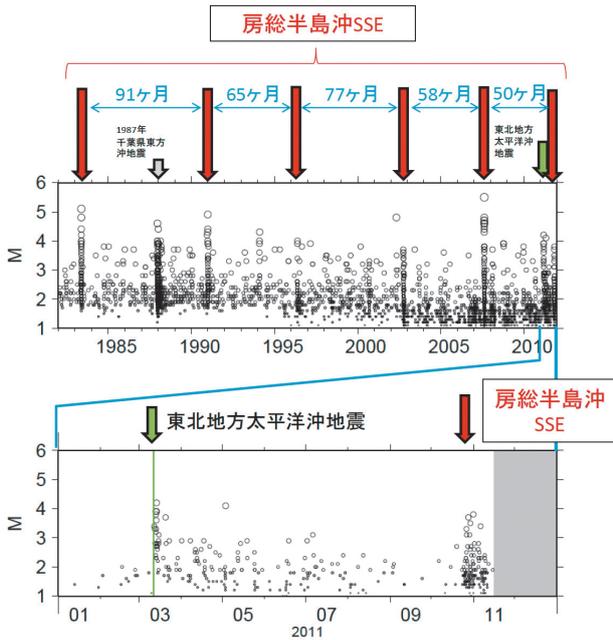


第4図 2011年10月13日から11月9日までの傾斜時系列。観測点の位置は第5図の中に示した。上方向への変化が北・東下がりの傾斜変動を表す。BAYTAP-G 8)により潮汐・気圧成分を除去した。Hi-net HA2H (茨城県神栖市)の気圧観測値を使用した。リニアトレンド除去後の記録を示した。この期間の勝浦付近における地震活動度, HA2Hの気圧, 勝浦での雨量をあわせて表示した。

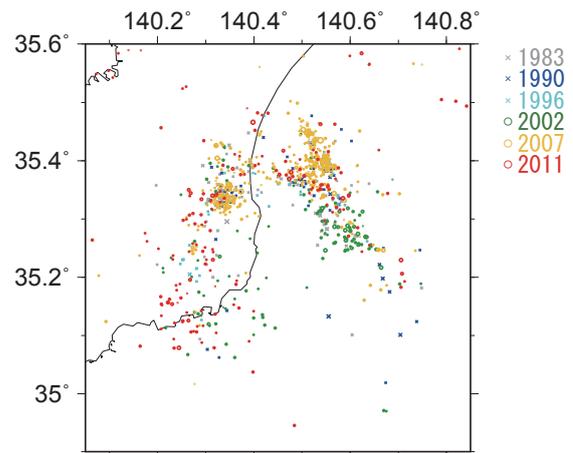
Fig. 4 Time series of tiltmeter records, daily numbers of earthquakes, atmospheric pressure change and daily precipitation around the Boso peninsula from October 13 to November 9, 2011. 'N' and 'E' that follow a four-character station code denote the northward and eastward ground down tilt components, respectively. The displayed tilt records are detided and their atmospheric pressure responses are corrected with BAYTAP-G 8). The atmospheric pressure is observed at the Hi-net station HA2H (in Kamisu-city, Ibaraki prefecture).



第5図 期間(A),(B),(C)でそれぞれ観測された傾斜変化ベクトル(青矢印)・このデータから推定されたSSEの断層モデル(赤矩形・矢印)・モデルから計算される傾斜変化ベクトル(白抜き矢印)。期間中発生した地震の震央分布を橙色の円で示した。
 Fig. 5 Observed tilt change vectors (blue arrows), the estimated fault slip (red arrow) and rectangular fault location and geometry (pink rectangle) based on the tilt change vectors, and the calculated tilt changes due to the fault model (open arrows) for each time window. Orange circles show epicenters of the earthquake swarm occurred in each time period.



第6図 過去29年間の房総沖のM-T図。房総半島沖SSEに伴う群発地震活動を赤矢印で、2011年東北地方太平洋沖地震を緑矢印で示す。房総半島沖SSEの繰り返し間隔をあわせて示す。
 Fig. 6 M-T diagram of earthquakes off the Boso Peninsula for the last 29 years. Red and green arrows denote earthquake swarms associated with the Boso SSE and the 2011 Off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, respectively. Recurrence time (month) of the Boso SSE is also shown at the top of the figure.



第7図 房総半島沖SSE毎の震央分布の比較。
 Fig. 7 Comparison of earthquake swarms associated with each Boso SSE.