4－3　2009年12月24日 房総半島東岸の地震
The earthquakes below the eastern coast of the Boso Peninsula in December 24, 2009

防災科学技術研究所
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

2009年12月24日房総半島東岸のほぼ同じ場所でM4クラスの地震が続けて2イベント発生し最大震度3の揺れが観測された．ここは房総スロースリップイベント（SSE）が平均6年間隔で繰り返し発生する場所であるため[1) -3)]地震活動および傾斜変動を詳しく調べた．

今回の地震および周辺の震央分布を第1図に示す．星印は相似地震を示す．12月24日6時1分にM3.6の地震が発生し，ついで約1時間後の7時22分にM3.8の地震が発生した．発震機構解は防災科学技術研究所Hi-net・F-netともフィリピン海プレートの運動方向に圧縮軸を有する低角逆断層型だった．今回の地震について木村（2010）[1)]に従い相似地震解析を行ったところ，どちらの地震も相似地震だった．第2図に，今回の地震が含まれるグループのすべり履歴を第1図の範囲の平均積算すべりとともに示す．いずれの地震も，それぞれのグループで見ると過去30年間で今回が2回目であり，今回初めて相似地震と判定された．周辺では相似地震は定常的に発生しており（第2図，赤線），今回の地震は規模が大きいため再来間隔が長く，今回初めて同定されたと考えられる．第1図の範囲で深さ30km以浅のM-Tを第3図に示す．今回の地震に先立って，今回の地震の南で12月17日にもM3.3の地震が発生している．この地震の発震機構解も低角逆断層型だった（第1図）．深さは今回の地震とほぼ同じである．

詳細な震源分布を見るため，この領域は厚い堆積層に覆われることから近傍の掘削長800m以上のボアホール観測点を用い均質観測点法によって震源を再決定した．震源決定にはHirata and Matsu'ura(1987)[4)]によるHypomhを用いた．再決定結果の震央分布および南北断面を第4図に示す．

次に構造探査の結果と比較した．この領域のすぐ東側の浅海域で深部反射法構造探査が行われフィリピン海プレートの詳細な構造が明らかにされている（木村，2005）[5)]．これによると，フィリピン海プレートの最上部にシート状の低速度層がイメージングされ，周辺の構造との比較から火山性砕屑物・火山岩層（以後VCR層とする）と解釈されている[5)]．震源分布と比較すると，およそ35.3°より北では相似地震はVCR層の下面に沿って分布し，これより南ではVCR層の上面に沿って分布する．さらに南にはVCR層の上面に沿う震源の並びが見える．12月17日および24日の地震はVCR層の上面に沿って分布した．

最後に傾斜変動を調べた．今回の活動域直上のKT2H（勝浦東）観測点の記録を見ると，12月16日頃から北下がりの傾斜変化が見られる（第5図）．変化量は約2.4 μ radianである．この変動がフィリピン海プレートの境界でのSSEによるとして，試行錯誤的に断層モデルを求めた．ここで，深さ・傾斜角は構造探査の結果を用い，走向はF-netモーメントテンソル解を元にし，サイズは固定した．得られた結果は観測された傾斜変動をほぼ再現でき，地震発生域と隣接する（第6図）．なお，近傍のCBAH（千葉）観測点では明瞭な変動は捉えられなかった．2007年房総SSEの際は，KT2Hで0.7 μ radian，CBAHで0.3 μ radianの変動が捉えられた（第7図）[6)]．これらのことから今回はSSEが発生していたとしても規模が小さくKT2Hのごく近傍でのみすべりが発生したと考えられる．得られた断層モデルのサイズ・規模を見ても，2007年房総SSEは24 × 61 km，Mw6.6だったのに

対し，今回は 10 km 四方で Mw5.5 と小さい（第 6，8 図）.

以上から，1 つの可能性として以下のようなモデルが考えられる．今回の地震発生域の南から SSE のすべりが起き始め，12 月 17 日の地震が誘発されるとともに，北にすべり域が拡大した．すべり量が増大するとともに 12 月 24 日の地震が誘発され近傍でも地震が発生した.

謝辞

気象庁の WEB ページで公開されている気象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・武田哲也）

Hisanori Kimura and Tetsuya Takeda

参　考　文　献

1) 木村尚紀 (2010) 関東地方の相似地震，地震予知連絡会会報，83，596-608.

2) Hirose, H., S. Sekine, H. Kimura, K. Obara（2008）Source Process of the 2007 Boso Slow Slip Event With an Earthquake Swarm From Tiltmeter Data, Eos Trans. AGU 89（53）, U32A-02.

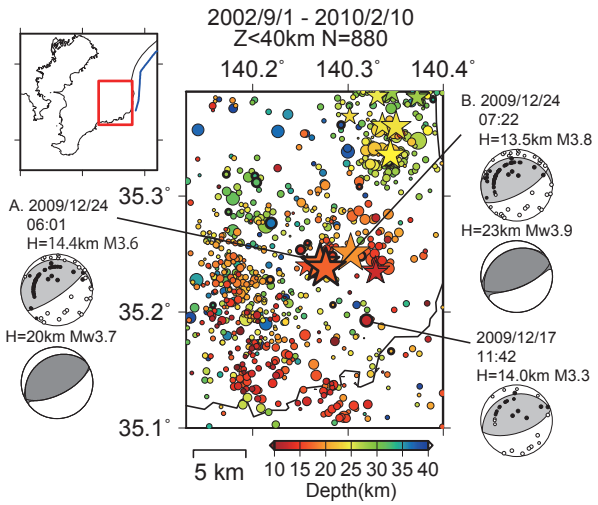
3) Ozawa, S., H. Suito, and M. Tobita（2007）Occurrence of quasi-periodic slow-slip off the east coast of the Boso peninsula, Central Japan, Earth Planets Space, 59, 1241–1245.

4) Hirata, N. and M. Matsu'ura（1987）Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, Phys. Earth Planet. Inter., 47, 50 - 61.

5) 木村尚紀 (2005) 関東地方南東沖におけるプレート構造と繰り返し地震，東京大学博士論文 , pp. 147.

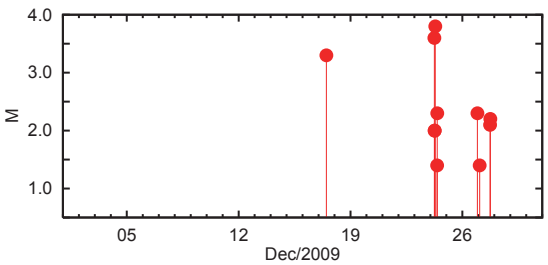
6) Sekine, S., H. Hirose, H. Kimura, and K. Obara（2007）The 2007 Boso Slow Slip Event and the associated earthquake swarm, Eos Trans. AGU, 88（52）, T21A-0363.

7) 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.



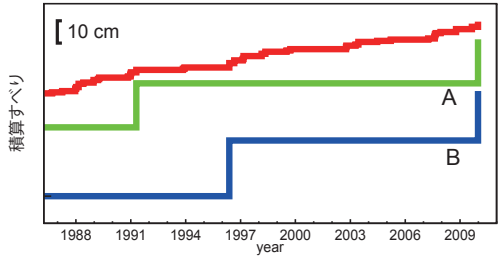
第 1 図　房総半島東岸の震央分布．左上図に対象領域を赤枠で示す．シンボルのカラースケールは震源深さを，星印は相似地震を示す．2009 年 12 月 1 日以降の地震を黒太枠で示す．主な地震の Hi-net および F-net による発震機構解を深さとあわせて示す．Hi-net 震源の深さは再決定結果による．

Fig. 1　Epicentral distribution below the eastern coast of the Boso Peninsula. The target region is shown in the upper left panel with red lines. Colors of symbols denote hypocentral depths and stars denote repeating earthquakes. Earthquakes after December 1, 2009 are shown with thick black lines. Focal mechanisms determined by NIED Hi-net and F-net are shown with hypocentral depths for major earthquakes. Hypocentral depths from relocated earthquakes are shown for Hi-net.



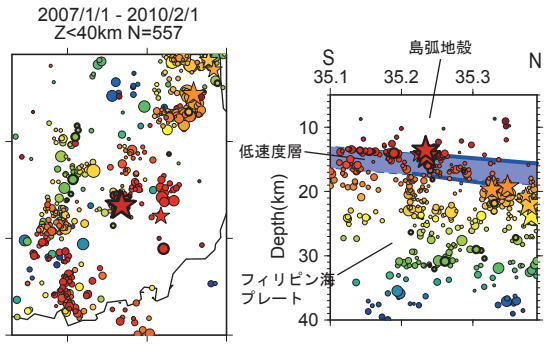
第 3 図　第 1 図，30km 以浅の地震の M-T 図．

Fig. 3　M-T diagram for earthquakes shallower than 30 km in Fig. 1.



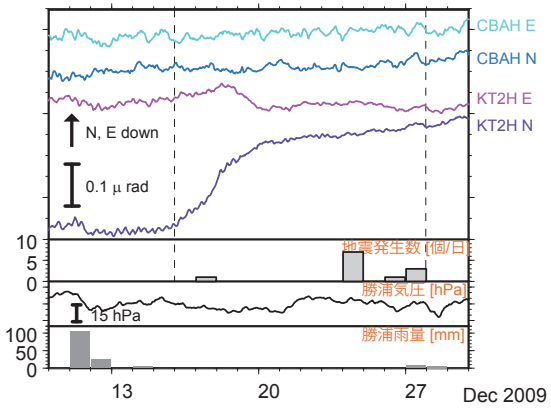
第 2 図　2009 年 12 月 24 日の相似地震のグループのすべり履歴 (緑，青) および第 1 図の範囲内の相似地震から推定した平均積算滑り (赤)．

Fig. 2　Cumulative slip histories for groups in which earthquakes in December 24, 2009 are included (green and blue lines) and averaged cumulative slip history for repeating earthquakes shown in Fig. 1 (red line) are shown.



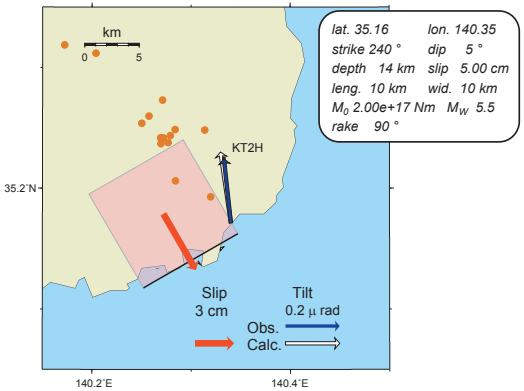
第 4 図　震源再決定結果による震央分布および南北断面 (縦横比は 1:1)．図の見方は第 1 図と同じ．房総半島東岸沖の深部反射法構造探査によりイメージングされた低速度層をあわせて示す (青領域)．測線は第 1 図左上図に青線で示す．

Fig. 4　Epicentral distribution and N-S cross section of relocated earthquakes (V:H=1:1). Plotting method is the same as Fig. 1. A low velocity layer revealed by deep seismic reflection survey off the eastern coast of the Boso Peninsula is shown (blue region). The survey line is shown by a blue line in the upper left panel of Fig. 1.



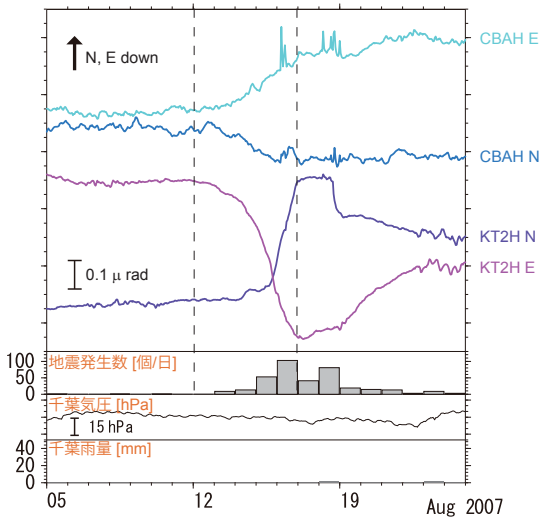
第５図　2009 年 12 月 1 日から 2010 年 1 月 9 日までの傾斜時系列．上方向への変化が北・東下がりの傾斜変動を表す．BAYTAP-G[7] により潮汐・気圧成分を除去した．同地域での地震発生数・気圧変化および雨量をあわせて表示した．観測点の配置は図 6 および 8 を参照．

Fig. 5　Time series of tiltmeter records, frequency of earthquakes per day, atmospheric pressure and precipitation at Katsuura from December 1, 2009 to January 9, 2010. ‘N’ and ‘E’ following a station code with four characters denote the northward and eastward ground down components, respectively. Tidal components and atmospheric pressure response estimated by BAYTAP-G[7] were removed. Station locations are shown in Figs 6 and 8.



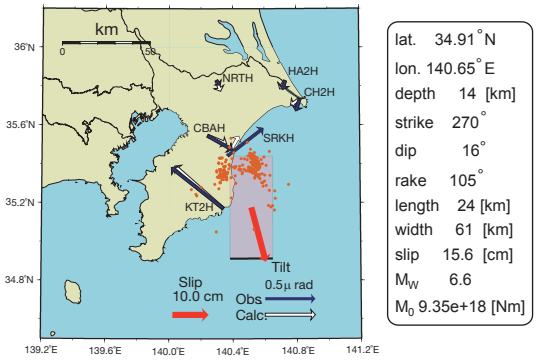
第６図　第５図の破線で示した期間に KT2H(勝浦東) 観測点で観測された傾斜変化ベクトル (青矢印)・このデータから推定された SSE の断層モデル (赤矩形･矢印)･モデルから計算される傾斜変化ベクトル (白抜き矢印) を示す．同じ期間の震央分布を橙色の丸印で示す．

Fig. 6　Observed tilt change vectors for a period shown by dashed lines in Fig. 5 (blue arrow), the estimated fault slip (a red arrow) and rectangular fault location and geometry (a pink rectangle) based on the tilt change vectors, and the calculated tilt changes due to the fault model (open arrow) are shown. Orange dots show epicenters occurred in the same period.



第７図　2007 年房総 SSE の際の傾斜時系列．2007 年 8 月 5 日から 8 月 24 日までの記録を示した．図の見方は第５図と同じ．

Fig. 7　Time series of tiltmeter records from August 5 to 24, 2007 due to the Boso SSE in 2007. Plotting method is the same as Fig. 5.



第８図　2007 年房総 SSE の断層モデルおよび傾斜変化ベクトル (Sekine et al., 2007)[6]．図の見方は第６図と同じ．

Fig. 8　Tilt change vectors and rectangular fault location and geometry for the Boso SSE in 2007 (Sekine et al., 2007)[6]. Plotting method is the same as Fig. 6.