

12 - 22 GPSによる短期的スロースリップイベント (SSE) 検出の可能性 Possibility to detect a short-term slip event (SSE) by GPS

国土地理院

Geospatial Information Authority of Japan

1. GEONET 及び GPS 大学連合観測点を用いたプレート境界面上でのすべりの検知能力

現在の GPS 観測点でどの程度小さなすべりまで検出可能であるのかを調べるために、プレート境界面上でのすべりを仮定して、東海地方における検知能力の空間分布を計算した¹⁾。第1図に示す GEONET 観測点と GPS 大学連合の観測点を加えた場合の2通りの観測点配置において、3点以上の観測点で3mm以上の水平地殻変動をひきおこすプレート境界面上すべりの最小値を計算した(第2図)。2通りの観測点配置における検知能力の差(第3図)は小さい。

2. GPS 大学連合による SSE 観測例

第4図に示す通り、静岡大学里村教授のグループ^{2,3)}では、GPS 大学連合の GPS 連続観測点と GEONET 観測点の基線解析を行い、得られた座標時系列に空間フィルターを適用してノイズを軽減して、2004年1年間の短期的 SSE に関連すると思われる変動を検出している。

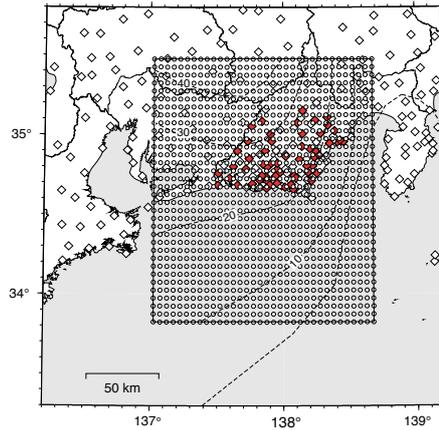
3. 国土地理院における短期的 SSE 検出の試み

第182回地震予知連絡会重点検討課題「プレート境界深部すべりにかかる諸現象」で報告したとおり、水平成分でもばらつきが幅2-3mm程度あることから、SSEが発生した時期に数日間で1mm程度の変動がステップとして存在するかどうかを目視で確認することは困難である⁴⁾。しかし空間フィルター⁵⁾によりノイズ軽減を行った GPS 観測点時系列(第5図)を短期的 SSE や深部低周波微動の発生時系列と見比べると、短期的 SSE の発生時期に対応する変化も見られる。傾斜計に基づく短期的 SSE の断層モデル^{6,7)}から期待される地表での地殻変動(第6図)は、最大3mm程度になることが期待されるため、GEONETでも条件さえよければ、変動が検出できると考えられる。そこで、第7図に示した地域の GEONET F3 解析による座標時系列(水平成分のみ)に空間フィルターを適用し、180日間の時間窓を1日ずつずらしながら、直線近似した場合と時間窓の中央でステップを仮定して直線近似した場合で AIC を計算した。ステップを仮定した方が有意に AIC が小さくなる場合は、第8図(a)-(c)のグラフがマイナス側に振れることになる。東海地域(第8図(b))と伊勢志摩地域(第8図(c))の観測点に領域分けし、AICの差がマイナス側に振れた8つの時期について、ステップ量から計算される水平ベクトル図を表示した。8つのうち、1つは駿河湾の地震に伴う地殻変動(図9(h))が検出されたが、6つの時期(図9(b),(c),(d),(e),(f),(g))に関しては、短期的 SSE に特徴的に見られるような変位パターンが認められる。これらの時期は、防災科学技術研究所による短期的 SSE の検出時期とほぼ一致している。また、これ以外の時期においても、微動の活発化に対応して特徴的なパターンが認められる場合はあり、GEONETでも規模の大きな短期的 SSE の検出は可能であると言える。

参 考 文 献

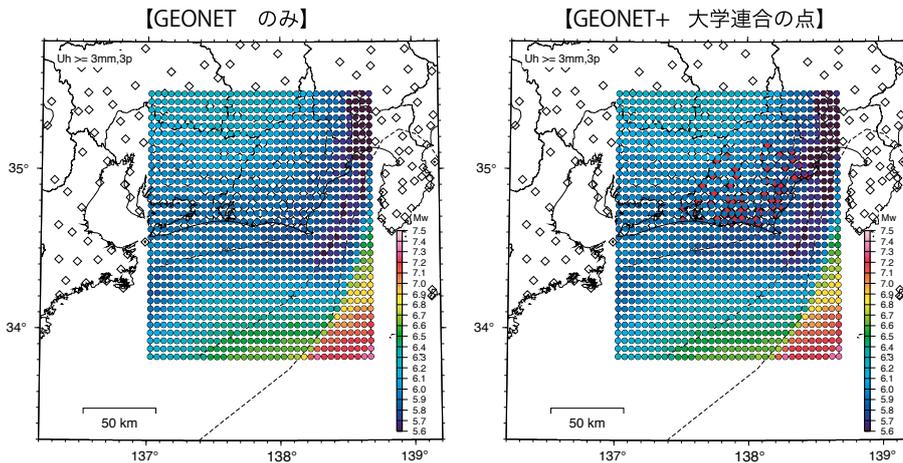
- 1) 国土地理院 (2010), GPS 連続観測に基づくプレート境界面上のすべりの検知能力, 地震予知連絡会会報, 84, 565-576.
- 2) 濱 啓恵・里村幹夫・島田誠一・加藤照之・佐柳敬造 (2008), GPS 観測から求めた東海地域の短期的スロースリップ発生時の地殻変動, 2008 年地球惑星科学連合大会
- 3) 杉田知大・里村幹夫・生田領野・請井和之・島田誠一・加藤照之・原田 靖 (2009), GPS 観測から求めた東海地域の短期的スロースリップ発生時の地殻変動 (続報), 2009 年地球惑星科学連合大会
- 4) 国土地理院 (2009), GEONET で見る短期的 SSE, 地震予知連絡会会報, 82, 510-521.
- 5) Tabei T. and W. L. Amin (2002), Common-mode Errors in the GPS Coordinates Time Series - Application of Spatial Filtering Technique -. *J. Geod. Soc. Jpn.*, 48, 229-241.
- 6) 防災科学技術研究所 (2007), 西南日本の短期的スロースリップ活動 (2007 年 2 月～2007 年 4 月), 地震予知連絡会会報, 78, 495-499.
- 7) 防災科学技術研究所 (2009), 西南日本における短期的スロースリップイベント (2008 年 11 月～2009 年 4 月), 地震予知連絡会会報, 82, 392-397.

東海地方周辺のプレート境界面上でのすべりの検知能力

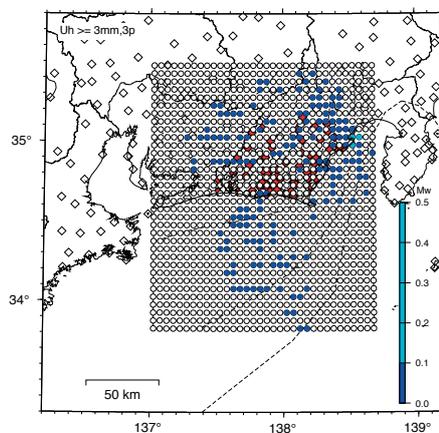


第1図. 想定したすべり位置 (白丸). 使用した GEONET 観測点は 179 点 (白菱形), GPS 大学連合の GPS 観測点 58 点 (赤菱形). 想定したすべりの断層パラメータに関しては,
 ・断層の位置 (緯度, 経度, 深さ): 気象庁の東海地域のプレート形状モデル (野口, 1996; 原田・他, 1998) を使用し, 0.05° 間隔 (34×34 グリッド).
 ・断層の向き (走向, 傾斜, すべり角): 気象庁の東海地域のプレート形状モデルを使用.
 ・断層の大きさ (長さ, 幅, すべり量): Mw を仮定して地震のスケーリング則から計算.

Fig. 1 Location of assumed slip points (white circles) and used GPS stations. White and red rhombuses denote the stations of GEONET and JUNCO (Japanese University Consortium for GPS Research), respectively.



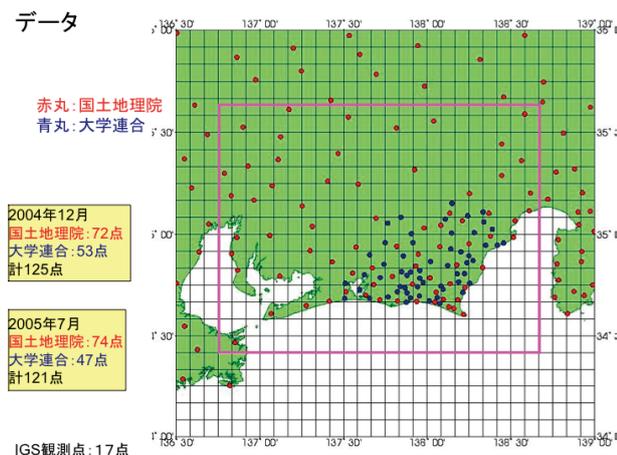
第2図. 少なくとも3点以上の観測点で3 mm 以上の水平地殻変動が想定されるすべりの候補点での最小のすべりの大きさ(Mw) の空間分布.
 Fig. 2 Distribution of minimum slip causing ≥ 3 mm of displacement at 3 GPS stations in Mw.



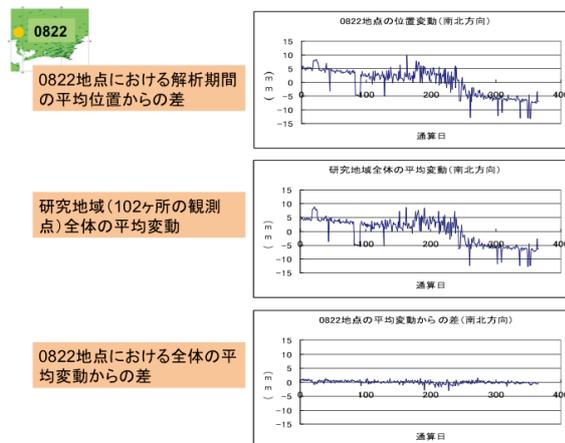
第3図. 大学連合の観測点を加えた場合 (右上図) と GEONET のみの場合 (左上図) との最小のすべりの大きさ (Mw) の差.
 Fig. 3 Difference of minimum slip with and without the JUNCO stations in Mw.

GPS 大学連合による短期的 SSE の検出例

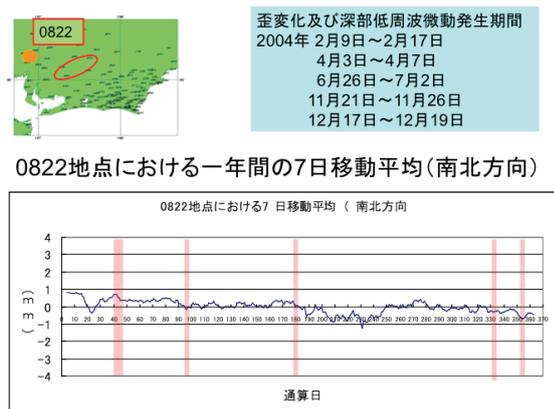
a) 国土地理院と大学連合の観測点配置



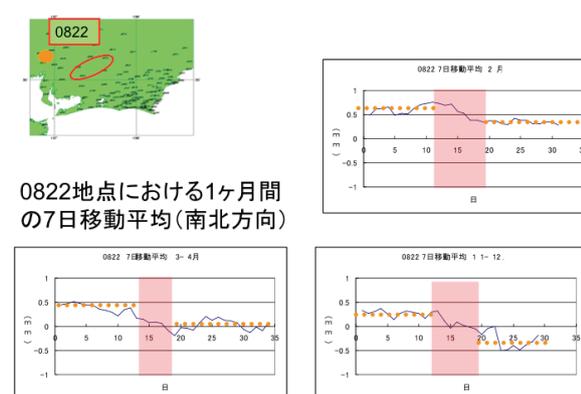
b) ノイズ軽減手法 (空間フィルター) の適用



c) 時系列に移動平均を適用



d) 歪み変化および微動発生期間の時系列



e) 12月のイベントの水平変位ベクトル



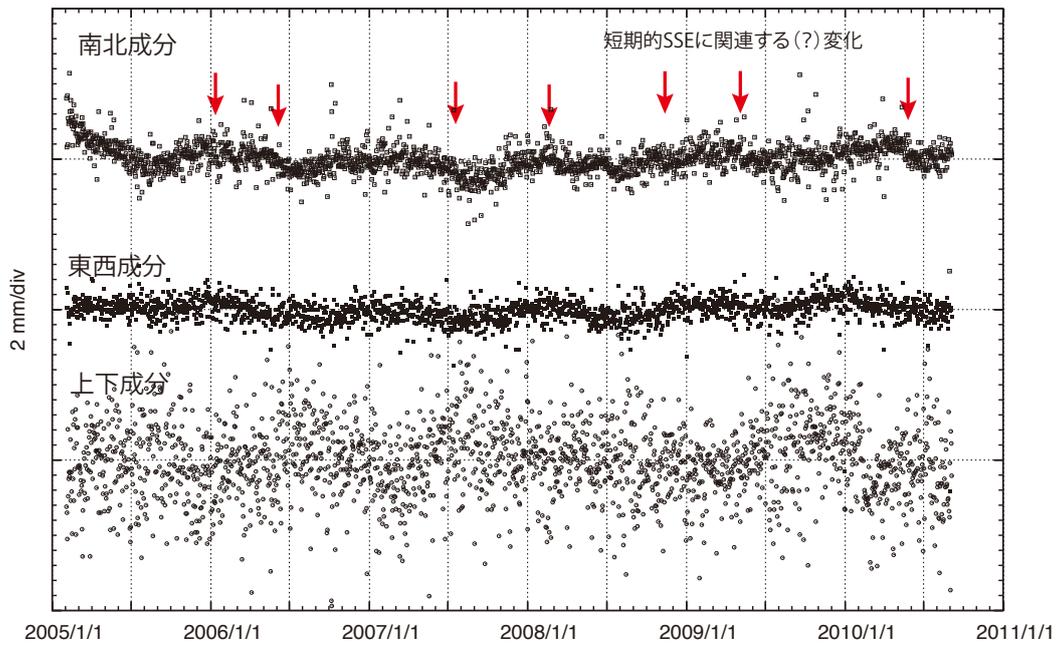
f) まとめ

まとめ

- 東海地域において、深部低周波微動が集中して発生した5回のイベントを含む、2004年1月~12月の期間のGPSデータ解析を行った
- 濱ほか(2008連合大会)で議論されていなかった深部低周波微動発生期間についても、GPS観測網により短期的スロースリップによるものと思われる地殻変動を抽出できた
- 2004年2月に発生したと思われる短期的スロースリップについて、深部低周波微動発生域よりもやや西側に推定断層をとるとGPSの結果とよく一致した
- スロースリップが検出されていない期間についても同用の変動がみられる

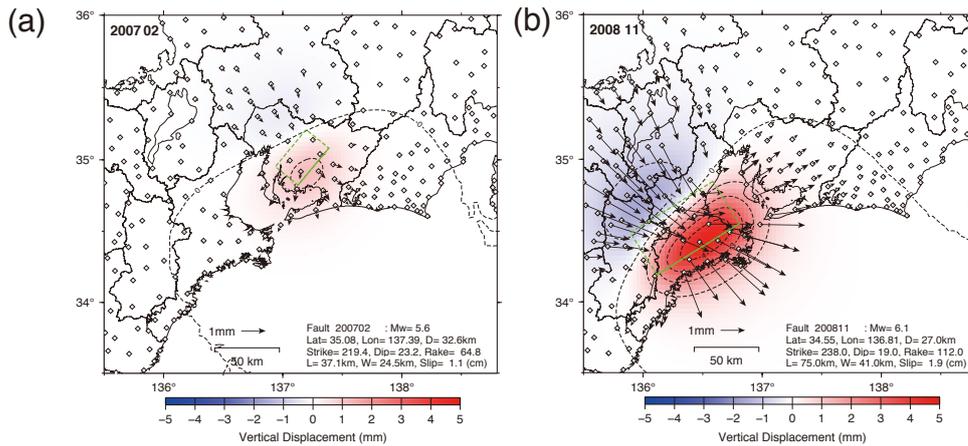
第4図 GPS 大学連合 (杉田・他, 2009) による短期的 SSE の検出手法と結果

Fig. 4 Method and result to detect a short-term SSE by the Japanese University Consortium for GPS Research (Sugita et al., 2009).



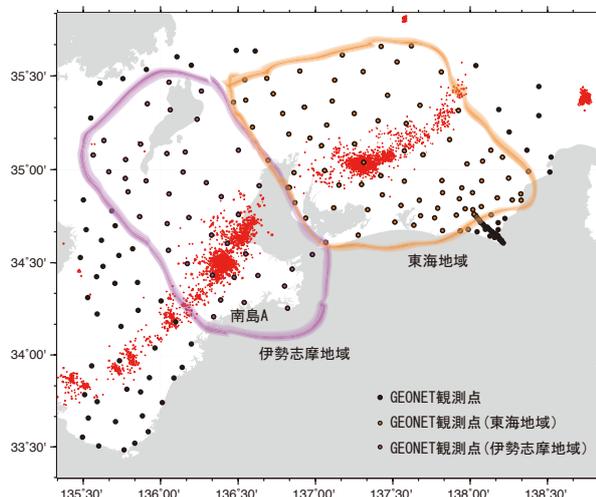
第 5 図 GEONET南島A(041139)観測点における2005年以降の座標時系列3成分. 空間フィルタ及び1次トレンドの除去を行っている. 志摩半島周辺での微動が活発な時期に, 南北成分で変化が見られる.

Fig. 5 GPS Time-series at Minamishima A (GEONET #041139) station after 2005. A linear trend and a common noise are removed by the spatial filtering. Transient changes can be recognized with the occurrence of deep tremors in the Shima Peninsula.



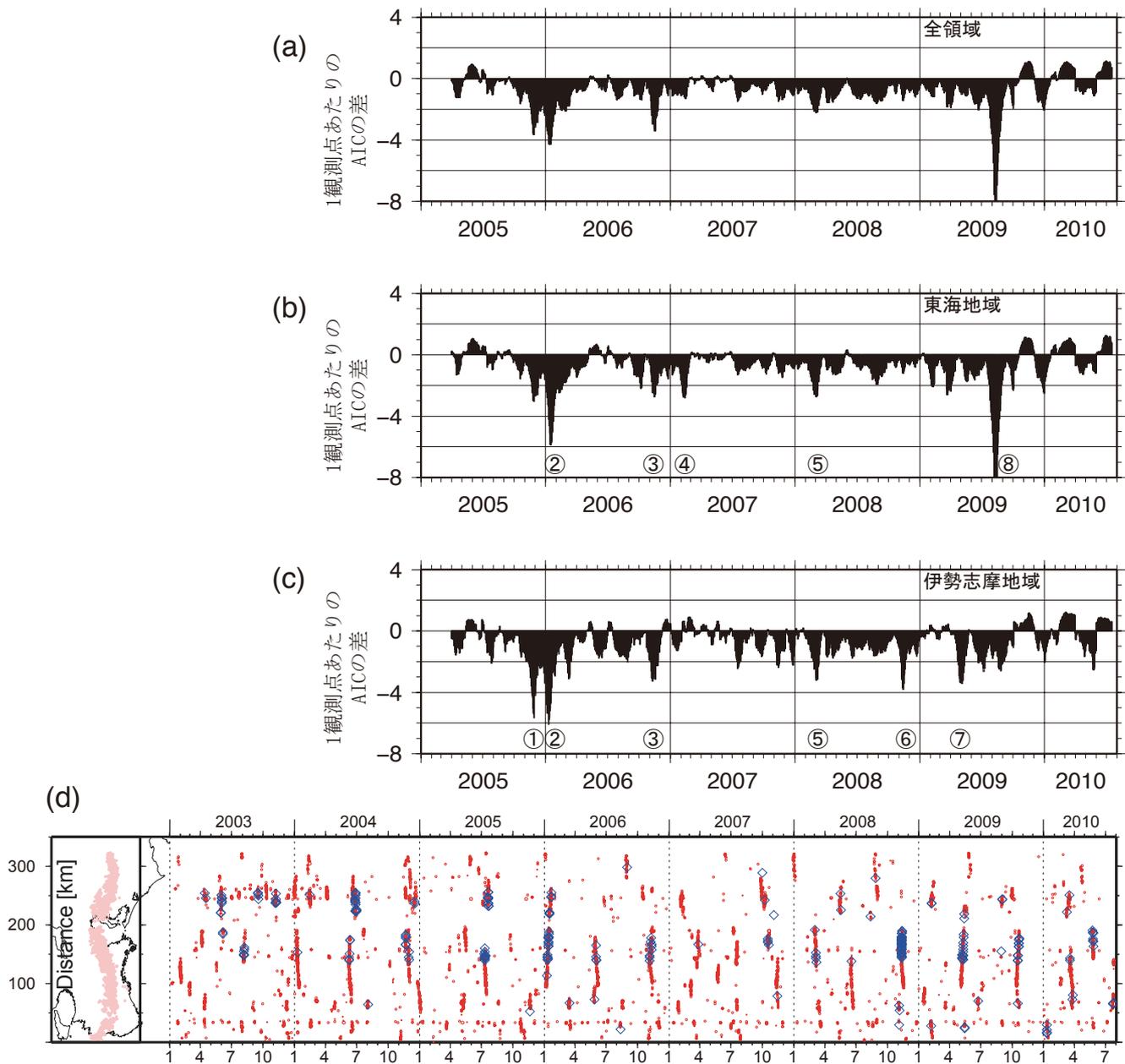
第 6 図 短期的SSEの断層モデル^{6,7)}から計算したGEONET観測点で期待される地殻変動. (a)2007年2月4-10日の愛知県での活動での計算値. (b)2008年11月10-14日の紀伊半島北部の活動での計算値.

Fig. 6 Displacement calculated with the fault models of short-term SSEs. (a) Activity from February 4 to 10, 2007. (b) Activity from November 10 to 14, 2008.



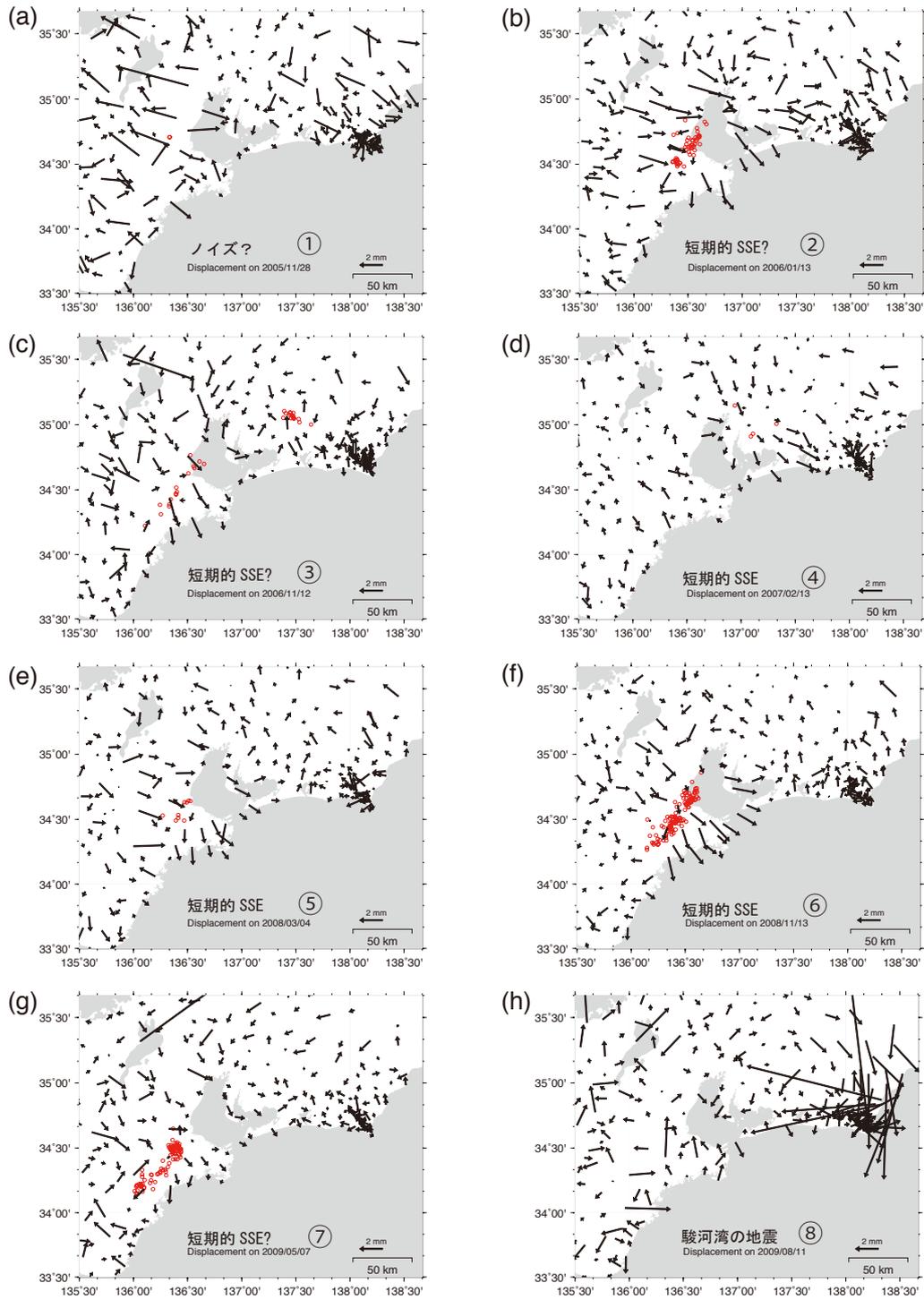
第 7 図 解析に用いたGEONET観測点と深部低周波地震の分布. 東海地域と伊勢志摩地域は, 第 8 図 (b) と (c) に示した観測点の領域を表す. 深部低周波地震は, 2005年1月から2010年5月までの気象庁一元化震源を表示した.

Fig. 7 Distribution of the used GEONET stations and low-frequency earthquakes. Tokai and Ise-shima regions are areas for stations shown in Fig. 8(b) and 8(c), respectively. The plotted hypocenters of the low-frequency earthquakes are determined by the Japan Meteorological Agency.



第 8 図 GEONETの時系列から得られた変動ステップと東海・紀伊半島の深部低周波微動との対応. (a)水平成分の座標時系列を直線近似した場合とステップ付直線近似した場合のAICの差. 180日間のタイムウィンドウを1日毎ずらし, 期間の中央に1観測点あたりのAICの差を表示した. 第7図の全観測点の場合. (b)東海地域の観測点のみの場合. 丸数字は第9図のベクトル図の日時に対応している. (c)伊勢志摩地域の観測点のみの場合. (d)2003年1月~2010年7月までの深部低周波微動(赤)及び, 深部超低周波地震(青菱形)の時空間分布(防災科学技術研究所第187回地震予知連絡会資料).

Fig. 8 Coincidence of steps in GEONET time-series and low-frequency tremors in the Tokai and Kii Peninsula regions. (a) Differences of AIC by linear fittings of timeseries with and without a step. Length of time-window is 180 days. Case of all stations in Fig. 7. (b) Case of stations in the Tokai region. (c) Case of stations in the Ise-shima region. (d) Deep low-frequency tremors (red dots) and deep very low-frequency earthquakes (blue rhombuses) (published by NIED in the CCEP 187th meeting).



第9図 ステップ付直線近似によるステップ量から計算した水平変位ベクトル。東海地域、伊勢志摩地域でAICの差が顕著にマイナスになる日付を選んだ。①-⑧は第8図(b)及び(c)の丸数字に対応する。赤丸は、前後を含む3日間に発生した低周波地震の震央(気象庁一元化震源)を示す。(a)2005/11/28。(b)2006/01/13。(c)2006/11/12。(d)2007/02/13。(e)2008/03/04。(f)2008/11/13。(g)2009/5/7。(h)2009/8/11。

Fig. 9 Horizontal displacement based on steps calculated by a linear fitting with a step of GPS time-series. Numbers in a circle correspond to the dates in Figs. 8(b) and 8(c). Red circles denote epicenters of low-frequency earthquakes occurred for 3 days in the JMA catalogue. (a)Nov. 28, 2005. (b)Jan. 13, 2006. (c)Nov. 12, 2006. (d)Feb. 13, 2007. (e)Mar. 4, 2008. (f)Nov. 13, 2008. (g)May 7, 2009. (h)Aug. 11, 2009.