

ひずみ計データのスタッキングによる SSE(プレート境界すべり)モニタリング

宮岡一樹 (気象研究所)

1. はじめに

気象庁では東海地域に体積ひずみ計 16 点, 多成分ひずみ計 11 点(静岡県が設置した 2 点を含む)からなるひずみ計観測網を展開しており, これらのデータを用いて南海トラフ地震の 24 時間監視を行っている. 各観測点で観測されたデータは気象庁に伝送された後, 各種の補正(気圧補正, 潮汐補正, 降水補正, 地磁気補正等)を施されている. さらにこれらの複数のデータをスタックすることで SN 比を向上させ, より小さなプレート境界すべりを捕捉する試み(宮岡・横田, 2012)がおこなわれている. 本稿ではこのスタッキングの手法の概要と解析事例を紹介する. なお, 解析には産業技術総合研究所のひずみ計データを併せて使用させていただいた.

2. 手法の概要

スタッキングの手法とは, 複数のデータを重ね合わせることによって SN 比を向上させ, 微小なシグナルを検出しようとするもので, 工学など数多くの分野で適用されている方法である. 地震学の分野ではアレイ観測でこの方法が用いられている. アレイ観測におけるビームフォーミング法では地震波の到来方向を仮定し, 観測点毎の波の到着時刻差をもとに波形の重ね合わせを行う. 実際の地震波の到来方向とその仮定が一致した場合に微弱なシグナルが強調され, 地震波が検出されると同時にその到来方向を知ることが可能となる. ここで紹介する手法は, プレート境界に設定した各グリッドの小断層がすべった場合を仮定し, 理論上, 負の方向(例えば縮みのひずみ)に変化する成分のデータを反転させて全てのデータの変化の極性を正の方向に揃えて重ね合わせをおこなうものである. ビームフォーミング法と同様のことを地殻変動データに適用したものといえる. 本手法をここでは Geodetic Data Stacking method (GDS 法, Miyaoka et al, 2017)と仮称する.

合成データ(スタッキングデータ)は以下の式で表される.

$$A_j(t) = \sum_{i=1}^m Y_i(t)c_{ij} ; \quad c_{ij} = \text{pol}_{ij}n_s/n_i$$

グリッド j を対象としたスタッキングデータ $A_j(t)$ は個別データ $Y_i(t)$ に係数を乗じて重ね合わせたものであることを示している. 係数 c_{ij} のうち n_i は個別データ i のノイズレベルで, イベントのない期間の 24 時間階差の標準偏差を採っている. pol_{ij} は Okada(1992)で計算されるグリッド j のすべりによる個別データ i におけるひずみ変化の極性である. また加算範囲 m は個別データのうち SN 比が大きく, スタッキングデータの SN 比を最大にしうる成分のデータだけを重ね合わせることを意味する. その他, 具体的な手順は本稿末の説明(付図)および宮岡・横田(2012), 露木ほか(2017)を参照いただきたい.

3. GDS 法での観測事例

本章では, GDS 法によって得られた成果を紹介する.

3.1 検知能力

まず, 本手法の当初の目的である, SN 比の向上によるプレート境界すべり検知能力の向上について示す. 図 1 はフィリピン海プレート面上の各格子点でのすべりを検知しうる最小 M_w を示したもので, 左は個別データのうち 24 時間の変化量がノイズレベルの 2 倍を超えた成分が 3 つ以上の場合を検知基準とした場合, 右は GDS 法によるスタッキングデータでノイズレベルの 2 倍を超えた場合である. 例えば $M_w 5.0$ 以下を示す赤色の範囲を比較すると, GDS 法では静岡県から愛知県の広い範囲をカバーしており, 個別データの場合よりも検知能力が向上していることがわかる.

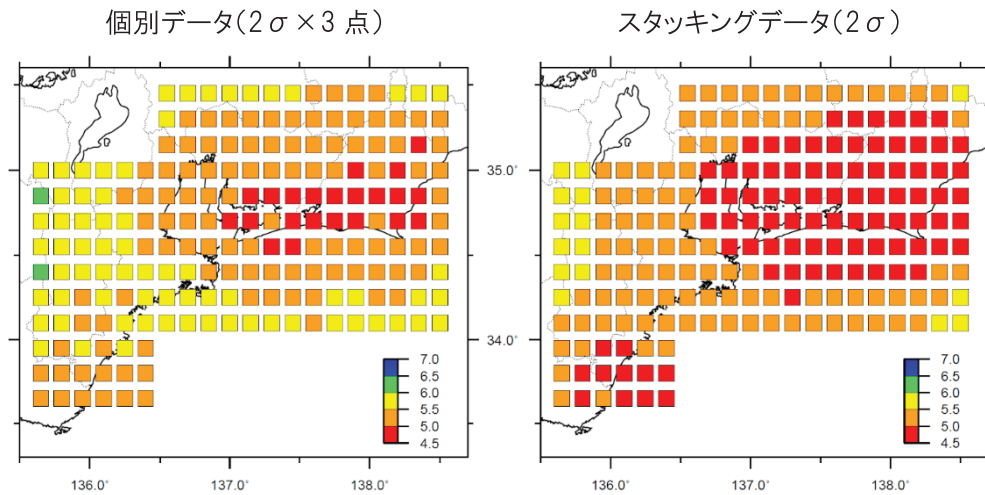


図1 検知能力比較(左:個別データ, 右:スタッキングデータ, Mw 表記)

3.2 短期的スロースリップイベント(SSE)の検出

長野県から紀伊半島にかけてのプレート境界深部で発生する短期的 SSE によるひずみ変化が度々、観測されている。図2には2014年1月から2月のスタッキング時系列データ(右)とこの領域のグリッド配置および低周波地震の震央分布(左)を示した。スタッキング時系列データに示した青字と赤字の番号は、左図のグリッド番号に対応しており、データに表れた上向きの変化はそのグリッドですべりがあったことを示している。1月23日から26日頃にかけて、青矢印で示した様に No.104, 115, 104 などに明瞭な変化が見られており、知多半島の付け根付近から伊勢湾にかけての領域ですべりがあったことがわかる。またその後、赤矢印で示した No.84, 104 で同様な変化が現れており、すべりが愛知県の中央部付近に移動していった様子が捉えられている。

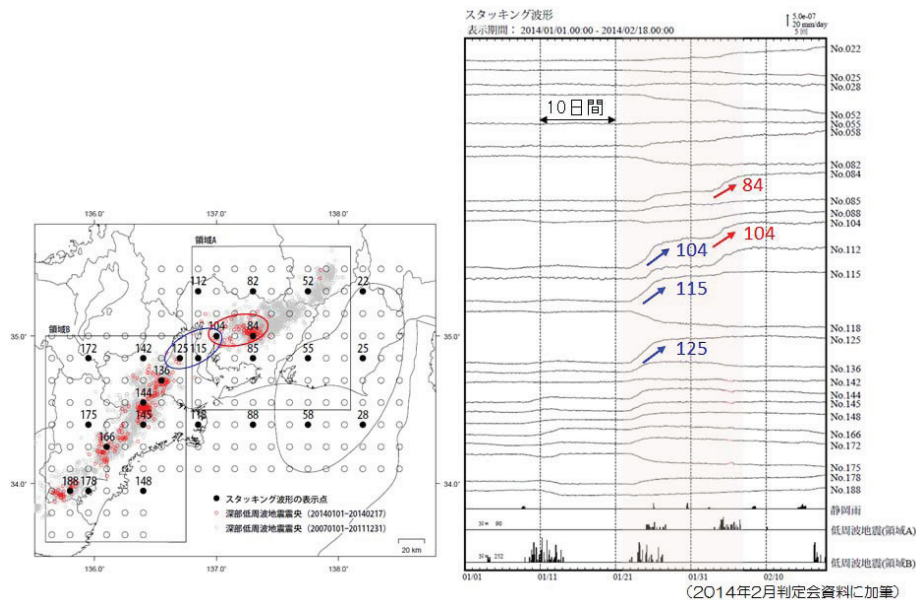


図2 短期的 SSE の解析事例(左:グリッド配置および低周波地震震央分布, 右:スタッキング時系列データ)

3.3 やや長期間の短期的 SSE の発生状況

図3にはプレート境界すべりの時空間分布図を示した。長野県南部から伊勢湾にかけての短期的 SSE 発生領域に A から H までのグリッドを設け、それぞれに対応したスタッキングデータをやや長期間(2年間)について表示したものである。黄色のハッチを付した上向きの変化が短期的 SSE の発生を示している。灰色のドットは低周波地震である。ここではスタッキングデータの振幅をすべりモーメント(Nm)で表示している。近接するグリッドで

のすべりが相互に影響するため、この変化量からそれぞれのグリッドでのすべり量(モーメント)を直接、読み取ることにはできないが、おおよその大小関係の比較が可能である。たとえば E~G で発生する短期的 SSE の規模は A~C に比べ、大きいことなどがわかる。この図から短期的 SSE の時間的、空間的分布およびおおよその規模を概観することができる。

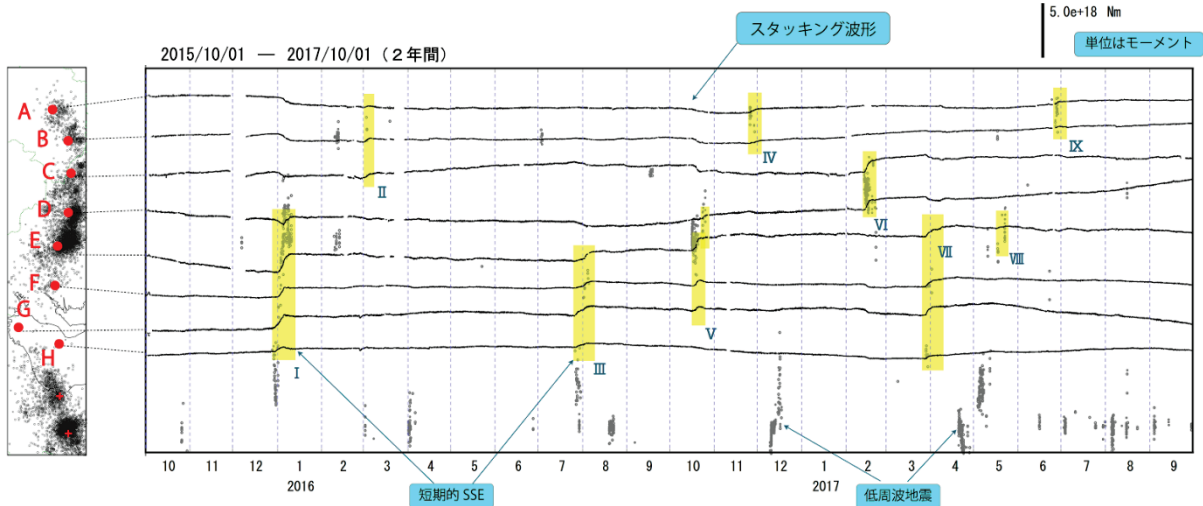


図3 スタッキング時系列データによるプレート境界すべりの時空間分布図

4. まとめ

本稿で紹介した GDS 法は、複数の観測点(成分)のデータを重ね合わせることでプレート境界すべりによる微小な変化を際立たせる手法で、ひずみ計によるプレート境界すべりの検知能力の向上を図っている。これにより、内陸部のプレート境界すべりについては Mw5.0 よりも小さなすべりの検出が可能となった。またこれらの技術により、準リアルタイムでのプレート境界すべりの可視化が実現している(露木ほか, 2017)。ただし、これは世界でもトップクラスの高い観測点密度に依っているとみえる。ひずみ観測点が疎な四国地方などを含めた南海トラフ全体をモニタリングの対象とするためには観測点の増強とともに、さらなる観測・解析技術の進展が重要となる。

5. 謝辞

解析の一部には産業技術総合研究所から気象庁に分岐されているデータを使用させていただきました。記して感謝申し上げます。

参考文献

Okada, Y. (1992), Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 82 (2), 1018-1040.

Miyaoka, K., T. Tsuyuki, H. Kimura (2017), Real-time slow slip monitoring with the Geodetic Data Stacking (GDS) method, *IAG-IASPEI 2017 Abstract*, J06-P-01.

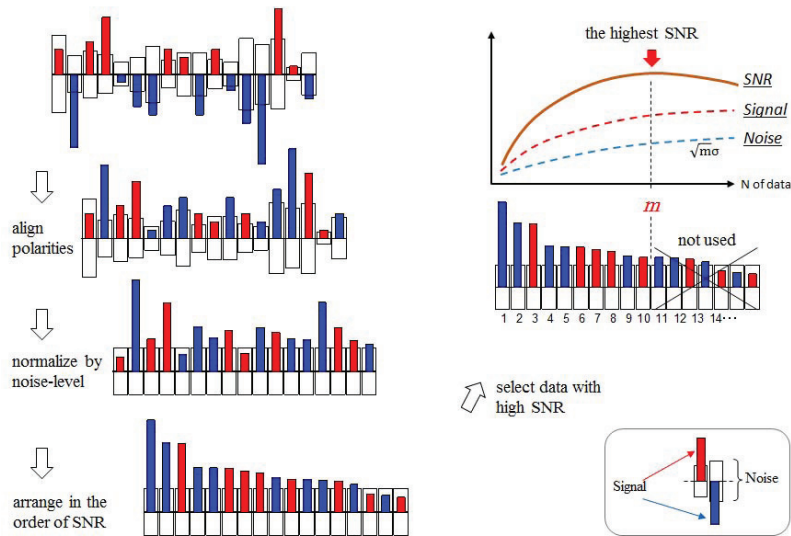
宮岡一樹, 横田 崇 (2012), 地殻変動検出のためのスタッキング手法の開発ー東海地域のひずみ計データによるプレート境界すべり早期検知への適用ー, *地震*, 65, 205-218.

露木貴裕・長谷川浩・近澤 心・木村久夫・棚田理絵・沼野 (2017), 新しい地震活動等総合監視システム (EPOS)における地殻変動監視手法の改善, *験震時報*, 81, 5.

付図1

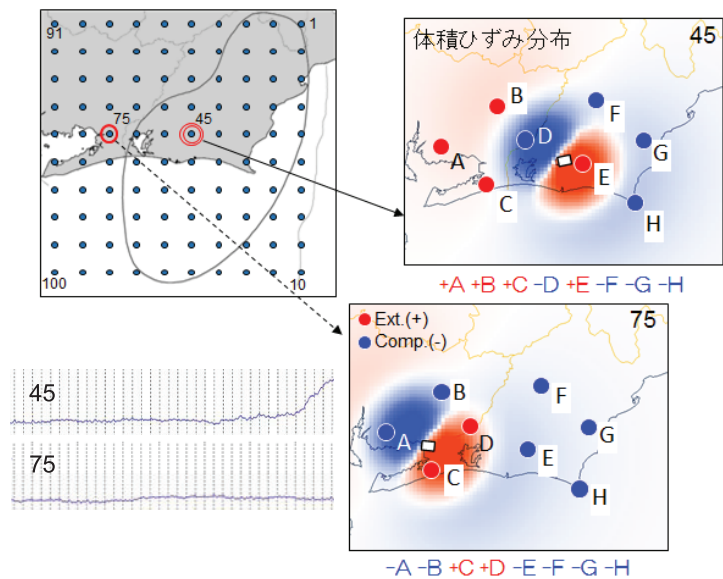
GDS 法の概念図を示した。断層パラメータを仮定し、Okada(1992) などで計算された理論値(シグナルとする)にもとづき、成分毎に変化の極性を揃え、ノイズレベルで規格化した上で重ね合わせることを表している。その際、SN 比の小さな個別データを重ね合わせると、合成データの SN 比を下げることになるため、合成データの SN 比向上に寄与するデータだけを選択する必要がある。規格化後のシグナルレベル(理論値)の大きな順に重ね合わせていくと合成データの SN 比はあるところで頭打ちとなることから、それ以降のデータは重ね合わせには用いないこととする。右図の例では 10 番目までのデータを選択することを示している。

予め全てのグリッドについて同様の計算をおこない、それぞれのグリッドに対応する合成データにはどの成分を用いるかをパラメータ化しておく。モニタリング時には、逐次、得られた新しい観測データをこれにもとづいて重ね合わせ、合成データ作成する。



付図2

プレート境界面上のグリッドに設定した各小断層のすべりによるひずみ分布はそれぞれ異なることから、グリッド毎に異なる組合せによるスタッキングデータが作成される。もしあるグリッド近傍ですべりが発生した場合、それに対応するスタッキングデータに明瞭な変化が現れることが期待される。このことから全てのスタッキングデータをモニターし、いずれかのデータに明瞭な変化が現れた場合には、そのスタッキングデータに対応するグリッド周辺ですべりが発生していることの推測が可能となる。



(図ではグリッド 45 と 75 を例とした)