

海底圧力計と陸上 GNSS を用いたヒクランギ及び南海沈み込み帯浅部における  
スロースリップイベントの検知能力

Detectability of slow slip event in shallow portion of the Hikurangi and Nankai subduction zone  
using ocean bottom pressure gauges and land GNSS

○井上智裕・伊藤喜宏

○Tomohiro INOUE・Yoshihiro ITO

In recent decades, ocean bottom pressure gauges (OBPG) have been widely deployed around the world to measure seafloor crustal deformation due to tectonic events, such as slow slip events. However, there is not yet a suitable method to detect slow slip events (SSEs) from OBPG data because the oceanographic signals are contaminated with SSE signals. Bottom pressure changes due to oceanographic mass movement, such as tidal and non-tidal components, generally hinder the detection of tectonic signals for vertical displacements due to SSEs. Previous studies have recently proposed several methods to remove the nontidal components, such as using an oceanographic model, taking the difference between two sites on an incoming plate and a landward slope of the trench. However, there is almost no previous study on an evaluation of these methods. Here, we evaluated these methods for the removal of nontidal components based on an analysis of the detectability of SSEs. (150 words)

1. はじめに

海底圧力計(OBP)は、スロースリップ(SSE)に伴う海底の上下地殻変動を連続的に高分解能で観測可能な機器であり、近年様々な海域で利用されている。一方で海底圧力記録には、SSE 以外に海洋起源の圧力変動が地殻変動と同程度またはそれ以上の振幅および周期で記録される。このため、SSE に伴う海底地殻変動の検出に際して、海洋起源の圧力変動を適切に除去する必要がある。

海底圧力記録には、海洋起源成分としての潮汐成分や大気圧や風の影響による非潮汐成分などが含まれる。潮汐成分(周期 2 日未満)は、フィルター処理により比較的安易に除去できるが、非潮汐成分は、SSE の帯域と似ているため分離が難しい。非潮汐成分の除去方法について、これまでいくつかの手法が提案されてきた。それらの手法は、以下の二つに大別される。1)海洋モデルから予測される非潮汐成分を用いて観測記録から除去する方法(例えば、Muramoto et al., 2019)、2)2 つの観測点の観測 OBP 記録の差分をとる手法である(例えば、Wallace et al., 2016; Fredrickson et al., 2019; He et al., 2020; Inoue et al., 2021)。特に Wallace et al. (2016)では、観測される非潮汐成分の相似性は観測点間の距離に依存して低下すると仮定して非潮汐成分の除去のための事前処理をおこなった。こ

こでは海溝軸海側の観測点をリファレンス点として、非潮汐成分は圧力観測網の中で共通に観測されるという仮定の下、海溝陸側斜面で観測された海底圧力記録からリファレンス点の観測記録を差し引いた。最近の研究から、非潮汐成分の相似性は観測点間の距離ではなく、2 つの観測点間の水深差に依存して低下することがカスカディアおよびヒクランギ沈み込み帯にて示されている。特に、等水深に設置された 2 つの観測点の時系列間で差分をとることで、得られる残差時系列の標準偏差 (RMS) が小さくなることが報告されている(例えば、Fredrickson et al., 2019; Inoue et al., 2021)。しかし、1)と 2)に示す 2 つの非潮汐成分の除去方法における比較研究はほとんど行われておらず、特に非潮汐成分の水深差依存性を考慮した除去方法の有用性は十分に検討されていない。

OBP 記録に含まれる非潮汐成分の除去方法の評価指標として、これまでに RMS(例えば、Muramoto et al., 2019)や「検知能力」(例えば、Fredrickson et al., 2019; Watts et al., 2021)が使用されている。ここで、検知能力は SSE によるシグナル以外の非潮汐成分を含む様々なノイズ除去後の記録から検出可能な最小の SSE の規模を指標とする。これは海底圧力記録のみならず、陸上の GNSS 記録を用いた解析でも広く使われている(例えば、

Suito, 2016)。本研究では、検知能力を用いて、海底圧力記録に含まれる様々な非潮汐成分の除去方法を比較し、最適な除去方法を検討した。

## 2. データおよび解析手法

本研究では、観測網として、ヒ克蘭ギ沈み込み帯、南海トラフ沈み込み帯に設置された OBP および陸上 GNSS の記録を用いた。ヒ克蘭ギ沈み込み帯に設置された海底圧力記録は、自己浮上型 OBP で構成されるキャンペーン観測によるもの、GNSS 記録は GeoNet の観測点で得られたものを使用した。データ期間は、2014 年 5 月からおよそ 3 年間のデータを用いた。南海沈み込み帯における使用した海底圧力記録は、DONET2 の観測網に付設の OBP で得られたもの、GNSS 記録は GEONET の観測点で得られたもので、データ期間は 2016 年 4 月から 2019 年 12 月とした。

検知能力の評価に用いる海底圧力のノイズ時系列として、実際の観測記録とモデル記録を使用する。モデル記録には、以下の 3 つの成分が含まれる。海洋順圧モデル (Inazu et al., 2012) から計算される非潮汐成分、モデルから計算される長周期潮汐 (Takanezawa et al., 2001)、そして OBP の観測点毎に観測値から求めた機器ドリフトである。

本研究で使用する GNSS のノイズ時系列としてモデル記録を用いた。モデル記録には、ランダムウォークノイズ、ガウシアンノイズ、およびフリッカーノイズ (Langbein & Svarc, 2019) が含まれる。

上記の OBP 及び GNSS のノイズ時系列にランプ関数で表現される SSE による地殻変動による変位時系列を加えて、非潮汐成分の効率的な除去方法を検討する。ここでは以下の 4 つ方法を比較した。1) 海洋モデル (Inazu et al., 2012) のみを除去する手法、2) 海溝海側斜面上に設置された観測点をリファレンス点として陸側斜面上の観測点から差し引く手法、3) 水深差が 1000m 以内の観測点ペア間で差分を求める方法 (Fredrickson et al., 2019)、4) 全ての観測点間の差分を取る方法である。

本研究では、まず海底圧力記録のみを用いた場合の検知能力を、非潮汐成分の除去方法毎に求めて、4 つの方法間で比較した。次に検知能力が最もよかった手法について、GNSS データを加えた

場合の検知能力を再度求めた。ここでは GNSS データのみの場合の検知能力も別途計算し比較する。

検知能力の具体的な計算方法は以下の通り。まず、空間 2 次元のガウス分布で表現される矩形断層によるすべりを SSE の断層上のすべりと仮定し、OBP および GNSS のノイズ時系列に 14 日の継続期間を仮定してランプ関数として変位を加える。次に、OBP の時系列については、機器ドリフト除去後に、非潮汐成分を各々の方法で除去する。GNSS 時系列については、1 次トレンドを除去する。最後に得られた OBP (または GNSS) 時系列に対して、SSE の検知手法を適用した。本研究では、SSE の検知手法として、Matched Filter 法 (Rousset et al., 2017) を用いた。Matched Filter 法で想定する SSE の規模は、5.5 から 7.1 まで 0.2 刻みで変化させた。検出された SSE の時間と仮定した SSE の時間が 2 日以内、かつ検出された SSE の位置が想定された位置から 30km 以内であれば、仮定した SSE が検知されたと判断した。

## 3. 結果および議論

ヒ克蘭ギ沈み込み帯における OBP のモデル記録を用いた場合の検知能力は、1) から 4) のそれぞれで、SSE の規模 (モーメントマグニチュード Mw) の中央値として、6.34、6.33、6.18、6.13 となった。結果として、4) の事前処理、全ての観測点の差分を取る手法が最も高い検知能力 (Mw の中央値が小さい) を示した。さらに非潮汐成分の事前処理において従来用いられた除去手法よりも、等水深の観測点を用いる方が良いことも示す。OBP の実際の観測記録をノイズ時系列として用いた場合においても、モデル記録を用いた場合と同様の傾向を示し、4) の除去方法が最適の結果を示した。この理由として、等水深方向の観測点間の差分が含まれること、および差分記録として利用されるデータ量が従来手法よりも増加したことが挙げられる。

さらに、南海沈み込み帯における検知能力の結果と 4) の除去方法を施した OBP と GNSS データを使用した検知能力の結果を示しながら、この研究が OBP を用いたスロースリップの観測と解析に与えるインパクトも示す予定である。