

ETAS モデルと AIC を用いた群発地震検出手法開発の試み
An attempt to develop an earthquake swarm detection method using the ETAS model and AIC

○吉村 嶺・西川友章・西村卓也

○Ryo YOSHIMURA, Tomoaki NISHIKAWA, Takuya NISHIMURA

An increase in the seismicity rate without a clear main shock is called an earthquake swarm (e.g., Mogi, 1963). Examples of observed earthquake swarms include seismicity associated with ascending crustal fluids (e.g., Tsuneishi & Nakamura, 1970) and slow slip events (SSEs) in subduction zones (e.g., Ozawa et al., 2003). Earthquake swarm detection is important for elucidating the relationship between aseismic phenomena and seismicity. In this study, we attempted to develop a new method for detecting earthquake swarms based on the ETAS model (Ogata, 1988; Okutani & Ide, 2011) and Akaike's Information Criterion (AIC; Akaike, 1974) and conducted an analysis in the Sagami Trough off the Boso Peninsula. In this presentation, we report our preliminary results.

1. はじめに

明確な本震を伴わない地震発生レートの増加を群発地震と呼ぶ(e.g., Mogi, 1963)。群発地震は、火山活動が活発な地域や沈み込み帯、トランスフォーム断層など、陸海域問わず様々な場所で発生する。群発地震活動の観測例として、内陸での地殻流体の上昇(e.g., Tsuneishi & Nakamura, 1970)や、沈み込み帯で発生するスロースリップイベント(SSE)による誘発(e.g., Ozawa et al., 2003)などがあり、群発地震の検出は、非地震性現象と地震活動の関係を明らかにする上で重要である。

本研究は、Okutani & Ide (2011) によって改良された ETAS モデル (Ogata, 1988) と赤池情報量規準 (AIC; Akaike, 1974) に基づく、新たな群発地震検出手法の開発を試み、相模トラフ房総半島沖において試験的な解析を行った。本発表では、その結果について報告する。

2. 手法・データ

ETAS モデルは、世界標準の地震活動統計モデルであり、ある時刻 t の地震発生レート($\lambda(t)$)を、定常的な背景地震発生レート(μ)と、大森・宇津の余震則(e.g., Utsu, 1957)に従う余震発生レート($\sum_{t_i < t} K \exp(\alpha(M_i - M_c)) / (t - t_i + c)^p$)の和で表す。ここで、 t_i と M_i は、 i 番目の地震の発生時刻とマグニチュードである。また、 α は余震発生レートのマグニチュード依存性、 c は地震発生直後の地震発生レートに関係する時定数、 K は余震発生レ

トの大きさを決める係数、 p は余震発生レートの減衰のべき指数、 M_c は最小マグニチュードである。モデルパラメータは、 μ 、 α 、 c 、 K 、 p の5つである。

一方、Okutani & Ide (2011)は、ETAS モデルを改良し、群発地震活動を考慮したモデルを作成した。彼らのモデルでは、5つのETASパラメータに、群発地震発生期間中の背景地震発生レート(μ_1)と群発地震の継続時間を表すパラメータ(T_{sw})を加えた、7つのパラメータが存在する。背景地震発生レートは、群発地震の発生していない期間では μ 、発生している期間では μ_1 としている。また、群発地震活動開始日時(T_{cp1})は、測地観測データに基づき事前に決定した(図1)。

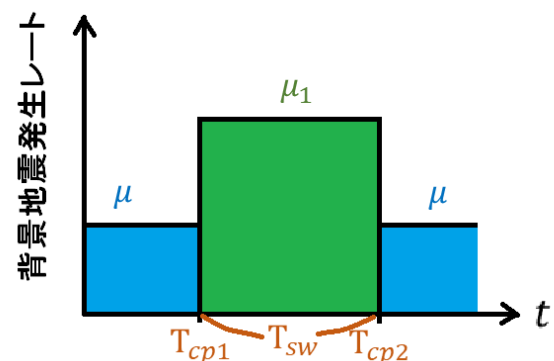


図1. Okutani & Ide (2011)による群発地震活動を考慮したモデルの模式図。背景地震発生レートの変化を示している。 T_{cp2} は、群発地震終了日時である。

本研究では、Okutani & Ide (2011)の群発地震活動を考慮したモデルにおける群発地震開始日時 (T_{cp1})を、1日ごとにグリッドサーチを行い、新たなモデルパラメータとした。そして、群発地震を考慮したモデルと、オリジナルの ETAS モデルの AIC の差 (ΔAIC) が-2 以下になる日付を抽出し、その日付を群発地震発生日とみなした。パラメータの推定には最尤法を用いた。

次に本研究は、SSE に伴う群発地震活動の発生が知られている、相模トラフ房総半島沖を中心とした深さ0~50kmの領域(北緯34.8° から35.6°、東経139.9° から140.9°)において、試験的な群発地震検出を実施した。解析期間は2000年1月1日~2010年12月31日の11年間とした。この期間は、2002年10月と2007年8月のSSEに伴う群発地震活動を含む。震源データには気象庁一元化震源カタログを用い、マグニチュード2.0以上の地震を解析に使用した。

3. 結果・結論

解析の結果、 ΔAIC が-2 以下かつ最小となる日付が18日抽出され、そのうち ΔAIC が特に大きく減少した日付(-10以下)が4日あった。その4日のうち2日は、2002年と2007年のSSEに伴う群発地震活動に対応した。残り2日は、2006年7月に東京湾北東部において発生した群発地震(図2, 3)と、2008年3月に房総半島南東部において発生した群発地震であった。また、これら4つの群発地震活動は、いずれもフィリピン海プレート上面のプレート境界面付近で発生していた。さらに、2006年7月に東京湾北東部において発生した群発地震は、相模トラフでの小規模なSSE(Nishimura, 2021)と同時に発生していた。この小規模なSSEが、群発地震を誘発していた可能性がある。この他、2000年9月に、 ΔAIC が-8程度で、房総半島沖でのSSEに伴う群発地震に類似した活動も確認された。

現在、群発地震期間中の背景地震発生レートの

変化として、より現実的な関数と考えられる Gauss 関数を用いたモデルについても作成しており、本発表では、その暫定的な解析結果についても報告する。

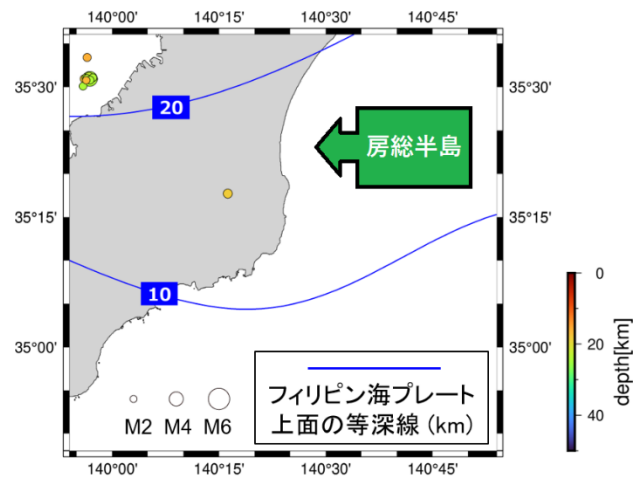


図2. 2006年7月に東京湾北東部において発生した群発地震の震央分布図。プレート等深線のデータは、Iwasaki et al. (2015)を使用した。

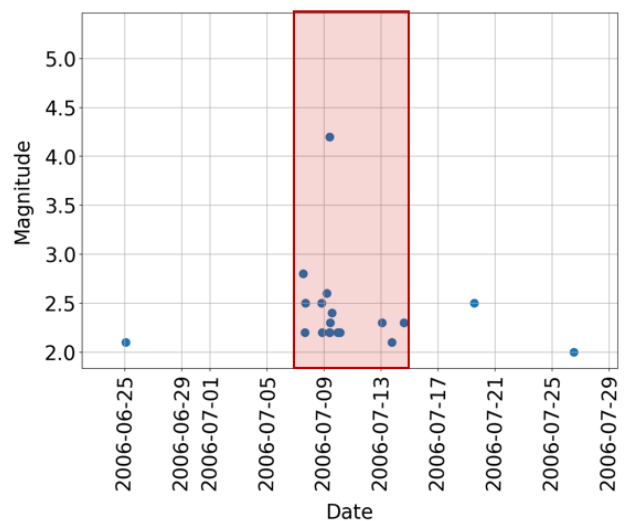


図3. 2006年7月に東京湾北東部において発生した群発地震のM-T図。赤枠で囲った期間が群発地震の発生した期間である。