

最近の地震活動の解析

熊澤貴雄 リスク解析戦略研究センター 特任助教

最近発生した二つの地震をETASモデル、あるいはその派生モデルで解析した結果を紹介する。

ETASモデルは本震・余震の区別なく、各地震がそれぞれのマグニチュードに応じて一様に余震発生確率を励起すると仮定し、地震発生の時系列を点過程として扱うモデルであり、次の強度関数によって定義される(Ogata, 1988, 1989)。

$$\lambda_{\theta}(t|H_t) = \mu + \sum_{\{i: S \leq t_i < t\}} K_0 e^{-\alpha(M_i - M_c)} / (t - t_i + c)^p \quad (\text{Eq.1})$$

詳細はここでは割愛するが現時点での地震発生強度 λ_{θ} (単位時間当たりの平均地震発生数)はそれ以前の地震発生時系列の履歴 H_t に依存する。

ETASモデルにパラメータの時間変動を導入した非定常ETASモデル(Kumazawa and Ogata, 2013, 2014)。

$$\lambda_{\theta}(t|H_t) = \mu(t) + \sum_{\{i: S \leq t_i < t\}} K_0(t) e^{-\alpha(M_i - M_c)} / (t - t_i + c)^p \quad (\text{Eq.2})$$

は背景地震活動強度 $\mu(t)$ や余震発生強度 $K_0(t)$ の時間推移をモニターする際に役立つ。

最後に時空間ETASモデル (Ogata, 1998, 2004)はETASモデルのパラメータの空間分布を調べるのに役立つ。

$$\lambda_{\theta}(t|H_t) = \mu + \sum_{\{i: S \leq t_i < t\}} \frac{K_0}{(t - t_i + c)^p} \left[\frac{(x - x_i, y - y_i) S_i (x - x_i, y - y_i)^t}{e^{\alpha(M_i - M_c)}} \right]^{-q} \quad (\text{Eq.3})$$

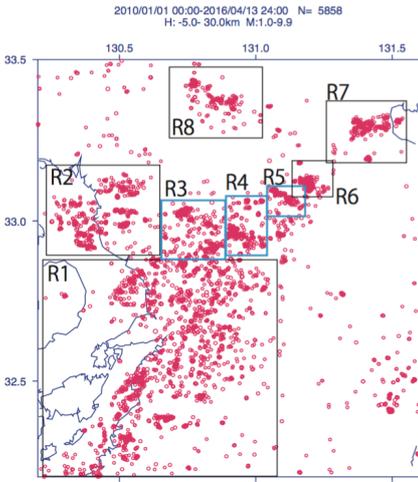


図1: 熊本地震発生直前までの地震活動

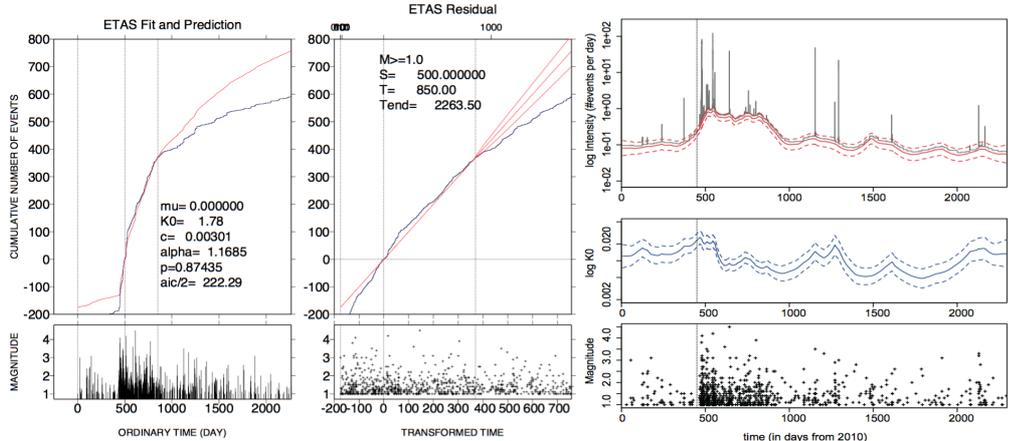


図2: 領域R3のETASモデルの推定(赤)と観測値(黒)

図3: 領域R3の非定常ETASモデルの推定

1. 熊本地震の余震域の、本震前期間(2010-M6.5直前)をETASモデルで解析すると、約1年前からの静穏化が有意となる。地震クラスターに応じて分割した小領域(R1~R8)の詳細を解析すると、R3,4,5では群発地震が発生しており、それらの終息の結果が全体的な静穏化として現れたことが分かった。

各領域の群発地震はそれぞれ特徴があり、例としてR3のものは東北沖地震によって遠隔的に誘発されたものであり、発生の約1年後には終息した(図2, 3)。

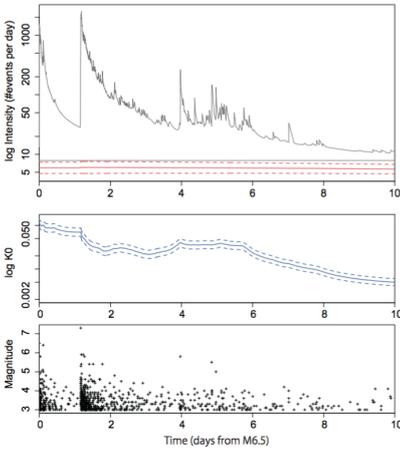


図4: M6.5以降の非定常ETASの推定

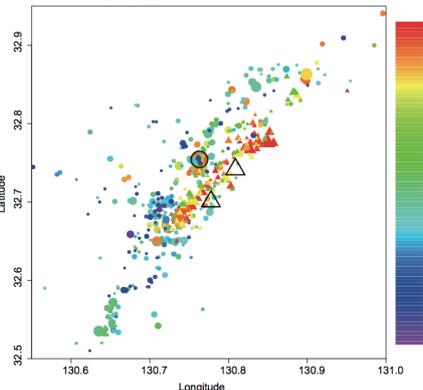


図5: K0(t)の空間分布

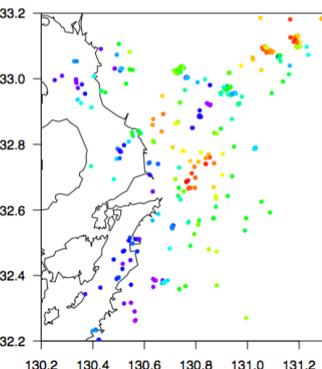


図6: 時空間ETASによるmuの空間分布

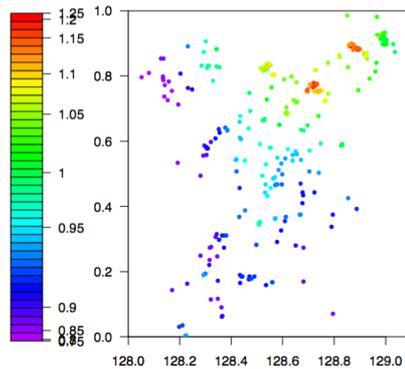


図7: 時空間ETASによるK0の空間分布

2. M6.5発生後の地震活動を同様に非定常ETASで解析した。背景地震活動強度 $\mu(t)$ は活動期間を通して定常であったが、余震発生強度 $K_0(t)$ はM6.5~M7.3の期間で大きく、M7.3発生以降は減少する傾向にある(図4)。同様のパターンは2003年の宮城県北部地震(M6.4)や2004年の中越地震(M6.8)でも見られた。余震発生強度 $K_0(t)$ の高い場所が余震分布の南東辺に集中していることが分かり(図5)、この部分に微小断層が集中していると考えられる。

3. 最後に、時空間ETASで図1領域、2012年からM6.5直前までの地震活動を解析した。背景地震活動強度 μ はM6.5, M6.4を含む前震領域で高い値を取る(図8)。

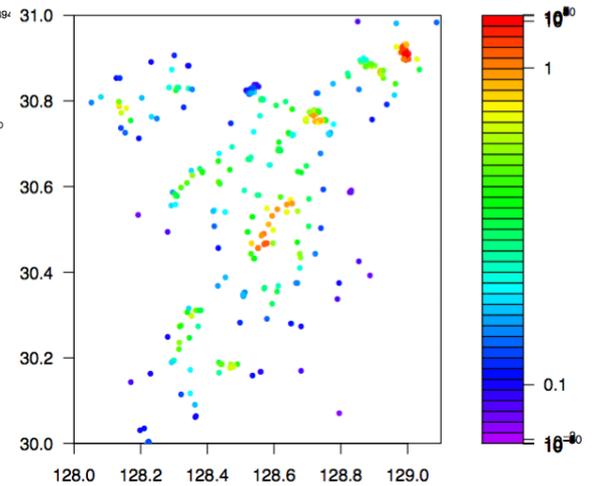


図8: 時空間ETASによるmuの空間分布