3-30 東日本太平洋沖地震が誘発した地震活動の統計的な特徴について Statistic features of inland seismicities induced by the M9.0 Tohoku-Oki earthquake

産業技術総合研究所(雷興林) Geological Survey of Japan, AIST

β統計を用いて東日本太平洋沖地震に伴う陸側の地震活動変化をマッピングした. 広い範囲で顕 著な誘発地震活動が見られる. さらに,代表的な誘発地震活動に対し,ETAS モデル等を用いて その特徴を調べた.下記のような特徴が認められる.

①火山周辺または深成岩・火山岩分布地域に集中

②群発地震の特徴を示す

③ ETAS モデルの a が非常に小さい(<1)

④地震頻度が地球潮汐と相関性が明瞭(解析中)

⑤特に長野県・新潟県県境付近(B)と福島西北(C)の群発地震にいて地下流体関与の可能性が 大きそうである.

用語説明

ETAS モデル

地震は様々の要素が複雑に相互作用して発生する.また、地下の断層がすべてのスケールにおいて複雑性を示す. そのため、ETAS (epidemic-type aftershock sequence)のような統計モデルによる解析が注目されている.ETAS モデルでは地震の発生確率がランダムな活動と大森則に従う余震活動との二つの部分に分けて再現される.

$$\lambda(t) = p_0 + \sum_{\{i:t_i < t\}} K_0 e^{\alpha(M_i - M_c)} (t - t_i + c)^{-p}$$

λ(t) 時刻 t において地震発生確率(指定単位時間の地震数)

 $M_{i}t_{i}$ i番目の地震のマグニチュードと発生時刻

Mc 観測網の検知能力を示すカットオフマグニチュード, *M* ≥ *Mc* が漏れなく観測されると仮定

大森則 地震の余震分布を表す法則 n(t)∞(t-t_i+c)^{-p}. 大地震の後数多くの余震が観測されるが,小さい地震でも余 震を伴うのが ETAS モデルの出発点である.

p, *c* 大森則のパラメータ.通常, *p*は1前後で, *c*は0に近い正数である.

*P*₀ ランダムな地震活動の割合.

α 余震の数が本震のマグニチュードに依存する. その依存の程度を示すパラメータはαである.

通常の構造地震活動は大きいα値(>2)を示すが,群発的な地震活動は相対的に小さいα値を示す.地熱地域の地 震や注水誘発地震のような流体の関与が明らかな地震活動は,通常,群発地震の特徴を持つ小さいαを示す.個々 の地震に対し,前震がある程度存在する場合では,負のα値を示すこともありうる.

β 統計

特定な地域の地震活動の頻度変化は他の地震(本震)による誘発されたものか否かを判定するために β 統計(β -Static) と言う手法を用いることができる (Matthews & Reasenberg, 1988). β 統計量は本震後期間 t_b 中の地震の数 n_a とその期待値 $E(n_a)$ 及び分散 var (n_a) により定義される.

$$\beta = \frac{n_a - E(n_a)}{\sqrt{\operatorname{var}(n_a)}} = \frac{n_a - n_b(t_a/t_b)}{\sqrt{n_b t_a/(t_a + t_b)}}$$

 n_b は本震前期間 t_b 中の地震の数である. β 値が2以上であれば地震活動頻度の増加という事象は本震と関連性があるとされている. β 値が高いほど, その関連性の確立が高いと推察できる.

参考文献

Matthews, M.V., and P.A. Reasenberg (1988), Statistical methods for investigating quiscence and other temporal seimsic patterns, Pure and Applied Geophysics, 126, 357-372.



- 図1. 東日本太平洋沖地震による誘発された地震活動を示すβ統計量の分布。β統計 はM2以上の地震を用いて本震後2週間の地震頻度と地震前10年間の背景活 動から求めた25km範囲の平滑したものである。緑色の領域はβが20以上で、 明白な誘発地震活動が観測された地域である。また、水色の領域では本震に 伴い若干地震活動の低下が見られる地域である。(気象庁1次元化震源データ 使用)
- Fig.1. β -Statistic map showing seismic rate changes associated with the 2011 Mw9.0 Tohoku-Oki earthquake. The plot shows a spatially smoothed β -statistic over a distance of 25 km for M≥2.0 earthquakes. The rate change was calculated for a 14-day period following the Tohoku-Oki earthquake with respect to the background period 2000 through 2011 (pre-Tohoku-Oki). Green color (β -value >20) indicates areas showing significant increase of seismic rate. While blue color shows areas of somewhat decreased seismicity. A-C mark three major inland swarms induced by the Tohoku-Oki earthquake.



- 図2. 福島県浜通り-茨城北部群発地震(図1のA)分布領域の地質、活断層及び地 震震央分布。(地質図は地質調査所編100万分の1数値地質図による)
- Fig.2. A close-up view of the South Fukushima-North Ibaraki swarm (A in Fig.1), highlighting geologies, active faults, and geographical features. 1/100000 Geological map of Japan compiled and digitized by Geological Survey of Japan is used.



- 図 3. 福島県浜通り 茨城北部群発地震の規模―頻度分布(左)と ETAS モデル解析 結果(右)を示す。地震活動(M2+)は ETAS モデルにより良く説明できる。 得られたパラメータは小さい a (0.973)を示す。
- Fig.3. Cumulative magnitude-frequency distributions and ETAS modeling results for the South Fukushima-North Ibaraki swarm. The maximum likelihood b-values and the least square b-values are shown by b_{ML} and b_{LS} , respectively. ETAS results of M2+ events shows small value of *a* (0.973).



- 図4. 長野県・新潟県県境付近の群発地震(図1のB)の震央分布とその周辺の地質 と構造背景。(地質図は地質調査所編100万分の1数値地質図による)
- Fig.4. A close-up view of the Nagano-Niigata swarm (B in Fig.1), highlighting geologies, active faults, and geographical features. 1/100000 Geological map of Japan compiled and digitized by Geological Survey of Japan is used.



- 図 5. 福島県浜通り 茨城北部群発地震の規模―頻度分布(左)と ETAS モデル解析 結果(右)を示す。小さい b- 値と小さい a 値(0.56)が特徴である。
- Fig.5. Cumulative magnitude-frequency distributions and ETAS modeling results for the Nagano-Niigata swarm. The maximum likelihood b-values and the least square b-values are shown by b_{ML} and b_{LS} , respectively. ETAS results of M1+ events shows very small value of *a* (0.56).



- 図 6. 福島西北の群発地震(図1のC領域)の震央分布とその周辺の地質と構造背景。 (地質図は地質調査所編 100 万分の1数値地質図による)
- Fig.6. A close-up view of the North-west Fukushima swarm (C in Fig.1), highlighting geologies and other data. 1/100000 Geological map of Japan compiled and digitized by Geological Survey of Japan is used.



- 図7. 福島県北西群発地震の規模一頻度分布(左)とETASモデル解析結果(右)を示す。 高いb値と負のa(-1.078)を示す。時間を逆にし、ETASモデルを適用する とa=0.258が得られ、余震モデルより前震モデルの方が良いことが示唆され る。
- Fig.7. Cumulative magnitude-frequency distributions and ETAS modeling results for the North-west Fukushima swarm. The maximum likelihood b-values and the least square b-values are shown by $b_{\rm ML}$ and $b_{\rm LS}$, respectively. This swarm demonstrates high b-value and negative *a* (-1.078).