

Retrieving successive occurrence of earthquakes using ETAS -Largest and second largest earthquakes in series of earthquakes-

*Tetsuo HASHIMOTO¹, Takashi Yokota²

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2. Aichi Institute of Technology

【はじめに】地震が連動して発生しているという場合、時間的・空間的に近接している地震を指していると考えられるが、この近接しているというはあいまいで、Fuzzyという概念に通ずるものがある。そこで、Fuzzyのメンバーシップ関数として、2地震の発生時間間隔と震央距離をパラメータとするETASの強度関数（Ogata, 2011）を利用することにした。【連動の検索】ETASの強度関数としては $\lambda = \mu + K/(t-t_j + c)^p \cdot [(x-x_j, y-y_j)S_j(x-x_j, y-y_j)^t / e^{\alpha(M_j - M_c)} + d]^{-q}$ （Ogata(2011)）で、 $M_c = 5$ の等方的なモデルの数値（ $\mu = 7.97e-06$, $K = 8.79e-05$, $c = 4.48e-03$, $p = 0.891$, $\alpha = 1.257$, $d = 4.88e-03$, $q = 1.763$ ）を利用した。今回、連動の条件として、 λ がバックグラウンドの地震活動の μ の3倍以上である場合としてみた。地震のデータは、ISCGEMv8の41711個を用いた。その結果、上記の条件を満たす地震の組み合わせは465794個のペアが見いだされた。

【グループ化】これらの地震ペアのデータを用いて、地震のグループ化を試みた。第1段階では1つの地震ペアごとを1つのグループとし、その1つのグループを種として、種と同じ地震を含むグループがあれば、それらを一つのグループとしてまとめ、地震ペアの全グループにそのような検索を行った。順次、グループ化されていない別のペアのグループを種として、グループ化し、すべての種を一巡してグループ化を行う。第2段階として、新たに出来たグループで、同様の処理を行った。6段階程度、この処理を繰り返すことで、グループが定常化していった。その結果、4866個のグループが得られた。上記のETASのパラメータでは、1900年初頭に発生した地震において、2000年代の地震まで連動しているという結果となってしまう、例えば1904年のアリリューシャン列島の地震のペアを種として、日本の東北地方にまで及ぶ広範囲の地震を1つのグループとしてしまった。【検索条件の追加】ETASのパラメータ値を適宜変更していくことで、より連動のグループ化するのに適切なパラメータ値を検索する方法もあるが、ここでは、上記のモデルを用いながら、宇津の余震発生の活動レベルを推定する式($n = 10^{0.85(M_1 - M_s) - 1.83} / (t + 0.3)^{1.3}$, Usu, 1971)を用いて、 $M_s = M_4$ の発生が0.01個/日になる時間のまでで足切りをすることにした。その結果、74618個のペアが見出され、4593グループとなった。

【グループ化の結果】これらのグループにおいて、1グループに3個以上の地震があるグループは2022個あった。1グループの地震数で色分けした震央分布を図1上に示す(例えば1グループ地震数150地震以上が赤で示され、6グループが抽出されている)。多数の地震で構成されるものは概ね $M_w 8.55$ 以上の地震活動に対応しているように見える。フィリピンからニューギニアを経てニュージーランドに続く地震活動域では、超巨大地震がないものの、まとまった地震数のある地震のグループが見られる。北米西海岸や西アジアから地中海にかけた領域では大規模な地震が少なく、少ない地震数のグループとなっている。【最大地震と2番目の規模の地震】グループ内で、2番目の規模の地震が最大地震の前に発生した場合（マイナス）が最大の前震（590個、M差の平均0.33）、後に発生した場合（プラス）が最大余震（1432個、0.63）となる。M差が0.3以下のものは、前震的なもので357個、余震的なもので458個、M差が1.2以下のものは、それぞれ、574個と1238個となった。双子地震的なもの(M差0.3以下)を考えると、全体で見ると、812個/2022個(=0.4)が双子地震になる頻度となった。2番目の規模の地震が前震的に発生すると、357個/590個(=0.6)と、より双子地震になりやすいことになる。また、余震的なものでM差が1.2以下であるものは1238個/1432個(=0.9)で、その範囲に収まってしまうようである。【大規模地震の連動との比較】それらの最大地震と2番目の規模の地震の発生時間間隔(単位:日)をみた。発生時間間隔とその地震数をプロットしたものを図の左下に示す。最大地震の前後に2番目の規模の地震が多く発生していることが分かる。図の右下には、大規模地震の連動についての調査(橋本・横田、論文準備中)を同様にプロットしてみた。今回の手法で抽出した最大地震と2番目の規模の地震の発生時間間隔のものより、大規模地震の連動は、地震発生間隔がだらだらと長く続く傾向が見える。【おわりに】今回グループ化された地震については、まだ、広めの連動を抽出している場合も見受けられ、より精査していく必要がある。

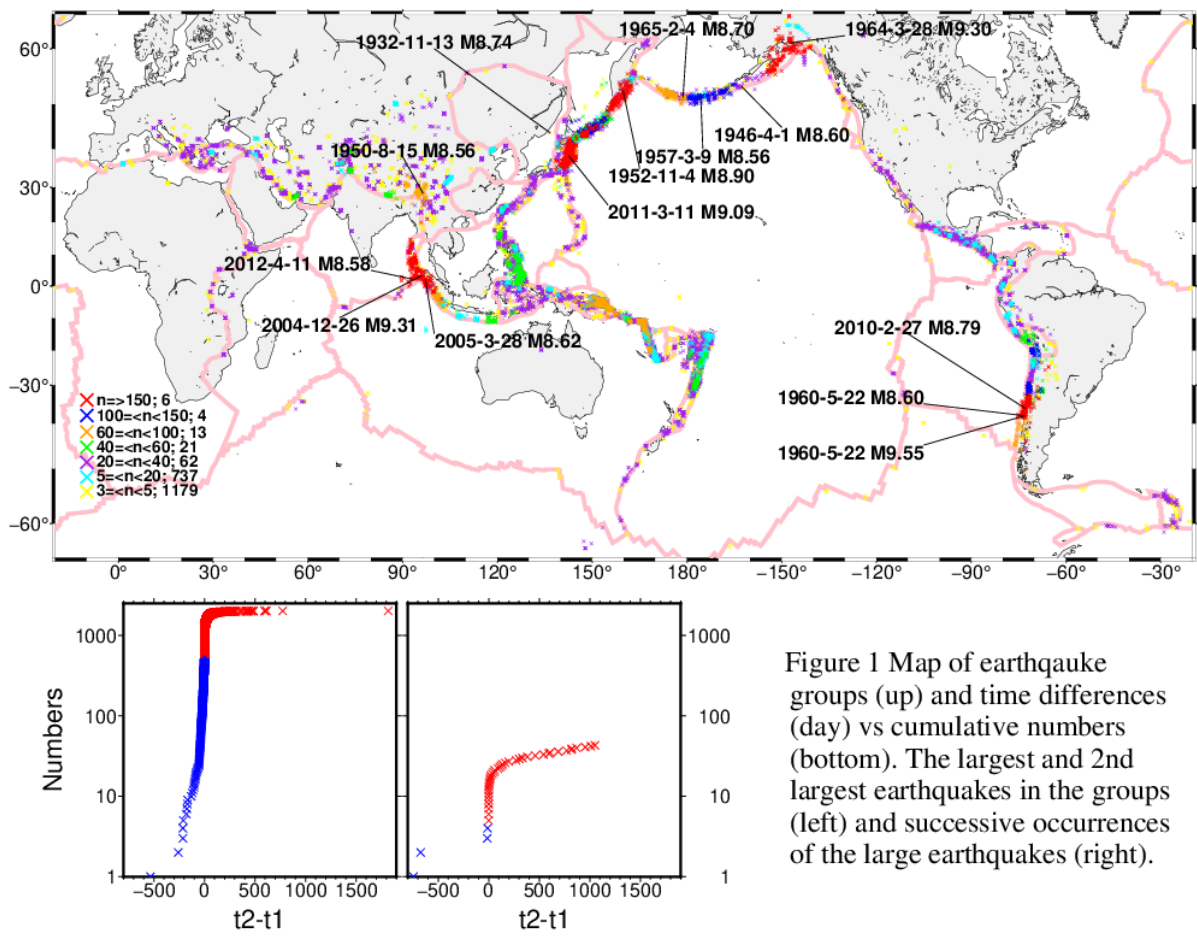


Figure 1 Map of earthquake groups (up) and time differences (day) vs cumulative numbers (bottom). The largest and 2nd largest earthquakes in the groups (left) and successive occurrences of the large earthquakes (right).