地震の時間間隔分布への新たなアプローチ

地震の時間間隔分布は Weibull 分布で近似されることが知られている。しかもその分布はマグニチュードに一定の仕方で依存すること(マルチフラクタル関係)が示唆されており、地震間隔の分布にさらに新たな法則が潜んでいることが予想されるようになってきた。本研究では条件付き確率の満足する基礎方程式を理論的に扱う方法(EET)を提案し、地震カタログを用いた解析によって条件付き確率を決めている二つの相関係数のスケール則を明らかにする。またそれを用いることによりマルチフラクタル関係式が得られることを明らかにする。

地震は断層面上での複雑な破壊・摩擦現象であり、その物理プロセスの詳細な理解に向けて現在 も研究が行われている。一方で地震のマグニチュード・震源位置・発生時刻に注目した統計的性質 がもっぱら研究されており、そこにいくつかの特徴的な統計法則が見出されている;マグニチュー ドが指数分布に従う(地震の解放エネルギーについてはベキ分布)という Gutenberg-Richter (GR) 則(図1)や、余震の回数が本震からの経過時間に対してべキ的に減衰することを示す大森-宇津公 式(図2)など。これら2法則は(特に後者は群発地震などの例外を除いて)多くの地震について 成り立つことが確認されている。一方、地震の発生間隔分布についてはいまだに統一的な見解はな いが、いくつかの地域における詳細な検定の結果、発生間隔分布が Weibull 分布によって良く近似 できることが示されている。Weibull 分布には 2 つのパラメータ (α と β とする) があり、これら の値はマグニチュードの閾値(m)の大きさにより変化する(図3)。この m 依存性が地域や定常・ 非定常の違いによらず定性的に似た形をしているという意味で、発生間隔分布の中に普遍的なマル チフラクタル性が見出されている。これまでの多くの研究ではこれら地震の統計法則は独立して捉 えられており、相互の関係についてはあまり調べられてこなかった。しかし最近になってそれらの 統計的性質を統一的に理解するための試みもいくつか研究されるようになってきた。GR 則に現れ ているようなスケールフリーな性質と Weibull 則にみられるような発生間隔分布の中の階層性を結 びつけるマルチフラクタル関係式が提案され、2011 年に起きた東北沖地震について大森-宇津公式 も含めて先の3法則を統合する試みがなされている。

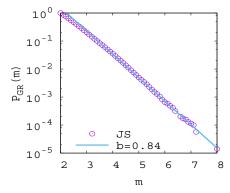


図 1. 福島-宮城沖、東北地震の本震前の 約 13 年間のマグニチュードの累積確率 (JS)。GR 則によく従っている (b は GR 則 のパラメータ)

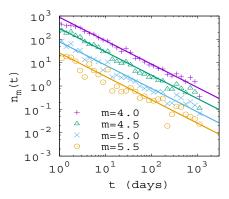


図 2. 福島-宮城沖、東北地震の本震後の 3 年間の余震発生率。大森公式によく従っている

こうした地震統計法則を統合する試みはこれまでのいくつかの測定量の間の相関を明らかにする ことにもつながり、地震統計則の一層の精密化に寄与することが期待されている。特に、地震の発 生間隔分布の統計的研究はマグニチュードや時間間隔の相関を明らかにするうえで中心的な課題 であると思われる。

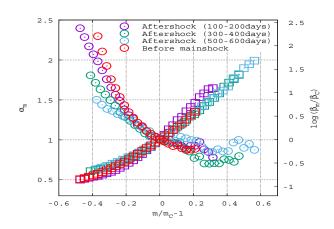


図 3. 東北地震前後の福島-宮城沖における マルチフラクタル関係 (Weibull パラメータ α 、 β の m-依存性、m。は基準状態のマグニチュード)

そこで我々はまず異なるマグニチュード(スケール)での発生間隔分布を結びつける理論的方法(Embedding Equation Theory(EET)と呼ぶ)を提案した。これは時系列の階層構造を表す条件付き確率を記述する方程式である。この条件付き確率がマグニチュードと時間に関する相関を表す2つの相関係数に分割されることを導き、それぞれがマグニチュードの大きさにはよらないスケール則に従っていることを全世界(PDE)および福島-宮城沖(JMA)の地震データを用いた統計解析により明らかにした。さらにこれらのスケール則と Weibull 則を EET に用いることで、Weibull パラメータどうしの関係であるマルチフラクタル関係が定性的に導けることを示した。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)の 2017 年 2 月号に掲載された。

発生間隔分布についての研究は地震の統計的性質という基礎的な観点から重要なだけでなく、次の大きな地震の発生確率を予測するためにも重要であり、EETのさらに進んだ解析によって条件付き確率の精密な研究が今後も必要であると思われる。

原論文(1月16日公開済)

Detailed Analysis of the Interoccurrence Time Statistics in Seismicity Activity Hiroki Tanaka, Yoji Aizawa: J. Phys. Soc. Jpn. 86 (2017) 024004

問合せ先:田中宏樹 (東京大学地球惑星専攻)

相澤洋二(早稲田大学先進理工学研究科)