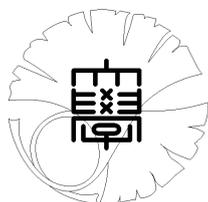


数理科学実践研究レター 2019-6 November 28, 2019

地震発生の新しい統計則に関する数理的研究

by

岩井 雅崇



**UNIVERSITY OF TOKYO**

GRADUATE SCHOOL OF MATHEMATICAL SCIENCES

KOMABA, TOKYO, JAPAN

# 地震発生の新しい統計則に関する数理的研究

岩井雅崇<sup>1</sup> (東京大学大学院数理科学研究科)

Masataka Iwai (Graduate School of Mathematical Sciences, The University of Tokyo)

## 概要

地震の発生に関する新しい統計則を数理的視点で研究した。国土交通省気象庁から入手できる地震の震源データを使用し、データを解析することで、余震発生回数と、待ち時間・本震からの時間・跳躍距離・本震からの震源距離の4つの量について、相関関係を調べた。

## 1 はじめに

地震の統計則に関しては、本震後の余震の回数を表す大森則、地震の発生頻度と規模の関係を表すグーテンベルグリヒター則などがよく知られている。一方で地震ネットワークを構築する Abe-Suzuki モデル [1] や Ogata の ETAS (epidemic type aftershock sequence model) モデル [2] が知られており、ネットワーク理論や確率・統計理論の発展による第3の地震統計則の構築が望まれている。 $N$  回目の地震 A から  $N+1$  回目の地震 B までの間の時間を地震 A の待ち時間と呼ぶ。この待ち時間の分布関数を震源の時系列データから分析することで、震源を点とみなした時の震源運動における待ち時間の統計的性質を得ることが出来る。待ち時間の分布の解明により、地震の確率分布がわかり、地震の数理モデルの解明につながる。本レターでは、Abe-Suzuki モデルに基づき、震源間の時間相関による震源ネットワークを構築し、震源の待ち時間と震源間距離 (跳躍距離) の統計的性質を探る。

## 2 解析対象データ

国土交通省 気象庁から入手できる地震のデータを使用した。

(出典: <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/hypo.html>)

- 1) 2004 年 10 月 13 日 (新潟中越地震) から 30 日間のデータ
- 2) 2008 年 6 月 14 日 (岩手・宮城内陸地震) から 30 日間のデータ
- 3) 2011 年 3 月 11 日 (東日本大震災) から 30 日間のデータ
- 4) 2016 年 4 月 14 日 (熊本地震) から 30 日間のデータ

## 3 待ち時間に関する余震回数の分布関数

$N$  回目の地震 A から  $N+1$  回目の地震 B までの間の時間を地震 A の待ち時間とし、地震の待ち時間の分布関数を、図 1 に示す。図 1 において、縦軸を  $[0,1]$  に規格化し、データの横軸は待ち時間、データの縦軸は地震の頻度を表す。図 1 から、待ち時間の分布関数は、区間  $(0, \tau]$  で増加し、その後べき乗の関数で減少している。図 2 では分布関数において、大きな待ち時間の領域を  $p(t) = (t - m)^c$  という関数にフィッティングさせた。ここで  $m, c$  はパラメーターである。0 の近くの振る舞いが未だ不明である。

<sup>1</sup>masataka@ms.u-tokyo.ac.jp

## 4 本震が起こってからの経過時間と余震回数の関係

図3において、このグラフのみ本震が起こってから10日間までの余震回数を計測する。データの横軸は本震が起こってからの時間、データの縦軸は余震の頻度を表す。大森則によればそのグラフは  $p(t) = (t - m)^c, c \in \mathbb{R}_-$  に従う。結果としては2004年の新潟中越地震と2008年の岩手・宮城内陸地震においては大森則は成立し、2016年の熊本地震に関しても本震を2016年4月16日と解釈すれば大森則は成立したが、2011年の地震に関しては大森則がみられなかった。2016年の熊本地震に関しても本震を2016年4月16日と解釈すれば、大森則は成立したということは、本震を2016年4月16日と解釈すべきという結論を裏付けるものと言える。2011年の地震に関して2011年の東日本大震災では、大森則がみられなかった理由は、本震(プレートの滑り)がいくつも重なって起こったことによると思われる。

## 5 震源の跳躍距離の分布関数の分析

$N$  回目の地震 A から  $N + 1$  回目の地震 B までの間の距離を A の跳躍距離とする。図4は、横軸に跳躍距離を取り、縦軸に地震の頻度をとることから、跳躍距離の分布関数を示している。結果として、2004年新潟中越地震、2008年岩手・宮城内陸地震、2016年熊本地震においては、長い跳躍距離の領域にプラトリーな分布を持つ形状となった。井手哲氏(東大理地球惑星科学)との議論から、熊本地震以外に見られる、バイモダルな形状は、分布関数の谷の位置(本震位置から一定距離の場所)で、地震の歪エネルギーが解放されていることに対応している(つまり開放領域では、余震が起こりにくい)と考えられる。Abe-Suzukiの結果では、跳躍距離の分布関数は、劣拡散分布(正規分布より痩せたテイルを持つ)を示すとの報告があるものの、本分析では、そのような傾向は、得られなかった。

## 6 本震からの距離の分布関数の分析

震源ネットワークのノード間距離は、跳躍距離の分布関数として、図4に示したが、ここでは、震源からの距離による分布関数を示しておく。図5の震源からの距離の分布関数は、図4の跳躍距離の分布関数と似た傾向を示すことが解る。

## 7 結論

近年、日本国内で発生した、4つの大型地震について、その震源データを Abe-Suzuki モデルから分析を行った。データ分析の結果、地震とその待ち時間の分布関数に関してはべき乗のテイルを持つという一定の傾向が得られたが、跳躍距離の分布関数に関しては、今回の解析では数理モデルによるフィッティングは出来なかった。今回のデータ分析結果から震源を点とみなす時、その質点の運動を記述する数理モデルの構築が望まれる。

## 参考文献

- [1] Abe S, Suzuki N. *Scale-free network of earthquakes*. Europhys Lett (2004) 65 581-586
- [2] Ogata Y. *Statistical Model for Earthquake Occurrences and Residual Analysis for Point Processes*. J. Amer. Statist. Assoc.(1988) 83, 9・27.

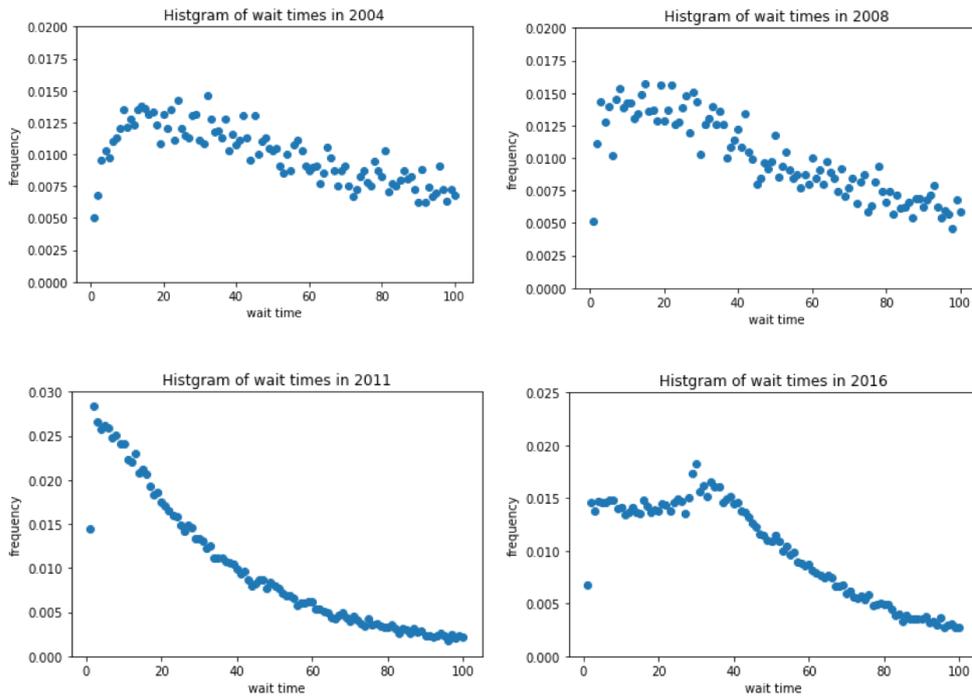


図 1: 待ち時間の分布関数 (X 軸: 待ち時間 [s], Y 軸: 余震発生頻度)

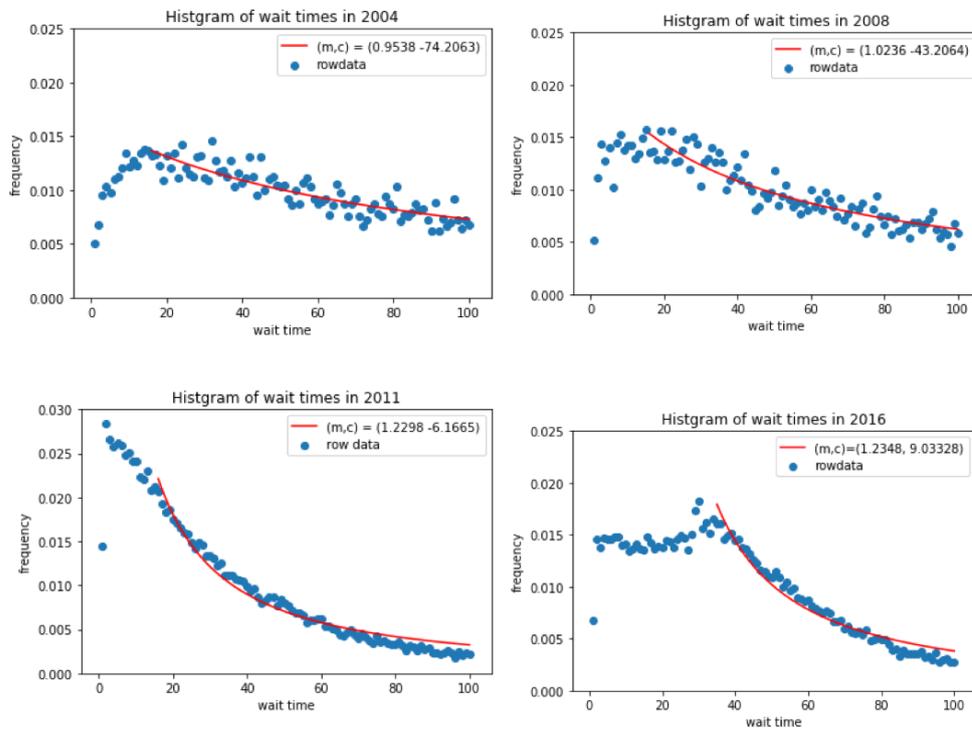


図 2: 待ち時間の分布関数のべき乗関数によるフィッティング (X 軸: 待ち時間 [s], Y 軸: 余震発生頻度, 点群は震源データ, 実線はべき乗関数)

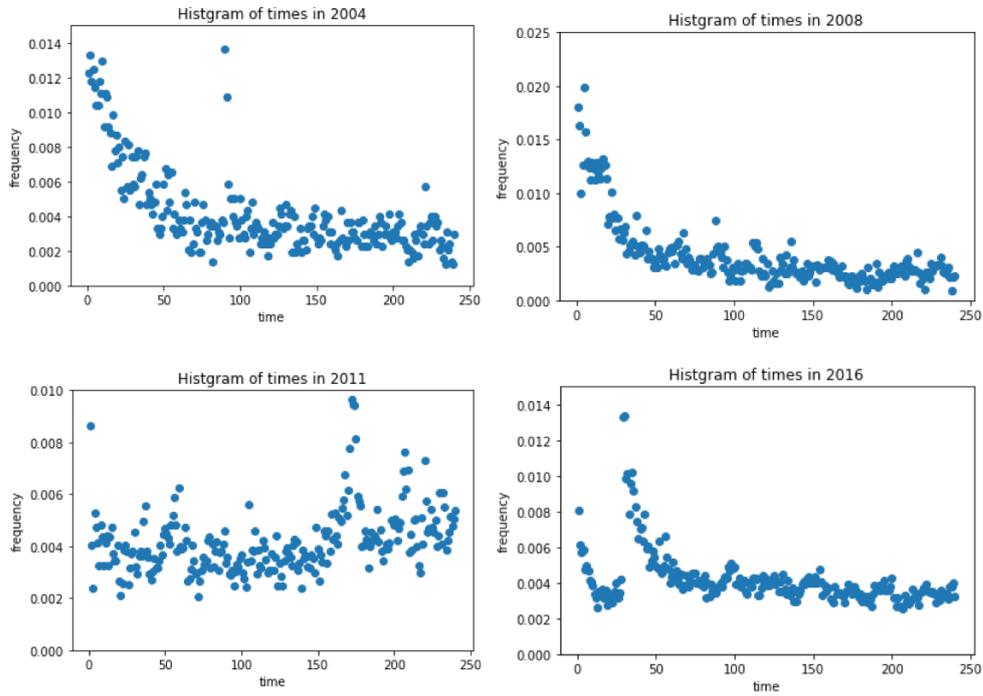


図 3: :本震からの経過時間と余震発生頻度の分布関数 (X 軸:経過時間 [h], Y 軸:余震発生頻度)

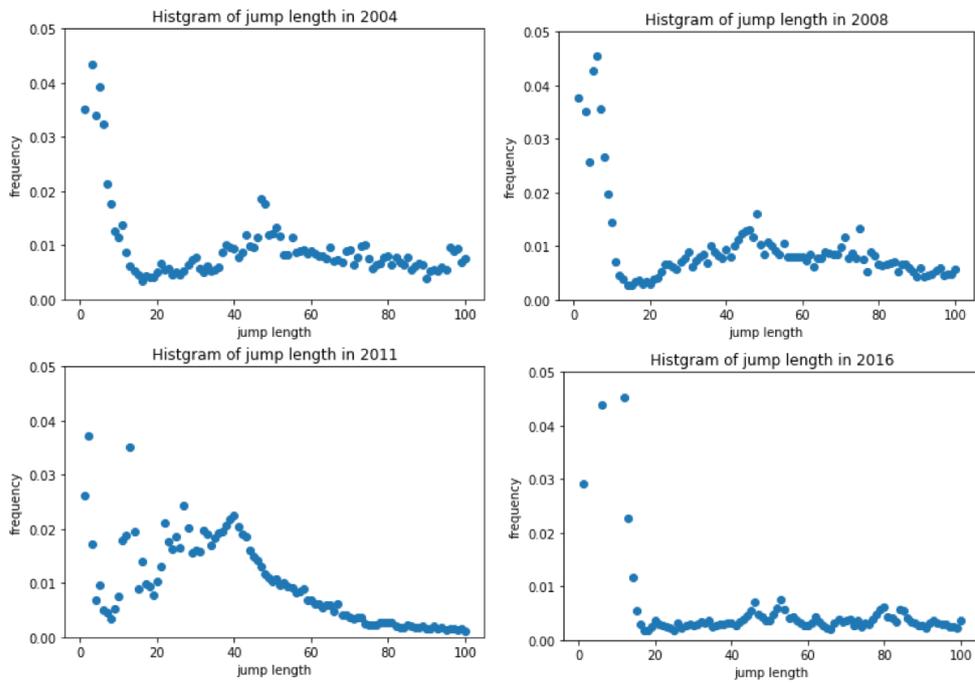


図 4: 跳躍距離の分布関数 (X 軸:跳躍距離 [km], Y 軸:余震発生頻度)

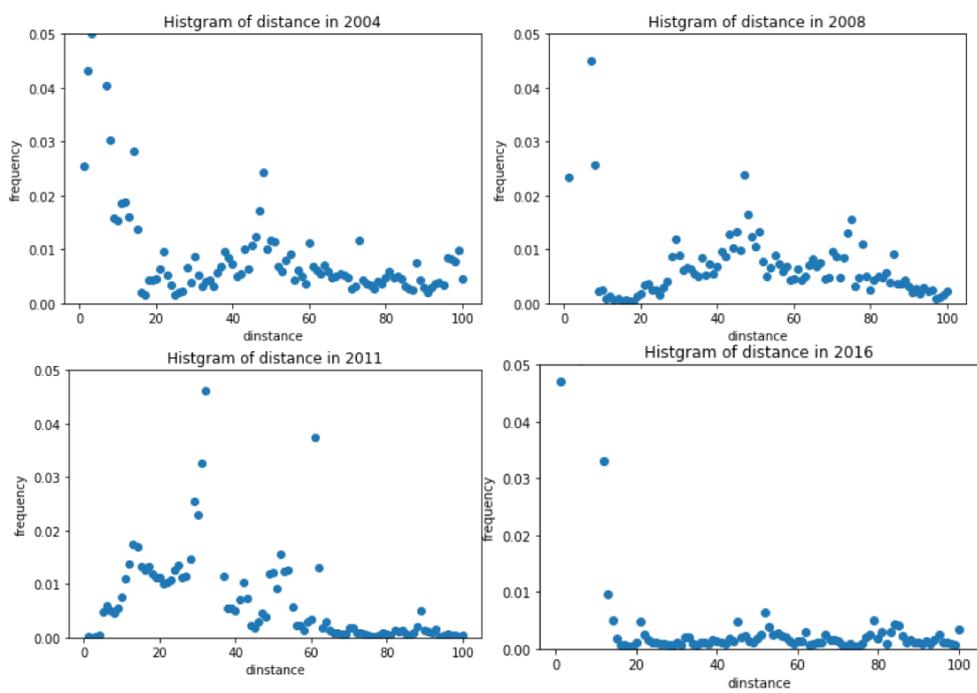


図 5: 本震からの距離と余震発生頻度の分布関数  
(X 軸: 本震からの距離 [km], Y 軸: 余震発生頻度)