

平成 22 年 6 月 9 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2008～2009

課題番号：20840043

研究課題名（和文）

欠測がある点過程の統計推測とモデルの開発

研究課題名（英文）

Statistical interferences and models to partially observed point processes

研究代表者

庄 建倉（ZHUANG JIANCANG）

統計数理研究所・モデリング研究系・助教

研究者番号：70465920

研究成果の概要（和文）：

本研究では、地震の発生時系列を例として、欠測事象がある場合の点過程に関する統計的推測手法を開発し、地震に関連したいくつかの経験則の性質を明らかにした。本研究は以下の成果を生み出した。：1) 統計モデルによる地震クラスタリングを生成することによって前震現象の経験則といわれているものが再現が出来た；2) 本震と最大余震のマグニチュードの差に関する Bath 法則の理論的解釈を与えた；3) Neyman-Scott 点過程の点配置データからクラスタの親点の推定する方法を与えた；4) 一般に認知されていない方法や主観的要素を含む地震予測（ブラックボックス型予測法）に対する性能を実際の地震発生データに基づいて客観的に評価できるのギャンブリング評価法を考案した。

研究成果の概要（英文）：

This research took the processes of earthquake occurrences as an example, developed statistical inferences to partially observed point processes, also revealed some physical properties related to earthquakes, including: 1) discovery of foreshock phenomena as a results of generic earthquake clustering; 2) explanation the Bath law through clustering model; 3) estimation of cluster-center process of Neyman-Scott processes, and 4) proposing of the gambling scoring method for testing performance of black-box type prediction algorithms.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,320,000	396,000	1,716,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,520,000	756,000	3,276,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：数学一般（含確率論・統計数学）

キーワード：(1) 地震活動 (2) 点過程 (3) フィルタリング (4) Neyman-Scott 過程 (5) ギャンブリング評価法 (6) 前震 (7) 余震 (8) Bath 法則

## 1. 研究開始当初の背景

点過程モデルは地震、山火事や犯罪などの突発事象パターンをモデル化する際に広く使用されている。これまで良く引用された地震発生の点過程モデルは応力解放 (stress release) モデルと加速モーメント解放 (Accelerating Moment Release) モデルと Epidemic-Type Aftershock Sequence (ETAS) モデルである。これらのモデルは、将来の地震の確率を評価して、世界の違いの領域から地震活動度の特性を分析するのに使用されている。ETAS モデルは地震クラスターを説明するための標準モデルであると受け入れられている。他の研究分野と同様に無くなったデータや不均質なデータはデータ分析で深刻な問題である。地震活動度をモデル化するとき、以下の3つの難問に何時も遭遇する: 1. 大地震直後多数の余震は地震カタログに記載されていない; 2. 大地震以外に、地震観測所のある内陸のから遠くに起こった小さい海洋下の地震は記録されていない; 3. 地震や他の地球物理量の観測ネットワークやデータ処理手法は技術革新で時々変化する。そのため通常、研究者は、過去に遡った時代の完全で均質なレベルの大きな地震でデータの分析を行い、小さな地震や不完全なデータセットは捨てられる。本研究では、点過程と地震評価の研究で欠測値問題によって引き起こされた問題を解決するためのものである。

## 2. 研究の目的

この研究の総合的な目的は、データが部分的に無くなっているとき地震確率予測のために点過程モデルの統計的推測手法を開発すること、確率方法で欠測値を再構築し地震予測に欠測値の影響を評価すること、欠測値があるとき点過程に関する適切な推測手法と予測手法を開発すること、地震事象や前兆事象の完全観測ができないとき地震予測のための統計モデルを構築することである。

## 3. 研究の方法

1. 時空間 ETAS モデルに従って、モンテカルロ法によって、欠測事象を再構成し、パラメータ推定の偏差や予測の影響を評価する。

2. 試行研究によると、全体のモデルが知られているとき、再帰的なフィルタリング法を使用することによって、観測された部分過程の履歴に依存している全体過程の条件付き強度を解析的に得ることができる。

この結果の拡張を計画している。

3. 欠測地震事象の特性を2つの方法で研究する。それらは a) Zhuang (2002) が提案した二次残差分析法で欠測地震事象の特性を再構築すること、または b) MCMC 法によるシミュレーションを使用すること。

4. 欠測事象の新しいモデルに従ったシミュレーションに基づく予測手法を開発する。すなわち、すべての利用可能な観測に基づいて、新手法は将来イベントの期待数を与える。

## 4. 研究成果

### (1) 前震の発生確率。

ETAS モデルは、常時地震から励起される各地震群について再現する地震発生の統計モデルである。本研究では、ETAS モデルに基づいた確率的除群法によって、地震活動の時系列を常時地震と誘発地震の部分過程に分解して、前震を常時地震の特別なタイプと再定義する。残差分析によって、モデルに使われている下限マグニチュードより小さい地震が、前震確率の推定に大きく影響していることが分かる。常時地震における前震の割合は、誘発地震における「誘発前震」(直接的もしくは間接的に誘発する、より大きい地震を持つ地震のこと) の割合より小さい。小地震の誘発効果を考えたシミュレーションによると、これらの割合の違いは見受けられない。これは地震群の自己相似性を示している。

### (2) Bath 法則の理論的解釈。

前震確率に関連して、ETAS モデルの漸近特性として余震規模の Bath 法則が導き出せる。ETAS モデルで地震クラスターの最大地震の漸近特性を考察し、Zhuang & Ogata (*Physical Review E* 73, 046134, 2006) の結果を修正し拡張した。この分枝過程が臨界状態で且つクラスターのサイズが徐々に増大するとき、以前の研究結果に於いて不正確な部分があることが分かり、これを訂正した。

### (3) Neyman-Scott 点過程の親点の推定。

本研究は Neyman-Scott 点過程のデータに含まれていない親点を推定するために、観測された部分情報に基づく、確率的な親点の存在率を推定する手法を提案した。Neyman-Scott 点過程に対して、本手法は既存の推論方法とは異なる、混在するクラスターサイズの高次元化を含んだ、フィルタリング利得 (filtering gain, 詳しい情報が与えられているときと、そうでないとき

の点過程の発生確率の比率)と関連する再帰公式に基づいている。

(4) 地震予測のギャンブリング評価法。

予報者が声望を得ようとするならば予測を公表しなければならない。他方、信用失墜のリスク(失敗確率)を考え、それによって予報者の成績を評価する。予報者は、一定期間・領域に一定のマグニチュード幅の地震が起きるか否かについて予報するが、これを賭博と考えると賭金(予報者の声望)を1ポイント, “YES”または“NO”に賭けることと考える。ここで相場の確率を与える地震活動の「基準モデル」が必要である。基準モデルから計算される予測者の成功確率(相場の地震発生の確率)は $p_0$ であるとする。したがって予測者の失敗リスクは $1-p_0$ ポイントである。予報者が“YES”と1ポイント賭けて外れたなら、彼の1ポイントを取り上げる。彼の予測が当たれば報酬は $(1-p_0)/p_0$ ポイントである。基準モデルが正確なら、彼がこの賭けから獲得する期待報酬は0である。

また、この規則は確率予測にも適用される。 $p$ が予報者によって与えられた地震の発生確率であると仮定し、予報者が'YES'と $p$ ポイントを、'NO'と $1-p$ ポイントを賭けることに分かれる。

ギャンブリング評価手法によって、ShebalinのRTP地震予報の成績と中国地震局の年度予報の成績を計算した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- ① Wang, Q., Jackson D. D., and Zhuang J. (2010). Are spontaneous earthquakes stationary in California? *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2009JB007031. in press.
  - ② Jiang C. S. and Zhuang J. C. (2010). Evaluation of background seismicity and potential source zones of strong earthquakes in the Sichuan-Yunnan region. *Chinese Journal of Geophysics* (in Chinese with English abstract), 53(2). doi: 10.3969/j.issn.001-5733.2010.02.001.
  - ③ Zhuang J. (2010) Gambling scores for earthquake predictions and forecasts. *Geophysical Journal International*. 181: 382-390. DOI:10.1111/j.1365-246X.2010.04496.x
  - ④ 庄 建倉 (2009) 地震活動のクラスタリングおよび除群化の統計モデル. 統計数理. 第57巻, 第2号, 179-193.
  - ⑤ Zhuang J., Christophosen A., Savage M. K., Vere-Jones D., Ogata Y. and Jackson D. D. Differences between spontaneous and triggered earthquakes: their influences on foreshock probabilities., *Journal of Geophysical Research*, 113, B11302, doi:10.1029/2008JB005579.
  - ⑥ Vere-Jones D. and Zhuang J. (2008) On the distribution of the largest event in the critical ETAS model. *Physical Review E.*, 78, 047102. Doi: 10.1103/PhysRevE.78.047102.
- [学会発表] (計12件)
- ① Zhuang, J. and Ogata, Y. Using weighted likelihood estimates to detect spatial seismicity changes, ヨーロッパ科学財団(ESF) 研究集会: New Challenges in Earthquake Dynamics: Observing and Modeling a Multi-Scale System, 2008.10.18, Obergurgl, オーストリア共和国。
  - ② 庄 建倉, Gambling scores for evaluating earthquake forecasts and predictions, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月 20 日, 海浜幕張。
  - ③ 庄 建倉, Online forecasting and offline optimization: daily earthquake forecasts by using a model that requires heavy computation, 国際シンポジウム“地震発生予測システムの構築に向けて”, 2009 年 5 月 27 日, 東京大学。
  - ④ Zhuang, J., A new scoring method for evaluating the performance of earthquake forecasts and predictions, 2009 American Geophysical Union Fall Meeting, 2009 年 12 月 16 日, San Francisco, アメリカ。
  - ⑤ 庄 建倉, A New Scoring Method for Earthquake Predictions and Forecasts, 日本地震学会 2009 年度秋季大会, 2009 年 12 月 16 日, 京都大学。
  - ⑥ 庄 建倉, Using Gambling scores for evaluating performance of earthquake, predictions/forecasts, 国際統計地震学第 6 回大会, 2009 年 04 月 14 日, Lake Tahoe, California, アメリカ。
  - ⑦ Zhuang, J., Christophersen, A., Savage, M.K., Vere-Jones, D., Ogata, Y. and Jackson, D.D., Model dependent differences between background and triggered earthquakes and their influences on foreshock probabilities, 第 7 回アジア国際地震学連合(ASC) 総会・2008 年日本地震学会(SSJ) 秋季大会合同大会, 2008.11.27, つくば市。
  - ⑧ Zhuang, J. and Ogata, Y., Local likelihood ETAS models for the seismicity in the Italian region, INGV Workshop 「The

Italian testing region for earthquake forecasting experiments within CSEP」, 2008.10.28, ローマ, イタリア共和国。

- ⑨ Zhuang, J. and Ogata, Y., Local likelihood estimates for point processes with applications in detecting spatial changes of seismicity in Japan, 科研基盤研究 (A) 「時空間現象データに対する統計科学モデルの構築及び解析に関する組織的研究」研究集会, 2008.11.28, 那覇市。
- ⑩ Zhuang, J., Vere-Jones, D., Ogata, Y., Christophersen, A., Savage, M.K., Jackson, D.D., Simulation studies on the differences between spontaneous and triggered seismicity and on foreshock probabilities, 2008 Fall Meeting of the American Geophysical Union (AGU), 2008.12.17, サンフランシスコ, アメリカ合衆国。
- ⑪ Zhuang, J., Statistical modeling of earthquake clusters and declustering, 中国地震学会 2008 年学術大会, 2008.12.3, 中国北京。
- ⑫ 庄 建倉, Weighted likelihoods and maximum local likelihoods estimates for point processes, 統計関連学会 2008 年度連合大会, 2008.10.10, 横浜市。

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

Zhuang, J. (2009) Intensity inferences for a partially observed self-similar point process. ISM research memorandum, No.1110.

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

庄 建倉 (Zhuang, Jiancang)

統計数理研究所・モデリング研究系・助教

研究者番号 : 70465920

(2) 研究分担者

該当なし

( )

研究者番号 :

(3) 連携研究者

該当なし

( )

研究者番号 :