

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：62603

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04073

研究課題名（和文）ホークス型点過程の多様な応用に向けた統計的モデリング・推論と応用の総合的研究

研究課題名（英文）A comprehensive study on methodologies of statistical modeling and inference for Hawks-type point process and applications

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・准教授

研究者番号：70465920

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 15,430,000円

研究成果の概要（和文）：地震活動や犯罪の点過程のデータ応用解析の研究経験とモチベーションに基づき、Hawkes 点過程における統計的に対処する問題、解決すべき共通ニーズに焦点を合わせ研究・開発した。更新 Hawkes 過程の統計的推論において、尤度比に基づくフィルタリング技術とモンテカルロ法に基づくフィルタリング技術を開発し、実装した。地震活動研究において、震源機構を含むセミパラメトリック ETAS モデルを用いて Hi-net データの解析を行い、結果を整理した。また、一般化した ETAS モデルの極限事象に関する臨界理論をまとめ、前震や群発地震の研究におけるその意味を明らかにした。さらに、球面版 ETAS モデルを実装した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Hawkes 過程は、外的な原因による影響と過去の事象によって誘発・励起される構造によって確率ルールに従って、将来の事象の発生に影響を及ぼす効果を表現するのに向いている。このモデルは事象間の集中化効果（正の相互作用）や潜在的な因果関係を解析するために役立つ線形的基本的なモデルと認識されるようになった。本プロジェクトは Hawkes 型点過程の統計モデルを一般的かつ柔軟に様々なアプリケーション分野でのモデリング、診断分析、予測のための準備ツールに資し、予測・検証システム構築と迅速な推定の一般的フレームワークを提供した。

研究成果の概要（英文）：Focusing on the developments of the common needs related to Hawkes process, this project has developed and implemented likelihood ratios based on filtering techniques for statistical inference of renewal Hawkes processes, in both closed form and MCMC algorithms. In seismicity application, we extended the space-time ETAS model to incorporate with focal mechanisms, where the response function for focal mechanisms is estimated nonparametrically by using the stochastic reconstruction method. This model is applied to the Hi-net earthquake catalog. The critical theory of extreme events for the generalized ETAS model and its implications for the study of foreshocks and earthquake swarms are summarized and clarified. Furthermore, we have implemented a spherical version of the ETAS model and released the software. The new version is useful for analyzing global seismicity or seismicity in high-altitude region.

研究分野：統計科学

キーワード：Hawkes 過程 ETASモデル フィルタリング 地震活動 確率再構築法 更新Hawkes過程

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

通常の時系列解析は、時間的に等間隔に記録されたデータの統計解析や予測をする。しかし、それらを仔細にみると、データ発生源の殆どは、連続的時間変化の確率過程および不連続変化（事件によるジャンプ）の点過程、またはそれらが混合したものである。たとえば、店舗の詳細売上データは、日々の総額ではなく、取引時刻、金額、商品名などの各取引の素過程から成る。点過程モデルは、事象（出来事）の発生時間と付置のマーク（ジャンプのスカラー量または空間位置）の系列をモデル化する数学的表現として確率論で深く研究されてきた。点過程モデルの予測に関する中心概念は「条件付き強度関数」、すなわち事象発生の条件付確率の微分量、である。ここで「条件」とは過去の事象の発生履歴および現在までの関連情報の履歴のことである。これらを取り込む「条件付き強度関数」をモデル化することによって、パラメータの推定、事象時刻のシミュレーション、予測や制御問題を考えることができる。

点過程の中で Hawkes 過程は発展的に具体化されて、事象間の集中化効果（正の相互作用）や潜在的な因果関係を解析するために役立つ線形の基本的なモデルと認識されるようになった。Hawkes 過程は、外的な原因による影響と過去の事象によって誘発・励起される構造による確率ルールに従って、将来の事象の発生に影響を及ぼす効果を表現するのに向いている。例えば地震学で良く知られている Epidemic-Type Aftershock Sequence (ETAS) モデルは、地震活動を記述し予測する国際標準モデルとして定着し、政府関係機関に提供されている。ETAS に類似のモデルは、犯罪データ分析や、価格間の相互作用が流行の特徴を有することが示されて経済学やファイナンス解析においても使用されている。近年、この型モデルの使用は、テロ行動のデータ分析、ソーシャルネットワーク、財務データ、ゲノムやニューロン活動に適用されている。上記の全ての分野において、統計的推論、予測理論と解析方法は主に ETAS モデルに関する地震活動の研究で開発されたものである。

2. 研究の目的

本研究プロジェクトでは、これまでの、地震活動や犯罪の点過程のデータ応用解析の研究経験とモチベーションに基づき、多分野において統計的に対処する問題、たとえば欠測（欠落）事象を含む膨大な量の不均質ビッグデータの予測・分析など、解決すべき共通ニーズに焦点を合わせ研究・開発をすすめる。さらに、高次元の点過程データに対して並列・高速計算が可能な統計的モデルの構築と解析のための統計手法を開発することである。この開発により、Hawkes 型点過程を、さまざまな応用分野に適応した点過程のモデリング、分析、予測のための即決（ready-to-work）可能なツールにする。

すなわち（1）高次元の大規模サンプルのデータベースのための、一般化 Hawkes 型モデルの構築と迅速な推定をする。広範な分野の点過程データに適用できるようなソフトウェアパッケージを一般的な枠組みで開発する。（2）Hawkes 型点過程の応用問題に関わる事象データの欠測問題に対処するモデルを考える。（3）欠測事象を含む多変数かつ連続時間共変量を含む一般化 Hawkes 過程について安定した解析が保障できる様に臨界（定常）特性を理論的に分析し、その為の有用な規準を導出する。

3. 研究の方法

本研究プロジェクトでは主に以下の課題に取り組む。

課題 1: モデル構築、推定および診断解析

測定および記憶の計算機環境の急速な発展により、データ量およびデータ次元は急速に増加している。高次元データ空間からの膨大な情報が通常入手可能である。解析のターゲット事象と関連しそうな別の外部観測データベースもある。そこで以下の具体的問題に取り組む。

（1）複雑なデータに対応したモデル作成のための効率的なモデルの構築法

データ次元が高くなると、有益なモデルの構築にはモデルに組み込まれるべき候補の要素次元の組み合わせに依存するので、最適化の評価が必要である。Hawkes 過程の主要な要素はバックグラウンド（自発的な事象）の発生率と、一たん発生した事象による誘発（トリガリング）率の2つである。特に前者は現実的に非定常・非一様であり、モデル作成が難しいにも関わらず、予測において非常に重要である。本研究プロジェクトでは、各要素の誘発項以外に、周期的な影響、外部共変量、地域性など、空間的または時間的誘発応答などを考慮して、バックグラウンド率をもとに効果的にモデルを構築する。そのために診断分析を使用する体系的な方法を検討する。

（2）高速かつ効率的なパラメトリック推定方法

Hawkes 型モデルの推定のために多くの方法が開発されている。スペクトル最尤法 [1] 以外に本研究グループによって点過程の最尤推定法 [2] や確率的デクラスタリング法 [2] に基づく EM アルゴリズム [12, 13]、事前分布として滑らかさの制約条件での経験ベイズ法に基づく時空間点過程モデルパラメータの空間的および時間的変化を推定する経験ベイズ法による Maximun a posterior (MAP) 推定値 [14]、さらに同様の目的のための加重尤度推定法 [15] が開発された。本研究では、さらに空間点配置によるモーメント、中央値、プロトタイプに基づく推定値と変形推定法も検討し、「条件付き強度関数」のマルチンゲール特性を用いた高速な推定法を開発する。

（3）ノンパラメトリックとセミパラメトリック推定

ETAS モデルのノンパラメトリックな推定の考え方 [4] は地震活動のクラスタリングモデルに発展した [16]。犯罪分析では、ロサンゼルスでの強盗犯罪発生モデル [6] の作成と推定に、この方法が使われ、それは犯罪データのモデリングでよく使われる方法となった。またマルチンゲール残余に基づいてスペインのカステリオン州における強盗犯罪のバックグラウンド発生率に1日周期および1週間の周期を見出し、その変化をカーネル法を用いて表現した。

(4) 点過程モデルの診断解析法。

変換された時間での系列に基づく従来の「残余」分析 [2] 以外に「間引き残余」分析 [13,20] が考えられるが本研究ではマルチンゲールに基づいた「残余」 [15,25] を解析する。

(5) 非線形 Hawkes 型モデル。

これは近年理論的に研究されているが、何処かの分野で実際に応用されているのかを知らない。本研究ではデータ解析での応用可能性について検討し、パラメトリックおよびノンパラメトリックな推定および診断方法を開発する予定である。

課題 2：モデルの臨界性問題。

高次元モデルは情報量が豊富であるが、モデルの時間発展システムが様々なスケールで安定しているかどうかを検証するのが難しくなる。モデルの推定値から計算できる臨界パラメータは、システムが安定しているかどうかを監視するのに役立つ。複雑な Hawkes 型のモデルでは、誤差の問題もあり、安定性に関して慎重な分析が必要である。本研究では、連続型外部共変量を含む多変量 Hawkes 過程や非線形 Hawkes 過程の安定性の規準を見出す。

課題 3：欠測データ問題。

解析目標のプロセス自体のみならず、関連の外部プロセスの履歴の一部が観察されない(欠落している)場合、パラメータを正しく推定し将来を予測することは、より困難で複雑となる。本研究の目的は、点過程における推定およびモデル構築と、事象の部分的欠如に起因する偏差を避けることの両方を同時に取り組むことである。本研究では、何処が欠測しているか不明の小規模な事象の欠落データの欠測変化率にも集中する。地震学では欠落したデータの問題に対する研究がある。たとえば、マークの値がプロセスの履歴に依存しない場合、点過程データを補充するコピュラ的な方法や地震の時空間的な検出率の変化を推定する経験ベイズ法で地震予測に適用したケースがある。しかしながら、これらの方法を他分野に直截的には応用できない。失われたデータの頻度を査定して、欠測による影響をモデル推定および予測に評価するには、もっと考え抜かれた方法が必要である。Markov Chain Monte Carlo (MCMC) シミュレーションに基づく EM (Expectation-Maximization) アルゴリズムの新展開と、フィルタリング法に基づく枠組みなどによる広範な解決策を模索する。EM アプローチは、計算上高価であるという欠点を有するが、より柔軟性を提供する。フィルタリングは、EM アルゴリズム内で MCMC を使用するよりも効率的であるが、より厳しい仮定の代償を伴う。本研究の方法は、既知のプロセスを使用してデータをシミュレーションし、さまざまな事象削除(事象欠落)のシナリオを適用し、原プロセスの確率的な特性を回復できるか検証する。これらの影響による偏った確率予測を補正する。

4. 研究成果

本研究プロジェクトの成果は、Hawkes 過程の拡張(1-8)、Hawkes 過程に関する理論的問題(8-9)、(10-11) Hawkes 過程の応用の 3 つのパートに分かれている。

(1) オリジナルの Hawkes モデルは 2 つの側面から拡張することができる。背景発生率に長期トレンドと周期成分を導入し、確率的再構成法とカーネルスムーズに基づくノンパラメトリック推定法で推定することができる。この手法により、犯罪データ解析において、周期性の導入がクラスタリング部分よりも点プロセスで予測可能性が向上することが分かった。推定手順では、EM アルゴリズムを安定化させるために、いわゆる緩和係数 (relaxation coefficient) を導入していた(詳細は [1] を参照)。また、パイプ破損の研究に背景発生率に共変量を導入した [2]。

(2) 地震活動解析では、非定常な背景レートである ETAS モデルを使用した。非定常な背景レートを推定する際に、多次元カーネル関数のカーネル帯域幅の選択の問題を解決するため、空間および時間のカーネルの両方に可変帯域幅を採用した。(詳細は、[3] および [4] を参照)。

(3) ETAS モデルのクラスタリング部分に関して、Guo と Zhuang [4] は 2D 有限ソース (FS) モデルと 3D 震源モデルを組み合わせて、3D-FS ETAS モデルを提案した。この新しいモデルは、大地震の破壊形状と地震の震源深さの両方を組み込んで、既存の ETAS モデルよりもデータにより適合することが示されている。

(4) 球面版 ETAS モデル 地球規模あるいは高緯度地域の地震発生を解析・予測するために、特に世界規模の遠隔地震相互作用に関連して、時空間 ETAS モデルを平面型から球面型に改編し、FORTRAN ソフトウェアパッケージ SETAS を実装し、公表した [6]。このパッケージは、3 種類の境界(無境界、四辺形境界、球形多角形境界)で指定された地域の地震データに球面版 ETAS モデルを適合させることができた。本ソフトウェアは、Global Centroid Moment Tensor (Global CMT) カタログを用いてテストされ、日本とアラスカのローカル地震に両バージョンをフィットさせて、通常の上の ETAS モデルと比較した。その結果、球面版モデルは、広い範囲の全球データでも高い計算効率を持ち、局所スケールでは定評のある平面版 ETAS モデルと整合性があることが分かった。このモデルを用いて、世界の各地域における地震発生状況の調査を開始した。発表した論文に関連アルゴリズムの詳細と使用方法を説明した。

(5) 震源メカニズムを組み込んだ ETAS モデルへの拡張 F-net データの解析により、日本の背景地震活動と誘発された地震における種々の震源メカニズムの確率分布を求めるために、各震源メカニズムは基準震源メカニズムを起点として特定の極を中心に回転した結果として分解された。背景地震については、各領域の平均震源メカニズムを参照震源メカニズムとし (Kagan Y et al, 2014)、誘発された地震の参照震源メカニズムは親地震の震源メカニズムをとった。背景地震と局所平均震源メカニズムの間の回転角および親地震とその直接の子イベント間の回転角、ETAS モデルから、確率で重み付けして再構成した。また、回転極はほぼ一様に分布していることが分かった。この結果は 2021 AGU, 2022 年度統計関連学会大会 [7,8] にて発表された。

(6) 地震活動のクラスタリング効果はETASモデルをベースラインとして採用し、そのうえで以下の様に地震予測における異常性の効果をモデル化した:

$$\lambda(t) = \mu + \sum_{i:t_i < t} \kappa(m_i)g(t-t_i) + \sum_{j:s_j < t} \xi(E_j) h(t-s_j).$$

上式中、 $\mu + \sum_{i:t_i < t} \kappa(m_i)g(t-t_i)$ は時間的なETASモデルの条件付き強度であり、最終項で、 $\xi(E_j)$ は大きさ E_j の異常度、そして $h(t) = \exp[-t^2/(2D^2)]$ である。上式において、 s_j は異常時刻と t_i は地震時刻、 D は警戒時間窓の長さである。上記のモデルを用いて、気象庁柿岡観測所の磁気記録の異常の発生時刻と、観測所から100km以内のM 4.0地震との相関関係を解析した。その結果、この観測点の磁気信号異常は近隣の地震発生強度に対して弱い説明効果を示している。ただし、大きな地震に対して効果はより顕著で、たとえばETASモデルに対するマグニチュード5.0以上の地震の平均確率利得は1.40まで上昇した[9]。

(7) 地震クラスタリングにおけるマグニチュードの依存性の可能性も探索している。地震学において回答を待つべき最も重要な質問の一つは、二つの連続した地震事象のマグニチュードの相関性があるかどうかである。この疑問に対する答えは、ETASモデルなどの予測モデルに影響を与える可能性があることから、基礎的な重要性を持つと考えられている。29の論文のメタ分析を行った結果、マグニチュード依存性の物理的な存在と、地震カタログに記録されたイベントの不足によるバイアスの可能性を考慮すると、統計的に適切な答えを出すためには、両方の面で重要な改善が必要であると推測した[10]。

(8) 更新 Hawkes 過程が広範囲に研究された。元の Hawkes 過程とは異なり、更新 Hawkes 過程の背景過程は更新過程である。あるイベントが背景である確率と、それが以前のイベントのいずれかによって引き起こされる確率を導出した。どちらも、特定の時点までの観測が与えられることを条件としています。また、フィルタリング操作の MCMC 実装とともに、尤度および条件付き強度関数の閉じた形式を導出した[11,12]。

(9) ETASモデルは2つの経験的指数則を持つ分岐モデルである。一つはある地震が誘発する地震の期待回数に関する正の指数法則であり、もう一つは地震のマグニチュードに関するよく知られた Gutenberg-Richter 法則(負の指数分布)である。与えられたイベントに誘発された最大の子孫のマグニチュード分布が、前震の発生確率を決定し、このマグニチュード分布の漸近形からベースの法則を推定することを示しており、いずれも実際の地震量データを分析した結果に近いことを示した[13]。ベイズの枠組みを利用し、ETASモデルにおける極大事象のマグニチュード分布に基づき、大きな事象の後に予想される最大の地震を予測する予測手法を実施した[13,14]。

(10) 自然地震の研究 Varini E., Peresan A., and Zhuang J. [15]では、ネットワーク解析のツールを用いて地震クラスタのグラフ表現を利用し、ETASモデルに基づく確率論的手法と最近傍距離法の2つのデータ駆動型手法による地震デクラスタリング技術を比較した。その結果、2つのデクラスタリングアルゴリズムは、地震カタログを背景事象と地震クラスタに分類する際に、クラスタのトポロジ的な構造の違いのみで、同様のパーティションを生成することがわかった。特に、確率論的手法で得られたクラスタは、最近傍手法で得られたクラスタよりも深い複雑性を持っている。

Jiaら[16]は、2000年以降にチベット西北部の中国・バヤン・ハル断層周辺で発生したM1≥7.0の地震8件に対して、ETASモデルを適用し、3D線形粘弾性モードからクーロン破壊応力変化を計算して、これらの地震間の応力相互作用を包括的に調査した。これらの2つの独立した手法を組み合わせることで、2008年と2012年の玉田地震は背景地震に近く、2014年と2020年の玉田地震は前の玉田地震によって引き起こされたと結論づけた。

Liu Y., Zhuang J., Jiang C. [17]は、1976年に中国唐山市で発生したマグニチュード7.8の地震の余震帯での地震活動を調査した。この余震帯では今も地震活動が続いていると言われている。結果は、本震後に背景地震活動発生率が顕著に減少したことを示し、唐山の余震帯における現代の地震活動が余震活動から背景地震活動への移行として特徴づけられることを示した。唐山地方では余震がまだ活発だったが、背景地震活動によって上書きされた。

ETASモデルは、地球の地殻が水によって負荷されることで地震が引き起こされるメカニズムを検出するために使用されている。これは、火山地域、プレート境界帯、および他の地域における水の影響による地震活動の季節変動として現れる。ETASモデルで小規模地震群や余震の活動を除去し、地震動、地下水位、GNSS鉛直時系列を解析することで、台湾地域の水循環と地震の季節性の時空間的な関係を定量化した[18]。

(11) ETASモデルで誘発地震も研究した。Zhou P., Yang H., Wang B. and Zhuang J. [19]は、中国新疆のHutubi地下ガス貯蔵施設付近で、毎年周期的に行われる天然ガスの注入と抽出によって潜在的に誘発される地震を研究した。誘導地震を地殻変動背景から統計的に区別するために、ETASモデルと確率的デクラスタリング法を用いている。統計的な結果は、ガス注入と2つの地震発生グループとの間の潜在的な関連性を示唆している。2019年6月17日に中国四川省の長寧で発生したM6.0の地震に関連する地震活動を調査した[3]。この地震は、低地震活動の四川盆地で記録された最大の地震である。周辺地域は塩の採掘やシェールガスの生産が行われており、この地震が産業活動に関連して誘発されたものかどうかは非常に興味深い問題とされている。

る。非定常な背景の ETAS モデルを用いて背景地震活動率を推定し、時空間的な応力変化を逆推定した。その結果、水圧破碎 (HF) 後に背景地震活動率が劇的に増加し、現在まで高いレベルで維持されていることが示され、長寧地震は長期間にわたる塩の生産のための注入によって誘発された可能性があることを示唆した。

(12) 「統計数理」特集「Hawkes 過程の新展開と応用」を出版しました。

(13) 研究集会「Workshop on Hawkes processes in data science」を 2019 年 8 月 27 日に統計数理研究所 (東京都立川市) で開催した。

参考文献

- [1] Zhuang J. (2020). Estimation, diagnostics, and extensions of nonparametric Hawkes processes with kernel functions. **Japanese Journal of Statistics and Data Science**, 3, 391–412. doi:10.1007/s42081-019-00060-0.
- [2] Hammond C., J. Zhuang, C. LeBlanc, S. Rahimi-Ardabili, T. Zhang, R. Good, F. Loge (2023) A Self-Exciting Spatiotemporal Point Process Model for Water Main Breaks. Submitted.
- [3] Jia K., Zhou S., Zhuang J., Jiang C., Guo Y., Gao Z., Gao S., Ogata Y. and Song X. (2020). Nonstationary background seismicity rate and evolution of stress changes in the Changning salt mining and shale-gas hydraulic fracturing region, Sichuan Basin, China. **Seismological Research Letters**. doi:10.1785/0220200092.
- [4] Guo Y., Zhuang J. and Zhang H. (2022). Characterization of seismicity in Nankai and its association with long-term slow slip events. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, 128:e2022JB025984. doi:10.1029/2022JB025984.
- [5] Guo Y., Zhuang J. and Zhang H. (2021). Heterogeneity of aftershock productivity along the mainshock ruptures and its advantage in improving short-term aftershock forecast. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, 126:e2021JB020494. doi:10.1029/2021JB020494.
- [6] Xiong Z., Zhuang J. (2023) SETAS: A spherical version of the space-time ETAS model. **Seismological Research Letters**, 94:1676–1688
- [7] Maita E., Zhuang, J.* (2021). Extended ETAS model by incorporating focal mechanisms. **2021 Fall Meeting of the American Geophysical Union (AGU) (米国地球物理学連合 2021 年秋季大会)**, Online, 2021 年 12 月 17 日, ポスター発表.
- [8] 庄 建倉 (2022). 地震活動による点過程モデルの改良: 残差解析からの学習. **2022 年度統計関連学会連合大会**, ハイブリッド開催・成蹊大学, 東京都武蔵野市, 2022 年 9 月 7 日, 企画セッション(招待講演).
- [9] Zhuang J., Matsu'ura M. and Han P. (2021). Critical zone of the branching crack model for earthquakes: Inherent randomness, earthquake predictability, and precursor modelling. **European Physical Journal Special Topics**, 230: 409-424. "The Global Earthquake Forecasting System: Towards Using Non-seismic Precursors for the Prediction of Large Earthquakes" (Eds. F. Freund, A. Mignan, G. Ouillon, and D. Sornette). doi:10.1140/epjst/e2020-000272-7
- [10] Petrillo G., Zhuang J. (2022) The debate on the earthquake magnitude correlations: a meta-analysis. **Scientific Reports**, 12: 20683. doi:10.1038/s41598-022-25276-1.90. Zhou P., Yang H., Wang B. and Zhuang J. (2019). Seismological investigations of induced earthquakes near the Hutubi underground gas storage facility. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, 124: 8753-8770. doi:10.1029/2019JB017360.
- [11] 庄 建倉 (2021). A filtering formula for the renewal Hawkes process, **2021 年度統計関連学会連合大会**, オンライン開催, 2021 年 9 月 8 日, 一般講演.
- [12] Zhuang, J. (2019). *A filtering formula for the conditional intensity of the renewal Hawkes process*, **2019 年度統計関連学会連合大会**, 滋賀大学彦根キャンパス, 滋賀県彦根市, 2019 年 9 月 9 日, 一般講演.
- [13] Zhuang J. (2021). Explaining foreshock and the Bath law using a generic earthquake clustering model. In **Statistical Methods and modelling of seismogenesis**, N. Limnios, E. Papadimitriou, G. Tsaklidis. Iste.
- [14] Shcherbakov R., Zhuang J., Zoeller G. and Ogata Y. (2019). Forecasting the magnitude of the largest expected earthquake. **Nature Communications**, 10:4051. doi:10.1038/s41467-019-11958-4
- [15] Varini E., Peresan A., Zhuang J. (2020). *Topological comparison between the stochastic and the nearest-neighbor earthquake declustering methods through network analysis*. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, 125, e2020JB019718. doi:10.1029/2020JB019718
- [16] Jia K., Zhou S., Zhuang J. and Jiang C. (2021). Stress transfer along the western boundary of the Bayan Har Block on the Tibet Plateau from the 2008 to 2020 Yutian earthquake sequence in China. **Geophysical Research Letters**, 48:e2021GL094125. doi:10.1029/2021GL094125
- [17] Liu Y., Zhuang J. and Jiang C. (2021). Background Seismicity before and after the 1976 Ms 7.8 Tangshan Earthquake: Is Its Aftershock Sequence Still Continuing?. **Seismological Research Letters**, 92 (2A): 877–885. doi:10.1785/0220200179.
- [18] Hsu Y.J., Kao H., Burgmann R., Lee Y.T., Huang H.H., Hsu Y.F., Wu Y.M. and Zhuang J. (2021). Synchronized and Asynchronous Modulation of Seismicity by Hydrological Loading: A Case Study in Taiwan. **Science Advances**, 7(16):eabf7282. doi:10.1126/sciadv.abf7282.
- [19] Zhou P., Yang H., Wang B. and Zhuang J. (2019). Seismological investigations of induced earthquakes near the Hutubi underground gas storage facility. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, 124: 8753-8770. doi:10.1029/2019JB017360.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計27件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 17件 / うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 Guo Yicun, Zhuang Jiancang, Zhang Huai	4. 巻 128
2. 論文標題 Detection and Characterization of Earthquake Swarms in Nankai and Its Association With Slow Slip Events	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 e2022JB025984
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022JB025984	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Xiong Ziyao, Zhuang Jiancang	4. 巻 94
2. 論文標題 SETAS: A Spherical Version of the Space-Time ETAS Model	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Seismological Research Letters	6. 最初と最後の頁 1676-1688
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1785/0220220198	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Petrillo Giuseppe, Zhuang Jiancang	4. 巻 12
2. 論文標題 The debate on the earthquake magnitude correlations: a meta-analysis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 20683
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-25276-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Benali Amel, Zhuang Jiancang, Talbi Abdelhak	4. 巻 70
2. 論文標題 An updated version of the ETAS model based on multiple change points detection	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Acta Geophysica	6. 最初と最後の頁 2013 ~ 2031
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11600-022-00863-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhuang Jiancang	4. 巻 NA
2. 論文標題 Statistical Seismology	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Encyclopedia of Mathematical Geosciences. Encyclopeida of Earth Sciences Series	6. 最初と最後の頁 1~15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-26050-7_34-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhuang Jiancang, Siew Hai-Yen	4. 巻 11
2. 論文標題 A Simultaneous Estimation of the Baseline Intensity and Parameters for Modulated Renewal Processes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Axioms	6. 最初と最後の頁 303~303
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/axioms11070303	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Pei Weilai, Zhou Shiyong, Zhuang Jiancang, Xiong Ziyao, Piao Jian	4. 巻 65
2. 論文標題 Application and discussion of statistical seismology in probabilistic seismic hazard assessment studies	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science China Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 257~268
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11430-021-9824-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Jia Ke, Zhou Shiyong, Zhuang Jiancang, Jiang Changsheng	4. 巻 48
2. 論文標題 Stress Transfer Along the Western Boundary of the Bayan Har Block on the Tibet Plateau From the 2008 to 2020 Yutian Earthquake Sequence in China	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 e2021GL094125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021GL094125	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Guo Yicun, Zhuang Jiancang, Zhang Huai	4. 巻 126
2. 論文標題 Heterogeneity of Aftershock Productivity Along the Mainshock Ruptures and Its Advantage in Improving Short Term Aftershock Forecast	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 e202JB020494
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JB020494	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hsu Ya-Ju, Kao Honn, Burgmann Roland, Lee Ya-Ting, Huang Hsin-Hua, Hsu Yu-Fang, Wu Yih-Min, Zhuang Jiancang	4. 巻 7
2. 論文標題 Synchronized and asynchronous modulation of seismicity by hydrological loading: A case study in Taiwan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabf7282
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abf7282	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 庄 建倉、小山 慎介、野村 俊一	4. 巻 2
2. 論文標題 「特集 Hawkes 過程の新展開と応用」について	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 統計数理	6. 最初と最後の頁 121-122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 庄 建倉、尾形 良彦	4. 巻 2
2. 論文標題 統計地震学におけるETASモデル：その進展とホークス型モデル	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 統計数理	6. 最初と最後の頁 145-163
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 郭 一村、庄 建倉	4. 巻 2
2. 論文標題 時空間ETASモデルの拡張バージョンとその応用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 統計数理	6. 最初と最後の頁 223-237
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Zhuang Jiancang, Matsu ' ura Mitsuhiro, Han Peng	4. 巻 230
2. 論文標題 Critical zone of the branching crack model for earthquakes: Inherent randomness, earthquake predictability, and precursor modelling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The European Physical Journal Special Topics	6. 最初と最後の頁 409 ~ 424
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjst/e2020-000272-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Liu Yue, Zhuang Jiancang, Jiang Changsheng	4. 巻 92
2. 論文標題 Background Seismicity before and after the 1976 Ms7.8 Tangshan Earthquake: Is Its Aftershock Sequence Still Continuing?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Seismological Research Letters	6. 最初と最後の頁 877 ~ 885
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1785/Q220200179	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Buckby Jodie, Wang Ting, Zhuang Jiancang, Obara Kazushige	4. 巻 29
2. 論文標題 Model Checking for Hidden Markov Models	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Computational and Graphical Statistics	6. 最初と最後の頁 859 ~ 874
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/10618600.2020.1743295	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Jia Ke, Zhou Shiyong, Zhuang Jiancang, Jiang Changsheng, Guo Yicun, Gao Zhaohui, Gao Shesheng, Ogata Yoshihiko, Song Xiaodong	4. 巻 91
2. 論文標題 Nonstationary Background Seismicity Rate and Evolution of Stress Changes in the Changning Salt Mining and Shale-Gas Hydraulic Fracturing Region, Sichuan Basin, China	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Seismological Research Letters	6. 最初と最後の頁 2170 ~ 2181
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1785/0220200092	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Han Peng, Zhuang Jiancang, Hattori Katsumi, Chen Chieh-Hung, Febriani Febty, Chen Hongyan, Yoshino Chie, Yoshida Shuji	4. 巻 22
2. 論文標題 Assessing the Potential Earthquake Precursory Information in ULF Magnetic Data Recorded in Kanto, Japan during 2000 - 2010: Distance and Magnitude Dependences	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Entropy	6. 最初と最後の頁 859 ~ 859
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/e22080859	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Varini Elisa, Peresan Antonella, Zhuang Jiancang	4. 巻 125
2. 論文標題 Topological Comparison Between the Stochastic and the Nearest Neighbor Earthquake Declustering Methods Through Network Analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 e2020JB019718
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JB019718	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Katsumata Kei, Zhuang Jiancang	4. 巻 177
2. 論文標題 A New Method for Imaging Seismic Quiescence and Its Application to the Mw=8.3 Kurile Islands Earthquake on 15 November 2006	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Pure and Applied Geophysics	6. 最初と最後の頁 3619 ~ 3630
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00024-020-02498-w	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shen Xun, Zhuang Jiancang, Zhang Xingguo	4. 巻 7
2. 論文標題 Approximate Uncertain Program	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 182357 ~ 182365
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2019.2958621	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Guo Yicun, Zhuang Jiancang, Ogata Yoshihiko	4. 巻 46
2. 論文標題 Modeling and Forecasting Aftershocks Can Be Improved by Incorporating Rupture Geometry in the ETAS Model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 12881 ~ 12889
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019GL084775	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Xiong Ziyao, Zhuang Jiancang, Zhou Shiyong	4. 巻 109
2. 論文標題 Long Term Earthquake Hazard in North China Estimated from a Modern Catalog	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bulletin of the Seismological Society of America	6. 最初と最後の頁 2340 ~ 2355
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1785/0120190066	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Shcherbakov Robert, Zhuang Jiancang, Zoeller Gert, Ogata Yoshihiko	4. 巻 10
2. 論文標題 Forecasting the magnitude of the largest expected earthquake	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 4051
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-11958-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhou Pengcheng, Yang Hongfeng, Wang Baoshan, Zhuang Jiancang	4. 巻 124
2. 論文標題 Seismological Investigations of Induced Earthquakes Near the Hutubi Underground Gas Storage Facility	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 8753 ~ 8770
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019JB017360	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Niu YuanYuan, Guo LiangHui, Shi Lei, Chen Shi, Zhuang JianCang	4. 巻 62
2. 論文標題 Estimation of near-surface density based on gravity Bayesian analysis and its application in Yunnan area	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chinese Journal of Geophysics	6. 最初と最後の頁 2101-2114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.6038/cjg2019M0332	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhuang Jiancang, Mateu Jorge	4. 巻 182
2. 論文標題 A semiparametric spatiotemporal Hawkes type point process model with periodic background for crime data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)	6. 最初と最後の頁 919 ~ 942
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/rssa.12429	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計61件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 30件)

1. 発表者名 Zhuang, J.
2. 発表標題 Estimation, diagnostics, and extensions of nonparametric Hawkes processes
3. 学会等名 Statistics Across Campuses Seminar, UNSW シドニー, オーストラリア (ハイブリッド開催) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 庄 建倉, 司 政亜
2. 発表標題 Bayesian merging of earthquake catalogs from multiple sources
3. 学会等名 日本地震学会2022年度秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 熊 子瑶, 庄 建倉
2. 発表標題 The research and application of the spherical space-time ETAS model
3. 学会等名 日本地震学会2022年度秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Petrillo, G.*, Zhuang, J. and Lippiello, E.
2. 発表標題 Verification of Seismic Gap by means of physical and statistical models
3. 学会等名 日本地震学会2022年度秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 牛 源源*, 庄 建倉
2. 発表標題 Second-order smoothness prior over the Delaunay Tessellation and its application to gravity Bayesian inversion
3. 学会等名 日本地震学会2022年度秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zhuang, J.
2. 発表標題 Evaluating earthquake forecasts with likelihood based marginal and conditional scores
3. 学会等名 StatSei12, IESC コルシカ(仏) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Xiong, Z
2. 発表標題 The research on the spherical space-time ETAS model
3. 学会等名 StatSei12, IESC コルシカ(仏) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 庄 建倉
2. 発表標題 地震活動による点過程モデルの改良：残差解析からの学習
3. 学会等名 2022年度統計関連学会連合大会, 成蹊大学(ハイブリッド開催) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 熊澤 貴雄*, 尾形 良彦
2. 発表標題 On statistical methods applied to recent earthquake swarms
3. 学会等名 2022年度統計関連学会連合大会, 成蹊大学(ハイブリッド開催)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 熊子瑤*, 庄建倉
2. 発表標題 A spherical version of the space-time ETAS model
3. 学会等名 2022年度統計関連学会連合大会, 成蹊大学(ハイブリッド開催)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Petrillo Giuseppe*, 庄建倉
2. 発表標題 Bayesian earthquake forecasts based on the ETAS model
3. 学会等名 2022年度統計関連学会連合大会, 成蹊大学(ハイブリッド開催)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 牛源源*, 庄建倉
2. 発表標題 Second-order smoothness prior over the Delaunay Tessellation and application on gravity Bayesian inversion
3. 学会等名 2022年度統計関連学会連合大会, 成蹊大学(ハイブリッド開催)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zhuang, J.
2. 発表標題 Stochastic Reconstruction: A Data-driven Method for Extending and Estimating Seismicity Clustering Models
3. 学会等名 AOGS2022 VIRTUAL, 19th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 庄 建倉
2. 発表標題 Refining the ETAS model: non-stationary background rate, hypocentral depth, source rupture geometry, and focal mechanism
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会, 幕張メッセ (ハイブリッド開催)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Han, P.*, Chen, H., Zhuang, J., Hattori K.
2. 発表標題 Point-process modelling of earthquakes incorporating ULF seismo-magnetic anomalies
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会, 幕張メッセ (ハイブリッド開催) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 尾形 良彦
2. 発表標題 階層型時空間ETASと時空間ポアソン過程モデルによる日本内陸部の地震発生確率の予測と検証
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会, 幕張メッセ (ハイブリッド開催)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 熊澤 貴雄*, 尾形 良彦
2. 発表標題 非定常ETASモデルで捉える能登半島群発地震活動の地域的变化
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会, 幕張メッセ (ハイブリッド開催)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Xiong, Z.* and Zhuang, J.
2. 発表標題 The research and application of the spherical spacetime ETAS model
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会, 幕張メッセ (ハイブリッド開催) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Taroni, M.*, Selva, J., Marzocchi, W. and Zhuang, J.
2. 発表標題 Everything you always wanted to know about b-value* (*but were afraid to ask)
3. 学会等名 European Geoscience Union(EGU) General Assembly 2022, Austria Center Vienna (ACV) (ハイブリッド開催) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zhuang, J
2. 発表標題 Extensions of the spatiotemporal ETAS model and their applications
3. 学会等名 東京大学地震研究所共同利用研究集会「地震活動の統計モデルと物理的意味」, オンライン開催 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 尾形 良彦
2. 発表標題 ETASモデルの発展
3. 学会等名 東京大学地震研究所共同利用研究集会「地震活動の統計モデルと物理的意味」, オンライン開催 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhuang, J.
2. 発表標題 Long-term earthquake forecasts for the Italy and California regions based on the epidemic-type aftershock sequence (ETAS) model for short-term clustering
3. 学会等名 2021 Fall Meeting of the American Geophysical Union(AGU)(米国地球物理学連合2021年秋季大会), Online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Maita, E. and Zhuang, J.*
2. 発表標題 Extended ETAS model by incorporating focal mechanisms
3. 学会等名 2021 Fall Meeting of the American Geophysical Union(AGU)(米国地球物理学連合2021年秋季大会), Online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Xiong, Z.* and Zhuang, J.
2. 発表標題 The research of spherical time-space ETAS model
3. 学会等名 2021 Fall Meeting of the American Geophysical Union(AGU)(米国地球物理学連合2021年秋季大会), Online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ogata, Y.*, Katsura, K.
2. 発表標題 Modified estimation and forecasting of the hierarchical space-time ETAS (HIST-ETAS) model for earthquake catalogs in a wide area possessing long- and short-term incompleteness
3. 学会等名 2021 Southern California Earthquake Center (SCEC) Annual Meeting, Online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 庄 建倉
2. 発表標題 A filtering formula for the renewal Hawkes process
3. 学会等名 2021年度統計関連学会連合大会, オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 熊 子瑤*, 庄 建倉, 尾形 良彦
2. 発表標題 A study on the spherical space-time ETAS model
3. 学会等名 2021年度統計関連学会連合大会, オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 尾形 良彦*, 桂 康一
2. 発表標題 気象庁地震カタログの時空間的検出率の長期的変遷と大地震直後の欠測率の推定
3. 学会等名 2021年度統計関連学会連合大会, オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 庄 建倉*, 熊 子瑤, 尾形良彦
2. 発表標題 時空間ETASモデルの球面バージョン
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会, オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Han, P.* , Zhuang, J., Hattori, K., Chen, C-H., Febriani, F. and Chen, H.
2. 発表標題 Assessing the potential earthquake precursory information in ULF magnetic data recorded in Kanto, Japan during 2000 - 2010: distance and magnitude dependences
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会, オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Xiong, Z.* and Zhuang, J.
2. 発表標題 A Bayesian approach to estimating the crustal strain-rate fields from GNSS data and application to data from Mainland China
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会, オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 尾形良彦*, 桂 康一
2. 発表標題 地震カタログの時空間的非均質性のモデルと適用
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会, オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 熊澤貴雄*, 尾形良彦
2. 発表標題 長野・岐阜・福井県境付近の群発地震活動の統計解析とその特徴について
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会, オンライン開催
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Xiong, Z.* and Zhuang, J.
2. 発表標題 Crustal strain-rate fields estimated from GNSS data with a Bayesian approach and its correlation to seismic activity
3. 学会等名 European Geoscience Union(EGU) General Assembly 2021: Gather Online (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhuang, J.* and Maita, E.
2. 発表標題 Incorporating focal mechanisms into the ETAS model
3. 学会等名 2020 Fall Meeting of the American Geophysical Union(AGU) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 庄 建倉
2. 発表標題 Model Improvement Through Residual Analysis
3. 学会等名 2020年度科学研究費シンポジウム「大規模複雑データの理論と方法論：最前線の動向と新たな展開」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 沈 迅*, 庄 建倉
2. 発表標題 Decimating Nonlinear Response in State Space Models for Battery Capacity Estimation
3. 学会等名 2020年度科学研究費シンポジウム「大規模複雑データの理論と方法論：最前線の動向と新たな展開」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 庄 建倉*, 蒔田恵理
2. 発表標題 震源機構を組み込んだETASモデル
3. 学会等名 日本地震学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Zhuang, J.* and Maita, E.
2. 発表標題 An ETAS model incorporated with focal mechanisms
3. 学会等名 2020 Annual Meeting of the Southern California Earthquake Center (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 庄 建倉
2. 発表標題 Testing foreshock hypothesis against the ETAS model: why is it so difficult?
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Maita, Eri*, 庄 建倉
2. 発表標題 Maita, Eri*, 庄 建倉 (2020). The character of the Focal mechanisms with Kagan angles in Japan area for the extended 2-D ETAS model
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 庄 建倉
2. 発表標題 Estimation, Diagnostics, and Extensions of Nonparametric Hawkes Processes with Kernel Functions
3. 学会等名 科研基盤(A)シンポジウム「統計の推測および確率解析に関する総合的研究」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 庄 建倉
2. 発表標題 Bayesian approach for network adjustment for gravity survey campaign
3. 学会等名 固体地球データ同化に関する研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jia, K., Zhou, S., Jiang, C. and Zhuang, J.
2. 発表標題 Spatiotemporal Evolution of Background Seismicity Rate and Stress Changes Inverted from Seismic Catalog in Changning Shalegas Hydraulic Fracturing Region, Sichuan Basin of China,
3. 学会等名 2019 Fall Meeting of the American Geophysical Union (AGU) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Guo, Y., Zhuang, J. and Ogata, Y.
2. 発表標題 Spatial Heterogeneity of the Aftershock Productivity of the Kumamoto Earthquake Modeled by the Finite Source ETAS model
3. 学会等名 2019 Fall Meeting of the American Geophysical Union(AGU) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Xiong, Z.* , Zhuang, J. and Zhou, S.
2 . 発表標題 A Bayesian approach to estimating the strain rate from GPS Velocity observations and application to data from Mainland China
3 . 学会等名 2019 Fall Meeting of the American Geophysical Union(AGU) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Guo, Y.* , Zhuang, J. and Ogata, Y.
2 . 発表標題 Spatial heterogeneity of aftershock productivity on the Kumamoto earthquake rupture modeled by the finite source ETAS model
3 . 学会等名 日本地震学会2019年度秋季大会
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 庄 建倉
2 . 発表標題 A filtering formula for the conditional intensity of the renewal Hawkes process
3 . 学会等名 2019年度統計関連学会連合大会
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Jia, K.* , Zhou, S. , Jiang, C. and Zhuang, J.
2 . 発表標題 Spatiotemporal evolution of background seismicity rate and stress changes inverted from seismic catalog in Changning region, Sichuan Basin of China
3 . 学会等名 11th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei11) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Han, P.*, Zhuang, J., Ogata, Y. and Hattori, K.
2. 発表標題 Operational earthquake forecast incorporating multiple geophysical data
3. 学会等名 11th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei11) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shcherbakov, R.*, Zhuang, J., Zoeller, G. and Ogata, Y.
2. 発表標題 Bayesian Inference on the Magnitude of the Largest Expected Earthquake
3. 学会等名 11th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei11) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Varini, E.*, Peresan, A. and Zhuang, J.
2. 発表標題 Declustering algorithms and network theory for the topological inspection of earthquake sequences
3. 学会等名 11th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei11) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Guo, Y.*, Zhuang, J. and Ogata, Y.
2. 発表標題 Extended versions of the space-time ETAS model and application to the 2016 Kumamoto earthquake sequence
3. 学会等名 11th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei11) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Xiong, Z.* , Zhuang, J. and Zhou, S.
2. 発表標題 Long-term earthquake risk in North China estimated from a modern catalogue
3. 学会等名 11th International Workshop on Statistical Seismology(StatSei11) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zhuang, J.* and Maita, E.
2. 発表標題 Distributions of focal mechanisms in background seismicity and earthquake clusters in Japan
3. 学会等名 11th International Workshop on Statistical Seismology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 庄 建倉*, 蒔田恵理
2. 発表標題 Distributions of focal mechanisms in background seismicity and earthquake clusters in Japan
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Han, P.* , Zhuang, J., Ogata, Y. and Hattori, K.
2. 発表標題 Earthquake probability forecast incorporating non-seismic data
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Guo, Y.*, Zhuang, J. and Ogata, Y.
2 . 発表標題 Extended versions of the space-time ETAS model and application to the 2016 Kumamoto earthquake sequence
3 . 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Zhuang, J.
2 . 発表標題 Data missing in the Chichi earthquake sequence and stochastic replenishment
3 . 学会等名 2019 Taiwan Geosciences Assembly (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Peresan, A.*, Varini, E. and Zhuang, J.
2 . 発表標題 Capturing the complexity of earthquake sequences by different methods
3 . 学会等名 European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Schorlemmer, D.*, Hirata, N., Cotton, F., Gerstenberger, M., Marzocchi, W., Werner, M., Wiemer, S., Jordan, T., Beutin, T., Jackson, D., Maechling, P., Mak, S., Nanjo, K., Ogata, Y., Rhoades, D., Strader, A., Tsuruoka, H., Weatherill, G., Zhuang, J. and Savran, W.
2 . 発表標題 Increasing Earthquake Forecast Testability - CSEP Future Developments
3 . 学会等名 European Geosciences Union(EGU) General Assembly 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Zhuang, J	4. 発行年 2020年
2. 出版社 ISTE	5. 総ページ数 16
3. 書名 Explaining foreshock and the Bath law using a generic earthquake clustering model, in Statistical Methods and modelling of seismogenesis, edited by Limnios, N., Papadimitriou, E. and Tsaklidis, G., ISTE	

〔産業財産権〕

〔その他〕

Analyzing seismic patterns to forecast https://www.eurekalert.org/pub_releases/2019-12/rooi-asp120119.php

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	尾形 良彦 (Ogata Yosihiko)		
研究協力者	野村 俊一 (Nomura Shunichi)		
研究協力者	近江 崇宏 (Omi Takahiro)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	郭 一村 (Guo Yicun)		
研究協力者	王 てい (Ting Wang)		
研究協力者	マテウ ホーゲ (Mateu Jorge)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会 Workshop on Hawkes processes in data science	開催年 2019年～2019年
--	--------------------

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
カナダ	Western University			
イタリア	INGV	CNR-IMATI		
ニュージーランド	Otago University	GNS	Statistical Research Associates	