

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 5 日現在

機関番号：62603

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330052

研究課題名(和文)地震活動の統計的モデリングの高度化

研究課題名(英文)Refine statistical models for earthquakes

研究代表者

庄 建倉 (Zhuang, Jiancang)

統計数理研究所・大学共同利用機関等の部局等・准教授

研究者番号：70465920

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は3つの方面で展開した。1.理論：広い範囲の地震発生の分枝過程モデルの臨界特性と安定条件を検討し、ETASモデルの拡張性に制限を与えた。分岐クラックモデルを用いて、地震源に関連する現象がマイクロスケールから説明された。2.地震性活動のモデリングと統計推定：(a)地震断層形状を含む形でETASモデルを拡張し、地震活動を使用して地震断層形状の逆問題を解いた。(b)地震の深さを組み込んだETASモデルを開発した。(c)時空間点過程モデルの重み付き最尤推定量を提案した。3.いくつかの非地震性活動の異常と地震発生との関係の確認。

研究成果の概要(英文)：This research is carried out in three directions. 1. Theoretic research: The criticality and stability conditions for a type of more general branching process are studied, providing what constraints should be obey when extending the ETAS model; The branching cracking can be used to explain many features of earthquake source ruptures. 2. Seismicity modelling and statistical inference: ETAS models incorporated with earthquake rupture geometry are developed, based on which the rupture geometry can be inverted from seismicity; Earthquake hypocenter depths are incorporated into a 3D high-resolution ETAS model; weighted likelihood estimates for space-time point processes have been proposed. 3. The precursory information in several kinds of non-seismicity anomalies has validated.

研究分野：統計科学

キーワード：ETASモデル 確率利得 非地震性異常 分岐クラックモデル 重み付き最尤推定量 残差分析 震源メカニズム 地震断層形状

1. 研究開始当初の背景

地震活動の点過程モデリングその核心は、統計地震学の核心である。ETAS モデルは、地震活動パターンの再現性に関する、種々の仮説のテストのために使われており、地震発生予測の有意性や確率利得を評価するために定常ポアソン過程に代わる新しい標準地震活動(帰無仮説モデル)として広く使われている。このモデルは、地震の連鎖性や空間集中特性を記述するために開発され、多くの研究者によって追試研究されてきた。地震予測のための国際共同研究 CSEP プロジェクトにおいて、毎日予測モデルは大体 ETAS モデルに基づいている。このように短期予測の標準モデルとして国際的に認知・推奨され、本年秋からはカリフォルニア州政府による地震予測計画(UCERF3 project)でも採用される。

このモデルを非定常版に拡張して、火山地帯での群発地震活動から地下のマグマや水などの流体の侵入による誘発地震活動の定量的な情報を捉えることが可能になった。Ogata (2007, 2011) は ETAS モデルからの実際の地震発生率の系統的な偏差とスロースリップや大地震による応力変化との関係を検討した。このようにこれまでの研究は標準的な ETAS モデルに含まれていなかったが、このデータに潜在している地震発生に関する多くの情報を明らかにした。このように、より精緻な新しいモデルを実装するために十分な情報を得つつある。地震活動のデータが膨大になった今、これらの機能を組み込んだより精緻な標準モデルを構築することができようになった。

現在の ETAS (Epidemic Type Aftershock Sequence) モデルを応用することによって、地震間の相互作用を研究し、より効果的な予測のためのツールを開発できるだろう。しかし現在の ETAS モデルは、地震の震源が点源であると仮定している。今、異常観測と地震との因果関係を論じたモデルは殆ど無い。これを通じて地球物理学的各種データを入力とし地震活動を出力とするシステムの因果関係の適合度や有意性を測るなどの統計的探索や検証を確率的予測効率の観点から評

価する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、標準 ETAS モデルを発展させて、地震発生予測のための新しい高度な統計モデルおよび関連の統計手法を開発することである。モデリングには以下の観測情報の組み込みを予定する。(1)地震の発震機構(メカニズム)データ(2)GPS による測地時系列などの外生変数データ。

点過程モデルについての以下の統計的手法が関与しており、目的に応じてこれらを工夫開発する。(1)地震発生の不均質性や時間空間の変化問題などを含むモデルパラメータの推定のための重み付き尤度法。(2)統計モデルの各種評価方法、特に地震発生予測の評価への応用。(3)欠測があるデータの統計的推定法。

3. 研究の方法

この研究では、以下の研究方法が適用される。[1]点過程の統計的推論の手法。最尤推定法、間引きシミュレーション法、点過程の時間変換など点過程の統計的手法を利用し、地震活動パターンの各種モデリングを探索する。[2]確率的クラスター再構築方法。[3]平滑化事前分布によるベイズ分析。[4]重み付き尤度による推定法と平滑化事前分布のベイズ解析法。[5]マルコフ連鎖モンテカルロ法。

4. 研究成果

本研究は以下四つの方面で展開した。

1.理論方面:(a) ETAS や BASS モデルを含む広い範囲の地震発生の分枝過程モデルの臨界特性と安定条件を検討し、ETAS モデルの拡張性に制限を与えた。子地震の大きさが親地震の大きさから独立でないとき、このマーク付き分枝過程には「半臨界(semi-critical)」という特別なモードが存在する。(b)分岐クラックモデル(branching crack model)を用いて、地震源に関連するいくつかの現象は、大きさの分布、ソース時間関数の特性、及び破壊継続時間と地震モーメントとの関係を含めマイクロスケールで説明された。

2.地震活動のモデリングと統計推測:(a)地震活動を使用して地震断層形状の逆問題を解いた。地震断層形状を組み込む ETAS モデルにおいて、ETAS

モデルからデータへのより良好なフィッティングが得られた。確率的再構築法を用い、断層形状の反転方法を開発した。(b) 地震の深さを組み込んだ新しい地震活動の高解像度の予測を提供できる ETAS モデルを開発した。(c) 残差分析の手法に基づいて、時空間点 ETAS モデルの重み付き最尤推定量の手法で日本地域での地震活動特性の空間変動を分析した。

3. 非地震性活動の異常と地震発生の関係を確認。(a) 自己および相互励起モデルを利用して、北京地域の地下電気信号の前兆情報を確認した。(b) ニュージーランド・タupo (Taupo) 地域、カリフォルニア州地域と日本の関東地方で GPS の前兆情報を確認した。確率の利得は約 4 から 10 であった。(c) 中国西部地域の重力異常と地震発生との関係を確認した。予測の確率利得は約 3 から 5 である。

4. 地震予測の性能を評価するためパリミュチュエルギャンプリング評価法を開発した。これで、南カリフォルニア地震センターの RELM (Regional earthquake likelihood model) 予測パフォーマンスを評価した。

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 21 件)

Zhuang, J., Wang, D. and Matsu'ura, M. (2016).

Features of the earthquake source process simulated by Vere-Jones' branching crack model, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.106. (Accepted)

Luo, J. and Zhuang, J. (2016). Three regimes of the distribution of the largest event in the critical ETAS model, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.106, Issue 3, doi:10.1785/0120150324. (In press) (Pre-Issue Publication: 10 May 2016)

Huang, Y., Zhou, S. and Zhuang, J. (2016). Numerical tests on catalog-based methods to estimate magnitude of completeness (in Chinese with English abstract), *Chinese Journal of Geophysics*, Vol.59, No.4, pp.1350-1358, doi:10.6038/cjg20160416.

Huang, Q., Gestenberger, M. and Zhuang, J. (2016). Current Challenges in Statistical Seismology, *Pure and Applied Geophysics*, Vol.173, Issue 1, pp.1-3, doi:10.1007/s00024-015-1222-7.

Chen, S., Jiang, C. and Zhuang, J. (2015). Statistical Evaluation of Efficiency and Possibility of Earthquake Predictions with Gravity Field Variation and its Analytic Signal in Western China, *Pure and Applied Geophysics*, Vol.173, Issue 1, pp.305-319, doi:10.1007/s00024-015-1114-x.

Zhuang, J. (2015). Weighted likelihood estimators for point processes, *Spatial Statistics*, Vol.14, PartB, pp.166-178, doi:10.1016/j.spasta.2015.07.009.

Guo, Y., Zhuang, J. and Zhou, S. (2015). A hypocentral version of the space-time ETAS model, *Geophysical Journal International*, Vol.203, Issue1, pp.366-372, doi:10.1093/gji/ggv319.

庄 建倉, 尾形良彦 (2015). 地震予測の評価法について, *統計数理*, 第 63 巻, 第 1 号, pp.29-44.

Guo, Y., Zhuang, J. and Zhou, S. (2015). An improved space-time ETAS model for inverting the rupture geometry from seismicity triggering, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol.120, Issue5, pp.3309-3323, doi:10.1002/2015JB011979.

Murru, M., Zhuang, J., Console, R. and Falcone, G. (2014). Short-term earthquake forecasting experiment before and during the L'Aquila (central Italy) seismic sequence of April 2009, *Annual of Geophysics*, Vol.57, No.6, doi:10.4401/ag-6583.

Zechar, J.D. and Zhuang, J. (2014). A parimutuel gambling perspective to compare probabilistic seismicity forecasts, *Geophysical Journal International*, Vol.199, Issue1, pp.60-68, doi:10.1093/gji/ggu137.

Han, P., Hattori K., Hirokawa, M., Zhuang, J., Chen, C.-H., Febriani, F., Yamaguchi, H., Yoshino, C., Liu, J.-Y. and Yoshida, S. (2014). Statistical analysis of ULF seismomagnetic phenomena at Kakioka, Japan, during 2001-2010, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, Vol.119, Issue6, pp.4998-5011, doi:10.1002/2014JA019789.

Zoeller, G., Holschneider, M., Hainzl, S. and Zhuang, J. (2014). The largest expected earthquake magnitudes in Japan: The statistical perspective. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.104, No.2, pp.769-779, doi:10.1785/0120130103,

Jia, K., Zhou, S., Zhuang, J. and Jiang, C. (2014). Possibility of the independence between the 2013 Lushan earthquake and the 2008 Wenchuan earthquake on Longmen Shan Fault, Sichuan, China, *Seismological Research Letters*, Vol.85, No.1, pp.60-67, doi:10.1785/0220130115,.

Zhuang, J., Werner, M.J. and Harte, D.S. (2013). Stability of earthquake clustering models: Criticality and branching ratios, *Physical Review E*, Vol.88, Issue6, 062109(1-13), doi:10.1103/PhysRevE.88.062109.

Jiang, C., Zhuang, J., Long, F. and Han, L. (2013). Statistical analysis of ETAS parameters in the early stage of the 2013 Lushan Ms7.0 earthquake sequence, *Acta Seismologica Sinica*, Vol.35, No.5, pp.661-669, doi:10.3969/j.issn.0253-3782.2013.05.005.

Talbi, A., Nanjo, K., Zhuang, J., Satake, K. and Hamdache, M. (2013). Intervent times in a new alarm-based earthquake forecasting model, *Geophysical Journal international*, Vol.194, Issue 3, pp.1823-1835, doi:10.1093/gji/ggt194.

Talbi, A., Nanjo, K., Satake, K., Zhuang, J. and Hamdache, M. (2013). Comparison of seismicity declustering methods using a probabilistic measure of clustering, *Journal of Seismology*, Vol.17, Issue3, pp.1041-1061, doi:10.1007/s10950-013-9371-6.

Jiang, C.-S., Wu, Z.-L. and Zhuang, J.-C. (2013). ETAS model applied to the Earthquake-Sequence Association (ESA) problem: the Tangshan sequence, *Chinese Journal Geophysics*, Vol.56, Issue9, pp.2971-2981, doi:10.6038/cjg20130911.

Wang, T., Zhuang, J., Kato, T. and Bebbington, M. (2013). Assessing the potential improvement in

short-term earthquake forecasts from incorporation of GPS data, *Geophysical Research Letters*, Vol.40, Issue11, pp.2631-2635, doi:10.1002/grl.50554, Jacobs, K.M., Smith, E.G.C., Savage, M.K. and Zhuang, J. (2013). Cumulative rate analysis (CURATE): a clustering algorithm for swarm dominated catalogs, *Journal of Geophysical Research*, Vol.118, Issue2, pp.553-569, doi:10.1029/2012JB009222.

[学会発表] (計 53 件)

庄 建倉*, 王 婷 (2016). Correcting biases in the estimates of earthquake clustering parameters caused by short-term missing of aftershocks, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張メッセ国際展示場, 千葉市, 2016 年 5 月 25 日, ポスター発表.

Segou, M.* and Zhuang, J. (2016). Optimized physics-based earthquake forecasts for inland Japan, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉市, 2016 年 5 月 25 日, 一般講演.

Han, P.*, Hattori, K. and Zhuang, J. (2016). Assessment and optimization of the potential earthquake precursory information in ULF magnetic data registered at Kanto, Japan during 2000 – 2010, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉市, 2016 年 5 月 25 日, 一般講演.

Zhuang, J. (2016). Testing Significance of Non-Seismicity Precursors Against Earthquake Clustering Models Instead of Against Complete Randomness, 2016 International Workshop on Earthquake Precursors, Taipei Nangang Exhibition Center, 台北市, 台湾, 2016 年 5 月 17 日, 招待講演.

Wang, T., Zhuang, J., Obara, K., Turuoka, H. (2016). Migration patterns of tremor activity revealed by Hidden Markov modelling. 第 2 回研究集会「地震活動の時空間パターンと断層および地震サイクルとの関係」, 東京大学地震研究所, 東京都文京区, 2016 年 1 月 28 日, 一般講演.

Zhuang, J. (2016). Weighted likelihood estimators for point processes and application in detecting spatial variations of seismicity clustering characteristics, ISM Symposium on Environmental Statistics 2016, 統計数理研究所, 東京都立川市, 2016 年 1 月 15 日, 一般講演.

Zhuang, J.*, Wang, T., Obara, K. and Tsuruoka, H. (2015). Identifying spatiotemporal migration patterns of non-volcanic tremors using hidden Markov models, 2015 Fall Meeting of the American Geophysical Union (AGU)(米国地球物理学連合 2015 年秋季大会), Moscone Center, サンフランシスコ, アメリカ合衆国, 2015 年 12 月 16 日, ポスター発表.

Guo, Y.*, Zhuang, J., Zhou, S. and Gao, Y. (2015). An improved space-time ETAS model for inverting the rupture geometry from seismicity triggering, 2015 Fall Meeting of the American Geophysical Union (AGU)(米国地球物理学連合 2015 年秋季大会), Moscone Center, サンフランシスコ, アメリカ合衆国, 2015 年 12 月 18 日, ポスター発表.

Chu, A.* and Zhuang, J. (2015). Multiple linear regression models to fit magnitude using rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, 2015 Fall Meeting of the American Geophysical Union (AGU)(米国地球物理学連合 2015 年秋季大会), Moscone Center, サンフランシスコ,

コ, アメリカ合衆国, 2015 年 12 月 18 日, ポスター発表.

庄 建倉 (2015). Detecting spatial variations of earthquake clustering characteristics via weighted likelihood estimates, 日本地震学会 2015 年度秋季大会, 神戸国際会議場, 神戸市, 2015 年 10 月 26 日, 一般講演.

庄 建倉 (2015). Detection of spatial variations of earthquake clustering characteristics via weighted likelihood estimators, 2015 年度統計関連学会連合大会, 岡山大学津島キャンパス, 岡山県岡山市, 2015 年 9 月 8 日, 一般講演.

Zhuang, J. (2015). Features of the earthquake source process simulated by Vere-Jones' branching crack model, 9th ACES(APEC Cooperation for Earthquake Simulation) International Workshop, Sofis Jinyuan Hotel, 成都市, 四川省, 中国, 2015 年 8 月 10 日, 一般講演.

Zhuang, J.*, Guo, Y., and Zhou, S. (2015). Hypocentral ETAS model, 東京大学地震研究所 第 6 回研究集会「日本における地震発生予測検証実験(CSEP-Japan)」, 統計数理研究所, 東京都立川市, 2015 年 7 月 23 日.

Zhuang, J. (2015). Weighted likelihood estimators for point processes, 2015 International Workshop on Spatial and Temporal Modeling from Statistical, Machine Learning and Engineering perspectives (STM2015) and Workshop on Complex systems Modeling and Estimation Challenges in big data (CSM2015), 統計数理研究所, 東京都立川市, 2015 年 7 月 15 日, 招待講演.

Zhuang, J. (2015). Detecting spatial variations of earthquake clustering parameters via maximum weighted likelihood estimates, 9th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei9) (第 9 回統計地震学国際ワークショップ), Arcona Hotel am Havelufer, ポツダム, ドイツ連邦共和国, 2015 年 6 月 15 日, 一般講演.

Wang, T.*, Zhuang, J., Obara, K. and Tsuruoka, H. (2015). Hidden Markov Modeling of Sparse Time Series from Non-volcanic Tremor observations, 9th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei9) (第 9 回統計地震学国際ワークショップ), Arcona Hotel am Havelufer, ポツダム, ドイツ連邦共和国, 2015 年 6 月 15 日, 招待講演.

Guo, Y.*, Zhuang, J. and Zhou, S. (2015). An improved ETAS model for inverting the rupture geometry from seismicity triggering, 9th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei9) (第 9 回統計地震学国際ワークショップ), Arcona Hotel am Havelufer, ポツダム, ドイツ連邦共和国, 2015 年 6 月 15 日, ポスター発表.

Zechar, J.D.*, Rierola, M. and Zhuang, J. (2015). A parimutuel gambling perspective to compare probabilistic seismicity forecasts and deterministic earthquake predictions, 9th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei9) (第 9 回統計地震学国際ワークショップ), Arcona Hotel am Havelufer, ポツダム, ドイツ連邦共和国, 2015 年 6 月 17 日, ポスター発表.

Falcone, G.*, Murru, M., Console, R., Marzocchi, W. and Zhuang, J. (2015). Retrospective forecast of ETAS model with daily parameters estimate, 9th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei9) (第 9 回統計地震学国際ワークショップ),

- Arcona Hotel am Havelufer, ポツダム, ドイツ連邦共和国, 2015年6月17日, ポスター発表.
- Wang, M.* and Zhuang, J. (2015). On the focal mechanism distributions of background seismicity and triggered seismicity in the Japan region, 9th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei9) (第9回統計地震学国際ワークショップ), Arcona Hotel am Havelufer, ポツダム, ドイツ連邦共和国, 2015年6月15日, ポスター発表.
- Han, P.*, Hattori, K. and Zhuang, J. (2015). Optimal short-term earthquake forecasts based on ULF seismo-magnetic data, 9th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei9) (第9回統計地震学国際ワークショップ), Arcona Hotel am Havelufer, ポツダム, ドイツ連邦共和国, 2015年6月17日, ポスター発表.
- Zhuang, J. (2015). Weighted likelihood estimators for point processes, 国際学術集会「Spatial Statistics: Emerging Patterns」, University of Avignon, アヴィニオン, フランス共和国, 2015年6月12日, 一般講演.
- 庄 建倉 (2015). Detecting spatial variations of earthquake clustering parameters via maximum weighted likelihoods estimates, 日本地球惑星科学連合2015年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉市, 2015年5月24日, 一般講演.
- Han, P.*, Hattori, K. and Zhuang, J. (2015). Assessment of optimal short-term earthquake forecasts based on ULF seismo-magnetic data, 日本地球惑星科学連合2015年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉市, 2015年5月24日, 一般講演.
- Han, P.*, Hattori, K. and Zhuang, J. (2015). Statistical Analysis of ULF Seismo-Magnetic Phenomena in Kanto, Japan, 日本地球惑星科学連合2015年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉市, 2015年5月26日, 一般講演.
- 庄 建倉 (2015). Hidden Markov modelling of non-volcanic tremor activity, 東京大学地震研究所特定共同研究(B)ミーティング, 東京大学地震研究所, 東京都文京区, 2015年3月31日, 招待講演.
- Wang, M.*, Zhuang, J., Enescu, B., Wang, D. (2015). Determining actual nodal planes and analyzing the correlation between earthquake sizes and rake angles, 応用統計学会2015年度年会, 京都大学医学部・芝蘭会館 稲盛ホール, 京都市, 2015年3月14日, ポスター発表.
- Zhuang, J. (2014). Foreshock probabilities and the B ath law under the ETAS model, 2014 Fall Meeting of the American Geophysical Union (AGU)(米国地球物理学連合2014年秋季大会), Moscone Center, サンフランシスコ, アメリカ合衆国, 2014年12月16日, 一般講演.
- Falcone, G.*, Murru, M., Zhuang, J. and Console, R. (2014). Short-term earthquake probabilities during the L' Aquila earthquake sequence in central Italy, 2009, 2014 Fall Meeting of the American Geophysical Union (AGU)(米国地球物理学連合2014年秋季大会), Moscone Center, サンフランシスコ, アメリカ合衆国, 2014年12月16日, ポスター発表.
- Zhuang, J. (2014). Probability of foreshock phenomena under the ETAS model: simulation and comparison to observation, 第1回研究集会「地震活動の時空間パターンと断層および地震サイクルとの関係」, 東京大学地震研究所, 東京都文京区, 2014年12月2日.
- 庄 建倉*, 王 墩, 松浦充宏 (2014). Similarities between Vere-Jones' branching crack model and earthquake source process, 日本地震学会2014年度秋季大会, 朱鷺メッセ・新潟コンベンションセンター, 新潟市, 2014年11月26日, 一般講演.
- 王 敏真, 庄 建倉*, Enescu, B., 王 墩 (2014). Determining the actual nodal plane and analyzing the correlation between earthquake sizes and rake, 日本地震学会2014年度秋季大会, 朱鷺メッセ・新潟コンベンションセンター, 新潟市, 2014年11月24日, ポスター発表.
- 郭 一村*, 庄 建倉, 周 仕勇 (2014). Inverting rupture geometry from triggering, 日本地震学会2014年度秋季大会, 朱鷺メッセ・新潟コンベンションセンター, 新潟市, 2014年11月25日, 一般講演.
- Zhuang, J.*, Wang, D. and Matsuura, M. (2014). Similarities between Vere-Jones' branching cracking model and the earthquake source process, 中国地球科学連合2014 學術年会, 北京国際会議センター, 北京市, 中国, 2014年10月21日, 招待講演.
- 庄 建倉 (2014). Semi-critical mode of marked Hawkes processes, 2014 年度統計関連学会連合大会, 東京大学本郷キャンパス, 東京都文京区, 2014年9月16日, 一般講演.
- Zhuang, J.*, Wan, D. and Matsuura M. (2014). Similarities between Vere-Jones' branching crack model and earthquake source process, 2014 SCEC (Southern California Earthquake Center) Annual Meeting, Hilton Palm Springs, パームスプリングス, カリフォルニア州, アメリカ合衆国, 2014年9月7-10日, ポスター発表.
- 庄 建倉*, Zechar, J. (2014). Recent development of the gambling score, 東京大学地震研究所 第5回研究集会「日本における地震発生予測検証実験 (CSEP-Japan)」, 東北大学地震・噴火予知研究観測センター, 仙台市, 2014年7月10日.
- Zhuang, J. (2014). Evaluating earthquake predictions by using the gambling score, Varenna Workshop on Operational earthquake forecasting and decision making, Villa Monastero, Varenna, Varenna L.C., イタリア共和国, 2014年6月8-11日, ポスター発表.
- 庄 建倉*, 王墩(2014). 震源過程と Vere-Jones の分枝モデル間の類似特性, 日本地球惑星科学連合2014年大会, パシフィコ横浜, 横浜市, 2014年4月28日, 一般講演.
- 郭 一村, 庄 建倉*, 周 仕勇 (2014). 地震断層形状の誘発地震活動への影響のモデルリング, 日本地球惑星科学連合2014年大会, パシフィコ横浜, 横浜市, 2014年5月2日, 一般講演.
- 庄 建倉 (2014). Statistical inference and simulations for temporal point processes, 統計数理研究所研究会「神経科学と統計科学の対話4」, 統計数理研究所, 東京都立川市, 2014年3月17日, 特別講演.
- Zhuang, J. (2013). Separating triggered and stress-change induced seismicity, 2013 Fall Meeting of the American Geophysical Union (AGU)(米国地球物理学連合2013年秋季大会), Moscone Center, サンフランシスコ, アメリカ合衆国, 2013年12月13日, 一般講演.
- 庄 建倉 (2013). Residual analysis for point-process model and its application in detecting seismicity anomalies, 科研シンポジウム「大規模で非定常な

時系列・時空間データのモデル化とその推定・検定・予測法の研究」, 東北大学川内南キャンパス文化系総合研究棟, 仙台市, 2013年12月6日, 一般講演.

Zhuang, J. (2013). Criticality and Branching Ratios of a Type of Branching Models, 石垣統計国際会議, ANA インターコンチネンタル石垣リゾート, 沖縄県石垣市, 2013年11月9日, 一般講演.

Zhuang, J. (2013). Foreshock phenomena and the Båth law implied by generic earthquake clustering, 東京大学地震研究所 第52回地震活動セミナー, 東京大学地震研究所, 東京都文京区, 2013年9月19日.

庄 建倉 (2013). 連続的なマーク付き分枝過程の臨界性: 地震クラスターモデリングの応用, 2013年度統計関連学会連合大会, 大阪大学豊中キャンパス, 大阪府豊中市, 2013年9月11日, 一般講演.

Zhuang, J. (2013). Test seismicity anomalies by using the ETAS model as null hypothesis, 8th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei8) (第8回統計地震学国際ワークショップ), 北京大学, 北京市, 中国, 2013年8月13日, 一般講演.

Wang, T.*, Zhuang, J., Kato, T. and Bebbington, M. (2013). Assessing the potential improvement in short-term earthquake forecasts from incorporation of GPS data, 8th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei8) (第8回統計地震学国際ワークショップ), 北京大学, 北京市, 中国, 2013年8月13日, 一般講演.

Jia, K.*, Zhou, S., Zhuang, J. and Jiang, C. (2013). Is the 2013 Lushan Ms 7.0 earthquake an aftershock of the 2008 Wenchuan Ms 8.0 earthquake on Longmenshan fault, Sichuan, China?, 8th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei8) (第8回統計地震学国際ワークショップ), 北京大学, 北京市, 中国, 2013年8月13日, 一般講演.

Zöller, G.*, Holschneider, M., Hainzl, S. and Zhuang, J. (2013). What can be learned from earthquake catalogs about the largest expected magnitudes?, 8th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei8) (第8回統計地震学国際ワークショップ), 北京大学, 北京市, 中国, 2013年8月14日, 招待講演.

Zechar, J.D.*, Hardebeck, J.L., Michael, A.J., Naylor, M., Steacy, S., Wiemer, S. and Zhuang, J. (2013). Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis, 8th International Workshop on Statistical Seismology (StatSei8) (第8回統計地震学国際ワークショップ), 北京大学, 北京市, 中国, 2013年8月14日, ポスター発表.

庄 建倉*, Werner, M. and Harte, D. (2013). Stability of Earthquake Clustering models: Criticality and Branching Ratios, 東京大学地震研究所 第4回研究集会「地震活動の評価に基づく地震発生予測システム - 東北地方太平洋沖地震前後の地震発生予測-」, 東京大学地震研究所, 東京都文京区, 2013年7月12日.

庄 建倉*, Console, R., Murru, M. and Falcone, G. (2013). Short-term earthquake forecasting experiment before and during the L'Aquila seismic sequence of April 2009, 日本地球惑星科学連合2013年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉市, 2013年5月21日, 一般講演.

〔図書〕(計 3 件)

Chu, A. and Zhuang, J. (2016). Multiple Linear Regression Analyses on the Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. In *Rock Anisotropy, Fracture and Earthquake Assessment*, edited by Y.-G. Li., pp.219-237, ISBN-13: 978-3110432527, February 2016.

Zhuang, J., Ogata, Y., Vere-Jones, D., Ma, L. and Guan, H. (2014). Statistical modeling of earthquake occurrences based on external geophysical observations: with an illustrative application to the ultra-low frequency ground electric signals observed in the Beijing region, in *Seismic Imaging, Fault Damage and Heal*, edited by Li Y., Germany: De Gruyter together with China: Higher Education Press, pp.351-376, March 2014.

Zhuang, J. and Touati, S. (2015). Stochastic simulation of earthquake catalogues, *Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis*, doi:10.5078/corssa-43806322, March 2015. (available at <http://www.corssa.org>)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

庄 建倉 (ZHUANG, Jianchang)
統計数理研究所 モデリング研究系 准教授
研究者番号: 70465920

(3) 連携研究者

加藤 昇吾 (KATO, Shogo)
統計数理研究所 数理・推論研究系 准教授
研究者番号: 60468535

尾形 良彦 (OGATA, Yoshihiko)
統計数理研究所 名誉教授
研究者番号: 70000213

熊澤 貴雄 (KUMAZAWA, Takao)
統計数理研究所 リスク解析戦略研究センター 特任研究員
研究者番号: 60649482

岩田 貴樹 (IWATA, Takaki)
常磐大学 コミュニティ振興学部 准教授
研究者番号: 30418991