

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 2 日現在

機関番号：62603

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26240004

研究課題名(和文)リアルタイム地震確率短期予測の実践と大地震の中期予測の実用化の研究

研究課題名(英文)Study on comprehensive probability forecast of large earthquake

研究代表者

尾形 良彦(Ogata, Yoshihiko)

統計数理研究所・大学共同利用機関等の部局等・名誉教授

研究者番号：70000213

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 28,400,000円

研究成果の概要(和文)：大地震直後の余震に関して、計算機システムによって自動的に決められた不完全な震源データから合理的にリアルタイム余震発生確率の予測ができる計算手法を開発し、国立防災科学技術研究所の計算システムに組み込んだ。

火山性群発地震群に対して非定常ETASモデルを当てはめ、体積ひずみ計データに基づく群発地震活動度の精度の高い短期予測に有効であることを発見し、適切な測地データからゆっくり滑りや、マグマや流体の貫入などによる群発的地震活動の確率予測に有効であることを示した。

大地震の確率予測の実用化の研究課題について、統計数理特集号「地震予測と統計モデル」として論文集を出版し地震防災関連コミュニティに配布した。

研究成果の概要(英文)：(1) Regarding the aftershocks immediately after a major earthquake, we developed calculation methods for real-time prediction of aftershock probability that covers temporal and spatial imperfections of real-time data that are automatically determined by computer system without human-editing. It was incorporated into the forecasting system at the NIED institute. (2) We applied non-stationary ETAS model to East Izu volcanic swarm activities, and discovered that it is effective for accurate short-term prediction of swarm activity using the change of volumetric strain-meter data. This indicates effectiveness to predict rates of swarm activity caused by slow slips, magma or fluid intrusion. (3) We published special issue on "Earthquake Prediction and Statistical Model" for the research subjects of probabilistic prediction and distributed to earthquake disaster prevention-related communities.

研究分野：統計地震学

キーワード：確率予測 余震 群発地震 小繰り返し地震 磁気異常 階層時空間ETASモデル 非定常ETASモデル  
リアルタイム予測

### 1. 研究開始当初の背景

地震の確率予測は地震学界の合意事項となった。他方、地震データがインターネットなどで時々刻々開示されるようになって来ているのに、気象庁、合衆国地質調査所 (USGS) など地震業務ではそれに見合った緊急的確率予測の実施が伴っていない。

### 2. 研究の目的

時時刻刻と開示される地震のデータからリアルタイム確率予測の統計モデルの研究をする。なかでも地震群の統計的識別による前震確率、および大地震直後の大きな余震確率などの短期予測を優先する。

(1) 階層的時空間 ETAS モデルを使って大地震の発生前後を刻々モニターする、精度の高い時空間の予測の可視化を実現する。

(2) 本震直後の質の悪いデータを克服して余震の確率をリアルタイムで予報業務できるプログラム作成と予報の実績を示す。

(3) 異常現象によっては地震発生の確率予測の実効率 (確率利得) を上げることを実証する。

(4) 群発地震活動に関係する流体圧変化解析に有効な非定常 ETAS モデルの高度化によって、火山性群発地震からマグマ移動などの解析をし噴火や火山活動終息までの早急な見通しの予測研究を試みる。

(5) 地震活動研究者や減災業務技術者の使用に耐える統計的ソフトウェアを公表する。

### 3. 研究の方法

研究目的を実現するには、適切なベイズモデルの開発が中核となる。すなわち基礎的予測確率を決める地震活動の地域性モデル、一過的な異常性を表すパラメタの時間変化の非定常モデルなどの点過程モデルである。

### 4. 研究成果

(1) 本震直後の余震欠測率 (検知率) の変化をモデル化して、余震発生確率を地域性に則してリアルタイムで示す方法を提案した。更に余震活動が中長期的に大余震を頻発するものか、余震が終息するか、早い機会 (例えば本震後 1 日) から ETAS モデルを使って確率予測を実現した。

(2) 大地震直後、自動的な計算機システムによる粗データの不完全性を補う余震確率予測の手法を開発し、防災科研に備えた。極めて悪条件である海域の余震活動にも適用できる。編集された気象庁のデータによる予測の結果と比べて遜色ない。特に大型の余震に限った予測結果については同等であった。

(3) USGS によるネパール大地震直後からの準リアルタイム余震確率予報に対し 1 週間後の最大余震の予測確率は小さすぎた。このデータに ETAS モデルを使用すると活動予測が勝れているだけでなく余震活動異常も検出できることを示した。

(4) 東伊豆沖で過去 20 年間断続的に起き

ている火山性群発地震群に非定常 ETAS モデルを当てはめると背景地震発生率の変化が気象庁東伊豆体積歪計データの変化に対して、ほぼ半日遅れで同期しており、群発地震の短期予測に有効である。測地データと合わせて、火山性群発地震からマグマの移動、ゆっくり滑りや、流体の貫入などによる群発的地震活動の定量的な研究に有効である。

(5) 2016 年熊本地震の前震・余震、および 2016 年鳥取県中部地震の前震・余震について階層時空間 ETAS モデル (CSEP 検証モデル) による予測映像を再現した。M7.3 熊本地震の事前の震活動異常や前震確率予測も与えた。

(6) 非定常 ETAS モデルの高度化を進め東北地方太平洋沖地震による各地の誘発群発地震活動の変化解析で有効な結果を得た。

(7) プレート境界での「小繰り返し相似地震」を解析する非定常・時空間 Brownian Passage Time モデルを開発し、カルフォルニアのパークフィールドでの「ゆっくり滑り」の時空間トモグラフィを求め、解の再現性をシミュレーションで実証した。大地震による地震時の急激なすべり、地震後のゆっくり滑り、常習的な滑りや前駆すべりを分離するモデルの高度化によって、太平洋プレート境界での「小繰り返し地震」の解析を行って「ゆっくりすべり」の変化解析を行なった。また GPS 地殻変動のデータによる逆解析の結果と比較して整合性を議論した。プレート間固着の地域を同定し、2003 年十勝沖地震の余効変動など、各地域の大地震後のすべり変化に関する詳細な結果を得た。

(8) 気象庁柿岡観測所の磁気異常データと、そこから一定の距離内の領域に発生した中規模地震との因果関係について、Molchan Diagram や入出力点過程モデルによる解析をした。結果は有意で、確率利得は常時地震活動度の 2 倍程度であった。

(9) 地震の確率予測の実用化の研究課題について、統計数理特集号「地震予測と統計モデル」論文集を出版し地震防災関連コミュニティに配布した。

(10) 時空間階層 ETAS モデルなどのベイズモデルのソフトウェアのベータ版を世界の統計地震学者に公開した。

### 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 37 件 全て査読有)

1. Zhuang, J., Ogata, Y. and Wang, T. (2017). Data completeness of the Kumamoto earthquake sequence in the JMA catalog and its influence on the estimation of the ETAS parameters, *Earth, Planets and Space*, **69**(36), doi:10.1186/s40623-017-0614-6.
2. Wang, T., Zhuang, J., Obara, K. and Tsuruoka, H. (2016) Hidden Markov modelling of sparse time series from non-volcanic tremor observations, *Journal of*

- the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, doi:10.1111/rssc.12194.
3. Zhuang, J., Wang, D. and Matsu'ura, M. (2016). Features of earthquake source process simulated by Vere-Jones' branching crack model, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **106**(4), 1832-1839, doi:10.1785/0120150337.
  4. 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*, **106**(3), 1364-1369, doi:10.1785/0120150324.
  5. 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*, **59**(4), 1350-1358, doi:10.6038/cjg20160416.
  6. Kumazawa, T., Ogata, Y., Kimura, K., Maeda, K. and Kobayashi, A. (2016). Background rates of swarm earthquakes that are synchronized with volumetric strain changes, *Earth and Planetary Science Letters*, **442**, 51-60, doi:10.1016/j.epsl.2016.02.049.
  7. Kato, A., Fukuda, J., Kumazawa, T. and Nakagawa, S. (2016). Accelerated nucleation of the 2014 Iquique, Chile Mw 8.2 Earthquake, *Scientific Reports* (Nature Publishing Group), **6**(24792), doi:10.1038/srep24792.
  8. Han, P., Hattori, K., Zhuang, J., Chen, C-H., Liu, J-Y. and Yoshida, S. (2016). Evaluation of ULF seismo-magnetic phenomena in Kakioka, Japan by using Molchan's error diagram, *Geophysical Journal International*, **208**(1), 482-490, doi:10.1093/gji/ggw404.
  9. Nomura, S., Ogata, Y., Uchida, N. and Matsu'ura, M. (2016). Spatiotemporal variations of interplate slip rates in northeast Japan inverted from recurrence intervals of repeating earthquakes, *Geophysical Journal International*, **208**(1), 468-481, doi:10.1093/gji/ggw395.
  10. Omi, T., Ogata, Y., Shiomi, K., Enescu, B., Sawazaki, K. and Aihara, K. (2016). Automatic aftershock forecasting: A test using real-time seismicity data in Japan, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **106**(6), 2450-2458, doi:10.1785/0120160100.
  11. 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*, **173**(1), 305-319, doi:10.1007/s00024-015-1114-x.
  12. Zhuang, J. (2015). Weighted likelihood estimators for point processes, *Spatial Statistics*, **14**(B), 166-178, doi:10.1016/j.spasta.2015.07.009.
  13. Guo, Y., Zhuang, J. and Zhou, S. (2015). A hypocentral version of the space-time ETAS model, *Geophysical Journal International*, **203**(1), 366-372, doi:10.1093/gji/ggv319.
  14. 庄 建倉, 尾形良彦 (2015). 地震予測の評価法について, *統計数理*, **63**(1), 29-44.
  15. 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*, **120**(5), 3309-3323, doi:10.1002/2015JB011979.
  16. Ogata, Y. and Tsuruoka, H. (2016). Statistical monitoring of aftershock sequences: a case study of the 2015 Mw7.8 Gorkha, Nepal, earthquake, *Earth, Planets and Space*, **68**(44), doi:10.1186/s40623-016-0410-8. (Open Access)
  17. 尾形良彦 (2015). 地震の確率予測の研究 - その展望, *統計数理*, **63**(1), 3-27.
  18. Iwata, T. (2016). A variety of aftershock decays in the rate- and state-friction model due to the effect of secondary aftershocks: Implications from an analysis of real aftershock sequences, *Pure and Applied Geophysics*, **173**(1), 21-33, doi:10.1007/s00024-015-1151-5.
  19. 岩田豊樹, 金尾政紀 (2015). 南極・昭和基地における遠地震の検知能力の年周変化 - 気温による影響を考慮した統計的解析 -, *月刊地球*, **37**(9), 400-406 .
  20. 岩田豊樹 (2015). 地球潮汐と地震活動との相関を用いた地震活動予測, *統計数理*, **63**(1), 129-144.
  21. 熊澤豊雄 (2015). 地震活動の異常性とモデリング, *統計数理*, **63**(1), 45-64.
  22. 松浦充宏, 野田朱美 (2015). GPS データの逆解析と地震の発生予測, *統計数理*, **63**(1), 105-127.
  23. 野村俊一 (2015). 活断層で繰り返される地震の点過程モデルとその長期確率予測, *統計数理*, **63**(1), 83-104.
  24. 近江崇宏 (2015). 本震直後からの余震活動のリアルタイム短期予測と中期予測, *統計数理*, **63**(1), 65-81.
  25. Omi, T., Ogata, Y., Hirata, Y. and Aihara, K. (2015). Intermediate-term forecasting of aftershocks from an early aftershock sequence: Bayesian and ensemble forecasting approaches, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **120**(4), 2561-2578, doi:10.1002/2014JB011456.
  26. Zhuang, J. and Touati, S. (2015). Stochastic simulation of earthquake catalogues, *Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis*, doi:10.5078/corssa-43806322. (available at <http://www.corssa.org>)

27. 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*, **57**(6), doi:10.4401/ag-6583.
28. Zechar, J.D. and Zhuang, J. (2014). A parimutuel gambling perspective to compare probabilistic seismicity forecasts, *Geophysical Journal International*, **199**(1), 60-68, doi:10.1093/gji/ggu137.
29. 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*, **119**(6), 4998-5011, doi:10.1002/2014JA019789.
30. 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*, **104**(2), 769-779, doi:10.1785/0120130103.
31. Cattania, C., Hainzl, S., Wang, L., Roth, F. and Enescu, B. (2014). Propagation of Coulomb stress uncertainties in physics-based aftershock models, *Journal of Geophysical Research*, **119**(10), 7846-7864, doi:10.1002/2014JB011183.
32. Yagi, Y., Okuwaki, R., Enescu, B., Hirano, S., Yamagami, Y., Endo, S. and Komoro, T. (2014). Rupture process of the 2014 Iquique Chile Earthquake in relation with the foreshock activity, *Geophysical Research Letters*, **41**(12), 4201-4206, doi:10.1002/2014GL060274.
33. Ogata, Y. and Katsura, K. (2014). Comparing foreshock characteristics and foreshock forecasting in observed and simulated earthquake catalogs, *Journal of Geophysical Research*, **119**(11), 8457-8477, doi:10.1002/2014JB011250.
34. Iwata, T. and Kanao, M. (2015). A quantitative evaluation of the annual variation in teleseismic detection capability at Syowa Station, Antarctica, *Polar Science*, **9**(1), 26-34, doi:10.1016/j.polar.2014.10.002.
35. Iwata, T. (2014). Decomposition of Seasonality and Long-term Trend in Seismological Data: A Bayesian Modelling of Earthquake Detection Capability, *Australian & New Zealand Journal of Statistics*, **56**(3), 201-215, doi:10.1111/anzs.12079.
36. Kumazawa, T. and Ogata, Y. (2014). Nonstationary ETAS models for nonstandard earthquakes, *Annals of Applied Statistics*, **8**(3), 1825-1852, doi:10.1214/14-AOAS759.
37. Nomura, S., Ogata, Y. and Nadeau, R.M. (2014). Space-time model for repeating earthquakes and analysis of recurrence intervals on the San Andreas Fault near Parkfield, California, *Journal of Geophysical Research*, **119**(9), 7092-7122, doi:10.1002/2013JB010558.
- 【学会発表】(計 38 件 全て招待講演)**
1. Ogata, Y. (2017). Forecasting of a large earthquake – An outlook of the research, Waseda International Symposium, Waseda University, Nishi-Waseda Campus, Shinjuku Tokyo, Japan, 28 February 2017.
  2. 尾形良彦 (2016). 地震の確率予測の近未来, 中央大学理工学研究所 2016 年度第 1 回特別講演会, 中央大学後楽園キャンパス, 東京都文京区, 2016 年 12 月 21 日.
  3. Zhuang, J. (2016). Nonparametric Modelling of Spatiotemporal Crime Data, 2016 The 10th ICSA International Conference on Global Growth of Modern Statistics in the 21st Century, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, P.R.China, 19 December 2016.
  4. Kumazawa, T. (2016). Modeling Earthquake Anomalies: Application of ETAS (Epidemic-Type Aftershock Sequence) Model and Its Improvement, 2016 The 10th ICSA International Conference on Global Growth of Modern Statistics in the 21st Century, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, P.R.China, 19 December 2016.
  5. Ogata, Y., Katsura, K., Tsuruoka, H. and Hirata, N. (2016). Models for seismic activity beneath the Greater Tokyo Area, Waseda International Symposium, Waseda University, Nishi-Waseda Campus, Shinjuku Tokyo, Japan, 25 October 2016.
  6. Zhuang, J., Guo, Y. and Zhou, S. (2016). On the extensions of the Epidemic-Type Aftershock Sequence model, 2016 Annual Meeting of Chinese Geoscience Union(CGU), Beijing International Convention Center, Beijing, P.R.China, 18 October 2016.
  7. 尾形良彦 (2016). 2016 年熊本地震(M7.3)に関する確率予測問題, 2016 年度統計関連学会連合大会, 金沢大学角間キャンパス, 石川県金沢市, 2016 年 9 月 6 日.
  8. Zhuang, J. and Mateau, J. (2016). Semi-parametric estimates of the long-term background trend, periodicity, and clustering effect in crime data, 2016 International Workshop on Spatial and Temporal Modeling from Statistical, Machine Learning and Engineering perspectives(STM2016), Institute of Statistical Mathematics, Tachikawa City, Tokyo, Japan, 22 July 2016.
  9. 尾形良彦, 桂 康一, 鶴岡 弘, 平田 直 (2016). 3D spatial models for seismicity beneath Kanto region, 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.
10. 石辺岳男, 尾形良彦, 鶴岡弘, 佐竹健治 (2016). Testing the Coulomb stress triggering hypothesis for great subduction earthquakes using abundant focal mechanisms, 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22日.
  11. Han, P., Hattori, K. and Huang Q. (2016). Spatiotemporal characteristics of the geomagnetic diurnal variation anomalies prior to the 2011 Tohoku earthquake (Mw9.0), 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.
  12. 尾形良彦, 近江崇宏, 熊澤貴雄, 野村俊一, 鶴岡弘, 合原一幸 (2016). 2016年熊本地震をめぐり地震活動および余震活動に関する確率予測問題, 重点検討課題「平成28年(2016年)熊本地震」, 第211回地震予知連絡会議, 九段第二合同庁舎, 東京(日本), 2016年5月18日.
  13. 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, Taipei, Taiwan, 17 May 2016.
  14. Han, P. (2016). On the Feasibility of Short-Term Earthquake Prediction Based on ULF Magnetic Data, 2016 International Workshop on Earthquake Precursors, Taipei Nangang Exhibition Center, Taipei, Taiwan, 16 May 2016.
  15. 近江崇宏 (2016). 余震確率予測へのベイズ統計的アプローチ, 理研 iTHES - 東北大 AIMR - 東大 生産研 合同シンポジウム「数理科学の新しい地平 (New Horizon of Mathematical Sciences)」, 理化学研究所和光キャンパス 鈴木梅太郎ホール, 埼玉県和光市, 2016年4月28日.
  16. Kumazawa, T., Ogata, Y., Kimura, K., Maeda K. and Kobayashi, A. (2016). Analysis of earthquake occurrence rates modulated by volcanic activities, ISI-ISM-ISSAS Joint Conference 2016, Institute of Statistical Science Academia Sinica, Taipei, Taiwan, 31 January 2016.
  17. Han, P., Hattori, K. and Zhuang J. (2015). ULF Seismo-electromagnetic Studies in Kanto, Japan: Progress and Challenges, 2015 Fall Meeting of the American Geophysical Union(AGU), Moscone Center, San Francisco, U.S.A., 16 December 2015.
  18. 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.
  19. Ogata, Y. (2015). Point process modelling: Tutorial with some topics in statistical seismology, 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.
  20. 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.
  21. Ogata, Y. (2015). Reviews on the pre- and post-seismicity of the Tohoku-Oki mega-earthquake, and future long-term forecasts, 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.
  22. Omi, T., Ogata, Y., Shiomi, K., Enescu, B., Sawazaki, K. and Aihara, K. (2015). Toward automatic aftershock forecasting in Japan, 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.
  23. 尾形良彦 (2015). 東北地方太平洋沖地震後の地震活動の予測, 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.
  24. Iwata, T. (2015). Statistical models to describe the spatio-temporal patterns of earthquakes: Epidemic Type Aftershock Sequence (ETAS) model and related models, School/Workshop on Fluctuations, Slow Dynamics and Internal Time in Complex Critical Systems, 倉敷市芸文館, 岡山県倉敷市, 2015年3月24日.
  25. 尾形良彦 (2015). 統計モデルによる地震活動の可視化, データ同化におけるシミュレーション可視化に関するワークショップ, 統計数理研究所, 東京都立川市, 2015年3月17日.
  26. Nomura, S. and Ogata, Y. (2015). Spatial variation on earthquake interevent time distribution in Japan, Hokudan 2015 International Symposium on Active Faulting

- (北淡国際活断層シンポジウム 2015), 兵庫県立淡路夢舞台国際会議場, 兵庫県淡路市, 2015年1月15日.
27. Ogata, Y. (2014). Comparing foreshock characteristics and foreshock forecasting in observed and simulated earthquake catalogs, 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.
  28. 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 学術年会, 北京国際会議センター, 北京市, 中国, 2014年10月21日.
  29. Tsuruoka H. and Ogata, Y. (2014). OEF and CSEP in Japan, SCEC CSEP/USGS/GEM Workshop: Next Steps for Testing Operational Earthquake Forecasts and Seismic Hazard Models (by invitation only), 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6日.
  30. Omi, T. (2014). Immediate aftershock forecasting after a strong earthquake, SCEC CSEP/USGS/GEM Workshop: Next Steps for Testing Operational Earthquake Forecasts and Seismic Hazard Models (by invitation only), 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6日.
  31. Ogata, Y. (2014). Modeling of temporal and spatial non-homogeneity for space-time earthquake databases, 2014 International Workshop on Spatial and Temporal Modeling from Statistical, Machine Learning and Engineering perspectives(STM2014) and Workshop on Complex systems Modeling and Estimation Challenges in big data(CSM2014), 統計数理研究所, 東京都立川市, 2014年7月29日.
  32. Nomura, S. (2014). Real-time classifier of foreshocks using kernel logistic regression, Asia Oceania Geosciences Society(AOGS) 11th Annual Meeting, ロイトン札幌, 北海道札幌市, 2014年7月30日.
  33. 尾形良彦 (2014). 前震と短期予測: 実際震活動と ETAS 合成カタログとの比較, 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.
  38. 野村俊一 (2017). ベイズ統計モデルを用いた活断層の長期予測, 「伊方サイトの確率論的地震ハザード評価専門家会合」ワークショップ 2, 電力中央研究所会議室, 東京都千代田区, 2017年3月22日.

〔図書〕(計 1 件)

1. 野村俊一 (2016). **カルマンフィルタ R を使った時系列予測と状態空間モデル**, 共立出版, 168 ページ, 統計学 One Point 2, 2016年9月, ISBN: 978-4-320-11253-7.

〔その他〕

### 本研究グループのホームページ

<http://www.ism.ac.jp/~ogata/Ssg/ssg.html>  
<http://www.ism.ac.jp/~ogata/Ssg/ssgE.html>  
 (日本語版と英語版)にて逐次公開されているし, これからも充実していく。

### 6. 研究組織

#### (1)研究代表者

尾形良彦( Yosihiko Ogata )統計数理研究所 名誉教授 研究者番号: 70000213

#### (3)連携研究者

庄 建倉 ( Jiancang Zhuang ) 統計数理研究所 准教授 研究者番号: 70465920

エネスク ボグダン ( Enescu Bogdan ) 筑波大学 生命環境科学研究科(系)准教授 研究者番号: 40530978

鶴岡 弘 ( Hiroshi Tsuruoka ) 東京大学 地震研究所 准教授 研究者番号: 10280562

野村俊一( Shun'ichi Nomura ) 東京工業大学 情報理工学(系)研究科 助教 研究者番号: 70719640

熊澤貴雄 ( Takao Kumazawa ) 統計数理研究所 研究員 研究者番号: 60649482

#### (4)研究協力者

岩田貴樹 ( Takaki Iwata ) 常盤大学准教授、統計数理研究所 特任准教授

松浦充宏 ( Mitsuhiro Matsu'ura ) 東京大学名誉教授, 統計数理研究所 外来研究員

村田泰章 ( Yasuaki Murata ) 産業技術総合研究所主任研究員, 統計数理研究所外来研究員

近江崇宏(Takahiro Omi)東京大学生産技術研究所 学術振興会研究員)

韓 鵬 ( Han Peng ) 統計数理研究所 特任研究員

#### 支援技術員

桂 康一 ( Koichi Katsura ) 統計数理研究所 元技術職員)