

平成25年度共同利用実施報告書(研究実績報告書)
(特定共同研究(B))

1. 課題番号または共同利用コード 2013-B-07

2. 研究課題名 (データベース化のため英訳を加えてください。)

和文: 固体地球科学におけるデータ同化法の構築

英文: Data Assimilation for the Solid Earth Science

3. 研究代表者所属・氏名 東京大学地震研究所・長尾 大道

(地震研究所担当教員名) 福田 淳一

4. 参加者の詳細 (研究代表者を含む。必要に応じ行を追加すること)

氏名	所属・職名	参加内容
長尾 大道	東京大学地震研究所・准教授	(研究代表者) 固体地球科学に資するデータ同化法の開発・研究統括
福田 淳一	東京大学地震研究所・助教	(地震研担当教員) データ同化手法を用いた GNSS データの解析
小屋口 剛博	東京大学地震研究所・教授	火山噴火データ同化研究
堀 宗朗	東京大学地震研究所・教授	地震動シミュレーション法の開発
鶴岡 弘	東京大学地震研究所・准教授	地震データのためのビッグデータ解析手法の開発
市村 強	東京大学地震研究所・准教授	地震動シミュレーション法の開発
ウィジャラト ネ ラリス	東京大学地震研究所・准教授	地震動シミュレーション法の開発
庄 建倉	統計数理研究所・准教授	地震活動のモデリングと地球物理学観測量の地震活動への影響のモデリング・地震活動データ解析
岩田 貴樹	統計数理研究所・特任准教授	データ同化に基づく地震活動解析を行うための地震検知能力の統計的評価
中野 慎也	統計数理研究所・助教	データ同化手法・アルゴリズムの開発
熊澤 貴雄	統計数理研究所・特任研究員	地震活動データの点過程モデリング
中村 和幸	明治大学先端数理科学研究科・特任講師	統計科学と数理科学の観点から固体地球データ同化手法を開発
大家 義登	明治大学先端数理科学研究科・大学院生	データ同化の津波現象への適用
宮崎 真一	京都大学理学研究科・准教授	データ同化手法を用いた GNSS データの解析
加納 将行	京都大学理学研究科・大学院生	データ同化手法を用いた GNSS データの解析
堀 高峰	海洋研究開発機構・サブリーダー	大地震連動発生シミュレーションへのデータ同化の応用

有吉 慶介	海洋研究開発機構・技術研究 副主任	大地震連動発生シミュレーションへのデータ同化の 応用
中田 令子	海洋研究開発機構・特任技術 研究副主任	大地震連動発生シミュレーションへのデータ同化の 応用

5. 研究計画の概要（800 字以内でご記入ください。計画調書に記載した「研究計画」から変更がある場合、変更内容が分かるように記載してください。）

大規模数値シミュレーションと大容量観測データから地球内部の複雑な現象を再現し、将来の時間発展を予測することは、固体地球科学の様々な分野において重要な課題である。これを実現するためには、観測データをシミュレーションモデルに取り込む「データ同化」と呼ばれる手法が必要不可欠である。データ同化は、統計数理科学、特にベイズ統計学による理論およびアルゴリズムを基礎として厳密に構築されており、気象学や海洋学において目覚ましい発展を遂げたものの、固体地球科学ではまだ十分に普及するには至っていない。本課題では、統計数理科学と固体地球科学の研究者が共同研究を行う体制を確立することにより、統計数理科学で研究されてきたデータ同化法を基に固体地球科学のシミュレーションモデルと観測データに適したアルゴリズムを開発し、摩擦構成則に基づく断層すべりの時間発展モデル、地震活動の時空間変化モデル、火山の降灰モデル、津波モデル等のシミュレーションモデルに適用することを目的とする。将来的に、地震波形や GPS データを始めとする大量の観測データから高速に情報を抽出し、数値シミュレーションモデルにリアルタイムに同化するために、これらのデータを自動処理するための技術開発も実施する。データ同化法の構築により、シミュレーションモデルと観測データの両者に基づく現象の理解や将来予測、あるいはモデルの評価および検証を定量的に行うことが可能になる。

本共同研究では、①大規模な数値シミュレーションモデルと大量の観測データを効率よく融合するためのデータ同化の基礎研究、②固体地球科学の個別研究へのデータ同化アルゴリズムの応用研究、および③シミュレーションモデルと同化させるための大容量観測データの処理や、シミュレーションデータから情報を抽出するためのビッグデータ解析技術の開発という、3つのサブプロジェクトを柱として実施する。

6. 研究成果の概要 (図を含めて1~2頁で記入してください。)

キーワード (3-5 程度) : データ同化, ベイズ統計学, 逐次ベイズフィルタ, ビッグデータ

本共同研究初年度の平成 25 年度は、以下のように 1 日の勉強会を 3 回、2 日間の合宿を 2 回行った。勉強会では、6 月 3 日に堀高峰氏による南海トラフ巨大地震の予測に向けたデータ同化研究、岩田氏による地震検知能力の日・季節変化に関するベイズ推定に関する 2 件の発表、7 月 22 日に中野氏による大規模モデルに適用可能なデータ同化手法開発、加納氏によるデータ同化を用いたプレート境界面の摩擦パラメータを推定する研究に関する 2 件の発表、11 月 18 日に中田氏によるデータ同化に向けた余効すべりインバージョン研究、庄氏による地震活動解析に関する 2 件の発表が行われた。また 9 月 28・29 日に八王子セミナーハウスで行われた合宿では長尾氏・奥田氏・熊澤氏・大家氏・加納氏による 5 件の研究発表に加え、小屋口氏・堀宗朗氏による固体地球科学とデータ同化にまつわる 2 件の基調講演、岡田真人氏 (東京大学新領域創成科学研究科) による地球惑星科学分野へのスパーモデルの提案に関する招待講演を行った。また 3 月 25・26 日京都大学で行われた合宿では、カルマンフィルター・アンサンブルカルマンフィルター・粒子フィルター・マルコフ連鎖モンテカルロ法に関する講義と実習を行ったほか、平原和朗氏 (京都大学理学研究科) による地震発生シミュレーションからのデータ同化研究への要請に関する招待講演が行われた。上記の勉強会や合宿を通して、固体地球科学でデータ同化研究を実施する上での問題点を検討した。これらの検討結果を考慮し、後述する計画を本格的に実施するために科研費に応募し、平成 26 年度から科研費 3 件 (基盤研究(B)1 件、新学術領域公募研究 2 件) が採択された。

平成 25 年度の具体的な研究成果は以下の通りである。

(i) 大規模・高次元モデルに対して適用可能なデータ同化手法の開発

多数のシミュレーションを実行することによりシステムの不確実性を表現するアンサンブル型データ同化手法の改良を行った。現実的な計算資源の制約の下で大規模モデルに対して適用可能とするために、少数のシミュレーションで不確実性を表現する手法を提案した (Nakano, 2013)。

またアンサンブル変換カルマンフィルタに基づいて、高次元のシステムモデルに含まれるパラメータの最尤推定を効率的に行う手法を開発した。

(ii) リアルタイム津波予測の精度向上に向けたデータ同化手法の開発 (Ohya and Nakamura, 2014)

地震発生後に津波のリアルタイム予測を精度よく行なうことを目的として、津波の陸上遡上に対する土地利用／被覆の効果の定量的評価・決定方法の提示を行なった。具体的には、津波の数値計算に影響を与えるマニング粗度という底面抵抗を表すパラメータを、東北地方太平洋沖地震の際に観測された津波の波形とその浸水範囲のデータを用いて決定する手法を示した。

(iii) GPS データに含まれる地震予測に向けた情報の抽出

GPS で記録されたデータに、地震予測のために有用な情報があるかどうかを検証した。その結果、地震を予測するにあたって、ポアソンモデルに比べて 2~4 の確率利得があることがあることが分かった (Wang et al., 2013)。

研究成果の概要（続き）

(iv) データ同化手法によるプレート境界面の摩擦法則・すべりの時空間変化の推定

データ同化に使用できるシミュレーションモデルとして、摩擦構成則に基づく断層すべり時間発展の3次元モデルを開発した。

4次元変分法を余効すべり発生域の摩擦パラメータを推定する問題に適用し、余効すべりの加速・減速が推定される領域における摩擦パラメータが拘束できることを数値実験で示した（Kano et al. 2013）。さらに2003年十勝沖地震のGNSSデータに同手法を適用し、余効すべり発生域の摩擦パラメータの推定を行った。このとき推定された余効すべりの分布は、従来のインバージョンで得られた余効すべり分布に類似したものであった（図1）。

またカルマンフィルタと粒子フィルタを用いて、GNSS時系列データに基づき、2011年東北地方太平洋沖地震の余効すべりの時空間変化を推定した。推定された余効すべりから、プレート境界面上の摩擦特性のすべり速度依存性を明らかにした（Fukuda et al. 2013）。

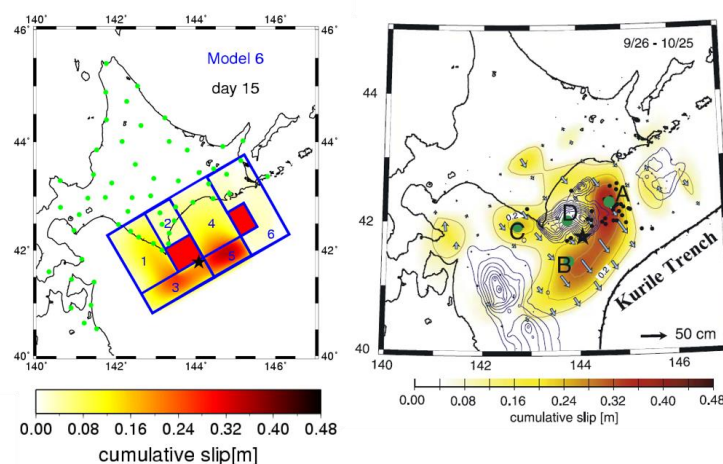


図1：アジョイント法を用いて得られたすべり分布（Kano, 2014）とインバージョンで得られたすべり分布（Miyazaki et al., 2004）

(v) ベイズ平滑化に基づく地震カタログの評価

データ同化に基づく地震活動解析を行うために、その元となる地震カタログの質の時間変化を「ベイズ平滑化」と赤池情報量基準を用いて推定した。この手法を用いて、気象庁カタログにおける地震検知能力の日変化を考慮した **completeness magnitude** の推定や、検知能力の長期的変動と季節変化との分離（図2）、そして、気温の時系列データを説明変数に取り込んだ南極・昭和基地の地震検知能力の統計モデル化を行った。

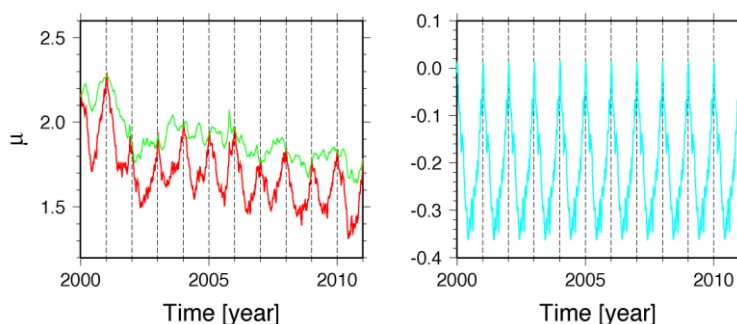


図2：検知能力の長期的変化と季節変化とを分離した解析例。赤線は推定された地震検知率50%に相当するマグニチュード（ μ ）の時間変化、緑線と水色線は推定された長期的な変動と季節変化を表す（Iwata [2014]）。

7. 研究実績（論文タイトル、雑誌・学会・セミナー等の名称、謝辞への記載の有無）

[論文]

岩田貴樹, 固体地球科学における大量データとその解析 ―日本における近年の展開とその展望―, システム／制御／情報, 57, 172-177, 2013.

大家義登, 中村和幸, 「津波減災のための浸水シミュレーションと観測データの活用」, 応用数理, Vol.23, No.3, pp.16-27, 2013.

中村和幸, 「統計的時系列解析 1 : 定常性と AR モデル」, 応用数理, Vol. 24, No. 1, 2014.

長尾大道, 樋口知之, 地震音波データ同化システムの開発 ―双子実験による検証―, 統計数理, 61, No. 2, 257-270, 2013.

長尾大道, 佐藤光三, 樋口知之, マルコフ連鎖モンテカルロ法を利用したトレーサー試験からフラクチャーの物理パラメータを推定する方法, 石油技術協会誌, 78, No. 2, 197-209, 2013.

Fukuda, J., A. Kato, N. Kato, and Y. Aoki, Are the frictional properties of creeping faults persistent? Evidence from rapid afterslip following the 2011 Tohoku-oki earthquake, Geophys. Res. Lett., 40, 3613-3617, doi:10.1002/grl.50713, 2013.

Ichimura, T., Agata, R., Hori, T., Hirahara, K., Hori, M., Fast numerical simulation of crustal deformation using a three-dimensional high-fidelity model, Geophys. J. Int., doi:10.1093/gji/ggt320, 2013.

Iwata, T., Estimation of completeness magnitude considering daily variation in earthquake detection capability, Geophys. J. Int., 194, 1909-1919, 2013.

Iwata, T., Decomposition of seasonality and long-term trend in seismological data: a Bayesian modeling of earthquake detection capability, Australian & New Zealand Journal of Statistics, 2014, in press.

Iwata, T., and M. Kanao, The quantitative evaluation of the annual variation in the teleseismic detection capability at Syowa Station, Antarctica, ISM Research Memorandum, No. 1186, 2014 (22 pages).

Jacobs, K.M., Smith, E.G.C., Savage, M.K. and Zhuang, J., 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, 2013.

Jia, K., Zhou, S., Zhuang, J. and Jiang, C., 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, 2014.

Jiang, C.-S., Z.-L. Wu and J.-C. Zhuang, ETAS model applied to the Earthquake-Sequence Association (ESA) problem: the Tangshan sequence. Chinese Journal Geophysics, 56(9): 2971-2981, doi: 10.6038/cjg20130911, 2013.

Jiang, C., J. Zhuang, F Long, and L. Han, Statistical analysis of ETAS parameters in the early stage of the 2013 Lushan MS7.0 earthquake sequence. Acta Seismologica Sinica, 35(5):661-669. doi: 10.3969/j.issn.0253-3782.2013.05.005 (In Chinese with English abstract), 2013.

Kano, M., Estimation of frictional parameters in afterslip areas by assimilating GPS data: Application to the 2003 Tokachi-oki earthquake, Doctor Thesis, Kyoto Univ., 2014.

Kano, M., S. Miyazaki, K. Ito, and K. Hirahara, An adjoint data assimilation method for optimizing frictional parameters on the afterslip area, Earth, Planets and Space, vol. 65, no. 12, 1575-1580, 2013.

Nagao, H. and T. Higuchi, Data assimilation system for seismoacoustic waves, The Proceedings of 16th International Conference on Information Fusion, 1372-1377, 2013.

Nagao, H., T. Higuchi, S. Miura, and D. Inazu, Time-series modeling of tide gauge records for monitoring of the crustal activities related to oceanic trench earthquakes around Japan, The Computer Journal, 56, No. 3, 355-364, doi:10.1093/comjnl/bxs139, 2013.

Nakano, S., A prediction algorithm with a limited number of particles for state estimation of high-dimensional systems, Proceedings of 16th International Conference on Information Fusion, pp. 1356--1363, 2013.

Ogata, Y., Katsura, K., Falcone, G., Nanjo, K.Z. and Zhuang, J., Comprehensive and topical evaluations of earthquake forecasts in terms of number, time, space, and magnitude, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.103, No.3, pp.1692-1708, doi:10.1785/0120120063, 2013.

Ohya, Y., and K. Nakamura, "A New Setting Method of Friction Parameter for Real-Time Tsunami Run-Up Simulations Based on Inundation Observation," Theoretical and Applied Mechanics Japan, Vol. 62, pp. 167-178, 2014.

Talbi, A., Nanjo, K., Zhuang, J., Satake, K. and Hamdache, M., 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, 2013.

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

Wang, T., Zhuang, J., Kato, T. and Bebbington, M., 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, 2013.

Yura, Y., H. Takayasu, K.Nakamura, and M. Takayasu, Rapid detection of the switching point in a financial market structure using the particle filter, Journal of Statistical Computation and Simulation, doi:10.1080/00949655.2013.781603, 2013.

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

Zhuang J., Ogata Y., Vere-Jones D., Ma L., and Guan H., 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 Imaging, Modeling and Assimilation in Seismology - Volume II, edited by Li Y., Germany: De Gruyter., 2014, In press.

[解説記事]

長尾大道、固体地球科学に資するデータ同化の創出に向けた提言 ―シミュレーション／データ両駆動型データ同化へー、シミュレーション, Vol. 32, No. 4, 18-24, 2013.

長尾大道、クラウドコンピューティングを利用した統計計算サービス、システム制御情報学会誌, Vol. 57, No. 4, 160-165, 2013.

長尾大道、樋口知之、データ同化 ―モデルパラメータの分布推定―、日本機械学会誌, Vol. 116, No. 1131, 89-92, 2013.

[学会・セミナー等]

岩田貴樹、地震検知能力の日・季節変化に関するベイズ推定、セミナー、東大地震研、2013.

岩田貴樹、気象庁一元化震源における地震検知率の日・季節変化と completeness magnitude, 気象庁地震火山部談話会, 気象庁, 大手町, 東京, 2013.

大家義登、津波浸水データを用いた津波遡上シミュレーションにおける底面抵抗の推定について、夏合宿、八王子セミナーハウス、2013.

加納将行、アジョイント法による余効すべり域の摩擦パラメータの推定およびすべりの時空間発展の予測、セミナー、東大地震研、2013.

加納将行、アジョイント法による余効すべり域の摩擦パラメータの推定およびすべりの時空間発展の予

測：実データへの適用、夏合宿、八王子セミナーハウス、2013.

加納将行・宮崎真一・伊藤耕介・平原和朗、An adjoint data assimilation method for optimizing frictional parameters on the afterslip area、日本地球惑星科学連合 2013 年大会、千葉市、2013.

加納将行・宮崎真一・石川洋一・日吉善久・伊藤耕介・平原和朗、アジョイント法による 2003 年十勝沖地震余効すべり域の摩擦パラメタの推定、日本測地学会第 120 回講演会、立川市、2013.

加納将行、アジョイント法による余効すべり域の摩擦パラメタの推定およびすべり の時空間発展の予測、第 7 回気象庁数値モデル研究会・第 4 回 データ同化ワークショップ、千代田区、2014, 招待講演.

熊澤貴雄、非定常 ETAS モデルによる東北沖地震の誘発地震の解析、夏合宿、八王子セミナーハウス、2013.

小屋口剛博、固体地球科学におけるデータ同化のあり方に関するこれまでの私の理解と本プロジェクトに期待すること、夏合宿、八王子セミナーハウス、基調講演、2013.

庄 建倉, Console, R., Murru, M. and Falcone, G., 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, 千葉市, 2013.

庄 建倉, Werner, M. and Harte, D., 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, 文京区, 2013.

庄 建倉, 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」, 仙台市, 2013.

庄 建倉, 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, 豊中市, 2013.

庄 建倉, Diagnostic analysis of space-time seismicity models, seismicity anomalies and spatiotemporal variations of earthquake clustering features, セミナー、東大地震研、2013.

中田令子、日向灘地震の数値シミュレーションと余効すべりのインバージョン、セミナー、東大地震研、2013.

中野慎也、少数粒子による状態推定、セミナー、東大地震研、2013.

中野慎也、アンサンブルカルマンフィルタ、冬合宿、京都大学、2014.

中村和幸, 「データ同化 - データを活かしたシミュレーションと予測の方法」, 土木学会研究討論会 (千葉), 2013.

中村和幸, 「統計数理から見たデータ同化の理論・アルゴリズムとその応用」, 気象学におけるビッグデータ同化の数理ワークショップ (京都), 2014.

長尾大道, データ同化温故知新、夏合宿、八王子セミナーハウス、2013.

長尾大道, 粒子フィルター、冬合宿、京都大学、2014.

福田淳一, 加藤愛太郎, 加藤尚之, 青木陽介, 2011 年東北沖地震の高速な余効すべりから推定される摩擦すべりの安定性の低下, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, SSS29-14, 千葉, 2013, 招待講演.

福田淳一, マルコフ連鎖モンテカルロ法概論と実習, 地震研究所特定共同研究(B)「固体地球科学におけるデータ同化法の構築」冬合宿, 京都大学, 2014.

堀宗朗, データ同化の周辺での二つの試み - 逆解析と確率有限要素法 -, 夏合宿、八王子セミナーハウス、基調講演、2013.

Fukuda, J., Imaging spatial and temporal evolution of fault slip with GPS time series data, Joint Meeting of the IASC Satellite Conference and the 8th Conference of the Asian Regional Section of the IASC, SS1R4, Seoul, Korea, 2013, 招待講演.

Fukuda, J., K. M. Johnson, and P. Segall, A mechanical model of afterslip following the 2011 Mw 9.0 Tohoku-oki earthquake, 2013 American Geophysical Union Fall Meeting, G23B-0795, San Francisco, CA, USA, 2013 年.

Iwata, T., A Bayesian approach to estimate the periodic change in earthquake detection capability and its applications to JMA catalogue, The 8th International Workshop on Statistical Seismology, Zhongguanyuan Global Village, 北京, 中国, 2013, 招待講演.

Iwata, T., and H. Kanao, Statistical analysis on the temporal variation in teleseismic detection capability at Syowa Station, Antarctica, 第 4 回極域科学シンポジウム, 極地研究所, 立川, 東京, 2013.

Jia, K., Zhou, S., Zhuang, J. and Jiang, C., 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.

Nakamura, K., "Review on data assimilation methodology," ISAP 2013 (東京), 2013.

Nakamura, K., Y. Ohya and T. Shiga, "Time series analysis and data assimilation for natural and economic hazards," Joint Meeting of the IASC Satellite Conference for the 59th ISI WSC and the 8th Conference of the Asian Regional Section of the IASC (韓国・ソウル), 2013.

Nakamura, K., " Data Assimilation and Bayesian Statistical Analysis: Tools for Understanding Uncertain Natural and Social Phenomena," 第15回北東アジアシンポジウム(中国・成都), 2013.

Nakano, S., Comparison of two ways for representation of the forecast probability density function in ensemble-based sequential data assimilation, EGU General Assembly 2013, (Geophys. Res. Abstr., 15, EGU2013-7029-1.), Vienna, Austria, 2013.

Nakano, S., A filter algorithm combining ensemble transform Kalman filter and importance sampling, DARC seminar, University of Reading, 2013.

Nakano, S., Parameter estimation using the ensemble transform Kalman filter and maximum likelihood method, 気象学におけるビッグデータ同化の数理, 京都大学, 2014.

Ohya, Y., and K. Nakamura, "A new determination method of manning roughness using tsunami observed data for real-time inundation simulation", 2014 Ocean Sciences Meeting, Hawaii Convention Center, 2014.

Wang, T., Zhuang, J., Kato, T. and Bebbington, M., 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.

Zechar, J.D., Hardebeck, J.L., Michael, A.J., Naylor, M., Steacy, S., Wiemer, S. and Zhuang, J., 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.

Zhuang, J., 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.

Zhuang, J., 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, 文京区, 2013.

Zhuang, J., Criticality and Branching Ratios of a Type of Branching Models, 石垣統計国際会議, 石垣市, 2013.

Zhuang, J., Separating triggered and stress-change induced seismicity, 2013 Fall Meeting of the

American Geophysical Union (AGU), San Francisco, America, 2013.

Zöller, G., Holschneider, M., Hainzl, S. and Zhuang, J., 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.