

令和元年6月20日現在

機関番号：23803

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K18958

研究課題名(和文) 南海トラフ地震の予知の精度向上の決め手となる仮想現実を用いた歪み観測網の研究

研究課題名(英文) Study of the strainmeter network using virtual reality toward improving accuracy of forecasting of the Nankai Trough earthquake

研究代表者

楠城 一嘉 (Nanjo, Kazuyoshi)

静岡県立大学・その他部局等・特任准教授

研究者番号：10549504

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,500,000円

研究成果の概要(和文)：東海地域のプレート境界で2012-2016年に起きたゆっくり滑りのデータベースと、気象庁が同地域で運用するひずみ観測点の情報に基づき、歪み観測網を、コンピュータを用いて仮想的に再現し、その観測網に観測点を追加した場合、どの程度観測能力が向上するかを評価する手法を開発した。これは、本課題で掲げた研究目的を達成できたことを示している。成果の主要部分を、国際学術雑誌(K. Z. Nanjo, 2019, Submitted to Pure Appl. Geophys.)及び、国内外の会議で公表予定である。また、本研究で作成したソフトウェアを公開できる様に、パッケージ化の作業を現在進めている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

将来の南海トラフ地震に備えて、プレート間の固着状況を逐次把握することは重要であり、その精度向上には、固着状況を反映するゆっくり滑りの観測網の整備が必須である。しかし、日本の社会的・経済的状況を踏まえると、地震防災といえども、闇雲に観測点を追加できるわけではなく、コストの抑制と、効果の試算、そして説明責任が今後更に求められる。その解決策の一つを提供するのが本成果であり、仮想現実で歪み観測点を設置し、設置目的に見合うだけの観測能力の向上があるかを試算できる。観測点を現実世界で追加する前に、効果を検証する仮想実験ができるので、コストを抑えつつ、観測網整備の指針を策定する支援ができる点で意義がある。

研究成果の概要(英文)：The Tokai Strainmeter Network (TSN), a dense network deployed in the Tokai region, which is the easternmost region of the Nankai trough, is virtually reproduced on a computer using a database of slow slips that occurred on the plate boundary in the Tokai region during 2012-2016 and information on strainmeter stations operated by the Japan Meteorological Agency in the same region. We developed a method to evaluate the capability of TSN to detect and locate slow slips when strainmeter stations are virtually added to the existing TSN. We are in process to create a software package containing a computer program as well as necessary metadata so that our product can be released. In addition, major parts of the results will be published in international journals (Nanjo, 2019, Capability of Tokai Strainmeter Network to detect and locate a slow slip: first results, Submitted to Pure Appl. Geophys.) and at domestic and international conferences.

研究分野：社会システム工学、安全工学、防災工学およびその関連分野

キーワード：地殻変動 地震 ゆっくり滑り 断層滑り プレート境界 仮想現実 確率統計 南海トラフ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

南海トラフ沿いにおける観測網の充実により、地震に関する様々な異常な現象を捉えることが可能になってきた。南海トラフでの大規模地震の切迫性が迫っている中で、被害を軽減するという視点から、現在の科学的知見を十分に活用して、発生前に起こり得る現象を想定することは重要である (http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taio_wg/taio_wg.html)。

地震発生前に起こり得る現象として、プレート間の固着状態の変化が考えられ、いくつかの手法でその変化を捉える準備をしておく必要がある。その変化を捉える指標として、ゆっくり滑りが挙げられる。東海地域の場合、他地域に比べて、歪み観測網の整備がなされており、日頃から短期的・長期的ゆっくり滑りが観測されている。そのため、大規模地震に先行して発生すると考えられる、ゆっくり滑り域の拡大や、ゆっくり滑る状態から速く滑る状態への移行など、平常時と異なる異常を捉える可能性がある。その異常に伴う歪み変化を捉える精度を向上させるためには、ゆっくり滑りによる歪みを早い段階で(歪みの小さい段階で)捉える必要があり、観測網がどのくらい小さい滑りまで検出できるかの能力を評価して、それに基づき、観測能力の低い地域の周辺に歪み観測点を追加するなど観測網の整備が必要となる。しかしながら、日本の状況を考えて、地震防災といえども、闇雲に追加できるわけではなく、コストを抑えて効率的に歪み観測網を整備することが望まれる。

2. 研究の目的

本研究では、仮想現実で南海トラフ沿いの歪み観測網を再現し、その観測網に観測点を追加した場合、どの程度観測能力が向上するかを評価する手法を開発する(図1)。この手法により、現実で観測点を追加して観測能力を評価する予備検討に対して、指針を策定できる可能性がある。従って、この研究は「効果的な地震防災対策」という新たな方向性を与える潜在性を持つ。

本研究課題

仮想現実で歪み観測網を再現し、歪み観測点を追加した時の観測網の性能を評価する技術を開発

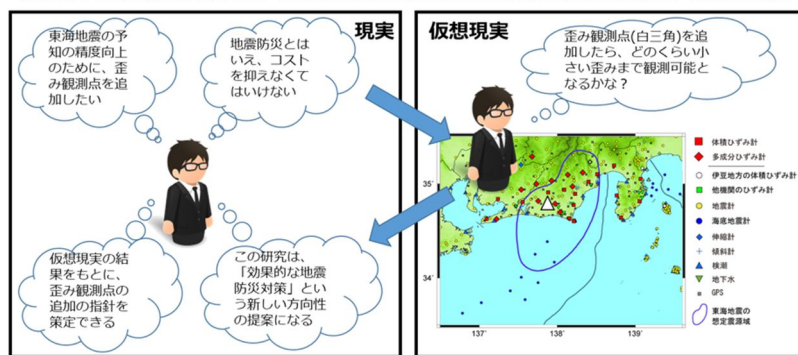


図1. 本研究課題の狙い。現実では、理想としての地震予知がある一方、経済事情を考慮すると、地震防砂といえどもコスト抑制が迫られる。仮想現実を利用して歪み観測網を効果的に整備するための指針を策定できる。この研究の完遂により、「効果的な地震防災対策」という新しい方向性を提案できる。右図は気象庁 HP を一部修正。

3. 研究の方法

用いる手法は Probabilistic Magnitude of Completeness (PMC) に基づく(文献)。観測点の観測実績に基づき、ある地点(x)で、あるマグニチュード(M)の短期的ゆっくり滑りが起きた場合、そのゆっくり滑りを検知し、そして、その発生場所を x に決定する確率 $P_{dl}(x, M)$ を計算する。

使用するデータは、南海トラフ地震に関連する情報の発表に用いる、東海地域に展開中の歪み計観測網(Tokai Strainmeter Network: TSN)に基づく(図2)。 $P_{dl}(x, M)$ を求めるために、TSN を構成する各歪み観測点の位置情報と、観測点からある距離で(L)、ある M のゆっくり滑りが起きた場合、どのくらいの確率 $P_{st}(L, M)$ で観測点はゆっくり滑りの検知に使われたかの観測実績を用いる。 $P_{st}(L, M)$ を求めるために、2012-2016年に研究地域(136.5-139.2°E, 33.5-35.7°N)で検知された35個の短期的ゆっくり滑り(M : 1.5-5.8, 深さ 26-41km)の検測結果を用いる。 $P_{st}(L, M)$ をもとに、ある地点(x)で、あるマグニチュード(M)の短期的ゆっくり滑りが起きた場合、3点以上の歪み観測点で検知し、ゆっくり滑りの位置を決定する確率 $P_{dl}(x, M)$ を計算する。

4. 研究成果

各 M における $P_{dl}(x, M)$ の空間分布を図2に示す。 $P_{dl}(x, M)$ は、TSN 内及びその周辺では高い値を示し($P_{dl} > 90\%$)、TSN から離れるにつれて P_{dl} は低下することを示す。この結果は、 M クラスのゆっくり滑りが TSN 内で起きれば、高い確率でゆっくり滑りを検知し、ゆっくり滑りの位置決定ができることを示している。気象庁が観測能力を評価するために現在用いている手法は[文献]、本手法と異なるため、結果を比較したところ、おおむね一致することを確認した。本手法は、現状の TSN の観測能力を評価できていることを示唆する。

次に、仮想的に歪み観測点を現行の観測網に追加する効果を調査した。追加する歪み観測点は現実には無いので、その仮想観測点の観測実績である P_{st} を仮定する必要がある。ここでは、現実で稼働している歪み観測点の実績と同じと仮定し、観測データに基づいて求めた P_{st} を、仮想的に設置する観測点の P_{st} にも適用できるものとした。

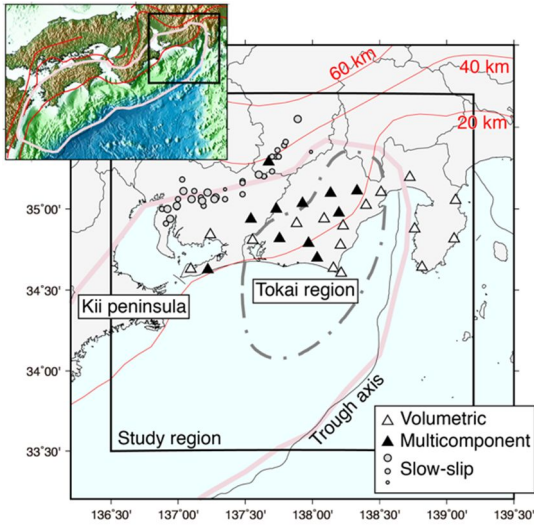


図 2 . TSN と観測された短期的ゆっくりり滑り。三角印は、体積ひずみ計の観測点(白抜き)と多成分ひずみ計の観測点(黒)を示す。プレート境界の等深度線を赤線で示す。南海トラフ地震の最大想定震源域を太いピンクの線で囲まれた地域で示す。破線で囲まれた地域は想定東海地震の震源域を示す。短期的ゆっくりり滑りは丸印で示し、 M に応じて半径を大きくする。黒い四角で囲んだ領域は、研究領域を示す。

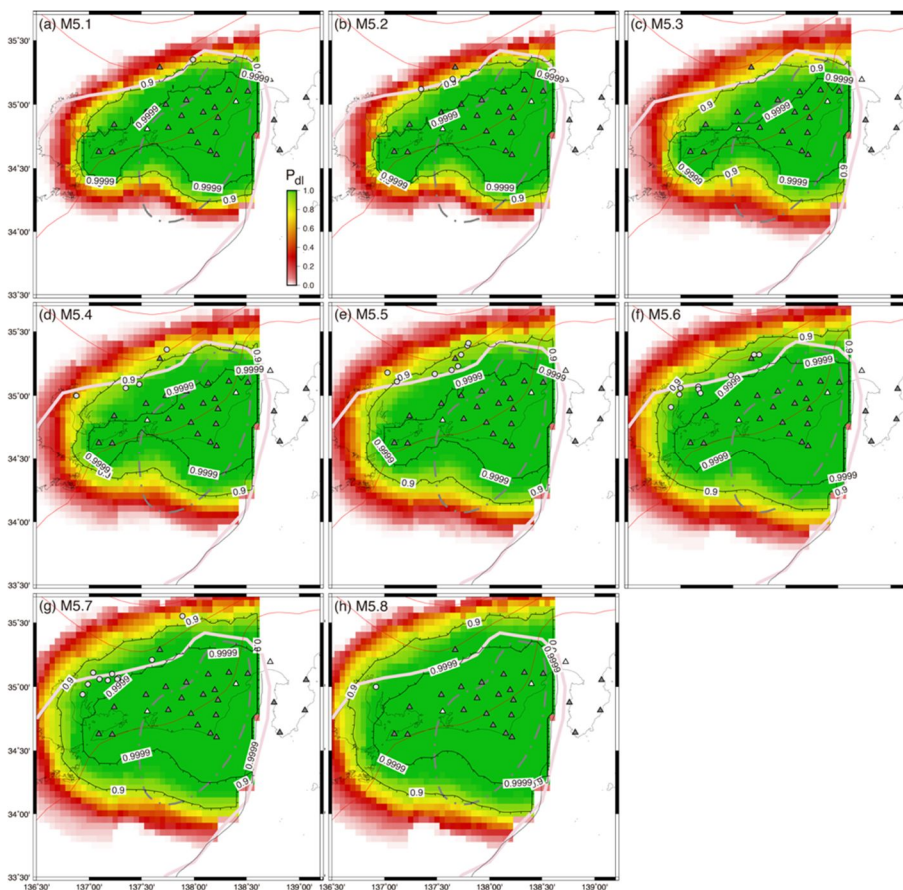


図 2 $M = 5.1 \sim 5.8$ での P_{d1} の空間分布。三角印は歪み観測点を示す。ただし、解析に使用した観測点は灰色で示し、使用しなかった、感度の低い観測点は白色で示す。丸印は各 M の大きさを持つ、観測された短期的ゆっくりり滑りを示す。 $P_{d1} = 0.9$ と 0.9999 のコンターラインを黒実線で示す。

図 3a, c に、仮想的に歪み観測点を 1 点追加した場合を示す。ここでは例として、浜名湖周辺に 1 点設置し、 $M = 5.5$ と 5.8 の場合の P_{d1} の空間分布を示す。現行の観測網の P_{d1} を示す図 2e, h と比較すると、浜名湖周辺に 1 点設置したことにより、浜名湖の沖合で P_{d1} が増加することがわかる ($P_{d1} = 0.9999$ のコンターラインが沖合に移動することがわかる)。さらに、浜名湖周辺に互いに近接するように歪み観測点を 3 点追加した場合 (図 3b, d)、浜名湖の沖合における P_{d1} の増加はより顕著になる。以上より、仮想現実で南海トラフ沿いの歪み観測網を再現し、その観測網に観測点を追加した場合、どの程度観測能力が向上するかを評価する手法の開発に成功した。

成果の主要部分を、国際学術雑誌 (K. Z. Nanjo, Capability of Tokai Strainmeter Network to detect and locate a slow slip: first results, Submitted to Pure and Applied Geophysics) 及び、国内外の会議で公表予定である。また、その論文掲載のタイミングに合わせて、本研究で作成したソフトウェアを公開できる様に、パッケージ化の作業を進めている。

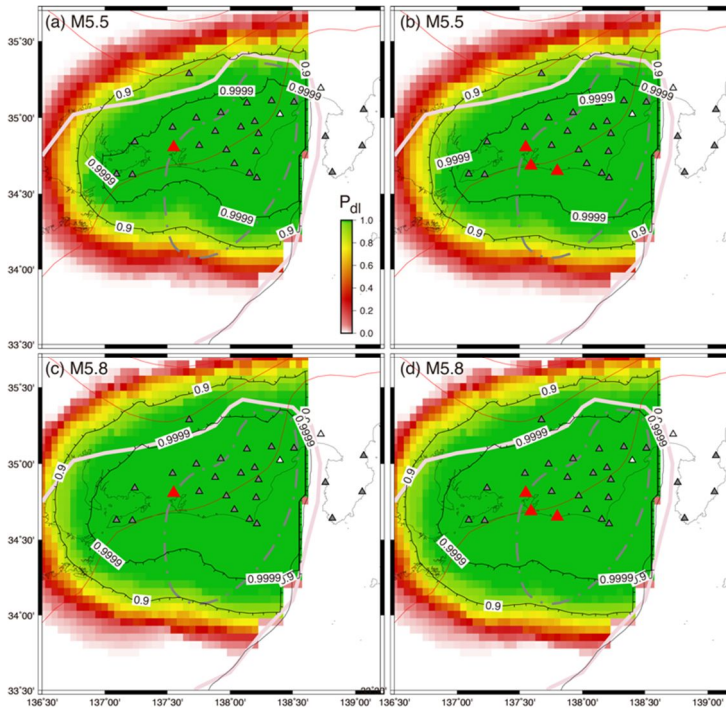


図3. 現行のTSNに、仮想的に歪み観測点を設置した場合の P_{dl} の空間分布。 $M = 5.1$ と $M = 5.8$ の場合を示す。赤い三角印が、仮想的に追加された歪み観測点を示す。

<引用文献>

- K. Z. Nanjo, D. Schorlemmer, J. Woessner, S. Wiemer, D. Giardini, Earthquake detection capability of the Swiss Seismic Network, *Geophysical Journal International*, Vol. 181, No. 3, 2010, 1713-1724, DOI: 10.1111/j.1365-246X.2010.04593.x.
 小林明夫, 体積歪計観測網による東海地震の前兆すべりの検知能力, 験震時報, 第63号, 2000, 17-33, <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/kenshin/vol63p017.pdf>.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計5件)

- M. Kamogawa, K. Z. Nanjo, J. Izutsu, Y. Orihara, T. Nagao and S. Uyeda, Nucleation and cascade features of earthquake mainshock statistically explored from foreshock seismicity, *Entropy*, 査読あり, Vol. 21, No. 4, 2019, 421, DOI: 10.3390/e21040421.
 K. Z. Nanjo, A. Yoshida, A *b* map implying the first eastern rupture of the Nankai Trough earthquakes, *Nature Communications*, 査読あり, Vol. 9, 2018, Article number 1117, DOI: 10.1038/s41467-018-03514-3.
 K. Z. Nanjo, K. Miyaoka, K. Tamaribuchi, A. Yoshida, Related spatio-temporal changes in hypocenters and the *b* value in the 2017 Kagoshima Bay swarm activity indicating a rise of hot fluids, *Tectonophysics*, 査読あり, Vol. 749, 2018, 35-45, DOI: 10.1016/j.tecto.2018.10.023.
 D. Schorlemmer, N. Hirata, Y. Ishigaki, K. Doi, K. Z. Nanjo, H. Tsuruoka, T. Beutin, F. Euchner, Earthquake Detection Probabilities in Japan, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 査読あり, Vol. 108, No. 2, 2018, 702-717, DOI: 10.1785/0120170110.
 楠城一嘉, *b* 値に基づく全地球規模の大地震発生予測のモデル, 地震予知連絡会会報, 査読無し, Vol. 99, 2018, 459-462, http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou99/12_12.pdf.

[学会発表](計31件)

- 楠城一嘉, コンピュータを活用した統計地震学, 第13回地域防災情報シンポジウム(招待講演), 2019.
 Kazuyoshi NANJO, Akio YOSHIDA, A *B*-value Map and Implication of the First Eastern Rupture of the Nankai Trough Earthquakes (招待講演), 2018.
 Nanjo K., Yoshida A., Is the *b* value of foreshocks an effective signature in the prediction of a large earthquake occurrence?, JpGU-AGU meeting (招待講演)(国際学会), 2017.
 K. Z. Nanjo, J. B. Rundle, T. Sakurada, Development of the earthquake nowcasting method with application to Japan, The 11th International Workshop on Statistical Seismology (国際学会), 2019.
 Kazuyoshi NANJO, Masao NAKATANI, Shunichi NOMURA, Toshiyasu NAGAO, A Study of the

- Relation Between the Occurrence of Large Earthquakes and Time-dependent Decrease in b Value, AOGS 16th Annual Meeting (国際学会), 2019.
- K. Z. Nanjo, Slow-slip detection capability of the Tokai strainmeter network, AOGS 16th Annual Meeting (国際学会), 2019.
- Toshiyasu Nagao, Jun Izutsu, Kazuyoshi Z. Nanjo, Yoshiaki Orihara, Masashi Kamogawa, Seismic Quiescence Observed before the 2018 Osaka Earthquake, The 27th IUGG General Assembly (国際学会), 2019.
- Masashi Kamogawa, Kazuyoshi Z. Nanjo, Jun Izutsu, Yoshiaki Orihara, Toshiyasu Nagao and Seiya Uyeda, Nucleation and cascade features of earthquake mainshock statistically explored from foreshock seismicity, The 27th IUGG General Assembly, 2019.
- Kazuyoshi Nanjo, John B. Rundle, Tetsuo Sakurada, Earthquake nowcasting: further development and application to Japan, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会 (JpGU 2019), 2019.
- 楠城一嘉, 井筒潤, 織原義明, 鴨川仁, 長尾年恭, 2016 年熊本地震以降の地震活動と地殻変動, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会 (JpGU 2019), 2019.
- Kazuyoshi Nanjo, An investigation into slow-slip detection capability of the Tokai Strainmeter Network, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会 (JpGU 2019), 2019.
- 楠城一嘉, 宮岡一樹, 吉田明夫, 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源域北側の大地震発生アセスメント, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会 (JpGU 2019), 2019.
- John B Rundle, Kazuyoshi Nanjo, Donald L Turcotte, Andrea Donnellan, James Crutchfield, Earthquake and Tsunami Nowcasting and Forecasting Using Shannon Information Theory, 2019 SSA Annual Meeting (国際学会), 2019.
- Danijel Schorlemmer, Naoshi Hirata, Fabrice Cotton, Matthew Gerstenberger, Warner Marzocchi, Maximilian Werner, Stefan Wiemer, Thomas Jordan, Thomas Beutin, David Jackson, Philip Maechling, Sum Mak, Kazuyoshi Nanjo, and others, Increasing Earthquake Forecast Testability - CSEP Future Developments, EGU General Assembly 2019 (国際学会), 2019.
- 楠城一嘉, 中谷正生, 野村俊一, 長尾年恭, 全世界の大地震(M8+)の発生と b 値の減少の関係について, 日本における地震活動に基づく地震発生予測検証実験研究集会, 2019.
- 楠城一嘉, 東海地域の歪み観測網と地震観測網の性能評価: 短期的ゆっくり滑りや微小地震を検知する能力を評価した試算, 2018 年度自然災害科学中部地区研究集会, 2019.
- 井筒潤, 楠城一嘉, 鴨川仁, 織原義明, 長尾年恭, 地震災害予測のための地球観測データのデジタルアースへの適用, 日本地震予知学会第 5 回(2018 年)学術講演会, 2018.
- 楠城一嘉, 地震のナウキャストリングの研究, 日本地震予知学会第 5 回(2018 年)学術講演会, 2018.
- K. Z. Nanjo, A global model of earthquake forecasting using spatiotemporal variation of b -value, International Symposium on Earthquake Forecast / 5th International Workshop on Earthquake Preparation Process ~Observation, Validation, Modeling, Forecasting~ (ISEF/IWEP5), 2018.
- 楠城一嘉, 吉田明夫, 南海トラフ沿いのフィリピン海スラブ内地震活動の b 値の時空間変化, JpGU-AGU meeting, 2017.
- 21 楠城一嘉, 吉田明夫, 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源域の応力は地震前に戻ったか?, JpGU-AGU meeting, 2017.
- 22 楠城一嘉, 吉田明夫, 2017 年 7 月 11 日の鹿児島湾の地震(M5.3)に先行した b 値の時間変化, 日本地震学会 2017 年度秋季大会, 2017.
- 23 Danijel Schorlemmer, Naoshi Hirata, Fabrice Cotton, Matt Gerstenberger, Warner, Marzocchi, Max Werner, Stefan Wiemer, Kazuyoshi Nanjo, Yosihko Ogata, David Rhoades, Hiroshi Tsuruoka, Jianciang Zhuang, Increasing Testability --- Expanding Possibilities Some CSEP future developments, 日本地震学会 2017 年度秋季大会 (国際学会), 2017.
- 24 楠城一嘉, b 値にもとづく全地球規模の大地震発生予測のモデル, 第 217 回地震予知連絡会, 2017.
- 25 K. Z. Nanjo, A. Yoshida, A systematic investigation into b values prior to coming large earthquakes, 2017 AGU Fall Meeting (国際学会), 2017.
- 26 楠城一嘉, 吉田明夫, 大地震に先行した b 値の系統的研究, 日本地震予知学会第 4 回(2017 年)学術講演会, 2017.
- 27 Danijel Schorlemmer, Naoshi Hirata, Fabrice Cotton, Matt Gerstenberger, Warner Marzocchi, Max Werner, Stefan Wiemer, Thomas Jordan, Thomas Beutin, Dave Jackson, Kazuyoshi Nanjo, Yosi Ogata, David Rhoades, Hiroshi Tsuruoka, John Yu, and Jianciang Zhuang, Increasing Testability -Expanding Possibilities: Some CSEP future developments, European Geosciences Union General Assembly 2018 (国際学会), 2018.
- 28 Danijel Schorlemmer, Naoshi Hirata, Fabrice Cotton, Matt Gerstenberger, Warner

- Marzocchi, Maximilian Werner, Stefan Wiemer, Thomas Jordan, Thomas Beutin, David D Jackson, Sum Mak, Kazuyoshi Nanjo, Yoshihiko Ogata, David Rhoades, Hiroshi Tsuruoka, Jiancang Zhuang, Increasing Testability, Expanding Possibilities. Some CSEP Future Developments, Japan Geoscience Union Meeting 2018 (国際学会), 2018.
- 29 Danijel Schorlemmer, Naoshi Hirata, Yuzo Ishigaki, Keiji Doi, Kazuyoshi Nanjo, Hiroshi Tsuruoka, Thomas Beutin, Fabian Euchner, Regional evolution of network detection completeness in Japan, Japan Geoscience Union Meeting 2018 (国際学会), 2018.
- 30 楠城一嘉, 吉田明夫, 南海トラフ沈み込み帯の地震活動に基づく b 値マップ, Japan Geoscience Union Meeting 2018, 2018.
- 31 楠城一嘉, 吉田明夫, 富士山直下の低周波地震の b 値解析, Japan Geoscience Union Meeting 2018, 2018.

〔図書〕(計1件)

楠城一嘉, 南海トラフ地震の予測に向けて, 10年後の静岡を創るスーパーセミナー ~ 知の丘を往く ~ デジタル版 (静岡県立大学, 静岡), <http://www.u-shizuoka-ken.ac.jp/media/A4-05.pdf>, 2018.

〔産業財産権〕

出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年:
国内外の別:

取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

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、研究者個人に帰属されます。