

令和 4 年 4 月 22 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K03796

研究課題名（和文）データ同化と機械学習の融合による沈み込み帯の摩擦特性の時空間構造の解明

研究課題名（英文）Investigation on spatial and temporal characteristics of frictional properties along the subduction zones based on data assimilation and machine learning approaches

研究代表者

加納 将行（Masayuki, Kano）

東北大学・理学研究科・助教

研究者番号：10739056

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、プレート沈み込み帯において、現在どのような断層すべりが生じているか、またそれが短期的にどう推移していくかを、推定・予測するためデータ同化手法開発を主目的とする。それに向けて、断層すべりの様子を既定している摩擦特性の時空間分布の解明のための手法開発、地殻変動データ解析を行った。その結果、地殻変動データから地震後1ヶ月程度の断層すべりの予測能力の向上に成功した。また巨大地震とゆっくりとした断層すべりであるスロースリップ（SSE）の時空間的な関係・繰り返し発生するSSEの多様性を解明すると共に、琉球海溝南西部における巨大地震発生ポテンシャルを持つ領域を推定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、将来起こるであろう巨大地震の予測に向けて重要な、断層すべりの様子を支配する摩擦特性の推定を地殻変動データから直接推定し、ゆっくりすべりの予測を行うデータ同化手法を開発した。開発手法を用いてゆっくりすべりの時空間発展をリアルタイムでモニタリングすることができれば、そのようなすべりが巨大地震発生域に与える応力擾乱をより定量的に評価することが可能になる。関連して、ゆっくりすべりの発生により巨大地震発生域の下端で固着のはがれが生じていることが明らかになり、このような観測事実からもゆっくりすべりをより定量的に現状把握することが重要と言える。

研究成果の概要（英文）：We aim to develop “data assimilation” methods for estimating current state and predicting short-term evolution for fault slip along subduction zones. For this purpose, we developed methods for estimating frictional parameters that controls fault slip behavior and analyzed crustal deformation data. As a result, we confirmed that the developed method resulted in better prediction ability of fault slip following large earthquakes, revealed spatial and temporal relation between seismogenic and slow slip zones, variability of recurrent slow slip events, and estimated the fault region that has the potential to cause large earthquake in the southern Ryukyu region.

研究分野：地震学

キーワード：データ同化 断層すべり 摩擦特性 地殻変動 機械学習 スロースリップイベント GNSS

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

沈み込み帯では、地震性すべり・余効すべり・スロースリップイベント(SSE)・低周波微動など、様々な時空間スケールを持つ断層すべり現象が観測されている。近年の地震・地殻変動観測網の発展により、このようなすべり現象がプレート境界面で空間的に相補的に発生していることが解明された[Miyazaki et al. 2004 など]。この観測事実から、断層すべりの多様性は主にプレート境界面の摩擦特性の空間構造を反映して生じていると考えられている[Yoshida & Kato 2003 など]。

一方、断層すべりの多様性を物理モデルに基づき説明する試みがなされている。このとき、弾性体の運動方程式と断層面上の摩擦則を用いて、断層すべりの時空間発展の計算を行う。既存研究では、摩擦則における物理パラメータである摩擦特性の空間構造を試行錯誤的に変化させることで、多様な断層すべりを定性的に再現している[Hori et al. 2004 など]。しかし、物理モデルに基づく日々の詳細な観測データの定量的な説明には至っていない。

このように、摩擦特性の空間構造は、プレート境界のどこでどのような断層すべりが起こり得るか、を知る上で重要な知見となるものの、これまでは観測データあるいは物理モデルから独立に摩擦特性の空間分布に関する定性的な知見が得られるにとどまっていた。

上記のような背景の下、申請者らは、観測データと物理モデルを直接結び付ける手法であるデータ同化に注目し、沈み込み帯で発生する日スケールの断層すべりの定量的な評価手法を開発した[加納他 2010, Kano et al. 2013]。その結果、2003 年十勝沖地震の余効すべり発生域の摩擦特性の空間分布の推定を通して、地震後 15 日程度の余効すべりの観測データの再現に成功した[Kano et al. 2015]。この研究は、物理モデル、観測データ双方を用いて、摩擦特性が空間構造を持つことを初めて定量的に示した研究である。しかしながら、(a)摩擦特性の最適値を推定しており、推定誤差が十分に評価できない、(b)勾配法を利用するため、推定値が第一推定値(推定に用いる初期値)に強く依存する、(c)初期すべり速度を推定していない、といった問題を抱えている。

一方、房総半島沖で繰り返し発生する SSE のすべりの時間変化がイベント毎に異なる可能性が、観測データから示唆されている[Fukuda 2018]。この結果は、摩擦特性が時間変化する可能性を示唆しているが、物理モデルを用いた定量的な検証はなされていない。また、これまで開発したデータ同化手法を適用しても、摩擦特性の推定誤差が評価できず、摩擦特性の時間変化が有意であることを示すことはできない。

このような背景を踏まえ、本研究では、既存研究の問題点を考慮したデータ同化および機械学習の手法を開発し、地殻変動データに基づき摩擦特性の時空間構造の解明を目指す。

2. 研究の目的

本研究は、観測データと物理モデルを直接比較し、場の物理量を推定するデータ同化と、推定結果から情報を最大限に抽出する機械学習を用いて、地殻変動観測データおよび断層運動と摩擦の物理モデルの両面からプレート沈み込み帯の摩擦特性の時空間構造を解明する手法の構築を目指す。具体的には、(1)摩擦特性の推定に向けた、推定値の誤差および第一推定値(推定に用いる初期値)依存性を考慮したハイブリッドデータ同化手法の開発を行う。また、(2)推定された摩擦特性から、その空間構造を抽出する機械学習手法の開発を行う。さらに、(3)上記で開発した手法を地殻変動データに適用し、沈み込み帯の摩擦特性の時空間構造を解明する。

3. 研究の方法

本研究では、プレート沈み込み帯の断層すべりの振る舞いを規定するプレート境界面の摩擦特性の時空間構造の理解に向けた、データ同化および機械学習手法の開発を目指す。また、手法構築の上で基礎的な情報となる、プレート境界の断層すべり様式の時空間発展に対する理解の深化に向けた、地殻変動データの解析を行う。

4. 研究成果

(1)データ同化による摩擦特性推定手法の開発

既存研究において、GNSS データの時間依存インバージョンで得られる、プレート境界面のすべり速度をデータとして、境界面上の摩擦特性を推定する手法を開発し、余効すべりデータに適用した(Kano et al. 2015)。本研究ではこの研究を基礎として、(a)地殻変動データを直接同化する手法の開発、(b)摩擦特性の推定誤差を評価する手法の開発、(c)スロースリップイベント(SSE)と巨大地震との関連性の解明に向けた手法の開発、を行った。

(a)については、地表面で観測された地殻変動データから、アジョイント法によりプレート境界面の摩擦特性を直接推定する手法を整備し、2003 年十勝沖地震の余効すべりを模した数値実験により、妥当性を検証した。これまで、アジョイント行列を直接演算していたが、この行列は

疎な行列であるため、行列演算せず微分方程式として解くことで計算時間が従来の数分の一程度に削減された。次に開発手法を、2003 年十勝沖地震の余効すべり時に得られた GNSS データに適用した。地震後 15 日間に得られた GNSS データを同化することで、余効すべりの時空間発展と摩擦特性の空間分布を推定した(図 1 a, b)。また、得られた摩擦特性により、その後 15 日間の地殻変動の予測を行い、観測された GNSS 時系列が再現可能であることを検証した(図 1 c)(Kano et al. 2020)。本解析では 1 日ごとの GNSS データを用いたが、より正確な余効変動の予測には地震発生直後の高時間分解能な地殻変動データが必要であることが分かった。そこで、高サンプリング GNSS データが適用可能な形式にプログラムを改良し、数値実験により開発手法を検証した。(b)については、豊後水道の SSE を模したモデル(Hirahara and Nishikiori, 2019)を基に、2 次のアジョイント法を用いた摩擦特性の推定誤差評価手法を開発し、数値実験を用いて検証を行った(Ito, Nagao, Kano, in revision)。 (c)については、地震と SSE 発生領域が存在するモデルを構築し、地震間に発生する SSE のすべり速度を観測値として、アジョイント法により SSE 域の摩擦パラメータ、初期値を推定する数値実験を行った。推定結果を用いて同化期間より先の地震発生時刻まで予測計算を行ったところ、探索初期値を用いた計算結果と比較して真の地震発生時刻に有意に近づくことを示した。

本研究は GNSS で観測された地殻変動から、プレート境界の摩擦特性の空間分布を初めて直接推定したものであり、今後様々な領域に適用することで、断層すべりの様子を既定しているプレート境界の摩擦特性の推定に貢献するものである。また、GNSS データの同化により断層すべりの予測能力が向上したことは、断層すべりに伴う応力擾乱の時空間発展の推定精度向上に繋がりを、巨大地震の発生予測精度向上に貢献できる可能性があると考えられる。

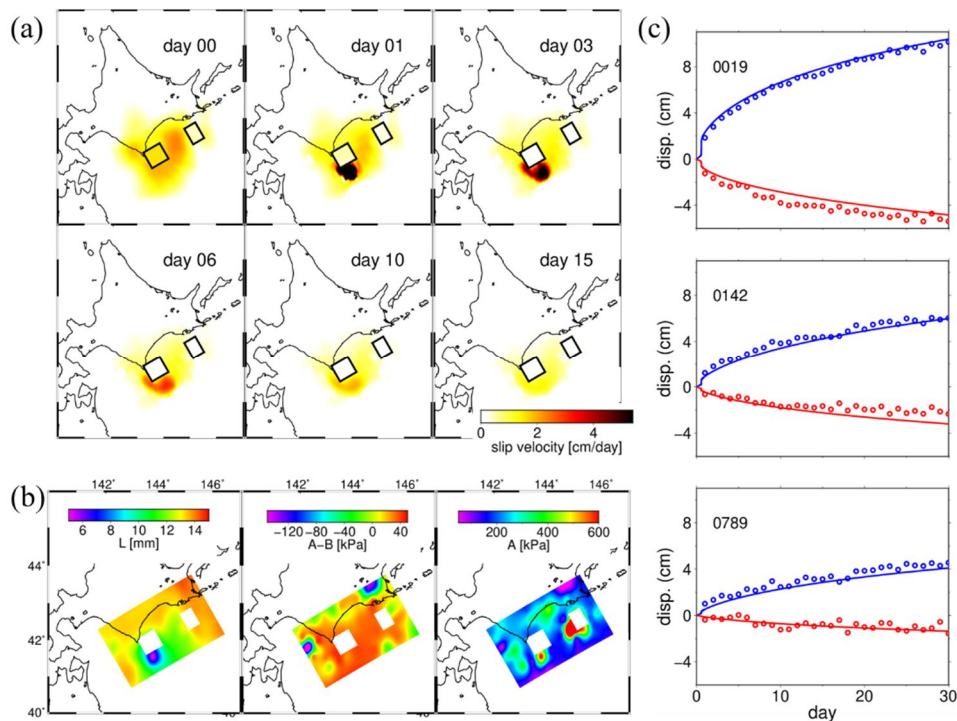


図 1 . (a)2003 年十勝沖地震の余効すべりの時空間発展、(b)摩擦特性の空間分布、(c)推定された地表変位時系列と GNSS 観測との比較(Kano et al. 2020, EPS)。

(2) プレート沈み込み帯の断層すべりの時空間的特徴の理解の深化

(1)で開発した手法における、断層すべりの時空間発展のモデル構築への基礎的な情報となるプレート沈み込み帯の断層すべりの時空間的特徴の理解の深化に向けて、地殻変動データの解析を行った。

琉球海溝南西部・八重山諸島周辺については、GNSS データの解析から 2010~2013 年に発生した 5 回の SSE の時空間発展を推定した。その結果、空間的には同じ場所で SSE が発生しているが、すべりの加速の振る舞いがイベント毎に異なる 2 種類の挙動を示すことが明らかになった(Kano et al. 2018)。この挙動の変化が、摩擦特性の時間変化によるものであることを検証するために、マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いた SSE 発生域の摩擦特性推定手法を開発し、実観測データへの適用を試みた。その結果、SSE ごと、また一つの SSE の時系列の中でも、推定に使用するデータ期間により摩擦パラメータの分布が異なることが分かった。この際、単純なモデルを用いたため、大自由度系のモデルを用いた場合の検討は必要ではあるが、この結果はプレート

境界周辺の流体分布や摩擦の分布が時間変化している可能性を示唆している。

さらに解析期間を 2019 年まで拡張し、2013 年以降整備された新規 GNSS 観測点を加えて、計 16 の SSE の時空間発展を推定した。その結果 Kano et al. (2018) により報告されている 2 通りの他に、ゆっくりと加速してすべり速度が最大になった後ゆっくりと減速する新たなすべりのパターンが見つかった。このパターンの SSE は 16 回中 7 回発生していた。

また直近 10 年間の定常変位速度を推定し、すべり欠損の空間分布を求めた。その結果、八重山諸島の南側のプレート境界においてすべり欠損が 17-47 mm/yr と大きな領域があることが示された (図 2)。この領域は SSE 発生域の浅部に相補的に位置し、プレート境界の摩擦特性などの物理的性質が深さ変化していることを示唆している。同地域では 1771 年に津波被害をもたらす地震が発生しているが、以降 250 年間同様のすべり欠損レートで歪を蓄積していると仮定すると Mw 7.5 に相当するエネルギーが蓄積されている。一方 Nakamura (2009) で 1771 年の津波の波源域とされているプレート境界浅部のすべり欠損は陸域観測からでは解明できないため、巨大地震発生ポテンシャルのより正確な評価には海域観測の継続的な実施と観測点の充実が必要不可欠である。

南海トラフにおいては、SSE の地震学的信号である低周波地震の活動を基に、短期的 SSE に伴う地殻変動信号の抽出を行った。その結果から断層すべりを推定し、四国西部や東部の固着域下端、東海地方の固着域浅部においても、深部の SSE 発生にほぼ同期してゆっくりとしたすべりが生じることが分かった (図 3) [Kano et al. 2019, Kano and Kato 2020]。これは固着の剥がれを意味している可能性がある。また、1970 年代に紀伊半島で発生した SSE が現在観測されるものより規模が大きく、また再来間隔が長かった可能性 [Kano and Kano 2019] を示した。巨大地震サイクルの後半で SSE の再来間隔が短くなるのが数値シミュレーションにより示されており、このような観測事実との更なる比較により、SSE と巨大地震発生との時空間的な関連性がより明らかになると考えられる。

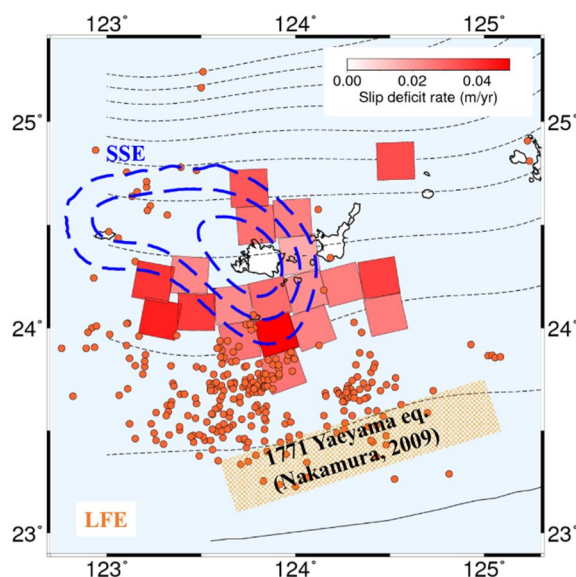


図 2 . 八重山諸島周辺のすべり欠損分布とスロー地震発生域との空間的相補性 (Kano et al. 2021, EPS)

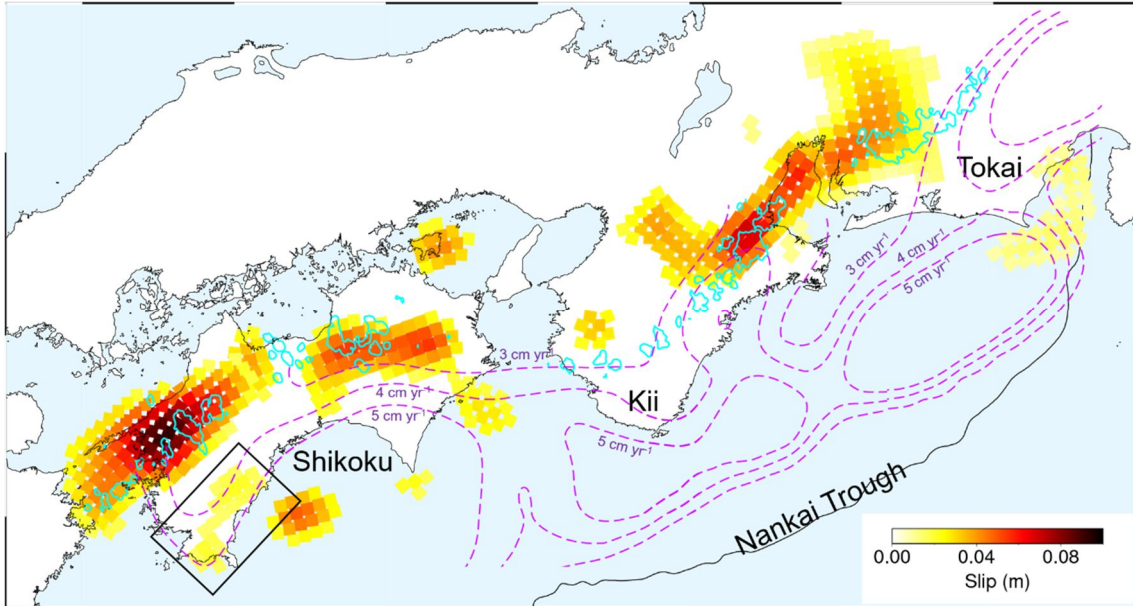


図3 . 短期的 SSE の累積すべり分布 (Kano and Kato. 2020, JGR)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 7件）

| | |
|---|--------------------|
| 1. 著者名 Kano Masayuki, Kato Aitaro | 4. 巻 125 |
| 2. 論文標題 Detailed Spatial Slip Distribution for Short Term Slow Slip Events Along the Nankai Subduction Zone, Southwest Japan | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth | 6. 最初と最後の頁 1-16 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2020JB019613 | 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 Kano Masayuki, Miyazaki Shin'ichi, Ishikawa Yoichi, Hirahara Kazuro | 4. 巻 72 |
| 2. 論文標題 Adjoint-based direct data assimilation of GNSS time series for optimizing frictional parameters and predicting postseismic deformation following the 2003 Tokachi-oki earthquake | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Earth, Planets and Space | 6. 最初と最後の頁 159 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40623-020-01293-0 | 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 - |
| 1. 著者名 Kano Masayuki, Kato Aitaro, Obara Kazushige | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Episodic tremor and slip silently invades strongly locked megathrust in the Nankai Trough | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Scientific Reports | 6. 最初と最後の頁 9270 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-019-45781-0 | 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 - |
| 1. 著者名 Kano Masayuki, Kano Yasuyuki | 4. 巻 71 |
| 2. 論文標題 Possible slow slip event beneath the Kii Peninsula, southwest Japan, inferred from historical tilt records in 1973 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Earth, Planets and Space | 6. 最初と最後の頁 95 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40623-019-1076-9 | 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 Kano Masayuki、Fukuda Jun'ichi、Miyazaki Shin'ichi、Nakamura Mamoru | 4. 巻 123 |
| 2. 論文標題 Spatiotemporal Evolution of Recurrent Slow Slip Events Along the Southern Ryukyu Subduction Zone, Japan, From 2010 to 2013 | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth | 6. 最初と最後の頁 7090-7107 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018JB016072 | 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 Takahashi Hidenobu、Tateiwa Kazuya、Yano Keisuke、Kano Masayuki | 4. 巻 73 |
| 2. 論文標題 A convolutional neural network-based classification of local earthquakes and tectonic tremors in Sanriku-oki, Japan, using S-net data | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Earth, Planets and Space | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-021-01524-y | 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 Kano Masayuki、Ikeuchi Aoi、Nishimura Takuya、Miyazaki Shin'ichi、Matsushima Takeshi | 4. 巻 73 |
| 2. 論文標題 Potential of megathrust earthquakes along the southern Ryukyu Trench inferred from GNSS data | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Earth, Planets and Space | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-021-01531-z | 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 - |

〔学会発表〕 計39件(うち招待講演 3件/うち国際学会 10件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 Masayuki Kano, Aitaro Kato |
| 2. 発表標題 Detailed Spatial Slip Distribution for Short-term Slow Slip Events along the Nankai Subduction Zone, Southwest Japan |
| 3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Shin-ichi Ito, Masayuki Kano, Hironichi Nagao |
| 2. 発表標題 Uncertainty Quantification for Inhomogeneous Frictional Features in a Slow-Slipping Fault Based on a Large-Scale Four-Dimensional Variational Data Assimilation |
| 3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 矢野恵佑・加納将行 |
| 2. 発表標題 ベイズ I1 トレンドフィルタリングに基づくスロースリップ自動検知法 |
| 3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 駒野和基・宮崎真一・加納将行・松島健・西村卓也 |
| 2. 発表標題 新設されたGNSS観測点を用いた琉球弧南西部で発生するSSEに関するすべり時空間発展解析 |
| 3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 伊藤伸一・加納将行・長尾大道 |
| 2. 発表標題 変分法データ同化に基づく断層すべり面の摩擦特性空間分布の不確実性評価 |
| 3. 学会等名 2020年度統計関連学会連合大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 矢野恵佑・加納将行 |
| 2. 発表標題 複数観測点を用いたスロースリップイベントの自動検知 |
| 3. 学会等名 2020年度統計関連学会連合大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 加納将行・加藤愛太郎 |
| 2. 発表標題 西南日本で発生する短期的スロースリップイベントの累積すべり分布の推定 |
| 3. 学会等名 日本測地学会第134回講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 駒野和基・宮崎真一・加納将行・松島健・西村卓也 |
| 2. 発表標題 琉球弧南西部で発生する SSE に関するすべり時空間発展の解析 |
| 3. 学会等名 日本測地学会第134回講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 矢野恵佑・加納将行 |
| 2. 発表標題 トレンドフィルタリングを用いたGNSS観測点からの短期的スロースリップの自動検出 |
| 3. 学会等名 日本測地学会第134回講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 矢野恵佑・加納将行 |
| 2. 発表標題 GNSS複数観測点からの短期的スロースリップの自動検出：トレンドフィルタリングを用いたアプローチ |
| 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 矢野恵佑・高橋秀暢・立岩和也・加納将行 |
| 2. 発表標題 S-netを用いた畳み込みニューラルネットによる三陸沖低周波微動検出の試み |
| 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 Masayuki Kano, Aitaro Kato, Kazushige Obara |
| 2. 発表標題 Detailed spatial slip distribution for short-term slow slip events and the spatial relation to megathrusts along the Nankai subduction zone, southwest Japan |
| 3. 学会等名 2020 AGU Fall Meeting (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 加納将行・高橋秀暢・立岩和也・矢野恵佑 |
| 2. 発表標題 S-net単独観測点を用いたCNNによる三陸沖の近地地震・微動の分類とその汎用性の評価 |
| 3. 学会等名 「AI x 地震の今と未来」研究集会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 矢野恵佑・加納将行 |
| 2. 発表標題 GNSSを用いた短期的スロースリップイベントの自動検出：I1トレンドフィルタリングを用いたアプローチ |
| 3. 学会等名 「AI×地震の今と未来」研究集会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Masayuki Kano, Aitaro Kato, and Kazushige Obara |
| 2. 発表標題 Episodic tremor and slip silently invades strongly locked megathrust in the Nankai Trough |
| 3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2019年大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 加納将行・加納靖之 |
| 2. 発表標題 1970年代の傾斜記録に基づく紀伊半島でのスロースリップイベントの可能性 |
| 3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2019年大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Shin-ichi Ito, Hiromichi Nagao, Masayuki Kano |
| 2. 発表標題 Uncertainty quantification based on 4DVar data assimilation for massive simulation models |
| 3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2019年大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Masayuki Kano, Aitaro Kato, and Kazushige Obara |
| 2. 発表標題 Episodic tremor and slip silently invades strongly locked megathrust in the Nankai Trough |
| 3. 学会等名 IUGG 2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yasuyuki Kano, and Masayuki Kano |
| 2. 発表標題 Reanalysis of old ground tilt data recorded at Kii Peninsula, southwest Japan |
| 3. 学会等名 IUGG 2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Shin-ichi Ito, Masayuki Kano, Hiromichi Nagao |
| 2. 発表標題 Uncertainty quantification based on 4DVar data assimilation for massive simulation models |
| 3. 学会等名 StatSei11 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 加納将行 |
| 2. 発表標題 データ同化に基づく断層すべりの理解・予測と波動場推定の高度化に向けた研究 |
| 3. 学会等名 日本地震学会2019年度秋季大会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 伊藤伸一・加納将行・長尾大道 |
| 2. 発表標題 大規模4次元変分法データ同化に基づくスロースリップ断層面における摩擦特性不均一性の不確実性評価 |
| 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 Masayuki Kano, Aitaro Kato, Kazushige Obara |
| 2. 発表標題 Episodic tremor and slip silently invades strongly locked megathrust in the Nankai Trough |
| 3. 学会等名 Joint Workshop on Slow Earthquakes 2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 加納将行・加藤愛太郎・小原一成 |
| 2. 発表標題 四国西部の深部短期的SSEに同期して固着域下端で発生するゆっくりすべり |
| 3. 学会等名 日本測地学会第132回講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Shin-ichi Ito, Masayuki Kano, Hiromichi Nagao |
| 2. 発表標題 Uncertainty quantification for inhomogeneous frictional features in a slow-slipping fault based on a large-scale four-dimensional variational data assimilation |
| 3. 学会等名 2019 AGU Fall Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Masayuki Kano, Jun'ichi Fukuda, Shin'ichi Miyazaki, Mamoru Nakamura |
| 2. 発表標題 Temporal variation of SSEs in the southern Ryukyu subduction zone: Implications for frictional parameters on the fault |
| 3. 学会等名 Joint Workshop on Slow Earthquakes 2018 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 加納将行・福田淳一・宮崎真一・中村衛 |
| 2. 発表標題 琉球海溝南西部で繰り返し発生するSSEのすべりの時空間発展の多様性 |
| 3. 学会等名 日本測地学会第130回講演会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 加納将行・加藤愛太郎・小原一成 |
| 2. 発表標題 GNSSデータのスタックによる四国西部の短期的SSEのすべり分布の推定 |
| 3. 学会等名 日本測地学会第130回講演会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 加納将行・宮崎真一・平原和朗 |
| 2. 発表標題 アジョイント法によるSSE発生域の摩擦特性の推定、日本地震学会2018年度秋季大会 |
| 3. 学会等名 日本地震学会2018年度秋季大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 加納将行・加藤愛太郎・小原一成 |
| 2. 発表標題 GNSSデータのスタックによる四国西部の短期的SSEのすべり分布の推定 |
| 3. 学会等名 日本地震学会2018年度秋季大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 伊藤伸一・加納将行・長尾大道 |
| 2. 発表標題 Adjoint-based uncertainty quantification of frictional inhomogeneity on slow-slipping fault |
| 3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2021年大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 池内葵・加納将行・中原恒・西村太志・駒野和基・西村卓也・宮崎真一 |
| 2. 発表標題 GNSSデータを用いた八重山諸島における平均変位速度ベクトルの推定 |
| 3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2021年大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 矢野恵佑・加納将行 |
| 2. 発表標題 GNSSを用いた短期的スロースリップイベントの自動検出：I1トレンドフィルタリングを用いたアプローチ |
| 3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会2021年大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Shin-ichi Ito, Masayuki Kano, Hironichi Nagao |
| 2. 発表標題 Adjoint-based Uncertainty Quantification of Frictional Inhomogeneity on Slow-slipping Fault |
| 3. 学会等名 Asia Oceania Geosci. Soc. 2021 virtual, 18th Annual General Meeting ((国際学会)) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 加納将行・宮崎真一・石川洋一・平原和朗 |
| 2. 発表標題 アジョイント法に基づく2003年十勝沖地震の余効すべりの現状把握と短期推移予測 |
| 3. 学会等名 日本地震学会2021年度秋季大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 矢野恵佑・加納将行 |
| 2. 発表標題 I1トレンドフィルタリングによる西南日本GNSSアレイからの短期スロースリップ現象の検出 |
| 3. 学会等名 日本地震学会2021年度秋季大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 加納将行・宮崎真一・石川洋一・平原和朗 |
| 2. 発表標題 アジョイント法に基づく2003年十勝沖地震の余効すべりの現状把握と短期推移予測 |
| 3. 学会等名 日本測地学会第136回講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 矢野恵佑・加納将行 |
| 2. 発表標題 I1トレンドフィルタリングによる西南日本GNSSアレイからの短期スロースリップ現象の検出 |
| 3. 学会等名 日本測地学会第136回講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 加納将行 |
| 2. 発表標題 地殻変動データを用いた沈み込み帯の断層すべりの現状把握・短期推移予測に資するデータ同化研究 |
| 3. 学会等名 第31回 AI・データ活用研究会（招待講演） |
| 4. 発表年 2022年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|--|
| 固体地球科学とデータ同化 https://sites.google.com/view/da-for-solid-earth データ同化で地震・火山現象を理解し予測する http://www.gp.tohoku.ac.jp/research/topics/20180613101952.html Unraveling the Origin of Slow Earthquakes https://eos.org/research-spotlights/unraveling-the-origin-of-slow-earthquakes データ同化断層すべりモニタリングに向けた測地データ解析の革新 https://www.jishin.go.jp/main/herpnews/2021/win/herpnews2021win.pdf |
|--|

| 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 |
| 研究分担者 | 宮崎 真一 (Shin'ichi Miyazaki) (00334285) | 京都大学・理学研究科・教授 (14301) | |

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 |
|-------|---|-------------------------------------|----|
| 連携研究者 | 伊藤 耕介 (Kosuke Ito) (10634123) | 琉球大学・理学部・准教授 (18001) | |

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0件

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 |
|---------|---------|
| | |