

令和 7 年 5 月 28 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2024

課題番号：20K21785

研究課題名（和文）逐次・非逐次融合型データ同化手法の創出

研究課題名（英文）Development of a sequential/non-sequential hybrid-type data assimilation method

研究代表者

長尾 大道（NAGAO, Hiromichi）

東京大学・地震研究所・准教授

研究者番号：80435833

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、逐次型データ同化手法と非逐次型データ同化手法を融合し、現実的な計算時間と計算機資源で実行可能なハイブリッド型データ同化手法の開発に挑戦した。その結果、ハイブリッド型データ同化手法として4次元変分法に乱択アルゴリズムによる前処理を加えたものを構築することに成功し、大規模地震波動場データ同化を例として、高速な不確実性評価を行うことが可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

数理モデルと観測データをベイズ統計学によって融合するデータ同化は広い科学分野において普遍的な計算技術となっているが、モデルとデータを検証するための不確実性評価は計算量の観点から極めて困難であった。本研究課題で提案したハイブリッド型データ同化手法は、現実的な計算時間と計算機資源の範囲内での不確実性評価付きデータ同化計算の実現に道を拓き、気象予報などにおける予測精度の向上に貢献することが期待される。

研究成果の概要（英文）：This project attempted to develop a hybrid data assimilation (DA) method, integrating sequential and non-sequential DA algorithms, that can run within realistic computation time and computer resources. We successfully constructed such a hybrid DA method by adding a preprocessing based on a random algorithm to the four-dimensional variational method. We demonstrated that the proposed DA method was capable of high-speed uncertainty quantification, for example, in large-scale DA related to seismic wavefield propagation.

研究分野：固体地球科学に資する数理科学

キーワード：データ同化 4次元変分法 粒子フィルタ 不確実性評価 地震波伝播 気象予報

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。

1. 研究開始当初の背景

ほぼすべての理工学分野において、物理・化学等の理論に基づくモデルと、観測・実験に基づくデータを比較することが、対象の特性の把握や予測をする上で極めて重要であることは論をまたない。近年の大型計算機の発展は目覚ましく、それとともに取り扱われる数値モデルも、気象分野におけるグローバル再解析モデル、地震分野における地震波や津波の伝播シミュレーション、あるいは航空分野における数値流体力学計算に代表されるように、大規模化の一途をたどっている。また、多数の人工衛星によって汎地球規模で得られる気象観測データや、空間的に密に配置された地震計からなる地震観測網の充実、あるいは航空機の風洞実験の高精度化などにより、観測データの大容量化も急速に進んでいる。

今日の大規模モデル・大容量データ時代において、両者の融合という必然的な要請に応える計算技術が「データ同化」であり、特に現代の気象予報はデータ同化の上に成り立っていると見て良い。データ同化は、数値モデルからあらかじめ生成した複数のシナリオから、観測データが入力されるたびに現実在即するようにシナリオを再構成する「逐次型データ同化」と、数値モデルから単一のシナリオを生成し、ある程度蓄積した観測データ集合に適合するようにシナリオを最適化する「非逐次型データ同化」とに大別される(表1)。大規模データ同化を実施する場合には、計算機資源や計算時間の制約の観点からも、圧倒的に非逐次型データ同化の方が有効である。非逐次型データ同化の代表的な手法が4次元変分法(4DVar)であり、実際に気象予報の主力手法となっている。4DVarは、数値モデルのコードに大掛かりに手を加える必要があり、実装の手間の観点から採用が回避される傾向にある。一方、逐次型データ同化は実装の手間が比較的小さく、また数値モデルをブラックボックスのまま取り扱うことも可能であるため、データ同化を実装する際の第一選択肢となる傾向にある。しかしながら、逐次型データ同化によって大規模モデルと大容量データを融合するためには、世界最高のスパコンをもってしても計算機資源が不足するほどの大量のシナリオ数を必要とする。

表1: 逐次データ同化と非逐次データ同化の比較

	逐次型データ同化	非逐次型データ同化
代表的手法	粒子フィルタ アンサンブルカルマンフィルタ	4次元変分法(4DVar)
利点	実装の手間小 不確実性評価が可能	高速計算が可能
弱点	計算コスト大	実装の手間大 不確実性評価ができない
モデル規模	小・中規模モデル	大規模モデル

2. 研究の目的

本研究では、現実的な計算時間と計算機資源で実行可能な、逐次型と非逐次型を融合したハイブリッド型データ同化手法の開発に挑戦する。具体的には、非逐次型データ同化手法である4DVarと、逐次型データ同化手法である粒子フィルタ(PF)において効率的な粒子選択を行う逐次型データ同化手法を融合することにより、今後も急速な大規模化の一途をたどるモデルとデータに適用可能な、時代を先取りする将来型データ同化手法を提案する(図1)。

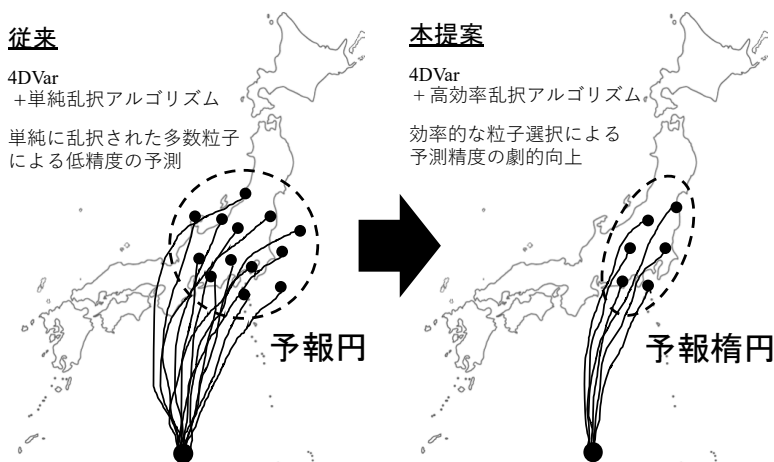


図1: 本提案手法によるデータ同化予測の劇的向上

3. 研究の方法

本研究の推進にあたっては、研究代表者の長尾のほか、研究協力者として長尾研究室に所属する伊藤伸一助教、研究員1名、東京大学大学院情報理工学系研究科の大学院生1名にも協力を仰

ぐ。本研究の目的であるハイブリッド型データ同化手法の開発に向け、以下の手順を進める（表2）。

(1) 初年度（2020年度）

4DVar および PF 法の融合に向け、アルゴリズムの観点から解決すべき問題を長尾と伊藤が洗い出す。これに基づいて開発手法のアルゴリズムを考案し、大学院生がトイモデルに基づく数値実験によって手法の妥当性を示す。これを論文にまとめ、国際誌に投稿する。

(2) 最終年度（2021年度）

初年度に開発したアルゴリズムを長尾と伊藤が中規模モデルに実装し、提案手法の性能評価を行う。また、大規模なモデルに基づく性能評価を行うため、やはり長尾研究室で開発した地震波動伝播モデルへ研究員が実装する。

その際、最適解の推定だけでなく、その不確実性評価に関する性能評価を行う。これらの結果を論文にまとめ、国際誌に投稿する。

表 2：本研究の年次計画

	2020年度	2021年度
ハイブリッド型データ同化手法開発 主担当：長尾・伊藤	➡	
数値実験検証 主担当：大学院生	➡	
中規模モデルへの実装 主担当：長尾・伊藤		➡
大規模モデルへの実装 主担当：研究員		➡

4. 研究成果

本研究課題の主題であるハイブリッド型データ同化手法として、乱択アルゴリズムに基づく不確実性評価変分法データ同化法を構築するとともに、その高速化法を考案した。

地震波動場モデルのように、数値計算不安定性回避のために稠密な時空間格子が要求される場合には、モデル計算1回あたりの計算量が非常に大きく、既存の変分法データ同化法の単純な適用は計算量的に難しい。その解決のため、変分法データ同化に乱択化前処理を導入することで不確実性評価アルゴリズムを高速化する方法を考案した。本前処理手法は既存のアルゴリズム構造を壊すことなく全体の高速化を実現できる上、前処理自体の計算量は全体の計算量に比べて十分小さく抑えることができる手法となっている。本提案手法を1次元不均質速度構造における波動伝播に関するトイモデルに実装し、特に不確実性評価の観点から性能検証を実施した。前処理なしの既存方法と比較したところ、10倍以上の高速化が可能であることが確認された（図2）。

この乱択化変分不確実性評価法は、乱択化前処理の無い不確実性評価法の計算速度を向上するが、実際に想定される直下型地震の長時間のデータでは高速化効率が極端に悪化してしまう。この悪化現象は、長時間データでは遠方での空間相関が発達することで事後分布共分散が増大し、乱択化法の精度が低下することに起因していることが見出された。この問題の解決に取り組み、精度が事後分布共分散に依存しない乱択化法を構築し組み込むことにより、長時間実データに対しても堅牢に高速化を実現する乱択化変分不確実性評価法の構築に成功している。本手法は事前計算処理が必要であるものの、その処理結果は使い回し可能なため、多変量の不確実性評価が必要なことを考慮すると計算コストの面でも有効である。

今後は引き続き直下型地震データへの適用を推進するとともに、データの質や量に依存して適切な乱択化法を選択する数学的基準の構築を行っていく。

乱択数を変えた際の計算時間の比較

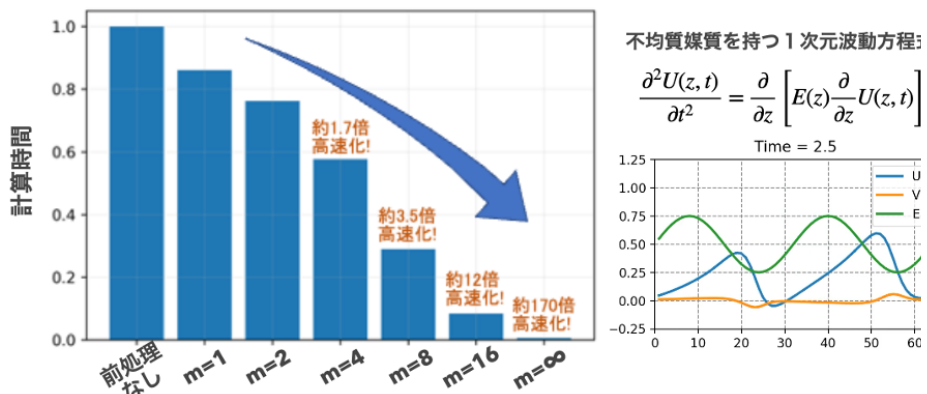


図 2：乱択化に基づく高速化手法の1次元波動方程式の不均質速度構造不確実評価問題への適用結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 13件）

1. 著者名 Kusui, T., H. Nagao, S. Ito, S. Katoh, and T. Tokuda	4. 巻 -
2. 論文標題 A deep learning approach to identifying neural SDE models using the signature kernel	5. 発行年 2025年
3. 雑誌名 2025 the 28th International Conference on Information Fusion	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) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nagao H., S. Ito, and M. Matsumura	4. 巻 -
2. 論文標題 Dominant Mode Extraction Based on the Four-Dimensional Variational Method	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 2024 27th International Conference on Information Fusion	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/FUSION59988.2024.10706506	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nakao, A., T. Kuwatani, S. Ito, and H. Nagao	4. 巻 2
2. 論文標題 Adjoint Based Marker In Cell Data Assimilation for Constraining Thermal and Flow Processes From Lagrangian Particle Records	5. 発行年 2025年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Machine Learning and Computation	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) 10.1029/2024JH000288	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 Nakao, A., T. Kuwatani, S. Ito, and H. Nagao	4. 巻 236
2. 論文標題 Adjoint-based data assimilation for reconstruction of thermal convection in a highly viscous fluid from surface velocity and temperature snapshots	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 379-394
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/gji/ggad417	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 Nakai, K., T. Nagata, K. Yamada, Y. Saito, T. Nonomura, M. Kano, S. Ito and H. Nagao	4. 巻 234
2. 論文標題 Observation site selection for physical model parameter estimation towards process-driven seismic wavefield reconstruction	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 1786-1805
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/gji/ggad165	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 Nakai, K., T. Nagata, K. Yamada, Y. Saito, T. Nonomura, M. Kano, S. Ito and H. Nagao	4. 巻 -
2. 論文標題 Observation site selection for physical model parameter estimation toward process-driven seismic wavefield reconstruction	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	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) なし	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 Kaneko, R., H. Nagao, S. Ito, H. Tsuruoka, and K. Obara	4. 巻 128(2)
2. 論文標題 Detection of deep low-frequency tremors from continuous paper records at a station in southwest Japan about 50 years ago based on convolutional neural network	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research Solid Earth	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) 10.1029/2022JB024842	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 Nagata, T., K. Nakai, K. Yamada, Y. Saito, T. Nonomura, M. Kano, S. Ito, and H. Nagao	4. 巻 233(1)
2. 論文標題 Seismic wavefield reconstruction based on compressed sensing using data-driven reduced-order model	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 33-50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/gji/ggac443	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 Ito, S., M. Kano, and H. Nagao	4. 巻 232(1)
2. 論文標題 Adjoint-based uncertainty quantification for inhomogeneous friction on a slow-slipping fault	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 671-683
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/gji/ggac354	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 Matsumura, T., Y. Kuwayama, K. Ueki, T. Kuwatani, Y. Ando, K. Nagata, S. Ito, and H. Nagao	4. 巻 126
2. 論文標題 Bayesian modelling of the equation of state for liquid iron in Earth's outer core	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research Solid Earth	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) 10.1029/2021JB023062	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 Kurihara, R., A. Kato, S. Kurata, and H. Nagao	4. 巻 73
2. 論文標題 Detection of low-frequency earthquakes by the matched filter technique using the product of mutual information and correlation coefficient	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/s40623-021-01534-w	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 Kaneko, R., H. Nagao, S. Ito, K. Obara, and H. Tsuruoka	4. 巻 12705
2. 論文標題 Convolutional neural network to detect deep low-frequency tremors from seismic waveform images	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 31-43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-75015-2_4	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 長尾 大道	4. 巻 141
2. 論文標題 データ同化の深化と地震学への展開	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会誌	6. 最初と最後の頁 345-349
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjournal.141.345	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 長尾 大道	4. 巻 26
2. 論文標題 材料科学に資するデータ同化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ふえらむ	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) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Morikawa, K., H. Nagao, S. Ito, Y. Terada, S. Sakai, and N. Hirata	4. 巻 -
2. 論文標題 Forecasting temporal variation of aftershocks immediately after a main shock using Gaussian process regression	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	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) 10.1093/gji/ggab124	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 Anzaki, R., S. Ito, H. Nagao, M. Mizumaki, M. Okada, and I. Akai	4. 巻 103
2. 論文標題 Phase prediction method for pattern formation in time-dependent Ginzburg-Landau dynamics for kinetic Ising model without a priori assumptions of domain patterns	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	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) 10.1103/PhysRevB.103.094408	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 Inoue, J., M. Okada, H. Nagao, H. Yokota, Y. Adachi	4. 巻 61
2. 論文標題 Development of Data-Driven System in Materials Integration	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 2058-2066
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-MA2020006	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44件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 H. Nagao, S. Ito, and M. Matsumura
2. 発表標題 Dominant mode extraction based on the four-dimensional variational method
3. 学会等名 27th International Conference on Information Fusion (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Nagao, H.
2. 発表標題 Four-dimensional variational method for data assimilation and its applications to models in solid Earth science
3. 学会等名 2024 Japan-Taiwan Joint Workshop on Inverse Problems and Related Topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Nagao, H. and S. Ito
2. 発表標題 Foundation of data assimilation and its application to phase-field models
3. 学会等名 MRM2023/IUMRS-ICA2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 長尾大道
2. 発表標題 4次元変分法データ同化の理論深化と応用展開
3. 学会等名 ものづくり企業に役立つ応用数理手法の研究会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中井公美, 永田貴之, 山田圭吾, 齋藤勇士, 野々村拓, 加納将行, 伊藤伸一, 長尾大道
2. 発表標題 プロセス駆動型地震波動場再構成に向けた物理モデルパラメタ推定のための観測点選択
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nagao, H, R. Kaneko, S. Ito, H. Tsuruoka, and K. Obara
2. 発表標題 Detection of deep low-frequency tremors from continuous paper records at a station in southwest Japan about 50 years ago based on convolutional neural network for seismogram images
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nagao, H.
2. 発表標題 Towards integration of data assimilation and deep learning beneficial to seismology
3. 学会等名 SIAM International Conference on Data Mining (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tokuda, T. and H. Nagao
2. 発表標題 Robust seismic phase detection method modeling both global and local representations of waveform
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nagao, H., S. Ito, and R. Kaneko
2. 発表標題 Data science techniques to extract information from image data
3. 学会等名 IIW Annual Assembly and International Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長尾 大道
2. 発表標題 SpMとの融合に基づくデータ同化の深化と計測への展開
3. 学会等名 データ駆動科学と情報計測の新展開(DDIMA)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 長尾 大道
2. 発表標題 データ同化：理論深化と応用展開
3. 学会等名 データ駆動科学と情報計測の新展開(DDIMA)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 長尾 大道
2. 発表標題 データ同化と機械学習の接点
3. 学会等名 電子情報通信学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 長尾 大道
2. 発表標題 地震学と情報地質学の接点
3. 学会等名 日本情報地質学会シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 永田 貴之, 中井 公美, 山田 圭吾, 齋藤 勇士, 野々村 拓, 加納 将行, 伊藤 伸一, 長尾 大道
2. 発表標題 データ駆動型低次元モデルを用いた圧縮センシングの地震波動場再構成への適用
3. 学会等名 日本地震学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中井 公美, 永田 貴之, 山田 圭吾, 齋藤 勇士, 野々村 拓, 加納 将行, 伊藤 伸一, 長尾 大道
2. 発表標題 プロセス駆動型地震波動場再構成に向けた物理モデルパラメタ感度に基づく観測点選択手法の開発
3. 学会等名 日本地震学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金子 亮介, 長尾 大道, 伊藤 伸一, 鶴岡 弘, 小原 一成
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークに基づく西南日本で得られた地震波形紙記録からの深部低周波微動の検出
3. 学会等名 日本地震学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長尾 大道
2. 発表標題 人工知能と自然知能の対話・協働による地震研究の新展開
3. 学会等名 統計関連学会連合大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長尾 大道, 羽場 智哉, 伊藤 伸一
2. 発表標題 Seasonal adjustment method with multi-seasonal components
3. 学会等名 統計関連学会連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長尾 大道, 伊藤 伸一, 金子 亮介
2. 発表標題 データサイエンスによる地震研究の深化
3. 学会等名 人工知能学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金子 亮介, 長尾 大道, 伊藤 伸一, 鶴岡 弘, 小原 一成
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークによる地震波形古記録からの深部低周波微動の検出
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長尾 大道
2. 発表標題 データ同化の基礎と応用
3. 学会等名 システム制御情報学会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤 伸一, 加納 将行, 長尾 大道
2. 発表標題 シンプレクティックアジョイント法に基づくスロースリップ断層面の摩擦不均一性の不確実性評価
3. 学会等名 日本地震学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤 伸一, 加納 将行, 長尾 大道
2. 発表標題 シンプレクティックアジョイント法に基づくスロースリップ断層面上の摩擦空間不均一性の不確実性評価
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森川 耕輔, 長尾 大道, 伊藤 伸一, 酒井 慎一, 平田 直
2. 発表標題 Fast and high-precision estimation for temporal variation of aftershocks immediately after a main shock with Gaussian process regression
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 永田 貴之, 中井 公美, 山田 圭吾, 齋藤 勇士, 野々村 拓, 加納 将行, 伊藤 伸一, 長尾 大道
2. 発表標題 データ駆動型低次元モデルとスパース観測による地震波動場再構成手法の提案
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中井 公美, 永田 貴之, 山田 圭吾, 齋藤 勇士, 野々村 拓, 加納 将行, 伊藤 伸一, 長尾 大道
2. 発表標題 プロセス駆動型地震波動場再構成に向けた物理モデルパラメタ推定のための観測点選択手法の提案
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nagao, H.
2. 発表標題 Optimization and uncertainty quantification based on the four-dimensional variational method
3. 学会等名 International Workshop on the Integration of (Simulation + Data + Learning): Towards Society 5.0 by h3-Open-BDEC (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 Morikawa, K., H. Nagao, S. Ito, Y. Terada, S. Sakai, and N. Hirata
2 . 発表標題 Forecasting temporal variation of aftershocks immediately after a main shock using Gaussian process regression
3 . 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Anzaki, R., S. Ito, H. Nagao M. Mizumaki, M. Okada, and I. Akai
2 . 発表標題 Pattern formation via the time-dependent Ginzburg-Landau equation in spin systems
3 . 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Kaneko, R., H. Nagao, S. Ito, K. Obara, and H. Tsuruoka
2 . 発表標題 Convolutional neural network to detect deep low-frequency tremors from seismic waveform images
3 . 学会等名 PAKDD2021 Workshop on Machine Learning for Measurement Informatics (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Kaneko, R., H. Nagao, S. Ito, K. Obara, and H. Tsuruoka
2 . 発表標題 Convolutional neural network to detect deep low-frequency tremors from seismic waveform images
3 . 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 栗原 亮, 加藤 愛太郎, 倉田 澄人, 長尾 大道
2. 発表標題 相互情報量と相関係数の積を用いたマッチドフィルタ法による深部低周波地震の検出
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 森川 耕輔, 長尾 大道, 伊藤 伸一, 寺田 吉彦, 酒井 慎一, 平田 直
2. 発表標題 ガウス過程回帰を用いた本震直後における余震分布の推定
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 金子 亮介, 長尾 大道, 伊藤 伸一, 小原 一成, 鶴岡 弘
2. 発表標題 地震連続波形画像からの深部低周波微動検出に向けた畳み込みニューラルネットワークの構築
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 栗原 亮, 加藤 愛太郎, 倉田 澄人, 長尾 大道
2. 発表標題 相互情報量と相関係数の積を用いたマッチドフィルタ法による深部低周波地震の検出
3. 学会等名 2021年度 統計関連学会連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森川 耕輔, 長尾 大道, 伊藤 伸一, 寺田 吉彦, 酒井 慎一, 平田 直
2. 発表標題 ガウス過程回帰を用いた本震直後における余震分布の推定
3. 学会等名 2021年度 統計関連学会連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子 亮介, 長尾 大道, 伊藤 伸一, 小原 一成, 鶴岡 弘
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークを用いた地震波形画像からの深部低周波微動の検出
3. 学会等名 2021年度 統計関連学会連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子 亮介, 長尾 大道, 伊藤 伸一, 鶴岡 弘, 小原一成
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークによる地震波形古記録からの深部低周波微動の検出
3. 学会等名 日本統計学会春季集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nagao, H.
2. 発表標題 Towards integration of data assimilation and deep learning beneficial to seismology
3. 学会等名 SIAM International Conference on Data Mining (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長尾 大道
2. 発表標題 機械学習の基礎
3. 学会等名 日本機械学会 熱工学部門講習会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Haba, T., H. Nagao, and S. Ito
2. 発表標題 Decomposition of multiple seasonal components in a seasonal adjustment model
3. 学会等名 Joint Statistical Meetings (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安崎 遼路, 伊藤 伸一, 長尾 大道, 水牧 仁一朗, 岡田 真人, 赤井 一郎
2. 発表標題 時間依存Ginzburg-Landau方程式による2次元スピン系でのパターン形成に関する理論的研究
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安崎 遼路, 伊藤 伸一, 長尾 大道, 水牧 仁一朗, 岡田 真人, 赤井 一郎
2. 発表標題 双極子間相互作用を含む時間依存Ginzburg-Landau方程式によるパターン形成における相分類の提案と解析的な相予測
3. 学会等名 第68回応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子 亮介, 長尾 大道, 伊藤 伸一, 小原 一成, 鶴岡 弘
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークに基づく地震波形画像からの深部低周波微動検出に向けた数値実験
3. 学会等名 日本地震学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東京大学地震研究所 長尾・伊藤研究室 https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/people/nagaoh/ 文科省STAR-Eプロジェクト 東大研究課題「人工知能と自然知能の対話・協働による地震研究の新展開」 https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/SYNTHA-Seis/</p>

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
研究協力者	伊藤 伸一 (Ito Shin-ichi) (10756331)	東京大学・地震研究所・助教 (12601)	

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			
米国	カリフォルニア工科大学			
シンガポール	南洋理工大学			