

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：62603

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2017～2021

課題番号：17H00728

研究課題名（和文）結合データ同化システム開発の方法と応用

研究課題名（英文）Methodology and application of coupled data assimilation systems

研究代表者

上野 玄太（Ueno, Genta）

統計数理研究所・モデリング研究系・教授

研究者番号：40370093

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 30,800,000円

研究成果の概要（和文）：大気と海洋のデータ同化を結合モデルと非結合モデルの場合で比較し、結合モデルへのデータ同化が優位となる条件を検討した。地磁気活動度指数から太陽風の状態を推定し、推定された太陽風を入力とする磁気圏電離圏系モデルにより磁気圏、電離圏の観測を推定する方法を開発した。放射線帯における「あらせ」衛星による高エネルギー電子観測のデータ同化を行った。アンサンブルシミュレーションを繰り返してランダムに選んだ部分空間で最適化を行いながら高次元の4次元変分法問題を解く手法の開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気象・気候予測の精度向上のため、大気海洋結合同化システムの開発が行われているが、従来の「非」結合システムに対し結合システムが実際に優位となるかどうかは明らかではなかった。本課題では海面水温変動の詳細の再現が結合同化システムの優位性を導くことを明らかにし、今後の精度向上には、海面水温変動の再現性改善を目指すべきことを示した点で、学術的、社会的意義がある。放射線帯電子の高エネルギー電子変動の理解と予測は、宇宙天気研究の最重要課題の一つとされている。本課題によって放射線帯電子の物理過程を抽出することが可能となり、電子変動を作り出す物理過程の理解に貢献するとともに、宇宙天気予報の高精度化にも寄与する。

研究成果の概要（英文）：We compared atmosphere-ocean data assimilation systems based on a coupled model and non-coupled model, and examined conditions under which data assimilation to the coupled model provides better forecast. We developed a method to estimate the solar wind from the geomagnetic activity index and to estimate the magnetosphere and ionosphere by a magnetosphere-ionosphere model driven by the estimated solar wind. Data assimilation of high-energy electron observations by the "Arase" satellite in the radiation belt was performed. We developed a method for a high-dimensional 4D-Var data assimilation by repeating ensemble simulation and optimizing in a randomly selected subspace.

研究分野：統計科学

キーワード：データ同化 海洋 放射線帯

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

私たちが住む地球環境の特徴は、大気と海洋に見られるように、異なる領域が結合し、相互に作用しながらダイナミックに変動するシステムを成していることである。例えば、日本を含め世界中で異常な天候をもたらすエルニーニョ現象は、大気と海洋の相互作用をもって初めて説明される、結合システムならではの現象である。しかし、これまでに研究開発が進められてきたデータ同化システムは、主に単一の領域や特定の時間・空間スケールに限定したものであり、共存する他の領域との相互作用は十分に考慮されていなかった。大気と海洋など、複数の領域の結合相互作用を含んだシミュレーションモデルをベースにデータ同化システムを機械的に構築することは可能だが、構築した同化システムにより必ずしも妥当な推定値が得られるわけではないのである。

2. 研究の目的

(1) 気象学・海洋学の分野では、過去の観測データを用いたデータ同化システムによるシミュレーションにより、過去の大気・海洋の状態について推定した結果を再解析と呼んでいる。これまで、一般的には大気再解析は大気同化システムで、海洋再解析は海洋データ同化システムで別々に作成される。しかし、大気・海洋間には相互作用が働いていて、それらの時間発展にも影響を与えるが、別々の再解析では両者の整合性をとることが難しく、大気・海洋相互作用を十分に再現できないことが予想される。この問題の解決のために気象研究所では、大気海洋結合モデルに対して大気と海洋の観測データを同化することにより、大気と海洋の状態を同時にシミュレーションする大気海洋結合同化システム MRI-CDA1 の開発を行った。MRI-CDA1 では、大気と海洋について、それぞれの事前推定値と観測データから独立な解析ルーチンを用いて、ある解析時刻における事後推定値を別々に求めるが、それらの時間発展を結合モデルにより同時に計算し、次の解析時刻における事前推定値とすることで、大気・海洋間の観測情報の伝播を実現しており、このようなシステムは弱結合同化システムと呼ばれている。

(2) 地球磁気圏は荷電粒子の運動が地球起源の磁場に強く支配される地上数千～数万 km の領域であり、地球電離圏は荷電粒子と中性粒子の共存が本質的である地上数百 km の領域である。磁気圏と電離圏は電磁氣的、物質的に相互作用しながら変動しており、磁気圏、電離圏のダイナミクスを理解するには、磁気圏電離圏系という一つのシステムとして捉える必要がある。磁気圏電離圏系を統合的に扱うシミュレーションモデルは、ここ 20 年ほどの間に著しい発展を遂げ、定性的には現象をよく再現できるようになっている。一方、磁気圏電離圏系のシミュレーションモデルにデータ同化を適用するには、以下のような困難があった。

1. 磁気圏電離圏系をエネルギーの流れで見ると、エネルギー源となる太陽風が磁気圏の現象を駆動し、その磁気圏が電離圏の現象を駆動する傾向が支配的であり、磁気圏電離圏系の諸現象を再現するには、磁気圏、さらには太陽風の状態を精度よく推定することが重要となる。一方、観測の観点からは、磁気圏よりも高度の低い電離圏の方が圧倒的に得られる観測データの量が多い。したがって、磁気圏電離圏系へのデータ同化は、実質的に観測が比較的潤沢な電離圏の情報をもとに、物理的な因果関係を逆にたどって磁気圏、太陽風の状態を推定する設定になっており、時間をさかのぼった推定が必要となる。

2. 磁気圏電離圏系で得られる観測データは、大気海洋系と比較してデータ量が少ない。磁気圏と比較すれば、電離圏で得られる観測データの量は多いが、観測の空間分布には偏りがあり、電離圏全体の状態を把握できるものではない。したがって、限られた観測データの時系列から、系全体の状態を推定する必要がある。

以上のような問題を解決し、磁気圏電離圏系のシミュレーションモデルへのデータ同化を実現するための基礎技術を開発することを目的として研究を実施した。

(3) ジオスペースと呼ばれる地球周辺の宇宙空間における放射線帯高エネルギー電子変動の高精度の推定を行うためには、変動過程を記述する物理モデルに用いられている各種の係数を精度よく決めることが必要となる。従来、放射線帯電子の分布関数の輸送、消失および加速を記述するために、Fokker-Planck 方程式に基づく物理モデルが用いられてきた。この式においては、粒子の動径方向の輸送 (radial diffusion)、プラズマ波動との相互作用に伴う粒子の消失過程 (ピッチ角散乱) がモデル化されており、動径方向拡散係数やプラズマ波動との相互作用に関する経験的な係数が用いられてきた。これらの経験的な係数は、地磁気活動指数等でモデル化されており、時間変化を記述することも可能である。しかし、係数自身の精度が充分でなく、その妥当性については議論が行われてきた。そこで、本研究においては、この Fokker-Planck 方程式に用いられている各係数の推定するために、2016 年に打ち上げられた「あらせ」衛星による放射

線帯高エネルギー電子の観測データを用いて、粒子フィルターにもとづくデータ同化を行うことによって、これらの係数の動的な推定を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、まず、2013年11月から2015年12月の期間について、MRI-CDA1を用いて大気・海洋状態を同時に推定する結合再解析を実施した。さらに、結合モデルにおいて、モデル内で計算された海面水温など海洋データを大気変動の計算に用いず、かわりに外部から与えた観測データなどを利用することにより、同等のモデルによる大気・海洋の非結合再解析を作成した。そして、結合再解析と非結合再解析との比較により、結合同化システムの優位性についての検証を実施した。

(2) 物理的な因果関係をさかのぼって電離圏の情報から磁気圏の状態を推定するデータ同化手法として、逐次データ同化を過去状態の推定に拡張した平滑化による方法と4次元変分法による方法が知られている。平滑化は、逐次データ同化の手続きを十分長い時間実行することで、過去にさかのぼった推定をある程度精度よく行うことができる方法だが、長い時間連続して得られる観測データが少ない磁気圏電離圏系への適用には難がある。一方、4次元変分法の代表的な手法であるアジョイント法は実装に手間が掛かるため、これも適用が容易ではない。そこで、様々な初期値でシミュレーションを実行するアンサンブルシミュレーションの結果を用いて4次元変分法の問題を近似的に解く4次元アンサンブル変分法が提案されている。そこで、4次元アンサンブル変分法を不確実性の高い問題に適用可能な形に定式化し直し、アンサンブルシミュレーションを繰り返してランダムに選んだ部分空間で最適化を行いながら高次元の4次元変分法問題を解く手法の開発を行った (Nakano, 2021)。

データ同化手法の開発と並行して、磁気圏電離圏系を駆動する太陽風の状態推定の改善にも取り組んだ。磁気圏電離圏系の複雑さと比較して、エネルギー源となる太陽風の状態は10個程度の変数で概ね記述できるため、磁気圏全体の状態よりも容易に推定できる可能性がある。そこで、磁気圏と電離圏のマクロな状態を記述する地磁気活動度指数から、まず太陽風の状態を推定し、推定された太陽風を入力とする磁気圏電離圏系モデルをさらに磁気圏、電離圏の観測に合わせるといった方法の開発も行った。地磁気活動度指数と太陽風の状態との関係をecho state networkと呼ばれる再帰ニューラルネットワークで学習し、これを用いて太陽風の状態を推定する方法を提案した (Kataoka and Nakano, 2021)。

一方、空間分布に偏りのある電離圏観測の問題を解決するために、物理的制約を取り込んだ推定手法の開発にも取り組んだ。例えば、電離圏では電場の発散が0という条件が満たされると仮定できるので、これが満たされるように電離圏電場を流れ関数の形で表現し、流れ関数を推定することで電離圏電場分布を推定する枠組みも開発した。(Nakano et al., 2020)。

(3) 本研究では、Fokker-Planck方程式における電子の位相空間密度、動径方向拡散係数および消失を担うプラズマ波動強度を状態変数ベクトルとし、「あらせ」衛星による高エネルギー電子フラックスの観測データを観測ベクトルとしてデータ同化を行った。同化にあたっては、粒子フィルターと粒子スモーカーを用いている。本研究における粒子数は、10000である。

4. 研究成果

(1) まず、20 - 100日の時間スケールの海面水温と降水量のラグ相関関係を調べたところ (Kobayashi et al., 2021)、海面水温と7日前の降水量は負の相関、7日程度後の降水量とは正の相関を持ち、その関係がこれまでの研究で指摘されているように、結合再解析では強化され、より観測に近づいていることが確認された。しかし、結合再解析では海面に入った熱の下向き輸送が現実より大きいため (図1)、海面水温の変動が観測に比べて数日先行しており、この問題の解決のためには海洋混合層モデルの改良による混合層内の鉛直熱輸送の再現性の向上が必要であることが明らかになった。

またFujii et al. (2021)は、結合再解析においては10日以内の時間スケールについても、海面水温が1日前の降水量と負の相関、1日後の降水量と正の相関を持っていたが、非結合同化では、大気変動の計算に用いた海面水温の観測データでは短期の変動が解像されていないため、この関係が見られないことを明らかにした。さらに、結合再解析では海洋の熱帯不安定波に伴う海面水温の変動がモデルにより再現され、それに応答した海上気温や海上風の変動も見られるが、非結合再解析では、海面水温観測データの中に熱帯不安定波に伴う変動が十分捉えられていないため、結局、それに伴う海面気温・海上風の変動も正しく再現されていないことがわかった (図2)。結局、結合再解析では、海洋モデルにより海面水温の変動をより詳細に再編することにより、非結合再解析と比較して性能の向上が見込まれることが明らかになった。

本研究では、さらに上記の結果から、結合再解析の優位性を生かすためには海面水温変動の再現性の向上が必要であると考え、衛星海面水温データを格子点化する前に同化する手法や海面極近傍の温度変化を再編するスキームの導入など、結合同化システムの改善のための方策についての検討を行った。

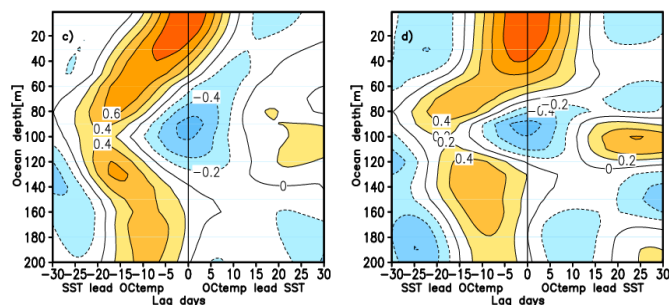


図 1：赤道東経 147 度における海面水温に対する海洋内部の水温とのラグ相関。観測データ（左）では、海洋内部の水温の変動の遅れが大きいが、結合再解析（右）では遅れが小さく、熱の下向き輸送が早いことが示唆される。Kobayashi et al. (2021)より抜粋。

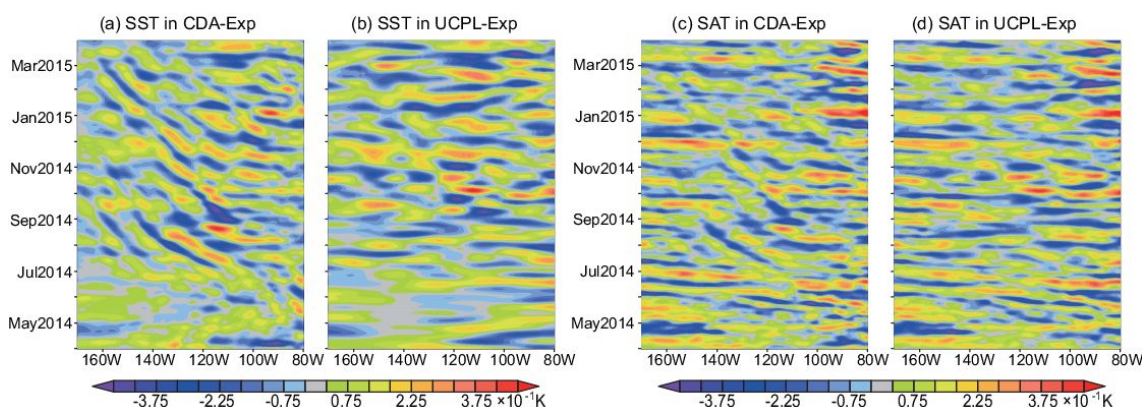


図 2：北緯 1-6 度平均の海面水温 (a, b) と海上気温 (c, d) の経度-時間断面図。結合再解析 (a, c) では、海面水温、海上気温の両方について変動が西方へ伝播の様子がみられるが、非結合再解析 (b, d) でははっきりとは見られない。Fujii et al. (2021)より抜粋。

(2) 4次元アンサンブル変分法は、シミュレーションモデルを完全にブラックボックスとして扱うことができるため、実装が容易で磁気圏電離圏系モデルとも親和性が高いが、一方、従来の方法を高次元の問題に適用する場合には、分散共分散行列を空間構造を考慮して近似処理する必要があり、空間構造の複雑な磁気圏電離圏系への適用には難があった。しかし、本研究で行った改良により、分散共分散行列の近似は必須ではなくなり、磁気圏電離圏系モデルへの適用の道筋を着けることができた。実際、この手法を用いて磁気圏電離圏系モデルへのデータ同化を進めており、成果が出つつある (Fujita et al., 2021)。

また、echo state network で太陽風状態を推定する手法を開発したことにより、太陽風に関する観測データに問題が生じても、太陽風の状態を与えることができるようになった。太陽風は磁気圏電離圏系の物理過程を駆動しており、太陽風の状態を得る手段ができたことは、磁気圏電離圏系の現象を再現する上でも重要である。

流れ関数に基づく電離圏電場分布の推定はこれまでも行われていたが、流れ関数は球面調和関数やそれに類する基底関数で流れ関数を表現していた。しかし、従来用いられていた基底関数を使った場合、観測が疎らな領域で推定が不安定になるため、磁気圏電離圏系モデルに組み込んだ場合に妥当な推定ができないという問題があった。そこで、球面ガウス関数に基づいた局所的な基底関数を提案し、観測に空間的な偏りがあっても安定した推定ができるようになった。この性質は磁気圏電離圏系モデルにデータ同化を適用する際にも有効であると考えられる。

(3) 図3に、「あらせ」衛星の観測データ、データ同化を行った結果を示す。横軸は時間、縦軸はL値と呼ばれる地球半径で規格化した地球からの距離であり、色で電子のフラックスを示す。

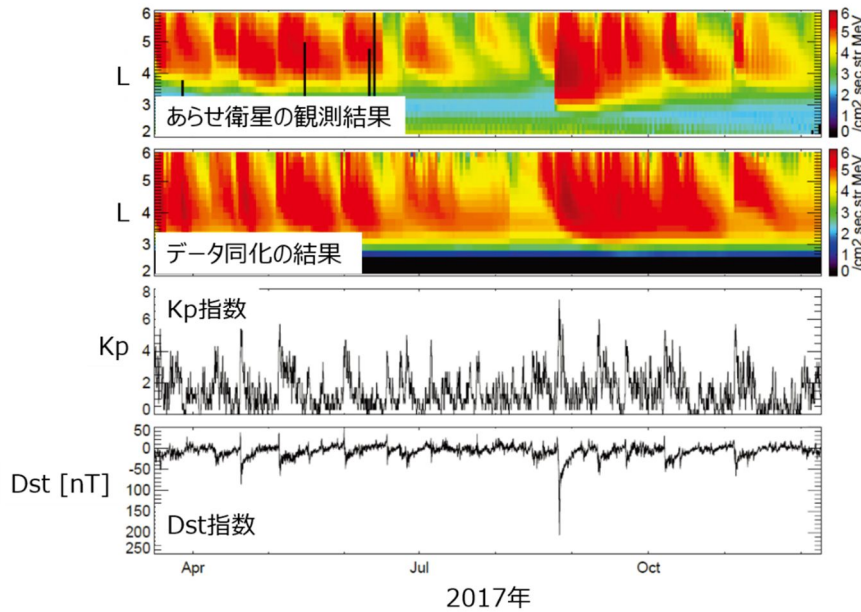


図3：「あらせ」衛星の観測データおよびデータ同化を行った結果

Kp 指数、Dst 指数が大きくなる場所で、宇宙嵐と呼ばれる宇宙空間の擾乱現象が発生し、放射線帯の電子量も大きく増加する。データ同化の結果は、このような電子の増加の基本的な特性をよく再現している。再現具合を評価するために MAPE (Mean Absolute Percentage Error) という量を用いて評価したところ、この期間を通して 平均 MAPE が 15% と高い再現性を持つことが明らかになった。

データ同化の結果から、Fokker-Planck 方程式の拡散係数を推定したところ、宇宙嵐などの擾乱時に拡散係数が増加し、電子の輸送が増加することが示された。また、過去の研究で用いられてきた経験的な拡散係数に対して、推定値がしばしば低い値を示すことも明らかになった。先行研究において、この経験的な拡散係数は、実際の拡散係数よりも over estimate という指摘があるが、その結果と本研究の推定の結果とは整合的であると考えられる。また、実際に電子の拡散を担っている低周波数帯のプラズマ波動との事例比較において、プラズマ波動が増加したタイミングで拡散係数が増加していることも示された。

また、消失時定数については、経験的な消失時定数が時間的に一定な値を用いていたのに対して、本研究による推定では消失時定数が激しく時間変化していることが示された。これは、消失を担っているプラズマ波動の地磁気活動依存性を反映したものであると考えられる。なお、図の10月から11月にかけて顕著であるように、宇宙嵐が起きて電子が増えた後、データ同化による結果の方が、観測された電子の量よりも多い状態が見られる。これは、さらなる消失が必要であることを示すものであり、今後、モデル方程式における物理過程の見直しを通して改善していくことが期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Fujii Yosuke, Ishibashi Toshiyuki, Yasuda Tamaki, Takaya Yuhei, Kobayashi Chiaki, Ishikawa Ichiro	4. 巻 147
2. 論文標題 Improvements in tropical precipitation and sea surface air temperature fields in a coupled atmosphere-ocean data assimilation system	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society	6. 最初と最後の頁 1317 ~ 1343
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/qj.3973	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 Kobayashi Chiaki, Fujii Yosuke, Ishikawa Ichiro	4. 巻 56
2. 論文標題 Intraseasonal SST-precipitation relationship in a coupled reanalysis experiment using the MRI coupled atmosphere-ocean data assimilation system	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Climate Dynamics	6. 最初と最後の頁 2377 ~ 2388
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00382-020-05592-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 Nakabayashi Akio, Ueno Genta	4. 巻 65
2. 論文標題 Nonlinear Filtering Method Using a Switching Error Model for Outlier-Contaminated Observations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Automatic Control	6. 最初と最後の頁 3150 ~ 3156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TAC.2019.2947649	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 Kawabata Takuya, Ueno Genta	4. 巻 148
2. 論文標題 Non-Gaussian Probability Densities of Convection Initiation and Development Investigated Using a Particle Filter with a Storm-Scale Numerical Weather Prediction Model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Weather Review	6. 最初と最後の頁 3 ~ 20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/MWR-D-18-0367.1	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 Nakabayashi Akio, Ueno Genta	4. 巻 65
2. 論文標題 Nonlinear Filtering Method Using a Switching Error Model for Outlier-Contaminated Observations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Automatic Control	6. 最初と最後の頁 3150 ~ 3156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TAC.2019.2947649	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 上野玄太	4. 巻 67
2. 論文標題 粒子フィルタとデータ同化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 統計数理	6. 最初と最後の頁 241 - 253
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 Fujii Yosuke, et al.	4. 巻 6
2. 論文標題 Observing System Evaluation Based on Ocean Data Assimilation and Prediction Systems: On-Going Challenges and a Future Vision for Designing and Supporting Ocean Observational Networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 417
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmars.2019.00417	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 該当する

1. 著者名 Ishibashi Toshiyuki	4. 巻 146
2. 論文標題 Adjoint-Based Observation Impact Estimation with Direct Verification Using Forward Calculation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Weather Review	6. 最初と最後の頁 2837 ~ 2858
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/MWR-D-18-0037.1	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 Miyoshi Yoshizumi 他	4. 巻 70
2. 論文標題 Geospace exploration project ERG	5. 発行年 2018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/s40623-018-0862-0	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 該当する

1. 著者名 Miyoshi Yoshizumi 他	4. 巻 70
2. 論文標題 The ERG Science Center	5. 発行年 2018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/s40623-018-0867-8	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 該当する

1. 著者名 Ozaki Mitsunori, Miyoshi Yoshizumi 他	4. 巻 10
2. 論文標題 Visualization of rapid electron precipitation via chorus element wave-particle interactions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	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) 10.1038/s41467-018-07996-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 該当する

1. 著者名 Kitamura N., Kitahara M., Shoji M., Miyoshi Y., Hasegawa H., Nakamura S., Katoh Y., Saito Y., Yokota S., Gershman D. J., Vinas A. F., Giles B. L., Moore T. E., Paterson W. R., Pollock C. J., Russell C. T., Strangeway R. J., Fuselier S. A., Burch J. L.	4. 巻 361
2. 論文標題 Direct measurements of two-way wave-particle energy transfer in a collisionless space plasma	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 1000 ~ 1003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.aap8730	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 該当する

1. 著者名 Nakano Shin'ya	4. 巻 28
2. 論文標題 Behavior of the iterative ensemble-based variational method in nonlinear problems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nonlinear Processes in Geophysics	6. 最初と最後の頁 93 ~ 109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/npg-28-93-2021	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 Kataoka Ryuho, Nakano Shin'ya	4. 巻 48
2. 論文標題 Reconstructing Solar Wind Profiles Associated With Extreme Magnetic Storms: A Machine Learning Approach	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	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) 10.1029/2021GL096275	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 Nakano S., Hori T., Seki K., Nishitani N.	4. 巻 72
2. 論文標題 A framework for estimating spherical vector fields using localized basis functions and its application to SuperDARN data processing	5. 発行年 2020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/s40623-020-01168-4	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 -

〔学会発表〕 計56件 (うち招待講演 15件 / うち国際学会 33件)

1. 発表者名 Fujii, Y., C. Kobayashi, I. Ishikawa, Y. Takaya, and T. Ishibashi
2. 発表標題 Evaluation of the lead-lag relationship between SST and precipitation in a coupled reanalysis using TAO-TRITON data
3. 学会等名 2020 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Subramanian, A., Y. Fujii, Y. Takaya, et al.
2. 発表標題 Impact of ocean observation systems on ocean analyses and subseasonal forecasts in the Indo-Pacific region
3. 学会等名 2020 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Fujii, Y., C. Kobayashi, I. Ishikawa, and Y. Takaya
2. 発表標題 Enhanced correlations between SST and precipitation in the weather time scale represented by a coupled atmosphere-ocean data assimilation system
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ueno, G.
2. 発表標題 Adaptive Estimation of the Observation-error Covariance and its Application to Particle Filtering
3. 学会等名 AOGS2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ueno, G.
2. 発表標題 Bayesian estimation of the observation-error covariance and its application to particle filtering
3. 学会等名 High Dimensional and Bayesian Inference toward Quantifying Real-World Uncertainties (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 1.Miyoshi, Y., Ueno, G., Mitani, T., Takashima, T., Higashio, N., Hori, T., Kurita, S., Teramoto, M. and Shinohara, I.
2. 発表標題 Data assimilation of electron radiation belts
3. 学会等名 IRENE Space Radiation Modeling and Data Analysis Workshop 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上野玄太
2. 発表標題 データ同化シミュレーションによる物理予測の高度化
3. 学会等名 第36回プラズマ・核融合学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上野玄太
2. 発表標題 ヒストグラムモデルの情報量規準
3. 学会等名 名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究集会 「宇宙地球環境の理解に向けての統計数理的アプローチ」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ishizaki, S., H. Sugimoto, Y. Fujii, I. Ishikawa, S. Hirahara, Y. Adachi, Y. Kubo, T. Komori
2. 発表標題 Developing the next-generation operational global ocean data assimilation system at JMA
3. 学会等名 OcenPredict'19 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林ちあき、石川一郎、藤井陽介
2. 発表標題 結合同化システムの短期再解析実験における降水量とSST、海面フラックスとの関係
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fujii, Y
2. 発表標題 Tropical Pacific Observing System 2020 (TPOS2020) Project and Relevant Ocean Observing System Evaluation Activities
3. 学会等名 WMO scoping workshop on future activities to assess impact of Various observing systems on earth system prediction (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fujii, Y, et al.
2. 発表標題 Observing System Evaluation Based on Ocean Data Assimilation and Prediction Systems: On-going Challenges and a Future Vision for Designing and Supporting Ocean
3. 学会等名 OceanObs'19 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fujii, Y.
2. 発表標題 Toward better coordination between observational and forecasting communities through OS-Eval activities
3. 学会等名 OceanObs'19 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Fujii, Y., N. Usui, N. Hirose, Y. Takatsuki, T. Kuragano, and T. Sakurai
2 . 発表標題 Use of satellite Sea Surface Height (SSH) and Sea Surface Temperature (SST) data in operational 4DVAR Ocean Data Assimilation Systems in JMA
3 . 学会等名 1st International Operational Satellite Oceanography Symposium (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Fujii, Y., C. Kobayashi, T. Ishibashi, and Y. Takaya
2 . 発表標題 Development of weakly coupled atmosphere-ocean data assimilation system and the evaluation of the coupled reanalysis in JMA/MRI
3 . 学会等名 JpGU meeting 2019 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Ishibashi, T., T. Iriguchi, Y. Fujii, T. Yasuda, Y. Takaya, N. Saito, T. Onog
2 . 発表標題 Numerical Weather Prediction Experiments using a Coupled Atmosphere-Ocean Data Assimilation System in JMA/MRI (3)
3 . 学会等名 JpGU meeting 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Fujii, Y., C. Kobayashi, T. Ishibashi, and Y. Takaya
2 . 発表標題 Development of weakly coupled atmosphere-ocean data assimilation system and the evaluation of the coupled reanalysis in JMA/MRI
3 . 学会等名 OceanPredict'19 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 藤井陽介
2. 発表標題 準ニュートン法の海洋データ同化・予測システムでの利用について
3. 学会等名 名古屋大統数研共同ワークショップ「宇宙地球環境の理解に向けての統計数理的アプローチ」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林ちあき、藤井陽介
2. 発表標題 結合同化システムの短期再解析実験における降水量 - SST関係
3. 学会等名 気象学会春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chiaki Kobayashi , Yosuke Fujii
2. 発表標題 Precipitation-SST relationship in a reanalysis dataset by a coupled atmosphere-ocean data assimilation system of JMA/MRI
3. 学会等名 JpGU2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fujii, Y., T. Toyoda, S. Urakawa, H. Sugimoto, I. Ishikawa, Y. Takaya, C. Kobayashi, T. Ishibashi, and T. Iriguchi
2. 発表標題 Development of a global ocean and coupled data assimilation for subseasonal to seasonal forecasts in Japan Meteorological Agency
3. 学会等名 International Conferences on subseasonal to decadal prediction (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fujii, Y.
2. 発表標題 Recent progress in ocean observing system evaluation in JMA and GODAE OceanView
3. 学会等名 5th Steering Committee of TPOS2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤井陽介、石川一郎、豊田隆寛、浦川昇吾、杉本裕之
2. 発表標題 全球結合予測のための海洋データ同化システムの開発
3. 学会等名 異常気象研究会・第5回観測システム・予測可能性研究連絡会「季節予測システムの進展と異常気象の要因分析」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林ちあき、藤井陽介、石川一郎
2. 発表標題 結合同化システムの短期再解析実験における降水量 SST関係
3. 学会等名 異常気象研究会・第5回観測システム・予測可能性研究連絡会「季節予測システムの進展と異常気象の要因分析」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kubo, Y., Y. Adachi, J. Chiba, Y. Fujii, S. Hirahara, I. Ishikawa, S. Ishizaki, T. Komori, H. Sugimoto
2. 発表標題 The current development status of next seasonal ensemble prediction system (JMA/MRI-CPS3)
3. 学会等名 99th AMS Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fujii, Y., I. Ishikawa, H. Sugimoto, T. Toyoda, S. Urakawa, T. Komori, Y. Adachi
2. 発表標題 Development of a global ocean 4DVAR system for coupled predictions and a plan of applying it for coupled data assimilation
3. 学会等名 7th International Symposium on Data Assimilation (ISDA) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshizumi Miyoshi他
2. 発表標題 Flux evolutions of relativistic electrons of the outer radiation belt as seen from the first year observation of Arase
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshizumi Miyoshi他
2. 発表標題 Flux evolution of relativistic electrons of the outer radiation belt associated with coronal hole streams: Arase observations
3. 学会等名 米国地球物理学連合総会(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上野玄太
2. 発表標題 データ同化システム構築の次の方法
3. 学会等名 SICE制御部門データ科学とリンクした次世代の適応学習制御調査研究会第1回講義会「データ同化とデータ駆動型の科学」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上野玄太
2. 発表標題 気象予測の舞台裏：シミュレーションとアンサンブル
3. 学会等名 大学共同利用機関シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ueno, G.
2. 発表標題 Bayesian estimation of the observation error covariance matrix in ensemble-based filters
3. 学会等名 6th International Symposium on Data Assimilation (2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takaya, Y., Y. Fujii, T. Ishibashi, C. Kobayashi
2. 発表標題 Subseasonal prediction experiment using an atmosphere-ocean coupled data assimilation system
3. 学会等名 2018 Ocean Sciences Meeting
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fujii, Y., T. Toyoda, N. Usui, N. Hirose, Y. Takaya, C. Kobayashi, N. Saito, T. Ishibashi, T. Iriguchi, M. Nosaka, S. Hirahara, T. Komori, and Y. Adachi
2. 発表標題 Ocean data assimilation systems in JMA and their representation of SST and sea ice fields, 2018-01-23 Workshop on observations and analysis of sea-surface temperature and sea ice for NWP and climate applications
3. 学会等名 The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Fujii, Y., C. Kobayashi, T. Ishibashi, Y. Takaya, and Y. Takeuchi
2 . 発表標題 Evaluation of a Coupled Atmosphere-Ocean Data Assimilation System Reanalysis in JMA/MRI
3 . 学会等名 5th International Conference on Reanalysis (ICR5) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Fujii, Y., N. Usui, T. Toyoda, N. Hirose, and H. Igarashi
2 . 発表標題 GODAE Ocean View Activities in JMA (and Japan)
3 . 学会等名 8th Annual meeting of the GODAE Ocean View Science Team (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Fujii, Y., T. Ishibashi, Y. Takaya, and C. Kobayashi
2 . 発表標題 Coupled Atmosphere-Ocean Data Assimilation (CDA) System Reanalysis in JMA/MRI
3 . 学会等名 16th CAS-TWAS-WMO Forum Symposium on Advance in Seasonal to Decadal Prediction (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Toshiyuki Ishibashi, Takeshi Iriguchi, Yosuke Fujii, Tamaki Yausda, Yuhei Takaya, Naoaki Saito, Yoshiaki Takeuchi
2 . 発表標題 Numerical Weather Prediction Experiments using a Coupled Atmosphere-Ocean Data Assimilation System in JMA/MRI
3 . 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Fujita, S., S. Nakano, A. Kadokura, Y. Tanaka, R. Kataoka, A. Nakamizo, Y. Kubota, K. Hosokawa, and S. Saita
2. 発表標題 Feasibility study of the global MHD simulation code toward reanalysis of the space weather phenomena
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 人工知能学会	4. 発行年 2017年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 1600
3. 書名 人工知能学大事典	

1. 著者名 Miodrag Lovric、日本統計学会	4. 発行年 2018年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 2200
3. 書名 統計科学百科事典	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	藤井 陽介 (Fujii Yosuke) (60343894)	気象庁気象研究所・全球大気海洋研究部・主任研究官 (82109)	

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
研究分担者	中野 慎也 (Nakano Shin'ya) (40378576)	統計数理研究所・モデリング研究系・准教授 (62603)	
研究分担者	三好 由純 (Miyoshi Yoshizumi) (10377781)	名古屋大学・宇宙地球環境研究所・教授 (13901)	

	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	石橋 俊之 (ISHIBASHI Toshiyuki) (30585857)	気象庁気象研究所・気象観測研究部・主任研究官 (82109)	
連携研究者	伊藤 耕介 (Ito Kosuke) (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		
米国	University of Colorado Boulder		