

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：学術変革領域研究(B)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H05731

研究課題名（和文）高解像度気候モデル用の新たな流体計算スキームとパラメタリゼーション開発への挑戦

研究課題名（英文）Challenges in developing new computational schemes and parameterizations for high-resolution climate models

研究代表者

升本 順夫（Masumoto, Yukio）

東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・教授

研究者番号：60222436

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 19,500,000円

研究成果の概要（和文）：新たな高精度流体離散化手法の基礎研究では、不連続ガラキン法に基づく高精度力学スキームを用いた全球大気力学コアを開発し、湿潤過程や雲微物理スキームの導入を行うとともに、汎惑星流体モデルの構築を行った。また、新たな数的手法を取り入れた要素モデルの構築とその物理過程の理解では、情報エントロピーの視点を取り入れて積雲対流の自己組織化も考慮した湿潤対流過程の理解を深めるとともに、新たな確率格子モデルを開発した。さらに、大気の大気対流活動を陽に取り扱う新たなスーパーパラメタリゼーション手法を構築し、赤道ケルビン波の再現性向上に寄与するメカニズムを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた成果は、次世代の新たな気候モデルや汎惑星流体モデルの構築に不可欠な基礎的理解を深化させ、現実的設定での実装への大きなステップとなる。特に、汎惑星流体モデルは惑星大気や惑星海洋を統一的に理解するために不可欠なモデルとなることが期待される。また、従来の研究では手薄であったパラメタリゼーションの物理機構に踏み込んだ理解を進めたことにより、従来型の気候モデルに対しても改良の指針を提供する成果を得ており、気候モデルの高度化という視点での学術的意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：A new dynamical core for global atmospheric models based on the discontinuous Galerkin method is developed as the basic research on a new high-precision discretization method. Moist processes and cloud microphysics are incorporated experimentally into the new model, and the model is also expanded to a pan-planetary fluid model. The perspective of information entropy was incorporated to understand the moist convection processes, particularly focusing on the self-aggregation process. A new stochastic lattice model was also developed to better represent moist convection processes, which can be understood as the phase transition between the moist and dry conditions.

A new superparameterization method, with a special treatment in the interactions between the parent and child models, was developed. It turns out that the better representation of atmospheric equatorial Kelvin waves in the new model is caused by improved vertical profile of heating associated with high altitude precipitation.

研究分野：気候力学、物理海洋学

キーワード：高解像度気候モデル 高精度全球力学コア 不連続ガラキン法 対流自己組織化 放射対流平衡 スーパーパラメタリゼーション 赤道ケルビン波

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

従来の非静力学大気モデル(特に全球モデル)の力学スキームでは全体で空間 2 次精度の格子点法が広く用いられてきたが、空間スケールの小さな現象を議論する際には数値誤差の影響が無視できない可能性がある。また、従来の力学コアでは、現在地球を仮定した様々な近似を支配方程式系の定式化や離散化で用いているが、地球以外の惑星大気を考慮した場合、現在地球と大きく異なる流体レジームでの適用範囲を調査し、改良していく必要がある。

また、熱帯における主要な湿潤対流である積雲対流の集団と大気環境場との相互作用について理解するための理論的枠組みとして、放射対流平衡の考え方が用いられてきた。しかし、積雲対流は特定の条件下では自発的にクラスターを形成する自己組織化の性質を持っており、その条件や対流の集団が環境場のエネルギー収支に与える効果には未解明な点が多く残されている。

さらに、数十年以上の気候計算を行う低解像度全球気候モデルと全球雲解像モデルを組み合わせることで、計算量の増加を抑えつつ、積乱雲等の陽な計算および各種現象の再現性向上をねらうスーパーパラメタリゼーション (SP) という手法がある。SP の先行研究において実際に複数の現象の再現性が向上することが知られているが、その改善メカニズムの解明は遅れている。また、SP は小スケール現象の表現に高解像度モデルを用いるため、さらなる計算量削減が必要である。

## 2. 研究の目的

ここで本研究では、新たな高精度流体離散化手法の基礎研究とそれを利用した汎惑星流体モデルの構築、新たな物理過程と数的手法を取り入れた要素モデルの構築を主な目的とした。加えて、従来型パラメタリゼーションの改良を目指した検討も行った。

## 3. 研究の方法

本研究では、新たな数値モデルの構築に必要な基礎研究を主に行った。その際、従来の気候モデルでは使われていない不連続ガラキン法 (DGM) の数値誤差特性を把握するとともに、これに基づく全球力学コアの構築とテスト計算を実施した。また、領域大気モデルSCALE-RMを用いた雲解像放射対流平衡実験を行ない、その数値実験結果の解析を行った。さらに、SPの新たな枠組みを構築し、これを用いた計算結果の解析を行った。

## 4. 研究成果

### 4.1. 新たな高精度流体計算の離散化法及び高精度力学コアを有する「汎惑星流体モデル」

(1) 線形移流方程式における不連続ガラキン法 (DGM) の数値誤差をフーリエ固有値解析によって定量化することで、Kawai & Tomita (2021, MWR) で導いた数値粘性・分散誤差に関する指標を、DGM の枠組みに拡張した。それらの指標の格子幅・波長依存性を図 1 に示した。8 格子より長波長側で乱流スキームの効果に比べて移流項に伴う数値誤差が十分に小さ

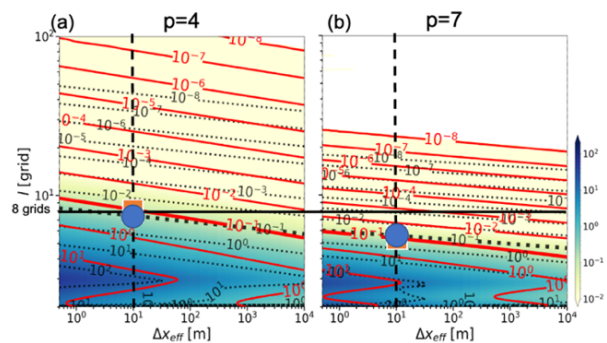


図 1: 数値粘性誤差(赤実線・色)・数値分散誤差(黒点線)に関する指標の格子幅と波長依存性

くなるためには、展開多項式の次数( $p$ )が4以上必要であることが示唆された。この示唆は、DGMに基づく領域大気力学コアを用いた理想化した境界層乱流 LES の計算結果と整合する(Kawai & Tomitam 2023; MWR)。

(2) 上記(1)の研究の中で構築した領域力学コアに立方球面座標を導入することで、全球力学コアに拡張した。開発した全球力学コアの妥当性を確認するために、伝

統的なテストケース(線形移流・内部重力波・傾圧不安定・Held-Suarez 実験等)を実施した。決定論的なテストケースでは、時間スキームの影響が小さい場合や実験設定として数値的収束が担保される場合に、 $p+1$  次精度に近い空間精度が得られることを示した。乱流が発達するような実験設定でも、 $p$  を大きくすることで有効解像度が向上することがエネルギースペクトルから示唆された。また、DGM の枠組みでの力学過程-物理過程結合の第一歩として、領域大気力学コアに湿潤過程や雲微物理スキームの導入を試みた。暖気塊の上昇実験を実施したところ、従来の格子点に基づく大気モデル(SCALE-RM)と定性的に同様の結果が得られることが示された。

(3) 汎惑星流体モデル化の第一歩として、立方球面座標系における支配方式系の定式化を見直し、浅い大気近似を外した全球計算もできるようにした。図2は、惑星半径を3.4 kmとした仮想的な小惑星での惑星境界層乱流 LES の結果を示している。浅い大気近似を適用した場合には、領域 LES モデルと同様の境界層の鉛直構造が得られた。一方で、浅い大気近似を外した場合、同時刻の比較において境界層の成長は遅く、高度とともに球面が拡大する幾何的扱いと整合的であると考えられる。図3は、同期回転惑星を念頭においた力学コアのテスト実験の結果を示している。昼夜間循環のパターンや強度、昼夜半球間の温度差は、先行研究(Heng et al., 2011 等)から得られた結果と同様であることが示された。

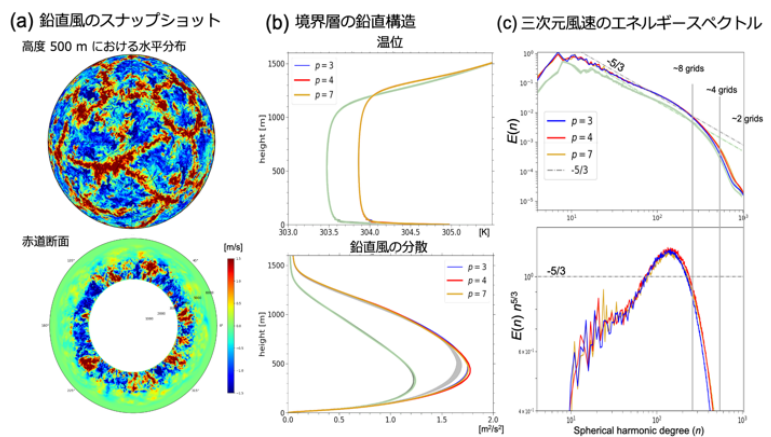


図2: DGMに基づく全球モデルを用いた惑星境界層乱流の LES から得られた計算結果:(a) 鉛直風の水平分布・赤道断面、(b) 境界層の鉛直構造、(c) エネルギー・スペクトル。(b)において、浅い大気近似を外した計算結果を緑線で示している。

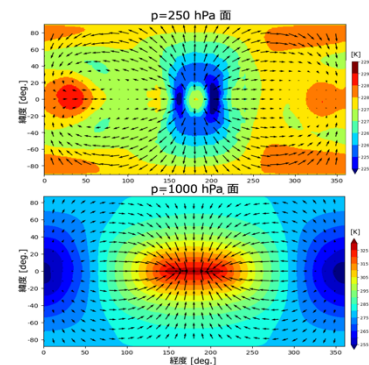


図3: 同期回転惑星を念頭においた大気力学コアのベンチマーク実験から得られた水平風と温度の水平分布(1000日時間平均)。

#### 4.2. 大気の大規模場と積雲対流の空間分布に関する理論モデルと数値モデルの構築

未発達である積雲対流の統計理論を構築するための基礎的理解を深めるため、平衡統計力学や力学系理論の観点から積雲対流をモデル化することを試みた。

SCALE-RM による雲解像モデル実験において、自己組織化が生じないケースでは対流が領域全体でランダムに発生し、鉛直積算水蒸気は準一様な水平分布を示す。一方で海面水温を高い値に設定した実験では自己組織化が生じ、対流が活発で湿潤な領域と乾燥した領域へと分離が進行する(図4)。

これらの異なる平衡状態を定量化する指標として、外向き長波放射および可降水量の二次元データから経験的直交関数展開により得られる寄与率を確率分布と見做して情報エントロピーを定義することにより、雲の自己組織化に特徴的な空間パターンを抽出することが可能になった。またこの手法を再解析データに適用することで、現実大気の大気帯で生じる対流の自己組織化イベントを特定することにも有効であることが示された。

環境場が水平準一様で対流同士の相互作用が無視できる仮定の下では、対流強度の頻度分布は指数分布に漸近することが理論的に知られている。情報エントロピーにより特徴付けられる組織化の程度と個別の対流強度の頻度分布との関係として、自己組織化が強く生じるケースほど理想的な指数分布からの乖離が顕著になることが明らかになった。雲解像実験から得られた大気環境場と対流強度の頻度分布の関係を説明するように、自己組織化を駆動する雲同士の相互作用を導入した確率格子モデルを開発した。相互作用のプロセスとして、先行研究で主に着目されている、対流近傍の湿潤な空気により新しい対流の発生が促進される効果に加え、本研究では対流から離れた位置で乾燥した下降流によって新しい対流の発生が抑制される効果を導入した。この下降流の効果の強さを変化させることで、対流が散在した状態(図5a)から組織化した状態(図5b)へと連続的に遷移することが確認された。このモデルの力学系としての性質を解析することで、対流の自己組織化を乾燥と湿潤の二つの安定解への分岐現象として表現できることを示した。

#### 4.3. 高解像度モデルと全球気候モデルを結合するスーパーパラメタリゼーション(SP)

全球気候モデル MIROC6 (親モデル) と雲解像モデル SCALE-RM (子モデル) を結合する SP において、集約結合という新たな手法を採用した SP-MIROC を構築した。通常の SP では、親モデルのカラムの数だけ子モデルの高解像度小領域を用意して小スケール現象を計算するが、集約結合においては、複数個の親カラムを集約し、その平均値を子領域と結合する (図6)。具体的には、4×4個のカラムを集約する設定を SP-MIROC の標準とした。これにより、計算資源の大半を消費する雲解像子モデルの領域数が16分の1に減少し、同じ計算資源でもより長期のシミュレーションが可能になる。

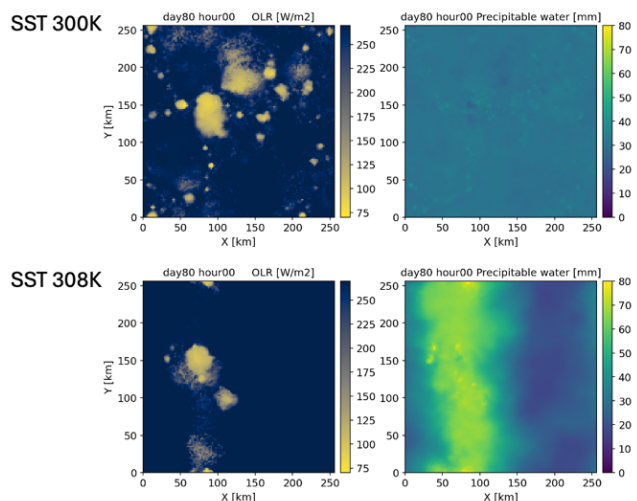


図 4: SCALE-RM 実験の外向き長波放射(左列)と可降水量(右列)。海面水温が 300K のケースでは雲が散在しており(上段)、308K のケースでは自己組織化が生じ帯状の雲クラスターが形成される(下段)

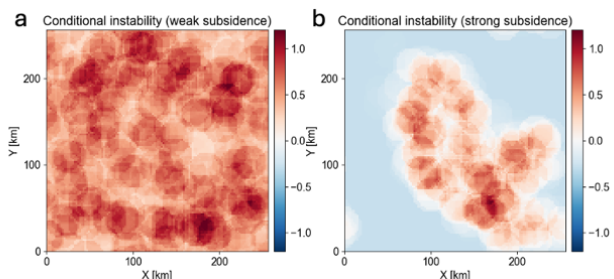


図 5: 確率格子モデルで表現された大気条件付き不安定の水平分布(a)乾燥した下降流の効果が弱い実験 (b)下降流の効果が強く自己組織化を再現する実験

SP-MIROC の数値実験の結果、赤道ケルビン波の振幅の改善 (図7)・double-ITCZ 現象の緩和など、先行研究で報告されていた SP の利点が複数再現された。SP-MIROC においては 4×4個のカラムを集約し、子モデルからのフィードバックを均一に与えているにもかかわらず、風の場のスペクトルから推定した実効解像度は集約なしの SP-MIROC および標準 MIROC と同等であった。親モデルの力学過程の実効解像度がそもそも名目上の格子間隔より低いため、集約結合は計算結果に大きく影響することなく計算量削減というメリットを提供できると考えられる。さらに、SP-MIROC においては、4×4の集約結合を用いるほうが集約無しの場合よりスペクトルが解析値に近いという結果が得られており、力学の実効解像度に合わせて親子結合を集約することはむしろ有益である可能性が示唆された。この可能性が仮に真であれば、SPに限らず、国内外の気候モデル一般の力学・物理過程の結合のあり方に一石を投じるものであり、今後の興味深い研究トピックである。

さらに、SP-MIROC で赤道ケルビン波の再現性が向上するメカニズムを線形安定性解析で調査した。観測・解析値、標準 MIROC、SP-MIROC から、雲からの潜熱加熱や気温の鉛直分布を抽出し、赤道ケルビン波の成長減衰を表す線形化方程式において、擾乱の構造と成長率を比較した。その結果、SP-MIROC における赤道ケルビン波の強化は潜熱加熱の差異によることが明らかになった。具体的には、SP-MIROC での潜熱加熱高度は標準 MIROC より高く、観測・解析値に近いものであった。SP-MIROC は高解像度な子モデルで対流活動を陽に表現するため、高高度を加熱する層状降水を再現することが容易であり、これが赤道ケルビン波の再現性向上に貢献したと考えられる。

従来の SP は「うまく動くが理由はよく分からない」状態であったが、本研究は対象擾乱のメカニズムに踏み込んで SP の利点を明らかにした。また本研究は、世界的に引き続き使われている通常の気候モデル用のパラメタリゼーションに対しても、「層状降水の表現を強化することで赤道ケルビン波の表現が改善される」という改良指針を提供するものである。

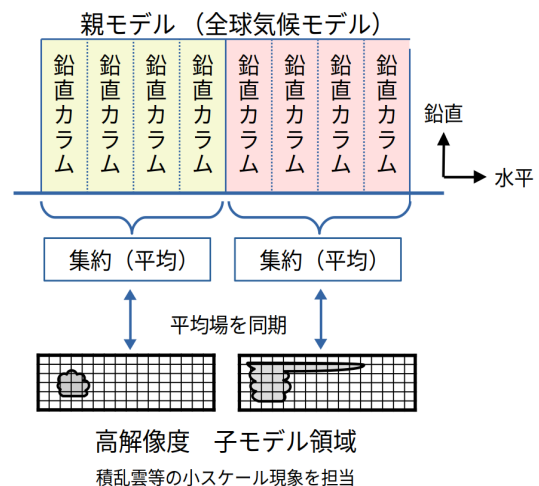


図6: 本研究で考案・採用した、スーパーパラメタリゼーション (SP) における集約結合の概要。大規模な力学過程を担当する全球気候モデル(親モデル)と、積乱雲等の小スケール現象を担当する高解像度モデル(子モデル)とを結合する。通常の SP では、親モデルの各鉛直カラムと、子モデルの小領域とを一对一対応で結合するが、本研究では複数の親カラムを集約し、多対一で子モデルと結合する。

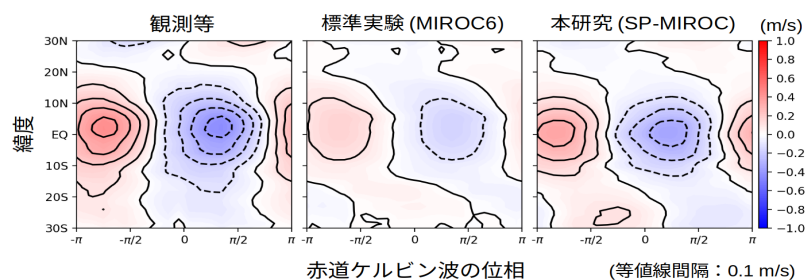


図7: 観測等 (NOAA OLR, ERA5再解析)・通常の気候モデルによる標準実験 (MIROC6)・SP-MIROC における赤道ケルビン波の構造。850hPa 面での東西風を、赤道ケルビン波の位相でコンポジットしている。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 8件）

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Kawai Y. and H. Tomita   | 4. 巻<br>151             |
| 2. 論文標題<br>Numerical Accuracy Necessary for Large-Eddy Simulation of Planetary Boundary Layer Turbulence using Discontinuous Galerkin Method | 5. 発行年<br>2023年         |
| 3. 雑誌名<br>Monthly Weather Review   | 6. 最初と最後の頁<br>1479-1508 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1175/MWR-D-22-0245.1   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |
| 1. 著者名<br>Matsuta T. and Y. Masumoto   | 4. 巻<br>53              |
| 2. 論文標題<br>Energetics of the Antarctic Circumpolar Current. Part I: The Lorenz energy cycle and the vertical energy redistribution           | 5. 発行年<br>2023年         |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Physical Oceanography   | 6. 最初と最後の頁<br>1467-1484 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1175/JPO-D-22-0133.1   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |
| 1. 著者名<br>Kusumi T. and Y. Masumoto  | 4. 巻<br>36              |
| 2. 論文標題<br>Possible Mechanisms of Interannual Variations in Surface Mixed-layer Temperatures off Somalia in Boreal Summer                    | 5. 発行年<br>2023年         |
| 3. 雑誌名<br>J. Clim.   | 6. 最初と最後の頁<br>3625-3646 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1175/JCLI-D-22-0082.1  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |
| 1. 著者名<br>Terada Y. and Y. Masumoto  | 4. 巻<br>79              |
| 2. 論文標題<br>Energy transmission pathways of equatorial waves within the Maritime Continent: a view with the wave energy flux                  | 5. 発行年<br>2023年         |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Oceanography  | 6. 最初と最後の頁<br>517-536   |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1007/s10872-023-00695-4  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1. 著者名<br>Yamazaki K. and H. Miura  | 4. 巻<br>16                  |
| 2. 論文標題<br>Reproducibility of equatorial Kelvin waves in a superparameterized MIROC: 1. Implementation and verification of blockwise-coupled SP-MIROC | 5. 発行年<br>2024年             |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Advances in Modeling Earth Systems   | 6. 最初と最後の頁<br>e2023MS003836 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1029/2023MS003836  | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>-                   |

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| 1. 著者名<br>Yamazaki K. and H. Miura   | 4. 巻<br>16                  |
| 2. 論文標題<br>Reproducibility of Equatorial Kelvin Waves in a Superparameterized MIROC: 2. Linear Stability Analysis of In-Model Kelvin Waves | 5. 発行年<br>2024年             |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Advances in Modeling Earth Systems  | 6. 最初と最後の頁<br>e2023MS003837 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1029/2023MS003837   | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>-                   |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Yuta Kawai and Hirofumi Tomita   | 4. 巻<br>149             |
| 2. 論文標題<br>Numerical Accuracy of Advection Scheme necessary for Large-Eddy Simulation of Planetary Boundary Layer Turbulence | 5. 発行年<br>2021年         |
| 3. 雑誌名<br>Monthly Weather Review   | 6. 最初と最後の頁<br>2993-3012 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1175/MWR-D-20-0362.1  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Matsuta, T., and Y. Masumoto   | 4. 巻<br>51              |
| 2. 論文標題<br>Modified View of Energy Budget Diagram and its Application to the Kuroshio extension region | 5. 発行年<br>2021年         |
| 3. 雑誌名<br>J. Phys. Oceanogr.   | 6. 最初と最後の頁<br>1163-1175 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1175/JPO-D-20-0124.1  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

〔学会発表〕 計61件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 22件）

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>山崎一哉   |
| 2. 発表標題<br>Super-parameterized MIROC: Performance and problem |
| 3. 学会等名<br>DNA Climate Science Meeting                        |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Kawai, Y., Tomita, H.   |
| 2. 発表標題<br>A study on discontinuous Galerkin method for future high-resolution atmospheric simulations |
| 3. 学会等名<br>DNA Climate Science Meeting   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>河合佑太, 富田浩文                                   |
| 2. 発表標題<br>不連続ガラーキン法を用いた大気ラージエディシミュレーション: 数値誤差に関する指標の導出 |
| 3. 学会等名<br>日本気象学会 2022 年度春季大会                           |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>山崎一哉, 三浦裕亮               |
| 2. 発表標題<br>MIROCでのスーパーパラメタリゼーションの改良 |
| 3. 学会等名<br>日本気象学会2022年度春季大会         |
| 4. 発表年<br>2022年                     |



|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>河合佑太, 富田浩文                                  |
| 2. 発表標題<br>大気ラージエディシミュレーションにおける不連続カラーキン法の数値誤差の影響に関する研究 |
| 3. 学会等名<br>日本地球惑星科学連合 2022 年大会                         |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Takuya Jinno, Hiroaki Miura   |
| 2. 発表標題<br>Quantitative analysis of cloud self-organization using Shannon's information entropy: results from radiative-convective equilibrium experiments |
| 3. 学会等名<br>Japan Geoscience Union Meeting 2022 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Kusumi, T., Masumoto, Y.  |
| 2. 発表標題<br>Coalescences of the Southern Gyre with the Great Whirl in the western Arabian Sea in a regional ocean model |
| 3. 学会等名<br>Japan Geoscience Union Meeting 2022 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Terada, Y., and Y. Masumoto  |
| 2. 発表標題<br>Quantitative Evaluation of Tropical Ocean Waves from the Indian Ocean to the Pacific Ocean through the Indonesian Seas |
| 3. 学会等名<br>Japan Geoscience Union Meeting 2022 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Takuya Jinno, Hiroaki Miura   |
| 2. 発表標題<br>Quantitative analysis of cloud self-organization using Shannon's information entropy: results from radiative-convective equilibrium experiments |
| 3. 学会等名<br>3rd Pan-GASS Meeting, Understanding and Modeling Atmospheric Processes (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|                                   |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>寺田雄亮, 升本順夫             |
| 2. 発表標題<br>西岸境界における赤道波動エネルギーの沈み込み |
| 3. 学会等名<br>日本海洋学会秋季大会             |
| 4. 発表年<br>2022年                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>河合佑太, 富田浩文                     |
| 2. 発表標題<br>不連続カラーキン法を用いた大気モデルの開発: 湿潤過程の導入 |
| 3. 学会等名<br>日本気象学会 2022 年度秋季大会             |
| 4. 発表年<br>2022年                           |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Takahiro Kusumi, Yukio Masumoto  |
| 2. 発表標題<br>The role of the anticyclonic eddy shed from the separation point of the western boundary current |
| 3. 学会等名<br>Approaches for Hydrospheric-Atmospheric Environmental Studies in Asia-Oceania (国際学会)             |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Yusuke Terada   |
| 2. 発表標題<br>Downward propagation of equatorial intraseasonal waves from the western boundary      |
| 3. 学会等名<br>Approaches for Hydrospheric-Atmospheric Environmental Studies in Asia-Oceania, (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>久住 空広, 升本順夫                            |
| 2. 発表標題<br>赤道を横切る西岸境界流の離岸に伴う高気圧性渦の役割              |
| 3. 学会等名<br>「微細規模から惑星規模にかけての海洋力学過程と規模間相互作用の研究」研究集会 |
| 4. 発表年<br>2022年                                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Kawai, Y., Tomita, H.  |
| 2. 発表標題<br>A study on Numerical Accuracy of Dynamical Core Necessary for Large-Eddy Simulation of Planetary Boundary Layer Turbulence |
| 3. 学会等名<br>AMS 103rd Annual Meeting (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>山崎一哉                          |
| 2. 発表標題<br>気候モデルに雲解像モデルを埋め込んだSP-MIROCの研究 |
| 3. 学会等名<br>第8回MJO研究会                     |
| 4. 発表年<br>2023年                          |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>河合佑太, 富田浩文                   |
| 2. 発表標題<br>不連続ガラーキン法を用いた大気力学コア SCALE-DG |
| 3. 学会等名<br>富岳 NEXT FS 気象気候会合            |
| 4. 発表年<br>2023年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Kazuya Yamazaki                                      |
| 2. 発表標題<br>Super-parameterized MIROC With blockwise coupling    |
| 3. 学会等名<br>NTU-UTokyo Workshop on Atmospheric Convection (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|                                |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名<br>山崎一哉                |
| 2. 発表標題<br>赤道ケルビン波のモデル表現に関する研究 |
| 3. 学会等名<br>大気水圏科学研究集会          |
| 4. 発表年<br>2023年                |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>河合佑太, 富田浩文                    |
| 2. 発表標題<br>地形を考慮した不連続ガラーキン法に基づく大気力学コアの開発 |
| 3. 学会等名<br>日本気象学会 2023 年度春季大会            |
| 4. 発表年<br>2023年                          |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Yusuke Terada, Yukio Masumoto   |
| 2. 発表標題<br>Interannual variation of the intraseasonal variability at 1000m depth in the eastern tropical Pacific Ocean |
| 3. 学会等名<br>Japan Geoscience Union Meeting 2023 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Takuya Jinno, Hiroaki Miura   |
| 2. 発表標題<br>The relationship between convective self-aggregation and cloud vertical mass flux distribution in cloud-resolving simulations |
| 3. 学会等名<br>Japan Geoscience Union Meeting 2023 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>河合佑太, 富田浩文                        |
| 2. 発表標題<br>不連続カラーキン法を用いた非静力学大気力学コアの開発: 地形の考慮 |
| 3. 学会等名<br>日本地球惑星科学連合 2023 年大会               |
| 4. 発表年<br>2023年                              |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Takahiro Kusumi, Yukio Masumoto  |
| 2. 発表標題<br>Distinct wind stress pattern causing the two-gyre structure in the Somali Current during boreal summer |
| 3. 学会等名<br>Japan Geoscience Union Meeting 2023 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Yusuke Terada, Yukio Masumoto   |
| 2. 発表標題<br>南東部熱帯インド洋の表層海洋変動-混合層水温変動と湧昇     |
| 3. 学会等名<br>東部インド洋における海洋物理・生物地球化学・生態系の統合的理解 |
| 4. 発表年<br>2023年                            |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Takahiro Kusumi, Yukio Masumoto  |
| 2. 発表標題<br>Distinct wind stress pattern causing the two-gyre structure in the Somali Current during boreal summer |
| 3. 学会等名<br>IUGG2023 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Yusuke Terada, Yukio Masumoto   |
| 2. 発表標題<br>Interannual variation of the intraseasonal variability at 1000m depth in the eastern equatorial Pacific Ocean |
| 3. 学会等名<br>28th IUGG general Assembly (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|                               |
|-------------------------------|
| 1. 発表者名<br>寺田雄亮               |
| 2. 発表標題<br>赤道太平洋中層における層状循環の駆動 |
| 3. 学会等名<br>海洋若手研究集会           |
| 4. 発表年<br>2023年               |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Kawai, Y., Tomita, H.   |
| 2. 発表標題<br>Development of a global atmospheric nonhydrostatic dynamical core using discontinuous Galerkin method |
| 3. 学会等名<br>The 6th International Workshop on Nonhydrostatic Models (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>久住 空広, 升本順夫  |
| 2. 発表標題<br>ソマリア沖海域の_気性渦「Southern Gyre」の経年変動に伴う夏季海__温偏差とその_学過程 |
| 3. 学会等名<br>日本海洋学会2023年度秋季大会                                   |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>神野拓哉, 三浦裕亮                              |
| 2. 発表標題<br>シャノンエントロピーによる雲の自己組織化の評価 再解析・理想実験データへの適用 |
| 3. 学会等名<br>第9回MJ0研究会                               |
| 4. 発表年<br>2023年                                    |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>河合佑太, 富田浩文                     |
| 2. 発表標題<br>不連続 Galerkin 法に基づく全球力学コアのテスト計算 |
| 3. 学会等名<br>第 9 回マッデン・ジュリアン振動研究会           |
| 4. 発表年<br>2023年                           |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>河合佑太, 富田浩文                   |
| 2. 発表標題<br>不連続ガラーキン法を用いた全球大気力学コアの妥当性の検証 |
| 3. 学会等名<br>日本気象学会 2023 年度秋季大会           |
| 4. 発表年<br>2023年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>寺田雄亮, 升本順夫                             |
| 2. 発表標題<br>東太平洋における赤道中層海流の駆動メカニズム                 |
| 3. 学会等名<br>「微細規模から惑星規模にかけての海洋力学過程と規模間相互作用の研究」研究集会 |
| 4. 発表年<br>2023年                                   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>寺田雄亮, 升本順夫                    |
| 2. 発表標題<br>東太平洋における赤道中層海流の駆動メカニズム        |
| 3. 学会等名<br>研究集会: 海洋の統合的理解に向けた新時代の力学理論の構築 |
| 4. 発表年<br>2023年                          |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Yusuke Terada, Yukio Masumoto  |
| 2. 発表標題<br>Generation of the Equatorial Intermediate Current in the eastern Pacific Ocean |
| 3. 学会等名<br>6th ISEE Symposium (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2023年   |



|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>河合佑太, 任軒正博, 片桐孝洋, 富田浩文             |
| 2. 発表標題<br>不連続ガラキン法に基づく流体計算コードの富岳における計算効率について |
| 3. 学会等名<br>富岳 NEXT FS 気象気候研究会                 |
| 4. 発表年<br>2024年                               |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Kawai, Y., Tomita, H.  |
| 2. 発表標題<br>Validation of a Global Nonhydrostatic Atmospheric Dynamical Core using Discontinuous Galerkin method |
| 3. 学会等名<br>AMS 104th Annual Meeting (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2024年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>河合佑太, 富田浩文                         |
| 2. 発表標題<br>不連続ガラキン法を用いた大気境界層乱流のラージエディシミュレーション |
| 3. 学会等名<br>日本気象学会 2021 年度春季大会                 |
| 4. 発表年<br>2021年                               |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>河合佑太, 富田浩文                         |
| 2. 発表標題<br>不連続ガラキン法を用いた大気境界層乱流のラージエディシミュレーション |
| 3. 学会等名<br>日本地球惑星科学連合 2021 年大会                |
| 4. 発表年<br>2021年                               |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>河合佑太, 富田浩文                          |
| 2. 発表標題<br>不連続カラーキン法を用いた大気境界層乱流のラージエディシミュレーション |
| 3. 学会等名<br>DNA 気候学 第一回挑戦的モデル班研究会               |
| 4. 発表年<br>2021年                                |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Kawai, Y., Sueki, K., Tomita, H.   |
| 2. 発表標題<br>A study on the impact of advection schemes on convergence of convective updraft ensembles with respect to the grid spacing |
| 3. 学会等名<br>The Fifth Convective-Permitting Modeling Workshop 2021 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>河合佑太, 富田浩文               |
| 2. 発表標題<br>不連続カラーキン法を用いた全球大気力学コアの開発 |
| 3. 学会等名<br>第 2 回雲解像気候学ワークショップ       |
| 4. 発表年<br>2021年                     |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>河合佑太, 末木健太, 富田浩文                 |
| 2. 発表標題<br>高解像度大気計算における力学スキームの離散精度の影響に関する研究 |
| 3. 学会等名<br>日本気象学会 2021 年度秋季大会               |
| 4. 発表年<br>2021年                             |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Kawai, Y., Tomita, H.  |
| 2. 発表標題<br>Investigation of numerical errors with the Discontinuous Galerkin method for atmospheric high-resolution simulations |
| 3. 学会等名<br>The 4th R-CCS International Symposium (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>山崎一哉、三浦裕亮                   |
| 2. 発表標題<br>スーパーパラメタリゼーションにおける熱帯低気圧の再現性 |
| 3. 学会等名<br>日本気象学会2021年度春季大会            |
| 4. 発表年<br>2021年                        |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>山崎一哉、三浦裕亮                     |
| 2. 発表標題<br>MIROCへのスーパーパラメタリゼーションの実装と初期評価 |
| 3. 学会等名<br>日本気象学会2021年度秋季大会              |
| 4. 発表年<br>2021年                          |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>神野拓哉、三浦裕亮                               |
| 2. 発表標題<br>カノニカルアンサンブルの枠組みに基づく放射対流平衡における積雲対流の統計的性質 |
| 3. 学会等名<br>日本気象学会2021年度春季大会                        |
| 4. 発表年<br>2021年                                    |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Takuya Jinno, Hiroaki Miura  |
| 2. 発表標題<br>Statistical Analysis of Cumulus Convection in Radiative-Convective Equilibrium Based on Canonical Ensemble Framework |
| 3. 学会等名<br>Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>神野拓哉, 三浦裕亮                              |
| 2. 発表標題<br>放射対流平衡における積雲対流のカノニカルアンサンブルの枠組みに基づく統計的解析 |
| 3. 学会等名<br>第一回挑戦のモデル班研究会                           |
| 4. 発表年<br>2021年                                    |

|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>神野拓哉, 三浦裕亮              |
| 2. 発表標題<br>放射対流平衡実験における積雲対流強度の頻度分布 |
| 3. 学会等名<br>第7回MJ0研究会               |
| 4. 発表年<br>2021年                    |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>神野拓哉, 三浦裕亮                                   |
| 2. 発表標題<br>シャノンの情報エントロピーを用いた雲の自己組織化の定量解析：放射対流平衡実験における結果 |
| 3. 学会等名<br>大気海洋力学セミナー                                   |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Matsuta, T., and Y. Masumoto   |
| 2. 発表標題<br>Eddy-mean flow interactions and vertical energy redistribution associated with the standing meander in the Antarctic Circumpolar Current |
| 3. 学会等名<br>JpGU2021 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Kusumi, T., and Y. Masumoto  |
| 2. 発表標題<br>Interannual variability in sea surface temperature off Somalia in boreal summer _ Similarities and differences between “Warm year” and “Cold year” _ |
| 3. 学会等名<br>JpGU2021 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>松田拓朗, 升本順夫                   |
| 2. 発表標題<br>南極周極流にローレンツ・ダイアグラムを適用する際の問題点 |
| 3. 学会等名<br>日本海洋学会2021年度秋季大会             |
| 4. 発表年<br>2021年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>寺田雄亮, 升本順夫   |
| 2. 発表標題<br>インドネシア多島海を通じた太平洋 _ インド洋間の波動エネルギー伝播経路 _太平洋から入射する場合_ |
| 3. 学会等名<br>日本海洋学会2021年度秋季大会                                   |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>河合佑太, 富田浩文                    |
| 2. 発表標題<br>全球大気 LES に向けた力学コアの必要精度に関する研究  |
| 3. 学会等名<br>第2回先端的データ同化と巨大アンサンブル手法に関する研究会 |
| 4. 発表年<br>2021年                          |

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>河合佑太, 富田浩文               |
| 2. 発表標題<br>全球LESに向けた力学コアの必要性度に関する研究 |
| 3. 学会等名<br>NICAM 開発者会議              |
| 4. 発表年<br>2020年                     |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>河合佑太, 富田浩文                  |
| 2. 発表標題<br>大気境界層LESにおける高精度力学コアの必要性について |
| 3. 学会等名<br>第1回雲解像気候学ワークショップ            |
| 4. 発表年<br>2020年                        |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Takuya Jinno, Hiroaki Miura   |
| 2. 発表標題<br>Theoretical and Statistical Analysis of Deep Convection Based on Canonical Ensemble Framework |
| 3. 学会等名<br>American Geophysical Union 2020 Fall Meeting (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2020年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>神野拓哉, 三浦裕亮                         |
| 2. 発表標題<br>カノニカル分布の枠組みに基づく3次元放射対流平衡システムの統計的解析 |
| 3. 学会等名<br>第一回雲解像気候学ワークショップ                   |
| 4. 発表年<br>2020年                               |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

|  |
|--|
| DNA気候学 A04班<br><a href="https://dna-climate.org/projects/a04/">https://dna-climate.org/projects/a04/</a> |
|--|

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                   | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                                  | 備考 |
|-------|---|--|----|
| 研究分担者 | 河合 佑太<br><br>(Kawai Yuta)<br><br>(50836434) | 国立研究開発法人理化学研究所・計算科学研究センター・特別研究員<br><br><br><br>(82401) |    |

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)      | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|-------|--------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 神野 拓哉<br><br>(Jinno Takuya)    |                       |    |
| 研究協力者 | 山崎 一哉<br><br>(Yamazaki Kazuya) |                       |    |

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