

令和 5 年 5 月 30 日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K14795

研究課題名（和文）数値モデルに適用する雲氷・降雪粒子の新スキーム開発による気候予測の高精度化

研究課題名（英文）Developing a new ice microphysical parameterization for more accurate climate prediction

研究代表者

道端 拓朗（Michibata, Takuro）

岡山大学・自然科学学域・准教授

研究者番号：30834395

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、数値気候モデルに適用する新しい固体降水スキームを開発し気候予測の高精度化を目指した。従来のスキームでは、雲氷・降雪粒子の微細な構造や形状、複雑な粒子間相互作用を適切に表現できず、放射収支・水循環の再現性の不確実性の主因となっていた。この問題を改善するために、降雨・降雪予報型のパラメタリゼーションを導入し、特に大きな不確実性を持つ雲氷・降雪粒子の表現手法を高度化した。新スキームの導入により、より現実的な雲量分布・放射強制力が再現可能となったほか、気候感度に及ぼす影響についてもメカニズムレベルで解明することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した新しい固体降水スキームを導入することで、雲氷・降雪粒子の微細な構造や形状、複雑な粒子間相互作用をより精緻に表現することが可能になった。現実的な雲量分布や降水の頻度・強度の改善が達成できたことで、将来の温暖化時にどのように雲が変化し、降水特性がどう変化するかを適切にシミュレートすることが可能になると期待される。従来型モデルよりも高精度の温暖化予測が可能になった場合、適切な環境政策や温暖化対策に貢献することに加え、人間の健康リスクや水ストレス変化を適切に評価するなど、社会的にも多方面に波及効果のある研究成果として活用されると期待される。

研究成果の概要（英文）：We developed a new solid precipitation scheme for numerical climate models to improve the accuracy of climate prediction. The conventional scheme did not accurately represent the micro- and macro-structure of cloud ice and snow particles, as well as their complex interactions among particles, which was the major source of uncertainty in the hydrological and energy budget. To address this issue, a two-moment prognostic precipitation scheme was introduced in the MIROC GCM. The introduction of the new scheme enabled more realistic cloud cover distribution and radiative forcing. We also evaluated the impact of the new parameterization on climate sensitivity and cloud feedback at the fundamental mechanism level.

研究分野：気候変動学

キーワード：エアロゾル・雲相互作用 全球気候モデル 降水 放射強制力 微物理

1. 研究開始当初の背景

数値気候モデル (GCM) を用いた将来気候予測の信頼性には未だ課題が残されている。たとえば、平衡気候感度 (CO₂ 濃度が倍増した際の地上気温の昇温) は 1.5~5°C と、依然として GCM 間のばらつきが大きいことや、雲量や放射強制力といった気候を特徴づける基本的な指標にも観測との系統誤差が存在する。こうした雲・降水過程に起因する系統誤差を改善するために、具体的には下記の 3 つの問題点の解消に取り組み、物理過程の高精度化が重要である。

1 つ目の問題は、氷晶核・降雪の物理過程を簡素化したパラメタリゼーションで取り扱っている点である。GCM の典型的な積分時間ステップ Δt は約 10~20 分程度であり、降雪は降雨と同様に診断的に取り扱われることが多い。そのため、大気中に存在する降雨・降雪は時間のメモリを持たず、高度分布の再現が難しいという問題がある。2 つ目の問題は、 μm スケールの雲氷と mm スケールの降雪粒子の 2 つのカテゴリを集団としてモデル内で記述しているため、カテゴリ間の不連続が生じる点である。本来、雲氷・降雪・雹・あられといった固体降水の粒子系は、雲粒と雨滴のような明確な区分はなく連続的に表現する方がより現実的であり、バルクのモデリング手法そのものを再検討する必要がある。3 つ目の問題は、これら固体凝結物の放射計算の取り扱いが非常に簡略化されている点である。現状の多くの GCM では、先述の通り降雪を診断的に取り扱う手法が主流であるため、降雪の放射効果を考慮していない。しかし現実大気には、六角柱・平板・樹枝状など様々な形状の粒子が存在し、形状ごとに放射特性が異なる。

より信頼性の高い気候変動予測を行うためには、これらの物理プロセスについて GCM の素過程レベルでの精緻化を実施し、水蒸気・雲水・雲氷・降雨・降雪の変換収支、およびそれぞれの高度分布が現実大気と整合的であるような物理過程の高度化が必要不可欠である。

2. 研究の目的

現状の気候モデルにおける最大の不確定要素は、雲・降水システムの表現方法である。本研究課題では、GCM の雲・降水システム、および氷晶・降雪の放射過程を重点的に精緻化する。特に、 μm スケールの雲氷から mm スケールの降雪粒子までをシームレスに表現する新しいパラメタリゼーションを開発し、全球エアロゾル気候モデル MIROC-SPRINTARS に実装する。開発したスキームを用いた気候シミュレーションを実施し、衛星観測データや雲解像モデルとの比較検証を通して、放射強制力や平衡気候感度といった気候予測のマクロな指標と素過程レベルでのモデル開発とのリンクを明らかにする。これまで重点的に開発が行われてきた液相の雲微物理過程だけでなく、氷晶・降雪を含めた雲システム全体のモデリング手法の高度化は、気候変動予測の基盤である数値モデリングに本質的な進展をもたらすものであり、信頼性の高い将来気候予測に資することを目的とする。

3. 研究の方法

上述の研究目的を達成するために、下記に掲げる 3 点を本研究における基軸として実施した。

(1) シンプルモデルを活用した新しい雲氷・降雪スキームの開発

雲氷・降雪・雹・あられといった固体降水の粒子系をシームレスに表現する、新しいバルクスキームの開発を推進した。質量混合比・数濃度の 2 つの自由度を持つ、2 moment 法を用いて雲・降水のカテゴリを予報する新しい微物理スキームを構築した。新スキームの開発にあたっては、挙動の把握および作業の効率化のため、鉛直 1 次元モデル (SCM) などのシンプルモデルを用いて開発に着手した。それにより、粒子の形状と関連づける粒子落下速度など様々なパラメータ等への感度を調査しながら開発を実施した。

(2) 全球モデルを用いた感度実験および人工衛星観測・雲解像モデルとの比較

新スキームを全球版 MIROC-SPRINTARS に実装し、性能検証を実施した。また、新スキームの構築に合わせて放射計算における粒子タイプの取り扱いも更新し、最適化を行った。性能の検証には、CloudSat、CALIPSO、MODIS など複数の衛星観測データを利用し、水平分布・鉛直分布が観測と整合的であるか確認しながら開発を推進した。モデルの評価には衛星シミュレータ COSP を活用し、モデル・観測間の等価な比較を実施することで、より素過程に根ざしたモデルの高度化を実施した。

(3) 大気海洋結合モデルを用いた長期シミュレーション

上記により精緻化したモデルを用いて、長期間のシミュレーションや、様々な感度実験を実施した。具体的には、現在気候の再現実験や、CO₂ 倍増による地球温暖化時の予測実験など代表的な気候実験を行い、気候応答や雲フィードバックの定量的評価を行った。これらの実験を通して、エアロゾル・雲相互作用に伴う放射強制力や平衡気候感度などを定量的に評価した。

4. 研究成果

(1) 降雨・降雪予報型スキームの調整と感度実験

降雨・降雪を陽に予報するスキームを用いて、微物理過程の表現手法に内存するパラメータの不確実性の感度を調査した。開発初期の降水予報型スキームは、雲氷および降雪の微物理過程に起因する様々なパラメータへの感度の調査ができていなかったことで、本来中高緯度の下層にも存在するはずの雲氷が表現できておらず、降雪への成長が早いバイアスを抱えていた。それにより、観測と比較して雲量を大幅に過小評価するバイアスにつながっていた。

不確実性をもたらず代表的なパラメータは、雲氷から降雪粒子に成長する代表時間スケール、雲氷と降雪粒子のサイズの閾値、降雪の粒径分布関数、Bergeron-Findeisen プロセスに伴う水蒸気拡散の強さ、aggregation および riming に伴う効率係数など様々である。これら在不確実性の範囲内で摂動させることでそれぞれの感度を調査し、大気中の凝結生成物および放射収支が衛星観測による全球統計値と整合的であるように最適化を行った。また、質量や気温などの人為的な閾値による調整を撤廃することで、雲氷から降雪への成長がより連続的に生じるよう調整を行なった。

これらにより、特に上層雲での雲氷分布の改善につながり、雲量の再現性に顕著な改善が見られた。雲量の評価には、衛星観測シミュレータを用いて衛星観測と比較を行い、改良前と比較して8%程度の雲量増加につながり、観測に近づけることが可能となった。

さらに、改良したモデルを用いて人為起源エアロゾルによる有効放射強制力を見積もったところ、従来型モデルで過大に評価していた負の放射強制力が大幅に緩和され、20世紀の気温トレンドを再現するために要請される放射強制力の不確実性幅の範囲を満たすシミュレーションが可能となった。これは、降雪の放射効果が長波放射による温室効果の寄与を増強することに加え、降雪と下層の雲水とのrimingが短波の放射強制力を弱めることに起因することがわかった。

エアロゾル有効放射強制力の改善に加え、降水の頻度・強度の系統誤差についても同時に改善することが可能であることが明らかとなった。従来型のスキームでは、降水の強度を過小評価する代わりに頻度を過大評価する、誤差補償が存在することが多くのGCMの解析結果から明らかとなっていたが、開発した降水予報型スキームではこうした誤差補償を改善できることが示された(図1)。これら一連の結果は、従来型モデルからは得られなかった新しい成果であり、Geophysical Research Letters および Atmospheric Chemistry and Physics 誌など、影響力の高い国際学術誌に掲載された。

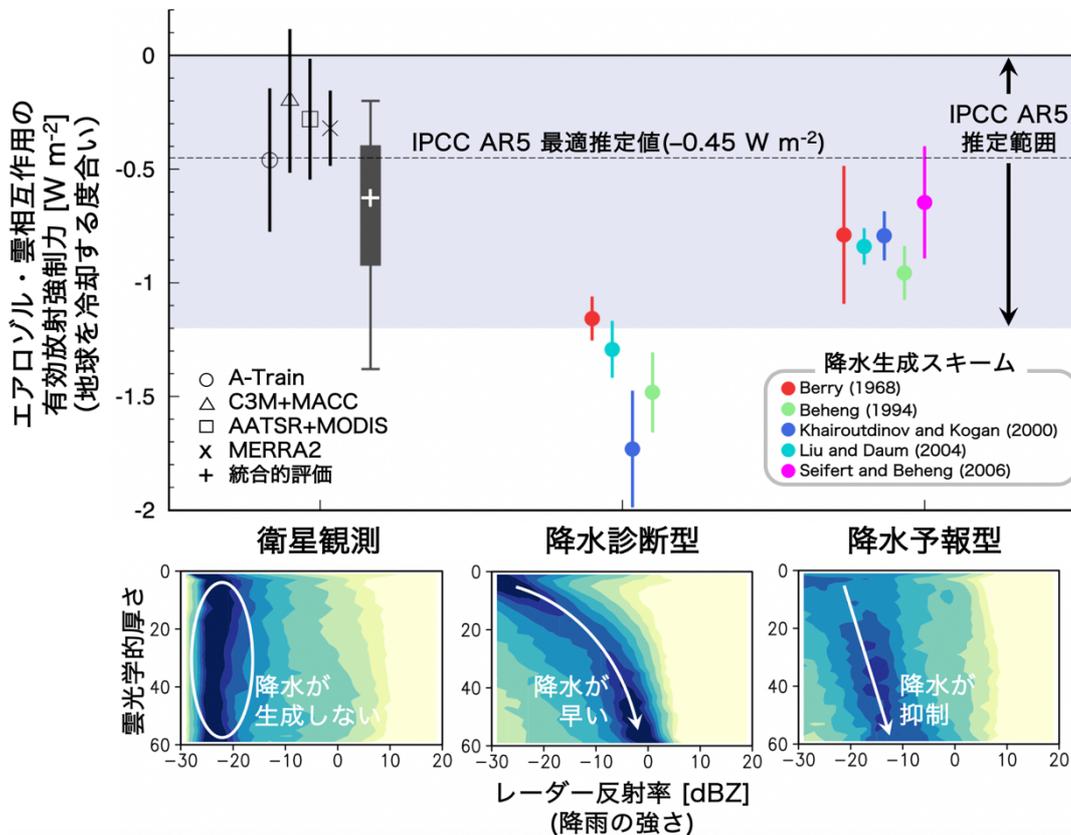


図1 (上段)エアロゾル・雲相互作用による有効放射強制力および(下段)降水強度の指標であるレーダー反射率の鉛直プロファイルの確率密度関数を雲層内光学的厚さの関数として示した2次元ヒストグラム。Michibata and Suzuki (2020) を改編。

(2) 衛星シミュレータを用いたモデル評価手法の不確実性の改善および高度化

雲量診断・雲フェーズ診断は、気候モデルの性能評価において欠かせない情報の一つである。その診断に用いられるのが CALIPSO 衛星搭載 CALIOP ライダーである。数値モデル内では、そのアルゴリズムを模倣した CALIPSO シミュレータが搭載されており、モデル内で予報されている雲水・雲氷の情報（格子平均質量・モデル自身が表現する雲量・有効粒径）から、LiDAR の後方散乱の結果を基に雲診断が行われる。

従来型の降水診断型のスキームでは、降水粒子は大気中から即座に除去される仕様であったため、降水粒子の情報は CALIPSO シミュレータへの入力として利用していなかった。しかし、特に雲氷と雪片は粒子成長が連続であるため、実際の衛星リトリーバルアルゴリズムでは雪片も雲の一部として認識されることになる。もし数値モデル内で表現される降水粒子を CALIPSO が雲と検出しない場合、実際の観測統計値よりも雲を過小評価することにつながってしまう。最新版 MIROC やいくつかの先端的な GCM では、降水を予報するスキームが既に導入されつつあり大気中に降水粒子が保持される仕様であるため、大気中の降水粒子が CALIPSO から雲として認識される効果を導入する必要がある。

そこで CALIPSO シミュレータの雲検出アルゴリズムを降水予報型スキームと整合するようアップデートし、雪片による後方散乱の情報も用いて雲診断を行うアルゴリズムを導入した（図 2）。その結果、改良前と比べて約 5% 雲量が増大して評価されることが明らかになった。また、気候感度に支配的な役割を持つ雲の総水量に占める過冷却水滴の割合は、大幅に減少することがわかった。これは、降雪が雲氷の一部と見なされるためである。

この結果は、まだ多くの GCM が雲の素過程の特徴を観測に忠実に再現できていない可能性を示唆するものであり、同時に数値モデルの評価手法自体にも注意が必要であることを強調する結果である。

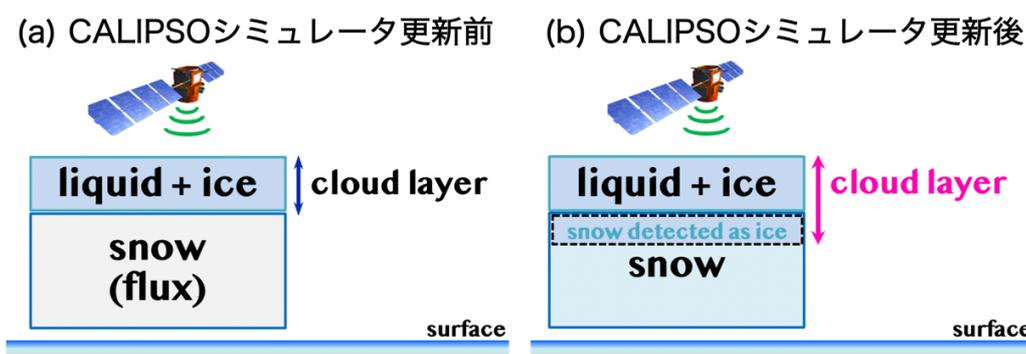


図2 (a) デフォルトの CALIPSO シミュレータで仮定されている LiDAR に対する雲・降水の取り扱いと、(b) 実際の観測リトリーバルに従った降水粒子の取り扱いを反映させたシミュレータを示す模式図。Imura and Michibata (2022) を改編。

(3) 気候感度および放射強制力の定量化

全球気候モデルが苦手とする雲・降水過程の中でも、雲氷・降雪粒子の成長過程の表現は特に不確実性の大きいプロセスの一つである。本課題でこれまでに開発を推進してきた新しい雲・降水スキームを用いて、気候感度および雲フィードバックの定量化に着手した。その結果、降水を診断的に取り扱う従来型のスキームに対し、降水を予報する新スキームでは、気候感度が約 20% 増大することが明らかになった。これは、温暖化時に雲が高高度まで移動するフィードバックがより強く働くことで、長波による温室効果が強まることによるものであるが、この効果は雲量を適切に表現できる降水予報型スキームによる大きな利点である。このことは、降水診断型の国内外多くの従来型モデルでは、気候感度を過小に評価している可能性を示唆するものである。

また、雲から降水に至る成長過程をシームレスに表現するため、さらなるモデルの高度化にも取り組んだ。具体的には、本課題における最重要事項として掲げていた、雹・あられといった大粒子を陽に取り扱うスキームの開発に着手した。作業効率化のために鉛直次元モデルを用いて開発を行い、パラメータへの感度などを詳細に調査した。理想化実験において適切にモデルが動作することを確認した上で、全球モデルに実装を拡張し、大気モデル設定での標準実験を安定して実施することができた。初期解析の結果、半径 5mm を超えるような雹粒子を再現することが可能になり、局地降水の再現性向上に繋がることが期待される。

一方で、粒子サイズに対して落下速度が小さいことや、サブグリッドの取り扱いに非現実的な仮定が入っているなど、課題点も残っている。継続してモデルの高度化に取り組む必要があるものの、本課題で提案した計画内容の全てを実施することができ、国際的にも先端的なモデル開発を推進することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Imura Yuki, Michibata Takuro	4. 巻 14
2. 論文標題 Too Frequent and Too Light Arctic Snowfall With Incorrect Precipitation Phase Partitioning in the MIROC6 GCM	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Advances in Modeling Earth Systems	6. 最初と最後の頁 e2022MS003046
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022MS003046	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 Michibata Takuro	4. 巻 Chapter 35
2. 論文標題 Aerosol-Cloud Interactions in the Climate System	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Handbook of Air Quality and Climate Change. Springer, Singapore	6. 最初と最後の頁 1~42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-2527-8_35-3	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 Hirota N., Michibata T., Shioyama H., Ogura T., Suzuki K.	4. 巻 49
2. 論文標題 Impacts of Precipitation Modeling on Cloud Feedback in MIROC6	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 e2021GL096523
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021GL096523	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 道端拓朗	4. 巻 68
2. 論文標題 数値気候モデルと衛星観測の複合利用によるエアロゾル・雲・降水相互作用に関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 天気	6. 最初と最後の頁 277-290
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24761/tenki.68.6_277	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 Michibata, T., and K. Suzuki	4. 巻 47
2. 論文標題 Reconciling Compensating Errors Between Precipitation Constraints and the Energy Budget in a Climate Model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 e2020GL088340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020GL088340	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 Michibata, T., K. Suzuki, and T. Takemura	4. 巻 20
2. 論文標題 Snow-induced buffering in aerosol?cloud interactions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 13771 ~ 13780
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-20-13771-2020	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 Michibata Takuro, Suzuki Kentaroh, Sekiguchi Miho, Takemura Toshihiko	4. 巻 11
2. 論文標題 Prognostic Precipitation in the MIROC6 SPRINTARS GCM: Description and Evaluation Against Satellite Observations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Advances in Modeling Earth Systems	6. 最初と最後の頁 839 ~ 860
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018MS001596	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 Michibata Takuro, Suzuki Kentaroh, Ogura Tomoo, Jing Xianwen	4. 巻 12
2. 論文標題 Incorporation of inline warm rain diagnostics into the COSP2 satellite simulator for process-oriented model evaluation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geoscientific Model Development	6. 最初と最後の頁 4297 ~ 4307
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/gmd-12-4297-2019	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 Patel Piyushkumar N., Gautam Ritesh, Michibata Takuro, Gadhavi Harish	4. 巻 46
2. 論文標題 Strengthened Indian Summer Monsoon Precipitation Susceptibility Linked to Dust Induced Ice Cloud Modification	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 8431 ~ 8441
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018GL081634	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 Jing Xianwen, Suzuki Kentaroh, Michibata Takuro	4. 巻 32
2. 論文標題 The Key Role of Warm Rain Parameterization in Determining the Aerosol Indirect Effect in a Global Climate Model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Climate	6. 最初と最後の頁 4409 ~ 4430
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/jcli-d-18-0789.1	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 -

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Michibata, T., and K. Suzuki
2. 発表標題 Process representations of cloud and precipitation in MIROC6 with prognostic precipitation: Evaluation against A-Train observations
3. 学会等名 ICCP-GSRA Workshop 2023 jointly with The 2nd EarthCARE Modeling Workshop, Shuzenji (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Imura, Y., T. Michibata, K. Suzuki
2. 発表標題 Evaluation of Arctic snowfall in MIROC with satellite observation and its link to cloud radiative effect
3. 学会等名 ICCP-GSRA Workshop 2023 jointly with The 2nd EarthCARE Modeling Workshop, Shuzenji (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hirota, N., T. Michibata, H. Shiogama, T. Ogura, and K. Suzuki
2. 発表標題 Impacts of precipitation modeling on cloud response to global warming in MIROC6
3. 学会等名 CFMIP Meeting, Seattle (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 道端拓朗
2. 発表標題 エアロゾル・雲の気候影響：数値モデリングと衛星観測
3. 学会等名 日本気象学会関西支部2022年度第3回中国地区例会，オンライン開催（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井村裕紀，道端拓朗，鈴木健太郎
2. 発表標題 全球気候モデルMIROC6における北極域の雲・降水・放射相互作用の解析
3. 学会等名 日本気象学会秋季大会，札幌
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 廣田清郎，道端拓朗，塩竈秀夫，小倉知夫，鈴木健太郎
2. 発表標題 MIROC6における降水過程精緻化による雲の温暖化応答への影響
3. 学会等名 JpGU Meeting 2022，オンライン開催 (2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 廣田渚郎, 道端拓朗, 塩竈秀夫, 小倉知夫, 鈴木健太郎
2. 発表標題 MIROCにおける雲・降水プロセス高度化の雲フィードバックへの影響
3. 学会等名 日本気象学会2022年度春季大会, オンライン開催 (2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Michibata, T., Y. Imura, H. Nakao, and K. Suzuki
2. 発表標題 Evaluation of cloud micro- and macrophysical properties in the MIROC6 with A-Train observations and COSP simulator
3. 学会等名 EarthCARE Workshop 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井村裕紀, 道端拓朗
2. 発表標題 衛星シミュレータを用いた北極域の雲・降水過程の解析
3. 学会等名 エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 道端拓朗
2. 発表標題 数値気候モデルMIROCに適用する新しい雲・降水パラメタリゼーションの開発
3. 学会等名 日本気象学会関西支部2021年度中国地区第3回例会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井村裕紀, 道端拓朗
2. 発表標題 全球気候モデルMROC6における北極域の雲・降水過程の診断
3. 学会等名 日本気象学会関西支部2021年度中国地区第3回例会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Michibata, T., Y. Imura, H. Nakao, and K. Suzuki
2. 発表標題 How does the treatment of precipitation in a climate model improve the representation of aerosol-cloud interactions?
3. 学会等名 Tri-MIPathlon-3 Workshop 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Michibata, T., and Y. Imura
2. 発表標題 Revisiting an apples-to-apples comparison between model and observations using satellite simulator
3. 学会等名 CFMIP Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Michibata, T., K. Suzuki, and T. Takemura
2. 発表標題 Challenges in constraining cloud and precipitation susceptibilities to aerosols: Satellite observations and global climate models
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 道端拓朗, 鈴木健太郎
2. 発表標題 降水予報型MIROCにおける降水頻度・強度の改良
3. 学会等名 日本気象学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Michibata, T., K. Suzuki, and T. Takemura
2. 発表標題 Constraining responses of cloud and precipitation to aerosol perturbations: Satellite observations and global climate models
3. 学会等名 100th AMS Annual Meeting 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Michibata, T., K. Suzuki, M. Sekiguchi, and T. Takemura
2. 発表標題 Prognostic Precipitation in the MIROC6-SPRINTARS GCM: Improvements in Aerosol-Cloud-Precipitation Interactions
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Michibata, T., K. Suzuki, and T. Takemura
2. 発表標題 Reconciling a compensating error between precipitation process constraint and energy budget requirement
3. 学会等名 Earth CARE Workshop 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Michibata, T., K. Suzuki, and T. Takemura
2. 発表標題 Prognostic precipitation in the MIROC6-SPRINTARS GCM: Improvements in precipitation and radiative properties
3. 学会等名 Aerosols, Clouds, Precipitation and Climate (ACPC) Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Suzuki, K., D. Goto, and T. Michibata
2. 発表標題 Process-based insight into precipitation susceptibility to aerosols in global models and satellite observations
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Suzuki, K., T. Michibata, and X. Jing
2. 発表標題 Significance of precipitation process in determining the aerosol indirect forcing
3. 学会等名 CFMIP Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 道端拓朗
2. 発表標題 日本気象学会2019年度山本賞 受賞記念講演
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 道端拓朗, 鈴木健太郎, 竹村俊彦
2. 発表標題 降水予報型MIROCにおけるエアロゾル・雲・降水相互作用プロセスの誤差補償の緩和
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

researchmap https://researchmap.jp/Takuro_Michibata 研究室HP https://www.okayama-u.ac.jp/user/comets/index.html
--

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

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
---------	---------