



令和 6 年 6 月 19 日
岡 山 大 学
科学技術振興機構 (JST)

降水粒子による日傘効果・温室効果を全球規模で解明 ～高精度な中・長期の気候変動予測の実現に期待～

◆発表のポイント

- ・雲は、太陽から地球に入射する「太陽放射」および地球から宇宙へ射出する「地球放射」を大きく変調させる役割を持ちますが、降水粒子が持つ放射効果については未解明でした。
- ・本研究では、降水粒子の放射効果によるエネルギー収支変化を介した気候応答を調査し、熱帯降水および極域の温暖化に影響が顕著に現れることをメカニズムレベルで解明しました。
- ・本研究の成果は、北極の温暖化の度合いが観測よりも小さいという世界各国の気候モデルに共通する誤差の原因を説明し、より高精度の気候変動予測に貢献することが期待されます。

岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域（理）の道端拓朗准教授は、雨や雪といった降水粒子が地球のエネルギー収支を変調させる効果に着目し、気温・降水量への全球的・地域的な影響についてメカニズムレベルで解明することに成功しました。本研究成果は、2024年6月19日（日本時間）付で、Nature Partner Journal の国際学術誌 *npj Climate and Atmospheric Science* 誌に掲載されます。

雲や大気中の微粒子は、太陽から地球に入射する「太陽放射」および地球から宇宙へ射出する「地球放射」を変調させる役割を持つことがよく知られていますが、降水粒子が持つ放射効果については未解明でした。これは、国内外ほとんどの数値気候モデル^(注1)が降水を極めて簡素に取り扱ってきたことに起因し、降水粒子は放射に対して“透明”なものとしてモデル化されることが一般的でした。道端准教授が開発した、降水粒子を精緻に取り扱う世界最高水準の降水微物理スキーム“CHIMERRA”^(注2)を用いることで、降水粒子が北極域の温室効果に顕著に寄与する役割を持つことが明らかになりました。

本研究成果は、過去・現在・将来の気候を予測する国際プロジェクト「CMIP6^(注3)」のモデルに共通して見られる、北極温暖化の過小評価バイアスを改善に導く可能性を示唆しています。北極気候の再現性は、日本を含む中緯度の異常気象にも密接に関わっているため、降水粒子の放射効果の導入により中・長期の気候変動予測の高精度化に大きく貢献することが期待されます。



PRESS RELEASE

◆研究者からのひとこと

気候変動予測に用いられる数値気候モデルには、様々な不確実要素があります。その最大の不確実要素の一つである雲・降水過程を大幅に高度化したモデルを開発したことで、従来型の気候モデルでは評価自体ができなかった降水粒子の放射効果の定量化が可能になりました。今後も気候モデルの物理過程を継続的に高度化し、日本発の高精度気候変動予測・環境変動予測の実現に尽力していきたいと思います。



道端准教授

■発表内容

<現状>

現在進行している地球温暖化を含めて、放射のバランスが崩れることで気候変動が起こります。気候を特徴付ける放射収支には、二酸化炭素に代表される温室効果気体だけでなく、大気中の微粒子（エアロゾル）や雲も大きな影響を持っており、過去・現在・将来の気候を適切に再現するためにはこれらの放射効果を正確に見積もる必要があります。その中でも雲は、太陽放射を宇宙へ反射することで地球を冷却するように働く“日傘効果”および地球が宇宙へ射出する赤外放射を地表へと再放射する“温室効果”を併せ持ち、不確実性の大きい物理過程の一つとなっています（図1）。

こうした雲の放射伝達過程は数値気候モデル内で考慮されている一方、国内外のほとんどの気候モデルは雲から生じる降水粒子による放射効果を無視しており、透明なものとしてモデル化されてきました。しかし現実の大気では、降水粒子によっても“日傘効果”および“温室効果”が生じているはずであり、その影響を考慮可能な数値気候モデルを開発し定量的に理解することが重要な課題となっていました。

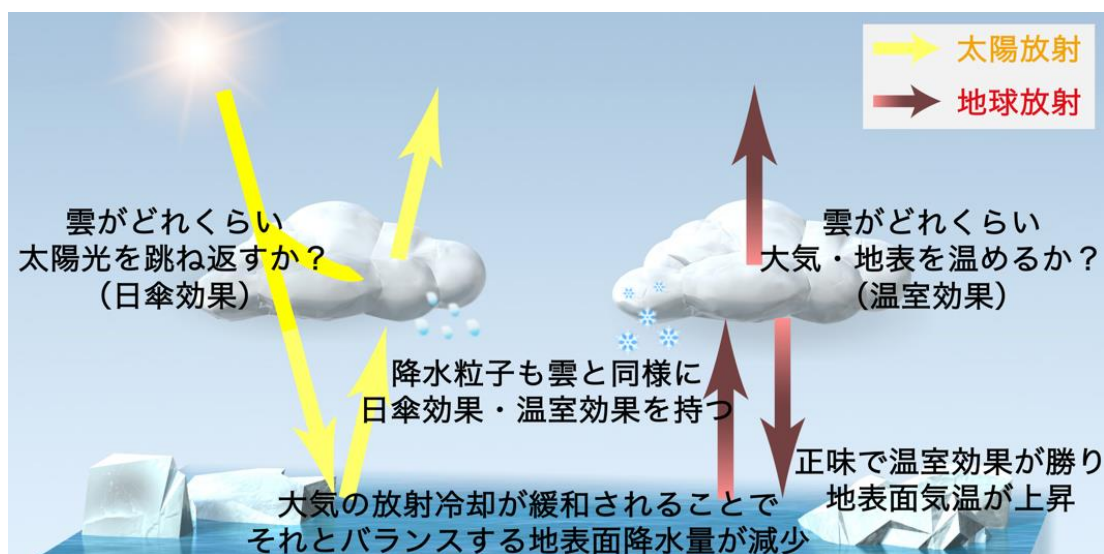


図1 気候システムにおける雲・降水粒子が持つ放射効果および地表面気温・降水量への影響を模式的に示した図。

PRESS RELEASE

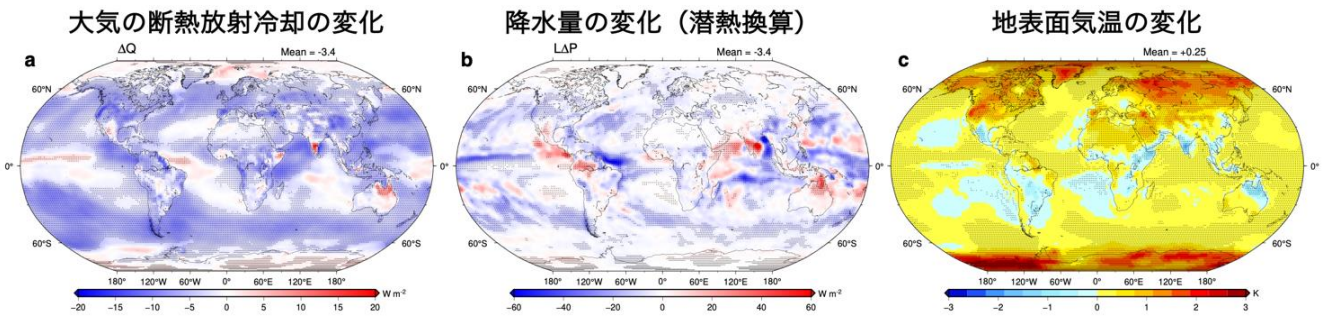


図2 降水粒子の放射効果を考慮した実験と考慮しない実験の差による (a) 大気断熱放射冷却の変化、(b) 降水量の変化、および (c) 地表面気温の変化。ドット域は 95%信頼度で有意な差を示す。暖色系は正偏差（降水量増加 (a, b) もしくは気温上昇 (c)）、寒色系は負偏差（降水量減少 (a, b) もしくは気温低下 (c)）を意味する。

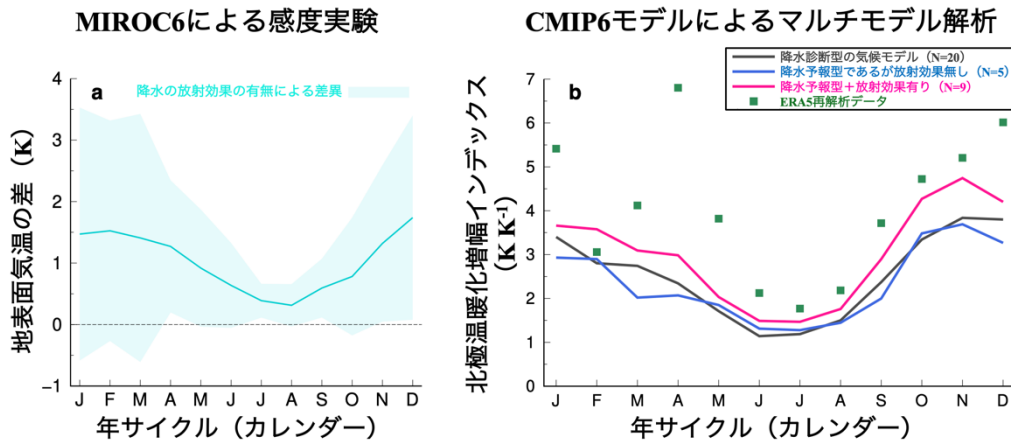


図3 (a) MIROC6 を用いた降水粒子の放射効果の有無の差による北極域の地表面気温への影響、および (b) 34 の CMIP6 モデルによる北極温暖化増幅インデックスの差異。

<研究成果の内容>

そこで本研究では、大気中の降水粒子の質量・粒子数を陽に予報し、粒径の変化等に伴う放射効果を考慮可能な降水予報型スキーム“CHIMERRA”を用いることで、降水粒子による放射効果が気温や水循環に及ぼす影響を系統的に評価しました（図1）。その結果、1) 中緯度域に多く存在する雪片により大気断熱放射冷却が顕著に緩和されること（図2a）、2) 大気放射冷却によって駆動される水循環が弱まる結果として全球平均降水量を約4%減少させるポテンシャルがあること（図2b）、3) 中緯度における放射収支変化が全球的な大気循環場も変化させることで、主に熱帯・亜熱帯域で顕著な降水量減少が生じること（図2b）、および4) 極域の地表面気温に顕著な昇温が生じること（図2c）が明らかになりました。4) は、極域で冬季に降雪量が増加することで下向き長波放射を増加させることと関連しており、その影響の大きさは1K（ケルビン、絶対温度の単位）以上にも及び、海氷の融解速度の再現性にも影響が波及する可能性が示唆されました（図1、3）。

また、全球気候モデル MIROC6 を用いた感度実験による示唆が他の気候モデルでも当てはまるかを検証するために、過去・現在・将来の気候を予測する国際プロジェクト“CMIP6”に提出された世界各国の34の気候モデルを系統的に解析しました。本研究で注目している物理過程である降



PRESS RELEASE

水の表現手法と放射効果の有無の観点から 3 つのグループに分類したマルチモデル解析を行ったところ、降水の放射効果を簡素ながらも考慮しているモデル群は北極温暖化増幅^(注4)をより観測と整合的に表現できていることが明らかになりました(図3)。このことは、降水粒子による放射効果を導入することで、極夜期における北極温暖化が促進されるという MIROC6 による感度実験の示唆を支持する結果です。

<社会的な意義>

世界の様々なモデリングセンターで気候モデルが開発されていますが、北極気候の再現性はモデル間のばらつきが大きい特徴があります。北極域は温暖化の影響が最も顕著に現れる地域として知られている一方、観測事実と比較して温暖化の度合いが過小に評価される系統誤差を抱えています。本研究の結果は、大気・海洋・雪氷圏にまたがる根深い不確実性を基本的なメカニズムレベルで解きほぐす成果として位置付けられ、温暖化予測の高精度化を目指す各国モデリングセンターへの成果の波及が見込まれます。特に北極気候の再現性は、日本を含む中緯度の気象・気候にも遠隔的に影響を及ぼすことが知られているため、過去から将来にかけての気候変動予測に加え異常気象予測の精度向上にもつながることが期待されます。

■論文情報

論文名 : Radiative effects of precipitation on the global energy budget and Arctic amplification

掲載紙 : *npj Climate and Atmospheric Science*

著者 : Takuro Michibata (道端拓朗)

DOI : 10.1038/s41612-024-00684-4

URL : <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00684-4>

■研究資金

本研究は、科学技術振興機構(JST)創発的研究支援事業(JPMJFR206Y)、JSPS 科研費(JP23K13171, JP19H05669)、環境省・(独)環境再生保全機構環境研究総合推進費(JPMEERF21S12004)、文部科学省「気候変動予測先端研究プログラム」(JPMXD0722680395)の支援を受けて実施しました。

■補足・用語説明

(注1) 数値気候モデル

気温や風、降水などの世界の気候をシミュレートするための数値プログラムのことです。本研究では、東京大学大気海洋研究所、国立環境研究所、海洋研究開発機構を中心として開発されている全球気候モデル“MIROC6”を用いて研究を実施しました。気候モデルでは数年～数百年以上の長期スケールをシミュレートするため、大気中を短時間で落下する降水粒子の運動は陽に取り扱わず、各時間ステップの地表面への降水量を診断する手法が一般的です。



PRESS RELEASE

(注2) 降水微物理スキーム“CHIMERRA”

“降水診断型”のモデリング手法に対し、現実大気で生じているような雲・降水の粒子間相互作用を陽に表現するために、時間ステップをまたがって大気中の降水粒子の運動を表現する“予報型”の降水モデリング手法が“CHIMERRA (Cloud/Hydrometeors Interactive Module with Explicit Rain and Radiation)”です (Michibata et al., 2019, 2020)。本研究では、1) 降水診断型 MIROC、2) 降水予報型でありながら降水の放射効果を見捨てる MIROC、3) 降水予報型でその放射効果も考慮する MIROC の3つのサブモデルを用いた感度実験を行うことで、降水粒子の気候影響を系統的に評価しました。

(注3) CMIP6

第6期結合モデル相互比較プロジェクト (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) の略称。太陽活動や温室効果ガス濃度、エアロゾル濃度など共通の外部強制・シナリオに基づいて過去・現在・将来の気候を予測する国際プロジェクトです。

(注4) 北極温暖化増幅・北極温暖化増幅インデックス

温暖化に伴う地表気温変化量において、全球平均に比べて北極域平均の昇温量が大きいことが知られており、これを北極温暖化増幅といいます。図3右の縦軸はそれを指標化したもので、本研究では全球平均地表気温変化に対する北極平均地表気温変化の割合として定義しました。すなわち、全球平均と比較して何倍早く北極域の温暖化が進行しているか、を表しています。

<お問い合わせ>

・研究に関すること

岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域 (理)
准教授 道端拓朗

(電話番号) 086-251-7884

(メール) tmichibata[at]okayama-u.ac.jp

・JST 事業に関すること

科学技術振興機構 創発的研究推進部
東出学信

(電話番号) 03-5214-7276

(メール) souhatsu-inquiry[at]jst.go.jp



岡山大学は持続可能な開発目標 (SDGs) を支援しています。