



岡山大学

OKAYAMA UNIVERSITY

課題番号：2RF-2003

体系的番号：JPMEERF20202R03

－ 令和3年度終了課題 事後評価ヒアリング －

地球温暖化予測のための時空間シームレスな 降雨・降雪スキームの開発

道端 拓朗

岡山大学 学術研究院 自然科学学域（理）

tmichibata@okayama-u.ac.jp

重点課題 主：【重点課題⑨】地球温暖化現象の解明・予測・対策評価
副：

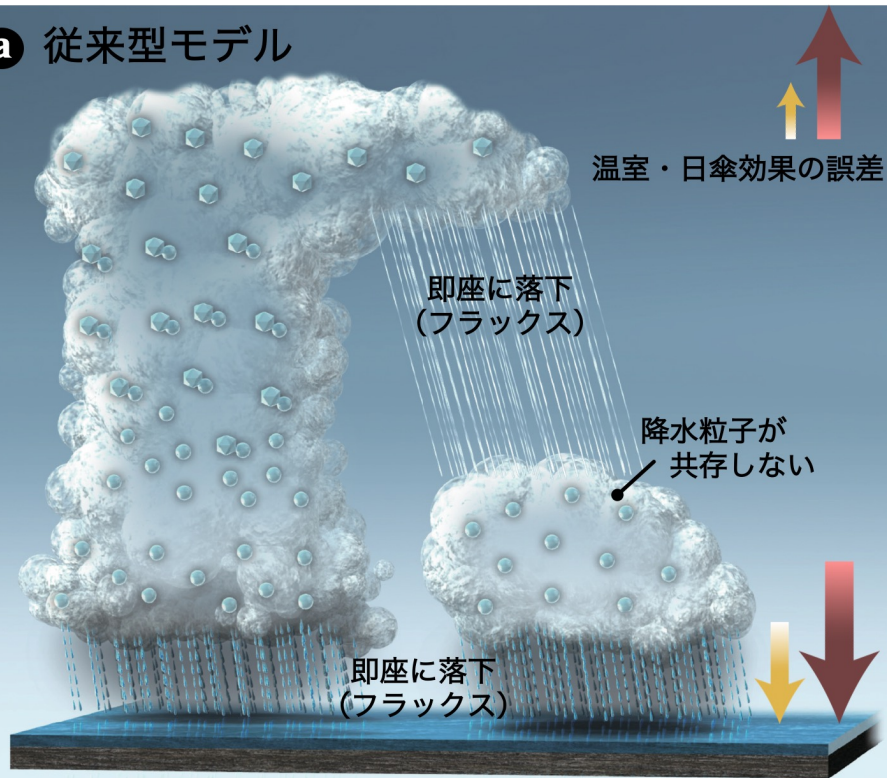
行政要請研究テーマ（行政ニーズ） 非該当

研究実施期間 令和2年度～令和3年度

研究分担機関名 他のサブテーマはない

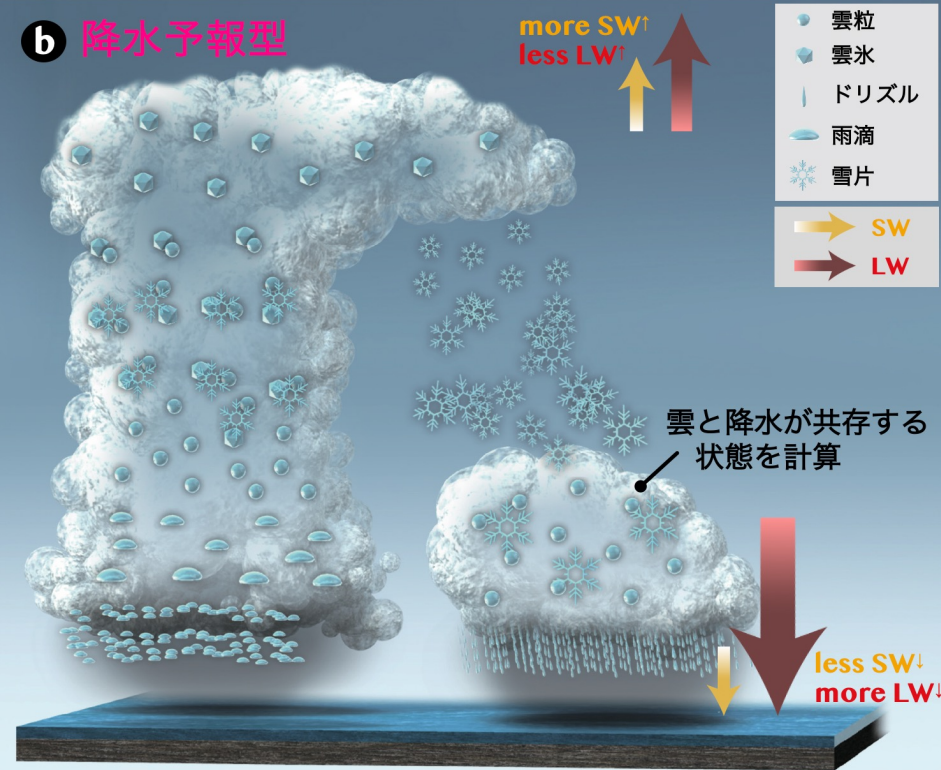
1. 研究の着想に至った経緯・背景

a 従来型モデル



Ghan and Easter (MWR'92)

b 降水予報型



Michibata et al. (JAMES'19)

- ▶ Michibata et al. (JAMES'19) では、雲の内部構造をより精緻に表現する雲・降水パラメタリゼーションの高度化を推進.
- ▶ しかし従来型モデルや各国モデルで報告されている、様々な系統誤差の解消には至っていなかった.
 - 雲量を大幅に過小評価
 - 降水頻度を過大評価する一方、降水強度を過小評価 など.

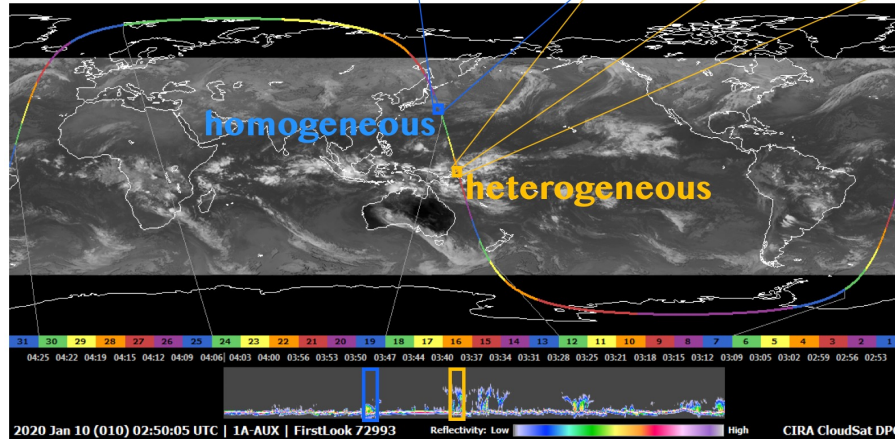
2. 研究開発目的

Homogeneity (ν_x)

$$\nu_x = \frac{\overline{x^2}}{\sigma^2}$$

- clear-sky
- cloudy-sky
- w/ rain

GCM
grid size
(~100 km)

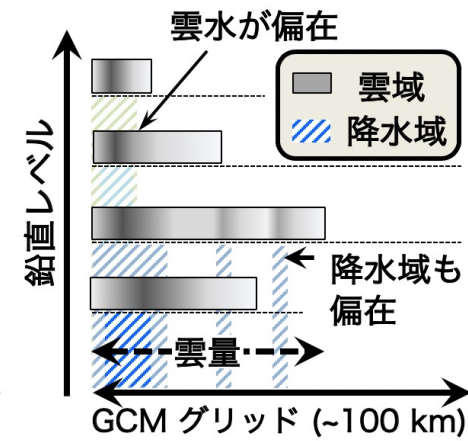
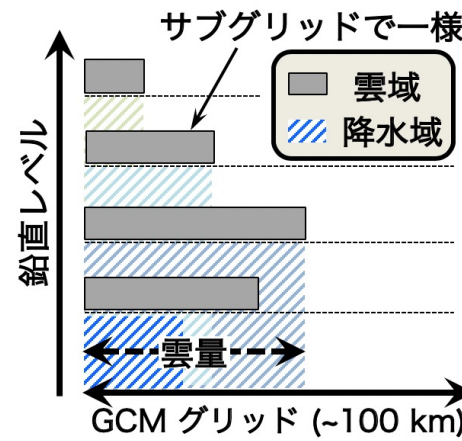


強い降水が表現できない問題

雲量・雲水量・雨水量が同一条件での
モデルと現実大気の雲・降水の変動性のバイアス

GCMの雲・降水の表現

現実の雲・降水の変動



- ▶ 系統誤差の解消を目指し、物理過程の更なる高度化を実施.
- ▶ 衛星観測データを活用. 降水の空間不均一性の情報をモデルに与える仕組みを構築.
- ▶ まとまった強い降水を表現するために重要な、雹・あられも統一的に予報する新しい枠組みを構築.

3. 研究目標

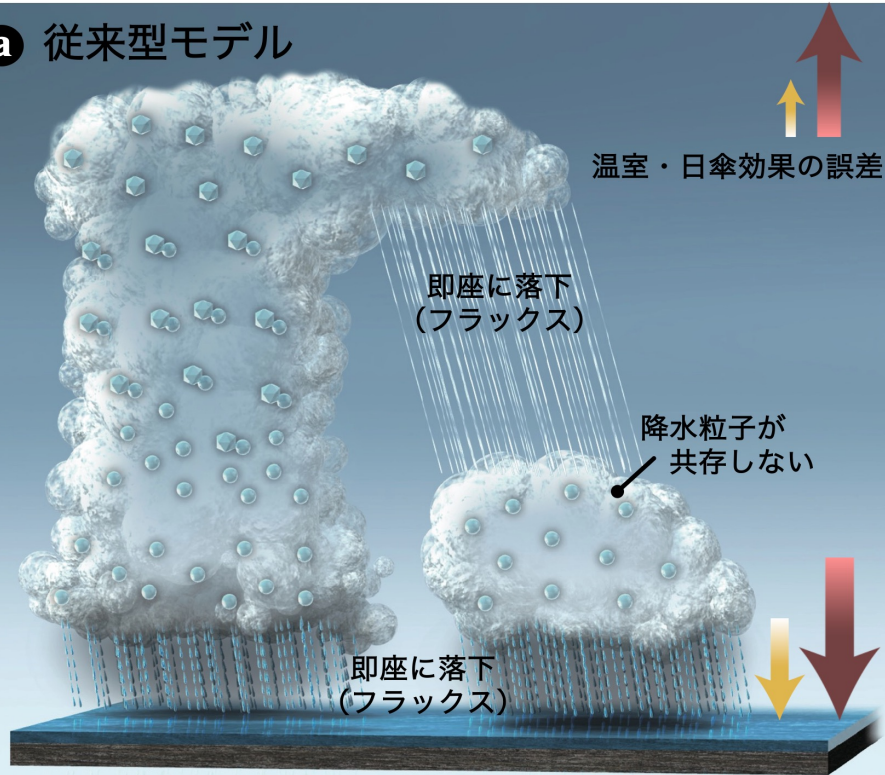
▶ 特に重要な箇所に下線（提出書類から引用）

全体目標	地球温暖化予測を実施する上で重要な雲・降水のサブグリッドスケールのモデリング手法を、 <u>大規模計算にも適用可能な低い計算コストで実装し、高精度の環境変動予測・気候変動予測に資する。</u>
------	--

サブテーマ1	地球温暖化予測のための時空間シームレスな降雨・降雪スキームの開発
サブテーマリーダー /所属機関	道端拓朗／国立大学法人岡山大学
目標	サブグリッドスケールの雲・降水分布をモデル化するため、CloudSatおよびMODISによる衛星観測データを複合的に解析し、降水強度が解像度に依存しない <u>空間シームレスな降水スキーム</u> を開発する。その際に、計算コストに大きな割合を占める降水落下過程を時間ステップに依存しない <u>時間シームレスなスキーム</u> に更新し、開発前のバージョンから20%低コスト化することを目指す。モデルの高度化による気候影響の評価として、降水素過程およびエアロゾル放射強制力を定量的に見積もり衛星観測との比較を実施する。特にバイアスが大きく気候変動予測の信頼性を支える重要な指標である雲量については、 <u>全雲量および高度ごと（低層・中層・高層）の雲量を、GOCCP衛星観測に対して誤差5%以内に収める</u> ことを達成目標とする。

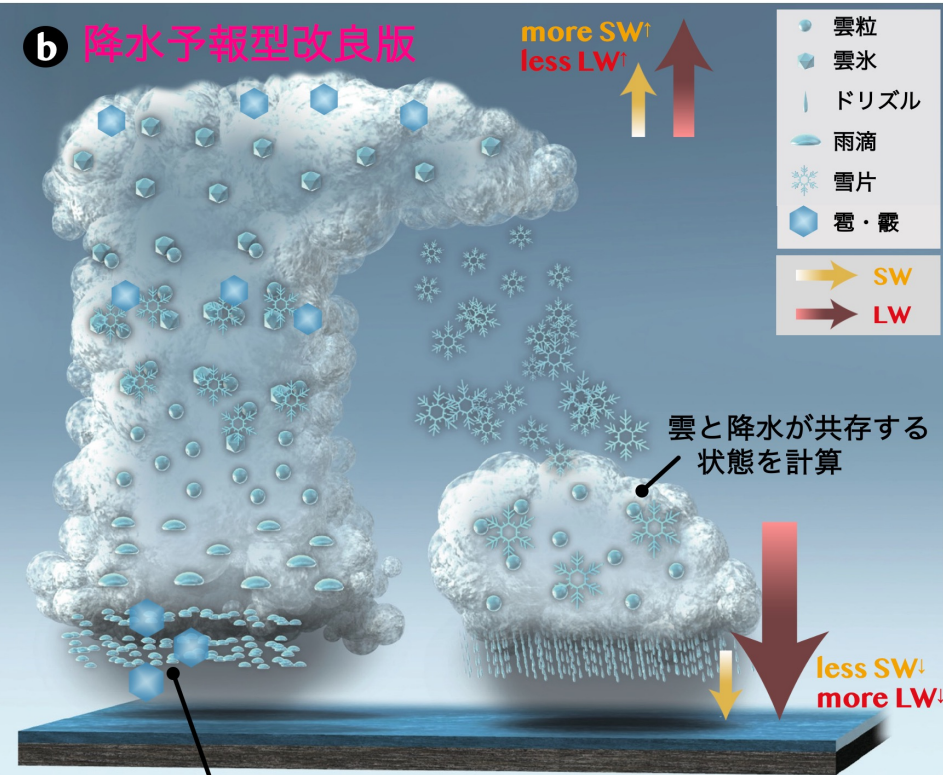
4. 研究開発内容

a 従来型モデル



Ghan and Easter (MWR'92)

b 降水予報型改良版



ERCA 2RF-2003 (道端課題)



- ▶ モデル格子内の降水変動性を陽に考慮したパラメタリゼーションの開発
- ▶ 時間ステップに依存しない降水の落下スキームの導入
- ▶ 開発した雲・降水パラメタリゼーションを用いた気候予測精度の評価
- ▶ 降雪粒子を考慮に入れた衛星シミュレータの雲判別アルゴリズムの改良

5-1. 研究成果：成果の概要（1）

- ▶ エアロゾルに対する雲の応答
には、空間変動性がある。

数値モデルにおける降水量 R の表現

$$R \sim L_c^\alpha \times N_c^\beta$$

雲水量
に比例

エアロゾル量
に反比例

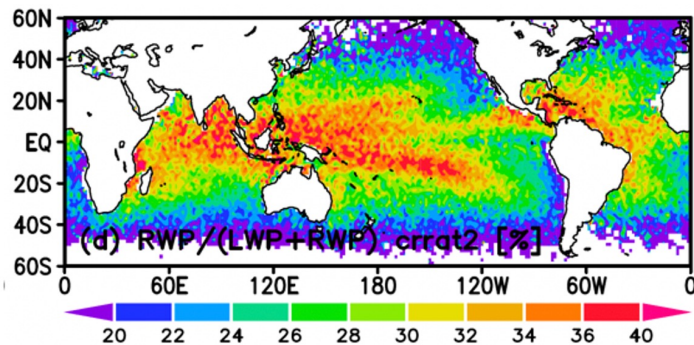
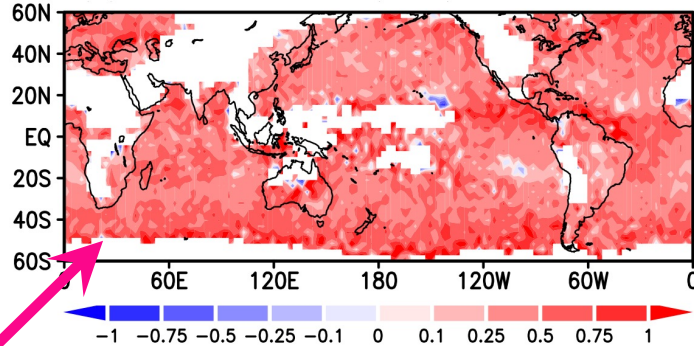
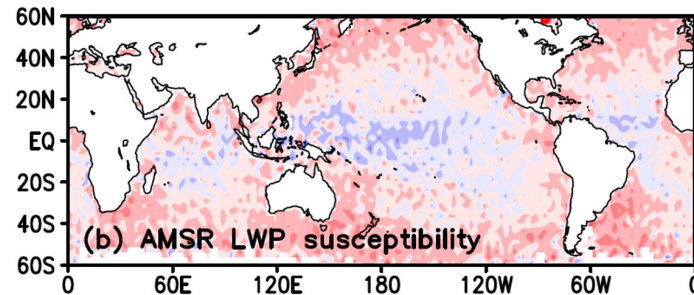
負の定数

全球一様に
雲寿命が延びる

- ▶ 空間不均一性を、雲が育った
環境場に特徴づけて表現。
 - β を可変にする全く新しいスキーム
→ 雲の“個性”が表現可能になる。

A-Train

MIROC

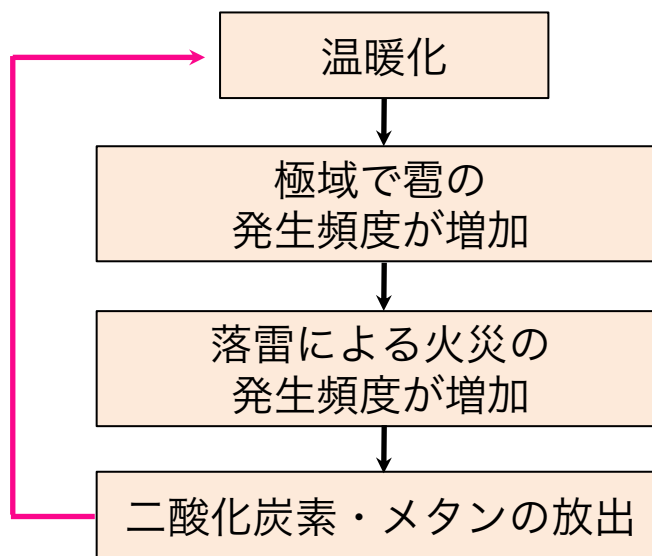
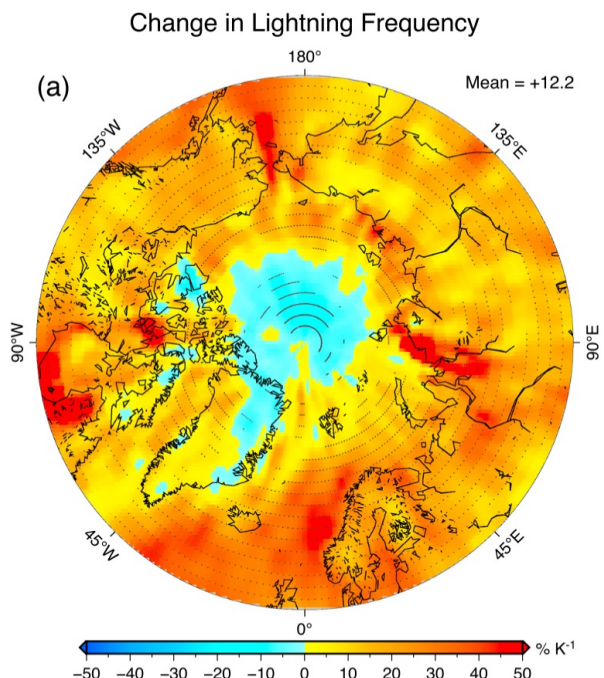


$\text{frain} = q_r / (q_c + q_r) [\%]$
(雲全体に占める雨の割合)

5-1. 研究成果：成果の概要（2）

▶ 電予報型のスキームを用いた気候実験

→ 温暖化によって極域の降電頻度は増加する



温暖化に伴い北極域で起こりうるフィードバック

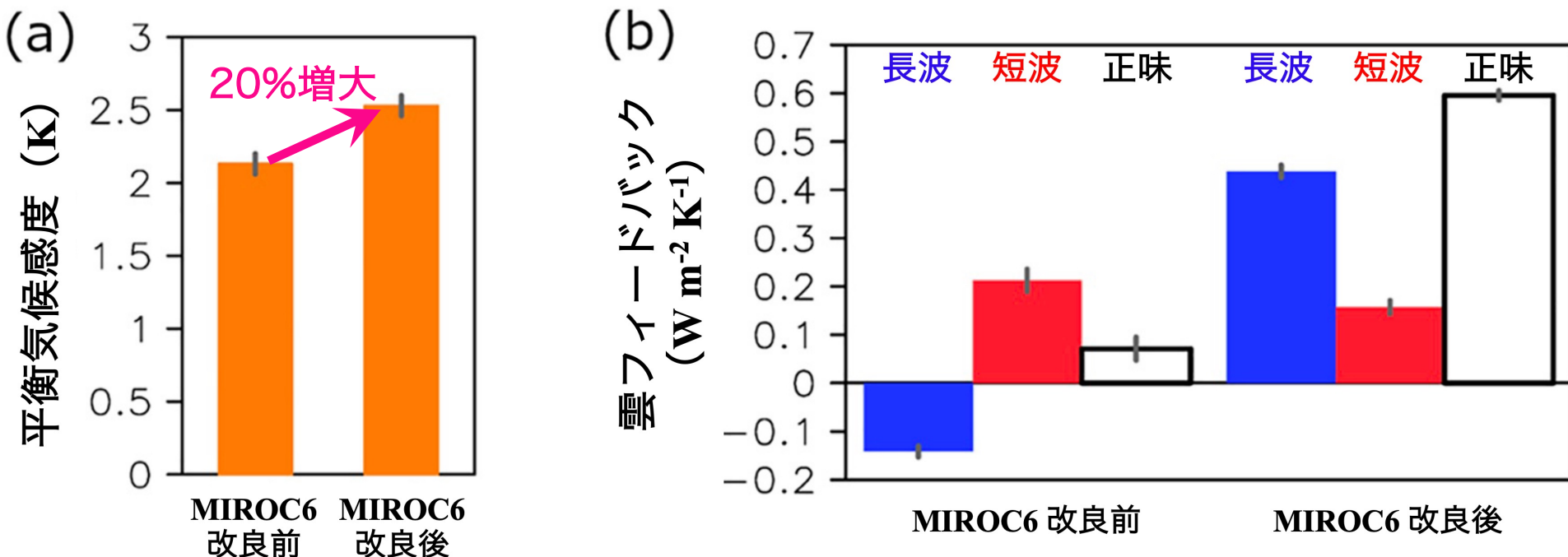
▶ 固体降水は、融解して減少するだけではない.

– 極域で雷が増加すると...

- ・ 雷の発生も増加する可能性が高い.
- ・ 落雷によって火災が発生すると、凍土からメタンが放出.

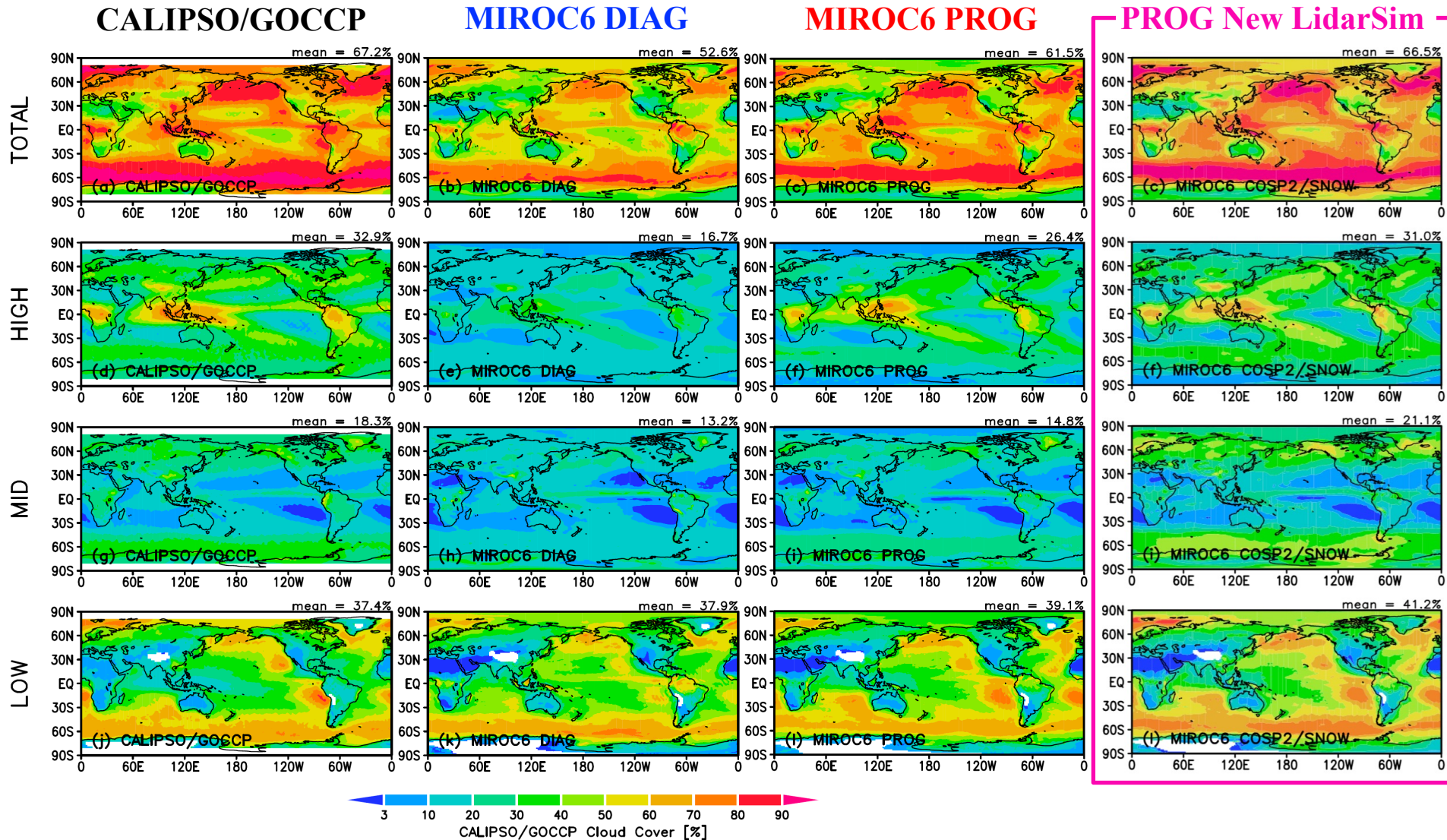
5-1. 研究成果：成果の概要（3）

▶ 平衡気候感度・雲フィードバックを定量的に評価



- ▶ 雲量の精度向上によって、温暖化しやすいモデルに。
 - 従来型モデルは雲量が過小だったことで、将来の雲量変化・雲の高度変化も過小に評価していた。
 - 改良型では、より上層雲の温室効果がはたらき、気候感度上昇。

5-1. 研究成果：成果の概要（4）



► モデルの評価手法をアップデートしたことで、より現実の雲（衛星観測）との比較が厳密になった。結果として、全雲量・高度毎雲量の誤差5%以内の目標を達成。

5-2. 研究成果：環境政策等への貢献

▶ 雲量の精度向上が持つ意味は？

- 現在気候の条件下で雲量が5～10%以上誤差を抱えている場合, そうしたモデルがシミュレートする将来気候・過去気候は果たして信用できるか.
- 温暖化時の雲量変化や高度分布の変化, その結果として生じる放射収支の変化などの適切な予測に極めて重要. → 気候感度とリンク
- 現時点では（おそらく）どの国のモデルも真似ができない性能.

▶ 降水頻度・強度の系統誤差の改善が持つ意味は？

- 降水の頻度・強度に問題を抱えたままのモデルを使った場合, そうしたモデルがシミュレートする将来の集中豪雨の頻度予測や降水分布変化の予測は果たして信用できるか.
 - 新モデルによって, 降水特性の高精度化が保証されれば,
 - ・ 将来の水リスクの評価
 - ・ 土地利用計画や, 自然災害リスクの評価にも成果が活用されることが期待される.
 - イベントアトリビューション研究*の高精度化にも直接的に貢献.
- *集中豪雨や熱波等のイベントに対し, 人間寄与がどの程度含まれるかを定量化する研究手法

5-2. 研究成果：環境政策等への貢献

▶ 短期的・中長期的な成果の波及は？

<短期的なインパクト>

- 構築したモデルを用いた海洋結合実験.
 - ・ 長期気候への影響の評価に利用.
 - ・ 将来の極端現象の予測に活用.
- 従来型モデルと異なる知見が得られる可能性が高い.
- 国際的なモデル間相互比較プロジェクト（AeroCom）に迅速に成果発信したことで、モデルの雲・降水過程に起因する不確実性低減に成果の波及.

<中・長期的なインパクト>

- MIROC 7 への搭載が決定しており、CMIP7や次期IPCC AR7に向けて、日本発の最先端の研究成果として貢献する（しなければならない）.
- 科学的信頼性の高い気候変動予測・環境変動予測に活用されるほか、モデルの不確実性を適切に理解した上での環境政策への貢献に寄与.

5-3. 研究成果：研究目標の達成状況

▶ 研究目標のほぼ全てを達成. 一部は目標を大きく上回る成果に.

テーマ	設定目標（計画書から引用）	判断した根拠・関連成果・成果の波及	達成率
全体目標	地球温暖化予測を実施する上で重要な雲・降水のサブグリッドスケールのモデリング手法を、大規模計算にも適用可能な <u>低い計算コスト</u> で実装し、 <u>高精度の環境変動予測・気候変動予測</u> に資する.	- 計算コストは10%程度の増加で実装可能. 大規模計算にも適用可能な低い計算コストで実装. - 全雲量・高度毎雲量の誤差5%以内を達成. 50を超えるCMIP6モデルの中でも世界最高クラス. - 計4編の査読論文（主著3編・共著1編）が出版. - 研究計画が完全には完了しない内容が一部あった.	95%
サブテーマ1	サブグリッドスケールの降水の変動を陽に考慮したパラメタリゼーションの開発	- 雲・降水の水平不均一性を考慮したスキームを実装. - エアロゾルに対する雲の応答の水平不均一性を考慮した新しい降水生成スキームを開発. 全球モデルに適用. エアロゾル有効放射強制力を評価.	100%
	時間ステップに依存しない降水の落下スキームの導入	- 時間implicitな降水落下スキームをSCMに実装. - 全球モデル適用時に数値不安定が局所的に発生. 時間implicitスキームを用いた長期計算は未実施. - 雹・あられを予報する, 世界最高水準の精緻度を持つモデリング手法を開発. 温暖化実験等も実施. 研究開始当初の目標を大きく上回る成果.	85%
	開発した新しい雲・降水パラメタリゼーションを用いた気候予測精度の評価	- 開発した新しい降水スキームを用いて多数実験. - エアロゾル有効放射強制力や気候感度などを定量化. - 衛星シミュレータを用いて観測と整合的な比較も実施. - 雲量や降水頻度・強度の系統誤差を大幅に解消. - 衛星シミュレータ本体の改良も実施（共同研究）. - 3件の国際共同研究に発展. データ提供も多数.	100%

6. 研究成果の発表状況

▶ 査読付き論文（計4編；うち主著3編・共著1編）

- *GRL* (IF: 4.72) および *ACP* (IF: 6.13) など, 大気分野におけるトップクラスのジャーナルに成果発表.
- 主著1編は, 分野の最新研究や課題点を指摘したレビュー（招待あり）.
- **リバイズ中の論文が1件** (Imura and Michibata, *JAMES*, IF: 6.66) .

▶ その他誌上発表（計2編）

- 受賞成果の解説. MIROCモデルの技術書（Description）.

▶ 口頭発表（計10件；うち主著6件, 共著4件）

- 主著6件のうち, **2件は国際学会での招待講演**.
- 本課題の成果を, 国際的なモデル開発の潮流に位置付けて発信できた.

▶ 国民との科学・技術対話の実施（計1件）

- 岡山芳泉高校での特別授業. 2021年11月19日実施. 聴講者45名.
- 最新の地球温暖化に関する科学的知見を高校生に発信.

▶ 本研究に関連する受賞（計1件）

- 令和3年度岡山大学理学部長賞（研究室所属学生の表彰）.