









#### 統合的気候モデル高度化研究プログラム 成果報告会 2019/03/15

# 領域テーマA「全球規模の 気候変動予測と基盤的モデル開発」



渡部雅浩(東大大気海洋研、テーマ代表)





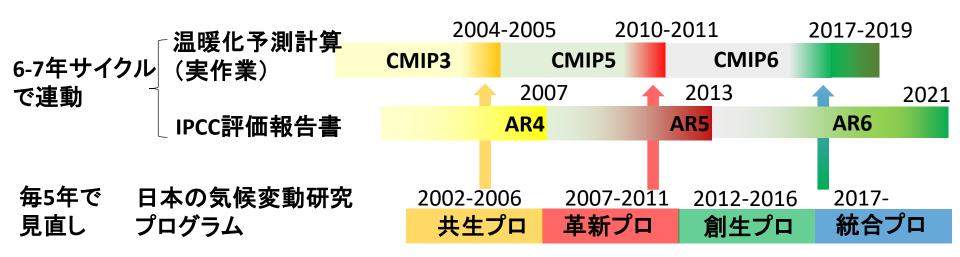






# 実施概要と達成目標

□ これまでのプログラムで開発されてきた気候モデル(MIROC6、NICAM)を用いてCMIP6へ参加し、国際コミュニティにおける気候変動研究をリードすることで、IPCC AR6へ貢献する













# 実施概要と達成目標

- □ これまでのプログラムで開発されてきた気候モデル(MIROC6、NICAM)を用いてCMIP6へ参加し、国際コミュニティにおける気候変動研究をリードすることで、IPCC AR6へ貢献する
- □ 国内の気候変動対策に資するために、気候モデルのプロセスを高度化・高解像度化し、近未来予測などを含むシームレスな予測基盤モデルの開発を実施する。上記モデルを用いて気候感度の不確実性の制約や近未来気候変動予測の精度向上を目指す
- □ 過去の気候変化の要因究明や、直近の異常気象に対する 温暖化の寄与推定などの基盤的気候変動研究を発展させ、 「社会に開かれた温暖化サイエンス」を推進することで、起こ りつつある気候変化に対して国民の求める情報を提供する



# 実施体制

主管機関: 東大大気海洋研究所(AORI) −マA: 全球規模の気候変動予測と基盤的モデル開発 代表: 渡部雅浩(東大AORI) 領域課題 (i): 地球環境変動予測の向上に資する気候モデル高度化 (代表: 建部洋晶) (a) 近未来気候変動予測とCMIP6実験の推進 代表: 建部洋晶 (JAMSTEC) (b) 物理プロセスの高度化による気候モデル開発 代表: 鈴木健太郎(東大AORI) (c) 陸面モデルの高度化 代表: 芳村圭(東大生産研) 領域課題 (ii): 気候変動予測の不確実性低減と科学的知見の深化 (代表: 小倉知夫) (a) 気候感度に関する不確実性の理解と低減 代表: 小倉知夫(国立環境研究所) (b) 過去の気候変動・異常気象の要因分析と将来予測 代表: 今田由紀子(気象研究所)

(c) 全球非静力学モデルによる雲・降水・循環過程の理解

代表:野田暁(JAMSTEC)



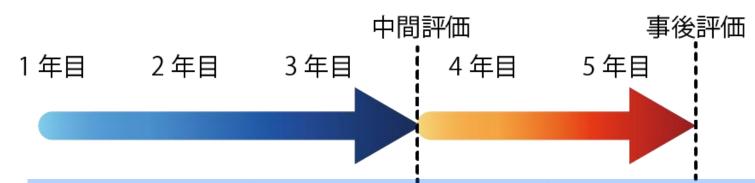








# 達成目標(3年目と5年目)



- CMIP6実験の実施
- 近未来気候予測pilot研究
- ・大気物理プロセス高度化
- D&A、EA発展形の検討と実施
- ・1.5℃/2℃温暖化の評価
- 気候感度推定値の信頼性評価
- 全球雲解像実験の実施

- CMIP6データの解析
- 高解像度シームレス予測のテスト
- 高度化気候モデルの開発と活用
- D&A、EA発展形の解析と情報発信
- ・影響評価分野とのテーマ間連携
- プロセスレベルの気候感度制約
- 最新衛星データによる高度な検証

モデル開発、システム開発、実験実施を重視 ⇒ 課題(i)

科学的知見の創出を重視

**⇒ 課題(ii)** 











# 創生プロでの主要成果 (2012-2016)

- 論文 203篇
- 学会発表 406回
- プレスリリース 8件
- 受賞 11名(のべ)
- メディア取材・出演、一般講演等

nature climate change

PUBLISHED ONLINE: 31 AU

nature geoscience

**DECADAL CLIMATE PREDICTION** 

An Update from the Trenches

BY GERALD A. MEEHL, LISA GODDARD, GEORGE BOER, ROBERT BURGMAN, GRANT BRANSTATOR, Christophe Cassou, Susanna Corti, Gokhan Danabasoglu, Francisco Doblas-Reyes, Ed Hawkins, ALICIA KARSPECK, MASAHIDE KIMOTO, ARUN KUMAR, DANIELA MATEI, JULIETTE MIGNOT, RYM MSADEK,

PUBLISHED ONLINE: 25 APRIL 2016 | DOI: 10.1038/NCLIMATE2996

climate change

Pacific trade winds accelerated by aerosol forcing over the past two decades

Contribution of natural decadal vari Clouds, circulation and climate se global warming acceleration and his Sandrine Bonyl\*, Bjorn Stevens2, Dargan M. W. Frierson3, Christian Ja Chiharu Takahashi and Masahiro Watanabe\*

Robert Pincus<sup>6,7</sup>, Theodore G. Shepherd<sup>8</sup>, Steven C. Sherwood<sup>9</sup>, A. Pier Siebesma<sup>10</sup>, Adam H. Sobel<sup>11</sup>,

termination of El Niño in 2014

Yukiko Imada<sup>1</sup>, Hiroaki Tatebe<sup>2</sup>, Masahiro Watanabe<sup>3</sup>, Masayoshi Ishii<sup>1</sup> & Masahide Kimoto<sup>3</sup>

**OPEN** South Pacific influence on the

Masahiro Watanabe<sup>1\*</sup>, Hideo Shiogama<sup>2</sup>, Hiroaki Tatebe<sup>3</sup>, Michiya Hay Masahiro Watanabe<sup>12</sup> and Mark J. Webb<sup>13</sup> and Masahide Kimoto<sup>1</sup>

# SCIENTIFIC REPORTS

OPEN Predicting future uncertainty constraints on global warming projections

H. Shiogama<sup>1</sup>, D. Stone<sup>2</sup>, S. Emori<sup>1</sup>, K. Takahashi<sup>3</sup>, S. Mori<sup>4</sup>, A. Maeda<sup>5</sup>, Y. Ishizaki<sup>1</sup>

#### COMMENTARY

Realizing the impacts of a 1.5 °C warmer world

ARTICLE

Received 17 Oct 2014 | Accepted 6 Mar 2015 | Published 21 Apr 2015

Skilful multi-year predictions of tro climate variability

Yoshimitsu Chikamoto<sup>1</sup>, Axel Timmermann<sup>1,2</sup>, Jing-Jia Luo<sup>3</sup>, Takashi Mocl Masahiro Watanabe<sup>5</sup>, Masayoshi Ishii<sup>6</sup>, Shang-Ping Xie<sup>7</sup> & Fei-Fei Jin<sup>8</sup>

#### RT AND SCIENCE OF ATE MODEL TUNING

THORSTEN MAURITSEN, ANDREW GETTELMAN, JEAN-CHRISTOPHE GOLAZ, QINGYUN DUAN, DORIS FOLINI, DUOYING JI, DANIEL KLOCKE, YUN QIAN, NE RIO, LORENZO TOMASSINI, MASAHIRO WATANABE, AND DANIEL WILLIAMSON

geoscience

PUBLISHED ONLINE: XX MONTH XXXX | DOI: 10.1038/NGE0227

Robust Arctic sea-ice influence on the frequent **Eurasian cold winters in the past decades** 

Masato Mori<sup>1</sup>\*, Masahiro Watanabe<sup>1</sup>, Hideo Shiogama<sup>2</sup>, Jun Inoue<sup>3</sup> and Masahide Kimoto<sup>1</sup>

Daniel Mitchell, Rachel James, Piers M. Forster, Richard A. Betts, Hideo Shiogama and Myles Allen













#### 統合的気候モデル高度化研究プログラム

Integrated Research Program for Advancing Climate Models (TOUGOU)

日本気象学会2018

# 統合プロでの主要成果 (2017-2018)

- □ 論文 127篇
- □ 学会発表 246回
- ロ プレスリリース 7件
- ロ 受賞 9名(のべ)
- ロメディア取材・出演、一般講演等 54回

nature climate change

ARTICLES

SCIENTIFIC **REPORTS** 

Low clouds link equilibrium climate sens hydrological sensitivity

Masahiro Watanabe 21\*, Youichi Kamae 22,3, Hideo Shiogama 4, Anthony M. De

Kentaroh Suzuki<sup>1</sup>

OPEN Impact of deep ocean mixing on the climatic mean state in the Southern Ocean

Hiroaki Tatebe 1, Yuki Tanaka, Yoshiki Komuro 1, & Hiroyasu Hasumi

nature

climate change

https://doi.org/10.1038/s41558-017-0033-5

nature

ARTICLE

Hirofumi Tomita<sup>2</sup> & Teruyuki Nakajima 6

Aerosol effects on cloud water amou successfully simulated by a global clo resolving model

Inverse relationship bety precipitation and its sen warming

A reconciled estimate of the influence of Arctic sea-ice loss on recent Eurasian cooling

Yousuke Sato 12, Daisuke Goto 3, Takuro Michibata 4, Kentaroh Suzuki 5, Yoo-Geun Ham 1, Jong-Seong Kug 2\*, Jun-You

Masato Mori 101x, Yu Kosaka 101, Masahiro Watanabe 102, Hisashi Nakamura and Masahide Kimoto 12









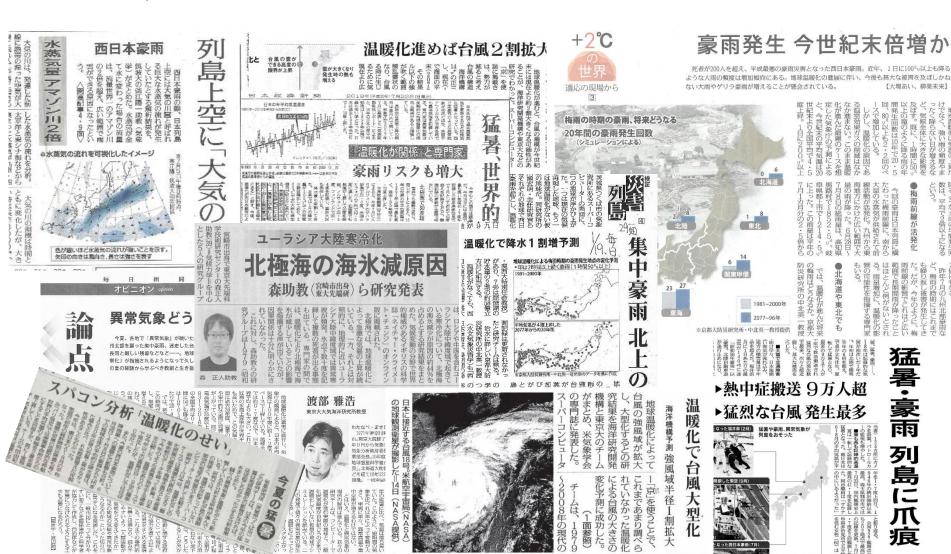




#### 統合的気候モデル高度化研究プログラム

Integrated Research Program for Advancing Climate Models (TOUGOU)

# 統合プロでの主要成果 (2017-2018)















#### 統合的気候モデル高度化研究プログラム

Integrated Research Program for Advancing Climate Models (TOUGOU)

# メディア・一般への情報発信

温暖化メディアフォーラム第9回 2018年10月23日

於 JAMSTEC東京事務所

- 参加者79名、盛況•好評
- 波及効果あり





猛暑、世界的

18/ 日本経濟新聞

2018年の猛暑、やっぱり温暖化のせい? (天気のなぞ)

編集委員・気象予報士 安藤淳 2018/11/6 6:30 日本経済新聞 電子版











# 国際ワークショップ

#### 2017

・雲・降水・循環・気候感度に関する国際会議 (CFMIP)主催(9/25-28,東京)

#### 2018

- CMIP2018共催(10/16-19, Boulder)
- Int'l EarthCARE Science WS共催(6/11-15, Bonn)
- Int'l Conference on S2D共催(9/17-21, Boulder)
- ECCWO-4 workshop共催(6/2, Washington D.C.)
- AGUセッション共催(12/10, Washington D.C.)
- その他、国内学会の分科会・セッション主催多数

#### 2019

- 統合P国際WS (3/5-6, Honolulu)
- CMIP6 analysis WS (3/25-28, Barcelona)
- 気象学会春季大会分科会主催(5/15-18, 東京)



CFMIP@Tokyo



al community has achieved significant developments with respect to climate change measures. The Paris Agreement in 2015 a

統合国際WSウェブサイト











# 統合P内テーマ間連携

- □ 地球システム同化・予測(テーマB)
- □ 全球・領域イベントアトリビューション(テーマC)
- □ 影響評価に向けたCMIP6実験の先行利用(テーマD)













統合的気候モデル高度化研究プログラム
Integrated Research Program for Advancing Climate Models (TOUGOU)

# ar6 WGI Outline

Summary for Policy Makers Technical Summary Large-scale climate change
Climate processes

**Regional climate information** 

Chapter 1: Framing, context, methods

Chapter 2: Changing state of the climate system

Chapter 3: Human influence on the climate system

Chapter 4: Future global climate: scenario-based projections and near-term information

Chapter 5: Global carbon and other biogeochemical cycles and feedbacks

Chapter 6: Short-lived climate forcers

Chapter 7: The Earth's energy budget, climate feedbacks, and climate sensitivity

Chapter 8: Water cycle changes

Chapter 9: Ocean, cryosphere, and sea level change

Chapter 10: Linking global to regional climate change

Chapter 11: Weather and climate extreme events in a changing clin

Chapter 12: Climate change information for regional impact and fo

Regional Atlas

Annexes Glossary Index















ゼロ次ドラフト

#### 統合的気候モデル高度化研究プログラム

Integrated Research Program for Advancing Climate Models (TOUGOU)

# IPCC AR6



2018

UNE 25 June-1 September

First Lead Author Meeting (LAM1)

OCT 14 October

Submission of the Internal Draft to the TSU

15-28 October

TSII compile Internal Draft

29 October - 25 November

Internal Review of the Internal Draft

DEC 3 December

TSU sends compiled Review Comments to CLAs

JAN 7-12 January

Second Lead Author Meeting (LAM2)

APRIL 7 April

Submission of the First Order Draft (FOD) to TSU

1次ドラフト

8-21 April T<u>SU co</u>mpiles FOD

29 April - 23 June

Expert Review of FOD









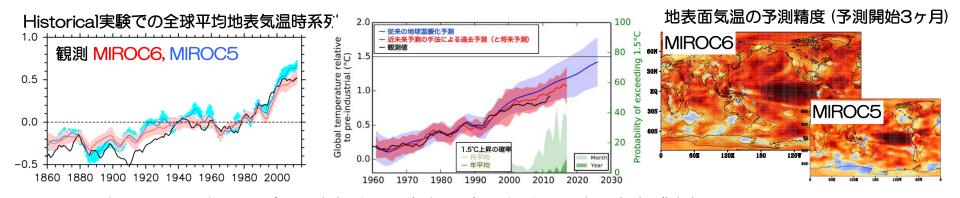




# サブ課題ごとの成果

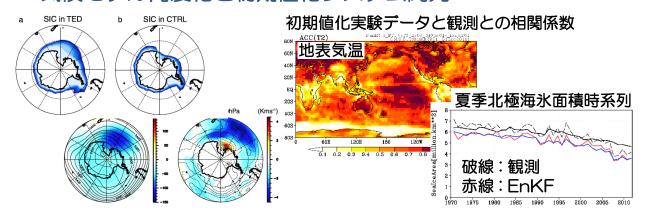
#### (i)-a 近未来予測とCMIP6実験推進 H30成果

■ CMIP6対応:中核実験、季節から数年先までの予測実験、その他サテライト実験群を実施



- ・ CMIP6/ESGFへいち早くデータを提出し、気候研究における日本の存在感を提示
- ・ 準現業十年規模予測へ継続参加:「1.5℃を超える気温上昇を我々はいつ頃から経験?」などへの答え
- ・最新予測システムによる季節から数年先までの気候予測精度は従来モデルを上回る
- ・大規模アンサンブル手法により、異常気象発生頻度の変化評価や予測も今後は視野に

#### ■ 気候モデル高度化と初期値化システム開発



- ・ 海洋微細乱流が全球子午面循環を介して南極気候形成に寄与
- ・ 気温、降水、海氷などで従来よりも高い気候再現性
- ・ 「炭素予測」へ向け、地球システムモデルへも適用

どの海域, どのプロセスが 気候予測の誤差と不確実性に つながるのか?

- ロ モデル高度化/高分解能化
- ロ 初期値化システム活用
- ロ 海洋生化学要素の考慮

# **CMIP6** status: data availability

- 1/11時点(AR6 LAM2)、7機関(9モデル)が20程度の実験データを ESGFにアップロード済み
- 2019年後半までにはScenarioMIPデータも必要

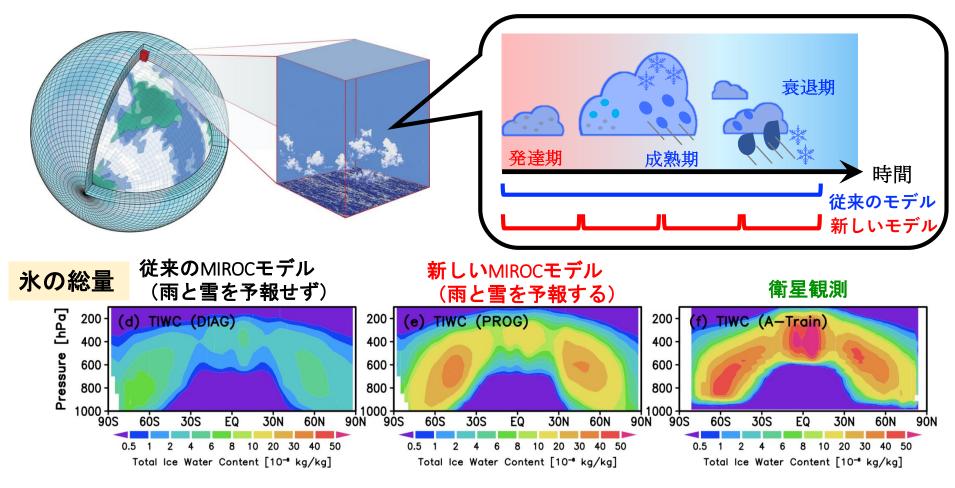
#### **Currently Available Output**

Model	control	AMIP	1% CO2	4xCO2	historical	other
BCC-CSM2-MR						
CNRM-CSM6-1						
CNRM-ESM2-1						2
EC-Earth3-LR						
FGOALS-f3-L						
GFDL-CM4/AM4						
GISS-E2-1-G						7
IPSL-CM6A-LR						6
MIROC6						

## (i)-b 物理プロセスの高度化による気候モデル開発

#### 気候モデルの雲降水の表現を高度化する

H29-30の成果



Michibata, Suzuki et al. (2019, in press)

#### (i)-c 陸面・河川モデル高度化 H29-30成果

- 次世代統合陸域モデルILSの開発

  ✓ 各河川の流域形状に対応した独自の新格子系

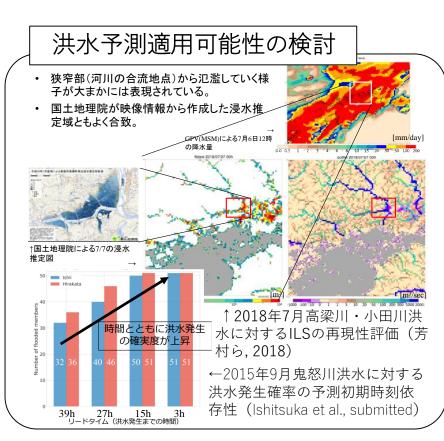
  ✓ モデル間結合のためのマッピングテーブル整備

  ✓ 陸面オフラインでの過去再現実験および大気一陸面結合実験(LS3MIP)を運営・実施
- IPCC AR6及びSRs (1.5C・OCC・CCL) にLAとして貢献

#### 日本域洪水予測への適用

ダム操作の実装等ILSを高度化し、2018年7月豪雨で生じた洪水を例に予測研究への適用を検討

### ILSと大気モデルとの結合・長期実験 precipitation [mm/mon] 開発されたILSとMIROC-**MIROC** AGCMの結合実験における 降水量(陸域緯度平均) (Nitta et al, in prep) 1980-2010 (TWS) -2.0 -1.5 -1.0 -0.5 0.0 d5 1.0 1.5 2.0 LS3MIP長期オフライン実験によるここ30年間の陸域貯水量 の変化。GRACE等による観測結果とも一致(大沼ら, 2018)





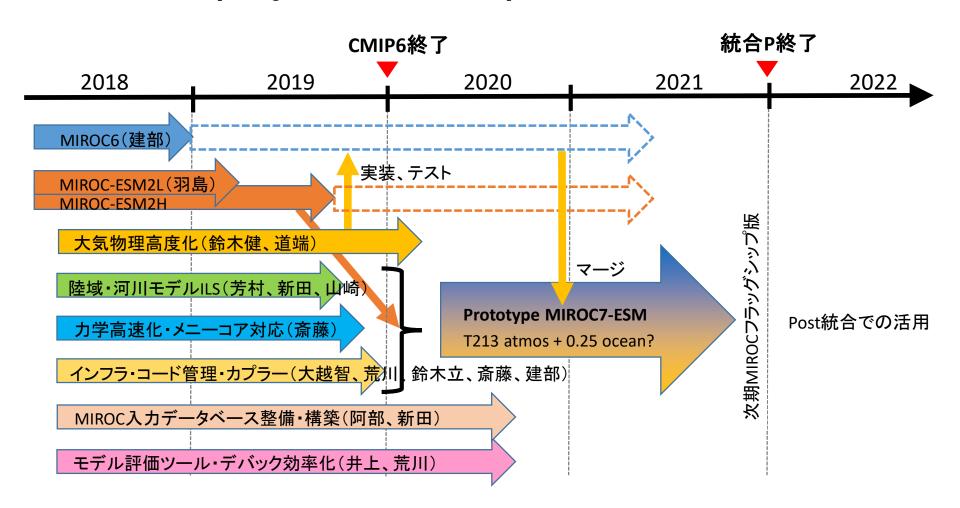








# MIROC (beyond CMIP6)開発タイムライン



CGCM・ESM統合、大気物理高度化、ILS導入、高解像度・高速化(ES4対応)、評価ツール・データ整備など

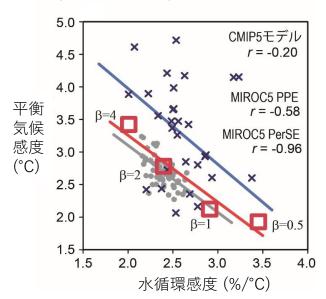
# (ii)-a 気候感度(ECS) H3O成果

#### 気候感度の制御要因について理解を深め、不確実性制約に向けた方策を探る

- (1) 気候感度と水循環感度の関係を調べたところ、両者の間に逆比例の関係を発見した。
- (2) CO2濃度増加に対する雲の速い応答の仕組みを調べたところ、明瞭な季節性を発見した。
- (3) 気候感度と降水が相関する仕組みを調べたところ、両者はともに深い対流によって制御されていることが分かった。

#### (1) 温暖化に伴い降水が増加する 仕組みについて新しい視点を提示

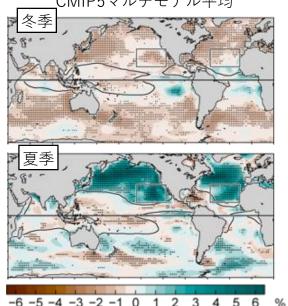
図は気候感度と水循環感度の関係 CMIP5, MIROC5-PPE, MIROC5-PerSE実験



Watanabe et al. (2018)

#### (2) 気候感度を制御する要因 として季節が重要である事を指摘

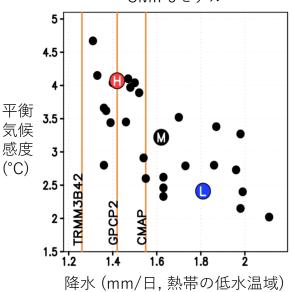
図はCO2濃度4倍増による雲の速い応答 CMIP5マルチモデル平均



#### Kamae et al. (2018)

# (3) 降水の観測データが高い気候 感度を支持する際の論拠を提示

図は気候感度と降水量の関係 CMIP5モデル



Hirota et al. in prep.

## (ii)-b 気候変動・異常気象要因分析

#### ✓ 要因分析研究の新展開

- ① 日本で発生する豪雨のEA
- ② 温室効果ガス以外の要因を探る

#### ✓ 継続的な取り組み

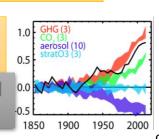
- ③ HAPPI実験と1.5度特別報告書への貢献
- ④ CMIP6実験実施(DAMIP, RFMIP)
- ⑤ 目の前の異常気象に対する要因分析

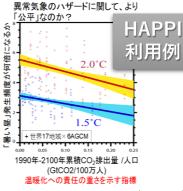
# 1H29年九州北部豪および H30年7月豪雨のEA 1.6 1.4 1.2 1 Non-W 81/10 1 Non-W 81/10 1 Non-W 2018 1

③パリ協定に基づく1.5度実験の 国際プロジェクトHAPPIをリード

④CMIP6実験(DAMIP, RFMIP-ERF)実施

MIROC6 AOGCM によるDAMIP



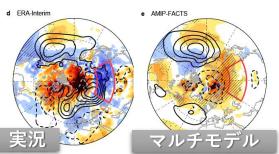


.5℃の世界は、2.0℃の世界よりも

Shiogama et al. (2019)

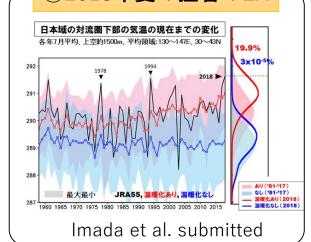
#### ②<u>海氷減少と近年の冬季ユーラシア</u> の寒冷化に関する研究に進展

Mori et al. 2019 Nature Clim. Change



海氷変化に伴う海面気圧と気温のトレンド

#### ⑤2018年夏の猛暑のEA



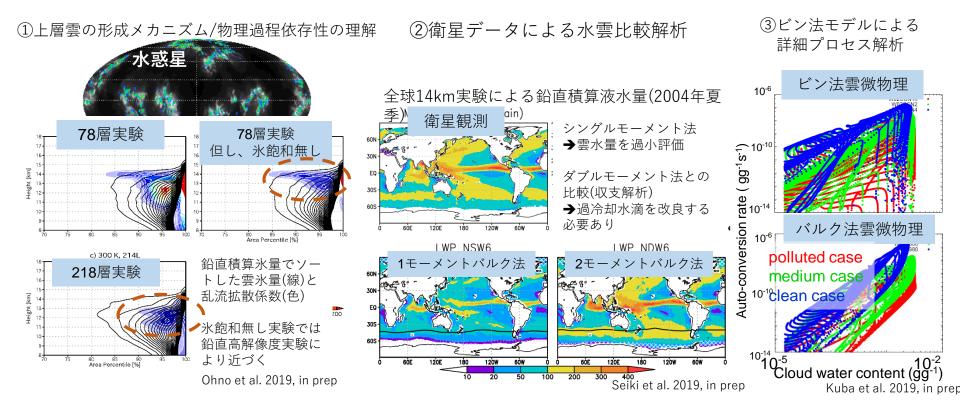
- ⑤BAMS異常気象 レポートへの貢献
- **▶ 2016年のアジア全域の** 熱波頻発
- 2017年夏季の日本の日 照寡少



# (ii)-c 雲・降水・循環過程の理解 H3O成果

#### 全球雲解像モデルNICAMおよびプロセスモデルで雲の振る舞いを理解する

- ✓①鉛直超高解像度実験による上層雲の研究から上層雲の再現向上にはサブグリッドの氷雲モデリングの精緻化が有効(相変化による大気加熱、乱流熱輸送を通じて雲形成に影響)
- ✓②従来GCMが苦手とする過冷却水滴に起因する雲の再現を向上
- **✓**③より精緻な雲微物理モデル(ビン法) 研究により、雲の寿命のエアロゾル数濃度への依存性はより複雑である可能性
- ✓国際貢献(HighresoMIP、RCEMIP)に向けたシミュレーションデータの提供の準備も並行して 実施













# タイムライン













# ES計算資源

## モデルコスト

- MIROC6(T85L81; 150km): 300ノード 時/年
- NICAM (14km): 12000ノード時/年

# 計算リソースとディスク使用量(1年あたり)

- 500~600万ノード時間
  - CMIP6対応実験
  - CMIP以外のメカニズム実験、パラメータ摂動実験、EA実験
- ディスク使用量 600~700TB

## 問題点

- ES上ストレージ不足、ノード数不足、転送速度が足かせ、等々
- ES4に期待!











# 中間評価に向けたまとめ

- □ CMIP6/IPCC AR6への参画を軸に、国際コミュニティにおける気候変動研究への貢献は着実に進んでいる(想定通り)
- □ CMIP6(⇒AR6)は国際的に若干遅れがあるが、国内ではDIASと連携しつつ基本実験のデータは提供を始めた(想定通り)
- □ High-profileな研究成果(Nature系列誌への掲載)も得られている (想定以上)
- □ 地球システム予測(テーマAB連携)は今後に期待(想定外)
- □ 昨年の猛暑・豪雨の経験から、統合テーマ間連携+大きな枠組みでの取り組みが重要であることが明らかになってきた(想定外?)