



[MEXT-Program]
SENTAN

気候変動予測先端研究プログラム

領域課題 1.

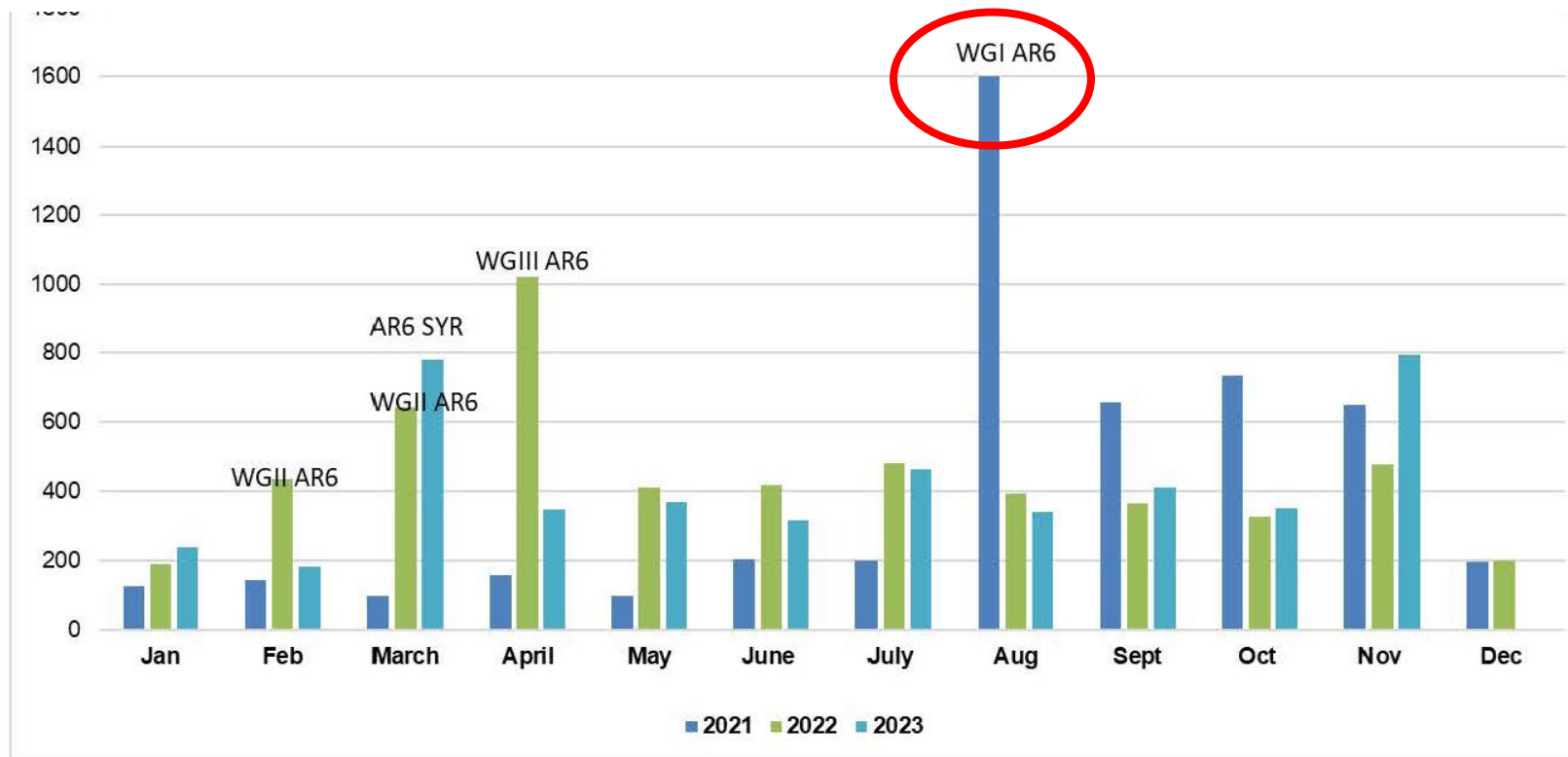
「気候変動予測と気候予測シミュレーション技術の高度化
(全球気候モデル)」

渡部雅浩

東京大学大気海洋研究所

WGI still has the value

メディアにおけるIPCC報告書ヒット数 (Jan 2021 – Nov 2023)



IPCC Progress Report (Jan 2024)

領域課題 1 「気候変動予測と気候予測シミュレーション技術の高度化」

Key Phrase 「エビデンスに基づく地球システム変化の理解と予測」

□ 全球地球システムモデルMIROC7-ESMの開発とCMIP7実験実施

□ 近未来(～2050)までの気候・炭素循環近未来予測

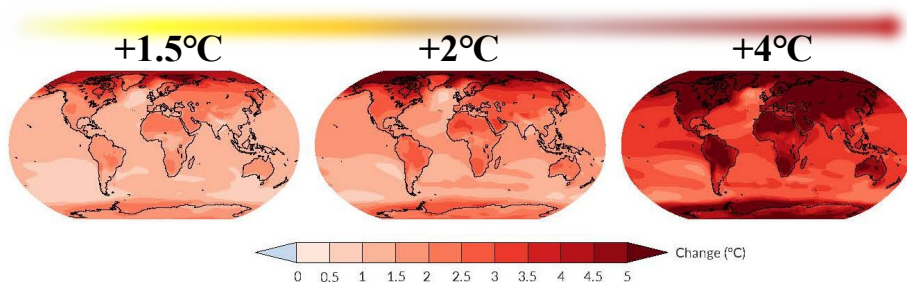
□ モデル・衛星データ融合による気候変化のプロセス理解

□ 陸域環境変化の理解と予測

□ 温暖化レベルの理解と予測不確実性の低減

□ 過去から将来の気候変動のメカニズム理解

□ イベント・アトリビューション研究の深化と発展

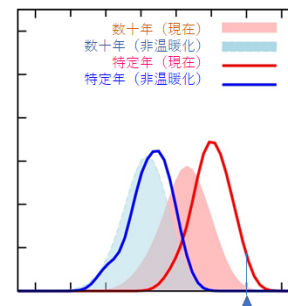
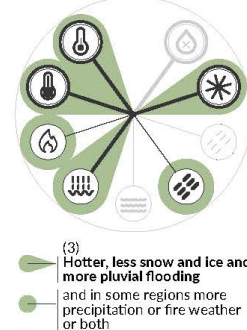


国際コミュニティとの連携を維持強化し、世界気候研究計画(WCRP)のプログラムに主導的に加わることで、**IPCC AR7に貢献**

課題1のターゲット

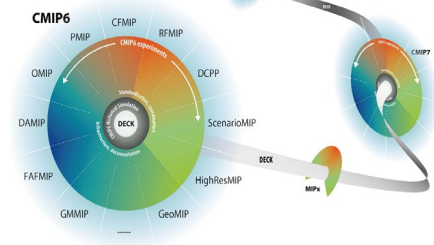


極端気象の変化に対する人間活動の寄与推定

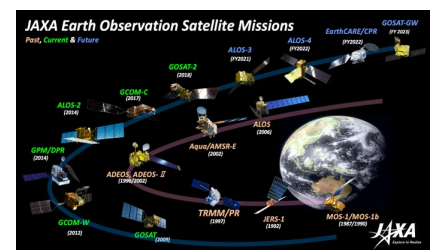


CMIP6
(-2020)

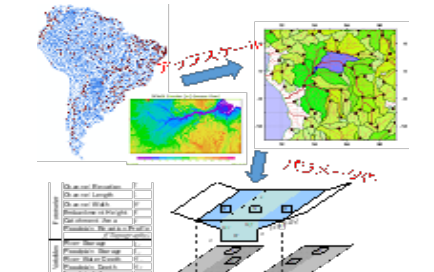
CMIP7
(202X-)



JAXA 地球観測衛星群の活用



統合陸域モデリング



課題構成



サブ課題1 気候シミュレーション技術の高度化研究（代表 建部）



1-1 気候・炭素循環予測技術の高度化と予測情報の創出（**予測班、建部**）



1-2 モデルと衛星データの融合研究による気候変化のプロセス理解（**プロセス班、鈴木**）



1-3 陸域環境変化の理解と予測（**陸域班、芳村**）



サブ課題2 地球システム変動の要因分析と予測（代表 今田）



2-1 温暖化レベルの理解と予測不確実性の低減（**温暖化レベル班、小倉**）



2-2 過去から将来の気候変動のメカニズム理解（**メカニズム班、小坂**）



2-3 イベント・アトリビューション研究の深化と発展（**EA班、今田**）

研究実施体制

東京大学（主管機関）
実施責任者・課題代表：渡部雅浩

海洋研究開発機構（参画機関）
実施責任者・予測班代表：
建部洋晶

- 気候モデル・地球システムモデル統合
- 気候・炭素循環予測
- 海洋高解像度モデル開発
- 近未来気候予測技術高度化
- 地球シミュレータ資源管理

プロセス班代表：鈴木健太郎
陸域班代表：芳村圭
メカニズム班代表：小坂優

- 人工衛星データ活用
- 大気モデルの物理過程（雲・降水・放射）高度化
- 統合陸域モデリング
- 過去から将来の気候変動の要因分析とメカニズム解明

国立環境研究所（参画機関）
実施責任者・温暖化レベル
班代表：小倉知夫

- 気候変動予測の不確実性要因の理解と制約
- CMIP6データの解析とMIROC6による感度実験
- 温暖化レベルで説明できない気候変化の不可逆性特定

気象業務支援センター（参画機関）
実施責任者・EA班代表：
今田由紀子

- 大規模アンサンブルシミュレーション
- イベント・アトリビューション(EA)研究の発展と深化
- グローカルEA研究の応用

その他の協力研究機関：九州大学、JAXA、東京海洋大、筑波大、岡山大、芝浦工大、電中研、お茶大など

第7次評価報告書（AR7）サイクルで作成予定の報告書等のスケジュール

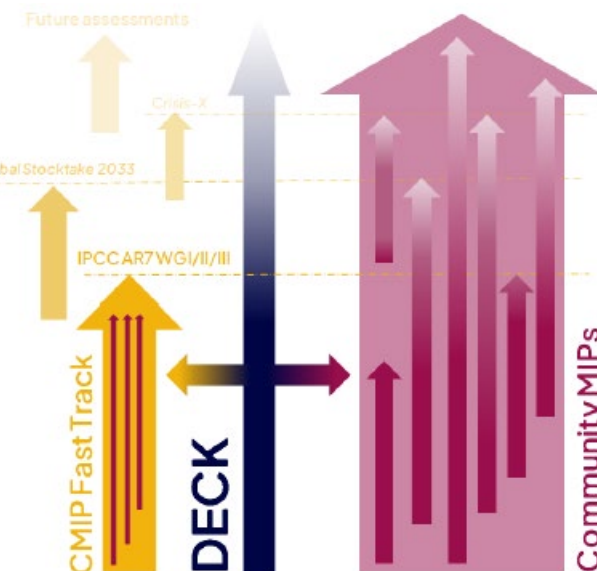
第60回 IPCC総会

2024年1月16日～20日に開催されたIPCC第60回総会において、AR7サイクルで作成する成果物及びスケジュール等が議論され、作業部会報告書を含む成果物の作成が決定された。AR7の統合報告書は2029年に取りまとめられることが想定される。（詳細の報告書作成スケジュールはビューロー及び事務局が作成し次回総会にて決定される見込み。以下は想定スケジュール。）

※次回総会（IPCC-61）は2024年7月下旬～8月上旬頃、トビリシ（ジョージア）もしくはブルガリアにて開催予定

	2024	2025	2026	2027	2028	GST2
IPCC/UNFCCCの動き	⑥0 AR7スケジュール等 SR都市・SLCF章立て承認 ⑥1 SR都市章立て承認(予備) ⑥2	⑥3 WG1・2章立て承認 ⑥4 WG2・3章立て承認 ⑥5 WG・統合報告書章立て承認(予備)	⑥6	⑥8 SLCF承認	⑦1 WG1承認	
作業部会報告書等				⑥9 SR都市承認	⑦2 WG2承認	
CMIP7				⑦0 CDR/CCS/CCUS承認	⑦3 WG3承認	
WG1(自然科学的根拠)	スコーピング	章立承認		(Cut off date:2026後半を想定)		
WG2(影響・適応・脆弱性)	スコーピング	章立承認		(Cut off date:2027前半を想定)	承認・公開	
WG3(緩和)	スコーピング	章立承認		(Cut off date:2027後半を想定)	承認・公開	
統合報告書		スコーピング	章立承認			承認・公開

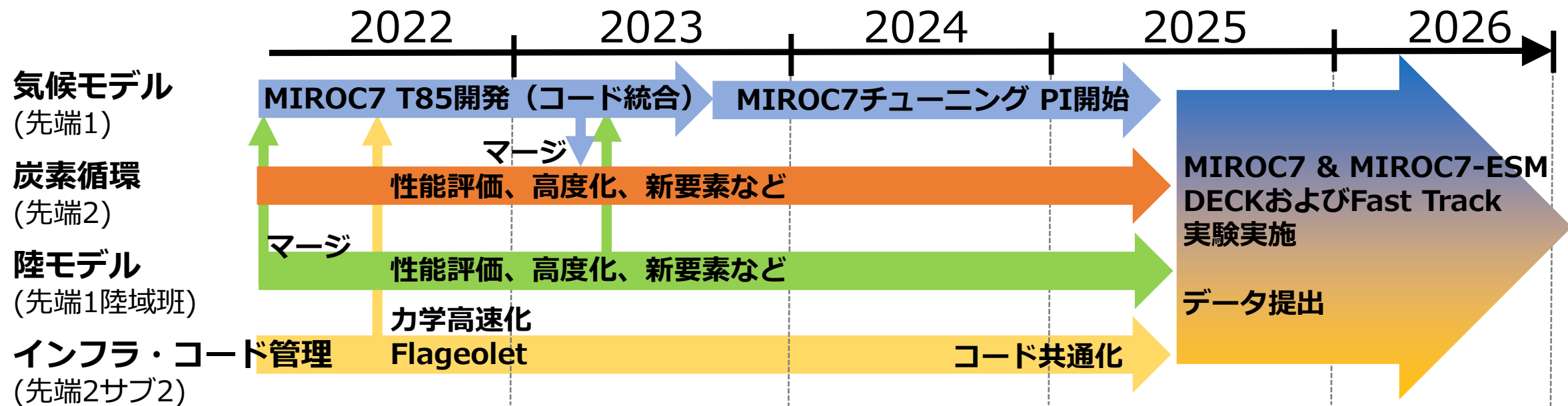
CMIP Fast Track v1



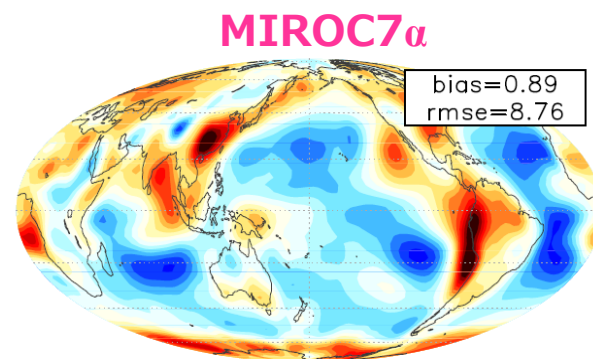
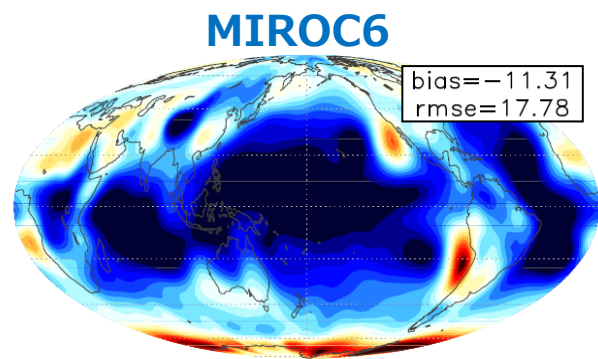
AR6タイムライン前倒しに従い、CMIP7実験も想定より1～2年早く開始（先端プロ内でコアを終了）

課題1全体の取り組み：MIROC7-ESMの開発と評価

開発部隊長： 廣田（NIES）、道端（岡山大）、山上（JAMSTEC）、新田（東大）



SW放射(-OSR)バイアス



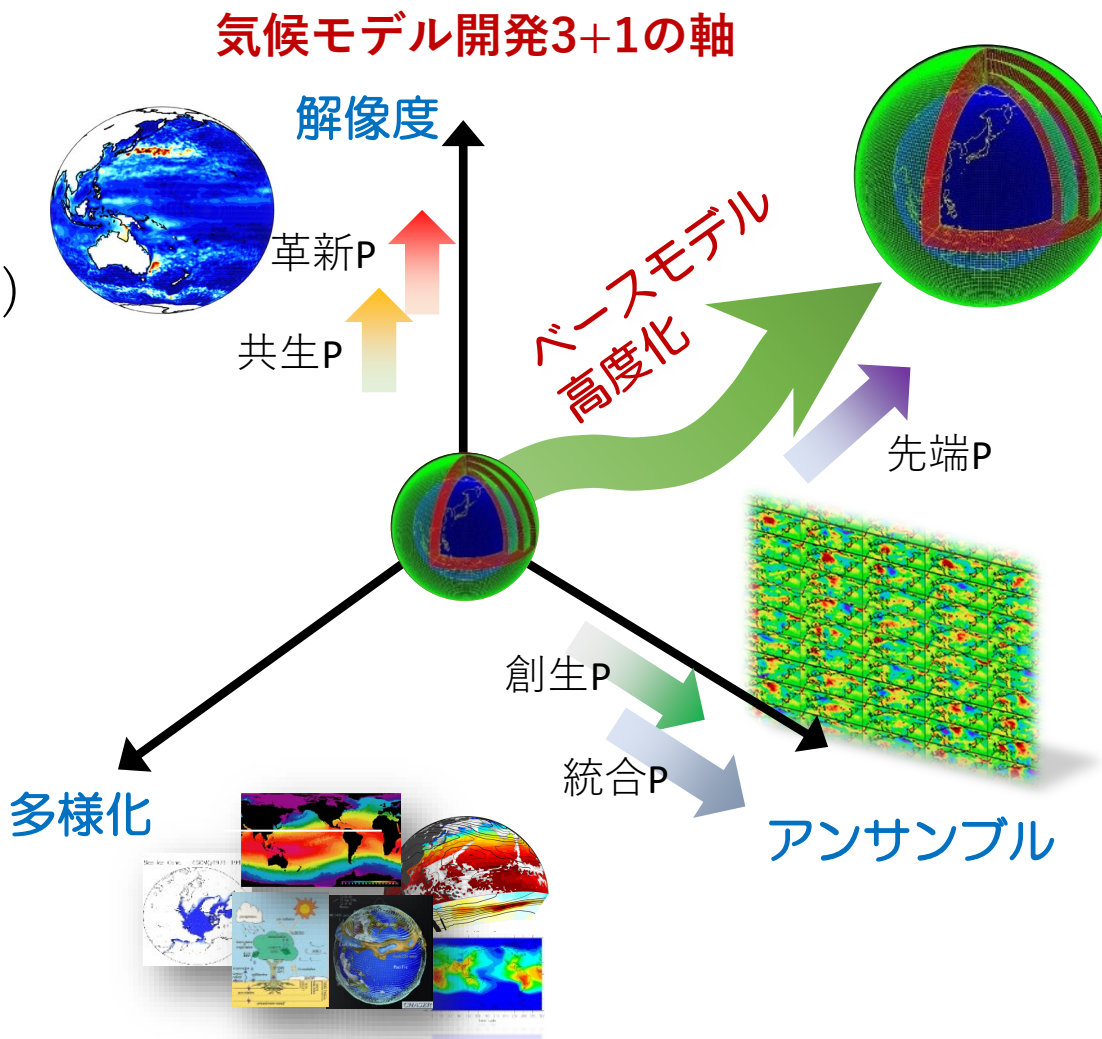
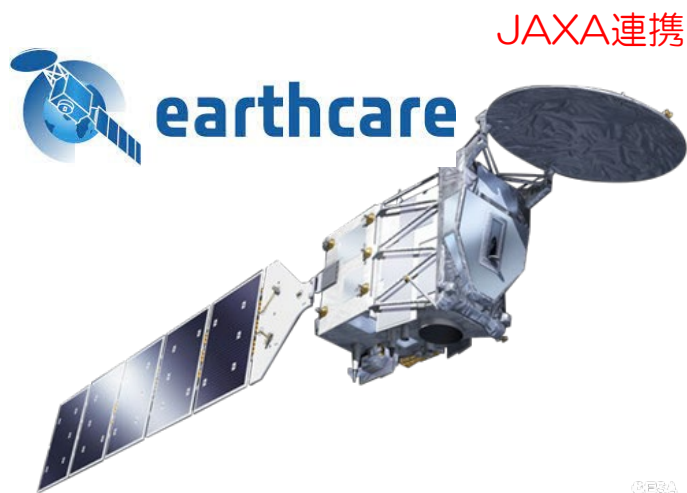
平均場・自然変動表現の再現に優れたMIROC6から**エネルギー収支・雲フィードバックの問題**を改善したMIROC7へ



モデルと衛星データの融合研究による気候変化理解（プロセス班、陸域班）



- 先端各課題機関とJAXAでMOU締結済み
- EarthCARE打ち上げ(2024)決定 ⇒ 国際コミュニティで議論を活発化



ILS の本格実装と応用

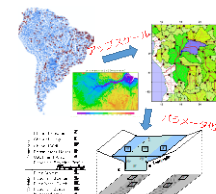
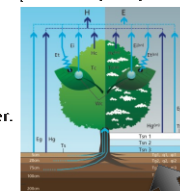
Development of Integrated Land Simulator, ILS (Nitta et al., 2020)

will contribute MIROC7/CMIP7

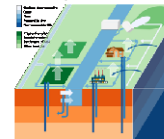
Basic concepts:

- Port the latest stand-alone models with smallest modification of the codes.
- Run the models with their preferred time steps and resolutions, and exchange necessary data with appropriate regridding by the coupler.

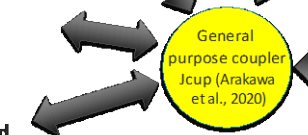
1-D Land Model MATSIRO (Takata et al., 2003; Nitta et al., 2014; 2017)



River Model CaMa-Flood (Yamazaki et al., 2011; 2013)



Human Impact Model H08 (Hanasaki et al., 2008)



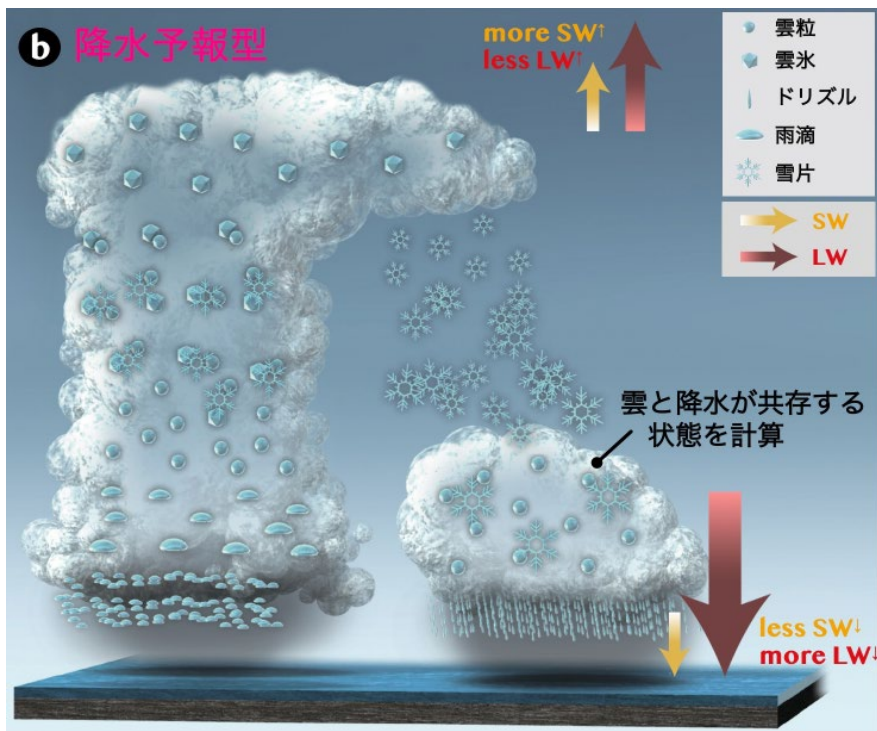
Peripheral / Environment:

- Spatial coordinates are controlled by mapping tables.
- Mapping table generator SPRING (Takeshima et al., in prep)
- Boundary conditions are also generated by using SPRING
- Gitlab version management
- Benchmarking with ilamb (underway)

大気物理プロセス理解とモデル高度化開発（プロセス班）

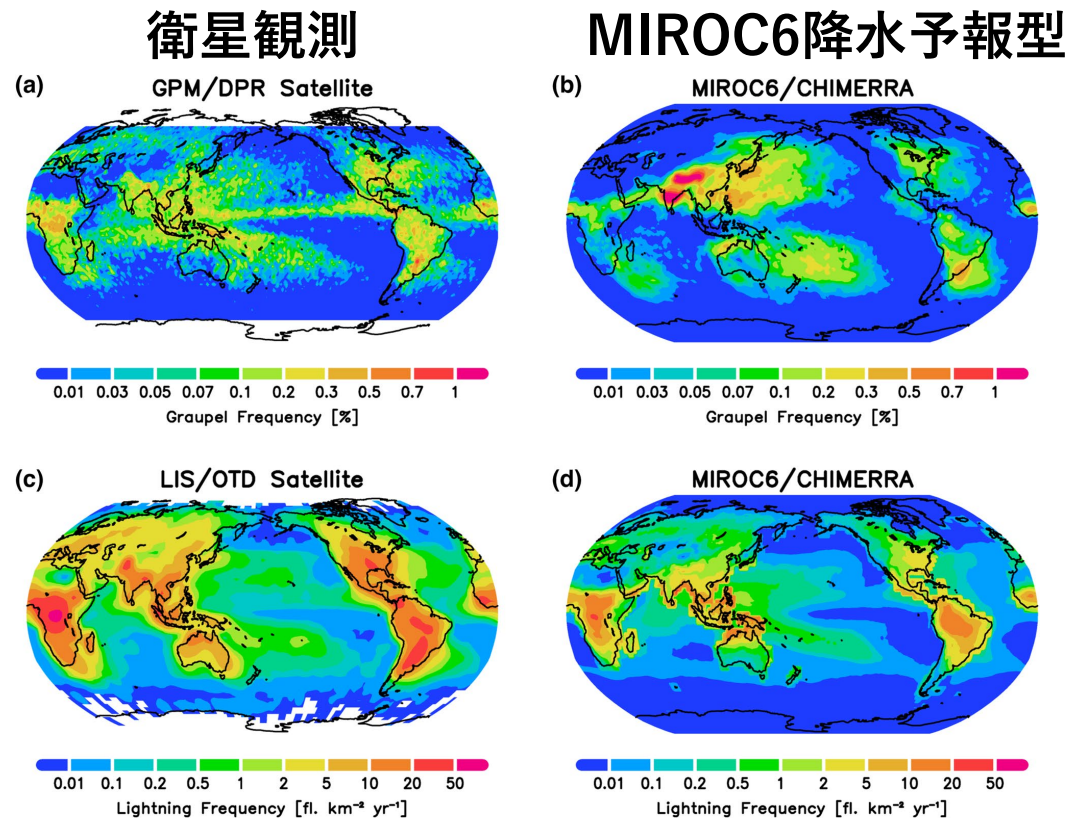
降水予報型MIROCをさらに高度化、衛星観測とモデリングの連携推進

- ☐ 霰(あられ)を新たに導入
- ☐ 対流と微物理の指標である雷を診断



霰の頻度

雷活動



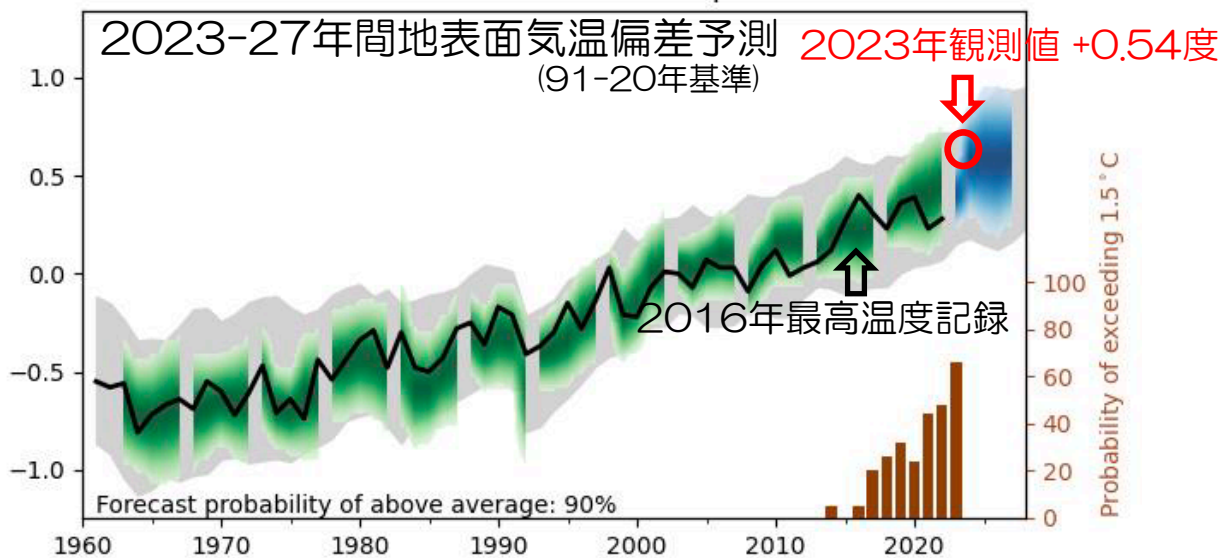
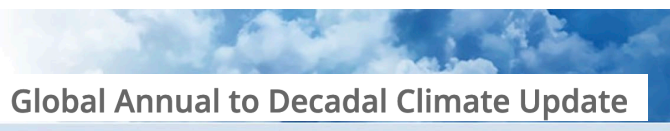


気候・炭素循環予測技術の高度化と予測情報の創出（予測班）

全球気候・炭素循環変動の過去推定および事後予測テスト（潜在的予測可能性探求）

先端課題2連携

世界気象機関準現業気候変動予測へ継続参画



今後5年間で1回でも2016年を越える可能性は98%と予測

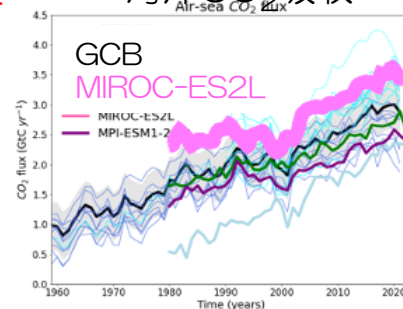
⇒ 2023年時点で現実化

ESMによる炭素循環過去再現データがGCBで初引用

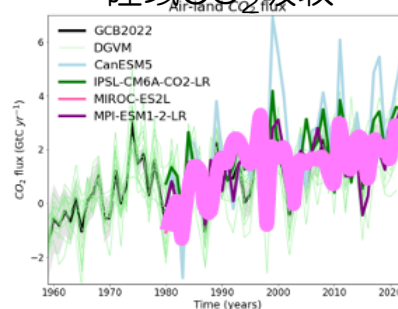
※ Global Carbon Budget：人為起源を含む炭素循環収支の年次報告
(Friedringstein et al. 2023)

過去の炭素循環再現結果

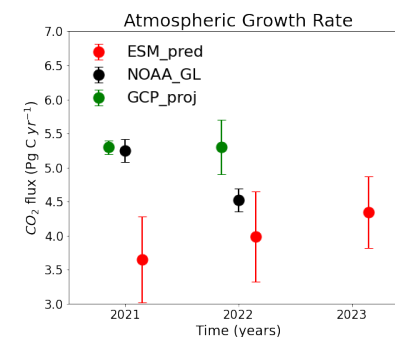
海洋CO₂吸収



陸域CO₂吸収



大気CO₂量増加率の予測



- 4つの参画ESMのうちの一つ、日本の存在感を発揮
- ESMは近い将来の予測情報も提示可
- 物理・生物化学的に整合した時空間データを提供

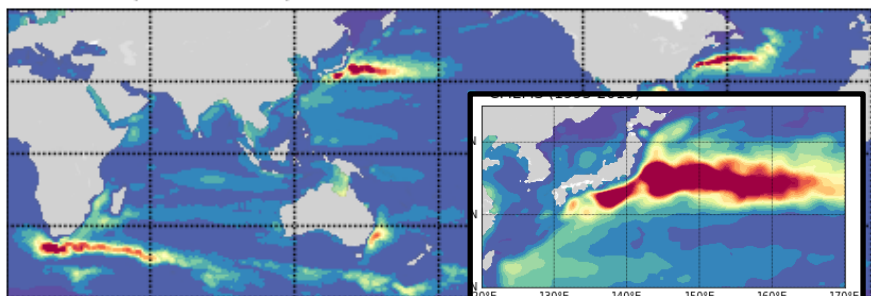
今後：大気CO₂濃度変動の要因分析、メカニズムの提示

AIを併用した海洋極端現象のメカニズム解明とリスク評価（予測班）

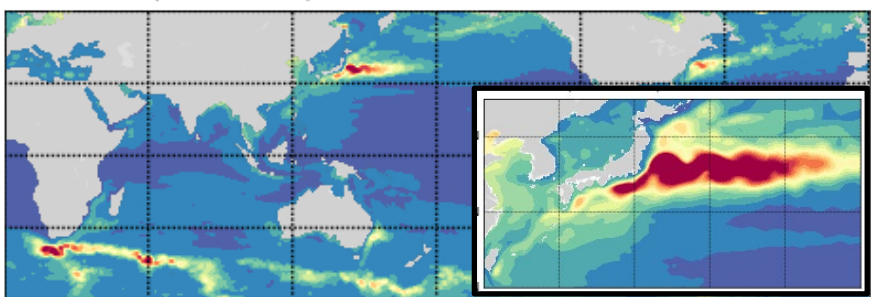
先端課題3・4連携

全球10km海洋モデルによる力学的DS

衛星観測の海洋渦活動度



海洋モデルで再現された渦活動度



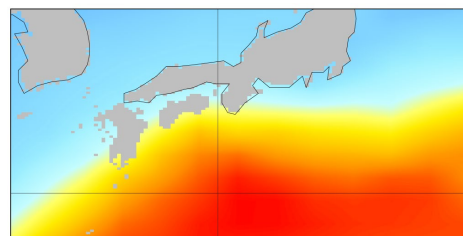
- 過去再現と将来予測(2度/4度上昇)実験を実施
- 時空間変動特性や主要海流の平均構造(非図示)を観測と整合的に再現

機械学習による超高解像ダウンスケーリング手法の開発

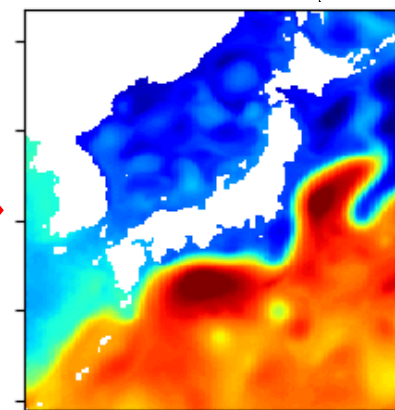
比較的安価な計算コストで物理モデルデータの高分解能化を実現可能

- ・ 機械学習手法のプロト版を作成
- ・ 教師データ 日本近海2km海洋モデル (先端3)

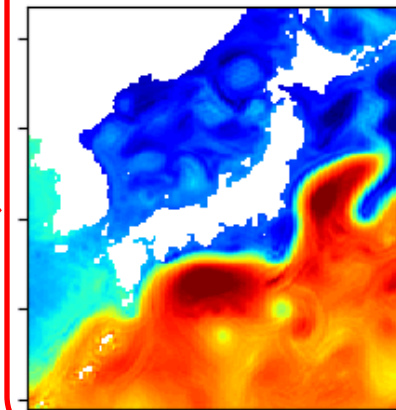
気候モデルでの表現



力学的DS結果



機械学習によるDS結果



- 渦構造や前線波動の伝搬などを明瞭化



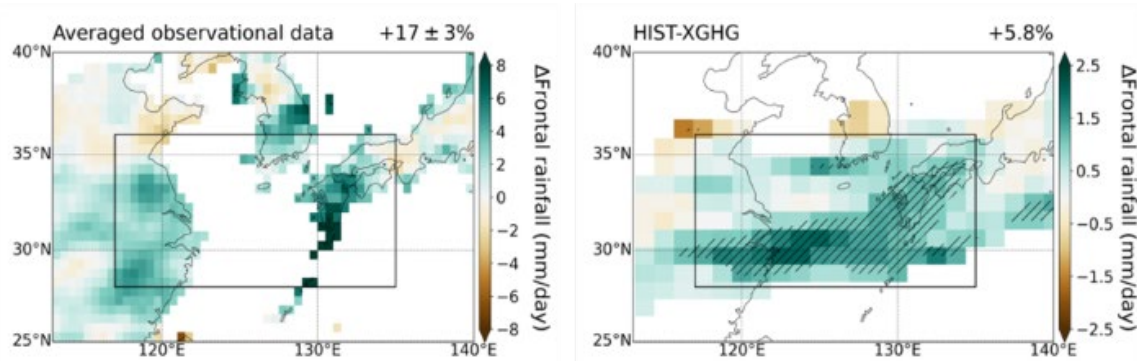
AIを活用した梅雨期降水変化のダウンスケーリング（陸域班）

2023.06.27 プレスリリース

温暖化による梅雨豪雨強化のメカニズム

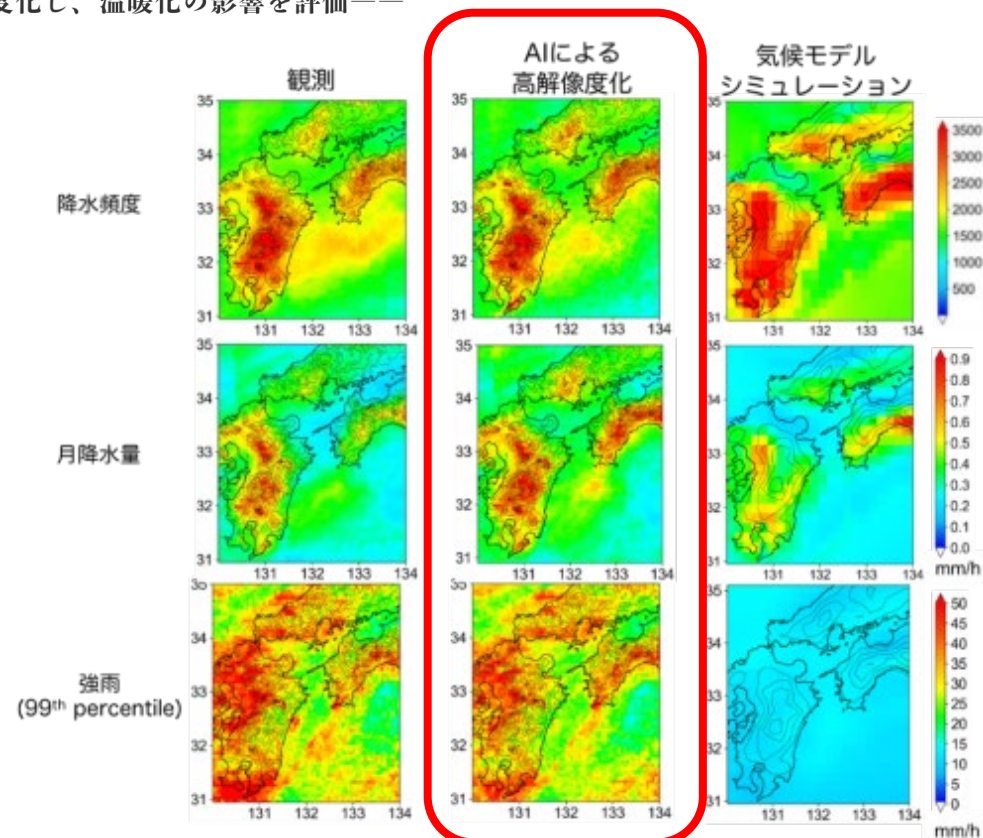
2023.11.27 プレスリリース

【記者発表】人間活動による温暖化が東アジアの夏季 前線性豪雨を激甚化 —地球温暖化と前線性豪雨の強度の関係を初めて証明—



Moon et al. (2023, Sci.Adv.)

【記者発表】降水の気候変化の特徴を精度よく推定 —気候モデルシミュレーションを高解像度化し、温暖化の影響を評価—



Yoshikane and Yoshimura (2023, Sci.Rep.)



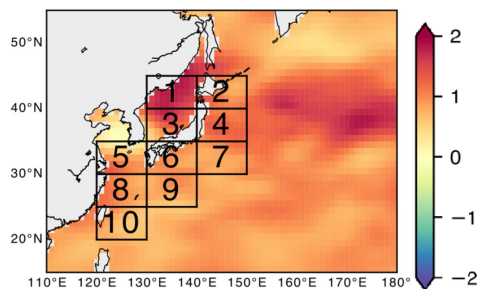
温暖化レベルの理解と予測不確実性の低減（温暖化レベル班）

問題意識：温暖化レベルにより気候ハザードはどう変わるか？ 気候予測の不確実性はどうすれば低減できるか？

日本近海で増える極端昇温の要因推定と予測

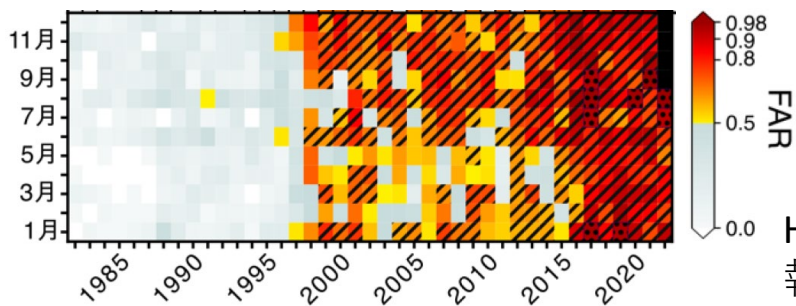
EA班連携

海面水温の上昇率
(観測, °C/40年, 1982-2021)



観測史上最高の海面水温
の発生頻度は温暖化レベル
1.5度で増加、2度で
は常態化する

極端昇温の発生確率の地球温暖化に伴う増加
(CMIP6モデル, 過去再現, 8 番海域)

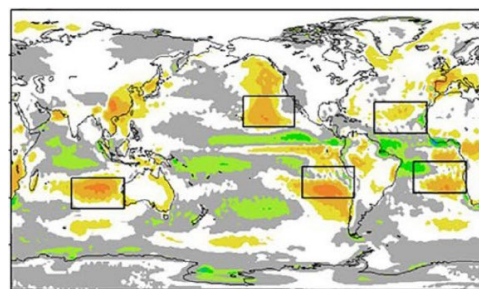


Hayashi et al. (2023, GRL)
報道発表2022/10/7

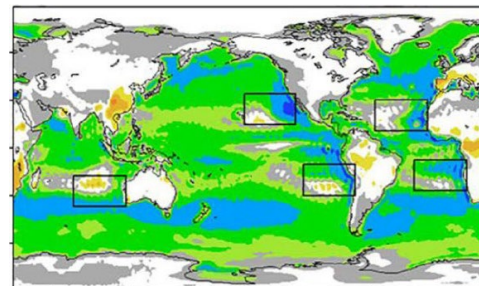
温暖化により下層雲が減少する仕組みについて

海面水温 4 °C 上昇から生じる下層雲フィードバック (MIROC6シミュレーション)

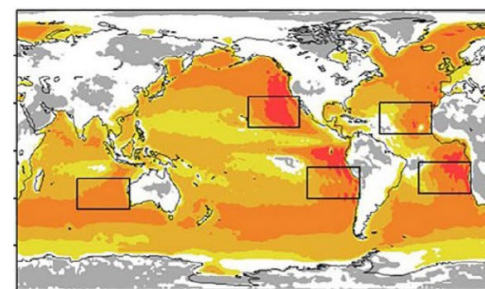
全体量



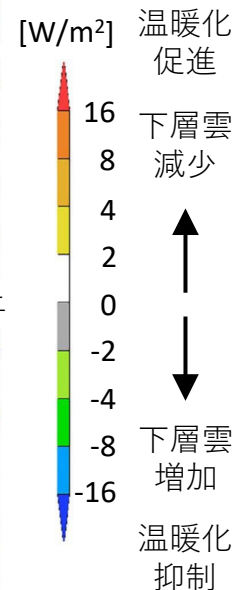
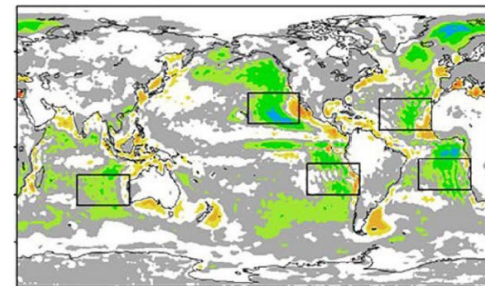
海面からの乱流輸送による寄与



海面からの長波放射による寄与



長波と乱流の相乗効果による寄与



Ogura et al. (2023, GRL)

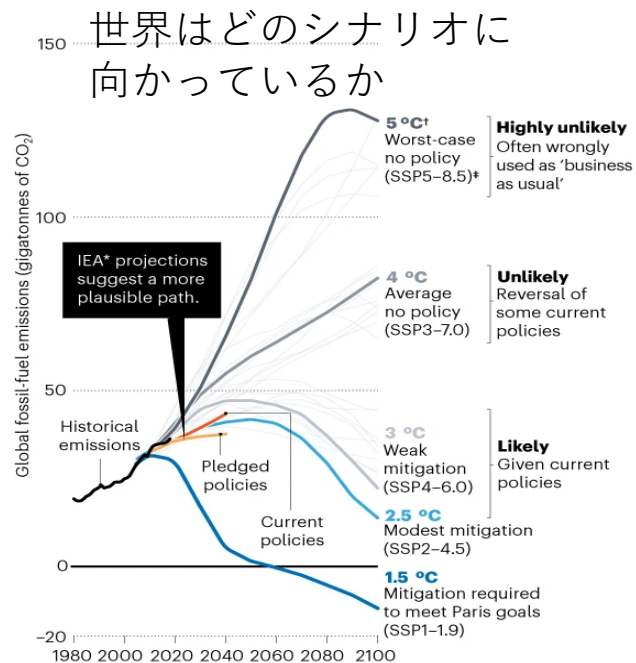


温暖化レベルの理解と予測不確実性の低減（温暖化レベル班）

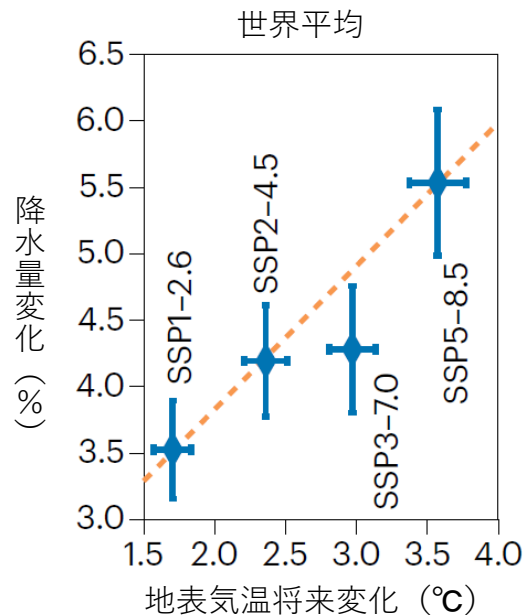
問題意識：温暖化レベルはどこまで有効か？ 気候予測の不確実性はどのようにすれば低減できるか？

SSP3-7.0シナリオの特殊性に注意を喚起

影響評価研究分野への情報発信



Hausfather & Peters (2020 Nature)



Shiogama et al. (2023, Nature CC)

- 影響評価において重要な変数の予測不確実性低減
- 日本の降水変化予測の排出シナリオに対する依存性
- 新d4PDF作成(課題3)に向けた会合で解析結果を共有
- 推進費 S-18 会合でCMIP6 hot modelについて注意呼びかけ
- CMIP6 将来予測結果を温暖化レベルごとに整理した資料を作成(未公開)

過去から将来の気候変動のメカニズム理解（メカニズム班）

過去の気候変動のメカニズム研究と要因分析研究の推進

MIROC6-LE: 大規模アンサンブル実験

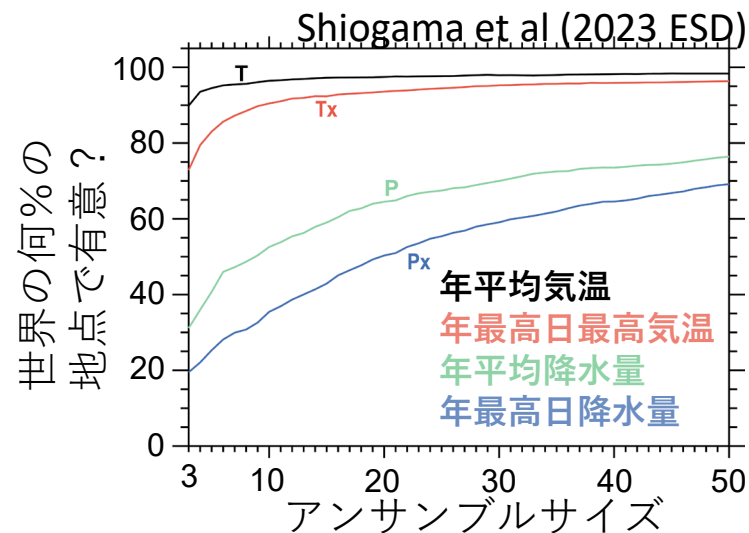
- 過去実験
 - 50メンバー
- 過去切り分け（単一強制）実験
 - 50メンバー×3実験
 - 10メンバー×5実験
- 将来予測実験
 - 50メンバー×5 SSP実験
- SSP2-4.5切り分け実験
 - 50メンバー×3実験

世界最大積分年数！

MIROC6-LE(76750年)
CESM2-LE (32675年)
MPI-GE(58800年)

ほとんどの実験の出力データはESGF(DIAS)から公開済み

- 過去の変化が統計的に有意になる面積割合のアンサンブルサイズ依存性



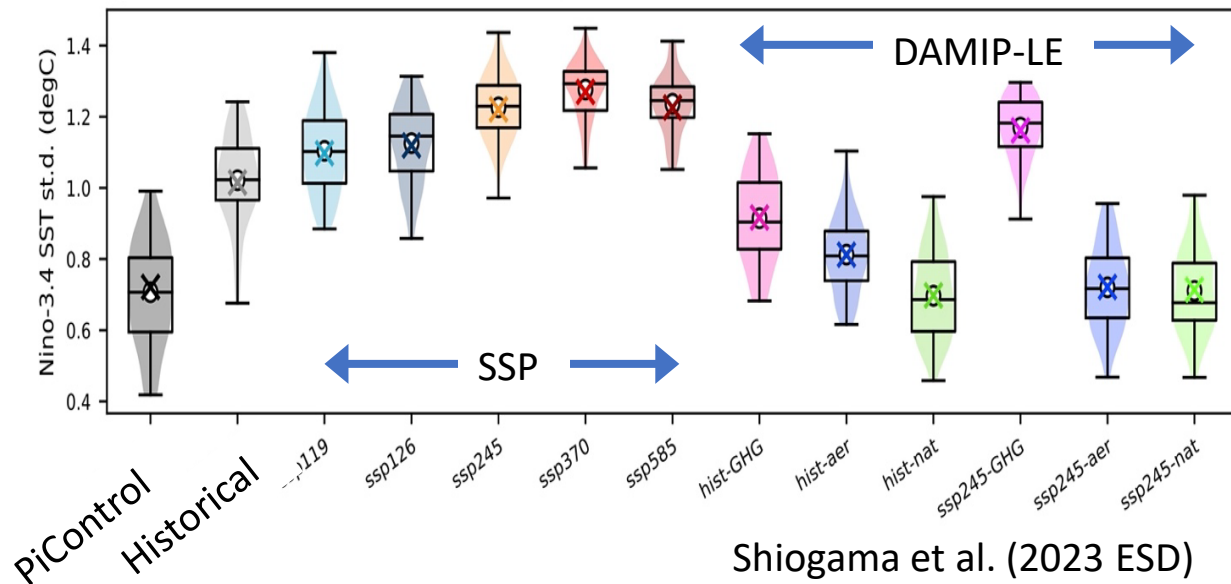
- 中緯度大気擾乱活動の変化の要因分析
- ENSO振幅変化の要因分析研究（温暖化レベル班）
- ⋮

その他国内外の気候変動研究で利用



過去から将来の気候変動のメカニズム理解（メカニズム班）

ENSO振幅（過去1951-2000, 将来2051-2100）
のシナリオ・強制因子依存性

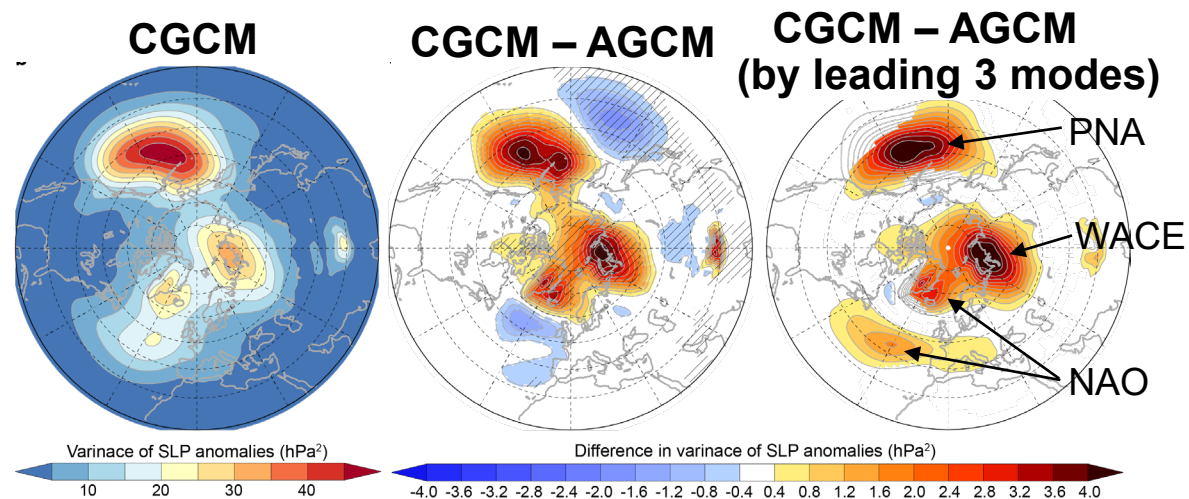


どの排出シナリオでもENSOは強化（主にGHGによる）

中高緯度冬季大気循環の主要変動モード

月別 SST&海氷
MIROC6-LE: 結合モデル実験
MIROC6-AGCM: AMIP型実験 (1979-2020年)

冬季平均海面気圧の経年変動分散とその差



Mori et al. (2024 Comm E&E accepted)

中高緯度域の大気海洋結合は主要な大気変動モード(PNA, NAO, WACE)を選択的に増幅

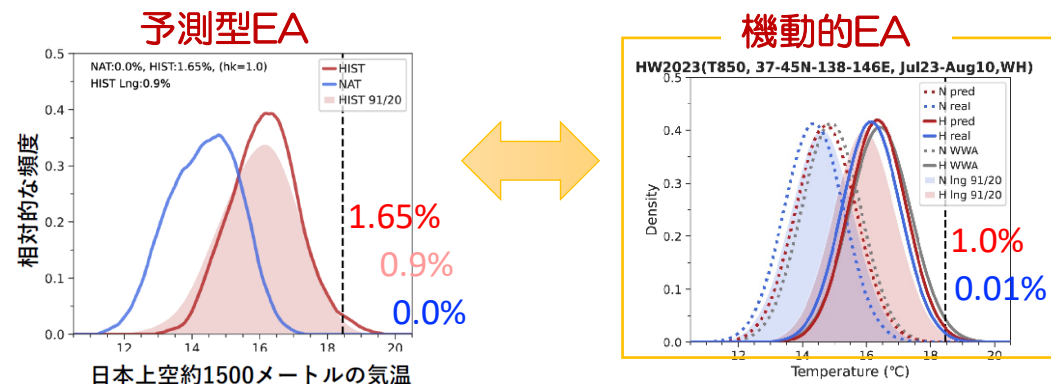
イベント・アトリビューション研究の深化と発展（EA班）

アクションナブルEA～実感を通して行動を促す～

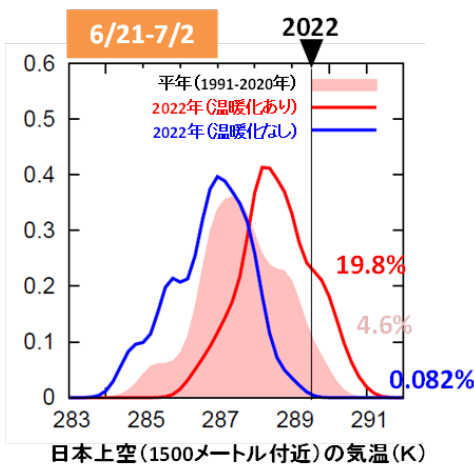
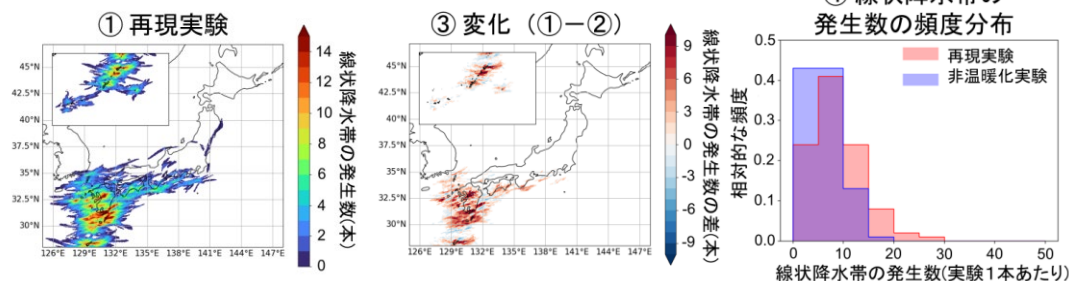
イベント発生後の速やかな分析・情報発信を目指す

- 1) **予測型EA**・・・境界値に季節予測SSTを与えることで大規模アンサンブル実験を事前に開始
- 2) **機動的EA**・・・既存の観測・大規模アンサンブルから統計的に実施

2023年7月下旬から8月上旬の記録的高温に対するEA
温暖化がなければ起こり得なかった



2023年6月から7月上旬の線状降水帯に対するEA
予測型EA 温暖化で線状降水帯の数が1.5倍に



2022年6月下旬から7月上旬の記録的高温に対するEA
(予測型EA)

過去30年(1991-2020)における発生確率は4.6%(約22年に1度)。2022年の条件下では19.8%(約5年に1度)、温暖化がなければ0.082%(約1216年に1度)、温暖化により、発生確率は約240倍。

令和4年9月6日報道発表

令和5年9月19日報道発表

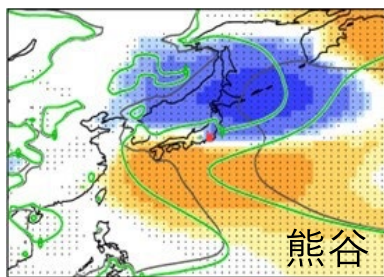
イベント・アトリビューション研究の深化と発展 (EA班)

アクションナブルEA～実感を通して行動を促す～

グローバル (global-local) 研究

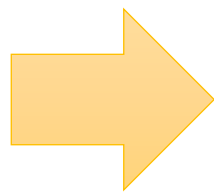
日本のローカルな極端現象の要因を
大規模場に遡って分析する

熊谷で高温になる時の気圧場



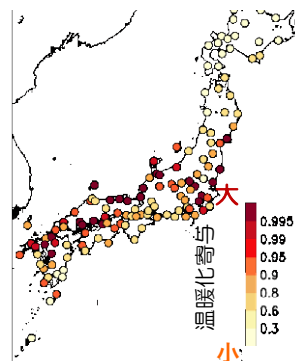
-3 -1 -0.5 0.3 0.5 1 3

Ito, Kawase & Imada (2022)



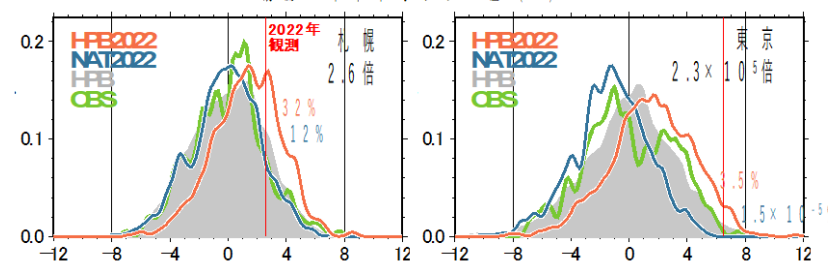
高解像度EA (水平解像度60km→20km→5km)

2022年初夏の猛暑のEAを地点別に実施
温暖化の影響に地域差があることが明らかに



FAR = 0.23~1
発生確率: 1.3倍 ~ >数万倍以上

主要都市での平均気温の離率分布
観測の年平均からの差 (°C)



Ito, Imada & Kawase (2023, BAMS)

影響評価変数に対するEA ~身近な変数を通して実感を促す~

- 水災害リスクに対するEA Alifu et al. (2022)
- 農作物の収穫量に対するEA Iizumi et al. (2022)
- 熱中症リスクに対するEA 推進費で研究中

海の極端現象の要因分析研究

(予測班、メカニズム班連携)

多年生ラニーニャ現象 (2020年~) の要因分析

2年目のラニーニャ予測には北太平洋の高気圧偏差の位置が鍵

Iwakiri et al. (2023, GRL)

国際研究プログラムにおける展開

<SSCメンバー>

- WCRP CMIP7策定 (WGCM渡部、CMIP Panel宮川)
- WCRP LHA EPESC (今田) — 極端気象
- DCPD (片岡) — 近未来予測
- CFMIP (渡部) — 気候感度
- DAMIP (塩竈) — アトリビューション
- CACTI (旧TriMIP) (竹村) — エアロゾル
- RFMIP (関口) — 放射強制力

<その他>

- EarthCARE、GEWEX-PROES、NASA ACCP (鈴木)
- WMO年次水資源レポートへの貢献 (芳村)
- 世界陸モデルサミット (芳村)
- CLIVAR-CFMIP joint working group設置 (渡部)
- WCRP Open Science Conference (11月、ルワンダ) — 先端ポスタークラスター





2022-2023年度研究成果

		2022	2023
研究成果公表	論文	45	67
	著作物	4	7
	学会発表	95	146
	プレスリリース	7	10
広報活動	メディア	71	64
	アウトリーチ	32	16
受賞		5	11

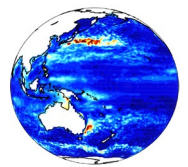
ES利用状況

- ユーザー数 約70名
- 主な利用アプリケーション
 - 物理気候モデル MIROC6、MIROC7(開発版)
 - 統合陸域シミュレータILS
 - 地球システムモデル MIROC-ES2L
 - 海洋大循環モデル COCO
 - 上記モデルとデータ同化システム(IAU/LETKF)を融合した気候・炭素循環予測システム
- 主な数値実験
 - 要因分析（特にSingle Forcing Large Ensemble実験）
 - 気候モデル/大気モデルでのイベントアトリビューション
 - 気候変動予測実験(DCPP)の大規模アンサンブル化
 - 気候・炭素循環予測システムによる過去再現と事後予測実験
 - 全球渦解像度海洋モデルによる過去再現及び温暖化タイムスライス実験
- 割り当てられたES資源は当初計画通り順調に使用できている(場合によっては、不足分を他課題から融通)

ES資源 利用	ベクトルノード	CPUノード
FY2022	480万RH（当初380万）	64万RH（当初30万）
FY2023	360万RH（当初380万）	60万RH（当初70万）

領域課題 1 「気候変動予測と気候予測シミュレーション技術の高度化」

キーフレーズ「科学的根拠（エビデンス）に基づく地球システム変化の理解と予測」



2年目までの進捗度自己評価

1 年目 2 年目 3 年目



- 地球システムモデルMIROC7-ESM統合 ○
 - 衛星データ活用による大気物理高度化 ◎
 - 統合陸域シミュレータの実装 ◎
- 気候・炭素循環の予測可能性特定 ○
- 大気循環場のEA発展形の検討と実施 ◎
- 温暖化レベルによる説明可能性調査 ○
- 温暖化停滞と加速のメカニズム理解 ◎

具体的な成果の例

- MIROC7-CGCMの仕様確定、物理場の改善確認、チューニング最終段階（2025からのCMIP7実験を想定）**
- MIROC-ES2Lを用いた同化シミュレーション**
⇒ 過去の炭素収支推定が**Global Carbon Budget最新版に反映**
- アクションナブルEAの推進**
（2022年,2023のEAリリース、機動的EAシステムをDIASへ、JCLPへの協力、など）
- 過去の気候変動要因分析のための**大規模アンサンブル生成**
（データは既に**ESGF**で公開、活用した論文は**Nature**系列誌などに掲載多数）
- 国際研究コミュニティへの貢献
（**WCRP LHA, MIPs, CLIVAR, EarthCARE, WMO**など）

