



気候変動予測先端研究プログラム領域課題2  
「カーボンバジェット評価に向けた気候予測  
シミュレーション技術の研究開発（物質循環モデル）」  
成果報告

海洋研究開発機構  
地球環境部門  
環境変動予測研究センター  
センター長 河宮未知生

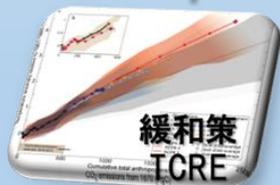
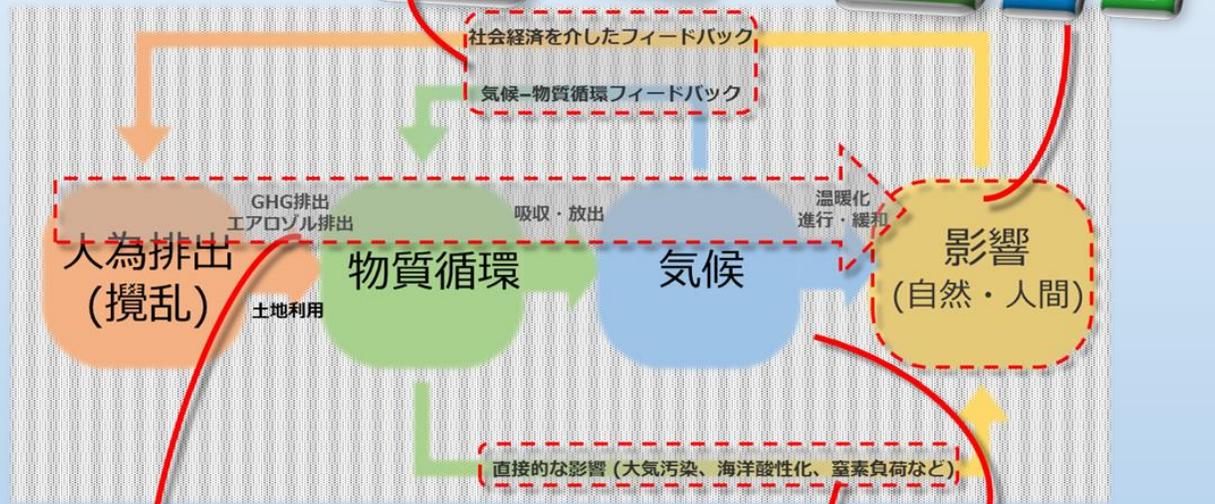


# 先端プロ・課題2 概要

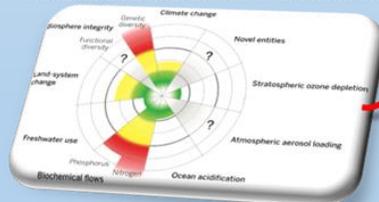


未知・未表現なフィードバック過程

持続可能な開発目標



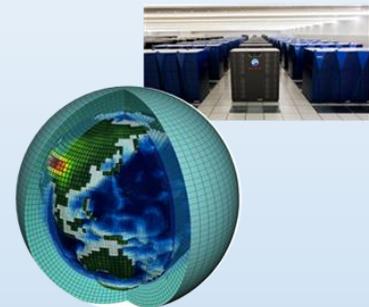
緩和策 Cバジェット



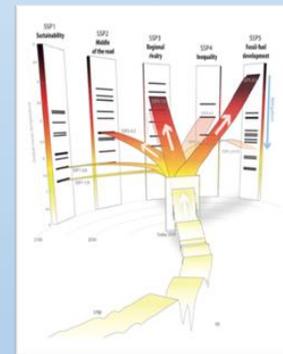
プラネタリーバウンダリー (地球の限界)



極度な非線形現象  
不可逆的現象



モデル開発と予測



全貌の解明と  
将来選択肢の提示

地球システムモデルの開発・応用を通して：

- 必要な**排出削減量**の評価
- 緩和シナリオ**に対する地球環境の応答など、(主には) **緩和策立案に資する科学的知見**を創出

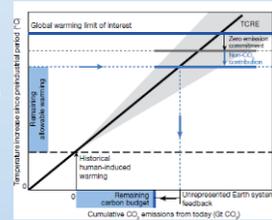
スライド作成：  
羽島知洋



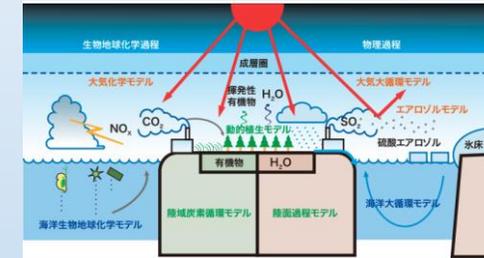
# 課題2で取り扱う問題： 緩和策と将来シナリオに関する科学的知見

## 温室効果ガス、SLCF(短寿命気候強制力因子)の収支理解

- ESM開発・応用
  - 炭素、非CO2温室効果ガスの循環理解
  - 林野火災等、新たな生態系プロセスの導入
- 残余カーボンバジェット
  - 必要な排出削減量の算定

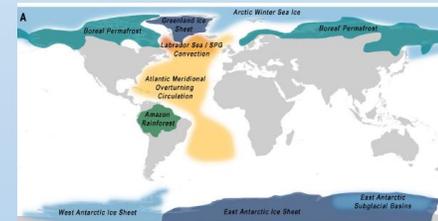


Rogelij (2019)

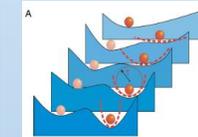


## ティッピングエレメント

- 緩和目標の設定、対応の緊急度
  - 南極氷床・棚氷、永久凍土、アマゾン枯死・・・



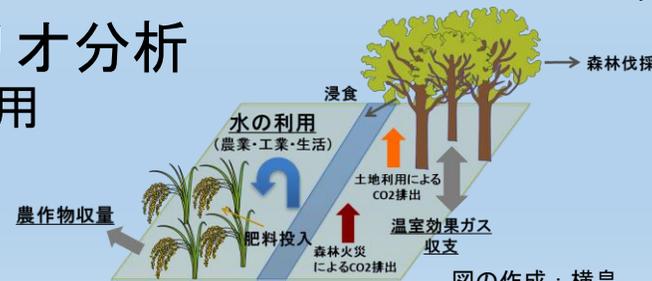
McKay et al. (2022)



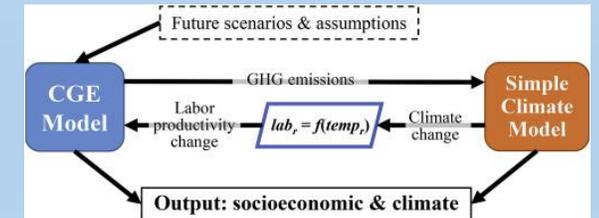
Lenton (2007)

## 人間活動のモデル化・緩和シナリオ分析

- 気候変動と人為起源排出の相互作用
  - 土地利用



図の作成：横島



Matsumoto (2019)

## データ発信



## 課題 2 の構成

- 領域課題 2 (JAMSTEC, PI:河宮)
- サブ課題 (担当機関)
  - サブ課題(i) 地球システムモデリング
    - i-a 地球システムモデル開発・応用 (JAMSTEC, PI: 羽島)
    - i-b エミュレータ開発 (電中研, PI: 筒井)
  - サブ課題(ii) 基盤構築 (JAMSTEC, PI: 建部)
    - 課題 1 との連携
  - サブ課題(iii) 気候変動—社会経済
    - iii-a 社会経済過程からのフィードバック (JAMSTEC, PI: 立入)
    - iii-b 将来シナリオ分析 (国立環境研, PI: 横畠)
  - サブ課題(iv) 領域課題間連携のための技術・事務支援 (JAMSTEC, PI: 河宮)
    - CMIP7 データ取り扱い情報収集、アウトリーチ
    - 先端プログラム課題間連携



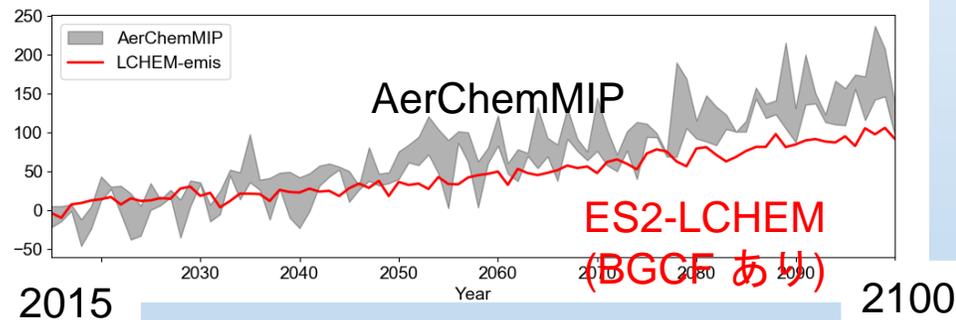
- **温室効果ガス、SLCF(短寿命気候強制力因子)の収支理解**
- ティッピングエレメント
- 人間活動のモデル化・緩和シナリオ分析
- データ発信

# 気候-生物地球化学フィードバックにより メタン緩和策の効果が最大55%低下

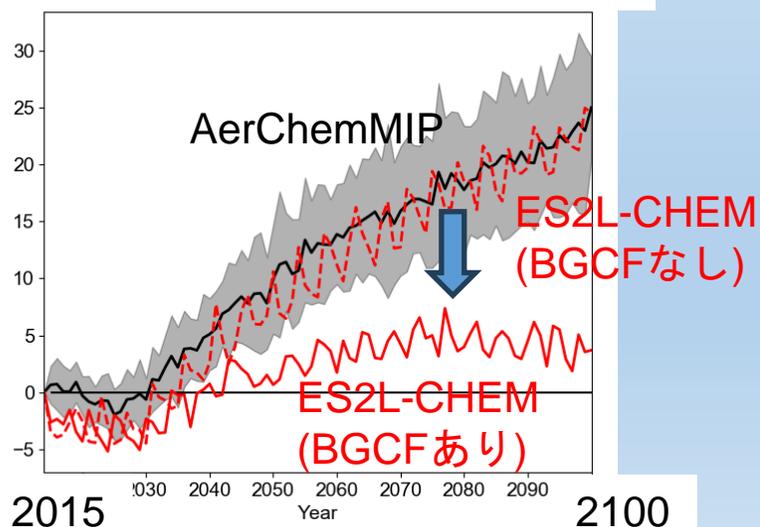


MIROC-ES2L-CHEMにおいて、湿地メタン・BVOCに関する気候-生物地球化学のフィードバックを考慮することで

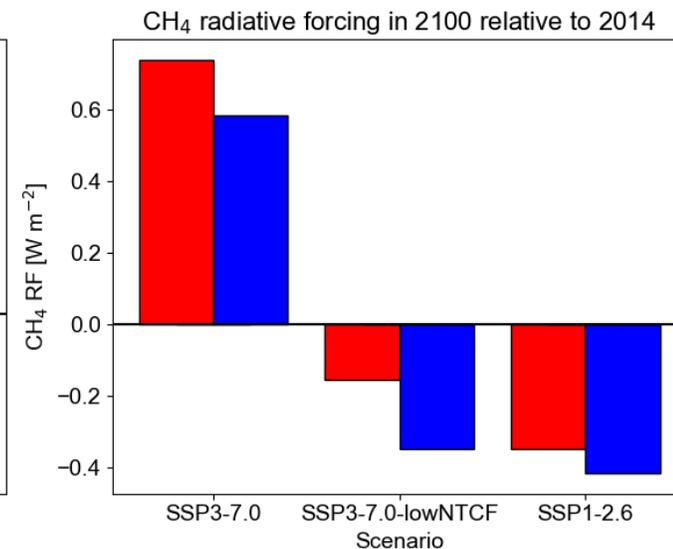
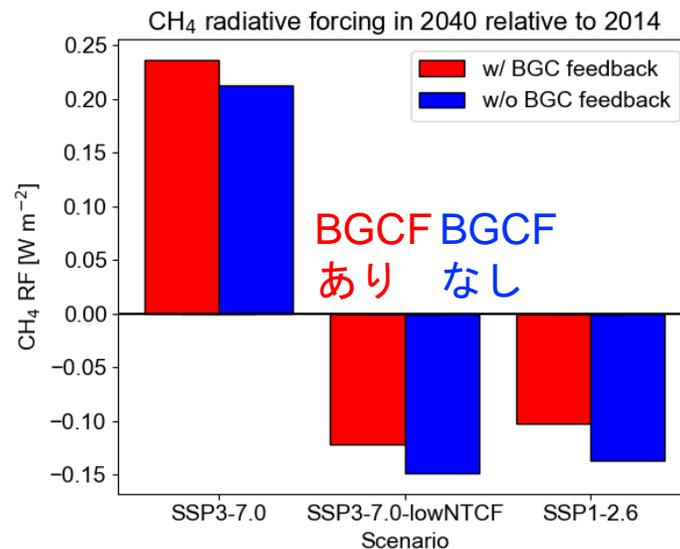
## 1) 自然メタン放出量が増加



## 2) メタン消失量が減少



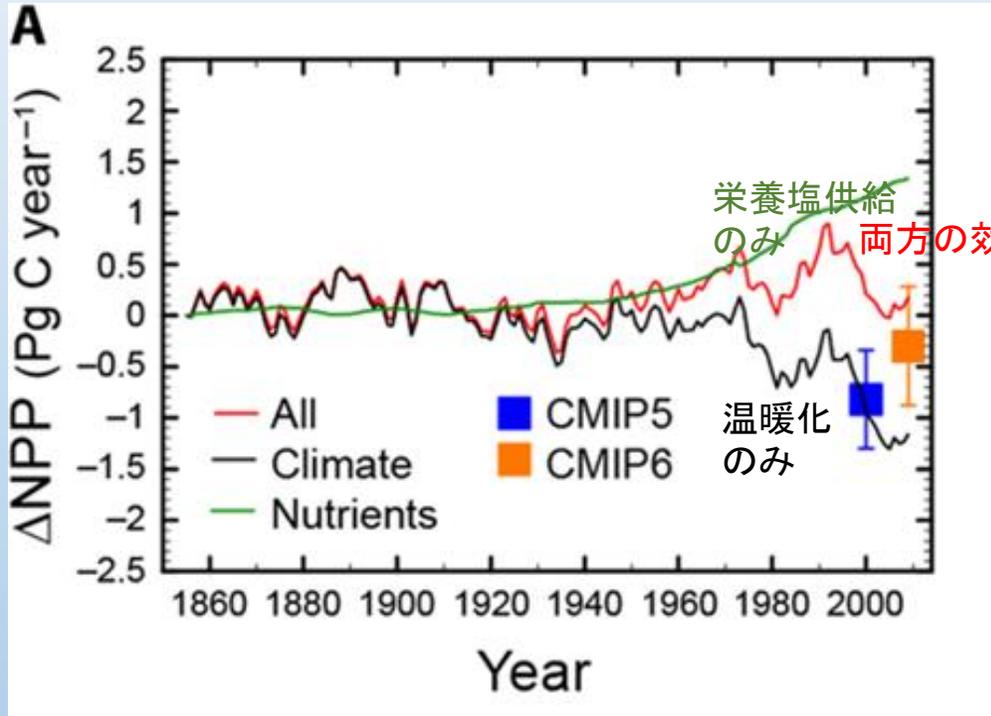
メタン緩和シナリオにおいて緩和策の効果（2014年に対する放射強制力の変化）が2040年で17~25%、2100年で15~55%（2100年）低下



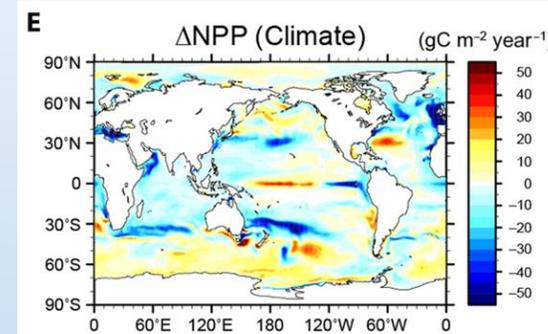


# 海洋への人為的栄養塩供給と温暖化との複合影響

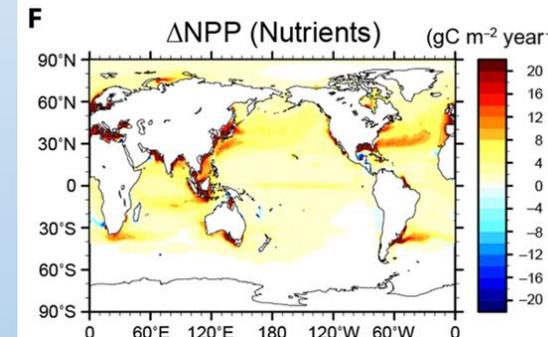
(2022年7月2日プレスリリース)



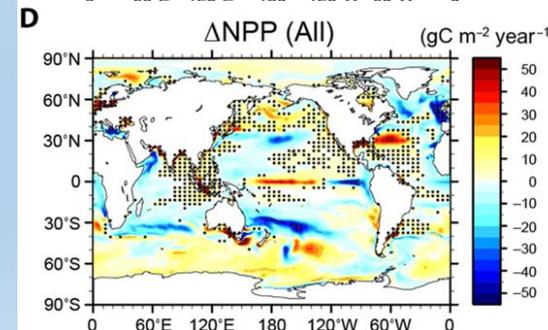
温暖化による成層強化で、海洋一次生産は減少傾向と考えられていたが、**河川やエアロゾルを通じた栄養塩供給**がそれに匹敵する効果を持つことを示した。



温暖化のみ



栄養塩供給のみ



両方の効果



# 林野火災モデルの開発： 衛星データ、AIの活用（JAXAとの連携成果）

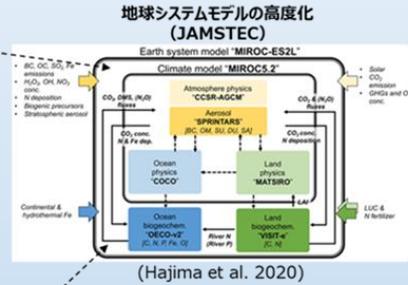


SENTANプログラムとJAXAの取り組みの一例：  
JAXA地球観測データ（左）を活用した森林火災モデル開発（中）により、地球システムモデル（右）の予測精度向上へ

JAXAによるプロダクト開発・解析  
研究を通じたモデルへのインプット

- 背景となる環境情報
- ・地表面温度
  - ・蒸発散指数
  - ・地上部バイオマス
  - ・植生指数
  - ・土地被覆
  - ・日射量
  - ・雷雲（氷雲）
  - ・降水量
  - ・干ばつ指数
  - ・気温、湿度、風速

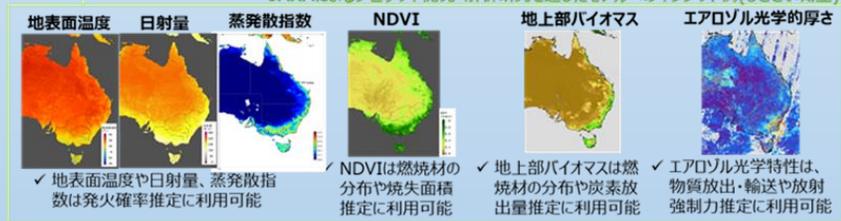
- 焼失面積
- ・植生・被覆変化
  - ・アルベド変化
- 物質放出
- ・エアロゾル
  - ・CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、水蒸気...



気候影響（温暖化）

フィードバック

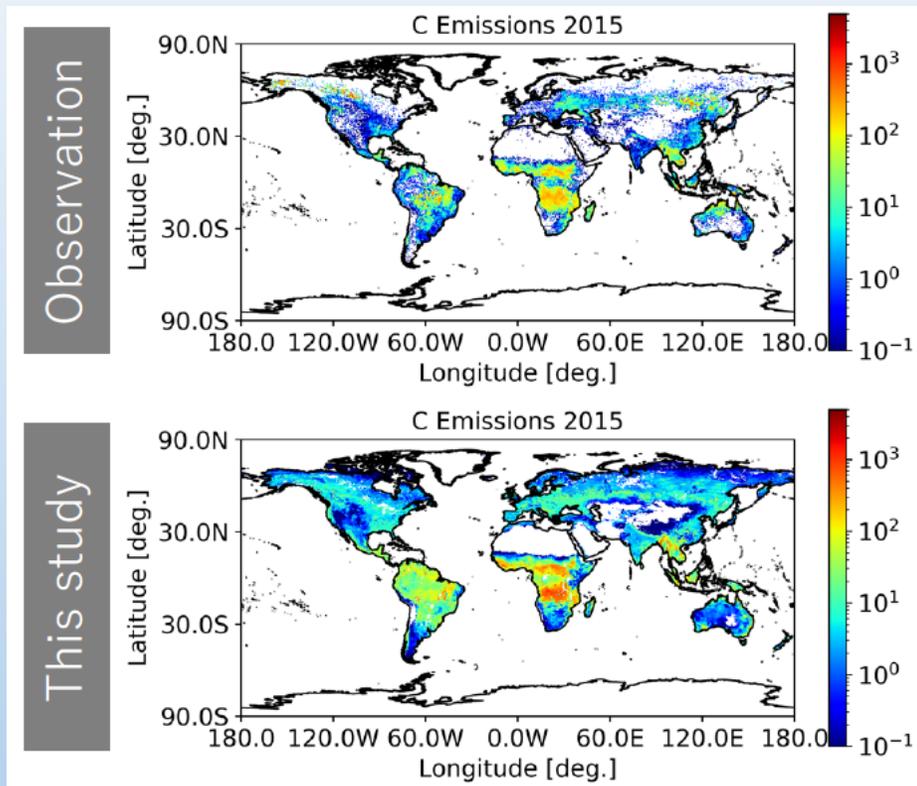
JAXAによるプロダクト開発・解析研究を通じたモデルへのインプット例(しきさい衛星)



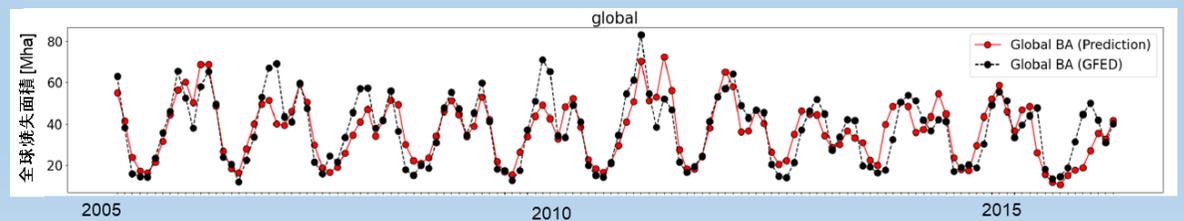
\* ESMへの導入は今後の課題

林野火災の予測は、気候変動の影響評価のためにも、CO<sub>2</sub>濃度変化の理解のためにも重要。**AIを活用したモデル開発中**。テスト実験で良好な結果。（課題4とも協力）

林野火災による炭素放出



焼失面積  
(黒：観測、赤：モデル)



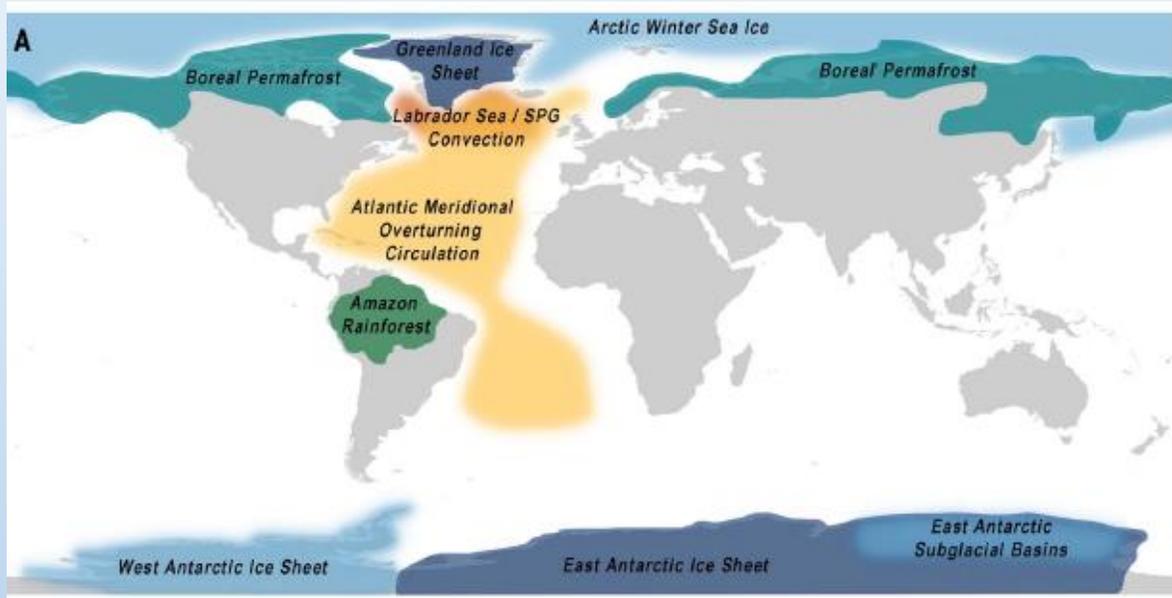
サブ課題ia成果  
図の提供：棚田 (JAXA)



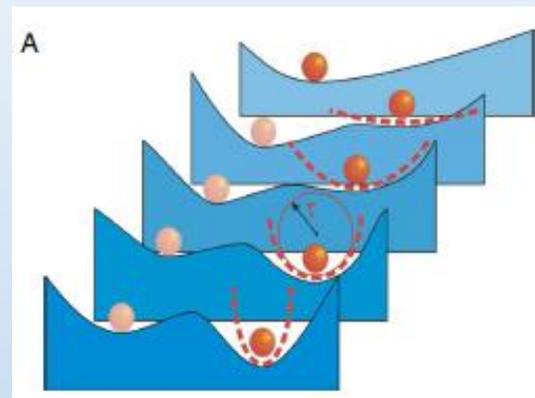
- ・ 温室効果ガス、SLCF(短寿命気候強制力因子)の収支理解
- ・ **ティッピングエレメント**
- ・ 人間活動のモデル化・緩和シナリオ分析
- ・ データ発信



# ティッピング・エレメント



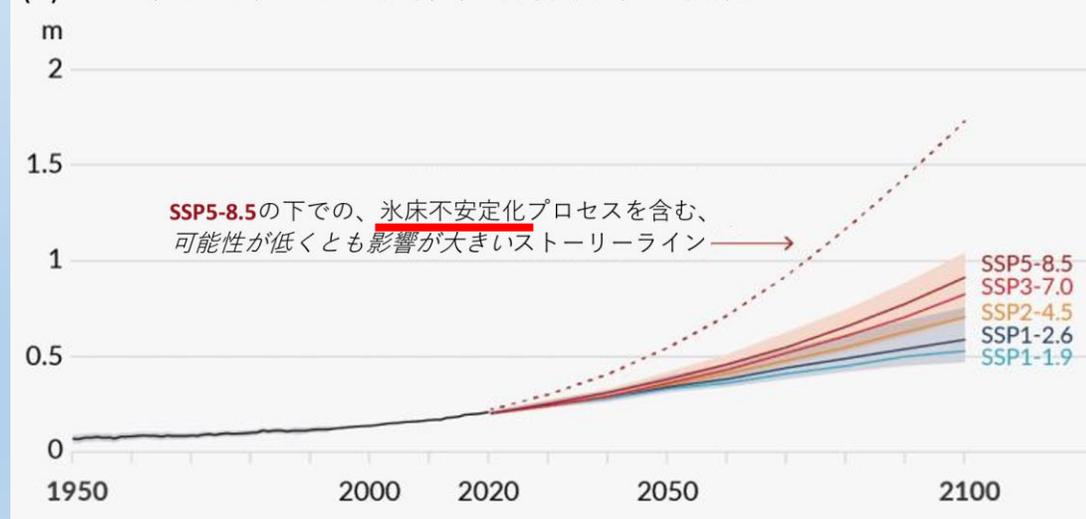
McKay et al. (2022)



Lenton (2007)

- ティッピング現象：温暖化の度合いが一定の閾値を越えたときに発生しうる急激な変化
- 古気候研究などから過去の発生が指摘
- 南極氷床、深層循環、永久凍土などにまつわるティッピング現象の可能性が指摘されている

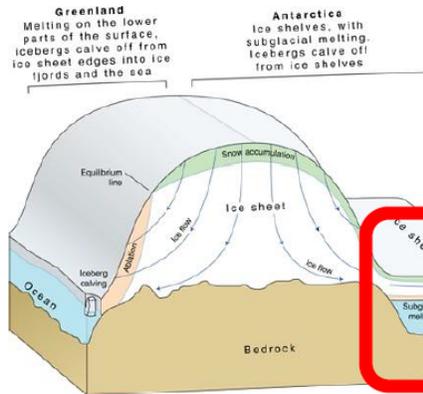
(d) 1900年を基準とした世界平均海面水位の変化



IPCC AR6 (2021)



# 棚氷-海氷-海洋結合モデリング



※これまでの海洋モデルでは、単に陸地グリッドであった棚氷において、**棚氷-海洋相互作用を陽に扱えるようにした。**

## なぜ棚氷底面融解は重要なのか？

- 氷床と海洋の接合部分
- 融解水の沿岸域の成層と海氷場への影響
- 高密度水形成過程を介して深層循環への影響

この部分を新たに開発・導入

棚氷: 氷床の末端

棚氷底面融解を表現可能

棚氷下の海洋循環

※棚氷の形は固定

海氷

南極表層水 AASW

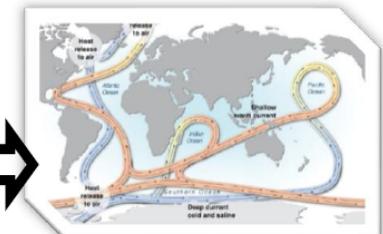
高密度陸棚水 DSW

周極深層水 (高温、高塩) CDW

DSW・CDW・AASWの流入パターン・量が底面融解を決める

3つの水塊大事。(Jacobs et al. 1992)

高密度水形成 (南極底層水)



# 極域氷床過程とESMとの動的結合を目指した研究・開発：棚氷+海洋・海水結合

南極棚氷底面融解プロセスの観測・モデリング融合研究：海底深度の広域調査、海洋観測、棚氷海洋相互作用

(Hirano et al. 2023, Nature comm.; Kusahara et al. 2024 TC)

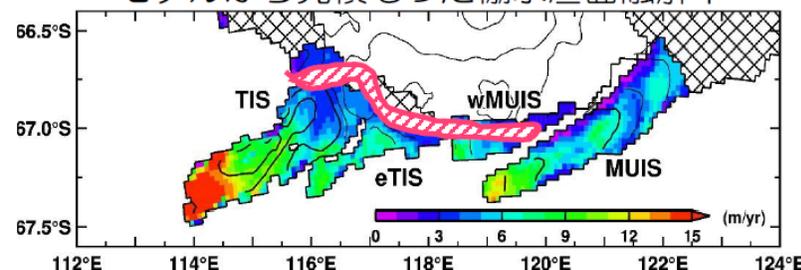
## トッテン氷床・棚氷：脆弱化進行

関連氷床全融解で3.4mの水位上昇

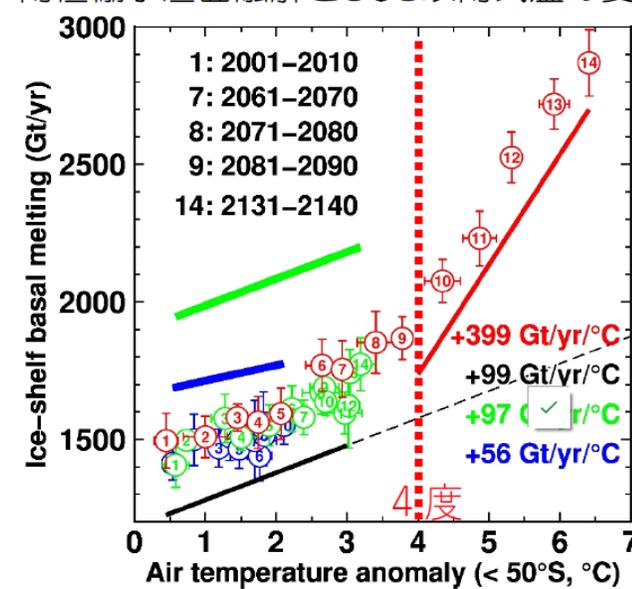


## ■ 棚氷下への局所的な海水流入・融解に対する地形の重要性を指摘

モデルから見積もった棚氷底面融解率



南極棚氷底面融解と50S以南気温の変化



## ■ 南極氷床棚氷底面融解の非線形的増加応答

海水減少に伴う沿岸域淡水化により、

比較的暖かい「周極深層水」及び「夏季表層水」の棚氷下への輸送が増加

(Kusahara, Tatebe, Haijima, Saito, Kawamiya., 2023, Journal of Climate)

※ ここまでの成果は、領域もしくは南大洋周極領域モデル

棚氷・海洋・海水結合モデルの全球展開

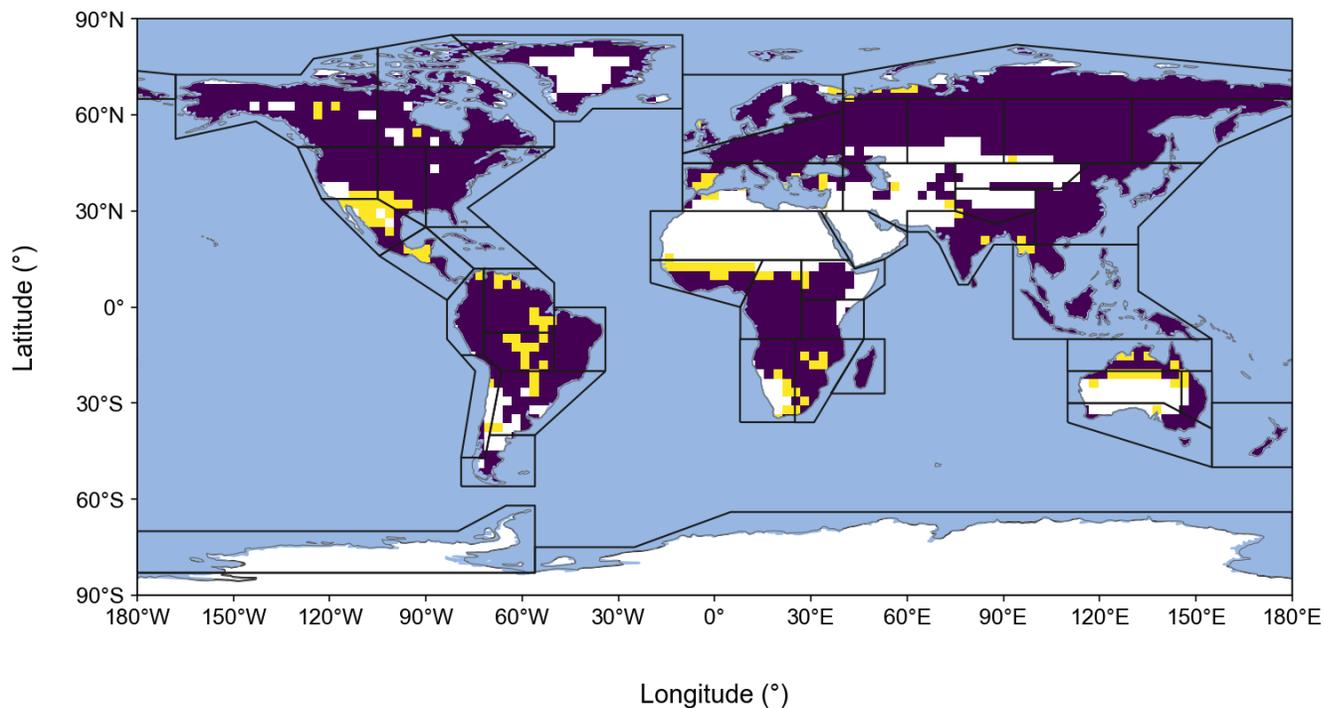
(1° モデル結果: Kusahara and Tatebe, 2023, Frontiers in Marine Science)



# Amazon dieback 分析

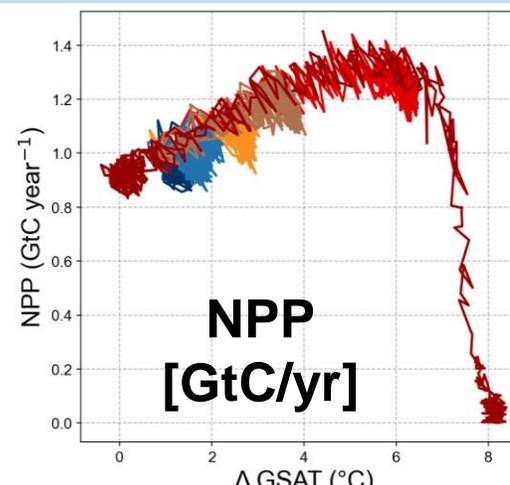
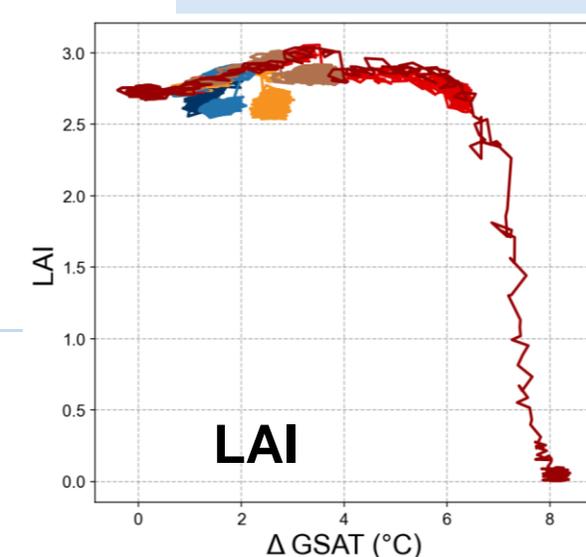
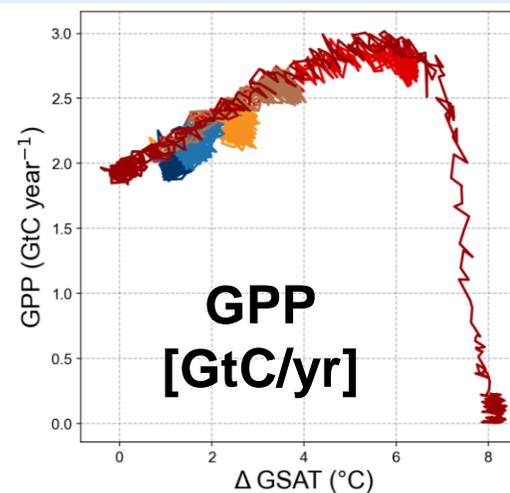
## Amazon 領域での変化

### 炭素量が 90% 以上減少する領域



Melnikova et al. in prep

アマゾン熱帯雨林に属する一部地域で、温暖化が6°Cを越えると急激な一次生産の低下が発生。メカニズムについては調査中。



全球平均地表気温変化

全球平均地表気温変化

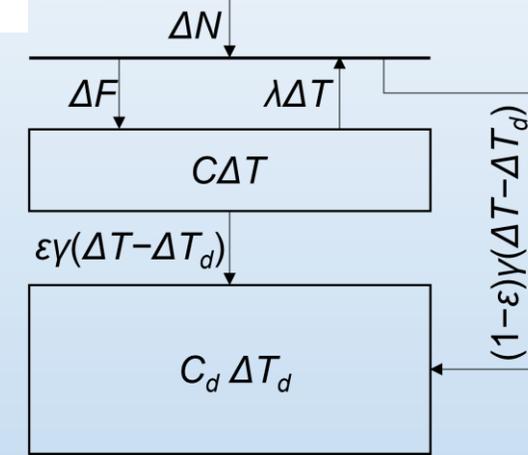


- ・ 温室効果ガス、SLCF(短寿命気候強制力因子)の収支理解
- ・ ティッピングエレメント
- ・ 人間活動のモデル化・緩和シナリオ分析
- ・ データ発信

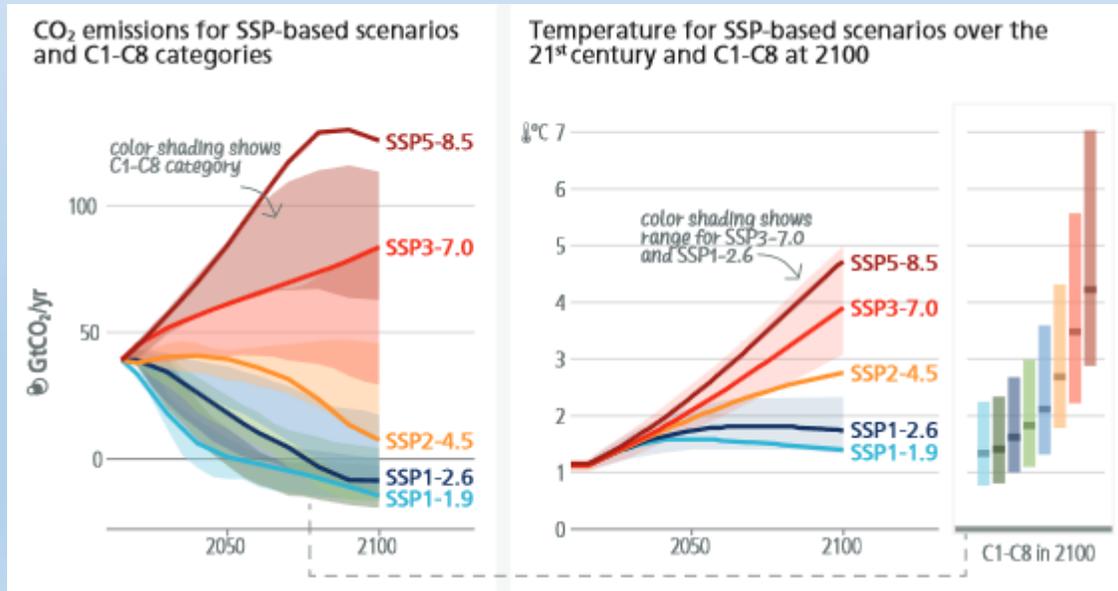


【サブ課題i-b】 AR6で2層モデルが重用されたことを踏まえて、その活用法 (WG1-WG3知見供与を担うパラメータアンサンブル) を再考

WG1 (科学基盤)	WG3 (緩和策)
<ul style="list-style-type: none"> <li>代表5シナリオ (SSPx-y) での気候見通しを評価</li> <li>観測情報で制約されたCMIP6モデルと気候感度評価を反映した2層モデルが五分五分の寄与</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>多数 (&gt;1000) のシナリオを温暖化レベルで区分して中・長期の緩和策を評価</li> <li>区分けは2層モデルを含む複数エミュレータでの確率論的評価に基づくC1-C8カテゴリ</li> </ul>



大気上端エネルギー不均衡 ( $\Delta N$ ) と放射強制力 ( $\Delta F$ ) ・フィードバックの関係づけ (気候感度の枠組み) を拡張した形。表層・深層の温度変化 ( $\Delta T, \Delta T_d$ ) を規定するエネルギーフラックス (矢印) とパラメータ (フィードバック $\lambda$ , 熱容量 $C, C_d$ , 熱交換 $\gamma$ , 海洋熱吸収エフィカシー $\varepsilon$ ) を表す



図出典：AR6統合報告書（2023年3月）Cross-Section Box.2 Figure 1抜粋

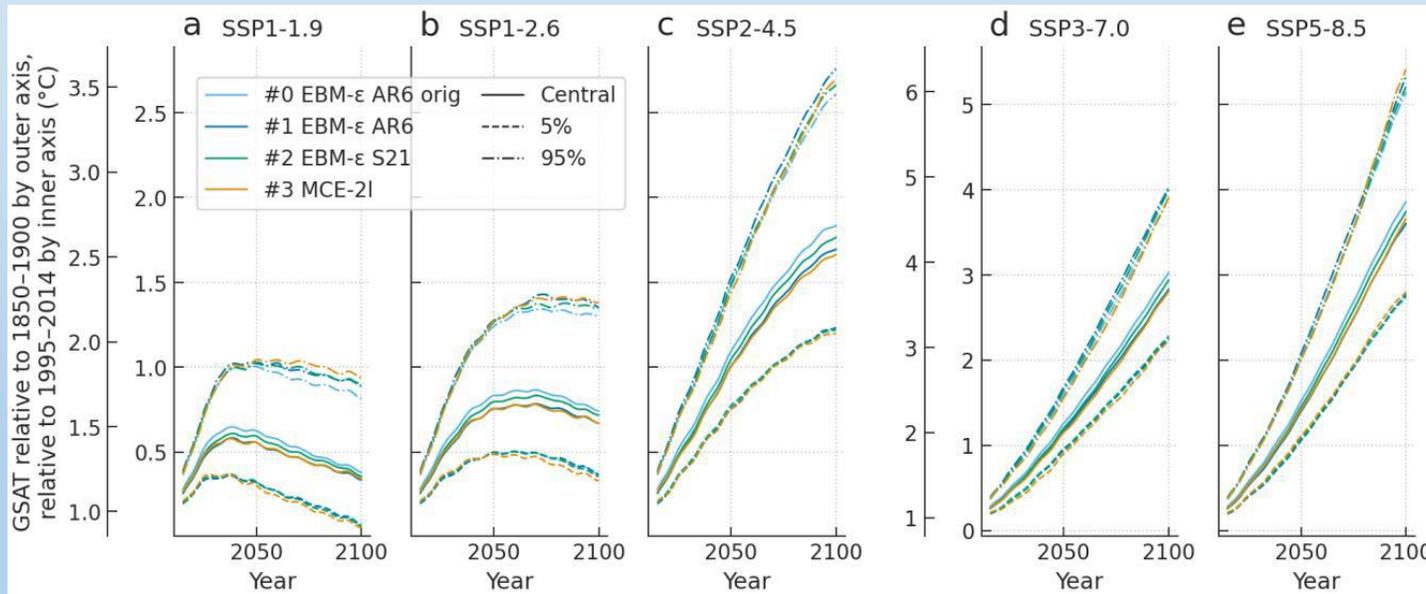
Category in WGIII	Category description
C1	limit warming to 1.5°C (>50%) with no or limited overshoot
C2	return warming to 1.5°C (>50%) after a high overshoot
C3	limit warming to 2°C (>67%)
C4	limit warming to 2°C (>50%)
C5	limit warming to 2.5°C (>50%)
C6	limit warming to 3°C (>50%)
C7	limit warming to 4°C (>50%)
C8	exceed warming of 4°C (>50%)

C1 (1.5°C整合) と C3 (2°C未満整合) はUNFCCCグローバルストックテイクなどに波及



# 再考結果のまとめ

- 2層モデル自体は非常に簡便なもの。モデリング・観測情報・プロセス理解からの様々な知見をパラメータアンサンブルに統合する機能が肝
- AR6の方法を代替法と比較した結果、アンサンブル生成の各過程で改善の可能性が示唆された
- 本研究の成果はIPCC次期サイクルに向けた方法高度化の基盤となるAR6の方法を中心的に担った Chris Smith (U Leeds, UK/IIASA, Austria) と共著で投稿する方針



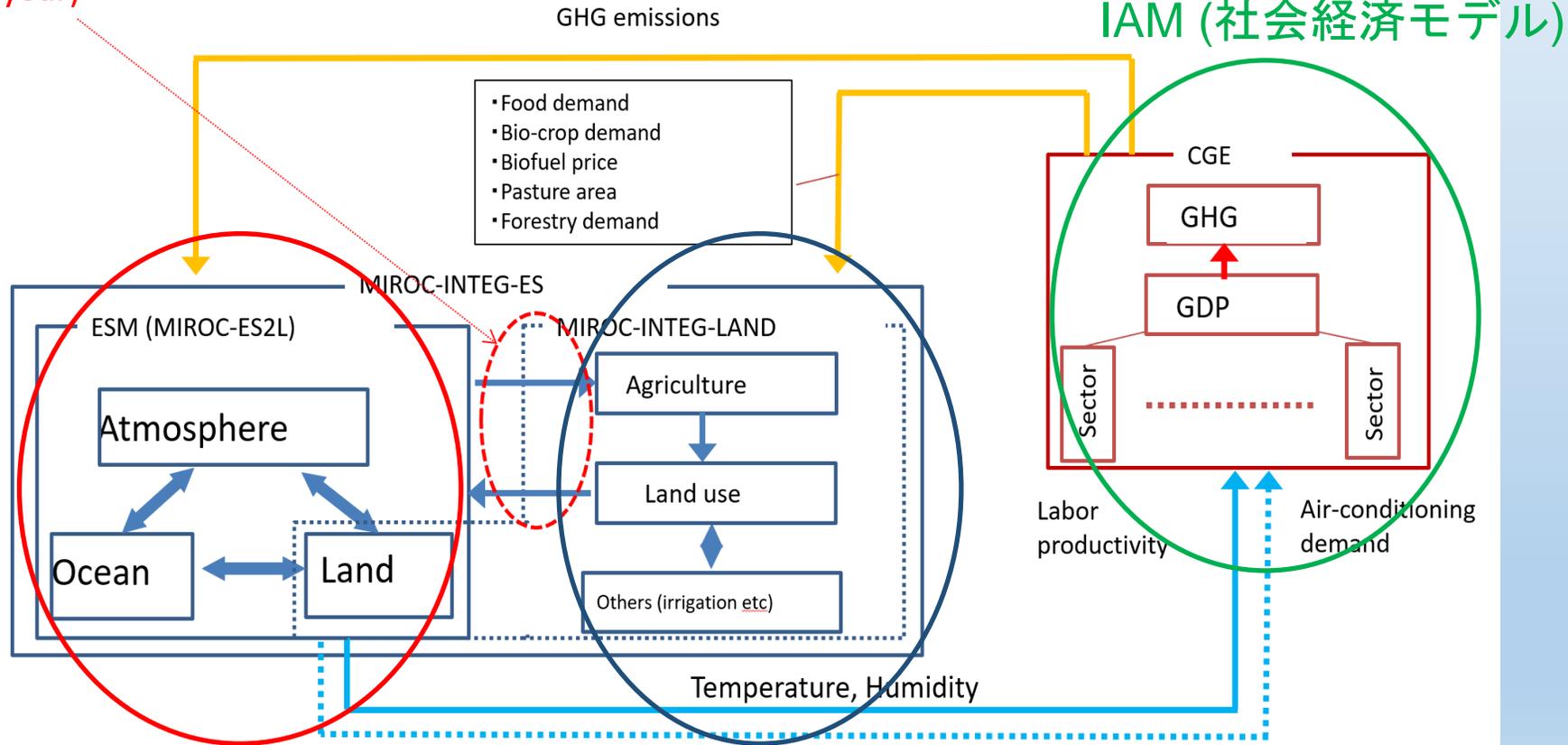
図：AR6 WG1の代表5シナリオでの気候見通しを各方法でエミュレートした結果。各々のパラメータ分布範囲は異なるが制約結果は同様。温度応答・強制力パラメータに関する理解と制約法の一貫性の向上に本研究が貢献

- GCMベースの予測では足りないサンプル数を補うのに大きな役割を担う。
- 多種多様な社会経済シナリオに対応する温暖化レベルと不確実性を的確に評価  
↓
- 温暖化レベルごとの影響評価とシナリオをリンクさせる役割



# 地球システム—社会経済結合モデルの開発： GCMベースのESMと社会経済活動、農業・水文モデルを統合

loosely coupled  
(once a year)



GCMベースのESM

農業・水文モデル

サブ課題iii a,b 成果  
スライド作成：立入(JAMSTEC)

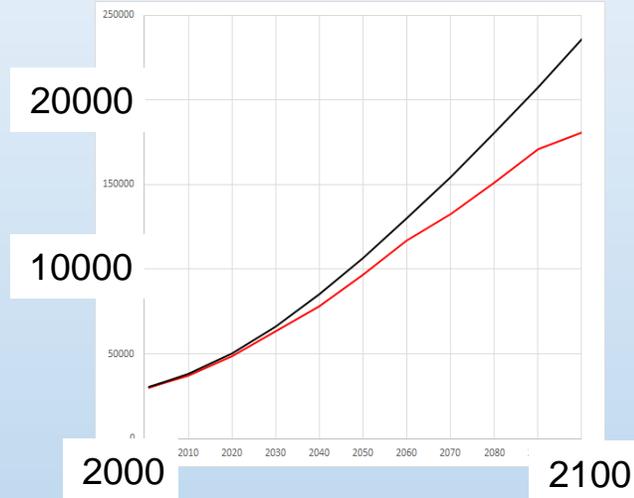


# 社会経済活動からの気候変動へのフィードバック

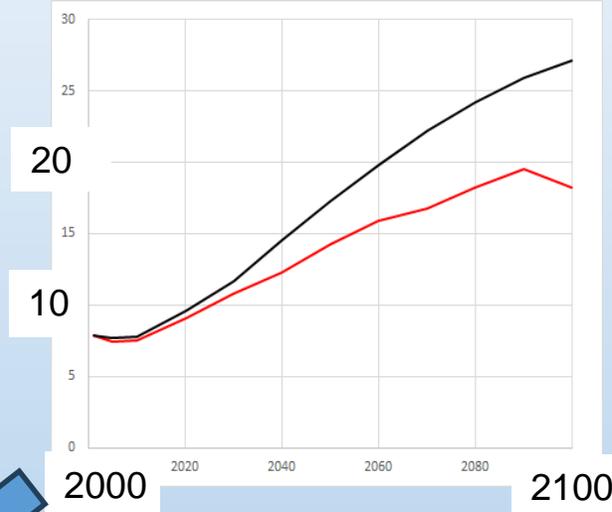
労働生産性の気候変動による変化を考慮

黒：影響を考慮しない場合  
赤：影響を考慮した場合  
(BAUシナリオ)

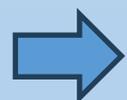
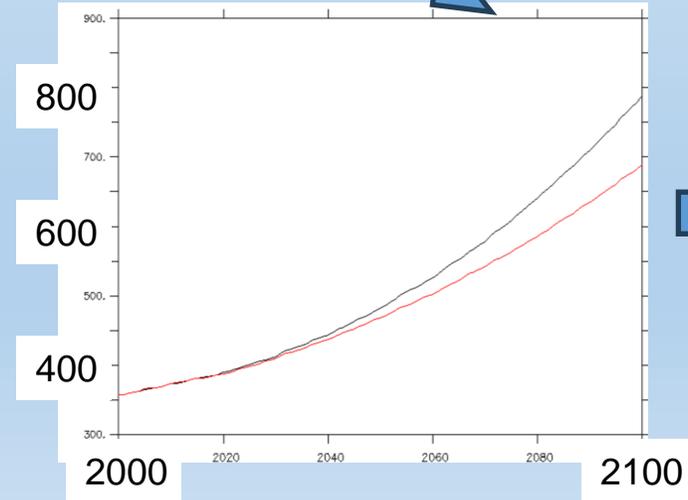
GDP (Billion USD in 2001)



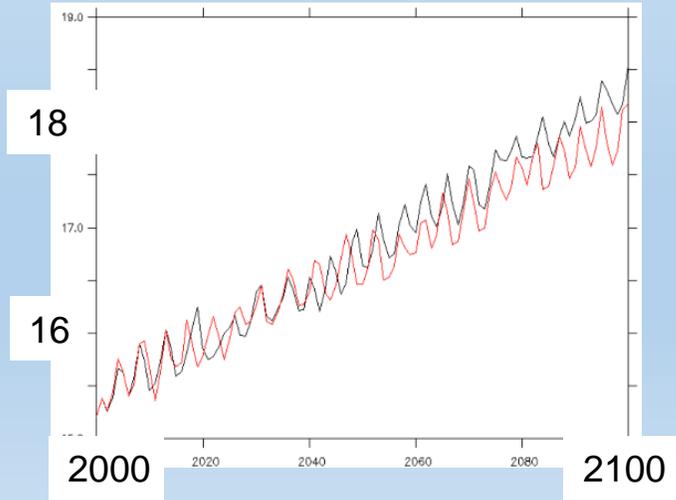
CO<sub>2</sub>排出量 (PgC/y)



CO<sub>2</sub>濃度 (ppm)



全球平均気温 (°C)



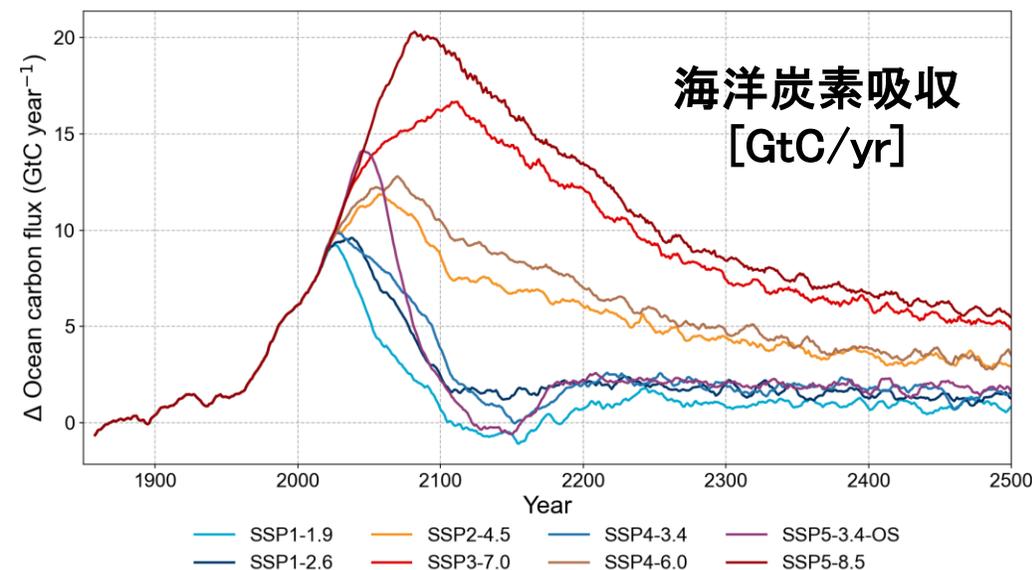
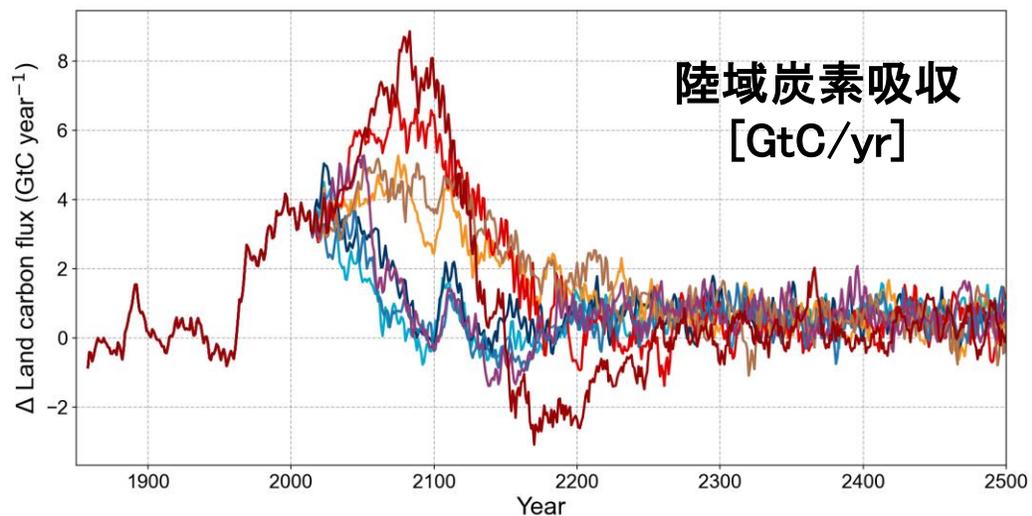
- 労働生産性と気温との関係については、既存文献にある簡単な関係式を採用
- BAUシナリオで、2100年時点で気温にして1°Cほどの差



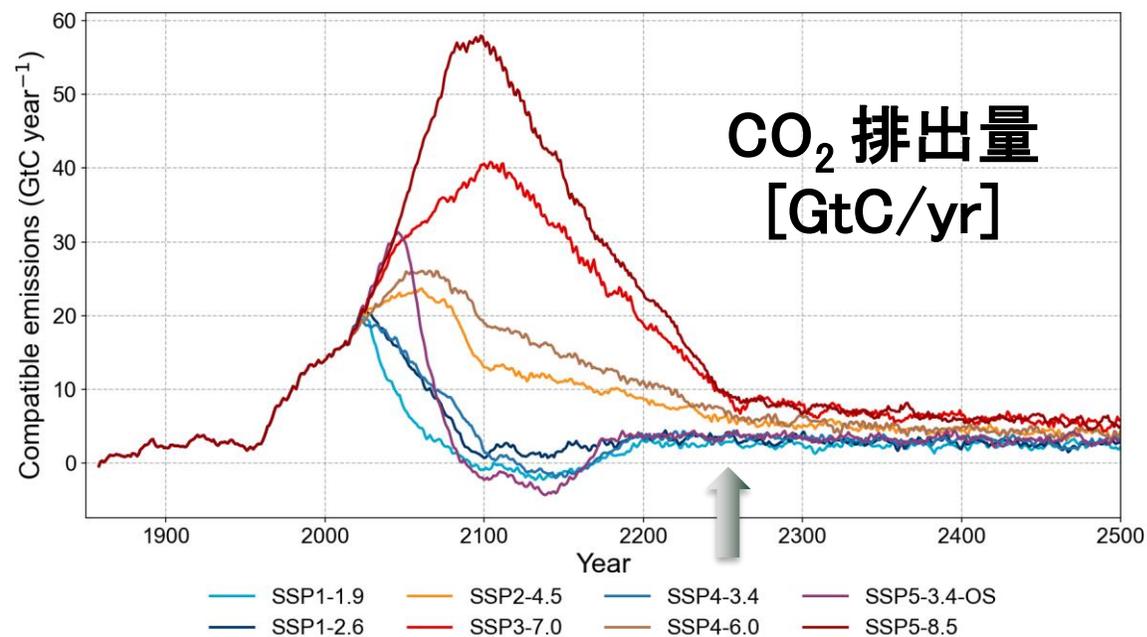
# 2100年を超える地球システムの長期応答



2250年から CO<sub>2</sub> 濃度が下がり、**全球平均気温が安定化**：炭素循環は？



**CO<sub>2</sub> 排出量** - 正味吸収量 = CO<sub>2</sub> 濃度変化



**全球平均気温を安定化のための CO<sub>2</sub> 排出量 = 正**

**(zero emission の気温応答 = 負)**

Yokohata et al. in prep



- ・ 温室効果ガス、SLCF(短寿命気候強制力因子)の収支理解
- ・ ティッピングエレメント
- ・ 人間活動のモデル化・緩和シナリオ分析
- ・ **データ発信**



(課題1と協力)

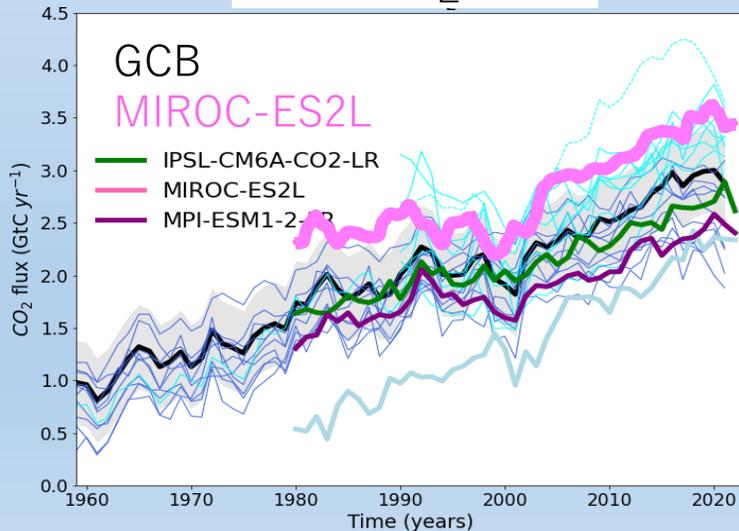
(\*) 全球規模の炭素収支の世界標準データセット、毎年更新。

(Friedringstein et al. 2023; 先端プロからは渡辺路生が連名)

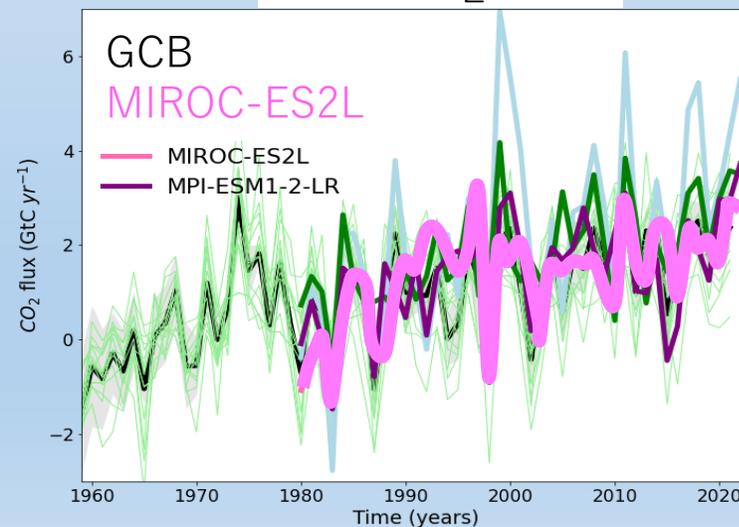
- ✓ 従前、観測データや単体モデルに基づいて収支を報告していたが、**2023年版で初めてESM出力も採用**
- ✓ 過去評価に関しては複数根拠のうちの一つでしかないが、**ESMは予測情報を創出可能**
- ✓ ESMを活用したプロセスベースの要因分析は、世界的にも途上であり、今後、要注力。
- ✓ 僅か**4つの参画ESMのうちの一つ**であり、この分野での日本のプレゼンスを発揮

## GCB2023と複数ESM(データ同化あり)との比較

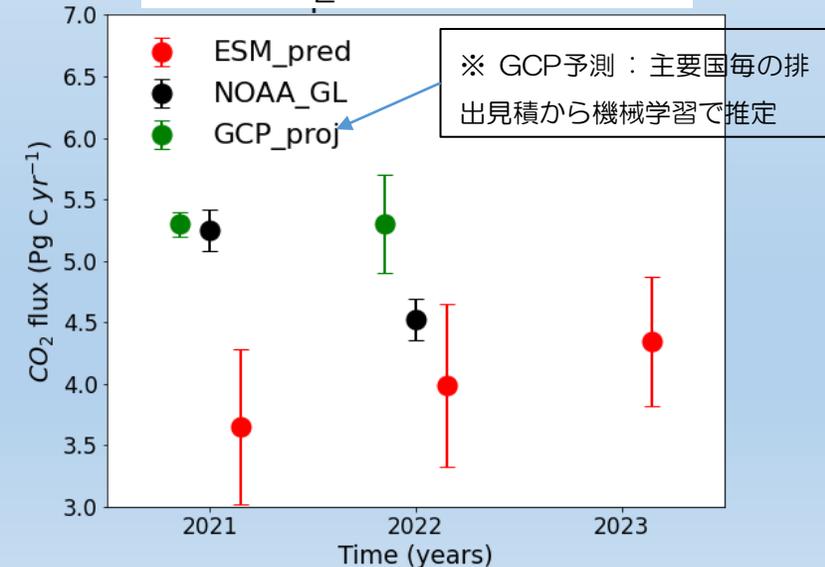
### 海洋CO<sub>2</sub>吸収



### 陸域CO<sub>2</sub>吸収



### 大気CO<sub>2</sub>量増加率の予測





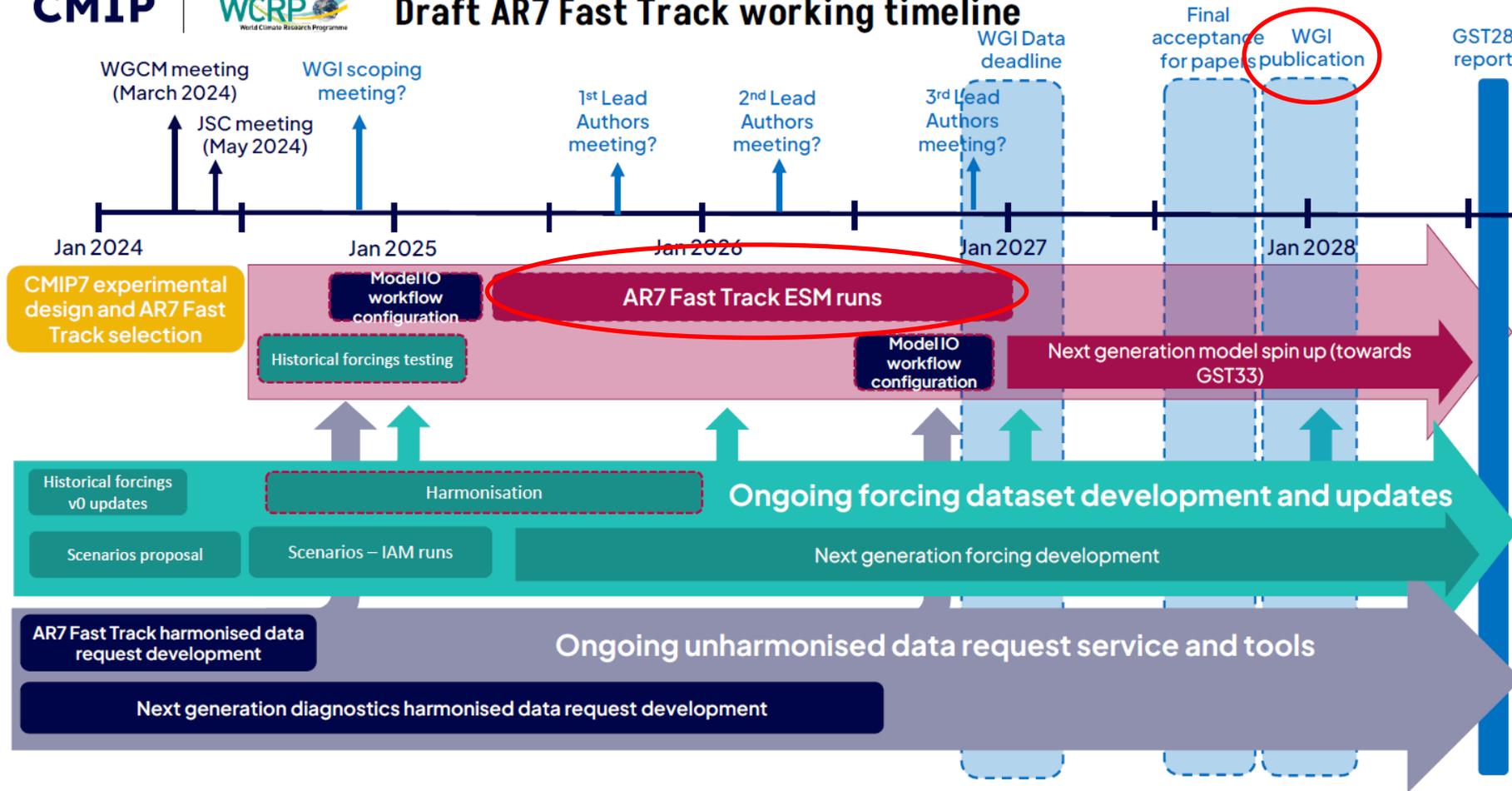
# CMIP7タイムライン



CMIP



## Draft AR7 Fast Track working timeline

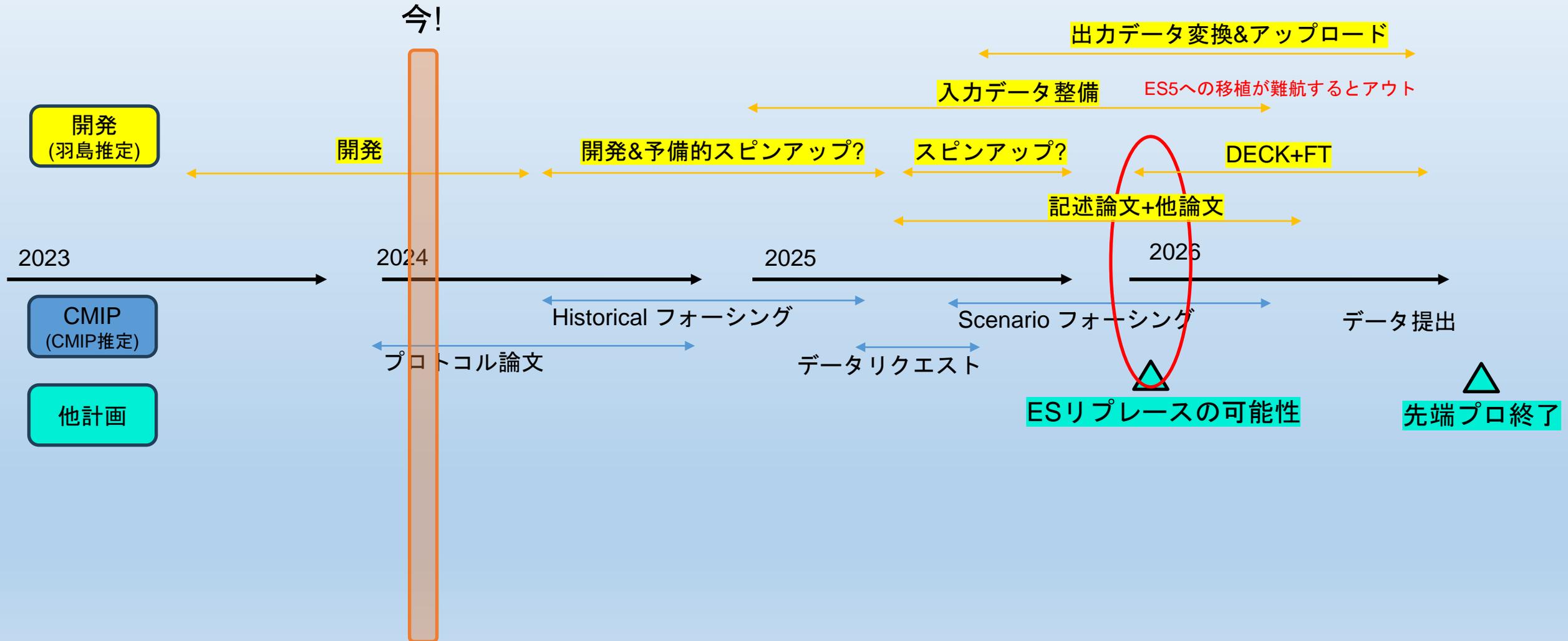


スライド作成：CMIP-IPO

WGIIは2028年前半には第7次評価報告書公表。  
 それより充分前に、政策に関連の深い実験群を Fast Track として実施。



# CMIP7タイムラインと先端プログラムでの作業予定





## 国際コミュニティにおける情報収集・発信

- **CMIP7 Task Teams (CMIP7 TT)**
  - CMIP7の実験デザインに重要な役割
  - CMIP7準備のため7つの課題班結成、うち2つに課題2参画者が加入(Strategic Ensemble, Data Request)
- **国際プロジェクトとの連携**
  - **TipESM, OptimESM (EUプロジェクト)** とJAMSTECが協力機関に
    - TipESMはティッピングに関するモデル相互比較プロジェクトのけん引役に？
  - 予測データ国際配信システム(**ESGF**)**更新**に関する情報収集
    - DIASとの連携へ
- **その他国際連携**
  - **WCRP LHA** 下の作業部会に課題2参画メンバー加入
  - **IPCC 専門家会合** (シナリオ、SLCF、TFI方法論) への参加
  - **IPCC TG-Data** 横浜会議開催 (22年10月)

**\* 国際コミュニティにおける諸活動は、IPCC, CMIPへの貢献に不可欠**



# 技術・事務支援





# 公開シンポ「教科書ではわからない気候変動」 長期対策の重要性～地球温暖化を止めるには？

高校生・大学生大歓迎！！

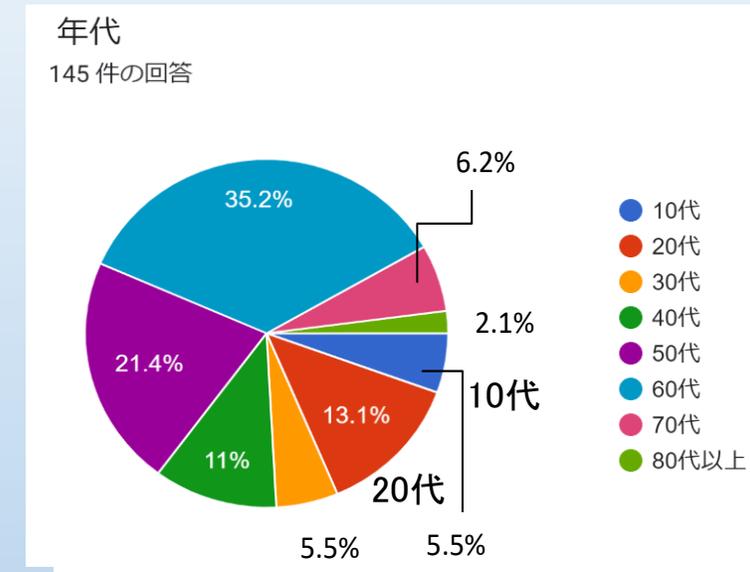
## 教科書では 分からない 気候変動

date **12/25 (mon)**  
13:00~15:50

venue  
オンライン開催

参加  
無料

最新の異常気象から長期対策の必要性まで



- ・気候変動に対するアクションにも言及されていて、わかりやすいメッセージ性を感じました。
- ・気候変動に多くの方から関心を持ってもらい、個々が自分のできることを実践する社会になることが大事だと思った。
- ・個人の意識の改革が必要でその広がりが必要だと思いました
- ・とても分かりやすかったです。このレベルで、庶民、生活者へのお話がとても必要と思いました。
- ・私たちにできることを具体的に示して下さってありがとうございました。
- ・気候変動に対する意識や対応についてかみ砕いた説明は小中学生に対してもとても分かり易い内容だったと思います。
- ・なぜ排出を大幅に落とす必要があるのか、よく納得することができた。
- ・力強く明確な言葉で現状が危機的な状態であることを伝えておられたと思います。

事後アンケート  
の感想一部抜粋

## 公開シンポジウム開催（他課題 と協力）

- ・ 1年目：Dataset 2022 広報
- ・ 2年目：高校生など**若い世代**  
**へのアウトリーチも**



## さらに、以下の成果も

- ・ 研究成果
  - ・ トンガ噴火で励起された「**ペケリス波**」の検出（課題1と協力）
  - ・ **NICAMのESM化**（陸域生態系導入など）計画進行中
  - ・ **土地利用変化**のため、1%CO<sub>2</sub>漸増実験と過去再現実験とで、陸域炭素吸収の振る舞いに大きな違いが生ずることを指摘
  - ・ **南極海海氷**の近年の急激な減少を再現
- ・ 技術・事務支援（いずれも他課題と協力）
  - ・ JAXA とのMoU締結。モデル開発や影響評価への**衛星データ活用促進**
  - ・ **AI研究者との連携**体制構築推進
  - ・ **共有サーバ・ディスク**運営



# 課題2：5か年計画に対する進捗



	FY2022	FY2023	FY2024	FY2025	FY2026
i.-a プロセス高度化 (JAMSTEC)	要素モデルへの先端的過程導入			AR7モデル調整・実験	
	既存データによるフィードバック・強制応答解析			導入した過程に対する感度実験	
i.-b エミュレータ (CRIEPI)	Warming level に基づいたリスク情報統合手法の開発			ESMによる知見のエミュレータへの統合	
	MIROC7-ESM構築				
ii. 基盤構築 (JAMSTEC)	炭素循環10年規模予測性能解析			予測精度向上、情報発信	
	NICAMへの物質循環過程導入			NICAM-ESM高解像度化	
iii.-b 地球-人間システム (JAMSTEC, NIES)	エネルギー、農業を考慮したモデル実験			気候変動リスク、CN実現方策分析	
III. 技術・事務支援 (JAMSTEC)	一次データ管理、Webサイト運営、成果報告会等のロジ				

- 全体計画に対して、概ね順調に進行中。
- CMIP7の作業は、想定のうち最も急な部類のタイムラインに従う必要があるが、高度化項目の取捨選択により対応可能。



# まとめ

- 温室効果ガス、SLCF(短寿命気候強制力因子)の収支理解
  - メタンの生成消失過程精査→メタン削減策の効果に有意な影響
  - 海洋一次生産：成層強化による減と人為栄養供給による増が同程度
  - 林野火災モデル開発：初期テストで良好な結果
- ティッピングエレメント
  - 南極棚氷底面融解：南極海温暖化4°C超で急激な増大
  - アマゾン（部分的）枯死の可能性（6°C超）
- 人間活動のモデル化、将来シナリオ解析
  - 暑くて働けない！→CO<sub>2</sub>排出が有意に減少
  - 簡易気候モデル（エミュレータ）の開発
    - 様々な将来シナリオと温暖化レベルとのリンク
- データ発信
  - Global Carbon Budget でのESM活用：世界4モデルの1つ
  - CMIP7着々準備中
  - ESGF（予測データ国際配信システム）情報収集・展開→DIASとの連携
- 技術・事務支援
  - 共有サーバ運用



# 予備スライド



# 国際貢献 (1): WCRP 周り

- CMIP7 Task Teams
  - CMIP7準備のため7つの課題班結成
    - Climate Data Access (ESGFの類), Climate Data Citation (データ引用文化醸成), Climate Data Request (MIPs 出力変数整理), Climate Forcings (外力データ作成), Climate Model Benchmarking (ESMValTool, iLamb の類), Climate Model Documentation (ES-Doc の類), Strategic Ensemble Design (CMIP 全般デザイン)
  - 先端Pの取り組み
    - **Strategic Ensemble に羽島、Data Request に河宮参画**
      - 国内関係者に呼びかけ CMIP7 TT 対策打合せ (2023年1月19日)
    - Climate Forcings 共同議長のVaishali Naik 氏 (GFDL/NOAA)を JpGU に招待
- WCRP LHA で 各種WGメンバー募集
  - **Perturbed Carbon Cycle (炭素循環)、Safe Landing Pathways (シナリオ開発との連携) に課題2メンバーが立候補中**
- WCRP Open Science Conference (10月, ルワンダ)
  - 課題1と共同でポスタークラスター立ち上げ



# 国際貢献 (2): IPCC, UNFCCC周り、その他

- IPCC
  - IPCC TG-Data 横浜会議 (22年10月)
    - CMIP7 への申し送り事項、Data Citation, Model Benchmarking Application, Funding などについて
  - IPCC 第58回総会 (23年3月、スイス)
    - 主要議題は統合報告書 (SYR) 承認、河宮参加
  - IPCC Workshop on the Use of Scenarios in AR6 and Subsequent Assessments (23年4月、タイ)
    - WG I – WG III 連携について
    - 課題2から立入参加、日本から他に藤森氏 (京大)、長谷川氏 (立命館大)、サリタ氏 (NIES) 参加
- UNFCCC
  - COP27 (22年11月、エジプト) 参加 (河宮)
    - 先端プロ初期成果 (by JAMSTEC草原) 報告 (Earth Information Day, ポスター発表)
    - サイドイベントとして先端プロ、環境省 SII-8 合同セミナー開催
    - COP27としての成果：
      - 「損失と損害」(Loss and Damage) についてのファンディング設立方針承認
      - 早期警戒システム構築、Tipping 現象理解、観測ギャップ充足の重要性確認
- その他
  - OptimESM (EU Project) との連携、4C, COMFORT (EU Projects): 外部助言委員、C4MIP 科学運営委、豪州気象局ワークショップ招待講演、次期ESGF情報収集、等。



地球環境の変動予測 特筆すべき成果

2022年1月トンガ大規模火山噴火に伴う気象津波の高解像度大気海洋モデルシミュレーション

背景と課題 (フローチャートにおける取組)

- ・2022年1月トンガ大規模火山噴火に伴い「気象津波」が発生し世界中で観測された。
- ・日本沿岸でも最大1mを超える津波が押し寄せ、被害が発生したが、**観測当時、メカニズムが不明であり、津波警報などの防災情報発表の課題が明らかになった。**

今後の見込を含めた主な成果 (フローチャートにおけるアウトプット)

- 成果：
- ・最新観測データと高解像度大気モデルシミュレーションとを組み合わせることにより、**理論上は知られていたが、存在が確認されていなかった「ペケリス波」の存在を実証した。** 気象学における歴史的発見という科学的意義を持つ。
  - ・さらに、高解像度海洋モデルと組み合わせて大気波動が誘起する海面変位を計算することにより、**ラム波だけでなく、ペケリス波によっても気象津波が励起され、水深の深い北西太平洋海盆でプラウドマン共鳴により増幅され日本へ到達したことを示した。**

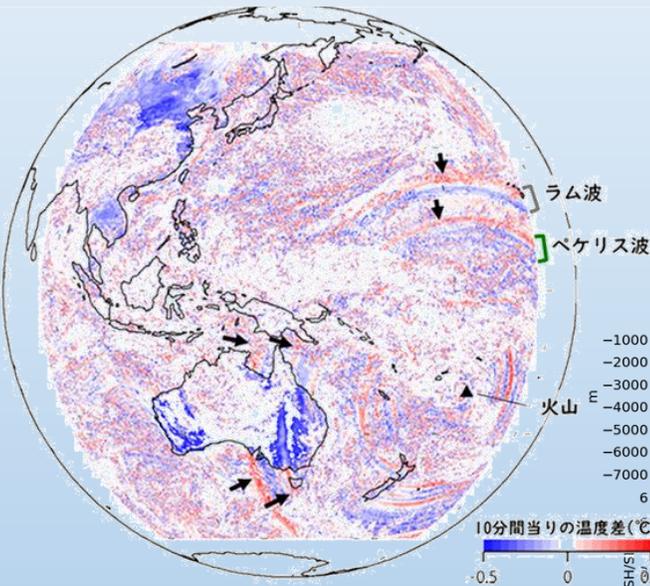
波及効果及び今後の展望 (フローチャートにおけるアウトカム)

- 波及効果：
- ・**強い噴火の発生時に大気変動のデータを用いて海洋モデルを駆動し日本へ到達する気象津波をより正確に再現できることを実証したことで、沿岸防災対策の向上に繋がることが期待される。**

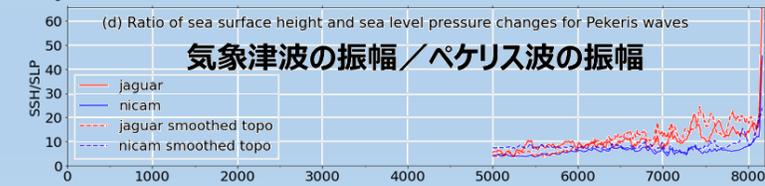
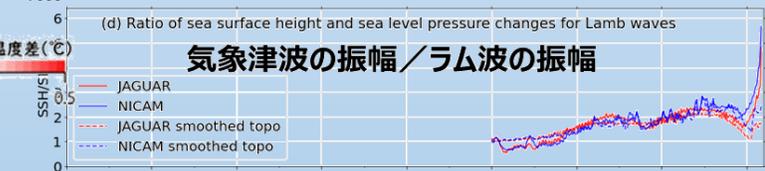
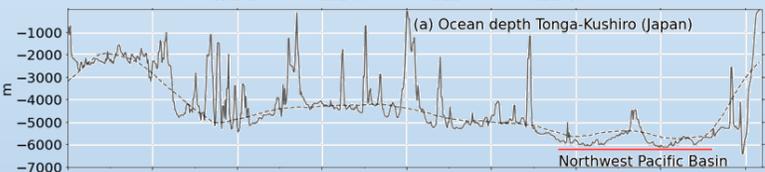
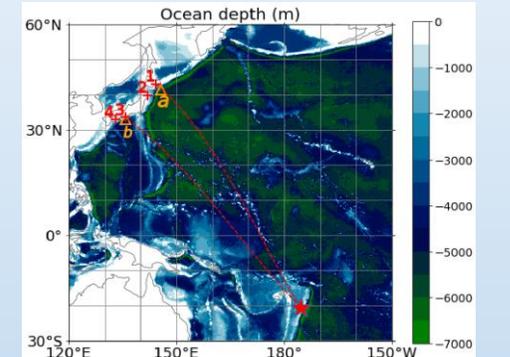
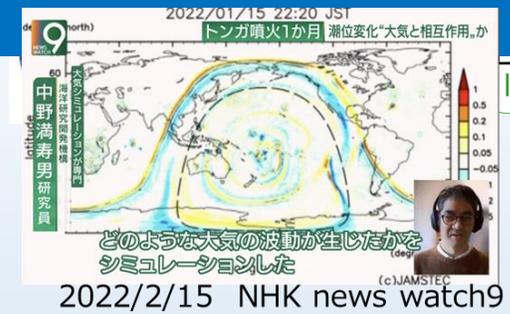
展望：

- ・高解像度の大気海洋モデルを複合的に用いた数値シミュレーションと最新の観測データを組み合わせることにより、歴史的なイベントを含む自然現象のメカニズム理解を深化させ、予測を可能にして、防災に資する知見を獲得する。

ひまわり8号 10分間隔撮像した差分火山から広がるペケリス波を初検出



大気モデル+海洋モデルシミュレーション

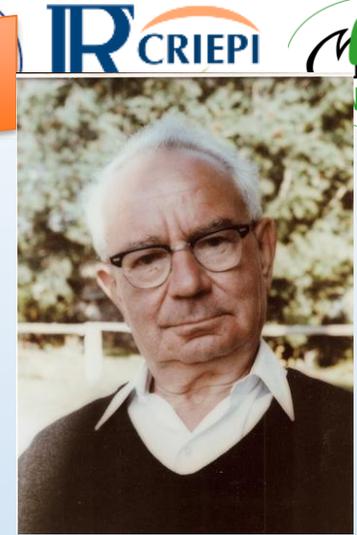


トンガから日本への気象津波の大気圧力偏差に対する水位偏差の大きさの比  
北西太平洋海盆でラム波は静水圧応答の**2倍**程度、ペケリス波は**8-17倍**、  
沿岸の急峻な地形でさらに増幅して日本（釧路）に到達している

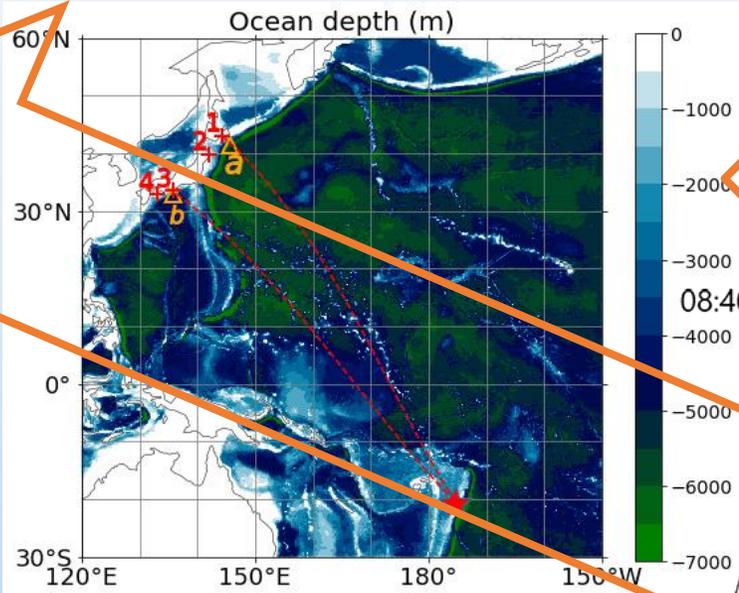
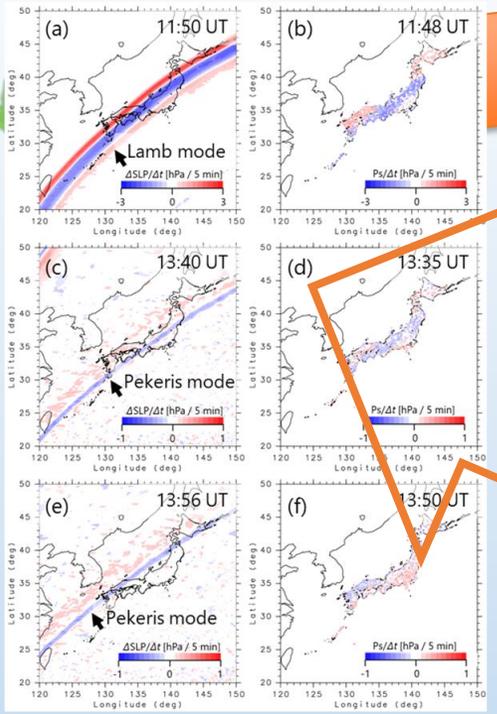
参考資料1: 幻の大気波動「ペケリス波」の発見と気象津波メカニズムの解明

海洋モデルで気象津波の再現に成功!

予期せぬ津波災害!



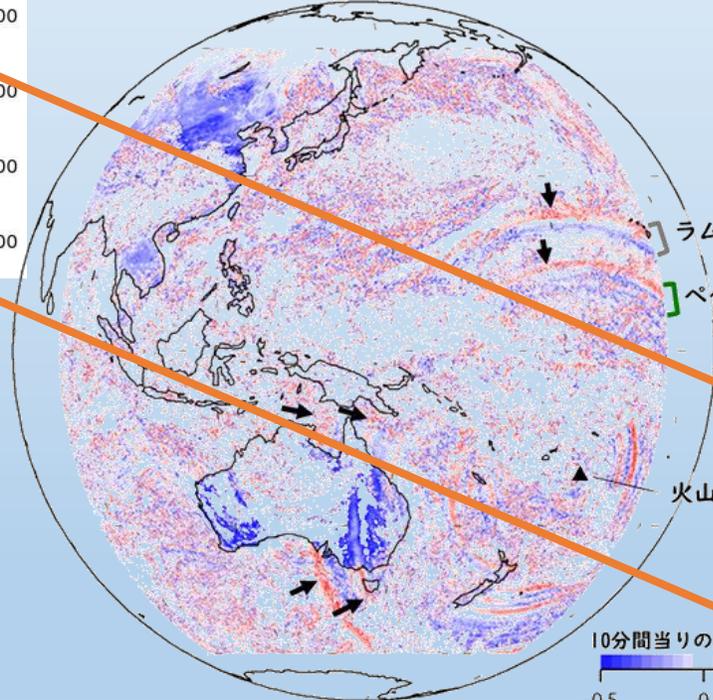
ペケリス(1908-1993)  
85年前に理論的に提唱



大気波動が励起?



08:40UT 15 January 2022

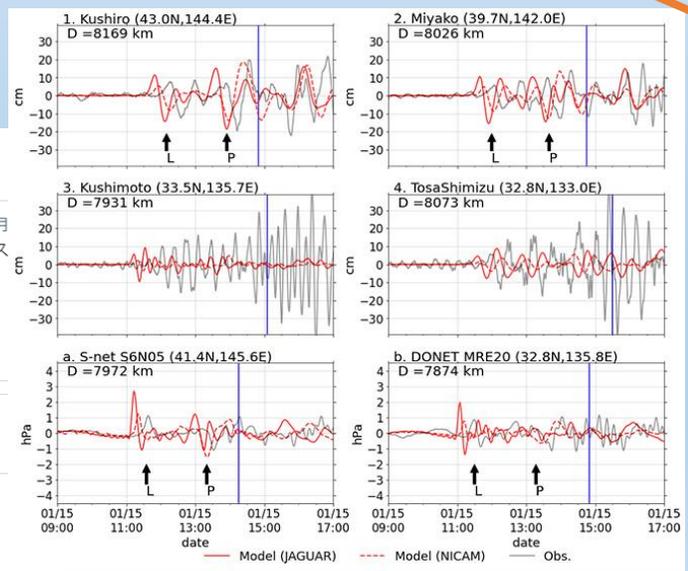


ひまわり8号 10分間隔撮像した差分  
火山から広がるペケリス波を初めて捉えた!  
大気モデル(JAGUAR&NICAM)で再現!



観測史上最強!  
トンガ火山の大噴火

左) 大気モデル、右) ソラテナ  
ラム波&ペケリス波の通過時  
気圧変化を精密に捉えた!



灰: 観測、赤: 再現計算の津波波形

← ツイートアナリティクス

JAMSTEC 海洋研究開発機構 海と地球の... @JAMST... · 2022年9月  
【研究成果】トンガの大規模噴火が引き起こした特殊な大気波動「ペケリス波」を発見  
~85年前に提唱されていた共鳴振動の存在を証明~  
jamstec.go.jp/j/about/press...  
このスレッドを表示

3,519 likes, 2,092 retweets, 2 replies

年間リツイート数1位!  
インプレッション数  
90万

# 炭素循環：1pctCO<sub>2</sub>, 濃度駆動Historical, 排出駆動Historical



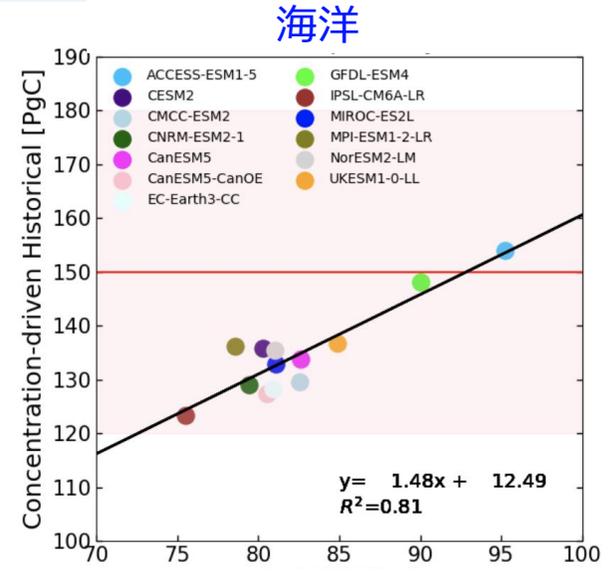
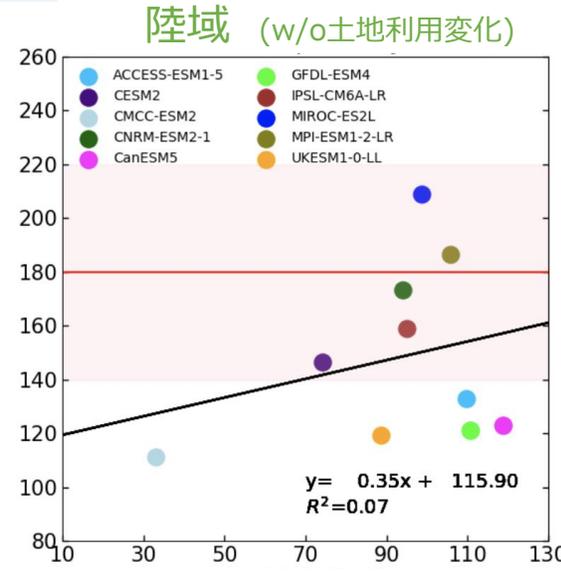
過去再現実験/予測結果の解釈の際  
Non-CO<sub>2</sub> → 炭素循環 が重要かもしれない

- 1%CO<sub>2</sub>漸増実験はフィードバック評価によく使われる、しかし、過去再現実験の振る舞いをよく説明できるとは限らないことが判明(左パネル、陸域)
- 他の解析により、非CO<sub>2</sub>の炭素循環影響が大きな違いをもたらすという示唆

$$\Delta \text{陸域C} = F(\Delta \text{CO}_2, \text{CO}_2 \text{起因な} \Delta \text{気候})$$

$$\rightarrow F(\Delta \text{CO}_2, \text{CO}_2 \text{起因な} \Delta \text{気候}, \text{nonCO}_2 \text{影響})$$

濃度駆動  
Historical  
実験

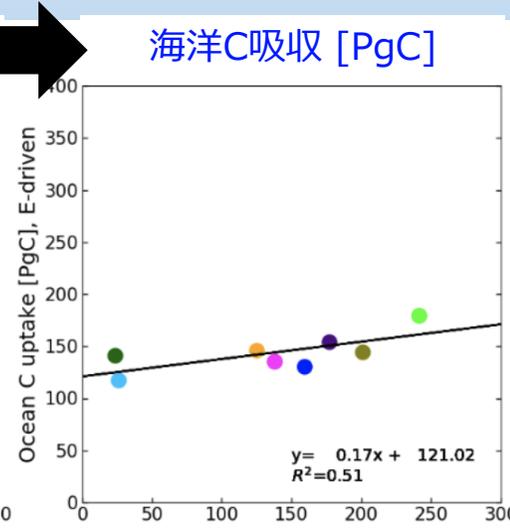
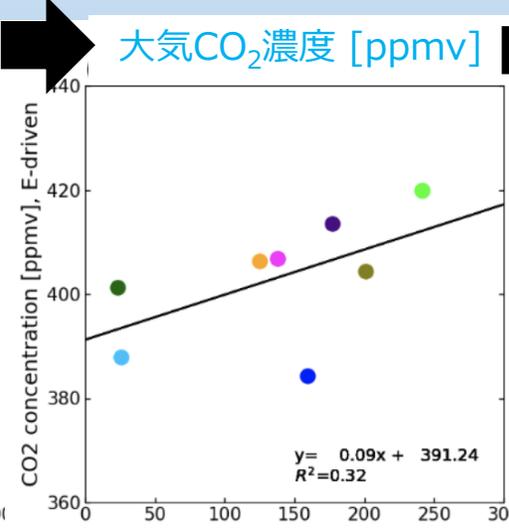
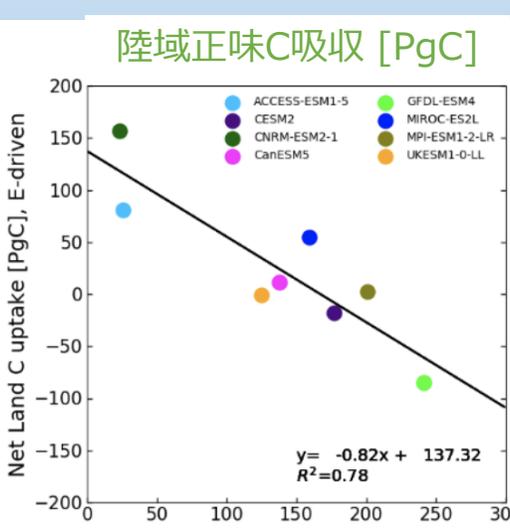


理想化(1%CO<sub>2</sub>漸増)実験でのC吸収量 [PgC]

排出駆動実験では、土地利用変化排出の再現精度が鍵になる可能性

- CO<sub>2</sub>排出駆動実験に対する国際的な注目の高まり
- 排出駆動ではバイアスが伝播：  
→ 土地利用排出のバイアス  
→ 正味陸域C吸収量  
→ 大気CO<sub>2</sub>濃度  
→ 海洋C吸収量  
という影響が大きいことが判明

排出駆動  
Historical  
結果



診断された土地利用CO<sub>2</sub>排出量 [PgC]

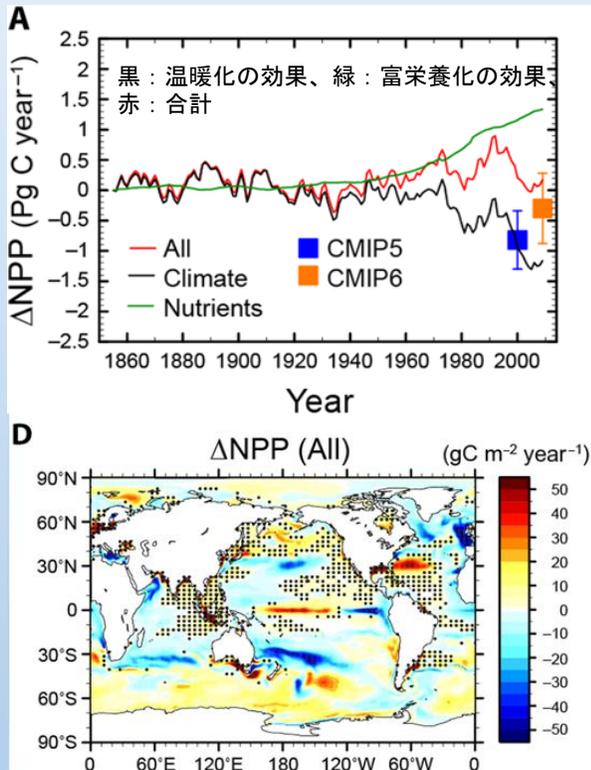




# 林野火災モデル→JAXA連携ここで触れる

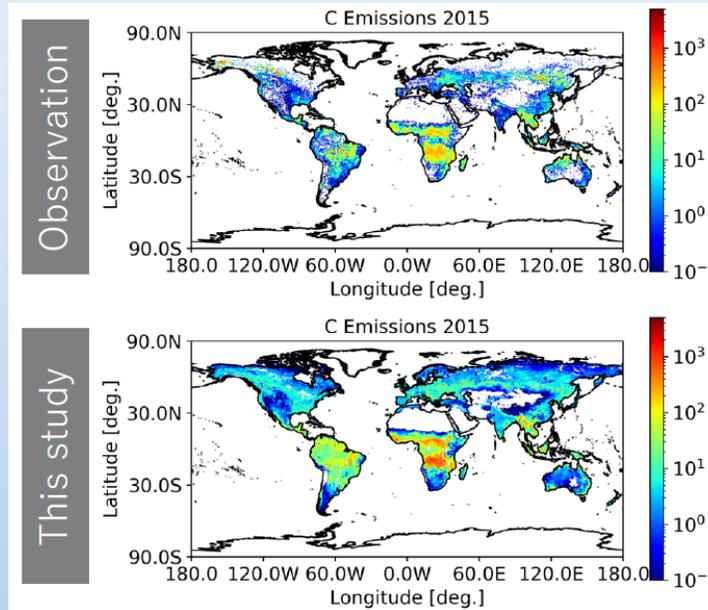
さらに：

人為起源「**全球富栄養化**」による海の光合成促進を指摘

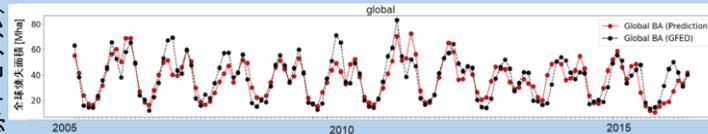


林野火災による炭素放出

## 林野火災モデルの開発



焼失面積 (黒：観測、赤：モデル)



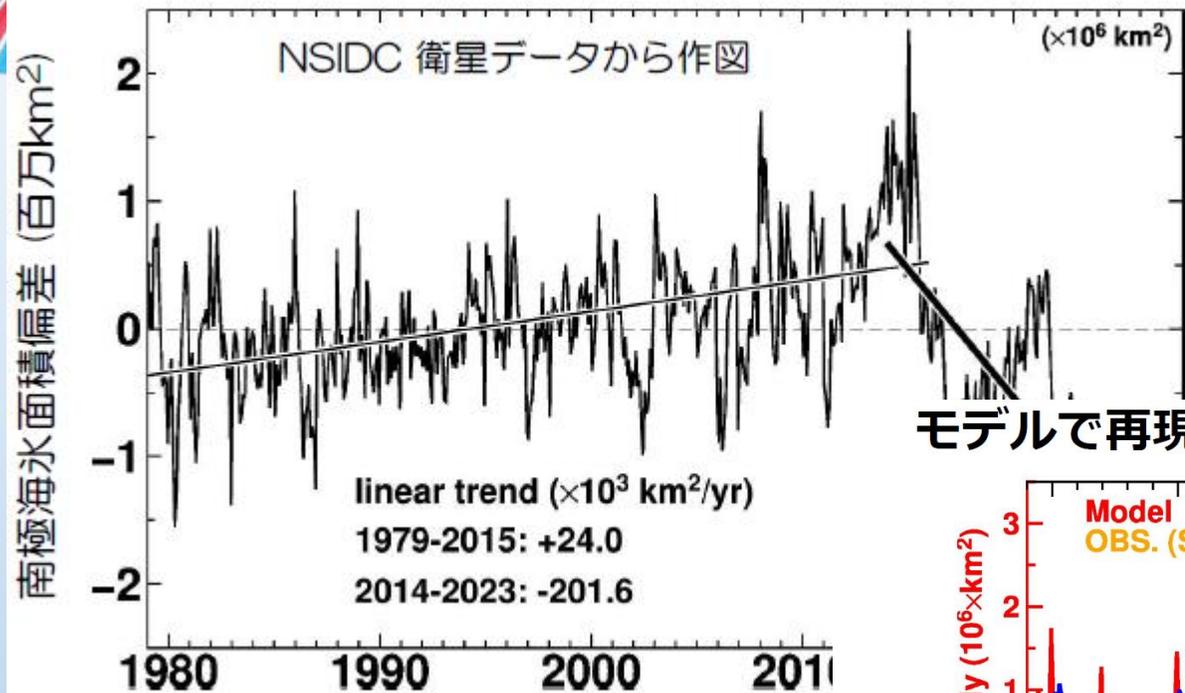
温暖化による成層強化で、海洋一次生産は減少傾向と考えられていたが、**河川やエアロゾルを通じた栄養塩供給**がそれに匹敵する効果を持つことを示した。

Yamamoto et al., (2022, Science Advances)

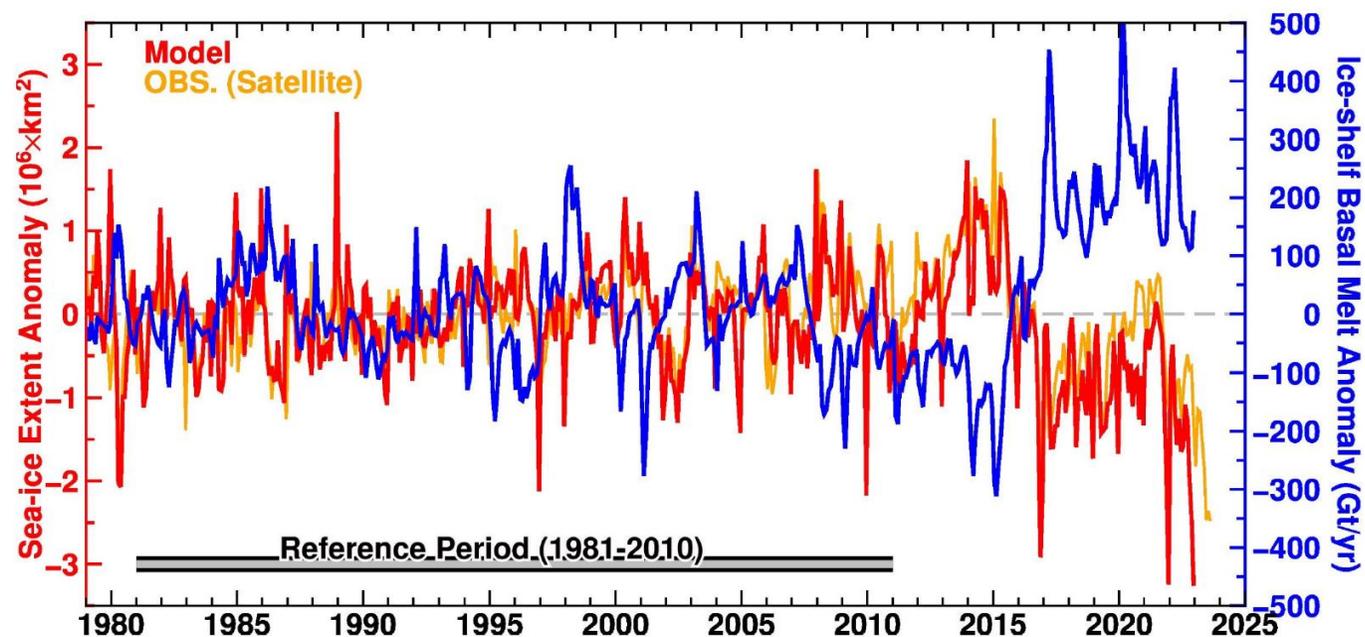
林野火災の予測は、気候変動の影響評価のためにも、CO<sub>2</sub>濃度変化の理解のためにも重要。**AIを活用したモデル開発**中。テスト実験で良好な結果。(課題4と協力)

図の提供：棚田 (JAXA)

- トンガ噴火時に発生した「幻の大気波動」**ペケリス波**の検出
- “**Global Carbon Budget 2023**“でのESMデータ採用(課題1と協力)
- 南極氷床棚氷の底面融解やアマゾン枯死に関する**ティッピング現象の可能性**を指摘
- JAXAとのMoU締結。モデル開発や影響評価への**衛星データ活用促進**(他課題と協力)
- **AI研究者との連携体制構築推進**(他課題と協力)
- 公開シンポジウム開催：高校生など**若い世代へのアウトリーチ**も(他課題と協力)
- **国際コミュニティへの貢献**(CMIP7 Task Teams, WCRP LHA “Safe Landing Climate”へのメンバー輩出など)



モデルで再現された、南大洋の海氷場と棚氷底面融解の時系列



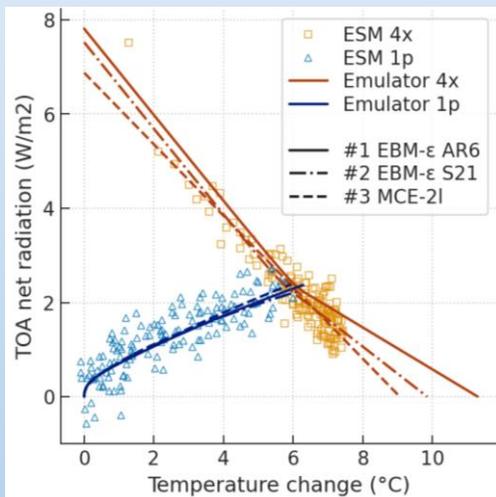
海氷面積偏差は衛星観測結果とある程度整合的である。南極全体の棚氷底面融解の偏差の時系列は海氷偏差と負の相関関係にある。特に、**2016年以降**大きな海氷減少と付随するように、棚氷融解が増加していることが分かる。



# パラメータアンサンブルの生成手順と本研究からの示唆

## 1. Calibration

CMIP6データを集めてモデル別にパラメータを最適化

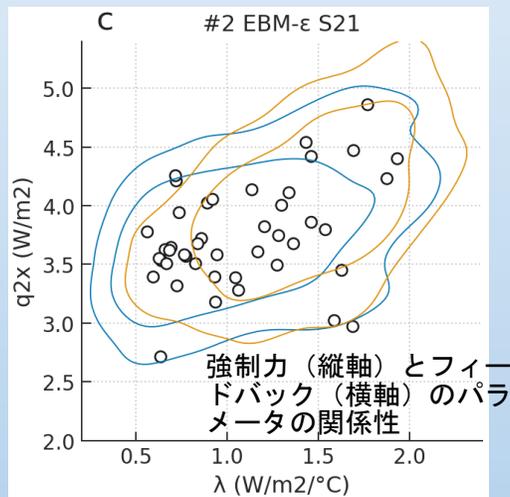


温度応答の基本特性を表すp4左図の $\Delta N$  (縦軸) と $\Delta T$  (横軸) の関係

エミュレータとして正確か  
⇒ 強制力とフィードバックのパラメータ化で、強制力側に改善余地

## 2. Sampling

1の結果を確率密度に集約してランダム系列を生成

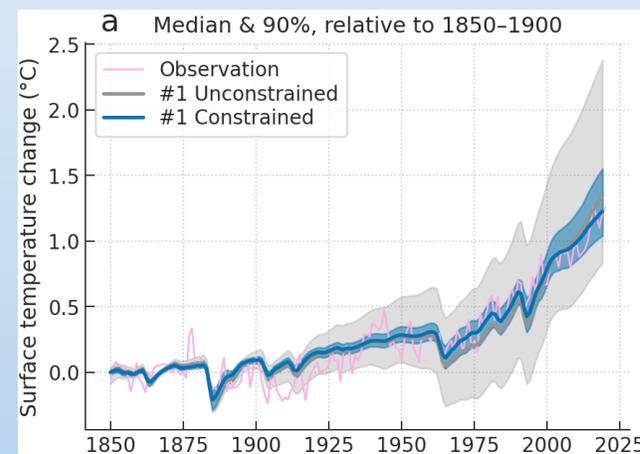


○ Calibrated — Unconstrained 90%, 66%  
— Constrained 90%, 66%

CMIP6マルチモデルを適切にカバーしているか  
⇒ AR6の方法は3と融合した形。2自体は不十分

## 3. Constraining

観測情報等からの指標を基に2の結果を制約



1850–2019年の地表気温の変化。1995–2014年の観測値が制約指標の1つ

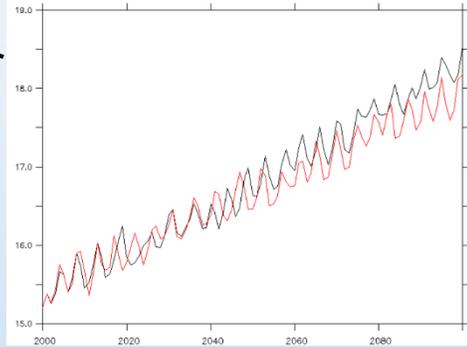
方法論的に一貫したものか  
⇒ 確率論的評価を左右する最重要ステップ。制約指標の選定に有用な、汎用的で一貫性のある方法に代替可能



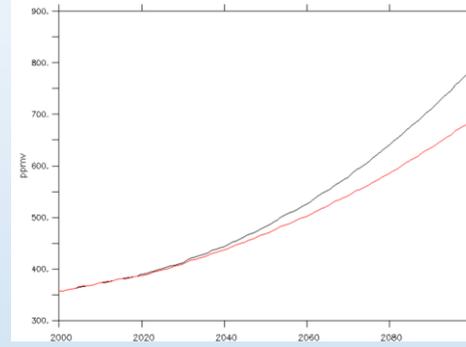
黒：影響を考慮しない場合  
赤：影響を考慮した場合  
(BAUシナリオ)

労働生産性変化考慮

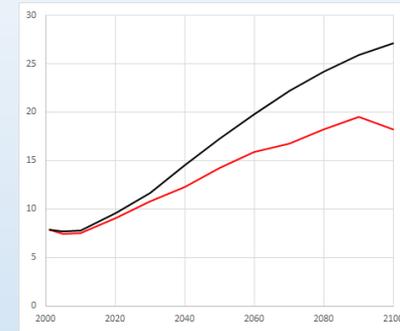
全球平均気温(°C)



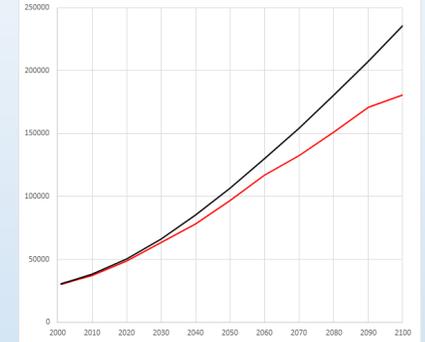
CO<sub>2</sub>濃度(ppm)



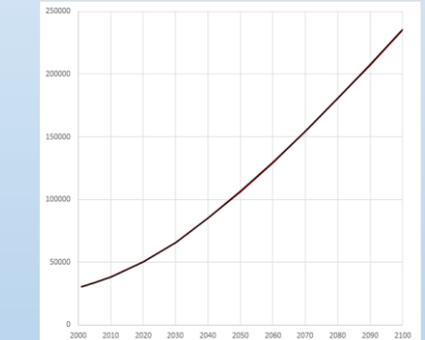
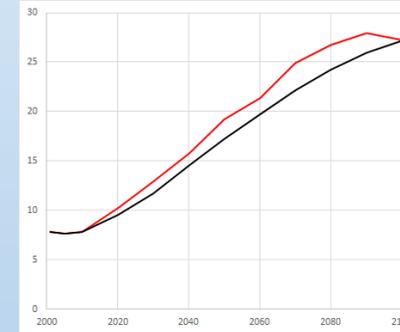
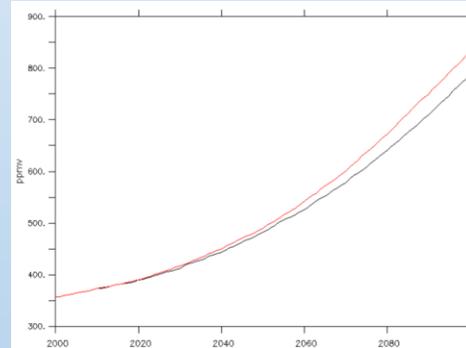
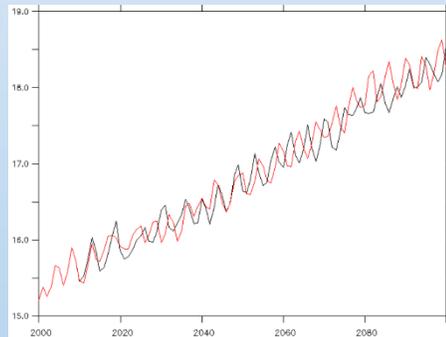
CO<sub>2</sub>排出量 (PgC/y)



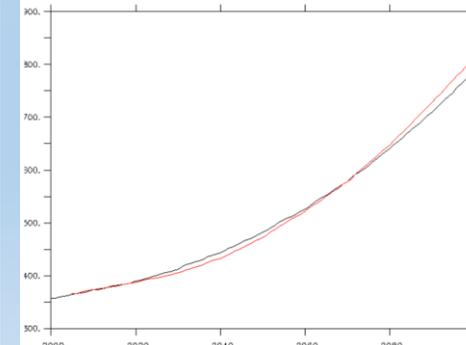
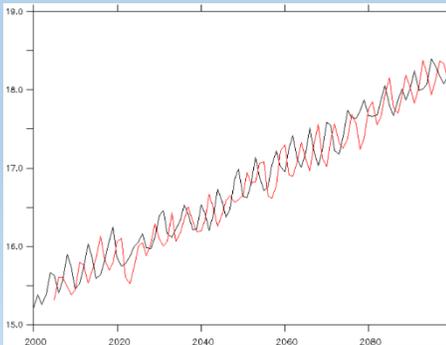
GDP (Billion USD in 2001)



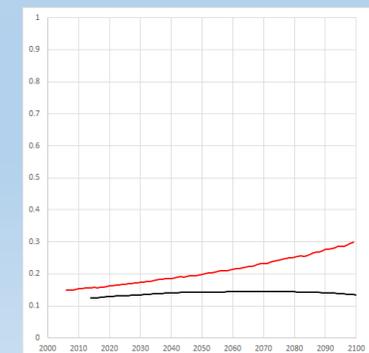
冷暖房需要変化考慮



農業生産性変化考慮  
(CO<sub>2</sub>排出、GDPは  
変化なし)



耕地面積率



森林面積率

