

環境研究総合推進費S-20 短寿命気候強制因子による気候変動・環境影響に
対応する緩和策推進のための研究
2023/8/8 中間評価ヒアリング

テーマ 2 : 短寿命気候強制因子による地域規模の環境影響評価

体系的番号:JPMEERF21S12020 研究実施期間:令和3~7年度

テーマリーダー：芳村圭（東京大学）

サブテーマ1リーダー：芳村圭（東京大学）

サブテーマ2リーダー：上田佳代（北海道大学）

サブテーマ3リーダー：増富祐司（国立環境研究所）

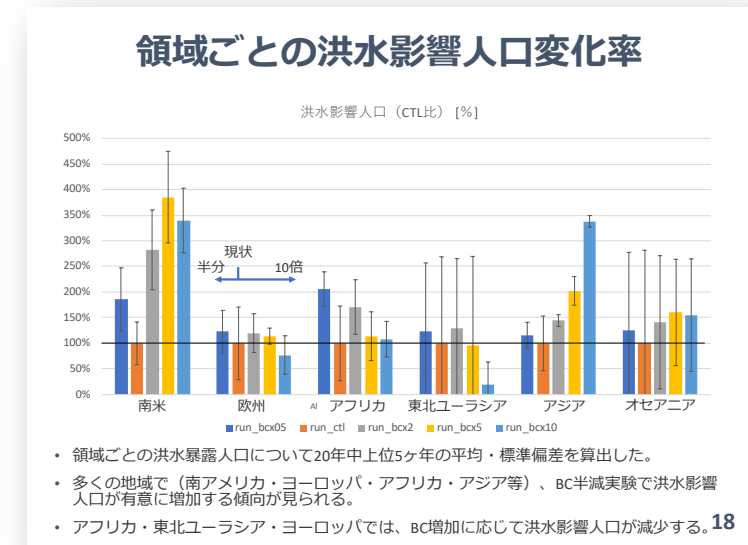
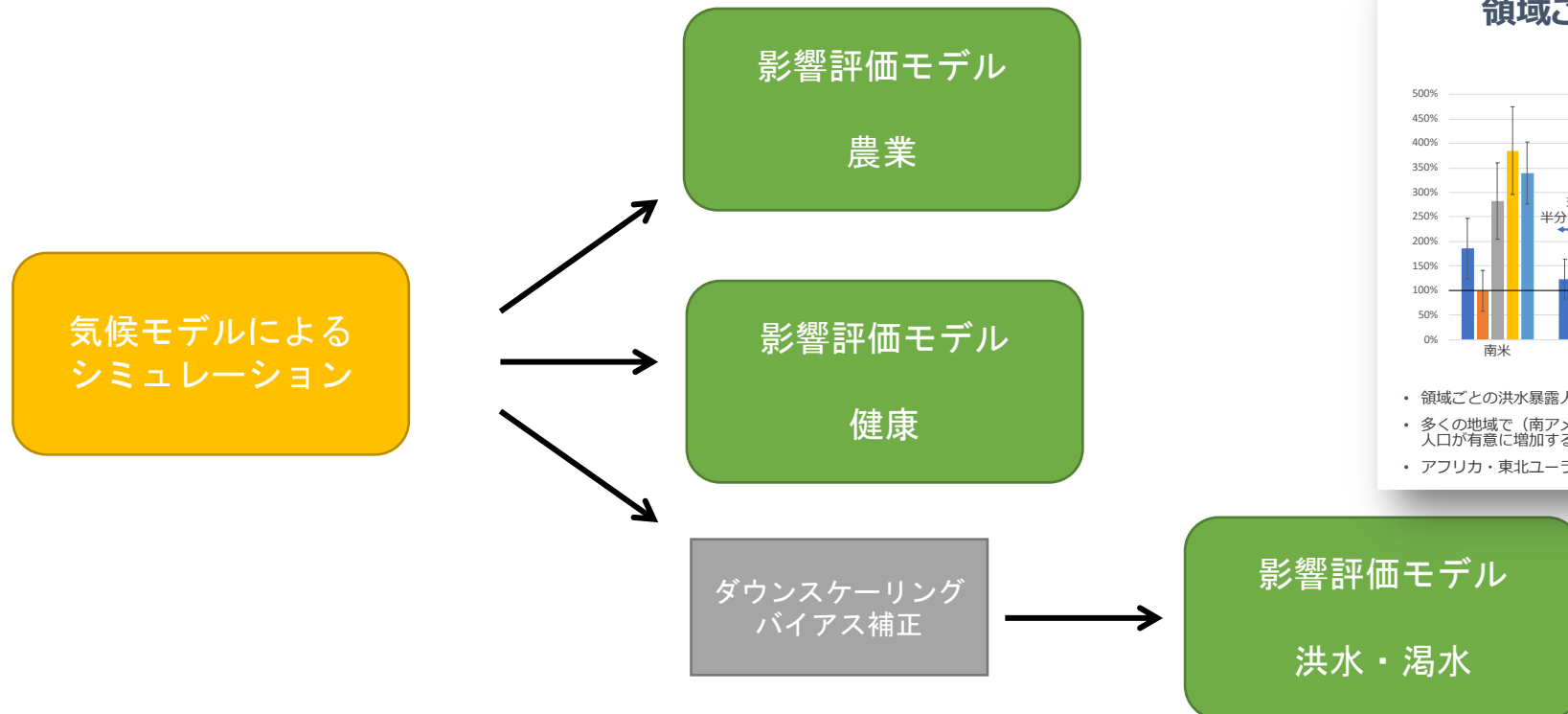
サブテーマ4リーダー：吉兼隆生（東京大学）

研究分担者：

新田友子（東京大学）、Seposo Xerxes（北海道大学）、Athida Uttajung
（北海道大学）、青野光子（国立環境研究所）、伊藤昭彦（東京大学）

はじめに 短寿命気候強制因子(SLCFs)の影響評価研究の背景

- 短寿命気候強制因子（Short-Lived Climate Forcers; SLCFs）の気候影響に注目が集まっている
- 前戦略研究課題であるS-12では、世界に先駆けてSLCFsの排出量増減による健康影響や農作物への影響、或いは洪水・渇水等の水循環などへの影響を評価するフレームワークが確立され、そういった項目の地球全体での定量的な影響評価を行うことができた
- しかしながら、**地域規模での情報**を政策決定者或いは市民に情報提供を行えるところまでは至らなかった

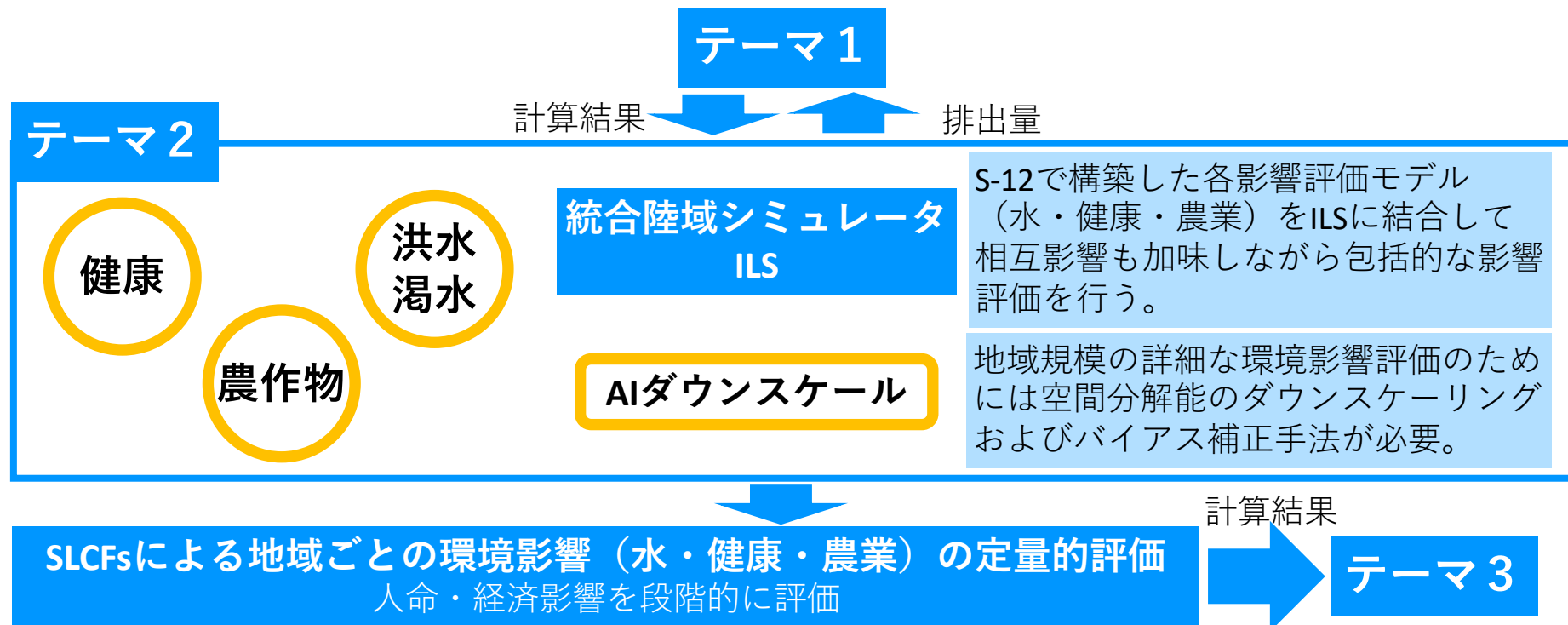


S-12最終評価会より

環境研究総合推進費 S-20 テーマ2の研究開発目的

短寿命気候強制因子による地域規模の環境影響評価

これまでに自ら開発してきた健康・農作物・洪水渇水影響に関する評価モデルを用いたSLCFsによる環境影響の評価



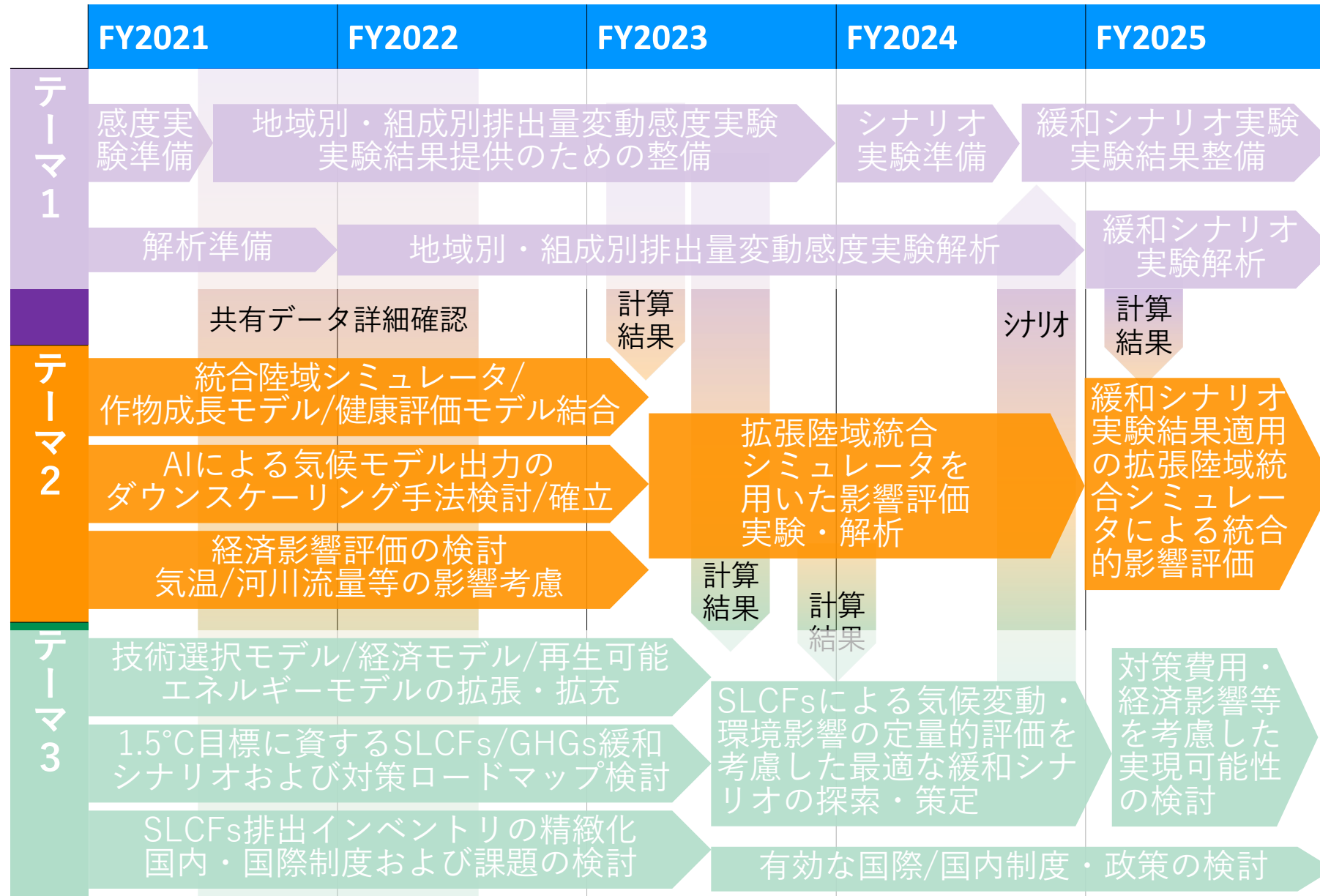
テーマ間連携

- テーマ 1 により計算されたSLCFsの効果を含めた気候変動予測結果を利用
- テーマ 1 へ陸上からのSLCFs排出量に最適な値を提供
- テーマ 3 におけるSLCFs影響最適緩和シナリオ策定時の要素として利用

環境研究総合推進費 S-20 テーマ2の研究目標

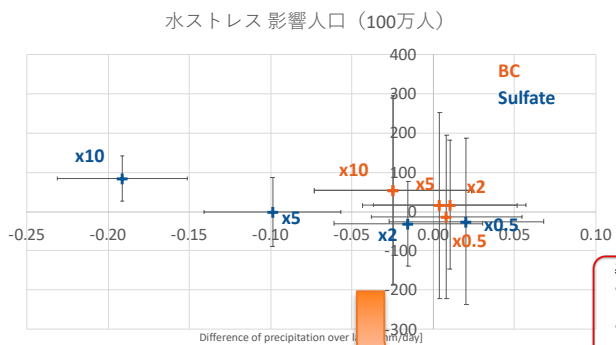
- テーマ2では、テーマ1によって推計されるSLCFsの影響を加味した全球気候モデル出力に対して、新たな機械学習的な手法を駆使したバイアス補正（BC）・ダウンスケーリング（DS）手法を構築し、日本や東アジアなどを含むいくつかの特定の領域に適用する。並行して、洪水・渇水、農業、健康など、未来社会の構築においていくつかのより重要なセクターを選別し、それらの影響評価モデルを構築する。構築した複数の影響評価モデル及びBC/DS手法を適用した気候モデル実験結果を用いて、SLCFsによる地域規模の環境影響評価を行う。**サブテーマ1では、このうち洪水・渇水の地域規模の影響評価を担当し、サブテーマ2は健康影響を、サブテーマ3は農業影響を担当する。サブテーマ4はBC/DS手法の開発を担当する。**
- テーマ2では、以下の3つの目標を立てて研究を進める。
 1. 高度化された統合陸域シミュレータおよび高解像度化されたテーマ1の気候実験結果を用いた、SLCFs排出量増減による地域規模での健康影響・農作物影響・洪水渇水影響の評価
 2. 陸域からのSLCFs排出量の能動的な推定を可能にするような、統合陸域シミュレータの高度化・高精度化
 3. テーマ3により策定されたSLCFs排出量削減に関する最適緩和シナリオを利用して実施されるテーマ1の気候変動のシミュレーション結果を用いた健康影響・農作物影響・洪水渇水影響の評価
- 以上の目標を達成することにより、SLCFsの地域ごと・組成ごとの気候変動と環境影響の定量的評価を行い、国際的枠組（IPCC, CCAC, APCAP等）および国内政策へのSLCFs最適削減に関する科学的知見を提供するといったプロジェクト全体の成果目標を達成する。

環境研究総合推進費 S-20 テーマ2の研究計画



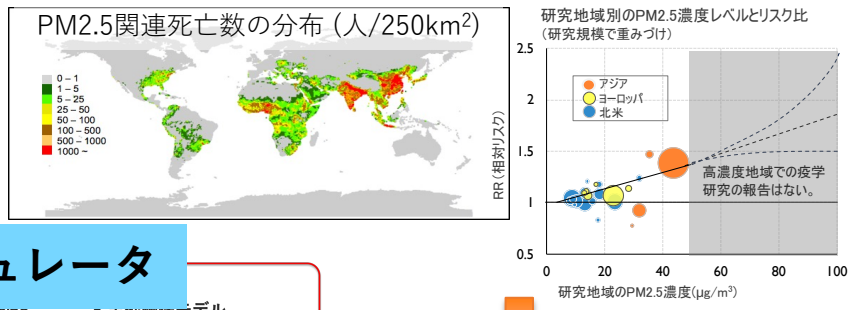
環境研究総合推進費 S-20 テーマ2の構成と研究開発内容

サブテーマ1 東京大学 SLCFsによる陸水変動の定量的評価



水質・衛生状態
による感染症等
の取り扱い

サブテーマ2 北海道大学 SLCFsによる健康影響の定量的評価

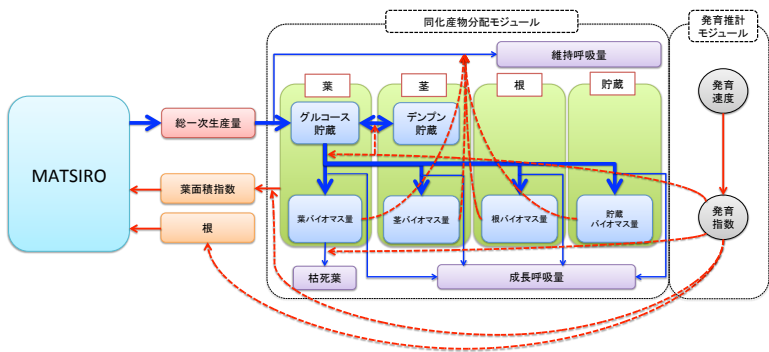


統合陸域シミュレータ

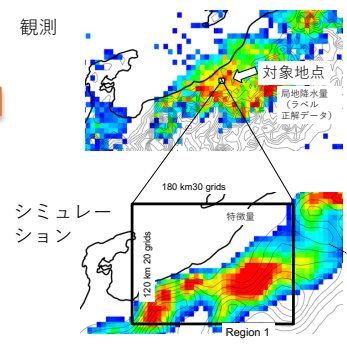


湿地・水田過程の高度化
(メタンの取り扱い)

サブテーマ3 国立環境研 SLCFsによる農作物影響の定量的評価



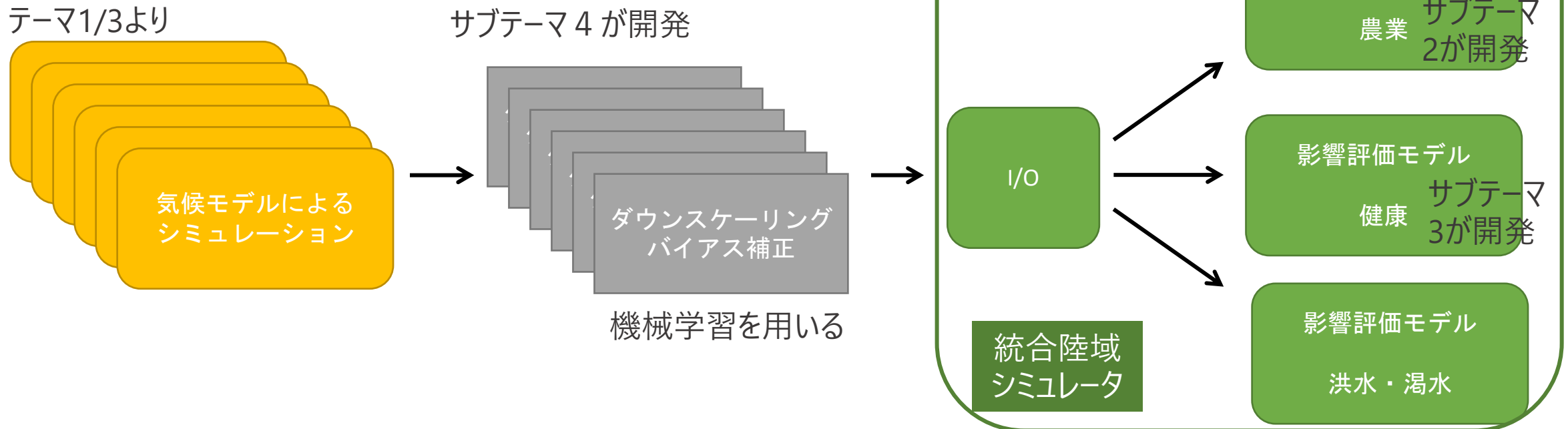
サブテーマ4 東京大学 地域スケールでの影響評価のための 気象データダウンスケーリング



テーマ1による
SLCFs実験結果

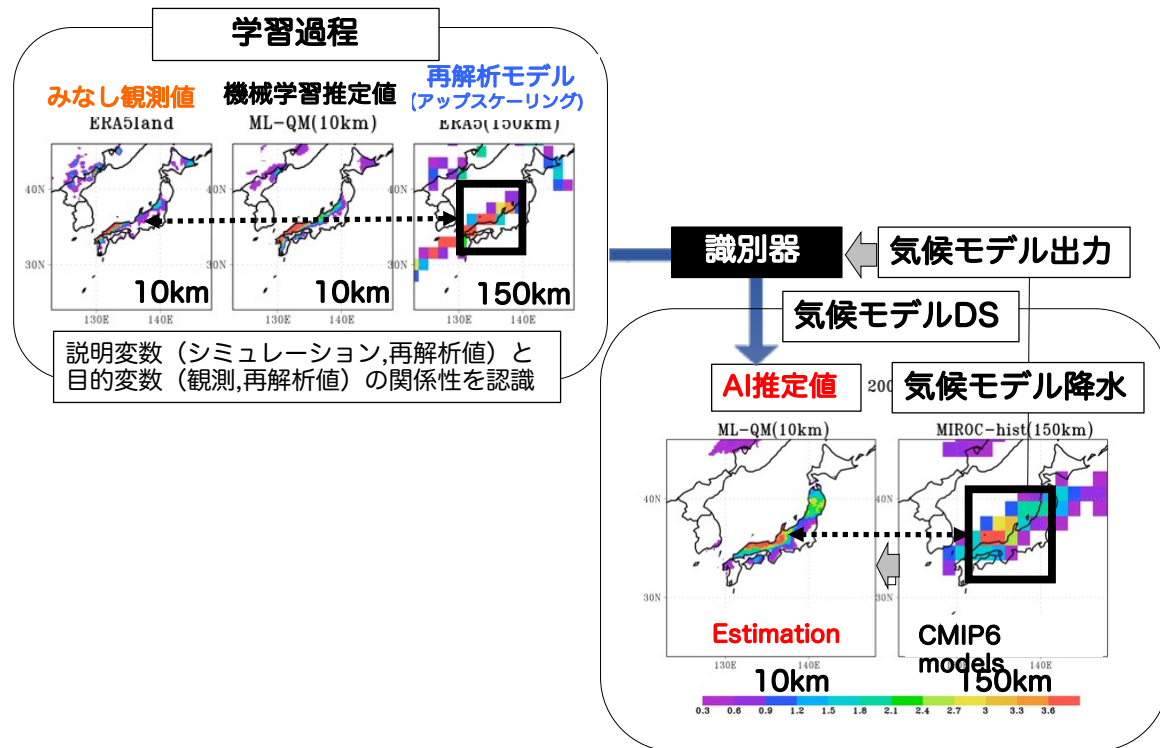
テーマ2（影響評価チーム）によるこれまでの研究開発のまとめ

- 統合陸域シミュレータを用いて**SLCFs排出量増減の地域規模での環境影響評価**を行う
 - 地域規模での影響を評価するためには、多数の気候モデル実験をもとにした影響評価が必要
 - これまでの枠組みでは、多段階の作業が必要、データ量が多い、入力ファイルの形式変更が必要、といった理由から、多数の影響評価実験を行うには手間や時間がかかりすぎる
 - 影響評価を、高速かつ少ない手順で実施するため、統合陸域シミュレータを拡張し、統合影響評価モデルとして整備
 - 統合陸域シミュレータ（ILS）を用いて影響評価を行う

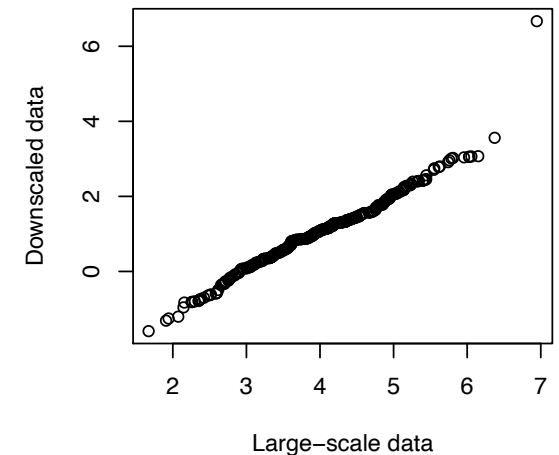
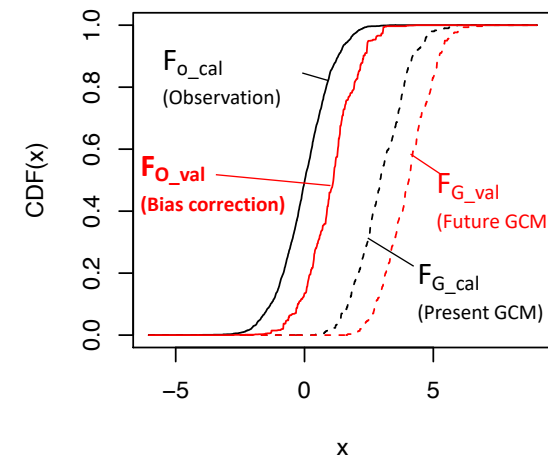


サブテーマ4：地域スケールでの影響評価のための気象データダウンスケーリング

- Yoshikane and Yoshimura (2021; 2023)に基づき、AIによって学習した「モデルのくせ」の直し方をS20シミュレーション結果に適用する。
- 機械学習（ML）によって空間分布を補正し、分位マッピング（QM）によって平均・分散を補正する。



- 分位マッピング（QM）とは？
 - 従来からよく使用されている統計的手法で、平均値や分散といった統計量が合うように、元データを順位に従って変換する手法。
- MLとQMを組み合わせることにより相乗効果が得られる。（Yoshikane and Yoshimura, 2023）

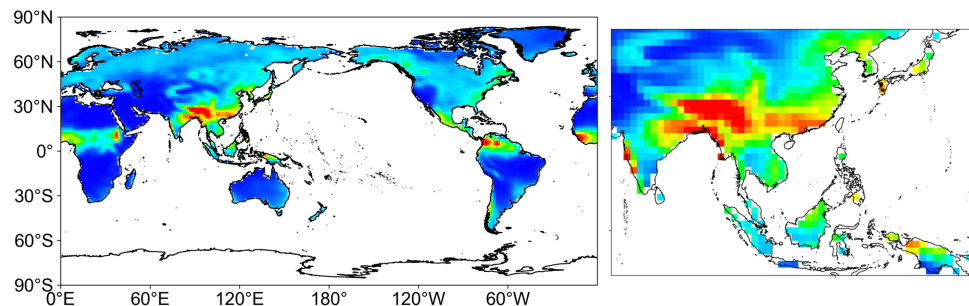


O_cal: ERA5再解析（降水プロダクト）
G_cal: S20-Base ML 推定値: (修正前 ERA5 ML推定値)
G_val: S20 感度実験 ML 推定値
O_val: S20 感度実験 DS/BC 推定値

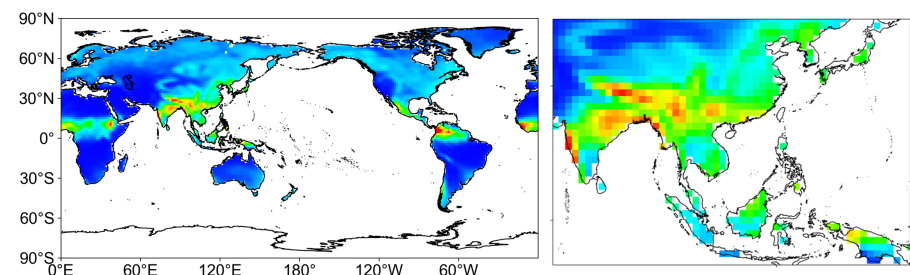
1.5度解像度のS20 Base実験結果を0.5度解像度にBC/DS

7月 月降水量分布 (長期平均値)

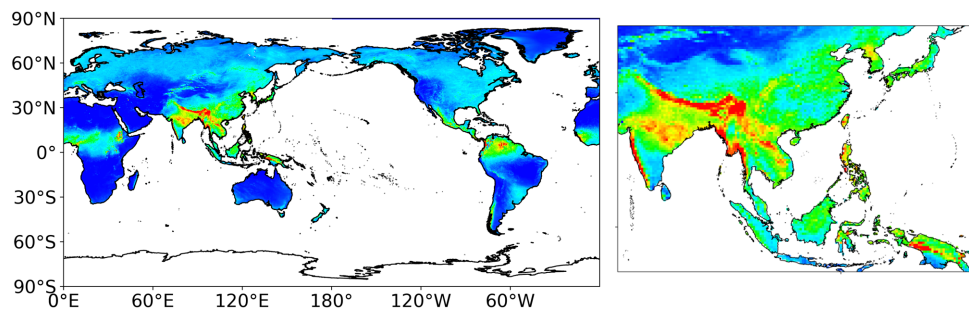
S20-Base (50 years)



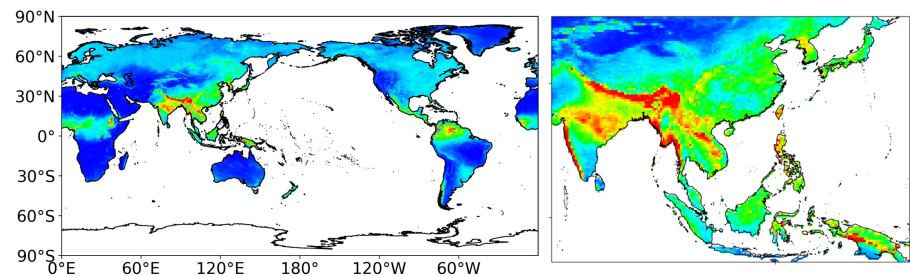
CMIP6 MIROC6 historical (30 years)



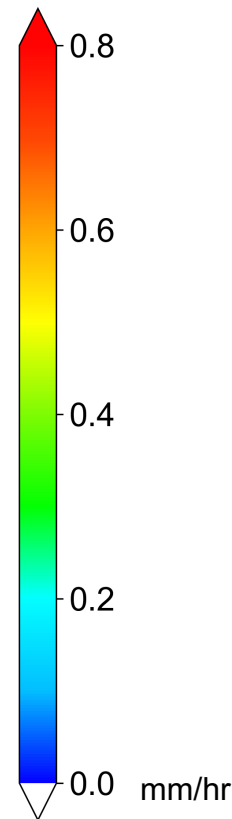
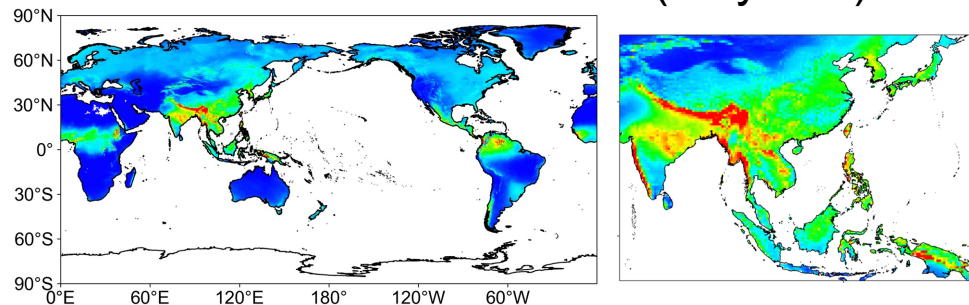
S20-Base DS/BC推定値 (50 years)



CMIP6 MIROC6 DS/BC推定値 (30 years)



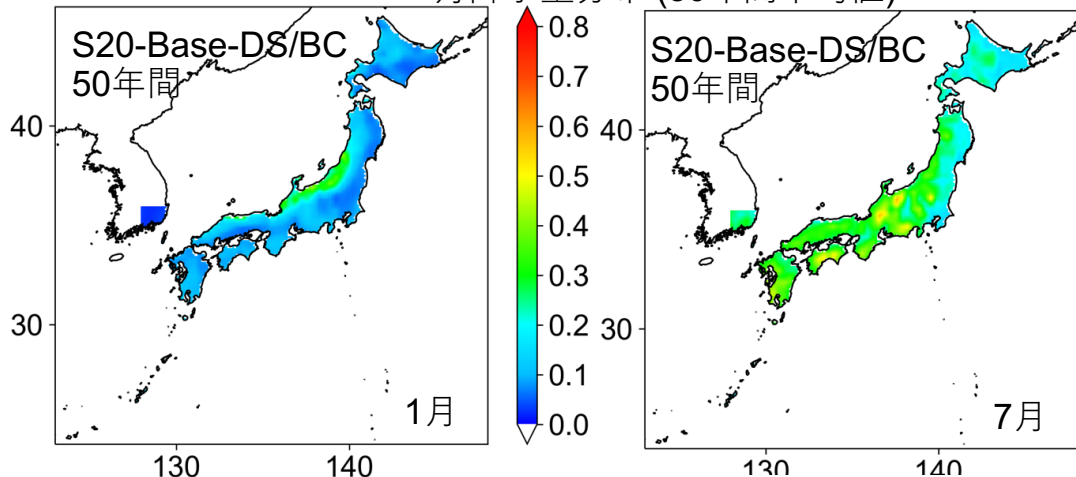
ERA5再解析値 (30 years)



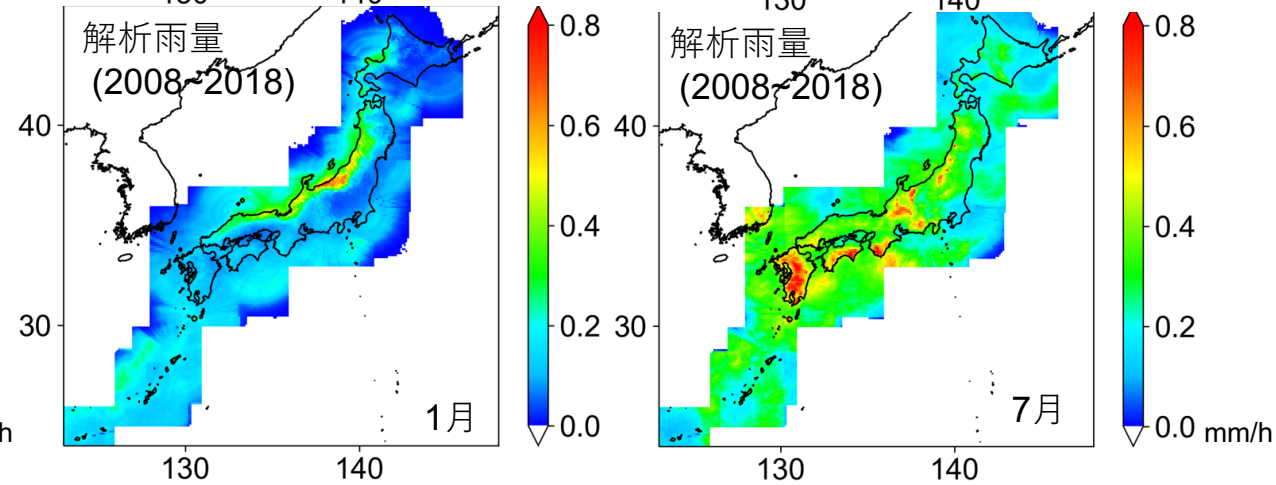
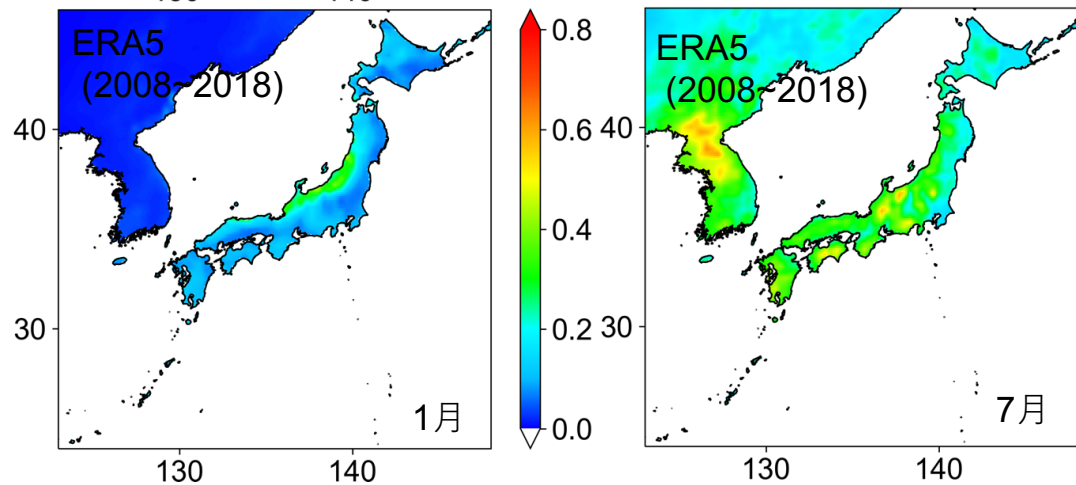
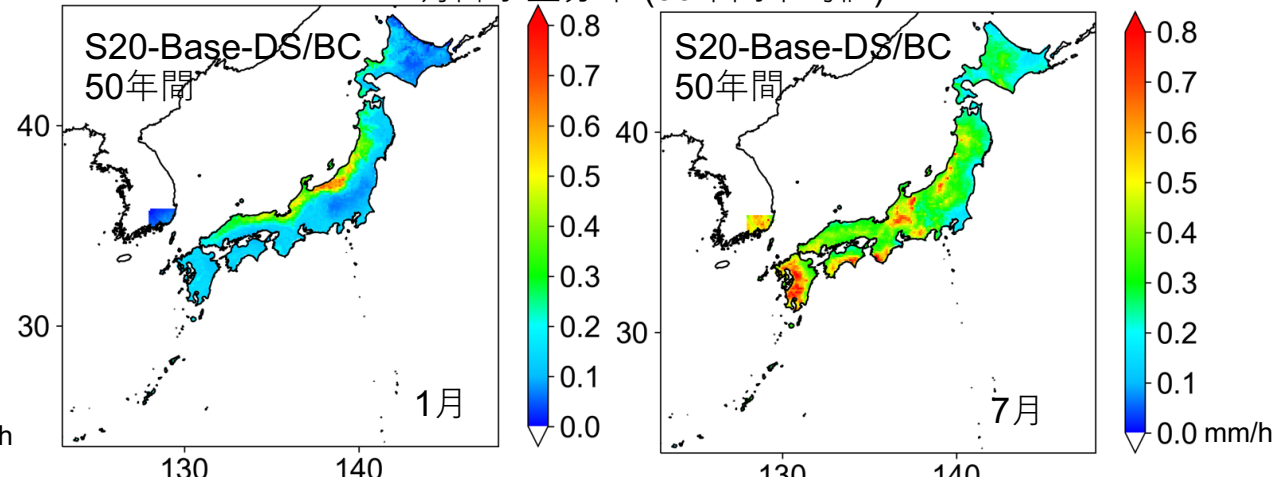
- 説明変数（入力データ）の違いによらず、目的変数に沿った分布を推計。
- 地表付近の気温・風速・放射・湿度といった陸モデルへの強制力変数全てについて妥当性を確認。

1.5度解像度のS20 Base実験結果を0.1度解像度にBC/DS

月降水量分布 (30年間平均値)

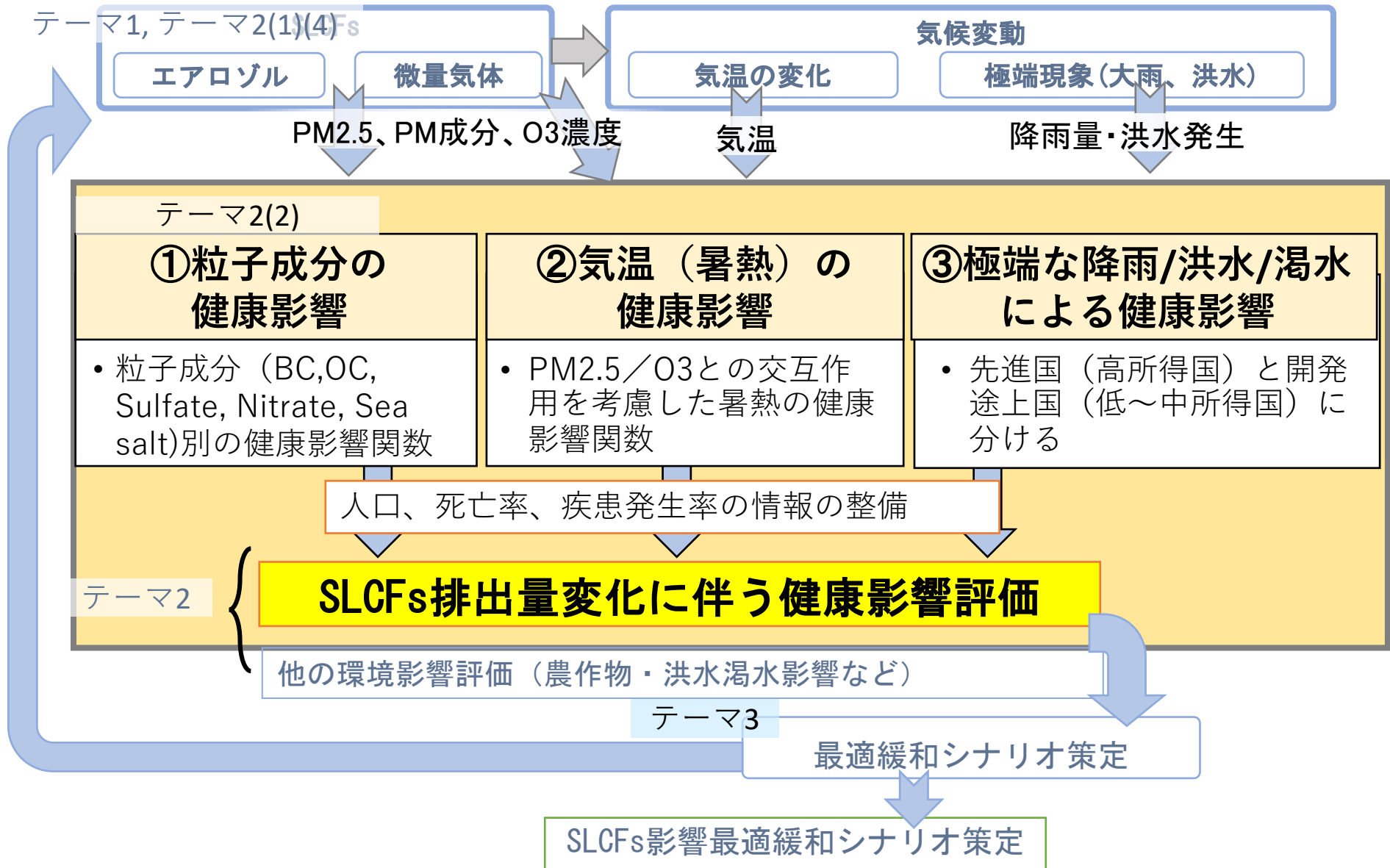


月降水量分布 (30年間平均値)



- 目的変数を別のものに変わると、それに沿った推計が可能。
- 細かい解像度 (0.1度) にも適用可能 (計算量との兼ね合いで、全球0.5度を採用)

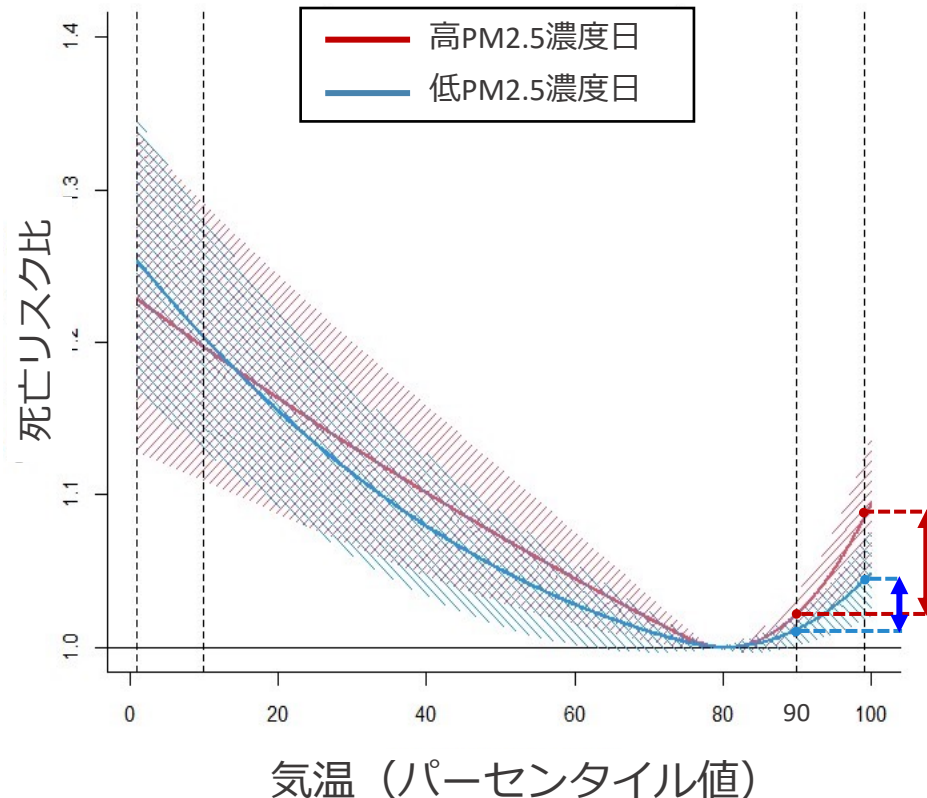
サブテーマ2：短寿命気候強制因子による健康影響の定量的評価



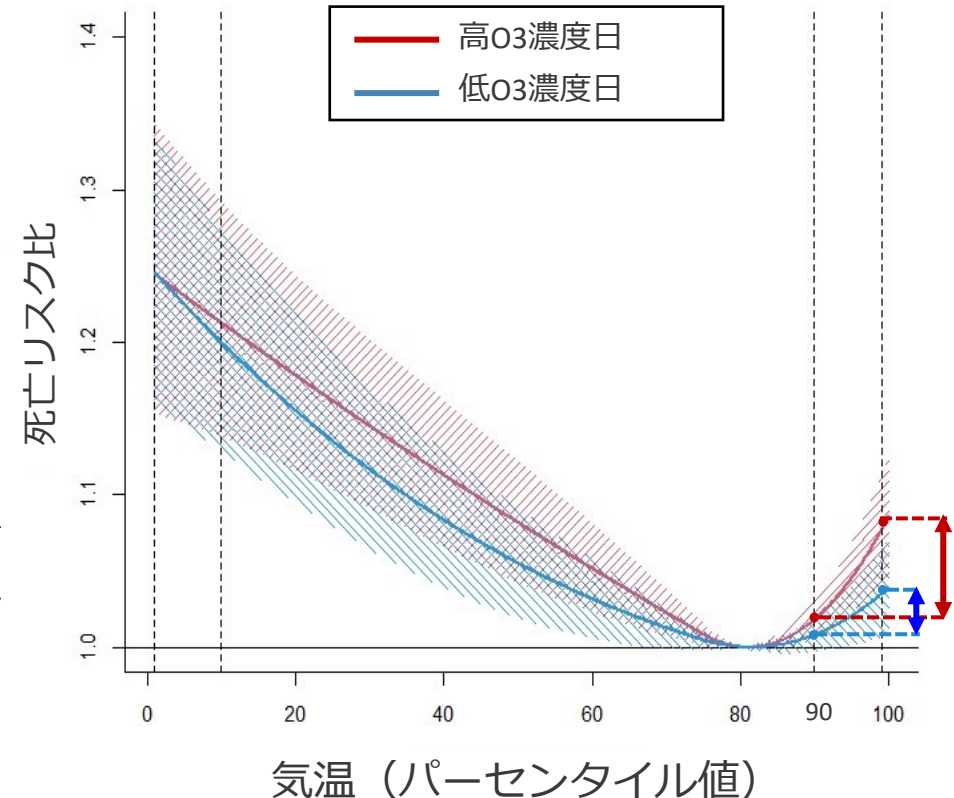
気温（暑熱）の健康影響大気汚染との交互作用

- 大気汚染濃度が高い日における暑熱の影響（90パーセンタイルに対する99パーセンタイル気温の死亡リスク）は、濃度が低い日の約2倍になる。

PM2.5濃度別気温－死亡の関係



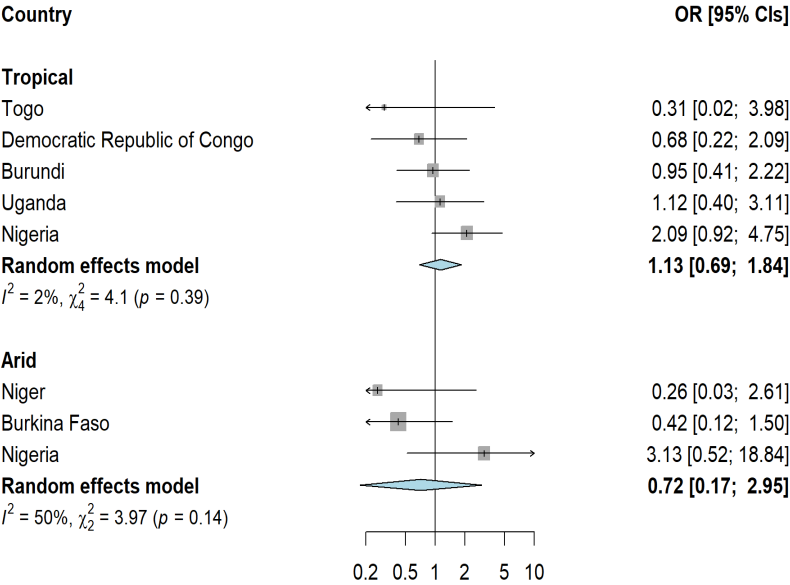
O3濃度別 気温－死亡の関係



極端な降雨/洪水/干ばつによる健康影響

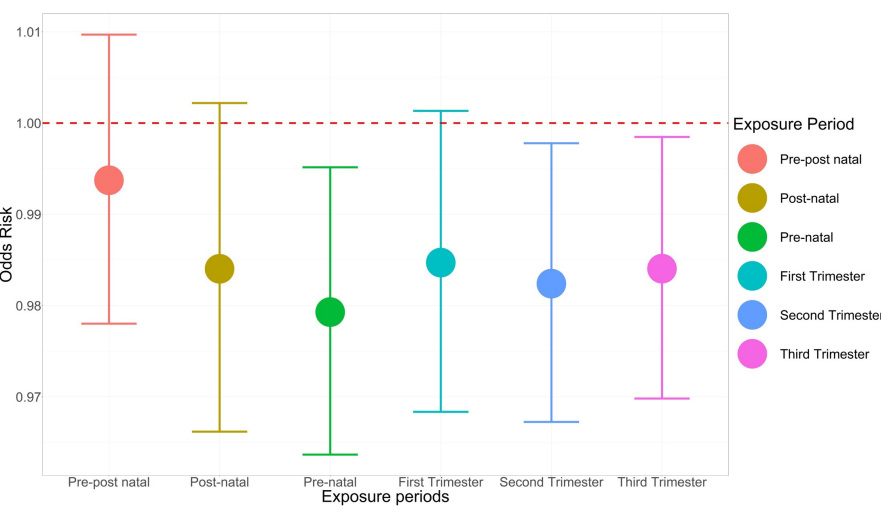
- 大雨や干ばつによる健康影響について、アフリカの人口保健調査（Demographic and health survey data, DHS）を用いた疫学研究を行った。

大雨による小児呼吸器疾患に対する影響



はっきりした関連は見られなかった。

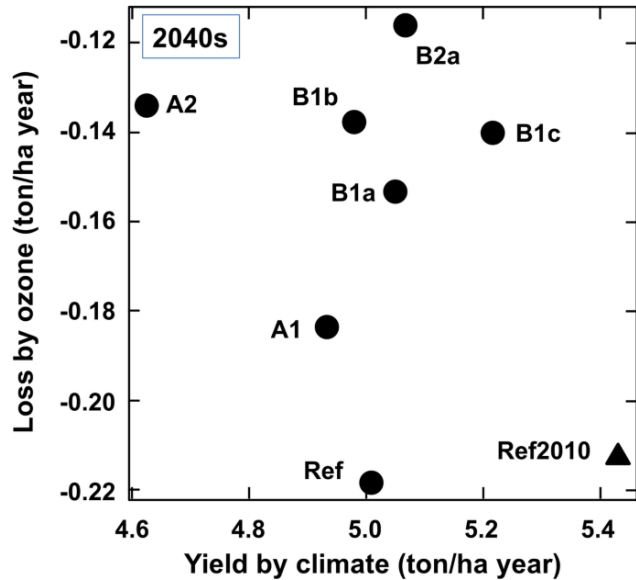
干ばつによる小児の発育不良に対する影響



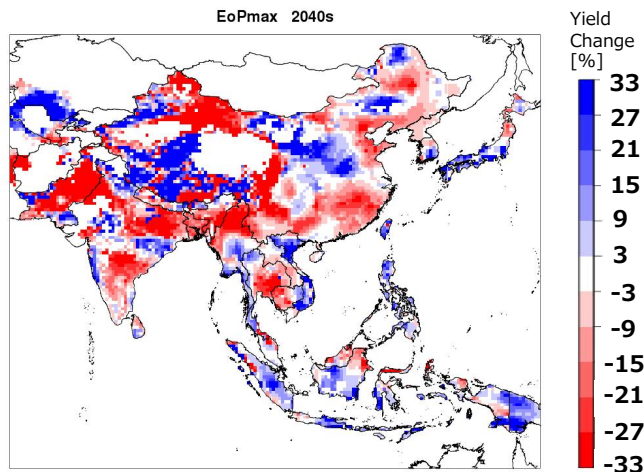
干ばつにより発育不良が2%増加。

健康影響関数として、統合陸域モデルとの結合の準備を進める。

サブテーマ3：短寿命気候強制因子による農作物影響の定量的評価



(Nakajima et al., 2020)



(Masutomi et al. 未発表)

S12の到達点

- LLGHGs/SLCFsの削減パスの違いにより **グローバルに** **水稻生産量**が大きく異なることを明らかにした。



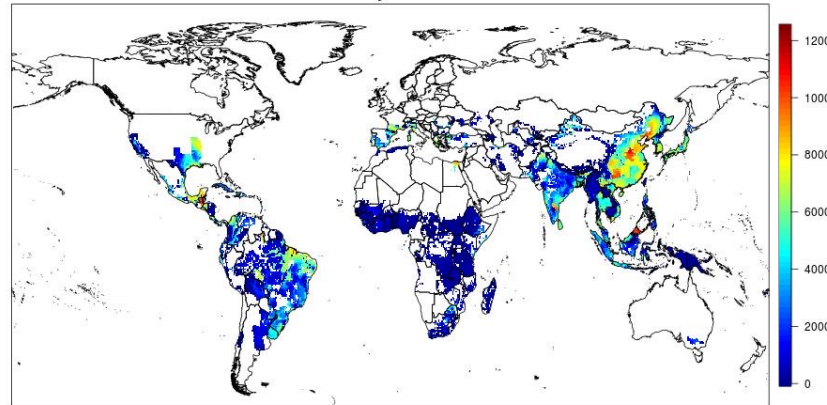
課題点

- 食料安全保障上重要なその他の**主要穀物**(小麦・トウモロコシ・大豆)への影響は明らかになっていない。
- 空間変動が大きなSLCFsに対し、**地域的な影響**については未だほとんど明らかになっていない。
- 主要排出源である**水田からのメタン**が緩和策に応じてどのように変化するかが考慮されていない。

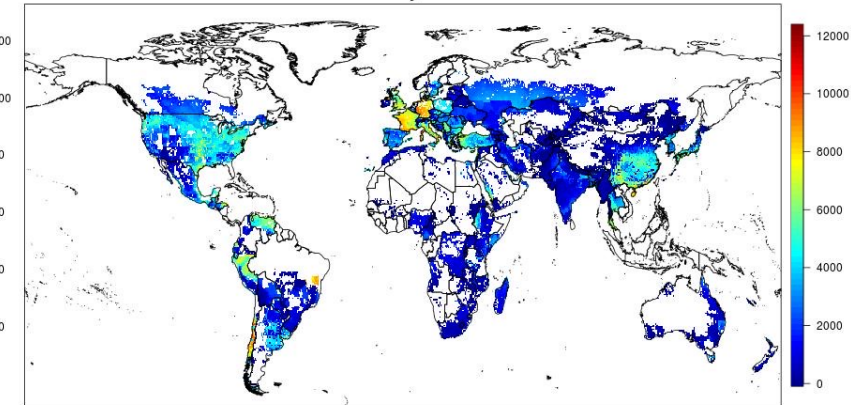
主要作物を対象とした作物モデルMATCROの開発

- 栽培データベース・文献調査・共同研究者等から主要作物に対する栽培実験データを世界中から収集。
- 収集したデータを用いてグローバルにパラメタリゼーションを実施。
- それぞれの作物特有のプロセスを導入。
 - Wheat：低温要求性
 - Soybeans：葉内窒素
 - Maize：C4光合成プロセス
- いくつかのプロセスにおける改良。
 - 光合成プロセス
 - CO2施肥効果
 - 水ストレス
 - 土壌水分分解法

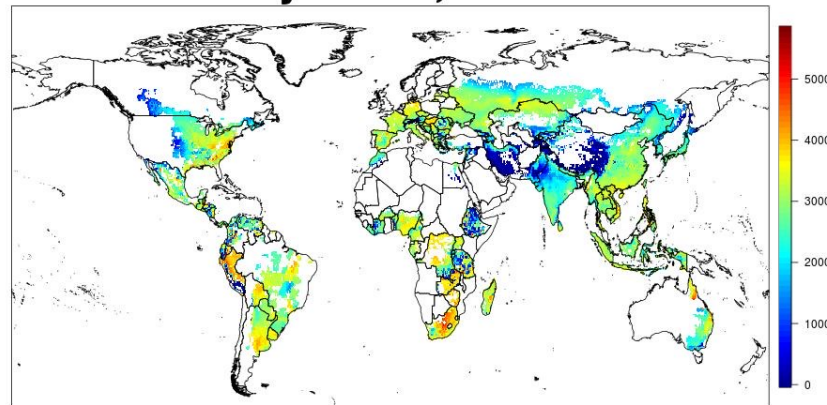
Rice, 2000



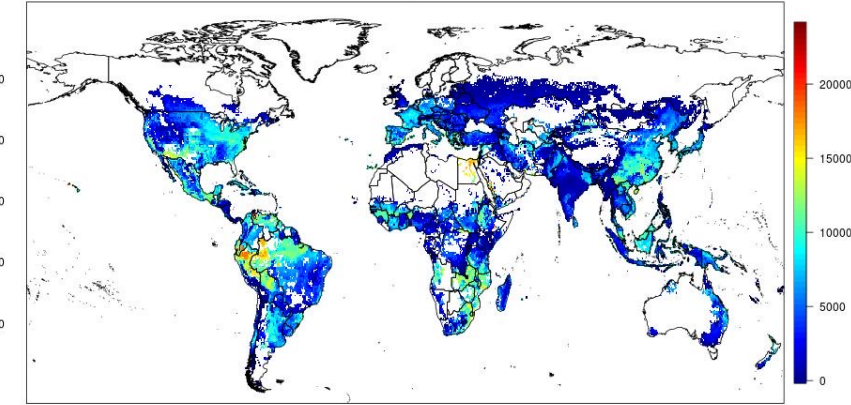
Wheat, 2000



Soybeans, 2000



Maize, 2000

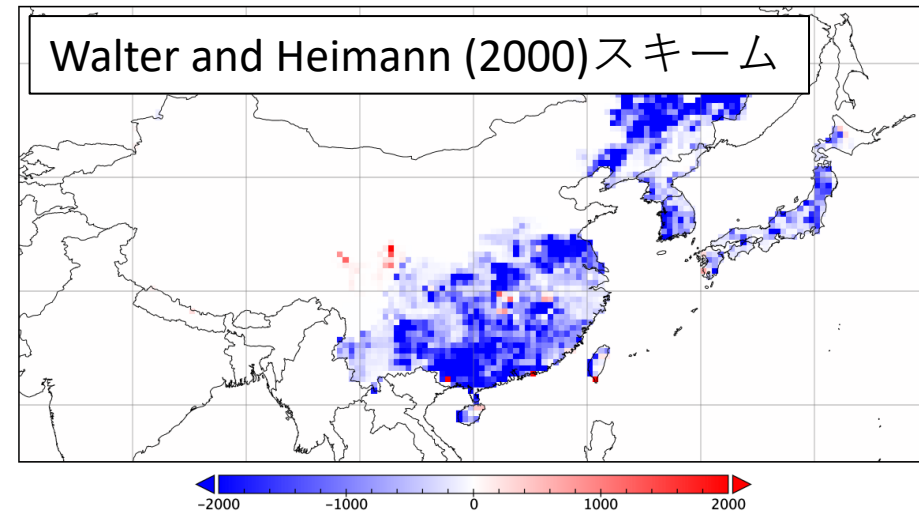
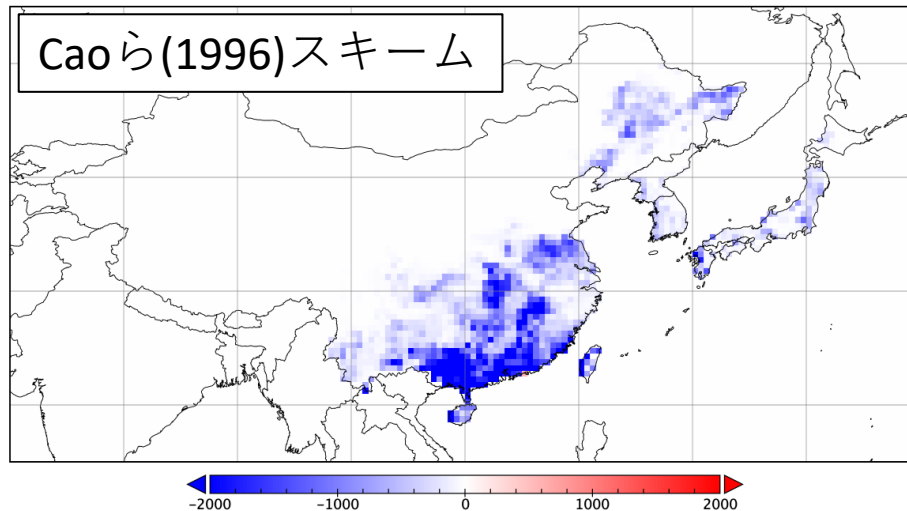
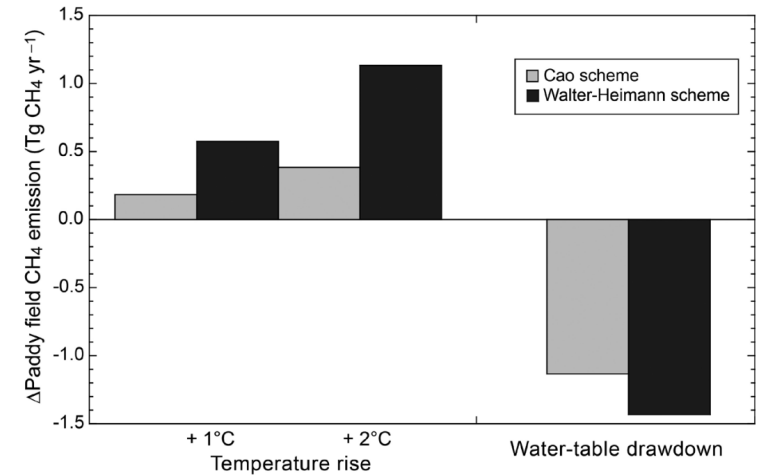


主要作物(水稲・小麦・大豆・トウモロコシ)を対象に推計したグリッド別の収量(2000年)

- 主要作物を対象にグローバルに収量推計することができる作物モデル(MATCRO-Rice, Wheat, Soybeans, and Maize)を開発。
- 地域によって収量が大きく異なることが再現できている。

改良VISITを用いた緩和策による水田メタン排出削減効果

- 水田由来のメタン排出量に対する緩和策(水田水位低下)の効果を推計するために以下の二つのスキームをVISITに導入
 - Caoら(1996)によるスキーム：土壌1層のシンプルなスキーム
 - Walter and Heimann (2000)のスキーム：多層土壌でメタンの鉛直輸送なども考慮したより複雑なスキーム
- この改良VISITを用いて東アジアを対象に水田水位を6cm減少させて、水田メタン排出削減効果を推計

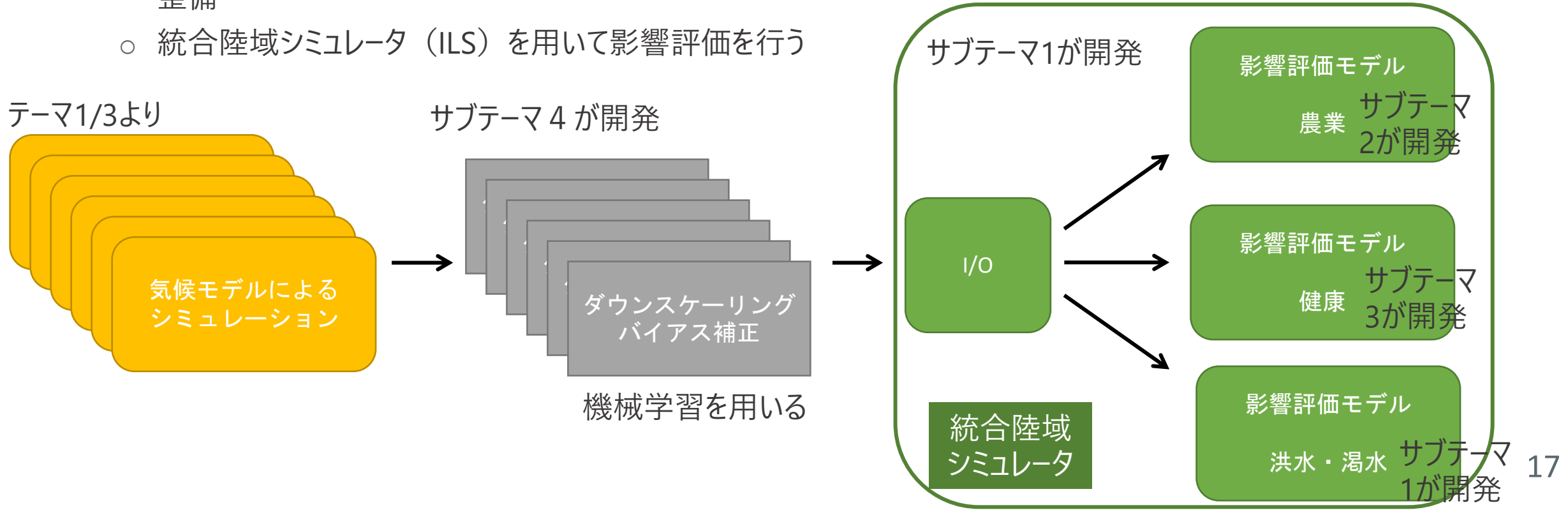


緩和策(水田水位6cm低下)によるグリッド別水田メタン排出削減量[mg CH₄ m⁻² yr⁻¹]

- **メタン排出削減効果が地域により大きく異なる**ことが明らかとなった(→モデル推計の大きな意義)。
- メタン排出削減量は地域全体で**1.1-1.4 Tg CH₄ yr⁻¹**。これは温暖化によるメタン排出増加量と同等かそれ以上(→水管理による緩和策の有効性の証明)。

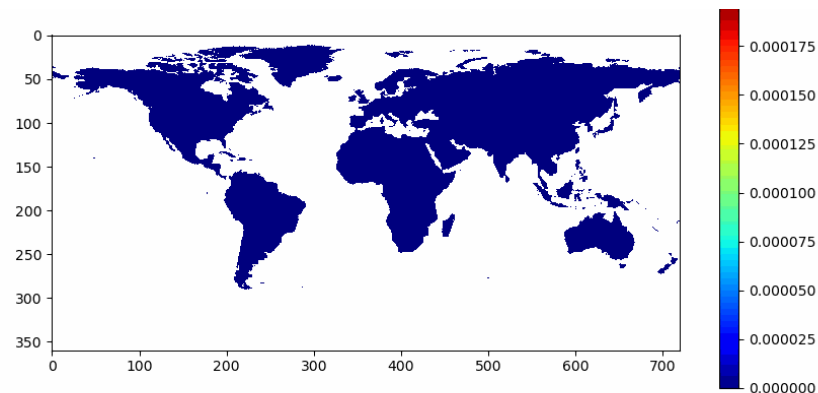
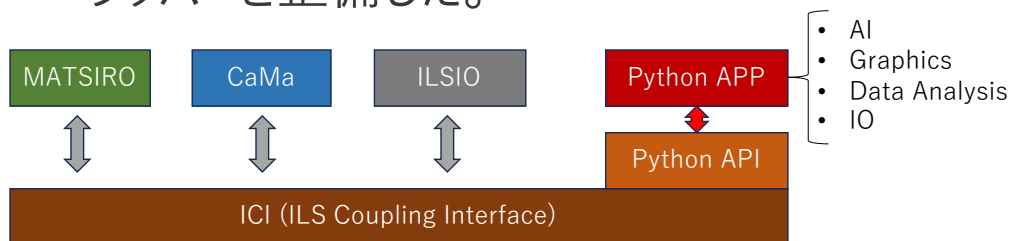
サブテーマ 1：短寿命気候強制因子による陸水変動の定量的評価

- 統合陸域シミュレータを用いて**SLCFs排出量増減の地域規模での環境影響評価**を行う
 - 地域規模での影響を評価するためには、多数の気候モデル実験をもとにした影響評価が必要
 - これまでの枠組みでは、多段階の作業が必要、データ量が多い、入力ファイルの形式変更が必要、といった理由から、多数の影響評価実験を行うには手間や時間がかかりすぎる
 - 影響評価を、高速かつ少ない手順で実施するため、統合陸域シミュレータを拡張し、統合影響評価モデルとして整備
 - 統合陸域シミュレータ（ILS）を用いて影響評価を行う



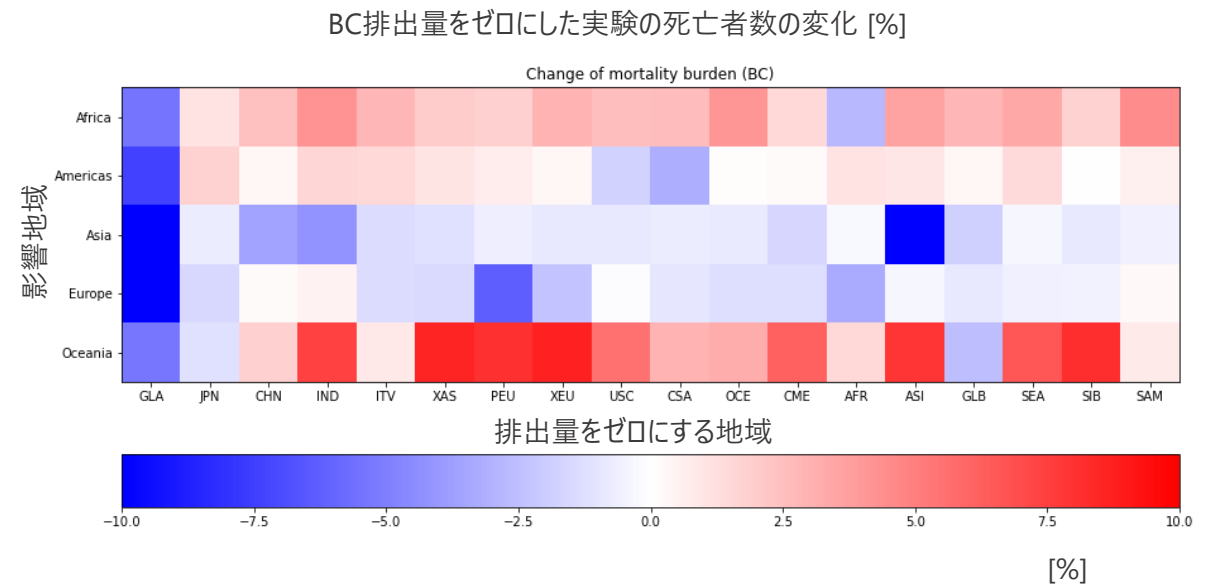
ILS結合インターフェイスのPythonへの対応及び影響評価関数への適用

- 従来は、結合するモデルもFortranで書かれている必要があったが、影響評価モデルはFortranで書かれているものばかりではなく、ファイルやテーブル、文字列の扱いが容易な言語への対応が望まれていた。
- Pythonのモデルを結合できるようにILSの結合インターフェイスICIを拡張し、Cから呼び出し可能な形に、ラッパーを整備した。



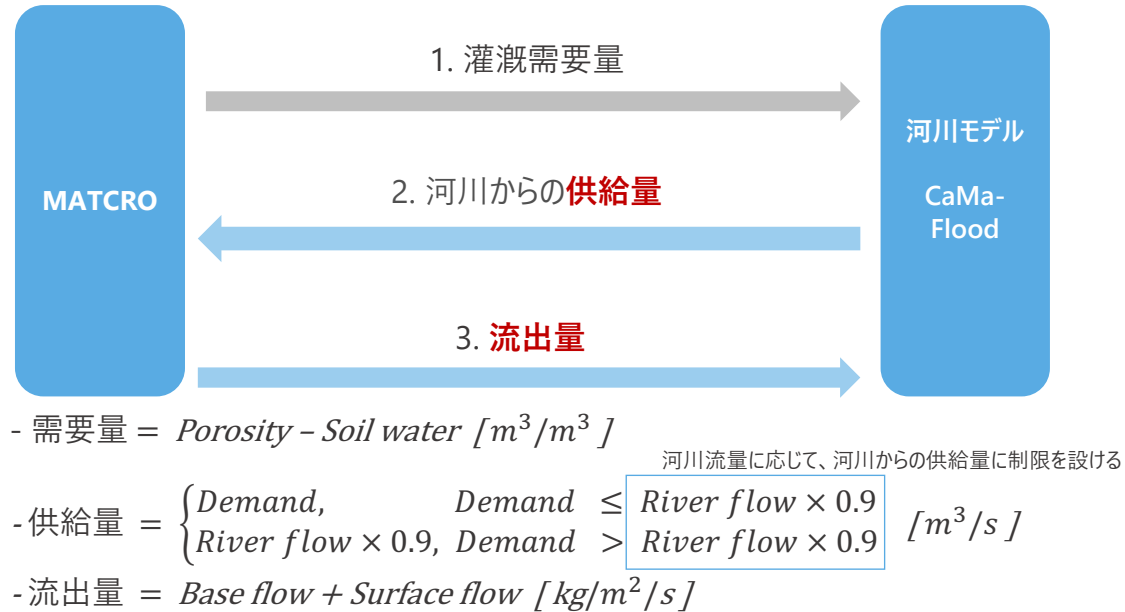
```
mpirun -n 16 ${COMMAND} : -n 7 ${COMMANDC} : -n 1 ${COMMANDIO} : -n 1 python3 ${PYSRIPT}
```

ILSの結合モジュールの概要とPython結合の例：
シミュレーション結果の同時モニタリング機能の実装

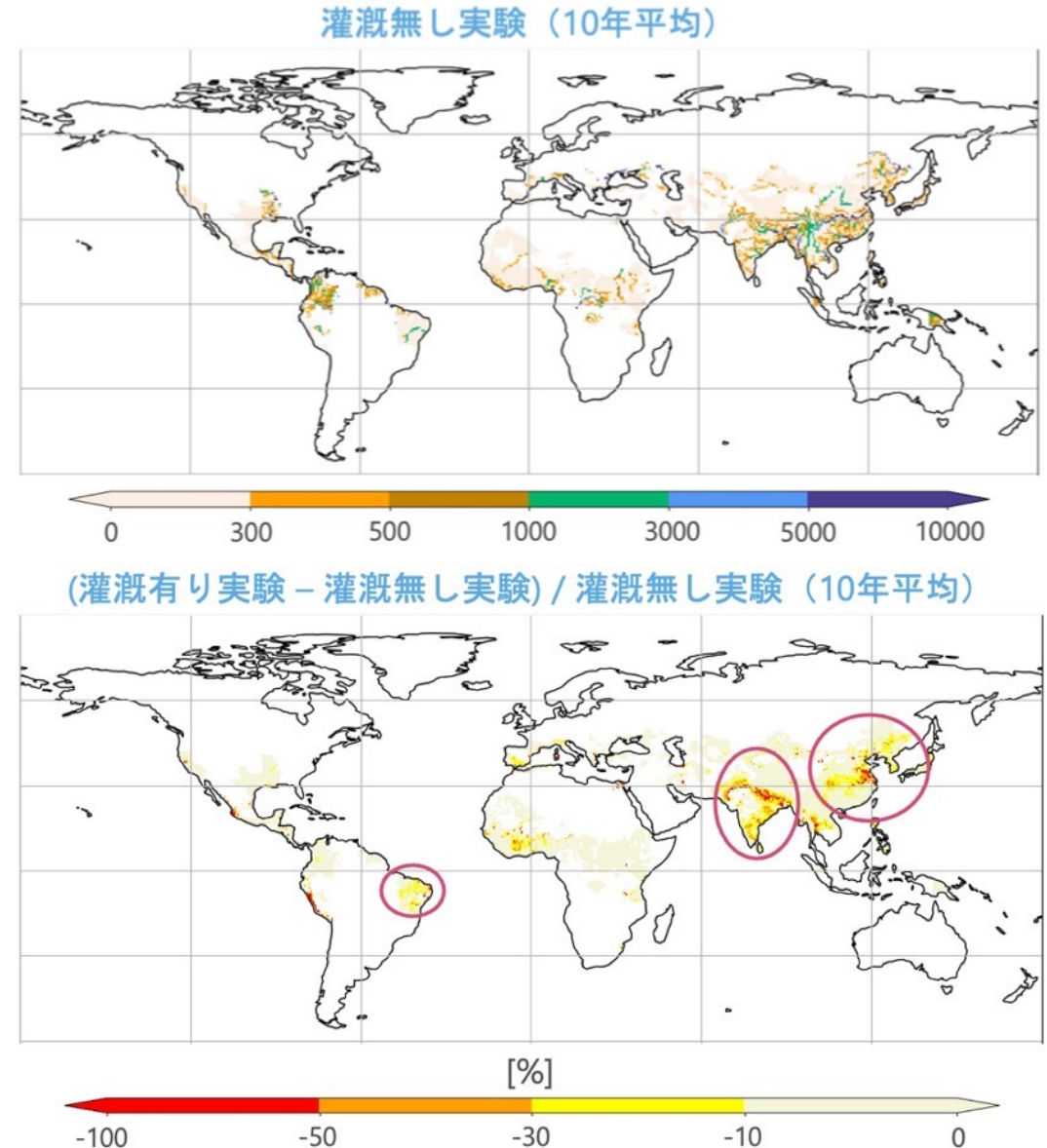


Python結合の例その2：健康影響評価関数の実装
S20感度実験（BC排出ゼロ実験）を用いたPM2.5による
死亡者数の地域ごとの増減

作物成長モデルMATCROとILSの結合



- Fortranで書かれたモデル同士の結合。結合モジュールJcupを通じて変数（データ）をやり取りするところはPythonと同じ。
- 灌漑の考慮により、灌漑が盛んな地域（右図の丸で囲んだ地域）において河川流量は減少し（領域平均で-10%ほど）、蒸発散量・収量は増加することを確認した。



S-20 テーマ2の研究の進捗状況と環境政策等への貢献

- 研究の進捗状況
 - サブテーマ1：計画通り進展している
統合陸域シミュレータILSを用いた陸域水文量の検証・影響評価が進められ、健康影響評価モデル及び干ばつ評価モデルをILSに組み込むことに着手した。
 - サブテーマ2：計画通り進展している
国内・国外の健康データを用いた疫学的解析により、粒子成分別の健康影響関数、大気汚染との複合作用を考慮した気温の健康影響関数、降水量に関する極端現象（大雨、干ばつ）による健康影響関数を構築した。
 - サブテーマ3：計画通り進展している
水稻・小麦・大豆・トウモロコシの4作物を対象としたMATCROモデルを開発し、緩和策を考慮したVISITモデルを開発することが完了した。
 - サブテーマ4：計画通り進展している
手法構築が概ね完了し、感度実験を経て、順次データをサブテーマに提供している。
- 環境政策等への貢献
 - 作物モデル国際比較・改良プロジェクト(Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project: AgMIP)について、イネ、大豆、オゾンの3つのチーム(AgMIP-Rice, AgMIP-Soybean, AgMIP-Ozone)に参加、成果はIPCC等で今後引用される見込み。

S-20 テーマ2の研究成果の発表状況と研究経費の内訳

- 研究成果の発表状況
 - 査読付き論文:18件 その他の論文:3件 口頭発表:53件 マスコミ等の報道:62件
 - 受賞:3件 うち1件は科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞(科学技術振興部門)
 - 「国民との科学・技術対話」の実施:3件