

気候変動に伴う自然災害が 世界の主要穀物生産の安定性 に及ぼす影響評価

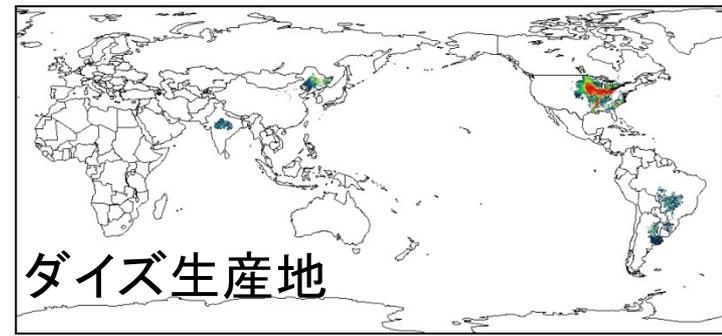
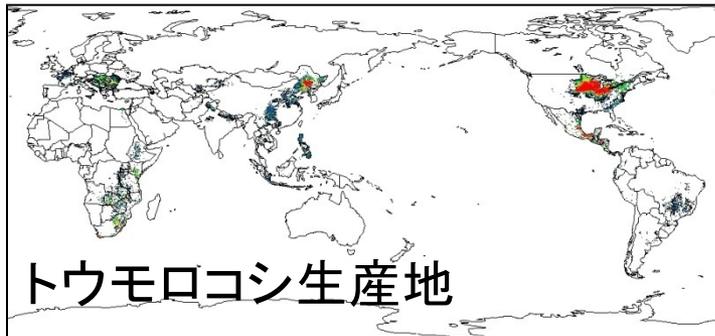
独立行政法人 農業環境技術研究所
横沢 正幸・櫻井 玄・飯泉 仁之直

課題の目的

生産地・輸出国が空間的に偏在している

トウモロコシ・ダイズ

中国、アメリカ、ブラジル

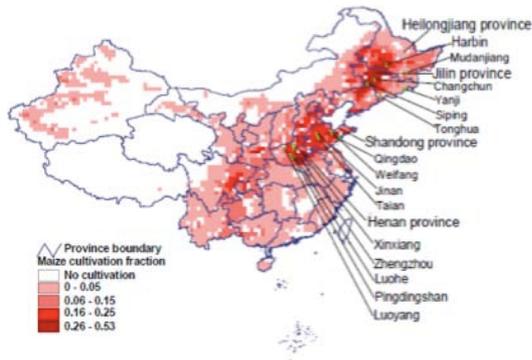


気候変動が生産の安定性に及ぼす影響
(収量の年々変動)を評価する

研究の流れ

- ✓ 広域スケールで作物の生産性とその環境応答を記述するプロセスモデルを作成
- ✓ ダイズ(C₃)の炭酸同化モデルはFACE (Free Air CO₂ Enrichment) 実験の結果を反映
- ✓ FAO国別データに基づく肥料投入量データを入力
 - 投入量の年変化はあるが国内の農耕地では同量投入と仮定
- ✓ FAO国別データに基づく灌漑率のデータを入力
 - 水資源量は現在のまま固定
- ✓ キャリブレーションは1980-2006年(27年間)
- ✓ 最新の気候変化シナリオを入力して生産性の変動を評価・解析する

生産性環境応答モデルの基礎データ

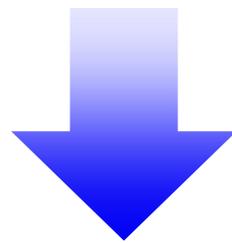


中国、アメリカ、ブラジル
農業統計データ（収量、収穫面積）

+

気象データ(JRA25)のグリッドとの対応付け

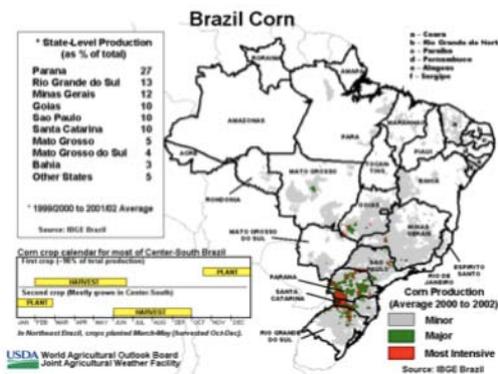
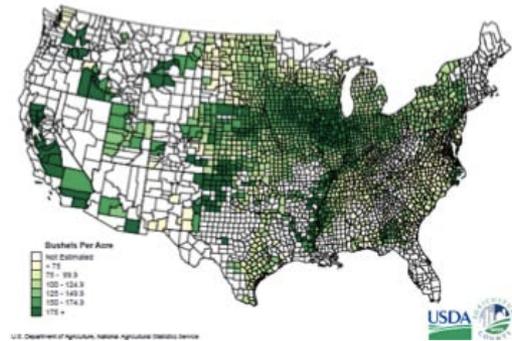
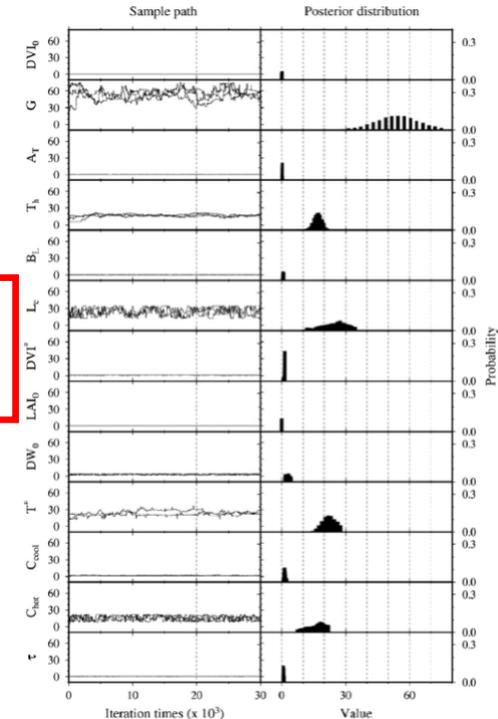
生産性データセット



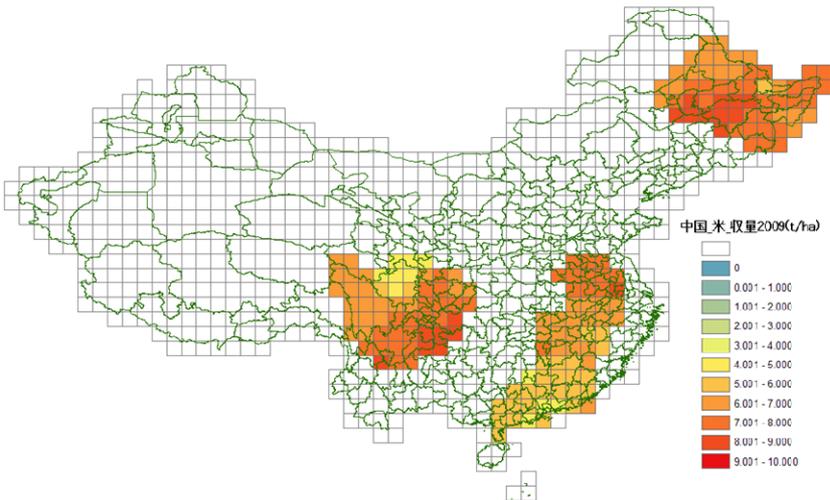
モデルキャリブレーション
地域代表のパラメータ決定

ベイズ法による
逆推定

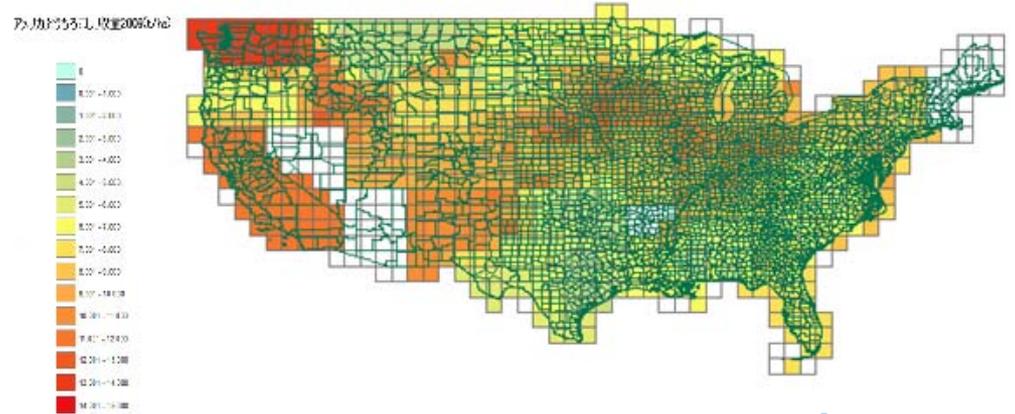
生産性環境応答モデル



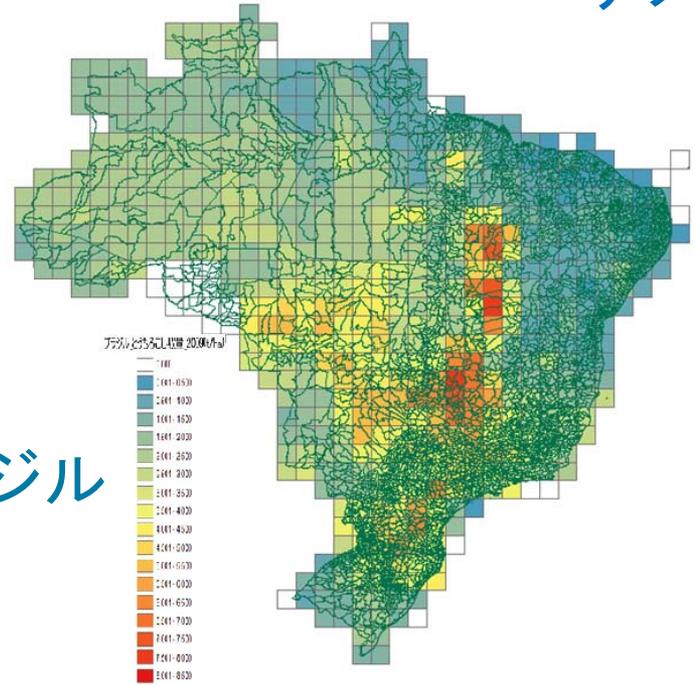
生産性データセット



中国

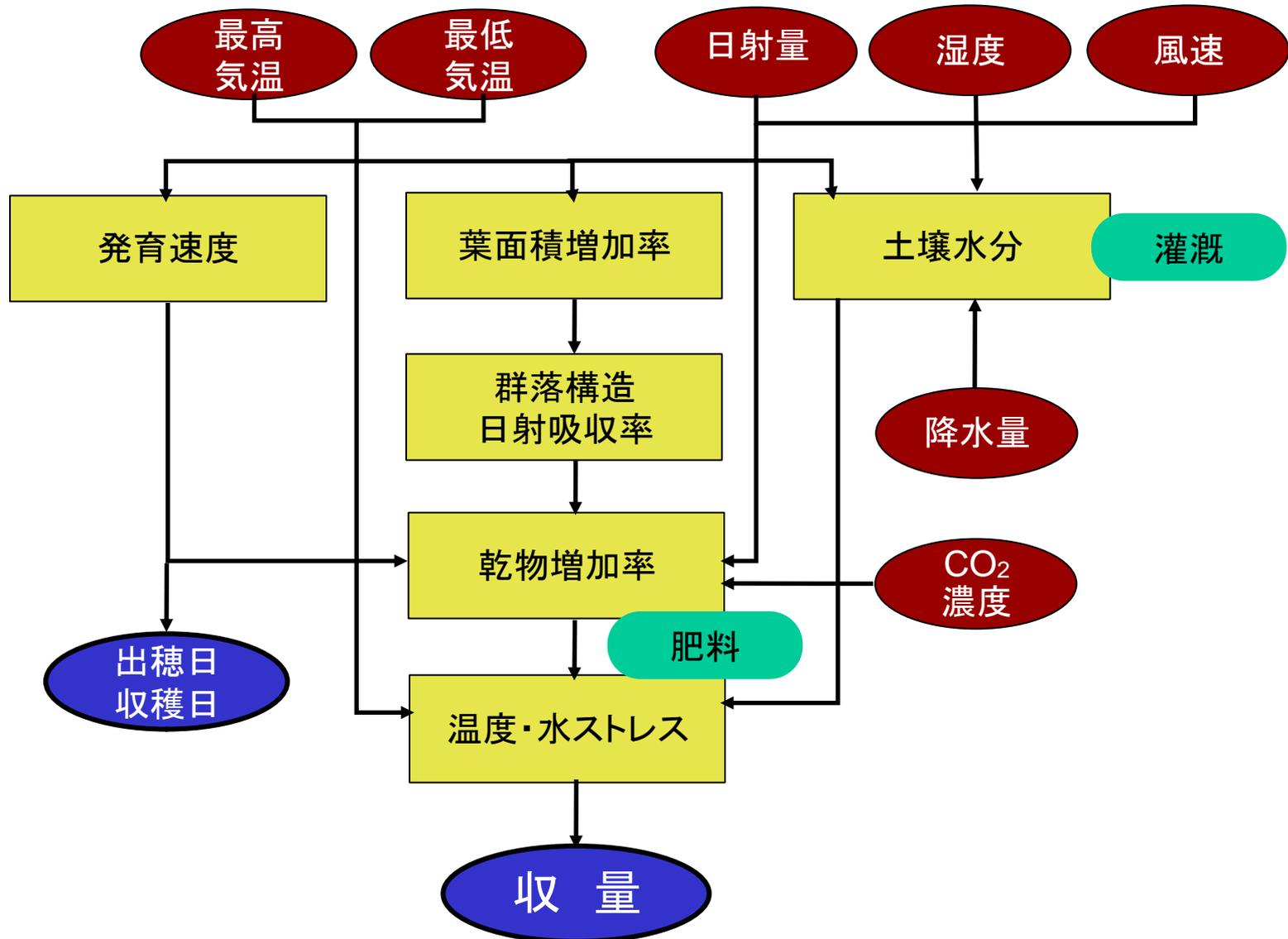


アメリカ



ブラジル

生産性環境応答モデル



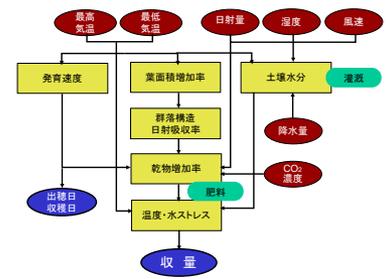
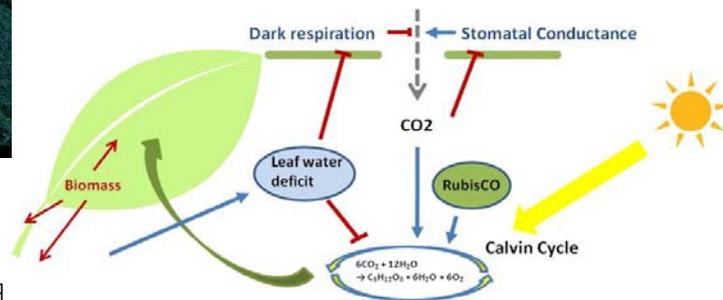
炭酸同化サブモデルの改良

高CO₂環境に対する応答



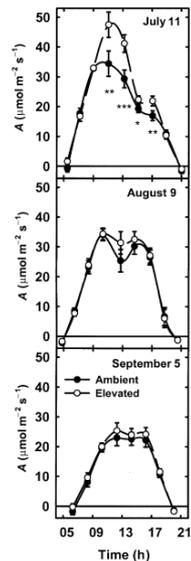
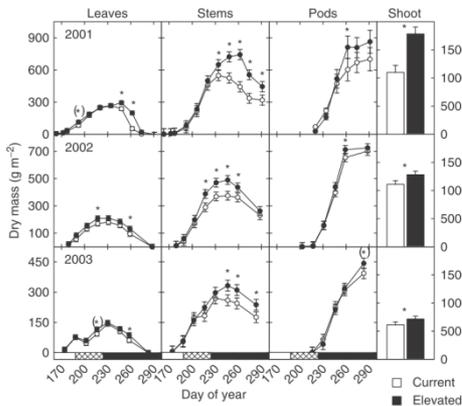
FACE (Free Air CO₂ Enrichment)

人為的に高CO₂環境においた野外環境で作物がどのような応答を示すかを検証する実験

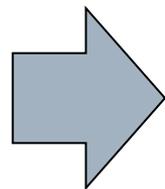


バイオマス

同化速度



FACE実験結果の反映



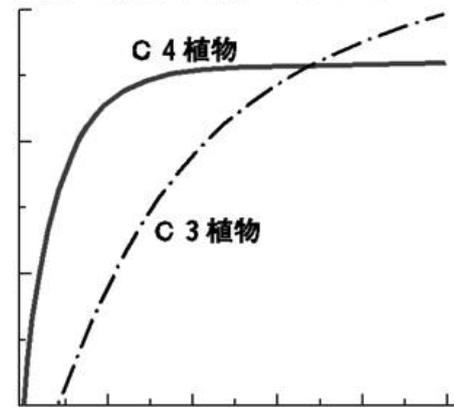
実験データに基づいて階層ベイズ法により関連パラメータを更新する

炭酸同化サブモデルの改良

- 高CO₂による施肥効果
および
ダウンレギュレーション効果の
取り込み

ダウンレギュレーション
高CO₂環境下で生育する植物
はCO₂施肥効果が低下する

$$V_c - 0.5V_o = \frac{V_{cmax}(C_i - \Gamma)}{C_i + K_c(1 + \frac{[O_2]}{K_o})}$$



C₃:ダイズ
C₄:トウモロコシ

$$\textcircled{1} V'_{cmax} = V_{cmax} + dr1 \cdot V_{cmax} \cdot \left(\frac{[CO_2]}{c_{base}} - 1 \right)$$

$$\textcircled{2} J' = J + dr2 \cdot J \cdot \left(\frac{[CO_2]}{c_{base}} - 1 \right)$$

$$\textcircled{3} R'_d = R_d + dr3 \cdot R_d \cdot \left(\frac{[CO_2]}{c_{base}} - 1 \right)$$

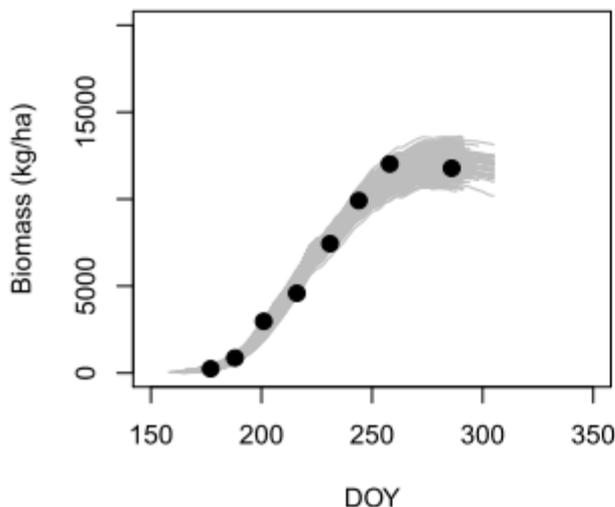


ダウンレギュレーションの効果を
統計的に導入

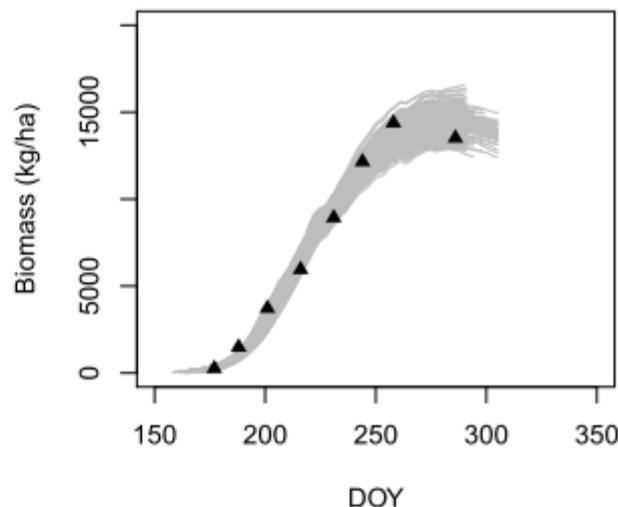
パラメータの値は、階層ベイズを用いて推定し、BPIC(情報量基準)をもとにサブモデルのモデル選択を行う。

FACEデータによるモデル選択

low: Biomass of Year 2002



high: Biomass of Year 2002

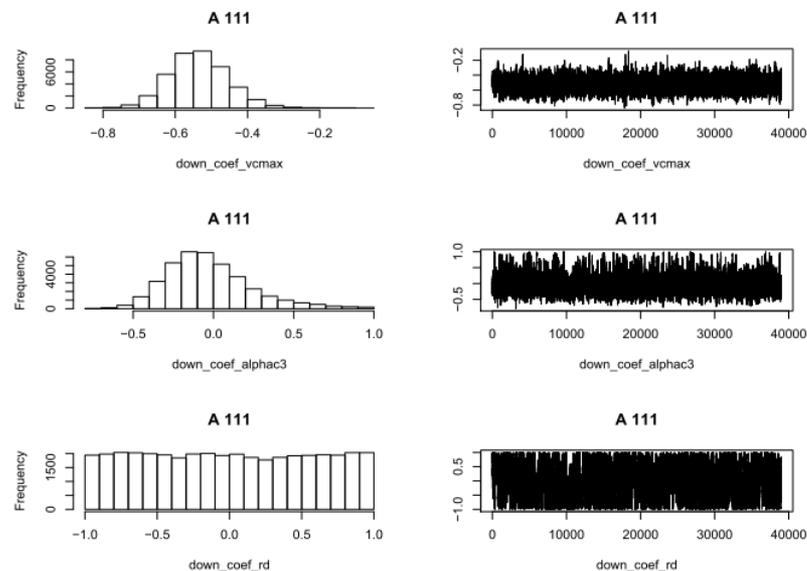


BPICの値から①のモデルが選択された

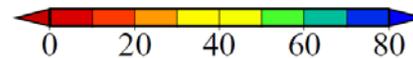
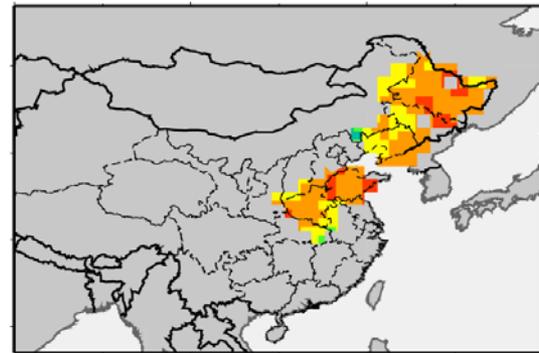
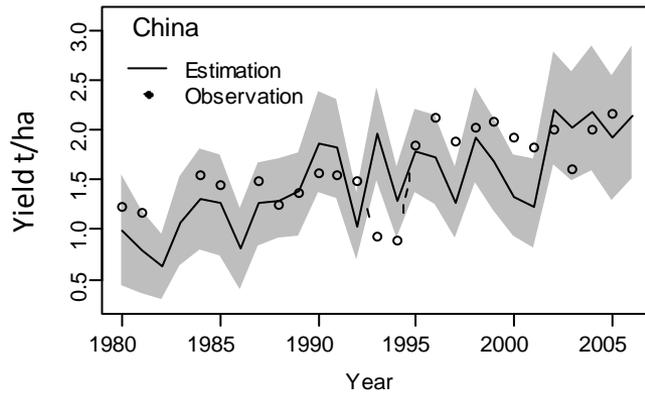
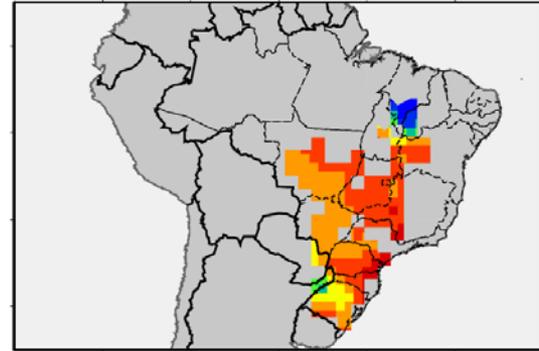
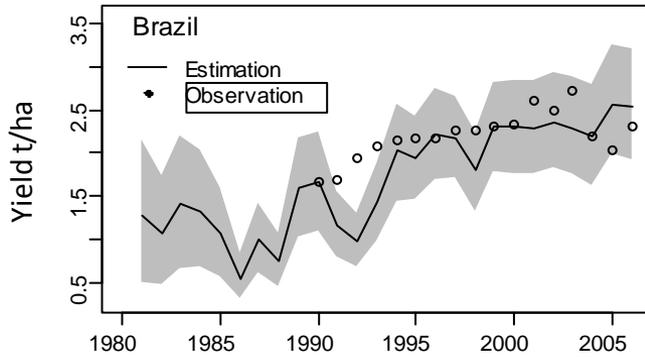
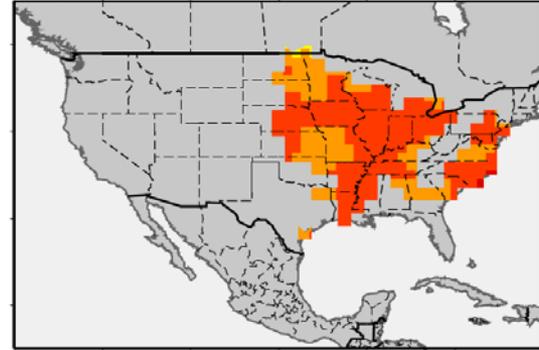
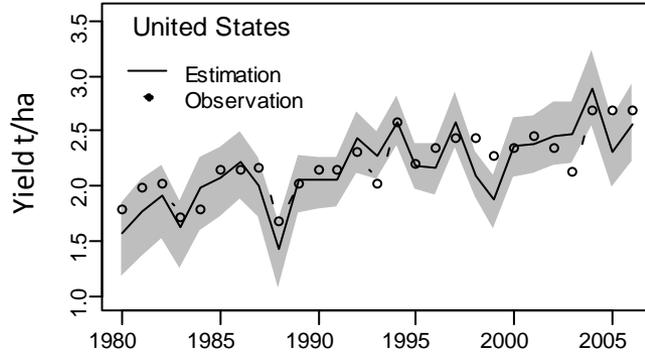
$$\textcircled{1} \quad V'_{\text{cmax}} = V_{\text{cmax}} + \text{dr1} \cdot V_{\text{cmax}} \cdot \left(\frac{[\text{CO}_2]}{c_{\text{base}}} - 1 \right)$$

$$\textcircled{2} \quad J' = J + \text{dr2} \cdot J \cdot \left(\frac{[\text{CO}_2]}{c_{\text{base}}} - 1 \right)$$

$$\textcircled{3} \quad R'_d = R_d + \text{dr3} \cdot R_d \cdot \left(\frac{[\text{CO}_2]}{c_{\text{base}}} - 1 \right)$$

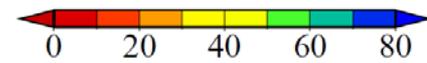
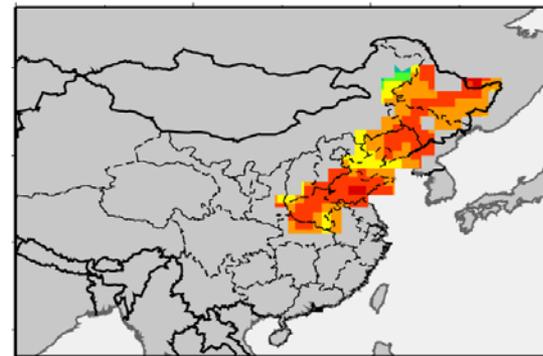
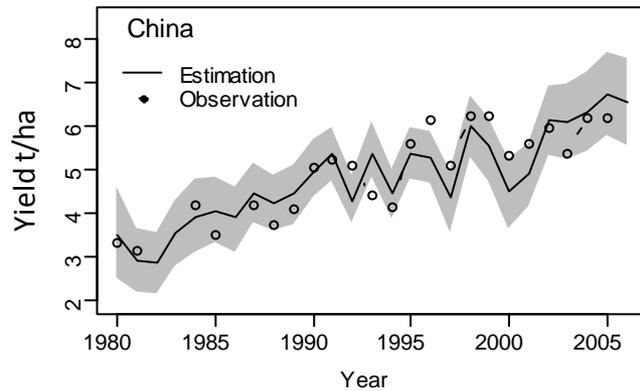
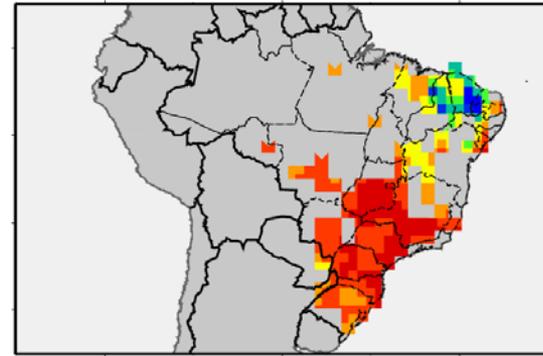
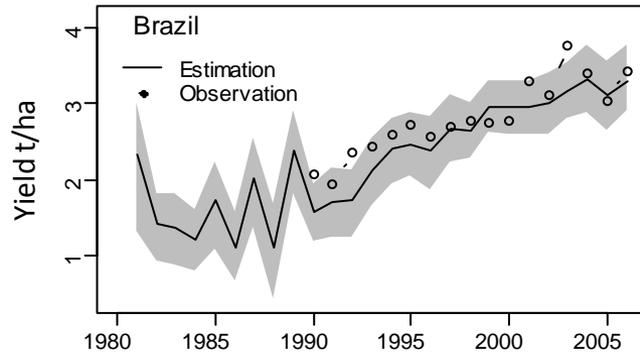
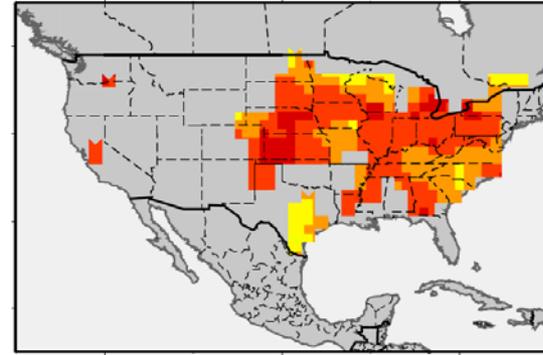
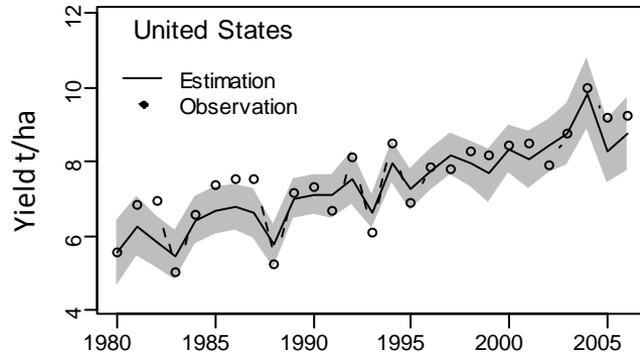


国ごとの再現性 (ダイズ)



RMSE (%)

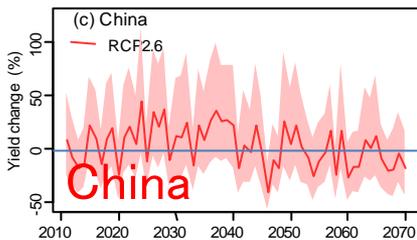
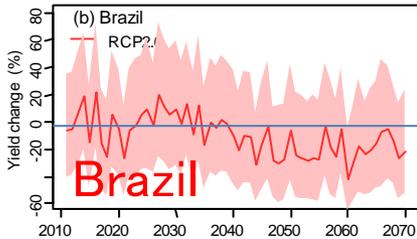
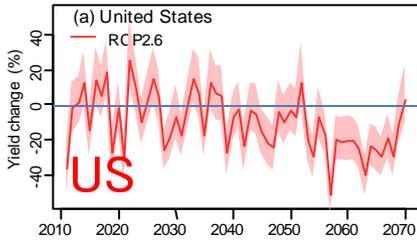
国ごとの再現性 (トウモロコシ)



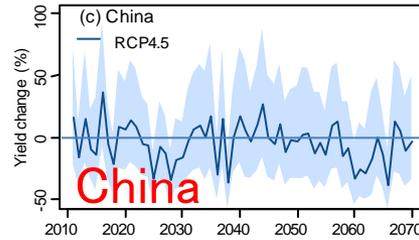
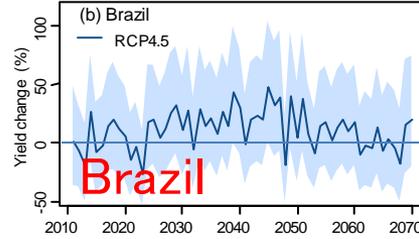
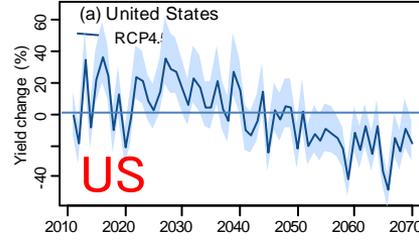
RMSE (%)

将来の生産性変動(ダイズ)

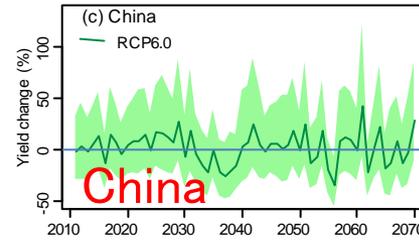
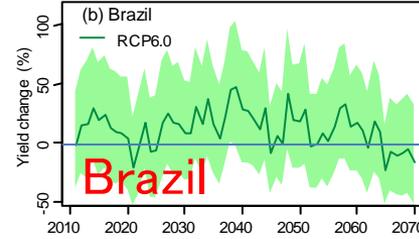
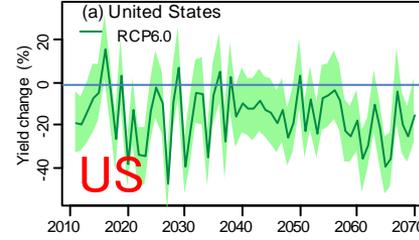
RCP 2.6



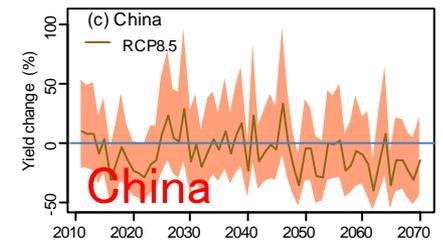
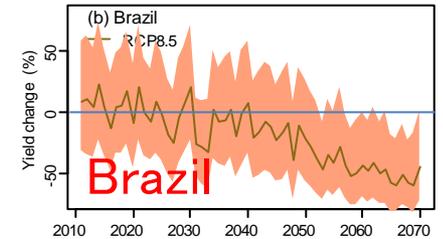
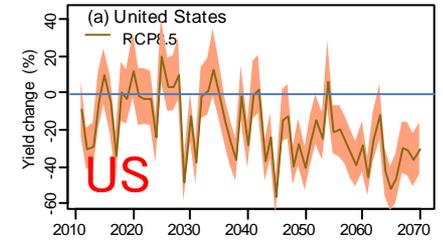
RCP 4.5



RCP 6.0



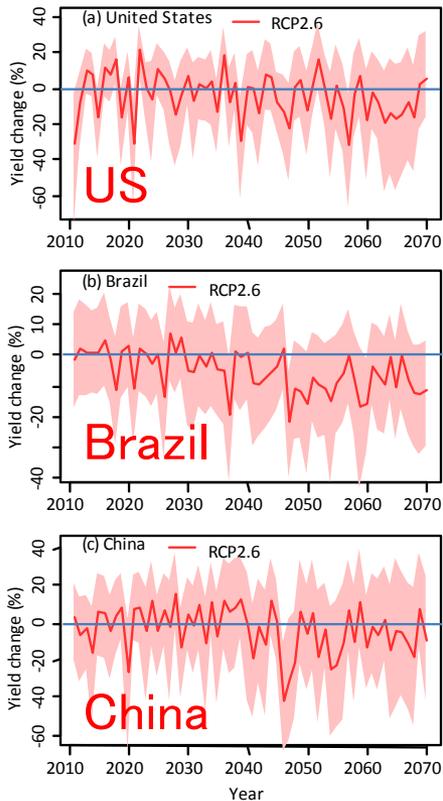
RCP 8.5



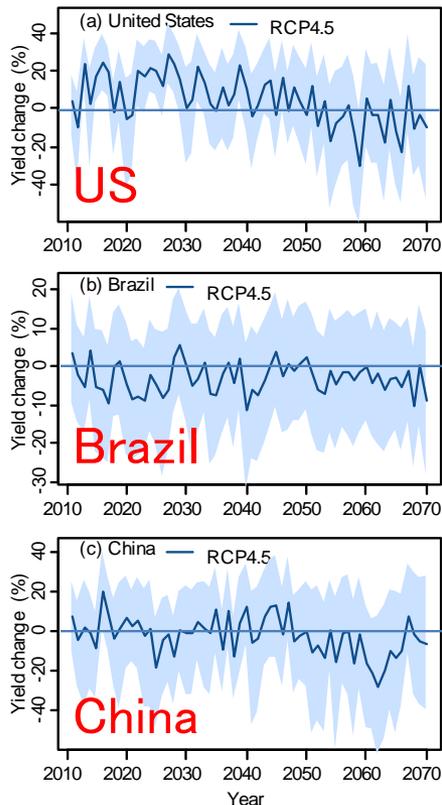
MIROC-ESM の気候変化シナリオを利用

将来の生産性変動 (トウモロコシ)

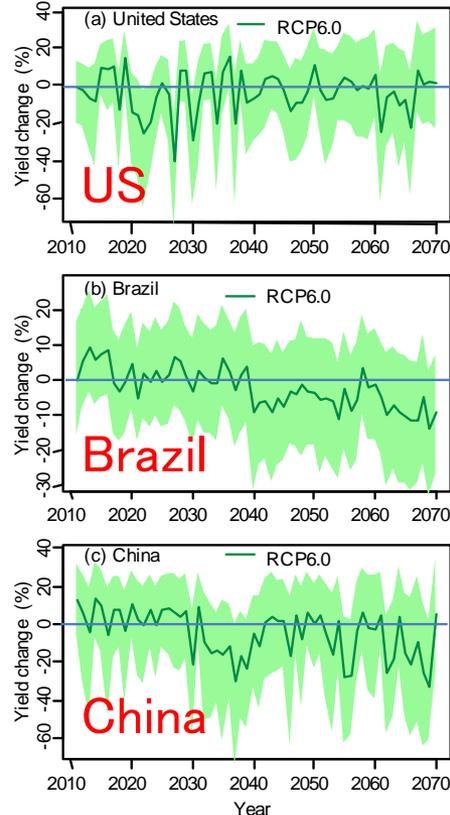
RCP 2.6



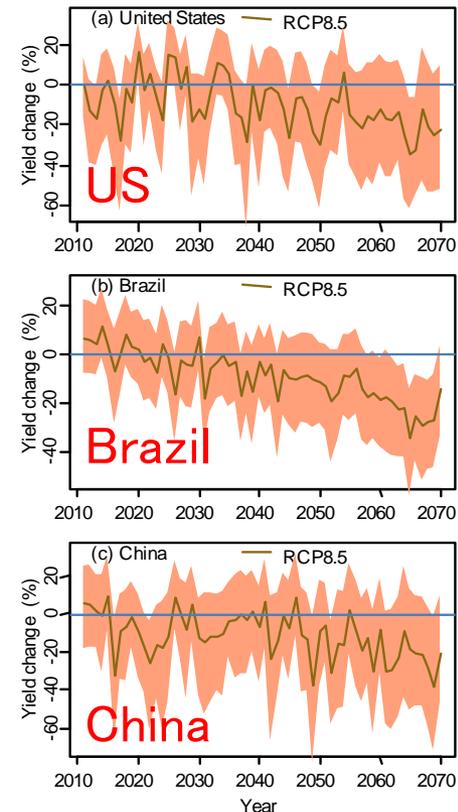
RCP 4.5



RCP 6.0

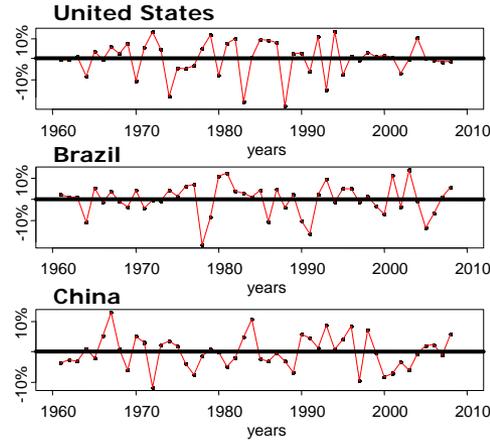
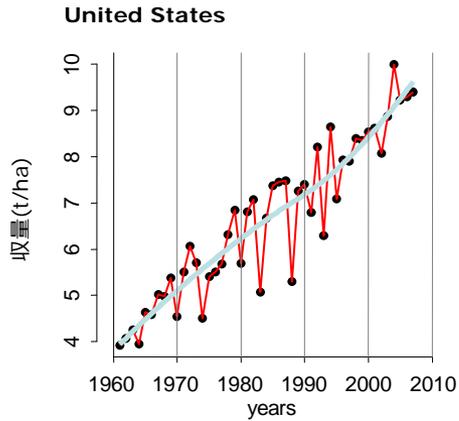


RCP 8.5

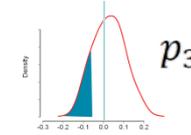
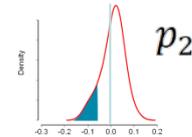
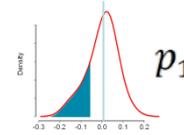


MIROC-ESM の気候変化シナリオを利用

同時減収確率の指標



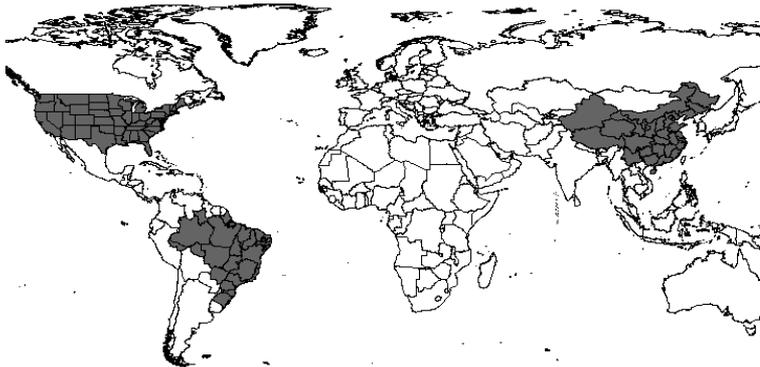
各国の減収イベントの発生確率



$$P = C(p_1, p_2, p_3)$$



同時減収イベントの発生確率



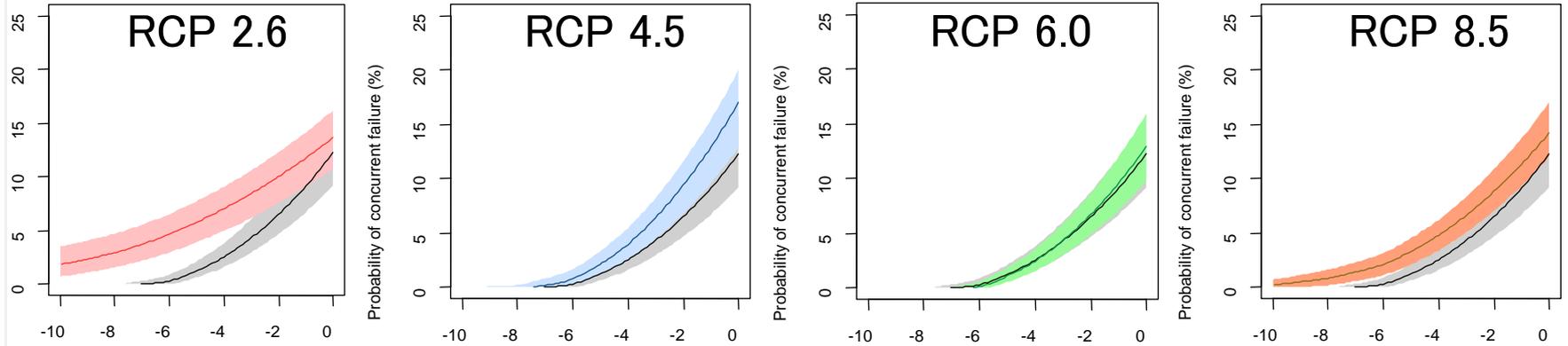
時系列間の相関からコピュラ関数を推定し、イベントの同時発生確率を調べる

3カ国同時減収確率の変化

将来 (2041-2070年) と過去 (1981-2010年) との差

3カ国同時生起確率(%)

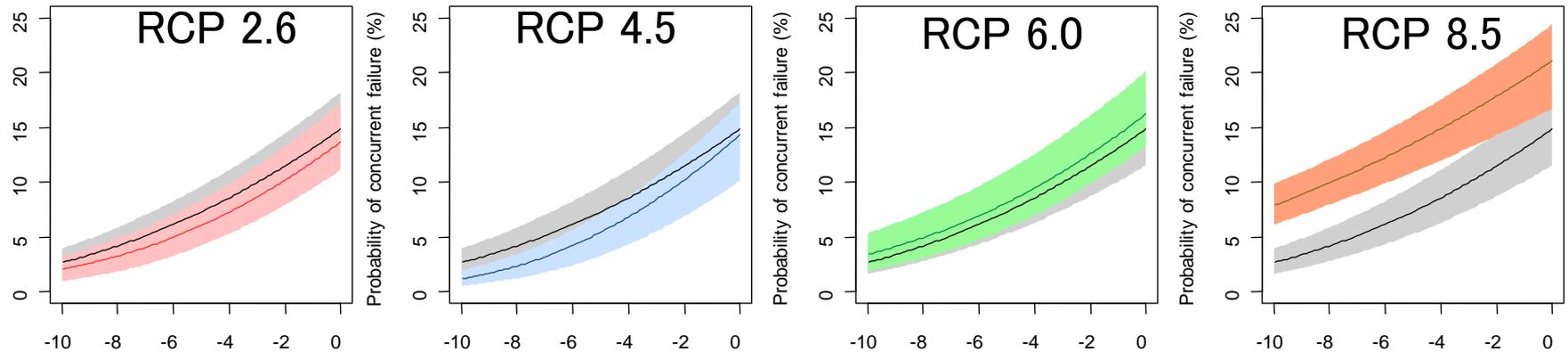
トウモロコシ



前3年間の平均収量に対して減収する割合(%)

3カ国同時生起確率(%)

ダイズ

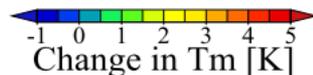
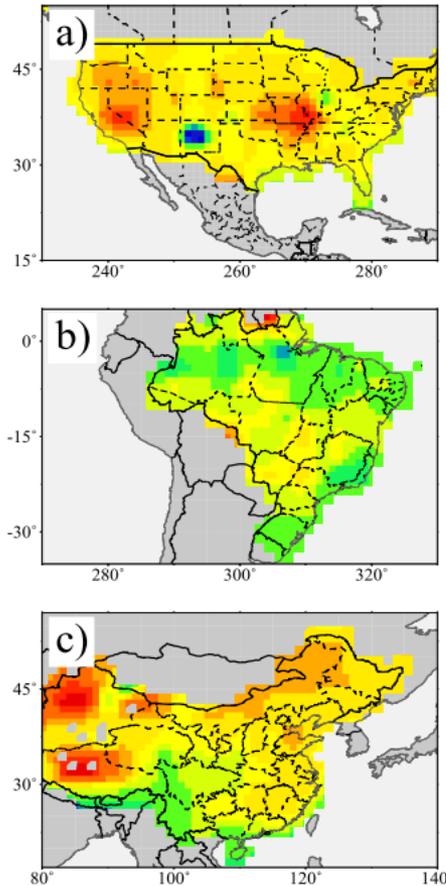


前3年間の平均収量に対して減収する割合(%)

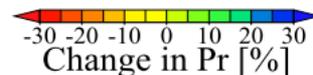
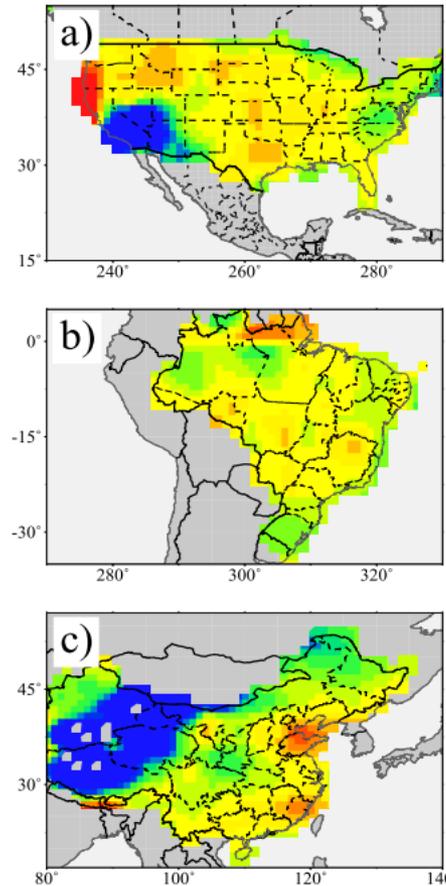
暖候期における気象環境の変化 (RCP6.0)

将来 (2041-2070年) と過去 (1981-2010年) との差

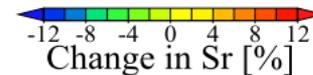
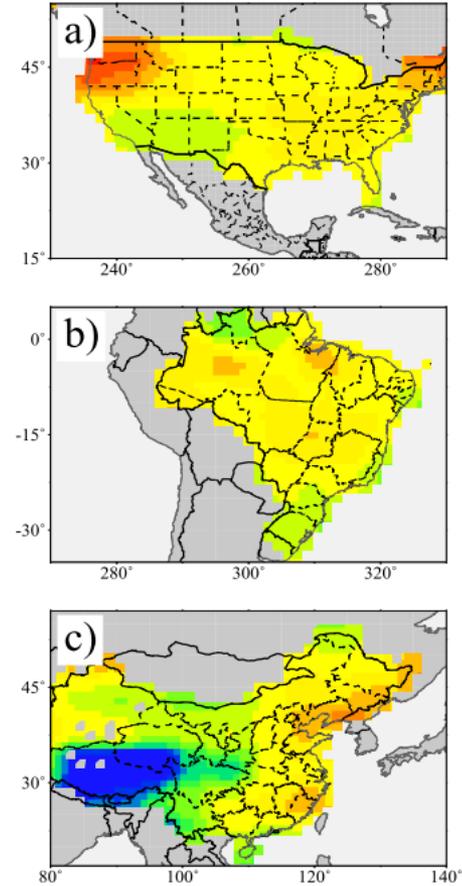
平均気温



積算降水量



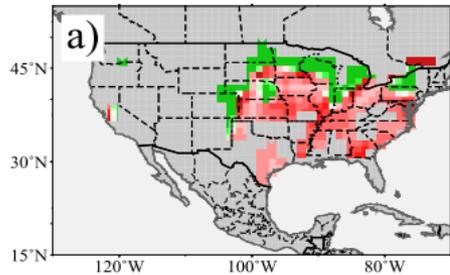
積算日射量



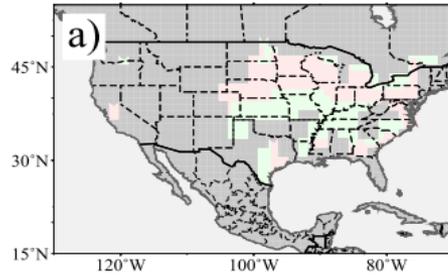
気候変化による生産性変化の解析

気象要素のトレンドを除去したデータを生産性応答モデルに入力した場合の変分
(トウモロコシの例)

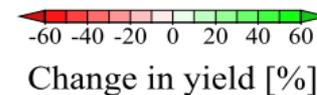
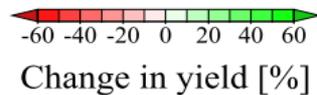
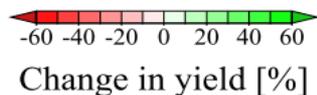
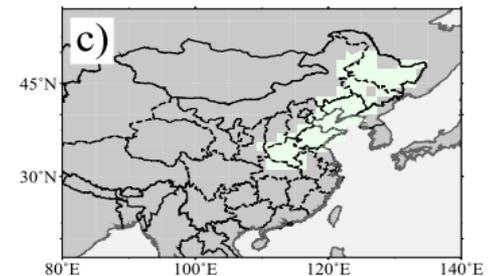
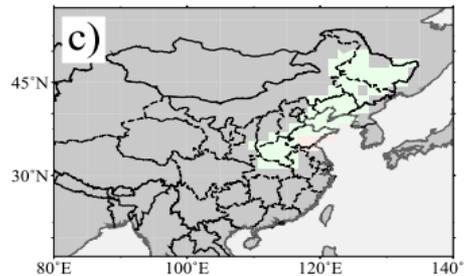
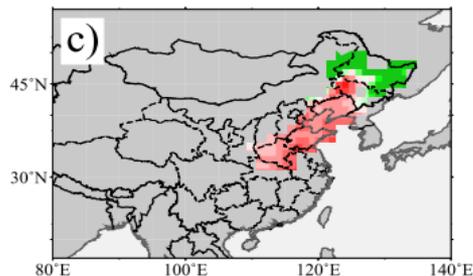
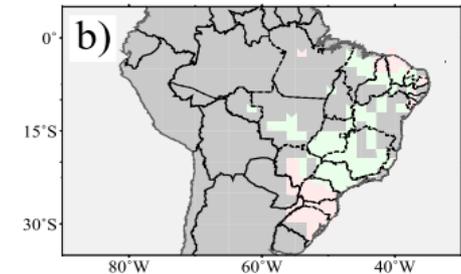
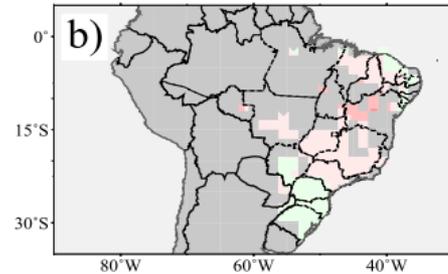
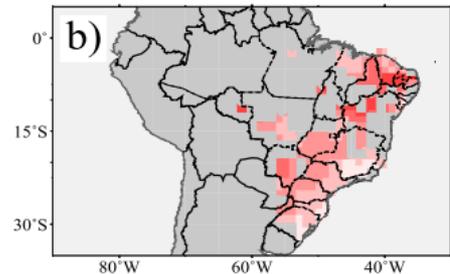
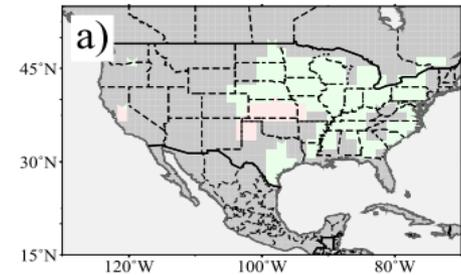
気温



降水量

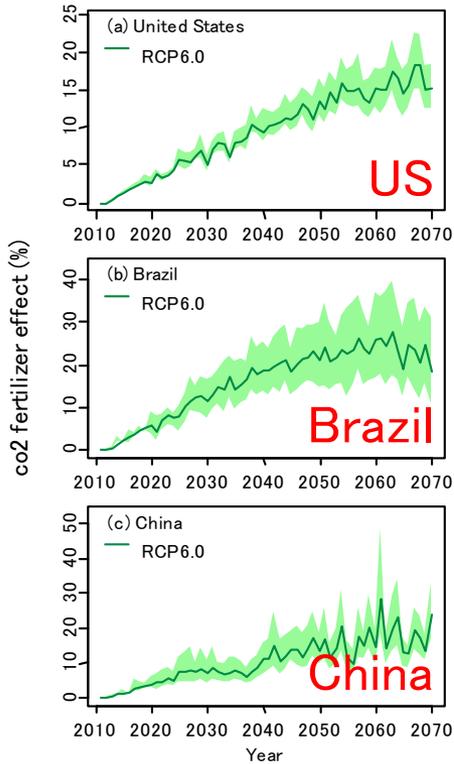


日射量

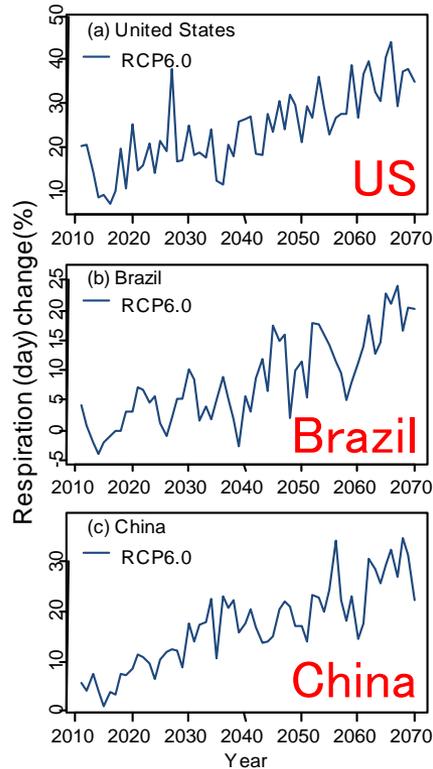


ダイズの環境応答の変化 (RCP6.0)

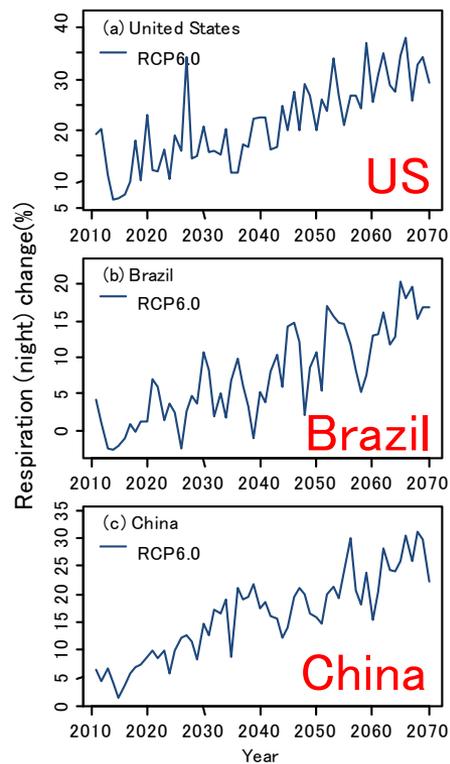
CO₂施肥効果



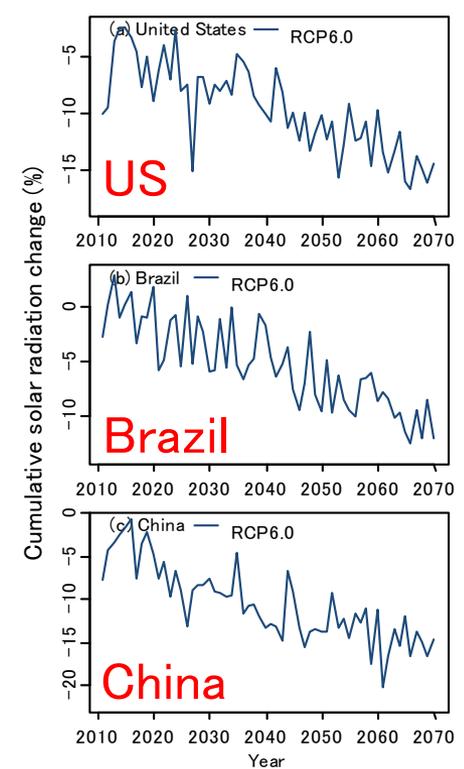
昼間の呼吸量



夜間の呼吸量



積算日射量



- [CO₂]の増加に伴いCO₂施肥効果が増加するとともに、気温上昇に伴い呼吸量は増加、生育期間短縮により積算日射量が減少
- [CO₂]の施肥効果による増収効果よりも気温上昇による減収効果が勝る(他のRCPシナリオでも同様)

まとめ(1)

- 広域スケールの作物生産性環境応答を記述するモデルを作成した。
- 高CO₂濃度に対する環境応答をFACEデータを利用して高度化した(ダイズ)。
- MIROC-ESMの出力結果を入力した結果、
 - トウモロコシ: RCP6.0で各国において収量の減少トレンドが若干現れ、RCP8.5では3カ国ともに明確な減少トレンドが現れた。
 - ダイズ: RCP6.0ではアメリカで強い減少トレンドが見られた。RCP8.5では、アメリカおよびブラジルにおいて特に強い減少トレンドが見られた。中国は減少トレンドが見られない。

まとめ (2)

□ 3カ国同時不作確率は、

- トウモロコシでは、特にRCP2.6およびRCP8.5において顕著に表れると推計された。
- ダイズでは、RCP2.6からRCP8.5にかけて徐々に将来の同時不作が高くなると推計された。特にRCP8.5での同時不作確率の増加は著しい。

□ 要因解析の結果、

- どの地域でも**気温要因が最も大きな影響**を与えていることが示唆された。
- 施肥効果、呼吸量増加、生育期間積算日射量減少の差引により生産性の減少トレンドならびに**3カ国の同時不作確率の増大**が引き起こされる。

今後の課題

- 適応性の検討
 - 品種や技術による適応の可能性
- 社会・経済的影響評価とのリンク
 - 価格影響、インフラ整備
- 将来の生産性の伸び
 - 環境応答の変化

...